

LED QUDONG DIANYUAN
SHEJI RUMEN

LED驱动电源 设计入门

沙占友 王彦朋 马洪涛 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

LED QUDONG DIANYUAN
SHEJI RUMEN

LED驱动电源 设计入门

沙占友 王彦朋 马洪涛 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书全面、深入、系统地阐述了 LED 驱动电源设计的入门知识,并给出许多典型设计与应用实例。全书共八章,内容主要包括 LED 及驱动电源基础知识,LED 驱动电源的基本原理,LED 驱动电源的设计与应用指南,LED 灯具保护电路的设计,从中、小功率到大功率及特大功率 LED 驱动 IC 的原理与应用。本书遵循先易后难、化整为零、突出重点和难点的原则,从 LED 驱动电源的基本原理,到 LED 驱动电源各单元电路的设计,再到整机电路设计,可帮助读者快速、全面、系统地掌握 LED 驱动电源的设计方法、设计要点及典型应用。

本书融实用性、科学性于一体,内容由浅入深,循序渐进,通俗易懂,图文并茂,是一本 LED 驱动电源设计的入门指南,适合从事 LED 驱动电源行业的工程技术人员和初学者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

LED 驱动电源设计入门 / 沙占友等著. —北京: 中国电力出版社, 2011. 7

ISBN 978 - 7 - 5123 - 1918 - 9

I. ①L… II. ①沙… III. ①发光二极管 - 电源电路 - 电路设计 IV. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 141784 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米 × 980 毫米 16 开本 21 印张 420 千字

印数 0001—3000 册 定价 46.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

近年来，随着发光二极管（LED）制造工艺的进步和新材料的开发，各种大功率的白光 LED（WLED）、高亮度 LED（HB-LED）、超高亮度 LED（UHB-LED）和全彩色 LED（RGB-LED）获得迅速发展，被广泛用于 LED 照明（亦称固态照明）、LED 背光、LED 显示仪表和大屏幕 LED 显示屏等领域，成为现代科技与社会经济发展的一大亮点。

LED 驱动电源是 LED 灯具、LED 背光源、LED 显示器和 LED 显示屏的重要组成部分。对 LED 驱动电源的基本要求是高可靠性、高效率、高功率因数、长寿命、保护功能完善、使用寿命能与 LED 寿命相适配、使用安全、符合安全规范和电磁兼容要求。户外使用的 LED 驱动电源还应具备防水、防潮、抗晒等防护功能。

鉴于目前国内已出版专门介绍 LED 驱动电源设计入门的书籍还很少，而许多读者迫切需要能更全面、系统地掌握 LED 驱动电源的入门知识、设计方法、设计实例、设计要点及使用注意事项。为此，我们在系统总结从事 LED 驱动电源研究工作所积累的经验及部分科研成果的基础上，参考国内外厂家提供的最新资料后撰成此书，以飨广大读者。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体，主要有以下特点：

第一，本书遵循先易后难、化整为零、突出重点和难点的原则，首先介绍 LED 驱动电源的基本原理，然后按照 LED 驱动电源基本单元电路的顺序，详细介绍了整机电路设计。

第二，全面、深入、系统地阐述了 LED 驱动电源的优化设计，内容主要包括 LED 及驱动电源基础知识、设计指南、应用指南、功率因数校正、大功率 LED 的温度补偿、驱动电源及 LED 灯具保护电路的设计、涉及从中、小功率到大功率及特大功率 LED 驱动 IC 的原理与应用。此外还基于电子测量领域定义的波形因数（ k_r ）和开关电源的脉动系数（ K_{RP} ）等概念，对 AP 法计算公式做了严密推导及验证，为正确选择高频变压器的磁心提供了一种科学、实用的方法。

第三，深入浅出，通俗易懂，实用性强。例如，第一~三章为基础篇；第四~八章则从器件选择、电路类型选择、功能特点及对保护电路的要求、布局与布线等多个角度，深入阐述 LED 驱动电源的设计要点、设计方法、典型应用及注意事项。这对读者学习设计和制作 LED 驱动电源具有重要参考价值。

