

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANQI ZHAOMING JISHU

电气照明技术

(第二版)

谢秀颖 主编
郭宏祥 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU “SHIWU” GUIHUA JIAOCAI



TM923/15

2008

DIANQI ZHAOMING JISHU

电气照明技术

(第二版)

主 编 谢秀颖
副主编 郭宏祥
编 写 王 岷
主 审 裘皓杰



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分八章，主要内容包括照明技术的基本知识、照明电光源、照明灯具、照度计算、照明光照设计、照明电气设计、电气照明施工图设计和照明工程设计实例。本书内容深入浅出、简明扼要、层次清楚、语言透彻，尤其注重理论与实践相结合，以充分体现电气照明技术的实用性，向读者阐述电气照明设计应用的完整概念。为了配合教学与工程实践的需要，书中每章都给出思考题和习题，以便于读者自学。

本书主要作为普通高等学校电气工程及其自动化（含建筑电气专业方向）、建筑环境与设备工程、给水排水工程等专业本专科学生的教学教材，也可作为工程技术人员的培训用书和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气照明技术/谢秀颖主编. —2版. —北京: 中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-6341-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 192407 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 9 月第一版

2008 年 1 月第二版 2008 年 1 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 343 千字

定价 22.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

《电气照明技术》一书是依据国家 GBJ133—1990《民用建筑照明设计标准》和 GB50035—1992《工业企业照明设计标准》等标准、规范，结合作者多年的教学研究和工程实践经验编撰而成的。在编写过程中，注重教材内容的整合与精选；注重先进技术的应用；注重理论与工程实践相结合，充分体现电气照明技术的实用性。全书以电气照明设计为轴线，结合工程实践和对国家标准及规范的理解，重点介绍电气照明工程的基本计算和设计方法，以提高读者进行照明设计、施工和管理的能力；为了便于读者学习，每章都给出部分思考题与习题。所以，该书自 2004 年出版以来，得到了广大教师、同学和工程技术人员的充分肯定，也提出了不少宝贵意见。与此同时，随着“中国绿色照明工程”的实施，广大从业人员已充分认识到照明设计在建筑电气设计中的重要地位。为了适应当前建筑照明工程的实践要求，建设部组织对原两项照明设计标准进行修订，并合并为 GB50034—2004《建筑照明设计标准》，于 2004 年 12 月 1 日起实施，由于现行标准与原标准相比，在照度水平、照明质量和照明节能等诸多方面都发生了很大的变化，对照明工程的设计和管理人员提出了更高的要求。因此，为满足教学和广大从业人员的需要，对《电气照明技术》一书进行重新修订是十分必要的。

《电气照明技术（第二版）》在保留了原书体系和特点的基础上，对书中的照明术语、一般规定、照明的数量和质量、照度标准值、眩光的限制、照明配电及控制等内容，全部按现行标准的相关规定和要求进行了更新，增加了绿色照明、照明节能和照明功率密度值等内容，并对各章的“思考题与习题”进行了补充与完善。

本书由山东建筑大学谢秀颖任主编，编写第一～五章及附录，山东建筑大学建筑设计研究院郭宏祥任副主编，编写第八章，山东建筑大学王岷编写第六章，山东济宁市建筑设计研究院孟建国编写第七章；由裘皓杰教授对全部书稿进行审阅。

本书的出版得到了中国电力出版社教材中心的关心和支持。在编写过程中，得到了山东建筑大学信息与电气工程学院领导及老师们的大力支持、还得到了山东建筑大学设计研究院的热情帮助，在此谨致以深切的谢意！

为了使本书具有实用性、先进性、深入浅出的特点，编者查阅了相关的教材、大量的工程技术书刊和资料、国家标准和规范，吸取了许多有益知识，在此向所有参考文献的作者致以衷心的感谢！

由于作者自身水平所限，书中难免存在缺漏和不当之处，殷切期望读者批评指正。

编 者

2007 年 11 月



目 录

前言	1
第一章 照明技术的基本知识	1
第一节 光	1
第二节 光与视觉	17
第三节 光与颜色	21
第四节 绿色照明	30
思考题与习题	33
第二章 照明电光源	35
第一节 照明电光源的分类及性能指标	35
第二节 白炽灯	40
第三节 卤钨灯	43
第四节 荧光灯	45
第五节 高强度气体放电灯 (HID 灯)	52
第六节 低压钠灯	58
第七节 场致发光灯和半导体灯	59
第八节 照明电光源性能比较和选用	60
思考题与习题	63
第三章 照明灯具 (灯具)	64
第一节 灯具的光学特性	64
第二节 灯具的分类	71
第三节 照明灯具的选用	76
思考题与习题	77
第四章 照度计算	78
第一节 点光源的点照度计算	78
第二节 线光源的点照度计算	86
第三节 平均照度计算	91
思考题与习题	101
第五章 照明光照设计	103
第一节 概述	103
第二节 照明方式和种类	105
第三节 照明质量	107
第四节 灯具的布置	117
第五节 照明光照节能设计	123
思考题与习题	127
第六章 照明电气设计	128
第一节 概述	128

第二节 照明供电	129
第三节 照明线路计算	140
第四节 照明线路的保护	146
第五节 导线、电缆的敷设与选择	155
思考题与习题	160
第七章 电气照明施工图设计	162
第一节 电气照明施工图设计程序	162
第二节 电气照明施工图	163
第三节 电气照明施工图的阅读和分析	170
思考题与习题	175
第八章 照明工程设计实例	176
第一节 住宅楼照明设计	176
第二节 办公楼照明设计	178
第三节 学校照明设计	182
第四节 商场照明设计	186
第五节 宾馆照明设计	188
思考题与习题	189
附录	191
参考文献	219

