



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育智能建筑规划教材

电气照明技术

第3版



◎肖辉 主编



LIGHTING



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育智能建筑规划教材

电气照明技术

第3版

主 编 肖 辉

参 编 汪 镭

金立军

主 审 江豫新



机械工业出版社

时光荏苒,在本书出版10年之际,编者结合自身20年的教学经验和工程实践,坚持“面向建筑、面向工程、面向设计”的原则,将国家颁发实施的最新标准、规程与规范和电气照明技术的最新进展引入本书,并作为培养建筑电气工程师、照明设计师的教材,方便读者学习之用。

本书在内容上力求深入浅出,理论学习与实际工程相结合。本书共10章,分基础和应用两大部分。基础部分主要介绍光度学、材料的光学性质、光源和照明器的原理与应用、照明计算以及照明控制等;应用部分结合现代建筑、照明最新技术和规范以及城市夜景的规划与设计等,通过汇集编者自己的部分设计作品,立足照明节能、保护生态环境,突出“照明设计”主线,强调实施“绿色照明”工程。

本书适用于高等学校电气工程及其自动化、自动化及相关专业的本科教学,也可供有关工程技术人员作为设计与应用的参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作为教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目(CIP)数据

电气照明技术/肖辉主编. —3版. —北京:机械工业出版社,2015.5
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 普通高等教育智能建筑规划教材

ISBN 978-7-111-49940-4

I. ①电… II. ①肖… III. ①电气照明—高等学校—教材
IV. ①TM923

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第074888号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤 徐凡

责任校对:纪敬 封面设计:张静

责任印制:李洋

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015年7月第3版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·1插页·387千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-49940-4

定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

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 王元恺

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需求的急速增加。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的需要。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 个姐妹学校,不论是主编者或是主审者,都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姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。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。

吴启迪

写于同济园

2002 年 9 月 28 日

前 言

社会越进步,经济越发展,生活水平越高,人们对建筑的装饰越讲究、对光环境的要求越高,也就对照明设计要求越高。近年来涌现的现代建筑照明设计与技术所涉及的学科、理念很广,专业性很强,相应的产品更新换代也异常频繁。因此,行业从业者对设计技能的提高更加迫切。

自2004年1月,作为智能建筑规划教材之一的《电气照明技术》出版以来,得到了广大读者的好评。2009年第2版修订时,力求通过浅出阐释基本概念的方法,充分体现现代电气照明理论的先进性和工程的实用性,坚持以“照明设计为主线”,注重培养学生的设计思想和理念,着眼于学生实际能力的提升。时光荏苒,在本书出版10年之际,编者对本书再度进行修订,在修订过程中坚持“面向建筑、面向工程、面向设计”的原则,注重采用国家近年来颁发的有关建筑电气设计、规程、规范和标准,并重点说明在建筑照明设计中严格执行的由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布、2014年6月1日正式实施的国家新标准《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013),强调“照明设计有标准可依,它不是天马行空的所谓灯光创造,而是人类艺术美和技术美完美结合的产物”。此外,将照明领域最新的进展和技术,如21世纪人类重大发现之一的司辰视觉、固态照明LED新光源等,引入到本书中,方便读者学习。

在修订过程中,同济大学电子与信息工程学院的多位教授给予了指导,同济大学建筑设计研究院电气工程师们提供了最新的工程设计资料。作者对所有熟识的及未曾见面的、参考文献的各位作者致以衷心的感谢!正是他们的热情相助,才有了本书第3版的问世。

