



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

新能源照明技术

主编 李姿景



强调素质教育，以技能培养为本位
突破传统思路，以案例应用为驱动
遥指就业需求，以国家政策为导向



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TU113.6
121

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

新能源照明技术

主 编 李姿景

副主编 乐丽琴 李文方 贺素霞

参 编 李海霞 司小平

主 审 陈嘉义



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书从LED、OLED等新光源与太阳能、风能等新能源相结合应用的角度,系统介绍了新光源、新能源系统中的关键技术问题。全书共分为8章,重点讲解LED、OLED等半导体照明光源的发光机理、性能参数、测试方法,LED交流驱动电路及保护电路,太阳能光伏发电系统组成,太阳能光伏蓄电池储能技术,风力发电与控制技术等相关内容,并在读者充分掌握了新光源、新能源的基础知识与关键技术的基础上,专门设置一个综合应用实例的章节,通过对设计案例的分析与讲解,使读者进一步领会新光源、新能源结合应用设计过程中的设计思路、设计方法。

本书每章教学目标、教学要求明确,且均用引例开篇,先启发读者从应用的角度来思考问题,然后引入到技术层面的知识讲解。并且为了满足读者更广阔的知识需求,每章节都设有“推荐阅读资料”一栏。本书可作为理工科高等院校光电专业、新能源专业(包括太阳能方向、光伏材料方向、风能与动力工程方向、绿色照明技术方向等)、电子信息技术的教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

新能源照明技术/李姿景主编.—北京:北京大学出版社,2013.9

(21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-23123-4

I. ①新… II. ①李… III. ①新能源—照明技术—高等学校—教材 IV. ①TU113.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第207107号

书 名: 新能源照明技术

著作责任者: 李姿景 主编

策划编辑: 程志强

责任编辑: 程志强

标准书号: ISBN 978-7-301-23123-4/TK·0006

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 邮编: 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 三河市博文印刷厂

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 16.25印张 375千字

2013年9月第1版 2013年9月第1次印刷

定 价: 33.00元

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

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

“新能源照明技术”是光电专业、新能源专业(包括太阳能方向、光伏材料方向、风能与动力工程方向、绿色照明技术方向等)、信息技术专业的一门专业基础课程。21 世纪人类面临着环境和可持续发展的双重问题。能源问题已经关系到世界各国经济社会可持续发展的全局。我国对新能源技术非常重视,正努力建立以资源无限、清洁干净的可再生能源为主的多样化、复合型的能源结构,走与生态环境和谐发展的绿色能源之路,从而达到经济社会的可持续发展目标。太阳能、风能等可再生能源具有分布广、利用潜力大、环境污染小和可永续利用等特点,具有很大的潜质,是人们重点的开发应用对象。与此同时,LED 又因其具有发光效率高、耗电量小、寿命长、体积小等优点,被认为是继白炽灯、荧光灯之后照明光源的又一次革命,而新能源与 LED、OLED 的结合应用成为很多专家学者的研究对象。

因此,为了满足高校学生及相关从业人员对新能源应用技术方面知识的渴望与期待,本书的写作团队想通过编写教材这一途径,把 6 年来在此领域的科研和教学经历所得的知识和经验写出来,分享给大家,也为社会做一点贡献。本书的特色主要体现在以下几个方面。

(1) 以综合素质教育为基础,以技能培养为本位。从“新能源应用技术”的教学实际需要出发,反映技能教育的特点和要求,体现“学历教育与专业技能教育”相结合的教育理念,既满足了提高学生专业综合素质的要求,又体现了专业能力的要求和内涵。

(2) 突破传统专业教材编写思路与形式。主要采用“以问题为纲”“以科研项目为驱动”的方法对新能源发电技术及 LED 应用进行讲解说明。例如,每章均用引例开篇,启发学生从应用的角度来思考问题,然后引入到技术层面的知识讲解,并且通过教学目标和教学要求先明确每章的能力要求和相关知识点,再有目的性地去阅读,这样有利于知识的吸收和消化。另外,为了满足大家更广阔的知识需求,每章节都设有“推荐阅读资料”一栏。

(3) 以学历教育为基础,充分考虑学生就业需要。介绍大量新能源与 LED 应用技术相结合的实例分析,体现了新能源开发应用与 LED 绿色照明的鲜明特点,整体符合国家节能减排的政策,具有一定的科学性与先进性。

