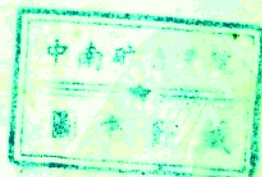


383999

高效磁偏转系统的设计

[苏]Д.П.布利里安托夫著



上海无线电二十七厂

一九七九年七月



目 录

序 言	1
第一章 近代显象管和偏转系统的特性	3
1.1 显象管的型号及其构造	3
1.2 显象管参数的要求	4
1.3 偏转系统的类型	12
1.4 偏转系统参数的要求	14
第二章 电子在电场和磁场共同作用下的运动	15
2.1 显象管中电子运动条件的特性	15
2.2 偏转磁场	16
2.3 电子光学折射指标	20
2.4 电子运动方程	21
第三章 偏转系统的效率	24
3.1 偏转系统的磁场使电子束偏转的特性	24
3.2 偏转指标和偏转系统参数的相互关系	25
3.3 结构效率	31
3.4 电效率	32
第四章 无磁芯短偏转系统中的磁场分布	35
4.1 偏转线圈的布线	35
4.2 确定磁场分布函数的方法	36
4.3 用等效匝数代替线圈时, 偏转系统横截面内磁场分布特性的畸变	37
4.4 短柱偏转系统对称轴上的磁场分布	38
4.5 轴外磁场分布	41
4.6 磁场主分量在反对称平面上的分布	46
4.7 磁场附加分量的分布	48
4.8 纵向导体的磁场	49
4.9 端面导体的磁场	52
4.10 端匝部分翻折的短柱偏转系统	54
4.11 短扩展系统中的磁场分布	55
4.12 扩展系统的磁场近似算法	58
4.13 短锥形系统	59
4.14 形状复杂的短偏转系统	61
4.15 形状复杂的偏转系统的表面近似化	63
4.16 用平面场算法来确定扩展系统的空间磁场	64
4.17 确定扩展系统轴外磁场分布的图解法	66
4.18 组合式偏转系统	68

第五章	有磁芯短偏转系统中的磁场分布	70
5.1	马鞍形系统磁芯的屏蔽作用	70
5.2	磁芯参数对系统主磁场强度的影响	72
5.3	磁芯参数对马鞍形系统漏磁强度的影响	74
5.4	环形偏转系统	76
5.5	有磁芯短系统磁场的计算	79
5.6	有磁芯短系统的简易计算法	84
5.7	形状复杂的偏转系统的模拟	89
第六章	用有效长度法计算偏转系统	91
6.1	有效长度的确定方法	91
6.2	短柱系统的有效长度	92
6.3	形状复杂的短系统的有效长度	94
6.4	偏转参数的计算	97
6.5	确定偏转参数的图解分析法	99
6.6	结构效率的计算	100
6.7	偏转线圈电感量的计算	102
6.8	电子束轨道的精确位置	102
第七章	最大结构效率的偏转系统	105
7.1	组合系统的最佳参数	105
7.2	扩展系统的最佳轮廓	108
7.3	最佳偏转的初始条件	112
7.4	偏转能量最小的条件	113
7.5	提高结构效率的方法	115
第八章	最大电效率的偏转系统	120
8.1	偏转线圈工作的电状态	120
8.2	偏转线圈里的功率损耗	123
8.3	偏转线圈的直流铜阻	124
8.4	偏转线圈的交流电阻	131
第九章	最佳效率的偏转系统	134
9.1	圆柱系统最佳效率的确定方法	134
9.2	扩展系统最佳效率的确定方法	137
9.3	偏转磁芯的最佳尺寸	138
9.4	偏转磁芯的最佳横截面积	140
结束语		
参考文献		

序 言

本书研究各种电视装置(电视接收机、电视监视器、电视控制器、发射室电子检影器、指示设备等)用磁偏转系统的设计问题。

电视设备发展的现状有二个重要的趋向:由于采用半导体器件、集成电路及其他小型无线电元件而使电视设备小型化和使其质量指标提高。目前,实际上要解决的问题是创制各种用途的便携式电视装置。然而,这些装置并非都有所需的特性和质量指标。为了使电视装置电子线路和结构达到最佳化的目的,则现有样机的现代化问题便提到议事日程上来。

当设计现代便携式电视装置时,其经济性具有首要的意义,这是由于在达到耗电量最小的条件下,易于实现体积小、重量轻以及改进其他很多电气参数和结构参数的要求。对设计的这种看法,其重要性在专门书刊中,其中包括作者的著作中〔4、16、17、18、19、47、49、54、64〕都再三叙述过了。除了改善电视的技术特性之外,耗电量减低可促使解决国民经济节约用电的重大问题,因为当电视机用量很大时,其耗电量即使下降的不甚大,而对大电站的功率来算也可带来可观的效果。

如众所知,电视机的耗电量主要由电视扫描发生器而首先由行扫描发生器所确定。而且,耗电量的大部分是用在偏转系统的供电上。因此,若不用耗电量保证最小的有效偏转系统,实际上便不能建立符合现代要求的电视监视装置。

此外,在大多数设备中恰恰需要有效偏转系统,这种需要常常随着便携式电视机和电视控制装置的增产而增大。从事研制和生产电视部件和磁偏转系统的现有专业工厂尚不能满足这些需要。这一点特别与经常是小批量生产的各种非标准电视控制装置有关,为此装置研制偏转系统不宜在专业工厂进行。通常,为这种装置生产偏转系统是靠非专业厂本身的力量进行的,该厂没有这种复杂而特殊的部件的设计经验。

对电视装置和偏转系统的现状进行研究的简短分析可作出结论,对提高偏转系统的效率有迫切地需要,对实际工作者适用的偏转系统设计方法有迫切的需要。后一主张也被有关著作研究的结果所证实。

电子光学是研究显象管和其他电子束管的电子束偏转的,其许多问题已为很多专业书籍和科技论文所阐述过了。对电子光学的主要著作〔7、8、14、35、37〕那怕是速速熟悉一下就可断定,其中对磁偏转问题的注意未免太少。此外,在著作中已有的磁偏转资料尚不能充分运用于有效偏转系统的实际设计中。研究者感兴趣的问题,或者是一般要引用笨重的数学工具,以致使工程上应用困难,或者是说明过于简单,以致设计时出现不允许的误差,或者是这些问题的说明是片断的和不彻底的。所有这些就使设计过程困难,使设计过程拖长,使研制质量下降。在设计时广泛利用不断近似的方法就是这点的证明。这个方法是在初步简易计算之后作出的第一个偏转系统方案,其参数按实验结果应符合以后过渡方案所给定的参数。有时为了达到所需的参数,只好做三四个这样的方案。专家明白,这样的设计方法要花费多么大的资金和工作时间,因为对于每个方案来说都得制造磁芯压模、偏转磁芯、绕制偏转线圈的样品,并需进行偏转系统的装配和调试。除了指出的缺点之外,采用这种方法不能使偏转系统的主要参数得到最佳的配合,其中如最大效率。

