

# 浮地测量和隔离输入示波器 基础知识

## 应用指南

本应用指南将介绍电源测量术语，阐述为进行浮地测量提供的不同选项，重点介绍每种选项的优点和缺点。

最苛刻的浮地测量要求源自电源控制电路，如马达控制器、不间断电源和工控设备。在这些应用领域中，电压和电流可能会很大，足以给用户和/或测试设备带来危险。在测量浮地高压信号时，有许多选项可以考虑。每个选项都有自己的优点和缺点。

## 差分测量与浮地测量比较

所有电压测量都是差分测量。差分测量定义为两点之间的电压差。电压测量分成两类：

1. 参考地电平测量
2. 非参考地电平测量(也称为浮地测量)

## 传统示波器

大多数传统示波器把“信号参考”端子连接到保护接地系统上，通常称为“接地”。通过这种方式，所有应用到示波器的信号或示波器提供的信号都会有一个公共连接点。

这个公共连接点通常是示波器机箱，通过AC供电设备电源线中的第三条线接地，来保持在(或接近)零伏。这意味着每个输入通道参考点都捆绑在一个接地参考源上。

不应该使用传统无源探头，直接在参考地电平的示波器上进行浮地测量。视流经参考引线的电流数量，传统无源探头会开始变热；在电流足够高时，它会类似熔丝那样熔化断开。

## 浮地测量技术

为进行高压浮地测量提供的不同选项包括：

- 隔离输入示波器
- 差分探头
- 电压隔离装置
- “A - B” 测量技术
- 示波器“浮地”技术

## 术语表

### 共模信号

两个输入上共同的输入信号成分(幅度和相位完全相同)。

### 共模范围

差分放大器可以抑制的共模信号的最大电压(从接地)。

### 共模抑制比

衡量差分放大器抑制共模信号能力的一个性能指标。由于共模抑制一般会随着频率提高而下降，因此通常会指定特定频率的CMRR。

### 差分模式或差模

差分放大器两个输入之间的不同信号。差模信号(VDM)可以表达为：

$$VDM = (V+input) - (V-input)$$

### 差模信号

两个输入之间不同的信号。

### 差分测量

两点之间的电压差。

### 差分探头

为差分应用专门设计的探头。有源差分探头在探头尖端包含一个差分放大器。无源差分探头与差分放大器一起使用，可以进行校准，精确匹配两条信号路径中(包括参考引线)的DC和AC衰减。

### 浮地测量

任何一点都没有参考地电平(地电位)的差分测量。

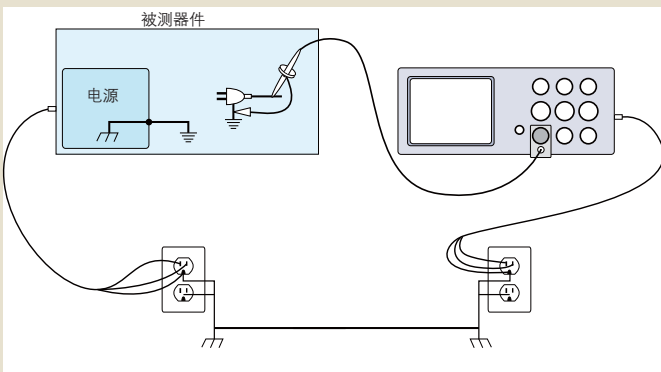
### 接地环路

当两个或两个以上的单独接地路径在两个或两个以上的点捆绑在一起时，会出现接地环路。结果是一个导体环路。在存在变化的磁场时，这个环路会变成变压器的次级电路，作为短路线圈操作。附近承载非DC电流的任何导体都会产生磁场，激发变压器。许多导线、甚至数字IC输出引线中的AC线路电压都会产生这种激发作用。环路中循环的电流会在环路内部任何阻抗中积聚电压。这样，在任何给定时点上，接地环路中的各个点都不会位于相同的AC电位。

