

电光源原理

复旦大学电光源实验室

上海人民出版社

电光源原理

复旦大学电光源实验室



上海人民出版社

电光源原理

复旦大学电光源实验室

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 18.125 字数 431,000

1977年9月第1版 1977年9月第1次印刷

统一书号: 15171·271 定价: 1.30元

毛主席语录

马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

6604.150

前 言

我们把通电而发光的器件,统称为电光源。电光源除了大量的用作照明外,在工农业生产、交通运输、国防建设、科学技术等领域,都有着广泛的用途。由于各种不同应用的需要,电光源的种类极其繁多,形状千差万别,但如果按其从电能到光能的转化形式的不同来区分,大致可分为三类。第一类是热辐射光源,即通电使物体温度升高而发光的光源,例如钨丝灯和在它的基础上发展起来的卤钨灯。第二类是气体放电光源,即电流通过气体(包括某些金属蒸气)而发光的光源,例如日光灯、高压汞灯、金属卤化物灯等。第三类是固体发光光源,例如场致发光灯、发光二极管等。而在照明方面,以前两类应用较为广泛。

在毛主席革命路线指引下,我国的电光源技术迅速发展,各种新光源不断出现。为了适应大力发展工农业生产和科学事业的需要,我们编写了《电光源原理》一书。书中介绍了前两类电光源的基本知识、主要原理,这些电光源的结构、性能和设计方法,以及光源测量的有关知识,供有关科技人员和广大群众研究、制造和使用电光源时参考。虽然激光也是一种光源,但因它的原理、技术和其他光源有很大差别,所以本书不作讨论。在编写过程中,曾得到有关工厂、从事电光源研究和使用的单位的大力支持,他们提供了不少宝贵经验和有价值的资料,并对本书的初稿提出了许多很好的意见。选材时,我们力图根据我国的实际情况,尽量反映我国自己的实践经验和科研成果;并且按照“洋为中用”的原则,采用了一些

国外的科研资料，以比较全面地反映电光源技术的概貌。但是限于我们的政治水平和业务水平，书中一定有不少缺点、错误，恳请读者批评指正。

复旦大学光学系电光源实验室

一九七六年四月

目 录

前 言	· · · · ·	(1)
第 一 章 光源的基本知识	· · · · ·	(1)
第一节 光源的辐射特性	· · · · ·	(4)
第二节 人眼的视觉	· · · · ·	(10)
第三节 黑体辐射	· · · · ·	(14)
第四节 照明光源的特性	· · · · ·	(22)
第 二 章 白炽灯	· · · · ·	(34)
第一节 白炽灯的材料和结构	· · · · ·	(36)
第二节 白炽灯的充气问题	· · · · ·	(44)
第三节 卤钨循环机理和卤钨灯设计	· · · · ·	(52)
第四节 白炽灯灯丝的设计	· · · · ·	(62)
第五节 白炽灯的特性和应用	· · · · ·	(75)
第 三 章 气体放电灯的基本原理	· · · · ·	(83)
第一节 电子发射和电极	· · · · ·	(85)
第二节 气体辐射	· · · · ·	(90)
第三节 气体放电灯的稳定工作	· · · · ·	(111)

1103294

第 四 章	汞 灯	· · · · ·	(126)
第 一 节	低 压 汞 蒸 气 放 电 和 低 压 汞 灯	· · · · ·	(127)
第 二 节	低 压 水 银 荧 光 灯	· · · · ·	(134)
第 三 节	低 压 水 银 荧 光 灯 的 特 性 和 应 用	· · · · ·	(146)
第 四 节	高 压 汞 灯	· · · · ·	(155)
第 五 节	超 高 压 汞 灯	· · · · ·	(179)
第 五 章	钠 灯	· · · · ·	(202)
第 一 节	低 压 钠 灯	· · · · ·	(202)
第 二 节	高 压 钠 灯	· · · · ·	(217)
第 六 章	金 属 卤 化 物 灯	· · · · ·	(230)
第 一 节	金 属 卤 化 物 灯 的 基 本 原 理	· · · · ·	(232)
第 二 节	各 种 金 属 卤 化 物 灯 的 特 性	· · · · ·	(236)
第 三 节	金 属 碘 化 物 灯 的 几 个 特 殊 问 题	· · · · ·	(260)
第 七 章	氙 灯	· · · · ·	(273)
第 一 节	长 弧 氙 灯	· · · · ·	(275)
第 二 节	短 弧 氙 灯	· · · · ·	(283)
第 三 节	氙 灯 的 触 发 器	· · · · ·	(299)
第 八 章	脉 冲 灯	· · · · ·	(306)
第 一 节	脉 冲 灯 放 电 的 基 本 过 程	· · · · ·	(306)
第 二 节	脉 冲 灯 的 电 特 性	· · · · ·	(312)
第 三 节	脉 冲 灯 的 光 输 出 特 性	· · · · ·	(317)
第 四 节	脉 冲 灯 的 寿 命 和 极 限 负 载	· · · · ·	(331)
第 五 节	脉 冲 灯 的 频 闪 工 作	· · · · ·	(340)

