



高等职业教育“十三五”规划教材

JIYU WULIANWANG JISHU DE
ZHUI ZHAOMING LED SHEJI YU YINGYONG

基于物联网技术的 智慧照明LED设计与应用

主 编 李 露 廖骏杰
副主编 宋露露 姚四改 许红梅



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



高等职业教育“十三五”规划教材

基于物联网技术的 智慧照明 LED 设计与应用

主 编 李 露 廖俊杰
副主编 宋露露 姚四改 许红梅

常州大学图书馆
藏书章



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书结合智慧照明 LED 的实际应用,详细介绍了智慧照明 LED 驱动电路设计与应用、智慧照明 LED 控制系统设计与应用、LED 智慧路灯的设计与应用、城市景观照明的设计与应用、车用 LED 照明设计、LED 显示屏等。书中所有的实例都可以应用在生产中,读者可根据这些电路原理图,结合实际的要求设计出性价比高的产品。本书从实际应用角度出发,题材新颖实用,内容丰富,重视学生实际工作技能训练。书中有些章节后附有实际工作项目的实训题案例,内容难易适中,实践性强。

本书可作为职业院校节能工程、光电子、电子专业师生的教材,也可供电信、信息、航天、汽车、国防及家电等领域从事智慧照明 LED 工程的技术人员、产品推广人员、广告制作及安装人员阅读,还可作为智慧照明 LED 工程应用技术短期培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

基于物联网技术的智慧照明 LED 设计与应用 / 李露, 廖俊杰主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2019. 1
ISBN 978-7-5635-5647-2

I. ①基… II. ①李… ②廖… III. ①智能控制—发光二极管—照明设计—研究 IV. ①TN383.02
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 276504 号

书 名: 基于物联网技术的智慧照明 LED 设计与应用

主 编: 李 露 廖俊杰

责任编辑: 徐振华 王小莹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 11.25

字 数: 291 千字

版 次: 2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-5647-2

定 价: 29.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

智慧城市的发展如火如荼,且物联网的浪潮汹涌澎湃,应用物联网技术打造“智慧城市”成为城市发展的新主题和新动力。基于 LED 技术和物联网技术所构建的照明物联网打造了“灯、网、云”物联网,在智慧城市的规模化物联网应用中占据着举足轻重的地位。编者在高职院校从事了多年的智慧照明 LED 教学和实践工作,认为市面上缺少面向职业教育教学,能将智慧照明 LED 相关知识与实践操作有机地融为一体,注重培养读者的专业能力与解决实际问题的能力的关于智慧照明 LED 设计与应用方面的教材。因此,编者根据目前智慧照明 LED 产业现况,结合自己多年来的教学和工作经验,与相关的老师及工程技术人员合作,共同编写这本智慧 LED 教材。其符合智慧照明 LED 行业岗位的职业技能需求,实用性强,可供职业院校节能工程、光电子、电子专业师生使用,也可供从事 LED 技术研究与应用的技术人员参考及短期培训使用,并配有教学用的 PPT。

本书主编为李露、廖俊杰,副主编为宋露露、姚四改、许红梅。本书在编写过程中,无论是在资料的收集还是技术信息的交流上,都得到了国内外专家学者的大力支持,并参考了国内外的相关资料及文献,在此表示衷心的感谢。

由于成书时间仓促,水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 智慧照明 LED 与物联网	1
1.1 初识 LED	1
1.1.1 LED 发光原理	2
1.1.2 LED 主要参数和特性	4
1.1.3 白光 LED 的实现方法	13
实训题 LED 伏安特性的测试	15
1.2 LED 芯片的基础知识	16
1.2.1 外延片	16
1.2.2 LED 芯片的结构与类型	19
1.2.3 LED 封装技术	20
实训题 识别 LED 器件	30
1.3 智慧照明 LED 与物联网	31
1.3.1 智慧照明基础知识	31
1.3.2 智慧照明 LED 发展史	32
1.3.3 智慧照明国内外的发展现状	33
1.3.4 物联网技术	35
1.3.5 智慧城市	37
实训题 LED 照明光色电综合测试	39
第 2 章 智慧照明 LED 驱动电路设计与应用	41
2.1 智慧照明 LED 驱动电路基础知识	41
2.1.1 智慧照明 LED 的基本特性	41
2.1.2 智慧照明 LED 驱动电路设计的基本要求	42
2.1.3 智慧照明 LED 驱动电路的基本拓扑结构	42
2.1.4 智慧照明 LED 驱动电路的电气要求	43
2.2 智慧照明 LED 恒压源驱动电路设计与应用	44
2.2.1 智慧照明 LED 恒压源驱动电路设计的基本要求	44
2.2.2 智慧照明 LED 恒压源驱动电路分类	44
2.2.3 恒压源驱动电路应用——智慧照明 LED 台灯	50
实训题 智慧照明 LED 台灯设计与制作	54
2.3 智慧照明 LED 恒流源驱动电路设计与应用	57

