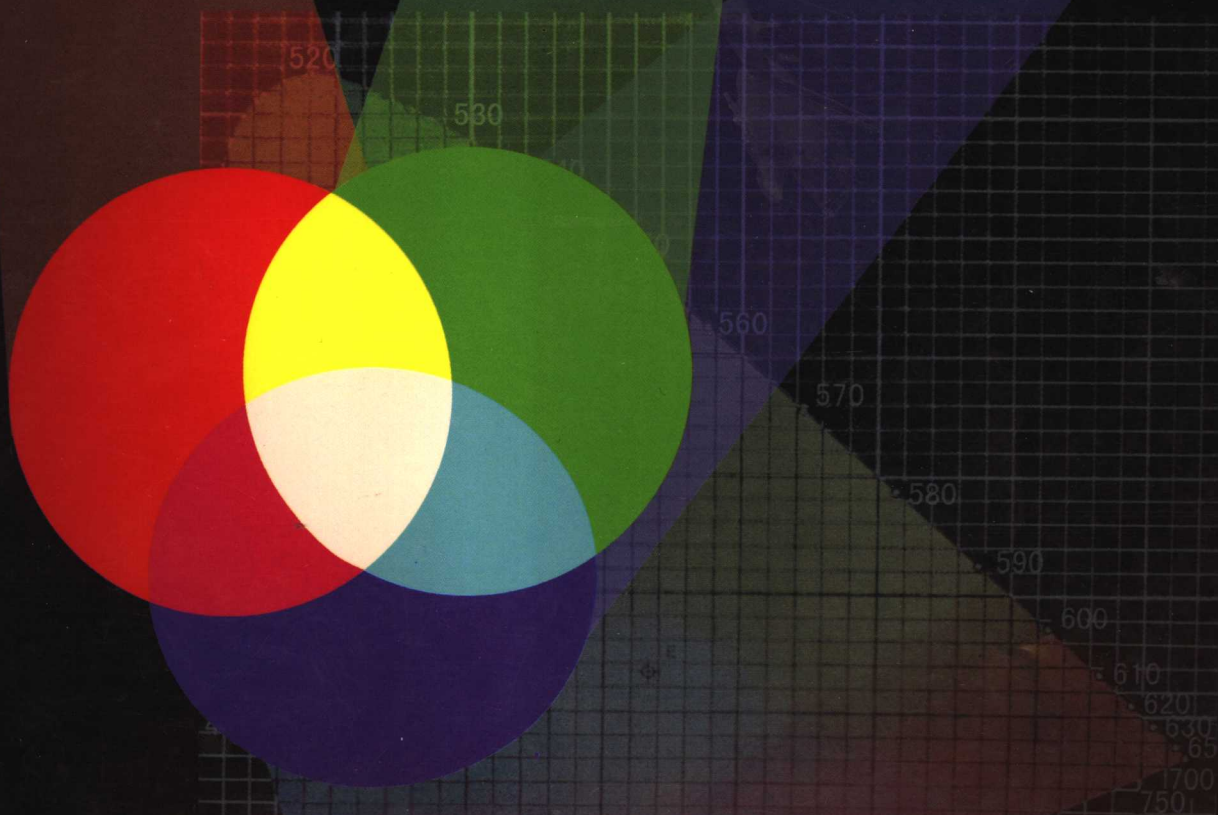




基础及应用

李达利 李萌 黄岩 编著



黑龙江科学技术出版社

色彩

基础及应用

李达利 李萌 黄岩 编著

黑龙江科学技术出版社

中国·哈尔滨

图书在版编目(CIP)数据

色彩基础及应用/李达利,李萌,黄岩编著. —哈尔滨:
黑龙江科学技术出版社,2006.7
ISBN 978-7-5388-5178-6

I. 色... II. ①李...②李...③黄... III. 色彩学
IV. J063

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 085310 号

责任编辑 杨晓杰

封面设计 夯 实

色 彩 基 础 及 应 用

SECAI JICHU JI YINGYONG

李达利 李萌 黄岩 编著

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150001 哈尔滨市南岗区建设街 41 号)

电话 (0451)53642106 电传 53642143(发行部)

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

发 行 全国新华书店

开 本 787×1092 1/16

印 张 23.25

插 页 8

字 数 520 000

版 次 2007 年 1 月第 1 版·2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数 1-3 000

