



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 分色原理 与方法

王 强◎主编  
刘全香 李治江◎编著  
刘 真 赵秀萍◎主审

FenSe YuanLi  
Yu FangFa



印刷工业出版社

# 分色原理 与方法

王 强 ● 主编

刘全香 李治江 ● 编著

刘 真 赵秀萍 ● 主审

## 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

印刷机设计.....张海燕 编著  
分色原理与方法.....王 强 主编

## 普通高等教育印刷工程本科专业教材

印刷概论.....刘 真 主编  
印刷工艺学.....刘 昕 编著  
印刷色彩学.....周世生 主编  
印刷机械.....成刚虎 主编  
印刷材料及适性.....齐晓堃 主编  
印前处理、制版及打样.....张 龚 编著  
印刷图文复制原理与工艺.....刘全香 编著  
印刷设备与工艺.....唐万有 主编  
数字印前原理与技术.....史瑞芝 主编  
印刷过程自动化.....孙玉秋 主编  
印刷应用光学.....徐艳芳 主编  
印后加工工艺与设备.....张选生 主编  
特种印刷技术.....唐正宁 编著  
印刷专业英语.....张春秀 编著

责任编辑：范 敏  
封面设计：华审视觉

ISBN 978-7-80000-696-8



9 787800 006968 >

建议分类：轻工业/印刷

ISBN 978-7-80000-696-8

TS801.3 定价：26.00元

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 分色原理与方法

主 编 王 强  
编 著 刘全香 李治江  
主 审 刘 真 赵秀萍

印刷工业出版社

## 内容提要

本书全面、系统地介绍分色理论及技术的传统知识和现代发展,第一章到第四章主要介绍了色彩理论、分色技术、分色设备与工艺等从传统到数字的内容,第五章突出介绍了分色系统相关参数设置、分色作业流程、生产流程等工业应用内容。全书构成以理论为中心、技术为指导、工艺方法为手段的内容方式,书中还引用了大量的文献资料,对理论研究和生产实践有一定指导意义。

本书可作为高等院校印刷工程专业相关课程的教材和参考书,也可作为相关技术人员参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

分色原理与方法/王强主编;刘全香,李治江编.—北京:印刷工业出版社,2007.12  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-80000-696-8

I. 分… II. ①王…②刘…③李… III. 印刷色彩学—教材 IV. TS801.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第171876号

## 分色原理与方法

主 编:王 强 编 著:刘全香 李治江  
主 审:刘 真 赵秀萍

责任编辑:范 敏

出版发行:印刷工业出版社(北京市翠微路2号 邮编:100036)

经 销:各地新华书店

印 刷:河北省高碑店市鑫宏源印刷包装有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:300千字

印 张:12.75

印 数:1~3000

印 次:2007年12月第1版 2007年12月第1次印刷

定 价:26.00元

ISBN:978-7-80000-696-8

◆ 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 88275602

# 出版说明

20世纪80年代以来的20多年时间,在世界印刷技术日新月异的飞速发展浪潮中,中国印刷业无论在技术还是产业层面都取得了长足的进步。桌面出版系统、激光照排、CTP、数码印刷、数字化工作流程等新技术、新设备、新工艺在中国得到了普及或应用。一大批具备较高技术和管理水平的中国印刷企业开始走出国门,参与国际市场竞争,并表现优异。

印刷产业技术的发展既离不开高等教育的支持,又给高等教育提出了新要求。近20多年时间,我国印刷高等教育与印刷产业一起得到了很大发展,开设印刷专业的院校不断增多,培养的印刷专业人才无论在数量还是质量上都有了很大提高。但印刷产业的发展急需印刷专业教育培养出更多、更优秀的掌握高新印刷技术和国际市场游戏规则的高层次人才。

教材是教学工作的重要组成部分。印刷工业出版社自成立以来一直致力于专业教材的出版,与国内主要印刷专业院校建立了长期友好的合作关系。但随着产业技术的发展,原有的印刷专业教材无论在体系上,还是内容上都已经落后于产业和专业教育发展的要求。因此,为更好地服务于教育教学工作,我社邀请了北京印刷学院、西安理工大学、武汉大学、天津科技大学、湖南工业大学、南京林业大学、江南大学等主要专业院校的骨干教师组织编写了“普通高等教育印刷工程本科专业教材”。

综合来看,这套教材具有以下优点:

- 实用性强。该套教材均为高等教育印刷工程专业的必修课,突出反映了当前国际及国内印刷技术的巨大变化和发展,是国内最新的印刷专业教材,能解决当前高等教育印刷专业教材急需更新的迫切需求。

- 作者队伍实力雄厚。该套教材的作者来自全国主要印刷专业院校,均是各院校最有实力的教授、副教授以及从事教学工作多年的骨干教师,有丰富的教学、科研以及教材编写经验。

- 先进性强。该套教材涵盖了当前印刷方面的最新技术,符合目前普通高等教育的教学需求,弥补了当前教育体系中教材落后于科技发展和生产实践的局面。

- 覆盖面广。该套教材覆盖面广,包括印刷工程、印刷机械等各方面的内容,从工艺到设备,从印前到印后,均迎合当前的教学需求,为解决当前高等教育印刷工程专业教材的不足而选定。

