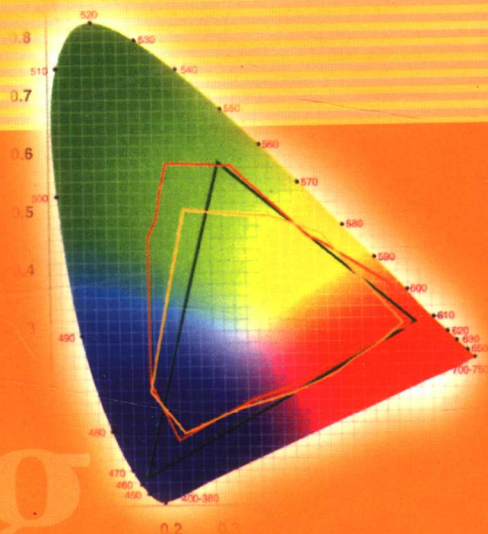


印刷色彩管理

田全慧 刘珺 编著



印刷工业出版社

内 容 提 要

《印刷色彩管理》从色彩学基本原理入手,系统讲述了印刷色彩管理的工作原理,详细介绍在输入、处理到输出的印刷工艺中进行色彩管理的基本方法,以及色彩管理在生产实践中的实际应用,如扫描仪校正、显示器校正、打印机校正等新技术。

本书共分十章。第一章,绪言,从色彩应用的重要性引入色彩管理的概念,并初步介绍色彩管理系统的历史发展;第二章,色彩概论,主要以色彩学为基础介绍用于色彩管理的基本色彩理论;从第三章到第八章,介绍在印刷工艺中进行色彩管理的相关理论与具体实现方法;第九章,介绍了数字印刷工艺流程中对色彩管理技术的应用,如数码打样系统、屏幕打样系统等;第十章,介绍网络技术中的色彩管理。最后,结合本书内容,设计了具体的实验。

本书理论与实践相结合,可作为高等院校印刷专业类相关课程教材,也可供从事广告、印刷、包装的设计人员、技术人员与管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

印刷色彩管理/田全慧,刘珺著. —北京:印刷工业出版社,
2003.2

ISBN 7-80000-459-7

I. 印… II. ①田… ②刘… III. 印刷-色彩-管理系统
(软件) IV. TS801.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 068275 号

印刷工业出版社出版发行

北京复外翠微路 2 号 邮政编码 100036

河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司印刷

各地新华书店经售

*

787×1092mm 1/16 印张:10.25 字数:253 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:18.00 元

序

任何彩色复制工艺均存在着一系列的颜色变换和传递过程,印刷工艺也不例外。

在照相制版和电子分色制版阶段,印刷工作者对不同原稿的复制均是一种具有明确针对性的操作,其基本特征是从分色结束直至获得最终印刷品全部工作在 CMYK 颜色空间,颜色传递和变换的正确性由操作人员的专业知识来保证。

计算机技术和数字技术进入印刷工艺后,彩色复制过程不再像照相制版和电分制版那样简单了,数字彩色复制过程中经历着频繁的颜色分解、颜色校正、颜色空间变换、颜色显示和颜色合成等子过程,而对这些过程的有效控制将直接影响产品质量。为此,从数字桌面印前系统出现后,人们就认识到色彩管理的重要性,并逐步出现了一些具备简单功能的色彩管理系统。与此同时,印前系统的应用软件也内置了色彩管理模块。但是,无论是专用色彩管理系统还是应用软件的内置色彩管理模块,它们均缺乏色彩管理的系统概念,且由于时代的限制也缺乏必要的硬件支持,因而没有取得明显效果。

国际彩色联盟 ICC 成立后,色彩管理技术的发展走上了快车道。从 ICC 样本文件标准制订后,不仅有符合 ICC 标准的色彩管理系统出现,且相关硬件的生产也有了标准可循。

在色彩管理技术日益成熟的今天,全面讨论该项技术和色彩管理系统的书却仍然很少,达到一定深度的就更少了。为此,田全慧老师承担了编写色彩管理一书的任务,该书覆盖了许多色彩管理内容。

本书曾在上海出版印刷高等专科学校印刷图文信息处理专业的两届学生中试讲,收到了不错的效果。讲义与正式出版物毕竟有不同的要求,为此田全慧老师又耗费了大量心血修改,有的内容则重新编写,终成本书。

本书的特点是第一章到第三章是有关色彩的一些基本概念,主要是考虑到那些没有学过印刷色彩学读者的需要,也是为了全书的系统性。从第四章开始,讨论内容均以色彩管理为中心展开,例如色彩管理系统工作原理、设备校正和设备彩色表示的特征化(形成 ICC 样本文件)、设备特征化专用软件、操作系统级的生产管理、色彩管理系统等,在讨论了与色彩管理有关的基本问题后,作者专门安排了一章叙述色彩管理的应用。更可贵的是,作者还讨论了正在发展中的网络出版色彩管理问题。

本书不仅适合于高等院校印刷、包装专业的学生,对于那些打算全面而系统地了解色彩管理这一专门技术的读者,本书也是一本很好的基础读物。希望本书能得到广大读者的喜爱,同时也希望同业人员能不吝指教,以便我们在再版时修订。

姚海根
2002 年 7 月 上海

前 言

印刷色彩管理在印刷行业的应用已从理论逐渐进入实践,实现真正意义上的“所见即所得”已不仅仅是印刷设计人员的梦想。色彩管理已被越来越多的国内厂家提上工艺改进的议事日程,以此加强印刷的数字化流程,增进工作效率,提升企业的竞争力。然而与色彩管理相关的资料,特别是系统的介绍却难以找到,相关大专院校也无类似的教材。本书就是在这样的背景下编写的。

