www.rituchina.com

2470 型
高压 SourceMeter® 仪器

用户手册

2470-900-03 修订版 B/2019 年 8 月

2470-900-03B

KEITHLEY
A Tektronix Company

日图简介

深圳市日图科技有限公司（简称“日图科技”）创始于 2004 年，核心业务是为国内企业提供测试设备及相关器材的供应服务，公司客户涵盖制造、科研、教育、电力、能源、通信等众多领域。创业至今，日图科技已经成为国内仪器仪表行业中最大的综合服务供应商之一，日图科技作为行内的领先者，有着高效的供应服务体系，并拥有一支专业的、高素质的服务团队。

目前，日图科技已在深圳、上海、广州、苏州、重庆、杭州、西安、香港等国内电子工业发达地区设立了办事与服务机构，并通过日图科技在全国各地的经销网络，为广大客户提供优质的本地化服务。

日图科技一贯秉承“专业、规范，诚信立业，日日图新”的宗旨，并在实践中不断提升公司的服务能力，为客户提供专业、高效、全面、经济的优质供应服务，顾客满意是日图科技永远追求的目标。

合作伙伴

优势服务

(1) 产品选型

(2) 测试解决方案

(3) 免费测试服务

(4) 代办计量校准

(5) 维修维护

(6) 技术培训

(7) 物流配送

(8) 常备应急库存





2470 型

高压 SourceMeter® 仪器

用户手册

© 2019, Keithley Instruments, LLC

Cleveland, Ohio, U.S.A.

保留所有权利。

特此声明，未经 Keithley Instruments, LLC 事先书面许可，严禁在未经授权下对本文档的全部或部分信息进行复制、复印或使用。

这些原始说明的语言为英语。

TSP®、TSP-Link® 和 TSP-Net® 是 Keithley Instruments, LLC 的商标。所有 Keithley Instruments 产品名称均为 Keithley Instruments, LLC 的商标或注册商标。其他品牌名称是其各自所有者的商标或注册商标。

Lua 5.0 软件和相关文档文件版权归属于 © 1994 - 2015, Lua.org, PUC-Rio。您可以访问 Lua 许可站点 (http://www.lua.org/license.html) 上的 Lua 软件和相关文档的许可条款。

Microsoft、Visual C++、Excel 和 Windows 是 Microsoft Corporation 在美国和/或其他国家/地区的注册商标或商标。

文件编号：2470-900-03 修订版 B/2019 年 8 月

KEITHLEY
A Tektronix Company

安全性预防措施

在使用本产品以及任何相关仪器前请遵守以下安全性预防措施。虽然一些仪器和附件通常在无害电压下使用，但是也可能出现对人体有害的情况。

本产品应由特定人员使用，此类人员需能够辨别电击危险，且熟悉必要的安全注意事项，从而避免潜在伤害。在使用本产品之前，请仔细阅读并遵照所有安装、操作及维护信息。有关完整的产品技术规格，请参阅用户文档。

如果没有按照规定的方式使用产品，则产品所提供的保护功能有可能会被削弱。

产品用户的类型包括：

安全责任主体，可以是个人或者部门，对设备的使用和维护负责，责任主体需确保设备在其规定和运行能力内使用并确保操作人员经过了充分的培训。

操作人员只能将本产品用于预期功能。操作人员需经过电气安全措施培训和本仪器的正确使用培训。操作人员应得到电击保护并且防止接触到危险的带电电路。

维护人员对产品执行日常维护以确保正常运行，例如，设置线路电压或更换耗材。用户文档中说明了维护步骤。这些步骤都清楚描述了操作人员是否能够执行它们。否则，只应由维修员执行。

维修人员经过培训，能够处理带电电路，执行安全安装，以及修理产品。只有经过正确培训的维修员才能执行安装和维修步骤。

Keithley 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，带有低瞬时过压，不能直接连接到电网电压或具有瞬时高电压的电压源上。测量类别 II（引自 IEC 60664 标准）连接要求针对本地交流电网连接经常发生的高瞬时电压采取保护措施。某些 Keithley 测量仪器可以连接到电网上。这些仪器将被标记为类别 II 或更高。

除非技术规格、操作手册和仪器标签上明确允许，否则不要将任何设备连接到市电电源。

存在电击危险时要格外小心。电缆连接器插孔或测试夹具可能存在致命电压。美国国家标准学会 (ANSI) 声明当电压电平超过 30 V RMS、42.4 V peak 或 60 VDC 时存在电击危险。良好的安全实践是在测量前预计任何未知电路中都存在危险电压。

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。有时连接点不得不暴露出来，容易接触人体。在这种情况下，产品操作人员必须经过培训，知道如何保护自己以避开电击风险。如果电路可以在 1000 V 或更高电压下工作，则该电路中的任何导电部分都不得外露。

不要将开关卡直接连接到无限电源电路。它们适用于阻抗受限的源。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安装设备（例如机架安装），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。

为了最大限度保障安全性，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让电容放电：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。测量时始终保持双手干燥且站在能够经受测量电压的干燥绝缘表面上。

为了确保安全，必须根据操作说明使用仪器和附件。如果未按照操作说明中规定的方式使用仪器或附件，则设备所提供的保护功能有可能会被削弱。

不要超过仪器和附件的最大信号电平。最大信号电平在技术规格和操作信息中定义，并显示在仪器面板、测试夹具面板和开关卡上。

如果产品中使用了保险丝，请用同样类型和额定值的产品替换，从而继续保护免受火灾危险。

底座连接只能用做测量电路的屏蔽连接，不能作为保护性接地（安全接地）连接。

如果您使用测试夹具，被测器件接通电源之后，要紧闭机盖。安全操作需要使用机盖互锁。

如果有  螺丝，请使用用户文档中推荐的导线将其保护性接地（安全接地）。

仪器上的符号  的意思是“注意危险”。在任何情况下，当仪器上标有这个符号时，用户必须参考用户文档中的操作说明。

仪器上的符号  的意思是“警告电击风险”。请采用标准的安全性预防措施，以避免人员接触高压。

仪器上的符号  的意思是“表面烫手”。避免人员接触以防止灼伤。

符号  表示与设备外壳相连的接线终端。

如果产品上有  符号，表示指示灯中含有汞。请注意，必须根据联邦、州和本地法律正确处理指示灯。

用户文档中的**警告**标题解释了可能导致人身伤亡的危险。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**小心**标题解释了可能损坏仪器的危害。此种损坏可能使产品保修失效。

用户文档中带有  符号的**注意**标题说明了可能导致中度或轻微伤害或损坏仪器的危险。执行指定操作前始终先要仔细阅读与之相关的信息。仪器损坏可能导致保修服务失效。

不能将仪器和附件连接到人体上。

在执行任何维护之前，请断开电源线和所有测试电缆。

为防止电击和火灾危险，必须从 Keithley 购买电源电路中的替换组件（包括电力变压器、测试引线和输入插孔）。如果额定值和类型相同，可以使用经过适用国家安全认证的标准保险丝。只能用具有相同额定值的电源线更换仪器随附的可拆卸电源线。只要与原来的组件相同，与安全性无关的其他组件可以向其他供应商购买（请注意，选定的部件只应向 Keithley 购买，以保持产品的准确性和功能）。如果您不确定替换组件是否适用，请致电 Keithley 办公室了解信息。

除非特定于产品的文献中另有说明，否则 Keithley 仪器仅适用于下列环境条件下的室内场地：海拔高度等于或低于 2000 米（6,562 英尺）、温度在 0°C 至 50°C（32°F 至 122°F）范围内、污染度为 1 或 2。

要清洁仪器，请使用蘸有去离子水或温和水基清洁剂的布。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。如果按照说明操作，包含电路板且无外壳或底座的产品（如安装到计算机中的数据采集板）永远不需要清洁。如果数据采集板被污染，操作受到影响，应该将数据采集板返回工厂进行适当的清洁/维修。

2017 年 6 月的安全性预防措施修订版。

目录

简介 1-1

欢迎 1-1

本手册简介 1-2

延长保修 1-2

联系信息 1-2

手册各部分的编制方式 1-3

应用 1-3

前面板概述 2-1

打开或关闭仪器电源 2-1

前面板概述 2-3

打开或关闭 2470 输出 2-4

触摸屏显示器 2-5

选择触摸屏上的项目 2-6

滚动条 2-6

交互式滑动屏幕 2-6

菜单概览 2-10

将测量结果存储到 U 盘上 2-10

将屏幕截图保存到 U 盘 2-11

使用远程界面 3-1

远程通信接口 3-1

支持的远程接口 3-1

GPIB 通信 3-2

安装 GPIB 驱动程序软件 3-2

在计算机中安装 GPIB 卡 3-2

将 GPIB 电缆连接到仪器 3-2

设置 GPIB 地址 3-4

LAN 通信 3-4

在仪器上设置 LAN 通信 3-5

在计算机上设置 LAN 通信 3-6

USB 通信 3-7

使用 USB 将计算机连接到 2470 3-8

与仪器通信 3-8

使用网络界面 ... 3-12
LAN 故障排除建议 ... 3-13
Web 界面主页页面 ... 3-14
识别仪器 ... 3-14
查看事件日志中的事件 ... 3-15
确定要使用的命令集 ... 3-15

执行基本的前面板测量 ... 4-1

简介 ... 4-1
本应用所需的设备 ... 4-2
器件连接 ... 4-2
进行前面板测量 ... 4-3
如何进行前面板测量 ... 4-3

漏电和绝缘电阻 ... 5-1

简介 ... 5-1
所需设备 ... 5-2
设置远程通信 ... 5-2
器件连接 ... 5-2
测量漏电 ... 5-4
使用前面板设置漏电流应用 ... 5-5
查看前面板图形中的测量值 ... 5-6
使用 SCPI 命令设置漏电流应用 ... 5-7
使用 TSP 命令设置漏电流应用 ... 5-7
测量绝缘电阻 ... 5-9
使用前面板设置漏电电阻应用 ... 5-10
查看前面板图形上的测量值 ... 5-11
使用 SCPI 命令设置应用 ... 5-12
使用 TSP 命令设置应用 ... 5-12

测量 FET 的 I-V 特性 ... 6-1

简介 ... 6-1
所需设备 ... 6-2
设置远程通信 ... 6-2
设置外部硬件触发 ... 6-3
SCPI 命令集的连接 ... 6-3
TSP 命令集的连接 ... 6-4

器件连接 6-5
漏极漏电流测量器件连接 6-5
亚阈值电流或漏极曲线族测量器件连接 6-7
使用 SCPI 命令对 FET 测试进行远程控制 6-8
使用 SCPI 命令与触发模式设置应用 6-8
在线性扫描中使用 SCPI 命令设置应用 6-11
使用 TSP 命令对 FET 测试进行远程控制 6-13
使用 TSP 命令设置漏极漏电流测量 6-13
使用 TSP 命令设置亚阈值电流测量 6-14
使用 TSP 命令设置漏极曲线族测量 6-17

常见问题故障排除 7-1

关于本节 7-1
可以哪里找到更新的驱动程序？ 7-1
如何升级固件？ 7-2
为什么 2470 无法读取我的 U 盘？ 7-3
如何更改命令集？ 7-3
为什么收到 5074 事件代码？ 7-4
如何保存仪器的当前状态？ 7-5
为什么我的设置发生更改？ 7-5
有哪些 Quick Setup（快速设置）选项？ 7-6

后续步骤 8-1

其他 2470 信息 8-1

第 1 节

简介

本节内容：

欢迎 1-1
本手册简介 1-2
延长保修 1-2
联系信息 1-2
手册各部分的编制方式 1-3
应用 1-3

欢迎

感谢您选择 Keithley Instruments 产品。2470 高压 SourceMeter 仪器是一款精密的低噪声仪器，其中组合了稳定的直流电源和可重复的高阻抗万用表。该仪器具有直观的设置和控制、增强的信号质量和扩大的量程，以及优于市场上同类产品的电阻率和电阻功能。

2470 具有 1100 V 和 10 fA 的性能，最适用于检定和测试高电压、低漏电器件、材料和模块，如碳化硅 (SiC)、氮化镓 (GaN)、功率 MOSFET、瞬态抑制器件、电路保护器件、电源模块和电池。

SMU 仪器具有高度灵活的四象限电压和电流源/负载，与高精度电压和电流测量相耦合。2470 仪器可用作：

- 具有电压和电流读回功能的高精度电源
- 真电流源
- 数字万用表（DCV、DCI、欧姆和电源，具有 6½ 位分辨率）
- 高精度电子负载
- 脉冲发生器
- 触发控制器

本手册简介

本手册提供一些详细的应用，以帮助您通过 Keithley Instruments 生产的 2470 成功完成工作。本手册还提供前面板基本信息，以帮助您熟悉仪器。

本手册将概述每种应用，然后说明如何使用前面板、SCPI 代码、TSP 代码或 Keithley KickStart 软件完成应用。

有关这些应用中使用的命令，还将提供更多信息。请参阅*《2470 型号参考手册》*中的 SCPI 和 TSP 命令参考部分。 可从 www.rituchina.com上获取该手册。

延长保修

许多产品都可以延长保修期。这些宝贵的合同使您无需支付预算外的维修费用，而且能够以极低的修理价格提供更长的保修年限。新产品和现有产品都提供延长保修。有关详细信息，请联系当地的 Keithley Instruments 办事处、销售合作伙伴或分销商。

联系信息

如果您在查看本文档信息后有任何疑问，请联系您当地的 Keithley Instruments 办事处、销售伙伴或分销商。您也可以致电 Keithley Instruments 公司总部：1-800-935-5595（仅可在美国和加拿大境内拨打的免费电话），或者从美国境外致电 +1-440-248-0400。要获取全球联系电话号码，请访问 Keithley Instruments 网站 (www.rituchina.com)。

手册各部分的编制方式

本手册分为以下几部分：

- 前面板概览（第 2-1 页）：介绍基本的前面板界面使用信息。
- 使用远程接口（第 3-1 页）：介绍远程通信基础知识以及仪器 Web 界面用法。
- 应用示例（见下文）：提供详细示例说明在一些典型情况中如何使用 2470。
- 常见问题故障排除（第 7-1 页）：提供常见问题的解答，以帮助您解决在 2470 中遇到的常见问题。
- 后续步骤（第 8-1 页）：提供有关可帮助您使用 2470 的其他资源的信息。

本手册的 PDF 版本包含每个部分的书签。手册的各部分还列在本手册开头的目录中。

有关书签的更多信息，请参阅 Adobe® Acrobat® 或 Reader® 帮助信息。

应用

本手册提供一些应用示例，说明如何通过前面板和远程接口执行测试。这些应用在有关 2470 的概要信息的后面表述。包括：

- 执行基本前面板测量（第 4-1 页）：使用单个 2470 和一个两端子被测器件 (DUT) 演示基本的测量功能。
- 漏电流和绝缘电阻（第 5-1 页）：演示如何使用 2470 对两个端子 DUT 进行高电阻测量。
- 测量 FET 的 I-V 特性（第 6-1 页）：演示如何使用一个或两个 2470 验证和检定场效应晶体管 (FET)。

第 2 节

前面板概述

本节内容：

打开或关闭仪器电源 2-1
前面板概述 2-3
打开或关闭 2470 输出 2-4
触摸屏显示器 2-5
将测量结果存储到 U 盘上 2-10
将屏幕截图保存到 U 盘 2-11

打开或关闭仪器电源

按照以下步骤将 2470 连接到线路电源并打开仪器电源。2470 的工作电压范围为 100 V 至 240 V，工作频率为 50 Hz 或 60 Hz。它会自动感测线路的电压和频率。确保您所在地区的工作电压符合要求。

必须打开 2470 并使其预热至少 1 小时才能达到额定精度。

小心

使用错误的线路电压操作仪器可能会导致仪器损坏，并导致保修服务失效。

警告

2470 随附的电源线中包含用于接地插座的单独保护接地（安全接地）线。当正确连接时，仪器机箱通过电源线中的地线连接到电源线接地装置。此外，也可以通过后面板上的螺钉实现保护接地连接。该终端应连接至指定的保护接地线。如出现故障，不使用接地插座可能会发生电击，导致人员伤亡。

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。

要连接电源线：

1. 确保前面板 POWER（电源）开关处于关闭 (O) 位置。
2. 将随附电源线的阴端连接到后面板上的交流电插座。
3. 将电源线的阳端连接到已接地的交流电源插座。

图 1：2470 型号后面板上的交流插座



要打开或关闭 2470：

1. 在打开仪器之前，从 2470 上断开任何被测器件 (DUT)。
2. 要打开仪器，请按前面板 **POWER**（电源）开关将其置于打开 (|) 位置。仪器在启动时会显示状态栏。开机完成时将显示主页屏幕。
3. 要关闭仪器，请按前面板 **POWER**（电源）开关将其置于关闭 (O) 位置。

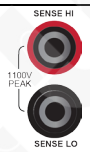
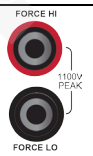
前面板概述

2470 的前面板如下所示。前面板上的控件说明如下图所示。

图 2：2470 型号前面板



控件	图形	说明
POWER（电源）开关		打开或关闭仪器电源。要打开仪器，请按下电源开关，使其处于打开位置 (|)。要关闭仪器，请按下电源开关，使其处于关闭位置 (O)。
HOME（主页）键		将显示器返回到主页屏幕。
MENU（菜单）键		打开主菜单。按主菜单上的图标可打开源代码、测量、视图、触发器、脚本和系统屏幕。
QUICKSET（快速设置）键		打开预配置设置的菜单，包括电压表、电流表、欧姆表和电源。还允许选择源和测量功能，并调整性能以获得更好的分辨率或速度。
HELP（帮助）键		打开针对显示器上选定区域或项目的帮助。如果在按 **HELP**（帮助）键时没有选择任何内容，则会显示您正在查看的屏幕的概览信息。要显示帮助，请按住屏幕上的按钮，同时按 HELP（帮助）键。
USB 端口		将读数缓冲区数据和屏幕快照保存到 U 盘。您还可以在 U 盘中存储和检索脚本。U 盘必须格式化为 FAT 或 FAT32 驱动器。
触摸屏		2470 具有高分辨率的五英寸彩色触摸屏显示器。触摸屏可访问滑动屏幕和菜单选项。您可以通过按前面板的 MENU（菜单）、QUICKSET（快速设置）和 FUNCTION（功能）键来访问其他交互式屏幕。
导航控件		**旋转导航控件：**移动光标以突出显示列表值或菜单项，以便您可以选择。当光标位于值输入字段中时，旋转控件可增加或减少字段中的值。**按导航控件：**选择突出显示的选项或允许您编辑所选字段。
ENTER（进入）键		选择突出显示的选项，或用于编辑选定字段。
EXIT（退出）键		返回上一屏幕或关闭对话框。例如，当显示主菜单时按 **EXIT**（退出）键将返回主页屏幕。在查看子屏幕（例如 Event Log（事件日志）屏幕）时，按 **EXIT**（退出）键将返回主菜单屏幕。

