

21世纪城市灯光环境规划设计丛书

The City Light Environment Programming Design

建筑室内灯光环境设计

吴蒙友 李记荃 李远达 编著

中国建筑工业出版社

21 世纪城市灯光环境规划设计丛书
The City Light Environment Programming Design

建筑室内灯光环境设计

吴蒙友 李记荃 李远达 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑室内灯光环境设计/吴蒙友,李记荃,李远达编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2006
(21世纪城市灯光环境规划设计丛书)
ISBN 978-7-112-08811-9

I.建... II.①吴...②李...③李... III.室内照明—照明
设计 IV.TU113.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 121509 号

责任编辑: 马 彦 李晓陶

责任设计: 赵 力

责任校对: 张树梅 王金珠

21 世纪城市灯光环境规划设计丛书

The City Light Environment Programming Design

建筑室内灯光环境设计

吴蒙友 李记荃 李远达 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京盛通彩色印刷有限公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/12 印张: 9 字数: 300 千字

2007 年 1 月第一版 2007 年 1 月第一次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 98.00 元

ISBN 978-7-112-08811-9

(15475)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

《21 世纪城市灯光环境规划设计丛书》编委会

策 划 单 位：深圳市名家汇城市照明研究所
中国建筑工程出版社

策 划：王雁宾 程宗玉

编委会主任：程宗玉

副 主 任：吴蒙友

丛 书 主 编：吴蒙友

《建筑室内灯光环境设计》

深圳市名家汇城市照明研究所

编 著：吴蒙友 李记荃 李远达

美 术 编 辑：邓瑞芳

责 任 编 辑：马 彦 李晓陶

前 言

全国经济的持续走高，带动了灯光产业的快速发展；城市经济的日益壮大，使得灯光环境规划设计成为城市建设的重要组成部分。目前无论灯光环境规划设计理念还是灯光设备都发生了很大变化。新的设计思想结合灯光特性、艺术性和文化品位特色，强调以人为本的人性化设计，以满足城市人们希望夜生活所能达到的环境优美、光亮感和色彩感适宜、空间层次感舒适、城市立体感丰富等多个层面的要求。光源科学的发展，光照艺术的魅力，推动着城市建设的进步，其表现形式，被称作城市“第二轮廓线”，城市建设的“四维空间”。它的发展同时也拉动了城市经济。照明新理念的发展，改变了城市灯光环境的面貌。高新技术产品的不断涌现，使城市灯光环境呈现出美好的发展前景。这是我们编辑《21世纪城市灯光环境规划设计丛书》的动力。夜晚的城市为夜空间环境提供所需的必备机能，如娱乐、休闲、聚会、庆典、商业、交通等，并通过各种高科技演光手段对城市夜间景观环境进行二次审美创造，为城市人们夜生活提供必要、舒适的人工光照环境。

城市灯光环境离不开光源的开发和灯具设计形式及技术的发展，光源与灯具设计除去其光亮、色彩给城市带来的美感之外，灯具本身的形象和特色也为美化城市增添优雅的笔触。

建筑室内外以及道路、桥梁、公园、广场装饰的用光、用色技巧，光与色对人体的反映，光色的艺术表现方法，城市建设和各种环境装饰用光、用色的案例分析、优秀作品展示、国内外先进案例介绍等等，是本套丛书所涉及的范围。本丛书共分五册，包括有《城市广场灯光环境规划设计》、《城市道路桥梁灯光环境设计》、《商业街灯光环境规划设计》、《城市园林灯光环境设计》、《建筑室内灯光环境设计》等。丛书从案例解剖、设计分析入手，系统详尽地介绍了环境灯光规划设计、艺术效果以及灯具款式的选用，电路系统的安装控制等。言简意赅，案例翔实，图文并茂，道理通俗易懂，且集全面性、专业性、实用性于一体。

限于编者的水平，丛书可能会出现这样或那样的错误，许多方面或深度不及或广度不够，这也是在所难免的。敬请有关专家和广大读者提出宝贵意见，以使丛书臻于完善，使读者于丛书中能得到裨益。

编 者

2006年6月

深圳市名家汇城市照明研究所

深圳市名家汇城市照明研究所是由深圳市科技局和深圳市民政局共同批准的专业城市照明研究机构，由一批从事高新技术研究的人才，照明业界的专家学者和优秀的设计人员组成。研究所秉承“立足城市景观艺术，传承人类照明科技”的理念，致力于中国城市灯光环境建设，目标是对城市灯光环境现状的测试、分析、评估乃至进行科学的规划和艺术的设计，同时进行光源以及灯具的研究开发。深圳市名家汇城市照明研究所注重技术创新与开拓，与美商MINKAVE集团和国内一些著名研究机构保持着稳固而密切的联系。以“科技为社会和经济发展服务”为宗旨，走“产学研一体化”发展道路，将国外的先进技术和理念用于中国的现代化建设。由此而产生了新的创作自由、新的造型意识、新的空间掌握思想、新的视觉要求和新的整体规划观念……，它的发展代表了中国城市照明发展的趋势。

