

數位色彩管理科學

— 色彩度量學



羅梅君 著

1800
2014/1

CIE(x,y)色度圖

數位色彩管理科學

色彩度量學



國家圖書館出版品預行編目資料

數位色彩管理科學：色彩度量學 / 羅梅君 作

—— 初版. —— 臺北市：羅梅君，民 99.06

面； 公分

參考書目：面

含索引

ISBN 978-957-41-7282-5 (平裝)

1. 色彩學 2. 光譜學 3. 視覺理論 4. 測量學

336.6

99011015

數位色彩管理科學：色彩度量學

作 者：羅梅君

出 版 者：羅梅君

地 址：台北市文山區木柵路一段17巷1號（世新大學）

電 話：（02）2236-8225 轉 3364

（02）2236-0335

傳 真：（02）2236-0335

信 箱：mcl@cc.shu.edu.tw；mclo_paddy@hotmail.com

封面設計：簡彤郢

美術完稿：劉祐福

製版印刷：磐古印刷科技股份有限公司

初版日期：民國 99 年 6 月

定 價：新台幣 1200 元

版權所有・翻印必究

數位色彩管理科學

學棣羅梅君教授，新著「數位色彩管理科學：色彩度量學」樣書來寓，要請我寫篇序文。我告訴她：「老朽八十六歲，已退休太久，與新科技脫節，實不相宜。」但她執意不肯放過，只好先看完她這本新書，再舊話重提，拼湊交卷。

現在是花花世界、多彩多姿，凡是生活上所接觸到的，無一不色、無處不彩。回想二十七年前的民國七十二年六月，我在中國文化大學工學院的「華岡工科學報」第二期 1—14 頁，發表「論色彩複製及品管數據系統的建立」一文，其中提到臺中「印刷出版社」精心印製的一大本「興臺演色表」時，有一段話說：『興臺演色表，是以義大利 Polichrome150 網屏過網，日本 YamatoyaG2 P.S. 版製版，日本大同油墨 6311 青、G14 洋紅、6042 黑、6201 黃、日本秋山 SA38 單色平印機、國產永豐 150 磅雙光銅版紙印刷，印壓 0.1mm，硬墊法，時速 5000 刷，溫度 25℃，濕度 55%—65% R.H.，用 Macbeth RD505 反射濃度計測定濃度。滿版油墨濃度：青 1.45 ± 0.05 ，洋紅 1.35 ± 0.05 ， 1.0 ± 0.05 ，黑 1.65 ± 0.05 。在印刷進行中，每隔 30 張抽樣檢查，印完後再逐張檢測其濃度，各色均合乎標準者，僅有 40%。製作之嚴謹，可以想見。』

不過，這只是「興臺印刷公司」用上述機器、設備、材料在當時標準狀況下的演色標準，如果任何因素有了改變，便不能作為標準依據。印刷同業中任何一家工廠，如果上述條件與「興臺印刷公司」不是完全相同，便不能用「興臺演色表」來作管制色彩複製的標準，因為絕對印不出同樣的成果來。因此，這本演色表，不能作為其他印刷廠的標準，只適合在興臺公司自己用。但同業工廠，可以仿照「興臺演色表」的作法，製作自己工廠專用的演色表，建立自己的標準。』

當時的機材廠商，為了掌控市場佔有率，往往自設特殊規格或特殊配

方，買了他的機器，就必須長期依賴他的零件或材料供應，也經常需要該廠商專業人員協助校準工作，否則，機器就不能發揮原有的功能。例如照相沖印，柯達、富士、愛克發…各有自己一套專用的機材和藥水，彼此不能取代；電子掃描分色、電腦排字組版、…等，亦復各有一套專用的系統，使愛用的業者，受到控制。所幸，這種獨佔的作法，不久便被業者揚棄，機材商作繭自縛，相繼倒閉者間或有之。