第六节	脉冲灯的放电模型和比较法设计	(346)
第七节	管状脉冲灯放电回路的设计	(352)
第八节	脉冲灯的应用	(363)
第九章	其他光源	(371)
第一节	燃烧式闪光泡	(371)
第二节	碳弧	(373)
第三节	原子光谱灯	(377)
第四节	场致发光屏	(386)
第五节	半导体灯	(389)
第十章	光度测量	(394)
第一节	光强度和光照度的测量	(394)
第二节	光通量的测量	(406)
第三节	光亮度的测量	(427)
第四节	脉冲灯光量和能量的测量	(433)
第十一章	光源光谱能量分布的测量	(439)
第一节	棱镜的分光作用	(440)
第二节	棱镜单色仪和棱镜摄谱仪	(443)
第三节	光探测器	(456)
第四节	测量光谱能量分布用的标准光源	(479)
第五节	测量光源的光谱能量分布	(489)
第六节	测量脉冲灯的光谱能量分布	(497)
第十二章	光色的测量	(501)

第一节	人的颜色视觉	· · · · ·	(501)
第二节	表色系统	· · · · ·	(504)
第三节	色坐标的测量和计算	· · · · ·	(521)
第四节	色温的测量	· · · · ·	(530)
第五节	显色指数的测量	· · · · ·	(538)

第一章 光源的基本知识

白天,阳光普照大地;夜晚,各种灯光又将工厂、学校、商店和街道等照得通明。太阳和灯,给我们带来了光明。光是我们工作、学习、生活中必不可少的东西。

虽然人们一直在和光打交道,但是,光究竟是什么东西却不是一下子就弄清楚的。在十七世纪,有人根据光线直线传播的现象,认为光是由许多微粒组成的,这些光微粒在均匀媒质中沿着直线方向等速飞行。但是这种光的微粒理论不能解释光的干涉和衍射之类的现象。当时有人提出了光的波动理论,认为光是发光材料中分子振动的结果,这些振动通过一种假想的弹性媒质——以太,以水波一样的方式传播出去。光的波动理论能够解释光的干涉和衍射等现象。后来,随着科学的发展,人们才逐步认识到光是一种电磁现象。原来,光和广播用的无线电波一样,也是一种电磁波,只不过光的波长比无线电波短得多。

电磁波包括的范围很广,现在已经发现的宇宙射线,波长小于几个微微米(1 微微米 = 10^{-12} 米),而广播用的无线电波的波长则长达上千米,它们都属于电磁波的范畴。光,仅是其中的一小部分,它包括的波长区间约从几个毫微米(1 毫微米 = 10^{-9} 米)到 1 毫米左右。这些光并不是都能看得见的,人眼所能看见的只是如图 1-1 中所标出的那一部分,我们把这一部分称为可见光。在可见光中,波长最短的是紫光,稍长的是蓝光,以后的顺序是青光、绿光、黄光、橙光和红光,红光的波长最长。而在不可见光中,把波长比紫光短的光称为紫外线,比红光长的叫做红外线。表 1-1 列出紫外、

