

SHIYONG LED QUDONG DIANLU DE  
SHEJI XIANGJIE

# 实用LED驱动电路的 设计详解

陈永真 陈之勃 编著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 实用 LED 驱动电路的 设计详解

陈永真 陈之勃 编著



机械工业出版社

LED 驱动是电子技术中非常热门的课题, 各种 LED 驱动电路层出不穷。但是如何用买到的 LED 驱动芯片做出所需要的 LED 驱动电路是电子工程师必须面临的问题。如果能够用市场上容易买到的 IC 制成 LED 驱动器, 不仅成本低廉, 而且不会因买不到 IC 而不得不改变设计。

本书详细地讲述了 LED 驱动电路设计: 如电阻限制电流的 LED 驱动电路; 用最容易买到、最便宜的 DC/DC 变换器芯片实现 LED 驱动电路; 采用单片开关电源芯片即可以实现隔离型交流市电的 LED 驱动电路, 也可以实现非隔离型交流市电的 LED 驱动电路; 采用同步整流器提高 LED 驱动电路的效率; 采用最简单的单级功率因数校正的方法实现需要功率因数校正的 LED 驱动电路。本书最后还分析了 LED 串、并联时需要注意的问题和解决方案。

本书适合 LED 驱动电路设计工程师、LED 设计初学者、电子爱好者以及高校、职业学校相关专业学生阅读。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

实用 LED 驱动电路的设计详解/陈永真, 陈之勃编著. —北京: 机械工业出版社, 2010

ISBN 978-7-111-31332-8

I. ①实… II. ①陈…②陈… III. ①发光二极管-电路设计  
IV. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 137788 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 林春泉 责任编辑: 赵 任

版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣

封面设计: 路恩中 责任印制: 乔 宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2010 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.25 印张 · 346 千字

0001 - 3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-31332-8

定价: 38.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
电话服务 网络服务

社服务中心: (010) 88361066

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

门户网: <http://www.cmpbook.com>

教材网: <http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

高功率 LED 通常是指 1W 以上的 LED。自该项技术诞生以来，高功率 LED 以其用途广、功能全的优势引起了照明行业及世界各地消费人群的广泛关注。

高功率 LED 是照明技术发展的一次重大突破，在能效、节约成本及照明方面均有无可比拟的优势。高功率 LED 每瓦的光通量可达 80lm（注：普通的白炽灯为 15lm/W，节能灯为 70lm/W，而现在的荧光灯可以达到 110lm/W），如果 LED 的光通量进一步提高，超过 100lm/W，则 LED 为节能提供了无限可能。此外，理论上高功率 LED 的寿命是传统白炽灯灯泡的 10~15 倍，比节能灯寿命长 3~10 倍，因此 LED 的耐用性大大节省了照明维修开支，并且比其他照明有更好的设计灵活性。

不管是大功率的还是小功率的 LED 照明应用，一般都由电源、LED 驱动器、LED、透镜和基板几部分构成，其中关键的元件是 LED 驱动器，它必须提供一个恒流输出才能保证 LED 发出的光不会忽明忽暗，以及不会发生 LED 色偏现象，它一般采用 24~48V 的直流电压输入，但也有一些先进的 LED 驱动器可直接用 220V 市电交流输入。大多数客户都要求采用高性能的 LED 驱动器，以满足“PF 值 > 0.9”和“+85% 效率”等即将出台的 LED 照明规范。

LED 照明应用的主要设计难点包括以下几个方面：散热、高效率、低成本、调光无闪烁、大范围调光、可靠性、安全性和消除色偏。这些挑战需要综合运用适当的电源系统拓扑架构、驱动电路拓扑结构和机械设计才能解决。

对 LED 驱动电路的设计师来说，最大的技术挑战是高效率要求、光学设计、热管理和提高某些应用的可靠性。由于 LED 是低压器件，因此将高压交流供电转换为 LED 使用的低压恒流驱动将面临许多挑战。

白炽灯已面世很多年，我们的家居照明系统一直在沿用许多多年未改的技术标准，这个情况并非一朝一夕可以改变。例如，基于散热及照明角度等问题，原有的旧式电灯插座或装置并不适宜用来安装 LED 灯泡。

但除了技术问题之外，成本效益也是使 LED 灯无法普及的最大原因。钨丝灯泡及荧光管的售价约为 0.6~0.7 美元/klm，但目前 LED 灯的售价仍然高达 40~50 美元/klm。

正如上述，由于 LED 灯必须装设在原有的旧式插座之内，因此散热是一个必须克服的大问题。这可以利用机械工程技术来解决，LED 系统生产商的责任是努力开发新技术，不断提高 LED 的亮度（即每单位功率产生的流明量）。这就需要 LED 制造商能够提供功率最高的 LED 驱动器，以确保整个灯光系统的散热量减至最少。

LED 相对高的成本是目前 LED 在照明市场仍难以大规模发展的主要障碍。大多数小于 25W 的典型 LED 照明应用是价格低廉的标志灯、标识灯，以及替代标准的白炽灯和卤素灯。但与现有的荧光灯和白炽灯技术相比，LED 初始成本高仍然是进入大众市场

的一个主要障碍。

目前,各种功率的 LED 照明系统在电路上都是可以实现的,技术挑战来自于终端应用的要求,比如在汽车上的应用,要考虑到光学设计以及整体散热设计等。商业化部署的挑战则主要来自于 LED 的成本。