控件	图形	说明
FUNCTION（功能）键		显示仪器功能。要选择功能，请在屏幕上触摸功能名称。
TRIGGER（触发）键		访问与触发相关的设置和操作。**TRIGGER**（触发）键的操作取决于仪器状态。
OUTPUT ON/OFF（输出开/关）开关		打开或关闭输出源当源输出打开时，开关变亮。
REMOTE LED（远程 LED）指示灯		通过远程接口控制仪器时变亮。
LAN LED 指示灯		当仪器连接到局域网 (LAN) 时变亮。
1588 LED 指示灯		请注意，此时不支持 1588 功能。
INTERLOCK LED（互锁 LED）指示灯		互锁启用时变亮。
SENSE（感应）端子		使用 SENSE HI（感应 HI）和 SENSE LO（感应 LO）端子连接测量被测器件 (DUT) 的电压。当使用感应导线时，会消除对强制导线上的压降的测量。这将对 DUT 产生更精确的电压源和测量。
FORCE（强制）端子		使用 FORCE HI（强制 HI）和 FORCE LO（强制 LO）端子连接将电压或电流源提供给被测器件 (DUT) 或从其接收电压或电流。
FRONT/REAR TERMINALS（前/后端子）开关		激活前面板或后面板上的端子。前面板端子激活时，FRONT/REAR（前/后）开关的左侧可显示绿色“F”。后面板端子激活时，此开关的左侧可显示黄色“R”。
机箱连接		香蕉插孔连接器，其提供机箱连接。

打开或关闭 2470 输出

可以从前面板或通过发送远程命令打开 2470 输出。

⚠ 警告

关闭 2470 输出不会使仪器处于安全状态（为此功能提供互锁）。

所有输出和保护端子上都可能存在危险电压。为防止出现可能导致人身伤害或死亡的电击，切勿在仪器通电时与 2470 进行连接或断开连接。在操作电缆之前，从前面板关闭设备或从 2470 的后部断开主电源线。如果发生硬件或软件故障，将设备置于输出关闭状态并不保证输出关闭。

当仪器源关闭时，可能无法将仪器与外部电路完全隔离。可以使用 Output Off（输出关闭）设置在空闲期间（例如，当更改被测器件时）将 2470 置于已知的非交互状态。可为 2470 选择的输出关闭状态为正常、高阻抗、零或保护。

有关更多详细信息，请参阅*《2470 型号参考手册》*中的“输出关闭状态”。

使用前面板：

按 **OUTPUT ON/OFF**（输出开/关）开关。当开关变亮时，仪器处于输出打开状态。当开关未变亮时，仪器处于输出关闭状态。

使用 SCPI 命令：

要打开输出，请发送命令：

```
:OUTPut:STATe ON
```

要关闭输出，请发送命令：

```
:OUTPut:STATe OFF
```

使用 TSP 命令：

要打开输出，请发送命令：

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

要关闭输出，请发送命令：

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

触摸屏显示器

触摸屏显示器可让您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、读数缓冲区信息以及其他仪器功能。显示器上有多个滑动屏幕，您可以通过滑动前面板访问这些屏幕。您可以通过按前面板的 MENU（菜单）、QUICKSET（快速设置）和 FUNCTION（功能）键来访问其他交互式屏幕。

小心

请勿使用镊子或螺丝刀等锋利金属物体或钢笔或铅笔等尖锐物体摸触摸屏。强烈建议仅用手指操作仪器。支持使用无尘手套操作触摸屏。

选择触摸屏上的项目

要在显示的屏幕上选择项目，请执行以下一项操作：

- 用手指触摸它
- 旋转导航旋钮突出显示项目，然后按下导航控件选择该项目。

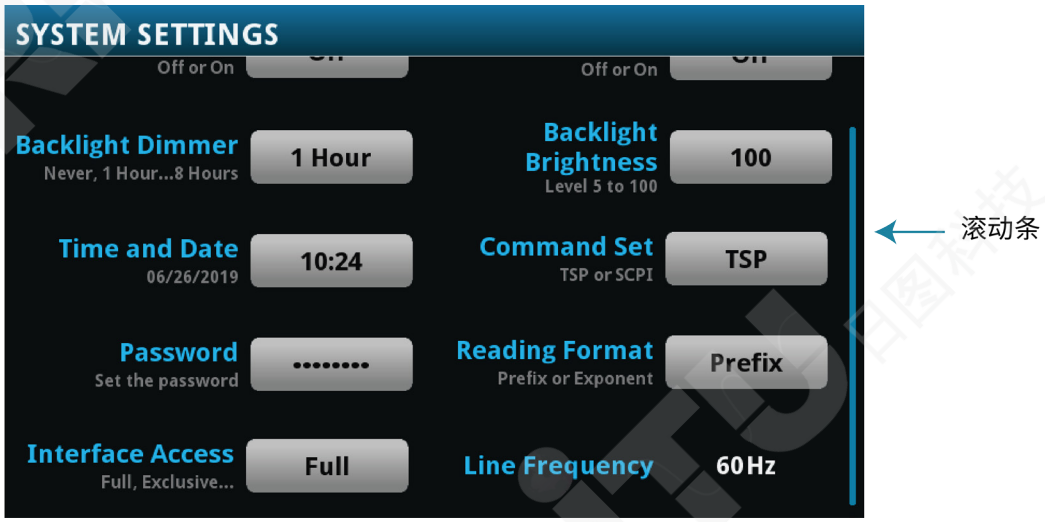
以下主题更详细地介绍 2470 触摸屏。

滚动条

某些交互式屏幕包含一些更多的选项，必须向下滚动屏幕时才会显示出来。触摸屏右侧的滚动指示器标识了这些屏幕。向上或向下滑动屏幕可查看更多选项。

下图显示了一个带滚动条的屏幕。

图 3：滚动条



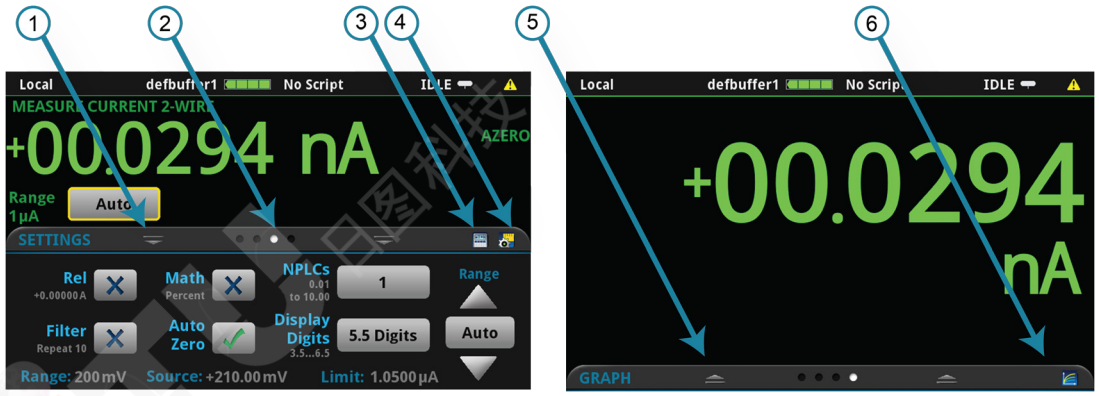
交互式滑动屏幕

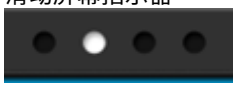
您可以通过在 2470 触摸屏显示器下半部向左或向右滑动来访问多个屏幕。以下主题介绍了滑动屏幕中提供的选项。

滑动屏幕标题栏

滑动屏幕的标题栏中包含以下选项。

图 4：最大化和最小化的滑动屏幕



#	屏幕元素	说明
1	最小化指示器 	您可以向下滑动以最小化滑动屏幕。
2	滑动屏幕指示器 	每个圆圈代表一个滑动屏幕。向右或向左滑动时，不同的圆圈会改变颜色，以指示您在屏幕序列中的位置。选中一个圆圈可在不滑动的情况下移动滑动屏幕。
3	计算操作快捷方式 	选择可打开 CALCULATION SETTINGS（计算设置）菜单。
4	Measure Settings（测量设置）快捷键 	选择可打开所选功能的 MEASURE SETTINGS（测量设置）菜单。
5	恢复操作指示器 	指示您可以向上滑动以显示滑动屏幕。
6	图形快捷键 	选择可打开 Graph（图形）屏幕。

SOURCE（源）滑动屏幕

SOURCE（源）滑动屏幕显示源的当前值以及源、源量程和源限值的设置值。通过选择此屏幕上的按钮，可以从前面板更改设置值。

图 5：SOURCE（源）滑动屏幕



屏幕右侧的源功能指示器表示对显示的源值有影响的设置：

- **MEAS（测量）：** 源读回打开，显示的值是源的测量值。
- **PROG（编程）:**源读回关闭，显示的值是已编程的源值。如果输出关闭，则显示的源值将替换为 **Output Off**（输出关闭）。

当 Limit（限值）标签显示为黄色时，仪器正在对源进行限值。

当测量方法设置为 Continuous（连续）时，当前值将连续更新。当测量方法设置为 Manual Trigger Mode（手动触发模式）或 Initiate Trigger Model（启动触发模式）时，在下一次测量发生时更新该值。

滑动屏幕标题栏右侧的图标是全部 SOURCE SETTINGS（源设置）菜单的快捷方式。

SETTINGS（设置）滑动屏幕

SETTINGS（设置）滑动屏幕可让您通过前面板访问某些仪器设置。它显示当前设置，并可让您快速更改、启用或禁用这些设置。

图 6：SETTINGS（设置）滑动屏幕



要禁用或启用某设置，请选中该设置旁边的框，以使其显示 X（禁用）或复选标记（启用）。

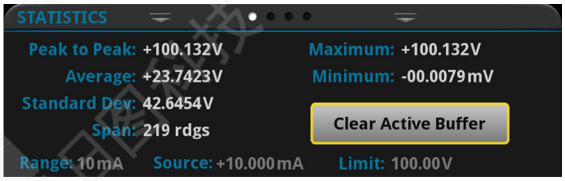
滑动屏幕标题栏右侧的图标是 CALCULATIONS SETTINGS（计算设置）和 MEASURE SETTINGS（测量设置）菜单的快捷方式。

有关设置的说明，请使用导航控件选择按钮，然后按 **HELP**（帮助）键。

STATISTICS（统计）滑动屏幕

STATISTICS（统计）滑动屏幕中包含有关活动读数缓冲区中读数的信息。将读数缓冲区配置为连续填充和用新数据覆盖旧数据时，缓冲区统计信息将包含已覆盖的数据。要获取不含已覆盖的数据的统计信息，请定义较大的缓冲区大小，以容纳您将要生成的读数数量。可以使用此屏幕上的 **Clear Active Buffer**（清除活动缓冲区）按钮清除活动读数缓冲区中的数据。

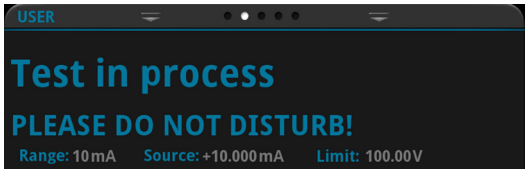
图 7：STATISTICS（统计）滑动屏幕



USER（用户）滑动屏幕

如果您编写自定义文本，该文本将显示在 USER（用户）滑动屏幕上。例如，您可以编程 2470 以显示正在进行测试。请参阅*《2470 型号参考手册》*中的“为用户滑动屏幕自定义消息”。

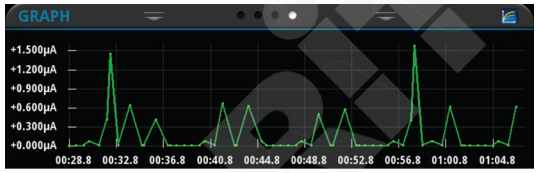
图 8：USER（用户）滑动屏幕



GRAPH（图形）滑动屏幕

GRAPH（图形）滑动屏幕显示当前所选读数缓冲区中的读数的图形表示。

图 9：GRAPH（图形）滑动屏幕



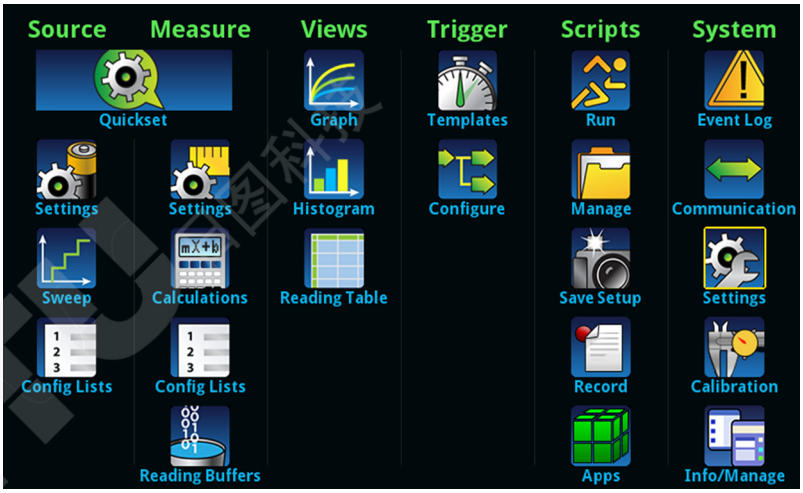
要以全屏查看图形并访问图形设置，请选择滑动屏幕标题右侧的图形图标。也可以通过按 **MENU**（菜单）键并在 Views（视图）下选择 **Graph**（图形）来打开完整功能 Graph（图形）屏幕。

有关图形测量的更多信息，请参阅*《2470 型号参考手册》*中的“图形”。

菜单概览

要访问主菜单，请按 2470 前面板上的 **MENU**（菜单）键。下图显示了主菜单的组织结构。

图 10：2470 主菜单



主菜单包括在显示器顶部标记为绿色的子菜单。在子菜单中选择选项将打开交互式屏幕。

将测量结果存储到 U 盘上

如果缓冲区中有测量数据，可以将其从 2470 复制到 U 盘。信息以 CSV 文件格式保存。

要存储测量数据：

1. 将 U 盘插入前面板 USB 端口。
2. 按 **MENU**（菜单）键。
3. 在 Measure（测量）列中，选择 **Reading Buffers**（读数缓冲区）。
4. 选择您想要保存的缓冲区。
5. 选择 **Save To USB**（保存到 USB）。
6. 在 File Content（文件内容）对话框中，根据数据集的需要进行选择。您可以按 **HELP**（帮助）获取有关每个选项的信息。
7. 选择 **OK**（确定）。

将屏幕截图保存到 U 盘

您可以将前面板显示的屏幕截图保存到 U 盘上的图形文件。仪器以 PNG 文件格式保存图形文件。

要保存屏幕截图，请执行下列操作：

1. 将 U 盘插入仪器前面板上的 USB 端口。
2. 导航到要截取的屏幕。
3. 按 **HOME**（主页）和 **ENTER**（进入）键。仪器显示“保存屏幕截图”。
4. 释放按键。

第 3 节

使用远程界面

本节内容：

远程通信接口 3-1
支持的远程接口 3-1
GPIB 通信 3-2
LAN 通信 3-4
USB 通信 3-7
使用网络界面 3-12
确定要使用的命令集 3-15

远程通信接口

可以从多个通信接口中选择一个来发送命令和从 2470 接收响应。

一次只能从一个通信接口控制 2470。仪器接收消息的第一个接口控制仪器。如果另一个接口发送消息，则该接口可以控制仪器。根据接口访问的设置，您可能需要输入密码才能更改接口。

当您连接到仪器后面板上的相应端口时，2470 会自动检测通信接口类型（LAN、USB 或 GPIB）。在大多数情况下，您不需要在仪器上配置任何项。此外，如果更改所连接的接口类型，不需要重新启动。

支持的远程接口

2470 支持以下远程接口：

- **GPIB**：IEEE-488 仪器通用接口总线
- **以太网**：局域网通信
- **USB**：USB B 型端口
- **TSP-Link**：高速触发同步和通信总线，可由测试系统制造商用于连接主-辅配置中的多台仪器

有关 TSP Link 的详细信息，请参阅*《2470 型号参考手册》*中的“TSP-Link 系统扩展接口”。

GPIB 通信

2470 接口符合 IEEE Std 488.1 标准，并支持 IEEE Std 488.2 通用命令和状态模型拓扑。

最多可以将 15 个设备连接到 GPIB 接口，其中包括控制器。最大电缆长度是以下两者中的较小者：

- 设备数量乘以 2 米（6.5 英尺）
- 20 米（65.6 英尺）

如果忽略这些限值，可能导致总线工作不稳定。

安装 GPIB 驱动程序软件

查看您的 GPIB 控制器的文档以了解从何处获取驱动程序的信息。Keithley Instruments 还建议您查看 GPIB 控制器的网站以获取最新版本的驱动程序或软件。

