

Photobiological safety requirement  
and measurement

# 光生物安全要求与检测

◎ 程丽玲 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

# 光生物安全要求与检测

主编 程丽玲



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

光生物安全要求与检测 / 程丽玲主编. —杭州:  
浙江大学出版社, 2015. 11  
ISBN 978-7-308-14902-0

I. ①光… II. ①程… III. ①光学—生物工程—安全管理 IV. ①043

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 166742 号

## 光生物安全要求与检测

主 编 程丽玲

---

|      |                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 责任编辑 | 杜希武                                                                                                            |
| 封面校对 | 余梦洁                                                                                                            |
| 封面设计 | 刘依群                                                                                                            |
| 出版发行 | 浙江大学出版社<br>(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)<br>(网址: <a href="http://www.zjupress.com">http://www.zjupress.com</a> ) |
| 排 版  | 杭州好友排版工作室                                                                                                      |
| 印 刷  | 浙江省良渚印刷厂                                                                                                       |
| 开 本  | 710mm×1000mm 1/16                                                                                              |
| 印 张  | 12                                                                                                             |
| 字 数  | 209 千                                                                                                          |
| 版 次  | 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷                                                                            |
| 书 号  | ISBN 978-7-308-14902-0                                                                                         |
| 定 价  | 39.00 元                                                                                                        |

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcb.tmall.com>

主 编 程丽玲

副 主 编 胡静慧 徐哲淳

编写人员 傅啸琪 朱晓燕 冯泽良 冯 亮

许 飞 潘 杰 谢晓韦 许 健

朱 凌 张 斌 蔡永华 唐仁幸

## 序

随着电光源产品的不断升级换代,被称为第四代照明光源的 LED 光源的出现,带动了整个照明产品的转型升级,几乎所有的传统照明企业都纷纷转向 LED 照明的研发与生产。同时由 LED 引发的光辐射危害也悄然进入公众视野,近年来不少关于 LED 蓝光成为“伤眼凶手”的新闻报道,使人们一度谈“蓝”色变;另外也有新闻报道浴霸灯的红外热危害造成婴儿眼睛被灼伤,最终导致失明。为了对光辐射危害进行系统分析和客观评价,引导消费者正确安全地使用灯和灯具,控制光辐射危害对人类的伤害,让光真正造福于人类,业界专家提出了光生物安全的评价体系,旨在通过对产品不同辐射曝辐量的分类考核,评价灯和灯系统的光生物安全性。引导企业在进行光环境设计时,对于视觉之外的光能的作用效果要有一个正确的认识和考虑,在对各种影响,特别是伤害可能性方面进行正确评估的基础上,进行视觉环境的设计,预先设置伤害发生的防范措施。

本书第一章主要介绍了灯和灯系统光辐射、光源特别是 LED 光源的基础知识,而后阐述了照明电器产品的电磁辐射危害。后续几章首先从光生物安全历史发展开始,系统研究了光生物安全法律法规以及各国和地区的标准要求与实施差异;在此基础上进行了光生物安全检测技术探索,从光生物安全原理出发介绍了几代测试设备的原理和功能,选择典型款照明产品进行检测说明,以明示标准在测试方法、结果判定等方面的实际应用;通过对大量产品的测试比较,统计分析了两种测量距离下的测量结果趋势,通过对危害距离的实际测量和计算举例,让读者较容易的理解危害距离的应用。其次,以实验室积累的丰富测试经验为基础,对光生物安全体系中提出的八类危害进行了产品案例检测分析与整改说明,进一步阐述了灯和灯系统使

用可能产生的危害风险,给出了如何避免风险的预防措施,对该书的使用者来说有较为直接的参考作用。最后,通过对光生物安全检测实验室的风险评估研究和实验室运行示范的举例报告,试图让光生物安全检测实验室工作人员明白和了解自身工作中的光辐射风险,以及如何防护化解风险。

