

博士论丛

日光光谱与大气衰减影响下的 建筑色彩定量方法研究

Architectural Color Quantitative Method Study on the Effect
of the Daylight Spectrum and Atmospheric Attenuation

重庆大学 梁树英 著

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

博士论丛

日光光谱与大气衰减影响下的建筑 色彩定量方法研究

Architectural Color Quantitative Method Study on the Effect
of the Daylight Spectrum and Atmospheric Attenuation

重庆大学 梁树英 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

日光光谱与大气衰减影响下的建筑色彩定量方法研究 / 梁树英著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 3

(博士论丛)

ISBN 978-7-112-20323-9

I. ①日… II. ①梁… III. ①建筑色彩—测量方法—研究 IV. ①TU115

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第013866号

建筑色彩包含社会人文及科学技术两方面内容, 长期以来, 建筑色彩设计多是从历史、文脉、习俗和审美等方面进行定性研究, 对科学的定量研究还不够。本书从建筑色彩的科学定量入手, 研究日光光谱、日光色温、大气衰减、观测距离和外饰面材料光反射特性等因素对建筑色彩的影响, 并通过计算机人工神经网络技术进行统一分析, 确定了建筑色彩定量计算的控制指标和计算模型, 开发了“建筑色彩定量计算”程序和“建筑色彩设计”软件。期望本书能为建筑色彩设计及研究提供科学技术基础支撑。

本书可供建筑师、规划师及建筑院校师生阅读参考。

责任编辑: 李 东 陈海娇

责任校对: 焦 乐 李欣慰

博士论丛

日光光谱与大气衰减影响下的建筑色彩定量方法研究

Architectural Color Quantitative Method Study on the Effect of the Daylight Spectrum and Atmospheric Attenuation

重庆大学 梁树英 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京京点图文设计有限公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9 $\frac{3}{4}$ 字数: 180 千字

2017年3月第一版 2017年3月第一次印刷

定价: 36.00元

ISBN 978-7-112-20323-9

(29690)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

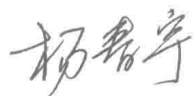
序

随着城市建设快速发展，城市规模不断扩大，不但新建筑群大量增加，许多旧建筑也因外立面整治使建筑色彩发生变化。建筑色彩是城市重要的构成要素，也是建筑设计的重要内容之一。随着社会的发展，人们对城市建筑色彩的要求越来越高，要使建筑色彩达到良好的设计效果，保证设计色彩与建成后的空间色彩相一致，使色彩设计意向到实际的建成空间色彩能真实地反映设计者本意，就应当对建筑色彩设计进行科学研究。具体而言，建筑色彩主要包含两个方面的研究内容：一是历史、文脉、习俗、审美等定性方面，即现在普遍采用的从人文、审美角度进行研究的方法；二是从建筑色彩的科学定量方面进行研究，包括从色彩的测量、色彩标注、日光光谱影响、大气对光的衰减与视距、建（构）筑物饰面材料光反射特性等方面进行研究。只有当这两方面的研究结合起来，建筑色彩的研究才是科学完整和正确的。目前我国缺乏的就是第二个方面，即建筑色彩的科学定量研究。本书正是基于这个背景进行的研究，其研究成果可弥补当前我国建筑色彩研究的不足，从定量方面为建筑色彩设计提供科学技术支撑。

作者攻读博士学位期间，我作为她的导师指导其博士论文，其间参与我的有关建筑色彩的国家自然科学基金项目研究，其研究也是她博士学位论文的选题。在研究过程中，作者表现出了对建筑技术孜孜不倦的研究精神，积极探索建筑色彩科学的理论和实践方法，并且能克服重重困难，深入到我国不同光气候区的多个代表性城市进行实地调研测量，获取了大量第一手资料，为课题研究奠定了基础。作者还进行了大量室外和室内实验，在实验前拟定了详细的实验方案，并进行了充分的预实验，包括不同标准照明体、不同天气和受光条件对建筑色彩影响的实验，不同光气候分区的日光光谱特性实验，日光色温对建筑色彩影响的实验，大气对建筑空间色彩的衰减实验，建筑外饰面材料光反射特性实验等。同时，作者还将人工神经网络应用于建筑色彩定量计算中，研发了“建筑色彩定量计算”程序，并参与了“建筑色彩设计”软件的研究。作者通过艰苦的研究工作，顺利通过博士学位论文答辩并获得博士学位，其博士学位论文经过整理作为专著出版，其研究成果更有利于我国建筑技