经过有关人员、广大院校和出版社的共同努力,“普通高等教育印刷工程本科专业教材”的首批教材已经陆续出版,希望本套教材的出版能为印刷专业人才的培养做出一份贡献。

印刷工业出版社  
2007年11月

# 目 录

# CONTENTS

## 第一章 绪 论 ..... 1

### 第一节 色彩理论及其发展 ..... 1

#### 一、现代色彩理论基础 ..... 1

#### 二、色彩及其视觉形成机制 ..... 4

### 第二节 色彩复制理论及其发展 ..... 7

#### 一、色彩复制理论的发展 ..... 8

#### 二、色彩复制技术及其发展 ..... 10

#### 三、色彩复制的应用 ..... 15

### 第三节 分色技术及其发展 ..... 15

#### 一、模拟照相分色技术 ..... 15

#### 二、模数电子分色技术 ..... 17

#### 三、数字分色技术 ..... 18

#### 复习思考题一 ..... 18

## 第二章 分色原理 ..... 19

### 第一节 色彩描述 ..... 19

#### 一、色彩特征及其描述 ..... 19

#### 二、色彩的识别、校正与匹配 ..... 29

#### 三、色彩再现的网目调表达 ..... 36

### 第二节 模拟分色原理 ..... 38

#### 一、模拟分色的原理 ..... 39

#### 二、模拟分色的数学模型 ..... 44

#### 三、模拟分色的流程 ..... 48

### 第三节 数字分色原理 ..... 51

#### 一、数字分色的原理 ..... 51

#### 二、数字分色的数学模型 ..... 53

#### 三、数字分色的流程 ..... 55

#### 复习思考题二 ..... 58

## 第三章 分色技术与方法 ..... 59

### 第一节 印刷色彩复制的分色技术 ..... 59

#### 一、印刷色彩复制的方法 ..... 59

#### 二、印刷色彩复制分色技术及其特点 ..... 59

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第二节 互补分色技术与方法 ..... | 60  |
| 一、互补分色技术及其特点 .....  | 61  |
| 二、滤色片及其作用 .....     | 62  |
| 三、互补色分色及其色差校正 ..... | 64  |
| 第三节 数字分色技术与方法 ..... | 71  |
| 一、数字分色技术及其特点 .....  | 72  |
| 二、色彩变换和色域匹配 .....   | 89  |
| 三、数字分色的实现 .....     | 102 |
| 复习思考题三 .....        | 109 |

#### 第四章 分色设备与工艺 .....

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一节 照相分色设备与工艺 .....  | 110 |
| 一、制版照相机 .....        | 110 |
| 二、照相分色工艺 .....       | 114 |
| 三、照相分色工艺的控制方法 .....  | 116 |
| 第二节 电子分色设备与工艺 .....  | 117 |
| 一、电子分色机及其发展 .....    | 117 |
| 二、电子分色机的分色处理流程 ..... | 119 |
| 三、电子分色工艺 .....       | 126 |
| 四、电子分色工艺的控制方法 .....  | 131 |
| 第三节 数字分色设备与工艺 .....  | 132 |
| 一、数字分色设备 .....       | 132 |
| 二、数字分色工艺 .....       | 141 |
| 三、数字分色工艺的控制方法 .....  | 143 |
| 复习思考题四 .....         | 145 |

#### 第五章 分色作业的应用 .....

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一节 分色系统及其应用 .....      | 146 |
| 一、分色系统的集成方法 .....       | 146 |
| 二、硬件分色参数及其设置 .....      | 151 |
| 三、软件分色参数及其设置 .....      | 154 |
| 四、分色参数的内嵌 .....         | 160 |
| 第二节 分色系统的基准设置 .....     | 164 |
| 一、印刷媒体生产系统的分色基准设置 ..... | 164 |
| 二、彩色显示系统的分色基准设置 .....   | 169 |
| 三、跨媒体生产系统的分色基准设置 .....  | 171 |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| 第三节 分色作业应用.....     | 173        |
| 一、分色作业原稿的分析.....    | 173        |
| 二、典型样本的分色作业.....    | 178        |
| 三、分色作业质量的评价.....    | 184        |
| 四、分色作业与生产流程的整合..... | 186        |
| 复习思考题五.....         | 192        |
| <b>参考文献 .....</b>   | <b>193</b> |

# 第一章

## 绪 论

人类发展历史表明：信息是人类赖以生存和发展的基础，信息是人类与客观世界相互作用方法的表达，主要是通过光作用于人的视觉系统来获得各种各样的应用。人类对外部客观世界信息获取的80%是通过人的视觉系统来实现的，而在人们观察客观物体时，视觉神经对色彩反映最快，其次才是形状、表面质感和细节。因此，色彩对客观世界物体的表达至关重要，色彩及其复制与再现又是现代科学技术与工程领域的重要研究内容。

### 第一节 色彩理论及其发展

近10年来，现代信息的综合应用飞速发展，使人们能够及时和连续不断地获得所关注客观世界内容的大量几何与物理信息，形成各种彩色空间影像数据及其信息流，从而促成了在一个多学科、多技术相互渗透的并行、重构与协同的环境中，采用多种方法机制相互融合以产生高保真色彩控制与应用的突破与聚变。

