

国家九五重点图书

# LED显示屏系统 原理及工程技术

诸昌铃 编著

多媒体信息  
显示应用  
技术丛书



电子科技大学出版社

LED显示屏系统原理及工程技术

者 昌 铃 编 著

电子科技大学出版社



# LED 显示屏系统原理 及工程技术

诸昌钤 编著

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

LED 显示屏系统原理及工程技术/诸昌铃编著. —成都:  
电子科技大学出版社, 2000.12  
ISBN 7—81065—569—8

I. L... II. 诸... III. 液晶显示器-概论  
IV. TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 85787 号

### 内 容 提 要

本书首先介绍了 LED 显示屏的发展与应用概况。在第一章中叙述了 LED 显示器件的基本工作原理及特性, 详细介绍了 LED 点阵显示器的具体电路和参数。第二章针对广泛应用的图文显示屏, 在介绍它的基本组成之后, 对各部分电路进行了深入的分析, 并给出了完整实用的硬件电路图和全部汇编语言程序清单。第三章的内容是图像显示屏, 侧重分析了 LED 显示屏的灰度控制方法, 并介绍了集成电路 TLC5902 的特性及应用。第四章讨论了当前最流行的视频显示屏, 就视频信号源的组织、视频 LED 显示屏的结构、主要集成电路芯片, 以及配套的应用软件等, 分别介绍了 ZQL9701、DS90C031 等芯片的技术特性和 LEDSHOW、&ldquo; LED 管理工具&rdquo; 等软件的使用方法。书后还附有我国 LED 的行业标准。本书可供从事各类 LED 显示屏工作的工程技术人员参考, 也可作为大专院校有关专业的教学参考书或教材。

## LED 显示屏系统原理及工程技术

诸昌铃 编著

---

出 版: 电子科技大学出版社(成都建设北路二段四号 邮编: 610054)  
责任编辑: 黄礼玲  
发 行: 新华书店经销  
印 刷: 成都新都华兴印务公司  
开 本: 787×1092 1/16 印张 13.75 插页 2 字数 333 千字  
版 次: 2000 年 12 月第一版  
印 次: 2000 年 12 月第一次印刷  
书 号: ISBN 7—81065—569—8/TN·24  
印 数: 1—4000 册  
定 价: 19.00 元

---

# 前 言

LED 显示屏是利用发光二极管点阵模块或像素单元组成的平面式显示屏幕。由于它具有发光效率高、使用寿命长、组态灵活、色彩丰富以及对室内外环境适应能力强等优点,自 20 世纪 80 年代后期开始,随着 LED 制造技术的不断完善,在国外得到了广泛的应用。在我国改革开放之后,特别是进入 90 年代国民经济高速增长,对公众场合发布信息的需求日益强烈,LED 显示屏的出现正好适应了这一市场形势,因而在 LED 显示屏的设计制造技术与应用水平上都得到了迅速的提高。LED 显示屏经历了从单色、双色图文显示屏,到图像显示屏,一直到今天的全彩色视频显示屏的发展过程。无论在器件的性能(超高亮度 LED 显示器及蓝色发光灯等)和系统的组成(计算机化的全动态显示系统)等方面都取得了长足的进步。目前已经达到超高亮度全彩色视频显示的水平,可以说能够满足各种应用条件的要求。其应用领域已经遍及交通、证券、电信、广告、宣传等各个方面。我国 LED 显示屏的发展可以说基本上与世界水平同步,至今已经形成了一个具有相当发展潜力的产业。应该指出的是,我国 LED 产业不但在应用技术上取得了巨大的成功,而且在创新能力上有出色的表现,例如北京中庆数据设备公司研制的 ZQL9701 超大规模芯片,就代表了当前 LED 显示屏控制电路的国际水平。

与国内 LED 显示屏产业的迅速发展相比,目前关于 LED 显示屏的图书资料显得太少,不便于设计制造人员及运用维护人员的工作,由此萌发了编写一本 LED 显示屏技术用书的想法,适逢电子科技大学出版社之邀,斗胆动笔草就本书。书中分别就 LED 显示屏的概况、LED 显示器件、图文显示屏、图像显示屏、视频显示屏等有关技术问题进行了叙述,以期使从事各类 LED 显示屏工作的读者能够从本书中得到一些有用的材料。