## 术语表(续)

把示波器探头地线连接到被测电路上，如果电路“接地到”接地装置，那么会产生接地环路。作用在路径内部阻抗上的循环电流会导致电压电位积聚在探头接地路径中。

这样，示波器输入BNC连接器上的“接地”电位与被测电路中的接地不同(即“此接地非彼接”)。这种电位差可以是几微伏，也可以高达几百毫伏。由于示波器从输入BNC连接器的外壳上参考测量，因此显示的波形可能并不表示探头输入上的实际信号。随着被测信号的幅度下降，误差变得更加明显。



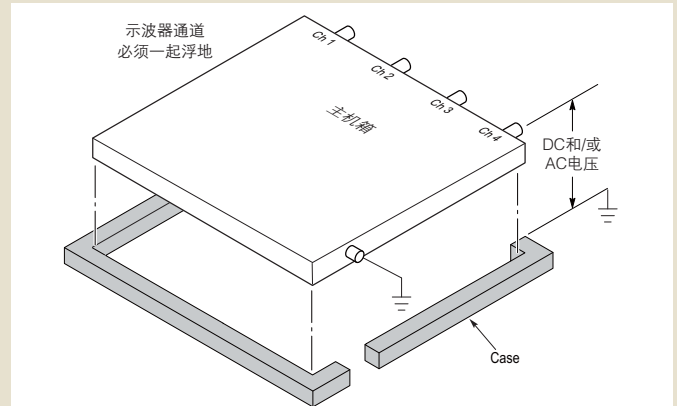
把示波器探头地线连接到被测电路上，如果电路“接地到”接地装置，那么会产生接地环路。

### “单一测量”

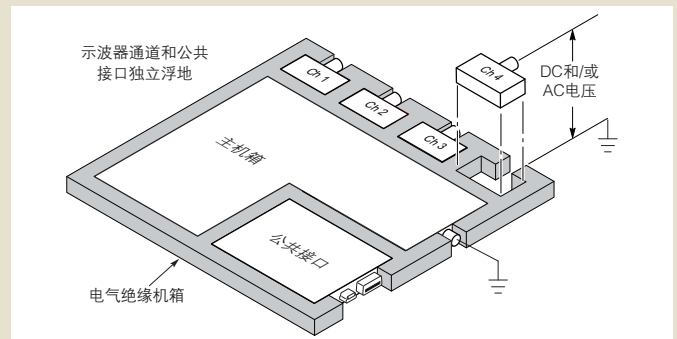
在使用AC线路电源及使用标准三线电源线操作时，带有接地输入通道、电池供电的示波器表现出来的局限性与传统示波器一样。然而，在使用电池操作时，这些示波器可以一次进行高达30 V<sub>RMS</sub>的单一安全浮地测量。记住，所有输入公共源都捆在一起。

## 共享参考点和隔离通道结构比较

大多数台式示波器共享下面所示的结构。在这种结构中，在进行多通道测量时，所有输入信号必须有相同的电压参考，共享的默认参考是“大地”接地。如果没有差分前置放大器或外部信号隔离器，这些台式示波器则不适合进行浮地测量。



与传统台式示波器结构相比，这种隔离通道结构中的电压参考没有在仪器内部连接在一起。因此，使用的输入的每个参考点必须连接到参考电压上。独立浮地隔离输入仍由寄生电容耦合。这可能会发生在输入参考和环境之间，及手动发生在输入参考点之间。基于这一原因，建议把参考点连接到系统接地或另一个稳定电压上。如果输入的参考点连接到高速和/或高压信号上，那么您应该了解寄生电容。



## 说明

### 隔离输入示波器测量

采用IsolatedChannel™输入结构的示波器，如TPS2000B或THS3000系列，提供了真正的、完整的通道到通道和通道到电源线隔离能力。每条通道相互单独隔离，同时与其它非隔离器件隔离。在使用IsolatedChannel™示波器进行浮地测量时，必须使用专门设

