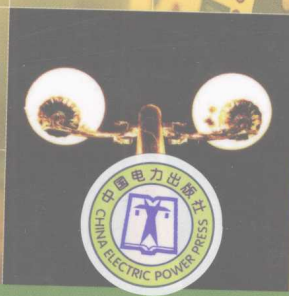


现代电源设计与应用丛书

节能照明系统

工程设计

徐云 刘付平 张凯洪 贾平 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

现代电源设计与应用丛书

节能照明系统 工程设计

徐云 刘付平 张凯洪 贾平 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书较为系统地介绍了照明系统的原理及其应用,其中包括照明原理、各种灯具的原理及其用途、绿色照明和能源管理、LED 原理及其应用、照明设计和计算及其计算机辅助分析等内容。本书从照明系统基本原理、实际应用和发展方向三个方面描述了不同类型的灯和照明设备、工程设计、节能和照明污染控制,并介绍了北美地区流行的照明设计与模拟计算机软件。

本书的特点是:参照北美照明标准和指南(IESNA)并结合国内工程规范,以国内外实际工程为实例,全面、系统地介绍照明设计工程技术人员所需要的专业知识,并可供相关专业的本科生、研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

节能照明系统工程设计/徐云等编著. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8319-4

I. 节… II. 徐… III. 照明设计-节能 IV. TM923.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 211440 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月北京第一次印刷

700 毫米×1000 毫米 B5 开本 16.75 印张 378 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 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

《现代电源设计与应用丛书》

编委会成员

主任委员：季幼章

副主任委员：王兆安 罗方林 倪本来

委 员：（以姓氏笔画为序）

刁成明	丁 钊	王其英	王 聪	艾多文
任元元	刘凤君	刘胜利	刘 勇	朱雄世
李龙文	李定宣	李厚福	阮新波	沙 斐
张广明	张占松	张谷勋	张忠相	张卫平
陆 鸣	陈永真	陈道炼	杨 耕	赵修科
赵良炳	赵建统	周维维	林周布	倪海东
郝晓冬	徐德鸿	徐兰筠	徐泽玮	徐 云
贾玉兰	曹仁贤	龚幼民	郭黎利	康 勇
路秋生	熊兰英			

序 言

随着经济发展和科技进步，自 20 世纪 90 年代至今，我国以计算机、移动通信、信息网络为代表的信息产业高速发展；以电力系统、铁路系统、通信系统为代表的传统工业需要进行全面改造；节约型社会的建设工作正在进行。所有这些都成为中国电源产业和电源技术大发展的推动力。

目前世界排名前列的电源设计、制造企业的主体部分都设在中国，并在北京和上海等城市建有研发中心。中国企业已从原来简单的仿制向自主设计、研发转型，因此电源产品的研发设计人员需求猛增。而对于大部分的研发人员，设计与应用都是工作中的难点，本套丛书力图解决他们的难题。丛书由中国电源学会组织电源行业的专家、学者、工程技术人员共同编写，并不断吸纳符合要求的作者参加编写。丛书由中国电力出版社陆续出版。

本套丛书有如下特点：

1. **全面** 涵盖现代电源技术的各个方面。
2. **实例** 丛书在阐述设计思想、设计方法的同时，在应用部分辅以完整的设计实例，使读者在学习的基础上，根据实例就能做出相应的电源产品，这样就能解决他们的应用难题。
3. **先进** 涉及最新电路拓扑、功率器件和控制集成电路，力争体现出国内电源设计与应用领域的最高技术水平。
4. **作者** 作者绝大部分是在研发一线工作多年，有丰富实践经验的专家、工程师，他们能带来最新的技术和对实际工作有指导意义的方案。

