

全书结合建筑学、电学、光学、美学、色彩心理学、人类工效学等相关学科，从光学的基本知识、电光源的选择、照明灯具、照度计算以及装饰与艺术照明、室内照明设计、照明工程、照明供电与电气照明设计、绿色照明技术等角度全面、系统地阐述了室内照明设计与工程的相关理论与实践，反映了室内照明工程的最新研究成果和先进经验，颇具新颖性和实用性。本书适用于高等院校环境艺术设计、室内设计等相关专业或专业方向的本、专科教学，也可作从事照明工程设计、建筑电气设计的专业技术人员和管理人员和相关领域的工作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

室内照明设计与工程/李光耀主编. —北京: 化学工业出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-122-00959-3

I. 室… II. 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 (2007) 第 118997 号

责任编辑: 王 斌

装帧设计: 潘 峰

责任校对: 陈 静

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 358 千字 2007 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着人们生活水平的提高，人们对室内环境的要求也越来越高，居住的室内环境成为了一种重要的休闲、放松、享受生活的重要场所，室内灯光环境由以前的单纯照明演变成为一种照明系统工程，人们追求的不仅仅是亮度上的主观感受，更重要的是视觉、身心的一种享受。

现代照明设计与工程是一门技术与艺术相结合的边缘科学，设计要运用很多学科的理论基础。它包含着建筑学、电工学、光学、人类工效学和美学等多种学科的知识，涉及艺术修养和心理学等方面的考虑。利用各种光源的直射和漫射，灯具的新颖适时的造型和各种色彩的点缀，形成和谐而又舒适的光照环境，在功能上和艺术上都能满足人们的不同要求，这是当前现实生活中需要解决的问题。

本书着重叙述有关室内照明的概念和理论，从材料的光学性质、视觉特性、颜色特性、光源和照明器的选用等方面进行讲解，以期读者对灯光环境的设计原理有正确的理解。此外，结合各类建筑环境的实际需要，对照明灯具、照明方式、照明计算方法、照明设计要点与设计方法、照明供电、绿色照明等进行较全面的介绍，尽量反映灯光工程设计的先进经验和最新研究成果。这不仅对广大读者有所裨益，同时对于提高各类建筑的装饰水平，美化生活环境，促进文化艺术事业的繁荣和发展，也会起到较好的推动作用。

本书的出版得到了化学工业出版社的关心和支持，在编写的过程中，得到了福建农林科技大学、浙江林学院等相关学院、系领导和同志们的大力支持、还得到了中冠装饰集团、紫蝶国际的热情帮助，在此谨致以深切的谢意。书中内容广泛，涉及多种专业，面向工程，为了使读者学以致用，编者查阅了大量公开或内部发行的工程技术书刊和资料，吸取了许多有益知识，借用了其中大量的图表及内容，在此向所有熟识的以及曾经见面的作者致以衷心感谢。

本书内容新，涉及面广，可作为照明设计与工程、装饰与环境设计等专业的教材或参考教材，也可供从事上述专业的设计人员和工程技术人员参考。

本书由浙江林学院李光耀担任主编，福建农林科技大学陈祖建、中冠装饰集团周建中董事长为副主编，参加编写工作的还有紫蝶国际朱峰副总经理，浙江林学院胡孙跃、唐彩云老师，浙江林学院付贵、鲁杰、罗鹏、王智伟、金杨、张燕、朱燕红、王冠、陈斌等同学。

由于编者水平有限、时间仓促，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者批评指正，不胜感激。

编 者
2007.7

目 录

1 概论	1
1.1 光学的基本知识	1
1.1.1 光的基本特性	1
1.1.2 光的量度	2
1.1.3 光的反射和透射	5
1.2 光源颜色	9
1.2.1 光源的色表	9
1.2.2 光源的显色性	11
1.2.3 物体色	12
1.3 灯光环境的基本要素	13
1.3.1 照度水平	13
1.3.2 亮度比	15
1.3.3 光色与显色性	16
1.3.4 灯光的造型	17
2 照明光源与环境	19
2.1 概述	19
2.1.1 光的现象和应用	19
2.1.2 人工光的意象演示	19
2.1.3 照明对视觉的影响	20
2.2 电光源	22
2.2.1 电光源的种类	22
2.2.2 电光源的特性	23
2.2.3 常用电光源的技术参数	26
2.3 选择光源的基本原则	40
2.3.1 按照高效、长寿命原则选择光源	40
2.3.2 按照环境对显色性的要求选择光源	40
2.3.3 按光源的色表（颜色）选择光源	41
2.4 灯光环境的质量控制	41
2.4.1 视觉功效与照明的关系	41
2.4.2 灯光环境质量的评价标准	43
3 照明灯具	49
3.1 灯具的特性和指标	49
3.1.1 灯具的特性	49
3.1.2 灯具的指标	50
3.2 影响灯具性能和灯具效率的因素	50

