



國立雲林科技大學工業工程與管理所
Graduate school of Industrial Engineering & Management,
National Yunlin University of Science & Technology

系統可靠度實驗室 System Reliability Lab.
<http://campusweb.yuntech.edu.tw/~qre/index.htm>

Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process



指導教授：童超塵

作者：Jae-Seob Kwak

主講人：鍾喆文

- 摘要 Abstract
- 前言 Introduction
- 文獻 Literature review
- 實驗 Experimental detail
- 結論 Experimental results and discussion
- 驗證 Confirmation experiments
- 總結 Conclusions

摘要

- 此篇文章在呈現一種田口式實驗設計與反應曲面法在表面研磨過程所產生幾何誤差的應用。
- 二階反應曲面模型對於幾何誤差的發展與反應曲面模型的利用都受限於物體粗糙面與物料移動速度的影響。
- 証實實驗處裡上會選擇最佳條件並選擇兩個來精確觀察以發展反應曲面模型。

前言

- 磨製是一擁有多種交互作用參數的複合式加工過程，在磨製過程中有許多無法控制的參數，所以我們在經驗上通常會限定選擇較有效力的因子。
- 田口及反應曲面法可以經由設計良好的幾個實驗輕易的得到最佳化參數。

文獻

- 一般來說溫度與硬度是磨製過程中會影響最小化幾何誤差最重要條件。

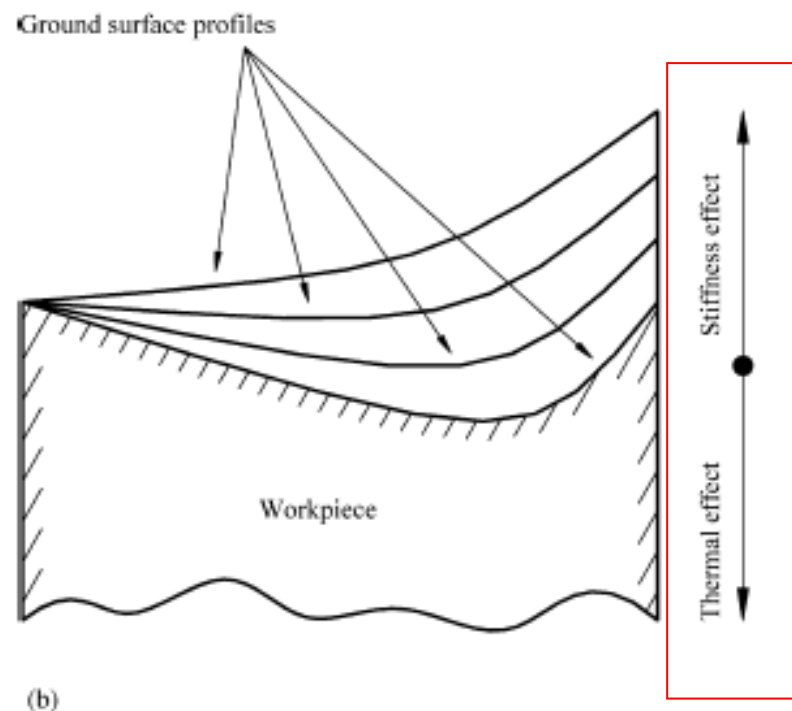
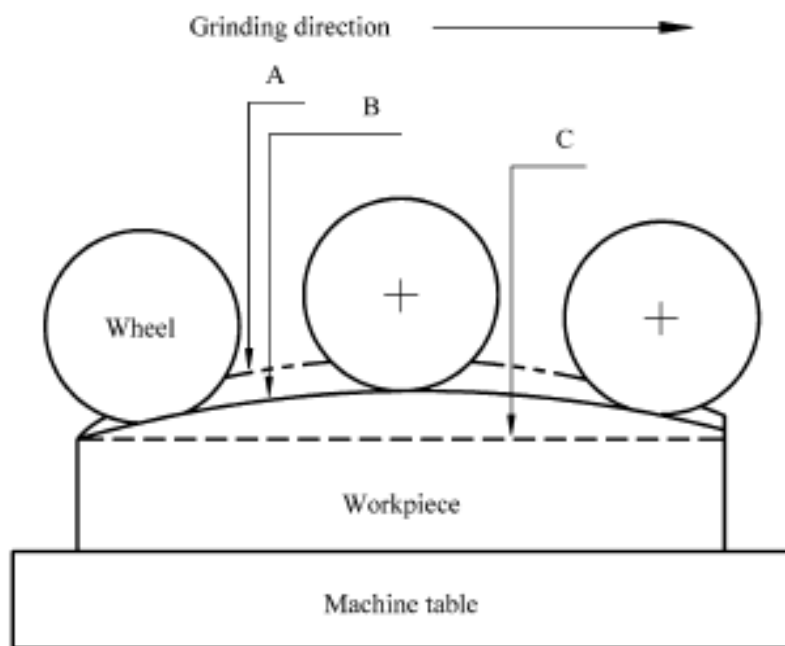