从成本角度看,LED 照明的成本一方面 LED 的成本居高不下,另一方面则是 LED 驱动电路的成本,如果能够尽可能地降低驱动电路的成本就可以提高 LED 照明的竞争力。与此同时还可以使 LED 照明质量得到提高。

全球的 LED 驱动热潮激励着我国电子工程师在 LED 驱动领域中一展身手。为了适应这一热潮,已经有很多关于 LED 驱动的文獻、书籍问世,这些书籍主要是介绍了半导体器件制造商的 LED 驱动芯片及应用电路。

如何用尽可能简单的 LED 驱动电路实现大功率 LED 驱动设计是 LED 驱动设计工程师和 LED 照明设计工程师所必须知道的。本书致力于讲述如何选用容易购买得到的、通用的集成电路,以尽可能低的成本实现 LED 驱动电路。从控制电路的选择、元器件的配置等方面,不仅给出低成本的设计思路,而且还给出如何确保 LED 处于良好的工作状态的设计思路与实现方法。

本书共分为 9 章:第 1 章分析了 LED 的特性,第 2 章详解了最简单的实用 LED 驱动电路的设计,第 3 章详解了如何利用最廉价的单芯片 DC/DC 变换器实现低压直流电供电的 LED 驱动电路的设计,第 4 章详解了用其他廉价的 DC/DC 芯片实现的 HB LED 的设计,第 5 章分析了应用同步整流器如何提高 HB LED 驱动电路的效率,第 6 章详解了常规技术的单片开关电源市电供电的 LED 驱动电路的设计,第 7 章分析了如何采用最简单的单级功率因数校正技术的 HB LED 驱动电路,第 8 章详解了应用 DC/DC 变换器实现市电供电的非隔离 LED 驱动电路的设计,第 9 章详解了多组 LED 驱动的电流通流和 LED 开路保护。

如果读者能够通过本书有所收获,将是作者的最大欣慰。

作者于辽宁工业大学

2010 年 5 月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 LED 的特性分析</b> .....	1
1.1 人类照明的发展过程与 LED 步入照明领域 .....	1
1.2 LED 的基本特性 .....	2
1.3 用于照明的 LED 基本特性 .....	3
1.4 HB LED 的电气特性 .....	5
1.5 HB LED 的寿命特性 .....	10
1.6 LED 的应用 .....	11
1.7 LED 照明需要解决的问题 .....	13
<b>第 2 章 简单实用的 LED 驱动电路设计详解</b> .....	15
2.1 最简单的驱动电路 .....	15
2.2 LED 串联电阻方式 .....	15
2.3 电池直接驱动 LED .....	17
2.4 最简单的交流市电驱动 LED 电路 .....	18
2.5 交流市电驱动 LED 实用电路设计详解 .....	18
2.6 存在的问题及改进措施 .....	23
2.7 电容降压的 HB LED 驱动电路的交流侧电流波形 .....	23
2.8 采用线性电流源驱动 HB LED .....	24
<b>第 3 章 利用廉价的单芯片 DC/DC 变换器实现低压直流电供电的 LED 驱动电路的设计详解</b> .....	25
3.1 适用于 LED 驱动电路的 DC/DC 变换器 .....	25
3.2 MC34063 的基本性能分析 .....	26
3.3 MC34063 的内部工作原理 .....	29
3.4 MC34063 构成的 DC/DC 变换器应用实例 .....	30
3.5 各生产厂商的 MC34063 的对照与代换 .....	39
3.6 利用 MC34063 实现 LED 驱动电路的电路拓扑分类和基本要求 .....	39
3.7 12V 电池供电的降压型 HB LED 驱动电路的设计详解 .....	40
3.8 24V 蓄电池供电的 HB LED 驱动电路的设计详解 .....	43
3.9 应用 MC34063 构成的升压型 HB LED 驱动电路的设计详解 .....	44
3.10 升/降压型 HB LED 驱动电路的设计详解 .....	46
3.11 太阳能供电的街道照明 HB LED 驱动电路的设计 .....	49
<b>第 4 章 廉价的 DC/DC 芯片实现的 HB LED 驱动电路的设计详解</b> .....	50
4.1 MC34063 的升级型号 NCP3063、NCP3064 .....	50
4.2 NCP3063、NCP3064 的性能分析 .....	52
4.3 NCP3063、NCP3064 的内部工作原理 .....	55
4.4 应用 NCP3063、NCP3064 实现 HB LED 驱动电路的设计 .....	57
4.5 NCP3063、NCP3064 的改进型 NCP3065、NCP3066 .....	61

