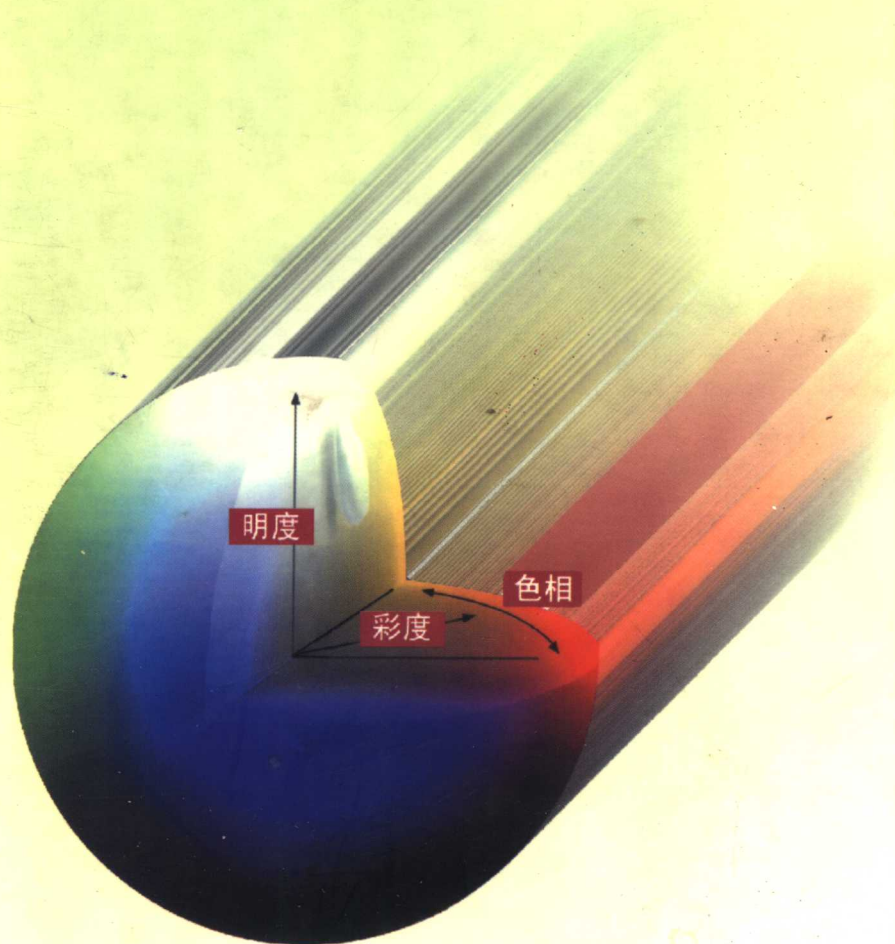


现代口腔色彩学

Modern dental color science

姚江武 编著



厦门大学出版社

現代口腔色彩科學

Contemporary dental color science

謝建民 主編



北京大學出版社

现代口腔色彩学

MODERN DENTAL COLOR SCIENCE

姚江武 高承志 编著

厦门大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代口腔色彩学/姚江武编著. —厦门:厦门大学出版社, 2000. 5

ISBN 7-5615-1617-7

I. 现… I. 姚… III. 口腔科学: 色彩学 N. R78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 19635 号

内 容 提 要

本书是国内第一部口腔色彩学专著。它以通俗的语言和大量的图例, 由浅入深地阐述了现代口腔色彩学的基本理论和临床应用。内容包括颜色的基本知识、天然牙和牙龈的颜色特点、常用铸造金属的腐蚀变色、比色板和比色方法、颜色训练和转达、堆瓷方法与实例、颜色修饰方法、光固化树脂的颜色特点、变色牙和着色牙的漂白术等。

本书图文并茂, 讲解清晰, 既有助于口腔临床医师提高比色准确性, 提高口腔技师堆瓷和颜色修饰的技巧, 也可作为大、中专院校相关专业和培训班的教材。

厦门大学出版社出版发行

(地址: 厦门大学 邮编: 361005)

<http://www.xmupress.com>

xmup@public.xm.fj.cn

厦门市新嘉莹彩色印刷有限公司印刷

(地址: 厦门市莲前北路 77 号 邮编: 361009)