2.3.1	智慧照明 LED 恒流源驱动电路设计	57
2.3.2	智慧照明 LED 恒流源驱动的外围电路设计	66
2.3.3	恒流源驱动电路应用	71
实训题 1	恒压源驱动的智慧照明 LED 灯制作	73
实训题 2	恒流源驱动的智慧照明 LED 灯制作	74
第 3 章	智慧照明 LED 控制系统设计与应用	76
3.1	智慧照明 LED 控制系统基础知识	76
3.1.1	常见的灯光及照明控制方式	76
3.1.2	智慧照明 LED 控制系统的分类	77
3.1.3	智慧照明 LED 控制系统的组成与基本结构	79
3.2	LED 流水灯控制系统设计与应用	81
3.2.1	LED 流水灯的调光方法	81
3.2.2	LED 流水灯应用实例	82
实训题	七彩 LED 流水灯设计与制作	88
3.3	LED 广告灯控制系统设计与应用	90
3.3.1	LED 广告灯箱	90
3.3.2	LED 发光字	93
3.3.3	LED 柔性霓虹灯	97
3.3.4	LED 彩虹管	99
3.3.5	LED 硬灯条	102
3.3.6	LED 模组	104
实训题	LED 发光字设计与制作	106
第 4 章	智慧照明 LED 应用实例	108
4.1	LED 智慧路灯的设计与应用	109
4.1.1	道路照明的设计	109
4.1.2	LED 智慧路灯的结构及散热方案	112
4.1.3	LED 路灯电源驱动配置	117
4.1.4	LED 智慧路灯技术优势	119
4.1.5	LED 智慧路灯系统的设计	122
4.1.6	LED 智慧路灯应用实例	125
4.1.7	LED 智慧路灯的安装	128
4.2	城市景观照明的设计与应用	129
4.2.1	不同场合的景观照明的设计原则	129
4.2.2	LED 投光灯的结构及应用	131
4.2.3	LED 护栏灯(管)的结构及应用	134
4.2.4	LED 埋地灯的安装及防护	135
4.2.5	LED 草坪灯的结构及应用	137
4.3	车用 LED 照明设计	139

4.3.1 车用 LED 照明技术及现状分析	139
4.3.2 汽车 LED 前照灯	141
4.3.3 汽车 LED 日行灯	145
4.3.4 汽车 LED 尾灯及转向灯驱动设计	147
第 5 章 LED 显示屏	149
5.1 LED 显示屏基础知识	149
5.1.1 LED 显示屏发展史	149
5.1.2 LED 显示屏分类	150
5.1.3 LED 显示屏的特点	152
5.1.4 LED 显示屏的参数	152
5.1.5 LED 显示屏的发光材料	153
5.1.6 LED 显示屏的应用范围	153
5.2 LED 显示屏系统	154
5.2.1 LED 的点阵模块	154
5.2.2 LED 显示屏系统组成	156
5.2.3 LED 显示屏组装	161
5.3 LED 横幅条屏幕	166
5.3.1 LED 横幅条屏幕的基本组成	167
5.3.2 LED 横幅条屏幕的组装	168
参考文献	171

第 1 章 智慧照明 LED 与物联网

本章导读

在能源日益短缺,温室效应越来越严重,国家和地方政府大力号召节能减排、绿色照明的情况下,有效地控制能源消耗、提高路灯寿命、降低维护和管理成本是现代效能型社会建设的目标,也是城市智慧化建设的必然趋势。当前,我国许多城市纷纷把智慧城市的建设提上日程,通过信息通信技术和智慧城市建设来完善城市公共服务和改善城市生活环境,使城市变得更加“智慧”。作为智慧型基础设施,智慧照明是智慧城市建设中重要的组成部分。LED 是智慧照明家族中最为重要的成员,它自 1965 年诞生以来就被认为具有“绿色、节能、环保”等优点。本章将揭示 LED 芯片之谜,包括它为什么能发光,它的内部结构,它是如何封装的,怎样测试 LED 的光学和电学参数等。通过本章的学习,可以对常见的 LED 典型产品、智慧照明基础知识、物联网技术有一定的了解。

本章目标

- 了解 LED 的发光原理;
- 了解 LED 外延片的基本结构;
- 掌握 LED 的主要光学、电学参数;
- 掌握用仪器设备对主要参数进行测试的方法;
- 了解 LED 的主要封装类型和典型产品的应用;
- 了解智慧照明基础知识和物联网技术。

1.1 初识 LED

LED(light emitting diode)可翻译为发光二极管,是一种可以将电能转化为光能的固体器件。它由一个 PN 结组成,具有单向导电性,如图 1.1 所示。LED 在电路中的符号如图 1.2 所示。