名家汇城市照明研究所已为海内外完成大中型项目数百项，项目遍及欧美以及国内包括香港在内的二十多个省、市、自治区和特区。业务范围涵括城市整体和区域景观、城市广场、城市道路桥梁、城市商业街区、城市社区环境、旅游风景区、历史自然保护区、建筑室内等的照明规划和设计。在高科技、新技术的项目研究中，结合当前最先进的照明发光技术，开发出了一系列的高科技专利产品，如“数控变色发光管组”，“数控变色换画面并有变色背光源广告箱”等。这两项成果都已获得国家专利局颁发的专利证书。同时主编了《21世纪城市灯光环境规划设计》以及系列丛书。目前正在着手组建中国城市照明网。为了弘扬科技、交流信息、促进我国照明业的发展，名家汇城市照明研究所还创办了《城市之光》杂志。

物竞天择，深圳市名家汇城市照明研究所将推陈出新，不断地为中国城市照明事业发光发热。

Contents

目 录

第一章 光学基础和照明表色方法	1
1.1 光的基本特征	1
1.2 材料的光学性质	3
1.3 表色方法	6
第二章 照明设计基础	12
2.1 照度标准	12
2.2 照度分布和亮度分布	12
2.3 眩光评价方法	13
2.4 照度和亮度的测量	14
2.5 亮度设计	15
2.6 室内照明照度的计算	18
2.7 照度标准值	30
第三章 电光源	34
3.1 白炽灯	34
3.2 LED 光源	35
3.3 微波硫灯	36
3.4 光纤	36
3.5 稀土节能灯	37
3.6 汞灯	38
3.7 金属卤化物灯	39
3.8 钠灯	39
3.9 混光光源	40
第四章 灯具的性能作用及设计方法	41
4.1 灯具的性能	41
4.2 灯具的设计方法	42
第五章 灯具的应用	44
5.1 灯具的分类	44
5.2 室内灯具的光度测量及其光度参数	46
5.3 灯具的选用	47
第六章 室内照明灯具	49
6.1 吊灯	49
6.2 吸顶灯	51
6.3 门灯	51
6.4 壁灯	52

6.5 室内移动式灯具	52
6.6 有缝光导管	52
6.7 天棚照明器具	54
6.8 舞厅灯	54
6.9 艺术欣赏灯	55
第七章 商业建筑照明设计	57
7.1 商业建筑与照明	57
7.2 商业照明的分类和方法	57
7.3 商业照明的电气安全	59
第八章 工厂照明设计	61
8.1 对工厂照明的一般考虑	61
8.2 工厂照明的设计要点	62
8.3 工厂照明方式	63
第九章 学校和图书馆照明	65
9.1 学校照明	65
9.2 图书馆的照明	66
第十章 影剧院、礼堂照明	68
10.1 设计要点	68
10.2 照明标准	68
10.3 影剧院内各场所照明	68
第十一章 办公室内环境照明	70
11.1 办公室的光环境	70
11.2 普通办公室的照明	70
11.3 单体办公室的照明	70
11.4 工作室的照明	71
11.5 会议室的照明	71
第十二章 住宅照明	73
12.1 住宅照明的要求及分类	73
12.2 住宅照明设计	75
第十三章 室内照明环境实景	78
参考文献	100

第一章 光学基础和照明表色方法

1.1 光的基本特征

1.1.1 可见光

光,即电磁波,是属于一定波长范围内的一种电磁辐射。波长范围在380~780nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)的电磁波能引起人的视觉,这部分电磁波就被称之为可见光。由单一波长组成的光称为单色光。严格地说单色光几乎是不存在的,所有光源所产生的光至少要占据很窄的一段波长。全部可见光波长混合在一起形成日光(白色光)。波长大于780nm的红外线,波长小于380nm的紫外线,x射线都不引起人眼的反应。而不同波长的可见光,在人眼中又产生不同的颜色感觉。

1.1.2 相对光谱效率

光作为电磁能量的一部分,当然是可以量度的。但经验和实验都证明,不同波长的可见光在人眼中引起的光感是不均匀的,即不同的波长的可见光尽管辐射的能量一样,但看起来明暗程度有所不同。这说明了人眼对不同波长的可见光有不同的主观感觉量。在白天(或光线充足的地方),人眼对波长为555nm的黄绿光最敏感。波长偏离555nm愈远,人眼对其感光的灵敏度愈低。

用来衡量电磁波所引起视觉能力的量,称为光谱光效能。任一波长可见光的光谱光效能与555nm可见光的光谱光效能之比,称为该波长的相对光谱光效率 $V(\lambda)$ 。光谱光效率用以衡量各种波长单色光的主观感觉量,故又称为单色光的相对视度。

1.1.3 基本光度单位

(1) 光通量

由于照明效果最终是以人眼来评定的。因此仅用能量参数来描述各类光源的光学特性还很不够,还必须引入基于人眼视觉的光量参数——光通量来衡量。

光源单位时间内发出的光量叫光通量,用符号 Φ 表示,单位为流明(lm)。

因为人眼对黄绿光最敏感,在光学中以它为基准做了如下的规定:当发出波长为555nm黄绿色光的单色光源,其辐射功率为1W时,则它所发出的光通量为680lm。由此可知,某一波长的光源的光通量计算式:

$$\Phi_{\lambda}=680V(\lambda)P_{\lambda} \quad (1-1)$$

式中 Φ_{λ} ——波长为 λ 的光源的光通量(lm);

$V(\lambda)$ ——波长为 λ 的光的相对光谱效率;

P_{λ} ——波长为 λ 的光源辐射功率(W)。

只含有单一波长的光称为单色光。大多数光源都含有多种波长的单色光,多色光光源的光通量为它所含的各单色光的光通量之和,即

$$\Phi=\Phi_{\lambda_1}+\Phi_{\lambda_2}+\cdots\cdots\Phi_{\lambda_n}=\Sigma[680V(\lambda)P_{\lambda}] \quad (1-2)$$

