

《示波器的调节与使用》讲义

2016 年春

【背景简介】

示波器是电子测量中最常用和重要的仪器,可测量电信号电压随时间的变化及各电信号间的相互关系。如能直观观测信号并测量其幅度大小、周期、频率、相位等多种参数。只要能采用传感器把非电量转换为电量,它就可以用来测量一切非电信号,如压力、振动、声、光、热、磁等,因此,示波器在科学实验和工程技术中有着十分广泛的应用,是所有理工科大学生必须熟练掌握其使用方法的必备工具。

【实验目的】

- 1、了解示波器的基本结构和工作原理
- 2、全面熟悉模拟示波器面板各旋钮功能并熟练掌握其使用方法
- 3、Y—t 模式观察正弦电压信号测定其周期及峰-峰值电压
- 4、X—Y 模式观察李萨如图测定正弦信号的频率

【实验原理】

一、示波器的结构及工作原理

示波器的基本结构主要包括示波管、扫描电路、同步触发电路、X 和 Y 轴放大器、电源等部分,如图 1 所示。

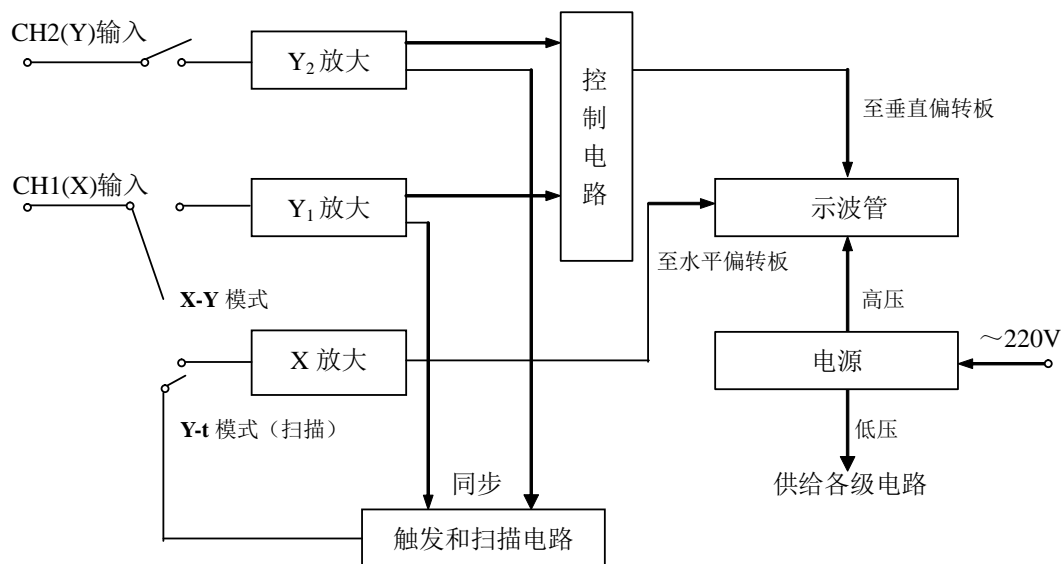


图 1 模拟示波器基本结构框图

1、示波管 示波管是示波器的核心,如图 2 所示。它主要由安装在高真空管中的电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成。电子枪用来发射一束强度可调且能聚焦的高速电子流,它由灯丝、阴极、栅极 1、聚焦阳极 2 等部分组成。偏转系统由垂直(Y)偏转板 3 和水平(X)偏转

板 4 组成。偏转板用来控制电子束运动，在偏转板上加适当电压，电子束通过时运动方向发生偏转，在荧光屏上产生的光点位置随之改变。荧光屏上涂有荧光粉，受电子轰击后发光而形成光点，光点的亮度取决于单位时间打在荧光屏上的电子数量，调节栅极 1 的电位可以改变加速度从而调节波形亮度；光点的大小由电子束的粗细决定，调节聚焦阳极 2（静电聚焦非线性电场）的电位可以改变电子束聚焦的远近从而调节波形的清晰度。它们分别由示波器面板上的**灰度（INTENSity）**和**聚焦（FOCUS）**旋钮来调节实现。

