

Model 2450 交互式 SourceMeter®

用户手册

2450-900-03 修订版 D / 2015 年 5 月



2450-900-03D

A Greater Measure Of Confidence

KEITHLEY
A Tektronix Company

Model 2450

交互式 SourceMeter[®] 仪器

用户手册

© 2015, Keithley Instruments

Cleveland, Ohio, U.S.A.

保留所有权利。

未经美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司事先书面同意, 严禁对本文所含全部或部分信息进行任何未经授权的复制、影印或使用。

TSP[®]、TSP-Link[®] 和 TSP-Net[®] 是美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司的商标。所有吉时利仪器 (Keithley Instruments) 产品名称均为 Keithley Instruments, Inc. 的商标或注册商标。其他品牌名称为其各自所有人的商标或注册商标。

文档号码: 2450-900-03 修订版 D / 2015 年 5 月

在使用本产品和任何相关仪器之前，请先阅读以下安全注意事项。虽然一些仪器和附件通常是在无害电压下使用，但是对人体有害的状况也可能出现。

本产品应由能辨别电击危险且熟悉避免潜在伤害的必要安全注意事项的合格人员使用。使用此产品之前请仔细阅读并遵守所有的安装、操作和维护信息。有关完整的产品规格，请参阅用户文档。

若以没有指定的方式使用产品，可能丧失产品保修所提供的保障。

产品的用户类型有：

责任主体，是负责使用和维护机器，确保在设备规格和运行限制范围内使用设备，并确保操作人员经过充分培训的个人或小组。

操作人员，是负责使用产品特定功能的人员。他们必须接受过电气安全流程和正确操作仪器方面的培训。应当采取保护措施，防止他们遭到电击和触碰到危险的带电电路。

维护人员，负责产品日常维护以保持仪器运转正常，例如，设置线路电压或更换耗材。用户文档中描述了维护步骤。这些步骤都清楚描述了操作人员是否能够执行它们。如果不能，那么只能由服务人员来执行这些操作。

服务人员，接受过培训，可操作带电电路，执行安全安装并修理产品。只有受过正确训练的服务人员才能执行安装和服务流程。

美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司的产品专门设计用于测量、控制和数据输入/输出连接等电气信号，而且不能直接连接到电网电压或具有瞬时高电压的电压源上。度量类别 II (如 IEC 60664 中提到) 中需要高的瞬时电压保护的连接通常与当地的交流电网连接。部分 Keithley 的测量仪器可以与主电网连接。这些工具将被标明为类别 II 或是更高。

除非在产品说明、操作手册和仪器标签中明确允许，请勿将任何仪器连接到主电网。

当电击危险存在时，一定要小心谨慎。电缆连接器插头或测试装置上可能存在致命电压。美国国家标准学会 (ANSI) 规定，大于 30 V RMS、42.4 V 峰值或 60 VDC 的电压水平存在电击的危险。一个好的测量习惯是将任何未知电路均视为存在危险电压。

本产品的操作人员在整个过程中都要采取保护措施，以免遭受电击。责任主体必须确保，操作人员不得接触任何连接点，并/或与之隔离。有时连接点必须暴露从而接触人体。在这些环境中的产品操作员必须经过自我保护的培训来避免电击的风险。如果电路能够在 1000V 或以上运转，则不能暴露电路的导电部分。

不要将切换卡直接连接在不受限制的电源电路上。它们适用于阻抗受限的源上。绝对不能将切换卡直接连接到交流电网。将源连接到切换卡时，要安装保护设备来限制卡的故障电流和故障电压。

操作仪器之前，确保电源线连接到正确接地的电源插座上。每次使用之前，请先检查连接电缆、测试引线和跳线是否出现磨损、断裂或折断。

如果在连接主电线受限制的位置 (例如机架安装) 安装设备，必须在接近设备且操作人员可以轻易够到的位置安装一个独立的主输入电源断开设备。

为了获得最大的安全性，不要在被测电路通电时接触产品、测试电缆或其他设备。在进行以下操作之前，始终断开整个测试系统的电源并为电容放电：连接或断开电缆或跳线、安装或移除切换卡或进行内部更改，例如安装或移除跳线。

不要接触任何能够与被测电路或接地电源线 (地线) 的公共侧形成电流路径的物体。测量时始终要双手干燥且站在能够经受测量电压的干燥绝缘表面上。

为保证安全，必须按照操作说明来使用仪器和附件。如果以操作说明中未指定的方式使用仪器或附件，可能会削弱设备所提供的保护。

不要超过在规范和操作信息中定义的，以及显示在仪器或测试装置面板或切换卡上的最大信号水平。

如果在产品中使用了保险丝，要用相同类型和等级的保险丝替换，以提供同等火灾防护。

机壳连接只能用于测量电路的屏蔽连接，不能作为保护接地（安全接地）。

如果您使用测试装置，当被测器件通电时，机盖要保持关闭。安全操作要求使用机盖互锁。

如果提供了  螺丝，请使用用户文档中推荐的电线将其与保护接地（安全接地）连接在一起。

仪器上的  符号表示小心，有危险。对于仪器上标有此符号的所有情况，用户必须参阅用户文档中的操作说明。

仪器上的  符号表示小心，有电击危险。应采取标准的安全注意事项来避免与这些电压的人身接触。

仪器上的  符号表明表面可能很热。请避免人身接触造成烧伤。

 符号表示连接到设备框架的连接端子。

如果产品上有此  符号，则表明显示屏灯管中使用了汞。请注意必须按照联邦、州和本地法律处理这类灯管。

用户文档中的**警告**标题解释了可能导致人身伤害或死亡的危险。执行指定操作前始终先要仔细阅读与之相关的信息。

用户文档中的**注意**标题解释了可能损坏仪器的危害。此类损坏可能使保修失效。

不能将仪器和附件连接到人体上。

进行任何维护之前，要断开电源线和所有测试电缆。

为了持续避免电击和火灾，电网电路中的替换组件（包括电源转换器、测试引线 and 输入插头）必须从美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司购买。如果类型和额定值相同，也可以使用通过了国家相应安全认证的标准保险丝。只要与原组件相当，其他与安全无关的组件可以在别的供应商处购买（注意，选定的部件应只在美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司购买，以保持产品的精度和功能）。如果不确定替换组件的适应性，联系美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司办事处以获得详细信息。

清洁仪器应使用湿布或温和的水性清洁剂。只能清洁仪器外部。不要将清洁剂直接用于仪器，或是使液体进入仪器内或溅到仪器上。如果按照说明处理，那么包含没有外壳或机壳的电路板（例如，安装在计算机中的数据采集板）的产品不需要清洁。如果电路板受污染且影响到运行，应该将电路板返回工厂进行适当清理/维修。

安全注意事项修订日期：2013 年 1 月。

简介	1-1
欢迎词.....	1-1
本手册简介	1-1
延长保修	1-1
联系信息	1-2
CD-ROM 内容	1-2
手册章节组织.....	1-2
应用	1-3
使用前面板接口.....	2-1
打开或关闭仪器	2-1
前面板概述	2-2
打开或关闭 Model 2450 输出	2-4
触摸显示屏	2-5
在触摸屏上选择项目	2-5
滚动条	2-6
交互式滑动屏.....	2-6
菜单概述.....	2-9
将测量值存储到 U 盘	2-10
将屏幕截图存储到 U 盘.....	2-10
使用远程接口	3-1
远程通信接口.....	3-1
支持的远程接口	3-1
GPIB 通信.....	3-1
安装 GPIB 驱动程序软件	3-2
在计算机上安装 GPIB 卡	3-2
将 GPIB 电缆连接到仪器	3-2
设置 GPIB 地址.....	3-3
LAN 通信	3-4
在仪器中设置 LAN 通信.....	3-4
在计算机中设置 LAN 通信	3-5
USB 通信	3-6
使用 USB 将计算机连接到 Model 2450.....	3-7
与仪器进行通信	3-7
使用 Web 界面	3-10
连接到仪器 Web 界面	3-11

LAN 故障诊断建议	3-11
识别仪器	3-12
查看事件日志中的事件	3-13
确定您将使用的命令集	3-13
执行前面板基本测量	4-1
简介	4-1
本应用所需的设备	4-1
设备连接	4-2
执行前面板测量	4-2
如何进行前面板测量	4-3
测量低电阻设备	5-1
简介	5-1
需要的设备	5-1
设置远程通信	5-1
设备连接	5-2
低电阻测量	5-5
从前面板设置测量	5-5
在前面板 GRAPH 滑动屏中查看测量值	5-6
在前面板中查看缓冲器统计数据	5-6
使用 SCPI 命令设置低电阻应用	5-6
使用 TSP 命令设置低电阻应用	5-7
漏泄电流和绝缘电阻	6-1
简介	6-1
需要的设备	6-1
设置远程通信	6-2
设备连接	6-2
测量漏泄电流	6-4
使用前面板设置漏泄电流应用	6-4
在前面板图表中查看测量值	6-5
使用 SCPI 命令设置漏泄电流应用	6-6
使用 TSP 命令设置漏泄电流应用	6-6
测量绝缘电阻	6-8
使用前面板设置绝缘电阻应用	6-8
在前面板图表中查看测量值	6-9
使用 SCPI 命令设置应用	6-9
使用 TSP 命令设置应用	6-10

测量 FET 的 I-V 特性	7-1
简介	7-1
需要的设备	7-1
设置远程通信.....	7-2
设置外部硬件触发器.....	7-2
用于 SCPI 命令集的连接.....	7-2
用于 TSP 命令集的连接.....	7-3
设备连接.....	7-4
使用 SCPI 命令远程控制 FET 测试.....	7-5
使用 SCPI 命令与触发器模型来设置应用.....	7-6
在线性扫描中使用 SCPI 命令来设置应用.....	7-8
使用 TSP 命令远程控制 FET 测试.....	7-9
使用 TSP 命令与触发器模型来设置应用.....	7-10
在线性扫描中使用 TSP 命令来设置应用.....	7-12
充电电池测量	8-1
简介	8-1
需要的设备	8-3
设备连接.....	8-3
自动电池充放电循环测试.....	8-5
设置远程通信.....	8-6
使用 SCPI 命令设置电池应用	8-7
使用 TSP 命令设置电池应用.....	8-8
测量太阳能电池的 I-V 特性	9-1
简介	9-1
需要的设备	9-1
设置远程通信.....	9-1
设备连接.....	9-2
太阳能电池特性	9-4
从前面板设置太阳能电池 I-V 扫描	9-5
使用 SCPI 命令设置太阳能电池 I-V 扫描.....	9-6
使用 TSP 命令设置太阳能电池 I-V 扫描.....	9-7
故障排除常见问答	10-1
关于本节.....	10-1
在哪里可以找到更新的驱动程序?	10-1
如何升级固件?	10-2

Model 2450 为何无法读取我的 U 盘?	10-2
如何更改命令集?	10-2
为何会收到 5074 事件代码?	10-3
如何保存仪器的当前状态?	10-4
我的设置为什么发生了变化?	10-4
有哪些快速设置选项?	10-5
后续步骤	11-1
Model 2450 其他信息	11-1

本节内容：

欢迎词	1-1
本手册简介	1-1
延长保修	1-1
联系信息	1-2
CD-ROM 内容	1-2
手册章节组织	1-2
应用	1-3

欢迎词

感谢您选择美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司的产品。Model 2450 交互式 SourceMeter® 仪器是一款精密型低噪声仪器，其中组合了稳定的直流电源、真正的电流源、电子负载和高阻抗万用表。该仪器的设计具有直观的设置和控制、增强的信号质量和扩大的量程，以及优于市场上的类似产品的电阻率和电阻功能。

在同时拥有 6½ 位分辨率和 0.012% 的基本精度时，Model 2450 可以通过 IEEE-488 总线提供每秒 59 个读数。在 4½ 位分辨率时，每秒可向其内部缓冲器读入多达 3000 个读数。

本手册简介

本手册提供详细的应用来帮助您使用美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 2450 仪器取得成功。此外，本手册还提供了有关前面板的基础信息，以帮助您熟悉仪器。

本手册对每个应用都分别提供了应用概述，以及使用前面板、SCPI 编码和 TSP 编码或 Keithley KickStart Startup 软件完成应用的说明。

有关在这些应用中采用的命令，也提供了详细的信息。请参阅 *Model 2450 参考手册* 中的 SCPI 和 TSP 命令参考章节。随仪器提供的产品信息 CD-ROM 包含本手册。

延长保修

许多产品提供为期数年的额外保修期。这些有价合同可帮助您避免预算外的维修费用，并以仅占修理价格很小比例的费用提供为期数年的额外保护。新产品和现有产品均提供延长保修。请联系您当地的美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司办事处、销售伙伴或经销商获取详细信息。

联系信息

如果您在查看完本文档的信息后有任何疑问，请联系您当地的美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司办事处、销售伙伴或经销商。您还可以拨打 1-800-935-5595（仅在美国和加拿大境内免费）或者从美国境外拨打 +1-440-248-0400，致电美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司总部。关于全球联系号码，请访问[美国吉时利仪器 \(Keithley Instruments\) 公司网站](http://www.keithley.com.cn)（请参见 <http://www.keithley.com.cn> - <http://www.keithley.com.cn>）。

CD-ROM 内容

每台 Model 2450 仪器都会随附下列 CD-ROM：

- 交互式 SourceMeter® SMU 仪器产品信息 CD-ROM（美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司部件号 24GDI-950-01）

Model 2450 交互式 SourceMeter SMU 仪器产品信息 CD-ROM 包含：

- **快速入门指南：**提供拆包说明，描述基本连接，回顾基本操作信息，以及提供用于确保仪器可正常工作的快速测试程序。
- **用户手册：**提供应用示例。您可以使用这些示例作为起点，创建自己的应用。
- **参考手册：**包括高级操作主题、维护信息、故障排除程序以及更深入的编程命令说明。
- **KickStart Startup 软件快速入门指南：**提供 KickStart Startup 软件的说明，该软件让您能够快速进行测量并获得结果，而不必编写测试脚本。
- **附件信息：**可用于 Model 2450 仪器的附件的文档。

如需最新驱动程序和其他支持信息，请参见[美国吉时利仪器 \(Keithley Instruments\) 公司网站](http://www.keithley.com.cn) (<http://www.keithley.com.cn>)。

手册章节组织

本手册组织为以下部分：

- [使用前面板接口](#)（第 2-1 页）：描述使用前面板接口的基础知识。
- [使用远程接口](#)（第 3-1 页）：描述远程通信和使用仪器 Web 界面的基础知识。
- 应用示例（见下文）：提供有关如何在某些典型情形中使用 Model 2450 的详细示例。
- [故障排除常见问题](#)（第 10-1 页）：提供常见问题的解答，以帮助排除 Model 2450 经常遇到的问题。
- [后续步骤](#)（第 11-1 页）：提供可帮助您使用 Model 2450 的更多资源的相关信息。

本手册的 PDF 版本包含每一节的书签。手册章节在本手册开篇处的目录中亦有列明。

如需更多关于书签的信息，请参见 Adobe® Acrobat® 或 Reader® 帮助。

应用

本手册提供应用示例，向您展示如何从前面板和通过远程接口执行测试。这些应用在 Model 2450 仪器的摘要信息后面提供。应用包括：

- [执行前面板基本测量](#)（第 4-1 页）：演示使用单个 Model 2450 和一个两端子被测器件 (DUT) 的基本测量功能。
- [测量低电阻设备](#)（第 5-1 页）：演示如何使用 Model 2450 进行 $20\text{ m}\cdot$ 电阻器的低电阻测量。
- [漏泄电流和绝缘电阻](#)（第 6-1 页）：通过两个示例演示如何使用 Model 2450 测量电容器的漏泄电流以及同轴电缆的两根导线之间的绝缘电阻。
- [测量 FET 的 I-V 特性](#)（第 7-1 页）：通过两个示例演示如何使用两台 Model 2450 仪器在一个三端子 MOSFET 上执行漏极曲线系列 (V_{ds} - I_d)。其中一个示例使用 Model 2450 的触发器模型；另一个则使用线性扫描命令执行测量。
- [充电电池测量](#)（第 8-1 页）：演示如何使用单个 Model 2450 来执行自动电池充放电循环测试。
- [测量太阳能电池的 I-V 特性](#)（第 9-1 页）：演示使用 Model 2450，使用 I-V 扫描来测量太阳能电池的特性。

本节内容：

打开或关闭仪器	2-1
前面板概述	2-2
打开或关闭 Model 2450 输出	2-4
触摸显示屏	2-5
将测量值存储到 U 盘.....	2-10
将屏幕截图存储到 U 盘.....	2-10

打开或关闭仪器

请按照以下步骤将 Model 2450 与线路电源连接并将仪器打开。Model 2450 的运行频率为 50 Hz 或 60 Hz，运行线路电压为 100 V 至 240 V。它自动感应线路电压和频率。确保您所在地区的工作电压是可兼容的。

您必须打开 Model 2450 并至少预热一小时才能达到额定精度。

小心

使用不正确的线路电压操作仪器可能会损坏仪器，造成保修失效。

警告

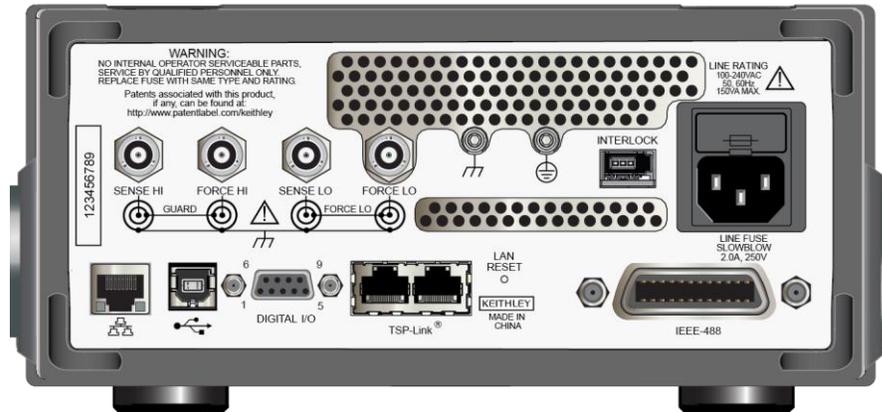
Model 2450 所附带的电源线含有单独的保护地（安全地）导线用于接地插座。正确连接之后，仪器机壳通过电源线中的地线连接到电源地线。此外，通过后面板上的螺丝提供一个冗余保护地连接。这个端子应与已知保护接地连接。在出现故障的情况下，不使用正确接地的保护地，接地插座可能因电击而造成人员受伤或死亡。

不要将可拆式电网电源线替换为额定值不足的电源线。不使用具有正确额定值的电源线可能会发生电击，导致人员伤亡。

连接电源线：

1. 确保前面板上的 POWER 开关处于关闭 (O) 位置。
2. 将随附电源线阴头与后面板上的交流插座连接。
3. 将电源线的另一端与接地的交流插座连接。

图 1: Model 2450 后面板

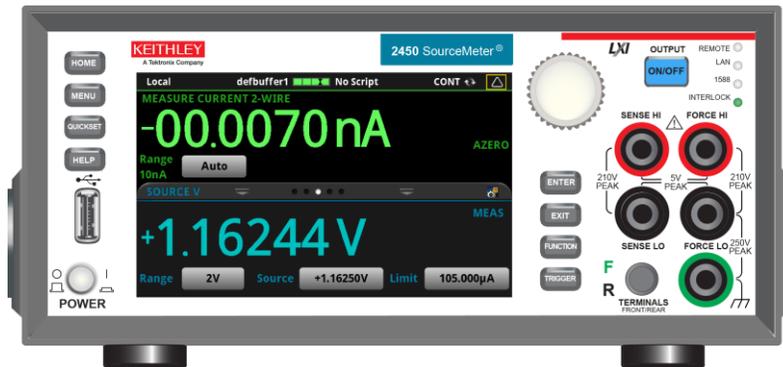
**如何打开和关闭 Model 2450:**

1. 在打开 Model 2450 之前，从仪器上断开所有被测器件 (DUT)。
2. 要打开仪器，请按前面板上的 **POWER** 开关将其置于打开 (I) 位置。仪器开机过程中会显示状态条。开机完成后将显示主屏幕。
3. 要关闭仪器，请按前面板上的 **POWER** 开关将其置于 OFF (O) 位置。

前面板概述

下图显示了 Model 2450 的前面板。图后提供了前面板的控件说明。

图 2: Model 2450 前面板



POWER 开关		打开或关闭仪器。要打开仪器，按下电源开关使其位于打开位置 (I)。要关闭仪器，按下电源开关使其位于关闭位置 (O)。
HOME 键		使显示屏返回到主屏幕。
MENU 键		打开主菜单。按主菜单中的图标可打开源、测量、视图、触发器、脚本和系统屏幕。
QUICKSET 键		打开预配置设置菜单，其中包括电压表、电流表、欧姆表和电源设置。此外还可选择源和测量功能以及调整性能，以获得更好的分辨率或速度。
HELP 键		打开在显示屏上选择的区域或项目的帮助。如果在按 HELP 键时没有选中任何对象，则显示所查看屏幕的概述信息。
USB 端口		将读数缓冲器数据和屏幕截图保存到 U 盘。还将脚本存储到 U 盘，或从 U 盘获取脚本。U 盘必须格式为 FAT 驱动器。
触摸屏		Model 2450 有一个五英寸高分辨率彩色触摸显示屏。触摸屏访问滑动屏和菜单选项。可以通过按前面板上的 MENU 、 QUICKSET 和 FUNCTION 键访问附加的交互式屏幕。
导航旋钮		转动导航旋钮： 移动光标以突出显示某个列表值或菜单项，使您可以将其选中。在指针位于数值输入字段时转动该控件可增大或减小字段中的数值。 按下导航旋钮： 选择突出显示的选项，或者编辑您选择的字段。
ENTER 键		选择突出显示的选项，或者编辑您选择的字段。
EXIT 键		返回到前一屏幕或关闭对话框。例如，在显示主菜单页面时按 EXIT 键可返回到主屏幕。在查看子屏幕（例如 Event Log 屏幕）时，按 EXIT 键可返回到主菜单屏幕。
FUNCTION 键		显示仪器功能。要选择一项功能，请在触摸屏中按该功能的名称。
TRIGGER 键		访问与触发器相关的设置和操作。TRIGGER 键的操作具体取决于仪器状态。
OUTPUT ON/OFF 开关		打开或关闭源输出。按键在源输出打开时点亮。

