

## 線切割放電加工機參數設計與規劃 Parameter Design and Planning by WEDM

陳紹賢<sup>1</sup>、呂建緯<sup>2</sup>、李明杰<sup>2</sup>、王陳鵬<sup>3</sup>  
Shao-Hsien Chen<sup>1</sup>, Chien-Wei Lu<sup>2</sup>, Ming-Chieh Li<sup>2</sup>, Chen-Peng Wang<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: h0121212@yahoo.com.tw

E-mail: j78952117@yahoo.com.tw

<sup>3</sup> 慶鴻機電工業股份有限公司營業與技術部協理

<sup>3</sup> Quality assurance dept., CHMER EDM All Rights Reserved  
E-mail: chenpeng.wang@mail.chmer.com

### 摘要

放電加工適用於高強度、高硬度材料的加工，然而放電加工最重要的部分為它的參數，參數會影響加工元件的加工速度與精密度，越完善的掌握參數，越能在加工上更加快速、準確地完成我們所需要的工件。本研究以不同的加工參數，改其主要參數 OV、OFF、AFF、SV、FR，再以 Minitab 程式做其最佳化參數，討論二刀情況下參數影響工件的加工時間與幾何精度之優劣順序。

**關鍵字：**線切割放電加工、參數優化、二刀參數。

### Abstract

WEDM is suitable for the machining of materials with high strength and toughness properties. However the most important is its parameter. The parameter is able to affects processing components of the speed and precision. More complete master parameter, the more processing done more quickly and accurately we need on components. In this study, we use the different processing parameters. Change its main parameters OV, OFF, AFF, SV, FR. Than use the Minitab to do the optimization of its parameters. Investigate that, which parameter affects processing components of time and geometric accuracy in two cut.

**Keywords:** Wire electrical discharge machine、Optimization parameter、Two cut parameter.

## 1. 前言

線切割放電加工(Wire Electrical Discharge Machining；簡稱 WEDM)，是使用線狀電極作放電加工的方式，將具有導電性的電極與工件置於加工液中，由電源供給放電所需的能量，利用伺服機構將電極慢慢接近工件，來產生火花放電現象，再利用其現象所產生的高溫，使材料熔解與蒸發，依所要形狀移動來加工金屬。

加工參數是主要影響加工元件的時間與精密度的因素，現在外界公司大多數以經驗法則來了解何種參數影響其條件因素(例如:ON 主要影響其表面粗糙度)。

本次研究是利用 Minitab 程式，取其參數

OV、OFF、AFF、SV、FR 之 1/2 的加工條件實驗，實驗後將結果回帶 Minitab 程式，做出圖表，再篩選出主要影響的參數，最後做實驗驗證。

## 2. 線切割放電加工原理與參數之探討

### 2.1 切削原理

線切割放電加工機是 1960 年在蘇俄被發明的，當時只藉用投影器，一邊投影輪廓，一邊手動加工，速度緩慢。如今演變成數值控制化(NC 化)後，大大提高加工的速度，且可在無人的情況下運作。

其原理為，利用可導電之金屬電極線(一般為

銅)做為刀具電極,再找一塊可被導電金屬作為被加工物,然後在兩者之間施以低電壓引弧,時間內形成兩者絕緣度之破壞,施以高壓電源產生放電電弧柱,再利用它具放電的熱能來熔融被加工物。

其中需要施以加工液(一般是純水)做冷卻、排渣、回復極間絕緣等作用。

引弧與放電動作持續進行,配合機台軸向運動與不斷更新的銅線,可以切割出想要的直線或曲線路徑。

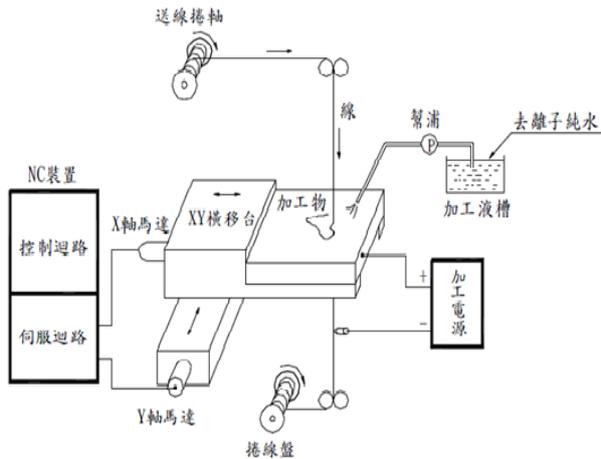


圖 1. 線切割放電加工機示意圖[9]