第一章 照明技术的基本知识

电气照明不仅需要光学和电学知识,而且还涉及建筑学、生理学、心理学等多学科的知识。围绕电气照明设计这个中心,本章主要介绍光、视觉、颜色等与电气照明技术有关的基础知识及绿色照明计划等。

第一节 光

电气照明是以光学为基础的,因而,电气照明技术的实质主要是光的控制与分配技术。本节主要介绍照明技术中最基本的概念和常用术语。

一、光和光谱

1. 光的概念

光是能量的一种存在形式,它可以通过电磁辐射方式从一个物体传播到另一个物体。因而,光的本质是一种电磁波(电磁辐射)。

电磁辐射的波长范围是极其广泛的,波长不同的电磁波,其特性可能有很大的差别,一般而论,这些波段不同的电磁波是由不同的辐射源产生的,它们对物质的作用不同,因而有不同的应用和测量方法。但是,相邻波段之间实际上是没有明显界线的,因为波长的较小差别不会引起特性的突变。若将各种电磁波按波长依次排列可以得到电磁波谱,如图 1-1 所示。

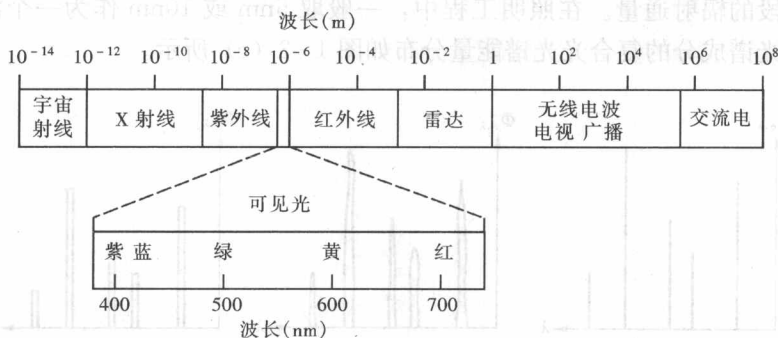


图 1-1 电磁波谱及可见光谱

在电磁波谱中,波长为 380~780nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) 的电磁波,作用于人的视觉器官能产生视觉,这部分电磁波叫可见光。可见光按波长依次排列可以得到可见光谱。不同波长的可见光,在视觉上会形成不同的颜色,只含有一种波长成分的可见光称为单色光,通常将可见光分为红 (780~630nm)、橙 (630~600nm)、黄 (600~570nm)、绿 (570~490nm)、青 (490~450nm)、蓝 (450~430nm) 和紫 (430~380nm) 等七种单色光。将可见光按波长从 380~780nm 依次展开,光将分别呈现紫、蓝、青、绿、黄、橙、红色。

在可见光紫光区的左边小于 380nm 的是一个紫外线波段,而在红光区右边大于 780nm 的是一个红外线波段,这两个波段的电磁波虽然不能引起人的视觉,但由于它们能够有效地转换成可见光,所以,通常把紫外线、可见光和红外线统称为光。

2. 光谱辐射通量及其能量分布

(1) 光谱辐射通量。辐射通量(或称为辐射功率)是指某物体单位时间内发射或接收的辐射能量,或在介质(也可能是真空)中单位时间内传递的辐射能量,单位为瓦特(W)。任意波长的电磁辐射的能量都可以用辐射通量来度量。

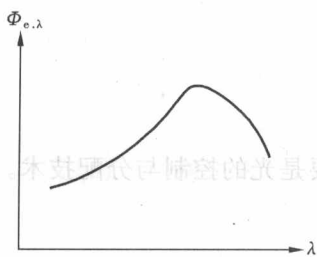


图 1-2 具有连续光谱成分的复合光的光谱能量分布

在照明工程中,由于实际照明光源发出的往往是含有多种波长成分的复合光。依据复合光中各种波长的辐射通量的分布情况,将其分为具有线光谱的复合光(只包含有限几种波长)和具有连续光谱的复合光(包含无限多种波长);并用光谱辐射通量来定量地描述复合光中各波长的辐射通量的分布,光谱辐射通量定义为辐射源在给定波长无限小范围内产生的辐射通量与该波长范围之比,其基本单位为 W/m。

(2) 辐射通量的光谱分布。光谱辐射通量实际上可以看作是波长的函数,因此光源的辐射能量随波长而变化的规律称为辐射通量的光谱分布,通常称为光谱能量(功率)分布,可以用曲线来表示。

图 1-2 表示的是具有连续光谱成分的复合光的光谱能量分布。图 1-3 则表示具有线光谱成分的复合光的光谱能量分布。图 1-3 (a) 表示的是理想线光谱成分的复合光的光谱能量分布,即每一个线光谱成分具有良好的单色性。但实际光源的线光谱成分往往是不理想的,即在其波长附近一定波长范围内均有一定的辐射,如图 1-3 (b) 所示。在实际测量时,一般不可能,也没有必要对每一波长的辐射都测量其辐射通量,而是分成若干个波长段,测量其每一波长段的辐射通量。在照明工程中,一般取 5nm 或 10nm 作为一个波长段。经过处理的具有线光谱成分的复合光光谱能量分布如图 1-3 (c) 所示。

