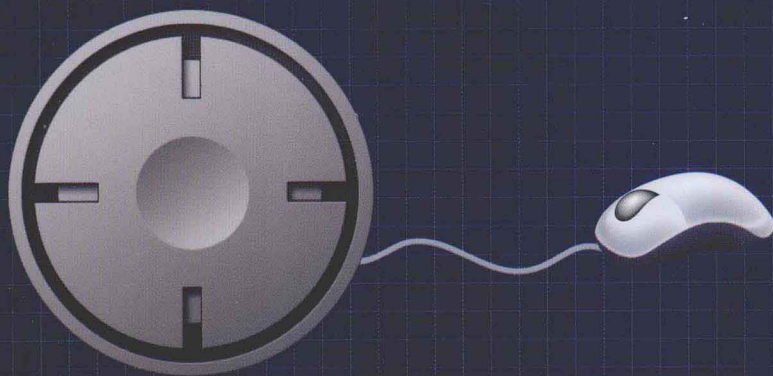
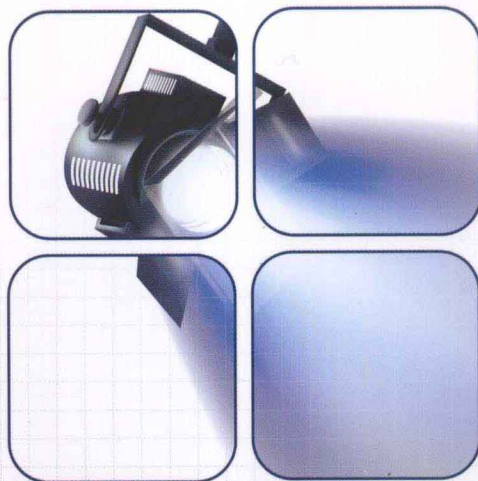


绿色照明

——半导体照明智能控制原理与实现

王 巍 王 宁 编著



高等学校“十二五”电气自动化类规划教材

绿色照明——半导体照明 智能控制原理与实现

王 巍 王 宁 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

本书结合我国“十二五”绿色照明工程计划，以 LED 照明技术为核心内容，结合国内外 LED 照明技术发展动态，全面系统地阐述了 LED 基础知识、LED 照明光源、LED 照明驱动、LED 照明智能控制等内容。本书题材新颖、内容丰富、深入浅出、文字通俗，具有很高的实用价值。

本书可供电子、信息、航空航天、汽车、国防及家用电器等领域从事 LED 照明研发、设计和应用的工程技术人员以及高等院校相关专业师生学习参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

绿色照明：半导体照明智能控制原理与实现/王巍，王宁编著. —北京：电子工业出版社，2014.1
高等学校“十二五”电气自动化类规划教材

ISBN 978-7-121-21880-4

I. ①绿… II. ①王… ②王… III. ①半导体发光灯—照明技术—智能控制—高等学校—教材
IV. ①TM923.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 270213 号

责任编辑：万子芬

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：13.75 字数：352 千字

印 次：2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数：3500 册 定价：33.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

作为人类社会可持续发展的一项重要措施,绿色照明的质量和水平已经成为社会文明和现代化程度的一项重要标志。中国绿色照明工程的宗旨是节约能源、保护环境、提高照明质量。国家有关部门明确提出,要在我国发展和推广高效照明器具,节约照明用电,建立优质高效、经济舒适、安全可靠、有益生态并且能够改善人们生活质量、提高工作效率、保护人们身心健康的照明环境,以满足国民经济各部门和人民群众日益增长的对照明质量、照明环境及减少环境污染的要求。

LED 是一种可将电能转变为光能的半导体发光器件,属于固态光源。LED 属于典型的绿色照明光源,它在照明领域的应用带来了照明技术的一次革命。作为新型光源,LED 具有寿命长、启动时间短、颜色丰富饱满、低压安全等特点。目前,LED 已经广泛应用于室内外显示屏、景观照明、室内外照明信号指示灯、汽车照明等领域。LED 照明产品的开发、研制和生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。

本书紧紧围绕我国“十二五”能源规划的方针、政策和我国绿色照明工程的宗旨,系统地把 LED 照明技术、网络通信技术、嵌入式控制技术进行有机结合,力求使读者能够从工作原理、产品研发和产品应用等多个方面掌握 LED 照明技术。本书在写作中尽量做到有针对性和实用性,并在保证科学性的同时注意通俗性。

