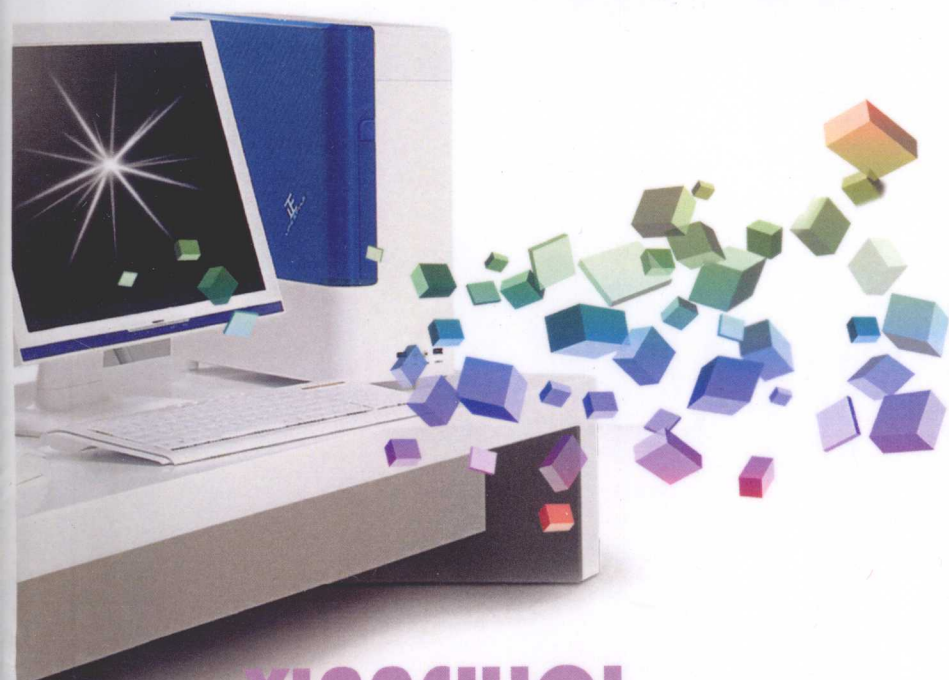




XIANSHIQI

显示器

许宝卉◎著

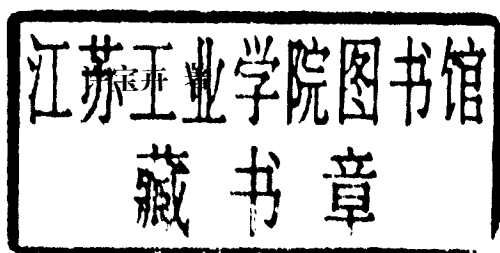
色彩管理技术研究

SECAI GUANLI JISHU YANJIU



印刷工业出版社

显示器色彩管理技术研究



印刷工业出版社

内容提要

彩色显示器是用来传达颜色信息的重要工具,也是计算机系统不可缺少的外部设备。但是,由于制造屏幕的厂家很多,不同品牌、不同型号显示器质量和性能不同,表现出来的色彩无法统一,加上使用者自行调校后,更是没有一致的标准。为了减少色彩在不同设备和系统上造成差异,很有必要对显示器进行色彩管理。本书介绍了色彩管理中所涉及到的色彩学概念、原理和实验仪器,通过实验的方法对显示器的色彩特性进行了深入的分析,并在此基础上对色彩空间转换的模型进行研究,分析模型的精度和误差原因,提出改进意见并得到实验验证,最后建立一整套的显示器色彩管理系统,为实现显示器色彩管理提供了一套研究方法和措施。

图书在版编目(CIP)数据

显示器色彩管理技术研究/许宝卉著.—北京:印刷工业出版社,2009.6
ISBN 978-7-80000-844-3

I. 显… II. 许… III. 显示器—色彩学—研究 IV. TN873

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第072105号

显示器色彩管理技术研究

许宝卉 著

责任编辑:魏欣

责任校对:郭平

责任印制:张利君

责任设计:张羽

出版发行:印刷工业出版社(北京市翠微路2号 邮编:100036)