本书的出版,得益于检验检疫局、检测研究机构、照明生产企业和高校等组织的帮助,在此衷心感谢杭州出入境检验检疫局、绍兴出入境检验检疫局、浙江大学、杭州浙大三色仪器有限公司、杭州远方光电信息股份有限公司等单位的大力支持。

由于光生物安全评价体系的研究是一个较新的领域,其研究过程是动态和持续的,因此各国的法律法规和标准会根据产品发展的要求不断地更新,同时相应的检测技术也会不断地提高,本书中的内容在刊出后有滞后的部分,恳请读者原谅,也敬请读者关注最新的版本内容。

编 者

2015年8月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 光辐射基础知识 .....         | 1  |
| 1.1 概 述 .....               | 1  |
| 1.2 紫外辐射 .....              | 2  |
| 1.3 可见光 .....               | 3  |
| 1.4 红外辐射 .....              | 6  |
| 1.5 人造光源 .....              | 7  |
| 1.6 照明产品电磁辐射 .....          | 17 |
| 第 2 章 光生物安全法律法规及标准 .....    | 20 |
| 2.1 概 述 .....               | 20 |
| 2.2 国内外研究机构的工作 .....        | 23 |
| 2.3 光生物安全标准 .....           | 29 |
| 2.4 照明产品光辐射危害和限值 .....      | 38 |
| 2.5 国内外光生物安全法律法规与标准要求 ..... | 52 |
| 第 3 章 光生物安全检测 .....         | 83 |
| 3.1 概 述 .....               | 83 |
| 3.2 危害分类 .....              | 84 |
| 3.3 检测要求 .....              | 86 |
| 3.4 测量系统 .....              | 94 |
| 3.5 检测注意事项 .....            | 99 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第4章 测量距离和危害距离        | 103 |
| 4.1 两种典型测量距离的测量位置确定  | 104 |
| 4.2 灯和灯系统辐照最近点距离确定   | 106 |
| 4.3 测量距离对测试结果影响的统计分析 | 108 |
| 4.4 危害距离             | 117 |
| 4.5 危害距离测量           | 118 |
| 第5章 检测举例             | 124 |
| 5.1 光化紫外辐照度          | 124 |
| 5.2 近紫外辐照度           | 128 |
| 5.3 蓝光辐亮度            | 131 |
| 5.4 蓝光小光源辐照度         | 134 |
| 5.5 视网膜热危害辐亮度        | 137 |
| 5.6 视网膜的热的微弱的视觉刺激辐亮度 | 139 |
| 5.7 眼睛的红外辐射辐照度       | 141 |
| 5.8 皮肤热危害辐照度         | 143 |
| 5.9 产品整改             | 146 |
| 5.10 照明产品光辐射风险分析和应对  | 148 |
| 5.11 给消费者的建议         | 150 |
| 第6章 光生物安全检测实验室风险评估   | 152 |
| 6.1 危险源识别            | 152 |
| 6.2 风险评价             | 153 |
| 6.3 控制措施             | 154 |
| 6.4 复查风险评估           | 157 |
| 6.5 光生物安全检测示范运行报告    | 157 |
| 参考文献                 | 179 |
| 索引                   | 181 |

# 第 1 章 光辐射基础知识

## 1.1 概 述

按照波长和人眼的视觉生理效应,光辐射可分为紫外辐射、可见光和红外辐射,其波段示意详见图 1-1。紫外光、可见光和红外光,在照射适当的情况下,对人体的生理可以产生积极的影响,如被广泛用来消毒的紫外杀菌灯和具有治疗作用的红外线治疗仪等。但是当光照射不足或者过度时,也极有可能对人体造成视网膜的损伤和皮肤的灼伤等伤害,而且光辐射损伤通常是一种长期累积的视觉系统或皮肤病变,其形成和发展过程往往难以察觉,对人体的伤害更具隐蔽性,因此我们必须充分了解光源和灯系统的工作原理,了解照明电器产品的各种功能,以及由此可能带来的危害,有效地利用好光辐射能量,让光造福于人类,同时保护好自身、保护好环境。