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.5 插页: 8

字数: 600 千字 印数: 1—3 000 册

平: 45.00 元

定价: 精: 55.00 元

如有印装质量问题请与承印厂调换

片山序

首先，我感到非常荣幸地能为作者所呈《现代口腔色彩学》一书写序文。

作为一名日本学者，我曾经应邀出席过中国医学美学学会、美容医学学会、口腔保存学会、口腔色彩学会等所举办的许多学术研讨会。作为日本齿科色彩学会会长，我为本书作者在口腔色彩学学术方面所取得的成就感到由衷的高兴。作者每取得一点一滴的成绩都十分的艰辛，这一点我非常了解。

在日本的学科教育中，口腔色彩学在很长一段时间内是空白。近两年，在日本齿科医师资格考试项目中，追加了口腔色彩学这一学科的内容。但是，日本的所有齿科大学的教学大纲中，还没有正式的口腔色彩学讲义，所以没有正式讲授该方面的内容。这主要是由于口腔色彩学教师和口腔色彩学课本匮乏的原因所致。

8年前，日本色彩学会成立时，曾经出版了两册口腔色彩的教科书，但书中内容对于学生教育来说难度较大，而学生的基础知识较少，从而以失败告终。

在这个时候，中国出版了第一部如此好的口腔色彩学教科书，具有非常大的意义。本书的作者曾到过日本学习，对日本口腔色彩教育 and 研究有深入地了解，但作者并没有为日本口腔色彩教科书内容体系所限制，而是将其拓宽，这不能不说是一种有益的尝试。

期待着中国能有更多的学者研究口腔色彩。中国色彩学会应与日本色彩学会共同研究，携手进步，这是非常有必要的。希望今后能够加强更密切的交流。

祝愿日中友谊源远流长！

日本口腔色彩研究会会长

日本明海大学齿科保存講座
教授、博士生导师

片山伊九右衛門

2000年元月
于日本明海大学牙学院

樊 序

随着现代科学技术的发展与进步，口腔医学的探索与研究也在不断创新和深化，过去并不特别引人注目的色彩学研究已应运而生，由古代的朴素美学要求逐渐形成了一门学科，这就是“现代色彩学”产生的背景。

中国古代提倡女性“笑不露齿”，但现代社会的任何行业均要求职工“微笑服务”，事实上不露齿是不可能的。

形形色色的原因可以导致失牙：50—60年代滥用四环素引起了无数少男少女们牙齿着色；人们在陶醉于茶叶、咖啡等天然饮料时不可避免地造成的外源性牙着色；先天性过大牙、过小牙、牙间隙需要诊治。这一切疾患或体征的修复和矫治过程无不接触到色彩学问题。不仅如此，人类的肤色繁多，每种肤色与牙齿色泽的天然搭配和选择，亦需要色彩学知识的指导。

在人们的生老病死问题未解决之前，牙疾摆不上应有的地位。一旦人类的生存、温饱问题解决之后，牙疾的治疗便提上了议事日程。当社会进一步繁荣、发达时，对美容的要求则与日俱增。《现代口腔色彩学》的问世可以解决牙医们深层次的要求。

浏览该书，从兴色理论到色彩的生理和心理特征，从天然色彩的客观检测到比色方法的训练，从烤瓷工艺到漂白技术均不无涉及，确是我国第一部系统介绍口腔色彩科学的专著。

作者本人在临床工作多年，在处理日常医疗工作的同时，潜心于色彩研究，并悟出一些心得体会。在参阅大量国内外文献的基础上，用心血凝聚成此书。该书内容丰富，文字深入浅出，对临床工作具有指导意义，劝君不妨一读。

现代牙科医师掌握了色彩学之后，必将使临床工作上升到一个新的层次。

中华口腔医学会副会长

湖北医科大学口腔医学院院长
教授、博士生导师

樊明文

2000年3月1日
于湖北医科大学口腔医学院

邱 序

姚江武医师的专著《现代口腔色彩学》即将问世，应当说，在我国有关口腔色彩的书籍中本书当属第一部。姚医师嘱我为之作序，感到既荣幸又惶恐。惶恐的是，作为长期从事口腔颌面外科专业的我，在这方面的基础知识几近为零。浏览全书之后感到学到了不少知识，特别是在与色彩有关的基础理论方面，恰似上了一堂继续教育课。为此，对本书的出版首先要表示对作者由衷地祝贺，其次也要致深深地谢意！