计的无源探头，如TPP0201，进行高达30 V<sub>RMS</sub>的浮地测量；或使用THP0301，进行高达300 V<sub>RMS</sub>的浮地测量；或使用P5122/P5150探头，进行高达600 V<sub>RMS</sub>的浮地测量。与大多数传统示波器使用的无源探头不同，这些类型的探头在BNC连接上绝缘，防止发生触电；参考

引线是为耐受额定浮地电压而设计的。(如需更多信息，请参阅本应用指南后面“注意类别和电压”一节中的讨论)

### 差分探头测量

通过使用差分探头系统，可以通过泰克TDS/DPO/MSO和大多数其它接地示波器进行浮地测量。某些差分探头(如P6246、P6247、P6248和P6330)是为幅度较低、快速信号优化的。其它探头(如P5200A、P5205A和P5210A)则

处理速度较慢、电压幅度较高的信号。ADA400A差分前置放大器即使在高噪声环境中，仍能显示低频率、超低幅度的差分信号。

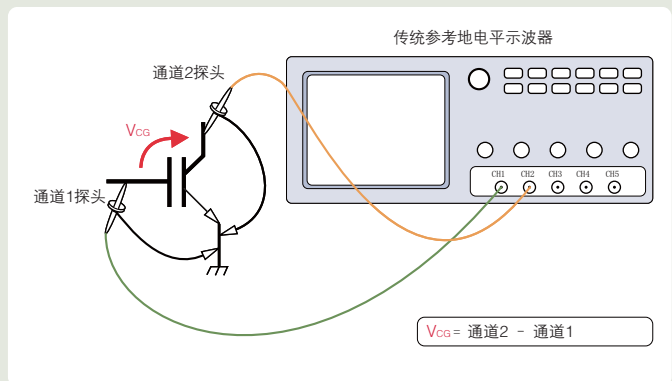
### 电压隔离器测量

顾名思义，隔离器在浮地输入与参考地电平输出之间没有直接的电气连接。

信号通过光学或分路光学/变压器手段耦合。

### “A - B”测量 (也叫伪差分测量)

“A - B”测量技术可以使用传统示波器及无源电压探头，间接进行浮地测量。一条通道测量“正”测试点，另一条通道测量“负”测试点。从第一个测量值中减去第二个测量值，去掉两个测试点的公共电压，以便观察不能直接测量的浮地电压。示波器通道必须设置成相同的伏特/格；探头应与示波器配套，使共模抑制比达到最大。

