

基础色彩再现工程

JICHU SECAI ZAI XIAN GONGCHENG

[日]大田登 著
苏 胜 译



陕西新华出版传媒集团
陕西科学技术出版社
Shaanxi Science and Technology Press

本书受西安工业大学专著出版基金的资助

本书为国家自然科学基金“融入视觉感知特性的数码迷彩空间混色设计方法研究”(基金号:51905407)阶段性研究成果

基础色彩再现工程

[日]大田登 著
苏 胜 译

陕西新华出版传媒集团



陕西科学技术出版社

Shaanxi Science and Technology Press

— 西 安 —

图书在版编目(CIP)数据

基础色彩再现工程 / (日) 大田登著; 苏胜译. —西安: 陕西科学技术出版社, 2019. 7

ISBN 978 - 7 - 5369 - 7550 - 7

I. ①基… II. ①大… ②苏… III. ①色彩学
IV. ①J063

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 092547 号

基础色彩再现工程

[日]大田登 著 苏胜 译

责任编辑 林成岗

封面设计 前程设计

出版者 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社
西安市曲江新区登高路 1388 号陕西新华出版传媒产业大厦 B 座
电话(029)81205187 传真(029)81205155 邮编 710061
<http://www.snstp.com>

发行者 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社
电话(029)81205180 81206809

