

彭国贤 薛文进 编著 第三版

电子显示技术

内 容 简 介

本书对电子显示技术作了较系统和全面的阐述,侧重于电子显示器件的结构、原理和性能。同时,对器件的驱动电路及显示系统也作了介绍。全书共分十五章,内容包括视觉生理与显示参数、阴极射线管显示、液晶显示、电致发光显示、等离子体显示、电致变色显示、电泳显示、油膜光阀显示、晶体光阀显示、铁电陶瓷显示、激光显示、字符和图形显示原理以及显示系统等。

本书可供从事电子显示技术的科技人员,无线电整机研制、设计、制造技术人员,以及大专院校有关专业的师生学习参考。

电 子 显 示 技 术

彭国贤 薛文进 编著

出版: 江苏科学技术出版社

发行: 江苏省新华书店

印刷: 南通新华印刷厂

开本 787×1092毫米 1/16 印张 25.75 字数 628,700

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数 1 3,000 册

书号 15196·184 定价 5.15 元

责任编辑 许顺生



前 言

电子显示技术是一门把电信号转换成可见图象、图形和字符等光信号的技术,其特点是准确、实时、直观和处理信息量大。现代科学技术和人类生活一刻也离不开信息,电子显示技术作为信息处理的手段起着重要的作用。随着电子计算机和电视技术的发展,人们无论是在办公室还是在家里,将有越来越多的时间面对显示器。特别是在当前兴起的新技术革命中,信息交换量愈来愈大,电子显示技术将会迅速发展和普及。所以,电子显示技术在四个现代化建设和人民的物质文化生活中的作用十分重要。为适应这一需要,我们编写了本书,希望它能够对“四化”作出贡献。

自1897年布劳恩发明阴极射线管以来,电子显示技术经历了半个多世纪的发展,到六十年代末期,在电子科学中已成为一门独立的技术。它涉及许多学科,如光学、电子物理、真空技术、气体放电、物理化学、电化学、固体物理、半导体技术和激光技术。可以说,每一种电子显示方法都是一个独立的专业,而且关系到不同的多种学科。因此,电子显示技术需要多学科的基础理论知识。

电子显示技术种类繁多,我们仅选择迄今国际上已出现的主要电子显示技术进行较系统和全面的阐述,侧重点则放在显示器件的结构、原理和性能上。同时,也叙述了显示系统的基本原理。叙述中着重于基本概念,尽量避免繁杂的数学推导。在题材选取方面力图新颖,以反映当前国内外水平。全书共分十五章,第一章绪论,叙述电子显示技术的意义、发展史和分类;第二章视觉生理和显示参数;第三章是阴极射线管显示;第四章至第八章是几种平板显示技术,它们是液晶、电致发光、等离子体、电致变色和电泳显示;第九章至第十二章是大屏幕显示,包括油膜光阀、晶体光阀、铁电陶瓷显示和激光显示,液晶光阀则归入第四章;第十三章和十四章是显示系统,分别叙述了字符和图形显示原理和电子显示系统;第十五章为电子显示技术发展。本书可供从事电子显示技术的科技人员和大专院校有关专业的师生参考。

本书第一、二、四、五、六、九、十三和十四章由彭国贤编写,第三、七、八、十、十一、十二和十五章由薛文进编写。全书由中国科学院长春物理研究所副研究员戴仁松同志审阅,由彭国贤整理定稿。作者对给予我们帮助的钟山电子技术研究所的领导和同事们表示衷心的感谢!

由于篇幅有限,本书未能全部列出有关参考文献,希谅解。

由于我们的学识水平有限,书中谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

1984年于南京

目 录

第一章 绪论

§ 1.1 显示技术的意义	1
§ 1.2 显示技术发展简史	2
§ 1.3 显示技术的分类	4
参考文献	5

第二章 视觉生理与显示参数

§ 2.1 光度学参数	6
2.1.1 视见函数	6
2.1.2 光度学量度	8
2.1.3 亮度测量	10
2.1.4 彩色	14
§ 2.2 视觉参数	17
2.2.1 视觉敏感度	17
2.2.2 分辨率的测量方法	18
2.2.3 临界闪烁频率(CFF)	25
2.2.4 视角	26
§ 2.3 工程参数	27
2.3.1 显示格式	27
2.3.2 易读性	29
2.3.3 字符容量	30
2.3.4 数据响应速率	31
2.3.5 精确度	32
2.3.6 漂移	32
2.3.7 畸变	32
参考文献	33

第三章 阴极射线管显示

§ 3.1 阴极射线管显示概述	34
3.1.1 电子光学的发展	34
3.1.2 CRT显示概貌	34
§ 3.2 彩色显象管	37
3.2.1 荫罩式彩色显象管	38
3.2.2 聚焦荫罩型彩色显象管	39
3.2.3 束引式彩色显象管	41
3.2.4 穿透式彩色显象管	44
§ 3.3 导束型扁平 CRT	48
3.3.1 导束型扁平 CRT 的结构和工作原理	48
3.3.2 导束型扁平 CRT 的显示特性	50

§ 3.4 微通道板示波管	51
3.4.1 微通道板 (CPM)	52
3.4.2 偏转系统	54
3.4.3 扫描扩展透镜	55
§ 3.5 激光显示管	57
参考文献	58

第四章 液晶显示

§ 4.1 液晶的结构和性质	59
4.1.1 液晶的基本知识	59
4.1.2 液晶的物理性质	61
§ 4.2 液晶的电光效应	67
4.2.1 动态散射效应	68
4.2.2 排列相畸变 (DAP) 效应	69
4.2.3 混合排列向列 (HAN) 效应	70
4.2.4 扭曲向列效应	71
4.2.5 相转变效应	72
4.2.6 存储效应	73
4.2.7 突生效应	74
§ 4.3 液晶显示的方法	77
4.3.1 液晶平板显示器件	78
4.3.2 液晶显示板的驱动方法	82
§ 4.4 液晶显示实例	87
4.4.1 液晶电视	87
4.4.2 便携式液晶电视	88
4.4.3 液晶图形和字符显示	89
4.4.4 大屏幕彩色电视	90
4.4.5 激光透射液晶光阀	90
参考文献	94