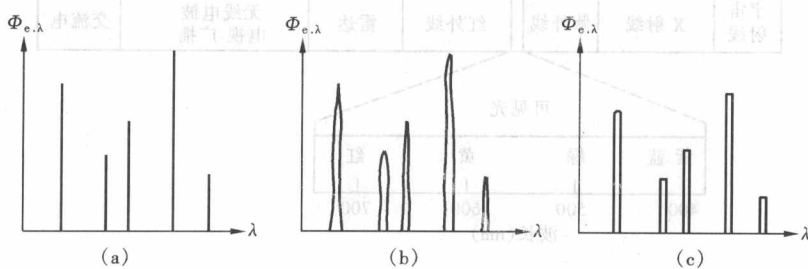


图 1-3 具有线光谱成分的复合光的光谱能量分布

(a) 理想线光谱成分的复合光的光谱能量分布; (b) 实际线光谱成分的复合光的光谱能量分布; (c) 经过处理的线光谱成分复合光的光谱能量分布

3. 光谱光效率

人的视觉器官受到光的刺激就会产生视觉。事实证明,光刺激所引起的视觉强度(光亮感觉的大小)不仅与光能量的大小有关,还与光的波长有关,即人眼对各种波长的光具有不同的灵敏度。通常用光谱光效率(或光谱光效能)来表示人眼的视觉灵敏度。

光谱光效能的意义是单位辐射通量产生的视觉强度,用符号 $K(\lambda)$ 表示,单位为 lm/W 。实验证明,光谱光效能是波长的函数,并且存在最大值 K_m 。

光谱光效率是给定波长 λ 的光谱光效能 $K(\lambda)$ 与最大光谱光效能 K_m 之比,光谱光效率也是波长 λ 的函数,用符号 $V(\lambda)$ 表示,其表达式为

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

式中 $K(\lambda)$ —— 给定波长 (λ) 辐射的光谱光效能, lm/W ;

K_m —— 辐射的最大光谱光效能, lm/W ;

$V(\lambda)$ —— 给定波长 (λ) 辐射的光谱光效率。

光谱光效率 (或光谱光效能) 除了与波长有关以外,还与光刺激强度有关,即同一波长的光,在环境适应亮度明暗不同的情况下,人眼对其敏感性是有差别的。此外,光谱光效率 (光谱光效能) 既然是评价人眼的视觉灵敏度的,就不可避免地存在着个人差异。基于这两个原因, CIE (国际照明委员会) 规定了一个标准光度观察者,称为 CIE 标准光度观察者,并根据有关研究,先后提出了在明视觉条件下 (适应亮度约为 10cd/m^2 以上) 获得的明视觉光谱光效率值 $V(\lambda)$, 以及在暗视觉条件下 (适应亮度小于 10^{-2}cd/m^2) 获得的暗视觉光谱光效率值 $V'(\lambda)$, 如表 1-1 所示。图 1-4 为对应于表 1-1 的 CIE 光度标准观察者光谱光效率曲线。

表 1-1

CIE 标准光度观察者的光谱光效率数值

波 长 (nm)	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V'(\lambda)$	波 长 (nm)	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V'(\lambda)$
380	0.0000	0.0006	590	0.7570	0.0655
390	0.0001	0.0022	600	0.6310	0.0332
400	0.0004	0.0093	610	0.5030	0.0159
410	0.0012	0.0348	620	0.3810	0.0074
420	0.0040	0.0966	630	0.2650	0.0033
430	0.0116	0.1998	640	0.1750	0.0015
440	0.0230	0.3281	650	0.1070	0.0007
450	0.0380	0.455	660	0.0610	0.0003
460	0.0600	0.567	670	0.0320	0.0001
470	0.0910	0.676	680	0.0170	0.00007
480	0.1390	0.793	690	0.0082	0.00004
490	0.2080	0.904	700	0.0041	0.00002
500	0.3230	0.982	710	0.0021	0.000009
510	0.5030	0.997	720	0.0010	0.000005
520	0.7100	0.935	730	0.0005	0.000003
530	0.8620	0.811	740	0.0003	0.000001
540	0.9540	0.650	750	0.0001	0.0000008
550	0.9950	0.481	760	0.00006	0.0000004
560	0.9950	0.3288	770	0.00003	0.0000002
570	0.9520	0.2076	780	0.00002	0.0000001
580	0.8700	0.1212			