在连接硬件之前务必安装驱动程序。这可以防止将不正确的驱动程序与硬件关联。

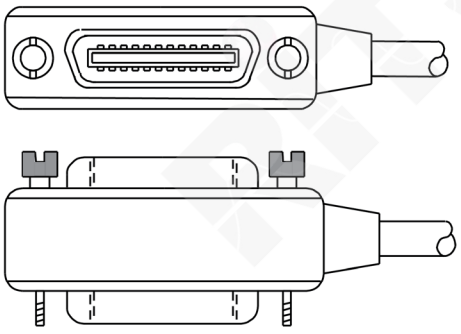
在计算机中安装 GPIB 卡

有关安装 GPIB 控制器的信息，请参阅 GPIB 控制器供应商提供的文档。

将 GPIB 电缆连接到仪器

要将 2470 连接到 GPIB 接口，请使用配有标准 GPIB 连接器的电缆，如下所示。

图 11：GPIB 连接器

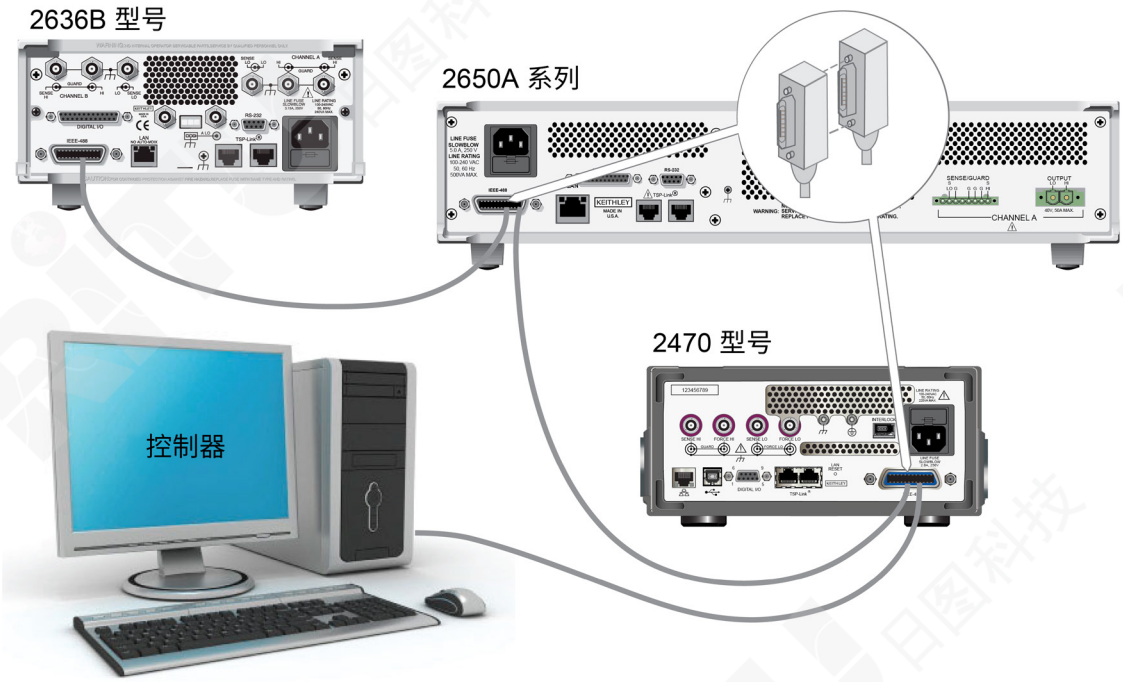


要建立与一台仪器的多个并行连接，请堆叠各连接器。每个连接器上都有两个螺丝，以确保牢固地连接。下图显示了对应于含多台仪器的测试系统的典型连接图。

小心

为避免可能的机械损坏，最多只能在任一台仪器上堆叠三个连接器。为了尽量减少电磁辐射造成的干扰，请只使用屏蔽的 GPIB 电缆。请与 Keithley Instruments 联系了解关于屏蔽电缆的信息。

图 12：IEEE-488 连接示例



要将 GPIB 电缆连接到仪器：

1. 将电缆连接器与 2470 后面板上的连接器对齐。
2. 连接连接器。拧紧螺钉，但不要过紧。
3. 根据您的应用需要，从其他仪器连接任何其他连接器。
4. 确保电缆末端正确连接到控制器。

设置 GPIB 地址

默认 GPIB 地址是 18。可以将地址设置为从 1 到 30 的值，前提是该值在系统中唯一。该地址不能与已分配给其他仪器或 GPIB 控制器的地址冲突。

注意

通常将 GPIB 控制器设置为从 0 到 21 的值。为了安全起见，请勿将任何仪器的地址配置为 21。

仪器会将地址保存在非易失性存储器中。当您发送重置命令或者关闭并重新打开电源时，地址不会改变。

要从前面板设置 GPIB 地址：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 选择 **Communication**（通信）。
3. 选择 **GPIB** 选项卡。
4. 设置 GPIB **Address**（GPIB 地址）。
5. 选择 **OK**（确定）。

注意

也可以使用远程命令设置 GPIB 地址。使用 SCPI 命令 `:SYSTem:GPIB:ADDRess` 或 TSP 命令 `gpib.address` 设置 GPIB 地址。

LAN 通信

您可以使用局域网 (LAN) 与仪器进行通信。

当使用 LAN 连接时，您可以使用网络浏览器访问仪器的内部网页并更改一些仪器设置。有关更多信息，请参阅使用 Web 界面（第 3-12 页）。

2470 是一款 1.5 版 LXI 设备规范 2016 的仪器，支持 TCP/IP 并符合 IEEE Std 802.3（以太网 LAN）的要求。仪器后面板上的一个 LAN 端口可支持在 10 Mbps 或 100 Mbps 网络上建立完整连接。2470 自动检测速度。

2470 还支持多播 DNS (mDNS) 和 DNS 服务发现 (DNS-SD)，这在不含中央管理程序的 LAN 上很有用。

注意

建立 LAN 连接之前，请联系网络管理员以确认您的具体网络要求。

如果在设置 LAN 时遇到问题，请参阅 LAN 故障排除建议（第 3-13 页）。

在仪器上设置 LAN 通信

本节介绍如何在仪器上设置手动或自动 LAN 通信。

检查通信设置

在设置 LAN 配置前，您可以检查仪器上的通信设置而无需执行任何更改。

要检查仪器上的通信设置：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Communication**（通信）。SYSTEM COMMUNICATIONS（系统通信）窗口将打开。
3. 选择 **LAN** 以查看该接口的设置。

设置自动 LAN 配置

如果要连接到采用 DHCP 服务器的局域网，或者如果您在仪器与主机之间建立有直接连接，则可以使用自动 IP 地址选择机制。

如果您选择 Auto（自动），仪器将尝试从 DHCP 服务器获取 IP 地址。如果失败，它将恢复到一个介于 169.254.1.0 到 169.254.254.255 之间的 IP 地址。

注意

应将主机和仪器都设置为使用自动 LAN 配置。虽然可以设置为手动配置，但设置起来会更复杂。

使用前面板设置自动 IP 地址选择机制：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Communication**（通信）。
3. 选择 **LAN** 选项卡。
4. 对于 TCP/IP 模式，选择 **Auto**（自动）。
5. 选择 **Apply Settings**（应用设置）以保存您的设置。

设置手动 LAN 配置

如有必要，您可以手动设置仪器的 IP 地址。

还可以启用或禁用 DNS 设置并将主机名称分配给 DNS 服务器。

注意

将仪器置于公司网络上时，请联系您公司的信息技术 (IT) 部门以确保仪器具有有效 IP 地址。

仪器 IP 地址具有一些前导零，而计算机 IP 地址则不能具有前导零。

要在仪器上设置手动 IP 地址选择机制：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Communication**（通信）。
3. 选择 **LAN** 选项卡。
4. 对于 TCP/IP 模式，请选择 **Manual**（手动）。
5. 输入 **IP Address**（IP 地址）。
6. 输入 **Gateway**（网关）地址。
7. 输入 **Subnet**（子网）掩码。
8. 选择 **Apply Settings**（应用设置）以保存您的设置。

在计算机上设置 LAN 通信

本节介绍如何在您的计算机上设置 LAN 通信。

注意

请勿在未咨询系统管理员的情况下更改 IP 地址。如果输入的 IP 地址不正确，可能会导致计算机无法连接到公司网络，或者对另一台联网的计算机造成干扰。

在修改网络接口卡上的任何现有网络配置信息前，请记录所有网络配置。一旦网络配置设置被更新，以前的信息将丢失。这可能会导致在将主机重新连接到公司网络时出现问题，特别是在禁用 DHCP 的情况下。

在将主机重新连接到公司网络前，务必将所有设置恢复为其原始配置。联系您的系统管理员以获取更多信息。

验证 2470 上的 LAN 连接

确保 2470 已连接到网络，方法是确认您的仪器是否具有已分配的 IP 地址。

要验证 LAN 连接：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Communication**（通信）。
3. 选择 **LAN** 选项卡。

LAN 选项卡左下角的绿色 LAN 状态指示灯确认您的仪器具有已分配的 IP 地址。

此外，当您的仪器连接到网络时，前面板右上角的绿色 LAN LED 亮起。

使用 LXI Discovery 工具

要查找 2470 的 IP 地址，请使用 LXI Discovery 工具。可从 LXI Consortium 网站 (lxistandard.org) 的 Resources 标签页中获得该工具。

USB 通信

要使用后面板的 USB 端口，必须在主机上安装 Virtual Instrument Software Architecture (VISA) 层。有关更多信息，请参阅*《2470 型号参考手册》*中的“如何安装 Keithley I/O 层”。

VISA 包含 USB 测试和测量类 (USBTMC) 协议的 USB 类驱动程序。安装此驱动程序后，Microsoft Windows 操作系统将能够识别仪器。

将用于实现 USBTMC 或 USBTMC-USB488 协议的 USB 设备连接到计算机时，VISA 驱动程序会自动检测设备。请注意，VISA 驱动程序仅会自动识别 USBTMC 和 USBTMC-USB488 设备，而不识别其他 USB 设备，例如打印机、扫描仪和存储设备。

在本节中，“USB 仪器”是指用于实现 USBTMC 或 USBTMC USB488 协议的设备。

使用 USB 将计算机连接到 2470

要从计算机与仪器进行通信，您需要一根 USB 电缆，该电缆带有 USB B 型连接器端和 USB A 型连接器端。对于打算使用 USB 接口同时连接到计算机的每台仪器，您都需要一根单独的 USB 电缆。

使用 USB 将仪器连接到计算机：

1. 将电缆的 A 型端连接到计算机。
2. 将电缆的 B 型端连接到仪器。
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”（发现新硬件向导）。
4. 如果“Can Windows connect to Windows Update to search for software?”（Windows 是否可以连接到 Windows Update 以搜索软件？）对话框打开，选择 **No**（否），然后选择 **Next**（下一步）。
5. 在“USB Test and Measurement device”（USB 测试和测量设备）对话框中，选择 **Next**（下一步），然后选择 **Finish**（完成）。

与仪器通信

为了使仪器与 USB 设备通信，您必须使用 NI-VISA™。VISA 需使用具有以下格式的资源字符串才能连接到正确 USB 仪器：

```
USB0::0x05e6::0x2470::[serial number]::INSTR
```

其中：

- `0x05e6`：Keithley 供应商 ID
- `0x2470`：仪器型号
- `[`序列号`]`：仪器的序列号（也可以在后面板上找到序列号）
- `INSTR`：使用 USBTMC 协议

资源字符串显示在 System Communications（系统通信）屏幕的右下角。选择 **Menu**（菜单），然后选择 **Communication**（通信）打开 System Communications（系统通信）菜单并选择 **USB** 标签。

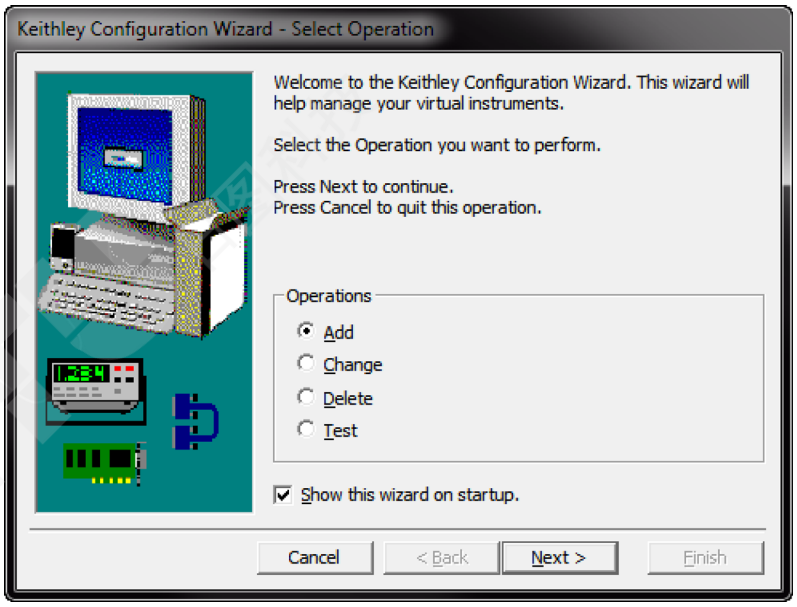
您还可以通过运行 Keithley 配置面板检索资源字符串，该面板会自动检测连接到计算机的所有仪器。

如果已安装了 Keithley I/O 层，则您可以通过 Microsoft® Windows® 的“开始”菜单访问 Keithley 配置面板。

要使用 Keithley 配置面板确定 VISA 资源字符串：

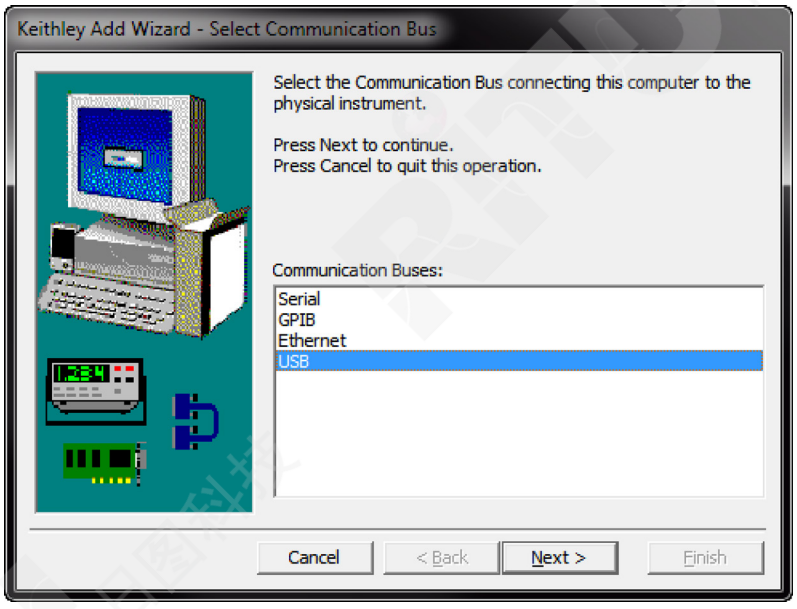
1. 单击 **Start（开始）> Keithley Instruments > Keithley Configuration Panel（Keithley 配置面板）**。将显示 Select Operation（选择操作）对话框。

图 13：Select Operation（选择操作）对话框



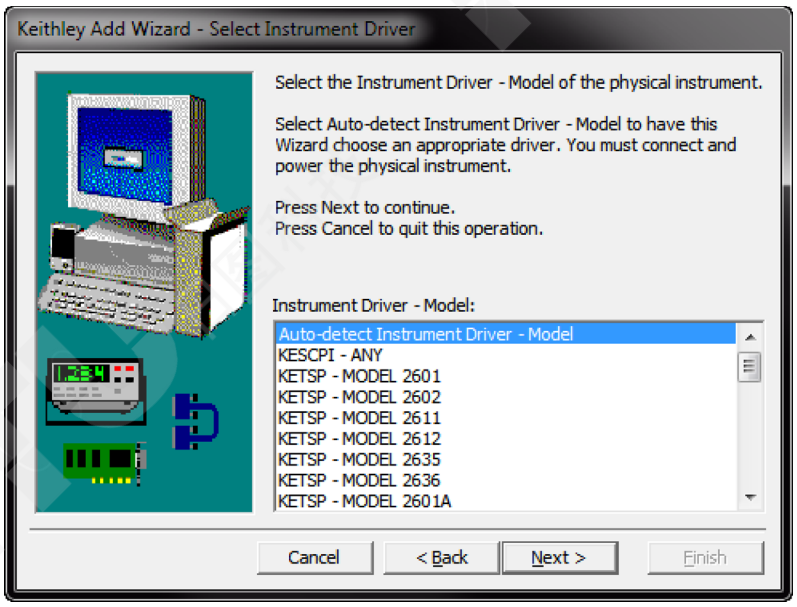
2. 选择 **Add**（添加）。
3. 选择 **Next**（下一步）。将显示 Select Communication Bus（选择通信总线）对话框。

图 14：Select Communication Bus（选择通信总线）对话框



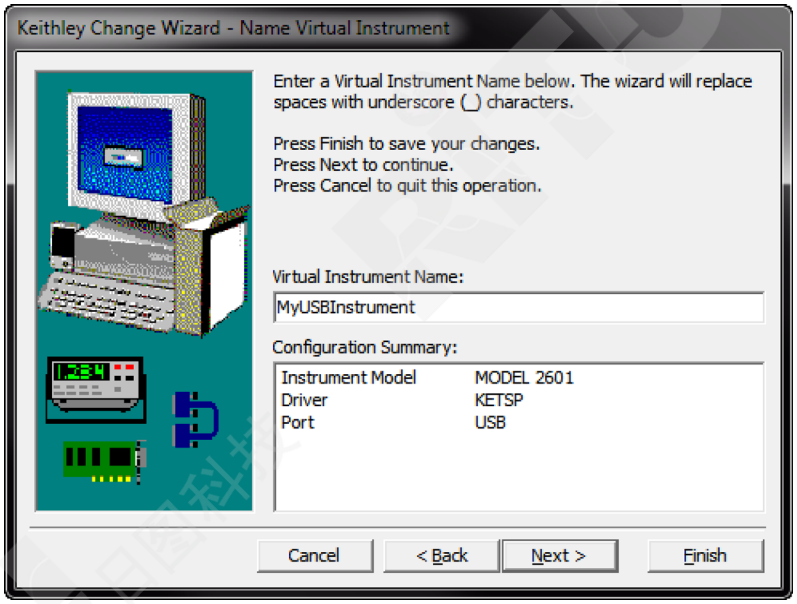
4. 选择 **USB**。
5. 单击 **Next**（下一步）。将显示 Select Instrument Driver（选择仪器驱动程序）对话框。

图 15：Select Instrument Driver（选择仪器驱动程序）对话框



6. 选择 **Auto-detect Instrument Driver - Model**（自动检测仪器驱动程序 - 型号）。
7. 单击 **Next**（下一步）。显示 Configure USB Instrument（配置 USB 仪器）对话框，其中包含检测到的仪器 VISA 资源字符串。
8. 单击 **Next**（下一步）。显示 Name Virtual Instrument（命名虚拟仪器）对话框。