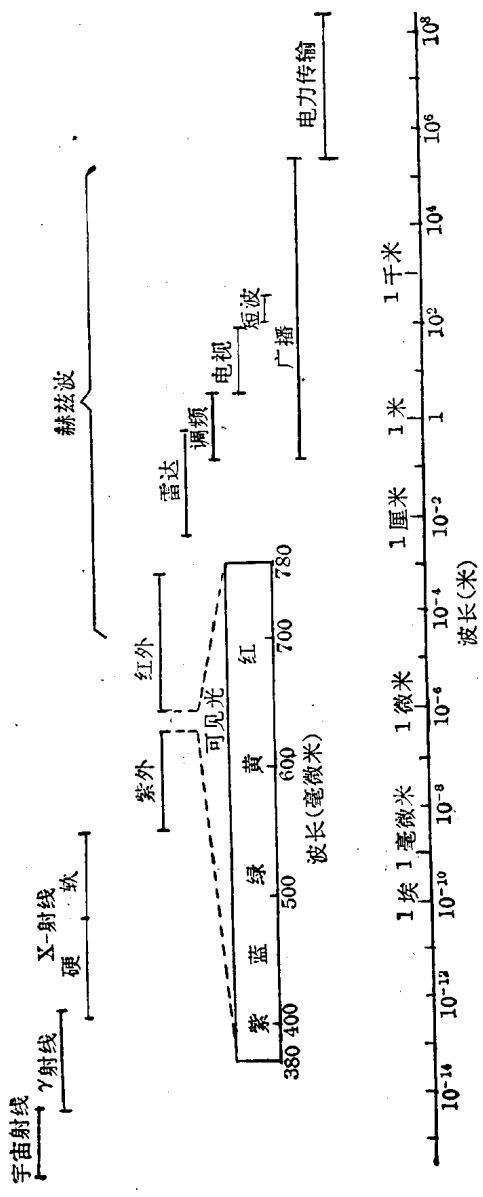


图 1-1 可见光在电磁波谱中的位置

可见和红外光区的大致的波长范围。波长小于 200 毫微米的光之所以称为真空紫外,是因为这部分光在空气中很快被吸收,因此只能在真空中传播。

表 1-1 光的各个波长区域

波长区域(单位: 毫微米)	区 域 名 称
1~200	真空紫外区
200~300	远紫外区
300~380	近紫外区
380~420	紫 光
420~450	蓝 光
450~490	青 光
490~560	绿 光
560~590	黄 光
590~620	橙 光
620~780	红 光
780~1500	近红外区
1500~10000	中红外区
10000~1000000	远红外区

现在常用的光波波长单位是微米 (μm 或 μ)、毫微米 (nm 或 $\text{m}\mu$) 和埃 (\AA), 它们之间的关系是: 1 微米 = 10^3 毫微米 = 10^4 埃。

应当指出, 图 1-1 和表 1-1 只表示各个波长区间的大致范围和相互位置, 并没有也不可能给出区间的严格界限。事实上, 各个区域之间都是逐步过渡而不是截然分开的。

电磁波在媒质中的传播速度 v 由下式决定:

$$v = \frac{\lambda\nu}{n}, \tag{1-1}$$

式中 v 的单位是米/秒; λ 为波长, 单位是米; ν 是频率, 单位是赫 (周/秒); n 是媒质的折射率。光在真空中的传播速度 c 约为 3×10^8 米/秒。频率 ν 是由产生电磁波的辐射源决定的, 它不随

所通过的媒质而变，波长 λ 和速度 v 则随媒质而变。作为一个例子，表 1-2 给出相应于真空中波长为 589 毫微米的钠黄光在不同媒质中的传播速度和波长。

表 1-2 真空中波长为 589 毫微米的钠黄光在几种最常见媒质中的传播速度和波长

媒 质	真 空	空 气	玻 璃	水
折 射 率 n	1	1.0002	1.5	1.33
速度 v (10^8 米/秒)	2.997925	2.9972	1.998	2.25
波 长 λ (毫 微 米)	589	588.8	393	442

在研究过程中，人们又发现，仅仅用上面所说的电磁理论还不足以解释许多其他现象，因此又提出了光量子的假说，对新的理论进行探讨，逐渐地形成了新的微粒理论——量子论。量子论认为光是由许多光量子组成的，这些光量子具有的能量为 $h\nu$ ，其中 $h(=6.625 \times 10^{-27}$ 尔格·秒)是普朗克常数。光电效应，X 光散射等实验证实了光量子理论，肯定了光具有粒子性；然而，光的干涉、衍射等现象又必须肯定光具有波动性。事实使人们认识到光具有波动和粒子的二象性，后来发展的量子电动力学较好地反映了光的这种二象性。人们对光的本性有了更进一步的认识。但是，这决不意味着对光的认识就到此为止了。毛主席教导我们：“客观现实世界的变化运动永远没有完结，人们在实践中对于真理的认识也就永远没有完结。”今后还需要反复实践，深入研究，在实践中不断地开辟认识光的本性的道路。

第一节 光源的辐射特性

光源就是指能发光的物体，象太阳、白炽灯、煤油灯等等都是。

使光源发光的原因很多，比如煤油灯的发光是由于煤油内部化学能的作用，太阳的发光则是它体内热核反应的结果。本书介绍的光源主要是靠外部输入电能而发光的，因此常称为“电光源”。

