

全国中等职业技术学校计算机教材
Quanguo zhongdeng zhiye jishu xuexiao jisuanji jiaocai

计算机美术设计

jisuanji meishu sheji jichu

基础

jisuanji meishu sheji jichu



中国劳动社会保障出版社

zhongguo laodong shehui baozhang chubanshe

全国中等职业技术学校计算机教材

计算机美术设计基础

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机美术设计基础/吕德生主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2009
全国中等职业技术学校计算机教材

ISBN 978-7-5045-7844-0

I. 计… II. 吕… III. 美术-计算机辅助设计-专业学校-教材 IV. J06-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 044369 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9 印张 198 千字

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

定价: 15.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

前 言

为了更好地适应全国中等职业技术学校计算机专业的教学要求,我们根据原劳动和社会保障部培训就业司颁发的《计算机专业教学计划与教学大纲》,修订和新开发了一批计算机专业教材。

这次教材修订工作的重点主要有以下几个方面。

第一,坚持以能力为本位,重视实践能力的培养,突出职业技术教育特色。根据计算机专业毕业生所从事职业的实际需要,合理确定学生应具备的能力结构与知识结构,对教材内容的深度、难度做了较大程度的调整。同时,进一步加强实践性教学内容,以满足社会对技能型人才的需求。

第二,根据信息技术行业发展,合理更新教材内容,尽可能多地在教材中充实新技术、新思想、新方法,力求使教材紧跟计算机科学技术的发展。同时,在教材编写过程中,严格贯彻国家有关技术标准的要求。

第三,努力贯彻国家关于职业资格证书与学历证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神,力求使教材内容涵盖有关国家职业标准(中级)和国家计算机等级考试的知识和技能要求。

第四,在教材编写模式方面,主要以案例教学为主,将编程思想、操作技巧、理论知识融入到案例的分析和处理过程。尽可能使用各种图示将各个知识点生动地展示出来,力求给学生营造一个更加直观的认知环境。

这次修订和新开发的教材包括:Internet 基础与应用(第二版)、常用办公软件(第二版)、多媒体计算机组成与维修(第二版)、数据库及程序设计(第二版)、中文 FoxPro 及其程序设计(第二版)、C/C++ 教程、计算机美术设计基础、使用 PhotoShop CS2 处理图像、Dreamweaver MX 网页设计与制作、Flash 动画设计与制作、3ds max 动画设计与制作、使用 CorelDraw 12 绘制图形、使用 AutoCAD 2005 绘制图形。

《计算机美术设计基础》的主要内容有:概论、计算机图形设备及系统、计算机图形学基础、计算机美术设计应用软件、图文处理、照片处理、电子贺卡制作、动画短片制作等。本书通过对计算机美术基础知识的讲解,以及对具体实例制作过程的介绍,逐步提高学生的美术鉴赏能力和自我创作能力。

本书由吕德生主编。

人力资源和社会保障部教材办公室

2009 年 4 月

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 视觉加工过程	(1)
1.2 光与色	(2)
1.3 计算机图形学概述	(9)
1.4 计算机动画基础	(11)
第二章 计算机图形设备及系统	(16)
2.1 图形输入设备	(16)
2.2 图形显示设备	(21)
2.3 图形绘制设备	(24)
2.4 图形处理设备	(27)
2.5 图形系统与工作站	(30)
第三章 计算机图形学基础*	(33)
3.1 计算机图形学的数学基础	(33)
3.2 三维空间曲线	(37)
3.3 三维曲面	(40)
3.4 三维建模	(44)
3.5 光照模型	(45)
第四章 计算机美术设计应用软件	(50)
4.1 Photoshop	(50)
4.2 Freehand	(57)
4.3 Flash	(64)
4.4 3ds max	(72)
第五章 图文处理	(92)
5.1 利用 Photoshop 制作名片	(92)
5.2 利用 Freehand 生成折叠艺术字	(97)
5.3 利用 Photoshop 制作挂历	(101)
第六章 照片处理	(110)
6.1 人物形象美化	(110)

6.2 更换背景	(113)
第七章 动画制作	(119)
7.1 电子贺卡制作(二维动画)	(119)
7.2 三维动画片的制作	(126)
参考文献	(136)

第一章 概 论

惊叹于《最终幻想》精妙绝伦的画面，沉浸在《海底总动员》栩栩如生的动画中，人们不得不为数字艺术的魅力所折服。尼葛洛庞帝（Nicholas Negroponte）提出的“数字化生存”已经越来越成为 21 世纪的显著特点：在网上冲浪，浏览形形色色、缤纷各异的网页；去电影院，体验一部部数字大片带来的震撼；打开手机，接收来自亲朋好友的彩信，或活泼可爱或浪漫温馨，让人欢喜惬意；路过建筑工地，楼宇的效果图让人遐想无限，仿佛身临其境……与传统艺术相比，数字艺术越发鲜活灵动，也更加简单快捷，它已经成为人们生活中不可或缺的部分。而计算机美术就是数字艺术的一种主要表现形式。

