

荧光屏上的示波测量法

电子示波器在生产和科学技术中的应用

张锡纯 高登芳

24



科学出版社

荧光屏上的示波测量法

电子示波器在生产和科学技术中的应用

张锡纯 高登芳编著

科学出版社

1973

内 容 提 要

本书论述了在生产 and 科学技术工作中使用电子示波器对待测量和被测过程所能进行的示波测量法。

第一章阐述了测试工作者必须具备的关于电子示波器原理方面的基本知识；第二章说明使用电子示波器观察待测量波形的有关问题；第三、四、五章分别论述了示波测量法在电气测量、磁测量和非电测量中的应用；第六、七、八、九章讨论示波测量法在电子管、晶体管和集成电路试验、电机电器与仪器仪表试验、无线电测试、零部件检验以及其它方面的应用；第十章介绍目前广泛采用的国产电子示波器的技术数据和线路。

此书侧重于论述电子示波器在测量技术中的应用。它的主要读者对象是从事检查、调试与测量工作的广大示波器使用者，对设计、装制电子示波器的同志也可参阅。本书可供有关工厂、研制单位的工人、工程技术人员、测量工作者以及大专院校中有关专业的师生参考。

荧光屏上的示波测量法

电子示波器在生产 and 科学技术中的应用

张锡纯 高登芳编著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973 年 6 月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1973 年 6 月第一次印刷 印张：10 1/16 插页：3

印数：0001—46,800 字数：262,000

统一书号：15031·62

本社书号：187·15—7

定价：1.30 元

毛主席语录

中国应当对于人类有较大的贡献。

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

随着生产和科学技术的迅速发展,电子示波器的性能日趋提高,结构日益改善,从而,使得示波测量法在现代测量技术中逐渐占有了显著的地位。

无论是电学量、磁学量以及各种非电量,只要能够将其以电压或电流的形式送入电子示波器,那么,我们就可以用示波测量法在荧光屏上观察到待测量的波形,并可以测得待测量数值的大小。更要值得提出的是在荧光屏上可以描绘出决定于两个量的函数曲线,这给示波测量法的应用展开了广阔的天地。无论在电磁测量技术与无线电测量技术中,还是在研究各种物理的、化学的,甚至是生物的现象时,都显出了示波测量法的作用和独特优点。作为示波测量法的基本工具——电子示波器,它不仅是科学研究部门、试验单位所必需的仪器;同时,它也广泛地应用在电机电器、仪器仪表、钢铁冶炼、机械制造中;当然,在电视广播、雷达导航、自动控制、计算技术、宇宙飞行、核物理研究等近代科学技术工作中,就更离不开这一有力的测量工具了;甚至在医疗技术、轻工业生产等方面也都要用到它。

全国人民在伟大领袖毛主席和中国共产党的正确领导下,遵照毛主席关于“**鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义**”的光辉指示,经过不懈努力,使得我国的科学技术和工业生产有了迅速的发展。现在,我国已经大量地生产电子示波器了,这将使科学研究部门、试验单位、工厂、学校……,有条件广泛地利用电子示波器从事生产、研究和试验工作。

为了满足生产和科学技术试验工作的迫切需要,本书是以工作在许多部门的广大电子示波器的使用者为对象,侧重地写出了待测量和被测过程的示波测量法。或者说,着重写出了电子示波

器在现代测量技术和生产中的应用。关于一般电工测量书籍中所介绍的具有磁电式测量机构的振子示波器以及其它显示、记录波形的仪器,这里未有提及。

我们考虑到,电子示波器的应用实例不胜枚举,也只能把其中有代表性的东西写出来,通过一些典型的辅助装置、变换器和测量线路,给读者展示出示波测量法应用范围的广泛性。在某些重要的章节里,给出了完整的线路和必要的数字。这样,就使得本书既对读者有扩大眼界的作用,又对实际工作有确凿的参考价值。在编写过程中,注意到了给出测量过程中可能遇到的问题。由于任何试验与测量结果都受到测量设备和客观条件的影响,请读者在取用本书中的资料时,必须注意对每种测量方法所给出的条件。

由于示波器应用广泛,以致在写到它在某方面的测试中应用时,不能把其所应用的被测对象叙述得很详细。例如,在写示波器测试电子管、晶体管、集成电路的特性时,不需要也不可能把各种管子叙述得全面,而只能着重于测试方法。读者在阅读本书时,应结合工作参考有关基础理论书籍。