本书由天津工业大学电气工程与自动化学院光源与照明系王巍和王宁两位老师编著,其中第 1、2、7 章由王宁执笔,第 3~6 章由王巍执笔。天津工业大学电气工程与自动化学院牛萍娟教授对全书进行了审阅。

在写作过程中,本书得到了本领域国内外专家、学者和厂商的大力支持,在此表示由衷的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,诚恳期待广大读者及有关专家给予批评指正,以便修正。

编 著 者
2013 年 9 月

目 录

第 1 章 照明基础知识	1
1.1 光与光源.....	1
1.1.1 光的基本特性.....	1
1.1.2 光的常用度量.....	5
1.1.3 电光源.....	6
1.2 LED 光源.....	10
1.2.1 LED 的发光机理.....	10
1.2.2 LED 的特性.....	11
1.2.3 LED 产品的优势及应用.....	17
1.2.4 LED 新技术.....	21
1.3 LED 照明灯具.....	25
1.3.1 LED 灯具的结构.....	25
1.3.2 LED 灯具的特点.....	26
1.3.3 LED 灯具的分类.....	27
1.3.4 LED 灯具的设计要点.....	29
第 2 章 LED 驱动与调光	31
2.1 LED 驱动技术.....	31
2.1.1 LED 驱动的基本要求.....	31
2.1.2 LED 驱动的分类.....	32
2.1.3 LED 恒流驱动的设计方案.....	35
2.1.4 恒流驱动常见的控制模式.....	41
2.2 LED 调光技术.....	42
2.2.1 模拟调光.....	42
2.2.2 可控硅调光.....	43
2.2.3 PWM 调光.....	44
2.3 LED 驱动电源的设计.....	45
2.3.1 设计步骤.....	45
2.3.2 DC-DC 驱动电源的设计.....	47
2.3.3 AC-DC 驱动电源的设计.....	53

2.3.4	可调光驱动电源的设计	64
2.4	LED 驱动电源的布局与布线	68
2.4.1	LED 驱动电源布局与布线的一般原则	68
2.4.2	LED 驱动电源布局与布线的注意事项	69
2.5	LED 驱动电源的发展趋势	70
第 3 章	照明控制的网络技术	72
3.1	照明控制系统网络概述	72
3.1.1	照明控制网络的基本类型	72
3.1.2	照明控制网络的传输介质	72
3.1.3	照明控制网络的拓扑结构	73
3.2	照明控制系统中的有线网络	75
3.2.1	DALI 协议	75
3.2.2	DMX512 协议	79
3.2.3	CAN 总线	82
3.2.4	LonWorks 总线	85
3.2.5	EIB 协议	89
3.2.6	TCP/IP 协议	92
3.2.7	电力线载波通信	94
3.3	照明控制系统中的无线网络	99
3.3.1	红外线技术	99
3.3.2	蓝牙技术	101
3.3.3	Zigbee 通信	102
3.3.4	GSM/GPRS 通信	106
3.3.5	WiFi 通信	109
第 4 章	照明控制系统中的微处理器	112
4.1	概述	112
4.2	单片机	113
4.2.1	单片机概述	113
4.2.2	MCS-51 单片机	113
4.2.3	8 位单片机的照明控制解决方案	117
4.3	ARM 处理器	120
4.3.1	ARM 概述	120
4.3.2	ARM 体系结构和处理器种类	121
4.3.3	ARM 处理器的模式和寄存器结构	124
4.3.4	ARM 处理器的选型	125
4.4	FPGA	126
4.4.1	FPGA 概述	126
4.4.2	FPGA 工作原理	129

4.4.3	常见的 FPGA 产品	130
4.4.4	FPGA 的设计流程	132
4.5	PSoC	134
4.5.1	PSoC 概述	134
4.5.2	PSoC 产品	136
4.5.3	PSoC 的设计流程与开发工具	139
4.5.4	高亮度 LED 控制的解决方案	140
4.6	可编程逻辑控制器	141
4.6.1	可编程逻辑控制器简介	141
4.6.2	可编程逻辑控制器的工作原理	143
4.6.3	可编程逻辑控制器的选型	144
4.6.4	常见的 PLC 产品	146
第 5 章	智能照明控制系统	148
5.1	照明控制系统的发展	148
5.2	智能照明控制系统的结构	149
5.2.1	输入单元	149
5.2.2	系统单元	151
5.2.3	输出单元	152
5.2.4	系统软件	153
5.3	智能照明控制方式	157
5.3.1	开环控制	157
5.3.2	闭环控制	158
5.3.3	特殊控制	159
5.4	智能照明控制策略	159
5.4.1	节能效果控制策略	159
5.4.2	艺术效果控制策略	161
5.5	智能照明控制系统的设计原则和步骤	162
5.5.1	相关设计规范	162
5.5.2	设计过程和步骤	163
第 6 章	典型智能照明控制系统	166
6.1	邦奇公司智能照明系统	166
6.1.1	系统的工作原理和基本结构	166
6.1.2	主要产品介绍	167
6.2	施耐德-奇胜公司智能照明系统	171
6.2.1	系统的工作原理及基本结构	171
6.2.2	主要产品介绍	172
6.3	河东公司智能照明系统	175
6.3.1	系统的工作原理和基本结构	176

