

光 源

GUANG YUAN

2

光 源

[英]W. 爱伦巴斯 著

方道腴 张泽琰 译

轻工业出版社

内 容 提 要

本书论述了各种光源，特别是白炽光源和气体放电光源的基本理论，并介绍了近代各种光源的原理、构造和特性。

本书可供从事电光源工作的广大技术工人、科技工作者参考。

Light Sources

W. Elenbaas

(First published 1972 in English by The Macmillan Press LTD.)

London and Basingstoke

光 源

〔英〕W. 爱伦巴斯 著

方道映 张泽琰 译

*

轻工业出版社出版

(北京阜成路3号)

重庆新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

850×1168毫米¹/₃₂印张：8⁴/₃₂字数：192千字

1981年3月 第一版第一次印刷

印数：1—8,500 定价：0.97元

统一书号：15042·1553

译 者 的 话

我们极想为实现四个现代化贡献一些即使是微薄的力量。在从事电光源专业工作的这些年中，深切感到为了发堀我国的电光源事业，赶超世界先进水平，必须弄清楚本专业的一些基础理论知识和各种近代光源的机理。本书作者论述了各种光源，特别是白炽光源和气体放电光源的基本理论，并收集和整理了大量的资料。我们用业余时间把它翻译出来，一方面是学习，一方面希望能给暂时对阅读本专业原文版读物有困难的同志提供一些便利。但由于我们本身的水平有限，译文难免有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

译 者

345-91/08

前 言

本书打算给工程技术人员作为进入光源领域的入门，并给已从事光源工作的工程技术人员作为进修课程。它也可用于当前技术发展水平的参考书。本书虽对现代光源作了充分的讨论，但并不包括本领域的全部范围。

作者荣幸地在本领域工作多年，并在菲利浦公司照明分部当开发主任度过了最后十年。对作者来说，退休以后写作这本书是一件愉快的事。作者感谢照明分部现在的管理部门，在我准备本书稿时所给予的一切方便。

值得注意的是当讨论基础问题时，欧文·朗缪尔博士的名字经常出现在本书中，例如，从钨在真空中的蒸发速率决定钨的蒸气压；真空两极管中由空间电荷限制的电流对阳极电位的依赖关系（众所周知的 $V^{3/2}$ 定律）；在气体气氛中由自由对流引起的水平放置热圆柱体的热损耗。最后，重要的是与莫特-史密斯一起，导出了探针法。这个方法给出了低气压放电时关于空间电位、电子温度和电子浓度的有价值的资料。因此，作者赞赏这位伟大的科学家，他的兴趣范围比作为本书论题的光源领域要宽广得多。

本书的重点集中在照明中实际使用的光源上。诸如白炽灯，低气压放电灯（荧光灯和钠灯）和高气压放电灯（汞灯，钠灯和氙灯）。至于闪光灯、辉光灯、火焰、碳弧、激光、场致发光板和p-n结发光仅作简要的讨论。

• 1 •

1100625

本书只在少数情况中作了数字计算，因为这可使读者更好地理解不同的量之间的关系。在这些计算中，字母符号代表以适当的单位表达相应量的数字值。在许多基本公式中，这些单位与国际单位系统(SI)的单位一致。即基本单位：米(m)，公斤(Kg)，秒(s)，安培(A)，开(K)和新烛光(cd)及由此导出的单位。如速度的单位为每秒米(m/s)及电场强度的单位为每米伏特(V/m)等。

然而，在与实际应用有关的许多公式中，使用其它的单位似乎更合适，如SI单位的以十为基础的倍数[如电场强度用伏/厘米(V/cm)代替伏/米(V/m)]和非SI单位如气压用托(=毫米汞柱=133.3牛顿/米²)。在各种情况中，这些单位都在正文里明确命名，并放在数字值的后面。例如 $T = 5000$ 开(K)， $V = 300$ 米/秒(m/s)。

因为气体对流在白炽灯和高气压放电灯中都起着重要的作用，在附录A中，论述了关于自然对流的一般研究；在附录B中，讨论了气体运动论和就本书需要范围内的适用于气体运动论的方程。

放在星号(*)间的某些部分，做了更详细的叙述，但读者可以省略，并不妨碍主要论证的连贯性。

本书讨论的15种光源的插图附在书后。

W. 爱伦巴斯

符 号

- a 材料的吸收系数
- A 安培
- A 原子与原子或原子与电子的碰撞截面
- A_{ex} 由电子引起的原子的激发截面
- A_i 由电子引起的原子的电离截面
- $A_{k,l}$ 电子从能级K跃迁到能级l的自发跃迁几率
- B 在平的热表面前的朗缪尔层的厚度
- $B_{l,k}$ 对于导致从能级l跃迁到能级k的辐射吸收系数
- c 光速
- cd 新烛光
- c_p 定压比热
- c_v 定容比热
- d 直径
- d 距离
- D 扩散系数
- e 电子电荷
- e 自然对数的底
- E 电场强度
- E 能量
- E_k 基态上面能级k的能量
- E_m 最小电场强度
- F 力
- g 克
- g 重力加速度
- g_k 能级k的统计权重
- Gr 格拉索夫(Grashof)数 $= l^3 g \rho^2 \beta \theta_w / \eta^2$

