

SECAIXUE

程杰铭 陈夏洁 顾 凯 编著

色彩学

(第二版)



科学出版社

www.sciencep.com

TS801.3
3:2

色 彩 学

(第二版)

程杰铭 陈夏洁 顾 凯 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

色彩学是印刷行业和电子出版的基础理论,涉及色度学、网点理论、图像处理、印刷工艺等多门学科。本书从物理学、生理学、印刷学等方面,着重论述了色度学和光度学的基本理论、色彩的性质、混合规律、色彩的呈色机制和表示方法。内容包括印刷领域中印刷前和印刷中的视频色彩、印刷色彩等方面的颜色相加、颜色相减规律,颜色的分解、传递、合成原理,以及网点呈色机制、灰成分替代、灰平衡原理和印刷过程中色彩与印刷材料、印刷工艺关系等内容。

本书可作为印刷工程、包装工程专业学生的专业教材,也可供从事广告、印前制作、印刷等专业技术人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

色彩学/程杰铭,陈夏洁,顾凯编著. —2版. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-018059-3

I. 色... II. ①程... ②陈... ③顾... III. 印刷色彩学

IV. TS801.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 109559 号

责任编辑:张 臻 / 责任校对:连秉亮
责任印制:刘 学 / 封面设计:一 明

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 15 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

南京理工出版信息技术有限公司照排

上海杨中印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 9 月第 二 版 印张:16 3/4

2006 年 9 月第三次印刷 字数:384 000

印数:8001—12 200

定价:29.00 元

前 言

在当今这个信息社会中,人们通过视、听、嗅、味、触觉来获得信息。科学研究表明,人所接受的信息 80% 来自视觉器官,而色彩作为给人第一视觉印象的魅力是最为深刻的。

人们从认识色彩到有目的地使用色彩是在漫长的社会发展起来的,并逐渐将色彩应用于纺织印染、陶瓷、建筑、绘画等。在研究色彩客观规律的科学理论中,首先发展起来的是艺术色彩理论。它起源于 19 世纪早期欧洲画家的经验和直觉,从美学欣赏角度研究、关心色彩实体与色彩效果之间的关系。接着,物理学家、化学家、生理学家和心理学家开始从不同的角度研究色彩。物理学家研究光与色彩的关系,化学家研究染料、颜料的分子结构,生理学家研究光、色对人的视觉器官的作用,心理学家则考虑着色彩对人精神思维的影响。

20 世纪 20 年代出现了综合性研究色彩的科学理论——色度学。这门学科以物理光学、视觉生理、视觉心理等学科为基础,研究人的颜色视觉规律、颜色测量的理论与技术。现在,以色度学为基础结合各个应用工程领域开展视觉色彩的研究,出现了各种色彩学科。本课程就是论述各种色彩理论应用于印刷出版、电子出版领域的色彩学。因为色彩是衡量印刷品和多媒体作品质量的三大要素之一,而且印刷品和多媒体作品色彩的质量是极其关键和重要的,要得到高质量的印刷品和多媒体作品首先必须控制它们的色彩。

色彩是一种复杂的物理心理现象,不仅涉及物理学和心理学,也涉及印刷工艺、印刷材料、电子传播设备、分色机理和数字图像处理等内容;此外,考虑到数字技术在印刷和电子传播中的应用,本书也编入了印刷色彩管理、调幅调频加网等内容,这使本书更有系统性,反映了国内外部分色彩理论研究和应用的最新技术进展。

本书是在 2001 年 9 月出版的《色彩学》基础上,结合最近几年来色彩理论和应用的发展作了较大内容的修改。但仍考虑到系统性和原有风格,本书对有关色彩构成、光的视觉现象、色彩的美学原理、物体的呈色机制、光度学、色度学、颜色的分解、传递、色彩管理、网点对颜色再现的作用、分色原理、色彩与承印材料、印刷工艺的关系等作了系统论述。

本书的第一至第四章和第六章由陈夏洁编写,第十、第十二章由顾凯编写,其余由程杰铭编写。全书版式、插图按出版要求统一编排、修改和绘制。在写作过程中得到了姚海根教授的悉心指导和帮助,以及滕跃民、孔玲君、郝清霞副教授、顾萍高级工程师等的大力支持和帮助,在此表示深深的谢意。