第四，信息量大，知识面宽，便于读者触类旁通，举一反三，灵活运用。

沙占友教授撰写了第一、四、五、八章，并完成了全书的审阅和统稿工作。王彦朋教授、马洪涛副教授、孟志永和许云峰老师合撰写了第二、三、六、七章。

李学芝、沙江、韩振廷、魏跃平、沙莎、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉同志也参加了本书撰写工作。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎广大读者指正。

作者

前言

第一章 LED 及其驱动电源的基础知识	1
第一节 LED 的产品分类和主要技术参数	1
一、LED 产品的分类	1
二、LED 器件的主要技术参数	2
第二节 LED 的工作原理	5
一、单色 LED 的基本原理	5
二、白光 LED 的基本原理	6
三、彩色 LED 的工作原理	7
第三节 LED 照明	9
一、LED 照明的主要特点及应用领域	10
二、LED 的接线方式	12
第四节 LED 照明的关键技术	12
一、LED 的光衰	12
二、LED 的寿命	13
三、驱动电源对 LED 灯具寿命的重要影响	15
第五节 LED 背光	16
一、液晶显示器背光源的分类	17
二、LED 背光的主要特点	17
三、LED 背光的驱动电路	18
第六节 LED 显示屏	21
一、LED 显示屏的发展简况及主要特点	21
二、大屏幕 LED 显示屏的基本结构	22
第七节 LED 灯具的几种驱动方式	23
一、恒压驱动方式及其主要缺点	23
二、恒流驱动方式及其主要优点	25
三、AC LED 的驱动方式及其优缺点	26

第八节	LED 点阵及其驱动方式	29
一、	LED 点阵显示器的结构原理	29
二、	LED 显示屏的动态扫描驱动方式	32
第九节	国内外 LED 驱动芯片典型产品性能一览表	32
一、	国内外生产的 LED 驱动芯片典型产品性能一览表	32
二、	国产 LED 驱动芯片典型产品性能一览表	35
三、	LED 保护芯片典型产品的性能一览表	37
第二章	LED 驱动电源的基本原理	38
第一节	恒压式 LED 驱动电源	38
一、	脉宽调制器的基本原理	38
二、	LED 驱动电源的控制类型	40
三、	LED 驱动电源的两种工作模式	42
第二节	恒流式 LED 驱动电源	43
一、	线性恒流调节器的基本原理	44
二、	恒流式 LED 显示屏驱动器的基本原理	46
第三节	恒压/恒流式 LED 驱动电源	47
第四节	分布式 LED 驱动电源	49
一、	分布式 LED 驱动电源的主要特点	49
二、	分布式 LED 驱动电源应用实例	49
第五节	降压式 LED 恒流驱动器	51
一、	降压式变换器的基本原理	51
二、	降压式 LED 驱动器的应用实例	53
第六节	升压式 LED 恒流驱动器	53
一、	升压式变换器的基本原理	53
二、	升压式 LED 驱动器的应用实例	54
第七节	降压/升压式 LED 恒流驱动器	55
一、	降压/升压式变换器的基本原理	55
二、	降压/升压式 LED 驱动器的应用实例	56
第八节	单端一次侧电感式 (SEPIC) LED 恒流驱动器	58
一、	SEPIC 变换器的基本原理	58
二、	基于 SEPIC 的 LED 驱动器应用实例	59
第九节	电荷泵式 LED 恒流驱动器	60
一、	电荷泵式变换器的基本原理	60
二、	电荷泵式 LED 驱动器的应用实例	61