本套丛书以电源设计、研发的工程技术人员为主要读者对象，也可供科研人员和大专院校的师生参考。

现代电源技术和产品向高效率、低损耗、小型化、集成化、智能化、高可靠性方向不断发展，我们顺应发展组织了这套丛书，希望能对您的工作和学习有一定帮助。

我们衷心希望广大读者对这套丛书提出宝贵的意见和建议。我们的联系方式是 ding_zhao@cepp.com.cn。

《现代电源设计与应用丛书》编委会

前 言



观众在欢腾的明星演唱会上呼喊，高考前昔学生们在夜晚伏案苦读，人们在候机大厅焦急地等待朋友到来，医生在手术台上紧张地拯救生命，正是照明系统在维系着这一切的正常进行。不论是在家居生活，还是在紧张有序的工厂或奔驰在路上的汽车，这些都与照明系统紧密相连。照明系统涉及了 21 世纪的两大科技主题：能源与健康。本书系统介绍了照明系统原理及其工程应用，其中包括照明原理、各种灯具的原理及其用途、绿色照明和能源管理、LED 原理及其应用、照明设计和计算及其计算机辅助分析等，并从照明系统基本原理、工程实际应用、发展方向三个方面描述了不同类型的灯和照明设备、工程设计、节能和照明污染控制，并介绍了北美地区流行的照明设计计算机软件。

本书参照北美照明标准和指南（IESNA）并结合国内工程规范，以国内外实际工程为例，较为全面、系统地介绍了照明设计工程技术人员所需的专业知识，还介绍了大量国外尤其是北美在照明方面的研究成果和工程应用。照明工程不仅要考虑光源的高效节能，还应该充分注意人眼的保健、光的污染及其防范。绿色照明一直为人们所关注，对其研究和讨论有着现实和长远的意义。照明工程实际也是多学科、跨专业的领域，作者在本书中也作了一定的介绍。

在本书编写过程中，徐云博士和刘付平高级工程师对本书做了具体策划，张凯洪硕士做了许多重要而细致的工作。刘付平高级工程师在国内和北美地区长期从事照明系统和电力工程的设计、施工和管理，他的工程经历使本书的内容更加倾向于工程实践；贾平副主任医师参与编写了光与色彩、颜色等有关章节，目的是强调照明工程对用眼健康的重要性。

作者力求将国内外最新、最实用的专业知识和发展方向介绍给读者，但由于时间和作者的水平有限，书中难免会出现一些不尽如人意的地方，衷心希望读者批评指正。

编 者

目 录

序言
前言

第一章 光和照明基础 1

- 第一节 光的电磁理论和量子理论 1
- 第二节 光的能量频谱 4
- 第三节 照明技术中的基本光度量 8

第二章 视觉和颜色 12

- 第一节 眼睛的成像 12
- 第二节 颜色视觉 14
- 第三节 视觉的特性 19
- 第四节 颜色 21
- 第五节 颜色的度量 25
- 第六节 颜色的心理效应 30

第三章 光源的用途及其选择 34

- 第一节 光源的发展和分类 34
- 第二节 光源的发光原理 35
- 第三节 光源的特性 40
- 第四节 白炽灯 47
- 第五节 荧光灯 55
- 第六节 高强度气体放电灯 HID 65
- 第七节 低压钠灯 74
- 第八节 电光源的比较和选用 76

第四章 LED 光源 80

- 第一节 LED 的发光特性 80

第二节 LED 光源 84

第三节 LED 的应用 88

第四节 LED 发展前景 91

第五章 照明灯具 93

- 第一节 照明灯具的光学特性 93
- 第二节 照明灯具的电气特性 100
- 第三节 照明灯具光线控制 102
- 第四节 照明灯具的设计 108

第六章 照度计算 110

- 第一节 平均照度计算——利用系数法 110
- 第二节 逐点计算方法 116
- 第三节 平均球面照度 118
- 第四节 泛光照明计算 119
- 第五节 不舒适眩光的计算 124

第七章 照明设计的计算机辅助分析 128

- 第一节 照明设计软件的介绍 128
- 第二节 照明设计软件特性 133
- 第三节 Lumen micro 的使用 142
- 第四节 设计软件 Visual 的应用 152

第八章 照明设计及其工程数据 161

- 第一节 照明设计概念 161

第二节	照明的舒适度 及其评价	166
第三节	照明电气设计	173
第九章	照明系统能源管理	185
第一节	绿色照明工程	185
第二节	照明控制系统	188
第三节	自然光照明	203
第四节	照明系统的能源 消耗	210
第五节	照明系统的能源 经济评价	214
第十章	室内照明设计应用	219
第一节	工业照明	219