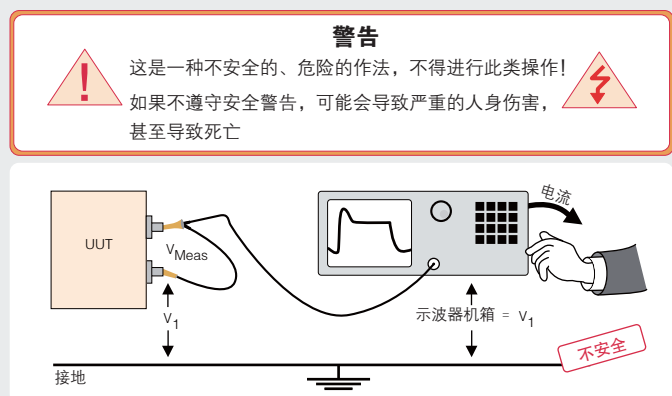


► 测量参考地电平电压的两只探头实例

### “浮地”传统接地示波器

使用不会把接地传送到次级电路的隔离变压器，或通过把示波器的AC市电电源线接地连接器，是一种常用的有风险的示波器浮地测量方式。

“浮地”参考地电平示波器把所有可以接触到的相同电压的金属(包括机箱、机壳和连接器)作为探头参考引线连接的测试点。



► 浮地测量，危险电压发生在示波器机箱上。 $V_1$ 可能有几百伏！

## 优点和缺点

<p><b>优点</b> 隔离输入通道示波器为进行浮地测量提供了一种安全可靠的方式。通道到通道隔离和通道到接地隔离的明显好处是能够同时观察参考到不同电压的多个信号。</p>	<p>另一个优点是能够在不增加专用探头成本或昂贵笨重的电压隔离器的情况下实现这一点。通道到电源线隔离消除了信号源接地与示波器之间的路径。</p>	<p><b>缺点</b> 与差分探头不同，隔离输入通道没有提供均衡浮地测量。到接地的阻抗在尖端(+)输入和参考(-)输入之间是不同的。由于隔离通道的参考(-)输入不象接地示波器那样有默认的参考电平，因此必须把探头的参考引线连接到DUT的参考点上。</p>	<p>由于没有到接地的分路，因此荧光灯和大楼布线放射的工频场可能会在示波器读数上导致更多的基线噪声。使用平均采集模式会减轻这种基线噪声提高。</p>
<p><b>优点</b> 差分探头为调整接地示波器进行浮地测量提供了一种安全的方法。除安全性优势外，使用这些探头可以改善测量质量。差分探头提供了均衡测量输入电容，因此可以使用任意一条引线安全地探测电路中任何点。在比电压隔离器更高的频率上，差分探头一般CMRR性能更好。</p>	<p>另一种优点是全面利用示波器的多条通道，同时观察多个信号，参考不同的电压。</p>	<p><b>缺点</b> 探头仍有一条到接地的电阻路径，因此如果电路对泄漏电流灵敏，那么差分探头可能并不是最佳的解决方案。</p>	<p>其它缺点包括增加了一层成本，具体视示波器功能，可能要求独立的电源，这增加了成本和体积。在出厂时，必须手动确定每种测量的增益和偏置特点。</p>
<p><b>优点</b> 电压隔离器为安全测量浮地电压提供了一种手段，由于隔离器没有到</p>	<p>地的电阻路径，因此对泄漏电流异常灵敏的应用来说，它们是一个很好的选择。</p>	<p><b>缺点</b> 电压隔离器增加了一层成本。必须使用单独的电源和隔离放大器箱。</p>	<p>在出厂时必须为每一项测量手动确定增益和偏置特点。</p>
<p><b>优点</b> 使用“A - B”测量技术的优势在于，几乎任何示波器和标配探头都可以简便地完成这一点。记住，两个测试点必须参考地电平。因此，</p>	<p>如果任意一个测试点都是浮地的，或如果整个系统都是浮地的，那么不适用这种方法。</p>	<p><b>缺点</b> 在进行“A - B”测量时，要使用两条示波器通道。这种技术的主要限制是共模范围相当小，这源于示波器的垂直通道动态范围。一般来说，其不到来自地电平的volts/division设置的10倍。在共模电压大于差模电压时，“A - B”测量技术可能会被认为是从两个大</p>	<p>电压中提取小的差异。这种技术适合共模信号的幅度与差模信号相同或低于差模信号，且共模成分是DC或低频，如50 Hz或60 Hz电源线的的应用。在测量幅度适中的信号时，它从测量中有效消除了接地环路电压。</p>
<p><b>优点</b> 尽管浮地设备是一种利用现有设备进行浮地测量，消除频率较低的信号上接地环路的方法，但它是一种不安全的、危险的作法，不应采用这种方法。</p> <p><b>缺点</b> 不管是从示波器上的升压角度(对操作人员可能会发生电击)，还是由于地波器变压器绝缘装置上累积的应力，这种技术都是危险的。这种应</p>	<p>力可能不会立即导致故障，但即使示波器恢复到正确接地操作，将来仍可能会导致发生危险故障(电击和危险)。</p> <p>在较高的频率上，切断接地可能不会中断接地环路，因为电源线供电的仪器在接地以上浮地时会表现出大的寄生电容。振铃可能会破坏浮地测量。浮地示波器没有均衡输入。参考一侧(探头上的“接地”夹)有一个明显的到地电容。参考点连接的任何源阻抗将在快速共模跳变中</p>	<p>加载，使信号发生衰减。更糟糕的是，高电容可能会损坏某些电路。连接逆电器上方门中共用的示波器可能会使门驱动信号速度下降，防止被测器件关闭，防止破坏输入桥接器。这种故障通常伴随着工作台上出现小的火花。</p> <p>另一个缺点是其一次只能进行一项测量。记住，所有输入参考都相互捆绑在一起。一旦浮地一个输入参考，所有输入参考现在都在同一水平上浮地。</p>	<p>► 寄生电感和电容导致的振铃使信号失真，使测量无效</p>

