

修平學報

第二十一期

修平技術學院 編印

中華民國九十九年九月出版

第二十一期學報中文目錄

- 1.使用反應曲面法於 V 型彎曲過程中實驗設計與性能分析
..... 劉南明、江可達、洪振聰、邱俊欽 1
 - 2.點取樣幾何模型鑑定之碎形浮水印技術 王仁澤、李菊權、張永昌 25
 - 3.以 LCA 整合 PLM 之產品生命週期分析 黃振誠、黃欽印、陳名海 41
 - 4.L 型彎曲過程中折疊區圓形孔的彎曲性能之分析與建模.....
..... 劉南明、江可達、洪振聰、陳世峰 63
 - 5.立方體辨識標誌之擴增實境界面設計—以虛擬食物熱量計算器為例
..... 李俊賢、吳宜靜、廖韻婷、何宗憲 85
 - 6.多伺服器環境中的使用者身分認證協議之研究 陳德祐、李正吉、王鵬程 99
 - 7.利用多目標模糊理論建立旅遊服務業之績效評估模式
..... 陳義分、陳映君、林學茂、楊展耀、林亮宗 115
 - 8.熱頂 (hot-top) 之軋輥鑄造與傳統澆鑄軋輥之比較 蔡國鈞 131
 - 9.有限差分法模擬向列相液晶指向場 歐崇仁、蔡曉玲、林振漢 141
 - 10.即時不斷電自動啟閉網路監控系統 劉文韻、林鴻興 157
 - 11.精實服務與團體套裝旅遊服務品質模式：以大陸來台觀光客為例
..... 張燦明、張哲強 169
 - 12.組織學習：國際觀光旅館烘焙師父為例 陳建龍、陳俊碩、林和明 191
 - 13.應用田口分析法於三軸工具機切削條件與精度之研究 蔡東憲、林東宏 211
-
-

14.適應控制應用於3連桿臂撞擊運動之建模.....	
..... 楊伯華、王旭萍、陳柏嘉、詹弘楠	221
15.複合燃料噴霧特性對直噴式引擎廢氣排放之影響.....	林永嵩 235
16.條件限制下的貝他係數與股價指數報酬的關係——以亞洲市場為例.....	
..... 何亮君	255
17.磨床振動之研究.....	周志忠、張浮明 267

Contents

1.Experimental design and performance analysis of the V-die bending process using the response surface methodology	
..... Nun-Ming Liu, Ko-Ta Chiang, Jenn-Tsong Horng, Chun-Chin Chiu	1
2.A fragile watermarking scheme for point-sampled geometry authentication	
..... Jen-Tse Wang, Chu-Chuan Li, Yung-Tsang Chang	25
3.Extending Product Lifecycle Analysis of PLM by integrating LCA	
..... Chen-Cheng Huang, Chin-Yin Huang, Ming-Hai Chan	41
4.Analysis and modeling of the bending performances of the circular holes in the fold zone during the L-shape bending process	
..... Nun-Ming Liu, Ko-Ta Chiang, Jenn-Tsong Horng, Shih-Feng Chen	63
5.Developing a Cubic Marker Interface for Augmented Reality and Case Study on Virtual Calculator to Food Calories	
..... Jiunn-Shyan Lee, Yi-Ching Wu, Yun-Ting Liao, Tsung-Hsien Ho	85
6.Research on User Authentication for Multi-server Environment	
..... Te-Yu Chen, Cheng-Chi Lee, Peng-Cheng Wang	99
7.The performance evaluation of tourism industry by fuzzy MCDM	
Yee-Fen Chen, Ying-Chun Chen, Hsueh-Mao Lin, Chan-Yaw Yang, Liang-Tsung Lin	115
8.Comparing between hot-Top casting method and traditional method used in Admite roll's casting	
..... Gwo-Jiun Tsay	131

9.Finite Difference Method for Nematic Phase Liquid Crystal Director Field	Chung-Jen Ou, Hsiao-Ling Tsai, Chen-Han Lin	141
10.Real time automatic activation network monitoring system with uninterruptible power supply	Wen-Jye Liou, Hung-Hsing Lin	157
11.The Lean Solutions and Service Quality Model Applied to Group Package Tours:A Case Study of Mainland Chinese Tourists Visiting Taiwan	Tsan-Ming Chang, Che-Chiang Chang	169
12.Organizational Learning : A Case Study for International Tourist Hotels' Bakers	Chien-Lung Chen, Chun-Shou Chen, Ho-Ming Lin	191
13.A study for cutting conditions of three-axis machine tools using Taguchi analysis method	Tung-Hsien Tsai, Tung-Hung Lin	211
14.Modeling the Impact Dynamics of the 3-Link Arms by Adaptive Control	Pao-Hwa Yang, Shiu-Ping Wang, Po-Chia Chen, Hung-Nan Jan	221
15.Injection Characteristics of Composite Emulsified Fuels on Diesel Engine Emissions	Yung-Sun Lin	235
16.The relationships between conditional stock market beta coefficient and stock index return--A study of Asian countries	Liang-Chun Ho	255
17.The research of grinder vibration	Chih-Chung Chou, Fu-Ming Chang	267

Experimental design and performance analysis of the V-die bending process using the response surface methodology

Nun-Ming Liu, Ko-Ta Chiang, Jenn-Tsong Horng,
Chun-Chin Chiu

Abstract

In this study, an effective procedure of response surface methodology (RSM) was utilized for experimental design and performance analysis of the V-die bending process. The punch radius, die width, die corner radius and blank thickness were selected as effective processing parameters to investigate the influences on the performance of spring-back angle and thickness variation in the bending process. A standard RSM design called the centered composite rotatable design (CCRD) was applied in this experimental plan. Based on the analysis of variance and verification experiments, the quadratic models proposed in this paper were adequate to explain and analysis the effects of processing parameters, and can be utilized to predict the experimental value within the 95% accurate interval. The optimal conditions were also determined using the proposed quadratic model and the sequential approximation optimization method (SAO). Results show that the significant factors on the bending performance evaluations are the die corner radius, die width and blank thickness, which are noticeable variable factors as the resources of increasing quality. The experimental results using the optimal setting were easily clarified that the effective procedure proposed in this study greatly improved the desired target of performance analysis in the V-die bending process.

Keywords: Performance, Spring-back, bending process, Response surface methodology.

Nun-Ming Liu, Lecturer, Department of Mechanical Engineering, HIT.

Ko-Ta Chiang, Professor, Department of Mechanical Engineering, HIT.

Jenn-Tsong Horng, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, HIT.

Chun-Chin Chiu, Student, Graduate Institute of Precision Machinery and Manufacturing Technology, HIT.

投稿日期：981217 接受刊登日期：990125

使用反應曲面法於V型彎曲過程中實驗設計 與性能分析

劉南明、江可達、洪振聰、邱俊欽

摘要

本文使用反應曲面法之有效率流程於 V 型彎曲過程中進行實驗設計與性能分析。並針對其設計參數如衝頭半徑、模具寬度、模具彎角半徑與試件厚度等對回彈角度與彎曲後厚度變化等彎曲特徵之影響加以探討。反應曲面法中標準設計法稱為中央組合轉動設計法為本文實驗設計所採用。經由變異數分析與實驗驗證後，本文所提出二階模式非常適合於解釋與分析其設計參數對彎曲特徵之影響，而其獲得預測值非常接近實驗值，且在 95%信心指數範圍內。其設計參數之最佳值設定經由反應曲面法之二階模式與連續近似最佳化法來獲得。其結果顯示為其模具寬度、模具彎角半徑與試件厚度等參數於彎曲特徵評估上是顯著性因子，也是在提升其品質上重要的參數。經由實驗證實本文所提出最佳設計參數之設定於 V 型彎曲過程中對於其彎曲特徵評估有很大的改善。

關鍵詞：性能、回彈、彎曲過程、反應曲面法。

劉南明：修平技術學院機械工程系講師
江可達：修平技術學院機械工程系教授
洪振聰：修平技術學院機械工程系副教授
邱俊欽：修平技術學院精密機械與製造科技研究所研究生

1. Introduction

The bending processes are significant development and extensively used to manufacture the components of sheet metals in the hardware, aircraft, consumer goods, food packaging, electronic and automotive industry, etc. Therefore, the bending processes are of vital importance within the industry range. The bending mechanisms are subjected to various process parameters including the bending sequence, bending speed, dies, die stroke, friction, shapes of the products desired, mechanical properties of the blank materials, etc. In addition, the forming process presents the complicated deformation processes comprised a sequence of stretching, bending and drawing process. The forming process is crucial to understand the sheet-metal bending mechanisms and to control the process in the practical sequences [1-3]. Consequently, the revolution of sheet-metal forming processes aimed to increase the efficiency and the precision of sheet-metal production is becoming more and more important fundamental topic of relevant researches [4, 5].

The V-die bending process is one of the simplest but most versatile sheet metal bending processes, in which the punch and the die are "V" shaped. The net shapes of

products are easy desired by handling several angles of bend or different radii of curvature. During the V-die bending sequence, the firstly the sheet metal is clamped between the die and the blank holder, and then the punch moves downward to bend the blank. When the punch does not push the blank to the bottom of die cavity, leaving space or air underneath, this process is called as air bending. The punch load increases sharply as the consequence of the contact surface amount between the blank and the side of die cavity, it is called as bottoming. This bottoming process contains a phase of wipe caused by the friction between the blank and the side of die cavity. Because the V-die bending involves a combination of elastic-plastic bending and stretch deformation of the blank materials, the deviation of neutral surface, change of thickness and length, wrinkling and fracture often appear in the sheet-metal bending process. In addition, the spring-back or the shape discrepancy often occurs after removing the forming load during a sheet-metal bending process. Spring-back is an important and decisive performance for obtaining the desired final shape of sheet-metal products and the design of the corresponding die. The investigation of spring-back in the relevant literature has been extensively discussed in

order to understand and control the effects of blank materials, geometry, manufacturing processes. Yang et al. [6] investigated the effect of material hardening mode on the spring-back simulation accuracy of V-free bending process. Tekiner [7] conducted the experimental study to identify the response related to spring-back and characterize the effect of sheet metals with several thicknesses and properties. Inamdar et al. [8] researched to the effect of geometric parameters such as the punch nose radius, die radius, die gap and sheet thickness, on spring-back in sheet metals subjected to air bending. Recently, the numerical simulations using the finite element method (FEM) largely contributed to investigate tool design or process sequences for dealing with spring-back predictions [9-12].

The response surface methodology (RSM) is an empirical modeling approach for determining the relationship between various process parameters and responses with the various desired criteria, and searching into the significance of these process parameters on the coupled responses. It is a sequential experimentation strategy for building and optimizing the empirical model. Therefore, RSM is a collection of mathematical and statistical procedures that are useful for the

modeling and analysis of problems in which the response of demand is affected by several variables and the objective is to optimize this response [13, 14]. By using experiments and applying regression analysis, the modeling of the desired response to several independent input variables can be obtained. Consequentially, the RSM is utilized to accurately describe and identify the influence of the interactions of different independent variables on the response when they are varied simultaneously. In addition, it is one of the most widely used methods to solve the optimization problem in the sheet metal forming processes. Ohata et al. [15] described the application of the surface response method to develop the optimum process design system for sheet fabrication. Lepadatu et al. [16], Bahloul et al. [17], and Mkaddema and Saidane [18] developed mathematical models for the examination of spring-back using the response surface methodology and the models could be used to optimize and predict the spring-back in sheet metal forming.

The proper setup of various processing parameters in the sheet-metal forming is crucial for obtaining high quality of sheet-metal products. This paper presents a systematic methodology for the experimental design and performance

analysis of the V-die bending process using the response surface methodology. The deformation shape of V-die bending process follows the punch's pressing the sheet into the V-shaped die until it contacts the sides of the die as closely as possible. This process contains two distinct phases of air bending and bottoming. The bottoming process causes to increase the friction between sheet and sides of the die, and results in increasing the tensile stress in the deformed area. Therefore, this study first focuses on the modeling and analysis of processing parameters to investigate the influences on the performance characteristics of sheet-metal products. The experimental design adopts the centered composite rotatable design (CCRD) based the response surface methodology. The contribution of each processing parameter is calculated, and the quantitative mathematical models are also appropriately proposed. The optimization of sheet metal forming processes is a useful procedure to promote the efficiency and precision of sheet-metal production, and nowadays is one of the fundamental topics on which the interest of automation research groups focused. The present study applies the quadratic models of RSM associated with a sequential approximation optimization (SAO) method in order to establish an effective optimal procedure for optimizing

the processing parameters of V-die bending process under the constraints of the dimension limitation. Finally, the verification experiments are performed to verify the adequacy of the proposed models.

2. Experimental procedure

2.1 Equipment and specimen material

In this study, a series of experiments were performed on a hydraulic press machine (Starair Co. Ltd) with a maximum pressure of 15 tons, cylinder diameter 125mm and a maximum stroke of 200 mm. The die and punch were made of hardened steel (SKD 61) and used as bending tools. The die was mounted on the fixed platform provided on the press machine. The die was designed as a V-shaped cavity of 90 degree. The punch was mounted above the die in the movable head of the cylinder. The center axis of the punch coincides with the V-shaped die. The blank was located in proper position over the die with orientation pins. Fig. 1 shows schematic diagram of the experimental setup with sheet metal. In this V-bending process, the experiments were conducted under dry conditions. The speed of punch was selected as 1 mm/s to bend the blank into

the die. It was used to eliminate the effect of speed on the experimental results.

The specimen material was the stainless steel (SUS304) in the form of rectangle plate with 70 mm width and 150 mm length. The chemical composition of SUS304 in mass% is as follows: 0.05 C, 0.39 Si, 1.81 Mn, 0.28 P, 0.004 S, 18.36 Cr and 8.43 Ni. Its mechanical properties are 296 MPa yield stress, 626 MPa ultimate stress, 35% elongation and 33.7 HRC hardness.

2.2 Experimental design

Table 1 shows the experimental parameters in the V-die bending process. The main processing parameters adopted in this study are the punch radius (R_p), die width (w), die corner radius (R_D) and blank thickness (t) for investigating the influences on the performance characteristics of sheet-metal products. Fig. 2 presents the profile of the V-shaped die, the punch head, the blank and the initial shape.

In this study, a centered composite rotatable design (CCRD) involving four variables with five levels has been employed to design the experimental plans. The factorial portion of CCRD is a full factorial design with all combinations of the factors at two levels (high, +2 and low, -2) and composed of the eight star

points, and six central points (coded level 0) which is the midpoint between the high and low levels. The star points are at the face of the cube portion on the design which corresponds to an α value of 2 and this type of design is commonly called the face centered CCRD. In the present investigation, the experimental plans were conducted using the stipulated conditions according to the CCRD and involved a total of 30 experimental observations at four independent input variables. Each combination of experiments had been carried out two times under the same conditions at different time to acquire a more accurate result during the V-die bending process.

The low and high levels selected for the punch radius (R_p), die width (w), die corner radius (R_D) and blank thickness (t) were: 1 and 3 mm, 25 and 45 mm, 0 and 4 mm, and finally, 1 and 3 mm, respectively. Table 2 shows the value of coded and actual values of four processing parameters and their possible ranges. The experimental matrix that was adopted in this study in the coded form is shown in Table 3. The coded values $X_{i,j=1,2,3,4}$ of the processing parameters used in Table 2 and 3 are obtained from the following transformable equations:

$$X_1 = \frac{R_p - R_{p0}}{\Delta R_p} \quad (1)$$

$$X_2 = \frac{w - w_0}{\Delta w} \quad (2)$$

$$X_3 = \frac{R_D - R_{D0}}{\Delta R_D} \quad (3)$$

$$X_4 = \frac{t - t_0}{\Delta t} \quad (4)$$

where X_1 , X_2 , X_3 and X_4 are the coded values of parameters R_p , w , R_D and t , respectively. R_{p0} , w_0 , R_{D0} and t_0 are the values of R_p , w , R_D and t at zero level. ΔR_p , Δw , ΔR_D and Δt are the intervals of variation in R_p , w , R_D and t , respectively.

2.3 Performance evaluations

The bending performance evaluations selected for this study were based on the following performance characteristics such as the spring-back angle and the variation of thickness in the fold zone after the bending process. The spring-back taken place and the change in the wall angle after the load is removed by withdrawal of the punch. The spring-back angle $\Delta\theta$ is measured by the difference between bending angle θ and unbending angle θ' , calculated as follows.

$$\Delta\theta = \theta - \theta' \quad (5)$$

The variation of thickness t_v in the fold zone is obtained by the change of blank thickness after the bending process. It calculated as follows.

$$t_v = t_0 - t_{bended} \quad (6)$$

where t_{bended} is the blank thickness after the bending process and t_0 is the original thickness of blank. These performance characteristics along the bend axis were measured for all bended specimen using by using the vision measuring machine (Mimm Tay EM-2D), and are shown in Fig. 3.

3. Response surface modeling

In the RSM, the quantitative form of relationship between desired response (Y) and independent variables (X_i) could be represented as

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) + \varepsilon \quad (7)$$

where f is the response function (or response surface) and ε is the fitting error.

The appearance of response function is a surface as plotting the expected response of f . The identification of suitable approximation of f will determine whether the application of RSM is successful or not. In this study, the approximation of f was proposed using the fitted second order polynomial

regression model, which called the quadratic model. The desired quadratic response (Y) is always described as follows.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2 + \sum_{i<j}^n b_{ij} X_i X_j \quad (8)$$

where n is the number of design variables, and b_0 , b_i , b_{ii} and b_{ij} represent the coefficients of constant, linear, quadratic, and cross product terms, respectively. Then this quadratic model contains the linear terms, squared terms and cross product terms. Using this quadratic model in this study is not only to investigate over the entire factor space, but also to locate region of desired target where the response approaches its optimum or near optimal value.

In general, the quadratic model of desired response (Y) can be expressed as follows by matrix from as:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (9)$$

where \mathbf{X} is a matrix of model terms evaluated at the data points, $\boldsymbol{\varepsilon}$ is an error vector. The unbiased estimator $\boldsymbol{\varepsilon}$ of the regression coefficient vector $\boldsymbol{\alpha}$ is estimated using the least-squares error method as follows.

$$\boldsymbol{\alpha} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (10)$$

where is \mathbf{X}^T the transpose of the matrix \mathbf{X} .

Consequently, RSM is a sequential procedure and its procedure for determination of the processing parameters with optimal multiple performance characteristics including seven steps are summarized as following:

- (1) Defining the independent input variables and desired responses with the design constrains.
- (2) Adopting the face centered CCD to plan the experimental design.
- (3) Performing the regression analysis with the quadratic model of RSM.
- (4) Calculating the statistical analysis of variance (ANOVA) for the independent input variables and to find which parameter significantly affects the desired response.
- (5) Determining the situation of the quadratic model and to decide whether the model of RSM needs screening variables or no.
- (6) Obtaining the optimal processing parameters with the design constrains using the SAO method.
- (7) Conducting confirmation experiment and verify the optimal processing parameters setting.

4. Results and discussion

The 30 experimental runs were conducted in duplicate, and the average values of spring-back angle ($\Delta\theta$) and

variation of thickness (t_v) along with the design matrix are listed in Table 3

4.1 Analysis of the proposed quadratic mathematical model

In order to ensure the goodness of fit of the quadratic model obtained in this study, the test for significance of the regression model, the test for significance on individual model coefficients and the test for lack-of-fit need to be performed [13,14] as shown in Table 4. These tests are performed as ANOVA procedure by calculating the “ F -value”, the “ $Prob. > F$ ”, the determination coefficients (R^2), adjusted R-squared (R^2 Adjusted) and the adequate precision (AP). The values of “ F -value” and the “ $Prob. > F$ ” imply statistical significance on the regression model and the particular linear, quadratic or interaction terms. Usually the desired confidence level be set to 95%, the value of “ $Prob. > F$ ” smaller than 0.05 signify that the regression model is considered to be statistically significant, which is desirable as it demonstrates that the terms in the model have a significant effect on the responses. The determination coefficient R^2 is defined as the ratio of the explained variation to the total variation and is a measure of the degree of fit. When R^2

approaches unity, the better the response model fits the actual data, It exists the less the difference between the predicted and actual values. The adjusted R-squared (R^2 Adjusted) presents a measure of the amount of variation around the mean explained by the model, adjusted for the number of terms in the model. The adjusted R-squared (R^2 Adjusted) decreases as the number of terms in the model increases if those additional terms don't add value to the model. Furthermore, the value of adequate precision (AP) in this model, which compares the range of the predicted value at the design point to the average prediction error, is well above 4. The value of the ratio is greater than 4, which presents the adequate model discrimination. These models obtained present higher values of the R^2 , R^2 Adjusted and AP at the same time. In Table 4, the model fitting assessment for the quadratic model of $\Delta\theta$ and t_v is based on the statistical parameters above.

From the results of Table 4, these values were obtained as follows: $R^2=0.9896$, R^2 Adjusted = 0.9795 and AP = 209.771 for the spring-back angle ($\Delta\theta$); $R^2 = 0.9464$, R^2 Adjusted = 0.9353 and AP = 35.484 for the variation of thickness (t_v). Consequently, these obtained quadratic mathematical models of the spring-back

angle ($\Delta\theta$) and the variation of thickness (t_v) can be regard as significant effect for fitting and predicting the experimental results and meantime the test of lack-of-fit also displays to be insignificant.

Table 5 shows that the values of “*F-value*” and “*Prob. >F*” for each term on the performances of the spring-back angle ($\Delta\theta$) and the variation of thickness (t_v), respectively. In the case of spring-back angle ($\Delta\theta$), the $X_1 (R_p)$, $X_2 (w)$, $X_3 (R_D)$, $X_4 (t)$, X_2^2 , X_3^2 , X_4^2 and X_3X_4 can be regard as significant term due to their “*Prob. > F*” value being less than 0.05. Similarly, the $X_2 (w)$, $X_3 (R_D)$, $X_4 (t)$, X_3^2 and X_4^2 for the variation of thickness (t_v) are the significant terms. The backward elimination process eliminates the insignificant terms to adjust the fitted quadratic models. These insignificant model terms can be removed and the test of lack-of-fit also displays to be insignificant. Through the backward elimination process, the final quadratic models of response equation in terms of coded factors are presented as follows:

· the spring-back angle ($\Delta\theta$)

$$Y_1 = 0.4628 + 0.0021 X_1 + 0.0657 X_2 - 0.0655 X_3 - 0.0350 X_4 - 0.0010 X_2^2 \quad (9)$$

$$-0.0181 X_3^2 + 0.0037 X_4^2 + 0.0037 X_3 X_4$$

· the variation of thickness (t_v)

$$Y_2 = 0.0504 + 0.0058 X_2 - 0.0075 X_3 + 0.0034 X_4 - 0.0023 X_3^2 + 0.0012 X_4^2 \quad (10)$$

In terms of actual factors the final quadratic models of response equation are as follows:

· the spring-back angle ($\Delta\theta$)

$$\Delta\theta = 0.1702 + 0.0042 R_p + 0.0159 w + 0.0216 R_D - 0.1114 t - .0032 \times 10^{-5} w^2 - 0.0181 R_D^2 + 0.0140 t^2 - 7.4541 \times 10^{-3} R_D t \quad (11)$$

· the variation of thickness (t_v , mm)

$$t_v = 0.0218 + 0.0012 w + 1.506 \times 10^{-3} R_D - 0.0134 t - 0.26 \times 10^{-3} R_D^2 + 5.058 \times 10^{-3} t^2 \quad (12)$$

The above mathematical model can be used for predicting the values of $\Delta\theta$ and t_v within the limits of the factors studied. The differences between the measured and predicted response are illustrated in Fig. 4, and 5. From the results of comparison, it proved that the predicted values of $\Delta\theta$ and t_v are close to those readings recorded experimentally with a 95% confidence interval.

4.2 Response surface and contour plots of the spring-back angle

According to the results of ANOVA in Table 4, a sensitivity analysis used for identifying the factors significantly affecting the performance evaluation is performed and shown in Fig. 6. From the results of percent contribution for each significant machining parameters, the first three significant factors on the spring-back angle ($\Delta\theta$) are the die width (w), die corner radius (R_D) and blank thickness (t) with the contribution of 32.39, 31.71 and 21.52%, respectively. From the analysis of contribution in the process, the above processing parameters are noticeable variable factors as the resources of increasing quality.

The spring-back angle ($\Delta\theta$) evaluation of sheet metal in the V-die bending process has been analyzed according to the above final quadratic model. Figure 7 shows the response surface and contour plot for the spring-back angle ($\Delta\theta$) in relation to the die corner radius (R_D) and die width (w) with the punch radius and blank thickness at middle levels. The die corner radius (R_D) influences the consequence of the contact surface between the blank and the side of die during bending process. It displays the more

contact surface under the higher corner radius of die with the other processing parameters maintained at constant. This bending process presents a phase of wipe caused by the friction between the blank and the side of die. When the blank is deformed, it is first elastically deformed and then plastically. The layer of blank on the contact surface is in tension which is not only subject to bending moment but also induced by the friction. As the corner radius of die is increasing, the bending presents more bottoming process and results in increasing the tensile stress in the deformed area. In the meantime, these are enough able to remain the plastic component of the deformation permanently. But, it shows the air bending process while the corner of die possesses an obtuse angle as the die corner radius to be zero. In the Fig. 7, an increase of die corner radius promotes the effect of plasticity with the result that the spring-back angle generally decreases. Figure 7 also shows that a larger width of the die corresponds to a high spring-back angle. It can be explained that the elasticity effect within the blank is strengthened when the distance between the die supports (width die) is bigger. Simultaneously, the blank is slowly arched the desired camber with the larger width of die.

Figure 8 depicts that the influences of

punch radius (R_p) and blank thickness (t) on the spring-back angle ($\Delta\theta$) while keeping the other two processing parameters at middle levels. According to the sensitivity analysis of fig. 6, the related factors of punch radius including the R_p , R_p^2 , $R_p w$, $R_p R_D$ and $R_p t$ are regarded as insignificant term which have lower contributions on the performance of spring-back angle. From the Figure 8, the effect of punch radius on the spring-back angle is negligible. In Fig. 8, it can also be seen that the value of spring-back angle decreases with the increasing of the blank thickness.

4.3 Response surface and contour plots of the variation of thickness

From the results of Fig. 6, the first three significant factors on the variation of thickness (t_v) are the die width (w), die corner radius (R_D) and blank thickness (t) with the contribution of 42.29, 31.23 and 14.43%, respectively.

The response surface and contour plot, as shown in Fig. 9, reveals the variation of thickness (t_v) between the effects of die width (w) and die corner radius (R_D), while the punch radius and blank thickness are kept at the middle level.

The original thickness of blank trends thin after the bending proves described in the relevant literature [6-12]. From this figure, it is clear that the value of thickness variation increases with the increase in the die width. But the value of thickness variation decreases with the increasing of die corner radius.

The related factors of punch radius including the R_p , R_p^2 , $R_p w$, $R_p R_D$ and $R_p t$ have lower contributions on the performance of the variation of thickness (t_v), the same as the spring-back angle ($\Delta\theta$). Figure 10 depicts that the influences of punch radius (R_p) and blank thickness (t) on the variation of thickness (t_v) while keeping the other two processing parameters at middle levels. The effect of punch radius on the variation of thickness is negligible, as shown in fig. 10. From the Figure 10, it can be seen that the variation of thickness obviously increases with the increasing of the blank thickness.

4.4 Optimization of processing parameters

The goal of optimization for the processing parameters of V-die bending process subjected the design constrains of dimensions and space limitation in this study is to find the optimal values of processing parameters (X) in order to

achieve the high quality of sheet-metal products. The optimal objective includes the target of desired dimensions on the minimum of spring-back angle ($\Delta\theta$) and variation of thickness (t_v). This optimization problem can be approximated by the following equations and then solved by mean of a sequential approximation optimization (SAO) method. The method makes use of an objective function, $f(X)$, called the desirability function. It reflects the desirable ranges for each response. For simultaneous optimization each response must have a low and high value assigned to each goal. The SAO strategy in the RSM applies the approximate procedure, which is iteratively repeated until convergence.

$$\text{Find } X = [R_p, w, R_D, t] \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{to minimize } f(X) &= \Delta\theta \\ \text{and } f(X) &= t_v \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{Subject to } 1 \leq R_p \leq 3 \text{ mm}, \quad (15a)$$

$$25 \leq w \leq 45 \text{ mm}$$

$$0 \leq R_D \leq 4 \text{ mm}, \quad (15b)$$

$$1 \leq t \leq 3 \text{ mm}$$

Table 5 presents the results obtained from the four processing parameters with the optimum adjusts found by the SAO method in the RSM. The optimum processing parameters obtained in Table 5 are found to be punch radius (R_p) of 2.79 mm, die width (w) of 25.58 mm, die corner radius

(R_D) of 3.23 mm, and blank thickness (t) of 1.99 mm. The overall desirability is about 0.954 in accordance with the optimal conditions. The bending performance evaluations at the optimal conditions are obtained to be spring-back angle ($\Delta\theta$) of 0.231° and thickness variation (t_v) of 0.027 mm, which are smaller than all experimental results in the Table 3.

4.5 Confirmation experiments

The confirmation run experiment for the obtained optimum processing parameters was performed in order to verify the adequacy of the quadratic model obtained in this study. The data from the confirmation run and their comparisons with the predicted values for the spring-back angle ($\Delta\theta$) and variation of thickness (t_v) were listed in Table 5. From the analysis of Table 5, the residual and the percentage error calculated are small. The percentage errors between the experimental results and predicted values of $\Delta\theta$ and t_v are lie within -0.86% to 2.95% and -1.82% to 3.92%, respectively. All the experimental values for the confirmation run are within the 95% prediction interval. Obviously, the quadratic models obtained for the spring-back angle and the variation of thickness are excellent accurate.

5. Conclusions

In this study, an effective procedure of response surface methodology (RSM) has been proposed for modeling and optimizing the bending performance evaluations of the V-die bending process with the design constraints. The results can be concluded as following:

- (1) The quadratic models proposed were adequate to explain and analysis the effects of processing parameters on the spring-back angle and variation of thickness, and can be utilize to predict the experimental value within the 95% accurate interval.
- (2) The first three significant factors on the bending performance evaluations are the die corner radius, die width and blank thickness, which are noticeable variable factors as the resources of increasing quality.
- (3) Using the proposed quadratic model and the SAO method, the obtained optimal level of punch radius, die corner radius, die width, and blank thickness are 2.79 mm, 25.58 mm, 3.23 mm, and 1.99 mm, respectively.
- (4) The minimum values of spring-back angle and variation of thickness obtained at the optimal conditions are 0.231° and 0.027 mm, respectively.

References

- [1] Lange K., Pohlandt K. (1985). *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill, New York.
- [2] Kalpakjian S. (1991). *Manufacturing process for engineering materials*, 2nd edn. Addison-Wesley, USA.
- [3] Beddoes J. (1991). *Principles of Metal Manufacturing Processes*, Arnold, London.
- [4] Alva U., Gupta S. K. (2001). Automated Design of Sheet Metal Punches for Bending Multiple Parts in a Single Setup. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17/1-2, 33-47
- [5] Singh R., Sekhon G. S. (2002). An intelligent system for optimal selection of dies and tools for sheet metal operations. *Journal Engineering Manufacture*, 216/B, 821 -828
- [6] Li X., Yang Y., Wang Y., Bao J., Li S. (2002). Effect of the material hardening mode on the springback simulation accuracy of V-free bending. *Journal of Materials Processing Technology* 123, 209–211
- [7] Tekiner Z. (2004). An experimental study on the examination of spring-back of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies. *Journal of Materials Processing Technology* 145, 109–117.
- [8] Inamdar M.V., Date P. P., Sabnis S.V.

- (2004). On the effects of geometric parameters on spring-back in sheets of five materials subjected to air bending. *Journal of Materials Processing Technology* 123, 459–463.
- [9] Bui Q. V., Papeleux L., Ponthot J. P. (2004). Numerical simulation of spring-back using enhanced assumed strain elements. *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154, 314–318
- [10] Cho J. R., Moon S. J., Moon Y. H., Kang S. S. (2003). Finite element investigation on spring-back characteristics in sheet metal U-bending process. *Journal of Materials Processing Technology*, 141, 109–116.
- [11] Papeleux L., Ponthot J. P. (2002). Finite element simulation of spring-back in sheet metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 125–126, 785–791.
- [12] Cai Z. Y., Wang S. H., Li M. Z. (2008). Numerical investigation of multi-point forming process for sheet metal: wrinkling, dimpling and spring-back. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 37, 927–936
- [13] Myers R. H., Montgomery D. C. (1995). *Response surface methodology, process and product optimization using designed experiments*. Wiley, New York.
- [14] Montgomery D. C. (2001). *Design and analysis of experiments*, 5th edn. Wiley, New York.
- [15] Ohata T., Nakamura Y., Katayama T., Nakamachi E. (2003). Development of optimum process design system for sheet fabrication using response surface method. *Journal of Materials Processing Technology* 143–144, 667–672.
- [16] Lepadatu D., Hambli, K. A., Barreau A. (2005). Optimisation of spring-back in bending processes using FEM simulation and response surface method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 27, 40–47.
- [17] Bahloul R., Ben-Elechi S., Potiron A. (2006). Optimisation of spring-back predicted by experimental and numerical approach by using response surface methodology. *Journal of Materials Processing Technology* 173, 101–110
- [18] Mkaddema A., Saidane D. (2007). Experimental approach and RSM procedure on the examination of spring-back in wiping-die bending processes. *Journal of Materials Processing Technology* 189, 325–333.
-



Fig. 1 the experimental setup with sheet metal.

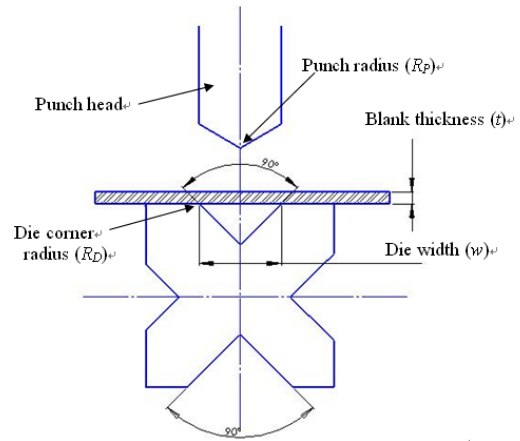


Fig. 2 The profile of the V-shaped die, the punch head, and the blank.

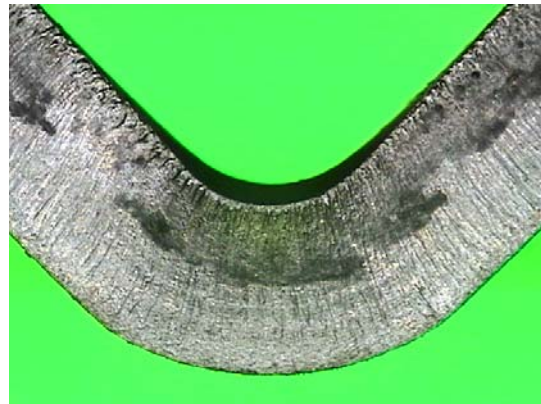


Fig. 3 The performance characteristics were measurement by the vision measuring machine (Mimn Tay EM-2D)

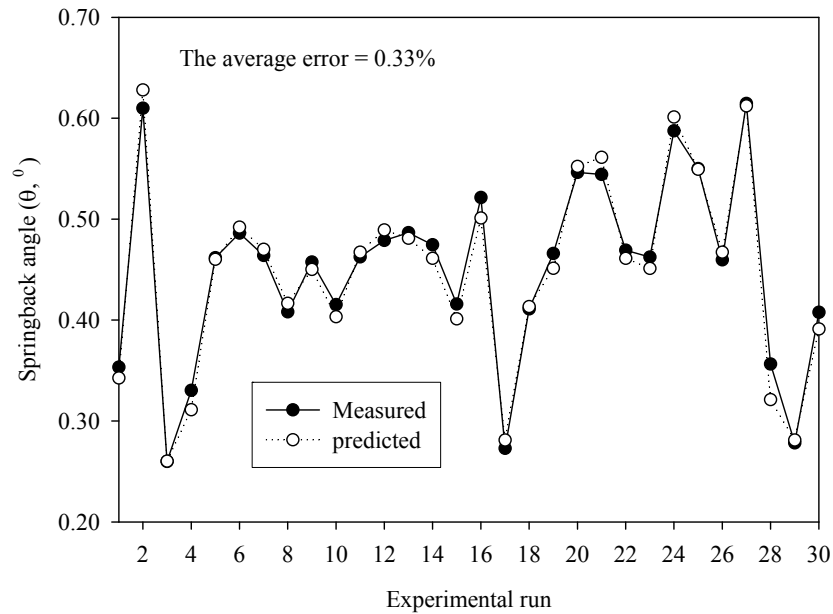


Fig. 4 The comparison of the measured and predicted values of the spring-back angle ($\Delta\theta$).

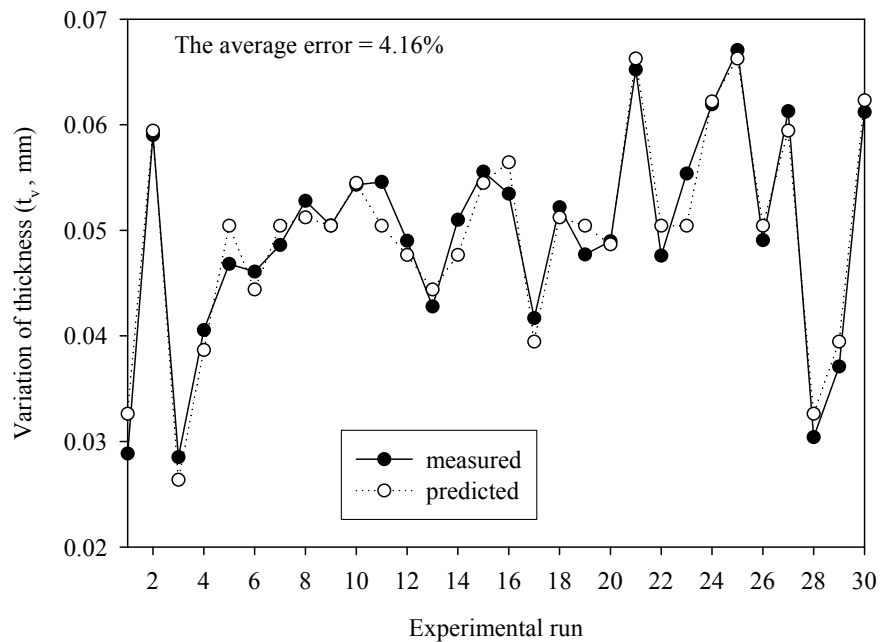


Fig. 5 The comparison of the measured and predicted values of the variation of thickness (t_v).

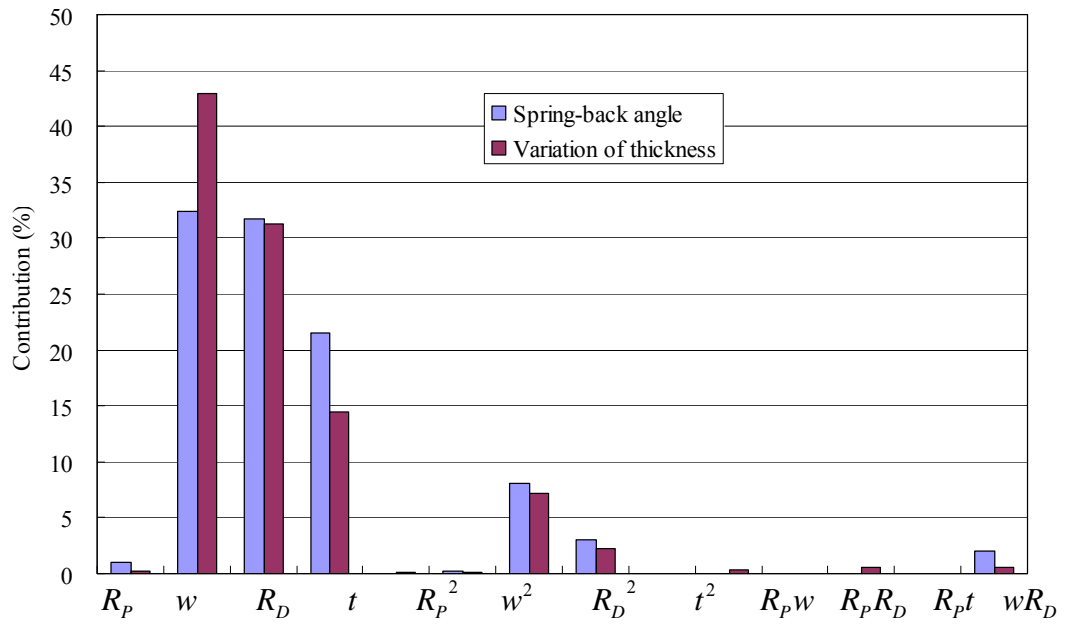


Fig. 6 Sensitivity analysis of processing parameters on the $\Delta\theta$ and (t_v) .

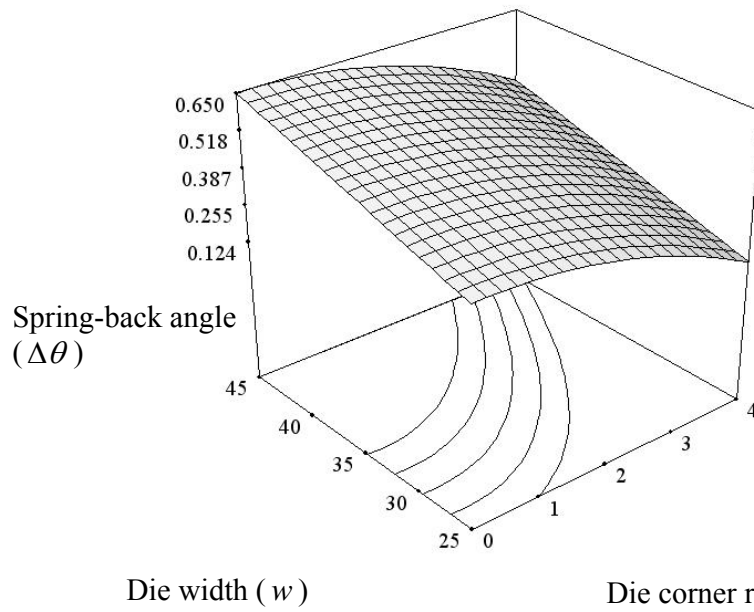


Fig. 7 Response surface and contour plot of the spring-back angle ($\Delta\theta$) between the effects of die corner radius (R_D) and die width (w) at $R_p=2$ mm and $t=2$ mm.

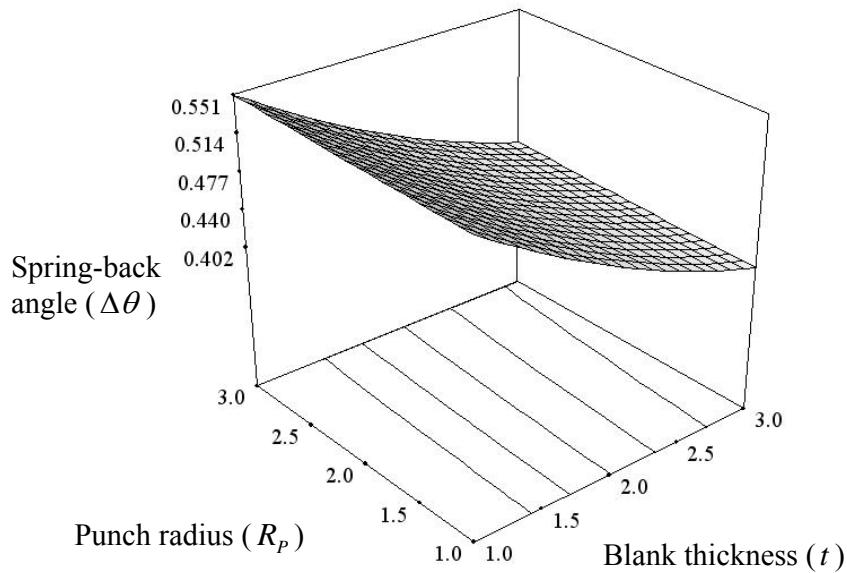


Fig. 8 Response surface and contour plot of the spring-back angle ($\Delta\theta$) between the effects of punch radius (R_p) and blank thickness (t) at $R_D=2$ mm and $w=35$ mm.

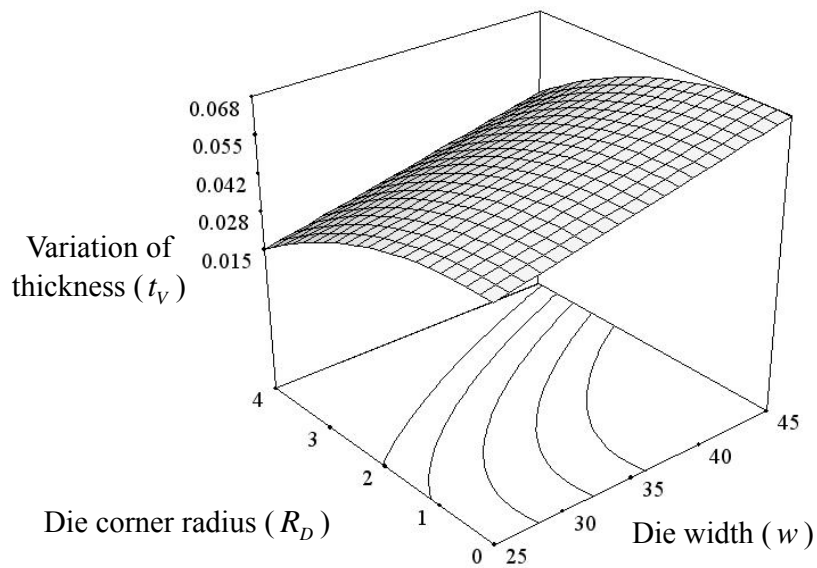


Fig. 9 Response surface and contour plot of the variation of thickness (t_v) between the effects of die width (w) and die corner radius (R_D) at $R_p=2$ mm and $t=2$ mm.

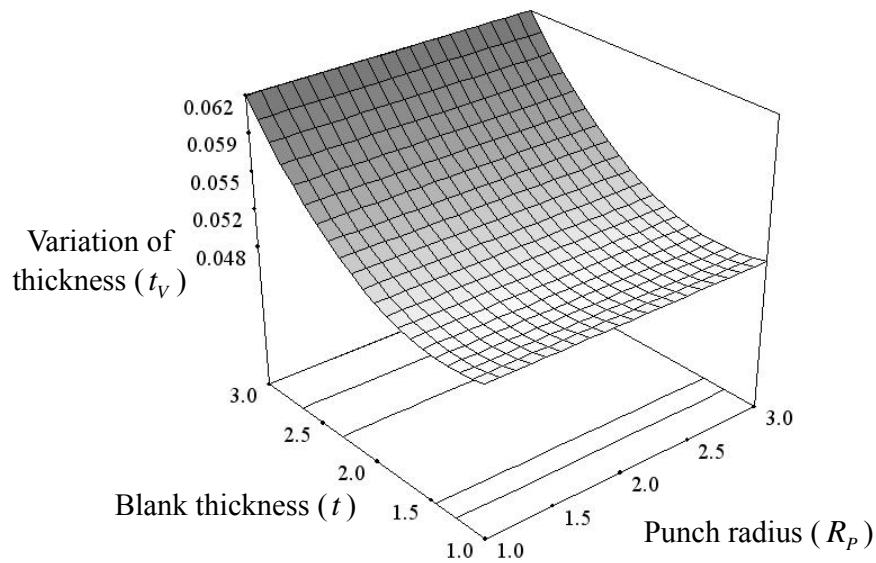


Fig. 10 Response surface and contour plot of the variation of thickness (t_v) between the effects of punch radius (R_p) and blank thickness (t) at $R_D=2$ mm and $w=35$ mm.

Table 1 the V-die bending process conditions

Working conditions	Unit	Description
Material		SUS304
Speed of punch	m/s	1
Pressure of punch	kN	15
Packing time of punch	s	1
Lubricant		Dry
Punch radius (R_p)	mm	1-3
Die width (w)	mm	25-45
Die corner radius (R_D)	mm	0-4
Blank thickness (t)	mm	1-3

Table 2 Scheme of porcessing parameters and their levels

Processing parameters	Unit	Levels				
		-2	-1	0	+1	+2
Punch radius (R_p), X_1	mm	1	1.5	2	2.5	3
Die width (w), X_2	mm	25	30	35	40	45
Die corner radius (R_D), X_3	mm	0	1	2	3	4
Blank thickness (t), X_4	mm	1	1.5	2	2.5	3

Table 3 Design layout and experimental results.

Run	Coded factors				Actual factors				Response	
	X_1	X_2	X_3	X_4	R_p	w	R_D	t	$\Delta\theta$ ($^\circ$)	t_v (mm)
1	-1	-1	+1	-1	1.5	30	3	1.5	0.353	0.029
2	-1	+1	-1	-1	1.5	40	1	1.5	0.610	0.059
3	0	0	+2	0	2	35	4	2	0.260	0.029
4	0	-2	0	0	2	25	2	2	0.330	0.041
5	0	0	0	0	2	35	2	2	0.462	0.047
6	-1	+1	1	-1	1.5	40	3	1.5	0.486	0.046
7	0	0	0	0	2	35	2	2	0.464	0.049
8	-1	+1	+1	+1	1.5	40	3	2.5	0.408	0.053
9	-2	0	0	0	1	35	2	2	0.457	0.050
10	-1	-1	-1	+1	1.5	30	1	2.5	0.415	0.054
11	0	0	0	0	2	35	2	2	0.463	0.055
12	+1	-1	-1	-1	2.5	30	1	1.5	0.479	0.049
13	+1	+1	+1	-1	2.5	40	3	1.5	0.487	0.043
14	-1	-1	-1	-1	1.5	30	1	1.5	0.475	0.051
15	+1	-1	-1	+1	2.5	30	1	2.5	0.416	0.056

16	0	0	-2	0	2	35	0	2	0.521	0.053
17	-1	-1	+1	+1	1.5	30	3	2.5	0.273	0.042
18	+1	+1	+1	+1	2.5	40	3	2.5	0.411	0.052
19	0	0	0	0	2	35	2	2	0.466	0.048
20	0	0	0	-2	2	35	2	1	0.546	0.049
21	-1	+1	-1	1	1.5	40	1	2.5	0.544	0.065
22	+2	0	0	0	3	35	2	2	0.469	0.048
23	0	0	0	0	2	35	2	2	0.462	0.055
24	0	+2	0	0	2	45	2	2	0.587	0.062
25	+1	+1	-1	1	2.5	40	1	2.5	0.550	0.067
26	0	0	0	0	2	35	2	2	0.460	0.049
27	+1	+1	-1	-1	2.5	40	1	1.5	0.615	0.061
28	+1	-1	+1	-1	2.5	30	3	1.5	0.356	0.030
29	+1	-1	+1	+1	2.5	30	3	2.5	0.278	0.037
30	0	0	0	+2	2	35	2	3	0.408	0.061

Table 4 The ANOVA for the fitted models

Final quadratic models	Spring-back angle ($\Delta\theta$)	Variation of thickness (t_v)
f -Value	3111.28	84.79
Prob. > F	< 0.0001	< 0.0001
R ²	0.9896	0.9464
R ² Adjusted	0.9795	0.9353
Adequate precision (AP)	209.771	35.484
Lack of Fit	not significant	not significant

Table 5 Results of the ANOVA for the each term on the performances of spring-back angle ($\Delta\theta$) and variation of thickness (t_v).

Symbol	Degree of freedom	$\Delta\theta$		t_v	
		F-value	Prob. > F	F-value	Prob. > F
$X_1 (R_p)$	1	18.7027	0.0006*	0.4817	0.4983
$X_2 (w)$	1	18321.3789	< 0.0001*	110.6196	< 0.0001*
$X_3 (R_D)$	1	18194.0058	< 0.0001*	80.4865	< 0.0001*
$X_4 (t)$	1	5204.1071	< 0.0001*	37.1847	< 0.0001*
X_1^2	1	0.0638	0.8040	0.2093	0.6539
X_2^2	1	4.6866	0.0469*	0.3618	0.5565
X_3^2	1	1575.5220	< 0.0001*	18.4190	0.0006*
X_4^2	1	60.1477	< 0.0001*	5.9192	0.0280*
X_1X_2	1	0.0013	0.9722	0.1313	0.7221
X_1X_3	1	0.1449	0.7088	0.8810	0.3628
X_1X_4	1	0.0454	0.8342	0.0031	0.9566
X_2X_3	1	0.1027	0.7530	1.4239	0.2513
X_2X_4	1	0.0891	0.7694	0.0136	0.9087
X_3X_4	1	39.1888	< 0.0001*	1.5741	0.2288
Residual	15				
Total	29				

* indicates the significant term

Table 6 The results of verification experiment and optimization condition.

Case	Designing parameters				Spring-back angle ($\Delta\theta$)			Variation of thickness (t_v)		
	R_p	w	R_D	t	Exp.	Pred.	Error (%)	Exp.	Pred.	Error (%)
1	1.5	30	1	1.5	0.475	0.461	2.95%	0.051	0.049	3.92%
2 ^a	2	35	2	2	0.463	0.467	-0.86%	0.055	0.05	-1.82%
3 ^b	2.79	25.58	3.23	1.99	0.232	0.231	0.43%	0.028	0.027	3.57%
4	2.5	40	3	2.5	0.411	0.413	-0.49%	0.052	0.051	1.92%

^aThe initial condition ^bThe optimal condition.

A fragile watermarking scheme for point-sampled geometry authentication

Jen-Tse Wang, Chu-Chuan Li, Yung-Tsang Chang

Abstract

The causality problem, convergence problem and embedding holes problem are frequently arise in the three dimensional (3D) fragile watermarking. In this paper, a new fragile watermarking scheme which is immune to these problems is proposed to enable verifying and locating any tampered vertex of point-sampled geometry in the spatial domain. The state of an embedded vertex is calculated by modulating the vertex coordinate to the gravity center of the cover model, and tampering detection is achieved by changing the state of the vertex coordinate to embed a fragile watermark. Fragility and distortion are under user control with the quantization steps setting in the embedding stage. Experimental results show that 100% vertices of the cover model can be embedded and extracted in the proposed method. Moreover, the proposed method is immune to the causality, convergence and embedding holes problems.

Keywords: Fragile watermarking, point-sampled geometry, authentication, fragility, tampering detection.

Jen-Tse Wang, Associate Professor, Department of Media Design, HIT.

Chu-Chuan Li, Lecture, Department of Media Design, HIT.

Yung-Tsang Chang, Lecture, Department of Information Networking Technology, HIT.

投稿日期：990125 接受刊登日期：990201

點取樣幾何模型鑑定之碎形浮水印技術

王仁澤、李菊權、張永昌

摘要

在已發表的三維模型碎形浮水印技術之中存在許多缺點，例如：因果問題、收斂問題以及嵌入破洞等問題。本篇論文將對點取樣幾何模型，在空間領域上提出可克服這些問題的三維碎形浮水印技術，達到驗證及標示非法竄改點之目的。以三維模型之中心為參考點，使用量化索引計算嵌入點的狀態；再透過改變狀態嵌入浮水印以達到標示非法竄改點之目的。使用者可以依據量化等級的設定，控制易碎性與失真。實驗結果顯示，本篇論文提出的方法可以達到原始模型的100%點皆可被嵌入與萃取。此外，本篇論文提出的方法可以解決因果問題、收斂問題以及嵌入破洞問題。

關鍵詞：碎形浮水印、點取樣幾何模型、鑑定、竄改檢驗。

1. Introduction

Digital watermarking is a technique that embeds a watermark into an object which can be a still image, a video clip, an audio clip, or a 3D model. Two categories broadly classify these watermarking techniques: spatial domain and transformation domain based watermarking schemes. The earlier watermarking techniques reported were in spatial domain. The least-significant-bits (LSB) method [1] was one of the most popular and frequently used techniques. Some literatures proposed improvement and variants of this technique [2-6]. The transformation domain based watermarking technique embeds watermark into the spectral coefficients of the cover model. Zhao and Koch reported one of the earlier transform domain based techniques tailored to JPEG image compression [7]. The most commonly used transforms are the discrete cosine transform (DCT) [8-9], discrete Fourier transform (DFT) [10-11], discrete wavelet transform (DWT) [12-13].

According to the application purpose, two main-stream digital watermarking categories are: robust watermarking and fragile watermarking. The main goal of robust watermarking is to make the embedded watermarks remain detectable after being attacked. In contrast, the requirements of fragile watermarking are to

verify the slightest unauthorized alteration and can locate the changed regions.

In still images, watermarking techniques have been widely studied in recent years. Cox et al. proposed a robust technique based on spread-spectrum principles [14]. On the other hand, watermarking of 3D models gets relatively less notice. Initially, Ohbuchi et al. [15-18] proposed a large variety of techniques for embedding data into 3D polygonal models. Cayre and Macq [19-20] described a blind data hiding scheme in the spatial domain. The key idea is to consider a triangle as a two-state geometrical object. Each triangle that can be embedded is called an admissible triangle. Wang and Wang [21-22] propose a novel scheme for digital steganography of point-sampled geometry in the spatial domain. It employs a principal component analysis (PCA), resulting in a blind approach. Kanai et al. [23] were the first to apply a transform domain watermarking approach on 3D polygonal model. It is a non-blind algorithm, which first decomposes an original polygonal model by applying wavelet transform several times.

The existing fragile watermarking algorithms that are designed for 3D models are relatively few. Yeo and Yeung [24] firstly proposed a fragile watermarking algorithm for authenticating 3D polygonal

meshes. Two indices were calculated for every vertex: the location index and the value index. According to the coordinates of it and its neighboring vertices, the location index was calculated by a hash function and the value index is calculated by another hash function for each vertex. Then they slightly perturbed every vertex to make these two hash functions equal. The scheme is both public and fragile, but there arise two problems: the causality problem and the convergence problem. However, the consideration of causality disables it from localization of changes and robustness against vertex reordering. Another disadvantage coming from the convergence problem is that the user can not control the distortion induced by the perturbing process.

Lin et al. [25] proposed a modified fragile watermarking scheme similar to Yeo and Yeung's method [24]. The causality problem is conquered in this method by applying two different hash functions on the vertex coordinates, without considering the neighboring vertices of a vertex. In the watermark embedding stage, they slightly perturbed every vertex making these two hash function values equal. However, the convergence problem still occurs in this scheme. To avoid heavy distortion due to vertex perturbing, they set a threshold and simply skip the vertices that could not meet

the requirement under the threshold. This causes some embedding holes which cause false-alarms in the watermark extraction stage.

Wu and Cheung [26] proposed a fragile watermarking scheme for authenticating 3D mesh models. A watermark embedded by this method is robust to translation, rotation, and uniform scaling, but is sensitive to other operations. The main idea of the method is to keep the ratio between the distance from the mesh center to each surface face and a quantization step remaining the same after the model is translated, rotated, or uniformly scaled. There are two major drawbacks in this scheme. Firstly, it is a semi-public watermarking scheme since the original watermark is needed in the decoding stage to authenticate the watermarked model. But a public watermarking scheme is preferred in fragile watermarking. Secondly, it fails in locating the changed regions since the center position of the mesh will be changed when any vertex has been changed.

Chang-Min Chou and Din-Chang Tseng [27] propose a public fragile watermarking scheme based on the sensitivity of vertex geometry for 3D model authentication. In this paper, Chang-Min Chou and Din-Chang Tseng propose a multi-function vertex embedding

method and an adjusting-vertex method to overcome the causality problem and the convergence problem. The average distortion of the marked models is under user control with proper key value setting, and this scheme can detect and locate all unauthorized modifications. But this scheme still has the embedding holes problem.

In this paper, a new fragile watermarking scheme is proposed to enable verifying and locating any tampered vertex of point-sampled geometry in the spatial domain. This technique is blind and fragile. It does not need the original model and the watermark for integrity authentication of 3D models and tampering detection. The remaining sections of this paper are organized as follows : A brief review of the relative works and problems is given in Section 2. The proposed watermarking scheme is described in Section 3. The experiment results and discussions are represented in Section 4. Finally, conclusion is provided in Section 5.

4. Finally, conclusion is provided in Section 5.

2. Related Works and Problems

In this section, the related works and

problems for 3D fragile watermarking are discussed. Some problems, such as : the causality problem, the vertices reordering problem, the convergence problem, the distortion control problem, the localization of tamper detection problem and the embedding holes problem frequently arise in the three dimensional (3D) fragile watermarking.

- (1) The causality problem: There exist a disadvantage in Yeo and Yeung's fragile watermarking algorithm. The location index of a former processed vertex will be changed by the perturbing process of its neighboring vertex [24]. In this paper, to avoid the causality problem, we embed watermark into each vertex without considering its neighboring vertices.
 - (2) The convergence problem: In [24-25], there exists a convergence problem. In the watermark embedding stage, they iteratively perturbed every vertex to make the hash function of location index and the hash function of value index equal. It leads to a convergence problem. In [25], Lin et al. proposed a modified fragile watermarking scheme similar to Yeo and Yeung's method. The causality problem is conquered in this method by applying two different hash functions on the vertex coordinates, without considering the
-

neighboring vertices. However, the convergence problem still occurs in this scheme.

- (3) The vertices reordering problem: In [24-25][27], there exists a convergence problem. In [27], Chang-Min Chou and Din-Chang Tseng perturbed vertices in a predefined order $(v_0, v_1, v_2, \dots, v_{n-1})$ and constrained the calculation of the location index for each vertex only. It did conquer the causality problem, but the vertices reordering problem still occurs.
- (4) The distortion control problem: In [24-25], the convergence problem of the fragile watermarking methods should lead to a distortion control problem.
- (5) The embedding holes problem: In [24-25][27], there exists a embedding holes problem. In [25], to avoid heavy distortion due to vertex perturbing, Lin et al. set a threshold and simply skipped the vertices that could not meet the requirement under the threshold. This causes the embedding holes problem. In [27], Chang-Min Chou and Din-Chang Tseng propose a multi-function vertex embedding method and an adjusting-vertex method to overcome the causality problem and the convergence problem.

But this scheme produces the embedding holes problem.

- (6) The localization of tamper detection problem: In [24-25][27], the embedding holes problem should lead to a localization of tamper detection problem.

In summary, the proposed scheme has several advantages:

- (1) It is a blind approach.
- (2) The verification rate achieves 100% (watermarked vertices/total vertices).
- (3) Data-hiding rate can offer up to 3 (bits/vertex) while fitting the sensitive fragility and low distortion requirements.
- (4) The vertex based localization of unauthorized modification can be achieved.
- (5) The key size used in the proposed scheme is small.
- (6) Finally, the proposed method is immune to the causality, convergence, and embedding hole problems. A comparison of the proposed scheme with Yeo and Yeung's method [24], Lin's method [25], Chou and Tseng's method [27] is given in Table 1, which presents the contribution of this paper.

Table 1. Comparison of previous methods and the proposed method.

Comparison items	Yeo and Yeung's method	Lin et al.'s method	Chou and Tseng's method	The proposed method
Causality problem	√	No	No	No
Convergence problem	√	√	No	No
Embedding holes problem	√	√	√	No
Verification rate	-	-	~ 42%	100%
Data hiding rate (bits/vertex)	< 1	< 1	< 1.5	3
Tampering detection	√	√	√	√
Localization of tampered region	√	√	√	√
Localization of individual tampered vertex	No	√	No	√
Distortion control	No	√	√	√
Key size	Three lookup table (96 bytes)	Three lookup table (96 bytes)	Small (16 bytes)	Small (16 bytes)

Here, the “-“ indicates that the verification rate is uncertain.

3. The Proposed Fragile Watermarking Scheme

The proposed reversible fragile

watermarking scheme is performed on 3D models represented by point-sampled geometry models in spatial domain. Without loss of generality, let each 3D object of interest be described by a sequence of coordinates $p_0, p_1, p_2, \dots, p_{n-1}$, $0 \leq i \leq n-1$. Moreover, each vertex of the sequence is represented by its 3D coordinate (x_i, y_i, z_i) . Fig. 1 illustrates the outline of this scheme. This scheme consists of two major processes: the embedding process and the extraction process. The embedding process takes three inputs: the 3D cover model, the payload and the secret key and then produces a 3D stego model. The extraction process takes three inputs: the 3D stego model, the gravity center of 3D cover model and the secret key. It extracts the recovery payload and enables verification of 3D model and localizes the tampered vertices.

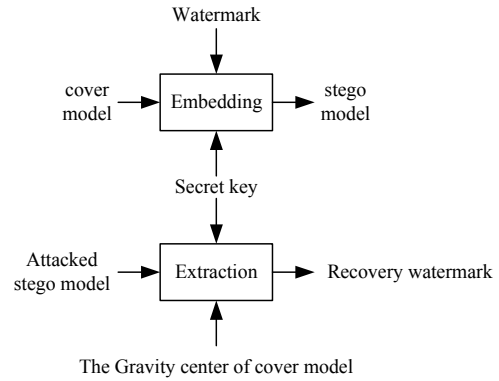


Fig. 1 Proposed fragile watermarking scheme.

3.1 The embedding algorithm

The embedding algorithm represented in Fig. 2 takes three inputs: the cover model, the watermark and the secret key to produce a stego model. It embeds a watermark according to the following four steps:

(1) Determination of quantization step: The

quantization step S^r is calculated by equation (1), where r_{\max} is the maximum coordinate value in r axis and r_{\min} is the minimum coordinate value in r axis. The constant n is the number of vertices in original cover model. Moreover, the constant value d is used to control the degree of axis quantization step S^r which decides the degree of distortion.

$$S^r = (r_{\max} - r_{\min}) / (d \times n) \quad (1)$$

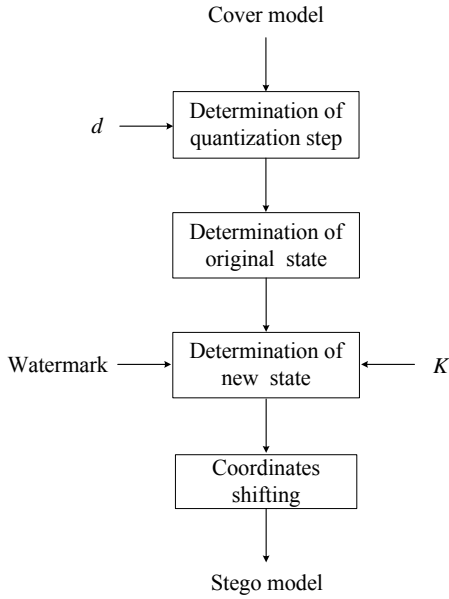


Fig. 2 The embedding algorithm.

an integer and $0 \leq s_b \leq 7$. The binary representation of the original state s_b is $s_b^x s_b^y s_b^z$, where $s_b^x, s_b^y, s_b^z \in \{0,1\}$. As shown in Fig. 3, if the point q_i^r is located on the 0 subinterval, the s_b^r is set to 0. Otherwise, the s_b^r is 1.

(3) Determination of new state : For security reasons, a secret key K is employed to generate a random sequence of integers. They represent the index orders for embedding watermark into the corresponding points. Let s_a be the new state, where s_b is an integer and $0 \leq s_a \leq 7$. The binary representation of

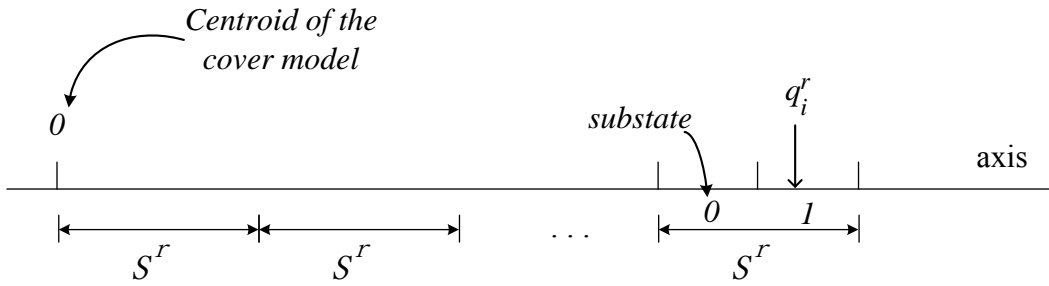


Fig. 3 Substate determination of the embedding point.

(2) Determination of original state : Suppose q_i^r is a point of the cover model, where i is an integer index and $0 \leq i \leq n-1$. At first, let s_b be the original state, where s_b is

the new state s_a is $s_a^x s_a^y s_a^z$, where $s_b^x, s_b^y, s_b^z \in \{0,1\}$. The new state s_a is calculated as following equations :

$$s_a^x = w_i \quad (2)$$

$$h = \text{hash}(w_i, i) \quad (3)$$

$$s_a^y = \text{int}(h/2) \quad (4)$$

$$s_a^z = h \bmod 2 \quad (5)$$

Where h denotes the verification value, and the $\text{hash}(w_i, i)$ is a predefined hash function used for verification.

(4) Coordinate shifting : The new coordinate $q_i^{r'}$ is computed by following equations.

$$q_i^{r'} = q_i^r + (s_a^r - s_b^r) \times S^r \quad (6)$$

In this way, visual quality is not much affected by the large watermark size, because the modified coordinate value is limited within the range of a quantization step S^r .

3.2 The extraction algorithm

The watermark extraction process is performed to extract the embedded watermark and verify the integrity of the stego model. The extraction process takes four inputs: the stego model, the secret keys K , the constant d , and the gravity center of the original cover model to wextract the embwdded watermark. As shown in Fig. 4, it extracts the recovery watermark according to two steps as follows:

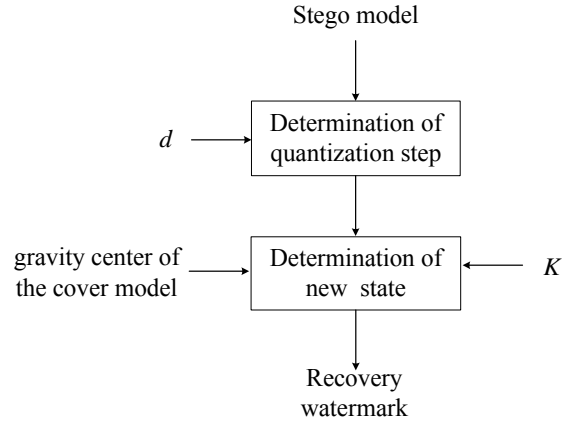


Fig. 4 The extraction algorithm.

- (1) Determination of quantization step : The quantization step S^r is calculated by equation (1) in embedding stage.
- (2) Determination of new state : For security reasons, the same secret key K used in the embedding stage is employed to generate the same sequence of integers. Let s_a be the new state, where s_b is an integer and $0 \leq s_a \leq 7$. The binary representation of the new state s_a is $s_a^x s_a^y s_a^z$, where $s_b^x, s_b^y, s_b^z \in \{0,1\}$. As shown in Fig. 3, the s_b^x , s_b^y , and s_b^z can be determined. Moreover, the watermark and the verification bits can be calculated as folloing equations :

$$w_i' = s_a^x \quad (7)$$

$$h' = 2 \times s_a^y + s_a^z \quad (8)$$

The verification is achieved when h' is equal to the value $hash(w'_i, i)$ by using the same hash function used in the embedding stage.

4. Experimental Results and Discussions

The proposed reversible fragile watermarking method was implemented by using Microsoft Visual C++ programming language. A series of experiments were conducted to test the feasibility and performance of the proposed method. Table 2 lists the cover models used in our experiments and the visual effects of the stego models. Here, the precision level is 10^{-6} and the constant d is set to 10000 for achieving a tiny distortion in the embedding stage. No visual distortion can be perceived between the cover models and stego models.

There are as more points of the cover model as possible used for watermark embedding, in order to verify each point of the 3D cover model and to recover the original cover model exactly. A verification rate is defined as the number of verified vertices over the total number of vertices of a model. As expected, a 100% embedding rate is achieved for the proposed method. In a still image, one may generally want to

evaluate distortion by using signal-to-noise ratio (SNR) computations. Some proposals have been made for 3D polygonal models mostly based on the Hausdorff distance. For evaluating a 3D stego model, a simple metric RMS (root mean square) ratio is used to measure distortion in this paper. The RMS ratio is the RMS values over the diagonal length of the bounding volume for a 3D stego model. The small RMS ratios indicate insignificant position changes during the watermark embedding. Table 3 illustrates the verification rates and the distortions of various models. Moreover, the small RMS ratios indicate insignificant position changes during the watermark embedding. In other words, we can conclude that the distortions are small in the proposed method.

Fig. 4 illustrates an example of how our fragile watermarking scheme localizes the invisible unauthorized modification. Fig. 4(a) shows a stego Angelfish model. The Angelfish model has 18724 vertices and 100% vertices were embedded for verification. In this example, the precision level is 10^{-6} and the constant d is 10000. Fig. 4(b) shows a stego Bunny model changed by modifying few vertices on its right head. Finally, Fig. 4(c) shows the regions containing the localized modified vertices in the extraction stage.

Fig. 5 illustrates an example of how the proposed scheme localizes the visible unauthorized modification. Fig. 5(a) shows a stego Angelfish model. Fig. 4(b) shows a visible attacked stego Angelfish model. Fig. 4(c) shows the regions containing the localized modified vertices in the extraction stage.

5. Conclusions

The proposed reversible fragile watermarking method is a blind approach in spatial domain. It is simple to implement and it does not need the original model or the watermark for verification of 3D models and localization of tampering detection. Furthermore, the causality problem, convergence problem and embedding holes problem can be overcome by the proposed scheme.

The main purpose in this paper is to authenticate the integrity of point-sampled geometry in the spatial domain. The verification rate achieves 100%. Consequently, every point of the 3D model can be embedded in the embedding stage and be verified in the extraction stage.

RMS ratio is used to measure distortions in this paper. RMS ratio values and visual appearance of images showed insignificant distortions for the stego models. From the security point of view, security was achieved by using secret keys

to embed watermarks. We believe that extracting the embedded data without the keys is virtually impossible.