第二节	商业照明	222
第三节	学校照明	229
第四节	家居照明	230
第五节	照明设计范例	233
第六节	应急照明和安全	237
第七节	光照过量及光源污染的 危害和限制	239
第十一章	室外照明设计应用	243
第一节	道路照明	243
第二节	隧道照明	247
第三节	室外泛光照明	249
	参考文献	255

第一章 光和照明基础

第一节 光的电磁理论和量子理论

一、人类对光的认识过程

人类对外界认知绝大部分都是通过视觉系统摄入外界的光信息，对身边各种自然现象的观察、分析和研究都离不开光。最初，人们对光的认识比较粗浅，仅是对光的直射、反射和折射现象有些了解，而面镜、透镜等简单的光学仪器也逐渐开始在日常生活中得到应用。人类直到1608年，以荷兰眼镜工匠李普塞（H. Lippershey, 1587~1619年）发明世界上第一架望远镜为标志才开始光学的系统研究，并建立了几何光学。奠定几何光学实验基础的人是开普勒（Johannes Kepler, 1571~1630年），1611年他发表了几何光学的经典著作《折光学》，研究了大气折射的计算，阐述了光的折射原理、光是如何成像的，为折射望远镜的发明奠定了基础，并发明了开普勒望远镜。开普勒还对人的视觉进行了研究，纠正了以前人们所认为视觉是由眼睛发射出光的错误观点。他认为人看见物体，是因为物体所发出的光通过眼睛水晶体投射在视网膜上，并且解释了产生近视眼和远视眼的原因。

最早定量研究折射现象的是公元2世纪的希腊人C. 托勒密，他测定了光从空气向水中折射时入射角与折射角的对应关系。1621年，荷兰数学家W. 斯涅耳（Willebrord Snell, 1580~1626年）通过实验精确确定了入射角与折射角的余割之比为一常数的规律，即折射定律，又称斯涅耳定律。1637年，法国人R. 笛卡儿（Descartes, 1596~1650年）在《折光学》一书中首次公布了具有现代形式正弦之比的规律。至此，几何光学才渐渐形成了比较完整的体系。

几何光学的基本原理可表述为：

- (1) 光的直线传播（直射）定律。
- (2) 光的反射定律。
- (3) 光的折射定律（包括全反射现象）。
- (4) 光的独立传播定律。
- (5) 光路可逆原理。

以上几个基本原理，一般情况下只适用于光在各项均匀介质中传播的规律，对

于光在非均匀介质中的传播规律，法国数学家费马（Fermat，1601 ~ 1665 年）用数学方法推出了更为普遍的“费马原理”。

二、光的微粒学说和波动学说

1666 年，年轻的牛顿（Newton，1642 ~ 1727 年）在做光的折射实验时，偶然发现同一玻璃棱镜对不同颜色的光有不同的折射率。进一步研究，他发现了光的色散现象。牛顿仿照他自己的著名经典力学定义，他认为光是一种高速流动的微粒，这些微粒从光源出发，就像从枪管里连续发射出的子弹一样，在均匀介质中沿直线传播，这种理论形象地说明了光的直线传播现象。牛顿还用力学中弹性小球碰撞平面的反弹来类比解释光的反射。至于光的折射，牛顿认为是由于介质对光微粒的引力不同，使光线的传播速度发生变化而引起的。牛顿关于光的微粒学说，对当时已经发现的光现象解释取得了一定成功，而且由于它符合人们的直观感觉，很容易被大众所接受。

与牛顿同一时代的荷兰物理学家惠更斯（Huygens，1629 ~ 1695 年）是牛顿光微粒说的反对者，惠更斯 1678 年在法国科学院发表演讲，公开反对微粒说，提出光的波动说。他认为光同声一样“是以球形波面传播的，如同把石子投到平静水面上所看到的水波”。他从光和声的某些相似性质出发，认为光是在一种特殊的弹性介质“以太”中传播的球面波。而“以太”则充满了整个宇宙空间。