本章主要介绍紫外辐射、可见光、红外辐射以及 LED 光源的基础知识和各种光辐射的典型应用,并在此基础上详细分析了照明产品对人体的光辐射危害和对人体的电磁辐射危害。

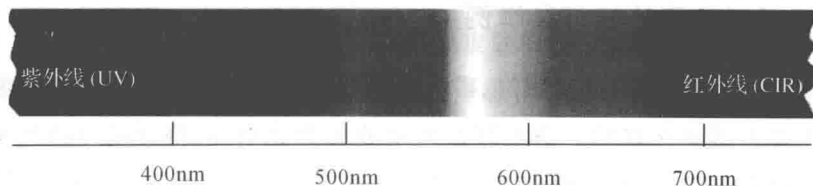


图 1-1 紫外辐射、可见光和红外辐射的波段示意

## 1.2 紫外辐射

紫外辐射又称紫外线,是指波长为  $100\sim 400\text{nm}$  的电磁辐射。它分为长波紫外线(UVA)、中波紫外线(UVB)和短波紫外线(UVC)。当考虑紫外辐射的影响时,我们通常又将  $100\text{nm}$  到  $400\text{nm}$  波长细分如下:

- (1)长波紫外线(UVA)即黑斑区:波长为  $315\sim 400\text{nm}$ ;
- (2)中波紫外线(UVB)即红斑区:波长为  $280\sim 315\text{nm}$ ;
- (3)短波紫外线(UVC)即杀菌区:波长为  $100\sim 280\text{nm}$ 。

习惯上,波长范围在  $100\sim 200\text{nm}$  的短波紫外线(UVC)也叫作真空紫外线。一般认为真空紫外线辐射能被大气层吸收,不会对人类造成伤害。对人类有影响的紫外线主要在  $200\sim 400\text{nm}$  的波长区间。

### 1.2.1 紫外辐射的生理效应

人的眼睛感觉不到紫外线的存在,但是紫外线对人的生理有较大的影响。紫外线照射皮肤时,会引起血管扩张,出现红斑,过量照射会产生弥漫性红斑,并形成小水泡和水肿,长期照射会使皮肤干燥、失去弹性和老化。紫外线照射可能会对眼睛造成损伤,如电弧光等会引起急性角膜炎、结膜炎,医用 UVA 荧光灯有可能导致人体光过敏和白内障。所以要特别提醒:在使用医用紫外线灯时,眼睛直视时间不要超过  $2\sim 3$  分钟,使用完后要开窗通风,否则受伤害的风险较大。

### 1.2.2 紫外线灯具举例

常见的紫外线灯有诱虫灯、矿石鉴定灯、验钞灯、紫外线保健灯、植物生长灯、紫外线杀菌灯等。诱虫灯是利用波长为  $360\text{nm}$ 、符合昆虫的趋光性反应曲线的 UVA 紫外线,吸引虫子靠近灯具而达到杀害昆虫的目的;矿石鉴定灯、验钞灯灯光的波长为  $365\text{nm}$  左右,紫外线透过完全屏蔽可见光的、特殊着色的玻璃灯管释放近紫外线,两者均通过紫外线的荧光效应完成防

伪识别,如验钞灯是通过钱币上有特殊的荧光油墨印制的标记,在紫外线的激发下发出的淡绿色荧光,完成防伪标志的鉴定;紫外线保健灯、植物生长灯灯光的波长峰值在 300nm 左右,两者均使用特殊透紫玻璃,屏蔽波长 254nm 以下的光,使紫外线能抑制茎节间伸长,促进多发侧枝和芽的生长。日光灯、节能灯灯管采用的是普通玻璃,紫外线不能透出来,被荧光粉吸收后发出可见光,而紫外线杀菌灯灯管则用透紫外线玻璃或石英玻璃生产,紫外线穿过玻璃管壁透射出来,该灯利用紫外线的照射,破坏及改变微生物的脱氧核糖核酸(DNA)的结构,杀死细菌或者使其无法繁殖后代,以完成杀菌目的。实际具有杀菌效用的是短波紫外线(UVC),因为短波紫外线容易吸收生物体的 DNA,最佳波长在 253.7nm 左右。紫外线杀菌灯的原理是纯物理消毒,其优点是简单方便、高效广谱、二次污染少,新设计的紫外线灯管不断推陈出新,其使用的范围日益扩大。

