

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

防電磁波干擾製程參數最佳化之研究

研 究 生：李靖儀

指 導 教 授：翁紹仁 博士

中 華 民 國 一〇〇 年 六 月

Production Parameter Optimization of anti-Electro-Magnetic Interference (EMI)

By
Jing-Yi Li

Advisor: Prof. Shao-Jen Weng

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and
Enterprise Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2011
Taichung, Taiwan, Republic of China

防電磁波干擾製程參數最佳化之研究

學生：李靖儀

指導教授：翁紹仁 博士

東海大學工業工程與經營資訊學系

摘要

電子產品在運作時會散發出電磁波，電磁波往往會使電器產品發生故障而無法正常運作，所以目前電子產品都會做防止電磁波干擾(Electro-Magnetic Interference；EMI)措施，而防 EMI 處置工法就以真空濺鍍技術(Sputtering)應用最為廣泛。真空濺鍍技術目前最主要問題在於濺鍍後薄膜與基材間附着力，在不增加製程工法困難度及成本等考慮下，將利用實驗設計(Design of Experiments; DOE)來達到製程參數最佳化之目的。

本研究將探討真空濺鍍之功率(Power)、氬氣進氣流量(Flow Rate)等製程參數最佳化設計，分析各參數之交互作用狀況，再運用反應曲面法(Response Surface Methodology; RSM)產生最佳化參數值並獲得其反應值。從本研究結果得知，附着力可從 4B 提升至 5B，電阻值則可從 6Ω 降至 5Ω ，產品良率提升 25%。

本研究之實證結果，可提供給濺鍍製程產業作為品質改善之參考依據。

關鍵字詞： 電磁波干擾、真空濺鍍、實驗設計、反應曲面法、最佳化

Production Parameter Optimization of anti-Electro-Magnetic Interference (EMI)

Student: Jing-Yi Li

Advisor: Prof. Shao-Jen Weng

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

Abstract

The electro-magnetic waves generated in an operating electronics will cause malfunctioning of the electric appliances. Thus, Electro-Magnetic Interference; EMI is required in the electronics, while Sputtering is the most common way of EMI. The adhesion force between the film and substrate is the main issue in sputtering to overcome. In this field, without increase cost and difficulties of sputtering process, we use Design of Experiments (DOE) to optimize the process parameter.

In this research, we investigate the flow rate of Argon, power and other parameter optimized design in a sputtering process to study the interactions between each parameter. And then apply Response Surface Methodology (RSM) to obtain an optimum parameter and its responding value. According to this research, the yield can be increased to 25% when the adhesion force raise to 5B from 4B, resistance can reduce to 5Ω from 6Ω .

The result of this research can be as a reference to improve the quality in sputtering process.

Keywords: EMI, Sputtering, DOE, RSM, Optimal

致謝

一轉眼，兩年的時光就這樣匆匆流逝。兩年前，為了自己的夢想和增進自我競爭力，選擇了進入研究所就讀，如今終於拿到了夢寐以求的碩士學位，證明兩年來努力沒有白費，也總算是達成了人生一個重要的里程碑。

研究所兩年期間，由衷感謝指導教授翁紹仁老師的悉心指導，並在研究領域上給予發揮自由與支持，使得學生論文得以順利完成。並感謝王順生老師、劉復華老師、林暘桂老師與鄭辰仰老師，百忙之中協助學生完成論文口試，並給予建議與指正，使論文得以趨於完備。另外，亦感謝工工系老師們的認真教學，讓我在研究所兩年期間，於工工領域專業知識技術的學習及思考邏輯能力方面，有極大的收穫。

研究所兩年的時光，除了研究及修課外，最難得的是能認識一群共同奮鬥的好朋友。一起同甘共苦的好夥伴柏祥和秉群，兩年來跟你們一起努力完成學位，在學習過程中互相扶持、加油打氣；也謝謝總是在我遇到挫折時不斷鼓勵我的怡嬪，你總是能幫助我重拾笑容、勇於面對挑戰；還有學長姐卓翰、穎志、明修和宛蓉，因為有你們一路上陪伴，為研究室增添了無數的歡笑，讓苦悶的研究生生活帶來許多樂趣。另外，也要感謝學弟妹鈴雅、義琳和瑋喬，因為你們的加入讓研究室變得熱鬧了起來，雖然跟你們相處時間只有短短一年，但我一定會再回來看你們的！

最後要感謝我最親愛的父母和家人，辛辛苦苦將我撫養長大，在我求學這條路上，花費了無數的時間與金錢，只為了讓我達成人生的目標。沒有你們的用心栽培，就沒有今天的我。你們永遠是我一生的驕傲！

靖儀 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊學系

最佳決策系統研究團隊

民國一〇〇年六月

目錄

摘要.....	I
致謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究架構與流程.....	5
1.4 研究限制與範圍.....	7
第二章 文獻探討.....	8
2.1 EMI 簡介.....	8
2.1.1 EMI 原理介紹.....	8
2.1.2 防治 EMI 工法比較.....	10
2.2 真空濺鍍簡介.....	12
2.2.1 真空濺鍍原理介紹.....	12
2.2.2 濺鍍製程說明.....	15
2.3 真空濺鍍製程參數探討.....	17
2.4 製程品質最佳化方法.....	19
2.4.1 濺鍍品質現況分析.....	19
2.4.2 品質改善手法探討.....	19
2.4.3 實驗設計介紹.....	21
2.5 小結.....	23
第三章 研究方法.....	24
3.1 研究方法操作概念.....	24
3.2 2^k 因子設計.....	26
3.2.1 不同 DOE 組合.....	26
3.2.2 2^k 因子設計.....	28
3.2.3 加入中心點的設計.....	30
3.3 迴歸分析.....	32
3.3.1 迴歸分析介紹.....	32
3.3.2 最佳子集合迴歸.....	35
3.3.3 變異數分析.....	36
3.3.4 殘差分析.....	37
3.3.5 缺適性檢定.....	38
3.4 反應曲面法.....	40
3.4.1 反應曲面法簡介.....	40
3.4.2 最陡上升法.....	42

3.4.3 中央合成設計.....	44
3.4.4 最佳化設計.....	47
第四章 實證結果與分析.....	49
4.1 實驗流程說明.....	49
4.2 最佳子集合迴歸.....	51
4.2.1 製程參數篩選.....	51
4.2.2 顯著參數組合分析.....	53
4.3 2^k 因子設計.....	55
4.3.1 2^3 全因子實驗配置.....	55
4.3.2 結果分析.....	56
4.4 RSM：一階模式配適.....	59
4.4.1 最陡上升法.....	59
4.4.2 縮小參數範圍，配置新實驗.....	60
4.4.3 結果分析.....	61
4.5 RSM：二階模式配適.....	62
4.5.1 中央合成設計.....	62
4.5.2 Y_1 (DB 值)結果分析.....	64
4.5.3 Y_2 (電阻值)結果分析.....	65
4.6 最佳化趨勢分析.....	67
4.6.1 Y_1 (DB 值)反應曲面圖與等高線圖.....	67
4.6.2 Y_2 (電阻值)反應曲面圖與等高線圖.....	68
4.7 參數最佳化.....	69
4.7.1 參數目標值設定.....	69
4.7.2 最佳化參數值.....	70
4.7.3 結果驗證.....	71
第五章 結論與建議.....	72
5.1 結論.....	72
5.2 未來研究建議.....	73
參考文獻.....	75
附錄 A：五參數之實際機台運作數據設定值.....	78

圖目錄

圖 1.1 真空濺鍍用於產品之金屬外觀處理.....	1
圖 1.2 NB 在 2006~2011 年之出貨量與成長率示意圖.....	2
圖 1.3 本研究之架構與流程圖.....	6
圖 2.1 EMI 的雜訊源、傳導路徑與接收器.....	9
圖 2.2 傳導耦合雜訊.....	10
圖 2.3 真空鍍膜方法架構圖.....	13
圖 2.4 直流濺鍍之鍍膜原理.....	14
圖 2.5 離子撞擊靶材示意圖.....	15
圖 2.6 濺鍍製程(IN-LINE SPUTTERING SYSTEM).....	16
圖 2.7 連續式濺鍍機台.....	16
圖 2.8 DOE 基本概念圖.....	21
圖 2.9 實驗設計 7 大步驟.....	22
圖 3.1 研究方法操作概念圖.....	25
圖 3.2 選擇最佳組合方式.....	27
圖 3.3 2^k 因子設計分析程序.....	29
圖 3.4 2^k 因子設計加 5 個中心點示意圖.....	31
圖 3.5 簡單線性迴歸模型.....	33
圖 3.6 左圖為一個極小值曲面；右圖為一個極大值曲面.....	41
圖 3.7 最陡上升路徑尋找下一個中心點的過程.....	42
圖 3.8 一階反應曲面和最陡上升路徑.....	43
圖 3.9 2^2 因子設計.....	44
圖 3.10 2^3 因子之中央合成設計.....	45
圖 3.11 $\alpha = 1$ 中央合成設計.....	45
圖 3.12 $\alpha = \sqrt{2}$ 中央合成設計.....	45
圖 3.13 望大反應值 Y 的目標為 T	47
圖 3.14 望小反應值 Y 的目標為 T	48
圖 3.15 願望函數望反應值 Y 的目標為 T	48
圖 4.1 實驗流程架構.....	50
圖 4.2 五參數之四合一殘差圖.....	52
圖 4.3 三參數之四合一殘差圖.....	54
圖 4.4 2^3 全因子實驗配置.....	55
圖 4.5 2^3 參數範圍設定.....	55
圖 4.6 2^3 全因子實驗配置狀況.....	55
圖 4.7 三參數之效應值常態機率圖.....	57
圖 4.8 三參數之主效應反應圖.....	58
圖 4.9 三參數之交互作用反應圖.....	58

圖 4.10 縮減參數範圍重新設定.....	60
圖 4.11 新實驗之配置狀況.....	60
圖 4.12 新實驗之效應值常態機率圖.....	61
圖 4.13 CCD 實驗配置.....	62
圖 4.14 CCD 之配置狀況.....	62
圖 4.15 Y_1 值之 CCD 四合一殘差圖.....	65
圖 4.16 Y_2 值之 CCD 四合一殘差圖.....	66
圖 4.17 Y_1 之 A、B 等高線圖.....	67
圖 4.18 Y_1 之 A、B 反應曲面圖.....	67
圖 4.19 Y_1 之 A、C 等高線圖.....	67
圖 4.20 Y_1 之 A、C 反應曲面圖.....	67
圖 4.21 Y_1 之 B、C 等高線圖.....	67
圖 4.22 Y_1 之 B、C 反應曲面圖.....	67
圖 4.23 Y_2 之 A、B 等高線圖.....	68
圖 4.24 Y_2 之 A、B 反應曲面圖.....	68
圖 4.25 Y_2 之 A、C 等高線圖.....	68
圖 4.26 Y_2 之 A、C 反應曲面圖.....	68
圖 4.27 Y_2 之 B、C 等高線圖.....	68
圖 4.28 Y_2 之 B、C 反應曲面圖.....	68
圖 4.29 參數目標值設定.....	69
圖 4.30 參數起始值設定.....	69
圖 4.31 最佳化參數值.....	70
圖 4.32 NB 塑殼濺鍍實體圖示.....	71
圖 5.1 改善前之鍍膜品質測試圖.....	73
圖 5.2 改善後之鍍膜品質測試圖.....	73

表目錄

表 1.1 柏騰產品營收一覽表.....	2
表 2.1 常見 EMI 抑制方式.....	8
表 2.2 EMI 防治工法比較.....	11
表 2.3 真空度類型與範圍.....	12
表 2.4 真空濺鍍製程參數文獻整理.....	17
表 2.5 製程品質改善之文獻整理.....	20
表 3.1 DOE 常見類型.....	26
表 3.2 各類型 DOE 之使用時機.....	27
表 3.3 迴歸分析之 ANOVA 表示意圖.....	36
表 3.4 RSM 設計概念.....	40
表 3.5 CCD 各點總合說明.....	44
表 4.1 五參數之最佳子集合迴歸.....	51
表 4.2 五參數之迴歸分析表.....	52
表 4.3 三參數之實際機台運作數據設定值.....	53
表 4.4 三參數之迴歸分析表.....	54
表 4.5 三參數之 13 筆實驗配置數據.....	56
表 4.6 三參數之二階交互作用分析表.....	56
表 4.7 三參數之變異數分析表.....	57
表 4.8 最陡上升法之探索路徑.....	59
表 4.9 新實驗之 13 筆實驗配置數據.....	60
表 4.10 新實驗之二階交互作用分析表.....	61
表 4.11 新實驗之變異數分析表.....	61
表 4.12 CCD 之 20 筆實驗配置數據.....	63
表 4.13 Y_1 之 CCD 反應曲面迴歸表.....	64
表 4.14 Y_1 之 CCD 變異數分析表.....	64
表 4.15 Y_2 之 CCD 反應曲面迴歸表.....	65
表 4.16 Y_2 之 CCD 變異數分析表.....	65
表 4.17 最佳化參數值.....	70
表 4.18 最佳化反應值.....	71

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

科技日新月異，「忙碌」已逐漸成為現代社會現況的代名詞，為了跟上這瞬息萬變的生活步調並同時提升便利性，所以市面上新穎的電子相關產品不斷推陳出新以滿足人們的需求。值得注意的是，這些電子產品在運作時常常都會產生一定程度的電磁場，電磁場會散發出電磁波，然而這些電磁波往往會干擾到產品本身甚至於其他的電子器材，使其發生故障導致這些電子相關產品無法正常運作。根據上述原因，所以目前每個電子產品都會多做一層防止電磁波干擾(Electro-Magnetic Interference; EMI)因應措施，以減少因電磁波干擾而導致電子器材無法正常運作的情形產生。

目前市面上防止 EMI 的處置方式大致上分成三種，分別為電鍍、金屬鐵片及真空濺鍍技術，在這些工法中，其中又以真空濺鍍技術應用較為廣泛。電鍍因環保問題，無法提升市佔率，而金屬鐵片在重量上又較真空濺鍍來的高，因此真空濺鍍在防止 EMI 市場上市佔率持續提升，統一投資研究週報(2010)也指出目前真空濺鍍滲透率已達 50%-60%。整體來說，真空濺鍍無論是在價格成本上，或者是完工後的品質方面，跟其他的工法相比都較佳，除此之外也具有環保概念，由於此工法是在真空的環境下，利用電流撞擊原子的鍍膜方式，所以並不會產生大量的化學污染，因此使用真空濺鍍技術的廠商比例日益攀升。圖 1.1 為真空濺鍍用於產品之金屬外觀處理圖示，包含手機外殼、汽車零件等都有其應用。



圖 1.1 真空濺鍍用於產品之金屬外觀處理

(資料來源：赫得光電科技股份有限公司)

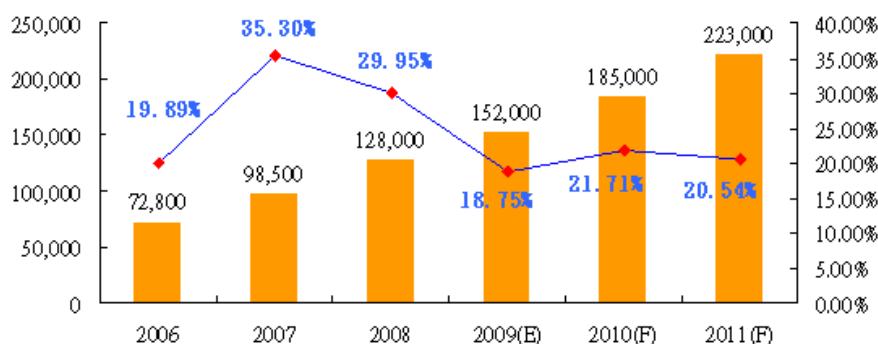
在真空濺鍍產業中，目前柏騰科技股份有限公司為此產業之龍頭廠商，因柏騰為全球首家將連續真空濺鍍薄膜技術導入筆記型電腦(Notebook; NB)產品的廠商，擁有不斷創新研發的研究團隊，且設備專利自主研發(台灣工銀證券，2010)。而該公司目前主要仍是以 NB 機殼真空濺鍍的業務為主，下表 1.1 為柏騰 2009 年、2010 年的營收狀況，從表中可清出看出塑殼真空濺鍍的營收比佔 9 成以上，而 DJ 財經知識庫(2010)也指出柏騰於 NB 濺鍍之市占率穩定維持在 7 成以上。

表 1.1 柏騰產品營收一覽表

產品 \ 營收狀況	2009 年		2010 年	
	營收 (單位:百萬元)	比重 (%)	營收 (單位:百萬元)	比重 (%)
塑殼真空濺鍍	2347	98.4	2668	96.5
輪圈	38	1.6	97.3	3.5

(資料來源：統一投資研究週報，2010)

而整體 NB 銷售狀況來說，由圖 1.2 可以得知，在 2007 年 NB 成長率達最高峰 35.30%，但在 2008 年後期，受到全球性金融風暴影響，NB 成長率下降許多，連帶影響到 2009 年 NB 出貨量，直到 2010 年 NB 的銷售情況才開始慢慢回升；除此之外，許多的市場分析報告也都指出 3C 產品部分在景氣回溫的情形下，預估將呈現穩定成長。由以上的分析狀況可以得知，真空濺鍍產業的市場發展性以及其銷售利益是相當可觀的。



資料來源：拓璞產業研究所

Legend: NB出貨量 (orange bar), NB成長率 (blue line with diamond)

圖 1.2 NB 在 2006~2011 年之出貨量與成長率示意圖

(資料來源：拓璞產業研究報告，2010)

不過就技術層面而言，真空濺鍍目前仍然有需要再加強改善的部分，吳威逸等人(2004)也指出真空濺鍍最主要的問題在於濺鍍後的薄膜與被濺鍍的物品(基材)之間的附著能力。而為了提升薄膜的附著能力，一般處理時都需要在鍍膜前將基材的表面做適當的前置處理，也因為製程工法多了一道手續的緣故，所以相對來說想要提升產品的良品率也變得較為困難；除此之外，提升真空濺鍍製程的產能亦會受到設備規模大小、成本等等外在條件因素的限制。

透過以上產業與製程的背景描述後，可得知製程條件的限制以及其技術層面複雜性，所以要從製程工法上著手改善事實上是較有難度的；在不增加製程工法困難度及成本等眾多條件考慮下，我們可以利用實驗設計手法(Design of Experiments; DOE)來達到製程參數最佳化之目的。由於 DOE 是探討實驗應如何進行與分析的一門學問，蔡尚穎(2008)也指出 DOE 強調利用最少資源在短時間內，將產品或製程之最佳參數條件尋找出來，亦是開發企業 Know How 的重要工具，故 DOE 儼然成為製程品質最佳化之最優選擇。

實驗設計是以機率論與數理統計為理論基礎，對實驗數據進行有效的分析；利用調整製程參數的設定值，藉此找到最佳化參數組合，以達到 EMI 製程品質最佳化之目的。如此一來，一方面除了可以有條理的排列出可行實驗組合，避免重複或遺漏之情形產生，減少因盲目試驗而造成成本上的浪費；另一方面亦可利用相關統計軟體，有效率的分析出各參數之間是否存在交互作用，以及其影響力的強弱關係。

DOE 的盛行主要是從 1970 年起，日本企業開始大量運用此手法於各行業中，並有效的提昇品質及降低成本，而西方國家也從 1980 年後逐漸重視 DOE 手法所帶來的效益。在競爭越來越激烈的環境下，現在的企業必須具備持續改善的能力，才能擁有生存發展的空間；改善必須依賴知識，而主動獲取知識的最有效方法就是實驗。1980 年以來品質改善的主要發展趨勢之一，就是越來越多的企業運用 DOE 為改善工具，來設計及生產高品質且低價格的產品，這也是 DOE 為什麼至今仍被重視的主要原因。

總合以上所述，不難發現 DOE 的應用層面著實相當廣泛，無論在射出成型產業、化學工業產業、機械產業等等都有其應用蹤跡，而且對於提升各製程品質之成效亦相當顯著。在改善 EMI 製程品質中，本研究將透過

DOE 手法，找出製程中最具影響力之參數，並加以分析應用，使製程參數達最佳化狀態，如此一來，將可有效控制濺鍍後產品的品質管控，在成本上亦可降低因為瑕疵品所帶來的費用，一舉數得。

1.2 研究目的

由於相關防電磁波干擾材料的進展日新月異，新產品的規格愈趨嚴格，如 PC+ABS、PC、LCP、纖維的工程塑膠在塗佈濺鍍 EMI 之附著力和電阻值之要求。為了有效提升濺鍍品質，在以不增加製程工法困難度及成本等眾多條件考慮下，故本研究擬採用統計學中之 DOE 手法，配置可行實驗組合，並結合反應曲面法(Response Surface Methodology; RSM)來搜尋最佳反應值及參數組合。RSM 是一種找出最佳實驗組合或作業條件的統計工具，並且適用於整個系統或製程受到大量參數影響的情況。

本研究之研究目的如下：

1. 在真空濺鍍製程中，可以發現到可能影響製程之參數相當繁雜，像是：真空度、溫度、電流等等，而現場操作人員若要找出真正會影響到製程的重要參數，必須花費相當龐大的時間及成本來搜尋。為了避免低效率的盲目試驗，利用 DOE 中之最佳子集合(Best Subsets)手法，可有效的找出最具影響之製程參數。
2. 進一步針對顯著之製程參數配置可行實驗組合，為了避免造成 Local optimal 的情形，採用最陡上升法(Method of Steepest Ascent)來導引搜尋最佳參數組合之正確方向，以協助製程參數的設計。
3. 針對本研究所配置之實驗參數組合，利用反應曲面法(RSM)搜尋出最佳反應值及最佳參數組合，有效改善真空濺鍍工法之附著能力，提升鍍膜品質，並降低因不良品產生的成本浪費。如此一來使得產品品質達到產線規範，亦能促使產能需求符合目前產線現況。
4. 本研究之實證結果，可提供給濺鍍製程產業作為品質改善之參考依據；而一系列實驗設計相關手法運用，除了可應用於真空濺鍍產業外，亦可做為其他產業品質或製程改善之參考範例。

1.3 研究架構與流程

本研究共分為五個章節，各章節內容如下：

第一章 緒論

說明研究背景與動機、研究目的、研究架構與流程、研究限制。

第二章 文獻探討

針對 EMI 產業、真空濺鍍理論以及濺鍍製程做詳細探討，從提升濺鍍附著能力為改善目的出發，蒐集提升產品品質方法之相關文獻，統整出最常使用的改善手法：實驗設計，並簡介實驗設計之實驗步驟與應用。

第三章 研究方法

定義本研究之研究範圍及資料來源，並針對本研究所使用的實驗設計手法進行理論基礎與定義說明，了解其背後之統計意涵。

第四章 實證結果與分析

針對本研究所運用之實驗設計手法，將蒐集的數據資料投入統計軟體中模擬運算，找出影響製程之顯著變數，並搜尋最佳反應值及參數組合。

第五章 結論與建議

根據本研究之實證結果，提出本論文之研究發現，並對後續研究提出建議及方向。

本研究之流程如圖 1.3 所示：

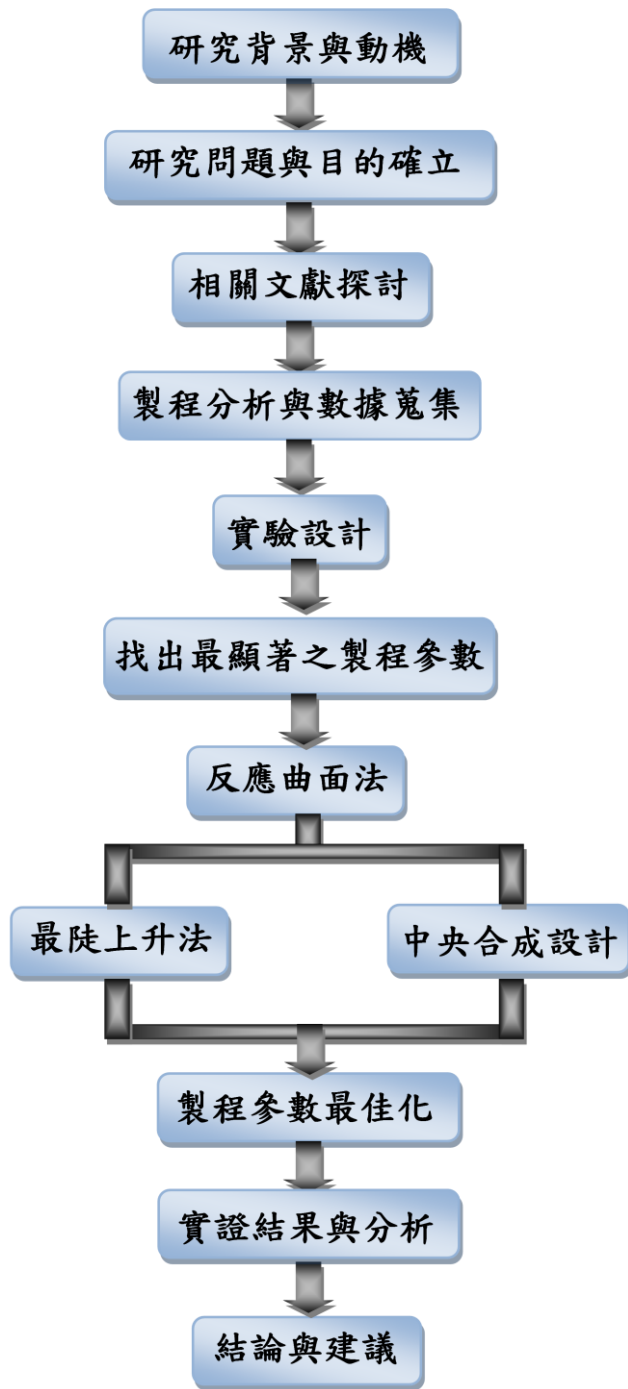


圖 1.3 本研究之架構與流程圖

1.4 研究限制與範圍

1. 蒐集實驗數據方面，由於須顧及成本與資源上的考量，所以實驗數據來源皆由合作廠商提供之歷史資訊，以取代實際至現場蒐集資料做分析。
2. 在本研究之初始參數的選擇上，主要藉由文獻探討及現場人員以往操作機台的經驗而得，來決定納入考量之濺鍍製程參數。
3. 由於濺鍍產品種類繁多，包含手機機殼、汽車零件、太陽能面板等等，故本研究僅探討廠商提供之 NB 濺鍍數據，調節其製程參數以配置出最佳化參數組合。