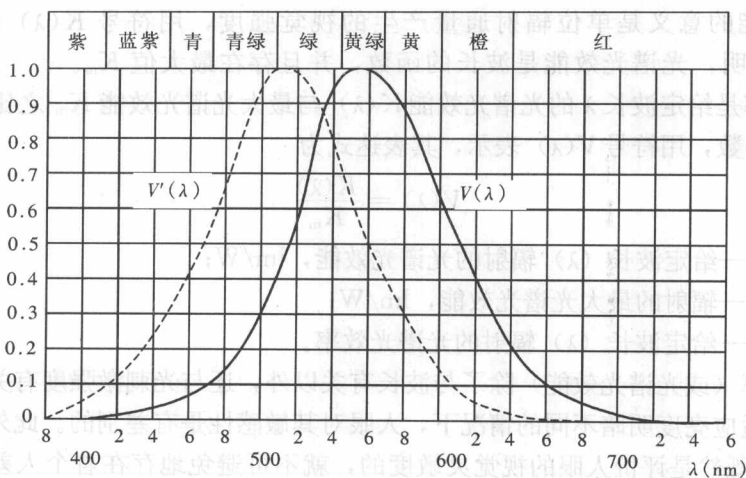


图 1-4 CIE 光度标准观察者光谱光效率曲线

实验证明：在明视觉情况下，正常人眼对于波长为 555nm 的黄绿色光最敏感，也就是这种波长的辐射能引起人眼最大的视觉，而越偏离 555nm 的辐射，可见度越小。因此，称 555nm 为峰值波长 λ_m ，此时 $V(\lambda_m) = 1$ ，当 $\lambda \neq 555\text{nm}$ 时， $V(\lambda) < 1$ 。而在暗视觉条件下，正常人眼对于波长为 507nm (510nm) 的光最敏感，当 $\lambda_m = 507\text{nm}$ 时， $V'(\lambda_m) = 1$ ；当 $\lambda \neq 507\text{nm}$ 时， $V'(\lambda) < 1$ 。

另外，需要说明的是：明视觉光谱光效率曲线的最大值与太阳散射光能量分布（按波长）曲线的最大值相近，这是人类眼睛在长期进化过程中最好地适应与感受太阳散射光刺激的结果。曲线在靠近红外线和紫外线两端逐渐趋向于零。在照明工程中主要应用明视觉光谱光效率，因此在未明确说明的情况下，均指明视觉条件。

二、常用的光度量

光是能量的一种存在形式，光对物质的作用是与光能量的转化相关的。因而，在光的应用技术中，一般是以能量这个纯物理量来对光进行定量的测量和研究。以能量单位评价光辐射的纯物理量叫做辐射度量。而在照明技术中，由于光作用于人的眼睛所产生的视觉强度，不仅与光能量的大小有关，还与光的波长有关，所以在照明技术中，单纯采用能量参数来描述光的特性往往是不能满足要求的。为了更好地研究光在照明工程中的应用，通常采用的是以视觉效果来评价光辐射的量——光度量。光度量与辐射度量之间是有密切关系的，前者可以从后者导出。在照明工程中，常用的光度量有光通量、发光强度、照度和亮度。

1. 光通量

光通量是按照 CIE 标准观察者的视觉特性来评价光的辐射通量的，其定义为单位时间内光辐射能量的大小，用符号 Φ 表示。

当辐射体发出的辐射通量按 $V(\lambda)$ 曲线的效率被人眼所接受时，其表达式为

$$\Phi = K_m \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (1-2)$$

式中 Φ ——光通量，lm；

K_m ——最大光谱光效能，在单色辐射时，明视觉条件下的 K_m 值为 683lm/W (λ_m

$d\Phi_e(\lambda)/d\lambda$ ——辐射通量的光谱分布。

光通量是根据人眼对光的感觉来评价光源在单位时间内光辐射能量的大小的。例如：一只 200W 的白炽灯泡比一只 100W 的白炽灯泡看上去要亮得多，这说明 200W 灯泡在单位时间内所发出光的量要多于 100W 的灯泡所发出的光的量。

光通量是说明光源发光能力的基本量。例如，一只 220V、40W 的白炽灯泡其光通量为 350lm，而一只 220V、36W、6200K 的 T8 荧光灯的光通量约为 2500lm，这说明荧光灯的发光能力比白炽灯强，这只荧光灯的发光能力是这只白炽灯的 7 倍。

发光强度简称光强，它表示光源向空间某一方向辐射的光通密度。所以，一个光源向给定方向的立体角元 $d\omega$ 内发射的光通量 $d\Phi$ 与该立体角之比，称为光源在给定方向的光强，用符号 I 表示，其表达式为

立体角的定义是任意一个封闭的圆锥面所围的空间。立体角是以锥的顶点为球心，半径为 r 的球面被锥面所截得的面积来度量的。当锥面在球面上截得的面积为 dA 时，则该立体角即为一个单位立体角 $d\omega$ ，其表达式为

若光源发射的光通量比较均匀时,各个方向的光强相等,其值为

式中 Φ ——光源在立体角 ω 内所辐射的总光通量, lm;

ω ——光源辐射光通量的空间立体角, sr; 若 r 为球的半径 (m), S 为与立体角 ω 相对应的球表面积 (m^2), 则 $\omega = S/r^2$ 。

若点光源向四周发射的光通量为 Φ ，由于球体包含的立体角 ω 为 4π ，所以，其平均球面光强为

发光强度的单位是坎德拉 (cd)，也就是过去的国际烛光，简称烛光 (candle-power)， $=1\text{lm}/1\text{sr}$ 。坎德拉是国际单位制的基本单位之一，其它光度量单位都是由光强的单位推来的。

发光强度是用来描述光源发出的光通量在空间给定方向上的分布情况的。当光源发出的光通量一定时，光强的大小只与光源的光通量在空间的分布密度有关。例如，桌上有一盏 220V40W 白炽灯，其发出的光通量为 350lm，该裸灯泡的平均光强为 $350/4\pi=28\text{cd}$ 。若在该灯泡上面装上一盏不透光的平盘型灯罩之后，桌面看上去要比没有灯罩时亮许多。在此情

形下, 灯泡发出的光通量并没有变化, 但加了灯罩之后, 光通量经灯罩反射后更为集中地分布在灯的下方, 向下的光通量增加了, 相应的光强提高了, 亮度也就增加了。

3. 照度

当光源的光通量投射到物体表面时, 即可把物体表面照亮。那么, 对于被照物体而言, 常用照度来衡量落在它表面上的光通量的多少, 即照度是描述被照面被照射的程度的光度量。其定义为: 被照物体表面上一点的照度等于入射到该表面包含这点的面积元上的光通量 $d\Phi$ 与面积元 dA 之比。简单地说, 就是被照面上单位面积入射的光通量。照度用符号 E 表示, 其表达式为