#### 一、现代色彩理论基础

在信息传播与应用中，色彩理论及其方法是以“原色及其控制机制”为主要内容，并以计算机技术和通信技术为主要技术支撑，用于客观物体色彩信息的采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用的数据综合与集成。色彩理论基础是通过对于客观物体色彩信息表达与传播过程的物理机制研究，揭示色彩空间的分布规律及其属性之间的相关关系。其主要内容是色彩信息的属性及其基准、色彩信息的识别与分色、色彩空间的变换机制、色彩认知的不确定性、色彩应用过程的解译与反演、色彩表达及其可视化的理论问题。

由于色彩及其复制与再现体系贯穿信息传播从信息的采集、处理、管理、分析、表达，到传播和应用的一系列技术方法，其目标是满足人们从采集到应用的技术保证、自动化、时效性、详细程度和可靠性的需求。而这些需求的核心可概括为：

- (1) 信息色彩属性的定量描述（色彩空间解析）及其精度控制；
- (2) 实时、多传感器和高分辨率空间物体及其影像色彩信息的获取、合成、动态分析和定量分析；
- (3) 基于泛网络化、数字化的色彩应用、集成与分析；
- (4) 高速度、大容量和高可靠性色彩数据的传播与应用。

综上所述，若不考虑客观物体信息及其应用的专业特性，不难发现客观物体信息最基本

的构成要素是图、文、音、像，最根本的要求是在高精度、高可靠性前提下，对图文音像进行实时和分色的解析。而其中分色解析由于受制于环境和人的视觉与心理而最为复杂。因此，从信息传播与应用角度，如何实现高精度、高可靠性色彩信息的表达与识别，即色彩信息的分色机制，是一个具有广泛研究和应用价值的课题。

### 1. 现代色彩理论研究的关键问题

信息的彩色化发展使得各个学科都在试图利用客观物体本身的光谱（色彩）特性来更精确、更快速地进行目标的识别和分类，获得对客观物体更全面的理解、控制与应用。

客观物体的光波作用于视觉系统后，形成两类感觉与认识，其一是色彩感觉，其二是形状感觉。我国国家标准 GB 5098—85 中色彩的定义是“光作用于人眼引起除形状之外的视觉特性。”因此，色彩及色彩感觉是光波对人视觉系统作用而产生的复杂心理和生理反映的综合结果。它涉及数学、物理、生物、心理、神经学及人的艺术观等，其信息处理过程十分复杂。

在迄今为止的人类历史发展中，色彩科学奥秘还没有完全被揭开。尽管基于多个学科的色度学部分解答了色彩本质、色彩基本属性、色彩的视觉规律、色彩视觉生理机制、色彩定量的描述和测量等问题，并以人眼视觉特性标准色样的定性研究和根据色光混合心理实验的定量研究等两个方面为基础，建立了色彩视觉理论。而且在现代光电探测技术、电子技术、计算机技术引入了色彩测量后，才真正开辟了色彩理论研究和生产应用的新阶段。今天的每一件工业产品都涉及色彩，色彩已经成为衡量产品质量和应用的重要指标，如印染、印刷、影视产品，色彩质量是其生存所在。

在信息传播中，各种信息采集，识别、分类应用以及再现与复制对色彩的依赖性正在逐渐增强，并正在从单色向数字彩色演变。因此，色彩及其色彩复制与再现的色彩控制，即实现“所见即所得”，对其产品的应用、精度的提高以及品质的提升都至关重要。而现代色彩的“所见即所得”是特指在数字模式下，同一彩色数字文件在各种不同计算机显示设备和不同硬拷贝输出设备上获得相同的视觉色彩效果。“所见即所得”是色彩再现设备、介质、人眼视觉及其观察环境综合作用的结果，涉及物理和心理两大学科领域，控制方法复杂，实现难度很大。

目前，色彩研究可以概括为色彩视觉机制研究和色彩应用控制机制研究两个主要领域。其中色彩视觉机制研究是以视觉系统为中心，研究色彩视觉机制及其处理模型，是近几个世纪颜色光学、色度学、生理学、生物医学等科学的传统活跃研究领域。已经获得了 1809 年 T. Young 的三原色学说，1876 年的 E. Hering 的对比色学说，1962 年 P. L. Walraven 的复眼侧抑制网络和 1953 年 S. W. Kniffler 感受视野模型等代表性成果，成功解释了色彩现象和视觉处理过程的描述。但没能完全揭示色彩信息处理过程的转换特性和函数关系的规律，1976 年 J. Cohen 和 T. P. Frialen 在色彩视觉过程分析的成果《欧几里德色空间及其不变式》中写道：“色彩是光波光谱功率分布（ $\alpha$ -刺激）同光波引起的三种感受锥体细胞的兴奋刺激的转换而产生色彩感觉的过程。最终心理物理学家将选择探讨颜色  $\beta$ -刺激的色彩感觉特性转换，但它却非常遥远。人们在色彩视觉机制中，对其转换机制与规律难以用经典数学方法来定量描述的原因在于人体视觉三色锥体感受细胞的兴奋刺激到感觉的转换过程中，人脑感知过程的高度非线性和模糊性以及色彩视觉对色彩三属性的感觉描述的模糊性。”