但業者混用不同機材廠商的產品之後，色彩複製的標準就更難控制，於是便產生了色彩管理系統的問題。就像世界語言有千百種，需要有一種共通的語言（例如英語）一樣，色彩複製也必需有一個共通的平台。質言之，實有必要發展出一套共通的色彩語言、把「與成像相關」的 RGB、CMYK 轉換成國際共通的系統，來解決色彩複製的管理問題。如今的色彩複製，不需軟片、不需分色、不需過網、不需沖片、不需製版、甚至不需印刷機按四色印刷了。國際色彩聯盟（ICC）所推「屬共通色彩語言」的色彩管理架構、國際照明委員會從 1931 年開始所創的 CIE 定色標準，這兩者實為最大功臣。跨媒體色彩管理—彩色影像管理及數位色彩的控制技術，是重要關鍵。而精通色彩理論，則是首要基本條件。

羅梅君教授，畢業於中國文化大學印刷系、所，於任教多年之後，赴英國進修色彩科學，從色彩學先進羅明博士教導之下，榮獲博士學位，她是中華民國包括羅明博士在內的第二位色彩學博士，還有郭文貴博士也是與羅梅君同時獲得色彩博士學位者、隨後又增加了李天任博士、陳鴻興博士、孫沛立博士、徐明景博士、…等。

羅梅君博士率同陳鴻興博士、孫沛立博士、徐道義博士，首先在世新大學設立「顯示科技學程」，結合資訊管理學系、數位多媒體設計學系及圖文傳播暨數位出版學系跨科系學程。李天任博士創設了「中華色彩學會」，擁有二百多位會員，經常舉辦大型學術活動、出版論文集。羅明博士率同陳鴻興博士、孫沛立博士等，又在臺灣科技大學，新創設「色彩科技研究中心」，而且從 2009 年起，推出了工程技術研究所『色彩及影像科學』學程，開始

招收博士及碩士研究生，另自 2011 年即將成立「色彩科技與照明研究所」招收碩士班研究生。國內的色彩學研究，不但開始邁出大步，而且成果十分可觀。

其中，羅梅君教授的專案研究之多、參加學術活動之頻繁，發表研究論文的質與量之高，貢獻功不可沒。今著「數位色彩管理科學：色彩度量學」一書適時出版，提供有志於研究色彩科學之各界人士，一套完整的色彩理論基礎知識。本書包括八章三十三節，計緒論、光源色度學、色物體測色儀器、眼睛與 CIE 標準光源效率函數、色彩視覺理論、CIE 標準色度系統、均色彩空間和色差公式、CIE 色度系統的一般性應用等，凡 A4 開本 260 頁，約 150,000 言，圖文並茂、內容翔實、編印精美、文資料豐富，確是研究色彩科學的一部傑出著作，建議從事彩色印刷、彩色電視、彩色攝影、數位出版、染料和塗料、紡織印染、造紙、照明技術、數位影像光電產業…者，皆應人手一，深入研習。在校教學色彩科學的師生，更宜採為教材，堅信對國家未來競爭力的大幅提升，必有重大貢獻。爰特為之推介如上，並權充本書序言。

李興才 2010 年 6 月於臺北明德居

自序

在 1991 年 3 月，出版了第一本處女著作：「印刷色度學」。之後，在同年的 12 月，有幸受到國科會工程處的推薦，在針對『為配合培育科技人才及推動高畫質電視基礎研究』的主旨下，以專案補助的方式，赴英國進修，並在恩師羅明博士的指導和督促之下，於 1995 年 9 月取得博士學位。從畢業至今，將近 15 年的期間，無論在從教學、研究、甚至是從事業界顧問的經歷過程中，均深深的體認到：『色彩度量學這門學科，實是色彩管理系統的關鍵學理基礎』。