虽然研究磁偏转各个问题的著作和研究偏转系统设计的著作尽管很多,但是,有效偏转系

统的工程设计还缺少有步骤有系统的参考书。但是,电视技术专业的大学生和研究生,在工厂、设计院和各种实验室工作的广大设计师和科学同事都迫切需要这种参考书进行试验。特别是非专业厂的工程师更需要这种参考书,否则,他们只好重新来研究和制造非标准的偏转系统。

电视技术对有效偏转系统的需要,以及著作中缺乏足够完整、精确和简便的偏转系统设计方法,这样就为本书确定了二个基本任务:

1. 研讨偏转系统设计的工程方法。

2. 从效率的观点出发,确立主要结构参数和电气参数的综合性最佳的偏转系统的设计方法。

本书的主要目的首先是研讨便携式电视机用短偏转系统的精确的工程设计方法,对其偏转效率来说,首要的要求是耗电量应小。由有关著作分析可知,偏转系统的设计问题从前不曾成为迫切的问题,因为仅仅由于创制便携式晶体管电视机才产生了迫切需要解决这个问题。形状复杂的偏转系统的小型化,及其与晶体管扫描发生器最佳配合的必要性,均要求对这种型号偏转系统的设计有新的办法。

当便携式电视机显象管的偏转角较小时,给出的设计方法具有最高的精度。但是,当电子束偏转角较大时,在本书(§2.2、§4.5、§4.16、§4.17、§6.8)中给出了提高计算精度的建议。考虑到这些建议,本书资料也适用于广角显象管有效偏转系统的设计。

既然在研究偏转效率问题时电子束横截面的终端尺寸没有意义,这是由于其直径应无限小,所以,当设计多束彩色显象管用有效偏转系统时,本书研究的方法也可有效地使用。然而,当设计这种偏转系统时,保证给定的射线综合精度是首要的任务。所以,偏转效率的问题只能在完成主要要求之后再进行研究。

作者根据为《青春》牌便携式电视机和电视监视器建立的偏转系统所作的理论和实践工作,以及其他工作的一些结果,作为本书的基础。

本书因篇幅限制没能把偏转系统所固有的光栅几何失真(或座标失真)的资料包括在内。在设计有效偏转系统时务必要考虑到这些失真。但是,几何失真主要与线圈内布线和以后相互配置有关,实际上与偏转系统的结构并无关系。因此,如果假定完成§4.1所述的布线和线圈配置的话,那末,在研究偏转系统的效率时可不考核几何失真。

书内也没研究马鞍形线圈和环形线圈绕线用的模子、胎具及其他工装的设计问题,以及制造偏转系统的工艺问题。由于本身专业关系,这些问题可以单独研究,而于本书无损。

为了简化书中很多公式起见,本书采用电磁单位制,其中真空导磁率为 $\mu_0=1$ 。当在全部公式中利用其他单位制时,磁感应强度与偏转线圈的安匝有关,则必须引用 μ_0 的乘数。

最后,作者首先向给本书提供大量资料的Л. Э. 崔尔林、В. Э. 邦施捷德特、М. Г. 马尔科维奇、Л. И. 鲁保亚特尼科夫、Р. М. 斯捷柴维奇,以及考纳斯工业学院的一些同志致谢。作者同时真挚地感谢莫斯科电讯工程学院的同事们,С. И. 卡塔也夫教授、Г. С. 采金教授、В. Ф. 沙莫依洛夫教授,在本书很多有决定性方面,给了全力支持,促使本书顺利完成。作者向А. 瓦兰丘斯和Т. 梅施卡吴斯卡斯表示谢意,仔细地校对了手稿和给予了许多宝贵指导。

毫无疑问,对有效磁偏转系统的工程设计方法进行探讨难免有缺点和错误。虽然如此,仍可相信,本书对工程师、大学生和研究生在工作和学习中有帮助作用。因此,作者对给本书提的一切有益意见和批评预先表示感谢。

第一章 近代显象管和偏转系统的特性

1.1 显象管的型号及其构造

显象管是电视图象复现系统的终端装置——是任何电视显视装置(电视机、电视观察器、监视装置和远距寻象仪等)的关键部件之一,它在很大程度上决定着这些装置的总的结构参数和电气参数,以及其他整件和部件的参数。例如,偏转系统的全部结构参数实际上是由所选的显象管型号所确定的。因此,高效偏转系统的设计方法在研究之前,应介绍一下显象管的特性,而首先从介绍它的电气特性开始。由于偏转效率的提高对各种便携式机器特别重要,因此,我们将主要注意小尺寸显象管的特性。

当代大多数的电视设备里都采用电子束磁偏转的显象管。由于许多技术原因,静电偏转的显象管在电视设备内未被广泛采用。

使用磁偏转显象管的主要目的是形成细的电子束,以保证给定的分辨力、发光亮度及聚焦。在显象管中,这些作用是由电子枪来完成的。

鉴于电子束的形成特点,显象管可分为二种类型:磁聚焦和电聚焦[1]。在前一种情况下,为了使电子束聚焦而应用与显象管本身结构无关的电磁铁和永久磁铁。所以,装在显象管里并称为电子枪的光电系统的功能在此情况下是限制电子束的散焦。为此,运用三极电子枪就可以了,三极包括:阴极、调制极和阳极。有时为了改善聚焦则采用有辅助加速极的四极电子枪。除了电子枪系统简易之外,磁聚焦在阴极电流较大时尚比静电聚焦系统有更好的电子束口径。然而,由于磁聚焦的笨重和不经济,因而在便携式电视装置中没被大家所用。通常磁聚焦用于指示设备和投影电视,在这些设备中,在加速高压之下则要求亮度高。

静电聚焦的简易电子枪由四个电极构成:阴极、调制极、第一阳极和第二阳极。它有些缺点。因为第一阳极同时还参予产生浸没法镜场,此场靠近阴极形成电子束,并产生聚焦透镜场,于是,电极的电状态出现强烈的相互耦合。结果使参数的偏差增大,使所需电状态的调整过程发生困难。上述的四极电子枪用在简易的显象管中。

在现代大多数的小尺寸静电聚焦显象管中,采用的是五极电子枪。在电子枪的调制极和第一阳极(聚焦极)之间装配了专门的加速电极。五极电子枪克服了四极电子枪的大部分缺点。

在小尺寸显象管中,为了防止重离子对荧光粉的破坏作用,在荧光屏上蒸镀了一层铝膜。在小尺寸显象管中,捕集离子的笨重装置不适用,因为这将导致显象管的尺寸和控制设备的尺寸增大。

确定显象管型号的重要参数是偏转角和荧光屏对角线尺寸。本国的电真空工业研制和成批生产小型显象管,其荧光屏对角线尺寸从4厘米到31厘米。它们的主要技术参数列于表1.1内。图1.1所示为显象管的外形。