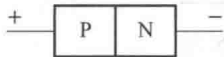


图 1.1 LED 示意图



图 1.2 LED 电路符号

LED 与白炽灯、高压钠灯、荧光灯等常见电光源区别很大。白炽灯属于典型的热辐射型电光源,它的出现标志着人类告别传统的煤油灯时代,但是白炽灯的能耗很大,光电利用率低(一般仅为 6%),而且寿命短,近几年来它已逐渐退出照明市场。高压钠灯属于典型的气体放电电光源,是常见的传统型路灯之一,具有能耗高,光电利用率极高,显色指数小等特点。目前已有相当一部分传统型路灯被 LED 路灯取代。荧光灯属于典型的光致发光型电光源,它的能耗较小,光电利用率较高,其中直管形荧光灯(日光灯)和紧凑型荧光灯(节能灯)在照明市场中所占的份额非常大。LED 是继白炽灯、荧光灯和高强度放电灯之后的第四代新光源——固态冷光源,即利用半导体芯片发光来实现照明。采用这种照明方式的灯的发热量很少,故称之为固态冷光源。另外,LED 还具有节能,光电利用率高,体积小,质量轻,使用寿命超长,坚固耐用,色彩鲜艳丰富,响应速度快,环保等优点,被认为是 21 世纪最有价值的新光源,将取代白炽灯和荧光灯成为照明市场的主流。

LED 从诞生到 2018 年已有 50 多年,按照 LED 产业的重大技术突破的日期可以把这段历程划分为 3 个阶段。第一个阶段称为指示应用阶段,时间从 1965 年到 1979 年。在这个时期,由于受到 LED 的光色、发光效能、光通量、价格等方面的限制,LED 主要应用在指示、显示领域,用于指示灯、警戒灯以及数码管等产品中。第二个阶段称为信号与显示阶段(20 世纪 80 年代至 90 年代)。随着 LED 发光效能的不断提高和价格的逐渐降低,20 世纪 80 年代开发的红光 LED 光效已可以达到 10 lm/W,这使得它开始应用于室外运动信息发布。第三个阶段称为全彩应用及普遍照明阶段(20 世纪 90 年代至 21 世纪)。在这一时期诞生了两种有着非凡意义的 LED 灯,分别是日本科学家中村秀二 1994 年研制的蓝光 LED 和 1997 年研制的白光 LED。从此,LED 全彩广告显示屏开始普及,白光 LED 也开始进入千家万户,替代了传统灯泡。因蓝光 LED 对世界产生了重大贡献,中村秀二获得了 2014 年的诺贝尔物理学奖。

LED 产业不断涌现新技术、新产品、新应用,呈现出欣欣向荣的景象。在 21 世纪的头 10 年中,LED 产业已经得到持续健康的发展,制造厂商不断朝高亮度、全彩色技术方面扩张投资。我国将成为世界 LED 的主要产地之一。应用半导体照明具有明显的节能和环保效果,因此半导体照明产业被认为是一个战略性的高技术产业。

1.1.1 LED 发光原理

请大家思考一下,既然 LED 与普通二极管的核心结构都是 PN 结,那为什么只有 LED 能在电的驱动下发光呢?

先来认识一下普通二极管的 PN 结(如图 1.3 所示)的工作原理。

(1) 普通二极管的 PN 结工作原理

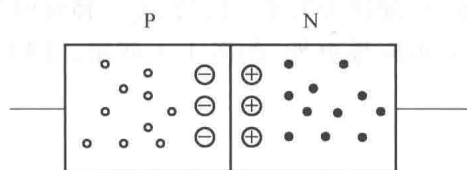


图 1.3 普通二极管的 PN 结

普通二极管的 P 区多空穴,而 N 区多电子,由于空穴和电子的浓度差异向,空穴和电子浓度高的区域会向浓度低的区域扩散。部分电子和空穴在 PN 结附近复合后,剩下数量相等的

带正电和带负电的原子核,这些原子核构成势垒区,它对多子扩散起了阻碍作用。未加外场时,扩散与阻碍扩散的力量在宏观上达到平衡,这时只有少量的电子空穴在势垒区复合。在加了外部的正向电压后,N区电子和P区空穴被外部电压驱赶,顺利进入势垒区,进行随机复合。随机复合虽然会释放能量,但是仅以热能的形式辐射出来。普通二极管的工作能级如图1.4所示。