線切割放電加工機屬於高精密度之加工,此產業關切的指標為:由引用蕭[9]加工速度(如公式1)得知加工進給速度與被加工的厚度跟加工速度成正比,而引用吳[7]表面粗度(如公式2)得知測量曲面所圍成的總面積跟中心線平均粗度成正比。其公式為:

$$V = F \cdot D \quad (1)$$

V=加工速度(mm<sup>2</sup>/min)

F=加工進給速度(mm/min)

D=被加工物厚度(mm)

$$Ra = 1/L \cdot \int |f(x)| dx \quad (2)$$

Ra=中心線平均粗度

L=基準長度(mm)

$\int |f(x)| dx$  = X 軸上下所圍成的總面積(mm<sup>2</sup>)

## 2-2 過度切削

過度切割(Overcut)是指工件上加工過的孔超過了電極尺寸的距離,它會因初始電壓與放電能量的大小改變而改變。當放電能量(W)由於較高的電流(I)而加大時,過度切割亦加大,反之。

它可藉由控制初始電壓與放電能量到很小的

延伸量。

## 2-3 切削參數原理

參數是加工條件中最重要的一環,她會因材料、厚度的不同而改變他的數值,只為了達到良好的精密度與粗糙度。

本次研究主要改變參數為OV、OFF、AFF、SV、FR這5個值,因此改變這5個加工參數,其加工參數的意義與範圍,如下列所示。

1. 開路電壓(Open Voltage; OV):無負載電壓調整,此參數範圍為70V~145V。

2. 休止時間(Off Time; OFF):指單發放電後的休止時間,其意義在使絕緣回復後與加工屑能有效的去除,此參數範圍為7~50(μs)。

3. 短路休止時間(Arc off time; Aff):控制輔助放電休止時間大小,其值越大則放電休止時間越長,而放電越穩定,但切割速度越慢,越不易斷線,此參數範圍為3~50(μs)。

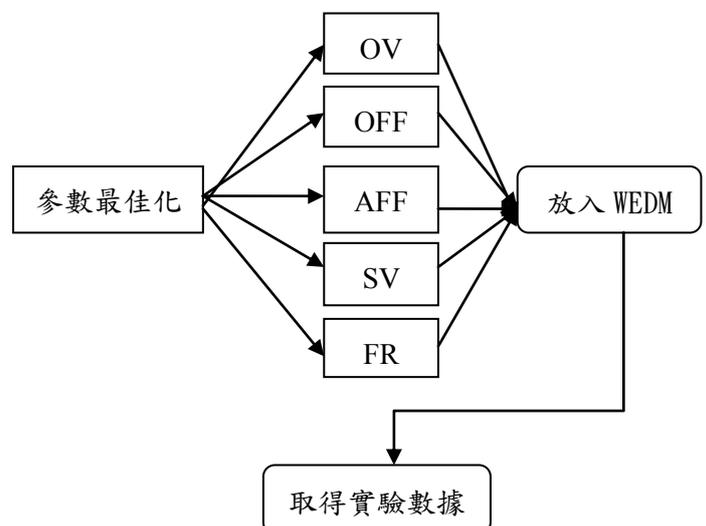
4. 伺服參考電壓(Servo Voltage; SV):為加工中實際的工作電壓,SV會影響間隙的大小,增加SV會使間隙加大,反之,此參數範圍為10V~75V。

5. 進給倍率(Feedrate Override; FR):用於微調進給速度,每增減一單位,即增減所設定速度的0.1倍,此參數範圍為0~50(mm<sup>2</sup>/min)。

## 3. 實驗規劃與設備

### 3.1 實驗規劃

剛開始先挑出會影響二刀實驗的參數(OV、OFF、AFF、SV、FR),經由Minitab做參數最佳化,排出5個參數的1/2組排列組合,再放入WEDM中試驗,取得實驗數據後再放入Minitab中做分析,找出影響加工時間以及幾何精度的主要參數,最後將找出的參數回帶WEDM中做驗證,以確定挑選出的參數是否是正確的,取得的數據為本次的實驗結果。如圖2所示。



