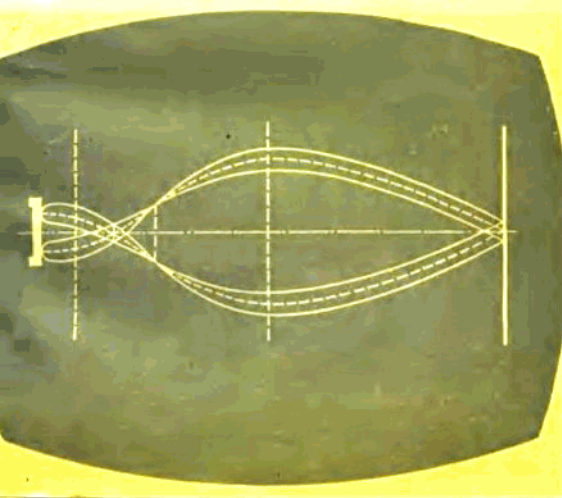


电子束管丛书

黑白显像管 和显示管

张树钧 童林凤

丁守谦 等编著



编委会名单

主 编：吴祖垵

副主编：沈庆堃 陈邈

编 委：（以姓氏笔划为序）

王士杰 西门纪业 孙伯尧 张树钧

龚兆祺 郑步京 黄东昌 童林凤

周生珣

序

电子束管也称阴极射线管，是电真空器件中的一大门类。虽然电真空器件中不少门类已全部或局部为固体器件或其他器件所替代，而电子束管由于它具有独特的性能，除个别管种外，还在继续发展。

我国对电子束管的研究开发工作起始于本世纪五十年代，而大量生产则在六十年代初期。其中示波管、雷达指示管、黑白显像管在六十年代初期已大量生产，彩色管、储存管、摄像管的科研工作则要追溯到五十年代的末期。现在彩色管已经大量生产，储存管和摄像管仍处于批量生产阶段。总的来说，我国对电子束管科研开发及大量生产已有三十多年的历史。

为了适应四化的要求，电子工业部中国电子器件工业总公司要求我们将已取得的成就加以理论分析和系统的总结，编写成电子束管丛书，以供从事电子束管的教育工作者，企业、事业和工厂的技术人员和管理人员以及器件应用的工程技术人员参考并作为知识更新之用，也可作为大专院校、中技校在校学生课本的补充。

我们聘请了有关专家、教授和工程师共同商讨编写丛书的内容，其中包括器件工作的原理、设计的方法、工艺的陈述、器件的应用，然后分别执笔和审稿。现已编写成一套丛书，计

示波管

黑白显像管和显示管

摄像管

彩色显像管

电子光学计算机辅助设计

等五种，由国防工业出版社陆续出版。

由于编写人员的分散，执笔人员众多，而且他们的工作都在课余或业余进行，因此在逻辑性和系统性上还存在一些问题，希望读者们指正，以便在再版时予以补充和修正。

吴祖培

1985年9月

前 言

显示,在信息传输处理系统中是指信息显示,也就是将人们不能直接感觉到其形态的信息内容按需要显示为能感觉到的形态,其中图像显示则是将信息显示成视觉能感受的图像形态。图像显示是通过电子束管(或称阴极射线管 CRT)来实现的,它是一种变换或产生视觉图像的显示器件。显示器件的种类甚多,而电子束管是现代显示技术中用途最广泛、最成熟的一种,至少在最近十几年内还难以用其它的显示器件取而代之。

黑白显像管和显示管是电子束管中产量最大、普及最广的显示器件。前者用于电视接收机,后者用于电子计算机等图像显示装置。在现代的日常生活和生产活动中几乎离不开图像显示,特别是当前我国正处在电视和电子计算机技术迅猛发展的时期,广播电视日益普及,电子计算机及其计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)正不断地在国民经济各部门推广、应用,它们必然会促进我国整个社会的发展和进步。与此同时,黑白显像管和显示管的生产亦将随四个现代化的深入发展而不断地提高。