由表1.1可见,小型显象管的特点是偏转角较小。这是由于随着偏转角的增大会导致所需的偏转功率增加。这种趋势对经济的便携装置来说自然是不希望的。所以,随着显象管荧光屏尺寸的减小,显象管的偏转角也适当减小。荧光屏对角线从4厘米到11厘米的很小象

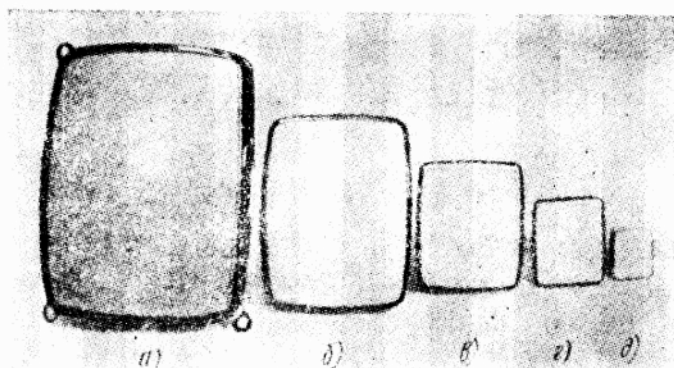


图 1.1 小型显象管的外形

а) 31ЛК4Б; б) 23ЛК9Б; в) 16ЛК1Б; г) 11ЛК1Б; д) 6ЛК5Б.

管(表 1.1), 其偏转角均为 55° 。近代小型显象管偏转角的最大值很少超过 90° 。然而应予指出, 现在正安排成批生产偏转角为 110° 的 31ЛК 型显象管, 以供固定式电视装置使用。

表 1

象管型号	荧光屏 对角线 (厘米)	偏转角 (度)	管颈直 径 (毫米)	灯丝尺 寸 (毫米)	阳极电 压 (千伏)	灯丝电压 (伏)	灯丝电流 (安)	射束电 流 (微安)	加速极 电压 (伏)	聚焦极电压 (伏)	截止电压 (伏)	阴极型式
4ЛК	4	55	13	110	6	1.25	0.30	40	300	0—300	- 9	直热式
6ЛК5Б	6	55	13	115	6	1.25	0.30	40	300	0—300	- 9	"
11ЛК1Б	11	55	13	160	9	1.25	0.30	50	300	0—300	- 15	"
16ЛК1Б	16	70	13	180	9	1.25	0.30	50	300	0—300	- 20	旁热式
23ЛК9Б	23	90	20	190	9	12	0.065	65	300	0—250	- 30	"
31ЛК4Б	31	90	20	270	11	12	0.065	100	250	0—350	- 30 ~ - 60	"

1.2 显象管参数的要求

基本要求: 各种型号的小型显象管按其原理特点而论, 实际上与电子管电视机中所使用的普通显象管并没区别。图象的复现方式与先前一样。然而, 对小型显象管的结构和电气参数的要求与对一般大屏幕广角显象管提出的要求则不同。这点首先是由于便携式电视机的使用特性所决定的。

使用显象管的经济性对于电池供电的便携式电视机和便携式监视装置具有头等的意义。对经济性要求严格是由于显象管要占用电源总能量的 $60\% \sim 70\%$ 。能量消耗的主要部分是耗散在电子束的偏转上。阴极部件和屏蔽上也消耗相当大一部分电源能量。根据表 1.1 的数据, 灯丝电路耗电在 $0.38 \sim 0.78$ 瓦之间, 屏蔽耗电在 $0.25 \sim 0.60$ 瓦之间。调制极上耗电有 $0.1 \sim 0.3$ 瓦之多。显象管其余电极上消耗的功率很少。在电子束偏转上消耗的功率比灯丝功率约大 10 倍。

由于小型显象管, 例如 23ЛК9Б, 连偏转系统一起共消耗的功率达 $10 \sim 11$ 瓦, 而用有小

象管的电视机消耗功率为 13~14 瓦。具有这样功率消耗的电视机可用适当容量和价格的电池连续工作 2~3 小时,这就给电视机的运用带来很大困难,并使其结构复杂起来,因为电源系统应是多用的。由此可见,提高小型显象管的经济性是很有意义的。提高由交流电供电的电子管电视机的经济性同样重要,但不如在便携式电视机中有更大意义。

显象管的能量指标取决于结构、光电和发光技术的综合参数。为了保证显象管的高经济性,必须实现下列要求:显象管玻璃壳的结构尺寸和形状必须合理,使之与偏转系统配合保证偏转有最大效率;电子枪应该消耗尽可能少的能量,以便获得尽可能大的束电流。当束电流和阳极电压较小时,荧光屏的光输出(光效率)应尽可能大。

小型显象管的另一个重要的要求是在给定荧光屏面积下,其尺寸和重量应最小。由于采用了印刷板装配,小尺寸部件、微型无线电零件、超小型电路和集成电路等,现代便携式电视机和各种监视器的尺寸超过显象管本身的尺寸不多,甚至在使用超小型显象管 6JK 和 11JK 时也是如此。所以减小电视机的尺寸和使其结构合理化就完全依赖于显象管的尺寸大小及其尺寸的比例关系。

因为便携式电视装置通常都要携带,所以为便于使用起见,则减轻整个电视机的重量以及其中显象管的重量就有重要的意义。减轻显象管的重量颇能得益,因为象管重量约占便携式电视机重量的 4~5 成。在固定式电子管电视机中,显象管的尺寸没有多大意义,因为在使用广角显象管时,建立把显象管尺寸包括在内的电视机结构较为容易。对固定式结构来说,显象管的重量也没多大意义。

除了高级的结构参数之外,小型显象管应有更高的发光特性,这点与固定式装置的显象管是不同的。许多便携式电视装置是在野外工作的,因而在荧光屏的外部光线大时应保证满意的图象质量。由此可见,便携式电视装置的显象管应有高亮度和高对比度。这样一来,如果对家庭使用的固定式电视机来说,亮度为 40~60 尼特和对比度为 50:1 已经足够的话,那末,对便携式电视机来说,则希望亮度为 200~400 尼特和对比度为 150:1。

对在额定状态下工作的小型显象管的额定分辨率,不提过高的要求。通常,它差不多与普通的广角显象管一样。但是,在小型显象管中获得给定分辨特性的方法远比广角显象管来得复杂。这与光电系统和整个显象管都很有关系。

于是,对小尺寸荧光屏的大部分参数所提的要求将比对通常的广角显象管提的要求更高。为了满足这种要求,在生产小型显象管时要利用先进的工艺和技术措施。在保持复杂工艺过程的精确性和特别是保持显象管超小型零件装配的精确性中,所选用材料的质量有很大意义。小型显象管的微小装配误差,都会造成显象管的参数严重恶化,从而增加了生产中的废品。对装配精度要求的提高,同样也与几何尺寸误差和电参数误差的分散有关,小型显象管比广角显象管对应的误差应更小。