3.3	灯具的选择	52
3.3.1	选用灯具的基本原则	52
3.3.2	按配光种类选择灯具	52
3.3.3	直接型配光灯具的选择	52
3.3.4	从节能角度出发选择灯具	53
3.3.5	荧光灯具选择	54
3.4	灯具的分类与命名方法	55
3.4.1	灯具的分类	55
3.4.2	灯具型号命名方法	56
3.4.3	灯头、灯座的型号命名方法	58
3.5	灯具的安全要求	61
3.5.1	灯具一般安全要求	61
3.5.2	应急照明灯具安全要求	66
3.5.3	防爆灯具安全要求	68
3.5.4	可移式灯具安全要求	70
3.5.5	嵌入式灯具安全要求	72
3.5.6	内装变压器的钨丝灯灯具的安全要求	72
4	室内照明设计基础	74
4.1	室内照明设计目的与要求	74
4.1.1	照明设计的目的	74
4.1.2	照度的要求	74
4.1.3	亮度分布的要求	75
4.1.4	光源的显色性要求	76
4.1.5	照明的稳定性要求	78
4.1.6	光色的要求	79
4.1.7	限制眩光的要求	79
4.1.8	阴影和立体感的要求	82
4.1.9	经济性要求	82
4.2	建筑照明设计程序	82
4.2.1	照明设计的基本原则	82
4.2.2	照明设计的主要内容	83
4.2.3	灯光照明的设计程序	83
4.2.4	照明设计中灯具的选择	84
4.3	照明的经济分析	87
4.3.1	照明经济性计算	87
4.3.2	照明灯具的经济清扫周期	88
4.3.3	照明方案的经济比较	88
4.3.4	照明方案的节能比较	90
5	照明计算	91
5.1	照明计算的基本概念	91
5.1.1	照明计算的内容	91

5.1.2	照度计算的基本方法	91
5.2	直射照度的计算	91
5.2.1	平方反比法	91
5.2.2	空间等照度曲线法	93
5.3	平均照度的计算	94
5.3.1	利用系数法	95
5.3.2	单位容量法	106
5.3.3	点光源逐点计算法	112
6	装饰与艺术照明	113
6.1	概述	113
6.1.1	装饰与艺术照明的效用	113
6.1.2	照明美学	114
6.2	装饰照明	115
6.2.1	装饰照明的作用	115
6.2.2	灯光的造型和雕塑	116
6.2.3	装饰照明的技术特性	116
6.2.4	装饰照明的设计程序	117
6.2.5	装饰照明的质量要求	118
6.2.6	照明的装饰效果	120
6.2.7	建筑化照明的主要形式	121
6.3	艺术照明	129
6.3.1	艺术照明的作用	129
6.3.2	艺术照明的特点	130
6.3.3	艺术照明的演绎手法	130
6.3.4	灯光艺术的体现方式	131
7	室内灯光环境设计	133
7.1	概述	133
7.1.1	营造室内灯光环境的意义	133
7.1.2	室内照明设计的基本原则	133
7.2	住宅照明	133
7.2.1	住宅照明的基本要求	133
7.2.2	各种房间灯饰的选配方案	135
7.2.3	照明设计的主要内容	136
7.2.4	室内照明的质量保证	137
7.2.5	光源和灯具的选择	137
7.2.6	房间的布灯方式	140
7.2.7	各种房间的照明举例	141
7.3	办公楼照明	143
7.3.1	现代化办公楼照明的基本概念	143
7.3.2	办公楼照明设计	144
7.3.3	景观办公室照明的特点	147

7.3.4	人工照明的自动控制	147
7.3.5	营业性办公室的照明设计	148
7.3.6	其他场所的照明	150
7.3.7	办公自动化与照明设计	151
8	应急照明	158
8.1	应急照明的种类、用语和定义	158
8.1.1	应急照明的目的和种类	158
8.1.2	应急照明术语	158
8.2	应急照明的基本要求	159
8.2.1	应急照明照度标准	159
8.2.2	应急照明光源	159
8.2.3	应急照明的供电	160
8.2.4	应急照明的维护	161
8.2.5	应急照明灯具的技术要求	161
8.2.6	应急照明灯具的配线	162
8.3	备用照明设计	163
8.4	安全照明设计	164
8.5	疏散照明设计	164
8.5.1	疏散照明的设置原则	164
8.5.2	疏散照明灯的种类	165
8.5.3	安全出口、通道标记	166
8.5.4	疏散应急照明设置要领	166
8.6	常用应急灯的接线及技术要求	174
8.6.1	应急灯常用的接线和点燃方式	174
8.6.2	应急灯的技术要求	175
9	照明供电与电气照明设计举例	178
9.1	照明系统工程设计基础	178
9.1.1	照明系统的组成	178
9.1.2	照明系统的分类	178
9.1.3	照明系统工程设计的内容及步骤	179
9.2	照明供电系统	180
9.2.1	对照明供电电压的基本要求	180
9.2.2	照明负荷的接线方式	180
9.2.3	照明配电系统	182
9.3	电气照明负荷计算	186
9.3.1	需用系数法	186
9.3.2	负荷估算法	188
9.3.3	照明线路的计算电流	188
9.4	导线和电缆的选择与敷设	190
9.4.1	按机械强度要求选择导线截面	190
9.4.2	按允许载流量选择导线和电缆截面	190

9.4.3	按线路电压损失选择导线截面	191
9.4.4	中性线 (N)、保护线 (PE)、保护接地中性线 (PEN) 的截面选择	192
9.4.5	照明线路的敷设	193
9.5	照明设计举例	194
9.5.1	住宅电气照明设计举例	194
9.5.2	教室照明设计	196
9.6	建筑电气照明施工图的识读	197
9.6.1	建筑电气工程图的图形符号、文字符号及其特点	198
9.6.2	建筑图中导线的标注	198
9.6.3	读图举例	199
9.7	照明灯具与开光、插座的安全	202
9.7.1	照明灯具的安全	202
9.7.2	开关、插座的安全	206
9.7.3	配电箱的安全	208
10	绿色照明设计	210
10.1	概述	210
10.1.1	节能与节电	210
10.1.2	照明设备的节电方法	210
10.2	绿色照明工程	212
10.2.1	绿色照明工程的概念	212
10.2.2	绿色照明工程的实施	212
10.2.3	绿色照明的光源选择	213
10.2.4	正确合理选用灯具	214
10.2.5	绿色照明的设计要点	215
10.3	照明设施的管理	215
10.3.1	合理使用光源	215
10.3.2	选用效率高的灯具	216
10.3.3	稳定电源电压	217
10.3.4	加强维护管理	217
附表一	不同建筑照明功率密度允许值及常用灯具的单位容量安装值	219
附表二	常用电气图形符号	221
附表三	常用绝缘导线技术数据	224
附表四	绝缘导线穿管管径以及管规格	227
参考文献	231