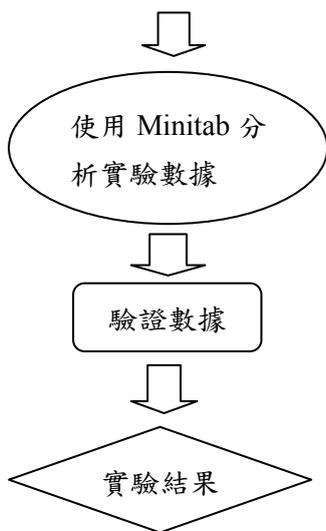


圖 2 實驗流程圖

### 3.2 實驗設備

本實驗使用機台為慶鴻機電工業股份有限公司所生產之 GX640L 線切割放電加工機，如圖 3 所示；該線切割放電加工機規格如下表 1。

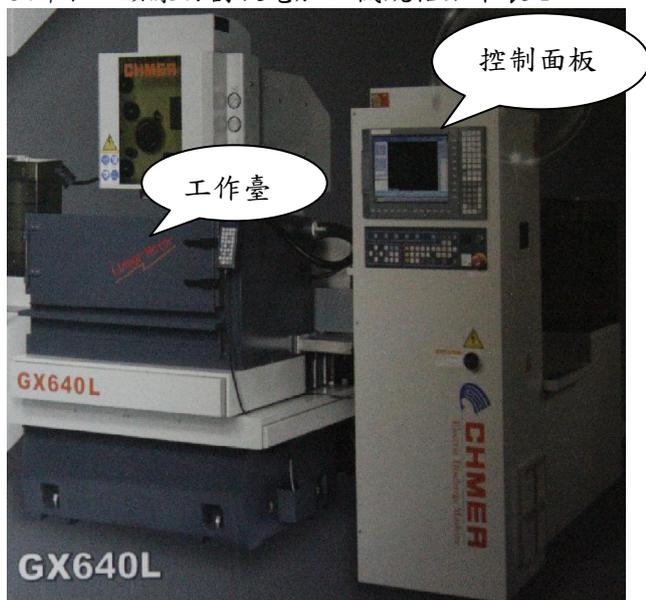


圖 3. 機台型號[7]

表 1 GX640L 機台規格

| 機台型號<br>GX640L  |                     |
|-----------------|---------------------|
| 軸移動量 (XxYxZ mm) | 600x400x300 (mm)    |
| 軸移動量 (UxV mm)   | 100x100 (mm)        |
| 最大工件尺寸 (mm)     | W910xD700xH295 (mm) |
| 最大工件重量 (kg)     | 600 (kg)            |

|              |                                 |
|--------------|---------------------------------|
| XY 進給速度      | Max.1500 (mm/min)               |
| 軸驅動系統        | X、Y 軸 線性馬達驅動<br>Z、U、V 軸 AC 馬達驅動 |
| 線徑 (標準)      | Ø0.15~0.3 (Ø0.25)               |
| 最大送線速度       | 300 mm/sec                      |
| 線張力          | 300~2500 (gf)                   |
| 最大 Max. 切割斜度 | ±21°/100(廣角噴嘴<br>DA+DB=15mm)    |
| 淨重 (kg)      | 4200 (kg)                       |

### 4. 結果與討論

本次實驗是以切割一 10x10x30(mm)的工件，如圖 4(a)所示，圖 4(b)為實際切割之工件，量測工件的 TOP(頂端)、MID(中間)、BUT(底部)三個地方的尺寸，以 BUT 剪去 TOP 的值为尺寸精度的誤差值。

表 2 是二刀實驗的量測數據，每一個工件的 TOP、MID、BUT 均有量測 5 次以上，取中間平均值以確保實驗的正確性減少誤差值，本實驗數據是經由慶鴻機電的 GX640L 放電線切割機得來，使用材料為 SKD11 做為切割，使用線徑 0.25mm 的銅線進行切割量測。

