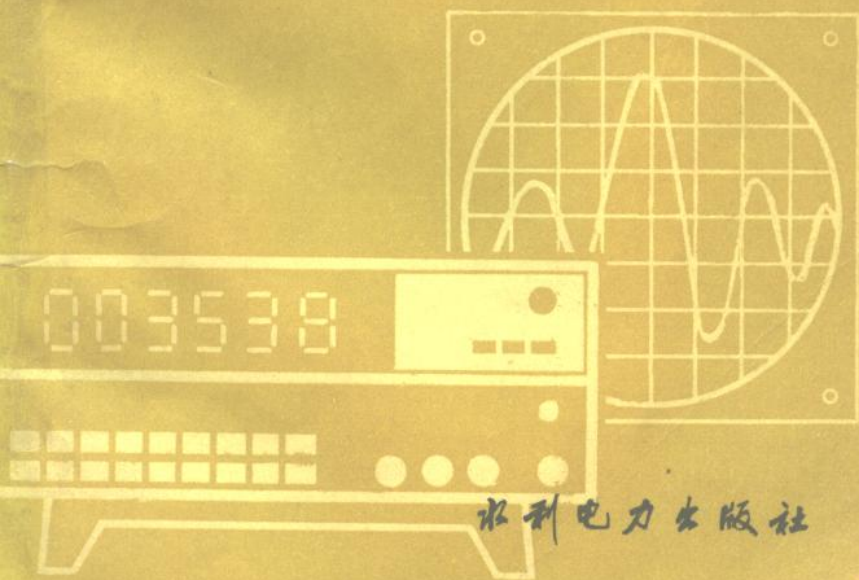


常用电子仪器丛书

电子示波器

叶胜泉 编



水利电力出版社

常用电子仪器丛书

电子示波器

叶胜泉 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书专门讨论电子示波器的原理、电路、使用、维修和校验方法。

全书分五章：第一章，示波器的基本原理；第二章，示波器电路，着重介绍比较常用而又各具特色的SR-8型二踪示波器、SBM-10型多用示波器、SBR-1型二线示波器三种电路；第三章到第五章分别讨论示波器的使用、检修和校验方法。

本书可供从事无线电技术和电子技术的工作人员阅读，也可供有关专业的技术人员参考。

常用电子仪器丛书

电子示波器

叶胜泉 编

*

水利电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号）

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5.875印张 128千字 6插页

1988年10月第一版 1988年10月北京第一次印刷

印数0001—6300册 定价：1.70元

ISBN 7-120-00368-2/TM·86

前 言

“常用电子仪器丛书”是一套系统介绍我国目前大量生产和广泛应用的电子仪器原理、电路、使用、维修和校验方面的普及性丛书。它以广大电子技术工人为主要读者对象,也可供其他一般电子仪器工作人员参考。本丛书在篇幅上,着重介绍仪器的原理和电路,以便读者能融会贯通,举一反三;在仪器的选型上,尽量做到既考虑仪器的先进性,又考虑到应用的广泛性;在内容上,以论述物理概念为主。

本丛书共分九册。其中,“电子仪器基础”、“模拟式电子电压表”、“电子仪器的干扰和抑制”由张国屏编写;

“交直流稳压电源”由朱康中等编写;“低频信号发生器”由刘庆雄等编写;“电子管、晶体管参数测试仪”由蔡光显编写;“电子示波器”由叶胜泉编写;“数字频率计”由吴静凡等编写;“数字电压表”由陈中洪编写。张国屏担任本丛书主编;郭永坤、刘庆雄担任副主编。

本丛书在编写过程中得到了水利电力部南京自动化研究所丁功华、山西省电力试验研究所芦士鹤、东北电业管理局技术改进局阎占元、四川省电力试验研究所电子组的大力支持和协助。初稿完后,由北京电力科学研究所许遐进行了审阅修改。在此一并表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,书中缺点错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1986年11月