网 址:www.keyin.cn www.pprint.cn

网 店://shop36885379.taobao.com

经 销:各地新华书店

印 刷:北京顶佳世纪印刷有限公司

开 本:880mm×1230mm 1/32

字 数:165千字

印 张:6

印 次:2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷

定 价:28.00元

I S B N : 978-7-80000-844-3

如发现印装质量问题请与我社发行部联系 发行部电话:010-88275707 010-88275602

前 言

随着计算机走进各行各业,计算机控制的彩色显示器由于其颜色显示的灵活性和可控性,在颜色视觉研究领域中得到了广泛应用,显示器的色彩管理已从理论逐渐进入实践,实现真正意义上的“所见即所得”已不仅仅是研发人员的梦想,已被越来越多的科研工作者提上工艺改进的议事日程。然而,颜色的精确再现是一个难度较大的过程,与显示器色彩管理相关的资料,特别是系统的介绍却难以找到,相关大专院校也没有类似的教材。本书就是在这样的背景下,结合作者多年的学习和研究开始提笔的。

《显示器色彩管理技术研究》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,以及色彩管理中所涉及的色彩学概念、原理和实验仪器,通过实验的方法对显示器的色彩特性进行了深入地分析,并在此基础上对色彩空间转换的模型进行研究,分析模型的精度和误差原因,提出改进意见并得到实验验证,最后建立一整套的显示器色彩管理系统,为实现显示器色彩管理提供了一套研究方法和措施。目的是便于读者能熟悉和掌握显示器色彩管理的本质,并能应用于生产。最后,本书介绍了显示器色彩管理的应用之一——网络出版技术,这是未来色彩管理的重要发展方向之一。

在成书过程中,参考了国内外大量技术文献,引用其他作者的资料和插图,未能一一注明出处,在此谨向他们致以深切的谢意。另外,还参考了许多来自互联网的相关资料,如:仪器信息网、必胜网等,在此一并表示感谢。

特别感谢在《显示器色彩管理技术研究》著书期间西安理工大学的李言教授、张二虎教授提供的指导,以及西安理工大学色彩实验室老师和运城学院图文信息处理教研室全体同仁的帮助。同时感谢此间病中的爱人对我的理解、关怀与支持。谨以此书献给曾经给我关心、支持和帮助的所有朋友们!

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。

许宝卉
2009年3月

目 录

第 1 章	色彩学的基本知识	1
1.1	颜色的描述	1
1.1.1	颜色的三属性	2
1.1.2	颜色的表示系统	3
1.2	色彩空间	4
1.2.1	RGB 加色空间	5
1.2.2	HSB 模型	6
1.2.3	CMY 减色空间 (也称作 CMYK 色空间)	7
1.2.4	CIE 颜色系统	8
1.3	色域	10
1.4	色差	11
1.4.1	CIE Lab 色差	12
1.4.2	CMC $l:c$ 色差	14
1.4.3	CIEDE2000 色差	16
第 2 章	色彩管理的应用和发展	19
2.1	色彩管理的基本原理	20
2.1.1	ICC 色彩管理框架的三个组成部分	21
2.1.2	ICC 标准中的四种色彩匹配方式 (Rendering Intent)	22
2.1.3	ICC Profile 格式	23

2.2	色彩管理的基本过程	24
2.2.1	色彩管理的步骤	25
2.2.2	色彩转换	26
2.2.3	色域映射的方式	26
2.2.4	使用色彩管理解决颜色不一致问题	27
2.3	实施色彩管理的几个关键问题	28
2.4	色彩管理技术面临的问题	30
2.4.1	跨媒体颜色呈现的问题	31
2.4.2	色差计算问题	32
2.4.3	色域映射计算问题	32
第3章	显示器的校准	34
3.1	观察环境的规范化	34
3.1.1	标准观察条件	34
3.1.2	如何建立标准的观察环境	36
3.1.3	标准灯箱的供应	38
3.1.4	控制环境照明的稳定性	39
3.2	校准显示器	41
3.2.1	显示器的观察条件和特征	42
3.2.2	显示器的类型	44
3.2.3	校准之前要做的工作	49
3.2.4	显示器的校准	51
3.2.5	预校准——设置模拟控制	56
3.2.6	校准和特征化	59
3.3	显示器的选择	59
3.3.1	影响显色与成像的因素	60
3.3.2	推荐最佳的显示器	62
3.3.3	显卡的进步	64

第1章 色彩学的基本知识

色彩管理系统 CMS (Color Management System) 是以色彩学理论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。色彩学是以物理光学、视觉生理、视觉心理等学科为基础, 在研究人的颜色视觉规律、颜色测量理论与技术的基础上, 并结合各个应用工程领域来开展的色彩研究。