在早期的「印刷色度學」這本處女作絕版之後，我就一直有一個心願，想根據後續多年來色彩管理系統整個環節的發展基礎，再重新撰寫出一本比「印刷色度學」更為完備和更新穎——屬於數位色彩管理科學領域相關的一本學理書。所以，這本書的問世，雖然是有點遲，但也算是為了完成我一件心願，能夠對自己的責任作一個交代。

有關「數位色彩管理科學：色彩度量學」這本書的內容和應用範疇在我的恩師李所長興才的「數位色彩管理科學 序」中已完備詳述，在此不再贅述。(另外，書中的一些附圖和附表可到我的研究和教學網站中查詢和下載：<http://192.192.155.90/colorgroup>)。

在寫書和出版的過程當中，曾得到我的老學生江瑞璋（目前為卡之屋電子商務部 經理）在完稿上的指導協助，磐古印刷科技股份有限公司 簡彤郢設計師在封面上精美專業的設計、劉祐福先生在美術完稿大力的幫忙、于總經理洪（亦是我的老學生）和易董事長少華在排版的建議和協助、更尤其者——在製版和印刷上的助印，另外永豐餘紙業公司林道榮（也是我以前的老學生）在紙供應方面上的協助，才使得這本書能夠順利出版。在此對他們和他們的公司致上十二萬分的謝意與感激。

世新大學資管系 羅梅君
2010 年 6 月於翰林苑自宅

目 錄

李序 數位色彩管理科學 / 李興才 教授

自序

第一章 緒論

第一節 背景	1
第二節 彩色複製學研究發展領域	2

第二章 光源色度學

第一節 色彩與可見光輻射	5
第二節 黑體輻射特性	9
2.2.1 基爾霍夫輻射定律	10
2.2.1.1 光譜輻射出度— $M_e(\lambda, T)$	10
2.2.1.2 輻射出度— $M_e(T)$	10
2.2.1.3 光譜吸收率— $\alpha(\lambda, T)$	10
2.2.1.4 基爾霍夫輻射定律	11
2.2.2 黑體輻射實驗規律	11
2.2.2.1 黑體輻射	11
2.2.2.2 史蒂芬 - 波耳茲曼定律	13
2.2.2.3 維恩位移定律	13
2.2.2.4 瑞利 - 金斯定律	13
2.2.3 蒲朗克輻射定律	14
第三節 光源的光譜能量分布	16
2.3.1 光譜能量分布的意義	16
2.3.2 測量光源的光譜能量分布	17
2.3.2.1 單色器—波長選擇	17
2.3.2.2 輻射檢測器—輻射檢測	18
2.3.2.3 光譜分析儀	19

2.3.3	光譜輻射系統的輸出.....	20
第四節	光源的色溫	20
2.4.1	分布溫度、色溫度、相關色溫度.....	21
2.4.2	色溫的測量	22
第五節	顯色性	26
2.5.1	『顯色性』與『參照基準照明體』	26
2.5.2	『顯色性』與『光譜能量分布』	27
第六節	CIE 標準光源及照明體.....	29
2.6.1	CIE 標準照明體	29
2.6.1.1	CIE 標準照明體 A.....	29
2.6.1.2	CIE 標準照明體 B 及 C.....	30
2.6.1.3	CIE 標準照明體 D.....	31
2.6.2	CIE 標準光源和日光模仿體	36
2.6.2.1	CIE 標準光源 A.....	36
2.6.2.2	CIE 標準光源 C	37
2.6.2.3	CIE 日光模仿體	37

第三章 色物體測色儀器

第一節	彩色物體	41
3.1.1	色物體的光效應	41
3.1.1.1	光的折射	42
3.1.1.2	光的反射	42
3.1.1.3	光的吸收	45
3.1.1.4	光的散射	49
第二節	光譜光度曲線和色彩感覺.....	52
3.2.1	光譜光度	52
3.2.1.1	光譜反射率因數及標準白體	54
3.2.1.2	光譜透射率因數	55
3.2.2	吸收 / 透射	56
3.2.3	反射	58
第三節	照明 / 觀測幾何機構與色彩效應	58