目 录

前言

第一章	示波器的基本原理	1
第一节	概述	1
第二节	主机	9
第三节	垂直系统	18
第四节	水平系统	38
第五节	触发脉冲发生器	52
第六节	示波器的电源	56
第二章	示波器电路	57
第一节	SR-8型二踪示波器电路	57
第二节	SBM-10型多用示波器电路	72
第三节	SBR-1型二线示波器电路	89
第三章	示波器的使用	102
第一节	正确使用示波器	102
第二节	应用示波器进行电信号各参数的测量方法	106
第四章	示波器的检修	120
第一节	基本检查方法	120
第二节	电源部分检修	128
第三节	显示控制系统常见故障及检修	133
第四节	双线示波器电路故障及检修	135
第五节	垂直通道的常见故障及检修	136
第六节	扫描系统的常见故障及检修	143
第七节	标准信号电路的常见故障及检修	151
第八节	SR-8型二踪示波器故障及检修	152
第五章	示波器的校验	157
附录		169

第一章 示波器的基本原理

第一节 概 述

一、示波器技术简介

示波器是利用电子射线的偏转，来复现电信号瞬时值图象（常称为时间波形）的一种仪器。它能快速地把肉眼不能直接看见的电信号的时变规律，以可见的形式，形象地显示出来。它不但能象电压表、电流表、功率表那样测试信号的幅度，也能象频率计、相位计那样测试信号的周期、频率和相位，而且还能测试调制信号的参数，估计信号的非线性失真等。更重要的是，在测试脉冲信号时，如测试其上冲、下冲、平顶下垂、阻尼振荡等，示波器几乎是唯一可用的仪器，占有不可替代的地位。它同时还能方便地测试脉冲信号的幅度、宽度、延时、上升或下降时间、重复周期等参数。

示波器不单是一种用途广泛的信号测试仪，而且是一种良好的信号比较仪。很早以前，人们就用它来比较正弦信号的频率和相位。现在，人们更广泛地用它作直角坐标显示器或用它组成自动或半自动的测试仪器或测试系统，例如晶体管特性图示仪、阻抗图示仪、频率特性测试仪、自动网络分析仪等。

通过各种传感器，示波器还可广泛地用来测试温度、压力、振动、密度、声、光、热和磁效应等，因而在医学、机械、农业、物理、宇航等各种科学技术领域中得到愈来愈多的应用。

随着科学技术的发展,示波器的功能还不断地增加。1957年,美国休斯飞机公司首先制成带有记忆功能的记忆示波器,使示波器不但具有测试能力,而且具有存贮信息的能力,从而大大扩展了示波器的应用范围。60年代以来,记忆示波器获得迅速的发展,目前其存贮记录速度已达 $2500\text{cm}/\mu\text{s}$,相当于能记录 2500MHz 的正弦信号。由于数字集成电路的发展和应用,60年代末期还出现了基于数字存贮技术的存贮示波器。这种示波器的信息存贮时间几乎是无限的。随着标准接口母线的提出和微处理器的研制成功,使示波器的自动化程度发展到一个崭新的阶段——智能化示波器阶段。目前,示波器中应用微处理器有两种类型。一种是微处理器并不作用于波形的显示过程,这种示波器除显示模拟波形外,还可用发光二极管以数字读出被测信号的时间间隔、频率、直流、电压、电压差和相对幅度比等。其特点是不改变原来示波器的设计,引入微处理器来代替使用者的部分操作和计算工作,智能化程度不高。另一种是经过微处理器数字化,这种示波器的智能化程度较高、精确度较高、测量功能也较多,例如可进行微分和积分、求平方根、 n 点平均值、计算上升时间、频率、有效值和反峰值等,所有这些功能都是预先编好程序的,使用时用户只需按下键盘上有关的功能键,仪器即可按指定程序自动地进行测量计算。然后用字符把测试结果连同波形一起显示在示波器屏幕上。

当通用示波器配上适当的数字信号触发探头时,就可用来显示和分析各种数字逻辑电路的信号波形了。但用通用示波器测试数字逻辑电路主要存在如下一些问题:

(1) 在测试逻辑电路时,常常需要知道多个信号之间的时间关系和电平关系,但通用示波器一般只能同时显示两

个信号的波形。

(2) 通用示波器不能捕捉和显示触发前的信号波形，但在测试逻辑电路时，常常需要知道在特定状态前电路的工作情况。

(3) 通用示波器没有存贮信息的能力，因此，很难观测不重复的数字信号。

(4) 通用示波器不能直接显示数字逻辑电路的状态变化情况，因此，很难用来测试软件。

为了适应数字技术的广泛应用，尤其是为了测试微处理器等大规模数字集成电路，1973年研制成功了一种新型的电子测量仪器——逻辑分析示波器（或称逻辑分析仪），它是目前国外发展最快的一种新型电子测量仪器。