(2) 发光强度

光源在给定方向的单位立体角中发射的光通量的空间密度,称为光源在这一方向上的发光强度,以符号 I_{θ} 表示,单位为坎德拉(cd)。

因为光源发出的光线是向空间各个方向辐射的,因此,必须用立体角作为空间光束的度量单位计算光通量的密度。

(3) 光出度(光出射度)

面光源上每单位面积向半个空间发出的光通量称为光源的光出度,符号为 M ,单位为流明/平方米(lm/m^2)。其计算公式为:

$$M=\text{d}\Phi/\text{d}S \quad (1-3)$$

式中 M ——光出度(lm/m^2);

Φ ——光通量(lm);

S——面积 (m²)。

(4) 照度

表示表面被照明程度的量称为照度，照度的定义为：

$$E = \Phi / A \tag{1-4}$$

式中 E ——被照面 A 的照度 (lx)；

Φ —— A 面能接受的光通量 (lm)；

A —— A 面的面积 (m²)。

照度的单位为勒克斯 (lx)，1 勒克斯表示 1 流明的光通量均匀分布在 1m² 的被照面上，即 1lx=1lm/m²

(5) 亮度

在房间内同一位置，并排放着一个黑色和一个白色的物体，虽然它们的照度一样，但人眼看起来白色物体要亮得多，这说明了被照物体表面的照度并不能直接表达人眼对它的视感觉。这是因为人眼的视觉感觉是由被视物体的发光或反光 (透光)，在眼睛的视网膜上形成的照度而产生的。视网膜上形成的照度愈高，人眼就感到愈亮。白色物体的反光比黑色物体要强得多，所以感到白色物体比黑色物体亮得多。被视物体实际上是一个发光体，视网膜上的照度是被视物体在沿视线方向上的发光强度造成的。

发光体在视线方向单位投影面积上的发光强度称为该发光体的表面亮度，以符号 L 表示，单位为坎德拉每平方米 (cd/m²)，表示亮度的定义式为：

$$L_{\theta} = I_{\theta} / A \cos \theta \tag{1-5}$$

式中 L_θ ——发光体沿方向的表面亮度 (cd/m²)；

I_θ ——发光体沿方向的发光强度 (cd)；

Acosθ ——发光体的视线方向上的投影面 (m²)。

表面光亮度 (简称亮度) 的单位为坎德拉每平方米 (cd/m²)，过去非法定单位为尼特 nt，即 (1cd/m²=1nt)，表示在 1 平方米的表面积上，沿法线方向 (θ=0°) 产生 1 坎德拉的光强。

亮度的定义对于一次光源和被照物体是同等适用的。亮度是一个客观量，但它直接影响人眼的主观感觉。目前在国际上有些国家将亮度作为照明设计的内容之一。

以上介绍了 5 个常用的光度单位，它们从不同的角度表达了物体的光学特征。光通量说明发光体发出的光能数量，发光强度是发光体在某方向发出的光通量密度，它表明了光通量在空间的分布状况；光出度表明面光源上每单位面积向半个空间发出的光通量，也反映了光通量在空间的分布状况；照度表示被照面接受的光通量密度，用来鉴定被照面的照明情况；亮度则表示发光体单位表面积上的发光强度，它表明了一个物体的明亮程度。现将它们综合列于表 1-1 之中，以便比较和记忆，并将光通量、发光强度、照度、亮度四个光度单位之间关系表达于图 1-1 中。

光度单位和定义 表 1-1

名 称	符 号	定 义 式	单 位
光通量	Φ	$\Phi = \sum [680V(\lambda)P_{\lambda}]$	流明 (lm)
发光强度	I	$I = \Phi / \omega$	坎德拉 (cd)
光出度	M	$M = d\Phi / dS$	流明每平方米 (lm/m²)
照度	E	$E = \Phi / A; E = \frac{I_{\theta}}{r^2} \cos \theta$	勒克斯 (lx)
亮度	L	$L_{\theta} = I_{\theta} / A \cos \theta; L = E / \omega \cos \theta$	坎德拉每平方米 (cd/m²)

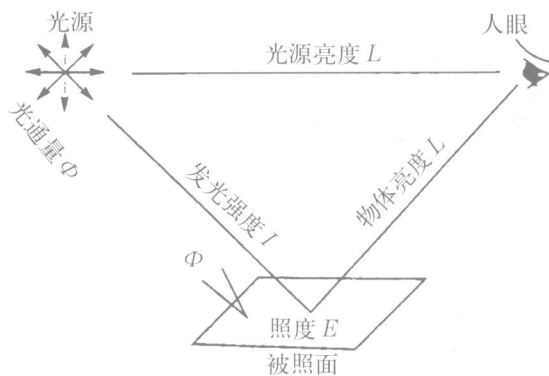


图 1-1 光通量、发光强度、照度、亮度关系示意图

1.2 材料的光学性质

在日常生活中，我们所看到的光，大多数是经过物体透射或反射的光。例如，粉白墙壁反射出明亮的光线；宽大透明玻璃窗透入大量的光线；乳白玻璃罩使室内照明光线柔和均匀。这表明材料对光线都具有反射或透射的作用，而且不同的材料会产生不同的效果，这些都与材料的光学性质有关。因此，在照明设计时，必须对常用的各种材料的光学性质有所了解，并根据它们的特点合理应用。