小型显象管达到高指标参数的方法,在下边进行研究。

小尺寸显象管的结构 小型显象管在结构上有二个独立的部分所组成:电子枪和玻璃壳。同时,玻壳则由荧光屏、有过渡部分的锥体和管颈所构成。在装配当中,首先把锥体与荧光屏焊接,然后在荧光屏上敷涂荧光粉(覆盖物),并将锥体与装有电子枪的管颈熔接,然后排除显象管内的气体。

显象管的壳体结构应满足下列基本要求:尺寸最小、重量最轻、参数的“分散”最少;偏转效率最大、机械强度最高。在荧光屏尺寸给定时,显象管的长度取决于偏转角和所采用的

电子枪。

为了保证玻壳的机械强度高,则需采取专门措施,开始先在玻璃中产生初步的机械应力,并对接缝精心焊接,最后使用各种防爆措施。最简易的方法是用防爆卡把绷带固紧(图1.2)。为此目的,玻壳壁厚在机械应力集中的地方应做得稍微厚点。从机械强度考虑,在偏转角大于 70° 的小型象管中,屏幕的长度和宽度之比多为4:5,并有明显的弯曲(球面)[2]。在小偏转角象管中,保证机械强度的条件不太苛刻。为简单起见就采用平面屏。在这种显象管中,也允许采用带小圆角的矩形荧光屏[3]。

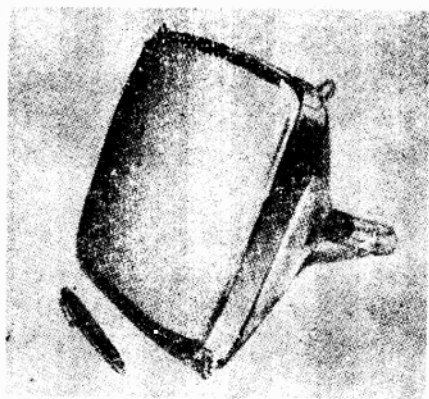


图 1.2 有防爆带的 23JLK 型显象管

矩形平面屏除了简易之外,还有其他优点。矩形屏有着在以同一形状实现的所有屏中的最大有效面积,因为其圆角半径不大。消除了观看不失真图象角度减小的现象,消除了照明光源产生的光斑,也克服了球面屏产生的图象粗粒细节对比度的恶化。后种现象是由于电子束轰击到球面屏一点的发散光所致。

平面屏除了机械强度低以外,还有下列缺点:在荧光屏的边缘电子束散焦,比较大的几何失真和对称的线性失真。荧光屏的尺寸和偏转角越大,这种缺点表现的也越严重。

小型显象管的零件制造和装配精度应比广角显象管高。在制造玻壳时的任何误差都会导致图象明显的几何失真和出现颈影。荧光屏的曲率半径及其厚度的均匀性,管颈到锥体过渡段的形状和管颈封接精度,都有重要的意义。在管颈熔接处完全不许以内部玻璃堆积形式而出现的不整齐接缝。

如众所知,最大偏转能量 $W_{\text{最大}}$ 正比于管颈直径 d 和偏转角 θ 的平方

$$W_{\text{最大}} = kd\theta^2 U_{\text{阳极}}, \quad (1.1)$$

式中, k —比例系数;

$U_{\text{阳极}}$ —加速阳极电压。

所以,当研究显象管的经济性时,总是力图减小偏转角和管颈(表 1.1)。然而,为了在小偏转角下获得给定的荧光屏尺寸,必然要增加显象管的长度。荧光屏尺寸、偏转角和显象管的长度应该在每种具体情况下来确定。为了解决这个问题,我们提出一些建议。

显象管的主要尺寸取决于荧光屏的对角线、电视装置结构趋势及其用途等。例如,现代电视机结构趋向于“平面”型,即这种电视机的宽度和高度远大于深度。而深度主要决定于象

管长度。在固定式电视机中,利用短的广角显象管来达到现代形式。在这种情况下,能量效率的问题就退居次要位置。

在便携式电视机中头等重要的是电源的经济性,因而,首先按经济条件求出最佳偏转角。例如,对角线为6~11厘米的显象管比23JK型显象管允许更小的偏转角,因为屏幕尺寸较小的电视机深度已不取决于显象管,而主要取决于电源部分的尺寸。在这种情况下,实现新式电视机是困难的,因为此时象管长度已不再起主要作用了。

由减小管颈直径来降低偏转能量同样受到限制。第一,细薄的管颈机械强度低。第二,随着管颈的减小,电子枪的成本急剧上升。第三,显象管的光电特性和发光特性变坏。第四,当在不大的范围内减小管颈时,将明显的破坏偏转能量与管颈直径之间的正比关系。这是由于保证给定的偏转系统参数的条件下,其偏转磁芯内径的减小比管颈直径和偏转效率的下降要慢所引起的。

这样一来,管颈直径的减小只能适当到某个数值,此值必须由偏转角的实际值来确定。实践表明,当管颈直径为10~13毫米时,有足够的机械强度,并且在象管的整个工艺装配当中不会有特别的困难。进一步减小管颈将受到电子枪尺寸的限制。

由式(1.1)可知,小型象管的偏转能量可以用降低阳极电压 $U_{\text{阳}}$ 的方法来减小。但是, $U_{\text{阳}}$ 的最小可能值也受到保证必要的光电参数和发光参数条件的制约。

从最大偏转效率来看,显象管玻壳结构从管颈到锥体的连接应预先有段均匀的过渡。为了给定的偏转角和管颈直径来实现最佳的过渡形状。它取决于下,管颈到锥体过渡段的内表面应是在最大偏转角下以电子束轨道为母线的旋转体表面。解决这个问题的复杂性在于电子束的最大轨道应考虑复杂结构系统在偏转范围内产生的磁场分布情况而定。

由上边的讨论可知,减少小型象管的长度,决不能靠增加偏转角来达到。研制显象管必须寻找其他办法,如减小电子枪长度,采用无灯头结构引出导体,缩小电子枪和偏转系统的间距,取消离子陷阱等。

制造小型电子光学系统受到有关困难的阻碍,即保证抗电强度、允许的象差,给定的聚焦质量和调制控制灵敏度等。研究指出,按同比定律比例地减小三极电子枪和五极电子枪的尺寸时,五极电子枪能保证更好的象管质量指标。因此,虽然力图减小管颈的长度,在大多数情况下还是采用双极聚焦透镜的五极电子枪。

在无离子阱的象管中,大大简化了电子枪的结构及其装配。电子枪在整个长度上应有中心对称性,在一个柱形型芯上进行装配,并焊在抗电强度好的实心玻璃横条上。正确的结构应保证在控制隔膜和加速极中进行电子束良好地预聚焦、适当的斑点形状,以及电子束精确地射到象管屏幕的中心。后一个概念对小型显象管特别重要,因为,当电子枪甚至有稍微歪斜时也可能出现颈影。