Fig. 1. Graphical illustration of geometric error generation. (a) Wheel path during grinding, (b) Ground surface profiles after cooling.

- 1. 田口實驗設計中比值代表品質的特徵。根據實驗的目標我們得到S/N比值越高則誤差越小並定義如下：

$$\eta = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

從比值中可以看出影響參數並決定最佳配置參數。（ y_i 目標資料 i th 實驗 n 實驗次數）

- 2. 曲面反應法：由實驗數據以數學和統計方法描述數個因子與目標函數之間數學模式：

$$y = (x_1 x_2 \dots x_k)$$

- 二階反應曲面模型

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

(y預測值 x獨立變數 ε 誤差 β 係數)

實驗

- 選擇四種可控磨製參數：顆粒大小(M)、輪子轉速(V)、切割深度(D)、桌子速度(S)來進行實驗，每種參數都設定三個規格(低.中.高)來測試並產生27種配置量。

Table 2

Levels of independent factors

Factors	Units	Symbol	Levels of factors		
			1 (Low)	2 (Middle)	3 (High)
Wheel speed	rpm	<i>V</i>	1500	1800	2100
Table speed	m/min	<i>S</i>	7.5	10	12.5
Depth of cut	μm	<i>D</i>	10	15	20
Grain size	mesh	<i>M</i>	46	120	200

Table 4
Experimental results for geometric error

Trial no.	Levels of factors				Measured values, geometric error (μm)
	Wheel speed (rpm)	Table speed (m/min)	Depth of cut (μm)	Grain size (mesh)	
1	1500	7.5	10	46	15
2	1500	7.5	15	120	23
3	1500	7.5	20	200	29
4	1500	10.0	10	120	14
5	1500	10.0	15	200	20
6	1500	10.0	20	46	17
7	1500	12.5	10	200	22
8	1500	12.5	15	46	19
9	1500	12.5	20	120	26
10	1800	7.5	10	120	16
11	1800	7.5	20	200	16
12	1800	7.5	20	46	20
13	1800	10.0	10	200	11
14	1800	10.0	15	46	13
15	1800	10.0	20	120	20
16	1800	12.5	10	46	12
17	1800	12.5	15	120	18
18	1800	12.5	20	200	17
19	2100	7.5	10	200	21
20	2100	7.5	15	46	14
21	2100	7.5	20	120	22
22	2100	10.0	10	46	12
23	2100	10.0	15	120	16
24	2100	10.0	20	200	25
25	2100	12.5	10	120	14
26	2100	12.5	15	200	27
27	2100	12.5	20	46	26

結論1

- 由圖顯示結論切割深度與顆粒大小是較為明顯影響誤差的可控因子(越小越好)，而輪子轉速與桌子移動速度則有較低的影響。
- S/N的比值越高，則誤差越小，但是考慮到磨製系統的熱度與硬度關係，所以選擇低切割與小顆粒，配合中等的輪子轉速與桌子速度得到最適值為V1800，S10，D10，M46。