第五章 电致发光显示

§ 5.1 电场下的电致发光显示	95
5.1.1 交流粉末电致发光器件	95
5.1.2 直流粉末电致发光器件和应用	101
5.1.3 交流薄膜电致发光 (ACFEL) 器件	103
5.1.4 直流薄膜电致发光 (DCTFEL) 器件	109
§ 5.2 pn 注入式电致发光显示	109
5.2.1 pn 结电致发光原理	109

5.2.2 发光二极管	110
5.2.3 发光二极管显示	113
§ 5.3 低能电子发光显示	119
5.3.1 低能电子发光原理	120
5.3.2 荧光数码管	121
5.3.3 多位荧光数码管	123
5.3.4 荧光电视图象显示	125
5.3.5 模拟显示	129
参考文献	130

第六章 等离子体显示

§ 6.1 气体放电的重要特性	131
§ 6.2 交流等离子体显示 (ACDPD)	135
6.2.1 ACPDP 的结构和原理	135
6.2.2 ACPDP 的特性	136
6.2.3 ACPDP 的多色显示	139
6.2.4 ACPDP 的电视显示	140
6.2.5 ACPDP 的进展	141
§ 6.3 自扫描等离子体显示板 (SSPDP)	143
6.3.1 SSPDP 的结构和原理	143
6.3.2 SSPDP 的灰度调制及图象显示系统的实例	146
6.3.3 SSPDP 的彩色显示和多色	149
§ 6.4 直流等离子体显示板 (DCPDP)	153
§ 6.5 等离子体数字板	155
§ 6.6 等离子体电子束管	157
参考文献	158

第七章 电致变色显示

§ 7.1 电致变色显示的概念	160
§ 7.2 快离子导体	161
7.2.1 快离子导体的含义	161
7.2.2 快离子导体的晶体结构	161
7.2.3 快离子导体材料	162
§ 7.3 WO_3 型电致变色显示	163
7.3.1 WO_3 的性质	163
7.3.2 WO_3 电致变色机理和动力学	165
7.3.3 液体电解质 WO_3 电色显示器	168
7.3.4 固体电解质 WO_3 电色显示器	170
7.3.5 器件特性及其测定	175

7.3.6 驱动方法	180
§ 7.4 氧化铌电致变色显示	181
7.4.1 氧化铌电致变色机理	182
7.4.2 氧化铌膜的生长和性能	183
7.4.3 液体电解质氧化铌电色显示器	184
7.4.4 固体电解质氧化铌电色显示器	185
§ 7.5 紫罗精电致变色显示	186
7.5.1 紫罗精的电致变色	187
7.5.2 器件结构和特性	187
7.5.3 紫罗精复合系统电色显示器	188
§ 7.6 酞花青和氮化铜多色电致变色显示	189
7.6.1 酞花青多色显示	190
7.6.2 氮化铜薄膜的双色显示	161
参考文献	192

第八章 电泳显示

§ 8.1 电泳现象	193
§ 8.2 电泳显示器件的结构和悬液	194
8.2.1 电泳显示器件的结构	194
8.2.2 悬液液的材料及制备	194
§ 8.3 电泳显示器件的特性	197
8.3.1 电泳显示器件的光学特性	198
8.3.2 电泳显示器件的电特性	200
8.3.3 电泳显示器件的流体动力学特性	201
8.3.4 器件的封装与可靠性	206
§ 8.4 矩阵选址的电泳显示器件	207
8.4.1 控制电极选址器件	207
8.4.2 电泳条形显示器	208
§ 8.5 特种电泳显示器件	210
8.5.1 利用光导现象的光电泳成像显示系统	210
8.5.2 电泳 X 射线成像器件	211
参考文献	213

第九章 施里林光阀

§ 9.1 油膜光阀	215
9.1.1 油膜光阀的基本原理	215

9.1.2 爱多福光阀	223
9.1.3 奇非油膜光阀	226
9.1.4 塔拉利光 阀	229
9.1.5 油膜光阀的存在问题	230
§ 9.2 热塑光阀	233
9.2.1 高分辨率热塑光阀	
-Lumatron	233
9.2.2 热塑录象	234
§ 9.3 金属膜形变光阀	235
9.3.1 镍膜形变光 阀	235
9.3.2 小透镜阵列光 阀	237
§ 9.4 弹性体形变光阀	
-Ruticon	238
参考文献	239

第十章 晶体光阀

§ 10.1 普克尔斯(Pockels)效应	241
10.1.1 电光效应	241
10.1.2 普克尔斯效应的应用	242
§ 10.2 用作晶体光阀的单晶	243
10.2.1 DKDP 铁电单晶	243
10.2.2 光导晶体	245
§ 10.3 DKDP 光阀	246
10.3.1 电子束选址 DKDP 光阀—	
赛特斯	246
10.3.2 光选址 DKDP 光阀—	
福托赛特斯	249
10.3.3 DKDP 器件在大屏显示技术	
中的应用	257
§ 10.4 磷酸铋光阀	257
10.4.1 光电导的抑制	257
10.4.2 BGO 晶体靶面的制备	258
10.4.3 BGO 光阀的结构及存在问题	259
§ 10.5 其他晶体空间光调制器	259
10.5.1 普克尔斯读出光存储或调制器	
(PROM)	260
10.5.2 铁电-光折射型光调制器	262
参考文献	264