References

- [1] K. Tanaka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Embedding secret information into a dithered multi-level image," in *Proc. ICIP*, 1(1990), pp.216-220.
- [2] R.G. van Schyndel, A.Z. Tirkel, and C.F. Osborne, "A digital watermark," in *Proc. ICIP*, 2(1994), pp.86-90.
- [3] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for data hiding," *IBM Systems*, 35(1996), pp.313-336.
- [4] R.Z. Wang, C.F. Lin, and J.C. Lin, "Image hiding by optimal LSB substitution and genetic algorithm," *Pattern Recognition*, 34(2001), pp.671-683.
- [5] C.K. Chan and L.M. Cheng, "Hiding data in images by simple LSB substitution," *Pattern Recognition*, 37(2004), pp.469-474.
- [6] X. Yu, T. Tan, and Y. Wang, "Extended optimization method of LSB steganalysis," in *Proc. ICIP*, vol. 2, pp. 1102-1105, 2005.
- [7] J. Zhao and E. Koch, "Embedding robust labels into images for copyright protection," in *Proc. Int. Congress on Intellectual Property Rights for*

- Specialized Information, Knowledge and New Technologies*, (1995), pp.242-251.
- [8] G.C. Langelaar and R.L. Lagendijk, "Optimal differential energy watermarking of DCT encoded images and video," *IEEE trans. Image Processing*, 10(2001), pp.148-158.
- [9] J.R. Hernández, M. Amado, and F. Pérez-González, "DCT-domain watermarking techniques for still images: detector performance analysis and a new structure," *IEEE trans. Image Processing*, 9(2000), pp.55-68.
- [10] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," *IEEE Trans. Image Processing*, 9(2000), pp.1123-1129.
- [11] T.K. Tsui, X.P. Zhang, and D. Androuso, "Color image watermarking using multidimensional fourier transforms," *IEEE Trans. Information Forensics and Security*, 3(2008), pp.16-28.
- [12] S. Agreste, G. Andaloro, D. Prestipino, and L. Puccio, "An image adaptive, wavelet-based watermarking of digital images," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 210(2007), pp.13-21.
- [13] G. Sun and Y. Yu, "DWT based watermarking algorithm of color images," in *Proc. ICIEA*, pp.1823-1826.
- [14] I.J. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, 6(1997), pp.1673-1687.
- [15] R. Ohbuchi, H. Masuda, and M. Aono, "Watermarking three dimensional polygonal models," in *Proc. ACM Multimedia*, pp. 261-272, 1997.
- [16] R. Ohbuchi, S. Takahashi, T. Miyazawa, and A. Mukaiyama, "Watermarking 3D polygonal meshes in the mesh spectral domain," in *Proc. Graphics Interface*, (2001), pp.9-17.
- [17] R. Ohbuchi, A. Mukaiyama, and S. Takahashi, "A frequency-domain approach to watermarking 3D shapes," *Computer Graphics Forum*, 21(2002), pp.373-382.
- [18] R. Ohbuchi, H. Masuda, and M. Aono, "Watermarking three-dimensional polygonal models through geometric and topological modifications," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, 16(1998), pp. 551-560.
- [19] F. Cayre and B. Macq, "Data hiding on 3-D triangle meshes," *IEEE Trans. Signal Processing*, 51(2003), pp.939-949.
-

- [20] P.R. Alface, B. Macq, and F. Cayre, "Blind and robust watermarking of 3D models: how to withstand the cropping attack?," in *Proc. ICIP*, 5(2007), pp.465-468.
- [21] C.M. Wang and P.C. Wang, "Data hiding approach for point-sampled geometry," *IEICE Trans. Communication*, E88-B(2005), pp.190-194.
- [22] C.M. Wang and P.C. Wang, "Steganography on point-sampled geometry," *Computers and Graphics*, 30(2006), pp.244-254.
- [23] S. Kanai, H. Date, and T. Kishinami, "Digital watermarking for 3D polygons using multiresolution wavelet decomposition," in *Proc. Sixth IFIP WG 5.2 GEO-6*, (1998), pp.296-307.
- [24] B.L. Yeo and M.M. Yeung, "Watermarking 3-D objects for verification," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(1999), pp.36-45.
- [25] H.Y. Lin, H.Y. Liao, C.S. Lu, and J.C. Lin, "Fragile watermarking for authenticating 3-D polygonal meshes," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 7, no. 6, pp. 997-1006, 2005.
- [26] H.T. Wu and Y.M. Cheung, "A fragile watermarking scheme for 3D meshes," in *Proc. the 7th workshop on Multimedia and Security*, (2005), pp.117-124.
- [27] C.M. Chou and D.C. Tseng, "A public fragile watermarking scheme for 3D model authentication," *Computer-Aided Design*, 38(2006), pp.1154-1165.
- [28] J.E. Jackson, *A User's Guide to Principal Components* (New York : Wiley, 1991).
- [29] Q. Zhao and H. Lu, "PCA-based web page watermarking," *Pattern Recognition*, 40(2007), pp.1334-1341.
- [30] J. Bennour and J.L. Dugelay, "Toward a 3D watermarking benchmark," in *Proc. IEEE 9th workshop on Multimedia Signal Processing*, (2007), pp.369-372.
-

Table 2. The list of the cover models and the visual effects of the stego models.













Model	Number of vertices	cover model	Stego model
Angelfish	19724		
Dog	33144		
Dolphin	32828		
Bunny	34837		
Venus	33591		
Horse	39217		

Table 3. The verification rates and distortions of various models: $d=10000$.

Model	Number of points	Verification points	Verification rate	RMS	RMS ratio
Angelfish	19724	19724	100%	$1.48*10^{-6}$	$8.07*10^{-9}$
Dog	33144	33144	100%	$2.54*10^{-6}$	$3.77*10^{-9}$
Dolphin	32828	32828	100%	$4.88*10^{-5}$	$2.35*10^{-8}$
Bunny	34837	34837	100%	$3.86*10^{-6}$	$1.54*10^{-8}$
Venus	33591	33591	100%	$1.50*10^{-5}$	$6.36*10^{-8}$
Horse	39217	39217	100%	$6.76*10^{-6}$	$4.43*10^{-9}$

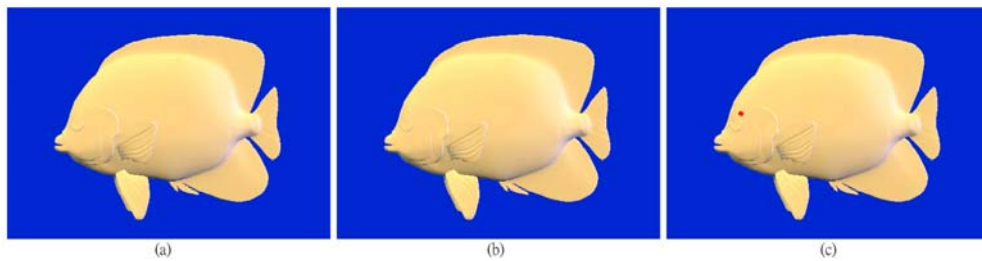


Fig. 4 An example of localizing invisible modification on Angelfish. (a) The stego model, (b) The attacked stego model, (c) The localization of the attacked stego model.

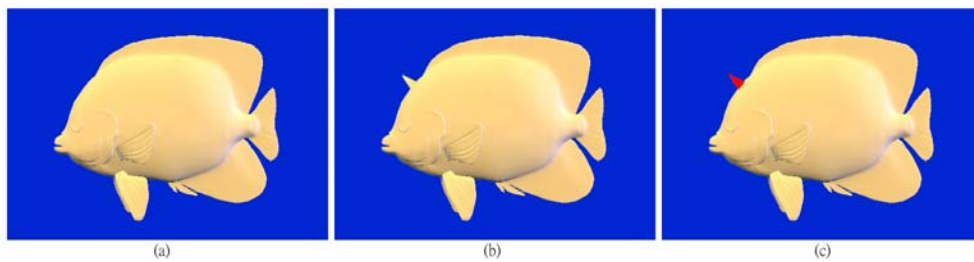


Fig. 5 An example of localizing visible modification on Angelfish. (a) The stego model, (b) The attacked stego model, (c) The localization for the attacked stego model.

以 LCA 整合 PLM 之產品生命週期分析

黃振誠、黃欽印、陳名海

摘要

在一般傳統的設計與製造，產品生命週期管理(Product Lifecycle Management, PLM)在加速產品開發流程，讓產品即時上市方面已經提供了相當完善的解決方案。但進入二十一世紀世紀之後，全球環境的問題越來越受到重視。一個新產品的推出，已經不再只是需要考慮其功能性、外觀等因素。在國際社會對環保議題重視之情況下，法規的限定，使得新產品必須要考慮其對環境衝擊之影響。在這部份 PLM 仍有其不足之處。而生命週期環境衝擊影響評估(Life Cycle Assessment, LCA)為一個瞭解產品對環境影響很好的工具。

面臨環境法規的限定以及消費者綠色意識的抬頭，本研究嘗試補強 PLM 在設計產品時，產品無法保證符合環境法規要求的缺點，因此，以 LCA 整合 PLM 的產品開發及其生命週期對環境衝擊影響的評估的產品設計方法，建立完整的產品設計及其生命週期對環境衝擊的影響以及其評估方式。讓產品在研發階段便已經加入產品對環境影響的評估，在產品設計完成時就能瞭解其在整個生命週期中對環境造成的衝擊程度。本研究證明以 LCA 整合 PLM 的方法，不但可以提高產品開發的速度，讓產品即時上市，而且能夠滿足環保法規的要求。

關鍵詞：產品生命週期管理、生命週期環境衝擊影響評估、價值鏈、Agile。

Extending Product Lifecycle Analysis of PLM by integrating LCA

Chen-Cheng Huang, Chin-Yin Huang, Ming-Hai Chan

Abstract

Product Lifecycle Management (PLM) has offered a solution to manage the process of so called product lifecycle in accelerating the product developing process so that the product could timely introduce in the market. This research critiques that the traditional product lifecycle in considering in product design is not enough. The designed product may not be guaranteed to comply with environmental regulations, since environmental impacts are not considered in design process. On the other hand, Life Cycle Assessment (LCA) is a superior to assess a product impacts on environment, but does not consider the needs on the management of product lifecycle. By adding LCA into PLM as a final assessment function of PLM, this research successful integrates the lifecycle of PLM and develops a close-loop decision process for PLM.

Keywords: Product Lifecycle Management (PLM), Life Cycle Assessment (LCA), Value Chain, Agile.

Chen-Cheng Huang, Instructor, Department of Industrial Engineering and Management, HIT.

Chin-Yin Huang, Associate Professor, Department of Industrial Engineering and Enterprise Information, THU.

Ming-Hai Chan, Student, Department of Industrial Engineering and Enterprise Information, THU.

壹. 緒論

由於環保議題越來越受到重視，歐盟所通過許多的環保法規，包括：廢電機電子設備指令 (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)、危害物質限制指令 (Restriction of Hazardous Substance, RoHS)、歐盟耗能產品環保設計指令 (Eco-Design Requirements for Energy Using Products, EUP) 等。WEEE 規定了廢棄電機電子產品的回收與再利用。RoHS 限制使用 6 種有毒的化學物質，包括：鉛(Pb)、鎘(Cd)、汞(Hg)、六價鉻(Cr6+)、溴化耐燃劑 (PBB 與 PBDE)。而 EUP 則是針對所有耗能產品，要求其建置環境說明書 (Eco-Profile)，並作產品的生命週期環境衝擊影響評估 (Life Cycle Assessment, LCA)¹。

產品要即時上市才能獲取較高的利潤，要產品即時上市則必須增強企業內部研究開發的能力，還要與供應鏈上下游協力廠商與客戶協同開發；且歐盟環保法規的要求引起了企業對產品生命週期管理的重視。因此在整個產品生命週期中，從

構思、評估、研發、生產、使用、維修，一直到報廢回收為止的產品生命週期需要有一套整合的解決方案才能完全支援。

要加速產品開發流程、讓產品即時上市，在這方面產品生命週期管理(Product Lifecycle Management, PLM)已經提供了相當完善的解決方案。但在遵循環保法規方面，PLM 仍有其不足之處，例如產品壽命終了之後的回收與再利用、產品的材料規格是否含有限用的化學物質、甚至還要分析產品在整個生命週期中對環境所造成的衝擊，在這部分 PLM 仍沒有完善的解決方案。

本研究之目的希望能夠補強 PLM 在遵循環保法規方面之不足，結合生命週期環境衝擊影響評估(Life Cycle Assessment, LCA)，延伸 PLM 之產品生命週期，並建立其評估方式。讓產品在研發階段便已經加入環保的思維，並能事先瞭解產品在整個生命週期中對環境造成的衝擊有多大，讓廠商能推出暨具有市場競爭力、又符合環保法規之產品。

貳. 文獻探討

2.1. 產品生命週期管理

產品生命週期管理(Product Lifecycle Management, PLM)系統是規劃產品從市場需求、產品企劃、設計開發、分析驗證、

¹ 在「ISO 14040 環境管理-生命週期環境衝擊影響評估-原則與架構」中對生命週期環境衝擊影響評估的定義為：「生命週期環境衝擊影響評估係研究產品從原料取得、生產、使用與棄置，亦即從搖籃到墳墓，整個生命週期過程中的環境考量與潛在衝擊」。

製造生產到售後服務與維修的管理機制。透過 PLM 管理平台提供之管理操作介面，可以讓企業使用者輕易且有效的管理各個產品，並達到一以貫之的境界[1]。

以產品開發的觀點來看，一般所指的產品開發生命週期是從產品構想開始到產品開發完成量產上市為止所經過的一連串流程，其細部的發展程序則針對各家學者或公司有不同的看法，以下列舉出兩種對於產品生命週期定義的發展程序。

依新產品開發之一般程序，可將產品生命週期分為：新產品的構想、企劃，研究及機能開發、試作實驗，產品設計，生產準備、生產轉移，量產試作，和生產、銷售階段[2]。依新產品開發之生命週期，可分為七個階段：產品構想階段，初步評估階段，概念設計階段，產品發展階段，產品測試階段，工程試產階段，量產上市[3]。

2.2. 生命週期環境衝擊影響評估

生命週期環境衝擊影響評估(Life Cycle Assessment, LCA)為經由盤查及衝擊評估來量化產品在生命週期間所造成的環境負荷。在「ISO 14040 環境管理-生命週期環境衝擊影響評估-原則與架構」中對生命週期環境衝擊影響評估的定義為：「生命週期環境衝擊影響評估係研究產品從原料取得、生產、使用與棄置，亦即從搖籃到墳墓，整個生命週期過程中

的環境考量與潛在衝擊」[4]。其評估的廣度與深度則依評估的目的而有所不同，其環境考量與潛在衝擊也依其衝擊評估的方法而略有差異，但依然需在 ISO14040 的規範之內[5]。

依據 ISO14040 的規範，一個完整的生命週期環境衝擊影響評估執行架構分為目標和範疇界定、生命週期盤查分析、衝擊評估、闡釋等四個階段[6]，為一反覆性的技術過程，評估的流程並非單向性的流程，而是一個雙向的過程，亦即能在得到某階段的結論後，來修改上一階段的設定。

2.3. 歐盟三大環境指令

2.3.1. 廢電機電子設備指令

廢電機電子設備指令(Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)之目的與內容為：削減 EEE 廢棄物的產量，避免過多的 EEE 廢棄物進入掩埋場。提升資源再利用之比例，以降低產品對環境之衝擊。及針對 10 大類廢電機電子產品，在 2006 年 12 月 30 日前，必須建立回收體系並達成法定一定之回收率(55-75%)。

2.3.2. 危害物質限用指令

危害物質限用指令(Restriction of Hazardous Substance, RoHS)指令係伴隨著 WEEE 指令一同公告，該指令主要管

制 EEE 產品中使用重金屬：鉛、鎘、六價鉻、汞、溴化耐燃劑(PBB 與 PBDE)這 6 種化學物質。

此指令之目的為削減 EEE 產品使用有害物質並提升綠色製程，規定自 2006 年 7 月 1 日起投入市場的新電機電子設備中不得含上述六種化學物質。

2.3.3. 歐盟耗能產品環保設計指令

歐盟耗能產品環保設計指令 (Eco-Design Requirements for Energy Using Products, EuP)之目的是針對使用能源之產品，製造商必須評估產品於整體生命週期中的環境考量，並將與產品相關的環保特性，以量化的方式建置成產品的生態說明書(Ecological Profile)。另外，製造商必須由產品生命週期之評估，尋求其他可能的替代技術，藉以提昇產品的環境績效，開發出更佳環境友善之產品。

指令中所指產品的生命週期應包含原物料的開採、製造、包裝、運輸、安裝與維護、使用及產品最終的廢棄階段[7]。

2.4. 小結

PLM 可以提供一般產品的研發、生產相當完善的解決方案。但是沒有納入環境方面的考量，在面臨國際環保法規限定之下，PLM 仍有其必須改進之處。另一方面，歐盟 EuP 指令要求廠商在進行產品設計時必須導入產品生命週期思維，並

對產品作生命週期環境衝擊影響評估。這部份也是 PLM 所欠缺的，而 LCA 剛好能夠彌補這方面的不足。

PLM 與 LCA 對於生命週期描述的範疇有很大的差異。PLM 看的是傳統的設計與製造面，LCA 則是考量產品的環境面。

叁. 研究方法

本論文之研究是結合 PLM 和 LCA 同步完成產品開發和產品對環境衝擊分析，進而縮短了產品開發的時間，並且設計出符合 WEEE 和 RoHS 法規的產品。研究的方法分為三個步驟：

1. PLM 在環保法規上的應用。使用之法規包括歐盟通過之 WEEE 和 RoHS。計算出符合法規，企業必須承擔之額外成本。
2. 產品生命週期之建構。在產品開發設計的流程中，結合 PLM 所定義之研發、設計和生產方面的產品生命週期和 LCA 所定義的產品對環境衝擊的評估，為本研究之產品生命週期。
3. 產品生命週期之評估方式和軟體應用。首先以 PLM 取得原料和製程中所耗費能源等的資料。再以 LCA 分析這些資料，進行生命週期評估。計算產品對環境所造成衝擊的程度。如果不符合環保法規之限制，則必須重新設計

產品。在 PLM 分析中所使用之應用軟體為- Agile PLM，而 LCA 的應用軟體為- SimaPro。

此研究以 PLM 在遵循環保法規方面之應用，結合 PLM 與 LCA 兩者在生命週期上之特點，建立完整的產品生命週期與其評估方式。讓產品在研發階段即加入環保的思維，並能事先瞭解產品在整個生命週期中對環境造成的衝擊程度。

3.1. PLM 在環保法規上的應用

對於 WEEE 與 RoHS 等環保法規，雖然由歐洲市場率先實施，但其影響會擴及到美國、亞洲等市場，並對台灣製造業產生極大影響。未來綠色消費將不只影響市場的需求模式，也會左右產品的標準和法規的制定。

對絕大多數製造業而言，WEEE 與 RoHS 法規所帶來最大及最直接的影響是企業必須為進入歐盟市場投入更多的資金。企業必須承擔的額外成本主要存在於以下四個方面：

1. 設計綠色產品的成本

相對於傳統生產電子電機產品的廠商而言，根據 WEEE 指令規定，每種電機電子產品報廢後都必須達到相應的回收與再利用率，歐盟各成員國在將 WEEE 寫入本國法律中時，還可以根據各國國情、環保處理技術等提高報廢產品的回收與再利用率。另外，RoHS 所限用的有毒

物質均不可使用，廠商必須另外找尋其替代品，從材料的選擇到生產製程均會有所改變，廠商必須盡早找出因應之道，產品才能進入歐盟市場。

2. 建立完善回收體系的成本

目前，生產廠商處理回收報廢產品的方式包括：自行建立本身產品的報廢回收系統、幾家廠商聯合建立回收系統、委託專業回收組織來處理報廢產品等。根據 WEEE 指令，歐盟各成員國必須對這種回收體系給予支持，但因各成員國對 WEEE 指令具體實施上的差異，可能會造成歐盟內部各成員國間回收系統的差異。

3. 改換產品標籤的成本

WEEE 指令規定，各廠商必須保證消費者能夠從產品標籤上明確識別生產廠商，確保廠商能夠負起回收責任。此外，廠商還必須在產品的標籤上加蓋特殊標記，註明該產品是於 2005 年 8 月 13 日以後投入市場的，此標記將作為決定該產品報廢回收時能否獲得補償的依據。

4. 產品標籤上的價格標記

根據 WEEE 指令，自 2005 年 8 月 13 日起的 8 年過渡期內，廠商可以在標籤上標註一個參考價格，顯示該產品報廢後的回收及處理預計成本。

在國際環保法規對產品原料以及後續回收作業的控管要求下，製造商可以透

過 PLM 確切掌握產品零件內含的物質，並且將與產品有關的採購、設計、製造、行銷等部門的資料有效傳遞。PLM 在遵循環保法規方面之實施方法可以分為：

1. 若在 PLM 系統規劃時，直接在 PLM 系統中加入 WEEE 的回收標準及 RoHS 的相關材料規格，可以直接設計出符合環保法規的產品。
2. 若廠商要以既有的資訊系統做到符合法規之要求，則需經過大量的客製化，亦即企業從研發到生產、行銷等部門，均需一一修改相關系統設定。
3. 若在原有的 PLM 系統中，加入遵行環保法規規範的功能要求，則主要修改範圍在於需依照法規規定加入禁用材料的詳細規格以及回收標準，以對原料進行管理。

3.2 產品生命週期之建構

繼 WEEE 與 RoHS 指令之後，歐盟 EuP 指令要求廠商在進行產品設計時必須導入產品生命週期思維，而 PLM 與 LCA 所指的生命週期卻有很大的差異。因此本節將分別探討 PLM 與 LCA 對於生命週期的詮釋，並結合兩者的特性，建構出完整的產品生命週期。

3.2.1. PLM 之產品生命週期

在 PLM 中，為了管理產品的生命週期，在研究、開發、產品企劃、行銷、設

計、製造準備、零件調度、製造(量產)、銷售、售後服務等過程中，以整合的方式依產品分類來管理各種資訊[8]。

在研究、開發部份包括市場調查、產品的創新、概念設計、研究與開發。在產品企劃行銷部份包括產品企劃、訂定方針、市場區隔、顧客定位、成本檢討、產品企劃評估。在設計部份包括產品的概略設計、詳細設計、產生 BOM 表、設計審核、作業規範、設計變更、試作。在生產準備部份包括組裝檢討、治具與設備製作、量產試作評價。在零件調度部份包括選定供應商、預估成本、採購單價、交貨日、供給與安排。在製造量產部份包括生產計畫、製造量產、品質管理、出貨與庫存管理。在銷售部份包括產品的行銷計畫、技術發表、市場資訊、產品銷售。在售後服務部份包括顧客資料收集、產品問題、售後服務與產品維修。

3.2.2. LCA 之產品生命週期

與 PLM 的範疇不同，LCA 是對一產品從原物料開採、製造與組裝、產銷與運輸、使用與維護、回收、再利用與廢棄處理等階段中所產生的污染排放、能源損耗以及資源消耗等環境衝擊因子 (Stressors)，以客觀的科學方法探討各衝擊因子對不同自然環境或環境受體所造成的影響[9]。

產品評估應朝向全面性的思考模

式，即以產品生命週期的觀念，在整合原料開採、產品生產製造、使用及棄置等各階段對環境產生之影響，評估產品對環境的衝擊程度。因此，在比較何類產品或製程較符合環保要求時，應由原料開採、生產製造、消費使用、棄置處理之全程進行評估，而非僅由單一環節考量，此即生命週期環境衝擊影響評估之基本訴求及考量基礎。換言之，生命週期環境衝擊影響評估是一種對產品或服務由搖籃到墳墓產生之總環境影響的評估工具。

3.2.3. 產品生命週期建構

本研究結合 PLM 在研發、設計、生產方面的特點與 LCA 在環境衝擊評估方面的特點，建構出具有兩者特性之產品生命週期。圖 1 即為本研究所建立之完整的產品生命週期。

產品由最初的研發、企劃、設計，到準備生產、調度零件、開始量產，產品完成之後再銷售給消費者，接著使用產品到其壽命完了之後還要做最終處理，還有價值的部份要回收或再利用、不能使用的部份要焚化或掩埋，此為一完整的生命週期。而產品生命週期中各個階段皆會對環境造成某種程度的衝擊。這些衝擊經由生命週期環境衝擊影響評估量化，計算產品對環境的負荷量，此評估之資料結果可作為產品重新設計或改良設計之重要依據。

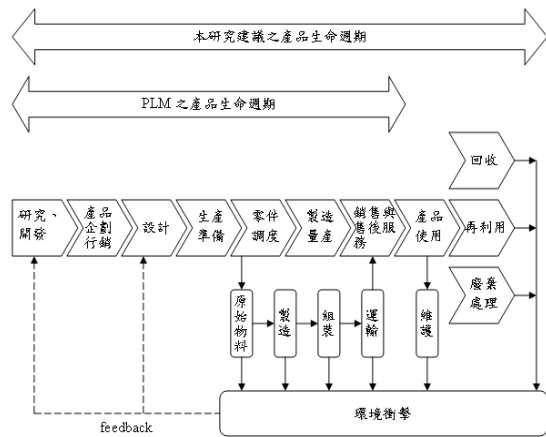


圖 1 本研究之完整的產品生命週期

3.3. 產品生命週期之評估

產品生命週期之評估需要建立完整的產品生命週期和其評估方式、流程以及後續案例研究所使用的應用軟體。

3.3.1. 評估模式與流程

生命週期的評估需要由 PLM 來取得產品製造時所使用的原料、製造過程所耗費的能源等資料，再由 LCA 分析這些資料，進行評估。

物料清單(Bill of Material, BOM)可以提供產品是由哪些原料、零組件和半成品所裝配或組合而成，每一種原料、零組件和半成品各需要多少數量，和其相互關係。因此，PLM 可以由 BOM 取得產品資料。

途程單(Route Sheet)彙整各零組件相關的製造作業所需之原料及設備等資料，還包括零組件所有的作業程序及加工

步驟[10]。

操作程序圖（Operation Process Chart）的基本結構由各零組件之途程單所構成，能夠有系統地描述所有零組件加工及組裝成一個產品的過程，並可以完整地表達生產系統中的製造作業[10]。

有了產品的 BOM，再加上途程單與操作程序圖，就可以提供詳細的產品資料給 LCA，作進一步的生命週期環境衝擊影響評估。因此評估模式為：由 PLM 提供產品的 BOM，配合途程單提供各零組件相關的使用原料與製造過程，並由操作程序圖做資料的彙整，接著再將彙整後的資料輸入 LCA 進行生命週期環境衝擊影響評估。圖 2 為評估模式之流程圖。

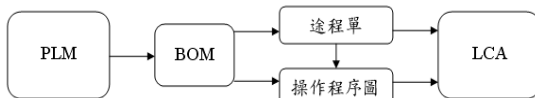


圖 2 評估模式圖

3.3.2. 使用軟體

本研究在案例研究所使用的兩套軟體為 PLM 的應用軟體- Agile PLM 和 LCA 的應用軟體- SimaPro。Agile PLM 用來提供產品基本資料的 BOM，而 SimaPro 則是用來做最後的生命週期環境衝擊影響評估。

1. Agile PLM

Agile 公司於 1995 年創立，總部設於美國矽谷，在北美（美、加）、歐洲（英、

法、德、北歐等國）、亞洲（日本、中國大陸、台灣、印度）等地均設立分支機構，同時有數十個代理商與聯盟成員的全球性合作關係網路。Agile 被 MSI 列為全球最佳 100 大軟體系統供應商。

Agile PLM 採用高科技電子產業標準：RosettaNet PIP 標準，及 PDX 高科技電子資料交換解決方案，使公司、客戶、供應商間之資料交換變得容易。

Agile PLM 解決方案在產品生命週期各處驅動創新，幫助企業透過 PLM 解決方案及時創造價值，獲得最大的收穫。所獲得 PLM 的成果包括：加速約 50% 的新產品推出週期時間、減少約 5% 的直接原料成本、減少產品保證及服務成本、發揮槓桿作用於全球的外包設計和製造上、確保政府法規或環保規範的遵循。

2. SimaPro 7.0

SimaPro 除提供生命週期盤查資料外，同時也給予環境衝擊評估，並可比較在不同程序及原料下對環境所產生的衝擊大小[11]。在生命週期盤查上，每個系統在輸入不同的使用原料及能源後，都可得到相對應的產品、半產品及各個環境衝擊因子的輸出，此軟體除可做完整的生命週期盤查，亦可做生命週期中不同期程 (Stages) 的盤查。在環境衝擊評估方面，SimaPro 提供一個量化環境衝擊的評估方法，將每一種衝擊轉化為環境指標

(Eco-Indicators)，每個研究案例的最終結果均為單一參考數字，數字愈低則代表對環境的衝擊度愈低[12]。而且環境指標的轉換係數可以由使用該模式之分析專家自行訂定，或使用期模式內定之轉化係數。

肆. 案例研究

本研究以二個案例展現其評估流程、驗證其可行性。

4.1 案例一：家用咖啡機之產品生命週期分析

假設研發人員設計出一個新型的家用咖啡機。為了因應國際環保法規及消費者的綠色意識，想要在產品正式量產、上市之前，就事先知道產品在製造、使用、

廢棄等整個生命週期中會對環境造成的影響。因此要做生命週期環境衝擊影響評估，讓研發人員可以根據分析的結果，作為產品是否能夠上市及改良的參考。

4.1.1. 產品之基本資料

產品設計完成之後，可由 Agile PLM 提供產品資訊，作為之後生命週期環境衝擊影響評估之用。圖 3 為 Agile PLM 提供的咖啡機 BOM 之頁面，可知其主要由四個零組件所組成，分別為：Housing model（咖啡機主體）、Small parts（小零件）、Mains (230V) cable（電源線）、Coffee pot（咖啡壺）。

根據咖啡機的 BOM 表，可提供對應四個零組件的途程單，分別如下所述：

Product: P0001
Product: P0001 Coffee Machine Unincorporated Preliminary

Site: ALL Rev: Introductory Show BOM Tree Actions

Title Block Changes **BOM** Manufacturers Sites Quality Suppliers Where Used Attachments History

Effective From: ... to ...

Edit Remove Add Multi-level... Go To... Selected: 0 of 4 Page: 1 of 1

Item Number	Item Description	Qty	Item Rev	Find Num	Ref Des ...	Sites	BOM Notes
P00011	Housing model	1		25			咖啡機主體
P00012	Small parts	1		32			小零件
P00013	Mains (230V) cable	1		30			電源線
P00014	Coffee pot	1		26			咖啡壺

Rows per page: 10 Page: 1 of 1

圖 3 咖啡機之 BOM 頁面

由 Housing model (咖啡機主體) 之途程單, 可知其所用的材料有: 0.1 公斤的 Aluminum、0.8 公斤的 PP。產品的製程為: 咖啡機外殼 0.8 公斤 PP 之射出成型、組裝與測試所需的電力 1.5 kWh。

由 Small parts (小零件) 之途程單, 可知其所用的材料有: 0.14 公斤的 PP、0.15 公斤的鐵、0.02 公斤的銅、0.06 公斤的 PVC。產品的製程為: 三種塑膠零組件共 0.2 公斤之射出成型、組裝與測試所需的電力 0.3 kWh。

由 Mains (230V) cable (電源線) 之途程單, 可知其所用的材料有: 0.06 公斤的銅、0.105 公斤的 PVC。另外因為此零組件為外購之零件, 因此產品的製程考慮到從供應商處運送來的部份 0.0165 tkm。

由 Coffee pot (咖啡壺) 之途程單, 可知其所用的材料有: 0.2 公斤的 PP、0.4 公斤的玻璃。產品的製程為: 把手部份 0.2 公斤的 PP 射出成型、燒製玻璃瓶所用之能源 4 MJ 的瓦斯、組裝與測試所需的電力 0.2 kWh。

另外咖啡機的操作程序圖如下圖 4 所示:

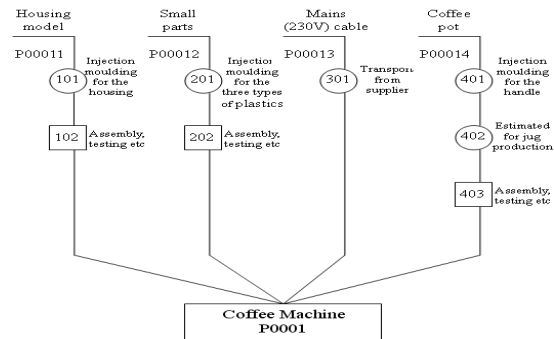


圖 4 咖啡機之操作程序圖

4.1.2. 產品之使用狀況

假設此咖啡機的使用年限為五年, 消費者一天使用兩次, 在使用期間總共用的電力為 375 kWh, 如表 1。在產品的包裝上, 會用到 0.35 公斤的硬紙板原料, 如表 2。另外此咖啡機在使用時需要濾紙 (Filter), 所以濾紙也必須進行生命週期盤查。濾紙每張 2 公克, 每天用 2 張, 五年總共會用掉 7.3 公斤的濾紙。還有要考慮到消費者購買濾紙的運輸狀況, 總共為 3.65tkm, 如表 3。最後, 在產品壽命終了時, 其廢棄處理方式為: 假設產品可以拆卸回收, 約有 80% 的產品能夠被拆卸回收, 而經拆卸後有 90% 的材料可以回收, 其餘的 10% 焚化處理。剩下 20% 的產品中有 40% 掩埋處理及 60% 焚化處理。這部份在 SimaPro 生命週期環境衝擊影響評估時選擇一個最適當的廢棄處理方案: Recycling only B250 avoided。

4.1.3 產品之生命週期環境衝擊影響評估

將上述產品的基本資料以及使用情況的資料輸入 SimaPro 7.0 之後，可以得到圖 5 的生命週期網路圖。

表 1 咖啡機使用之電力

咖啡機使用之電力					
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
			電力 UCPT E B250	375	kWh

表 2 咖啡機使用之包裝

咖啡機使用之包裝					
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
硬紙板 1	0.35	kg	生產硬紙板箱 1	0.35	kg

表 3 咖啡機使用之濾紙

咖啡機使用之濾紙					
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
道林紙 C B250	7.3	kg	卡車 28t B250	3.65	tkm

接著經過把輸入的資料 Characterization (特徵化)、Damage assessment(損害評估)、Normalization(常態化)、Weighting (權重化) 之後，可以得到以 11 項環境衝擊指標作為評估參考的依據。再把 11 項衝擊指標評分加總之後可得到一個 Single Score (單項比分)，

表示此咖啡機在整個產品的生命週期中會對環境造成的總影響分數為 8.53 Pt。表 4 為其評估結果，可以看出在使用階段對環境的影響為 7.79 Pt，遠大於製造階段的 0.74 Pt。

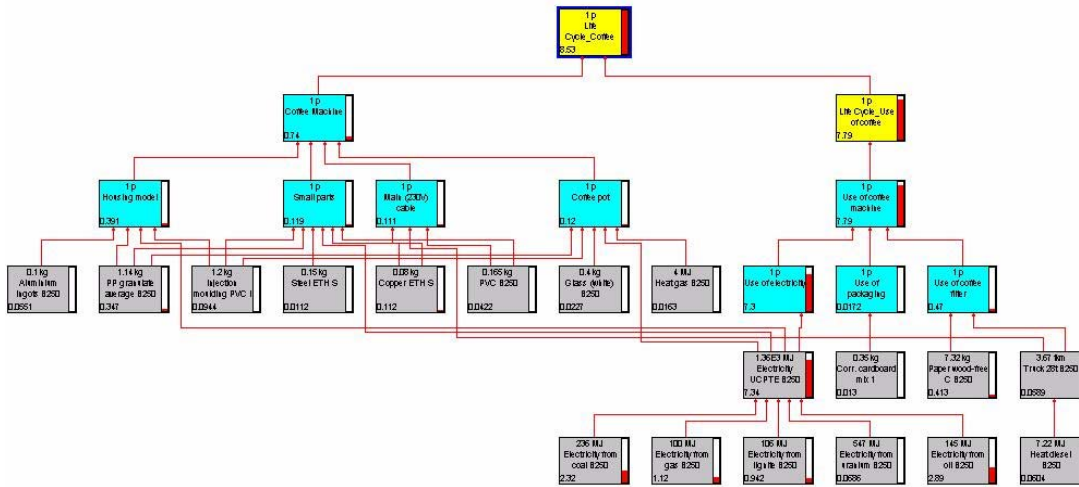


圖 5 咖啡機生命週期之網路圖

表 4 咖啡機生命週期環境衝擊影響評估結果

環境衝擊指標	單位	評分	咖啡機製造階段	咖啡機在整個生命週期中
總評分	Pt	8.53	0.74	7.79
化石燃料	Pt	3.61	0.441	3.17
影響呼吸的 無機物	Pt	2.83	0.152	2.68
氣候改變	Pt	0.99	0.0331	0.958
致癌物質	Pt	0.43	0.00948	0.416
生態毒性	Pt	0.34	0.0131	0.325
酸化/優養化	Pt	0.25	0.0149	0.239
影響呼吸的 有機物	Pt	0	0.000623	0.00396
臭氧層	Pt	0	0.0000665	0.000955
礦物	Pt	0.07	0.0745	0.00000576
輻射	Pt	0	0.000205	-1.08E-20
土地使用面積	Pt	0	0.00112	-5.86E-20

接下來依照個別原料與製程分析其衝擊程度。表 5 為原料與製程分析結果，可以看出此咖啡機在使用階段的電力消耗為其主要的衝擊來源，佔了全部約 85.5%，({ 2.87 + 2.31 + 1.11 + 0.937 + 0.0682 } / 8.53 = 85.5%)，其次為濾紙的使用。在產品製造階段中對環境影響最大的是 PP 的使用，其次為銅的使用。

4.1.4. 小結

咖啡機產品在分析整個產品生命週

期之後，研發人員可以獲得產品在製造階段、使用階段、廢棄階段對環境造成的影響。此案例對環境造成的衝擊總評分為 8.53 Pt。

根據調查，目前市場一般咖啡機的生命週期環境衝擊影響評估分數約為 12 Pt。因此若在本成本、品質等基本面向均相同的情況下，此咖啡機將佔有環保上的優勢。

表 5 咖啡機原料與製程分析結果

製程	單位	評分	咖啡機製造階段	咖啡機在整個生命週期中
衝擊總評分	Pt	8.53	0.74	7.79
石油電力 B250	Pt	2.89	0.0153	2.87
煤炭電力 B250	Pt	2.32	0.0123	2.31
天然氣電力 B250	Pt	1.12	0.0059	1.11
褐煤電力 B250	Pt	0.942	0.005	0.937
道林紙 C B250	Pt	0.413	8E-20	0.413
聚丙烯顆粒平均 B250	Pt	0.347	0.347	-2E-17
銅 ETH S	Pt	0.112	0.112	-6E-18
聚氯乙烯射出成型 I	Pt	0.094	0.0944	-5E-18
鈾電力 B250	Pt	0.069	0.0004	0.0682
熱柴油 B250	Pt	0.06	0.0003	0.0602
鋁合金錠 B250	Pt	0.055	0.0551	-3E-18
聚氯乙烯 B250	Pt	0.042	0.0422	-2E-18
玻璃 (白) B250	Pt	0.023	0.0227	-1E-18

低壓/保溫氣體 B250	Pt	0.016	0.0163	7E-06
硬紙板 1	Pt	0.013	-5E-21	0.013
鋼 ETH S	Pt	0.011	0.0112	-6E-19
高壓聚乙烯 B250	Pt	0.001	-5E-19	0.001

根據原料與製程的分析結果，此咖啡機在使用階段對環境的影響遠大於製造階段，佔了全部的 91.3% $(7.79/8.53 = 91.3\%)$ 。其中使用階段的電力消耗為主要的環境衝擊來源，佔了全部約 85.5%。其次為濾紙的使用，佔了約 4.8% $(0.413/8.53 = 4.8\%)$ 。因此研發人員可以朝省電方面進行改良，減少能源的使用以降低對環境的衝擊。在濾紙使用上可以考慮改用可重複使用的濾網，除了能減少環境污染外，還可以除去消費者要另外購買濾紙的成本。

4.2. 案例二：滑鼠之產品生命週期分析比較

若研發人員設計出三個簡易式滑鼠，代號分別為：Mouse 1、Mouse 2、Mouse 3。假設三者的成本、品質、規格、功能、使用情況皆相同，因此研發人員想要再根據三者的環境評估，來決定要生產哪個產品。

4.2.1 產品之基本資料

以 Agile PLM 調出三個滑鼠的基本資料，由圖 6 的 BOM 可以看出，滑鼠的主要零組件有 Case (外殼)、Ball (軌跡球)、IC board (電路板)、Line (傳輸線)。

為了方便觀看與輸入 SimaPro，分別依照三者的途程單和操作程序圖整理出其原料與製程，如下表 6、7、8 所示。

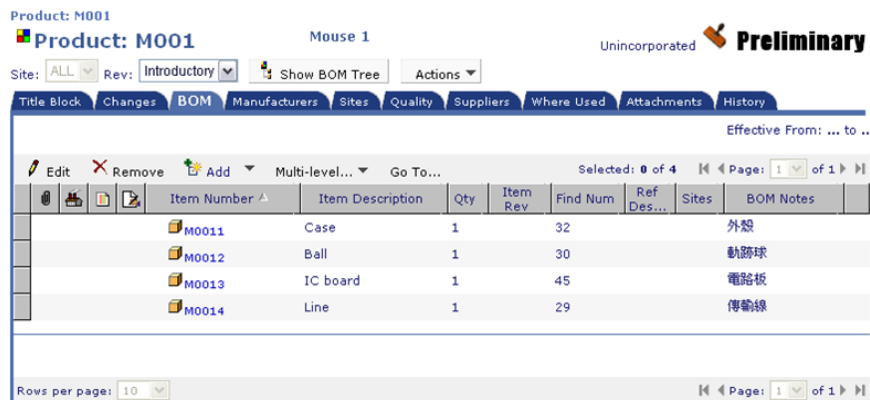


圖 6 滑鼠 1 之 BOM 頁面

表 6 滑鼠 1 之原料與製程表

零組件編號			零組件名稱		
M0011			外殼		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
丙烯-丁二烯-苯乙烯 共聚合物 A	45	g	射出成型 I	45	g
零組件編號			零組件名稱		
M0012			軌跡球		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
鋼 ETH S	39	g	電力 UCPTE B250	0.1	kWh
零組件編號			零組件名稱		
M0013			電路板		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
丙烯-丁二烯-苯乙烯 共聚合物 A	8	g	電力 UCPTE B250	0.4	kWh
矽 I	7	g			
鋁合金錠 B250	2	g			
鋼 ETH S	2	g			
零組件編號			零組件名稱		
M0014			傳輸線		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
聚氯乙烯 B250	28	g	聚氯乙烯 射出成型 I	28	g
銅 ETH S	25	g			

表 7 滑鼠 2 之原料與製程表

零組件編號			零組件名稱		
M0021			外殼		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
聚酯 ETH S	53	g	聚酯 射出成型	53	g
零組件編號			零組件名稱		
M0022			軌跡球		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
銅 ETH S	44	g	電力 UCPTE B250	0.15	kWh
零組件編號			零組件名稱		
M0023			電路板		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
丙烯-丁二烯-苯乙烯 共聚合物 A	8	g	電力 UCPTE B250	0.4	kWh
矽 I	7	g			
鋁合金錠 B250	2	g			
鋼 ETH S	2	g			
零組件編號			零組件名稱		
M0024			傳輸線		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
聚乙烯顆粒平均 B250	29	g	射出成型 I	29	g
銅 ETH S	25	g			

表 8 滑鼠 3 之原料與製程表

零組件編號			零組件名稱		
M0031			外殼		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
聚苯乙烯 (發泡級聚苯乙烯) A	48	g	射出成型 I	48	g
零組件編號			零組件名稱		
M0032			軌跡球		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
鋼 ETH S	39	g	電力 UCPTE B250	0.1	kWh
零組件編號			零組件名稱		
M0033			電路板		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
丙烯-丁二烯-苯乙烯 共聚合物 A	8	g	電力 UCPTE B250	0.4	kWh
矽 I	7	g			
鋁合金錠 B250	2	g			
鋼 ETH S	2	g			
零組件編號			零組件名稱		
M0034			傳輸線		
原料	原料重量	原料單位	製程	製程用量	製程單位
聚乙烯顆粒 平均 B250	29	g	射出成型 I	29	g
銅 ETH S	25	g			

4.2.2 產品之分析比較

因為設計的三個滑鼠之規格、功能皆相同，假設在相同的使用情況下，三者在使用階段對環境的衝擊也會相同。因此在比較它們對環境的影響優劣時，只需針對其製造階段的原料與製程部份進行評估與比較。把上述產品的基本資料輸入

SimaPro，經過特徵化、損害評估、常態化、權重化之後，得到表 9 的評估結果比較。Mouse 1 對於環境衝擊的總評分為 0.0887 Pt、Mouse 2 對於環境衝擊的總評分為 0.151 Pt、Mouse 3 對於環境衝擊的總評分為 0.0933 Pt。Mouse 1 為最低，Mouse 3 略高於 Mouse 1，而 Mouse 2 明顯高於其他兩者。

表 9 三個滑鼠的評估結果比較

環境衝擊指標	單位	生命週期		
		滑鼠 1	滑鼠 2	滑鼠 3
總評分	Pt	0.0887	0.151	0.0933
致癌物質	Pt	0.0019	0.004	0.0018
影響呼吸的有機物	Pt	6E-05	2E-04	7E-05
影響呼吸的無機物	Pt	0.0199	0.027	0.0215
氣候改變	Pt	0.0047	0.006	0.0051
輻射	Pt	6E-05	2E-04	6E-05
臭氧層	Pt	5E-06	2E-05	5E-06
生態毒性	Pt	0.0021	0.004	0.0022
酸化/優養化	Pt	0.0018	0.002	0.002
土地使用面積	Pt	0.0004	9E-04	0.0004
礦物	Pt	0.022	0.06	0.022
化石燃料	Pt	0.0357	0.047	0.0383

接下來以原料與製程分析其衝擊程度。表 10 為三者的原料與製程分析結果，結果顯示 Mouse 2 的衝擊總評分之所以會明顯高於其他兩者的原因是銅的使用。這與 Mouse 2 對 Minerals（礦物）指標的衝擊比其他兩者高出許多一致。Mouse 2 在銅的使用對環境的衝擊為 0.0965 Pt，佔了全部約 63.9% ($0.0965/0.151 = 63.9\%$)，而其他兩者只有 0.035 Pt。至於其他的原料或製程的影響沒有明顯的差別。

4.2.3 小結

經過分析三個滑鼠的生命週期之後，因為三者的成本、品質、規格、功能等皆相同，所以我們選擇對於環境衝擊最小的 Mouse 1 為要生產的產品。

根據原料與製程的分析，Mouse 2 在銅的使用上對環境的衝擊明顯高於其他兩者。關於這點對照當初在設計時原料的選擇，Mouse 2 在軌跡球的設計上選擇以銅做為材料，其他兩者則是選擇以鐵作為材料。因為每公斤的銅對環境的衝擊為 1.4 Pt，而每公斤的鐵對環境的衝擊只有 0.0749 Pt，所以造成 Mouse 2 對環境的衝擊明顯高於其他兩者。

表 10 滑鼠的原料與製程分析結果

製程	單位	生命週期		
		滑鼠 1	滑鼠 2	滑鼠 3
衝擊總評分	Pt	0.0887	0.151	0.0933
銅 ETH S	Pt	0.035	0.097	0.035
丙烯-丁二烯-苯乙烯共聚合物 A	Pt	0.021	0.003	0.0032
射出成型 I	Pt	0.0076	0.005	0.0129
聚氯乙烯 B250	Pt	0.0072	x	x
石油電力 B250	Pt	0.0038	0.004	0.0038
煤炭電力 B250	Pt	0.0031	0.003	0.0031
鋼 ETH S	Pt	0.0031	1E-04	0.0031
射出成型 聚氯乙烯 I	Pt	0.0022	x	x
能源 US I	Pt	0.0015	0.002	0.0015
天然氣電力 B250	Pt	0.0015	0.002	0.0015
褐煤電力 B250	Pt	0.0012	0.001	0.0012
鋁合金錠 B250	Pt	0.0011	0.001	0.0011
散裝船 I	Pt	0.0002	2E-04	0.0002
鈾電力 B250	Pt	9E-05	1E-04	9E-05
原油 I	Pt	8E-05	8E-05	8E-05
拖車 I	Pt	3E-05	3E-05	3E-05
柴油 I	Pt	2E-05	2E-05	2E-05
煤氣電力 UCPTE I	Pt	1E-06	1E-06	1E-06
煤炭電力 UCPTE I	Pt	5E-07	5E-07	5E-07
石油電力 UCPTE I	Pt	2E-07	2E-07	2E-07
矽 I	Pt	2E-07	2E-07	2E-07
重油 I	Pt	3E-08	3E-08	3E-08
核電力 UCPTE I	Pt	2E-08	2E-08	2E-08
水力電力 UCPTE I	Pt	6E-11	6E-11	6E-11

伍. 結論與建議

5.1. 結論

生命週期環境衝擊影響評估 (LCA) 為一個瞭解產品對環境影響很好的工具，而產品生命週期管理 (PLM) 則是已經為產品從研發、設計、生產、銷售、服務等階段提供了完整的解決方案。本研究提出 PLM 在遵循環保法規方面之應用，並以 LCA 整合 PLM 的產品生命週期，建立完整的產品生命週期與其評估方式，此架構的特色為：在理論方面，重新詮釋了產品的生命週期，真正包含了一個產品從「搖籃」到「墳墓」階段的考量，讓 PLM 產品生命週期之範疇更加完整。在實務方面，產品設計完成之後，便可藉由 LCA 分析產品在材料選擇、製造過程、使用階段對環境的衝擊，設計者能夠根據衝擊較大的地方做改進。讓產品在研發階段便已經加入環保的思維，推出符合法規限定的產品。

5.2. 建議與未來發展

對於未來的研究發展與建議有兩個方向：PLM 在產品資料的呈現上仍不夠精細，如其只紀錄了產品的零組件，沒有紀錄 LCA 分析所需要的產品詳細材質與製程。因此建議 PLM 在軟體設計上能夠

加入產品材料與製程的紀錄，這對之後 LCA 的分析將有很大的幫助。

PLM 與 LCA 在軟體的表現上仍有一段隔閡，如產品的資料、軟體的操作介面等。因此若能根據本研究之架構，整合兩者的資料與介面，甚至直接在 PLM 軟體設計時就加入 LCA 之功能，讓研發人員能夠更方便與快速，在產品設計完成時便能直接分析其對環境之衝擊。

陸. 參考文獻

- [1] Grieves, M. (2006). *Product lifecycle management: Driving the next generation of Lean Thinking*, McGraw-Hill.
- [2] 小島敏彥 (2002). *新產品開發管理：企業革新的生存之道*. 中衛出版社.
- [3] 白光華 (2003). *創新協同產品研發*. 中國生產力中心.
- [4] ISO 14040 (1997) *Environmental Management – Life cycle Assessment – Principle and Framework*.
- [5] 朱冠誌 (2001). *評估印刷電路板製造所產生的環境衝擊之影響*. 機械工程研究所：國立成功大學.
- [6] 丁執宇 (1998). *衝擊評估方法介紹及如何應用在產業界*. *生命週期評*

估研討會. 經濟部與工業技術研究院.

- [7] European Union (2005). Directive 2005/32/EC of the European parliament and of the council of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for Energy-Using Products. *Official Journal of the European Union*, 1-46.
- [8] 近藤敬 & 木村友則 (2006). *PLM 入門：產品生命週期管理*, 中國生產力中心.
- [9] 鄒幸辰 (2003). *生物可分解塑膠膜與 LDPE 膜製程及廢棄處理之生命週期評估與比較研究*. 環境與安全衛生工程所：國立高雄第一科技大學.
- [10] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. & Tanchoco, J. M. A. (2002). *Facilities Planning*. Wiley.
- [11] Pre' Consultants B. V. (1997). *Sima Pro User Manual*. Pre' Consultants B. V.
- [12] Pre' Consultants B. V. (2000). *The Eco-indicator 99*. Pre' Consultants B. V.
-

Analysis and modeling of the bending performances of the circular holes in the fold zone during the L-shape bending process

Nun-Ming Liu, Ko-Ta Chiang, Jenn-Tsong Horng,
Shih-Feng Chen

Abstract

This paper presents a systematic methodology to analyze and model the bending performances of the circular holes in the fold zone during the L-shape bending process. The systematic experimental design based on the response surface methodology (RSM) is applied to identify the influences of various circular holes on the bending performances. The experiment plan adopts the central composite rotatable design (CCRD). For investigating the influences of various circular holes on the fold zone, the diameter and number of holes were adopted as experimental parameters in the state of various thicknesses with blank and die corner radius. The spring-back angle is regarded as the bending performance characteristics. Results show that increasing both the number and diameter of holes favors higher value of spring-back angle. The value of spring-back angle decreases with the increase of blank thickness, but generally increases with the increase of die corner radius. In accordance with confirmation run experiments, the percentage error between the actual and predicted values ranges from -4.45 to 3.40% . And being based on the analysis of variance, the quadratic mathematical model developed was reasonably accurate.

Keywords: Hole, Fold zone, Spring-back, L-shape bending process, Response surface methodology.

Nun-Ming Liu, Lecturer, Department of Mechanical Engineering, HIT.

Ko-Ta Chiang, Professor, Department of Mechanical Engineering, HIT.

Jenn-Tsong Horng, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, HIT.

Shih-Feng Chen, Student, Department of Mechanical Engineering, HIT.

投稿日期：990105 接受刊登日期：990224

L 型彎曲過程中折疊區圓形孔的彎曲性能之 分析與建模

劉南明、江可達、洪振聰、陳世峰

摘 要

本文提出一有系統方法來分析與建模於L型彎曲過程中折疊區上圓形孔的彎曲性能。所提出有系統實驗設計方法是以反應曲面法為基礎，用以來瞭解位於折疊區上各式圓形孔的彎曲性能。本文實驗設計是所採取用中央組合轉動設計法。在不同厚度素材與模具圓角半徑下為瞭解折疊區各式圓形孔的彎曲性能，其孔徑與孔數被採用為實驗參數，而其回彈角度作為性能評估的指標。其結果顯示為當增加其孔徑與孔數時將提升其回彈角度值，而回彈角度值也隨著素材厚度的增加而增大，但隨著模具圓角半徑的增加而緩和地增大。依據其確認實驗結果，其獲得預測值與實驗值間誤差百分比位於-4.45到3.40%範圍內。並經由變異數分析，證實本文所提出二階數學模式具有合理正確性。

關鍵詞：孔、折疊區、回彈、L型彎曲過程、反應曲面法。

劉南明：修平技術學院機械工程系講師
江可達：修平技術學院機械工程系教授
洪振聰：修平技術學院機械工程系副教授
陳世峰：修平技術學院機械工程系學生

1. Introduction

The bending processes are significant development and extensively used to manufacture the components of sheet metals in the hardware, aircraft, consumer goods, food packaging, electronic and automotive industry, etc. Therefore, the bending processes are of vital importance within the industry range. It is widely applied in the mass production and can be regarded as a flexible process. The bending mechanisms are subjected to various process parameters including the bending sequence, bending speed, dies, die stroke, friction, shapes of the products desired, mechanical properties of the blank materials, etc. In addition, the forming processes present the complicated deformation processes comprised a sequence of stretching, bending and drawing process. It is crucial to understand the sheet-metal bending mechanisms and to control the process in the practical sequences [1-3].

The L-shape bending process is one of the mostly applied bending operations in sheet metal forming industry. During the L-shape bending sequence, the firstly the sheet metal is clamped between the die and the blank holder, and then the punch moves downward to bend the blank. The punch load increases sharply as the consequence

of the contact surface amount between the blank and the side of punch. This bending process contains a phase of wipe caused by the friction between the blank and the side of punch. Because the sheet metal bending process involves a combination of elastic-plastic bending and stretch deformation of the blank materials, the deviation of neutral surface, change of thickness and length, wrinkling and fracture often appear in the sheet-metal bending process [4]. In addition, spring-back or the shape discrepancy often occurs after removing the forming load during a sheet metal bending process. Spring-back is an important and decisive performance for obtaining the desired final shape of sheet-metal products and the design of the corresponding die. The investigation of spring-back in the relevant literature has been extensively discussed in order to understand and control the effects of blank materials, geometry, manufacturing processes. Yang et al. [5] investigated the effect of material hardening mode on the spring-back simulation accuracy of V-free bending process. Tekiner [6] conducted the experimental study to identify the response related to spring-back and characterize the effect of sheet metals with several thicknesses and properties. Inamdar et al. [7] researched to the effect of geometric

parameters such as the punch nose radius, die radius, die gap and sheet thickness, on spring-back in sheet metals subjected to air bending. Recently, the numerical simulations using the finite element method (FEM) largely contributed to investigate tool design or process sequences for dealing with spring-back predictions [8-11].

The response surface methodology (RSM) is an empirical modeling approach for determining the relationship between various process parameters and responses with the various desired criteria, and searching into the significance of these process parameters on the coupled responses. It is a sequential experimentation strategy for building and optimizing the empirical model. Therefore, RSM is a collection of mathematical and statistical procedures that are useful for the modeling and analysis of problems in which the response of demand is affected by several variables and the objective is to optimize this response [12, 13]. By using experiments and applying regression analysis, the modeling of the desired response to several independent input variables can be obtained. Consequentially, the RSM is utilized to accurately describe and identify the influence of the interactions of different independent variables on the response when they are

varied simultaneously. In addition, it is one of the most widely used methods to solve the optimization problem in the sheet metal forming processes. Ohata et al. [14] described the application of the surface response method to develop the optimum process design system for sheet fabrication. Lepadatu et al. [15], Bahloul et al. [16], and Mkaddema and Saidane [17] developed mathematical models for the examination of spring-back using the response surface methodology and the models could be used to optimize and predict the spring-back in sheet metal forming.

This paper presents a systematic methodology to analyze and model the bending performances of the circular holes in the fold zone during the L-shape bending process. Due to the large displacement occurring in the bended corner of the blank, the deformations are, mostly, located in the fold zone. Many factors could affect the deformations in the process, such as material variation in mechanical properties and thickness of the blank, tooling geometry, and forming speed. Komur and Sonmez [18] and Maiorana et al. [19] proposed that the square and rectangular plates with circular and rectangular holes in various positions affect their several mechanical properties which are subjected to axial compression and

bending moment. Therefore, it is worth to investigate the effect of various circular holes located in the fold zone on the performance characteristics of bending process. In this study, a systematic approach of experimental design based on the RSM adopts the rectangular plate with various circular holes cut in the fold zone as the experimental specimens. The spring-back angle is regarded as the bending performance characteristics. The selection of experimental parameters first concentrates on the geometric parameters of holes, including the diameter and number of holes in the fold zone. In addition, the die corner radius and blank thickness which affect the amount of spring-back angle are also considered. This research highlights the development of quantitative mathematical models for investigating the influences of experimental parameters on performance characteristics of L-shape bending process by using the RSM. Then, the contribution of each experimental parameter was calculated, and the quantitative mathematical models were also appropriately proposed. Finally, the verification experiments are performed to verify the adequacy of the proposed models.

2. Experimental design and Modeling by Response surface methodology

2.1 Concept of RSM

In the RSM, the quantitative form of relationship between desired response (y) and independent variables (x_i) could be represented as

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (1)$$

where f is the response function (or response surface) and ε is the random error. The appearance of response function is a surface as plotting the expected response of f . The identification of suitable approximation of f will determine whether the application of RSM is successful or not. In this study, the approximation of f was proposed using the fitted second order polynomial regression model, which was called the quadratic model. The quadratic model of desired response (y) is always described as follows:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^n a_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

where n is the number of design variables, and a_0 , a_i , a_{ii} and a_{ij} represent the values of the regression

coefficients. Then this quadratic model contains the linear terms, squared terms and cross product terms. Using this quadratic model in this study is not only to investigate over the entire factor space, but also to locate the region of desired target where the response approaches its optimum or near optimal value.

In general, the quadratic model of desired response (y) can be expressed in the matrix form as follows:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3)$$

where \mathbf{Y} is a matrix of desired response, \mathbf{X} is a matrix of model terms evaluated at the data points, $\boldsymbol{\varepsilon}$ is an error vector. The unbiased estimator $\boldsymbol{\varepsilon}$ of the regression coefficient vector $\boldsymbol{\alpha}$ is estimated using the least-squares error method as follows.

$$\boldsymbol{\alpha} = (\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{Y} \quad (4)$$

where \mathbf{X}^T is the transpose of the matrix \mathbf{X} .

2.2 Experimental design

A series of experiments performed here were involved in L-shape bending of sheet metal with various circular holes in the fold zone. These various circular holes were cut using a CNC laser-cutting machine, and the positions of desired circular holes are shown in Fig. 1. The dimension of gaps among these circular holes was calculated in accordance with the number and diameter of desired circular

holes. The area of blank subjected to the bending moment was defined as the fold zone. The specimen material was the rolled steel for general structure (SS400) in the form of rectangle plate with 70 mm width and 150 mm length. The chemical composition of SS400 in mass% is as follows: 0.08~0.30 C, <0.35 Si, <0.05 P, and <0.05 S. Its mechanical properties are 255 MPa yield stress, 510 MPa ultimate stress, >35% elongation and 33.7 HRC hardness.

The experimental apparatus included a hydraulic press machine (Starair Co. Ltd) with a maximum pressure of 15 tons, cylinder diameter 125 mm and a maximum stroke of 200 mm. The punch and die sets made of hardened steel (SKD 61) were then assembled in the hydraulic press, and their dimensions is shown in Fig. 2. In the L-shape bending process, the experiments were conducted under dry conditions. The speed of punch was selected as 1 mm/s to bend the blank into the die. It was used to eliminate the effect of speed on the experimental results. Table 1 shows the experimental parameters in the L-shape bending process. Four experimental parameters of L-shape bending process adopted in this study are the die corner radius (R_D), blank thickness (t), diameter of hole (D_h) and number of hole (N_h) for investigating the influences of various

circular holes on the fold zone. The radius of die curvature (R_D) determines the quantity of bend radius resulting in the deformation of circular holes. In this study, a central composite rotatable design (CCRD) involving four variables with five levels has been employed to design the experimental plans. The factorial portion of CCRD is a full factorial design with all combinations of the factors at two levels (high, +2 and low, -2) and composed of the eight star points, and six central points (coded level 0) which is the midpoint between the high and low levels. The star points are at the face of the cube portion on the design which corresponds to an α value of 2 and this type of design is commonly called the face centered CCRD. In the present investigation, the experimental plans were conducted using the stipulated conditions according to the CCRD and involved in a total of 30 experimental observations at four independent input variables. Each combination of experiments had been carried out twice under the same conditions at different time to acquire a more accurate result during the L-shape bending process.

The low and high levels selected for the die corner radius (R_D), blank thickness (t), diameter of hole (D_H) and number of hole (N_H) were: 1 and 3 mm, 1 and 3 mm,

1 and 5 mm, and finally, 0 and 12, respectively. Table 2 shows the value of coded and actual values of four designing parameters and their possible ranges. The experimental matrix adopted in this study in the coded form is shown in Table 3. The coded values $X_{i,i=1,2,3,4}$ of the designing parameter used in Table 2 and 3 are obtained from the following transformable equations:

$$X_1 = \frac{R_D - R_{D0}}{\Delta R_D} \quad (5)$$

$$X_2 = \frac{t - t_0}{\Delta t} \quad (6)$$

$$X_3 = \frac{D_H - D_{H0}}{\Delta D_H} \quad (7)$$

$$X_4 = \frac{N_H - N_{H0}}{\Delta N_H} \quad (8)$$

where X_1 , X_2 , X_3 and X_4 are the coded values of parameters R_D , t , D_H and N_H , respectively. R_{D0} , t_0 , D_{H0} and N_{H0} are the values of R_D , t , D_H and N_H at zero level. ΔR_D , Δt , ΔD_H and ΔN_H are the intervals of variation in R_D , t , D_H and N_H , respectively.

2.3 Performance evaluation

The performance evaluation selected for investigating the influences of various circular holes were based on the performance characteristic of spring-back

angle (θ) after the L-shape bending process. The spring-back angle (θ) took place and changed in the wall angle after the load was removed by withdrawal of the punch, as shown in Fig. 2. This performance characteristic along the bend axis was measured for all bended specimens by using the vision measuring machine (Mimn Tay EM-2D), and is shown in Fig. 3.

2.4 Response surface modeling

The RSM is a sequential procedure, and its modeling procedures were summarized in the following:

- (1) Adopting the quadratic model of RSM in terms of coded factors is as follows.

$$Y = f(R_D, t, D_H, N_H) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i X_i + \sum_{i=1}^4 a_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^4 a_{ij} X_i X_j \quad (9)$$

where $X_{i,i=1...4}$ reveals the coded variables corresponding to the four studied designing parameters. The spring-back angle (θ) indicated as Y was analyzed.

- (2) Performing the regression analysis of $Y = f(R_D, t, D_H, N_H)$.
- (3) Using the statistical analysis of variance (ANOVA) to check the fitness of quadratic model and to identify the main effects of designing variables. The major statistical parameters

adopted here are the “ F -value”, “ $Prob. > F$ ”, determination coefficients (R^2), adjusted R-squared (R^2_{adj}) and adequate precision (AP).

$$F = \frac{(SS_{YY} - SS_E) / 1}{SS_E / (n - k - 1)} \quad (10)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_{YY}} \quad (11)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{SS_E / (n - k - 1)}{SS_{YY} / n - 1} \quad (12)$$

where k is the number of non-consist terms in the quadratic model, $SS_E = Y^T Y - \alpha^T X^T Y$ is a square sum of errors, and $SS_{YY} = Y^T Y - \sum_{i=1}^n y_i / n$ is the total sum of squares. The value of “ $Prob. > F$ ” determine whether the model terms are significant or not.

- (4) Determining the situation of the quadratic model of RSM and deciding whether the model of RSM needs screening variables or not.
- (5) Conducting confirmation experiment and verifying the predicted performance characteristics.

3. Results and discussion

3.1 ANOVA analysis of the fitted quadratic models

In order to ensure the goodness of fit of the quadratic model obtained in this

study, the test for significance of the regression model, the test for significance on individual model coefficients and the test for lack-of-fit need to be performed [12,13]. These tests are performed as ANOVA procedure by calculating the “*F*-value”, “*Prob. > F*”, determination coefficients (R^2), adjusted R-squared (R^2_{adj}) and adequate precision (AP). The values of “*F*-value” and the “*Prob. > F*” imply statistical significance on the regression model and the particular linear, quadratic or interaction terms. Usually the desired confidence level set to 95%, the value of “*Prob. > F*” smaller than 0.05 signify that the regression model is considered to be statistically significant, which is desirable as it demonstrates that the terms in the model have a significant effect on the responses. The determination coefficient (R^2) is defined as the ratio of the explained variation to the total variation and is a measure of the degree of fit. When R^2 approaches unity, the better the response model fits the actual data. It exists the less the difference between the predicted and actual values. The adjusted R-squared (R^2_{adj}) presents a measure of the amount of variation around the mean explained by the model, adjusted for the number of terms in the model. The adjusted R-squared decreases as the number of terms in the model increases if those additional terms

don’t add value to the model. Furthermore, the value of adequate precision (AP) in this model, which compares the range of the predicted value at the design point to the average prediction error, is well above 4. The value of the ratio is greater than 4, which presents the adequate model discrimination.

In Table 4, the model fitting assessment for the quadratic model of spring-back angle (θ) is based on statistical parameters above. From the results of Table 4, these obtained quadratic models can be regard as significant effect for fitting and predicting the experimental results and meantime the test of lack-of-fit also displays to be insignificant.

Through steps (1)-(4) of the proposed RSM procedure, the final quadratic models of spring-back angle (θ) in terms of coded factors are presented as follows:

$$Y = 2.3962 + 0.2048 X_1 - 0.3898 X_2 + 1.0015 X_3 + 0.2830 X_4 + 0.2150 X_3^2 + 0.0499 X_4^2 - 0.1495 X_2 X_3 \quad (13)$$

The above mathematical model can be used for predicting the values of spring-back angle (θ) within the limits of the factors studied. The differences between the measured and predicted response are illustrated in Fig. 4. From the results of comparison, it proved that the predicted values of spring-back angle (θ)

is close to those readings recorded experimentally with a 95% confidence interval.

3.2 Deformation of circular holes in the fold zone

The deformation of circular holes in the fold zone under the various stroke of punch is shown in Fig. 5. Here, due to the bending moment, the top layers are in tension and bottom layers are in compression. The form of circular holes on the top layers expands along the neutral axis, and it obviously reveals such result owing to increasing the stroke of punch. But, the form of circular holes on the bottom layers displays the shrinkage along the neutral axis during the stroke of punch increases. In the meantime, the blank reaches the plastic stage, and the neutral axis moves down. It presents the blank opposes compression much better than tension.

3.3 Effects of designed factors on spring-back angle

The spring-back angle (θ) evaluation of sheet metal with circular holes in the fold zone during the L-shape bending process has been analyzed according to the above mathematical model. Figure 6 shows the response surface and contour plot for the spring-back angle in

relation to die corner radius (R_D) and diameter of hole (D_H) with the blank thickness and number of holes maintained at middle levels. The die corner radius (R_D) determines the quantity of bend radius. Therefore, it displays the lower bending moment in the fold zone under the large bend radius with the experimental parameters maintained at constant. When the blank is deformed, it is first elastically deformed and then plastically. The lower bending moment is unable to remain the plastic component of the deformation permanently. In the Fig. 5, an increase of die corner radius reduces the amount of bending moment with the result that the spring-back angle generally increases. This is the reason that the elasticity effect within the material is strengthened under the lower bending moment. From Fig. 5, the value of spring-back angle is shown to quickly increase with increase of hole diameter for any value of die corner radius.

Figure 6 depicts the effects of blank thickness (t) and diameter of hole (D_H) with the die corner radius and number of holes maintained at middle levels. The value of spring-back angle decreases with the increase of blank thickness. Especially, it will be obvious while the fold zone possesses large diameter of holes. In Fig. 6, it can also be seen that the value of

spring-back angle increases with an increase of the hole diameter.

The response surface and contour plot, as shown in Fig. 7, reveals the spring-back angle (θ) between the effect of number (N_H) and diameter of hole (D_H), while the die corner radius and blank thickness are kept at the middle level. From this figure, it is clear that the value of spring-back angle increases with the increase in the number and diameter of holes. Increasing the number and diameter of holes results in lower yield load due to the change of buckling subjected to bending moment [18, 19]. The increasing trend caused by the diameter of holes has more significant than the number of holes. While the number of holes was set up, the large diameter of holes reduces the deformed area of fold zone. As a result of lower deformed area, the values of spring-back angle caused by the diameter of holes are almost larger than the number of holes. Both lower level of number and diameter of holes favor lower value of spring-back angle.

4. Confirmation run

The confirmation run experiments were performed in order to verify the adequacy of the quadratic mathematical model obtained by using the experimental

data in this study. Four confirmation runs were performed here, and the conditions were depicted in Table 5. The test conditions for the first three confirmation experiments were among the preparation conditions that were set between (+1) and (-1) level. The remaining additional experiment is a condition that has not cut any circular hole on the bending surface of blank but is within the range of the levels defined previously. The predicted values and the associated prediction interval are based on the quadratic mathematical model developed previously. The predicted values and the actual experimental values were compared, and the residual and the percentage error were calculated as listed in Table 5. The percentage error between the actual and predicted value for spring-back angle is -4.45 to 3.40%. Thus, it can be said that the quadratic mathematical model developed were reasonably accurate; all actual values for the confirmation runs are within the 95% prediction interval.

5. Conclusions

In this study, an effective procedure of response surface methodology (RSM) has been proposed for modeling and investigating the bending performances of the circular holes in the fold zone during

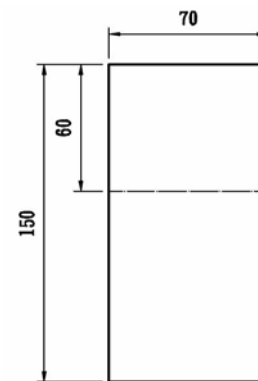
the L-shape bending process. The results can be concluded as follows:

- (1) The quadratic mathematical model for the spring-back angle were verified by using the analysis of ANOVA and the confirmation run experiments, and can be utilized to predict the experimental values within the 95% accurate interval.
- (2) The value of spring-back angle decreases with the increase of blank thickness, but generally increases with the increase of die corner radius.
- (3) Increasing both the number and diameter of holes favors higher value of spring-back angle.

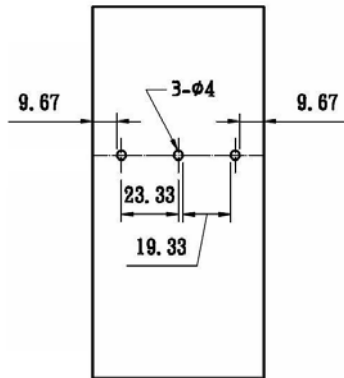
References

- [1] Lange K, Pohlandt K, Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill, New York, 1985.
 - [2] Kalpakjian S, Manufacturing process for engineering materials, 2nd edn. Addison-Wesley, USA, 1991.
 - [3] Beddoes J, Principles of Metal Manufacturing Processes, Arnold, London, 1999.
 - [4] Hambli R, Mkaddem A, Potiron A, Damage prediction in L-bending processes using FEM. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2003;22:12–19.
 - [5] Li X, Yang Y, Wang Y, Bao J, Li S, Effect of the material hardening mode on the springback simulation accuracy of V-free bending. Journal of Materials Processing Technology 2002;123:209–211
 - [6] Tekiner Z, An experimental study on the examination of spring-back of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies. Journal of Materials Processing Technology 2004;145:109–117.
 - [7] Inamdar MV, Date PP, Sabnis SV, On the effects of geometric parameters on spring-back in sheets of five materials subjected to air bending. Journal of Materials Processing Technology 2004;123:459–463.
 - [8] Bui QV, Papeleux L, Ponthot JP, Numerical simulation of spring-back using enhanced assumed strain elements. Journal of Materials Processing Technology 2004; 153–154: 314–318
 - [9] Cho JR, Moon SJ, Moon YH, Kang SS, Finite element investigation on spring-back characteristics in sheet metal U-bending process. Journal of Materials Processing Technology 2003;141:109–116.
 - [10] Papeleux L, Ponthot JP, Finite element simulation of spring-back in sheet metal forming. Journal of Materials
-

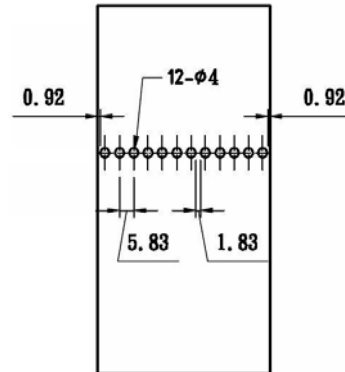
- Processing Technology 2002; 125–126: 785–791.
- [11] Cai ZY, Wang SH, Li MZ, Numerical investigation of multi-point forming process for sheet metal: wrinkling, dimpling and spring-back. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2008;37:927–936
- [12] Myers RH, Montgomery DC, Response surface methodology, process and product optimization using designed experiments. Wiley, New York, 1995.
- [13] Montgomery DC, Design and analysis of experiments, 5th edn. Wiley, New York, 2001.
- [14] Ohata T, Nakamura Y, Katayama T, Nakamachi E, Development of optimum process design system for sheet fabrication using response surface method. Journal of Materials Processing Technology 2003; 143–144: 667–672.
- [15] Lepadatu D, Hambli, Kobi A, Barreau A, Optimisation of spring-back in bending processes using FEM simulation and response surface method. Int International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2005; 27: 40–47.
- [16] Bahloul R, Ben-Elechi S, Potiron A, Optimisation of spring-back predicted by experimental and numerical approach by using response surface methodology. J Mater Process Technol 2006;173:101–110
- [17] Mkaddema A, Saidane D, Experimental approach and RSM procedure on the examination of spring-back in wiping-die bending processes. Journal of Materials Processing Technology 189 (2007) 325–333
- [18] Komur MA, Sonmez M, Elastic buckling of rectangular plates under linearly varying in-plane normal load with a circular cut out. Mech Res Commun 2008;35:361–71
- [19] Maiorana E, Pellegrino C, Modena C, Elastic stability of plates with circular and rectangular holes subjected to axial compression and bending moment. Thin-Walled Structures 2009;47:241–255



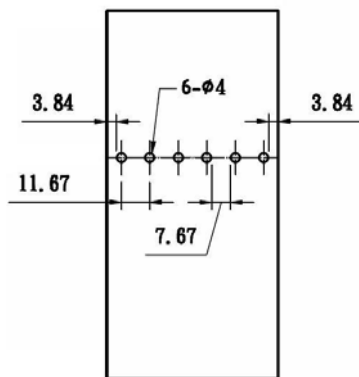
(a)



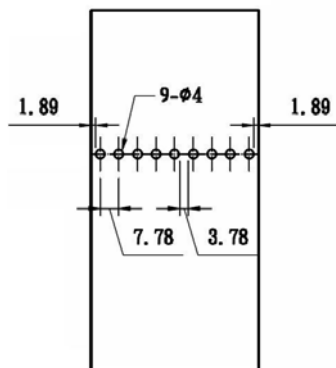
(b)



(e)



(c)



(d)

fig.1 The positions of desired circular holes with different number of hole (N_h) (a) 0, (b) 3, (c) 6, (d) 9 and (e) 12.



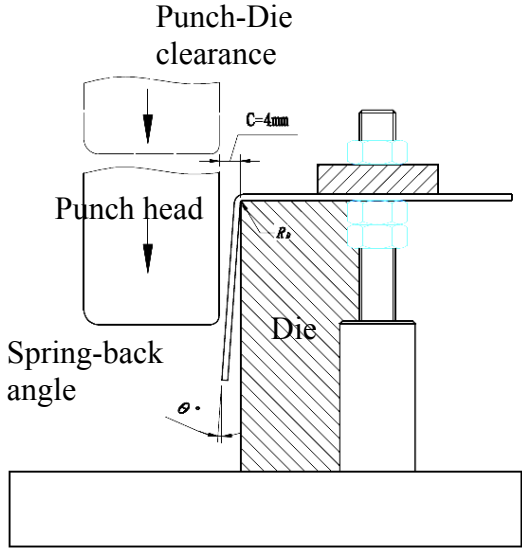


Fig. 2 The profile of the die, the punch head, and the blank.