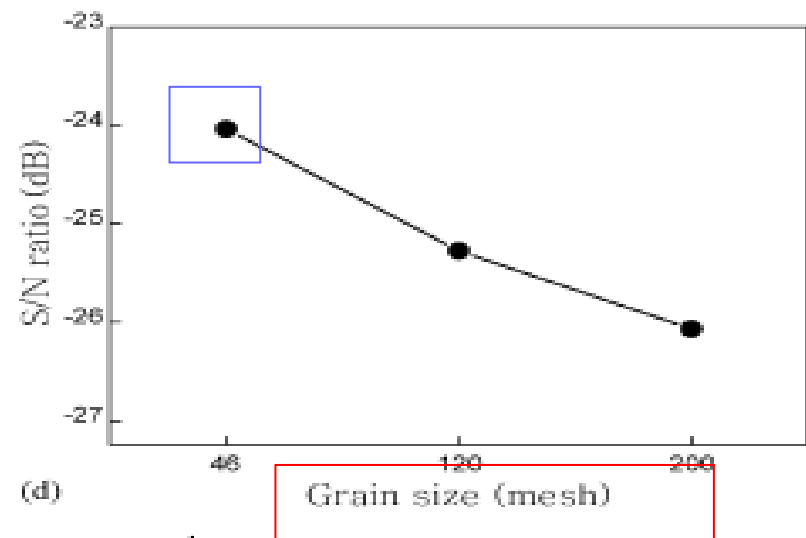
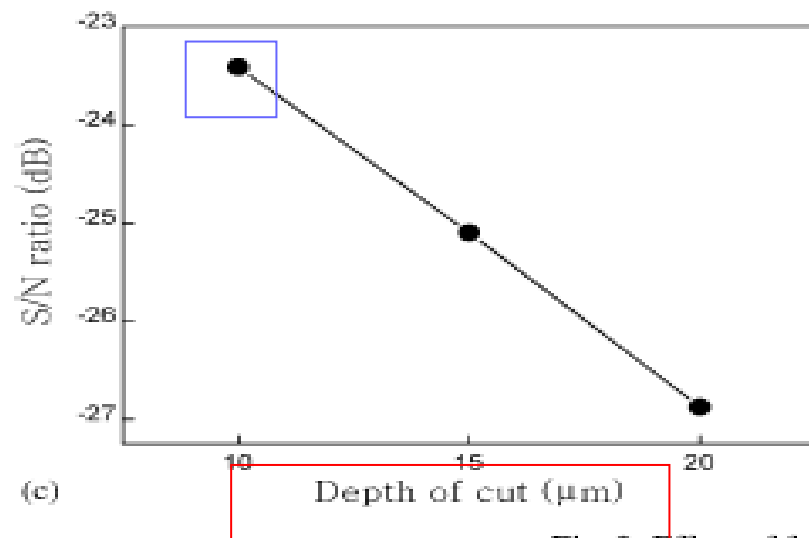
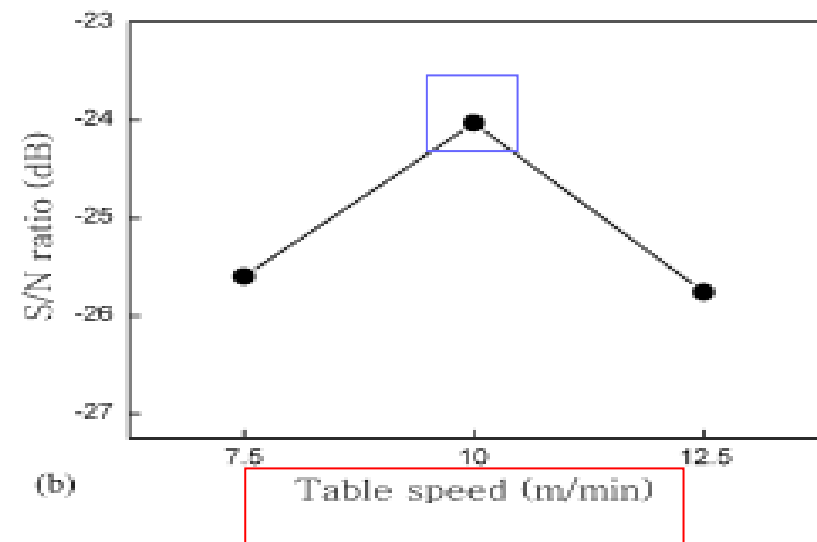
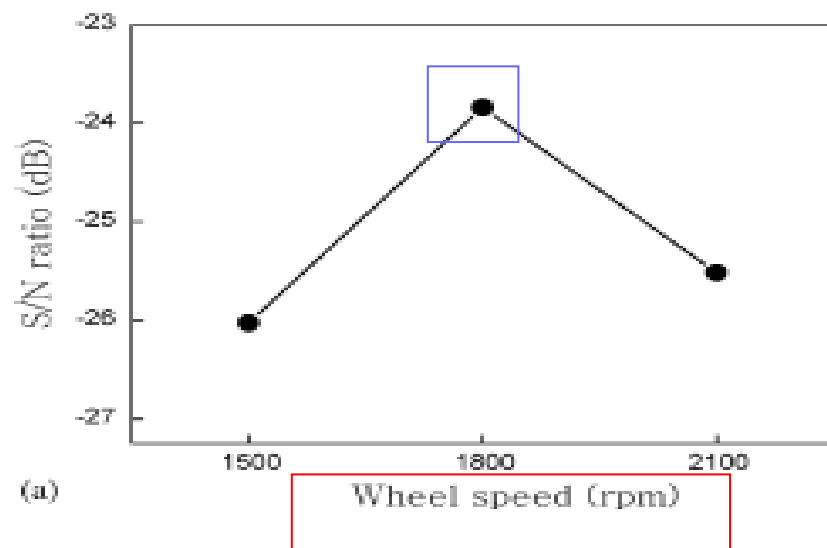


Fig. 3. Effect of factors on geometric error.