自 17 世纪开始，以牛顿为代表的微粒说与惠更斯的波动说展开了长达三百多年时间的学术争论，直到 19 世纪初，电磁学的发展和应用突飞猛进，才为人们对光本性的进一步认识提供了机遇。1846 年法拉第（Faraday，1791 ~ 1867 年）发现光的振动面在磁场中发生偏转，揭示了光现象和电现象之间肯定存在着某种内在的联系。继后，德国物理学家韦伯（Weber，1804 ~ 1865 年）发现电荷的静电单位与电磁单位的比值等于光在真空中的速度，这些成果极大鼓舞了当时正致力于电磁场理论研究的英国杰出物理学家麦克斯韦（Maxwell，1831 ~ 1879 年），凭借他高超的数学才能，经过十多年的努力，1865 年他在《哲学杂志》上发表了著名论文《电磁场的动力学理论》。文章用精炼的数学公式推导出“麦克斯韦方程组”。他不但预言了电磁波的存在，而且推论出光也是一种电磁波，并且在理论上证明了电磁波的速度等于光速，把电、磁、光三个领域结合在一起，在整个物理学界引起了轰动。但事后由于缺少实验的验证，人们对麦克斯韦方程组持有观望和怀疑的态度。直到二十多年后的德国物理学家赫兹（Hertz，1857 ~ 1889 年）从实验中验证了电磁波的存在，并证实电磁波的速度与光速相等，才打消了人们的疑虑。随着对电磁波理论的进一步研究和无线电技术的广泛应用，人们发现电磁波与光有很多类似的性质，如反射、折射、干涉、衍射、偏振等，不同颜色的光只是对应于不同的频率。而后随着红外光、紫外光、X 光、 γ 射线的陆续发现，人们才逐渐明白了整个电磁波谱就像是一个庞大的“家族”，人们才知道自己的眼睛所能看到的可见

光，只不过是这个大家族里一个很小的部分。从某种意义上可以这样认为，人类的眼睛是一个电磁波接收仪器，只不过它的接收频率范围很窄罢了。

19 世纪末，麦克斯韦的光电磁波说已经逐渐被人们所接受，因为光的微粒说无法解释光的干涉、衍射和偏振现象。

20 世纪初，人类对光的研究开始深入到光和物质相互作用的微观领域。有人找到了黑体辐射中能量按波长分布规律，又发现了电子在光的作用下从金属表面发射出来的“光电效应”，以及对“光压”等现象进行了深入研究。这一系列发现新的光现象中，人们从光的电磁波理论中都找不出令人满意的解释，有的甚至会得出相反的结论。

1900 年普朗克 (Planck, 1858 ~ 1947 年) 在德国物理年会上大胆地提出量子假说：在光波的发射和吸收过程中，发射体和吸收体的能量变化是不连续的，能量值只能取某个最小能量元的整数倍，普朗克把这一最小能量单位称为“能量子”，每个“能量子”与频率成正比，比例系数为 h

$$\varepsilon = hv \quad (1-1)$$

式中： ε 为能量子，J； h 为普朗克常数， $6.626\ 176 \times 10^{-34}$ J·s； v 为光波频率，Hz。

根据这个量子假说，普朗克圆满地解释了困扰人们几十年的黑体辐射问题。由于量子化的假设与麦克斯韦电磁波理论的波能量是不相容的，因而当时很多科学家对量子化的假说都持怀疑态度。后来事实证明，量子理论的引入不但给光学，而且给整个物理学提供了崭新的概念，是近代物理学，特别是量子物理学的起点。

1905 年，爱因斯坦 (Einstein, 1879 ~ 1955 年) 应用普朗克提出的量子假设，发表了题为《关于光的产生和转化的一个启发性观点》(A Heuristic Interpretation of the Radiation and Transformation of Light) 的论文，这篇论文讨论了光量子及光电效应，以全新的量子理论方式提出了光与物质相互作用的问题，把普朗克的能量子概念从辐射发射和吸收过程推广到在空间传播的过程。他认为光的能量并不像电磁波理论所描述的那样分布在波阵面上，而是集中在光子的微粒上，辐射本身就是由不连续、不可分割的能量子组成。光子仍然保持着它的频率 (或波长)。

同普朗克的能量子一样，每个光量子的能量也是 $\varepsilon = hv$ 。爱因斯坦光量子说成功地解释了麦克斯韦电磁波说无法解释的光电效应现象，并提出著名的光电效应方程