1.2.1 反射、透射和吸收系数

光在传播过程中，遇到介质（如玻璃、空气、墙体等）时，入射的光通量 Φ 的一部分 Φ_ρ 被反射；一部分 Φ_τ 透过介质进入另一侧的空间；而有一部分 Φ_α 被吸收，如图 1-2 所示。这三部分光通量与入射光通量 Φ 之比分别称为反射比 ρ 、透射比 τ 、吸收比 α ，即：

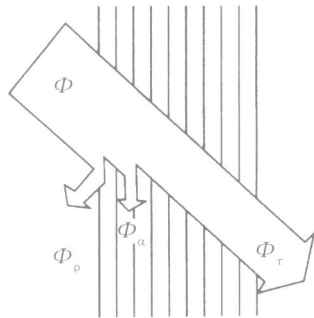


图 1-2 光的反射、透射和吸收示意图

$$\rho = \Phi_\rho / \Phi \tag{1-6}$$

$$\tau = \Phi_\tau / \Phi \tag{1-7}$$

$$\alpha = \Phi_\alpha / \Phi \tag{1-8}$$

根据能量守恒定律可得：

$$\Phi = \Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha \tag{1-9}$$

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \tag{1-10}$$

表 1-2 是常用材料的透射比、反射比和吸收比推荐值。

为了搞好照明设计，除了解上述的比例系数外，还应知道光线遇到介质后的分布情况。

1.2.2 材料的光学分类

常用材料的透射比，反射比和吸收比推荐值 表 1-2

材料名称	光学特征	透射比 τ (%)	反射比 ρ (%)	吸收比 α (%)	厚度 (cm)
透明的无色玻璃	定向	89~91	2~8	1~3	1~3
磨砂玻璃 (砂磨)	定向散射	72~85	12~15	3~16	1.8~4.4
磨砂玻璃 (酸蚀)	定向散射	75~89	9~13	2~12	1.3~3.7

续表

材料名称	光学特征	透射比 τ (%)	反射比 ρ (%)	吸收比 α (%)	厚度 (cm)
深色的乳白玻璃	漫射	10~66	30~76	4~28	1.3~3.7
乳状玻璃	定向散射	45~55	40~50	4~6	1.3~6.2
乳白色玻璃	混合		30~60		1.5~2
有机玻璃		63	22	2~3	
镀银之镜面玻璃	定向		70~85		
磨光玻璃	定向		65~75		
镀铝毛面	定向散射		55~60		
白铁	定向		65		
煤			3~5		
硫酸钡、氧化镁	漫射		95		
白珐琅	混合		65		
白色胶染料	漫射		80		
白色粉刷	漫射		76		
水泥砂浆粉面	漫射		45		
水磨石面 (灰色)	混合		32		
砂墙 (黄色)	混合		31		
白色瓷砖 (粗面)	混合		67		
土色瓷砖 (粗面)	混合		39		
室内常用装饰色彩					
淡奶油色			75		
灰色			55~75		
蓝色			35~55		
黄色			65~75		
米色			63~70		
绿色			52~65		

光线经材料的反射和透射之后，会在空间的分布上发生变化，这与材料表面的光滑程度和材料内部的分子结构有关。按光线经反射和透射后在空间分布的状况，材料可分为三类：定向的反射和透射材料；扩散的反射和透射材料；混合的反射和透射材料。

(1) 定向反射和透射材料

①定向反射材料：定向反射材料的表面是很光滑且不透明的，如镜子和磨得很光滑的金属表面。图 1-3 (a) 所示是定向反射的光线分布情况，它仅是按入射角等于反射角的规律改变光线的方向，其立体角保持不变。因此，在反射角方向上可以清楚地看到入射光源，而偏离这个方位则看不见了。反射面没有自身的亮度，它只是反射光源的亮度。利用这一特点，可把反射面放在合适的位置，从而把光线反射到需要的地方去，如投光灯就是利用镀银的曲面定向反射使光线集中投射到较远的场地，也可利用这个特点来避免光源在视线中出现，以防刺激眼睛，影响视力。铝是最常用的镜面定向反射材料，许多大功率的照明器都采用它来制作灯罩。

②定向透射材料：定向透射材料是透明的，其表面光滑，如平板透明玻璃等。图 1-3 (b) 所示是定向透射光线的分布情况，定向透射光束

的立体角和方向均保持不变, 仅在材料内部发生轻微的折射。透射表面没有自身的亮度, 只是透过光源的亮度而已。平板玻璃的两侧表面彼此平行, 透射过来的光线方向与入射的方向相同。所以隔着玻璃窗看外景很清楚且不变形。若玻璃厚薄不均、质地不均、各处的折射角不同, 透射过来的光线也就与入射方向不一了。隔着这种玻璃看到的物体是变形的。压花玻璃正是利用了这一特点, 以达到既能透光又看不清另一侧物体的目的。

(2) 扩散反射和透射材料

扩散反射材料是表面粗糙且不透明的材料, 如白粉墙、石膏饰面板、白色无光漆的表面等。实际上大部分无光泽的、粗糙的建筑材料都可近似地看成为扩散材料。

扩散透射材料是半透明的材料, 如乳白玻璃和半透明塑料等。

扩散反射和透射材料使入射光线发生扩散反射和扩散透射, 它们的特点是光线均匀地向周围空间反射或透射, 即入射光经扩散后, 被分散到更大的立体角内, 故又称为均匀扩散。均匀扩散的光强与亮度分布如图 1-4 所示。