1

概 论

1.1 光学的基本知识

1.1.1 光的基本特性

光是以电磁波形式传播的辐射能。电磁波的波长范围极其宽广，最短的如宇宙线，其波长仅 $10^{-14} \sim 10^{-16} \text{m}$ ，最长的电磁波长可达数千米。波长范围在 $380 \sim 780 \text{nm}$ ($1 \text{nm} = 10^{-9} \text{m}$) 的电磁波能使人眼产生光感，这部分电磁波就被称之为可见光。波长大于 780nm 的红外线、无线电波，波长小于 380nm 的紫外线、X 射线都不能引起人眼的视觉反应，人眼是看不见的。而不同波长的可见光，在人眼中又产生不同的颜色感觉，如图 1-1 所示。各种颜色对应的波长范围并不是截然分开的，而是随波长逐渐变化的。只有单一波长的光，才表现为一种颜色，称为单色光。全部可见光波混合在一起就形成日光（白色光）。

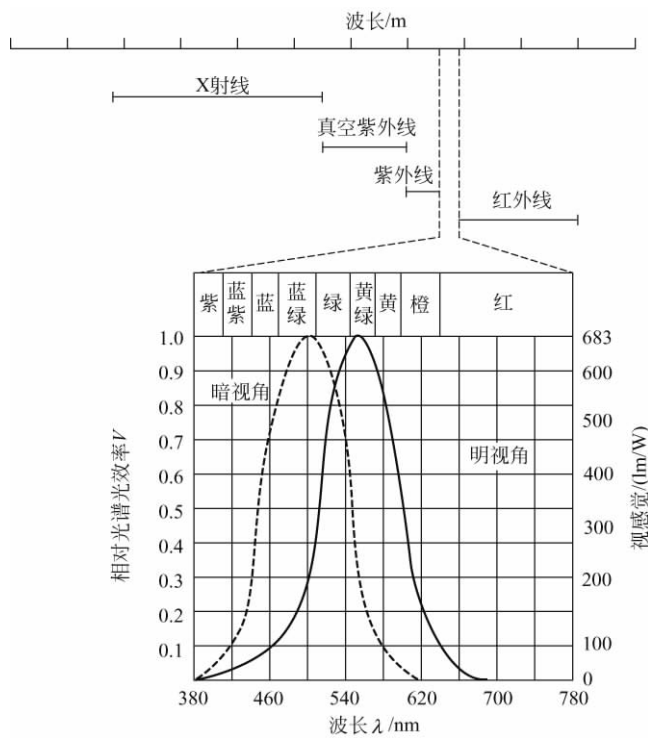


图 1-1 可见光及其颜色感觉、光谱光效率曲线

太阳所辐射的电磁波中，波长大于 1400nm 的被低空大气层中的水蒸气和二氧化碳强烈吸收；波长小于 290nm 的被高空大气层中的臭氧所吸收。能到达大地表面的电磁波，其波



长正好与可见光的波长相符，这说明人眼对光的视觉反应是人类在进化过程中，对地球大气层透光效果相适应的结果。

人眼对于不同波长的感受性是不同的，这不仅表现在颜色感觉的不同上，而且表现在亮度感觉的不同上。即不同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（或在光线充足的地方），人眼对波长为 555nm 的黄绿色最敏感。波长偏离 555nm 愈远，人眼对其感光的灵敏度就愈低。

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效率 $V(\lambda)$ 。图 1-1 中实线所示为人眼的相对光谱光效率曲线。

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。例如，在图 1-1 中可查得蓝光（460nm）、黄绿光（555nm）以及红光（650nm）的 $V(\lambda)$ 值分别为 0.06、1、0.107。这表明要想在人眼中引起相同的主观视觉，应使蓝光和红光的辐射功率分别是黄绿光的 16.6 倍和 8.35 倍。

1.1.2 光的量度

1.1.2.1 光通量

照明的效果最终由人眼来评定，因此仅用能量参数来描述各类光源的光学特性是不够的，还必须引入基于人眼视觉的光量参数——光通量来衡量。

光源在单位时间内向周围空间辐射出去的，并使人眼产生光感的能量，称为光通量，用符号来表示，单位为流明（lm）。

由于人眼对黄绿光最敏感，在光学中以它为基准做出如下的规定：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 680 lm。由此，可得出某一波长的光源的光通量计算式如下

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

式中 Φ_{λ} —— 波长为 λ 的光源的光通量，lm；

$V(\lambda)$ —— 波长为 λ 的光的相对光谱光效率；

P_{λ} —— 波长为 λ 的光源的辐射功率，W。

只含有单一波长的光称为单色光。大多数光源都含的多种波长的单色光，称为多色光。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

$$\Phi = \Phi_{\lambda_1} + \Phi_{\lambda_2} + \dots + \Phi_{\lambda_{(n-1)}} + \Phi_{\lambda}(n) \quad (1-2)$$