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + A \quad (1-2)$$

式中： $h\nu$ 为入射光光子的能量； A 为逸出功； $\frac{1}{2}mv_m^2$ 为光电子的最大初动能。

根据相对论的质能关系式，每个光子的动量为

$$p = \frac{hv}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (1-3)$$

这样在 20 世纪初,以麦克斯韦、赫兹等人为代表的光电磁波说,以爱因斯坦、普朗克等人为代表的光量子说,这两大学派各自统治着自己的理论领域。光的波动理论不能解释光电效应、热辐射及光压等光的粒子行为;而光的量子观点亦无法说明光的干涉、衍射及偏振等光的波动现象。

三、光的波粒二象性

20 世纪 20 年代,当人们对已经发现的所有光现象加以总结,发现光在传播过程中突出表现为波动性的一面,而光作用过程中则更多展示出它的粒子性质。光现象既表现为波动性又表现为粒子性,人们称光的这种性质为“光的波粒二象性”。

迄今为止,光的波粒二象性,对能够直接观察到或者能用宏观的实验仪器测量的光现象来说,无疑是正确的。但要问一个“光子”究竟是什么?至今还不能用一个形象的物理图形刻画出来,也无法用一个实验把“理想的粒子”和“理想的波”区别开来。“粒子”和“波”只不过是两个被简化了的物理模型,是人们用来反映光在不同的外界条件下,与物质相互作用的两个不同侧面。从整体而言,光既不是“波”,亦不是“粒子”,更不是这样或那样的混合物。这反映出人们对客观世界认识是无止境的,对光的本性认识也存在着许多未知,等待后人去研究。例如随着人们对基本粒子的深入研究,发现光子在强电场中可以变成两个带相反电荷的质点——电子和正电子。正电子带正电,是带负电的电子的“反物质”,即

$$\gamma = {}^{-}e + {}^{+}e \quad (1-4)$$

正电子和负电子相遇会结合在一起产生“湮没”现象,从而转化为一对光子

$${}^{-}e + {}^{+}e = \gamma + \gamma \quad (1-5)$$

这些现象充分显示了光子与实物粒子间存在着深刻的内在联系。

第二节 光的能量频谱

目前科学家用两种理论来阐述光的本质,即“电磁波理论”和“量子理论”。电磁波理论认为发光体以辐射能形式发射光,而辐射能又以电磁波形式向外传播,作用在人眼上就产生光的感觉。量子论认为发光体以分立“波束”形式发射辐射能,这些波束作用在人眼上产生光的感觉,两种理论均能解释不同的光学现象。

一、电磁辐射

在原子中,电子按照一定的轨道围绕原子核转动。在外界影响的作用下,特别是运动的分子、已游离的原子及自由电子的碰撞,原子中的电子从原来的轨

道逸出，转到具有较高能量的轨道。原子核与受偏移电子间的力存在，使受偏移电子回到原来的状态。这时电子在碰撞中获得的势能以辐射能的形式释放出来。空间中的辐射能是靠各种不同波长电磁波来传播的。具有一定波长的辐射被称之为单波辐射或单色光，以若干单波辐射综合而成的辐射称之为复波辐射或非单色光。

光的这种电磁辐射按波长（或频率）顺序排列的图形就构成了电磁波谱，电磁波辐射示意图如图 1-1 所示，又称光谱。光谱是电磁辐射按照波长的有序排列，用来表明各种不同辐射能波长范围之间的关系。光在真空中的传播速度约为 $3 \times 10^8 \text{ km/s}$ 。

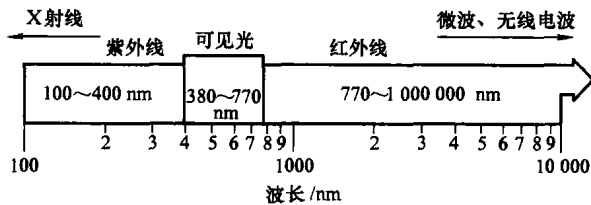


图 1-1 电磁辐射示意图

依照波长的长短以及波源的不同，电磁波谱可大致分为：

- (1) 无线电波。波长从几千米到 0.3m 左右，一般用于电视和无线电广播。
- (2) 微波。波长从 $0.3 \sim 10^{-3} \text{ m}$ ，多用在雷达或其他通信系统。
- (3) 红外线。波长从 $10^{-3} \sim 7.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ ，多用于生物、医学、成像等领域。
- (4) 可见光。这是人们所能感受的极狭窄的一个波段。波长从 $(78 \sim 3.8) \times 10^{-8} \text{ m}$ 。可见光是原子或分子内的电子运动状态改变时所发出的电磁波，是人类能够直接感受而察觉的极少部分电磁波。