第二章 文獻探討

2.1 EMI 簡介

現今的電子產品都以符合小型化、高性能、高精度、高信賴度、及高反應度等為目標，使得電路元件的分佈密度過高、電路的體積大大的縮小，然而電路變得愈精巧，則會有更多的元件擠在很小的空間當中，增加了干擾的機會(林慶仁、宋自恆，2001)。

所謂EMI意指電磁波干擾之簡稱，由於所有電子設備在操作時，皆會產生一定程度之電磁場，而設備所產生之電磁場可能會相互干擾、阻隔，或是破壞臨近設備之正常運作，於是電路流動產生之電磁場若無將其適當的屏障，彼此磁場間會干擾、破壞訊號傳輸之品質，導致設備無法正常運作(Paul, 1992)。

EMI問題的考量，長久以來一直是電子裝備及系統在設計上的一大盲點，因為EMI所牽涉的因素繁多，以及處理時所需專業知識較廣的關係。然而由於科技產業的高度競爭，新產品的生命週期越來越短，使得我們不得不尋求EMI問題的快速解決方式，來縮短產品研發時間，以期能搶佔市場先機。

2.1.1 EMI 原理介紹

在探討 EMI 原理之前，必須先瞭解雜訊的定義及其傳輸途徑，因為有雜訊的產生，才會導致電磁干擾問題存在。雜訊係指除了所需信號以外而出現在電路內的任何電氣訊號(Motchenbacher and Fitchen, 1973)。所有電子系統都或多或少有些雜訊，但只有當雜訊影響到系統正常執行時才會發生問題，雜訊是不可能完全被去除的，但是經由適當的屏蔽法(Shielding)、擴展頻譜法(Spread Spectrum)、使用濾波器(Filter)等方式，則可將干擾盡量降低。由於抑制 EMI 的方式相當繁多，使用者依據環境與材料不同，而選擇適當的防治方法，常見 EMI 抑制方式如下表 2.1 所示。

表 2.1 常見 EMI 抑制方式

防治方法	說明
電磁屏蔽法	運用特定材料特性來阻隔或吸收電磁雜訊，以此減少電磁波發散。

防治方法	說明
擴展頻譜法	將時鐘(Clock)的信號展頻，使其峰值(Peak)信號波形振幅減低來降低信號的峰值位準。使用擴頻法需要在信號失真度和 EMI 減弱程度之間取得平衡，一般是取 1%~1.5%，若超過 3% 通常就會讓信號過於失真而不可行。
濾波器	因為成本低廉且 SMD(表面黏著)製程的加工需求，所以最為一般設計工程師採用。不同用途電源或電路設計則須使用不同濾波模式來處理。

(資料來源：余曉錡，2009)

雜訊的發生必需要有來源(Source)、耦合路徑(Coupling Path)以及易感染的接收器(Susceptible Receptor)，這三者必需一起出現才會有 EMI 問題的存在。圖 2.1 為 EMI 之雜訊源、傳導路徑與接收器示意圖，從圖中可以得知 EMI 是以耦合方式進入系統中；若這三大導致雜訊產生的元素中，有其中一個元素被排除在系統之外的話，則不會發生干擾現象。

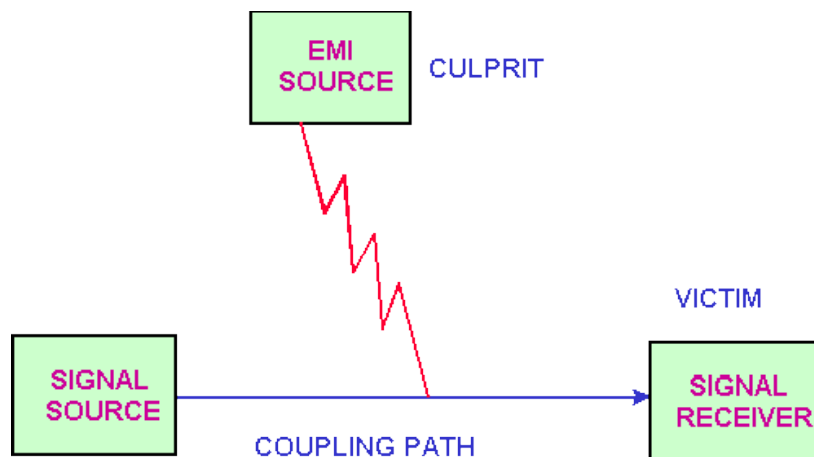


圖 2.1 EMI 的雜訊源、傳導路徑與接收器

(資料來源：王見名、鄒應嶼，2002)

雜訊會耦合到電路內的較明顯方式之一是透過電導體。假如訊號線經過一個充滿雜訊的環境，訊號線將受感應拾取雜訊信號並傳至電路的其它部分，例如電源供應器的雜訊就會經由電源線而耦合至電路，如圖 2.2 所示。

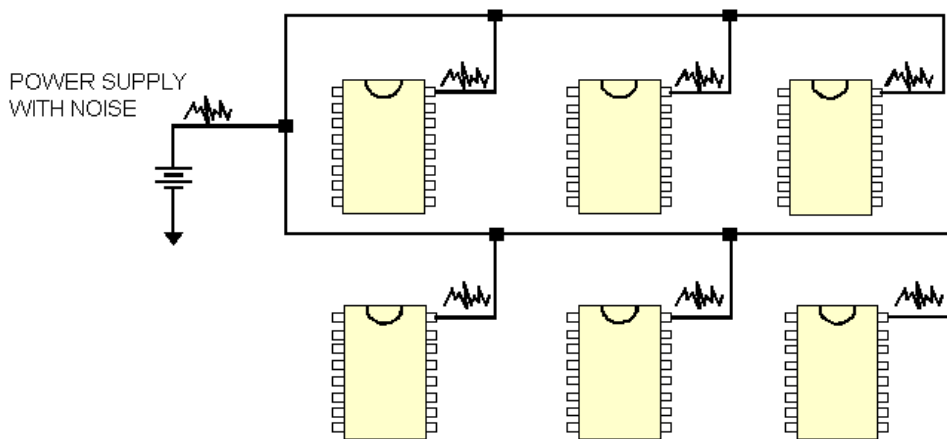


圖 2.2 傳導耦合雜訊

(資料來源：王見名、鄒應嶼，2002)

在接收器方面，由於絕大部分的電子電路都會發射 EMI 同時又受到 EMI 的干擾，因此電子裝置的設計，應該既不受外在 EMI 干擾源的影響，本身也不應成為 EMI 的干擾源，此一設計理念即為電磁相容性 (Electromagnetic Compatibility, EMC) (王見名、鄒應嶼，2002)。大多數電子設備的 EMI 是藉由傳導性方式接收，少數則來自無線電頻率之輻射接收。

防止 EMI 的方法相當繁雜，若依照使用目的來劃分，大致上可歸納成兩大類，一種為降低電磁干擾的散佈，另一種則是提高受到電磁干擾的防治能力。在本研究中，將針對常用之電磁屏蔽法做詳細工法比較及現況探討。

2.1.2 防治 EMI 工法比較

目前市面上使用防治 EMI 工法有水電鍍、電氣電鍍、真空濺鍍及噴塗導電漆等等，另外一類則是直接利用金屬材質之屏蔽效果，如使用不銹鋼材、鋁箔、鐵件或鋁鎂合金等材質。其中，金屬件遮蔽成本低且符合當前環保法規，但加工組裝複雜，穩定度不佳；水電鍍、電氣電鍍、導電漆等工法則抵觸環保法規，新電鍍廠設立又不易，未來將逐漸被淘汰取代；故截至目前為止，使用真空濺鍍工法及鋁鎂合金材質為防治 EMI 之主要途徑 (王美珍，2009)。

下表 2.2 為常見之 EMI 防治工法比較，從表中可以得知真空濺鍍無論是在價格成本上，或者是完工後的品質方面，跟其他的工法相比都較佳，除此之外也具有環保概念，由於此工法是在真空的環境下，利用電流撞擊原子的鍍膜方式，所以並不會產生大量的化學污染。

表 2.2 EMI 防治工法比較

EMI 防治工法	原理	WEEE 環保規章	成本	重量	產出方式	產出速度	缺點
真空濺鍍	利用真空離子撞擊原理，使金屬原子沉積於被鍍物表面。	符合	低	不會增加	連續式	快	1. 附著度低 2. 良率較差
金屬鐵片	將金屬片鑄造成形，貼附於物品表面。	符合	低	150 克以上	手工+組裝	中等	1. 重量增加 2. 組裝有難度
電鍍	噴塗化學藥劑使物品產生化學反應，並產生金屬膜。	有爭議	中	5 克以下	批次式	慢	1. 不環保 2. 產量低
導電漆	將金屬粉末添加於化學藥劑中，再噴塗於物品表面。	有爭議	高	20-50 克	手工+自動化	慢	1. 不環保 2. 良率低 3. 穩定性不足 4. 成本高 5. 產量低
鎂鋁合金	金屬外殼也可防止電磁波，因此無須其他工法輔助。	符合	高	本身重量重	自動化	慢	1. 成本最高 2. 本身重量重 3. 產量低

(資料來源：Tawil, 1986；曹龍泉，1999；Chuang, 2003)

真空濺鍍應用層面相當廣泛，像是應用於行動電話、PDA及NB等3C商品的加工上，除了防EMI鍍膜處理的功能外，外觀處理的濺鍍加工也被大量的使用。另外還有Touch Panel(觸控面板)之ITO Film(透明導電)薄膜處理、導光板鍍膜處理、光電傳輸光柵處理、光學鏡片鍍膜、塑膠材料鍍線板、LCD Monitor(液晶顯示器)鍍膜處理、有機電激發光二極體(OLED)鍍膜處理等，亦可使用在其他非資訊產品應用上。也因為真空濺鍍工法膜質緻密性可達98%以上，膜厚在0.3~0.5 μ m內，量輕較易組裝，符合環保規範，故低溫真空連續濺鍍成為NB塑殼防EMI之未來主要工法(蔡宜璋，2007)。

2.2 真空濺鍍簡介

2.2.1 真空濺鍍原理介紹

壓力低於一大氣壓的稀薄氣體空間稱為真空。在真空狀態下，由於氣體稀薄，分子之間或分子與其他質點之間的碰撞次數減少，分子在一定時間內碰撞於固體表面上的次數亦相對減少，如此一來將導致一系列新的物化特性，像是熱傳導與對流小，氧化作用少，氣體污染小，汽化點低，高真空的絕緣性能好等等。

真空技術是基本實驗技術之一，真空技術在近代尖端科學技術，如表面科學、薄膜技術、空間科學、高能粒子加速器、微電子學、材料科學等工作中都佔有關鍵的地位，在工業生產中也有日益廣泛的應用(羅光耀，2006)。按照氣體空間的物理特性及真空技術應用特點，將真空劃分為幾個區域，如下表 2.3 所示。

表 2.3 真空度類型與範圍

真空區域	粗真空	低真空	高真空	超高真空
範圍(帕)	$10^5 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^{-1}$	$10^{-1} \sim 10^{-6}$	$10^{-6} \sim 10^{-12}$
物理現象	能實現氣體放電，以分子間相互碰撞為主。	能實現氣體放電，分子間相互碰撞和分子與器壁碰撞不相上下。	主要是分子與器壁碰撞。	分子碰撞器壁的次數減少，形成一個單分子層的時間已達到數分鐘以上。
應用舉例	真空成形、真空輸運、真空濃縮。	真空蒸餾、乾燥、冷凍，真空絕熱，真空焊接。	真空冶金，真空鍍膜，電真空器件，粒子加速器。	表面物理、熱核反應、等離子體、物理、超導技術，宇航技術。

(資料來源：羅光耀，2006)

而薄膜製備技術中，最常使用的方法即為真空濺鍍。真空濺鍍是指在真空條件中，採用蒸鍍或濺射等技術使鍍膜材料氣化，並在一定條件下使氣化的原子或分子，牢固地凝結在被鍍的基材上，最後形成薄膜。下圖 2.3 為真空鍍膜技術中鍍膜種類架構圖，從圖中可以清楚了解整個真空鍍膜於氣體成膜中，所涵蓋之各種技術。本研究所探究之 NB 機殼鍍膜技術，即是利用物理氣相沉積(PVD)中之電漿濺鍍法，電漿電鍍法又可細分為直流濺鍍(DC sputtering deposition)與射頻濺鍍(Radio-Frequency sputtering

deposition)，而本研究採用直流濺鍍技術鍍膜，故接下來將詳細說明直流濺鍍製程原理。

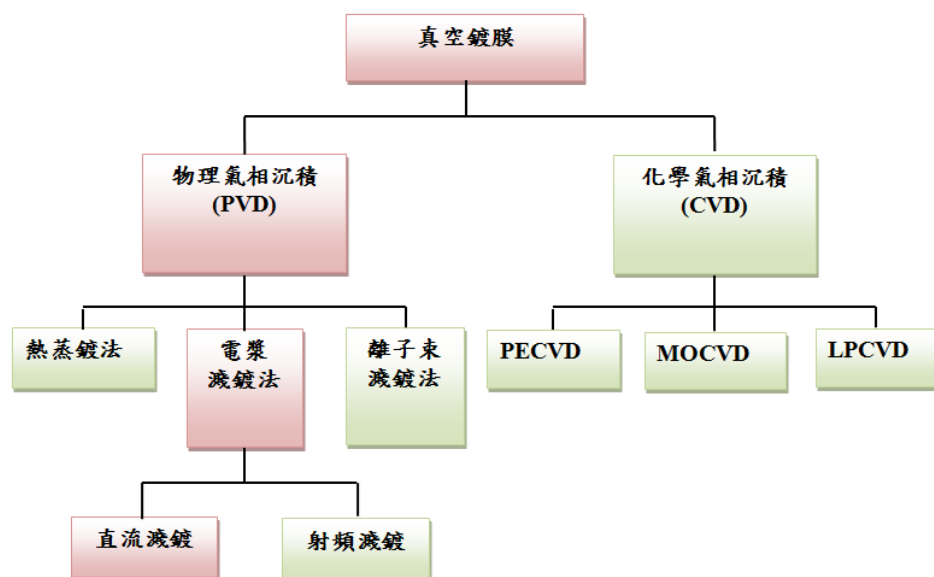


圖 2.3 真空鍍膜方法架構圖

在氣相中，製備沉積元素進行薄膜沉積，泛指以蒸發、昇華或濺射等方法將固體源氣化並凝固於基材表面而形成薄膜的過程，且於成膜過程中僅涉及物理變化，故命名為物理氣相沉積(Physical Vapor Deposition, PVD) (張秉書等人，2002)。依照不同物理作用可將 PVD 劃分成三大類型，分別為熱蒸鍍法(Thermal Evaporation Deposition)、電漿濺鍍法(Plasma Sputtering Deposition)以及離子束濺鍍法(Ion Beam Sputtering Deposition, IBSN)，而 NB 機殼濺鍍所使用的鍍膜工法即為電漿濺鍍法中之直流濺鍍法。

電漿濺鍍法無論是使用直流濺鍍或是射頻濺鍍技術，其濺鍍基本原理就是在低真空度及高電壓下，產生輝光放電進而形成電漿，攜帶能量之正離子飛向陰極，轟擊陰極之薄膜材料表面，將靶材之原子或分子撞擊後沈積於基材上。而直流濺鍍與射頻濺鍍兩者間最大的差異在於，前者是使用直流電漿，後者則是利用射頻電源的交變電場作用，使氣體中電子發生振盪現象，導致氣體原子受到振盪電子的碰撞而產生電離。

所謂電漿指的是內部存在部分離子化的氣體，包含了帶電荷的電子和離子、不帶電的分子和原子團，整體來看電漿是成電中性的，故被稱為物質的第四態(郝玲妮、陳秋榮，2006)。一般常用來產生電漿的工作氣體為氬氣，又因中性氣體自然背景輻射的關係，本來就具有少量的電子與離子作用引發電漿的游離種子，當游離電子被施以高電壓加速撞擊到氬氣時，就

產生了氬離子(Roth, 1995)。而利用電漿獨特的離子轟擊，以動量轉換的原理在氣相中製備沈積元素，以便進行薄膜沈積的物理氣相沈積技術，則稱之為濺鍍(Sputtering Deposition) (張秉書等人, 2002)。

直流電漿(DC Plasma)是一種最簡單的電漿產生方式，使用直流電漿之先決條件是兩個電極板的材料必須是導體，以避免帶電荷粒子在電極板的表面上累積，因為正電荷累積在陰極靶面上會阻止正電離子繼續轟擊靶材，甚至發生電崩潰(即原為電的不良導體之氣體變成部分離子化之氣體)，稱之為打火(Arcing)，此現象將造成膜質不良及靶材損傷。所以，以直流電漿進行薄膜之濺鍍時，所沈積之薄膜材質須為電的導體(如鋁及鈦等金屬)。通常以“靶(Target)”來表示用在濺鍍製程裡的陰極電極板。隨著沈積製程陸續進行，金屬靶的厚度會愈來愈薄，因此應依需要而適時更換靶材(吳信賢, 2009)。

在直流濺鍍鍍膜過程中，以靶材為陰極，基材為陽極，抽真空至 10^{-3} Pa 左右，再充入惰性氣體如 Ar 或 Xe 至氣壓為數 Pa，然後施加數百到數千伏特之高電壓產生輝光放電，形成電漿，此時電漿與陰極之電位差有數百伏特，電漿中之正離子向靶材(陰極)加速，經由轉移動能將靶原子轟擊出而沈積在陽極之基材上。下圖 2.4 為一直流濺鍍鍍膜情形，圖 2.5 則是離子撞擊靶材之撞擊過程示意圖。圖中濺鍍之沈積機制，大致上可分為以下步驟(吳信賢, 2009)：

1. 電漿內所產生之部分離子，脫離電漿並往陰極板移動。
2. 經加速之離子轟撞在陰極電板表面(靶材)而撞出電極板原子。
3. 被擊出之電極板原子進入電漿內，並傳遞到陽極之基材表面。
4. 這些被吸附(Adsorbed)在基材表面之吸附原子，進行薄膜沈積。

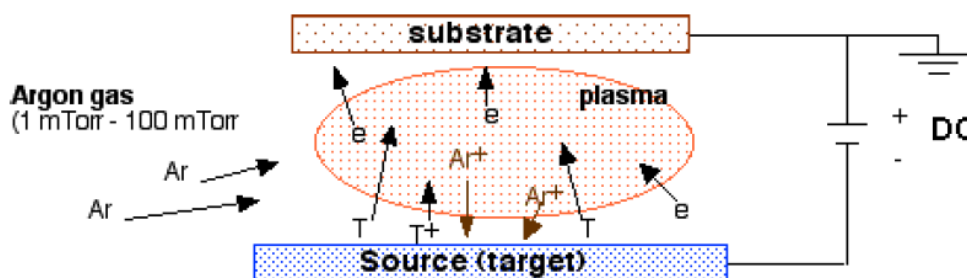


圖 2.4 直流濺鍍之鍍膜原理

(資料來源：盧鴻華, 2009)

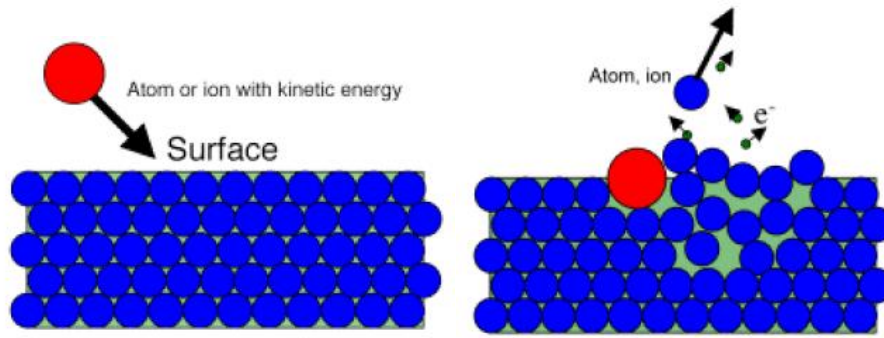


圖 2.5 離子撞擊靶材示意圖

(資料來源：Gencoa Ltd., 2006)

2.2.2 濺鍍製程說明

傳統真空濺鍍的工作溫度約在攝氏 150 度以上，溫度較高，能濺渡的產品有限，無法應用於具熱塑性之塑膠材質。低溫真空濺鍍工作於攝氏 100 度以下，目前技術已可以將工作溫度降至 60 度。而真空濺鍍依使用之設備可分成批次式濺鍍與連續式濺鍍，批次式濺鍍每完成一批後，需要破真空取出工件，再行放入下批工件抽成高真空，導致產能小，成本較高；而所有腔體排成一直線的多腔體的連續式濺鍍，連續將工件入料與出料，製程區域一直維持高真空，產能就大，成本較低(林道燊，2007)。故低溫連續式濺鍍技術，將成為 NB 塑膠機殼防 EMI 處理之未來主要工法。

真空濺鍍製程如圖 2.6 所示，而圖 2.7 為連續式濺鍍機台實體圖。NB 機殼濺鍍製程可分成四大步驟：

1. 放置樣品：

將靶材夾具取出，經由丙酮清洗後放入所要濺鍍之金屬靶材，再將裝載好的靶材夾具，放回電漿濺鍍系統中。之後將清洗完成之基材，放置在濺鍍系統之固定金屬托盤上。

2. 進行真空腔抽氣：

首先利用機械幫浦進行粗抽，直到真空腔之真空度到達到 10^{-3} torr (低真空腔)；接下來，進入下一個腔體，利用高真空擴散幫浦進行細抽，直到真空腔體之真空度到達到 10^{-6} torr (高真空腔)。

3. 進行濺鍍：

通入氧氣與惰性氣體 Ar，然後施加高電壓產生輝光放電，形成電漿，其正離子向金屬靶材(陰極)加速，經由動量傳遞而將靶原子轟擊射出，沉積在陽極的基材上形成薄膜。

4. 濺鍍結束：

薄膜濺鍍完畢後，基材會再經過高真空腔至低真空腔，最後將腔體破真空即可取出濺鍍完成之基板。

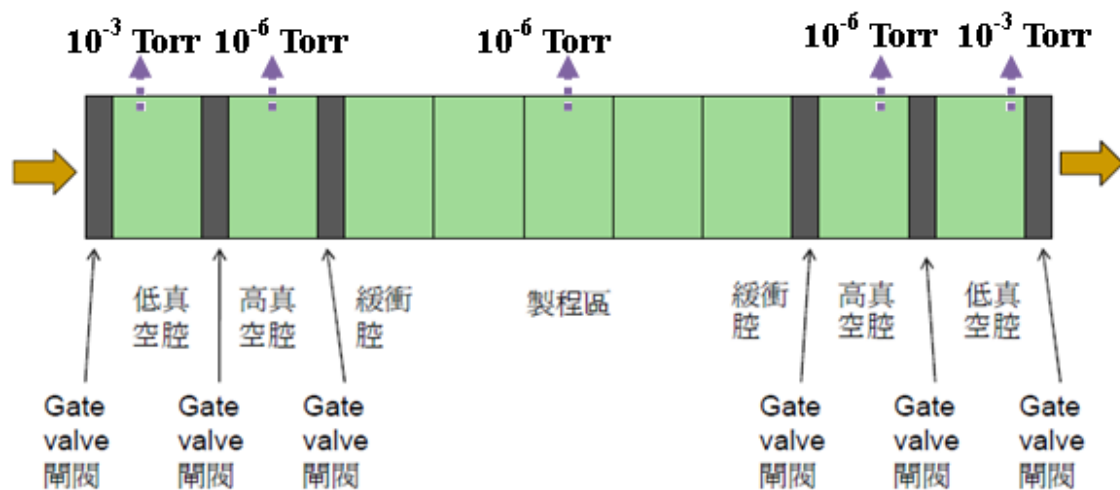


圖 2.6 濺鍍製程(In-Line Sputtering System)

(資料來源：盧鴻華，2009)



圖 2.7 連續式濺鍍機台

(資料來源：赫得光電科技股份有限公司)