计算机美术是指借助计算机创造具有审美价值的视觉形象的艺术。平面印刷品的设计、网页设计、三维动画、影视特效、计算机辅助工业设计、建筑设计等各种利用计算机技术完成的视觉艺术创作活动都属于计算机美术的范畴。计算机美术是技术与艺术的有机融合，可以理解为“计算机技术（图形学）+视觉艺术”，因此，本书将从视觉传播和计算机图形学的基本理论展开对计算机美术的讲解。

1.1 视觉加工过程

人的视觉加工过程是很复杂的，但是视觉心理学的广泛研究表明：人的视觉是可以研究和认识的。视觉形象是构成人类生命活动的重要部分，人们生活在一个充斥着视觉形象的社会中。如果一个人对广告、美术设计、新闻、电影、摄影、电视等与视觉传播密切相关的工作感兴趣，就必须具备对视觉形象的分析 and 运用能力。现代视觉传播理论学认为，视觉加工过程可概括地分为三步：感觉、选择、理解。

感觉是第一步，仅仅意味着让光线进入眼睛从而使人看到周围的物体，这个过程中人对事物形象的精神加工几乎不存在。观看的第二步是从视野中选择一个特定的元素，其过程是从第一步提供的大量画面中，抽取一个具体的部分，然后将其隔离出来。要完成这种隔离，依赖于光线的集中和眼睛的聚焦，而眼睛的这种聚焦功能又是由大脑的特殊神经支配的。“选择”是由意识和智力控制的行为，它在感觉的基础上启动了一个给视觉形象分类的加工过程。理解是视觉过程的最后一步，也就是弄清楚所选择的关注目标的含义。与“感觉”

和“选择”相比，“理解”是从一个更高的认知程度上对视觉形象进行精神加工，而不仅仅是完成了一种观察行为。

如图 1—1 所示是一幅汽车广告的宣传画，人们首先感觉到的是整幅图画这个视觉形象，之后才进一步完成对汽车商标的选择和理解。视觉传播不是仅仅把一个形象刊出或播出这么简单，其目的在于通过引人注目的图画让观者牢牢记住其中的内容。视觉传播者都希望创作出能让他人过目不忘的形象，而视觉形象的消费者也一定想要看到让自己过目不忘的形象。



图 1—1 人们遵循“感觉、选择、理解”的步骤观看汽车广告

a) 汽车广告 b) 从画面中选择的

1.2

光与色

阳光照耀大地，带来了物种的丰饶，展现了大千世界的姹紫嫣红。对视觉传播而言，光是最重要的环境因素，因为光激发了眼睛的视觉能力让人们能够认识自身以外的世界。光照到物体上，一部分光被吸收转换成热能，没有被吸收而被物体反射回来的那部分光线进入人们的眼睛，经过瞳孔和晶状体到达视网膜成像。视网膜上的视神经纤维在受到光的刺激后，将光信号转变成生物电信号（即人脑所能感知的脉冲信号），这种脉冲信号经由神经系统再传至大脑，大脑再根据人的经验、记忆、联想、分析、判断等极为复杂的过程构成视知觉，并且在大脑中形成物体的形状、颜色等印象。

无论是光还是色，都离不开人的眼睛这个精密的“仪器”。在直径大约只有 20 mm 的眼球中，有着非常精巧的结构，图 1—2 所示为人眼横截面示意图。

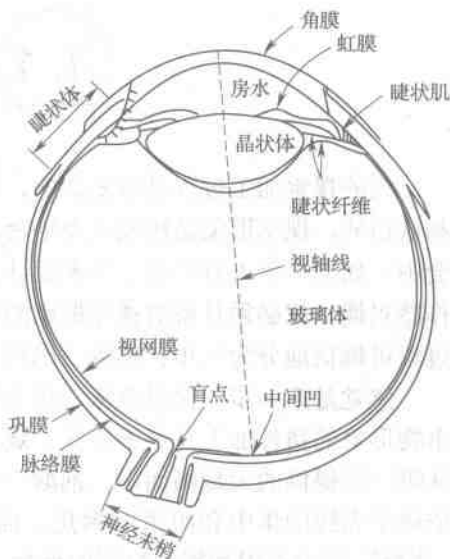


图 1—2 人眼横截面示意图

眼球由多层组成,最前面延伸出来的约占 $1/6$ 的部分是透明的角膜,光线由此进入,其余 $5/6$ 部分是巩膜,作为外壳保护眼球。角膜内是前室,含有水状液,又称房水,它对可见光是透明的,能吸收一部分紫光。前室后面是虹膜,其中有一直径可在 $2 \sim 8 \text{ mm}$ 间变化的小孔,称为瞳孔,相当于照相机的光圈,调节进入眼睛的光通量。瞳孔后面是晶状体,它是扁球形弹性透明体,能起透镜作用,其曲率由两旁的睫状肌调节,从而改变它的焦距,使远近不同的景物都能在视网膜上清晰成像。晶状体后面是后室,它充满了透明的胶质,起着保护眼睛的滤光作用。后壁则为视网膜,它由无数的光敏细胞组成。