在本书写作中,有张学超、高重九、穆彩兰、方连锁、常凤娥诸同志,为拍摄照片、测量试验、绘制图纸、搜集资料做了许多工作。

在编写本书过程中,曾得到有关工厂、研究所、院校同志的支持和帮助,在此表示感谢。因限于水平和对示波测量法研究得不够,缺点错误在所难免,望请读者指正。

作 者

一九七二年十月于河北机电学院

目 录

第一章 电子示波器的工作原理	1
第一节 概述	1
第二节 电子示波管	5
第三节 扫描、波形的显现及其同步	15
第四节 示波器中的放大器	23
第五节 示波器的电源	29
第六节 示波器的辅助装置	32
第七节 电子示波器的典型方框图	37
第八节 特殊结构与专门用途的示波器	39
第二章 示波器的使用和波形的观察	50
第一节 电子示波器的使用	50
第二节 对未知量波形的观察	52
第三节 脉冲讯号的观测	55
第四节 示波图形的摄影	57
第三章 电学量的示波测量法	59
第一节 电压的测量	59
第二节 电流的测量	62
第三节 功率的测量	64
第四节 阻抗、电抗和电阻的测定	68
第五节 电容、电感和互感的测量	73
第六节 用电子示波器测量相位的方法	76
第七节 用电子示波器测量频率的方法	85
第四章 电子示波器用于磁的测量	96
第一节 铁磁性材料的一般特性	96
第二节 磁滞迴线在示波器光屏上的获得	99
第三节 铁损耗功率的测定	103
第四节 磁滞迴线簇和基本磁化曲线的获得	110
第五章 非电量的示波测量法	112

第一节	概述	112
第二节	压力的测量	113
第三节	短促时间的测量	114
第四节	速度的测量	116
第五节	物体厚度的测量	117
第六节	长度的测量	119
第六章 用示波法研究电子管、晶体管、集成电路和可控		
	硅元件的特性	121
第一节	二极电子管伏安特性曲线的描绘	121
第二节	三极电子管特性曲线的描绘	123
第三节	五极管特性曲线的描绘	124
第四节	电子管特性曲线簇的显示	128
第五节	晶体管特性曲线的描绘	130
第六节	晶体三极管特性曲线簇的显示	131
第七节	晶体三极管截止频率 f_{α} 、 f_{β} 的测量	139
第八节	示波器在半导体材料与晶体管生产和研制中的实际 应用	141
第九节	用示波器测试集成电路的特性	146
第十节	可控硅整流元件特性的示波测量法	149
第七章 示波器在电机、变压器、电器和仪表试验中的		
	应用	153
第一节	测定直流发电机的空载特性	153
第二节	感应电动机转速-转矩曲线的描绘	154
第三节	检查电机铁心的绝缘情况	160
第四节	检查电机绕组的损伤情况	162
第五节	对变压器的检验	163
第六节	观察电器中的电弧特性	164
第七节	继电器动作时间的测定	165
第八节	用电子示波器作交流电桥的平衡指示器	168
第九节	借助于电子示波器校验仪表	171
第八章 电子示波器在无线电测试技术中的应用		
第一节	整流器、放大器和振荡器特性的测定	174

第二节	发讯机的测试	181
第三节	扩音机的检验	186
第四节	收音机的校准	187
第五节	电视接收机的测试	188
第九章	示波测量法在其它方面的应用	192
第一节	核磁共振现象的观察	192
第二节	电路中元件的检查与试验	193
第三节	立体示波图在光屏上的显示	196
第四节	在示波器光屏上解代数方程	198
第五节	金属材料的探伤和机械零件的检验	200
第六节	示波器作为电火花机床的指示装置	204
第七节	示波器用于测定照像机快门的动作时间	205
第八节	示波器用于试验建筑材料	207
第九节	示波法在医疗、军事上的应用	208
第十章	国产电子示波器	211
第一节	我国早期生产的几种通用示波器	212
第二节	通用和脉冲示波器	237
第三节	多线和多踪示波器	259
第四节	取样示波器	273
第五节	行波示波器	290
第六节	晶体管特性图示仪	292
附录一	示波器术语解释	297
附录二	1025 A 型双踪示波器零件表	303
附录三	SBT-5 型同步示波器零件表	307

