

## 不同參數調整對攻牙機精度之影響

### The Study of Optimal-Parameters Adjustment for Tapping Center

陳紹賢<sup>1</sup>、吳韋慶<sup>2</sup>、柯其誠<sup>2</sup>

Shao-Hsien Chen<sup>1</sup>、Wei-Cing Wu<sup>2</sup>、Ci-Cheng Ke<sup>3</sup>

<sup>1</sup>國立勤益科技大學機械工程學系助理教授

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, National Chin-Yi University of Technology

E-mail: wayne6036@gmail.com

<sup>2</sup>國立勤益科技大學機械工程學系專題生

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, National Chin-Yi University of Technology

E-mail: breakthrough.future@gmail.com

E-mail: kira96325@yahoo.com.tw

#### 摘要

現代科技的精密工具機發展的方向是高轉速、高精度、高效率、低成本的切削加工，也是現代台灣工具機產業的發展方向。本研究使用 FANUC Servo Guide 6.0 軟體來校正機台主軸參數之同期誤差，再利用 MINITAB 軟體的參數優化將工具機的數值做更準確判別以及讀取，讓使用者更加了解那些參數是具有最大影響之因素。

首先取得未經過任何調整的原廠參數數據，並加以記錄 Z 軸速度及同期誤差的關係圖，隨後依照 FANUC 公司 Oi MB 參數手冊對剛性攻牙的同期誤差進行調整與研究，將所得之 Z 軸速度和同期誤差值，再使用 MINITAB 軟體的參數優化功能做更加精準的調整與研究，使工具機的參數數據明顯化，以方便使用者做精度的調整。

**關鍵字詞：**FANUC Servo Guide、FANUC Oi MB、剛性攻牙、同期誤差

#### Abstract

Precision machine tools of the modern science and technology development in the direction toward the high-speed, high-precision, high-efficiency, low-cost cutting, is now Taiwan's machine tool industry development direction. FANUC Servo Guide 6.0 software used in this study to adjust the machine spindle error of the parameters of the same period, MINITAB software reuse parameters to optimize the value of the machine tools to do more accurate discrimination, and read, and allows users to better understand those parameters maximum impact factors.

First obtain the data has not been any adjustment to the original parameters, and the recording speed and error over the same period of the Z-axis graph Rigid tapping the same period error, followed in accordance with FANUC Oi MB parameter manual adjustment and Research, the proceeds of the Z-axis speed error value over the same period, and then use the the MINITAB software parameters optimization capabilities to do more precise adjustment, obviously, to facilitate the users to do precision adjustment parameter data for machine tools.

**Keyword:** FANUC Servo Guide, FANUC Oi MB, rigid tapping, over the same period error

#### 1. 前言

現代科技的日新月異，工具機產業的發展也隨之成長，切削工具機的剛性攻牙功能做伺服迴路控制，而剛性攻牙加工的速度比浮動攻牙迅速且精確的許多，並且可以降低刀具之磨耗，可以

使加工的時間大大縮減並節省成本，另一方面是對於現在 3C 產品的日日出新，對於攻牙的部分更是講究，3C 產品的螺絲孔極微細小，從原本的一米的速度，現在提升到六米，所以這項研究是利用實驗分析法更精準、精確的找出八個因素

中影響最大的因素，在加以分析使其 Z 軸進給與主軸旋轉間的同期誤差最佳化。

## 2. 剛性攻牙原理[3][6]

### 2.1 CNC 攻牙分類

CNC 攻牙的分類有分浮動式攻牙和剛性攻牙，而浮動式攻牙與剛性攻牙最大不同是在於剛性攻牙的攻牙速度比起浮動式攻牙的速度和精度高上許多，並且可以降低螺絲攻刀具之磨耗，所以可以使用的加工時間的減少和刀具壽命的增加，並且節省成本。

### 2.2 浮動式攻牙：

傳統的浮動式攻牙是利用機構來補正補償，因此加工速度不行太快。

### 2.3 剛性攻牙：

剛性攻牙分做兩種，第一種是使用 Z 軸伺服馬達追隨主軸，第二種是使用主軸與 Z 軸伺服馬達必須維持一定的位置比例，依控制器的參數調整來提升兩軸的同動效果，且能降低兩軸間的同期誤差值。