由于 LED 显示屏是多种技术综合应用的产品,涉及光电子学、半导体器件、数字电子电路、大规模集成电路、单片机及微机等各个方面,既有硬件又有软件。上述各个领域都自成体系,在本书中无法一一尽述,只能以显示屏为主线进行讨论。书中在处理相关领域技术方面采取了以下两条对策:一、侧重叙述与 LED 显示屏直接有关的部分,而不追求各相关技术自身的完整性;二、尽量采用简单普及的方案进行描述,介绍相关技术在 LED 显示屏中的应用,而不刻意追求相关技术的先进性。例如在一些控制电路中,能用常规集成电路实现,而又不大烦琐复杂的话,就不采用可编程逻辑器件的方案。尽管可编程逻辑器件可能更先进,也得到了广泛应用,但毕竟不像集成电路或单片机那样普及,而且对其编程思路及方法还要花较大篇幅进行介绍,容易冲淡主题。反过来采用集成电路和单片机等简单普及的方案,可以避免各个相关技术“从头说起”

的麻烦，从而达到精简内容突出重点的目的。

和其他电子产品一样，LED 显示屏的发展十分迅速，特别是全彩色视频显示屏是近几年才完善起来并得到广泛应用的产品，系统方案和所采用的技术不见得成熟，手头的资料也很有限。为编写本书，作者收集了有关资料并进行了整理。在资料的收集与整理过程中，得到了业界同人的鼎力相助。在这里要特别感谢北京中庆数字设备公司、华冠龙伟（成都）新技术公司、成都伟事达电子公司、北京东方星公司等各单位无私地为本书提供了大量详实的技术资料、图纸、照片，为完成本书的编写工作所给予的大力支持。在此还要感谢张河运先生、任平先生在本书编写过程中所给予的帮助与指导。

LED 显示屏产品批量不算大，品种较多，发展迅速，目前尚未形成严格的完整的国家标准，客观上给编写本书带来一定的困难，加上作者水平有限，编写时间仓促，书中谬误不当之处在所难免，敬请业界同人与读者批评指正。

诸昌铃

2000年4月29日于成都





颜色 [?] [X]

**基本颜色 (B):**

**自定义颜色 (C):**

规定自定义颜色 (D) >>

**颜色选择器:**

色调 (H): 0      红 (R): 255  
 饱和度 (S): 240      绿 (G): 0  
 颜色 | 实心 (O) 亮度 (L): 120      蓝 (B): 0

确定      取消      添加到自定义颜色 (A)

# 目 录

概 述.....	1
第一章 LED 器件.....	6
§1.1 LED 器件应用基础.....	6
1.1.1 光度学与色度学.....	6
1.1.2 视觉特征.....	8
1.1.3 图像质量的评价.....	10
§1.2 LED 工作原理.....	11
1.2.1 半导体发光基本原理.....	11
1.2.2 LED 器件参数.....	12
1.2.3 特性曲线.....	15
1.2.4 参数的测量.....	17
1.2.5 LED 器件的驱动.....	17
1.2.6 LED 器件使用注意事项.....	24
§1.3 LED 发光灯.....	25
§1.4 LED 点阵模块.....	28
第二章 LED 图文显示屏.....	53
§2.1 LED 图文显示屏的特点.....	53
§2.2 图文显示屏的基本结构.....	55
§2.3 图文屏的硬件设计.....	57
2.3.1 微机硬件电路.....	57
2.3.2 显示驱动电路.....	58
2.3.3 控制信号.....	62
§2.4 图文屏的软件.....	64
§2.5 关于图文显示屏的讨论.....	73
2.5.1 双色屏及多色屏.....	73
2.5.2 屏体尺寸的扩大.....	75
2.5.3 户内屏与户外屏.....	75
2.5.4 硬件的改进.....	76
2.5.5 数据传输格式.....	82
2.5.6 混合屏.....	83
2.5.7 各种应用方式.....	85