色彩在人的一生中占有十分重要的位置，婴儿呱呱坠地时，视觉的第一感知就是光和色，所谓来到了“五彩缤纷”的世界。

生活离不开色彩：衣着服装年年有流行色；居室有各种色彩的选择；食品的质量以色、香、味为准，色竟被放在首位；就连走路离不开的鞋，也会随各人的爱好有红、黄、蓝、白、黑各色。

大自然离不开色彩：蓝天白云、青山翠谷、银海碧波不一而足。

口腔医学更离不开色彩：“查颜观色”——口腔颌面部的色彩变化常常可以为诊断疾病提供强有力的佐证。面色和结膜苍白提示可能有贫血；口唇发紫、发钳可能患有先天性心脏病；口腔粘膜的白色病损可以是真菌感染，也可以是白斑或扁平苔藓；黑色病损可以是黑斑或黑色素瘤，也可能是艾迪生病的局部表征；红色病损可能是血管畸形或血管瘤；黄白色病损则可能是淋巴管畸形或淋巴管瘤。至于牙体疾病所反应的色彩变化，几为口腔医师所熟知，诸如：牙髓坏死、氟斑牙、四环素牙等等。

色彩同样是美学和医学美学的基础和重要内容。

色彩还包含着某些哲理：前途光明被誉为“金光大道”；获得成果时又常被誉为“金色的季节”。

总之，色彩对人生十分重要，色彩学对医务工作者更为重要。作为一名口腔医务工作者应当具备一些“口腔色彩学”的知识。在此，我愿诚恳地向口腔医学专业的师生、研究生，以及临床口腔医务工作者推荐本书，值得一读，先睹为快！

中华口腔医学会副主任委员

上海第二医科大学口腔医学院
名誉院长、教授、博士生导师

邱蔚六

2000年4月

于上海第二医科大学口腔医学院

自序

人类应用色彩的历史，比使用语言的历史久远得多。古代人认为色彩具有神秘感，是魔力的象征，在宗教仪式上有着神圣的地位。色彩研究从古代就开始了，人们试图探索其奥秘，但始终没有答案。直到 17 世纪中叶，英国物理学家牛顿发现日光光谱，从此揭开了“色彩”神秘的面纱，使人类对于色彩的研究发生了划时代的进步。

口腔色彩学是建立在现代色彩学基础之上的。1931 年国际照明协会（CIE）决定用 XYZ 表色系，标志着人类采用数值科学地表示颜色的开端。1948 年又推出了 Lab 表色系，更科学地表达了颜色变化的趋势。1964 年 CIE 推荐了 JIS 等色差空间 U.V.W. 表色系，使颜色的测量和表达几乎接近完美的效果。现代口腔色彩学伴随着颜色科学的发展，日臻完善，愈来愈多地糅合于口腔医学之中。

今天，色彩在现实生活中的应用，几乎涵盖了生活的全部，口腔医学亦不例外。对于口腔色彩的认识和应用已成为临床口腔医师必须掌握的技能之一。对于普及口腔色彩教育的必要性和重要性，我们理应有一个清醒的认识，决不能将视力正常、看得到色彩就认为足以应付临床需要了。如果对于口腔色彩理论一无所知，恐怕会成为看得见颜色的“口腔色盲”。

1990 年我在《国外口腔医学分册》上发表了国内第一篇关于口腔色彩方面的综述，时至今日已有 10 年了。在这 10 年中，虽然刊出了不太多的关于口腔色彩的研究成果和文章，但大都偏重于临床应用，基础研究则凤毛麟角。绝大多数口腔医师对于色彩理论知识及其应用的了解十分肤浅，而对于口腔色彩理论的理解仅仅满足于临床的应用。更令人遗憾的是我国口腔医学教材中有关口腔色彩的内容几乎空白，当然也就谈不上在教学大纲中编排此项内容。因此，对于刚涉足临床的口腔医师，口腔色彩方面的知识应该说是匮乏的，即便是有几年工作经验的医师，如果不通过自学亦不例外。以 12 亿人口作为服务对象的中国口腔医师，手中居然没有一部国人撰写的关于口腔色彩的专著，这不能不认为是件遗憾事。

