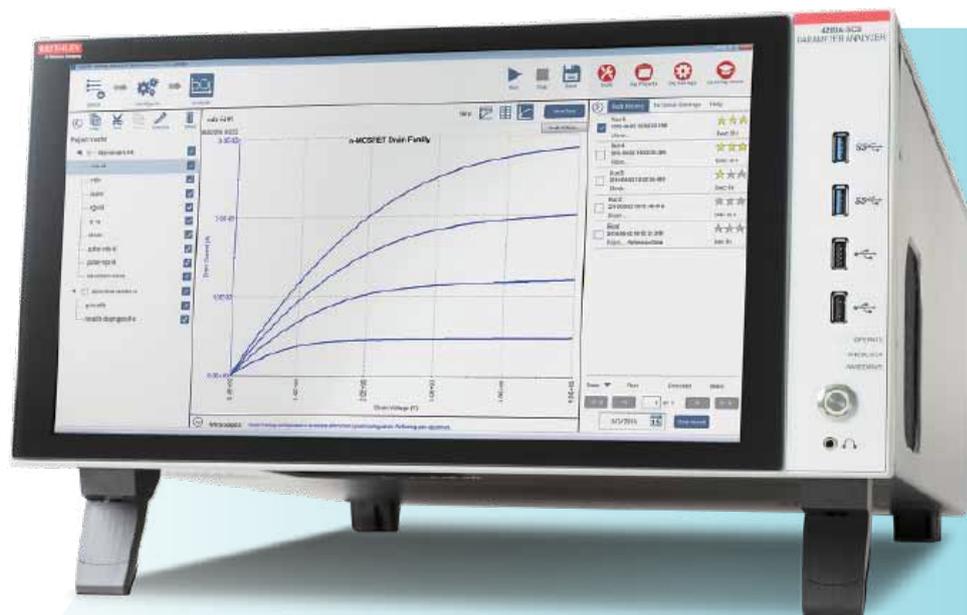




用 4200A-SCS 参数分析仪 测量 MOSFET 栅极电荷

应用文档



介绍

功率 MOSFET 被用于各种应用程序，包括作为高速开关。器件的开关速度受到内部电容的影响，通常在数据表中指定为 C_{iss} 和 C_{oss} ，这些数据表来自于输入栅极和漏极电容 C_{gs} 和 C_{gd} 。除了指定电容外，门电荷 (Q_{gs} 和 Q_{gd}) 也可以用来评估 MOSFET 的开关性能。

在 JEDEC JESD24-2 标准“栅极电荷测试方法”中描述了一种测量 MOSFET 栅极电荷的方法。在这种方法中，将栅极到源极电压作为时间的函数。从由此产生的栅极电压波形中，推导出栅极 - 源极电荷 (Q_{gs})、栅极 - 漏极电荷 (Q_{gd}) 和栅极电荷 (Q_g)。

4200A-SCS 参数分析仪支持使用两个源测量单元 (SMU) 仪器和系统中包含的门电荷测量测试程序，可以在 MOSFET 上进行门电荷测量。该测试是 4200A-SCS Clarius+ 软件套件中提供的广泛测试库中包含的众多测试之一。本应用说明描述了如何使用 4200A-SCS 参数分析仪基于 JEDEC 门电荷测试方法测量 MOSFET 上的门电荷。

门电荷测量概述

在栅极电荷方法中，将固定测试电流 (I_g) 引入 MOS 晶体管的栅极，并且测量的栅极源电压 (V_{gs}) 与流入栅极的电荷相对应。对漏极端子施加一个固定的电压偏置。图 1 显示了功率 MOSFET 的栅极电压与栅极电荷的关系。

栅极电荷 (Q) 由给栅极施加电流和时间 ($I_g dt$) 提取得出。门源电荷 (Q_{gs}) 是所需要的电荷，如图 1 所示，以达到饱和区域的开始，在那里的电压 (V_{gs}) 几乎是恒定的。根据 JEDEC 标准，平台 (或 Miller) 电压 (V_{pl}) 定义为 dV_{gs}/dt 最小时的栅源电压。电压平台是当晶体管从 OFF 状态切换到 ON 状态时的区域。