《印刷色彩管理》系统讲述了印刷色彩管理的工作原理,重点研究了输入、处理到输出的印刷工艺中进行色彩管理的基本方法。在内容选择安排上,作者力图反映印刷色彩管理在印刷业应用的最新成果,以及色彩管理在生产实践中的实际应用。本书从色彩应用的重要性引入色彩管理的概念,介绍了色彩管理系统的历史发展,并用大量文字详细叙述在印刷工艺中进行色彩管理的相关理论与具体实现方法,目的是便于读者能熟悉和掌握印刷色彩管理的本质,并能应用于生产。最后,本书介绍网络技术中的色彩管理,这是未来色彩管理的重要发展方向之一。

本书对色彩管理知识的介绍力求通俗和简明,并选择与印刷色彩管理相关著名软硬件加以介绍,方便读者进一步理解基本原理并迅速投入实践。在此,对提供相关技术资料的厂商一并鸣谢:上海子洋图像技术有限公司、日本网屏有限公司上海办事处、海德堡中国有限公司、Bestcolor 公司、瑞士 GretagMacbeth (格灵达麦克贝斯) 公司、北大方正、爱色丽亚太有限公司。

特别感谢在《印刷色彩管理》编写期间姚海根教授、程杰铭副教授提供的指导,以及上海出版印刷高等专科学校印刷图文信息处理教研室全体同仁的帮助。同时感谢此间母亲对我们的理解、关怀与照顾。在本书编写过程中,参考了国内外大量技术文献,引用其他作者的资料和插图较多,未能一一注明出处,在此谨向他们致以深切的谢意。

由于作者水平有限,文中谬误与不妥之处,恳请各位同仁批评指正。

目 录

第一章 绪言	(1)
第二章 色彩概论	(5)
第一节 颜色的匹配	(5)
一、颜色的描述	(5)
二、白光的定义	(7)
三、CIE 标准观察者与标准光源	(7)
四、格拉斯曼定律 (Grassmans Laws)	(8)
第二节 颜色的同色异谱现象	(9)
一、同色异谱颜色	(9)
二、同色异谱色的评价	(11)
第三节 色彩空间	(11)
一、RGB 加色空间	(12)
二、CMY 减色空间	(12)
三、CIE 颜色系统	(13)
四、色域	(14)
五、颜色容差	(15)
第四节 色彩转换	(16)
一、色域映射的方式	(17)
二、色彩转换的方式	(18)
三、色域映射与色彩转换方式的对应关系	(18)
第三章 色彩的控制	(20)
第一节 影响色彩的因素	(20)
一、物体呈色原理对物体颜色的影响	(20)
二、生产工艺中影响颜色的因素	(20)
第二节 传统的色彩控制方式	(30)
第四章 色彩管理系统工作原理	(32)
第一节 色彩管理系统方案	(32)
一、闭环控制法	(32)
二、开环控制法	(34)
第二节 色彩管理的工作过程	(34)
一、建立标准的颜色环境	(34)
二、校正	(35)
三、系统设备色彩特征化	(36)
四、色彩转换	(37)

第三节 色彩管理系统的结构	(39)
一、通用的参考标准	(39)
二、特征文件 (Profile)	(40)
三、色彩管理模块 CMM (Color Management Module)	(43)
第五章 设备校正与特征化	(46)
第一节 各设备呈色原理	(46)
一、彩色显示技术	(46)
二、扫描仪与数码相机的色彩空间及色彩再现原理	(50)
三、打印机的色彩空间及色彩再现原理	(52)
四、印刷的色彩空间及色彩再现原理	(59)
第二节 专业色彩测量仪器和工具	(60)
一、分光光度计	(61)
二、密度计	(61)
三、色度计	(63)
四、屏幕测色仪	(63)
五、标准测控条与标准色标	(63)
第三节 设备校正与特征化	(64)
一、显示器	(64)
二、扫描仪与数码相机	(68)
三、照排机	(69)
四、打样与印刷	(70)
五、打印机	(71)
第六章 设备特征化专用软件	(73)
第一节 海德堡公司的系列软件	(73)
一、ViewOpen	(73)
二、ScanOpen	(73)
三、PrintOpen	(73)
第二节 爱色丽提供的系列软件——ColorShop	(82)
第三节 格灵达系列软件——ProfileMaker	(84)
一、显示器特征化	(84)
二、输入设备特征化	(86)
三、输出设备特征化	(88)
四、编辑特征文件	(91)
第四节 网屏公司系列软件——LabFit	(93)
一、显示器特征化	(94)
二、打印机特征化	(95)
三、编辑特征文件	(96)
第七章 成熟的色彩管理系统	(100)
第一节 操作系统级的色彩管理	(100)
一、Colorsync——苹果公司的基础工作	(100)

