

田口方法

品質設計的原理與實務

Taguchi Methods

Principles and Practices of Quality Design

李輝煌 著

國立成功大學工程科學系



高立圖書有限公司

隨書附光碟

田口方法：品質設計的原理與實務 = Taguchi
methods : principles and practices of quality
design / 李輝煌著，-- 三版修訂，-- 臺北縣五

股鄉：高立，民 97.01

面：公分

部分內容為英文

參考書目：面

含索引

ISBN 978-986-412-559-3 (平裝附光碟片)

1. 實驗計畫法

494.56

96025839

田口方法—品質設計的原理與實務 (書號：10755)

中華民國 98 年 1 月 10 日三版二刷

著者：李輝煌

發行人：楊明德

出版者：高立圖書有限公司

電話：(02)22900318 郵撥：01056147

網址：www.gau-lih.com.tw

住址：台北縣五股工業區五工三路116巷3號

登記證：行政院新聞局局版臺業字第1423號

有著作權・翻印必究

定價：660 元整

ISBN：978-986-412-559-3

獻給已過逝的父親，
及所有台灣戰後第一代創業者；
經濟奇蹟是他們對品質堅持的必然結果。

前言

Preface

目 標

本書自 2000 年初版至今已近八年，原始目標在提供一本淺顯易懂的「田口方法」教科書給大學院校的學生及工業界的工程師，因為作者有感於大部份教科書(Refs. 2-10, 13-17, 23, 24, 29)深奧難懂：內容有許多不必要的複雜性，太多沒有誘導或加以闡釋的計算公式。就「淺顯易懂」的目標而言，作者確實接受到許多正面回應：許多學生或工程師因為這本書而能很快上手，開始能進行品質設計或改善的工作。但是，透過 e-mail、電話、面對面討論、或是在工廠中一起面對生產線問題，我感受到許多學生或工程師因為沒有充份理解這些方法的理論基礎，以致於無法真正有效率的應用這些方法；因為偏離了這些方法的精神所在，以致於浪費了許多寶貴的資源。這些經驗的累積讓我漸漸無法滿意於第一版的單純目標，覺得有必要重新寫一本更完整的「田口方法」教科書，對理論基礎作較深入的解說，希望使學生及工程師有更紮實的背景。本次大幅度改版是希望在維持原有的「淺顯易懂」(friendliness)目標下，同時達到另一個目標：完整性(completeness)。

結 構

「淺顯易懂」與「完整性」常是矛盾的：為了達到完整性，篇幅勢必大量擴張；篇幅增加表示讀者的負擔增加，也表示讀者必須將更多的理論、工具、及方法作有效的消化。為了同時達成這些目標，作者花了很多心思將內容做有效率的組織。

和初版一樣，本書在出版前已經在成大工程科學系，以講義的方式使用了兩年，藉此修正了許多不盡理想的內容及結構。本書結構主要是設計來作為大學院校一個學期（三學分）的「田口方法」課程（或其它名稱，譬如「品質設計方法」或「實驗設計法」）教材。作者並沒有假設讀者有任何先修課程的背景，所以本書並不限定為大學部或研究所的教科書，也不限定為技職學院或研究型大學的教科

畫。事實上，我將此課程定位為一般性的「工程設計及研發方法」課程，而非某一領域（譬如機械或電機）的專業課程。除了作為大學院校的教科書外，本書也設計來作為工業界的訓練教材。

第一章（田口方法概論）藉著兩個實例對田口方法作了相當完整的介紹，也引導出本書大部份的名詞及觀念。這一章單獨可以作為工業界的訓練教材：三至六小時的「田口方法簡介」課程的教材。此類課程是作為工程師的入門課程或是專為管理階層所開授的概念性課程。

第二章（資料分析的基礎）對統計學中的一些基本名詞作一介紹，並介紹了如何利用 Excel 來製作第一章的實例所用到的圖表。第三章（直交表實驗）、第四章（品質計量方法）、第五章（變異分析）分別介紹了田口方法中的三大核心工具：直交表、 S/N 比、及變異分析。第一至五章可以合併作為「基礎田口方法」工業界短期課程的教材（四天至六天共十二至二十四小時）。此類課程是為一般尚未有任何「田口方法」背景的工程師所開授。