有静电聚焦的电子枪的结构是这样的,通常在聚焦和加速电极上的电位不太高。这就可以把除阳极以外的所有电极一起同导体引出。引出导体应选用专门的与玻壳温度膨胀系数相同的合金,这就可以实现无灯座结构的引出头。

在短颈显象管中,光电系统紧靠着偏转线圈。如果电子枪进入偏转磁场,那末进入聚焦透镜的电子束同样会出现偏转。因此出现斑点的球面象差失真,从而使电视图象质量恶化。除此之外,在聚焦和偏转磁场相互作用的情况下,将要求更大的偏转功率,因为预偏转的电子束应回到透镜场的轴心上,并再按偏转场进行偏转。

这样可以得出结论,当保证图象高质量时,显象管即是缩短不多,也会发生严重的困难。

欲显著减小显象管的消耗功率可用改进阴极和灯丝的结构来达到。在给定环境温度下,阴极消耗的功率与阴极的有效面积、电极的热导、绝缘和阴极的热辐射有关。在现有的阴极结构中,例如47JIK和59JIK型显象管的氧化物工作部分的面积 $P_{\text{工作}}$,即由此放射电流的那部分面积之值远小于被加热的氧化覆盖物温度的整个阴极面积 $P_{\text{阴极}}$ 。对这些显象管来说, $P_{\text{工作}}/P_{\text{阴极}}$ 的比值不超过0.02。由于阴极的利用面积这样的不合理,因此对经济的小型象管来说,灯丝功率是不适宜的。

高度最佳的片式柱体阴极具有最大的利用系数,片式阴极的高度由加热结构所决定。考虑到显象管阴极只可以在一面放射电流,片式阴极的比值 $P_{\text{工作}}/P_{\text{阴极}}$ 可近似为0.5。因此,这种片式阴极曾在小型象管中广为采用。

阴极的消耗功率在实际结构中可不超过0.15瓦,这就是说,小型显象管的阴极消耗功率现时可减小5~10倍。

为了进一步提高便携式电视机的经济性,在微型显象管中采用直热式阴极。直热式阴极在装配工艺和结构上比较简易。用在直热式阴极上的功率由于灯丝电压减小可比旁热式阴极更小。

电子光学参数 光电参数和发光参数表征了显象管荧光屏上复现图象的基本质量。他们往往与其分类困难有牵连。然而,以第一级近似仍然可以分成光电参数和发光参数。光电参数可以列出:分辨率、电子束截面允许失真、聚焦质量和调制特性等。

分辨率——是表征象管信息量的综合质量指标。该指标可在荧光屏上确定。换句话说,分辨率是用象管屏幕上不同发光的单元数来表示的。因为分辨率评价图象的质量,所以,它与光电系统的参数有关,也与荧光屏的参数有关。影响象管分辨率的主要因素有:在平面屏上的电子束截面积的尺寸和形状,以及细节对比度等。

细节对比度主要与荧光屏玻璃的成分、荧光粉结构、管壳内部亮度等有关。内部发光可能是:第一,由荧光屏四边漏入,第二,象管锥泡内壁的反射光。第一种原因引起的荧光屏寄生亮光可由采用平面屏来消除,第二种原因可敷涂很薄的铝层,以便反射象管内部发出的光通量。

从分辨率的观点来看,对小型象管荧光粉的结构和荧光屏玻璃提出的要求则比大屏幕象管的要求高,因为在小的工作面上,荧光屏必须保持更高的图象质量。所以应为小尺寸荧光屏研制优质的荧光粉和玻璃。它们应有更高的均匀性、粒子度和透光常数。

必须指出,用荧光屏结构所达到的水平来确定显象管的分辨率远比光电系统差得多。因此,为了获得高分辨率,最近的主要方向是研制小型的电子光学系统。制造这个系统在方法上的最大困难主要是对零件小型化的要求受到阻碍。

光电系统的主要问题是在平面屏上获得尽可能小的不失真光束截面,这在短系统里很难达到。鉴于这种情况,我们来简单研究一下小型象管中用于电子束聚焦和减小孔阑失真的方法。根据上述理由,在小型象管中使用的是静电聚焦;而且为了提高聚焦质量必须利用复杂的五极电子枪。在五极电子枪中,聚焦透镜由三个电极(加速极、聚焦极、阳极)形成马鞍形电位凹凸。在屏幕中心的聚焦质量由射束直径 $d_{\text{射束}}$ 表示,它取决于在透镜中电子束的直径 $D_{\text{电子束}}$,透镜和荧光屏的间距 $l_{\text{镜-屏}}$,和阳极电压 $U_{\text{阳极}}$;

$$d_{\text{射束}} = k_{\text{光电系统}} \frac{2 l_{\text{镜-屏}}}{D_{\text{电子束}} \sqrt{U_{\text{阳极}}}}, \quad (1.2)$$

式中, $k_{\text{光电系统}}$ ——电子光学系统的结构系数。

在透镜中电子束直径 $D_{\text{电子束}}$ 随着电极的直径和轴对称方向上电位凹凸梯度的增加而增加。由式(1.2)可见, 为了改善聚焦质量(减小 $d_{\text{射束}}$)必须增加电极直径和阳极电压, 并减小透镜到屏幕的间距。这种情况与提高显象管经济性的方法、减低阳极电压及减小管颈的趋向正相矛盾。在研制显象管时, 需要折衷解决。精心选择电极的形状和尺寸, 电极之间的最佳距离和电状态, 才能在经济合理和其他质量指标良好的情况下得到适用的聚焦质量。

聚焦的困难性不仅要获得细的电子束, 而且需在偏转条件下在整个荧光屏工作面上保持电子束直径不变。偏转角 θ 和偏转系统的结构影响到图象边缘的清晰度。偏转射束的直径增量 $\Delta d_{\text{射束}}$ 由下式表示,

$$\Delta d_{\text{射束}} = 2 k_{\text{偏转系统}} D_{\text{电子束}} \operatorname{tg}^2 \theta l_{\text{镜-屏}}, \quad (1.3)$$

其中 $k_{\text{偏转系统}}$ ——考虑到偏转系统影响的系数。

由式(1.3)可见, 小型显象管中减小偏转角的发展趋势及力图缩短管子的想法会影响屏幕上聚焦的均匀性。这在某种程度上补偿了采用平面屏所引起的聚焦不均性。式(1.2)和式(1.3)还表明, 在屏幕中心的最佳聚焦状态, 其特征是沿整个屏幕的聚焦有最大的不均性。因此, 电子光学系统的结构应这样设计, 以便在屏幕表面的整个工作中全部聚焦为最佳。

