

高职高专智能建筑规划教材

电气照明技术

肖辉 主编

8

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专智能建筑规划教材

电 气 照 明 技 术

主 编	肖 辉
副主编	王晓东
参 编	李英姿
	李新兵
主 审	江豫新

机 械 工 业 出 版 社

本书由四位大学教师,根据国家近年来颁发的有关标准、规程与规范,以有关专业书籍为借鉴和参考,并结合自身教学经验和工程实践集体编写而成。全书分十章,第一、二章介绍基础知识,包括光的知识、材料的光学性质、视觉和颜色;第三、四章介绍电光源和照明器的原理与应用;第五章穿插介绍照明的计算;第六、七、八章是应用部分,主要介绍各类照明设计的要点和 design 方法,同时从照明节能、保护生态环境的角度,强调“绿色照明”工程实施的重要性;第九章是介绍照度的工程测量方法,书中最后一章汇集了编者自己的部分设计作品,举一反三,希望读者能学以致用。

本书在内容上力求深入浅出、简明扼要、层次清楚、语言透彻,注重理论学习与实际工程相结合,向读者阐述了电气照明设计和应用的完整理念。同时,为了便于读者的学习,编者就每章的重点内容,特编制了相应的思考题,供读者在学习时参考和选用。

本书主要面向高职高专的电气工程、自动化类及相关专业的教学,也可供有关工程技术人员作为设计与应用的参考。希望它能成为广大读者的良师益友,为我国照明事业的发展作贡献。

图书在版编目(CIP)数据

电气照明技术/肖辉主编. —北京:机械工业出版社,
2004.1

高职高专智能建筑规划教材

ISBN 7-111-13508-3

I. 电… II. 肖… III. 智能建筑—电气照明—高等学
等学校:技术学校—教材 IV. TU113.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 109310 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王玉鑫 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:张 静 责任印制:闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·11.75 印张·1 插页·292 千字

0 001—4 000 册

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

智能建筑规划教材编委会

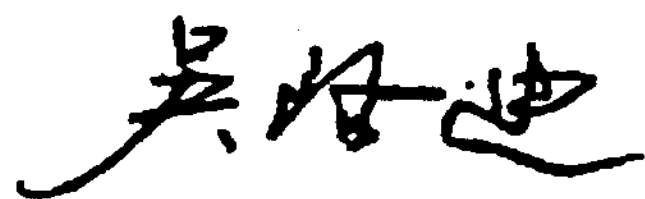
主 任	吴启迪		
副主任	徐德淦	温伯银	陈瑞藻
委 员	程大章	张公忠	王元凯
	龙惟定	王 忱	张振昭

序

20 世纪，电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展，并渗透到各个领域，深刻地影响着人类的生产方式和生活方式，给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外，智能化建筑便是在这一背景下走进了人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术，并加以研发和整合成智能装备，为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境，并日益成为主导现代建筑的主流。近年来，人们不难发现，凡是按现代化、信息化运作的机构与行业，如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等，所建造的新建筑物，都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了宽广的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统，更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用，使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为其设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场，促进了社会对智能建筑技术专业人才的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求，调整教学计划、更新课程内容，致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才，以适应国民经济高速发展需要。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现，参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个兄弟院校，不论是主编或是主审，均是这个领域有突出成就的专家。因此，我深信这套系列教材将会反映各兄弟院校在为国民经济服务方面的最新研究成果。此系列教材的出版还说明一个问题，时代需要协作精神，时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者，是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园

2002 年 9 月 28 日

前 言

照明不仅仅具有功能性，而且是具有装饰性的景观，它是技术美和艺术美的结晶体。因此，照明技术是一门综合性的边缘学科，它包含光学、电工学、建筑学、生理学、心理学、环境学、社会学等多学科知识。同时，随着技术的发展，各种相关的产品更新换代频繁，知识更新快。本书正是基于此，力图通过对各个学科的阐述，融会贯通，使读者能学习和应用照明知识，促进照明技术的提高。

近几年来，随着我国经济建设和市政建设的发展，夜景灯光成为塑造城市形象、促进旅游商业发展不可缺少的重要组成部分；同时生活水平的提高，居住条件的改善，对照明的需求也日益增强。如何才能满足人们的需要，利用现代科技，营造一个舒适、高效、节能的光环境成为亟待解决的问题。为此，由电气工程与自动化类本科建筑电气技术系列教材及高职高专智能化建筑系列教材编审委员会组织编写了“电气照明技术”，旨在普及电气照明知识，成为广大读者学习照明知识的入门之作。本书也作为电气工程与自动化类建筑电气技术高职高专的系列教材之一。

本书编写所遵循的原则：力求通过深入浅出地阐述基本概念及举例说明的方法，使广大读者深刻地理解现代电气照明的理论性、工程的实用性和技术的先进性，达到学以致用。

本书结合编者的教学经验，并根据国家近年来颁发的有关建筑电气设计的规程、规范和标准编撰而成。同济大学教师肖辉任主编，负责全书的框架构思、编写组织及整体统稿工作，并编写第六、九、十章；同济大学教师王晓东任副主编，并编写第一、二、三章；北京建筑工程学院李英姿编写第四、七、八章，扬州大学李新兵编写第五章；上海华东建筑设计研究院主任高工江豫新任本书主审。

本书内容丰富、深入浅出、说理清楚、实例详尽、综合多种专业，并面向实际工程。同时，为了使读者便于学以致用，编者查阅了大量公开的技术书刊和资料，吸取了其间的图表和数据，在此向大家致以衷心的感谢！

本书主要面向高职高专的电气工程、自动化类及相关专业学生的教学用书，也可供从事照明工作的技术人员、管理人员作为设计与应用的参考用书，同时也适合有中等文化程度的人士自学之用。

本书在编写过程中得到了同济大学、北京建筑工程学院、扬州大学等单位领导、专家和同行的大力支持和帮助，并对为本书进行全面的审校和补充的华东建筑设计研究院高工江豫新专家，一并表示深切的感谢！