光敏细胞按其形状分为杆状细胞和锥状细胞,光敏细胞约有 1 亿 3 000 万个,其中锥状细胞约有 700 万个,主要集中在正对瞳孔的视网膜中央区域(也称黄斑区),这里没有杆状细胞,越远离黄斑区,锥状细胞越少,杆状细胞越多,在接近边缘区域则几乎全是杆状细胞,图 1—3 给出了视网膜上杆状细胞和锥状细胞的分布情况。

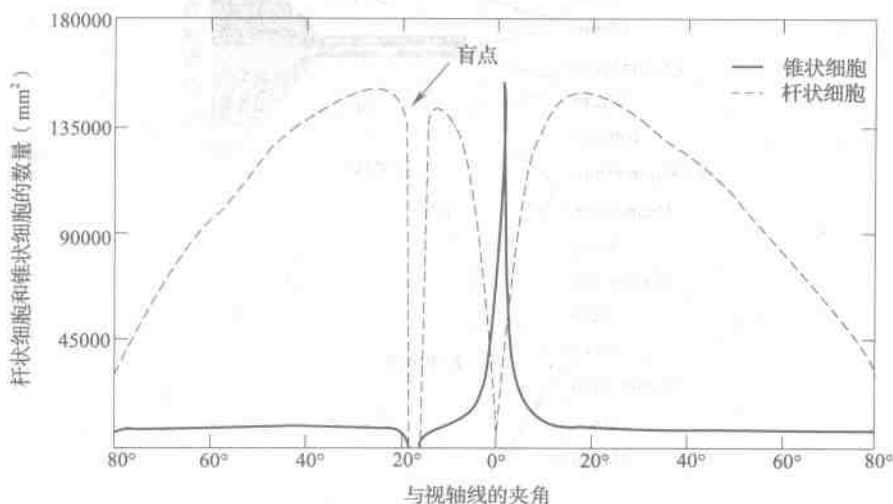


图 1—3 视网膜上杆状细胞和锥状细胞的分布

光线经由角膜到达晶状体,晶状体又将接收到的光线聚焦映像到视网膜上,视网膜上的两种视觉细胞随即发生变化,将光的刺激转换为大脑可接收的脉冲信号。杆状细胞对黑白层次敏感,对即使很微弱的光线也能有所反应,所以在黑暗的地方看东西主要靠这种细胞。但是,这种细胞不能产生色彩的知觉。锥状细胞的感光能力比杆状细胞差得多,但是在光线充足的情况下,它能辨识物体的细节并能区分颜色的细微差别。

1.2.1 光

没有光,就没有色彩,形象更无从谈起。英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)证明了光是一种电磁波。电磁光谱的范围很广,而人的视觉系统所能看到的光只是电磁光谱的中段,仅占很窄的范围,如图 1—4 所示,其波长在 $400 \sim 700 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) 之间,随着波长增加,光的颜色依次是紫、蓝、绿、黄、橙、红,比 400 nm 更短

的电磁波是紫外线，而比 700 nm 更长的电磁波是红外线。

当到达视网膜的光能很大时，人们的眼睛就能感觉到光的亮度。人眼对于辐射功率相同而波长不同的光具有不同的亮度感觉，称为视敏特性。在相同的辐射功率条件下，人眼感觉最亮的光是黄绿光（波长为 555 nm），而感觉最暗的光是红光和紫光。