REMOTE LED 指示灯	REMOTE 	在仪器被远程控制时点亮。
LAN LED 指示灯	LAN 	在仪器连接到局域网 (LAN) 时点亮。
1588 LED 指示灯	1588 	在仪器连接到符合 IEEE1588 标准的设备时点亮。 注意，此时不支持 1588 功能。该功能在固件更新时可用。请参见 美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站 (http://www.keithley.com.cn) 上的 <i>Model 2450 版本说明</i> 以获取详细信息。
INTERLOCK LED 指示灯	INTERLOCK 	在启用互锁时点亮。
SENSE 端子		使用 SENSE HI 和 SENSE LO 端子连接可测量被测器件 (DUT) 的电压。当您使用传感引线时，可以消除 Force 引线之间的电压降。这可提供更准确的电压源和 DUT 测量值。
FORCE 端子		使用 FORCE HI 和 FORCE LO 端子连接可对被测器件 (DUT) 之间进行拉/灌电压或电流的操作。
FRONT/REAR TERMINALS 开关		启动前面板或后面板上的端子。前面板端子有源时，FRONT/REAR 开关的左侧可以看到绿色“F”。后面板端子有源时，FRONT/REAR 开关的左侧可以看到黄色“R”。
机壳连接		用于提供机壳连接的香蕉插头插座连接器。

打开或关闭 Model 2450 输出

您可以通过前面板或发送远程命令来打开 Model 2450 的输出。

警告

关闭 Model 2450 输出不会将仪器置于安全状态（已提供互锁来实现此功能）。

在所有输出和保护端子上都有可能存在危险电压。为防止可能导致人身伤害或死亡的电击，切勿在 Model 2450 通电时连接或断开仪器的连接。在挪动电缆之前，通过 Model 2450 的前面板关闭设备或通过后面板断开主电源线。如有发生硬件或软件故障时，将设备置于输出关断状态并不能保证在输入会关闭。

在仪器的源关闭时，可能没有将仪器与外部电路完全隔离。您可以在仪器不被使用期间，例如在更换被测设备时，通过输出关断设置将 Model 2450 仪器置于已知的非交互状态。Model 2450 可以选择的输出关断状态包括：普通、高阻抗、零位或保护。

更多详情，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“输出关断状态”部分。

使用前面板：

按 **OUTPUT ON/OFF** 开关。开关点亮时，仪器处于输出打开状态。开关未点亮时，仪器处于输出关断状态。

使用 SCPI 命令：

要打开输出，发送命令：

```
:OUTPut:STATe ON
```

要关闭输出，发送命令：

```
:OUTPut:STATe OFF
```

使用 TSP 命令：

要打开输出，发送命令：

```
smu.source.output = smu.ON
```

要关闭输出，发送命令：

```
smu.source.output = smu.OFF
```

触摸显示屏

触摸显示屏使您可以通过前面板快速访问源和测量设置、系统配置、仪器和测试状态、读数缓冲器信息，以及其他仪器功能。显示屏具有多个能够通过滑动前面板来访问的滑动屏。可以通过按前面板上的 MENU、QUICKSET 和 FUNCTION 键访问附加的交互式屏幕。



切勿使用尖锐的金属物体（例如镊子、螺丝刀）或尖头物体（例如钢笔或铅笔）触碰触摸屏。强烈建议您仅使用手指来操作仪器。支持使用无尘室手套操作触摸屏。

在触摸屏上选择项目

要选择所显示屏幕上的项目，请执行下列操作之一：

- 使用手指触摸该项目
- 转动导航旋钮突出显示该项目，然后按下导航旋钮将其选中

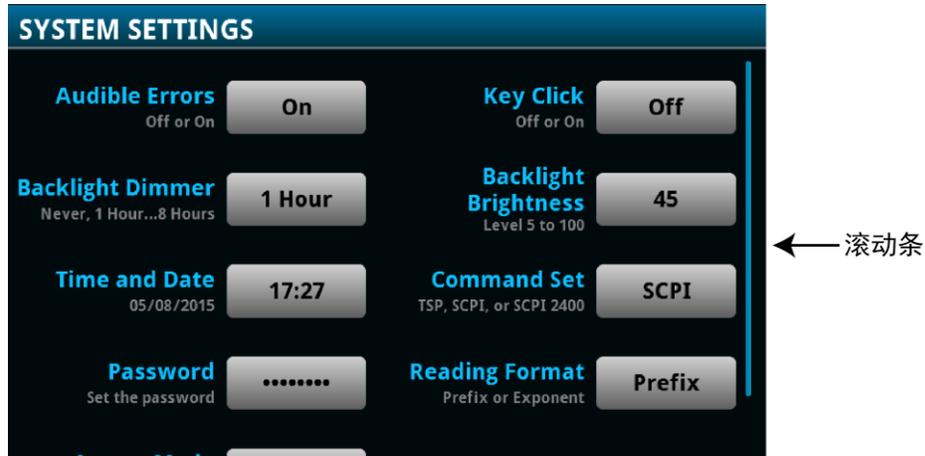
以下主题更加详细地描述 Model 2450 触摸屏。

滚动条

某些交互式屏幕提供了额外的信息，必须向下滚动屏幕才能看到这些信息。这些滚动屏幕通过位于触摸屏右侧的滚屏指示器进行标识。向下或向下滑动屏幕可查看额外的选项。

下图显示了一个带滚动条的屏幕。

图 3：触摸屏滚屏指示器



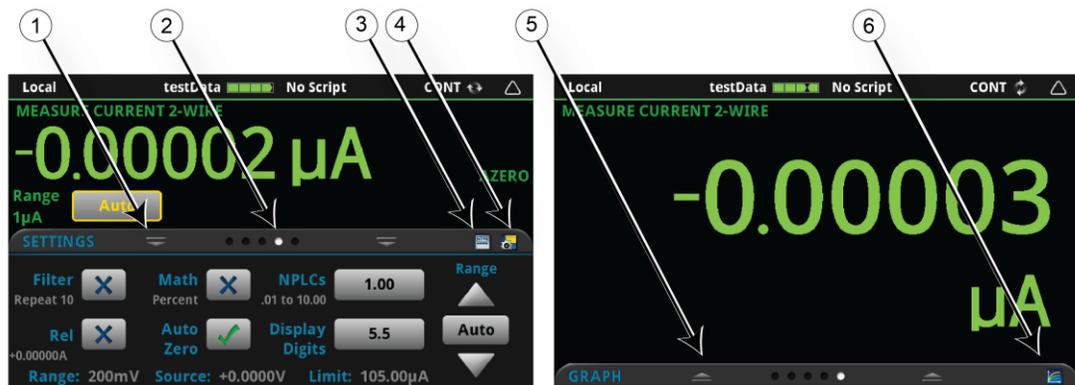
交互式滑动屏

Model 2450 触摸显示屏具有多个可通过向左或向右滑动显示屏下半部分访问的屏幕。以下主题描述了滑动屏中的可用选项。

滑动屏标题栏

滑动屏的标题栏包含以下选项。

图 4：滑动屏，最大化和最小化



#	屏幕元素	描述
1	最小化指示器	可以向下滑动以让滑动屏最小化。
2	滑动屏指示器	每个圆圈表示一个滑动屏。随着向右或向左滑动，不同的圆圈改变颜色，表示您在屏幕序列中的位置。选择一个圆圈，不通过滑动就前往某个滑动屏。
3	计算快捷方式 	选择可打开 CALCULATIONS SETTINGS 菜单。
4	设置快捷方式 	选择可打开选定功能的 MEASURE SETTINGS 菜单。
5	恢复指示器	表示您可以向上滑动以显示滑动屏。
6	图表快捷方式 	选择可打开 Graph 屏幕。

SOURCE 滑动屏

SOURCE 滑动屏会显示源现值，和源数值、源量程和源限值的设定值。您可以通过选择此屏幕上的按钮，从前面板更改设定值。

图 5: SOURCE 滑动屏



屏幕右侧的源功能指示灯表明影响显示的源数值的设置。

- **测量：**源回读设置已打开，显示的值是测量的源数值。
- **设定：**源回读设置已关闭，显示的值是设定的源数值。如果输出已关断，则显示的源数值替换为 **Output Off**。

滑动屏标题栏右侧的图标是完整 SOURCE SETTINGS 菜单的快捷方式。

SETTINGS 滑动屏

SETTINGS 滑动屏使您可以通过前面板访问一些仪器设置。它向您显示当前设置并允许您迅速更改、启用或禁用这些设置。

图 6：SETTINGS 滑动屏



要禁用或启用某项设置，请选择该设置旁边的复选框，使其显示 X（已禁用）或勾号（已启用）。

滑动屏标题栏右侧的图标是 CALCULATIONS SETTINGS 和 MEASURE SETTINGS 菜单的快捷方式。

要查看有关设置的说明，请使用导航旋钮选择按钮，然后按 **HELP** 键。

STATISTICS 滑动屏

STATISTICS 滑动屏包含有关当前读数缓冲器中的读数的信息。在读数缓冲器配置为持续填充并使用新数据覆盖旧数据时，缓冲器统计数据包括已覆盖的数据。若要获取不包括已覆盖数据的统计数据，请定义一个能容纳您要获取读数数量的大缓冲区。您可以使用这个屏幕上的 **Clear Active Buffer** 按钮，从当前读数缓冲器中清除数据。

图 7：STATISTICS 滑动屏



USER 滑动屏

您可以设定 USER 滑动屏中显示的自定义文本。例如，您可以设定 Model 2450 显示正在进行测试。有关使用远程命令设定显示屏的详细信息，请参阅“为 USER 滑动屏自定义消息”。

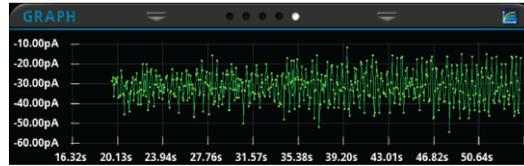
图 8：USER 滑动屏



GRAPH 滑动屏

GRAPH 滑动屏以图表形式显示当前选定读数缓冲器中的读数。

图 9：GRAPH 滑动屏



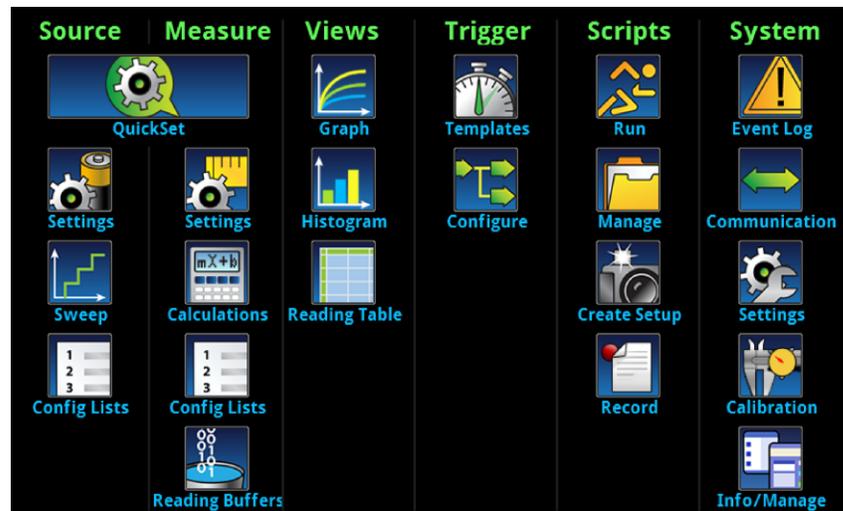
要以全屏方式查看图表及访问图表设置，请选择滑动屏标题右侧的图表图标。也可以通过按 **MENU** 键，然后选择 Views 下面的 **Graph** 来打开 Graph 屏幕。

有关将测量结果绘制成图表的更多信息，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“绘制图表”部分。

菜单概述

要访问主菜单，请按 Model 2450 前面板上的 **MENU** 键。下图显示了主菜单结构。

图 10：Model 2450 仪器主菜单



主菜单包括以绿色标签横跨显示屏顶部的子菜单。触摸子菜单中的图标可打开交互式屏幕。

将测量值存储到 U 盘

如果缓冲器中存在测量数据，则您可以将其从 Model 2450 复制到 U 盘。信息将以 .csv 文件格式保存。

存储测量数据：

1. 将 U 盘插入前面板的 USB 端口。
2. 按 **MENU** 键。
3. 在 Measure 列中，选择 **Reading Buffers**。
4. 选择要保存的缓冲器。
5. 选择 **Save to USB**。
6. 输入新文件名称。
7. 选择所显示键盘上的 **OK** 按钮。
8. 选择 **Yes**，确认保存文件。
9. 选择 **OK** 关闭对话框。

将屏幕截图存储到 U 盘

您也可以将前面板显示的内容保存为一个图表文件。仪器将这些图表文件（也被称为屏幕截图）以 .png 文件格式保存至 U 盘。

要保存屏幕截图：

1. 将 U 盘插入到仪器前面板上的 USB 端口。
2. 导航至您需要截图的屏幕。
3. 按下 **HOME** 和 **ENTER** 键。仪器显示“保存屏幕截图”。
4. 释放按键。

本节内容：

远程通信接口	3-1
支持的远程接口	3-1
GPIB 通信	3-1
LAN 通信	3-4
USB 通信	3-6
使用 Web 界面	3-10
确定您将使用的命令集	3-13

远程通信接口

您可以选择多个通信接口中的一个来发送命令到 Model 2450 以及接收其响应。

Model 2450 一次只能通过一个通信接口进行控制。收到消息的第一个仪器接口将获得仪器的控制权。如果另一个接口发送消息，则该接口可获得仪器的控制权。您可能需要输入密码以更改接口，这取决于访问模式。

当您连接到仪器后面板上的相应端口时，Model 2450 自动检测通信接口类型（LAN、GPIB 或 USB）。大多数情况下，您不需要在仪器上做任何配置。另外，您更改连接的接口类型时不需要重启。

支持的远程接口

Model 2450 支持下列远程接口：

- **GPIB:** IEEE-488 仪器通用接口总线
- **Ethernet:** 局域网以太网通信
- **USB:** B 型 USB 端口
- **TSP-Link:** 一种高速触发器同步和通信总线，测试系统制造商可以使用它以主从配置连接多台仪器。

有关 TSP-Link 的详情，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“TSP-Link 系统扩展接口”部分。

GPIB 通信

Model 2450 的 GPIB 接口符合 IEEE 标准 488.1，并支持 IEEE 标准 488.2 常用命令和状态模型拓扑。

可以将最多 15 个设备连接到 GPIB 接口，包括控制器。最大电缆长度为以下两者中的较短者：

- 设备数量乘以 2 米（6.5 英尺）
- 20 米（65.6 英尺）

如果无视这些限值，可能会发生错误的总线操作。

安装 GPIB 驱动程序软件

请查看您的 GPIB 控制器文档来获取驱动程序的相关信息。美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司也建议您查看 GPIB 控制器网站，以获取最新版本的驱动程序或软件。

在连接硬件之前安装驱动程序，这点尤为重要。这是为了防止将错误的驱动程序关联到硬件。

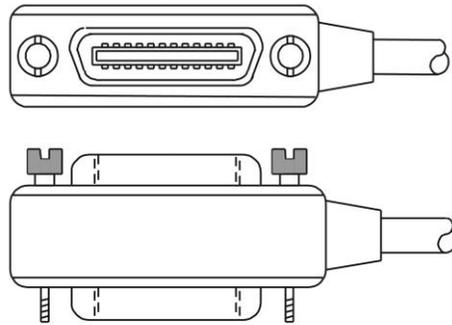
在计算机上安装 GPIB 卡

请参阅 GPIB 控制器供应商提供的资料，获取有关安装 GPIB 控制器的信息。

将 GPIB 电缆连接到仪器

要将仪器连接到 GPIB 接口，可使用带有标准 GPIB 连接器的电缆，如下所示。

图 11：GPIB 连接器

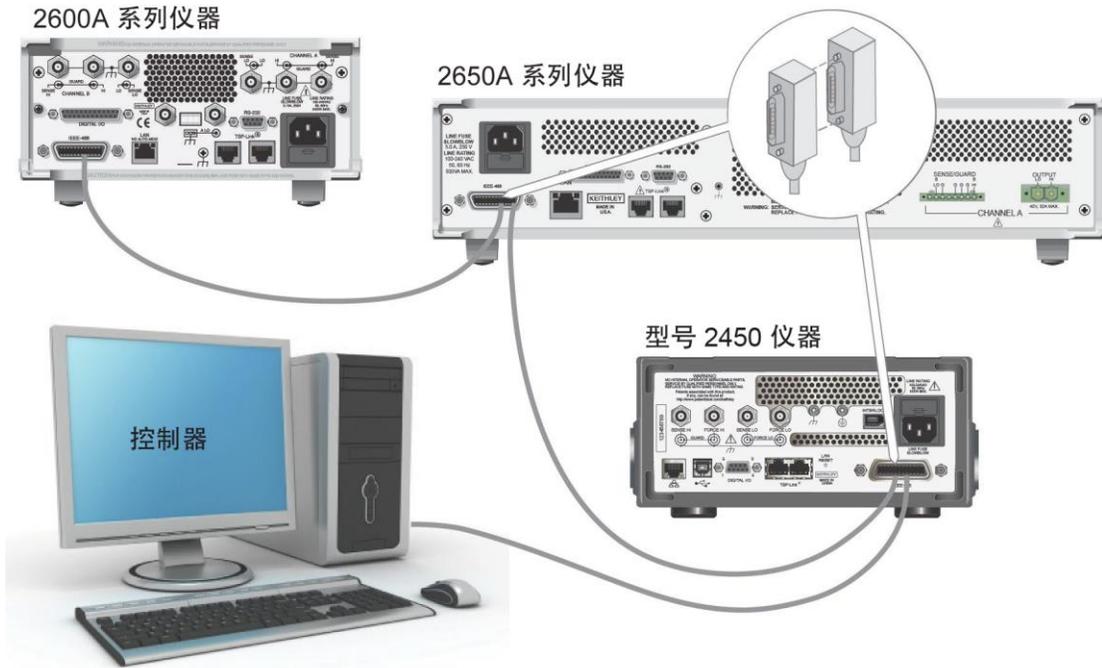


要实现到一台仪器的多个并行连接，需堆叠连接器。每个连接器配有两颗螺丝，以确保牢固的连接。下图显示了具有多台仪器的测试系统的典型接线图。

⚠ 小心

为避免可能的机械损坏，在任意一台仪器上堆叠的连接器数量不得超过三个。为了最大限度降低电磁辐射造成的干扰，仅使用屏蔽式 GPIB 电缆。如需屏蔽式电缆，请联系美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司。

图 12：IEEE-488 连接示例



设置 GPIB 地址

默认 GPIB 地址为 18。可以将该地址设为系统中唯一的 1 到 30 之间的任意地址。该地址不能与分配给其他仪器或 GPIB 控制器的地址发生冲突。

提示

GPIB 控制器的地址通常设为 0 或 21。为安全起见，不要将任何仪器的地址配置为 21。要更改控制器地址，请参见控制器文档。

该地址保存在非易失性存储器中。在发送重置命令或在电源关闭之后重新打开时，它不会更改。

从前面板设置 GPIB 地址：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Communication**。打开 SYSTEM COMMUNICATIONS 窗口。
3. 选择 **GPIB** 选项卡。
4. 在 Address 旁边，选择数字。将显示 GPIB Address 对话框。
5. 输入地址。
6. 选择 **OK**。

LAN 通信

可以使用局域网 (LAN) 与仪器通信。

在使用 LAN 连接时，可以使用 Web 浏览器来访问仪器的内部 Web 页和更改一些仪器设置。更多信息，请参见[使用 Web 接口](#)（第 3-10 页）。

Model 2450 符合 LXI Core 2011 1.4 版标准，支持 TCP/IP 并符合 IEEE 标准 802.3 (Ethernet LAN)。仪器的后面板上有一个 LAN 端口，支持在 10 Mbps 或 100 Mbps 网络上的全连通性。Model 2450 自动检测速度。

Model 2450 还支持多播 DNS (mDNS) 和 DNS 服务发现 (DNS-SD)，这两项功能在没有中央管理的 LAN 中非常有用。

注意

在设置 LAN 连接之前，请联系您的网络管理员，确认您的特定网络需求。

如果您在设置 LAN 时遇到问题，请参见 [LAN 故障排除建议](#)（第 3-11 页）。

在仪器中设置 LAN 通信

本节介绍如何在仪器中设置手动或自动 LAN 通信。

检查通信设置

在设置 LAN 配置之前，可以查看仪器中的通信设置（不进行任何更改）。

查看仪器中的通信设置：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Communication**。打开 SYSTEM COMMUNICATIONS 窗口。
3. 选择四个选项卡 (**GPIB**、 **USB**、 **LAN** 或 **TSP-Link**) 中的一个，以查看该接口的设置。
4. 按 **EXIT** 键，不做任何更改而离开 SYSTEM COMMUNICATION 窗口。

设置自动 LAN 配置

如果连接到具有 DHCP 服务器的 LAN，或者在仪器与主机计算机之间存在直接连接，则可以使用自动 IP 地址选择。

如果选择自动方式，仪器会尝试从 DHCP 服务器获取 IP 地址。如果获取失败，它将恢复至 169.254.1.0 至 169.254.254.255 范围内的一个 IP 地址。

注意

主机计算机和仪器都应该设为使用自动 LAN 配置。尽管可以将其中一个设为手动配置，但这种情况下的设置更加复杂。

使用前面板设置自动 IP 地址选择：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Communication**。
3. 选择 **LAN** 选项卡。
4. 对于 TCP/IP Mode，选择 **Auto**。
5. 选择 **Apply Settings** 以保存您的设置。