逻辑分析示波器与一般示波器的区别，主要有以下几方面。

逻辑分析示波器具有8~65个输入通道，可同时观测许多单次并行数据，例如测试微处理器地址线、数据线等二进制数据，起着真正多踪示波器作用。一般示波器则是靠着电子开关的转换来实现多踪显示。

逻辑分析示波器备有半导体存贮器，可连续存贮数据。如果数据出错，可用出错数据产生触发信号去控制存贮器，停止工作，并显示已存贮数据。因此，逻辑分析示波器可显示触发前信息，一般示波器只能显示触发后信息。

逻辑分析示波器数据采集部分与显示部分是独立的，根据需要可选择连续或重复地显示数据。一般示波器显示部分与被测信号放大器是不可分割的整体。

逻辑分析示波器有多种显示方式，可以用定时图形显示，也可以用逻辑状态“1”和“0”显示，因此，逻辑分

析示波器是一种数据域测量仪器。一般示波器只能显示电压时间关系，属于时域测量仪器。用数据域测量仪器直接检测数字信号比用时域测量仪器间接检测方便、直观得多。

逻辑分析示波器种类：

为满足不同需要，逻辑分析示波器分为逻辑定时分析示波器（如LS6122型）和逻辑状态分析示波器（如HP1630G型）两类。它们的主要区别表现在显示方式和定时方式上：

逻辑定时分析示波器用逻辑电平和时间关系图显示检测信号，可以用内部时钟控制已记录数据，不必与被测系统时钟同步。这类分析仪主要用于硬件检测，具有锁定功能，能检测各种不正常的“毛刺”脉冲（一种寄生干扰），便于进行数字系统调试与维修。

逻辑状态分析示波器，直接采用“1”和“0”字符组成的数据，显示被测信号，显示的每一位与各通道输入数据对应，一次可显示16个字以上。其实质是采用真值表形式来显示数据的，非常直观，可以迅速地大量数据中发现错误。仪器内部没有时钟发生器，用被测系统时钟控制记录数据，必须与被测系统时钟同步。这类分析示波器主要用于软件检测。

在数字测试领域中，虽然逻辑分析示波器将是主要的测试仪器，但是它只能将故障部位检测出来，而要查明故障发生的原因，还需借助一般示波器，因此，这两种仪器是相辅相成的。

今后，示波器发展的重点是实现其自动化和实用化，并提高其准确度；而仪器的自动化、数字化、集成化、智能化与准确度是密切相关的。将微处理器用于示波器，可以大大提高示波器的测试准确度，这一点可由双延迟扫描示波器清

楚地看出；利用微处理器提高示波器的自动化程度，可用数字处理示波器来说明；至于实用化，就是要求仪器功能多样、使用灵活、操作方便、性能可靠、携带轻便、价格低廉。七十年代以来，各种便携式示波器大量涌现，在改善性能的情况下，其价格还大幅度地降低。此外，还出现了协台式示波器，它常兼有数字多用表和频率计数器的功能。示波器的可靠性有显著提高，100MHz示波器的平均故障间隔时间已达10000h以上。

二、示波器基本原理概述

示波器按其用途和特点，可分为以下五大类：①通用示波器，包括简易示波器、低频示波器、普通示波器、宽带示波器四种；②多束示波器；③取样示波器；④记忆、存贮示波器；⑤特殊示波器。

下面，我们简单地叙述一下示波器显示波形的原理。

示波器通常由主机、垂直偏转系统、水平偏转系统等部分组成。其构成方框图，如图1-1所示。

其中，主机主要包括示波管、Z通道、电源和校准信号发生器等。垂直偏转系统（即Y轴通道）主要包括Y通道输入电路、Y通道放大器等。水平偏转系统（即X轴通道）主要包括扫描发生器、同步触发电路和X通道放大器。

正弦信号的时间波形（见图1-2），通过垂直偏转系统（见图1-3），使电子射线在示波管的垂直偏转板上的垂直偏转距离正比于被测信号的瞬时值；通过水平偏转系统，加入随时间线性变化的信号，即锯齿波形信号（见图1-4），使电子射线在示波管水平偏转板上的水平偏转距离正比于时间，于是示波管的屏幕上就会得到输入信号的时间波形。