由于水平所限，书中存在的错误、疏漏和不当之处，敬请广大的读者朋友能及时地进行批评和指正。

编 者

目 录

序	
前言	
第一章 光的基本知识	1
第一节 光的概念	1
第二节 基本的光度量	2
第三节 材料的光学性质	7
思考题	10
第二章 视觉与颜色	11
第一节 人眼与视觉	11
第二节 视觉特性	12
第三节 颜色	15
第四节 表色系统	20
第五节 光源的颜色与显色	23
思考题	26
第三章 电光源	27
第一节 白炽灯	27
第二节 卤钨灯	31
第三节 发光二极管 LED 光源	35
第四节 荧光灯	38
第五节 高强度气体放电灯	44
第六节 氙灯	50
第七节 霓虹灯	52
第八节 常用电光源的比较与选用	53
思考题	57
第四章 照明器	58
第一节 概述	58
第二节 照明器的分类	62
第三节 照明器的选用	66
思考题	67
第五章 照明计算	68
第一节 平均照度计算	68
第二节 点光源直射照度计算	77
第三节 不舒适眩光计算	81
思考题	87
第六章 照明光照设计	88
第一节 概述	88
第二节 照明方式和种类	89
第三节 照明质量评价	91
第四节 灯具布置	97
思考题	98
第七章 照明电气设计	99
第一节 概述	99
第二节 电气设计基础	100
第三节 设备选择	103
第四节 照明控制	111
第五节 绿色照明	113
第六节 照明施工设计	114
思考题	118
第八章 照明应用	119
第一节 室内照明	119
第二节 室外照明	133
第三节 景观照明	144
思考题	152
第九章 照明测量	153
第一节 照度计	153
第二节 照度测量	156
第三节 亮度测量	158
思考题	159
第十章 室外景观夜景照明介绍	160
第一节 古(仿古)建筑物的泛光照明	160
第二节 现代建筑的泛光照明设计	164
第三节 城市广场照明设计	167
第四节 步行街的照明设计	176
参考文献	181

第一章 光的基本知识

第一节 光的概念

一、光的本质

光是辐射能，它以电磁波的形式在空间传播。在照明技术中，光是指能引起视觉的辐射能，即人对光的感觉，更通俗一点，这种感觉就是“亮”。但人眼所能直接感觉到的光波仅占波长范围极宽的电磁波中的一小部分，称为可见辐射（可见光），如图 1-1 所示。

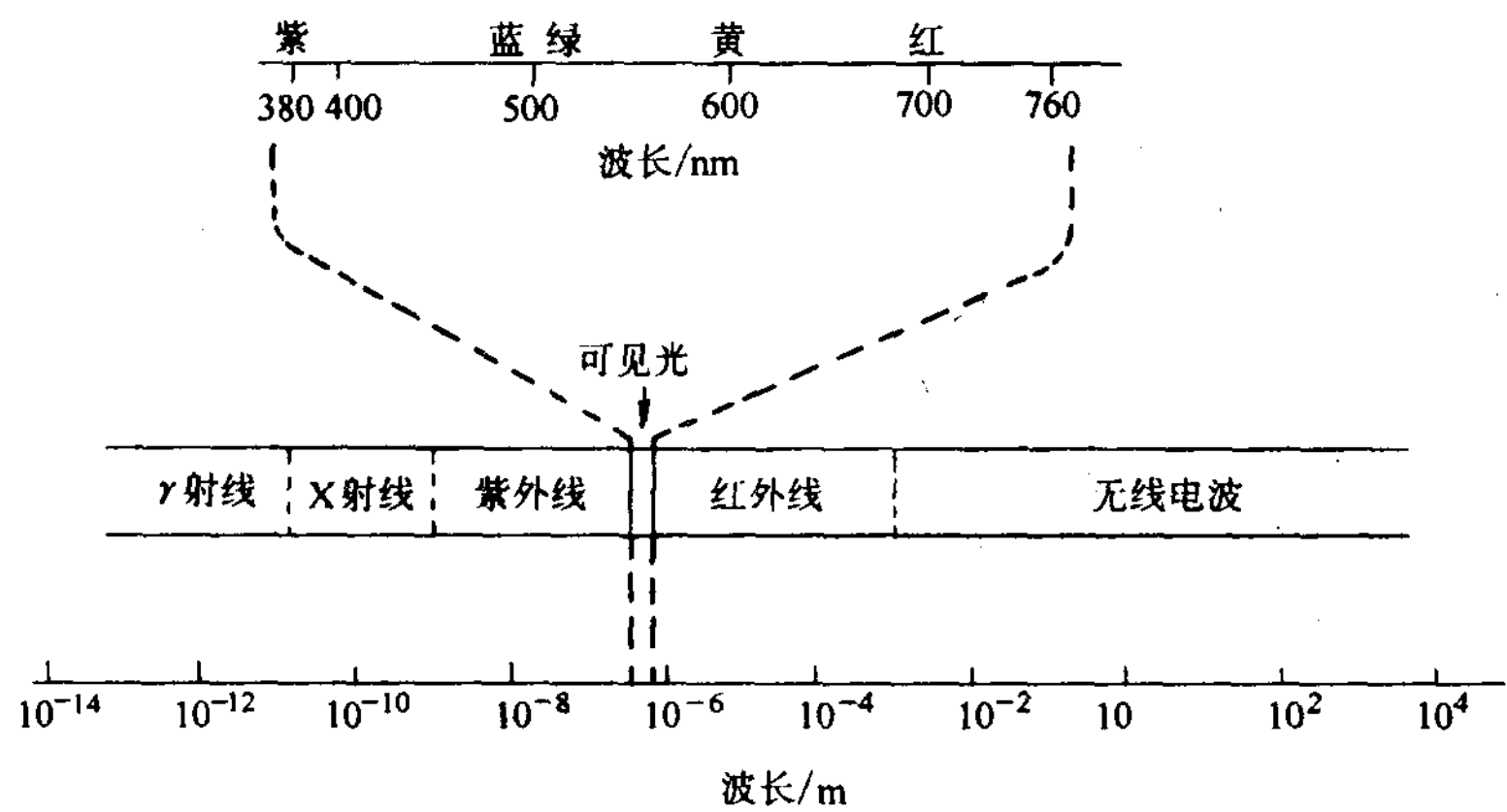


图 1-1 电磁波频谱

光的波长可以用单位 nm、 μm 等表示。其中， $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ， $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$ 。

可见光的波长范围限定在 380~780nm 之间；波长比可见辐射长的光学辐射，波长范围限定在 780nm~1mm 之间，是红外辐射；波长比可见辐射短的光学辐射，波长范围限定在 100~400nm 之间，是紫外辐射。

任何物体发射或反射足够数量波长的辐射能，作用于人眼睛的感觉器官，就可看见该物体。然而，即便是可见的辐射光谱部分，作用于人眼的效果也是不同的。有的光谱段作用较强，使人们的视觉比较明显；有的光谱段则对人眼作用较弱，甚至有的让人很少察觉到或察觉不到。因此，光是一种客观存在的能量，而且与人们的主观感觉有着密切的联系。

二、光与颜色

可见光谱的颜色实际上是连续光谱混合而成的，波长从 380nm 向 780nm 增加时，光的颜色从紫色开始，按蓝、绿、黄、橙、红的顺序逐渐变化。光的颜色与相应的波段如表 1-1 所示。

表 1-1 光的各个波长区域

波长区域/nm	区域名称	性质	波长区域/nm	区域名称	性质
1~200	真空紫外	光辐射	560~600	黄	光辐射
200~300	远紫外		600~640	橙	
300~380	近紫外		640~780	红	
380~450	紫		780~1500	近红外	
450~490	蓝		1500~10000	中红外	
490~560	绿		10000~100000	远红外	