本书是黑白显像管和显示管的专著。书中详尽地阐述了管子各组成部分的工作原理、设计计算和制作工艺,以及管子的测试、寿命及应用等问题,具有很大的实用价值。本书是显像管和显示管专业生产厂所必备的重要书籍,可供计算机、自动控制、雷达、电视和显示系统的设计、生产、使用人员阅读,也可供有关部门的技术组织者、大中专院校师生参考。

本书是由工厂、科研所、院校等合力编写成的。参加编写的单位有华东电子管厂、红光电子管厂、上海电子管厂、北京显像管厂、上海电机真空器件研究所、南开大学、复旦大学和南京工学院,各章撰写人如下,

- 第一章 倪模生 郭寿荣
第二章 童林凤 张惠聪 谢晓元 王鲁芹
第三章 丁守谦
第四章 李世昌 王佩纶 诸关炯 吕天吉
第五章 徐保度 郭寿荣 甘源涵
第六章 吴华安
第七章 吴福源
第八章 徐大章 佟成伍 顾昌鑫
第九章 张树钧
第十章 倪模生 郭寿荣

由于编写人员的水平有限，缺点和错误在所难免。敬希广大读者批评指教。

编 者

目 录

第一章 概述	1
§ 1.1 发展过程	1
1.1.1 偏转角	1
1.1.2 屏幕	1
1.1.3 管颈	2
§ 1.2 显像管的结构	2
1.2.1 荧光屏的制作形式	2
1.2.2 阴极的结构形式	3
1.2.3 电子枪	3
1.2.4 防爆的型式	4
§ 1.3 推动显像管技术进步的材料工业的发展	4
1.3.1 有机膜	4
1.3.2 荧光粉	4
1.3.3 消气剂	4
1.3.4 无磁不锈钢	5
§ 1.4 显像管的应用	5
第二章 电子枪	7
§ 2.1 电子枪的基本结构和工作原理	7
2.1.1 基本结构	7
2.1.2 工作原理	8
§ 2.2 对电子枪的要求	9
§ 2.3 电子枪的主要参量	10
§ 2.4 发射系统的计算	12
2.4.1 发射系统的结构和工作原理	12
2.4.2 截止电压的计算	15
2.4.3 阴极负载和调制特性	20
2.4.4 三极式发射系统的光学参数与结构尺寸的关系	37
2.4.5 四极式发射系统的光学参数与结构尺寸的关系	38
§ 2.5 聚焦系统	59
2.5.1 黑白显像管用静电透镜	61

2.5.2 静电透镜光学参量	61
2.5.3 静电透镜的像差	63
2.5.4 常见静电透镜的基点和球差系数	68
§2.6 漂移区	77
2.6.1 均匀同心束的扩散	77
2.6.2 显像管漂移空间中电子束的扩散	81
§2.7 电子枪的设计	82
2.7.1 设计方法	82
2.7.2 电子枪优化设计与设计实例	98
第三章 偏转线圈	105
§3.1 引言	105
§3.2 有界均匀磁场对电子束的偏转	106
3.2.1 正弦关系式及偏转中心前移公式	107
3.2.2 偏转散焦	108
3.2.3 交点轨迹的曲率半径	110
3.2.4 非线性失真	110
3.2.5 偏转灵敏度	111
3.2.6 极限管颈	111
§3.3 偏转线圈的结构及磁场分布	112
3.3.1 偏转线圈的结构形式	112
3.3.2 偏转线圈的磁场分布	113
§3.4 偏转磁场参数的理论计算	115
3.4.1 单匝电流导线的场参数	115
3.4.2 圆弧部分场参数的求法	118
3.4.3 连续分布场参数的求法	120
§3.5 场参数的测量	123
3.5.1 测试原理	124
3.5.2 测试步骤及框图	124
3.5.3 由测量数据计算场参数的方法	125
3.5.4 计算举例	126
§3.6 三级偏转像差	128
3.6.1 理想高斯偏转	128
3.6.2 三级偏转像差	130
3.6.3 三级偏转像差系数与光栅图的关系	131
3.6.4 常枕桶场的偏转像差系数	135
§3.7 球面屏对畸变和像散的校正	139
§3.8 偏转磁场的等效均匀场处理	141