1.1 颜色的描述

色彩是客观存在于自然界的一种物理现象。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。人眼只能看到光谱的一小部分, 这一小部分通常称为可见光谱, 如图 1-1 所示。

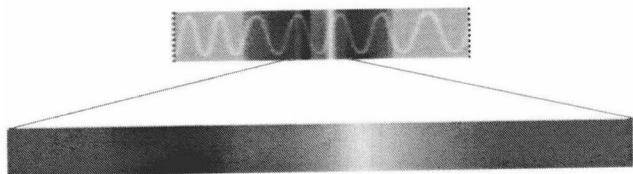


图 1-1 可见光光谱

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。

1.1.1 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 100~200 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。掺入白光成分越多时，颜色就越不饱和。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，则含灰色（黑白）量多。当纯色，即饱和度为100的颜色，与黑、白或其他颜色混合以后，其饱和度就会降低，因此，粉红色、粉蓝色、粉绿色等，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。

1.1.2 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，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个等级，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个等级,而5BG只有6个等级。

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、绿、蓝)能混合匹配出各种不同的颜色的理论所归纳的系统。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唯一真实的描述,而其他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。

1.2 色彩空间

“色彩空间”也称为“色彩模型”,是以表示颜色的基本参数来描述与记录颜色的方式。色彩空间指定色彩信息是如何表示,其意义是以一、二、三或四维空间或组合来表示颜色值。在色彩管理系统中,不同的设备采用不同的色彩空间形成颜色,因此,要完成不同设备之间的颜色匹配与转换过程就必须熟悉各种不同的色彩空间。

常用的色彩空间有RGB、CMYK、HSL、HSB、Lab和XYZ。

其中的 Lab 和 XYZ 有固定的值,属于 CIE 标准色空间,应用时客观而精确,与人感知颜色的方式直接相关,被视为与设备无关。另外一些色彩空间 RGB、HSL、HSB、CMYK 等,由于这些模型因每个相关的色彩空间或设备而异,因此被视为与设备相关。

1.2.1 RGB 加色空间

绝大多数可见光谱可用红色、绿色和蓝色三色光的不同比例和强度的混合来表示。例如:一定比例的红光和绿光混合刺激人的眼睛,就能产生相当于 580 nm 黄光的感觉。将红(R)、绿(G)、蓝(B)三种色光以不同比例混合,基本上可以产生自然界中全部的色彩,这就是所谓的 RGB 加色空间。加色用于光照、视频、显示器等。例如,显示器通过红色、绿色和蓝色荧光粉发射光线产生颜色,如图 1-2 所示。

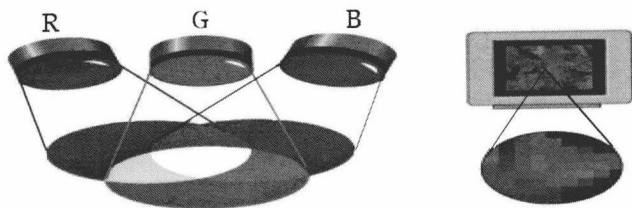


图 1-2 RGB 模型

RGB 加色空间中颜色混合的特点是:相混合的各色光的能量值相加,等于被混合色光能量的值。由于混合后色光的能量增加,因而其亮度也增加。

红光 + 青光 = 白光

绿光 + 品红光 = 白光

蓝光 + 黄光 = 白光

RGB 加色空间是电子输入设备普遍使用的色彩空间,如显示器、扫描仪和数字照相机等。这些设备是通过发射光线或吸收光

线来再现色彩的，而不是使用反射光线。RGB 加色空间能产生多达 1670 万种颜色。1670 万种颜色似乎是个无穷数了，但与可见光谱的色域范围相比要窄得多。

以 RGB 为基础的色彩空间在计算机应用中是最常用的色彩空间。但是以 RGB 模式产生的色彩在不同的设备间传递会产生差异，因此它又被称为“设备相关色彩空间”，设备所属色彩空间只允许在特定设备上与相应的色彩值直接对应。

RGB 加色空间属于三色系色彩空间，而三色系色彩空间组中，除了 RGB 空间，还有 HSB 空间和 HSL 空间。HSB 和 HSL 空间是由 RGB 空间转换而来用以叙述色彩的术语，HSB 代表色相、饱和度和明暗度，HSL 代表色相、饱和度和亮度。