2.3 真空濺鍍製程參數探討

影響真空濺鍍製程的因素相當眾多，可分成幾個不同角度切入探討：

1. 靶材品質：靶材品質的優劣會影響到鍍膜的均勻性及其製程穩定性。
2. 溫度：適當的溫度調節除了可提高鍍膜附著力外，亦能提升薄膜密度，反之，若溫度過高很容易在基材和鍍膜間產生不良影響。
3. 入射粒子能量：所使用的入射粒子能量的掌握相當重要，能量不足，會造成鍍膜品質不佳；若能量太高，則可能破壞鍍層結構。
4. 基材表面：過度粗糙的基材表面會使得鍍膜沉積狀況較差，而不乾淨的基材表面也會影響薄膜的附著能力。
5. 施加於靶源之電源功率：一般來說，功率大，沉積速率大，但不良率也較易產生。
6. 氬氣進氣流量：氬氣流量也是影響製程品質之重要因素之一，過多或過少的流量會影響薄膜的附著能力。
7. 製程壓力：壓力高，濺鍍電壓較低，電流較高，鍍膜較不緻密，且壓力太高，還會使得沉積速率降低。

下表 2.4 為探討真空濺鍍製程相關參數之文獻整理，透過過去文獻探討可彙整出影響濺鍍製程之參數，包含溫度、靶材品質、功率、氬氣流量、腔體壓力、真空度、電流、時間、速度。

表 2.4 真空濺鍍製程參數文獻整理

作者	製程參數
Monjoy 與 Suchitra (2006)	當真空室的氣體壓力強度和氬氣分壓確定後，溫度是一個非常重要的製程條件，也是影響薄膜質量和結構的重要因素。
李文興等人 (2001)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不同靶材會產生不同的電漿顏色，出現電漿的時間也不一樣。 2. 過高的射頻功率會對熱傳導性較差的陶瓷材料產生過熱的危險性，靶材會有產生融化和破裂的現象。 3. 增加基材溫度，可提升靶材與基材之結合力，可得較厚的薄膜。 4. 濺鍍製程參數為：低功率：100W、較高的基材溫度：300 °C、腔體反應壓力：0.05 torr、氬氣進氣流量：100 sccm 之條件下，最佳濺鍍厚度可高達 12 μm。

作者	製程參數
白秀琴等人 (2005)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 塑膠材料屬於高分子有機化合物，耐熱性較差，特別是光學塑料，一般要在 35~45°C 的溫度下進行鍍膜。 2. 真空濺鍍時，不論採用什麼方法，基體都會受到熱的影響，如高能量的濺射源子撞擊基體的動能以及鍍膜材料原子的凝聚能等等，都會引起基體的溫度升高。 3. 控制基體溫度在允許的範圍內，使真空濺鍍時的沉積溫度受到限制。
洪胤庭等人 (2009)	製程中的微小溫度變異皆會改變鋁靶之顯微組織及集合組織，進一步影響鋁靶之濺鍍速率及濺鍍後鋁薄膜之各項特性，因此須嚴格控制軋延及熱處理溫度，方能有效提高鋁靶之濺鍍速率。
李興鰲等人 (2010)	薄膜晶體的生長明顯依賴於基底溫度，基底溫度不僅僅影響薄膜的結構，而且影響薄膜的組成成份和附著緊密程度。
黃從綱(2002)	濺鍍基本製程參數：真空度，氬氣流量，電流，溫度。
陳素君、陳月增(2008)	真空濺鍍設備的性能規格對所鍍膜層的性能質量和生產效率有很大的影響。
盧鴻華(2009)	影響濺射和鍍膜之因素：靶材品質、溫度、功率、壓力。
毛一帆、董樹榮(2009)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 濺鍍電流對屏蔽膜的屏蔽效能影響不大，而電鍍電流對附著力有一定影響，隨著濺射功率增加附著力也會緩慢增加。濺鍍電流增加可以增加離子對於塑料表面的撞擊，也可以加熱塑料片，進而提高附著力。 2. 濺鍍功率(電流)和薄膜厚度對電磁屏蔽特性和附著力有一定程度的影響。
張其梅、王家俊(2007)	主要鍍膜製程參數：電流強度，鍍膜時間，鍍膜速度。

除上述所提及之參數外，可能尚有重要但未被討論過的參數未納入考量；所以為了提升製程之可行性與穩定性，本研究除了利用過去文獻找出影響製程之可能參數外，並與實際現場機台操作人員進行討論，最終決定出五個主要影響濺鍍製程之參數，分別為：功率(Power)，氬氣進氣流量(Flow Rate)，電壓(V)，電流(I)，偏電壓(Vp)。在濺鍍過程中陽極會導入電壓(V)與電流(I)，陰極則導入偏電壓(Vp)，如此一來便能使電漿中之正離子撞擊陰極靶材，進而沉積於陽極之基材上，而電壓與電流相乘後即為功率。

2.4 製程品質最佳化方法

2.4.1 濺鍍品質現況分析

真空濺鍍技術截至目前為止，是業界常用來防止 EMI 的製程工法，不過在鍍膜品質上仍有其缺陷存在；就技術層面來說，許多文獻都提及了濺鍍後薄膜附著能力較差的問題。像是吳威逸等人(2004)指出了真空濺鍍最主要的問題在於濺鍍後的薄膜與被濺鍍的物品(基材)之間的附著能力；而白秀琴等人(2005)也提到了真空濺鍍是薄膜真空製備中，最為廣泛使用的技術，但是薄膜附著能力較差。

而為了提升薄膜附著能力，一般處理時都需要在鍍膜前將基材表面做適當的前置處理，讓薄膜附著能力更佳，不過也因為製程工法多了一道手續的緣故，所以相對來說想要提升產品的良品率也變得較為困難；除此之外，提升真空濺鍍製程的產能亦會受到設備規模大小、成本等等外在條件因素的限制。所以，如何在不增加製程技術之困難度下，卻能同時提升濺鍍後薄膜的附著能力，儼然成為真空濺鍍製程中首要改善目標。

2.4.2 品質改善手法探討

在以不增加製程工法困難度及成本等眾多條件考慮下，利用統計學中之實驗設計手法儼然成為製程品質最佳化之最優選擇。實驗設計是以機率論與數理統計為理論基礎，對實驗數據進行有效的分析，經由符合邏輯的實驗安排，以最少的時間及成本進行實驗，並獲取期望中最佳或最適的結果。

在本研究中，即利用調整製程參數的設定值，藉此找到最佳化參數組合，以達到 EMI 製程品質最佳化之目的。如此一來，一方面除了可以有條理的排列出可行實驗組合，避免重複或遺漏之情形產生，減少因盲目試驗而造成成本上的浪費；另一方面亦可利用相關統計軟體，有效率的分析出各參數之間是否存在交互作用，以及其影響力的強弱關係。

下表 2.5 為製程品質改善方法之相關文獻整理，由過去文獻探討中可以發現到，藉由實驗設計手法達到品質改善目的之應用相當廣泛，像是田口方法、變異數分析、反應曲面法、部分因子實驗法等等。值得一提的是，過去鮮少有文獻是以實驗設計手法應用於真空濺鍍產業中，大多數提升濺鍍產業的品質文獻，會從製程改善角度切入，像是在鍍膜前將基材的表面

做適當的前置處理，或是改變靶材或濺鍍物質特性等等，故本研究利用實驗設計手法改善濺鍍製程為一創新應用。

表 2.5 製程品質改善之文獻整理

作者	研究內容	方法
Kim 與 Lee (1997)	針對不同厚度構成的塑件進行幾何因子之最佳化設計，並得到在不同厚度條件下可明顯改善。	田口方法
Ozcelik 與 Erzurumlu(2005)	針對平板模穴之幾何尺寸進行幾何尺寸最佳化分析，以找出最佳之幾何尺寸組合。	直交表、反應曲面法
Chiang 與 Chang(2006)	利用 PC/ABS 塑料之手機機殼模型進行翹曲及收縮分析時，找出模具溫度、保壓時間、保壓壓力、冷卻時間此四個製程參數之最佳參數組合。	變異數分析、反應曲面法
戴金琪(2003)	針對銅導線晶圓封裝之鐳線製程問題加以探討，建立兩階段實驗設計模式求解出鐳線之最佳解組合。	部份因子實驗、反應曲面法
魏子夏(2005)	以不銹鋼超細線為例找出製程最佳參數之研究，其實驗結果將建構出一預測模型，且此模型的預測結果與現實情況相當接近。	直交表、反應曲面法
王柏元(2006)	分析射出成形控制因子對產品重量影響較顯著之重要製程參數，找出各因子之相關性。由實驗結果可得到預測模式，改善原本透過試誤法來設定參數的問題。	部分因子實驗、反應曲面法
李建成(2008)	找出造成鋼材經分條機與矯平機裁剪輓軋後，其平坦度變異的關鍵要因與最適製程條件組合。	直交表、變異數分析
蔡尚穎(2008)	改善某公司之鐳線能力，找出產生問題的重要製程參數並找出各因子之相關性，藉由評估多個操作變數對系統性能的影響效應。	直交表、變異數分析
吳明哲(2009)	針對連續試拋光設備的環境參數來尋找最佳組合及其他反應點的探討。實驗結果可發現因子與製程之間的效應，以及製程最佳水準。	田口方法

2.4.3 實驗設計介紹

實驗設計是以機率論與數理統計為理論基礎，對實驗數據進行有效的統計分析。產生一個實驗的元素不外乎就是輸入(Input)、過程(Process)、控制因子(Control factor)、不可控制因子(Uncontrollable factor)與輸出(Output)組合而成；而 DOE 就是選定好可能會影響整個系統之輸入因子後，投入至實驗中分析，過程中會經過可控制因子與不可控制因子的調節後，最終產生實驗結果，其基本概念圖如圖 2.8 所示。

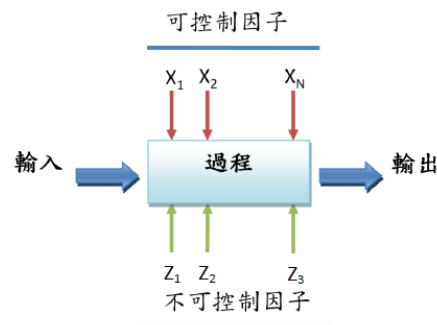


圖 2.8 DOE 基本概念圖

值得一提的是，在一般實驗設計方法中比較不討論不可控制因子，若不可控制因子扮演極其重要的角色，將可採用田口方法來探討其實驗結果表現的顯著因子及不可控制因子，但田口方法將不考慮其因子的交互作用 (Montgomery, 2009)。

DOE 的盛行主要是從 1970 年起，日本企業開始大量運用此手法於各行業中，並有效的提昇品質及降低成本，而西方國家也從 1980 年後逐漸重視 DOE 手法所帶來的效益。在競爭越來越激烈的環境下，現在的企業必須具備持續改善的能力，才能擁有生存發展的空間；改善必須依賴知識，而主動獲取知識的最有效方法就是實驗。1980 年以來品質改善的主要發展趨勢之一，就是越來越多的企業運用 DOE 為改善工具，來設計及生產高品質且低價格的產品，這也是 DOE 為什麼至今仍被重視的主要原因。

實際設計實驗過程中大致上可以分為兩部份，分別為實驗方案的設計，以及實驗結果的數據分析(蘭善文, 2007)。在實驗方案的設計方面，包括確定實驗目標、選取因子、確定因子水準、建立實驗目標的數學模型和設計實驗方案。在設計實驗的同時必須遵循三個基本原則：

1. 隨機化：使實驗結果盡量避免受到主客觀系統因素的影響而產生誤差。
2. 局部控制：化分區組，使區組內部盡可能條件一致。

3. 重複：為了降低隨機物差的影響，目的仍在避免可控制的系統性因素的影響。

而在實驗結果的數據分析上，即為對實驗數據進行分析處理。任何事務都可看作是一個過程。由於輸入的變化、各種干擾因素的影響以及各變動源之間可能存在交互作用，使得過程的輸出變化不定。在大多數情形下，這種輸出的不穩定會帶來許多困擾，甚至損失。使用實驗設計的方法，將可以用最少的人力、物力消耗，取得更多更好的成果。

若將實驗設計的步驟更加詳細劃分的話，大致可細分成 7 大步驟，如圖 2.9 所示。首先，要先對研究的問題了解清楚後並詳細陳述，包含問題確認、不同條件下狀態改變會如何影響製程、以及什麼條件會使得反應變數更加惡化；問題確認完畢後，接下來就是對因子、水準及範圍做選擇，實驗者必須選定設計因子，並選取因子的變動範圍與實驗水準，接著選擇適當的反應變數，確定所選擇的反應變數能提供有價值的資訊。接下來，就是依據數據資料，選擇適當的實驗設計類型，而在執行實驗前，應先嘗試性的實驗少筆數據情況，以獲得實驗數據的正確性；完畢後，開始做資料的統計分析，包含變異數分析、迴歸分析、殘差分析等，這些將有助於了解反應變數與設計因子間的關係；若分析結果不符合實際現場操作現況，則需重新設計實驗，以確認實驗模型之正確性，最後再做追蹤與確認。

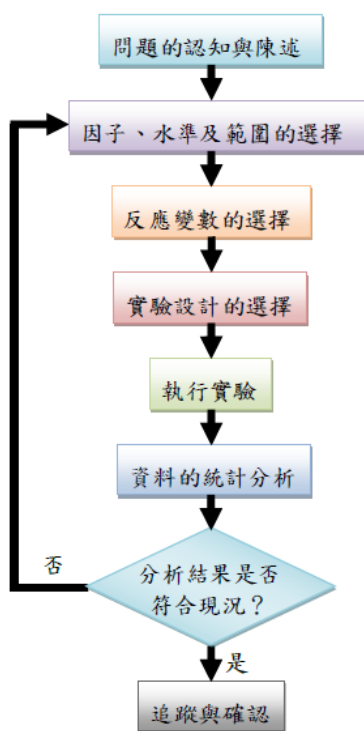


圖 2.9 實驗設計 7 大步驟

2.5 小結

綜合以上過去文獻回顧，不難發現實驗設計應用層面著實相當廣泛，無論在射出成型產業、化學工業產業、機械產業、食品加工產業等都有其應用蹤跡，而且對於提升各製程品質之成效亦相當顯著。在改善 EMI 製程品質中，大多數使用手法是從技術層面著手，像是於鍍膜前將基材做適當的前置處理，藉此提升薄膜附著能力；但從其產業及製程之背景描述中，不難發現 EMI 製程條件限制相當多，加上技術層面有其複雜性，所以要從製程工法上著手改善事實上是較有難度的。

在以不增加製程工法困難度及成本等眾多條件考慮下，利用統計學中之實驗設計手法儼然成為製程品質最佳化之最優選擇。故本研究將透過 DOE 手法，找出製程中最具影響力之參數，並加以分析應用，使製程參數達最佳化狀態，如此一來，將可有效控制濺鍍後產品的品質管控，在成本上亦可降低因為瑕疵品所帶來的費用，一舉數得。

第三章 研究方法

3.1 研究方法操作概念

本章針對本研究之研究設計與操作方法加以闡述，一開始先說明論文整體的研究設計流程，接著再針對本研究所使用的統計方法進一步解說。

下圖 3.1 為本研究之研究方法操作概念圖。首先利用 2^k 因子設計實驗並配置可行之實驗組合，投入至統計軟體中產生結果報表，並從迴歸分析報表中找出最佳子集合以篩選製程參數；完畢後，利用各類型殘差圖進行殘差分析，以及其模式之缺適性檢定，並修正變數範圍以精斂模型；之後再運用反應曲面法中之最陡上升法，來引導模型往正確方向收斂，並搭配使用中央合成設計方法，加入中心點、角點與軸點後重新配置實驗，找出反應曲面之極值點，再次修正實驗模型；上述步驟完成後，最後運用最佳化設計方式找出最佳之實驗參數組合，達到找出最佳值之目的。

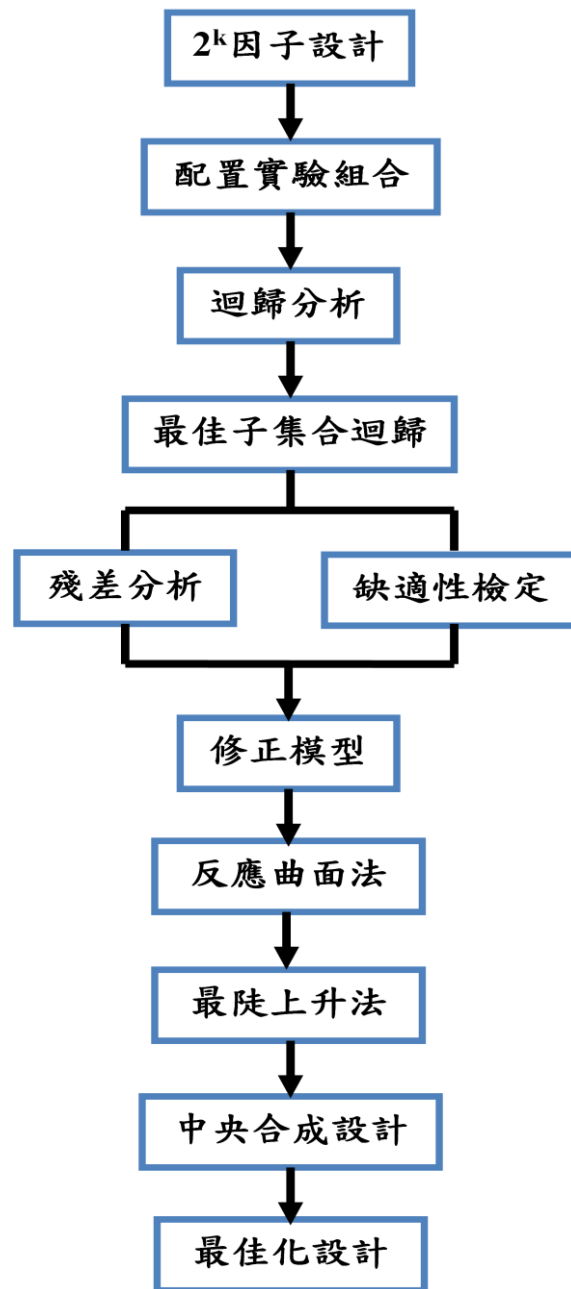


圖 3.1 研究方法操作概念圖

3.2 2^k 因子設計

3.2.1 不同 DOE 組合

DOE 種類相當繁複，諸如 2^k 全因子設計、 2^{k-p} 部分因子設計、反應曲面法、田口方法等等，為了配合不同 DOE 之資料類型與實驗目的，使用者將依據實驗之條件需求，選擇合適之 DOE 類型，常見之 DOE 類型如表 3.1 所示。

表 3.1 DOE 常見類型

實驗設計類型			
(1)	單因子實驗設計	(6)	三水準部分階層實驗設計
(2)	單因子區隔設計	(7)	三水準階層實驗設計
(3)	二因子實驗設計	(8)	田口方法(Taguchi Method ; TM)
(4)	二水準階層實驗設計	(9)	反應曲面法
(5)	二水準部分階層實驗設計		

一般而言，單因子實驗的情況在真實產業界中較少出現，大多數是屬於多因子實驗，所謂多因子實驗是研究者在一個實驗裡同時觀察兩個或兩個以上的自變項對一個依變項之影響的實驗而言(林清山，2002)；而林重新(2001)也認為多因子實驗設計就是探討兩個或兩個以上自變項對依變項的關係。自變項與依變項的關係可分成兩個層面來探討，一種為自變項單獨對依變項影響力作分析之主效應，另一種為交互作用效應，即自變項之間經過交互作用後對依變項所產生的影響力。

林清山(2002)認為採用多因子實驗設計有下列三個優點：

1. 除了可以考驗每一個自變項的主要效果之外，還可以探討自變項與自變項的交互作用效果。
2. 較為經濟。
3. 可以當作控制實驗誤差來源之用。

而各類型 DOE 之使用時機大致上可分成兩大階段，一類為初階之篩選階段，此階段之主要目的為找出真正影響製程之重要因素，避免過多不必要的條件干擾實驗結果；另一類為找出最佳化組合之優化階段，此階段即

是針對篩選過後之因素進行最佳化條件選定。各類型 DOE 之使用時機如下表 3.2 所示。值得注意的是，在選擇最佳組合方式上，除了須考慮主要因子與交互作用外，亦要考慮交互作用的顯著差異是否存在，若交互作用之顯著差異是存在的，則應選擇交互作用最佳水準組合，否則應選主要因子最佳水準組合。選擇方式如下圖 3.2 所示。

表 3.2 各類型 DOE 之使用時機

階段	使用時機	實驗設計組合
篩選階段	影響結果的原因有很多種，尋找哪些是真正原因？	2^{k-p} 、Plackett-Burman、 2^k <u>(要探討交互作用時使用)</u>
最佳化階段	針對真正原因進行最佳化條件選定。	3^k 、 3^{k-p} 、 2^k 加中心點、最陡上升法、反應曲面法、混合設計法 <u>(有限制條件時使用)</u>

(資料來源：林李旺，2009)

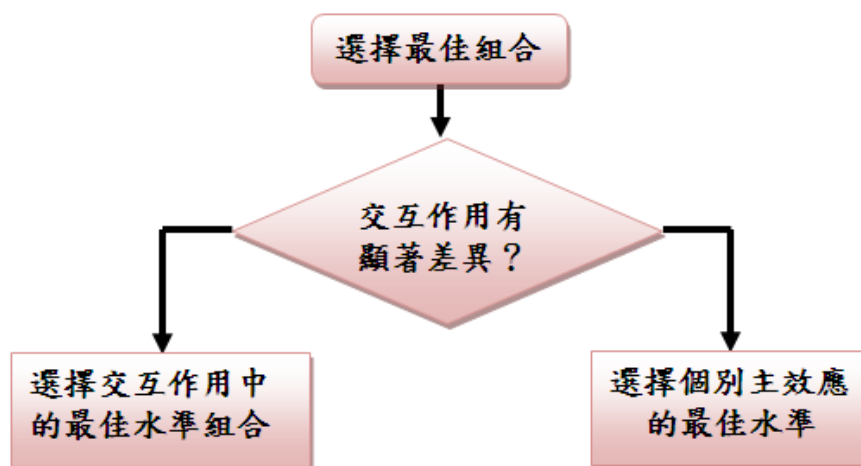


圖 3.2 選擇最佳組合方式

(資料來源：林李旺，2009)

3.2.2 2^k 因子設計

在一般 DOE 中，所有被考慮到會影響實驗結果的所有製程參數，稱之為因子，而每個因子所考慮的設計點，為因子的水準；在決定因子的個數以及因子的水準數後，可以用適當的方法列出實驗的處理組合，並進行實驗，做這樣的實驗，則稱之為因子實驗。

設計一個實驗能有效地探討因子的效用，這樣的設計一般稱之為因子設計，所以在一般的工業實驗上，因子的水準最常被設定為兩個水準，以符號表示為+1 和-1，這裡的兩個水準可以是質化的，如不同的兩部設備、不同的兩種操作等；亦可是量化的，如不同的壓力、不同的溫度等。關於實驗的配置，可以利用直交表來安排因子，當因子被適當的安排在直交表後，直交表上所有有被安排因子和交互作用的那些行所構成的矩陣，稱之為設計矩陣(黃世光，2000)。

因子設計之應用相當普遍，尤其是運用於多因子實驗中，並探討各因子對於反應值之綜合效應；其中 2^k 因子設計為一般常見之分析方法，屬於全因子設計，適合用於探討所有因子交互作用效應之情況。因子設計廣泛應用於研發工作，除了可用於產品與製程之設計外，亦可用來排除製程問題。 2^k 因子設計為 K 個因子各有 2 水準之狀況，包含 $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ 個觀測值，而水準可分為質化與量化兩種，像是溫度、時間等包含兩個實際數值的為量化水準；若是為兩部機器、兩位作業員等類型則屬於質化水準。

2^k 因子設計常應用於實驗初期階段，此種設計提供了在一次完整因子設計裡，可以研究 k 個因子的最小試驗次數，因此這種設計大量應用於因子篩選實驗中(黎正中、陳源樹譯，2008)。 2^k 因子設計的完整統計模型中含有 2^{k-1} 個效應，包含 k 個主效應、 $\binom{k}{2}$ 個二因子交互作用、 $\binom{k}{3}$ 個三因子交互作用，...，以及一個 k 因子交互作用。

2^k 因子設計的統計分析步驟如圖 3.3 所示。首先，須先估計因子效應，從中可以得知因子間之交互作用並了解改善反應之方向，提供初步資訊給實驗人員，並選擇包含主效果與交互作用之完整初步模型；接下來利用變異數分析檢驗主效應和交互作用之顯著性，分析完畢後，從完整模型中刪除不顯著之製程參數以收斂模型；精煉模型後，便可使用殘差分析來檢驗模型的適切性，若結果不如預期，則須再次重新檢驗並修正模型；上述步驟都完成後，即可利用實驗之圖示化結果做分析，包含交互作用圖、反應