印刷 陕西天地印刷有限公司

规格 787mm × 1092mm 16 开

印张 15 2 插页

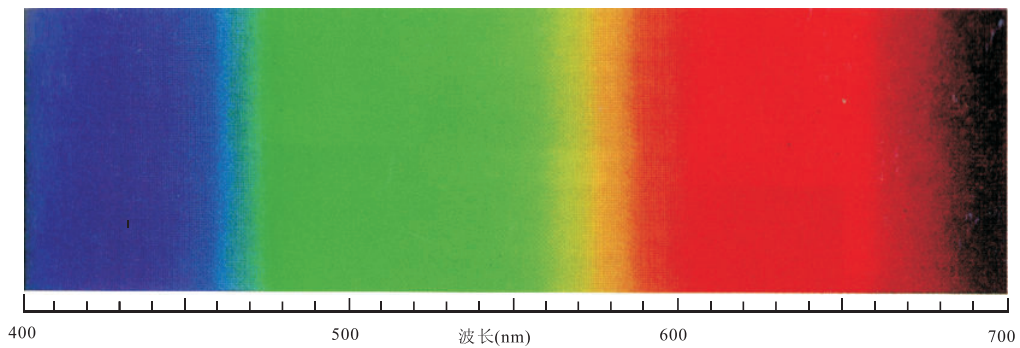
字数 260 千字

版次 2019 年 7 月第 1 版
2019 年 7 月第 1 次印刷

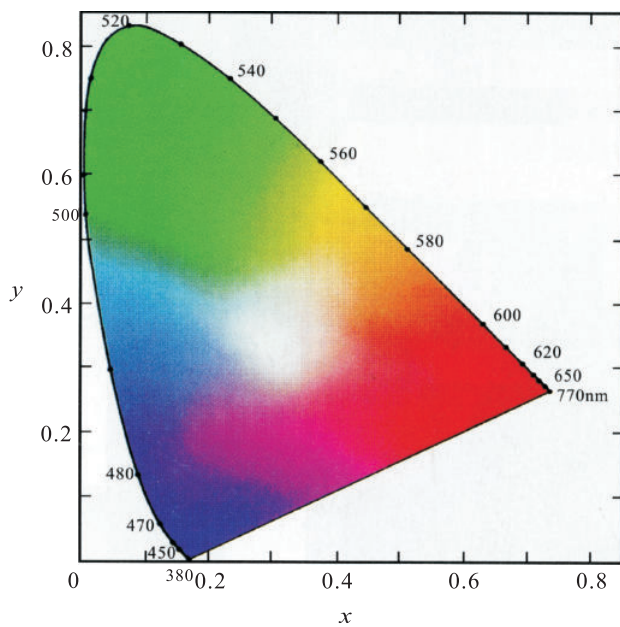
书号 ISBN 978 - 7 - 5369 - 7550 - 7

定价 35.00 元

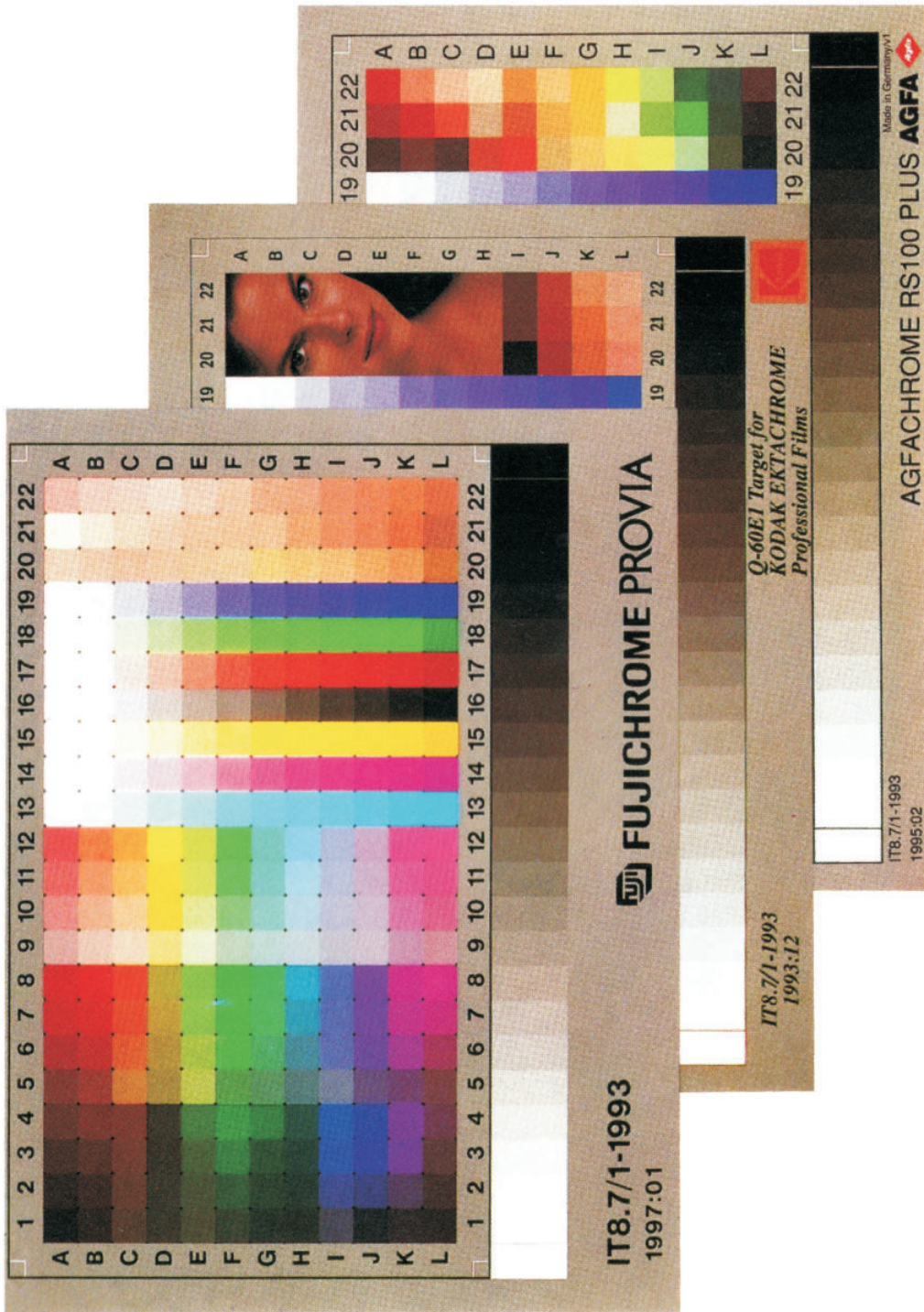
版权所有 翻印必究



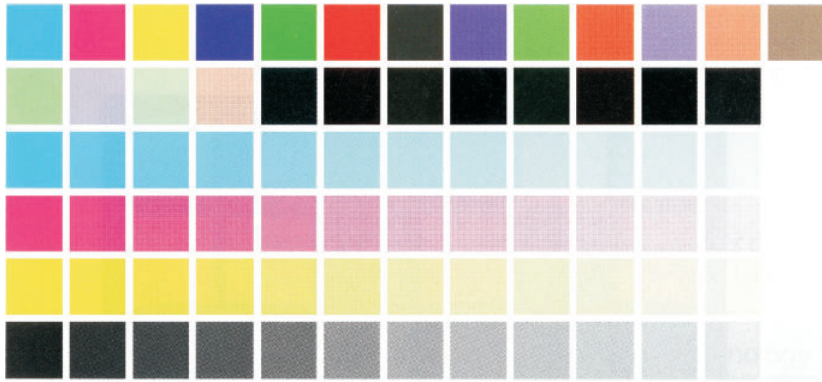
太阳光光谱



CIE xy 色度图



ANSI输入用色靶

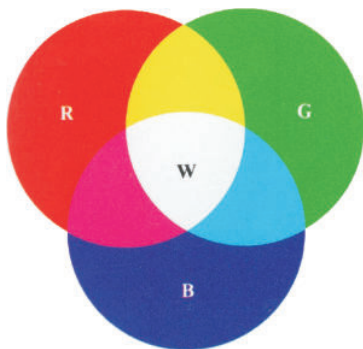


B1

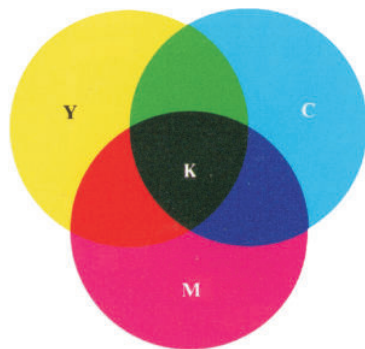


B2

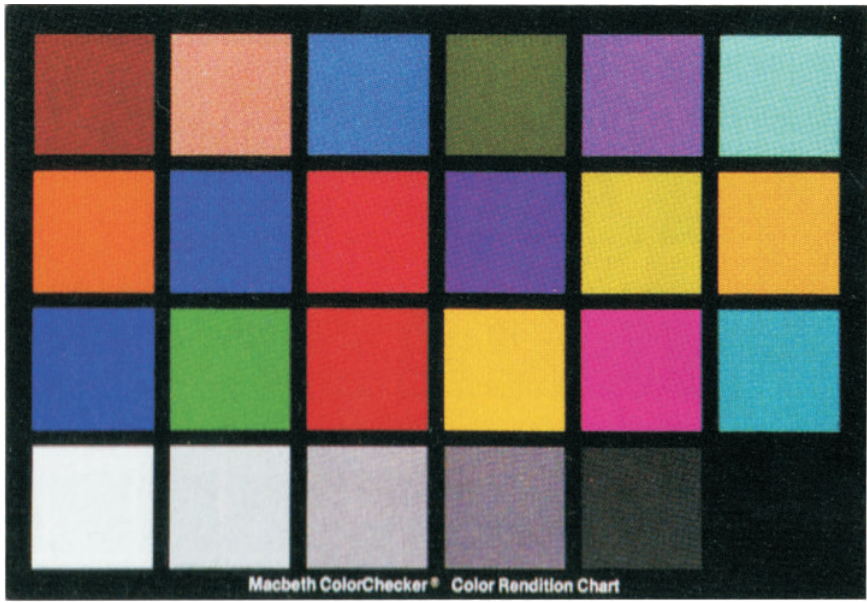
ANSI输出用色靶的基础数值组B1, B2



加法混色



减法混色



马克贝斯色卡