第三章 LED 图像显示屏.....	87
§3.1 图像显示 .....	87
3.1.1 恒流控制.....	88
3.1.2 占空比控制.....	89
3.1.3 灰度值发生器.....	91
3.1.4 H 计数器和 3 bit 计数器 .....	93
3.1.5 多路选择器.....	93
3.1.6 进一步的考虑.....	93
§3.2 具有灰度级显示功能的 LED 驱动器 TLC5902.....	96
3.2.1 TLC5902 介绍 .....	96
3.2.2 芯片使用方法.....	100
3.2.3 TLC5902 技术参数.....	106
3.2.4 TLC5902 的运用 .....	113
第四章 视频 LED 显示屏.....	116
§4.1 视频信号源.....	116
4.1.1 计算机显示适配卡 .....	118
4.1.2 ES98 多媒体视频卡.....	119
4.1.3 视频节目的组织与播放 .....	123
§4.2 视频 LED 显示屏的基本结构.....	142
4.2.1 视频 LED 显示屏控制电路的规模.....	143
4.2.2 视频 LED 显示屏的时间关系 .....	144
4.2.3 扫描板设计基础.....	146
4.2.4 扫描板基本结构.....	146
4.2.5 数据传输控制电路 .....	147
4.2.6 显示控制输出电路.....	149
4.2.7 存储器 .....	149
4.2.8 本地时钟与内部控制逻辑.....	150
§4.3 ZQL9701LED 显示控制芯片.....	151
4.3.1 芯片时序.....	155
4.3.2 ZQL9701 技术参数.....	159
4.3.3 芯片应用.....	161
4.3.4 ZQL9701 与 TLC5902 的比较.....	162
§4.4 ZQL9701 控制系统解决方案.....	163
4.4.1 系统性能 .....	163
4.4.2 系统硬件 .....	163
4.4.3 系统电路板配置.....	164
4.4.4 系统连接 .....	164

---

4.4.5	ZQL-S 系列扫描板 .....	165
4.4.6	系统指标 .....	170
§4.5	中庆 LED 管理工具 .....	170
4.5.1	LED 主显示区设置 .....	172
4.5.2	改变位置 .....	172
4.5.3	改变大小 .....	173
4.5.4	改变边宽 .....	173
4.5.5	改变颜色 .....	174
4.5.6	保存图像 .....	174
4.5.7	隐藏 .....	174
4.5.8	显示 .....	174
4.5.9	退出 .....	175
4.5.10	辅助功能 .....	175
4.5.11	全屏调色 .....	178
§4.6	视频传输技术 .....	182
4.6.1	LVDS 技术概述 .....	183
4.6.2	点到点通信 .....	186
4.6.3	通过电缆的信号质量 .....	187
4.6.4	DS90C031 LVDS 4 CMOS 差动线驱动器 .....	187
4.6.5	DS90C032 LVDS 4 CMOS 差动线接收器 .....	192
附 录	.....	197

# 概 述

自从1907年H.J.Round发现了金刚砂晶体通电后可以发光的现象，至今已经将近一个世纪了。到1923年O.W.Lesew观察到碳化硅的PN结具有单向导电性和发光现象，也有七十多年了。一直到1955年前后才在半导体理论和发光现象的研究方面取得了突破性的进展，一方面R.J.Haynes提出了有关半导体锗的PN结研究报告；另一方面G.A.Wolff研究了磷化镓的发光现象。所有这些研究都为此后发光二极管(Light Emetting Diode)的研究与制造奠定了理论基础。至1968年美国Monsanto公司和HP公司首先生产出红色LED发光灯，使LED正式成为一种电子产品进入市场。此后LED的工业化生产速度不断加快，规模不断扩大，品质不断提升，在制造工艺、亮度、效率、色彩等方面都取得了实用化的进展，使LED成为电光器件的主流产品之一。到1983年世界的LED总产量达到40亿只，而到1988年就达到了100亿只。

我国在1970年就由中国科学院长春物理研究所研制成功了LED器件。随着改革开放的不断深入，特别是信息化社会的到来，在器件制造和应用领域都取得了迅猛的发展，至今已经形成一个LED产业。在我国电子基础产品的发展策略方面，也首选光电子器件等五种产品作为扩大出口创汇能力实现专业化大生产的重点产品。目前我国LED器件的生产还是以后工序封装为主，企业大多分布于沿海各地。真正自主生产LED芯片的厂家不多，而且除个别厂家外生产规模都比较小，市场占有率不高。

LED器件的种类繁多。早期LED产品是单个的发光灯；随着数字化设备的出现，LED数码管和字符管得到了广泛的应用；LED显示屏的出现，适应了信息化社会发展的需要，成为大众传媒的重要工具。