二、微软公司对色彩管理系统的支持	(106)
第二节 其它系统开发商的努力	(108)
一、PostScript 色彩管理模式	(108)
二、Agfa FotoTune 色彩管理系统	(110)
三、Kodak 色彩管理系统	(111)
四、Linocolor 色彩管理	(112)
第八章 应用程序中的 CMS	(113)
第一节 Photoshop 的色彩管理	(113)
第二节 PageMaker 的 CMS 设定	(118)
第三节 Adobe Illustrator 的 CMS 设定	(119)
第四节 Coreldraw 的 CMS 设定	(120)
第九章 色彩管理的应用	(121)
第一节 数码打样	(121)
一、数码打样系统	(121)
二、Bestcolor 数码打样系统	(123)
三、Serendipity Software 数码打样系统	(132)
四、网屏数码打样系统	(134)
五、方正数码打样系统	(135)
六、O.R.I.S 数码打样系统	(135)
第二节 屏幕打样	(136)
第三节 数字化印刷工艺流程	(137)
第十章 网络出版与色彩管理	(139)
实验一 测量色彩输出的差别	(144)
实验二 显示器校正与特征化	(145)
实验三 输出设备的校正与特征化	(147)
实验四 色彩管理系统设计	(148)
附录一 格灵达麦克贝斯公司的分光光度计	(149)
参考文献	(153)

第一章 绪 言

色彩对于人类的发展来说是十分重要的。从古代遗迹中我们了解到人类很早就开始应用色彩了,然而直到牛顿发现太阳光通过三棱镜能发出彩色光谱后,对色彩的研究才迈入色彩科学的新纪元。16到17世纪间有很多关于光的反射、折射的研究,从德国物理学家奥斯华德(Ostwald)的色彩论,到20世纪美国孟塞尔(Munsell)的颜色理论的出现,为色彩的研究打下基础。从20世纪30年代开始,以色彩为研究对象的色彩科学作为一门新兴的交叉学科而崛起了,它以物理光学、视觉生理、视觉心理等学科为基础,受到有关学科和工业界——特别是色彩工业与彩色复制工业的重视。

1. 色彩的重要性

色彩无时无刻不在影响我们的生活。在日常生活里,无论是衣、食、住、行或是工作等等方方面面都与色彩有密切的关系,随着对色彩的了解,人们的生活变得更加多姿多彩。在我们的生活与装潢中,设计家采用新奇的颜色来表达自我、创造个性,表现自己拥有的独特品味;在商业领域中常用各种不同的色彩吸引顾客,达到宣传商品、推销商品的目的;在艺术领域,艺术家利用色彩塑造人物、美化环境,供人们欣赏,达到美化生活的目的;在科研领域,科学家、军事家利用色彩传输信息,发布信号……。总之,色彩的应用与人类的一切活动都密不可分。

印刷作为一种重要的复制工业,色彩是衡量其产品质量的主要要素之一。在印刷工艺中进行颜色的复制时,首先必须经过色分解,将五颜六色的彩色原稿分解为黄、品红、青和黑色四个颜色,并根据印刷的需求对它们进行阶调调整、加网等处理,最后再经印刷设备一色一色地叠印在承印物上合成为彩色印刷品。印刷品和多媒体产品的色彩质量是极其关键和重要的,它是人们评价产品的一个重要指标。

2. 色彩控制的难度

从严格意义上,色彩的定义为,除了空间的和时间的不均匀性以外的光的一种特性,即光的辐射能刺激视网膜而引起观察者通过视觉而获得的影像;色彩是色光作用于人眼引起除形象以外的视觉特性;色彩是一种物理刺激作用于人眼的视觉特性。光的辐射能和物体的反射是属于物理学范畴的,大脑和眼睛却是生理学和心理学研究的内容。因此,色彩永远是以物理学为基础,而又包含着心理作用和生理作用的反映。从而要建立统一的标准,对色彩进行定量的描述和控制是一个重要而又艰难的工作。

正如每个人对色彩的感知各有不同,在印刷彩色复制工作流程中,无论是输入、显示或输出。每一件器材都依靠不同的方法去处理色彩。每一部机器所用的技术限制了它可以处理的色彩范围。这个色彩范围就是它的色域(Color Gamut)。不同的器材在色彩空间上的差异,使颜色的复制在工作流程中受到很大的影响。例如某一种蓝色可能在设计师的屏幕的色域范围中,但是却可能在标准的四色印刷机的色域范围之外。在屏幕上,这种蓝色看来是很鲜艳

的,但一旦送到印刷机上以标准的四色印出,其结果却会使设计师大吃一惊。打印机也会出现这种情况,例如喷墨打印机。其往往采用比印刷油墨纯度高很多的彩色墨或调色剂进行打印,由于纯色颜料可以输出比较广的色域范围,这些打印机可以印出一般油墨印刷机不能印出的色彩。最理想的情景,当然是在显示、打印与印刷过程中能够使色彩一致和可靠。如此我们扫描一幅照片,然后在屏幕上显示它时,便不会和以后印刷的任何色彩上的差异。很可惜,这种统一性和可靠性是不会自然出现的,我们必须努力争取。

此外,如今随着数字化技术的进一步发展,印前工艺正在改变传统工艺流程,不断加入数字化技术,诸如数码印刷、直接制版以及数码打样技术的应用。各种数字化方式的采用,使得印刷中色彩的复制过程简单化了,却使色彩的控制更加困难。因为在这些数字化的生产过程中,色彩的复制是通过数字模拟来再现,这其间存在着从 R、G、B 加色模式到 C、M、Y 减色模式的转换,原稿色域空间、显示器再现色域空间、油墨再现色域空间之间的匹配、覆盖、映射和再现,其间的关系变得复杂而困难,需要采用有效的管理方式来进行数字化的管理,从而加强生产质量控制。