Fig. 3 The vision measuring machine (Mimn Tay EM-2D)

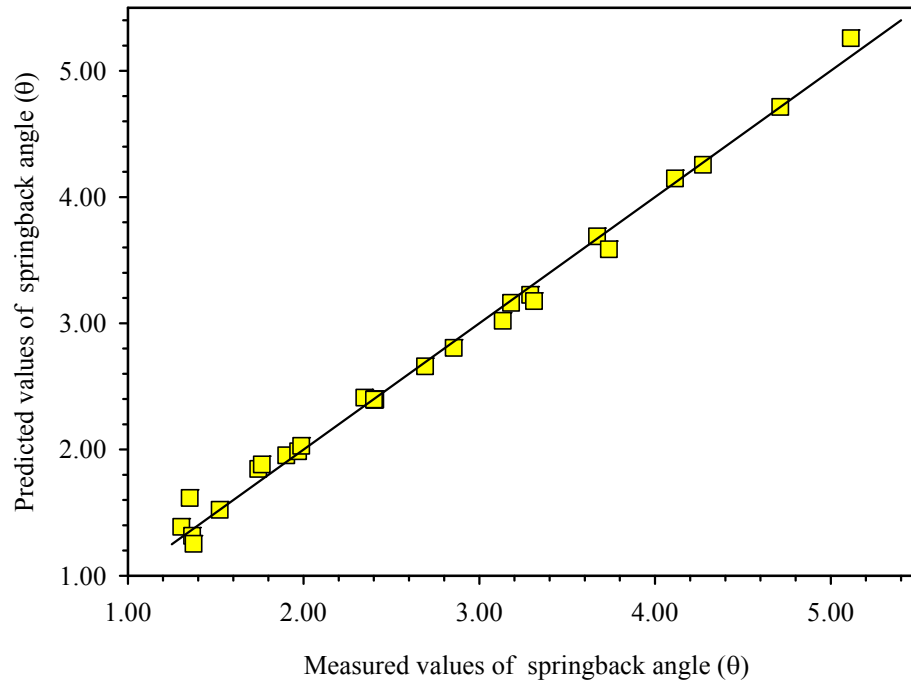


Fig. 4 The comparison of the measured and predicted values of spring-back angle (θ).

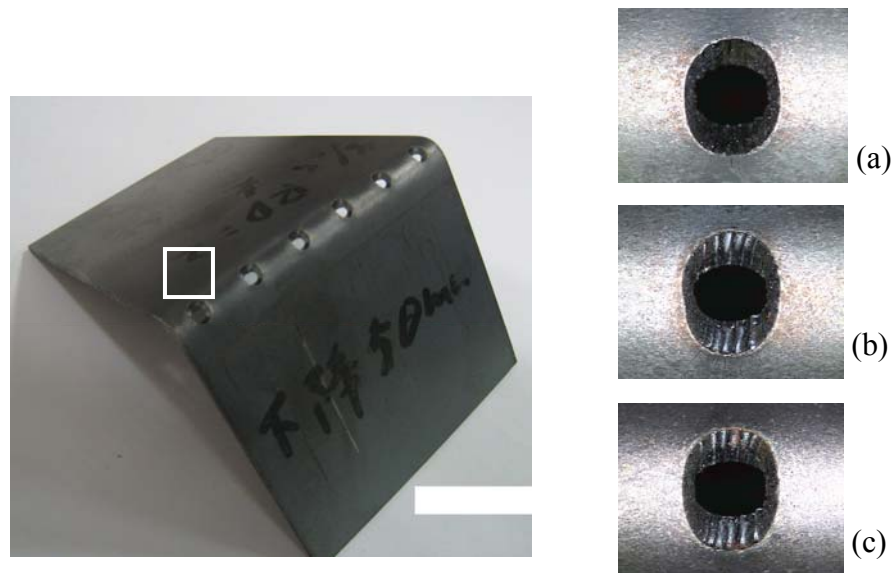


Fig. 5 The deformation of circular holes in the bending surface under the different stroke of punch (a) 10 mm, (b) 30 mm and (c) 50 mm.

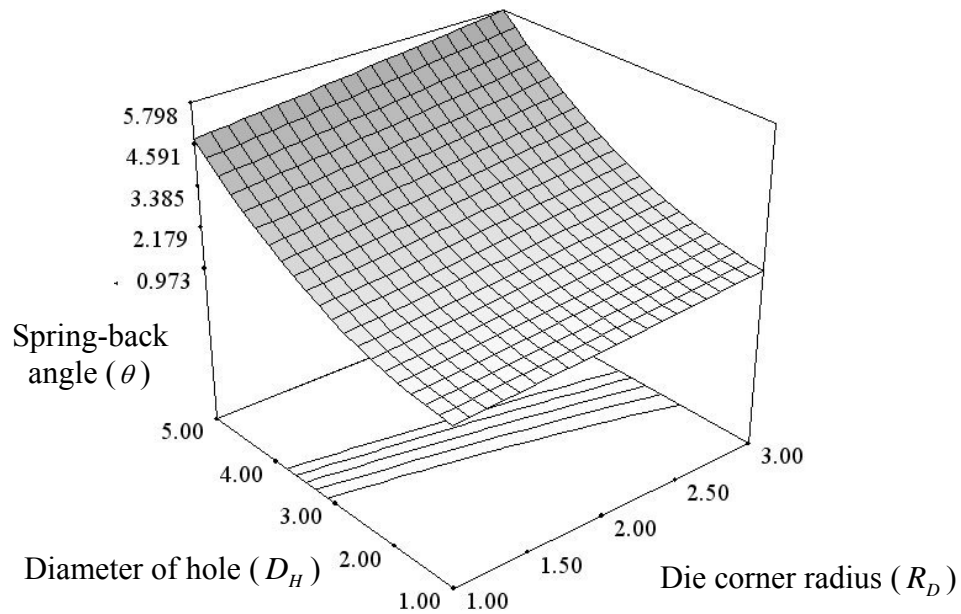


Fig. 6 Response surface of the spring-back angle (θ) between the effect of die corner radius (R_D) and Diameter of hole (D_H) at $t=2$ mm and $N_H=6$.

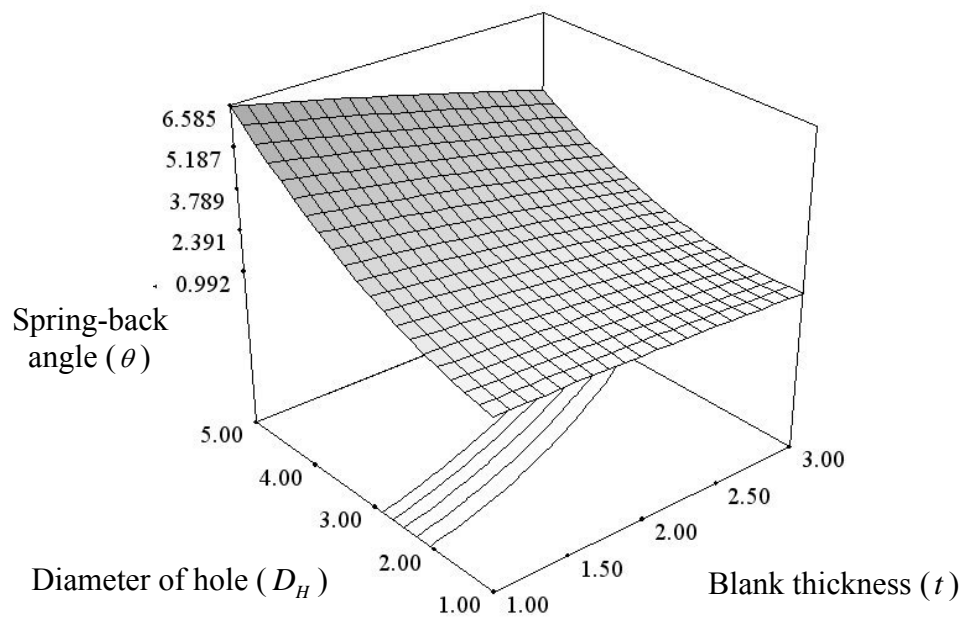


Fig. 7 Response surface of the spring-back angle (θ) between the effect of blank thickness (t) and diameter of hole (D_H) at $D_D=2$ mm and $N_H=6$.

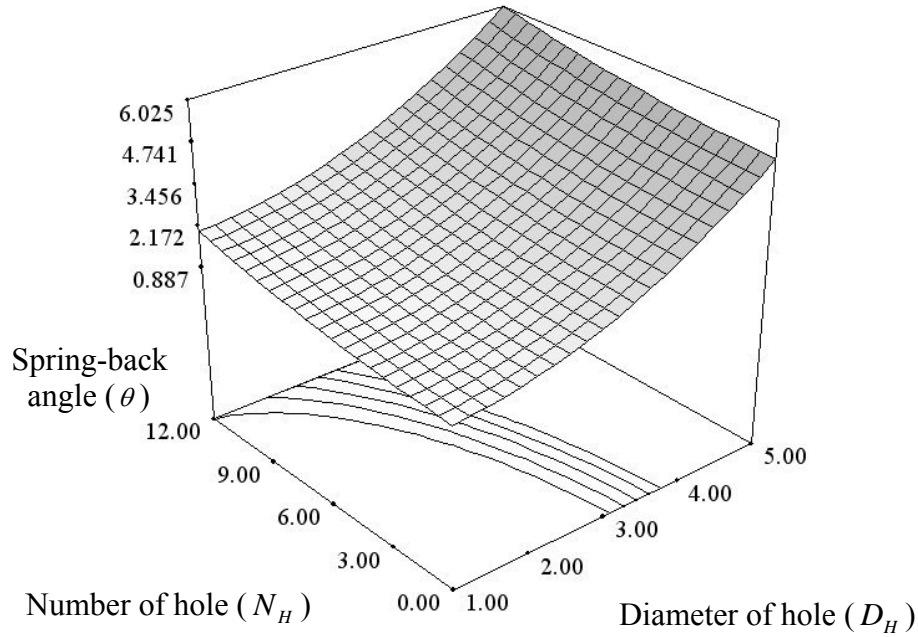


Fig. 8 Response surface and contour plot of the spring-back angle (θ) between the effect of number (N_H) and diameter of hole (D_H) at $R_D=2$ mm and $t=2$ mm.

Table 1 the processing conditions

Working conditions	Unit	Description
Material		SS400
Speed of punch	mm/s	1
Stroke of punch	mm	60
Force of punch	kN	15
Packing time of punch	s	1
Lubricant		Dry
Punch-Die clearance (C)	mm	4
Punch radius (R_p)	mm	3
Die corner radius (R_D)	mm	1-3
Blank thickness (t)	mm	1-3
Diameter of hole (D_h)	mm	1-5
Number of hole (N_h)		0-12

Table 2 Scheme of designing parameters and their levels

Parameters	Unit	Levels				
		-2	-1	0	+1	+2
Die corner radius (R_D), X_1	mm	1	1.5	2	2.5	3
Blank thickness (t), X_2	mm	1	1.5	2	2.5	3
Diameter of hole (D_H), X_3	mm	1	2	3	4	5
Number of hole (N_H), X_4		0	3	6	9	12

Table 3 Design layout and experimental results.

Run	Coded factors				Actual factors				Response variables
	X_1	X_2	X_3	X_4	R_D	t	D_H	N_H	θ
1	-1	+1	+1	+1	1.5	2.5	4	9	3.290
2	+1	-1	+1	-1	2.5	1.5	4	3	4.113
3	0	0	0	-2	2	2	3	0	1.986
4	-1	-1	+1	+1	1.5	1.5	4	9	4.273
5	+1	-1	+1	+1	2.5	1.5	4	9	4.712
6	-1	+1	+1	-1	1.5	2.5	4	3	2.692
7	0	0	0	0	2	2	3	6	2.406
8	0	0	+2	0	2	2	5	6	5.113
9	0	0	0	0	2	2	3	6	2.408
10	+1	+1	+1	-1	2.5	2.5	4	3	3.133
11	+2	0	0	0	3	2	3	6	2.854
12	+1	-1	-1	+1	2.5	1.5	2	9	2.345
13	0	0	0	0	2	2	3	6	2.406
14	0	0	0	+2	2	2	3	12	3.181
15	-2	0	0	0	1	2	3	6	1.968
16	-1	+1	-1	+1	1.5	2.5	2	9	1.522
17	0	+2	0	0	2	3	3	6	1.352
18	+1	-1	-1	-1	2.5	1.5	2	3	1.742

19	0	-2	0	0	2	1	3	6	3.311
20	-1	-1	-1	+1	1.5	1.5	2	9	1.901
21	-1	-1	-1	-1	1.5	1.5	2	3	1.304
22	-1	+1	-1	-1	1.5	2.5	2	3	1.120
23	0	0	0	0	2	2	3	6	2.401
24	0	0	-2	0	2	2	1	6	1.374
25	0	0	0	0	2	2	3	6	2.403
26	0	0	0	0	2	2	3	6	2.403
27	-1	-1	+1	-1	1.5	1.5	4	3	3.670
28	+1	+1	-1	-1	2.5	2.5	2	3	1.366
29	+1	+1	-1	+1	2.5	2.5	2	9	1.762
30	+1	+1	+1	+1	2.5	2.5	4	9	3.738

Table 4 ANOVA for the spring-back angle (θ) (after backward elimination).

Source	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F-Value	Prob. > F	
Model	32.344	7	4.620	405.509	< 0.0001	significant
X_1	1.005	1	1.005	88.237	< 0.0001	
X_2	3.648	1	3.648	320.1846	< 0.0001	
X_3	24.075	1	24.074	2112.830	< 0.0001	
X_4	1.923	1	1.923	168.779	< 0.0001	
X_3^2	1.315	1	1.315	115.413	< 0.0001	
X_4^2	0.071	1	0.0711	6.233	0.0205	
X_2X_3	0.358	1	0.357	31.402	< 0.0001	
Residual	0.251	22	0.0119			
Lack of Fit	0.251	17	0.014			not significant
Pure Error	3.381E-05	5	6.761E-06			
Cor. Total	32.595	29				

Standard. Deviation=0.106	R ² =0.992
Mean= 2.608	R ² Adjusted=0.989
Coefficient of variation= 4.092	Predicted R ² =0.982
Predicted residual error of sum of squares (PRESS)= 0.586	Adequate precision=78.512

Table 5 The results of confirmation runs

Case	Actual factors				Spring-back angle (θ)			
	R_D	t	D_H	N_H	Actual	Predicted	Residual	Error (%)
1	1.5	1.5	2	3	1.304	1.362	-0.058	-4.45%
2	2	2	3	6	2.406	2.396	0.005	0.21%
3	2.5	2.5	4	9	3.738	3.611	0.127	3.40%
4	2	2		0	1.986	2.030	-0.044	-2.22%

立方體辨識標誌之擴增實境界面設計— 以虛擬食物熱量計算器為例

李俊賢、吳宜靜、廖韻婷、何宗憲

摘要

本論文研究提出「虛擬互動式食物熱量計算器」的系統設計，讓想改善飲食的人可以透過即時的互動計算出食物的卡路里，進而控制一天所應攝取的熱量，我們的系統設計目標是操作簡單、有效、吸引人，而我們利用擴增實境的技術來開發設計。在擴增實境的應用中，辨識標誌的追蹤與攝影機觀看標誌的角度有顯著的影響，當標誌卡片傾斜，攝影機俯視的角度與卡片正面驅於水平，易造成可視面積的不足，因而無法完成位置判斷或正確識別。為了克服這些缺失，本研究提出並實作一個立方體辨識標誌技術的作法，我們將六個平面的辨識標誌整合進同一群組，形成多標誌集，從應用程式的觀點來看多標誌集的操作如同單一標誌一般，但是同時只要有集合中的一個標誌被追蹤出即可成功識別，儘管立方體標誌的追蹤技術會增加系統計算複雜度，但的確可產生較為精確與穩定的追蹤成效。

關鍵詞：擴增實境、標誌追蹤、虛擬場景、使用者界面。

李俊賢：修平技術學院數位媒體設計系助理教授

吳宜靜：修平技術學院數位媒體設計系學生

廖韻婷：修平技術學院數位媒體設計系學生

何宗憲：修平技術學院數位媒體設計系學生

投稿日期：990125 接受刊登日期 990304

Developing a Cubic Marker Interface for Augmented Reality and Case Study on Virtual Calculator to Food Calories

Jiunn-Shyan Lee, Yi-Ching Wu, Yun-Ting Liao,
Tsung-Hsien Ho

Abstract

In the paper we propose a system of virtual calculator to food calories. The interactive system assists person who wants improving the diet with controlling the calories ingested a day. The system goal aims at executing easily, effectively and attractively. Thus we adopt the technique of augmented reality to fulfill this goal. Marker tracking is significant affected by its orientation relative to the camera in AR application. As the markers become more tilted and horizontal, less and less of the center patterns are visible. Consequently the recognition becomes more unreliable. We propose a cubic marker design to tackle the aforementioned problem in this study. We combine six planar markers into a multi-marker set. From an application point of view this multi-marker set is treated as a single marker. Once one or more markers of this set are visible, the tracking can be fulfilled. Despite cubic marker tracking increases the computational load, our method results in considerably more accurate and robust tracking.

Keywords: augmented reality, maker-based tracking, virtual environment, user interface.

Jiunn-Shyan Lee, Assistant Professor, Department of Digital Media Design, HIT.
Yi-ChingWu, Student, Department of Digital Media Design, HIT.
Yun-Ting Liao, Student, Department of Digital Media Design, HIT.
Tsung-Hsien Ho, Student, Department of Digital Media Design, HIT.

1. 前言

現代人工作忙碌，生活步調緊張，缺乏運動與暴飲暴食，飲食經常過度油膩、調味、高油、高鹽，長期下來我們的身體已經在不知不覺中攝取過多的熱量、脂肪。長期攝取高熱量、高脂肪及低纖維食物的結果，便容易引起如體重過重、心血管疾病、糖尿病，甚至癌症等各種文明病，於是各式各樣的呼籲聲四起，卻礙於某些因素無法引起人們的高度重視。根據行政院衛生署的資料，成人男性一天適當攝取的熱量為 2550 大卡，成人女性則為 2050 大卡，健康飲食的第一步，就是要先認識我們每日每餐吃了什麼，熱量有多少。大部份人作法就是查資料或上網搜尋，想知道熱量就得自行加總計算，不但費時又不方便容易出錯，而導致意興闌珊因而忽略，不去重視健康。

本文研究目標為發展一套「虛擬互動式食物熱量計算器」的系統，讓想改善飲食的人可以透過即時的互動計算出食物的卡路里，進而控制一天所應攝取的熱量，系統設計目標是操作簡單、有效、吸引人，最終我們採用擴增實境(Augmented Reality)的技術來加以設計。如圖 1 所示，使用者透過辨識標誌之操作過程，可充份自由轉動、移動、變換所要呈現的虛擬物件與真實場景中之位置關係，也因為這樣

簡易的互動操作方式，更適合於一般非專業特定人士的使用，除個人家庭利用外更可架設安裝於教育導覽與推廣等公共場所。本系統最主要特色為操作容易具有高度互動性，真實與虛擬的結合可讓人有臨場感，市面上僅見的熱量計算方式可充份吸引使用者。

進年來由於電腦圖學三維繪圖能力的大幅提升，以及電腦視覺影像辨識能力的不斷增強，也因此無形中造成擴增實境的技術與應用在各領域的研究逐漸加溫 [6]，例如：電腦科學、工業設計、互動藝術。藉由擴增實境技術可以將電腦計算產生的虛擬三維物體重疊顯現在真實環境影像中，因此擴增實境技術比起完全模擬的虛擬實境(Virtual Reality)，除可以帶給使用者強烈的臨場感受外，更能提高使用者的互動與操作便利性，加速成像計算所需時間，提升更高的畫面更新率。

以目前較為周知與大多數使用的是 ARToolKit 軟體[1, 2, 3, 8]，它是由華盛頓大學人機介面實驗室(University of Washington, Human Interface Technology Laboratory)所開發出來的一套軟體發展套件(SDK)，該程式庫是以 C/C++語言所發展而成，該程式庫最主要目的為追蹤攝影機與辨識標誌(marker)的相對位置與方向，並提供函式讓系統開發者來建立一套擴增實境界面的應用程式。在本系統設計

實作上是以 ARToolKit 與 ARToolKitPlus [11]為影像識別核心程式庫，該軟體套件仰賴平面辨識標誌，並使用影像識別技術，並進一步計算出攝影機與辨識標誌的相對方向位置，來做為欲重疊的虛擬物件之定位。所以卡片使用上的限制條件影響系統的穩定性，如卡片圖像內容、實體卡片大小等，雖然提升攝影機的畫素品質與增加卡片大小有助於提升卡片辨識效能，但對於某些情況仍有其先天上限制，例如俯視的角度與卡片正面驅於水平，造成可視面積不足無法判別，如圖 2 所示，或者仰視時觀看到卡片之背面，造成無法觀看虛擬物件之底部等。為了克服這些缺失，本文研究提出並實作一個使用立方體辨識標誌的作法，該立方體標誌是由原本使用的六個不同平面卡片所組成，經過組合改良設計後，除能改善提高識別的精準度，也能維持系統執行成像的穩定度。



圖 1 虛擬互動式食物熱量計算器系統操作畫面

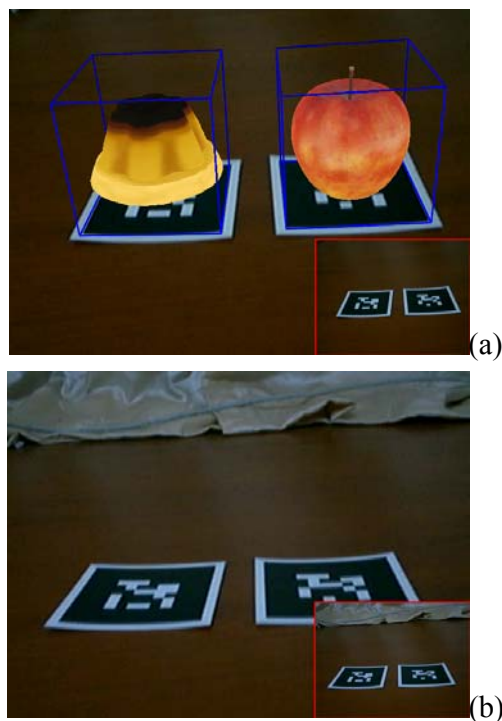


圖 2 (a)經成功辨識後重疊之三維物件，右下縮圖為輸入影像串流 (b) 角度趨於水平造成辨識失效

2. 背景知識

2.1 擴增實境

虛擬實境的主要目的是讓使用者完全的沈浸在一個完整的虛擬世界，虛擬世界則是仿效真實環境的一切，且試圖用電腦圖學模擬創造一個真實環境。相反的，擴增實境則是利用真實環境的物理屬性，加上電腦視覺(Computer Vision)、影像處理(Image Processing)與電腦圖學(Computer Graphics)技術的整合，將所需虛擬物件與真實環境做整合，創造出虛擬

和實體共存的結果輸出影像，並允許使用者在此空間與虛擬物件有即時性的互動，相較虛擬實境需產生計算出完整的三維世界，擴增實境因而有了執行速度上與場景建置上的優勢。

虛擬實境企圖取代真實的世界，而擴增實境卻是在實境上擴增資訊，設法將電腦圖像與文字加到使用者觀察周遭環境所產生的畫面上，一種完全不同類型的使用者界面正風行，對未來電腦的發展應用與人類跟電腦的互動，將有更深遠的影響。它的應用是無限的，例如：外科醫生只要檢視即時的內臟超音波掃描，就能看到等同於 X 光照出來的影像重疊在病人身體上[5]；電腦遊戲玩家可以玩街頭巷戰，一面和幾頭三公尺高的異形交戰，一面走路去上班。所以說在正確的時間、地點取得正確的資訊，正是所有這類應用程式的關鍵之一。

以光學類的定位技術而言，通常是使用攝影機來代表使用者的視點，並藉由定位圖形作為攝影機感測真實環境空間的媒介。由於電腦攝影機或行動裝置的配備攝影機通常解析度不高，因此定位圖形應該具備下列特性：

- (1). 適用於低解析度的截取設備，定位圖形要色彩單調、結構簡單，不可過於複雜。
- (2). 易在影像中被偵測出，定位圖形應該

使用容易擷取的特徵來設計。

- (3). 只需使用區域的資訊特性，若需看到完整定位圖形才能辨識，則攝影機視點容易受限於定位圖形的面積大小、個數與擺放角度。
- (4). 圖形需能被唯一決定，才能達到高的辨識正確率，且不容易搞混。
- (5). 除正確的辨識出定位圖形，精確地推測其位置，也能將虛擬資訊精確地重疊於真實環境影像。

2.2 AR 發展應用

擴增實境系統中的透視顯示器必須能呈現虛擬與真實資訊的結合，雖然這類顯示器以目前來講普及的雖是手持式或固定式螢幕，但最常見的專業研究機構還是會選擇使用戴在頭上，這類顯示器通常稱為頭戴式顯示器 (Head Mounted Display, HMD)。常見的擴增實境應用包含行車導航、醫療、教育繪本、互動遊戲、建築設計、展示導覽、廣告行銷等領域，都有許多潛在的擴增實境創新應用實例被開發，而每種應用都可能激發出更多創新服務的應用市場產生。

早期的雛型系統代表 MagicBook，是由華盛頓大學人機介面實驗室[1]所研發出的一種混合實境界面。此界面透過手握式顯示器 (Hand Held Display, HHD) 和一本真實的書，將使用者帶進一個真實和虛擬共存的環境，沈浸於虛擬環境中。

MagicBook 以書當作一個主要互動界面,使用者可無需配帶任何設備翻閱此書時,如同查閱真實的書本。然而,如果使用者藉由手握式顯示器去觀看此書時,顯示器會將所擷取的影像傳送至電腦處理過後,將虛擬物件模組重疊於影像中的圖形上,最後將影像傳送回手握式顯示器上,如此使用者將會神奇的發現虛擬物件活躍於書頁上,以此類型為主的延伸應用常見的有廣告型錄、教育繪本等,而近年來 AR 的應用發展已成功開拓於互動遊戲與手機平台上。藉由這些擴增實境的應用與設計可讓使用者更直覺的操作,進行更有效的通訊溝通,增進互動性與提升即時性的回饋需求。

近年來在 3D marker 的相關研究應用包含, Toishita[9]等人使用三維標誌當成參考點以進行影片拍攝時攝影機的校正與追蹤, Uranishi[10]等人利用三維標誌與光亮地板的相互反射估計值以進行成像計算, Yasumuro[14]等人使用四面的 2D marker 與置於上方的反光鏡球,以求得幾何位置與光照情況,並展示其於室內設計之互動 AR 應用。

3. 系統設計

3.1 ARToolKit 原理

目前在擴增實境的應用中,普遍使用

ARToolKit 系統來開發,這類系統的定位圖形通常是以一個正方形的邊框包含著多樣化的圖案來構成[4]。其優點是能在小區域內即提供有意義的內容識別資訊,且方框容易偵測其空間位置。缺點即是通常需要看到全貌才能夠判別,不能只看部份或有遮蓋的情況發生,此外加上圖形面積小,攝影機可視的範圍便會隨著定位圖形的多寡以及擺放的方式而有所侷限。

ARToolKit 應用程式最主要功能為允許虛擬物件重疊於真實世界的影像串流中,其中的訣竅是使用黑色方框的追蹤標誌,如圖 3 所示,而其最主要追蹤流程概述如下:

- (1). 程式首先會由相機鏡頭,以影像串流的方式,將鏡頭所拍的連續影像以一定速率截取。
- (2). 程式接著將截取到的彩色影像,根據所設定的門檻值(threshold),轉換成黑白影像,接著在黑白影像中搜尋有無任何矩形區域。
- (3). 接著會進一步辨認該矩形內部是否有先前設定的特定圖案,若圖案吻合,則開始計算攝影機與辨識標誌的相對方向位置,最後得到一個變換矩陣(transformation matrix)。
- (4). 接著依據卡片中的圖案所對應的虛擬物件,程式利用先前存在變換矩陣

的資料進行處理，將虛擬物件設置於正確的位置、方向與大小。

- (5). 程式可將虛擬物件繪製在剛才擷取出的畫面中，如此就可以產生虛擬物件與現實卡片標誌構成良好的重疊效果。
- (6). 最後將繪製出的圖像畫面輸出至螢幕或頭戴顯示器，此時使用者觀察得到虛擬物件剛好重疊落在卡片的正上方。



圖 3 系統架構與流程

3.2 立方體辨識標誌設計

本研究的系統設計將多個辨識標誌整合進同一群組，形成多標誌集 (multi-marker set)，從應用程式的觀點來看多標誌集的操作如同單一標誌一般，因此同時間只要有集合中的一個標誌被追蹤識別出即可，因每個辨識出結果皆需進一步處理，所以會增加系統計算的負載量，但的確可產生較為精確與穩定的追蹤結果供使用。雖然多標誌集的設計以共平面的作法較為簡易，但衍生的成效有限，於是我們採用立方體的設計架構，如此設

計經實驗證明產生的優點有：只需使用局部辨識標誌資訊便可定位，且系統的辨識演算法實作也較為簡易。

由於在擺放定位圖形時，必須考慮到至少要能從擷取影像中辨識出一個以上的定位圖形，當採用立方體的設計架構時，無論攝影機從那個角度觀看多標誌集，一定至少會有一個面被看見，這是採用立方體辨識標誌作為我們設計的最主要原因。此外在系統中還要進一步對這些小的定位圖形個別設定它們在 3D 環境中的空間座標或變換矩陣，以利判讀與中心座標計算，其使用齊次座標系與變換矩陣的作法，說明如下：

方程式(1)為立方體中心平面 P 先經過旋轉與移動後的新位置 P' ，如圖 4 所示，其中變換矩陣 $R_z(\alpha)$ 、 $R_y(\beta)$ 、 $R_x(\gamma)$ 、 $T(d_x, d_y, d_z)$ 分別為對三軸旋轉與移動的變換矩陣操作，詳列於方程式(2)到(5)，經過整理最後如表 1 所列，為構成立方體的表面六面 $\{A, B, C, D, E, F\}$ 所設定使用的變換矩陣參數，特別說明的是其旋轉方式並非唯一，但結果會相同。當我們利用方程式(1)並代入表 1 所列的參數，可得到立方體各面的變換矩陣，利用反矩陣的操作方式如方程式(6)所示，可由不同的偵測面位置反推論出原本立方體的中心點，可據此擺放一個三維虛擬物件。

$$P' = T(d_x, d_y, d_z)R_x(\gamma)R_y(\beta)R_z(\alpha)P \quad (1)$$

$$R_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_x(\gamma) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T(d_x, d_y, d_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$P = R_z^{-1}(\alpha)R_y^{-1}(\beta)R_x^{-1}(\gamma)T^{-1}(d_x, d_y, d_z)P' \quad (6)$$

$$= R_z(-\alpha)R_y(-\beta)R_x(-\gamma)T(-d_x, -d_y, -d_z)P'$$

表 1 立方體六面使用的設定參數

六個面	變換矩陣的參數值
top A	$\alpha=0, \beta=0, \gamma=0, d=(0, 0, c)$
bottom B	$\alpha=0, \beta=0, \gamma=180, d=(0, 0, -c)$
front C	$\alpha=0, \beta=0, \gamma=90, d=(0, -c, 0)$
back D	$\alpha=180, \beta=0, \gamma=-90, d=(0, c, 0)$
left E	$\alpha=90, \beta=90, \gamma=0, d=(c, 0, 0)$
right F	$\alpha=-90, \beta=-90, \gamma=0, d=(-c, 0, 0)$
參數 c 表立方體長度的一半	

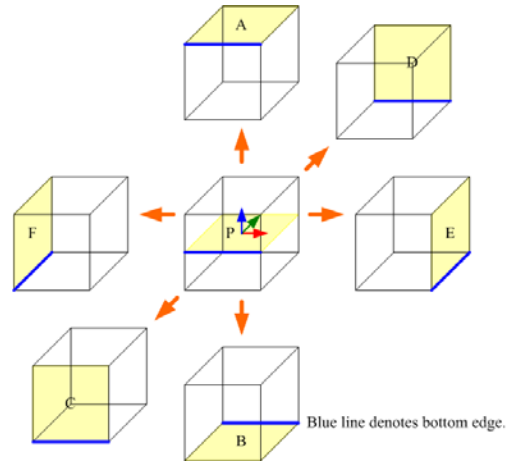


圖 4 立方體辨識標誌的設計架構

4. 結果與討論

4.1 系統開發環境

本系統開發與實驗所用的軟硬體環境設備包括：個人電腦，搭配網路攝影機，辨識標誌使用平面與立方體架構。系統程式是改良 ARToolkitPlus SDK 進行攝影機與辨識標誌的相對位置追蹤，三維繪圖使用 OpenGL 來執行成像計算，並採用 MS Visual Studio 2005 進行編譯，3D 模型則採用 Maya 與 3DS Max 進行建模，辨識標誌輸出大小為 60×60×60 的立方體架構。

在一般使用者端無需再安裝其他系統軟體工具只需電腦、攝影機、辨識標誌、本研發系統，即可進行操作使用。經實驗在一般等級電腦與攝影機環境下，其

畫面截取、追蹤識別計算與三維成像繪圖皆可達成每秒 30 畫面的即時更新率，符合實際運作需求。

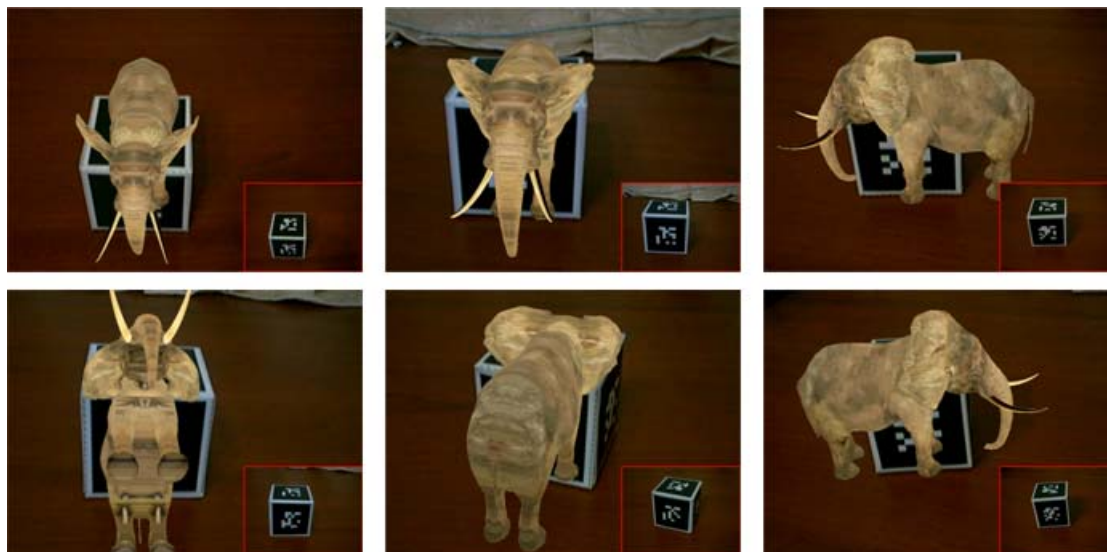


圖 5 從六個面觀看立方體辨識標誌的結果，右下縮圖為輸入影像串流

如圖 5 所示為我們雛型系統的實驗結果，從中可以展示出系統有不錯的成效，的確可成功並滿足擴增實境操作界面的應用需求，並成功解決原本 ARToolkit 與 ARToolkitPlus 目前大部份開發系統所採用平面方框衍生的侷限缺點，即通常需要看到全貌才能夠判別，不能只看部份或有遮蓋的情況發生，由我們實驗結果中已充份證明本論文提出的立方體辨識標誌技術可改善這些情況，如表 2 所示為針對平面型的標誌與所提出的立方體標誌架構的完整效率比較表。

表 2 立方體標誌與平面標誌之比較

	立方體標誌	平面標誌
辨識時間	低於 0.01sec	低於 0.01sec
可辨識垂直夾角	正負 90 度	正負 60 度
可辨識水平夾角	正負 90 度	正負 60 度

4.2 系統功能設計

我們嘗試設計了三個不同型式的食物熱量計算 AR 子系統：書籍導覽式、紙卡互動式與立方體互動式，如圖 6 所示。

在書籍導覽式的 AR 系統，我們設計製作了一本精緻的食物簡介書籍供使用者進行翻閱與互動操作，如此使用者將會神奇的發現虛擬物件活躍於書頁上，除了可藉由系統輸出畫面觀察到 3D 食物模型的全貌與卡路里資訊外，使用者更可如同閱讀一本書籍一般，瞭解到食物營養成分與特性，有助於讓使用者更清楚的知道食物成份，正確攝取每日所需的營養。

在紙卡互動式的 AR 系統，我們為每一種食物製作了一張代表卡片，使用者可依據每日或每餐所食用的全部飲食將其排列出，然後系統會自動呈現出卡片所對應的 3D 食物模型，以及全部加總的熱量攝取資訊。擴增實境是在實境上擴增資訊，我們設法將電腦三維圖像與文字訊息加諸到使用者所觀察到的周遭真實環境，此種類型的使用界面可擴增人類與電腦間的互動關係，互動所產生的畫面則充份引發人們的高度探索興趣。

立方體互動式的 AR 系統則是為改良紙卡互動式的 AR 系統之缺失，而導入了立方體辨識標記的開發技術。在擴增實境的應用中，大多使用平面的卡片，但在卡片傾斜的角度過大情況下，容易造成卡片位置的辨識失敗，所以本系統使用了如上所述的立方體辨識技術，以求達成在辨識上較為精確且穩定的結果，同時在操作上也會比平面卡片具較佳的互動性。



(a)



(b)



(c)

圖 6 系統執行畫面：(a)書籍導覽式子系統 (b) 紙卡互動式子系統 (c) 立方體互動式子系統

5. 結論與未來工作

5.1 結論

我們實作了三個不同類型的食物熱量計算器 AR 子系統，包含書籍導覽式、紙卡互動式與立方體互動式，本系統可讓想改善飲食的人可以透過即時的互動計算得知食物的卡路里，進而控制一天所應攝取的熱量，我們的系統成功達成操作簡單、有效、吸引人的設計目標。本系統的潛在用戶為想知道每日或每餐食物攝取熱量的人員如醫生、營養師，體重過重或過輕一直想改善飲食或控制熱量的人，或是年輕學子可讓他們有基本的食物飲食概念達到教育目的，這些有需求的人士都可利用本系統達成即時互動的食物攝取熱量訊息。

除此之外，本論文提出了一個使用立方體辨識標誌技術的擴增實境界面系統，此系統可大幅增強辨識的成功準確率，克服一般平面卡片型的先天使用困境。由於使用立方體辨識圖形之特性，攝影機只需觀察到定位圖形的其中一個辨識圖面，即立方體六面中的一面便可執行攝影機之定位，此特性解決了一般平面卡片型的擴增實境應用，其必須看到一個完整的小定位圖形才可完成定位的缺點。而我們所提出的設計方法除攝影機對標誌物的視點可不受侷限外，同時也讓使用者

由下往上仰視三維物體的操作需求變為可能，方便使用者更容易在虛擬場景中進行互動操作。

5.2 未來方向

本研究目前初步實作與運行於桌面電腦平台，並已成功驗證其理論方法的可行性，未來需求可將本研究之方法落實建置在手持式行動裝置上，擴大一般使用者的應用層面[7, 12, 13]。在系統核心開發完成同時，未來我們更將規劃建置開發更多完整的應用實例，例如：AR 電子書、教育學習軟體、遊戲娛樂、互動藝術等 AR 的延伸應用，以充份驗證核心系統的可行性與應用層面。

參考文獻

- [1] M. Billinghurst, H. Kato, and I. Poupyrev, "The MagicBook - Moving Seamlessly between Reality and Virtuality," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol 21, No 3, pp. 6-8, 2001.
- [2] M. Billinghurst, A. Cheok, H. Kato, and S. Prince, "Real World Teleconferencing," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol 22, No 6, pp. 11-13, 2002.
- [3] M. Billinghurst and H. Kato, "Collaborative Augmented Reality,"

- Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 7, pp. 64-70, 2002.
- [4] M. Fiala, "ARTag, a Fiducial Marker System Using Digital Techniques," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 590-596, 2005.
- [5] D. Kalkofen, E. Mendez, and D. Schmalstieg, "Comprehensible Visualization for Augmented Reality," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15, No. 2, pp. 193-204, 2009.
- [6] T. Lee and T. Hollerer, "Multithreaded Hybrid Feature Tracking for Markerless Augmented Reality," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15, No. 3, pp. 355-368, 2009.
- [7] M. Moehring, C. Lessig, and O. Bimber, "Video See-Through AR on Consumer Cell Phones," in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 252-253, 2004.
- [8] I. Poupyrev, D. S. Tan, M. Billinghurst, H. Kato, H. Regenbrecht, and N. Tetsutani, "Developing a Generic Augmented-Reality Interface," *IEEE Computer*, Vol. 35, No. 3, pp. 44-50, 2002.
- [9] W. Toishita, Y. Momoda, R. Tenmoku, F. Shibata, H. Tamura, T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya, "A Novel Approach to On-site Camera Calibration and Tracking for MR Pre-visualization Procedure," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5622, pp. 492-502, 2009.
- [10] Y. Uranishi, A. Ihara, H. Sasaki, Y. Manabe, and K. Chihara, "Real-time Representation of Inter-reflection for Cubic Marker," in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 217-218, 2009.
- [11] D. Wagner and D. Schmalstieg, "ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices," in *Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop*, pp. 139-146, 2007.
- [12] D. Wagner and D. Schmalstieg, "Making Augmented Reality Practical on Mobile Phones, Part 1," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 29, No. 3, pp. 12-15, 2009.
- [13] D. Wagner and D. Schmalstieg, "Making Augmented Reality Practical on Mobile Phones, Part 2," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 29, No. 4, pp. 6-9, 2009.
-

- [14] Y. Yasumuro, Y. Ishikawa, M. Imura, K. Minami, Y. Manabe, and K. Chihara, "Consistent Presentation of Interactive Virtual Objects in Real Space with 3D Markers," *Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers*, Vol. 57, No. 10, pp. 1307-1313, 2003

多伺服器環境中的使用者身分 認證協議之研究

陳德祐、李正吉、王鵬程

摘 要

現今的網路架構有傾向於朝分散式環境發展的趨勢，在這個架構下，系統的資源以及服務分散在多個伺服器上，由這些伺服器共同合作提供使用者需要的資源或服務。因此，多伺服器環境中的使用者身分認證協議成為網際網路應用上一個相當重要的研究議題，近十年來，吸引了相當多的學者致力於此一議題的研究，並且已經有相當豐富的研究成果，然而，這些方法存在相當多的改善空間，例如安全性、效率以及使用者隱私等面向。在這篇文章中，我們將針對目前已提出的多伺服器環境中的使用者身分認證方法進行分析以及比較，指出這些方法的優缺點，並提出在此一環境中的使用者身分認證研究上幾個未來值得繼續深入探討的重要議題。

關鍵詞：使用者身分認證、金鑰協議、多伺服器環境、分散式系統、密碼學、網路安全。

Research on User Authentication for Multi-server Environment

Te-Yu Chen, Cheng-Chi Lee, Peng-Cheng Wang

Abstract

In the present time, there is a tendency towards the distributed environment in which resources and services are allocated to multiple servers. These servers should cooperate to serve their users. Therefore, user authentication for multi-server environment has become an important issue in the Internet applications. During the recent decades, this issue has attracted much more attention from cryptographic researchers; Though there are some schemes proposed in the literature, a lot of subjects should be improved in these proposed schemes, such as the security, efficiency, and user privacy. In this paper, we will first analyze these schemes in detail. Some important issues deserving to be further researched in the user authentication for multi-server environment are pointed out accordingly.

Keywords: Authentication, key agreement, multi-server architecture, distributed system, cryptography, network security.

Te-Yu Chen, Assistant Professor, Department of Information Networking Technology, Hsiuping Institute of Technology.

Cheng-Chi Lee, Assistant Professor, Department of Library and Information Science, Fu Jen Catholic University.

Peng-Cheng Wang, Associate Professor, Department of Information Management, Hsiuping Institute of Technology.

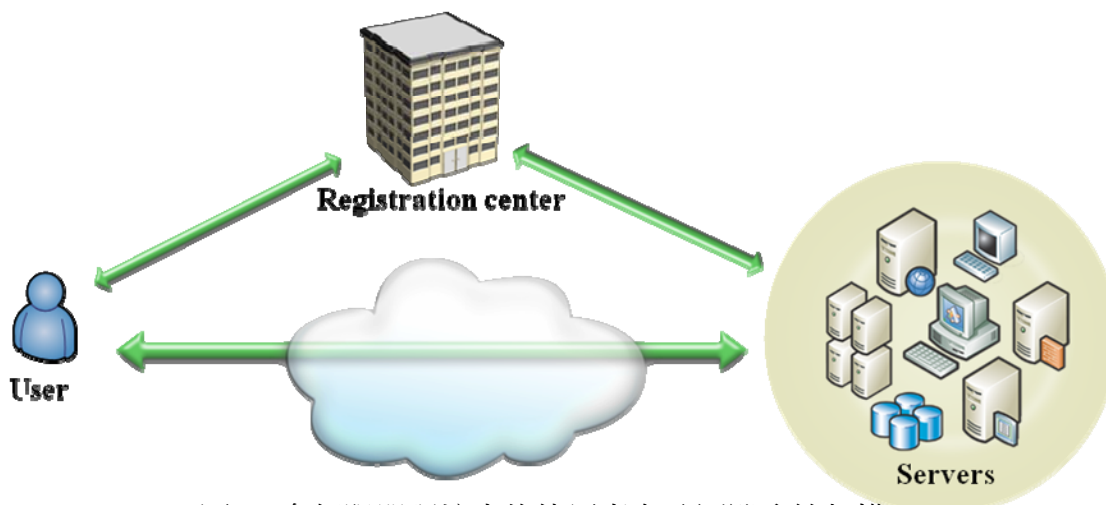
1. 前言

隨著科技及網路技術的進步及普及，越來越多傳統人們的活動已轉移到網路上進行，現今的生活中，有很多的服務是經由網際網路(Internet)提供給散佈在世界各地的客戶。由於當初網際網路的設計是秉持開放式(openness)的理念，並且欠缺對安全性相關的完整考量，因此，如何能夠為合法的使用者提供服務並且確保資料傳輸過程的安全性，是一個迫切需要認真審視的一個重要議題。使用者身分認證系統(User authentication scheme)是一個由服務供應端(service provider)執行的機制，此機制的功能是讓服務供應端在提供服務前得以用來確認客戶端(client)的身分；相對地，為了確保客戶端避免遭受偽冒伺服器的詐欺，客戶端也必須要確認服務供應端的身分。再者，網際網路上傳遞的資料可以輕易的被讀取，因此，在服務供應端與客戶端互相確認彼此身份的合法性之後，亦須妥善保護服務供應端與客戶端之間傳遞的資料，以避免遭受竊聽。為了保護資料避免被非法竊聽，通常採行對稱式加密(symmetrical encryption)的方法，此方法需要一把金鑰，由發送端在資料傳輸前先進行加密，接收端在收到加密過的資料後，再以此金鑰進行解密。是以，為了保護傳輸資料的安全性，使用者

身分認證系統需要包含金鑰產生(session key establishment)的程序。基於上述的分析，一個好的使用者身分認證系統，不只要能提供服務供應端與使用者之間彼此身份的雙向認證(mutual authentication)，更要在完成身分認證時，建立出一把加密後續傳輸資料的金鑰。

使用者身分認證(user authentication)以及金鑰協議(key agreement)是在網際網路上一個相當重要的研究議題，因此吸引了相當多的學者致力於此一議題的研究，並且已有相當豐富的研究成果，如[2, 4, 7, 12, 13, 14, 18, 21, 22, 23, 30]。這些傳統的使用者身分認證方法都是為單一的服務供應端所設計，然而，現今的網路架構已有傾向於朝分散式環境(distributed environment)發展的趨勢。在分散式環境中，各項資源以及服務散布在多個伺服器上，這些伺服器合作提供服務給它們的使用者。如果將傳統的使用者身分認證方法直接使用在分散式的環境中，每一個伺服器必須各自獨立管理其採行的認證機制，而且使用者必須一一向各個伺服器註冊以取得使用權，並且使用者必須費心於管理這些不同的登入(login)資訊(帳號及密碼等)。因此將傳統的使用者身分認證方法直接使用在多伺服器(multi-server)的環境中，顯得相當沒有效率，且窒礙難行。隨著多伺服器系統的不斷增加，近十

年來也吸引了一些學者對此一議題進行研究，如[1, 5, 6, 16, 17, 19, 20, 24, 26, 28]。由於多伺服器環境中的使用者身分認證越來越受到重視，因此，在這篇文章中，我們將針對目前已提出適用於此環境中的諸多使用者身分認證方法進行分析以及比較，指出這些方法的優缺點，並提出在此一環境中的使用者身分認證研究上幾個未來值得繼續深入探討的重要議題。



圖一 多伺服器環境中的使用者身分認證系統架構

一般而言，在多伺服器環境中的使用者身分認證系統，如圖一所示，包含三個角色：使用者、註冊中心、以及伺服器。如果使用者想要使用屬於此一系統中的伺服器所提供的資源或服務，他僅需向註冊中心註冊，而不是單獨向各個伺服器註冊，完成註冊後，使用者得以登入此系統

中的任何伺服器。

一個合格的多伺服器環境中的使用者身分認證系統必須滿足下列幾個基本條件[6, 17, 29]：

- (一) 單次註冊：使用者僅需向註冊中心註冊一次，完成註冊後，他可以登入系統中的任一伺服器。
- (二) 無須紀錄驗證表單：註冊中心以及任何伺服器皆不需要儲存或維護認證、密碼等表單。

- (三) 使用者的便利性：認證系統提供一個便利及友善的使用方式。
- (四) 有效率：不論是計算或通訊成本應該越低廉越好。
- (五) 達成雙向認證：不僅是伺服器能確認使用者的身分，使用者也要能確認伺服器的身分。

(六) 建立加密金鑰：在完成身分認證後，使用者和伺服器之間要能協議出一把金鑰。

除了上述幾個基本條件外，一個合格的多伺服器環境中的使用者身分認證系統尚須滿足下列幾個安全性的要求[5, 6, 24, 29]：

(一) 金鑰的安全性：僅有使用者和伺服器得知協議出來的金鑰，無其他第三方(包含認證中心)得以知曉金鑰。另外，協議出來的金鑰亦須具有 forward secrecy, key secrecy 等安全性要求。

(二) 認證系統的強韌性：認證系統必須要有充分的安全性，足以抵擋各類型的攻擊，例如偽冒攻擊(impersonation attack)、重送攻擊(replay attack)、密碼猜測攻擊(password guessing attack)、內部攻擊(insider attack)、伺服器 / 註冊中心愚弄攻擊(server/registration center spoofing attack)等。

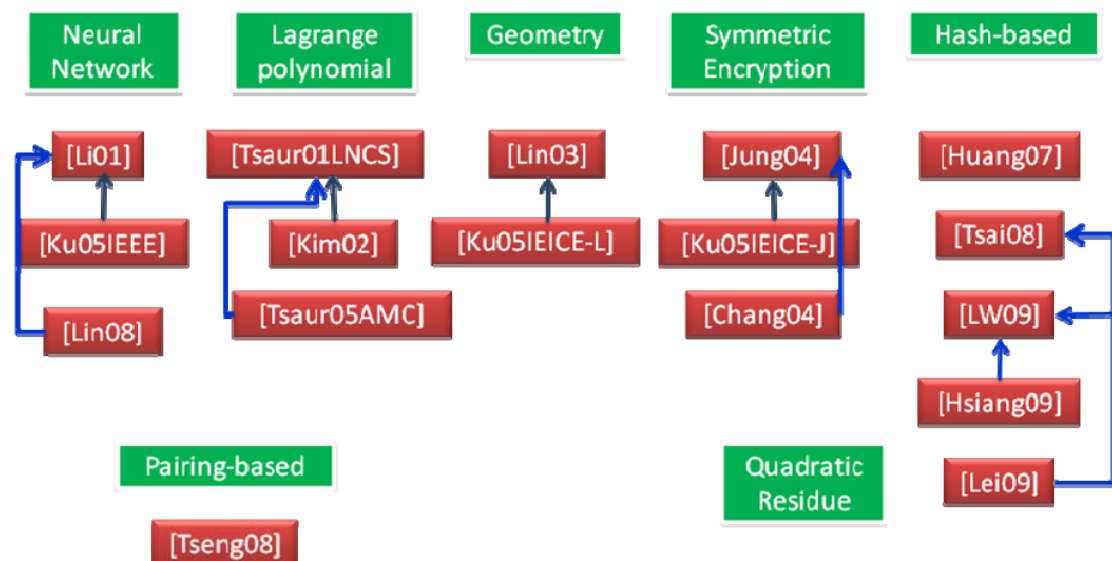
這篇文章剩餘的其它章節安排如下：第二章將介紹目前在多伺服器環境中的使用者身分認證機制的研究現況。經過分析比較這些方法後，我們在第三章提出在多伺服器環境中的使用者身分認證機制上幾個未來值得繼續深入探討的重要議題。最後，第四章是這篇文章的結論。

2. 相關文獻探討

根據我們的探討，從西元 2000 年開始即陸陸續續有一些多伺服器環境中的使用者身分認證方法被提出來，這些方法為了達成他們宣稱的功能，以及保有安全性，通常植基於一些密碼系統常用的數學模型，例如類神經網路 (Neural Network)、拉格朗日多項式(Lagrange polynomials)、幾何(Geometry)、對稱式加密(Symmetric Encryption)、雜湊/互斥或運算(Hash-exclusive or based)、二次剩餘(Quadratic Residue)、以及雙線性配對(Bilinear Pairing)等。這些方法的分類整理如圖二所示。

在文獻中，最早的一個多伺服器環境中的使用者身分認證系統是由 Lee and Chang[15]在 2000 年所提出。隨後，Tsauro[25] 和 Li 等人[16] 相繼於 2001 年分別各自提出他們的方法。不幸地，這些方法都存有一些可能遭受攻擊的弱點，Kim 等人[8]於 2002 年指出 Tsauro[25]所提出的方法無法抵擋密碼猜測攻擊。因此，2005 年，Tsauro 等人[27]針對這個問題提出了他們的改進方法，為了解決這個被質疑的問題，他們使用了 RSA 密碼系統以及拉格朗日多項式。

然而，RSA 密碼系統以及拉格朗日多項式的運算為系統帶來了相當高的計



圖二 多伺服器環境中的使用者認證系統

算複雜度，並且為了使用拉格朗日內差法推算出秘密多項式，需要傳輸為數不少的資料量，這個改良的方法在計算上以及資料傳輸上的效率因此較不如人意。另一方面，Ku 等人[9]於2005年亦指出Li 等人[16]的方法無法有效抵擋密碼猜測攻擊以及內部攻擊。Lin[19]因此於2008年提出他們的改良方法，他們的這二個方法都使用了類神經網路系統，類神經網路系統需要龐大的運算以完成類神經網路的建構和訓練，因此導致這二個方法在計算上的效率亦不甚良好。

在2003年，Lin 等人[20]基於歐幾里得空間(Euclidean space)中的幾何特性提出了一個多伺服器環境中的使用者身分認證方法，Ku 等人[10]隨即指出這個方法存在偽造攻擊和密碼猜測攻擊，並且此

一方法在遭遇若干系統參數洩漏的情況時，系統修復的代價相當高昂。

Juang[6]使用對稱式密碼系統於2004年提出了一個多伺服器環境中的認證金鑰協議方法，這個方法能同時達到相互身分認證以及金鑰協議。然而，Ku 等人[11]指出這個方法無法抵擋內部攻擊，並且這個方法協議出來的金鑰無法具有前向安全性(forward secrecy)。Chang 和 Kuo[1]使用中國餘數定理也提出了一個他們的多伺服器環境中的認證金鑰協議方法，Hwang 和 Shiau[5]於2007年指出[6]和[1]這二個方法都欠缺金鑰協議的明確性以及通訊成本過高等問題，同時他們也提出了一個基於平面幾何的方法以改進這些缺點。然而，Hwang 和 Shiau

的方法須要維護使用者資料表，並且他們的方法依然欠缺金鑰的前向安全性。

2009 年，Liao 和 Wang[17]提出了一個基於動態身分識別碼並適用於多伺服器環境中的使用者身分認證系統，為了讓這個方法達到使用者身分的匿名性以適用於一些需要保護使用者身分的特殊應用上，他們巧妙地以動態身分識別碼取代原先固定的身分識別碼而達到匿名性的特性。但是，很遺憾地，他們的方法遭受到相當多不同類型的攻擊，例如偽冒攻擊、愚弄攻擊、以及猜測密碼攻擊等[3, 29]。因此，Hsiang 和 Shih[3]提出了一個改進 Liao 和 Wa 的方法，不過這個改良過的方法依然可能會遭受到偽冒攻擊，而且這個改良過的方法未能提供雙向身分認證，以及一旦使用者執行過密碼修改的程序後，這個使用者將無法再成功地登入任何伺服器。

Tsai[24]也於 2008 年提出了一個多伺服器環境中的使用者身分認證方法，他們的方法因為只使用到相當輕量的運算，例如雜湊函數及互斥或等運算，因此在計算量上相當有效率。然而，這個方法卻不夠安全。Wang 等人[29]於 2009 年指出這個方法會遭受到伺服器愚弄攻擊以及偽冒攻擊，因此他們提出了一個基於二次剩餘的方法以消弭這些弱點。不幸地，

這兩個方法都還具有二個缺陷。第一，使用者和伺服器之間協議出來了金鑰未能具有前向安全性，一旦，主金鑰若是遭到破解，則所有先前使用過的金鑰亦會隨之被破解，這也意味先前受到這些金鑰保護的機密訊息將因此而曝光，進而影響到使用者的隱私。第二，註冊中心可以知曉所有伺服器和使用者之間協議出來的金鑰。雖然註冊中心普遍被視為是公正的第三者，但是如果他可以得知使用者跟伺服器之間通訊的內容，然免會引起使用者對其自身隱私權的疑慮。因此，為了要提供一個完全令人信賴的通訊環境，這兩個問題需要特別留意並加以仔細考量。

上述文獻探討中，幾個較具代表性的方法我們對其功能性、安全性以及效率作了詳細的分析以及比較，彙整結果如表一及表二所示。

表一 多伺服器環境中的使用者身分認證方法的功能性/安全性比較

	[24]	[17]	[3]	[29]
Single registration	Yes	Yes	Yes	Yes
Mutual authentication	Yes	No	No	Yes
No verification table	Yes	Yes	Yes	Yes
Securely chosen password	Yes	Yes	No	Yes
Session key agreement	Yes	Yes	Yes	Yes
User's anonymity	No	Yes	Yes	Yes
Necessity of time synchronization	No	No	No	No
Session key secrecy	No	No	No	No
Forward secrecy	No	No	No	No
Resistance to replay attack	Yes	Yes	Yes	Yes
Resistance to stolen-verifier attack	Yes	Yes	Yes	Yes
Resistance to Server Spoofing	No	No	Yes	Yes
Resistance to RC spoofing	Yes	No	Yes	Yes
Resistance to Masquerading attack	No	No	No	Yes

表二 多伺服器環境中的使用者身分認證方法的效率比較

Phase		[24]	[17]	[3]	[29]
A		$2T_{hash} + 1T_{xor}$	$5T_{hash} + 2T_{xor}$	$8T_{hash} + 4T_{xor}$	$2T_{hash} + 1T_{xor}$
B		$1T_{hash}$	$1T_{hash}$	$1T_{hash}$	$1T_{hash}$
C		$1T_{hash} + 2T_{xor}$	$6T_{hash} + 3T_{xor}$	$7T_{hash} + 7T_{xor}$	$1T_{qre}$
D	User	$4T_{hash} + 3T_{xor}$	$3T_{hash}$	$2T_{hash}$	$4T_{hash}$
	Server	$6T_{hash} + 7T_{xor} / 4T_{hash} + 4T_{xor}$	$6T_{hash} + 3T_{xor}$	$8T_{hash} + 6T_{xor}$	$6T_{hash} + 4T_{xor}$
	RC	$6T_{hash} + 5T_{xor} / 4T_{hash} + 2T_{xor}$	0	$5T_{hash} + 7T_{xor}$	$8T_{hash} + 3T_{xor} + 1T_{qrd}$
	Total	$16T_{hash} + 15T_{xor} / 12T_{hash} + 9T_{xor}$	$9T_{hash} + 3T_{xor}$	$15T_{hash} + 13T_{xor}$	$18T_{hash} + 7T_{xor} + T_{qre} + T_{qrd}$
E		$2T_{hash} + 2T_{xor}$	$4T_{hash} + 5T_{xor}$	$4T_{hash} + 4T_{xor}$	$2T_{hash} + 2T_{xor}$
F		7rounds	3rounds	5 rounds	5rounds

符號說明：

- A: 使用者註冊階段。
- B: 伺服器註冊階段。
- C: 使用者登入階段。
- D: 身分確認階段 (包含 session key 的建立)。
- E: 密碼變更階段。
- F: 通訊回合數。
- T_{hash} : 執行一次雜湊函數所需的時間。
- T_{xor} : 執行一次互斥或運算所需的時間。
- T_{exp} : 執行一次模指數運算所需的時間。
- T_{sym} : 執行一次對稱式加密或解密所需的時間。
- T_{qre} : 執行一次二次剩餘加密所需的時間。
- T_{qrd} : 執行一次二次剩餘解密所需的時間。

3. 值得繼續深入研究之議題

由前一章的文獻探討中，我們發現，目前已被提出來的多伺服器環境中的使用者身分認證方法，或多或少都存在一些安全性上面的缺陷。在現今充斥了各類危機的網路環境中，一個方法若有安全性方面的瑕疵，即使它擁有相當強大的功能亦或具有相當低成本的計算量及通訊成本，這個方法依然不具有任何的實用價值，因此，安全性方面的考量，是任何一個方法最基本也是最重要的考量。所以我們認為考量所有可能的安全性威脅，並儘可能地降低計算成本及通訊成本的前提下，設計一個多伺服器環境中的使用者身分認證方法，是一個未來相當值得持續研究的重點。

另外，使用者的隱私權保護是一個越來越受到重視的一個議題，尤其在多伺服器環境中，使用者的隱私將暴露在較高的危險威脅中，因此，能兼顧安全、效率以及使用者隱私權保護的多伺服器環境中的使用者身分認證方法，是另外一個值得進一步探討的研究方向。

目前的多伺服器環境中的使用者身分認證方法之所以存在安全性弱點，最主要的原因為，這些方法大都未提供正式的安全性證明，因此，可證明安全性的多伺

服器環境中的使用者身分認證方法，亦是一個值得深入探討的研究方向。

在這一章節中，我們將就這幾個重要的研究方向，逐一進行介紹。

3.1. 同時兼具效率與滿足各項安全要求的多伺服器環境中的使用者身分認證方法

在分散式環境中，各項資源以及服務散佈在不同的伺服器上，用以降低單一伺服器的負擔，並可提供較高的容錯性，避免單一伺服器故障所造成的全面性影響，因為這些優勢，現今有越來越多的網路環境朝向分散式型態發展演進，然而，傳統適用於集中式環境的使用者身分認證機制因此並不全然適用於分散式的多伺服器環境中。經過分析探討集中式環境與分散式環境上使用者身分認證系統的異同，我們歸納出一個合格的多伺服器環境中的使用者身分認證系統必須滿足第 1 章中所列出來的六個多伺服器環境的基本要求條件以及二個安全性的要求條件。

如前一章中的文獻探討所示，近十年來，多伺服器環境中的使用者身分認證問題已引起廣泛的注意，也有一些方法被提出來，在我們進一步針對最近提出的幾個較傑出的方法進行功能性及安全性的分析比較後，彙整如表一所示，有如下之

發現，2008 年 Tsai[24]所提出的多伺服器環境中的使用者身分認證方法，雖然在計算量上相當有效率，但是，這個方法卻不夠安全，不僅無法抵擋愚弄攻擊和偽冒攻擊，而且協議出來的金鑰不具有金鑰前向安全性以及金鑰私密性。2009 年 Liao 和 Wang[17]提出的基於動態身分識別碼並適用於多伺服器環境中的使用者身分認證系統，雖然可以達到使用者身分的匿名性，但是，他們的方法亦遭受到相當多不同類型的攻擊，例如偽冒攻擊、愚弄攻擊、以及猜測密碼攻擊等，而且，這個方法協議出來的金鑰亦不具有金鑰前向安全性及金鑰私密性。Hsiang 和 Shih[3]於 2009 年提出來改進 Liao 和 Wang 的方法，依然可能會遭受到偽冒攻擊，並且這個改良過的方法未能提供雙向身分認證，以及一旦使用者執行過密碼修改的程序後，這個使用者將無法再成功地登入任何伺服器，在金鑰的安全性方面亦欠缺金鑰的前向安全性以及金鑰的私密性。Wang 等人[29]於 2009 年提出來的多伺服器環境中的使用者身分認證方法，雖然可以抵擋大部分的攻擊，但是這個方法協議出來的金鑰依然未能具有金鑰的前向安全性以及金鑰的私密性等安全要求。

綜而言之，這些方法都普遍具有二個共通的缺陷。第一，使用者和伺服器之間協議出來了金鑰未能具有前向安全性，一

旦，主金鑰若是遭到破解，則所有先前使用過的金鑰亦會隨之被破解，這也意味先前受到這些金鑰保護的機密訊息將因此而曝光，進而影響到使用者的隱私。第二，註冊中心可以知曉所有伺服器和使用者的之間協議出來的金鑰。雖然註冊中心普遍被視為是公正的第三者，但是如果他可以得知使用者跟伺服器之間通訊的內容，然免會引起使用者對其自身隱私權的疑慮。因此，為了要提供一個完全令人信賴的通訊環境，這兩個問題需要特別留意並加以仔細考量。

此外，Tsai[24]、Liao 和 Wang[17]以及 Hsiang 和 Shih[3]等方法亦遭受不同型態的安全威脅，在開放式的網路環境中，各式各樣的攻擊無奇不有，若一個方法禁不起攻擊，則毫無存在的價值。因此，如何仔細審視這些多樣的攻擊類型，進而謹慎的設計能防堵各類型的攻擊，也是一個需要詳加考量的要點。

另外，效率也是另一個重要的考量點，針對這幾個較具代表性的方法我們亦針對其計算上以及通訊上的效率進行比較分析，彙整結果如表二所示。

在計算量的分析比較上，在這些方法中，除了 Wang 等人的方法[29]需要進行稍微複雜的二次剩餘加解密運算外，其他的方法如 Tsai[24]、Liao 和 Wang[17]以及 Hsiang 和 Shih[3]等方法，都只需要

進行一些輕量的運算，如雜湊函數及/或互斥或等運算。雖然這些輕量的運算不會耗費太多系統資源，但是就伺服器端而言，若同時擁進大量的使用者，則累加起來的資源消耗不可謂不大；另一方面，就使用者端而言，若能降低計算量，則可進一步降低使用者端的硬體成本，且可讓使用者更順暢的使用此系統。

在通訊量的分析比較上，在這些方法中，Liao 和 Wang 的方法[17]僅需三回合的資料傳輸，Wang 等人[29]以及 Hsiang 和 Shih[3]的方法各需五回合的資料傳輸，而 Tsai 的方法[24]更需高達七回合的資料傳輸。資料傳輸的回合數越多，意味著使用者需等候的時間也會越多，因此，如何能有效的降低傳輸的回合數以及傳輸的資料量，亦是一個重要的議題。

基於上述的分析、探討，我們認為一個適用於多伺服器環境中，同時兼具安全與效率，並且滿足下列幾點要求的使用者身分認證方法，是第一個重要的研究方向。

1. 適用於多伺服器環境中，亦即使用者僅需向註冊中心註冊一次，完成註冊後，他可以登入系統中的任一伺服器。
2. 無須紀錄驗證表單，註冊中心以及任何伺服器皆不需要儲存、維護認證、密碼等表單。
3. 提高使用者的便利性，從註冊、登入以

及密碼的修改，系統都能提供一個便利、友善的使用方式。

4. 達成雙向身分認證，不僅是伺服器能確認使用者的身分，使用者也要能確認伺服器的身分。
5. 協議出一把安全的金鑰，這把金鑰僅有使用者和伺服器得知，無其他第三方(包含認證中心)得以知曉金鑰。另外，協議出來的金鑰必須各項安全性的要求。
6. 此認證系統必須夠強韌，足以抵擋各類型的攻擊。
7. 盡可能的降低計算成本以及通訊成本。

3.2. 具有使用者隱私權保護的多伺服器環境中的使用者身分認證方法

近年來，隨著資訊科技與網路技術的持續發展與普及，使得運用這些技術的各類型應用模式快速的蓬勃發展，在一些應用環境上，例如電子商務，雖然提供了消費者一個極為便利的消費方式，但是也引發了其他的挑戰，尤其是消費者的隱私權保護，這是一個備受矚目的重要議題。因此，我們認為第二個重要的研究方向為，探討使用者匿名性(anonymity)的問題，研發出一個具有使用者隱私權保護的多伺服器環境中的使用者身分認證方法。

在文獻探討中，我們發現 Liao 和

Wang[17]、Hsiang 和 Shih[3]以及 Wang 等人[29] 所提出來的的方法有將匿名性的問題考慮進去。Liao 和 Wang[17]以及 Hsiang 和 Shih[3]是使用動態的身分識別碼取代掉固定的身分識別碼，來達到匿名性；而 Wang 等人[29]的方法則是使用二次剩餘將身分識別碼先加密後再傳輸，以達成匿名性。基於這二種方式的這三個方法雖然都宣稱可以達到匿名性以及隱私權的保護，但，所提供的保護層次及效果是不一樣的。以二次剩餘將身分識別碼先加密後再傳輸的方式，可以確保資料傳輸過程的使用者匿名性，但是無法對伺服器端隱匿使用者的真實身分。而以動態的身分識別碼取代掉固定的身分識別碼的方式，不僅可以確保資料傳輸過程的使用者匿名性，也可以對伺服器端隱匿使用者的真實身分。這兩種方式並無絕對的孰優孰劣，僅是適用於不同之應用環境的差異。

匿名性(Anonymity)，意指隱藏個人的真實身分不讓外界得知。進一步以匿名的程度可將匿名性分成二類：一、訊息傳送者和接收者的匿名性，二：訊息與傳遞者關係的匿名性。雖然，使用者的隱私權需要受到保護，但也不可無限擴張，在某些應用環境下，使用者亦須承擔一定程度的責任，因此，是否可以提供可事後追蹤的匿名性，亦是一個值得探討的問題。

綜觀上述的分析、探討，我們歸納出

一個具有使用者隱私權保護的多伺服器環境中的使用者身分認證方法必須滿足 3.1 節所指出的幾點要求外，並須針對使用者隱私權加以適當的保護。

3.3. 可證明安全性的多伺服器環境中的使用者身分認證方法

在前面章節的分析中，我們可以發現，目前的多伺服器環境中的使用者身分認證方法或多或少存在一些安全性方面的弱點，這些方法之所以存在安全性弱點，最主要的原因為，這些方法大都以傳統的安全性分析的方式來探討其安全性，這種分析方式顯然無法令人信服。因此，一些較正規的安全性證明方式，例如 the random oracle model 或 the standard model，是必須導入到多伺服器環境中的使用者身分認證協議。然而，由於多伺服器環境較為複雜，如何將這些正規的安全性證明方式適當地套用於此一環境中，需要再進一步的加以研究。所以，我們認為可證明安全性的多伺服器環境中的使用者身分認證方法，亦是一個未來值得探討的重要議題。

4. 結論

在這篇文章中，我們探討了多伺服器環境中的使用者身分認證協議直至目前的研究成果，並針對這些已經被提出來的

方法就效率、安全性以及功能性等各面向進行深入的分析比較，經由這些分析比較，我們指出各個方法的優缺點，並進而擘劃出幾個未來值得進一步探討、研究的方向：安全性、效率以及使用者隱私權保護。藉由這幾個研究方向的實踐，將帶來如下優點：

- ◆ 對現行分散式多伺服器網路環境的安全性做一相當程度的改善。
- ◆ 安全的完成使用者身分認證，防堵所有可能的安全性威脅，保障合法使用者的權益。
- ◆ 有效率的完成使用者身分認證，降低系統硬體需求門檻以及等候時間。
- ◆ 適度的保護使用者隱私權，充分保障使用者與伺服器彼此之間的權利與義務。
- ◆ 在多伺服器環境中提供一個安全且令人安心的使用者身分認證機制，促進電子商務交易安全以及消費者隱私，提高電子商務服務之品質。

如此，將可以提升系統的可信賴度，降低使用者及服務供應端的疑慮，提供一個安全且令人安心的使用者身分認證的機制，也勢必可以將多伺服器環境中的使用者身分認證研究領域提昇至一個更臻成熟、符合實際應用需求的境界，並進而促進數位產業的永續蓬勃發展。

References

- [1] C. C. Chang and J. Y. Kuo. An efficient multi-server password authenticated key agreement scheme using smart cards with access control. In *19th IEEE Int. Conf. Advanced Information Networking and Applications (AINA2005)*, volume 2, pages 257-260, Taipei, Taiwan, March 2005. IEEE Computer Society.
- [2] H. Y. Chien, J. K. Jan, and Y. M. Tseng. An efficient and practical solution to remote authentication: Smart card. *Computers and Security*, 21(4):372-375, 2002.
- [3] H. C. Hsiang and W. K. Shih. Improvement of the secure dynamic ID based remote user authentication scheme for multi-server environment. *Computer Standards and Interfaces*, 31(6):1118-1123, 2009.
- [4] M. S. Hwang and L. H. Li. A new remote user authentication scheme using smart cards. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 46(1): 28-30, 2000.
- [5] R. J. HWANG and S. H. SHIAU. Provably efficient authenticated key agreement protocol for multi-servers. *The Computer Journal*, 50(5): 602-615, 2007.
- [6] W. S. Juang. Efficient multi-server password authenticated key agreement using smart cards. *IEEE Transactions*

- on Consumer Electronics, 50(1): 251-255, November 2004.
- [7] H. S. Kim, S. W. Lee, and K. Y. Yoo. ID-based password authentication scheme using smart cards and fingerprints. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 37(4):32-41, Oct. 2003.
- [8] S. Kim, S. Lim, and D. Won. Cryptanalysis of flexible remote password authentication scheme of ICN01. *Electronics Letters*, 38(24): 1519-1520, 2002.
- [9] W. C. Ku. Weaknesses and drawbacks of a password authentication scheme using neural networks for multi-server architecture. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16(4):1002-1005, 2005.
- [10] W. C. Ku, S. T. Chang, and M. H. Chiang. Weaknesses of a remote user authentication scheme using smart cards for multi-server architecture. *IEICE Transactions on Communications*, E88-B(8):3451-3454, 2005.
- [11] W. C. Ku, H. M. Chuang, and M. H. Chiang. Cryptanalysis of a multi-server password authenticated key agreement scheme using smart cards. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E88-A(11): 3235-3238, November 2005.
- [12] L. Lamport. Password authentication with insecure communication. *Communications of ACM*, 24:77-772, 1981.
- [13] C. C. Lee, M. S. Hwang, and W. P. Yang. A flexible remote user authentication scheme using smart cards. *ACM Operating Systems Review*, 36(3):46-52, 2002.
- [14] J. K. Lee, S. R. Ryu, and K. Y. Yoo. Fingerprint-based remote user authentication scheme using smart cards. *Electronic Letters*, 38(12):554- 555, 2002.
- [15] W. B. Lee and C. C. Chang. User identification and key distribution maintaining anonymity for distributed computer network. *Computer Systems Science and Engineering*, 15(4): 211-214, November 2000.
- [16] L. H. Li, I. C. Lin, and M. S. Hwang. A remote password authentication scheme for multi-server architecture using neural networks. *IEEE Transactions on Neural Network*, 12(6): 1498-504, November 2001.
- [17] Y. P. Liao and S. S. Wang. A secure dynamic ID based remote user authentication scheme for multi-server environment. *Computer Standards and Interfaces*, 31(1): 24- 29, 2009.
- [18] C. H. Lin and Y. Y. Lai. A flexible biometrics remote user authentication scheme. *Computer Standards and Interfaces*, 27(1):19-23, 2004.
- [19] I. C. Lin. A neural network system for
-

- authenticating remote users in multi-server architecture. *International Journal of Communication Systems*, 21:435-445, 2008.
- [20] I. C. Lin, M. S. Hwang, and L. H. Li. A new remote user authentication scheme for multi-server architecture. *Future Generation Computer System* January, 19:13-22, 2003.
- [21] Y. Liu, W. Gao, H. Yao, and X. Yu. Elliptic curve cryptography based wireless authentication protocol. *International Journal of Network Security*, 5(3):327-337, 2007.
- [22] H. M. Sun. An efficient remote user authentication scheme using smart cards. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 46(4): 958-961, 2000.
- [23] C. S. Tsai, C. C. Lee, and M. S. Hwang. Password authentication schemes: Current status and key issues. *International Journal of Network Security*, 3(2):101-115, 2006.
- [24] J. L. Tsai. Efficient multi-server authentication scheme based on one way hash function without verification table. *Computers and security*, 27:115-121, 2008.
- [25] W. J. Tsaur. A flexible user authentication scheme for multi-server internet services. In *Networking-ICN*, volume 2093 of LNCS, pages 174-183. Springer-Verlag, 2001.
- [26] W. J. Tsaur, C. C. Wu, and W. B. Lee. A smart card-based remote scheme for password authentication in multi-server internet services. *Computer Standards and Interfaces*, 27: 39-51, 2004.
- [27] W. J. Tsaur, C. C. Wu, and W. B. Lee. An enhanced user authentication scheme for multi-server internet services. *Applied Mathematics and Computation*, 170:258-266, 2005.
- [28] Y. M. Tseng, T. Y. Wu, and J. D. Wu. A pairing-based user authentication scheme for wireless clients with smart cards. *INFORMATICA*, 19(2): 285-302, 2008.
- [29] R. C. Wang, W. S. Juang, and C. L. Lei. User authentication scheme with privacy preservation for multi-server environment. *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, 13(2): 157-159, 2009.
- [30] S. Wang, Z. Cao, and H. Bao. Efficient certificate-less authentication and key agreement (CL-AK) for grid computing. *International Journal of Network Security*, 7(3): 342-347, 2008.
-

利用多目標模糊理論 建立旅遊服務業之績效評估模式

陳義分、陳映君*、林學茂、楊展耀、林亮宗

摘要

如何正確且有效的衡量評估系統組織績效一直都是管理領域最基本的議題。本研究提供一完整的理論架構來整合不同的績效評估方法，並以實際個案作分析。主要整合以下幾個主題：

1. 評估指標建立
2. 各評估指標之加權值計算
3. 各評估指標之模糊衡量值
4. 建立評估排名值

技術上，利用分析層級程序法決定各評估指標的加權值；利用模糊理論衡量各指標的績效值；最後透過理想解近似度偏好排序法求得相對排名。並以國內民宿業為例作實證分析，以作為改善之基準。

關鍵詞：服務業、績效評估、分析層級程序法、模糊理論、理想解近似度偏好排序法。

陳義分：修平技術學院工管系副教授
陳映君*：通訊作者；朝陽科技大學財金系助理教授
林學茂：修平技術學院精實生產管理所研究生
楊展耀：修平技術學院工管系講師
林亮宗：修平技術學院工管系副教授
投稿日期：990313 接受刊登日期：990331

The performance evaluation of tourism industry by fuzzy MCDM

Yee-Fen Chen, Ying-Chun Chen*, Hsueh-Mao Lin,
Chan-Yaw Yang, Liang-Tsung Lin

Abstract

A fundamental problem of management is to measure and assess the performance of an organization and/or a system. The objective of the proposed study is to develop a theoretical framework which integrates different performance techniques. This project integrates the following subjects as a generic theory and framework for evaluating tourism performance.