3.3.1	光澤性的表面	58
3.3.2	粗糙性的表面	59
3.3.3	一般的物體表面—既非「完全粗糙」亦非「非常高光澤性」	59
第四節	CIE 標準照明和觀測幾何機構	60
3.4.1	不透明物體	60
3.4.1.1	45/0	61
3.4.1.2	0/45	61
3.4.1.3	d/8(SPINC)	63
3.4.1.4	8/d(SPINC)	64
3.4.1.5	d/8(SPEX)	64
3.4.1.6	8/d(SPEX)	64
3.4.1.7	d/0(SPEX) 和 0/d(SPEX)	65
3.4.1.8	d/d	65
3.4.2	反射式物體—不同測量機構所測之特徵量值	65
3.4.3	透射式物體	65
3.4.3.1	0/0	66
3.4.3.2	d/0(INC)	67
3.4.3.3	d/0(EXC)	67
3.4.3.4	0/d(INC)	67
3.4.3.5	0/d(EXE)	67
3.4.3.6	d/d	67
3.4.4	透射式物體—不同測量機構所測之特徵量值	68
3.4.5	積光球	69
第五節	測量儀器—光譜光度儀	69
3.5.1	單色光照明與多色光照明	71
3.5.1.1	單色光照明	71
3.5.1.2	多色光照明	72
3.5.2	單色束與雙光束	72
3.5.2.1	單光束光譜光度儀	73
3.5.2.2	雙光束光譜光度儀	73

第四章 眼睛與 CIE 標準光譜光效率函數

- 第一節 眼睛的構造 75
- 第二節 明視覺和暗視覺 78
 - 4.2.1 感光細胞的感光色素 78
 - 4.2.1.1 視紫紅質—桿狀細胞的視色素 79
 - 4.2.1.2 視紫質—錐狀細胞的視色素 79
 - 4.2.2 視覺特性 81
 - 4.2.2.1 亮度水平 81
 - 4.2.2.2 感度和解晰度 82
- 第三節 光譜光效率函數 83
 - 4.3.1 CIE 標準光譜光效率函數 $V(\lambda)$ 和 $V'(\lambda)$ 85
 - 4.3.1.1 CIE 1924 標準明視覺光譜光效率函數 $V(\lambda)$ 85
 - 4.3.1.2 CIE 1951 標準暗視覺光譜光效率函數 $V'(\lambda)$ 88
 - 4.3.2 CIE 正規化標準「明視覺」與「暗視覺」光譜光效率函數 89

第五章 色彩視覺理論

- 第一節 Young-Helmholtz 三原色學說 93
- 第二節 Hering 對立色學說 95
 - 5.2.1 對立色學說的基礎 95
 - 5.2.2 對立色學說的内容 97
 - 5.2.3 對立色學說對於各種色覺現象的說明 100

第六章 CIE 標準色度系統

- 第一節 標準觀察者—配色函數 103
 - 6.1.1 為何要求「配色函數」 103
 - 6.1.1.1 配色函數的實驗 104
 - 6.1.1.2 CIE 1931-(R,G,B) 系統標準觀察者 104
 - 6.1.1.3 CIE 1931 標準觀察者資料的可信度 105
 - 6.1.1.4 假想三原色及其相關的配色函數 105
 - 6.1.2 CIE 三原色及單位的決定 106
 - 6.1.2.1 為何選取 700nm, 546.1nm 及 435.8nm 作為匹配的三原色 106