1.1.2.2 光强度（发光强度）

光源在空间某一方向上的光通量的空间密度，称为光源在这一方向上的发光强度（简称光强），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，必须用立体角度作为空间光束的密度单位计算光通量的密度。

图 1-2 为一个球体，其半径为 r 。由数学理论得知，球面上的某块面积 A 对球心形成的角称为立体角，以符号 ω 表示，且

$$\omega = \frac{A}{r^2} \quad (1-3)$$

立体角的单位是球面度（Sr）。当 $A=r^2$ 时， $\omega=1\text{Sr}$ ，整个圆球面所对应的立体角为



$$\omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{ (Sr)}$$

综上所述，参照图 1-2，发光强度定义为

$$I_{\theta} = \Phi / \omega \quad (1-4)$$

式中 I_{θ} ——光源在 θ 方向上的光强，cd；
 Φ ——球面 A 所接受的光通量，lm；
 ω ——球面所对应的立体角，Sr。

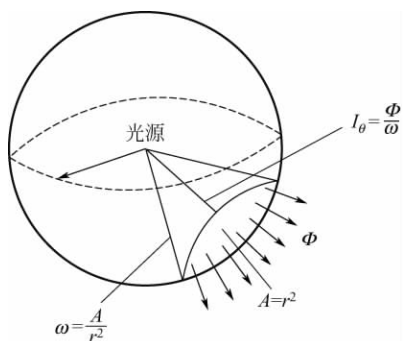


图 1-2 发光强度示意图

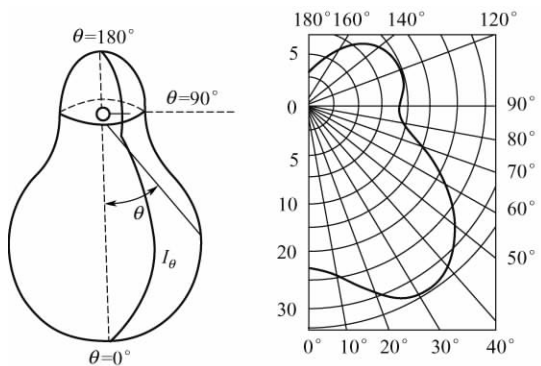


图 1-3 发光强度在空间分布的情况和配光曲线

发光强度的单位为坎德拉 (cd)，1 坎德拉表示在 1 球面度立体角内，均匀发出 1 lm 的光通量，即

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} / 1 \text{ Sr} \quad (1-5)$$

40W 的白炽灯泡在未加灯罩前，其正下方的光强约为 30cd，加上一个不透光的陶瓷灯罩后，原来向上发出的光通量，大都被灯罩朝下方反射，使下方的光通量密度增大，光强由 30cd 增至 73cd 左右。

用极坐标来表示光源在各个方向上发光强度的曲线，称为该光源的配光曲线。图 1-3 是某光源的配光曲线，由图可见，光源在各个方向上的光强是不同的，在 30° 处 $I_{30} = 35\text{cd}$ ，在 120° 处 $I_{120} = 10\text{cd}$ 。

光强度的单位是光度测定的基本单位，也是国际单位制的基本单位之一。为了表现光强度的单位，光的基准器最初为蜡烛，所以光强度单位最早称“烛光”。后随着科学技术的发展，光基准器由蜡烛改为钨丝灯，又改为黑体。1948 年后，光强度单位正式定名为 cd。（指能完全吸收照在它上面的光线而无反射力或折射力的物体，例如一个不透明而中空的物体，上面留有一个透光的小孔，里面就形成一个黑体。）

1.1.2.3 光照度

(1) 光照度 对被照面而言，其单位面积上所接受的光通量，称为该照面的照度，照度用符号 E 表示，单位勒克斯 (lx)。照度定义为

$$E = \Phi / A \quad (1-6)$$

式中 E ——被照面 A 的照度，lx；
 Φ —— A 面所接受的光通量，lm；
 A —— A 面的面积， m^2 。

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 1m^2 的被照面上，

即 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$ 。40W 白炽灯泡下 1m 处的照度约为 30 lx，加一陶瓷灯罩后增至 73 lx；阴天中午室外的照度为 8000~20000 lx；晴天中午室外的照度可达 80000~120000 lx。

(2) 发光强度与照度的关系：当光源的直径小于它至被照面距离的 1/5 时，则可把该光源视为点光源。图 1-4(a) 中，面 A_1 、 A_2 、 A_3 与点光源 O 的距离分别为 r 、 $2r$ 、 $3r$ ，这三块面在光源处形成的立体角相同，则 A_1 、 A_2 、 A_3 的面积比等于它们与光源的距离之平方比，即 $1:4:9$ 。若点光源在图示方向的发光强度为 I ，因三块面对应的立体角相同，落在这三块面上的光通量也相同，但由于它们的面积不同，故它们的照度不同。下面来推导点光源的发光强度与照度的一般关系。