5 年前我就萌发了写此书的念头，并开始着手收集和整理资料，但由于临床和政务过于繁忙，写作时间无法保障，使本书的完稿推迟了几年。3 年前在一次出访日本的途中，飞机穿过云层时在气流的影响下发生剧烈抖动，吾心亦在震撼，但不是机身的缘故，而是撰写本书的欲望在心头涌动。此后两次在日本学习期间，我频繁出入各齿科大学的图书馆，醉心于资料的收集，毫无闲暇游山玩水。

着手编写本书的初期，在广泛浏览资料后，我发现口腔色彩领域的许多专用名词（包括译名）的应用十分混乱，容易造成概念上的混淆。如：变色牙和着色牙或染色牙、彩度和饱和度、明度和亮度、自然牙和天然牙、定制比色板和个别比色板、染色和颜色

修饰以及上色、色阶和色号、四环素牙和四环素变色牙以及四环素族变色牙、脱色技术和漂白技术等,亟待加以区分和明确。为了使本书中的专用名词的使用达到统一性、准确性、科学性和规范化,我参阅了大量的国内外有关色彩文献资料,力图使之有明确和清晰的概念。由于本人才疏学浅,挂一漏万在所难免,希望我所作的这些努力能够取得同行的共识,恳请读者赐教,以便今后再版时订正。

本书章节的编排上有别于国外同类书籍。从内容上力图囊括现代口腔色彩学涉及的所有范围,增加有“东西方文化与牙齿的色彩”、“合金腐蚀与变色”以及“变色牙和着色牙”等章节;从应用上力图反映现代口腔色彩学在临床上的具体实践,增加有“漂白术”、“烤瓷工艺与色彩”以及“瓷粉堆筑方法与色彩”等章节,起到理论联系实际的作用,并使本书的实用性有所增加。总之,理论和应用并举是贯穿本书的主线,也是编写本书的初衷。

在资料收集和整理过程中,得到了许多前辈、同行和公司的帮助,尤其是日本口腔色彩研究会会长片山伊九右衛門和前任会长橘口綽德教授,这两位口腔色彩研究方面的前辈,赠予我大量的图片和文献资料,使本书增色忒多,在此深表感佩。本书的出版又得到北京医科大学第二临床医院口腔科高承志博士的支持,他应我热切之邀,欣然加盟,并以严谨务实的理念笔耕了本书第十六章,该章内容皆是他多年从事树脂色彩研究成果的结晶,对我所撰写的17个章节也中肯地给予了有益的建议。德国VITA公司无偿提供给我光盘资料库,日本SHOFU株式会社也提供了大量最新资料,使我获益匪浅,在此一并表示由衷感谢。本书的彩图虽是我用数码照相机所拍摄,但在编辑、排版、调色和印刷效果方面,得到了厦门大众广告公司叶阿德设计师的鼎力协助,本人亦表示十二万分之谢意。应我恳求,中华口腔医学会副主任委员、湖北医科大学口腔医学院院长、博士生导师樊明文教授;中华口腔医学会副主任委员、上海第二医科大学医科大学口腔医学院名誉院长、博士生导师邱蔚六教授;日本口腔色彩研究会会长、日本明海大学齿科保存講座、博士生导师片山伊九右衛門教授欣然为本书作序,体现出口腔界前辈对年轻一代的提携,我将刻骨铭心,今后必当努力进取,奋勇开拓。

谨以此书报效母校——湖北医科大学口腔医学院的恩师们对我的成长进步所倾注的关心和呵护。

笔者

1999年春节于鹭岛厦门

目 录

片山 序

樊 序

邱 序

自 序

第一章	光色理论	(1)
第一节	光源与光谱色	(1)
第二节	色彩视觉	(4)
第三节	三原色理论及应用	(9)
第四节	色彩三要素	(15)
第五节	色环和色立体	(19)
第六节	牙科常用的表色系	(26)
第二章	色彩的心理与生理特点	(33)
第一节	色彩的感觉	(33)
第二节	色彩的错觉	(35)
第三节	色彩的心理学	(40)
第三章	东西方文化与牙齿色彩	(43)
第一节	东西方文化对牙齿的认识	(43)
第二节	染齿风俗	(45)
第三节	欧洲的白齿化妆术	(48)
第四章	天然牙的色彩	(50)
第一节	天然牙的发育和组织结构	(50)
第二节	天然牙的表面特征	(52)
第三节	天然牙的透明度	(55)
第四节	天然牙的荧光效应	(57)