■ 由ANOVA分析S/N比值在90%到95%信心水準<3.55~6.01>之間發現(D)(M)有明顯的差異。

Table 5

ANOVA table for S/N ratio of the geometric error

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-ratio
<i>V</i>	93.5	2	46.75	5.42 ^a
<i>S</i>	70.7	2	35.35	4.10 ^a
<i>D</i>	236.0	2	118.0	13.69 ^b
<i>M</i>	106.7	2	53.35	6.19 ^b
Error	155.1	18	8.62	
Total	662.0	26		

^a 95 % confidence level (3.55).

^b 99 % confidence level (6.01).

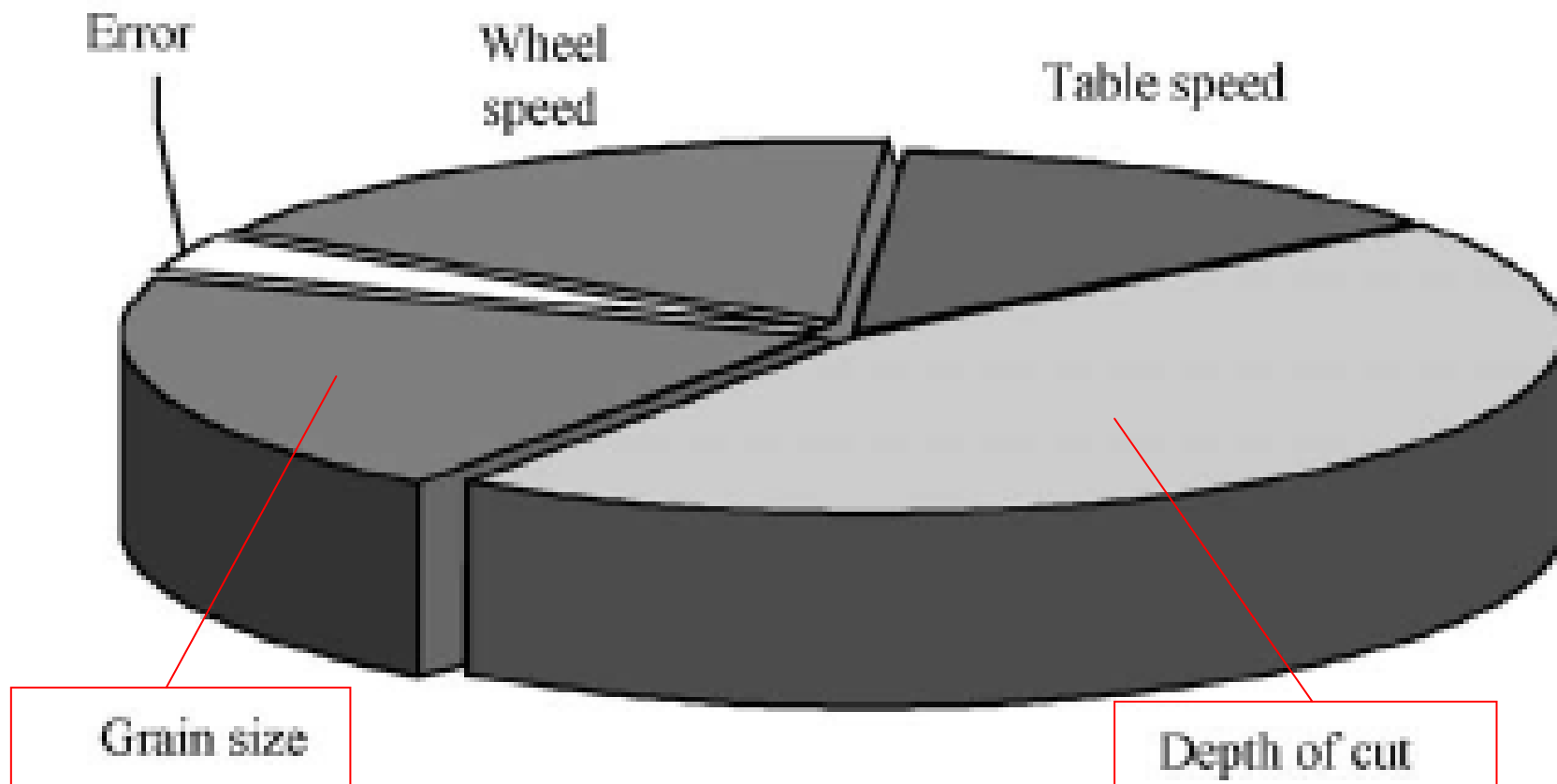


Fig. 4. Percentage distributions of grinding parameters for the geometric error.