设置手动 LAN 配置

如果需要，可以在仪器中手动设置 IP 地址。

也可以启用或禁用 DNS 设置，以及为 DNS 服务器指定主机名称。

注意

请联系您公司的信息技术 (IT) 部门，确保在将仪器置于公司网络时，仪器可以获得有效的 IP 地址。仪器 IP 地址具有前置零，而计算机 IP 地址则不能。

在仪器中设置手动 IP 地址选择：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Communication**。
3. 选择 **LAN** 选项卡。
4. 对于 TCP/IP Mode，选择 **Manual**。
5. 对于 IP Address，输入 LAN IP 地址。可以触摸想要更改的数字。
6. 对于 Gateway，输入网关地址。
7. 对于 Subnet，输入子网掩码。
8. 选择 **Apply Settings** 以保存您的设置。

在计算机中设置 LAN 通信

本节介绍如何在计算机中设置 LAN 通信。

注意

在没有咨询您的系统管理员之前，不要更改您的 IP 地址。如果您输入错误的 IP 地址，可能导致您的计算机无法连接到企业网络，或可能对另一台联网计算机造成干扰。

在修改网络接口卡上的任何现有网络配置信息之前，记录所有网络配置。更新网络配置后，之前的信息将会丢失。这可能导致在将主机计算机重新连接到企业网络时出现问题，特别是在 DHCP 被禁用的情况下。

确保在将主机计算机重新连接到企业网络之前，将所有设置恢复为原始配置。更多信息，请联系您的系统管理员。

等待前面板上的 LAN 状态指示灯变为稳定的绿色

稳定的绿色 LAN 状态指示灯确认仪器已分配好 IP 地址。请注意，计算机与仪器之间建立连接可能需要几分钟时间。

在计算机中安装 LXI Discovery Browser 软件

可以使用 LXI Discovery Browser 来识别经过 LXI 验证的仪器的 IP 地址。识别后, 可以双击 LXI Discovery Browser 中的 IP 地址打开仪器的 Web 界面。

可在[美国吉时利仪器 \(Keithley Instruments\) 公司网站](http://www.keithley.com.cn) (<http://www.keithley.com.cn>) 上获得 Keithley LXI Discovery Browser。

在 Keithley 网站上找到 Keithley LXI Discovery Browser:

1. 选择 **Support** 选项卡。
2. 在型号框中, 输入 2450。
3. 从列表中选择 **Software** 并单击搜索图标。将显示仪器的软件应用程序列表。
4. 更多信息, 请参见应用程序随附的自述文件。

有关 LXI Consortium 的更多信息, 请参见 [LXI Consortium 网站](http://www.lxistandard.org) (<http://www.lxistandard.org>)。

运行 LXI Discovery Browser

运行 LXI Discovery Browser 软件:

1. 从 Microsoft Windows 开始菜单选择 **Keithley Instruments**。
2. 选择 **LXI Discovery Browser**。
3. 单击 **LXI Discovery Browser**。将显示 Keithley LXI Discovery Browser 窗口。
LXI Discovery Browser 将显示在网络中找到的仪器及其关联的 IP 地址。
4. 双击 LXI Discovery Browser 对话框中的 IP 地址。打开该仪器的 Web 页面。

有关使用该 Web 页面的信息, 请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“使用 Web 界面”主题。

USB 通信

若要使用 USB 端口, 主机计算机上必须具有虚拟仪器软件体系结构 (VISA) 层。更多信息, 请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“如何安装 Keithley I/O 层”部分。

VISA 包含用于 USB 测试和测量类 (USBTC) 协议的 USB 类驱动程序, 一旦安装了此驱动程序, Microsoft® Windows® 操作系统即可识别仪器。

当您将采用 USBTC 或 USBTC-USB488 协议的 USB 设备连接到计算机时, VISA 驱动程序会自动检测该设备。注意, VISA 驱动程序只能自动识别 USBTC 和 USBTC-USB488 设备。它不能识别其他 USB 设备, 例如打印机、扫描仪和存储设备。

在本节中, “USB 仪器”是指采用 USBTC 或 USBTC-USB488 协议的设备。

使用 USB 将计算机连接到 Model 2450

要使用 USB 连接将 Model 2450 连接到计算机，请使用美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司随仪器提供的 Model USB-B-1。

每个 Model 2450 需要使用自己的 USB 电缆连接到计算机。

使用 USB 将仪器连接到计算机：

1. 将电缆的 A 型连接器端连接至计算机。
2. 将电缆的 B 型连接器端连接至仪器。
3. 打开仪器电源。当计算机检测到新 USB 连接时，将启动“Found New Hardware Wizard”。
4. 如果“Can Windows connect to Windows Update to search for software?”对话框打开，单击 **No**，然后单击 **Next**。
5. 在“USB Test and Measurement device”对话框中，单击 **Next**，然后单击 **Finish**。

与仪器进行通信

要实现仪器与 USB 设备的通信，必须使用 NI-VISA™。VISA 需要以下格式的资源字符串，方可连接至正确的 USB 仪器：

```
USB0::0x05e6::0x2450::[serial number]::INSTR
```

其中：

- 0x05e6:Keithley 供应商 ID
- 0x2450:仪器型号
- [serial number]: 仪器的序列号（序列号也在后面板上）
- INSTR: 使用 USBTMC 协议

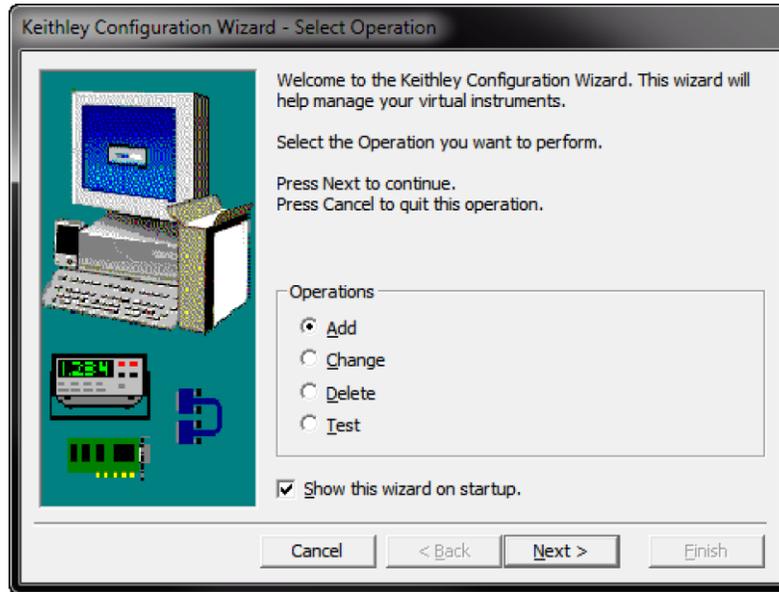
要确定这些参数，您可以运行 Keithley Configuration Panel，它将自动检测连接到计算机的所有仪器。

如果安装了 Keithley I/O 层，则可以通过 Microsoft® Windows® 开始菜单访问 Keithley Configuration Panel。

使用 *Keithley Configuration Panel* 来确定 VISA 资源字符串：

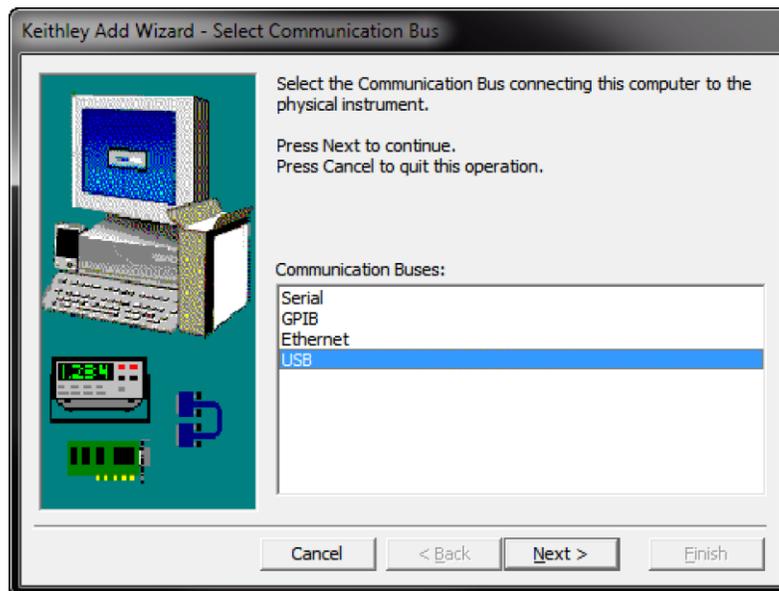
1. 单击 **Start > All Programs > Keithley Instruments > Keithley Configuration Panel**。将显示 Select Operation 对话框。

图 13: Select Operation 对话框



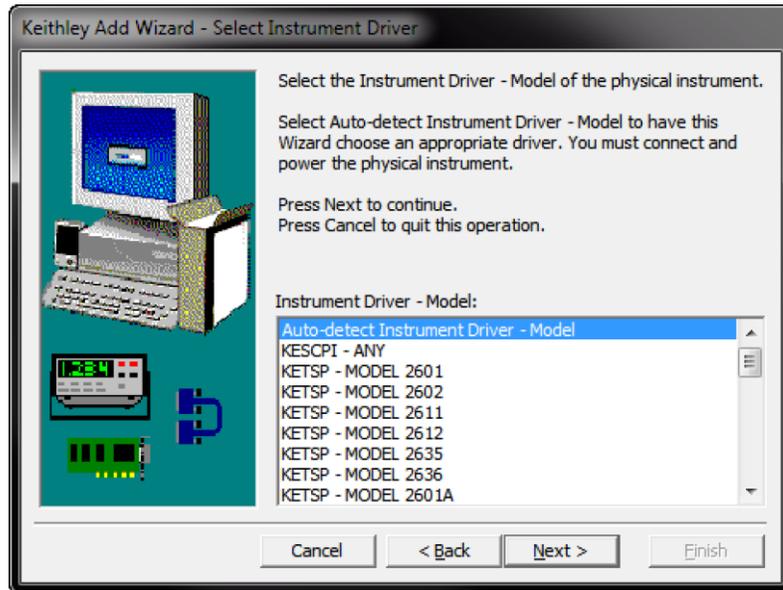
2. 选择 **Add**。
3. 单击 **Next**。将显示 Select Communication Bus 对话框。

图 14: Select Communication Bus 对话框



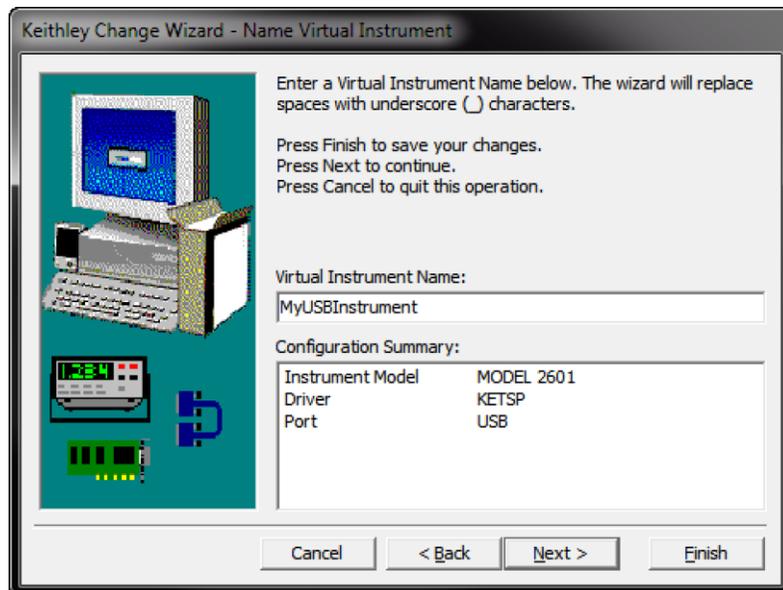
4. 选择 **USB**。
5. 单击 **Next**。将显示 Select Instrument Driver 对话框。

图 15: Select Instrument Driver 对话框



6. 选择 **Auto-detect Instrument Driver - Model**。
7. 单击 **Next**。将显示 Configure USB Instrument 对话框,同时显示检测到的仪器 VISA 资源字符串。
8. 单击 **Next**。将显示 Name Virtual Instrument 对话框。

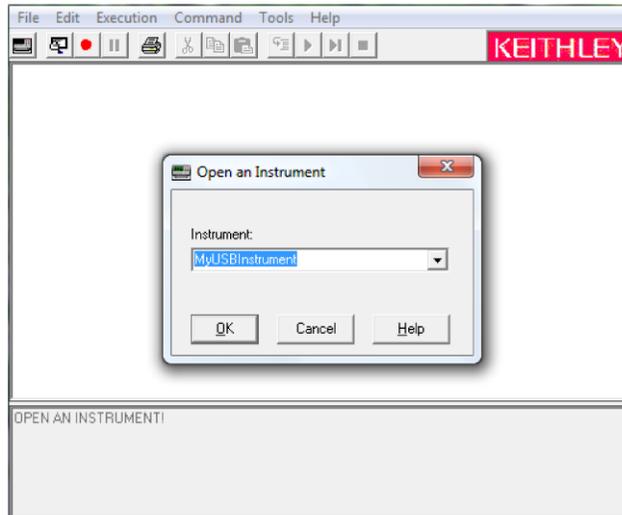
图 16: Name Virtual Instrument 对话框



9. 在 Virtual Instrument Name 框中,输入希望用以指代仪器的名称。
10. 单击 **Finish**。
11. 单击 **Cancel** 以关闭向导。
12. 保存配置。从 Keithley Configuration Panel 选择 **File > Save**。

通过 Keithley Communicator 验证仪器：

1. 单击 **Start > All Programs > Keithley Instruments > Keithley Communicator**。
2. 选择 **File > Open Instrument** 以打开刚刚命名的仪器。

图 17：Keithley Communicator 打开一个仪器

3. 单击 **OK**。
4. 向仪器发送命令，并查看其是否有回应。

注意

如果您的系统中具有完整版本的 NI-VISA，则可以运行 NI-MAX 或 VISA Interactive Control 实用程序。相关信息，请参见 National Instruments 文档。

如果您的系统中安装了 Agilent IO Libraries，则可以运行 Agilent Connection Expert 来检查您的 USB 仪器。相关信息，请参见 Agilent 文档。

使用 Web 界面

Model 2450 Web 界面让您能够通过一个 Web 页面设置和控制仪器。Web 页面包括：

- 仪器状态。
- 仪器型号、序列号、固件版本以及上一条 LXI 消息。
- 可帮助您找到仪器的 ID 按钮。
- 您用来控制仪器的虚拟前面板和命令界面。
- 包含读数缓冲器数据的 .csv 文件的下载链接。
- 管理选项和 LXI 信息。

仪器 Web 页面驻留在仪器的固件中。通过 Web 界面做出的更改立即反应在仪器中。

连接到仪器 Web 界面

在 LAN 和仪器之间建立起连接后，可以打开仪器的 Web 页面。

访问 Web 界面：

1. 在主机计算机中打开 Web 浏览器。
2. 在 Web 浏览器的地址框中输入仪器的 IP 地址。例如，如果仪器 IP 地址为 192.168.1.101，则在浏览器地址框中输入 192.168.1.101。
3. 按计算机键盘上的 **Enter** 键，打开仪器 Web 页面。
4. 如果系统提示，输入用户名和密码。默认用户名和密码都是 admin。

LAN 故障诊断建议

如果您无法连接到仪器的 Web 界面，请检查以下项目：

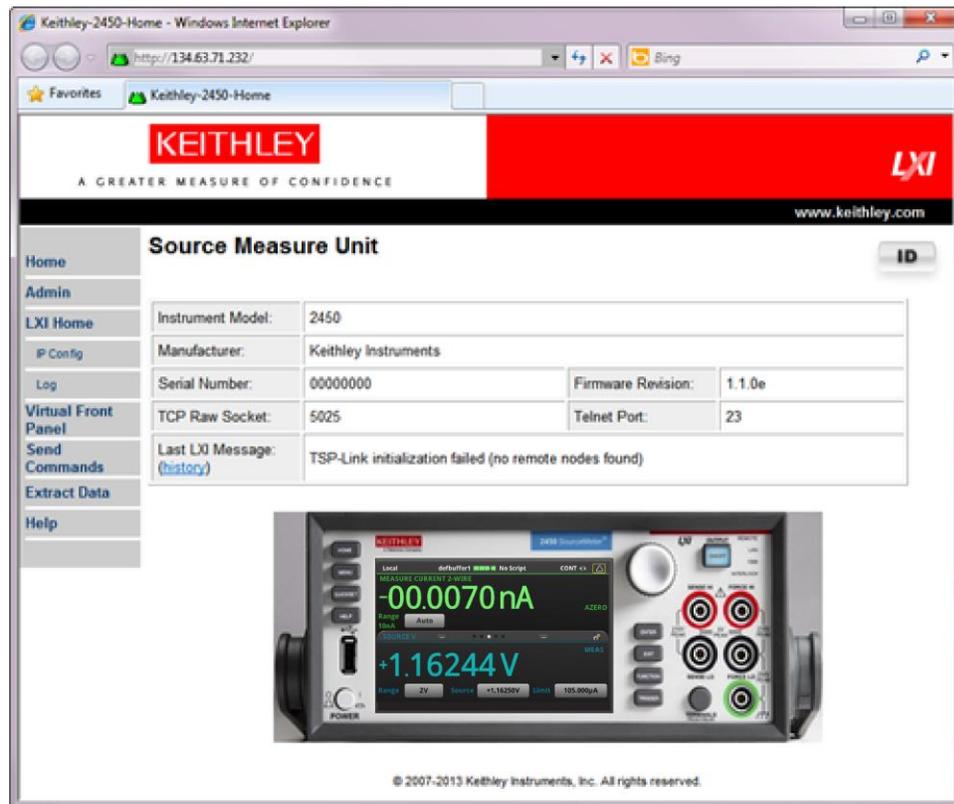
- 网络电缆连接于仪器后面板上的 LAN 端口，而不是 TSP-Link® 端口之一。
- 网络电缆连接于计算机上的正确端口。笔记本电脑位于坞站时其 LAN 端口可以禁用。
- 设定程序为正确的 Ethernet 卡使用了配置信息。
- 计算机网卡已启用。
- 仪器 IP 地址与计算机 IP 地址兼容。
- 仪器子网掩码地址与计算机子网掩码地址相同。

也可以尝试重新启动计算机和仪器。重新启动仪器：

1. 关闭仪器电源，然后打开。
2. 至少等待 60 秒，让仪器完成网络配置。
3. 按 **MENU** 键。
4. 在 System 下面选择 **Communication**。
5. 选择 **LAN** 选项卡。
6. 验证设定。

如果上述操作不能解决问题，请联系您的系统管理员。

图 18：Model 2450 仪器 Web 界面主页



仪器的主页提供有关仪器的信息。包括：

- 仪器型号、制造商、序列号和固件版本号。
- TCP 原始套接字编号和 Telnet 端口号。
- 上一条 LXI 消息。历史记录链接打开 LXI 主页。
- 用于识别仪器的 ID 按钮。请参阅[识别仪器](#)（第 3-12 页）。

识别仪器

如果您有一组仪器，可以通过单击 ID 按钮来确定正在通信的仪器。

识别仪器：

在主页的左侧中间位置单击 ID 按钮。

按钮变为绿色，并且仪器上的 LAN 状态指示灯闪烁。

再次单击 ID 按钮可将按钮恢复到其原始颜色，并将 LAN 状态指示灯恢复为稳定的点亮状态。

查看事件日志中的事件

事件日志记录了仪器生成和接收的所有 LXI 事件。日志中包括下列信息：

- EventID 列，显示生成事件的事件标识符。
- System Timestamp 列，显示事件发生时的秒数和纳秒数。
- Data 列，显示事件信息。

要清除事件日志并更新屏幕上的信息，请单击 **Refresh** 按钮。

确定您将使用的命令集

您可以使用基于 SCPI 或测试脚本处理器 (TSP®) 编程语言的命令集控制 Model 2450。您可以更改用于型号 2450 仪器的命令集。可用的远程命令集包括：

- SCPI：一种基于 SCPI 标准构建的仪器专用语言。
- TSP：一种脚本编程语言，包含可从单独仪器执行的因仪器而异的控制命令。可以使用 TSP 发送单独的命令或将多条命令合并为脚本。
- SCPI 2400：一种仪器专用语言，允许运行为较早期的 2400 系列仪器开发的代码。

您无法合并多个命令集。

注意

美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司的 Model 2450 在出厂时设为使用 Model 2450 SCPI 命令集。

注意

如果选择 SCPI 2400 命令集，将无法访问一些扩展量程，以及当前使用 SCPI 命令集提供的其他功能。此外，一些 2400 系列代码在 Model 2450 与在之前仪器上的工作方式不同。有关这些差异的信息，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“Model 2400 仪器应用中的 Model 2450”部分。

使用前面板：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 依次选择 Command Set 旁边的按钮和命令集。
4. 系统会提示您重启仪器。

如何通过远程界面更改 SCPI 命令集：

发送命令：

```
*LANG SCPI
```

重启仪器。

如何通过远程界面更改 TSP 命令集：

发送命令：

```
*LANG TSP
```

重启仪器。

如何通过远程界面更改 SCPI 2400 命令集：

发送命令：

```
*LANG SCPI2400
```

重启仪器。

如何验证所选择的命令集：

发送命令：

```
*LANG?
```

执行前面板基本测量

本节内容：

简介	4-1
本应用所需的设备	4-1
设备连接	4-2
执行前面板测量	4-2

简介

可以通过前面板使用 Model 2450 执行电压或电流源操作和测量。

注意

在更改其他仪器设定之前，确保您选择了功能。您的设置选项取决于您进行更改时已激活的功能。如果您执行的更改与激活的功能不兼容，则可能出现意外结果或收到事件消息。同时注意，当您选择不同的功能时，仪器将清除缓存。本手册中的应用说明了为获得最佳结果应该执行的操作顺序。

在本应用中，您通过提供电压源和测量电流对 10 k \cdot 电阻器进行测量。如果使用适当的源值，您可以对任何两端子被测器件 (DUT) 执行类似的测量。

您可以使用以下方法设定 Model 2450，以便通过前面板进行测量：

- **使用快速设置。**按 **QUICKSET** 键可打开预配置的一键式设置菜单，其中包括电压表、电流表、欧姆表和电源设置。此外还可选择测试功能以及调整性能，以获得更好的分辨率或速度。
- **选择源和测量功能。**按下 **FUNCTION** 键从源和测量功能清单中选择。
- **使用菜单选项。**按下 **MENU** 键打开选项菜单。