原图像



$\lambda_r = 680 \text{ nm}$



$\lambda_r = 620 \text{ nm}$



$\lambda_r = 650 \text{ nm}$

改变R光谱灵敏度的峰值波长 λ_r 的模拟图像

如今的时代被称为“色彩时代”。从当初的印刷、照片、电视,到如今的复印也被彩色化,世界变得如此绚丽多彩。多彩色料的开发是形成多彩环境的原因之一。1856年,英国人 William Henry Perkin 利用苯胺作原料,在其中加入重铬酸钾使其氧化时,偶然间发现了人造苯胺紫染料,成为多彩化先驱。随后出现的各种合成染料与天然颜料一起,极大地丰富了我们生活中的色彩。

在彩照、彩电出现以前,人们生活在黑白影像世界,随着印刷、照片、电视等色彩再现技术的飞速发展,我们的生活变得更加多姿多彩。我们将色彩通过印刷、照片、电视等载体进行再现,称之为“色彩再现”。在以前的黑白电影时代,人们就懂得通过色彩再现技术将影像彩色化处理,来丰富环境颜色。

美国著名的史密森尼博物馆的宝石展厅中,陈列着以传说中的“希望钻石”为代表的 1 000 多枚颜色各异的宝石,光彩耀人。实际上,这些宝石中有的是仿制品,其做工之精巧令人叹为观止。