第六章（穩健品質設計）是繼第一章後，對田口方法更進一步的綜合性討論。第七章（直交表深入探討）是對直交表理論作較深入的探討，包括直交表的建構、交互作用表的建構、及介紹「近直交表」（並不全然直交，但是近乎直交的實驗陣列）實驗方法。第八章（個案介紹）介紹了五個具代表性的工業實例，其中最後兩個是比較複雜的應用。第六至八章可以作為「進階田口方法」工業界短期課程的教材（三天至四天共九至十六小時）。此類課程是為一般已經有「田口方法」背景並具實務經驗的工程師所開授。

本書如果用來作為大學院校一個學期的教科書，授課者可以依實際的需要，從第六至八章這些進階的章節中，酌情刪除一些章節，而不致於影響連貫性。

除了例行考試外，作者會要求學生在期末繳交一份專題報告，題目是由學生自由選定的。本書的章節結構也有考慮到配合期末專題的執行。第五章結束時，學生應該已經具備所有的基礎來構思他的期末專題了。我通常要求學生在這個時候自行確認專題的可行性，並繳交一頁的初步報告，內容包括完整的標題及必要的背景說明（說明該標題的意義）。期末專題的最後報告通常在學期結束的前一週，由學生和老師以一對一的口試方式進行（每個學生排定 10 至 15 分鐘時間）。我也會選出幾個表現優秀的學生，於學期最後一週，在全班的同學面前報告他的

專題，讓學生之間互相觀摩；如果班上有在職工程師報告他的專題時，其它同學（及老師）常常可以從中認識到最近工業界的熱門話題。

計算平台：Excel

田口方法需要很多計算工作，但是這些計算工作比起其它工程分析（譬如結構分析或電路分析）算是簡易得多，所有計算工作幾乎只使用到加減乘除而已，有些計算則需要使用到統計函數。市面上雖然可以購買到相關的計算軟體，譬如你可以從 ASI（Ref. 1）網站上訂購，但是作者並不鼓勵學生或工程師依賴這種「黑盒子」幫你做資料分析。作者強烈建議學生或工程師利用諸如 Excel 做資料分析的平台，原因是：（1）如此可以自已完全掌握資料分析過程，（2）可以依個別的情況設計適當的圖表，（3）前面提過這些計算流程事實上並不複雜，與其購買一套軟體後花精力去研究如何使用，並且擔心使用錯誤，不如花一些精力熟練這些計算流程，在 Excel 平台上自行發展一些讓自己終身受用的工具。

本書所有圖表都是利用 Excel 製作的；事實上，學習使用 Excel 去製作這些圖表也是本書的教學目標之一。下列是作者為此目標所提供的具體作法：（1）在 2.2 節及 5.5 節，作者針對 Excel 圖表製作設計了一些教材，包含錄製了一些影音檔（wmv 格式）來解說本書所有圖表的製作流程，這些影音檔都附在隨書所附的光碟及專屬網頁上。（2）每一章節內所有的圖表都附在隨書所附的光碟及專屬網頁上，讀者除了可經由檢視這些 Excel 圖表來學習製作過程外，許多圖表可以讓你直接套用或修改來符合自己的需要。

實例及練習題

本書內容包含了許多實例，讀者至少應該親自演練過每一個實例的計算過程，這是課程的最低要求。本書在每節最後都設計了一些練習題，這些練習題是為了幫學生加強學習效果而設計，如果已經可以全盤理解課文及實例的內容，練習題是可以省略的。每個練習題之後所附的參考解答是作者所建議的答案，常常不是唯一的答案。尤其是名詞定義及簡答題，回答的方式不應限制於作者所提供的答案。但是一般而言，參考解答是作者認為最簡單明白的答案；讀者可以充份理解後，（在