LED发光灯的结构如图0.1所示，它由芯片3、阳极引脚1、阴极引脚2和环氧树脂封装外壳4组成。其核心部分为具有注入复合发光功能的PN结，即芯片3。环氧树脂封装外壳除具有保护芯片的作用之外，还具有透光聚光的能力，以增强显示效果。

LED发光灯可以分为单色发光灯、双色发光灯、三色发光灯、面发光灯、闪烁发光灯、电压型发光灯等多种类型。按照发光强度又可分为普通亮度发光灯、高亮度发光灯、超高亮度发光灯等。这种单个的发光灯适宜用做指示灯，如电源指示、电路状态指示等，进而对能够转变成电信号的各种物理量进行指示。也可以用多个LED发光灯组成固定的字符或图形进行显示，如大型剧场会堂的出入口及洗手间的显示。

LED应用领域的不断扩大，要求生产更直接更方便的LED显示器件。因而出现了数码管、字符管、电平管等多种LED显示器。各种显示器的核心部件仍然是发光半导体芯片，只不过各种显示器的结构不同，以适应不同的应用需要。各种LED显示器的基本结构也是

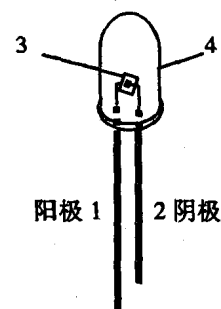


图 0.1 LED 发光灯

类似的，区别大多在于发光器件的数量、排列等方面的不同。图 0.2 表示了一般 LED 显示器的基本结构。

LED 显示器在底座上安放芯片 3，芯片的侧面设有反射器 2，正对发光方向上设有散射器或滤色镜 1。反射器用于汇聚增强发光效果；散射器用于防止外界光线照射在 LED 器件上形成的反射光降低 LED 发光的反差。

数码管是一种最常见的 LED 显示器，多由 7 或 8 段 LED 组成。通过控制各段的点燃与熄灭，可以显示数字 0~9，8 段数码管还可以显示小数点。数码管首先是用于各种数字化仪器的显示，然后迅速推广到各种生活计量器具上去，例如电子秤、出租车计费器等。

米字管是在数码管的基础上增加了部分笔画，从而增加了显示加 (+)、乘 (×)、除 (÷) 等运算符号的功能。符号管的主要功能是显示 +、-、/ 号和小数点，这在某些场合是很需要的，例如显示股票行情的涨跌。电平显示器常用来代替某些模拟显示器，用以显示那些不需要十分精确的信息，例如显示收音机音量的大小等，它具有直观、美观和响应速度快等优点，是各种设备特别是家电中可以考虑选择的一种显示器件，各类符号管、米字管、数码管、电平管如图 0.3 所示。