本书共分为 8 章,均设有一定量的习题,且前 7 章设有“本章小结”以便学习者巩固所学知识,并达到提示要点的目的。本书第 1~4 章分别介绍了 LED、OLED 固体照明技术、LED 驱动电路及 LED 交流驱动器开关电源保护电路等相关知识,第 5~7 章主要介绍太阳能光伏发电技术、储能技术、风能发电与控制技术,第 8 章主要介绍一些新能源与 LED 应用技术相结合的实例分析,体现了新能源开发应用与 LED 绿色照明的鲜明特点。本书编写人员具体分工为:第 1 章由贺素霞、李海霞编写,第 2 章由贺素霞编写,第 3 章由李



文方、李姿景、贺素霞编写，第4章由李文方编写，第5章由李姿景编写，第6、7章由李姿景、司小平编写，第8章由乐丽琴、李海霞编写。全书由李姿景统稿。

本书承蒙陈嘉义主审，陈老师毕业于西安交通大学无线电工程系自动控制专业，先后在北京中国科学院新技术局156工程处从事空间计算机研制，在中国船舶工业总公司郑州713研究所从事红外激光制导研究工作，担任该项目组组长，现在我校从事教学科研工作，有丰富的实践经验。他对此书提出了宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的感谢！

本书在编写过程中参考并引用了同行和一些企业的文献资料，在此表示衷心的感谢！由于新能源、半导体照明技术知识新、更新快，且作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请批评指正。

编者

2013年4月10日于郑州

本书在编写过程中参考并引用了同行和一些企业的文献资料，在此表示衷心的感谢！由于新能源、半导体照明技术知识新、更新快，且作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请批评指正。

目 录

第 1 章 LED 固体照明技术..... 1	2.2 LED 驱动电路设计45
1.1 LED 照明知识概述..... 4	2.2.1 LED 驱动电路拓扑结构 45
1.1.1 电光源 4	2.2.2 电容降压式 LED 驱动器 46
1.1.2 LED 照明技术..... 5	2.3 DC-DC 变换器.....48
1.1.3 LED 研发技术关键..... 7	2.3.1 非隔离开关变换器 48
1.2 LED 基础知识..... 8	2.3.2 隔离式 DC/DC 变换电路..... 50
1.2.1 LED 的工作原理、特性及性能指标 8	本章小结55
1.2.2 LED 的主要参数特性..... 9	习题55
1.2.3 LED 的分类..... 13	第 3 章 交流驱动 LED 电路设计56
1.2.4 白光 LED 技术进展..... 14	3.1 交流驱动 LED 电路设计性能要求59
1.3 LED 的封装..... 15	3.2 电路模块化设计相关技术61
1.3.1 LED 封装的特殊性..... 15	3.2.1 输入 EMI 滤波电路设计 61
1.3.2 LED 封装材料..... 16	3.2.2 整流技术 62
1.3.3 LED 封装结构的类型..... 16	3.2.3 功率因数校正技术 63
1.3.4 引脚式封装技术 16	3.3 功率因数校正电路65
1.3.5 表面贴装封装技术 17	3.3.1 无源 PFC 电路 65
1.3.6 延长白光 LED 使用寿命的探索 18	3.3.2 改进型无源 PFC 电路 66
1.4 LED 的检测..... 19	3.3.3 APFC 的工作原理及分类 68
1.5 OLED 技术特点 21	3.4 150W HB-LED 大功率驱动电路设计举例70
1.6 OLED 发光原理及其结构 25	3.4.1 系统拓扑结构设计 71
1.7 白光 OLED 的制备方法 27	3.4.2 电路模块化设计思路的实现方法 72
1.8 OLED 性能参数 29	3.4.3 PFC 电路的参数分析及计算 75
1.9 OLED 驱动电源 32	3.4.4 PFC 主电路参数的设计 80
本章小结..... 37	3.4.5 LLC 谐振电路的原理及参数设计 82
习题..... 37	3.4.6 高频变压器设计 92
第 2 章 LED 驱动电路 39	3.4.7 PFC+LLC+CV、CC 拓扑结构特点与整体电路 97
2.1 LED 驱动电路基础..... 41	
2.1.1 LED 驱动方案..... 41	
2.1.2 LEDA 与驱动器的匹配..... 43	