1.2.2 HSB 模型

HSB 颜色模型在某种程度上与孟塞尔（Munsell）的色相、亮度和饱和度（有时称为色度）系统类似，它也使用类似的三个轴来定义颜色。HSB 源自 RGB 色彩空间，并且是设备相关的色彩空间，如图 1-3 所示。

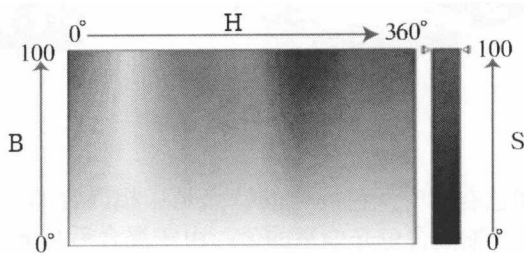


图 1-3 HSB 模型

H—色相；S—饱和度；B—明暗度

HSB 中三个基本的颜色特征如下：

色相是从物体反射或通过物体传播的颜色。在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的标

准色轮上，按位置度量色相。在通常的使用中，色相由颜色名称标识，如红色、橙色或绿色。

饱和度（有时称为色度）是指颜色的强度或纯度。饱和度表示色相中灰色分量所占的比例，它使用从 0%（灰色）至 100%（完全饱和）的百分比来度量。在标准色轮上，饱和度从中心到边缘递增。

亮度是颜色的相对明暗程度，通常使用从 0%（黑色）至 100%（白色）的百分比来度量。

1.2.3 CMY 减色空间（也称作 CMYK 色空间）

日常生活中，颜料、染料、油漆以及印刷油墨等按不同颜色的比例混合可以得出新的混合色。根据物体选择性吸收呈色原理可知，对于一个由颜料中的青色与黄色混合而成的绿色，青色从照射的白光中吸收红光，而反射蓝光和绿光，黄色再吸收了蓝光，最后只剩下了白光中的绿光从混合色中反射出来，从而让人眼看到绿色。这种颜料、油墨混合呈色的方法称为减色混合。经减色混合后得出的颜色的亮度比原来的亮度是降低的，因为混合后颜色的反射光是不同颜色的颜料分别吸收白光中相应的色光所剩余的部分色光，很明显这种剩余的反射光的能量，要比入射光能量小多了。

我们看见周围物体的色彩，譬如：一个绿球，在白光中出现绿色是因为此球吸取红、蓝波长，而反射出绿色。当然，若光源中只发出红、蓝光（或是品红光），此球将出现黑色，因为绿球表面没有绿光可反射出来。

印刷与打印通常采用 CMYK 的四色减色空间，CMYK 减色空间也属于“设备相关色彩空间”。

从白光中减去 RGB 三原色中的任一种，那么将分别得到红、绿、蓝的补色 CMY。减去红色，绿色与蓝色产生青色（C）；减去绿色，红色与蓝色产生品红色（M）；减去蓝色，红色与绿色产生黄色（Y）。RGB 及 CMYK 色彩空间从理论上是互补的。混合同等

数量的青、品红、黄也应该产生中性灰，而最大量的混合则产生黑色。显示器上可以模拟出这种效果，但在印刷品中却不行，最大量的 CMY 混合产生的黑色会发生偏色，成为偏棕色的黑。原因是：颜料及油墨不可能很纯净，通常青色油墨有些偏蓝，而品红色和黄色油墨又有些偏红，所以，当中性灰色从 RGB 的中性灰在印刷中转成 CMY 时，略带红紫色。这种现象可以用黑色来补救（英文蓝色 blue、黑色 black，为避免混淆，黑色用 K 而非 B 表示），正因为如此，CMY 空间也称作 CMYK 色空间，如图 1-4 所示。但是增加第四种颜色破坏了 RGB 到 CMYK 的平等转换，使得 RGB 和 CMYK 之间的色彩对应变得更为复杂，没有简单的办法能够使它们一一对应。所以，将 RGB 图像转换为 CMYK 图像时，所需的黑色总量及所需的其他色调范围需要一个复杂的算法。