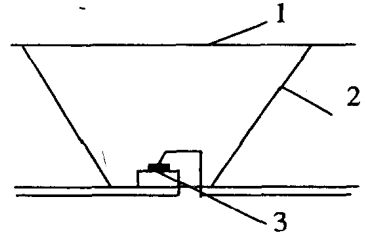


图 0.2 LED 显示器基本结构

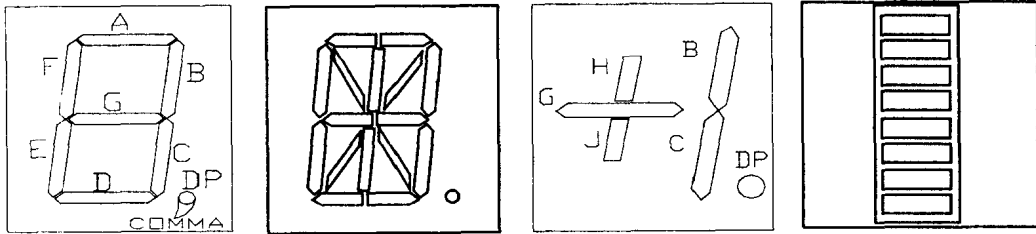


图 0.3 数码管、米字管、符号管和电平管

5×7 LED 点阵管(见图 0.4)多用于显示 ASCII 字符，它与早期计算机 CRT 显示终端所采用的点阵显示方式兼容。

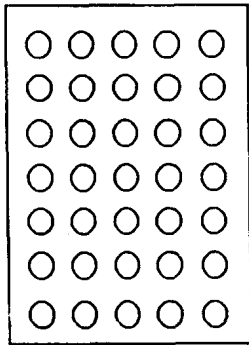


图 0.4 5×7 LED 点阵管

为了取得良好的显示一致性并简化器件结构，可以把多个数码管或 5×7 LED 点阵封装在一个器件中，形成多位数码管和点阵模块，用于显示多位数字或字符。

另外还可以把不同的 LED 器件组合封装在一起，作成专用的显示器件，例如时钟显示器利用数码管和冒号管的组合，可以显示：

XX: XX: XX  
时 分 秒

用多个 LED 发光灯组成的点阵，通过各个发光灯通断的不同组合，可以显示任意图形文字，是构成 LED 显示屏

的基本单元组件。点阵可以采用  $4 \times 4$ 、 $8 \times 8$ 、 $16 \times 16$  等多种结构形式，用以满足不同应用场合的需要。有关 LED 点阵显示器（模块）的具体结构及特性，将在下一章进行详细介绍，此处不再赘述。

LED 发光器件在发光强度、色彩、响应速度、耗电量、可靠性、寿命以及抗恶劣环境等方面具有综合优势，使其成为发布公众信息的主要工具。

**发光强度** 普通 LED 发光灯的发光强度约为 10 mcd（毫坎德拉），高亮度 LED 发光灯为 10~100 mcd，超高亮度 LED 发光灯的发光强度在 100 mcd 以上。目前已经研制并生产出 1000 mcd 以上的所谓坎德拉级的超高亮度 LED 器件。普通 LED 发光灯适合于室内应用，超高亮度 LED 发光灯可以用于室外。

**色彩** LED 发光器件因采用不同的半导体材料，可以发出不同波长的光线，即不同颜色的光线。比较常见的 LED 器件有红色、橙色、黄色、绿色等多种颜色。近期已经研制并生产出超高亮度的蓝色 LED 器件，从而推动了基于红绿蓝三基色的全彩色 LED 显示屏的实现和迅速广泛应用。这是最近一个时期内全彩色显示屏迅速兴起的关键因素之一。

**响应速度** LED 器件的响应频率  $f_r$  与注入少数载流子的寿命  $\tau_{mc}$  有关，例如 GaAs 材料半导体的  $\tau_{mc}$  一般在 1~10ns 范围内，其响应频率约在 16~160 MHz，这样高的响应频率对于显示 6.5 MHz 的视频信号来说已经是足够的了。它是实现视频 LED 显示屏的关键因素之一。

**耗电量** 普通 LED 发光灯的工作电流仅为 10 mA，超高亮度的 LED 器件的工作电流也不过 100 mA，加上它的工作电压只有 2V 左右，因此其耗电量是很小的。

**可靠性、寿命及抗恶劣环境性能** 由于 LED 属于固体器件，其可靠性明显比 CRT 等电真空器件要高得多，根本不存在诸如阴极老化和寿命极限等问题。固体器件的抗冲击震动性能也远高于其它显示器件。

由于以上多种因素的综合作用，使 LED 显示屏与其它类型的显示屏相比，具有明显的优势。表 0.1 中列出了 CRT、滤光白炽灯、光导纤维、LED、翻板等多种显示屏的性能比较。

表 0.1 各类显示屏性能比较

	CRT	滤光白炽灯	光导纤维	LED	翻板
响应速度	快	慢	中	快	慢
抗恶劣环境	中	中	中	强	强
可靠性	较高	低	低	高	中
寿命	中	短	长	长	长
亮度	高	高	高	中	低
重量	重	中	中	轻	轻
耗电量	大	大	大	中	小
造价	高	中	中	高	低
轴向视角	大	大	大	中	大

表 0.1 所列结果是对各类显示屏总体性能进行的比较。例如 LED 显示屏的亮度总体上属于中等水平，所以结果是“中”，而 CRT 在总体上看属于亮度“高”的范围。然而对于不同应用环境，显示屏的亮度应该有不同要求，在室内普通亮度的 LED 和高亮度 LED 器件即可满足要求，在室外超高亮度的 LED 器件比 CRT 的显示效果还要好，实际上室外应用往往首选超高亮度 LED 显示屏，而不是 CRT 组成的电视墙。另一方面，某些在应用场合下，

