



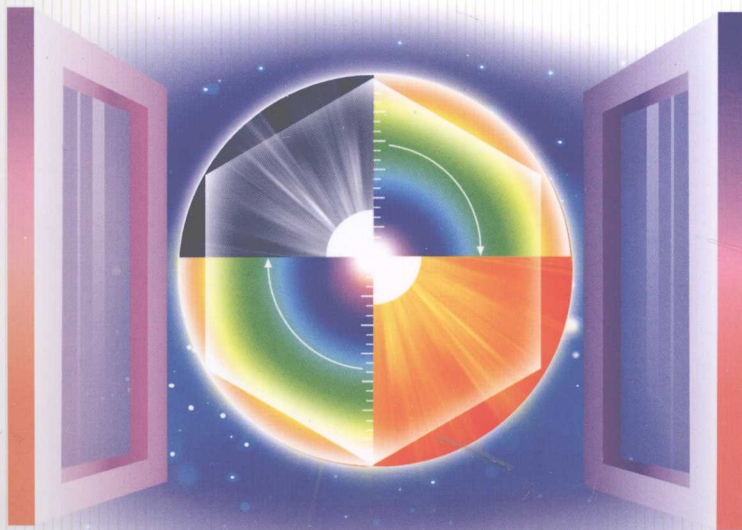
北京理工大学 **211工程**
研究生规划教材

现代颜色技术原理及应用

Modern Color Science and Application

光
学
工
程

◎ 胡威捷 汤顺青 朱正芳 编著



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北京理工大学 **211工程**
研究生规划教材

光
学
工
程

现代颜色技术原理及应用

Modern Color Science and Application

◎ 胡威捷 汤顺青 朱正芳 编著



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要由四部分组成。第一部分:颜色科学的基础。包含了大部分色度学的基础知识:颜色视觉基础;CIE色度学系统的建立;颜色量值的计算与公式;均匀颜色空间及色差的计算公式;同色异谱指数的计算;多种色序系统等内容。本书吸收了CIE最新出版物CIE 15:2004的内容,提供了完整的相关的数据表格。第二部分:色貌理论。主要介绍常用的心理物理实验方法、色貌现象和色适应变换理论,重点介绍CIE CAM 97s简化模型和CIE CAM 02模型。第三部分:颜色复现技术及应用。主要介绍彩色复现技术的基本原理,各种彩色设备的原理及特性化技术,色域映射技术、ICC颜色管理技术等;在这部分中还将介绍彩色电视、彩色摄影、彩色印刷技术、计算机配色的原理等。第四部分:颜色测量及颜色测量仪器。介绍颜色测量的原理,其中包括分光测色仪器、积分式测色仪器、自发光体测色、荧光材料测色、白度测量,密度测量,光泽度测量等。从以上几个方面较为全面地反映了现代颜色科学的研究成果。

为了查阅方便,各章所参考的主要文献放在了各章的后面;而几章共用的文献则放在了全书的最后“主要参考文献”中。

本书可作为高等院校光学、光学工程、光信息科学与技术、印刷工程、工业设计等专业的高年级本科生、研究生的专业基础课教材,也可供相关专业的师生或科研人员,以及颜色测量工作者参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

现代颜色技术原理及应用/胡威捷,汤顺青,朱正芳编著. —北京:北京理工大学出版社,2007.10

北京理工大学“211工程”研究生规划教材

ISBN 978-7-5640-0947-2

I. 现… II. ①胡…②汤…③朱… III. 颜色-技术-研究生-教材
IV. O432.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第056702号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京圣瑞伦印刷厂