結論2

- 二階曲面反應法的參數與幾何誤差的關係如下
(Y：誤差值)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 S + \beta_3 D + \beta_4 M + \beta_{11} V^2 + \beta_{22} S^2 + \beta_{33} D^2 + \beta_{44} M^2 + \beta_{12} VS + \beta_{13} VD + \beta_{14} VM + \beta_{23} SD + \beta_{24} SM + \beta_{34} DM$$

經過ANOVA分析在95%信心水準下發現有足夠證據說明其顯著的影響。

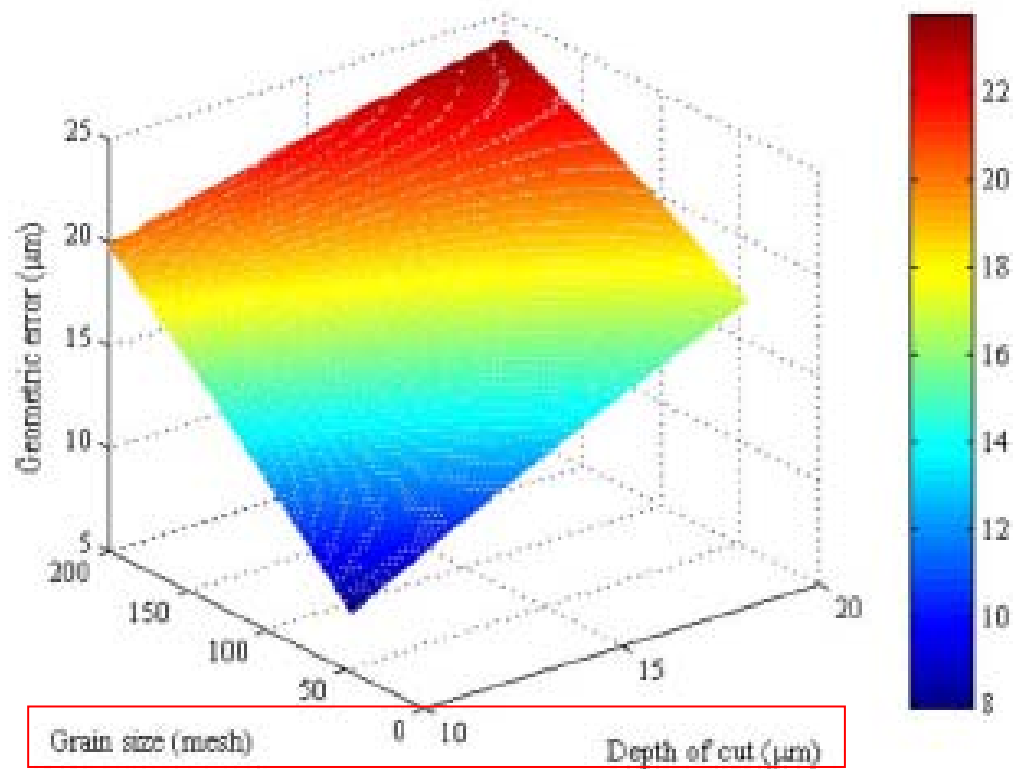
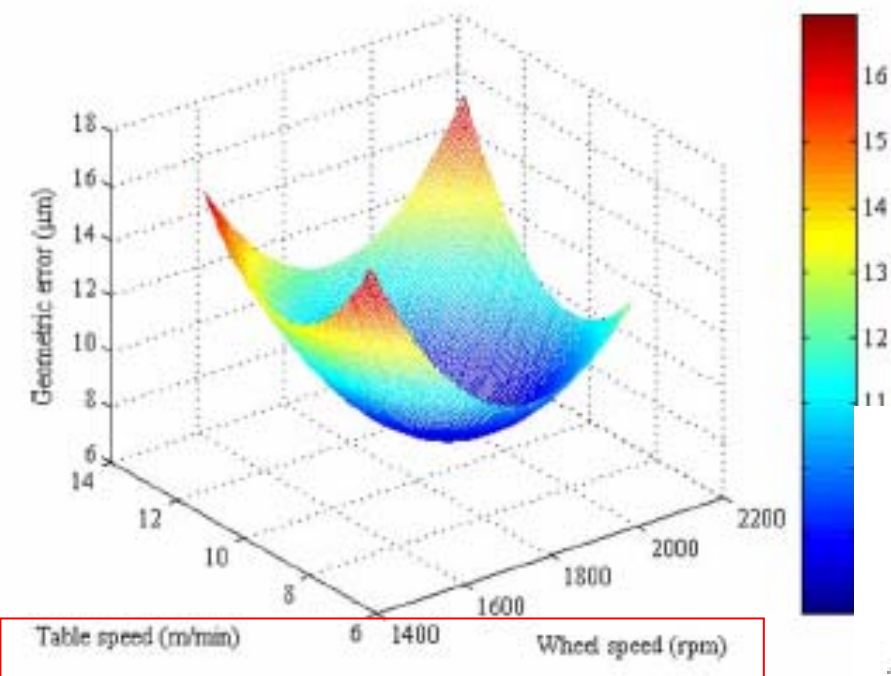
■ 所以利用此二階曲面模型去檢測，我們可以很輕鬆的獲得並預測其誤差值。但是在操作上還是得考量磨製表面的粗糙度與物料移動速度。