1. Index Construction
2. Weight Decision
3. Fuzzy Measurement Theory
4. Ranking

Technically, this study integrates many evaluation techniques. We invite fuzzy set theory into the measurement of performance, by applying AHP in obtaining criteria weight and TOPSIS in ranking.

Keywords : Service Industry, Performance Evaluation, AHP, fuzzy set theory, TOPSIS.

Yee-Fen Chen, Associate Professor, Department of Industrial Management, HIT.

Ying-Chun Chen*, Assistant Professor, Department of Finance, C.Y.U.T.; Corresponding author.

Hsueh-Mao Lin, Student, Graduate of Lean Production Management, HIT.

Chan-Yaw Yang, Lecturer, Department of Industrial Management, HIT.

Liang-Tsung Lin, Associate Professor, Department of Industrial Management, HIT.

壹、前言

政府為我國觀光產業之發展，交通部觀光局將「觀光客倍增計畫」訂為 2008 年國家發展的重要計畫之一。如何正確且有效的衡量評估系統組織的績效一直都是管理領域最基本的議題，如何利用適當的方法評估業者自身的經營績效，以便進一步結合實際經營情形來尋求改善的對策，是現今旅遊業者一個值得深入研究的課題。過去數十年來，產學界已發展了許多績效評估的方法，各個方法都有其優缺點。然而各方法仍是各自獨立的，較少有研究整合各種方法，特別是做理論性與實務性的整合。

本研究以績效評估為主體，收集影響營運績效的基本要素，建構適用之績效評估構面與模式。技術上，整合多種績效評估技術：利用分析層級程序法（Analytical Hierarchy Process，AHP）決定各構面與各評估指標的加權值；利用模糊理論(fuzzy theory)衡量各指標的績效值；最後透過理想解近似度偏好排序法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution，TOPSIS)求得相對排名。並以國內幾個民宿業為例作實證分析，將結果提供業者以了解本身與競爭對手的優劣勢，作為改善之基準。

貳、文獻探討

有關「旅遊業績效評估」之應用研究，因各產業屬性不同，國內外之研究大多以個案為研究對象。

針對「旅遊業績效評估」的重要性與多因素性，各界學者莫不積極尋求更有效的評估系統。有關於評估技術的研究，採用的分析方法相當多元化；包含 SWOT 分析、分析層級程序法、層級一致性分析法、TOPSIS 法、平衡計分卡、模糊集群分析及資料包絡分析法等方法，而有些研究更不只應用單一分析方法。

一、績效評估

績效(performance)在企業組織運作中是一個不可或缺的重要指標，早在 1970 年代即有學者認為，績效是企業對其目標達成程度所加以衡量的型式，有利於企業評估其為達成目標所運用資源之情形，可從效率(efficiency)與效果(effectiveness)兩方面來分析。所謂效率，是以產出(output)與投入(input)的比率來衡量；而效果則是指完成目標的程度[18]。

Kast 指出，除效率及效果外，績效所涵蓋的範圍應包含更廣，包含：效果、效率與組織成員的滿意度(participant satisfaction)。直到 1981 年，Szilagyi 對績效提出較全面性的架構說明，主要從多

構面角度來探討組織內、外的績效狀況，使各界對績效能有更深入的認知。Szilagyi 認為績效是組織活動的結果[23]，涉及範圍廣泛，其分析層級亦不應局限於某特定部門，應由企業員工、主管單位、高階管理階層甚至整個國家社會來衡量之，衡量方式可從主觀或客觀之定性與定量角度分析。過去有許多研究曾進行企業經營績效的衡量，所採用之衡量構面皆各不相同。

二、模糊理論

(一).模糊理論概述

Fuzzy 是一門新興的數學，起源於 1965 年美國 Zadeh 教授，在資訊與控制 (Information and Control) 學術期刊上所發表的論文-模糊集合(Fuzzy Sets)[25]。

績效評估在傳統上存在非計量因素的衡量困難，亦即評估中所面臨的主觀判斷精確與否的數值。也就是說，績效評估通常是由每一位評估者僅依照其不完全的資訊，憑經驗做出判斷；此判斷經常會具有不確定性。因此，為因應績效評估所面臨的不確定性，模糊理論相當適合用來描述與表現評量的結果。

(二).模糊數

模糊數是實數的模糊子集 (Fuzzy Subset)，而且它是代表信賴區間 (confidence interval) 觀念的一種擴充；

Dubois 及 Prade 對模糊數定義，有下列基本性質[14]：

模糊數 \tilde{A} 係指一模糊集合(Fuzzy Set)，其隸屬函數(membership function)

$\mu_{\tilde{A}}(x) : \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ (其中代表評估項目之得分數) 具以下特性：

1. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ：指定義域 \mathbb{R} 至 $[0,1]$ 空間上的連續映射(continuous mapping)；
2. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ：為一凸性的模糊子集合(convex Fuzzy subset)；
3. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ：為一正規化模糊子集合(normalized Fuzzy subset)，亦即存在一個實數 x_0 ，使得 $\mu_{\tilde{A}}(x_0)=1$

滿足以上三個條件者，即稱為三角模糊數 (triangular fuzzy number)，定義三角模糊數 $\mu_{\tilde{A}}(x) = (L, M, U)$ 如式 (1) 及圖 1 所示。

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-L)/(M-L) & L \leq x \leq M \\ (U-x)/(U-M) & M \leq x \leq U \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{式(1)}$$

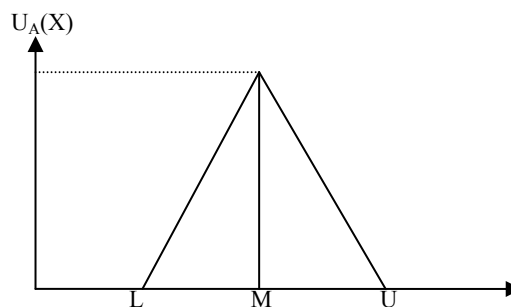


圖 1 三角模糊數之隸屬函數圖

三角模糊數還滿足下述加法性與乘法性等代數運算：

$$1. (L_1, M_1, U_1) \oplus (L_2, M_2, U_2) = (L_1 + L_2, M_1 + M_2, U_1 + U_2) \quad \text{---式(2)}$$

$$2. (L_1, M_1, U_1) \ominus (L_2, M_2, U_2) = (L_1 - L_2, M_1 - M_2, U_1 - U_2) \quad \text{---式(3)}$$

$$3. (L_1, M_1, U_1) \otimes (L_2, M_2, U_2) = (L_1 * L_2, M_1 * M_2, U_1 * U_2) \quad \text{---式(4)}$$

$$4. (L_1, M_1, U_1) / (L_2, M_2, U_2) = (L_1 / L_2, M_1 / M_2, U_1 / U_2) \quad \text{---式(5)}$$

(三) 語意變數

語意變數是一個變數，對於一些複雜或難以定義的情境，不易以傳統的量化方

法來做一合理的表達。因此需運用語意變數的觀點來處理這類狀況。而語意變數係指本質上人類語言上就為一個字或一包話所代表的變數，可將語意變數分為數個適當且有效的語意尺度，如「非常不滿意」、「不滿意」、「普通」、「滿意」、「非常滿意」等，來顯示各評估準則的績效值。透過事先設計好的各種語意尺度所代表的模糊數，每個語意變數可用 0-100 分範圍的三角模糊數來定義評等，如圖 2 所示 [5]。評估者各自選擇他們認為合適的語意描述個人對此評估項目的感受，再推算全體評估者對每個評估項目的實際感認值。

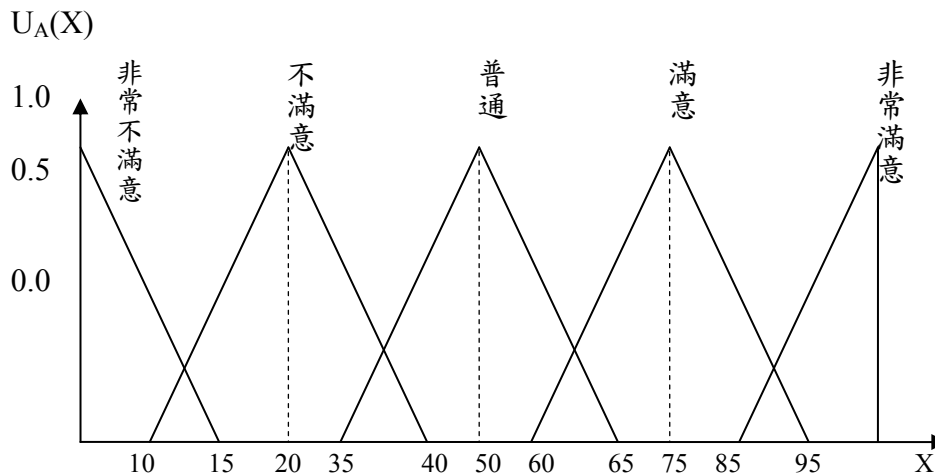


圖 2 五等級語義變數隸屬函數圖

(四).解模糊化

經由模糊綜合評判可得到各方案的模糊數，然而因模糊數並非明確的數值，無法直接用於方案之比較，因此必須將模糊數予以解模糊化(defuzzification)；解模糊化的程序就是找出最佳去模糊績效值(Best Nonfuzzy Performance value, 簡稱BNP)，模糊數 E_{ij} 的 BNP 值可由式(6)計算得到[25]。

$BNP_{ij}=[(UE_{ij}-LE_{ij})+(ME_{ij}-LE_{ij})]/3+LE_{ij} \forall i,j$
式(6)。其中 UE_{ij} 、 LE_{ij} 、 ME_{ij} 分別為式(1)定義之三角模糊數。

三、AHP 方法

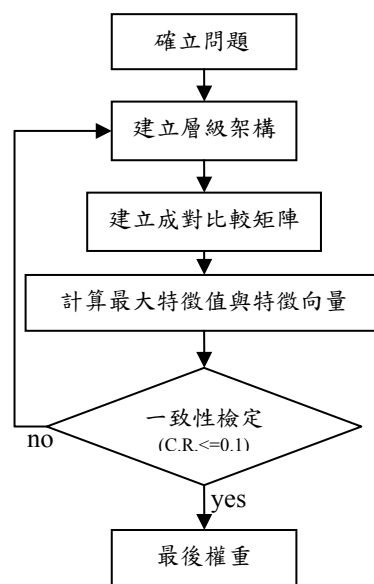
(一).AHP 概述

AHP 是由美國著名的研究專家 T.L.Saaty 在 1970 年代初所發展出來的一套決策方法，主要應用在不確定情況下及具有多數個評估準則的決策問題上。AHP 發展的目的，就是將複雜的問題系統化，給予層級分解以建立具有相互影響關係的階層結構(Hierarchical Structure)，進而透過量化的判斷加以綜合評估，以提供決策者選擇適當的方案，並減少錯誤的風險性。

(二).AHP理論基礎

AHP 首先將一個問題分解為樹枝狀的結構層級，並且建立有相互影響的階層結構，就可以在複雜的問題上做出較正確的

決策。AHP 不僅用專家的意見解決複雜性的決策問題，也藉比對矩陣及特徵向量來決定影響各個因素間的相對權重問題。使用上，AHP 分為兩部分，一個是層級的建立，另一個是層級評估。AHP 首先將複雜問題系統簡化為簡明的要素層級系統。彙集學者專家的意見及決策者的意見，採用名目尺度(nominal scale)執行要素間的成偶比對(pairwise comparison)，予以量化後建立成偶比對矩陣(pairwise comparison matrix)，據以求出各矩陣之特徵向量(eigenvector)，依其特徵向量作為層級各要素間的優先順序，並求算出最大特徵值，用予以評定比對矩陣一致性指標的相對權重之強弱，以提供決策者做決策時的參考指標[9]。



AHP 的執行步驟流程如圖 3 所示。

圖 3 AHP 執行步驟流程圖

四、TOPSIS 方法

TOPSIS 的目的在尋找距「正理想解」最近，且距「負理想解」最遠的方案。所謂「正理想解」意指替選方案中，效益最大或成本最小之準則值；反之，效益最小或成本最大之準則值即為「負理想解」。

[3]

TOPSIS 的基本觀念以圖 4 說明如下：圖 4 中兩個評估準則 X_1, X_2 ，S 代表由 n 個方案所構成之樣本空間，其中 A^+ 為「正理想解」， A^- 為「負理想解」。A₁ 方案至「正理想解」(A^+) 的距離較 A₂ 近；同時 A₁ 方案至「負理想解」(A^-) 的距離較 A₂ 遠，故 A₁ 方案較 A₂ 方案好。

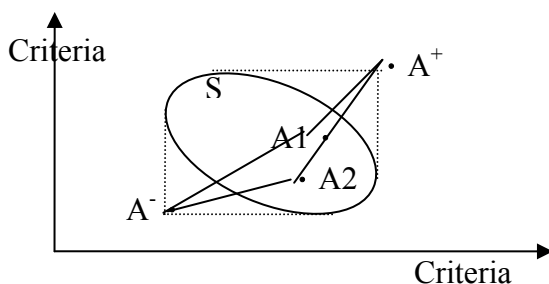


圖 4 TOPSIS 基本觀念圖

$$A^+ = \left\{ \left(\max_j r_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_j r_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, 3, \dots, m \right\} = \{A_1^+, A_2^+, \dots, A_j^+, \dots, A_k^+\} \quad \text{式(7)}$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_j r_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_j r_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, 3, \dots, m \right\} = \{A_1^-, A_2^-, \dots, A_j^-, \dots, A_k^-\} \quad \text{式(8)}$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (r_{ij} - A_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m; S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (r_{ij} - A_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{式(9)}$$

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{式(10)}$$

其中 $J = \{j=1, 2, \dots, k; k \text{ 屬於效益準則}\}$ ，「效益準則」係指指標值愈大則該指標所得之績效分數愈高；反之， $J' = \{j=1, 2, \dots, k; k \text{ 屬於成本準則}\}$ ，「成本準則」係指指標值愈小則該指標所得之績效分數愈高。

接著計算各方案與正理想解的距離 (S_i^+) 及負理想解之距離 (S_i^-)，如式(9)。

最後計算各方案對正、負理想解的相對接近程度 (C_i^*)，如式(10)。

式(10)所求得之 C_i^* 大小，即可排列各方案間相對績效之順序，值愈大者(愈接近 1)表示該方案的績效愈高。TOPSIS 採「正理想解之相對近似值」的方法來排列各方案之優先順序，可避免產生一方案距離正理想解最近、又距負理想解最近；以及距正理想解最遠、又距負理想解最遠而不易比較的缺點。

正理想解(A^+)與負理想解(A^-)的計算公式如下：

參、模式建立

一、研究流程

本研究程序以國內、外相關理論為基礎，建立績效評估架構之程序如下：

1. 產業分析
2. 績效評估架構之形成
3. 初選評估指標集合
4. 擷取代表性指標
5. 決定各代表性指標權重
6. 對各指標與各單位進行評估
7. 績效分數的計算
8. 績效總分的排序

研究流程如圖5所示：

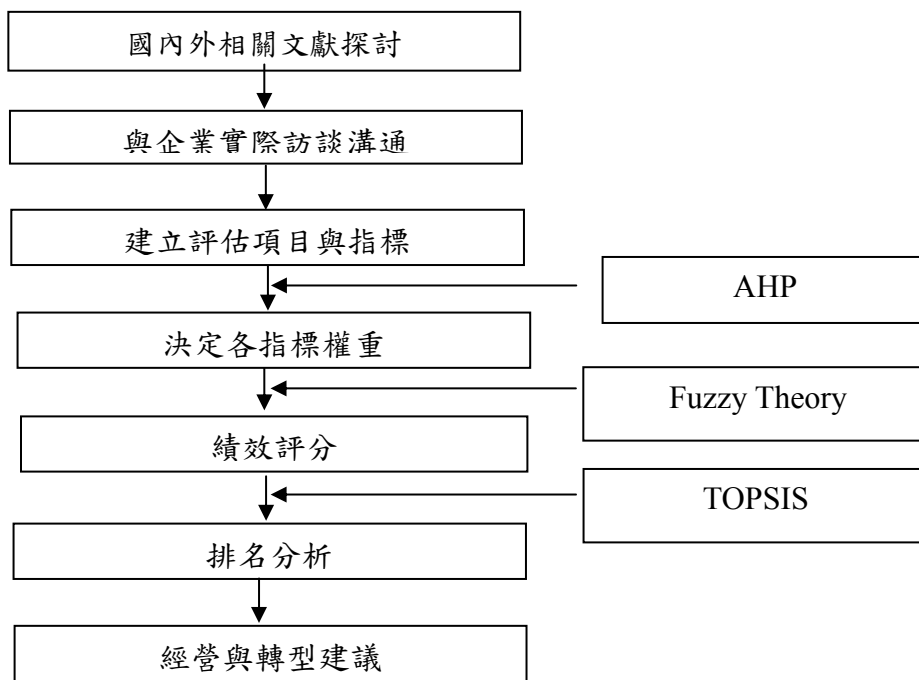


圖 5 研究流程圖

二、評估模式架構與加權值計算

根據本研究合作對象，蒐集民宿業者經營績效評估之參考指標，依據得到之輸入評估準則，建立績效評估架構。由AHP方法求得各評估準則權重，並驗證權重之一致性。

三、模糊績效分數的計算

績效評估存在非量化因素的衡量困難，亦即評估時所面臨的主觀判斷精確與否的數值。也就是說，績效評估通常是由每一位評估者僅依照其不完全的資訊，憑經驗做出判斷；此判斷經常會具有不確定性。

為因應績效評估所面臨的不確定性，模糊理論相當適合用來描述與表現評量的結果。藉由事先設計好的問卷以及各種語意尺度所代表的模糊數，依每個語意變數以0-100分範圍的三角模糊數來定義評等，讓評估者各自選擇認為合適的語意，描述個人對此評估項目的感受，再推算全體評選者對每個評估項目的實際感知值。最後以解模糊化的方法找出最佳去模糊績效值。

四、各方案間相對績效之排序

TOPSIS 的目的在尋找距「正理想解」最接近，且距「負理想解」最遠的方案，依據式(7)~式(10)所求得之 C_i^* 的大小，即可排列各方案間相對績效之順序。

肆、實證分析

一、評估準則建立與加權值計算

依照 AHP 的架構，將研究變數分為三層，分別說明如下：

(一)、第一層總目標

訂定民宿業者之整體經營績效。

(二)、第二層績效構面

歸納出經營績效評量之關鍵構面有：「行政面」、「財務面」、「顧客面」、「成長面」等四項，並由此發展第三層評估指標。

(三)、第三層評估指標

隨著第二層構面因素，經由文獻、專業意見等獲取評估指標計二十項，分別為「行政面」構面下的「行政效率」、「行銷通路效率」、「設備現代化」、「軟體品質」等評估指標。以 AHP 求解各構面與各指標權重，其他相關評估指標與權重計算結果如表 1 所示。

表 1 績效構面、評估指標與求得之權重

第一層總目標	第二層績效構面	權重	第三層評估指標	權重
民宿業整體經營績效值	A.行政面	0.23	A1.行政效率	0.2
			A2.行銷通路效率	0.33
			A3.設備現代化	0.35
			A4.軟體品質	0.12
	B.財務面	0.31	B1.營收成長率	0.18
			B2.資本生產力	0.16

			B3.投資報酬率	0.14
			B4.單位客房營運收入	0.1
			B5.償債能力	0.21
			B6.負債比率	0.21
	C.顧客面	0.26	C1.顧客關係	0.22
			C2.企業形象	0.2
			C3.顧客滿意度	0.25
			C4.顧客忠誠度	0.24
			C5.市場佔有率	0.09
	D.成長面	0.2	D1.員工滿意度	0.23
			D2.教育訓練	0.18
			D3.員工生產力	0.16
			D4.客房使用率	0.22
			D5.服務人員專業度	0.21

二、模糊績效分數計算

根據業者所提供之資料，使用模糊理論，彙整八位專家實地評估二十項評估準則後；依據五種感認尺度：「非常不滿意」、「不滿意」、「普通」、「滿意」、「非常滿意」為基準，分別填寫受訪者個人在五種感認尺度的三角模糊數以及五家業者在二十項準則之感認值。

依據式(1)、式(2)、式(3)，計算求得五家業者分別在二十項準則值的三角模糊數，如表2所示。

表2 模糊績效分數

準則 業者	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6
A-L	61.25	49.65	62.40	79.32	48.36	45.49	45.25	53.16	54.63	60.15
A-M	78.33	66.19	71.60	59.08	57.56	55.19	55.92	62.29	63.29	71.26
A-U	92.18	79.46	88.62	68.04	67.12	64.69	67.20	72.85	72.45	85.37
B-L	49.16	51.19	55.61	51.45	51.62	46.02	53.19	53.19	56.31	62.19
B-M	62.14	66.79	70.05	61.20	62.33	55.76	62.28	64.29	67.20	74.93
B-U	81.26	72.65	71.26	69.98	69.91	65.37	68.84	70.59	72.16	77.03
C-L	61.02	59.87	60.19	49.57	59.86	44.29	52.48	56.34	49.91	64.26
C-M	70.30	61.59	69.72	59.22	69.83	53.59	62.01	66.09	67.49	70.39
C-U	88.15	72.26	74.56	67.92	75.12	63.10	68.14	72.49	73.16	80.59
D-L	53.20	52.19	55.46	48.76	57.92	54.29	49.09	49.65	57.34	66.15
D-M	66.91	66.74	61.57	63.09	70.34	63.91	59.69	52.16	66.07	71.59
D-U	83.41	81.06	73.44	73.41	76.58	73.71	68.55	62.12	75.24	80.39
E-L	62.49	59.62	59.21	49.92	56.51	54.62	47.49	55.10	55.37	64.19
E-M	71.34	64.59	71.10	59.63	66.49	65.12	60.19	57.69	65.04	70.09
E-U	82.65	77.61	79.60	70.59	75.19	76.20	74.69	75.37	74.26	81.97
準則 業者	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5
A-L	52.71	54.88	52.46	65.16	53.66	53.01	53.14	51.66	54.62	49.48
A-M	64.19	64.12	58.98	71.85	64.62	62.64	64.98	61.54	64.15	61.26
A-U	70.89	73.19	69.45	86.45	75.38	71.34	78.08	73.64	72.76	70.26
B-L	60.29	50.26	53.02	66.95	59.71	54.88	53.94	59.45	53.08	50.19
B-M	68.79	62.79	61.97	71.95	63.45	64.21	61.48	66.74	62.17	66.49
B-U	72.65	73.14	73.04	75.36	71.84	70.35	70.09	72.54	74.26	74.89
C-L	53.64	61.01	49.95	70.21	52.36	53.55	56.37	52.49	55.94	53.48
C-M	62.78	70.59	59.47	76.89	62.48	59.98	61.09	61.49	62.36	60.19
C-U	73.36	79.56	66.17	79.15	70.69	66.25	72.59	70.98	73.17	71.05
D-L	55.91	53.01	60.91	63.49	53.01	49.85	55.49	59.84	50.69	55.69
D-M	62.49	64.49	68.06	75.95	66.42	59.75	60.08	66.74	66.42	63.49

D-U	78.53	77.20	76.79	83.41	71.64	66.10	70.98	79.85	73.56	70.26
E-L	59.62	51.29	54.29	60.29	59.33	56.51	53.09	60.15	50.49	59.46
E-M	64.71	60.17	66.49	68.84	65.49	66.41	61.78	72.45	62.19	63.74
E-U	78.51	76.42	75.36	76.55	75.68	76.80	70.91	78.33	73.44	73.55

進行解模糊化運算，依據式(6)，分別計算各業者對二十項準則的最佳去模糊績效值BNP，結果如表3所示。

表 3 各家業者在各準則之 BNP 值

準則 業者										
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6
A	77.25	65.10	74.21	68.81	57.68	55.12	56.12	62.77	63.46	72.26
B	64.19	63.54	65.64	60.88	61.29	55.72	61.44	62.69	65.22	71.38
C	73.16	64.57	68.16	58.90	68.27	53.66	60.88	64.97	63.52	71.75
D	67.84	66.66	63.49	61.75	68.28	63.97	59.11	54.64	66.22	72.71
E	72.16	67.27	69.97	60.05	66.06	65.31	60.79	62.72	64.89	72.08
準則 業者										
	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5
A	62.60	64.06	60.30	74.49	64.55	62.33	65.40	62.28	63.84	60.33
B	67.24	62.06	62.68	71.42	65.00	63.15	61.84	66.24	63.17	63.86
C	63.26	70.39	58.53	75.42	61.84	59.93	63.35	61.65	63.82	61.57
D	65.64	64.90	68.59	74.28	63.69	58.57	62.18	68.81	63.56	63.15
E	67.61	62.63	65.38	68.56	66.83	66.57	61.93	70.31	62.04	65.58

三、相對績效排序

以 TOPSIS 進行各業者間相對績效之排序，由表 3 中所求得各業者對各準則

之 BNP 值再乘上表 1 各構面與各指標相對權重，可算出各業者對各準則之加權值；依式(7)與式(8)計算「正理想解」(A⁺)與「負理想解」(A⁻)，結果如表 4 所示。

表 4 各準則正負理想解(A⁺,A⁻)

準則 方案	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6
A ⁺ (max)	3.55	5.11	5.97	1.90	3.81	3.24	2.67	2.01	4.31	4.73
A ⁻ (min)	2.95	4.82	5.11	1.63	3.22	2.66	2.44	1.69	4.13	4.65
準則 方案	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5
A ⁺ (max)	3.87	3.66	4.46	4.71	1.56	3.06	2.28	2.25	2.81	2.75
A ⁻ (min)	3.58	3.26	3.80	4.28	1.45	2.69	2.23	1.97	2.73	2.59

由式(9)計算出各業者與「正理想解」的距離(S_i^+)及「負理想解」之距離(S_i^-)，最後由式(10)計算各方案對理想解的相對接近程度(C_i^*)。結果如表 5 所示。

表 5 各業者與正負理想解之距離與相對接近程度

業者 理想解	A	B	C	D	E
S_i^+	1.16993	1.34562	1.20850	1.15925	0.81115
S_i^-	1.21688	0.68670	1.08277	1.19198	1.30006
C_i^*	0.50984	0.33789	0.47256	0.50696	0.61579
相對排名	2	5	4	3	1

伍、結論與建議

一、研究結果

評估模式選擇得宜與否攸關評估結果的正確性。利用 AHP 可有效求得起始權重；為因應績效評估所面臨的不確定性，模糊理論相當適合用來描述與表現評量的結果；用 TOPSIS 來排列各方案之優先順序，可以避免產生一方案距離正理想

解最近、又距負理想解最近，以及距正理想解最遠、又距負理想解最遠不易比較的缺點。本研究整合「AHP」、「Fuzzy Theory」以及「TOPSIS」等技術，應用於服務業，對民宿業的「多目標績效評估」做研究。

研究結果整理如下：

1. 整體而言，專家們認為民宿業經營較為重要的構面為顧客面、財務面兩項，其次為行政面、成長面兩項。
2. 本研究最終目標乃經由模糊理論及 TOPSIS，求出五家業者之排序，分別為 E>A>D>C>B，結果可作為相關業者改善之重要依據與決策參考。
3. 本研究所建立之層級架構及準則，能有條理的讓決策者容易掌握民宿經營的關鍵因素，並瞭解各項評估因素之相對重要程度，使決策者在進行規劃時能從全方位管理角度來思考問題，以做出正確的抉擇而降低風險。

二、後續研究建議

本研究僅針對評估模式權重設定與績效分數給定與整合的部份作探討，有關評估準則之選擇可做為後續研究的方向。

本研究以單架構模式求得權重，後續可朝多架構進行研究，以期得到更廣泛、更理性與客觀的評估結果。

陸、致謝

本研究之經費由國科會提升產業技術及人才培育研究計畫（NSC 96-2622-E-164-002-CC3）補助支持，特此致謝。

參考文獻

- [1]. 王小娥，2006，國內全區行動電話業者經營績效評估之研究－模糊多準則評估方法之應用，國科會專題研究報告(NSC 94-2416-H-218-006)。
- [2]. 王國明，顧志遠，洪振創，1998，「服務業績效評估模式建立與應用研究(1/3)」，國科會專題研究報告(NSC-87-2213-E-155-006)。
- [3]. 王榮祖，2006，貨櫃航運業績評估架構建立之研究，國科會專題研究報告(NSC 94-2416-H-238-004)。
- [4]. 江丙坤，1998，邁向國際化-看台灣產業趨勢，工業工程年會演講。
- [5]. 張偉民，2006，模糊多準則決策分析於國家太空通訊系統之評估」中原大學企業管理研究所碩士論文,pp.1-130。
- [6]. 陳義分、陳映君、陳麗燕、楊千芝，2009，以多架構觀點建立績效評估模式,修平學報,Vol.19, pp.73-86。
- [7]. 鄭文英，1984，分析層級程序法中屬性權重的統計估計式之探討，交通大學管理科學所博士論文, pp.38-67。
- [8]. 潘南飛，謝孟勳，賴逢昇，2003，「層級分析法(AHP)應用於評選最佳邊坡生態工法之研究」，2003年兩岸營建環境及永續經營研討會，台北：pp.199-210。
- [9]. 鄧振鴻、曾國雄，1989，分析層級程序法(AHP)的內涵特性與應用(上)，中國統計學報，2716，

- pp.1-20。
- [10].鄧振鴻、曾國雄，1989，分析層級程序法（AHP）的內涵特性與應用（下），中國統計學報，2176，pp.5-22。
- [11].顧志遠，2006，「模糊多架構績效評估模式建立之研究」，國科會專題研究報告（NSC 94-2213-E-033-021）。
- [12].Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. ,(1970), Decision making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17(4): 141–164.
- [13].Buckley, J. J.,(1985), Ranking alternatives. Using fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and System*, 15: 21–31.
- [14].Dubois, D.,Prade, H.,(1978), Operations on Fuzzy Number, *International Journal of Systems Science* ,vol.9:613-629.
- [15].Fornell, C., M.D. Johnson, E.W. Anderson, J. Cha, and B.E. Bryant ,(1996), The American Customer Satisfaction Index: Nature, Purpose, and Findings, *Journal of Marketing*, Vol. 60, Oct.:pp. 7-18.
- [16].Goodman, J., (1989), The Nature of Customer Satisfaction, *Quality Progress*.
- [17].Hwang, C., & Yoon, K. ,1981, Multiple attribute decision making: Methods and application. New York: Springer.
- [18].Kast, F. E. and J. E. Rosenzweig, (1979) , *Organization and Management : A Systems and contingency Approach*, New York : McGraw –Hill , Inc.
- [19].Ostrowski, P. L., O'Brien, T. V., & Gordon, G. L. ,(1993),. Service quality and customer loyalty in the commercial airline industry. *Journal of Travel Research*, 32(2):pp.16–24.
- [20].Parasuraman, A., Zeithaml, V. A. & Berry, L. L. (1988), SERVQUAL: A multiple item scale for measuring consumer perceptions of service quality, *Journal of retailing*, 64(1):pp.12-40.
- [21].Saaty, T. L. ,(1980), *The analytic hierarchy process: planning, priority setting*. New York: McGraw Hill International Book Co..
- [22].Sheng-Hshiang Tsaura, Te-Yi Changb, Chang-Hua Yen, (2002) , The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM, *Tourism Management* 23: pp.107–115
- [23].Szilagyi, A. D.,(1981), *Management and Performance* , California Goodyear Pub.: pp. 39.
- [24].T.L.Saaty and E. Erdener,(1979),A New Approach to Performance Measurement -The Analytical Hierarchy Process, *Design method and theories*, Vol.13, N0.2:pp.64-72.
- [25].Zadeh, L.A.,(1965), “Fuzzy Set” , *Information and Control* ,vol.8, pp.338-353.
- [26].Zhao, R ., Gorvind, R.,(1991), “ Algebraic Characteristics of Extend Fuzzy Number, *Information Science*, vol.54: pp.103-130
-

附錄一：TOPSIS 計算過程與結果

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6			
A-加權績效	3.55	4.94	5.97	1.90	3.22	2.73	2.44	1.95	4.13	4.70			
B-加權績效	2.95	4.82	5.28	1.68	3.42	2.76	2.67	1.94	4.25	4.65			
C-加權績效	3.37	4.90	5.49	1.63	3.81	2.66	2.64	2.01	4.14	4.67			
D-加權績效	3.12	5.06	5.11	1.70	3.81	3.17	2.57	1.69	4.31	4.73			
E-加權績效	3.32	5.11	5.63	1.66	3.69	3.24	2.64	1.94	4.22	4.69			
A ⁺	3.55	5.11	5.97	1.90	3.81	3.24	2.67	2.01	4.31	4.73			
A ⁻	2.95	4.82	5.11	1.63	3.22	2.66	2.44	1.69	4.13	4.65			
$(r_{ij} - A_j^+)^2$	0.00	0.03	0.00	0.00	0.35	0.26	0.05	0.00	0.03	0.00	0.72	S1 ⁺	1.16993
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.36	0.08	0.48	0.05	0.15	0.23	0.00	0.01	0.00	0.01	1.36	S2 ⁺	1.34562
$(r_{ij} - A_j^+)^2$	0.04	0.04	0.24	0.07	0.00	0.33	0.00	0.00	0.03	0.00	0.76	S3 ⁺	1.20850
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.19	0.00	0.74	0.04	0.00	0.00	0.01	0.10	0.00	0.00	1.09	S4 ⁺	1.15925
$(r_{ij} - A_j^+)^2$	0.05	0.00	0.12	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.26	S5 ⁺	0.81115
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.36	0.01	0.74	0.07	0.00	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	1.27	S1 ⁻	1.21688
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.01	0.05	0.06	0.01	0.00	0.21	S2 ⁻	0.68670
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.17	0.01	0.14	0.00	0.35	0.00	0.04	0.10	0.00	0.00	0.81	S3 ⁻	1.08277
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.03	0.06	0.00	0.01	0.35	0.26	0.02	0.00	0.03	0.01	0.76	S4 ⁻	1.19198
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.13	0.08	0.27	0.00	0.22	0.33	0.04	0.06	0.01	0.00	1.16	S5 ⁻	1.30006
	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5		C1 [*]	0.50984
A-加權績效	3.58	3.33	3.92	4.65	1.51	2.87	2.35	1.99	2.81	2.53		C2 [*]	0.33789
B-加權績效	3.85	3.23	4.07	4.46	1.52	2.90	2.23	2.12	2.78	2.68		C3 [*]	0.47256
C-加權績效	3.62	3.66	3.80	4.71	1.45	2.76	2.28	1.97	2.81	2.59		C4 [*]	0.50696
D-加權績效	3.75	3.37	4.46	4.64	1.49	2.69	2.24	2.20	2.80	2.65		C5 [*]	0.61579
E-加權績效	3.87	3.26	4.25	4.28	1.56	3.06	2.23	2.25	2.73	2.75			
A ⁺	3.87	3.66	4.46	4.71	1.56	3.06	2.28	2.25	2.81	2.75			
A ⁻	3.58	3.26	3.80	4.28	1.45	2.69	2.23	1.97	2.73	2.59			
$(r_{ij} - A_j^+)^2$	0.08	0.11	0.29	0.00	0.00	0.04	0.01	0.07	0.00	0.05	0.65		
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.00	0.19	0.15	0.06	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.45		
$(r_{ij} - A_j^+)^2$	0.06	0.00	0.43	0.00	0.01	0.09	0.00	0.08	0.00	0.03	0.70		
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.01	0.08	0.00	0.01	0.01	0.14	0.00	0.00	0.00	0.01	0.25		
$(r_{ij} - A_j^+)^2$	0.00	0.16	0.04	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.40		
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.00	0.01	0.01	0.14	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.21		
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.07	0.00	0.07	0.03	0.01	0.04	0.00	0.02	0.00	0.01	0.26		
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.00	0.16	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.36		
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.03	0.01	0.43	0.13	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.66		
$(r_{ij} - A_j^-)^2$	0.08	0.00	0.20	0.00	0.01	0.14	0.00	0.08	0.00	0.03	0.53		

熱頂(hot-top)之軋輥鑄造與 傳統澆鑄軋輥之比較

蔡國鈞

摘 要

俗稱阿達麥特(Adamite)[2]之低合金鋼軋輥，一般採底澆式鑄造，通常在接近冒口處的輥洞部易發生縮孔。雖經加大冒口，並在軋輥內放置冷鐵棒或在冒口處套以發熱保溫套等改善措施，但效果一直不如理想。

解決上述軋輥鑄造缺陷，可改善冒口補充效果，以防範縮孔之發生。採用熱頂(hot-top)底澆式鑄造後，與原來傳統方式鑄造軋輥加以比較各項有關數據，可得到比較滿意的結果。

關鍵詞：熱頂式鑄造法、阿達麥特軋輥、冒口。

Comparing between hot-Top casting method and traditional method used in Admite roll's casting

Gwo-Jiun Tsay

Abstract

The Admite rolls is usually casted by bottom casting gating system. This kind of method easily forms the shrinkage located at the barrel and the neck of rolls. Although a bigger riser head is used and a steel bar is added at the core of the roll, these kinds of defects still cannot be improved.

To reduce the shrinkage in the roll, we use (hot-top) method to improve the situation. Comparing to the traditional method, The hot-top method is a better way to reduce the defects from the rolls.

Keywords: hot-top casting, Admite roll, rising head.

壹. 前言

一般軋鋼廠在粗軋[1]及精軋[1]之間，常採用俗稱阿達麥特[2]之低合金鋼軋輥，因其具適當強度，韌性及表面硬度，可適應各種不相同的軋壓條件，故銷路日廣。但鑄造此種軋輥時，在接近冒口處的輥洞易發生縮孔(縮管)[3]。雖經加大冒口，並在軋輥內放置冷鐵棒或在冒口處套以發熱保溫套等改善措施，但效果不彰。

通常澆鑄軋輥均採用底澆方式，鑄模為全砂模。澆鑄時，鋼水係由砂模底部

以切線方向進入模內，並自下向上旋轉而升。此法雖不易損傷砂模，但鑄模下段鋼水溫度常較上段為高，根據以往之經驗，凝固中的鑄件，上段會較中、下段先冷，致使頂端冒口鋼水不易補充，造成鑄件上、中段形成內縮孔。

原熔鑄方法

本文所熔鑄之阿達麥特軋輥尺寸，目標成分示如表 1：

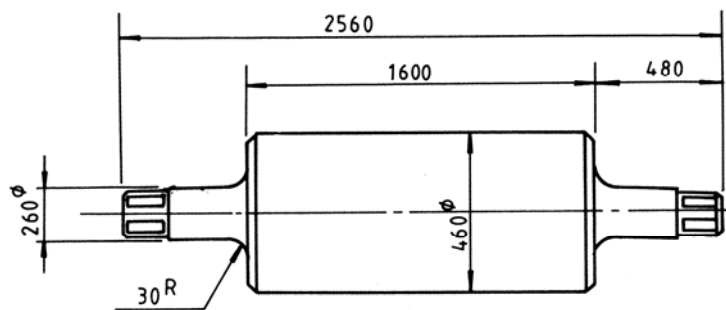


圖 1 軋輥尺寸(尺寸單位 mm)

表 1 Adamite 軋輥目標成分

C	Si	Mn	P 與 S	Ni	Cr	Mo
1.0/1.4	0.4/0.6	0.7/0.9	<0.025	—	0.8/1.0	0.2/0.4

貳. 原澆鑄方法

鋼水出爐溫度：1,600℃；澆鑄溫度：1,460~1,500℃；鋼水上升至 PL①時，改由冒口頂澆入。盛鋼桶尺寸：1,200 ψ ×1,350H；底塞孔徑：45 ψ 。48 小時後折模→切割→熱處理→加工，原採用之鑄造方案如圖 2 所示。

若考慮胴部加工裕量為 20mm，軛頸加工裕量為 55mm 時，則軛軛毛胚尺寸應為軛胴 500 ψ 及頸部 370 ψ 。利用此種敞開式冒口補充鋼水方法，一般常見的缺點有：

- (1) 首先充滿冒口處的鋼水與空氣先接觸，冷卻快，有效的補充量依以往經驗僅達冒口全重之 18% 左右，故需極大的冒口。
- (2) 僅利用冷鐵棒來控制凝固方向，效果不顯著，熱點易集於軛胴頂端而導致縮孔現象。

參. 熱頂冒口法

為改善上述缺點，採用熱頂(Hot Top)的鑄造方法，即利用冒口頂端的正負兩電極與鋼水之間產生火花，維持冒口於高溫熔融狀態，以利隨時補充軛胴的收縮。

鑄造方案設計要點如下：

- (1) 更改鑄模築砌方式：先在底部鐵框內砌築鐵磚後再敷鑄成同一尺寸，以利

上下鋼水貼薄層模砂，以防燒結。

- (2) 軛軛上半部，即胴部與頸部連貫。
- (3) 敷貼於鐵模上模砂必有推拔度，使上部砂層較下部為厚。以利控制鋼水由底向上凝固。
- (4) 利用冒口上端的碳棒電極維持冒口內鋼水於高熱狀態，以達冒口補充效果。

以上重新計劃後的鑄造方案如圖 3 所示。

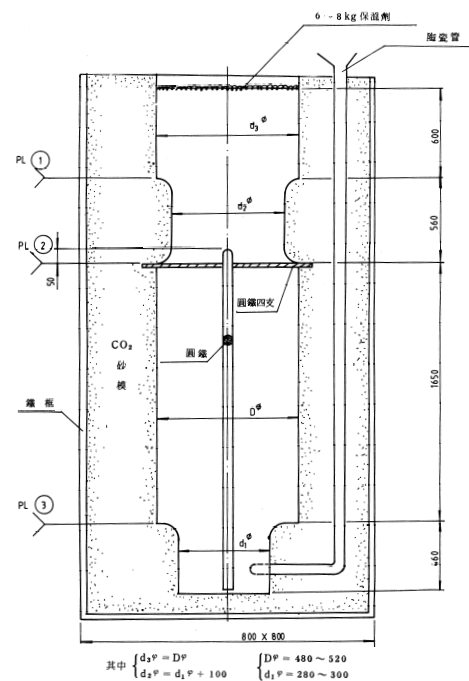


圖 2 原採用之鑄造方案(尺寸單位 mm)

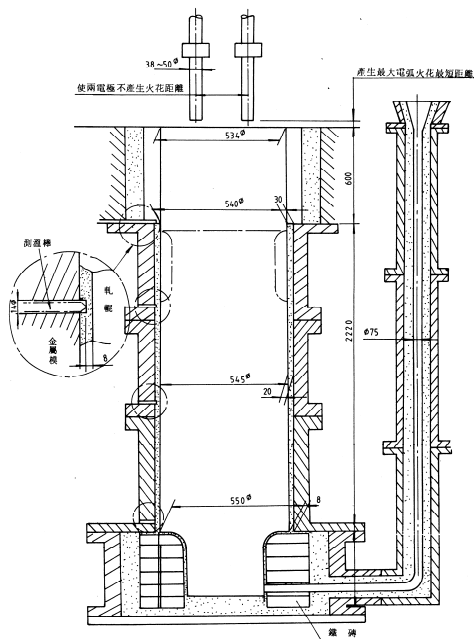


圖 3 利用熱頂(Hot top)法鑄造阿麥特軋輥之鑄造方案(尺寸單位 mm)

此時的冒口大小設計方法如下：

(1)如圖 1 所示軋輥毛胚之體積及重量

$$V = \left[\frac{\pi}{4} (0.5)^2 (1.6) + 2 \cdot \frac{\pi}{4} (0.37)^2 (0.49) \right] = 0.417 \text{m}^3$$

$$W(\text{重量}) = (0.417 \text{m}^3)(7,800 \text{kg/m}^3) = 3,255 \text{kg} = 3,300 \text{kg}$$

(2)假設此合金鋼的液體收縮(Liquid Shrinkage)，即自澆注後，鋼液開始凝固，其間溫度每下降 100°C，則相對收縮 1.6%，另據經驗 Admite 凝固收縮(Solidification Shrinkage)為 3%，即所需補充之鋼水量至少 $(3,300 \text{kg})(4.6\%) \approx 152 \text{kg}$ 。由於本方案

利用電弧熱維持鋼水於高熱狀態，由其冒口散熱損失減少，補充量必大於冒口全重量之 20%。若假設為 20%時，則所需冒口大小為 $(152 \text{kg}) / (20\%) = 760 \text{kg}$

目前使用的 500ψ×600 冒口重量為 918kg，應足夠補充，惟若再加延電弧加熱時間至軋輥完全凝固前，即更為有效。

(3)電極補充方法利用兩支直立電極棒置於軋輥之冒口頂端，以其電弧熱保持冒口中鋼水於高溫狀態，以利補充。茲將其操作程序略述如下：

①依一般方法，由澆道鑄入鋼水，由模底上升至充滿冒口頂端後，使其與插在澆口頂端中之導電體接觸以利接地。

②由上而下逐漸將兩支並排電極棒(45ψ)放下使接近鋼水表面，並使其與鋼水產生電弧為止，並記下其間距離及電量大小。此時電極棒、鋼水及接地線間將形成一回路。

③當輥洞內部鋼水發生液態收縮 1.6%後，可由冒口頂部明顯看出鋼水面降低高度為

$$(0.417)(0.016) / \left(\frac{\pi}{4} \right) (0.5)^2 \approx 34 \text{mm}$$

此為第一段冒口降低高度。此時的

電極棒需跟鋼水面下降，而仍與鋼水液面維持固定間隙，以利產生電弧，並記下第一段下降所費時間。

- ④當軋洞繼續冷卻凝固時，其凝固收縮量為 3%，亦可由冒口看出其液面再次下降值為：

$$(0.417)(0.03)/\left(\frac{\pi}{4}\right)(0.5)^2 = 64\text{mm}$$

此為第二段冒口降低高度。記下發生時間。

- ⑤當冒口完成第二段補充效果後，即表示軋洞於凝固過程中所發生的縮孔已由冒口中鋼水補充。關掉電源，移去電極棒，覆蓋保溫劑，讓軋洞自然冷卻至常溫。

試鑄情況

因電極加熱需應用高電壓，故試鑄均採用夜間離峰用電實施。此次作業，為求證新舊兩鑄造方案，即熱頂冒口與保溫冒口孰者較有效，同時以同一鋼水分別澆鑄，以利比較；有關熔鑄數據如下：

熔爐容量：9T 電弧爐

投入料：

廢鋼	5,800kg	} 總計 8,700kg
13Cr 不鏽鋼	600kg	
回爐材	2,300kg	

外觀檢視

澆鑄後軋洞靜置兩天；拆箱後，經目視觀察應用熱頂的軋洞外觀良好，冒口處

凹陷情形呈圓弧形，中間有稍有微縮現象，但不影響鑄件的健全。而應用原保溫的軋洞，其收縮情形仍嚴重。圖 4 及圖 5 顯示兩者之比較。

調整成份用各種合金如下：

Fe Si	60	kg
Fe Mn	65	kg
Fe Mo	40	kg
Fe V	6	kg
Al	2.2	kg
增炭劑	70	kg

若考慮熔鑄損失時，則實際出鋼水量約 8,400kg。澆鑄同樣大小之軋洞，各支澆鑄時間均約 3 分鐘；而澆鑄結束後在冒口上端均覆保溫劑，澆鑄後，在熱頂冒口上電極立即通電加熱。放電時間約 40 分鐘，但其間常間斷，所用之電力量為 220kW，電流約 30~40 A。

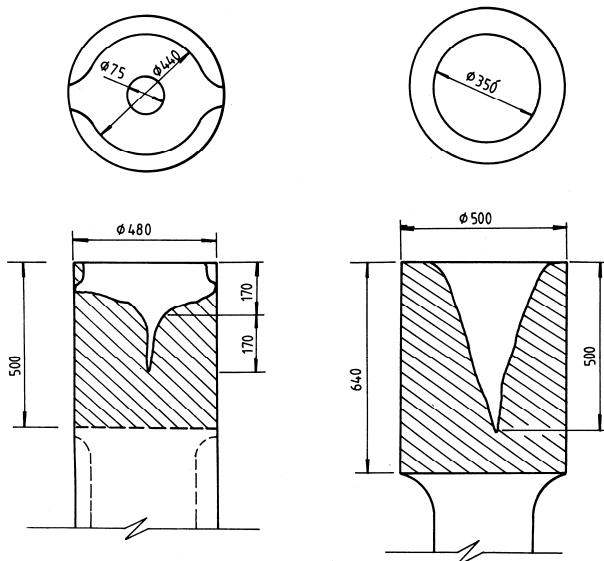
又加工後，軋洞外部硬度約蕭氏 HS40/50

肆. 冒口部比較

澆鑄後軋洞靜置兩天，經目視觀查，發現應用熱頂的軋洞外觀良好，冒口處凹陷呈圓弧形，中間稍有微縮現象。

不用熱頂澆鑄者，其收縮情形仍嚴重。顯然需較大之冒口影響到鑄造效率。

阿達麥特軋洞金相組織為波來體基及少許共晶雪明碳鐵之混合組織。



(尺寸單位: mm)

圖 4 新冒口方案

(尺寸單位: mm)

圖 5 舊冒口方案

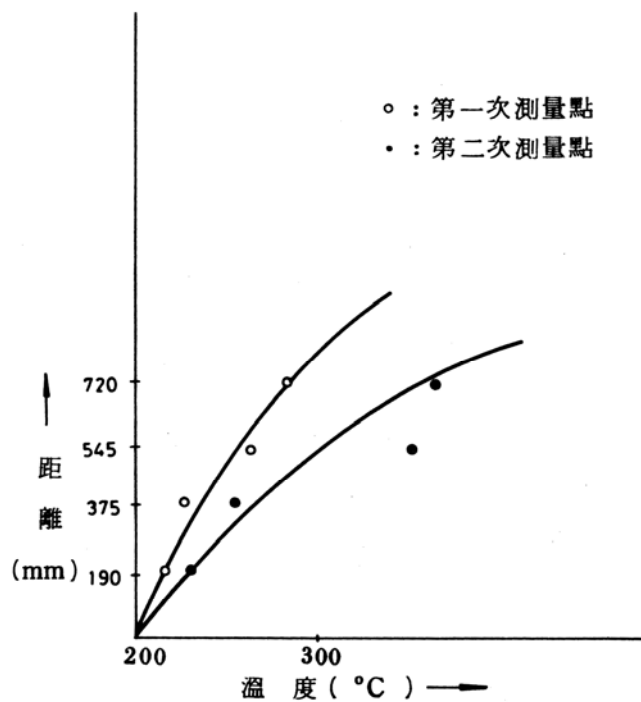


圖 6 熱頂式軋軛用鑄模之溫度分佈 PL 2 線以上

伍. 縮孔情況

當以溫度適當之鋼水由模底澆入鑄模內，而使其逐漸注滿至冒口頂端時，因鋼水係由底部上昇，雖在冒口以電弧加熱造成熱頂，但軋輥冷凝方向仍甚難捉摸；為瞭解軋輥之冷凝方向及冒口內鋼液之補充情形，於澆鑄後在距金屬模(冷卻環)下端，如圖 2 所示 PL2 線以上，190，375，545，720mm 處，各測其鑄模溫度。由於鑄模壁砂層設計之初，已設有斜度，底

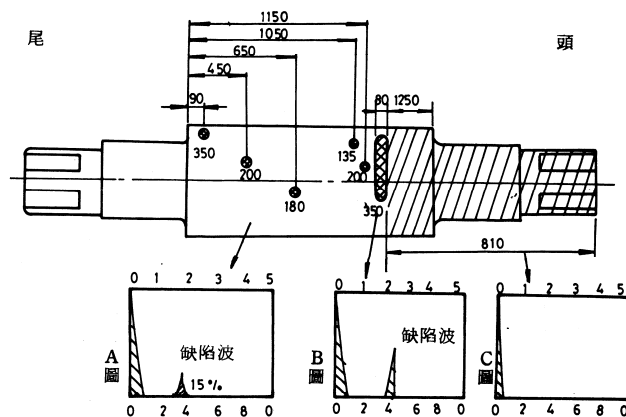
層薄、上層厚，而在頂端更有電極加熱，故理論上軋輥會由底部往上逐漸凝固，其產生之體積收縮應由冒口之鋼水補充，有利防範軸頸下部的縮孔現象。

本文所使用之測溫計，為 YEW 2572 型 AC 線數字顯示型量測，熱電偶型式為 Rh-Pt 型[4]，其測量結果及溫度曲線，如圖 6 及表 2 所示。

由圖 6，可明顯看出，軋輥之凝固方向符合預期效果，故獲得無縮管(孔)之軋輥。

表 2 熱頂式軋輥距 PL 2 線溫度

測量點	第一次測量(約澆鑄後 5 分鐘)	第二次測量(約澆鑄後 10 分鐘)
190mm 處	216°C	230°C
375mm 處	227°C	255°C
545mm 處	266°C	353°C
720mm 處	281°C	365°C



- A 圖在 1150^{mm}之前缺陷至收縮孔，波高約 15% 以下(小)。
- B 圖缺陷可能線狀或分枝狀缺陷，波高約 40% 為中缺陷。
- C 圖缺陷由於材質組織較疏鬆，音波全被吸收無回波顯示。

圖 7 軋輥軸缺陷位置 (單位 mm) (舊方案)

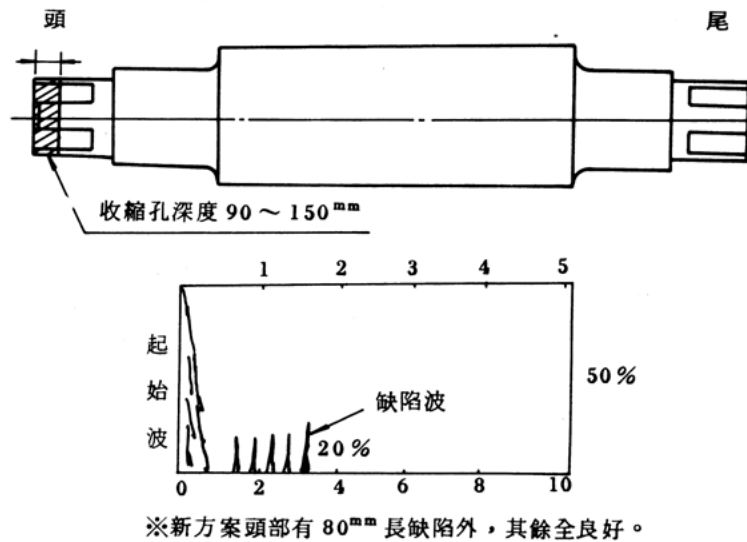


圖 8 軋輥軸缺陷位置 (新方案) (頭尾即圖 2,3 之上下之意)

陸. 非破壞性檢驗：

上輥頸與輥胴交接部份，易發生內縮孔及氣孔巢。因無法以肉眼觀察，可利用超音波探傷偵測。以適宜於合金鋼用探頭及不同周波數，如 0.5 及 1MHZ 周波數測定較遠距離及較粗大缺陷。若以 2MHZ 周波數即可測定較短距離及較細微小缺陷。針對此兩支以不同方法鑄成之軋輥進行超音波檢驗後，發現熱頂式軋輥，僅在軋輥頂端 80mm 範圍內呈微小氣孔外其餘良好，且基地組織緻密。而保溫式軋輥胴體內部多處呈現縮孔，及線狀或分枝狀缺陷，且在頂端以下至 810mm 處材質組織粗鬆，以致音波全被吸收而無回波反應

。圖 7 及圖 8 為所示檢驗結果圖。

柒. 結論

經試鑄後，由超音波檢驗顯示，原先經常發生的輥胴內部縮孔已完全消滅，且由於應用熱頂及控制模砂厚薄，方向性凝固已能有效予以控制，對獲得組織緻密的高品質軋輥已證實頗具效，使用熱頂冒口加熱法代替一般阿達邁特軋輥澆鑄之底澆法確實能有效改善原有之接近冒口處的輥胴易發生縮孔。

參考文獻

- [1] 朱紹祚 民營鋼鐵業軋鋼部門經營研

究 碩士論文 P9-P11

- [2] 工業局 策略性工業輔導第四期
P2-3
 - [3] 黃振賢 機械材料 文京 P134
 - [4] 卓照明 金屬鑄造之溫度測量及熱分
析法 中華民國鑄造學會 P48-P50
 - [5] 潘永寧 球墨鑄鐵金相組織 P32
-

有限差分法模擬向列相液晶指向場

歐崇仁、蔡曉玲、林振漢

摘要

本文提出一種計算液晶指向場的可靠程序。相較於既有的文獻，本文方法更容易直接整合於試算表中，不但適用於計算各種不對稱預傾角曲折方向和角度，也易於日後擴展到液晶的動態模擬及二維/三維的計算模擬。除了進行模擬計算，本文同時進行了網格測試，顯示了當位置接近錨定表面時由離散公式所導致的數值誤差的變化情形，而一些已發表的液晶模擬成果並沒有提到這些情況。

關鍵詞：有限差分法、液晶。

歐崇仁：修平技術學院電機工程系助理教授

蔡曉玲：修平技術學院電機工程系博士後研究員

林振漢：修平技術學院電機工程系副教授

Finite Difference Method for Nematic Phase Liquid Crystal Director Field

Chung-Jen Ou, Hsiao-Ling Tsai, Chen-Han Lin

Abstract

In this report, we proposed a reliable numerical method to calculate the director field of nematic phase liquid crystal. This simulation procedure can be applied for various asymmetric pretilt orientations and twists angles; it is also simple and easy to be extended for dynamics problems, as well as for two or three dimensional structures. The giving grid test also reveals the numerical errors near the rubbing surface, while some of the published simulation works do not mention about it.

Keywords: Finite Difference Method, Liquid Crystal.

壹、前言

對於模擬向列相液晶指向場(Nematic Phase Liquid Crystal Director Field)分佈的成果以及對於其光學特性的探討已經有許多豐碩的研究發表[1-6]。然而，對於一個有效率的液晶指向場模擬程式，特別是在優化中的應用，最好要能符合具有以下六點的特性：(1)程序一般化、(2)計算速度快、(3)算則穩定、(4)能夠進行誤差分析、(5)易於程式編碼，以及(6)較少記憶體的需求。目前仍有不少的研究論文集集中在這些議題上，但是，部分的研究成果沒有由方程式本身的特性進行各項安排進行求解，而只是直接的將既有的數值方法直接引用進行處理。這樣的處理方法不但忽略了液晶物理現象的本質，並且可能會因數值誤差而導致不正確的結果。本文將由液晶指向場方程式的本質出發，討論方程組中各相關項，並且由考慮數值穩定性的角度，解釋說明如何處理一維靜態液晶方程的數值方法。

貳、理論與方法

一、數值方法

目前主要有兩種模擬液晶的方法，分別為有限元素法(Finite Element Method: FEM)以及有限差分法(Finite Difference Method: FDM)。有限元素法主要的優點

在於可以適用於各種複雜的幾何邊界條件 [7]，而且多年來在許多領域獲得豐碩的成果。但是如果液晶面板在液晶盒(Cell)內的幾何結構不是很複雜，則相對而言使用有限差分法有其簡單易用之處，此外近年來對於差分技術的快速進展也已克服了一些傳統上對於差分法不能解決幾何複雜問題的觀念與迷思 [8,9]。由於有限差分法對於計算系統記憶體的需求較少，因此利用有限差分技術結合電子表格的計算方法成為一個研究模擬液晶指向場可行的方法。最後，有限差分法在計算流體力學領域已經驗證過可以模擬非常重要的回流(backflow)現象，這一點對於日後進行液晶動力學中類似彈性回流現象相當的重要。因此利用有限差分法進行液晶的模擬在學理上以及物理上具有可行性。

附帶一提的是，尚有一種於 1980 年代開始發展的數值方法稱為邊界元素法(Boundary Element Method: BEM)，然而就目前我們所知對於模擬液晶而言，邊界元素法對於計算液晶問題上其所需求的基本解(Fundamental Solution)[10]實際上的求解繁複，而目前既有的彈性力學的基本解即使改寫成為迭代的形式，不但在物理意義上並不明確，在實際應用上也並不能保證可以直接應用於液晶的各式邊界條件。基於以上的分析，本文將著重於闡

述液晶控制方程的有限差分程序，並且盡量簡化相關的計算程序以求得較佳的計算效率。

二、向列相液晶控制方程

液晶裝置是電壓驅動的元件。當施加電壓時由於電極化的效應 (Electric Polarization Effects)，群聚的液晶分子會進行彈性變形。液晶分子若考慮向列相液晶分子是集中於電壓驅動區域 (Active Area) 的中間地區，也就是說可以忽略要符合幾何邊界條件導致邊界效應 (Boundary Effects) 問題，本文可以將液晶分子變形的問題化簡成為一維穩態液晶問題 (圖一)。在此一維的意義並非代表描述向列相液晶的方程只有一個變數，而是代表描述此液晶特性的參量 (可以多於一個) 為單一座標變數的函數。對於向列相液晶彈性變形的行為可以由圖一的座標系統來表示，其中所引入指向場 \vec{n} (Director Field) 的概念為一個區域內一群分子平均起來的平均變形方向，而液晶指向場 \vec{n} 是利用兩個變數傾角 (Tilt) θ 以及扭轉角 (Twist) ϕ 來表示。本文中傾角代表液晶指向場沿著電場施加方向因為電極化產生的分子群體傾斜，扭轉角則為液晶分子沿著垂直於電場方向因為結構連續性行為導致的旋轉分佈。這兩個變數對於一維問題而言可以單純的化簡為空間座標

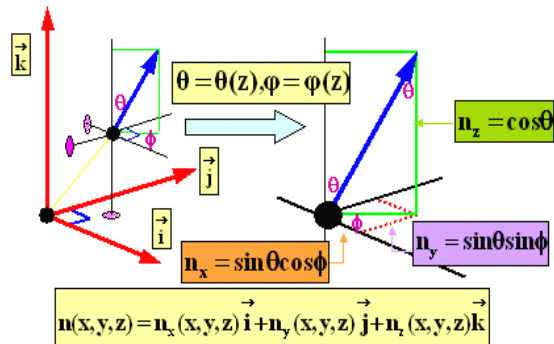
軸 z 的函數，也就是說對於本文向列相液晶的幾何描述如下：

$$\vec{n} = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta) \quad (1)$$

其中

$$\theta(x, y, z) \rightarrow \theta(z)$$

$$\phi(x, y, z) \rightarrow \phi(z)$$



圖一 向列相液晶指向場座標系統描述

文獻中有時為了區別具有扭曲角的向列相液晶，會於描述時特別稱為扭曲向列相液晶 (Twisted Nematic Phase Liquid Crystal)，但本文中則統稱向列相液晶。根據文獻的推導 [11]，對於向列相液晶彈性變形的計算可以透過使用 Frank-Oseen 彈性能量理論 (簡稱 FO 彈性理論) 來描述具有展開 (Spraying)、扭曲 (Twisting) 以及彎曲 (Bending) 向列相液晶總彈性能，並且以傾角以及扭轉角作為變分變數。應用變分原理 (Variation Principle) 於這個液晶總彈性能，則可以推導出對應於液晶傾角以及扭轉角的兩個尤拉-拉格朗日 (Euler-Lagrange) 方程。這兩個方程是分別

針對傾角 θ 以及扭轉角 ϕ 兩個變數，寫成如下可以作為描述向列相液晶指向場變形的統御方程：

$$(k_{11} \cos^2 \theta + k_{33} \sin^2 \theta) \frac{d^2 \theta}{dz^2} + (k_{11} - k_{33}) \sin \theta \cos \theta \left[\frac{d\theta}{dz} \right]^2 \quad (2a)$$

$$+ \sin \theta \cos \theta \left[\frac{2k_{22} \cos^2 \theta}{+k_{33} (\sin^2 \theta - \cos^2 \theta)} \right] \left[\frac{d\phi}{dz} \right]^2$$

$$+ \varepsilon_0 \Delta \varepsilon E^2 \sin \theta \cos \theta = 0$$

$$\frac{d}{dz} \left[\begin{array}{c} \cos^2 \theta (k_{22} \cos^2 \theta + k_{33} \sin^2 \theta) \frac{d\phi}{dz} \\ -k_{22} \frac{2\pi}{p} \cos^2 \theta \end{array} \right] = 0 \quad (2b)$$

其中 θ 以及 ϕ 都是以徑度為表示單位。 z 是卡式空間直角坐標的分量，設定為沿著電場的方向。 θ 與 ϕ 分別是液晶指向場傾角和扭轉角， k_{11}, k_{22}, k_{33} 是FO彈性理論中的三個 Frank-Ossen 彈性常數（分別對應展開、扭曲以及彎曲三種模式）， E 為系統施加的電場， $\Delta \varepsilon$ 是向列相液晶的長軸與短軸介電常數的差值， p 則是液晶的間距指標(Pitch)。關於液晶間距指標的定義為於自然狀態下液晶指向場於該驅動空間中自然旋轉的角度，這值可以由液晶扭角轉一整圈後相對應於 z 軸上行進的中心軸距離來反推計算。如果一個液晶材料於分子結構的設計過程中已經有固定的 p 值，而其形成此間距的極

性強度極大，則在這個統御方程中必須要將 p 視為已知的常數值。但是如果 p 值為未知，則代表在液晶分子受到電壓驅動的過程中，結構能量允許對於間距進行重新分配的機會，則於計算的過程中也需要同時對於 p 值進行更新迭代，即 p 值是扭曲角 ϕ 值的函數($p = p(\phi)$)。由方程式(2b)可以看出間距所對應的項目是可以由彈性扭曲係數 k_{22} 來決定的。

對於液晶方程式(2a,b)的處理，本文應用計算流體力學中，極為有效的無因次化技巧[12]，而採取下式(3)的無因次化群組來處理方程組。式(3)中下標 ref 代表參考量，上標 $*$ 代表對應的無因次量。可藉由方程式兩邊的平衡推導出特徵電場 E_{ref} 為特徵彈性常數 k_{ref} 、自由空間介電係數 ε_0 以及液晶盒厚度 d 決定。對於向列相液晶而言，取延展彈性常數 k_{11} 作為特徵彈性參考量是一個合理的考量。

$$z^* = \frac{z}{d}, E^* = \frac{E}{E_{ref}}, k_{11}^* = \frac{k_{11}}{k_{ref}}, k_{22}^* = \frac{k_{22}}{k_{ref}}, k_{33}^* = \frac{k_{33}}{k_{ref}} \quad (3)$$

$$E_{ref} = \sqrt{\frac{k_{ref}}{\varepsilon_0 d^2}} = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{k_{ref}}{\varepsilon_0}}, k_{ref} = k_{11}$$

將方程組(2a,b)進行無因次化的程序以及重新排列相關的項次，本文改寫成以下式(4a,b)的無量綱形式的傾角 θ 和扭曲角 ϕ 方程來作為後續離散化的基礎：

$$\left[\frac{d^2\theta}{(dz^*)^2} \right] = a_{R,\theta} \left[\frac{d^2\phi}{(dz^*)^2} \right] = a_{R,\phi} \quad (4a,b)$$

其中

$$a_{R,\theta} = - \frac{\left(\begin{array}{l} (k_{11}^* - k_{33}^*) \sin \theta \cos \theta \left[\frac{d\theta}{dz^*} \right]^2 \\ + \sin \theta \cos \theta (2k_{22}^* \cos^2 \theta \\ + k_{33}^* (\sin^2 \theta - \cos^2 \theta)) \left[\frac{d\phi}{dz^*} \right]^2 \\ + \Delta \varepsilon^* E^2 \sin \theta \cos \theta \end{array} \right)}{f(\theta)}$$

$$a_{R,\phi} = \frac{\left(\begin{array}{l} \frac{d}{dz^*} \left[k_{22}^* \frac{2\pi}{p} \cos^2 \theta \right] - \\ \frac{d}{dz^*} \left[\cos^2 \theta (k_{22}^* \cos^2 \theta) \right] \left[\frac{d\phi}{dz^*} \right] \\ + k_{33}^* \sin^2 \theta \end{array} \right)}{g(\theta)}$$

$$f(\theta) = k_{11}^* \cos^2 \theta + k_{33}^* \sin^2 \theta$$

$$g(\theta) = \cos^2 \theta (k_{22}^* \cos^2 \theta + k_{33}^* \sin^2 \theta)$$

式(4a,b)本文分別稱之為液晶傾角方程式以及液晶扭轉角方程式,合併稱為向列相液晶方程組。值得注意的是我們將二次微分項置於左邊,而其他的項全部集中於右邊,成為兩個特殊的源項(Source Term) $a_{R,\theta}, a_{R,\phi}$ 。在考慮液晶指向場於液晶盒邊界具有強錨定(Strong Anchoring)的物理機制時,我們對於傾角以及扭曲角同時使用如下的狄利西雷(Dirichlet)類型的邊界條件。對於傾角於液晶盒的上下表

面分別為指定預傾角(Pre-Tilt) θ_A, θ_B , 同時對於扭轉角於上下表面也分別可以指定預扭角(Pre-Twist) ϕ_A, ϕ_B 。日後對於其他類型的邊界機制,可以使用混合型(Mixed)邊界條件來描述如弱錨定(Weak Anchoring)機制的情況。由於方程式(4a,b)為無因次化的形式,因此只需要在指定的無因次化電場 E^* 下計算一次。然後藉由相似性原則以及回復因次量後,就可以得到任意厚度下的液晶指向場分佈。後續部分就可以將指向場直接視為光學擴展瓊斯矩陣(Extended Jones's Matrix)[3, 5]中的晶軸方向,應用於研究液晶隨著設計參數變化產生光學特性的變化。

三、數值方法

(一)統御方程的離散化

方程式(4a,b)為本文的核心方程組。應用有限差分法來進行處理時,對於這組方程式可以透過各種不同的離散差分技巧來進行。因為方程式(4a,b)沒有對應於流體力學中的對流項(Convection Term),因此如同目前的安排我們將對比於擴散項(Diffusion Term)的二次微分於系統的於左邊,而把其他所有的項次轉移到右邊。這種安排的優點是對於方程組(4a,b)而言,其左邊的主要項,具有完全相同的矩陣結構,因此不但只需用一套記憶體於這個系統主結構,同時也只需要於右邊的源

項進行迭代過程中更新即可。本文依據計算流體力學中廣用的差分符號[13]，可以把方程組(4a,b)改寫成進一步的差分格式(5a,b)：

$$\begin{aligned} a_N \theta_N + a_P \theta_P + a_S \theta_S &= a_{R,\theta} \\ a_N \phi_N + a_P \phi_P + a_S \phi_S &= a_{R,\phi} \end{aligned} \quad (5a,b)$$

其中差分格式的下標 $P = 2 \dots M - 1$ ，而 $M-1$ 是完成液晶盒所需要進行光學計算的層數(Layers)。一般而言決定 M 的數目是由光學模擬的結果以及經驗法則來決定，不在本文討論的範圍。但是對應於本文中差分格數的討論將於下說明。回頭檢視方程組(5a,b)，如前所言其權重 $a_N, a_P, a_S, a_{R\theta}, a_{R\phi}$ 可以由不同的差分法則(schemes)來確定 [13]。使用這些法則，我們必須注意的原則是維持 θ 和 ϕ 於計算的過程中保持數值計算的穩定性(Stabilities)，這樣才能夠確保結果收斂(Convergence)時，可以提供一個良好的液晶指向場逼近值。式(5a,b)這樣的符號系統很容易擴展到更高維的問題，例如液晶指向場的分佈成為二維或三維分佈的問題時，原則上只需對於源項或其他空間方向增加權重即可。

基本上，對於方程(4a,b)的左邊項進行權重的處理是相當直接且簡單的，但我們需要對於右邊的源項更進一步的說明於實際計算上的處理方法。首先於實際的運算上我們務必採取對於相同的項次僅

計算一次的原則來進行。因此，對於方程組(4a,b)的源項更進一步輔以前述的下標 P 改寫如下式(6)。式(6)中除了 U 、 V 與 K 只需要計算一次儲存於記憶體之外，其他的各項中輔有下標 P 代表於該格點的數值的大寫變數則代表了需要於計算模型中的每一格中(即 $P=1 \dots M$)要完成計算。而當各變數計算完成後，將對應於一維座標軸 z^* 直接儲存於試算表中的儲存格。明顯的看出這個主要的驅動變數是由電場控制的傾角 θ_P 。而扭轉角 ϕ_P 是由後續的方程來計算得出，物理機制上兩者是有差別的。

$$\begin{aligned} U &= k_{11}^* - k_{33}^* \\ V &= k_{22}^* - k_{33}^* \\ K &= \Delta \varepsilon^* E^{*2} \\ A_P &= \sin \theta_P \cos \theta_P \\ C_P &= \cos^2 \theta_P \\ S_P &= \sin^2 \theta_P \\ D_P &= k_{22}^* C_P \\ B_P &= D_P + k_{33}^* S_P \\ H_P &= k_{11}^* C_P + k_{33}^* S_P \\ J_P &= B_P C_P \\ G_P &= D_P \frac{2\pi}{p} \end{aligned} \quad (6)$$