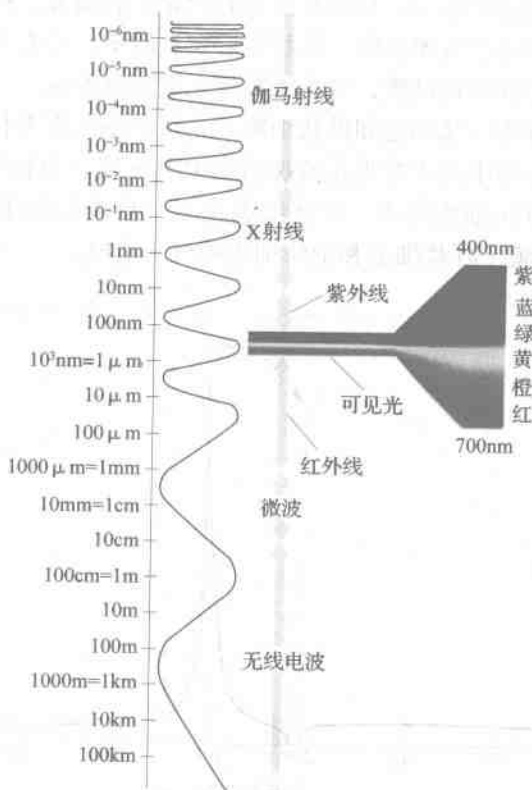


图 1—4 电磁波频谱图

视敏特性可用相对视敏函数来描述。实验表明：在同一亮度环境中，辐射功率相同的条件下，人眼对波长等于 555 nm 的黄绿光的亮度感觉最大，令其亮度感觉灵敏度为 1；人眼对其他波长光的亮度感觉灵敏度均低于黄绿光（555 nm），故其他波长光的相对视敏度 V 都小于 1。例如，波长为 660 nm 的线光的相对视敏度 $V(660)$ 为 0.061，所以，这种红光的辐射功率应比黄绿光（555 nm）大 16 倍（即 $1/0.061 \approx 16$ ），才能给人相同的亮度感觉。

人眼能够感觉的亮度范围相当大，从千分之几尼特到几百万尼特，这种特性依赖于人眼瞳孔和光敏细胞的调节作用。但人眼察觉亮度变化的能力是有限的。在眼睛对亮度做适应调节时，视网膜上的不同部位反应快慢各不相同，而且差异显著。在相对明亮度范围的两端处，人的眼睛所感觉到的仅是白或黑。在生活中，当人们把眼睛由暗处转向亮处，瞬间会感到眼前白花花一片；相反地，把眼睛从亮处转向暗处，瞬间又会感到眼前一片漆黑。这正是

由于眼睛对亮度的敏感度有限,不能对剧烈的亮度变化立即作出适应调节的缘故。图1—5给出了实际亮度变化所引起主观亮度感觉变化的关系图。

由于人的眼睛会自动适应画面的平均明亮度,因此,相同明亮度或光强的区域在周围是暗色区域时比周围是明亮区域时看上去要亮一些。这种现象称为亮度对比。在颜色上也存在类似于亮度对比的现象。当观察画面上具有不同光强的相邻区域时,在其边界处眼睛所感受到的明亮度常常会超出实际值。眼睛的这一视觉特性对计算机美术有相当重要的影响。它使得光强为常数的区域看上去似乎是光强发生了变化。图1—6给出了一个亮度对比的例子:它们中间的方块亮度相同,但是由于周围环境逐渐变亮而使它们看起来亮度是逐渐变弱的。

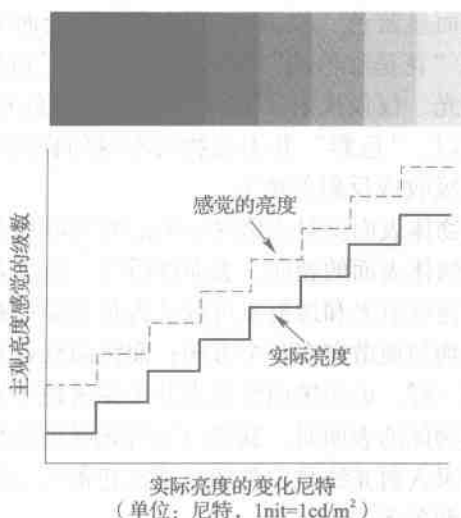


图1—5 实际亮度变化所引起的主观亮度感觉变化

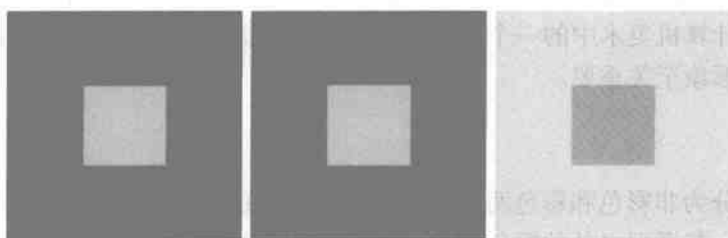


图1—6 周围环境的变化引起亮度感觉的变化

光线照射物体,其中入射到表面上的一部分光能被吸收并转化为热,其余部分被反射或透射。正是反射或透射部分的光使物体可见。如果入射光全部被吸收,物体将不可见,该物体称为黑体。若入射光中所有波长的光被吸收的量近似相等,则在白光(包含所有波长的光)的照射下,物体呈现灰色。若几乎所有的光均被吸收,物体将呈黑色。若其中只有一小部分被吸收,则物体呈白色。若某些波长的光被有选择地吸收,则离开物体表面的反射光和透射光将具有不同的能量分布,这时物体呈现出颜色。光能中被吸收、反射或透射的数量决定于光的波长。