完成这个开关所需的栅电荷，即将器件从平台区开始切换到结束所需的电荷，被定义为栅漏电荷 (Q_{gd})，称为米勒电荷。栅电荷 (Q_g) 是指从原点到栅源电压 (V_{gs}) 等于指定最大值 (V_{gsMax}) 的电荷。

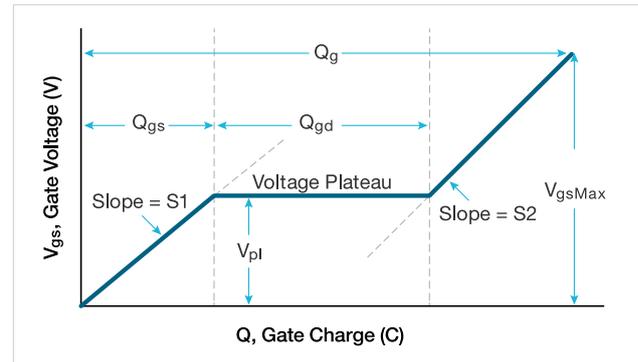


图 1. 功率 MOSFET 的典型栅电压与栅电荷

S1 是线段从起点到第一个饱和电压点的斜率。S2 是线段从最后一个平台点到指定的最大栅极电压 (V_{gsMax}) 的斜率。根据 JEDEC24-2 标准，用坡度计算 Q_{gs} 和 Q_{gd} 。

图 2 显示了典型的栅极和漏极波形作为时间的函数。当电流被迫进入栅极时， V_{gs} 增加，直到达到阈值电压。此时，漏极电流 (I_d) 开始流动。当 C_{gs} 在 t_1 时刻充电时， I_d 保持恒定，漏极电压 (V_d) 减小。 V_{gs} 一直保持不变，直到它到达饱和电压的末端。一旦 C_{gd} 在时间 t_2 被充电，栅极 - 源极电压 (V_{gs}) 就会再次开始增加，直到它达到指定的最大栅极电压 (V_{gsMax})。

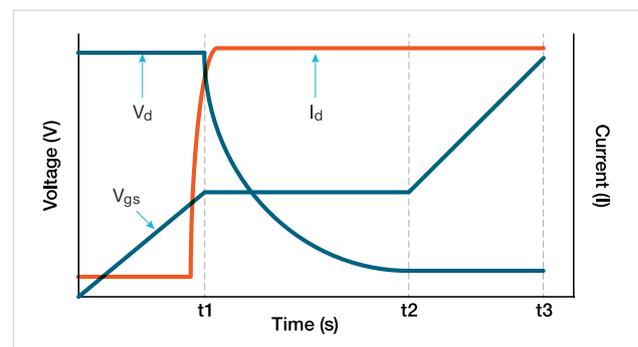


图 2. MOSFET 的 V_{gs} 、 V_d 和 I_d 与时间关系的曲线

使用 4200A-SCS 进行栅极电荷测量

4200A-SCS 使用两个 SMU 测量一个功率 MOSFET 的栅极电荷。图 3 显示了栅极电荷测试的基本电路图。一个 SMU (SMU1) 的 Force HI 端连接到 MOSFET 的栅极，施加栅极电流 (I_g)，并测量栅源电压 (V_{gs}) 作为时间的函数。第二个 SMU (SMU2) 以指定的电流符合率 (I_{ds}) 对漏极施加固定电压 (V_{ds})。4200-SMU 的最大限制电流为 0.1 A；4210-SMU 的最大限制电流为 1A。

在栅极电荷测试中，栅极电压增加并打开晶体管。在饱和区域的这个过渡期间，漏极 SMU (SMU2) 从电压控制切换到电流控制模式，因为电流超过了指定的符合率水平。在从 OFF 状态过渡到 ON 状态期间，软件返回漏极瞬态电流和漏极电压。