6.3.2	主要产品介绍	177
6.4	爱默尔公司智能照明系统	180
6.4.1	系统的工作原理和基本结构	180
6.4.2	主要产品介绍	181
6.5	其他厂商的照明系统	185
6.5.1	美国路创	185
6.5.2	ABB	186
6.5.3	日本松下电工	187
6.5.4	美莱恩	187
6.5.5	美国立维腾	188
第 7 章	智能照明控制系统设计实例	189
7.1	基于单片机的 LED 照明控制系统设计	189
7.1.1	需求分析	189
7.1.2	系统设计	189
7.1.3	控制策略	190
7.2	LED 路灯远程监控系统设计	191
7.2.1	需求分析	191
7.2.2	系统设计	192
7.2.3	系统特点	195
7.3	风光互补 LED 路灯系统设计	196
7.3.1	需求分析	196
7.3.2	系统设计	197
7.3.3	控制策略	200
7.3.4	配置方案	201
7.4	室内情景照明系统设计	202
7.4.1	需求分析	202
7.4.2	设计思想	203
7.4.3	系统设计	204
7.5	“水立方”照明系统设计	205
7.5.1	需求分析	205
7.5.2	系统设计	206
参考文献	209

第 1 章 照明基础知识

1.1 光与光源

1.1.1 光的基本特性

1. 光的本质

光是一种自然现象，当一束光投射到物体上时会发生反射、折射、干涉及衍射等现象。人们之所以能够看到可观世界中光怪陆离、瞬息万变的景象，是因为眼睛能够接收物体发射、反射或散射的光。光在本质上是一种电磁波，覆盖了电磁频谱一个相当宽的范围。将各种电磁波按波长依次排列，得到的电磁波波谱如图 1-1 所示。光刺激人的眼睛，经过视觉神经传达到人的大脑，使人可以看到物体的形状和颜色，这类光的波长为 380~780nm，称为可见光。可见光只是整个电磁波频谱的一部分。

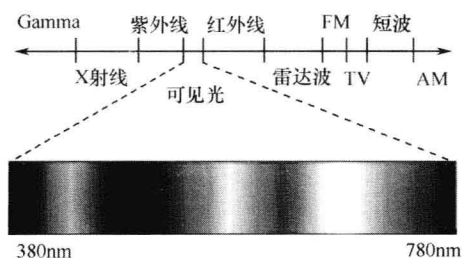


图 1-1 电磁波波谱

2. 光的颜色

波长不同的单色光使人产生不同的色觉。从波长 380~780nm，人眼的色觉依次是紫色、蓝色、青色、绿色、黄色、橙色和红色，两种颜色光之间没有明显的分界，如表 1-1 所示，将全部可见光波混合在一起就形成白色光。

表 1-1 可见光的颜色与波长

颜色	紫	蓝	青	绿	黄	橙	红
波长 (nm)	380~430	430~470	470~490	490~550	550~590	590~640	640~780

颜色具有三个基本特性：色调 (H)、明度 (V) 和彩度 (C)。人们借助表色系统将颜色进行分类，并用数字、字母加以表示。常见的表色系统有两种：孟塞尔表色系统和 CIE (国际照明委员会) 标准色度学系统。

1) 孟塞尔表色系统

孟塞尔表色系统是以颜色的3个基本特性为依据,用一个模型将颜色的色调、明度和彩度进行标号。通过对比孟塞尔图册,可以用符号和数字对各种颜色进行描述和标定。孟塞尔颜色立体示意图如图1-2所示。