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1-6)$$

若任意被照面 A 上入射的光通量为 Φ , 则可用平均照度表示, 即

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (1-7)$$

照度的国际单位制单位是勒克斯 (lx)。1lx 表示在 1m^2 面积上均匀分布 1lm 光通量的照度值, 即 $1\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$ 。

若采用 cm 作长度单位, 则照度单位用辐透 (ph) 来定义, 1ph 表示 1cm^2 面积上均匀分布 1lm 光通量, 即 $1\text{ph} = 1\text{lm}/\text{cm}^2$ 。辐透的千分之一叫做毫辐透 (mph), 即 $1\text{mph} = 10^{-3}\text{ph}$ 。

照度的英制单位是英尺-坎德拉, 或称英尺烛光 (fc), 当 1 平方英尺 (ft^2) 被照面上均匀地接受 1lm 光通量时, 该被照面的照度值为 1fc, 即 $1\text{fc} = 1\text{lm}/\text{ft}^2$ 。表 1-2 列出几种照度单位的换算关系。

表 1-2

照度单位换算表

单位名称	勒克斯 (lm/m^2)	英尺-坎德拉 (lm/fc)	辐透 (lm/cm^2)	毫辐透
1 勒克斯 (1lx)	1	9.29×10^{-2}	1×10^{-4}	0.1
1 英尺-坎德拉 (1fc)	10.76	1	1.076×10^{-3}	1.076
1 辐透 (1ph)	1×10^4	929	1	1×10^3
1 毫辐透 (1mph)	10	0.929	1×10^{-3}	1

能否看清一个物体, 与这个物体单位面积所得到的光通量有关。所以, 照度是照明工程中最常用的术语和重要的物理量之一, 因为在当前的照明工程设计中, 一直将照度值作为考察照明效果的量化指标。为了对照度有一个大概的概念, 下面举几个常见的例子:

- (1) 在 40W 白炽灯下 1m 远处的照度约为 30lx, 加搪瓷伞形白色灯罩后可增加为 70lx。
- (2) 满月晴朗的月光下为 0.2lx。
- (3) 晴朗的白天室内为 100~500lx。

一般情况下, 1lx 的照度仅能辨别物体的轮廓; 照度为 5~10lx 时, 看一般书籍比较困难; 短时阅读的照度不应低于 50lx。

4. 亮度

亮度是描述发光面或反光面上光的明亮程度的光度量, 并且, 亮度考虑了光的辐射方向, 所以它是表征发光面在不同方向上的光学特性的物理量。

若以广光源上一点 S 为研究对象,如图 1-5 所示,首先在该发光面上取一包含 S 点的足够小的面元,面元的面积为 $dA(m^2)$ 。观察者从某一方向观察该发光面,发光面上 S 点向观察者发出的光强为 $dI(cd)$,且该方向与面元法线方向的夹角为 θ 。则该发光面上 S 点在指向观察者方向上的亮度可定义为:该方向上的发光强度 dI 与包含 S 点的面元 dA 在垂直于观察者方向上的投影面积 $dA\cos\theta$ 之比,即单位投影面积上的发光强度。亮度用符号 L 表示,给定方向 (θ 方向)上的亮度用 L_θ 表示,其表达式为

$$L_\theta = \frac{dI}{dA\cos\theta} \quad (1-8)$$

式 (1-8) 表明,亮度与被视物体的发光强度或反光面的反光程度有关,还与发光面或反光面的面积有关。例如,在同一照度下,并排放着的白色和黑色物体,因物体表面对光的反射程度不同,人眼看起来的视觉效果也不同,总觉得白色物体要亮得多;而对两个发光强度完全相同的物体来说。例如,功率相同的一个普通白炽灯泡和一个磨砂玻璃灯泡,它们在视觉上引起的明亮程度也不同,后者看起来不及前者亮,这是因为磨砂玻璃表面凹凸不平,发光面积较大的缘故。

若发光面是一个理想的漫射体(漫射发光体或漫反射体),它的光强将按余弦分布,即

$$I_\theta = I_0 \cos\theta$$

则

$$L_\theta = \frac{I_0 \cos\theta}{dA\cos\theta} = \frac{I_0}{dA} = L_0 \quad (1-9)$$

式 (1-9) 表明,漫射体的亮度是一个常数 L_0 ,与方向无关。其特点是:从任意方向看该漫射体的表面时,亮度都是一样的,如图 1-6 所示。

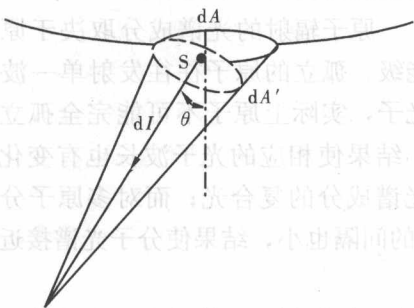


图 1-5 广光源一个单元面积上的亮度

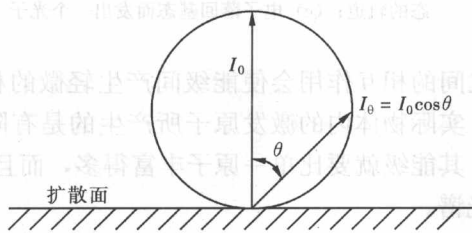


图 1-6 理想漫反射面的光强分布

亮度的国际单位制单位是坎德拉/平方米 (cd/m^2)。若 $1m^2$ 发光面沿其法线方向发出 $1cd$ 光强时,该发光面在其法线方向上呈现的亮度为 $1cd/m^2$ 。当发光面面积单位改用 cm^2 时,亮度单位为熙提 (sb), $1cm^2$ 发光面沿法线方向光强为 $1cd$ 时,发光面法线方向上的亮度为 $1sb$,即 $1sb=1cd/cm^2$ 。亮度的其它单位还有阿波熙提 (asb)、英尺郎伯 (fl) 等多种。但应注意,根据 ISO31/6-1980,目前只保留了坎德拉/平方米 (cd/m^2),其它单位都已废除。