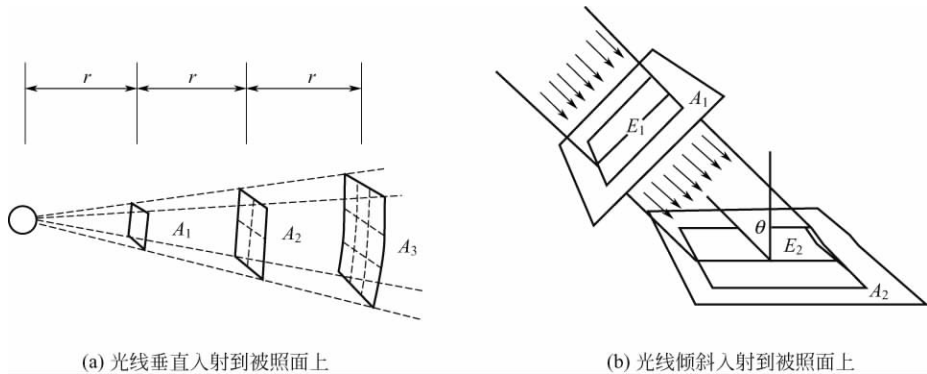


图 1-4 点光源的发光强度与照度的关系

由式(1-6)可知，照度 $E = \Phi/A$ ；而由式(1-4)得光强 $I_\theta = \Phi/\omega$ ，立体角 $\omega = A/r^2$ 。

$$E = \Phi/A = I_\theta \omega / A = I_\theta / r^2 \quad (1-7)$$

式(1-7)表明，某表面照度 E 与点光源在这个方向上的光强 I_θ 成正比，与它至光源的距离 r 的平方成反比，这也是计算点光源产生照度的基本公式，称为距离平方反比定律。在图 1-4(a) 中可以形象地看出这一定律的物理意义。

以上讨论的是在光线垂直入射到被照面的情况。当光线的入射角不等于零时，如图 1-4(b) 的面 A_2 ，它的法线与光线成 θ 角（入射角为 θ ），而面 A_1 的法线与光线重合（光线垂直入射，入射角为零），由图可见

$$\Phi = A_1 E_1 = A_2 E_2 \quad \text{且} \quad A_2 = A_1 / \cos\theta$$

故 $E_2 = E_1 \cos\theta$

由式(1-7)得知 $E_1 = I_\theta / R^2$ (1-8)

则 $E_2 = I_\theta \cos\theta / R^2$

式(1-8)表明，被照面的照度与光源在这个方向上的光强 I_θ 和入射角 θ 的余弦成正比；与它至光源的距离 r 的平方成反比。

1.1.2.4 光亮度

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觉感觉。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/m^2)。参看图 1-5，表面亮度的定义式为

$$L_{\theta} = I_{\theta} / \Delta \cos \theta \quad (1-9)$$

式中 L_{θ} ——发光体沿 θ 方向的表面亮度， cd/m^2 ；

I_{θ} ——发光体沿 θ 方向的发光强度， cd ；

$\Delta \cos \theta$ ——发光体在视线方向上的投影面积， m^2 。

表面光亮度（简称亮度）的单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2)，过去非法定单位为尼特 (nt)，即 $1 \text{cd}/\text{m}^2 = 1 \text{nt}$ ，即 1 坎德拉每平方米表示在 1m^2 的面积上，沿法线方向 ($\theta = 0^\circ$) 产生 1 坎德拉的光强，即 $1 \text{cd}/\text{m}^2$ 。

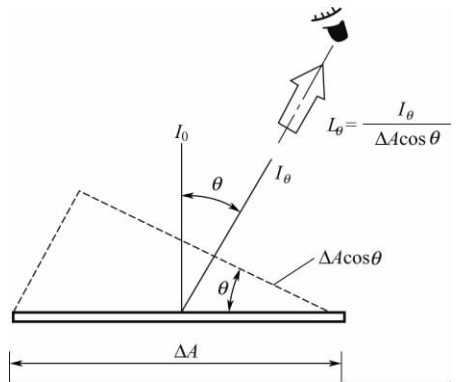


图 1-5 表面亮度的定义示意图

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。

1.1.3 光的反射和透射

借助于材料表面反射的光或材料本身透过的光，人眼才能看见周围环境中的人和物。也可以说，光环境就是由各种反射与透射光的材料构成的。

光在均匀介质中沿直线传播，它在空气中的传播速度接近 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ (30 万公里/秒)。在不同介质中光速的精确值列于表 1-1。

表 1-1 光速与折射指数

介质种类	光速/(m/s)	折射指数	介质种类	光速/(m/s)	折射指数
真空	2.99792×10^8	1.000	水	2.24900×10^8	1.333000
空气	2.99704×10^8	1.000293	玻璃	1.98210×10^8	1.512500

光在传播过程中遇到新的介质时，会发生反射、透射与吸收现象。一部分光通量被介质表面反射 (Φ_p)，一部分透过介质 (Φ_{ζ})，余下的一部分则被介质吸收 (Φ_a)，见图 1-6。根据能量守恒定律，入射光通量 (Φ_1) 应等于上述三部分光通量之和

$$(\Phi_1) = \Phi_p + \Phi_{\zeta} + \Phi_a \quad (1-10)$$

将反射光通量与入射光通量之商，定义为反射比（反射系数），以 ρ 表示

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi_1} \quad (1-11)$$

透射光通量与入射光通量之商，定义为透射比（透射系数），以 ζ 表示

$$\zeta = \Phi_{\zeta} / \Phi_1 \quad (1-12)$$

被吸收的光通量与入射光通量之商，定义为吸收比（吸收系数），以 a 表示

$$a = \Phi_a / \Phi_1 \quad (1-13)$$

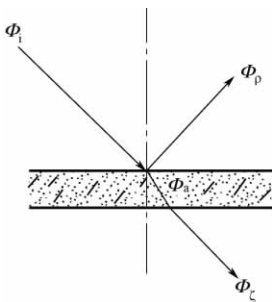


图 1-6 光通量的反射透射与吸收

于是

$$a + \zeta + \rho = 1 \quad (1-14)$$

从照明角度来看,反射比或透射比高的材料才有使用价值。表 1-2 列有灯光照明工程常用材料的 ρ 和 ζ 值,可供比较参考。除了定量的分析以外,还需要深入了解各种材料反射光或透射光的分布模式,以求在光环境设计中正确运用每种材料的不同控光性能,获得预期的照明效果。