曲面圖及等高線圖等等。

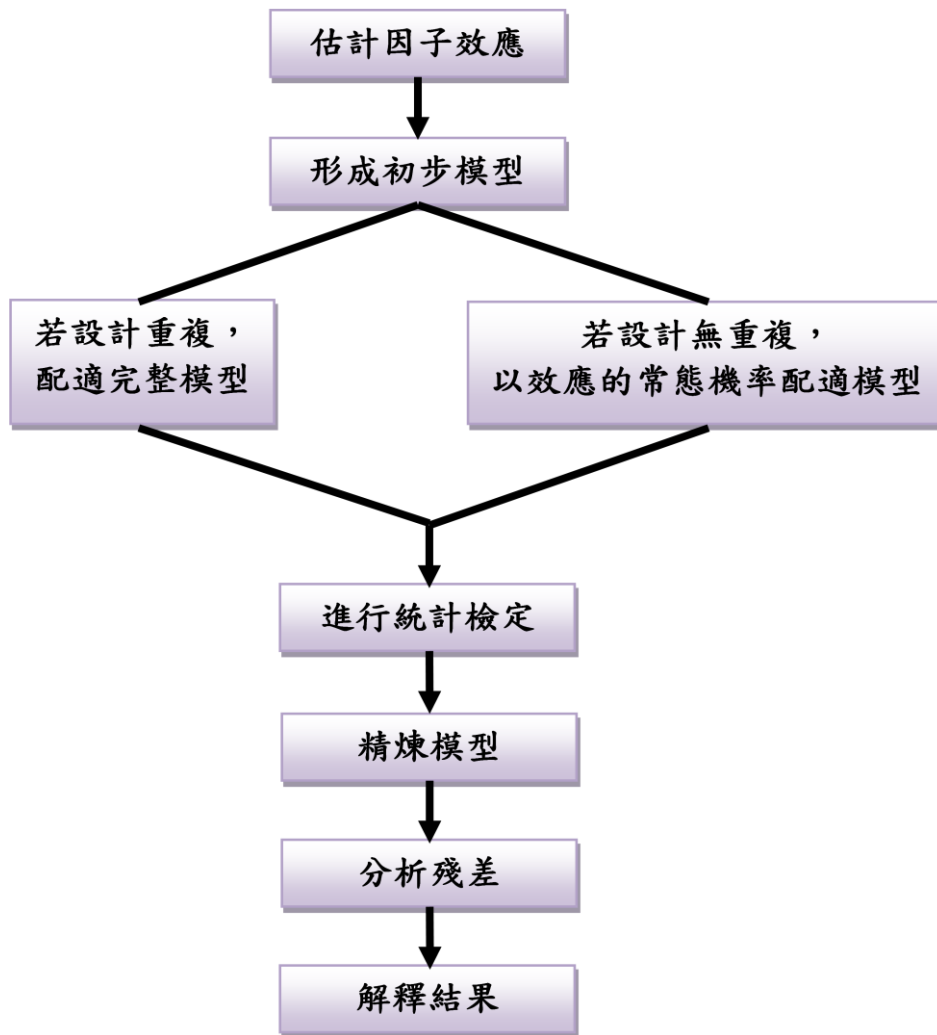


圖 3.3 2^k 因子設計分析程序

(資料來源：Montgomery, 2009)

3.2.3 加入中心點的設計¹

加入中心點的設計是一種在高低實驗水準之間加入中心點，以探討在高低水準之間是否存在非線性的反應值。在使用 2^k 因子設計時，一開始會假設因子效應為線性方程，但實際應用時，若有交互作用項被加入到主效應或一階模型中，模式會修正為：

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.1)$$

從上式 3.1 中可以得知反應函數之曲率模型，且這些曲率將導致交互作用項 $\beta_{ij} x_i x_j$ 而造成平面扭曲。

上式 3.1 中為一階模式，無法用來描述二階反應函數裡的曲率，故若需考慮二階效應之情況，其二階反應曲面模型為：

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \varepsilon \quad (3.2)$$

其中 β_0 表純二階或二次效應。

而增加中心點(Center points)至 2^k 因子設計中，讓 2^k 因子實驗提供防衛上式中二階效應曲率的保護，此時，還能允許產生一個獨立的誤差估計量，因為二水準之設計通常假設為直線關係，加入中心點即是在點 $x_i = 0 (i=1,2,\dots,k)$ 重複 n 次，便可看出兩點間是否存在曲線關係。中心點的個數一般以加入 3 至 5 個中心點為原則，利用在設計中心增加重複試驗的主要原因為增加中心點時，不會影響 2^k 因子設計中一般效應估計值。

加入中心點後除了可以探討在兩點間是否存在曲線關係外，還可因此增加實驗的自由度，使誤差分析更適切，避免因自由度不足而造成分析上的判斷風險；而自由度的多寡亦會影響到誤差均方(MS_{Error})分析，通常自由度越多，誤差均方分析越準確。以 2^2 因子設計加入 5 個中心點為例，如下圖 3.4 所示，在點(-,-),(+,-),(-,+),(+,+)各有一個觀測值，在中心點(0,0)有 n_c 個觀測值，而 n_F 為因子設計點之數目。

¹ 參考文獻：Montgomery, D.C., (2009), Design and Analysis of Experiments, 7th Edition

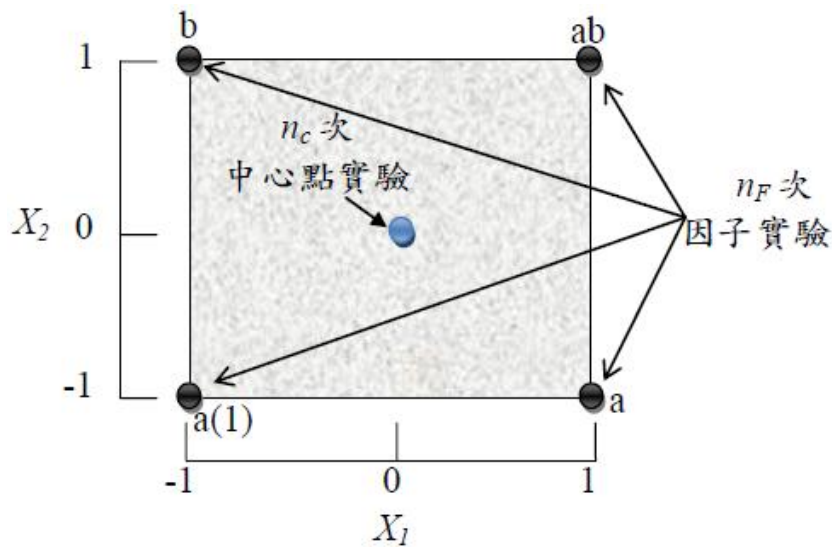


圖 3.4 2^k 因子設計加 5 個中心點示意圖

(資料來源：Montgomery, 2009)

加入中心點設計之使用時機，除了可應用於探討高低水準之間有無彎曲點之外，若不想使用三水準實驗，亦可採用加入中心點的方法，以避免實驗數量大幅度增加。中心點的應用相當廣泛，但使用時仍有需要注意之細節：

1. 對正在作業的製程實施因子實驗時，可以用目前的作業條件為設計的中心點，以確保實驗在作業人員熟悉之狀況下進行。
2. 以平常作業條件為因子實驗的中心點時，中心點的反應值可以用來粗略地檢查實驗是否有任何”不正常”的情況發生，因為中心點的反應值與例行製程的反應值十分相近。
3. 可以使用非隨機順序重複中心點的實驗，於整個實驗期間，分散中心點的實驗，可以粗略地檢查實驗時製造的穩定度。
4. 當製程變異之事前資訊不足時，可以先在中心點實驗兩三次，以提供變異的估計。若估計的變異是合理的，則繼續實驗；若估計的變異是不合理的大，則停止實驗。

3.3 迴歸分析

實驗因子可分成量化與質化兩大類型，量化因子的水準為數值尺度，而質化因子則為無法按照大小排列的因子。無論是哪種類型的因子，實驗者往往會希望發展出新的方程式，以完整描述出除了原始給定之水準外，亦可考慮到其他的反應變數，此類方程式為研究問題所建構出來的經驗模型，而迴歸分析(Regression Analysis)就是一般常用於配適經驗模型之方法。

迴歸分析是一種統計分析方法，經常用於解釋和預測二大方面，在解釋方面，可以從取得的樣本計算出迴歸方程式，再透過迴歸方程式得知每個自變數對依變數的影響力，找出最大的影響變數，以進行統計上和管理意涵的解釋；在預測上，由於迴歸方程式屬於線性關係，可以估算自變數的變動會帶給依變數的改變幅度，所以可使用迴歸分析做預測(蕭文龍，2009)。

3.3.1 迴歸分析介紹²

迴歸分析是用來研究兩個或兩個以上變數間的關係。此法的主要目的是建立一個迴歸模式，然後根據一個或多個自變數(Independent Variable)之值，來預測相依變數(Dependent Variable)或稱反應變數(Response Variable)之值。透過迴歸方程式，得到各自變數對應變數的影響力。若一迴歸模型之判定係數 R-Square 的值越高，則代表自變數對應變數的解釋能力越強。故迴歸模型是解釋統計關係中兩個基本要素的表示法，一種為反應變數隨著預測變數做系統性變動，另一種則表示資料點在統計關係曲線周圍散佈。

迴歸分析主要可以分為線性迴歸和非線性迴歸，當線性迴歸式只有一個獨立變數時，稱為簡單線性迴歸(Simple Regression)，若超過一個以上的獨立變數時，則稱為多元線性迴歸(Multiple Regression)。若迴歸模型無法呈現線性關係，如迴歸式中自變數具有多項式或交互作用項，亦即依變數Y與自變數X間無法表示為線性方程式，需以另種函數關係呈現。

簡單線性迴歸模型如下圖3.5所示，為探討單一自變數 x_i 對應變數 y_i 的預測過程，所有 y_i 之期望值均落在一直線上，其迴歸方程式為：

² 參考文獻：蕭文龍(2009)。多變量分析最佳入門實用書。台北市：基峰圖書。

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (3.3)$$

$$\text{且 } \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), i = 1, 2, \dots, n$$

其中 β_0 為常數項， β_1 為迴歸係數， ε_i 為殘差項。

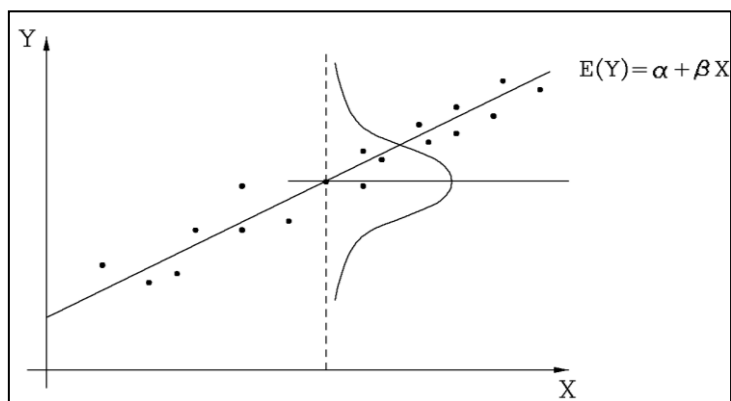


圖 3.5 簡單線性迴歸模型

(資料來源：謝佳琳，2009)

多元線性迴歸又稱複迴歸，是利用多個自變數 $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ 預測一個依變數 y_i 的過程，其迴歸方程式為：

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (3.4)$$

$$\text{且 } \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), i = 1, 2, \dots, n$$

其中 $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ 為自變數， y_i 為依變數， β_0 為常數項， $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 為迴歸係數， ε_i 為殘差項。多元線性迴歸使用的變數皆為量化數值，也就是說，依變數與自變數二者皆為計量的。

多元線性迴歸分析用多個自變數去解釋另一個依變數之迴歸分析，在實務上和依變數 y 有關的自變數可能很多，因此只用一個自變數的迴歸方程式來解釋依變數 y 的變異可能是不足夠的，所以在實務上通常會使用多個自變數來預測或解釋依變數 Y 。在意義上使用多變數具有以下二個優點(黃文隆、黃龍，2003)：

1. 增加模型可解釋部份，降低隨機誤差。
2. 避免對依變數 y 具有較大影響自變數的遺漏。

而在使用迴歸分析前，必須要確認資料是否符合迴歸分析的基本統計假設，否則，當資料違反迴歸分析的基本統計假設時，會導致統計推論偏

誤的發生。迴歸分析的基本統計假設有下列四項：

1. 線性關係：

依變數和自變數之間的關係必須是線性，也就是說，依變數與自變數存在著相當固定比率的關係，若是發現依變數與自變數呈現非線性關係時，必須先將變數轉換成線性關係，再進行迴歸分析。

2. 常態性：

若資料呈現常態分配，則誤差項也會呈現同樣的分配，當樣本數夠大時，利用直方圖來做檢查；若是樣本數較小時，則使用常態機率圖。

3. 誤差項的獨立性：

自變數的誤差項，相互之間應該是獨立的，也就是誤差項與誤差項之間沒有相互關係，否則，在估計迴歸參數時，會降低統計的檢定力，可以透過殘差的圖形分析來檢查。

4. 誤差項的變異數相等：

自變數的誤差項除了需呈現常態性分配外，其變異數也需相等，若變量數不相等，則會導致自變數無法有效的估計應變數。

3.3.2 最佳子集合迴歸

最佳子集合迴歸是迴歸分析中篩選變數的方法之一。藉由對迴歸式中所有自變數對依變數之關係進行模式組合，估算所有可能之迴歸模式的績效值，相互比較後，選取績效最佳之迴歸變數組合，達到篩選變數的效果。

於迴歸模式之績效指標選擇上，R-Square可代表依變數y於總變異中被自變數 x_1, x_2, \dots, x_k 解釋之百分比例，也就是效應的平方和(SS-Sum of Square)占總平方和(Total SS)之百分比，為模式配適度(Goodness of Fit)之重要指標，其公式如下：

$$R^2 = \frac{SSR}{SSTO} = 1 - \frac{SSE}{SSTO}, \quad 0 \leq R^2 \leq 1 \quad (3.5)$$

其中SSTO為總差異平方和，SSR為組間平方和。

在多元迴歸模式中，一般皆認為R-Square越大則模式越好。事實上，判定係數R-Square越大，並不一定表示該模式越好，因為在式3.5中，自變數每多放一個，則其誤差平方和必定會降低，而造成R-Square增加的結果。因此，若研究者放入一些毫無意義的自變數時，必定可使R-Square增加，而誤認該變數或該模式是有意義的。

為了修正上述缺失，就必須考慮以修正後判定係數(Adjusted)R-Square，來檢驗該模式是否良好，R-Sq(adj)就是將自由度納入計算。其公式定義為：

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SSE(n-1)}{SSTO(n-k-1)} = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-k-1} \right) \quad (3.6)$$

或者為：

$$R_{adj}^2 = \{1 - [(\text{誤差 SS}/\text{誤差自由度})/(\text{總 SS}/\text{總自由度})]\} \times 100\% \quad (3.7)$$

R-Sq(adj)可以視為比R-Sq還要保守之估計，因為當不重要之因子也被納入變異數分析時，R-Sq會持續增加，所以可以利用自由度來調整R-Sq，故本研究選擇修正判定係數R-Sq(adj)做為迴歸模型之績效指標。

3.3.3 變異數分析³

二因子變異數分析事實上是二個單因子變異數分析的組合，可確定二自變項是否彼此獨立(王保進，2004)。

若只比較兩種情形之平均數差異，可以使用 t 檢定，當要比較的情形不只兩種時，就可以使用變異數分析(ANalysis Of Variance；ANOVA)，所以 ANOVA 適合用於多重比較中。例如，在研發設計或製造階段時，想要知道改變前後產品品質或性能的平均數有無改善，此種屬兩種情形之比較，不適用變異數分析。而在多種情形需要進行比較時，若使用 t 檢定，將會增加型 I 誤差的機率。

實際應用上，ANOVA 仍無法完全取代 t 檢定，因為使用 t 檢定時，必須先知道所要比較之兩母體的變異數是否相等，而 ANOVA 在母體變異數不相等的情況下仍可做分析。

利用統計軟體產生之迴歸分析 ANOVA 表如表 3.3 所示，經由編碼(Coded units)的方式計算出迴歸係數(Coefficient)、迴歸係數的標準誤(SE Coef-Standard of Coefficient)、t 分配的值(T)及 t 分配值的機率值(P)。主要檢定之數值為 P 值，當 $P < 0.05 = \alpha$ 時，則該變數有顯著差異。

表 3.3 迴歸分析之 ANOVA 表示意圖

The regression equation is				
$y = -6.32 - 9.26A + 0.0158B + 0.0135C + 4.24D - 0.0061E + 0.65F$				
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-6.315	8.728	-0.72	0.493
A	-9.256	9.080	-1.02	0.342
B	0.01583	0.02593	0.61	0.561
C	0.013531	0.009211	1.47	0.185
D	4.237	8.410	0.50	0.630
E	-0.00614	0.01326	-0.46	0.657
F	0.646	2.671	0.24	0.816
S=1.06176		R-Sq=54.2%		R-Sq(adj)=15.0%

³ 參考文獻：林李旺(2009)。快速精通實驗設計邁向 Six Sigma 的關鍵方法。台北縣：全華圖書。

3.3.4 殘差分析

判定假設的正確性，先假定迴歸模型的假設是正確，然後再利用現有的資料去驗證其正確性，此現有的資料就是殘差，因為所有變化的資料均在殘差內，所以利用分析殘差的結果來判斷假設的正確性是合理可行的，稱之為殘差分析。做殘差分析的同時，必須了解到即使所有的假設均通過驗證，也不能完全斷言迴歸模式是正確無誤，而僅能表示以現有的資料，並不能判定其不合理(謝佳琳，2009)。

換言之，在迴歸模式中的殘差值，即代表觀察值與期待值之差異，當殘差值越大時，表示散佈情況越大。迴歸模式中的直線為期待值的集合，是最具代表性之直線，且不同的直線會有不同的截距與斜率，其殘差值也會不同。而迴歸分析的概念即是將殘差最小化，也就是最小化估計值與真實值之間的差異。

檢定殘差獨立性檢定方法為：

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (3.8)$$

其統計量的範圍介於 0 到 4 之間，若接續之殘差值都很接近，屬正自相關，則統計量較小；反之，若接續之殘差值差距差異很大，為負自相關則統計量會較大。一般而言統計量會落在 2 到 2.5 之間，表該模型無一階自相關。

殘差有三種假設前提(林李旺，2009)：

1. 殘差具備常態性，即殘差是以 0 為中心的常態分佈，在殘差常態機率圖上要接近一條線；而在殘差直方圖上則要呈中間高兩邊低且左右對稱。
2. 殘差具備獨立性，即殘差的分佈是隨機且混亂的，殘差不會隨著實驗的順序而有固定的趨勢或形狀。
3. 殘差變異數具備一致性，即殘差在對應的數值上具備同等大小，在殘差的配適圖中，殘差數據點接近長矩形，就符合殘差變異數具備一致性或均勻性之原則；若殘差數據點呈喇叭形，則不符合。

所以在分析變異數時要同時分析殘差，當殘差不能符合三個假設前提時，變異數分析的正確性將會產生疑問。此時可利用數據轉換的方式，將反應值做轉換，以查證殘差的分布狀況，或是修正分析模型。

3.3.5 缺適性檢定⁴

在 3.2.3 節中得知若 2^k 因子設計加入中心點，則模型中會產生純實驗之誤差估計值，因此，可將殘差平方與 SS_E 分成兩部分：

$$SS_E = SS_{PE} + SS_{LOF} \quad (3.9)$$

其中 SS_{PE} 為純誤差平方和， SS_{LOF} 為缺適(Lack of fit)平方和。

同樣地，此概念亦可套用於迴歸分析模式中，假設在迴歸變數 $x_i, i=1,2,\dots,m$ 之下有 n_i 個反應的觀測值， y_{ij} 表 $x_i, i=1,2,\dots,m$ 的第 j 個反應觀測值，共有 $n = \sum_{i=1}^m n_i$ 個觀測值，故將第 (ij) 個殘差寫成：

$$y_{ij} - \hat{y}_i = (y_{ij} - \bar{y}_i) + (\bar{y}_i - \hat{y}_i) \quad (3.10)$$

其中 \bar{y}_i 為在 x_i 的 n_i 個觀測值的平均值。將上式 3.10 的兩邊平方後對 i 和 j 做加總得到：

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.11)$$

式 3.11 中，等式左側為一般的殘差平方和，等式右側分別為純誤差及缺適性。常見之純誤差平方和為：

$$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (3.12)$$

上式 3.12 是經由計算在 x 之各個水準下，重複觀測值的校正平方和，並對 x 的 m 個水準加總而得。由於在每個 x_i 水準下的純誤差含有 $n_i - 1$ 個自由度，故純誤差平方和之總自由度為：

$$\sum_{i=1}^m (n_i - 1) = n - m \quad (3.13)$$

而缺適平方和為：

$$SS_{LOF} = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.14)$$

即為於每個 x 水準下，平均反應 \bar{y}_i 與所對應配適值間的差之加權平方和。

⁴ 參考文獻：Montgomery, D.C., (2009), Design and Analysis of Experiments, 7th Edition

若配適值 \hat{y}_i 很接近所對應之平均反應 \bar{y}_i ，表迴歸函數為線性模式；若 \hat{y}_i 與 \bar{y}_i 差異很大，即迴歸函數可能為非線性模式。由於必須估計 p 個模型參數，所以 SS_{LOF} 剩餘 $m-p$ 個自由度。

缺適性之檢定統計量為：

$$F_0 = \frac{SS_{LOF} / (m-p)}{SS_{PE} / (n-m)} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \quad (3.15)$$

MS_{PE} 之期望值為 σ^2 ，而 MS_{LOF} 之期望值為：

$$E(MS_{LOF}) = \sigma^2 + \frac{\sum_{i=1}^m n_i \left[E(y_i) - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right]^2}{m-2} \quad (3.16)$$

若迴歸函數為線性，則期望值為 $E(MS_{LOF}) = \sigma^2$ ，統計量 F_0 依循 $F_{m-p, n-m}$ 分配；若為非線性模式時，則期望值為 $E(y_i) \neq \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$ ，且 $E(MS_{LOF}) > \sigma^2$ ，其統計量為 $F_0 > F_{\alpha, m-p, n-m}$ 。所以要檢視模型之缺適性，需先計算檢定統計量 F_0 。

故在實驗過程中，會利用變異數分析表中缺適性欄位之 P 值，檢驗是否有缺適性存在，當 P 值小於 0.05 時達顯著水準，即代表模型中存在缺適性，所以此模式不完全符合要求，須修正模型至缺適性之 P 值大於 0.05 為止。

3.4 反應曲面法

3.4.1 反應曲面法簡介

反應曲面法是一種進階之 DOE 技術，可用於最佳化產品或製程，此法集結了數學應用、實驗設計與統計分析概念，主要用來探討反應值與輸入參數之間的數學模式關係，其模型可用反應曲面來建構。換言之，RSM 即為使用最少的模擬次數，來找到反應曲面之極值點，及其對應的輸入參數設定。

RSM 適用於實驗後期做為探討變數之用，實驗初期應先利用低解析度之 DOE 方式來篩選變數，由於 RSM 使用已經過篩選之顯著因子來做分析，所以可以避免因變數數量龐大而造成實驗結果之正確性受影響。RSM 之設計概念整理成表 3.4：

表 3.4 RSM 設計概念

RSM 設計值	定義
反應值 y	應變數，及品質特性。
獨立變數	自變數，及品質因子。
反應曲面	以獨立變數為變數，以反應為函數值所構成之曲面，用以表達反應與獨立變數間的關係。
等高線圖	在以獨立變數為變數之平面中，將具有相同反應之點連線即得等高線。以一組等高線來表達反應與獨立變數間的關係之圖即為等高線圖。

(資料來源：葉怡成，2005)

利用 RSM 做實驗因子必須是連續型變數，假設影響反應值 y 之輸入參數為 x_1, x_2, \dots, x_k ，則透過 RSM 建構出來的關係函數 f 使得：

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \quad (3.17)$$

其中 ε 為反應變數的誤差，而 f 所代表的曲面即為反應曲面。一般探討的反應曲面都是只擁有一個整體極大值或極小值的曲面，如下圖 3.6 所示(賴柏志，2010)。

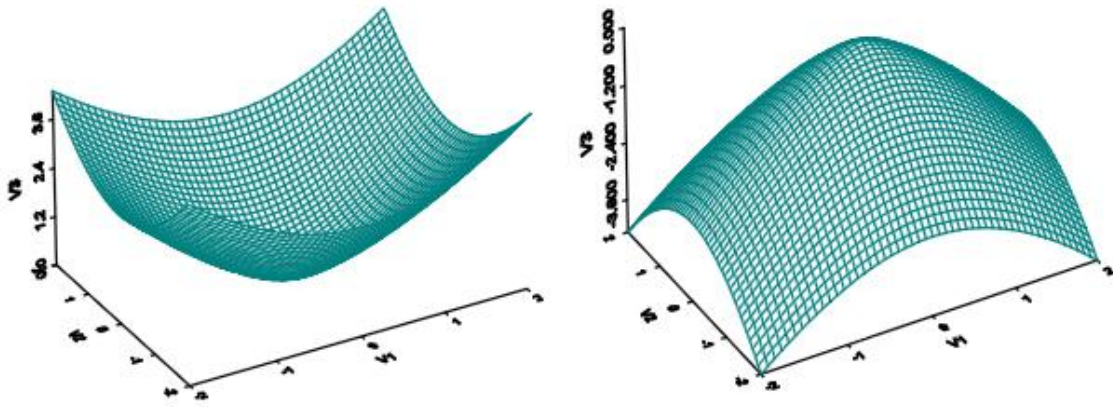


圖 3.6 左圖為一個極小值曲面；右圖為一個極大值曲面

(資料來源：賴柏志，2010)