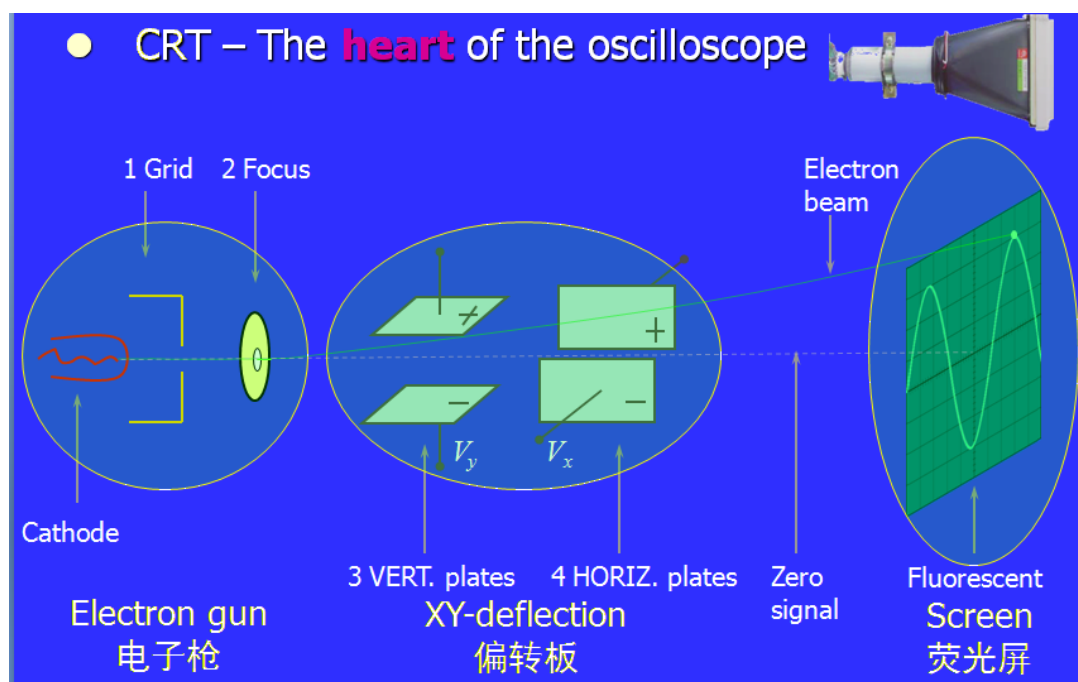


图 2 示波管的基本结构

2、扫描 当偏转板加上一定的电压后，电子束将受到电场的作用而偏转，光点在荧光屏上移动的距离与偏转板上所加的电压成正比。若在 Y 偏转板上加正弦电压，X 偏转板不加电压，荧光屏上光点只是作上下方向的谐振动，振动频率较快时，看起来是一条垂直线段。如果屏上的光点同时沿 X 轴正方向作匀速运动，我们就能看到光点描出的时间函数是一段正弦曲线。光点从左往右沿 X 轴正向的匀速运动及反跳至起点重复移动的周期过程，称为扫描。获得扫描的方法，是在 X 轴偏转板上加一个电压与时间成正比的信号，称锯齿波电压或扫描电压，由示波器内的扫描电路——**时基发生器**产生。若水平方向扫描电压信号的周期 T_x 刚好是垂直方向被测电压信号周期 T_y 的整数倍 N 时，则屏上将显示出稳定不动的波形，这被称为**扫描同步**，实现同步扫描的条件： $T_x = NT_y$ 。示波器的这种工作模式称之为**Y-t 模式**。

3、同步触发 由于信号电压和扫描电压来自两个独立的信号源，它们的周期难以调节成准确的整数倍关系，通常屏上的波形会发生横向移动，造成观察困难。示波器的设计者巧妙地利用同步控制原理解决这一难题：设定恰当的启动扫描的电压值即调节**触发电平（LEVEL）**不要超出被测信号变化的范围，并选择被测信号在触发电平之变化趋势即**触发斜率（或极性）（SLOPE）**“+”为电压增加，“-”为电压减小），触发控制器（TRIGGER）会检测被测信号的电压值是否达到触发电平，同时被测信号是否满足触发斜率设定的变化趋势，如果二者同时满足——**同步触发的充要条件**，那么，触发控制器便启动锯齿波扫描电压，如此可确保扫描周期与被测信号周期成整数倍关系，从而在荧光屏上显示稳定的波形。电路的这种控制作用称为**同步**，如图 3 所示。