## 泰克TPS2000B和THS3000系列 IsolatedChannel™示波器

TPS2000B系列把泰克经过验证的台式示波器性能与专为测量工用电池操作的产品设计的4条隔离通道结构结合在一起。这种仪器与选配的电源捆绑套件(TPS2PBND2)配套使用时，确立了同类产品中的高级浮地测量标准。电源捆绑套件包括4只无源高压探头(P5122)及电源测量和分析软件包(TPS2PWR1)。电源测量和分析软件包提供了电源分析测量(真实功率、无功功率、真实功率因数、相角)、波形分析测量(RMS、波峰因数、频率)、谐波测量及开关损耗测量。

THS3000系列是为使用示波器时要求更高流动性、而又不降低台式仪器性能或执行浮地测量能力的工程师们设计的。这种手持式仪器坚固耐用，重量型，一块电池可连续工作7个小时，支持自动测量功能，在实验室操作和现场操作中提供了很大的通用性。该仪器的隔离通道、高压采集(高达1000 V<sub>RMS</sub> CAT II)及高级波形记录功能可以安全进行浮地测量，特别适合经常需要把实验室中的测量与现场中的测量关联起来的用户。

### 注意CAT和电压

#### 为进行浮地测量选择适当的电压探头

怎样选择探头和示波器组合：

##### 1. 确定测量(或过压)类别

IEC 61010-1国际标准为电压测量仪器规定了四种过压类别。一类到四类过压都是依据瞬态信号期间可能存在的电气能量多少确定的。

在IEC 61010-1中，电压测量仪器根据耐受电压瞬态信号的能力来划分等级。

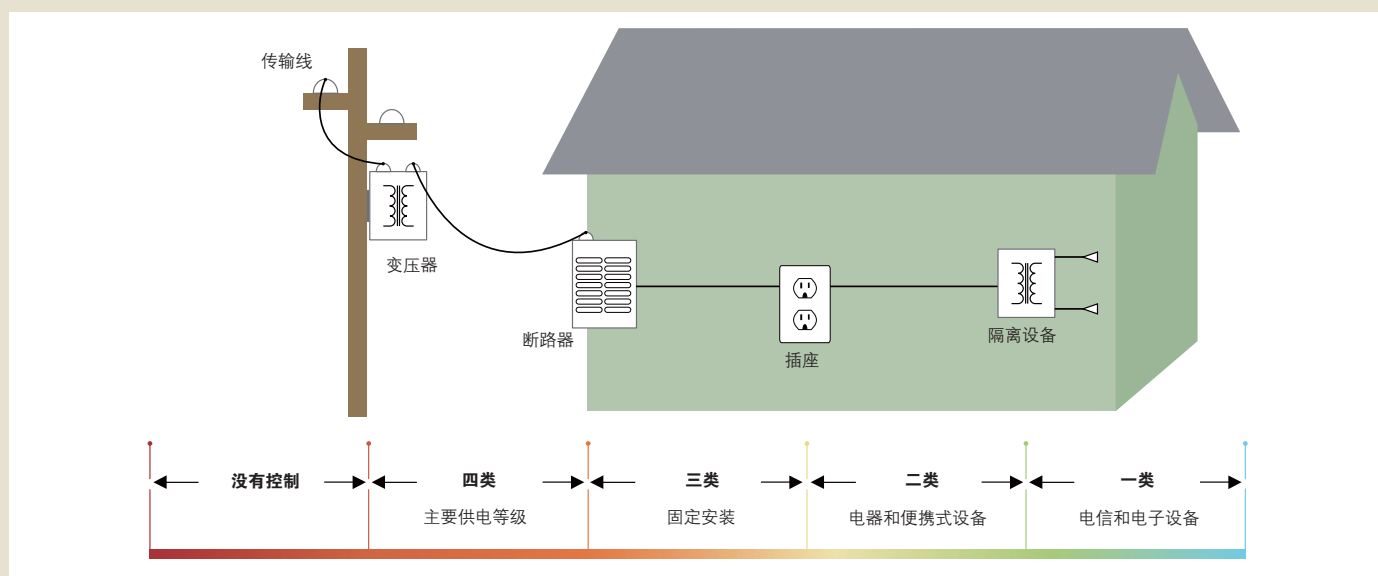
##### 2. 确定最大浮地电压

类别描述摘要	
四类	用来对低压项目中的电压执行测量(<1,000 V)。
三类	用来在楼宇系统中执行测量。
二类	用来在直接连接低压系统的电路上执行测量。
一类	用来在没有直接连接市电的电路上执行测量。

##### 3. 确定最大尖端到接地电压。

##### 4. 确定从探头尖端到参考引线的最大电压。

##### 5. 确定屏幕上希望的最大峰峰值读数。



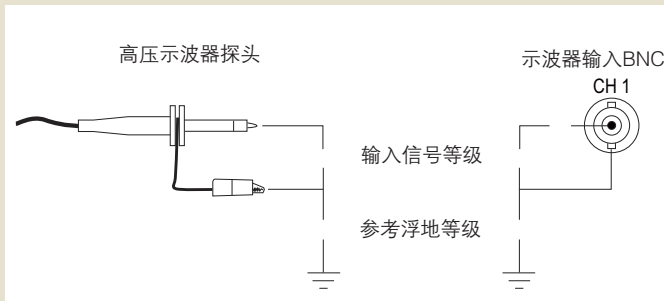
IEC安装类别

## 注意CAT和电压(续)

为TPS2000B和THS3000系列示波器选择适当的电压探头

		探头名称			
		TPP0201	THP0301	P5150	P5122 <sup>1</sup>