引入(6)的符號，則(4a,b)的兩個源項可以改寫為下式(7)的計算形式：

$$a_{\theta, \phi} = -A_p \frac{\left((U) \left[\frac{d\theta}{dz^*} \right]_p^2 + (B_p + C_p J) \left[\frac{d\phi}{dz^*} \right]_p^2 + K \right)}{H_p}$$

$$a_{R, \phi_p} = \frac{\left(\left[\frac{dG}{dz^*} \right]_p - \left[\frac{dJ}{dz^*} \right]_p \left[\frac{d\phi}{dz^*} \right]_p \right)}{J_p}$$

(7)

式(7)中的各項一次微分的計算則根據下一離散誤差的說明來進行計算。

(二)離散格式與誤差

完成計算的過程中，方程組離散化後導致的離散誤差值實際上是要由液晶光學模擬所需要的層數 $M-1$ 來決定。但是這個層數對應於有限差分法而言就是切割的格點數 M (Grid Point)。基本上對於二次微分的擴散項方面，使用的差分法則本文是引用同時兼具應用效率與精確度的中央差分法 (Central Difference Method)，但對於源項中的一次微分的法則下，有數種不同的方式可以提供研究者進行，如一次前後差分 (1st Forward/Backward Difference)、二次前後差分 (2nd Forward/Backward Difference) 以及非均勻格點前後差分 (Non-uniform grid Forward/Backward Difference) 等。這些不同的一次差分組合與離散規劃將會影響到液晶計算的穩定性和準確性。本文為了確保相容的離散誤差，對於一次微分是根

據引入邊界條件的方法採取以下的三種 (8a,b,c) 方式來進行液晶方程組中一次微分項的離散化。其中對於接近並引入到邊界格點的區域，分別採取式(8a)與式(8b)的公式。而對於沒有直接引入邊界條件值的內部格點則採用式(8c)。式中的下標 N 、 P 與 S 仍是依循文獻[13]的廣義符號定義。而其中 F 為一個廣義的變數值，為式(7)源項中之間任何一個符合需要計算一階微分的函數 (即式(7)中的 θ, ϕ, G, J)。

$$\left[\frac{dF}{dz^*} \right]_p = [-F_N - 3F_p + 4F_S] / (2\Delta z^*)$$

$$\left[\frac{dF}{dz^*} \right]_p = [-F_S - 3F_p + 4F_N] / (2\Delta z^*)$$

$$\left[\frac{dF}{dz^*} \right]_p = [F_N - F_S] / (2\Delta z^*)$$

(8a,b,c)

式(8a,b,c)中每一小格的大小是由層數決定 $\Delta z^* = 1/(M-1)$ 。至於式(5a,b)左邊的二階微分導數由於可以直接引入到液晶強錨定邊界條件，因此本文採用式(8d)的中央差分以取得較高精確度。此時 F 變數對應於液晶方程的傾角 θ 或扭轉角 ϕ ：

$$\left[\frac{d^2 F}{dz^{*2}} \right] = [F_N - 2F_p + F_S] / (\Delta z^*)^2$$

(8d)

顯然方程(8d)對應到式(5a,b)的差分權重表示為 $a_N = 1, a_p = -2, a_S = 1$ 。數值實驗

證明，使用不同的離散誤差組合將減少在某些參數下液晶計算結果的穩定性。而高穩定度是對於較為複雜邊界條件以及暫態液晶流體動力學是非常重要的。為了讓本文的研究並非為所謂的拼湊目的型產出(ad hoc)，而是為真正的廣義實用計算技術，本文採取的策略為對於所有需要進行微分的項目進行相同的離散技巧並輔以格點縮小的方式來檢視其離散誤差的特性 - 即使本文產生的離散誤差較大，但好處是就實用而言我們不花費時間研究各種不同離散法於各微分項的組合導致的離散誤差的變化。對於較大的離散誤差，則利用統一的格點測試降低誤差，測試收斂性以及於光學模擬上的需求，同時配合簡單但有力的收斂法來獲得直接但有效率且易於表述處理的算則。

(三) 系統矩陣

透過前述的離散化說明，我們可以把液晶方程組(4a,b)的傾角以及扭轉角分別編寫成為如下方程(9)的形式。值得注意的是方程組的左邊保持為固定不變，如前所言，這是我們特意的讓傾角與扭轉角的方程式具有相同的矩陣結構的形式以節省計算資源。這樣的優點不但可以減少計算的時間並降低記憶體需求，同時如果要進行大型矩陣分解作為反矩陣計算的程序時(如 LU 分解)，則只需要完成一次即可。以傾角方程式為例，對於系統中非邊

界點的情況下(即 $P = 2 \dots M - 1$)滿足：

$$a_N = 1, a_P = -2, a_S = 1, a_{R,\theta} = a_{R,\theta}(\theta, \phi) \quad (9)$$

而對於邊界點($P=1, M$)的情況下直接設定 $a_P = 1, a_{R,\theta} = \theta_A; a_P = 1, a_{R,\theta} = \theta_B$ 。因此整個系統矩陣可以建立如下：

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & \\ 1 & -2 & 1 & & \\ & \dots & \dots & \dots & \\ & & & 1 & -2 & 1 \\ & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \dots \\ \theta_i \\ \dots \\ \theta_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_A \\ \dots \\ a_{R,\theta} \\ \dots \\ \theta_B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & \\ 1 & -2 & 1 & & \\ & \dots & \dots & \dots & \\ & & & 1 & -2 & 1 \\ & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \dots \\ \phi_i \\ \dots \\ \phi_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_A \\ \dots \\ a_{R,\phi} \\ \dots \\ \phi_B \end{bmatrix}$$

(10a,b)

或簡寫成以下的矩陣符號的形式：

$$\begin{aligned} [A]\{\theta\} &= \{a_{R,\theta}\} \\ [A]\{\phi\} &= \{a_{R,\phi}\} \end{aligned} \quad (10c,d)$$

方程(10a,b)中，主矩陣[A]為標準的 $M \times M$ 的三條對角軸矩陣(Tri-diagonal Matrix，其他離軸元素均為零)。因此實際上的儲存空間以及計算的法則可以大大的降低。再一次的強調方程式右邊的 $a_{R,\theta}$ 以及 $a_{R,\phi}$ 項同時為傾角以及扭轉角的函數(雖然其驅動機制不同)，因此方程組是非線

性耦合方程組，因此在數值計算上的處理技巧是將前一次的計算結果作為 $a_{R,\theta}$ 以及 $a_{R,\phi}$ 的估計值。而邊界條件的引入式利用第一個以及最後一個矩陣元素來完成。經由這樣的作法，這一組耦合的離散方程組對液晶系統可以直接進行求解，因此只要是符合 FO 彈性能量形式的穩態液晶指向場都可以由本法完成模擬。

最後，本法更重要的在於擴散形式的系統矩陣[A]具有較佳的數值穩定性。由於在迭代期間系統矩陣保持不變，因此確切的反轉矩陣可先行計算。除了試算表既有的求反矩陣程序外，日後可以使用高效率的矩陣迭代法 SIS 進行求解[14]可以更大的節省中央處理單元的時間。這樣可以滿足後續需要較為大量矩陣運算的光學模擬的需求。

(四) 邊界條件

在前一節已經提及了邊界條件於系統矩陣的處理方法。在強錨定的條件下，對於傾角而言其底部邊界條件的引入於系統矩陣中離散的權重如下：

$$a_N = 0, a_p = 1, a_s = 0, a_r = \theta_A \quad (11)$$

而類似的權重也同時適用於引入其他的邊界條件。這部分本文已於前提供了表達的形式。藉由強錨定的邊界條件和系統矩陣所具有較為穩定的擴散類型系統矩陣，提供整個系統算則一個較為穩定的計

算程序。由於矩陣[A]的行列式值 (Determinate) $|A| \neq 0$ ，因此方程式(10a,b)有解，且標準的擴散形式矩陣在適當控制源項的逐次變化下，其迭代的具有相當的穩定性。

本文所提方法能簡化模擬的複雜度，而計算誤差的控制就由格點的大小以及其相關的收斂測試來完成，因此這部分的實踐可以藉由表一網格測試來對於不同的邊界條件的組態完成驗證。因此，儘管有時本文方法在第一階段的初始數值的解上，有可能產生與液晶本質方面趨勢完全不同的解，然而如果藉由網格測試的判斷就可以排除其不符合物理特性的解，這時改變鬆弛化的因子可以引導算則尋求到其他較為合理能量分佈的指向場解。

(五) 逐次超鬆弛法 / 反覆程序

當利用方程組(10a,b)解得第一次的傾角分佈以及扭轉角分佈以後(分別以上標 n 表示 θ^n, ϕ^n 表示)，我們將這一組解作為重新計算源項的依據後，作為再一次利用方程組求得新的一組解。本文以下式的逐次超鬆弛法程序(Successive Over Relaxation; SOR)[15]作為更新式(10a,b 或 10c,d)的依據，以獲得下一次(以上標 $n+1$ 表示)新的傾角 θ^{n+1} 以及新扭轉角 ϕ^{n+1} 的數值。我們重複這樣的程序直到獲得一

組符合特定收斂條件的解。為了更為清楚的表達算則，在此將方程組(10c,d)改寫成以下的數值迭代形式：

$$\begin{aligned}\{\theta\}^{n+1} &= [A]^{-1} \{a_{R,\theta}\}^n \\ \{\phi\}^{n+1} &= [A]^{-1} \{a_{R,\phi}\}^n\end{aligned}\quad (12a,b)$$

最後重新進行逐次超鬆弛法(以兩個分別介於 0 到 1 之間的參數 $\omega_\theta, \omega_\phi$) 獲得一個真正我們於下一次迭代所要使用的傾角與扭轉角：

$$\begin{aligned}\{\theta\}^{n+1} &= \{\theta\}^n + \omega_\theta (\{\theta\}^{n+1} - \{\theta\}^n) \\ \{\phi\}^{n+1} &= \{\phi\}^n + \omega_\phi (\{\phi\}^{n+1} - \{\phi\}^n)\end{aligned}\quad (13a,b)$$

$\omega_\theta, \omega_\phi$ 稱為逐次超鬆弛法的控制因子 [13,15]。這些控制因子的數值在實用上通常建議為介於 0.1 到 0.5 之間以確保迭代過程的穩定。當然也可以引入隨著收斂程度改變的適應性(Adaptive)控制。

到此我們總結整個數值程序如下：

1. 指定液晶盒的各參數
2. 猜測初次分配的傾角與扭轉角獲得於 n 時間之下的 $\{\theta\}^n, \{\phi\}^n$
3. 將方程(4a,b)以指定的有限差分法與相關的各项變數定義以及邊界條件的引入(方程式(6)到式(11))建立矩陣系統的迭代格式(12a,b)
4. 通過求解方程(12a,b)獲得 $n+1$ 時間下新的傾角以及扭轉角 $\{\theta\}^{n+1}, \{\phi\}^{n+1}$
5. 由於這時的傾角與扭轉角可能不具有

數值穩定性，因此利用式(13a,b)進行超鬆弛法獲得具有穩定性質的

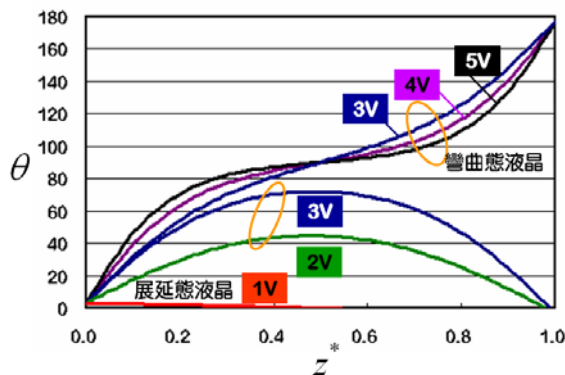
$$\{\theta\}^{n+1}, \{\phi\}^{n+1}$$

6. 用新得到的 $\{\theta\}^{n+1}, \{\phi\}^{n+1}$ 以式(6,7)更新式(12a,b)右邊的源項數值
7. 重複以上步驟 3-6 直到 $\{\theta\}^n, \{\phi\}^n$ 與 $\{\theta\}^{n+1}, \{\phi\}^{n+1}$ 之間的差異值小於可以接受的範圍
8. 輸出指向場 $\{\theta\}^n, \{\phi\}^n$ 數值提供作為後續的光學模擬

參、結果

為了驗證本文的程序，我們使用向列相液晶 ZLI-3651 的參數進行模擬。類似的模擬結果可參考文獻[1,2]，但其數值方法的缺點在於其結果取決於積分法則的數值，此外在選擇參數部分方面對於不同的液晶計算需要不同技巧，這是因為使用了牛頓法[15]的原因。圖二為本文於不同的電壓下對於彎曲態與展延態向列相液晶獲得液晶分子傾角 θ 沿著電場施加方向(即 z^* 軸)分佈的穩態曲線，單位分別為角度以及無因次化長度。這兩群的計算結果對於展延態施加的為 1~3 伏特，而對於彎曲態液晶施加的為 3~5 伏特。需要注意的是對於預傾角的給定對展延態液晶給定 3 度/-3 度，而對彎曲態液晶給定了分別是 3 度以及 177 度的邊界條件。

由圖二可以看出本文的計算結果符合物理趨勢並且與既有文獻的結果相近。在數值模擬的過程中我們發現如果其中一個預傾角大於 90 度(高彎曲態)，而方程組的預扭曲角的角度給一個較小的值(如 10^{-5})，則方程組將自然的導引出較大的間距參數 p 值。這將改變計算扭曲角 ϕ 中方程 (4b) 裡頭 $\frac{d}{dz^*} \left[k_{22}^* \frac{2\pi}{p} \cos^2 \theta \right]$ 這一項的值，並導引趨近於零(即 $p \rightarrow \infty$)。這是因為零扭曲結構為一個結構上的顯解(Trivial Solution)，而且扭曲角方程式的本質為傳導形式，在這種情況下 $\frac{d\phi}{dz^*} \rightarrow 0$ 的結果在數值計算上是具有穩定收斂趨勢。如果對於強錨定的邊界條件結果，只要給定確定的預傾角，這樣的情況不會出現。但是以上的實驗代表了本文方法的物理意義的自恰性(Self Consistence)。即液晶內在的間距參數 p 值與邊界條件預扭曲角於收斂時符合 $p = p(\phi)$ 。



圖二 彎曲態與展延態液晶傾角分佈

接下來就本文計算方法網格測試方面，表一提供了 ZLI-3651 於 5 伏特時傾角計算的網格測試的結果。其中表一上方分別標列了不同格點數 ($M=11,21,41,81,161,321$) 的數值，而表一左邊的列代表距離 z^* 是在液晶盒中的無因次化距離。表中的數值為傾角的角度計算結果。在實務經驗上對於角度的差異量小於 0.1 度時，利用擴展瓊斯矩陣計算液晶光學特性的結果不會有很大的影響，因此由本表中可以看出 $M=41$ 可滿足計算需求。但是如果層數較少的情況下，計算結果將與邊界層傾角與扭轉角的數值有很大的相關性，這有可能導致不正確的光學模擬結論，特別是接近液晶分子錨定邊界條件的聚酰亞胺(Polyimide)表面($z^*=0.0$ 和 1.0)。

表一 電壓 5 伏特傾角的網格測試結果

z^* \ M	11	21	41	81	161	321
0.1	44.916	46.436	46.174	46.109	46.093	46.089
0.3	80.422	81.939	81.928	81.925	81.925	81.924
0.5	89.315	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000
0.7	96.185	98.060	98.071	98.074	98.074	98.075
0.9	120.850	133.561	133.822	133.886	133.902	133.906

由於擴展瓊斯矩陣的計算時間在很大程度上取決於模擬過程中所決定的格點數 M 值。由表一可以看出對於較小網格數(如 $M=11$ 與 21)中，由逐次超鬆弛法所得到的結果仍有較大的差異量，甚至有時會有收斂困難的情況發生。這樣的現

象是由於離散誤差所產生的結果，我們可以透過使用更小的次超鬆弛因子來協助收斂，但是不可能完全消除離散錯誤。因此就實務方面而言，我們可以作的是建立液晶光學模擬需求容許角度誤差(包括傾角與扭曲角)的對照表，由此來決定本文方法所需的層數(格點數)。詳細的討論超過本文的範圍在此不與詳述。

最後值得一提的為本文技術與現有液晶模擬的軟體在準確度、計算時間以及記憶體比較。目前對於液晶模擬的商業軟體有 LCD3D、DIMOS、LCD-Master、Expert-LCD 與 Techwiz 等。就一維問題計算時間的比較方面，有限差分法的計算速度與記憶體的需求就理論上業已公論為最少。由於 DIMOS、LCD-Master、Techwiz 與 LCD3D 等均使用有限元素法，因此與這些商用軟體計算速度比較相同的切割元素時，本文所開發的程式於一維的情況下的結果可以確認為比較快。但是另外一方面比較使用有限差分法的商業軟體 Expert-LCD，經過實際模擬時我們發現其計算時間比本文快。其原因在於目前本文的程式計算是架構於 EXCEL 的 Visual Basic 解譯模式之下，因此相關的前置作業仍然較為複雜，但若改為編譯的程式則有機會較快。

而對於二維結構以及三維結構方面，有限差分法對於計算區域的切割具有

彈性，因此如果使用高次的內插函數時，有可能可以優於本文的方法。但由於本文具有所提及的矩陣結構的安排型式，配合有限差分法程式撰寫容易以及結構簡單的優點，因此在記憶體方面本文的需求比這些使用有限元素法的商用軟體為低。雖然本文的方法對於複雜結構會遇到需要極細的切割來確保精確度，但是因為對於一般的液晶盒系統方面較少為複雜的幾何外型結構，因此準確度以及切割的需求上本文的方法仍可處理。對於複雜的結構，則因為需要對於幾何外型變化較為劇烈的地方進行較密的格點切割，這時本文方法的準確度就不見得有優勢。因此，對於複雜的二維與三維的情況下如果具有等效的切割單元之下，準確度方面本文的有限差分法較低，而使用有限元素法的程式或商用軟體會有較高的準確度。然於計算時間方面以及記憶體而言本文的有限差分法比有限元素法的需求要低。因此綜合而言對於較為簡單邊界條件的二/三維液晶模擬的問題下，本文的方法仍優於有限元素法。

總結來說，本文的方法直接、簡單而且明確，因此相關的數值格式以及之間的對位安排，對於不同的液晶模式都可以使用目前商用或分享軟體的視算表來完成。而對於計算時間方面，本文測試當使用低階的 Pentium 800Hz 的系統執行

WinXP 作業系統時，以 EXCEL-XP 版本的試算表來執行時發現於 $M=81$ 的平均求解時間約為 5 秒鐘就可以達到液晶指向場收斂的結果。因此如果要利用試算表進行優化時，可以直接引用試算表既有的規劃求解法來進行。但經驗表明變數不宜超過 4 個。

肆、結論和建議

本研究提出以適當的安排液晶方程組輔以差分格式的方法來計算模擬向列相液晶的指向場。與其他文獻不同之處在於本文於方程式的處理方面較為直接，無須進行特別的數學積分處理。本文也進行網格的測試驗證收斂性，並且容易地應用於動態模擬，可於源項加入非穩態條件。未來的展望為對於各種液晶模式進行數值誤差分析、計算精度分析、穩定性分析和網格的測試，並且提供參數解的收斂空間等。

致謝

本文感謝國家科學研究委員會計劃 NSC97-2622-E-164-005-CC 『基於微顯示器與可調適光學元件於光學系統的影像品質提升技術』的經費支持。作者同時也感謝工業技術研究院電光所於液晶光學模擬技術提供的討論與協助。

參考文獻

- [1] Chen C.J., Lien A. and Nathan M.I. (1995), "A General Method to Solve the Deformation Profile of Chiral Nematic LCDs with Asymmetric Pretilt," SID Intl Symp Digest Tech Papers, Vol. 26, pp. 548-551
- [2] Chen C.J., Lien A. and Nathan M.I. (1997), "Simple method for the calculation of the deformation profiles in chiral nematic liquid crystal cells with asymmetric pretilt," J. Appl. Phys. 81(1), pp.70-73.
- [3] Yeh P. and Gu C. (1999), "Optical of Liquid Crystal Displays," John Wiley & Sons : New York.
- [4] Tsuji Tomohiro and Chono Shigeomi (2003), "Numerical Simulation of Nematic Liquid Crystalline Flow between Parallel Plates under a Magnetic Field," Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. B, 69(688), pp.2649-2656.
- [5] Wang Q. and He S. (2005), "A New Effective Model for the Director Distribution of a Twisted Nematic Liquid Crystal Cell," Journal of Optics. A: Pure Appl. Opt., Vol. 7, No. 8, 438-444.
- [6] Kamil S. M., Bhattacharjee A. K., Adhikari R., and Menon Gautam I. (2009), "The isotropic-nematic interface

- with an oblique anchoring condition,”
Journal of Chemical Physics, Volume
131, Issue 17, pp. 174701
- [7] Zienkiewicz O.C. and Taylor R.L.
(1989), “The finite Element Method,”
4th edition, McGraw-Hill.
- [8] Demirdzic I. and Muzaferija S. (1994),
“Finite volume method for stress
analysis in complex domains,” Int. J.
Num. Meth. Eng., vol 37, pp.
3751-3766.
- [9] Lee S.L. and Ou C.R. (1999),
“Integration Scheme for Elastic
Deformation and Stresses,” ASME
Journal of Applied Mechanics, Vol.66,
pp.978-985.
- [10] Brebbia, C.A. and J. Dominguez, (1989),
“Boundary Elements An Introductory
Course,” McGraw-Hill Book Company.
- [11] Gennes P.G. de (1974), “The Physics of
Liquid Crystals,” Clarendon Press,
Oxford.
- [12] Çengel Y. A. and Cimbala J.M. (2004),
“Fluid Mechanics: Fundamentals and
Applications,” 1st Edition, McGraw-
Hill, New York, NY.
- [13] Patanka S.V. (1980), “Numerical Heat
Transfer and Fluid Flow,” Hemisphere
Publishing Corporation.
- [14] Lee S.L. (1989), “A strongly-implicit
solver for two-dimensional elliptic
differential equations,” Numerical Heat
Transfer, Vol.16, pp. 161-178.
- Gerald C.F. and Wheatley P.O. (1990),
“Applied Numerical Analysis,”
Reading Mass.: Addison-Wesley
Publishing Company.
-

,

即時不斷電自動啟閉網路監控系統

劉文頡、林鴻興

摘要

「即時不斷電自動啟閉網路監控系統」是將「自動啟閉系統」與「常備用電源控制」兩者整合為一，透過 Visual Basic 發展圖形監控軟體，及擷取數位即時影像，以實現遠端控制和即時監控之目的。

本系統的優點是模擬台電不預期斷電時，能即時啟動備用電源供電，讓生產線上的物件繼續正常操作，不至於損壞。其中利用三菱公司的「FX2N PLC」去驅動馬達的啟閉，透過 RS-232 將此訊號傳輸至電腦，配合 Visual Basic 設計的監控軟體，將受監控點的狀態顯示在電腦上。同時結合 CCD 數位影像即時視訊，便可監控機台的運作是否正常，如果機台不正常啟閉或是發生故障，可以立刻以遠端控制的方式，按下緊急停止按鈕，再由現場工作人員將故障排除，如此可以避免工廠於台電斷電時所造成的損失與傷害。

關鍵詞：不斷電自動啟閉、常備用電源控制、圖形監控軟體、遠端控制。

Real time automatic activation network monitoring system with uninterruptible power supply

Wen-Jye Liou, Hung-Hsing Lin

Abstract

The automatic activation network monitoring system with uninterruptible power supply is based upon electrical power distribution system being unified with Visual Basic program and digital imaging. The power distribution system consists of automatic operating system and electricity control, and these parts can be accomplished by real time monitoring from afar. The benefit of this system is seen during power failure of the Taiwan Power transmission system, in which the system automatically switches to emergency power to supply itself, preventing any products loss of the factory. FX2 PLC is used by the system to trigger the activation of the motors, where the data signals are transferred to the computer by RS-232. Data signals are translated by Visual Basic program to correctly display messages on the computer screen. The simultaneous unification of the CCD digital imaging enables the system to monitor its status to determine if it is operational. When the system is malfunctioning, it can immediately be shut down from afar by the emergency stop switch enabling field personnel to troubleshoot the problem. This topic combines uninterruptible power supply with automatic activation, digital imaging real-time monitoring, and far-end control. The union of the three posed will be a more convenient control platform for the operators in factory, completing the goal of far-end control and real-time monitoring.

Keywords: uninterruptible power supply, digital imaging monitoring, remote control.

Wen-Jye Liou, Lecturer, Department of Electrical Engineering, HIT.

Hung-Hsing Lin, Associate Professor, Department of Electrical Engineering, HIT.

一、緒論

在自動化控制領域中，可程式控制器 (Programmable Logic Controller ; PLC) 是工業界常用的控制器，其功能是由節省外部的複雜配線控制演變而來[1]。小至單一機台，大至整個系統控制，都可見其蹤跡。由於控制環境日愈複雜，可程式控制器的功能顯得力有未逮，結合個人電腦功能擴大 PLC 在工業界應用的價值。運用個人電腦的軟體設計完成分散式監控、精密馬達定位、視覺處理、資料庫處理、遠端監控等應用，即可輕易地將 PLC 整合進控制系統中。美商國家儀器公司提出虛擬儀控 (Virtual Instrumentation) 觀念已有多年歷史，工程師使用圖形化的軟體設計

工具，建立由使用者定義的解決方案，透過網路進行量測及控制硬體，得以滿足特殊的需求，而這些需求往往是傳統儀器固定功能所無法完成。在筆記型電腦、掌上型電腦、或 PDA 上執行，更可充分表現其便利且可攜的特性。本文第二節為發展此 PLC 監控系統的研究動機，第三節到第七節為整合製作的實務說明，最後第八節則將結果做一結論及提出未來研究之建議。

二、研究動機

目前乙級工業配線檢定不再提供工配圖，只提供動作要求。為了要脫離傳統工業配線設計理念的束縛，PLC 使用狀態流程圖 (Sequential Function Chart ;

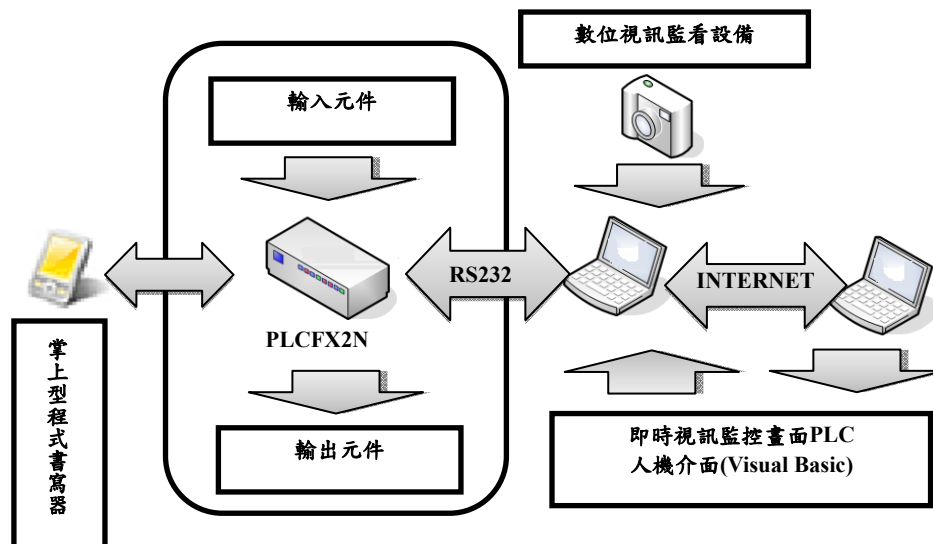


圖 1 即時監控不斷電自動啟閉 PLC 系統

SFC) 設計法設計程式，可使配線工程方面更具彈性[2]。本研究是將行政院勞委會乙級工業配線檢定題目中，第 1 題：「自動啟閉系統」與第 6 題：「常備用電源控制系統」，整合為不斷電自動啟閉監控系統，系統核心直接藉由可程式控制器(PLC)進行判斷，使用狀態流程圖(SFC)程式設計法，同時增加 CCD 數位影像，連結網際網路取得即時視訊，提供遠端機台運作監視控制的功能[3]。整體系統架構如圖 1 所示，其中 FX2N PLC 的傳輸是透過 RS-232 與 PC 溝通連結，PC 中安裝 FXGP 軟體，FX2N PLC 的程式可使用 FXGP 軟體轉換成傳統階梯圖。此設備可使用於中小企業的電源供應，具有的優點是模擬台電斷電時，能即時啟動備用電力，讓電動機依照設定的程序操作，避免生產線上的物件發生損壞。本系統可以提供報考乙級工業配線與學習 SFC 設計程式的人員實作參考，日後更可以提供給業界做整廠機台遠端監控使用。

三、自動啟閉系統動作說明

本系統設計安裝的配線機台實體如圖 2，它的方塊示意圖如圖 3 所示，自動啟閉系統動作時序圖如圖 4 所示，透過按鈕操作電動機 M1、M2、和 M3，動作說明如下[4-6]：

1. 按啟動按鈕 PB2，M1 電動機運轉

[MC1、PL1]。

2. 經 5 秒 [PL4 閃亮 5 次]後，M2 電動機加入運轉 [MC2、PL2]。
3. 再經 10 秒 [PL4 閃亮 10 次]後，M3 電動機加入運轉 [MC3、PL3] (全部的電動機都啟動完成了，PL4 燈號亮但停止閃動)。
4. 運轉中(不論啟動完成與否)或在停車狀態下，為了清除輸送帶上殘留的物件；按停止按鈕 PBI，電動機 M1、M2、M3 全部投入運轉，5 秒[PL4、PL1 交互閃亮 5 次]後，M1 電動機停止運轉。
5. 經 10 秒[PL4、PL2 交互閃亮 10 次]後，M2 電動機停止運轉。
6. 再經 5 秒[PL4、PL3 交互閃亮 5 次]後，M3 電動機停止運轉。(全部電動機都關閉了，PL4 燈號停止閃動)。
7. 正常操作執行中，按緊急停止開關 EMS，所有電動機立即停止運轉，指示燈全熄(PL4 除外)，BZ 斷續響(ON/OFF 各 0.5 秒)。
8. EMS 閃鎖解除之後，BZ 停止聲響，按 PB2 恢復執行按 EMS 之前被迫中斷的原有操作，並延續計時器中斷後未被執行的剩餘計時。
9. 運轉時，任一積熱電驛(TH)動作，各對應之電動機立即停止運轉；較該機早先已運轉的電動機，同時停止運

轉；較該機遲後已運轉的電動機和接續未運轉的電動機，繼續完成流程動作後停止運轉。

- (1) M1、M2、M3 電動機都運轉時，TH2 跳脫：M1、M2 電動機立即停止運轉→(5 秒)[PL4、PL3 交互閃亮 5 次]→M3 電動機停止運轉。
- (2) M1、M2 電動機運轉時，TH1 跳脫：
 - M1 電動機立即停止運轉→(合併跳脫前 M2 電動機已運轉之計時共 10 秒)→M3 電動機開始運轉 [PL3]。
 - M2 電動機仍繼續運轉→(10 秒)[PL4、PL2 交互閃亮 10 次]→M2 電動機停止運轉→(5 秒)[PL4、PL3 交互閃亮 5 次]→M3 電動機停止運轉。
- (3) M1、M2、M3 電動機都運轉時，積熱電驛 TH1 跳脫：M1 電動機立即停止運轉→(10 秒)[PL4、PL2 交互閃亮 10 次]→M2 電動機停止運轉→(5 秒)[PL4、PL3 交互閃亮 5 次]→M3 電動機停止運轉。

10. BZ 響，PL5 亮：警報測試／復歸按鈕 COS 切於位置 2 復歸的位置，BZ 停響。

11. 當全部積熱電驛都復歸時，BZ 響，PL5 熄；此時須將 COS 切回 1 位置，

BZ 停響。等到過載處理流程執行完畢，所有電動機停止運轉後，恢復正常操作狀態。

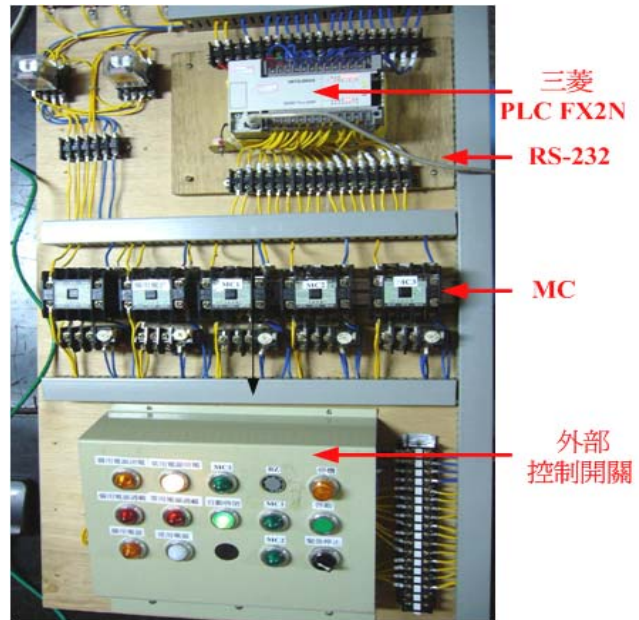


圖 2 不斷電自動啟閉系統配線機台實體圖

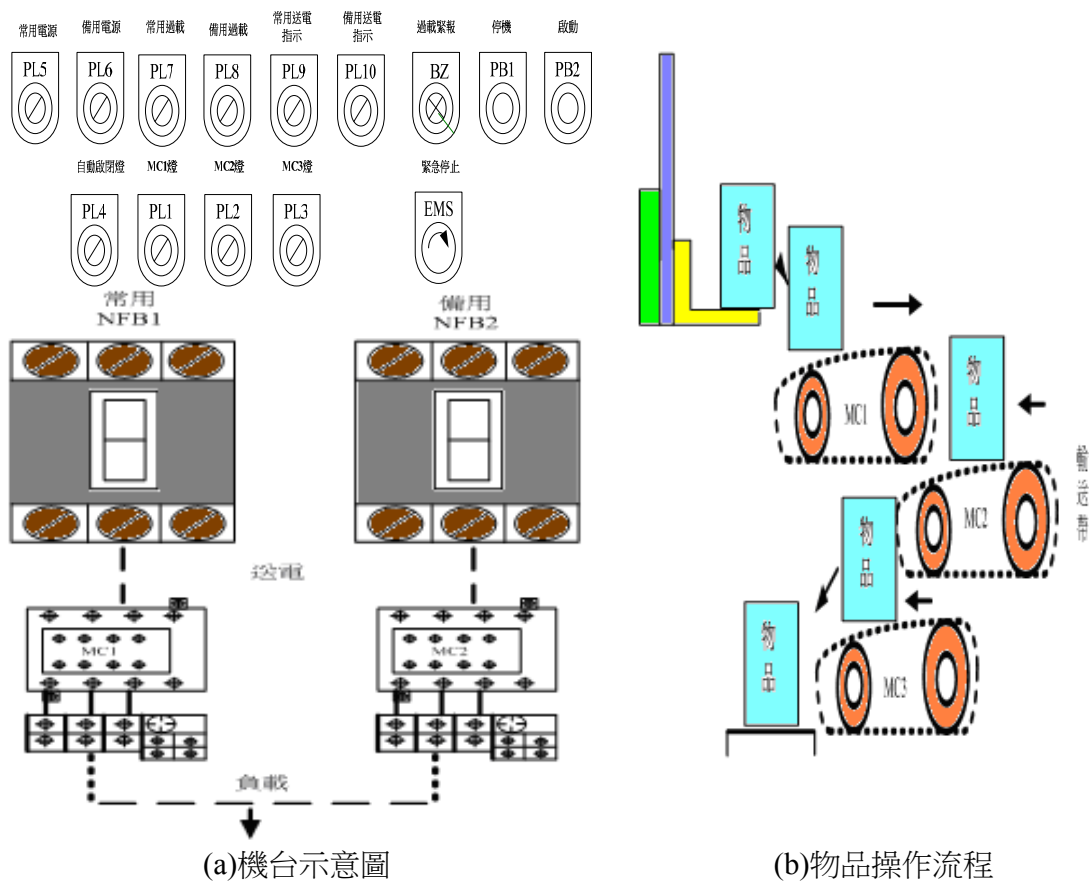


圖 3 機台方塊示意圖

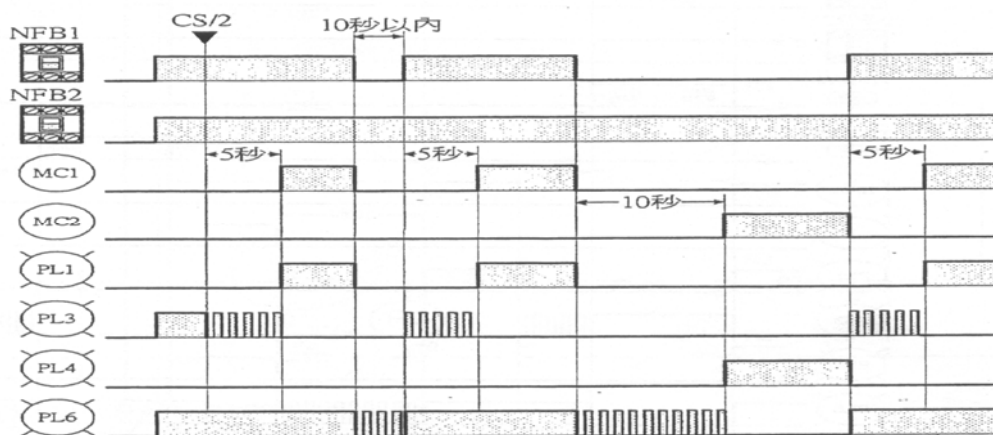


圖 4 自動啟閉系統動作流程時序圖

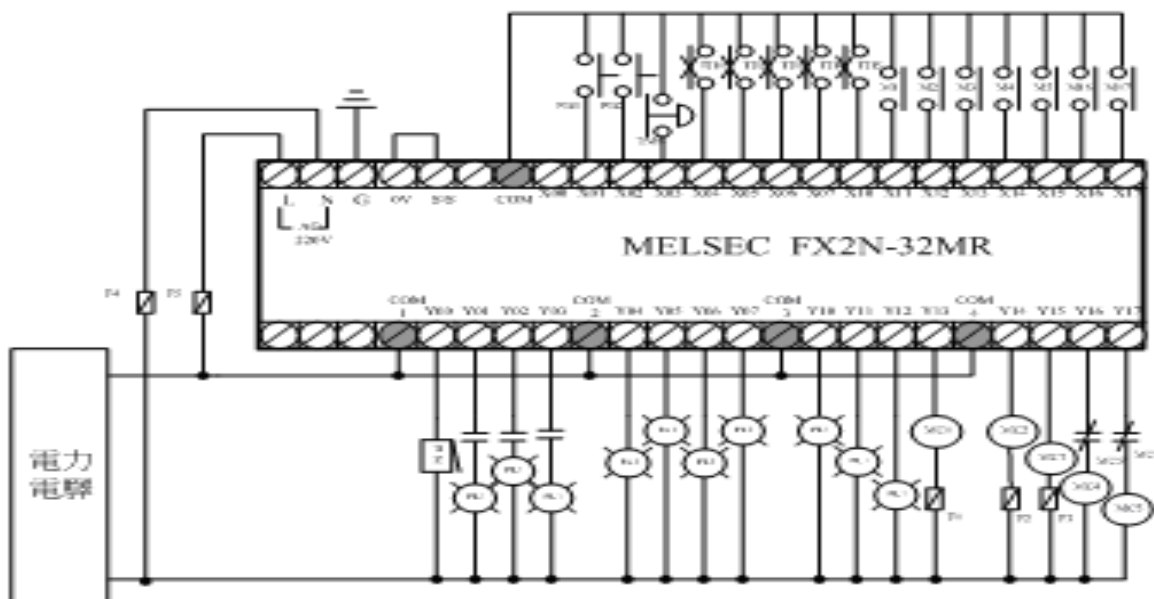


圖 6 PLC 外部配線圖

五、PLC 外部配線與連線

PLC FX2N 的外部接線圖如圖 6 所示。另外 PLC 與電腦之連線一般採用 RS-232 或 RS-485 等通訊介面[7]，且以串列方式傳輸不同的距離，而 PLC 欲連接至電腦，只需經由 RS-232、RS-232/422、或 RS-232/485 轉換器介面即可。而為了增加通訊介面操作的穩定度，接線時抵抗外部雜訊的影響必須考慮，對通訊介面的外部接線施工需注意：

1. 保持動線、高壓線遠離 PLC CPU 和通訊介面的接線，決不能將他們綁在一起，如此避免雜訊和突波感應的影響。
2. 隔離線和電纜僅在一點接地。

六、RS-232 與 PLC 連線

目前一般機器設備皆具備通訊介面 RS-232 或 RS-485。RS-232 為美國電子工業協會所提出的串列通訊介面規格標準，可應用於連接其它電腦或機器作為資料傳輸的功能。

PLC 與 PC 連線的主要工作包括：

1. 階梯圖直接由 PC 鍵盤輸入及編輯，可避免 PLC 只能輸入指令。
2. 軟體除錯容易、具人性化的視覺效果。
3. 配合軟體或自行發展監控應用軟體，可做即時監控。

FX 系列機種與電腦之連線如圖 7 所示，其中 FX2N PLC 係由 RS-232/422 轉換介面，再經 RS-232 至電腦。它的資料

通訊格式如圖 8 所示，其傳輸速率為 9600 bps、採用偶同位檢查 (even parity check)、7 個資料位元、1 個停止位元、另有總和檢查。

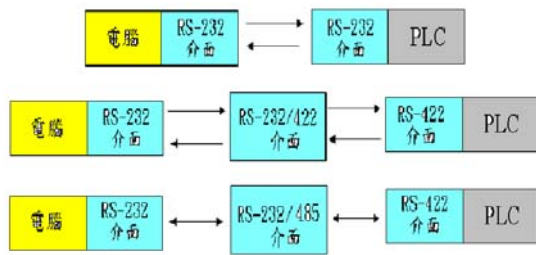


圖 7 PLC 與 PC 連線介面

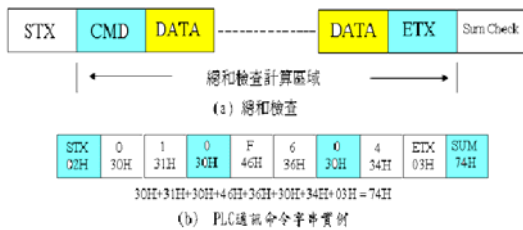


圖 8 FX 系列與電腦之資料通訊格式

ActiveX執行檔，就能達到同步程式執行的優點，使本文中CCD與PLC讀值能夠同步執行[8-11]。

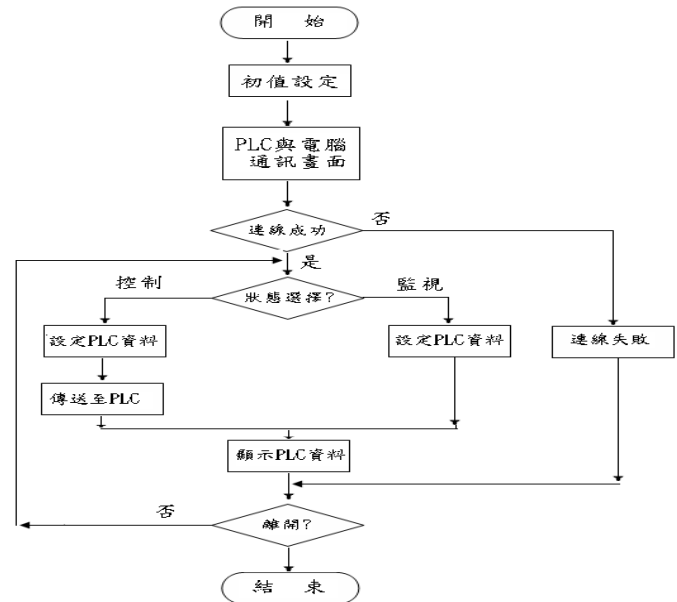


圖9 PLC與電腦連線流程圖

七、監控系統

在PLC連線監控時，經常是連續不停的傳輸或接收字串，而PC程式執行遠快於RS-232的資料傳輸，因此設計時需要考慮時間延遲的問題。圖9為監控系統之連線流程圖，和圖10為遠端監控PC系統畫面，程式大部分是進行監視過程，除了必須改變需求或是開始啟動時才進行控制過程。尤其正在進行監視過程時，需等待完成監控過程，才進行控制過程。

Visual Basic軟體本身的限制是無法同時執行多個程式，但是透過使用專案



圖10 遠端監控PC系統畫面

1. 視訊部份：

使用一顆 CCD 監視器，利用 VB 的 Timer 擷取視訊圖片，將圖片傳送至遠端，再利用 Timer 抓出視訊圖片，來達到視訊的傳送。依本文設計形式，要將 CCD 設計為多重視訊，目前無法實現。因為每一部 CCD 對於電腦的 USB 頻寬需求是固定的，無法切割使用，如果強制切割使用，會使得電腦作業系統出現容易當機的現象。所以如果採用多部監視器架構，必須另外使用視訊接收處理器，及監視專用軟體。

2. 視訊動作原理：

視訊是利用「Video Capture」捕捉程式直接讀取資料(有如上傳圖片到Server端)，Video Capture 是呼叫Windows派遣訊息的動態連結程式庫(dll)，將訊息傳給影像捕捉的動態連結程式庫。Windows 視訊的模組user32.dll，USB介面擴充槽接受CCD的訊息轉成資料user32.dll，再傳送訊息給avicap32.dll，CCD透過USB的人性化介面裝置，將資料由driver透過avicap32.dll呼叫讀取視訊影像 Picture Box控制項。

- (1) 當按下啟動按鈕時，產生一個click事件，startcap變數設為真，temp是傳送訊息給視訊的動態連結程式庫模組的傳回值。

- (2) Timer2是每隔 300ms 讀取一頁，C變數是一個專門處理圖形的類別，在Timer2裡頭是將圖形copy出來。

3. PLC 部分：

主要是利用 RS232 交握的方式讀寫資料。PC 端用一個 Timer 作輪詢式讀取寫入時，要關閉 Timer 才能寫入到 PLC FX2N，最慢在 300ms 會將資料送出給 PC，當 PC 收到一個 NAK 字元表示 PLC 在忙碌中。

4. PLC動作原理：

利用低階的動態連結程式庫(dll)呼叫，先用Create File 開啟裝置。設定交握式協定DTR RTS設定為On，用輪詢與Timer每隔 300ms 呼叫PLC讀值。

八、結論

為了脫離傳統工業配線設計，使用繼電器配電盤，費工耗時的束縛，可程式控制器(PLC)使用狀態流程圖(SFC)設計法設計程式，將使配線工程達到更為彈性，應用更為廣泛之目的。本文將乙級工業配線技能檢定題目中的「自動啟閉系統」與「常備用電源控制」兩個系統整合成一個可以在工業上實用的系統，另外增加遠端監視控制機制。以SFC設計撰寫程式，及使用VB完成圖控，進一步利用網路伺服器進行遠端控制，配合網路攝影機做遠端

的即時監視。如此設備工程師無需守在機台旁邊，甚至可以在遠端控制數部機台，以期達成節省人力、操作容易、工廠自動化的功能。

工業上機台的運作是無法容忍出錯，本系統做出來的是 PLC 遠端控制的一個藍圖，下列幾項還有改善的空間，需要更進一步探討解決。

1. 本系統讓 PC 與 PLC 做溝通是透過 RS232，採用直接與電腦連線。目前已有無線 RS232，透過無線接收器，就能發展出無線傳輸模式。
2. 網路監控資料傳輸時，會有 1~2 秒的延遲造成非同步，需要改善。
3. 網路監控使用 VB 中的 Web Server，優點是能監看多台 PLC，但缺點是容易被竊看，雖不會造成 PLC 內部程式外洩，但是生產情形會洩漏，所以需要考慮加密問題。
4. 本系統的不斷電設置於機台部份，未能將監視的電腦加入，未來希望在停電時，也能同時對電腦設置不斷電的處理機制。

司，2008 年。

- [3] 龍仁光：PLC 與網路監控，高立圖書有限公司，2005 年
- [4] 閻惠民、黃清池、黃昭明、吳明芳：FX2 可程式控制器原理與實習，高立圖書有限公司，2006 年。
- [5] 雙象公司：三菱可程式控制器 FX2N 專用指令篇，文笙書局，2000 年。
- [6] 雙象公司：三菱可程式控制器 FX2N 中文使用手冊，文笙書局，2005 年。
- [7] 龍仁光：PocketPC 無線網路與 RS-232 程式設計，文魁資訊股份有限公司，2002 年。
- [8] 業生正：Visual Basic 輕輕鬆鬆入門，全華圖書股份有限公司，2008 年。
- [9] 董大偉：Visual Basic 2005 程式設計實務教本，旗標出版股份有限公司，2005 年。
- [10] 洪國勝：Visual Basic 程式設計，全華圖書股份有限公司，2008 年。
- [11] 宓哲民：PLC-VB 圖形監控，全華科技圖書股份有限公司，2007 年。

參考文獻

- [1] 王光復：程式控制器之運用技術，華興書局，1983 年。
- [2] 彭錦銅：可程式工業配線 SFC 程式設計實務，台科大圖書股份有限公

精實服務與團體套裝旅遊服務品質模式： 以大陸來台觀光客為例

張燦明、張哲強

摘 要

精實服務的最終目標，如同企業實施全面品質管理，乃在尋求如何滿足顧客的需求，進而創造滿意的顧客。然而企業在五花八門且瑣碎繁雜的服務項目中，如何知悉顧客真正的聲音，亦即如何有效的發掘顧客所需的關鍵服務因素。因此本研究擬以從事團體套裝旅之服務業，探索顧客所需的服務品質模式。

依觀光局至 98 年資料顯示，大陸來台觀光人數已達 60 萬多人，比去年成長近 2 倍，顯示自開放觀光以來，大陸來台觀光遊客的遽增。為了瞭解大陸來台觀光旅客，對於旅行社所提供團體套裝旅遊服務品質的需求，本研究以大陸來台觀光之遊客為對象，進行團體套裝旅遊服務品質關鍵因素之調查研究。有效問卷先經項目分析，再以探索性因素分析，建構出大陸來台團體旅遊服務品質模式，包括：導遊的專業性、導遊的反應性、行程的安全性、行程的信賴性、行程的便利性以及行程的符合性等六構面。以驗證性因素分析進行配適度分析，結果顯示本研究發展的大陸來台團體旅遊服務品質模式，具有可接受的適配度與內在品質。

最後本研究經變異數分析，探討人格屬性對於服務品質構面觀點之差異，本研究發現女性對「行程符合性」的觀點較男性重要。不同教育程度，國中以下對「行程便利性」構面認為不重要。不同職業別對「導遊反應性」，以學生認為最重要。

關鍵詞：精實服務、團體套裝旅遊、探索性因素分析、驗證性因素分析。

張燦明：修平技術學院精實生產管理研究所助理教授

張哲強：修平技術學院精實生產管理研究所研究生

投稿日期：990325 接受刊登日期：990430

The Lean Solutions and Service Quality Model Applied to Group Package Tours: A Case Study of Mainland Chinese Tourists Visiting Taiwan

Tsan-Ming Chang, Che-Chiang Chang

Abstract

As with the implementation of total quality management by enterprises, the ultimate goal of lean service is to identify ways to satisfy customer needs, thereby helping to create satisfied customers. However, given the complex, fragmented range of service items that an enterprise is usually involved in providing, the question of how an enterprise can find out what customers really feel, or in other words how it can effectively identify the key service factors needed by customers, is an important issue. This research, therefore, aims to explore the type of service quality model needed by customers through an examination of service sector enterprises engaged in the provision of group package tours.

According to statistics compiled by Taiwan's Tourist Bureau, over 600,000 mainland Chinese tourists visited Taiwan in 2009, nearly twice as many as in 2008; there has clearly been a dramatic increase in the number of mainland Chinese tourists visiting Taiwan since the restrictions on travel to Taiwan by mainland Chinese were relaxed.

In order to understand the needs of mainland Chinese tourists visiting Taiwan with respect to the quality of group package tours provided by travel agencies, this study took mainland Chinese tourists as the subject of an investigation into the key factors affecting service quality for group package tours. A questionnaire survey was implemented, and the valid questionnaires were analyzed using item analysis before constructing a service quality model for group tours by mainland Chinese tourists, employing exploratory factor analysis that covered six key aspects: expertise, responsiveness of tourist guides, security, reliability, convenience and conformity to the tour itinerary. After performing goodness-of-fit analysis of internal structure by confirmatory factor analysis (CFA), the results showed that the service model of group services for visiting mainland Chinese tourists developed by the research had acceptable goodness-of-fit and internal quality.

In the last stage, the study explored, through analysis of variance (ANOVA), the different attitudes towards particular aspects of service quality deriving from personality attributes. The study found that the female tourists were more concerned than male tourists with conformity to the tour itinerary. Tourists who had been educated to junior high school level or lower also attached less importance to conformity to the tour itinerary. As regards differences between occupational groups, it was found that students attached particular importance to tour guide responsiveness.

Keywords: Lean Solutions; Group Package Tour; Exploratory Factor Analysis; Confirmatory Factor Analysis; Service Quality.

壹、前言

2008 年政權輪替後，交通部為落實新任馬總統成立「300 億元觀光產業發展基金」之政見，考量其運用範圍與現行之「交通作業基金」項下「觀光發展基金」，所設立目的與名稱相符合。因此以基金簡併原則，研擬「300 億元觀光產業發展基金規劃說明」。爾後並依據總統於 2009 年 2 月 21 日「當前總體經濟情勢及因應對策會議」指示：將「觀光旅遊」、「醫療照護」、「生物科技」、「綠色能源」、「文化創意」、「精緻農業」等，定位為 6 大關鍵新興產業。

交通部為配合此 6 大新興產業發展規劃，將 300 億元觀光產業發展基金推動方向，規劃研擬「觀光拔尖領航方案」，經行政院 2009 年 4 月 9 日第 3139 次院會通過，並於 8 月 4 日完成審查「六大新興產業規劃—觀光拔尖領航方案行動計畫」[54]。觀光局亦依此擬定 2010 年我國的觀光政策：推動「觀光拔尖領航方案」，朝「發展國際觀光、提升國內旅遊品質、增加外匯收入」之目標邁進，讓世界看見台灣觀光新魅力。然而如何提升國內旅遊品質，包括與旅遊過程息息相關的旅遊品質，究竟有哪些旅遊服務項目？而在此琳瑯滿目，諸多繁雜的旅遊服務項目中，又

有哪些是旅客所關心與重視的，此乃本研究所欲探索之重要課題。

其次大陸旅客來台觀光之主要契機，乃溯源自行政院 2001 年會通過「大陸地區人民來台從事觀光活動許可辦法」，為我國觀光旅遊開啟大陸遊客的廣大市場。然由表 1 可知歷年大陸組團來台觀光之旅客卻是寥寥無幾[55]，但自 2008 年 06 月 13 日，海基會與海協會簽署「海峽兩岸關於大陸居民赴台灣旅遊協議」後，依據觀光局至 2009 年資料顯示，大陸來台觀光人數當年度已達 60 萬多人，比去年成長近 2 倍。而相對的也促成政府核准接待大陸人士來台觀光之旅行服務業，自 2010.1.14 止，也急劇的增加至 302 家[53]。然在諸多的旅行業中，大陸遊客對其所提供的旅遊服務品質，以精實服務的角色究竟有何觀點，是否會因不同旅客之人格屬性而有所差異，此乃本研究所欲探討的另一主題。

表 1 大陸遊客來台觀光人數分析表

年份	人數
2002(入境值)	2151
2003(入境值)	12768
2004(入境值)	19212
2005(入境值)	54162
2006(入境值)	98545
2007(入境值)	81904
2008(入境值)	329204
2009(入境值)	606174

資料來源：本研究整理[54]，[55]

有關服務品質之議題，主要源自於 Parasuraman et al. [45] 三位學者提出服務品質量表，簡稱 SERVQUAL 後，服務業許多應用的研究，如雨後春筍般不斷地湧出(張燦明等人[15])。曾有學者針對服務品質議題指出：「若管理者無法有效衡量它，就無法管理它。」(Kaplan and Norton [41])，顯示服務品質的標準必須要先確定，才能有效衡量服務品質。關於服務品質的衡量，已有許多學者探討，一部份學者是研究如何衡量服務品質(Parasuraman et al.[45][46]; Cronin and Taylor [34])；另一部份學者是探討影響服務品質的因素(Hartline and Ferrell[39]; 蕭富峰 [23]; Williams[50])。然以 Parasuraman et al. [45][46]三位學者在 1985 年及 1988 年所提出的 SERVQUAL 量表，被後續研究者作最廣泛使用。目前 SERVQUAL 量表應用到許多服務業，其功能在於調查週期性的顧客，進行服務品質良窳與否之追蹤。管理者藉由 SERVQUAL 來衡量低於服務品質標準的服務項目，亦即探討顧客對服務品質期望與認知之差異。

服務品質在觀光產業方面，SERVQUAL 也曾被應用在航空公司、餐廳、飯店業(Getty and Getty[36]; Heung et al.[40])。旅行社服務業方面，Cliff and Ryan [33]修正 SERVQUAL 後，發表適合旅行社的服務品質量表。Lam and Zhang

[42]以香港旅行社為探討範圍，評估顧客對旅行社服務的期望及知覺，並研究服務構面和整體顧客滿意度的相關性。Bigne et al.[29]則使用 Delphi 分析法，發展適用於旅行社的衡量問項，並檢定構面對整體服務品質的相關程度；但是上述對觀光業服務品質的研究，並非以旅遊產品為主，意即上述服務品質的研究，大都是針對旅行社所提供的服務品質加以衡量，而非單就團體套裝旅遊本身的服務品質，予以個別的深入討論。因此，為了瞭解大陸來台觀光旅客對於旅行社，所提供團體旅遊服務品質的認知程度，本研究擬以 2009 年 10 月至 12 月間，透過旅行社以團體套裝旅遊方式，來台觀光的旅客為對象，以精實服務的觀點，探討團體裝旅遊服務品質關鍵因素之研究。

貳、文獻探討

一、團體套裝旅遊 (Group Package Tour; GPT)之定義

套裝產品(Packaging)乃為顧客組合相關產品和其他輔助性之服務，且在單一價格條件下的服務產品。如運用於觀光遊憩產業即指觀光套裝產品，將相關的旅遊設施、活動、服務等實體與非實體的成份組成的套裝產品，並以單一價格銷售 (Morrison[43])。而全備式套裝旅遊

(Inclusive Package Tour)為旅遊中不可缺乏的基本要項(容繼業[12])，例如由出發點到目的地之機票、在目的地的住宿、交通、膳食、參觀活動、專任領隊和地方導遊等，在出發前必須安排確定。旅遊產品為因應遊客與旅遊目的地的資源在某一個特定時間點的交互作用而產生。陳以超[17]指出團體套裝旅遊是由旅遊代理商或供應商依各種消費者需求，設計出旅遊商品，旅遊商品的內容，包含交通運輸、飲食、住宿、景點及娛樂等，全程由領隊及當地導遊解說、引導及沿途服務，並且對外公開發售招攬遊客組成旅行團。葉英正[19]也指出團體套裝旅遊就是旅行社事先設定目的地與路線，安排沿途的交通工具、住宿設施、膳食、參觀遊覽節目，由領隊引導、服務等一切途中所需要的事物，並公開招募消費者參加團體旅遊商品。賴國玲[24]認為團體套裝旅遊走旅行業者透過市場調查及分析，設計出符合大眾消費者需求的旅遊行程。旅遊行程的內容、旅行條件及價格均固定，可在一般市場上銷售。Morrison [43]也認為，團體套裝旅遊係指遊客於旅遊前付單一價格給旅行社，由旅行社全程安排劃旅遊事項，包含餐廳、觀光景點、交通及機票等。

二、服務品質

服務品質領域是服務行銷五大支領域之一。自 1985 年 Parasuraman et al. [45]

提出「服務品質觀念性模式」後，由於理論模式建立確定，同時服務品質衡量方法具體可行，因此即吸引了大量學者的投入，也產生了大量的相關研究報告。根據 Parasuraman et al. [45]此領域目前已成為服務行銷各領域中最重要的一個次領域。

至於衡量服務品質之構面與因素的研究，已有甚多研究者提出，以傳統的服務品質觀點來看，Sasser et al.[47]認為衡量服務品質包含七個構面：安全(Security)、一致性(Consistency)、態度(Attitude)、完整性(Completeness)、調節性(Condition)、可得到性(Availability)和即時性(Timing)。而 Parasuraman et al. [45]則提出評量服務品質的十項構面：接近性、溝通、勝任性、態度、信用性、信賴度、反應力、安全性、有形性、瞭解/熟之顧客)。Parasuraman et al. [46]精簡與修正的五項構面(即：有行性、信賴性、反應力、確實性、關懷性)，而其評量服務品質水準上所提的 22 個評量項目，係屬較為完整且廣受應用、討論之理論與架構(如：Parasuraman et al. [45, 46]等)，但 22 個評量項目應如何有效區分五項構面則受到較大的爭議(如：Carman [31]；Cronin and Taylor [34])。

三、團體套裝旅遊服務品質之衡量構面

根據 Medina-Munoz[44]針對歐洲旅

遊經營者對住宿供應商控制程度的研究中發現，在 13 個可控制的重要部份(focus of control)當中，與服務品質有關的部份為「飯店的設備」、「飯店所提供的住宿服務」、「安全保障」、「飲食服務」、和「休閒娛樂活動的提供」，經過統計分析結果顯示，旅遊經營者對住宿供應商的服務品質所能控制的程度，大約只在普通的水準，而這四個部份也不能當作住宿供應商的整體服務品質。由此可知，並非團體套裝旅遊每一個部份的服務品質，皆是旅行社可以控制的，但究竟是那些部份的服務品質是顧客重視，且又是旅行社可以有效控制的？此乃本研究所欲解決的研究問題四。再者離不了這樣的規範，因此旅行社必須要更清楚顧客對旅行社視為主力產品的團體套裝旅遊行程，所重視的服務品質要素究竟為何。

在團體套裝旅遊的服務傳遞過程中，充滿著極高的不確定性，因為這一類的產品性質屬於套裝組合產品，除了領隊服務之外，大多服務並非由旅行社直接提供，而是由各個供應商直接服務參加團體套裝旅遊的顧客，因此這中間有許多影響團體套裝旅遊服務品質的細節，是旅行社本身無法全權掌控的。例如，旅行社無法嚴格要求餐廳服務人員的外表和禮儀。雖然旅行業者有義務站在消費者的觀點來為團體套裝旅遊之服務品質把關，但在實

務上，旅行社在觀光產業系統中所扮演的角色乃屬仲介業者，因此對於服務品質之掌控，仍有別於一般之供應商。

多數國內外學者通常衡量服務品質的方法，即根據 PZB 所發展 SERVQUAL 的構面及題項去衡量服務品質的滿意程度，另一種方法則是利用團體套裝旅遊本身的特性，去衡量服務品質。根據 PZB 認為 SERVQUAL 量表不太能夠去衡量各行各業的服務品質。Geva et al.[37]也認為利用旅遊業本身特性，較能更客觀的衡量旅遊行程的服務品質。另外梅筱珍[16]的旅遊服務品質研究中，比較 PZB 的 SERVQUAL 與旅遊服務特定性服務品質構面之適用性，研究結果發現，衡量旅行業服務品質時，特定性的服務品質的構面較 SERVQUAL 所提出的一般性服務品質構面更加適用，因此本研究以旅遊業本身的特性作為外部服務品質的構面。

四、量表發展之相關文獻

DeVellis [35]指出若想要測量一些無法直接觀察的現象時，常先經由觀察人們、事物、事件和過程，集合一些題項後，利用測量的步驟，發展出量表。每個學者建構不同領域量表時，都有不同的建構流程，導致於建構量表沒有客觀且沒有正確性的流程步驟。在國內外學者會依據 Churchill[32]所發展量表程序的典範，作為

建構量表流程有 Aladwania et al.[27]、Sweeney et al.[48]、Chang et al. [30]、Yang et al. [52]、任維廉和胡開傑[1]、耿慶瑞[14]、劉小華[20]、鄭傑升[22]、巫玫慧[5]與林毓珊 [11]等學者。他們依據 Churchill[32]的典範，來作為建構量表之流程，因此研究結果大致上比較客觀及科學性。

但有些國內學者不論是否有構面定義，則是以 CR 值與 DP 值，刪除較低分數題項，再進行因素分析及 Cronbach's α 的學者有鄭傑升[22]、李建彥和張德勝[6]、蘇國楨[26]、李新民、陳蜜桃和張玉蓮[7]、徐西森[13]、吳明蒼[2]與宋麗玉[4]等學者。有些學者則在沒有構面定義時，先進行 Cronbach's α Item-to-total-Correlation，再進行因素分析，再進行 Cronbach's α 、Item-to-total-Correlation 的 Correlation 的學者有 Wang[49]、吳慧玲[3]、林吉足[9]、陳羿君[18]、蔡孝豪[21]、謝宗穎[25]、與林怡嫻[10]等學者，導致在發展量表流程的步驟，有些許不足之處。

參、研究方法

本研究為了要建構一項完整的服務品質量表，歸納出國內外近年內，針對不同研究領域的「量表建構」之相關文獻，編制初始問卷，然後透過對大陸來台旅客之施測調查，再藉由探索性因素分析與結

構方程模式，來編製適合大陸旅客的團體套裝旅遊服務品質量表。

一、問卷設計

首先，參考套裝旅遊相關文獻林心韻[8]，本研究發展 54 項套裝旅遊服務品質因素。問卷第一部分為探討套裝旅遊服務品質的重要性，藉由 Likert 七尺度量表的測量方法，來衡量旅客對每項因素重要度的觀感。七尺度量表分別以「極度重要」7 分、「很重要」6 分、「重要」5 分、「普通」4 分、「不重要」3 分、「很不重要」2 分、「極度不重要」1 分來表示其個別因素重要性之程度。第二部分：為受訪者的基本資料，包含性別、年齡、婚姻狀況、教育程度、職業、參團出國旅遊次數、月平均收入。

二、研究對象與資料蒐集

問卷設計完成經確認無誤後，便進行本階段正式問卷調查，抽樣對象為大陸來台觀光之遊客，發放 150 份，問卷發放期間為 2009 年 11 月至 2009 年 12 月間，對每批次來台之大陸遊客，以該團隊全員為一抽樣群體，透過系統性隨機抽樣方式，圈選本研究所需問卷對象。

三、研究資料分析方法

本研究有效問卷須先進行項目分析，探討問項之鑑別力與相關性。首先經由內部一致性效標分析法(criterion of

internal consistency)，將所有預試樣本由高至低排序。區分最高分前面 1/4 為高分組，與最低分後面之 1/4 為低分組。藉由高分組與低分組的獨立性 T 檢定，若顯著性大於 0.05，表示該問項不具鑑別力。

其次以因素分析法萃取服務品質構面，一般因素分析主要可分為探索性因素分析(exploratory factor analysis, EFA)與驗證性因素分析(confirmatory factor analysis, CFA)。探索性因素分析的目的在於一群雜亂無章的變數中找出共同的屬性，以發展新的假設或次理論架構，能夠將為數眾多的變數，濃縮成為數較少的幾個精簡變數，這些精簡的變數就是因素(Factor)，而因素分析的目的在於定義一個資料結構中的潛在架構。

本研究之因素分析乃以主成分分析法(Principle Component Analysis)萃取共同因素(Common Factor)，並採用 Kaiser 所提出之選取特徵根大於 1 作為因子選取的原則，其次利用因子選取的原則，其次利用 Varimax Rotation 來對因素進行轉軸，讓所有變數在因素軸上的因素負荷量(Factor Loading)之平方法達最大，且主要的目的是由樣本資料中，萃取出能夠代表套裝旅遊服務品質之構面與服務問項。

肆、研究分析

一、團體套裝旅遊服務品質項目

分析

本研究欲進行驗證性因素分析前，首先對每項前測題目進行項目分析檢定，分析項目包括平均數、標準差、極端值 T 檢定、問項與總分相關分析，分別整理如表 2 所示。由表中可知 54 項服務皆符合項目分析之要求。

二、團體套裝旅遊服務品質探索性因素分析

(一)因素分析

進行因素分析前有些限制條件，必須先確定變數各觀察值之間是否具有共同變異性，才能決定是否適合進行因素分析，本研究採取兩種工具，第一種工具：先查看 KMO(Kaiser Meyer Olkin measure of sampling adequacy)，若小於 0.5 時，表示問卷資料不適合進行因素分析，KMO 值愈高代表愈適合因素分析。本研究所得到的 KMO 值為 0.878，代表問卷資料是適合作因素分析。

第二種工具乃是 Bartlett 球形檢定，本研究近似卡方值為 1731.080，其相對機率 $P=0.000$ ，顯著性小於 0.001，亦表示本研究之問卷設計與所蒐集之問卷資料是適合因素分析。

通過 KMO 與 Bartlett 球形檢定後，本研究以 54 項套裝旅遊服務品質變數作因素分析，以主成份法(Principal

Components Solution)萃取潛在因素。由於因素轉軸之目的是為了因素構面之需求，突顯出變數與潛在因素間之關係，採用最大變異法進行直交轉軸，求算因素負荷量，以方便為潛在因素構面之命名。

本研究先以主成份法分析後，經轉軸成服務品質因素構面。問項刪減條件之檢驗標準為：因素負荷量低於 0.5，共計有第 1、3、6、7、8、9、10、13、14、16、23、24、25、26、27、29、42、43、44、45、46、47、48、50、51、52、53 題。

(二)信度分析

信度可用來衡量受測問卷的穩定性及一致性。本問卷的信度採用 Cronbach's α 內部一致性係數，檢定服務品質的信度分析結果。據 Wortzel[51]研究， α 係數若介於 0.7~0.9，表示信度相當高，介於 0.7~0.35 則信度尚可；若低於 0.35，則信度不好，則應予以拒絕。本研究從表 3 中可以看出，各構面問項之 Cronbach's α 係數皆高於 0.5 以上，顯示本研究所萃取之套裝旅遊服務品質關鍵因素構面，除了行程符合性為中信度外，其餘五構面皆具有相當高的穩定性及一致性。

(三)累積變異量

本研究以主成份分析法萃取特徵值大於 1，因素負荷量大於 0.5 之因素，並參酌陡坡圖，共萃取導遊專業的服務 6 項，行程安全性的服務 5 項，行程信賴的

服務 6 項，行程便利的服務 3 項，導遊反應的服務 4 項，行程符合的服務 3 項，以六個因素的累積解釋總變異量分別為 41.46%、48.26%、53.99%、59.25%、64.34%、68.21%，總和解釋變異量為 68.21%(如表 3)，顯示本研究所萃取的六構面具有相當高的解釋能力。

三、團體套裝旅遊服務品質結構方程模式分析

於結構方程模式分析，本文依 Hair et al. [38]建議直接以模式配適度的統計量 (χ^2)，同時檢定收斂效度與單一構面性。但 χ^2 檢定統計量易受樣本大小而影響，因此學者 Bagozzi and Yi[28], Hair et al.[38]建議以 χ^2 與自由度之比值 (χ^2/df) 小於 3，以衡量模式配適度。本研究套裝旅遊服務品質關鍵服務因素構面一階驗證性因素分析(如圖 1)，在自由度(DF)= 309 下，其卡方值 (χ^2)= 333.930，又 P 值 = 0.162，接受虛無假設。顯示本研究所建構套裝旅遊服務品質一階模式是可被接受。其次模式適合度評估方面，本研究資料分析顯示：適合度評估指標 NFI = 0.842，AGFI = 0.803，GFI = 0.839 符合 Hair et al. [38]至少要大於 0.8 以上之建議。其次 RMR=0.056 甚接近 0.05，RMSA=0.027 小於 0.05，顯示本研究服務品質關鍵服務因素六構面之模式擬合問

卷資料是合適的。最後服務品質六大構面之測量模式之評估，由圖一顯示：六大構面的測量係數值皆高於 0.69，符合 Hair et al.[38]大於 0.5 以之建議。

一、套裝旅遊服務品質構面與人格屬性變數之差異分析

人格屬性在差異分析方面，本研究先對六大構面關鍵因素，藉由 Levene 檢定，發現所有個人屬性不同群組的變異數皆無顯著差異。例如：就性別而言，男女

兩群體於六大構面的變異數並無顯著差異。

其次，以 ANOVA 進行平均數是否相等的檢定中，再經 LSD 事後檢定。本研究發現不同性別對「行程符合性」構面有不同的看法，以女性的觀點較男性重要。不同教育程度對「行程便利性」構面呈現非常顯著的差異；國中以下認為不重要。不同職業別對「導遊反應性」構面呈現顯著的差異，以學生認為最重要。除此三構面呈現顯著差異外，其餘不同人格屬性於各構面之間，皆無顯著差異。

表 2 團體套裝旅遊服務品質項目分析表

題目內容	平均數	標準差	極端值 T 檢定	相關分析
1.領隊(導遊)服裝儀容的整齊清潔	5.49	0.92	-3.76**	.51**
2.旅行社能規劃安全的交通工具(包含飛機、車輛、船...等)	6.05	0.89	-4.77**	.46**
3.旅行社所安排的飯店具有整潔的住宿環境	5.89	0.87	-3.72**	.50**
4.旅行社所安排的飯店具有美麗的景觀視野	5.52	0.84	-2.37*	.41**
5.旅行社所安排的餐廳具有清潔衛生的用餐環境	6.02	0.87	-6.68*	.60**
6.旅行社所安排的飯店各項設備的安全性	6.18	0.91	-5.44**	.49**
7.旅行社能安排具有吸引力的景點	5.62	0.83	-6.50**	.64**
8.旅行社所安排的購物商店環境的整潔性	5.38	0.83	-4.23**	.54**
9.旅行社能安排具有吸引力的購物商店	5.14	0.98	-3.29**	.37**
10.旅行社能安排具有吸引力的自費活動	5.13	1.00	-2.57**	.35**
11.在旅程中，領隊(導遊)的服務能讓團員產生信賴感	5.93	0.82	-10.6**	.72**
12.旅行社能安排搭乘聲譽良好的交通運輸公司	6.06	0.93	-8.45**	.61**
13.旅行社能安排聲譽良好的住宿飯店	5.96	0.80	-6.65**	.57**
14.旅行社會安排聲譽良好的餐廳	5.86	0.81	-7.44**	.59**
15.旅行社能安排具有知名度的觀光景點	5.66	0.85	-5.87**	.52**
16.旅行社所安排的行程能讓團員覺得有價值感	5.77	0.85	-7.52**	.67**
17.領隊(導遊)能積極協助團員辦理各項通關手續	5.96	0.86	-6.72**	.65**
18.領隊(導遊)會在集合的時間內，能準時帶領活動。	5.88	0.75	-10.8**	.74**
19.領隊(導遊)能確實按照所規劃之行程完成服務	5.86	0.81	-7.56**	.64**
20.領隊(導遊)確實詳細的進行景點之導覽解說	5.73	0.71	-6.12**	.57**
21.領隊(導遊)能詳實說明自費行程的內容範圍	6.02	0.85	-7.13**	.61**
22.旅行社能預先安排好遊程中所有的交通工具	5.87	0.75	-8.38**	.66**
23.旅行社所安排的交通具，能依預定行程時間準時接駁	5.94	0.75	-8.68**	.69**
24.旅行社所安排飯店的等級應與所規劃行程內容相符	5.87	0.80	-7.98**	.69**
25.旅行社應預先安排好住宿飯店	5.80	0.82	-7.81**	.65**
26.旅行社所安排的餐食內容應與事先規劃的相符合	5.66	0.77	-6.21**	.58**
27.在遊程中，旅行社能安排各個景點適當的停留時間	5.41	0.73	-6.97**	.61**