第十节 反激式 LED 恒流驱动器	61
一、反激式变换器的基本原理	61
二、反激式 LED 驱动电源的应用实例	63
第十一节 正激式 LED 恒流驱动器	64
一、正激式变换器的基本原理	64
二、正激式 LED 驱动电源的应用实例	65
第十二节 半桥 LLC 谐振式 LED 恒流驱动器	65
第十三节 LED 显示屏恒流驱动器	68
一、LED 显示屏专用驱动芯片的典型产品	68
二、LED 显示屏驱动器的应用实例	70
第三章 交流输入式 LED 恒流驱动电源单元电路的设计	73
第一节 交流输入式 LED 恒流驱动电源的基本构成	73
第二节 交流输入保护电路	74
第三节 电磁干扰滤波器	76
一、EMI 滤波器的基本原理	76
二、EMI 滤波器的电路结构	78
第四节 输入整流滤波器及升压式 PFC 二极管	80
一、输入整流桥的选择	80
二、输入滤波电容器的选择	82
三、升压式 PFC 二极管的选择	83
第五节 漏极钳位保护电路	85
一、MOSFET 漏极上各电压参数的电位分布	85
二、漏极钳位保护电路的基本类型	86
三、漏极钳位保护电路设计实例	87
第六节 高频变压器磁心的选择方法	89
一、根据经验公式或输出功率选择磁心	89
二、高频变压器电路的波形参数分析	91
三、采用 AP 法 (面积乘法) 选择磁心	93
第七节 反激式开关电源的高频变压器设计	97
一、反激式开关电源的高频变压器设计方法	97
二、反激式开关电源的高频变压器设计实例	100
第八节 二次侧输出电路	103
一、快恢复及超快恢复二极管的选择	103
二、肖特基二极管的选择	105

三、 输出滤波电容器的选择	107
第四章 LED 照明驱动电源设计指南	110
第一节 LED 灯具的设计要点	110
第二节 模拟调光电路的主要特点及实现方案	116
一、 模拟调光的主要特点	117
二、 模拟调光的实现方案	119
第三节 PWM 调光的主要特点及实现方案	121
一、 PWM 调光的主要特点	121
二、 PWM 调光的实现方案	122
第四节 TRIAC 调光的主要特点及实现方案	123
一、 TRIAC 调光的主要特点与基本原理	123
二、 TRIAC 调光的关键技术及实现方案	125
第五节 数字调光的主要特点及实现方案	127
一、 数字调光的主要特点及相应 LED 驱动器的产品分类	127
二、 带 I ² C 接口的数字调光式 LED 驱动器	128
三、 带 SPI 接口的数字调光式 LED 驱动器	129
第六节 模拟调光和 PWM 调光电路的设计实例	131
一、 MT7201 型可调光 LED 驱动器的典型应用及设计要点	131
二、 SD42524 型可调光 LED 驱动器的典型应用及设计要点	133
第七节 TRIAC 调光电路的设计实例	135
一、 LM3445 型 TRIAC 调光 LED 驱动控制器的原理与应用	135
二、 TRIAC 调光 LED 驱动电源的设计实例	139
第八节 大功率 LED 温度补偿电路设计与应用实例	141
一、 大功率 LED 温度补偿的基本原理	141
二、 带温度补偿可调光式大功率 LED 驱动器的原理与应用	143
三、 大功率 LED 温度补偿电路应用实例	145
第九节 无源 LED 驱动电源 PFC 电路的设计	146
一、 功率因数与总谐波失真	146
二、 无源 PFC 电路的基本原理	148
三、 二阶无源填谷式 PFC 电路的设计	149
四、 三阶无源填谷式 PFC 电路的设计	151
第十节 有源 PFC 变换器的设计原理	152
一、 有源 PFC 变换器的基本原理	152
二、 PFC 类型、级数及工作模式的选择	155