虽然此次修订希望做到全面更新,但由于编者的能力所限,加之时间仓促,书中难免存在不当之处,敬请专家、同行不吝赐教,编者感激不尽。

编 者

目 录

序	
前言	
第一章 绪论	1
第一节 光的基本概念	1
一、光辐射	1
二、光的本质	2
三、光的辐射特性	2
第二节 常用的光度量	4
一、光通量	4
二、发光强度(光强)	4
三、照度	5
四、光出射度	6
五、亮度	6
第三节 材料的光学性质	7
一、反射比、透射比和吸收比	7
二、光的反射	8
三、光的透射	9
四、材料的光谱特征	10
思考题	11
第二章 视觉与颜色	12
第一节 人眼与视觉	12
一、人眼的构造	12
二、人眼的视觉	12
第二节 视觉特性	13
一、暗视觉、明视觉和中介视觉	13
二、光谱灵敏度	14
三、视觉阈限	14
四、视觉适应	14
五、眩光	15
第三节 视觉功效	15
一、对比敏感度与可见度	15
二、视觉敏锐度(视力)	16
三、视亮度	16
第四节 颜色特性	17
一、光谱能量(功率)分布	17
二、颜色的基本特征	18
三、颜色混合	20
四、颜色视觉	21
第五节 表色系统	22
一、孟塞尔表色系统	22
二、CIE 表色系统	23
第六节 颜色与显色	25
一、光源的颜色	25
二、物体的颜色	27
思考题	28
第三章 电光源	29
第一节 概述	29
一、热辐射光源	29
二、气体放电光源	29
三、固体发光光源	29
第二节 白炽发光和热辐射	29
一、黑体辐射	29
二、钨丝的辐射	31
三、白炽灯和卤钨灯	32
第三节 气体放电	36
一、气体放电的全伏安特性	37
二、辉光放电灯	38
三、弧光放电灯	38
四、气体放电灯的稳定工作	39
第四节 荧光灯	40
一、结构与材料	40
二、工作电路	40
三、工作特性	42
四、电子镇流器	44
五、荧光灯的种类	45
第五节 高强度气体放电灯	47
一、HID 灯的结构	47
二、HID 灯的工作特性	50
三、HID 灯的工作电路	52
四、HID 灯的常用产品及其应用	53
第六节 场致发光光源	55

一、LED 的原理及其结构	55	三、举例	92
二、LED 的性能	57	第三节 线光源直射照度计算	92
三、LED 的常用产品及其应用	57	一、直射照度计算（方位系数法）	92
四、有机发光二极管	58	二、连续线光源的照度计算	93
第七节 各种常用电光源的性能比较与 选用	59	三、断续线光源的照度计算	97
一、电光源性能比较	59	四、举例	97
二、电光源的选用	60	第四节 面光源直射照度计算	101
思考题	61	一、形状因数法	101
第四章 照明器	62	二、等亮度面光源的照度计算	102
第一节 照明器的特性	62	三、矩形非等亮度面光源的照度 计算	105
一、照明器的配光曲线	62	四、举例	105
二、照明器的遮光角与亮度分布	66	第五节 平均亮度计算	106
三、照明器的效率	68	一、顶棚空间的平均亮度	106
第二节 照明器的设计	69	二、墙面平均亮度	106
一、照明器设计的目的	69	第六节 不舒适眩光计算	107
二、照明器设计的基本流程	69	一、统一眩光值（UGR）	110
三、照明器的主要控光部件	70	二、眩光值（GR）	111
第三节 照明器的分类	72	思考题	112
一、按照明器的用途分类	72	第六章 照明光照设计	113
二、按照明器防触电保护方式分类	72	第一节 概述	113
三、按照明器的防尘、防水等分类	73	一、光照设计的内容	113
四、按照明器光通量在空间的 分布分类	74	二、光照设计的目的	113
五、按照明器配光曲线分类	75	三、光照设计的基本要求	114
六、按照明器结构特点分类	75	四、光照设计的步骤	114
七、按照明器安装方式分类	75	第二节 照明种类	114
第四节 照明器的选用	76	一、按照明的使用情况分类	114
一、按配光曲线选择照明器	76	二、按照明的目的分类	115
二、按使用环境条件选择照明器	76	三、按光线的投射方向分类	115
三、按照明器的使用空间选择照明器	77	四、按灯具的光通量分布分类	115
四、按经济效果选择照明器	77	五、正常照明和应急照明的关系	116
思考题	78	第三节 照明方式和灯具布置	117
第五章 照明计算	79	一、照明方式	117
第一节 平均照度计算	79	二、灯具布置	118
一、基本计算公式	79	第四节 照明质量评价	120
二、利用系数法	80	一、评价指标	120
三、概率曲线与单位容量法	85	二、照度的表达法	138
第二节 点光源直射照度计算	88	第五节 照明设计软件简介	139
一、逐点计算法（平方反比法）	88	一、照明设计软件特点	139
二、等照度曲线计算法	90	二、设计举例	140
		思考题	144