6.1.2.2	三原色單位的決定	106
6.1.2.3	配色函數的意義	108
第二節	Grassman 配色定律	113
第三節	色彩方程式	115
第四節	色度坐標和色度圖	117
6.4.1	Maxwell 色彩三角形	117
6.4.2	CIE1931-(R,G,B) 系統色度圖 (r,g)	118
第五節	CIE 1931-(X,Y,Z) 系統	120
6.5.1	R,G,B 和 X,Y,Z 之間的轉變	120
6.5.2	Y 值和亮度值 L 的關係	121
6.5.3	標準色度觀察者光譜三刺激值轉換關係式	122
6.5.4	色度坐標轉換關係式	122
第六節	CIE 1964-(X ₁₀ ,Y ₁₀ ,Z ₁₀) 系統	124
第七節	CIE 1931-(X,Y,Z) 與 CIE 1964-(X ₁₀ ,Y ₁₀ ,Z ₁₀) 兩系統的比較	126
6.7.1	標準色度觀察者光譜三刺激值曲線的比較	126
6.7.2	色度圖的比較	126
6.7.3	色彩差異的辨別能力	126
第八節	CIE 三刺激值和色度坐標的計算	127
6.8.1	CIE 三刺激值	127
6.8.1.1	一般計算公式	127
6.8.1.2	具體計算公式	127
6.8.1.3	求和法—近似積分法	129
6.8.1.4	圖示法	131
6.8.2	CIE 色度坐標與色度圖	131
第九節	主波長、刺激純度及色度純度	132
6.9.1	主波長	134
6.9.1.1	作圖法	134
6.9.1.2	計算法	135
6.9.2	純度	136
6.9.2.1	刺激純度	136
6.9.2.2	色度純度	137

第十節 色度圖上的色彩混合	140
6.10.1 兩色加法混合	140
6.10.2 多色加法混合	142

第七章 均勻色彩空間和色差公式

第一節 CIE(x,y) 色度圖的缺點和問題	145
第二節 色彩分辨力	147
7.2.1 亮度分辨力	149
7.2.2 波長和色純度分辨力	156
7.2.2.1 波長分辨力	156
7.2.2.2 色純度分辨力	158
7.2.2.3 色度分辨力	161
7.2.2.4 色彩綜合分辨力	164
第三節 CIE 均勻色彩空間及其色差公式	165
7.3.1 均勻明度標尺	166
7.3.2 均勻色度標尺— CIE 1960 UCS 和 CIE 1976 UCS 圖	167
7.3.3 CIE 1964 $U^*V^*W^*$ 色彩空間及色差公式	170
7.3.4 CIELAB 色彩空間及色差公式	173
7.3.4.1 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (CIELAB) 色彩空間	173
7.3.4.2 CIE 1976 LCH() 色彩空間	175
7.3.4.3 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (CIELAB) 色差公式	176
7.3.5 CIELUV 色彩空間及色差公式	177
7.3.5.1 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ (CIELUV) 色彩空間	177
7.3.5.2 CIE 1976 LCH() 色彩空間	178
7.3.5.3 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ (CIELUV) 色差公式	179
7.3.6 CIELUV 和 CIELAB 色彩空間均勻性的評估和比較	180
第四節 1976 年到 2001 年改進與發展的色差公式	182
7.4.1 JPC79 色差公式	183
7.4.2 CMC(l:c) 色差公式	184
7.4.3 BFD(l:c) 色差公式	185
7.4.4 CIE94 色差公式	187
7.4.5 CIEDE2000 色差公式	188

第五節 2001 年以後色差公式的發展	189
---------------------------	-----

第八章 CIE 色度系統的一般性應用

第一節 條件等色	193
8.1.1 條件等色概念	193
8.1.2 條件等色類型	197
8.1.3 條件等色程度的評價	201
8.1.3.1 照明體條件等色指數的評價	201
8.1.3.2 觀察者條件等色指數的評價	208
第二節 光源顯色性	211
8.2.1 光源顯色性概念	211
8.2.2 參照基準照明體	213
8.2.3 代表性測試色物體	213
8.2.4 色彩空間和色適應修正	215
8.2.5 顯色指數的計算	216
8.2.6 「顯色指數計算法」的更新和最近評估	218
8.2.7 「新的顯色指數計算法」未決問題	222
8.2.8 「顯色指數計算法」更新的摘要和結論	224
8.2.9 「光源色彩品質」的描述補充方法	225
8.2.10 「光源顯色性」總結	227