术科学的发展。本书有以下几方面的重要贡献：利用日光光谱和大气衰减理论来定量研究建筑空间色彩，为建筑色彩研究提供了一种新的方法；研究不同光气候分区的日光光谱功率分布特性，建立了建筑色彩参数与日光色温之间的函数模型；研究不同大气能见度、不同观测距离条件下大气对建筑空间色彩的衰减规律，找到了建筑色彩明度、饱和度的衰减函数关系；采用人工神经网络方法对建筑色彩定量化计算进行了结构设计，为建筑色彩设计软件编制提供了基础支撑；对建筑色彩进行科学定量研究，特别是通过对不同光气候区的建筑色彩测量以及从日光光谱、大气对空间建筑色彩衰减的影响等方面进行研究，在我国还是首次。

建筑技术科学研究异常辛苦，既需要科学研究能力，更需要吃苦耐劳、耐住寂寞和锲而不舍的精神，作者具备了这种能力与精神，期待她将来取得更大的成绩。



重庆大学建筑城规学院 教授 博士生导师

2015 年 10 月

前 言

建筑色彩包含社会人文及科学技术两方面内容,长期以来,建筑色彩设计多是从历史、文脉、习俗和审美等方面进行的定性研究,忽视了科学的定量研究,从而使建筑师对实际空间中应用的建筑物色彩变化情况(即建筑物色彩在空间中呈现的效果)不甚了解,无法对建筑色彩的设计进行准确的把握,导致设计色彩与实际建成色彩效果出现较大的偏差。建筑色彩是在城市空间中呈现出来的,必然会受到日光光谱、日光色温、大气衰减、观测距离和外饰面材料光反射特性等因素的影响,研究其影响和定量方法是建筑色彩设计不可缺少的科学技术基础。

本书根据我国光气候分区图和城市地理分布(东、南、西、北及中部)选取了昆明、西宁、北京、深圳、南京、南昌和重庆7个代表性城市,对其中心区域的代表性建筑进行色彩调查、拍照、取样、测量、分析等工作,掌握了这些城市中心区的建筑色彩现状及外饰面材料使用情况,为本项目研究奠定了基础。同时,本书研究了典型日光及相关理论,对不同标准照明体下建筑色彩样品色差进行了实验研究,得到了具有不同光谱功率分布的CIE标准照明体A、 D_{50} 、 D_{55} 、 D_{75} 与 D_{65} 下的色度差异;对不同天气和受光条件对建筑色彩的影响进行了实验研究,分析了晴天日光照度、亮度及色温的变化规律,得到了晴天受光、晴天背光、晴天阴影下和阴天与CIE标准照明体 D_{65} 下的色度差异;对我国不同光气候分区的7个代表性城市一天中不同太阳高度角的日光光谱等进行跟踪测试,分析不同光气候分区日光光谱功率分布特性以及日光色温对建筑色彩的影响,得到了色温差 $|\Delta K|$ 与 $|\Delta a^*|$ 、 $|\Delta b^*|$ 和总色差 ΔE 的函数关系式。本书还研究了空间颜色的衰减理论,包括大气衰减的朗伯定律、粒子散射原理等,并在不同大气能见度、不同观测距离条件下对大气对城市空间中建筑色彩的衰减规律进行了实验研究,确定了城市空间中建筑色彩各参量的衰减函数关系式。另外,本书对常用建筑外饰面材料(涂料、面砖、铝塑板和大理石)的光反射特性进行了实验研究,得到不同入射/观测角度建筑外饰面材料的亮度和色度反射特性,并对其光泽度和光谱反射比进行测量,研究建筑外饰面材料光反射特性与光泽度、反射

比之间的相关关系。根据以上的研究,本书通过计算机人工神经网络技术,选用普遍获得成功的三层 BP 网络作为基本结构形式,将日光光谱、日光色温、天气和受光条件、大气散射、大气能见度、观测距离、外饰面材料光反射特性、入射 / 观测角度、材质类型、光泽度、反射比等定量数据进行统一分析,确定了建筑色彩定量计算的控制指标和计算模型,开发了“建筑色彩定量计算”程序和“建筑色彩设计”软件,为建筑色彩设计提供科学技术基础支撑,解决了建筑色彩设计中的实际问题,具有很强的理论性与实用性。