色彩学涉及的学科和范围毕竟很广,编写内容难免挂一漏万和有不妥之处,恳请专家和读者批评指正。

程杰铭

2006 年 7 月 上海

目 录

前言

第一章 光与颜色视觉	1
1.1 可见光	1
1.1.1 光的性质.....	1
1.1.2 光与色的关系.....	4
1.2 色彩的三属性	4
1.2.1 色相.....	5
1.2.2 明度.....	6
1.2.3 饱和度.....	7
1.2.4 色彩三属性的相互关系.....	8
1.3 眼睛与视觉	9
1.3.1 眼球的构造及其主要功能	9
1.3.2 明视觉与暗视觉	11
1.3.3 光谱光视效率	12
1.3.4 视觉功能	13
1.4 物体与颜色.....	15
1.4.1 物体与颜色的分类	15
1.4.2 彩色物体与选择性吸收	16
1.4.3 消色物体与非选择性吸收	18
1.4.4 影响物体颜色的因素	18
1.5 颜色视觉.....	19
1.5.1 颜色辨认	19
1.5.2 颜色对比	20
1.5.3 颜色适应	21
1.5.4 颜色恒定	22
1.5.5 色觉缺陷	22
1.6 颜色视觉理论.....	23
1.6.1 三色学说	23
1.6.2 对立学说	24
1.6.3 阶段学说	25
第二章 色彩视觉设计与印刷适性	26
2.1 色彩的心理.....	26

2.1.1 色彩的联想	26
2.1.2 色彩的视觉心理感受	27
2.1.3 色彩的情感表现	29
2.1.4 色彩的象征性	30
2.1.5 色彩的喜好	31
2.2 色彩的对比	31
2.2.1 色相对比	32
2.2.2 明度对比	33
2.2.3 纯度对比	34
2.2.4 色彩对比与面积、形状、位置、空间的关系	35
2.3 色彩的调和	35
2.3.1 色彩调和	35
2.3.2 色彩调和的基本方法	35
2.4 平面设计中的色彩传达	37
2.4.1 色彩的功能价值	37
2.4.2 色彩传达要素	38
2.4.3 色彩设计的原则与方法	39
2.5 色彩设计与印刷适性	41
2.5.1 影响色彩印刷适性的主要因素	41
2.5.2 色彩印刷适性与色彩选择	42
2.5.3 报纸色彩质量与色彩选择	44
2.5.4 柔印包装印刷的色彩选择	45
第三章 颜色的混合	47
3.1 色光混合	47
3.1.1 色光三原色	47
3.1.2 色光加色混合	47
3.1.3 色光加色法的类型	48
3.1.4 格拉斯曼颜色混合定律	50
3.2 色料混合	52
3.2.1 色料三原色	52
3.2.2 色料减色混合	53
3.2.3 色料减色法的类型	54
3.3 色光混合与色料混合的比较	57
第四章 光源及其颜色特性	59
4.1 光度学基础	59
4.1.1 辐射量度学与光度学	59
4.1.2 光度学有关物理量	60

4.2	光源的色温	64
4.2.1	光源的光谱功率分布	64
4.2.2	绝对黑体的辐射	65
4.2.3	光源的色温和相关色温	67
4.3	CIE 标准照明体和标准光源	69
4.3.1	CIE 标准照明体 A、B、C、D	69
4.3.2	CIE 标准光源 A、B、C	71
4.3.3	标准照明体 D 的确定和模拟	71
4.4	光源的显色性及其定量评价	72
4.4.1	光源的显色性	72
4.4.2	显色的定量评价方法	72
4.4.3	显色指数	74
4.5	印刷照明光源和观察条件	75
第五章	色度学基础	78
5.1	颜色方程	78
5.1.1	颜色匹配	78
5.1.2	颜色方程	79
5.1.3	色度坐标和色度图	80
5.1.4	颜色相加原理	81
5.2	CIE 标准色度系统	82
5.2.1	CIE 1931 标准色度学系统	82
5.2.2	CIE 1964 补充标准色度学系统	91
5.3	CIE 色度计算方法	93
5.3.1	色度坐标的计算	93
5.3.2	主波长与色纯度的计算	95
5.3.3	颜色相加的计算	98
5.4	CIE 均匀颜色空间	100
5.4.1	CIE 1960 均匀色度标尺图	100
5.4.2	CIE 均匀颜色空间	104
5.5	色差公式的发展	109
5.5.1	CMC($l:c$) 色差公式	110
5.5.2	CIE 94 色差公式	110
5.5.3	CIE DE 2000 色差公式	111
5.6	颜色测量和测色仪器	113
5.6.1	颜色测量	113
5.6.2	测色仪器	116
第六章	视频色彩与传递	118