第十一章 铁电陶瓷显示

§ 11.1 PLZT 陶瓷的特点	266
11.1.1 PLZT 的晶格结构与电畴	266
11.1.2 PLZT 的透明性	267

11.1.3 PLZT 的性能与组分的关系	268
§ 11.2 PLZT 器件的基本电光效应	270
11.2.1 电控双折射效应	270
11.2.2 电控光散射效应	270
11.2.3 电控表面形变效应	271
§ 11.3 铁电-光导象存储和显示	
器件	272
11.3.1 双折射模象存储和显示器件	
(Feric)	272
11.3.2 散射模象存储和显示器件	
(Ceramic)	276
11.3.3 反射式表面形变器件	
(Fericon)	280
11.3.4 反铁电-铁电可逆场致相变	
器件(Fewsic)	281
11.3.5 驱动方法的考虑	283
11.3.6 应用举例	285
§ 11.4 光铁电效应器件	285
11.4.1 光铁电效应器件的结构和机理	286
11.4.2 离子注入 PLZT 的光铁电成像	287
§ 11.5 PLZT 字符显示器件	288
11.5.1 纵向模散射器件	288
11.5.2 横向模双折射器件	288
§ 11.6 压电扫描显示器件	290
11.6.1 压电效应和传输效率	291
11.6.2 压电扫描系统	293
11.6.3 压电扫描显示器件(组合型)	294
11.6.4 PLZT 单独显示	295
参考文献	296

第十二章 激光显示

§ 12.1 激光显示系统和分辨率的	
考虑	297
12.1.1 激光显示系统	297
12.1.2 激光束投影时的分辨率	298
§ 12.2 激光光源	300
12.2.1 显示用激光器	300
12.2.2 颜色和亮度	302
§ 12.3 光调制器	303
12.3.1 光调制器的特性	303
12.3.2 声光调制器	304
12.3.3 电光调制器	306

§ 12.4 光偏转器	308
12.4.1 引言	308
12.4.2 多边形转镜	308
12.4.3 检流计型偏转器	311
12.4.4 声光偏转器	312
§ 12.5 1125 扫描线激光彩色电 视显示	314
§ 12.6 用脉冲激光的声光成象	316
参考文献	317
第十三章 字符和图形显示原理	
§ 13.1 显示系统的分类和指标	318
§ 13.2 刷新系统概述	320
§ 13.3 管头控制部分	321
§ 13.4 数据转换器	325
13.4.1 D/A 变换器	326
13.4.2 字符发生器	330
13.4.3 矢量发生器	337
§ 13.5 刷新存储器	341
§ 13.6 控制器	343
§ 13.7 微处理机的应用	344
§ 13.8 输入部件	346
13.8.1 光笔	346
13.8.2 电压笔	348
13.8.3 超声笔	349
13.8.4 跟踪球	349
13.8.5 兰德板	350
13.8.6 其它输入部件	351
参考文献	353

第十四章 显示系统

§ 14.1 彩色显示系统	354
14.1.1 穿透式彩色指示管显示器	354
14.1.2 采用荫罩式彩色显象管的 显示器	358
14.1.3 假彩色显示	360
§ 14.2 存储显示系统	361
14.2.1 视频存储显示系统	361
14.2.2 直写式存储显示系统	363
§ 14.3 矩阵显示系统	365
14.3.1 矩阵显示系统的基本问题	365
14.3.2 数字显示系统	367
14.3.3 矩阵显示实例	372
§ 14.4 汉字显示	375
§ 14.5 计算机三维显示	379
§ 14.6 其他显示系统	382
14.6.1 字码管显示系统	382
14.6.1 后面管显示系统	383
14.6.3 高分辨率显示系统	384
14.6.4 单象管显示系统	385
参考文献	368

第十五章 电子显示技术展望

参考文献	392
------------	-----

附录

附录 I. 重要的显示器发展年谱	394
附录 II. 调制传递函数 (MTF)	397
附录 III. 主要显示器件的比较	401

第一章 绪 论

§ 1.1 显示技术的意义

控制论的创始人 N. 维纳曾经给信息下过这样的定义：“信息是人们在适应外部世界并使这种适应反作用于外部世界的过程中，同外部世界进行交换的内容的名称”。电报、电话、电视、雷达和声纳给我们传来信息，生物学里的遗传因子也是一种信息。人们为了交流思想也必须相互传递信息。总之，人类生活中随时随地都不能没有信息。正如 N. 维纳所说：“要有效地生活，就要有足够的信息”。

随着科学技术的发展，信息量不断增加。统计表明，信息量的增长速率为每年 13%，今后将达到 40%。人们把这种情况称为“信息爆炸”。面临如此众多的信息，人们必须采用计算机来处理 and 加工信息，同时采用有效的手段将处理过的信息直观而迅速地输入到大脑中。

人生活在社会上，每日每时都要从外界获得信息。研究表明，人用各种感觉器官从外界获得的信息中，视觉获得的占 60%，听觉占 20%，触觉占 15%，味觉占 3%，嗅觉占 2%。由此可见，大量的信息是由眼睛获得的。人们常说，“一目了然”，就是说看一眼就明白了。俗话说，“百闻不如一见”，意思是听得再多，总不如亲眼看一次，看一次就相信了。因此，“看”可以使人得到更多的信息，可以帮助人们更有效地弄清问题，并迅速作出判断和决策。

久远以来，人们致力于把各种信息变成视觉敏感的方式，以便快速而大量地使人接受到信息，并进行判断。现在，人们不仅可以把各种非电量信息（如声、光、热、力以及脉搏跳动等）用传感器转换成电信号，而且已经可以把各种电信号（信息）显示出来，供人们观看。这种把电信号转换成图象、图形和字符之类的可见光信号的技术，在现代电子科学中称为信息显示或显示技术。图 1-1 示出信息显示的基本过程。它主要由信息源、数据处理和显示器三部分组成。信息源包括雷达天线和摄像机探测到的信息、电子

计算机输出的信息、磁盘存储的信息和传感器转换的非电量信息等。各种输入信息经过编码和变换等电路的处理，送入显示器，将电信号显示出来。

显示技术处理信息的特点是准确、实时、直观和处理信息量大，已成为现代科学技术中不可缺少的手段。举个例子来说，现代喷气式飞机的飞行速度可达音速的三倍以上。在这样高的飞行速度下，驾驶员必须及时了解飞行的各种参数，如方位、倾角、油量和飞行速度等。由于参数很多，各种指示仪表的位置分散，来不及一一观看。现代显示技术已经妥善地解决了这个问题，即利用传感器把各种