4.6	应用 NCP3065、NCP3066 的 HB LED 驱动电路 .....	62
4.7	调光技术分析 .....	71
4.8	升压型 HB LED 驱动电路 .....	72
4.9	8~25V 输入, 7.2~23V 恒流输出的 SEPIC 变换器的 HB LED 驱动电路 .....	76
4.10	可以装在灯头中的 SEPIC 变换器 LED 驱动电路 .....	83
<b>第 5 章</b>	<b>应用同步整流器提高 HB LED 驱动电路的效率 .....</b>	<b>89</b>
5.1	NCP1034 的功能分析 .....	89
5.2	应用 NCP1034 带有同步整流器控制功能的 PWM 控制器实现 HB LED 驱动电路 .....	96
5.3	迟滞电流控制方式分析 .....	104
5.4	IRS2540 的功能分析 .....	107
5.5	应用 IRS2540 实现直流电供电的 HB LED 驱动电路 .....	109
5.6	应用 IRS2541 实现交流市电输入的 HB LED 驱动电路 .....	113
<b>第 6 章</b>	<b>常规技术的单片开关电源市电供电的 LED 驱动电路设计详解 .....</b>	<b>121</b>
6.1	反激式变换器的变压器设计 .....	121
6.2	NCP10 × × 系列单片开关电源的特点与性能分析 .....	124
6.3	利用 5V/1A 充电器作为 HB LED 驱动器 .....	126
6.4	全球通用电源输出的 HB LED 驱动器设计 .....	131
6.5	“隔离型” 12V/1A 的 HB LED 驱动电路设计 .....	137
6.6	功率因数改进的 HB LED 驱动电路设计 .....	139
6.7	应用 Tiny Switch 的 HB LED 驱动电路设计 .....	141
6.8	应用 LINK Switch 的 HB LED 驱动电路设计 .....	152
<b>第 7 章</b>	<b>采用单级功率因数校正技术的 HB LED 驱动电路 .....</b>	<b>159</b>
7.1	单级功率因数校正原理 .....	159
7.2	应用 TOP Switch 芯片实现具有功率因数校正功能的大功率 HB LED 驱动电路 .....	162
7.3	应用 TOP Switch—GX 实现最简单的单级功率因数校正的电路分析 .....	162
7.4	应用 TOP Switch—GX 实现最简单的单级功率因数校正电路的基本设计方法 .....	169
7.5	POWER Int 的 der136 参考设计的实测结果与分析 .....	171
7.6	POWER Int 的 der136 参考设计存在的问题及参数的修改 .....	176
7.7	应用 ON Semi 的 NCP1651 的单级功率因数校正的 HB LED 驱动电路设计 .....	176
7.8	功率因数校正和反激式开关电源电路分析 .....	177
7.9	输出恒流/恒压控制电路分析 .....	179
7.10	最大占空比的设置 .....	180
7.11	开关管的选择 .....	181
7.12	变压器的设计思路 .....	181
7.13	输出整流器的选择及分析 .....	184
7.14	输出整流滤波电容器的选择及分析 .....	184
7.15	整机电路 .....	185
7.16	测试结果及分析 .....	188
7.17	24V/90W 输出的最简单的单级功率因数校正的 HB LED 驱动电路设计 .....	189
7.18	24V/90W 输出的最简单的单级功率因数校正的 HB LED 驱动电路 .....	191
<b>第 8 章</b>	<b>应用 DC/DC 变换器实现市电供电的非隔离 LED 驱动电路设计详解 .....</b>	<b>196</b>
8.1	应用 Link Switch 的小功率 HB LED 驱动电路设计分析 .....	196

---

8.2 应用 Link Switch 的输出 70V/130mA 的 HB LED 驱动电路设计 .....	208
8.3 应用其他开关电源芯片的 HB LED 驱动电路设计 .....	208
8.4 应用电子镇流器控制芯片的 HB LED 驱动电路分析 .....	209
<b>第 9 章 多组 LED 驱动的电​​流均流与 LED 开路保护 .....</b>	<b>211</b>
9.1 对驱动电路性能的要求 .....	212
9.2 电阻均流方式 .....	212
9.3 恒流源均流方式 .....	213
9.4 HB LED 串联时需要注意的问题 .....	214
<b>参考文献 .....</b>	<b>217</b>



# 第 1 章 LED 的特性分析

## 1.1 人类照明的发展过程与 LED 步入照明领域

照明是人类特有的改变自身环境的行为。在远古时期，人类的智慧积累相对很少，照明基本依赖于自然光照明，这与动物的照明条件基本相同。随着人类文明和生产力的不断进步，人类的活动已不仅仅限于白天的自然光照明，开始需要自然光以外的人类特有的照明方式。

火给人类带来光明，从最初的篝火，再到火把以至于到爱迪生发明白炽灯以前，人类所应用的照明方式除了自然光以外，人工照明均采用火焰发出的光线照明。不管是火把还是蜡烛，以至于后来的各种油灯和更高级的煤油灯、气灯等都是通过火焰发出的光获得光明的。

后来人们体会到，用火焰照明所产生的烟雾很大，甚至令人感到不适，因此，为了寻求洁净的照明，人类开始在人工照明领域不断探索。

我们的前辈，发明家爱迪生发明了白炽灯，并使白炽灯普及化。这一创举使得人类在整个 20 世纪在有电的环境下均采用电灯照明，从而减少了火焰照明带来的空气污染。

然而，白炽灯的效率相对很低，仅有 7% 的电能转换为光能。从电能的利用率角度考虑，这是一种效能低的人工照明方式，普通的白炽灯光效大约在 10lm/W 左右。因此，人类开始不断地追求效能更高的应用电能的照明方式。

美国人伊曼在 1938 年发明了荧光灯，这是一种利用气体放电原理发光的新型光源。其光效从 10lm/W 增加到最初的 40lm/W 以上。很显然，荧光灯的发光效果远高于白炽灯。随着荧光灯制造技术的不断进步，现在荧光灯的最高光效可以达到 110lm/W。

然而，不可否认的是，荧光灯不仅体积大，还有汞污染的问题，尽管现在的荧光灯的含汞量已经大大地减少了。是否还有更洁净、更高光效的电光源又成了人类不断追求探索的问题。

20 世纪 60 年代末，发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 问世。这时及其以后的很长一段时间内的可见光的 LED 仅仅是红光、黄光、绿光。不仅如此，这时的 LED 光效也很低。

LED 具有体积小、不怕磕碰的优点，不像白炽灯和荧光灯那样容易破碎。如果其光效能够达到或超过荧光灯的光效，而且成本能够降下来，则 LED 就会成为性能更加优异的电光源器件。