6.1 视频色彩概述	118
6.1.1 视频三基色(彩色电视系统三基色)	118
6.1.2 视频色彩的相加混色	119
6.1.3 彩色电视制式与色彩混合	120
6.1.4 大面积着色原理、高频混合原理和恒亮度原理	121
6.2 电视系统中色彩的分解、传递与重现	122
6.2.1 景物色彩的分解及三基色信号的形成	122
6.2.2 亮度信号和色差信号	123
6.2.3 景物色彩的重现(三基色信号在电视屏幕上的合成)	127
6.3 电子显示器及其色彩显示原理	129
6.3.1 彩色 CRT 显示器	130
6.3.2 液晶显示器及其色彩显示原理	132
6.4 视频节目的色彩设计	134
6.4.1 色彩基调的选择	134
6.4.2 环境色彩的运用	135
6.4.3 字幕色彩的处理	135
6.4.4 视频节目的色光照明	135
6.4.5 镜头景别与画面色彩构图	135
6.4.6 镜头间的色彩组接	136
第七章 颜色的表示	137
7.1 颜色的命名	137
7.1.1 颜色的系统命名法	137
7.1.2 颜色的习惯命名法	137
7.2 颜色空间	138
7.2.1 RGB 颜色空间	138
7.2.2 CMYK 颜色空间	139
7.2.3 HSB 颜色空间	139
7.2.4 Lab 颜色空间	140
7.2.5 颜色空间的转换	141
7.3 印刷色谱表示法	144
7.4 孟塞尔颜色系统	145
7.4.1 孟塞尔颜色空间	145
7.4.2 孟塞尔新标系统	148
7.5 其他颜色表示法	157
7.5.1 中国颜色体系	157
7.5.2 奥斯瓦尔德颜色空间	158
7.5.3 CC5000、NCS 和 OSA 匀色标	160

7.6 同色异谱颜色	161
7.6.1 同色异谱颜色的概念	162
7.6.2 颜色的同色异谱性的评价	167
7.6.3 颜色的同色异谱差异	170
7.7 色貌模型	172
第八章 色彩管理	175
8.1 色彩管理的原理	175
8.1.1 色彩管理的原理和作用	176
8.1.2 色彩管理的组成部分	177
8.1.3 色彩管理的步骤	180
8.2 特性文件的创建	181
8.2.1 特性文件的概念	181
8.2.2 特性文件的创建	183
8.3 色彩管理系统	186
8.3.1 色彩管理系统的基本构成	186
8.3.2 常见的色彩管理软件	187
第九章 色彩的分解	192
9.1 彩色原稿	192
9.1.1 彩色原稿的色彩特征	192
9.1.2 彩色原稿的质量要求	194
9.1.3 透射原稿的复制适性处理	195
9.2 色彩分解	196
9.2.1 色彩分解	197
9.2.2 分色误差	198
9.2.3 颜色的校正	200
第十章 色彩的传递	202
10.1 网点的意义和作用	202
10.1.1 网点的意义	202
10.1.2 网点的作用	203
10.1.3 网点的种类	204
10.2 调幅网点	204
10.2.1 调幅网点的形状和识别	204
10.2.2 调幅网点的角度	209
10.2.3 调幅网点线数的选择	211
10.3 调频网点	212
10.3.1 调频网点的特点	212
10.3.2 调频网点扫描分辨率的选择	213

10.4	调幅调频网点·····	214
10.4.1	爱克发的 Sublima 网点技术·····	214
10.4.2	网屏的 Spekta 网点技术·····	215
10.4.3	艾司科的莫内网点加网技术·····	215
10.4.4	柯达的 Staccato 网点技术·····	216
10.5	颜色的光学密度·····	216
10.5.1	光学密度的种类·····	216
10.5.2	多色叠合的密度·····	220
第十一章	色彩的合成·····	223
11.1	印刷品的呈色机制·····	223
11.1.1	网点呈色的物理过程·····	223
11.1.2	网点呈色的生理过程·····	224
11.1.3	纽介堡方程·····	224
11.2	印刷色序·····	226
11.2.1	色序与产品质量的关系·····	227
11.2.2	选择色序的原则·····	227
11.2.3	四色印刷的色序安排·····	229
11.3	印刷灰平衡·····	230
11.3.1	灰平衡和灰平衡曲线·····	230
11.3.2	影响灰平衡的因素·····	232
11.4	灰成分替代·····	233
11.4.1	灰成分替代的由来·····	233
11.4.2	灰成分替代的原理·····	233
11.4.3	灰成分替代·····	235
11.4.4	数字图像处理中的灰成分替代工艺·····	238
第十二章	印刷对色彩再现的影响·····	243
12.1	纸张对色彩再现的影响·····	243
12.2	油墨对色彩再现的影响·····	245
12.2.1	三原色油墨的特性·····	245
12.2.2	彩色印刷品对油墨的要求·····	247
12.3	印刷工艺对色彩再现的影响·····	248
12.3.1	网点大小与色彩·····	249
12.3.2	墨层厚度与色彩·····	252
12.3.3	叠印率与色彩·····	254
	主要参考书目·····	258

第一章 光与颜色视觉

在我们这个信息社会中,人们通过视、听、嗅、味、触觉来获得信息。研究表明,人所接受的信息 80% 以上来自视觉器官,而色彩作为给人第一视觉印象的魅力是最为深刻的。“远看颜色近看花”。人们观察物体时,视觉神经对色彩反映最快,其次是形状、空间位置,最后才是表面细节。