如果在Y轴通道加正弦波电压，X轴通道加锯齿波电压

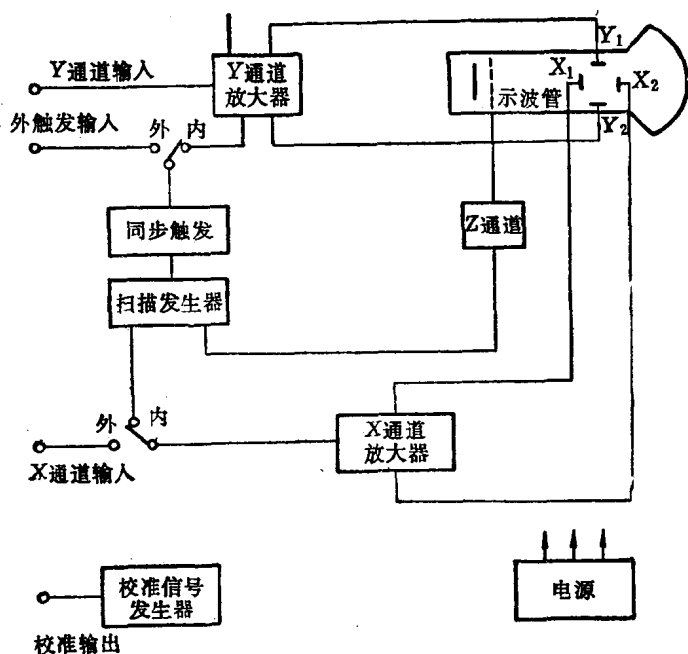


图 1-1 示波器构成方框图

时，屏幕上光点的运动轨迹如图1-5所示。为了分析方便起见，把时间分成若干小段。当 $t=t_1$ 时，垂直偏转板和水平偏转板上的电压都等于零，屏幕上的光点在零点

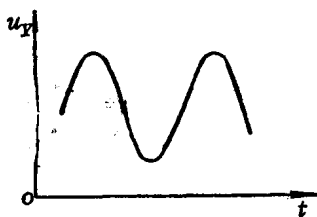


图 1-2 正弦信号的时间波形

“A”；当 $t=t_2$ 时，Y轴和X轴偏转板上都加有电压，Y轴偏转板的上板为正，X轴偏转板的右板为正，屏幕上的光点向右

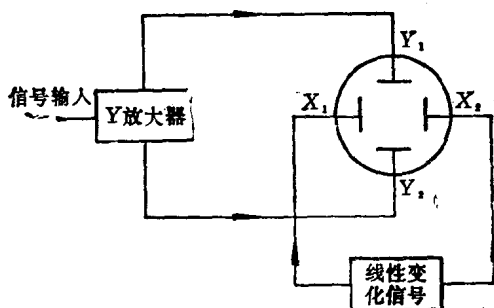


图 1-3 示波器工作原理示意图

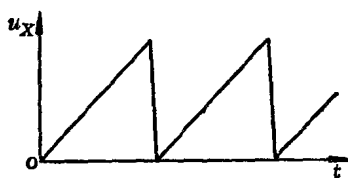


图 1-4 锯齿波形信号

上方移动，光点在屏幕上的位置为“B”；以下依此类推。随着Y通道电压的变化，光点上下移动，因X通道所加电压随时间而增加，屏幕上就形成了与Y通道外加电压相同的波形。当光点到达“ $t=t_1$ ”时，Y通道电压变化一周，X通道电压立即回到零，光点也恢复到“A”点。第二个周期又进行同样的移动。如果正弦波的频率是锯齿波的一倍，即 $f_Y = 2f_X$ （式中 f_Y 是输入Y通道的待测信号的频率， f_X 是锯齿波的频率），或者说电子束沿水平方向移动的时间等于正弦电压的两个周期，这时在屏幕上就可以观察到两个正弦波的周期。由此推理，当 $f_Y = nf_X$ （ n 是整数）时，屏幕上就能显示 n 个周期的清晰波形。