考試或回答別人的問題時) 用自己的語言重新輕鬆自然地描述出來即可，千萬不要死背下來。

授課老師在給學生考試的時候，可以從這些實例或練習題挑選出來作為考題，或者根據情況自行設計考題。考試可以是 open books 或 close books 的形式，但是因為考試時無法使用 Excel 的統計函數功能，查閱統計圖表變成無法避免的工作。如果是 close books 的考試形式，必要的統計圖表及較繁雜的計算公式可以酌情附在試卷上。

光碟及網頁

隨書所附的光碟中包含前述的 Excel 圖表製作教材及本書所有的 Excel 圖表。此外本書有一個專屬的網頁，目的是：(1) 維護一份完整的堪誤表；本書若發現有任何錯誤會馬上公佈在這個網頁上。(2) 作為讀者與作者之間的溝通管道；讀者可以透過網頁所附的 e-mail 信箱和作者討論問題，作者除了儘量回覆問題外，有些值得共享的問題會公佈在這個網頁上。(3) 隨書所附的光碟內容，或其它輔助教材也可以經由這個網頁下載。這個網頁可以經由作者的個人網址進入：

myweb.ncku.edu.tw/~hhlee

感 恩

常常有國內的研究著作（期刊論文或碩博士論文）引用到本書內容，本人感到相當榮幸，但是書目資料卻也常有錯誤或不完整之處。若您要在論文中引用本書，以下是較完整的中英文格式，可供參考：

李輝煌，田口方法：品質設計的原理與實務，高立圖書有限公司出版，2008 年。

Lee, Huei-Huang, *Taguchi Methods: Principles and Practices of Quality Design*, Gau Lih Book Co. Ltd., Taipei, Taiwan, 2008. (in Chinese language)

本書新版能夠完成，從投影片、講義的形式、課堂上的初稿、到最後成書，最大的助力是我的課堂上的學生及前版的使用讀者，因為他們的需要，讓我有足夠的動力去完成這一本教科書。在課堂上的「試用」期間，我從許多學生得到很多寶貴的意見，謝謝這些學生，尤其是那些幫我逐字校對的學生，特別是博士班的黃禹弘同學（目前同時擔任一家美商半導體設備公司的資深製程工程師）在最後階段的逐字精讀下，挑出了不少筆誤。

我要感謝成功大學及工程科學系提供了一個自由的工作環境及優雅的校園，讓我能毫無壓力下完成這一本書。我的長年共同研究的夥伴，本校機械系的黃聖杰教授、中華醫事科技大學的黃登淵教授（前高雄應用科技大學模具系教授）、以及本系的許多同仁，曾經和他們共同執行了許多計劃，讓我獲益甚多，對本書的撰寫有實質的幫助。黃登淵教授在百忙之中（目前擔任健康與管理學院院長）特別撥出時間，在出版前閱讀一次，並提出不少意見；感激不盡。當然也要感謝出版商，高立圖書公司，過去的幾年和他們有相當愉快的合作經驗。我也要感謝我的家人，包括我的太太及兒子（還有我飼養的所有小動物），在本書的寫作過程中，他們常常和我分享其中的喜悅（我的兒子在國中二年級時，還將直交表應用在他的科展專題上呢！）

最後，我希望以此書來紀念幾年前過逝的父親，一位受過傳統日式教育的台灣戰後第一代創業者；我不只受惠於他的庇蔭，可以順利成長，也有幸親身目睹那一代的台灣人（從技術工人到工廠老板）對品質的態度：他們將品質視為等同於個人的信譽，並盡一切努力去維護它；父親的身教讓我受益無窮。