第七章 照明电气设计	145	第一节 光检测器	179
第一节 概述	145	一、光电效应	179
一、照明电气设计的主要内容	145	二、光电池	179
二、照明电气设计应注意的事项	145	三、照度计	180
三、照明电气设计的具体步骤	145	第二节 照度的现场测量	182
第二节 电气设计基础	146	一、注意事项	183
一、初始资料收集	146	二、测量方法	183
二、照明供电	146	三、室内照度测量——实验指导书	184
三、照明负荷计算	147	第三节 亮度测量	187
第三节 设备选择	149	一、亮度测量的原理	187
一、线路的计算电流	149	二、直接测量	187
二、导线和电缆选择与敷设	150	三、间接测量	190
三、照明配电线路的保护与低压电器的 选择	155	思考题	190
第四节 照明电气设计与施工	157	第十章 照明设计与应用	191
一、照明电气设计与施工标准	157	第一节 室内照明	191
二、照明电气设计与施工的主要任务	157	一、住宅建筑照明	191
三、照明电气设计施工图	157	二、学校照明	193
四、照明电气施工与验收	161	三、办公照明	197
思考题	161	四、旅馆照明	198
第八章 照明与节能	162	五、商场照明	201
第一节 照明控制	162	第二节 室外照明	204
一、照明控制策略	162	一、体育场照明	204
二、照明控制方式	163	二、道路照明	209
三、照明控制系统	163	三、人行横道照明	214
四、照明控制的发展	166	第三节 城市夜景照明	215
第二节 天然光的利用	167	一、城市夜景照明规划（专项）	215
一、利用天然光的意义和优越性	167	二、景观照明	216
二、天然光照明技术	167	三、建筑物泛光照明	220
三、天然光和人工照明的优化 控制	170	四、广场照明	224
第三节 照明节能	171	第四节 照明规划与设计实例	226
一、建筑与照明节能	171	一、淮安市夜景照明规划	226
二、各类建筑的照明节能指标	171	二、无锡市快速内环夜景设计	229
第四节 绿色照明	176	三、杭州市雷峰塔立面泛光照明 设计	232
一、“绿色照明”的含义	176	四、上海城市规划展示馆夜景照明 设计	235
二、“绿色照明”的内容	177	思考题	239
三、实施“绿色照明”的途径	177	参考文献	240
思考题	178		
第九章 照明测量	179		

第一章 绪 论

第一节 光的基本概念

光是能量的一种形态，这种能量能从一个物体传播到另一个物体，在传播过程中无须任何物质作为媒介。这种能量的传递方式称为辐射，辐射的含义是指能量从能源出发沿直线向四面八方传播，尽管实际上它并不总是沿直线方向传播的，特别在通过物质时，其方向会有所改变。光一度被认为是粒子束，后来经实践证明，光线的方向也是波传播的方向。约一百年前，人们已证实了光的本质是电磁波，此后又弄清了在波长极其宽阔的电磁波中，可见光波的范围仅占很小的一部分，如图 1-1 所示。

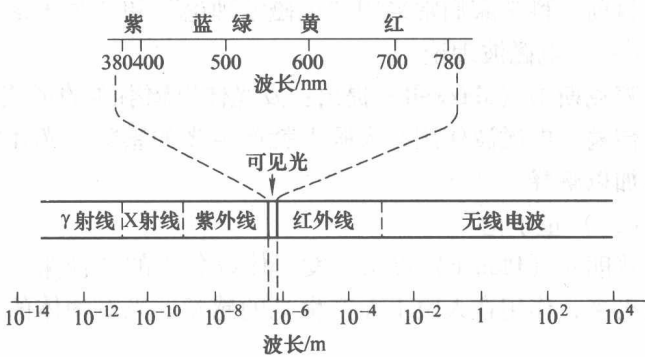


图 1-1 电磁波频谱

波长根据所在波谱中的不同位置，可以用单位 nm、 μm 等表示。其中， $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ， $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$ 。