书 号 ISBN 978-7-5388-5178-6/Z·593

定 价 44.00 元

前言

每当人们谈起色彩的时候,无不首先想到绘画色彩。是的,绘画色彩是人们最先系统、科学地研究色彩的行业。古往今来,不知有多少画家孜孜不倦地钻研色彩的真谛;思考着色彩艺术的美学真理,但是,绘画色彩其强调个性的本质,终究逃脱不出感觉和心理对色彩科学的禁锢,更不用说用物理的规则和数学的“量”来思考色彩的学问。随着科学技术的发展,以及物质生活的丰富,人们又发现社会生活的各个方面都在追求色彩的美感,许多人经常思考着色彩在本行业里的应用。更有一些人在购买商品或选择衣物时,甚至把颜色列为首选的目标,而那些生产颜料、染料和涂料的工厂,以及与色彩相关的企业,如摄影、电视等等行业早已默默地研究着色彩与色度。因此,色彩科学已经不可阻挡地走进了现代科技的发展行列,同时也是我们每一个人都应懂得的常识。再环顾一下周围人们对色彩有意识、无意识的谈吐,难免会发现一些人对色彩知识,甚至对色彩的定义、术语、色名等都存在着含混,甚至是混乱,这就使一切与色彩科目相关的工作者担负了一项必须要普及色彩知识的义务,这就是编写《色彩基础及应用》的宗旨。

本书共分十章,讲述色彩的生成原理(一、二、三章)、色彩的系统研究(四、五、六、七章)、色彩的实际应用(八、九、十章)等三个学科方面的问题。首先从光学、视觉、心理三方面叙述色彩是什么,是怎样产生的。真正意义的,对于色彩的研究是从色度学开始的,色彩模型、色彩关系、色彩系统是当今世界范围内色彩研究的课题和内容。目前,色彩的实际应用已经遍及社会生活的方方面面,本书第九章“色彩的实际应用”中提到的行业,仅是作者精力能够达到的一角,同时,在出版过程中也因为精简文字又剪掉了一些行业的色彩知识。因此,本书提到的“色彩的实际应用”仅是色彩在实际社会生活和人文活动中的一部分,而绝不是一切。

由于色彩是涵盖理科、工科和文科等多学科、多方位的学问,而各学科之间也是互相穿插、立体交差的关系。因此色彩学的某一些学科内容是难以确切归类的,如生理光学中的一些知识,还有心理学中的“错觉”和“颜色视觉”等等,其实这些都是视觉现象,这个“现象”也同时是视觉机制的问题,所以,在色彩学基础中还是把它们放在视觉中叙述更能增强人们对色彩定义的理解。在色彩的其他科目上的知识也同样存在类似问题,在本书中都是以叙述的方便和介绍知识的顺序为原则而有所变更;又由于为了“普及”色彩科学知识的原因,在编著本书过程中,有意识的删除了一部分“太专业”的章节,望读者谅解。如果本书的编排构思不够理想,或存在其他错误及漏洞,欢迎广大读者提出批评意见和改进建议,以便日后修改,诚表谢意。

编著者

2006年8月

目 录

绪论.....	(1)
第一章 色彩与光.....	(5)
§ 1-1 光学.....	(5)
§ 1-2 光谱学.....	(8)
§ 1-3 激光	(10)
§ 1-4 电磁波与色彩	(12)
§ 1-5 表面物理学	(14)
§ 1-6 物质与光	(17)
§ 1-7 元素周期表中的色彩	(20)
§ 1-8 光能转换与物质的相互作用	(23)
§ 1-9 气体激发产生的色彩	(25)
§ 1-10 色彩图像.....	(27)
§ 1-11 单色光波的混合	(28)
§ 1-12 单色光中的色彩	(32)
§ 1-13 光的反射与散射	(34)
§ 1-14 光的色散	(40)
§ 1-15 三棱镜下的颜色	(42)
§ 1-16 阴影与投影	(43)
§ 1-17 色彩与颜色的加减法	(44)
§ 1-18 大气光学色彩	(46)
§ 1-19 生物色现象	(51)
§ 1-20 物质的辐射和光	(56)
§ 1-21 光源的显色性	(58)
§ 1-22 各种形式的色彩(颜色)	(59)
§ 1-23 无可见光时的色彩	(62)
§ 1-24 颜色的老化	(64)

第二章 颜色视觉	(67)
§ 2-1 视觉	(67)
§ 2-2 视觉过程	(71)
§ 2-3 眼睛的进化	(72)
§ 2-4 明视觉与暗视觉	(74)
§ 2-5 麦克斯韦视域	(78)
§ 2-6 颜色视觉	(79)
§ 2-7 颜色视觉现象	(81)
§ 2-8 色觉理论(色觉机制)	(83)
§ 2-9 颜色视觉的间接刺激	(91)
§ 2-10 视觉三变数	(95)
§ 2-11 视觉后像与闪光融合	(96)
§ 2-12 眼睛的错觉	(99)
§ 2-13 动物视觉	(102)
§ 2-14 夜行动物的眼睛	(107)
§ 2-15 色盲	(108)
第三章 色彩与心理	(111)
§ 3-1 心理颜色	(111)
§ 3-2 颜色的心理反应	(112)
§ 3-3 色彩分辨力	(117)
§ 3-4 心理颜色标志	(121)
§ 3-5 在视觉下的色彩	(123)
§ 3-6 无视觉情况下的色彩	(125)
§ 3-7 色彩图	(126)
§ 3-8 光色的舒适感	(127)
§ 3-9 色相搭配的和谐美	(129)
§ 3-10 色彩效应	(134)
§ 3-11 色彩的冷和暖	(135)
§ 3-12 色彩的感觉与表情	(136)
§ 3-13 色彩的扩张与收缩	(138)
§ 3-14 色彩的排斥与吸引	(139)
§ 3-15 色彩的均衡与和谐	(140)