參考文獻

索引

附表和附圖

圖次

第一章

圖 1-1	從心理物理學觀點來看色彩的感覺的過程—則「人眼視覺感應包含了物理光學、視覺生理、及視覺心理等交叉過程」。	3c
圖 1-2	分別從心理學及物理學觀點來看色彩的感覺的過程。	3c
圖 1-3	測色學上以光感偵測器和輔助設備(如三刺激值型色度計)取代人眼偵測光。	4c

第二章

圖 2-1	電磁輻射波譜與人眼視覺的「可見光範圍」。	5c
圖 2-2	牛頓(Isaac Newton 1642~1727)的油畫像—由 Godfrey Kneller 在 1689 年所畫。	6c
圖 2-3	牛頓在劍橋大學的 Trinity 學院推導他最早有關光特性(三稜鏡光譜色散)的實驗(房中另外一人為牛頓的室友 John Wilkins)。	6c
圖 2-4	可見光譜(光譜色散)實驗證明。	6c
圖 2-5	牛頓色相環。	8
圖 2-6	牛頓色相環的另一版本。	8c
圖 2-7	空腔黑體。	11c
圖 2-8	將黑體輻射光譜輻射出度當作波長的函數,對應於不同的溫度所作的圖。	12c
圖 2-9	黑體相對光譜能量分布曲線。	16c
圖 2-10	兩種不同形式的單色光器:(a) Bunsen 稜鏡單色光器;(b) Czerny-Turner 光柵單色光器(其中 $\lambda_1 > \lambda_2$) (取自 Figure 7-16, Skoog et al. 1998)。	17
圖 2-11	光譜分析儀架構的示意圖。	19c
圖 2-12	CIE 色度圖上不同色溫度的「黑體色度軌跡」(曲線)和幾條所謂的「等色溫線」(直線)示意圖。	22c
圖 2-13	在 CIE 1960 (u, v) UCS 色度圖上的等色溫線示意圖。	23
圖 2-14	用內插法求取「相關色溫」的示意圖。	25
圖 2-15	日常生活中常見到的各種發光體的色溫示意圖。	25c
圖 2-16	光譜能量分布類型:(a)連續型;(b)線狀型;(c)和(d)組复合型。	28c
圖 2-17	CIE 標準照明體 A, C 和 D_{65} 的相對光譜能量分布。	30c
圖 2-18	CIE 1931 (x, y)色度圖中「典型日光軌跡」(D)和「Planckian 軌跡」(P)的比較。圖中的各細線分別代表 4,800K, 6,500K, 7,500K 及 10,000K 的等溫線。	31
圖 2-19	CIE 1931 (x, y)色度圖中「典型日光色度坐標落點」(視覺色度實驗測量資料)和「Planckian 軌跡」的比較。	32c
圖 2-20	構成不同時相之日光光譜能量分布的三個特徵矢量(用於 CIE 日光照明體的計算)。	34
圖 2-21	CIE 標準照明體 D 的 12 種時相光譜能量分布曲線。	35c
圖 2-22	CIE 標準照明體 D_{65} (虛線)和 3 種「 D_{65} 模仿體」之間光譜能量分布曲線比較。	38c
圖 2-23	以 2 只鹵鎢燈模擬 CIE 標準照明體 D_{65} 所得到之「 D_{65} 模仿體」的光譜能量分布曲線(鎢絲濾光器技術)。	39