## 1.3 可见光

可见光通常是指波长为 380~780nm 的电磁波,人眼可以感知,一般人的眼睛可以感知的电磁波波长为 400~700nm,但也有少数人能够感知的波长范围会更宽一些。蓝色和紫色属于短波,红色属于长波,黄色和绿色处于可见波长的中间,通常人眼对电磁波最为敏感的区域是波长约为 555nm 的绿色区域。

### 1.3.1 可见光辐射的生理效应

可见光对人体的生理效应主要有造成皮肤的烧伤、红斑,以及对眼睛的损伤如白内障、热损伤、日光视网膜炎、斑点恶化等等。光对视网膜的损害程度取决于光的波长和强度以及曝露时间的长短。因紫外光和红外光通常被角膜和晶状体吸收,一般不会照射到视网膜。但波长为 400~500nm 的高能量蓝光可以穿透晶状体到达视网膜,对其造成光化学损害,加速黄斑区细胞的氧化。因而,蓝光被研究证明是最具有危害性的可见光。

### 1.3.2 可见光灯具举例

常见的可见光灯具具有白炽灯、卤素灯、荧光灯、节能灯、LED灯、高压钠灯、金卤灯、无极灯、霓虹灯等。

下面介绍几种常见可见光灯具的工作原理,以此说明该类灯具在日常使用时可能产生的各种波长的可见光辐射:

(1)白炽灯:其结构是把灯丝(单螺旋灯丝或双螺旋灯丝)放入玻璃外壳内,再加上一个灯头,灯丝呈螺旋状是为了减少灯丝中钨的蒸发,延长其使用寿命,一般在玻璃外壳内充入氩氮混合气,也是为了减少灯丝中钨的蒸发。在灯接入电路时,电流流经灯丝,电流产生热效应,使白炽灯泡发出连续可见光以及红外线,这种现象在灯丝温度升至 700K 时即可被人察觉,其热辐射发光的波长是从近红外波长(780nm)逐渐递减至紫外波长(380nm 左右)。白炽灯是低色温光源,色温一般为 2400~2900K,显色性较好,显色指数为 99~100。但因工作时灯丝温度高,大部分的能量以红外辐射的形式消耗,因此使用寿命短,一般不超过 1000h。在所有用电照明产品中,白炽灯的效率最低。仅有约 2%的能量可转化为光能,白炽灯的光效虽低,但光色和集光性能很好,是产量最大、应用最广的电光源。

(2)卤素灯:在白炽灯的基础上,在填充气体内增加微量的卤素元素而形成的高效的小型光源。普通玻璃外壳亦改换成石英玻璃、硬质高硅氧玻璃或铝酸盐玻璃以克服高温。卤素灯具有光效高、寿命长的特点,且在卤素灯内存在“钨卤循环”,即循环的化学反应。卤素灯和白炽灯一样都是热辐射光源,会辐射大量热量,但卤素灯所发出的光强度远远高出白炽灯,而能耗约降低 1/3。卤素灯发出的光含有紫外线成分,分为 UVA,UVB,UVC 3 个波段,而 UVB,UVC 对被照物有漂白作用。卤素灯是否会产生对人体有害的 UVB,UVC 取决于卤素灯的玻璃外壳。

(3)荧光灯:一种阴极低压汞蒸气的放电灯,利用放电释放的紫外线,通过荧光粉的反射转换成可见光,使用双螺旋或三螺旋的钨制灯丝,在灯丝表面涂上电子发射材料,组成发射极。玻璃管内填充氩气、氮气、氙气的混合气,以及汞齐,玻管内壁涂三基色荧光粉。其工作原理:镇流器产生脉冲电