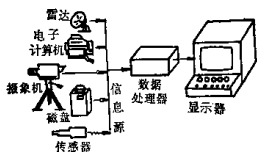


图 1-1 信息显示的基本过程

飞行参数转换成电信号,加到头盔显示器上。头盔显示器有一只屏幕对角线为2.54cm的高亮度投射式显象管,可以把各种飞行参数显示出来,并由光学系统投射到挡风玻璃上。由于这种显象管的体积很小,可以放置在头盔上。因此,不管驾驶员的头偏向何方,都可以清楚地看到各种飞行参数。

显示技术在国民经济中具有很重要的用途。目前,采用大型计算机来进行国民经济的统计和核算,计算运行完毕后就由显示器将结果显示出来。工业过程、码头和仓库等的实况都可以显示在显示器上,调度员可在显示器上进行操纵和管理。电化教学是普及教育和提高教学质量的有力措施,显示技术也在这方面大显身手。通讯是联系国民经济各部门的手段。显示技术正在改变通讯的现状,电视电话不但能象普通电话那样传递语言信息,而且通话者可以看到对方。

目前,正在采用各种显示器作为计算机的输出装置,不但克服了打印机噪声大和数据输出速度较低的缺点,还扩展了计算的功能。计算机采用光笔图形显示器可以实现人-机对话。人们利用光笔可以在显示器上直接输入数据或修改数据,再令计算机重新运算,以便迅速得到满意的结果。光笔图形显示器已广泛用于计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助教育(CAI)和情报检索等方面。目前,配有显示器的计算机可以进行图象处理,已经形成一门独立的边缘学科——图象电子学。

超声或X射线的层断面扫描技术(CT)是诊断人体内部肿瘤和组织病变的强有力的工具,在这类扫描设备中,需要将各点的信息组成图象,在这方面显示技术也起着极其重要的作用。

电视是人们的良师益友,是人类文化生活的重要组成部分,也是显示技术最重要的成就之一。电子手表的液晶显示器、便携式液晶电视和袖珍计算机的荧光显示器,都是与人民生活直接相关的显示技术的最新成果。

雷达是国防的“千里眼”,但雷达天线探测到的信号必须通过显示器才能显示目标的方位和倾角。现代化战争瞬息间千变万化,为了实时指挥现代化战争,必须在军事指挥中心设置各种显示器来显示敌我态势。因此,在军事指挥中心使用了各种形式的显示装置,例如油膜光阀之类的大屏幕显示器、阴极射线管(CRT)显示器以及各种数码显示器等。

可以预料,随着科学技术的不断发展和社会不断进步,显示技术的用途将越来越广。

§ 1.2 显示技术发展简史

大约距今25万年以前,人类就掌握了升火的方法。人造光就同火一起进入生活领域,把人类从天然阳光的限制中解放出来,使其活动时间大大延长。人类用火来照明,也想到用火光来传递信息。“狼烟”、“篝火”就是用烟火来传递信息的例子,“幻影”、“走马灯”则是显示活动图象的最原始的尝试。

人类为了显示活动图象经历了漫长的历史,大致可以分成以下阶段。

(1)机械电视发展阶段(1884~1929) 1884年,德国工程师尼波可夫(P. G. Nipkow)发明了圆盘式光点扫描器,从此人们开始了大规模的机械电视的研究。1927年,贝尔实验室在华盛顿和纽约之间进行了机械电视试播实验。1929年,英国发明家贝尔德(T. L. Baird)正式播送了机械电视节目。

(2) 电子束显示器件和电子电视阶段 (1930~1960) 早在1897年,德国学者布劳恩(K. F. Braun)发明了阴极射线管(CRT)。这是现代电子显示的起点。本世纪初,经过许多学者的改进,作成示波管,可以显示电信号波形。1936年,英美两国分别在伦敦(BBC)和纽约(NBC和CBC)开始正式电视广播,都采用黑白显象管显示电视图象。在第二次世界大战中,英国研制成功雷达,在战争中起了重要的作用。当时雷达采用指示管和暗速管来显示目标的方位。1951年,劳乌(H. B. Law)研制成功荫罩式彩色显象管。1954年正式播送彩色电视节目,开创了彩色显示的新纪元。1954年,克诺尔(M. Knoll)发明了储像管,1957年奥尔德登(Olden)发明了薄窗管。另一方面,人们为了增大显示面积,采用电子束扫描研制成功多种大屏幕显示器。其中,最著名的是1939年费谢尔(Fischer)研制成功爱多福油膜光阀。但它经过十多年的改进,到五十年代初才有商品出售。许多厂家还研制成功投射式显象管,例如美国无线电公司(RCA)制造出13cm和38cm的黑白投射显象管,最大投射屏幕可达 $5.4 \times 7.2\text{m}$ 。