第三章

圖 3-1	光線和物質的之間的交互作用現象：『吸收、反射、散射和透射』。	41c
圖 3-2	光線的反射和折射。	42c
圖 3-3	鏡面反射及擴散反射示意圖。	43c
圖 3-4	物體表面反射光線分布的極性示意圖。	44c
圖 3-5	變角光度計—用來測量某一測試樣表面反射率因數的分佈狀況。典型者乃測量四個角度，一般用來測量『金屬般和珍珠般』的塗料。	44c
圖 3-6	(a)評估光澤度的視察排列機構(左邊)和評估色彩特性的視察排列機構(右邊)；(b)一般在色彩相關的商業或工業所應用的觀察光箱的安排檢視機制。	45c
圖 3-7	朗伯定律—『在同相均勻介質中，當單色輻射入射光波長、濃度和溶液的溫度都一定時，該溶體的吸光度只與液層厚度成正比』。	46c
圖 3-8	比爾定律：『在同相均勻介質中，當單色輻射入射光波長、溶劑和吸光物質種類、液層厚度和溶液的溫度都一定時，該溶體的吸光度只與溶體濃度成正比』。	47c
圖 3-9	發生偏離「朗伯-比爾定律」的曲線示意圖。	48c
圖 3-10	顏料粒子和介質相對折射率對散射的影響。	49
圖 3-11	白色顏料散射光的能力是粒子半徑的函數。	49
圖 3-12	Kubelka-Munk 理論。	50c
圖 3-13	(a)透射光；(b)反射光。	51c
圖 3-14	光譜反射率、光譜反射率因數和光譜輻射亮度因數示意圖。	53c
圖 3-15	黃、洋紅及青色染料的：(a)光譜透射率曲線；(b)光譜吸收率曲線。	56c
圖 3-16	色彩的純度感覺。	57c
圖 3-17	各種不同顏色的不透明物體之光譜反射率分布曲線。	57c
圖 3-18	三種不同色調深度的黃色物體之光譜反射率曲線。	58c
圖 3-19	測量光譜反射特性的 CIE 標準照明和觀測機構。	62c
圖 3-20	(a)「 $45^\circ x/0^\circ$ 」方向幾何機構示意圖；(b)「 $45^\circ a/0^\circ$ 」環狀幾何機構示意圖。	62c
圖 3-21	d/8 照明和觀測幾何機構示意圖。	63
圖 3-22	透射式物體『反射與透射特性』示意圖。	66c
圖 3-23	測量『光譜透射特性』的 CIE 標準照明和觀測機構。	68c
圖 3-24	測量「光譜反射率」及「光譜透射率」的光譜光度儀原理示意圖。	70c
圖 3-25	(a)採單一單色光器/單色光照明方式以測量非螢光性色物體光譜反射特性的光譜光度儀裝置；(b)採雙單色光器/單色光照明方式的特殊光譜光度儀裝置。	72c
圖 3-26	採多色光照明方式以測量色物體光譜反射特性的光譜光度儀裝置。	72c
圖 3-27	應用「d/0」或「d/8」測量幾何機構的單光束光譜光度儀。	73c
圖 3-28	應用兩個檢測器的反射式雙光束光譜光度儀。	74c
圖 3-29	應用一個檢測器的透射式雙光束光譜光度儀。	75c
圖 3-30	應用一個檢測器的反射式雙光束光譜光度儀光學結構圖(反射式)。	75c