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

一、辐射能量 Q 。

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，如热能、电能等。

辐射能的单位是：卡、尔格、焦耳，它们之间的关系是：1卡 = 4.18 焦耳，1 焦耳 = 10^7 尔格。

二、辐射通量 Φ 。

在单位时间内通过某一面积的辐射能量称为经过该面积的辐射通量，而光源在单位时间内辐射出的总能量就叫做光源的辐射通量。辐射通量也可称为辐射功率或辐射能流。辐射通量的单位是瓦(=焦耳/秒)、尔格/秒、卡/秒等。

三、辐射强度 I_e 。

光源在某一方向的辐射强度 I_e 是指光源在包含该方向的立体角 Ω 内发射的辐射通量 Φ_e 与该立体角 Ω 之比：

$$I_e = \Phi_e / \Omega。 \quad (1-2)$$

由于光源在各方向的辐射强度一般是不均匀的，所以(1-2)式表示的辐射强度是在立体角 Ω 内的平均辐射强度。要表明在某一方向

的辐射强度, 必须将立体角取得很微小, 在包含该方向的微小立体角 $d\Omega$ 内发射的辐射通量 $d\Phi_e$ 与该微小的立体角 $d\Omega$ 之比值就定义为光源在该方向的辐射强度 I_e :

$$I_e = d\Phi_e / d\Omega. \quad (1-2a)$$

如果光源近似为点光源, 可以它为球心, 以单位长度为半径, 作一球面(如图 1-2)。在球面上取一微小面积, 它对球心所张的微小立体角为 $d\Omega$, 通过它的辐射通量为 $d\Phi_e(\varphi, \theta)$ 。在这个方向的辐射强度就是:

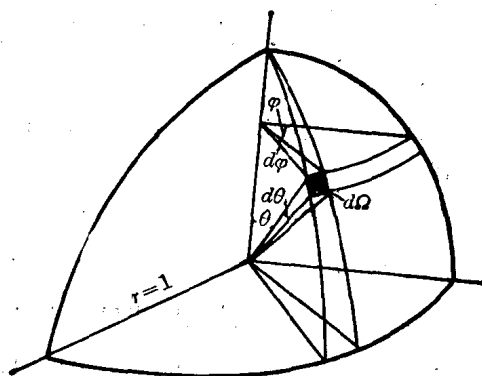


图 1-2 微小立体角的表示

$$I_e(\varphi, \theta) = d\Phi_e(\varphi, \theta) / d\Omega. \quad (1-2b)$$

可以算出 $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$, 因而

$$d\Phi_e(\varphi, \theta) = I_e(\varphi, \theta) \sin\theta d\theta d\varphi. \quad (1-3)$$

而光源的全部辐射通量为:

$$\Phi_e = \int d\Phi_e(\varphi, \theta) = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi I_e(\varphi, \theta) \sin\theta d\theta. \quad (1-4)$$

如果光源在各个方向的辐射是均匀的, 即辐射强度 $I_e(\varphi, \theta)$ 是一个常数 ($= I_e$), 则(1-4)式就变成:

$$\Phi_e = I_e \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \sin\theta d\theta = 4\pi I_e \quad (1-5)$$

这就是说，当光源在空间各方向发出的辐射通量分布是均匀的时候， $I_e = \Phi_e/4\pi$ 是沿着任何方向的真正的辐射强度。而在辐射通量分布不均匀的时候，辐射强度随方向而变， $\Phi_e/4\pi$ 只代表平均的球面辐射强度。对于辐射强度 $I_e(\varphi, \theta)$ 随方向而变的各向异性光源，常可用图解的方法来描述。从某一原点起，向各个方向引矢径，取矢径长度之比与相应方向上的辐射强度成比例。将各矢径的端点联接起来，就得到光源辐射强度的分布曲面。辐射强度的单位是瓦/球面度。

四、辐射出(射)度 M_e 。

一个有一定面积的光源，如果它表面上的一个发光面积 S 在各个方向(在半个空间内)的总辐射通量为 Φ_e ，则该发光面 S 的辐射出(射)度为：

$$M_e = \Phi_e/S。$$

M_e 相当于单位面积的辐射通量，常以瓦/米² 表示。

和讨论辐射强度的情况相似，一般光源发光面上各处的辐射出度是不均匀的，所以严格地讲，在发光面某一微小的面积 dS 上的辐射出度应该是该发光面积向所有方向(在半个空间内)发出的辐射通量 $d\Phi_e$ 与该面积 dS 之比：

$$M_e = d\Phi_e/dS。 \quad (1-6)$$

五、辐射亮度 L_e 。

光源在给定方向上的辐射亮度 $L_e(\varphi, \theta)$ 是光源在该方向上的单位投影面积、在单位立体角中的辐射通量，即：