第五节	天然牙的增龄变化	(59)
第六节	牙齿色彩的测定方法	(62)
第七节	复合牙色	(69)
第八节	色级和计量术语	(71)
第九节	牙科色票	(72)
第十节	天然牙的色彩分布区域	(82)
第五章	皮肤与牙龈颜色	(97)
第一节	皮肤和牙龈的组织结构	(97)
第二节	皮肤色和牙龈色	(99)
第三节	不良修复体对口腔软组织色彩的影响	(101)
第四节	冠修复体颈缘处理方法	(104)
第六章	合金腐蚀与变色	(109)
第一节	合金腐蚀与变色的定义与类型	(109)
第二节	电化学腐蚀的机理与表现	(110)
第三节	提高合金抗腐蚀性	(112)
第七章	光源与色彩	(117)
第一节	光对颜色的影响	(117)
第二节	光源的评价	(119)
第三节	光反射	(127)
第四节	比色光源	(131)
第五节	积分球诊室与普通诊室的光源设计	(132)
第八章	比色板	(137)
第一节	比色板的种类	(137)
第二节	其他比色系列	(148)
第三节	定制比色板	(153)
第四节	比色方法与误差原因	(158)
第九章	维他比色系列	(171)
第一节	Vita 比色板	(171)

第二节	Vita lumin 比色板	(172)
第三节	Vita VMK 68 颜色样本修饰比色板	(178)
第四节	Vita VMK 95 比色板	(181)
第五节	Vita VMK 95 技工比色板	(184)
第六节	Vita 技工颜色修饰比色板	(185)
第七节	Vita 三维比色板	(187)
第十章	松风比色系列	(193)
第一节	松风 Crysta 比色板	(193)
第二节	松风 Vintage Holo 比色板	(196)
第三节	松风 Vintage Holo 技工比色板	(201)
第四节	松风 Vintage Holo 修饰瓷粉	(204)
第五节	松风 NCC 三维比色板	(205)
第十一章	训练辨色的方法	(209)
第一节	辨色环境	(209)
第二节	两点识别训练	(213)
第三节	色相、明度和彩度的识别训练	(216)
第十二章	颜色信息的转达	(220)
第一节	颜色信息转达的必要性	(220)
第二节	记录颜色的注意事项	(221)
第三节	技工加工单	(226)
第十三章	烤瓷工艺与色彩	(233)
第一节	瓷厚度对修复体色彩的影响	(233)
第二节	焙烧对修复体色彩的影响	(244)
第三节	抛光对色彩的影响	(255)
第四节	切削瓷和铸瓷	(260)
第十四章	颜色修饰瓷粉	(267)
第一节	颜色修饰瓷粉的原理	(267)
第二节	颜色修饰剂的应用	(271)

第三节	颜色修饰剂应用实例	(275)
第十五章	瓷粉堆筑方法与色彩	(279)
第一节	瓷粉的标准堆筑方法	(279)
第二节	堆筑瓷粉的典型范例	(281)
第十六章	复合树脂的色彩	(305)
第一节	树脂材料的种类	(305)
第二节	光敏树脂的物理特性	(307)
第三节	光敏树脂的遮色性能	(312)
第四节	光敏树脂的比色板	(314)
第十七章	变色牙和着色牙	(317)
第一节	牙着色的原因与分类	(317)
第二节	牙变色的原因与分类	(321)
第十八章	漂白术	(333)
第一节	漂白剂	(333)
第二节	牙齿漂白术	(338)
第三节	髓室内漂白致牙颈部外吸收	(343)
第四节	其他漂白方法	(346)
第五节	对漂白效果的评价	(347)