本书的出版得到了国家自然科学基金(51078364)和中央高校基本科研业务费(NO.106112015CDJXY190002)资助,希望本书能够对当下建筑色彩设计与研究起到积极的推动作用。

感谢中国建筑工业出版社严谨、高效的工作,最大限度地监督并保证了本书的品质。

鉴于水平有限,书中可能存在的不足之处,请广大同仁和读者予以指正。



2015 年 9 月于重庆大学

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 国外研究现状及分析	3
1.2.1 颜色科学的基础研究	3
1.2.2 典型日光及相关理论研究	8
1.2.3 大气衰减及相关理论研究	9
1.2.4 材料光反射特性相关研究	10
1.2.5 建筑色彩设计实践研究	10
1.3 国内研究现状及分析	12
1.3.1 颜色科学的基础研究	12
1.3.2 日光光谱相关研究	13
1.3.3 大气衰减相关研究	14
1.3.4 材料光反射特性相关研究	14
1.3.5 人工神经网络应用的相关研究	15
1.3.6 建筑色彩设计实践研究	15
1.4 研究内容	17
1.4.1 城市中心区建筑色彩现状调研	17
1.4.2 日光光谱对建筑色彩的影响	17
1.4.3 大气衰减对建筑色彩的影响	17
1.4.4 建筑外饰面材料的光反射特性	18
1.4.5 人工神经网络应用于建筑色彩定量计算	18

1.5	研究方法	19
1.6	拟解决的关键问题	20
1.7	创新之处	20
第2章	城市中心区建筑色彩现状调查研究	21
2.1	前期准备	21
2.1.1	调研城市的选择	21
2.1.2	调研地段的选择	21
2.1.3	调研设备	22
2.2	调研方法	23
2.2.1	现场操作	23
2.2.2	数据处理	24
2.3	建筑色彩现状调查结果与分析	25
2.3.1	色相分析	25
2.3.2	明度分析	29
2.3.3	饱和度分析	33
2.3.4	综合分析	36
2.4	建筑外饰面材料的运用分析	37
2.5	本章小结	38
第3章	日光光谱对建筑色彩影响的理论及实验研究	40
3.1	典型日光及相关理论	40
3.1.1	典型日光理论	40
3.1.2	日光光谱与日光色温	42
3.2	不同标准照明体对建筑色彩影响的实验研究	43
3.2.1	实验原理	43
3.2.2	实验仪器设备及软件	43
3.2.3	实验步骤	45
3.2.4	实验结果及数据分析	45
3.3	不同天气和受光条件对建筑色彩影响的实验研究	49
3.3.1	晴天日光照射度、亮度及色温变化规律测量分析	50
3.3.2	不同天气和受光条件下色样色差分析	51

3.4 不同光气候分区的日光光谱特性实验研究.....	55
3.4.1 实验原理	55
3.4.2 实验步骤	56
3.4.3 实验结果及数据分析	57
3.5 日光色温对建筑色彩影响的实验研究	63
3.5.1 实验原理	63
3.5.2 实验步骤	64
3.5.3 实验结果与数据分析	64
3.6 本章小结	65
第4章 大气对建筑空间色彩的衰减理论及实验研究.....	67
4.1 大气与空间颜色衰减理论	67
4.1.1 光辐射的大气衰减	67
4.1.2 粒子散射原理	67
4.1.3 空间颜色衰减理论研究	68
4.2 大气对建筑空间色彩的衰减实验研究	71
4.2.1 实验原理	71
4.2.2 实验步骤	71
4.2.3 实验结果与数据	73
4.2.4 衰减规律分析	80
4.3 本章小结	83
第5章 建筑外饰面材料光反射特性理论及实验研究.....	84
5.1 建筑外饰面材料样品选择	84
5.2 建筑外饰面材料光反射特性实验研究	86
5.2.1 实验原理	86
5.2.2 实验仪器设备	86
5.2.3 实验步骤	88
5.2.4 材料表面亮度反射特性分析	88
5.2.5 材料表面色度反射特性分析	90
5.3 建筑外饰面材料光泽度测量	92
5.4 建筑外饰面材料光谱反射比测量	95