一、光辐射

1666 年，牛顿使一束自然光线通过棱镜，从而发现光束中包含组成彩虹的全部颜色。可见光谱的颜色实际上是连续光谱混合而成的，光的颜色与相应的波段如表 1-1 所示。可见

表 1-1 光的各个波长区域

波长区域/nm	区 域 名 称		性 质
100 ~ 200	真空紫外	紫 外 光	光 辐 射
200 ~ 300	远紫外		
300 ~ 380	近紫外		
380 ~ 450	紫	可 见 光	
450 ~ 490	蓝		
490 ~ 560	绿		
560 ~ 600	黄		
600 ~ 640	橙		
640 ~ 780	红		
780 ~ 1500	近红外	红 外 光	
1500 ~ 10000	中红外		
10000 ~ 100000	远红外		

光的波长从 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。任何物体发射或反射足够数量合适波长的辐射能,作用于人眼睛的感受器官,就可被人看见。

紫外线波谱的波长在 100 ~ 380nm 之间,紫外线是人眼看不见的。太阳是近紫外线发射源;人造发射源可以产生整个紫外线波谱。

红外线波谱的波长在 780nm ~ 1mm 之间,红外线也是人眼看不见的。太阳也是天然的红外线发射源;白炽灯一般可发射波长在 5000nm 以内的红外线;发射近红外线的特制灯可用于理疗和工业设施。

紫外线、红外线两个波段的辐射能与可见光一样,可用平面镜、透镜或棱镜等光学元件进行反射、成像或色散。因而,将紫外线、可见光、红外线统称为光辐射。

二、光的本质

目前,科学家们常采用“电磁波理论”和“量子论”来阐述光的本质。

(一) 电磁波理论

麦克斯韦 (Maxwell) 提出:发光体以辐射能的形式发射光,而辐射能又以电磁波形式向外传输,电磁波作用在人眼上就产生光的感觉。光在空间运动可以用“电磁波理论”圆满地加以解释。

(二) 量子论

普朗克 (Planck) 提出:发光体以分立的“波束”形式发射辐射能,这些波束沿直线发射出来,作用在人眼上而产生光的感觉。光对物体的效应可用“量子论”圆满地加以解释。

对于照明工程师有着重要意义的光特性,量子论和电磁波论都做了一一说明。无论光被认为是波动性质还是光子性质,更确切地说,都属于电子运动过程产生的辐射。譬如,在气体放电中,被激励的电子返回到原子中较为稳定的位置时,将放射能量进而产生辐射。

三、光的辐射特性

为了研究光源辐射现象的规律,测定供给光源能量(比如说电能)转换成辐射能效率的高低,通常用下面的一些基本参量来描述光源的辐射特性。

(一) 辐射量

1. 辐射能量 Q_e 。

光源辐射出来的光(包括红外线、可见光和紫外线)的能量称为光源的辐射能量。当这些能量被物质吸收时,可以转换成其他形式的能量。

辐射能量 Q_e 的单位为 J。

2. 辐射通量 Φ_e 。

光源在单位时间内辐射出去的总能量称之为光源的辐射通量。辐射通量也可称为辐射功率。

辐射通量 Φ_e 的单位为 W。

3. 辐射出射度 M_e 。

如果光源表面上的一个发光面积 A 在各个方向(在半个空间内)的辐射通量为 Φ_e ,则该发光面的辐射出射度为

$$M_e = \frac{\Phi_e}{A} \quad (1-1)$$

辐射出射度 M_e 的单位为 W/m^2 。

由于一般光源发光面上各处的辐射出射度是不均匀的, 因此, 发光面上某一微小的面积 dA 的辐射出射度, 应该是该发光面向所有方向 (在半个空间内) 发出的辐射通量 $d\Phi_e$ 与面积 dA 之比, 即

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA} \quad (1-2)$$

(二) 光谱辐射量

光源发出的光, 往往由许多波长的光所组成。为了研究各种波长的光分别辐射的能量, 还需对单一波长的光辐射作相应规定。

1. 光谱辐射通量 Φ_λ

光源发出的光在单位波长间隔内的辐射通量称为光谱辐射通量 Φ_λ , 即

$$\Phi_\lambda = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\lambda} \quad (1-3)$$