当今时代,网络正不断地进入人们生活和工作的方方面面,网络的出现一方面给印刷与出版行业带来了许多机遇,另一方面又对色彩的控制与管理提出了新的要求。因为网络出版的色彩管理至今仍是一个令人头痛的难题。根据 CAP 投资商的介绍说,在美国 1050 亿美元的印刷品中有 200 亿美元的产品是通过 Internet 网络实现的。

3. 色彩管理系统的基本概念

色彩的控制是如此之重要,但又如此难于控制,那么我们如何进行色彩控制呢?过去,传统的打样方法、控制条、密度计和色度计在颜色控制方面证明是有效的。如今,我们将在印刷行业中的色彩控制方式从印刷质量控制中分离出来,建立一套专用的系统,称之为色彩管理系统。所谓色彩管理系统,是通过科学化及数字化的方法,将各种设备校正,并将设备的色彩特性记录于“特征文件”中,从而在设备上得到可预知的色彩,将色彩重现于不同的输出环境下。简而言之,即通过建立一套在设备间进行色彩通信的客观规则,从而解决保证在整个印刷系统中的色彩传递的一致性。

4. 色彩管理系统的发展

目前我们所说的色彩管理系统已经经过两个阶段的发展。早在 20 世纪 70~80 年代彩色电子印前系统 (Color Electronic Prepress Systems/CEPS) 即桌面印前系统出现之初,色彩管理的概念已经被人们所采用了,现在称其为传统色彩管理系统。当时的彩色桌面印前系统虽然具有编辑图文、排版和色彩控制等功能,但每个印前系统互相之间不能兼容,对色彩的表达也不同。如果一个文件在不同的印前系统中输出,很可能会产生不同的结果。因此色彩管理方法比较繁复,同时还需要采用多个独特的色彩转换程序才能完成不同设备间的色彩传递 (如图 1-1 所示)。

早期的色彩管理系统并未被普遍采用,其基本问题之一就是每种设备使用不同的结构,为了执行色彩搭配功能,用户需要为它创造一个特定环境并不断地改变作业状态。因为没有通用的色彩管理结构可以使用,每个应用者本身都必须配合硬件供货商,在输入设备和输出设备之间为没有一致的标准而不断调整。

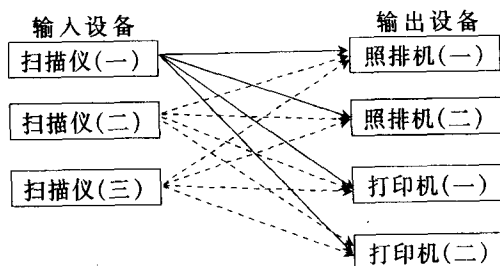


图 1-1 传统色彩管理系统模式

20 世纪 80 年代中期到现在，电脑及软件发展迅速，先后出现数字化直接制版和数码印刷等技术，这使得大家开始明白系统兼容性的重要。1993 年由八大电脑及电子影像发展商组成了国际色彩联盟（International Color Consortium/ICC），其目的是解决新产品间的色彩管理兼容问题。ICC 决定了将色彩管理系统建立于电脑操作系统之内，并利用色彩特征文件（ICC Profile）作为色彩转换的基础。只要任何输入或输出设备支持这种格式，它们之间便可准确地进行色彩转换，这就是现代色彩管理系统。现代色彩管理系统以支持 ICC 的作业系统为色彩管理中心，每个设备只须一个 ICC 特征文件，系统便可简便地管理色彩。现今 ICC 已有超过 50 个著名公司加入成为会员，而 ICC 特征文件亦有很多新产品支持，可以说它已成为一个工业标准。

现代色彩管理系统（如图 1-2 所示）中 ICC 特征描述文件（ICC Profile）构成了其基本建筑模块。ICC 特征文件把一系列标准颜色转换成设备认可的颜色。扫描仪（Scanner）、显示器（Monitor）、打印机（Printer）等设备通过特征文件接受颜色信号并决定如何处理颜色，通过色彩转换模块（CMM）对颜色计算之后再把它们显示或打印输出。

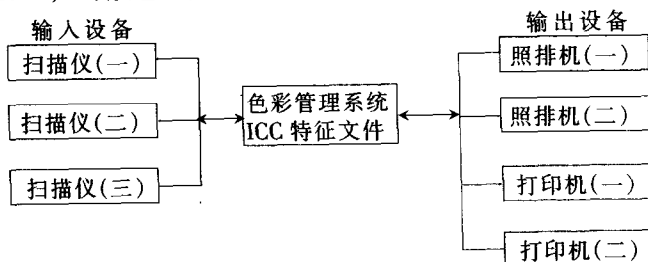


图 1-2 现代色彩管理系统模式

5. 色彩管理系统工作原理

色彩管理所包含的工作有三部分：

(1) 设备校准（Calibration）。就是指设备色彩特性的标准化，能够从一特定的颜色输入值产生可预见的颜色。通常为了补偿设备的老化或其它因素的变化，都必须定期对设备进行定期校准。

(2) 设备特征化（Characterization）。因为一般显示器及打印机设备的制作商不同，所用的技术及材料不一样，所以同一组的 RGB 或 CMYK 颜色数据，在不同的设备上输出，都可能出现不同的颜色效果。因此，每一种设备应有其对应的色彩的特性，这设备的色彩特性可通过一些软件及硬件的配合产生一个“特征文件”来记录。

(3) 色彩转换 (Color Converting)。同一幅图片在不同的设备上输出, 会产生不同的效果, 其原因是不同设备产生的色域都不一样, 当我们要由 A 设备的色彩设定, 转到 B 设备去输出时, 便要利用 A 设备的“特征文件”, 通过色彩管理的软件, 进行色彩转换与匹配, 由 A 设备的色域对映到 B 设备的色域, 找出最佳的色彩表现。