§ 3 9	钟形场半宽度及起迄点的确定	145
§ 3 10	钟形场的高斯轨迹、斜率及偏转中心的解析表达式	147
§ 3.11	暗角余量的确定	149
§ 3 12	对某一固定偏转角所需安匝数的近似确定法	151
§ 3 13	关于电感的近似计算	153
§ 3 14	偏转功率及偏转功率指数	154
§ 3 15	一些其他缺陷及相应的调节方法	156
第四章	玻壳	159
§ 4 1	玻壳设计	159
4.1.1	屏的设计	160
4.1.2	锥体的设计	171
4.1.3	锥体曲面光顺性的检验和判断	182
§ 4 2	玻壳应力的计算机计算	185
4.2.1	计算原理	186
4.2.2	计算步骤	185
4.2.3	计算结果及讨论	193
§ 4 3	玻壳应力的测量	203
4.3.1	光测弹性力学法	203
4.3.2	电阻应变仪法	206
§ 4 4	防爆	219
第五章	荧光屏	227
§ 5 1	荧光屏特性	227
5.1.1	发光亮度	227
5.1.2	光谱与色度	229
5.1.3	余辉	232
5.1.4	分辨率	236
5.1.5	对比度	237
5.1.6	次级发射	238
5.1.7	稳定性	239
§ 5 2	玻壳清洗	240
5.2.1	清洗原理	240
5.2.2	清洗工艺	243
5.2.3	设定条件	245
5.2.4	清洗检验	246
§ 5 3	荧光粉层制备	247

5.3.1 荧光粉层性能	249
5.3.2 沉淀制屏原理	254
5.3.3 参量选择	257
5.3.4 沉淀工艺	269
5.3.5 荧光粉层检验	273
§ 5.4 有机膜涂覆	274
5.4.1 成膜机理	274
5.4.2 参量选择	273
5.4.3 涂覆工艺	281
5.4.4 有机膜检验	234
§ 5.5 蒸铝	285
5.5.1 荧光屏铝化作用	285
5.5.2 铝膜特性	287
5.5.3 蒸铝的物理过程	292
5.5.4 蒸铝工艺	295
5.5.5 蒸铝质量检验	302
§ 5.6 荧光屏检验	303
第六章 排气和老炼	308
§ 6.1 玻壳去气	308
6.1.1 玻壳的表面吸附	309
6.1.2 玻壳的内部溶解	311
6.1.3 卤素物——氟的影响	312
§ 6.2 电子枪去气	312
6.2.1 电子枪的表面吸附	312
6.2.2 电子枪的内部溶解	313
6.2.3 零件预处理对放气量的影响	314
§ 6.3 阴极分解	315
6.3.1 阴极分解的机理	315
6.3.2 台下分解	317
§ 6.4 排气规范的制订	324
6.4.1 玻壳去气规范	324
6.4.2 阴极分解规范	326
§ 6.5 阴极的激活与老炼	328
6.5.1 激活与老炼的机理	329
6.5.2 规范的制订	332
6.5.3 阴极质量检查	333