色彩是自然界的客观存在。它是一种物理现象,是光线作用于物体后所产生的不同吸收、反射或透射的结果。色彩也可定义为光作用于人眼而引起除空间属性以外的视觉特性。根据这一定义,色彩是一种物理刺激作用于人眼的视觉特性,或者说人眼除具有形象视觉以外,还具有颜色视觉特性。

颜色视觉简称为色觉,其概念与色彩完全不同。色觉是受大脑支配的,是人类在漫长的岁月中为适应自然而逐步形成并且不断完善的一种感觉机能,是人类认识颜色和辨别颜色的能力。色觉并不是客观存在的。颜色视觉不仅与物体本身的颜色特性有关,而且还受时间、空间、周围环境的影响。也就是说,色觉必须同时具备三个条件时才能实现,即光线的照射、呈现颜色的物体、功能正常的视觉器官及大脑。这被称为色觉三要素。色觉产生的过程如图 1-1 所示。由图 1-1 可见,光是产生色觉的第一要素,光产生了色彩和色觉。

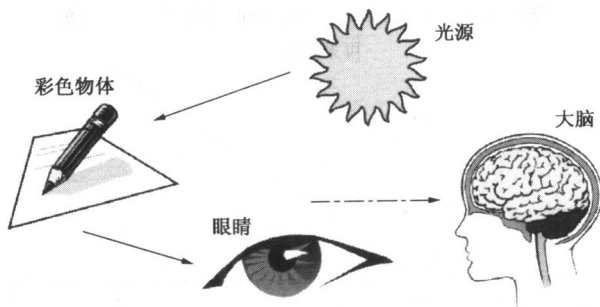


图 1-1 色觉产生的过程

1.1 可见光

1.1.1 光的性质

现代量子理论认为光同时具有波动和粒子二重性质,即波粒二象性。微观领域中,光在与物质相互作用时表现为粒子性。1905 年爱因斯坦提出光的量子理论:光的能量不是连续分布的,光是由一粒粒运动着的光子组成的。每个光子具有确定的能量,每个光子的能量 E 与光的频率 ν 成正比即 $E = h\nu$, 其中 h 为普朗克常数。宏观领域中,光在传播过程中表现为波动性。1865 年麦克斯韦建立了光的电磁理论,认为光是一种电磁波。色彩

是光在传播过程中产生的一种宏观光学现象,所以这里主要讨论光的电磁辐射。

电磁波是一种横波(图 1-2),其振动方向与传播方向垂直。描述电磁波的常用物理

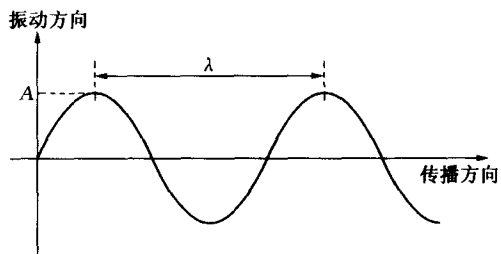


图 1-2 光波波长 λ 和振幅 A 示意图

量是波长 λ 和振幅 A 。波长 λ 是指沿波的传播方向,相邻两个波峰或波谷之间的距离。在可见光范围内,光的波长决定了光的颜色。光波的波长极其微小,其单位一般用 nm 来表示, $1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-9} \text{ m}$ 。振幅 A 是光波振动的最大幅度,振幅的平方为光强 $I(I = A^2)$,光强决定了光的明暗亮度。

可见光(简称光,light)是一种能在人眼的视觉系统上引起明亮和颜色感觉的电磁

辐射。电磁辐射的波长范围很大。从最短的宇宙线($10^{-15} \sim 10^{-14} \text{ m}$)到最长的交流电(数千千米)中,只有 $380 \sim 780 \text{ nm}$ 波长范围内的电磁辐射能引起人眼视觉响应,这段波长范围为可见光谱(图 1-3)。其他波长的电磁辐射,不管是与可见光谱短波段相邻的紫外线(具有强烈的光化学作用)、与可见光长波段相邻的红外线(具有很强的发热性能),还是宇宙线、交流电,人眼都是看不见的。