若波长 λ 单位为 m (为了方便, 有时被描述为 nm), 则光谱辐射通量 Φ_λ 的单位为 W/m 。

由于光源发出的各种波长的光谱辐射通量 Φ_λ 一般是不同的, 因此应取微小的波长间隔 $d\lambda$ 。在 λ 到 $(\lambda + d\lambda)$ 间隔内的辐射通量是 $d\Phi_e(\lambda)$, 那么该波长 λ 处的光谱辐射通量为

$$\Phi_\lambda = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \quad (1-4)$$

2. 光谱辐射出射度 M_λ

光源发出的光在单位波长间隔内的辐射出射度称为光谱辐射出射度 M_λ :

$$M_\lambda = \frac{dM_e}{d\lambda} \quad (1-5)$$

光谱辐射出射度 M_λ 的单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{m})$ 。

3. 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 (lm/W) (“流明”为光通量的量纲, 本章第二节述及)。

4. 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 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 $683\text{lm}/\text{W}$) 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 (又称视觉函数或人眼的视觉灵敏度), 即

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (1-6)$$

也就是说, 当波长在峰值波长 λ_m 时, $V(\lambda_m) = 1$; 在其他波长 λ 时, $V(\lambda) < 1$ (见图 1-2 中的

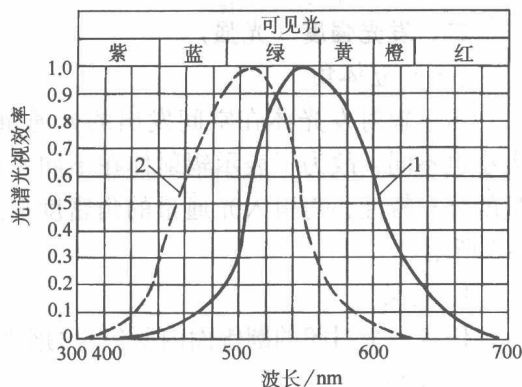


图 1-2 光谱光视效率曲线

1—明视觉 $V(\lambda)$ 2—暗视觉 $V'(\lambda)$

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。在照明技术中, 主要研究明视觉条件下的光谱辐射。

第二节 常用的光度量

除了特殊用途的光源 (如红外光源和紫外光源) 外, 大量的光源均作为照明使用, 而照明的效果最终是以人眼来评定的, 仅用没有考虑人眼作用的能量参数来表达是不够的。因此照明光源的光学特性还应考虑用基于人眼视觉的光度量参数来描述。

本节介绍几个基本的、在照明中常用的光度量。

一、光通量

前面说过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。如果在很小的波长间隔 ($\lambda \sim \lambda + d\lambda$) 内, 光源的辐射通量是 $d\Phi_e$, 那么在人眼中引起的光通量 $d\Phi$ 为

$$d\Phi = K(\lambda) d\Phi_e \quad (1-7)$$

把式 (1-4)、式 (1-6) 分别代入式 (1-7), 有

$$d\Phi = K_m V(\lambda) \Phi_\lambda d\lambda$$

将上式对波长进行积分, 就可得到光源的总辐射通量在人眼中引起的光通量 (Luminous flux):

$$\Phi = K_m \int_0^\infty \Phi_\lambda V(\lambda) d\lambda = K_m \int_{380}^{780} \Phi_\lambda V(\lambda) d\lambda \quad (1-8)$$

式中 Φ ——光通量, 单位为 lm;

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

Φ_λ ——光谱辐射通量, 为便于描述, 这里量纲取为 W/nm;

$V(\lambda)$ ——明视觉条件下的光谱光效率, 无量纲系数。

积分限的变换是由于当波长小于 380nm 和大于 780nm 的不可见光时, $V(\lambda) = 0$ 。

流明是国际单位制和我国法定单位制的基本单位之一。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。

二、发光强度 (光强)