1103054

第一章 电子示波器的工作原理

第一节 概 述

电子示波器是用来观察电压、电流波形和能够测量其数值大小的一种电子仪器。凡能变换为电压或电流的其它电学量与非电量,也都能通过示波器* 进行观察和测量。

近年来,电子示波器获得了极为广泛的应用。这是因为它有如下优点:

1. 它能够显出待测量的波形,是一种观察和测量瞬时值的仪器;
2. 电子射线的偏转几乎不需要功率,示波器的输入阻抗又很大,它对被测试系统的影响很小;
3. 电子射线的惰性极小,测量的频率很宽,可高达几百兆赫。示波器的灵敏度也很高,当使用高增益的放大器时,可以用示波器观测以微伏计的电压。虽然示波器这样灵敏,但不象检流计那样娇嫩,它具有一定的过载能力;
4. 可以用来观察瞬变现象的细微过程和测量极短暂的时间(以毫微秒计);
5. 在示波器的光屏上,可以描绘出决定任何两个量的函数曲线;
6. 通过一些辅助设备与测量电路,可以用电子示波器同时测量和比较几个量。如果配用必要的变换器,就能通过电子示波器观察和测量自然过程中的各种非电量。

* 将电子示波器简称为示波器。

正如毛主席教导我们的，事物总是一分为二的，示波器也有不足之处，这就是它在定量测量时不如指针式仪表和数字仪表读数那样准确，体积也较大。

电子示波器的种类很多，但一般都做成便携式的。图 1-1 是国产 175 A 型示波器的照片。所要观察的波形由光屏上显示出来。从面板上可以看出，在光屏的两旁及下方，有用于各种用途的旋钮

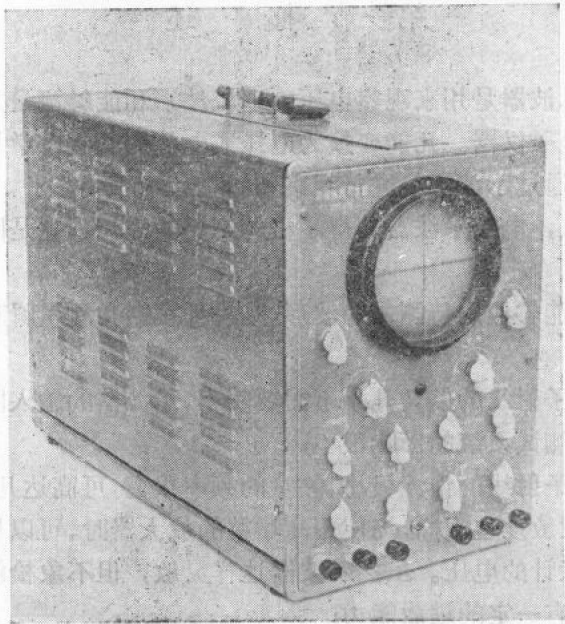


图 1-1 国产 175 A 型示波器

及接线插孔。图 1-2 是另一种 SBT-5 型示波器的照片。

示波器的内部结构，大体由以下几个环节组成：

1. 电子示波管：这是一种特殊的外形喇叭状电子管。由阴极发射出来的电子轰击涂在光屏上的半导体材料而产生荧光现象，借以将输入给示波器的待测讯号的波形显示在光屏上；

2. 扫描讯号发生器：通常这是一个装在示波器内的锯齿波发生器。锯齿波的作用是使电子射线在光屏上形成与时间成正比的水平位移，即形成时间基线。这样，才能把随时间变化的待测讯