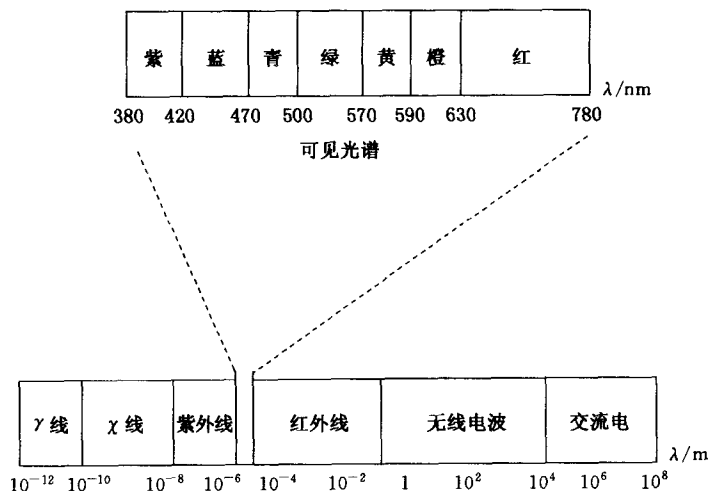


图 1-3 电磁辐射与可见光谱

在可见光谱范围内,不同波长的辐射能引起人的不同颜色感觉。这在 1666 年牛顿的三棱镜实验中已得到证实。牛顿发现,当太阳光射进暗室后通过一个三棱镜再投射到一块白色的屏幕上时,白色的太阳光(日光)变成了犹如雨后彩虹一样的光带。光带颜色的变化是逐渐过渡的,但有些部分的变化显著、颜色差别较大,由上而下呈红、橙、黄、绿、青、蓝和紫七色排列(图 1-4)。这是因为日光中含有不同波长的辐射能,当它们混合在一起并同时刺激人眼时,日光是白光。而当日光通过三棱镜时,因日光中不同波长光的折射系数不同,折射后投射在白屏幕上的位置也不同,从而形成彩色光带(即可见光谱)。这种白光被分

解成各种色光的现象称为色散。从图 1-4 可见,色散光谱的位置离开了白光投射方向而偏向棱镜的底侧。其中,紫光折射系数最大,偏离最大;红光折射系数最小,偏离最小。

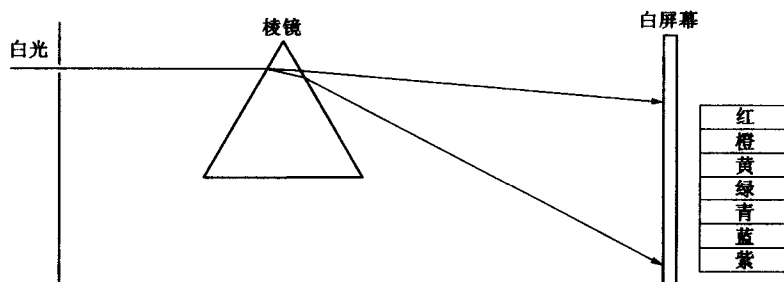


图 1-4 光的色散示意图

色散光谱中,每一种颜色只有一种波长。如果分离色散光谱中任意一种波长的色光,使它再次投射到三棱镜上,可发现其并没有继续分解,折射后投射在白屏幕上的色光颜色不再变化。这种只含有一种波长而不能再分解的光称为单色光,也称为光谱色。可见光谱中波长与光色的关系如表 1-1 所示,其中蓝紫光的波长短,红光的波长长。红、绿、蓝这三种色光具有较大的波长范围,所以在色彩学中为了研究的方便,一般将可见光谱划分为三个波段:400~500 nm 为蓝光区域(B), 500~600 nm 为绿光区域(G), 600~700 nm 为红光区域(R)。

表 1-1 可见光谱中波长与光色的关系

光 色	波长 λ/nm	代表波长 λ/nm
红(red)	780~630	700
橙(orange)	630~600	620
黄(yellow)	600~570	580
绿(green)	570~500	550
青(cyan)	500~470	500
蓝(blue)	470~420	470
紫(violet)	420~380	420

真正的单色光并不存在。由于人眼的分辨能力,平时所谓的单色光就是指波长在一定范围内的光,其范围的大小决定了该色光的单纯性或单色性。如图 1-5 所示,一束光光谱曲线的波峰强度一半处的波宽称为谱线宽度 δ ($\delta = \lambda_2 - \lambda_1$)。运用谱线宽度 δ 可以衡量色光的单色性,谱线的宽度 δ 越窄,则色光越纯,单色性越好。

由单色光混合而成的光叫做复合光(复色光)。色散实验表明,太阳光和大多数人造光源发出的光由不同波长的单色光组合而成,都是复合光,但不同光源发出的复合光具有不同的光谱分布(参见 4.2)。

色光中按一定分量混合红色光和绿色光会产生一种黄色光,这种黄色光与光谱色中的黄色光(580 nm)对于

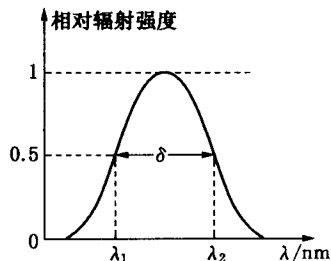


图 1-5 光的单色性测量示意图

人眼的感受是完全相同的。所以,色光可以是单色光,也可以是由几种色光合成的复合光。

1.1.2 光与色的关系

光是人们感觉所有物体形态和颜色的惟一物质。色是由物体的化学结构所决定的一种光学特性,是光作用于人眼引起除形象以外的视觉特性。所以光是产生色彩和形成色觉的物理基础,光与色有着密不可分的关系。