(5) 紫外线。波长从 $3.8 \times 10^{-7} \sim 6 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。这些波产生的原因和光波类似，常常在放电时发出。由于它的能量和一般化学反应所牵涉的能量大小相当，因此紫外光的化学效应最强，一般应用于生物领域。

(6) X 射线。也叫伦琴射线，这部分电磁波谱，波长从 $2 \times 10^{-9} \sim 6 \times 10^{-12} \text{ m}$ 。它是电原子的内层电子由一个能态跳至另一个能态时或电子在原子核电场内减速时所发出的，X 射线用于医学诊断和治疗，也用于工业上非破坏性材料的检查、晶体结构分析及通过其光谱进行化学分析和原子结构的研究。

(7) γ 射线。是波长从 $10^{-10} \sim 10^{-14} \text{ m}$ 的电磁波。这种不可见的电磁波是从原子核内发出来的，放射性物质或原子核反应中常有这种辐射伴随着发出。 γ 射线的穿透力很强，对生物体的破坏力很大。通过对 γ 射线频谱的研究可了解核的能级结构，工业中可用来探伤或流水线自动控制，医疗上用来治疗肿瘤。

电磁辐射类型见表 1-1。

表 1-1 电磁辐射类型

辐 射	波长范围/m	频率范围/Hz	作用类型	用 途	检测手段
无线电波	>0.3	<10 ⁹	原子核旋转 跃迁	电视、无线 电广播	电子线路
微 波	0.3 ~ 10 ⁻³	10 ⁹ ~ 10 ¹²	转动跃迁	雷达或通信 系统	晶体
红外线	10 ⁻³ ~ 7.8 × 10 ⁻⁷	10 ¹² ~ 4.3 × 10 ¹⁴	振动或转动 跃迁	生物学效应	热敏元件
可见光	(78 ~ 3.8) × 10 ⁻⁸	4.3 × 10 ¹⁴ ~ 7.5 × 10 ¹⁴	价电子跃迁	—	眼睛、光敏 元件
紫外线	3 × 10 ⁻⁷ ~ 6 × 10 ⁻¹⁰	7.5 × 10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁶	电子跃迁	生物学效应	底片
X 射线	2 × 10 ⁻⁹ ~ 6 × 10 ⁻¹²	10 ¹⁶ ~ 10 ¹⁹	内层电子 跃迁	探测、成像	—
γ 射线	10 ⁻¹⁰ ~ 10 ⁻¹⁴	>10 ¹²	原子核	—	—

二、光谱的分类

光谱按照产生方式可分为发射光谱、吸收光谱和散射光谱。

有的物体能自行发光，由它直接产生的光形成的光谱叫做发射光谱。发射光谱可分为三种不同类别的光谱：线状光谱、带状光谱和连续光谱。线状光谱主要产生于原子，由一些不连续的亮线组成；带状光谱主要产生于分子，由一些密集在某个波长范围内的光组成；连续光谱则主要产生于白炽的固体、液体或高压气体受激发发生电磁辐射，由连续分布的一切波长的光组成，连续分布包含有从红光到紫光各种色光的光谱。炽热的固体、液体和高压气体的发射光谱是连续光谱。例如电灯丝发出的光、炽热的钢水发出的光都形成连续光谱。

在白光通过气体时，气体将从通过它的白光中吸收与其特征谱线波长相同的光，使白光形成的连续光谱中出现暗线。此时，这种在连续光谱中某些波长的光被物质吸收后产生的光谱被称作吸收光谱。通常情况下，在吸收光谱中看到的特征谱线会少于线状光谱。