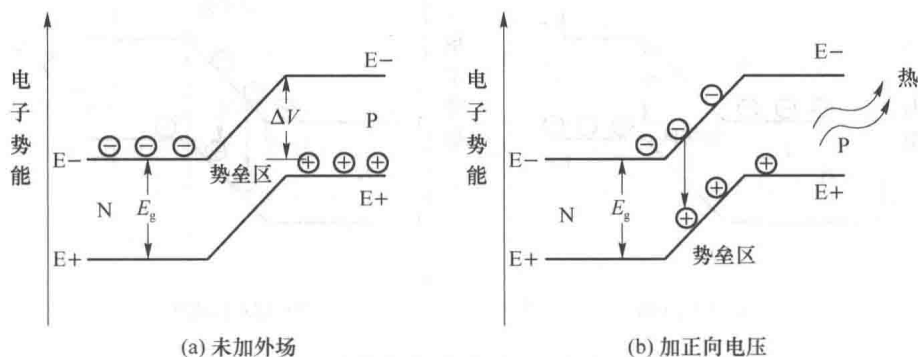


图 1.4 普通二极管的工作能级

小提示

图 1.4 所示的工作能级适用于所有具有 PN 结结构的半导体器件。P 区和 N 区的能级结构是一样的,下方是价带能级,用符合 $E+$ 表示,上方是导带能级,用符号 $E-$ 表示,导带和价带之间是没有能级存在的,这个区间称为禁带,禁带宽度用 E_g 表示。 E_g 的大小由半导体材料的种类决定。

(2) LED 发光原理

LED 的基本层次结构如图 1.5 所示,最下面是底层,也称为衬底,衬底上面有一个 PN 结。比较特殊的是,LED 的 P 区和 N 区之间夹着量子阱层,这恰好是芯片的发光区,因此说明 LED 芯片发光和量子阱层是密切相关的。那 LED 的层次结构是不是就是这么简单呢?其实不是的,它的层次细分可达 20 至 30 层,这将在 1.2 节的外延片部分详细介绍。

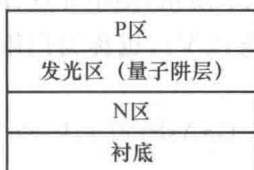


图 1.5 LED 的基本层次结构

量子阱 (quantum well) 的特殊性在于它能捕获经过的电子和空穴。它是由两种不同的半导体材料相间排列而形成的,具有明显量子限制效应。

LED 芯片层次复杂,一些复合型层次能够在芯片中形成量子阱结构。量子阱相当于很深的能级,能够捕获经过的电子和空穴。所以,量子阱等效于一个复合中心,能够使捕获的电子和空穴在量子阱里完成高效率的复合,这种持续高效的复合将释放出大量的能量,也就是光能。

图 1.6(a)表示的是,在未加外场时,势垒作用阻止了 N 区电子和 P 区空穴进入量子阱区域,所以只有极少量的电子和空穴复合,LED 不能持续发光。图 1.6(b)表示的是,在加了外部的正向电压后,N 区电子和 P 区空穴被外部电压驱赶,顺利进入量子阱区域,并且进行了大规模的高效复合,从而使得 LED 能够持续发光。上述就是 LED 芯片的发光原理。

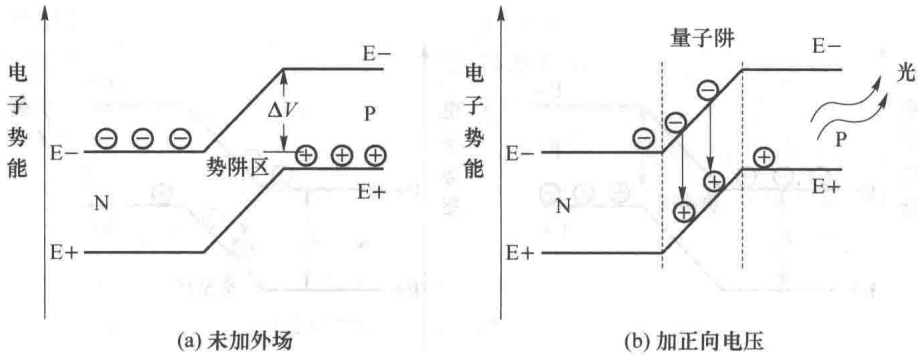


图 1.6 LED 的发光能级

1.1.2 LED 主要参数和特性

LED 体积小,光束窄,亮度高等特点,决定了其指标检测的特殊性。为了应对这个问题,国际照明委员会(CIE)分别成立了“TC2-45 LED 测量”和“TC2-46 CIE/ISO LED 强度测量标准”两个技术委员会。CIE TC2-34 小组于 1997 年 10 月在维也纳总部召开会议,制定了 CIE 127—1997 LED 测量标准。该测量标准涉及 LED 辐射度、光度和色度测量,把测试 LED 强度确定为测试 LED 的平均强度,并且规定了统一的测试结构和探测器大小,为 LED 的准确测试奠定了基础。虽然 CIE 127—1997 测试方法并非国际标准,但它容易实施,测试比对准确。世界上许多企业已采用它。不同的企业所关注的测量指标不一样,从光学性能来看,显示类 LED 企业更关注亮度、视角分布、颜色等;照明类 LED 企业更注重光通量、光束的空间分布、颜色、显色特性等;生物应用类 LED 企业更关心有效辐射功率、有效辐射照度等。