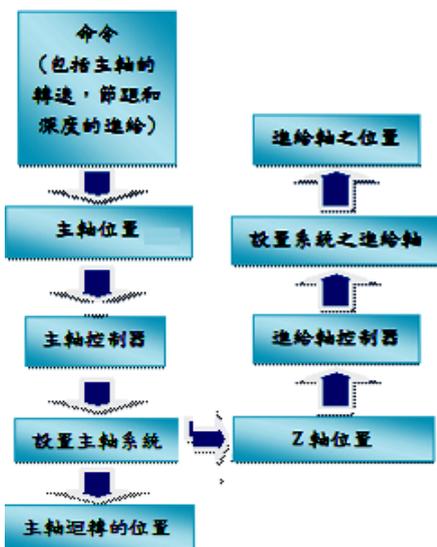


圖 2.1 剛性攻牙控制架構

### 2.4 攻牙：

攻牙時，Z 軸進給的方向與主軸旋轉的方向必須一致，並且維持固定比例的關係，比例關係就是螺紋節距(Pitch)、主軸轉速(speed)和 Z 軸進給速度(feedrate)，其關係式如下(式 1)：

$$P = \frac{F}{S} \quad (1)$$

P：節距 S：主軸轉速 F：Z 軸進給速度

### 2.5 同期誤差：

主軸與 Z 軸馬達伺服器的誤差比值，其誤差會影響到加工的表面粗糙度及工作精度，而此實驗目的就是將工具機的同期誤差降至最低。

### 2.6 診斷：

本實驗主要進行剛性攻牙的參數調整，使用與剛性攻牙相關訊號，如表 2.1 所列。

表 2.1 剛性攻牙同步誤差顯示

診斷名稱	診斷顯號碼
主軸換算移動指令之差	455
主軸換算位置偏差之差	456
同步誤差	457
主軸換算移動量之差	460
主軸換算機械位置之差	461
主軸換算機械位置之差	462

本實驗之主軸換算運動指定之誤差如公式(2)所知。

$$S_m = \sum \frac{a}{b} - \sum \frac{c \times d}{e} \dots\dots\dots(2)$$

- a：主軸移動指令
- b：齒輪比
- c：鑽孔移動指令
- d：主軸每轉動一圈的脈衝數
- e：螺紋節距
- g：鑽孔軸位置偏差量

下列為主軸換算位置差之公式，主要包含主軸移動指令和齒輪比等相關參數。

$$S_p = \frac{a}{b} - \frac{g \times d}{e} \dots\dots\dots(3)$$

同步誤差寬幅為正向最大值與負向最大值之差，如公式(4)所知。

$$l = SP_{\max} - SP_{\min} \dots\dots\dots(4)$$

SP<sub>max</sub>：主軸換算位置偏差量之差的正向最大值  
SP<sub>min</sub>：主軸換算位置偏差量之差的負向最大值  
鑽孔軸的機械位置與主軸的機械位置如公式(5)(6)所知。

$$S_d = \sum (c) - g \dots\dots\dots(5)$$

$$S_s = \sum (a) - g \dots\dots\dots(6)$$

下列為主軸換算機械位置之公式，主要包含鑽孔軸的機械位置和主軸機械位置等相關參數。

$$S_c = \frac{S_d \times d}{e} - \frac{S_s}{b} \dots\dots\dots(7)$$

- a：鑽孔軸的機械位置
- b：主軸每轉動一圈的脈衝數
- c：螺紋節距
- d：主軸機械位置

e：齒輪比

2.7 誤差的比率差顯示：[3]

診斷名稱	診斷顯號碼
主軸和鑽孔值的誤差量之差的瞬間值	452
主軸和鑽孔值的誤差量之差的最大值	453

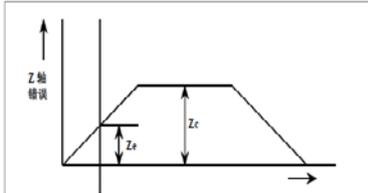


圖 2.2 鑽孔軸與 Z 軸的例子

$$Z_c = \frac{V}{60} \times \frac{1}{G} \times \frac{1}{D} \times 10^3 \text{ (理論值)}$$

$Z_e$ ：Z 軸錯誤量

$V$ ：速度

$G$ ：增益

$D$ ：檢測單位

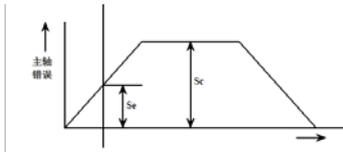


圖 2.3 鑽孔軸與 Z 軸的例子

$$S_c = \frac{S \times 360}{60} \times \frac{1}{G} \times \frac{1}{D} \times 10^3 \text{ (理論值)}$$

$S_e$ ：主軸錯誤量(實際測量值)