显示屏类型的选择会受到某一（或某些）特定性能的制约，例如视频显示屏就受响应速度的制约，无论其它性能有多么好，只要响应速度低，就无法进行视频显示。因此视频显示屏就只能在 CRT 与 LED 之间进行选择。

正是由于 LED 显示屏具有良好的综合性能，因此自 20 世纪 80 年代后期以来，得到了迅速的发展。从 LED 显示屏的发展过程来看，首先出现的是以显示短小文字信息为主的条形图文显示屏，继而开发出 LED 图像显示屏，它使得具有灰度级的图像能够在公共场合进行展示，成为当时一大景观。全彩色视频显示屏把 LED 显示屏的地位提升到一个全新的高度，达到了其它类型显示屏难以匹敌的水平。

我国 LED 显示屏也是在 20 世纪 80 年代末 90 年代初发展起来的，至今已经形成了一个产业。据有关资料的不完全统计，到 1998 年底，LED 显示屏年销售额在 1000 万元以上的企业有 20 多家，其总销售额约为 6 亿元，占整个行业市场的 85% 以上。全国从事 LED 显示屏研制生产的各类企业有 100 多家，从业人员近 6000 人，行业年销售额 7 亿多元。在国内市场上国产 LED 显示屏的市场占有率基本上是 100%，有些企业的 LED 显示屏已经出口到东南亚各国，甚至出口到欧洲。相信在新千年到来的信息化社会中，随着对公共传媒需求的高速增长，LED 显示屏产业会得到更快的发展。