5.5	光反射特性与光泽度、反射比之间关系的讨论	100
5.6	本章小结	101
第 6 章	人工神经网络在建筑色彩定量计算中的应用研究	102
6.1	人工神经网络应用于建筑色彩定量计算的必要性	102
6.2	人工神经网络概述	103
6.2.1	人工神经网络的特点	103
6.2.2	BP 网络的模型结构及算法	104
6.3	人工神经网络在建筑色彩定量计算中的结构设计	106
6.3.1	BP 算法的输入及输出层设计	106
6.3.2	BP 算法的隐层设计	107
6.4	建筑色彩定量计算的学习样本	108
6.5	建筑色彩定量计算程序设计及计算结果分析	109
6.5.1	程序设计	109
6.5.2	计算结果与分析	112
6.6	建筑色彩设计软件	114
6.7	本章小结	116
第 7 章	结论与展望	117
7.1	结论	117
7.2	展望	120
附录 A	不同标准照明体下色样色度数据测量表	121
附录 B	晴天日光照度、亮度及色温测量表	127
附录 C	不同天气和受光条件下色样色度测量表	128
附录 D	不同色温日光与 D_{65} 下的色差比较测量表	132
参考文献		137
后记		142

第1章 绪论

1.1 研究背景及研究意义

1.1.1 研究背景

建筑色彩是组成城市环境的重要因子之一,其承载着历史、文化和美学信息,对城市景观具有十分明显的影响作用。法国巴黎建筑屋顶为灰色,墙面为米黄色,用色连续完整,使整个城市显得沉稳高贵;希腊圣托里尼岛的建筑为白色,在蓝色的大海和蓝色的天空下显得优雅而宁静;荷兰阿姆斯特丹的建筑运用暗红色、褐色和棕色等高纯度色彩,配以白色的细部装饰,色彩组合鲜艳丰富、热情奔放;北京故宫的红色高墙和金黄屋顶,在蓝天白云下显得富丽庄重;苏州古镇建筑运用黑、白、灰的色彩层次,用色干净洗练,让城市显得清新而自然……不同的建筑色彩清晰地展现出不同城市的历史文脉、民族风俗、审美习惯、地域特色和城市景观。近年来,我国城市建设迅猛发展,城市改造速度不断加快,城市规模急剧扩张,城市中不但出现了大量新建筑,旧建筑的外立面也在进行色彩整治和更新,这对原有的城市景观和整体色彩都产生了重大影响。由于长期以来在城市建筑色彩领域观念上的滞后和研究水平上的差距,城市管理部门缺少系统控制和管理的科学依据,中国城市建筑色彩基本处于自主、随意的状态。在这个过程中,部分城市的建筑色彩丧失了地域特色而趋于“千城一面”,部分城市的建筑色彩甚至呈现出混乱无序的状态。建筑用色粗糙,随心所欲的涂抹,高饱和度和高明度色彩的运用,追求艳丽刺激,强烈的视觉冲击……这些“色彩污染”的现象在城市中随处可见^[1]。一方面是城市建筑色彩科学理论依据和实践指导方法的匮乏,一方面是城市建设的高速发展,两者之间的矛盾随着城市化进程的深入而越加突出。

目前,我国越来越多的城市管理者 and 学者意识到了城市建筑色彩的重要性,并逐步开展了相关的研究工作,但总体而言我国的研究还处在初始阶段。目前,多采用美术色彩设计的原理和技法以及“实用色彩”理论来研究城市建筑色彩,例如对城市建筑现状色彩进行调查、取样、分析、评价等,确定城市建筑色彩的主体色、辅助色和点缀色,编制城市建筑色彩的控制色谱和推荐色谱,提出具有指导意义的建筑色彩立面和相对适用的材料范围,供城市相关管理部门和建筑师参考。这些研究有一定的科学性,