$S$ ：轉速

表 2.2 公式單位表

名稱	單位
速度	mm/min or inch/min
增益	0.01sec <sup>-1</sup>
檢測單位	mm, inch, or deg
轉速	min <sup>-1</sup>

$$\Delta Z = \frac{Z_e}{Z_c} \times 100[\%], \Delta S = \frac{S_e}{S_c} \times 100[\%]$$

主軸和 Z 軸的誤差量之差可通過

$\Delta S - \Delta Z$  來求出，該值得採樣間隔為 8msec。

3. 實驗設備與方法

本實驗應用高速鑽孔機設備進行測試，

其控制器為 FANUC Oi MB，其相關規格如表 3.1 所列。

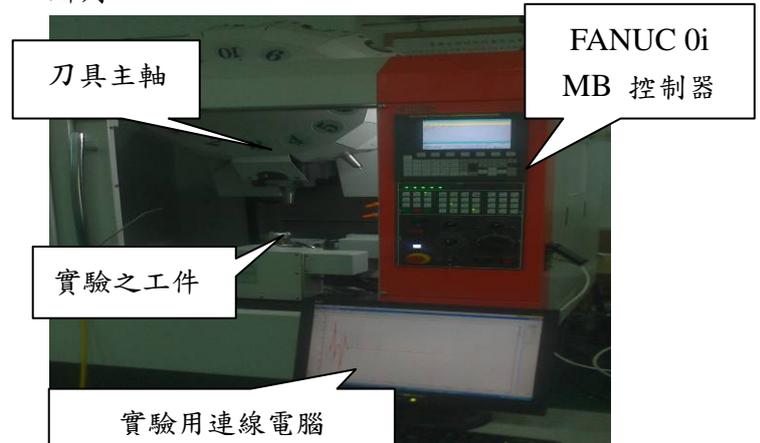


圖 3.1 實驗設備

表 3.1 實驗設備之規格

Z 軸總行程	270 mm
三軸進給速率	X / Y / Z : 48 / 48 / 36 M/min
進給伺服馬達	X / Y : $\beta 4i-4000X$ / Z : $\beta 8i-3000X$
切削速率	12 M/min
滾珠螺桿牙距	12 mm
主軸錐度	BT 30 / DIN 30 / CAT 30
主軸最高轉速	10000 rpm
主軸馬達規格	$\beta 3-10000i$

3.2 參數說明

4065 伺服模式位置增益(High)，設因子數符號為 A。

4066 伺服模式位置增益(Medium High)，設因子數符號為 B。

4067 伺服模式位置增益(Medium High)，設因子數符號為 C。

4068 伺服模式位置增益(Low)，設因子數符號為 D。

5280 攻牙軸位置迴路增益(全部齒比皆適用)，設因子數符號為 E。

5281 攻牙軸位置迴路增益(第一段齒輪)，設因子數符號為 F。

5282 攻牙軸位置迴路增益(第二段齒輪)，設因

子數符號為 G。

5283 攻牙軸位置迴路增益(第三段齒輪)，設因子數符號為 H。

### 3.3 實驗方法

1. 以主軸轉速 5000rpm，進行剛性攻牙驗證，以 SERVO GUIDE 6.0 測量數據。
2. 調整位置增益(參數號碼:4065~4068)和位置迴路增益(參數號碼:5280~5283)，參數值從 1000 以 500 為間隔到 3500，以實驗分析法進行參數規劃。
3. 以實驗分析法規劃出的 32 點參數進行加工測試以量測誤差。
4. 利用實驗分析法分析出顯著因子。
5. 利用顯著因子進行調整規劃，再進行數值量測。
6. 用實驗分析法的響應曲面設計，以全因子法分析出 31 點參數數值。
7. 最後再利用實驗分析法的響應曲面分析規劃出最佳化參數。

### 3.4 實驗流程

本實驗流程使用一階的參數，參考 FANUC 學習手冊操作 A~H 之參數，建立其參數範圍為 1000~3500 間隔為 500，再以實驗分析法分析出顯著因子進行規劃，最後再進行統整與驗證，其實驗分析流程如圖 3.3 所示。