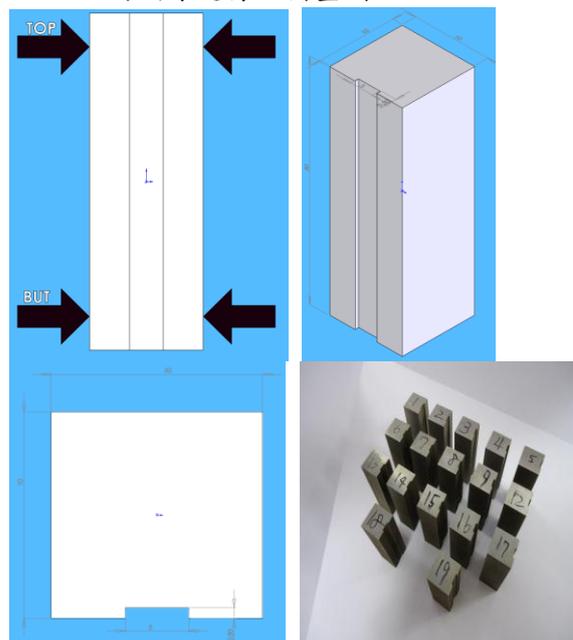


圖 4. 加工工件示意圖形、加工後之工件

表 2 二刀實驗的量測數據

| 參數 | OFF | AFF | SV | FR | OV |
|----|-----|-----|----|----|----|
| 1  | 8   | 8   | 20 | 20 | 5  |
| 2  | 8   | 8   | 20 | 40 | 3  |
| 3  | 8   | 8   | 50 | 20 | 3  |

|    |    |    |    |    |   |
|----|----|----|----|----|---|
| 4  | 8  | 8  | 50 | 40 | 5 |
| 5  | 8  | 12 | 20 | 20 | 3 |
| 6  | 8  | 12 | 20 | 40 | 5 |
| 7  | 8  | 12 | 50 | 20 | 5 |
| 8  | 8  | 12 | 50 | 40 | 3 |
| 9  | 10 | 10 | 35 | 30 | 4 |
| 10 | 10 | 10 | 35 | 30 | 4 |
| 11 | 10 | 10 | 35 | 30 | 4 |
| 12 | 12 | 8  | 20 | 20 | 3 |
| 13 | 12 | 8  | 20 | 40 | 5 |
| 14 | 12 | 8  | 50 | 20 | 5 |
| 15 | 12 | 8  | 50 | 40 | 3 |
| 16 | 12 | 12 | 20 | 20 | 5 |
| 17 | 12 | 12 | 20 | 40 | 3 |
| 18 | 12 | 12 | 50 | 20 | 3 |
| 19 | 12 | 12 | 50 | 40 | 5 |

表 2(續) 二刀實驗的量測數據

| 參數 | TIME(sec) | OVERCUT |
|----|-----------|---------|
| 1  | 845       | 0.005   |
| 2  | 799       | 0.008   |
| 3  | 1050      | 0.002   |
| 4  | 947       | 0.003   |
| 5  | 838       | 0.01    |
| 6  | 825       | 0.005   |
| 7  | 1037      | 0.008   |
| 8  | 1023      | 0.003   |
| 9  | 893       | 0.004   |
| 10 | 893       | 0.004   |
| 11 | 893       | 0.004   |
| 12 | 867       | 0.006   |
| 13 | 840       | 0.006   |
| 14 | 1066      | -0.001  |
| 15 | 1078      | 0.004   |
| 16 | 872       | 0.008   |
| 17 | 830       | 0.008   |
| 18 | 1177      | 0.001   |

|    |      |       |
|----|------|-------|
| 19 | 1037 | 0.004 |
|----|------|-------|

#### 4.1 不同參數對於加工時間之一階影響

本次實驗改變加工參數進行加工應用回歸分析法，在一階排列中主要影響時間的參數，由圖 5(a)看出 SV 的影響較大，而 OV 對於加工時間的影響較小，如圖 5(a)所示可以清楚看出 SV 的參數對於時間有明顯的影響，故改變顯著因子 SV、AFF、OFF、FR 的加工參數更能明顯的看出加工時間的變化。