RSM 是否存在曲率(Curvature)通常會用二階迴歸模型來模擬實驗反應值，所有的理論基礎是主效應及二階效應可充分表現出反應函數之變化，以一個三因子實驗設計為例，其二階反應函數為：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \quad (3.18)$$

其中 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 為線性主效應係數， $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ 為二階主效應係數， $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ 為交互作用效應係數。

應用 RSM 於處理未知函數曲面的情況中，利用部分因子設計或特殊反應曲面設計，可有效降低實驗次數，以較少成本與時間並獲得有效資訊；除此之外，RSM 亦可經由分析與配適模式來研究因子間的交互作用，進而討論多因子對反應變數影響程度；同時利用配適反應方程式產生反應曲面圖及等高線圖，得最佳反應值與最佳之操作條件。

3.4.2 最陡上升法

反應曲面法不是在實驗初期使用，應是在實驗後期須找出最佳反應值之因子水準範圍時使用。實驗初期應先篩選因子，避免過多不必要因子影響實驗結果，找出最具影響力之因子組合後，再引導實驗因子水準找出最佳反應值。找尋最佳反應值時，系統初始條件設定值通常距離真正的最佳反應值有一段距離，為了能快速達到最佳反應值之鄰近區域，將利用最陡上升法指出正確之攀爬方向，循序往上爬升，換言之，最陡上升法即為找出反應變數增加最快之方向。

最陡上升法所配適之一階模型為：

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i \quad (3.19)$$

沿著最大反應變數逐次移動，直到反應值無法再改善為止，即找出反應極大值，其中，前進步伐的決定並非固定不變，可以根據實驗情況或經驗值決定，接著以此組操作水準為新的實驗中心點，並重複實驗步驟，往最佳反應曲面的方向逼近，並且執行線性模式之缺適性檢定，一旦發現一階迴歸模型不適合時，表示已接近最佳點，此時應採用更複雜的數學模式來進行分析。

使用最陡上升法之主要目的是找出此一階模型的最陡上升方向，也就是斜率最大的方向，稱之為最陡上升路徑(Path of Steepest Ascent)，以符號 $\lambda(\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_k)$ 表示。下圖 3.7 中原先反應值 \hat{y} 呈現遞增現象，但是在 (x'_1, x'_2) 點後反應值開始遞減，故 (x'_1, x'_2) 成為新的中心點(蘇聖凱，2005)。

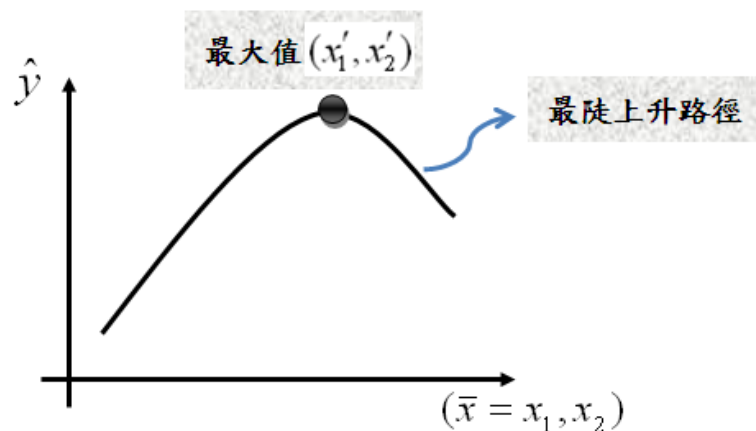


圖 3.7 最陡上升路徑尋找下一個中心點的過程

(資料來源：賴柏志，2010)

一階反應曲面也就是 \hat{y} 的等高線，為一系列之平行直線，如下圖 3.8 所示，最陡上升方向為 \hat{y} 增加最快的方向，這個方向是平行於所配適的反應曲面之垂直方向，也就是最陡上升路徑。因此，沿此路徑之步伐是成比例於迴歸係數 $\hat{\beta}_j$ 。重複上述步驟，直到反應值不再增加，便可找出最佳反應值。

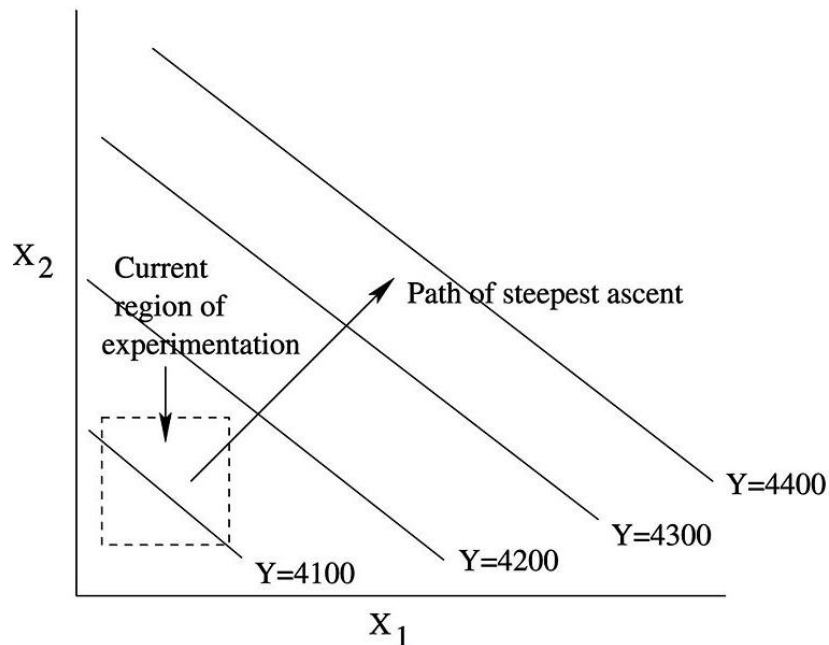


圖 3.8 一階反應曲面和最陡上升路徑
(資料來源：Montgomery, 2009)

3.4.3 中央合成設計⁵

中央合成設計實驗(Central Composite Design; CCD)適用於二階模式配適，一般而言，CCD 即於設計實驗時，加入了中心點、角點(Corner points)及軸點(Axial points)使實驗考慮更為周全，而各點的定義如下表 3.5 所示。在實際使用上，通常 CCD 會包含一個 2^k 因子設計， $2k$ 個軸點試驗，和 n_c 個中心點試驗。一個 CCD 通常是經由逐次實驗方式，使用 2^k 設計來配適一個一階模型，此模式含缺適性，之後再增加軸點試驗使得二次項納入模型中，CCD 中有兩個參數是必須指定的，即從設計中心到軸點的距離 α ，以及中心點個數 n_c 。

表 3.5 CCD 各點總合說明

CCD	編碼座標	定義
中心點	$(0,0,\dots,0)$	中心點個數大於 1，可以估計出純誤差(Pure Error)，並做缺適性檢定(Lack Of Fit)。
角點	$(\pm 1,\pm 1,\dots,\pm 1)$	中央合成設計的基礎是二水準全因子，或解析度為 V 以上的部分因子設計，此成分提供線性主效應及所有二因子交互作用效應的估計。
軸點	$(0,\pm\alpha,0,\dots,0)$	軸點為獲得所有二次方(Quadratic)主效應的估計，當 $\alpha > 1$ 時，可以計算獲得更高次曲率效應的估計。

以 $k=2$ 之 2^2 因子設計為例，圖 3.9 為 2^2 以編碼水準構成之圖形，圖形中 4 個落於角落的點即為角點。若 $k=3$ ，則其 CCD 圖如下圖 3.10 所示，為一立方體圖形。

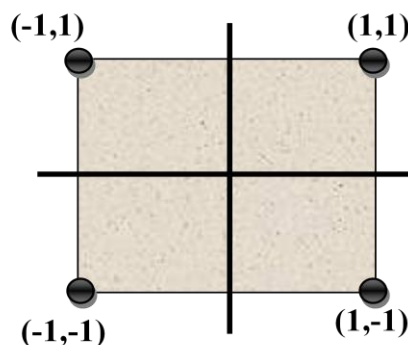


圖 3.9 2^2 因子設計

⁵參考文獻：林李旺(2009)。快速精通實驗設計邁向 Six Sigma 的關鍵方法。台北縣：全華圖書。

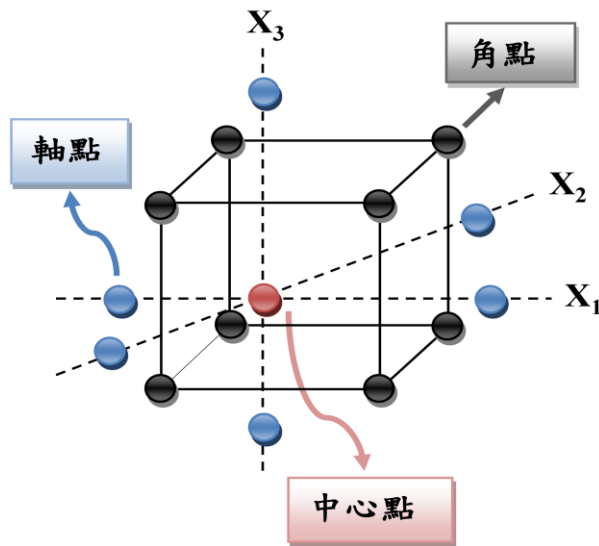


圖 3.10 2^3 因子之中央合成設計

CCD 必須至少含三個水準，下圖 3.11 為 $\alpha=1$ 的 CCD 圖示，是由 2^2 因子設計加上中心點及軸點所構成，一般中心點以加入 3 至 5 個為原則，當 $\alpha=1$ 時，只構成三個不同水準之面向中心的設計；若使 $\alpha=\sqrt{2}$ ，則會構成如圖 3.12 之 CCD 圖示，將產生五個不同水準。

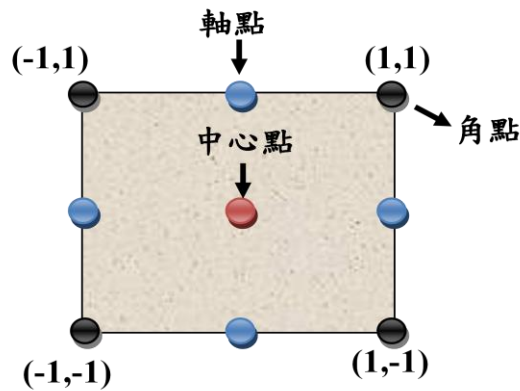


圖 3.11 $\alpha=1$ 中央合成設計

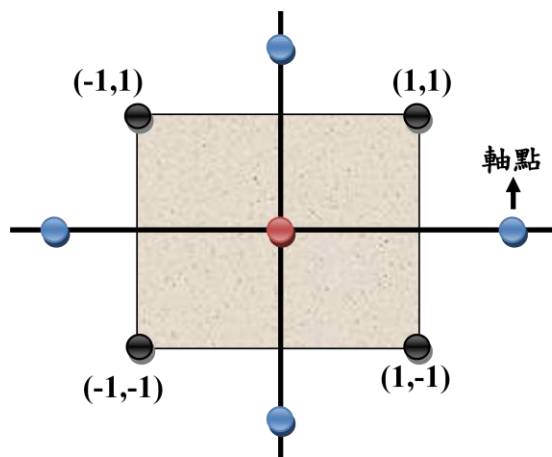


圖 3.12 $\alpha=\sqrt{2}$ 中央合成設計

從上述 2^2 因子設計中，可以得知選擇不同之 α 值會決定 CCD 是否存在旋轉性質；旋轉性的 α 值與設計因子部分的點數有關，當 $\alpha = (n_f)^{1/4}$ 時就會產生可旋轉之 CCD，其中 n_f 為設計因子部分點數。旋轉性屬球面性質，若從 CCD 預測變異數觀點來看 α 值，則 α 值最佳選擇為 $\alpha = \sqrt{k}$ ，這種設計便稱之為球面 CCD，因為所有因子與軸的點都落在半徑為 \sqrt{k} 的球體球面上 (黎正中、陳源樹譯，2008)。

3.4.4 最佳化設計⁶

Derringer and Such(1980) 提出聯立最佳化技術 (Simultaneous Optimization Technique)，可用來處理多重反應最佳化之問題，此方法是利用願望函數(Desirability Function)做為判斷依據。願望函數可視為達成目標的機會，願望函數介於 0 到 1 之間，越接近 1 表示達成反應值的機會越大。

首先，每一個反應值 y_i 轉換成個別願望函數值 d_i ， $0 \leq d_i \leq 1$ ，若反應值 y_i 表目標，則 $d_i = 1$ ，反之， y_i 超過可接受區域，則 $d_i = 0$ 。選擇設計變數，最大化總願望 D 為：

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdots d_m)^{1/m} \quad (3.20)$$

其中 m 為反應值 y_i 個數。

而個別願望函數中，分成望大與望小兩種反應值，其圖形如下圖 3.13 與圖 3.14 所示。若望大反應值 y 的目標值為 T ，則：

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & L \leq y \leq T \\ 1 & y > T \end{cases} \quad (3.21)$$

權數 $r = 1$ ，願望函數為線性；當 $r > 1$ 時，比較重視接近 T 的 y 值；而當 $0 < r < 1$ 時，則比較不重視接近 T 的 y 值。若望小反應值 y 的目標值為 T ，則：

$$d = \begin{cases} 1 & y < T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r & T \leq y \leq U \\ 0 & y > U \end{cases} \quad (3.22)$$

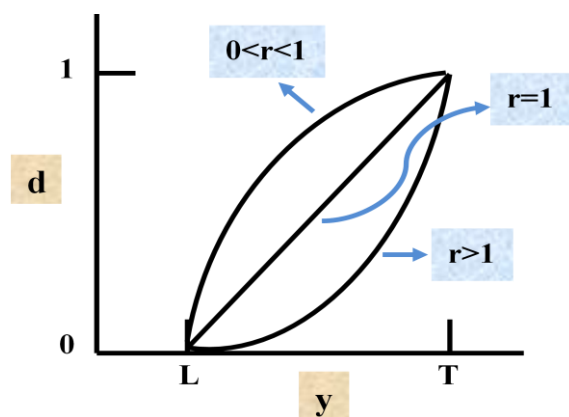


圖 3.13 望大反應值 y 的目標為 T

⁶ 黎正中、陳源樹譯(2008)。實驗設計與分析。台北縣：高立圖書。

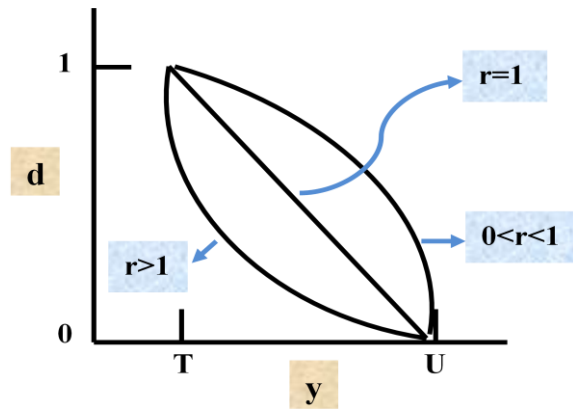


圖 3.14 望小反應值 y 的目標為 T

若將兩種願望函數結合，假設目標在 L 與 U 之間，其圖形如圖 3.15 所示，則願望函數為：

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^{r_1} & L \leq y \leq T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^{r_2} & T \leq y \leq U \\ 0 & y > U \end{cases} \quad (3.23)$$

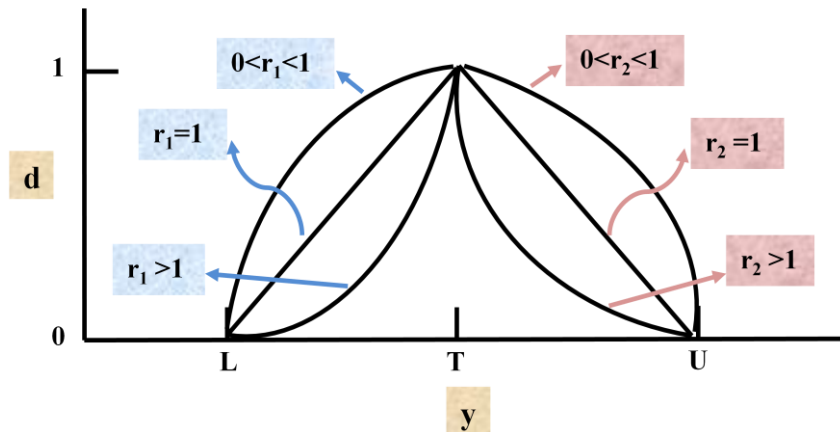


圖 3.15 願望函數望反應值 y 的目標為 T

第四章 實證結果與分析

4.1 實驗流程說明

本研究之實驗流程共分成六大步驟：(1)最佳子集合迴歸 (2) 2^k 因子設計 (3)RSM 一階模式配適 (4)RSM 二階模式配適 (5)最佳化趨勢分析 (6)參數最佳化。實驗流程架構如圖 4.1 所示。

首先，利用廠商提供之實際濺鍍製程參數資料，找出最佳子集合以篩選製程參數，並對產生之結果報表做迴歸及殘差分析；再利用篩選過後之顯著製程參數做 2^k 因子設計，重新配置實驗，並分析各參數之交互作用狀況；接下來，進入最佳化濺鍍製程階段，利用 RSM 先做一階模式配適，運用最陡上升法找出極值之正確搜尋方向，達到縮小參數設定範圍以收斂模型，並重新配置及分析實驗結果；完畢後，再進行 RSM 之二階模式配適，利用中央合成設計方法，加入中心點、角點及軸點於實驗中，探討研究實驗的範圍是否存在曲率，使實驗考慮更為周全；上述實驗步驟完成後，即可產生反應曲面圖與等高線圖，分析各顯著參數之最佳化趨勢；最後，進一步設定各參數目標期望值範圍，依據結果報表之願望函數值，產生最佳化參數值與反應值。

在本研究中所使用之實驗設計應用軟體為 Minitab，Minitab 是一套常用之統計套裝軟體，因為功能齊備且擁有強大的資料分析工具，再加上淺顯易懂的使用介面，所以至今仍被廣泛運用於品質分析上。而實驗六大步驟之操作過程將於 4.2 節至 4.7 節中，一一做詳細描述及結果分析。

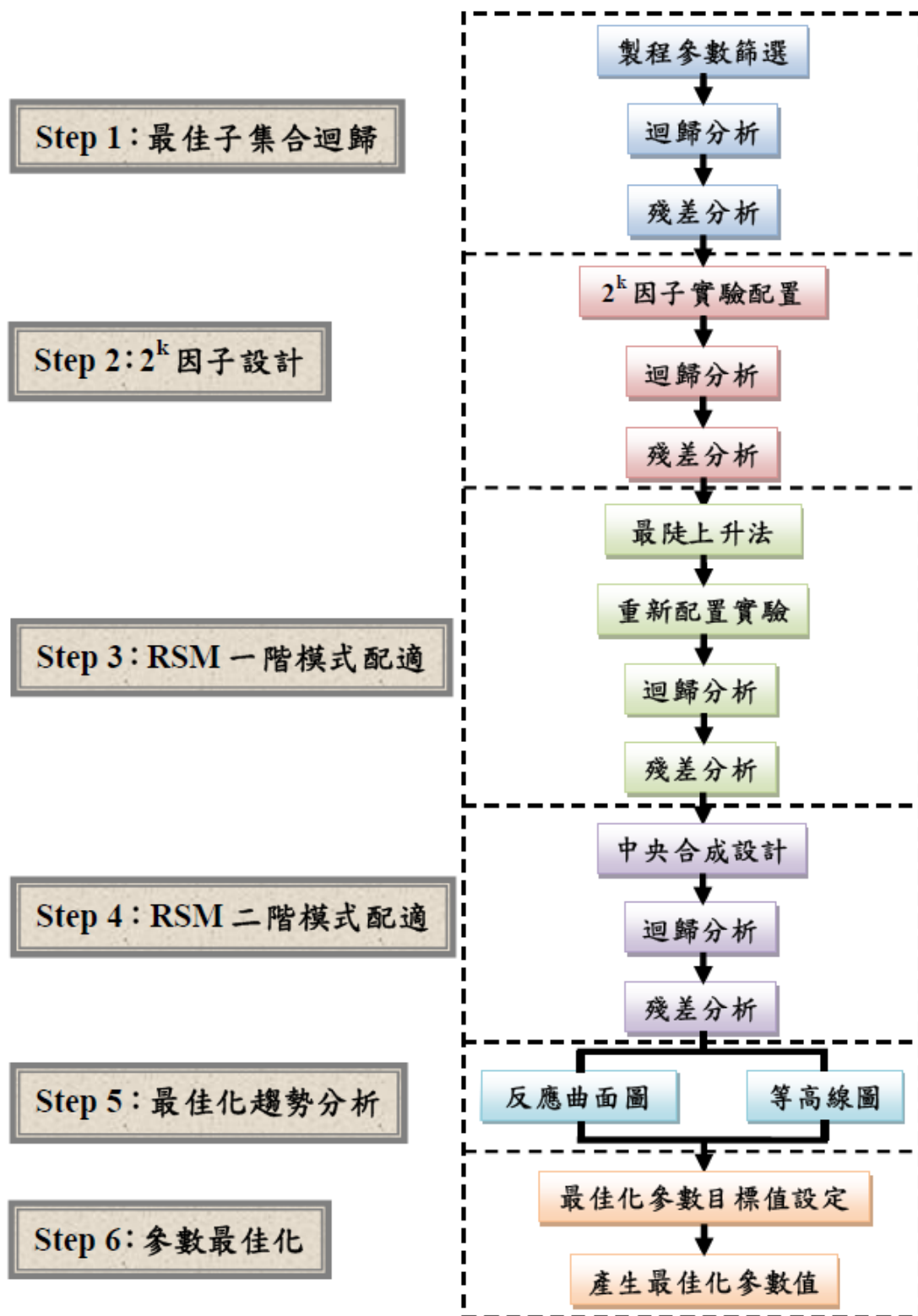


圖 4.1 實驗流程架構

4.2 最佳子集合迴歸

4.2.1 製程參數篩選

本研究之初始參數選擇，除了利用過去文獻探討整理出影響製程之可能參數外，並與實際現場機台操作人員進行討論，決定出五個主要影響濺鍍製程之參數，這些參數分別為：A：功率(Power)，B：氬氣進氣流量(Flow Rate)，C：電壓(V)，D：電流(I)，E：偏電壓(Vp)；而反應值 Y 為百格測試值(DB 值)。

在濺鍍過程中陽極會導入電壓(V)與電流(I)，陰極則導入偏電壓(Vp)，如此一來便能使電漿中之正離子撞擊陰極靶材，進而沉積於陽極之基材上，而電壓與電流相乘後即為功率(Power)；濺鍍完畢的產品會利用百格刀進行百格測試進而獲得 DB 值，這個測試主要目的是在檢驗薄膜濺鍍於 NB 塑殼之附著能力，利用百格刀於塑殼表面作 90 度交叉切割後，劃出規律的網狀方格後，觀察薄膜剝落的情況，來判定濺鍍後產品之附著能力優劣。

本實驗利用實地蒐集之 51 筆製程參數與反應值數據(附錄 A)，進行參數篩選，以找出最具影響力之製程參數。運用歸迴分析中之最佳子集合迴歸來找出顯著製程參數，下表 4.1 為五個初始參數之最佳子集合迴歸結果報表，因 R-Sq(adj)為評估模型配適程度之指標，且其值可視為比 R-Sq 還要保守之估計，故利用修正判定係數 R-Sq(adj)做為篩選最具影響力之參數依據。從表中可看出 R-Sq(adj)最高為 62.3%，即 A、B、C 參數組合，所以初始參數經過篩選後，判定 A：Power、B：Flow Rate、C：V 為顯著參數。

表 4.1 五參數之最佳子集合迴歸

Best Subsets Regression: Y:DB值 versus A:Power, B:Flow Rate, ...										
Response is Y:DB值										
Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	Mallovs	C-p	S	B : P I o w : P o w e r	B : F l o w : R a t e	C : V	D : I	E : V p
1	50.9	49.9	16.4	1.0943						
1	22.9	21.3	52.6	1.3717	X					
2	59.2	57.5	7.7	1.0080	X	X				
2	56.2	54.4	11.6	1.0444	X	X				
3	64.5	62.3	2.8	0.94997	X	X	X			
3	60.8	58.3	7.7	0.99894	X	X	X			
4	64.9	61.8	4.4	0.95549	X	X	X	X		
4	64.5	61.5	4.8	0.95999	X	X	X	X		
5	65.1	61.3	6.0	0.96219	X	X	X	X	X	

同時亦可產生下表 4.2 之迴歸分析表，迴歸分析表中包含初始參數之迴歸方程式及各參數 P 值，P 值是用來判斷該參數是否顯著之依據，。從表中可清楚看出最佳子集合篩選後之顯著參數 A、B、C 之實際狀況，A、

C 之 P 值皆小於 0.05，而 B 之 P 值為 0.07 只略大於 0.05，故選擇 A、B、C 為顯著之製程參數。

表 4.2 五參數之迴歸分析表

Regression Analysis: Y:DB值 versus A:Power, B:Flow Rate, C:V, D:I, E:Vp					
The regression equation is					
Y:DB值 = - 1.53 - 10.1 A:Power + 0.0196 B:Flow Rate + 0.0116 C:V + 2.33 D:I					
- 0.00601 E:Vp					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-1.533	4.097	-0.37	0.710	
A:Power	-10.114	3.813	-2.65	0.011	
B:Flow Rate	0.01965	0.01059	1.86	0.070	
C:V	0.011632	0.004241	2.74	0.009	
D:I	2.334	3.882	0.60	0.551	
E:Vp	-0.006011	0.006764	-0.89	0.379	
S = 0.962194 R-Sq = 65.1% R-Sq(adj) = 61.3%					