三、 PFC 电源的配置方案	156
第十一节 带 PFC 的 LED 驱动电源设计实例	157
一、 L6561、 L6562 型有源 PFC 变换器的工作原理	157
二、 L6561、 L6562 型有源 PFC 变换器的典型应用	159
三、 带 PFC 的 LED 驱动电源设计实例	161
第十二节 带 PFC 和 TRIAC 调光的 LED 驱动电源设计实例	162
一、 带 PFC 和 TRIAC 调光的 LED 驱动电源设计实例	163
二、 带 PFC 和 TRIAC 调光的 LED 驱动电源设计要点	165
第五章 LED 驱动电源应用指南	169
第一节 提高 LED 驱动电源效率的方法	169
一、 开关电源功率损耗的成因	169
二、 设计高效率 LED 驱动电源的原则	170
三、 提高 LED 驱动电源效率的方法	171
第二节 降低 LED 驱动电源空载及待机功耗的方法	173
一、 开机后消除泄放电阻功率损耗的方法	174
二、 开机后消除热敏电阻功率损耗的方法	177
三、 消除待机模式下检测电阻功率损耗的方法	178
第三节 LED 驱动电源的布局与布线	181
一、 LED 驱动电源布局与布线的一般原则	181
二、 LED 驱动电源的布局与布线注意事项	183
第四节 LED 驱动电源的印制板设计	185
一、 LED 驱动电源印制板设计实例	185
二、 印制板设计注意事项	187
第五节 特种 LED 驱动电源的电路设计	191
一、 恒压/恒流控制环的工作原理与电路设计	191
二、 精密恒压/恒流控制环的工作原理与电路设计	193
三、 截流型 LED 驱动电源的工作原理与电路设计	194
四、 恒功率输出型 LED 驱动电源的工作原理与电路设计	196
第六节 LED 驱动电源的测试技术	198
一、 LED 驱动电源主要参数的测试方法	199
二、 高频变压器的电气性能测试方法	201
三、 LED 驱动电源测量技巧	202
四、 利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法	205
五、 PWM 控制器关键波形的测试方法	207

六、快速测量 LED 结温的方法	208
第七节 LED 驱动电源常见故障分析	209
第六章 LED 灯具保护电路的设计	212
第一节 LED 灯具常用保护器件的选择	212
一、LED 驱动芯片保护电路的分类及保护功能	212
二、LED 保护电路的分类及保护功能	213
第二节 LED 驱动器保护电路的设计	214
一、LED 驱动器的输出过电压保护 (OVP) 电路	214
二、LED 驱动器的输入欠电压保护 (UVP) 电路	216
三、LED 驱动器的输出过电流保护 (OCP) 电路	217
四、LED 驱动器的过热保护 (OTP) 电路	218
五、LED 驱动器的开路/短路故障检测功能	219
第三节 LED 驱动电源的瞬态过电压保护电路	220
一、瞬态电压抑制器 (TVS) 的工作原理	220
二、瞬态电压抑制器的选择及典型应用	222
第四节 LED 开路保护电路	223
一、NUD4700 型 LED 开路保护器	224
二、SMD602 型 LED 开路保护器	224
三、AMC7169 型 LED 开路保护器	225
第五节 LED 瞬态过电压、过电流和浪涌电流保护电路的设计	227
一、LED 瞬态过电压保护电路的设计	227
二、LED 过电流保护电路的设计	228
三、LED 浪涌电流保护电路的设计	229
第六节 LED 静电放电保护电路的设计	232
一、人体静电放电 (ESD) 模型及测试方法	232
二、HB-LED 灯串的静电放电保护电路	233
三、ESD 保护器件的原理与应用	234
第七节 LED 驱动电源散热器的设计	235
一、单片 LED 驱动电源的散热器设计方法	235
二、单片 LED 驱动电源 PCB 散热器设计实例	238
第八节 功率开关管 (MOSFET) 散热器的设计	240
一、功率开关管散热器的设计方法	240
二、功率开关管散热器的设计实例	241
第九节 大功率 LED 散热器的设计	242