題目內容	平均數	標準差	極端值 T 檢定	相關分析
28.旅行社所安排的景點能與事先規劃之行程相符合	5.67	0.76	-8.99**	.68**
29.旅行社所安排的購物商店能與事先規劃之行程相符合	5.63	1.13	-4.03**	.48**
30.旅行社所安排的購物商店能提供具有品質保證的商品	5.62	1.13	-5.03**	.53**
31.旅行社所安排的自費活動能事先詳細說明內容	6.00	0.80	-6.24**	.64**
32.旅行社所安排的自費活動與事先規劃之行程相符合	6.02	0.82	-6.41**	.65**
33.領隊(導遊)具有熱誠的服務態度	6.01	0.81	-11.2**	.75**
34.領隊(導遊)具有良好的溝通協調能力	5.91	0.81	-8.39**	.68**
35.領隊(導遊)對團員的抱怨會作完善的處理	5.74	0.81	-11.8**	.75**
36.領隊(導遊)具有良好的解說能力	5.73	0.84	-11.1**	.76**
37.領隊(導遊)有能力立即答覆團員的疑問	6.02	0.94	-10.5**	.79**
38.領隊(導遊)具有基本醫療常識	5.83	0.83	10.96**	.76**
39.領隊(導遊)具有良好的帶團技巧	5.79	0.78	-7.68**	.68**
40.領隊(導遊)具有高度的敬業精神	5.90	0.82	-7.08**	.71**
41.領隊(導遊)會聆聽團員的需要	5.64	0.79	-9.01**	.75**
42.領隊(導遊)能配合團員的特定需求	5.45	0.83	-9.48**	.75**
43.旅行社會考慮團員的屬性(如: 職業、年齡)來派遣領隊	5.70	0.81	-5.66**	.54**
44.整個旅遊行程中, 領隊(導遊)能隨時親切有禮	5.84	0.81	-8.23**	.67**
45.旅行社安排行程時, 會考量景點的安全性	6.09	0.90	-8.91**	.68**
47.領隊(導遊)具有突發狀況的緊急應變能力	6.14	1.12	-7.59**	.65**
48.領隊(導遊)在遊程中, 盡力維護團員的個人隱私	5.97	0.85	-5.95**	.58**
49.旅行社所安排的行程能方便團員購物	5.29	0.85	-4.31**	.43**
50.領隊(導遊)對於團員意見能作迅速有效的處理	5.82	1.20	-10.01**	.76**
51.領隊(導遊)具備誠懇的服務態度與團員溝通	5.84	0.80	-10.2**	.75**
52.在旅程中, 團員有需要時, 可隨時找得到領隊(導遊)	5.89	0.83	-10.06**	.74**
53.領隊(導遊)在遊程中經常提醒團員注意財物與證件的保管	6.00	0.84	-5.75**	.52**
54.領隊(導遊)會隨時注意團員的安全	6.28	0.82	-5.70**	.56**

資料來源：本研究整理

表3 套裝旅遊服務品質因素負荷量、累積解釋變異量、Cronbach's α 分析表

構面	套裝旅遊服務項目	因素負荷	Cronbach's α	累積解釋變數量(%)
導遊專業性	33.領隊(導遊)具有熱誠的服務態度	0.81	0.91	41.46
	34.領隊(導遊)具有良好的溝通協調能力	0.79		
	35.領隊(導遊)對團員的抱怨會作完善的處理	0.74		
	38.領隊(導遊)具有基本醫療常識	0.60		
	40.領隊(導遊)具有高度的敬業精神	0.59		
	41.領隊(導遊)會聆聽團員的需要	0.70		
行程安全性	2.旅行社能規劃安全的交通工具(包含飛機、車輛、船等)	0.79	0.85	48.26
	5.旅行社所安排的餐廳具有清潔衛生的用餐環境	0.72		
	54.領隊(導遊)會隨時注意團員的安全	0.75		
	12.旅行社能安排搭乘聲譽良好的交通運輸公司	0.73		
	11.在旅程中，領隊(導遊)的服務能讓團員產生信賴感	0.57		
行程信賴性	17.領隊(導遊)能積極協助團員辦理各項通關手續	0.55	0.88	53.99
	18.領隊(導遊)會在集合的時間內，能準時帶領活動。	0.72		
	19.領隊(導遊)能確實按照所規劃之行程完成服務	0.71		
	20.領隊(導遊)確實詳細的進行景點之導覽解說	0.77		
	21.領隊(導遊)能詳實說明自費行程的內容範圍	0.71		
	22.旅行社能預先安排好遊程中所有的交通工具	0.58		
行程便利性	30.旅行社所安排的購物商店能提供具有品質保證的商品	0.79	0.56	59.25
	31.旅行社所安排的自費活動能事先詳細說明內容	0.69		
	49.旅行社所安排的行程能方便團員購物	0.80		
導遊反應性	4.旅行社所安排的飯店具有美麗的景觀視野	0.80	0.73	64.34
	15.旅行社能安排具有知名度的觀光景點	0.71		
	36.領隊(導遊)具有良好的解說能力	0.81		
	37.領隊(導遊)有能力立即答覆團員的疑問	0.60		
行程符合性	28.旅行社所安排的景點能與事先規劃之行程相符合	0.79	0.51	68.21
	32.旅行社所安排的自費活動與事先規劃之行程相符合	0.62		
	39.領隊(導遊)具有良好的帶團技巧	0.64		

資料來源：本研究整理

Standardized estimates
 大陸來台觀光遊客團體套裝旅遊結構方程模式分析
 卡方直CHI-SQUARE=333.491 DF=309 P值=.162 CHI/DF=1.079
 GFI=.849 AGFI=.815 NFI=.842 RMR=.055 RMSEA=.026

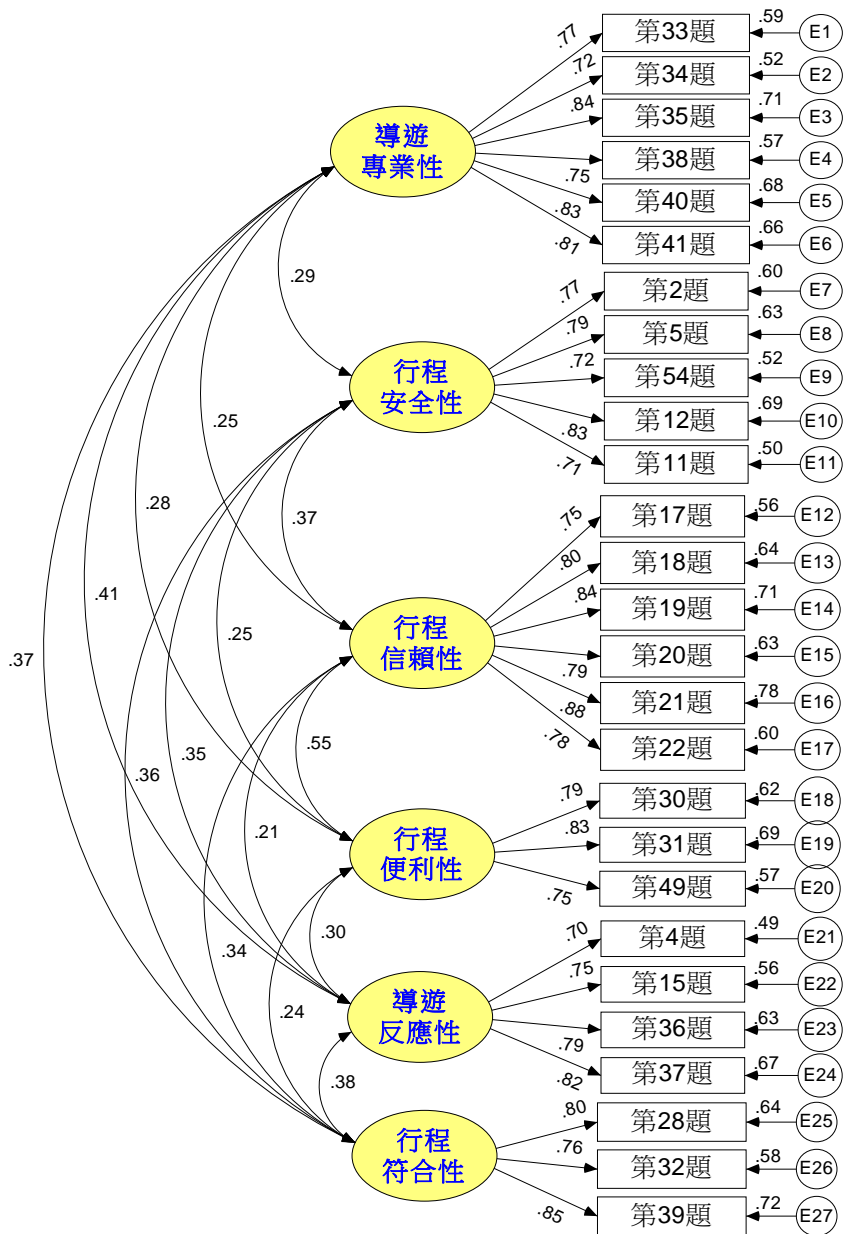


圖 1 大陸來台觀光遊客團體套裝旅遊結構方程模式分析圖

表 4 大陸遊客不同人格屬性之差異性分析

人格屬性	職業		旅遊次數		分月收入		年齡		教育程度		性別		婚姻		
	變異數相等之 Leven 檢定	平均數相等之 F 檢定	變異數相等之 Leven 檢定	平均數相等之 F 檢定	變異數相等之 Leven 檢定	平均數相等之 F 檢定	變異數相等之 Leven 檢定	平均數相等之 F 檢定	變異數相等之 Leven 檢定	平均數相等之 F 檢定	變異數相等之 Leven 檢定	平均數相等之 F 檢定	變異數相等之 Leven 檢定	平均數相等之 F 檢定	
導遊專業	統計量	1.23	1.95	1.09	1.93	0.99	0.33	0.97	0.11	1.93	1.27	0.94	1.70	0.01	0.92
	顯著性	0.31	0.11	0.36	0.13	0.40	0.81	0.41	0.96	0.11	0.29	0.33	0.20	0.92	0.34
行程安全	統計量	0.24	1.55	0.60	0.92	1.39	1.36	1.89	0.67	1.49	1.72	0.00	0.00	0.30	0.65
	顯著性	0.92	0.20	0.62	0.44	0.25	0.26	0.14	0.57	0.21	0.15	0.96	0.96	0.58	0.42
行程信賴	統計量	2.15	1.05	2.89	0.72	0.11	0.66	2.54	0.39	2.33	1.84	0.21	0.12	0.35	0.10
	顯著性	0.08	0.38	0.04	0.54	0.95	0.58	0.06	0.76	0.06	0.13	0.65	0.73	0.55	0.75

行程便利	統 計 量	0.48	0.73	6.29	1.96	3.94	0.84	1.95	0.43	1.72	5.53	3.78	0.81	0.64	0.42
	顯 著 性	0.75	0.57	0.00	0.13	0.01	0.48	0.13	0.74	0.15	0.00**	0.06	0.37	0.43	0.52
導遊 反應	統 計 量	0.17	2.52	0.68	1.02	0.42	0.17	1.53	1.38	1.11	1.49	0.08	0.46	0.47	0.00
	顯 著 性	0.96	0.04*	0.57	0.39	0.74	0.92	0.21	0.25	0.36	0.21	0.78	0.50	0.49	0.97
行程 符合	統 計 量	0.73	1.44	2.16	2.64	1.67	1.53	2.87	0.49	0.49	1.88	2.29	6.29	2.24	0.00
	顯 著 性	0.57	0.23	0.10	0.05	0.18	0.21	0.04	0.69	0.75	0.12	0.13	0.01*	0.14	0.95

資料來源：本研究整理

伍、結論與建議

- 一、就精實服務的觀點，本研究提出一套建構關鍵服務品質的方法，藉此方法企業可以在眾多瑣碎且繁雜的服務項目中，有效的發掘顧客所關切的服務項目，提供業者可以專注在此服務項目，以節省無謂的浪費，使精實服務考慮顧客聲音與需求，得以更符合精實生產系統之要求，創造顧客最大的滿意度。
- 二、鑒於大陸來台觀光旅客日益增加，相對的政府所核定的旅行社也已達 300 多家，本研究為了探討大陸觀光旅客對旅行社，所提供的團體套裝旅遊服務品質的關鍵因素，以 2009 年 11 月至 12 月間，來台觀光的遊客為對象進行團體套裝旅遊服務品質問卷調查。本研究先以 54 項團體套裝旅遊服務品質變數作因素分析，以主成份法萃取潛在因素，並以最大變異法進行直交轉軸，萃取了六大服務品質因素構面。由於各構面問項之 Cronbach's α 係數皆高於 0.5 以上，顯示本研究所萃取之團體套裝旅遊服務品質關鍵因素構面適合因素分析。經萃取後命名後，團體套裝旅遊服務品質關鍵因素的六大構面，包括：導遊專業性 6 項，行程安全性 5 項，行程信賴性 6 項，行程便利性 3 項，導遊反應性 4 項，行程符合性 3 項等六個因素，共計 27 題問項。
- 三、為驗證所建構之服務品質構面之結構效度，本研究採用結構方程模式的次模式(一階驗證性因素分析)來檢驗各觀察變數的唯一性因素之間並無相關存在。問卷資料顯示本研究所建構套裝旅遊服務品質一階模式是可被接受。其次模式適合度評估方面，分析數據亦顯示團體套裝旅遊服務品質關鍵服務因素六構面之模式，擬合本研究的問卷資料是合適的。
- 四、於人口統計變數方面，本研究發現本研究發現女性對「行程符合性」的觀點較男性重要。不同教育程度，國中以下對「行程便利性」構面認為不重要。不同職業別對「導遊反應性」，以學生認為最重要。
- 五、大陸地域寬廣，人口眾多，遊客要取得台灣旅遊資訊有限，旅遊業者如能規劃出代表台灣特色景點之行程，參考本研究所提出的套裝旅遊服務品質關鍵因素之服務項目，相信應能提高大陸遊客對來台旅遊服務品質的滿意度。
- 六、由於本文對於團體套裝旅遊服務品

質關鍵因素之研究，只探討服務品質關鍵因素方面，而未深入二階的結構方程模式是否仍具有建構效度與信度。因此，未來研究者可參考本研究，做更廣泛與更深入的探討此類議題，甚者更進一步探討服務品質與遊客型為意圖之因果關係。

參考文獻

- [1] 任維廉和胡凱傑，大眾運輸服務品質量表之發展與評估－以台北市公車系統為例，*運輸計劃季刊*，第30卷第2期，pp. 371-407 (2001)。
- [2] 吳明蒼，大學生休閒滿意量表編製之建構與驗證，*台北市立教育大學學報－人文藝術類、社會科學類、自然科學類*，第36卷第2期，pp. 129-154 (2005)。
- [3] 吳慧玲，*台灣休閒農場服務品質量表之發展*，國立交通大學經營管理研究所碩士論文 (2002)。
- [4] 宋麗玉，增強權能量表之發展與驗證，*社會政策與社會工作學刊*，第10卷第2期，pp. 49-86 (2006)。
- [5] 巫玫慧，*公司團體套裝旅遊之探討：從員工旅遊動機之觀點*，私立中國文化大學觀光事業研究所碩士論文 (2003)。
- [6] 李建彥和張德勝，國民小學初任教師工作輔導需求量表編製報告，*測驗學刊*，第50卷第1期，pp. 111-142 (2003)
- [7] 李新民、陳蜜桃和張玉蓮，職前幼兒教師成功智能量表編製，*測驗學刊*，第51卷第2期，pp. 285-309 (2004)。
- [8] 林心韻，*海外套裝旅遊外部服務品質量表之建構與驗證*，私立中華大學經營管理研究所碩士論文(2008)。
- [9] 林吉足，青少年自尊量表編製報告，*測驗學刊*，第50卷第2期，pp. 223-256 (2003)。
- [10] 林怡嫻，*人力資源管理角色量表之建立*，國立中央大學人力資源管理研究所碩士論文 (2005)。
- [11] 林毓珊，*團體旅遊顧客意見卡建構之研究*，私立中國文化大學觀光事業研究所碩士論文 (2003)。
- [12] 容繼業，*旅行業理論與實務*，台北：揚智文化事業股份有限公司 (1993)。
- [13] 徐西森，SAS取向諮商督導能力評量表之編製研究，*中華輔導學報*，第18期，pp. 153-201 (2005)。
- [14] 耿慶瑞，WWW廣告之互動品質量表，*臺大管理論叢*，第15卷第1期，pp. 23-48 (2004)。
- [15] 張燦明、張永佳、李明珠、蔡春明、李美珠 以PZB模式探討戶政所服務品質之研究，*修平學報*，第十二

- 期, pp.69-85, (2006)。
- [16] 梅筱珍, *旅遊服務品質與消費者滿意度之研究*, 私立東海大學企業管理研究所碩士論文 (1991)。
- [17] 陳以超, *旅客選擇旅行社所持標準之研究*, *觀光資料*, 第138期, pp. 32 (1980)。
- [18] 陳羿君, *教學領導能力量表之建立*, *測驗學刊*, 第52卷第1期, pp.31-58 (2005)。
- [19] 葉英正, *觀光術語*, 台北:新學仁出版社 (1994)。
- [20] 劉小華, *國小兒童對西式速食連鎖餐廳品牌態度與消費意願量表之發展*, 私立世新大學觀光學研究所碩士論文 (2001)。
- [21] 蔡孝豪, *入口網站服務品質量表建構之研究*, 私立東吳大學商學院企業管理學系碩士論文 (2005)。
- [22] 鄭傑升, *從民眾使用的觀點建構電子化政府推動成效評估量表*, 元智大學工業工程與管研究所碩士論文 (2001)。
- [23] 蕭富峰, *影響服務品質關鍵因素之研究—服務要素服務力之觀點*, 國立政治大學企業管理研究所未出版之博士論文(1996)。
- [24] 賴國玲, *我國旅行業國外旅行團遊程設計之研究—以紐澳行程為例*, 中國文化大學觀光研究所碩士論文 (1994)。
- [25] 謝宗穎, *線上拍賣網站服務品質量表建構之研究*, 私立東吳大學企業管理學系碩士論文 (2005)。
- [26] 蘇國楨, *我國服務業主管理導行為量表之發展：主位研究途徑的觀點*, *測驗學刊*, 第50卷第2期, pp. 271-295 (2003)。
- [27] Aladwani, A. M., and Palvia, P. C., Developing and validating an instrument for measuring user-perceived web quality, *Information & Management*, Vol. 39(6), pp. 467-476 (2002).
- [28] Bagozzi, R. P., and Yi, Y., On the evaluation of structure equation models, *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol. 16(1), pp. 74-94 (1988).
- [29] Bigne, J. E., Martinez, C., Miquel, M. J., and Andreu, L., SERVQUAL Reliability and Validity in Travel Agencies, *Annals of Tourism Research*, Vol. 30(1), pp. 258-262 (2003).
- [30] Chang, C. J., Torkzadeh, G., and Dhillon, G., Re-examining the measurement models of success for Internet commerce, *Information & Management*, Vol. 41(5), pp. 557-584 (2004).
-

- [31] Carman, J. M., Consumer perception of service quality : An assessment of the SERVQUAL dimensions, *Journal of Retailing*, Vol. 66(1), pp. 43-45 (1990).
- [32] Churchill, G. A., Jr. A paradigm for developing better measures of marketing constructs, *Journal of Marketing Research*, Vol. 16(1), pp. 64-73 (1979).
- [33] Cliff, A., & Ryan, C.. Do travel agencies measure up to cus-tomer expectations? An empirical investigation of travel agen-cies" service quality as measured by SERVQUAL. *Journal of Travel and Tourism Marketing*, 6(2),pp. 1-28(1997).
- [34] Cronin, J. J., & Taylor, S. A.. Measuring service quality : A re-examination and extension. *Journal of Marketing*, 56(3),pp. 55-68(1992).
- [35] DeVellis, R. F., Scale development : Theory and Applications, London : Sage publisher (1991).
- [36] Getty, J. M., and Getty, R. L., Lodging quality index (LQI) : Assessing customers' perceptions of quality delivery, *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, Vol. 15(2), pp. 94-104 (2003).
- [37] Geva, A., and Goldman, A., Satisfaction measurement in guided tours, *Annals of Tourism Research*, Vol. 18(2), pp. 177-185 (1991).
- [38] Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., and Black, W., *Multivariate Data Analysis*, New York : Macmillan (1998).
- [39] Hartline, M. D., & Ferrell, O. C.. The management of cus-tomer-contact service employees: An empirical investigation. *Journal of Marketing*, 60(4), pp.52-70(1996).
- [40] Heung, V. C. S., Wong, M. Y., & Qu, H.. Airport-restaurant ser-vice quality in Hong Kong: An application of SERVQUAL. *The Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 41(3), 86-96. (2000)
- [41] Kaplan, R. S., & Norton, D. P.. *Translating strategy into action: The balance score*. Massachusetts: Harvard Business School Press(1996).
- [42] Lam, T., & Zhang, H. Q.. Service quality of travel agents: The case of travel agents in Hong Kong. *Tourism Management*, 20(3), pp.341-349 (1999).
- [43] Morrison, A. M., *Hospitality and travel marketing*, Albany, New York : Delmar Publishers (1989).
- [44] Medina-Muñoz, D. R., & García-Falcó, J. M.. Understanding European tour operators' control on
-

- accommodation companies: An empirical evidence. *Tourism Management*, 24 (2), pp.135-147(2003).
- [45] Parasuraman, A., Zeitham, V. A., and Berry, L. L., A conceptual model of service quality and its implications for future research, *Journal of Marketing*, Vol. 49(4), pp. 41-50 (1985).
- [46] Parasuraman, A., Zeitham, V. A., and Berry, L. L., SERVQUAL : A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality, *Journal of Retailing*, Vol. 64(1), pp. 12-37 (1988).
- [47] Sasser, W. E., Olsen, R. P., & Wyckoff, D. D.. *Management of service operations: Text and cases*. Boston: Allyn & Bacon(1978).
- [48] Sweeney, J. C., and Soutar, G. N., Consumer perceived value : The development of a multiple item scale, *Journal of Retailing*, Vol. 77(2), pp. 203-220 (2001).
- [49] Wang, Y. S., Assessment of learner satisfaction with asynchronous electronic learning systems, *Information & Management*, Vol. 41(1), pp. 75-86 (2003).
- [50] Williams, J. G. The impact of employee performance cues on guest loyalty, perceived value and service quality. *The Service Industries Journal*, 19(3), pp.97-118(1999).
- [51] Wortzel, R.. New life style determinants of women's food shopping behavior, *Journal of Marketing*, 43, pp.28-29(1979).
- [52] Yang, Z., Cai, S., Zhou, Z., and Zhou, N., Development and validation of an instrument to measure user perceived service quality of information presenting Web portals, *Information & Management*, Vol. 42(4), pp. 575-589(2005)
- [53] <http://admin.taiwan.net.tw//public/File/201001/接待業者名單.xls> , 交通部觀光局台灣接待旅行業名單
- [54] <http://admin.taiwan.net.tw/public/public.asp?selno=559&reln=559> , 交通部觀光局觀光拔尖領航方案
- [55] <http://www.immigration.gov.tw/aspcode/info9708.asp> , 內政部入出國及移民署全球資訊網
-

組織學習：國際觀光旅館烘焙師父為例

陳建龍、陳俊碩、林和明

摘要

近二十多年來組織學習的概念普獲關注，許多學術領域對於組織學習提出了各自不同的觀點與看法。要解決這些爭論的最佳方法必須靠組織學習的實證研究，不幸地是相關組織學習的實證研究，特別是針對以餐旅業之後場烘焙師父為對象的個案研究並不多見。本研究運用質性深度訪談法，以五家國際觀光飯店 12 位點心房烘焙師父為對象，探討飯店內場烘焙師父的組織學習行為、學習類型與影響組織學習的促進因素(組織脈絡因素、主廚領導風格、團隊文化)。研究發現主廚領導、團隊文化被視為促進探索式學習與創新的主要手段；而工作輪調、跨部門任務團隊、組織管理制度(工作設計、教育訓練與)，以及管理與鼓勵組織內、外部社群的建構，均是增進改良式學習的有效方法。最後，針對研究意涵與未來研究進行討論。

關鍵詞：組織脈絡因素、領導風格、團隊文化。

Organizational Learning : A Case Study for International Tourist Hotels' Bakers

Chien-Lung Chen, Chun-Shou Chen, Ho-Ming Lin

Abstract

The concept of organizational learning has attracted a considerable amount of attention over the last two decades. Numerous fields have shaped thinking about organizational learning, but bring a variety of perspectives and definitions. The best answer for resolving controversies is to let empirical evidence determine the issue. Unfortunately, the proportion of empirical studies on organizational learning, especially, for the back-office bakers in hospitality is rare. The study aims at exploring the organizational learning processes and learning types of bakers. The qualitative analysis was adapted in this study and the data were collected through in-depth interviews with 12 experienced and well-known bakers working in five international tourist hotels in Taiwan. This study also find out the facilitating factors of organizational learning(organizational context, chef 's leadership style, team culture). Finally, the implications of the findings and direction of future research are discussed.

Keywords: organizational context, leadership style, team culture.

Chien-Lung Chen, Lecture, Department of Baking Technology and Management, National Kaohsiung University of Hospitality and Tourism.

Chun-Shou Chen, Lecture, Department of International Bussiness management, HIT.

Ho-Ming Lin, Teacher, Department of restaurant management, Chung Shan Senior Industrial and Commercial High School.

一、前言

近年來餐旅業事業的蓬勃發展，同時也產生了新的挑戰。一家餐廳服務品質的提昇必須來自內外場工作團隊的完美搭配與合作。然而，相較於外場服務人員優雅儀態與從容應對禮節，內場廚師所面對的往往是高溫、狹窄與混亂吵雜的惡劣工作場所，隨時面臨如同救火員般的緊張情境下，忙中有序地將餐點以最快速正確又兼具質感與美感的呈現在顧客面前以獲得顧客的讚賞與青睞，這些專業的展現直接影響顧客滿意、忠誠和餐廳的興衰。面臨環境的快速變遷與不可預測性，以及消費者需求標準日益高漲的嚴峻挑戰下，組織要維持競爭優勢與生存就必須有不間斷的學習。不論是高科技產業、傳統產業或是服務業，任何組織與個人都必須不間斷的學習，只是學習的層次和類型上或有不同。然而，由於相關組織學習的理論者與實務工作者看法至今仍然呈現分歧，尚未有普遍被接受的組織學習理論典範與模式出現（Huber, 1991；Easterby-Smith et al, 2000；Crossan, Lane, & White, 1999；Lipshitz & Popper, 2000），實證研究也不見，迄今也尚未有針對以餐飲業之點心房工作團隊為對象的研究。因此本研究的主要目的是（1）探討飯店內場烘焙師父的學習的類型。（2）探討飯店內場烘焙

師傅的學習過程，學習是如何發生。（3）釐清影響組織學習的脈絡因素。本文以五家國際觀光旅館的內場點心房工作團隊之烘焙師父為研究對象，透過對團隊成員的質性訪談分析比較組織學習之異同。期以更清楚地描繪內場烘焙師父組織學習行為，建構一個具代表性之內場工作團隊的學習過程模式。

二、文獻探討

（一）組織學習

組織學習的概念在不同學門領域中發展的歷程長短不一，由於基礎理論背景的差異，對於組織學習所採取的詮釋亦不相同，各學術領域大都採用自我領域觀點來詮釋組織學習概念，因此較不易達到對組織學習定義的整合與一致性共識。例如，心理學觀點認為學習必須是因經驗的結果所導致行為產生相對永久改變之過程。並非每一種行為的改變都是學習，學習也不必然會成為外顯的行為，甚至學習結果也不必然能改善績效，學習通常是在無意圖情況下發生。而對群體乃至組織學習的過程，則認為組織學習可經由類比於個人學習來瞭解，將組織學習擬人化來擴展個人學習概念到群體與組織學習上。此外，也融合社會認知觀點來解釋群體與組織學習之知識的編碼、貯存與擷取過程，

以及影響資訊處理效能的因子，如群體文化、文件、常規、工作流程等，主張組織學習在群體貯存資訊能力以及擷取資訊的能力上都優於個人（Maier et al, 2001）。

另一方面，社會學觀點則強調組織學習是一種隱喻，包括組織與學習兩種概念，組織被視為主體，擁有經驗、資訊與多種技術、知識與專家等，而學習則是一種真實現象。組織學習如同特殊權力群體的意識形態，蘊含於組織學習下的想法都會被讚揚並進而創造出學習型組織。其次，組織學習也如同一種使權力流動的政策，在組織中的個體或群體學習會帶給他們凌駕其他人的權力。此外，社會學還有許多觀點被用來詮釋組織學習過程，例如，參與：主張學習是來自個體在人際互動的參與，透過實際活動而形成知識，強調實務參與社群的重要。而微觀交互作用觀點則認為組織不僅是一種結構也是一種過程，強調社會關係的重要性，個體會透過人際社會互動過程而學習知識及傳播知識。再者，反射乃反應出行為之後的解讀方式，並因而產生知識的體制化。（Gherardi & Nicolini, 2001）。

由上論述可知，組織學習至今尚未有一個被廣泛地接受的理論或模式，許多學者嘗試透過文獻歸納組織學習的共同要素，期能建構出整合型的組織學習理論模

式。例如，Fiol & Lyles（1985）歸納學習包含了：1.新洞見或知識；2.新結構；3.新系統；4.行動；5.混合上述的成分，強調釐清組織學習的定義是建構好理論的必要條件，並將組織學習定義為透過更好的知識和理解以改善行動的過程。同時，也進一步提出組織學習的一致性構面，包含：學習內容（行為與認知）與學習層次（高層次與低層次學習）。Pawlowsky（2001）則提出組織學習具有四個整合構面：1.不同系統的學習層次（從個體到網絡）；2.不同的學習型式，如認知、文化和行動學習；3.不同的學習類型（單圈循環、雙圈循環）；4.共同學習過程的不同階段，對於組織學習的發生過程、時機、對象、特質與影響因素有更豐富而明顯的描繪。

正因為組織學習豐富多元的觀點，因此更促進後進學者對組織學習的本質、過程、型態，以及影響組織學習因素更深入的理解。若單由心理學觀點並不足以解答不同組織層次中組織成員間學習與知識傳遞的過程，具社會導向的組織學習模型反而更適合於解釋知識轉換過程。因此，學者建議將組織學習之個人/認知構念，轉變為社會/文化過程構念，將焦點集中於群體的學習（Easterby-Smith et al, 2000）。探討組織學習應以群體或社群作為組織學習的主體。個人的學習則是鑲嵌

於群體的社會過程中，受到成員之間彼此的影響。個人知識被其他成員所接受是一種社會的過程，組織學習被認為是產生可溝通的、具共識與整合的知識，一種社會-關係與認知的活動，認知學習須視參與學習過程的組織成員而定（Bogenrieder, 2002）。不同領域對組織學習的意義有互補不足的作用，若有效地結合各種理論有助於描繪組織學習的整體完整輪廓。本文嘗試以餐飲業內場點心房烘焙師父為對象，期能結合心理與社會領域觀點來瞭解烘焙業從業人員之組織學習的真實面貌，並探討飯店內場工作團隊的組織學習行為和促進與阻礙學習的脈絡因素。

（二）組織學習的類型與學習過程

Fiol & Lyles (1985) 提出低層次學習與高層次的學習的概念，每一種層次對於企業的策略管理會造成不同的衝擊。低層次學習意指在一個已知的組織的架構與規範下進行重複與例行性的工作，學習結果通常是行為層面，對組織的衝擊是短期與局部的，透過管理可以控制所有的狀況，例如：體制化正式規則、調整管理系統與問題解決技巧等。高層次學習則是調整所有的規則與規範，並非針對特定的活動或行為。大部分發生在組織上層，通常是非例行性的工作，學習的結果通常是認

知層面，對組織的衝擊是長期與全面的。透過啟發活動、技巧發展與洞見而發生，例如新的組織使命與方向，發展新神話、故事與文化等。Argyris & Schon (1978) 則提出單迴路與雙迴路的學習型式，單迴路學習強調詢問單面向的問題而得到的是單面向的答案，主要特徵是組織仍保留既有的規範與限制下來從事偵查與改正錯誤。雙迴路的學習，不單探詢關於客觀事實的問題，也會探勘問題背後的原因與動機的過程，是一種多步驟、全面性的學習（Argyris, 1994），鼓勵檢視自己的行為和反思，進一步挖掘事實和對自己的行為負責，達到真正的改變的學習。

其次，針對學習的過程來說，Argyris & Schon (1978) 主張組織學習是一種偵測與修正錯誤的過程。Fiol & Lyles (1985) 則強調組織學習是藉由較好的知識與理解來改善行動的過程。Senge (1990) 更進一步主張組織學習是一種管理者尋求提昇組織成員的期望以及改善組織成員的了解並管理組織與環境的能力，能做出持續提昇組織效能決策的過程。Crossan et al (1999) 認為組織學習包含了直覺、解釋、整合與體制化四個主要的過程，這些新想法與行動會在組織、群體與個人層次間流動，直接影響成員的思想與行動，形成一個動態的雙向的系統。Huber(1991)的行為觀點則將學習定

義為實體（包括人、團隊、組織、產業和社會）透過資訊的處理過程而產生有潛在的行為改變，並將資訊處理過程分為資訊的獲得、分佈和詮釋與組織記憶四部分。

綜上論述可知，組織學習是一以求生存和興盛為目的之持續的、動態的改善與修正能力的過程。外在環境的複雜所產生之不確定性與不可預測性，組織要生存發展就必須不斷的提昇競爭力，而組織學習則是必要的條件。透過持續的改善組織的行動與思維，並反應到組織內各層次（個人、群體、組織）的信念、行為、規範、與決策上的修正與改善，以提高組織之績效與優勢。組織學習的類型與過程因不同組織特性而有所差異，本研究的目的就是描繪國際觀光旅館之內場工作團隊的學習類型與過程，組織學習過程與一般強調知識管理的學習型組織是否不同？學習是如何發生的？由誰啟動？

（三）影響組織學習的脈絡因素

組織學習並非單純發展於真空狀態下，許多脈絡因素的催化或抑制會影響學習的成效與品質 (Fiol & Lyles, 1985 ; Levitt & March, 1988 ; Argyris, 1994 ; Brown & Starkey, 2000 ; Lipshitz & Popper, 2000 ; Vince, 2001 ; Coutu, 2002)。Fiol and Lyles(1985)歸納影響學習的脈絡因素包含了組織文化、策略、組織內部結構與環境。此外，過去成功經驗的壓力與環境不

確定性也會影響到學習成效以及對環境的知覺及詮釋，上述這些脈絡因素會創造並增強學習，但相對地也被學習所創造，形成彼此互為因果循環關係。Levitt & March (1988)則認為組織學習是以常規基礎，具歷史依賴性以及目標導向，組織可經由直接經驗或他人的經驗來學習，前者係透過試誤實驗或組織搜尋來改變常規與信念。組織也可利用組織網絡借鏡其他組織之學習常規、策略或科技來學習，而其主要擴散方式包含直接擴散、來自一個中介的宿主與兩階段擴散三種方式。Lipshitz & Popper(2000)曾以個案研究方式，由結構與文化層次來探討醫院中的組織學習現象，其中組織結構是利用組織學習機制（OLMs），藉由體制化結構與過程安排，有系統的收集、分析、儲存、傳播和使用和組織績效相關的資訊；而組織文化則包含共享的價值。此外，也指出環境不確定性、潛在錯誤的成本與顯著性、組織成員的專業與領導等，則會增加組織學習機制的可能性。

相對地，Coutu(2002)認為當組織的價值體系與文化沒有足夠的自由允許個人做些它們必須做的事時，個別學習會變成一件危險的事，當學習者開始創新的時候，會造成其他人的焦慮與嫉妒，致使組織的免疫系統開始排斥學習者。Argyris (1994)也認為組織未要求員工反省自己

的工作與行為以致不敢突顯令人難堪的資訊與潛在的威脅，則員工自然沒有責任感與學習的意願。而領導人只在乎工作滿意、樂觀態度與工作士氣的正面價值而忽略了組織負面價值的存在現實，反而易產生員工無法承受環境變化所產生的壓力、挫折的反效果。Brown & Starkey(2000)認為組織認同會對組織學習產生抑制作用，組織常會有拒絕、合理化、理想化、幻想以及象徵性的自我防禦傾向，以維持集體的自尊及現有認同的連續性。個人乃至於組織之所以在學習方面受到限制是因為認同改變所衍生的焦慮及不安，因此，基於維持個人及群體的自尊，他們會採取保守的態度而不去質疑既存的自我觀念。組織要進行學習唯有透過關鍵的自我反思及認同焦點的對話學習過程，才能使這些不良的認同防禦機制獲得舒緩，提供對話、互動的機會以成就一個具備睿智態度的組織。Vince(2001)主張組織學習是一種透過情緒與權力的交互作用所建構而成的組織動態，權力與情緒會創造出社會性與政治性的組織脈絡，會進而影響學習與改變。情緒與政治往往產生了溝通上的障礙。在學習的過程中，造成的地位不平等會致使員工無能為力等現象，產生了一個不信任的文化，進而干擾組織學習的發生。

領導能力與主管的角色對組織學習

的影響亦是近來備受關注的議題之一，Vera & Crossan (2004) 從權變式領導觀點來探究高階 CEO 之領導類型與組織學習模式的適配性，主張當組織在面臨變動的時候較適用轉換型領導，而組織處於穩定時期之學習過程則需要更新、強化和精煉現行的學習，因此與交易型領導較為配適。然而，每一個組織都可能面臨穩定和變動的不同挑戰，因此，理想的策略型領導者必須能區別、體認領導行為必須與環境配適。Sadler (2001) 整合組織學習過程與領導的角色，強調組織必須適應環境的改變，領導者扮演著促進組織學習的關鍵人物，同時也是學習者與教導者。研究也支持主管的行為，如克服障礙與開發各種資訊來源等積極作為均有助於組織內部的學習(吳萬益-林文寶，2001)。

綜上論述可知組織學習的目的在於提昇管理者與成員管理組織與環境的能力，做出正確的決策以提昇績效。在環境的變遷快速與充滿不確定性下，組織要維持生存與維持競爭優勢就必須要進行有效能的學習革命，而先決條件就是要找出足以左右學習成效的催化劑，同時有效迴避與克服阻礙學習的負面趨力。因此，本文的另一個目的就是經由質性分析來探討影響點心房工作團隊的組織學習之脈絡因素。

三、研究方法

(一) 研究策略

本論文之研究目的在於探討烘焙師父的組織學習行為、類型與影響學習之因素。基於不需要操控行為事件，著重於當時的事件的前提下，本論文的研究策略採取個案研究方法，試圖闡明一個或一組決策為何會被採用、如何執行、以及會有何種結果（Yin, 1994; Schramm, 1971）。

另外，本論文以單一從業人員做為個案研究的對象。根據 Yin（1994）認為從事單一個案研究的原因包括：該個案為測試一個成熟（well-formulated）理論的關鍵性個案；該個案代表一種極端或獨特的個案，由於是非常少見的，因此值得記錄和分析；揭露式個案，對於一些之前的科學研究無法探究的現象時，當研究者有機會分析時，便會出現這種情況。再者，本研究之第一作者與第三作者，從事相關產業教學已有十年以上的時間，透過其本身親自的參與產業觀察、甚至是取得外界難以得知的資訊，都使得此一研究具有揭露式之效果，而使得國際觀光飯店點心房的學習行為得以被揭露。此外，該職種之發展具有長期（至少三十五年以上）之特點，故可從中蒐集大量證據，以深入進行研究。

(二) 研究對象

本研究係針對台灣地區五家國際觀光飯店之點心房員工進行訪談調查，以瞭解後場烘焙師父的組織學習行為。點心房在編制上隸屬飯店餐飲部門，主要的工作內容主要為生產供應飯店內各餐廳與客房服務之精緻點心，並配合飯店節慶促銷推出應時烘糕點產品（如聖誕節之巧克力屋與薑餅屋製作，中秋節月餅）、提供飯店大廳麵包櫃販售糕點以及新產品開發等。點心房通常設主廚一人，並隨規模不同設副主廚、領班、副領班、A 級廚師、B 級廚師、學徒或臨時工（領時薪之兼職人員）各若干名，任務編組區分早班、正常班與晚班三班制，晚班工作通常以半成品生產為主，如蛋糕、餅乾製作，早班與正常班則以供餐與補貨為主，將前晚的半成品擺盤裝飾以供應各餐廳使用。五家飯店點心房員工數分別為 A 飯店：16 人；B 飯店：18 人；C 飯店：8 人；D 飯店：9 人；E 飯店：15 人。

本研究利用訪談方式進行資料收集，十二位受訪者分屬點心房不同的階級職務，如表一所述，受訪師父的人行經歷為 1 年～20 年不等，大部份受訪者在進入飯店前均曾有西點麵包店或中央工廠的工作經歷。低階職務員工的教育程度較高的現象，其中有 5 位為副領班級以上幹部，但屬於作業層次的幹部，管理的層次

則以主廚為主。其餘 6 位則非主管職務，此外，女性員工在烘焙業的比例仍偏低。

（三）資料收集與分析

主要收集資料的方法是由研究者透過半結構式訪談大綱(附錄一)來獲得員工的組織學習的資訊，採用質性研究的方法並參考 Lipshitz & Popper(2000)之質性研究方法架構，對於五個點心房內各職務層級成員分別進行訪談，並臨場以引導受訪者繼續話題的方式，來獲得更具體與深入的資訊。訪談內容主要包含：內場工作團隊(包含個人與群體)之學習行為與組織學習的過程(如：尋求回饋、承認錯誤、尋求外部協助與資源的方式與故事)，並探討影響學習的因素，例如：組織文化、公司制度、主廚的領導風格、成員的工作與互動方式等問題。訪談過程中盡量讓成員舉出有關學習行為的事件，來描述工作與學習行為與結果。

為避免訪談時干擾的產生，訪談地點選擇以非工作時間於公司外的場所進行，每次訪談時間約四十分鐘，為確保資料完整與真實，在徵得當事人同意下，採用文字與錄音同時記錄訪談內容，並明確向當事人說明並保證訪談內容純粹作為學術用途，資料不會公開以消除受訪者之疑慮，以提高回答內容之真實性與意願。

四、結果與討論

本節分為三部份，第一部份為點心房員工學習行為的討論，第二部份為員工學習類型的討論，第三部分為影響組織學習的因素的探討。

（一）點心房員工學習行為

員工學習行為的訪談主題在於組織不同層次間的學習類型與過程。經訪談結果發現，點心房員工的學習以專業知識與技術能力為主，而學習來源有五：主廚的直接示範教導、外部同行好友的資訊交流、個人自我充實(閱讀專業書籍與廠商產品發表會)、同事之間的彼此討論與意見交換，以及公司正式的教育訓練。就頻率上而言，其中以主廚教導與同事之間的彼此討論與意見交換最多，來自公司的教育訓練最少：

1. 主廚的直接示範教導：主廚是點心房內的靈魂人物，對外不僅是協調溝通與資訊來源的窗口，對內是資源的分配者、規則制定者與教練身分，也會親身參與實際生產工作，負責教導員工專業技術與新產品的製作，所以，必須是知行兼具，以身作則的領導者(兼具技術、能力與努力)。在個案訪談的飯店受訪者都認為在飯店中最主要的模仿學習對象就是主廚，也是點心房中最能影響團隊學習成效

- 的關鍵人物。「...主廚會給你做大廚應有的觀念,是會去學習的...」(E)。
2. 同事之間的彼此討論與意見交換:在點心房中會透過正式或非正式的互動與資訊分享來達成群體學習,例如經由產品品嚐、配方討論與組隊參賽來促進學習。個人經驗透過彼此的意見交換、共同參與以及經由回饋而學習成長,產生個人層次與群體層次間的學習。「...每個月會進行兩人一組的試菜活動,讓同事間互相交流創造出新的產品和想法...」(D1);「嗯~目前都是透過和主管與同事之間討論.....」(A3)。
 3. 外部同行好友的資訊交流:點心房正職員工在進入飯店前都有許多工作的經歷,所以在同業中擁有許多志同道合的師父、同門與好友,往往會在專業技術上能提供許多的協助,會形成組之間新產品資訊與配方的流動現象,有助提昇廚師的能力,透過不定期的聯繫討論以累積專業知識與交換心得,充實發展成員自我能力,往往成為學習成長的主要來源。
 4. 個人自我充實(閱讀專業書籍與廠商產品發表會):由於進口原料代理商經常透過國外原廠技師來台發表新產品以推廣業務,也間接提供烘焙師父學習新產品技術與知識的機會,雖然個案飯店並沒有提供公假的情況下廚師們仍趨之若鶩,積極參與學習先進技術的機會。而在外語能力不足的情況下,仍會收集國外專業的烘焙食譜與專業書籍(特別是以日本與法國居多),按圖索驥的摸索試驗學習。「會利用時間到處去麵包店或飯店參觀...」(D2);「上網...!像國外有很多像日本那種網站,都會去就是看一看觀摩一下,可是重點還是會去書局,就是像 XX、YY 書局...看一看,因為他一些原文書, ...設備展...;...像 XX 雜誌之類的,你要可能就是自己去看, ...這種生產的工作做到某一個境界或是某一種程度,你可能覺得說每天都在做同樣的事情,你會覺得說好像沒有更新的東西出來, ...所以就是看一些書,從書上的資料自己在去做一些變化之類的...」(E);「會因為主廚都有出國進修,而使自己也想出國學習。」(D1)
 5. 公司正式的教育訓練:國際觀光飯店非常重視員工教育訓練,但內外場需求不一,無法面面俱到,受訪的點心房員工認為飯店會提供外語能力的訓練,其次是例行的衛生安全與消防訓練,內場專業技術則很少,主廚階層則有管理能力的課程。雖有個案飯

店(B 飯店)在多年前曾有藉由美食節聘請國外名廚教導交流的機會，對提昇廚師專業能力很有幫助，但頻率很低，「...可能是公司成本的考量，近三年來已未曾有過類似機會.....。」(A2)

組織必須提供支持以激發組織成員發展新方法與意見，去完成更困難與複雜工作、樂於接受挑戰與溝通的心智模式。在受訪的三家飯店中例行的生產工作佔據員工絕大部分的工作時間。A、C、D 三家飯店員工在製作產品會受生產計劃與主廚配方表的約束，工作較無彈性，在創新與開發產品方面的表現亦較無期望與企圖：「每天上班按菜單製作產品補貨，.....開發新產品是主廚的工作。」(C3)；「產品通常是依照老外主廚的示範製作方法去做，不能主動更改方法步驟。」(A2)「通常是主廚給配方，就依照主廚的方式去製作。」(D1)

此外，研究發現點心房員工的學習與組織層次間的連結不足，學習在個人與群體(部門內)層次間，以及個人與組織外部個人與專業社群之間的知識與資訊流動現象頻繁，可惜在組織層次間知識、技術的流動則產生斷層，而唯一能與組織的溝通橋樑落在主廚身上，而且並非雙向動態的流動。飯店所關注的焦點在於產品品質的穩定，所以點心房員工會傾向於執行限

制性的工作，因此，對點心房的工作偏好於改良式的學習，亦即以改善現有為主為主的學習方式，然而，固守過時的常規與慣性往往會導致阻礙組織對新事物的適應性行動(Brown & Starkey, 2000)。通常在沒有遭遇到環境狀況與現況嚴重不適應時，組織通常傾向於不去尋找替代的做事方式(Levitt & March, 1988)。

再者，由研究結果可知，大部分的學習活動都在群體中進行，社交人際的複雜影響會造就了組織的次文化並影響學習(Senge, 1990)。由訪談資料顯示，點心房員工實際參與了組織內外部的實踐社群，一群人尋找機會聚在一起分享、學習與交換彼此間對同事業的興趣與專業意見的專業社群，屬於一種自發性的、非正式的組織，成員以自由、創意的方式分享經驗與知識，並針對問題提出新的解決之道，組成的因素多源自於成員的熱情投入與認同社群的專業。與公司正式團隊比較，實踐社群的目標與領導方向都由自己決定，並因社群成員的意願興趣而持續(Wenger & Snyder, 2000)。因工作輪班的關係，點心房成員間缺少正式聚會共同討論工作進展的機會，但員工會藉由非正式的交流來達成學習的效果，個人經驗的累積乃透過產品試吃、意見交換而共同學習：「.....有些時候同事間先討論，再決定是否更改配方。」(B2)、「主廚

詢問並接受我們對新產品的建議來修正配方例如口感、組織...」(A2)

最後,研究發現非正式的實踐社群在烘焙廚師間十分的盛行,成員透過非正式組織的社群參與,尋求外部的協助與資源而學習成長,學習與技術在組織間相互流動,社群的建立則以特殊的師徒、同門關係為主:「有些產品配方與製作上有問題,會直接聯絡以前師兄弟、同事請教。」(A1);「.....以前的師父覺得我的產品不錯,也會打電話來跟我要配方和製作方法」(C1)。因此,誠如 Wenger & Snyder(2000) 的實務社群概念,這些具有同樣的目標、工作或者興趣的專業烘焙師父所形成的組織外部的非正式團體,經由專業網絡的相互影響、學習、實踐與創新等集體的知識共享行動而精進烘焙領域的知識和專業技術。這種特殊的學習管道與社會支持除了建立烘焙專業社群的自我認同、信賴、承諾與社會網絡關係,形成技藝親密性。也造成知識、技術資訊與人際情感的流動,進而促進整體產業水準的提昇。

(二) 員工學習的類型

依學習的類型區分,可將點心房員工的組織學習依職務區分為兩類,首先就點心房領班級以下員工而言,大部分工作時間用於從事生產、改善、實施、執行與追求效率的活動與程序,由於未被賦予新產

品開發的任務,主要學習在於技術的精鍊與改善既有的方法,在既定的規定與任務分工下進行重複與例行性的工作:「大部分時間須按生產計劃來製作產品,自由發揮的機會不多。」(A1);「開發新產品,大多由主廚、副主廚在負責。」(C2)。基層員工的學習結果通常是行為上的結果,認知性的學習則較不易發生。由於面對的是高確定與低複雜性的環境,所以,較少發生探索式學習(March, 1991)、高層次的學習(Fiol & Lyles, 1985)與雙迴路的學習(Argyris & Schon, 1978)的機會。

其次,少數領班級以上主管必須配合飯店各種活動生產研發新產品以迎合顧客求新求變的需求,嘗試食材、口味與製作方法的變化運用,探索式的學習試驗、開發與創新產品。而探索式學習在比例上也偏低,然而,若過度重視改良式學習而排斥探索式學習則易陷入過度樂觀於目前的穩定。因此,如何鼓勵點心房全體員工都擁於嘗試創新與變化的學習類型,以增進組織的績效是值得正視的議題。而值得注意的是 B 飯店因為主廚的授權與鼓勵行為,點心房所有的員工均有機會參與產品開發的任務:「.....每個人都能夠對產品做變化與開發新菜單,只要是好的產品主廚都會讓我出菜」(B2);「.....工作的自由度很大,可以充分發揮」。

(B1)。充分的授權與支持行為無形中強化員工的自信心與滿足感，也提昇了創新與學習的意願；「飯店都有一種空間和設備會讓員工使用，還會鼓勵出國比賽，只要不浪費就行了。」(E)

(三) 影響學習的因素

依照訪談的結果將影響組織學習的脈絡因素歸納為組織脈絡因素、主廚的領導風格與工作團隊文化三方面討論：

1. 組織脈絡因素

觀光飯店層級分明，正式化程度較高，內場員工知覺公司的訓練與發展與績效評核，對於點心房員工的學習與工作表現並未有實質的激勵措施，無形中阻礙員工對探索學習的意願與發展機會：「飯店麵包櫃因產品推陳出新，業績由每月 17 萬成長至 50 萬 中秋節業績由去年 800 盒增加到今年 2700 盒，但公司沒有任何獎勵制度，令人感到失望。」(C2)；「公司視新產品開發為理所當然的工作....與年度績效其實並無直接關係。」(A1)；「開發新產品與年度績效沒有直接關係....,主要的還是個人的成就感。」(B2)；「要升遷要話可能要依你工作的狀況、工作的態度、工作的年資這些來做為考量，不是因為你做的一些產品或種類之類的東西。」(E)。

其次，在工作設計上，一般例行、重複性的工作的比重太高，員工缺乏對任務的自主性也會產生阻礙學習的現象。Nystrom & Starbuck (1984) 認為，經由標準程序產生的成功的過去往往導致自滿因而抑制了組織的學習，通常非程式化的決策會受到排擠，依循過去的決策或既有的作業規範反而會導致組織產生生存的威脅。而員工知覺組織環境穩定，導致缺乏學習動機，造成誤解資訊的認知結構認知的偏誤，會導致決策與學習的障礙。Edmondson (1999) 將導致團隊學習失敗的原因歸納為：缺乏反思過程、討論過程成效不佳、缺乏行動與權力分配。Easterby-Smith et al (2000) 也認為學習過程與社會關係發生在各種不同的權力地位與關係中，制度、權威以及訓練等都是集體活動的媒介，它可能促進學習，也可能阻礙學習。在受訪的 C 飯店點心房員工普遍知覺與其他內場廚師（中、西餐）相較，權力地位與薪資上有較為偏低的現象，有一種附屬性、不被重視的感覺：「創新產品若會增加公司生產成本會被限制.....，」、「...○○主廚就無法適應公司制度而離職」(B3)，相反地，A、B 兩家飯店的主廚在地位與權力上與其他餐廳主廚相當，專業技術也獲得公司管理階層的支持，故員工雖然薪資不高，但生產力與工作態度佳，並樂於學習新事物，也

間接影響員工的高滿意度與低離職率現象。

2. 主廚的領導風格

轉換型領導比較配適於改變現行的學習體制，而交易型領導專注在控制、標準化、形式化和效率，比較配適於體制化、強化和精煉現行的學習（Vera & Crossan, 2004），組織學習的管理需要兼具轉換型和交易型領導。由訪談結果可知，B 飯店點心房員工知覺工作的自主性程度較其他飯店高，每位員工均參與產品開發，其主要原因即來自主廚的支持與授權。「...我們都是這樣的，他讓我們學一次之後，就讓我們自己去生產。除非有問題，不然通常他看過一次 OK 的話，我們就自己生產」（B1）。而 A 飯店的外籍主廚師雖然在員工行為面的學習有實質的幫助，而且通常親身參與生產工作，但對於產品的研發與創新上較為堅持與強勢權威的領導下，無形中抑制的員工對於新事物的參與意願，對於認知層面的學習也較為不足。「西方糕點製作手法較豪邁型東方師父則比較細緻，有時比較無法接受.....，但通常最後要聽老外主廚的。」（A2）；「也許是語言溝通問題，也許是主廚比較兇吧！所以對產品比較不會主動提出建議，照著做就對了。」（A1）。

Sadler（2001）也認為在面對組織環境的改變，應調整與變革的脈絡下，重視

影響的過程，而且對有經驗或教育程度較高的員工而言，鼓勵學習、團隊工作和參與式等方式的領導會比較有效率。主廚身兼訓練者與領導者的雙重角色，在工作空間狹小的點心房中，無形中形成了影響員工組織學習與工作行為最直接而重要的因素。是故，主廚本身具備了很強的專業技術能力，也具備帶領學習的重要關鍵，所以必須營造促進學習的環境，針對學習作明確的管理以加速學習速度，而這端視領導者管理的溝通與激勵能力與風格而定。「..氣氛比較好啦，也是跟主廚也有關係啦」（C3）；「...對，跟他的領導有關係，跟他待人的方面，工作氣氛會跟著他，那因為我上一個工作在○○飯店，主廚比較一板一眼啦，工作起來就比較沉悶，所以那跟這邊比起來，這邊的工作氣氛環境就比較好」（A3）。

3. 點心房團隊文化

建構有利的社會網絡可以助長社會認知的學習。整體的網絡結構本身會影響學習行為，例如隱性知識的分享或加強參與者的信任度（Bogenrieder, 2002）。此外，透過實踐社群成員能夠分享、學習與成長，無形中也培養了團隊和諧與合作的文化。「...碰到問題隨時與同事討論，立即解決問題。」（C2）；「沒有固定的開會時間，都是直接討論。」（B2）；「我們裡面的氣氛就是滿融洽的，不會說

有那種鬥來鬥去，像那種早晚班不合之類的，或是今天把我東西丟掉明天把你東西丟掉之類的，很多飯店都會這樣子，你問問看××(飯店名)會不會?因為之前在○○飯店；鬥的很嚴重，所以不是很高興就離開了」(E)；「...同事之間相處就是說可以互相體貼啦，那也一方面也可以在他們身上學習到一些新的東西啦.....」(D2)；「...這裡的特色來說對我們來說都比較開放化，對我們都比較開放性，...那製作的話如果想學怎麼樣做的話那可以利用下班的時間去做那這是我目前看到最特別的，因為我知道有一些地方的話是比較封閉的啦，就是說他們不會讓你去看那些東西，那這裡的話完全開放你有什麼蛋糕，你做的東西生產的東西有什麼任何的疑問的話你都可以詢問」(C3)；「還有我們每個人都沒有什麼心機啊!同事或是主廚都對你很好就對了?都很好啊!」(B1)。

此外，因為烘焙師父所從事多屬於勞力與技術性工作，在台灣重視文憑的傳統社會價值觀影響下，造成點心房成員的教育程度普遍偏低現象，高中以下學歷師父佔多數，而實習生與資淺員工的學歷反而都比主廚高，然而，由於組織成員多數為男性員工，坦率、對話直接露白與菸酒文化，形塑了點心房內特殊的陽剛文化，而這些行話與廚房特色，也使得員工的溝通變得更順暢直接，對於員工技術交流與

學習，以及工作執行上有實際的助益：「針對在工作上的意見有話直說，不會因為你是主廚就只說好聽的，...譬如西方口味太重或太甜...，」(A2)；「對於參加產品發表會的資料與配方只要有需要都會自然地拿出來和大家分享的。」(B3)。

五、結論與建議

點心房員工的學習行為因組織脈絡因素容易會造成改良式學習的必然現象，但應注意到兼顧改良式與探索式學習的平衡與資源的分配問題，研究發現在改善舊有的活動與程序的方法的前提下，可以透過啟發探索式學習的具體做法來鼓勵創新，而主廚領導與團隊文化被視為促進學習的主要手段。此外，工作輪調、跨部門的任務團隊編組，透過不同領域專才的互動與交流學習，也是增進改良式學習的有效方法。

其次，飯店的薪資結構或有整體之考量，雖無法立即改變，但在員工工作設計與教育訓練上必須兼顧內場員工需要，透過實際的行動或與績效考核與報償制度結合，例如：創新與績效評估的結合、補助廚師企業外部的專業能力進修、獎勵廚師參加國內外技藝競賽與證照考試、工作豐富化與擴大化的設計等，以誘發員工學習的動機。

領導對於組織學習是一項重要的影

響因素，本研究特別關注領導能力的原因，在於以內場工作團隊而言，主廚是團隊的靈魂人物，可藉由尊重主廚的專業與提昇主廚師地位與職權，以留住優秀的領導人才。另一方面，亦需藉由教育訓練以提昇主廚發動、激勵與管理部門內學習活動的能力，並且有效兼顧正式化系統與非正式化社群的平衡。

最後，組織也必須正視組織內外實踐社群的存在及其對組織的利弊，首先，對於組織內非正式社群應加以有效管理，避免因不當權謀、短期目標與反學習文化而導致「學習無能」現象(Wenger et al, 2002)。因此，點心房員工實踐社群的管理是促進組織學習的要務，必須提供基礎設施以支援這類社群，如 Wenger & Snyder(2000)以及 Wenger et al(2002)所建議之金錢、時間的資源的提供、合理的

績效評估、升遷與獎勵制度等。並藉著資源和協調的支持，以及展現信任與重視學習的公司文化，鼓勵參與，甚至讓社群具合法性與正當性，讓他們有效的發揮專業。當然，同時，在快速變動的時代裡，掌握知識的集體性、流動性會對組織與員工帶來長期的、無形的綜效，如：組織風險承擔力、決策品質、知識發展能力，與個人專業技能取得、認同、自信與強化專業聲望等(Wenger et al, 2002)。因此，組織也應重視包括對於廚師組織外部的社群的參與提供獎勵與協助。社群活動的效果往往無法立即顯現，然而，不能因為實踐社群的價值不易評估而忽略其組織的重要影響。實踐社群是一種新的非正式組織型式，持續的在企業中成長維持對組織有利，且需要特殊的管理方式才能有所發展並整合至組織當中充分發揮力量。

表 1、受訪者基本資料

編號	性別	學歷	年資	職務	業界經歷	
					入行年資	工作經歷
A1	男	國中	4	飯店副主廚	16	麵包店、中央工廠
A2	男	國中	3	領班	20	麵包店、中央工廠
A3	男	專科	2	副領班	6	麵包店、中央工廠
B1	男	國中	2	領班	20	麵包店、中央工廠
B2	男	專科	1	B廚	2	麵包店、中央工廠
B3	女	國中	10	A廚	12	麵包店、中央工廠
C1	男	專科	3	領班	5	飯店、麵包店
C2	男	專科	1.2	B廚	1	麵包店
C3	女	專科	0.5	B廚	1	麵包店
D1	女	專科	1.5	學徒	2	麵包店
D2	男	專科	1	學徒	2	飯店
E	男	大學	1	副領班	10	麵包店、飯店

附錄

一、訪談內容大綱

(一) 背景資料：

1. 可否簡述一下您的學歷、年齡、
2. 入行時間與之前的工作經歷。
3. 可否簡述您目前的職務、工作年資。
4. 可否談談您目前每天的工作內容。

(二) 組織的學習行為

1. 您覺得在公司工作能夠學習的（內容）有哪些？【知識、技能、態度】
2. 在公司是否有學習新知識與技能的機會？
3. 您通常是如何學習新的工作技能與知識？
4. 可否描述你在接收到新任務指派時處理的步驟（以新點心產品開發為例）。
5. 你經常花時間思考和嘗試開發新的菜單獲改善製作產品能力的方法嗎
6. 你對於學習新技術或知識的態度看法？
7. 學習結果是否有發生具體的改變或改善行動？（可否請您舉例說明）
8. 是否能達成每月預定的目標如業績成長率、新菜單產品開發、成本控制方面或其他績效的表現。

(三) 組織學習影響因素

1. 你認為在組織中能促進學習的因素有哪些？請舉例說明。
2. 你認為在組織中會阻礙學習的因素有哪些？請舉例說明。
3. 你會害怕學習新製作技術，擔心他難度太高或自己在嘗試過程中顯得愚蠢而感到焦慮。
4. 你會對組織要求開發新產品感到沒有必要或排斥嗎？為什麼，請舉例說明。

(四) 領導風格

1. 當您遇到困難時，主廚會樂意幫忙解決或指導嗎，請舉例說明。
2. 主廚是否經常會討論點心房的工作計畫和改善團隊工作方式的可能。
3. 主廚是否經常直接與你溝通工作事項，還是透過其他幹部如領班轉達。
4. 你覺得主廚的領導方式是民主的還是權威的，請舉例說明。
5. 你想嘗試新的新的菜單或產品製作方法時，主廚通常會鼓勵你還是限制你。
6. 主廚是否會放手讓你或其他成員獨自作業完成菜單或產品製作。

(五) 團隊文化

1. 您的單位是否有過共同學習的行為或行動（如：以開發新點心產品為例）。

2. 您在點心房工作是否感覺到缺少對工作有幫助的訓練。
3. 當您遇到困難或無法處理的工作時，可以很容易的得到協助，請舉例說明。
4. 你了解點心房目標，你認為其他成員是否也都能了解。
5. 你認為工作結果是否得到回饋，例如點心製作的評價等。
6. 你認為點心房內同事間彼此尊重和信任，會彼此互相學習說出自己的想法。
7. 你認為點心房工作團隊中是否存在有獨特的文化，對於團隊學習或有效的達成預定目標是否有幫助，請舉例說明。
8. 在點心房同事間的相處與工作的氣氛如何？對學習的幫助嗎？（合作、和諧或競爭、衝突）？
9. 您會與同事一起討論工作或分享經驗嗎？對學習的幫助嗎？
10. 您可以獲得任何與工作或計畫相關的資訊，請舉例說明。
11. 你認為在公司努力工作會得到應有的報償，是否有具體的獎酬或晉升辦法。
12. 公司對於員工的創新與學習行為是否有具體的獎酬或晉升辦法。
13. 您覺得公司的制度與規定合理

嗎？會鼓勵或幫助、支持您工作與生活上的學習與成長嗎？（可否舉例說明）

參考文獻

1. 吳萬益，林文寶，(2001)，影響學習型組織建立相關因素之研究，*文大商管學報*，6(2)，21-49。
2. Aggyris, C. (1994). *Harvard Business Review*. 阻礙學習的良好溝通, 組織學習(柯雅琪)—哈佛商業評論, 98-119, 天下出版。
3. Coutu, D. L. (2002). *Harvard Business Review*. 學習焦慮—哈佛商業評論, 108-116, 天下出版。
4. Arigyris, C., & Schon D. A. (1978). *Organizational Learning*. Reading, MA: Addison. Wesley.
5. Brown, A. D., & Starkey, K. (2000). Organizational identity and learning: A psychodynamic perspective. *Academy of Management Review*, 25(1), 102-120.
6. Bogenrieder, I. (2002). Social architecture as a prerequisite for organizational learning. *Management Learning*, 33(2), 197-212.
7. Crossan, M. M., Lane, H. W., & White, R. E. (1999). An organizational learning framework: From intuition to institution, *Academy of Management*

- Review*, 24(3), 522-537.
8. Easterby-Smith, M., Crossan, M., & Nicolini, D. (2000). Organizational learning: Debates past, present and future. *The Journal of Management Studies*, 37(6), 783-796.
 9. Edmondson, A. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. *Administrative Science Quarterly*, 44(2), 350-383.
 10. Fiol, C. M., & Lyles, M. (1985). Organizational learning. *Academy of Management Review*, 10, 803-813.
 11. Fiol, C. M., & Lyles. (1999). An organizational learning framework: From intuition to insitition. *Academy of Management Review*, 24, 527-537.
 12. Gherardi, S., & Nicolini, D. (2001). *The Sociological Foundation of Organizational Learning*. in M. Dierkes, A. B. Antal, J. Child, and I. Nonaka (eds). *Handbook of Organizational Learning and Knowledge*, 35-60. Oxford University Press.
 13. Huber, G. P. (1991). Organizational Learning: The contributing processes and the literatures. *Organization Science: A Journal of the Institute of Management Sciences*, 2(1), 88-115.
 14. Levitt, B. & March, J. G. (1988). Organizational learning. *Annual Review of Sociology*, 14, 319-340.
 15. Lipshitz, R., & Popper, M. (2000). Organizational learning. in a hospital,” *Journal of Applied Behavioral Science*, 36, 345-361.
 16. Maier, G. W., Prang C., & VonRosenstiel, L. (2001). *Psychological Perspectives of Organizational Learning*. in M. Dierkes, A. B. Antal, J. Child, and I. Nonaka(eds). *Handbook of Organizational Learning and Knowledge*, 14-34. Oxford University Press.
 17. March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2(1), 71-87.
 18. Pawlowsky, P. (2001). *The Treatment of Organizational Learning in Management Science*. in M. Dierkes, A. B. Antal, J. Child, and I. Nonaka (eds). *Handbook of Organizational Learning and Knowledge*, 61-88, Oxford University Press.
 19. Sadler, P. (2001). *Leadership and Organizational Learning*. in M. Dierkes, A. B. Antal, J. Child, and I. Nonaka (eds). *Handbook of Organizational Learning and Knowledge*, 415-427, Oxford University Press.
 20. Schramm, W. (1971). *Notes on case studies of instructional media projects*. The Academy for Educational Development: Washington DC.
-

21. Senge, P. M.(1990). *The Learder's New Work: Building Learning Organization*. Solan New Work: Bantam Doubleday.
 22. Vera, D., & Crossan, M. (2004). Strategic leadership and organizational learning. *Academy of Management Review*, 29(2), 222-240.
 23. Vince, R. (2001). Power and emotion in organizational learning. *Human Relations*, 54(10), 1325-1351.
 24. Wenger, E., & Snyder, W. M. (2000). Communities of practice: The organization frontier. *Harvard Business Review*, 78(1), 139-145.
 25. Wenger, C., McDermott, R., & Snyder, W. M. (2002). *Cultivating Communities of Practice: A Guide to Managing Knowledge*. Harvard Business School press.
 26. Yin, R. K. (1994). *Case Study Research : Design and Methods*. (3rd ed.) , Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
-

應用田口分析法於三軸工具機 切削條件與精度之研究

蔡東憲、林東宏

摘 要

以高速加工機具執行端銑切削已廣泛應用於精密機械產業各種產品的生產加工，解決生產高精度、低成本及外形變化複雜模具之加工問題，為維持模具產業競爭力的關鍵技術之一。然而加工產品的可靠度取決於各種工程參數的設定，所以高速加工過程中加工條件及環境的設定與掌控，自然成為精密機械加工的重要課題之一。面對全球市場的國際化競爭壓力，如何制定提高產能、降低成本、掌控產品品質及減少不良率等可行策略，一直是產業維持成長與競爭力的努力目標。

本文依據加工表面狀況及尺寸精度於圓弧銑削加工時，使用田口分析法之品質工程規劃法找出一組最佳化加工條件。實驗使用機械設備為楊鐵 MV-3A CNC 銑床，粗銑端銑刀 $\phi 24$ ，精銑端銑刀 $\phi 10$ ，在 6061 鋁合金材料上做 R20 的 1/4 圓弧精銑削。本研究利用直交表先規劃相關實驗項目之數據，經由信號雜音比 S/N 計算與變異數分析等過程來進行田口分析，以獲得不同加工因子對目標品質的影響，進而求得 MV-3A 於銑削圓弧時最佳化加工參數。實驗結果證實利用最佳化加工參數可有效提升加工品質 20%~50%，降低成本，減少加工損失並獲得最佳表面狀況與尺寸精度。

關鍵詞：田口法、最佳化、加工參數。

A study for cutting conditions of three-axis machine tools using Taguchi analysis method

Tung-Hsien Tsai, Tung-Hung Lin

Abstract

End milling with high speed machining is widely used to the production of different products of precision machinery industry. In order to maintain the mould industry's competitiveness, a process program with high accuracy, low cost and the shortening of finishing time is an important key technology to the manufacturing of the complicated mould. The reliability of the processing products depends on many parameters and engineering decisions. Therefore, the cutting condition and environment control in the high-speed machining naturally become one of the precision machinery important subjects.

The present study aims to establish optimal cutting conditions of three-axis machine tools in end milling using Taguchi method. In the experiment, four parameters of cutting conditions are considered. The objects of quality include surface toughness, dimensional accuracy, roundness and cutting time. Various set of objects can be acquired in different cutting conditions. Therefore, the optimal cutting conditions can be obtained by using the analysis of variance procedure. The benefits of this experiment were verified.

Keywords: Taguchi analysis method, Optimization, Cutting Conditions.

Tung-Hsien Tsai, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, HIT.

Tung-Hung Lin, Graduate Student, Graduate Institute of Precision Machinery and Manufacturing Technology, HIT.