表 1-2 灯光照明工程常用材料的 ρ 和 ζ 值

材料名称	颜色	厚度/mm	ρ	ζ	材料名称	颜色	ρ
普通玻璃	无	3	0.08	0.82	大白粉刷	白	0.75
普通玻璃	无	5~6	0.08	0.78	乳胶漆	白	0.84
磨砂玻璃	无	3~6	—	0.55~0.6	调和漆	白、米黄	0.70
乳白玻璃	白	1	—	0.6	调和漆	中黄	0.57
有机玻璃	无	2~6	—	0.85	普通砖	红	0.33
小波玻璃钢瓦	绿	—	—	0.38	水泥砂浆抹灰	灰	0.32
玻璃钢采光罩	本色	3~4层布	—	0.72~0.74	混凝土地面	深灰	0.20
聚苯乙烯板	无	3	—	0.78	水磨石地面	白间绿	0.66
聚氯乙烯板	本色	2	—	0.60	水磨石地面	白间灰	0.52
聚碳酸酯板	无	3	—	0.74	胶合板	本色	0.58
铁窗纱	绿	—	—	0.70	酸洗加工成毛面铝板	—	0.70~0.85
铬	—	—	0.60~0.65	—	光学镀膜镜面玻璃	—	0.88~0.99
不锈钢	—	—	0.55~0.65	—	阳极氧化光学镀膜铝	—	0.75~0.97
搪瓷	白	—	0.65~0.80	—	普通铝板抛光	—	0.60~0.70

注:材料来源——金属材料引自“IES Light hand book 1981”,其余摘自《工业企业采光设计标准》(GB 50033—91)附录。

1.1.3.1 反射

辐射由一个表面返回,组成辐射的单色分量的频率没有变化,这种现象叫作反射。反射光的强弱与分布形式取决于材料表面的性质,也同光的入射方向有关。例如,垂直入射到透明玻璃板上的光线约有 8% 的反射比。加大入射角度,反射比也随之增大,最后会产生全反射。

反射光的分布形式有规则反射与扩散反射两大类。扩散反射又可细分为定向扩散反射、漫反射、混合反射等。

(1) 规则反射 规则反射也叫镜反射,其特征是光线经过反射之后仍按一定的方向传播,立体角没有变化。规则反射的规律为:①入射光线与反射光线以及反射表面的法线同处于一个平面内;②入射光与反射光分居法线两侧,入射角等于反射角 [图 1-7(a)]。

光滑密实的表面,如玻璃镜面和磨光的金属表面形成规则反射。在照明工程中常利用规则反射进行精确的控光,如制造各种曲面的镜面反光罩获得需要的光强分布,提高灯具效率。几乎所有的节能灯具都使用这类材料做的反光罩,其中有阳极氧化或抛光的铝板、不锈钢板、镀铬铁板、镀银或镀铝的玻璃和塑料等。

(2) 定向扩散反射 扩散反射保留了规则反射的某些特性,即在产生规则反射的方向上,反射光最强,但是反射光束被“扩散”到较宽的范围 [图 1-7(b)],经过冲砂、酸洗或锤点处理的毛糙金属表面具有定向扩散反射的特性。

(3) 漫反射 漫反射的特点是反射光的分布与入射光方向无关,在宏观上没有规则反射,反射光不规则地分布在所有方向上 [图 1-7(c)]。无光泽的毛面材料或由微细的晶粒、



颜料颗粒构成的表面产生漫反射。可以把这些微粒看作是单个的镜反射器，但是由于微粒的表面处在不同的方向，所以将光反射到许多角度上。

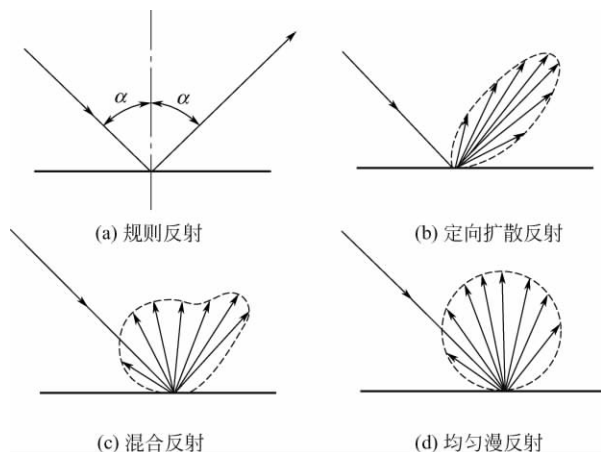


图 1-7 反射光的分布形式

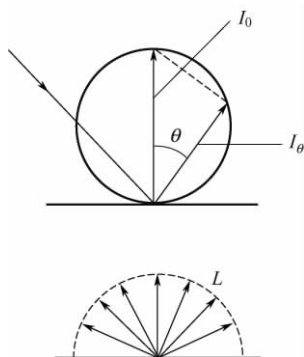


图 1-8 均匀漫反射材料的光强分布与亮度分布

若反射光的光强分布与入射光的方向无关，而且正好是切于入射光线与反射表面交点的一个圆球，这种漫反射称为均匀漫反射 [图 1-7(d)]。均匀漫反射材料的光强分布与亮度分布见图 1-8。其反射光的最大发光强度在垂直于表面的法线方向，其余方向的光强同最大光强有以下关系

$$I_{\theta} = I_0 \cos\theta \quad (\text{cd}) \quad (1-15)$$

式中 I_{θ} ——反射光与表面法线夹角为 θ 方向的光强，cd；

I_0 ——反射光在反射表面法线方向的最大光强，cd。

上式称为朗伯余弦定律。符合朗伯定律的材料叫朗伯体。这类材料无论入射光的方向如何，其表面各方向上的亮度都是相等的。氧化镁、硫酸钡、石膏等具有这种特性。建筑工程常用的大部分无光泽饰面材料，如粉刷涂料、乳胶漆、无光塑料墙纸、陶板面砖等都可以近似地看作均匀漫反射材料。