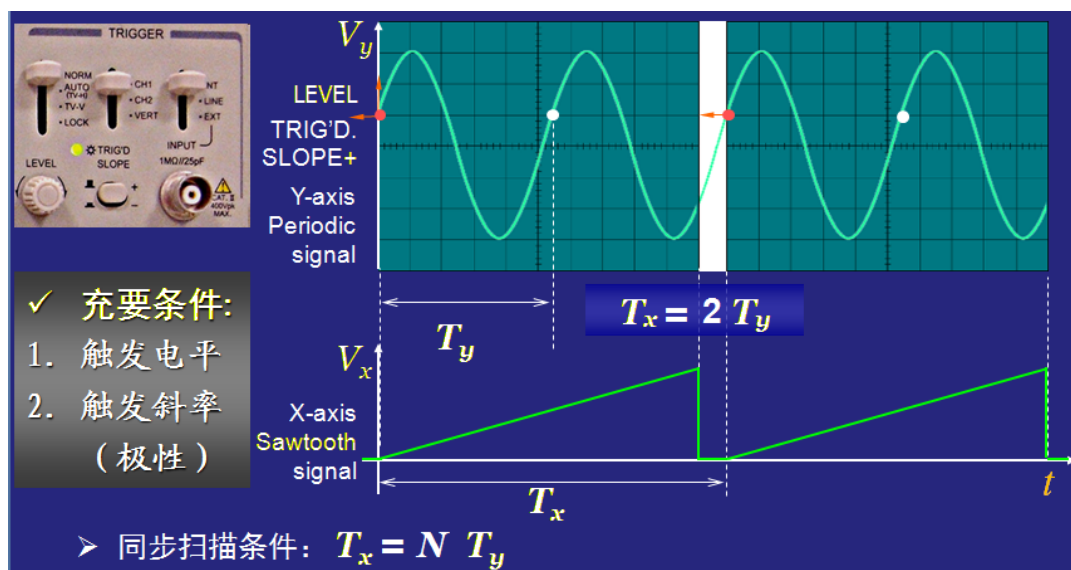


图3 同步触发扫描

4、放大器 一般示波器垂直和水平偏转板的灵敏度不高，当加在偏转板上的电压较小时，电子束不能发生足够的偏转，光点位移很小。为了便于观测，需要预先把小的输入电压经放大后再送到偏转板上，为此设置垂直和水平放大器。示波器的**垂直偏转系数**是指光迹在荧光屏Y方向偏转一格时对应的电压值，面板标识为VOLTS/DIV（DIV为荧光屏上一格，通常为1 cm）。若示波器的垂直偏转系数指向0.5V/DIV，则当光迹在Y方向偏转6.0格时，Y轴输入电压的峰—峰值应为3.0V。同理，**水平偏转系数**（或时基扫描系数）是指光迹在X方向偏转一格对应的扫描时间，面板标识为TIME/DIV。

5、X—Y模式 当示波器由Y—t模式切换为X—Y模式时，扫描信号被切断，此时，通道1（CH1(X)）被连接到X偏转板，通道2（CH2(Y)）还是被连接到Y偏转板。在这种模式下，电子束同时受到连接X、Y偏转板的输入电压形成的电场力的作用，如果此两路电压均为正弦波信号，且周期或频率的比值为有理数（整数的比），则我们会在荧光屏上看到闭合稳定的漂亮图案，这便是相互垂直谐振动合成的轨迹——**李萨如图**，如图4所示。

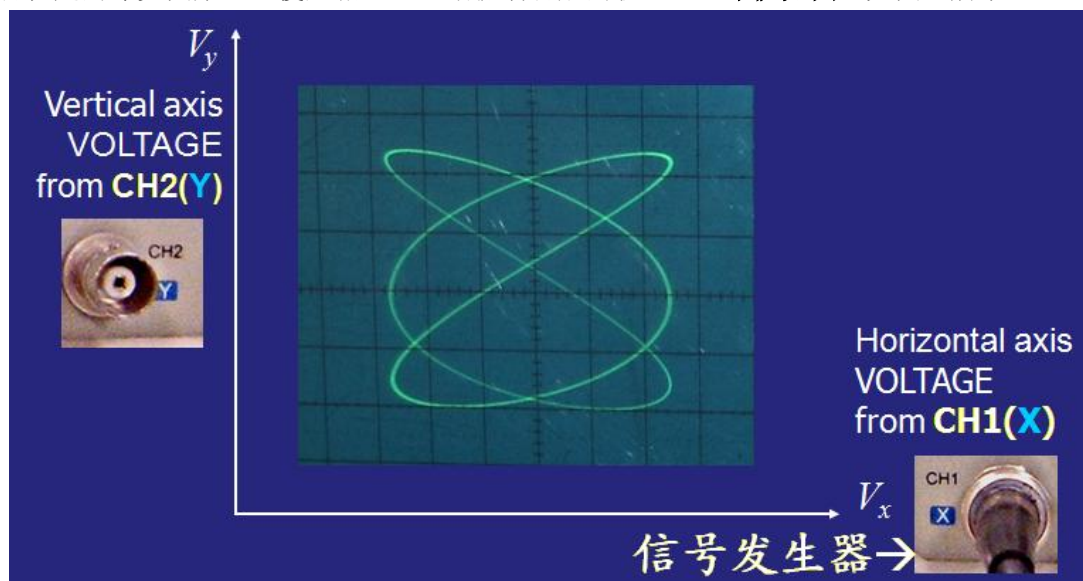


图4 李萨如图

二、测量原理方法

1、测量已知信号的峰峰值电压和周期

将信号发生器输出的已知正弦波电压信号输入到示波器的 CH1 或 CH2 通道，将示波器工作模式切换到 Y — t 模式，在校准状态下将波形调到最佳状态，即在荧光屏上显示 1 ~ 2 个周期、纵向幅度约占视屏 2 / 3 的空间的稳定正弦波形，上下左右移动波形，对准网格，利用中央刻度线作为标尺，测量相关距离，读取相关示数，可间接求得峰峰值电压和周期：

$$\begin{cases} V_{p-p} = D_y Y \\ T = D_x X \end{cases} \quad (1)$$

其中， V_{p-p} 为峰峰值电压， D_y 为垂直偏转系数 (VOLTS/DIV)， Y 为峰谷垂直距离； T 为周期， D_x 为水平偏转系数 (TIME/DIV)， X 为相邻峰或谷水平距离。图 5 所示分别为测量峰峰值电压和周期效果图！