图 16：Name Virtual Instrument（命名虚拟仪器）对话框

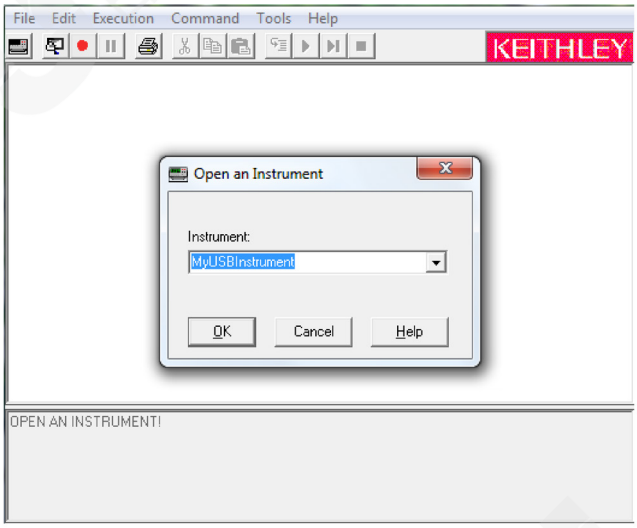


9. 在 Virtual Instrument Name（虚拟仪器名称）框中，输入您想要用于指引仪器的名称。
10. 选择 **Finish**（完成）。
11. 选择 **Cancel**（取消）可关闭向导。
12. 保存配置。从 Keithley 配置面板中，选择 **File（文件）> Save**（保存）。

通过 Keithley 通信器验证仪器：

1. 将仪器设置为使用 SCPI 命令集。有关说明，请参阅如何更改命令集？（第 7-3 页）。
2. 单击 **Start（开始）> Keithley Instruments > Keithley Communicator**（Keithley 通信器）。
3. 选择 **File（文件）> Open Instrument（打开仪器）**打开刚命名的仪器。

图 17：Keithley 通信器打开仪器



4. 单击 **OK（确定）**。
5. 向仪器发送一个命令，查看仪器是否有响应。

注意

如果您的系统上安装有完整版本的 NI VISA，则可以运行 NI-MAX 或 VISA 交互式控制实用程序。有关信息，请参阅《National Instruments》文档。

使用网络界面

在 2470 Web 界面上，您可以通过网页来设置和控制仪器。网页中包括：

- 仪器状态。
- 仪器的型号、序列号、固件版本和最近的 LXI 消息。
- 用于帮助查找仪器的 ID 按钮。
- 用于控制仪器的虚拟前面板和命令界面。
- 能够将数据从特定的读取缓冲区下载到 CSV 文件中。
- 管理性选项和 LXI 信息。

仪器网页驻留在仪器的固件中。您通过 Web 界面执行的更改会立即应用于仪器中。

当为仪器建立 LAN 连接后，可打开仪器的网页。

要访问该 Web 界面：

1. 在主机上打开 Web 浏览器。
2. 在 Web 浏览器地址栏中输入仪器的 IP 地址。例如，如果仪器的 IP 地址是 192.168.1.101，请在浏览器地址栏中输入 `192.168.1.101`。
3. 按计算机键盘上的 **Enter**（回车）键以打开仪器的网页。
4. 如果出现提示信息，请输入用户名和密码。这两者的默认值都是 `admin`。

注意

如果网页未在浏览器中打开，请参阅LAN 故障排除建议（第 3-13 页）。

注意

要查找仪器的 IP 地址，请按主页屏幕左上角的通信指示器。

LAN 故障排除建议

如果您无法连接到仪器的 Web 界面，请检查以下项：

- 网络电缆在仪器后面板上的 LAN 端口中，而不是在一个 TSPLink® 端口中。
- 网络电缆在计算机上的正确端口中。笔记本计算机在扩展坞中时，可能会禁用笔记本计算机的 LAN 端口。
- 设置程序使用正确以太网卡的配置信息。
- 计算机的网卡已启用。
- 仪器的 IP 地址与计算机的 IP 地址兼容。
- 仪器的子网掩码地址与计算机的子网掩码地址相同。

您也可以尝试重新启动计算机和仪器。

要重新启动仪器：

1. 关闭仪器电源，然后再打开电源。
2. 请等待至少 60 秒以完成网络配置。

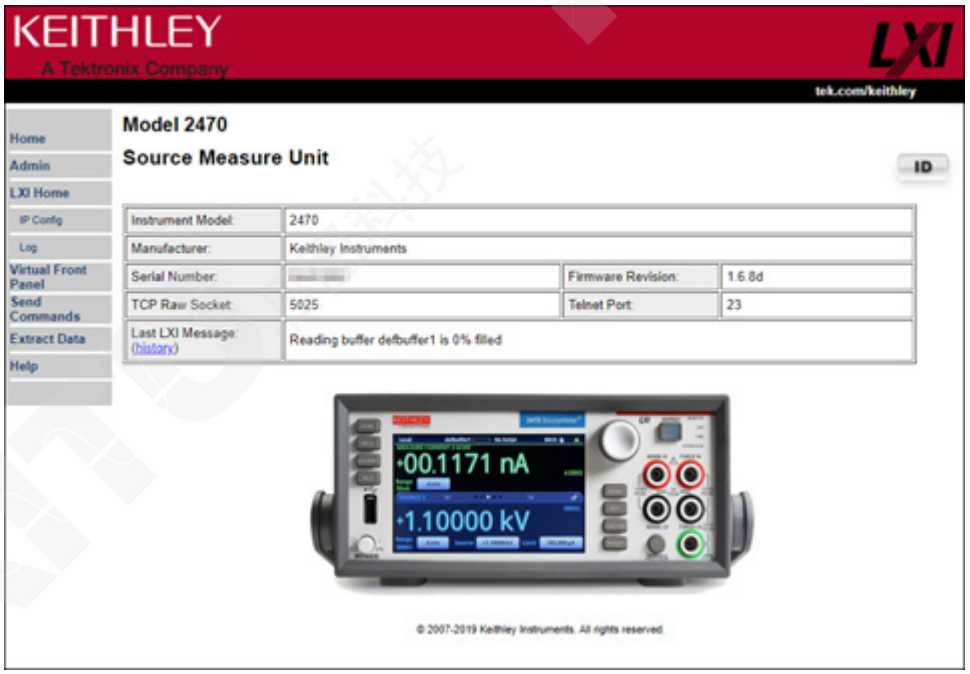
要设置 LAN 通信：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Communication**（通信）。
3. 选择 **LAN** 选项卡。
4. 验证设置。

如果上述操作无法解决问题，请联系您的系统管理员。

Web 界面主页页面

图 18：2470 Web 接口主页页面



仪器的 HOME（主页）提供仪器的相关信息。其中包括：

- 仪器型号、制造商、序列号和固件版本号。
- TCP 原始套接字号和 Telnet 端口号。
- 最近的 LXI 消息。历史记录链接将打开 LXI 主页。
- ID 按钮，可用于识别仪器。请参阅识别仪器（第 3-14 页）。

识别仪器

如果您有一组仪器，则可以选择 ID 按钮来确定要与之通信的仪器。

要识别仪器：

1. 在主页上，选择 **ID** 按钮。该按钮变为绿色，并且仪器上的 LAN 状态指示灯闪烁。在带有前面板接口的仪器上，System Communications（系统通信）菜单也会打开，LAN 选项卡上的 LXI LAN 指示灯闪烁。
2. 再次选择 **ID** 按钮，将按钮恢复为原来的颜色，并使 LAN 状态指示灯常亮。

查看事件日志中的事件

在 LXI Home（LXI 主页）下，Log（日志）选项打开事件日志。事件日志记录仪器生成和接收的所有 LXI 事件。日志包含以下信息。

- EventID 列，显示生成事件消息的事件的标识符。
- 系统时间戳列，显示事件发生时的秒数和纳秒数。
- 数据列，显示事件消息的文本。

要清除事件日志并更新屏幕上的信息，请选择 **Refresh**（刷新）按钮。

确定要使用的命令集

可以使用基于 SCPI 或 Test Script Processor (TSP®) 编程语言的命令集来控制 2470。可以更改您在 2470 中使用的命令集。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，其中包含可以从独立仪器执行的仪器专用控制命令。您可以使用 TSP 发送单个命令或将多个命令组合到脚本中。

如果更改命令集，请重新启动仪器。

不能组合使用这些命令集。

注意

在 Keithley Instruments 公司提供的出厂产品中，已将 2470 设置为与 SCPI 命令集配合使用。

要从前面板中设置命令集：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Settings**（设置）。
3. 选择适当的 **Command Set**（命令集）。

系统将提示您确认对命令集的更改并重新启动。

要验证从远程界面选择的命令集：

发送命令：

```
*LANG?
```

要从远程界面中切换到 SCPI 命令集：

发送命令：

```
*LANG SCPI
```

重启仪器。

要从远程界面切换到 TSP 命令集：

发送命令：

```
*LANG TSP
```

重启仪器。

第 4 节

执行基本的前面板测量

本节内容：

简介 4-1
本应用所需的设备 4-2
器件连接 4-2
进行前面板测量 4-3

简介

您可以使用 2470 提供电压或电流源，并从前面板进行测量。

注意

请确保选择功能后再更改其他仪器设置。设置的选项取决于进行更改时处于活动状态的功能。如果所做的更改与活动功能不兼容，则可能会得到非预期的结果或收到事件消息。还要注意，当您选择不同的功能时，仪器会清除缓冲区。本手册中的应用说明了执行操作以获得最佳结果的顺序。

在本应用中，您可以通过提供电压源并测量电流来测量 10 kΩ 电阻器。如果使用了适当的源值，您可以在任何两端子被测器件 (DUT) 上进行类似的测量。

可用于设置 2470 以从前面板进行测量的一些方法包括：

- **使用 Quickset（快速设置）** 按 **QUICKSET**（快速设置）键打开预配置设置的菜单，包括电压表、电流表、欧姆表和电源设置。还允许您选择测试功能，并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 **FUNCTION**（功能）键从源和测量功能列表中进行选择。
- **使用菜单选项。** 按 **MENU**（菜单）键打开选项菜单。

选择源和测量功能后，选择 2470 主页屏幕和 Settings（设置）滑动屏幕上的按钮以更改设置。

您需要组合使用这些方法来设置本应用的测量。

本应用所需的设备

本应用所需的设备：

- 2470 高压 SourceMeter 仪器
- 两根绝缘香蕉电缆；您可以使用 2470 型号随附的套件，即 Keithley Instruments 8608 型高性能夹式导线套件
- 一个要测试的 10 kΩ 电阻器

器件连接

注意

请先关闭仪器电源再将连接附接到 2470。

以 2 线（本地感应）配置将 2470 连接到电阻器。在此配置中，将器件连接在 FORCE HI（强制 HI）和 FORCE LO（强制 LO）端子之间。

下图显示了前面板的实体连接。

图 19：2470 2 线前面板连接



进行前面板测量

对于本应用，您需要：

- 选择源和测量功能
- 选择源类型
- 设置源值
- 设置源限值
- 选择量程
- 打开源输出
- 观察显示器上的读数
- 关闭源输出

如何进行前面板测量

要从前面板执行测量：

1. 按前面板上的 **POWER**（电源）开关以打开仪器。
2. 在前面板上，按 **FUNCTION**（功能）键。
3. 在 Source Voltage and Measure（源电压和测量）下，选择 **Current**（电流）。
4. 选择源量程。在主页屏幕上的 SOURCE V（源 V）下，选择 **Range**（量程）。
5. 选择 **20 V**。
6. 选择 **Source**（源）。
7. 输入 **10 V** 并选择 **OK**（确定）。
8. 选择 **Limit**（限值）。
9. 输入 **10 mA** 并选择 **OK**（确定）。
10. 在主页屏幕的 MEASURE（测量）区域中，选择 **Range**（量程）。
11. 选择 **Auto**（自动）。
12. 按 **OUTPUT ON/OFF**（输出开/关）开关打开输出。OUTPUT（输出）指示灯亮起。
13. 观察显示器上的读数。对于 10 kΩ 电阻器，典型显示值为：

    ```
    1.00000 mA
    +9.99700 V
    ```

14. 完成测量后，按 **OUTPUT ON/OFF**（输出开/关）开关关闭输出。OUTPUT（输出）指示灯熄灭。

第 5 节

漏电和绝缘电阻

本节内容：

简介 5-1
所需设备 5-2
设置远程通信 5-2
器件连接 5-2
测量漏电 5-4
测量绝缘电阻 5-9

简介

测量器件漏电流或绝缘电阻的测试非常类似。在这两种情况下，您均可以施加固定偏置电压并测量产生的电流。根据被测器件的不同，测量的电流通常非常小，通常小于 10 nA。

本应用包括两个示例，用于演示：

- 如何使用 2470 对电容器进行漏电流测量。
- 如何使用 2470 测量同轴电缆的两个导体之间的绝缘电阻。

漏电流应用在指定时间内施加电压。此吸入周期允许器件充电，让您可以进行固定电流测量。在本应用中，产生的电流是在整个器件偏置期间测量的。在其他情况下，只需要一个读数，可在吸入周期结束时进行。本应用结束时，施加 0 伏使器件放电。结果以安培为单位返回。

绝缘电阻应用施加电压，并进行指定数量的读数，同时在每个读数之间设置延迟。这样可以使测量值稳定，而且更容易精确地指定要进行多少次读数。绝缘通常比电容器器件的稳定速度快得多。结果以欧姆为单位返回。

以下主题描述如何从前面板执行这些应用。这些应用还演示了如何通过 SCPI 命令和 Test Script Processor (TSP®) 命令使用远程接口来执行这些操作。

所需设备

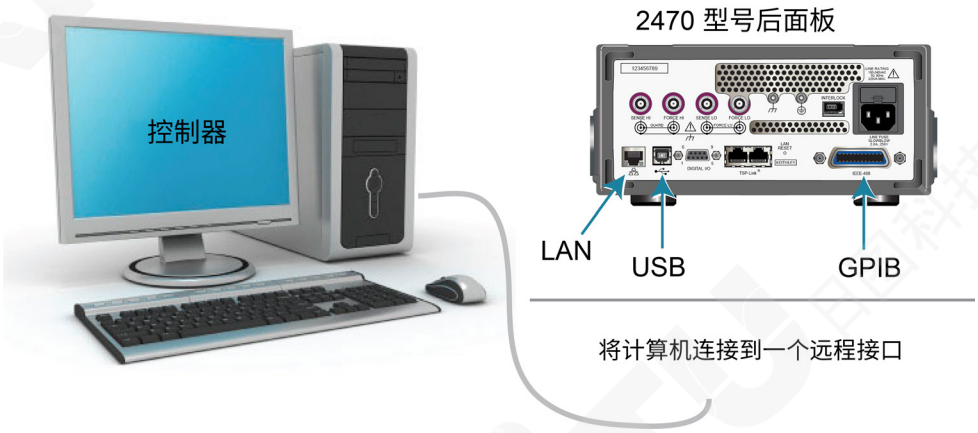
- 一台 2470 高压 SourceMeter 仪器
- 两根 TRX-1100V-*X* 3 槽高压低噪声三轴电缆（可从 Keithley Instruments 获取）
- 一个高压电容器，用于漏电流应用
- 一根同轴电缆或其他器件，用于绝缘电阻应用
- 一根以太网、GPIB 或 USB 电缆，用于 SCPI 和 TSP 远程命令示例

设置远程通信

您可以从前面板或仪器支持的任何通信接口（GPIB、USB 或以太网）运行本应用程序。

下图显示了远程通信接口的后面板连接位置。有关设置远程通信的其他信息，请参阅远程通信接口（第 3-1 页）。

图 20：2470 远程接口连接



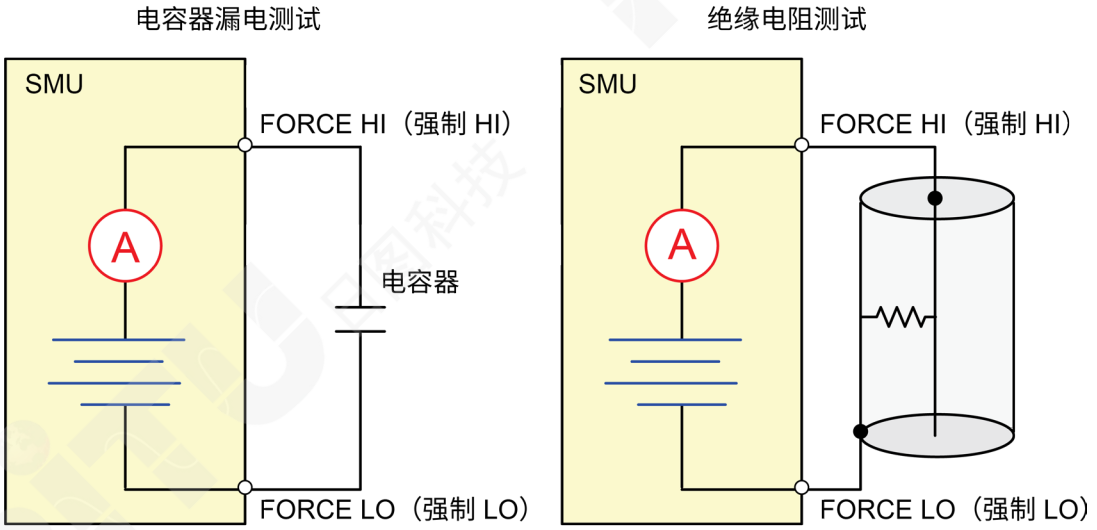
器件连接

根据被测器件 (DUT)，电流测量通常非常小，通常小于 10 nA。对于任何器件，测量漏电流和绝缘电阻都涉及测量非常小的值。为了获得更准确的读数，使用低噪声三轴电缆将 DUT 连接到 2470 后面板。