压,使灯丝预热,阴极上的电子发射材料被激活,从而产生电子,电子与灯管内的汞原子碰撞产生波长为 253.7nm 和 185nm 的紫外线,其中主峰值波长为 253.7nm,约占全部辐射能的 70%~80%;次峰值波长为 185nm,约占全部辐射能的 10%。紫外线透过涂有荧光粉的玻璃管内壁折射出可见光。因为使用了三基色荧光粉且有紫外光成分,荧光灯光谱有多个细小的尖峰波形,且有压力约为 0.8Pa 的汞蒸汽,在电场作用下放电,汞原子的价电子从原始状态被激发成为激发态。同时,又以激发态自发地返回到基态,将价电子转化为电磁辐射能,并辐射出 353.7nm 的紫外线,其他还有 10%左右的 85nm 短波紫外线。玻璃管内壁荧光粉吸收波长为 353.7nm 的紫外线,把它转化为可见光。由于荧光灯所消耗的电能大多用于产生紫外线因而荧光灯的发光效率远远高于白炽灯和卤钨灯,是较为节能的照明光源。荧光灯工作时灯丝的温度在 1160K 左右,比白炽灯工作的温度 2400~2900K 低很多,所以它的使用寿命也大大延长,达到 5000h 以上。荧光灯的另一特点是显色性好,对色彩丰富的物品及环境有比较理想的照明效果,光衰小,因此,被广泛地应用。

(4)LED 灯:是一种能够将电能转化为可见光的固态半导体元器件,即发光二极管,它直接将电能转化为光能。LED 的核心部件是一块半导体的晶片,晶片的一端附在支架上,一端是负极,另一端是连接电源的正极,整个晶片由环氧树脂封装起来。单个 LED 灯珠仅在约 3V 的低电压、约几毫安的低电流下工作,发出微弱的光线,且单个 LED 灯珠仅能单向导电,因此 LED 灯需要加上镇流电路(LED 灯的驱动电路),使集成的多个 LED 灯珠在市电下工作,再安装上灯头。即自镇流 LED 灯,就是指带灯头的能把稳定燃点部件集成为一体的 LED 灯,能方便地替代传统的白炽灯。常用的 LED 白光照明是由蓝色 LED 激发的荧光光源,除了一部分耗散给电子元件的热量,LED 照明的白光大部分能量都能转化为可见光,其光效可达 50~200lm/W。其特点是构造简单、成本低、使用寿命长、发光效率高、不易破碎。

## 1.4 红外辐射

红外辐射也叫作红外线、红外光,波长范围覆盖  $700\text{nm}\sim 1000\mu\text{m}$ ,一般可细分为:

- (1)近红外辐射(IR-A):波长为  $700\sim 1400\text{nm}$ ;
- (2)中红外辐射(IR-B):波长为  $1400\sim 3000\text{nm}$ ;
- (3)远红外辐射(IR-C):波长为  $3000\text{nm}\sim 1000\mu\text{m}$ 。

### 1.4.1 红外辐射的生理效应

跟人的眼睛不能感觉紫外辐射一样,人的眼睛也不能感觉红外辐射的存在,但红外辐射对人的生理却是存在的影响,热效应通常就是由红外辐射引起的。红外线照射皮肤时,大部分被皮下组织吸收使局部加热,皮肤温度升高,血管扩张,出现红斑反应,反复照射时局部会出现色素沉着。过量的红外线照射,会引起皮肤急性灼伤,照射面积较大、时间较长时,人体会因过热而出现全身症状,甚至发生中暑。红外线照射对人体眼睛的损伤尤其厉害,可能会导致人眼晶状体浑浊而引发为白内障,引起角膜和瞳孔括约肌的损伤、眼睛不适或疼痛、瞳孔痉挛甚至瞳孔括约肌瘫痪、双眼集合作用减退、阅读困难,等等。