李輝煌

國立成功大學工程科學系

公元 2008 年 1 月

目 錄

Table of Contents

前言	Preface	1
目錄	Table of Contents	6
符號一覽表	List of Symbols	15
第 1 章 田口方法概論	Taguchi Methods Overview	17
1.1 歷史回顧	A Historical Review	18
1.1-1 戰後的日本	Postwar Japan	18
1.1-2 田口玄一博士	Dr. Genichi Taguchi	18
1.1-3 美國供應商協會 (ASI)	American Supplier Institute (ASI)	19
1.1-4 英文著作	English Publications	20
1.1-5 台灣	Taiwan	20
1.2 實例：瓷磚製程設計	Design of Tile Manufacturing Process	21
1.2-1 問題描述	Problem Description	21
1.2-2 品質特性	Quality Characteristics	22
1.2-3 理想機能	Ideal Function	22
1.2-4 控制因子	Control Factors	23
1.2-5 控制因子的變動水準	Levels of Control Factors	23
1.2-6 干擾因子	Noise Factors	24
1.2-7 實驗直交表	Orthogonal Array	25
1.2-8 實驗紀錄表及實驗數據	Experimental Log/Data	26
1.2-9 S/N 比	S/N Ratios	27
1.2-10 因子效應	Factor Effects	28
1.2-11 反應表及反應圖	Response Table/Graph	30
1.2-12 品質特性的反應表及反應圖	Responses of Quality Characteristics	31
1.2-13 控制因子的分類	Classification of Control Factors	32
1.2-14 製程最佳化	Process Optimization	33
1.2-15 確認	Confirmation	35
1.2-16 預測	Prediction	36
1.2-17 確認實驗	Confirmation Experiments	37
1.2-18 製程改善前後的比較	Comparison	38
1.2-19 後語	Postscript	38
1.2-20 練習題	Exercises	38

1.3 實例：煞車組件設計	Design of a Brake Assembly	42
1.3-1 問題描述	Problem Description	42
1.3-2 品質特性及理想機能	Quality Characteristics and Ideal	44
1.3-3 信號因子	Signal Factors	44
1.3-4 控制因子	Control Factors	45
1.3-5 干擾因子	Noise Factors	45
1.3-6 實驗直交表	Orthogonal Array	46
1.3-7 實驗數據與 S/N 比計算	Experimental Data and S/N Ratios	47
1.3-8 因子反應分析	Factor Response Analysis	49
1.3-9 設計最佳化	Design Optimization	50
1.3-10 確認	Confirmation	52
1.3-11 設計改善前後的比較	Comparison	53
1.3-12 練習題	Exercises	54
1.4 田口方法摘要	Taguchi Methods Summary	57
1.4-1 工程研發的步驟	Engineering Design Process	57
1.4-2 穩健參數設計法	Robust Parameter Design	59
1.4-3 田口方法的步驟	Steps of Taguchi Methods	60
1.4-4 本書其它章節的課題	Topics in Other Chapters	63
1.4-5 練習題	Exercises	64
第 2 章 資料分析的基礎	Basics of Data Analysis	67
2.1 基本統計學	Basic Statistics	68
2.1-1 概率與概率密度	Probability/Probability Density	69
2.1-2 平均值與標準偏差	Average/Standard Deviation	71
2.1-3 自由度	Degrees of Freedom	74
2.1-4 常態分佈	Normal Distribution	74
2.1-5 常態分佈曲線的應用：不良率	Defect Rate	76
2.1-6 標準常態分佈	Standard Normal Distribution	77
2.1-7 練習題	Exercises	79
2.2 Excel 圖表製作（一）	Graphing/Tabling Using Excel	81
2.2-1 簡單計算工作	Simple Calculations	81
2.2-2 簡單統計圖	Simple Graphing	81
2.2-3 曲線圖	Drawing Curves	82
2.2-4 AVERAGE, STDEV, STDEVP	Excel Functions	82
2.2-5 NORMDIST, NORMINV	Excel Functions	83
2.2-6 NORMSDIST, NORMSINV	Excel Functions	83
2.2-7 S/N 比計算	S/N Ratios Calculations	84
2.2-8 陣列運算	Arrays Operations	85
2.2-9 因子反應表	Response Tables	85