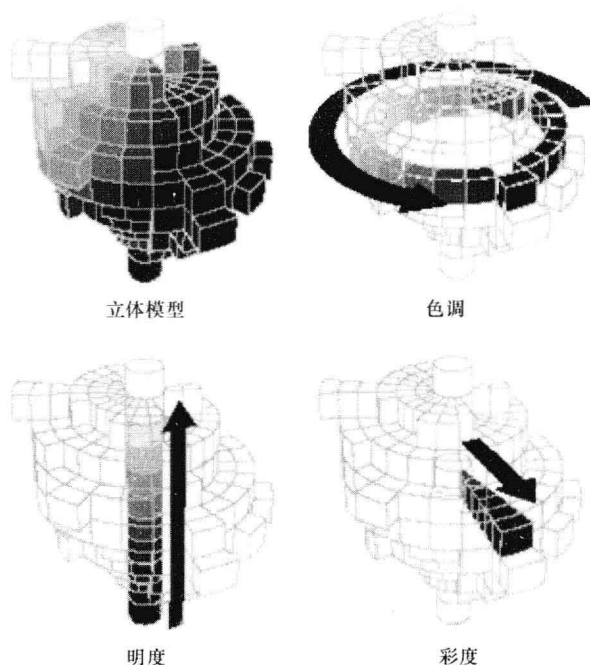


图1-2 孟塞尔颜色立体示意图

① 色调

孟塞尔表色系统按照红、黄红、黄、绿黄、绿、蓝绿、蓝、紫蓝、紫、红紫分成10种色调,每种色调又各自分成0~10个等距指标,共有40种不同的色调。

② 明度

对同一色调的色彩来说,浅的明亮,深的阴暗,其中光波被完全吸收而不反射者为最暗,明度定义为0。光波被全部反射而不吸收者为最亮,明度定为10。在它们之间按感觉上的等距指标分成10等分表示其明度,在实际使用中只用到明度1~9。

③ 彩度

对相同色调、相同明度的色彩来说,颜色又有深浅之分,颜色深浅的程度称为彩度。孟塞尔颜色图册中以每2个以上等级为间隔制作颜色样卡。在中央轴上,中性色的彩度为0,离中央轴越远,彩度越大,并且不同颜色的最大彩度是不同的。

因此,任何颜色都可以用孟塞尔色调、明度和彩度坐标所给的颜色标号来表示,书写方式是HV/C,如红旗的颜色可表示为5R5/10。

2) CIE 标准色度学系统

研究证明,光谱的全部颜色可以用红、绿、蓝这三种光谱波长的光混合得到,这就是颜

色视觉的三原色学说。CIE 标准色度学系统是以颜色视觉的三原色学说为依据, 通过光的等色实验确定由色刺激表示的体系。不同的颜色[C]可以由三原色红(700nm)、绿(546.1nm)、蓝(435.8nm)相加混合来表示, 即:

$$[C] = r[R] + g[G] + b[B] \quad (1-1)$$

式中 [C]——某种特定颜色(或被匹配的颜色);

[R]、[G]、[B]——红绿蓝三原色;

r 、 g 、 b ——红绿蓝三原色的比例系数, 且满足 $r+g+b=1$ 。

\equiv ——匹配关系, 即在视觉上颜色相同, 而能量或光谱成分却不同。

1931年, CIE 又规定了一个新的系统, 即 CIE-XYZ 系统。另用 3 个假想的原色 X、Y、Z 来代替 R、G、B, 任何一种颜色可以表示成:

$$[C] = X[X] + Y[Y] + Z[Z] \quad (1-2)$$

式中 X、Y、Z 分别代表三色刺激值, 由式(1-3)计算:

$$\begin{cases} X = k \int_{\lambda=380\text{nm}}^{780\text{nm}} p(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \\ Y = k \int_{\lambda=380\text{nm}}^{780\text{nm}} p(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \\ Z = k \int_{\lambda=380\text{nm}}^{780\text{nm}} p(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \end{cases} \quad (1-3)$$

式中 $p(\lambda)$ ——光源的光谱功率分布函数;

k ——光谱光效能;

$\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ ——CIE 标准色度观察者三刺激值。

根据光谱的三色刺激值 X、Y、Z, 可以按式(1-4)计算颜色的色坐标 x 、 y 、 z :

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z = \frac{Z}{X+Y+Z} \end{cases} \quad (1-4)$$

式中 x 、 y 、 z ——X、Y、Z 系统的色度坐标, 且 $x+y+z=1$ 。

因此, 色度坐标中的 3 个值只要知道其中 2 个即可求出第 3 个值。把各种波长光谱色的色度坐标(x, y)画在色度直角坐标中, 得到光谱色的色度轨迹, 如图 1-3 所示。