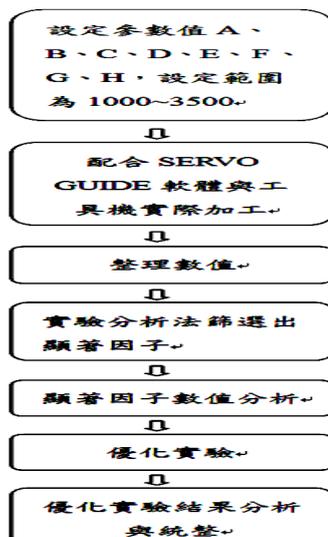


圖 3.3 實驗分析流程圖

## 4. 結果與討論

### 4.1 篩選實驗分析

篩選實驗主要為判別出顯著因子，並採用半常態機率圖與柏拉圖來判斷效應顯著性。

#### (1) 常態機率圖

常態機率圖是一種檢驗變項常態性的圖示，其方式是將觀察的值先依大小順序排列，再將觀察值與其常態的期望值配對，並將每一配對的值描繪在做表平面圖上，常態機率圖以標準常態分配的百分位數為橫軸，依實驗觀察值所求的百分位數為縱軸。而半常態機率圖是將常態機率圖的橫軸取絕對值而演變而成。

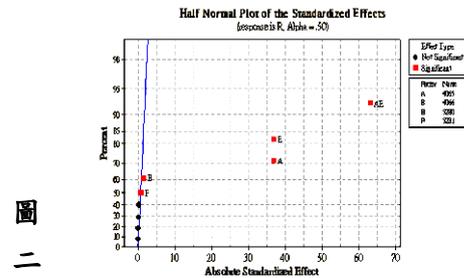


圖 二

有交互作用之半常態機率圖

4.1 考慮二階以下皆

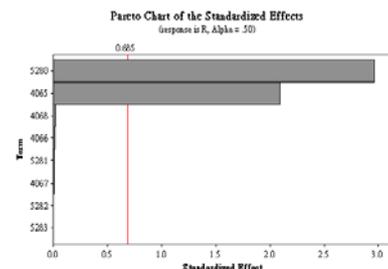


圖 4.2 考慮二階以下皆有交互作用之柏拉圖

由圖 4.2 所示顯著因子 E、A、D、B。由於 D 因子，在利用實驗分析法出來的圖形不良，為改善將 D 因子改成 F 因子。

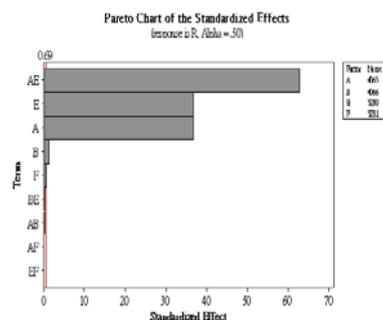


圖 4.3 考慮二階以下皆有交互作用之伯拉圖

由圖 4.3 所示顯著因子 AE、E、A、B、F。因子 AE 為最大影響數值、次之為因子 E、A、最後為因子 B。

(2)主效應圖

由主效應圖的高低水準之連線斜率，可以明顯的看出 A、E 因子變化對同期誤差的影響最為劇烈，如圖 4.4 所示。

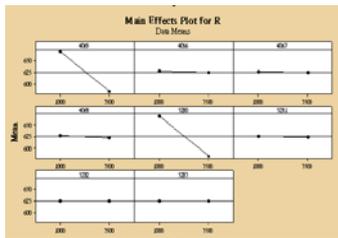


圖 4.4 主效應分析圖

4.2 參數優化實驗結果

(3)模型的缺適性檢定[7]

在迴歸分析的缺適性檢定中，將殘差平方和 (SSE) 分解成兩部分，一個是純誤差平方和  $SS_{PE}$ ，另一個是迴歸模式對於母體觀察點的缺適性所引起的缺適性平方和  $SS_{LOF}$ 。期缺適性 F 檢定如下：

$H_1$ : 迴歸模式不合適(迴歸模型為非線性)：

$$F = \frac{SS_{LOF}}{SS_{PE}} < F_{(a,m-p,n-m)}$$

$H_2$ : 迴歸模式不合適(迴歸模型為線性)：

$$F = \frac{SS_{LOF}}{SS_{PE}} > F_{(a,m-p,n-m)}$$

m：所有因子水準組合數

p：表估計參數個數

n：所有樣本總數

表 4.1 配適二階迴歸模式變異數分析表

Source	DF	SS	MS	F	P
迴歸(Regression)	7	572518	81788	16.13	0.000
線性(Linear)	4	23814	5953	1.17	0.348
二次(Square)	2	253520	126760	25.00	0.000
交互(Interaction)	1	295185	295185	58.21	0.000
誤差(Residual Error)	23	116634	5071	•	•
缺適性(Lack-of-Fit)	17	116296	6841	121.43	0.000
純誤差(Pure Error)	6	338	56	•	•
總和(Total)	30	689152	•	•	•

$$F = \frac{6841}{56} = 122.16 > 121.43$$

表 4.2 迴歸係數值表

Term	Coef
Constant	759.360
A(4065)	-0.0734509
B(4066)	-0.00139500
E(5280)	0.0592207
F(5281)	0.000681200
A(4065)*A(4065)	5.42721E-05
E(5280)*E(5280)	2.93962E-05
A(4065)*E(5280)	-8.69294E-05
R-Sq = 83.08%	