LED 进入照明领域是蓝光 LED 问世后的事情，在此以前的 LED 都是单色的。根据三基色原理，要利用单色光合成白光需要蓝光。因此，蓝光 LED 的发明称为 LED 进入照明领域的关键技术创新之一。

LED 能够进入照明领域的另一个关键技术就是进一步提高 LED 的光效。图 1-1 给出了各种电光源光效及其发展趋势。

从图 1-1 中可以看到，即使是 21 世纪的前几年，LED 的光效还是很低的，甚至在世纪交替时 LED 的光效与白炽灯差不多，直到 2007 年以后 LED 的光效才达到荧光灯的水平。

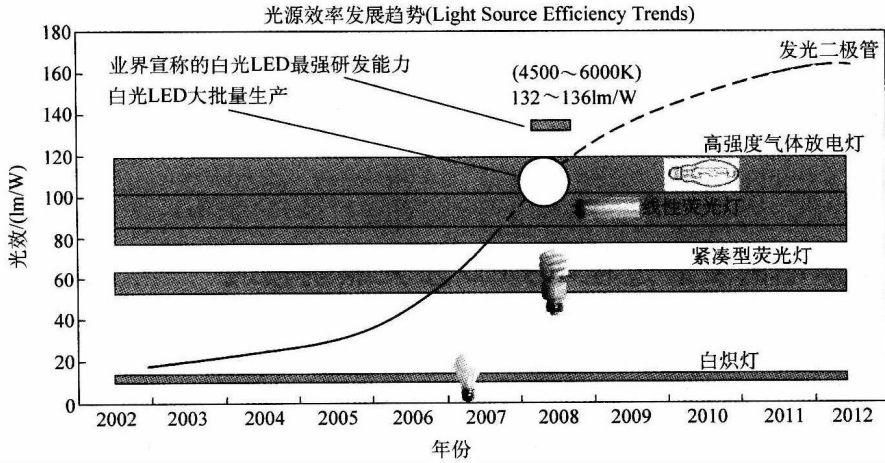


图 1-1 各种电光源光效及其发展趋势

随着 LED 制造技术的提高，2005 年以后，LED 的光效在快速增长，目前的白光 LED 的光效已超过 100lm/W。

## 1.2 LED 的基本特性

### 1. LED 的正向特性

LED 的特性与普通的二极管相似，所不同的是不同颜色的 LED 的正向电压不同。在实际应用中，利用的是 LED 的正向特性。对于一般作为指示灯的 LED，其正向电流大多为 10mA 左右。其正向电压分别为：红外约为 1V，红光为 1.2V，绿光为 1.4V，蓝光约为 3V。