为了提高小型象管的聚焦质量, 利用隔膜很有效。隔膜是人为地限制电子束截面, 从而可大大降低阳极电压而不致使聚焦恶化。通常采用组合式隔膜, 在组合式隔膜中孔的大小和相互位置由最佳聚焦条件来选定。当使用隔膜时, 一方面可提高聚焦质量, 而另一方面则对光电系统的制造精度提出了很高的要求。调制极和加速极中的小孔的不同心度所造成的象差在很大程度上影响电子束的直径, 同时, 也可能是由小孔的椭圆性和形成聚焦透镜的电极所造成的。为了减小在调制极和加速电极内小孔的错轴象散, 在系统装配之后用专门的电火花装置来打孔。

光电系统除了高分辨率之外, 还应保证给定的调制特性。显象管的调制特性通常以伏安特性的弯曲, 截止电压和允许的等级失真来评定。

一般广角显象管为了控制电子束则要求调制极上的电压达到 50~60 伏。这是视频放大器输出级中采取晶体管的困难原因之一, 因为便携式电视机的电源电压最大也不超过 12 伏。而且随着电视系统的复杂化同样会恶化它的能量特性, 因为在用高压电源时视放损耗功率增加。由此可知, 减小小型象管的调制电压有着非常重要的实用价值。

在给定射束电流情况下, 提高调制特性斜率的最方便的办法是减小阴极和调制极的间距。但是这种方法受到所需的抗电强度和最佳聚焦状态的限制。由表 1.1 可见, 当使用特殊的小型光电系统时, 截止电压被降低到 9—30 伏。但是, 以上述所研究的方法降低调制电压时, 是以牺牲显象管的其他质量指标为代价的。更有效的方法, 也将更加复杂, 这对小型显象管来说, 也是不适用的。

发光技术参数 显象管的基本发光技术参数是图象的亮度和对比度。由于便携式电视机的特殊使用条件, 小型显象管对这些参数的要求是很高的。

显象管的亮度取决于荧光屏的性能和荧光粉覆盖物的性能(玻璃厚度、吸收系数、覆盖物

厚度、荧光粉的能量“效率”或说能量“输出”，辐射的光谱成份），同时，也取决于荧光粉的激发状态（阳极电压 $U_{\text{阳极}}$ 和放射面的电流密度）。荧光粉的发光亮度 B 与电流密度是线性关系，与电压是指数关系，即

$$B = k_{\text{射束}} U_{\text{阳极}}^n j, \quad (1.4)$$

式中， $k_{\text{射束}}$ 系数和指数 n 与荧光粉的性质有关。

电视光栅的电流密度可以通过射束电流 $I_{\text{射束}}$ 和荧光屏对角线尺寸 $L_{\text{屏}}$ 来表达，

$$j \approx 2 I_{\text{射束}} / L_{\text{屏}}^2. \quad (1.5)$$

式(1.4)和式(1.5)表明，小型象管易于获得较高的亮度，因为当 $I_{\text{射束}}$ 和 $U_{\text{阳极}}$ 为常数时，亮度与屏幕工作面的减小成正比。亮度同样可以用增加射束电流和阳极电压的办法来提高。但是这种方法对小型显象管来说是不希望的，因为它将严重地恶化能量特性和分辨率。最大亮度状态的射束电流，在现代小型显象管中通常不超过 100 微安。

必须注意，式(1.4)的亮度函数正比于射束电流和阳极电压的关系，仅仅在亮度较小时才能保持。在亮度较大的范围内，比例被破坏，因为轰击饱和状态的荧光粉表征了光输出最大。

提高小型象管亮度的方法大多采用改善荧光粉的发光特性和改进屏幕，因为这样所需的能量消耗不大。

显象管荧光屏的效率由在单位功率电子束激励状态下的荧光粉辐射的光通量来评定。这种特性叫做荧光屏的光效率（光输出）。如果激励功率被认为不变时，它主要与荧光粉的构造及其涂层厚度有关。为小型显象管专门研制了高效率的荧光粉。

在研制小型显象管时，更有意义的是在额定激励下选择荧光粉的最佳涂层厚度。在覆盖层的不同深度中，电子束激发出来的光，在荧光粉的结晶体内沿各个方向散射，首先到达观众的眼里。如果覆盖物厚度大大厚于电子透入的深度，那么，消耗的光很大，而观看面的发光亮度就不明显。如果复盖层很薄，全部被电子“穿透”，那么，电子能量的利用效率将下降，因为电子能量消耗在玻璃上了。所以对每个阳极电压来说，存在着一个选择最佳荧光粉层厚度的问题。

还有一个提高亮度的方法，即改善荧光粉的结构。众所周知，在荧光屏敷载的荧光覆盖层表面形成一层有机膜。这层有机膜吸收部分电子束的电子，降低了荧光粉的激励效率，从而使其发光效率下降。在小型显象管中，有机膜以用一定温度加热的办法来烘干。而且，所选的温度非常临界，因为这对有机膜的密度很重要，同时，要不损伤荧光覆盖物。

最近，所有的小型显象管为增加亮度而在荧光覆盖物的内面都蒸镀一层很薄的铝膜。在铝屏显象管中，向内部方向发射的光通量从铝层上反射回来，并与向观看面的主光通量相加。结果使亮度增大。显而易见，有蒸铝层的屏幕在一定的阳极电压下，与无蒸铝层的屏幕相比，其亮度高 $1 + \beta$ (β —铝膜屏幕的反射系数)。系数 β 与铝膜的结构有关，其值约为 0.6~1。这样，在用蒸铝法改善亮度的情况下，亮度可提高 2 倍，而实际增加的亮度略微低点。

当电子通过蒸铝层时，电子将损失一些能量。因此，直接加到荧光覆盖物的加速电子电压将小一个 $\Delta U_{\text{阳极}}$ 值。 $\Delta U_{\text{阳极}}$ 值与蒸铝层的厚度有关，并且在这个加速电压 $\Delta U_{\text{阳极}}$ 作用下，电子穿透铝层的深度等于蒸铝层的厚度 δ 。 $\Delta U_{\text{阳极}} = f(\delta)$ 的函数由下式确定，

$$\Delta U_{\text{阳极}} = k_3 \sqrt{\delta}, \quad (1.6)$$

其中, k_s —比例系数。

考虑到上述情况, 根据式(1.4)、(1.5)和(1.6), 不难得到蒸铝屏的亮度公式,

$$B = 2k_{\text{射光}}(1+\beta)(U_{\text{阳极}} - k_s\sqrt{\delta})^n \frac{I_{\text{射光}}}{L^2_{\text{屏}}} \quad (1.7)$$

在式(1.7)中, 没考虑玻璃中光通量的损失。大家晓得, 光通量在玻璃中的损耗部分是荧光屏厚度 δ 和吸收系数 γ 以自然对数为底的指数函数。所以, 如果考虑荧光屏玻璃对显象管亮度的影响, 则在式(1.4)和(1.7)中应引入因子 $e^{-\delta\gamma}$ 。