不同色彩模式间的转换是基于一个中间的 CIE Lab 数值作为参考。例如以下的例子, 利用显示器 A 的特性设定一个颜色 R: 200, G: 20, B: 20, 其相对的 Lab 值是 L: 50, a: 66, b: 52, 而基于打印机 A 的特性找出其 CMYK 的数值。但当转用打印机 B 时相同显示屏幕的颜色便要用另一组的 CMYK 数值才能产生相同的效果。同样地在打印机 B 上 CMYK 所产生的色彩在显示器 B 显示时, 其 RGB 的数值也要变成另一组数值才可以得到相同的色彩, 但对于中间的 Lab 值是没有变动的。

6. 发展色彩管理系统的重要意义

色彩管理系统将色彩处理、控制技术和相应的软硬件结合起来, 简化了彩色复制, 从而让技术不高或经验不足的使用者能容易、准确、迅速地完成彩色复制。色彩管理系统还能在完成生产任务的同时, 减少工作时间和材料支出量, 从而节约时间和成本。它可让使用者在不同的输入和输出设备上进行色彩搭配, 提前看出何种色彩不能在特定设备上精确复制, 以及在其它设备上逼真地再现该设备的色彩范围, 达到精确、可重复的色彩复制。

实现真正意义上的“所见即所得”是印刷设计人员的梦想。今天, 我们身处互联网信息时代, 前期的设计者往往不清楚在另一终端的颜色显示是否真实精确, 此时色彩管理更加重要了。由于数码印刷容易实现异地按需印刷, 因此数码印刷机更需要色彩管理系统。直接制版技术的普及推动了数码打样技术的应用, 从而也使色彩管理更重要了。

第二章 色彩概论

色彩管理系统 CMS (Color Management System) 的理论是以色彩学为基础的色彩应用技术。了解色彩管理系统必须从色彩学的基本理论入手。色彩学以物理光学、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,并结合各个应用工程领域开展色彩研究。

第一节 颜色的匹配

色彩是客观存在于自然界的一种物理现象。从科学的角度讲,它是与可见光的发射、传播和接收相关的一种主观感受。人们能看到五彩缤纷、绚丽多彩的彩色世界,能鉴别千差万别的颜色,是由于发光体或被观察对象发射或反射的光进入人眼后,刺激视觉神经的感红、感绿、感蓝细胞并传达给大脑而产生的知觉。

一、颜色的描述

颜色不像长度、重量那样有一个看得见摸得着的度量方式。因此,需要有一种通用的、精确的而又便于统一的科学的描述颜色的方法。用精确而通用的术语描述颜色是非常复杂的任务。如果没有通用的颜色“语言”,没有一种标准的定量的描述颜色的方法,颜色的匹配与转换工作是无法完成的。

1. 颜色的三属性

为了正确描述颜色的千差万别,色彩学引入三个物理量,即色相 (hue)、饱和度 (saturation 又称彩度 chroma)、明度 (value 或 brightness),称为颜色三属性 (Color Properties)。

色相是颜色的基本特征,它是用以判断物体颜色与颜色彼此间区分最明显的特征。光源的色相由光源所发出的光辐射决定。由光谱反射率曲线来判断,其主波长即表示此物体的色相。色相的种类很多,普通色彩专业人士可辨认出一百至二百种。黑、灰、白则为无彩色。

明度是人眼所感受到色彩的明暗程度,是判断一个物体比另一个物体能够反射较多或较少的光亮的属性。对于无彩色物体,明度就是人眼对于由白-灰-黑所组成的色样的明暗程度的感觉;对于彩色物体,明度则是根据人眼对各种彩色明暗程度的感觉,而用相应的灰色差异表示出来。色彩的明度就是人眼所感受到的色彩的明暗程度。各种彩色物体,由于它们反射光量的不同,就会产生色彩的明暗强弱的差异。颜色的明度由该颜色接近白色或灰色的程度而定,越接近白色的颜色其明度越高,越接近灰色或黑色,其明度越低。如红色有明亮的红与深暗的红,蓝色有浅蓝与深蓝;无彩色中明度的最高与最低的颜色,分别是白色与黑色;在彩色中,黄色明度最高,紫色明度最低。

在《颜色术语》国家标准中，明度的定义是：①物体表面相对明暗的特性。②在同样的照明条件下，以白板作为基准，对物体表面的视知觉特性给予的分度。③颜色的三属性之一。

饱和度是指颜色的纯洁度，是彩色与非彩色的区别。在《颜色术语》国家标准中，饱和度的定义是：用以估价纯彩色在整个视觉中的成分的视觉属性。可见光谱中的单色光是最饱和的彩色光。掺入白光成分愈多时，颜色就愈不饱和。物体色的饱和度决定于该物体表面反射或透过光谱色光的程度。若饱和度高，则颜色含中性灰色（黑白）量少；若饱和度低，则含灰（黑白）量多。当纯色，即饱和度为 100 的颜色，与黑、白或其它颜色混合以后，其饱和度就会降低，因此粉红色、粉蓝色、粉绿色等色，都是低饱和度的颜色，黄色的饱和度最高，其次是橙、红、青、紫。

需要强调的是：颜色的色相、明度、饱和度或彩度均是人在观察色彩时的视觉心理量，因为这种颜色感觉是主观的，它受色彩的对比和颜色适应等状况的影响，故很难用仪器来测量，而只能依靠视觉心理感受或颜色知觉来识别和判断。