不同的入射光线可能造成物体颜色的不同。因为光照射在物体上时,它可能被全部吸收、部分吸收或完全反射,而进入人眼的这部分被物体反射、折射和透射的光决定了它被感知的颜色。物体在不同光谱组成的光的照射下会呈现出不同的色彩就是例子。例如,红旗在日光下显红色,在黄色光下显橙色,在蓝色光下显紫色,在绿色光下则会吸收了所有的绿光而显示出黑灰色;同样,白纸在红光下因反射红光而显红色,在蓝光下因反

射蓝光而显蓝色,在黄光下因反射黄光而显黄色,在全色光(白光)下则显示出白色。人们说“花是红色的”,是因为它吸收了白色光中400~500 nm的蓝色光和500~600 nm的绿色光,仅仅反射了600~700 nm的红色光。花本身是没有色彩的,光才是色彩的源泉。所以,“色彩”并不是物质本身的物理性质,物体的固有性质只是它对可见光谱中某些波段吸收或反射的能力。

从物体表面反射或透射出来的光又取决于光源中光的成分、光线的方向、光源的几何形状以及物体表面的朝向、表面性质等。物体表面的反射光可分为漫反射光、镜面反射光和透射光。漫反射光和透射光可以认为是光穿过物体表面并被吸收,然后重新发射出来的光,漫反射光均匀地散布在各个方向;而镜面反射光则是由物体的外表面直接反射生成的,跟漫反射光不一样,由于镜面反射光并不穿透物体表面,所以不会出现散射。因而,当一束窄的光线射向物体的表面时,其镜面反射光线仍然是一束窄的光线,光线的性质保持基本不变。例如,如果入射光线是白色的(或红色的),则反射光线也是白色的(或红色的),而与物体表面的颜色无关。

材料本身的属性是影响物体反射特性和透射特性的主要因素。通常,物体表面的材料不是透明就是不透明的,但这种说法常引起误解。例如,一堆玻璃碎片看上去是不透明的,但是单独每一个碎片都是透明的。这是由于透明材料反射性很弱、不透明材料的反射性很强的缘故。

光照问题是计算机美术中的一个重要的核心概念和实际问题,了解和把握光线的特性对分析和创作视觉形象至关重要。

1.2.2 色度

通常将颜色分为非彩色和彩色两类,非彩色是指白色、黑色以及各种深浅不一的灰色,彩色是指黑、白、灰系列之外的颜色。非彩色物体对光谱中各波长的反射没有选择性,因而也称做中性色。相应地,彩色物体对光谱中各波长的反射具有选择性,因而在白光照射下显出色彩。

一方面物体的颜色与它的反射、透射特性以及光源有关,另一方面受到人眼视觉特性的影响。最典型的例子是色盲和视觉正常的人对颜色辨识有很大差别,一块绿草坪,视觉正常的人看到的是绿色,而色盲患者看到的则可能是黄色。

如前所述,视网膜包含两类不同的接收器:锥状细胞和杆状细胞。对锥状细胞而言,每个锥状细胞都同一根视觉神经相连接,锥状细胞仅对明亮光敏感,用以分辨细节;而对杆状细胞而言,几个杆状细胞连接一根神经,不能用来分辨细节,它对微弱光敏感。只有锥状细胞能感知颜色,这是因为锥状细胞对强光刺激敏感,而微暗光下的物体是由杆状细胞感知的,因此显不出颜色来。例如在夜色下,花园里的红玫瑰也呈黑色或深灰色。这是一个庞大、复杂的领域,本书不对其深入讨论,有兴趣的读者可参阅关于颜色科学的相关文献,本书仅介绍一些有关颜色的基本术语。

在心理生物学上,颜色由其色相(有时也称色调)、饱和度和明度决定,它们是色彩的属性,也称为“色彩三要素”,CIE(International Commission on Illumination,国际照明委员

会，是关于颜色的国际标准化组织）对其分别进行了相应定义。在心理物理学上，与色相、饱和度和明度相对应的是主波长、色纯和亮度。

色相（Hue），即各类颜色的相貌称谓，比如通常所说的红色、绿色、蓝色，如图 1—7 所示。CIE 的定义为：对某个区域上所呈现的类似于红色、黄色、绿色、蓝色或其中任意两种组合后所生成颜色的视觉感应。色相是色彩的首要特性，是区别各种不同色彩的最准确标准。任何色彩都有这一属性。色相的特性取决于光源的光谱组成以及有色物体表面反射的各波长辐射的比值对人眼所产生的感觉。



图 1—7 色相

明度（Luminance）表征色彩的明暗程度，与色光的振幅有关。CIE 对明度的定义为：对某个区域发射光强弱的视觉感应。产生明度的差异可能有三方面的原因：光源的强弱或投射角度不同，同一色相中含白色或黑色的量有差异，或者是物理色的色相在亮度上原本就存在差异。图 1—8 所示为同一色相之间的明度变化。