接下來判定假設之正確性，先假定迴歸模型假設是正確的，然後再利用現有的資料去驗證其正確性，此現有資料即為殘差，因為所有變化的資料均在殘差內，所以利用分析殘差的結果來判斷假設的正確性是合理可行的。下圖 4.2 為五個初始製程參數之四合一殘差圖，左邊上、下兩個圖分別為常態機率圖與直方圖，用來檢測殘差的常態性；右上圖為殘差配適圖，用來檢測殘差之變異數一致性；而右下圖為隨實驗順序之殘差圖，檢測殘差獨立性。左上圖之殘差點大多數落在斜直線上，左下直方圖中間多兩邊少，近似鐘形，資料呈現常態分配，所以從這兩個圖形可知殘差符合常態性；右上配適圖的殘差點分布並沒有極端的產生類似喇叭形狀，而是呈現較無規律的分佈，因此符合殘差變異數一致性，參數值可有效估計反應值；而右下圖殘差點的分布為混亂、隨機狀，表殘差不隨實驗的順序有固定的趨勢，也就是誤差項與誤差項之間沒有相互關係，故殘差具備獨立性。由殘差分析可知現有資料之結果都接近統計上對殘差的三種假設，故迴歸模型擁有高度正確性。

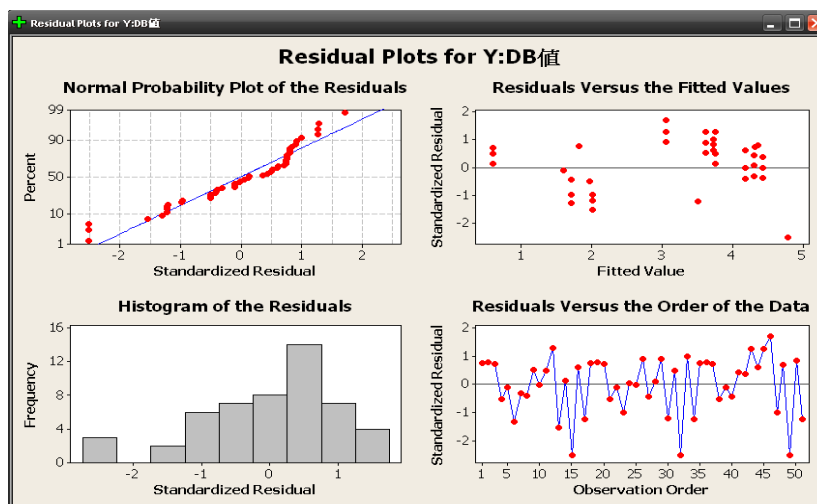


圖 4.2 五參數之四合一殘差圖

4.2.2 顯著參數組合分析

參數篩選完畢後，將不顯著之製程參數設定值刪除，縮減成三個參數(表 4.3)，並利用這三個顯著參數之原始 51 筆資料進行迴歸分析，如下表 4.4 所示。從迴歸分析表中可得迴歸方程式為：

$$Y = -0.75 - 8.10A + 0.0260B + 0.0103C$$

$$Y = -0.75 - 8.10Power + 0.0260FlowRate + 0.0103V \quad (4.1)$$

其中 Y：DB 值、A：Power、B：Flow Rate、C：V，此迴歸方程式將為之後 3 個參數配置新實驗之依據。除此之外，亦可再次檢驗參數之顯著性，因為 R-Sq(adj)為評估模型配適程度之重要指標，且其值可視為比 R-Sq 還要保守之估計，故利用修正判定係數 R-Sq(adj)做為篩選最具影響力之參數依據。表中顯示 A、B、C 參數的 P 值皆小於 0.05，為顯著參數，其 R-Sq(adj)值為 62.3%，表此組合之配適程度達 62.3%。

表 4.3 三參數之實際機台運作數據設定值

Number	A:Power	B:Flow Rate	C:V	Y:DB 值
1	1	75	842	2.5
2	1	75	1120	5
3	1	75	1076	5
4	1	75	855	1.5
5	1	75	843	1.5
6	1	75	832	0.5
7	1	75	1072	4
8	1	75	1087	4.05
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
46	1.2	75	1123	4.65
47	1.4	75	1167	1.1
48	1.6	75	1200	1.2
49	1	50	1200	2.5
50	1	100	965	4.5
51	1	150	822	2.5

表 4.4 三參數之迴歸分析表

Regression Analysis: Y:DB值 versus A:Power, B:Flow Rate, C:V					
The regression equation is					
Y:DB值 = - 0.75 - 8.10 A:Power + 0.0260 B:Flow Rate + 0.0103 C:V					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-0.754	1.521	-0.50	0.622	
A:Power	-8.0998	0.9198	-8.81	0.000	
B:Flow Rate	0.025971	0.007824	3.32	0.002	
C:V	0.010335	0.001394	7.42	0.000	
S = 0.949970 R-Sq = 64.5% R-Sq(adj) = 62.3%					

同時也能產生四合一殘差圖以檢驗迴歸模型之正確性，如圖 4.3 所示。左上圖之殘差點大多數落在斜直線上，左下直方圖近似鐘形，資料呈現常態分配，所以殘差符合常態性；右上配適圖的殘差點分布並沒有呈喇叭形狀，符合殘差變異數一致性，表參數值可有效估計反應值；而右下圖殘差點的分布為隨機狀，也就是誤差項與誤差項之間沒有相互關係，故殘差具備獨立性。由殘差分析可知現有資料之結果都接近統計上對殘差的三種假設，故迴歸模型擁有高度正確性。

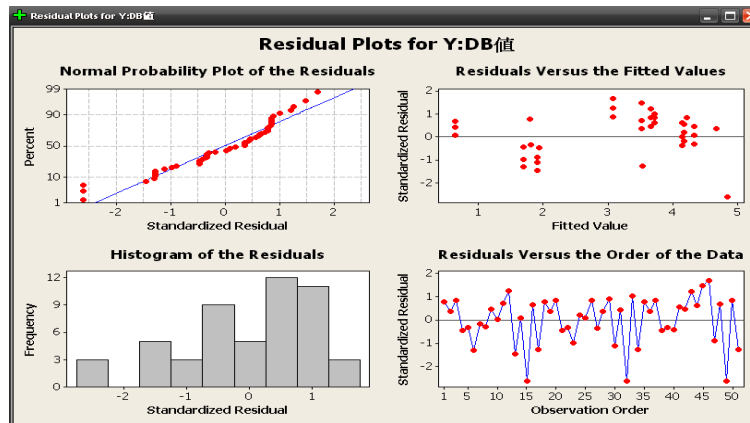


圖 4.3 三參數之四合一殘差圖

4.3 2^k 因子設計

4.3.1 2^3 全因子實驗配置

利用篩選過後之 3 個顯著參數進行 2^3 (3 參數各設定 2 水準) 全因子實驗配置，本實驗將產生 $2^3=8$ 種實驗組合，並加入 5 個中心點，共計 13 筆實驗配置數據，如下圖 4.4 所示。加入中心點之目的為探討此模型是否存在曲線關係，並增加實驗自由度，使誤差分析更適切；而一般以加入 3 至 5 個中心點為原則。在配置新實驗時，必須界定好實驗參數的範圍，即各參數之上下界，如下圖 4.5 所示；本實驗各參數範圍以實際機台之可調範圍訂定，而各參數之初始設定值分別為 A(Power)：1.2(kw)，B(Flow Rate)：100(sccm)，C(V)：1000(v)。

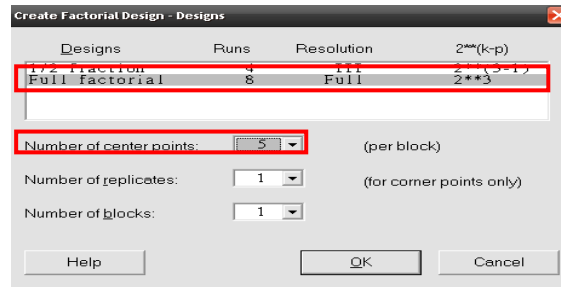


圖 4.4 2^3 全因子實驗配置

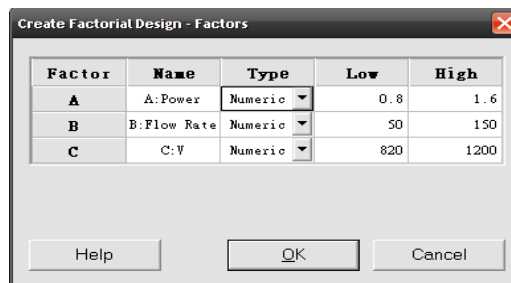


圖 4.5 2^3 參數範圍設定

整體全因子實驗配置情況如圖 4.6 所示。參數(Factors)為 3，產生 $2^3=8$ (Base Design) 實驗組合，加入 5 個中心點所以共有 13 筆數據(Runs)，由於本實驗無設定重複試驗，也沒有選擇區集設計，所以 Replicates 與 Blocks 設定皆為 1。設定完畢後，會產生 13 筆實驗配置數據(表 4.5)，而 Y 值則是由上式 4.1 之迴歸方程式產生；而表中之 StdOrder 指的是標準順序，RunOrder 則為實驗順序。從表中可以得知，Y 值平均為 3.173。

Full Factorial Design			
Factors:	3	Base Design:	3, 8
Runs:	13	Replicates:	1
Blocks:	1	Center pts (total):	5

圖 4.6 2^3 全因子實驗配置狀況

表 4.5 三參數之 13 筆實驗配置數據

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A:Power	B:Flow Rate	C:V	Y:DB 值
3	1	1	1	0.8	150	820	5.116
13	2	0	1	1.2	100	1010	2.533
6	3	1	1	1.6	50	1200	0.317
5	4	1	1	0.8	50	1200	6.43
12	5	0	1	1.2	100	1010	2.487
2	6	1	1	1.6	50	820	0.854
4	7	1	1	1.6	150	820	1.2154
10	8	0	1	1.2	100	1010	2.854
1	9	1	1	0.8	50	820	2.516
11	10	0	1	1.2	100	1010	3.103
9	11	0	1	1.2	100	1010	2.247
8	12	1	1	1.6	150	1200	2.55
7	13	1	1	0.8	150	1200	5.03
平均值(Y)							3.173

4.3.2 結果分析

首先，利用新的實驗配置數據進行交互作用分析，從二階開始，如下表 4.6 所示。表中列出所有主效果與二階組合，其中 A、B、C 及 AC 的 P 值皆小於 0.05，為顯著參數。而下圖 4.7 為效應值之常態機率圖，圖中顯示的數據點距離斜線越近，表該參數或交互作用的影響度越小，或效應值不顯著；從圖中可看出 A、B、C 及 AC 為顯著參數，與表結果相吻合，也代表這幾個參數或交互作用之影響度較大。

表 4.6 三參數之二階交互作用分析表

Factorial Fit: Y:DB值 versus A:Power, B:Flow Rate, C:V						
Estimated Effects and Coefficients for Y:DB值 (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		3.504	0.1489	23.52	0.000	
A:Power	-4.539	-2.269	0.1489	-15.24	0.000	
B:Flow Rate	1.949	0.974	0.1489	6.54	0.001	
C:V	2.156	1.078	0.1489	7.24	0.001	
A:Power*B:Flow Rate	-0.651	-0.326	0.1489	-2.19	0.080	
A:Power*C:V	-1.758	-0.879	0.1489	-5.90	0.002	
B:Flow Rate*C:V	0.468	0.234	0.1489	1.57	0.177	
Ct Pt		-0.859	0.2401	-3.58	0.016	

S = 0.421240 R-Sq = 98.71% R-Sq(adj) = 96.90%

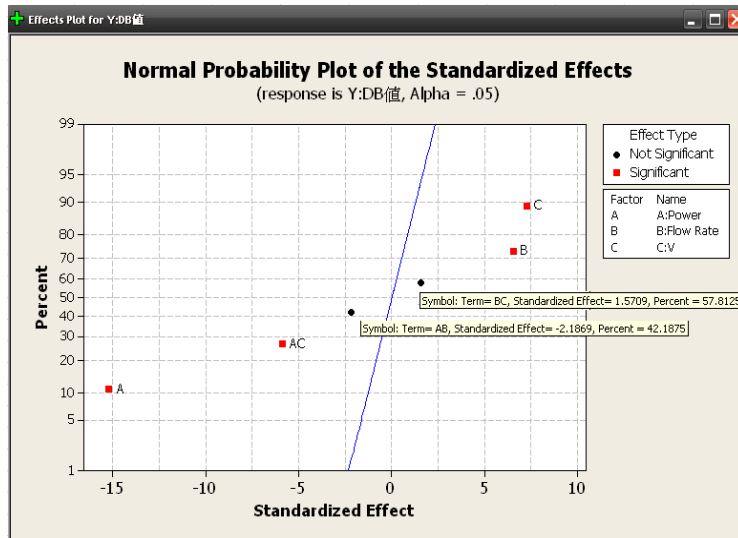


圖 4.7 三參數之效應值常態機率圖

同時，會產生變異數分析表(表 4.7)，表中主效應(Main Effects)及交互作用(2-Way Interactions)之 P 值都小於 0.05，所以主效應及交互作用對結果有顯著影響；由於加入了中心點的緣故，表中會產生曲率(Curvature)，曲率之 P 值小於 0.05，表示高低水準之間的反應值存在彎曲現象，並非為直線變化；另外，必須做缺適性(Lack of Fit)檢定，判斷模型配適好壞，表中 Lack of Fit 之 P 值大於 0.05，表此模型已完全符合要求，故無需再繼續進行三階交互作用分析，因為三階之 P 值必定大於 0.05。

除此之外，此模型之 DF(自由度)為 $13-1=12$ ，主效應有 3 個(A、B、C)，二階交互作用有 3 種(AB、BC、AC)，有曲率存在其自由度為 1；模型之總自由度 12 扣除上述三種自由度後(3+3+1)可得 Residual Error 自由度為 5，因為實驗加入中心點，所以會產生 Pure Error(純誤差)，而純誤差與缺適性的自由度相加即為 Residual Error 自由度。

表 4.7 三參數之變異數分析表

Analysis of Variance for Y:DB值 (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	58.0974	58.0974	19.3658	109.14	0.000
2-Way Interactions	3	7.4648	7.4648	2.4883	14.02	0.007
Curvature	1	2.2691	2.2691	2.2691	12.79	0.016
Residual Error	5	0.8872	0.8872	0.1774		
Lack of Fit	1	0.4379	0.4379	0.4379	3.90	0.120
Pure Error	4	0.4494	0.4494	0.1123		
Total	12	68.7186				

Estimated Coefficients for Y:DB值 using data in uncoded units	
Term	Coef
Constant	-10.8497
A:Power	7.63366
B:Flow Rate	0.0141554
C:V	0.0170879
A:Power*B:Flow Rate	-0.0162850
A:Power*C:V	-0.0115632
B:Flow Rate*C:V	2.46263E-05
Ct Pt	-0.858750

另外，從主效應反應圖及交互作用反應圖中，可看出最佳化之實驗組

合趨勢，下圖 4.8 與圖 4.9 為 3 個參數之主效應與交互作用反應圖。由這兩個圖整理過後可得知這 3 個參數之最佳化趨勢，若要使反應值 Y 越大(表產品濺鍍附著力越佳)，則 A 值越小越好，B 與 C 值越大越好。

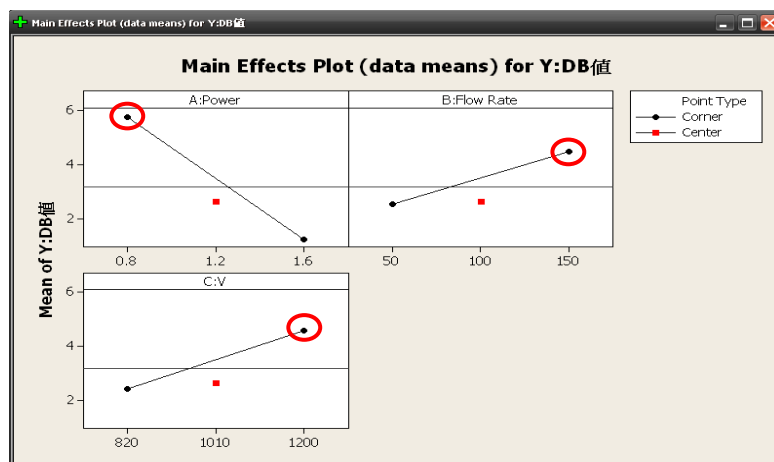


圖 4.8 三參數之主效應反應圖

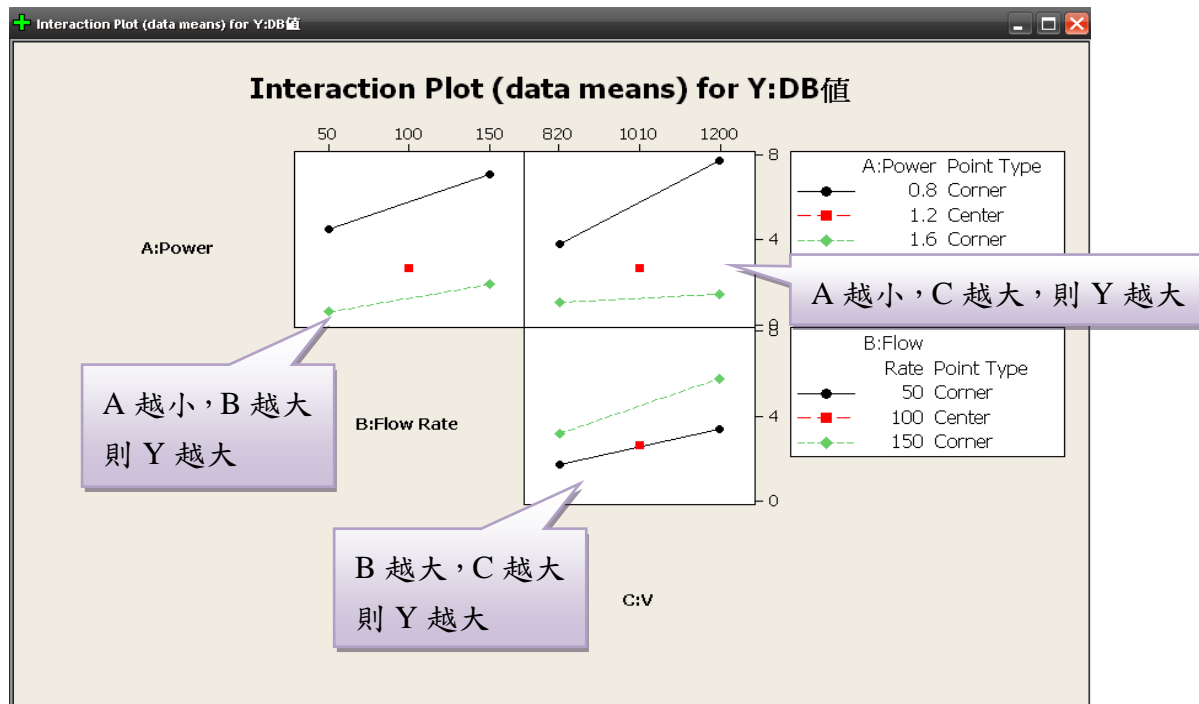


圖 4.9 三參數之交互作用反應圖

4.4 RSM：一階模式配適

4.4.1 最陡上升法

通常系統初始條件設定值通常距離真正的最佳反應值有一段距離，為了能快速達到最佳反應值之鄰近區域，所以利用最陡上升法指出正確之攀爬方向，循序往上爬升，也就是說，最陡上升法即為找出反應變數增加最快之方向，達到收斂各製程參數範圍值之目的。

下表 4.8 為最陡上升法之探索路徑，從一開始實驗之初始設定值開始，慢慢的往上爬升，依序增加 Δ 值，直到反應值 Y 到達所設定之目標值為止，而 Y 值是依據 3 個參數之迴歸方程式(式 4.1)產生；一般較佳的 DB 值約在 4 左右，本實驗想將薄膜附著能力提升 25% 達 5 以上，故實驗反應目標值設定為 5；由於在產業界實際測試上，並不會測得 6 以上之 DB 值，故在此定義反應值超過 6 亦代表薄膜附著能力不佳。利用最陡上升法產生新的實驗設定值分別為 A：1.05，B：112，C：1120。

表 4.8 最陡上升法之探索路徑

	參數			反應值
	A:Power	B:Flow Rate	C:V	Y: DB 值
Base	1.2	100	1000	2.43
Δ	-0.05	4	40	
Base+ Δ	1.15	104	1040	3.351
Base+2 Δ	1.1	108	1080	4.272
Base+3 Δ	1.05	112	1120	5.193
Base+4 Δ	1	116	1160	6.114

4.4.2 縮小參數範圍，配置新實驗

利用最陡上升法產生新的實驗設定值後，再依據設定值來縮減各製程參數範圍，並重新配置新實驗，如下圖 4.10 所示。同樣做 2^3 全因子實驗設計，其實驗之詳細配值狀況如圖 4.11，產生之 13 筆實驗配置數據如表 4.9。從表中可以發現到，各參數範圍經收斂後，其反應值 Y 之平均值從原本的 3.173 提升至 5.20。

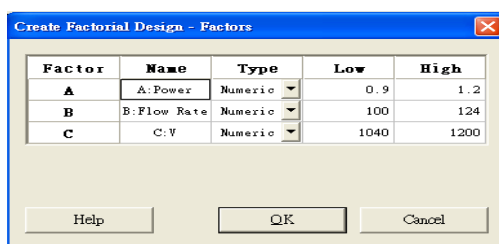


圖 4.10 縮減參數範圍重新設定

Full Factorial Design			
Factors:	3	Base Design:	3, 8
Runs:	13	Replicates:	1
Blocks:	1	Center pts (total):	5

圖 4.11 新實驗之配置狀況

表 4.9 新實驗之 13 筆實驗配置數據

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A:Power	B:Flow Rate	C:V	Y:DB 值
11	1	0	1	1.05	112	1120	5.193
12	2	0	1	1.05	112	1120	5.213
8	3	1	1	1.2	124	1200	5.342
9	4	0	1	1.05	112	1120	4.987
5	5	1	1	0.9	100	1200	5.92
1	6	1	1	0.9	100	1040	5.272
13	7	0	1	1.05	112	1120	5.457
3	8	1	1	0.9	124	1040	5.896
10	9	0	1	1.05	112	1120	4.867
2	10	1	1	1.2	100	1040	2.842
4	11	1	1	1.2	124	1040	3.466
6	12	1	1	1.2	100	1200	4.49
7	13	1	1	0.9	124	1200	5.544
平均值(Y)							5.20

4.4.3 結果分析

同樣，先進行交互作用分析，從二階開始(表 4.10)，表中列出所有主效果與二階組合，其中 A、B、C 的 P 值皆小於 0.05，為顯著參數；接下來從變異數分析表(表 4.11)中可看出主效應 P 值小於 0.05，所以只有主效應對結果有顯著影響；而曲率之 P 值大於 0.05，表示高低水準之間的反應值不存在彎曲現象，為直線變化；另外，缺適性之 P 值大於 0.05，表此模型已完全符合要求，故無需再繼續進行三階交互作用分析。而下圖 4.12 為效應值之常態機率圖，由圖中可得 A、B、C 為顯著參數，與表結果相吻合，也代表這幾個參數之影響度較大。

表 4.10 新實驗之二階交互作用分析表

Factorial Fit: Y:DB值 versus A:Power, B:Flow Rate, C:V						
Estimated Effects and Coefficients for Y:DB值 (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		5.222	0.07297	71.55	0.000	
A:Power	-2.373	-1.187	0.07297	-16.26	0.000	
B:Flow Rate	0.681	0.340	0.07297	4.67	0.006	
C:V	1.705	0.852	0.07297	11.68	0.000	
A:Power*B:Flow Rate	0.057	0.028	0.07297	0.39	0.712	
A:Power*C:V	0.057	0.029	0.07297	0.39	0.712	
B:Flow Rate*C:V	0.057	0.028	0.07297	0.39	0.712	
Ct Pt		-0.078	0.11767	-0.66	0.536	

S = 0.206400 R-Sq = 98.83% R-Sq(adj) = 97.20%

表 4.11 新實驗之變異數分析表

Analysis of Variance for Y:DB值 (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	18.0038	18.0038	6.00128	140.87	0.000
2-Way Interactions	3	0.0195	0.0195	0.00650	0.15	0.924
Curvature	1	0.0188	0.0188	0.01877	0.44	0.536
Residual Error	5	0.2130	0.2130	0.04260		
Lack of Fit	1	0.0065	0.0065	0.00650	0.13	0.741
Pure Error	4	0.2065	0.2065	0.05163		
Total	12	18.2551				