在没有光线的暗室中,人们什么都不能看见。而所有本身不发光的物体,只有在光线的作用下才能呈现颜色。所以,一切色彩都离不开光。光作用在透明物体上,除部分光线被反射、吸收外,相当部分的光线能透过物体,物体的颜色由透过的光谱成分决定。光作用在不透明物体上时,物体的颜色则由反射的光谱成分来决定。

不同的光作用在物体表面后会发生不同的反映,从而形成不同的色彩。约翰·伊顿在《色彩艺术》一书中有这样一个例子:一位实业家准备举行午宴招待一批男女贵宾,厨房里飘出的阵阵香气在迎接着陆续到来的人们,大家都热切地期待这顿午餐。当快乐的宾客围住摆满美味佳肴的餐桌就坐之后,主人便以红色灯光照亮了整个餐厅。肉食看上去很新鲜,使人食欲大增,而菠菜却变成了黑色,马铃薯显得鲜红。当客人们惊讶不已的时候,红光变成了蓝光,烤肉显出腐烂的样子,马铃薯象是发了霉。宾客们立即倒了胃口。随后黄色的电灯一开,红葡萄酒变成了蓖麻油,来客都变成了行尸。几个比较娇弱的夫人急忙站起来离开了房间,没有人再想吃东西了。这时主人笑着打开了白光灯,不久聚餐的兴致就恢复了。

可见,颜色是光作用于物体后的结果,没有光就没有色彩,光源改变,色彩也随之改变。光与色两者的关系可概括为“色从光而来,色随光而变”。

但颜色并不是一个单纯的物理量。光线作用于物体后还必须通过一系列的生理活动和心理反映后才能使大脑产生颜色的感觉。所以,颜色在物理学上是可见光的特征,在生理上是可见光对视觉的不同刺激,而在心理学上是可见光刺激大脑的反映。

1.2 色彩的三属性

在日常生活中,经常需要认识、区分和比较色彩。而在视觉上,色彩是无法用一般的量值来衡量的,只能用三个特殊的物理量即色相、明度和饱和度来衡量。色相、明度和饱和度就是色彩的三属性,也称为色彩三要素。

色彩三属性中任何一个属性的细微变化都能使色彩的面貌、性质和象征意义完全改变。正是由于色彩这三个属性的变化造成了色彩无穷的变化。

色彩可以分为彩色(chromatic color)和消色(即非彩色,achromatic color)两大类。彩色中任何一色都具备这三属性,缺一不可。两个不同的彩色至少有一个属性不相等,只有三个物理量全部相等的彩色才是完全相同的。消色中各色仅具有明度数值,而不具备色相、饱和度的属性。

大多数色彩系统都是根据色彩的三属性来进行系统的分类、归纳和排列的。

1.2.1 色相

色相(hue, H)也称为色调,即彩色的相貌,是彩色最基本的特征,也是色与色彼此相互区分最明显的特征。可见光谱不同波长的辐射在视觉上就表现为不同的色相。例如,红、橙、黄、绿、青、蓝、紫即为不同光谱波长的色相,都表示一个特定波长的色光给人的特定色彩感受。

色相由刺激人眼的光谱成分所决定。对于单色光,色相由该色光的波长直接决定。对于复合光而言,色相决定于复色光中各波长色光的比例,主要由主波长(峰值波长)来确定。如用物体光谱反射率 $\rho(\lambda)$ 曲线来表示,曲线的峰值反射率 ρ_m 对应的波长即为彩色的主波长 λ_m 。物体的光谱反射率曲线主波长相同,色相便相同;主波长不同,色相就有差别。图 1-6 中,曲线 A、B 所代表的彩色主波长 λ_{mA} 、 λ_{mB} 分别为 650 nm 和 530 nm。主波长为 650 nm 的色相为红,主波长为 530 nm 的色相为绿。

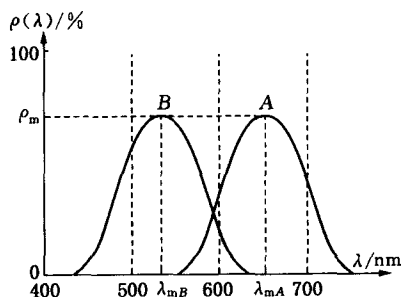


图 1-6 主波长与色相

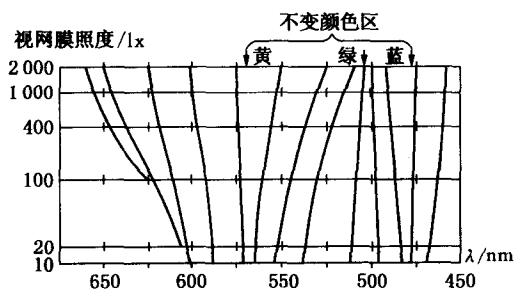


图 1-7 各种波长的恒定颜色线

例如红色颜料(R)的色感是 700 nm 主波长反射的结果,假设在这个红色颜料中加入不同量的白、灰或黑,可得出灰艳、亮暗不同的色彩,但这些色彩仍然属于一个色相,因为主波长因素未变。