### 2. LED 的光谱

红光、黄光、绿光、蓝光的 LED 光谱如图 1-2、图 1-3、图 1-4、图 1-5 所示。

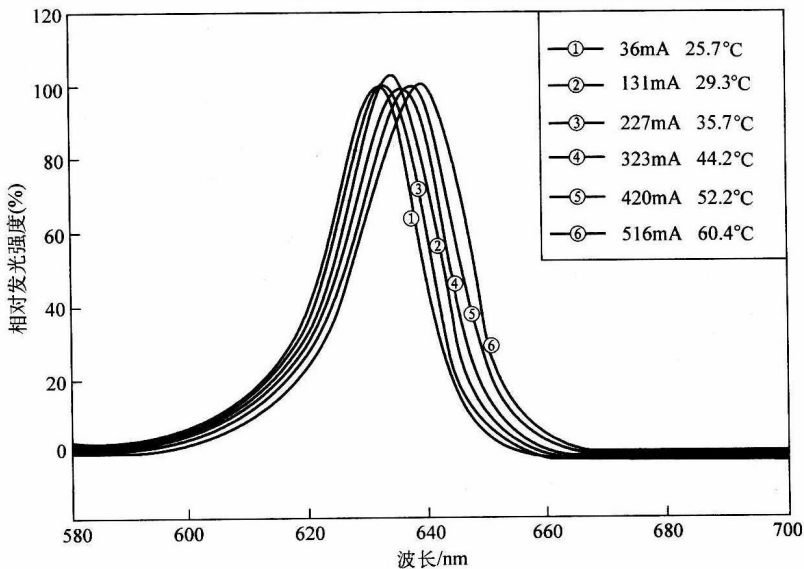


图 1-2 红光的 LED 光谱

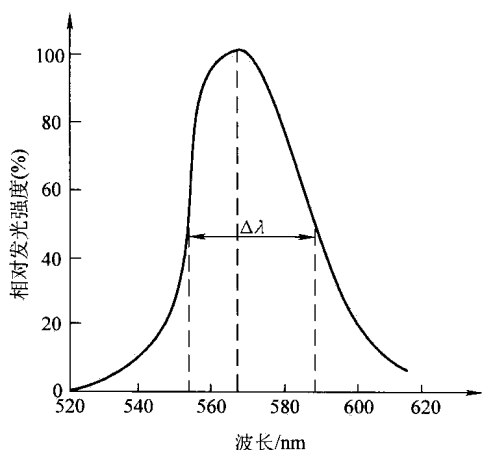


图 1-3 黄光的 LED 光谱

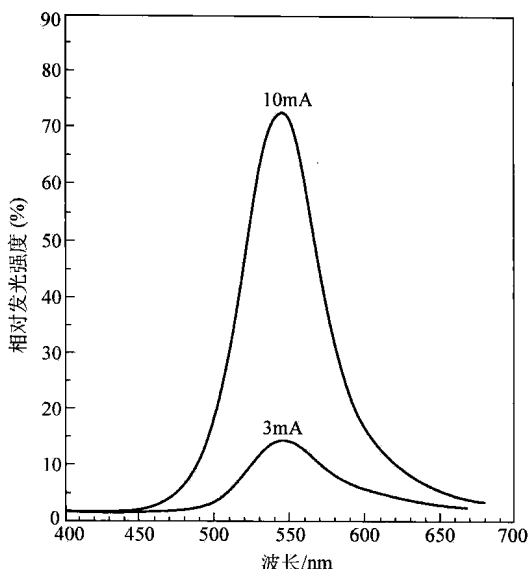


图 1-4 绿光的 LED 光谱

### 3. LED 的指向性

LED 利用 LED 芯片发光，通过 LED 的外封装聚光或散光。不管聚光还是散光，LED 发光的指向性强于其他电光源。LED 的指向性可以分为强指向型、一般指向型和散射型。

(1) 强指向性 一般为尖头环氧封装，或是带金属反射腔封装，且不加散射剂。半值角为  $5^\circ \sim 20^\circ$  或更小，具有很高的指向性，可作局部照明光源用，或与光检出器联用以组成自动检测系统。

(2) 一般指向型 通常作指示灯用，其半值角为  $20^\circ \sim 45^\circ$ 。

(3) 散射型 这是视角较大的指示灯，半值角为  $45^\circ \sim 90^\circ$  或更大，加散射剂的量较大。

LED 的强指向性会在局部区域中感觉到 LED 的光强度要比其他电光源高。也可以用 LED 的强指向性作为道路照明，提高照明器具的光效。

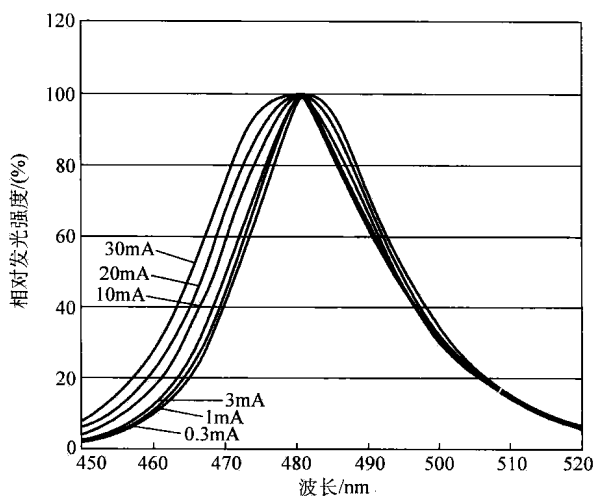


图 1-5 蓝光的 LED 光谱

## 1.3 用于照明的 LED 基本特性

### 1. 用于照明的 LED 光谱特性

是否单色 LED 就可以作为照明用电光源呢？这需要和太阳光的光谱来比较。如果一种照明光源的光谱与太阳光的光谱相差甚远，则人眼会感觉非常不舒服，而且也会导致快速的用眼疲劳，近视就是这类用眼疲劳的最明显的表现。