三、光的辐射特性

我们仅研究与视觉有关的光辐射特性，通常用下面的一些基本参量来描述：

(1) 光谱光视效能 $K(\lambda)$ 光谱光视效能是用来度量由辐射能所引起的视觉能力。光谱光视效能 $K(\lambda)$ 的量纲被描述为流明每瓦 (1lm/W) (“流明”为光通量的量纲，见下节)。

(2) 光谱光视效率 $V(\lambda)$ 人眼在可见光谱范围内的视觉灵敏度是不均匀的，它随波长而变化。人眼对波长为 555nm 的黄绿光的感受效率最高，而对其他波长光的感受效率却较低。故称 555nm 为峰值波长，以 λ_m 表示，并将其光谱光视效能 $K(\lambda_m)$ (该值等于 683lm/W) 定义为峰值光视效能 K_m 。为便于分析，将其他波长 λ 的光谱光视效能 $K(\lambda)$ 与 K_m 之比定义为光谱光视效率 (又称人眼的视觉灵敏度)，即

$$V(\lambda) = K(\lambda) / K_m \quad (1-1)$$

当波长在峰值波长 λ_m 时， $V(\lambda_m) = 1$ ；

在其他波长 λ 时， $V(\lambda) < 1$ (如图 1-2 中的曲线 1)。

值得指出的是图中曲线 1 表示明视觉条件下的光谱光效率，曲线 2 表示暗视觉条件下的光谱光效率。照明技术中，主要研究明视觉条件下的光谱辐射。

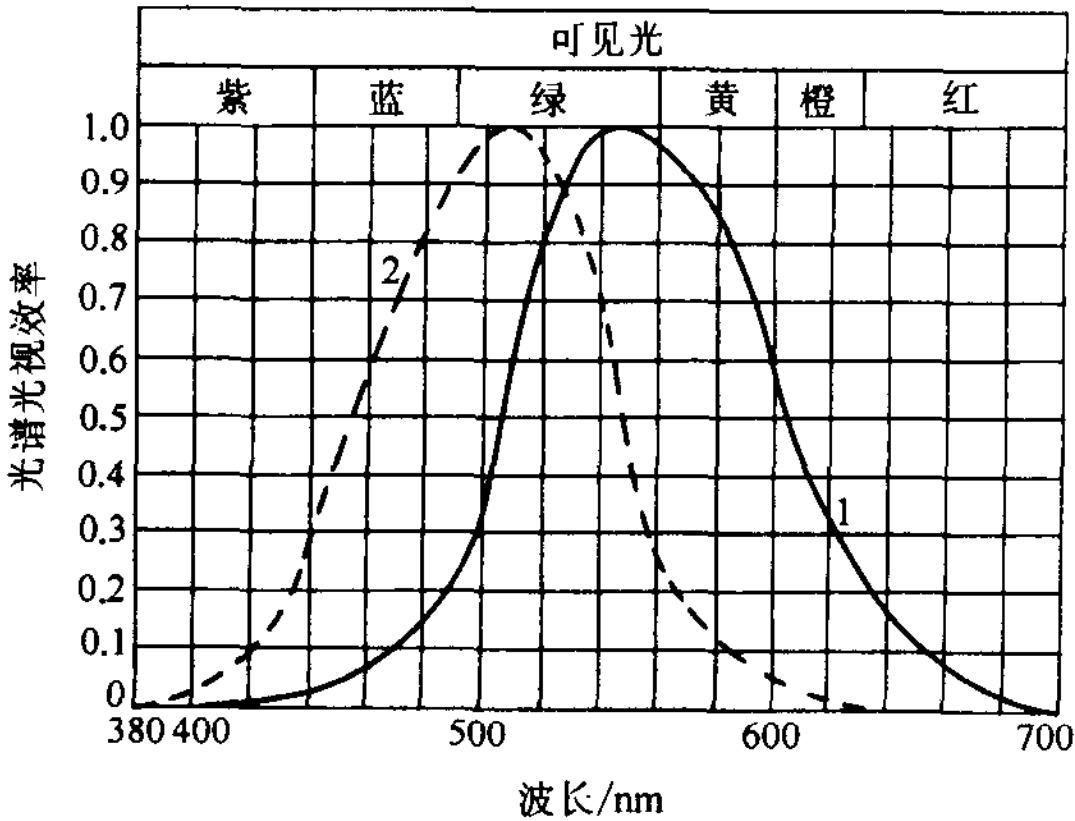


图 1-2 光谱光效率曲线
1—明视觉 2—暗视觉

第二节 基本的光度量

一、基本光度量的概念

在照明设计中，常用一些基本的光度量来评定光环境设计的质量；照明效果的好坏；满足人眼视觉功效的程度等等。本节介绍几个基本的、较为常用的光度量。

1. 光通量 Φ

依上述人眼对各种不同波长的光的视觉灵敏度 $V(\lambda)$ 是不一样的，波长为 555nm 的 $V(\lambda)$ 最大，等于 1，其他波长的 $V(\lambda)$ 都小于 1。如果在可见光范围内，光源的总辐射通量

在人眼中引起的光通量

$$\Phi = K_m \int_0^{\infty} \Phi_\lambda V(\lambda) d\lambda = K_m \int_{380}^{780} \Phi_\lambda V(\lambda) d\lambda \quad (1-2)$$

式中 Φ ——光通量 (lm);

K_m ——峰值光视效能, $K_m = 683 \text{ lm/W}$ (对应于 $\lambda = 555 \text{ nm}$);

Φ_λ ——光谱辐射通量 (W/nm);

$V(\lambda)$ ——明视觉条件下的光谱光效率, 无量纲系数。

光通量的国际单位制和我国法定单位制的基本单位是流明。在照明工程中, 光通量是说明光源发光能力的基本量。例如, 一只 220V、40W 的白炽灯发射的光通量为 350lm, 而一只 220V、36W (T8 管) 荧光灯发射的光通量为 2500lm, 为白炽灯的 7 倍之多。

2. 发光强度 (光强) I

由于辐射发光体在空间发出的光通量不均匀, 大小也不同, 故为了表示辐射体在不同方向上光通量的分布特性, 需引入光通量的角密度概念, 如图 1-3 所示。

光强就是特定方向上每球面度发射的光通量。

在图 1-3 中, S 为点状发光体, 它向各个方向辐射光通量。若在某一方向上取微小立体角 $d\omega$, 在此立体角内所发出的光通量为 $d\Phi$, 则两者的比值定义为这个方向上的光强 I 。