通常情况下:

(1) 40W 荧光灯的表面亮度约为 $7000cd/m^2$;

(2) 无云的晴朗天空平均亮度约为 $5000cd/m^2$;

(3) 太阳的亮度高达 $1.6 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$ 以上。

注意:一般情况下,当亮度超过 $1.6 \times 10^5 \text{ cd/m}^2$ 时,人眼就感到难以忍受了。

三、光的辐射

许多物理和化学过程都能产生辐射,但为了照明的目的,这里只简单介绍人工光源的辐射。人工光源不同,光辐射产生的机理也不同,但它们的基本原理是相似的。

1. 辐射的产生

众所周知,原子由带正电的原子核和其外围带负电的电子云组成,原子核外电子运动的轨道不同,其能量级别也不相同。离原子核最近的轨道能量级最低,而离原子核越远,则其能量级别越高。

离原子核最近的电子,由于原子核对其的束缚力最大而处在最稳定的状态(称之为基态)。由于产生光辐射的主要是最外层电子,那么,如果由于某种原因使核外电子获得更高的能量,电子由于被激发将不再逗留在基态,而将迁移到与其具有的能量相当的能级(这种迁移称为被激发迁移)。电子逗留在激发态的时间是极短暂的,它将很快回到稳定的基态,或从高能级的激发态迁移到低能量级的激发态(这种迁移称为去激发跃迁)。在去激发跃迁时电子的能量也随之释放,该能量就被转化成光能并自发地向外辐射,形成了光的辐射。

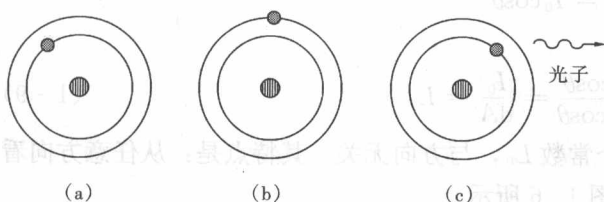


图 1-7 辐射的激发和自激发

(a) 外层电子在基态的轨道上; (b) 电子跳到激发态的轨道; (c) 电子落回基态而发出一个光子

辐射的激发和自激发过程示于图 1-7。如图 1-7 (a) 所示,外层电子在基态的轨道上,在图 1-7 (b) 中,是给电子以足够的能量使它跳到激发态的轨道,在图 1-7 (c) 中,电子自发地落回到基态而发出一个光子。

原子辐射的光谱成分取决于原子的能级。孤立的原子往往发射单一波长的光子,实际上原子不可能完全孤立,原

子之间的相互作用会使能级间产生轻微的相互影响,结果使相应的光子波长也有变化,因此,实际物体内的激发原子所产生的的是有限几种线光谱成分的复合光;而对多原子分子而言,其能级就要比单一原子丰富得多,而且能级之间的间隔也小,结果使分子光谱接近于连续光谱。

目前,在人工光源中常用的辐射源主要有三种形式:热辐射、气体放电和电致发光。

2. 热辐射

热辐射是物体因热而产生的辐射。当物体被加热到高温时,组成它的原子或分子将产生热运动,并互相碰撞使电子获得能量而被激发,从而产生辐射。

(1) 黑体辐射。热辐射的理论研究主要是通过黑体进行的。黑体又称为完全辐射体,其特点是入射到黑体上的光辐射将完全被吸收,而没有反射和透射,即它的反射比和透射比为 0,吸收比为 1。所以黑体的热辐射将只取决于黑体的温度,也就是温度达到一定的值,其光谱能量分布也将是确定的。著名的普朗克定律所描述的就是不同温度下的黑体的光谱辐射功率与波长的函数关系(如图 1-8 所示)。这种形式的辐射称为热辐射或黑体辐射。黑体的辐射是具有连续光谱成分的复合辐射。

黑体辐射有两个主要特点:其一是随着温度的升高,黑体辐射的总能量迅速增加;其二

是随着温度的升高,黑体辐射曲线的最大值偏向短波,即具有最大辐射功率的波长和黑体的温度成反比,与该特点相对应的现象是物体加热后随着温度的逐步升高,其颜色先发红,再变黄,最后发蓝。此外,当温度达到 5000K 左右时,黑体将变成白炽色,且可见光成分占其辐射总能量的比例也最大,所以,在 2000~5000K 的范围内,黑体的辐射温度越高,最大辐射功率的波长越移近可见光区。