将 DUT 连接在 2470 的 FORCE HI（强制 HI）和 FORCE LO（强制 LO）之间。

下图显示了示意图。一个示意图显示了测量电容器的漏电流。另一个示意图显示了测量同轴电缆的两个导体之间的绝缘体电阻。

图 21：电容器漏电和绝缘电阻测试连接示意图



下图显示了在这些应用中与被测器件 (DUT) 的后端子连接。如果电容器漏点测量有噪声，您可能需要使用高电容模式或添加与电容器串联的低漏电正向偏置二极管。

图 22：漏电流测试的后面板连接

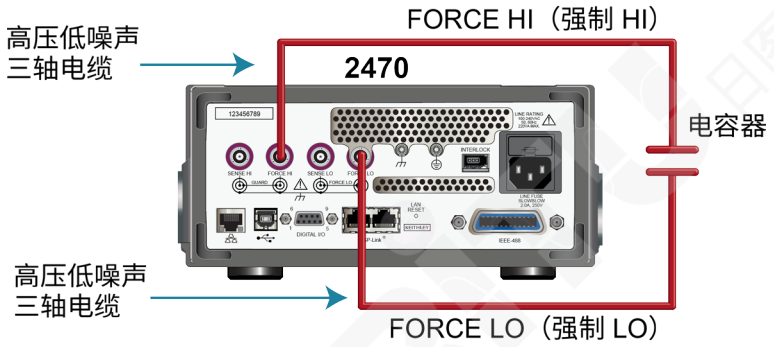
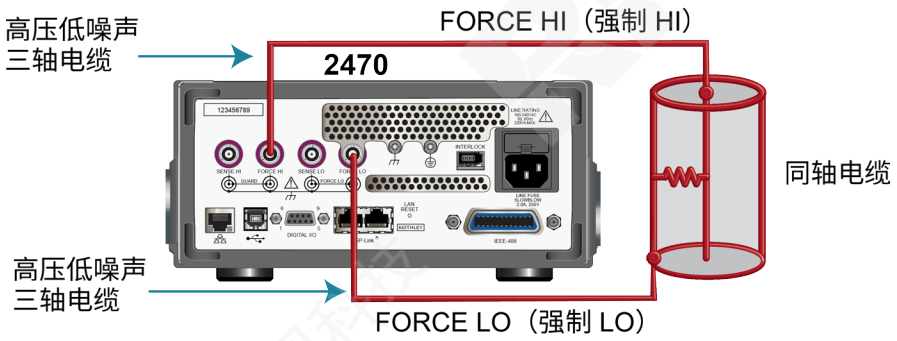


图 23：后面板连接绝缘电阻测试



测量漏电

以下应用演示如何在 2470 上使用前面板或通过远程接口提供电压源并测量产生的电流来测量高压 10 µF 电容器的漏电流。远程接口示例显示了 SCPI 命令和 TSP 命令。

本应用将 2470 设置为提供 300 V 电压源并以时间函数形式测量产生的漏电流。仪器在特定周期内进行电流测量。

对于此测试，您需要：

- 重置仪器
- 设置仪器读取后端子
- 选择源电压功能并测量电流功能
- 设置电压源的幅度
- 打开自动量程
- 设置测量延迟
- 使用 Duration Loop（时长循环）触发模式模板在指定周期内执行读数
- 打开源输出
- 在指定时间内进行读数
- 关闭源输出

注意

当使用 2470 测量小电流值时，请确保被测器件是静电屏蔽的。如果电容器额定值大于 20 nF，启用高电容模式以获得最佳结果。

有关优化电容器漏电测量和最小化噪声测量的更多信息，请参阅 Keithley Instruments 网站 (www.rituchina.com).上的《Keithley Instruments *低电平测量手册*》。

使用前面板设置漏电流应用

要从前面板设置应用：

1. 根据器件连接（第 5-2 页）中的说明，使用测试导线将电容器连接到 2470 的后面板。
2. 重置 2470。
   a. 按 **MENU**（菜单）键。
   b. 在 System（系统）下，选择 **Info/Manage**（信息/管理）。
   c. 选择 **System Reset**（系统重置），然后选择 **OK**（确定）。
3. 按 **TERMINALS FRONT/REAR**（端子前/后）开关，将仪器设置为使用后面板端子（开关左侧显示 R）。
4. 按 **HOME**（主页）键。
5. 按 **FUNCTION**（功能）键。
6. 在 Source Voltage and Measure（源电压和测量）下，选择 **Current**（电流）。
7. 选择 Source（源）旁边的按钮（在屏幕底部）。
8. 输入 **300 V** 并选择 **OK**（确定）。
9. 选择 Limit（限值）旁边的按钮（在屏幕底部）。
10. 输入 **10 mA** 并选择 **OK**（确定）。
11. 按 **MENU**（菜单）键。
12. 在 Trigger（触发）下，选择 **Templates**（端子）。
13. 将 Templates（模板）设置为 **DurationLoop**（时长循环）。
14. 将 Duration（时长）设置为 **30s** 的吸入时间。
15. 将延迟设置为 **0.2s**。每次读数后，延迟 0.2 s；每次读数并不是间隔 0.2 s。
16. 按 **HOME**（主页）键返回主页屏幕。
17. 按 **TRIGGER**（触发）键打开输出并进行测量。测量完成后，输出关闭。

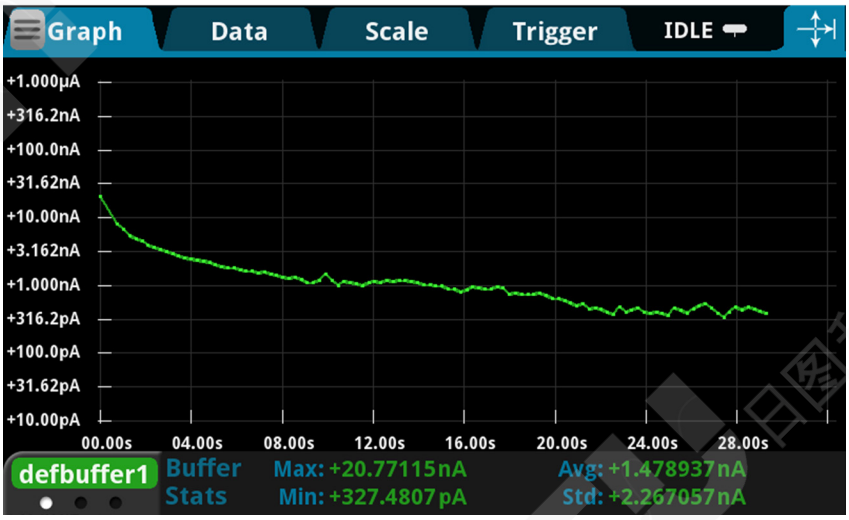
查看前面板图形中的测量值

要查看前面板图形上的漏电流测量值：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 Views（视图）下，选择 **Graph**（图表）。
3. 选择 **Scale**（标度）选项卡。
4. 在 Scale Format（标度格式）旁的 Y-Axis（Y 轴）下，选择 **Log**（日志）。
5. 在 Method（方法）旁的 X-Axis（X 轴）下，选择 **Show All Readings**（显示所有读数）。
6. 选择 **Graph**（图形）选项卡以查看图形。

下图显示了本应用的前面板图形。

图 24：漏电流测量前面板图形



使用 SCPI 命令设置漏电流应用

以下 SCPI 代码通过提供 300 V 电压源并测量产生的漏电流来执行电容器漏电测量。DurationLoop（时长循环）触发模式模板施加电压 30 秒，并以 200 ms 的时间间隔进行测量。在时长时间过后，电容器放电到 0 V，并且输出关闭。

为本应用示例发送以下命令：

命令	说明

`*RST`
`:SOUR:FUNC VOLT`
`:SOUR:VOLT 300`
`:SOUR:VOLT:ILIMIT 0.01`
`:SENSE:FUNC "CURR"`
`:ROUT:TERM REAR`
`:CURR:RANG:AUTO ON`
`:SENSE:CURR:NPLC 1`
`:TRIG:LOAD "DurationLoop", 30, 0.2`
 	
`:INIT`
`*WAI`
`:TRAC:ACT? "defbuffer1"`
`:TRAC:DATA?1, 30, "defbuffer1", READ, REL`
`:SOUR:VOLT 0`
`:OUTP ON`
`:SOUR:VOLT:DEL 2`
`:OUTP OFF`
	■ 重置 2470。
	■ 设置为源电压。
	■ 将源电压设置为 300 V。
	■ 将电流限值设置为 10 mA。
	■ 将仪器设置为测量电流。
	■ 设置为使用后面板端子。
	■ 将电流量程设置为自动量程。
	■ 将电源线周期数设置为 1。
	■ 加载 DurationLoop（时长循环）触发模式以运行 30 s，延迟 200 ms。
	■ 启动触发模式。
	■ 等待测量完成。
	■ 查询 `defbuffer1` 中的读数数量并返回读数和时间。30 是查询的读数数量。
	■ 将电容器放电至 0 V。
	■ 打开输出。
	■ 延迟两秒钟让电容器放电。
	■ 关闭输出。

使用 TSP 命令设置漏电流应用

可从 Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) 运行以下 TSP 代码。可从 www.rituchina.com 获得 TSB 软件工具。您可以安装并使用 TSB 为支持 TSP 的仪器编写代码和开发脚本。有关如何使用 TSB 的信息，请参阅 TSB 在线帮助以及*《2470 型号参考手册》*中的“TSP 操作简介”一节。

默认情况下，2470 使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令前，必须选择 TSP 命令集。

要启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Settings**（设置）。
3. 将命令集设置为 **TSP**。
4. 在系统提示重新启动时，选择 **Yes**（是）。

以下 TSP 代码通过提供 300 V 电压源并测量产生的漏电流来执行电容器漏电测量。DurationLoop（时长循环）触发模式模板施加电压 30 秒，并以 200 ms 的时间间隔进行测量。在时长时间过后，电容器放电到 0 V，并且输出关闭。

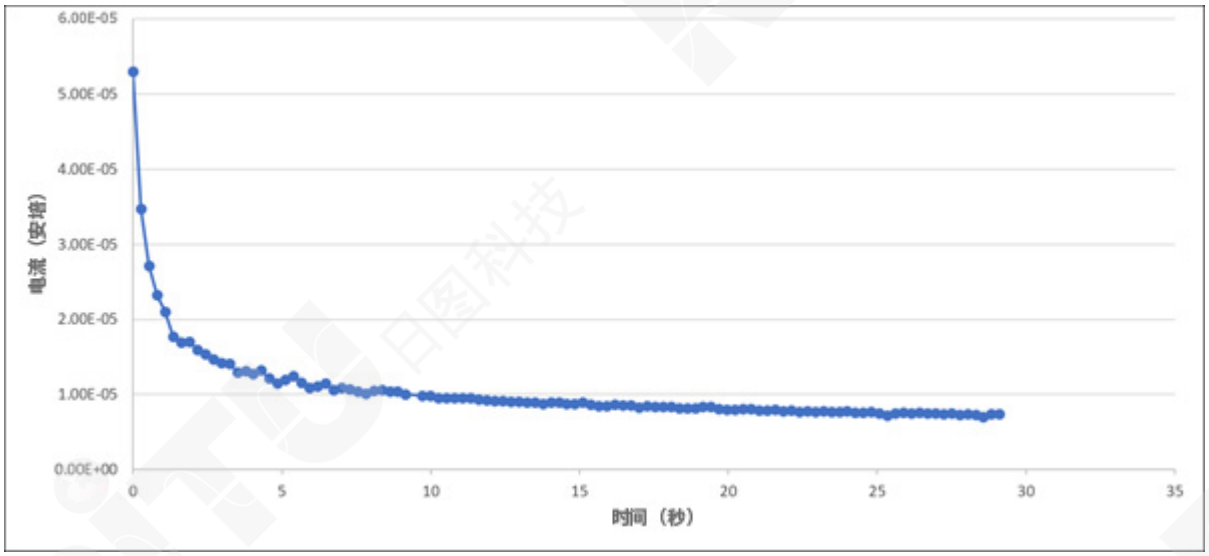
代码执行后，测量结果将显示在 Test Script Builder 的仪器控制台中。从仪器控制台中，您可以将数据复制到电子表格中进行绘图。

为本应用示例发送以下命令：

```
-- 重置仪器，这也会清除缓冲区。
reset()
-- 设置源功能。
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 10e-3
smu.source.level = 300
-- 设置测量功能。
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- 打开输出并开始读数。
trigger.model.load("DurationLoop", 30, 0.2)
trigger.model.initiate()
-- 等待触发模式完成。
waitcomplete()
-- 将索引和数据解析为三列。
print("Rdg #", "Time (s)", "Current (A)")
for i = 1, defbuffer1.n do
   print(i, defbuffer1.relativetimestamps[i], defbuffer1[i])
end
-- 将电容器放电至 0 V 并关闭输出。
smu.source.level = 0
smu.source.output = smu.ON
delay(2)
smu.source.output = smu.OFF
```

下图中的图形显示了本应用的结果。注意电容器随着时间的推移充电到 300 V 时的指数电流响应。

图 25：漏电测试结果



测量绝缘电阻

以下应用演示如何使用 2470 测量绝缘体电阻。本应用演示如何使用前面板接口、采用 SCPI 命令集的远程接口以及使用采用 Test Script Processor (TSP®) 命令集的远程接口。

通常在印刷电路板上的谱线之间以及在电缆和连接器中的导体之间进行绝缘电阻测量。

本应用将 2470 设置为提供 700 V 电压源并以 100 ms 的时间间隔执行 10 次电阻读数。测量完成后，输出关闭。

对于此测试，您需要：

- 重置仪器
- 设置仪器读取后端子
- 选择源电压功能并测量电阻功能
- 设置电压源输出的幅度
- 打开自动量程
- 使用 Simple Loop（简单循环）触发模式模板设置读数数量和间隔时间
- 进行读数

使用前面板设置漏电电阻应用

要从前面板设置应用：

1. 按照器件连接（第 5-2 页）中的说明，将被测器件 (DUT) 连接到 2470 的后面板。
2. 重置 2470。
   a. 按 **MENU**（菜单）键。
   b. 在 System（系统）下，选择 **Info/Manage**（信息/管理）。
   c. 选择 **System Reset**（系统重置），然后选择 **OK**（确定）。
3. 按 **TERMINALS FRONT/REAR**（端子前/后）开关，将仪器设置为使用后面板端子（开关左侧显示 R）。
4. 按 **HOME**（主页）键。
5. 按 **FUNCTION**（功能）键。
6. 在 Source Voltage and Measure（源电压和测量）下，选择 **Resistance**（电阻）。将显示事件消息。
7. 选择 **OK**（确定）以清除事件消息。
8. 选择 **Source**（源）（位于屏幕底部）。
9. 输入 **700 V** 并选择 **OK**（确定）。
10. 按 **MENU**（菜单）键。
11. 在 Trigger（触发）下，选择 **Templates**（端子）。
12. 将 Templates（模板）设置为 **SimpleLoop**（简单循环）。
13. 将 Count（计数）设置为 **10**。
14. 将 Delay（延迟）设置为 **0.1** 秒。
15. 按 **HOME**（主页）键。
16. 按 **OUTPUT ON/OFF**（输出开/关）开关以启用输出。
17. 按 **TRIGGER**（触发）键开始执行读数。电阻测量显示在主页屏幕的测量区域（上半部分）中。
18. 完成测量后，按 **OUTPUT ON/OFF**（输出开/关）开关关闭输出。

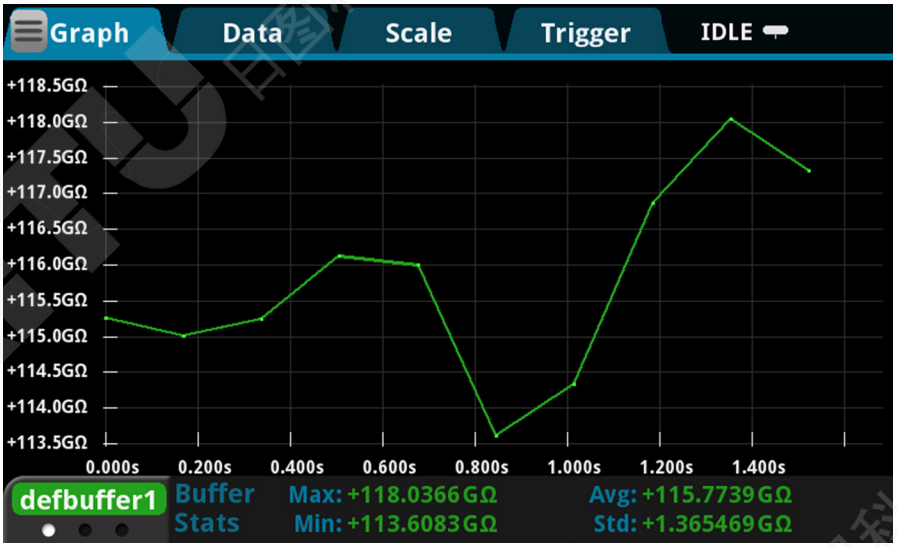
查看前面板图形上的测量值

要查看前面板图形上的绝缘电阻测量值：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 Views（视图）下，选择 **Graph**（图表）。

下图显示了本应用的前面板图形。

图 26：绝缘电阻图



使用 SCPI 命令设置应用

以下 SCPI 命令通过提供 700 V 电压并测量电阻进行绝缘电阻测量。Simple Loop（简单回路）触发模式模板用于以 100 ms 的时间间隔进行 10 次测量。

为本应用示例发送以下命令：

命令	说明

`*RST`
`:ROUT:TERM REAR`
`:SOUR:FUNC VOLT`
`:SOUR:VOLT 700`
`: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`
`:OUTP OFF`
`:TRAC:DATA?1, 10, "defbuffer1", READ, REL`
	■ 重置 2470。
	■ 选择用于测量的后面板端子。
	■ 设置为源电压。
	■ 输出 700 V。
	■ 设置 10 mA 源限值。
	■ 将仪器设置为测量电流。
	■ 将电流量程设置为自动量程。
	■ 将仪器设置为测量电阻。
	■ 使用 Simple Loop（简单回路）触发模式模板以 100 ms 的时间间隔进行 10 次测量。
	■ 打开输出。
	■ 开始读数。
	■ 等待测量完成。
	■ 关闭输出。
	■ 从 `defbuffer1` 读取电阻和时间值。

使用 TSP 命令设置应用

可从 Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) 运行以下 TSP 代码。可从 www.rituchina.com 获得 TSB 软件工具。您可以安装并使用 TSB 为支持 TSP 的仪器编写代码和开发脚本。有关如何使用 TSB 的信息，请参阅 TSB 在线帮助以及《*2470 型号参考手册*》中的“TSP 操作简介”一节。

默认情况下，2470 使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令前，必须选择 TSP 命令集。

要启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Settings**（设置）。
3. 将命令集设置为 **TSP**。
4. 在系统提示重新启动时，选择 **Yes**（是）。