按照朗伯定律可以导出由照度计算均匀漫反射材料表面亮度的简便公式如下

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad (\text{cd/m}^2) \quad (1-16)$$

对均匀漫透射材料有

$$L = \frac{\tau E}{\pi} \quad (\text{cd/m}^2) \quad (1-17)$$

式中 L ——反射光或透射光表面亮度， cd/m^2 ；

ρ ——材料反射比；

τ ——材料透射比；

E ——材料表面的照度，lx。

上式是光环境设计中常用的平均亮度计算公式。

(4) 混合反射 多数的材料表面兼有规则反射和漫反射的特性，这称为混合反射。光亮的陶瓷表面呈现漫反射与镜面反射结合的特性。在漫反射表面涂一层薄的透明清漆，当光入射角很小时，近似漫反射；入射角加大，约有 5%~15% 的入射光为镜面反射；入射角很大

时，则完全是镜面反射。

1.1.3.2 透射

光线通过介质，组成光线的单色分量频率不变，这种现象称为透射。玻璃、晶体、某些塑料、纺织品、水等都是透光材料，能透过大部分入射光。材料的透光性能不仅取决于它的分子结构，还同它的厚度有关。非常厚的玻璃或水将是不透明的，而一张极薄的金属膜或许透光的，至少可以是半透光的。

材料透射光的分布形式也可分为规则透射、定向扩散透射、漫透射和均匀漫透射四种，见图 1-9。透明材料属于规则透射，在入射光的背侧，光源与物像清晰可见。磨砂玻璃为典型的定向扩散透射，在背光的一侧仅能看见光源模糊的影像。乳白玻璃具有均匀漫透射的特性，整个透光面亮度均匀，完全看不见背侧的光源和物像。在透明玻璃上均匀地喷一层薄的白漆，其透光性能则近于混合透射。如将白炽灯放在这种玻璃的一侧，由另一侧看去，漫透射形成的表面亮度相当均匀，同时灯丝的像也历历在目。

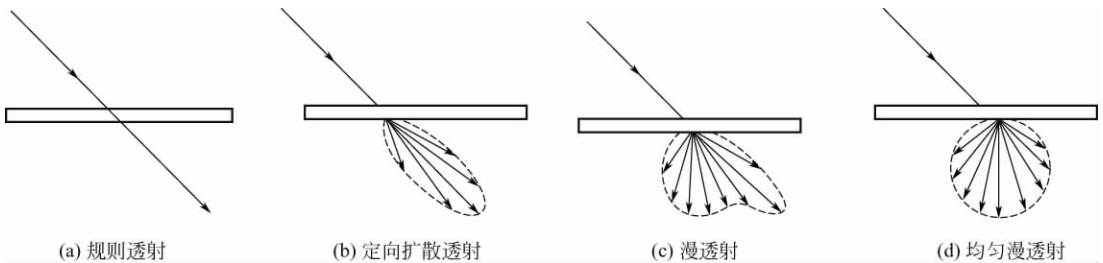


图 1-9 透射光的分布

1.1.3.3 折射

光在透明介质中传播，当从密度小的介质进入密度大的介质时，光速减慢；反之，光速加快。由于光速的变化而造成光线方向的改变，这就是折射。光的折射规律是：①入射线、折射线与分界面的法线同处于一个平面内，且分居于法线的两侧；②入射角正弦和折射角正弦的比值，对确定的两种介质来说，是一个常数。

$$\sin i / \sin \gamma = n_2 / n_1 \quad (1-18)$$

上式也可以写成

$$n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma \quad (1-19)$$

式中 n_1 ——第一种介质的折射率；

n_2 ——第二种介质的折射率；

i ——入射角，见图 1-10；

γ ——折射角。

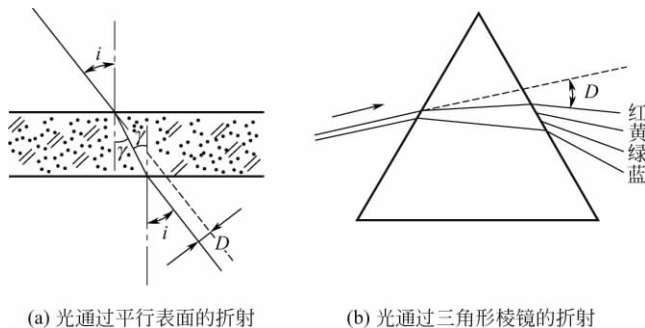


图 1-10 光的折射

由公式(1-19)可以看出,光线通过两种介质的界面时,在折射率大的一侧,光线与法线的夹角较小。利用折射能改变光线方向的原理制成的折光玻璃砖、各种棱镜灯罩,能精确地控制光分布,见图 1-11。