在色彩应用与控制机制研究方面,则是以面向色彩复制与再现的色彩表达和转换为研究中心,研究在视觉或机器判读环境下,色彩信息在分解、转换、传播、再现与表达过程中的控制与匹配以及目标色彩与再现色彩之间的一致性,建立色彩在不同呈色环境下的再现机制和处理模型。色彩应用与控制机制研究是近百年来印刷、印染、摄影、材料领域的永恒研究热点。近50年又成为电子、信息处理和计算机等新领域的研究热点。目前获得的主要成果有1936年伊斯曼·柯达公司研制成功的外偶型彩色胶片;1940年印刷业推出的照相制版彩色印刷工艺;1951年柯达和时代公司合作成功的电子分色机;1952年彩色电视机的诞生;1977年计算机彩色显示器的出现;2000年的数字化彩色(成像)印刷技术。尽管随着计算机技术、数字技术和新材料的普及,人们已经在电视、印刷、彩色数字成像等各个工业领域,实现了彩色化的信息复制与生产,但仍然没有完全解决信息彩色化中的色彩一致性的问题,实现真正意义上的“所见即所得”。色彩依旧是困扰信息彩色化应用的障碍。其根本原因是色彩信息是模糊信息,没有精确的色彩信息边界,而且制约影响色彩再现的因素众多,至今还很难用一个简单的数学模型来准确的描述。随着当前数字技术和控制理论的完善,众多学科领域与色彩相关的学者都在致力寻找解决这个问题的方案。

## 2. 现代色彩理论研究的目标

随着近年来新传感器件及计算机技术的发展和广泛应用,利用新型传感器获得客观物体的多光谱(彩色)信息,并利用计算机来处理、存储、变换和输出,已经成为色彩信息处理与应用的主流技术。但由于人们对色彩感觉的形成源于光源、客观物体、视觉系统和大脑四大要素的综合,从而构成了对研究色彩这一涉及物理学、生理学、心理学等多学科的复杂性,加之与色彩再现与复制相关的彩色印刷、彩色摄影、彩色电子及多媒体计算机技术应用范围的不断拓展,使得如何生成、处理和控制在信息彩色化中的重点研究领域,各个学科都在从不同的理论与应用角度进行研究,以实现信息色彩的“所见即所得”。

许多学者根据现代信息传播发展的技术特征,特别是信息彩色化应用与发展中对信息实时、定量、彩色化解析的要求和应用中的“瓶颈”问题,提出了从机制与方法论着手,以色彩信息应用中信息内容表达的彩色化为研究要点,通过对信息基本要素(图像、图形和文字)彩色化中的色彩获取、控制、分析、识别和应用表达的机制研究,最终建立与实现彩色图文的色彩表达和一致性的模型与方法。由此可见,信息内容表达的彩色化由于长期受制于技术推动,尚未建立适合信息传播的色彩再现与复制的理论体系和控制系统,尤其是在计算机的数字环境下,如何建立对信息传播彩色化整体解决方案及其认识则更少。因此,寻求信息传播彩色化的概念、模型、机制和方法,即将信息彩色化模型的研究纳入色彩再现与复制理论与技术模型的框架,从信息色彩的光谱特性分析信息传播色彩的内部结构、机制和要求,形成一个以信息彩色化的定量描述为基础,基于等效中性灰条件的软硬拷贝输出的空间信息色彩管理的技术框架及其控制机制是现代色彩理论研究的基本问题与目标。其可以概括为:

- (1) 信息传播中色彩特征的构成、信息结构及其应用需求的理论与技术;
- (2) 色彩视觉机制与表达的理论与技术,以及其色彩再现与复制的控制应用;
- (3) 色彩识别、校正、控制与管理的方法,即分色机制、色彩管理方案与技术对策;
- (4) 信息传播中色彩特征、特征光谱及其色彩转换模型与色彩匹配模型;
- (5) 研究不同色彩空间之间数据的转换模型、数据匹配方法及其多级控制体系;

(6) 色彩预测、选择与转换及其评估方法与可靠性;

(7) “所见即所得”的色彩管理机制和工业应用的技术工艺与评价。

## 二、色彩及其视觉形成机制

在当今信息传播中,人类对色彩信息的认知表达面临着如何通过更高精度、更多波段的丰富灰度(色彩)来表达空间物体信息内在规律和机制的问题,有关研究表明信息再现和表达的准确性、识别的精确性以及应用的易用性都与色彩属性密切相关。色彩的表达和识别比形状、表面质感和细节的表达更快、识别更准。因此,色彩对空间物体信息的表达和识别至关重要。

### 1. 色彩及其视觉特性

众所周知,色彩是光作用于人眼视觉而产生,除目标外观(形状、大小、位置、质地)外的视觉特性,包括区分相同结构、大小、形状的两个视场角之间差异的视觉现象或辐射特性、形成上述感受的光刺激特性以及能产生光刺激的物体特性三个重要内容。色彩理论是20世纪初叶以物理光学、视觉生理学、生理学、心理学和工业测量技术为基础发展起来的边缘性、交叉性理论,色彩理论的发展,极大促进了色彩科学与技术的应用。

#### (1) 色彩的含义

色彩作为一种光对视觉系统的物理—心理反应,反映了光与视觉相互作用的规律。目前,客观世界色彩的呈色模式有光源色、反射色和透射色等。在实际应用中,可以分为:孔色、表面色、透膜色、透体色、镜面色、光泽、光源色等类型。其中:

①孔色(Aperture Color)是指眼睛焦点在小孔处,通过小孔看到的屏后边的色彩。观察孔色时,只能够看到色彩,而没有孔后物体的大小、形状、位置和质地的知觉,是最单纯的色彩,也叫心理物理色或感觉色。

②表面色(Surface Color)是指观察不透明物体表面的色彩,是最常见的色彩。表面色受照明光照条件和物体表面反射特性的共同影响。

③透膜色(Transparent Film Color)是指透过一层彩色薄膜看到的色彩。透膜色受照明光照条件和膜片透射特性的共同影响。

④透体色(Transparent Volume Color)是指透过一块稍有吸收和散射的透明物体(如冰、薄雾)看到的色彩。

⑤镜面色(Mirrored Color)是指在平面反射镜中看到的物体色彩。

⑥光泽(Luster)是指物体表面极小部分强烈反射光而使其细微结构看不清的状态。

⑦光源色(Light Source Color)是指自发光体的色彩。

在客观物体色彩复制与再现领域,色彩信息的表达和可视化大都采用基于显示器的屏幕显示和纸媒体的图纸方式。因此,色彩发展与再现的研究主要集中在最常用的光源色和表面色两种典型知觉色及其相关关系。

#### (2) 色彩的视觉特性

色彩是由彩色如红、橙、黄、绿、青、蓝、紫与中性色(非彩色)如黑、白、灰共同组成。其中彩色具有色相、饱和度和明度(亮度)三个基本属性,而中性色只有明度(亮度)属性。在一定照明和观察条件下,能够基于加色法和减色法原理来组合与匹配色彩,

而且色彩相同的光,不论其光谱分布是否相同,在加色法混合中都能产生相同的色彩效果。

色彩视觉作为一种复杂的物理、生理与心理现象,是不同波长的光作用于视网膜后在头脑引起的主观感觉。有关资料证明,人眼不仅能够识别对应于可见光光谱区一定波长的红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种主要色彩,而且还可以识别色彩 $3\sim 5\text{nm}$ 波长增减的变化,最多可以分辨150余种不同的色相。显然,视网膜上存在上百种对不同波长光波起反应的视锥细胞或感光色素是不可能的。因此,人们一直在探索色彩视觉的特性。牛顿早期从物理学角度分析了色彩视觉,获得了某种色彩不仅可以由某种固定波长引起,而且可以由两种或更多种其他波长的混合作用引起。如著名的牛顿色环盘的旋转,使光谱上七色光形成人眼视觉的白色感觉。采用红、绿、蓝三色光(非色料)通过合适的混合,就能够产生光谱上任何色彩的感觉。这种色光混合现象,表达了色彩视觉产生原理的基本规律,并已经广泛应用于彩色印刷、彩色摄影、彩色电视机、显示器等工业领域。

## 2. 色彩视觉的机制

目前,色彩视觉机制理论的研究成果主要有 T. Young-Helmholtz (1809 年) 的三原色理论, E. Hering (1876 年) 的四色理论和 P. L. Walraven (1962 年) 的阶段理论。其中在彩色复制工业领域中,以三色理论的广泛应用为代表;在色彩心理学领域中,以四色理论为代表;而阶段理论在被日益增多的试验证实的前提下,融合了三色理论和四色理论的各自优势,已经成为人们关注的理论热点。

### (1) T. Young - Helmholtz 的三原色理论

1809 年 T. Young 根据牛顿的粒子打击振动论、配色实验及色散试验,首次提出了三原色理论。他认为人眼的视网膜上只有红(R)、绿(G)、蓝(B)三种基本锥体细胞(光接收器),每种锥体细胞对各种不同频率的光都有相应的响应。但只对某确定波长的光最敏感。当三种锥体细胞在同时同等程度地被刺激时,则产生白色感觉。通过实验证明,采用红、绿、蓝三种光谱色的色光混合,能够产生客观世界中各种色彩感受。T. Young 的三种接收器理论虽然能很好地解释了色光混合同样规律,但却无法解释后象效应和色彩对比效应。

19 世纪中叶, Helmholtz 在肯定 T. Young 三色原理的基础上,认为人眼视网膜上具有三种视神经细胞,每种神经细胞的兴奋都产生一种原色,并补充了两个假设,其一是在除去色刺激后的一定时间内,视网膜锥体细胞仍维持其激励状态,并将一定信息传入大脑;其二是在同一刺激持续一定时间后,被激励的神经细胞会疲劳,因而对同种刺激会降低其感受灵敏度,从而形成了 T. Young - Helmholtz 三原色理论(三分量理论)。这种改进的三原色理论可归纳为:物理刺激在神经末梢分解为三种基本形式,即三种独立的生理成分,这三种“成分”由中枢神经综合而产生色觉。

T. Young - Helmholtz 理论很好地解释了正后象效应、负后象效应、对比效应和单色色盲。其最大优点是对色光配色规律的诠释及其在彩色复制工业中的应用,并在视网膜感受器一级上,获得了心理物理学和生理学的实验验证,其中有代表的实验有:眼底反射分光密度实验、显微分光度实验和锥体细胞感受器电位光谱感度实验等。