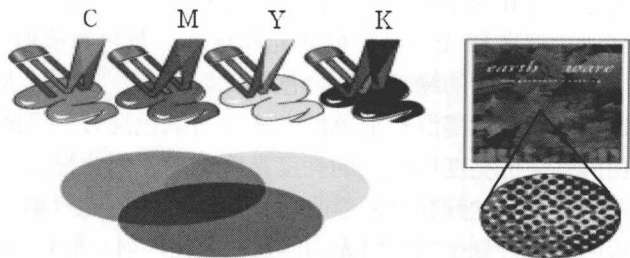


图 1-4 CMYK 模型

1.2.4 CIE 颜色系统

1931 年，CIE（Commission Internationale de l'Eclairage，简称 CIE，致力于在光线的各个方面创建标准的组织）建立了表示可见光谱的一系列标准颜色空间。CIE 的最终目标是开发一个作为颜色信息交流的标准系统，这些标准最重要的功能是提供颜色匹配的通用标准。标准观察者和 XYZ 色度空间是此系统的基础，但是 XYZ 空间有不平衡性，如图 1-5 所示，因此，CIE 开发了均匀的颜色

标准——CIE Lab 和 CIE Luv。

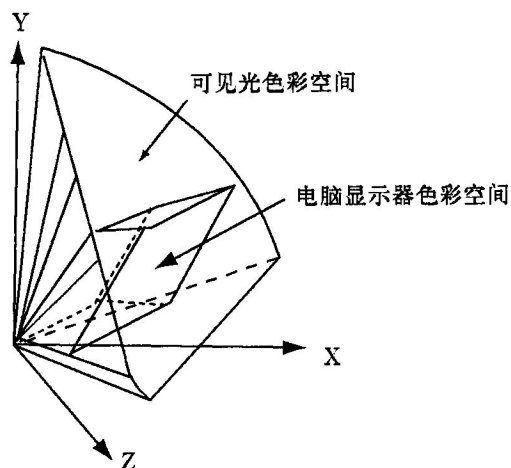


图 1-5 CIE XYZ 色度图

在上述两种模型中，CIE Lab 使用最为广泛。CIE Lab 色度空间良好的平衡结构是基于一种颜色不能同时既为绿又为红，也不能同时既为蓝又为黄的理论而建立的，不能用一个值就描述红色或绿色以及黄色或蓝色的特征。图 1-6 所示为 CIE Lab 色度图。

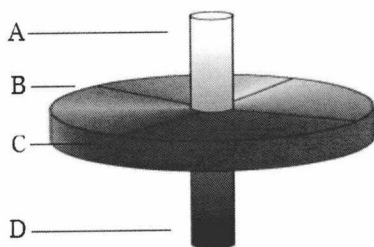


图 1-6 CIE Lab 模型

A—亮度为 100 (白色); B—绿色到红色成分;
C—蓝色到黄色成分; D—亮度为 0 (黑色)

CIE Lab 颜色是 RGB 模式转换为 HSB 模式和 CMYK 模式的桥梁。该颜色模式由一个发光率 (Luminance) 轴和两个颜色 (a, b) 轴组成。它用颜色轴所构成的平面上的环形线来表示颜色的变化, 其中径向表示色饱和度的变化, 自内向外, 饱和度逐渐增高; 圆周方向表示色相的变化, 每个圆周形成一个色环; 而不同的发光率表示不同的亮度并对应不同环形颜色变化线。它是一种具有“独立于设备”的颜色模式, Lab 中的数值描述正常视力的人能够看到的所有颜色, 而不是设备生成颜色所需的特定色料的数量, 不论使用任何一种显示器或者打印机, CIE Lab 的颜色不变。

1.3 色域

桌面出版系统的每一个设备——扫描仪、显示器、打印机以及印刷机等都只能再现或显示一个特定范围内的色彩, 一台设备能够再现的颜色光谱范围称为它的色域。

图 1-7 所示为 RGB 色彩空间与 CMY 色彩空间分别在 CIE 色彩空间中的色域, 扫描仪、显示器、数码照相机一般采用 RGB 色彩空间表达色彩; 彩色打印机、打样机、印刷机等一般采用 CMY 色彩空间表达色彩。从图 1-7 我们可以看出, RGB 色彩空间比 CMY 色彩空间的色域要大。从使用 RGB 空间的设备向 CMY 空间的设备进行色彩传递时, 实际上是颜色数据在色彩空间中进行转换, 这时候由于两种设备的色域不同, 往往会造成落在公共色域以外的色彩表达不出来或者被忽略掉。也就是说没有任何设备能够重现人眼可见的所有颜色范围, 也不可能存在色彩空间完全相同的两台设备。将图像从某台设备移至另一台设备时, 因为每台设备按照自己的色彩空间解释 RGB 或 CMYK 值, 所以图像颜色可能会发生变化。