如果 f_Y 与 f_X 之间不是整数倍的关系（ n 不是整数时），波形就不能完全重叠，不易看出完整、清晰的波形。要想使 f_Y 与 f_X 保持整数倍关系是困难的，因为任何信号发生器的频率不可能绝对地保持不变，示波器里的锯齿波发生器当然也不例外。解决这个问题的办法，并不是使 f_X 保持绝对稳定，而是用待测信号也同时去控制锯齿波发生器，使锯齿波的频率 f_X 能跟随 f_Y 作些微小的变化，以保持 f_Y 与 f_X 成整数倍的关系。当 f_Y 是 f_X 的整数倍时，即可谓达到了同步。同步时，屏幕上的波形稳定不动，在没有达到同步时，波形是不稳定的

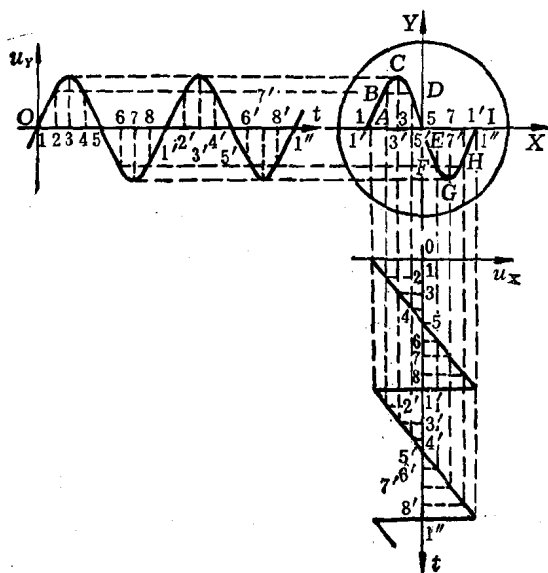


图 1-5 时间波形显示原理图

注：时间小分段 $t_1, t_2, t_3, \dots, t'_1, t'_2, t'_3, \dots, t''_1, t''_2, t''_3, \dots$ ，相应于图中的1、2、3...，1'、2'、3'...，1''、2''、3''...

第二节 主 机

在插件式示波器中，主机是插件以外部分的总称。从电路上讲，将垂直系统和水平系统之外的示波器各部分称为主机。

一、示波管

示波管的主要作用是在屏幕上形成光点，并在垂直信号和水平信号偏转的作用下，将输入信号以图象形式显示出来。

示波管一般分为静电式和电磁式两大类，在示波器中的示波管大都是静电偏转式（或称静电式阴极射线示波管）。一般示波管由电子枪、偏转系统和荧光屏（屏幕）三部分组成，如图1-6所示。

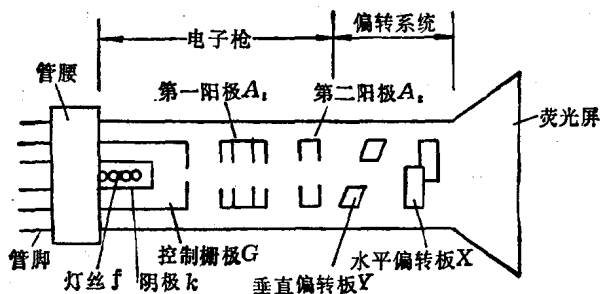


图 1-6 三极示波管示意图

电子枪由灯丝 f 、阴极 k 、控制栅极 G 、第一阳极 A_1 、第二阳极 A_2 组成。它的作用是产生一束极细的高速电子射线，以轰击屏幕产生光点。

灯丝加热阴极，产生电子。控制栅极G对阴极k是处于负电位，调节它的电位值，可以控制电子束的强度，从而改变屏幕上所显现光点的辉度。第一阳极 A_1 ，用以阻挡离开轴线的电子束，使通过电子束具有较细的截面。第二阳极 A_2 ，用以限制穿过的电子束，使之具有较细的截面，并能减少电子束在偏转时发生的散焦现象。调节第一、第二阳极电位，可以起到聚焦和辅助聚焦的作用。

将结晶型磷化物（如硅酸锌等）发光材料涂敷于管屏内壁即构成屏幕，在高速电子轰击下，磷光物质发光，在屏幕上呈现光点。光点的颜色、效率及余辉时间，由荧光粉的性质决定，常用的有长余辉（黄色）、中余辉（绿色）、短余辉（兰色）等。此外，从阳极到屏幕之间的玻璃管的内壁上，涂有一层石墨或其它金属导电层，用以吸收从屏幕上被轰击出来的二次电子；同时，对偏转系统起屏蔽作用，使偏转后的电子射线不再受外界干扰的影响。屏蔽层通常接地，保持零电位。