实际上,黑体是一种理想的辐射体,在自然界中根本不存在这种物质。在人工热辐射光源中采用的是钨丝辐射。

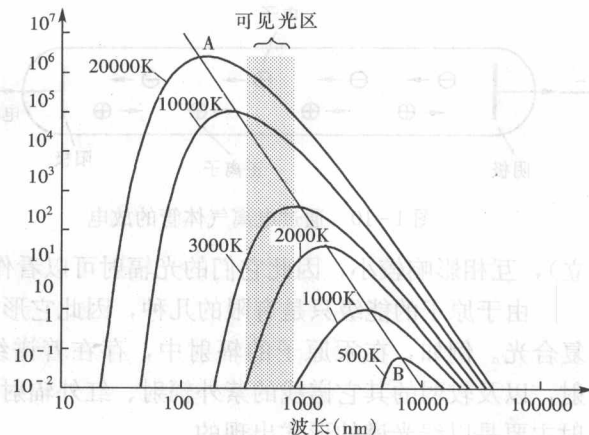


图 1-8 黑体的相对能量分布

(2) 钨丝辐射。钨丝并不能获得黑体的吸收和反射特性,但是由于钨丝能够承受 2000K 以上的高温,并且它在可见光区域内的选择辐射率较高,因此钨丝的热辐射与黑体辐射不仅辐射原理相同,而且具有相似的性能,例如其光谱能量分布是连续光谱,且与辐射的温度有密切的关系。钨丝辐射的能量分布如图 1-9 所示。

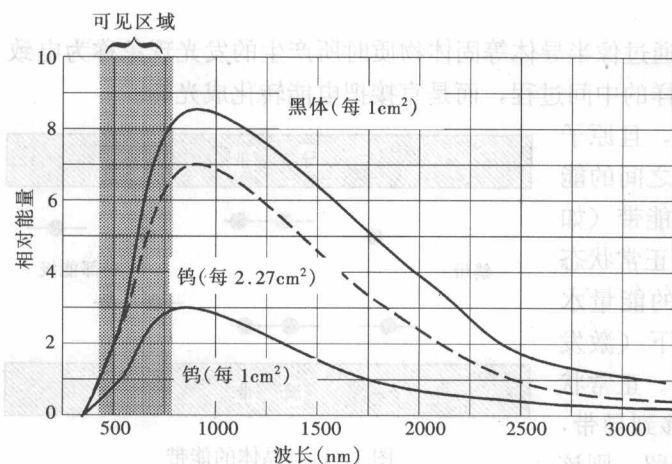


图 1-9 同温度(3000K)下黑体和钨丝的辐射曲线

钨丝辐射曲线的形状与黑体辐射的分布曲线很相似,但是由于钨丝在可见光区域内的选择辐射率较高,所以钨丝辐射功率的峰值比同温度的黑体偏向于可见光区,显然用钨丝作光源比用同温度的黑体作光源光效要高。

此外,钨丝辐射波长范围很广,其中可见光仅占很少的比例,紫外线也很少,绝大部分是红外线。随着温度增加,钨丝辐射的能量也随之增加,并且可见光部分的增加速度比红外线的增加速度更快。

所以,要提高钨丝辐射的光效,就必须尽可能地提高钨丝的工作温度。

3. 气体放电

在电场的作用下,载流子在气体(或蒸汽)中产生并运动,从而使电流通过气体(或蒸汽)的过程称为气体放电。在正常情况下,气体里通常没有自由电子,只有当气体原子被电离产生电子和正离子时才能导电。图 1-10 所示的是通过电离气体管的放电,电场使电子向阳极漂移,正离子向阴极漂移,通过管子的总电流就是电子和离子流的总和。离子比电子重几千倍,而且很少移动,离子流通常只是总电流的 0.1%~1%。

气体放电主要是在充有气体的管中以原子辐射形式产生光辐射的。根据管中气体的压力,气体放电又可分为低气压放电和高气压放电。

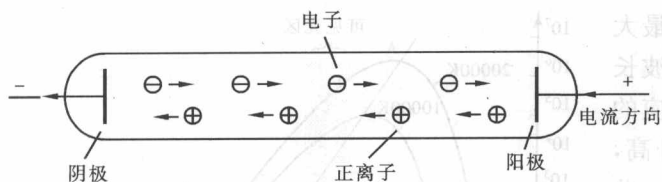


图 1-10 通过电离气体管的放电

(1) 低气压放电。管内气体压力较小时（总气压近似于百分之一大气压）产生的气体放电即为低气压放电。当管内气体压力小时，组成气体（主要是汞蒸气和钠蒸气）的原子之间的距离比较大（基本独立），互相影响较小，因此它们的光辐射可以看作是孤立的原子产生的原子辐射。

由于原子的能级只是有限的几种，因此它形成的原子辐射也将是有限几种线光谱成分的复合光。例如，在汞原子的辐射中，存在着谱线为 253.7nm 和 185.0nm 的强烈的紫外辐射，以及较弱的其它谱线的紫外辐射、红外辐射和可见光。所以，低气压放电所产生的光辐射主要是以线光谱的形式出现的。

(2) 高压放电。与低气压放电相比，当管内气体压力较高时（升高到几个大气压）产生的气体放电即为高压放电。当管内气体压力大时，由于组成气体的原子之间的距离比较近，各原子之间相互牵制、相互影响较大，电子在轰击原子时不能直接与一个原子作用，原子的辐射不再是孤立的。此外，在轰击原子时产生的光辐射又可能被其它原子吸收而形成另外的辐射，这样，尽管高压气体放电仍是气体中的原子辐射产生的光辐射，但与低气压放电时差别很大，高压放电产生的辐射将包括强的线光谱成分和弱的连续光谱成分。