第七章 寿命与可靠性	337
§ 7.1 影响显像管寿命的内在原因	337
7.1.1 氧化物阴极的化学物理过程	337
7.1.2 基金属材料的影响	341
7.1.3 涂层材料和结构的影响	342
7.1.4 阴极工作温度的影响	347
§ 7.2 显像管内的残余气体及影响	348
7.2.1 显像管内气体的来源	348
7.2.2 吸气剂对残余气体的影响	352
7.2.3 残余气体对显像管寿命的影响	357
§ 7.3 显像管的可靠性	361
7.3.1 显像管的失效规律	362
7.3.2 影响显像管可靠性的因素	364
7.3.3 玻璃及X射线的泄漏	365
7.3.4 玻壳强度及显像管的爆炸	367
7.3.5 高压跳火	373
7.3.6 真空卫生及影响	376
§ 7.4 寿命试验	379
7.4.1 加速寿命试验的理论依据	380
7.4.2 以温度为加速变量的寿命试验	385
7.4.3 实验数据的处理	387
第八章 黑白显像管和显示管的测试	391
§ 8.1 测试条件	391
§ 8.2 发光特性	393
8.2.1 亮度	393
8.2.2 发光颜色	395
8.2.3 余辉特性	398
§ 8.3 阴极质量	399
8.3.1 阴极发射	399
8.3.2 阴极面像	400
§ 8.4 聚焦质量	400
8.4.1 线宽的测量	401
8.4.2 屏幕上所能分辨的明暗交替线条总数的测量	405
§ 8.5 对比度	406
8.5.1 大面积对比度	407
8.5.2 细节对比度	407

§ 8.6 气体系数	408
第九章 显示管	410
§ 9.1 概述	410
§ 9.2 电子枪	413
9.2.1 调制特性	413
9.2.2 阴极发射密度	419
9.2.3 设计高分辨率电子枪时需考虑的问题	423
9.2.4 电子枪的设计步骤	424
§ 9.3 偏转线圈的偏转散焦问题	425
9.3.1 表征偏转散焦的特性常数	425
9.3.2 平面屏上的偏转散焦	428
9.3.3 偏转散焦最小的条件	430
9.3.4 消除偏转散焦的方法	432
§ 9.4 荧光屏面防眩技术	435
第十章 显像管和显示管的使用、故障判断及应用前景	437
§ 10.1 电视显像管的结构和工作原理	437
§ 10.2 显像管的正确使用方法	439
10.2.1 阴极、灯丝的供电问题	439
10.2.2 亮度调整与亮度调制	439
§ 10.3 显像管的更换	441
§ 10.4 故障的判断	441
§ 10.5 对显像管修理的补救办法	444
§ 10.6 显像管使用应注意的问题	445
§ 10.7 显像管的应用	446
附录 有关计量单位换算表	449

第一章 概 述

显像管用于广播电视仅有 40 多年的历史,但在电真空器件中有着重要的地位。起初,显像管在第二次世界大战中得到了应用。后来,黑白显像管迅速普及,60 年代彩色显像管得到了发展,以后随着生产的发展、观看者的需求和国民经济各个领域的应用,黑白显像管、单色显示管、彩色显像管、彩色显示管都以惊人的速度得到开发应用。

随着玻璃压制技术、电真空材料工业、电子光学理论、显像管制造工艺等的技术进步,黑白显像管的开发与生产有以下发展过程。

§1.1 发展过程

1.1.1 偏 转 角

显像管初期的偏转角为 36° 、 50° 、 53° 、 70° 、 90° ,逐渐发展到现在的 110° 、 114° 等,这是因为一是要增大荧光屏幕的尺寸,而另一方面要缩短显像管的长度,从而减小电视机的尺寸和减轻电视机的重量。60 年代初期,无论黑白显像管或彩色显像管都致力于追求高亮度、高清晰度,这也是致使偏转角增大的原因。

由于显像管偏转角的增大,其偏转功率也随之增加,这就要求扫描输出级功率输出增大,70 年代,世界上出现了能源危机,对产品设计提出了节能要求,一些中型屏幕的显像管,其偏转角由 114° 改为 90° 和 100° ,这可使电视机的偏转功率大为降低。

1.1.2 屏 幕

显像管生产的初期,荧光屏的形状一般呈圆形,屏幕尺寸以

中屏幕的 16in[●] ~ 19in 为主, 随着显像管玻璃压制和加工技术的进步, 屏幕都作成矩形, 而且观看者对大画面的要求, 使屏幕尺寸增大至 24in、26in、30in 甚至 40in。