(1) LED 的电学指标

LED 工作的伏安特性曲线如图 1.7 所示,图中 a 点、b 点、c 点、d 点的说明如下。

图 1.7 中的 a 点是 LED 的开启电压 V_T ,也称为门限电压、阈值电压。不同材料的 LED 的开启电压是不同的。

例如,对于 GaAs, $V_T \approx 1 \text{ V}$;对于 GaAsP(红), $V_T \approx 1.2 \text{ V}$;对于 GaP, $V_T \approx 1.8 \text{ V}$;对于 GaN, $V_T \approx 2.5 \text{ V}$ 。

图 1.7 中的 b 点是 LED 正常发光时的工作点,此点所对应的电流为正向工作电流 I_F ,所对应的电压为正向工作电压 V_F 。不同功率的 LED 的正向电流和正向电压有较大的区别。

例如,对于普通 LED 管, $I_F = 20 \text{ mA}$;对于大功率 LED 白光管, $I_F = 350 \text{ mA}$;对于一般小功率彩色 LED, $V_F \approx 1.5 \sim 2.8 \text{ V}$;对于瓦级白光 LED, $V_F \approx 3 \sim 4 \text{ V}$ 。

小提示

I_F 通常为LED最大工作电流的60%。如果电流超过最大工作电流,则在LED亮度增加的同时,温度会迅速攀升,最终导致亮度的饱和。所以,LED电路中一般要串联一个限流电阻。

图1.7中的c点是LED的反向特性点,此点所对应的电压 V_R 为-5V,此点所对应的电流为反向电流 I_R ,即当反向电压 $V_R=-5V$ 时测得的电流值。 I_R 不随 V_R 的变化而改变,故又称反向饱和电流,其值越小越好,一般控制在 $3\mu A$ 以下。

图1.7中的d点是LED击穿的临界点,此点所对应的电压 V_B 为LED反向击穿电压。LED反向击穿电压一般小于10V,最大不超过20V。不同材料的LED击穿电压是不同的。例如,对于GaN, $V_B=7V$;对于AlInGaP, $V_B=20V$ 。

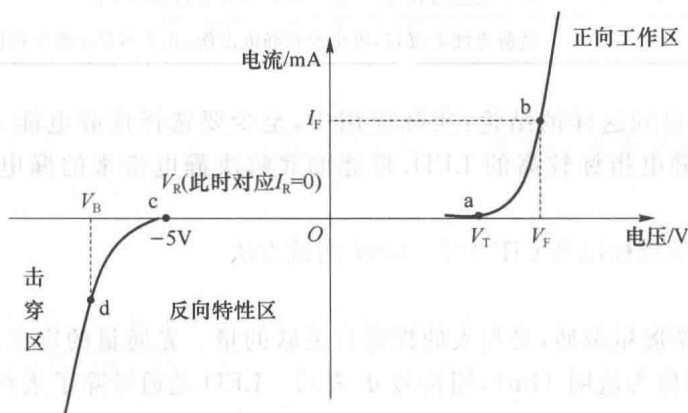


图1.7 LED工作的伏安特性曲线

除了以上的基本电学参数,LED还有两个非常重要的电学参数,那就是电容和抗静电能力。

首先来了解电容,电容 C 和LED的响应时间息息相关,LED汽车灯制造商和LED显示屏制造商对其尤为关注。它的测量很简单,在规定的正向偏压和频率下,用电容仪测量LED两端的电容即可。

小提示

LED的电容随着芯片的尺寸和封装结构的不同而不同。有的LED的电容远远小于 1 pF ,有的则在 100 pF 以上。当LED作为显示器的发光单元时,LED的电容会直接影响其在电路的频率响应,所以要对各个LED的电容差异规定一个范围,以便统一开关时间。

再来看抗静电能力这个指标。以PN结结构为主的LED在制造、筛选、测试、包装、储运及安装使用等环节中,难免会受静电感应的影响而产生感应电荷。若感应电荷得不到及时释放,LED的两个电极上将形成较高电压并将直接加在LED芯片的PN结两端。当电压超过LED的最大承受值后,静电电荷将以极短的瞬间(纳秒级别)在LED芯片的两个电极之间进行放电,产生热量(以焦耳为单位)。这些热量使LED芯片内部的导电层、发光层形成局部高温区,从而造成漏电以及短路的现象。