按产生本质，光谱可分为分子光谱与原子光谱。在分子中，电子态的能量比振动态的能量大 50 ~ 100 倍，而振动态的能量又比转动态的能量大 50 ~ 100 倍。因此在分子电子态之间的跃迁中，总是伴随着振动跃迁和转动跃迁的，因而许多光谱线就密集在一起而形成分子光谱。因此，分子光谱又叫做带状光谱。在原子中，当原子以某种方式从基态提升到较高的能态时，原子内部的能量增加了，这些多余的能量将被以光的形式发射出来，于是产生了原子的发射光谱，亦即原子光谱。因为这

种原子能态的变化是非连续量子性的，所产生的光谱也由一些不连续的亮线组成，这些亮线叫做谱线。各条谱线对应于不同波长的光，所以原子光谱又被称作线状光谱。观察气体的原子光谱，可以使用光谱管，它是一支中间比较细的封闭玻璃管，里面装有低压气体，管的两端有两个电极。把两个电极接到高压电源上，管里稀薄气体发生辉光放电，产生一定颜色的光。观察固态或液态物质的原子光谱，可以把它们放到煤气灯的火焰或电弧中去烧，使它们汽化后发光，就可以从分光镜中看到它们的原子光谱。

这个原理被应用于著名的太阳光色散实验。英国科学家艾萨克·牛顿（Sir Isaac Newton）于1666年使用一束太阳光通过三棱镜折射后，形成由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫顺次连续分布的彩色光谱，覆盖了380~770nm的可见光区。

三、辐射光谱的度量

1. 辐射通量

某物体单位时间内发射或接受的辐射能量，或在单位时间传递（散射）的辐射能量都被称为辐射通量或辐射功率，通常用符号 Φ_e 表示。如果某物体在 dt 时间内发射、接受或传递 dq_e 的辐射能量，则其辐射通量为

$$\Phi_e = \frac{dq_e}{dt} \quad (1-6)$$

从上面的定义来看，并未指明辐射通量一定是可见光，也就是包含任意波长的电磁辐射能量。当辐射的能量用焦耳（J）为单位，时间用秒（s），则辐射通量的单位为瓦特（W）。

2. 辐射出射度

物体表面单位面积的辐射通量为 M_e ，则定义物体表面某点的辐射出射度为表面微元 da 的辐射通量 $d\phi_e$ ，单位为 W/m^2

$$M_e = \frac{d\phi_e}{da} \quad (1-7)$$

3. 辐射通量光谱分布

光源发出的光由不同波长电磁波辐射组成，其中各个波长的辐射能量不同。光源的光谱辐射通量（功率）按照波长的分布称为光源光谱通量分布。用任意值表示的光谱能量分布称为相对光谱能量分布。如果可见光辐射只含有一种波长分布，就被称为单色光。照明用光源的光辐射一般都含有多种波长，称为复合辐射或复合光。复合辐射可以包含几种有限的线光谱成分，或包含无限多种波长的辐射，也就是具有连续光谱辐射。图1-2给出具有连续光谱辐射和线光谱辐射的光谱辐射分布。