图 0.5、图 0.6、图 0.7 分别示出了几种显示屏。

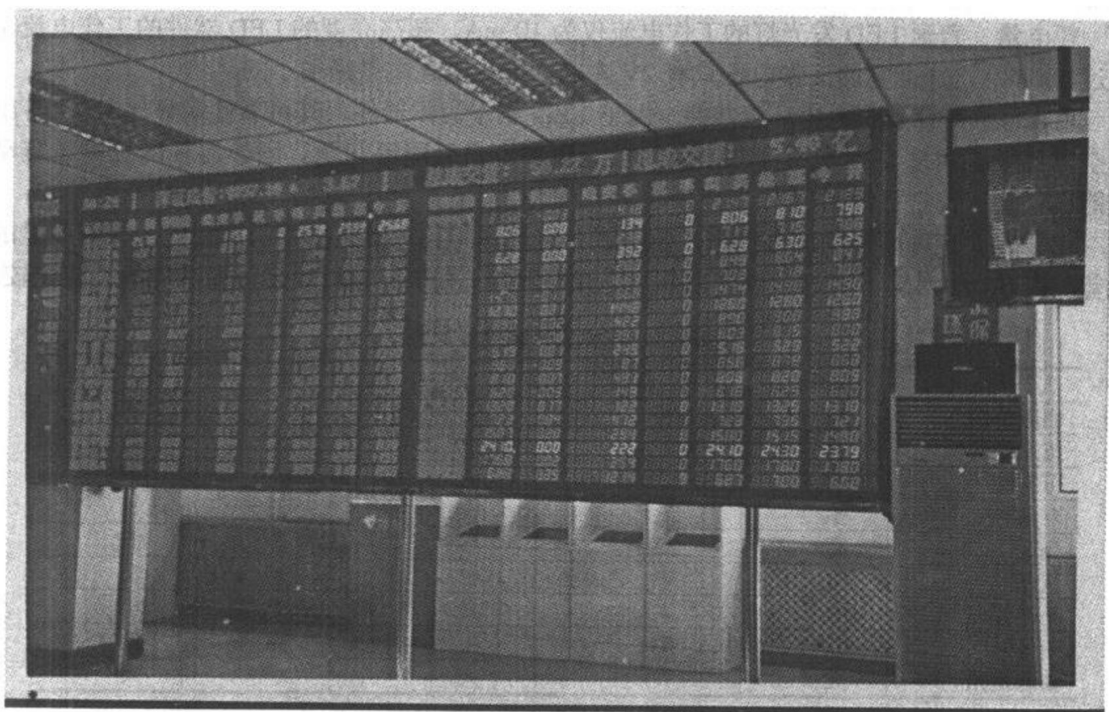


图 0.5 成都伟事达电子公司生产的用于证券交易所的 LED 图文显示屏

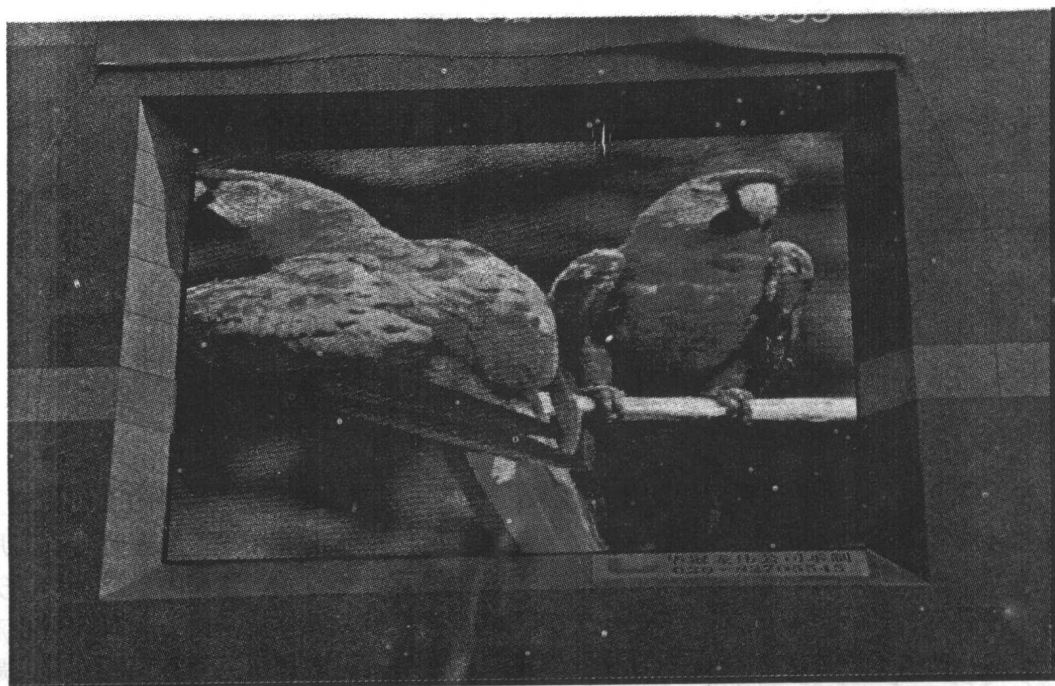


图 0.6 华冠龙伟（成都）新技术公司生产的户外全彩色 LED 视频显示屏



图 0.7 成都伟事达电子公司生产的户外全彩色 LED 视频显示屏

# 第一章 LED 器件

## § 1.1 LED 器件应用基础

为了使 LED 显示屏达到理想的显示效果，除了需要对 LED 器件本身的工作原理及特性有很好的理解之外，首先要对光学特性（亮度、色彩、视角等）和人眼视觉特性有所了解。由于图像显示的最终效果是与光源特性（如果是反射光的话，还要考虑反射体的光学特性）和视觉特性双方有关的，它既有光学原理所描述的客观存在，也有人眼视觉主观感受的因素，两者兼顾才能收到良好的效果。我们将分别就光学和视觉两方面的有关问题进行讨论。

### 1.1.1 光度学与色度学

光度是对有关光的辐射能量与人眼亮度感受两者关系的描述；色度是对有关彩色形成与彩色视觉关系的描述。

#### 一、光度学

人眼对亮度的敏感程度与颜色有关，在整个可见光范围内并不是均匀的。可以用相对敏感函数曲线进行描述。图 1.1.1 给出了人眼对不同波长光线的相对敏感程度。从图中可以看出，人眼对于波长  $\lambda=555\text{nm}$  的黄绿色光线最为敏感，我们定义这时的相对视敏度  $V_s(555)=1$ 。当  $\lambda$  为其它值时， $V_s(\lambda)$  均小于 1。如果对于某一波长  $\lambda_i$  的单色光，其辐射功率为  $P_\lambda(\lambda_i)$ ，相对视敏函数为  $V_s(\lambda_i)$ ，则可以定义光通量为

$$\Phi(\lambda_i) = P_\lambda(\lambda_i) \cdot V_s(\lambda_i)$$

当  $P_\lambda(\lambda_i)$  以瓦为单位时， $\Phi(\lambda_i)$  的单位为光瓦。只有当  $\lambda_i=555\text{nm}$  时，1 瓦的光辐射功率产生 1 光瓦的光通量。而其它波长的光线，1 瓦的辐射功率所产生的光通量总是小于 1 光瓦。实际上光线并不总是单色的，而是多种波长光线的复合，其光通量为各种波长成分光通量的总合。国际上通用的