§ 3-16 色彩心理的其他相关感觉	(141)
第四章 色彩与色度	(144)
§ 4-1 关于 CIE 组织	(144)
§ 4-2 CIE 标准色度系统	(145)
§ 4-3 1931 CIE-XYZ 系统	(150)
§ 4-4 CIE(色度图)色品图	(151)
§ 4-5 CIE 1960 均匀色度标尺图	(153)
§ 4-6 CIE 1964 均匀颜色空间	(155)
§ 4-7 同色异谱颜色	(155)
§ 4-8 色差	(158)
§ 4-9 关于配色系统—CIE 系统	(159)
§ 4-10 色温度	(160)
§ 4-11 物体的颜色	(162)
§ 4-12 物理刺激	(164)
§ 4-13 格拉斯曼颜色混合定律	(168)
第五章 色彩模型	(171)
§ 5-1 三原色、三基色、四原色、三刺激值、三色素、三参考色	(171)
§ 5-2 色彩模型原理	(174)
§ 5-3 色相、色品与色调	(176)
§ 5-4 色彩的色相明度	(178)
§ 5-5 色彩的亮度	(181)
§ 5-6 灰度	(181)
§ 5-7 饱和度	(182)
§ 5-8 色阶和互补	(184)
§ 5-9 色彩的变化	(185)
§ 5-10 色彩的表示方法	(187)
第六章 色彩关系	(190)
§ 6-1 观察色彩的方法	(190)
§ 6-2 光源色	(193)
§ 6-3 环境色	(195)
§ 6-4 空间色	(196)
§ 6-5 固有色	(197)

§ 6-6 色彩的对比关系	(198)
§ 6-7 色彩构成	(202)
§ 6-8 色轮	(211)
第七章 色彩系统理论	(213)
§ 7-1 CIE LUV 和 CIE LAB 颜色系统	(213)
§ 7-2 孟塞尔颜色系统	(214)
§ 7-3 自然颜色系统	(216)
§ 7-4 奥斯瓦尔德颜色系统与颜色和谐手册	(217)
§ 7-5 德国 DIN 系统与 DIN-6164 标准色卡	(219)
§ 7-6 颜色体(Coloroid)系统	(221)
§ 7-7 亨特 Lab 系统	(222)
§ 7-8 美国光学学会—均匀色系统(OSA—UCS)	(222)
§ 7-9 日本实用颜色坐标系统和色彩大全 5000	(223)
§ 7-10 颜色曲线系统	(225)
§ 7-11 中国颜色体系	(226)
第八章 颜色的材料	(228)
§ 8-1 颜料	(228)
§ 8-2 染料	(236)
§ 8-3 涂料	(249)
§ 8-4 油墨用颜料	(257)
第九章 色彩的实际应用	(258)
§ 9-1 绘画色彩	(258)
§ 9-2 设计色彩	(264)
§ 9-3 彩色印刷	(267)
§ 9-4 纺织品颜色与设计	(274)
§ 9-5 彩色照相	(279)
§ 9-6 彩色电影	(283)
§ 9-7 电视机色彩	(292)
§ 9-8 计算机色彩的表示	(293)
§ 9-9 装饰色彩	(296)
§ 9-10 舞台美术色彩	(297)
§ 9-11 商业美术	(303)

§ 9-12 建筑形式与颜色美	(304)
§ 9-13 室内装饰颜色	(307)
§ 9-14 实用美术色彩	(310)
§ 9-15 工艺美术	(311)
§ 9-16 色彩与医疗	(313)
§ 9-17 军事伪装	(324)
§ 9-18 彩釉	(328)
§ 9-19 流行色	(334)
§ 9-20 安全色	(338)
§ 9-21 色彩调节	(344)
§ 9-22 广告设计色彩	(347)
§ 9-23 色卡	(350)
§ 9-24 光学遥感	(352)
第十章 未来的色彩	(354)
§ 10-1 光与激光的应用	(354)
§ 10-2 色彩的标准化及应用	(354)
§ 10-3 色彩感应	(356)
§ 10-4 近代和现代绘画的色彩观	(357)
§ 10-5 颜色的抗老化问题	(359)
§ 10-6 色彩展望	(360)
参考文献	(362)

绪 论

人们生活在空气的海洋中、水的海洋中、电的海洋中、引力的海洋中、磁的海洋中,然而人们却忽视了另一个熟视无睹的海洋——色彩的海洋。我们的周围无处不充满着自然的、人文的、鲜艳绚丽、姹紫嫣红的色彩,包括新鲜的、陈旧的、黑色的、白色的、灰色的色彩。尽管色彩也是电磁波,但它却在我们的感知中有别于电磁波,因为在视觉下,色彩是大千世界的表现形式。自然中的一切物质以至一切生物都是由空气、水、电、磁、色彩这几种自然物质组成的综合平衡物,既包含这些物质,同时又利用着这些物质;而且又与这些物质互相制约着;这也是各种生物能兴旺发达的生活在各种纵横交错的物质海洋中的奥秘之所在。