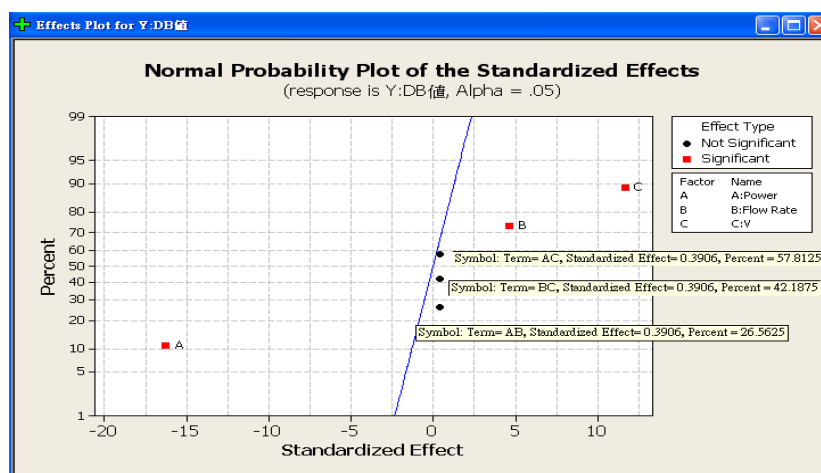
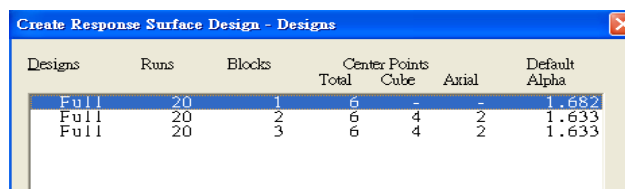


圖 4.12 新實驗之效應值常態機率圖

4.5 RSM：二階模式配適

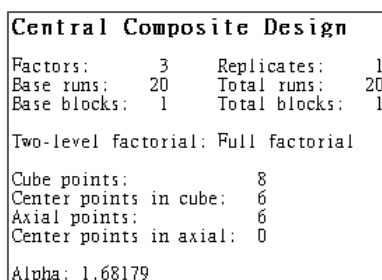
4.5.1 中央合成設計

為了使實驗考慮更為周全，故使用中央合成設計(CCD)方法配置實驗，CCD 適用於二階模式配適，一般而言，即於設計實驗時，加入了中心點、角點及軸點。在本實驗中，總共會產生 20 筆實驗數據(圖 4.13)，其詳細配置情況如下圖 4.14 所示，20runs 中包含 $2^3=8$ 個全因子設計，6 個中心點及 6 個軸點。



Designs	Runs	Blocks	Center Points			Default Alpha
			Total	Cube	Axial	
Full	20	1	6	-	-	1.682
Full	20	2	6	4	2	1.633
Full	20	3	6	4	2	1.633

圖 4.13 CCD 實驗配置



Central Composite Design			
Factors:	3	Replicates:	1
Base runs:	20	Total runs:	20
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Two-level factorial: Full factorial			
Cube points:	8		
Center points in cube:	6		
Axial points:	6		
Center points in axial:	0		
Alpha:	1.68179		

圖 4.14 CCD 之配置狀況

產生之 20 筆 CCD 實驗配置數據如下表 4.12 所示。值得注意的是，由於 CCD 的方法適合用於多反應值的情況下，而本實驗在這個步驟之前是運用 DOE 手法做分析，只能考慮單一反應值，所以只選擇 DB 值做探討；在此階段，利用 CCD 可探討多反應值之實驗特性，加入了電阻值為另一反應值，使得實驗分析更臻完善。電阻值(Ω)是利用三用電表為測試工具，檢測濺鍍完畢之產品導電狀況，若要提升產品的導電性，則測得的電阻值越低越好，一般而言，較嚴謹之電阻值設定 5 為門檻值，超過 5 之電阻值表示此產品之鍍膜品質仍有改善的空間。

由表中可知， Y_1 平均值為 5.20，與表 4.9 配置結果相同； Y_2 由於其值較寬鬆之檢驗標準為 10 以下，5 以下為較嚴謹之門檻值，故實驗配置結果 Y_2 平均值為 5.85，落於合格之標準值內。

表 4.12 CCD 之 20 筆實驗配置數據

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A:Power	B:Flow Rate	C:V	Y1:DB 值	Y2:電阻值
12	1	-1	1	1.05	132	1120	5.717732	5
2	2	1	1	1.2	100	1040	2.842	4
18	3	0	1	1.05	112	1120	5.193	6
1	4	1	1	0.9	100	1040	5.272	5
19	5	0	1	1.05	112	1120	5.231	8
20	6	0	1	1.05	112	1120	5.108	6
10	7	-1	1	1.3	112	1120	3.149613	5
4	8	1	1	1.2	124	1040	3.466	7
13	9	-1	1	1.05	112	985	3.807238	4
5	10	1	1	0.9	100	1200	6.92	8
8	11	1	1	1.2	124	1200	5.114	5
7	12	1	1	0.9	124	1200	6.544	8
9	13	-1	1	0.7	112	1120	5.236387	7
16	14	0	1	1.05	112	1120	5.348	6
11	15	-1	1	1.05	91	1120	4.668268	5
17	16	0	1	1.05	112	1120	5.279	4
14	17	-1	1	1.05	112	1254	5.987	7
6	18	1	1	1.2	100	1200	4.49	5
3	19	1	1	0.9	124	1040	5.896	8
15	20	0	1	1	112	1120	5.412	8
平均值							5.20	5.85

4.5.2 Y₁(DB 值)結果分析

首先先對 Y₁(DB 值)進行分析，CCD 產生之反應曲面迴歸表如下表 4.13 所示，由表中可看出只有主效應 A、B、C 之 P 值小於 0.05，為顯著參數，所以不存在交互作用；而從 CCD 之變異數分析表(表 4.14)也可得知，只有線性(Linear)存在顯著性差異(P 值<0.05)，其餘之二次(Square)與交互作用(Interaction)等效應皆不顯著，而此結果與反應曲面迴歸表分析結果相符合。

表 4.13 Y₁之 CCD 反應曲面迴歸表

Response Surface Regression: Y1:DB值 versus A:Power, B:Flow Rate, C:V					
The analysis was done using coded units.					
Estimated Regression Coefficients for Y1:DB值					
Term	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	5.26170	0.03151	167.001	0.000	
A:Power	-1.21500	0.02090	-58.122	0.000	
B:Flow Rate	0.31200	0.02090	14.925	0.000	
C:V	0.82400	0.02090	39.417	0.000	
A:Power*A:Power	-0.02345	0.02035	-1.153	0.276	
B:Flow Rate*B:Flow Rate	-0.02345	0.02035	-1.153	0.276	
C:V*C:V	-0.02346	0.02035	-1.153	0.276	
A:Power*B:Flow Rate	-0.00000	0.02731	-0.000	1.000	
A:Power*C:V	-0.00000	0.02731	-0.000	1.000	
B:Flow Rate*C:V	0.00000	0.02731	0.000	1.000	

表 4.14 Y₁之 CCD 變異數分析表

Analysis of Variance for Y1:DB值						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	30.7824	30.7824	3.4203	573.12	0.000
Linear	3	30.7626	30.7626	10.2542	1718.24	0.000
Square	3	0.0198	0.0198	0.0066	1.11	0.391
Interaction	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Residual Error	10	0.0597	0.0597	0.0060		
Lack-of-Fit	5	0.0001	0.0001	0.0000	0.00	1.000
Pure Error	5	0.0596	0.0596	0.0119		
Total	19	30.8421				

Unusual Observations for Y1:DB值						
Obs	StdOrder	Y1:DB值	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	20	5.108	5.262	0.032	-0.154	-2.18 R
20	15	5.412	5.262	0.032	0.150	2.13 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Regression Coefficients for Y1:DB值 using data in uncoded units	
Term	Coef
Constant	-8.4711
A:Power	-5.9109
B:Flow Rate	0.0625
C:V	0.0185
A:Power*A:Power	-1.0424
B:Flow Rate*B:Flow Rate	-0.0002
C:V*C:V	-0.0000
A:Power*B:Flow Rate	-0.0000
A:Power*C:V	-0.0000

同時也從四合一殘差圖來檢驗迴歸模型之正確性，如圖 4.15 所示。左邊兩個圖顯示殘差符合常態性，資料為常態分配；右上配適圖的殘差點分布符合殘差變異數一致性，參數值可有效估計反應值；而右下圖分布為隨機狀，表誤差項之間不存在相互關係，故殘差具備獨立性。故現有資料之結果都接近殘差三種假設，迴歸模型擁有高度正確性。

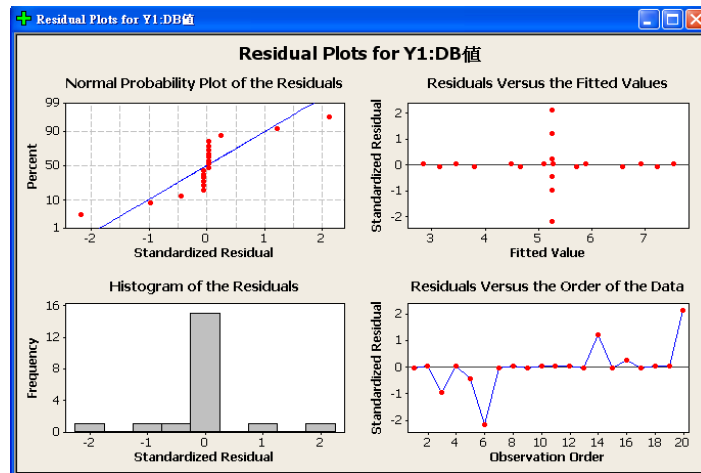


圖 4.15 Y_1 值之 CCD 四合一殘差圖

4.5.3 Y_2 (電阻值)結果分析

接下來在對 Y_2 (電阻值)進行分析，CCD 產生之反應曲面迴歸表如下表 4.15 所示，由表中可看出只有主效應 A 之 P 值小於 0.05，所以不存在交互作用；而從變異數分析表(表 4.16)也可得知，只有線性之 P 值略大於 0.05，其餘之二次與交互作用等效應皆不顯著。

表 4.15 Y_2 之 CCD 反應曲面迴歸表

Response Surface Regression: Y2:電阻值 versus A:Power, B:Flow Rate, C:V
The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Y2:電阻值

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.30749	0.5342	11.808	0.000
A:Power	-0.83208	0.3544	-2.348	0.041
B:Flow Rate	0.43933	0.3544	1.240	0.243
C:V	0.51589	0.3544	1.456	0.176
A:Power*A:Power	0.05108	0.3450	0.148	0.885
B:Flow Rate*B:Flow Rate	-0.30246	0.3450	-0.877	0.401
C:V*C:V	-0.12569	0.3450	-0.364	0.723
A:Power*B:Flow Rate	-0.00000	0.4631	-0.000	1.000
A:Power*C:V	-0.50000	0.4631	-1.080	0.306
B:Flow Rate*C:V	-0.75000	0.4631	-1.620	0.136

表 4.16 Y_2 之 CCD 變異數分析表

Analysis of Variance for Y2:電阻值

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	23.796	23.796	2.6440	1.54	0.255
Linear	3	15.726	15.726	5.2420	3.06	0.079
Square	3	1.570	1.570	0.5233	0.31	0.821
Interaction	3	6.500	6.500	2.1667	1.26	0.359
Residual Error	10	17.154	17.154	1.7154		
Lack-of-Fit	5	5.821	5.821	1.1642	0.51	0.759
Pure Error	5	11.333	11.333	2.2667		
Total	19	40.950				

Estimated Regression Coefficients for Y2:電阻值 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-194.6716
A:Power	36.3520
B:Flow Rate	1.3821
C:V	0.1817
A:Power*A:Power	-2.2703
B:Flow Rate*B:Flow Rate	-0.0021
C:V*C:V	-0.0000
A:Power*B:Flow Rate	-0.0000
A:Power*C:V	-0.0417
B:Flow Rate*C:V	-0.0008

同時也從四合一殘差圖來檢驗迴歸模型之正確性，如圖 4.16 所示。左邊兩個圖顯示殘差符合常態性，資料為常態分配；右上配適圖的殘差點分布不呈喇叭形狀，符合殘差變異數一致性，參數值可有效估計反應值；而

右下圖分布為隨機狀，表誤差項之間不存在相互關係，殘差具備獨立性。
故現有資料之結果都接近殘差三種假設，迴歸模型擁有高度正確性。

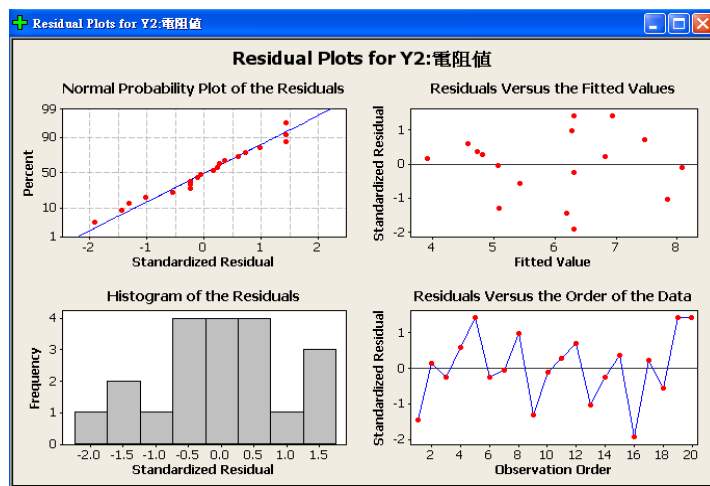


圖 4.16 Y_2 值之 CCD 四合一殘差圖

4.6 最佳化趨勢分析

4.6.1 Y_1 (DB 值)反應曲面圖與等高線圖

首先，先對 Y_1 做最佳化趨勢分析，圖 4.17 至圖 4.22 為 Y_1 之各個參數反應曲面圖與等高線圖。以 Y_1 值越大附著力越佳為目的，從圖 4.17 與圖 4.18 中可知最佳化趨勢為 A 值越小 B 值越大；而圖 4.19 與圖 4.20 則是 A 值越小 C 值越大；圖 4.21 與圖 4.22 為 B 值越大 C 值越大。統整以上 6 個圖之分析後，可得 A 值越小而 B 值與 C 值越大，則 Y_1 值就越大。

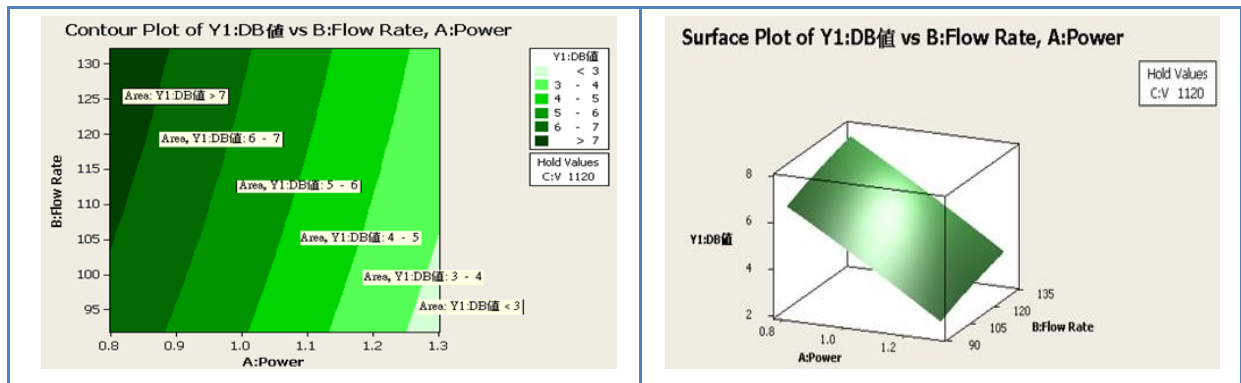


圖 4.17 Y_1 之 A、B 等高線圖

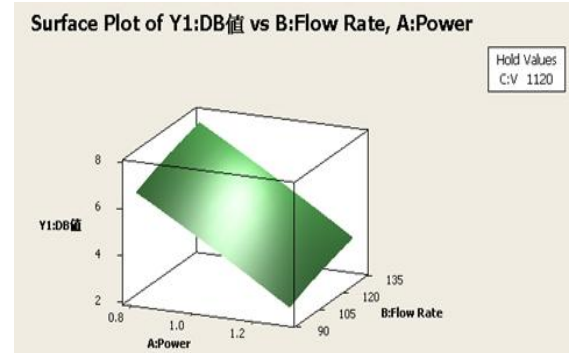


圖 4.18 Y_1 之 A、B 反應曲面圖

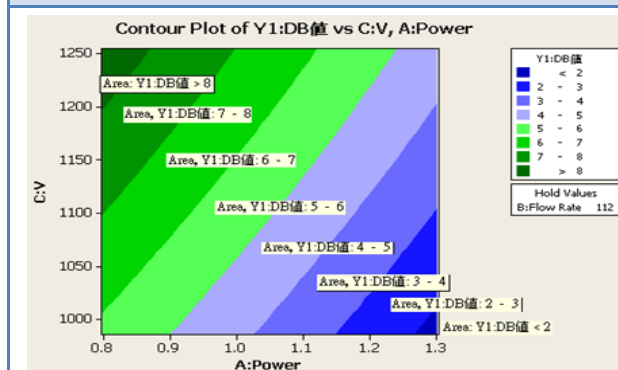


圖 4.19 Y_1 之 A、C 等高線圖

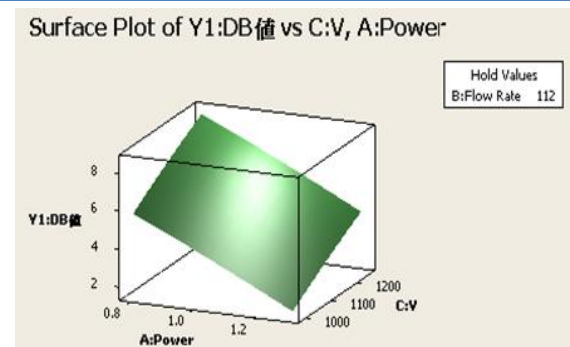


圖 4.20 Y_1 之 A、C 反應曲面圖

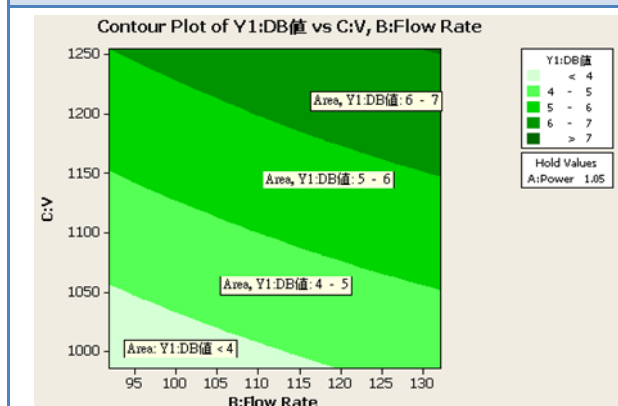


圖 4.21 Y_1 之 B、C 等高線圖

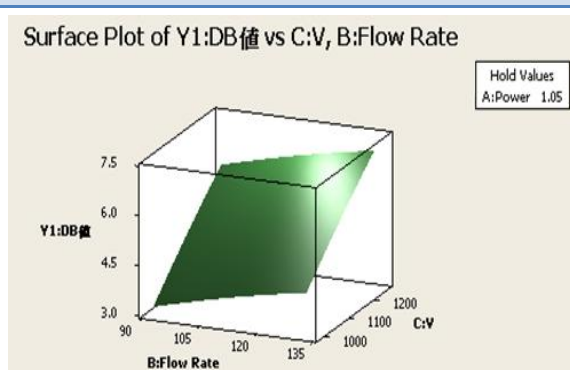


圖 4.22 Y_1 之 B、C 反應曲面圖

4.6.2 Y_2 (電阻值)反應曲面圖與等高線圖

接下來，在對 Y_2 做最佳化趨勢分析。以 Y_2 值越小產品品質越佳為目的，從圖 4.23 與圖 4.24 中因為有曲面存在，所以無法判斷 A 值與 B 值之最佳化趨勢；圖 4.25 與圖 4.26 同樣存在曲面，也無法對 A 值與 C 值做判斷；而圖 4.27 與圖 4.28 亦無法判斷 B 值與 C 值之趨勢。統整以上 6 個圖之分析後，由於所有的圖形皆存在曲面關係，並非為無曲率之線性結構，無法立即看出最佳化趨勢，所以下一節將利用最佳化設計功能來找尋最佳化參數值及其反應值。

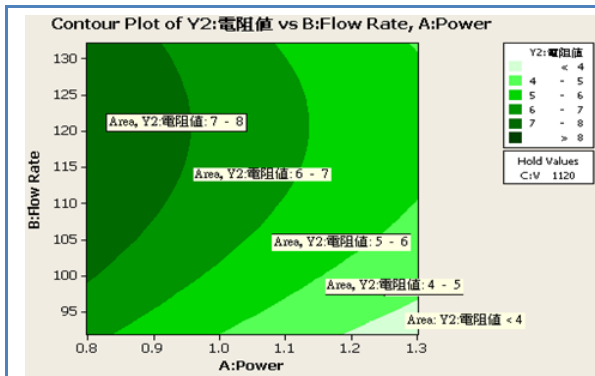


圖 4.23 Y_2 之 A、B 等高線圖

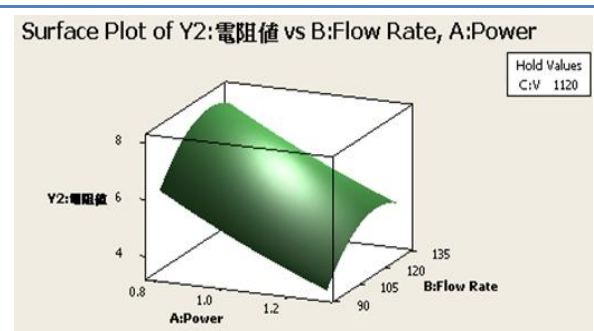


圖 4.24 Y_2 之 A、B 反應曲面圖

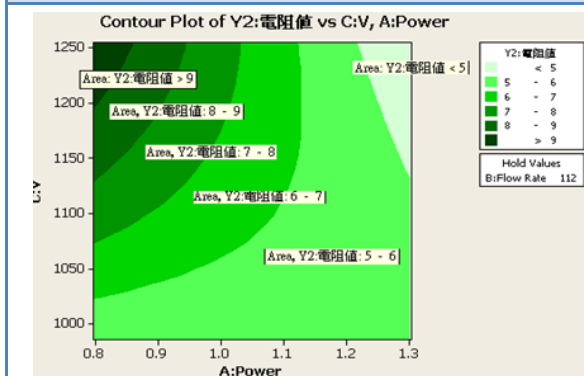


圖 4.25 Y_2 之 A、C 等高線圖

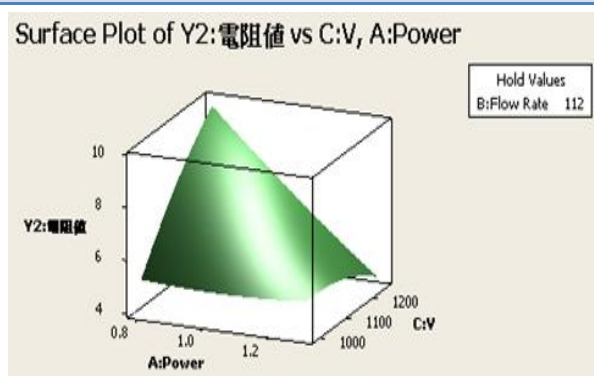


圖 4.26 Y_2 之 A、C 反應曲面圖

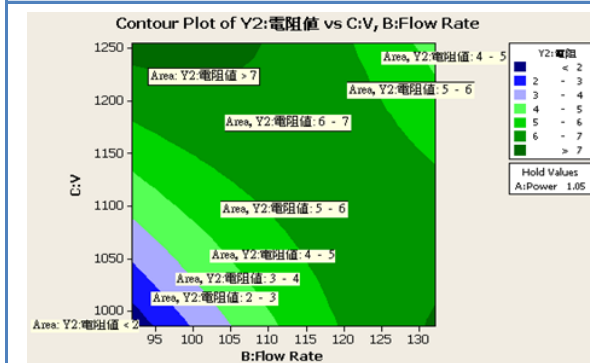


圖 4.27 Y_2 之 B、C 等高線圖

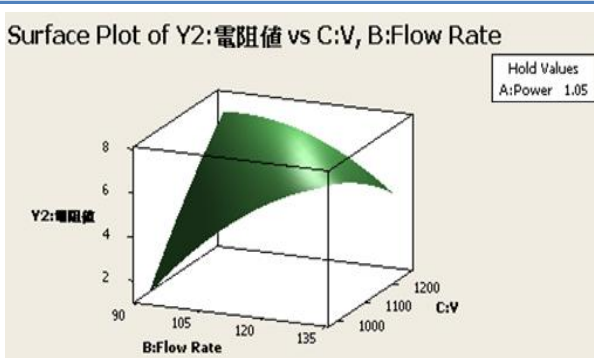


圖 4.28 Y_2 之 B、C 反應曲面圖

4.7 參數最佳化

4.7.1 參數目標值設定

利用 RSM 之最佳化設計找出最佳化參數值，首先需設定參數目標值，如下圖 4.29 所示。其中反應值 Y_1 越大表鍍膜附著能力越佳，所以設定其目標值為 Maximize，區間為 4 提升至 5.5；而反應值 Y_2 越小表產品之導電性越佳，品質越好，所以其目標值設 Minimize，區間從 6 提升至 5。並利用最陡上升法之新的實驗設定值為參數起始值，如圖 4.30 所示，其值分別為 A：1.05，B：112，C：1120。