附彩图

第一章 光色理论

第一节 光源与光谱色

一、色散实验

17 世纪中叶，英国的物理学家牛顿（Sir Isaac Newton 1642—1727）做了一些著名的光学实验（图 1-1-1）。他在一个暗室中，让日光通过窗户的一条狭窄的缝隙照射到三棱透镜后，日光展开成一彩虹状的光带，于是牛顿就将这种 7 色彩虹状光带称为“光谱”。彩虹状光带中色彩的排列依次为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。牛顿想：这些色光，是不是也由某些其他色光组成的呢？他把虹状光带的光线遮住，只让其中某一种色彩的光通过另一个暗室的三棱透镜，光线不再改变色彩，红色依然是红色，紫色依然是紫色。通过此实验，牛顿发现了日光是由光谱中的各种色光所组成的，这七色彩虹状光带称为“太阳光谱”。

图 1-1-2 是牛顿的一个颜色实验草图。他用图中的大三棱镜将光劈成一个光谱，然后让单一色光通过幕上的小孔，到达第二个棱镜。这个棱镜没有产生更多的颜色。他还发现，处于光谱中的第二个三棱镜会将各种颜色重新联合成白色。因此，白光是由光谱上的所有颜色组成的。

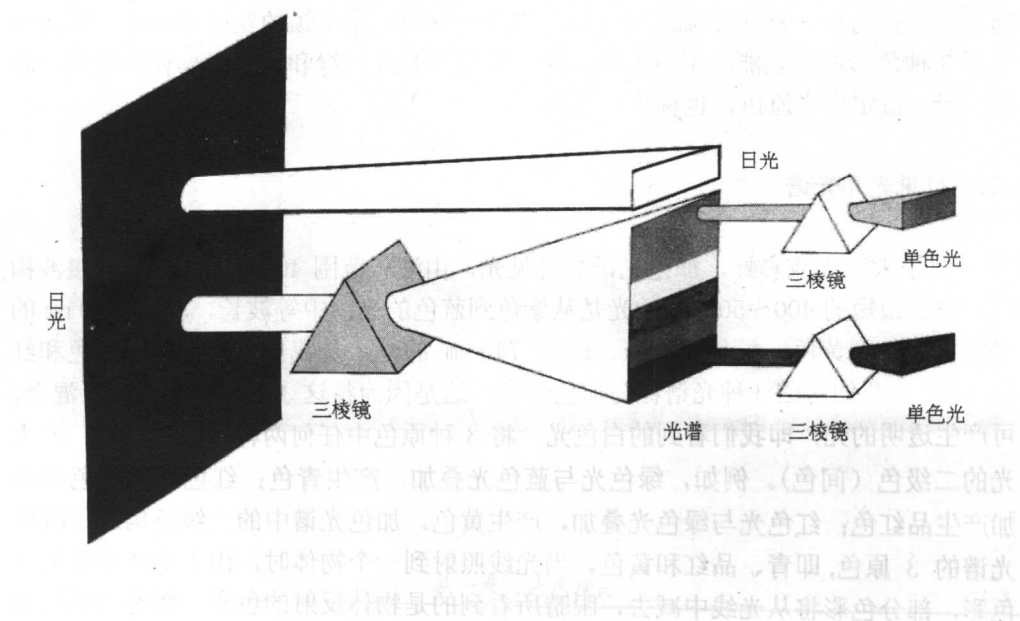


图 1-1-1 光的色散示意图

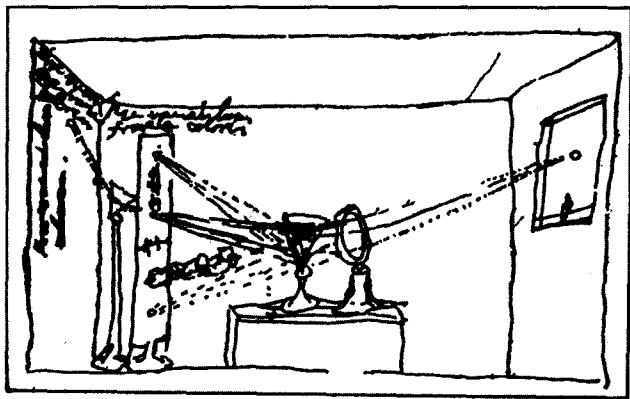


图 1-1-2 牛顿色散实验图稿（1666 年）

二、光的由来

我们对光的认识是建立在艾萨克·牛顿杰出的三棱镜透光实验基础之上的。早在牛顿之前，人们设想三棱镜是一种具有“神秘感”的工具，将透过它的白光染上颜色。牛顿的三棱镜透光实验证明这种假想是错误的，他将透过三棱镜的彩色光再穿过第二块三棱镜，结果使带颜色的光还原为白色光。从这些实验中，牛顿推论色彩来源于光，而且他将光谱定为七个基本颜色：红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。