色彩是什么?简单地说,它是不同频率的可见光辐射在视觉中产生的心理现象。可是,事情并不这样简单,色彩是一切物体的表面现象,在自然界中它是物理的光辐射现象;是一切光及物体在受激发射、放射、反射、散射、折射、透射、衍射等等发生光学现象时,造成的视觉心理和视觉生理的结果。抛开视觉心理的色彩,仅用物理和数学计算标识的色彩,那是色度学;然而心理的色彩与色度是不一样的。“色彩”是人类和动物的视觉在自然与人文活动中产生的特定的视觉心理现象。这个心理现象,目前还不能用物理和数学来标定。没有视觉的色彩那就只剩下了光辐射,正如盲人感知的“在阳光下”,因此它又区别于物理的光辐射和色度学。从这个意义上讲,尤其是人类在社会活动中通过思维产生的“色彩”信号,几乎抛开了色彩的光学物理本质。在这里,我们是从“色彩”的角度看世界。

色彩被分为光色彩和物体色彩。光色彩,如红光、黄光、蓝光、绿光,通常称为“色彩”;物体色彩,通常被称为“颜色”。为了方便区别两类色彩,这样称呼是正确的。色彩一词也是光色彩和物体颜色的泛称。在基础色彩研究中主要包含了光学、色度、心理、视觉、颜色、颜料、染料以及色彩在各行业中的应用等科目。

我们赖以生存的日光在三棱镜下,分成七种色彩色相,这也是视觉能分辨的光谱中主要色相。我们所能分辨的单一色相,并不是单一波段的电磁波,而是一个范围的电磁波段。如:正常颜色视觉里单色的红色是从 660nm 到 780nm 的一段电磁波,然而在物理光学中,只有激光才是真正意义的单色光。在电磁波大家庭里,可见光是由 780nm 到 360nm 之间红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种色彩光构成的,这七种色相的视觉心理是截然不同的七个色彩感觉。在这个光谱段里,开头的 660nm 以上是红色,到了另一头的 420nm 至 360nm 时是紫色,在视觉中又接近了红色的视觉感觉,这在视觉生理上,是把光谱画了一个连在一起的“圈”。色彩中的红、黄、蓝、绿等色相概念是人类在社会活动中给出的心理定义;然而,在物理学中,780nm 和 360nm 电磁波却是一条直线式的光谱的两端,是差别很大的两

种电磁波;因此心理上的色彩是不能等同于光学和电磁学的,所以说色彩是一门很复杂的跨学科的学问。

视觉所见的一切无不包含在色彩的范畴内,眼睛看到的形状、体积、点、线、面都是以色彩来决定的。视觉过程是不同频率的电磁辐射作用于眼睛,最后在大脑枕叶的视皮质中形成的。一切生物的眼睛,其低等或高等、正常或缺陷都是以接收电磁辐射的多少和强弱来决定其分辨色彩的本领的。对于不同的个体及色觉异常者,还有不同动物的视觉,在视觉心理中的色彩感觉也是不同的。眼睛是色彩——电磁辐射的接收器,但由于各类生物的眼睛并不能接收到所有的电磁信息,如夜行动物的眼睛,色盲动物的眼睛,蝙蝠的超声波,鱼类的紫外波,色觉缺陷者等等它们在大脑中形成的物象,其形状、大小、差别、甚至色觉和正常人眼睛接收到的信息在大脑中形成的物像其心理结果是一样的,而接收到的辐射波则是不同的。因为不同物种乃至不同个体眼睛的接收本领是有限的,因此对基础色彩的研究更应着重生理心理而不是物理。

光的二向性肯定了光的量子性,物体在对光量子吸收的同时,所释放的能量那就是颜色和颜色的老化。光的反射所形成的色彩只能是照射光源中所含的色彩,它只是物体表面在光作用下产生的散射、发射、衍射、折射、反射、放射、干涉、薄膜等各种形成颜色的成因中的一种,但绝不是形成颜色的唯一原因。

事实上,选择反射的过程也是物质对光的吸收过程。K.拿骚(美)(Nussau)提出了 15 种物体颜色形成的原因,光作用下的物质所产生的各类散射是物体颜色形成的主要原因。

物体的色彩——颜色是不能单单用物体对光的吸收与反射来解释的,我们知道,无论气体、液体或固体在任何温度下都产生辐射能,这个辐射能以热辐射,就是红外辐射为主,当这个辐射能在热和光的作用下达达到一定的红限时,原子中发生能级跃迁,产生视觉可见的电磁波波谱;这个波谱的波长是从长波向短波方向移动的,移动到可见光谱区。每一种物质只被某一频率或某一组固定频率的辐射波作用,物质吸收到这一频率或这一组频率的辐射波后,将发生散射或受激发射,就呈现该物质的固定色彩,这就是它的固有色。物体的固有色受照射辐射的光谱成分影响,随这个成分的变化而有所变化;照射辐射的亮度、强度决定受激发射的光辐射强度;这就是我们所看到的颜色以及它的亮度变化。冷光则是从紫外线的短波向长波方向移动,移动至可见光谱区,使我们看到了冷光的颜色。