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/37.5

彩 插/2

字 数/750千字

版 次/2007年10月第1版 2007年10月第1次印刷

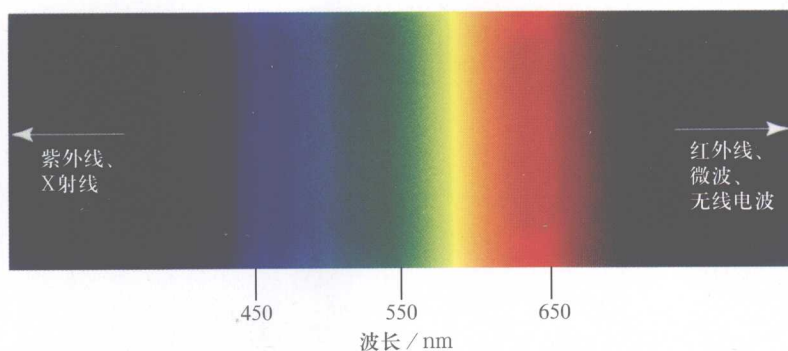
印 数/1~3000册

定 价/58.00元

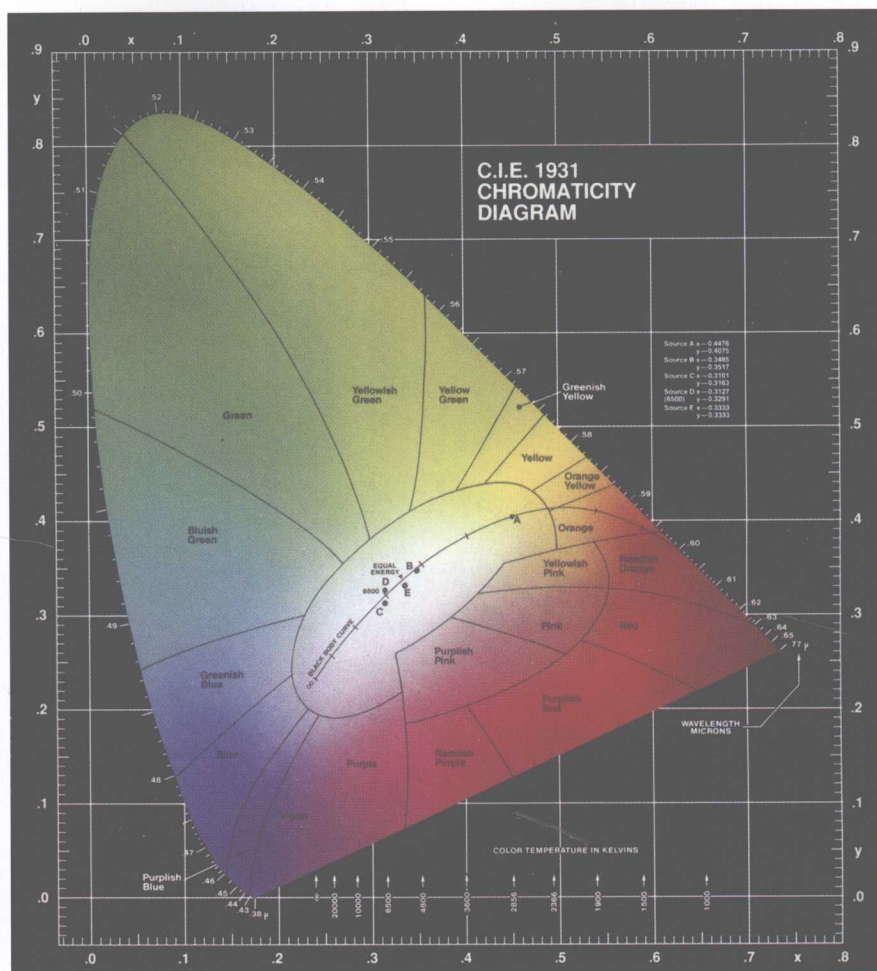
责任校对/张宏

责任印制/李绍英

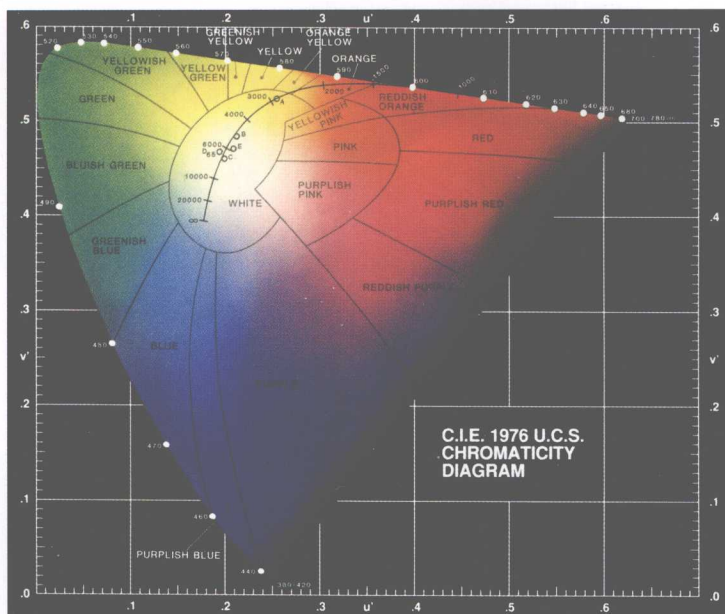
图书出现印装质量问题,本社负责调换



彩图1 可见光光谱



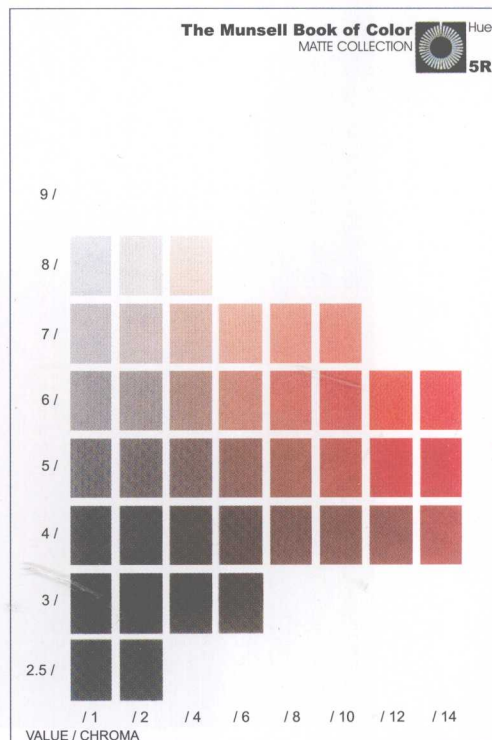
彩图2 CIE1931色品图



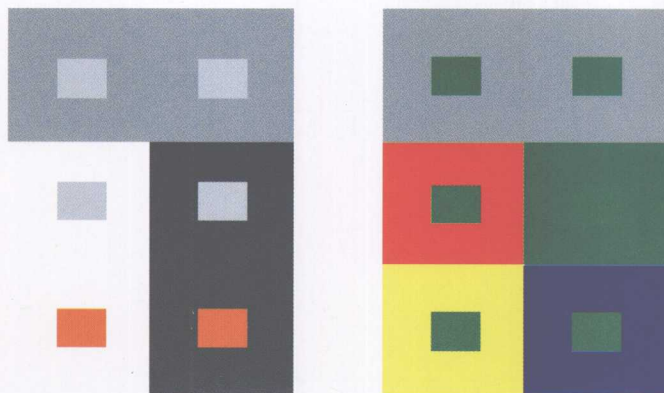
彩图3 CIE1976UCS色品图



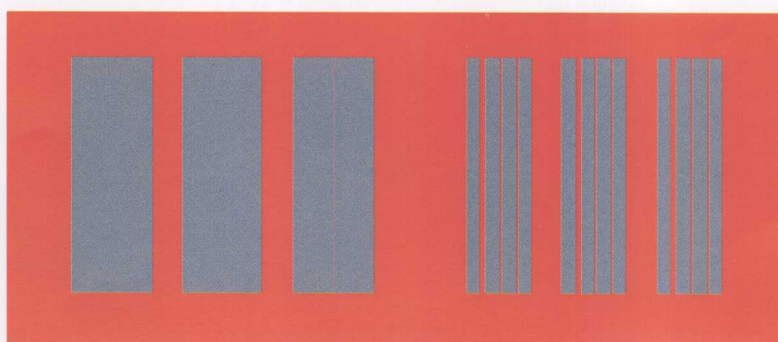