本章小结.....	98	5.4.2 逆变器的工作原理.....	158
习题.....	99	5.5 太阳能发电在工程中应用举例及 生产厂家.....	164
第4章 交流驱动器开关电源保护 电路的设计.....	100	本章小结.....	165
4.1 过流保护电路.....	103	习题.....	165
4.2 过压保护电路.....	105	第6章 太阳能光伏发电储能装置.....	167
4.3 组合保护电路.....	108	6.1 蓄电池种类和作用及要求.....	169
4.4 功率驱动电路设计.....	110	6.2 蓄电池组成和电特性.....	170
4.5 开关管及其主要元件选择.....	112	6.3 充电和放电时的管理.....	175
4.6 开关电源其他主要元件选择.....	113	6.4 蓄电池的寿命及其影响因素.....	177
4.7 基于PT4107的LED驱动电路设计 举例.....	117	6.5 光伏系统中充电控制的特殊性.....	178
本章小结.....	120	6.6 独立太阳能光伏电站蓄电池容量的 计算方法.....	179
习题.....	120	本章小结.....	180
第5章 太阳能光伏发电.....	122	习题.....	181
5.1 太阳能发电系统.....	126	第7章 风力发电与控制技术.....	182
5.1.1 太阳能在能源结构中的 地位和特点.....	126	7.1 风能的利用.....	185
5.1.2 太阳能利用途径及太阳能 发展状况.....	128	7.2 风力发电技术概述.....	188
5.1.3 太阳能发电系统的分类及 组成.....	131	7.2.1 风力发电机组的构成.....	188
5.2 太阳能电池.....	136	7.2.2 风能转换原理与风力机的 基本特性.....	191
5.2.1 太阳能电池的发电原理、 分类.....	136	7.2.3 风力发电机的分类.....	196
5.2.2 太阳能电池组件.....	137	7.3 风力发电应用举例.....	201
5.2.3 太阳能电池的等效电路及 性能参数.....	139	本章小结.....	206
5.3 太阳能控制器.....	145	习题.....	206
5.3.1 充放电控制器的基本类型及 工作原理.....	145	第8章 LED照明驱动电路设计 实例.....	208
5.3.2 最大功率点跟踪控制.....	150	案例一：太阳能LED路灯设计中太阳能 电池板及蓄电池容量的计算.....	209
5.4 太阳能逆变器.....	155	案例二：基于UC3906的太阳能LED路灯 蓄电池充电电路设计.....	211
5.4.1 光伏发电系统逆变器的 概念及主要技术指标.....	155	案例三：太阳能电源低压钠灯智能 控制器的设计.....	215

案例四：基于 AVR128 单片机的太阳能 大功率 LED 路灯的设计.....	219	案例七：光电互补的 LED 路灯控制 系统的设计.....	229
案例五：太阳能风能互补通讯基站智能 管理电源电路设计.....	222	案例八：太阳能 LED 路灯控制器电路 设计.....	234
案例六：分布式风光互补电源的能量管理 策略研究.....	225	习题.....	246
		参考文献.....	247

第 1 章

LED 固体照明技术



教学目标

- 了解 LED 照明的基础知识;
- 掌握 LED 的工作原理及主要性能指标;
- 初步了解 LED 的封装和检测的相关知识;
- 熟悉 LED 的使用注意事项;
- 了解 LED 固体照明技术的其他相关知识;
- 掌握 OLED 用于照明光源和显示器的技术特点;
- 掌握 OLED 的发光性能指标和电学性能指标;
- 掌握 OLED 的驱动电源设计方法;
- 了解 OLED 的发光原理及其结构特点。



教学要求

知识要点	能力要求	相关知识点
LED 基础知识	(1) 了解电光源及照明技术 (2) 了解 LED 研发技术关键 (3) 掌握 LED 的工作原理、特性及性能指标 (4) 了解 LED 的分类和技术进展	LED 的发光原理, LED 的电学特性, LED 的光学特性, LED 的热学特性及发光质量
LED 的封装	(1) 了解 LED 的封装材料及结构类型 (2) 了解引脚封装技术及表面贴片技术	
LED 的检测	(1) 了解 LED 技术参数及测量应注意的问题 (2) 了解大功率 LED 的测试问题	LED 的测量标准, 光度测量传感器的光谱响应, LED 测量的方向性
LED 的使用注意事项	熟悉 LED 的使用注意事项	
OLED 的技术特点	掌握 OLED 用于照明光源和显示器的技术特点	
OLED 的发光原理及其结构	了解 OLED 的发光原理及其结构特点	OLED 的发光原理及结构