色彩关系人类社会的方方面面,它早已从绘画美术、装潢装饰、摄影、电影等几个学科扩大到轻工、建筑、化学、化工、军事伪装、商业、宣传教育等等与人们衣、食、住、行息息相关的所有领域,在社会生活中和科学研究中占有不可估量的地位,人们的每一项活动无不与色彩发生密切的关系,对于色彩应该进行深入细致的研究;色彩是一块有待开发的广阔天地,它不仅是微观世界的奥妙,同时也是宏观宇宙的奥妙。

色彩学是研究色彩的产生、视觉的接受和心理感受及其社会应用的科学,而色度学是以颜色光学为主体的色彩测量科学。色彩学以色彩的心理感受为主要研究方向,以前它与素描、透视学、艺术解剖学一起成为美术的基础理论,现在几乎是涉及所有人们日常生活、工作、环境各领域的学科。由于形与色是物体形象在人们心理中的两个基本外貌要

素,尤其在艺术设计中更是如此。因此,色彩学的研究及应用便成为美学理论首要的、基本的课题。作为色彩学研究基础的首先是光学及表面物理学,接着是视觉、视觉心理、心理物理学、生理学、美学等多门学科。因此它的产生与发展有赖于这些学科(尤其是光学)的长足进展,而色彩学研究的成果又为这些学科提供素材和资料,推动它们的深入发展。

人类对色彩的感知与人类自身的历史一样漫长,而有意识地应用色彩则是从原始人用固体或液体颜料涂抹面部与躯干开始的。在新石器时代的陶器上已可见到原始人对简单色彩的自觉运用。在色彩的应用史上,装饰功能先于再现功能而出现。

尽管人类的色彩应用已有几千年的历史,但独立意义上的科学的色彩学研究却晚于透视学、艺术解剖学,直到近代才开始,这是因为色彩学的研究必须以光学的产生和发展为基础。文艺复兴时代的画家为了取得自然主义的表现效果,曾经研究过光学问题,注意到了色彩透视问题。直到17世纪60年代,牛顿通过有名的“日光-棱镜折射实验”,通过光的色散得出白光是由不同颜色光线混合而成的结论之后,颜色的本质才逐渐得到正确的解释,由开普勒奠定的近代实验光学为现代色彩学的产生提供了科学基础。

感知心理的研究为解决色彩视觉问题,心理物理学的方法为解决视觉机制对光的反映的问题,都提供了重要的前提条件。而视觉艺术所提出的色彩问题,尤其是印象派出现之后遇到的外光描绘、色彩并置对比、互补色等问题,促使理论家、艺术家运用科学方法探讨色彩产生、接受及应用的性质、规律。到19世纪下半叶,色彩学研究的专门著作开始出现,如薛夫鲁尔的《色彩和谐与对比的原则》(1854)、贝佐尔德的《色彩理论》(1876)等。进入20世纪,色彩学更在现代光学、心理物理学、神经生理学、艺术心理学等基础上得到了长足进展。而色彩学的发展又促进了视觉艺术从19世纪向20世纪多元化时代的转变。

色彩学大体可按色彩与光、视觉(眼睛)、感知个体、应用的关系分为4个主要部分。其基本内容如下:

(1)色彩与光的关系涉及物理学,主要是光学。色彩从根本上说是光的一种表现形式。光一般是指能引起视觉的电磁波,即所谓“可见光”。它的波长范围约在红光的780nm到紫光的380nm之间。在这个范围内,不同波长的光波可以引起人眼不同的颜色感觉,因此,不同的光源便有不同的颜色;而受光体则根据对光的吸收和发射、反射能力呈现千差万别的颜色。由色彩的这个光学本质引发出色彩学这部分内容的一系列问题:色彩的分类(彩色与非色两大类)、特性(色相、纯度、明度)、混合(光色混合,即加色混合;色光三原色,即红、绿、蓝;混合的三定律,即补色律、中间色律、代替律)等。孟赛尔综合了前人在这方面的研究成果,建立了“孟氏颜色系统”。

(2)色彩感知的研究必须考察视觉器官,即眼睛对色彩的接受过程。色彩学的这个部分涉及生理学、感知心理学,并且大量运用心理物理学的方法来研究。人眼主要由杆体和锥体感受器对光发生视觉反应,一般认为颜色视觉是由锥体感受器作中介的,锥体感受器主要集中于视网膜的中央区,它含有光敏色素,在接受光的刺激后,形成神经兴奋,传达到大脑皮质中的视觉中枢而产生颜色视觉。由这个基本过程出发,色彩学还研究接受过程,即颜色视觉中的对比(色相、明度的同时对比与连续对比),辨色能力(也包括色盲、色弱)