彩图4 Munsell 色立体



彩图5 Munsell 5R色调页



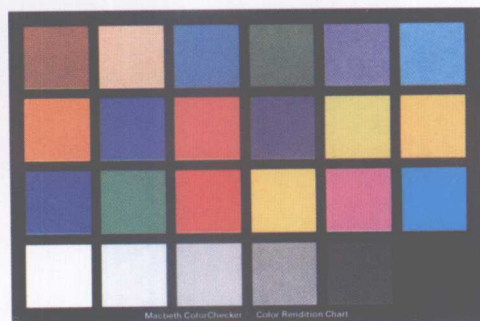
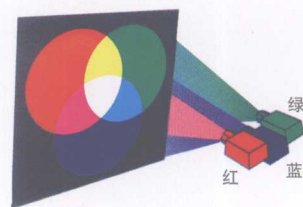
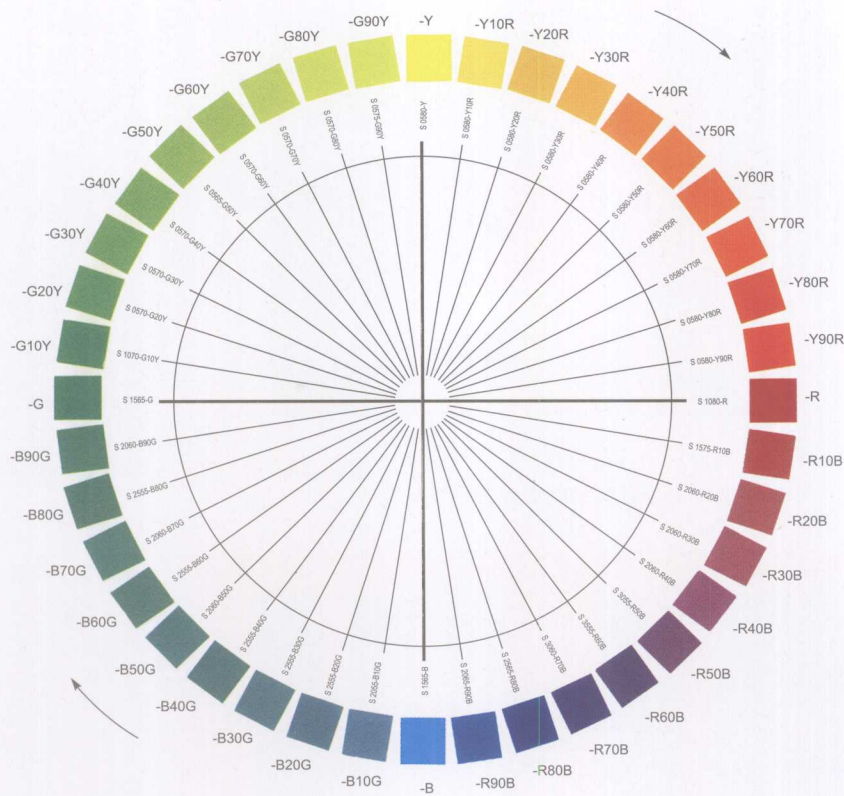
彩图6 同时对比（色诱导）的色貌现象
(a) 明度随背景变化；(b) 色调随背景变化



彩图7 同时对比和扩散色貌现象



彩图8 色适应现象
(a) 水果篮图像；(b) 适应图像



前 言

随着科学技术的发展和人们生活水平的提高,颜色的度量和复现在许多领域已成为一个重要的课题,它的理论已在彩色电视、彩色摄影、彩色印刷、染料、纺织、油漆、造纸、塑料、交通信号、照明技术以及现代高科技信息图像传递、军事伪装及识别中得到了广泛的应用。对颜色的定量度量自1931年CIE首次建立色度学系统以来已有70余年历史,它的研究与发展经历了三个阶段:颜色匹配、色差量度、色貌的预测。这三个发展阶段的成果就组成了近代色度学的理论。本书有关基础色度学的内容,主要按照CIE最新出版物CIE 15:2004的内容介绍,包括CIE色度学系统的建立;相关的数据表格;标准照明体;颜色量值的计算与公式;均匀颜色空间及色差的计算公式;同色异谱指数的计算等内容。近年来随着对人类视觉模型的研究,颜色科学的理论进入了一个飞跃发展的阶段,即色貌预测阶段,对在复杂环境中物体颜色外貌的定量预测取得了一些重要的研究成果,这部分的内容偏于理论性,属于高等色度学的范畴,但是对于从事颜色科学研究和应用的人员来说,了解这部分的内容还是非常必要的。随着电子商务的迅猛发展,涌现了大量的关于颜色信息数字化及传递失真的问题,有关颜色信息的数字化及彩色管理系统的研究是当前颜色科学及图像科学领域的又一热门课题,借助于大的商业集团的支持和参与,颜色工作者对颜色信息传递中出现的问题进行了专门的研究并制定了相关的解决方案,如ICC Profile文件、色域映射的算法、彩色设备的特性化等等,这些内容反映了颜色复现技术的巨大应用前景,也是本书编写的重要内容之一。