1.粗糙度公式：

$$R = 0.295 D^{0.148} S^{0.525} M^{-0.286}$$

2.物料移動速度公式： $Z=SDB$ (B輪子寬度)

經過實驗後發現(切割深度越淺、桌子速度越慢，則磨製表面的品質越好。)



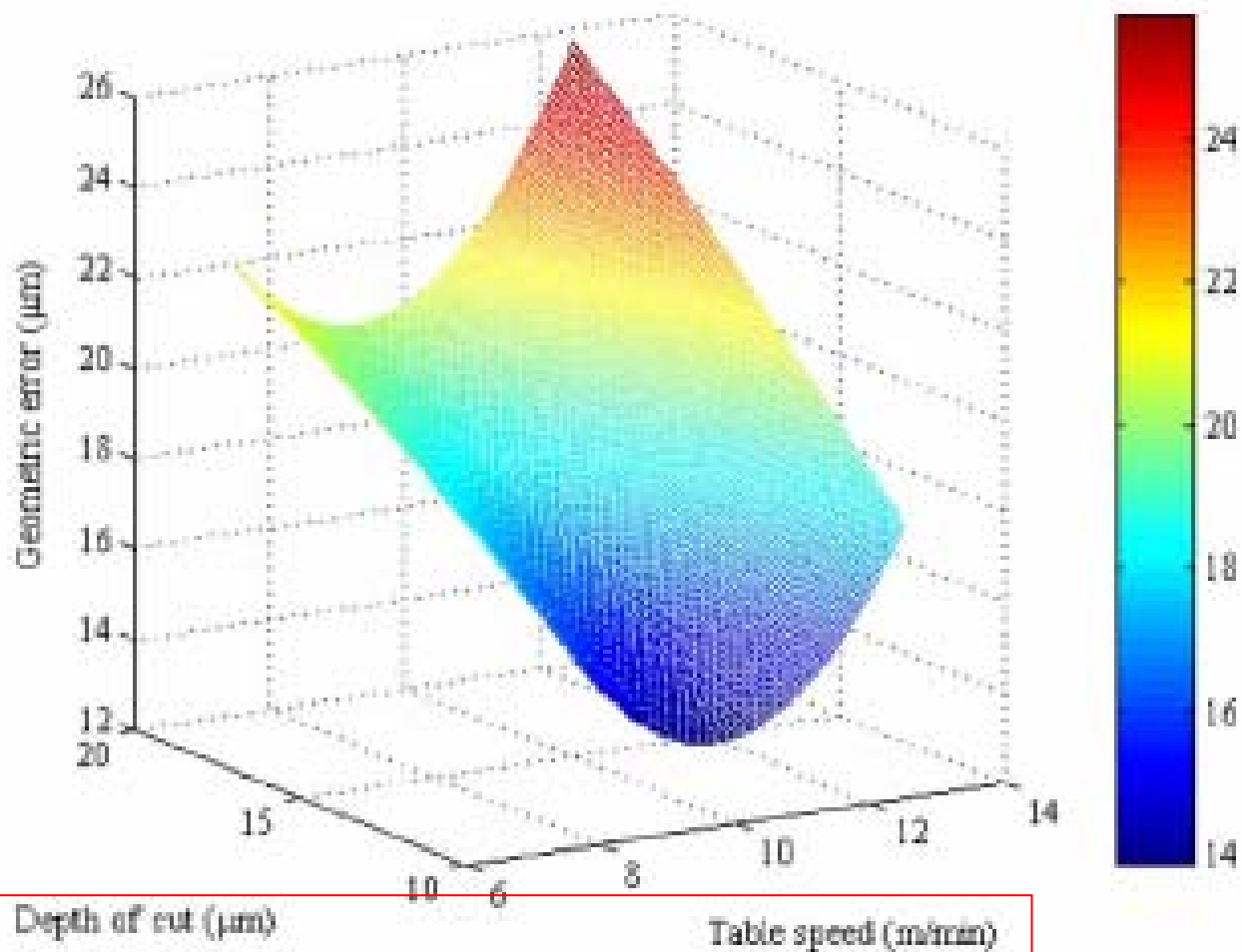


Fig. 6. Response surface for geometric error with respect to table speed and depth of cut. (Wheel speed = 1800 rpm; grain size = 120 mesh).