在视觉上,色相和主波长之间的对应关系会随着光照强度的改变而发生变化。这是因为某些颜色受到光强度的影响,随着光强度的变化,颜色也在一定范围内变化。图 1-7 所示为颜色主波长随光照强度的改变而发生的偏移情况,光照强度增加,长波向红色偏移,短波向蓝色偏移,其中只有黄(572 nm)、绿(503 nm)和蓝(478 nm)三个主波长(颜色)恒定不变。

将光谱色的色带作弧状弯曲,加上不存在于光谱中的品红色(magenta, 谱外色),可形成一个色相循环渐变的圆形封闭圈,称为色相环。由于连续的色相环既难以命名,又难以管理,将连续变化的色相环均匀分段,以每段中间的色彩作为该段的色彩代表,构成各种分段的色相环。如分 6 段为六色色相环,分 12 段为十二色色相环。图 1-8 为简单的六色色相环。六色色相环直观地将色光三原色、色料三原色以图形显示,并体现了互补色的关系,对

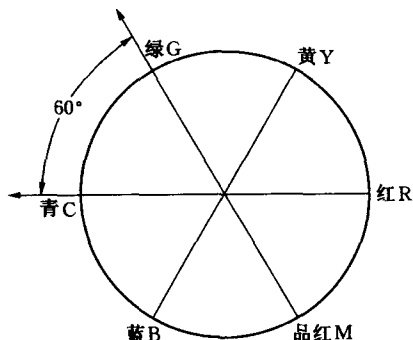


图 1-8 六色色相环

色彩设计和色彩处理都是非常重要的。

不同波长的色光刺激视网膜后,经视觉通道便产生了不同的彩色视觉。但是人眼视网膜的感色细胞对光谱中不同波长色光刺激的敏感性并不相同。经过实际测定发现,人眼对 490 nm 附近的青绿色光与 590 nm 附近的橙黄色光特别敏感,只要波长有 1~2 nm 的变化,具有正常彩色视觉的人就能分辨;对于 540 nm 附近的绿色光谱段需要波长有 3~4 nm 的变化才能区别;而人眼对光谱两端的红光光谱段和蓝紫光光谱段波长变化的反应

能力非常迟钝,特别是从波长 655 nm 到光谱红色末端以及从 430 nm 到光谱紫色末端,人眼几乎无法区分颜色上的差别。图 1-9 为人眼对不同波长颜色的辨认阈限。

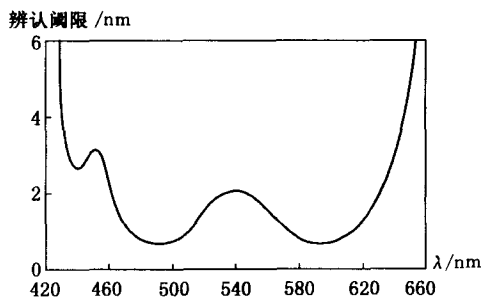


图 1-9 人眼对不同波长颜色的辨认阈限

一般人眼可以分辨的光谱色色相约 150 种,谱外色约 30 种,共约 180 种。对色彩高度敏感的人,其色相的辨认能力会大大超过 180 种。作为一个色彩设计、色彩复制的工作者,即使缺乏色彩的高敏感性,只要经过不断的色彩实践,对色相的辨认能力也会不断提高。

1.2.2 明度

明度(lightness 或 value, L 或 V)是表示颜色深浅明暗的特征量。简单地说,色彩的明度是人眼所感受到色彩的明暗程度。明度不等同于亮度(brightness, B)。亮度是与入眼视觉无关的客观数值,是可以光度计直接测量得到的能量值。而明度是主观感觉量,是颜色亮度在人眼视觉上的反映。人眼对明暗的改变很敏感,反射光很小的变化,甚至小于 1% 的变化,人眼也能感觉出来。

通常,各种色彩的明度取决于人眼所感受的光线能量和人眼的光谱光视效率(参见 1.3.3)。由于光源辐射能和物体反射或透射光量的不同,就会产生明暗强弱的差异,可用辐射功率(光源)、反射率(反射物体)或透射率(透射物体)来表示。