应当指出, 铝层的反射系数 β 与铝层厚度 δ 有关, 而且当其厚度在不大的范围内增加时, β 也有增加; 另一方面, δ 的增加将引起加速电压作用的有效性下降。由此可知, 在最大亮度条件下, 存在着一个最佳的蒸铝层厚度。在研制小型显象管时, 选择最佳蒸铝层厚度对显象管的正常工作状态必须予以极大的注意。

由式(1.7)可知, 蒸铝屏显象管存在着一个 $U_{\text{阳极}}$ 的门限值。当其他条件相同时, 与不蒸铝屏相比, 此值表征亮度增加的情况。实践证明, 阳极电压的最低极限约为 5~6 千伏。因阳极电压的降低而使偏转效率提高时, 应当明白这一点。

除了提高亮度之外, 蒸铝显象管还有下列优良的特性:

1. 由于金属膜与象管锥体内面金属复盖物的直接接触, 在显象管的最高阳极电压下, 屏幕电位保持不变, 这就消除了它本身产生的荧光屏的极限电位。在高的阳极电压下, 蒸铝屏象管工作正常, 不产生二次发射和光输出下降的危险。

2. 如曾指出的那样, 屏幕上的蒸铝层可以防止负离子的轰击, 否则, 离子如果直接轰击荧光粉, 就会使屏幕中心的发光受到破坏(离子斑)。

3. 提高图象对比度。

铝膜对电子是透明的, 而对光是不透明的。所以, 消除了光通量向象管内部的透入, 并从锥体壁上把它反射掉, 这种光通常叫做荧光屏的寄生漏光, 破坏了图象粗粒的细节对比度。在这种情况下, 由荧光屏的弯曲而破坏对比度的效应也同时减弱。

为了在环境光线下提高图象的对比度, 小型象管的荧光屏用单位屏厚的吸收系数为 $\gamma = 45 \sim 55\%$ 的烟色玻璃来制造。结果由于旁边来的光源再次透过烟色玻璃, 而且其衰减正比于系数 $e^{-\gamma}$, 因而提高了图象的对比度; 此时, 荧光屏的发光亮度与系数 $e^{-\gamma}$ 成正比例地下降[1.3]。在荧光屏玻璃中的光吸收使图象上发光点周围的光圈减小, 这与玻璃厚度内因内部全反射引起的损耗有关。结果使图象小的细节对比度得到提高。应当注意, 采用烟色玻璃时, 图象亮度显著下降, 因此吸收系数按象管的全部发光参数和光电系统参数所得最佳综合的条件来选择。

在某些情况下, 当便携式监视设备和电视机使用无对比度玻璃的象管时, 采用有适当穿透系数的烟色保护玻璃可提高对比度。通常保护玻璃是用烟色有机玻璃制造的。这种方法当然可以提高图象对比度。但不会提高到有对比度荧光屏的显象管那样的程度。这是因为光通量要通过二层有不同折射系数和吸收系数的介质(荧光屏和保护玻璃)。在介质的界面上因此而产生光斑, 从而使图象的小细节对比度变坏。除此之外, 在有同一发光参数下由于屏幕的有效厚度增加以及光通量从保护玻璃内面的反射, 从而使保护玻璃在很大程度上比对比度荧光屏有更大的图象亮度。采用对比度荧光屏的防爆管(图 1.2)可以取消保护玻璃和克服由保护玻璃所带来的缺点。

1.3 偏转系统的类型

如曾指出的那样,在近代大多数便携式电视机和监视设备中都使用电子束磁偏转。偏转磁场是用不同型号的组合适偏转线圈系统来产生的。

磁偏转系统的构造取决于二个基本因素。

第一,电视光栅的形成方法,处处所用的电视图象的行一帧扫描,要求有互相垂直配置的二对线圈的磁偏转系统。其中,一对线圈用于电子束的水平偏转(行扫描),而另一对线圈作垂直偏转(帧扫描)。

第二,偏转系统的结构应该与所用的显象管结构相匹配。在这里,结构匹配的概念应这样理解,当电子束在给定的偏转角内以最小的能量消耗来进行偏转,这就是所谓的匹配。这表示显象管的几何参数、偏转角、管颈的直径及均匀过渡段的轮廓(外形)等,在很大程度上决定着偏转系统的结构。

现代,为便携式装置研制的小尺寸显象管(表 1.1),其特点是偏转角和管颈的长度及其直径的尺寸都不大。便携式电视机的显象管与尺寸相关的特点决定着小尺寸偏转系统的结构特点及其设计方法。偏转系统的结构也会影响扫描发生器的特点,在便携式装置中,现在主要应用半导体器件来实现扫描发生器[4]。

从考虑到系统结构所确定的上述因素出发,在便携式电视机中采用二种偏转线圈。环形偏转线圈(图 1.3a)的工艺结构最简单,它与环形变压器相似,绕在环形磁导体上。通常叫做磁轭。为了提高效率并降低偏转线圈里的损耗,磁轭通常用高导磁率的铁氧体制造。用环形线圈制造偏转系统时,装配所要的劳动工时比其他类型系统要明显的少。因此,在大规模生产中是乐意采用的。

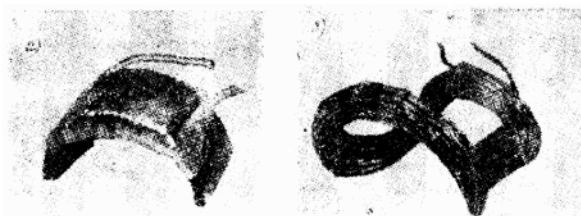


图 1.3 磁偏转线圈的结构

a) 环形线圈; b) 马鞍形线圈。

在便携式电视机中,同样也采用马鞍形线圈的偏转系统(图 1.3b)。它与环形偏转线圈不同的是具有外部磁导体。在这种情况下,外部磁导体叫做铠甲。

环形线圈和马鞍形线圈的组合确定了偏转系统的基本型式。从便携式电视机和监视装置的偏转系统中的偏转效率的条件出发,很少把二对线圈都做成环形的。都用环形线圈也将受到装在同一磁轭上的二对偏转线圈之间的强耦合所产生的困难而被阻碍。所以,大多数都用有马鞍形的行线圈和帧线圈的系统(图 1.4a)。虽然这种系统比较复杂,但在帧扫描发生器输出级,以无变压器的推挽电路来实现时,采用它还是适合的。

对便携式电视机应用得最多的偏转系统是组合式的偏转系统(图 1.4b)。组合系统中的行线圈用马鞍形,帧线圈用环形。这种系统被人们广泛地应用在便携式电视机中,因为采用的工艺较易满足对小尺寸偏转系统提出的要求。