因此作为照明用的电光源的光谱应尽可能地与太阳光的光谱相接近。一般的评判方法是评判光源与白光的接近程度，即显色性。

太阳在海平面上的可见光光谱如图 1-6 所示。

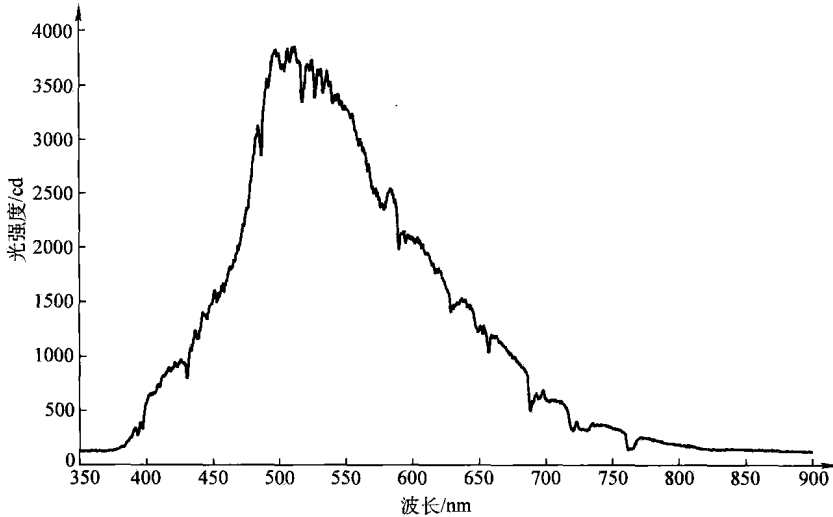


图 1-6 太阳在海平面上的可见光光谱

可以看到这个光谱与 6500K 的黑体辐射的光谱基本相同，其差异部分是太阳光被太阳上的化学元素吸收以及经过大气层时被吸收掉的部分。

要想让 LED 发出的光谱能够与太阳光相近，需要利用三基色原理将红、绿、蓝三种光通过合适的比例混合成“白光”。

一般的白光 LED 的实现方法是在蓝光 LED 表面涂黄色荧光粉来获得所谓的白光，这种白光 LED 的光谱特性如图 1-7 所示。

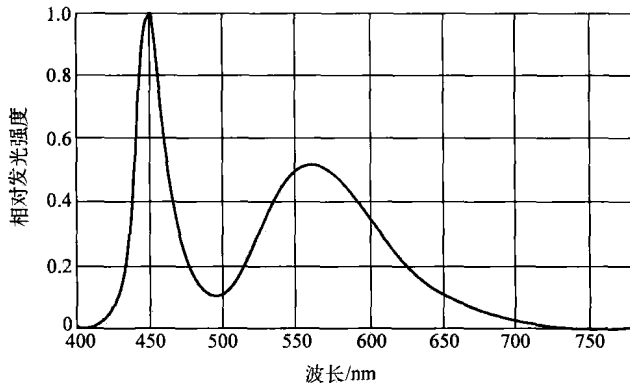


图 1-7 应用荧光粉获得的白光 LED 的光谱

很明显，这种“白光”LED 带有强烈的蓝光，因此在实际应用时可能会使人感到不适。因此，也可以利用红、绿、蓝三种颜色的 LED 组合来获得白光 LED，如图 1-8 所示。

很显然，图 1-8 的显色性优于图 1-7 的显色性，但使用三种单色 LED 组合成图 1-8 的光谱特性相对于利用蓝光 LED 附加荧光粉的方法要复杂的多，而且一旦工作条件稍有改变，

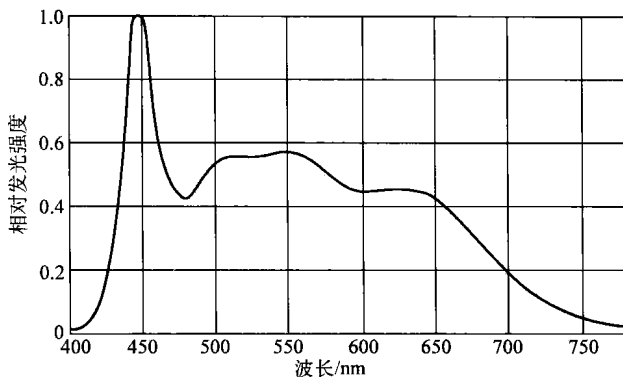


图 1-8 利用红、绿、蓝三种颜色的 LED 组和获得白光 LED

其光谱特性就会随之改变。

不同色温的 LED 的光谱特性也不相同，图 1-9 所示为 CREE 公司的不同色温的白光 LED 的光谱特性。

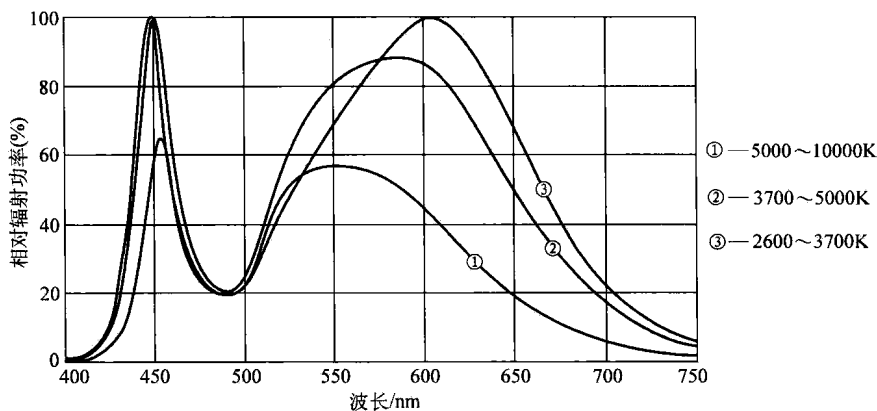


图 1-9 CREE 公司的不同色温白光 LED 的光谱特性

从图 1-9 中看到，随着色温的降低，LED 的蓝光分量减小，黄光甚至橘黄色光分量明显增加，这对于习惯于太阳光谱的人眼来说，高亮度 LED 的色温低一些会感到舒服一些。

## 2. 高亮度白光 LED

一般的 LED 的工作电流仅为 10 ~ 20mA，对应的灯的功率也仅为 40 ~ 60mW。而且一般的 LED 光强度比较低，也就是说光效比较低。

为了使 LED 进入照明领域，LED 的亮度必须提高，不仅灯功率要大幅度提高，而且单位功率的光通量（光效）也要大幅度提高。这种大功率高亮度的 LED 通常被称为“高亮度 LED”（High Brightness LED, HB LED）。

HB LED 的灯功率一般在 0.5W 以上，对应的灯电流至少在 100mA 以上。

## 1.4 HB LED 的电气特性

HB LED 的电气特性需要到 LED 制造商的网站上去找，这样才能得到比较完整的数据。

这里以 CREE 公司的 XP-E LED 系列的数据为例来分析 LED 的电气特性。

### 1. XP-E LED 系列的特点

有白色 (2600 ~ 10000K)、蓝色、绿色、黄色、红色及红橙色可选；

最大驱动电流可达 1A；

低热阻，仅 9℃/W；

最高结温为 150℃；

视角宽，可达 115° ~ 130°；

在环境温度不超过 30℃、相对湿度不超过 85% 的条件下，使用寿命不受限制；

表面贴装的封装形式，可回流焊，符合 JEDEC J-STD-020C 标准；

散热部分不带电，也就是说 LED 芯片与散热底座是电气隔离的。

### 2. 光通量特征

XP-E LED 系列在结温 25℃ 下的白光部分的光通量特性见表 1-1。

表 1-1 XP-E LED 系列白光 LED 的光通量特性

颜色	色温范围/K		基本订购代码最小光通量		订购代码
	最小	最大	组	光通量/lm	
冷白	5000	10000	Q3	93.9	XPEWHT-L1-0000-00B01
			Q4	100	XPEWHT-L1-0000-00C01
			Q5	107	XPEWHT-L1-0000-00D01
			R2	114	XPEWHT-L1-0000-00E01
中性白	3700	5000	P4	80.8	XPEWHT-L1-0000-009E4
			Q2	87.4	XPEWHT-L1-0000-00AE4
			Q3	93.9	XPEWHT-L1-0000-00BE4
			Q4	100	XPEWHT-L1-0000-00CE4
暖白	2600	3700	P2	67.2	XPEWHT-L1-0000-007E7
			P3	73.9	XPEWHT-L1-0000-008E7
			P4	80.6	XPEWHT-L1-0000-009E7
			Q2	87.4	XPEWHT-L1-0000-00AE7