在选择源和测量功能后，选择 Model 2450 主页中的按钮和设置滑动屏以更改设置。

在本应用中，您将组合使用上述方法来设置测量。

本应用所需的设备

本应用所需的设备：

- Model 2450 交互式 SourceMeter® 仪器
- 两根绝缘香蕉电缆；您可以使用 Model 2450 仪器随附的电缆组 - 美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 8608 高性能线夹引线组
- 一个待测试的 10 k \cdot 电阻器

设备连接

注意

在连接到 Model 2450 之前，关闭仪器电源。

使用 2 线（本地传感）配置将 Model 2450 连接到电阻器。在此配置中，设备连接在 FORCE HI 和 FORCE LO 端子之间。

下图显示了前面板的物理连接。

图 19：型号 2450 仪器 2 线前面板连接



执行前面板测量

对于本应用，您将：

- 选择源和测量功能
- 选择源量程
- 设置源值
- 设置源限值
- 选择测量量程
- 打开源输出
- 观察显示屏上的读数
- 关闭源输出

如何进行前面板测量

如何进行前面板测量：

1. 按前面板上的 **POWER** 开关打开仪器，如果仪器已经打开，则重新上电。
2. 验证源和测量功能。按前面板上的 **FUNCTION** 键。
3. 在 Source Voltage and Measure 下面，选择 **Current**。
4. 选择源量程。在主屏幕的 SOURCE V 下面，选择 Range 旁边的按钮。
5. 选择 **20 V**。
6. 选择源电压。在 SOURCE V 下面选择 Source 旁边的按钮。
7. 输入 **10 V** 并选择 **OK**。
8. 设置源限值。在 SOURCE V 下面选择 Limit 旁边的按钮。
9. 输入 **10 mA** 并选择 **OK**。
10. 选择测量量程。在主屏幕的 MEASURE 区域，选择 Range 旁边的按钮。
11. 选择 **Auto**。
12. 通过按 **OUTPUT ON/OFF** 开关打开输出。OUTPUT 指示灯点亮。
13. 观察显示屏上的读数。对于 10 k \cdot 电阻器，典型的显示值为：
1.00000 mA
+9.99700 V
14. 当您完成后，通过按 **OUTPUT ON/OFF** 开关关闭输出。OUTPUT 指示灯熄灭。

测量低电阻设备

本节内容：

简介	5-1
需要的设备	5-1
设置远程通信	5-1
设备连接	5-2
低电阻测量	5-5

简介

本应用示例将演示如何使用 Model 2450 来测量低电阻设备。

您可能在许多应用中需要进行低电阻测量 ($<10 \cdot$)。典型应用包括电缆和连接器的导通性测试、基板过孔和电阻器等。典型情况下，您测量这些电阻的方法是生成电流并测量产生的电压降。Model 2450 自动计算电阻。测得的电压通常为 mV 量程或更低。Model 2450 内置功能优化了低电阻测量，例如远程传感和偏移补偿。

需要的设备

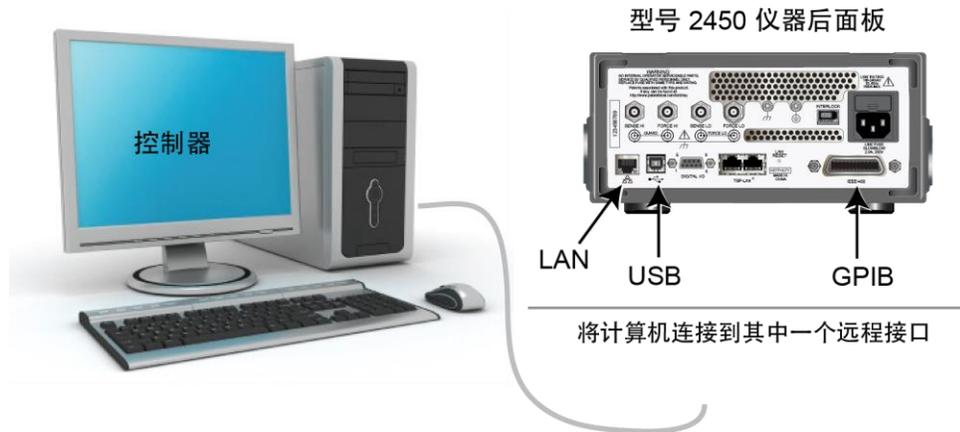
- 一台 Model 2450 交互式 SourceMeter® 仪器
- 对于前面板连接，使用四根绝缘香蕉电缆，例如美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 8608 高性能线夹引线组 (Model 2450 仪器已随附一组，您需要另外获得一组)
- 对于后面板连接，使用四根三轴电缆
- 一个待测试的低电阻设备；此处显示的应用使用的是一个 $20 \text{ m} \cdot$ 电阻器

设置远程通信

您可通过仪器的前面板或任何支持的通信接口 (GPIB、USB 或 Ethernet) 运行此应用。

下图显示了用于远程通信接口的后面板连接位置。有关设置远程通信的更多信息，请参见远程通信接口。

图 20: Model 2450 远程接口连接



设备连接

为提供最佳测量精度，请使用四线 (Kelvin) 测量方法进行此测试。这种方法可消除引线电阻对测量精度产生的影响。这是测量低电阻的首选方法。

使用 4 线连接方法：

- 将一组测试引线连接到 FORCE LO 和 FORCE HI 端子；这种设置可生成通过被测器件的电流。
- 将另一组测试引线连接到 SENSE HI 和 SENSE LO 端子，用于测量被测器件 (DUT) 两端的电压降。

警告

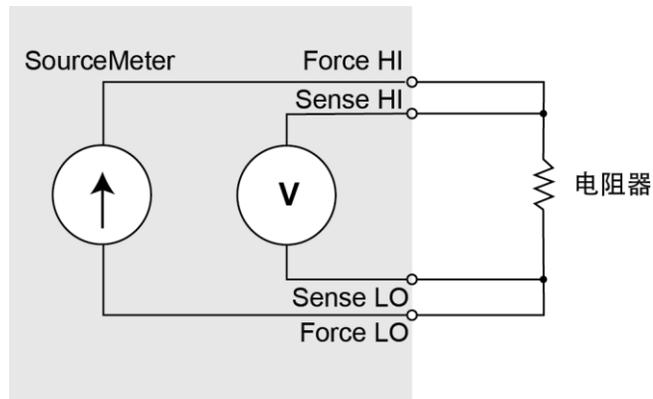
在所有输出和保护端子上都有可能存在危险电压。为防止可能导致人身伤害或死亡的电击，切勿在输出打开时连接或断开与 Model 2450 的连接。

为了防止电击，测试连接的配置必须保证用户不能接触被测器件 (DUT) 的导线或任何设备。一种良好的习惯是在仪器通电之前先将仪器与 DUT 断开。安全安装需要使用适当的屏蔽罩、障碍物和接地，防止接触导线。

Model 2450 仪器的保护地（安全地）与 LO 端子之间没有内部连接。因此，LO 端子上可能出现危险电压（超过 30 V_{rms}）。仪器以任何模式工作时都有可能发生这种情况。为防止 LO 端子上出现危险电压，在应用允许的情况下，请将 LO 端子连接到保护地。您可以将 LO 端子连接到前面板上的机壳接地端子或后面板上的机壳接地螺丝端子。请注意，前面板端子与后面板端子之间是相互隔离的。因此，如果您正在使用前面板端子，请将前面板 LO 端子接地。如果您正在使用后面板端子，请将后面板 LO 端子接地。

下图显示了应用的原理图。

图 21：使用 4 线配置执行电流源操作和测量电阻



此应用可使用前面板或后面板端子。下图显示了前后面板的物理连接。注意，必须使用前面板端子或后面板端子 — 不能混合连接。

后面板连接为三轴连接。前面板连接为安全型香蕉插头座。

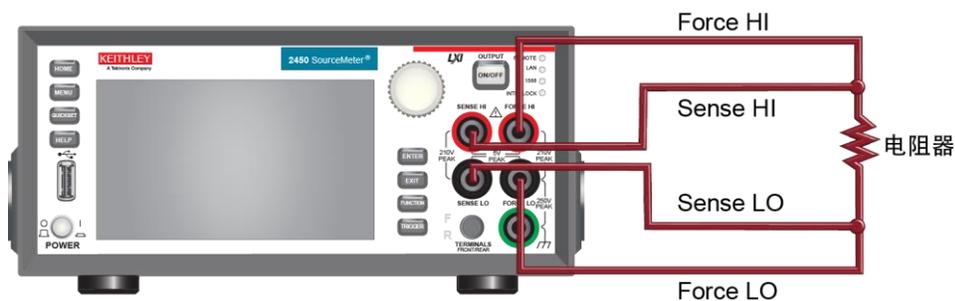
注意

在连接到 Model 2450 之前，关闭仪器电源。

在将引线连接到被测器件 (DUT) 时，注意将 FORCE LO 和 SENSE LO 连接到其中一根 DUT 引线。将 FORCE HI 和 SENSE HI 连接到另一根引线。将传感连接连到尽可能接近被测电阻器的位置。此 4 线测量法可消除测量中的测试引线电阻。

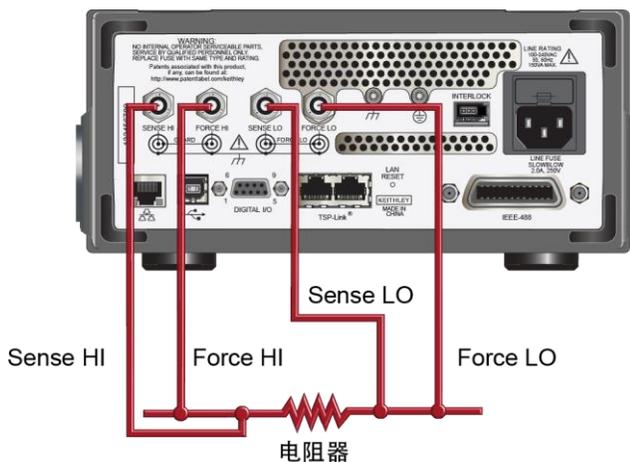
下图显示了前面板连接。您可以使用四根绝缘香蕉电缆（例如，两组美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 8608 高性能线夹引线组）完成这些连接。

图 22：用于低电阻测量的 Model 2450 前面板连接



下图显示了后面板连接。可以使用四根三轴电缆完成这些连接。

图 23：用于低电阻测量的后面板连接



低电阻测量

本应用将演示如何使用 Model 2450 来测量低电阻设备。您可使用 SCPI 编码或 TSP 编码通过前面板或远程接口进行测量。

对于本应用，您将：

- 重置仪器。
- 选择电流源和电阻测量功能。
- 设置电流源值。
- 选择四线（远程传感）模式。此模式可消除引线电阻对测量精度产生的影响。
- 启用偏移补偿。这降低了热电电压造成的偏移。有关偏移补偿的信息，参见 *Model 2450 参考手册* 中的“什么是偏移补偿？”部分。
- 打开源输出并开始执行测量。
- 通过前面板或远程接口产出读数。
- 关闭源输出。

从前面板设置测量

从前面板设置应用：

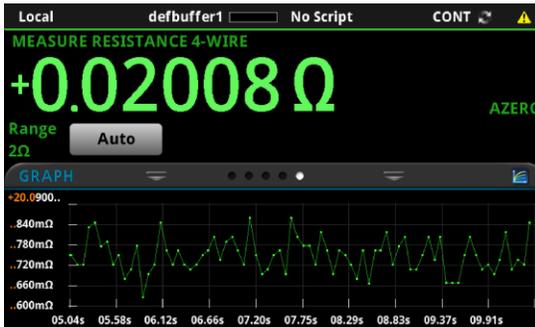
1. 如[设备连接](#)（第 5-2 页、第 6-2 页、第 9-2 页）所述，将 Model 2450 连接到被测器件。
2. 重置仪器：
 - a. 按 **MENU** 键。
 - b. 在 System 下面选择 **Info/Manage**。
 - c. 选择 **System Reset**。
 - d. 选择 **OK**。
3. 按 **FUNCTION** 键。
4. 在 Source Current and Measure 下面选择 **Resistance**。
5. 按 **HOME** 键。
6. 在 SOURCE I 区域，选择 Source 旁边的按钮。选择源值。
7. 按 **MENU** 键。在 Measure 下面选择 **Settings**。
8. 在 Sense 旁边，选择 **4-Wire Sense**。
9. 在 Offset Compensation 旁边，选择 **On**。
10. 按 **HOME** 键。
11. 按 **OUTPUT ON/OFF** 开关启用输出和开始执行测量。
12. 按 **OUTPUT ON/OFF** 开关停用输出并停止测量。

该仪器在主屏幕 MEASURE VOLTAGE 区域显示测量值。

在前面板 GRAPH 滑动屏中查看测量值

您可以在前面板的 GRAPH 滑动屏中查看显示为时间函数的电阻测量值。要进入 GRAPH 滑动屏，请向右轻扫主屏幕的底部。类似于下图所示图表的图表。

图 24：GRAPH 滑动屏



要查看全屏图表，触摸 GRAPH 滑动栏上的图表图标，打开图表屏幕。

在前面板中查看缓冲器统计数据

您可以在 Model 2450 的前面板 STATISTICS 滑动屏中查看仪器统计数据，包括：

- 峰-峰值
- 最小读数、最大读数和平均读数
- 标准差

图 25：STATISTICS 滑动屏



使用 SCPI 命令设置低电阻应用

以下 SCPI 命令序列用于通过执行电流源操作和测量电阻来执行 100 次低电阻测量。在此示例中，自动设置了源电流量级和限制电压。它使用远程命令变更前面板显示，使其显示 GRAPH 滑动屏。这使得您可以在屏幕顶部查看数字数据，并在屏幕底部查看图表数据。

您可能需要进行变更，使这个编码在您的编程环境中运行。

发送下列命令用于此示例应用：

命令	描述
<pre>*RST TRIG:LOAD "SimpleLoop", 100 SENS:FUNC "RES" SENS:RES:RANG:AUTO ON SENS:RES:OCOM ON SENS:RES:RSEN ON DISP:SCR SWIPE_GRAPH OUTP ON INIT *WAI TRAC:DATA?1, 100, "defbuffer1", READ, REL OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • 重置 Model 2450 。 • 将 Simple Loop （简单循环）触发器模型模板配置为获取 100 个读数。 • 设置为测量电阻。 • 打开自动量程。 • 启用偏移补偿。 • 设置为使用 4 线传感模式。 • 显示 GRAPH 滑动屏。 • 打开输出。 • 启动读数。 • 等待结束。 • 从 defbuffer1 中读取电阻和时间值。 • 关闭输出。

使用 TSP 命令设置低电阻应用

注意

下列 TSP 编码设计用于通过美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Test Script Builder (TSB) 运行。TSB 是一款可从美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站获取的软件工具。您可以安装并使用 TSB 来为已启用 TSP 功能的仪器编写代码和开发脚本。TSB 联机帮助和 *Model 2450 参考手册* 的“TSP 操作简介”部分提供了有关如何使用 TSB 的信息。

要使用其他编程环境，可能需要更改该 TSP 示例代码。

默认情况下，Model 2450 配置为使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令之前，必须选择 TSP 命令集。

启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 对于 Command Set，选择 **TSP**。
4. 在提示重新启动时，选择 **Yes**。

此 TSP 命令序列用于通过执行电流源操作和测量电阻来执行 100 次低电阻测量。在此示例中，自动设置了源电流量级和限制电压。它使用远程命令变更前面板显示，使其显示 GRAPH 滑动屏。这使得您可以在屏幕顶部查看数字数据，并在屏幕底部查看图表数据。在执行编码之后，数据显示现在 Test Script Builder 的仪器控制台中。

发送下列命令用于此示例应用：

```
--Reset the instrument to the default settings
reset()
--Configure the Simple Loop trigger model template to make 100 readings.
trigger.model.load("SimpleLoop", 100)
--Change the view on the front panel to the GRAPH swipe screen.
display.changescreen(display.SCREEN_GRAPH_SWIPE)
--Set to measure resistance, use 4-wire sense,
--and offset compensation.
smu.measure.func = smu.FUNC_RESISTANCE
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.offsetcompensation = smu.ON
--Turn on the output
smu.source.output = smu.ON
--Initiate trigger model and wait until finished.
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Turn off output
smu.source.output = smu.OFF
--Read the resistance and time values from defbuffer1.
print("Resistance:\tTime:")
for i = 1, 100 do
    print(string.format("%f\t%f", defbuffer1[i], defbuffer1.relativetimestamps[i]))
end
```

漏泄电流和绝缘电阻

本节内容：

简介	6-1
需要的设备	6-1
设置远程通信	6-2
设备连接	6-2
测量漏泄电流	6-4
测量绝缘电阻	6-8

简介

要测量设备的漏泄电流或绝缘电阻，您需要对设备应用固定电压和测量生成的电流。视被测器件而定，测得的电流通常很小（往往小于 10 nA）。

此应用包含两个示例，分别演示：

- 如何使用 Model 2450 对电容器执行漏泄电流测量
- 如何使用 Model 2450 测量同轴电缆的两根导线之间的绝缘电阻

这两个应用示例的唯一区别在于，当您测量漏泄电流时，返回的结果是以安培为单位。当您测量绝缘电阻测试时，返回的结果是以欧姆为单位。

在漏泄电流应用中，由于设备需要时间充电，因此会在指定的时间段内持续应用电压。在一些情况下，生成的电流是在设备被偏置的整个过程中测量的。在其他情况下，仅在需要的“浸泡”周期结束时才获取一个读数。

以下主题说明如何通过前面板操作这些应用。它们也说明了如何通过 SCPI 命令或 Test Script Processor (TSP®) 命令使用前面板操作。

需要的设备

- 一台 Model 2450 交互式 SourceMeter® 仪器
- 两根三轴电缆
- 一个电容器，用于漏泄电流应用
- 一根同轴电缆或其他设备，用于绝缘电阻应用
- 一根 Ethernet、GPIB 或 USB 电缆，用于 TSP 和 SCPI 远程命令示例

设置远程通信

您可通过仪器的前面板或任何支持的通信接口（GPIB、USB 或 Ethernet）运行此应用。

下图显示了用于远程通信接口的后面板连接位置。有关设置远程通信的更多信息，请参见远程通信接口。

图 26：Model 2450 远程接口连接



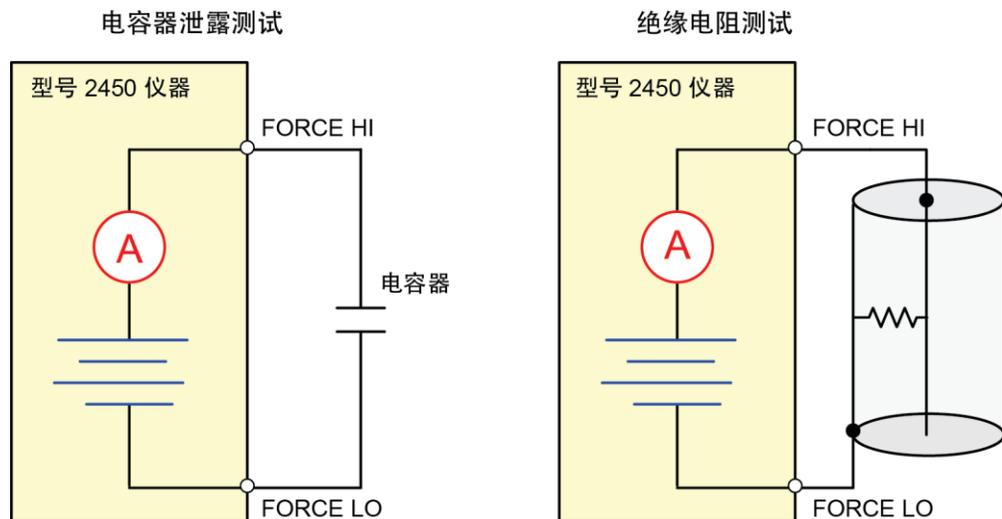
设备连接

视被测器件 (DUT) 而定，电流测量值通常很小（往往 $<10\text{ nA}$ ）。测量漏泄电流和绝缘电阻涉及到测量很小的数值。使用低噪声三轴电缆将 DUT 连接到 Model 2450 的后面板，可以获得更准确的读数。

将 DUT 连接于 Model 2450 的 FORCE HI 和 FORCE LO 端子之间。

下图显示了原理图。一个显示测量电容器漏电电流。另一个显示测量同轴电缆的两根导线之间的绝缘电阻。

图 27：用于电容器漏泄测试和绝缘电阻测试的连接示意图



下图显示了在这些应用中连接到被测器件 (DUT) 的后面板连接。如果电容器漏电测量有噪音，您可能需要使用高电容模式或与电容器串联增加一个低漏电正向偏置二极管。

图 28：用于漏泄电流测试的后面板连接

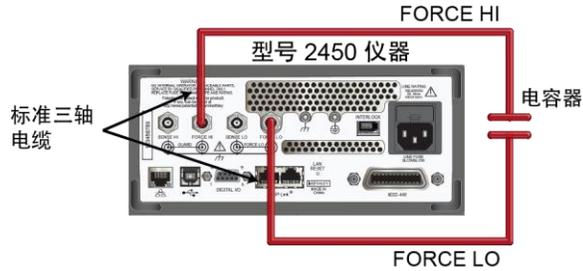


图 29：用于绝缘电阻测试的后面板连接



测量漏泄电流

以下应用演示了如何使用 Model 2450，借助前面板或远程接口，通过执行电压源操作和测量生成的电流来测量一个 1 nF 电容器的漏泄电流。远程接口示例显示了 SCPI 命令和 TSP 命令。

此应用将 Model 2450 设为 20 V 源，并且测量生成的漏泄电流（作为时间函数）。仪器在指定的时间段内执行电流测量。

对于该测试，您将：

- 重置仪器
- 设置仪器读取后部端子
- 选择源电压和测量电流功能
- 设置电压源的量级
- 打开自动量程
- 设置测量延迟
- 使用 Duration Loop 触发器模型模板测量在指定的时间段内的读数
- 打开源输出
- 在指定的时间段内获取读数
- 关闭源输出