2. 颜色的表示系统

目前世界上比较著名的描述色彩的表色系统和方法，可以分为两大类，一种是颜色显色系统法（Color appearance system），另一种是颜色混合系统法（Color composition system）。

颜色的显色系统表示法是在大量汇集各种实际色彩样的基础上，根据色彩的外貌，按直接颜色视觉的心理感受，将颜色进行有系统、有规律的归纳和排列；并给各色样以相应的文字和数字标记，以及固定的空间位置，做到“对号入座”，这种方法称为“色彩的显色系统表示法”。它是建立在真实样品基础上的色序系统。例如，孟塞尔（Munsell）表色系统。在孟塞尔系统中，色相分为 10 个等级，每色相再细分为 10，共有 100 个色相，其中 5 个主色 5 个间色，以数值 5 代表纯正色；明度共分为 11 个等级，这 11 个等级是在视觉上等距离的等级，用 N0、N1、N2……N10 表示；饱和度表示具有相同明度值的颜色离开中性灰色的程度，其也分成视觉上相等的等级，中央轴上的颜色饱和度为 0，离开中央轴越远，则饱和度值也越大，饱和度值因各纯色的不同而等级长短不同，例如 5R 纯红有 14 等级，而 5BG 只有 6 等级。

颜色混合系统表示法，不需要汇集实际色彩样品，而是根据利用三原色光（红、黄、蓝）能混合匹配出各种不同的颜色的理论所归纳的系统。主要的混合表色系统为利用测量仪器测量颜色特性的色度系统。利用颜色混合系统表示颜色时，通常采用两种不同的方法，一种方法是采用光谱特性的方式，另一种方法是直接采用测量颜色的三刺激值的方式。一个物体能够呈现出不同的颜色，就是因为物体表面对于不同波长的光波的反射与透射的不同，因此可以通过对物体的光谱曲线的分析来完成对物体颜色的分析。采用物体的光谱数据记录物体的颜色，能直接反映出彩色物体表面的颜色特性，并且不会因周围的照明体改变，或者观察者与复制方法的不同而受到影响。因而通常某一物体的光谱曲线被称为该物体颜色的“指纹”。

另一种方法采用三刺激值的方法来描述物体的颜色。三刺激值的方法是以物体的三个颜色坐标值或数值简单地描述物体的颜色在观察者或感应器中是如何表现的，如 CIE 色度系统。作为颜色交流的形式，光谱数据比传统的三刺激形式有明显的优势。因为光谱数据是对实际彩色物体的惟一真实的描述，而其它的描述方式局限于观察条件，再现颜色的设备类

型，以及观察颜色所使用的照明类型等诸多方面。

二、白光的定义

进行颜色匹配中，首先要了解作为颜色匹配实验中的一个必不可少的因素，即白光。白光实际是一种波。国家标准 GB/T5698 - 2001《颜色术语》中定义：“光是能对人的视觉系统产生明亮的颜色感觉的电磁辐射，又叫可见电磁辐射。其波长范围一般取 380nm ~ 780nm。”光具有反射、干涉、衍射和偏振等波的特征。光的物理性质由它的波长和能量来决定。波长决定了光的颜色，能量决定了光的强度。光映射到我们眼睛时，波长不同决定了光的色相不同。波长相同，能量不同，则决定了色相明暗的不同。光波本身并没有色彩，色彩是通过人的眼睛和大脑产生的。

在电磁波辐射范围内，只有波长 380nm 到 780nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) 的辐射能引起人们的视觉感，这段光波叫做可见光。1666 年英国科学家牛顿在剑桥大学实验室发现把太阳光经过三棱镜折射，然后折射到白色屏幕上，会显出一条像彩虹一样美丽的色光带谱，从红开始，依次为红、橙、黄、绿、青、蓝和紫七色。这条依次排列的彩色光带称为光谱。光谱中这种不能再分解的色光叫做单色光。由单色光混合而成的光叫做复色光。自然界的太阳光、白炽灯和日光灯发出的光都是复色光。

在色彩的定量研究中，1931 年国际照明委员会 CIE 建议，以等能量光谱作为白光的定义。等能量白光的意义是，以辐射能作为纵坐标，光谱波长为横坐标，则它的光谱能量分布曲线是一条平行横轴的直线，即 $S(\lambda) = C$ (常数)。在印刷工艺研究中，常将白光看成是由 400 ~ 500nm 的蓝光、500 ~ 600nm 的绿光与 600 ~ 700nm 的红光等量相加混合而成的，对白光的定义，有利于印刷工艺的复制要求。

色温是光源的重要指标，它表征了光源的光谱特性。对于白光来说，不同色温的白光各不相同。日常生活中的白光与色温的对应关系如图 2-1 所示。

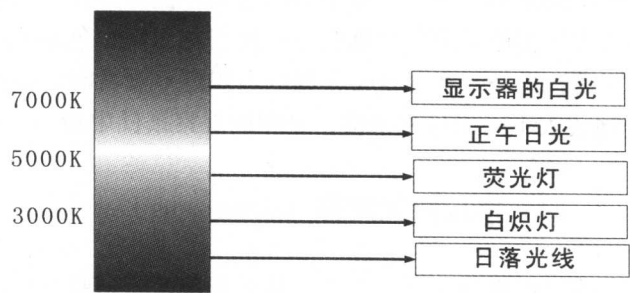


图 2-1 不同色温的白光

三、CIE 标准观察者与标准光源

同一个颜色样品在不同的光源下，可能使人眼产生不同的颜色感觉。为了实现颜色匹配，需要统一的色度标准和应用方法。国际照明委员会 CIE 推荐了所需要的标准与方法。

CIE 为色度学确立了两种标准观察者：CIE1931 标准色度观察者适用于 1° 至 4° 视角的颜色匹配，而 CIE1964 补充标准色度观察者适用于大于 4° 的大视场颜色匹配。在 1931 CIE XYZ