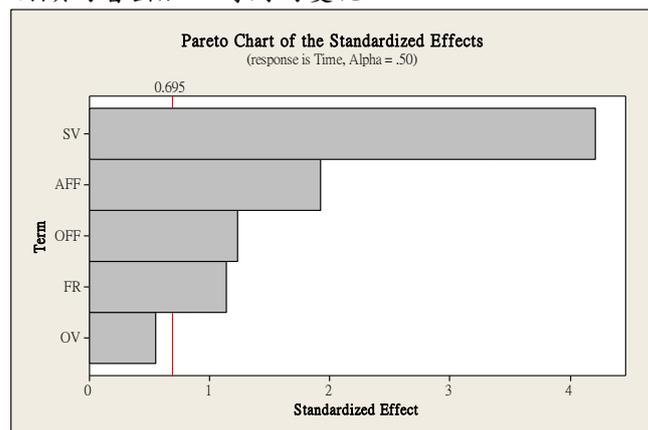


圖 5(a) 一階交互作用之柏拉圖

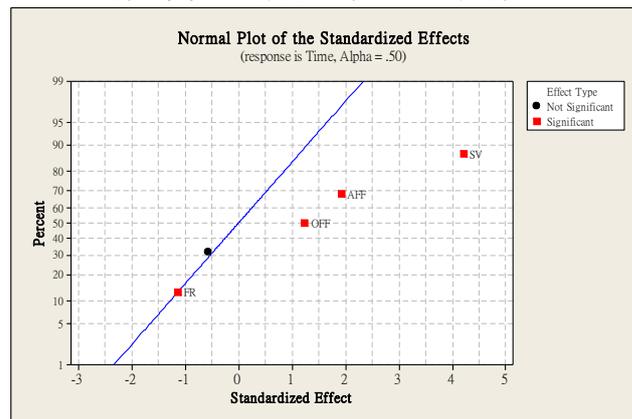


圖 5(b) 一階交互作用之半常態機率圖

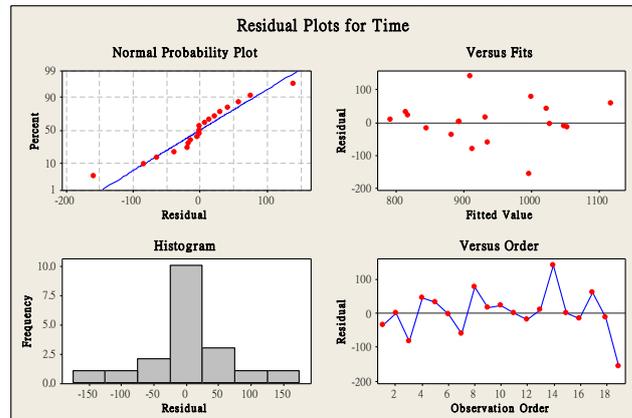


圖 5(c) 一階殘差分析圖

由圖 5(a)、圖 5(b)、圖 5(c)看出會影響加工時間的參數大小，SV 影響時間最為劇烈，影響大小為  $SV > AFF > OFF > FR > OV$ ，根據多次實驗的結果可得知 SV 的大小對於時間影響較大，從各組的參數排列中可以看出 SV 值越大，加工時間越短。

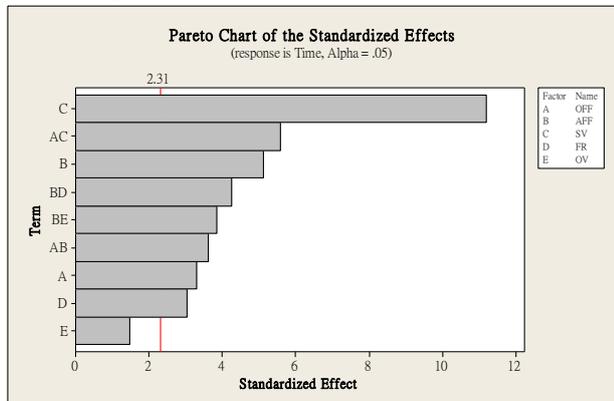


圖 6(a) 二階交互作用之柏拉圖

圖 6(a)中，A 為 OFF、B 為 AFF、C 為 SV、D 為 FR、E 為 OV，則交互作用參數如 AC、BD、BE、AB 等。

圖 6(a)、圖 6(b)、圖 6(c)為二階排列分析，二階排列分析比一階排列分析更能看出參數對加工時間的影響，OV 對於整個加工時間影響相當微小，經由實驗分析法的分析、篩選整理出的圖使我們能明確的看到不同排列的參數，對於時間的影響。