壹、前言

二十一世紀台灣的金屬加工業面臨重大危機，台灣以往的加工產業以勞力密集策略為主，但如今面臨 WTO 下的全球性競爭與現代社會人力資源結構改變的雙重衝擊下，對台灣的模具業有著莫大的衝擊影響[1]。台灣在中國大陸、東南亞各國等大量廉價勞工夾擊之下已失去當初所擁有的廉價勞工優勢；加上現今工業產品生命週期整體縮短，產品常被要求短期交貨，加工發展之趨勢必定朝向高效率、高精度等等所帶來的附加價值。因此，若想進一步的發展精密模具則必須注重模具的精密度、表面形狀與製程穩定性等品質項目。

以高速加工機具執行端銑切削已廣泛應用於精密機械產業各種產品的生產加工，解決生產高精度、低成本及外形變化複雜模具之加工問題，為維持模具產業競爭力的關鍵技術之一。然而加工產品的可靠度取決於各種工程參數的設定，所以高速加工過程中加工條件及環境的設定與掌控，自然成為精密機械加工的重要課題之一。面對全球市場的國際化競爭壓力，如何制定提高產能、降低成本、掌控產品品質及減少不良率等可行策略，一直是產業維持成長與競爭力的努力目標。

切削加工時因為刀具受到切削力作

用影響而發生變形為導致不可靠及不精確的製造程序主因，因此，許多研究紛紛投入建構刀具偏移與表面精細度之關係，以預測調整加工條件並使加工精度獲得改善，Lo 整合切削力及刀具變形提出補償方法以獲得較好的加工路徑[2]，Loftus 提出數學模型用以規劃最佳加工路徑來滿足加工要求，不過該規劃法未應用於實作試驗[3]。Dotcheva 提出之加工條件規劃流程[4]，修改切屑厚度模型以預測切削力大小，並考慮刀具受力變形影響而模擬計算出最佳加工進給速率規劃，於滿足加工精度與表面精細度條件要求下改善並提高加工效率。P. Fallbohmer 等於模具高速加工研究報告中指出，藉由調整主軸轉速、進給率等加工條件之設定可使 CNC 程式最佳化，讓切屑穩定移除及切削力保持一致[5]。

導致 CNC 產生加工誤差的原因很多，包括：伺服器的延遲、伺服器參數調整、黏滯運動、命令差補器、補間後的加減速規畫、摩擦力、背隙、機械結構...等許多機械或人為的因素[6]。因此，若欲改善加工性能一般可從三方面著手：第一部分為從加工機械硬體；第二部分藉由伺服器控制參數的調教以達匹配參數最佳化；第三部分則是進行誤差補償。本文主要針對控制器參數匹配最佳化問題進行探討，以表面精度、表面粗度及加工時間

等因素，據此規劃尋求最佳化加工參數。

田口玄一博士在 1950 年代發展出一套改善品質的田口實驗計畫法，田口實驗計畫法以直交表(orthogonal arrays) 作為實驗之參數設計的基礎[7]，利用直交表來設計實驗，可以以較少的實驗次數達到穩健參數設計的目的，設計的目標是尋求最佳的產品機能，並維持一定的穩健性，亦是將干擾因子所帶來的影響減到最少。F. C. Wu 等曾以田口方法總品質損失減少的方法，來開發多種品質特性最佳化製程參數，不過只考慮靜態品質特性，其方法尚未推廣到動態品質特性[8]。Sundaram 與 Lambert 利用主軸轉速、進給率、銑削深度、銑削時間、刀鼻半徑和刀具形式等這六個參數的搭配組合變化，可以用來檢驗表面粗糙度[9,10]。傅甘己認為刀具的剛性、加工精度及表面粗糙度與慣性矩有關，並提出建立螺旋銑刀之慣性矩數學模型及模擬分析程式[11]。Martelloti 對銑削過程做運動幾何分析，說明銑削時路徑為餘搖擺線(trochoidal) 並建立銑削運動路徑表示式[12]。

貳、實驗最佳化流程規劃

本文實驗流程依據田口法之品質工程規劃法，利用直交表(orthogonal arrays) 規劃相關工程因子建立實驗項目，將所獲得實驗結果再透過其信號雜音比(signal

of noise ratio, S/N)、變異數分析(analysis of variance, ANOVA)、回應表(response table)或回應圖(response graph)等過程進行最佳化分析。本研究規劃之實驗流程架構分述如下：

1. 使用 Solidworks CAD 軟體建立實驗規劃 3D 模型。
2. 分析銑削過程影響加工品質之相關因素，其主要因素如下：
 - (1)加工條件設定不當。
 - (2)加工環境溫度影響(切削液使用與否)。
 - (3)刀具夾持不當。
3. 設定銑削過程影響加工品質的主要因素為目標品質，並依據其特性訂為望大、望小或望目等。例如影響切削時間的主要因素為進給率，則可選擇進給率高其特性為望大。本文選定加工尺寸精度、表面粗糙度、真圓度及切削時間做為目標品質因素。
4. 變因素設定以影響選定目標品質的主要銑削條件因素考量，依據各項銑削條件影響分析，本文以刀具轉速、進給速率、切削深度及精銑側邊厚度為主要加工條件並設定為變異因素。
5. 從所有變異因子決定控制因子(control factors)並各訂出三個水準值。
6. 將設定為變異因素之刀具轉速、進給速率、切削深度、精銑側邊厚度等加

工條件，依照田口方法直交表配置各項加工條件之測試組合並建立直交表。

7. 將直交表設定參數與 3D CAD 模型圖檔輸入 CAD/CAM 軟體設定，求出 CNC 各組程式指令。
8. 依據程式指令執行加工，紀錄各組加工實驗數據。
9. 資料分析。
 - (1) 計算每個控制因子的變動對品質特性的效應(effects)。
 - (2) 計算每個控制因子的變動對品質特性變異的效應。
 - (3) 依據前兩項資訊，調整控制因子產生新的設計值，使目標品質特性最接近理想機能。
10. 依據新的設計值執行加工，取得實驗新數據，比對分析實驗新數據與直交表數值。

叁、實驗過程與分析

6061 鋁合金是耐蝕性優秀的中強度結構合金，熔接及加工性好，為目前最為廣泛使用之鋁合金之一，其成分如表一。本研究使用楊鐵 MV-3A CNC 銑床，以粗銑端銑刀 $\phi 24$ 在 6061 鋁合金材料上預做 R20 的 1/4 圓弧粗銑削製作田口實驗基本樣材。精銑加工時加工參數的設定將直接影響產品整體的加工品質，以現有的

CNC 機械設備條件，運用本文所提出之實驗計畫法，可求出最佳化加工條件以降低加工成本及提高產品品質。

本實驗設定各加工參數以精銑端銑刀 $\phi 10$ 於鋁合金樣材上圓弧精銑削為例，量取各加工參數目標品質相關數據，使用田口實驗計畫法驗證找出其最佳化的加工參數。實際實驗流程與結果分述如下：

1. 圖一為使用 Solidworks 軟體繪製加工實驗規劃 3D 模型。
2. 銑削過程影響目標品質之相關因素計有：
 - (1) 主軸轉速高低、切削深度量、側邊預留厚度及切削進給率等加工參數的設定是否適當。
 - (2) 銑削加工時是否使用切削液將影響粗銑加工實驗樣材的表面粗度，以及精銑削加工時的溫度。
 - (3) 由於工具機、刀架及工件等變形量與刀具受力引起之變形量相比相對非常小，故其於切削時所引起之變形可忽略不計。若考慮刀具本身受力變形部分，應用靜力模型將刀具視為懸臂樑而計算其受切削力作用後引起之變形。刀具由於幾何形狀結構可簡化為兩階段懸臂樑系統，示意圖如圖二所示，其中 L 為刀具長度，F 為刀具承受之側向

力， Z 為 F 力與刀尖距離，則依據懸臂樑受力變形理論可得刀具沿 Z 軸之距離為 h 處之變形為：

$$\delta(h) = \delta_1 + \delta_{1\theta} + \delta_2 \quad (1)$$

$$\delta_1 = \frac{F}{6EI_1} [-(L_1)^3 + 3(L_1)^2(L_1 + L_2 - Z)] \quad (2)$$

$$\delta_{1\theta} = \frac{F}{2EI_1} [-(L_1)^2 + 2(L_1)^2(L_1 + L_2 - Z)](L_2 - h) \quad (3)$$

$$\delta_2 = \frac{F}{6EI_2} [(\max(0, Z - h))^3 - (L_2 - h)^3 + 3(L_2 - h)^2(L_2 - Z)] \quad (4)$$

其中 E 為刀具彈性模數， I_1 及 I_2 分別為兩階段刀具之面積二次矩。因此在 h 處所有瞬時作用力在固定角度之總變形為：

$$\delta_{tot} = \sum_{j=1}^{N_z} \delta(h) \quad (5)$$

利用上式可獲得每一個重要切削位置固定進給率下的最大徑向偏差並據此得到最佳進給率規劃[4]。

3. 本文選定加工尺寸精度、表面粗度、真圓度及切削時間做為目標品質因素。
4. 以刀具主軸轉速、進給率、切削深度及側邊預留厚度等四項加工條件設定為變異因素。
5. 參考 MV-3A 機台的轉速設定值最高為 4500rpm，故主軸轉速最高水準值

設定為 4000rpm。主軸轉速、進給率、切削深度及側邊預留厚度等四項變異因素之水準值設定如表二。

6. 依照田口方法選用直交表，配置四項加工條件因素，建立直交表如表三。
7. 按照直交表所提供各項加工條件之測試組合，上機進行實體銑削並量測精銑削的時間，各加工條件下加工成品利用三次元量床及表面粗度儀量測尺寸精度、真圓度及表面粗糙度，相關量測數據如表四。
8. 根據表四將數據轉化成信號雜音比 S/N 圖如圖三。
9. 依據圖三中的信號雜音比 S/N 圖計算其變異數分析可求得製程最佳化加工參數。在銑削過程中，進給率的高低與主軸轉速的高低影響著銑削時間的長短對目標品質的 S/N 比值。主軸轉速與進給率越高則 S/N 比值越小，意即表示其控制銑削時間的長短與表面粗糙度的精度。切削深度及側邊厚度對尺寸精度及表面粗度影響較大。四項不同變異因子水準值之個別 S/N 比值如表五所示，並依此建議最佳銑削條件組合為 A3、B3、C3、D2，最差條件組合為 A1、B1、C2、D1，如表六。
10. 利用實驗所得最佳化條件組合(A3、B3、C3、D2)重新執行銑削加工，並

量測目標品質相關數據如表七，由表七數值與直交表所提供各項加工條件之測試組合所得數值(表四)比對分析，顯示本實驗所得最佳加工參數組合具有良好的加工品質，田口分析法所得結論具有高可靠度。

肆、結果與討論

在金屬銑削的加工過程中，尺寸精度的提高、加工時間的縮短以及良好的表面狀況，無疑是降低生產成本以及增加產品品質可靠度的有效方法之一。然而，若單純從複雜多變的加工參數組合中尋求最佳化設定是一項繁瑣的程序。透過田口法之品質規畫法，可藉由少數的加工參數組合實驗流程，以及目標品質特性規畫與實驗數據分析、計算及歸納，快速獲得最佳化銑削製程加工參數。

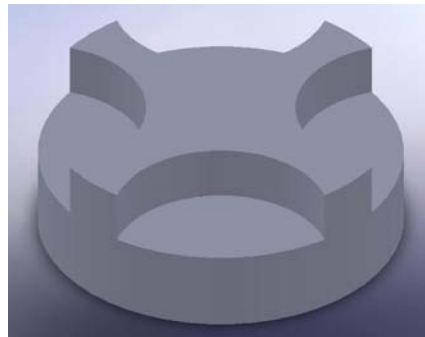
本文以圓弧銑削 6061 鋁合金為例，以提升加工精度與縮短加工時間等問題為前提，設定加工尺寸精度、表面粗糙度、真圓度及加工時間為目標品質，並依據銑削加工製程、機台結構及誤差源分析，選定主軸轉速、進給率、切削深度及精銑刀側邊預留量為影響目標品質的主要變異因子，並各規畫三個水準值。透過田口品質規畫法擇定九組加工條件，依序執行加工並量取目標品質相關數據，經由信號雜音比 S/N 計算與變異數分析過

程，獲得最佳化加工條件參數組合為 A3、B3、C3、D2。依據實驗所得最佳化加工參數執行圓弧銑削加工以驗證實驗規畫參數之可靠度，實驗結果此最佳化加工條件所得尺寸誤差為-0.0322mm，表面粗度(Ra)為 0.33 μ m，真圓度為 0.034mm，加工時間為 15.2 秒，目標品質相較於未最佳化加工參數提升約 20%~50%。因此，不僅可以提高產品品質、縮短加工時間、降低試模次數，使得成本降低與減少時間的損耗，若能以此普及化，將可增加產業界的競爭力。

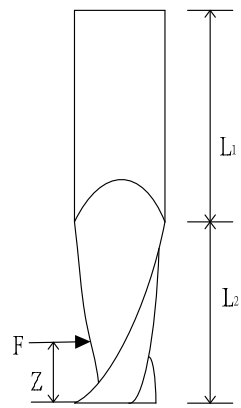
伍、參考文獻

- [1] 金屬工業研究發展中心，模具處理手冊，經濟部。
- [2] C.C. Lo, C.Y. Hsiao, "A method of tool path compensation for repeated machining process," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, Vol.38, pp.205-213. 1998
- [3] M. Loftus, D. Wang, "A theory to support the high-speed computer numerical control machining of corner profiles," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B: J. Eng. Manuf.*, Vol.216, pp.643-647. 2002
- [4] Mariana Dotcheva, Huw Millward, "The application of tolerance analysis to the theoretical and experimental evaluation of a CNC corner-milling

- operation,” *J. of Materials Processing Technology*, Vol.170, pp.284-297, 2005
- [5] P. Fallbohmer, C. A. Rodriguez, T. Ozel, T. Altan, “High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.98, pp.104-115, 2000
- [6] 夏桓泰(2004)。*CNC 工具機加工性能最佳化系統之研究與開發*。中原大學機械工程學系碩士學位論文。中壢市。
- [7] Genichi Taguchi (Yuin Wu, technical editor for the English edition), *Taguchi Methods/Design of Experiments*, Dearborn MI / ASI Press, Tokyo.
- [8] F. C. Wu, “Optimization of multiple quality characteristics based on reduction percent of Taguchi’s quality loss,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.20, pp.749-753, 2002
- [9] R.M Sundaram, B.K. Lambert, “Mathematical models to predict surface finish in fine turning of steel, Part I,” *International Journal of Production Research* 19, pp.547-556. 1981
- [10] R.M Sundaram, B.K. Lambert, “Mathematical models to predict surface finish in fine turning of steel, Part II,” *International Journal of Production Research* 19, pp.557-564. 1981
- [11] 傅甘己(2004)。*刀具剛性與切削精度關係之研究*。中原大學機械工程學系碩士學位論文。中壢市。
- [12] R. H. Myers and D. C. Montgomery, “*Response Surface Methodology*,” John Wiley & Sons, Inc, New York, NY, pp.16-21, 1995



圖一 加工實驗 3D 模型



圖二 兩階段圓桿刀具懸臂樑系統

表一、6061 鋁合金成分表

元素	Wt%	元素	Wt%
矽	0.4~0.8	鐵	<0.7
銅	0.15~0.4	錳	<0.15
鎂	0.8~1.2	鉻	0.04~0.35
鋅	<0.25	鈦	<0.15

表二、加工變異因素水準值表

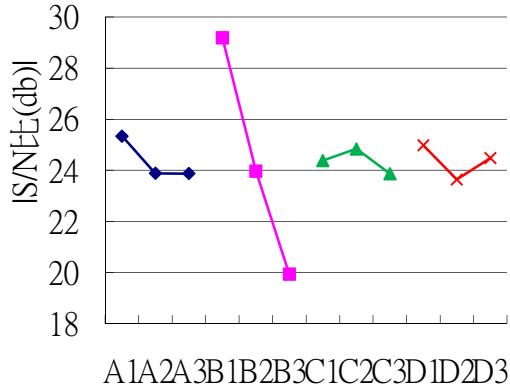
符號	加工條件因素	單位	水準一	水準二	水準三
A	主軸轉速	rpm	2000	3000	4000
B	進給速率	mm/min	50	100	150
C	切削深度	mm	5	10	15
D	側邊厚度	mm	0.5	1	1.5

表三 直交表配置

組別	A	B	C	D
	主軸轉速	進給率	切削深度	側邊厚度
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表四、實驗數據歸納表

	A	B	C	D	尺寸誤差 (mm)	表面粗糙度 Ra(μm)	真圓度 (mm)	時間 (s)
1	1	1	1	1	-0.041	0.87	0.152	69
2	1	2	2	2	-0.545	0.374	0.021	34
3	1	3	3	3	-0.085	0.302	0.025	21
4	2	1	2	3	-0.042	0.537	0.029	58
5	2	2	3	1	-0.061	0.586	0.024	30
6	2	3	1	2	-0.071	1.099	0.023	17
7	3	1	3	2	-0.05	0.422	0.024	47
8	3	2	1	3	-0.268	0.734	0.023	30
9	3	3	2	1	-0.137	0.547	0.043	21
平均					-0.140	0.608	0.040	36.3



圖三 影響條件最佳化之 S/N 比值圖

表五、影響最佳化條件之各變異因子水準值得 S/N 比值

加工條件因子	水準	SN 比(DB)	
主軸轉速 rpm	A1	2000	25.412
	A2	3000	23.974
	A3	4000	23.958
進給率 mm/min	B1	50	29.228
	B2	100	24.042
	B3	150	20.075
切削深度 mm	C1	5	24.473
	C2	10	24.915
	C3	15	23.956
側邊厚度 mm	D1	0.5	25.059
	D2	1	23.727
	D3	1.5	24.559

表六、最佳化銑削條件之建議組別條件設定表

加工條件因子	最佳組合	最差組合
主軸轉速 rpm	A3	A1
進給率 mm/min	B3	B1
切削深度 mm	C3	C2
側邊厚度 mm	D2	D1

表七、最佳化加工參數所得目標品質

目標品質	實驗數據
尺寸誤差(mm)	-0.0322
表面粗糙度 Ra(μm)	0.33
真圓度(mm)	0.034
時間(s)	15.2

Modeling the Impact Dynamics of the 3-Link Arms by Adaptive Control

Pao-Hwa Yang, Shiu-Ping Wang,
Po-Chia Chen, Hung-Nan Jan

Abstract

In this paper, the modeling of the impact dynamics between the 3-link arm and highly rigid wall is proposed. Due to the complexity of the impact phenomenon from transition of non-contact to contact state, a technique combined with the nonlinear cancellation and adaptive gain-estimation is proposed. With this technique, the impact force can be estimated by the gain updating-law. Hence, the controller design to stabilize a system can be achieved under impact.

Keywords: Impact, Lagrange, gain-updating law.

適應控制應用於 3 連桿臂撞擊運動之建模

楊伯華、王旭萍、陳柏嘉、詹弘楠

摘要

本文旨在討論 3 連桿臂與高硬度牆壁之撞擊分析，所謂之 3 連桿臂為工程上常使用之三連桿結構。基於撞擊現象之複雜性，由非接觸狀態轉換成接觸狀態；時間短暫之撞擊力，皆不易觀察，本文提出一種結合非線性消除與增益估測之適應法則，應用此一方法，撞擊力可由增益更新律估算。因此，在撞擊力下，3 連桿臂之運動狀態，可被估測計算出來。

關鍵詞：撞擊力、Lagrange、增益更新律。

楊伯華：修平技術學院機械系助理教授
王旭萍：修平技術學院機械系助理教授
陳柏嘉：修平技術學院精密機械研究所研究生
詹弘楠：修平技術學院精密機械研究所研究生

I. Introduction

As a role that robot plays from a manufacture machine in the plant to an intelligent tour guide in the museum, the concern between the robot and its surrounding environment has arisen. One of the important issues is the impact force of the robot arm can produce to the surrounding environment. It is a high stress in very short duration when two bodies collide. Due to the complexity of the impact phenomenon from transition of non-contact to contact state, it is not easy to construct the model of the impact. However, the studies of the impact model are accumulated in the literature. Among them, one is the empirical method can be found in Neville Hogan [1] emphasizing the experiment set-up to eliminate the redundant measurement and Nitish Mandal etc. [2] focusing on the experiment implementation to divide the impact phenomenon into three stages: the pre-contact stage, impact stage and post contact stage. Another is the approximation method such as Q.F., Wei etc. [3] mostly adopting the spring-mass-damping model before and after the contact and the nonlinear approach during contact, Yu Wang [4] utilizing the graphical method to model the impact force, Neville Hogan [5] and Tomer Valency etc.[6] concern the

instability contact problem and proposed the impedance control, which the impact is treated as an external input instead of a disturbance which need to be rejected. However, it is still an obstacle to design a controller without full information for the state from free motion to the contact occurring.

Recently, W.-S. Lu etc.[7] and A. Tornambè [8-10] had successfully employed the adaptive method to model the transition states between non-contact and contact. Due to the limited priori knowledge about the contact force beforehand, it is impossible to fully understand the behavior of the impact before and after without gaining the system parameter information such as masses, stiffness, geometric dimension etc. By utilizing the adaptive control, the system parameter can be estimated and the control of the impact can be achieved.

The 3 link arm mathematic model:

The dynamic equation of the robot arm model can be derived from Lagrangian equation, which is in compact form

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} = \boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

or in general structure

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

which in (1) $\mathbf{M}(\mathbf{q}) \in R^{3 \times 3}$ is the inertia matrix of the excavator arm, $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in R^{3 \times 3}$ is a centripetal and Coriolis term and $\boldsymbol{\tau} \in R^{3 \times 1}$ is torque input. The terms $\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}} \in R^{3 \times 1}$ represent the angular position vector and angular velocity vector of the joints respectively as defined in the following figure. A more detailed equation structure (2) can be found in appendix I.

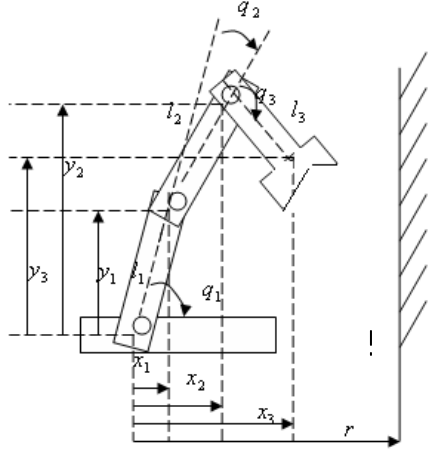


figure 1. Robot arm

q_1, q_2, q_3 : the angular position of the first arm, second arm and third arm.

l_1, l_2, l_3 : the length of the first arm, second arm and third arm.

x_1, x_2, x_3 : the horizontal coordinates of each arm with respect to the arm base.

y_1, y_2, y_3 : the vertical coordinates of each arm with respect to the arm base.

r : the distance from the arm base to the wall.

The impact conditions and force:

From the figure 1, there are two geometry terms which play an important role in the contact between the arm and wall, the manipulator horizontal end-effector function $\mathbf{h}(\mathbf{q}(t))$ and the vertical end-effector function $\mathbf{y}(\mathbf{q}(t))$, which are described as

$$\mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) = r - l_1 \cos(q_1(t)) - l_2 \cos(q_1(t) + q_2(t)) - l_3 \cos(q_1(t) + q_2(t) + q_3(t)) \quad (3)$$

$$\mathbf{y}(\mathbf{q}(t)) = l_1 \sin(q_1(t)) + l_2 \sin(q_1(t) + q_2(t)) + l_3 \sin(q_1(t) + q_2(t) + q_3(t)) \quad (4)$$

The physical meaning of $\mathbf{h}(\mathbf{q}(t))$ can be interpreted as the following conditions:

$\mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) > 0$ The arm is in free motion.

$\mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) = 0$ The arm begins to contact with the wall.

$\mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) < 0$ The reaction force is generated between the arm and wall.

However, due to the need of the simplification when in contact, one

assumption is imposed, which is $\mathbf{y}(\mathbf{q}(t)) = \mathbf{0}$ when in contact.

If the impact torque to be considered is only the reaction force generated from the deformation between the arm and wall and the direction of the deformation travels along the horizontal, the torque can be defined as $\mathbf{f}_c = k_e J_h^T(\mathbf{q}(t))\mathbf{h}(\mathbf{q}(t))$ (5)

k_e : the elasticity constant of the arm.

$J_h(\mathbf{q}(t))$: the Jacobian of \mathbf{h} ,

$$\text{and } J_h(\mathbf{q}(t)) = \frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}}.$$

For simplicity, the wall is highly stiff and rigid such that the deformation is occurred only in arm.

After these observations, a complete motion of the equation with impact torque for a 3-arm robot can be described as before and after contact:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} &= \boldsymbol{\tau} \\ \mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) &\geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (6)$$

during the period of the impact:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + k_e J_h^T(\mathbf{q})\mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) &= \boldsymbol{\tau} \\ \mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) &< \mathbf{0} \end{aligned} \quad (7)$$

The controller design of the robot arm with impact:

Ultimately, the purpose of the design is to regulate a robot arm to follow the prescribed path which is also described as a

regulator control problem. Given a desired trajectory $(\dot{\mathbf{q}}_d, \mathbf{q}_d)$, the control problem can be re-addressed as to find a controller such that the motion of the robot arm can follow the designated path. Due to the structure of the motion equation of the robot arm being nonlinear, it renders some of the nonlinear control techniques or combined one of them can be employed such as the feedback linearization, sliding control and adaptive control. But the complicated transition state between non-contact and contact and the deficiency information about the impact, it is not easy to deal with the problem by only one technique.

Our proposed controller design will start from the free motion case of the robot arm by the input-output linearization and then the impact generated case by adaptive control technique hereafter.

The free motion case: $\mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) \geq \mathbf{0}$

From (6), the equation of motion can be written as

$$\ddot{\mathbf{q}} = -\mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\boldsymbol{\tau} \quad (8)$$

$$\text{Let } \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\boldsymbol{\tau} = \mathbf{v} + \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} - \mathbf{H}_0(\mathbf{q} - \mathbf{q}_d) - \mathbf{H}_1(\dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{q}}_d) \quad (9)$$

Plugging (9) to (8)

$$\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{H}_0(\mathbf{q} - \mathbf{q}_d) + \mathbf{H}_1(\dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{q}}_d) = \mathbf{v} \quad (10)$$

Define $\tilde{\mathbf{q}} = \mathbf{q} - \mathbf{q}_d$, $\dot{\tilde{\mathbf{q}}} = \dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{q}}_d$ and replace

to (10)

$$\ddot{\tilde{\mathbf{q}}} + \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}} + \mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}} = \mathbf{v} \quad (11)$$

In (11), \mathbf{v} is a new input and $\mathbf{H}_0, \mathbf{H}_1$ are diagonal matrices with positive diagonal elements which can be properly chosen such that $\tilde{\mathbf{q}}$ will approach $\mathbf{0}$ rapidly.

Let $\mathbf{H}_0 = \text{diag}(h_{0,1}, h_{0,2}, h_{0,3})$ and $\mathbf{H}_1 = \text{diag}(h_{1,1}, h_{1,2}, h_{1,3})$ are two diagonal matrices with positive elements $h_{0,i}, h_{1,i}, i = 1 \sim 3$. Those elements are relevant to the convergence of $\tilde{\mathbf{q}}$ approaching to zero. The pick up of $h_{0,i}, h_{1,i}$ can be searched from the following equation

$$\lambda^2 + h_{1,i}\lambda + h_{0,i} = (\lambda + \frac{1}{\tau_{1,i}})(\lambda + \frac{1}{\tau_{0,i}}) \quad (12)$$

$\tau_{1,i}, \tau_{0,i}$ are the time constants from the transient state to the steady state.

The impact generated case: $\mathbf{h}(\mathbf{q}(\mathbf{t})) < \mathbf{0}$

In (7), the equation of motion with the impact can be rewritten in the following

$$\ddot{\mathbf{q}} = -\mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} - k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{J}_h^T(\mathbf{q})\mathbf{h}(\mathbf{q}(\mathbf{t})) + \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\boldsymbol{\tau} \quad (13)$$

It will be our major obstacle in controller design to obtain the impact-induced force $k_e \mathbf{J}_h^T(\mathbf{q})$ with little pre-knowledge such as the magnitude and duration before the contact starts. However, A. Tornambè[8-10] had been successfully

employed an adaptive control technique of so called Slotine type[11] to deal with the problem with an existing unknown parameter which can be estimated by gain-updating law based on the information that is available. With implementing these techniques, an adaptive controller can be constructed to deal with a generated impact-induced force when in contact.

First, an estimation of the impact-induced force $\hat{\mathbf{d}}$ is provided as next:

$$\hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) = \boldsymbol{\xi}(\mathbf{t}) + \mu \dot{\mathbf{q}}(\mathbf{t}) \quad (14)$$

$$\dot{\boldsymbol{\xi}}(\mathbf{t}) = \mu \mathbf{H}_0 (\mathbf{q}(\mathbf{t}) - \mathbf{q}_d(\mathbf{t})) + \mu \mathbf{H}_1 (\dot{\mathbf{q}}(\mathbf{t}) - \dot{\mathbf{q}}_d) \quad (15a)$$

$$= \mu \mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}}(\mathbf{t}) + \mu \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}}(\mathbf{t}) \quad (15b)$$

μ : positive constant.

$\boldsymbol{\xi}(\mathbf{t})$: the transient state.

Obviously, the impact-induced force $\hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t})$ is related with those terms: one state $\dot{\mathbf{q}}(\mathbf{t})$ and two error state $\tilde{\mathbf{q}}(\mathbf{t}), \dot{\tilde{\mathbf{q}}}(\mathbf{t})$ which are available to help to estimate when in contact. Incorporating the estimation term into the proposed control torque as next:

$$\mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} - \mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}} - \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}} - \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) \quad (16)$$

Plugging into (13), then

$$\begin{aligned}\ddot{\mathbf{q}} &= -k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}) \mathbf{h}(\mathbf{q}) \\ &\quad - \mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}} - \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}} - \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) \\ &= -k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}) \mathbf{h}(\mathbf{q}) - \\ &\quad \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) - \mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}} - \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}}\end{aligned}\quad (17)$$

For simplicity,

$$\text{let } \mathbf{d}(\mathbf{t}) = -k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}(\mathbf{t})) \mathbf{h}(\mathbf{q})$$

(18)

then our impact control of the excavator arm problem can be recast as

$$\ddot{\tilde{\mathbf{q}}} = (\mathbf{d}(\mathbf{t}) - \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t})) - \mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}} - \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}}\quad (19)$$

or

$$\ddot{\tilde{\mathbf{q}}} = \tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) - \mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}} - \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}}\quad (20)$$

$$\text{with } \tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) = \mathbf{d}(\mathbf{t}) - \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t})\quad (21)$$

In the next, a lemma is provided that the given an estimation law of impact-induced force defined in (14)~(15) the proposed control law (16) can stabilize the impact equation of motion (13). However, the aim is to regulate the arm to follow the designated trajectory $(\dot{\mathbf{q}}_d, \mathbf{q}_d)$. If a closed-loop system of the state error and estimation error can be constructed, the complete proof can be obtained by showing all these errors approach to 0, which in turn the impact of equation of motion can be stabilized and the impact force can be estimated.

Lemma:

A closed-loop system constructed from

(14)~(15) and (19)~(21) is stabilizable.

Proof:

A closed-loop system constructed from (14)~(15) and (19)~(21) can be expressed as the following:

$$\dot{\mathbf{z}}(\mathbf{t}) = \mathbf{A} \mathbf{z}(\mathbf{t}) + \mathbf{B} \tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t})\quad (26)$$

$$\tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) = \boldsymbol{\psi}(\mathbf{z}_1(\mathbf{t}) + \mathbf{q}_d, \mathbf{z}_2(\mathbf{t}) \dot{\mathbf{q}}_d) - \mu \tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t})\quad (27)$$

In which,

$$\begin{aligned}\mathbf{z}_1(\mathbf{t}) &= \tilde{\mathbf{q}}(\mathbf{t}), \mathbf{z}_2(\mathbf{t}) = \dot{\tilde{\mathbf{q}}}(\mathbf{t}), \mathbf{z}(\mathbf{t}) = [\mathbf{z}_1(\mathbf{t}) \quad \mathbf{z}_2(\mathbf{t})]^T \\ \boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) &= -\frac{\partial(k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}))}{\partial \mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}}\end{aligned}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{H}_0 & -\mathbf{H}_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{I} \end{bmatrix}\quad (28)$$

A more detailed derivation of (26)~(28) can be found in appendix II.

From (3), $\mathbf{h}(\mathbf{q}(\mathbf{t}))$ is a continuous function and it can be verified that

$$\frac{\partial(k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}))}{\partial \mathbf{q}}$$
 is globally bounded

on R^3 in appendix III, which means $\boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ holds global Lipschitz property with respect to $\mathbf{z}(\mathbf{t})$. Hence, the following condition exists:

$$\|\boldsymbol{\psi}(\mathbf{z}_1 + \mathbf{q}_d, \mathbf{z}_2 + \dot{\mathbf{q}}_d)\| \leq Q \|\mathbf{z}(\mathbf{t})\|, \quad \forall \mathbf{z} \in R^6, \forall \mathbf{q}_d \in R^3$$

, in which $\|\cdot\|$ is the Euclidean norm

$$\text{and } Q = \max_{\mathbf{q}} \left\| \frac{\partial(k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}))}{\partial \mathbf{q}} \right\|.$$
 As for

the choice of the $\mathbf{H}_0, \mathbf{H}_1$, it only needs to satisfy the following matrix equation

and P is a symmetric positive definite matrix such that $PA + A^T P = -I$. (29)

For further proof, the closed-loop system of (26)~(28) can be rephrased as:

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{z}} \\ \dot{\tilde{\mathbf{d}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{0} & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{z} \\ \tilde{\mathbf{d}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{\psi} \quad (30)$$

Simplified the notation

as $\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \mathbf{z} \\ \tilde{\mathbf{d}} \end{bmatrix}$, $\mathbf{A}_g = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ 0 & -\mu \end{bmatrix}$, $\mathbf{B}_g = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$,

then (28) will be

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{A}_g \mathbf{y} + \mathbf{B}_g \boldsymbol{\psi} \quad (31)$$

Let a Lyapunov function be defined as

$$V = \mathbf{y}^T \mathbf{K} \mathbf{y} \text{ and } \mathbf{K} = \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}.$$

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \dot{\mathbf{y}}^T \mathbf{K} \mathbf{y} + \mathbf{y}^T \mathbf{K} \dot{\mathbf{y}} \\ &= (\mathbf{y}^T \mathbf{A}_g^T + \boldsymbol{\psi}^T \mathbf{B}_g^T) \mathbf{K} \mathbf{y} + \mathbf{y}^T \mathbf{K} (\mathbf{A}_g \mathbf{y} + \mathbf{B}_g \boldsymbol{\psi}) \\ &= \mathbf{y}^T (\mathbf{A}_g^T \mathbf{K} + \mathbf{K} \mathbf{A}_g) \mathbf{y} + (\boldsymbol{\psi}^T \mathbf{B}_g^T \mathbf{K} \mathbf{y} + \mathbf{y}^T \mathbf{K} \mathbf{B}_g \boldsymbol{\psi}) \\ &= \mathbf{y}^T \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T P + P \mathbf{A} & P \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T P & -\mu \end{bmatrix} \mathbf{y} + (\boldsymbol{\psi}^T \mathbf{B}_g^T \mathbf{K} \mathbf{y} + \mathbf{y}^T \mathbf{K} \mathbf{B}_g \boldsymbol{\psi}) \\ &\leq \mathbf{y}^T \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T P + P \mathbf{A} & P \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T P & -\mu \end{bmatrix} \mathbf{y} + (\|\boldsymbol{\psi}^T \mathbf{B}_g^T \mathbf{K} \mathbf{y}\| + \|\mathbf{y}^T \mathbf{K} \mathbf{B}_g \boldsymbol{\psi}\|) \\ &= \mathbf{y}^T \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T P + P \mathbf{A} & P \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T P & -\mu \end{bmatrix} \mathbf{y} + \|\mathbf{y}^T \begin{bmatrix} 0 & Q \\ Q & 0 \end{bmatrix} \mathbf{y}\| \end{aligned}$$

$$\leq \|\mathbf{y}^T \begin{bmatrix} -I & \|P\|\|\mathbf{B}\| + Q \\ \|P\|\|\mathbf{B}\| + Q & -\mu I \end{bmatrix} \mathbf{y}\| \quad (32)$$

To choose $\mu > (\|P\|\|\mathbf{B}\| + Q)^2$, it guarantees the closed-loop system is stable.

Example:

An 3 link robot arm structure data is given as listed in the following tables:

	arm1	arm2	arm3
mass(k.g)	4	3	3
length	3	2	1
center of gravity(m)	1.5	1	0.5
moment of the inertial	3	1	5/16

The initial state is

$$\mathbf{q}_0 = \left[\frac{\pi}{4} \quad 0 \quad \frac{\pi}{10} \right]^T, \dot{\mathbf{q}}_0 = [0 \quad 0 \quad 0]^T$$

and the desired reference state is

$$\mathbf{q}_d = \left[0 \quad 0 \quad \frac{\pi}{5} \right]^T, \dot{\mathbf{q}}_d = [0 \quad 0 \quad 0]^T.$$

Some parameters are set to the following values for simulation purpose:

$$r = 5m, k_e = 10^5, h_{0,1} = h_{0,2} = h_{0,3} = 40000, h_{1,1} = h_{1,2} = h_{1,3} = 400$$

The results are shown in the following: from figure2~figure4 is the variation of

trajectory (q_1, q_2, q_3) from initial states regulated to the desired states. In figure 5, it is the variation of $h(q(t))$ and shows the impact occurs around 0.01 second. The angular velocity is in figure 6.

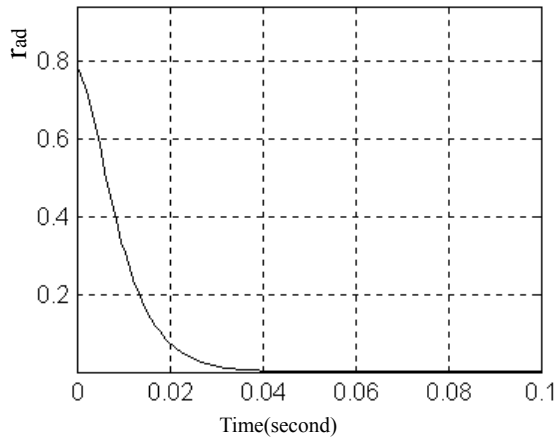


figure 2. the q_1 response

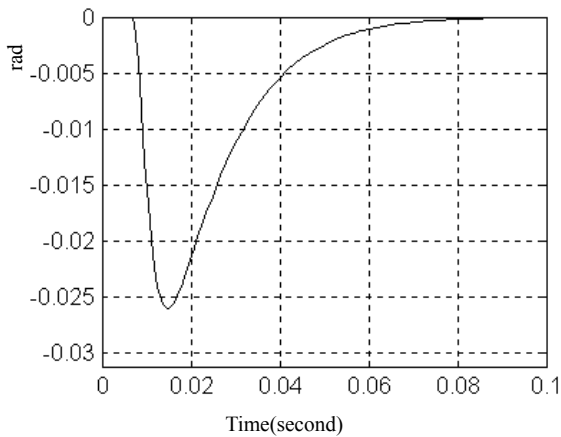


figure 3. the q_2 response

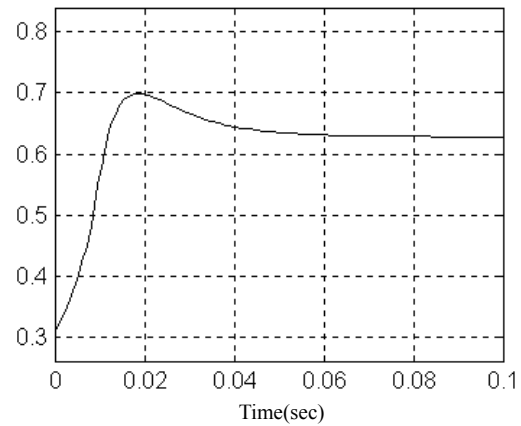


figure 4. the q_3 response

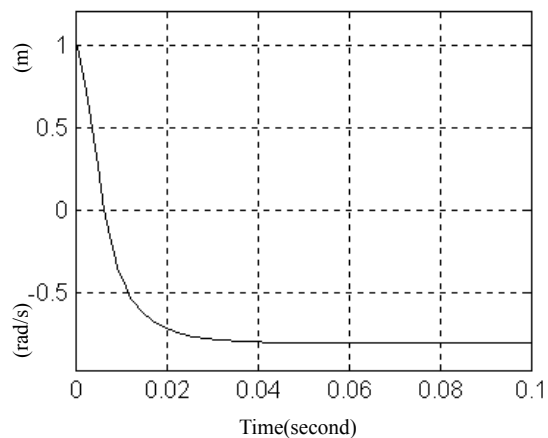


figure 5. the variation of $h(q(t))$

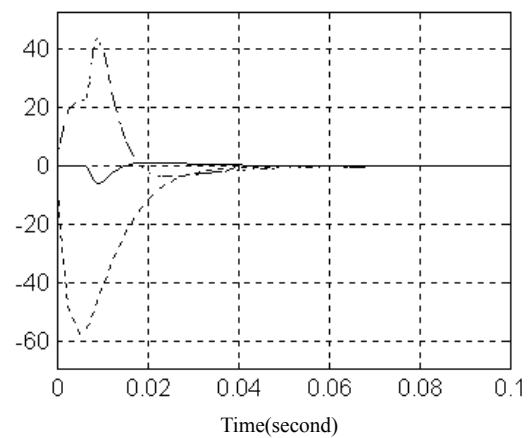


figure.6 the angular velocity $(\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3)$

The Conclusion

In this paper, a controller design is proposed to deal with the problem that the end-effect of the 3 link robot arm movement from the conditions of the free motion to the moment of the contact occurring. Due to the complicated transition states between the non-contact and contact, the control technique based on the feedback linearization and the adaptive updating gain control is employed. A numerical simulation example is also provided to demonstrate the effectiveness of the proposed controller.

Reference:

- [1.] NEVILLE HOGAN , “Stable execution of contact tasks using impedance control,” *Proc. IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1047-1054,1987.
- [2.] Nitish Mandal, Shahram Payandeh, “EXPERIMENTAL EVALUATIO OF THE IMPORTANCE FOR ROBOTIC IMPACT CONTROL,” *Second IEEE Conference on Control Applications*, September 13-16, 1993 Vancouver.
- [3.] Q.F. Wei, W.P. Dayawans and P.S. Krishnaprasad, “APPROXIMATION OF DYNAMICAL EFFECTS DUE TO IMPACT ON FLEXIBLE BODIES,” *Proceedings of the American Control Conference*, pp.1841-1845, June, 1994, Baltimore, Maryland.
- [4.] Yu Wang, Matthew T. Mason, “On Impact Dynamics for Robotic Operations,” Carnegie-Mellon University Robotics Institute Technique Report CMU-RI-TR-86-14, September, 1986.
- [5.] NEVILLE HOGAN, “On the Stability of Manipulators Performing Contact Tasks,” *IEEE JOURNAL OF ROBOTICS AND AUTOMATION*, VOL.4, NO. 6, DECEMBER 1988.
- [6.] Tomer Valency, Miriam Zacksenhouse, “Accuracy/Robustness Dilemma in Impedance Control,” *Journal of Dynamic System, Measurement, and Control, Transaction of the ASME*, Vol. 125, SEPTEMBER 2003.
- [7.] W.-S. Lu and Q.-H. Meng, “Impedance Control with Adaptation for Robotic Manipulations,” *IEEE TRANSACTION ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, VOL. 7, NO. 3, JUNE 1991.
- [8.] Antonio Tornambe`, “Modeling and Control of Impact Mechanical Systems: Theory and Experiment Results,” *IEEE TRANSACTION ON AUTOMATIC CONTROL*. Vol., 44, NO 2. February 1999.
- [9.] Antonio Tornambe`, “Global Regulation of a Planar Robot Arm Striking a Surface,” *IEEE*

TRANSACTION ON AUTOMATIC CONTROL. Vol., 41, NO 10. October 1996.

- [10.] Antonio Tornambe', "Modeling and Controlling one-degree-of-freedom impact under elastic/plastic deformations," *IEE Pro,-Control Theory Appl., Vol., 143, NO 5. September 1996.*
- [11.] JEAN-JACQUES E. SLOTINE, WEIPING LI, *Applied Nonlinear Control*, Prentice Hall, Englewood New Jersey, 1991.
- [12.] C.C. Chaeu, Y. Zhao, J.J.E. Slotine, "Adaptive Jacobian Motion and Force Tracking Control for Constrained Robots with Uncertainties," *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference On Robotics and Automation*. Orlando, Florida, May 2006, pp. 2226-2231.

Appendix I

The detailed structure of the dynamic equation $\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} = \boldsymbol{\tau}$ is shown in following:

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix}$$

$$M_{11} = h_1 + h_4 + h_6 + 2h_5 \cos q_2 + 2h_2 \cos q_3 + 2h_3 \cos(q_2 + q_3)$$

$$M_{12} = M_{21} = h_1 + h_4 + h_5 \cos q_2 + 2h_2 \cos q_3 + h_3 \cos(q_2 + q_3)$$

$$M_{13} = M_{31} = h_1 + h_2 \cos q_3 + h_3 \cos(q_2 + q_3)$$

$$M_{22} = h_1 + h_4 + 2h_2 \cos q_3$$

$$M_{23} = M_{32} = h_1 + h_2 \cos q_3$$

$$M_{33} = h_1$$

$$C_{11} = -h_5 \dot{q}_2 \sin q_2 - h_2 \dot{q}_3 \sin q_3 - h_3 (\dot{q}_2 + \dot{q}_3) \sin(q_2 + q_3)$$

$$C_{12} = -h_5 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin q_2 - h_2 \dot{q}_3 \sin q_3 - h_3 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_3) \sin(q_2 + q_3)$$

$$C_{13} = -(\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_3)(h_2 \sin q_3 + h_3 \sin(q_2 + q_3))$$

$$C_{21} = \frac{h_5(2\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin q_2 - 2h_2 \dot{q}_3 \sin q_3 + h_3(2\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin(q_2 + q_3)}{2}$$

$$C_{22} = -h_2 \dot{q}_3 \sin q_3$$

$$C_{23} = -h_2 (\dot{q}_1 + 2\dot{q}_2 + \dot{q}_3) \sin q_3$$

$$C_{31} = h_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin q_3 + h_3 \dot{q}_1 \sin(q_2 + q_3)$$

$$C_{32} = h_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin q_3$$

$$C_{33} = 0$$

$$h_1 = I_3 + l_{c1}^2 m_3, h_2 = l_2 l_{c3} m_3, h_3 = l_1 l_{c3} m_3,$$

$$h_4 = I_2 + l_{c2}^2 m_2 + l_2^2 m_3,$$

$$h_5 = l_1 (l_{c2} m_2 + l_2 m_3)$$

$$h_6 = I_1 + l_{c1}^2 m_1 + l_1^2 m_2 + l_1^2 m_3$$

I_1, I_2, I_3 represent the moment of the inertial with respect to each arm.

$\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3$ the angular velocity of each arm.

τ_1, τ_2, τ_3 the control input of the each joint.

closed-loop system with error states $(\tilde{\mathbf{q}}(\mathbf{t}), \dot{\tilde{\mathbf{q}}}(\mathbf{t}), \tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t}))$ can be constructed. More specifically, it can be derived as follows:

$$\dot{\mathbf{z}}(\mathbf{t}) = \mathbf{A}\mathbf{z}(\mathbf{t}) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t})$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{d}}}(\mathbf{t}) = \boldsymbol{\psi}(\mathbf{z}_1(\mathbf{t}) + q_d, \mathbf{z}_2(\mathbf{t})\dot{q}_d) - \mu\tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t})$$

In which,

$$\mathbf{z}_1(\mathbf{t}) = \tilde{\mathbf{q}}(\mathbf{t}), \mathbf{z}_2(\mathbf{t}) = \dot{\tilde{\mathbf{q}}}(\mathbf{t}), \mathbf{z}(\mathbf{t}) = [\mathbf{z}_1(\mathbf{t}) \quad \mathbf{z}_2(\mathbf{t})]^T$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{H}_0 & -\mathbf{H}_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{I} \end{bmatrix}$$

Appendix II

In (14)~(15) we can

eliminate $\boldsymbol{\xi}(\mathbf{t})$ by $\frac{d}{dt}(\hat{\mathbf{d}}(\mathbf{t}))$ in (14) as result

in next

$$\dot{\hat{\mathbf{d}}} = \mu(\mathbf{H}_0 \tilde{\mathbf{q}} + \mathbf{H}_1 \dot{\tilde{\mathbf{q}}} + \ddot{\tilde{\mathbf{q}}}) = \mu\tilde{\mathbf{d}} \quad (\text{a2-1})$$

So (21) can also be derived as

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{\mathbf{d}}}(\mathbf{t}) &= \dot{\hat{\mathbf{d}}}(\mathbf{t}) - \dot{\hat{\mathbf{d}}}(\mathbf{t}) \\ &= \dot{\hat{\mathbf{d}}}(\mathbf{t}) - \mu\tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) \end{aligned} \quad (\text{a2-2})$$

However, from (18)

$$\mathbf{d}(\mathbf{t}) = -k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}) \quad \text{then}$$

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) &= -\frac{\partial(k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}))}{\partial \mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}} \\ &= \boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \end{aligned} \quad (\text{a2-3})$$

$$\text{So, } \dot{\tilde{\mathbf{d}}}(\mathbf{t}) = \boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \mu\tilde{\mathbf{d}}(\mathbf{t}) \quad (\text{a2-4})$$

Combined with (20) and (a2-4), a

Appendix III

From (3),

$$\mathbf{h}(\mathbf{q}(t)) = r - l_1 \cos(q_1(t)) - l_2 \cos(q_1(t) + q_2(t)) - l_3 \cos(q_1(t) + q_2(t) + q_3(t))$$

It can be derived the structure of

$\boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ which also shows

$$\|\boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\| \leq Q \|\mathbf{z}(t)\|$$

$$\frac{\partial(k_e \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q}) J_h^T(\mathbf{q}))}{\partial \mathbf{q}} =$$

$$\begin{pmatrix} -ep ke \left(\frac{gp n_8}{ap} + \frac{dp (b_2 - h_2^2 \cos[a_{2x}]^2)}{ap} + \frac{hp l_3 \sin[s_1]}{ap} \right) \\ -ep ke \left(\frac{dp gp}{ap} + \frac{n_8 (b_3 + b_5 + 2b_4 \cos[a_{2x}] - h_2^2 \cos[a_{2x}]^2 - 2b_7 \cos[a_{2x}] \cos[s_2] - h_2^2 \cos[s_2]^2)}{ap} + \frac{hp l_3 \sin[s_1]}{ap} \right) \\ -ep ke \left(\frac{dp hp}{ap} + \frac{bp n_8}{ap} + \frac{l_3 (b_5 + n_6 - h_5^2 \cos[a_{2x}]^2 + 2n_1 \cos[a_{2x}] - 2n_3 \cos[a_{2x}] \cos[s_2] - h_2^2 \cos[s_2]^2) \sin[s_1]}{ap} \right) \end{pmatrix}$$

in which, $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6$ is defined as in appendix I and the rest new variables defined in the end are for simplified purpose. As the term ap appearing in the bracket of $\boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ is non-zero, it guarantees that $\boldsymbol{\psi}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ is non-singular. On the other word, it is bounded.

$$\begin{aligned} q_1(t) &= a_{1x}, q_2(t) = a_{2x}, q_3(t) = a_{3x} \\ a_{1x} + a_{2x} + a_{3x} &= s_1, a_{2x} + a_{3x} = s_2 \\ a_{2x} - a_{3x} &= s_3, a_{2x} + 2a_{3x} = s_4, a_{1x} + a_{2x} \\ &= s_5 \\ h_1 h_2 &= b_1, h_1 h_3 = b_2, h_1 h_4 = b_3, \\ h_1 h_5 &= b_4, h_1 h_6 = b_5 \\ h_2 h_3 &= b_7, h_2 h_4 = b_8, h_2 h_5 = b_9 \\ h_2 h_6 &= n_1, h_3 h_4 = n_2, h_3 h_5 = n_3, h_3 h_6 = n_4, \\ h_4 h_5 &= n_5, h_4 h_6 = n_6, h_5 h_6 = n_7 \\ l_1 \sin[s_1] &+ l_2 \sin[s_5] = n_8, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_1 \sin[a_{1x}] &+ l_3 \sin[s_1] + \\ l_2 \sin[s_5] &= dp \\ re - l_1 \cos[a_{1x}] &- l_3 \cos[s_1] - \\ l_2 \cos[s_5] &= ep \\ -b_3 - b_4 \cos[a_{2x}] &+ h_2^2 \cos[a_{3x}]^2 + \\ b_7 \cos[a_{3x}] \cos[s_2] &= gp \\ b_4 \cos[a_{2x}] &+ b_9 \cos[a_{2x}] \cos[a_{3x}] - \\ n_2 \cos[s_2] &- b_7 \cos[a_{3x}] \cos[s_2] = hp \\ -b_5 - b_4 \cos[a_{2x}] &+ n_1 \cos[a_{3x}] - \\ b_9 \cos[a_{2x}] \cos[a_{3x}] &+ n_1 \cos[s_2] + \\ n_3 \cos[a_{2x}] \cos[s_2] &+ b_7 \cos[a_{2x}] \cos[s_2] + \\ h_3^2 \cos[s_2]^2 &= bp \\ b_3 h_6 - h_1 h_5^2 \cos[a_{2x}]^2 &- h_2^2 h_6 \cos[a_{3x}]^2 - \\ h_3^2 h_4 \cos[s_2]^2 &+ 2b_7 h_5 \cos[a_{2x}] \cos[a_{3x}] \cos[s_2] \\ &= ap \end{aligned}$$

Injection Characteristics of Composite Emulsified Fuels on Diesel Engine Emissions

Yung-Sun Lin

Abstract

The injection effects of diesel-alcohol-water composite emulsified fuels on DI engine performance and exhaust emission mechanisms are studied in this paper. Alcohols were prepared from waste foods and added into fossil diesel fuels called green fuels. An experimental system was developed to investigate the fuel effects on engine performance. Fuels were injected into a constant volume bomb, which simulated elevated temperature conditions in a diesel chamber. High-speed photography and laser diffraction were used for measuring spray characteristics, and engine tests were conducted by measuring exhaust emissions with various alcohol contents. The experimental results indicated that NO_x emission decreased obviously compared to the use of diesel fuel. Under the control of injection timing and alcohol content, emissions decreased. In conclusion, the DI engine emits lower exhaust emissions when burning diesel-ethanol-water fuel with 10~15% ratio.

Keywords: green fuels, DI engine, exhaust emissions, injection effects.

複合燃料噴霧特性對直噴式引擎 廢氣排放之影響

林永嵩

摘要

本文旨在分析添醇複合燃料之噴霧特性對 DI 引擎燃燒廢氣排放機制之影響。從有機廢餘中可提煉出醇類，以不同比例加入石化柴油中成為綠色能源。設計一高溫條件之定容裝置進行燃料之噴霧實驗，以高速攝影系統與雷射粒徑分析儀觀測不同複合燃料在不同添醇量下之噴霧特性；並在引擎穩定運轉時進行廢氣排放量量測。結果證實添加醇類和水的複合燃料特殊噴霧微爆現象有助於液氣混合，改善 DI 引擎污染問題。NO_x 與高溫排放污染明顯有改善情形，在適當噴霧正時與添醇量下，smoke 量有降低趨勢；在無添加劑輔助下，CO，HC 與 CH₂O 醛類而言則有惡化情形。就整體 DI 引擎廢氣排放分析而言，10~15% 含水乙醇型複合燃料有較優的表現。

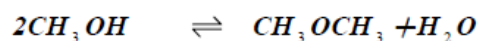
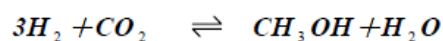
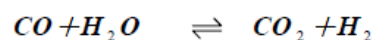
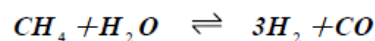
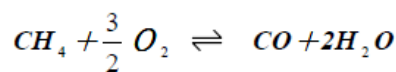
關鍵詞：綠色能源、直噴式引擎、廢氣排放機制、噴霧特性。

1. Introduction

After WWII, petroleum supplies were very abundant and cheap, thus undermining the importance of exploring the use of alternative fuels. However, due to successive shortages of oil reserves and rising environment protection awareness, R&D of oxygenated fuels and designs of oil-saving and less polluting engines became the key focus of research by many countries in the 21st century. In terms of heat efficiency, the diesel engine was apparently superior to the gas engine, although serious NO_x, smoke and PM particle exhaust were major pollution nuisances [1]; hence, oxygenated fuel has more advantages as an alternative fuel for diesel engines, and this is especially true for alcohols which have been dubbed “Tomorrow’s Fuel”. However, pure alcohol fuel has a low air fuel ratio, high Reid vapor pressure (RVP), and low caloric count; greater evaporation of latent heat and the highly corrosive nature of some alcohols would have a negative impact on the current internal-combustion engine body and performance [2]. Reed et al. [3] experimented with an automobile engine using alcohol as a fuel additive; the result proved that the proper

addition helps to lower engine thermal exhaust while maintaining alcohol advantage, and making up for the lower heat efficiency of pure fuel. Niwa et al. [4] studied the stability and cold-start performance of diesel fuel incorporating methanol; the results indicated that not long after the addition, phase separation occurred and the oil pipeline became corroded and leaked, so that its cold-start performance had to be improved. Miyamoto et al. [5] used some oxygenated fuel as an additive in an attempt to improve diesel engine noise and pollution problems; the results indicated that specific alcohol- ether compounds decreased diesel engine NO_x and noise, but that the ignition performance of some blended fuels deteriorated and fuel stability clearly decreased with the increased additive. Bertoli et al. [6] undertook a single-cylinder DI diesel engine experiment by adding various oxygenated additives to alkane-based stock oil; the test result indicated that the proper control of oil volatility and hexadecane value could well inhibit aldehyde and carbonide discharge of alcohol-ether fuel. Spreen et al. [7] studied the impact of various diesel fuel characteristics on the gas exhaust of a 1994 Navistar DTA-466

high revolution engine; the results indicated that increasing the fuel hexadecane value could suppress NOx discharge, but that higher aromatic content would give rise to increased PM particle discharge, so the recommendation was to increase diesel oxygen content in order to inhibit this discharge. Fleisch et al. [8] tried to resolve the problem of the high pollution of city buses and medium-duty trucks with ether-alcohol fuel in order to meet the 1998 California Ultra Low Emissions ULEV standards. The result indicated that pure alcohol fuel had lower hexadecane value, irritating HCHO emissions increased and engine system corrosion accelerated; yet NOx exhaust was somewhat improved. In terms of price, 100% alcohol anhydride fuel was far more expensive than diesel fuel; this did not meet the aim of achieving cost saving. Hansen et al. [9] set up a new alcohol-ether production process (stand alone DME plants) to supersede the conventional low output dehydration method (methanol dehydration process); the results indicated that the new production process lowered investment cost, product purity was elevated, and refining consumed less energy. Key reaction equations were as follows:



$$Eff. = \frac{\text{Methanol} + 2DME \text{ (mole)}}{CO + CO_2 \text{ (mole)}}$$

The efficiency of the new manufacturing process could be above 90%. Bailey et al. [10] used pure-ether DEE to make a feasibility analysis of C.I.E alternative fuel; the results indicated that the fuel price and manufacturing process still needed to be improved, the exhaust pollution hazard required further evaluation, and adding alcohol to diesel fuel could increase the hexadecane value. Among the literatures on improving fuel properties and combustion behavior with an interface technique, Hamasaki et al. [11] emulsified rapeseed oil with water, and studied the influence of D.I. compression ignition engine exhaust

emission. The results indicated that pure rapeseed oil caused more severe pollution; however, with an appropriate nozzle size ($d = 0.22\text{mm}$), emulsified fuel could lower diesel-derived HC and CO pollution, but as the moisture level rose, the DI engine itself still had many negative effects to resolve. Tsue et al. [11] studied micro-explosions of water-emulsified fuel, indicating that micro-explosion intensity was subject to moisture and ambient pressure. In 1998 Mikami et al. [13] used n-alkane/n-hexadecane to simulate micro-explosions of emulsified fuel. Cheng et al. [14] addressed the facts that the propylene glycol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$) molecule has two alcohol groups, is nontoxic, and when used as an emulsified fuel during combustion, it could provide abundant oxidation for fuel. An experiment indicated that, regardless of engine parameters such as spray characteristic and injection angle, diesel exhaust discharge was not significantly improved, NO_x emission only improved marginally, CO and HC emissions appeared to worsen, explosion shock occurred during the experiment, and engine start performance clearly deteriorated. It's

known from the above analyses that in regard to compression ignition DI engine pollution control, total replacement of existing diesel or emulsified fuel with pure alcohol-ether-ester fuel still had technical or theoretical difficulties to solve, whereas adding alcohol to diesel fuel was the generally accepted applicable approach. The unfortunate aspect was that alcohol and fuel polarity difference gave rise to incompatibility as well as fuel pipeline corrosion and leakage; in addition, the engine structure would have to be modified in future improvements. Up to now, the interface activation technique-based modification or overall solution was one of the accepted simple and effective approaches. Therefore, this study first tried to prepare variable ratios of surfactant combinations with alcohol additive coupled with stabilizer, thereby forming more stable diesel-alcohol-water composite fuel, and then did spray behavior tests on various fuels. The test results served as a pilot theory basis for further improvements of injection engine exhaust emission; this study expected to have a positive impact on key pollution problems of the DI engine with the help of injection

parameters, to provide references for researchers.

2. Apparatus and measurement

2.1. Test apparatus

This experiment setup included the following major apparatuses. (1) In order to further study the impact of biofuels and their emulsions spray characteristics on emissions, this study used a diesel generator made in Japan, Model YDG2700E, with specifications shown in Table 1. It is a common commercial single-cylinder, vertical, 4-stroke, air-cooled, direct injection diesel engine. The engine is connected to an electrical generator to provide load required, adjusting load by changing current supply. Each fuel was tested for 2h with 80% of the full load. A Motorscan Eurogas emission analyzer model 8020 was used to analyze the concentration of the carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbon (HC), and nitrogen oxide (NO_x) of the exhausted gas. (2) A constant volume simulation bomb was used to observe the spray behavior of composite fuels in a high temperature combustion chamber, as shown in Fig. 1; this experiment set up a variable temperature constant volume

bomb to simulate the heat conditions in a cylinder, and a high speed photography technique was used to capture transient micro-explosions of fluid droplets arising above a specific critical temperature. This cylinder unit has an inner diameter of 175mm and a length of 800mm, its body is made of SUS 304 stainless steel material and its transparent sight window is tempered glass resistant to high pressure and high temperature; affordable sustained pressure and temperature were 30kg/cm² and 500° respectively. The unit's interior was designed to be heated with 5kw fuses evenly distributed; adjusting heating voltage of temperature controller controlled internal heating temperature. The experiment's safe temperature was within 25~400°C. Nitrogen gas was refilled into the unit to prevent spray ignition, combustion and explosion, with gas density fixed to 2kg/m². (3) A CH₂O tester: Japanese Shimatsu Double beam UV spectrophotometer, model UV-200 was used (4) A high-speed camera and control box: NAC Model-E10 was used. (5) A laser particle size analyzer: Malvern Model 2600HSD was also employed.

2.2. Fuels

Alcohols were prepared from waste foods and added into the fossil diesel fuel called green fuels. Pure alcohol fuel itself

has a low calorie count, large evaporation of latent heat and low air fuel ratio, thus rendering it unsuitable for current engine units. But its molecules provide OH groups, aiding in fuel oxidation during combustion and decreasing pollution from diesel engines or industrial furnaces. Therefore in this study, common industrial alcohols such as methanol, ethanol and propylene glycol were incorporated as additives into base fuel: diesel fuel; their physical properties are shown in Table 2. An interface technique was utilized to improve alcohol wear corrosion and leakage in order to solve the fuel phase separation problem and improve part of fuel spray combustion behavior through micelle structure. This article adopted the HLB value frequently used in industry to define surfactant polarity, important products from the American Atlas Powder Company, Span and Tween surfactant groups [15] were blended in various proportions and the addition was controlled at 0.5~2% as diesel fuel and alcohol interface surfactant. After multiple trials, we failed to obtain highly stable composite fuel; alcohol separated during the diesel fuel phase and precipitated in 5h; when highly viscous surfactant was above 2%, fuel oil viscosity suddenly surged. Thus, this experiment considered the indissoluble behavior of water and alcohol;

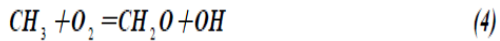
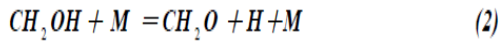
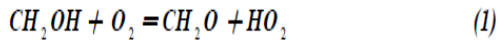
water was added as stabilizer to reduce surfactant amount, while meeting the utmost requirements of stabilizer choice as pure monomolecular structure and low price [14]. Repeat tests indicated that when the addition ratio of alcohol to fuel (alcohol + diesel) is within 30%, water addition to separation phase (alcohol) is maintained at 50% or the alcohol-water ratio is fixed at 1: 1, and the Span-Tween composite surfactant group (HLB value controlled at about 4.6) addition is 0.8%, then diesel—alcohol—water composite fuel can be stable for one month or so; during the fuel stability test, the separation phase accumulation and coalescence leading to phase separation are not significant. This experiment tried to add up to 1% acetyl alcohol to various alcohols to improve composite fuel stability, thereby contributing to exhaust discharge analysis experiments for reference. Testing proved that leakage wear expected to occur during composite fuel combustion had been solved, while high deposits from original pure water-emulsified fuel no longer emerged.

2.3. Test measurement

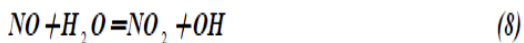
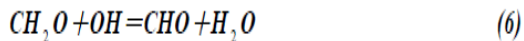
2.3.1. Formaldehyde generation mechanism and measurement

Irritant formaldehyde is one of important emissions of alcohol-based fuel.

Ito et al. [16] pointed out that the primary cause of formaldehyde emission is that unburned fuel in clearance between the combustion chamber and piston ring and in the extinguishing area of the wall became oxidized at low temperature during engine expansion and venting. The key generation mechanism of formaldehyde is as follows [16, 17]:



It is known from the above formulae that methyl radical and methyl hydroxyl radical were key factors of generation, while oxygen molecules in the exhaust also aided in formaldehyde generation. Increase of NO concentration aided in destroying formaldehyde, as shown in Eq (6)~(8).



This experiment adopted the MBTH method to determine the formaldehyde content (ppm) based on blue product; after reaction of formaldehyde and the MBTH

(3-methyl-2-benzothiazolone) solution, its absorbance was determined with spectrophotometer at 628nm.

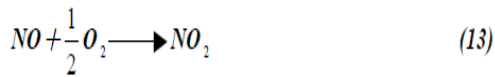
Formaldehyde concentration could be represented as:

$$\text{ppm} = \frac{C \times V_e \times 24.45}{V_a \times \text{MW} \times E} \quad (9)$$

Where, C is corresponding standard absorbance ($\mu\text{g}/\text{ml}$), V_a is test gas volume, MW is molecular weight, V_e is volume of absorption solution, and E is absorption efficiency, 0.95.

2.3.2. HC, CO and NOx measurement

HC emission was due to incomplete fuel combustion or cylinder fire, and CO was also caused by incomplete combustion of mixed gas, especially local fuel enrichment and oxygen depletion inside the combustion chamber. NOx was generated by high temperature arising from engine combustion, enabling N_2 not involved in combustion to decompose and react with O_2 to generate NO; under lower temperature with excessive O_2 residue, NO would be oxidized to generate acutely toxic NO_2 . Critical reaction mechanisms were as follows [18]:



2.3.3. Spray characteristic measurement

An E-controlled NAC E-10 high speed camera was used to inspect transient spray behavior of fuel at high temperature; shooting speed ranged from 4000 to 5000 fps; 16cm artwork of ISO500 ASA Kodak 7240 and Nikkor 50 mm f/18 standard lens were employed, and side illumination and NAC type 300 xenon light were adopted for the simulation test at preset test temperature ranging between 100 and 400 °C . An injection tester coupled with Malvern 2600 HSD particle size analyzer was used to measure spray droplet distribution (SMD), while a laser beam was used to examine atomization of various fuels. Overall spray results would be the pilot theory basis for composite fuel exhaust emission testing.

3. Results and discussions

3.1. Fuel spray effect

Figs. 2 and 3 used an injection test simulation unit to analyze spray behaviors of various fuels; composite fuel spray

behavior was captured by high-speed photography technique under high temperature, and then compared with diesel fuel, as shown in Fig. 2. It was seen from the photos that at equal injection condition, at the initial stage, composite fuel spray tip penetrated farther with smaller spray angle because composite fuel itself had high viscosity and droplet particles were larger, or spray inertia was greater. Furthermore, water molecules increased the specific gravity of composite droplets so that spray penetration was strengthened. Under the viscous force of fuel itself, the initial spray angle of composite fuel was smaller than that of diesel spray. It is known from comparison of three types of composite fuel that for the one incorporating propylene glycol, the spray tip penetration distance was longer, and the spray angle smaller because of greater molecular weight, specific gravity and the viscosity of propylene glycol itself (shown in Fig. 3 (a)). It could be seen from the photos in Fig. 2 that during high temperature injection (about 2ms for actual engine), composite fuel penetration was strong and the initial spray angle small, but at the end of the injection, the spray cone appeared larger up to 60° approach to diesel fuel 65° as shown in Table 3. This became more apparent when ambient temperature was above 300°C. In regard to the micelles, the

composite fuel separation phase was alcohol and water, the continuous phase was diesel, and the emulsion type belonged to water in oil (W/O). During the piston's upward compression, the combustion internal temperature rose, spray droplets were heated under high temperature, alcohol-water micelles encapsulated in oil were overheated, and saturated steam pressure increased enough to burst the droplets when the fuel droplets were in the process of transient fragmentation and breaking, or so-called "micro-explosion". It will broke up the droplets, aiding in the complete blending and combustion of liquid and gas; alcohol and steam splashed into the spray fog leading to the expansion of composite fuel spray micelles so that the spray angle tended to enlarge at the final stage. It is known from the experiment that at 300 °C , composite fuel "micro-explosions" became more obvious; as for various alcohols, the addition of methanol required higher temperature to obtain obvious "micro-explosions", and over 350°, methanol-type composite fuel micro- explosions were the most intense, which might be due to the excessive evaporation latent heat of methanol. The experiment validated that the composite fuel re-atomization effect helps to improve spray behavior, as in Fig. 3, showing the injection characteristics of composite fuel

in the spray simulation unit under variable temperatures. Fig. 3(a) shows the fuel influence on spray penetration at the ambient temperature 300 °C . A slight increase in penetration was observed when emulsified fuel with 15% water-alcohol was used. This is probably due to a density increase with water added. Meanwhile, the propylene glycol viscosity was very high (0.581 poise) and the evaporation of latent heat, 705 kJ/kg, was still high as shown in Table 2. It was known that spray droplets derived from high viscosity fuel and emulsifier had larger average particle size, or greater particle inertia. Therefore, transient spray tip penetrated farther. An appropriate length of penetration aids in fuel-gas mixing of DI engine. As shown in Fig. 3(b), the heat transfer of spray droplets and ambient air was weak below 200°C; most fuel droplets did not reach the initial distillation temperature when oil begins to evaporate, thus the temperature marginally influenced SMD. When the ambient temperature gradually rose, tiny droplets evaporated first; spray droplet micelle micro-explosions were yet to come; their occurrence was not obvious, while SMD was augmented locally. When the temperature was over 300°C, large size droplets began to evaporate, SMD began to drop, and composite fuel micro-explosions became more obvious; propylene glycol

fuel SMD apparently also tended to fall. When the temperature rose above 350°, methanol fuel SMD began to fall and the atomization effect was improved. As for the actual DI engine synchronous spray combustion experiment, the nozzle test result was consistent with the injection test simulation result: under high temperature in the combustion chamber, special micro-explosions of composite fuel at about 2ms in the final spray stage facilitated the mixing of fuel and air and complete combustion as shown in Table 3. Fig. 4 show the relation of BSFC to water-containing alcohol addition. Specifically, BSFC rose with propylene addition, even the special micro-explosions of emulsified fuel can improve the mixing of fuel and air and complete combustion, the propylene glycol fuel consumption was still very serious; ethanol fuel appeared better, with BSFC remaining low, at the 10~20% level. As shown in Table 2, the propylene glycol viscosity was very high (0.581 poise) and the evaporation of latent heat, 705 kJ/kg, was still high; thus, it was known that, spray droplets derived from high viscosity propylene glycol and emulsifier had larger average particle size, or greater particle inertia. Therefore, transient spray tip penetrated farther, impinging on the cold wall of the cylinder to result in local annihilation or local fuel

enrichment; incomplete combustion caused higher fuel consumption. Besides, the ethanol type had lower viscosity, moderate calories and good spray behavior; in particular, droplet micro-explosions obviously improved liquid gas mixing, thereby increasing the combustion rate; thus, low BSFC can be obtained and low pollution could be expected with a proper 10~20% alcohol addition. Generally, when alcohol addition was above 30%, the engine started with greater difficulty, combustion noise got louder, obvious explosion shocks occurred, and BSFC increased seriously. Totally, the unique micro-explosions helped the re-atomization to shorten the combustion period and increase the combustion rate; proper alcohol addition significantly improved its disadvantage in regard to the low calorie, high viscosity and high latent heat of the emulsified water-alcohol fuels.

3.2. Exhaust emissions

Fig. 5 shows the relation of NO_x emission and alcohol addition. The NO_x content obviously decreased as the alcohol addition increased, and the high pollution level of nitrogen oxide of the DI engine was expected to be solved; among the various alternatives, the methanol type had the most significant effect. The analysis finds that the latent heat evaporation of

methanol was very high, 1104 kJ/kg, about 4 times that of diesel fuel's 270 kJ/kg, while its calorie level, 20 MJ/kg, was only half that of 42.5 MJ/kg; thus, high latent heat and low calorie alcohol and water evaporated rapidly. After being injected into the cylinder to absorb heat, the high temperature of the original cylinder would be immediately alleviated, thus inhibiting the NO_x generation mechanism; meanwhile, the engine body material resistance to high temperature could be improved. Figs. 6 and 7 show the relation of CO and HC emission to alcohol addition, respectively. Specifically, CO and HC content rose with alcohol addition, and propylene glycol fuel pollution was very serious; ethanol fuel appeared better, with CO and HC emissions remaining low, at the 10~20% level. It's known, after analysis, that the propylene glycol viscosity was very high (0.581 poise) and the evaporation of latent heat, 705 kJ/kg, was still high; thus, spray droplets derived from high viscosity propylene glycol and high viscosity emulsifier had larger average particle size, or greater particle inertia. Therefore, transient spray tip penetrated farther, impinging on the blind angle of the cold wall of the cylinder to result in local annihilation or local fuel enrichment; incomplete combustion voids increased in oil gas. Meanwhile, as alcohol-water

droplets absorbed heat to evaporate and hence cool down the cylinder, CO and HC oxidation rates were inhibited; incomplete combustion product failed to be totally oxidized instantaneously, giving rise to more pollution. Besides, the ethanol type had lower viscosity, moderate calories and good spray behavior; in particular, droplet micro- explosions obviously improved liquid gas mixing, thereby increasing the combustion rate; thus, low pollution could be obtained with a proper alcohol addition amount. When alcohol addition was above 30%, the engine started with greater difficulty, combustion noise got louder, obvious explosion shocks occurred for the propylene glycol type, and CO and HC content spiked upwards. Figs. 8 and 9 indicate that exhaust temperature and smoke concentration tended to fall with alcohol addition. The methanol-ethanol type had lower exhaust temperature, and the propylene glycol type improved slightly. When alcohol addition was above 30%, engine combustion stability deteriorated, the noise got louder obviously, and the exhaust temperature tended to rise. Fig. 9 shows the resulting smoke emissions; higher or lower alcohol addition generates a lot of smoke; optimal exhaust emission was obtained when alcohol addition was kept at 10~20%. It's known from theory analysis that the longer propagation

combustion period was the main cause of smoke generation; incomplete atomization in the spray and a delayed combustion rate were critical parameters. Methanol-ethanol fuel became granulated under high temperature; its unique micro-explosions helped the re-atomization to shorten the combustion period and increase the combustion rate; proper alcohol addition significantly improved its disadvantage in regard to the evaporation of latent heat. Fig. 10 shows the relation of formaldehyde emission and alcohol addition; CH_2O increased with alcohol addition, the propylene glycol type was more serious in its negative effects, and the ethanol type appeared to be positive. According to the formaldehyde generation mechanism, HC emission was the greatest cause of CH_2O generation; lower exhaust temperature and higher oxygen content gave rise to much CH_2O . The air-fuel ratio of propylene glycol type, 7.27, was very low; thus the oxygen residue might be high. HC emission increased greatly due to inferior initial atomization of spray and low combustion temperature; a high evaporation rate of latent heat and bad start ability resulted in larger combustion variation. Apparently, much CH_2O would result at lower emission temperature. It's known from the above analyses that with proper alcohol addition, composite fuel

exhibited lower exhaust emission levels and engine oxidation, and deposit generation improved totally; thus, it could replace troublesome pure water emulsified fuel and become a novel high performance DI engine fuel. Nonetheless, elevated alcohol addition would result in the weakening of engine performance and increased pollution, so it's recommended that it be coupled with other additives so that high-alcohol composite fuel may exhibit its excellent performance.

4. Conclusions

This study established a spray combustion simulation unit to observe the influence of special spray behavior of composite fuels on engine combustion exhausts emission mechanism in order to analyze the causes of DI engine pollution, as well as to propose various schemes for inhibiting exhaust generation mechanism for researchers' reference. Test results are described below: 1. As for the propylene glycol type composite fuel, due to its high viscosity, high evaporation rate of latent heat and low air fuel ratio, as well as high HC and CO content, CH_2O emission tended to increase with alcohol addition. At low revolution, high-alcohol fuel started with difficulty and engine explosion shock increased, so exhaust emission and

combustion performance need to be improved. 2. Alcohol-added composite fuel was an effective and easy solution to high NO_x and high temperature emission pollution of the DI engine. With proper injection timing and alcohol addition, the problem of smoke emission could be solved, too. 3. Special micro-explosions of composite fuel could make up for some disadvantages of alcohol; in terms of overall exhaust emission, the ethanol type performed well in regard to NO_x, CO and HC, smoke and exhaust temperature pollution and CH₂O emission when the alcohol addition level was 10-15%; thus it could replace troublesome pure water-emulsified fuel to become a high performance DI engine fuel. However, its high ethanol content may lead to high pollution and inferior performance, which could not be ignored. 4. Composite fuel in this experiment might adopt cheaper water-bearing alcohol (pure alcohol has a higher price); thus its economy value was good and it has development potential, so it's recommended to improve combustion efficiency of high alcohol fuel by incorporating additives.

References

- [1] C. Y. Lin and L. W. Chen, "Emulsification of three-and two-phase emulsions prepared by the ultrasonic emulsification method." *Fuel Proc Technol*, 87(2006), pp. 309-317.
- [2] K. Andoh, K. Yonemochi, H. Kawajiri, K. Sakuma, H. Tanabe and G. T. Sato, "Combustion Characteristics of Various Alternative Fuels in SI Engine," *SAE Paper*, No.811384, (1981), pp.4148-4166.
- [3] T. B. Reed and R.M. Lerner "Methanol a Versatile Fuel for Immediate Use," *Science*, 182(1973), pp132-143.
- [4] K. Niwa and S. Inoue "Advance of Technology on Methanol Fuels and Methanol Vehicles in Japan," *SAE Paper*, No.952753, (1995), pp.2106-2118.
- [5] N. Miyamoto, H. Ogawa, T. Arima, K. Obata and G. H. Gao, "Improvements of Diesel Combustion and Emissions with Oxygenated Fuels," *Automobile Symposium Proceedings*, 29(1998), January, pp. 17-23.
- [6] C. Bertoli, N. D. Giacomo and C. Beatrice, "Diesel Combustion Improvements by the Use of Oxygenated Synthetic Fuels," *SAE Paper*, No.972972, (1997), pp. 1557-1567.
- [7] K. B. Spreen, T. L. Ullman and R. L. Mason, "Effects of Cetane Number, Aromatics, and Oxygenates on

- Emissions From a 1994 Heavy-Duty Diesel Engine with Exhaust Catalyst,” SAE paper, No.950250, (1995), pp.238-254.
- [8] T. Fleisch, C. McCarthy, A. Basu, C. Udovich, P. Charbonneau, W. Slodowske, S.E. Mikkelsen and J. McCandless, “A New Clean Diesel Technology: Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether,” SAE paper, No.950061, (1995), pp.42-54.
- [9] J. B. Hanson, B. Voss, F. Joensen and I. D. Sigurardottir, “large Scale Manufacture of Dimethyl Ether-a New Alternative Diesel Fuel from Natural Gas,” SAE Paper, No. 950063, (1995), pp.70-80.
- [10] B. Bailey, J. Eberhardt, S. Goguen and J. Erwin, “Diethyl Ether (DEE) as a Renewable Diesel Fuel,” SAE Paper, No. 972978, (1997), pp.1578-1585.
- [11] K. Hamasaki, Y. Tanaka, T. Nakamura, and T. Takaki, “Effects of Injection System on Performance of a Direct-Injection Diesel Engine with Emulsified Rapeseed Oil Fuels,” Japan Mechanical Association Proceedings (Part B), 61(1995), No.581, pp.339-343.
- [12] M. Tsue, T. Kadota, H. Yamasaki and H. Hamaya, “Effects of Ambient Pressure on Combustion Behavior of an Emulsified Fuel Droplet,” Japan Mechanical Association Proceedings (Part B), 62(1996), No.601, pp.260-265.
- [13] M. Mikami, T. Yagi and N. Kojima, “Occurrence of Microexplosion in Combustion of Fuel Mixture Droplets,” Japan Mechanical Association Proceedings (Part B), 64 (1998), No. 624, pp.324-329.
- [14] Y. L. Cheng, C. Y. Lin and Y. Y. Hsu, “Influence of diesel--propylene glycol emulsified oil on diesel engine exhaust emission”, the 14th National Symposium of China Mechanical Engineering Association, Taoyuan, (1997), pp.432-439.
- [15] F. Y. Wang, “Interface surfactant principle and application”, Gao Li Books, (1988).
- [16] K. Ito and Y. Yano, “Behavior of Methanol and Formaldehyde in Burned Gas from Methanol Combustion (A Chemical Kinetic Study),” Bulletin of the JSME, 26(1983), No.211, pp.258-267.
- [17] B. L. Edgar and R. W. Dibble, “Autoignition of Dimethyl Ether and Dimethoxy Methane Sprays at High Pressures,” SAE Paper, No.971677, (1997), pp.625-635.
- [18] C. H. Lu, “Automobile exhaust
-

pollution and control technique”, Advance to new century-vehicle pollution prevention and control symposium, Taichung, (2000), pp.39-78.