2.2-10	因子反應圖	Response Graphs	86
2.2-11	多重曲線	Multiple Curves	86
2.2-12	動態 <i>S/N</i> 比計算	Dynamic <i>S/N</i> Ratios Calculations	86
2.2-13	<i>M-y</i> 圖	<i>M-y</i> Graphs	87
2.2-14	練習題	Exercises	88
第 3 章 直交表實驗		Experiments with Orthogonal	89
3.1 實驗設計法		Experimental Design Methods	90
3.1-1	試誤法	Try-and-Error	90
3.1-2	一次一因子實驗法	One-Factor-at-a-Time	90
3.1-3	全因子實驗法	Full-Factorial Experiments	92
3.1-4	田口式直交表實驗法	Taguchi's Orthogonal Arrays	95
3.1-5	交互作用及可疊加性	Interactions and Additivity	97
3.1-6	預測最佳設計下的品質特性	Prediction	99
3.1-7	實驗模式	Empirical Models	101
3.1-8	練習題	Exercises	101
3.2 實驗模式的建構		Construction of Empirical Model	108
3.2-1	一個控制因子	One Control Factor	108
3.2-2	兩個控制因子	Two Control Factors	109
3.2-3	三個控制因子	Three Control Factors	111
3.2-4	三因子間的交互作用	Three-Factor Interactions	112
3.2-5	對數轉換：分離變數	Logarithmic Transformation: Separation	113
3.2-6	加法模式	Additive Model	114
3.2-7	練習題	Exercises	117
3.3 加法模式		Additive Model	119
3.3-1	因子效應的理論解	Analytical Factor Effects	119
3.3-2	實驗與實驗模式的建立	Building of Empirical Model	121
3.3-3	實驗模式與理論公式的比較	Comparison	123
3.3-4	討論：沒有經過對數轉換的情形	Discussion: Log Transformations	125
3.3-5	討論：二水準實驗	Discussion: 2-Level Experiments	126
3.3-6	對數轉換的負面效果	Drawbacks of Log Transformation	129
3.3-7	練習題	Exercises	130
3.4 含交互作用的實驗模式		Empirical Model with Interactions	134
3.4-1	因子效應的理論解	Analytical Factor Effects	134
3.4-2	兩水準直交表實驗 (L_8)	2-Level Experiments with L_8 Orthogonal	137
3.4-3	三水準直交表實驗 (L_{27})	3-Level Experiments with L_{27} Orthogonal	144
3.4-4	混合水準直交表實驗 (L_{18})	Mix-Level Experiments with L_{18} Array	150
3.4-5	練習題	Exercises	155

3.5 直交表概觀	Overview of Orthogonal Arrays	159
3.5-1 直交表	Orthogonal Arrays	159
3.5-2 交互作用表	Interaction Tables	164
3.5-3 點線圖	Linear Graphs	165
3.5-4 因子效應及交互作用間的混淆	Confounding	165
3.5-5 直交表實驗的解析度	Resolutions	167
3.5-6 簡易的直交表修改方法	Modification of Orthogonal Arrays	168
3.5-7 練習題	Exercises	171
第4章 品質計量方法	Measure of Quality	175
4.1 各種品質計量方法介紹	Methods of Quality Measurement	177
4.1-1 現況描述	Scenario Description	177
4.1-2 不良率	Defect Rate	178
4.1-3 製程能力指標	Process Capability Index	179
4.1-4 S/N 比	S/N Ratios	180
4.1-5 三種品質評估方法之比較	Comparison	181
4.1-6 調整至目標值後的比較	Comparison After Adjustments	182
4.1-7 練習題	Exercises	183
4.2 品質損失	Quality Loss	185
4.2-1 品質損失	Quality Loss	185
4.2-2 品質損失函數	Quality Loss Functions	185
4.2-3 品質損失係數	Quality Loss Coefficient	186
4.2-4 平均品質損失	Average Quality Loss	191
4.2-5 練習題	Exercises	197
4.3 S/N 比	S/N Ratios	198
4.3-1 S/N 比	S/N Ratios	198
4.3-2 望目特性第一型的 S/N 比	S/N Ratio for Type-1 NB Case	201
4.3-3 望目特性第二型的 S/N 比	S/N Ratio for Type-2 NB Case	202
4.3-4 望目特性第三型的 S/N 比	S/N Ratio for Type-3 NB Case	202
4.3-5 望小特性的 S/N 比	S/N Ratio for SB Case	203
4.3-6 望大特性的 S/N 比	S/N Ratio for LB Case	205
4.3-7 原點直線型	Zero-Point Proportional Case	206
4.3-8 原點直線型第一型的 S/N 比	S/N Ratio for Type-1 ZP Case	207
4.3-9 原點直線型第二型的 S/N 比	S/N Ratio for Type-2 ZP Case	208
4.3-10 S/N 比摘要	S/N Ratios Summary	211
4.3-11 練習題	Exercises	213
4.4 S/N 比數值上的意義	Numerical Meaning of S/N Ratios	216
4.4-1 由 S/N 比推算品質損失	S/N Ratio and Quality Loss	216