系统中，用于匹配等能光谱刺激的三原色数量的值叫做 CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值，简称为 CIE1931 标准观察者。在 CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值中，规定 $Y(\lambda)$ 与明视觉光谱光效率函数一致。因而，用已知的 CIE1931 色度图的光谱轨迹色度坐标 $x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$ 和光谱光效率函数就可求得光谱三刺激值，从而就可得出 CIE1931 标准观察者光谱三刺激值曲线（如图 2-2 所示）。该曲线分别代表匹配各波长等能光谱刺激所需要的红、绿、蓝三原色的量。

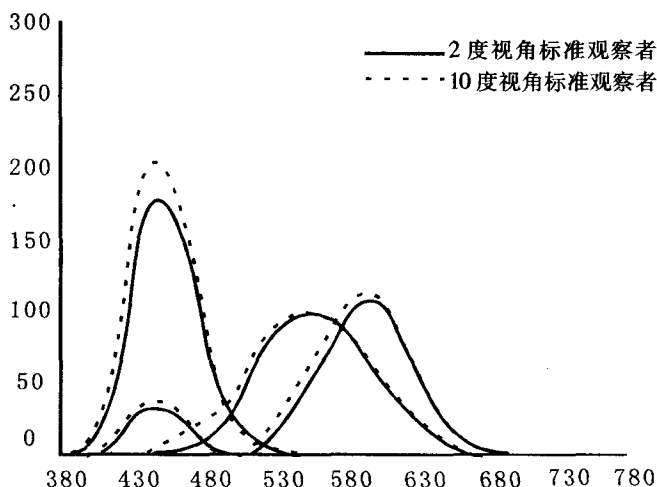


图 2-2 标准观察者光谱反应曲线

CIE 推荐了四种标准光源。光源 A 代表钨丝灯光，规定为绝对温度 2856K 的普朗克辐射体的相对光谱功率分布。光源 B 和 C 分别代表直射阳光，色温为 4870K 和平均日光色温为 6770K。标准光源 D65 代表日光的平均状态色温 6500K。

同一张照片在三种不同光源下观看会有不同的结果，例如，在 7770K 色温的光源下观看时，其与百货公司的荧光灯相似，颜色会偏蓝色；而当在 5000K 色温的光源下观看时，其与日光相似，色彩较为正常；另外若在 2500K 色温的白炽灯下观看时，则会感觉偏红。标准光源 D65 与 D50 能很好地代表不同的日光条件，是印刷观察条件中最为常用的标准照明体。

四、格拉斯曼定律 (Grassmanns Laws)

格拉斯曼定律是在不同观测条件下，进行大量的颜色匹配试验，总结出的三原色色光混合匹配颜色的定量关系。其基本内容如下：

- (1) 人的视觉只能分辨颜色的三种变化：色相、明度、饱和度。
- (2) 在由两个色光混和匹配颜色时，如果其中一个色光连续变化，则混合色的外貌也会随之而连续变化。
- (3) 外貌相同的色光（具有相同的色相、明度、饱和度）不管它们的光谱组成是否一样，在颜色混合中具有相同的效果，也就是说，凡是在视觉效果上相同的颜色都是等效的。
- (4) 混合色光的总亮度等于组成混合色的各颜色光的亮度相加的总和。两个相同外貌的色光，如果其光的强度同时增加或者同时减少若干倍，其混合匹配保持不变。这一定律也称

为亮度相加定律。

根据格拉斯曼定律，凡是视觉上相同的色光，便可以相互替代，所得的视觉效果是相同的。因此，可以利用颜色混合方法来生成各种所需要的颜色。但是，值得注意的是格拉斯曼混色定律对于加色空间（具体见本章第三节解释）内的颜色混合成立，但对于减色空间的颜色混合则不遵循该定律。

颜色视觉的形成是光刺激人眼在大脑中的反应结果。色度学理论认为，在其它条件稳定情况下，只要对人眼产生的刺激值相等，则认为形成的颜色视觉也相同。

标准色度学系统认为描述一个颜色是以其颜色三刺激值 XYZ 来表示的：

$$\begin{cases} X = K \int_{380}^{780} E(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot \bar{X}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y = K \int_{380}^{780} E(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot \bar{Y}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Z = K \int_{380}^{780} E(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot \bar{Z}(\lambda) \cdot d\lambda \end{cases}$$

式中： $E(\lambda)$ 为光源光谱功率分布

$\varphi(\lambda)$ 为颜色刺激函数

$\bar{X}(\lambda)$ 、 $\bar{Y}(\lambda)$ 、 $\bar{Z}(\lambda)$ 为 CIE 标准色度观察者公平三刺激值

K 为调整因子，它是相对照明光源而言的，将照明光源调整到 100 时

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} \bar{E}(\lambda) \cdot \bar{Y}(\lambda) \cdot d\lambda}$$