注意

在您使用 Model 2450 测量小电流值时，确保被测器件已采用静电屏蔽。如果电容器额定值大于 20 nF，确保使用高电容模式以获得最佳结果。

有关执行优化的电容器漏泄测量和最大限度减少包含噪声的测量值的更多信息，请参见[美国吉时利仪器 \(Keithley Instruments\) 公司网站 \(http://www.keithley.com.cn\)](http://www.keithley.com.cn) 提供的美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 *Low Level Measurements Handbook*（低电平测量手册）。

使用前面板设置漏泄电流应用

从前面板设置应用：

1. 如[设备连接](#)（第 5-2 页、第 6-2 页、第 9-2 页）所述，使用测试引线将电容器连接到 Model 2450 的后面板。
2. 重置 Model 2450 。
 - a. 按 **MENU** 键。
 - b. 在 System 下面，选择 **Info/Manage**。
 - c. 选择 **System Reset**，然后选择 **OK**。
3. 按 **TERMINAL FRONT/REAR** 开关，设置仪器使用后面板端子（开关左侧应该显示 R）。
4. 按 **HOME** 键。
5. 按 **FUNCTION** 键。
6. 在 Source Voltage and Measure 下面，选择 **Current**。

7. 选择 Source 旁边的按钮（位于屏幕底部）。
8. 输入 20 V 并选择 **OK**。
9. 按 **MENU** 键。
10. 在 Trigger 下面，选择 **Templates**。
11. 在 Templates 旁边，选择 **DurationLoop**。
12. 在 Duration 下面输入浸泡时间 30s 并选择 **OK**。
13. 在 Delay 下面输入 0.2s，并选择 **OK**。
14. 按 **HOME** 键返回主屏幕。
15. 按 **TRIGGER** 键打开输出并执行测量。完成测量后，关闭输出。

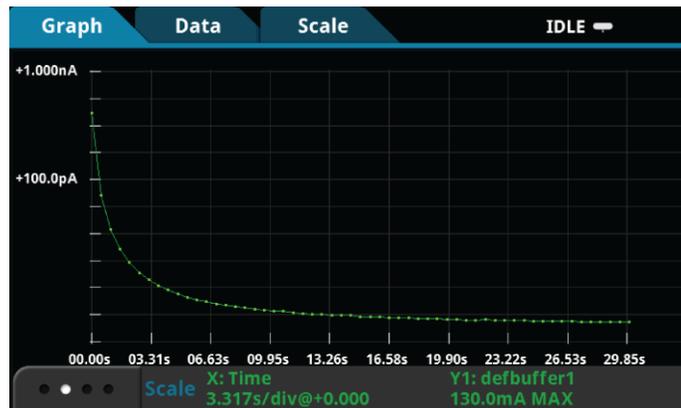
在前面板图表中查看测量值

在前面板图表查看漏泄电流测量值：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 Views 下面选择 **Graph**。
3. 选择 **Scale** 选项卡。
4. 在 Y 轴之下的 Scale Format 下面选择 **Log**。
5. 在 X 轴之下的 Method 旁边选择 **SmartScale**。
6. 选择 **Graph** 选项卡以查看图表。

下图显示了此应用的前面板图表。

图 30：在前面板上查看漏泄电流测量值



使用 SCPI 命令设置漏泄电流应用

下列 SCPI 编码用于通过执行 20 V 源操作和测量生成的漏泄电流来执行电容器漏泄测量。Duration Loop（持续时间循环）触发器模型模板用于应用电压 60 秒，并以 200 ms 的间隔时间执行测量。持续时间结束后，电容器会放电到 0 V 并且关闭输出。

发送下列命令用于此示例应用：

命令	描述
<pre>*RST :SOUR:FUNC VOLT :SOUR:VOLT 20 :SOUR:VOLT:ILIMIT 0.01 :SENSE:FUNC "CURR" :ROUT:TERM REAR :CURR:RANG:AUTO ON :SENSE:CURR:NPLC 1 :TRIG:LOAD "DurationLoop", 60, 0.2 :OUTP ON :INIT *WAI :TRAC:ACT?"defbuffer1" :TRAC:DATA?1, <n>, "defbuffer1", READ, REL :SOUR:VOLT 0 :OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 重置 Model 2450。 设置为源电压。 将源电压设为 20 V。 将电流限值设为 10 mA。 设置仪器测量电流。 设置为使用后面板端子。 将电流量程设为自动量程。 将电源线周期数设为 1。 载入持续时间循环触发器模型，以 200 ms 的间隔时间运行 60 s。 打开输出。 触发测量。 等待测量结束。 <n> 是读数的查询编号。 在 defbuffer1 中查询读数编号并返回读数和时。 将电容器放电到 0 V。 关闭输出。

使用 TSP 命令设置漏泄电流应用

注意

下列 TSP 编码设计用于通过美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Test Script Builder (TSB) 运行。TSB 是一款可从美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站获取的软件工具。您可以安装并使用 TSB 来为已启用 TSP 功能的仪器编写代码和开发脚本。TSB 联机帮助和 *Model 2450 参考手册* 的“TSP 操作简介”部分提供了有关如何使用 TSB 的信息。

要使用其他编程环境，可能需要更改该 TSP 示例代码。

默认情况下，Model 2450 配置为使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令之前，必须选择 TSP 命令集。

启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 对于 Command Set，选择 **TSP**。
4. 在提示重新启动时，选择 **Yes**。

下列 TSP 代码用于通过执行 20 V 源操作和测量生成的漏泄电流来执行电容器漏泄测量。Duration Loop（持续时间循环）触发器模型模板用于应用电压 60 秒，并以 200 ms 的间隔时间执行测量。持续时间结束后，电容器会放电到 0 V 并且关闭输出。

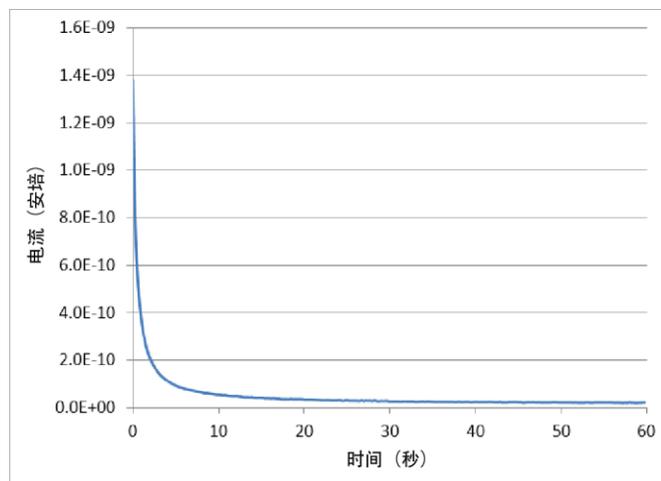
在执行代码之后，测量结果显示在 Test Script Builder 的仪器控制台中。通过 Instrument Console，您可从图表中将数据复制到电子表格。

发送下列命令用于此示例应用：

```
-- Reset the instrument, which also clears the buffer.
reset()
-- Set up the source function.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 10e-3
smu.source.level = 20
-- Set up measure function.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- Turn on the output and initiate readings.
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.load("DurationLoop", 60, 0.2)
trigger.model.initiate()
-- Wait for the trigger model to complete.
waitcomplete()
-- Parse index and data into three columns.
print("Rdg #", "Time (s)", "Current (A)")
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, defbuffer1.relativetimestamps[i], defbuffer1[i])
end
-- Discharge the capacitor to 0 V and turn off the output.
smu.source.level = 0
delay(2)
smu.source.output = smu.OFF
```

下图中的图表显示了此应用的结果。注意电容器在充电到 20 V 的过程中产生的指数级电流响应。

图 31：漏泄电流测试结果



测量绝缘电阻

以下应用显示如何使用 Model 2450 测量绝缘电阻。此应用显示如何使用前面板接口、采用 SCPI 命令集的远程接口，以及采用测试脚本处理器 (TSP®) 命令集的远程接口。

您可进行印刷电路板上的迹线之间以及电缆和连接器中的导线之间的绝缘电阻测量。

此应用将 Model 2450 设为 20 V 源，并以 100 ms 的间隔时间获取 10 个电阻读数。完成测量后，关闭输出。

对于该测试，您将：

- 重置仪器
- 设置仪器读取后部端子
- 选择源电压和测量电阻功能
- 设置电压源输出的量级
- 打开自动量程
- 使用 Simple Loop 触发器模型模板设置读数数量和间隔时间。
- 打开源输出
- 测量读数
- 关闭源输出

使用前面板设置绝缘电阻应用

从前面板设置应用：

1. 如[设备连接](#)（第 5-2 页、第 6-2 页、第 9-2 页）所述，将被测器件 (DUT) 连接到 Model 2450 的后面板。
2. 重置 Model 2450 。
 - a. 按 **MENU** 键。
 - b. 在 System 下面，选择 **Info/Manage**。
 - c. 选择 **System Reset**，然后选择 **OK**。

3. 按 **TERMINAL FRONT/REAR** 开关，设置仪器使用后面板端子（开关左侧应该显示 R）。
4. 按 **HOME** 键。
5. 按 **FUNCTION** 键。
6. 在 Source Voltage and Measure 下面，选择 **Resistance**。
7. 选择 Source 旁边的按钮（位于屏幕底部）。
8. 输入 20 V（或其他适用测试电压），然后选择 **OK**。
9. 按 **MENU** 键。
10. 在 Trigger 下面，选择 **Templates**。
11. 在 Templates 下面选择 **SimpleLoop**。
12. 设置计数为 10 并选择 **OK**。
13. 设置 Delay 为 0.1 秒并选择 **OK**。
14. 按 **HOME** 键。
15. 按 **OUTPUT ON/OFF** 开关启用输出。
16. 按下 **TRIGGER** 键开始采集读数。主屏幕的测量区域（上半部分）出现电阻测量值。
17. 执行全部测量后，按 **OUTPUT ON/OFF** 开关关闭输出。

在前面板图表中查看测量值

在输出打开时查看前面板图表中的绝缘电阻测量值：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 Views 下面选择 **Graph**。

使用 SCPI 命令设置应用

下列 SCPI 命令通过执行 20 V 源操作和测量电阻进行绝缘电阻测量。Simple Loop（简单循环）触发器模式用于以 100 ms 的间隔时间执行 10 次测量。

发送下列命令用于此示例应用：

命令	描述
<pre>*RST ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT 20 SOUR:VOLT:ILIM 0.01 SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON SENSE:CURR:UNIT OHM TRIG:LOAD "SimpleLoop", 10, 0.1 OUTP ON INIT *WAI :TRAC:DATA?1, 10, "debuffer1", READ, REL :OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • 重置 Model 2450。 • 选择将后面板端子用于测量。 • 设置为源电压。 • 输出 20 V。 • 设置 10 mA 源限值。 • 设置仪器测量电流。 • 将电流量程设为自动量程。 • 设置仪器测量电阻。 • 使用 Simple Loop 触发器模型在 100ms 测量 10 次。 • 打开输出。 • 启动读数。 • 等待测量结束。 • 从 debuffer1 中读取电阻和时间值。 • 关闭输出。

使用 TSP 命令设置应用

注意

下列 TSP 编码设计用于通过美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Test Script Builder (TSB) 运行。TSB 是一款可从美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站获取的软件工具。您可以安装并使用 TSB 来为已启用 TSP 功能的仪器编写代码和开发脚本。TSB 联机帮助和 *Model 2450 参考手册* 的“TSP 操作简介”部分提供了有关如何使用 TSB 的信息。

要使用其他编程环境，可能需要更改该 TSP 示例代码。

默认情况下，Model 2450 配置为使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令之前，必须选择 TSP 命令集。

启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 对于 Command Set，选择 **TSP**。
4. 在提示重新启动时，选择 **Yes**。

下列 TSP 命令通过执行 20 V 源操作和测量电阻进行绝缘电阻测量。Simple Loop（简单循环）触发器模式用于以 100 ms 的间隔时间执行 10 次测量。在执行代码之后，测量结果显示在 Test Script Builder 的仪器控制台中。

发送下列命令用于此示例应用：

```
--Reset the instrument
reset()
--Set up the measure function
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.unit = smu.UNIT_OHM
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
--Set up the source function.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 0.1
smu.source.level = 20
--Turn on the source output and take readings.
trigger.model.load("SimpleLoop", 10, 0.1)
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.initiate()
--Wait for the measurements to complete.
waitcomplete()
--Parse index and the data into three columns.
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, "\t", defbuffer1[i], "\t", defbuffer1.relativetimestamps[i])
end
--Turn off the output.
smu.source.output = smu.OFF
```

测量 FET 的 I-V 特性

本节内容：

简介	7-1
需要的设备	7-1
设置远程通信	7-2
设置外部硬件触发器	7-2
设备连接	7-4
使用 SCPI 命令远程控制 FET 测试	7-5
使用 TSP 命令远程控制 FET 测试	7-9

简介

本示例应用演示了如何使用两台 Model 2450 仪器来执行场效应晶体管的 I-V 特性。Model 2450 仪器是半导体器件测试的理想选择，因为它能快速、准确地执行源操作以及测量电流和电压。

确定 FET 的 I-V 参数有助于确保它们在预期应用中正常工作并且符合规格。利用 Model 2450 可以执行多种 I-V 测试，包括栅极漏电流、击穿电压、阈值电压、转移特性以及漏极电流。测试所需的 Model 2450 仪器数量取决于必须偏置和测量的 FET 端子数量。

本应用应用将向您展示如何对三端子 MOSFET 执行漏极曲线系列 (V_{ds} - I_d)。MOSFET 是数字集成电路的基础，因此是最经常使用的 FET。

需要的设备

- 两台 Model 2450
- 四根三轴电缆 (Keithley 部件号码 7078-TRX-10)
- 具有阴头三轴连接器的金属屏蔽测试装置或探测台
- 三轴 T 型线夹 (Keithley 部件号码 237-TRX-T)
- 根据您所使用的命令集，外部硬件触发器使用不同的布线：
 - 对于 SCPI 命令，使用 DB-9 阳头对阳头 9 针电缆将 Model 2450 后面的数字 I/O 端口相互连接。
 - 对于 TSP 命令，需要使用一根 TSP-Link 交叉电缆 (Model 2450 随附一根 Keithley 型号 CA-180-3A 电缆) 将 Model 2450 仪器后面板上的 TSP-Link 端口相互连接。
- 根据您所使用的命令集，从计算机到 Model 2450 使用不同的布线：
 - 对于 SCPI 命令，使用两根 GPIB 电缆、两根 USB 电缆或两根 Ethernet 电缆
 - 对于 TSP 命令示例，使用一根 GPIB 电缆、一根 USB 电缆或一根 Ethernet 电缆

下列章节将提供设置此应用中的两台 Model 2450 仪器的说明。

设置远程通信

本应用配置为远程运行。您可通过仪器支持的任何通信接口（GPIB、USB 或 Ethernet）运行此应用。

下图显示了用于远程通信接口的后面板连接位置。有关设置远程通信的更多信息，请参见远程通信接口。

图 32: Model 2450 远程接口连接



设置外部硬件触发器

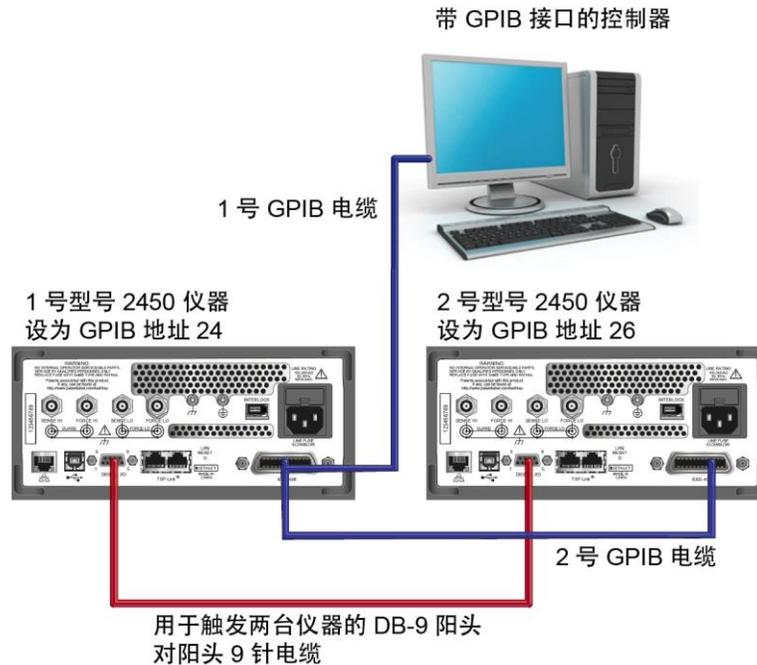
要在两台 Model 2450 仪器之间启用同步以实现电压步进和扫描，请将每台仪器的外部触发器相互连接起来。您使用的布线取决于您选择用来控制测试的 Model 2450 编程命令集。

用于 SCPI 命令集的连接

如果您正在使用 SCPI 命令集，则在每台仪器后面的数字 I/O 连接器之间连接一根 DB-9 阳头对阳头电缆，如下图所示。

有关数字 I/O 连接器针脚的更多详细信息，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“数字 I/O”部分。

图 33：用于 SCPI 编程示例的 GPIB 和 DB-9 电缆连接



上图还显示了在您使用 GPIB 远程通信接口情况下的通信电缆连接。1 号 GPIB 电缆将计算机（控制器）上的 GPIB 端口连接到 1 号型号 2450 仪器后面板上的 IEEE-488 连接器。2 号 GPIB 电缆连接两台 Model 2450 仪器的 IEEE-488 连接器。

注意

每台 Model 2450 必须具有不同的 GPIB 地址。您可以使用前面板来设置 GPIB 地址。有关详情，请参见[设置 GPIB 地址](#)（第 3-3 页）。

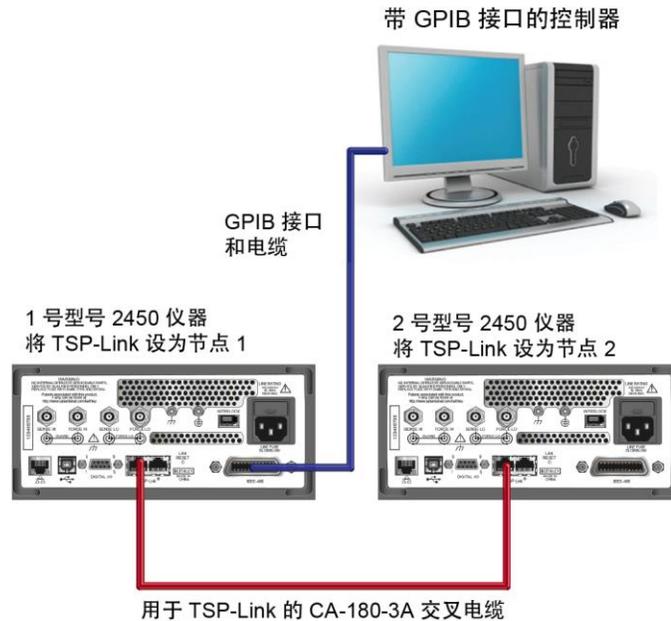
如果您正在使用 USB 电缆连接计算机和 Model 2450 仪器，则必须使用单独的 USB 电缆将每台仪器都连接到计算机。

如果您正在使用 Ethernet 连接连接计算机和 Model 2450 仪器，则必须使用 Ethernet 交换机或集线器连接仪器和计算机。

用于 TSP 命令集的连接

如果将测试脚本处理器 (TSP®) 命令集用于远程编程，请使用一根型号 CA-180-3A 交叉电缆（Model 2450 仪器已随附一根）将 Model 2450 仪器后面板上的 TSP-Link 端口相互连接起来（参见下图）。有关使用 TSP-Link 的更多信息，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“TSP-Link 系统扩展接口”部分。

图 34：用于 TSP 命令集的连接



对于从计算机到 Model 2450 的 GPIB 通信，您只需使用一根电缆从 GPIB 接口连接到 Model 2450 的其中一个 IEEE-488 接口（上图中的 1 号 Model 2450）即可。

将 1 号 Model 2450 的 TSP-Link 节点设为节点 1，2 号 Model 2450 的 TSP-Link 节点设为节点 2。

从前面板设置 Model 2450 的 TSP-Link 节点：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Communication**。打开 SYSTEM COMMUNICATION 窗口。
3. 在 **TSP-Link** 选项卡中，选择 Node 旁边的按钮并输入需要的节点编号。
4. 选择 **OK**。
5. 选择 **Initialize**。
6. 按 **HOME** 键返回主屏幕。

为 TSP-Link 网络中的所有 Model 2450 仪器重复此步骤。

设备连接

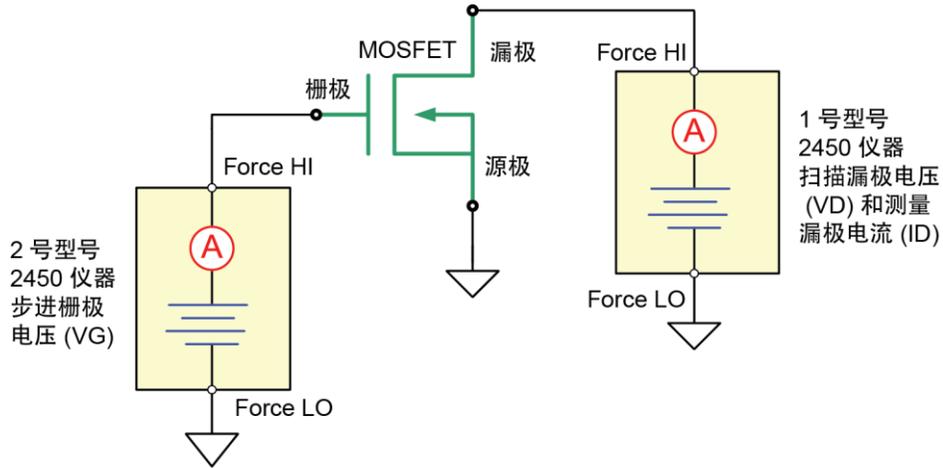
要执行漏极曲线系列，请将两台 Model 2450 仪器都配置为执行电压源操作和测量电流。

在此电路中，2 号 Model 2450 的 Force HI 端子连接到 MOSFET 的栅极，1 号 Model 2450 的 Force HI 端子连接到漏极。