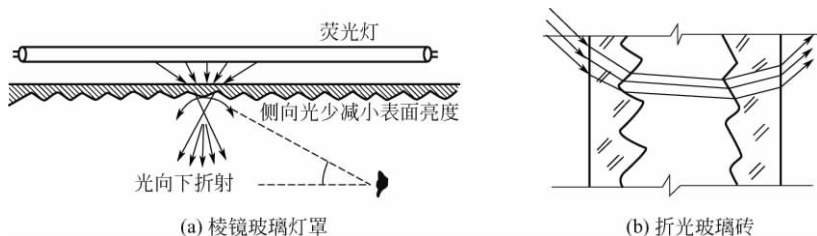


图 1-11 光折射的应用

此外,当一束白光通过折射棱镜时,由于组成白光的单色光频率不同,则因折射而分离成各种颜色,这称为色散。有金属镀膜的磨光棱镜玻璃灯饰部件,就是因为色散而呈现出五光十色,装饰效果华丽夺目,见图 1-11(b)。

1.2 光源颜色

在光环境设计实践中,照明光源的颜色质量常用两个性质不同的术语来表征:①光源的色表,即灯光的表观颜色;②光源的显色性,指灯光对它照射的物体颜色的影响作用。

光源色表与显色性都取决于光辐射的光谱组成。但是,不同光谱组成的光源可能具有相同的色表(同色异谱),而其显色性则有很大差异。同样,色表有明显区别的两个光源,在某种情况下还可能具有大体相等的显色性。所以,人们不可能从一个灯的色表得出有关它的显色性的任何判断。

1.2.1 光源的色表

在照明应用领域里,常用色温定量描述光源的色表。当一个光源的颜色与完全辐射体(黑体)在某一温度时发出的光色相同时,完全辐射体的温度就叫做此光源的色温,用符号 T 表示,单位是 K(绝对温度)。

完全辐射体也称黑体。它是既不反射,也不透射,能把投射在它上面的辐射全部吸收的物体。黑体加热到高温便产生辐射,黑体辐射的光谱功率分布完全取决于它的温度。在 $800\sim 900\text{K}$ 温度下,黑体辐射呈红色, 3000K 为黄白色, 5000K 左右呈白色,在 $8000\sim 10000\text{K}$ 之间为淡蓝色。

热辐射光源,如白炽灯,其光谱功率分布与黑体辐射非常相近,都是连续光谱。白炽灯的色坐标点正好落在黑体轨迹上,因此,用色温来描述它的色表很恰当。

非热辐射光源,如荧光灯、高压钠灯,它们的光谱功率分布形式与黑体辐射相差甚大,其色坐标点不一定落在黑体轨迹线上,而常常在这条线的附近。严格地说,不应当用色温来描述这类光源的色表,但是允许用与某一温度黑体辐射最接近的颜色来近似地确定这类光源的色温,称为相关色温,以符号 T_{cp} 表示。图 1-12 画出了确定相关色温用的等温线。凡色坐标点位于黑体轨迹附近的光源,都可以自色坐标点沿着与最接近的等温线相平行的方向引一直线,此直线与黑体轨迹线交点的温度就是该光源的相关色温。

表 1-3 列有若干光源的色温或相关色温,以做比较。

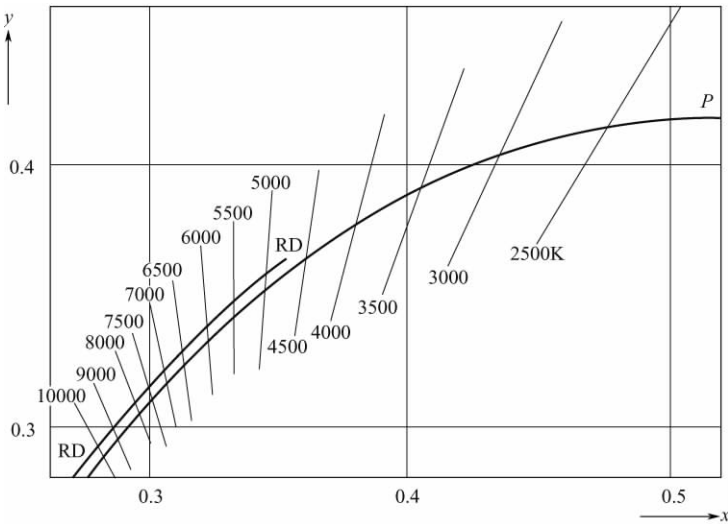


图 1-12 确定相关色温用的等温线与黑体轨迹

表 1-3 天然和人工光源的色温（或相关色温）

光源	色温(或相关色温)/K	光源	色温(或相关色温)/K
蜡烛	1900~1950	日光	5300~5800
高压钠灯	2000	昼光(日光+晴天天空)	5800~6500
白炽灯 40W	2700	全阴天天空	6400~6900
白炽灯 150~500W	2800~2900	晴天蓝色天空	10000~26000
碳弧灯	3700~3800	荧光灯	3000~7500
月光	4100		

色温为 2000K 的光源所发出的光呈橙色；2500K 左右呈浅橙色；3000K 左右呈橙白色；4000K 呈白中略橙色 34500~7500K 近似白色（其中 5500~6000K 最接近白色）；日光的平均色温约为 6000~6500K。

光源色温高低不同会产生冷或暖的感觉，见表 1-4。在同一色温下，照度值不同时，人的感觉也会不同，见表 1-5。

表 1-4 色温和感觉

光源的颜色表现效果	光源色温的近似值
冷的	>5000K
中间的	3300~5000K
暖的	<3300K

表 1-5 照度和色温与感觉的关系

照度/lx	光的颜色表现效果		
	暖 的	中 间 的	冷 的
≤500	舒适	中等	冷
500~1000	↕	↕	↕
1000~2000	刺激	舒适	中等
2000~3000	↕	↕	↕
≥3000	不自然	刺激	舒适