3. 光对人的影响

1) 光与人体周期节律

光线通过视网膜神经节细胞和单独的神经系统将信号传递至人体的生物钟, 生物钟再据此调整人体不同生理进程中的周期节律, 包括昼夜节律和季节节律。激素皮质醇(压力激素)和褪黑素(睡眠激素), 在控制人体的活跃度和睡眠方面起着重要的作用。其中, 激素皮质

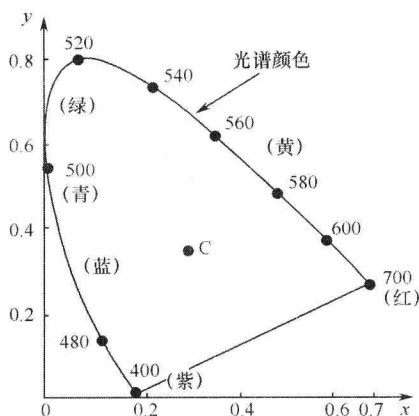


图 1-3 光谱色的色度轨迹

醇可以增加血液中的糖分，并为人体提供能量，同时增强人体的免疫力。但是当激素皮质醇长时间处于过高水平时，人体会感觉疲劳并且变得效率低下。人体的激素皮质醇水平在早晨会增加，为即将来临的日间活动做准备。在整个白天活动过程中，激素皮质醇均保持较高水平。午夜时，激素皮质醇则降至最低水平。褪黑素的水平在清晨时会下降，以减少睡眠。而当环境变暗时会再度上升，以保证人体健康的睡眠（此时，激素皮质醇正处于最低水平）。为保证良好的健康水平，人体的周期节律不应过多被打乱。当人体的周期节律出现紊乱时，清晨明亮的光线能够帮助人体恢复至正常的周期节律。

在自然的情况下，光线（尤其是清晨的光线）使得人体内的生物钟同步于地球的 24h“明亮-黑暗”循环周期。假如没有规则的 24h“明亮-黑暗”循环，人体内部的生物钟将呈现一种“自由运转”状态：“清晨型”人群的“自由运转”时间短于 24h；“晚间型”人群的“自由运转”时间长于 24h。缺少正常的“明亮-黑暗”周期节律会造成人体活跃性和睡眠的混乱，最终将导致人体在黑夜时非常活跃，而在白天十分嗜睡。

2) 光对人的生理影响

光是通过神经系统影响人的机体，神经纤维将光信号传递到视觉皮层和脑部的其他部位，控制身体的生物钟和荷尔蒙，对脑下垂体、松果腺、肾上腺、甲状腺均产生影响。通过它们之间的相互作用，产生、重置和调控人体的生理和行为节律。明亮的光辐射导致体温增加，提高人们的效率。人一般在上午 7 点的时候体温开始增加，而下午 4 点时体温最低。一定量的日光照射，可以增加红细胞和血红素、增加唾液和胃酸、促进食欲、提高机体免疫力和对疾病的抵抗力，起到强健身体的作用。

3) 光对人的心理作用

光通过大脑皮层发生作用，对人的心理活动和情绪等有直接影响。例如，紫外线、光色、色温及光的闪烁，均会对人的心理发生作用，从而对人们的身心健康产生影响。长时间照明不足会造成视觉紧张，使机体易于疲劳、注意力分散、记忆力衰退、抽象思维和逻辑思维能力降低。而过度的日光照射，不但使人心理上感到不适，而且还可以使人致病。如长久经受强烈的日光暴晒，眼角膜会受到损伤，并可引发白内障，也会产生心烦意乱、情绪低落等症

状，同时人的皮肤可能发生变黑现象，或使皮肤变红，使人产生刺痛感。人工照明中的强烈色彩会干扰大脑中枢的正常活动，扰乱人体的平衡状态，引起人们烦躁不安、全身乏力、头晕目眩等。城市照明中的光污染，影响人们的休息和睡眠。因此，现代社会与绿色照明特别强调：照明必须有利于人类健康。

1.1.2 光的常用度量

1. 光通量

光通量是光辐射通量使人眼所产生的视觉强度值。光通量用来衡量光源发出光的多少，符号为 Φ ，单位为流明 (lm)，其表示式为：

$$\Phi = K_m \int_{\lambda} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda = K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (1-5)$$