根据台湾卓越系列 LED 抗静电测试仪的实测数据和国际静电协会标准中的电压等级分类,可以对 LED 抗静电能力做如下划分,如表 1.1 所示。

表 1.1 LED 抗静电能力等级表

等级	抗静电能力范围	描述	
0 级	<250 V	抗静电能力非常差,很容易受到静电击伤,死灯情况是无法控制的,一般环境下不具备抗静电能力	
1 级	1A 级	250~500 V	抗静电能力非常差,很容易受到静电击伤,死灯情况经常出现,一般环境下几乎不具备抗静电能力
	1B 级	500~1 000 V	抗静电能力较差,可能会受到静电击伤,死灯情况偶然出现,抗静电能力不强
	1C 级	1 000~2 000 V	抗静电能力一般,不易受到静电击伤,较强的一些静电会损伤到这类 LED
2 级	2 000~4 000 V	抗静电能力较好,一般环境下不易受到静电击伤	
3 级	3A 级	4 000~8 000 V	抗静电能力较好,一般环境下不易受到静电击伤
	3B 级	>8 000 V	抗静电能力很好,很难受到静电击伤,几乎不存在静电损伤的可能

从表 1.1 可以得到这样的结论:实际应用中,至少要选择抗静电能力为 2 级及以上的 LED。只有选用抗静电指标较高的 LED,将能彻底解决静电带来的漏电、死灯等质量事故问题。

(2) LED 的光学指标以及 CIE 127-1997 测试方法

① 光通量 Φ_v

光通量属于光学度量范畴,是与人的视觉有关联的量。光通量的定义是光源在单位时间内发出的总光量,单位为流明 (lm),用符号 Φ 表示。LED 光通量除了表征 LED 输出的总辐射光功率外,还蕴含着人眼视觉信息。它标志着器件性能的优劣。

LED 光通量的测试工具叫作积分球,结构如图 1.8 所示。积分球是一个中空的完整球壳。它的内壁涂的白色漫反射层,且内壁各点漫射均匀。积分球中间有一个漫射屏,可以挡住光源光线,避免光线直射到探测器上。光在积分球壁上经过多次漫反射后,在球壁上任意一点产生的光照均匀。这时,通过连在探测器上的仪表直接读数即可,光通量是由许多条漫反射光线的光照叠加而成的结果。

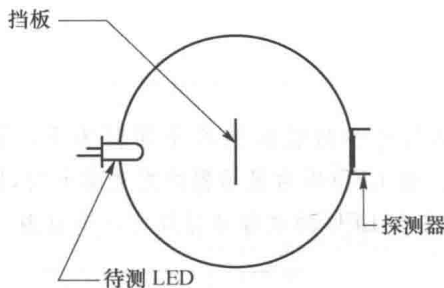


图 1.8 积分球结构

② 发光效率

LED 的发光效率即 LED 的光电转换效率,用式(1.1)表示,式中 η 表征了光源的节能特性,是 LED 的一个重要指标。

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{\Phi}{V_F \times I_F} \quad (1.1)$$

其中, V_F 为正向工作电压; I_F 为正向工作电流; Φ 为光通量; P 为 LED 的功率。

LED 的发光效率的测量也需要用到积分球, 测量接线图如图 1.9 所示。

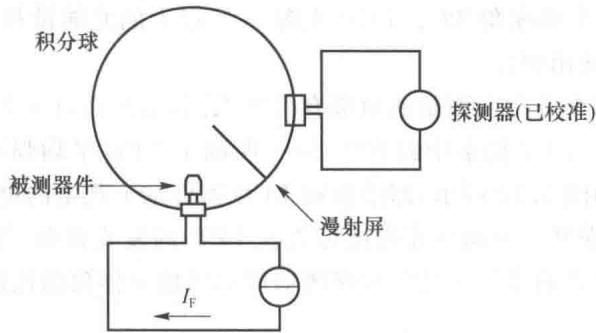


图 1.9 LED 的发光效率测量接线图

测量步骤:

被测量器件放在积分球入口处, 不要让光线直接到达探测器, 给被测器件施加规定的正向电流 I_F , 辐射探测系统测量出辐射通量, 将辐射通量数值除以正向电流 I_F 和正向电压 V_F 的乘积值即为辐射效率。这种测量方法就是 CIE 127—1997 标准中的 2004 测量方法。

③ 发光强度

LED 的发光强度是指光源在给定方向上, 单位立体角内辐射的光通量, 单位为坎德拉 (cd)。LED 的发光强度大小和测量方向有直接联系。图 1.10 为在 l 方向上的发光强度示意图, 单位立体角的大小即该方向上的发光强度大小。由于 LED 的封装多用到圆柱、圆球封装, 因此 LED 多数情况下位于法向方向的发光强度最大, 当测量方向角度 θ 发生变化时, 发光强度也会随之变化。