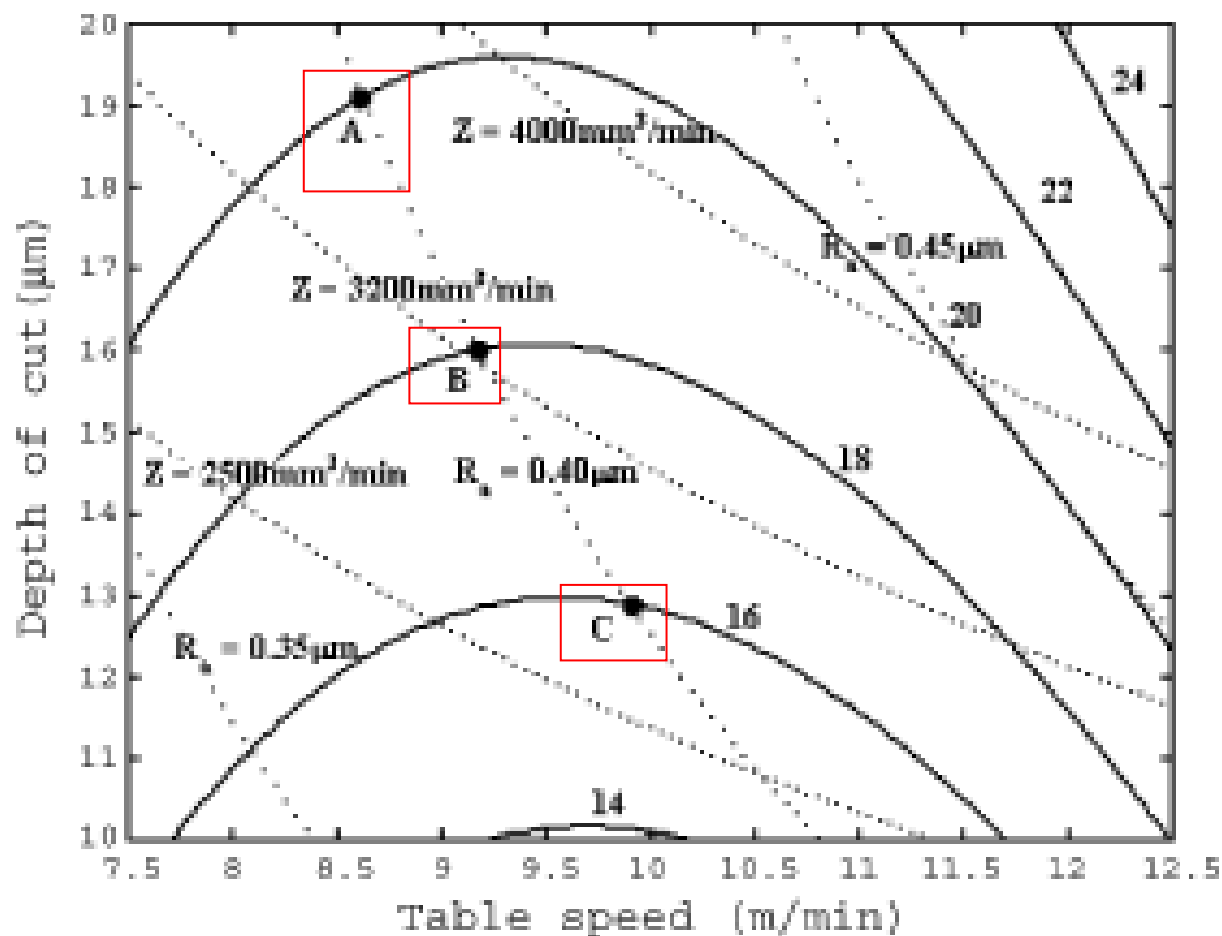


Fig. 7. Contour plot for geometric error adding surface roughness and material removal rate. (Wheel speed = 1800 rpm; grain size = 120 mesh).

驗證

■ 選三種粗糙面程度不同的物料做驗證發現使用二階反應曲面法與真正實驗測試所產生的誤差其實很小。 ，所以二階反應曲面模型在預測誤差上是非常有用的。