式中 K_m ——最大光谱光效能，为一常数 683lm/W；

$V(\lambda)$ ——人眼的光谱光视效率。对于波长小于 380nm 和大于 780nm 的不可见光， $V(\lambda)=0$ 。

在一般情况下，同类型灯的功率越大，光通量也越大。

2. 发光强度

发光强度简称为光强，某方向上每单位立体角的光通量称为发光强度，符号为 I ，单位是坎德拉 (cd)。如果光源是一个点，称之为点光源。图 1-4 表示从点光源向立体角 ω 发光，则发光强度的表示式为：

$$I = \Phi / \omega \quad (1-6)$$

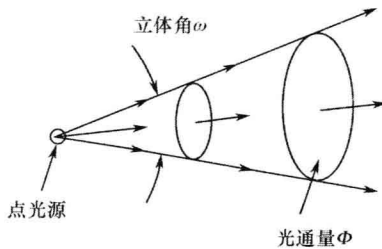


图 1-4 发光强度

3. 照度

入射到单位面积的光通量称为照度，符号为 E ，单位是勒克斯 (lx)。在图 1-5 中，光通量为 Φ 的光入射到面积为 A 的平面上，照度的表示式为：

$$E = \Phi / A \quad (1-7)$$

4. 发光度，与照度相反，从某个面的单位面积发散的光通量称为发光度，符号为 M ，单位为 lm/m^2 。假设从面积为 A 的面上发散的光通量是 Φ ，则发光度表示式为：

$$M = \Phi / A \quad (1-8)$$

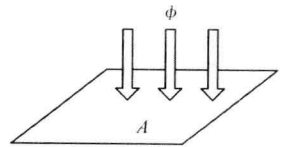


图 1-5 照度

5. 亮度

从某个方向看物体或光源的明亮程度称为亮度，一般表示发光面的明亮程度，符号为 L ，单位为 cd/m^2 。亮度就是单位面积 A 的发光强度，亮度的表示式为：

$$L = IA \quad (1-9)$$

光通量、发光强度、照度、发光度和亮度之间的关系如图 1-6 所示。照度表征受照面的明暗程度，它与光源至被照面距离的平方成反比；而亮度是表征任何形式的光源或被照射物体表面是面光源时的发光特性。

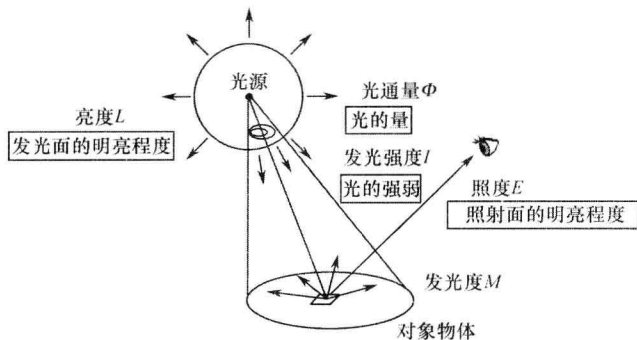


图 1-6 光通量、发光强度、照度、发光度和亮度的关系

1.1.3 电光源

凡是可以将其他形式的能量转换成光能，从而提供光通量的设备和器具统称为光源。随着人类文明的进步和科技的发展，各种光源应运而生。电光源是指将电能转换为光能的器件或装置，广泛应用于日常照明、工农业生产、国防和科研等方面。

1. 电光源的种类

在照明工程中，使用各种各样的电光源，按其工作原理可分为固体发光光源和气体放电发光光源，详细分类见表 1-2。

表 1-2 光源分类表

电光源	固体发光光源	热辐射光源	白炽灯	
			卤钨灯	
		电致发光光源	场致发光灯	
			半导体发光管 (LED)	
	气体放电发光光源	辉光放电灯	氖灯	
			霓虹灯	
		弧光放电灯	低压气体放电灯	荧光灯
				低压钠灯
			高压气体放电灯	高压汞灯
				高压钠灯
金属卤化物灯				
氙灯				

1) 固体发光光源

固体发光光源有热辐射光源和电气及发光光源两种。

热辐射光源是利用物体加热时辐射发光的原理制成的光源，主要包括白炽灯和卤钨灯两种。

(1) 白炽灯是将灯丝通电加热到白炽状态，利用热辐射发出可见光的电光源。自 1879 年美国的 T.A.爱迪生制成了碳化纤维（即碳丝）白炽灯以来，经过人们对灯丝材料、灯丝结构、填充气体的精益求精，白炽灯的发光效率也相应提高。白炽灯的发展趋势主要是研制节能型灯泡。不同用途和要求的白炽灯，其结构和部件也不相同。白炽灯的发光效率低、散热大、寿命短，正逐步被淘汰。