但都属于定性研究的范畴，对于实际操作过程中遇到的建筑色彩的观测、天气情况、受光条件、大气衰减、建筑外饰面材料光反射特性以及色差计算等问题，还没有进行深入系统的研究，也无法用于建筑色彩设计的指导工作。其次，国内高校色彩教育普及的深度和广度还远远不够，建筑学、城市规划、园林景观等相关专业并没有足够重视科学色彩知识的传授，对于颜色技术理论及其在建筑色彩设计中应用的研究还比较缺乏。

在具体的建筑色彩设计中，时常还会出现实际建成色彩与建筑设计色彩偏差比较大的现象，这让建筑师们非常苦恼。一方面，从颜色技术角度来看，不是建筑师的色彩设计方案不好，而是他们对建筑物色彩在实际空间中的变化情况不甚了解，将建筑设计色彩和实际建成后的空间色彩等同看待；另一方面，目前建筑色彩设计还主要依靠建筑师的主观审美经验，从定性方面来决定建筑色彩，在设计阶段一般不要求作专门的建筑外观色彩设计图，在施工阶段也很少对外饰面材料色彩进行试作或试涂；这必然导致了实际建成色彩与建筑设计色彩出现偏差。将颜色技术理论的研究应用到实际建筑色彩设计中，让建筑师可以直观地了解到建筑色彩在空间中的变化情况，形成简单易用的色彩设计工具，这也是迫切需要我们解决的问题。

1.1.2 研究意义

建筑色彩，一般而言包含定性的社会人文和定量的科学技术两大方面，二者不可缺少（图 1-1）。色彩意向主要是指建筑色彩设计构思或色彩设计方案，建筑效果图是其比较直观的表达方式，它是建筑师基于城市及环境色彩、城市历史文化、地方习俗和个人色彩倾向等方面确定的建筑色彩效果。计算机里使用的色彩是数字色彩，其具备特有的技术标准、色彩模型、色彩区域和色彩语言，是在经典艺用色彩基础上形成的新的载体形式，在建筑色彩转换的过程中，要确定合适的色彩模型以保持色彩的一致性。空间色彩是建筑在实际空间中呈现的色彩，日光光谱、天气和受光条件、大气衰减和观测距离等因素都会对其产生影响。材料色彩是一种实物色彩，其色彩特性可用光反射特性来描述，入射 / 观测角度、材质类型、光泽度和反射比等因素都会对其产生影响。

长期以来，建筑色彩设计是建筑师从历史、文脉、习俗和审美等方面进行的定性研究，忽视了科学的定量研究。建筑师多从城市及环境色彩出发，参考城市人文、历史、习俗，并结合个人审美和喜好等方面确定建筑色彩方案，对所确定的建筑色彩方案在实际空间中受日光光谱、天气和受光条件、大气衰减、观测距离和材料自身的光反射特性等影响后呈现的空间效果并不清楚。在城市建筑色彩设计中，人们提出了越来越高的要求。因此，想要建筑色彩达到良好的设计效果，确保建筑设计色彩与实际建成

后的空间色彩相一致，使建成后的色彩效果能最真实地反映建筑师的本意，从颜色技术角度对建筑色彩进行科学的定量研究具有重要意义。

建筑色彩的定量研究包括日光光谱、日光色温、天气和受光条件、大气散射、大气能见度、观测距离、建（构）筑物外饰面材料光反射特性、入射 / 观测角度、材质类型、光泽度、反射比等方面。只有当定性和定量两方面的研究结合起来，建筑色彩的研究才是科学完整和正确的。目前，我国缺乏的是第二个方面，即建筑色彩的科学定量研究。本书的研究成果可弥补当前我国建筑色彩研究的不足，从定量方面为建筑色彩设计提供科学技术支撑。