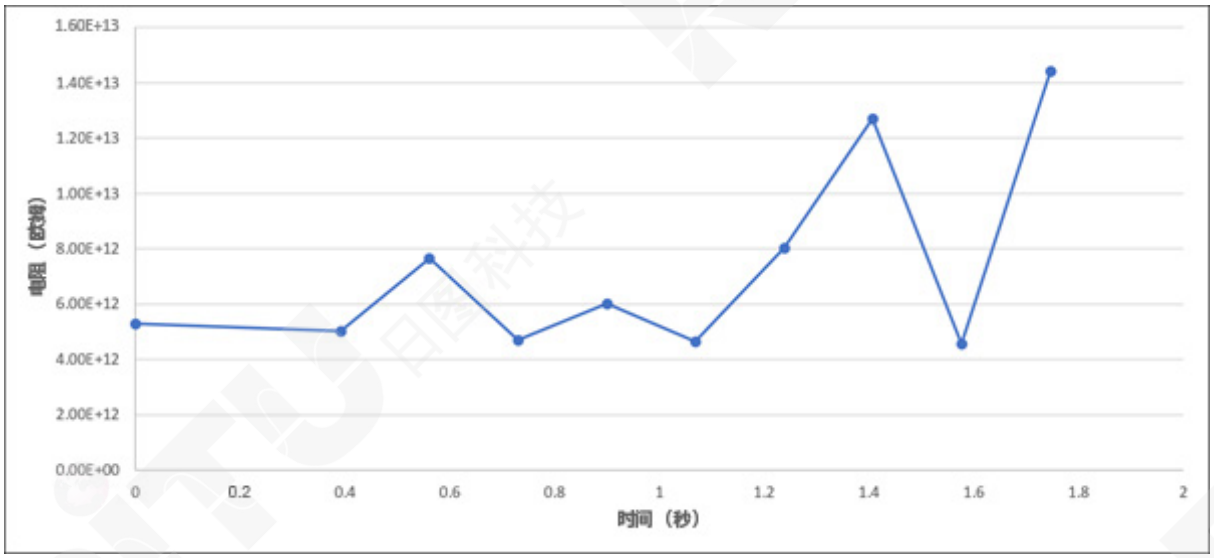
以下 TSP 命令通过提供 700 V 电压并测量电阻进行绝缘电阻测量。Simple Loop（简单回路）触发模式模板用于以 100 ms 的时间间隔进行 10 次测量。代码执行后，测量结果将显示在 Test Script Builder 的仪器控制台中。

为本应用示例发送以下命令：

```
-- 重置仪器
reset()
-- 设置源功能。
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 1e-3
smu.source.level = 700
-- 设置测量功能
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.unit = smu.UNIT_OHM
smu.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- 打开源输出并执行读数。
trigger.model.load("SimpleLoop", 10, 0.1)
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.initiate()
-- 等待测量完成。
waitcomplete()
-- 关闭输出。
smu.source.output = smu.OFF
-- 将索引和数据解析为三列。
print("Rdg #", "Time (s)", "Resistance (Ohm)")
for i = 1, defbuffer1.n do
   print(i, defbuffer1.relativetimestamps[i], defbuffer1[i])
end
```

下图中的图形演示的是结果的绘制图形。

图 27：绝缘电阻测试结果



第 6 节

测量 FET 的 I-V 特性

本节内容：

简介 6-1
所需设备 6-2
设置远程通信 6-2
设置外部硬件触发 6-3
器件连接 6-5
使用 SCPI 命令对 FET 测试进行远程控制 6-8
使用 TSP 命令对 FET 测试进行远程控制 6-13

简介

本应用示例使用两个 2470 仪器对场效应晶体管 (FET) 执行 I-V 检定。2470 具有高压功能和极其灵敏的电流量程，特别适合于宽带隙半导体器件。用于这些示例的 FET 可以是传统的硅基 MOSFET 或氮化镓 (GaN) 或碳化硅 (SiC) 基。

本应用包括以下示例，用于演示：

- 如何使用 2470 对 FET 进行漏极漏电流测量
- 如何使用两台 2470 查找 FET 的亚阈值摆幅
- 如何使用两台 2470 对三端 FET 执行漏极曲线族 (V_{DS}-I_D)

确定 FET 的 I-V 参数有助于确保 FET 在预期应用中正常工作，并满足技术规格。有许多 I-V 测试可以使用 2470 执行，包括漏极或栅极漏电、击穿电压、门限电压、亚阈值摆幅和漏电流。测试所需的 2470 仪器数量取决于必须偏置、扫描和测量的 FET 端子的数量。

注意

SCPI 和 TSP 示例在本应用中有所不同。TSP 版本使用 Keithley Instruments TSP-Link®，其是高速触发同步和通信总线，可由测试系统制造商用于连接主-辅配置中的多台仪器连接后，系统中所有配备 TSP-Link 的仪器均可以在主控仪器的控制下进行编程和操作。这允许仪器更快地运行测试，因为这些仪器可以从频繁的计算机交互中去耦。选择 SCPI 命令集时，TSP-Link 不可用。

所需设备

- 两台 2470 高压 SourceMeter 仪器
- 四根 TRX-1100V-*X* 3 槽高压低噪声三轴电缆（可从 Keithley Instruments 获取）
- 带有孔式三轴连接器的金属屏蔽测试夹具或探头台
- 一个大功率或宽带隙三端 FET
- 一根以太网、GPIB 或 USB 电缆，用于 TSP 远程命令示例
- 一根交叉以太网电缆，用于在两台 2470 之间进行 TSP-Link 连接（每台 2470 随附一根）

设置远程通信

本应用配置为远程运行。您可以从仪器支持的任何通信接口（GPIB、USB 或以太网）运行本应用。

下图显示了远程通信接口的后面板连接位置。

图 28：2470 远程接口连接



设置外部硬件触发

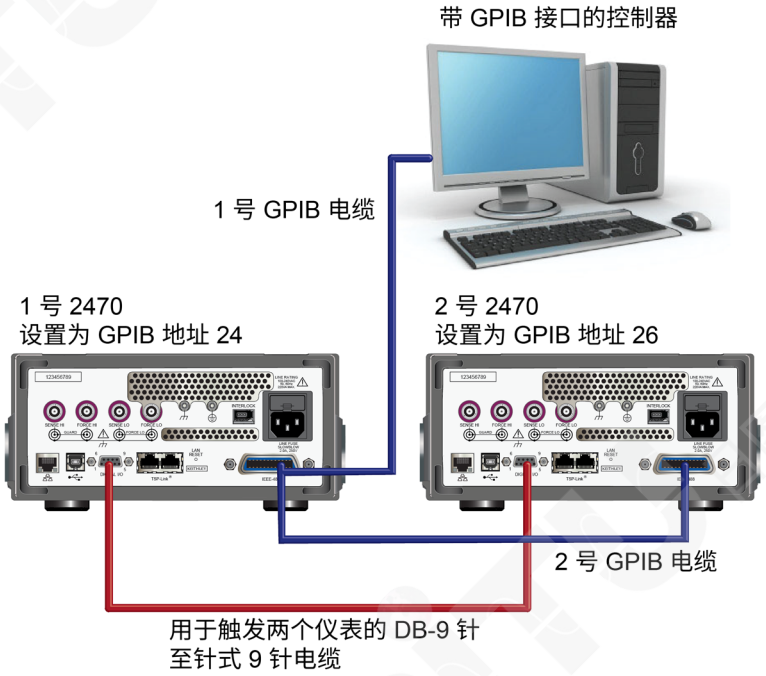
要使两台 2470 仪器之间的步进和扫频电压同步，请将每台仪器的外部触发连接到另一台仪器。您使用的电缆连接取决于选择哪个 2470 编程命令集来控制测试。

SCPI 命令集的连接

如果使用的是 SCPI 命令集，请在每台仪器背面的数字 I/O 连接器之间连接一根 DB-9 针至针式电缆，如下图所示。

有关数字 I/O 连接器引脚的更多详细信息，请参阅*《2470 型参考手册》*中的“数字 I/O”。

图 29：SCPI 编程示例的 GPIB 和 DB-9 连接



上图还显示了使用 GPIB 远程通信接口时的通信电缆连接。1 号 GPIB 电缆将计算机（控制器）上的 GPIB 端口连接到 1 号 2470 后面板上的 IEEE-488 连接器。2 号 GPIB 电缆连接两台 2470 的 IEEE-488 连接器。

注意

每台 2470 必须有不同的 GPIB 地址。您可以使用前面板设置此操作。有关详细信息，请参阅设置 GPIB 地址（第 3-4 页）。

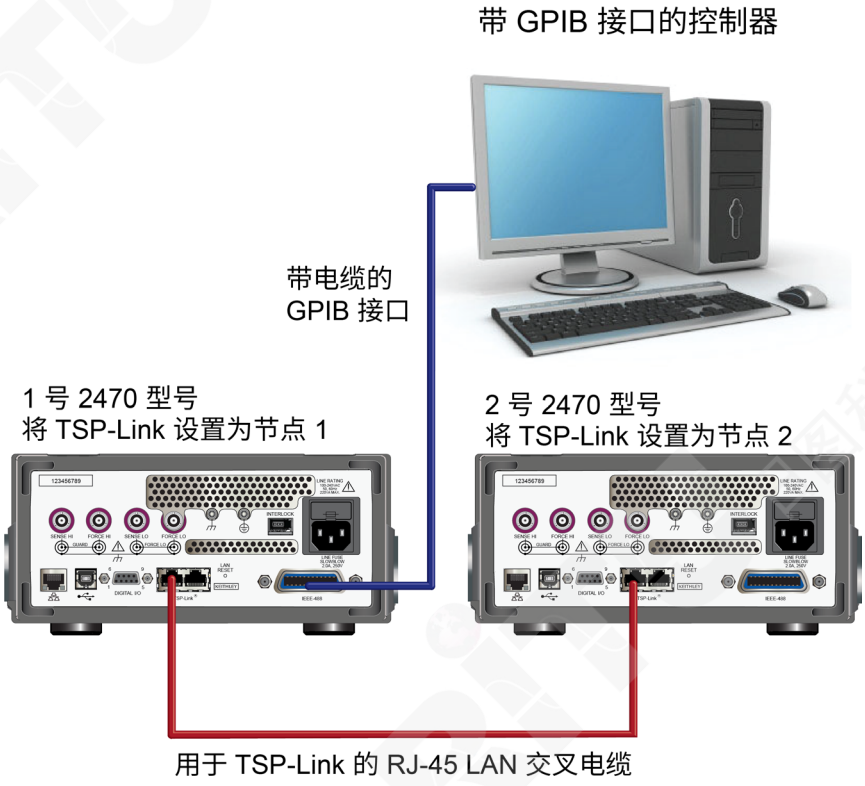
如果使用的是 USB 电缆连接计算机和 2470 仪器，则每台仪器都必须使用单独的 USB 电缆连接到计算机。

如果使用的是以太网连接连接计算机和 2470 仪器，则必须使用以太网交换机或集线器连接仪器和计算机。

TSP 命令集的连接

如果使用 Test Script Processor (TSP®) 命令集进行远程编程，请使用 RJ-45 LAN 交叉电缆连接 2470 仪器后面板上的 TSP-Link 端口（请参阅下图）。有关 TSP-Link 的详细信息，请参阅*《2470 型号参考手册》*中的“TSP-Link 系统扩展接口”。

图 30：TSP-Link 连接



若要从计算机到 2470 仪器进行 GPIB 通信，从 GPIB 接口到 2470 IEEE-488 接口之一（上图中的 1 号 2470）只需要一根电缆。

将 1 号 2470 的 TSP-Link 节点设置为节点 1，将 2 号 2470 的 TSP-Link 节点设置为节点 2。

要从前面板设置 2470 TSP-Link 节点：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Communication**（通信）。SYSTEM COMMUNICATIONS（系统通信）窗口打开。
3. 在 **TSP-Link** 选项卡上，将 **Node**（节点）设置为此仪器的节点数量并选择 **OK**（确定）。
4. 选择 **Initialize**（初始化）。
5. 按 **HOME**（主页）键返回主页屏幕。

对 TSP-Link 网络中的每台 2470 仪器重复执行这些步骤。

器件连接

器件连接因要执行的测试而不同。由于这些应用通常涉及测量非常低的电流，因此建议使用后面板上的三轴连接与 2470 的低噪声三轴电缆。当测量低电流时，三轴电缆提供最低噪声。

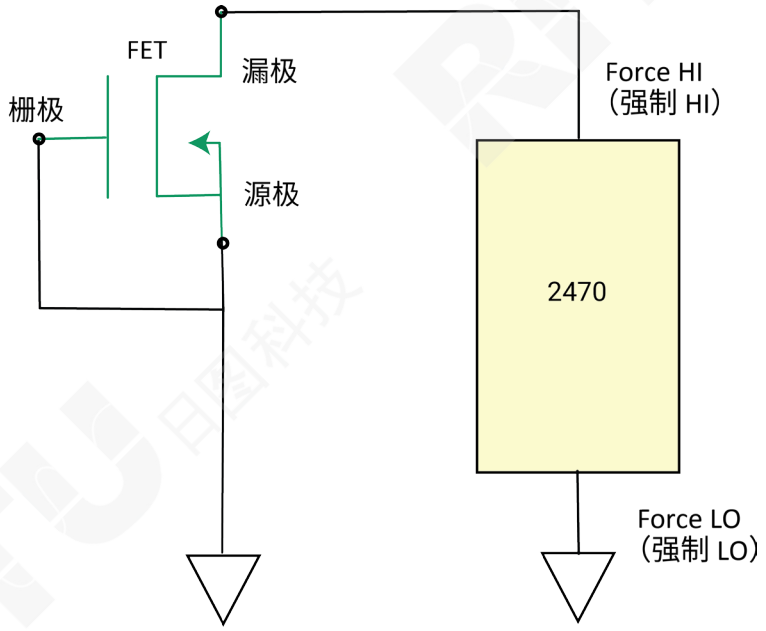
漏极漏电流测量器件连接

对 FET 的漏极漏电流测量只需要一台 2470。对于此测量，栅极源极电势必须为 0 V，因此栅极和源极连接引脚短接在一起。SMU 连接在漏极和源极之间以施加偏置电压。

要将此测量更改为栅极漏电流测量，可以将漏极和源极短接在一起，并将 2470 连接到栅极和源极之间以施加偏置电压。

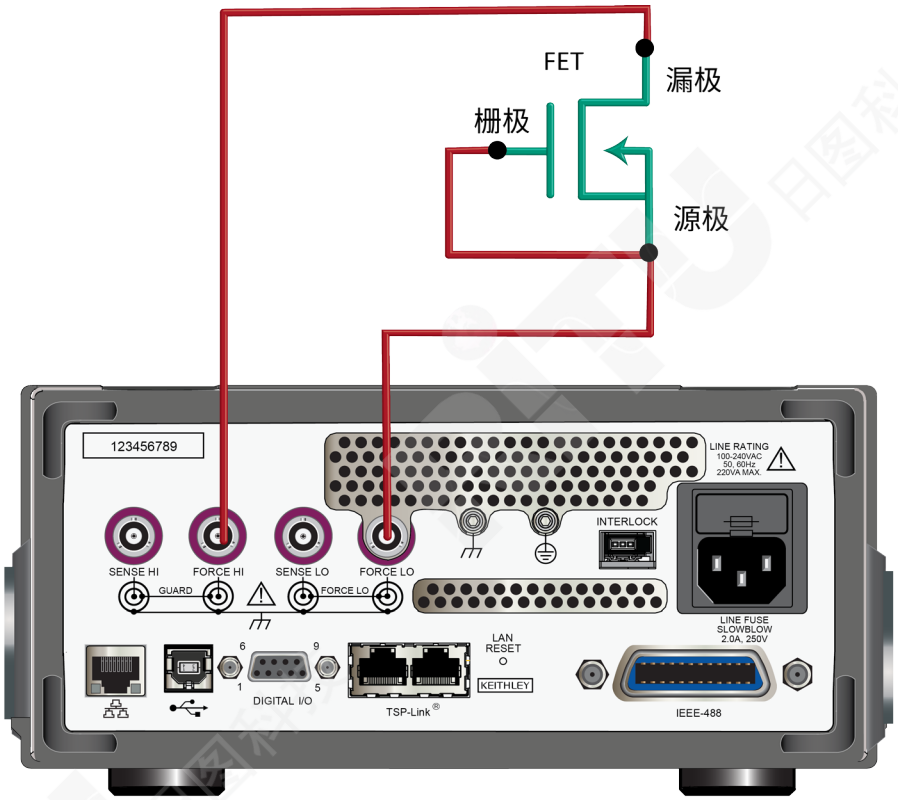
下图显示了漏极漏电流测量的设置。

图 31：漏极漏电流测量器件连接



下图显示了从 2470 的后面板端子进行的连接。

图 32：漏极漏电流测量后面板端子连接



亚阈值电流或漏极曲线族测量器件连接

亚阈值电流和漏极曲线测量均使用相同的仪器连接。这两台 2470 均配置为提供电压源并测量电流。

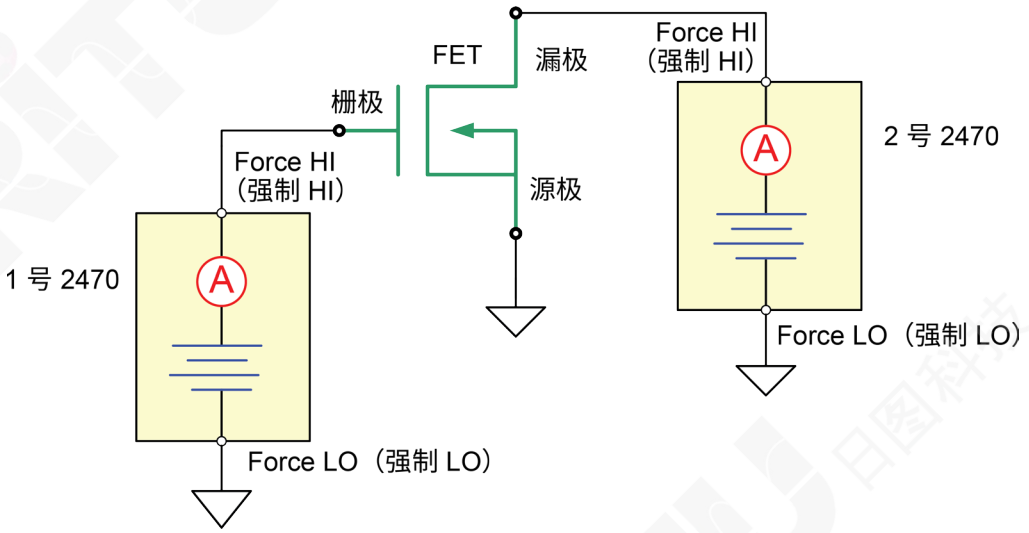
在此电路中：

- 将 1 号 2470 的 Force HI（强制 HI）端子连接到 FET 的栅极上。
- 将 2 号 2470 的 Force HI（强制 HI）端子连接到 FET 的漏极上。
- 将 FET 的源连接到两台 2470 的 Force LO（强制 LO）端子上。