MOSFET 的源端子连接到 4200A-SCS 机箱的 Force LO 端子或 GNDU。

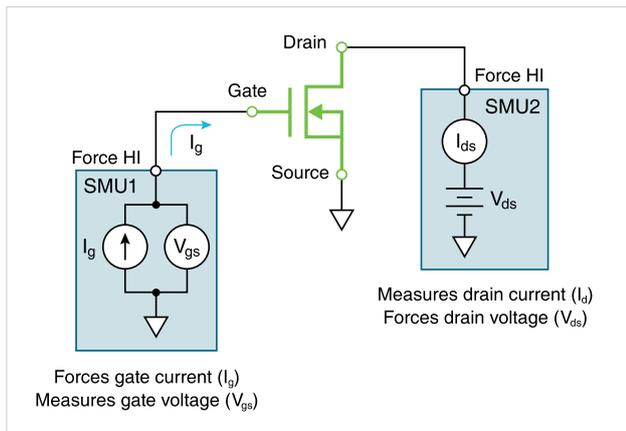


图 3. 使用两个 SMU 的栅极充电测试配置

Clarius+ 软件为栅极电荷测试的配置

Gate Charge 测试位于测试库和项目库中，可以通过搜索“Gate Charge”从选择窗格中找到。在测试库中找到测试后，就可以通过选择并将其添加到项目树来将其添加到项目中。此测试是由 GateCharge 用户库中的 gate_charge 用户模块创建的。

输入参数

在执行测试之前，在 Clarius 软件的配置窗格中设置输入参数 (图 4)。输入参数将根据设备和使用的 SMU 模型而有所不同。

表 1 列出了输入参数的描述。首先，输入连接到 MOSFET 的栅极 (gate SMU) 和漏极 (Drain SMU) 的 SMU。源端子应始终连接到 GNDU，或 Force LO。

由栅极 SMU 施加进入栅极的电流大小，是栅极电流 (I_g) 参数。漏极电压 (V_{ds}) 是施加到漏极上的偏置电压，而 LimitI 是漏极 SMU 的限制电流。

该偏移参数用于校正偏移电容，在下面进行描述。

表 1. gate_charge 用户模块的输入参数

| 输入参数 | 值的范围 | 默认值 | 描述 |
|-------------|---------------------------------|--------|------------------------------|
| gateSMU | SMU1-SMU9 | SMU1 | 连接到栅极端子的 SMU 编号 |
| drainSMU | SMU1-SMU9 | SMU2 | 连接到漏极端子的 SMU 编号 |
| source | GNDU | GNDU | 源端子始终与 GNDU 上的 Force LO 端子相连 |
| Vds | ± 200 V | 10 V | 漏极 SMU 的漏极偏置电压的大小 |
| drainLimitI | 4200-SMU: 0.1A 4210-SMU: 1 A | 0.1A | 漏极电流限流 |
| gateCurrent | ± 1E-5 A | 1e-7 A | 栅极 SMU 的栅极电流的大小 |
| VgsMax | ± 200V | 10 V | 栅极 SMU 的最大电压 |
| timeOut | 0~300 s | 60 s | 暂停前的秒数 |
| measDrain | 1 (yes) or 0 (no) | 1 | 返回测量的漏极电流 |
| Coffset | 0 或 Ceff | 0 | 使用开路方式运行测试，然后输入返回到工作表 Ceff 值 |