- h 普朗克(planck)常数
 H 被1瓦的功率保持在260℃时的面积(厘米²)
 I 电流
 I_e 电子流
 I_i 离子流
 J 电流密度
 k 玻耳兹曼(Boltzmann)常数
 kg 公斤
 K 开(开尔文温度)
 K 光效(流明/瓦)
 l 长度
 $L_{e,\nu}$ 辐射度与频率的函数关系
 L_v 亮度(烛光/厘米²)
 m 米
 m 粒子的质量
 m_a 原子的质量
 m_e 电子的质量
 m_i 离子的质量
 m' 每厘米弧管长度汞的毫克量①
 M 分子的重量
 M 蒸发速率
 M_e 辐射出射度(对波长积分)
 $M_{e,1}, M_{e,\nu}$ 辐射出射度作为波长和频率的函数
 n 每单位体积的粒子数
 n_0 每单位体积处于基态的原子数
 n_e 每单位体积的电子数
 n_i 每单位体积的正离子数

① 原文为每厘米弧管长度气体的毫克量，意思有误——译注。

- $\bar{n}$ 每单位体积的负离子数
 n_k 每单位体积处于能级 k 的原子数
 N 牛顿
 N_1, N_2 每秒通过一定表面积的粒子流
 N_e 每秒通过一定表面积的电子流
 $N_{k,1}^*$ 每秒每单位体积从能级 k 到能级 1 的跃迁数
 N_u 努塞尔(Nusselt)数 $= \bar{a}l/\lambda$
 p 气压
 p_0 温度降到 0°C 时的气压
 P 功率
 P^* 每单位体积的功率
 P' 每厘米放电长度的功率
 P'_c 每秒每厘米放电长度的热传导损耗
 P'_r 每厘米放电长度的辐射功率
 P'_v 每秒每厘米放电长度的体积损耗
 P'_w 每秒每厘米放电长度的管壁损耗
 P_λ 辐射功率与 λ 的函数关系
 P'_1 每厘米放电长度的 P_λ
 P''_{260} 使1平方厘米的表面保持在 260°C 所需的功率

$$\left(P''_{260} = \frac{1}{H} \right)$$

 Pr 普兰特尔(Prandtl)数 $= Cp\eta/\lambda$
 Q_v 流明秒数
 Q_v^* $Q_v/\text{厘米}^3$
 r 半径(可变的)
 R 弧管半径
 Re 雷诺兹(Reynolds)数 $= \rho v l / \eta$
 s 谱线位移
 s 秒

S	面积
t	时间
T	温度
T_o	轴温
T_c	色温
T_d	分布温度
T_e	电子温度
T_{eff}	有效温度
T_g	气体温度
T_i	离子温度
T_w	管壁温度
T_λ	对波长 λ 的亮度温度
T_∞	在高所考察物体相当距离处的温度
U	电势差
u 或 u_x	x 方向速度
v	速度
v 或 v_y	y 方向速度
V	伏特
$V(\lambda)$	眼睛灵敏度与波长的函数关系
$\bar{V}$	视见效率[由方程(10.1)定义]
V_i	电离电位
V_1	灯电压或电弧电压
V_o	电源电压或开路回路电压
V_{ign}	着火电压
V_m	起始能级的平均高度
V_w	热电子逸出功
w 或 w_z	在 z 方向速度
w_e, ν	辐射能量密度
x	x 方向座标

- y y 方向坐标
- z z 方向坐标(垂直向上指)
- α 表面的吸收系数
- α 汤生(Townsend)电离系数
- $\bar{\alpha}$ 每秒每单位面积每度温差由对流引起的平均热损耗
- β 体积膨胀系数
- γ 每个碰撞离子所发射的电子的数目
- δ 线宽
- ϵ 能量子
- ϵ 发射率
- ϵ_0 自由空间的介电常数
- η 粘滞系数
- η 每一个电子每伏的电离数
- η 效率(0~100%)
- θ 温差
- λ 波长
- λ 热导系数
- $\bar{\lambda}$ 平均自由程
- ν 频率
- ρ 密度
- ρ 空间电荷
- τ_k 能级 k 的寿命
- $\tau_{k,l}$ 在能级 k 的激发和到能级 l 的跃迁之间所经过的平均时间($\tau_{k,l} = 1/A_{k,l}$)
- $\bar{\tau}$ 两次碰撞之间的平均时间
- ϕ 每秒的热耗散
- ϕ' 每秒每单位长度的热耗散
- ϕ_v 光通量
- ϕ'_v 每单位长度的光通量