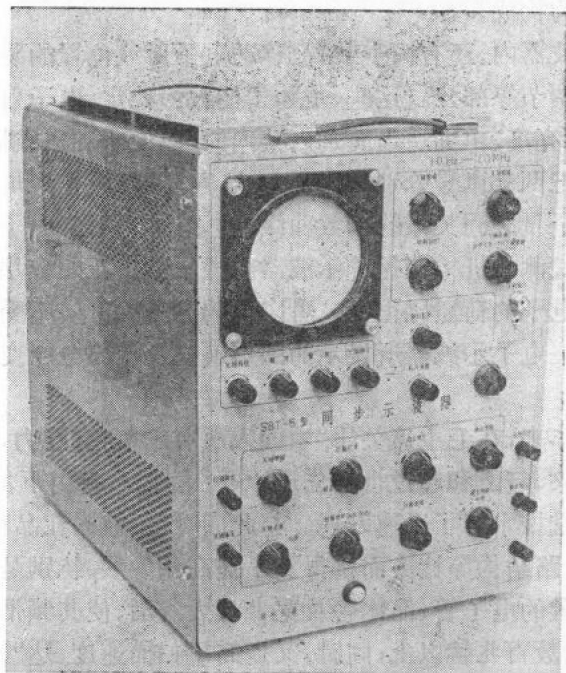


图 1-2 SBT-5 型示波器

号的波形展示在光屏上；

3. 垂直轴(Y 轴)与水平轴(X 轴)放大器：为了把较小的待测讯号予以适当放大，以使电子射线在光屏上获得明显的偏转，从而，要在 Y 轴接入放大器。由于锯齿波扫描讯号和由 X 轴输入的较小讯号也必须放大，所以，在 X 轴也要接入放大器；

4. 电源：它供给电子示波管的高压、偏压、灯丝电压以及放大器、扫描讯号发生器等各部分的电压。

图 1-3 表明了简单电

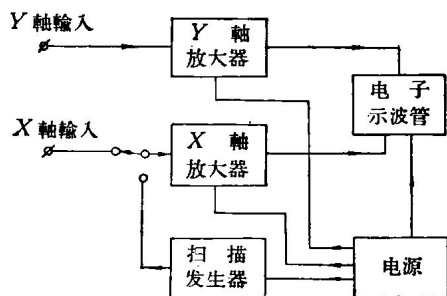


图 1-3 简单电子示波器的构成

子示波器的构成。

在示波器内,还有同步装置、移动电子射线位置的装置以及亮度、聚焦调节等部分。这些,是为了使波形稳定、电子射线在光屏上的位置、亮度、粗细适当而加入其内的,以便于观察或摄影。

如果把两个讯号分别加入 Y 轴与 X 轴,就会在光屏上显出表征着这两个量之间关系的函数曲线。由于这个原理,电子示波器比具有磁电式测量机构的振子示波器获得了更广泛的应用。

由于电子的荷质比很大,可以认为电子的偏转不受惯性的影响。因此,电子示波器所显示的图形就能反应出电压变化的真实情形。

近几年来,在毛主席关于“中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平”的指示指引下,我国电子技术和测量技术有了迅速发展。与此同时,示波器在品种类型、性能指标、电路结构等诸方面都得到了提高和发展。特别是垂直放大采用优质量的电子管、晶体管及宽带放大器后,使其频带的上限扩展到数十、数百兆赫以上;同时,又提高了扫描速度,达“毫微秒/厘米”级或更快些;改进了扫描的直线性,使误差不大于 $\pm 2-3\%$,甚至更小。此外,又采用了延迟扫描电路和高灵敏度高压螺旋后加速式的电子示波管,这样,可使示波器对快速脉冲瞬变过程的各个参量进行精确的测量。为了适应研究毫微秒级的快速脉冲和超高频讯号,要求减小由于电压的快速跃变受到电子渡越时间的影响,因此,采用了行波示波器。它的频率范围可以控制到数百甚至数千兆赫以上。由于行波示波器在制造上困难,成本高昂,同时在使用上有一定的缺陷,因而,又发展了一种取样示波器。实际上,它是用“取样装置”加上普通示波器来观察重现的脉冲讯号。对非重现讯号的观察有一定的局限性。这种示波器的频带可从直流到数千兆赫。现在,也有了数字指示式取样示波器。对快速脉冲参量进行精确的测量时,不重现的一次讯号或者不规则的非周期性讯号,不能采用普通的示波器进行观测,从而,用记忆示波器来满足这种要求。这种示波器具有特殊的记忆示波管和记忆控制装置,

利用它可将待测讯号保存记录下来，在示波器光屏上得到较长时间的显示。

目前，用晶体管装成的示波器已实际应用。具有方形屏幕的双线晶体管示波器也只有普通电子管电压表那样大小。它具有体积小、轻巧、使用方便等特点。

近来，一些专用的电子示波器已有了很大的发展。例如有磁性材料的 $B-H$ 曲线测量仪；电子管和晶体管特性曲线簇图示器；频谱分析图示器；频率响应曲线图示器；暂态特性测量仪等。这些用于测定动态特性的示波器，是用其它的测量仪器难以代替的。