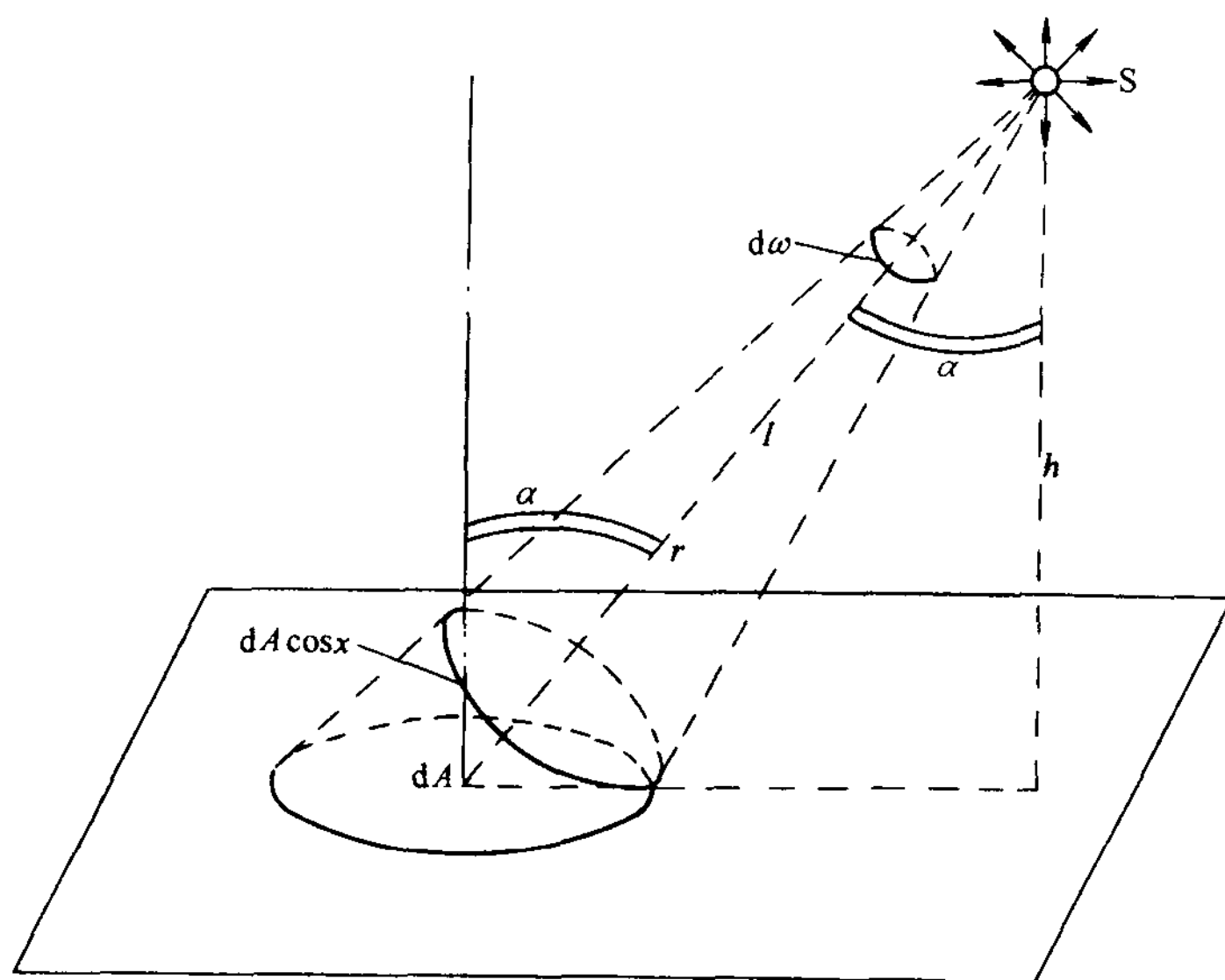


图 1-3 点光源的发光强度

$$I = d\Phi / d\omega \quad (1-3)$$

若以圆锥顶为球心, r 为半径作一个球体, 锥面在球上截出面积 A 为 r^2 , 则该立体角称为一个单位立体角, 又称为球面度。其表达式为

$$\omega = A / r^2$$

式中 A ——面积 (m^2)。

一个球体的球面度为 4π 。

发光强度的单位为坎德拉 (cd), 也就是过去的烛光 (Candle - Power), 数量上, $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$ 。发光强度用于说明光源发出的光通量在空间各方向或选定方向上的分布密度。

若光源辐射的光通量 Φ_ω 是均匀的, 则在立体角 ω 内的平均光强 I 为

$$I = \Phi_\omega / \omega \quad (1-4)$$

式中 Φ_ω ——光源在立体角内所辐射的光通量 (lm);

ω ——光源辐射范围的立体角 (sr);

I ——在立体角内的平均光强 (cd)。

例如，一只 220V、40W 的白炽灯发射的光通量为 350lm 光通量，它的平均光强为 $350/4\pi = 28\text{cd}$ 。若在该裸灯泡上面装一盏白色搪瓷平盘灯罩，那么灯的正下方发光强度可提高到 70~80cd；如果配上一个聚焦合适的镜面反射罩，那么灯下方的发光强度可以高达数百坎德拉。然而，在后两种情况下，灯泡发出的光通量并没有变化，只是光通量在空间的分布更为集中，相应的发光强度也就提高了。

3. 照度 E

照度是指被照面上光通量的面积密度，即表面上任一点的照度 E 定义为入射光通量 $d\Phi$ 与该单元面积 dA 之比。

$$E = d\Phi/dA \quad (1-5)$$

对于任意大小的表面积 A ，若入射光通量为 Φ ，则表面积上的平均照度 E 为

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

式中 A ——受照面积 (m^2)；

Φ ——受照面上所接受的光通量 (lm)；

E ——受照面上的平均受照面上 (lx)。

照度的单位为勒克司 (lx)，数量上， $1\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$ 。

晴朗的满月夜地面照度约为 0.2lx；晴天太阳散射光（非直射）下的地面照度约为 1000lx；中午太阳光照射下的地面照度可达 10^5lx ；白天采光良好的室内照度为 100~500lx。

4. 光出射度（出光度） M

光出射度即单位面积发出的光通量。具有一定面积的发光体，其表面上不同点的发光强弱可能不一致的。为表示这个辐射光通量的密度，可在表面上任取一个微小的单元面积 dA ， dA 发出的光通量为 $d\Phi$ ，则该单元面积的光出射度 M 为

$$M = d\Phi/dA \quad (1-7)$$

单位为辐射勒克司 (rlx)，1rlx 等于 $1\text{rlm}/\text{m}^2$ 。

对于任意大小的发光表面 A ，若发射的光通量为 Φ ，则在表面 A 上的平均光出射度 M 为

$$M = \Phi/A \quad (1-8)$$

式中 A ——发射面积 (m^2)；

Φ ——发射面上发出的光通量 (lm)；

M ——平均光出射度 (lx)。

光出射度 M 与照度 E 之间关系：

1) 光出射度和照度具有相同的量纲。

2) 光出射度表示发光体发出的光通量表面密度，而照度则表示被照物体所接受的光通量表面密度。

3) 对于因反射或透射而发光的二次发光表面，光出射度分别为：

反射发光 $M = \rho E$

透射发光 $M = \tau E$

式中 ρ ——被照面的反射比；

τ ——被照面的透射比；

E ——二次发光面上被照射的照度。

5. 亮度 L_θ

如图 1-4 所示，在一个广光源上取一个单元面积 dA ，从与表面法线成 θ 角的方向上去观察，在这个方向上的光强与人眼所“见到”的光源面积之比，定义为光源在这个方向的亮度。