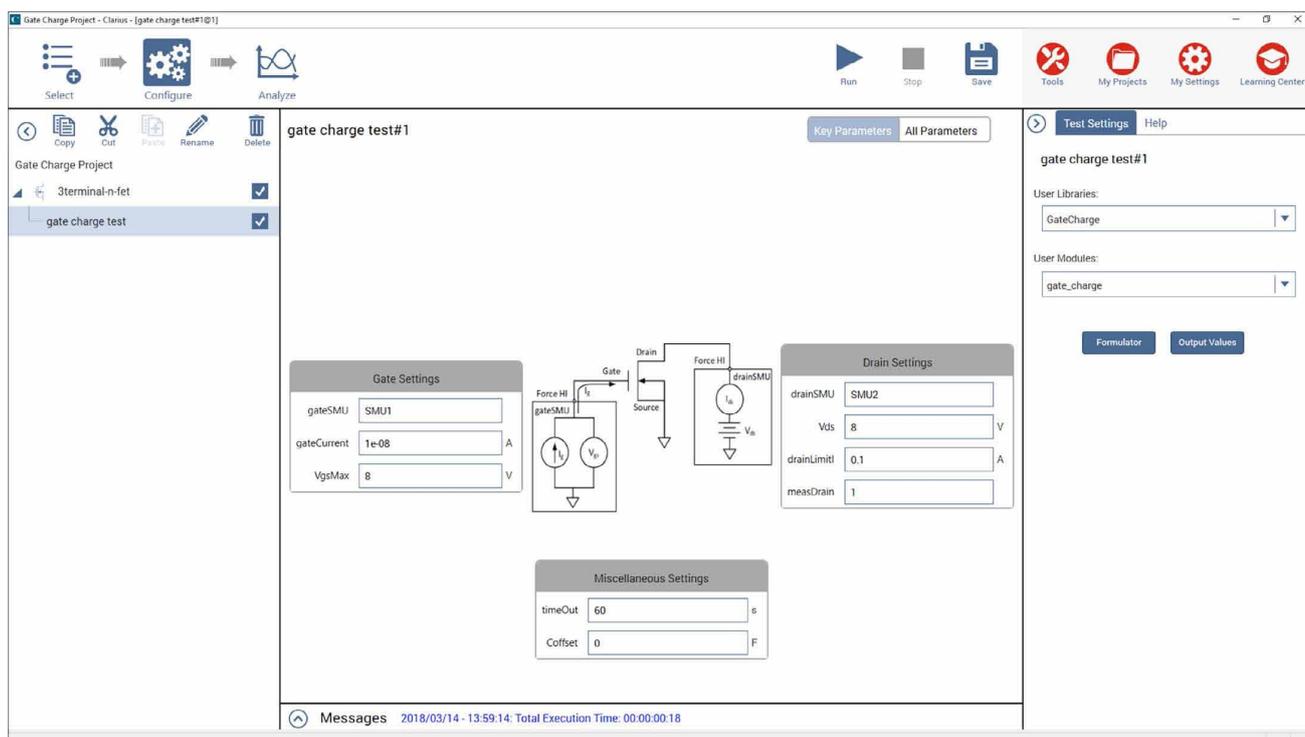


图 4. 栅极电荷测试的配置界面

修正偏移电容量

根据测量系统的布线和连接，偏移电容可以在 pF 到数百 pF 范围内。这些电容可以通过开路执行 *gate_charge* 用户模块来纠正，获得偏移电容，然后在软件中输入偏移电容值进行补偿。以下是如何执行这些步骤的方法：

1. 测量偏移电容。 设置测试参数，包括输入门电流，设备已连接到 SMU。然而，仅为 C_{eff} 测量增加 V_{gsMax} 。在执行测试之前，提起探头或从测试夹具上取下器件。在开路时执行栅极充电测试。

2. 获得偏移电容。 测试完成后，计算系统测量的测量偏移电容，并出现在表中的 C_{eff} 列中。 C_{eff} 由最大栅电压、栅电流和时间提取。

由于在此步骤中测量了开路，因此在执行测试后，测试表中可能会出现测试状态值 -9 或 -12。这是因为没有测量任何设备，所以没有饱和区域。但是， C_{eff} 值是正确的，可以在“配置”视图中作为 C 偏移量输入。

3. 输入测量的偏移电容并执行。 在“配置”界面中输入测量的偏移电容 C_{eff} 。默认情况下，偏移为 0F。在后续读数中对偏移电容进行补偿。

执行测试

一旦输入输入参数，通过选择屏幕顶部的运行来执行测试。当测试运行时，栅极电荷波形将在分析视图中实时更新，计算出的输出参数将出现在工作表中。

输出参数

测试完成后，几个参数将返回到工作表中。表 2 列出了这些参数的描述。

表 2. gate_charge 用户模块的输出参数

| 输出参数 | 描述 |
|-------------|---------------------------|
| gate_charge | 测试状态值 - 有关说明，请见表 3 |
| timeArray | 测量时间 (秒) |
| VgArray | 测量的源电压 (电压) |
| VgCharge | 测量栅电荷 (库仑) |
| VdArray | 测量漏极电压 (伏特) |
| IdArray | 实测漏极电流 (安) |
| Slope | 栅极电压的动态坡度 (dVg/dt) |
| Ceff | 栅极电荷与最大栅极电压的比率 |
| Vpl | 平台或米勒电压 (电压) |
| T1 | 平台区域开始的时间 (秒) |
| T2 | 平台区域结束时的时间 (秒) |
| Qgs | 从栅极电荷的起点到第一个拐点，或电压平台 (库仑) |
| Qgd | 栅电荷曲线中两个拐点之间的栅电荷 (库仑) |
| Qg | 从原点到 VgsMax (库仑) |