由表 4.2 所列，可了解在調整後之二階模的缺適性檢定，該模式缺適檢定 P 值為 0，該模型表示為線性迴歸。

得迴歸方程式為：

$$y = 759.360 - 0.0734509A - 0.00139500B + 0.0592207E + 0.000681200F + 5.42721E-05A^2 + 2.93962E-05E^2 - 8.69294E-05AE$$

(4)迴歸模型診斷-殘差分析

將所建立的迴歸模型方程式進行殘差分析，依檢驗此迴歸模型是否適當，殘差分析的檢定可由圖 4.5 可看出。

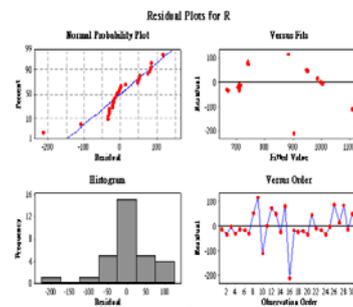


圖 4.5 殘差分析圖

(5)等高線圖與反應曲面圖

判別穩定點是否為極大值、極小值或鞍點以及決定陡峭遞增(減)方向的最簡單方式。利用配適完成的模式畫出反應曲面圖和等高線圖找出最佳點。

利用顯著因子之條件，繪製出對同期誤差的等高線圖和三維反應曲面圖如圖 4.6、圖 4.7 所示。

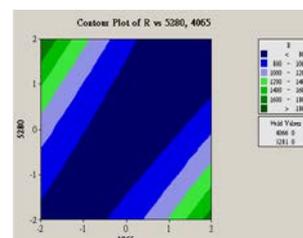


圖 4.6 同期誤差改善之等高線圖

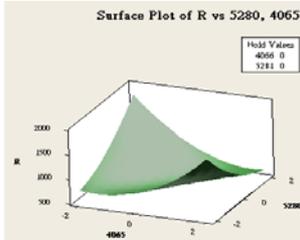


圖 4.7 同期誤差改善之反應曲面圖

## 5. 結論

本實驗經由實驗分析與測試後其結果歸納如下之特性：

1. 在實驗篩選測試分析中可發現其參數(A)位置增益(High)和參數(E)攻牙軸位置迴路增益(全部齒比皆適用)，對剛性攻牙影響最大。
2. 在一階與二階測量中，由缺示性檢定可知二階為線性迴歸，因此以二階模式進行分析。
3. 實驗篩選分析中可發現參數(C)伺服模式位置增益(Medium High)、參數(D) 伺服模式位置增益(Low)、參數(G) 攻牙軸位置迴路增益(第二段齒輪)和參數(H) 攻牙軸位置迴路增益(第三段齒輪)，為影響最小之參數值。
4. 研究出的迴歸方程式可供後續學者參考和研究。

## 6. 致謝

感謝陳紹賢老師、洪聖凱學長、林育賢學長、林建丞學長、劉志信學長細心的教導我們，再研究的過程學習到了兩種軟體的操作，Servo Guide 6.0 和 MINITAB R15，更讓我們深入了解原來工具機的控制器還可以做一些參數的調整，使得加工時間和加工成本都可以大大的節省下來，最後感謝勤益科大的人才培育中心讓我們有良好的學習環境與機器，使得本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 7. 參考文獻

1. FANUC Servo Guide 使用說明。

2. FANUC 參數手冊。
3. FANUC Series 0 -MODEL D 連接說明書(功能篇)。
4. 蘇奕丞，CNC 工具機剛性攻牙之實現，國立中央大學機械工程研究所碩士論文。
5. 蘇立凱，CNC 控制器與切削最適化參數調整之研究，國立勤益科技大學機械工程研究所碩士論文。
6. 林建丞、劉志信，CNC 控制器增益值對剛性攻牙之影響，精密機械與製造科技研討會論文集。
7. 蕭瑜佐，單軸進給平台定位精度之最佳組裝參數研究，國立中興大學機械工程研究所碩士論文。