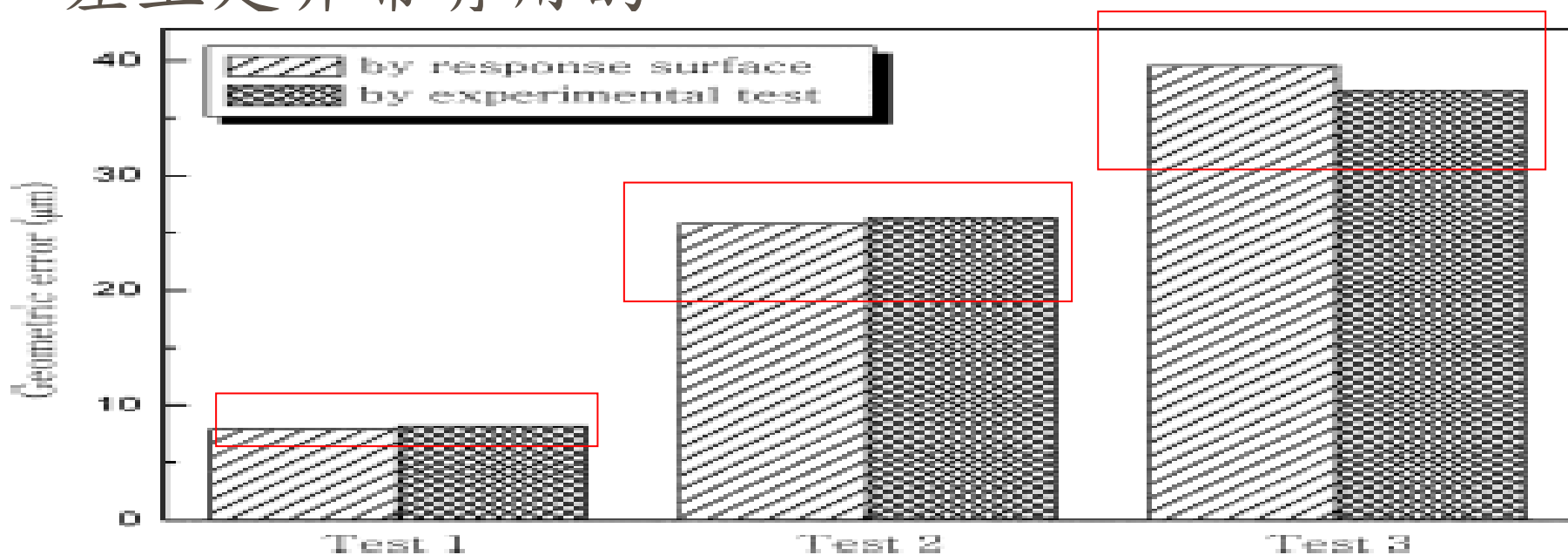


Fig. 8. Verification results for the geometric error comparing response surface model with experiments.

總結

- 1.田口實驗在磨製過程中對誤差的影響較為明顯的參數就是切割深度與顆粒大小。
- 2.二階反應曲面模型可以利用它來評估適切的磨製條件表面粗糙度與物料移動度。
- 3.反應曲面模型確實是一個非常有用的模型載預測誤差方面，証實實驗處理上會選擇最佳條件並選擇兩個來精確觀察以發展反應曲面模型。



謝謝大家