图形结果

栅极 - 源电压可以绘制成栅极电荷的函数，或者漏极电流和漏极电压可以绘制成时间的函数。图 5 是由 4200A-SCS 测试的一个典型的栅极电压波形。

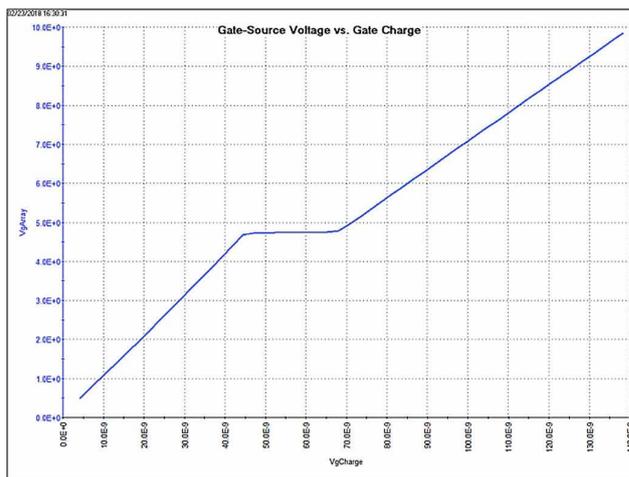
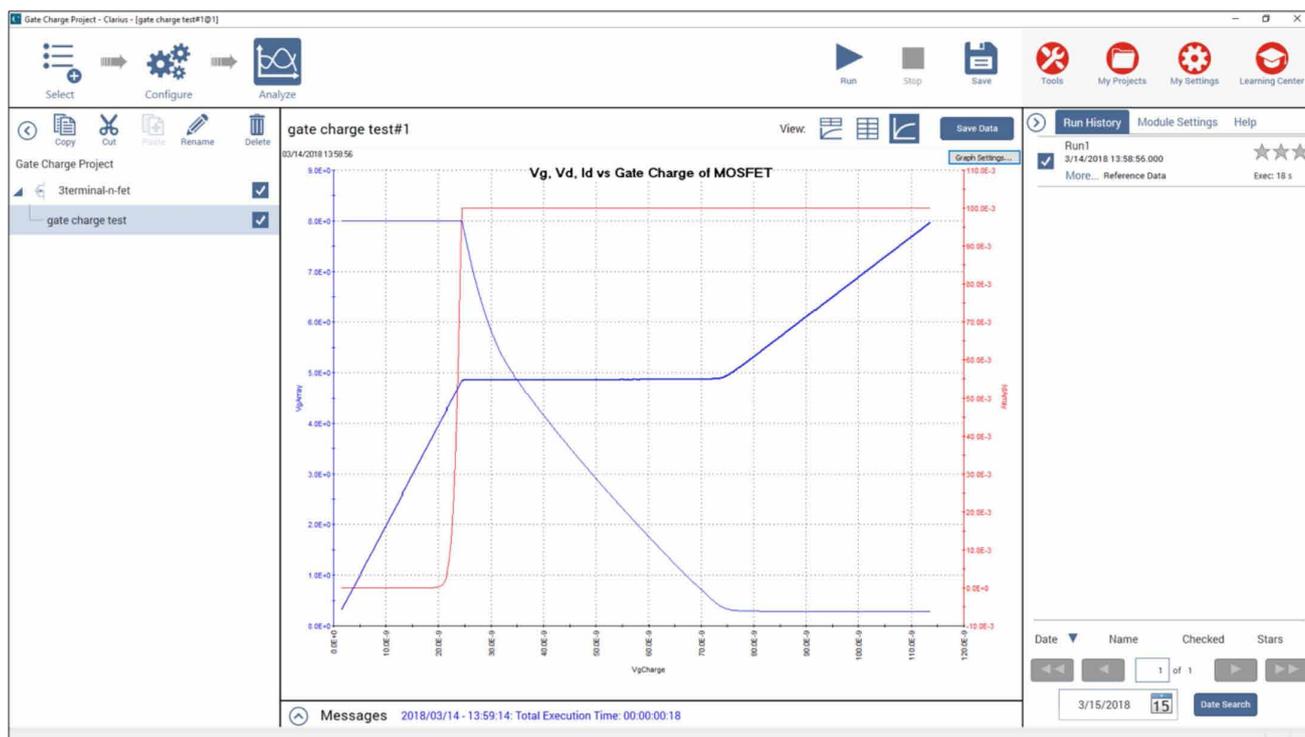