由图中可以得出，能够看到的光源面积 dA' 及亮度 L_θ 分别为

$$dA' = dA \cos \theta, L_\theta = \frac{d\Phi}{d\omega dA \cos \theta} = \frac{I_\theta}{dA \cos \theta} \tag{1-9}$$

式中 dA ——发光体的单元面积(m^2)；
 θ ——视线与受照表面法线之间的夹角 ($^\circ$)；
 I_θ ——与法线成 θ 角的给定方向上的光强 (cd)。

亮度的单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2) 或尼特 (nt)，在数量上 $1nt = 1cd/m^2$ 。

如果理想的漫射发光体或漫反射表面的二次发光体，它的光强将遵守朗伯余弦定律，即 $I_\theta = I_0 \cos \theta$ ，如图 1-5 所示。而其亮度则与方向无关，即从任意方向看，亮度都是一样的。

对于完全扩散的表面，光出射度 M 与亮度 L 的关系为

$$M = \pi L \tag{1-10}$$

部分光源的亮度如表 1-2 所示。

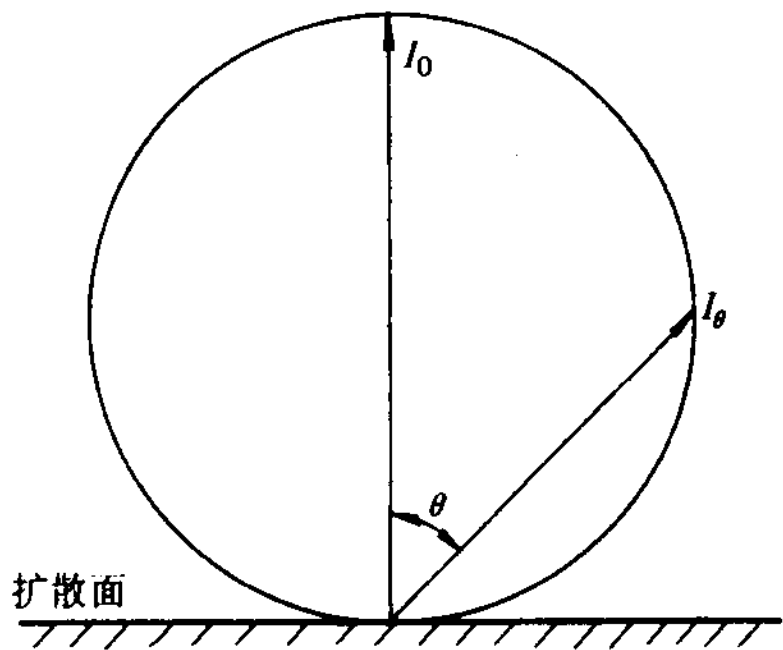


图 1-5 理想漫反射面的光强分布

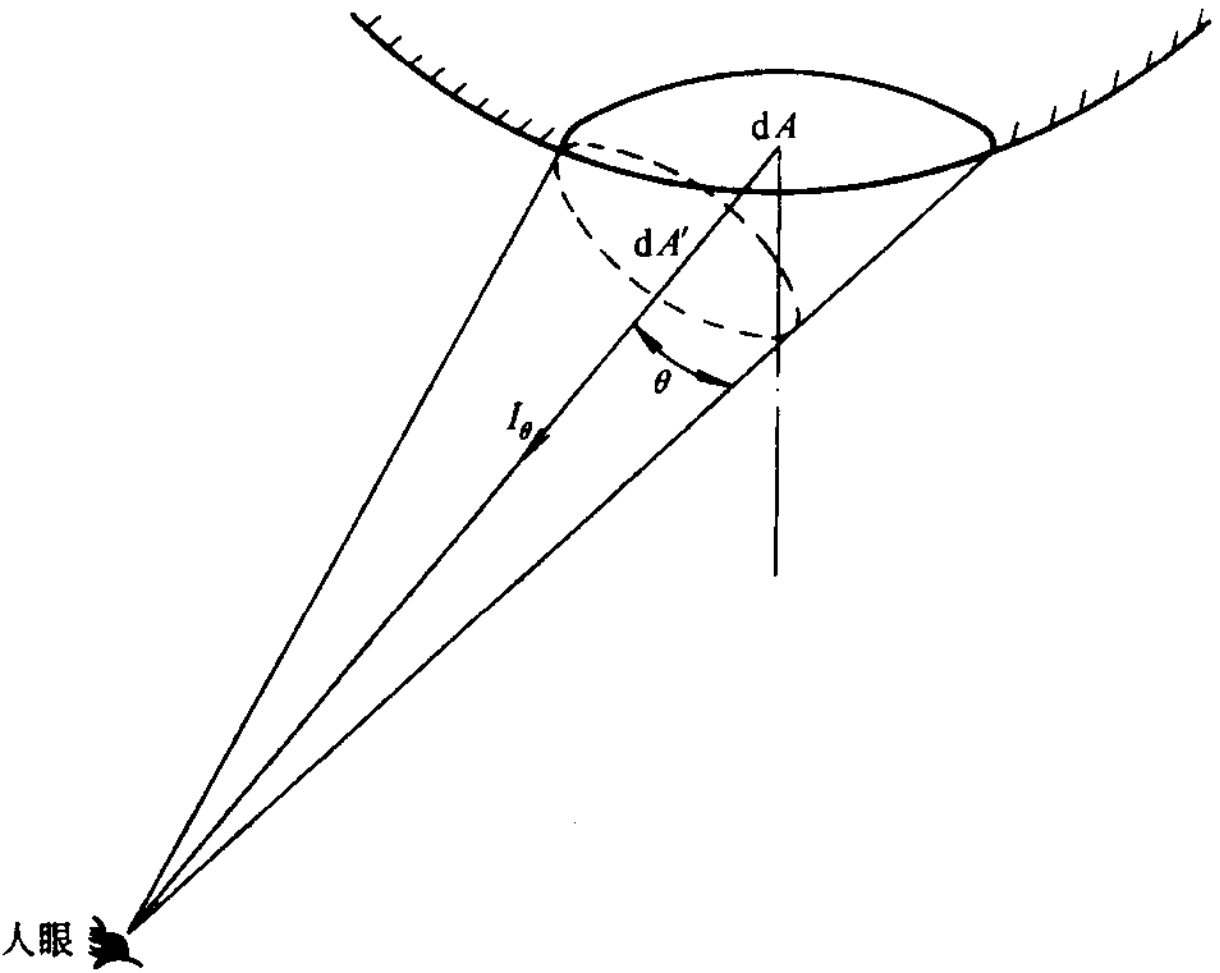


图 1-4 广光源一个单元面积上的亮度

表 1-2 部分光源的亮度

光 源	亮度/ $cd \cdot m^{-2}$
太阳	1.6×10^9 以上
碳极弧光灯	$(1.8 \sim 12) \times 10^8$
钨丝灯	$(2.0 \sim 20) \times 10^6$
荧光灯	$(0.5 \sim 15) \times 10^4$
蜡烛	$(0.5 \sim 1.0) \times 10^4$
蓝天	0.8×10^4
电视屏幕	$(1.7 \sim 3.5) \times 10^2$