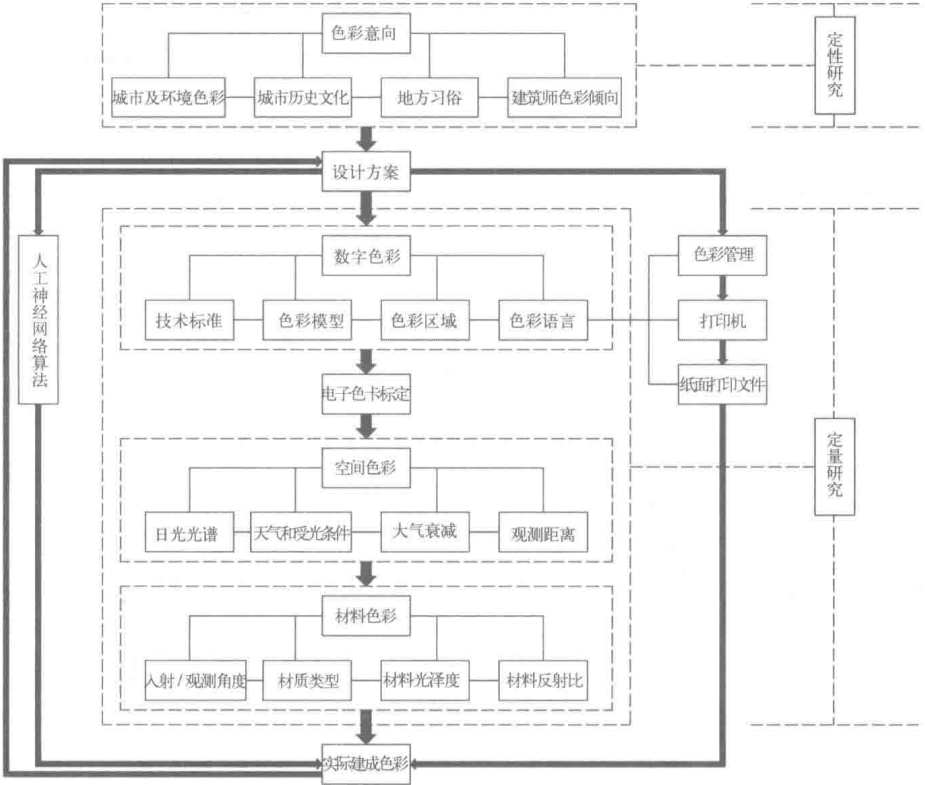


图 1-1 建筑色彩定性定量分析图

1.2 国外研究现状及分析

1.2.1 颜色科学的基础研究

1666 年，牛顿通过三棱镜将日光分解成红、橙、黄、绿、紫等各种色光，揭示了光色原理，从而奠定了色彩研究的基础。此后，颜色科学的基础研究得到了长足发展。为完成色彩的科学化测量和表达，产生了色度

学，并建立了一系列颜色体系。目前，国际上有影响力的颜色系统主要有8个（表1-1）^[2]，包括CIE（国际照明委员会）标准色度学系统、孟塞尔（Munsell）颜色体系、瑞典自然色体系（NCS）、美国光学学会均匀色体系（OSA-UCS）、德国工业标准颜色体系（DIN）、奥斯瓦尔德颜色体系、匈牙利 coloroid 颜色体系、日本实用色彩坐标系统（PCCS），使色彩的认定科学化、精确化和系统化。其中，CIE 标准色度学系统是国际照明委员会1931年在剑桥举行的第八次会议上确立的，其以CIE-RGB光谱三刺激值为基础，统一了“标准色度观察者光谱三刺激值”，并确立了CIE 1931-XYZ系统，从而奠定了现代色度学的基础。孟塞尔颜色体系是美国画家孟塞尔创立的，是以颜料色彩为载体、偏重色彩心理属性研究的色彩体系，其是目前国际上作为分类和标定物体表面色最广泛采用的色彩体系。自然颜色体系由瑞典斯德哥尔摩“斯堪的纳维亚色彩学会”研究发布的，在欧洲有着广泛深入的影响。日本实用色彩坐标系统在日本作为儿童、学生、色彩初学者的色彩教育体系以及配色设计和市场调查的工具，其制定借鉴了孟塞尔颜色体系。