物理学家托马斯·杨（Thomas Young, 1773—1829）在牛顿的实验基础上，证实仅需要 3 种色彩混合就能产生白色光，这 3 种色彩是红、绿和蓝。根据杨的发现，将红、绿、蓝定为光原色，也称作加色光。

三、可见光和光谱

对于太阳光或彩虹，加色光谱是可见光，由波长范围 400~740 nm 的电磁波构成。波长最短的 400~500 nm 的光是从紫色到蓝色的光；中等波长，500~600 nm 的光呈现绿色到黄色；最长的波长，600~740 nm 的光，是我们肉眼看到的橙色和红色。为什么我们将这 3 种光谱称为加色光谱？这是因为将这 3 种原色光谱相互混合，可产生透明的光，即我们看到的白色光。将 3 种原色中任何两种光原色叠加，产生光的二级色（间色）。例如，绿色光与蓝色光叠加，产生青色；红色光与蓝色光叠加产生品红色；红色光与绿色光叠加，产生黄色。加色光谱中的二级色构成了减色光谱的 3 原色，即青、品红和黄色。当光线照射到一个物体时，由于物体吸收某些色彩，部分色彩将从光线中减去，眼睛所看到的是物体反射的色彩，而不是吸收的色彩。当减色光谱的原色——青、品红、黄三者混合时，我们看到的是黑色。当减色光谱 3 种原色中两两原色混合时，我们看到红色、绿色、蓝色。因此，红、绿、

蓝是减色光谱的二级色彩。加色和减色光谱原理反映了人们对颜料色彩混合方面的认识。

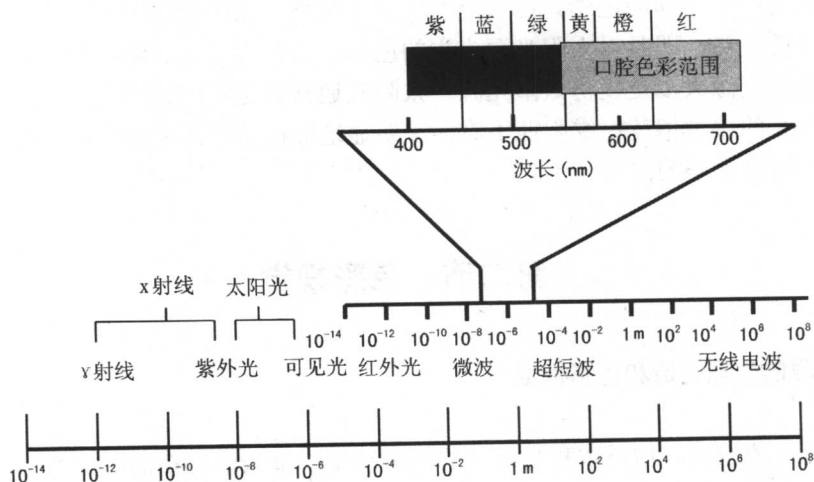


图 1-1-3 电磁波频谱名称及可见光频谱范围

四、光源

人们所能感觉到的“色彩”，都是用视觉器官——眼睛接收到的信息来分辨的。眼睛接受的信息就是光线，光线来自光源的直接光、物体的反射光或是透明物体的透射光（图 1-1-4）。设想我们在完全没有光线的情况下，什么东西都看不见，没有任何其他色彩可言。事实上，在完全没有光线的情况下，肉眼无法看见任何物