二、基本光度量间的关系

1. 发光强度与照度

假定有一点光源，在 ω 立体角内发出的光通量为 Φ ，发光强度为 I ，则它们之间有如下关系

$$\Phi = I\omega \quad (1-11)$$

同样，在离此点光源 r 处的平面中，对应相同的立体角 ω 的面积 S 上，也获得光通量 Φ ，且有

$$S = \omega r^2 \quad (1-12)$$

按照照度定义可知，在面积 S 上获得的照度为

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (1-13)$$

把式 (1-11)，式 (1-12) 代入式 (1-13) 即得

$$E = \frac{I\omega}{\omega r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (1-14)$$

此式即为发光强度与照度的关系式，它表明，某光源在距离 r 的平面上所形成的照度，与它的发光强度 I 成正比，而与光源至该平面的距离 r 的平方成反比，此即距离平方反比定律。

应该指出，距离平方反比定律适用于点光源形成的照度。当然，这里说的点光源，是指光源本身的尺寸相对与光源到被照面的距离非常小。一般当光源尺寸小于该距离的 $1/5$ 时，就可以看作是点光源，距离平方反比定律就能适用。

上述定律，是在被照平面与入射光线相垂直的情况下得出的。若光线斜射到平面上，那么照度就要打一个折扣 $\cos\alpha$ 。此处 α 指的是入射光线与该平面法线间的夹角，即入射角。因此，对于任一入射角 α 的入射光线，被照面的照度可以写成

$$E_\alpha = E \cos\alpha \quad (1-15)$$

于是，距离反比定律为

$$E = \frac{I}{r^2} \cos\alpha \quad (1-16)$$

如果有多个点光源同时对某一被照平面形成照度，那么计算点的照度即为这些点光源单独形成的照度的算术和。

2. 照度与亮度

光源的亮度和该光源在被照面上所形成的照度之间，由立体角投影定律来定量。该律适用于光源尺寸比它到被照面的距离相对较大的场合。

设有一均匀发光的发光面 S_1 ，及一被照面 S_2 ，在 S_1 上取一微元 dS_1 ，由于它的面积相对于它到被照面的距离很小，故可应用点光源的距离平方反比定律

$$dE = \frac{I_\alpha}{r^2} \cos\theta \quad (1-17)$$

式中 I_α ——微元与平面法线成 α 角度的发光强度；

θ ——光线与被照面法线的夹角。

由亮度定义可知，该微元的亮度为

$$L_\alpha = \frac{I_\alpha}{dS_1 \cos\alpha} \quad (1-18)$$

将式 (1-18) 代入式 (1-17) 可得

$$dE = \frac{L_\alpha dS_1 \cos\alpha}{r^2} \cos\theta \quad (1-19)$$

其中, $\frac{dS_1 \cos \alpha}{r^2}$ 是微元 dS_1 在 α 方向上所张的立体角 $d\omega$ 。故式 (1-19) 可改写为

$$dE = L_a d\omega \cos \theta \quad (1-20)$$

对整个发光面积 S_1 在 α 方向上所张的立体角 ω 积分, 即为整个发光面对被照面所形成的照度 E

$$E = \int L_a \cos \theta d\omega \quad (1-21)$$

因为光源在各个方向的亮度是均匀的, 所以有

$$E = \omega L_a \cos \theta \quad (1-22)$$

式 (1-22) 为立体角的投影定律。它表示某一亮度为 L_a 的发光表面在被照边面上形成的照度, 与其本身的亮度 L_a 以及该发光面的立体角在被照面上的投影的乘积成正比, 而与发光面的面积无关, 要对被照面的立体角投影相同, 那么, 这些发光面在被照面上形成的照度也就相同。

第三节 材料的光学性质

一、光的反射、透射和吸收比

光线如果不遇到物体时, 总是以直线方向进行传播; 当遇到某种物体时, 光线可能被反射, 或者被吸收、被透射。光投射到非透明的物体表面时, 光通量被反射称为光的反射; 光投射到透明物体时, 光通量除被反射和吸收外, 大部分则被透射。

材料对光的反射、吸收和透射性质可用相应的系数表示

$$\text{反射比} \quad \rho = \Phi_\rho / \Phi_i \quad (1-23)$$

$$\text{吸收比} \quad \alpha = \Phi_\alpha / \Phi_i \quad (1-24)$$

$$\text{透射比} \quad \tau = \Phi_\tau / \Phi_i \quad (1-25)$$

式中 Φ_i ——投射到物体材料表面的光通量;

Φ_ρ —— Φ_i 之中被物体材料反射的光通量;

Φ_α —— Φ_i 之中被物体材料吸收的光通量;

Φ_τ —— Φ_i 之中被物体材料透射的光通量。

$$\text{其中,} \quad \rho + \alpha + \tau = 1 \quad (1-26)$$

二、光的反射

1. 分类

当光线遇到非透明物体表面时, 大部分光通被反射。光线在镜面和扩散面上的反射状态有以下三种:

(1) 规则反射 在研磨很光的镜面上, 光的入射角等于反射角, 反射光线总是在入射光线和法线所决定的平面内, 并与入射光分处在法线两侧, 称为“反射定律”。如图 1-6 所示。在反射角以外, 人眼是看不到反射光, 这种反射称为“规则反射”, 亦称定向反射 (或镜面反射)。它常用来控制光束的方向, 灯具的反射灯罩就是利用这一原理制作的。

(2) 散反射 光线从某一方向入射到经散射处理的铝板、经涂刷处理的金属板或毛面白漆涂层时, 反射光向各个不同方向散开, 但其总的方向是一致的, 其光束的轴线方向仍遵守反射定律。这种光的反射称之为“散反射”, 如图 1-7 所示。

(3) 漫反射 光线从某一方向入射到粗糙表面或涂有无光泽镀层时, 反射光被分散在各个方向, 即不存在规则反射, 这种光的反射称为“漫反射”。当反射遵守朗伯余弦定律, 那么, 从反射面的各个方向看去, 其亮度均相同, 这种光的反射则称为各向同性漫反射 (或完全漫反射), 如图 1-8 所示。