注：CREE 公司 LED 的光通量和功率测量值的公差为 ±7%；冷白、中性白 (3700 ~ 10000K) 的典型显色系数 (CRT) 为 75；暖白 (2600 ~ 3700K) 的典型显色系数 (CRT) 为 80。

根据综合分析，表 1-1 中的光通量应该是在正向电流为 350mA 的条件下测得的，这样就会看到 XP-E LED 系列白光 LED 的光效在 100lm/W 左右，是一种光效比较高的 LED。

表 1-1 中的数据还表明：冷白、中性白、暖白三种色温的 LED 的光效以冷白最高，中性白其次，暖白居第三。每种之间的光效差在 13% 左右，冷白与暖白之间的光效相差在 25% 左右。

### 3. 电气参数

XP-E LED 系列白光 LED 的电气参数见表 1-2。

表 1-2 XP-E LED 系列白光 LED 的电气参数

特性	单位	典型值	最大值
热阻, 结到焊盘	°C/W	9	
视角	°	115	
电压温度系数	mV/°C	-4.0	
ESD 类别 (HBM, 依照 Min - Std - 883D)		2 类	
正向电流	mA		700
反向电压	V		5
正向电压 (350mA 时)	V	3.2	3.9
正向电压 (700mA 时)	V	3.4	
最高结温	°C		150

#### 4. 相对光谱功率分布

XP-E LED 系列白光 LED 相对光谱的分布如图 1-9 所示。

#### 5. 光通量与结温的关系

XP-E LED 系列白光 LED 在正向电流为 350mA 的条件下的白光部分相对光通量与结温的关系如图 1-10 所示。

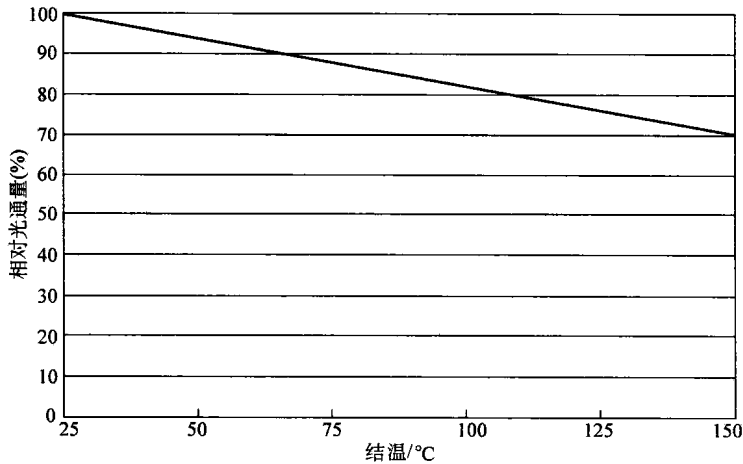


图 1-10 XP-E LED 系列白光 LED 相对光通量与结温的关系

很显然, HB LED 的光通量将随结温的升高而降低, 当结温达到 150°C 时, 光通量仅为 25°C 结温时的 70%。

#### 6. 电气特征

XP-E LED 系列白光 LED 的正向电压与正向电流的关系如图 1-11 所示。

这个特性与普通二极管的正向特性相似, 不同的是 HB LED 的正向电压值高于普通二极管。

由于 HB LED 的正向电压远高于普通二极管的正向电压, 因此 HB LED 的正向电压变化对工作电流影响非常大, 可以达到正向电压变化的 5%, 正向电流就会随之变化的 40%。这