电子示波器的发展趋向是：1. 提高测量准确度，扩大量程范围，提高频率指标，保证足够的稳定性和可靠性；2. 使调整机构尽可能用自动化和半自动化的方法控制，以达到操作简便、观察、测量迅速的目的，现已出现扫描、增益参数等为自动选择的示波器；3. 减小外形体积，减轻整机重量，提高结构的空间利用率。譬如，尽量采用印刷电路、晶体管、固体电路、单元组合结构以及微型元件等，以满足这种要求。随着集成电路制造技术、集成化固体显示技术的发展，已制成了平板显示器及壁式电视。可望能研制成实际应用的体积更小的电子示波器。那将取代喇叭状的示波管，使仪器象小扁盒子大小，甚至是平板示波器；4. 近来，还发展了复用示波器。它的特点是将若干个通用性质的单元电路组成一个基型品种，而另外制造若干不同要求的插入置换单元来满足和适应各种不同要求的测量。

电子示波器是示波测量法*的基本工具。

第二节 电子示波管

电子示波管，它是电子示波器里面的主要构件。它由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成。图 1-4 示出了静电式电子示波管

* 在以后的叙述中，也将示波测量法简称为示波法。

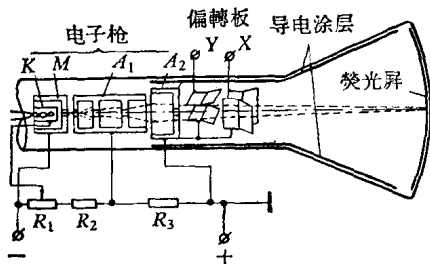


图 1-4 静电式电子示波管的结构
 K ——阴极 M ——控制栅极(调制极) A_1 ——第一阳极 A_2 ——第二阳极 Y ——垂直偏转板
 X ——水平偏转板

的原理结构。这种示波管，由电子枪发射出电子射线（或称电子束），经过聚焦和加速的电子射线受偏转系统的控制而偏转。所以，当偏转系统加上待测讯号和扫描讯号时，所要测定的曲线便在光屏上显现出来。

1. 电子射线的形成与聚焦

电子枪由阴极和同轴圆筒或带有轴孔的圆盘组合而成。圆筒或圆盘上加不同的电位，就构成了不同的电极，以至对阴极发射出来的电子束起调制、聚焦和加速作用。阴极 K 通常是由一个内有加热灯丝的镍杯构成。发射电子的部分是阴极顶部的中心平面，上面涂有氧化钡和氧化锶等材料，其灯丝和阴极间用陶瓷圆筒绝缘。

控制栅极 M 也叫调制极。它是一个与阴极同轴的镍制圆筒，在圆筒顶部有一个约为 1 毫米的圆孔，并与阴极的发射部分对准。控制栅极对阴极而言是处于负电位，调节这个电位，可以控制电子射线的强度，从而达到改变光屏上光点辉度的作用。显然，控制栅极的电位愈负，电子射线的强度愈弱，则辉度减小。如这个电位负到一定程度，可使电子射线截止，这样，光屏上就不出现光点或曲线了。

第一阳极 A_1 是一个同轴的金属长形圆筒，置于控制栅极的后面。在圆筒内，装有一个或数个具有轴心孔洞的金属限止膜片，用以阻挡离开轴线的电子束，使电子射线具有较细的截面。第二阳极 A_2 通常是一个同轴的短形圆筒或扁形圆盘，位于第一阳极的后面。圆筒顶部或圆盘中心的轴孔，除了用以限止电子射线使其具有较细截面而外，还能减小电子射线在偏转时所发生的散焦现象。

第一阳极 A_1 的电位介于阴极和第二阳极之间,通常是第二阳极电位的 $\frac{1}{3} - \frac{1}{5}$ 。第二阳极的电位常常是固定的;第一阳极的电位可以通过电位器改变。这样,由于各个极之间电位的配合,使得电子枪内的电场对电子射线有聚焦作用。所以,第一阳极也称聚焦阳极;由于第二阳极电位较高,对电子射线起加速作用,故称加速阳极。