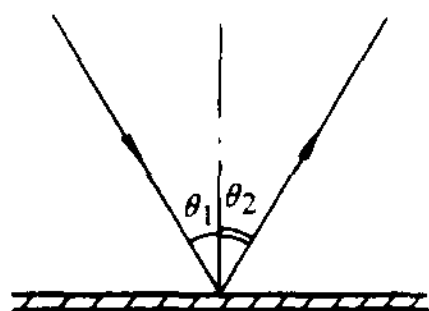


图 1-6 规则反射

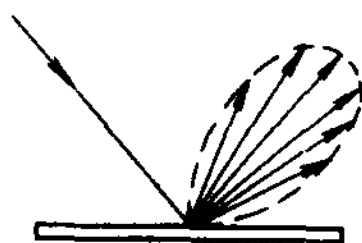


图 1-7 散反射

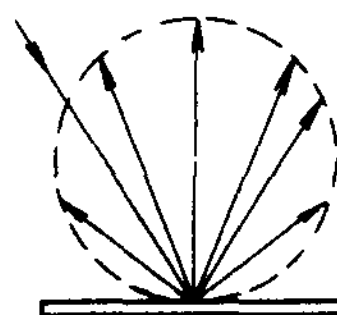


图 1-8 各项同性漫反射

2. 定向度

对于扩散反射面, 如比较光滑的白色光面大理石, 虽然具有较高的反射比, 但从图 1-7 中可看出, 它只在某个方向上有较高的亮度, 而其他方向的亮度并不高。因此, 要使它在各个方向上都有一定的亮度, 就必须接受较高的照度, 并且还会产生亮点。材料表面的光洁程度不同, 扩散反射的程度也不同, 现用“定向度” (如图 1-9 所示) 的概念来衡量它的定向程度, 如下式

$$D = (L_{\max} - L) / L \quad (1-27)$$

式中 D ——定向度;

$L_{\max}$ ——某一方向上的最大亮度值;

L ——其他方向上的最大亮度值。

从式中我们可看出, 当 $L = L_{\max}$ 时, 即各个方向亮度均相等, 则 $D = 0$, 此时为纯漫反射; 当 $L = 0$ 时, 即只有一个方向上有亮度, 其他方向均无亮度, 则 $D = 1$, 此时为纯定向反射, 所有的材料其 D 值均在 0~1 之间。部分材料的反射比和吸收比如表 1-3 所示。

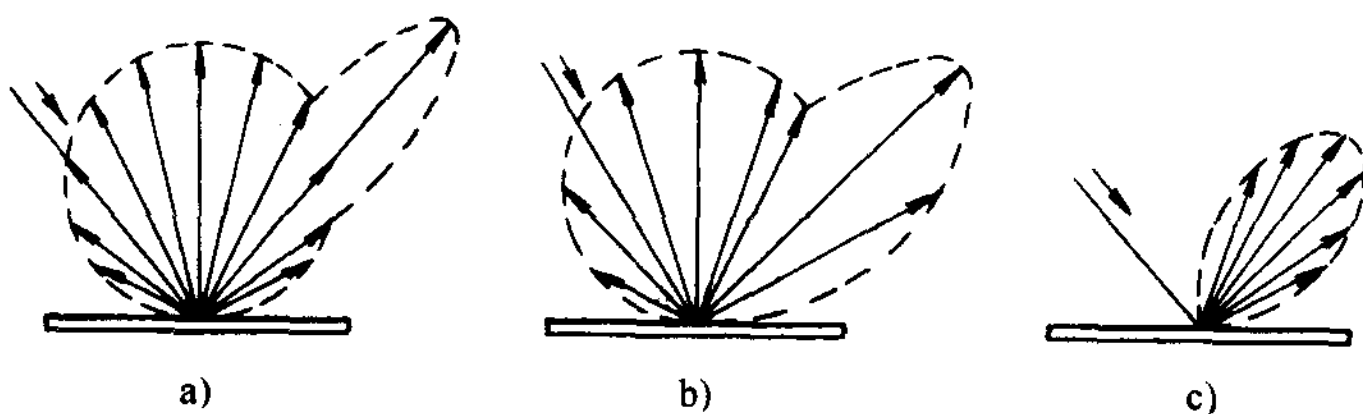


图 1-9 “定向度”的概念

照明器 (灯具) 采用反射

材料的目的在于把光源的光反射到需要照明的方向。为了提高效率, 一般宜采用反射比较高的材料, 此时反射面就成为二次发光面。

三、光的透射

光线入射到透明或半透明材料表面时, 一部分被反射、被吸收, 而大部分可以透射过去。例如, 光在玻璃表面垂直入射时, 入射光在第一面 (入射面) 反射 4%, 在第二面 (透过面) 反射 3%~4%, 被吸收 2%~8%, 透射率为 80%~90%。透射光在空间分布的状态

有四种：

1. 规则透射

当光线照射到透明材料上时，透射光是按照几何光学的定律进行透射，这就是“规则透射”，如图 1-10 所示。其中，图 1-10a 为平行透光材料（如平板玻璃），透射光的方向与原入射光方向相同，但有微小偏移；图 1-10b 为非平行透光材料（如三棱镜），透射光的方向由于光的折射而改变了方向。

表 1-3 部分材料的反射比和吸收比

	材 料	反 射 比	吸 收 比		材 料	反 射 比	吸 收 比
规则反射	银	0.92	0.08	漫反射	石膏	0.87	0.13
	铬	0.65	0.35		无光铝	0.62	0.38
	铝(普通)	60~73	40~27		率喷漆	0.35~0.40	0.65~0.60
	铝(电解抛光)	0.75~0.84(光泽) 0.62~0.70(无光)		建筑材料	木材(白木)	0.40~0.60	0.60~0.40
	镍	0.55	0.45		抹灰、白灰粉刷墙壁	0.75	0.25
	玻璃镜	0.82~0.88	0.18~0.12		红砖墙	0.30	0.70
漫反射	硫酸钡	0.95	0.05		灰砖墙	0.24	0.76
	氧化镁	0.975	0.025		混凝土	0.25	0.75
	碳酸镁	0.94	0.06		白色瓷砖	0.65~0.80	0.35~0.20
	氧化亚铅	0.87	0.13		透明无色玻璃 (1~3mm)	0.08~0.10	0.01~0.03

2. 散透射

光线穿过散透射材料（如磨砂玻璃）时，在透射方向上的发光强度较大，在其他方向上发光强度则较小。此时，表面亮度也不均匀，透射方向较亮，而其他方向则较弱，这种情况称为“散透射”，如图 1-11 所示。

3. 漫透射

光线照射到散射性好的透光材料（如乳白玻璃等）时，透射光将向所有的方向散开，并均匀分布在整个半球空间内，这称为“漫透射”。当透射光服从朗伯余弦定律，即亮度在各个方向上均相同，则称为均匀（或完全）漫透射，如图 1-12 所示。