国际上常用的几种颜色体系概况 表1-1

颜色体系	发展历史	指导原则	基本参数标注方式	相互之间的关系
CIE1931 标准色度 学系统	最初是1931CIE-RGB系统；1931年推出CIE-XYZ系统，即CIE1931标准色度学系统，适用于1°~4°视场的颜色测量；1964年，推出CIE1964补充标准色度学系统，适用于10°大视场的颜色测量	每一种颜色都可以用产生它的光谱三刺激值X、Y、Z和色品坐标(x, y)来表示；强调颜色刺激的物理定量	光谱三刺激值X、Y、Z和色品坐标(x, y)	除NCS体系、奥斯瓦尔德体系、PCCS体系以外，与其他各种体系之间都存在换算关系
孟塞尔颜色体系	研究最早，1905年出版《孟塞尔颜色体系图册》；1929年孟塞尔颜色公司出版第二套实物色卡；1943年，美国光学学会完成孟塞尔新编颜色体系；1973年制出孟塞尔无光泽颜色图册；1974年制出孟塞尔有光泽颜色图册	在系统允许的几何空间内，相邻样片的色调、明度、纯度属性中每一个的视觉间隔相等	色调H，明度V，纯度C；HVC	明度与CIE三刺激值中Y之间有明显函数关系；样品有CIE测量数据；V、C与NCS体系之间有解析换算关系
瑞典自然色体系（NCS）	1964年开始研究；1972~1973年形成瑞典国家标准；1979年制出1412块样片的瑞典标准颜色图册	采用相似原则，即每种颜色同四个彩色原色（红、黄、绿、蓝）及两个无彩色原色（黑、白）之间的相似程度	色调Φ，纯度C，黑度S；sscc-AΦΦB	与CIE之间无换算关系；样品有CIE测试数据；与孟塞尔体系之间有解析换算关系

续表

颜色体系	发展历史	指导原则	基本参数标注方式	相互之间的关系
美国光学学会均匀色体系 (OSA-UCS)	1947年建立OSA均匀色空间委员会；1976年完成558块样片的OSA-UCS颜色图册	尽可能均匀的颜色视觉间隔	明度 L ，黄-蓝度 j ，红-绿度 g ； $L:j:g$	与CIE之间有明确的换算关系，但比较复杂；样品有CIE测量数据
德国工业标准颜色体系 (DIN)	1938年开展研究工作；1957年发行第一套实物标样；1960~1962年出版无光泽色卡，约600片；1978~1983年出版有光泽色卡，形成德国标准DIN 6164	单个颜色属性改变时视觉间隔相等；采用了折中原则，不强调三维等间隔	色调 T ，黑度 D ，饱和度 S ；DIN 6164- $T:S:D$	黑度与CIE之间有换算关系；样品有CIE测量数据
奥斯瓦尔德颜色体系	1915~1916年由德国化学家奥斯瓦尔德创立	视觉间隔相等；色调环上相对位置的颜色互补	色调，白度，黑度	与CIE之间无换算关系；样品有CIE测量数据
匈牙利coloroid颜色体系	1962年开始，1989年完成	美学上的间隔相等。	色度 A ，明度 V ，饱和度 T ； $A-V-T$	明度与CIE之间有换算关系；样品有CIE测量数据
日本实用色彩坐标体系 (PCCS)	1966年发表；1978年发行色彩大全5000；1982年发行色彩707，汇集了用户常用的707种色样	综合孟塞尔颜色体系和奥斯瓦尔德体系的优点	色调，明度，纯度；色调—明度—纯度	与CIE之间无换算关系，样品有CIE测量数据

CIE 颜色系统包括了CIE1931 标准色度学系统、CIE1964 补充标准色度学系统、 $CIE L^*u^*v^*$ 、 $CIE L^*a^*b^*$ 、 $CIE L^*C^*H^\circ$ 等。其中， $CIE L^*a^*b^*$ 色空间是基于一种颜色不能同时既是红又是绿，也不能同时既是黄又是蓝这个理论建立的，具有良好的平衡结构，是颜色模型中用得最广、最有用的色空间之一。 L^* 表示明度、 a^* 表示红 / 绿值、 b^* 表示黄 / 蓝值 (图 1-2) [3]。 $CIE L^*C^*H^\circ$ 模型是由 $CIE L^*a^*b^*$ 派生而来的，可以很容易地看到两种相关颜色的位置，具有较高的直观性。 L^* 表示明度， C^* 表示色度 (即饱和度或纯度)， H° 表示色调 (作为色调角度测量)。在颜