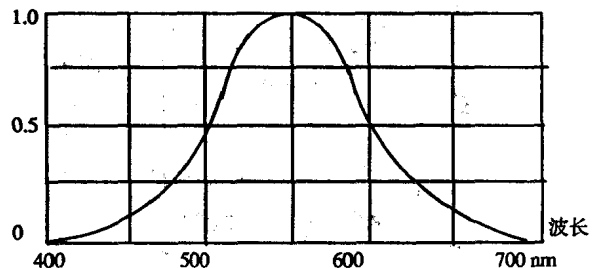


图 1.1.1 相对视敏函数曲线



光通量单位是流明 (lm)，定义

$$1 \text{ 流明 (lm)} = 1/680 \text{ 光瓦}$$

我们把光通量与辐射功率之比称为发光效率  $\eta_E$ ，有

$$\eta_E = \Phi/P$$

$\eta_E$  的单位为流明/瓦。

在 LED 器件中常用发光强度来说明器件的光度特性。发光强度定义为光源在单位立体角内发出的光通量，用  $I$  表示

$$I = d\Phi/d\omega$$

$\omega$  为立体角，单位为立体弧度。 $\Phi$  为光通量，单位为流明。这样得到的发光强度  $I$  的单位为坎德拉 (cd)。

光源的光通量与被照射物体表面面积之比，称为照度  $E$

$$E = d\Phi/dS$$

在 1 平方米上照射 1 流明的光通量，定义为 1 勒克司 (lx)。

发光面在指定方向上的发光强度与垂直于该方向平面的投影之比，定义为亮度，计做  $L$ 。

$$L = dI/(dS \cdot \cos \alpha)$$

亮度既可以说明面光源的特性，也可以说明反射光的情况。亮度单位为尼特或熙提，亮度定义见图 1.1.2。

1 尼特 = 1 坎德拉/1 平方米

1 熙提 = 1 坎德拉/1 平方厘米

上述各种光度学参数，在不同的资料中可能有不同的说法，例如发光强度在有的资料中称为光强，还有的资料中就叫做光度；又如亮度在有些资料中称辉度，等等。此外，在很多非专业的场合，对这些参数和专用术语往往是不加区别的混用，这在本书某些部分的叙述中也难免不会出现类似的情况。例如亮度、光强等，在不是专门说明 LED 器件的光学参数时，往往是混用的。

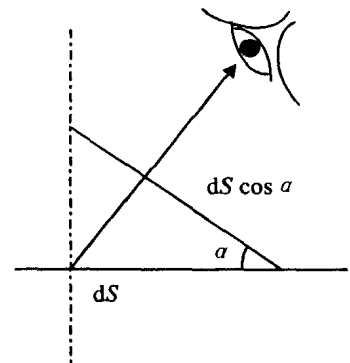


图 1.1.2 亮度定义

## 二、色度学

人眼对不同颜色光线的敏感程度不同，这在视敏曲线中已经得到说明。在不同环境下，人眼的视敏曲线也有所不同。如图 1.1.3 所示，人眼在白天（明）和在黑夜（暗），其视敏曲线就有所不同。暗视敏曲线中最敏感部位光线的波长比明视敏曲线最敏感部位波长小 50nm，两者最敏感光线的颜色有所不同。人眼对颜色的感觉来源于视网膜上三种不同类型的视锥细胞。不同的视锥细胞对不同的颜色敏感，它们的视敏曲线表示在图 1.1.4 上，分别为  $R_S(\lambda)$ 、 $G_S(\lambda)$ 、 $B_S(\lambda)$ ，即三种视锥细胞分别对红、绿、蓝三色最敏感。三种细胞共同作用下，就可以得到人对颜色的总体感觉，如图中虚线所示。根据对人眼的研究，知道用 R、G、B 三基色的不同比例，可以合成各种不同的颜色。三种颜色不同比例的混合就能发出从白到黑的各种颜色的光。