等问题。关于颜色的视觉机制及过程的具体研究,20世纪以前主要有“三色说”和“四色说”,现代生理学与心理学的研究分别支持了这两种学说,并试图以“阶段说”的假说来统一二者。此外,为了对颜色特征进行量的分析,20世纪产生了研究色彩标定和测量的色度学,它在理论上和应用上都具有十分重要的意义。

(3)色彩学还考察色彩与感知个体的关系,如前所述,首先主要研究色的本质而不涉及接受者;然后则主要研究标准接受者在正常条件下的色彩感知而不涉及各个接受个体。但色彩会因不同观察者、不同条件而有不同的感受,因此引发出色感(冷暖感、胀缩感、距离感、重量感、兴奋感等,由此可将色彩划为积极的与消极的两种倾向),对色彩的好恶(包括对单色或复色、不同色调的好恶),色彩的意义(象征性、表情性等),色听现象(即视觉的间接刺激)等问题。总之,这部分主要研究在特定条件下色彩与观察者的感受、情感的关系。它以个性心理学的研究为基础。

(4)色彩学进一步考察色彩在生活与艺术中的应用问题。首先,它要研究物像的色彩(光源色、固有色与环境色)、色彩透视、色彩材料(历史、分类、性能、调配规律等),进而讨论色彩的具体应用,色彩在生活中的应用主要包括服装、化妆、轻工、建筑、室内布置、环境艺术等等。在艺术中的应用则是色彩学研究最重要的方面,主要包括绘画色彩(写生色彩与装饰色彩);设计色彩(包括所有利用色彩设计的各行各业);舞台色彩(布景、道具、服装、灯光等的色彩);录像、彩色摄影(也包括电影摄影)。在现代科技领域中有计算机、遥感及分光光度测试等和各行业对色彩的实际应用等等。由于色彩渗透到人类生活的各个方面,因此可以说到处都存在着色彩应用的问题。在现代视觉艺术中,色彩的地位日益突出,表现主义、奥普艺术、抽象主义等尤其将色彩作为主要的视觉艺术语言,随着色彩材料和表现手段的不断更新、丰富,为色彩的应用开辟了更为广阔的天地,也向色彩学的研究提出了大量新的课题。

第一章 色彩与光

§ 1-1 光 学

光学是关于光和视觉的科学, optics(光学)这个词, 早期只用于与眼睛和视觉相联系的事物。而今天, 常说的光学是广义的, 是研究从微波、红外线、可见光、紫外线直到 X 射线的宽广波段范围内的电磁辐射所发生、传播、接收和显示, 以及跟物质相互作用的科学, 着重研究的范围是从红外到紫外波段这一小段的电磁波。人类及绝大多数生物所能接收的自然信息中最多的光, 人们在光的信息中感受大自然的物质形态。人们常说: “没有光就没有色彩”, 光是色彩的基础, 视觉是色彩的结果; 光学和视觉是研究色彩的两大依据, 要懂得色彩是什么, 就必须先从光学开始。

一、光学简史

光学是一门有着悠久历史的学科, 它的发展史可追溯到 2000 多年前。人类对光的研究, 最初主要是试图回答“人怎么能看见周围的物体? 为什么能看到各种各样的颜色”等类问题。直到 17 世纪上半叶才由 W. 斯涅耳和 R. 笛卡儿将对于光的反射和折射的观察结果, 归结为今天大家所惯用的反射定律和折射定律。

1665 年牛顿进行太阳光的实验, 利用三棱镜把太阳光分解成红橙黄绿青蓝紫 7 个单色光, 并按这一顺序排列组成了光谱, 从此人们开始认识了光与色彩的实质关系及色彩的本源。它使人们第一次接触到光的客观和定量的特征, 各单色光在空间上的分离是由光的本性决定的。牛顿还发现了把曲率半径很大的凸透镜放在光学平玻璃板上, 当用白光照射时, 则见透镜与玻璃平板接触处出现一组彩色的同心环状条纹; 当用某一单色光照射时, 则出现一组明暗相间的同心环条纹, 后人把这种现象称牛顿环。借助这种现象可以用第一暗环的空气隙的厚度来定量地表征相应的单色光。

19 世纪初, 波动光学初步形成, 其中以 T. 杨和 A. J. 菲涅耳的著作为代表。杨圆满地解释了“薄膜的颜色”和双狭缝干涉现象。菲涅耳于 1818 年以杨氏干涉原理补充了惠更斯原理, 由此形成了今天为人们所熟知的惠更斯-菲涅耳原理, 用它可圆满地解释光的干涉和衍射形成色彩现象, 也能解释光的直线传播。在进一步的研究中, 观察到了光的偏振和偏振光的干涉。

1846 年 M. 法拉第发现了光的振动面在磁场中发生旋转。1856 年 W. E. 韦伯发现光在真空中的速度等于电流强度的电磁单位与静电单位的比值。它们表示光学现象与磁学、电学现象间有一定的内在关系。