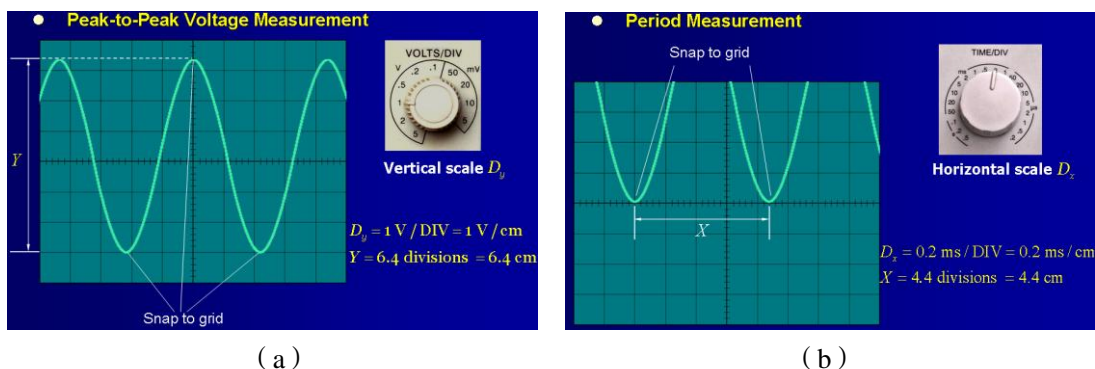


图 5 峰峰值电压和周期的测量

2、测量未知信号的频率

将信号发生器输出的正弦波已知信号输入到示波器的 CH1(X)通道，待测正弦电压信号接入 CH2(Y)通道，同时将示波器工作模式切换到 X — Y 模式，调节已知信号频率使两正弦电压的周期或频率成简单整数比时，合成轨迹为一稳定的闭合曲线即李萨如图形，如图 4 所示。对图形作水平和垂直切线或割线(两条割线均应与图形有最多的相交点)，并设水平切线(或割线)与图形的切点(或交点)数为 N_x 、垂直切线(或割线)与图形的切点(或交点)数为 N_y ，则 X、Y 方向的电压信号频率 f_x 、 f_y 与 N_x 、 N_y 有如下关系

$$\frac{N_x}{N_y} = \frac{T_x}{T_y} = \frac{f_y}{f_x} \quad (2)$$

因此，只要读取已知信号的频率 f_x ，就可以由公式 (2) 求出未知信号的频率 f_y 。

【实验仪器】

- 1. SG4320A/SG4320B 型双踪模拟示波器
- 2. EE1420 型函数信号发生器
- 3. 待测正弦电压信号源

【实验内容】

一、测量已知信号的峰峰值电压和周期

统一设定信号发生器输出已知信号参数：正弦波、频率~1KHz，幅度~5V；按照上述二、测量原理方法 1 测量相关量，并根据公式（1）求得已知信号的峰峰值电压和周期，完成表 1 数据表，并按 1：1 比例在坐标纸上绘制周期图或可手机拍下正面清晰波形备用。

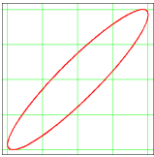
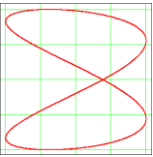
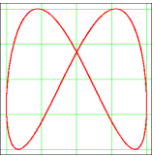
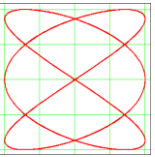
表 1 正弦信号电压与周期测量数据表

函数信号发生器		双踪模拟示波器测量值				测量计算值	
频率 (Hz)	电压幅度 U_{p-p} (V)	垂直偏转系数 D_y (V/cm)	Y (cm)	水平偏转系数 D_x (ms/cm)	X (cm)	V_{p-p} (V)	T (ms)

二、利用李萨如图测量未知信号的频率

把已知和未知正弦信号分别加到水平和垂直偏转板，则荧光屏上光点的运动轨迹是两个互相垂直的谐振动的合成。当两个正弦信号频或周期比为整数之比时，其轨迹是一个稳定的闭合曲线，即李萨如图。按照上述二、测量原理方法 2，利用李萨如图的规律即公式（2），分别求出 $N_x:N_y=1:1, 1:2, 2:1, 2:3$ 几种情况下未知信号的频率，完成表 2 数据表并拍下相应李萨如图。

表 2 未知信号频率测量数据表

李 萨 如 图				
N_x	1	1	2	2
N_y	1	2	1	3
f_x				
f_y				

三、利用 X—Y 模式模拟 Y—t 模式测量未知信号的频率

把已知和未知正弦信号分别加到水平和垂直偏转板，将信号发生器输出波形选为锯齿波，调节其频率 f_x ，当 $T_x = T_y$ 亦即 $f_y = f_x$ 时，我们会在荧光屏上看到一个完整周期的未知正弦波电压信号的稳定波形，即实现扫描同步，此时，已知信号的频率即为被测信号的频率。请尝试自行设计表格记录相关数据并用手机拍下包括信号发生器液晶屏和示波器荧光屏在内的完整视图！同理，当调节到已知信号的周期 T_x 正好为 $2T_y$ 和 $3T_y$ 时，我们将看到什么？被测信号的频率又是多少？这是一个非常有趣的实验内容，好好尝试吧！