引言

光源在日常生活中起着重要的作用。如果今天的市场上没有许多不同的灯，当今世界是不堪想象的。在一天里边不管是长点或短点的时间内，都需要光源。在我们工作中、在家里和在路途上需要，而且，许多过程例如印刷、加热、干燥、医疗和植物辐照，都要使用能产生可见、紫外或红外辐射的灯。现在气体放电灯和白炽灯的功率小至0.1瓦，大到20千瓦。有透明的、磨砂的、白色的、带色的和反射式的灯。有用于不同目的的不同类型的灯，如家庭照明灯、街道照明灯、汽车灯、飞机灯和机场用灯；有缝纫用灯、电话灯、投影灯和照相灯。这些灯都具有不同的功率、电压和不同的灯头。本书不想讨论所有这些类型的灯，但是将讨论这些光源的基本原理。

大多数的灯要求它在光谱的可见部分辐射。图(0-1)中给出

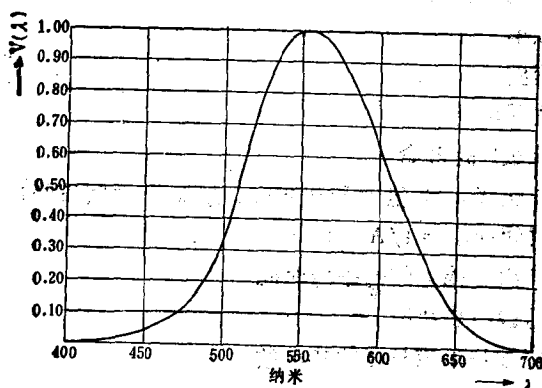


图0-1 眼睛灵敏度 $V(\lambda)$ 和波长 λ 的函数关系，最大值任意地给定，其数值为1.00

了眼睛相对灵敏度 $V(\lambda)$ 与波长的关系。对人的眼睛来说，波长小于400纳米（纳米即毫微米）或大于700纳米的辐射是看不见的。最大灵敏度出现在555纳米波长处，其数值为1.00。紫外辐射可用来加速化学反应。由于红外辐射有加热能力，它也得到了应用。最早，是碳丝灯促进了电力装置的建设，并把电引进家庭中来。多年来，电灯仍是电能的重要消费者。

自从1879年爱迪生 (Edison) 引进碳丝电灯以来，光源的光效已大大地增加了，这是很重要的。从那时每瓦不到2流明的光效开始(用碳化的竹子做灯丝的灯，其平均寿命为600小时)，现在已有光效为30流明/瓦，但寿命大约为25小时的卤钨灯和光效为175流明/瓦，寿命为几千小时的气体放电灯。

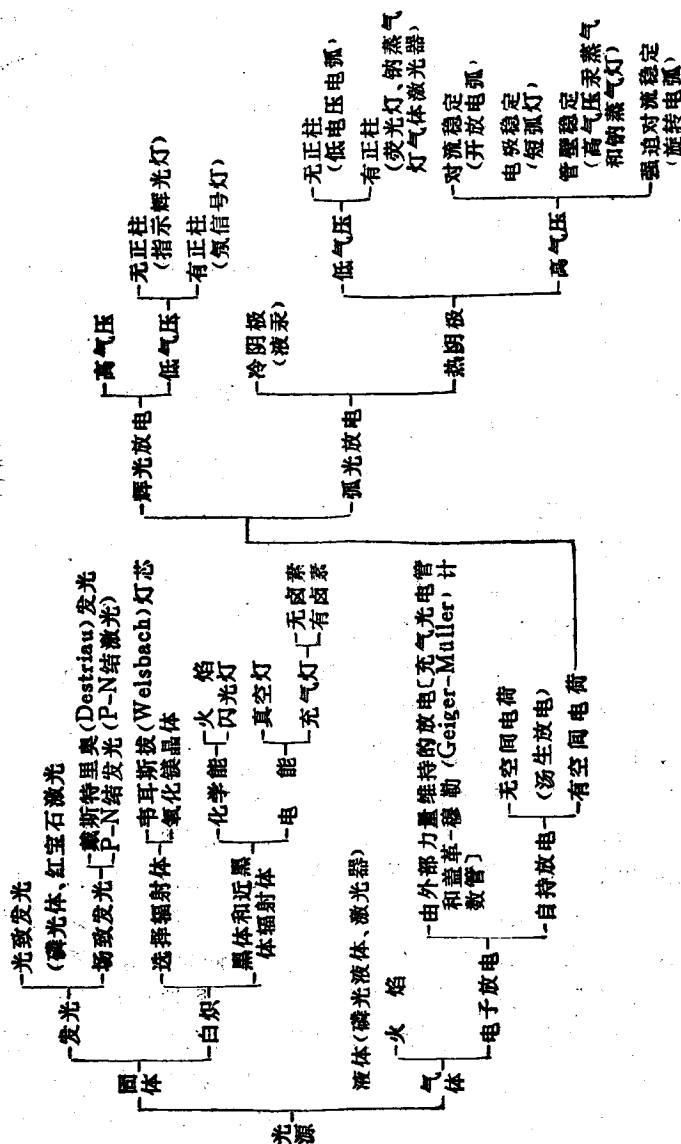
由于这些发展，已有可能经济地使人工照明水平提高。如能更好地懂得光的产生，就有可能使光效增加。