4.4-2	實例	Examples	218
4.4-3	練習題	Exercises	219
4.5	實例：複晶矽沉積製程的改善	Polysilicon Deposition Process	220
4.5-1	問題描述	Problem Description	220
4.5-2	品質特性及理想機能	Quality Characteristics and Ideal	222
4.5-3	控制因子及其變動水準	Control Factors and Levels	223
4.5-4	干擾因子	Noise Factors	224
4.5-5	實驗直交表	Experimental Orthogonal Arrays	224
4.5-6	實驗數據	Experimental Data	226
4.5-7	S/N 比	S/N Ratios	227
4.5-8	因子反應分析	Factor Responses Analysis	230
4.5-9	製程最佳化	Process Optimization	232
4.5-10	確認	Confirmation	234
4.5-11	後續實驗	Follow-up Experiment	238
4.6	其它理想機能	Other Types of Ideal Functions	239
4.6-1	機能窗型	Operating Window	239
4.6-2	參考點直線型	Reference-Point Proportional	240
4.6-3	量測儀器的校準	Calibration of Measuring Instruments	241
4.6-4	雙信號型	Double Signals	242
4.6-5	非線性型	Nonlinear Characteristics	244
第 5 章	變異分析	Analysis of Variance	245
5.1	變異的分解	Decomposition of Variations	247
5.1-1	實驗誤差	Experimental Errors	247
5.1-2	變異的分解：1 個控制因子	Decomposition of Variations	250
5.1-3	變異的分解：多個控制因子	Multiple Control Factors	252
5.1-4	實例： $L_4(2^3)$ 直交表實驗	Example: $L_4(2^3)$ Experiments	258
5.1-5	實例：瓷磚製程實驗	Example: Tile Experiments	261
5.1-6	練習題	Exercises	263
5.2	因子的重要性測試	Significance Tests	265
5.2-1	中間極限值定理	Central Limit Theorem	265
5.2-2	F 分佈	F Distribution	267
5.2-3	因子效應的重要性測試： F 測試	Significance Test	269
5.2-4	練習題	Exercises	273
5.3	誤差的統合	Pooling of Errors	276
5.3-1	實例：磁磚製程實驗	Example: Tile Experiments	276
5.3-2	S/N 比的平方和及自由度的公式	Formula for S/N Ratios	279
5.3-3	實例：煞車組件設計	Example: Brake Design	280