一、大功率 LED 的安全工作区与降额曲线	243
二、大功率 LED 照明灯散热器设计方法及设计实例	244
第十节 开关电源的 EMC 及安规设计	246
一、开关电源的电磁干扰波形分析	247
二、降低电磁干扰的方法	249
三、开关电源的安全规范	253
第七章 新型大功率及特大功率 LED 驱动 IC 的原理与应用	258
第一节 由 PT4207 构成的 50W 可调光 LED 恒流驱动电源	258
一、PT4207 的工作原理	258
二、由 PT4207 构成的 50W 高亮度 LED 驱动电源	261
三、电路设计要点	262
第二节 半桥式 PFC 及 LLC 控制器 PLC810PG 的工作原理	264
一、PLC810PG 的性能特点	264
二、PLC810PG 的工作原理	265
第三节 由 PLC810PG 构成的 150W 大功率 LED 路灯驱动电源	268
一、输入电路及 PFC 电路	268
二、LLC 及光耦反馈电路	272
第四节 HiperPFS 系列升压式单级 PFC 控制器的工作原理	274
一、HiperPFS 系列产品的性能特点	274
二、HiperPFS 系列产品的原理	275
第五节 由 PFS714EG 构成的 347W 大功率 LED 驱动电源	278
一、由 PFS714EG 构成的 347W 高效大功率升压式 PFC 电源	278
二、电路设计要点	281
第六节 HiperTFS 系列双开关正激式加反激式变换器的工作原理	284
一、HiperTFS 系列产品的性能特点	284
二、HiperTFS 系列产品的原理	285
第七节 由 TFS762HG 构成的 312.5W 大功率 LED 驱动电源	288
第八章 中、小功率 LED 驱动 IC 的原理与应用	292
第一节 PT4115 型具有高 PWM 调光比的 LED 恒流驱动器	292
一、高 PWM 调光比 LED 驱动器 PT4115 的工作原理	292
二、PT4115 的典型应用及电路设计要点	294
第二节 LT3756 型多拓扑结构的 LED 驱动器	296
一、多拓扑结构 LED 驱动器的工作原理	296

二、多拓扑结构 LED 驱动器的典型应用	298
第三节 iW3610 型 AC/DC 式 TRIAC 调光数控 LED 驱动控制器	300
一、AC/DC 式数控 LED 驱动控制器的工作原理	300
二、AC/DC 式数控 LED 驱动控制器 iW3610 的典型应用	303
第四节 AX2005 型具有 OVP 功能的大电流 LED 驱动器	305
一、大电流 LED 驱动器 AX2005 的工作原理	305
二、大电流 LED 驱动器 AX2005 的典型应用	306
第五节 AMC7150 型降压式高效率 LED 恒流驱动器	307
一、降压式高效率 LED 恒流驱动器 AMC7150 的工作原理	307
二、降压式高效率 LED 恒流驱动器 AMC7150 的典型应用	308
第六节 TK5401 型无电解电容器的 LED 恒流驱动器	311
一、无电解电容器 LED 恒流驱动器 TK5401 的工作原理	311
二、无电解电容器 LED 恒流驱动器 TK5401 的典型应用	313
第七节 MT7920 型 AC/DC 式高功率因数 LED 恒流驱动器	315
一、AC/DC 式高功率因数 LED 恒流驱动器 MT7920 的工作原理	315
二、AC/DC 式高功率因数 LED 恒流驱动器 MT7920 的典型应用	318
参考文献	321

第一章

LED 及其驱动电源的基础知识

LED 照明与显示是现代科技的一大亮点，也是发展低碳经济的必由之路。本章首先介绍 LED 的工作原理，然后简述 LED 照明、LED 背光及 LED 显示屏的主要特点及关键技术，LED 及 LED 点阵的驱动方式。最后给出了国内外 LED 驱动芯片典型产品性能一览表。

第一节 LED 的产品分类和主要技术参数

一、LED 产品的分类

LED 产品的型号繁多，功能各异。大致可按用途、工作电压类型、LED 的亮度、发光颜色、发光面、透光性、发光角、封装形式、功率、是否为可见光、变色方式、控制类型、电阻温度系数等进行分类。

1. 按用途分类

LED 指示灯（适用于各种电子设备），LED 照明灯（做光源使用），LED 背光灯（做 LCD 的背光源），LED 点阵（亦称 LED 矩阵，适用于大屏幕 LED 显示屏），LED 显示器（适用于数字仪表及智能仪器）。