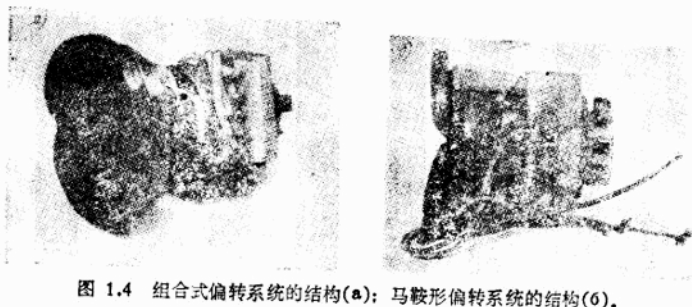


图 1.4 组合式偏转系统的结构(a); 马鞍形偏转系统的结构(b)。

在组合式系统中,磁导体可以用环形或钟形的铁氧体来作磁芯(图 1.5)。在这种系统中,磁导体对环形帧线圈来说叫磁轭,对马鞍形行线圈来说叫铠甲。为了避免下面叙述上的混乱,磁导体就一概叫做偏转磁芯。

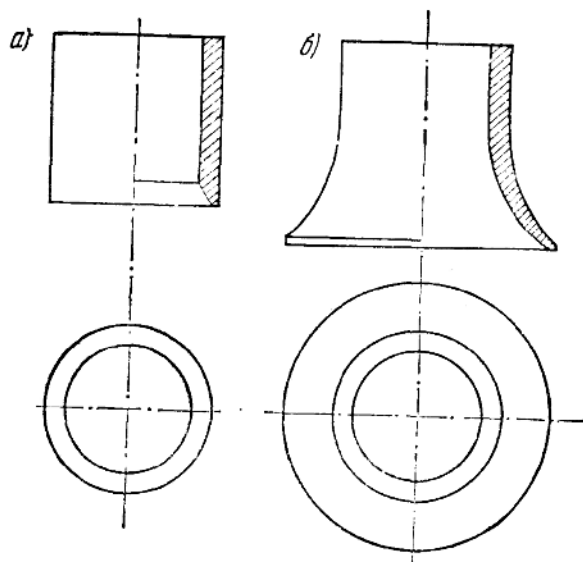


图 1.5 偏转磁芯结构

a) 柱形磁芯; b) 钟形磁芯。

偏转磁芯在很大程度上决定着偏转系统的结构和电参数。它在复杂的电磁状态下工作,即在有不同频率的(对标准的广播电视为 50 赫兹和 16 千赫)交流磁场同时显著地磁化下工作。在这种情况下,磁化电流通常都是锯齿形的,并包括许多谐波分量。虽然磁化磁芯的磁场强度达到相当大的数值,甚至在磁化段的个别处,磁感应强度也不超过 500~700 高斯。这说明,有相当大的一部分磁通是在偏转磁芯的外部通过的。同时也说明,对磁芯材料的要求也不高,其原因是在感应工作时,规定的导磁率最小。通常在偏转磁芯中的损耗不会太大,因为在偏转线圈中的损耗主要是铁氧体磁芯的表面损耗。

偏转系统使用的磁芯利用导磁率大于 300~400 的各种锰锌铁氧体和镍锌铁氧体制造。偏转磁芯使用最广的牌号是 600HH 镍锌铁氧体。

尽管偏转磁芯的形状比较简单(见图 1.5),但在偏转系统里也有使用更为复杂的定子型

磁芯，它有给偏转线圈使用的专门嵌线槽。这种偏转磁芯用在有分段绕线的精密偏转系统中。这样可以提高偏转效率和减小光栅的几何失真。定子型系统的二对偏转线圈可以是环形的或马鞍形的。在组合式偏转线圈中，定子型磁芯是不用的。

1.4 偏转系统参数的要求

磁偏转系统是电视机的复杂部件。它同时包括保证形成电视光栅的电子光学系统和向偏转线圈供电的扫描装置的电路在内。和光电系统一样，对磁偏转系统提出下列要求：必要的空间磁场分布规律；对给定象管型号的偏转系统的最佳尺寸和结构；最大可能的偏转效率；光栅允许的几何失真；允许的光栅失真和保证给定的分辨率；显象管的电子枪和偏转系统的相互最小影响；光栅中心与偏转系统不相关的可能性。

偏转系统扫描发生器的线路单元应保证：磁场强度变化所需的时间规律；偏转线圈预定的电感量和电阻值；最小功率损耗；沿水平和垂直方向允许的非线性失真。除此以外，偏转系统应有尽量轻的重量和尽量低的成本，以及工艺性要好。

在设计电子管偏转系统和便携式晶体管电视机的偏转系统时，必须满足上述要求。但是，偏转系统的设计方法和实现方法以及其他要求对电子管和晶体管的偏转系统来说是颇为不同的。由于便携式晶体管和监视器的特殊性，使得在设计偏转系统时要考虑这些因素。这些因素对电子管线路来说通常是不严重的。

在便携式电视机的基本性能中，决定偏转系统的设计特点的首先是应选择小尺寸和高经济性。小尺寸偏转系统的长度和直径都比较小。所以，对偏转系统的设计，由于广泛使用的假设，沿该系统对称轴磁场为均匀的计算方法〔5、6〕具有很大的误差而变得不再适合。在设计最大效率的短偏转系统时，必须考虑：边缘效应、复杂形偏转系统中磁场分布的不均性、铁氧体对偏转系统效率的影响，复杂形偏转系统的最佳组合几何参数、要求没有暗角。

扫描发生器的高度经济性由偏转效率和偏转线圈中最小损耗功率来保证。如果偏转效率由偏转系统的结构质量或者由偏转系统的结构效率来决定，则损耗功率就表征了偏转系统的电质量，或者它的电效率。在设计小尺寸偏转系统时，高的电效率必须考虑这样一些因素：线圈在磁芯窗口的占空系数，线圈绕组的隔开程度，线圈的交流电阻、涡流损耗和趋肤效应。上面列举的因素产生了设计小尺寸偏转系统最大结构效率和电效率的复杂性。

对便携式电视装置的偏转系统设计来说，实际上存在着二种方法。第一种方法的任务是被广泛的使用在实际的工程中用于研制具体显象管具有给定几何参数的最大效率的偏转系统。在这种情况下，偏转系统对给定的偏转角和管颈可能不具有最大可能的效率，因为均匀过渡到显象管圆锥体部分的那段结构可能与最佳的过渡段不同。

第二种设计方法的任务是确定给定偏转角和管颈时有最大可能效率的偏转系统的参数。这种设计方法更精确，因为可以确定偏转系统的最佳形状和显象管的均匀过渡段。在第二种情况下，偏转系统设计的结果之一也应是设计偏转系统后研制显象管的技术课题。

于是，偏转系统的有效设计方法与在最小损耗下获得最大偏转效率的主要目的无关。首先是探讨偏转系统的结构和电效率的概念，然后，适当地研究电子束磁偏转系统的某些问题。