5.3-4 練習題	Exercises	283
5.4 信賴區間	Confidence Intervals	285
5.4-1 何謂信賴區間	Confidence Intervals	285
5.4-2 標準偏差的不確定性： t 分佈	t -Distributions	287
5.4-3 平均值的不確定性	Uncertainty of Averages	290
5.4-4 因子反應值的信賴區間	CI for Factor Responses	291
5.4-5 預測值的信賴區間	CI for Predictive Values	294
5.4-6 確認實驗計算值的信賴區間	Confidence Intervals for Confirmation	295
5.4-7 預測值與確認實驗計算值的比較	Prediction and Confirmation	296
5.4-8 t 分佈與 F 分佈的關係	t - and F -Distribution	297
5.4-9 練習題	Exercises	298
5.5 Excel 圖表製作 (二)	Graphing/Tabling Using Excel	302
5.5-1 交互作用表與圖	Interaction Tables/Graphs	302
5.5-2 變異分析表	ANOVA Table	302
5.5-3 誤差統合	Pooling of Errors	303
5.5-4 對 S/N 比的變異分析	ANOVA for S/N Ratios	304
5.5-5 含誤差線的因子反應圖	Graphs with Error Bars	304
5.5-6 練習題	Exercises	305
第 6 章 穩健品質設計	Robust Quality Design	307
6.1 穩健性	Robustness	308
6.1-1 內部與外部干擾因子	Internal/External Noises	308
6.1-2 穩健品質設計的原理	Principles of Robust Design	310
6.1-3 直交表實驗中干擾因子的安排	Noise Strategies	312
6.1-4 兩階段最佳化	Two-Stage Optimization	315
6.1-5 設計變更與穩健性	Design Changes and Robustness	316
6.1-6 生產操作環境的變更與穩健性	Environment Changes	316
6.1-7 練習題	Exercises	316
6.2 降低交互作用	Reducing Interactions	318
6.2-1 強交互作用與弱交互作用	Strong/Weak Interactions	318
6.2-2 品質特性的選擇	Selection of Quality Characteristics	319
6.2-3 S/N 比或理想機能的選擇	Selection of S/N Ratios	321
6.2-4 控制因子及水準值的選擇	Selection of Control Factors	323
6.2-5 練習題	Exercises	325
6.3 實驗效率	Efficiency of Experiments	327
6.3-1 實驗效率的必要性	Necessity of Efficiency	327
6.3-2 提高實驗效率的策略	Promoting Efficiency	327
6.3-3 降低交互作用	Reducing Interactions	328

6.3-4	三級解析度直交表實驗	Resolution III Experiments	328
6.3-5	分散交互作用直交表	Distributed Interactions	328
6.3-6	區隔已知交互作用	Isolating Interactions	331
6.3-7	四級解析度直交表實驗	Resolution IV Experiments	332
6.3-8	將交互作用加入實驗模式	Empirical Model with Interactions	333
6.3-9	練習題	Exercises	334

第 7 章 直交表深入探討

7.1 直交表的建構

7.1-1	直交表的等效關係	Equivalence of Orthogonal Arrays	339
7.1-2	純二水準直交表的建構： $L_4(2^3)$	Construction of a 2-Level OA: $L_4(2^3)$	341
7.1-3	其它純二水準直交表的建構	Construction of Other 2-Level OA's	344
7.1-4	純三水準直交表的建構	Construction of 3-Level OA's	346
7.1-5	混合水準直交表的建構	Construction of Mix-Level OA's	348
7.1-6	練習題	Exercises	351

7.2 交互作用表的建構

7.2-1	兩行直交的必要條件	Necessary Condition of Orthogonality	355
7.2-2	純二水準的交互作用表	Interaction Table for 2-Level OA	357
7.2-3	純三水準的交互作用表	Interaction Table for 3-Level OA	358
7.3-4	三水準因子交互作用的數值意義	Numerical Meaning of 3-Level Interaction	358
7.4-5	練習題	Exercises	363

7.3 近直交表實驗

7.3-1	$A_{18}(2^1 \times 3^8)$ 近直交表	Nearly OA: $A_{18}(2^1 \times 3^8)$	364
7.3-2	$A_{36}(2^3 \times 3^{16})$ 近直交表	Nearly OA: $A_{36}(2^3 \times 3^{16})$	369
7.3-3	$A_{12}(2^1 \times 3^5)$ 近直交表	Nearly OA: $A_{12}(2^1 \times 3^5)$	373
7.3-4	$A_{24}(2^1 \times 3^{11})$ 近直交表	Nearly OA: $A_{24}(2^1 \times 3^{11})$	376
7.3-5	近直交表實驗的效益	Benefits of Using Nearly OA's	380
7.3-6	練習題	Exercises	382

第 8 章 個案介紹

8.1 送紙機構的設計

8.1-1	操作窗	Operating Window	390
8.1-2	操作窗型的 S/N 比	S/N Ratios	391
8.1-3	實驗數據	Experimental Data	392
8.1-4	設計參數最佳化	Design Optimization	393
8.1-5	決定彈簧張力	Design of Spring Force	394
8.1-6	練習題	Exercises	397