均匀扩散时, 各个方向的亮度相同, 它们的反射光(或透射光)的光强分布是切于入射光线和受光表面交点的一个圆球, 且与入射光的方向无关。

扩散反射和扩散透射的发光体或发光表面, 从各个方向看亮度都是相同的, 看不见光源, 不会产生强光刺眼的现象, 从而形成亮度分布相当均匀的大片发光面。用扩散透射材料制作的灯罩和发光顶棚, 光线均匀散射使人感到柔和舒适。

(3) 混合反射和透射材料

这类材料同时具有定向和扩散的两种性质, 即入射光被扩散在较大立体角内, 但在某一方向上还具有最大亮度。混合反射和透射材料的光强和亮度分布状况如图 1-5 所示。

混合反射材料常用的有搪瓷表面和较粗糙的金属表面等。混合反射的反射部分, 与光线的入射角有关。入射角在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 范围内, 搪瓷材料的定向反射成分只占入射光的 $5\% \sim 6\%$, 如入射角增大, 其定向反射成分将大幅度增加。由于混合反射中有定向反射成分, 所以在反射角处就不能清晰地看到光源。

常用的混合透射材料有较薄的乳白玻璃、磨砂玻璃等。

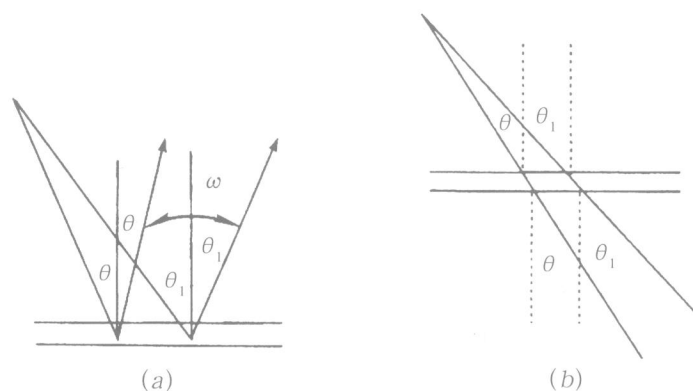


图 1-3 定向反射和透射的光线分布
(a) 定向反射; (b) 定向透射

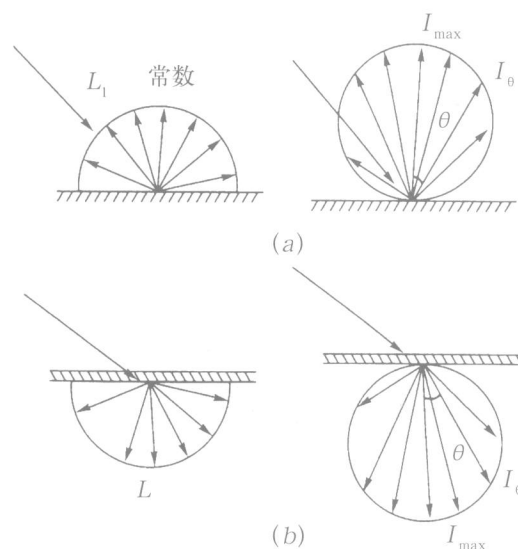


图 1-4 均匀扩散的光强和亮度分布
(a) 扩散反射; (b) 扩散透射

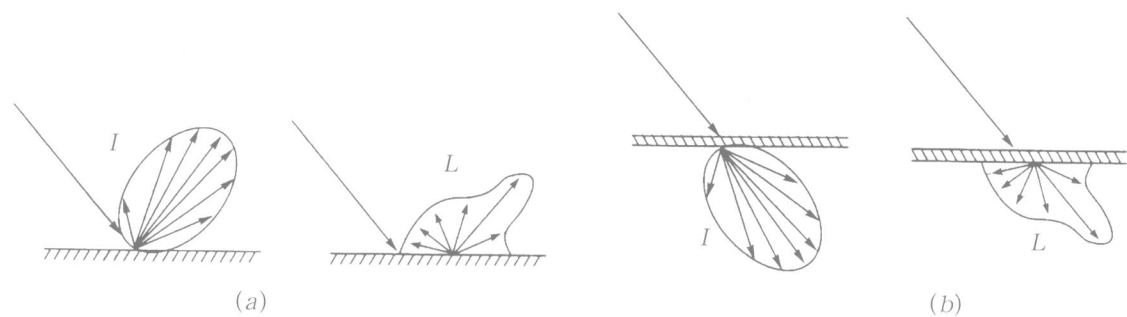


图 1-5 混合反射和透射的光强和亮度分布
(a) 混合反射; (b) 混合透射

1.3 表色方法

颜色是由于各种光谱能量对人的视觉系统的刺激而引起的感觉。定量地表示色或色彩的体系称作表色系。表色系有两大类：一类是以光的等色实验结果为依据的，以“光色”为对象的心理、物理学方法，由色刺激表示的体系；另一类是建立在对象在对“表面色”直接评价基础上的，用构成等感觉指标的颜色图来表示的体系。