【注】具体实验内容要求请以黑板板书或授课 PPT 为准！

【安全问题】

本实验在正常操作的情况下有周全的防护，但操作不当，仍然可能造成危害：

1. 不要用手触摸 220V 市电插口，以免电击；
2. 不要将亮度调节旋钮调至耀眼光迹，以免伤害眼睛和荧光屏；
3. 不要因好奇打开示波器外盖观察示波管，以免受到高压电击伤害；
4. 不要将饮料茶杯放在仪器旁，以免碰倒漏电。总之，安全第一！

【数据处理】

1. 正确测量和读取有效数字，完成【实验内容】1 的要求，并比较峰峰值电压和周期，分析误差原因；
2. 完成【实验内容】2 和 3 的要求，并比较所测未知信号频率，分析误差原因。

【思考题】

1. 模拟示波器可以做什么？
2. 示波器是好的，可是荧光屏上无信号波形，你能列举其中多少种可能的原因呢？

【参考文献】

- [1] 熊永红等主编，大学物理实验，科学出版社，2007 年 8 月.
- [2] Keller, P.A.: The 100th Anniversary of the Cathode-Ray Tube. Vol. 13, No. 10, 1997, pp. 28-32.
- [3] 张开逊，回望人类发明之路：驾驭电子，北京出版社，2007 年 8 月.
- [4] 彭瑞明主编，大学物理实验，华南理工大学出版社，2006 年 2 月.

【附录】信号发生器和示波器操作指南

1 EE1420 型函数信号发生器



● 选择波形

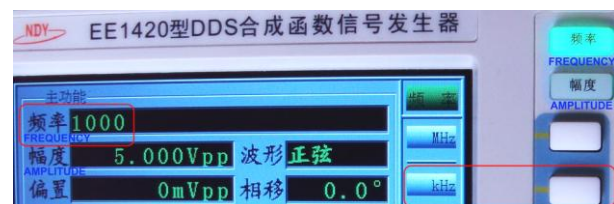
按一下“**波形**”功能键，液晶屏右侧会显示不同波形菜单，如想输出正弦波，按一下右侧对应的白色菜单键即可。



● 调节频率

选择“**频率**”功能键，利用数字键输入频率值，如输入有误，可利用数字键右下角的回头键 \leftarrow 删除；输入正确数字后会看到液晶屏右侧显示不同频率的单位菜单，按一下右侧对应的白色菜单键即可选定此单位，如千赫 **KHz**。

如果到时候想改变或编辑频率值，可再次先启动“**频率**”功能键，利用左右方向键选定某位数，再利用上下方向键对此位数进行加 1 减 1 操作。



● 调节幅度（即峰峰值电压 V_{pp} ）

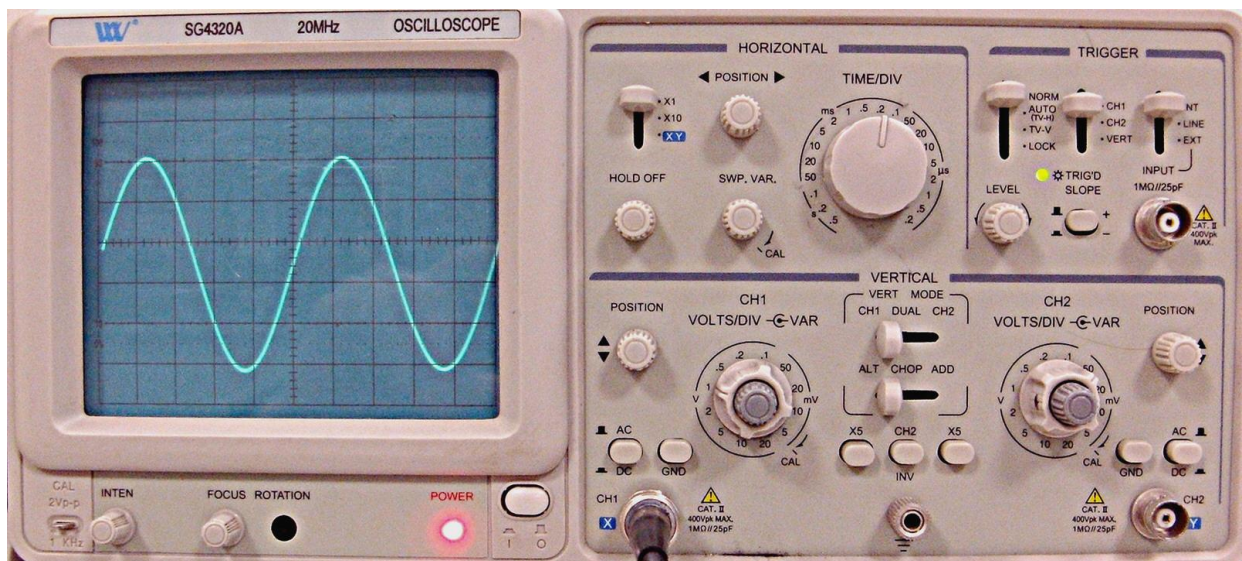
选择“**幅度**”功能键，利用数字键输入电压值，如输入有误，可利用数字键右下角的回头键 \leftarrow 删除；输入正确数字后会看到液晶屏右侧显示电压的不同单位菜单，按一下右侧对应的白色菜单键即可选定此单位，如伏特 **Vpp**。