要从 FET 的所有三个端子提供源并进行测量，需要第三台 2470。

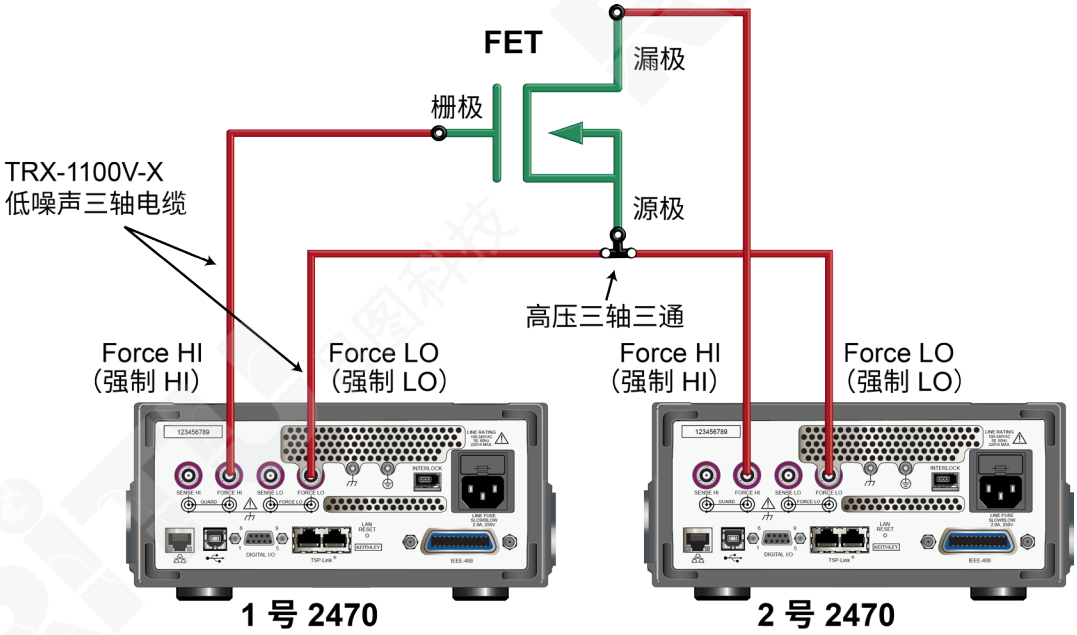
下图显示了使用两台 2470 的 FET 的 I-V 测试配置。

图 33：FET 的三端 I-V 测试配置



下图显示了从两台 2470 的后面板端子到 FET 的连接。

图 34：设置两台 2470 测试三端 FET



使用 SCPI 命令对 FET 测试进行远程控制

用于本应用的两个 SCPI 命令示例序列使用两台 2470 仪器对 FET 生成漏极曲线族。其中一个示例使用触发模式生成曲线族。另一个示例使用线性扫描。您可能需要对编程环境中的操作进行修改。

使用 SCPI 命令与触发模式设置应用

在本应用中，栅极电压的步进范围是 2 V 至 5 V，步长为 1 V，漏极电压的扫描范围是 0 V 至 5 V，步长为 51，并测量漏极电流。电流和电压测量值存储在 `defbuffer1` 中。2470 触发模式使两台 2470 仪器同步。

您可以向漏极上的扫描器 (SMU 1) 或栅极上的步进器 (SMU 2) 发送命令。在此表中，用于扫描器的命令具有浅灰色背景。用于步进器的命令具有较深灰色背景。浅棕色阴影代码表示将根据您使用的编程环境而变化的伪代码。在 Description（说明）列中，每个项目符号项描述 Commands（命令）列中的单行代码。

为本应用示例发送以下命令：

SMU 1、SMU 2 或伪代码	命令	说明
SMU 1	*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	■ 重置仪器。 ■ 设置为测量电流。 ■ 设置为测量时启用自动量程。 ■ 设置为后端子。 ■ 设置为源电压。 ■ 设置为 20 V 源量程。 ■ 创建名为 stepVals 的源配置列表。 ■ 将数字线路 1 设置为触发输出。 ■ 将数字线路 2 设置为触发输入。 ■ 将数字线路 1 的激励源设置为 notify1 事件。 ■ 清除数字线路 2。 ■ 设置为检测第 2 行上的上升沿。
伪代码	for i = 2 to 5 do:	■ 设置 for 从 2 循环至 5。
SMU 1	:SOUR:VOLT i :SOUR:CONF:LIST:STORE "stepVals"	■ 将电压电平设置为迭代次数。 ■ 将源配置存储到 stepVals。
伪代码	end for	■ 结束 for 循环。
SMU 1	:TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "stepVals" :TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON :TRIG:BLOC:MDIG 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	■ 创建触发模式块 1 以在第一个索引处加载 stepVals。 ■ 创建块 2 以打开输出。 ■ 创建块 3 进行测量。 ■ 创建块 4 以生成 notify1 事件。 ■ 创建块 5 以在数字线路 2 上等待。 ■ 创建块 6 以加载 stepVals 的下一个索引。 ■ 创建块 7 以通过分支转到块 3，3 次。 ■ 创建块 8 以关闭输出。

SMU 2	*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	■ 重置仪器。 ■ 设置为测量电流。 ■ 设置为测量时启用自动量程。 ■ 设置为后端子。 ■ 设置为源电压。 ■ 设置为 20 V 源量程。 ■ 将源限值设置为 1 A。 ■ 创建源配置列表 sweepVals。 ■ 将数字线路 2 设置为触发输出。 ■ 将数字线路 1 设置为触发输入。 ■ 将数字线路 2 的激励源设置为 notify2 事件。 ■ 清除数字线路 1。 ■ 检测线路 1 上的上升沿。
伪代码	for i = 0, 5, 0.1 do:	■ 设置 for 从 0 循环至 5，步长为 0.1（含边界）
SMU 2	:SOUR:VOLT i :SOUR:CONF:LIST:STORE "sweepVals"	■ 将电压电平设置为迭代次数。 ■ 将源配置存储到 sweepVals。
伪代码	end for	■ 结束 for 循环。
SMU 2	: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:MDIG 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	■ 创建块以在第一个索引处加载 sweepVals。 ■ 创建块以打开输出。 ■ 创建块以在数字线路 3 上等待。 ■ 创建块以延迟 0.01 秒。 ■ 创建块进行测量。 ■ 创建块以加载 sweepVals 的下一个索引。 ■ 创建块以通过分支转到块 4，50 次。 ■ 创建块以生成 notify2 事件。 ■ 创建块以通过分支转到块 3，3 次。 ■ 创建块以关闭输出。
SMU 1	:INIT *WAI	■ 启动触发模式。 ■ 等待模式完成。

SMU 2	`:INIT` `*WAI`	■ 启动触发模式。 ■ 等待模式完成。

伪代码	`vds = []`
	`ids = []`
	`for i = 2, 5 do:`
		■ 创建一个空数组保存测量的电压值。
		■ 创建一个空数组保存测量的电流值。
		■ 设置 `for` 从 2 循环至 5（包括 5）。

SMU2 的伪代码	`vds[i-1] = TRAC:DATA?1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", SOUR` `ids[i-1] = TRAC:DATA?1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", READ`	■ 将源值和测量值分别保存到数组 `vds` 和 `ids` 中。每个步骤的读数保存在数组中的每个索引中。
伪代码	`end for`	■ 结束 `for` 循环。

在线性扫描中使用 SCPI 命令设置应用

在此示例中，栅极电压的步进范围是 2 V 至 6 V，步长为 1 V，漏极电压的扫描范围是 0 V 至 5 V，步长为 51，并且测量漏极电流。应用从 `defbuffer1` 分别检索 51 个读数和源值，并分别将它们保存在数组 `vds` 和 `ids` 中。

您可以向扫描器 (SMU 2) 或步进器 (SMU 1) 发送命令。在此表中，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较深灰色背景。浅棕色阴影代码表示将根据您使用的编程环境而变化的伪代码。在 Description（说明）列中，每个项目符号项描述 Commands（命令）列中的单行代码。

为本应用发送以下命令。

SMU 1、SMU 2 或伪代码	命令	说明

SMU 1	`*RST`
	`:SENS:FUNC "CURR"`
	`:SENS:CURR:RANG:AUTO ON`
	`:ROUT:TERM REAR`
	`:SOUR:FUNC VOLT`
	`:SOUR:VOLT:RANG 20`
		■ 重置仪器。
		■ 设置为测量电流。
		■ 设置为测量时启用自动量程。
		■ 设置为使用后端子。
		■ 设置为源电压。
		■ 设置为 20 V 源量程。

SMU 2	`*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`
		■ 重置仪器。
		■ 设置为测量电流。
		■ 设置为测量时启用自动量程。
		■ 设置为使用后端子。
		■ 设置为源电压。
		■ 设置为 20 V 源量程。
		■ 将源限值设置为 1 A。
		■ 设置线性扫描范围为 0 V 至 5 V，步长为 51，延迟 10 ms。

SMU 1	`:OUTP ON`	■ 打开输出。

伪代码	`vds = []`
	`ids = []`
	`for i = 2, 5 do:`
		■ 创建一个空数组保存测量的电压值。
		■ 创建一个空数组保存测量的电流值。
		■ 设置 `for` 从 2 循环至 5（含边界）。

SMU 1	`  :SOUR:VOLT i`	■ 将源电平设置为循环的迭代次数。
伪代码	`  delay(0.5)`	■ 延迟 500 ms 后再允许稳定。
SMU 2	`  :INIT` `  *WAI`	■ 触发扫描开始。 ■ 等待操作完成。
伪代码	`  读取输出队列`	■ 等待扫描完成。

SMU 2 的伪代码	`  vds[i-1]=TRAC:DATA?1, 51,`
	`  "defbuffer1", SOUR`
	`  ids[i-1]=TRAC:DATA?1, 51,`
	`  "defbuffer1", READ`
		■ 从缓冲区分别接收 51 个读数和源值，并分别将它们保存在数组 `vds` 和 `ids` 中。数组从索引 1 开始。阵列中的每个点都包含每个栅极电压的值列表。

伪代码	`end for`	■ 结束 `for` 循环。
SMU 1	`:OUTP OFF`	■ 关闭输出。注意：所有源值和测量值都可以从数组 `vds` 和 `ids` 返回。

使用 TSP 命令对 FET 测试进行远程控制

可从 Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) 运行以下 TSP 代码。可从 www.rituchina.com 获得 TSB 软件工具。您可以安装并使用 TSB 为支持 TSP 的仪器编写代码和开发脚本。有关如何使用 TSB 的信息，请参阅 TSB 在线帮助以及《*2470 型号参考手册*》中的“TSP 操作简介”一节。

默认情况下，2470 使用 SCPI 命令集。在向仪器发送 TSP 命令前，必须选择 TSP 命令集。

要启用 TSP 命令：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Settings**（设置）。
3. 将命令集设置为 **TSP**。
4. 在系统提示重新启动时，选择 **Yes**（是）。

使用 TSP 命令设置漏极漏电流测量

以下 TSP 代码通过提供 600 V 电压源并测量产生的漏电流来执行电容器漏电测量。DurationLoop（时长循环）触发模式模板施加电压 60 s，并以 200 ms 的时间间隔进行测量。

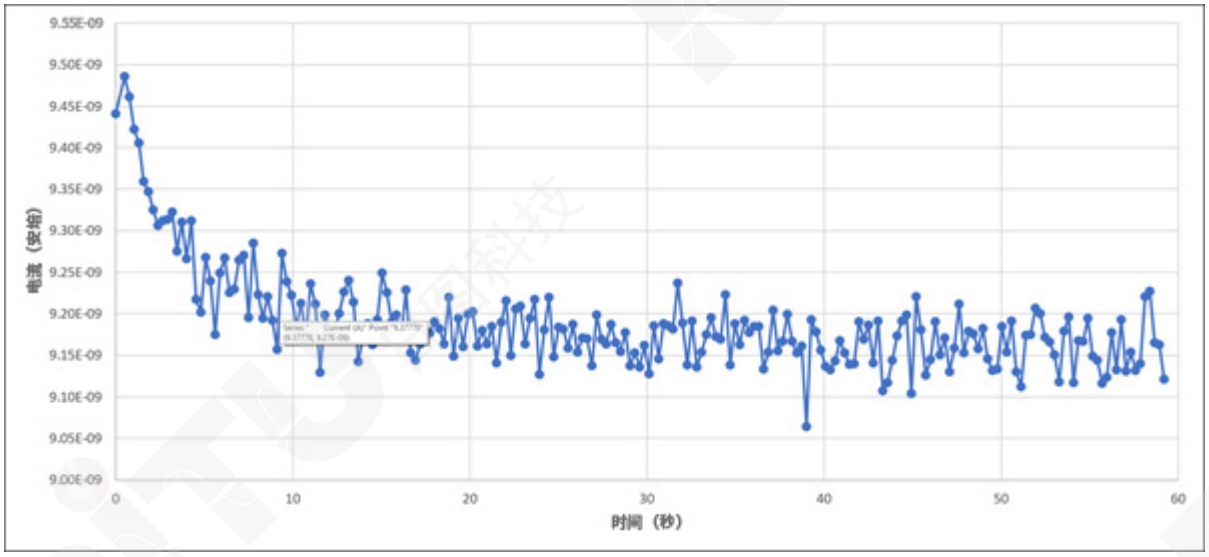
代码执行后，测量结果将显示在 Test Script Builder 的仪器控制台中。从仪器控制台中，您可以将数据复制到电子表格中进行绘图。

为本应用示例发送以下命令：

```
-- 重置仪器，这也会清除缓冲区。
reset()
-- 设置源功能。
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 10e-3
smu.source.level = 600
-- 设置测量功能。
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- 打开输出并开始读数。
trigger.model.load("DurationLoop", 60, 0.2)
trigger.model.initiate()
-- 等待触发模式完成。
waitcomplete()
smu.source.output = smu.OFF
-- 将索引和数据解析为三列。
print("Rdg #, Time (s), Current (A)")
for i = 1, defbuffer1.n do
   print(string.format("%i, %.5f, %.6e", i, defbuffer1.relativetimestamps[i],
   defbuffer1[i]))
end
```

下图中的图形演示的是漏极漏电流的绘制图形。

图 35：漏极漏电流图形



使用 TSP 命令设置亚阈值电流测量

下面的 TSP 代码使用触发模式查找 FET 的亚阈值摆幅，使用两台 2470 通过 TSP-Link 相互通信。节点 1 处的 SMU 连接到栅极，将电压 从 0 V 步进到 5 V。节点 2 处的 SMU 连接到漏极，并在测量电流时施加偏置电压。

测量完成后，找到一个简单的数值指数拟合，并将亚阈值摆幅 S 作为指数斜率的倒数。结果和测量数据显示在 Test Script Builder 的仪器控制台中。从仪器控制台中，您可以将数据复制到电子表格中进行绘图。

为本应用示例发送以下命令：

```
--######################### 设置和 TSP-Link 设置 ################
local gateVstart = 0
local gateVstop = 5
local gateStepSize = 0.1
local gateIlimit = 0.1

local drainV = 10
local drainIlimit = 0.1
-- 拟合设置 - 在这些 gateV 点之间计算斜率。
-- fitHighV 应小于或等于阈值电压。
local fitLowV = 2
local fitHighV = 3.5

-- 重置仪器和 TSP-Link 连接，并清除缓冲区。
tsplink.initialize()
reset()
-- 如果 tsplink 状态不是联机，则打印错误消息并退出。
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
-- 设置 TSP-Link 节点快捷方式。
local gate = node[1]
local drain = node[2]

--######################### 1 号 2470 SMU（栅极）设置 ################
-- 设置源功能。
gate.smu.source.configlist.create("stepVals")
gate.smu.source.func = gate.smu.FUNC_DC_VOLTAGE
gate.smu.source.autorange = gate.smu.ON
gate.smu.source.ilimit.level = gateIlimit
-- 设置测量功能。
gate.smu.measure.func = gate.smu.FUNC_DC_CURRENT
gate.smu.measure.autorange = gate.smu.ON
gate.smu.terminals = gate.smu.TERMINALS_REAR
-- 设置 TSP-Link 触发。
gate.tsplink.line[1].reset()
gate.tsplink.line[1].mode = gate.tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_MASTER
gate.trigger.tsplinkout[1].stimulus = gate.trigger.EVENT_NOTIFY1
-- 在 stepVals 源配置列表上填充源电平 gateVstart 伏特至 gateVstop 伏特。
for i = gateVstart, gateVstop, gateStepSize do
    gate.smu.source.level = i
    gate.smu.source.configlist.store("stepVals")
end
```

```
local stepPoints = (gateVstop - gateVstart) * (1 / gateStepSize) + 1
-- 设置触发模式。
gate.trigger.model.setblock(1, gate.trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "stepVals")
gate.trigger.model.setblock(2, gate.trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, gate.smu.ON)
gate.trigger.model.setblock(3, gate.trigger.BLOCK_MEASURE_DIGITIZE)
gate.trigger.model.setblock(4, gate.trigger.BLOCK_NOTIFY,
   gate.trigger.EVENT_NOTIFY1)
gate.trigger.model.setblock(5, gate.trigger.BLOCK_WAIT, gate.trigger.EVENT_TSPLINK1)
gate.trigger.model.setblock(6, gate.trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "stepVals")
gate.trigger.model.setblock(7, gate.trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, stepPoints, 3)
gate.trigger.model.setblock(8, gate.trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, gate.smu.OFF)

-- ######################## 2 号 2470 SMU（漏极）设置 ################
-- 设置源功能。
drain.smu.source.func = drain.smu.FUNC_DC_VOLTAGE
drain.smu.source.ilimit.level = drainIlimit
drain.smu.source.level = drainV
-- 设置测量功能。
drain.smu.measure.func = drain.smu.FUNC_DC_CURRENT
drain.smu.terminals = drain.smu.TERMINALS_REAR
drain.smu.measure.autorange = drain.smu.ON
-- 设置 TSP-Link 触发。
drain.tsplink.line[1].mode = drain.tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_ACCEPTOR
drain.trigger.tsplinkout[1].stimulus = drain.trigger.EVENT_NOTIFY1
-- 设置触发模式。
drain.trigger.model.setblock(1, drain.trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, drain.smu.ON)
drain.trigger.model.setblock(2, drain.trigger.BLOCK_WAIT,
   drain.trigger.EVENT_TSPLINK1)
drain.trigger.model.setblock(3, drain.trigger.BLOCK_DELAY_CONSTANT, 0.01)
drain.trigger.model.setblock(4, drain.trigger.BLOCK_MEASURE_DIGITIZE)
drain.trigger.model.setblock(5, drain.trigger.BLOCK_NOTIFY,
   drain.trigger.EVENT_NOTIFY1)
drain.trigger.model.setblock(6, drain.trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, stepPoints, 2)
drain.trigger.model.setblock(7, drain.trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, drain.smu.OFF)

--######################## 开始测试 ################
-- 启动两台 SMU 的触发模式并等待其完成。
gate.trigger.model.initiate()
drain.trigger.model.initiate()
print("Test Running...")
waitcomplete()
if drain.defbuffer1.n == 0 or gate.defbuffer1.n == 0 then
   print("\nNo readings in buffer\n")
   return
end
-- 执行基本指数拟合
local diffHighV, diffLowV = 9.9e37, 9.9e37
local fitHighIndex = 0
local fitLowIndex = 0
local gateV = 0
local gateHighV = 0
local gateLowV = 0
```

```
-- 查找最接近 fitHighV 和 fitLowV 的实际栅极电压（和指数）
for i = 1, gate.defbuffer1.n do
   gateV = gate.defbuffer1.sourcevalues[i]
    if math.abs(gateV - fitHighV) < diffHighV then
      diffHighV = math.abs(gateV - fitHighV)
      gateHighV = gateV
      fitHighIndex = i
   end
   if math.abs(gateV - fitLowV) < diffLowV then
      diffLowV = math.abs(gateV - fitLowV)
      gateLowV = gateV
      fitLowIndex = i
   end
end
-- 查找电流在两个拟合电压处的漏极电流和自然对数
local drainHighI = drain.defbuffer1.readings[fitHighIndex]
local drainLowI = drain.defbuffer1.readings[fitLowIndex]
local ln_drainHighI = math.log(drainHighI)
local ln_drainLowI = math.log(drainLowI)
-- 查找亚阈值摆幅 S，亚阈值斜率的倒数，乘以 1000 作为 mV/dec
local diffgateV = gateHighV - gateLowV
local diff_ln_drainI = ln_drainHighI - ln_drainLowI
local S = (diffgateV / diff_ln_drainI) * 1000

-- 打印结果
print(string.format("Subthreshold Swing = %.4f mV/decade", S))
print(string.format("High current in fit = %.6E A, low current in fit = %.6E A",
   drainHighI, drainLowI))
print("Index,"..."\t"..."gateV (V),"..."\t"..."drainI (A)")
for k = 1, stepPoints do
   print(
      string.format("%d,\t%.5f,\t%.6E",
         k, gate.defbuffer1.sourcevalues[k], drain.defbuffer1.readings[k]
      )
   )
end
```