热的物体发光，越热发出的光越明亮。此时它的光谱范围很广，当温度升高时，光谱的峰值从红线向黄线移动，然后又向蓝线移动。

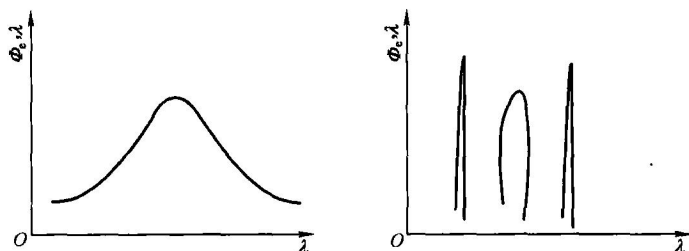


图 1-2 具有连续光谱（左）和线光谱（右）的光谱能量分布

白炽灯是由于灯丝被加热产生热辐射发光的电光源，所以白炽灯的光谱是连续光谱。

荧光灯是由放电产生的紫外辐射激发荧光粉而发光的电光源，它放电时大部分能量都转化为紫外辐射，波长 185 ~ 254nm。

还有一类主要用于获得单色辐射的气体放电电光源，被称为光谱光源。它是利用充有不同金属蒸气和气体通过放电产生连续光谱或轮廓分明的线光谱，再经过滤波器来获得单色辐射。这类光源主要用于干涉仪、分光光度计、偏振仪等光学仪器，例如：低压汞灯、低压钠灯、原子光谱灯、氦灯、氢灯、氢弧灯、汞齐灯和微波无极光谱灯等。氢灯和氦灯分别为能量辐射稳定的氢光谱（波长 431.4、486.1nm 和 656.3nm）和氦光谱（波长 706.5nm 和 587.6nm）的辉光放电光源。氢弧灯是一种有热阴极的弧光放电光源。玻壳为石英玻璃，内充高纯度氢气，能辐射波长 180 ~ 400nm 的连续光谱。微波无极光谱灯是一种利用微波感应无极放电发光的光源，灯内充有几百帕惰性气体和某些易挥发的纯元素或金属和非金属卤化物，其工作频率在 10MHz 左右，辐射光谱几乎全部是原子线光谱，没有干扰背景。这种灯结构简单、成本较低、性能稳定、使用可靠，是原子荧光光谱分析技术中理想的辐射光谱。

第三节 照明技术中的基本光度量

一、光通量 Φ (luminous flux)

光通量是指单位时间内光辐射能量的大小。它根据人眼对光的感觉来评价。例如一个电灯泡比一个手电筒要亮得多，也就是发出的光通量多。人们称之为光源的光通量。

根据辐射对标准光度观察者的作用导出的光度量，即辐射通量按照光谱光视效率曲线被人眼所接受的量。有

$$\Phi = K_m \int_0^{\infty} \frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1-8)$$

式中： $d\phi_{\lambda}(\lambda)/d\lambda$ 为辐射通量的光谱分布，在给定波长为 λ 的附近无限小范围内，单位时间辐射能量的平均值，单位 W/nm ； $V(\lambda)$ 为光谱光视效率； K_m 为辐射的光谱（视）效能的最大值，单位为 lm/W 。在单色辐射时，明视觉条件下的 K_m 值为 $683lm/W$ ($\lambda_m = 555nm$ 时)； Φ 为光通量，单位 lm 。

光通量的单位是流明 (lm)。它是一个导出单位， $1lm$ 是发光强度为 $1cd$ 的均匀光源在 $1sr$ 内发出的光通量。

在照明工程中，光通量是说明光源发光能量的基本量。例如：一只 $220V$ 、 $40W$ 的白炽灯发射的光通量为 $350lm$ ，而一只 $220V$ 、 $36W$ 的 $6200k$ T8 荧光灯发射出的光通量是 $2500lm$ 。

二、发光强度（光强） I

由于光通量在空间中不均匀，为了表示辐射在不同方向上光通量的分布特性，引进了光通量的角密度概念。

光源在给定方向上的发光强度（简称光强）是该光源在该方向的立体角元 $d\Omega$ 内传输的光通量 $d\phi$ 除以该立体角元之商，即

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (1-9)$$

立体角是任意一个封闭的圆锥面内所包含的空间，它的单位是球面度 sr ，即以锥顶为球心，以 r 为半径做一球，若锥面在球面上截出面积 A 为 r^2 ，则该立体角为一个单位立体角，成为球面度，其表达式为

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

一个球包含 4π 球面度。

光强的单位是坎德拉 (cd)，过去光强的单位是烛光 ($Candle-power$)，在数量上 $1cd = 1lm/sr$ 。

坎德拉是国际单位制和我国单位制中的基本单位之一，也是光度量领域内唯一的基本单位，其他光度量单位都是由其导出的。

1979 年第 16 届国际度量衡大会对坎德拉重新定义为：对频率为 $540 \times 10^{12} Hz$ 的单色辐射（对应于空气中波长为 $555nm$ 的单色辐射），在指定方向上辐射强度为 $(1/683) W/sr$ 的光源，光源在该方向的光强即为 $1cd$ 。

三、照度（illuminance） E

照度是用来表示被照面上光的强弱，以被照面的光通面密度来描述。

表面上一点的照度是入射在包含该点面元上的光通量 $d\phi$ 除以该面元面积 da 之商，即

$$E = \frac{d\phi}{da} \quad (1-10)$$