知识要点	能力要求	相关知识点
白光 OLED 的制备方法	(1) 了解白光 OLED 的分类 (2) 了解白光 OLED 的制备方法	
OLED 的性能参数	掌握 OLED 的发光性能指标和电学性能指标	OLED 的发光性能指标和电学性能指标
OLED 驱动电源	(1) 掌握 OLED 的驱动电源设计方法 (2) 查阅资料, 了解 OLED 的驱动电源 IC 类别及功能	



推荐阅读资料

- [1] 陈大华, 刘洋. 绿色照明 LED 实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [2] 陈超中, 施晓红. LED 灯具标准体系建设研究[J]. 照明工程学报, 2009, 8.
- [3] 陈金鑫. OLED 有机电致发光材料与器件[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.



引例

案例一: 固态照明——照明技术的革命!

LED(Light Emitting Diode)即发光二极管, LED 的核心是一个半导体的晶片, 晶片附在一个支架上, 一端是负极, 另一端连接电源的正极, 使整个晶片被环氧树脂封装起来。图 1.1 为几种常用的 LED 灯。

LED 改变传统发光方式, 将电能直接转化为可见光的固态半导体, 已成为光世界的创新, 对人类来说是必不可少的绿色技术光革命, 越来越多地应用在人类照明的各个方面。目前世界各国越来越重视照明节能及环保问题, 作为一种新型的节能、环保的绿色光源产品, LED 技术代表了未来照明产业发展的趋势。

作为半导体光电器件“高新尖”技术的代表, LED 产品将不断突破科学纪录, 达到光效更高, 功率更大, 体积更小, 光谱更纯, 以及控制更智能化的行业目标。随着 LED 技术的日渐成熟, 制造成本呈逐年下降的趋势。在不久的将来, LED 照明将全方位取代传统照明, 给每一个人的工作和生活带来革命性的改变。

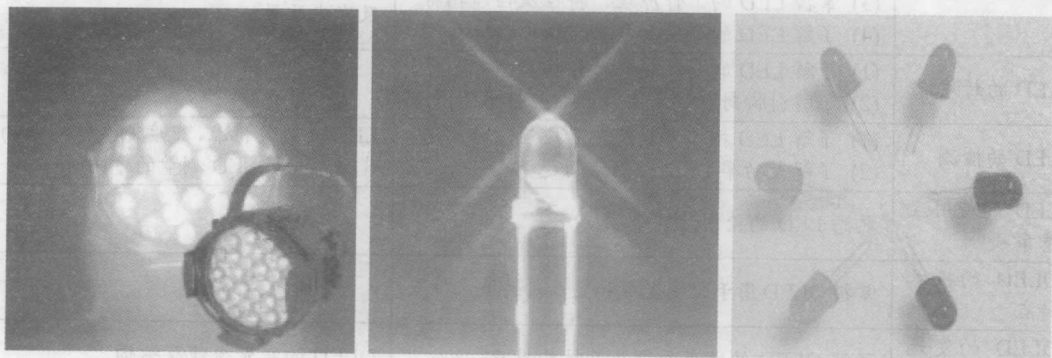


图 1.1 各种形式的 LED 灯



图 1.1 各种形式的 LED 灯(续)

案例二：摘自《光科太阳能》专业研发生产太阳能系列产品说明。

广东光科太阳能有限公司生产的 GK-600 系列、GK-700 系列风光互补系列路灯的光通量、色温等相关参数见表 1-1，从中可以了解到 LED 太阳能路灯的主要参数。