(3) 显示技术蓬勃发展时期(1960以后) 六十年代初期,半导体技术已经进入集成电路阶段。电子设备朝着小型化和低电压方向发展,迫切要求发展新一代显示器件。显示技术蓬勃发展的标志如下:

a. 激光进入显示领域:自1960年激光器问世之后,激光得到广泛的应用。1964年,美国台克萨斯仪器公司研制成功激光显示器,吸引了大批学者对此进行研究。以后,美国泽尼斯公司、通用电话公司和日本日立制作所等先后研制成功多种激光显示器,正在各方面应用。另一方面,激光扫描为显示技术提供一种新的选址方法,从而研制成功多种激光选址光阀,如液晶光阀和铁电陶瓷(PLZT)光阀等。

b. 平板显示大发展:早在1930年德斯垂(Destreau)发现了硫化锌的电致发光现象。许多学者想利用这种现象制作平板显示器件,但是一直进展不大。1969年,日本三菱公司的伊吹顺章等学者研制成功电致发光电视机,从而掀起了研究电致发光电视机的高潮。随后,日立公司、夏普公司和松下公司等都研制成功电致发光电视机。1975年,夏普公司研制成功交流薄膜电致发光显示板,这种显示板的寿命已高达两万小时以上。1966年,美国依里诺斯大学的贝特塞(D. L. Bitzer)和斯洛托(H. G. Slottow)利用气体放电发光现象研制成功等离子体显示板,为计算机显示提供了新的显示器件。1968年,菲利普公司的德波尔(T. J. Deboer)研制成功直流等离子体显示板。同年布劳公司研制成功自扫描等离子体显示板,从而大大丰富了等离子体显示板的品种。1968年,海尔梅耳(G. H. Heilmeyer)等人发明了液晶显示器,从此各种液晶显示器蓬勃地发展起来了。

c. 计算机显示日益普及:早在1950年美国就研制成大型防空体系——赛奇(SAGE)系统,这是一个计算机控制的显示系统。六十年代初期,麻省理工学院(MIT)、通用汽车公司和伊塔克研究室(Itek Laboratory)同时研制成功计算机图形显示器。通用汽车公司用计算机图形显示器来设计汽车的外形,收到良好的经济效果。1968年,美国洛克希德飞机制造公司采用图形显示设备控制生产和进行飞机设计,一年内就节省了25万美元,从而引起人们的极大重视。早在1967年,美国制造图形显示器的厂家只有15家,到1972年就增加到34家。并且产品质量大大提高,种类也大大增加。目前,图形显示器已成为普及型产品。每一种微处理机(如Z80及Intel8080等)都配有一台显示器。

d. 新器件不断出现:1968年,美国开始出售GaAsP红色发光二极管(LED),以后绿色黄色发光二极管也进入商品化阶段。1969年,德布(S. K. Deb)发明了电致变色显示(ECD)。

1972年,日本松下电器公司发明了电泳显示(EPID)。从此以后,许多学者又研制成功其他显示器件,如磁粒显示、蒸汽显示和液体荧光显示等。

总之,由于六十年代以后新型显示器件的迅速发展,使得显示技术已成为一门独特的电子技术。尤其是,经过最近二十多年的大力发展,已有多种产品付诸使用。

附录 I 列出了重要显示器件的发展年谱。

§ 1.3 显示技术的分类

显示技术种类繁多,迄今为止还没有一种完善的分类方法。如果按显示器件的种类可以分成:电子束显示、平板显示、光学投射显示和数码显示四种。

(1)电子束显示(亦称 CRT 显示) 这类显示方法,是采用适当的控制电路来控制真空管内的电子束,使其在荧光屏上扫描并激发发光粉发光,从而显示图象或字符。目前,已有多种电子束显示器件,例如,黑白显象管、彩色显象管、示波管、存储管、印刷管和字码管等。

(2)平板显示 这类显示方法是采用平板显示器件辅以逻辑电路来实现显示的。平板显示器件主要有电致发光(EL)显示板、等离子体显示板(PDP)和液晶显示板(LCD)等。利用空间交叉的条状电极夹层间的工作物质(分别为荧光粉、惰性气体和液晶等),当交叉点上加工作电压时工作物质就发光、放电或改变其光学性质,由这些光学性质变化了的象素构成图象。

(3)光学投射式显示 光学投射式显示是指采用光学系统将小面积的图象投射到银幕而实现显示的方法。这种显示法可以获得很大面积的图象,便于供很多人同时观看。光学投射式显示主要可以分为下述三种。

a. 投影电视:以高亮度投射式显象管显示图象,用光学系统将图象放大并投射到银幕上。

b. 激光显示:激光器发射出能量密度高、光斑直径小的光束,采用光调制器按视频信号来调制激光束的强度,并用光偏转器使激光束在银幕上扫描,以显示大面积的图象。

c. 光阀显示:根据光阀的可控媒质的工作原理,又可把光阀显示分成以下三类别。

(a)变形膜光阀(或称施里林*光阀):这类光阀采用油、塑料和弹性体等可控媒质,利用电子束或光束扫描产生相位衍射光栅,由施里林光学系统投射到银幕上,以形成大面积的图象。这类光阀主要有油膜光阀和热塑光阀等。

(b)电光效应光阀:这类光阀利用可控媒质的电光效应,并由电子束或光束扫描形成潜在图象,再由适当的光学系统把潜在图象投射到银幕上,以产生大面积的图象。这类光阀主要有晶体光阀、铁电陶瓷(PLZT)光阀和液晶光阀。

(c)利用可控媒质光学性质变化的光阀:这类光阀利用机械和激光束扫描使可控媒质的透光率发生变化,再用适当的光学系统投射到银幕上,以产生大面积的图象。这类光阀主要有胶片投射、铁笔刻划和激光刻划投射等。

(4)数码显示 系指台式计算机、袖珍计算器、电子手表和数字仪表等小型电子设备中显示 0~9 数字的显示器。由于这类设备体积小、耗电少,不可能用电子束管等显示器件,因此人们专门研制了一大类数码显示器件。这类器件主要有发光二极管(LED)显示、荧光数码显示

* Schlieren 是德文“条纹”之意,国内常译为“施里林”。

(VFD)、辉光放电显示、灯丝显示、电泳显示(EPID)和电致变色显示(ECD)等。

根据显示屏幕的大小,还可以把显示系统分成大屏幕显示、中型显示和小型显示。通常把显示 1m^2 以上的图象之显示方法称为大屏幕显示。大屏幕显示的含意较广,除光学投射式显示之外,还包括显示面积为 1m^2 左右的电致发光显示板等。大屏幕显示可供百人以至千人观看。屏幕的对角线为 20 英寸左右的显示器称为中型显示,例如普通电视机,大约可供十人观看。小型显示器是供个人使用的显示器,例如袖珍计算器和电子手表等的显示器。