1.3.1 国际照明委员会 (CIE) 的 RGB 表色系、XYZ 表色系和 WUV 表色系

在混色试验中发现，所有颜色的光都可由三基色按一定比例混合而成。三基色可有很多种选择方式。为了统一规定色度数据，现在国际上公认的 RGB 表色系的三基色为红光 (R) 波长 700.0nm，绿光 (G) 波长 546.1nm，蓝光 (B) 波长 435.8nm，但在进行混色试验时发现，在有些情况下，三色系统中的某个系数要取负值，这给计算和直读式光电色度计的研制造成困难。为了克服这些不便，CIE 在 1931 年通过将按照原刺激值 RGB 的表色系由坐标变换成规定出虚设的刺激值 XYZ 表色系，成为 CIE 实际采用的标准表色系（见图 1-6）。

CIE (1931 年) 规定的 XYZ 表色系的基础视场的大小是 2°，这样的视场比较小，与视觉的判断不一致，特别是在光谱三刺激值的短波部分的评价过低。因此，CIE 为了使色的实际制定的大小更加适当，使高的观察精度与视觉判定很好对应，在 1964 年又追加建立在 10° 视场的 CIE (1964 年) 辅助的 XYZ 表色系。其中 $Y(\lambda)$ 的值与标准观察者的光谱视效率 $U(\lambda)$ 一致。

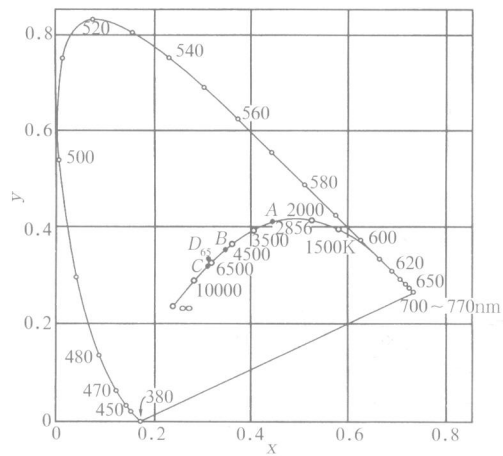


图 1-6(a) CIE1931 色度图

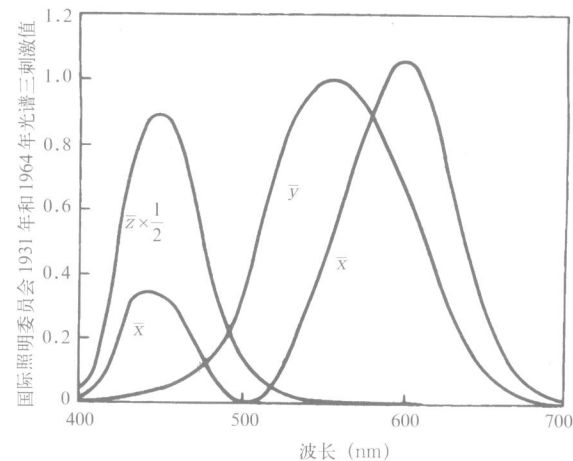


图 1-6(b) CIE1931 年和 1964 年光谱三刺激值

1.3.2 光源色和物体色

(1) 光源色

在 CIE (1931 年) 的 XYZ 表色系中, 当光源的光谱功率分布为 $P(\lambda)$ 时, 则有

$$\left. \begin{aligned} X &= k \int_{380}^{780} P_{(\lambda)} \bar{x}_{(\lambda)} d_{(\lambda)} \\ Y &= k \int_{380}^{780} P_{(\lambda)} \bar{y}_{(\lambda)} d_{(\lambda)} \\ Z &= k \int_{380}^{780} P_{(\lambda)} \bar{z}_{(\lambda)} d_{(\lambda)} \end{aligned} \right\} \quad (1-11a)$$

式中 k 为使 y 值测光量相一致的系数。对于 1964 年辅助的光谱三刺激值, 原则上只用于计算色度坐标, 而 y_{10} 与测光量并不对应。

(2) 物体色

在 CIE (1931 年) 的 XYZ 表色系中, 当光谱透过率或光谱反射率为 $\rho(\lambda)$ 的物体用光谱功率分布为 $P_a(\lambda)$ 的光源照明, 则有

$$\left. \begin{aligned} X &= k \int_{380}^{780} P_{a(\lambda)} \bar{x}_{(\lambda)} \rho_{(\lambda)} d_{(\lambda)} \\ Y &= k \int_{380}^{780} P_{a(\lambda)} \bar{y}_{(\lambda)} \rho_{(\lambda)} d_{(\lambda)} \\ Z &= k \int_{380}^{780} P_{a(\lambda)} \bar{z}_{(\lambda)} \rho_{(\lambda)} d_{(\lambda)} \end{aligned} \right\} \quad (1-11b)$$

式中的 $y(\lambda)$ 值与视觉反射率或透过率一致。

1.3.3 色度 (色品) 坐标

由 XYZ 按下列公式计算出来的 xyz , 称作色度坐标

$$\left. \begin{aligned} x &= X/(X+Y+Z) \\ y &= Y/(X+Y+Z) \\ z &= Z/(X+Y+Z) \end{aligned} \right\} \quad (1-12a)$$