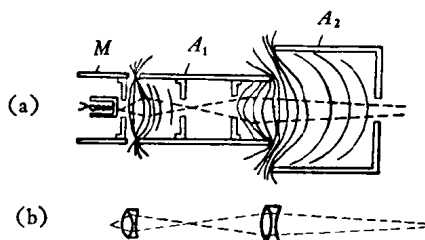


图 1-5 电子枪内的电场分布和对应的电子透镜

电子枪内的电场分布如图 1-5(a) 所示。这样的电场分布,从对电子射线的作用来说,有似光学透镜组,也称电子光学系统,见图 1-5(b)。

阴极、控制栅极和第一阳极组成第一电子透镜;第一阳极和第二阳极构成第二电子透镜。电子透镜的焦距决定于组成该电子透镜的各个电极的电位关系。当调节第一阳极电位时,可使电子射线恰好聚焦在光屏上。当调节第一阳极电位用以改变第二电子透镜的参量时,不可避免地影响第一透镜参量的改变,从而,造成电子射线的聚焦和强度间发生我们所不希望的相互影响。这是上述电子枪在结构性能上的重大缺点。

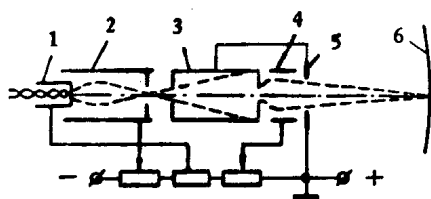


图 1-6 带有前置加速极和第一阳极零电流的电子枪

1——阴极 2——控制栅极 3——加速电极
4——第一阳极 5——第二阳极 6——光屏

调节第一阳极的电位时,就不再影响第一透镜的参量。由于前置加速极的电位高于第一阳极,所以,促使阴极发射电子射线的密度

为了消除上述缺陷,常常采用带有前置加速极和第一阳极零电流的电子枪,如图 1-6 所示。前置加速极位于控制栅极与第一阳极之间,它和第二阳极的电位相同。这样,当

相应的增加，并能使第一透镜对电子射线进行聚焦作用的交叉点的截面半径有所减小，从而，保证了荧光屏所显现的光点半径更为细小。

前置加速极一般是长形圆筒，其中加装限止膜片，使电子射线在进入第一阳极区域时，有较大的近轴性；而第一阳极则缩短为一有孔圆盘或圆筒。这个孔的直径较大，足以使它不切割电子射线，于是第一阳极的电流极小。第一阳极仅仅起聚焦作用，且聚焦调节不会影响电子射线的密度，这样的电子枪结构，称为第一阳极零电流电子枪。其主要优点是：使供应电子枪各极的电压源可以利用普通高阻值分压器和小功率整流器来实现。因此，这样的电子枪结构是常常被采用的。

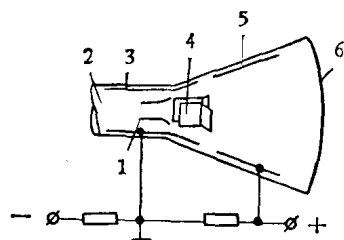


图 1-7 具有后加速电极的电子示波管

- 1——Y偏转板 2——管壳 3——第二阳极 4——X偏转板 5——后加速电极 6——光屏

有时，为了提高光屏上光点的亮度，又不致于降低电子射线的偏转灵敏度，在偏转系统和荧光屏之间加上一个“后加速电极”。对这个电极施加比第二阳极还高的电压。它通常是一个涂在筒内壁上的环状石墨导电层，并具有单独的引出线，见图 1-7。在实用中，还时常采用多级后加速的电子示波管。

2. 电子射线的偏转

普通静电式电子示波管的偏转系统是由两对相互垂直的偏转板组成，见图 1-4。由这两对偏转板分别来控制电子射线的垂直与水平方向的偏转。图 1-8 示出了一对垂直偏转板控制电子射线偏转的情形。为了讨论方便，我们遵照毛主席关于“不能把过程中所有的矛盾平均看待，必须把它们区别为主要的和次要的两类，着重于捉住主要的矛盾”的教导，假定这对偏转板相互平行，并忽略偏转板之间电场的边缘影响，来证明电子射线的偏转与待测电压之