显示技术还可成立体显示和二维显示。上面叙述的各种显示方法均属二维显示,其立体感不强。立体显示系统可以显示三度坐标。迄今为此,人们已经研究过两种立体显示方法。一是利用双目效应的方法,二是全息显示方法。前一种方法是利用两只显象管分别显示左右两幅图象,人们戴上偏振光眼镜,就会看到一种立体感很强的图象。全息显示可以显示真实的立体图象,但由于许多技术问题没有解决,目前仍处于实验阶段。随着计算机的发展,人们还研究成功在计算机控制下实现三维显示的方法,可以在荧光屏上显示立体图象和三维坐标。

就显示原理的本质来看,显示技术利用了发光现象和电光效应两种物理现象。这里说的电光效应是指加上电压之后物质的光学性质(包括折射率、反射率和透射率等)发生变化的现象。因此,又可以根据象素本身发光与否,把显示系统分成被动显示和主动显示两大类(也可分别称为非辐射显示和辐射显示)。例如,电子束显示器件、等离子体显示板和电致发光等,由于荧光粉和惰性气体本身发光,则属于主动型显示。液晶、油膜光阀和电致变色显示等,因其本身不发光,属于被动显示。因此,一般说来,凡是利用发光现象作成的显示器件均属主动型显示;利用电光效应作成的显示器件则属于被动型显示。

根据显示的内容分类,可分为图象显示、图形显示、字符显示和数码显示。显示图象要求具有明暗不同的灰度,图形显示只要求明、暗两级。字符则包括英文字母、特殊符号和标记等。汉字显示是字符显示的特例。数码是指 0~9 的阿拉伯数字。

由于显示技术种类繁多,加之篇幅有限,故本书中仅择重要的显示方法加以介绍。着重阐明这些显示方法的基本概念,力图避免十分繁杂的数学推导。在内容的选择上则着重介绍新的显示方法,对于读者可以从一般教科书中查阅到的内容,在本书中已加删节。虽然本书对控制电路及显示系统也以一定篇幅作介绍,但是侧重面在于显示器件。

参 考 文 献

- [1] テレビジョン学会編,最近のディスプレイ装置,1974。
- [2] 水島宣彦,エレクトロニクスの開拓者たち,1978。
- [3] Sol Sherr, *Electronic Displays*, 1979。
- [4] 彭国贤,显示技术与显示器件,1981,人民邮电出版社。
- [5] H. R. Luxenberg, *Display Systems Engineering*, 1968。

第二章 视觉生理与显示参数

视觉生理的研究是工程心理学的一个重要组成部分,它的主要任务是研究现代人-机显示系统中人的因素和作用。显示器显示的图象是供人眼观看的,因此图象的参数应满足人眼的生理特性和心理要求。在人-机系统中,人和机器同是系统的组成部分。要使两者顺利地交换大量的信息,除了要了解人的生理和心理特点之外,还必须研究人的潜在能力,以便发挥人-机系统的最大效力。举例来说,为了使观察者获得清晰的图象感,希望显示屏有较高的分辨率。但是,对分辨率提出太高的要求,会使显示器件和控制电路的制作产生很大的困难。经过视觉生理的研究,终于找出了两全其美的折衷办法,从而产生了今日电视的扫描制式。由此可见视觉生理的研究在显示技术中占有极其重要的地位,它为显示参数的选择提供重要的依据。

§ 2.1 光度学参数

2.1.1 视见函数

人的眼睛很象一架精巧的照相机,由水晶体、虹膜和视网膜等组成。水晶体起着透镜的作用,两侧的肌肉可以调节它的凸度(即调节焦距),以便使不同远近的景物成像在视网膜上。虹膜紧贴在水晶体上,其中心有一个小孔称为瞳孔。瞳孔的直径可以从2mm变到8mm左右。改变瞳孔的直径,可以调节进入眼睛的光通量。视网膜的作用很象照相机中的感光胶片,它是由无数光敏细胞组成的。这些细胞可以分为两类:即杆状细胞和锥状细胞。它们均与神经末梢相联结。根据近代视觉理论,在光线刺激下锥状细胞和杆状细胞起光化学作用而产生电脉冲。电脉冲沿着神经末梢送到大脑皮层。由于各个细胞产生的电脉冲不同,大脑就综合组成某一景象的感觉。

锥状细胞大部分密集在光轴与视网膜的交点附近。这个锥状细胞密集的小面积称为黄斑区。由于黄斑区中锥状细胞很集中,所以在这个区域成像清晰、灵敏度较高。研究表明,此区为一矩形小面积,其宽高之比约为4:3。这就是在显示技术中常取图象的宽高比为4:3的原因之一。

研究表明,人眼是最灵敏的光接收器,可接收 $2 \times 10^{-17} \text{ W}$ 的极其微弱的光;也可接收 $2 \times 10^{-5} \text{ W}$ 的强光。人眼对各种颜色光的灵敏度也不一样,对绿光的灵敏度最高,而对红光的灵敏度就低得多。另外,不同的观察者对各种波长光的灵敏度也稍有差别,随年龄和健康状况而异。因此,只能求得近似的人眼光谱响应曲线。国际照明协会(CIE)公布了公认的人眼光谱响应曲线(图2-1),称为视见函数 $V(\lambda)$ 曲线或视感度曲线。图中右部曲线表示亮度大于几个坎德拉每平方米(cd/m^2)时人眼的光谱响应曲线,称为“明视觉”视见函数。左部曲线表示亮度小于 $10^{-6} \text{ cd}/\text{m}^2$ 时人眼的光谱响应曲线,称为“暗视觉”光谱响应曲线。常用的视见函