MOSFET 的栅极端子连接到两台 Model 2450 仪器的 Force LO 端子。如果您想要为全部三个端子执行源操作和测量，则需要第三台 Model 2450。

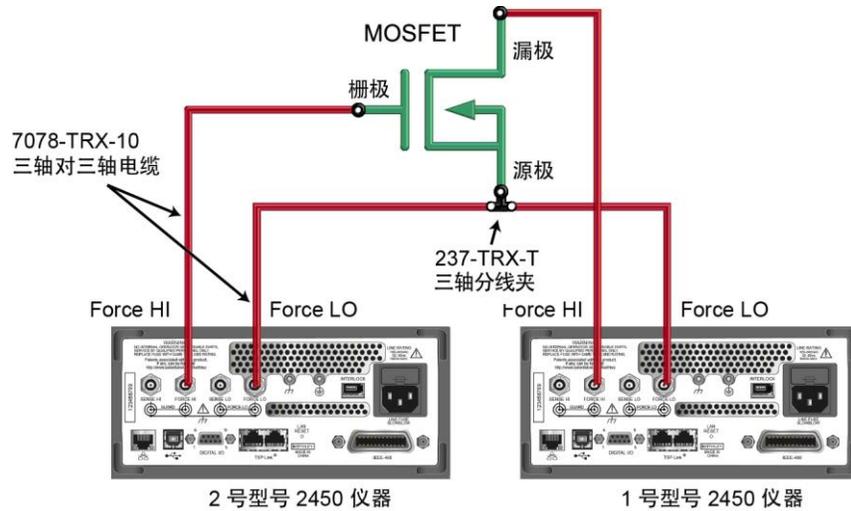
下图显示了使用两台 Model 2450 仪器的 MOSFET I-V 测试配置。

图 35：用于 MOSFET 的三端子 I-V 测试配置



下图显示了从两台 Model 2450 仪器后面板端子到 MOSFET 的连接。

图 36：配置为测试三端子 MOSFET 的两台 Model 2450



对于此应用，将使用四根三轴电缆（型号 7078-TRX-10）从 Model 2450 的后面板阴头三轴连接器连接到 MOSFET 设备。将 MOSFET 设备安装在具有阴头三轴连接器的金属屏蔽测试装置中。两台 Model 2450 仪器的 Force LO 端子均使用三轴 T 型线夹（型号 237-TRX-T）连接到 MOSFET 的栅极端子。

使用 SCPI 命令远程控制 FET 测试

此应用的两个 SCPI 命令示例序列用于使用两台 Model 2450 仪器生成漏极曲线系列。其中一个示例使用触发器模型生成曲线系列。另一个示例使用线性扫描。您可能需要做出修改，以便在您的编程环境中工作。

使用 SCPI 命令与触发器模型来设置应用

在本应用中, 栅极电压以 1 V 为步长从 2 V 步进到 5 V, 而漏极电压则以 51 个数从 0 V 扫描到 5 V, 并且测量漏极电流。电流和电压测量值存储在 `defbuffer1` 中。Model 2450 触发器模型用于同步两台 Model 2450。

您发送命令到漏极上的扫描器 (SMU 1) 或栅极上的步进器(SMU 2)。在表中, 用于扫描器的命令显示为浅灰色背景。用于步进器的命令显示为深灰色背景。浅棕色阴影代码表示将会视您所使用的编程环境变化的伪代码。“描述”列中的每个列表项用于说明“命令”列中的单行代码。

发送下列命令用于此示例应用:

SMU 1、SMU 2 或伪代码	命令	描述
SMU 1	<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:CONF:LIST:CRE "stepVals" DIG:LINE1:MODE TRIG, OUT DIG:LINE2:MODE TRIG, IN TRIG:DIG1:OUT:STIM NOT1 TRIG:DIG2:IN:CLE TRIG:DIG2:IN:EDGE RIS</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 重置仪器。 设置为测量电流。 设置为测量并启用自动量程。 设置为后部端子。 设置为源电压。 设置为 20 V 源量程。 创建名为 <code>stepVals</code> 的源配置列表。 将数字线路 1 设为触发输出。 将数字线路 2 设为触发输入。 将数字线路 1 的激励设为 <code>notify1</code> 事件。 清除数字线路 2。 设置为查找线路 2 的上升沿。
伪代码	<code>for i = 2 to 5 do:</code>	<ul style="list-style-type: none"> 设置从 2 到 5 的 <code>for</code> 循环。
SMU 1	<pre>SOUR:VOLT i SOUR:CONF:LIST:STORE "stepVals"</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 将电压电平设为迭代次数。 将源配置存储到 <code>stepVals</code> 中。
伪代码	<code>end for</code>	<ul style="list-style-type: none"> 结束 <code>for</code> 循环。
SMU 1	<pre>TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "stepVals" TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON TRIG:BLOC:MEAS 3 TRIG:BLOC:NOT 4, 1 TRIG:BLOC:WAIT 5, DIG2 TRIG:BLOC:CONF:NEXT 6, "stepVals" TRIG:BLOC:BRAN:COUN 7, 4, 3 TRIG:BLOC:SOUR:STAT 8, OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 创建触发器模型区块 1, 载入 <code>stepVals</code> 的第一个变址。 创建区块 2 以打开输出。 创建区块 3 以执行测量。 创建区块 4 以生成 <code>notify1</code> 事件。 创建区块 5, 在数字线路 2 上等待。 创建区块 6 以载入 <code>stepVals</code> 的下一个变址。 创建区块 7 以分支到区块 3 (3 次)。 创建区块 8 以关闭输出。

SMU 2	<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:CONF:LIST:CRE "sweepVals" DIG:LINE2:MODE TRIG, OUT DIG:LINE1:MODE TRIG, IN TRIG:DIG2:OUT:STIM NOT2 TRIG:DIG1:IN:CLE TRIG:DIG1:IN:EDGE RIS</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 重置仪器。 设置为测量电流。 设置为测量并启用自动量程。 设置为后部端子。 设置为源电压。 设置为 20 V 源量程。 将源限值设为 1 A。 创建源配置列表 <code>sweepVals</code>。 将数字线路 2 设为触发输出。 将数字线路 1 设为触发输入。 将数字线路 2 的激励设为 <code>notify2</code> 事件。 清除数字线路 1。 查找线路 1 的上升沿。
伪代码	<pre>for i = 0, 5, 0.1 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 设置从 0 到 5、以 0.1 为步长的 <code>for</code> 循环 (包括 0 和 5)。
SMU 2	<pre>SOUR:VOLT i SOUR:CONF:LIST:STORE "sweepVals"</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 将电压电平设为迭代次数。 将源配置存储到 <code>sweepVals</code> 中。
伪代码	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 结束 <code>for</code> 循环。
SMU 2	<pre>TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "sweepVals" TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON TRIG:BLOC:WAIT 3, DIG1 TRIG:BLOC:DEL:CONS 4, 0.01 TRIG:BLOC:MEAS 5 TRIG:BLOC:CONF:NEXT 6, "sweepVals" TRIG:BLOC:BRAN:COUN 7, 51, 4 TRIG:BLOC:NOT 8, 2 TRIG:BLOC:BRAN:COUN 9, 4, 3 TRIG:BLOC:SOUR:STAT 10, OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 创建区块, 载入 <code>sweepVals</code> 的第一个变址。 创建区块以打开输出。 创建区块, 在数字线路 3 上等待。 创建区块以延迟 0.01 秒。 创建区块以执行测量。 创建区块以载入 <code>sweepVals</code> 的下一个变址。 创建区块以分支到区块 4 (50 次)。 创建区块以生成 <code>notify2</code> 事件。 创建区块以分支到区块 3 (3 次)。 创建区块以关闭输出。
SMU 1	<pre>INIT</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 启动触发器模型。
SMU 2	<pre>INIT</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 启动触发器模型。
伪代码	<pre>vds = [] ids = [] for i = 2, 5 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 创建空数组以保存测得的电压值。 创建空数组以保存测得的电流值。 设置从 2 到 5 的 <code>for</code> 循环 (包括 5)。
SMU 2	<pre>vds[i-1] = TRAC:DATA?1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", SOUR vds[i-1] = TRAC:DATA?1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 将源值和测量值分别保存到数组 <code>vds</code> 和 <code>ids</code>。来自每个步进的读数保存在数组中的各个变址处。
伪代码	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 结束 <code>for</code> 循环。

在线性扫描中使用 SCPI 命令来设置应用

在本示例中, 栅极电压以 1 V 为步长从 2 V 步进到 6 V, 而漏极电压则以 51 个步长从 0 V 扫描到 5 V, 并且测量漏极电流。从 `defbuffer1` 中一一检索 51 对读数和源值, 并分别保存在数组 `vds` 和 `ids` 中。

您发送命令到扫描器 (SMU 1) 或步进器 (SMU 2)。在表中, 用于扫描器的命令显示为浅灰色背景。用于步进器的命令显示为深灰色背景。浅棕色阴影代码表示将会视您所使用的编程环境变化的伪代码。“描述”列中的每个列表项用于说明“命令”列中的单行代码。

发送下列命令用于此应用:

SMU 1、SMU 2 或伪代码	命令	描述
SMU 2	<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 重置仪器。 设置为测量电流。 设置为测量并启用自动量程。 设置为使用后部端子。 设置为源电压。 设置为 20 V 源量程。
SMU 1	<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:SWE:VOLT:LIN 0, 5, 51, 0.01</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 重置仪器。 设置为测量电流。 设置为测量并启用自动量程。 设置为使用后部端子。 设置为源电压。 设置为 20 V 源量程。 将源限值设为 1 A。 设置从 0 V 到 5 V 的线性扫描 (51 个步长, 延迟为 10 ms)。
SMU 2	<pre>OUTP ON</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 打开输出。
伪代码	<pre>vds = [] ids = [] for i = 2, 5 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 创建空数组以保存测得的电压值。 创建空数组以保存测得的电流值。 设置从 2 到 5 的 <code>for</code> 循环 (包括 2 和 5)。
SMU 2	<pre>SOUR:VOLT i</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 将源电平设为循环的迭代次数。
伪代码	<pre>delay(0.5)</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 延迟 500 ms 以便建立电平。
SMU 1	<pre>INIT *OPC?</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 触发扫描开始。 操作完成位查询。
伪代码	读取输出队列	<ul style="list-style-type: none"> 等待扫描完成。
SMU 1	<pre>vds[i-1]=TRAC:DATA?1, 51, "defbuffer1", SOUR ids[i-1]=TRAC:DATA?1, 51, "defbuffer1", READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 从缓冲器中一一接收 51 对读数和源值, 并将其分别保存在数组 <code>vds</code> 和 <code>ids</code> 中。数组在变址一处开始。数组中的每个点包含每个栅极电压的一份值列表。
伪代码	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 结束 <code>for</code> 循环。
SMU 2	<pre>OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 关闭输出。注意: 可以从数组 <code>vds</code> 和 <code>ids</code> 返回所有源值和测量值。

使用 TSP 命令远程控制 FET 测试

此应用的两个测试脚本处理器 (TSP®) 命令示例序列用于使用两台 Model 2450 仪器生成漏极曲线系列。其中一个示例使用触发器模型生成曲线系列。另一个示例使用线性扫描。您可能需要做出修改，以便在您的编程环境中工作。

注意

下列 TSP 编码设计用于通过美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Test Script Builder (TSB) 运行。TSB 是一款可从美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站获取的软件工具。您可以安装并使用 TSB 来为已启用 TSP 功能的仪器编写代码和开发脚本。TSB 联机帮助和 *Model 2450 参考手册* 的“TSP 操作简介”部分提供了有关如何使用 TSB 的信息。

要使用其他编程环境，可能需要更改该 TSP 示例代码。

默认情况下，Model 2450 配置为使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令之前，必须选择 TSP 命令集。

启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 对于 Command Set，选择 **TSP**。
4. 在提示重新启动时，选择 **Yes**。

使用 TSP 命令与触发器模型来设置应用

发送下列命令用于此示例应用:

```
--Reset the instruments and the TSP-Link connection, and clear the buffers.
tsplink.initialize()
reset()
--If the tsplink state is not online, print an error message and quit
state = tsplink.state
if state ~= "online" then
    print("Error:\n-Check that all SMUs have a different node number")
    print("-Check that all SMUs are connected correctly\n")
    return
end
----- Model 2450 #1 (gate) setup -----
steppoints = 4
--Set up the source function.
smu.source.configlist.create("stepVals")
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.autorange = smu.ON
--Set up the measure function.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
--Set up TSP-Link triggering.
tsplink.line[1].reset()
tsplink.line[1].mode = tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_MASTER
trigger.tsplinkout[1].stimulus = trigger.EVENT_NOTIFY1
--Populate the stepVals source config list, with source levels 2 V to 5 V
for i = 2, 5 do
    smu.source.level = i
    smu.source.configlist.store("stepVals")
end
--Set up the trigger model.
trigger.model.setblock(1, trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "stepVals")
trigger.model.setblock(2, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.ON)
trigger.model.setblock(3, trigger.BLOCK_MEASURE)
trigger.model.setblock(4, trigger.BLOCK_NOTIFY, trigger.EVENT_NOTIFY2)
trigger.model.setblock(5, trigger.BLOCK_WAIT, trigger.EVENT_TSPLINK1)
trigger.model.setblock(6, trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "stepVals")
trigger.model.setblock(7, trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, steppoints, 3)
trigger.model.setblock(8, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.OFF)
----- Model 2450 #2 (drain) setup -----
sweepoints = 51
--Set up the source function.
node[2].smu.source.configlist.create("sweepVals")
node[2].smu.source.func = node[2].smu.FUNC_DC_VOLTAGE
node[2].smu.source.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.source.ilimit.level = 100e-3
--Set up the measure function.
node[2].smu.measure.func = node[2].smu.FUNC_DC_CURRENT
node[2].smu.measure.autorange = node[2].smu.OFF
node[2].smu.measure.terminals = node[2].smu.TERMINALS_REAR
node[2].smu.measure.range = 100e-3
--Set up TSP-Link triggering.
node[2].tsplink.line[1].mode = node[2].tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_ACCEPTOR
```

```
node[2].trigger.tsplinkout[1].stimulus = node[2].trigger.EVENT_NOTIFY1
--Populate the sweepVals source config list, with source levels
--0 V to 5 V in 100 mV steps
for i = 0, 5, 0.1 do
    node[2].smu.source.level = i
    node[2].smu.source.configlist.store("sweepVals")
end
--Set up the trigger model.
node[2].trigger.model.setblock(1, node[2].trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "sweepVals")
node[2].trigger.model.setblock(2, node[2].trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT,
    node[2].smu.ON)
node[2].trigger.model.setblock(3, node[2].trigger.BLOCK_WAIT,
    node[2].trigger.EVENT_TSPLINK1)
node[2].trigger.model.setblock(4, node[2].trigger.BLOCK_DELAY_CONSTANT, 0.01)
node[2].trigger.model.setblock(5, node[2].trigger.BLOCK_MEASURE)
node[2].trigger.model.setblock(6, node[2].trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "sweepVals")
node[2].trigger.model.setblock(7, node[2].trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, sweeppoints,
    4)
node[2].trigger.model.setblock(8, node[2].trigger.BLOCK_NOTIFY,
    node[2].trigger.EVENT_NOTIFY1)
node[2].trigger.model.setblock(9, node[2].trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, steppoints,
    3)
node[2].trigger.model.setblock(10, node[2].trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT,
    node[2].smu.OFF)
--Start the trigger model for both SMUs and wait until it is complete
node[2].trigger.model.initiate()
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Print the formatted readings.
if defbuffer1.n == 0 then
    print("\nNo readings in buffer\n")
else
    for k = 1, sweeppoints do
        print(string.format("%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f",
            node[2].defbuffer1.sourcevalues[k], node[2].defbuffer1[k],
            node[2].defbuffer1.sourcevalues[k+sweeppoints],
            node[2].defbuffer1[k+sweeppoints],
            node[2].defbuffer1.sourcevalues[k+sweeppoints*2],
            node[2].defbuffer1[k+sweeppoints*2],
            node[2].defbuffer1.sourcevalues[k+sweeppoints*3],
            node[2].defbuffer1[k+sweeppoints*3]))
    end
end
end
```

在线性扫描中使用 TSP 命令来设置应用

在本示例中，代码以步进方式改变栅源电压，并在每个步进值扫描漏源电压和测量漏源电流。本示例的参数包括：

- SMU-1（漏极）是扫描器和主节点（设为节点 1）
 - 开始步进电压：0 V
 - 停止步进电压：5 V
 - 步数：51
- SMU-2（栅极）是步进器和从属节点 2
 - 开始步进电压：2 V
 - 停止步进电压：5 V
 - 步数：4

发送下列命令用于此示例应用：

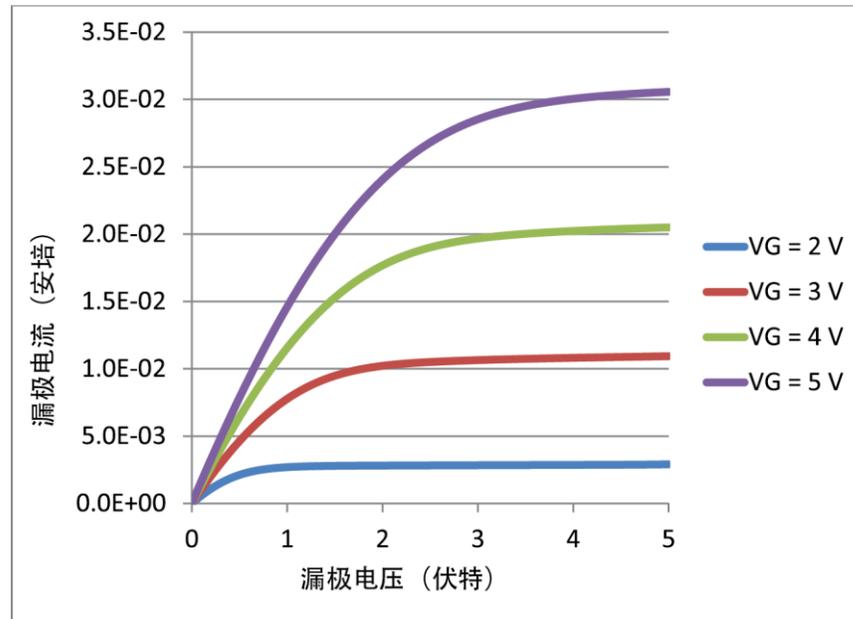
```
--Reset the instruments and the TSP-Link connection, and clear the buffers.
tsplink.initialize()
reset()
node[2].reset()
--If the TSP-Link state is not online, print an error message and quit.
state = tsplink.state
if state ~= "online" then
    print("Error:\n-Check that all SMUs have a different node number")
    print("-Check that all SMUs are connected correctly\n")
    return
end
--Set the number of sweep points (also used for printing).
num = 51
--##### Model 2450 #1 (drain) setup #####
--Set up the source function.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 300e-3
smu.source.autorange = smu.ON
--Set up the measure function.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
--Set up a linear sweep.
smu.source.sweeplinear("MOSFET", 0, 5, num, 0.001)
--##### Model 2450 #2 (gate) setup #####
--Set up the source function.
node[2].smu.source.func = node[2].smu.FUNC_DC_VOLTAGE
node[2].smu.source.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.source.ilimit.level = 100e-3
--Set up the measure function.
node[2].smu.measure.func = node[2].smu.FUNC_DC_CURRENT
node[2].smu.measure.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.measure.terminals = node[2].smu.TERMINALS_REAR
```

```
--Turn the stepper output on.
node[2].smu.source.output = node[2].smu.ON
readings = {}
sourcevalues = {}
iteration = 0
steppoints = 4
--Set the stepper V level, delay, start sweep, and wait to complete.
for i = 2, 5 do
  node[2].smu.source.level = i
  delay(0.01)
  trigger.model.initiate()
  waitcomplete()
  for j = 1, num do
    readings[j+iteration*num] = defbuffer1[j]
    sourcevalues[j+iteration*num] = defbuffer1.sourcevalues[j]
  end
  iteration = iteration+1
end
--Turn the stepper output off.
node[2].smu.source.output = node[2].smu.OFF
--Print the formatted readings.
if defbuffer1.n == 0 then
  print("\nNo readings in buffer\n")
else
  for k = 1, num do
    print(string.format("%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f", sourcevalues[k],
      readings[k], sourcevalues[k+num], readings[k+num], sourcevalues[k+num*2],
      readings[k+num*2], sourcevalues[k+num*3], readings[k+num*3]))
  end
end
end
```

生成的漏极电流和漏极电压在 Test Script Builder 的仪器控制台中以表格形式返回。您可以将数据复制和粘贴到电子表格中（例如 Microsoft® Excel®），以用于绘图和深入分析。

下图显示了本示例中生成的曲线系列图表。

图 37：使用两台 Model 2450 生成的 MOSFET 漏极曲线系列



本节内容：

简介	8-1
需要的设备	8-3
设备连接	8-3
自动电池充放电循环测试	8-5

简介

本示例应用演示如何使用单个 Model 2450 来执行自动电池充放电循环测试。

警告

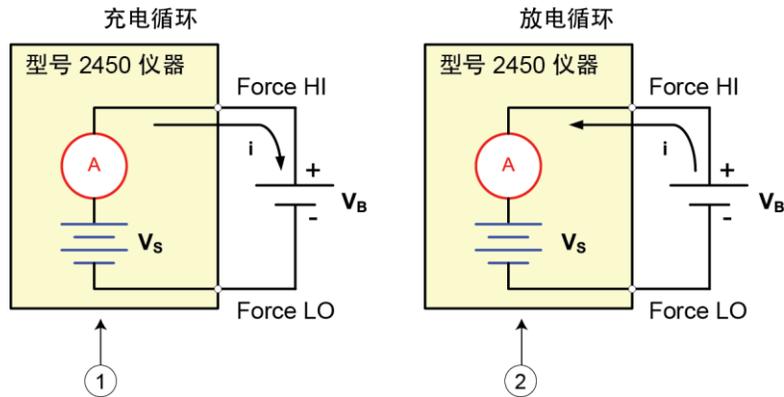
为防止人员受伤或损坏 Model 2450，切勿尝试对非充电电池充电。可以使用 Model 2450 进行充电的一些电池包括镍镉电池 (Ni-Cd)、镍氢电池 (Ni-MH)、锂离子电池 (Li-ion)、可充电碱性电池，以及铅酸蓄电池。如果您使用的是此处没有列出的电池类型，请联系您当地的美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司办事处、销售伙伴或经销商，或致电我们的应用工程师以获得技术帮助。