近年来, 国外流行小型化的复合型电视机, 内藏收音机和盒式录音机。其屏幕尺寸有 1.5in、2.5in、3.5in、4in、4.5in、5.5in。

1.1.3 管 颈

显像管管颈的尺寸与电子枪的结构有着密切的关系。显像管发展初期, 管颈尺寸为 $\phi 36\text{mm}$ 、 $\phi 28\text{mm}$, 进入 60 年代后, 由于电子光学理论日趋完善, 同时电子枪零件的制造技术和零件能达到的公差范围都能得到满足, 使中屏幕显像管管颈减小到 $\phi 20\text{mm}$ 。我国 60 年代生产的 35SX2B, 管颈直径为 $\phi 36\text{mm}$, 70 年代生产的中屏幕显像管 40SX11B、40SX12B、40SX13B 管颈直径为 $\phi 28.6\text{mm}$, 80 年代管颈细化为 $\phi 20\text{mm}$, 偏转角由 110° 减小为 90° , 它的电性能与国产管 31SX3B、35SX5B 基本相同, 仅是高压不同, 这使 12in、14in、17in 成为系列 (如 44SX1B、44SX2B、44SX4B), 用该管装成的电视机 (晶体化) 耗电功率可减小 50%。

§ 1.2 显像管的结构

1.2.1 荧光屏的制作形式

黑白显像管的最初阶段, 为解决负离子轰击荧光屏面使屏中心的发光亮度逐渐减弱而形成“离子斑”, 通常采用具有离子阱的电子枪, 如我国早期生产的 35SX2B。

60 年代开始, 荧光屏都已采用金属化, 即在荧光屏上涂有 $0.1 \sim 0.3\mu\text{m}$ 厚的铝膜, 并与第二、四阳极 (高压阳极) 接在一

● in 是英寸的符号, $1\text{in} = 2.54\text{cm}$ 。

起, 铝化后的屏面除亮度提高外, 电子枪就不必装设离子阱。

1.2.2 阴极的结构形式

在广播电视发展初期, 电视机采用全电子管形式。随着半导体工业的发展, 晶体管技术特性日益成熟, 到 60 年代, 电视机由电子管转向电子管、晶体管混合式, 直到全晶体管式。因晶体管开始工作不需预热时间, 当电视机在电源接通后的瞬间显像管上就有高压和各极电压, 而显像管的阴极热容量大, 阴极温度是慢慢上升到正常发射, 一般是在 $15 \sim 25 \text{ s}$, 在这段时间内, 显像管在欠热条件下工作, 这是氧化物阴极所不希望的, 有损于寿命(如国产管 40SX11B、40SX13B)。

国外从 60 年代后期, 设计了快速启动阴极, 改进了热子结构和处理工艺, 提高了阴极加热效率, 使显像管在 $3 \sim 5 \text{ s}$ 内能显示图像。

1.2.3 电子枪

随着电子光学理论研究的完善成熟和电子枪零件的生产、装配水平的提高, 电子枪的性能水平有了大的进展。根据不同要求, 现基本有三种型式的电子枪。

一、单电位电子枪

这种类型的电子枪用得最为普遍, 屏幕尺寸在 12in 以上的黑白显像管基本上都采用这种类型的电子枪。单电位电子枪的特点是: 聚焦电压低 ($0 \sim 500 \text{ V}$); 聚焦动态特性好, 随阳极电流上升其散焦不明显; 聚焦电压变动对聚焦质量影响不明显。以上特点对电视机电路设计带来方便, 对聚焦电路元件的要求可以略低, 甚至可以不用聚焦电位器, 这样可降低电视机的成本。单电位电子枪的缺点是中心聚焦稍差。