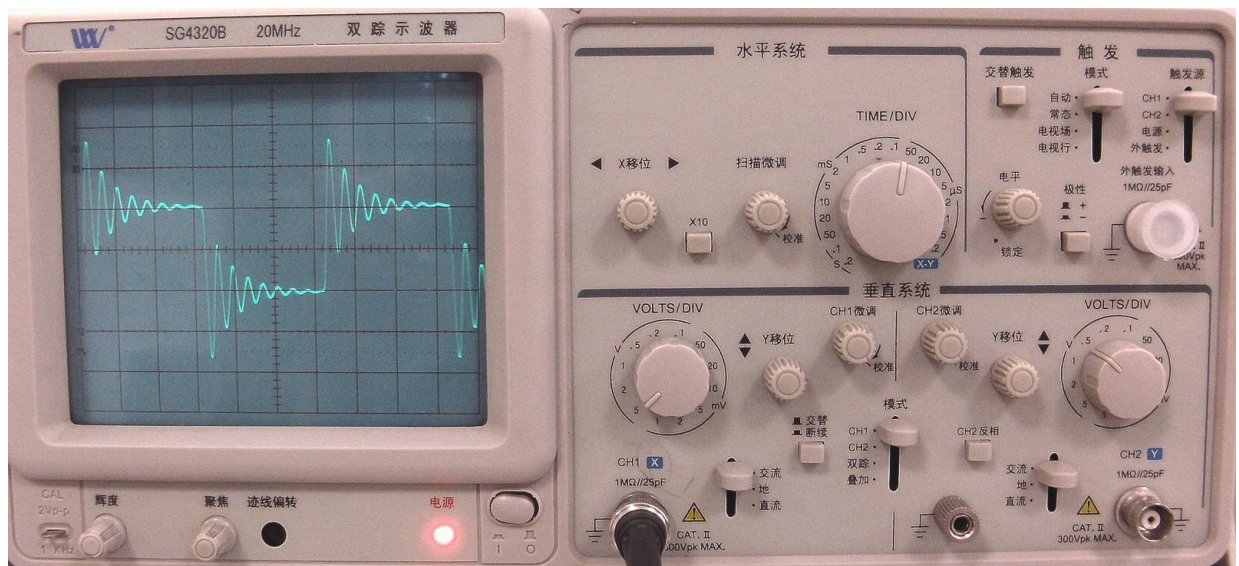
【注意】

1. “**函数输出**”端为输出被测已知电压信号，信号电缆线须接在此端口；
2. 白色菜单键底部的“**RF 开关**”功能键必须点亮启动才有电压信号输出；
3. 右上角滚轮调节太过灵敏，设计欠佳，强烈不建议使用！