表 1-1 广东光科太阳能有限公司生产的风光互补系列路灯的相关参数

高度	5~8m			
光源类型及功率	LED15W	LED20W	LED30W	LED40W
光通量/LM	≥1500	≥2000	≥3000	≥4000
色温/K	2700~6000	2700~6000	2700~6000	2700~6000
风机类型及功率	水平轴/垂直轴 100horizontal axis/vertical axis65W	水平轴/垂直轴 200horizontal axis/vertical axis65W	水平轴/垂直轴 300horizontal axis/vertical axis65W	
电池电压及容量	12V65AH	12V100AH	12V150AH	24V120AH
照明时间/(h/天)	8~10	8~10	8~10	8~10
抗震等级	>8 级	>8 级	>8 级	>8 级
抗风等级	≥40m/min	≥40m/min	≥40m/min	≥40m/min
建议安装距离	12~18m	18~23m	18~28m	20~30m

案例三：摘自 <http://www.OLEDW.com> 的一则报道。

1 月的美国拉斯维加斯 CES 上，几大厂商纷纷展出 OLED 电视产品。因此，业界广泛认为 2013 年为 OLED 电视元年，DisplaySearch 预测 2013 年 OLED 电视市场规模为 295745000 美金。

根据 DisplaySearch 预测，从 2014 年开始 OLED 电视市场规模将大幅度增大，每年几乎都有 40% 以上增长率。

2018 年时，整个 OLED 电视市场规模将达到百亿美元水平，这意味着以 2013 年的市场规模计算，随后 5 年 OLED 电视市场规模将净增 30 余倍。



引言

传统的照明技术发光效率低、耗电量大、使用寿命短,光线中含有大量的紫外线、红外线辐射,照明灯具一般是交流驱动,不可避免地产生频闪而损害人的视力,普通节能灯的电子镇流器会产生电磁干扰,且荧光灯含有大量的汞和铅等重金属,因无法全部回收而造成环境污染等问题。现代生产和生活的发展迫切需要一种高效节能、无污染、无公害的绿色照明技术取代传统照明技术。近年来,经过科学家的技术攻关,一种新型光源技术——LED照明技术正在趋于成熟,并开始投入生产,走向市场。

与其他照明光源相比,以平面发光为特点的 OLED 具有更容易实现白光、超薄光源和任意形状光源的优点,同时具有高效、环保、安全等优势。因此,白光 OLED 作为一种新型的固态光源,在照明和平板显示背光源等方面展示了良好的应用前景,越来越受到人们的关注,已经成为一个照明新宠,备受瞩目,且被应用到越来越广泛的领域(由案例二和案例三可知)。

1.1 LED 照明知识概述

1.1.1 电光源

凡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、器具统称为光源;而其中可以将电能转换为光能,从而提供光通量的设备、器具则称为电光源。

人类对电光源的研究始于 18 世纪末。19 世纪初,英国的 H·戴维发明了碳弧灯。1879 年,美国的爱迪生发明了具有实用价值的碳丝白炽灯,使人类从漫长的火光照明进入电气照明时代。1907 年采用拉制的钨丝作为白炽体。1912 年,美国的朗缪尔等人对充气白炽灯进行研究,提高了白炽灯的发光效率并延长了寿命,扩大了白炽灯应用范围。20 世纪 30 年代初,低压钠灯研制成功。1938 年,欧洲和美国研制出荧光灯,发光效率和寿命均为白炽灯的 3 倍以上,这是电光源技术的一大突破。20 世纪 50 年代末,体积和光衰极小的卤钨灯问世,改变了热辐射光源技术进展滞缓的状态,这是电光源技术的又一个重大突破。20 世纪 60 年代开发了金属卤化物灯和高压钠灯,其发光效率远高于高压汞灯。20 世纪 80 年代出现了细管径紧凑型节能荧光灯、小功率高压钠灯和小功率金属卤化物灯,使电光源进入了小型化、节能化和电子化的新时期。

电光源的种类有很多种,按照发光原理,可分为热辐射光源、气体放电光源、固体光源。其中热辐射光源又可分为白炽灯、卤钨灯等;气体放电光源又可分为弧光放电光源、辉光放电光源;固体光源又可分为 LED、场致发光器件等。

按阴极灯丝情况,可分为热阴极管光源、冷阴极管光源。按发光波长和用途,可分为照明光源、非照明光源。按玻璃材质,可分为普通玻璃光源、硬玻璃光源、石英玻璃光源。按灯头形状,可分为单端型光源、双端型光源。单端型又可分为灯泡、环型灯、U 型灯、