Exploring Orthogonal Arrays 337

Construction of Orthogonal Arrays 339

Equivalence of Orthogonal Arrays 339

Construction of a 2-Level OA: $L_4(2^3)$ 341

Construction of Other 2-Level OA's 344

Construction of 3-Level OA's 346

Construction of Mix-Level OA's 348

Exercises 351

Construction of Interaction Tables 355

Necessary Condition of Orthogonality 355

Interaction Table for 2-Level OA 357

Interaction Table for 3-Level OA 358

Numerical Meaning of 3-Level Interaction 358

Exercises 363

Nearly Orthogonal Arrays 364

Nearly OA: $A_{18}(2^1 \times 3^8)$ 364

Nearly OA: $A_{36}(2^3 \times 3^{16})$ 369

Nearly OA: $A_{12}(2^1 \times 3^5)$ 373

Nearly OA: $A_{24}(2^1 \times 3^{11})$ 376

Benefits of Using Nearly OA's 380

Exercises 382

Case Studies 389

Design of a Paper Handling Mechanism 390

Operating Window 390

S/N Ratios 391

Experimental Data 392

Design Optimization 393

Design of Spring Force 394

Exercises 397

8.2 塑膠押出成型製程的改善	Improvement of an Extrusion Process	401
8.2-1 參考點直線型	Reference-Point Proportional	401
8.2-2 實驗數據	Experimental Data	402
8.2-3 製程最佳化	Process Optimization	404
8.2-4 確認	Confirmation	406
8.2-5 練習題	Exercises	407
8.3 IC 封裝製程設計	Design of an IC Packaging Process	411
8.3-1 問題描述	Problem Description	411
8.3-2 電腦模擬模型的驗證	Verifying Simulation Model	411
8.3-3 設計目標	Design Objectives	413
8.3-4 品質特性	Quality Characteristics	413
8.3-5 控制因子	Control Factors	413
8.3-6 干擾因子	Noise Factors	414
8.3-7 干擾實驗	Noise Experiments	414
8.3-8 主實驗	Main Experiments	416
8.3-9 設計最佳化	Design Optimization	418
8.3-10 確認	Confirmation	418
8.4 差動運算放大電路的設計	Design of a Differential Op-amp Circuit	421
8.4-1 問題描述	Problem Description	421
8.4-2 干擾因子及變動水準	Noise Factors and Their Levels	422
8.4-3 原始設計下的干擾實驗	Noise Experiments at Initial Design	425
8.4-4 控制因子及變動水準	Control Factors and Their Levels	428
8.4-5 主實驗	Main Experiments	429
8.4-6 資料分析與設計最佳化	Data Analysis and Optimization	430
8.4-7 加法模式的確認	Confirmation	432
8.4-8 公差設計	Tolerance Design	433
8.4-9 品質設計的效益討論	Discussion	435
8.5 刨銷刀具可靠性的改善	Reliability Improvement of Router Bits	437
8.5-1 問題描述	Problem Description	437
8.5-2 品質特性	Quality Characteristics	438
8.5-3 干擾因子與控制因子	Noise Factors and Control Factors	438
8.5-4 直交表設計	Orthogonal Array Design	440
8.5-5 實驗數據	Experimental Data	444
8.5-6 因子反應分析與變異分析	Response Analysis and ANOVA	444
8.5-7 設計最佳化	Design Optimization	447
8.5-8 存活率分析	Survival Probability Analysis	449

附錄 A 直交表	Orthogonal Arrays	453
A.1 兩水準的直交表	Two-Level Orthogonal Arrays	453
A.2 三水準為主的直交表	Three-Level Orthogonal Arrays	459
A.3 四水準為主的直交表	Four-Level Orthogonal Arrays	465
A.4 五水準為主的直交表	Five-Level Orthogonal Arrays	467
A.5 近直交表	Near-Orthogonal Arrays	469
附錄 B 統計函數及圖表	Statistical Functions/Tables	475
B.1 Excel 統計函數	Excel Statistical Functions	475
B.2 標準常態分佈	Standard Normal Distribution	479
B.3 F 分佈	F -Distribution	481
B.4 t 分佈	t -Distributuion	486
附錄 C 參考文獻	References	487
附錄 D 索引	Index	491