始终遵守电池制造商对于使用型号 2450 仪器为电池充电或放电的要求。未能正确地对电池充电或放电可能导致电池泄露或爆炸，从而造成人员受伤和财产损失。在对没有内置保护的充电电池充电时，仪器外部的充电电路中应提供过压和电流保护。

不要对超过 21 V、1.05 A 或 210 V、105 mA 的电池充电或放电。

对于充电循环和放电循环，Model 2450 均配置为源电压和测量电流。下图显示了充放电循环简化原理图。

图 38：电池充放电循环原理图



1	Model 2450 处于源模式 ($V_s > V_B$)。仪器作为电源工作；充电电流 (i) 为正电流。
2	Model 2450 处于灌电流模式 ($V_s > V_B$)。仪器作为电子负载工作；放电电流 (i) 为负电流。

充电

电池通常使用恒定电流充电。充电的方法是，将 Model 2450 用作设为电池额定电压的电压源，并且将需要的充电电流设为电流限值。在测试开始时，电池电压低于型号 2450 仪器的电压输出设置。因此，此电压差驱动产生电流，而该电流被立即限制为用户定义的电流限值。在处于电流限值条件时，Model 2450 用作恒流源，直至达到设定的电压电平。随着电池逐渐变为完全充满状态，电流不断减小，直至达到零或接近零。为预防安全隐患或损坏电池，小心不要对电池过度充电。

放电

在对电池放电时，Model 2450 用作灌电流设备，因为它在耗散而不是提供电能。Model 2450 的电压源被设为低于电池电压的电平。电流限值设为放电速率。启用输出后，来自电池的电流流入型号 2450 仪器的 HI 端子。因此，电流读数为负值。放电电流应该保持恒定，直至电池电压下降到 Model 2450 的电压源设置。

 **小心**

如果您正在使用电流源对电池充电或放电，必须遵守下列注意事项。未能遵守这些注意事项可能导致不在保修范围内的仪器损坏。

确保外部电压不得超过电流源的电压限值设置。否则将导致从外部电池或源拉入过大的电流。

确保将电流源设为高阻抗输出关断状态。该设置在输出关闭时打开输出继电器。如果选择正常输出关断状态，关闭输出会将电压限值设为零。这种 0 V 源限值条件将会导致从外部电池或源拉入过大的电流。

在将 Model 2450 仪器连接到可能提供能量的设备之前，仔细考虑和配置输出关断状态、源和限值。可能提供能量的设备包括电压源、电池、电容器和太阳能电池。在连接该设备之前配置好仪器设置。如果未能考虑输出关断状态、源和限值，可能导致仪器或被测器件 (DUT) 损坏。

在将电流源用作灌电流设备时，始终设置电压限值，并将过压保护 (OVP) 配置为高于外部电压电平的电平。否则可能导致流入 Model 2450 的电流过大 (> 105 mA) 和错误的测量结果。

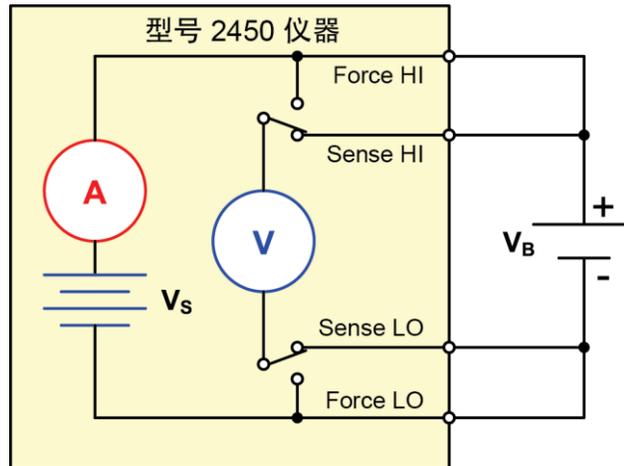
需要的设备

- 一台 Model 2450 大电流交互式 SourceMeter® 仪器
- 对于前面板连接，使用四根绝缘香蕉电缆，例如美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 8608 高性能线夹引线组 (Model 2450 仪器已随附一组，您需要另外获得一组)
- 对于后面板连接，使用四根三轴电缆
- 一根用于将 Model 2450 连接到计算机的 GPIB、USB 或 Ethernet 电缆
- 一块待测试的 2300 mAh AA (1.2 V) 充电电池

设备连接

要设置测试，请按下图所示的方法将 Model 2450 连接到电池。在仪器端子到电池之间使用 4 线（远程传感）连接，以消除引线电阻的影响。这使得您可以测量尽可能接近仪器端子处的电池电压。

图 39：用于电池充电和放电循环测试的原理图



警告

为了防止电击，测试连接的配置必须保证用户不能接触导线或与导线接触的任何被测器件 (DUT)。一种良好的习惯是在仪器加电之前先将仪器与 DUT 断开。安全安装需要使用适当的屏蔽罩、障碍物和接地，防止接触导线。

Model 2450 仪器的保护地（安全地）与 LO 端子之间没有内部连接。因此，LO 端子上可能出现危险电压（超过 $30 V_{rms}$ ）。仪器以任何模式工作时都有可能发生这种情况。为防止 LO 端子上出现危险电压，在应用允许的情况下，请将 LO 端子连接到保护地。您可以将 LO 端子连接到前面板上的机壳接地端子或后面板上的机壳接地螺丝端子。请注意，前面板端子与后面板端子之间是相互隔离的。因此，如果您正在使用前面板端子，请将前面板 LO 端子接地。如果您正在使用后面板端子，请将后面板 LO 端子接地。

请注意，即使目前没有选择 LO 端子，LO 端子上也可能出现危险电压。TERMINALS FRONT/REAR 开关选择当前端子进行测量。不会断开端子连接。

INPUT HI 和 INPUT LO 之间的最大输入电压是 $1000 V_{peak}$ 。超出此值可能造成电击危险。

最大共模电压（INPUT LO 和机壳接地线之间的电压）是 $500 V_{peak}$ 。超出此值可能导致绝缘击穿，造成电击危险。

您可以通过仪器后面板或前面板测试 Model 2450 连接。

将 Model 2450 的 Force HI 和 Sense HI 输出端子连接到电池的正极 (+) 端子。将 Sense LO 和 Force LO 输出连接到电池的负极 (·) 端子。

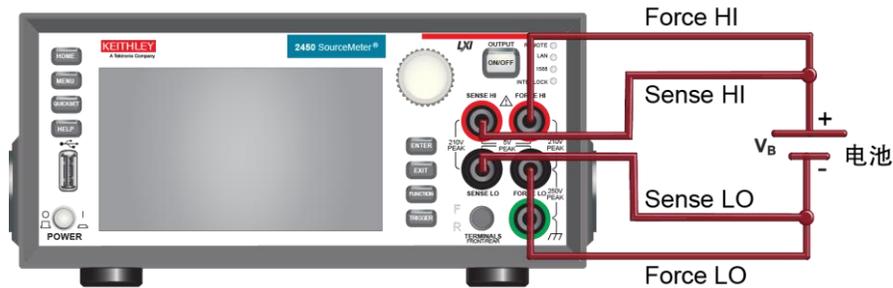
确保当 Model 2450 输出关闭时，仪器设置为高阻抗 (High-Z) 输出关断状态。选择高阻抗输出关断状态时，输出继电器在输出关闭时打开。这可以防止电池在输出关闭时过度放电。

如何将输出关断状态设为高阻抗：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 Source 列中，选择 **Settings**。
3. 依次选择 Output Off 旁边的按钮和 **High Impedance**。
4. 按 **HOME** 键返回主屏幕。

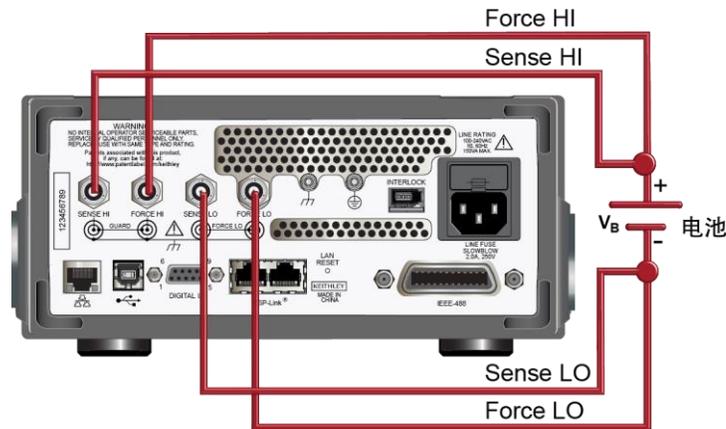
下图显示了前面板连接。您可以使用四根绝缘香蕉电缆（例如，两组美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 8608 高性能线夹引线组）完成这些连接。

图 40：用于电池放电-充电应用的前面板连接



下图显示了后面板连接。可以使用四根三轴电缆完成这些连接。

图 41：用于电池放电-充电应用的后面板连接



自动电池充放电循环测试

电池充电和放电循环通常需要几小时时间，因此自动执行测试非常重要。本示例演示了如何使用 Model 2450 通过 SCPI 命令或 TSP 命令来执行自动电池放电测试。

对于本应用，您将：

- 重置仪器。
- 将测量设为 4 线配置。
- 将仪器设为源电压和测量电流。
- 选择高阻抗输出关断模式，该模式在 Model 2450 的输出关闭时打开输出继电器。先选择此模式，再将电池连接至输出。这样可以防止电池在连接到输出关闭的仪器时过度放电。
- 将电流限值设为电池将要充到或放到的电流水平。也就是测试的负载电流。即便 Model 2450 正在执行电压源操作，也是在恒流模式下工作，因为在达到需要的电压之前，电流大小始终为电流限值。
- 打开源回读以使得 Model 2450 在充电或放电时测量电池电压。
- 读取负载电流、源回读电压和相对时间戳。
- 监视电压，直至电池电压达到需要的电压水平并停止测试。

要对电池充电，请设定 Model 2450 输出等于电池电压额定值的电压。例如，要为一块 10 V 电池充电，将 Model 2450 设为 10 V 电压源。随着电池逐渐完全充满，电流不断减小，直至达到零或接近零（电池充满）。

要对电池放电，请设定 Model 2450 输出低于电池电压的电压电平并将输出关断状态设为高阻抗。在此配置下，Model 2450 将用作灌电流设备对电池进行放电。来自电池的电流流入 Model 2450 器的 HI 端子，生成负电流测量值。在电池放电时，电流保持恒定。

设置远程通信

本应用配置为远程运行。您可通过仪器支持的任何通信接口（GPIB、USB 或 Ethernet）运行此应用。

下图显示了用于远程通信接口的后面板连接位置。有关设置远程通信的更多信息，请参见远程通信接口。

图 42：Model 2450 远程接口连接



使用 SCPI 命令设置电池应用

本示例中的 SCPI 代码将 Model 2450 设为源电压功能和测量电流功能。电压源设为 1 V，源限值设为 460 mA。返回电压、电流和相对时间戳值。执行测量，直至电压达到设定电平。

注意

您可能需要更改电流和电压电平，以便其适合您正在测试的电池。

在下列示例代码中请注意，一些代码被标记为“伪代码”。用于伪代码行的代码会基于您所使用的编程环境变化。

发送下列命令用于此示例应用：

SMU 命令或伪代码	命令	描述
SMU 命令	<pre>*RST OUTP:SMOD HIMP SENS:RES:RSEN ON SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT 1 SOUR:VOLT:READ:BACK ON SOUR:VOLT:RANG 2 SOUR:VOLT:ILIM 460e-3 SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG 1 OUTP ON</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 重置仪器。 打开高阻抗输出模式。 设置为 4 线传感模式。 设置为源电压。 将源电平设为 1 V。 打开源回读。 将源量程设为 2 V。 将源限值设为 460 mA。 设置为测量电流。 将电流量程设为 1 A。 打开输出。
伪代码	<pre>iteration = 1 voltLimit = 1.0 current = [] voltage = [] seconds = [] hours = [] while true do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 创建名为 <code>iteration</code> 的变量并初始化为 1。 创建名为 <code>voltLimit</code> 的变量并初始化为 1。 创建用于电流测量值的空数组。 创建用于电压测量值的空数组。 创建用于时间值的空数组。 开始 <code>while</code> 循环。
SMU 命令	<pre>current[iteration] = READ? "defbuffer1" voltage[iteration] = TRAC:DATA? iteration, iteration, "defbuffer1", SOUR seconds[iteration] = TRAC:DATA? iteration, iteration, "defbuffer1", REL</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 将电流读数附加到数组 <code>current</code>。 将电压读数附加到数组 <code>voltage</code>。 将时间读数附加到数组 <code>seconds</code>。

伪代码	<pre> hours[iteration] = seconds[iteration]/3600 print(voltage[iteration], current[iteration], hours[iteration]) if voltage[iteration] <= voltLimit then: break end if iteration = iteration + 1 delay(10) end while </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • 计算每个迭代花费的时数。 • 打印测得的数值。 • 将来自此迭代的电压读数与电压限值进行比较。如果测得的数值小于或等于限值，则跳出循环。 • 结束 if 语句。 • 将迭代计数递增 1。 • 延迟 10 秒。 • 结束 while 循环。
SMU 命令	OUTP OFF	<ul style="list-style-type: none"> • 关闭输出。

使用 TSP 命令设置电池应用

注意

下列 TSP 编码设计用于通过美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Test Script Builder (TSB) 运行。TSB 是一款可从美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站获取的软件工具。您可以安装并使用 TSB 来为已启用 TSP 功能的仪器编写代码和开发脚本。TSB 联机帮助和 *Model 2450 参考手册* 的“TSP 操作简介”部分提供了有关如何使用 TSB 的信息。

要使用其他编程环境，可能需要更改该 TSP 示例代码。

默认情况下，Model 2450 配置为使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令之前，必须选择 TSP 命令集。

启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 对于 Command Set，选择 **TSP**。
4. 在提示重新启动时，选择 **Yes**。

本示例中的 TSP 编码将 Model 2450 设为源电压功能和测量电流功能。电压源设为 1 V，源限值设为 460 mA。返回电压、电流和相对时间戳值。执行测量，直至电压达到设定电平。在测试期间，这些测量值显示在屏幕底部的 USER（用户）滑动屏中（参见示例代码后面的插图）。

注意

您可能需要更改电流和电压电平，以便其适合您正在测试的电池。

发送下列 TSP 命令用于此示例应用:

```
--Reset the instrument, which clears the buffer.
reset()
--Source settings.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.offmode = smu.OFFMODE_HIGHZ
smu.source.level = 1
smu.source.range = 2
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.ilimit.level = 460e-3
--Measure settings.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.range = 460e-3
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
--Set the voltage limit at which the battery will stop discharging.
--Set the variable for the number of iterations.
voltLimit = 1.0
iteration = 1
--Turn on the source output.
smu.source.output = smu.ON
--Change the display to the USER swipe screen.
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
--Keep taking readings in the while loop until the measured voltage
--is equal to the voltage limit.
while true do
  --Take a reading and get the current, voltage, and relative
  --timestamp values.
  curr = smu.measure.read(defbuffer1)
  volt = defbuffer1.sourcevalues[iteration]
  time = defbuffer1.relativetimestamps[iteration]
  hours = time/3600
  --Print the number of completed cycles, the voltage, and the time
  --for the iteration.Display information on the front panel.
  print("Completed Cycles:", iteration, "Voltage:", volt,
    "Time:", time)
  display.settext(display.TEXT1, string.format("Voltage = %.4fV", volt))
  display.settext(display.TEXT2, string.format("Current = %.2fA,"
    .."Time = %.2fHrs", curr, hours))
  --Increment the number of iterations and wait 10 seconds.
  --Compare the measured voltage to the voltage limit.
  --Exit the loop if the voltage limit has been reached.
  if volt <= voltLimit then
    break
  end
  iteration = iteration + 1
  delay(10)
end
```

```
--Turn the output off when the voltage limit is reached.
smu.source.output = smu.OFF
--Print the measured values in a four-column format.
print("\nIteration:\tCurrent:\tVoltage:\tTime:\n")
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, "\t", defbuffer1[i], "\t", defbuffer1.sourcevalues[i],
        "\t", defbuffer1.relativetimestamps[i])
```

下图显示了此测试应用的结果。

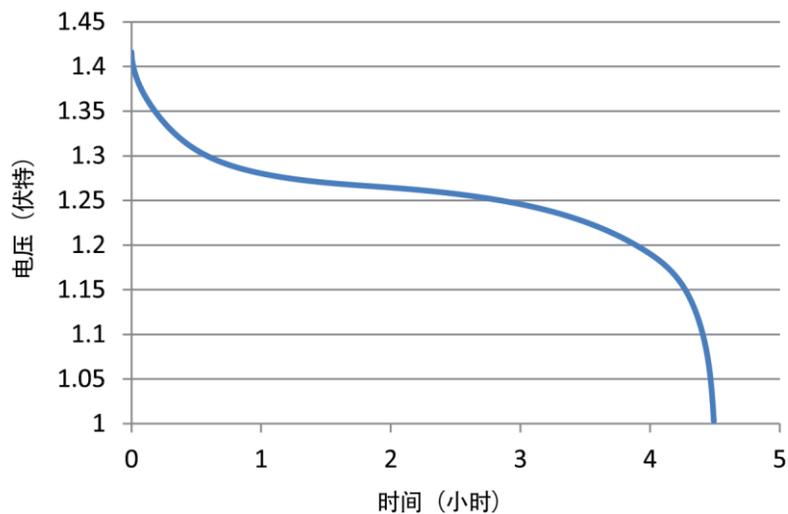
图 43：显示测试结果的 Model 2450 USER 滑动屏



1	测得的负载电流
2	测得的电池电压
3	源值和运行的测试时间

图 44：电池充电和放电测试的结果

以 460 mA 电流放电的 2300 mAH AA 电池 (0.2 C)



测量太阳能电池的 I-V 特性

本节内容：

简介	9-1
需要的设备	9-1
设置远程通信	9-1
设备连接	9-2
太阳能电池特性	9-4

简介

本示例应用演示如何使用 Model 2450 交互式 SourceMeter® 仪器来测量太阳能电池的 I-V 特性。通过 Model 2450 所测得的 I-V 特性，可以确定关于太阳能电池的重要参数，包括：

- 最大电流 (I_{\max}) 和电压 (V_{\max})
- 最大功率 (P_{\max})
- 开路电压 (V_{oc})
- 短路电流 (I_{sc})

由于 Model 2450 具有四象限源功能，因此它可以灌入高达 1 A 的太阳能电池电流（作为所应用的电压的函数）。

需要的设备

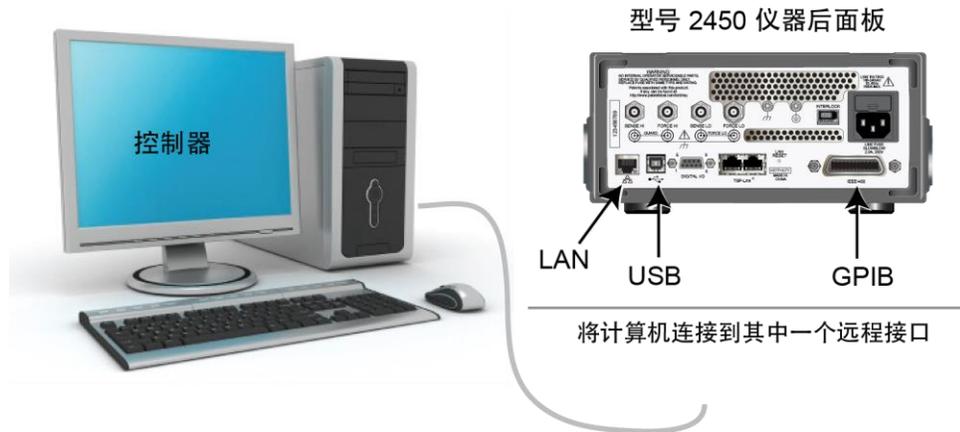
- 一台 Model 2450 交互式 SourceMeter® 仪器
- 对于前面板连接，使用四根绝缘香蕉电缆，例如美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 8608 高性能线夹引线组（Model 2450 仪器已随附一组，您需要另外获得一组）
- 对于后面板连接，使用四根三轴电缆
- 一块太阳能电池

设置远程通信

您可通过仪器的前面板或任何支持的通信接口（GPIB、USB 或 Ethernet）运行此应用。

下图显示了用于远程通信接口的后面板连接位置。有关设置远程通信的更多信息，请参见远程通信接口。

图 45: Model 2450 远程接口连接



设备连接

使用 4 线配置将 Model 2450 连接到太阳能电池，以提供最佳测量精度和消除引线电阻对测量产生的影响。

使用 4 线连接方法：

- 将 FORCE LO 和 SENSE LO 引线连接到阴极端子。
- 将 FORCE HI 和 SENSE HI 引线连接到阳极端子。
- 使连接尽可能接近太阳能电池，以避免在测量中包含测试引线的电阻。

此应用可使用前面板或后面板端子。

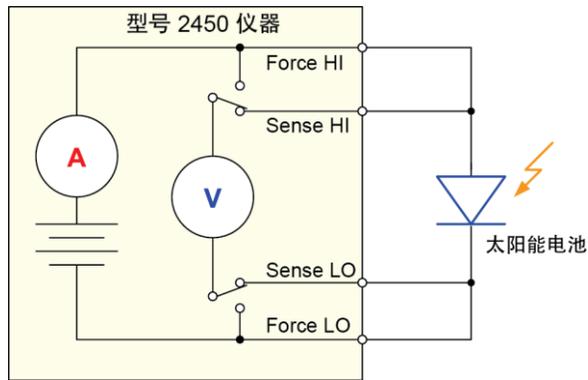
警告

在所有输出和保护端子上都有可能存在危险电压。为防止可能导致人身伤害或死亡的电击，切勿在输出打开时连接或断开与 Model 2450 的连接。

为了防止电击，测试连接的配置必须保证用户不能接触被测器件 (DUT) 的导线或任何设备。一种良好的习惯是在仪器加电之前先将仪器与 DUT 断开。安全安装需要使用适当的屏蔽罩、障碍物和接地，防止接触导线。