1860 年前后 J. C. 麦克斯韦的理论研究指出, 电场和磁场的改变, 不能局限于空间的某一部分, 而是以等于电流的电磁单位与静电单位的比值的速度传播着, 光就是这样一种电磁现象。这个结论在 1888 年为 H. R. 赫兹的实验证实。在认识光的物理性质方面, 麦

克斯韦理论较之以前各种理论向前迈进了一大步。

然而,这样的理论不能说明产生频率高达光的频率的电振子的性质,也不能解释折射率随光的频率而变所引起的光的色散。到了1896年H. A. 洛伦兹创立电子论,才解释了发光和物质吸收光的现象,也解释了光在物质中传播的各种特点,包括对色散现象的解释。

1900年,普朗克从物质的分子结构理论中借用不连续性的概念,提出了辐射的量子论。他认为各种频率的电磁波,包括光,只能以各自确定分量的能量从振子射出,这种能量微粒称为量子,光的量子称为光子。量子论不仅很自然地解释了灼热体辐射能量按波长分布的规律,而且以全新的方式提出了光与物质相互作用的整个问题。量子论不但给光学,也给整个物理学提供了新的概念,故通常把它的诞生视为近代物理学的起点。

1905年,爱因斯坦运用量子论于光电效应之中,他给光子作了十分明确的表示,他特别指出光与物质相互作用时,光也是以光子为最小单位进行的。此外,在19世纪末及20世纪初的许多实验都雄辩地证明了光的量子性。

1905年9月,德国《物理学年鉴》发表了爱因斯坦的“关于运动媒质的电动力学”一文。第一次提出了狭义相对论基本原理,文中指出,从伽利略和牛顿时代以来占统治地位的古典物理学,其应用范围只限于速度远远小于光速的情况,而他的新理论可解释与很大运动速度有关的过程的特征,根本放弃了以太的概念,圆满地解释了运动物体的光学现象。

这样,在20世纪初,一方面从光的干涉、衍射、偏振以及运动物体的光学现象确证了光是电磁波;而另一方面又从热辐射、光电效应、光压以及光的化学作用等无可怀疑地证明了光的量子性——微粒性。1922年发现的康普顿效应,1928年发现的拉曼效应以及当时已从实验上获得的原子光谱的超精细结构,它们无疑地表明光学的发展都不能独立于量子物理。

二、光学的分类

光学是物理学的一个重要组成部分,也是与其他应用技术和人类社会中诸多人文活动紧密相关的学科。通常把光学分成几何光学、物理光学和量子光学。

1. 几何光学

几何光学是从几个由实验得来的基本原理出发来研究光的传播问题的学科。它利用光线的概念和折射反射定律来描写光在各种媒质中传播的途径;它的结果通常总是波动光学在某些条件下的近似或极限。

2. 物理光学

物理光学是从光是一种波动出发来研究光在传播过程中所发生的现象的学科,所以也称为波动光学。它可以用来研究光的干涉、光的衍射、光的偏振以及其在各向异性媒质中传播所表现出的现象。由于光速和电磁波传播速度相同,从而推测光也是电磁波,这一推测为以后所有实验所证实。波动光学可以解释光在散射媒质和各向异性媒质中传播时所伴随产生的过程和在媒质界面附近的表现;也能解释色散现象和各种媒质中压力、温度、声场、电场和磁场对光的现象的影响。

虽然波动光学能对光的传播作出满意的解释,但是不能说明光的发射和吸收过程,表

现出经典物理的困难。

3. 量子光学

1900年, M. 普朗克在研究黑体辐射时为了从理论上推导出那时他已经得到的与实际相符甚好的经验公式, 他大胆地提出了与经典概念迥然不同的假设, 即组成黑体的振子的能量不能连续变化, 只能取一份份的分立值。1905年, A. 爱因斯坦在研究光电效应时推广了普朗克的上述量子论, 进而提出了光子的概念。他认为光能并不像电磁波理论所描述的那样把能量分布在波阵面上, 而是集中在所谓光子的微粒上。但这种微粒仍保持着频率的概念, 光子具有能量。在光电效应中, 当光子照射到金属表面时, 一次为金属中的电子全部吸收, 而无需电磁理论所预计的那种累积能量的时间, 电子把这能量的一部分用于克服金属表面对它的吸力即作逸出功, 余下的就变成电子离开金属表面后的动能。

至此认识到一个原子或一个分子能把它的能量分给电磁场或从该场中获得能量, 但只能以光子为单位来进行。从这种光子的性质出发来研究光与物质相互作用的学科即称为量子光学。它的基础主要是量子力学或量子电动力学。关于光在分子、原子中的产生与消失, 不仅是光的本质问题, 还关系到分子、原子的结构。从实验上验证和从理论上论述这类问题, 是光学的一个分支, 称为光谱学。