2. 按工作电压类型分类

直流 LED（DC LED），交流 LED（AC LED）。

3. 按亮度分类

普通亮度 LED（法向发光强度 $I_v = 100\text{mcd}$ ）；高亮度 LED，简称 HB-LED（ $I_v = 100 \sim 1000\text{mcd}$ ）；超高亮度 LED，简称 UHB-LED（ $I_v > 1000\text{mcd}$ ）。

4. 按发光颜色分类

红光 LED（峰值波长 λ_p 的典型值为 655nm），橙光 LED（630nm），黄光 LED（585nm），绿光 LED（565nm），蓝光 LED（440nm）。

此外还有双变色 LED（适合做极性指示器），伪彩色（三变色）LED（适合构成伪彩色 LED 显示屏），彩色 LED（简称 RGB-LED：适用于彩色装饰灯或全彩色 LED 显示屏）。

5. 按发光面形状分类

圆形 LED (管径为 $\phi 2$ 、 $\phi 5$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 20$ mm 等), 方形 LED, 菱形 LED, 侧向光形 LED, 面发光形 LED (适合做 LED 标志引导牌)。

6. 按透光性分类

有色透明 LED, 无色透明 LED, 有色散射 LED (适合做 LED 指示灯), 无色散射 LED (适合做 LED 台灯)。

7. 按视角分类

高指向性 LED (视角为 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 具有很高的指向性), 标准型 LED (视角为 $40^{\circ} \sim 90^{\circ}$), 散射型 LED (宽视角为 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$)。

8. 按封装形式分类

全环氧树脂封装, 金属底座全环氧树脂封装, 陶瓷底座环氧树脂封装, 玻璃封装, 表贴式封装。

9. 按功率分类

中、小功率 LED (功率为几十至几百毫瓦, 工作电流小于 100mA), 大功率 LED (单只 LED 的功率为 1、3、5W 等; 工作电流均大于 100mA, 典型值为 350、700mA 和 1A)。

10. 按是否为可见光分类

可见光 LED (波长 $\lambda = 380 \sim 760$ nm), 红外线 LED ($\lambda > 760$ nm), 紫外线 LED ($\lambda < 380$ nm)。

11. 按变色方式分类

双基色 LED (适合构成伪彩色 LED 显示屏), 彩色 LED (简称 RGB-LED, 适用于彩色照明或构成全彩色 LED 显示屏)。

12. 按控制类型分类

电流控制型 LED (普通 LED, 均属于电流控制型), 电压控制型 LED (BTV 器件, 内含采用集成工艺制作的限流电阻), 闪烁 LED (BTS 器件, 内含振荡器、分频器、驱动器和 LED)。

13. 按电阻温度系数分类

正阻型 LED (普通 LED 均属于正阻型), 负阻型 LED (简称 NRLED 器件, 其伏安特性曲线与晶闸管相似, 适用于过压保护电路)。

二、LED 器件的主要技术参数

1. 光通量 Φ

人眼所能感觉到的辐射功率, 它等于单位时间内某一波段的辐射能量与该波段的相对视见率的乘积, 用 Φ 表示, 单位是 lm。其中, 视见率表示不同波长的光对人眼的视觉灵敏度; 相对视见率则表示某波长光的视见率与波长为 555nm 的绿光视见率的

比值。

2. 发光效率 η_v

光源发射的光通量 Φ 与其消耗的电功率 P_D 之比，即 $\eta_v = \Phi/P_D$ ，单位是 lm/W。

3. 发光强度 I

光源在一定的立体角内发射的光通量与该立体角的比值，单位是 cd。法向（即轴向）发光强度则用 I_v 表示，此时发光强度达到最大值。

4. 亮度 L_v

给定点的光束元沿给定方向的发光强度与光束元垂直于指定方向上的面积之比，单位是 cd/m^2 。

5. 照度 E_v

在包含该点的面积上所接收的光通量与该面积之比，单位是 lx。

6. 峰值发射波长 λ_p

当辐射功率为最大值时所对应的波长，单位是 nm。

7. 色温 T_c

当光源所发出的颜色与“黑体”在某一温度下辐射的颜色相同时，“黑体”的温度就称为该光源的色温，单位是 K（开尔文）。若“黑体”的温度越高，则光谱中蓝色成分越多，而红色成分越少。白炽灯的光色为暖色，其色温表示为 2700K；荧光灯的光色偏蓝，色温为 6000K。