下图显示了应用的原理图。

图 46： Model 2450 到太阳能电池的连接



下图显示了前后面板的物理连接。注意，必须使用前面板端子或后面板端子 — 不能混合连接。后面板连接为三轴连接。前面板连接为安全型香蕉插头座。

注意

在连接到 Model 2450 之前，关闭仪器电源。

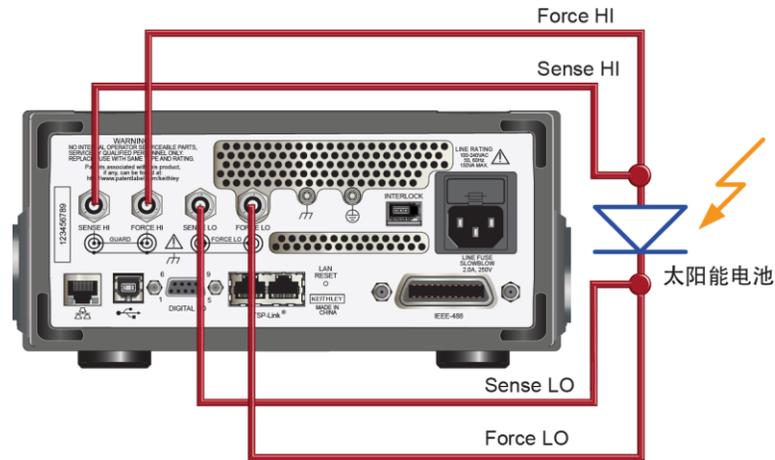
下图显示了前面板连接。您可以使用四根绝缘香蕉电缆（例如，两组美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Model 8608 高性能线夹引线组）完成这些连接。

图 47： 到 Model 2450 前面板的 4 线连接



下图显示了后面板连接。可以使用四根三轴电缆完成这些连接。

图 48：到 Model 2450 后面板的 4 线连接



太阳能电池特性

本应用演示如何使用 Model 2450 测量太阳能电池的特性。本示例显示如何使用前面板、远程接口上的 SCPI 编码和远程接口上的 TSP 编码。

对于该测试，您将：

- 重置仪器。
- 选择源电压和测量电流功能。
- 选择电流限值。
- 选择四线（远程传感）模式。
- 设置和生成电压扫描。
- 启动触发器模型，从而打开输出。
- 记录测量值。
- 完成电压扫描后，关闭输出。
- 检索测量值。
- 在前面板图表中查看数据。

注意

您必须控制此应用的光源；在光源打开的情况下运行测试，然后在光源关闭的情况下再次运行测试。

从前面板设置太阳能电池 I-V 扫描

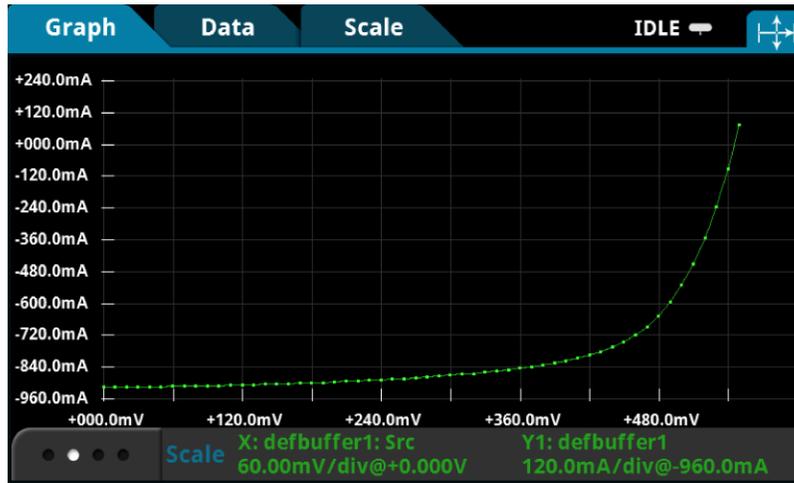
此为 I-V 测试示例，该示例采用 10 mV 步进值扫描 0 V 到 0.55 V 之间的电压并测量生成的电流。您可在图表屏幕中查看数据。

从前面板设置应用：

1. 如[设备连接](#)（第 5-2 页、第 6-2 页、第 9-2 页）所述，将仪器连接到被测器件 (DUT)。
2. 按前面板上的 **POWER** 开关打开仪器。
3. 重置仪器：
 - a. 按 **MENU** 键。
 - b. 在 System 下面选择 **Info/Manage**。
 - c. 选择 **System Reset**。
 - d. 选择 **OK**。
4. 按 **HOME** 键。
5. 按 **FUNCTION** 键。
6. 在 Source Voltage and Measure 下面，选择 **Current**。
7. 按 **MENU** 键。
8. 在 Measure 下面选择 **Settings**。
9. 依次选择 Sense 旁边的按钮和 **4-Wire Sense**。
10. 按 **MENU** 键。
11. 在 Source 下面，选择 **Sweep**。
12. 将开始电平设为 0 V，并选择 **OK**。
13. 将停止电平设为 0.55 V，并选择 **OK**。
14. 将步进电平设为 10 mV，并选择 **OK**。
15. 轻扫 SWEEP SETTINGS 屏幕，直至看到 Source Limit。
16. 选择 Source Limit 旁边的按钮，输入 1 A，并选择 **OK**。
17. 选择 **Generate**。这为扫描设置了触发器模型。
18. 按 **MENU** 键。
19. 在 Views 下面选择 **Graph**。
20. 按下 **TRIGGER** 键启动触发器模型。输出打开，扫描时 RUN 指示灯在屏幕顶部可见。
21. 再次按下触发键重复扫描。

下图显示了前面板图表中的太阳能电池 I-V 测量示例。请注意，由于 Model 2450 处于灌电流模式，因此图表中的电流为负值。

图 49：前面板图表中的太阳能电池测量示例



使用 SCPI 命令设置太阳能电池 I-V 扫描

此 SCPI 命令示例序列用于生成太阳能电池的 I-V 扫描。您可能需要进行变更，使这个编码在您的编程环境中运行。

在此示例中，电压扫描范围为 0 V 至 0.55 V，分为 56 步。测量生成的太阳能电池电流。电流和电压测量值存储在默认缓冲器 1 (defbuffer1) 中。

发送下列命令用于此示例应用：

命令	描述
<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON SENS:CURR:RSEN ON SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 2 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:SWE:VOLT:LIN 0, 0.55, 56, 0.1 :INIT *WAI TRAC:DATA?1, 56, "defbuffer1", SOUR, READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • 重置 Model 2450。 • 设置为测量电流。 • 设置为测量并启用自动量程。 • 设置为使用 4 线传感模式。 • 设置为源电压。 • 设置为 2 V 源量程。 • 将电流限值设为 1 A。 • 设置扫描电压为从 0 V 到 0.55 V，56 步，延迟为 0.1 s。 • 启动扫描。 • 等待扫描结束。 • 从 defbuffer1 中读取源值和测量值。

使用 TSP 命令设置太阳能电池 I-V 扫描

注意

下列 TSP 编码设计用于通过美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司 Test Script Builder (TSB) 运行。TSB 是一款可从美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站获取的软件工具。您可以安装并使用 TSB 来为已启用 TSP 功能的仪器编写代码和开发脚本。TSB 联机帮助和 *Model 2450 参考手册* 的“TSP 操作简介”部分提供了有关如何使用 TSB 的信息。

要使用其他编程环境，可能需要更改该 TSP 示例代码。

默认情况下，Model 2450 配置为使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令之前，必须选择 TSP 命令集。

启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 对于 Command Set，选择 **TSP**。
4. 在提示重新启动时，选择 **Yes**。

在此应用中，将线性电压扫描配置为以 56 个步进值输出 0 V 到 0.53 V 电压。仪器测量太阳能电池在扫描期间所生成的电流。

发送下列命令用于此示例应用：

```
--Define the number of points in the sweep.
num = 56
--Reset the instrument and clear the buffer.
reset()
--Set the source and measure functions.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
--Measurement settings.
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_FRONT
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
--Source settings.
smu.source.highc = smu.OFF
smu.source.range = 2
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.ilimit.level = 1
smu.source.sweeplinear("SolarCell", 0, 0.53, num, 0.1)
```

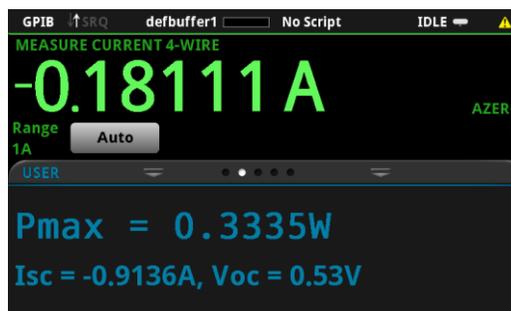
```

--Start the trigger model and wait for it to complete.
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Define initial values.
voltage = defbuffer1.sourcevalues
current = defbuffer1
isc = current[1]
mincurr = current[1]
imax = current[1]
voc = voltage[1]
vmax = voltage[1]
pmax = voltage[1]*current[1]
--Calculate values.
for i = 1, num do
  print(voltage[i],current[i],voltage[i]*current[i])
  if (voltage[i]*current[i] < pmax) then
    pmax = voltage[i]*current[i]
    imax = current[i]
    vmax = voltage[i]
  end
  if math.abs(current[i]) < math.abs(mincurr) then
    voc = voltage[i]
  end
end
pmax = math.abs(pmax)
imax = math.abs(imax)
print("Pmax = ", pmax, ", Imax = ", imax, ", Vmax = ", vmax, ", Isc = ", isc, ", " .."Voc
= ", voc)
--Display values on the front panel.
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
display.settext(display.TEXT1, string.format("Pmax = %.4fW", pmax))
display.settext(display.TEXT2, string.format("Isc = %.4fA, Voc = %.2fV", isc, voc))

```

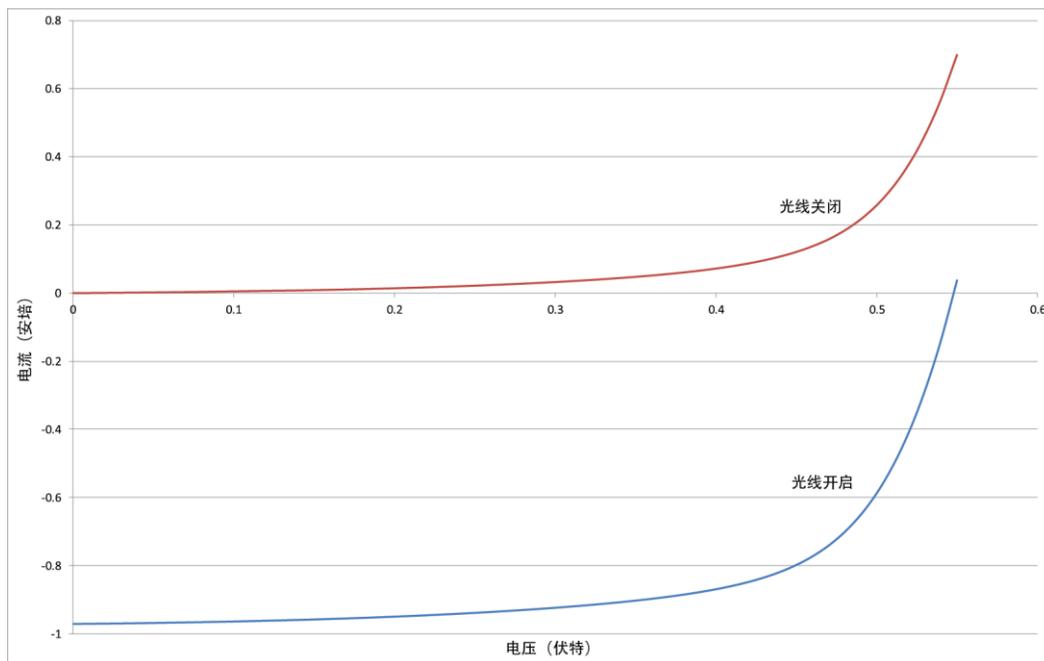
在以上示例中，仪器被设定为使用 `display.changescreen` 和 `display.settext` 命令在 User（用户）滑动屏中显示自定义文本。完成测试后，显示屏将指示最大功率 (P_{max})、短路电流 (I_{sc}) 和开路电压 (V_{oc})，如下图所示。

图 50: USER 滑动屏上的太阳能电池 I-V 扫描结果



在执行编码之后，Test Script Builder 的仪器控制台中返回五个值，且测量的电流、测量的电压和计算得出的功率显示在 Model 2450 的前面板上。您可以将数据从 TSB 仪器控制台复制到电子表格中（例如 Microsoft® Excel®），以用于绘图和深入分析。下图中的电子表格显示图表数据结果。注意，在有光照（光线开启）和无光照（光线关闭）条件下分别对太阳能电池执行测试。

图 51： 有光照和无光照条件下生成的太阳能电池 I-V 特性



本节内容：

关于本节	10-1
在哪里可以找到更新的驱动程序?	10-1
如何升级固件?	10-2
Model 2450 为何无法读取我的 U 盘?	10-2
如何更改命令集?	10-2
为何会收到 5074 事件代码?	10-3
如何保存仪器的当前状态?	10-4
我的设置为什么发生了变化?	10-4
有哪些快速设置选项?	10-5

关于本节

本节帮助您查找 Model 2450 仪器所遇到的常见问题的解答。更多常见问题，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“常见问题 (FAQ)”部分。

在哪里可以找到更新的驱动程序?

如需最新驱动程序和其他支持信息，请参见美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站。

要查看您的仪器有哪些可用的驱动程序：

1. 访问 [美国吉时利仪器 \(Keithley Instruments\) 公司支持网站](http://www.keithley.com.cn/support) (<http://www.keithley.com.cn/support>)。
2. 输入您仪器的型号。
3. 从列表选择 **Software Driver**。

注意

如果您使用本地 LabVIEW™ 或 IVI 驱动程序，则必须将 Model 2450 配置为使用 SCPI 命令集。有关更改命令集的信息，请参阅 [如何更改命令集?](#) (第 10-2 页)

如何升级固件？

**小心**

在完成升级过程之前，切勿关闭电源或拔下 U 盘。

注意

可以从前面板或虚拟前面板升级或降级固件。请参阅“使用 Model 2450 虚拟前面板”以了解更多信息。

从前面板或虚拟前面板：

1. 将固件文件 (.upg file) 复制到 U 盘。
2. 确认固件文件位于 U 盘的根目录中，并且是该位置的唯一固件文件。
3. 断开连接到仪器的任何输入和输出端子。
4. 打开仪器电源。
5. 将 U 盘插入到仪器前面板上的 USB 端口。
6. 在仪器前面板上按 **MENU** 键。
7. 在 System 下面选择 **Info/Manage**。
8. 要更新至较新版本的固件，选择 **Upgrade to New**。
9. 要返回上一个固件版本，选择 **Downgrade to Older**。
10. 如果仪器使用远程控制，则会显示一条消息。选择 **Yes** 以继续。
11. 完成升级后，重启仪器。

升级进行时会显示一条消息。

在[美国吉时利仪器 \(Keithley Instruments\) 公司网站](http://www.keithley.com.cn) (<http://www.keithley.com.cn>) 上提供了升级文件。

Model 2450 为何无法读取我的 U 盘？

确认 U 盘已格式化为 FAT 文件系统。Model 2450 仅支持 FAT 驱动器。

在 Microsoft® Windows® 中，可以通过查看 U 盘的属性来查看文件系统。

如何更改命令集？

您可以更改用于型号 2450 仪器的命令集。可用的远程命令集包括：

- SCPI：一种基于 SCPI 标准构建的仪器专用语言。
- TSP：一种脚本编程语言，包含可从单独仪器执行的因仪器而异的控制命令。可以使用 TSP 发送单独的命令或将多条命令合并为脚本。
- SCPI 2400：一种仪器专用语言，允许运行较早期的 2400 系列仪器开发的代码。

您无法合并多个命令集。

注意

美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司的 Model 2450 在出厂时设为使用 Model 2450 SCPI 命令集。

注意

如果选择 SCPI 2400 命令集，将无法访问一些扩展量程，以及当前使用 SCPI 命令集提供的其他功能。此外，一些 2400 系列代码在 Model 2450 与在之前仪器上的工作方式不同。有关这些差异的信息，请参见 *Model 2450 参考手册* 中的“Model 2400 应用中的 Model 2450”部分。

使用前面板设置命令集：

1. 按 **MENU** 键。
2. 在 System 下面选择 **Settings**。
3. 选择 Command Set 旁边的按钮。
4. 选择命令集。
5. 系统会提示您重启仪器。

从远程接口验证选择了哪个命令集：

发送命令：

```
*LANG?
```

如何通过远程界面更改 SCPI 命令集：

发送命令：

```
*LANG SCPI
```

重启仪器。

如何通过远程界面更改 TSP 命令集：

发送命令：

```
*LANG TSP
```

重启仪器。

如何通过远程界面更改 SCPI 2400 命令集：

发送命令：

```
*LANG SCPI2400
```

重启仪器。

为何会收到 5074 事件代码？

仪器提供后面板互锁电路。您必须启用此电路才能使仪器将源电压设为超过 ± 42 V 的直流电压。如果您在没有确定互锁的情况下尝试指定高压输出并打开源，将会看到显示事件代码 5074“Output voltage limited by interlock”（输出电压受到互锁限制）。

警告

Model 2450 附带互锁电路，必须将该电路明确激活才能启用高压输出。互锁有助于测试系统中的设备实现安全操作。不使用互锁可能导致操作人员暴露在危险电压中，并造成人员伤亡。

如果未确定安全互锁并打开源，将会发生下列操作：

- 标称输出被限制为小于 ± 42 V。
- 前面板 INTERLOCK 指示灯未点亮。

要恢复此错误，请使用安全测试装置正确接合互锁，然后再打开 Model 2450 的输出。

如何保存仪器的当前状态？

您可以使用前面板菜单或通过远程接口，将仪器中的设置保存为一个脚本。在保存脚本后，您可以调用脚本或将其复制到 U 盘中。

通过前面板：

1. 将 Model 2450 配置为您需要保存的设置。
2. 按 **MENU** 键。
3. 在 **Scripts** 下面选择 **Create Setup**。将显示 CREATE SETUP 窗口。
4. 选择 **Create**。显示键盘。
5. 使用键盘输入脚本名称。
6. 选择所显示键盘上的 **OK** 按钮。脚本已添加到内部存储器中。

使用 SCPI 命令：

将仪器配置为您需要保存的设置。要保存设置，发送命令：

```
*SAV <n>
```

其中 <n> 是 0 到 4 之间的整数。

注意

在前面板脚本菜单中，用 *SAV 命令保存的设置的名称为 Setup0x，其中 x 是您为 <n> 设定的值。

使用 TSP 命令：

将仪器配置为您需要保存的设置。要保存设置，发送命令：

```
createconfigscript("setupName")
```

其中 *setupName* 是将要创建的设置脚本的名称。

我的设置为什么发生了变化？

Model 2450 仪器中的许多命令会跟随所设定的源或测量功能而保存下来。例如，假设您将测量功能设为电流，并为显示位数设置了一个数值。在将测量功能更改为电压时，显示位数值将更改为最后为电压测量功能设置的数值。在恢复为电流测量功能时，显示位数值也将恢复为之前设置的数值。

有哪些快速设置选项？

QUICKSET 键打开一个提供功能选择、性能调整和快速设置入口的屏幕。

Quickset 菜单中的 Function 按钮让您能够选择源或测量功能。选项与您使用前面板上的 **FUNCTION** 键得到的选项相同。

Performance 滑块允许您调整速度和分辨率。随着速度的提高，分辨率会下降。随着分辨率的提高，读数速度会下降。这些设置在进行下一次测量时生效。

Performance 滑块允许您调整速度和分辨率。随着速度的提高，分辨率会下降。随着分辨率的提高，读数速度会下降。这些设置在下次打开输出和执行测量时生效。

这些快速设置允许您将仪器设为以电压表、电流表、欧姆表或电源模式工作。



选择一项快速设置时，仪器将打开输出。在将 Model 2450 连接到可能输出能量的设备（例如其他电压源、电池、电容或太阳能电池）之前，仔细考虑和配置合适的输出关断状态、源和限值。在连接到设备之前，配置针对仪器建议的设置。如果未能考虑输出关断状态、源和限值，可能导致仪器或被测器件 (DUT) 损坏。

本节内容：

Model 2450 其他信息.....	11-1
----------------------	------

Model 2450 其他信息

本手册为您提供了在各类应用中使用新的 Model 2450 交互式 SourceMeter® 仪器所需的入门信息。更详细的信息，请参见美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司的 *Model 2450 参考手册*。

如需相关文档、软件工具和驱动程序，请参见 24GDI-950-01 交互式 SourceMeter® 仪器的 *产品信息 CD-ROM*。

另请参见美国吉时利仪器 (Keithley Instruments) 公司网站 www.keithley.com.cn (<http://www.keithley.com.cn/support>) 以获得有关仪器的支持和其他信息。在网站中，您可以访问：

- Knowledge Center (知识中心)，包含下列手册：
 - *The Low Level Measurements Handbook (低电平测量手册) : Precision DC Current, Voltage, and Resistance Measurements (精度直流电流、电压和电阻测量)*
 - *Switching Handbook (切换手册) : A Guide to Signal Switching in Automated Test Systems (自动测试系统信号切换指南)*
- 应用说明
- 更新的驱动程序
- 关于相关产品的信息

您当地的现场应用工程师可帮助您进行产品选择、配置和使用。联系信息请查阅网站。

技术规格如有更改，恕不另行通知。
所有 Keithley 商标及商号均为 Keithley Instruments 的财产。
所有其他商标及商号均为其各自公司的财产。

Keithley Instruments
公司总部 • 28775 Aurora Road • Cleveland, Ohio 44139 • 440-248-0400 • 传真: 440-248-6168 • 1-800-935-5595 • www.keithley.com.cn



A Greater Measure of Confidence