这些宝石的仿制品,除了大小、形状外,连颜色、光泽都要求和真品保持一致。如果仅以模仿颜色为目的,其仿制精度要求就不必过高。这是因为色觉只能辨识 3 个维度,人们对颜色感知比较弱,不能识别色彩光谱的差异,所以仿品没必要和真品完全一致。把这些宝石也进行形状上仿制的话,只需将正面、平面、侧面的 3 个断面保持制作一致即可。

但是,这类仿制品只要投影条件略加改变,便立即会被发现是仿品。即便是模仿颜色,如照明条件发生变化,仿品虽然不会产生显著变化,但仍会暴露出其仿品的本质。像这样利用色再现技术获取的彩色画像,只有在一定的条件下才能产生等色,故称之为条件等色。如今的色彩再现技术均基于条件等色的

原理。正如已故的 Wyszeki 博士所言：“条件等色原理是色彩再现的核心。”

本书首先介绍了色彩工学,以便于理解条件等色原理,在色彩工学的基础上对色彩再现进行了简要说明。其次,介绍了现实中的色彩印刷、照片、电视的色彩再现。最后,阐述了关于影响色彩再现的各主要因素的最适化,并介绍了相关的数学分析方法及分析结果。

本书主要适用于学习色彩再现技术的初学者。在色彩再现工程实践中予以应用,从而进一步推进此方面的系统设计和研究,是本书的初衷。如果各位有机会使用本书,本人会感到万分荣幸。书中有关于色彩再现工学基础的阐述,读者只要能读懂这部分,便会对色彩再现有个大致的理解。此外,在书中各章节后面均提供了参考部分,以便于读者加深对相应重要知识的理解。

色彩再现工程涉及印刷、照片、电视等诸多领域,希望得到宝贵的意见,恳请各位读者给予批评、指正,以便笔者今后的修改、充实。最后,对选定该书为推荐图书的日本色彩学会表示由衷的感谢。

大田登

1997 年 7 月

《色彩再现工学の基礎》(日文版)为日本知名学者大田登(Noboru Ohta)博士所著,是日本色彩学会大力推荐书籍,也是一本关于色彩再现领域的权威性专业书籍。

该书全面介绍了色彩再现工程方面的基础知识,深入解析了色彩科学及色彩再现工程原理,从物理学角度到心理学角度,深入探讨了光源、物体、人眼之间交互作用下而形成的色彩感知的原理。全书内容丰富、翔实、实用,非常值得推荐给中国读者,因此经作者同意,将该书翻译成中文出版。

大田登博士毕业于日本东京大学,是日本色彩工学领域的著名学者,先后在加拿大国立研究所、日本富士胶卷公司足柄研究所任职,并受聘为日本千叶大学和美国罗切斯特理工学院孟塞尔色彩实验室客座教授,主要从事色彩工学领域的研究。他在国际著名学术期刊上发表相关学术论文 80 余篇,出版学术专著 2 部,在该领域具有很高的造诣。

译者毕业于日本千叶工业大学,曾在日留学、工作 8 年,现为西安工业大学产品设计专业副教授。希望该书的出版对国内彩色影像、色彩测量、跨媒体色彩管理等方面的科学研究及技术发展能起到积极的推进作用,为从事摄影、显示器、印刷、印染、设计等与色彩及其再现相关联的工程技术人员,以及大专院校的现代光学、应用光学、设计学等相关学科、专业的师生有所帮助。

在翻译过程中,大田先生先后多次提供了翔实的资料及最前沿的研究成果,并予以耐心的指导和鼓励。为了最大程度忠实于原著,力求“信、达、雅”的目标,译者在翻译过程中先后查阅了大量的资料,多次向学术界前辈请教,前后

历时近 2 年终完成书稿翻译工作。在此,向提供帮助的学者前辈们表示衷心的感谢!本书删去了原著中的“索引”部分。

再一次感谢大田先生的信任和支持。

苏 胜
2019 年 5 月

目 录

第 1 章 光和视觉

1.1 光	1
1.2 色彩机构	2
1.3 色彩的三色表示	4

第 2 章 色彩表示方法

2.1 RGB 色度系统	7
2.2 XYZ 色度系统	8
2.3 色温和相关色温	13
2.4 标准照明体和补充标准照明体	15
2.5 均匀色度图	19
2.6 均匀色彩空间	21
2.7 色差和心理的相关量	24
参考 1(2.2 节) 原色变换	25
参考 2(2.3 节) 普朗克辐射定律	27
参考 3(2.5 节) uv 色度图	28
参考 4(2.6 节) 其他均匀色彩空间	28