(一) 立体角

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。

1. 定义

任意一个封闭的圆锥面内所包含的空间。

2. 单位

球面度 (sr), 即以圆锥顶为球心、 r 为半径作一个球体, 若锥面在球上截出面积 A 为 r^2 , 则该立

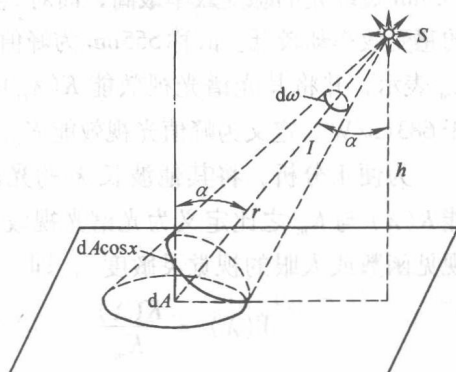


图 1-3 点光源的发光强度

体角称为一个单位立体角，又称为球面度（sr）。其表达式为

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

式中 A ——面积，单位为 m^2 。

由此可知，一个球体的立体角为 $\omega = A/r^2 = 4\pi r^2/r^2 \text{ sr} = 4\pi \text{ sr}$ 。

（二）光强的定义

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（Luminous intensity） I 。其表达式为

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (1-9)$$

（三）光强的单位

光强的单位为坎德拉（cd），也就是过去的烛光（Candle-Power），数量上， $1\text{cd} = 1\text{lm/sr}$ 。光强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。

（四）平均光强

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

$$I = \frac{\Phi_\omega}{\omega} \quad (1-10)$$

式中 Φ_ω ——光源在立体角内所辐射的光通量，单位为 lm ；

ω ——光源辐射范围的立体角，单位为 sr ；

I ——在立体角内的平均光强，单位为 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 $350\text{lm}/(4\pi \text{sr}) = 28\text{cd}$ 。若在该裸灯上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，相应的光强也就提高了。

三、照度

（一）定义

照度（Illuminance）是用来表示被照面上光的强弱，它是以被照场所光通量的面积密度来表示的。即表面上一点的照度 E 定义为入射光通量 $d\Phi$ 与该单元面积 dA 之比，其表达式为

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1-11)$$

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

为了对照度有些实际概念，现列举几个例子：晴朗的满月夜地面照度约为 0.2lx；白天采光良好的室内照度为 100~500lx；阴天室内照度为 5~50lx；晴天室外太阳散射光（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 。

（二）平均照度

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

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (1-12)$$

式中 A ——受照面积，单位为 m^2 ；

Φ ——受照面上所接受的光通量, 单位为 lm ;

E ——受照面上的平均照度, 单位为 lx 。

四、光出射度

(一) 定义

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 , 如果它发出的光通量为 $d\Phi$, 则该单元面积的光出射度 (Luminous exitance) M 为

$$M = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1-13)$$

(二) 单位

光出射度就是单位面积发出的光通量, 单位为辐射勒克斯 (rlx), 1rlx 等于 $1\text{lm}/\text{m}^2$ 。

(三) 平均光出射度

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

$$M = \frac{\Phi}{A} \quad (1-14)$$

(四) 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

$$\text{反射发光} \quad M = \rho E \quad (1-15)$$

$$\text{透射发光} \quad M = \tau E \quad (1-16)$$

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。

五、亮度

(一) 定义

光的出射度只表示单位面积上所发出的光通量, 并没有考虑光辐射的方向, 因此, 它不能表征发光面在不同方向上的光学特性。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 (Luminance)。

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

$$dA' = dA \cos \theta, L_\theta = \frac{d\Phi}{d\omega dA \cos \theta} = \frac{I_\theta}{dA \cos \theta} \quad (1-17)$$

式中 dA ——发光体的单元面积, 单位为 m^2 ;