使用 TSP 命令设置漏极曲线族测量

下面的 TSP 代码使用触发器模型对 FET 生成漏极曲线族，使用两台 2470 通过 TSP-Link 相互通信。将节点 1 处的 SMU 连接到栅极，并将电压 从 2 V 步进到到 5 V。将节点 2 处的 SMU 连接到漏极，并在每一步使用 51 个点将电压从 0 V 扫描到 5 V。

代码执行后，测量结果将显示在 Test Script Builder 的仪器控制台中。从仪器控制台中，您可以将数据复制到电子表格中进行绘图。

为本应用示例发送以下命令：

```
--######################## 设置和 TSP-Link 设置 ################
local gateVstart = 2
local gateVstop = 5
local gateStepSize = 1
local gateIlimit = 1e-3

local drainVstart = 0
local drainVstop = 5
local drainStepSize = 0.1
local drainIlimit = 1e-3

-- 重置仪器和 TSP-Link 连接，并清除缓冲区。
tsplink.initialize()
reset()
-- 如果 tsplink 状态不是联机，则打印错误消息并退出。
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
-- 设置 TSP-Link 节点快捷方式。
local gate = node[1]
local drain = node[2]

--######################## 1 号 2470 型号（栅极）设置 ################
-- 设置源功能。
gate.smu.source.configlist.create("stepVals")
gate.smu.source.func = gate.smu.FUNC_DC_VOLTAGE
gate.smu.source.autorange = gate.smu.ON
gate.smu.source.ilimit.level = gateIlimit
-- 设置测量功能。
gate.smu.measure.func = gate.smu.FUNC_DC_CURRENT
gate.smu.measure.autorange = gate.smu.ON
gate.smu.terminals = gate.smu.TERMINALS_REAR
-- 设置 TSP-Link 触发。
tsplink.line[1].reset()
gate.tsplink.line[1].mode = gate.tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_MASTER
gate.trigger.tsplinkout[1].stimulus = gate.trigger.EVENT_NOTIFY1
-- 在 stepVals 源配置列表上填充源电平 2 V 到 5 V。
for i = gateVstart, gateVstop, gateStepSize do
    gate.smu.source.level = i
    gate.smu.source.configlist.store("stepVals")
end
local stepPoints = (gateVstop - gateVstart) * (1 / gateStepSize) + 1
-- 设置触发模式。
gate.trigger.model.setblock(1, trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "stepVals")
gate.trigger.model.setblock(2, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, gate.smu.ON)
gate.trigger.model.setblock(3, trigger.BLOCK_MEASURE_DIGITIZE)
gate.trigger.model.setblock(4, trigger.BLOCK_NOTIFY, gate.trigger.EVENT_NOTIFY1)
gate.trigger.model.setblock(5, trigger.BLOCK_WAIT, gate.trigger.EVENT_TSPLINK1)
gate.trigger.model.setblock(6, trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "stepVals")
gate.trigger.model.setblock(7, trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, stepPoints, 3)
gate.trigger.model.setblock(8, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, gate.smu.OFF)
```

```
-- ########################## 2 号 2470 型号（漏极）设置 ################
-- 设置源功能。
drain.smu.source.configlist.create("sweepVals")
drain.smu.source.func = drain.smu.FUNC_DC_VOLTAGE
drain.smu.source.autorange = drain.smu.ON
drain.smu.source.ilimit.level = drainIlimit
-- 设置测量功能。
drain.smu.measure.func = drain.smu.FUNC_DC_CURRENT
drain.smu.measure.autorange = drain.smu.OFF
drain.smu.terminals = drain.smu.TERMINALS_REAR
drain.smu.measure.range = drainIlimit
-- 设置 TSP-Link 触发。
drain.tsplink.line[1].mode = drain.tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_ACCEPTOR
drain.trigger.tsplinkout[1].stimulus = drain.trigger.EVENT_NOTIFY1
-- 在 sweepVals 源配置列表上填充源电平
-- 0 V 至 5 V，步长为 100 mV。
for i = drainVstart, drainVstop, drainStepSize do
    drain.smu.source.level = i
    drain.smu.source.configlist.store("sweepVals")
end
local sweepPoints = (drainVstop - drainVstart) * (1 / drainStepSize) + 1
-- 设置触发模式。
drain.trigger.model.setblock(1, drain.trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "sweepVals")
drain.trigger.model.setblock(2, drain.trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, drain.smu.ON)
drain.trigger.model.setblock(3, drain.trigger.BLOCK_WAIT,
   drain.trigger.EVENT_TSPLINK1)
drain.trigger.model.setblock(4, drain.trigger.BLOCK_DELAY_CONSTANT, 0.01)
drain.trigger.model.setblock(5, drain.trigger.BLOCK_MEASURE_DIGITIZE)
drain.trigger.model.setblock(6, drain.trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "sweepVals")
drain.trigger.model.setblock(7, drain.trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, sweepPoints, 4)
drain.trigger.model.setblock(8, drain.trigger.BLOCK_NOTIFY,
   drain.trigger.EVENT_NOTIFY1)
drain.trigger.model.setblock(9, drain.trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, stepPoints,3)
drain.trigger.model.setblock(10, drain.trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, drain.smu.OFF)

-- 启动两台 SMU 的触发模式并等待其完成
drain.trigger.model.initiate()
gate.trigger.model.initiate()
print("Test Running...")
waitcomplete()
```

```
-- 按格式打印读数。
if defbuffer1.n == 0 then
   print("\nNo readings in buffer\n")
else
print(string.format("drainV,\tdrainI(1),\t\tdrainV,\tdrainI(2),\t\tdrainV,\tdrainI(
   3),\t\tdrainV,\tdrainI(4)"))
   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",
drain.defbuffer1.sourcevalues[k], drain.defbuffer1[k],
drain.defbuffer1.sourcevalues[k+sweepPoints],
               drain.defbuffer1[k+sweepPoints],
drain.defbuffer1.sourcevalues[k+sweepPoints*2],
               drain.defbuffer1[k+sweepPoints*2],
drain.defbuffer1.sourcevalues[k+sweepPoints*3],
               drain.defbuffer1[k+sweepPoints*3]
         )
      )
   end
end
```

第 7 节

常见问题故障排除

本节内容：

关于本节 7-1
可以哪里找到更新的驱动程序？ 7-1
如何升级固件？ 7-2
为什么 2470 无法读取我的 U 盘？ 7-3
如何更改命令集？ 7-3
为什么收到 5074 事件代码？ 7-4
如何保存仪器的当前状态？ 7-5
为什么我的设置发生更改？ 7-5
有哪些 Quick Setup（快速设置）选项？ 7-6

关于本节

本节旨在帮助您找到最常见 2470 问题的答案。有关其他常见问题，请参阅 *《2470 型号参考手册》*中的“常见问题 (FAQ)”。

可以哪里找到更新的驱动程序？

要获取最新驱动程序和更多支持信息，请访问 Keithley Instruments 支持网站。

要查看适用于您仪器的驱动程序：

1. 前往 tek.com.cn/support。
2. 输入仪器的型号。
3. 从筛选列表中选择 **Software**（软件）。
4. 从筛选列表中选择 **Driver**（驱动程序）。

注意

如果您使用的是本地 LabVIEW™ 或 IVI 驱动程序，则必须将 2470 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 7-3 页）

如何升级固件？

小心

在升级过程完成之前，请勿关闭电源或移除 U 盘。

注意

固件文件必须位于 U 盘的根子目录中，并且必须是该位置中的唯一固件文件。您可以从前面板或虚拟前面板中升级或降级固件。有关信息，请参阅*《2470 型号参考手册》*中的“使用 2470 虚拟前面板”。

从前面板或虚拟前面板：

1. 将固件文件（.upg 文件）复制到 U 盘。
2. 确认固件文件位于 U 盘的根子目录中，并且是该位置中的唯一固件文件。
3. 断开已连接到仪器的任何输入和输出端子。
4. 关闭仪器的电源。等待几秒钟。
5. 打开仪器的电源。
6. 将 U 盘插入仪器前面板上的 USB 端口。
7. 在仪器前面板中按下 **MENU**（菜单）键。
8. 在 System（系统）下，选择 **Info/Manage**（信息/管理）。
9. 选择一个升级选项：
   - 要升级到更新版本的固件，请选择 **Upgrade to New**（升级到新版本）。
   - 要恢复为以前版本的固件，请选择 **Downgrade to Older**（降级到旧版本）。
10. 如果仪器是以远程方式控制的，则会显示一条消息。选择 **Yes**（是）继续。
11. 升级过程完成后，重新启动仪器。

升级过程中会显示一条消息。

可在 www.rituchina.com上获取升级文件。

为什么 2470 无法读取我的 U 盘？

验证是否已将闪存驱动器格式化为 FAT32 文件系统。2470 仅支持采用 MBR（主引导记录）的 FAT 和 FAT32 驱动器。

在 Microsoft® Windows® 中，您可以通过检查 U 盘的属性来检查文件系统。

注意

更大容量的 USB 驱动器需要更长的读取时间。

如何更改命令集？

可以更改您在 2470 中使用的命令集。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，其中包含可以从独立仪器执行的仪器专用控制命令。您可以使用 TSP 发送单个命令或将多个命令组合到脚本中。

如果更改命令集，请重新启动仪器。

不能组合使用这些命令集。

注意

在 Keithley Instruments 公司提供的出厂产品中，已将 2470 设置为与 SCPI 命令集配合使用。

要从前面板中设置命令集：

1. 按 **MENU**（菜单）键。
2. 在 System（系统）下，选择 **Settings**（设置）。
3. 选择适当的 **Command Set**（命令集）。

系统将提示您确认对命令集的更改并重新启动。

要验证从远程界面选择的命令集：

发送命令：

```
*LANG?
```

要从远程界面中切换到 SCPI 命令集：

发送命令：

```
*LANG SCPI
```

重启仪器。

要从远程界面切换到 TSP 命令集：

发送命令：

```
*LANG TSP
```

重启仪器。

为什么收到 5074 事件代码？

仪表在后面板上提供一个互锁电路。必须启用此电路，仪器才能将源电压设置为大于 ±42 V DC。如果您想要分配高压输出，并在互锁未确定时打开源，则会显示事件代码 5074：“输出电压受互锁限制”。

警告

2470 附带互锁电路，必须将该电路明确激活后才能启用高压输出。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。

如果互锁信号未确定，能够采取的操作取决于互锁设置。如果互锁设置为 Off（关闭）并且未确定安全互锁信号，则会发生以下情况：

- 标称输出限制在 ±42 V 以下。
- 前面板上的 INTERLOCK（互锁）指示灯不会点亮。
- 您可以输出小于 ±42 V 的电压。

如果互锁设置为 On（开启）并且未确定安全互锁信号，则会发生以下情况：

- 无法打开源输出。
- 前面板上的 INTERLOCK（互锁）指示灯不会点亮。

无论何时，只要互锁改变状态（从被确定到未被确定，反之亦然），输出都会关闭。

要从此错误中恢复，请在打开 2470 输出之前，使用安全测试夹具正确接合互锁。

如何保存仪器的当前状态?

您可以使用前面板菜单或从远程接口中将仪器中的设置保存为脚本。在保存设置后，您可以调出脚本或将其复制到 U 盘。

从前面板：

1. 将 2470 配置为您要保存的设置。
2. 按 **MENU**（菜单）键。
3. 在 Scripts（脚本）下，选择 **Create Setup**（创建设置）。
4. 选择 **Create**（创建）。将显示一个键盘。
5. 使用键盘输入脚本的名称。
6. 在显示的键盘上选择 **OK**（确定）按钮。脚本将添加到内部存储器中。

使用 SCPI 命令：

将仪器配置为您要保存的设置。要保存设置，请发送以下命令：

```
*SAV <n>
```

其中 <n> 是从 0 到 4 的整数。

注意

在前面板脚本菜单中，使用 *SAV 命令保存的设置名为 Setup0*x*，其中 *x* 是您为 <n> 设置的值。

使用 TSP 命令：

将仪器配置为您要保存的设置。要保存设置，请发送以下命令：

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

其中 *setupName* 是创建的设置脚本的名称。

为什么我的设置发生更改?

2470 中的许多命令会与设置它们时激活的源或测量功能一起保存。例如，假设您将测量功能设置为电流，并设置一个显示位数值。当您将测量功能更改为电压时，显示位数值将更改为上次为电压测量功能设置的值。当您恢复为电流测量功能时，显示位数值将返回到您先前设置的值。

有哪些 Quick Setup（快速设置）选项?

QUICKSET（快速设置）键打开一个屏幕，在该屏幕上可以访问功能选择、性能调整和快速设置。

Quickset（快速设置）菜单上的 Function（功能）按钮允许您选择源或测量功能。这些选项与使用前面板 **FUNCTION**（功能）键时可用的选项相同。

性能滑块允许您调整速度和分辨率。当提高速度时，分辨率会降低。当提高分辨率时，读数速度会下降。这些设置将在下次打开输出并进行测量时生效。

Quick Setups（快速设置）允许您设置仪器作为电压表、电流表、欧姆表或电源。

小心

选择 Quick Setup（快速设置）时，仪器将打开输出。在将 2470 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。在连接到器件之前，配置针对仪器建议的设置。不考虑输出关闭状态、源和限值可能会导致仪器或被测器件 (DUT) 损坏。

第 8 节

后续步骤

本节内容：

其他 2470 信息 8-1

其他 2470 信息

本手册帮助您开始在您的应用中使用新 2470 大电流 SourceMeter 仪器。有关更多详细信息，请参阅 Keithley Instruments 的 *《2470 型号参考手册》*。

有关该仪器的支持服务和更多信息，请访问 www.rituchina.com。在此网站上，您可以访问：

- 知识中心，其中包含以下手册：
  - *低电平测量手册：精确直流电流、电压和电阻测量*
  - *切换手册：关于在自动测试系统中进行信号切换的指南*
- 应用说明
- 更新的驱动程序
- 相关产品的信息

您当地的现场应用工程师可以帮助您进行产品选择、配置和使用。在网站中查看联系信息。

日图抖音号

日图公众号

深圳总部

深圳市南山区留仙大道南山云谷创新产业园二期 6 栋一楼东座
电话：0755-83680722(8 线)

杭州分公司

浙江省杭州市萧山区盈丰街道鸿宁路 1819 号左右世界1幢 1 单元 702-3
电话：0571-86856181
手机：18668225058

上海分公司

上海市闵行区中春路 8633 弄万科七宝国际 26 幢 701 室
电话：021-33888891/3/5
手机：13564654980

重庆分公司

重庆市观音桥茂业东方时代大厦 35 楼 3509 室
电话：023-67904187
手机：13896060852

广州分公司

广州市科学城科学大道中 97 号科汇金谷 J 栋东座 808 室
电话：020-31604020
手机：18027340836

苏州分公司

苏州苏州工业园区科营路 2 号中新生态大厦 10 楼 1010 室
电话：0512-62515781、0512-62515784
手机：15895400640

西安分公司

陕西省西安市雁塔区长安中路南飞鸿广场 3 号楼 1813 室
手机：15529365365

香港分公司

香港新界元朗屏厦厦村厦村路 DD125 段 1215-1217lot
电话：+852-24932683

深圳市日图科技有限公司

SHENZHEN RITU SCIENCE TECHNOLOGY CO.,LTD

www.rituchina.com

400-616-5217

广东省深圳市南山区留仙大道南山云谷创新产业园二期 6 栋一楼东座

如需所有最新配套资料，请立即与日图科技各地分公司联系。