但三原色理论存在三感受曲线不唯一性,不能解释色盲成对出现和全色盲等问题。如红色盲与绿色盲成对出现,全色盲无色彩感觉,但有明暗感觉。

(2) E. Hering 的四色理论

1876 年 E. Hering 从研究心理色彩视觉出发, 提出了色觉的对立色彩理论。他认为视网膜上有三种光化学物质, 即视素, 每种视素都能发生同化和异化两种生物化学变化, 在同化过程中, 视素产生合成, 异化过程中则产生分解。同化异化的发生完全是由于不同光谱组成的色光刺激的结果。而同化异化的结果使人产生相应的对立色彩感觉。即 R - G、Y - B、K - W 六种不同色觉, 其对应关系的归纳如表 1 - 1 所示。

表 1 - 1 E. Hering 色觉理论中的光化学物质

| 光化学物质         | 视网膜上的反应                | 产生的色觉          |
|---------------|------------------------|----------------|
| W (白) - K (黑) | { 异化 (分解)<br>{ 同化 (合成) | W (白)<br>K (黑) |
| R (红) - G (绿) | { 异化 (分解)<br>{ 同化 (合成) | R (红)<br>G (绿) |
| Y (黄) - B (蓝) | { 异化 (分解)<br>{ 同化 (合成) | Y (黄)<br>B (蓝) |

在这个理论中, 由于 W - K、R - G 与 Y - B 是互补色, 即对立, 因此也称为对立色彩 (颞颞) 理论。它与三原色理论的不同之处是除红、绿、蓝外, 增加了黄色、黑色、白色, 由于 E. Hering 理论不计算黑色与白色, 因而简称为四色理论。

四色理论是针对三原色理论的不足而提出, 解决了三原色理论无法解释色盲成对出现、色彩对比现象等问题, 其对成对色盲出现的解释是视网膜上缺少某种对立的光化学物质, 如红 - 绿色盲是视网膜缺少红 - 绿光化学物质, 而全色盲是缺少红 - 绿、黄 - 蓝两种光化学物质, 而只有黑 - 白光化学物质。对于色彩对比则是由于对立光化学物质的异化与同化, 使得互补色之间形成强烈的对比现象, 如将绿色放在红色背景下, 会使得绿色更绿, 红色更红。

但四色理论存在的问题是无法解释红、绿、蓝三原色能够混合匹配所有色彩的规律。在解剖学实验上, 始终未能证实其在视网膜感受水平一级存在三种对立光化学物质。

(3) 色觉阶段理论

在过去 100 多年中, 三原色理论和四色理论在对立与争执之中平行而立。尽管各自成功

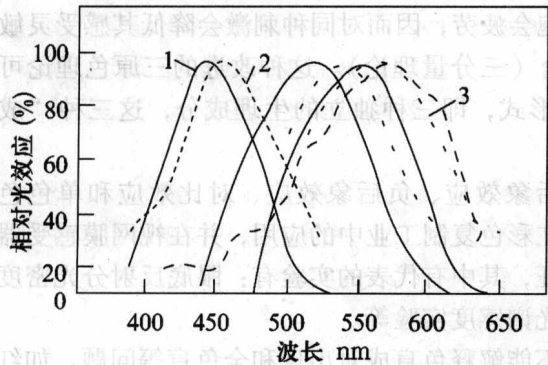


图 1 - 1 视网膜不同锥体细胞的光谱吸收曲线

1 - 沃尔德等曲线; 2 - 麦克尼科尔等曲线; 3 - 腊斯顿等曲线

解释了许多色彩现象, 但都面临各自无法解决的问题。近几十年来, 随着科学技术和新实验材料与方法的发展, 人们发现人眼视网膜中不仅含有一种对光特别敏感, 并只能分辨明暗, 不能分辨色彩的视杆细胞, 而且含有三种能够分辨色彩的视锥细胞, 其中有三种不同生物化学物质, 如图 1 - 1 所示。分别对红、绿、蓝三原色光有最好的感受性, 而且锥体细胞传出的信息是经过了某种颞颞方式的处理, 从而统一形成了现代色彩视觉的阶段理论。

色觉阶段理论认为: 色彩视觉过程分为

三个阶段,首先视网膜上的三原色感受是基于三原色理论的工作方式,其次在从视网膜到大脑色彩区的视觉通道上,视觉神经细胞却是按颞颥方式传递与处理,最终在中枢高级视觉中心处理,其过程可归纳为如图 1-2 所示。

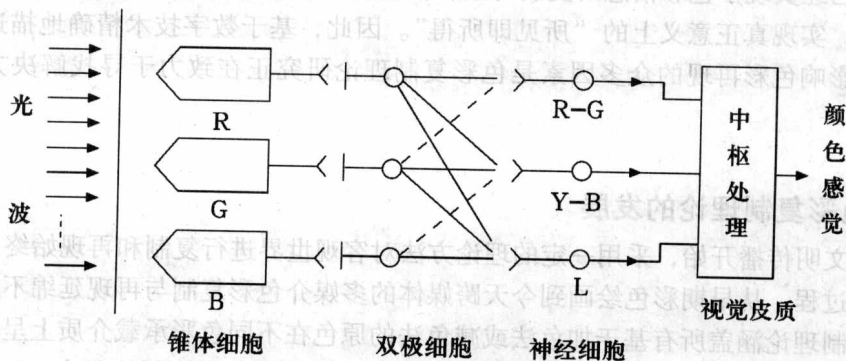


图 1-2 色觉阶段理论的图示

色觉阶段理论不仅秉承了三色理论和四色理论的优点,而且克服了它们各自存在的不足。通过对正常色觉者可见光谱的色彩感受研究,解析了由两种基本色相的彩色与白色适量相加组成光谱色彩的构成。在近 10 多年神经电生理学,分子生物学和分子遗传学研究成果的支持下,确定了色觉阶段理论是现代色彩视觉机制理论的基础。