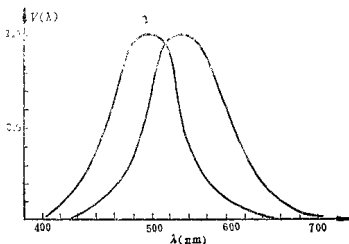


图 2-1 视见函数曲线

数是“明视觉”曲线。

可视系统的辐射光当量 K 对于单色光可定义为

$$K = 680V(\lambda) \quad (2-1)$$

当 $\lambda = 555\text{nm}$ 时, $V(\lambda) = 1$, 则 $K = 680\text{lm/W}$, 即此时 K 为最大值 K_m 。

在波长间隔 $d\lambda$ 内, 光源的辐射通量为 $\Phi_\lambda d\lambda$ (Φ_λ 是波长为 λ 的单色光的能量), 则人眼感受到的光通量为

$$d\Phi(\lambda) = K_m V(\lambda) \Phi_\lambda d\lambda \quad (2-2)$$

在可见光波长(380~780nm)范围内, 总的辐射光通量为

$$\Phi = \int_{380}^{780} K_m V(\lambda) \Phi_\lambda d\lambda \quad (2-3)$$

发光效率(η)是指显示器件发出的光通量 Φ 同它所消耗的电功率(P)之比, 即

$$\eta = \Phi / P \quad (2-4)$$

单位是 lm/W (流明/瓦)。但是, 显示器件的电功率并不全部变成可见光, 其中有相当部分变成了其他形式的能量(如热和不可见的射线等), 故(2-4)式可改写成

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{K_m \int_{380}^{780} \Phi_\lambda V(\lambda) d\lambda}{P} = \frac{\int_{380}^{780} \Phi_\lambda d\lambda}{P} \cdot \frac{K_m \int_{380}^{780} \Phi_\lambda V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} \Phi_\lambda d\lambda} = \eta_1 \eta_2 \quad (2-5)$$

式中, $\eta_1 = \frac{\int_{380}^{780} \Phi_\lambda d\lambda}{P}$ 表示可见辐射在输入功率 P 中所占的比例; $\eta_2 = \frac{K_m \int_{380}^{780} \Phi_\lambda V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} \Phi_\lambda d\lambda}$

是当 $\eta_1 = 1$ (即输入功率全部用来产生可见辐射通量)时的发光效率, 可称为理想发光效率。

对于显示器件来说, 总希望 η 高一些。为此, 常常选择适当的发光物质, 创造合适的条件和设计合理的结构, 使其发光波长尽可能接近 555nm 处, 以便具有较大的 $V(\lambda)$ 值。举例来说, 如果有 A 和 B 两种显示器件, 分别发出 555nm 的绿光和 700nm 的红光, 则为使两者具有同等的视觉强度, 绿光的辐射通量约为红光的 $1/250$ (即红光与绿光的视见函数值之比 $V(700)/V(555) = 0.0041$)。就某种意义而言, 如果不受器件的原理和结构的限制, 器件 A 的

发光效率可望比器件B高250倍。由此可见,应尽力使显示器件发绿光。这样显示器的功耗较低,而人眼却感到亮度比较高。

2.1.2 光度学量度

光源在单位时间内发出的光量称为光源的光通量(Φ)。光通量的单位是流明(lm)。光源在给定方向(φ, θ)的单位立体角(Ω)中辐射的光通量称在该方向的发光强度(I),即

$$I = \Phi / \Omega \quad (2-6)$$

由于在各方向上的发光强度一般是不相同的,因此在严格定义某一方向的发光强度 $I(\varphi, \theta)$ 时,必须取微小立体角 $d\Omega$ 。如在此立体角内发出的微小光通量为 $d\Phi(\varphi, \theta)$,则该方向的光强度为

$$I(\varphi, \theta) = d\Phi(\varphi, \theta) / d\Omega \quad (2-7)$$

可以算出 $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$,

所以有

$$I(\varphi, \theta) = d\Phi(\varphi, \theta) / \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\varphi \quad (2-8)$$

因此,光源的光通量为

$$\Phi = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi I(\varphi, \theta) \cdot \sin\theta \cdot d\theta \quad (2-9)$$

如果光源是各向同性的, $I(\varphi, \theta)$ 是一个常数(即 $I(\varphi, \theta) = I$),则(2-9)式积分后得

$$\Phi = 4\pi I \quad (2-10)$$

每单位受光面积(S)所接收的光通量数,称为照度(E),即:

$$E = \Phi / S \quad (2-11)$$

照度的单位是 lx (勒克斯)。1lm 的光通量均匀分布在 1m^2 面积上的照度为 1lx。若 1lm 的光通量均匀分布在 1cm^2 面积上,则照度为 1ph (辐脱)。因此,一个辐脱等于 10^4lx 。

亮度 $L(\varphi, \theta)$ 是光源在某方向的单位投影面积($S \cdot \cos\theta$)、在单位立体角中辐射的光通量,即

$$L(\varphi, \theta) = \Phi(\varphi, \theta) / S \cos\theta \cdot \Omega \quad (2-12)$$

由于表面上各处的亮度不相等,而且各个方向的亮度也不相等,因此严格地讲,应取微小面积 ds 和微小立体角 $d\Omega$, 并取微小光通量,则有

$$L(\varphi, \theta) = dI(\varphi, \theta) / ds \cdot \cos\theta \quad (2-13)$$

因此,光源在给定方向的亮度就是它在该方向的单位投影面上的发光强度。

在光度学中,采用发光强度的单位作为基本单位。发光强度的单位是烛光。最早是以某种规格的蜡烛的发光强度作为标准,后来有了电灯,就以某种规格的电灯作为标准光源。但这两种方法的再现性和稳定性都较差,因此从1948年起采用黑体作为标准。人们采用一种特制的氧化钨坩埚,里面装有高纯度铂金,将其加热熔化,通过内径为2.5mm的观察管来观测铂金的光辐射。这种装置称为光度基准器。1967年第十三届国际权度大会规定:在 101325N/m^2 的压力下,处于纯铂金凝固温度(2045K)的黑体,其六十万分之一平方米表面垂直方向上的发光强度定为一烛光(cd)或坎德拉。过去采用蜡烛或电灯定标的烛光称为旧烛光或国际烛光(cp)。实测表明, $1\text{cd} = 1.005\text{cp}$, 故在实用上可认为两者相等。