图 5. 由 4200A-SCS 产生的典型栅极电压波形

除了绘制 V_{gs} , V_{ds} 和 I_d 也可以绘制为栅极电荷或时间的函数。图 6 显示了 Clarius 软件的分析界面的图，显示了所有三个参数被绘制为门电荷的函数。在这种情况下，电压被显示在 Y1 轴上，而电流被绘制在 Y2 轴上。

图 6. V_{gs} 、 V_{ds} 和 I_d 作为栅极电荷的函数

检查测试状态

每次执行测试时，测试状态值将返回到工作表中的第一列，名为“gate_charge”。表 3 列出了“gate_charge”列中返回的测试状态值及其相应的描述和注释。

结论

利用 4200A-SCS 参数分析仪可以方便地对晶体管进行栅极电荷测量。使用连接到设备的栅极和漏极的两个 SMU 仪器，Clarius 软件可以很容易地推导出栅极电荷波形。

表 3. 测试状态值

| 测试状态 | 描述 | 备注 |
|------|--|--|
| 1 | 无差错 | 测试成功。 |
| -1 | 栅极 SMU 不显示 | 指定正确的 SMU。 |
| -2 | 漏极 SMU 不显示 | 指定正确的 SMU。 |
| -3 | $V_{gsMax} > 200\text{ V}$ | 验证栅极电压是否小于 200V。降低栅极电压。 |
| -4 | 漏极电流限值超过 1 A (4210-SMU) 漏极电流限值超过 0.1 A (4200-SMU) | 验证漏极电流是否小于 1A (或中功率 SMU 为 0.1A)。降低漏极电流限制 (漏极限制 I)。 |
| -5 | 超出功率限制 | 如果 $V > 20\text{V}$, 电流应为 $< 0.1\text{A}$ 。降低漏极电流限制 (漏极限制 I) 或漏极电压 (V_{ds}) |
| -6 | 对输入条件检查错误, 将超时时间限制为 200 秒。 | 指定对 $< 200\text{ s}$ 的超时时间。 |
| -7 | 测试时间超过了指定的超时时间 (超时时间)。 | 增加超时。最大值为 200 秒。尝试增加栅极电流以加快设备充电速度。 |
| -8 | 迭代 / 测量次数 > 10000 。 | 增加栅极电流 |
| -9 | 迭代 / 测量次数 < 5 | 降低栅极电流。检查设备、测试设置和监控模块是否正确。如果在测量用于偏移校正的开路时发生此错误, 则可以忽略它。Ceff 值仍然有效。 |
| -10 | 从原点到第一个平台点的点数为 < 10 | 降低栅极电流 |
| -11 | 计算斜率的误差 S1。相关因子 < 0.9 。从原点到第一个平台点的曲线不是线性的。 | 检查设备和测试设置。 |
| -12 | 计算斜率的误差 S2。相关因子 < 0.9 。从最后一个平台点到 V_{gsMax} 的曲线不是线性的。 | 检查设备和测试设置。如果 V_g 电荷或 V_d 显示过高, 请尝试减少栅极电流并重复测试。如果在测量开路以进行偏移校正时发生此错误, 则可以忽略此错误。Ceff 值仍然有效。 |
| -13 | $V_{ds} > 200\text{ V}$ | 降低漏极电压。 |
| -14 | 门电流 $> 10\text{ }\mu\text{A}$ | 降低栅极电流 (I_g)。 |



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

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

北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编：100015
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 8620 3028
传真：(86 28) 8527 0053

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26层L座
邮编：710065
电话：(86 29) 8836 0984
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店718室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

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) 3168 6695
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，敬请登录：TEK.COM.CN

© 泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

042518 SBG 1KC-61388-0