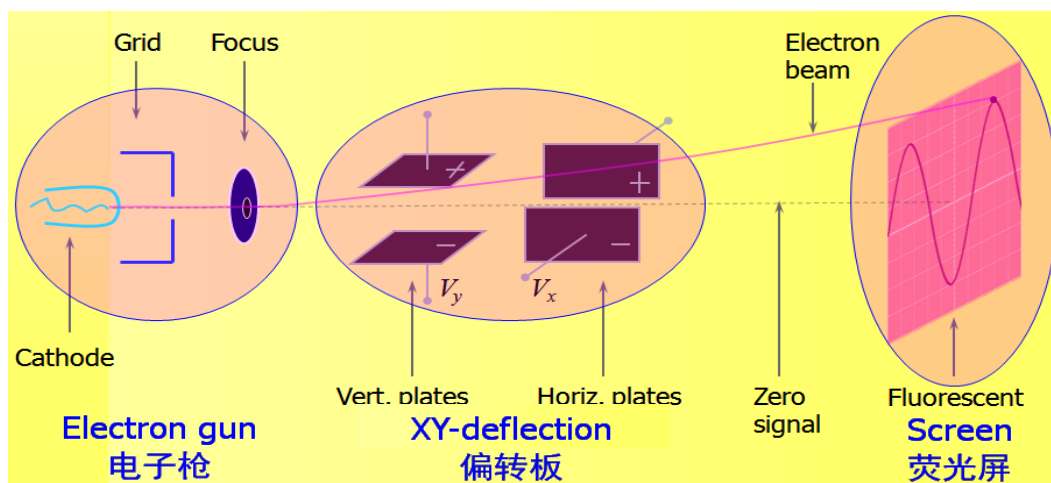
2A The SG4320A Oscilloscope 全英文面板



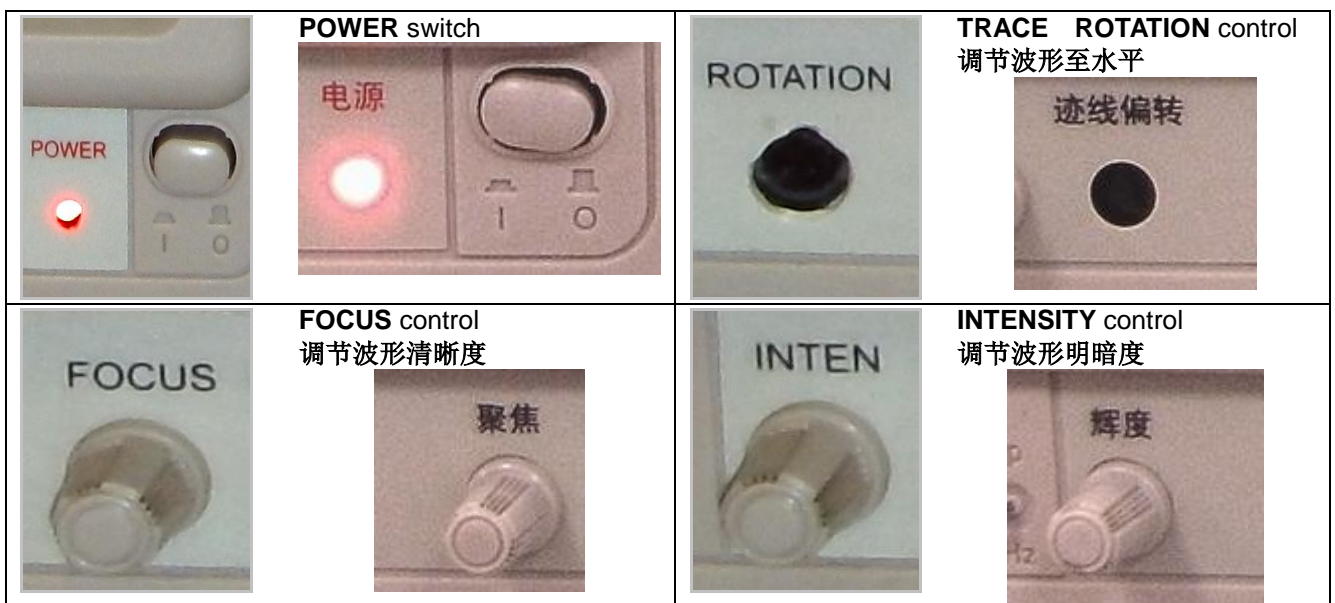
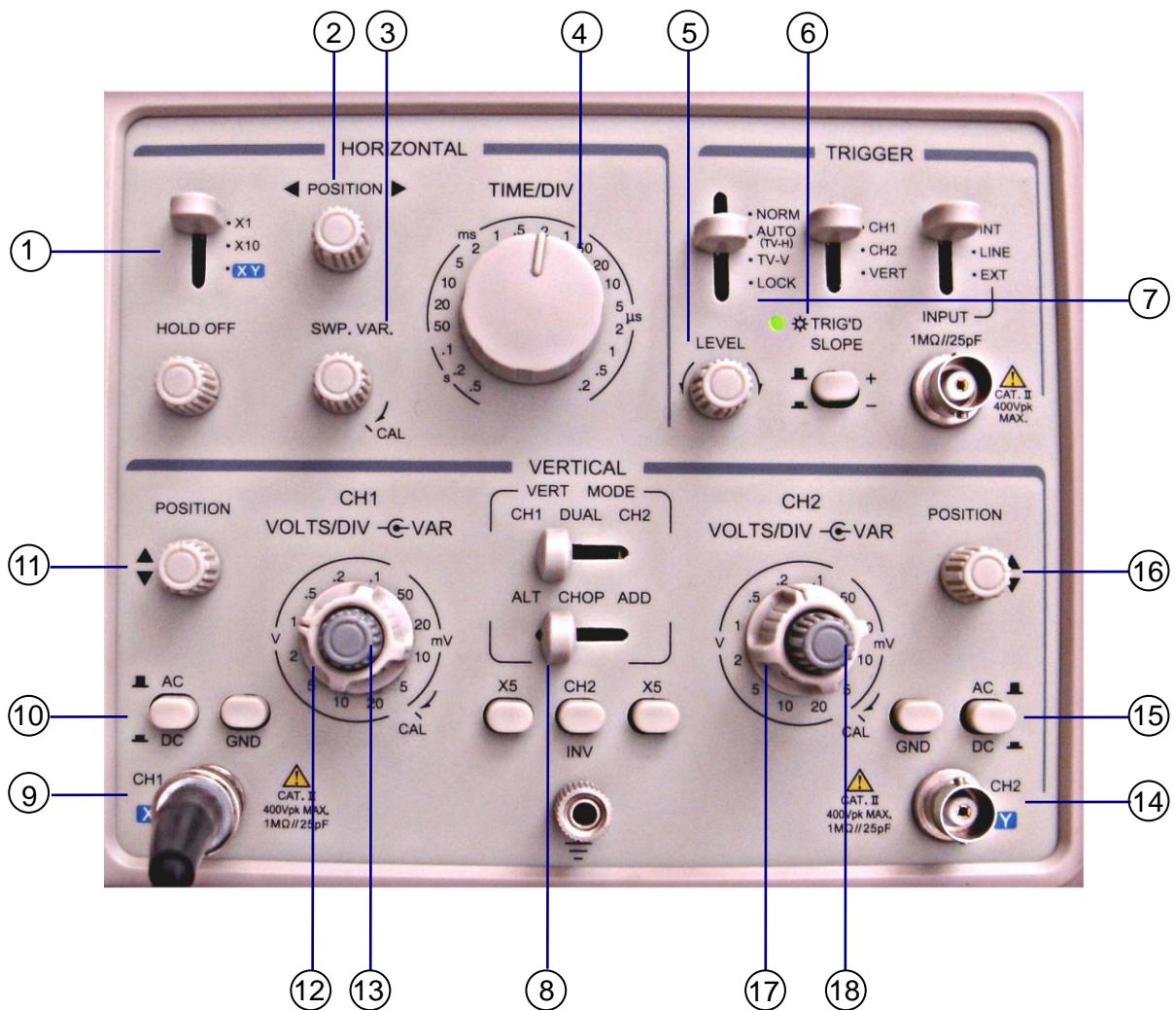
2B The SG4320B Oscilloscope 中文面板