### 1.4.2 红外辐射灯具举例

常见的红外灯具产品有浴霸灯、加热消毒灯、红外线理疗灯、鞋机专用近红外远红外加热灯、美容器械红外灯、纸张烘烤干燥红外线灯、覆膜机专用红外线灯管、育雏用红外线热灯、汽车烤漆灯等。

红外灯具发射近红外或远红外辐射线谱,一般色温在  $2500\text{K}$  以下,其灯丝比白炽灯的灯丝长度略长,灯壳一般呈管形或者球形,发射的可见光相比功率相同的白炽灯泡要更少些,视觉感觉较暗。将钨灯丝伸入到充满气体的石英管当中,在接通交流电压时,钨灯丝会发热且加热石英管中的气体,由此产生红外线电磁波,而红外线可对外辐射,从而达到加热效果。

## 1.5 人造光源

自 1897 年爱迪生发明碳丝白炽灯后,人类从漫长的火光照明时代进入电气照明时代,人造光源的出现被国际科技界公认为是现代文明社会的一个重要里程碑。20 世纪以来,电光源照明史经历了从第一代热辐射光源到第四代固态照明光源的变革,电光源技术有了突飞猛进的发展。四代电光源的发展,各有其典型代表,如图 1-2 所示。

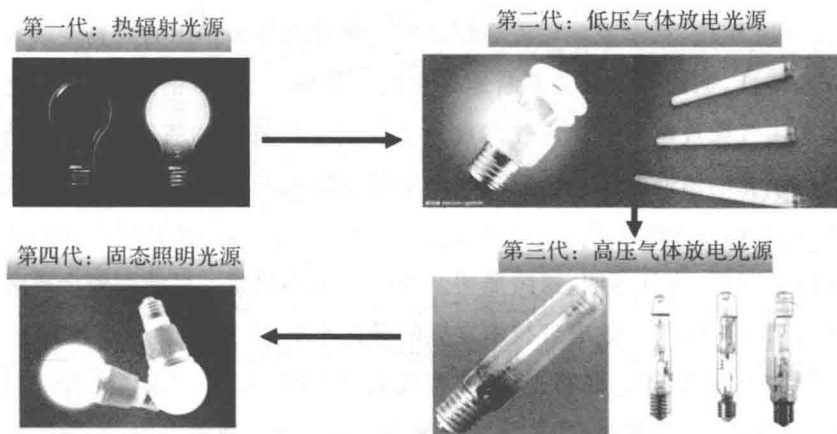


图 1-2 四代典型电光源举例

第一代光源:热辐射光源,典型代表是白炽灯。1879 年,美国发明家托马斯·阿尔瓦·爱迪生制成了碳化纤维(碳丝)白炽灯,宣告了第一代电光源的诞生。白炽灯具有光谱连续、显色性好、结构简单、可调光、无频闪、无汞环保等优点,这使得其在随后的数十年间取得了快速发展。白炽灯被认为是最接近太阳光色且无光辐射危害的人造光源。热辐射光源是利用电流通过电阻丝发热形式的热辐射发光,除白炽灯外,卤钨灯也属于此类光源。

第二代光源:低压气体放电光源,典型代表是荧光灯。20 世纪 30 年代,荷兰科学家开发出第一支荧光灯,随后又开发出了集镇流器于一体的紧

紧凑型荧光灯。1974年,荷兰飞利浦首先研制成功了能够发出人眼敏感的红、绿、蓝三色光的荧光粉。三基色(又称三原色)荧光粉的开发与应用是荧光灯发展史上的一个重要进步。荧光灯具有发光效率高、寿命长、光色好等优点,这使其在家居、办公、商业照明领域逐渐取代白炽灯而成为使用最广泛、最成功的灯种之一。在荧光灯开发成功的同时,基于同样工作原理的紫外线灯也被成功开发出来,被应用于杀菌消毒、固化、验钞等领域。随着其工艺技术的不断提高,紫外线在其特殊的应用领域还将继续发挥其重要的作用。