#### (4) 现代视觉机制理论的新发展

现代视觉机制理论在神经电生理学、分子生物学和分子遗传生物学的发展中不断拓展和完善。在神经电生理学方面,根据视网膜细胞间信息传递时所表现出的电位变化,学者 Dowling 的总结最具代表性,他指出:

① 凡在光照部初始阶段就产生反应的细胞,其电反应是超极化的,如水平细胞和视网膜细胞。双极细胞从视网膜细胞和水平细胞接受冲动而产生超极化极化反应。凡在光照后期才产生反应的细胞,其电反应是去极化的,如双极细胞和无足细胞。

② 只有无足细胞与神经能够产生动作电位或神经冲动。从而解释了色觉过程中,光感受细胞层、中间细胞层和神经节细胞的传递规律。而在分子生物学和遗传生物学方面,基于近年来分子生物学和分子遗传学的实验方法,已经详细分析了三种锥体色素(视红质、视绿质、视蓝质)和视紫红质的分子结构。获得了视蛋白基因对决定不同感光的光谱吸收特性的视黄醛附近氨基酸分子特性的影响,正在着力弄清视蛋白微小结构差异对光波波长敏感的渗发因子及过程细节。

## 第二节 色彩复制理论及其发展

众所周知,色彩复制理论是色彩研究中色彩应用控制机制理论成果的工程表达,是以色彩的表达和转换为核心,在视觉或机器判读环境下实现色彩信息在分解、转换、传播、再现

与表达过程中的控制与匹配以及目标色彩与再现色彩之间的一致性,建立色彩在不同呈色环境下的色彩再现机制、处理模型及其工程方法。目前,在印刷、电视、彩色数字成像等工业领域,尽管已经实现了色彩信息的复制与生产,但仍然没有完全解决信息彩色化中的色彩一致性的问题,实现真正意义上的“所见即所得”。因此,基于数字技术精确地描述色彩信息边界,控制影响色彩再现的众多因素是色彩复制理论研究正在致力于寻找解决方案的关键问题。

## 一、色彩复制理论的发展

自人类文明传播开始,采用一定的理论方法对客观世界进行复制和再现始终贯穿人类文明发展的全过程,从早期彩色绘画到今天跨媒体的多媒介色彩复制与再现延绵不断。广义地讲,色彩复制理论涵盖所有基于加色法或减色法的原色在不同色彩承载介质上呈现真实色彩的理论。狭义地讲,色彩复制理论主要是指在纸介质上进行色彩复制的理论。

### 1. 从色彩视觉感知到人工色彩模拟的色彩复制理论雏形时期

众多文献与考古研究成果表明,人类的色彩应用源远流长,从早期有目的地制造彩色石器或图腾,到色彩应用于纺织印染、陶瓷等服装工艺品生产以及建筑、绘画等漫长的社会发展,使色彩从视觉感知逐步向人工模拟逐渐发展。

1850年,德国探险家因里希·巴思在撒哈拉的塔西亚高原惊奇地发现在当地沙岩表面上满是表现古代人们朴素家庭生活、狩猎队伍、吹号角赶着牛羊的色彩雅致和谐、栩栩如生的画面,充分证明了色彩复制理论从色彩视觉感知到人工色彩模拟的漫长发展。其后,15世纪早期风靡欧洲,基于经验和直觉画家从美学欣赏角度研究色彩与色彩搭配效果的理论,以及所发表的大量色彩系统、色彩视觉理论的文章,是色彩复制理论的基础和发展雏形时期。

### 2. 从手工模拟到光化学成像的色彩复制理论初创时期

在人工色彩模拟真实客观世界的过程中,开始追寻和认识色彩的物理根源,认知和理解了光是色之源泉,色是光之表现的规律。牛顿首先发现了光的有关性质,提出了光的反射和折射定律。1666年牛顿采用如图1-3所示的三棱镜日光分析实验,发现白光是由不同色光构成,得出了“白光本身是由折射程度不同的各种彩色光所组成的非均匀的混合体”这个推翻了前人学说的惊人结论,成为光谱分析的基础,也使色彩复制理论从手工模拟过渡到光化学成像的理论初创时期。此后,意大利艺术家、科学家——达·芬奇(Leonardo da Vinci)也提出了基于颜料混合的经验理论,映证了光与色彩密不可分的相互关系。