(2) 卤钨灯本质上是白炽灯的一种，不同之处是在灯泡内注入碘或溴等卤素气体。1959 年，美国在白炽灯的基础上研制了体积和光衰极小的卤钨灯。在高温下，蒸发状态的钨与卤素发生化学作用，气态钨会重新凝固在钨丝上，达到循环平衡，避免钨丝过早断裂，因此卤钨灯比白炽灯更长寿。此外，卤钨灯亦能以比一般白炽灯更高的温度工作，它们的亮度及效率亦更高。不过在这种温度下，普通玻璃可能会软化，因此卤钨灯泡需要采用熔点更高的石英玻璃。而由于石英玻璃不能阻隔紫外线，故卤钨灯泡通常都需要另外使用紫外线滤镜。

2) 气体放电发光光源

在电场的作用下，载流子在气体（蒸气）中产生并运动，从而使电流通过气体（蒸气）媒质时发生物理过程，这一过程称为气体放电。气体放电发光光源是利用气体放电的原理制成的光源。气体放电发光有弧光放电和辉光放电两种，主要代表有荧光灯、高压钠灯及金属卤化物灯等。

(1) 荧光灯是一种低压汞放电灯，它的灯管两端各有一个密封的电极，管内充有低压汞蒸气及少量助燃的氮气。灯管内涂有一层荧光粉，当灯管的两个电极上通电后加热灯丝，达到一定温度就发射电子，电子在电场作用下逐渐达到高速，冲击汞原子，使其电离而产生紫外线。紫外线射到管壁上的荧光物质，刺激其发出可见光。

无极荧光灯即无极灯，它取消了传统荧光灯的灯丝和电极，利用电磁耦合的原理，把汞原子从原始状态激发成激发态，其发光原理和传统荧光灯相似，是一种节能光源。

(2) 高压钠灯是一种高压钠蒸气放电灯，属于第三代电光源，其放电管采用耐腐蚀性的半透明多晶氧化铝陶瓷制成。使用时，高压钠灯发出金白色光，具有发光效率高、耗电少、寿命长、透雾能力强和不锈蚀等优点。

(3) 金属卤化物灯是在高压汞灯和卤钨灯工作原理基础上发展起来的新型高效光源，其基本原理是将多种金属以卤化物的方式加进高压汞灯的电弧管中，使这些金属原子像汞一样电离发光。汞弧放电决定了它的电性能和热损耗，而充进灯管内的低压金属卤化物决定了灯的发光性能，充进不同的金属卤化物可以制成不同特性的光源。金属卤化物灯的光效高、寿命长、显色性好、结构紧凑、性能稳定，它汇集了气体放电光源的主要优点。

3) 固态照明光源

固态照明（Solid-State Lighting, SSL）是一种全新的照明技术，它利用半导体芯片作为发光材料，直接将电能转换为光能。固态照明具有节能、环保、寿命长、免维护、易控制等

优点，目前半导体发光二极管（LED）已经被广泛应用于各领域照明。

表 1-3 列举了几种常用电光源的性能参数及应用。

表 1-3 各种常用电光源的性能对比

光源名称	特 性	应 用
白炽灯	金属钨丝呈现纯电阻性，工作时不会对电源质量产生危害 结构简单、制造工艺成熟、价格低廉、显色性好 光效约 10 lm/W，寿命 1000h	常用灯头为螺口式 E14、E27， 目前，白炽灯已进入被终结的倒计时状态
卤钨灯	利用“卤钨循环”特性延长灯丝寿命 体积小、亮度强、使用方便 光效 20~30 lm/W，寿命 2000h	机动车聚光照明、展览展示厅、演播室照明
高压汞灯	利用汞放电时产生的高气压获得可见光 最简单的高强度气体放电灯 光效 30~60 lm/W，寿命 5000h	逐渐被高压钠灯取代
高压钠灯	光色优于低压钠灯 光色柔和、透雾性强 光效 90~120 lm/W，寿命 20000h	大量应用于道路、码头和广场
金属卤化物灯	集成了荧光灯、高压钠灯和高压汞灯的优点 能发出具有很好显色性的白光 光效 80 lm/W，寿命 10000h	广泛应用于工业照明、商业照明、城市亮化工程照明、体育馆照明等场合
低压钠灯	基于低压钠蒸气放电发光 仅辐射单色的黄光，透雾性强，但显色性较差 光效 200 lm/W，寿命 10000~20000h	适用于多雾区域照明
荧光灯	显色性好、无频闪、启动快的节能照明光源 T8 型光效 55 lm/W，寿命 8000h；T5 型光效 90~110 lm/W， 寿命 8000~10000h	应用于办公室、宿舍和车间
LED	核心是一个 PN 结，利用注入式电致发光原理工作 结构牢固，纳秒级响应时间，不含有毒金属 光效 200 lm/W 左右，并逐年升高，寿命 50000h	新型照明光源，应用广泛