二、双电位电子枪

其特点是: 聚焦电压高 (1000 V 左右); 聚焦电压变动对聚

焦影响大；电压稳定度要求高，这就使整机元件要求高，线路复杂化，整机成本高。优点为中心聚焦好。双电位电子枪常用于屏幕尺寸在 9in 以下的场合。

三、三电位电子枪

这种电子枪类同于单电位，其特点是枪短，适用于小屏幕。

1.2.4 防爆的型式

生产初期，对于大屏幕显像管都是采用在屏面上贴上一层玻璃，在玻璃与屏面之间灌入不饱和树脂。另一种方式是采用在屏面板上浇粘壳式金属环，以上方式的缺点是使管子的重量增加，加工复杂，成本高。由于管子重心在前，对整机带来重心不稳。到 60 年代中期，由于玻壳设计和玻壳压制工艺的改进，防爆技术有了进展，现在中、大屏幕的黑白显像管大都采用带式防爆，并在四角安装上耳环，对整机安装带来莫大方便。

§ 1.3 推动显像管技术进步的材料工业的发展

1.3.1 有机膜

以往生产都是采用硝化棉，现应用聚甲基丙烯酸树脂，其特点是：（1）分子量大，有利于沉膜质量的提高；（2）分解温度低，残渣少，对显像管的寿命有利。

1.3.2 荧光粉

在荧光粉的制造工艺中，采用粉表面处理得到合适的颗粒结晶，提高了荧光粉的发光亮度。

1.3.3 消气剂

掺氮钡铝合金消气剂的使用，可得到分布面扩大的膜层，增大了吸气量，提高了显像管的真空度。

1.3.4 无磁不锈钢

由于无磁不锈钢的应用,使电子枪冲制后剩磁极小,提高了显像管的分辨率和聚焦质量。

黑白显像管从50年代广泛用于广播电视后,市场对显像管的要求日益增长,当前,显像管的生产工艺已被完全掌握。对显像管性能起主要作用的关键材料得到了解决。显像管玻璃熔制技术和加工技术有了新的进展。显像管关键工序所需超净厂房条件得到满足,以及为大生产所需的大型设备制造成功,使显像管逐渐摆脱手工操作而转为半自动化与自动化生产。

大家知道,显像管是由玻壳和电子枪组成的。玻壳是显像管的主要部件,在显像管的生产过程中,玻壳要经受着加热(热加工前的预热)、冷却(热加工后的退火)、经受压力(排气后的管内真空、防爆绑带)的过程。要保证上述工艺要求,玻壳生产的熔制工艺和压制加工工艺应有足够的生产条件保证,其生产一般都是采用半自动或全自动的屏、锥压制机,自动烧阳极帽机,自动接管颈机以及半自动电封屏机。这些设备共同的特点是:有严格的温度控制系统,确保玻壳加工过程中内应力为最小,减少显像管生产中的玻壳炸裂。电子枪是显像管的另一主要部件,显像管的电气性能与电子枪有直接关系。前面已讲到,电子枪随着电子光学理论的成熟和制造技术水平的提高,实现了专业化生产。为保证显像管电气参数可靠一致与质量,从70年代开始,电子枪生产都在超净厂房条件下进行。当然,显像管的机械化大生产与大型的荧光屏面沉淀机,大型的焙烧隧道窑,大型的排气机以及连接各工序的传送带是分不开的。

§1.4 显像管的应用

黑白显像管的生产进入60年代后,由于受到彩色显像管的冲击,产量和品种的发展受到一定的影响。但由于黑白显像管工艺相当成熟,实现了自动化较高水平的大生产,达到高产、高效、

高质的程度。由于系列齐全，管颈和偏转角相应减小，使偏转功率减小，制作简单，成本低，因此在今后较长一段时间内仍是显示装置的主要器件。

显示管所装备的显示装置用于工业、医疗卫生、公安、交通等国民经济各部门，国外甚至渗入到了家庭。

工业电视（ITV）是将电视应用于工业，为生产服务，对车间的集中监视、控制和调度，还可用于直接观看困难的场所或工人不易接近的地区。其整个系统是闭路系统（即在有限区域内用电缆进行连接）。

电子计算机终端显示绝大多数都使用显示管，通过键盘打字输入，在荧光屏显示文字、数据，实现了人、机对话。可以预料，随着微型计算机的发展，并进入家庭化，显示管的需要量还要继续增加。