最大探头尖端到接地电压		300 V <sub>RMS</sub> CAT II	300 V <sub>RMS</sub> CAT III	1000 V <sub>RMS</sub> CAT II	DC耦合时 1000 V <sub>RMS</sub> CAT II
最大参考地电平(浮地)电压		30 V <sub>RMS</sub>	300 V <sub>RMS</sub> CAT III	600 V <sub>RMS</sub> CAT II	600 V <sub>RMS</sub> CAT II
衰减设置		10x	10x	50x	100x
带宽		200 Mhz	300 Mhz	500 Mhz	200 Mhz
探头类型		无源	无源	无源	无源
屏幕上峰峰值电压 <sup>2</sup>	TPS	400 V <sub>P-P</sub>	400 V <sub>P-P</sub>	2000 V <sub>P-P</sub>	2828 V <sub>P-P</sub>
	THS	849 V <sub>P-P</sub>	849 V <sub>P-P</sub>	2828 V <sub>P-P</sub>	2828 V <sub>P-P</sub>
屏幕上RMS电压 <sup>2</sup>	TPS	141 V <sub>RMS</sub>	141 V <sub>RMS</sub>	707 V <sub>RMS</sub>	1000 V <sub>RMS</sub>
	THS	300 V <sub>RMS</sub>	300 V <sub>RMS</sub>	1000 V <sub>RMS</sub>	1000 V <sub>RMS</sub>

<sup>1</sup> P5122 探头不应该用来在TPS2000 上对DC > 300 V的信号进行AC耦合测量。  
<sup>2</sup> 受到仪器垂直分辨率限制(TPS = 5V/div, THS = 100V/div)。



### 实例:

需要测量线路到线路240 VRMS三相Y型有源谐波滤波器上的峰峰值电压。

#### 1. 确定所需安装类别的最大额定输入电压：三类

- 某种类别等级允许的最大输入电压一般也适用于较低类别的环境。例如，如果仪器等级为300 V<sub>RMS</sub> CAT III，那么在二类环境中在300 V<sub>RMS</sub>的仪器上工作也是安全的。
- 对更高的电压电平，仪器会通常额外确定较低类别的等级值，如同时确定300 V<sub>RMS</sub> CAT III和600 V<sub>RMS</sub> CAT II。这种情况并不是通用的，因此用户必须在仪器文档中明确检验透过多个类别的等级。