三、现代光学

最近 60 多年来由于激光的发现和发展, 现代光学产生了一系列新的光学分支学科并达到了新的高度。早在 1917 年, 爱因斯坦在研究原子辐射时曾详细地论述过物质辐射有两种形式, 其一是自发辐射, 其二是受外来光子的诱发激励所产生的受激辐射。并预见到由受激辐射可以产生沿一定方向传播的、亮度可以非常高的单色光, 这就是单色光色彩产生的基础。由于这些特点, 所以自 1960 年 T. H. 梅曼首先制作成红宝石激光器以来, 光受激辐射的研究——激光科学和技术——得到了异常迅速的发展。光的自发辐射和受激辐射的研究得到了重视。

在经典波动光学中, 媒质参量被认为与光的强度无关, 光学过程通常用线性微分方程来表述。然而, 在强激光通过的情况下发现了许多新现象, 例如, 发现折射率与激光的场强有关, 光束的强度改变时两媒质界面处光的折射角随之发生改变; 光束的自聚焦和自散焦; 通过某些媒质后光波的频率跃变以及光束之间有相互作用等。所有这些现象都归入非线性光学研究。

四、光学的应用

光学, 一方面如前所述, 它由许多与物理学紧密联系的分支学科组成; 另一方面由于它有广泛的应用, 所以还有一系列应用背景较强的分支学科也属于光学范围。例如, 有关电磁辐射物理量测量的光度学和辐射度学; 以正常平均人眼为接收器来研究电磁辐射所引起的彩色视觉及其色彩物理量测量的色度学; 以及众多的技术光学。光学系统设计及光学仪器理论, 光学制造和光学测试, 干涉量度学、薄膜光学、纤维光学和集成光学等; 还有与其他学科交叉的分支, 如天文光学、海洋光学、遥感光学、大气光学、生理光学及兵器光学等。

爱因斯坦研究辐射时指出, 辐射有自发辐射和受激辐射两种。一般情况下光源的发

射都属自发辐射,其中受激辐射几率之小到可忽略。但是受激辐射具有和去激发它的辐射同方向、同位相、同频率和同偏振的特点。在一定条件下,如果能使受激辐射继续去激发其他粒子,造成连锁反应,雪崩似的获得放大效果,最后给出单色性极强的辐射(laser)即今天所谓的激光。第一个实现这种量子放大辐射的是1954年C.H.汤斯完成的微波激射器(maser)。随后在1960年T.H.梅曼用红宝石制成第一台可见光的激光器,同年制成氦氖激光器,1962年产生了半导体激光器,1963年产生了可调谐染料激光器。近40年来制成的各种激光器已充满由X射线、紫外、可见、红外及至微波的整个波段。由于激光具有极好的单色性、高亮度和良好的方向性,所以自1958年发现以来,得到了迅速发展和广泛应用,引起科学技术的重大变化。可以说在实验室里的激光发射器同样是遵循物质受激发射的客观规律而研发的,激光几乎就是单一频率的光波——非常纯的单色光,在自然界中极少出现,我们平时所见的“单色光”其实是很不纯的,包含许多杂色光波的单色光,这就给色彩研究推开了一扇很大的大门。

我们站在色彩的角度看光学,毫无疑问,视觉是生物专门接收光的器官,光反应在人的视觉里就是色彩。激光是真正意义上的单色光。光谱成分越丰富的光,就越接近白色的色相;光辐射强度越弱直至没有,就越接近黑色。所以说以上所提到的光学题目,事实上就是各类色彩的学问。

§ 1-2 光谱学

光谱学是光学的一个分支学科,它研究各种物质的光谱产生及其同物质之间的相互作用。光谱就是光学实实在在反映在视觉中的色彩的各个不同色相的排列组合。从物理学上讲,光谱是电磁辐射按照波长的有序排列。光谱的有序和排列就是色彩的有序排列,不同物体色彩的“有序”及“排列”形式也是我们认识物质世界的一个主要方法。根据实验条件的不同,各个辐射波长都具有各自的特征强度。通过光谱的研究,人们可以得到原子、分子等的能级结构、能级寿命、电子的组态、分子的几何形状、化学键的性质、反应动力学等多方面物质结构的知识,光谱学技术并不仅是一种科学工具,在化学分析中它也提供了重要的定性与定量的分析方法。

一、发射光谱学

发射光谱可以区分为三种不同类别的光谱:线状光谱、带状光谱和连续光谱。线状光谱主要产生于原子,带状光谱主要产生于分子,连续光谱则主要产生于白炽的固体或气体放电。现在观测到的原子发射的光谱线已有百万条了。每种原子都有其独特的光谱,犹如人的指纹一样是各不相同的。反过来说,发射光谱的出现可以证明一种元素的存在。元素的发射光谱分析已广泛应用于材料的成分分析,根据光谱学的理论,每种原子都有其自身的一系列分立的能态,每一能态都有一定的能量。最低能量能态称为基态,相应的能级称为基能级。当原子以某种方法从基态被提升到较高的能态上时,原子的内部能量增加了,原子就会把这种多余的能量以光的形式发射出来,于是产生了原子的发射光谱,当它作用于视觉时,这就是色彩。由于每种原子都有其独特的光谱排列和各自的光谱成分,这就是成千上万的色相。