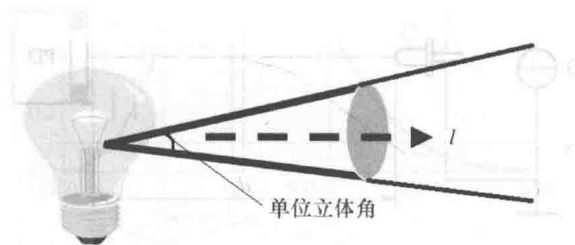


图 1.10 发光强度示意图

小提示

空间立体角为一种三维锥角, 度量单位称为“立体弧度”(sr)。闭合球面对应的空间立体角的大小是 4π , 大家可以想象一下单位立体角的大小。

在各个不同的方位上测量光源发光强度的大小, 可得到一系列不同的发光强度。方位和发光强度之间的对应关系可以在极坐标中绘制, 绘制出来的曲线称为发光强度的空间分布曲线或者配光曲线。配光曲线是一种非常重要的光源特性曲线。由配光曲线可以清楚地知道灯具的照射范围、照射方向等。图 1.11 就是一条比较典型的配光曲线, 光源位于原点处, 光源法

线方向即 0° 方向。这个光源的配光曲线是一个椭圆，在原点与轨迹上其他点的连线中，长轴是最长的一条线段，且正好是光源法线方向，这代表 0° 方向的发光强度是最大的，越偏离法线方向，发光强度越小， 90° 方向的光强衰减为 0。最大发光强度的方向与法线之间的夹角定义为偏差角 $\Delta\theta$ ，图 1.11 的偏差角是 0° ；当发光强度降为最大发光强度的一半时，两条线段 OA 和 OB 之间的夹角就是半强度角 $2\theta_{\frac{1}{2}}$ 。LED 光源 90% 以上的光能量都集中在半强度角内，故半强度角就是 LED 的光出射角。

光源发光强度在每个方位上测量的值都有可能不同，那么能用一个数值来表征 LED 光源的光强弱吗？CIE 127-1997 标准中的方法 2001 明确了 LED 平均强度测试标准，LED 平均发光强度测试接线图如图 1.12 所示，即给被测 LED 器件加上规定的电流，在光度测量系统中测量平均的 LED 发光强度。平均发光强度可表征 LED 的发光强弱，等于照射在离光源一定距离处的光探测器上的光通量与由光源和探测器所构成的立体角的比值。

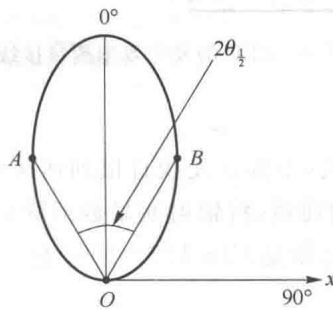


图 1.11 典型的配光曲线

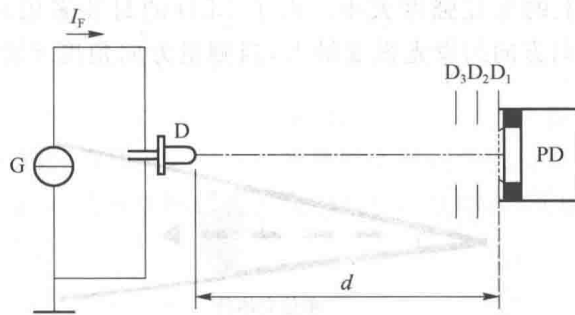


图 1.12 LED 平均发光强度测试接线图

D—被测 LED 器件；G—电流源； D_1 、 D_2 、 D_3 —消除杂散光光阑；PD—光度探测器； d —被测 LED 器件与光阑 D_1 之间的距离。

被测 LED 器件与光阑 D_1 之间的距离有两种取值标准，如表 1.2 所示。

表 1.2 测试距离的两种取值标准

选择条件	距离/mm
光源尺寸和光探测器的面积与离光探测器的距离相比足够小	316
光源尺寸较大或者探测器表面构成的张角较大	100

测量配光曲线，确定偏差角、半强度角可按照 CIE 127-1997 标准中的方法 2002 进行连线测试，如图 1.13 所示。

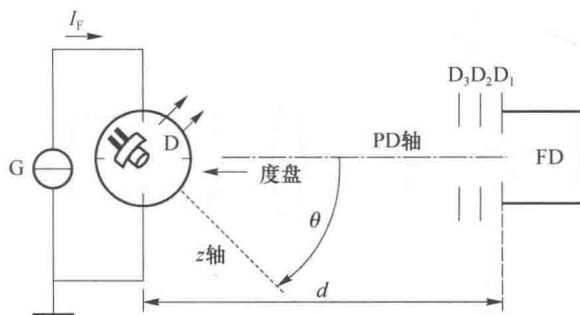


图 1.13 测量偏差角、半强度角

被测 LED 定位在度盘上,度盘有足够的角度刻度精度,能测量关于水平轴的旋转角,距离 d 应设置为 CIE 标准条件 A 或 B。

测量步骤:

- 给被测器件加上规定的工作电流。调整被测器件 D 的机械轴与光探测器轴重合,即 $\theta=0$, 测量光探测器的信号,把这个值设置为 $I_0=100\%$;
- 从 $0^\circ\sim\pm 90^\circ$ 旋转度盘,光电测量系统测量各个角度时的发光强度值,得到相对强度 I/I_0 与 θ 之间的关系,优先采用极坐标图来表示。