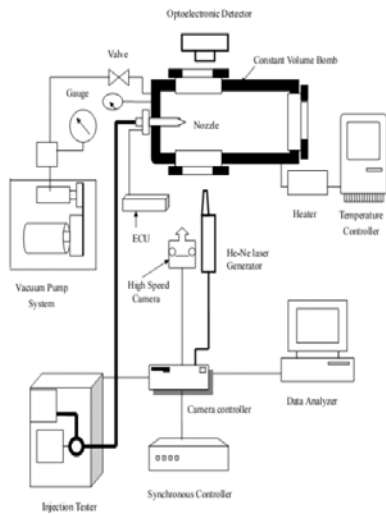


Fig. 1: Schematic diagram of experimental setup

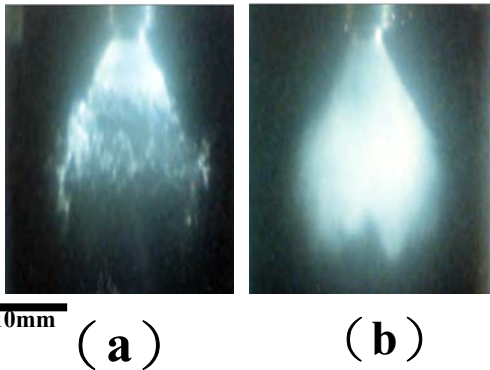
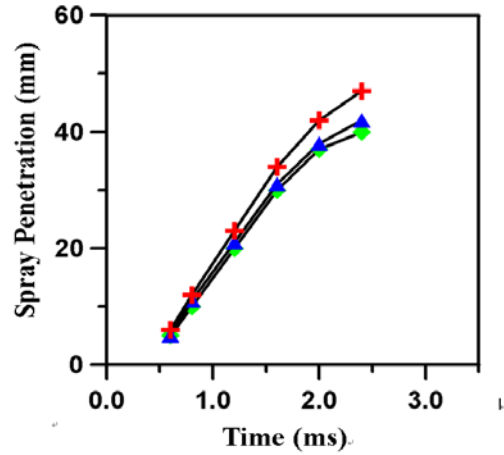
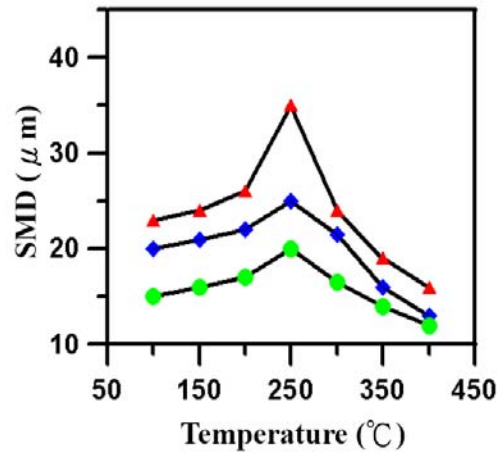


Fig. 2: High-speed photographs of injection spray. (a) Diesel, and (b) emulsified fuel (15 % Propylene-water added, 2ms after injection, 300°C).



+Propylene ▲Methanol ◆Diesel oil

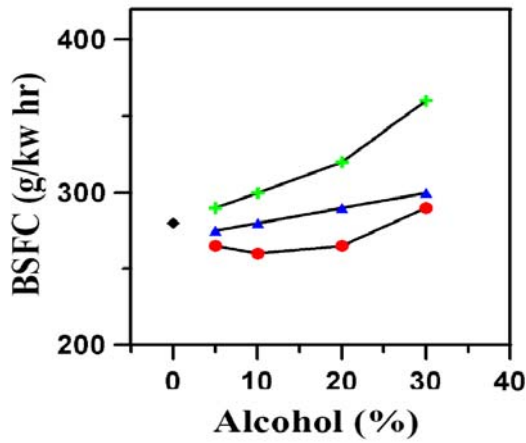
3 (a)



▲Ethanol ◆Methanol ●Diesel oil

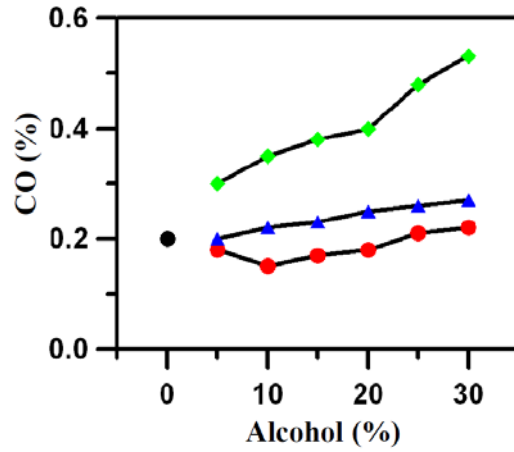
3 (b)

Fig. 3: Analysis of injection spray behavior.



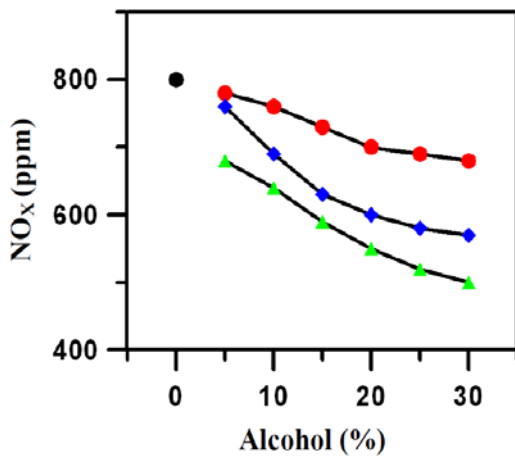
●Ethanol ▲Methanol +Propylene

Fig. 4: Relation of BSFC and composite alcohol content



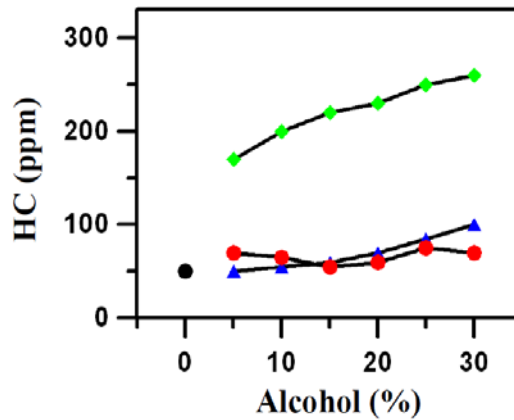
▲Methanol ●Ethanol ◆Propylene

Fig. 6: Relation of CO and composite alcohol content



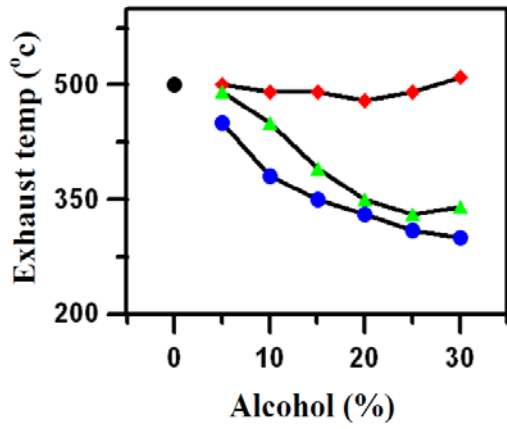
▲Methanol ◆Ethanol ●Propylene

Fig. 5: Relation of NOx and composite alcohol content



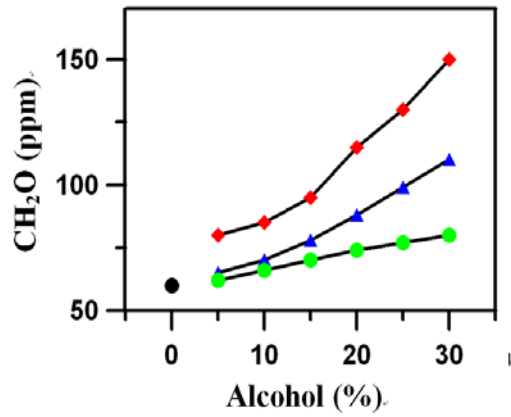
▲Methanol ●Ethanol ◆Propylene

Fig. 7: Relation of HC and composite alcohol content



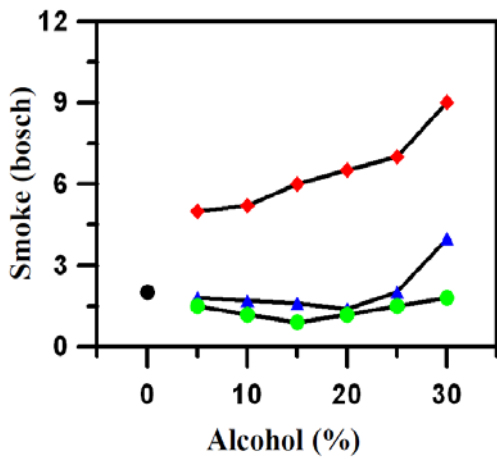
▲ Methanol ● Ethanol ◆ Propylene

Fig. 8: Relation of exhaust temperature and composite alcohol content



▲ Methanol ● Ethanol ◆ Propylene

Fig. 10: Relation of CH₂O and composite alcohol content



▲ Methanol ● Ethanol ◆ Propylene

Fig. 9: Relation of Smoke and composite alcohol content

Table 1

Specifications of the stationary engine

Manufacture	YANMAR YDG2700E
Speed	3000 rpm
Fuel	Diesel
Type	Four-stroke direct injection
Number of cylinders	One
Cooling system	Air
Displacement volume	0.2 L
Maximum output	2.2 KW
Nominal power	2.0 KW
Fuel capacity	7.2 L
Weight	54 KG

Table 2

Basic property of fuel

Fuel	Molecular Weight	Specific gravity	Evaporation latent heat	Calories (MJ/Kg)	(A/F) (KJ/kg)	Viscosity (Poise)
Diesel fuel	~175	0.85	270	42.5	14.5	0.056
Methanol	32	0.80	1104	20.0	6.47	0.006
Ethanol	46	0.79	840	27.0	9.00	0.014
Propylene glycol	76	1.04	705	23.7	7.27	0.581

Table 3

Spray behavior of fuel

Fuel	Spray penetration (mm)	Spray angle (degree)	SMD (μm)
Diesel fuel	36	65	12.5
Emulsified fuel	43	60	28.5

條件限制下的貝他係數與股價指數 報酬的關係--以亞洲市場為例

何亮君

摘 要

本研究主要是檢測亞洲的日本、台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 6 個國家股票市場的 β 與股價指數報酬的關係。樣本期間為 1995.1 起至 2004.11 為止，股票市場週的報酬資料。市場投資組合是採用 MSCI 的亞洲指數報酬。而無風險資產報酬則為各國家的一年期定存利率。檢測方法以 Pettengill et al.於 1995 年發表於 *Journal of Financial Quantitative Analysis* 上所使用的模型為基礎。當樣本分為多頭期及空頭期，得到在多頭期時日本、台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 6 國家的 β 與報酬成顯著正相關，在空頭期時只有台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 5 國家的 β 與報酬成顯著負相關。

關鍵詞：貝他係數、股價指數報酬、多頭市場、空頭市場。

The relationships between conditional stock market beta coefficient and stock index return--A study of Asian countries

Liang-Chun Ho

Abstract

The relationships of stock market β coefficients and stock index returns are studied. Weekly stock index of Japan, Taiwan, Korea, Hong Kong, Singapore and Malaysia are taken from January 1995 to November 2004. MSCI Asia index return is taken as the market portfolio return. One year CD rate is taken as the risk free rate for every country. Pettengill et al (1995) model is used to test the relationships of stock market β coefficients and stock index returns. This research found that, during bull markets, Japan, Taiwan, Korea, Hong Kong, Singapore and Malaysia all have significant positive relationships between stock market β coefficients and stock index returns. However, during bear markets, Taiwan, Korea, Hong Kong, Singapore and Malaysia have significant negative relationships between stock market β coefficients and stock index returns.

Keywords: β , stock index return, bull market, bear market.

1. 前言

資本資產定價模型 (CAPM)，長期以來一直為學術研究及市場參與者考量期望報酬及風險的重要依據。此模型指出：證券的期望報酬與市場 β 存在線性關係，且 β 為解釋橫斷面期望報酬的唯一因子。雖然此模型早已被接受運用，但其理論面與實證面仍有爭議之處。許多實證研究發現系統風險外，還有其他因素可以解釋，如公司規模、盈餘市價比、淨值市價比、負債權益比等。

Ross(1976)基於 CAPM 模型中的缺點提出多因子模型 (APT)，企圖找出更適切的定價模型。APT 推論證券報酬為 K 個因素的線性函數，但並未指明因子的數目及內容。Chen, Roll & Ross(1986)利用多因子定價模型，檢測哪些總體因素的變動可視為股票市場中的共同因子，以獲得報酬補償。結果顯示長短期政府公債到期收益率、未預期通貨膨脹率、預期通貨膨脹變動率、違約風險貼水、工業生產指數成長率可作為解釋股票報酬率的基本因素。Fama & French 於 1992、1993、1995、1996 年持續性的研究後，市場因子、規模因子、淨值市價比等三因子模型對股票平均報酬的解釋力獲得確立。此時 β 是否仍具影響力、CAPM 模型是否已無效，並沒有一定的結論，但其獨一性的角色實

已遭到撼動。

早期文獻於檢定 β 的解釋力時，僅以固定風險模型的 β 作結論，忽略了真實市場中 β 通常是隨著起伏。Pettengill, Sundaram & Mathur(2002)證實證券系統風險顯著地隨著市場波動而有明顯的改變。Levy(1974)則建議多頭市場時的股票報酬率應以多頭市場的 β 加以估計，反之亦然。薛彬彬 (1980) 的研究，發現台灣股票於多頭與空頭市場其系統風險的反應不一致，應區分多頭與空頭市場分別估計風險係數為宜。由此可知傳統的固定風險的 CAPM 模型需再做更深入的修正。曾昭玲 (2004) 的研究，發現台灣股票於多頭與空頭市場的 β 反應均為正，但明顯不同，所以區分多頭與空頭市場的 β 應是正確的。

本研究遂以亞洲股票市場為樣本，劃分出多頭與空頭兩個不同風險的子市場，希望能有一準則，解釋各國股價指數報酬與 β 的關係。檢測方法是 Pettengill et al. 於 1995 年發表於 *Journal of Financial Quantitative Analysis* 上所使用的模型為基礎。期間乃是 1995.1 起至 2004.11 為止。

本研究共分為四個部分，除第一部份為介紹外，第二部份研究方法，說明本研究的處理方式，第三部分為實證結果，說明資料來源與實證結果分析，第四部份為

結論，就本研究結果彙總說明。

2. 研究方法

在Levy(1974)尚未提出多頭與空頭 β 係數需分開衡量前，一般文獻皆採用單一 β 值來衡量風險，及 β 值愈高表示與市場的連動性愈大。然若將股票市場區分為多頭與空頭市場，則 β 的表現是否相同一致？

Black, Jensen and Scholes(1972)提出 zero-beta CAPM:

$$E(R_i) = \gamma_0 + \gamma_1 \beta_i \quad (1)$$

Fama and MacBeth (1973)修正為 two-pass regression methodology:

$$R_{it} = \alpha_i + \beta_i R_{mt} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$R_{it} = \gamma_{0t} + \gamma_{1t} \beta_i + u_{it} \quad (3)$$

Pettengill et al. (1995)又修正 Fama and MacBeth (1973)，其所注重的乃是事後報酬。

$$R_{it} = \gamma_{0t} + \gamma_{2t} D \beta_i + \gamma_{3t} (1-D) \beta_i + e_{it} \quad (4)$$

D：為一虛擬變數，當市場報酬為正時等於 1，當市場報酬為負，等於 0。

γ_{2t} ：在多頭期的以月為單位的風險溢酬

γ_{3t} ：在空頭期的以月為單位的風險溢酬

$$H_0 : \gamma_2 - \gamma_3 = 0 \quad (5)$$

本研究以此模型為基礎，將亞洲股票市場劃分出多頭與空頭兩個不同風險的子市場，以週為單位的風險溢酬，檢測各國股價指數報酬與 β 的關係。

3. 實證結果

3-1 資料來源

樣本期間為 1995.1 起至 2004.11 為止，日本、台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 6 個國家的股票市場週的報酬資料。市場投資組合是採用 MSCI 的亞洲指數報酬。而無風險資產報酬則為各國家的一年期定存利率。

3-2 基本統計量

研究股價基本波動性分析以基本統計量分析為主包含：平均數、中位數、極大值、極小值、標準差、偏態係數、峰態係數及 J-B 值等。T 則表示為樣本數。而 J-B 值之統計量為 $J-B = \left(\frac{T-d}{6}\right) \left[S^2 + \frac{1}{4}(K-3)^2\right] \sim \chi^2(2)$ ，主要用來檢定股價波動行為是否符合常態分配的方式變動。此時 T 表示為樣本數；d 表示為迴歸式中殘差項之數量，一般 d 可令為零；S 表示為偏態係數；K 表示為峰態係數，在虛無假設為常態分配下，用以驗證股價變動是否為常態分配。

表 1 中包含 MSCI 亞洲指數及 6 個市場亞洲指數報酬的基本統計資料，研究期間是 1995.1 起至 2004.11 為止。雖然日本與台灣的 J-B 值未符合常態分配，但因為

本研究的是以空頭與多頭劃分檢測為主，所以對於研究結果並不會有重大影響產生。

表 1 .基本統計量

特徵值	亞洲指數	日本	台灣	韓國	香港	新加坡	馬來西亞
平均數	-0.036987	-0.115036	-0.036181	-0.025839	0.111168	-0.080877	-0.050380
中位數	0.006078	-0.054005	0.022841	-0.166763	0.220567	-0.082999	-0.086911
極大值	8.522609	11.30666	11.76350	16.51859	13.22767	13.79998	27.55309
極小值	-8.901894	-10.8095	-11.60721	-17.45855	-14.20928	-15.38665	-16.42945
標準差	2.331795	3.048635	3.754962	4.749961	3.0536762	3.689887	3.944963
偏態係數	0.061159	0.097995	-0.093866	-0.075912	-0.386876	0.065201	0.566954
峰態係數	3.837269	3.968087	3.597803	4.087115	4.348243	4.718894	10.03309
Jarque-Bera 值	15.20079	0.97550	8.441155	25.90468**	51.95368**	63.88944**	1091.127**
觀測值	516	516	516	516	516	516	516

**：表 1%的顯著水準

3-3 單根檢定

本研究採用 ADF (Augmented Dickey-Fuller)檢定法及 PP (Phillips and Perron)檢定，檢定日本、台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 6 個國家股票指數之時間數列的是否為定態。列出此模式表示如下：

3-3-1 ADF 檢定

若時間數列為高階之自我迴歸，則以 ADF 檢定法，可避免在 DF 單根檢定法下，以 AR(p)之模型進行單根檢定，在誤差項中所產生自我相關的情況，而影響檢定的效力。茲將此模式表示如下：

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \gamma \cdot t + \beta_0 \cdot y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i \cdot \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (6)$$

其中，可分為無常數與時間趨勢項的檢定模型、無常數項但有常數項的檢定模型及有常數與時間趨勢項的檢定模型三種，而 $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ 為變數 y 的一次差分； α_0 ， γ ， β_i 為估計參數； ε_t 為殘差項； k 為落後期數。檢定時所採用的臨界值乃是根據 Dickey - Fuller 之 τ_μ 、 τ_τ 的檢定表，若 τ 統計值無法拒絕虛無假設 $H_0: \beta_0 = 0$ 時，表示 y_t 具有單根為非定態時間數列，則必須利用差分的動作使其轉成穩定型態，方可繼續進行統計分析。在選取最適落後期數 k 時，本研究採用一般常見的方法 SBC(Schwarz's Information

Criterion)準則。

3-3-2 PP 檢定

PP 檢定主要是對 DF 之檢定方法做了若干的調整，使其不再限定誤差項為相同且獨立的分配，及容許誤差項保有相當程度的弱相依性(weak dependence)及非齊一性(heterogeneity)，檢定 ρ 值是否顯著為 1。並修正 ADF 檢定將 AR(p)模型提升為 ARMA(p,q)，其修正模型如下：

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \rho y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \rho_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \gamma_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (7)$$

其中，亦可分為無常數與時間趨勢項的檢定模型、無常數項但有常數項的檢定模型及有常數與時間趨勢項的檢定模型三種。 Δy_t 為變數 y 的一次差分； α 為漂浮項；而 ρ_i 、 β 表示為時間趨勢項的估計參數； p 則為滯延期數； ε_t 則為誤差項。當 PP 統計量在樣本數趨近於無窮大時，則與 DF 及 ADF 統計量擁有相同的分配，因此 DF 與 ADF 臨界表，在 PP 檢定的統計量亦適用，但在計算 Z 值之前必須先決定殘差項之自我共變異數的數目。

表 2. 亞洲 6 個國家股票指數報酬序列之單根檢定
(研究期間：1995.1~2004.11)

國家	ADF	P.P
日本	-3.6773** (0.0000)	-3.6773** (0.0000)
台灣	-21.73703** (0.0000)	-21.73703** (0.0000)
韓國	-22.82241** (0.0000)	-22.82241** (0.0000)
香港	-21.55258** (0.0000)	-21.55258** (0.0000)
新加坡	-10.81297** (0.0000)	-21.70294** (0.0000)
馬來西亞	-11.57829** (0.0000)	-21.09836** (0.0000)
亞洲指數	-23.28947** (0.0000)	-23.28947** (0.0000)

註：1. 時間序列檢定方法：常數項及時間項皆有的情況

2. 臨界值是根據 Philips & Quliaris (1990)，Mackinnon(1991)之數值表決定。

3. 打括號者為 P-VALUNE

4. **：表 1%的顯著水準

4. 實證分析

CAPM 模型乃是根據事前或預期的情況而建立，其假設借、放款的利率相同，且為考慮通貨膨脹及交易成本。但實際上，一般卻是以事後資料去驗證。

由表 3 的結果顯示出日本、台灣、韓國、香港、新加坡等 5 國皆呈現顯著，即表示 CAPM 模型在該市場成立，而僅有馬來西亞沒有顯著表現。

表 3. 第 (2) 式檢測結果

$$\text{模型： } R_{it} = \alpha_i + \beta_i R_{mt} + \varepsilon_{it}$$

	參數	Coefficient	t-Statistic	Prob.
日本	α	-0.070437	-1.356337	0.1756
	β	1.205805	54.09609**	0.0000
台灣	α	-0.012051	-0.079654	0.9365
	β	0.652388	10.04621**	0.0000
韓國	α	0.010190	0.055428	0.9558
	β	0.974114	12.34450**	0.0000
香港	α	0.143504	1.126662	0.2604
	β	0.874252	15.99154**	0.0000
新加坡	α	0.046328	0.388859	0.6975
	β	0.768507	15.02872**	0.0000
馬來西亞	α	-0.060734	0.152682	0.6910
	β	0.544617	0.065534	0.0000

**表示 1%顯著水準

第 (3) 式乃是檢測，股價報酬是否受 β 係數的影響，由表 4 的結果顯示出僅有台灣與新加坡呈現顯著正向。此是否表示，傳統單一 β 係數的 CAPM 模型有修

正的空間存在，接著本研究將股票市場分為多頭及空頭兩個子市場，做進一步檢測。

表 4.第 (3) 式檢測結果

$$\text{模型： } R_{it} = \gamma_{0t} + \gamma_{1t}\beta_i + u_{it}$$

參數		Coefficient	t-Statistic	Prob.
日本	γ_{0t}	-0.076588	-0.11540	0.0351
	γ_{1t}	1.633796	0.05567	0.0404
台灣	γ_{0t}	-0.402671	-1.614795	0.1070
	γ_{1t}	0.665956	2.079315**	0.0381
韓國	γ_{0t}	0.066041	0.219758	0.8261
	γ_{1t}	-0.101573	-0.382394	0.7023
香港	γ_{0t}	0.395686	1.128006	0.2599
	γ_{1t}	-0.350820	-0.946169	0.3445
新加坡	γ_{0t}	-0.484215	-1.615109	0.1069
	γ_{1t}	0.762534	1.967791**	0.0496
馬來西亞	γ_{0t}	0.121099	0.534119	0.5935
	γ_{1t}	-0.321374	-1.063286	0.2882

**表示 1%顯著水準

第 (4) 式乃是檢測將股票市場分為多頭及空頭兩子市場，股價報酬是否受 β 係數的影響。由表 5 的結果顯示出當為多頭市場時，日本、台灣、韓國、香港、新

加坡、馬來西亞等 6 國皆呈現顯著正向關係。但為空頭時則只有台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞有顯著負向關係。

表 5.第 (4) 式檢測結果

$$\text{模型： } R_{it} = \gamma_{0t} + \gamma_{2t}D\beta_i + \gamma_{3t}(1-D)\beta_i + e_{it}$$

	參數	Coefficient	t-Statistic	Prob.
日本	γ_{0t}	-1.000111	-1.595443	0.111
	γ_{2t}	0.646385	5.16704**	0.000
	γ_{3t}	-1.19684	-0.18910	0.090
台灣	γ_{0t}	-0.473283	-2.430144	0.0154
	γ_{2t}	3.462821	11.75598**	0.0000
	γ_{3t}	-2.598637	-8.407099**	0.0000
韓國	γ_{0t}	-0.125143	-0.540080	0.5894
	γ_{2t}	2.893999	11.11303**	0.0000
	γ_{3t}	-2.509732	-10.36447**	0.0000
香港	γ_{0t}	0.263680	1.147738	0.2516
	γ_{2t}	2.461651	9.256433**	0.0000
	γ_{3t}	-3.150148	-11.85457**	0.0000
新加坡	γ_{0t}	-0.222622	-1.090212	0.2716
	γ_{2t}	3.355312	11.79281**	0.0000
	γ_{3t}	-2.787525	-9.240579**	0.0000
馬來西亞	γ_{0t}	0.059717	0.337864	0.7356
	γ_{2t}	2.981675	9.996487**	0.0000
	γ_{3t}	-3.187790	-11.22137**	0.0000

**表示 1%顯著水準

最後檢測多頭市場與空頭市場的對稱性，結果由表 6 顯示出，皆為顯著。即表示拒絕第 (5) 式，多頭與空頭市場是不具對稱性的。

表 6.第 (5) 式檢測結果

$$H_0 : \gamma_2 - \gamma_3 = 0$$

日本	台灣	韓國	香港	新加坡	馬來西亞
-12.0713816 **	32.13093**	17.1494941**	-14.0632193**	21.7640379**	46.5619762**

**表示 1%顯著水準

5. 結論

風險與報酬間存在正向的抵換關係，即投資於具高風險的資產，會要求高報酬，這是財務理論的核心。

本研究主要是檢測亞洲的日本、台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 6 個國家股票市場的 β 與股票投資報酬的關係。樣本期間為 1995.1 起至 2004.11 為止，股票市場週的報酬資料。檢測方法以 Pettengill et al. 於 1995 年發表於 *Journal of Financial Quantitative Analysis* 使用的模型為基礎。

當樣本分為多頭期及空頭期，得到在多頭期時日本、台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 6 國家的 β 與報酬成顯著正相關，在空頭期時只有台灣、韓國、香港、新加坡、馬來西亞等 5 國家的 β 與報酬成顯著負相關。

日本於空頭市場呈現不顯著，或許是

與其經濟已經低迷時多年都未有明顯起色有關係。且另檢測多頭市場與空頭市場的對稱性，結果發現是不具對稱性。

本研究有助投資者正確的隨市場波動而調整其風險程度，制訂適當的投資決策。而後續的研究或可在此一架構下，更審慎的以日曆效應等來評估其結果反應為何。

6. 參考文獻

1. 曾昭玲與楊舜蓁 (2004)，雙貝他資本資產定價模型運用於台灣股票多頭與空頭市場之事用性研究，*東吳經濟商學學報*，第 44 期，PP.25-54。
2. 薛彬彬 (1980)，台灣股票市場風險之測定：多頭和空頭市場比較之結果，*淡江大學金融研究所出版碩士論文*。
3. Black, F. M. C., Jensen, M. C. and Scholes, M. (1972). The capital asset pricing model: Some empirical tests,

- Studies in the Theory of Capital Market*, Praeger Publishers, New York.
4. Chen, Nai-Fu, Richard Roll and Stephen A. Ross (1986). Economic Forces and the Stock Market. *Journal of Business*, 59, PP.383-403.
 5. Fama E., MacBeth J. (1973). Risk, Return, and Equilibrium: Empirical Tests. *Journal of Political Economy*, Vol. 81, Issue 3, pp. 607-636.
 6. Fama, Eugene F. and Kenneth R. French (1992). The Cross-Section of Expected Stock Returns. *Journal of Finance*, 47, No.2, PP.472-465.
 7. Fama, Eugene F. and Kenneth R. French (1993). "Common Risk Factors in the Returns on Bonds and Stocks. *Journal of Finance Economics*, 33, No.1, PP.3-56.
 8. Fama, Eugene F. and Kenneth R. French (1995). Size and Book-to-market Factors in Earnings and Returns. *Journal of Finance*, 50, No.1, PP.131-156.
 9. Fama, Eugene F. and Kenneth R. French (1996). Multifactor Explanations of Asset Pricing Anomalies. *Journal of Finance*, 51, No.1, PP.55-84.
 10. MacKinnon, J. G.(1991). Critical Values for Cointegration Tests. *New York: Oxford University Press*.
 11. Levy,R.A.(1974). Beta Coefficient as Predictors of Return. *Financial Analysis Journal*, 24, PP.61-69.
 12. Pettengill, G., Sundaram, S. and Mathur, I. (1995). The Conditional Relation between Beta and Return. *Financial Quantitative Analysis*, 30, PP.101-116.
 13. Pettengill, G., Sundaram, S. and Mathur, I. (2002). Payment for Risk: Constant Beta vs Dual-beta Models. *Financial Review*, 37, No.2, PP. 123-136.
 14. Phillips, P. and S. Ouliaris (1990). Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration. *Econometrica*, 58, 165-193.
- Ross, Stephen A. (1976). The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. *Journal of Economic Theory*, 13, PP.341-360.
-

磨床振動之研究

周志忠、張浮明

摘要

磨削加工受機床結構、主軸轉速、進給速度與工件材料等作用，磨床會產生振動，影響磨削加工品質，使工件表面形成顫動紋、相異波紋或瑕疵等缺點。本文使用小型鞍座平面磨床，取不同主軸轉速、切削深度與切削力為實驗參數，研究影響磨床性能之因素，並比較砂輪修整前後之加工狀態，使用頻譜分析儀與表面粗糙度儀，量測不同參數加工後之表面，分析切削力之振動、結構振動模態、空轉與切削時之振動差異，並比較工件表面振紋。由實驗中發現，馬達驅動之進給伺服系統為主要振動源，會引起定位精度不良與表面粗糙度較大等缺陷，需要從切削力、機床結構與砂輪強制振動等振動源中補償，降低振動頻率，配合機座立柱與工作檯之剛性，減小振幅差異與彎曲變形，如此可提高磨削精度，改善工件表面粗糙度及延長整台磨床機構之使用壽命。

關鍵詞：磨削加工、振動、頻譜分析儀、表面粗糙度。

The research of grinder vibration

Chih-Chung Chou, Fu-Ming Chang

Abstract

In grinding process, the grinder is produced the vibration by bed structure, spindle speed, feed rate and work piece material. It affects the abrasive machining quality, causes the work piece surface shortcomings to form of vibration pattern, the different ripple and corrugated, flaw. This paper uses a small saddle surface grinding machine and takes the experiment parameter of the different spindle speed, the cutting depth and the cutting force and compares the processing condition before and after of grinding wheel. Measurement influence grinder performance with different parameters and analysis of vibration use a spectrum analyzer and surface analyzer. Cutting vibration, structure vibration modal, the idle and the cutting force of the vibration difference, and compares the roughness of the work piece surface. Discovered by the experiment the main vibration source come from servo motor in feed process, will cause the bad of pointing accuracy and surface roughness. It needs from vibration sources such as cutting force, bed structure and grinding wheel forced vibration compensates, reduction the vibration frequency, rigidity of the coordinate seats on a plane column and the work table, will reduce the oscillation amplitude difference and the bending strain, so may increase the grinding precision, to improve surface roughness and the extension the life of the whole grinder institutions.

Keywords: Grinding, vibration, spectrum analyzer, surface roughness.

1. 前言

運轉中的機械系統受外力作用時，會產生振動，當外力持續不斷的輸入，則機械系統會連續振動，或源於機座轉動所產生的慣性力，系統的振動狀態稱為響應。系統依靠自身轉動狀態的回饋作用調節能量輸入，以維持不衰減的持續振動，因此振動的頻率與振幅與初始條件無關，均靠系統的物理參數確定，此稱為自激振動且為非線性系統。

以磨床之主軸運轉而言，當磨輪與工件接觸時所傳遞至主軸的力量，會使主軸產生振動，此為受力振動，當系統無外力作用時，則僅有自由振動。通常工件需要輪磨時，表示工件需要磨除材料、磨銳、磨亮或進給量較小的加工量等，且要求較佳的表面精度、平面度等加工。磨床使用磨料以磨擦方式對熱處理過的硬、脆材質刀具或對光學玻璃、晶圓片等軟材料進行磨削加工，因此使用廣泛。

然而輪磨加工，有較多的因素會影響磨削品質，包含了機械結構、主軸、工件、輪磨刀具、進給系統、周邊控制系統，環境因素及輪磨刀具形式、工件材質、磨削條件及磨削方式等，整座機械或受力等產生的自由振動或受力振動，整體機構的表現，會影響磨削後的工件表面[1]。

工程技術所涉及的機械系統或結構的振動，使物體普遍存在週期性狀態的往復運動與循環變化，會影響精密儀器的性能降低結構的疲勞限與增加構件的磨損等[2,3]。當工件磨削後，在工件表面上出現不如預期之狀態，如顫動紋、相異波紋或瑕疵等缺點，必須探討、釐清問題發生的原因，除需要搭配相關的測試儀器，及經驗豐富的工作人員提供改善建議外，必須尋找方法解決磨削缺陷。

所以磨床機械出廠前，除了進行例行的品管檢驗外，也對整個研磨機械進行工件磨削振動測試，藉振動量測儀，擷取實驗數據建立最佳化的磨削模式，雖然不同工廠機型不同，但磨削測試的工作與測試程序，伴隨對於整座研磨機械的表現，會影響輪磨機械的品質穩定性。

Krajnik[4]等，以矩陣方式選取足夠且適當影響磨床振動因素的實驗，進行研究磨削實驗加工後的表面粗糙度，降低振動模式與頻率。其後 Kopac [5]等又選擇以實驗水準數（ ± 2 ）及四個設計因素，工件厚度、磨輪轉速、進給率與進給速度等之實驗設計，使用反應曲面法建立磨削製程表面粗糙度的實驗模式與最佳化。Malkin[6]等研究磨削加工時，研磨磨料與工件的摩擦、快速進給、主軸運轉及溫度變化所產生的熱源，因溫度變化會使結構

間產生位移，造成熱脹冷縮的效應，影響加工工件尺寸或形狀上的誤差。

磨削機械性能表現與造成誤差的因素之間的關係，通常會處理幾個性能測試的評估項目。與結構相關的測試，如靜、動剛性測試、模態測試。與主軸相關的測試，如主軸靜態迴轉精度測試、軸動態迴轉精度測試、主軸空轉振動測試。與動態進給相關的測試，如雙軸循跡精度量測、線性插補定位軌跡量測、進給加速度及速度量測。與切削相關的測試，如顫振測試、切削力量測、表面粗度及振紋頻譜量測。與熱變位相關的測試，如環境溫度變異熱變位、主軸溫升熱變位、進給軸熱變位測試等內容。Zhang[7]等由運動學觀點研究磨削製程的動力函數，決定切削因子顯示不同的震動頻率與磨削力之間的關係。Li[8]等以磨輪轉速、切削深度、進給量與工件轉速等參數，比較穩定與非穩定狀態下，使用感測器、應變計與訊號振盪放大器，使用精確量測正向力與切線力對磨削加工產生振動頻率訊號，以濾波器處理變化的研究。

輪磨加工條件不同產生不同的誤差與原因，須以不同種類的測試與量測方法，以獲取所須數據資料進行分析，除了解機座在受到內部或外在等各種不同因素產生的變化外，亦可利用上述各項測試結果作為改善基礎。除了上述一般性的測

試項目外，如果機座已經有特定的問題時，則有可能必須針對問題點來特別規劃診斷測試項目以作進一步探討，以期解決機座問題提升機座性能。隨著科技產業的蓬勃發展，精密機械對於精度、速度與穩定度的要求也日益嚴苛，尤其在主軸高速運轉、結構快速移動及磨削加工的過程中，所產生的振動、熱變形或顫振的問題，對整體的加工品質影響甚鉅，為處理相關問題，應利用相關的工具機性能測試技術，搭配適當的控制參數及加工參數，使機座可以兼顧快速、穩定及精度的需求。本文使用移動式PSGS4080AHR小型鞍座平面磨床之切削力、切削中振動及結構模態進行測試，以研究該型磨床之結構件動態性能及可能影響磨削性能的原因，建立磨床結構振動模式，做為振動分析之判斷依據。

2. 測試程序與設計

本磨床機構系統將機械振動過程，經振動質量、彈簧剛性與阻尼系數之動力學方程式，轉換為電荷量與變形關係，量測訊號是量測振動結構與感測轉換器之相對位移量。

將位移動作以頻譜分析儀，測量所得的時間-振幅(Time Domain)的數據訊號，運用傅立葉數位訊號，進行連續性計算的分析技術，轉換為頻率-振幅

(Frequency Domain)，利用示波器直接顯示信號波幅、頻率、週期、波形與相位之響應變化，進行分析此訊號的頻率特性，依照不同的待測系統、轉換為不同的信號，即可變化出各式各樣的測試方式。

各測試點與條件方式，如表一。本磨床機構測試內容含空轉、進給、結構動剛性與結構模態等四部分。測試規格PSGS4080AHR小型鞍座移動式磨床，如圖2-1，使用Impaq掌上型訊號頻譜分析儀，如圖2-2，

表1. 主軸轉速、切深與切削力、工件表面振紋比較

項次	A	B	C	D	E	
主軸轉速(rpm)	3600	2400	1440	2400	2400	
切深(μm)	5	5	5	10	5	
最大切削力(N)	X軸	3.5	3.5	6	----	2
	Y軸	28	42	43	150	31
	Z軸	0.1	0.1	0.1	0.02	0.02
Y軸主要振頻(Hz)	60	40	24	不明顯	40	
工件振紋頻率(Hz)	60 強制振紋	40 強制振紋	24 強制振紋	不明顯	不明顯	
備註(砂輪)	未修整	未修整	未修整	修整	修整	

註:切削中 Y 軸向之伺服系統，皆產生頻率 $280Hz$ 之振動頻譜



圖2-1 小型鞍座移動式磨床



圖2-2 Impaq訊號頻譜分析儀

2.1 空轉振動測試

主軸轉動無進給切削時，量測磨床主軸運轉與停止後之振動頻譜，其設備裝置與量測儀器示意圖，如圖2-3。

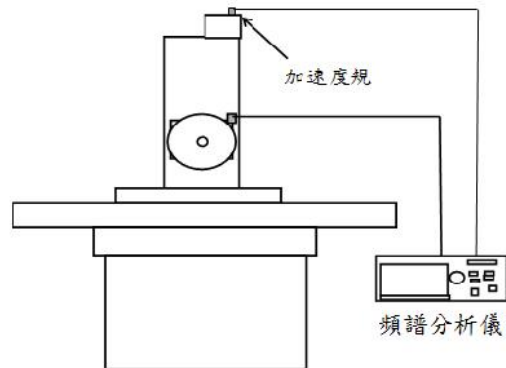


圖2-3 空轉振動量測示意圖

2.2 切削測試

以表一內不同的主軸轉速與不同的進給切深為測試參數，當轉速、進給切深改變時，分析磨床之磨（切）削力與工件表面粗糙度的影響，磨床振動與工件表面振紋的關係。

其量測儀器裝置及設備示意圖，如圖2-4。

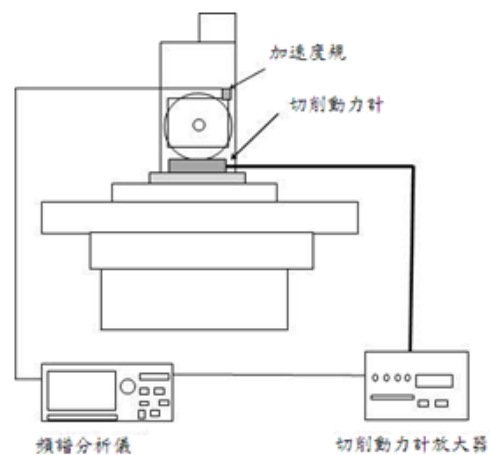


圖2-4 切削量測示意圖

2.3 結構動剛性測試

因主軸轉數不同，磨床工作檯振動頻率亦不同，由量測儀量測數據判斷其振動特性，預測影響磨削較弱部分之振動，判斷結構振動型態及其動剛性值，其量測儀器裝置及設備示意圖2-5。

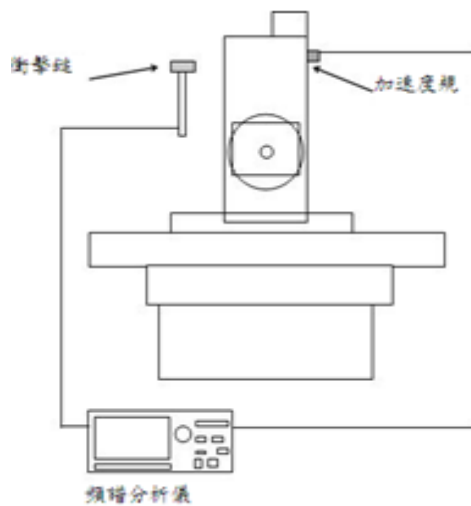


圖2-5 結構動剛性量測示意圖

2.4 結構模態測試

組裝完整之磨床機構進行模態測試，量測磨床結構件的振動型態與自然頻率，以判斷結構的強、弱處之最大值與最小值，其量測儀器裝置及設備示意圖，如圖2-6。

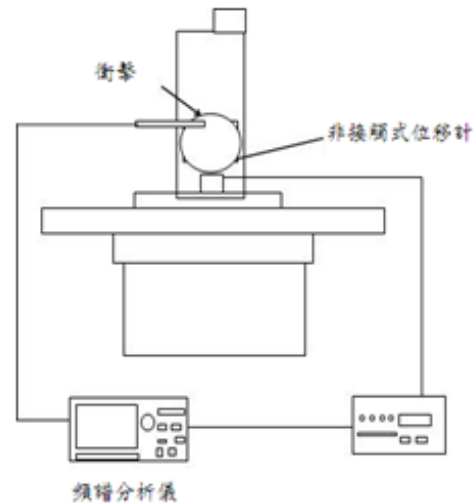


圖2-6 結構模態量測示意圖

3. 測試實驗

磨削加工時工件與刀具間常伴隨著震顫(chatter)與振動現象，影響工件表面粗糙度，準確度且導致降低磨輪使用壽命。

3.1 空轉振動測試

主軸頭運轉處所量測的振動頻譜，如圖3-1，圖中顯示除了主軸轉動頻率 60 Hz 外，另有一較高的振頻 282.5 Hz 左右。將主軸停止，主軸頭處所量測的振動頻譜，如圖3-2(a)，振頻顯示為 285.5 Hz 。另將加速度規貼於Y軸伺服馬達上，所量測的振動頻譜，如圖3-2(b)，明顯可得最大振動量，其振頻為 288.5 Hz 。故此型磨床有一較大的強制振動源，源於Y軸進給伺服馬達。隨著時間及主軸頭

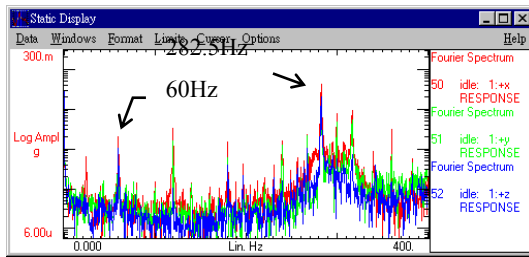


圖 3-1 主軸 3600rpm空轉，量測X、Y、Z三方向主軸頻譜

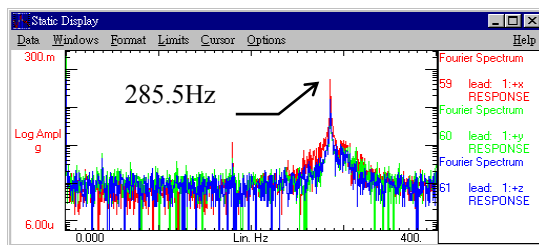


圖 3-2(a) 停止主軸運轉，量測X、Y、Z三方向主軸頻譜

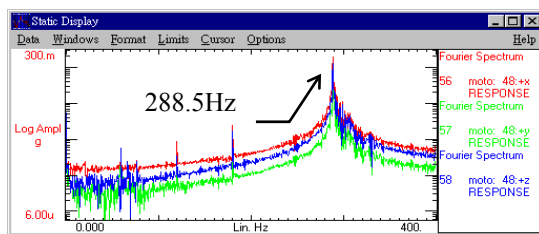


圖 3-2(b)停止主軸運轉，量測Y軸伺服馬達處之X、Y、Z三方向頻譜

位置的稍微改變，其頻率有6Hz的變化，如圖3.3，因此認為此強制振動源由整個Y軸進給伺服系統所產生。使Y軸向之定位精度有立即的影響，使切削精度存在產生較大誤差的誘因。

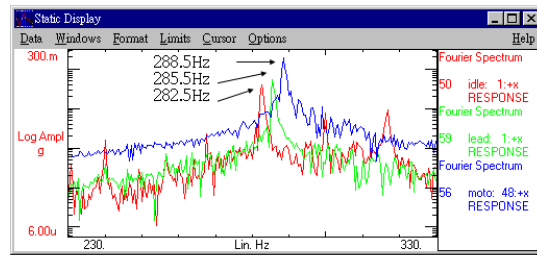


圖 3-3 主軸位置不同，Y軸進給伺服系統不穩定之振動頻率

3.2切削測試

切削測試後所得的結果，如表 2，切削力大部份以垂直(Y向)的切削力最大，其次是水平(X向)及軸向(Z向)。

主軸轉速愈高時切削力變小，當切深變大時切削力亦隨之變大。B項條件2400 rpm時，切深由5 μm 變大為10 μm ，切削力由31 N變大為150 N。在同樣的切削條件下，砂輪是否經過修整亦會影響切削力，修整過的砂輪所產生的切削力較小。切削力除反應出設計上馬達功率的選用考量外，也說明切削能量的輸入大小及切削過程對機座的振動能量輸入。因此選擇適當的切削條件才能對切削精度、刀具及機座使用壽命有所改善。切削力及振動頻譜，如圖3.4-3.8。

表2. 切削條件與粗糙度比較

項次	主軸轉速 rpm	切深 (μm)	R_{ave} (μm)	R_{p-p} (μm)	Rms (μm)	備註
A	2400	20	0.34	2.43	0.43	粗糙度較大
B	2400	10	0.27	2.02	0.34	
C	3600	5	0.33	2.30	0.34	粗糙度較大
D	2400	5	0.24	2.03	0.31	
E	1440	5	0.20	1.30	0.25	

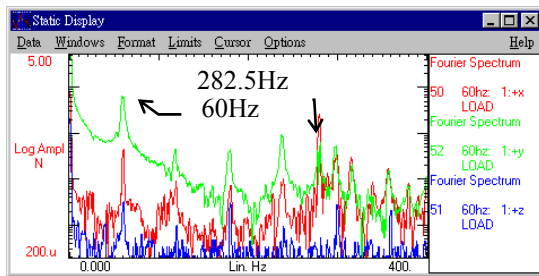


圖 3-4 主軸 3600 rpm 與切深 5 μm 之三軸向切削力與頻譜之關係

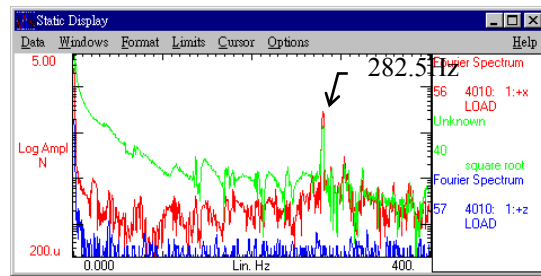


圖 3-7 砂輪修整後，主軸 2400 rpm 與切深 10 μm 之三軸向切削力與頻譜之關係

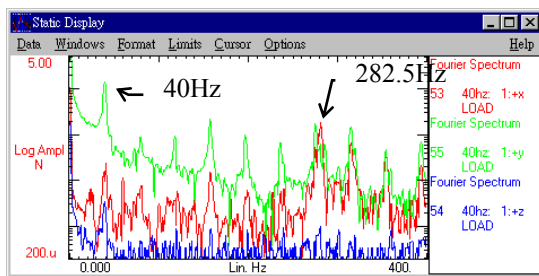


圖 3-5 主軸 2400 rpm 與切深 5 μm 之三軸向切削力與頻譜之關係

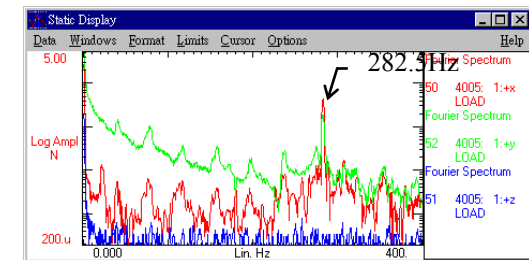


圖 3-8 砂輪修整後，主軸 2400 rpm 與切深 5 μm 之三軸向切削力與頻譜之關係

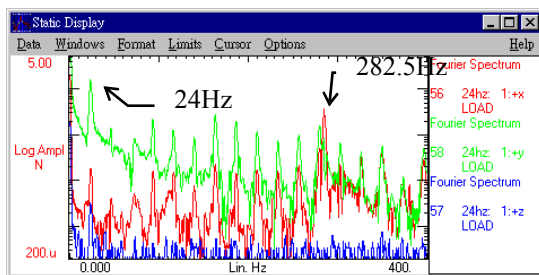


圖 3-6 主軸 1440 rpm 與切深 5 μm 之三軸向切削力與頻譜之關係

砂輪未修整時，皆以砂輪主軸轉速做為強制振動源，同時工件會留有強制振動頻率的振紋。但是砂輪修整後，情況就獲得了改善，此時即使切深達 20 μm ，則不

易看出砂輪主軸的強制振紋或其他的結構顫紋。

以5種不同切削條件所做的切削測試工件，量測工件表面粗糙度結果如表2。表面粗糙度以條件A最差，其他依序為C、B、D與E。將較差的兩個工件表面以粗糙度儀量測，結果如圖3-9(a) – 3-10(b)。

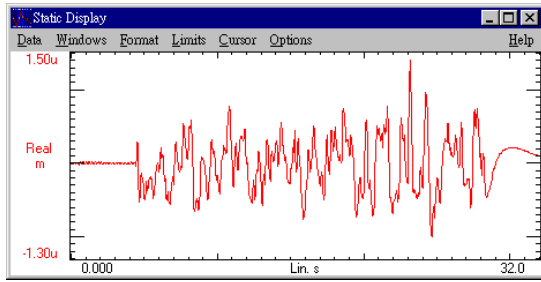


圖 3-9(a) A區條件之工件磨削波紋

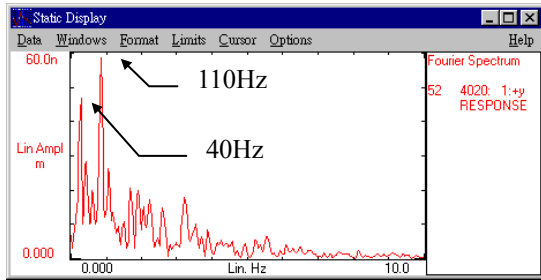


圖 3-9(b) A區條件之工件磨削後以粗糙度儀量測振紋頻率

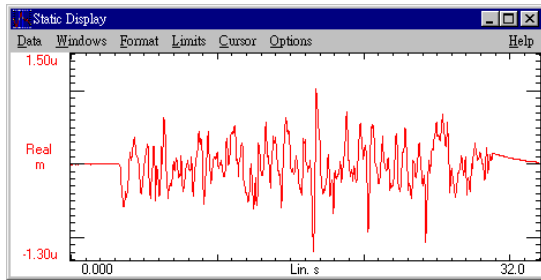


圖 3.10(a) C區條件之工件磨削波紋

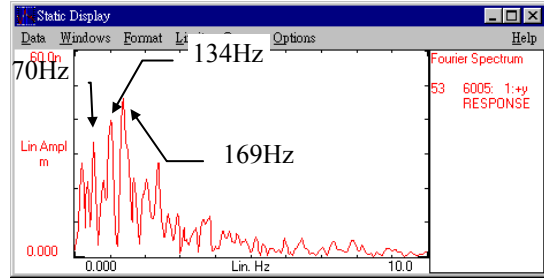


圖 3-10(b) C區條件之工件磨削後以粗糙度儀量測振紋頻率

主要振紋頻率產生在70 Hz、110 Hz及169 Hz等處，接近磨床結構頻率。

3.3 結構動剛性測試

位移計固定於工作檯上，並分別安裝測力規的衝擊錘，敲擊主軸之垂直與水平方向，量測主軸端與工作檯間的動剛性X、Y兩方向，量測結果如圖3-11及表3。

在水平方向振動頻率於113.5 Hz處，較明顯之動柔度值為1.17 (μm/Kgf)，振動頻率172 Hz處之動柔度值為1.2 (μm/Kgf)。在垂直方向振動頻率於65.5 Hz，較明顯的動柔度值為2.02 (μm/Kgf)，72.5 Hz處之動柔度值為1.60 (μm/Kgf)，110.5 Hz處之動柔度值為1.72 (μm/Kgf)及165.5 Hz處之動柔度值為2.01 (μm/Kgf)。

總體而言，本機型磨床之X方向剛性較Y方向剛性為弱，這可由X、Y兩方

表3. X、Y方向動剛性比較

	X方向		Y方向	
	頻率 Hz	柔度 $(\mu m/Kgf)$	頻率 Hz	柔度 $(\mu m/Kgf)$
主要頻率	113.5	1.17	65.5	2.02
動柔度值	172	1.20	72.5	1.60
			110.5	1.72
			165.5	2.01

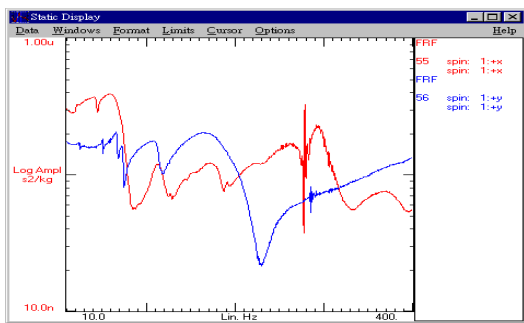


圖 3-11 X、Y兩方向動剛性曲線

由圖3-11 X、Y兩方向動剛性曲線看出，且Y方向動剛性值約為X方向動剛性值的2倍，影響磨削性能的結構振型，發生於65.5 Hz、72.5 Hz、110.5 Hz及165.5 Hz等頻率之區域。

3.4 結構模態測試

圖3-12為量測結構振型之簡化結構，為求量測之均勻性，分別量測X、Y、Z三個方向60個量測點及取各點發生振動後之響應。以衝擊錘產生激振，

取立柱左側上方任意一點，同時量測各點響應訊號。

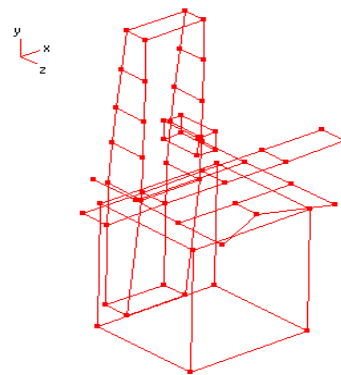


圖 3-12 模型簡化之模態測試

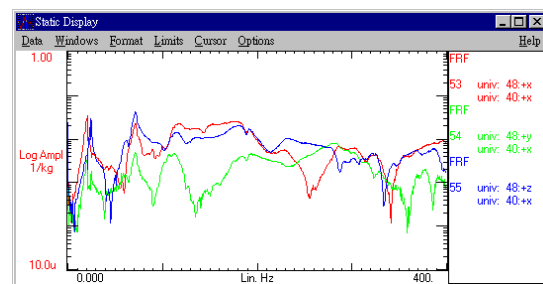


圖 3-13(a) 立柱上方任一點之頻率響應

立柱上方一點及主軸頭上區域之頻率響應，如圖3-13(a)(b)，分別取12組模

態分析，應用CADA-PC LMS軟體進行參數估測，得磨床結構之各主要模態參數及振動型態，如表4及圖3-14至圖3-25所示。

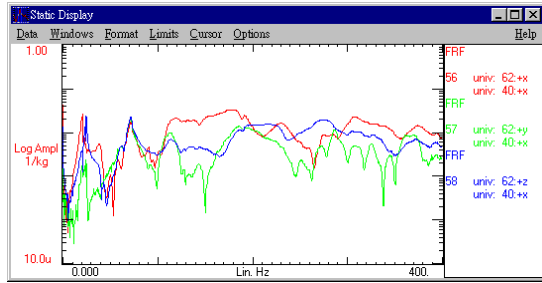


圖 3-13(b)取主軸頭上端任一點之頻率響應

依 X、Y、Z 三個方向量測點之量測測試數據，分別就各點響應較明顯的頻率做分析，因前 5 個振動頻率為剛體運動模態，60.88 Hz 雖近似剛體運動模態，但存在立柱的彎曲模態，其餘的振型，都是立柱的第一、第二彎曲、扭轉振型或工作檯的彎曲振型，表示磨床整體機構雖存在不同振動型態，但仍屬於穩定狀態。

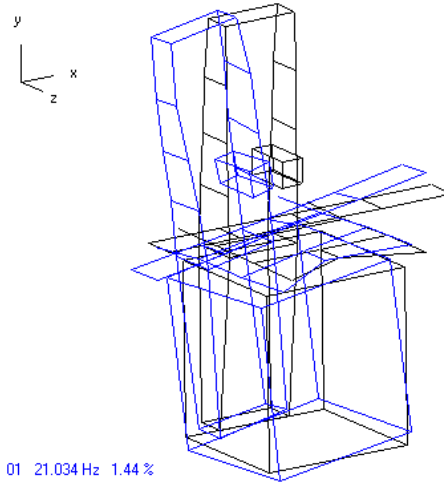


圖 3.14 模態 1 之整機剛體模態

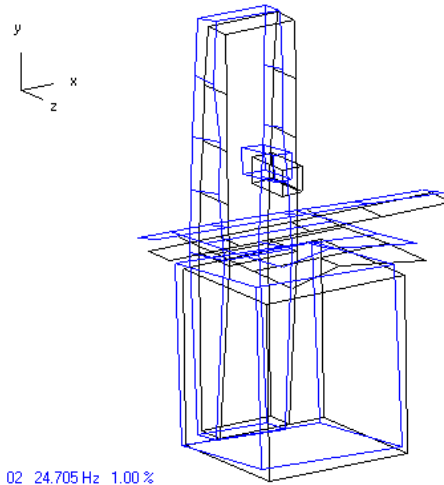


圖 3.15 模態 2 之整機剛體模態

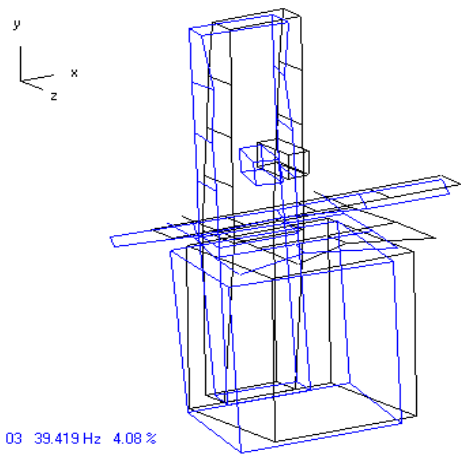


圖 3.16 模態 3 之整機剛體模態

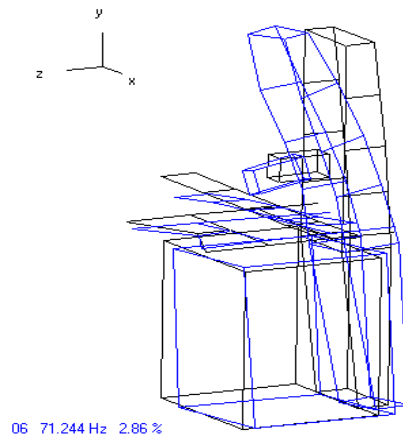


圖 3.19 模態 6 之立柱上段彎曲模態

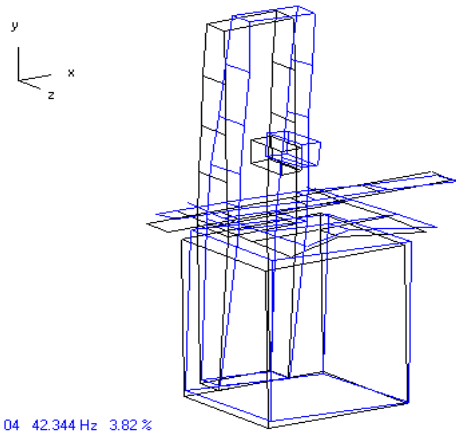


圖 3.17 模態 4 之整機剛體模態

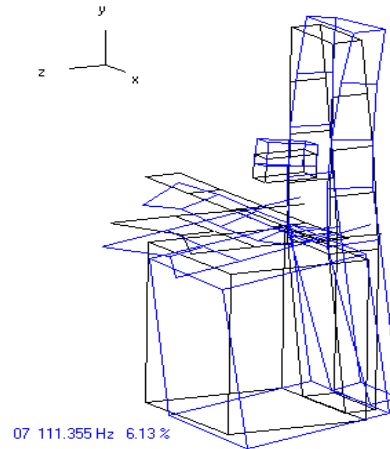


圖 3.20 模態 7 之立柱彎曲模態

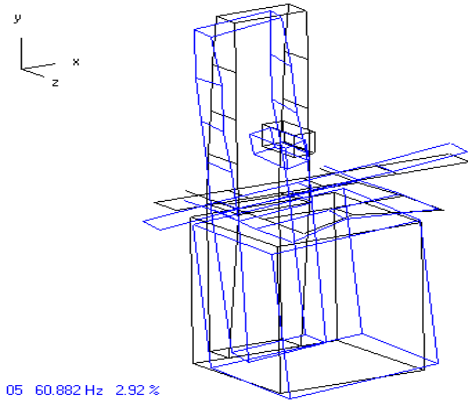


圖 3.18 模態 5 之整機剛體模態

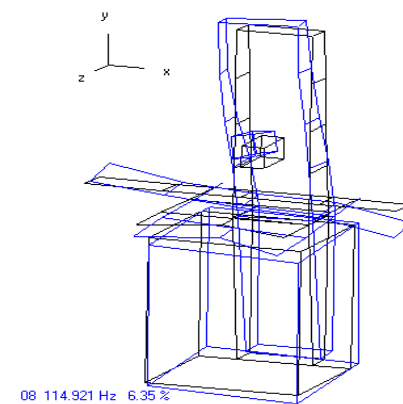


圖 3.21 模態 8 之 X 向立柱彎曲及工作檯彎曲模態

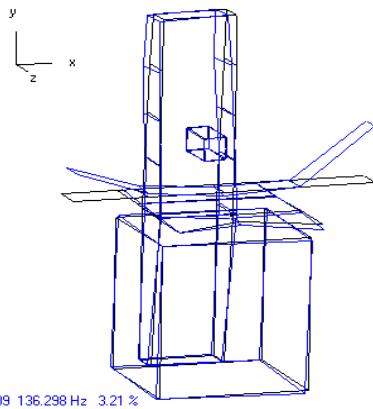


圖 3.22 模態 9 之工作檯彎曲模態

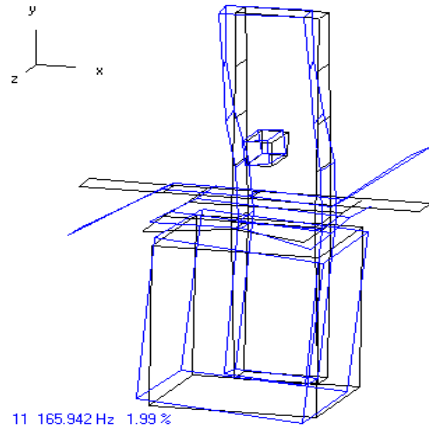


圖 3.24 模態 11 之立柱第二彎曲及工作檯彎曲模態

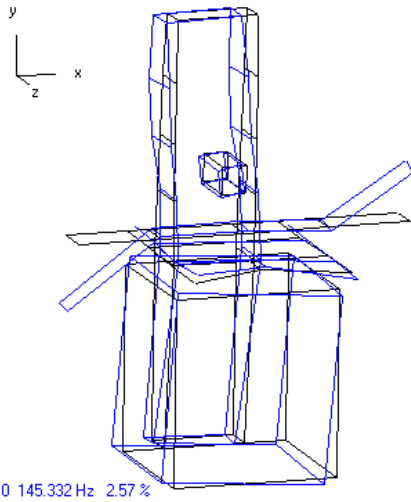


圖 3.23 模態 10 之工作檯彎曲模態

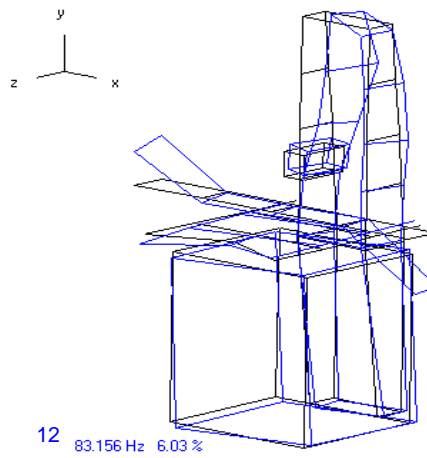


圖 3.25 模態 12 之立柱扭轉及工作檯彎曲模態

表4. 磨床之結構模態特性

模態	自然頻率(Hz)	阻尼(%)	振型
1	21.03	1.44	整機剛體運動
2	24.70	1.00	整機剛體運動
3	39.41	4.08	整機剛體運動
4	42.34	3.82	整機剛體運動
5	60.88	2.92	整機剛體運動
6	71.24	2.86	立柱上段之彎曲
7	111.35	6.13	立柱之彎曲
8	114.92	6.35	立柱之 X 向彎曲及工作檯彎曲
9	136.30	3.21	工作檯彎曲
10	145.33	2.57	工作檯彎曲
11	165.94	1.99	立柱之第二彎曲及工作檯彎曲
12	183.16	6.03	立柱之扭轉及工作檯彎曲

3.5 分析與討論

空轉測試顯示Y軸向的伺服進給系統不穩定，由曲線反應即可觀察出，進給輪轉動會產生振盪。這顯示電氣系統之伺服參數與機械進給系統的配合度發生延遲現象，此不穩定振動會影響定位精度，若在持續的振動下，會逐漸減低磨床的磨削精度，影響磨床之零組件使用壽命與機構接合處的剛性。

砂輪未整修時，經由砂輪主軸的強制振動，由磨削測試，工件表面產生明顯的振動波紋，砂輪整修過後，則磨削工件表面可獲得較佳的改善。即使以20 μm 的深切削，工件表面亦無明顯振動波紋，故基本上，此型磨床結構的動態特性，於磨削方面工件表面不會產生不良的瑕疵。

依動剛性測試結果，機檯的頻率特性，經計算數量化後之動剛性值，可做為比較不同機型或改善機型性能的參考。此型磨床試驗後，在Y方向的主要頻率分別為 65.5 Hz、72.5 Hz、110.5 Hz 及 165.5 Hz，除了65.5 Hz的振頻外，其餘頻率的振型主要為立柱的第一及第二彎曲振型。65.5 Hz的振頻在模態測試中並不明顯，但在動剛性測試中卻為明顯的振頻，因此推測65.5 Hz為主軸與主軸頭接合處的相對位移振型。

此次測試包含有切削、動剛性及模態等，屬於現場機檯磨削加工時發生問題時，尋找原因與解決的方法。若要做結構設計上的研究分析，應以比較正規的模態測試(如分件及組套件)，再加上組裝後

的性能測試(如切削及動剛性測試)做基礎,並配合有限元素之電腦分析,應較適當。因此監測系統可以是多種切削中物理量的量測,包含切削力、結構振動量、砂輪的強制振動及伺服系統的振動,以上這些都可以用來做為監測影響切削性能的重要參數。

4. 結論

1. Y軸向的進給伺服系統由於匹配不良造成系統不穩定,伺服馬達產生大的強制振動造成定位精度不良,將來更會影響切削性能。此型機應以進給伺服系統的改善為首要工作。
2. 進給伺服系統的改善可分別從進給的機械系統及電氣系統的特性了解著手,以調整各系統的參數使之匹配適當。
3. 機台X方向的剛性較Y方向弱,主要的振型都是立柱與工作台的彎曲變形,但基本上以一般適當的切削條件做加工,此型磨床的結構動態特性並不會對切削性能造成明顯的影響。
4. 在此工件材質及砂輪型號下,較慢的切削速度及較大的切深均會造成大的切削力,影響切削粗糙度。因此依切削條件選擇適當的轉速有助於提高切削精度。

謝 誌

本文感謝基太克公司提供量測設備。

參考文獻

1. 蕭庭郎(2004), 振動學, 高立書局。
2. 劉延柱、陳文良、陳立群, (2006), 振動力學, 高等教育出版社。
3. Phillip F.Ostwald, Jairo Munoz(2009) Manufacturing processes and system, 9/e, John Wiley & Sons.
4. P. Krajnik, J. Kopac (2004), Adequacy of matrix experiment in grinding, J. Mater. Process. Technol. 157-158, pp 566 - 572.
5. P. Krajnik, J. Kopac, A. Sluga (2005), Design of grinding factors based on response surface methodology, Journal of Materials Processing Technology 162-163, pp629 - 636.
6. S. Malkin, C. Guo (2007), Thermal Analysis of Grinding, Annals of the CIRP Vol. 56, Issue 2, pp760-782。
7. N. Zhang, I. Kirpitchenko, D.K. Liu(2005), Dynamic model of the grinding process, Journal of Sound and Vibration 280, pp 425-432。
8. Z.C. Li, B. Lin, Y.S. Xu, J. Hu(2002), Experiment studies on grinding forces and force ratio of the unsteady- state grinding technique, Journal of materials processing technology 129, pp 76-80

修平技術學院《修平學報》徵稿要點

- 一、本刊為純學術性之刊物，專供本校同仁及校外人士發表研究成果及論著之用。
 - 二、論述及研究報告文字（含圖表），以 20 頁為度，來稿須以電腦排版，以 A4 紙列印，請交文稿電腦磁片及紙本各一式三份（論文格式及版面規格，請依照出版組提供之說明資料或上網下載）。
 - 三、無論中文或英文稿件皆須附上中英文題目、摘要，並註明作者姓名及科系名稱。他國文字稿件須附中文題目摘要，其字數以 500 字為度；並應列舉中、英文或他國文字之關鍵詞（keywords）。
 - 四、文稿之審查依據「修平技術學院學報評審辦法」。
 - 五、稿件格式按各專業學門標準格式或參考「修平學報論文格式」。
 - 六、作者投稿後，若在作業程序中因故取消投稿者，則其後兩期不再接受其投稿。
 - 七、所投稿件經編審委員審查同意刊登，稿件經刊印後，不得在他處刊印發表。如果已在其他刊物正式公開發表後，轉投本刊物，本委員會不負查核之責，相關著作權問題，由當事人自行負責。稿件若涉及一稿兩投或抄襲者，本學報得拒絕作者稿件五年。
 - 八、經審查採用之文章，排版後送請作者校稿，作者僅能修正排版印刷之錯誤，且不得擅自於校稿過程中增減內容。
 - 九、本刊每期以刊登二十篇論文為原則，經審查後決議可刊登者，如超過篇數，則按最後定稿時間先後排序，安排至下一期刊登。
 - 十、本刊文之作者應對論文之內容及同意發表權之取得，負全部之責任。並請於投稿時即將「修平學報投稿授權聲明書」（附件）填妥後一併寄交。
 - 十一、來稿經採用者，送當期學報一份及其著作抽印本二十份。
 - 十二、賜稿請送交圖書館出版組。
 - 十三、本要點經學報編審委員會議通過，陳請校長核定後公布實施，修正時亦同。
-
-

修平技術學院學報評審辦法

第一條 來稿之評審係由學報編審委員會遴聘校外相關領域之專家學者擔任。

第二條 由執行編輯（出版組）收稿、登錄及分類後，交由各系科主任、通識教育中心中心主任（審查委員）推薦二名校外專業人士或學者評審名單。

第三條 每篇稿件原則上由兩位評審，每位評審除於評審意見表上陳述意見外，並需對稿件作出下述三項之一建議：

- 一、接受刊登。
- 二、修正後再審。
- 三、不予刊登。

第四條 依據前述審查意見，處理方式如下表：

處理方式		第 二 位 評 審 意 見		
		接受刊登	修正後再審	不予刊登
第 一 位 評 審 意 見	接受刊登	刊登	寄回修改	* 第三位評審
	修正後再審	寄回修改	寄回修改	* 第三位評審
	不予刊登	* 第三位評審	* 第三位評審	退稿

* 1.若第三位評審意見為「接受刊登」或「修正後再審」時，則請作者對不予接受之審查意見進行答覆外，將採兩正方評審意見予以刊登。

* 2.若第三位評審意見為「不予刊登」時，將採兩負方評審意見予以退稿。

第五條 本刊將針對審查意見及結果函送投稿人，並說明處理方式。

第六條 評審作業相關人員，對評審委員身份應予以保密，以避免紛爭。

第七條 投稿人不得有打聽及干涉評審委員之言行。

第八條 本辦法經學報編審委員會議通過，陳請校長核定後公布實施，修正時亦同。

修平學報

中華民國九十九年九月出版

發行人 鍾瑞國

出版者 修平技術學院圖書館出版組

地 址 41280 臺中縣大里市工業路十一號

電 話 04-24961100

傳 真 04-24961187

編輯者 修平學報編審委員會

召 集 人—陳培中

編審委員—方世榮 江可達 林婉芳 陳清祺

張志凌 鄧作樑 盧志偉

(依姓氏筆劃排序)

執行編輯—陳清祺

印刷者 天空數位圖書有限公司

地 址 40255 台中市南區忠明南路 787 號 30 樓

電 話 04-22623893

傳 真 04-22623863

版權所有 請勿翻印