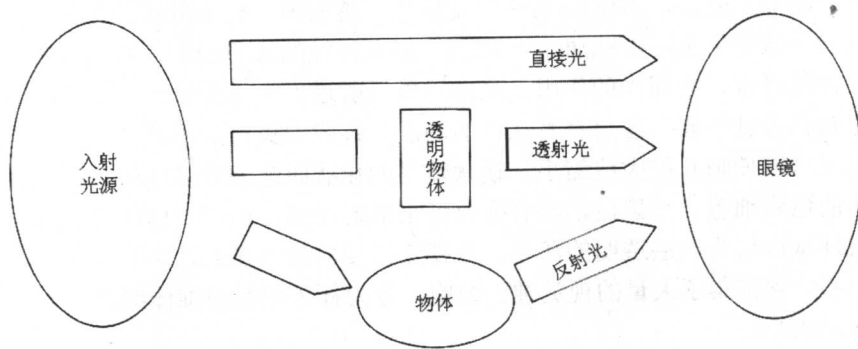


图 1-1-4 光源传达至眼睛的三种途径

体或色彩。由此可见，光线和色彩有如此重要和密切的关系，所以我们先从光源谈起。光源是指本身会发光的物体，像太阳、电灯、烛火等。月球虽然明亮，但其本

身并不发光，它的光线是来自太阳的照射。另外，有些特殊的物质会先吸收光线，再散发出来，如天然牙齿会发出荧光，但这种光线非常微弱，没有照明的效果。不同的光源会产生不同的色彩。在人类的生活环境中，太阳是最主要的光源，所以我们所讨论的色彩，即是以太阳光源为主的色彩。其他人工的光源，如牙科综合治疗机上的照明光源大多是模仿太阳光源。太阳光通常感觉不出偏向某种色彩，但在晴空下，阳光的感觉偏蓝；夕阳西下时，又明显地偏橙黄色；所以太阳光会受到某些因素影响而有色彩的变化。

第二节 色彩视觉

一、人眼的生理构造和色彩视觉

光是一种物质，物质本身是运动的，运动是不依人的存在而改变的客观存在，但是没有人眼的作用，就无法产生人的色彩视觉，所以对于人来说，色彩是光的一种视觉特征，是眼分辨各种不同波长的光的一种反应。所有的色彩感觉都是建立在人的视觉器官的生理反应基础上的，因此，研究色彩还必须了解视觉器官的生理构造及其功能。

1. 眼睛的构造

眼睛的外形呈小球状，通常称为眼球（图 1-2-1），眼球由眼球壁和眼球内容物两个部分组成。眼球壁由三层膜组成。外层由坚韧的纤维组成，称为纤维膜，它分为角膜与巩膜两类。中层为血管层，颜色像黑紫葡萄，由前向后分为三部分：虹膜、睫状体和脉络膜。内层为视网膜，含有视锥细胞、视杆细胞、中央凹、黄斑与盲点等结构。眼球壁外层，占壁面 $5/6$ 的是白色不透明膜，称为巩膜，起保护眼球的作用。在正前方的中央，占壁面 $1/6$ 的是一层有弹性的透明组织，称为角膜，它含有大量的神经纤维，起屈光的作用，光从这里折射进入眼球而成像。眼球壁中层的虹膜、睫状体和脉络膜，各自有着独特的功能。虹膜中央有一小孔，即瞳孔，虹膜的肌肉组织可以使瞳孔扩大或缩小。睫状体里的睫状肌起调整晶体的作用。脉络膜含有丰富的色素细胞，呈黑色，起着吸收外来散射光线、消除眼球内光线漫反射的作用。眼球壁内层为一层透明的薄膜，是视觉接受器的所在处，本身也是一个复杂的神经中心。它密集了大量的视觉神经细胞，分为杆体细胞和锥体细胞（图 1-2-2）。

2. 眼睛的感光

眼睛的感光为视网膜中的杆体细胞和锥体细胞的作用所致。杆体细胞能够感受弱光刺激，但不能分辨颜色，锥体细胞在强光下反应灵敏，具有辨别颜色的本领。某些动物（如鸡等）因杆体细胞较少，所以在微光下它们的视觉很差而成为夜盲；也有些动物（如猫头鹰等）因杆体细胞很多，所以能在夜晚看清物像。据计算，人的杆体细胞约有 10^8 个，锥体细胞约有 6.5×10^6 万个。人眼在强光和弱光下辨别物体色彩感差，原来人眼对色彩的明度分辨范围大于色度，据统计，人眼能分辨 200