相同色相的物体或消色物体表面的反射率越高,它的明度就越高。即各个物体在明亮程度上,越接近白色则明度越大,越接近黑色则明度越小。图 1-10 中用光谱反射率来判断明度,两曲线的主波长相同,曲线的峰值反射率高低可理解为不同的明度,峰值反射率越高,明度越大。图 1-10 中,曲线 A 的峰值反射率高, $\rho_{mA} > \rho_{mB}$, 所代表的色彩明度大于曲线 B 所代表的色彩明度。根据人眼的光谱光视效率,不同色相的光谱色即使反射率相同,明度也各不相同的。其中,黄色、橙黄、黄绿等色的明度最高,橙色比红色的明度高,蓝色与青色要暗些。所以,明度并不单纯是一个物理学的量度,还是一个心理的量度。

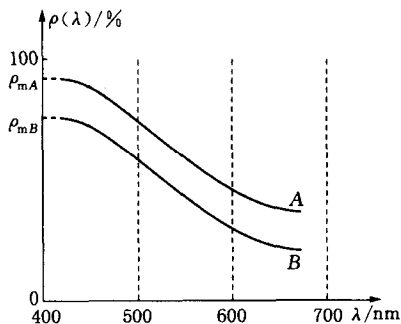


图 1-10 峰值反射率与明度

由于明度的差别,同一种色相具有不同色彩,如同一种绿色可以分为明绿、淡绿、暗绿

等。正是色彩有明暗差异,画面才能显示出层次,才有立体感和真实感。因此,明度是构成画面层次的丰富变化和画面立体空间关系的重要特征。

白色颜料是反射率高的物质,如果在其他颜料中加入白色,可以提高混合颜色的明度。黑色颜料是反射率极低的物质,在其他颜料中混入黑色,可以降低混合颜色的明度。当然,在颜色中加入白色或黑色颜料后,除了会发生明度变化外,往往还能引起色彩的另一个属性——饱和度的变化。

人们能比较准确地判断颜色的明暗对比。但是,由于光适应和亮度对比(参见 1.3.4)的作用,要准确判断某一颜色的绝对明度却是困难的。例如在从白到黑的渐变背景色的衬托下,均匀灰度的物体将呈现出不同的明度。

此外,人眼分辨明度差别的精确性还决定于景物总的亮度水平。亮度太大或太小时,人眼分辨明度差别的灵敏度就会降低,只有在亮度适中的场合,人眼的明度分辨力才能处于最佳状态。根据研究,在最佳状态下人眼能分辨明暗层次的数目约为 600

种。图 1-11 为人眼在不同亮度下辨别明度的能力。

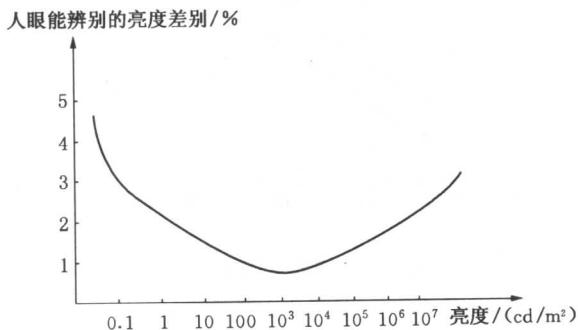


图 1-11 人眼在不同亮度下辨别明度的能力

彩色原稿经扫描分色,在分色片上的色彩就是以明度(亮度)形式被记录下来的。明度值的大小直接决定了色量的多少,对于分色阳片而言,明度越大,色量越少,颜色越浅。图 1-12 为分色阳片上网点面积与明度关系示意图,绝网部分明度最大、没有色量,实地部分明度最小、色量最大。

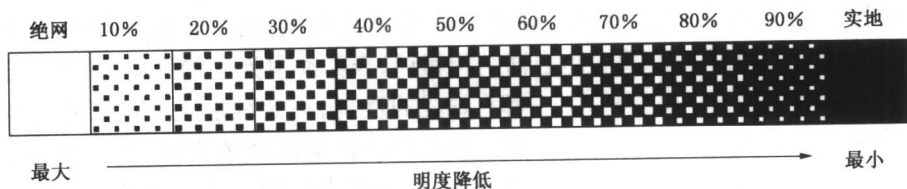


图 1-12 分色阳片上网点面积与明度关系示意图

1.2.3 饱和度

饱和度(saturation, S)是色彩的第三属性。在孟塞尔系统中用彩度(chroma, C)来描述这一属性。S 和 C 都是相对的主观心理量,一般来说具有相同的意义。

饱和度是指色彩的单纯性,是反射或透射光线接近光谱色的程度,或者说是表示离开相同明度中性灰色的程度。可见光谱中的各种单色光(光谱色)是最饱和的彩色光。高饱和度颜色的色相表现明显,低饱和度颜色则色相不明显。所以,高明度浅色、极灰或极暗的色彩往往难以分辨其色相而色相感模糊。

在鲜艳、纯净的颜料中加入白色或黑色后,就会降低颜色的饱和度。所以饱和度可理