多 U 型灯、H 型灯、螺旋型灯、紧凑型灯等。按发光颜色,可分为无色(即透明)、白色、黑色和彩色等。

在当前全球能源短缺的忧虑再度升高的背景下,节约能源是我们未来面临的重要问题,在照明领域,LED 发光产品的应用正吸引着世人的目光,LED 作为一种新型的绿色光源产品,是未来发展的必然趋势。21 世纪将进入以 LED 为代表的新型照明光源时代。

1.1.2 LED 照明技术

应用半导体 PN 结发光原理制成的 LED 问世于 20 世纪 60 年代初,1964 年首先出现了红色发光二极管,之后出现了黄色 LED。直到 1994 年蓝色、绿色 LED 才研制成功。1996 年由日本 Nichia 公司(日亚)成功开发出白色 LED。

LED 以其固有的特点,如省电、寿命长、耐振动、响应速度快、冷光源等特点,广泛应用于指示灯、信号灯、显示屏、景观照明等领域,在日常生活中处处可见,如家用电器、电话机、仪表板照明、汽车防雾灯、交通信号灯等。但由于其亮度差、价格昂贵等条件的限制,无法作为通用光源推广应用。

近几年来,随着人们对半导体发光材料研究的不断深入,以及 LED 制造工艺的不断进步和新材料(氮化物晶体和荧光粉)的开发和应用,各种颜色的超高亮度 LED 取得了突破性进展,其发光效率提高了近 1000 倍,色度方面已实现了可见光波段的所有颜色,其中最重要的是超高亮度白光 LED 的出现,使 LED 应用领域跨越至高效率照明光源市场成为可能。曾经有人指出,高亮度 LED 将是人类继爱迪生发明白炽灯泡后最伟大的发明之一。

LED 光源的优点具体如下。

(1) 发光效率高。白炽灯、卤钨灯为 12~24lm/W,荧光灯为 50~70lm/W,钠灯为 90~140lm/W,LED 可达 120lm/W。

(2) 耗电量少。LED 电能利用率达 80%以上,由于 LED 是冷光源,与白炽灯、荧光灯比,节电效率达 90%以上。

(3) 使用寿命长,可靠性高。LED 寿命为 10 万小时,比传统灯寿命高 10 倍,性能稳定,可在 $-30^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 环境下正常工作。

(4) 安全性好,绿色光源。LED 发热量低,无热辐射,属于冷光源,光色柔和,无暗光,不含汞、钠等危害健康的物质,无有害射线,光源无紫外线成分。

(5) 环保。耐振、耐冲击,不易破碎,没有污染,对环境无电磁干扰,运行时无高压爆破成分泄露。

(6) 单色性好,色彩鲜艳丰富,LED 饱和度达 130%,全彩色,光更加清晰柔和。

(7) 使用灵活,可根据需要制成数码管、字符管、显示器、固体发光板、LED 显示屏等。

(8) 容易与数字集成电路匹配。

(9) 使用电压低:3~24V。

(10) 响应时间短,只有 60ns,特别适合于汽车灯具光源,反应速度快,可在高频下操作。

(11) 平面发光,方向性强,视角小于或等于 180° 。



(12) 对电网无伤害, 功率因数高, 启动时浪涌电流小。

LED 光源的缺点: 受温度影响大, 光效随温度升高而下降, 120℃ 以上将失效。

LED 灯按发光强度可以分为普通亮度 LED(10mcd)和高亮度(10~100mcd), 一般工作电流为十几毫安至几十毫安, 低电流 LED 在 2mA 以下。

LED 光源和常见光源性能比较表及几种光源的主要参数见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 LED 光源和常见光源性能比较

名称	耗电量/W	工作电压/V	协调控制	发热量	可靠性	使用寿命/h
金属卤素灯	100	220	不易	较高	低	3000
霓虹灯	500	较高	高	高	低	3000
镁氙灯	16	220	较好	较高	较好	6000
荧光灯	4~100	220	不易	较高	低	5000~8000
冷阴极灯	15	需逆变	较好	较高	较好	10000
镍丝灯	15~200	220	不易	高	低	3000
节能灯	3~150	220	不易	低	低	5000
LED 灯	极低	直流	多种形式	极低	极低	100000