第四章

圖 4-1	人眼(右眼)的水平斷面圖。	75c
-------	---------------	-----

圖 4-2	人眼視網膜的橫剖面圖。.....	76c
圖 4-3	錐狀細胞和桿狀細胞的分布狀態。.....	78c
圖 4-4	在正常人眼的視網膜中所發現的四種視細胞之感光色素的光譜吸收率；三條實線 Long(L), Medium(M)和 Short(S)分別屬於長波長(主感紅光)、中波長(主感綠光)和短波長(主感藍光)錐狀細胞者，虛線部份則屬桿狀細胞者。.....	80c
圖 4-5	三種錐狀細胞在視網膜的分布示意圖。.....	81c
圖 4-6	視網膜中不同部位的視銳度與中心窩偏心距離成函數關係。.....	82c
圖 4-7	不同色彩在視網膜的「能見區」(右眼)。.....	83c
圖 4-8	(a)引起錐狀細胞產生明視覺和桿狀細胞產生暗視覺的相對光譜輻射能量；(b) 錐狀細胞和桿狀細胞的光譜感受性。.....	85
圖 4-9	用來推導 CIE 1924 $V(\lambda)$ 所用的幾個獨立的實驗測定結果(CIE 1924 年國際會議摹版圖)。.....	86
圖 4-10	用來推導 CIE 1924 $V(\lambda)$ 的原始主觀亮度部份測量值。圖中亦包括「CIE 1924 $V(\lambda)$ 函數」和「Judd-Vos 針對 CIE 1924 $V(\lambda)$ 所作的修正部分(或稱 $V_M(\lambda)$)」。.....	87
圖 4-11	(a)Gibson 及 Tyndall 的逐步測定實驗法中以 52 個觀察者所求得的光譜光效率函數的變異範圍(此函數已經由常態化使最大值化為 1)；(b)光譜光效率(相對視見)函數：CIE 標準 $V(\lambda)$ 函數(實線)，CIE $V_M(\lambda)$ 函數(.....)，以及 Stockman & Sharpe 所推薦的新函數 $V^*(\lambda)$ (·—·—·)。.....	88c
圖 4-12	CIE 1924 標準明視覺光譜光效率函數， $V(\lambda)$ 與 CIE 1951 標準暗視覺光譜光效率， $V'(\lambda)$ 。.....	89c
圖 4-13	CIE 標準明視覺光譜光效率函數， $V(\lambda)$ 及 CIE 標準暗視覺光譜光效率函數， $V'(\lambda)$ 。明視覺函數的最大值在 $\lambda_m=555\text{nm}$ 處；暗視覺則在 $\lambda'_m=507\text{nm}$ 。此兩函數均已經被常態化使最大值化為 1。.....	90c

第五章

圖 5-1	Young-Helmholtz 三原色學說的三種錐狀細胞之光譜感應曲線。.....	94c
圖 5-2	Hering 「色相環圖」和「對立補色論」理念。.....	96c
圖 5-3	Hering 對立色學說的代謝反應過程(Hurvich & Jameson 1955)。.....	99c
圖 5-4	階段學說色彩視覺機構示意圖。.....	101c

第六章

圖 6-1	以三原色色光進行加色混合調配實驗。.....	103c
圖 6-2	(a) CIE 1931- (R, G, B) 系統標準色度觀察者光譜三刺激值 $\bar{r}_{(\lambda)}$, $\bar{g}_{(\lambda)}$, $\bar{b}_{(\lambda)}$ ；(b) CIE 1931- (X, Y, Z) 系統標準色度觀察者光譜三刺激值 $x_{(\lambda)}$, $y_{(\lambda)}$, $z_{(\lambda)}$ 。.....	106c
圖 6-3	等能白光的光譜輻射能量分佈， $E_\lambda d\lambda$ 。.....	107c
圖 6-4	Wright 配色實驗中 10 名觀測者的光譜色度坐標變動情形。.....	109c
圖 6-5	(a)Wright 用三原色匹配光譜色所求得的 $r_{(\lambda)}$, $g_{(\lambda)}$, $b_{(\lambda)}$ 色度座標平均實際結果；(b)Guild 用三原色匹配光譜色所求得的 $r_{(\lambda)}$, $g_{(\lambda)}$, $b_{(\lambda)}$ 色度座標平均實驗結果。.....	110
圖 6-6	(a)Wright 用三原色匹配光譜色所求得的(R,G,B)系統配色函數平均實際結果；(b)Guild 用三原色匹配光譜色所求得的(R, G, B)系統配色函數平均實際結果。...	110
圖 6-7	在以 NPL 等能白色光源為調配的基礎下，Wright(以點表示者)和 Guild(以線表示者)	