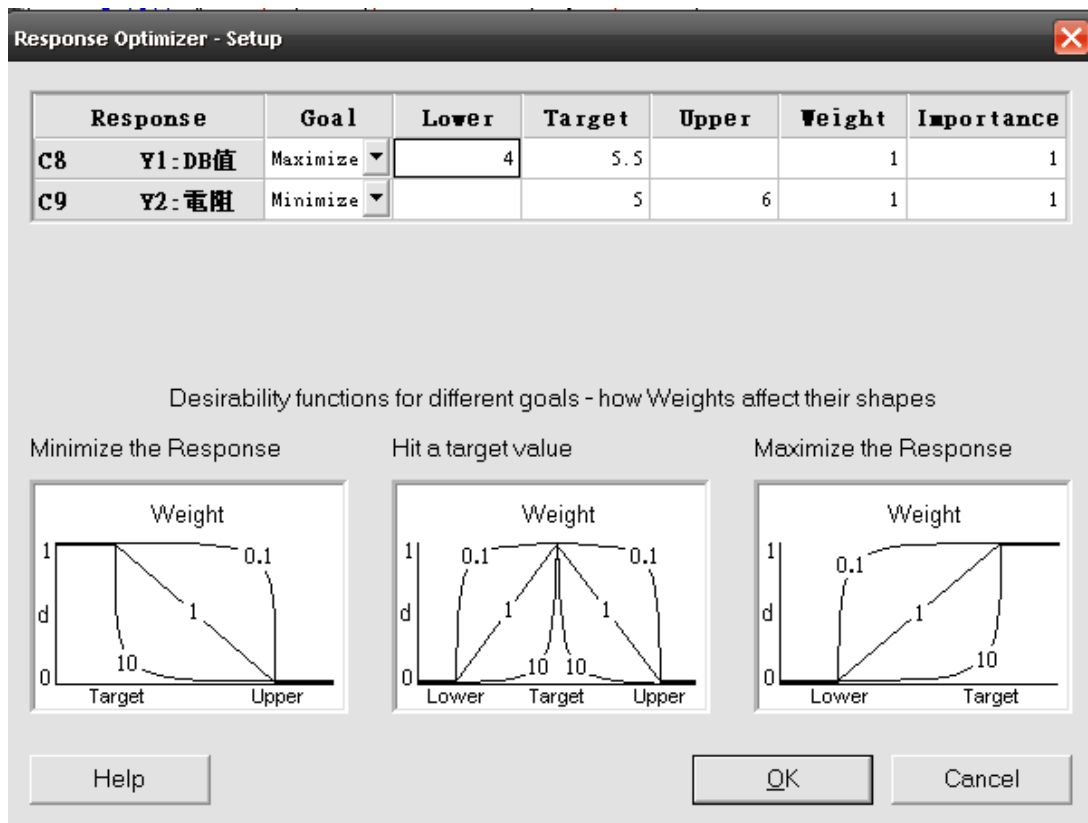


圖 4.29 參數目標值設定

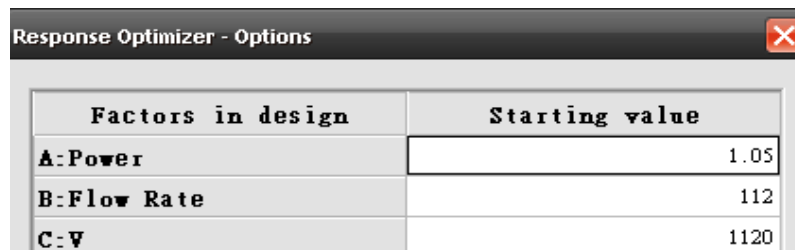


圖 4.30 參數起始值設定

4.7.2 最佳化參數值

處理多重反應最佳化之問題時，通常會利用願望函數做為判斷依據，願望函數可視為達成目標的機會，其值介於 0 到 1 之間，越接近 1 表示達成反應值的機會越大，故本實驗將透過願望函數做為最佳值判斷依據。下表 4.17 為軟體產生之最佳化參數值結果報表，由表中可得知最佳化參數值為 A：0.99，B：91.82，C：1120.65，兩個反應值分別為 Y_1 ：5.19109， Y_2 ：5.09328，而其所產生之合成願望函數達 0.84852，表示此組最佳解達成反應值的機會有 8 成五左右，機率相當高。

表 4.17 最佳化參數值

Response Optimization							
Parameters							
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import	
Y1:DB值	Maximum	4	5.5	5.5	1	1	1
Y2:電阻值	Minimum	5	5.0	6.0	1	1	1
Starting Point							
A:Power	=	1.05					
B:Flow Rate	=	112.00					
C:V	=	1120.00					
Global Solution							
A:Power	=	0.99					
B:Flow Rate	=	91.82					
C:V	=	1120.65					
Predicted Responses							
Y1:DB值	=	5.19109	desirability =	0.79406			
Y2:電阻值	=	5.09328	desirability =	0.90672			
Composite Desirability		=	0.84852				

同樣也可利用圖 4.31 找出最佳化參數值，結果與表 4.18 相吻合。而圖示化結果的優點在於，這 6 個小圖示中之垂直線可以左右進行調整，垂直線可依照所需之反應值做參數操作範圍或區間進行動態調整。

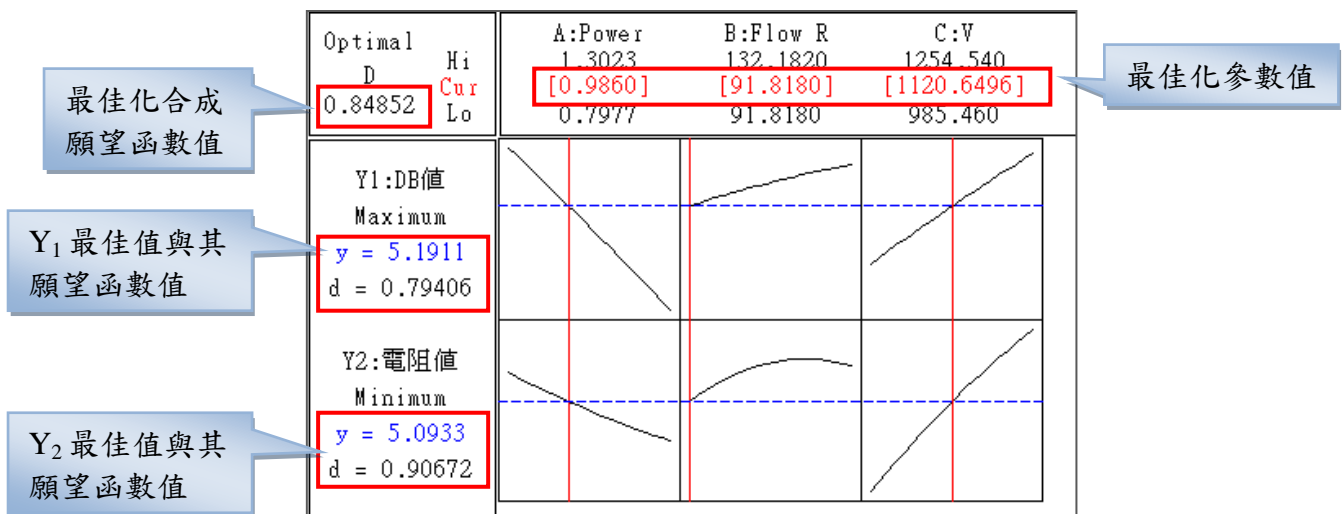


圖 4.31 最佳化參數值

4.7.3 結果驗證

將 4.7.2 節產生之最佳化參數值(功率：0.99，氬氣進氣流量：91.82，電壓：1120.65)，實際投入機台進行結果驗證；因考量廠商成本因素，故本實驗僅採樣 10 次鍍膜結果進行改善前後鍍膜品質之比較，結果如表 4.18 所示。由表中可以得知，10 次試驗獲得之平均反應值分別為 Y_1 ：4.86、 Y_2 ：5，與預測結果相符，故本研究所找尋出之最佳化參數值，可使反應值 Y_1 從 4B 提升至 5B； Y_2 從 6Ω 降至 5Ω；平均產品良品率可提升 25%。下圖 4.32 為實際測試之產品濺鍍實體圖示，從圖中可發現改善前之平均 DB 值落於 4B 左右，容易出現濺鍍薄膜剝落情形，而改善後則較不易產生。

表 4.18 最佳化反應值

Number	Y_1 ：DB 值	Y_2 ：電阻值
1	4.8	5
2	5.1	6
3	4.5	5
4	4.3	5
5	5.3	5
6	4.5	5
7	5.2	4
8	5.2	5
9	5	5
10	4.7	5
平均值	4.86	5



圖 4.32 NB 塑殼濺鍍實體圖示

第五章 結論與建議

5.1 結論

EMI 問題的考量，長久以來一直是電子裝備及系統在設計上的一大盲點，因為 EMI 所牽涉的因素繁多，以及處理時所需的專業知識較廣的關係；然而由於科技產業的高度競爭，新產品的生命週期越來越短，使得我們不得不尋求 EMI 問題的快速解決方式，來縮短產品的研發時間，以期能搶佔市場先機。目前市面上防 EMI 處置工法就以真空濺鍍技術應用最為廣泛，因其在價格成本上，或者是完工後的品質方面，跟其他的工法相比都較佳，同時也具有環保概念，因此使用真空濺鍍技術的廠商比例日益攀升；由於真空濺鍍產業具備一定的市場佔有率與發展性，所以若能提升真空濺鍍之鍍膜品質，其銷售利益必定相當可觀。

在以不增加製程工法困難度及成本等眾多條件考慮下，我們可以利用 DOE 來達到製程參數最佳化之目的，因為 DOE 是探討實驗應如何進行與分析的一門學問，此手法並非從技術層面著手，而是強調在目前現況設置下，運用最少資源於短時間內，找尋出產品或製程之最佳參數條件，故 DOE 為製程品質最佳化之最優選擇。

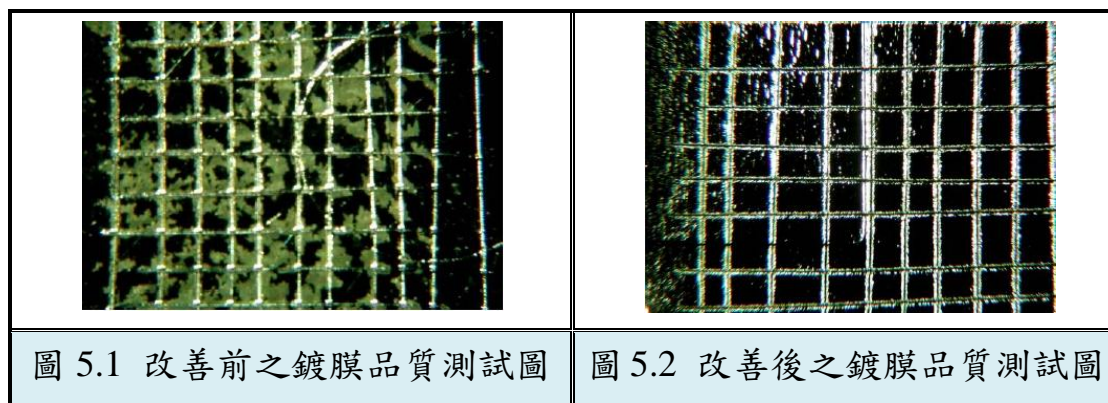
本研究即採用 DOE 方法找尋最佳化之參數值與反應值，如此一來除了可提升產品良品率外，亦可增進品質之穩健性。由於本實驗之反應值須考慮百格(DB)值與電阻值兩種，所以於實驗後半段運用 RSM 分析探討，RSM 適用於連續型數值之多反應值設計，或者是製程開發等階段，若此手法運用得當，將可大幅提升製程品質與執行效率。

判定濺鍍產品完工品質之優劣須依據兩個製程反應值，分別為 DB 值與電阻值。DB 值是用來檢驗濺鍍薄膜之附著能力，DB 值越大表附著力越佳，目前百格測試平均值為 4 左右，本研究希望將品質水準提升至 5.5 以上；另一反應值為電阻值，電阻值是用來檢測濺鍍完畢之產品導電狀況，測得的電阻值越低表導電性越好，一般而言，較嚴謹之電阻值設定 5 左右為門檻值，為了提升本實驗之產品導電性，故將最佳化目標電阻值設定為 5。

由本實驗最佳化結果可求得各製程參數之最佳值為：功率(Power)=0.99、氬氣進氣流量(Flow Rate)=91.82、電壓(V)=1120.65，而兩個反應值分別為

DB 值=5.19109、電阻值=5.09328，產品良率可提升 25%，且產生之合成願望函數達 0.84852，也就表示此組最佳解達成反應值的機會可達 85%。

下圖 5.1 與圖 5.2 為百格測試之改善前後濺鍍產品完工品質測試圖，從圖 5.1 中可得知改善前許多顆粒會隨著黏著膠帶脫落，膜的表現不如預期；而改善後(圖 5.2)發現到並無顆粒隨黏著膠帶脫落，即代表附著品質較佳，兩圖示相比有明顯改善。故 DOE 手法運用得當，將可有效控制濺鍍後產品的品質管控，在成本上亦可降低因為瑕疵品所帶來的費用，一舉數得。



本研究之實證結果，除了可提供給濺鍍製程產業作為品質改善之參考依據，使產品品質達到產線規範，也能促使產能需求符合目前產線現況；另外，這一系列之實驗設計相關手法運用，並不只單單侷限應用於真空濺鍍產業中，亦可做為其他產業品質或製程改善之參考範例。

5.2 未來研究建議

本研究所建立一系列統計分析之實驗設計搭配反應曲面手法，雖然於真空濺鍍產業之製程可調參數資料範圍內獲得驗證，同時也找出最佳化之製程參數值與反應值，但對於未來之研究仍有許多延伸發展空間，亦可提供不同產業或領域之研究方向做為參考。本研究整理如下：

1. 本研究之實驗數據均為合作廠商提供之歷史資訊，並非研究人員實際至現場蒐集資料做分析；所以在未來除了分析廠商提供之資訊外，亦可實際至現場蒐集所需數據，避免提供的資料夾雜過多不必要資訊，增加處理資料的時間，甚至可能間接影響到最終實驗輸出結果。
2. 在本研究之初始參數的選擇上，主要從文獻探討及現場人員操作經驗中，來決定濺鍍製程參數；若能實地至現場操作機台，並多與操作人員進行討論，從中可能找尋出不同之製程參數進行分析研究，相信可使機台在實際操作時得到更全面性的考量。

3. 由於濺鍍產品種類繁多，包含手機機殼、汽車零件、太陽能面板等等，本研究僅探討NB 塑殼濺鍍，調節其製程參數以配置出最佳化參數組合；在未來除了運用本實驗設計手法於濺鍍產業外，亦可採用此法於不同產品或產業中，做為其他產品品質改善之參考範例。

參考文獻

一、中文部份

- 【1】 毛一帆、董樹榮，2009。塑料表面濺鍍電磁屏蔽膜的研究，真空 VACUUM，46(4)。
- 【2】 王見名、鄒應嶼，2002。印刷電路板佈局指導原則，國立交通大學電機與控制工程研究所電力電子與運動控制實驗室。
- 【3】 王保進，2004。多變量分析：套裝程式與資料分析。台北：高等教育出版社。
- 【4】 王柏元，2006。運用實驗設計法與最小變異控制器於射出成形之製程控制，中華大學科技管理研究所碩士論文。
- 【5】 王美珍，2009。NB EMI Shielding 產業，金鼎證卷集團投顧週刊，16-18。
- 【6】 白秀琴、李健、嚴新平、趙春華，2005。真空濺鍍技術在塑膠材料表面金屬化上的應用，武漢理工大學學報(Journal of Wuhan University of Technology)，29(6)。
- 【7】 余曉錡，2009。EMI 類型與解決方法，環境可靠性與電磁兼容試驗服務中心。
- 【8】 吳明哲，2009。實驗設計用於不銹鋼索電解拋光之最佳化研究，南台科技大學工業管理研究碩士論文。
- 【9】 吳信賢，2009。薄膜製程工程，職訓局 97 委外訓練-半導體人才訓練基礎製程班。
- 【10】 吳威逸、劉至祥、黃光昭、陳博裕，2004。以濺鍍方式在電子產品的塑膠外殼上披覆金屬薄膜以達到電磁波干擾遮蔽之效果，真空科技，17(3)。
- 【11】 李文興，林世聰，胡清煌，2001。導電性薄膜之製程研究，國立台北科技大學學報，34(1)，11-26。
- 【12】 李建成，2008。運用六標準差與實驗設計建立製程最佳化-以降低 C 公司鋼板裁剪平坦度變異為例，屏東科技大學企業管理系所碩士論文。
- 【13】 李興鰲、楊建平、左安友、高雁軍、袁作彬、任山令、李永濤，2010。基底溫度對直流磁控濺射製備氮化銅薄膜的影響研究，材料學報：研究篇，24(2)。
- 【14】 林李旺，2009。快速精通實驗設計邁向 Six Sigma 的關鍵方法，台北縣：全華圖書。
- 【15】 林重新，2001。教育研究法，台北市：揚智。
- 【16】 林清山，2002。心理與教育統計，台北市：台灣東華。
- 【17】 林慶仁，宋自恆，2001。傳導性 EMI 量測系統的架構及原理，新電子科技雜誌 186。
- 【18】 林道榮，2007。真空濺鍍於防制 NB EMI 之發展。台灣工業銀行-產業分析資料庫，1(4)。
- 【19】 洪胤庭、謝榮淵、黃宏勝、邱軍浩，2009。熱處理對高純度鋁靶顯微組織及濺鍍特性之影響，台灣金屬熱處理學會年會論文。

- 【20】徐統，1994。反射電子顯微術，科儀新知，15(4)。
- 【21】郝玲妮、陳秋榮，2006。太空電漿爆發現象，物理雙月刊，28(2)。
- 【22】張其梅、王家俊，2007。真空鍍二氧化鈦聚乙烯塑料包裝薄膜，包裝工程，第28(8)。
- 【23】張秉書、程金保、楊耀瑜，2002。真空鍍膜技術簡介-濺鍍技術，機械技術，209，163-176。
- 【24】曹龍泉，1999。防電磁波干擾電子資訊產品外殼材料研究，國立台灣大學材料科學與工程學研究所博士論文。
- 【25】陳素君、陳月增，2008。真空鍍膜設備性能的改進，真空 VAUUM，45(6)。
- 【26】黃文隆，黃龍，2003。迴歸分析，滄海書局。
- 【27】黃世光，2000。超飽和設計的研究，國立中央大學統計研究所碩士論文。
- 【28】黃從綱，2002。以直流濺射方式製作鎳鉻合金薄膜電橋製程參數與電橋特性之研究，國防大學中正理工學院兵器系統工程研究所碩士論文。
- 【29】葉怡成，2005。預測工程學，中華大學教材(未發表)。
- 【30】蔡宜璋，2007。低溫真空濺鍍於防治EMI的應用，金鼎證券投資顧問股份有限公司。
- 【31】蔡尚穎，2008。結合實驗設計與統計製程管制改善生產製程-以A公司為例，屏東科技大學企業管理系所碩士論文。
- 【32】黎正中、陳源樹譯，2008。實驗設計與分析，台北縣：高立圖書。
- 【33】盧鴻華，2009。連續式真空濺鍍系統介紹。
- 【34】蕭文龍，2009。多變量分析最佳入門實用書，台北市：基峰圖書。
- 【35】賴柏志，2010。應用六標準差於表面黏著製程最佳化之研究-以Z公司為例，國立中山大學高階經營碩士學程在職專班碩士論文。
- 【36】戴金琪，2003。以反應曲面方法改善銅導線晶圓封裝之鐸線製程問題，元智大學工業工程與管理研究所碩士論文。
- 【37】謝佳琳，2009。變異數與迴歸分析，Chapter 18.1-18.5。
- 【38】魏子夏，2005。實驗設計應用在製程最佳參數之研究-以不銹鋼超細線為例，南台科技大學高階主管企業碩士班碩士論文。
- 【39】羅光耀，2006。金屬薄膜之製作。光電暨固態電子研究所。
- 【40】蘇聖凱，2005。反應曲面法在複雜網路上的應用，國立中央大學統計研究所碩士論文。
- 【41】蘭善文，2007。實驗設計概論。

二、英文部分

- 【42】 Chiang, K.T. and Chang F.P., 2006. *Analysis of shrinkage and warpage in an injection-molded part with a thin shell feature using the response surface methodology*. International Journal of Advance Manufacturing Technology, 35, 468-479.
- 【43】 Chuang, M.C., 2003. *The Effect of Texture of Lacquer Coating on the Kansei Evaluation of Plastic Product*. Journal of the Asian Design International Conference, Vol.1, CD-ROM.
- 【44】 Derringer G, Such R., 1980. Simultaneous optimization of several responses variables. *J Qual Tech.* 12:214–219.
- 【45】 Kim, B. H. and Lee, B.H., 1997. *Variation of Part Wall Thickness Reduce Warpage of Injection-Molded Part: Robust Design Against Process Variability*. Polymer Plastics Technology and Engineering, 36(5), 791-807.
- 【46】 Monjoy, S. and Suchitra, S., 2006. *Effect of substrate temperature and annealing temperature on the structural, electrical and microstructural properties of thin Pt films by RF magnetron sputtering [J]*. Appl Surf Sci, 253:2739.
- 【47】 Montgomery, D.C., 2009. *Design and Analysis of Experiments*. 7th Edition.
- 【48】 Motchenbacher, C. D. and Fitchen, F. C., 1973. *Low-Noise Electronic Design*. New York: John Wiley & Sons, ISBN 0-471-61950-7.
- 【49】 Ozcelik, B. and Erzurumlu, T., 2005. *Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method*. Elsevier Ltd. Material and Design, 27, 835-861.
- 【50】 Paul, R., 1992. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. New York: Wiley & Sons, Inc.
- 【51】 Roth, J. R., 1995. *Principles Institute of Physics*. Industrial plasma engineering-Volumel, publishing in London.
- 【52】 Tawil, D.S., 1986. *Corrosion and surface protection developments*, magnesium technology in Proceedings of the Conference, 66.

三、網站部分

- 【53】 DJ 財經知識庫，<http://www.funddj.com/default.htm>
- 【54】 Gencoa Ltd. 2006，<http://www.gencoa.com/>
- 【55】 IBT 台灣工業銀行-產業分析資料庫，
http://www.ibt.com.tw/Research/Research_E01.aspx
- 【56】 拓璞產業研究所，<http://www.topology.com.tw/tri/>
- 【57】 統一投資研究週報，<http://pcmc.uni-psg.com/Default.aspx>
- 【58】 赫得光電股份有限公司，<http://www.hartec-pvd.com/>

附錄 A：五參數之實際機台運作數據設定值

Number	A:Power	B:Flow Rate	C:V	D:I	E:Vp	Y:DB 值
1	2	75	842	1.2	100	2.5
2	1	75	1120	0.9	100	5
3	1	75	1076	0.9	22	5
4	1	75	855	1.2	100	1.5
5	1	75	843	1.1	100	1.5
6	1	75	832	1.2	100	0.5
7	1	75	1072	0.9	15	4
8	1	75	1087	0.9	25	4.05
9	1	75	1023	0.9	35	4.1
10	0.8	75	912	0.8	25	4.15
11	1	75	1009	1	25	4.2
12	1.2	75	1123	1	25	4.25
13	1.4	75	1167	1.2	25	0.6
14	1.6	75	1200	1.3	25	0.7
15	1	50	1200	0.7	25	2.5
16	1	100	965	1	25	4.3
17	1	150	822	1.2	25	2.5
18	1	75	842	1.2	100	2.5
19	1	75	1120	0.9	100	5
20	1	75	1076	0.9	22	5
21	1	75	855	1.2	100	1.5
22	1	75	843	1.1	100	1.5
23	1	75	832	1.2	100	0.8
24	1	75	1072	0.9	15	4.35
25	1	75	1087	0.9	25	4.4
26	1	75	1023	0.9	35	4.45
27	0.8	75	912	0.8	25	3.8
28	1	75	1009	1	25	3.85
29	1.2	75	1123	1	25	3.9
30	1.4	75	1167	1.2	25	0.9
31	1.6	75	1200	1.3	25	1
32	1	50	1200	0.7	25	2.5
33	1	100	965	1	25	4.65
34	1	150	822	1.2	25	2.5
35	1	75	842	1.2	100	2.5

Number	A:Power	B:Flow Rate	C:V	D:I	E:Vp	Y:DB 值
36	1	75	1120	0.9	100	5
37	1	75	1076	0.9	22	5
38	1	75	855	1.2	100	1.5
39	1	75	843	1.1	100	1.5
40	1	75	832	1.2	100	1.3
41	1	75	1072	0.9	15	4.7
42	1	75	1087	0.9	25	4.75
43	1	75	1023	0.9	35	4.8
44	0.8	75	912	0.8	25	4.7
45	1	75	1009	1	25	4.9
46	1.2	75	1123	1	25	4.65
47	1.4	75	1167	1.2	25	1.1
48	1.6	75	1200	1.3	25	1.2
49	1	50	1200	0.7	25	2.5
50	1	100	965	1	25	4.5
51	1	150	822	1.2	25	2.5