表 1-3 几种光源的主要参数

名称	功率/W	光通量/lm	光效/(lm/W)
白炽灯	40	480	12
普通荧光灯	36	2000	55
三基色荧光灯	28	2680	96
LED	1	120	120
2020 年 LED	1	200	200

大功率 LED 是指拥有大额定工作电流的发光二极管。普通 LED 功率一般为 0.05W, 工作电流为 20mA, 而大功率 LED 可以达到 1W、2W, 甚至可达数十瓦, 工作电流可以是几十毫安到几百毫安不等。大功率 LED 路灯与高压钠灯使用效益分析见表 1-4。

表 1-4 大功率 LED 路灯与高压钠灯使用效益分析表

项目		高压钠灯 400W	LED 路灯 72W	
电缆费用	截面积/mm ²	4×25+1×16	4×6+1×4	按 30m 间距
	单价/(元/米)	92.00	16.00	50 盏灯
	数量(长度)/m	30	30	即 1.5km 线路
	金额小计	2760.00	480.00	计算
	电缆节约支出合计		2280.00	
耗电量	光源功率	400W	72W	
	电器附件	镇流器 80W	恒流源 76W	每天工作 12h
	功率因数	0.6	0.95	1 元/度
	每天耗电量/kWh	9.60	1.1	

续表

项目		高压钠灯 400W	LED 路灯 72W		
耗电量	每年耗电量/(kW·h)	3504.00	405.73		
	每天电费/元	9.60	1.10		
	每年电费/元	3504.00	405.73		
	10 年电费/元	35040.00	4057.30		
	10 年节约支出(小计)/元		30982.70		
维护费用		高压钠灯	LED 路灯		
	光源	寿命	2 年	10 年	
		更换次数	5 次	0 次	
		单价	100.00	0	
		小计	500.00	0	
	配电器	寿命	电感镇流器 5 年	LED 恒流源 3 年	
		更换次数	2 次	3 次	
		单价	120.00	200.00	
		合计	240.00	600.00	
	人工设计费	人工成本/(元/盏次)	100.00	20.00	
		更换次数	5 次	3 次	
		合计	500.00	60.00	
		10 年维护支出	1240.00	660.00	
		10 年节约支出		580.00	
	节省费用	每年节省电费		3098.27	每杆路灯
每年节省维护费			58.00	每杆路灯	
10 年节省总费用			31562.70	计入维护费用	
初期电流节省			2280.00	每杆路灯	

1.1.3 LED 研发技术关键

LED 研发技术关键有以下几个方面。

(1) 发光效率问题。即 LED 把受激发时吸收的能量转换为光能的能力。目前 LED 灯具发光效率偏低, 主流产品的光电能转换效率大概只有 15%~20%, 这意味着多达 80%~85% 的电能还是转换成了热量。

(2) 高功率问题。由于目前大功率白光 LED 的转换效率较低, 光通量较小, 成本较高等因素的制约, 大功率白光 LED 短期内的应用主要是一些特殊领域的特种工作灯具, 中长期目标才能是通用照明领域。

(3) 二次光学设计。由于 LED 发出光相对集中, 主视角范围内相对较小, 必须对灯具设计进行二次光学设计。

(4) 参数离散性。

(5) 保护电路设计。只要一个 LED 短路或开路, 将导致整个 LED 小片熄灭, 影响照明效果。必须研究保护电路, 使不良影响降至最低。



(6) 散热问题。LED 在工作时会产生较多的热量, 需要使用一些散热设备将热量导出并散发到环境中, 否则 LED 温度过高会导致不可恢复光衰, 将影响 LED 设备的使用寿命甚至导致其无法工作。目前由于受到技术发展的限制, 散热问题一直是 LED 照明面临的重要挑战。

1.2 LED 基础知识

1.2.1 LED 的工作原理、特性及性能指标

1. LED 的发光原理

LED 是由 III-V 元素化合物(如 GaAs、GaP、GaAsP 等半导体材料)制成的, 其核心是 PN 结。除具有一般 PN 结的 $I-U$ 特性(即正向导通, 反向截止和击穿特性)外, 在一定条件下, 还具有发光特性。

图 1.2 为 LED 发光原理示意图。在正向电压下, 电子由 N 区注入 P 区, 空穴由 P 区注入 N 区, 进入对方区域的少数载流子一部分与多数载流子复合而发光。