第三代光源:高压气体放电光源,典型代表是金卤灯、高压钠灯。20世纪40—60年代,科学家发现提高灯具中气体放电的工作压力灯具会表现出优异的特性,据此科学家又不断地开发出高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯等高压气体放电灯。高压气体放电光源通过灯管中的弧光放电,再结合灯管中填充的惰性气体或金属蒸气产生很强的光线。高压气体放电光源具有结构紧凑、功率密度高、光效高、使用寿命长等优点,因此其被广泛用于大面积泛光照明、室外照明、道路照明及商业照明等领域。目前陶瓷金属卤化物灯代表了高压气体放电灯技术发展的最高水平。

第四代光源:固态照明光源,典型代表是LED光源。LED光源最早问世于20世纪60年代初,是采用半导体PN结发光原理制成的,它所用的材料为GaAsP,发红光,峰值波长为650nm,发光效率约为0.1lm/W。随后又相继开发出各种LED单色光源。随着技术的进步,1998年,科学家通过将GaN芯片和钇铝石榴石(YAG)荧光粉封装在一起成功研制了发白光的LED灯。近年来,白光LED灯应用越来越广泛,从室外照明领域延伸到了室内照明领域,被誉为继白炽灯、荧光灯和氙气灯之后的第四代照明电光源,或被称为21世纪绿色光源。但是,固态照明光源不只是单指半导体光源,更不等同于LED光源,LED光源只是固态光源中最早出现的初始原型,还有OLED,QDs等新型固态照明光源。新型固态照明光源的发展还只是开始,无论在原理、技术、材料还是工艺等各方面都还有很大的发展空间,有待进一步开发、完善和成熟。

随着社会的不断进步,LED 光源作为第四代光源已被广泛运用于现实生活中,如彩色广告灯、交通信号灯、显示器背光灯、汽车照明灯等领域,与人类日常生活密不可分,其发展迅猛大有替代传统照明产品的趋势。它具有体积小、耗电量低、使用寿命长、高亮低热、环保、可控性强等诸多优点,但由于其设计和生产工艺的原因,如使用不当会对人体产生严重的辐射危害。所以,本节重点以 LED 光源及其照明产品为例介绍其发光原理、特点以及 LED 光源的应用和光辐射危害等相关知识。

### 1.5.1 LED 发光原理

LED 是英文 light emitting diode(发光二极管)的缩写,是一种发光的半导体元件。发光二极管的核心部分是由 P 型半导体和 N 型半导体组成的晶片,在 P 型半导体和 N 型半导体之间有一个有源层,整个结构称为 PN 结。给 PN 结加正向电压时,电流可以从 P 电极轻易地流向 N 电极,注入的少数载流子与多数载流子复合时会把多余的能量以光的形式释放出来,从而把电能直接转换为光能,半导体晶体即发出从紫外线到红外线不同波段和颜色的光线。给 PN 结加反向电压时,少数载流子难以注入,故不发光。因此 LED 只能够往一个方向导通(通电),叫作正向偏置(正向偏压),如图 1-3 所示。

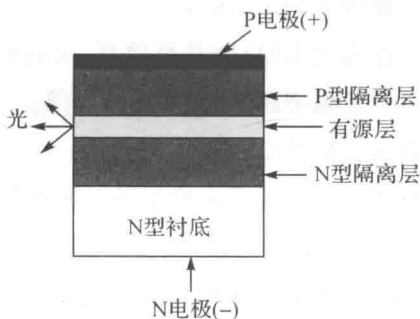


图 1-3 LED 的发光原理

LED 发光的强弱与电流有关,所发出的光的波长(颜色)由组成 P、N 架构的半导体材料的禁带决定。由于硅和锗是间接带隙材料,这些材料在常温下时,其电子与电洞的复合是非辐射跃迁,此类跃迁没有释出光子,而