图 1—8 同一色相之间的明度变化

饱和度（Saturation）又称色彩的“纯度”，简单地讲就是色彩中含有黑、白、灰的多少。CIE 对饱和度的定义为：某个区域相对其明亮程度所呈现的颜色感，单色光的饱和度为 100%，加入白光后，其饱和度下降，非彩色光的饱和度为 0。图 1—9 所示为同一色相之间的饱和度变化。



图 1—9 同一色相之间的饱和度变化

当眼睛接收到的光包含所有波长的可见光信号且其强度大致相等时，则发出光线的光源或所看到的物体是非彩色的。非彩色的光源为白光，从物体反射或透射的非彩色光可能呈现白色、黑色或不同程度的灰色。在白光光源照射下，若某物体能反射 80% 以上的入射光，则看上去是白色的；若反射光小于 3%，则物体看上去是黑色的。中间的反射率形成了各种深浅不同的灰色。为了方便，反射光强度取在 0~1 之间。0 对应黑色，1 对应于白色，而各中间值则对应于灰色。

虽然在概念上难以严格区分明度和亮度，但一般认为明度是由本身不发光或只能反射光的物体所引起的视觉特性（黑—白），而亮度则是发光体本身所发出的光为眼睛所感知的有效数量（高—低）。物体的明度或亮度决定于眼睛对不同波长的光信号的相对敏感度。在白

天人的眼睛对 550 nm 左右波长的光最为敏感。在可见光谱的两端，眼睛的敏感程度迅速减弱。

如果眼睛感受到的光信号中各波长的光占任意比例且均不相同，则形成彩色光。若光线集中在可见光谱的上端，即光信号主波长位于可见光谱的红色区段内，则所产生的光将呈现红色。若光线集中在可见光谱的下端，即光信号主波长位于可见光谱的蓝色区段内，则形成蓝色光。应当指出，一定波长的电磁波本身并不带颜色，所谓颜色是人的眼睛、大脑结合在一起对客观现象产生的一种感觉。

物体呈现出来的颜色既决定于光源中各种光波长的分布，也决定于物体本身的物理性质。假如一个物体仅反射或透射很窄频带内的光而吸收其他波长的光，则它会显示出颜色来。具体颜色由反射光或透射光的波长决定。一定颜色的入射光照射在具有某种反射或透射光谱的材料表面可能会导致令人惊奇的结果。例如，用绿光作为入射光照射在一个白色物体上，反射光也为绿色光，即此时物体看上去是绿的。然而红色物体在绿光的照射下呈黑色，这是因为无反射光生成的缘故。

在人的所有感官中，视觉提供了绝大多数的信息，而且被认为最能感受美的价值。从这个层面讲，色彩不仅仅是一种感觉，更是一种知觉。对同一种色彩每个人的主观感受却可以不同，除了与观察的时间、地点、环境、心情有关之外，还与色彩的组合方式有关，有时甚至会受到个人喜好、经验等的影响。

色彩也会在不知不觉中对人们的心理产生影响，并以多层次色彩心理效应影响着人们的情绪。从色彩的直接刺激到通过间接的联想达到更高层次的影响，这种影响甚至可以左右人们的思想观念、宗教、信仰等，这也正是色彩的精神价值所在。有一种形象的说法，色彩是有表情的。这种表情来自人们在传统的风俗影响下生成的文化意识，逐代地传承以至于形成了色彩的习惯心理反应。比如在色彩的音乐感、色彩的华丽与质朴感、色彩的味觉感、色彩的冷暖感、色彩的情绪感等方面，同一文化区域内不同的审美主体可能会达成共识。

1.2.3 原色混色系统

在可见光谱上，单一波长的电磁波所产生的颜色是单色的。纯的单色光在实际生活中是少见的，人们所看到的颜色都是混合色。在眼睛的中央部位有三种对色彩敏感的锥状细胞。其中一类锥状细胞对位于可见光谱中间位置的光波敏感，这种光波经过人的眼—脑视觉系统转换产生绿色感。其他两种锥状细胞对位于可见光谱两端较长和较短波长的光波敏感，它们分别识别红色和蓝色。若这三组锥状细胞都感受到相同水平的辐射（单位时间内的能量），则眼睛看到的是白光。

自然界的白光包含可见光谱中所有波长光的辐射，然而从生理学的角度看，由于眼睛仅包含三种不同类型的锥状细胞，因而对任意三种颜色适当混合均可产生白光视觉，条件是这三种颜色中任意两种的组合都不能生成第三种颜色。这三种颜色就称为三原色，现实世界中五彩缤纷的色彩都可由这三种基本色组合变化而成。