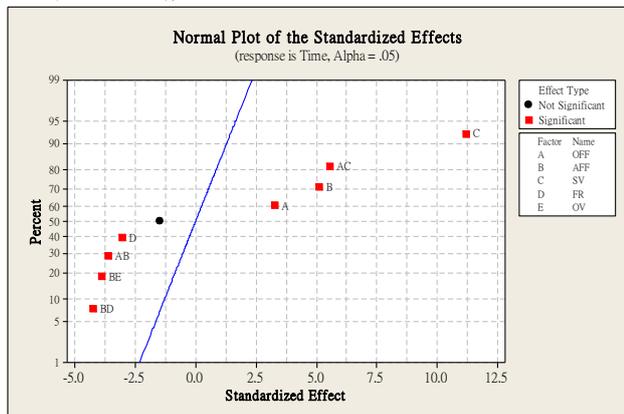


圖 6(b) 二階交互作用之半常態分析圖

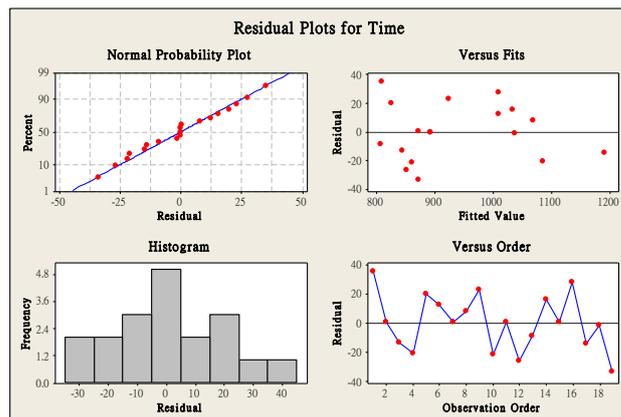


圖 6(c) 二階殘差分析圖

由二階實驗分析的結果更能看出影響時間的參數變化，由圖 5 與圖 6 兩種分析中可以更清楚的發現，SV、AFF、OFF、FR 為主要影響加工時間的參數，OV 為次要影響參數，於下階段參數優化進行深入討論與分析。

#### 4.2 不同參數對幾何精度之影響

本實驗是針對工件參數對幾何精度之影響，幾何精度影響產品的誤差值，不同參數對於幾何精度的誤差大小，對於一些工業產品極需要精密的製造，例如：小型沖壓模……等產品，找出影響幾何精度較大的參數是本次實驗的目的。

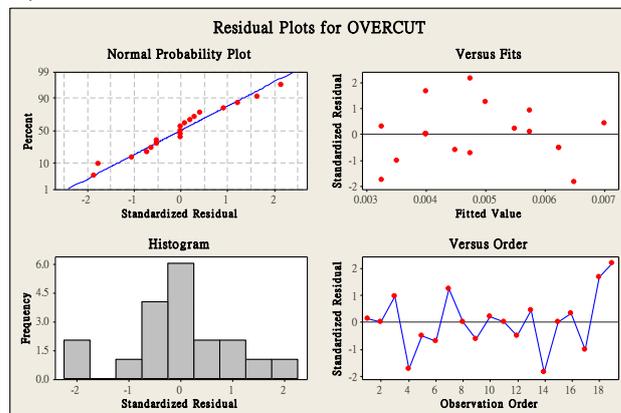


圖 7(a) 一階殘差分析圖

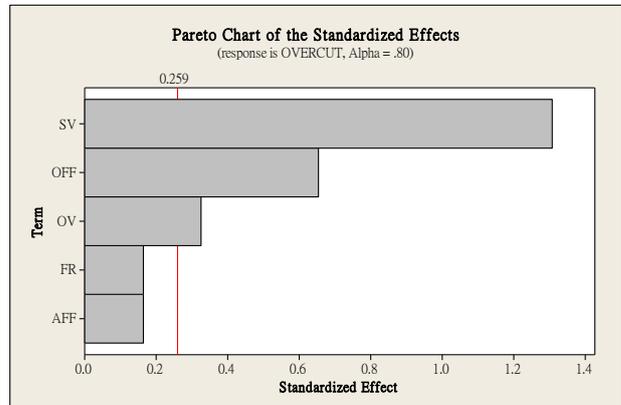


圖 7(b) 一階交互作用之柏拉圖

由圖 7(b)可以明顯看出 SV 對於幾何精度有較大影響，使用實驗分析法在一階排列實驗中可看出各參數對精度之影響，FR 與 AFF 對於精度影響較小，再從圖 6(c)能更明顯看出各參數之間的變化。