4. 电致发光

电致发光又称为场致发光，电流通过像半导体等固体物质时所产生的发光现象称为电致发光。电致发光不需要任何像加热这样的中间过程，而是直接把电能转化成光能。

半导体的原子按一定的规律排列，且原子之间有着较强的相互作用，致使原子之间的能级增宽，形成由许多相近能级组成的能带（如图 1-11 所示）。满带对应于半导体在正常状态下（基态）未被激发的电子所具有的能量水平，导带对应于半导体在激发状态下（激发态）被激发的电子所具有的能量水平。正常状态下电子占据满带，被激发时将迁移到导带，电子不能在满带和导带之间的间隙滞留，则该间隙称为禁带。

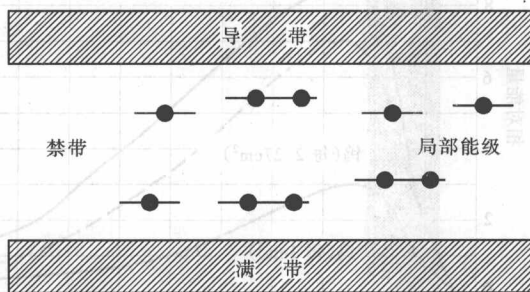


图 1-11 晶体的能带

若在半导体中掺入少量的杂质，可以局部地破坏半导体内原子原有的整齐排列，产生一些特殊的能级，称为局部能级。半导体在电场的作用（激发）下在各能级之间会产生激发迁移或去激发跃迁过程，电子发生去激发跃迁时将会把它受激发所吸收的能量释放出来，转换成光能。

电致发光的辐射波长取决于跃迁前后所在能带（或能级）之间的能量差。由于半导体内的能带（或能级）复杂，因此可能形成线光谱成分的光辐射，也可能形成在一定波长范围内密集的线光谱成分（即带光谱成分），甚至可能形成连续光谱的光辐射。

四、物质的光学性质

光通过介质（空气、液体、固体等）传播时，一般都发生吸收、折射、透射、反射和偏

振等现象。研究这些现象对照明工程设计是有实际意义的,因为照明环境(照明分布)是光源发出的光经过传播过程而最后形成的。很明显,吸收、折射、反射和透射等现象对照明分布具有决定性的影响。

1. 光的吸收

光在介质中传播时其强度将越来越弱,在这个过程中有一部分光的能量转变为其它形式的能量(例如热能),这就是介质对光的吸收。

用吸收比(亦称吸收系数)来表征介质对光的吸收作用。吸收比是被材料或介质吸收的光通量 Φ_a 与入射光通量 Φ_i 之比,以百分数或小数表示,符号为 α ,即

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad (1-10)$$

不同的介质对于不同波长的光的吸收作用是不同的,一般情况下,非透明表面越粗糙且颜色越深的材料,吸收比越大。介质对光的吸收与光在介质中传播的光程(即介质吸收层的厚度)有关,光程越大,介质吸收的光也越多。介质对光的吸收还与光的入射方向和偏振状态有关。

2. 光的折射和透射

(1) 光的折射。光从一种介质射入另一种介质时,若光的入射方向不是垂直于上述两种介质分界面,则在分界面处将有一部分光被反射回原来的介质,另一部分将射入另一种介质中,但传播方向改变了,这种现象称为光的折射。

由于光在各种介质中的传播速度不同,所以,当两种介质进行比较时,光在其介质中传播速度较高的被称为光疏物质,而传播速度较低的称为光密物质。

假设光从一种介质(介质的折射率为 n_1)射入另一种介质(介质的折射率为 n_2),则光通过这两种介质分界面所发生的折射情况如图1-12所示。

入射光方向与介质分界面法线方向的夹角称为入射角 i ,折射光方向与法线的夹角称为折射角 γ 。由于光在这两种介质内的传播速度不同,所以,入射角 i 与折射角 γ 不等。当光从光疏介质射入光密介质时($n_2 > n_1$),折射角 γ 将小于入射角 i ,反之,则折射角 γ 将大于入射角 i 。同

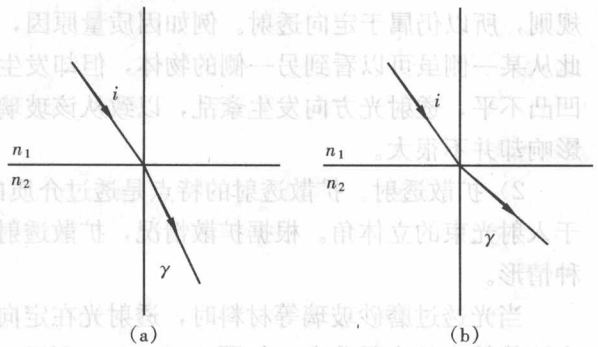


图1-12 光的折射

(a) $n_2 > n_1, \gamma < i$; (b) $n_2 < n_1, \gamma > i$

时,入射角发生变化时,折射角随之发生变化,但两角之间的关系符合折射定律,即

$$n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma \quad (1-11)$$

上述的折射定律适用于大多数的材料,如玻璃、透明的塑料和液体等。

(2) 光的透射。光从一种介质射入另一种介质,并从这种介质穿透出来的现象叫光的透射。在透射光中,光所包含的单色成分的频率不改变,但光通量及其包含的立体角可能改变。

用透射比(透射系数)来描述光在透射前后光通量的变化情况。透射比是透过材料或介质的光通量 Φ_t 与入射到介质上的光通量 Φ_i 之比,以百分数或小数表示,符号为 τ ,即