本书特别重视内容的先进性和资料的实用性。在介绍颜色度量与复现的基本理论的基础上,将颜色科学及其应用方面的各国学者的最新研究和发展、新的测量仪器及测量方法以及信息传输中的真彩色图像处理的方法介绍给读者。在选材方面将颜色测量和颜色复现涉及的诸多领域中的基本原理及具体实践中的问题尽可能地全面收入书内,内容做到既广泛又实用,提供给读者丰富又实用的数据、图表、参考资料查询,使本书成为研究生、本科生及有关专业人员工作中的重要参考书。

本书的作者们长期工作于北京理工大学颜色科学与工程国家专业实验室,从事颜色科学等相关领域的研究和教学工作。全书由胡威捷副教授担任主编,并编写了第四章、第五章;汤顺青教授编写了第一章、第二章和第三章;朱正芳教授编写了第六章;全书由胡威捷副教授统稿。因水平有限,书中难免存在不少欠妥甚至错误之处,敬请读者批评、指正。

编著者

目 录

第一章 光与色觉	1
第一节 光源	1
一、可见光辐射	1
二、光谱功率分布	2
三、完全辐射体的光谱功率分布	3
第二节 物体的光谱特性	4
一、物体与光的相互作用	5
二、光的反射	7
三、光的吸收及透射	8
四、典型物体的反射透射特性	10
第三节 视觉的生理基础	12
一、眼睛的构造	12
二、明视觉和暗视觉	15
三、颜色视觉理论	18
第四节 颜色视觉	21
一、颜色分类和颜色的特性	21
二、视网膜的颜色区	22
三、颜色分辨力	23
四、颜色恒常性	25
五、色对比和色适应	26
六、色觉缺陷	28
参考文献	30
第二章 颜色科学基础——CIE 色度系统	31
第一节 颜色的基本术语	31
第二节 颜色匹配	33
一、感觉经验的测量——心理物理学方法	33
二、颜色匹配实验	34
三、格拉斯曼定律	36

四、颜色匹配方程	36
五、三刺激值和色品图	37
第三节 CIE 1931 标准色度系统	40
一、CIE 1931—RGB 系统	40
二、CIE 1931 标准色度系统	42
三、色度系统的转换	47
第四节 CIE 1964 标准色度系统	50
一、CIE 1964— $R_{10}G_{10}B_{10}$ 色度系统	50
二、CIE— $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 标准色度系统	51
三、CIE 1964 标准色度系统与 CIE 1931 标准色度系统比较	52
第五节 CIE 标准照明体和标准光源	53
一、色温、分布温度和相关色温	54
二、标准照明体	55
三、标准光源	59
第六节 CIE 色度计算方法	62
一、三刺激值和色品坐标计算公式	62
二、三刺激值计算中波长范围及波长间隔的选择	64
三、颜色刺激函数 $\varphi(\lambda)$ 的测量波长范围和波长间隔的选择和处理	65
四、计算实例	65
五、颜色相加的计算	68
第七节 主波长和色纯度	69
一、主波长	70
二、兴奋纯度和色度纯度	71
第八节 均匀颜色空间	72
一、色品分辨力	73
二、均匀明度标尺	75
三、均匀色品标尺	75
四、对立色空间系统	79
五、均匀色空间及色差公式	80
第九节 同色异谱程度的评价	94
一、同色异谱色	94
二、CIE 同色异谱程度的评价方法	97
参考文献	101

第三章 色序系统	102
第一节 孟塞尔表色系统	102
一、孟塞尔色立体	103
二、孟塞尔新标系统	105
三、孟塞尔颜色图册的用途	113
第二节 自然色系统	115
一、自然色系统的基本指导思想	115
二、NCS 色立体的组成和标号方法	116
第三节 OSA 匀色标	118
第四节 奥斯瓦尔德系统	120
一、色立体	120
二、颜色标号的表示方法	122
第五节 表色系统小结	122
一、色序系统的主要用途	123
二、色序系统的优点和局限性	123
三、色序系统之间的相互转换	125
参考文献	125
第四章 色貌理论	126
第一节 视觉的心理物理研究方法	127
一、视觉的心理物理实验的分类	127
二、影响视觉心理物理实验的因素	129
第二节 色貌的目视及分度实验方法	130
一、色貌的目视实验方法	130
二、色貌的分度实验方法	132
第三节 色貌属性与色貌现象	134
一、色貌属性	134
二、色貌现象	135
第四节 色适应及色适应变换	138
一、色适应	138
二、色适应变换	139
三、混合色适应	143
第五节 色貌模型	144
一、早期的色貌模型	144