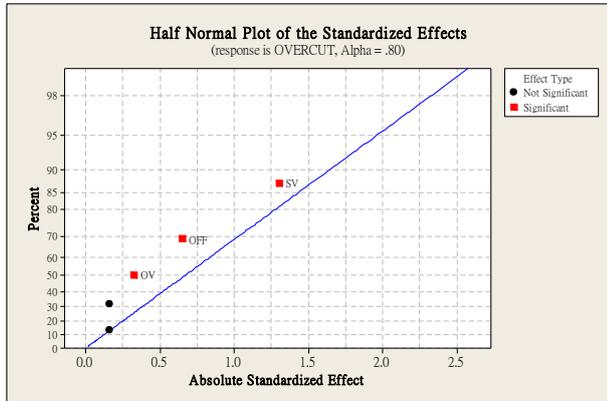


圖 6(c) 一階交互作用之半常態分析圖

根據實驗分析法的分析可以從圖 7(b)、圖 7(c)可以發現 SV、OFF、OV 為主要影響幾何精度之參數，而 FR、AFF 為次要影響參數，影響大小為  $SV > OFF > OV > FR > AFF$  於下階段參數優化進行深入討論與分析。

## 5. 結論

本次實驗主要是探討放電線切割機二刀加工時間與幾何精度，各別針對加工時間與幾何精度之參數做研究，挑選出可能會影響實驗的參數，經由實驗分析法排列出最佳的組合，將排列的參數投入機器中收集實際數據，最後將數據放回 Minitab 做分析，找出各參數對加工時間與幾何精度的影響，整個實驗歸納出下列幾點：

1. 本次實驗階應用迴歸分析法進行參數研究，經由實驗分析法排列出各種參數的組合，將組合參數投入機器中進行實驗，得出的數據再放回 Minitab 做迴歸分析，最後會得到各參數對加工時間與幾何精度之影響多寡。
2. 加工時間在一階排列分析中能大致看出 SV 對時間影響較明顯，為了更加凸顯每個參數對加工時間之影響，採用二階排列分析能清楚看出各種參數與不同排列方式對時間之影響。
3. 幾何精度只採用一階排列分析的方式進行分析，一階能較明顯看出各參數對幾何精度之影響，二階排列分析較無法明顯看各參數之影響，故只採用一階排列分析。
4. 在加工時間實驗中影響參數之大小為

$SV > AFF > OFF > FR > OV$ ，在幾何精度實驗中影響參數之大小為

$SV > OFF > OV > FR > AFF$ 。

5. 由加工時間與幾何精度實驗中可發現，SV 在加工時間與幾何精度階有較為明顯之影響，SV 在加工時間實驗上值越小加工時間越短，而在幾何精度實驗上發現，SV 值越大越能減少精度之誤差，於下階段參數優化進行深入討論與分析。

## 6. 致謝

本次實驗非常感謝慶鴻機電提供機台、人員與技術給我們做實驗，特別感謝吳雨璇、李嘉瑋等人的協助，使得本次實驗得以順利進行。

## 7. 參考文獻

1. 井上潔、黃錦鐘，放電加工，台北；高立圖書有限公司，1998
2. 張浮明、張瑞慶、周志忠，非傳統加工，台北；高立圖書有限公司，2007
3. 林永憲，高級放電加工技術，台北；全華科技圖書股份有限公司，1989
4. 陳本源、張渭川，放電加工的結構與實用技術，台北；全華科技圖書股份有限公司，1986
5. 戴子堯、李驊登，『放電加工之電極尺寸與加工參數對工具鋼表面特性研究』，國科會科學技術資料中心，2004
6. 廖運炫、余永平，『線切割放電加工工件厚度之線上估測』，國立臺灣大學「台大工程」學刊，第八十二期，第 13-20 頁，2001
7. CHMER，『線切割機加工資料手冊』，慶鴻機電工業股份有限公司，2006
8. 吳坤齡、周政運、連怡馨、王彥勝、張政勳、陳奕璋、丁肇瑋，鐵鋁錳線切割放電加工參數之探討，東南技術學院機械系專題研究報告，2002
9. 蕭瑞陽、謝宗育，放電加工原理和應用-線切割放電加工，南台科技大學上課報告
10. 邱顯俊、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學位論文，2008。