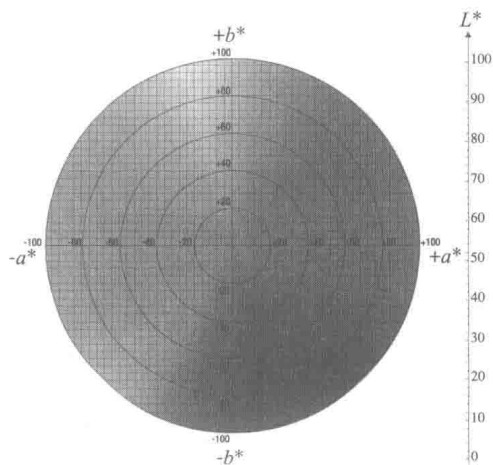


图 1-2 CIE $L^*a^*b^*$ 色空间
(资料来源: 李亨, 1994)

色转盘理论中，色调角度的原点是 0° ，表示红色，当转盘转动时，颜色会随着色调角度的变化而改变，其中比较突出的颜色对应的色调角度是黄色 (90°)，绿色 (180°)，蓝色 (270°)，红色 ($0^\circ/360^\circ$)，理想的补色之间总是相隔 180° 。CIE 颜色系统表述的是色彩的客观三属性，即主波长、纯度和明度。它是不依赖设备的，其在色空间中的颜色范围不会受到设备或观察者视觉再现能力的限制。

孟塞尔颜色体系用色相 (符号 H)、明度 (符号 V) 和彩度 (即饱和度，符号 C) 来标定物体颜色。彩色系的标定方法是 HV/C ，即先写出色相 H ，然后写出明度值 V ，再在斜线后面写出彩度 C ；中性色的标定方法是 $NV/1$ ，即用符号 N 表示中性色，并在 N 后面给出明度值 V ，斜线后空白。美国光学学会在 1943 年对孟塞尔图册中的色样作了光谱光度测量及视觉实验，重新编排和增补了孟塞尔图册中的色样，并制定了《孟塞尔新标系统》。修订后的色样编排在视觉上更接近等距，而且对每一色样都给出了相应的 CIE1931 标准色度学系统的色度坐标，实现了孟塞尔新标系统和 CIE1931 标准色度学系统在一定测试条件下的相互转换。孟塞尔颜色体系表述的是色彩的主观三属性，即色相、明度和彩度 (图 1-3) [4]。

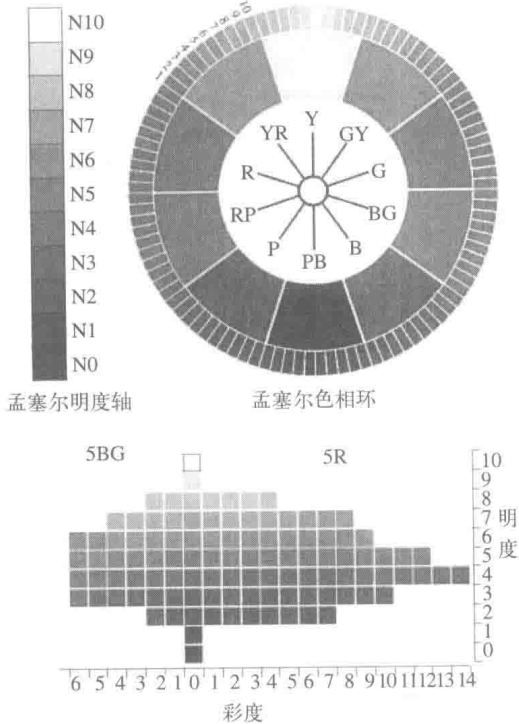


图 1-3 孟塞尔颜色体系
(资料来源：何国兴，2004)

CIE 颜色系统和孟塞尔颜色体系等在描述颜色时都需要使用三个要素，颜色空间坐标轴的三属性或三原色等。反射光谱颜色模型测量可见光谱中多个不同参考点以得到整个光谱能量分布，其并不依赖三个参考点，是所有颜色模型中最精确的。反射光谱颜色模型测量的是物体表面的光谱反射比 $\rho(\lambda)$ ，其与光源本身是无关的，因为物体表面的光谱反射比不论在什么光源条件下都是相同的。因此，反射光谱颜色模型能在任何光源下预知颜色行为，其可以被转换为其他颜色模型，如 $CIEL^*a^*b^*$ 、 $CIEL^*u^*v^*$ 、 $CIEL^*C^*H^\circ$ 、孟塞尔 HV/C 等，反之是不成立的 (图 1-4)。