二、各种早期色貌模型的比较	146
三、CIE CAM 97s 色貌模型	146
第六节 CIE CAM 02 色貌模型	156
一、CIE CAM 02 色貌模型的色适应变换	157
二、CIE CAM 02 模型的动态响应函数	157
三、CIE CAM 02 模型的颜色空间	157
四、CIE CAM 02 模型的输出参数	157
五、CIE CAM 02 模型的计算步骤	157
第七节 色貌模型的应用和发展	163
一、色貌模型的应用	163
二、图像色貌模型 (iCAM)	165
参考文献	169
第五章 颜色复现技术及应用	172
第一节 颜色复现的基本理论	172
一、颜色的混合	172
二、颜色复现存在的问题	180
三、颜色复现的目标	182
四、基于加色法的线性系统颜色再现原理	185
五、基于减色法的线性系统颜色再现原理	187
六、颜色再现性的评价	190
第二节 彩色电视	193
一、彩色电视系统简述	193
二、白场的选择	197
三、三基色的选择	198
四、基色的转换计算	200
五、彩色电视系统理想光谱特性的实现	201
六、彩色电视中彩色复现质量的评价	205
第三节 彩色摄影	208
一、减色法混色的过程	209
二、多层感光材料的彩色摄影原理	209
三、三原色的选择	211
四、彩色摄影彩色复现质量的影响因素	212
五、摄影镜头的色增生指数——CCI 值	212

六、照明光源光谱分布对色再现的影响	218
七、中性灰标准板的再现	221
八、彩色摄影色再现质量的评估	221
第四节 彩色印刷的颜色复现技术	224
一、三原色的选择和印刷呈色原理	225
二、颜色分解	227
三、网点面积率的计算	229
第五节 彩色图像设备的特性化	237
一、特性化的基本方法	237
二、CRT 的特性化	240
三、LCD 的特性化	245
四、数码相机的特性化	250
第六节 色域映射	255
一、色域的描述	256
二、色域映射方法	257
第七节 ICC 颜色管理	264
一、颜色管理及其发展	264
二、ICC 颜色管理的三个重要组成部分	266
三、ICC 中的色彩匹配方式	268
四、ICC 标准	269
五、ICC 标准中的转换模型	277
第八节 计算机配色技术	279
一、基本原理	279
二、计算机配色中常用算法	282
三、计算机配色系统的主要组成	294
参考文献	298
第六章 颜色测量及颜色测量仪器	304
第一节 物体色测量的几何条件	305
一、关于几何条件的若干术语	306
二、CIE 15: 2004 推荐反射测量的几何条件	307
三、CIE 15: 2004 推荐透射测量的几何条件	310
四、几何条件的选择	311
第二节 积分球	313

815	一、积分球的基本原理	313
155	二、单光束样品吸收误差	314
155	三、暗读数误差	314
455	四、积分球结构设计不当带来的误差	315
255	五、光吸收阱	316
755	六、漫反射比绝对测量法	317
9	第三节 样品的选择和准备	318
755	一、样品选择和准备的一般问题	318
755	二、典型样品的准备	319
0	第四节 比较测量法与参比标准	321
245	一、参比标准	322
050	二、比较方式	326
2	第五节 分光测色仪器	328
050	一、分光光度计的分类	328
755	二、测色分光光度计的特点	328
405	三、分光光度计的组成	329
405	四、光栅分光单色器波长与光栅位置的关系	334
005	五、光谱反射比和光谱透射比的获得	336
805	六、分光测色仪器举例	339
005	七、物体颜色参数的计算	344
775	八、金属漆和珠光漆的测量	345
0	第六节 色度计	346
075	一、色度计的组成	346
585	二、滤色器的设计	347
405	三、三刺激值计算	351
805	四、色度计构造原理举例	352
4	第七节 白度的测量	353
205	一、概述	353
005	二、常用白度公式	353
705	三、白度的测量	358
0	第八节 颜色测量的精度和准确度	358
115	一、测色仪器的精度和准确度	358
015	二、色度学计算对准确度的影响	359