这样，色度学理论认为：在进行颜色匹配时，只要它们的三刺激值 X 、 Y 、 Z 相等，则认为其颜色效果相同。把两个颜色调节到视觉上相同或相等叫颜色匹配。

颜色匹配中不因为眼睛先经白光或色光的照射而受到影响，也不因为眼睛观看两个同色异谱刺激时光适应的变化会受到影响。如果在两个匹配刺激的周围有不同颜色的其它刺激，两个刺激之间的颜色匹配通常也不受影响。

第二节 颜色的同色异谱现象

同色异谱是色度学的一个基本概念，有很大的理论和实际意义。实际上，当我们用标准观察者光谱三刺激值来度量颜色时，也是用三个不同波长的单色光与待测样品进行颜色匹配，红、绿、蓝三原色对于待测色来说是同色异谱刺激。

一、同色异谱颜色

一个非荧光材料的颜色决定于它的光谱反射率或光谱透射率。如果两个物体在特定照明和观测条件下具有完全相同的光谱分布曲线，那么我们无须进行色度计算，就能肯定它们无论在任何光源下和任一标准观察者条件下都会是同样的颜色，即称这两个物体的颜色为同色同谱色。可见，通过对物体的光谱分布曲线的直接观察可以判断两个物体是否为同一颜色。如果两个物体的光谱分布曲线不同，但两条曲线都比较简单——起伏少、峰值明显，也能从

曲线的形状和峰值的位置看出每物体大致是什么颜色。

但是, 如果两个物体的光谱反射率曲线或光谱透射率曲线比较复杂——起伏多、两曲线多次交叉, 那么就很难直观看出两者的颜色是否有差异; 如果有差异, 又是什么样的差异。很可能, 它们在某种光源下由特定的观察者观察时是相同的颜色, 也就是说, 两个样品所反射的辐通量的光谱成分不同, 而颜色却互相匹配, 通过色度计算, 它们有相同的三刺激值。这时, 两个颜色叫做同色异谱色。

因而, 同色异谱可简单定义为: 两色刺激在某参考光源下 (一般指模拟平均太阳光, 标准光源 D65) 具有相同的色外观 (即所谓有相同的三刺激值), 但是在某第二光源下 (如钨丝灯光, 标准光源 A) 则二者呈现不同的色外观 (如图 2-3 所示)。简单地说同色异谱指三刺激值相同、光谱分布不同的颜色。

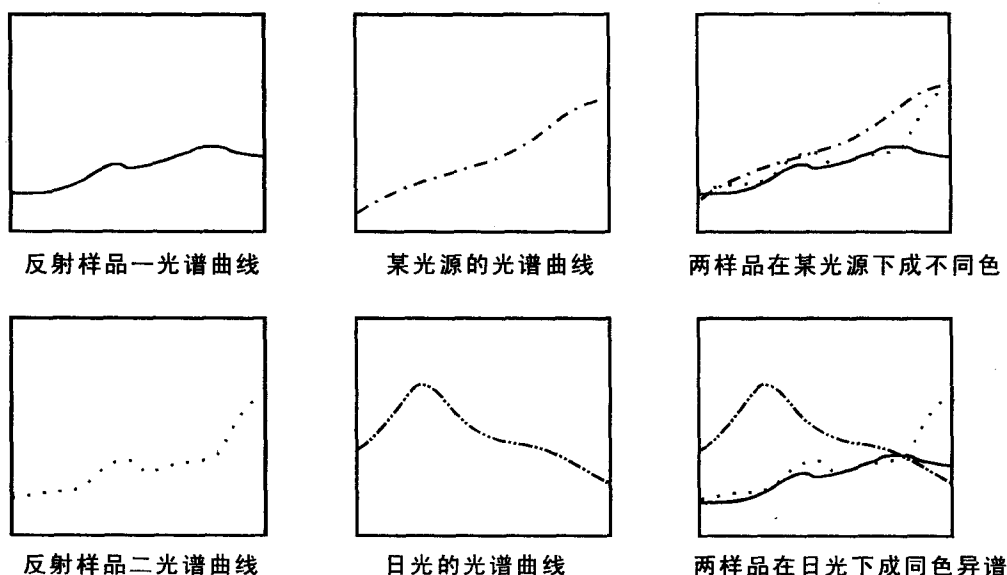


图 2-3 颜色样品的同色异谱

通常所说的同色异谱色是指两个物体是由相同的照明体所照明, 如用 CIE 标准照明体 D65 照明; 而“异谱”则是两个物体的光谱反射率因数曲线存在差异。同色异谱颜色只是对于特定的标准观察者和特定的照明体才能成立, 如果改变观察者或改变照明体, 颜色的同色异谱性质就被破坏了。

在生产实际中, 如果两批产品所用的材料和颜料配方相同, 两者的光谱分布曲线也应相同, 这时, 两批产品的颜色是相同的。但是在生产中常常是在确定了第一批生产的标准样品之后, 由于种种原因, 在以后的生产中不得不换用新材料或新颜料配方, 而仍须保持复制产品与标准样品在一定照明体下有相同的颜色。这时复制产品与标准样品的光谱分布曲线不同, 所以在另一照明体下, 两样品的颜色可能不同。这就涉及到同色异谱问题。

在大多数实际情况下, 精确的同色异谱匹配是很难做到的, 一般只能做到近似的同色异谱匹配。在特定光源下仔细观察原样品与复制品, 发现它们无论在明度、色调或饱和度上都可能微小的差异。我们说复制品与原样品仍存在同色异谱差异。在一般情况下, 应允许有同色异谱差异的存在, 只是应尽量控制两样品的色差, 使之限制在可忽视的足够小的范围内。