因 $x+y+z=1$, 所以只要知道两个, 第三个就可以确定。x, y 是 z 通常使用的一种坐标。x, y 色度坐标存在一个严重缺点, 即在 x 和 y 方向的相等增量并不代表视觉上相等的颜色差异。于是 CIE 在 1960 年推荐使用有均匀色度坐标的 UCS 表色系, 供需要标定颜色差异的地方使用。通过简单的转换公式, 可以从 x, y 色度坐标求出它在 UCS 表色系中 u, v 坐标。

$$\left. \begin{aligned} u &= 4x/(x+15y+3z) \\ v &= 6y/(x+15y+3z) \end{aligned} \right\} \quad (1-12b)$$

$$\left. \begin{aligned} u &= 4x/(x-12y+3) \\ v &= 6y/(x-12y+3) \end{aligned} \right\} \quad (1-12c)$$

u, v 色度坐标显然解决了 CIE (1931 年) x, y 色度坐标的不均匀性, 但没有给出明度坐标值, 这就给色度差计算带来不便。为此, 又将 UCS 表色系中的色度坐标 u, v 扩充至包括亮度因素在内的三维均匀色空间, 即 CIE (1960 年) 的均匀色空间, 用明度指标 W^* 、色度 U^*, V^* 。

$$W^* = 25y^{\frac{1}{3}} - 17 \quad (1-13)$$

$$U^* = 13W^* (*u - u_0) \quad (1-14)$$

$$V^* = 13W^* (v - v_0) \quad (1-15)$$

式中 y ——检验色样 CIE (1931 年) XYZ 色度系统三刺激值;

u, v ——在被测光源照射下的检验色样的色度坐标;

u_0, v_0 ——标准光源照射下色样的色度坐标。

1.3.4 色温和相关色温

所有固体、液体和气体如果达到足够高的温度，都会发射出可见光，白炽灯中的固体钨约在 3000K 时炽热发光，是我们最为熟悉的人造光源。通常是随着辐射体的温度升高，辐射光色从暗红，经过橘黄发白，然后是炽蓝。这样色温也随着辐射体的温度升高而提高。这是遵循斯蒂芬—波尔兹曼定律：绝对黑体的能量亮度与物体绝对温度的四次方成正比。

因此光源的光色可以用色温来描述。当光源的光色与完全辐射体（黑色）在某一温度下辐射的颜色相同时，黑体的这个温度就称为该光源的色温，用绝对温度表示。

把黑体在各种温度时的色度坐标画在 CIE (1960 年) 色度图中形成的轨迹为黑体轨迹（见图 1-7）。光源的色度坐标在这轨迹上可以找到它的色温。但是，只有热辐射光源，如白炽灯，它的光谱功率分布和黑体接近，其颜色也就相同，在黑体轨迹上可以找到相应的色温。

对于气体放电光源，其光谱功率分布很少与黑体相似，客观存在发射光的颜色和不同温度下的黑体辐射光的颜色不完全相同，但为了比较还是用“相关色温”的概念。

相关色温是当某一种光源的色度与某一温度下黑体的色度最接近时的黑体温度。在图 1-7 中可以用色温不变的许多线（等色温线）来近似确定相关色温。显然相关色温所表示的光色是粗糙的，只能在一定程度上表达光色状况。

光源的色温一般是用自动光谱光度计来测量。光用自动光谱光度计测出光源的光谱功率分布，求出 XYZ 刺激值，计算出色度坐标 x, y 。由 x, y 转换成 CIE (1960 年) UCS 坐标图中 u, v 坐标，再由 CIE (1960 年) 色度图上的黑体轨迹查出光源的色温。当 u, v 色度坐标恰好位于黑体轨迹上查出光源的色温；若色度坐标点偏离黑体轨迹上，则求得的是光源的相关色温。

1.3.5 孟塞尔表色系

孟塞尔于 1905 年创立的颜色图册的表色系（见图 1-8）是把表示色的三个属性，即色调（H），明度（V）和彩度（C）按照感觉的等距离指标排列起来。后经美国光学学会对其进行改进而成现在的孟塞尔表色系。

色调（H）标尺，包括五种主色调：红（R）、黄（Y）、绿（G）、蓝（B）、紫（P）和五个中间色调：黄红（YR）、黄绿（YG）、蓝绿（BG）、紫蓝（PB）、紫红（PR）。这 10 种色调中，每一种又细分为 10 级，用在最接近的色调名称前面添加 1~10 的数字来表示。