不同的颜色混合在一起能产生新的颜色，这种方法称为混色法。对计算机美术而言，有

两种重要的混色系统：色光三原色红、绿、蓝（RGB）的相加混色和颜料三原色的青、品红、黄（CMY）相减混色。彩色电视机采用的是加法混色，由红、绿、蓝还原出丰富的画面，舞台灯光的照明也是利用加法混色原理。而颜料混合时不是对光源辐射的光进行混合，而是颜料物质从白光（如太阳等光源照射的光）中吸收掉一部分色，再将未吸收的余光反射出去而后进行混合，这种混合进行的次数越多就越接近灰色，所以被称做减法混色。在彩色印刷、绘画和电影中利用的都是减法混色。

格拉斯曼（H. Grasman）总结的补色律中讲到：自然界中任一颜色都有其补色，它与它的补色按照一定比例混合，可以得到白色或灰色。两种混色系统中的颜色恰好互为补色。青色是红色的补色，品红是绿色的补色，黄色是蓝色的补色。因此，青色是白色减去红色，品红是白色减去绿色，黄色是白色减去蓝色。虽然从技术角度讲，也可认为红色是青色的补色，但习惯上常把红、绿、蓝作为原色，而将青、品红、黄作为它们的补色。有趣的是，在彩虹和棱镜色散形成的光谱中并不存在品红，因此，它是由眼睛一大脑视觉系统产生的。公式（1—1）至公式（1—5）和图 1—10 给出了 RGB 和 CMY 原色之间的关系：

$$\text{红 (Red)} + \text{绿 (Green)} = \text{黄 (Yellow)} \quad (1-1)$$

$$\text{绿 (Green)} + \text{蓝 (Blue)} = \text{青 (Cyan)} \quad (1-2)$$

$$\text{蓝 (Blue)} + \text{红 (Red)} = \text{品红 (Magenta)} \quad (1-3)$$

$$\text{红 (Red)} + \text{绿 (Green)} + \text{蓝 (Blue)} = \text{白 (White)} \quad (1-4)$$

$$\text{青 (Cyan)} + \text{黄 (Yellow)} + \text{品红 (Magenta)} = \text{黑 (Black)} \quad (1-5)$$

对于反射体，例如印刷油墨、胶卷以及非发光显示器等常采用的都是减法混色的 CMY 减色系统。在这种减色系统中，有色物体从白光光谱中过滤掉其补色的光波。例如，光线经过品红色物体的反射、透射后，光谱中的绿色部分被吸收过滤。假如该光线又被一黄色物体所反射、透射，蓝色部分又从光谱中被减去，最后结果显示红色。若剩下的光照射在青色物体上，则经过反射、透射后最终形成黑色。因为这时整个可见光谱的光都被吸收，或者说“减掉”。摄影的滤光镜就是利用了这一原理。

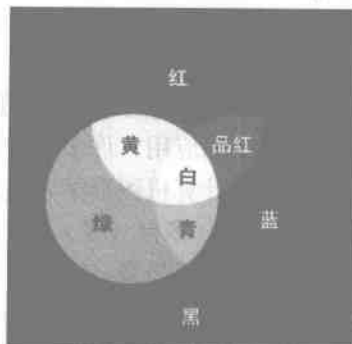


图 1—10 RGB 和 CMY 原色系统示意图

1.3

计算机图形学概述

计算机图形学（Computer Graphics, CG）是一门复杂而又多样化的对物体的模型和图像进行生成、存取和管理的学科。简单来讲，可以把计算机图形学的最终产品看做一幅可以用于各种目的的图形，如工程图样、用户手册的图示、商业图表、建筑结构图或设计图、广

告、医学图像或动画的一帧等。图形是计算机图形学的关键概念,从广义上讲,凡是可以在图形设备上输出的点、线和文本等的集合都可以称为图形。计算机图形学主要研究如何在计算机中表示图形,如何准备图形的数据,如何显示已准备好的图形,如何实现人与图形的交互等科学和技术问题。

计算机图形学是近代计算机科学与雷达、电视及图像处理技术的发展汇合而产生的硕果,在造船、航空航天、汽车、电子、机械、土建工程、影视广告、地理信息、化工等领域中有着广泛应用。计算机美术以计算机为主要工具进行视觉设计创作活动,它既包括技术也包括艺术,计算机图形学是实现计算机美术的技术基础。

计算机图形学是伴随着电子计算机及其外围设备而产生和发展起来的。1950年,第一台图形显示器在美国麻省理工学院(MIT)诞生,该显示器用一个类似示波器的CRT显示一些简单的图形。1958年美国Calcomp公司研制出由联机的数字记录仪发展而成的滚筒式绘图仪,GerBer公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。这个时期为计算机所配置的图形设备仅具有输出功能。