偏转系统由两对位置彼此垂直的偏转板构成。靠近电子枪的一对为垂直偏转板；另一对为水平偏转板。利用静电场使电子射线产生偏转，屏幕上的光点将随电场的变化而移动，于是屏幕上即可描绘出被测信号的图形。另外，也有用磁偏转的，例如电磁式电子示波管（图1-7），其电子射线的聚焦和偏转均由线圈产生的磁场来实现。由于这种示波管在示波器内应用较少，

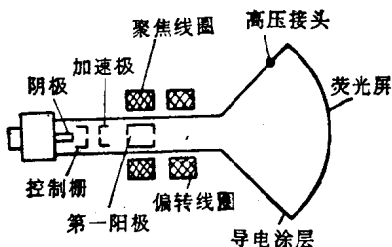


图 1-7 电磁式示波管示意图

故不作讨论。

当电子束经过垂直偏转板之间的电场时，如果上偏转板电位高，则电子束向上偏转；如果下偏转板电位高，则电子束向下偏转；如果两偏转板电位相等，则电子束不产生偏转。

同样，当电子束经过水平偏转板时，产生水平方向偏转，偏转的大小和方向视水平偏转板之间电压的高低和极性而定。

当所有极板上电位都相等时，电子束不产生偏转，停在屏幕中心位置。

因此，电子束偏转距离与两极板之间的电位差成正比。

电子束的偏转程度还与电子运动速度有关。电子运动速度越低，偏转越大。电子运动速度取决于第二阳极电位的大小，因此，偏转距离与第二阳极电位 U_{A_2} 成反比，见图 1-8。

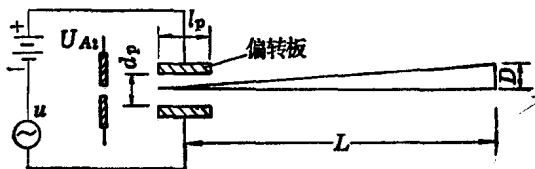


图 1-8 电子束垂直偏转示意图

电子束偏转程度也与偏转板到屏幕之间的距离 L 有关。此距离越长，电子经过偏转板到达屏幕的时间越长，电子束偏转距离也越大。

此外，偏转板长度 l_p 和极板间距离 d_p 也要影响电子束偏转。如果偏转板加长，电子经过偏转板的时间也加长，电子束偏转距离也大些；如果极板间距离缩短，则偏转电场增

强，偏转距离也增大。

因此，偏转距离 D 与上述各参量之间的关系可表示为

$$D = G \frac{u L l_p}{2 U_{A2} d_p} \quad (1-1)$$

式中 $G \approx 1.15$ 。

每个示波管的 U_{A2} 、 L 、 l_p 和 d_p 都是一定的，可得

$$D = s u \quad (1-2)$$

(1-2) 式中 s 为常数，称为偏转因数。它表示偏转板单位电压所引起的偏转距离，是示波管主要参量之一。因此，电子束偏转距离正比于偏转板之间所加的电压（位移控制）。

由于垂直偏转板紧靠在第二阳极后面，偏转电场要影响第一阳极和第二阳极之间电场的分布，因而也会影响电子束的会聚，引起光点散焦现象。为此，应使垂直偏转板平均电位等于第二阳极电位，以免在偏转板与第二阳极之间形成附加电场。一般采用小范围调节第二阳极电位的办法克服散焦现象（辅助聚焦控制）。

当观测空度很大的脉冲信号时，光迹显得较暗。用提高第二阳极电位的办法虽然可以增加辉度，但这将使偏转灵敏度降低。

为此，首先应使电子以较低速度通过偏转电场，以获得较高灵敏度。一旦电子离开偏转电场，在其运动方向上再增加一个加速电场，即可使电子以更高速度轰击屏幕。这样，既可以增强显示辉度，又不致降低偏转灵敏度。因此，现代示波管都设置后加速电极。

所谓后加速极，是由示波管锥体部分内表面涂以石墨而成。在把石墨涂层分为两段的后加速极示波管中，使水平偏