第 3 章 色彩测量方法

3.1 刺激值直接读取法	31
--------------------	----

3.2	分光测色法	32
3.3	测量的几何条件	33
3.4	色度值的计算方法	35
3.5	均匀色彩空间的色度值	38
3.6	光密度的种类与测量方法	39
3.7	积分密度与解析密度	44
3.8	设备无关色与设备相关色	46
	参考1(3.2节) 荧光物质的分光测色	51
	参考2(3.6节) 维伯-菲赫纳定律	53
	参考3(3.7节) 解析密度和积分密度的关系	53

第4章 混色

4.1	混色的分类	55
4.2	加法混色	56
4.3	加法混色的计算方法	58
4.4	减法混色	61
4.5	减法混色的计算方法	64
4.6	条件等色	65
4.7	色彩匹配算法	67
4.8	光谱色彩匹配算法	71
	参考1(4.5节) 朗伯-比尔定律	73
	参考2(4.7节) 夹击法色彩匹配	74
	参考3(4.7节) 单纯形法色彩匹配	75
	参考4(4.7节) 均匀色彩空间中的色彩匹配	77
	参考5(4.8节) 最大值极小法光谱色彩匹配	78

第5章 色彩再现原理

5.1	色彩再现的目标	81
-----	---------	----

5.2	加法混色的色彩再现	84
5.3	减法混色的色彩再现	87
5.4	光谱灵敏度和等色函数	90
5.5	原始亮度和阶调再现	94
5.6	加法混色和减法混色的三原色	100
5.7	色彩再现性的评价方法	106
参考 1(5.2 节)	应答量和混合量的关系	110
参考 2(5.3 节)	对于具有副吸收区块色素的色彩匹配灵敏度	110
参考 3(5.3 节)	根据实际 C,M,Y 的区块色素的近似	111
参考 4(5.5 节)	伴随表面反射产生的反射率	113
参考 5(5.6 节)	四原色的色域	114
参考 6(5.6 节)	最明色的光谱反射率和色域	116

第 6 章 色彩再现的现状 & 色彩修正方法

6.1	彩色电视的色彩再现	118
6.2	光谱灵敏度的修正	122
6.3	彩色摄影的色彩再现	127
6.4	层叠效应与彩色耦合剂	133
6.5	彩色印刷的色彩再现	138
6.6	原色量和色度值的关系	143
6.7	数码色彩修正方法	148
参考 1(6.1 节)	NTSC 制式的色彩匹配灵敏度的求法	153
参考 2(6.1 节)	传送信号 Y,I,Q 的定义	155
参考 3(6.1 节)	频宽理论	157
参考 4(6.5 节)	根据摄影方式制作分色网片	158
参考 5(6.5 节)	摄影方式的掩色作业	159
参考 6(6.6 节)	利用区块色素的近似计算色度值的方法	160

参考7(6.6节) 利用主成分分析法对成分色素光谱密度的推定方法	162
参考8(6.6节) 反射型彩色打印的色彩匹配	164
参考9(6.7节) 系统变量的变换方法	165
参考10(6.7节) 内插法的简单实例	166

第7章 色彩再现条件的评价及最适化

7.1 光谱灵敏度的评价方法	168
7.2 光谱灵敏度的最适化	172
7.3 色素光谱密度的评价方法	177
7.4 色素光谱密度的最适化	181
7.5 色彩修正的最适化	188
7.6 模拟色彩再现的方法	193
参考1(7.1节) q 系数的计算方法	197
参考2(7.1节) 变动幅 Δm 的计算方法	199
参考3(7.2节) 光谱灵敏度 $S(\lambda)$ 的形状的限制条件	202
参考4(7.3节) 存在最高密度限制时的色再现域计算方法	204
参考5(7.6节) 使用多通道摄影法推测所需的通道数量	205
附表	208
引用、参考文献	224
作者致谢	229

第 1 章 光和视觉

光是一种包含许多不同波长的电磁波,从其中按波长抽取不同比例的电磁波会生成不同的色光。本章介绍光和色彩的基础知识,并阐明色彩的量化无需描述包含所有波长里磁波的数量,仅使用 3 个数值记述便足矣。