8. 色差 E

定量表示的色知觉差别。

9. 光衰

光衰是光致衰退效应的简称。当光通量衰减到初始值的 70% 时（折合 0.7，准确值为 $\sqrt{2}/2$ ），即认为 LED 的使用寿命已经终止。

10. 寿命

LED 在规定工作条件下，当光通量衰减到初始值 70% 时的工作时间，单位是 h。

11. 正向电流 I_f

当 LED 器件正常发光时流过它的电流。

12. 最大正向电流 I_{FM}

允许通过 LED 器件的最大正向电流。

13. 反向电流 I_R

当加在 LED 器件两端的反向电压为规定值时，流过 LED 器件的电流。

14. 正向电压 U_f

通过 LED 器件的正向电流为规定值时，在两极间产生的压降。

15. 反向电压 U_R

当 LED 器件通过的反向电流 I_R 为规定值时，在两极间所产生的压降。

16. 额定功耗 P_D

允许加到 LED 两端的最大电功率值。

17. 结温 T_j

专指 LED 器件中主要发热部分——半导体结（即芯片）的温度。

18. 管壳温度 T_c

在 LED 器件工作时管壳规定点的温度。

19. 热阻 R_θ

LED 器件的有效温度与外部规定参考点的温差与器件的稳态功耗之比。

20. 像素

像素是屏幕上可被独立控制的最小单元。彩色像素由红、绿、蓝 3 种颜色组成，只需分别调节红、绿、蓝色的亮度，即可显示出任何颜色。像素直径是指每个像素的直径，单位是 mm。室内大屏幕 LED 显示屏的常见像素直径有 $\phi 3.0$ 、 $\phi 3.75$ 、 $\phi 5.0$ mm 等。

21. 灰度

灰度亦称色阶（或灰阶），是用黑色调表示物体的明暗程度，它对应于从 0%（最亮）到 100%（最暗）的某一亮度值。

22. 灰度等级

单一基色的 LED 显示屏从最暗到最亮之间所能识别的亮度级数。灰度等级主要取决于系统中 A/D 转换器的位数。一般分为 16 级（4bit）、32 级（5bit）、64 级（6bit）、128 级（7bit）、256 级（8bit）、512 级（9bit）、1024 级（10bit）等多个等级。灰度等级越高，色彩的层次越多，色彩越艳丽；反之，显示颜色单一，变化简单，缺乏层次感。目前国内 LED 显示屏大多采用 8 位处理系统，灰度等级为 $2^8 = 256$ 级，从最暗到最亮总共有 256 种亮度变化。采用 RGB 三原色即可构成 $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$ 种颜色，即通常所说的 16M（或 24bit）种颜色（ $1M = 1024k$ ， $1k = 1024$ ， $16M = 16 \times 1024 \times 1024 = 16\,777\,216 = 2^{24}$ ，等于 24bit 数据）。

23. 对比度

在一定的环境照度下，LED 显示屏最大亮度与背景亮度的比值。

24. 视角 θ

当发光强度等于轴向强度值一半时，光线方向与法线的夹角，称作半值角 $\theta_{1/2}$ ；半值角的 2 倍为视角 θ 。视角可分为水平视角、垂直视角两种。LED 显示屏的视角应根据具体用途来选定，户外大屏幕 LED 显示屏可选水平视角为 110° 、垂直视角为 $45^\circ \sim 50^\circ$ 的椭圆形 LED 发光器件；室内显示屏则选用水平、垂直视角均超过 110° 的表贴式 LED。视角与亮度是互相矛盾的，视角越大，亮度越低。

25. 失效率

失效率是指单位时间内失效的元件数与元件总数的比值。LED 显示屏的失效率取决于 LED 器件的质量（排除显示屏生产工艺中的虚焊、漏焊、接触不良等影响）。用