④ LED 的光谱功率分布特性曲线

LED 辐射强度或辐射功率输出随着波长变化而变化,这可绘成一条分布曲线——光谱功率(强度)分布特性曲线,如图 1.14 所示。

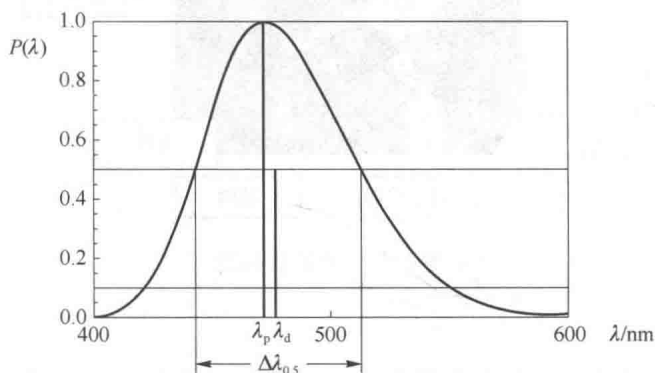


图 1.14 光谱的功率分布特性曲线

由图 1.14 可见,无论什么材料制成的 LED,都有一个相对光强度最强或者光功率输出最大处,与之相对应的波长叫峰值波长,用 λ_p 表示,这个数值可以由光谱仪测量得到。有些 LED 甚至有多个峰值。而图 1.14 中的 λ_d 称为主波长。任何一个 LED 发出的光肯定是非单色光,是由不同波长成分组成。但人眼却察觉不出这种非单色性,所以在观察过程中会给 LED 光源确定一个具体颜色,这个颜色所对应的波长就是光源主波长。

测量光谱功率(强度)分布特性曲线、光谱辐射带宽以及峰值波长可按照 CIE 127—1997 标准中的方法 2004 进行连线测试,如图 1.15 所示。

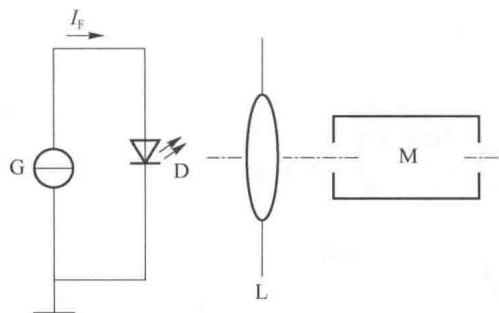


图 1.15 峰值波长、光谱辐射带宽和
光谱功率分布特性曲线测试框

D—被测 LED 器件；L—聚焦透镜系统；G—电流源（直流或脉冲）；M—光谱仪。

光谱仪构造如图 1.16 所示。

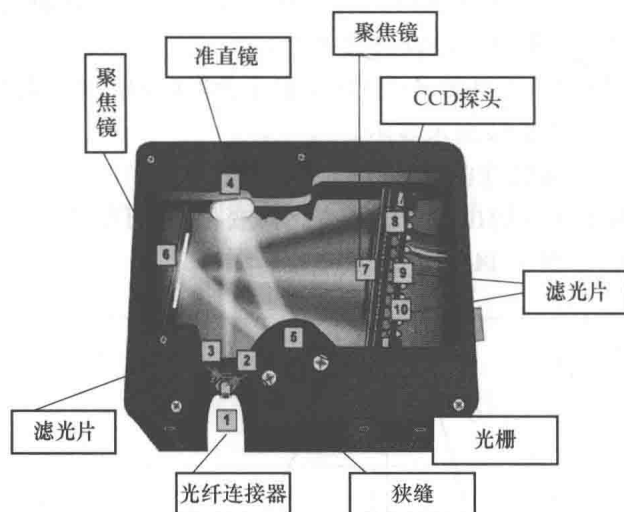


图 1.16 光谱仪构造

测量步骤：

CCD 探头传送出的数据的最大值所对应的波长就是峰值波长 λ_p ，然后调整光仪的波长为 $\frac{1}{2}\lambda_p$ ，获得相对应的波长为 λ_1 和 λ_2 ，两者之差就是光谱辐射带宽 $\Delta\lambda_{0.5}$ 。按照要求的波长间隔分别测量记录每个波长时的光谱功率数值，即为光谱功率分布。

(3) LED 光源颜色评价

LED 器件的光辐射和自然界的所有颜色一样都会对人眼产生视觉刺激，为避免评价的主观性，必须用物理的方法对颜色进行计量。光源颜色有 3 种指标来具体衡量，分别是色调、饱和度、明度。

① 色调

色调表示颜色相互区分的属性。可见光谱中不同波长的光辐射在视觉上表现为不同的色调，如红、绿、蓝和黄等。光源的色调取决于人眼对其产生的感觉，即由主波长决定。