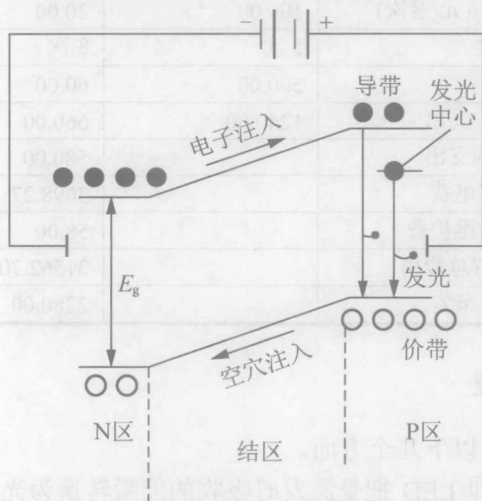


图 1.2 LED 发光原理示意图

假设发光是在 P 区中发生的, 那么注入的电子与价带空穴直接复合而发光, 或者先被发光中心捕获, 再与空穴复合发光。除了这种发光复合外, 还有些电子被非发光中心捕获, 而后再与空穴复合, 每次释放的能量不大, 不能形成可见光。发光的复合量相对于非发光复合量的比例越大, 光量子效率越高。由于复合是在少数载流子扩散区内发光的, 所以光仅在靠近 PN 结面数微米以内产生。理论和实践证明, 发光的波长或频率取决于选用的半导体材料的能隙 E_g , E_g 的单位为电子伏(eV):

$$E_g = h\nu / q = hc / (\lambda q) \quad (1-1)$$

在式(1-1)中, $\lambda = hc / (qE_g) = 1240 / E_g$; ν 为电子运动速度; h 为普朗克常数; q 为载



流子所带电荷； c 为光速； λ 为发光的波长。

若能产生可见光(波长 380~780nm)，半导体材料的 E_g 应在 3.26~1.63eV 之间。比红光波长长的光为红外光。现在已有红外、红、黄、绿及蓝光 LED，但其中蓝光 LED 成本、价格很高，使用不普遍。

2. LED 的主要参数

(1) 允许功耗 P_m ，即允许加于 LED 两端正向直流电压与流过它的电流之积的最大值，超过此值，LED 会发热损坏。

(2) 最大正向直流电流 I_{Fm} ，即允许加的最大的正向直流电流，超过最大正向直流可损坏 LED。

(3) 最大反向电压 U_{Rm} ，即所允许加的最大反向电压。超过此值，LED 可能被击穿损坏。

(4) 工作环境温度 T_{opm} ，即发光二极管可正常工作的环境温度范围。低于或高于此温度范围，发光二极管将不能正常工作，效率大大降低。

1.2.2 LED 的主要参数特性

LED 是利用化合物材料制成 PN 结的光电材料，它具备 PN 结器件的电学特性(I - U 特性、 C - U 特性)、光学特性(光谱响应特性、发光强度指向特性、时间特性)及热学特性。

1. LED 的电学特性

1) I - U 特性

LED 的伏安特性具有非线性、单向导电性，外加正偏压时表现为低电阻，反之为高电阻。其 I - U 特性曲线如图 1.3 所示。

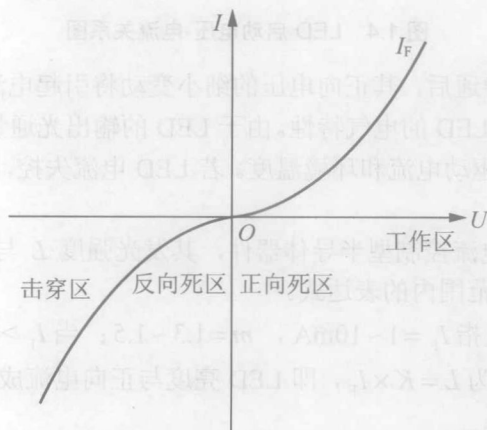


图 1.3 LED 的 I - U 特性曲线

(1) 正向死区，外加电场小于开启电压， R 值增大，不同 LED 其值不同，GaAs 1V、GaAsP 1.2V、GaP 1.8V、GaN 2.5V。

(2) 正向工作区，工作电流 I_F 与外加电压呈指数关系：