#### 2. 确定要求的最大浮地电压(接地到参考电压)

- 这一实例的测量要求为240 V<sub>RMS</sub>。
- 因此，只有THP0301、P5150和P5122探头适合。

#### 3. 确定最大探头尖端到接地电压要求

- 在本例中，工程师确定其大约为140 V<sub>RMS</sub>。
- 全部四只探头都满足这一要求。

#### 4. 确定从探头尖端到参考引线的最大电压

- 预计被测信号的最大电压是240 V<sub>RMS</sub>。
- 这使探头只限于从THP0301、P5150和P5122探头中选取。

#### 5. 确定需要的衰减

- 计算与240 V<sub>RMS</sub>对应的最大峰峰值电压
- 因此，所需的可以观察的电压范围是：240 V<sub>RMS</sub> ×  $\sqrt{2} \times 2 = 679$  V<sub>P-P</sub>。
- TPS2000B系列在屏幕上最大垂直设置为5V/div，共8格。
- THS3000在屏幕上最大垂直设置为100V/div，共8格。
- 需要的探头衰减 = 观察电压 / 最大垂直设置 / 格数。
- TPS2000B：679 V<sub>P-P</sub> / 5 / 8 = 17x，只有P5150和P5122提供了足够的衰减。
- THS3000：679 V<sub>P-P</sub> / 100 / 8 = 1x，所有探头都提供了足够的衰减。

#### 6. 选择满足最低要求的探头

- 对TPS2000B，P5150和P5122探头适合这一测试场景。
- 对THS3000，THP0301、P5150和P5122探头适合的这一测试场景。

**泰克科技(中国)有限公司**  
上海市浦东新区川桥路1227号  
邮编: 201206  
电话: (86 21) 5031 2000  
传真: (86 21) 5899 3156

**泰克北京办事处**  
北京市海淀区花园路4号  
通恒大厦1楼101室  
邮编: 100088  
电话: (86 10) 5795 0700  
传真: (86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**  
上海市徐汇区宜山路900号  
科技大楼C楼7楼  
邮编: 200233  
电话: (86 21) 3397 0800  
传真: (86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**  
深圳市福田区南园路68号  
上步大厦21层G/H/I/J室  
邮编: 518031  
电话: (86 755) 8246 0909  
传真: (86 755) 8246 1539

**泰克成都办事处**  
成都市人民南路一段86号  
城市之心23层D-F座  
邮编: 610016  
电话: (86 28) 8620 3028  
传真: (86 28) 8620 3038

**泰克西安办事处**  
西安市二环南路西段88号  
老三届世纪星大厦20层K座  
邮编: 710065  
电话: (86 29) 8723 1794  
传真: (86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**  
武汉市解放大道686号  
世贸广场1806室  
邮编: 430022  
电话: (86 27) 8781 2760/2831

**泰克香港办事处**  
香港九龙尖沙咀弥敦道132号  
美丽华大厦808-809室  
电话: (852) 2585 6688  
传真: (852) 2598 6260

**更详尽信息**

泰克公司备有内容丰富、并不断予以充实的应用文章、技术简介和其他资料,以帮助那些从事前沿技术研究的工程师们。请访问 [www.tektronix.com.cn](http://www.tektronix.com.cn)



版权所有© 泰克有限公司。泰克公司保留所有权利。泰克公司的产品受美国和国际专利权保护,包括已发布和尚未发布的产品。以往出版的相关资料信息由本出版物的信息代替。泰克公司保留更改产品规格和定价的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克有限公司的注册商标。所有其他相关商标名称是各自公司的服务商标或注册商标。

11/11 EA/FCA-POD

3AC-19134-2

**Tektronix®**