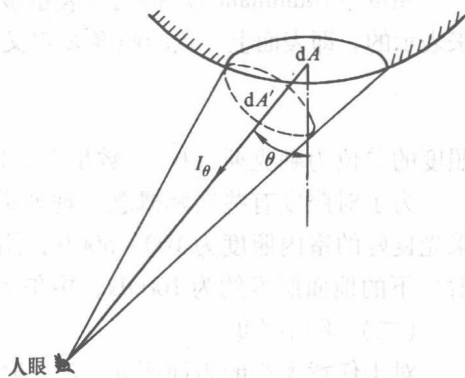


图 1-4 广光源一个单元面积上的亮度

θ ——视线与受照表面法线之间的夹角，单位为度（°）；

I_θ ——与法线成 θ 角的给定方向上的光强，单位为 cd。

(二) 单位

亮度的单位为坎德拉每平方米（cd/m²）或尼特（nt）。在数量上，1nt = 1cd/m²。

(三) 说明

1) 如果 dA 是一个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。

由式 (1-17) 得

$$L_\theta = \frac{I_0 \cos\theta}{dA \cos\theta} = \frac{I_0}{dA} = L_0 \quad (1-18)$$

式中 I_0 ——发光体表面法线方向的光强，单位为 cd。

式 (1-18) 表明发光体的亮度 L_θ 与方向无关，即从任意方向看，亮度都是一样的。

2) 对于完全扩散的表面，光出射度 M 与亮度 L 的关系为

$$M = \pi L \quad (1-19)$$

部分光源的亮度如表 1-2 所示。

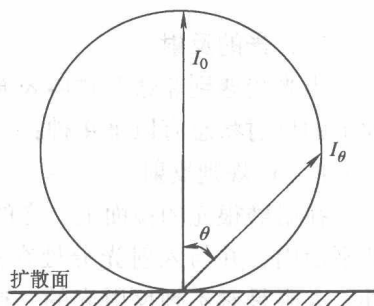


图 1-5 理想漫反射面的光强分布

表 1-2 部分光源的亮度

光 源	亮 度/cd · m ⁻²	光 源	亮 度/cd · m ⁻²
太 阳	1.6 × 10 ⁹ 以上	蜡 烛	(0.5 ~ 1.0) × 10 ⁴
碳极弧光灯	(1.8 ~ 12) × 10 ⁸	蓝 天	0.8 × 10 ⁴
钨 丝 灯	(2.0 ~ 20) × 10 ⁶	电视屏幕	(1.7 ~ 3.5) × 10 ²
荧 光 灯	(0.5 ~ 15) × 10 ⁴		

第三节 材料的光学性质

一、反射比、透射比和吸收比

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时，光通量的大部分被反射，小部分被吸收；光投射到透明物体时，光通量除被反射与吸收一部分外，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

$$\text{反射比} \quad \rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (1-20)$$

$$\text{吸收比} \quad \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad (1-21)$$

$$\text{透射比} \quad \tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_i} \quad (1-22)$$

式中 Φ_i ——投射到物体材料表面的光通量；

Φ_p —— Φ_i 之中被物体材料反射的光通量；

Φ_a —— 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。

根据能量守恒定律，则有

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (1-23)$$

二、光的反射

当光线遇到非透明物体表面时，大部分光被反射，小部分光被吸收。光线在镜面和扩散面上的反射状态有以下 4 种：

（一）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的，这种反射称为“规则反射”（Regular reflection），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。

（二）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”（Spread reflection），如图 1-7 所示。

（三）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”（Diffuse reflection）。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。

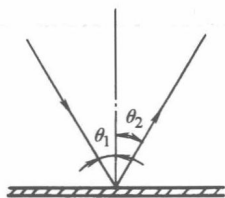


图 1-6 规则反射

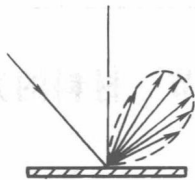


图 1-7 散反射

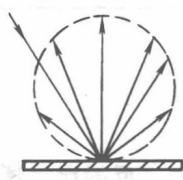


图 1-8 各向同性漫反射

（四）混合反射

光线从某一方向入射到瓷釉或带有高度光泽的漆层上时，其反射特性介于规则反射与漫反射（或散反射）之间，则称之为“混合反射”（Mixed reflection），如图 1-9 所示。图 1-9a 为漫反射与规则反射的混合；图 1-9b 表示的是散反射与漫反射的混合；图 1-9c 表示的是散反射与规则反射的混合，在规则反射方向上的发光强度比其他方向要大得多，且有最大亮度，而在其他方向上也有一定数量的反射光，但亮度分布不均匀。