3 CRT—示波器的核心构件=电子枪+偏转板+荧光屏



4 SG4320A 功能描述（以下 SG4320B 均有一一对应截图）



 <p>④ 时基偏转系数 S 选择开关 调节波形水平方向疏密度</p> 	 <p>③ 时基扫描微调—测量时间 时须顺时针至校准/CAL</p> 
 <p>⑫ ⑬ 垂直偏转系数 D 选择开关 调节波形纵向电压的幅度</p> 	 <p>⑬ ⑭ 垂直偏转微调—测量 电压时须顺时针至校准/CAL</p> 
 <p>⑪ ⑫ POSITION controls 调节波形纵向位置</p> 	 <p>② POSITION control 调节波形横向位置</p> 
 <p>⑦ 水平触发扫描方式选择开关</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● 触发源选择必须与被测信号通道一致 ● 对初学者建议触发模式选择“自动” ● 显示双踪信号时应选择“VERT” / 交替触发 ● 以上功能在 X-Y 模式失效！ 	 <p>⑧ 垂直模式和信号通道选择开关</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● 切换被测电压信号通道：CH1 / CH2 ● 同时显示两个通道信号请选择 DUAL / 双踪 ● 建议初学者选择垂直模式 ALT（交替触发） ● 以上功能在 X-Y 模式失效！

<p>X-Y 模式失效!</p> 	<p>⑤ LEVEL control 设定扫描被测信号的初始电压值，顺时针为增加</p> 	 <p>X-Y 模式失效!</p>	<p>⑥ Triggered SLOPE 触发斜率（上升沿+/下降-）</p>  <p>默认弹出位置为上升沿+</p>
	<p>⑨ CH1(X) jack</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Y-t 模式，通道 1 电压信号输入到垂直偏转板 ● 在 X-Y 模式，此通道信号被切换到水平偏转板上 		<p>⑭ CH2(Y) jack</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 不管在什么工作模式，此通道始终会输入到垂直偏转板上
 <p>选择 AC 为交流输入，即通过一电容器过滤掉直流分量，由于电容的非线性会引起信号不同程度的失真，须慎用!</p>	<p>⑩ ⑮ AC-DC-GND buttons</p>  <p>输入信号耦合方式选择：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● AC: 信号直流分量被滤掉 ● DC: 输入完整信号 ● GND: 强制输入零电压信号 	 	<p>① 工作模式切换开关</p> <ul style="list-style-type: none"> ● X1 Y-t 模式显示电压随时间演化的图像 ● X10 Y-t 模式下时间轴被放大到 10 倍 ● 切换到 X-Y 模式时，扫描信号被切断，CH1(X)被连接到 X 偏转板，而 CH2(Y)还是连接到 Y 偏转板

【操作要点】

- 建议初学者将信号发生器输出电压连接到 1 通道 **CH1(X)**
- 建议将输入信号耦合方式切换至直流 **DC**
- 牢记玩转示波器[八步曲](#)（主要针对 **Y-t** 模式操作）：
 1. 打开电源（这不废话!）
 2. 选择工作模式（**Y-t** or **X-Y**）
 3. 选择被测信号通道（**CH1** or **CH2**）
 4. 选择触发方式：扫描方式选自动 **AUTO**，触发来源选 **INT**(内部)，
★ 触发比较信号源选择必须与被测信号通道一致
 5. 选择触发斜率 **SLOPE**（极性±），默认为+（上升沿）；电平 **LEVEL** 调至中部
 6. 调节灰度 **INTENSITY** 和聚焦 **FOCUS**，看到最清晰和舒适明暗度为佳
★ 若开机后看不到波形，此步骤应在第一步后操作
 7. 平移波形纵向和横向位置便于观测：
调节 **X 位移/HORIZONTAL POSITION**，**Y 位移/VERTICAL POSITION**
 8. 调节适当的纵横偏转系数将波形纵向幅度尽量调大，横向保持 1~2 个周期，即：
选择垂直偏转系数 **VOLTS/DIV** 和水平偏转系数 **TIME/DIV**，1 **DIVision**= 1 **cm**
★ 测量电压或时间时一定要将所有微调旋钮调至校准 **CAL**，不必使用 **X5** 和 **X10**