三、测试操作注意事项	360
四、测试结果的一致性	360
第九节 光泽及其他外表特性的测量	361
一、概述	361
二、仪器分类	361
三、镜向光泽度计	364
第十节 物体色的目视评价	366
一、概述	366
二、目视评价与仪器评价比较	367
三、颜色目视评价的标准条件	368
四、观察者	369
第十一节 密度的测量	369
一、密度	369
二、密度的主要类型	370
三、ISO 标准密度 (ISO 513: 1984 (E))	371
四、密度计	377
第十二节 光源颜色特性的测量	378
一、光源光谱功率分布的测量	379
二、三刺激值及色品坐标的计算	381
三、光源三刺激值直接测试方法	382
四、光源色温、相关色温的确定	384
五、光色的舒适感	387
第十三节 CIE 光源显色指数计算方法	390
一、光源的显色性	391
二、CIE 光源显色指数计算方法	392
三、常用的一般显色指数	396
第十四节 荧光材料的颜色测量	397
一、单色光激发测量法	398
二、复合光照射测量法	399
三、测量光源与理想光源有差别时测量误差的校正方法	400
四、注意事项	405
五、用色度计测量荧光样品	405
第十五节 颜色测量仪器的选择	406

参考文献	407
附录一 国际著名机构	408
附录二 常用表	409
附表 2-1 CIE 1931—RGB 系统标准色度观察者光谱三刺激值和色品坐标 (波长范围 380 ~ 780 nm, 波长间隔 5 nm)	409
附表 2-2 CIE 1931 标准色度观察者光谱三刺激值和色品坐标 (波长范围 380 ~ 780 nm, 波长间隔 5 nm)	412
附表 2-3 CIE 1931 标准色度观察者的光谱三刺激值 (波长范围 360 ~ 830 nm, 波长间隔 1 nm)	415
附表 2-4 CIE 1964 标准色度观察者光谱三刺激值和色品坐标 (波长范围 380 ~ 780 nm, 波长间隔 5 nm)	433
附表 2-5 CIE 1964 标准色度观察者的光谱三刺激值 (波长范围 360 ~ 830 nm, 波长间隔 1 nm)	436
附表 2-6 CIE 照明体的相对光谱功率分布 (波长范围 300 ~ 780 nm, 波长间隔 5 nm)	452
附表 2-7 CIE 标准照明体 (A 和 D65) 相对光谱功率分布 (波长范围 300 ~ 830 nm, 波长间隔 1 nm)	456
附表 2-8 分量 $S_0(\lambda)$, $S_1(\lambda)$, $S_2(\lambda)$ (波长范围 300 ~ 830 nm, 波长间隔 5 nm)	476
附表 2-9 CIE 照明体的三刺激值和色品坐标	480
附表 2-10 CIE 1931 色度图标准光源 A, B, C, E (等能光源) 恒定 主波长线的斜率	481
附表 2-11 代表典型荧光灯的照明体的相对光谱功率分布 (FL1—FL12)	496
附表 2-12 荧光灯新系列 (FL3.1—FL3.8)	499
附表 2-13 荧光灯新系列 (FL3.9—FL3.15)	502
附表 2-14 高压放电灯 (HP1—HP5)	505
附表 2-15 荧光灯照明体的色度数据 (FL1—FL12)	508
附表 2-16 (a) 荧光灯照明体色度数据 (FL3.1 ~ FL3.7)	509
附表 2-16 (b) 荧光灯照明体色度数据 (FL3.8 ~ FL3.15)	510
附表 2-17 高压照明体的色度数据 (HP1—HP5)	510
附表 2-18 用于观察者同色异谱指数计算中的第一偏差函数值 (光谱范围 380 ~ 780 nm, 波长间隔 5 nm)	511
附表 2-19 孟塞尔新标系统颜色样品的 CIE 色坐标	514

附表 2-20 (a) 麦克白 (Macbeth) 色卡的光谱反射比 (色卡 1~12)	550
附表 2-20 (b) 麦克白 (Macbeth) 色卡的光谱反射比 (色卡 13~24)	553
附表 2-21 黑体轨迹等温线的色度坐标	556
附表 2-22 31 条等温线	558
附表 2-23 CIE 显色指数计算用 1~15 号色样的光谱辐亮度因数	560
附录三 一些色貌模型	564
附录 3-1 Hunt94 相关色色貌模型和 Hunt91 非相关色模型	564
附录 3-2 Nayatani 色貌模型	571
附录 3-3 RLAB 色貌模型	575
附录 3-4 LLAB 颜色模型	578
参考文献	582