本书将系统地讨论问题，而不是按历史的顺序进行讨论。就白炽灯而言，次序是吻合的。至于放电灯，将先讨论低气压放电，接着讨论这个范畴的辉光灯、荧光灯、钠蒸气灯和激光器。讨论了高气压放电后，将考察高气压汞蒸气灯、钠蒸气灯和氙灯。固体发光将另设一章简短地加以讨论。

上面介绍的是光源的系统分类。考虑到完整性，也提及了液体光源，虽然极少使用它们。任何人都可以想象，一个发磷光的液体可以将光送到用其它的照明办法难以达到的地方。另外，液体激光器也是一液体光源（固体和气体激光器也被列入图表之中）。火焰似乎是两性的，因为在一些火焰里，固体粒子（例如碳）是白炽的，在其它的火焰中，仅仅存在反应气体（例如氢和氧）。

在什么叫弧光放电上有些意见分歧。这里选择的标准是阴极位降为10伏左右。因此，“弧光放电”名称与正柱无关，正柱是在阳极和阴极之间轴向均匀的一部分。一个正柱可以属于一个弧光放电，也可以属于一个辉光放电。辉光放电中，阴极位降为100伏左右。实际上，弧光放电的电流通常高于辉光放电的电流，但

光源的分类



这并不必定是这样的。正柱中，在不同类型的粒子之间(原子、离子、电子)，可能存在一个局部的温度平衡，也可能不存在。在较高的气压和较高的电流密度下更容易达到温度平衡。低气压下，不同类型的粒子，例如电子、离子和原子之间有着不同的温度。所以谈论电子温度、离子温度和气体温度是适当的。因此，在一个小体积中，可以有几个不同的温度。高气压放电中，在一定的小体积中，不同粒子的温度是相同的或是接近相同的，可以说存在着局部的温度平衡。

目 录

符号.....	(1)
引言.....	(6)
第一章 辐射	(1)
第一节 引言.....	(1)
第二节 黑体辐射.....	(1)
第三节 实际表面的辐射.....	(5)
第四节 辐射和物质.....	(7)
第五节 谱线宽度.....	(12)
第二章 白炽光源	(18)
第一节 历史.....	(18)
第二节 多晶钨的性质.....	(20)
第三节 钨在真空中的蒸发速率.....	(25)
第四节 真空灯的光效.....	(27)
第五节 充气灯.....	(29)
第六节 朗缪尔对热损耗的研究.....	(31)
第七节 充气灯中钨的蒸发速率.....	(40)
第八节 卤素灯.....	(47)
第九节 火焰.....	(54)
第十节 化学闪光灯.....	(57)
第三章 真空中的电子发射和电传导	(64)
第一节 电子发射.....	(64)
第二节 真空中电子的运动.....	(66)

第四章 低气压放电 (72)

第一节 气体中电子的运动 (72)

第二节 放电中的激发和电离 (75)

第三节 相似放电 (80)

第四节 汤生电离系数着火 (82)

第五节 放电类型 (86)

第六节 正柱 (91)

第七节 产生谐振辐射的有利条件 (98)

第五章 低气压放电灯 (102)

第一节 稳定 (102)

第二节 辉光灯 (105)

第三节 荧光灯 (107)

第四节 低气压钠灯 (114)

第五节 激光器(莱塞Laser) (124)

第六章 高气压汞蒸气放电 (131)

第一节 历史 (131)

第二节 从低气压到高气压汞蒸气放电的过渡 (133)

第三节 高气压汞蒸气放电的机理 (135)

第四节 放电的收缩 (138)

第五节 光效和总辐射 (140)

第六节 轴向电场强度 (146)

第七节 汞的蒸气压 (155)

第八节 温度测量 (156)

第九节 相似放电和有效温度 (160)

第十节 对流 (164)

第十一节 电极稳定放电 (168)