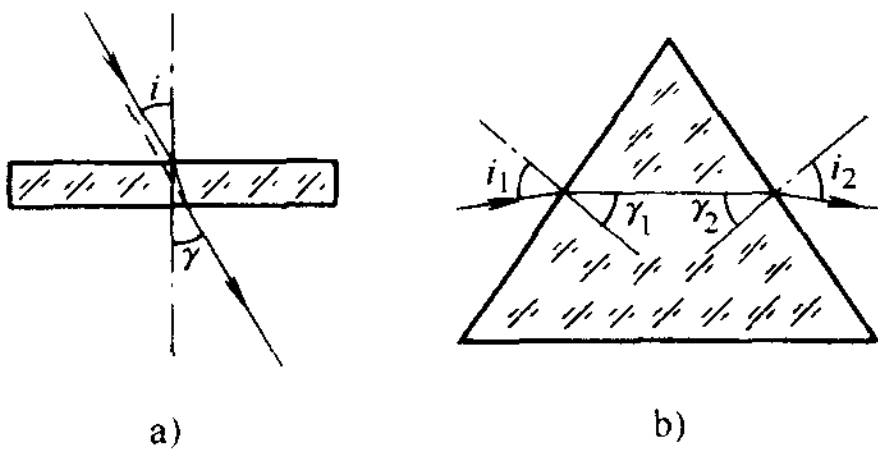


图 1-10 规则透射

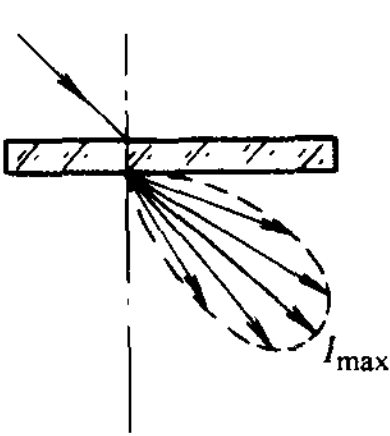


图 1-11 散透射

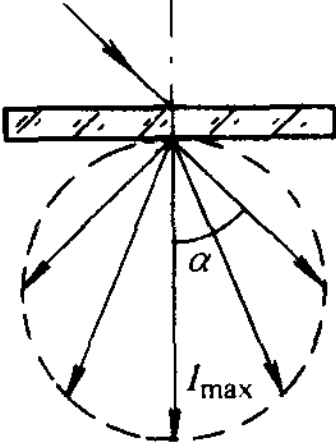


图 1-12 均匀漫透射

四、材料的光谱特征

1. 光谱反射比

材料表面具有选择性地反射光通量的性能，即对于不同波长的光，其反射性能也不同。

这就是在太阳光照射下物体呈现各种颜色的原因。为了说明材料表面对于一定波长光的反射特性，可引入光谱反射比这一概念。

光谱反射比 ρ_λ 定义为物体反射的单色光通量 $\Phi_{\lambda\rho}$ 与入射的单色光通量 $\Phi_{\lambda i}$ 之比

$$\rho_\lambda = \Phi_{\lambda\rho} / \Phi_{\lambda i}$$

(1-28)

图 1-13 所示的是几种颜料的光谱反射系数 $\rho_\lambda = f(\lambda)$ 的曲线。由图可见，这些有色彩的表面在与其色彩相同的光谱区域内具有最大的光谱反射比。

通常所说的反射比 ρ 是对色温为 5500K 的白光而言。

2. 光谱透射比

透射性能也与入射光的波长有关，即材料的透射光也具有光谱选择性，用光谱透射比表示。光谱透射系数 τ_λ 定义为透射的单色光通量 $\Phi_{\lambda\tau}$ 与入射的单色光通量 $\Phi_{\lambda i}$ 之比

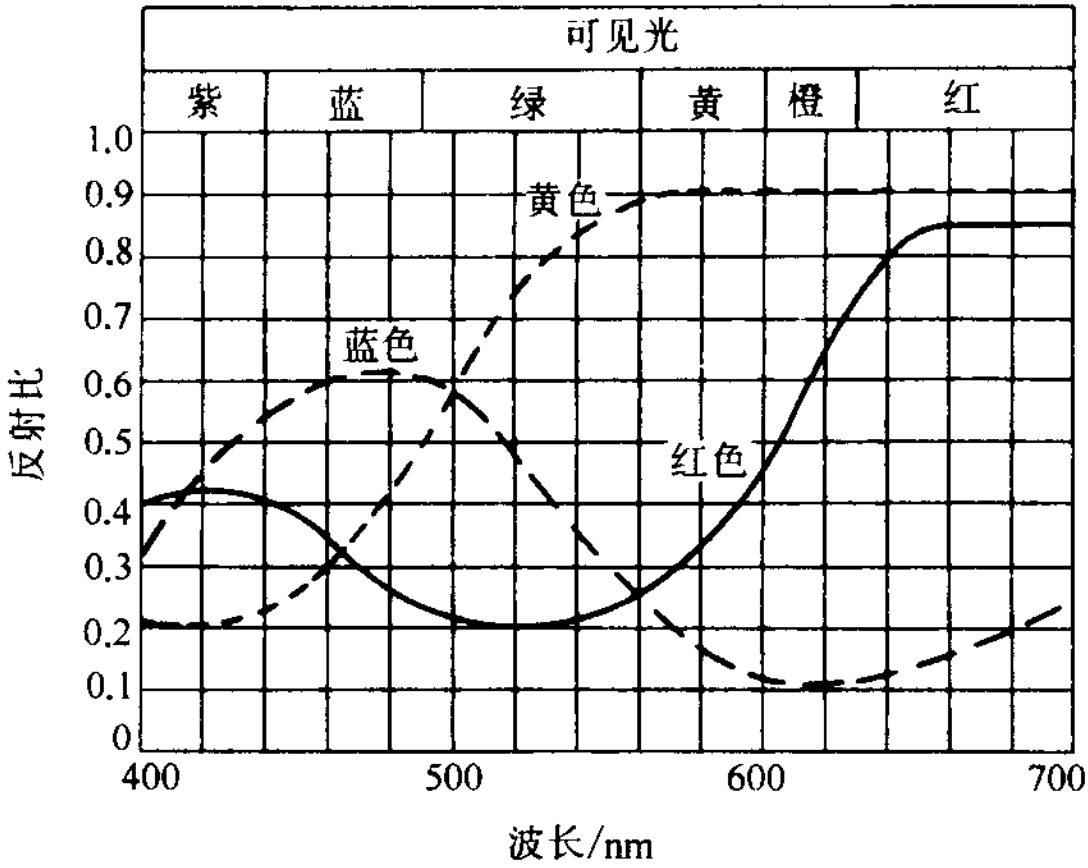


图 1-13 几种颜色的光谱反射系数

$$\tau_\lambda = \Phi_{\lambda\tau} / \Phi_{\lambda i}$$

(1-29)

通常所说的透射比是对色温为 5500K 的白光而言。

思 考 题

- 1. 光的本质是什么？
- 2. 人眼可见光的波长范围是多少？
- 3. 可见辐射、紫外辐射、红外辐射的含义是什么？
- 4. 说明以下常用照明术语的定义及其单位：
 - (1) 光通量
 - (2) 光强（发光强度）
 - (3) 照度
 - (4) 光出射度
 - (5) 亮度
- 5. 光的反射有几类，分别述之。
- 6. 光的透射有哪几类，分别述之。
- 7. 通常所说的反射比、透射比是指什么？
- 8. 什么是材料的光谱特征？