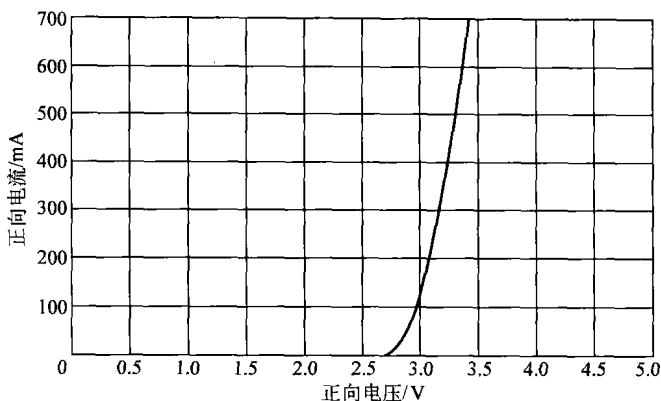


图 1-11 XP-E LED 系列的白光 LED 的正向电压与正向电流的关系

就是说 HB LED 的正向电压变化 5% 就会导致其光通量变化 35% 以上，如图 1-12 所示。

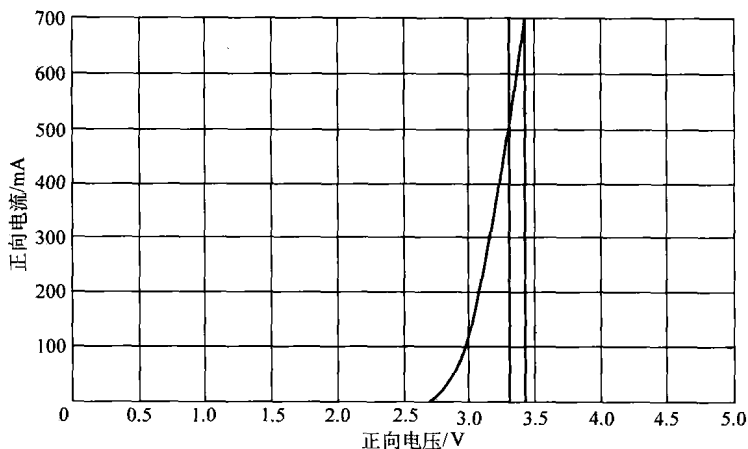


图 1-12 HB LED 正向电压的变化导致的正向电流的变化

从图 1-12 中可以看到，HB LED 的正向电压为 3.4V 左右时的正向电流为 700mA，而将 HB LED 的正向电压降低到 3.3V 左右时，HB LED 的正向电流下降到约 500mA。

如果是工频导致的 HB LED 正向电压的变化，就会出现 100Hz 的闪烁，尽管这个频率的闪烁对视觉影响不大，但是工频镇流电感导致的荧光灯的闪烁却成为荧光灯的一大诟病，如果供电质量不佳而导致工频闪烁，则 HB LED 也难免存在闪烁的问题。

## 7. 热特性

最大正向电流是由 LED 管芯到环境之间的热阻决定。最终 LED 产品的设计方式必须满足将焊盘到环境之间的热阻减至最小，以便延长 LED 的使用寿命，优化光学特征（如显色性）。XP-E LED 系列白光 LED 的环境温度与正向电流以及管芯到环境的热阻之间的关系如图 1-13 所示。

从图 1-13 中可以看到，随着管芯到环境的热阻的降低，HB LED 将允许在比较高的环境温度下正向电流达到额定电流值。



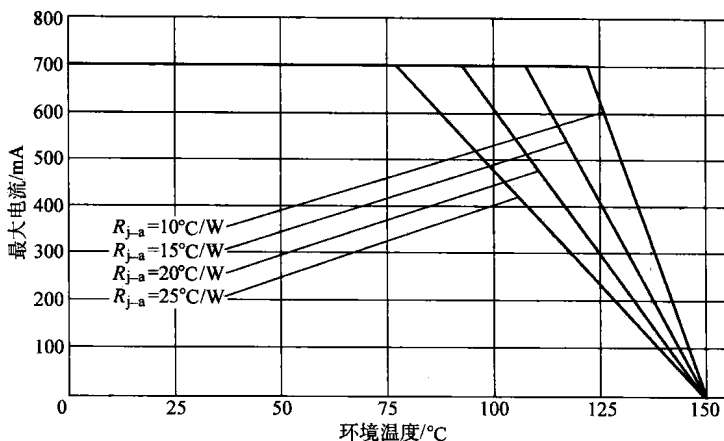


图 1-13 XP-E LED 系列白光 LED 的环境温度与正向电流以及管芯到环境的热阻之间的关系

### 8. 光通量与电流的关系

加大 HB LED 正向电流会使得 HB LED 输出的光通量增加。XP-E LED 系列白光 LED 的正向电流与光通量之间的关系如图 1-14 所示。

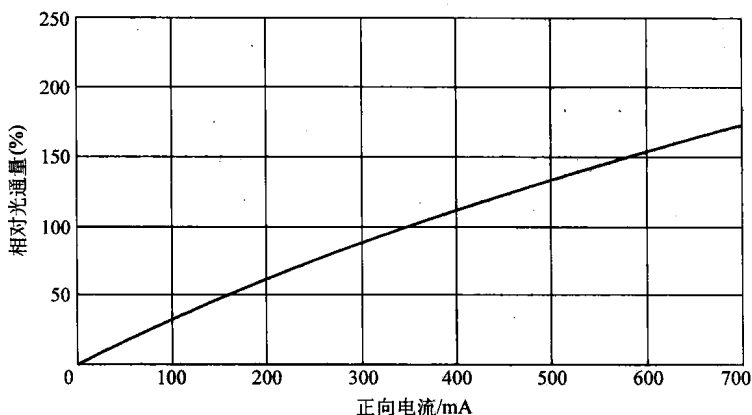


图 1-14 XP-E LED 系列白光 LED 的正向电流与光通量之间的关系

从图 1-14 中可以看到，随着正向电流的增加，光通量的增长相对正向电流慢，正向电流越大，光通量增长的速度越低。这就表明了 HB LED 在额定电流下的光效不如在额定电流一半的工作条件下的光效。

### 9. 光强的分布形式

尽管 XP-E LED 系列白光 LED 是广角的，但是 LED 本身的特性决定了它具有比较强的指向性，也就是说在 LED 的正面的光强最强，随着偏离 LED 的正面的，光强减弱，偏离角越大光强衰减的越厉害。

在 LED 的正面  $\pm 40^{\circ}$  范围内的光强衰减的比较慢，当偏离 LED 的正面的超过  $\pm 45^{\circ}$  以后，光强衰减的较快，当偏离正面  $90^{\circ}$  时，基本上就没有什么光强了。这一点 LED 的指向性比其他点光源都明显。