由发光强度单位,可以导出其他光度量单位。发光强度为一烛光的点光源,在单位立体角内发射的光通量就是一流明(lm)。一勒克斯(lx)是发光强度为一烛光的点光源在半径为一

米的球面上产生的光照度,因此勒克斯也称为米·烛光。表 2-1 示出各种照度单位之间的关系。

面积为 1m^2 、其法线方向的光强度为 1cd 的面光源,它在该方向的亮度为 1 坎德拉每平方米(cd/m^2)。

表 2-1 各种照度的关系

照 度 单 位	勒 克 斯	辐 脱	英 尺·烛 光
勒克斯($\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$) (米·烛光)	1	10^{-4}	0.0929
辐脱($\text{ph} = 1\text{lm}/\text{cm}^2$)	10^4	1	929
英尺·烛光($1\text{lm}/\text{ft}^2$)	10.764	0.001076	1

表 2-2 各种亮度单位的换算表

亮 度 单 位	nt	sb	cd/in^2	cd/ft^2	mL	fL	asb	L
尼 特* ($\text{nt} = \text{cd}/\text{m}^2$)	1	0.0001	0.000645	0.0929	0.3142	0.2919	3.1416	0.3142×10^{-3}
熙 提 ($\text{sb} = \text{cd}/\text{cm}^2$)	10000	1	6.452	929	3142	2919	31416	3.142
烛光/英寸 ² (cd/in^2)	1550	0.155	1	144	486.9	452.4	4869	0.4869
烛光/英尺 ² (cd/ft^2)	10.764	0.001076	0.00694	1	3.382	3.1416	33.82	3.382×10^{-3}
毫 朗 伯 (mL)	3.183	0.0003183	0.002054	0.2957	1	0.929	10	10^{-3}
英尺·朗伯 (fL)	3.426	0.0003426	0.002211	0.3183	1.0764	1	10.76	1.08×10^{-3}
阿波熙提 (asb)	0.3183	0.00003183	0.0002054	0.02957	0.1	0.0929	1	10^{-4}
朗 伯 (L)	3183	0.3183	2.054	295.7	10^3	929	10^4	1

*按我国的新规定常用坎德拉每平方米(cd/m^2)。

亮度还有其他单位,例如熙提(sb)、朗伯(L)、毫朗伯(mL)、英尺·朗伯(fL)和阿波熙提(asb)等。表2-2 是这些单位的换算表。换算公式如下

$$1\text{asb} = \frac{1}{\pi \cdot 10^4} \text{sb} \quad \text{fL} = \frac{1}{\pi} \text{cd}/\text{ft}^2 \quad (2-14)$$

$$1\text{mL} = \frac{1}{\pi} \cdot 10^{-3} \text{sb} \quad 1\text{L} = 10^3 \text{mL} \quad (2-15)$$

在显示技术中,同光度学密切相关的另一个参数是对比(Contrast)和对比度(Contrast ratio)。

对比的计算公式有以下几种:

$$C = (L_i - L_0) / L_i \quad (\text{当 } L_i > L_0) \quad (2-16)$$

$$C = (L_0 - L_i) / L_0 \quad (\text{当 } L_0 > L_i) \quad (2-17)$$

式中 L_0 和 L_i 分别是目标和背景的亮度。

在调制传递函数计算中采用如下两个公式: 一个公式是

$$C = (L_0 - L_i) / (L_0 + L_i) \quad (2-18)$$

另一个公式是

$$C = (L_{max} - L_{min}) \cdot 2 / (L_{max} + L_{min}) \quad (2-19)$$

式中 L_{max} 和 L_{min} 分别为屏幕上的最大亮度和最小亮度。

对比度常用以下两个公式计算:

$$C_R = L_{max} / L_{min} \quad (2-20)$$

$$C_R = (L_i + L_0) / L_i \quad (2-21)$$

研究表明,人眼可以分辨的对比度为 1.03:1 的两个物体。为了看清黑底上的白字,其最小对比度应该等于 5:1。

2.1.3 亮度测量

亮度是显示器的重要参数之一,因此下面着重介绍一下亮度的测量方法。

一、用照度计测亮度

1. 基本原理

如图 2-2 所示,亮度为 L 的发光面 A 向受光面 S 辐射光通量。先考虑微小发光面 dA 辐射到 S 面的照度 dE 。由 (2-11) 式可得

$$dE = d\Phi / dS = L \cdot dA \cdot \cos\theta_1 \cdot d\Omega / dS = L \cdot dA \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 / r^2 \quad (2-22)$$

由上式两边积分,则有

$$E = \int (L \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 / r^2) dA \quad (2-23)$$

由于上式中有余弦项, θ_1 和 θ_2 分别是法线 N_1 和 N_2 与光的入射方向的夹角。如果调整发光面 A 和受光面 S 的位置,使光的入射方向同法线方向一致,则有 $\theta_1 = 0$ 和 $\theta_2 = 0$ 。因此,式 (2-23) 变成

$$E = LA / r^2 \quad (2-24)$$

$$L = Er^2 / A \quad (2-25)$$

或

式中 A 为发光体的面积。在实际测量时,它是用一个长方形光阑 D 将发光体盖住的,因此发光体面积 A 就是光阑 D 的面积,如图 2-3 所示。

2. 照度测量

照度测量是用照度计进行的。若把光电池(或光电管)和电流表串连起来。表头以 $1x$ 为单位进行分度,即构成照度计。表 2-3 列出几种光

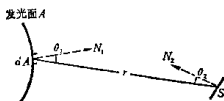


图 2-2 照度测量原理

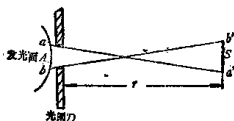


图 2-3 光阑的作用