### 3. 从光化学成像到模拟电子电路的色彩复制理论建立时期

牛顿分光实验所发现的光谱、单色光和复色光,科学阐述了自然光的属性。随之带动了光谱研究的长足发展,1752年苏格梅尔维尔(Thomas Melvill)发现元素光谱中的明线。1814年法国夫琅和费(Joseph Fraunhofer)发现了太阳光谱中的暗线。1854年美国物理学家阿尔特(David Alter)发现每一种元素都有其特征光谱。在发现光谱明线与暗线基础上的科学研究表明,明线是元素的发射光谱,暗线是元素的吸收光谱。1855年通过原子放电实验拍摄到了氢原子光谱,包含有14条不连续的光谱线,分布在可见光和紫外光区域里。正确的物质发光机制必须对光谱的不连续性给出合理的解释。图1-4所示是经上述研究所得到的自然界所存在的各种光谱。

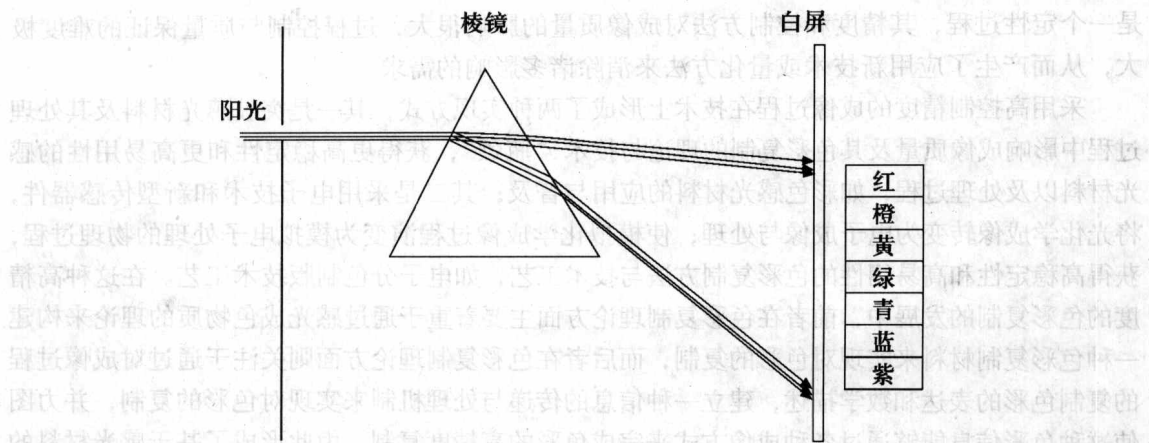


图 1-3 色散实验示意图

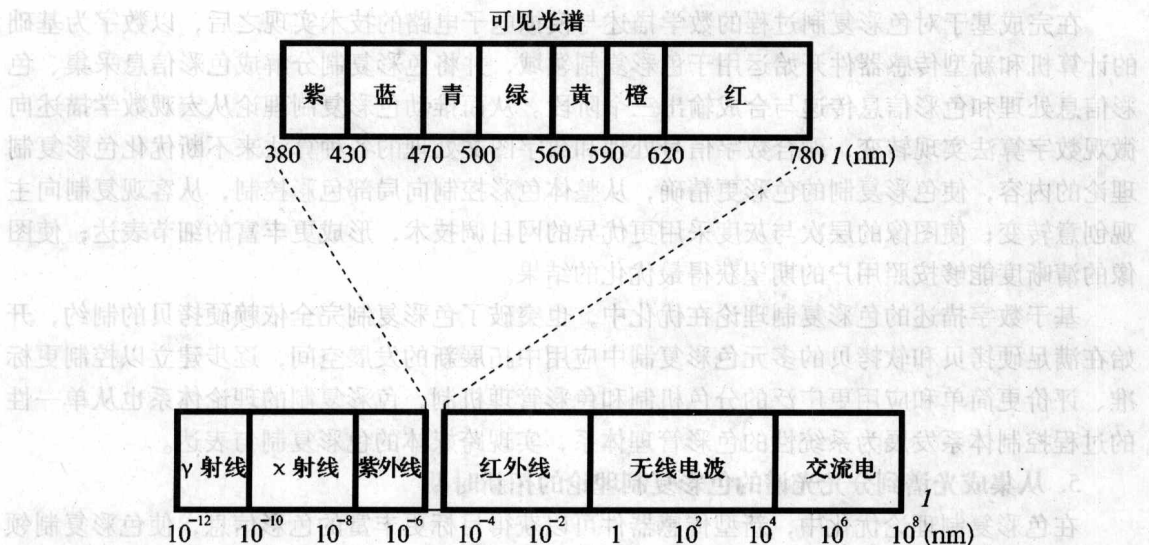


图 1-4 电磁波谱线特征

20 世纪初的光谱研究，第一次正确解释了光对色彩的决定作用，并且真正揭示了物体发光的特征与原理，使得物理学家、化学家、生理学家和心理学家开始从不同的角度研究色彩及其复制表达的机制。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，心理学家则考虑色彩对人精神思维的影响。为了从技术和材料上实现对色彩的复制，感光科学及其材料迅速发展，20 世纪 40 年代开始在银盐感光材料基础上发展起来的彩色感光材料出现，并不断突破各种技术“瓶颈”而被广泛应用，建立起一套完备的以光化学成像为核心的彩色成像技术体系和彩色复制技术体系。同时推动印刷工业采用以感光材料为前提的分色技术体系及其色彩复制理论，使四色印刷复制成为信息传播的最重要技术，形成了较为完善的印刷色彩理论构架及其技术工艺。但是光化学成像必须经过复杂的湿式处理过程，感光成像的影像形成中复杂的化学处理过程