1.1 光

光是一种电磁波,是进入人眼后能引起视觉的可见辐射。从 X 光到收音机短波的电磁波范围中,光波长(可见光波长)仅占极窄的范围,其短波长段为 360~400 nm($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-6} \text{ mm}$),长波长段为 760~830 nm。白色太阳光通过三棱镜(玻璃三棱柱体)被分解成如同彩虹的红、橙、黄、绿、青、蓝、紫 7 种色彩(见卷首彩图)。光的波长和其颜色的大致对应关系如图 1-1 所示。

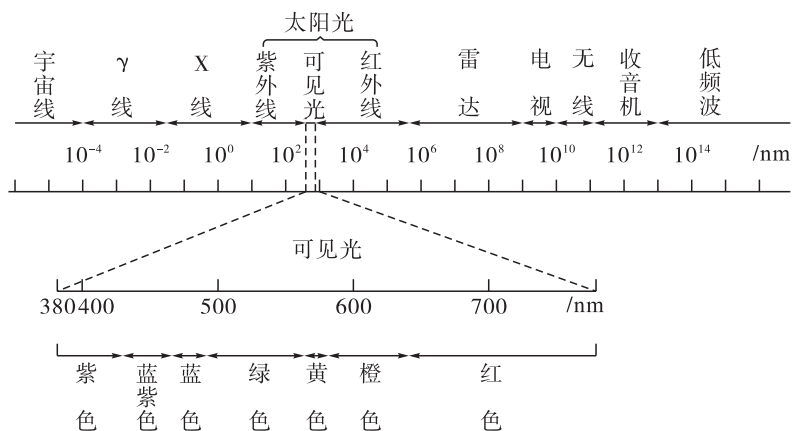


图 1-1 电磁波、光的波长和颜色名

所谓彩虹 7 色是一种概略的分法,如果更加细分,还会分解出更多的色彩。但是,在诸多色彩中的某种颜色(例如绿色),即使利用三棱镜也无法再分解出其他更细的色彩。这种用三棱镜不能再分解出其他色光的光称为单色光(mon-

ochromatic light)。阳光等白色光其实是大量单色光的集合,将单色光按波长顺序排列就形成了光谱(spectrum)。

进入人眼的光,如阳光或照明光等属于直接光源,大多数是透过物体内部或从物体表面反射的光。如果某一物体以同样的程度反射所有的单色光,其反射光将变成白光,这个物体就会呈现白色或灰色。再如,另一物体对紫色至黄色的光反射较少,对红色光反射较多,则这一物体会呈现红色。可见,反射光的多少以及物体呈现的颜色都与波长直接有关。

1.2 色彩机构

分辨颜色的感觉称为色觉(color vision)。进入人眼的光线是如何产生色觉的?自古以来,关于色觉的本质人们提出了许多假说,其中以三原色理论与对立色理论最有影响力。

1802年,杨格(Young)最早提出三原色说(trichromatic theory)。1849年,赫尔姆豪兹(Helmholtz)又提出了量化理论,指出视网膜上存在能感受红色(R)、绿色(G)、蓝色(B)3种光接收器,人的色觉是由各光感受器对光产生的响应。例如,红色由R光感受器产生响应,黄色由R光感受器和G光感受器同时响应后产生。简而言之,三色光接收器是三原色说的立论之本。图1-2表示了由心理评价法间接推测得到的通过三原色说对R、G、B光接收器的各波长响应(三原色响应)结果。和三原色响应一样,输入一定的单色光与光接收器输出的响应比例,称为光谱响应度(spectral responsivity)或光谱灵敏度(spectral sensitivity)。

混合2种以上的色彩称为混色(color mixture)。三原色说是在适当比例下混合R、G、B的3色光,它是通过色彩再现试验发展而成,而非理论推导而出。彩色电视、彩色摄影和彩色印刷均源于三原色理论,使用能够令被摄物体产生色彩再现(color reproduction)的发光体或色料,它们所具有的3种感色机构的光谱感度,会发生类似于三原色响应的结果。由于这类色彩再现系统已经能达到令人满意的结果,因此,三原色理论被认为是在实际应用中极具说服力的学说。

1878年,赫林(Hering)提出对立色说(opponent-colors theory),他认为人眼内包含着感受红-绿(R-G)、黄-蓝(Y-B)、白-黑(W-K)的3种光接收器,色觉是由各光接收器对光产生的响应。众所周知,有偏Y的R,但不存在偏G的R。据此,我们认为G和R互为对立色。图1-3表示由心理评价法推测对立色光谱灵敏度的结果,其数值的正负并无特殊意义,仅代表颜色的对立色(例如R和G)。对立色说的基本色可认为是R、G、Y、B4色,因此又称为四色说。