明度（V）是色调的明亮程度，理想的黑为 0，理想的白为 10，在它们之间按感觉上的等距离标尺分成 10 等份来表示其明度值 V。

彩度（C）是彩色的饱和程度，或者反过来说，是该颜色没有被白色冲淡的程度。色调和明度一定的颜色在图册排列中把无彩色作为 0，彩

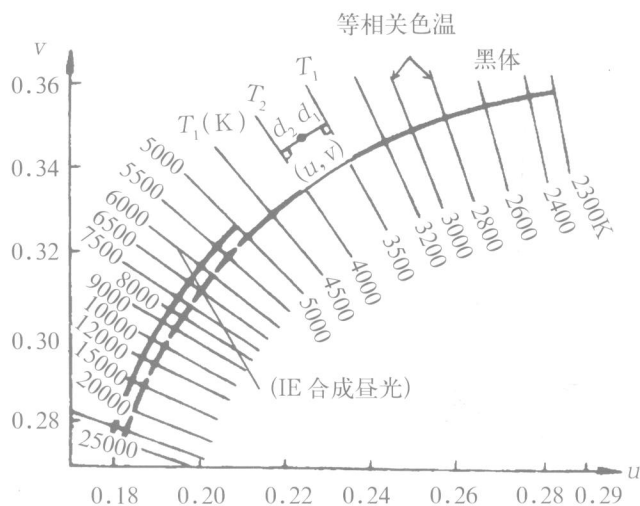


图 1-7 CIE (1960) UCS 图上等相关色温线

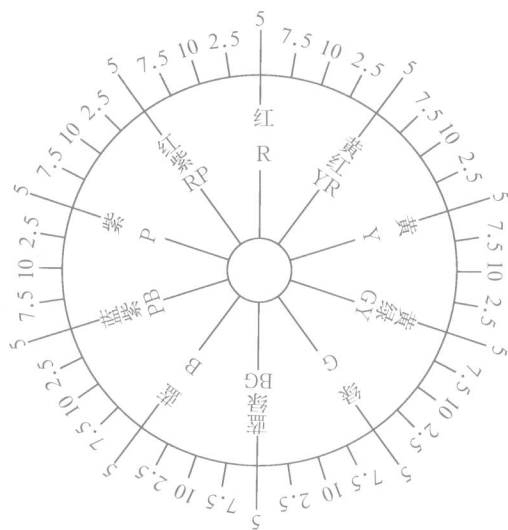


图 1-8 孟塞尔色立体色相环

度按感觉上的等距离标尺增加。

根据色调、明度、彩度这些标尺的不同编排,可以得到许多标准颜色样品的集合,同时对于有彩色用符号HV/C;对于无彩色用符号N,再标上明度值来表示。例如:朱红色为5R5/12,粉红色为5R8/4,黑色为N1,白色为N9,灰色为N5等等。

1.3.6 标准光源和标准照明体

(1) CIE 标准光源 A

白炽灯泡的光谱分布十分接近于完全黑体这一事实,使这种灯能直接作为光源A。光源A的色温是2856K,光谱功率分布由图1-9给出。

(2) 标准照明体 B 和 C

因为实际使用光源的工作温度比钨丝灯所能达到的温度要高,所以国际照明委员会(CIE)不规定光源A须和滤光器联合使用,从而产生色温分别为4874K和6774K的标准光源B和C。遗憾的是这种液体滤光器不易制备和保存,所以在大面积照明的场合就不使用这两种光源。

(3) 标准日光 D_{65}

天然昼光是人们最熟悉和用途最广泛的光源。虽然它的亮度和光谱组成是变化的,却是一个容易接受的标准。1967年CIE推荐6500K的昼光相对功率分布为标准日光 D_{65} 。这是根据许多人对自然天空光进行几百次测量的基础上制定的,但迄今为止还不能仿造出近似于标准日光的光源。

1.3.7 光源的显色性

由照明光源确定被照物体颜色感觉来说明光源的颜色性质,称为光源的显色性。光源的显色性是照明光源的重要特性之一,它是以另一个侧面来反映光源的颜色特性,与光源的色度、色温相结合,才能全面反映出光源的颜色特性。

(1) 显色性评价方法

显色性评价方法,可分为两大类。一类是以显色的忠实性为基础的方法,另一类是以人的感觉爱好为基础的方法。

在以显色的忠实性为基础的方法中,CIE曾在1948年推荐一种光谱带法。此法是将被测光源的可见部分的光谱功率分布分成8个光谱带,并一个个地与显色性好的基准光源相对应地进行比较来判断好坏,这种方法较难满足人们的意愿。1955年成立了显色性专门委员会,该委员会在各国研究的基础上,提出以试验色法作为评价光源显色性的基本方法,并在1965年CIE13号出版物《测量表示光源显色性的方法》第一版中规定出具体做法,1971年CIE对第一版加以补充和修订,并刊出第二版,这一方法可以作为忠实性为方法的补充。

(2) 显色指数的计算

光源的显色指数,可分为一般显色指数和特殊显色指数。

一般显色指数 R_a ,由8个规定试验色样的显色指数($i=1\sim 8$)的算术平均值求得,其计算公式:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i \quad (1-16)$$

特殊显色指数,是指光源对某一选定试验色样的显色指数,计算公式:

$$R_i = 100 - 4.6 \Delta E_i \quad (1-17)$$

式中 ΔE_i 是在待测光源照明下和基准光源照明下第*i*个试验色样的色差,用下式计算:

$$\Delta E_i = \{ [(u_{ki} - u_k) - (u_{oi} - u_o)]^2 + [(v_{ki} - v_k) - (v_{oi} - v_o)]^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (1-18)$$

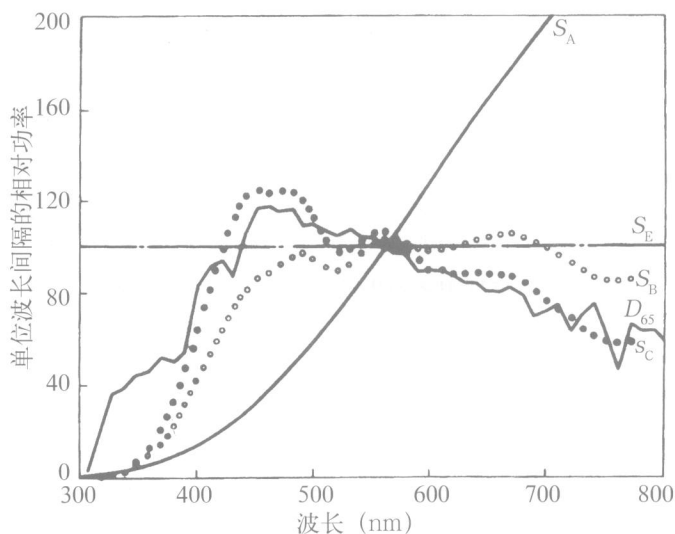


图1-9 国际照明委员会的标准发光体A、B、C和 D_{65} 的光谱功率分布曲线和等能量发光体