2. 电光源的特性

1) 光源的色温

色温是按绝对黑体来定义的，光源的辐射在可见区和绝对黑体的辐射完全相同时，此时黑体的温度就称为此光源的色温，用绝对温度（或称开式温度，单位为 K，其数值等于摄氏度加 273.15）表示。低色温光源的特征能量分布中红辐射相对多一些，通常称为暖光；色温提高后，特征能量分布中蓝辐射的比例增加，通常称为冷光。

白炽灯一类的热辐射光源的光谱功率分布与黑体在可见区的光谱分布比较接近，都是连续光谱，用色温的概念完全可以描述这类光源的颜色特性。气体放电光源的光谱一般为非连续光谱，与黑体辐射的连续光谱不能完全吻合，所以采用相关色温（黑体加热到出现与光源相同或接近光色时的温度，称为该光源的相关色温）来描述其颜色特性。色温在 3000K 左右时，光色偏黄；色温在 3300K 以下时，光色偏红，给人一种温暖的感觉；色温超过 5300K 时，颜色偏蓝，给人一种清冷的感觉。不同色温的光具有不同的照明和视觉效果。通常在气

温较高的地区，人们多采用色温高于 4000K 的光源，而在气温较低的地区则多用 4000K 以下的光源。表 1-4 列举了常见光源与环境的相关色温。

表 1-4 不同光源环境的相关色温

光 源	色 温/K	光 源	色 温/K
北方晴空	8000~8500	高压汞灯	3450~3750
阴天	6500~7500	暖色荧光灯	2500~3000
夏日正午阳光	5500	卤素灯	3000
金属卤化物灯	4000~4600	钨丝灯	2700
下午阳光	4000	高压钠灯	1950~2250
冷色荧光灯	4000~5000	烛灯	2000

在高色温光源照射下，如亮度不高，会给人们一种阴冷的气氛；在低色温光源照射下，亮度过高会给人们一种闷热的感觉。在同一空间使用两种光色相差很大的光源时，其对比会出现层次效果。光色对比大时，在获得亮度层次的同时又可获得光色层次。不同的色温会引起人们在情绪上的不同反应。表 1-5 列举了光源的色温分类和应用。

表 1-5 光源的色温分类和应用

色 温	光 色	气 氛 效 果	应 用 场 合
>5000K	冷色光，清凉（带蓝的白色）	光源接近自然光，有明亮的感觉，使人精力集中，冷的气氛	办公室、会议室、教室、设计室、图书馆的阅览室和展览橱窗
3300~5000K	暖白光，中间（白）	柔和，给人以愉快、舒适、安详的感觉，爽快的气氛	商店、医院、办公室、饭店、候车室
<3300K	暖色光，温暖（带红的白色）	光源与白炽灯的光色相近，给人以温暖、舒适的感觉，稳重的气氛	家庭、宿舍、医院、宾馆以及温度比较低的地方

2) 光源的显色性

作为照明光源，除要求高光效之外，还要求它发出的光具有良好的颜色。显色性是指光源的光照射到物体上所产生的客观效果，也就是颜色的逼真程度。显色性有高低之分，其关键在于光的特性。显色性高的光源对颜色的表现较好，人们所看到的颜色也就较接近自然颜色；显色性低的光源对颜色的表现较差，人们所看到的颜色偏差较大。

光源对物体的显色能力是通过与同色温的参考或基准光源（白炽灯）下物体外观颜色的比较来表现的。光所发射的光谱内容决定光源的光色，但同样光色的光可能由许多、少数甚至仅两个单色的光波合成，对各种颜色的显色性也大不相同。相同光色的光源会由相异的光谱组成，光谱组成较广的光源可提供较佳的显色品质。当光源光谱中缺乏物体在基准光源下所发射的主波或主波很少时，会使颜色产生明显的色差。色差程度越大，光源对该颜色的显色性越差。显色分为以下两种。

(1) 忠实显色：正确表现物体本来的颜色需使用显色指数高的光源，其数值接近 100 时显色性最好；

(2) 效果显色：要鲜明地强调特定色彩，表现美好的生活，可以利用加色的方法来强化显色效果。采用低色温光源照射时，能使红色更加鲜艳；采用中等色温光源照射时，能使蓝