如果说20世纪50年代是计算机图形学的准备和酝酿时期,那么60年代就是计算机图形学确立并得到蓬勃发展的时期。1962年,MIT林肯实验室的Ivan E. Sutherland在其博士论文中首次使用了“计算机图形学”(Computer Graphics)这一术语,证明了交互式计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域,从而确定了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。他在论文中所提出的很多基本概念和技术至今还在广为应用。60年代中期开始,美国MIT、通用汽车公司、贝尔电话实验室和洛克希德公司开展了计算机图形学的大规模研究,英国剑桥大学等也开始了这方面的工作,计算机图形学进入了迅速发展并逐步得到广泛应用的新时期。

20世纪70年代是计算机图形学技术进入实用化的阶段。在此期间,交互式的图形系统在许多国家得到应用,许多新的更加完备的图形系统又不断研制出来。除传统的军事和工业的应用之外,计算机图形学还进入教育、科研和事务管理等领域。70年代末,美国安装图形系统达12 000多台(套),使用人数超过数万人。

由于图形设备昂贵、功能简单、基于图形的应用软件缺乏,直到20世纪80年代初,计算机图形学相比其他学科仍然是一个很小的学科领域。但随着如美国苹果公司的Macintosh、IBM公司的PC及其兼容机、Sun工作站等带有光栅图形显示器的个人计算机和工作站的出现,人机交互中开始日益广泛地使用位图图形。所谓位图(Bitmap)是指显示屏幕上的点,即像素(pixel)的矩形阵列表示。

位图图形的应用使得如用户界面、绘图、字处理、游戏等基于图形的应用程序的价格大大降低,由此推动了计算机图形学的发展和应用。20世纪80年代末,计算机图形系统已超过百万台(套),在工业、管理、艺术领域发挥着巨大作用,并逐渐开始进入家庭。

进入20世纪90年代以后,计算机图形学朝着标准化、集成化和智能化的方向发展。国际标准化组织(ISO)公布的有关计算机图形学方面的标准越来越多,并且日趋成熟。多媒体技术、人工智能以及专家系统技术与计算机图形学的结合也使它们的应用效果大大改善。此外,科学计算可视化、虚拟现实环境等新方向的应用对计算机图形学提出了

更多、更新、更高的要求,推动着三维乃至高维计算机图形学在真实性和实时性等方面的飞速发展。

1.4 计算机动画基础

计算机动画是在传统动画的基础上,采用计算机图形图像技术而迅速发展起来的技术。从广义上看,数字图形图像的运动显示效果都可以称为动画。计算机动画本身就是一个很大的科目,用整本教材的篇幅对其进行论述也不为过。但是从“计算机图形学+视觉艺术”的角度理解,计算机动画也可看做是计算机美术所涵盖的范围,本节的主要目的在于为读者在概念上打一个较好的基础。

1.4.1 动画的视觉原理

动画的发明早于电影。从1820年英国人发明的第一个动画装置,到20世纪30年代沃尔特·迪士尼(Walt Disney)电影制片厂生产的著名的米老鼠和唐老鸭,动画技术从幼稚走向了成熟。成功的动画形象可以深深地吸引广大观众。卡通(Cartoon)是漫画和夸张的意思,动画采用夸张拟人的手法将一个个可爱的卡通形象搬上银幕,因而动画片也称为卡通片。

当人们观看电影、电视或动画片时,画面中的人物和场景是连续、流畅和自然的。但仔细观看一段电影或动画胶片时,看到的画面却一点也不连续。只有以一定的速率把胶片投影到银幕上才能有运动的视觉效果,这种现象是由于视觉残留造成的,动画和电影利用的正是人眼这一视觉残留特性。实验证明,如果动画或电影的画面刷新率为每秒24帧左右,也即每秒放映24幅画面,则人眼看到的是连续的画面效果。但是,每秒24帧的刷新率仍会使人眼感到画面的闪烁,要消除闪烁感画面刷新率还要提高一倍。因此,每秒24帧的速率是电影放映的标准,它能最有效地使运动的画面连续流畅,但是,在电影的放映过程中有一个不透明的遮挡板每秒遮挡24次,每秒24帧加上每秒24次遮挡,电影画面的刷新率实际上是每秒48次。这样就能有效地消除闪烁,同时又节省了一半的胶片。

1.4.2 传统动画片的生产过程

传统动画片的生产过程主要包括如下的几方面:

1. 脚本及动画设计

脚本是叙述故事的文字提要及详细的文学剧本,根据该剧本要设计出反映动画片大致概貌的各个片断,也即分镜头剧本。然后,对动画片中出现的各种角色的造型、动作、色彩等进行设计,并根据分镜头剧本将场景的前景和背景统一考虑,设计出手稿图及相应的对话和声音。

2. 关键帧的设计