

KEITHLEY (吉时利) 2400 系列源表  
综合特性测试软件  
中文版 (Ver 20170701)

Copyright 北京汉雷科技有限公司

<http://www.chnlei.com>

## 目 录

<b>第一章 运行系统要求</b> .....	<b>6</b>
一、    支持机型 .....	6
二、    计算机要求 .....	6
<b>第二章 软件安装及设置</b> .....	<b>7</b>
一、    通讯接口 .....	7
1. 接口类型 .....	7
2. 接口设置 .....	7
3. 软件的安装 .....	7
二、    系统参数设置 .....	8
<b>第三章 编辑测试项目</b> .....	<b>10</b>
一、    什么是测试项目 .....	10
1. 测试项目的定义 .....	10
2. 为什么要使用测试项目 .....	10
二、    建立一个测试项目 .....	10
三、    测试项目的编辑 .....	12
1. 修改步骤参数 .....	12
2. 删除步骤参数 .....	13
3. 调整步骤顺序 .....	13
四、    测试项目的保存 .....	13
<b>第四章 功能设置</b> .....	<b>14</b>
一、    通用设置 .....	14

1.	输出面板 .....	14
2.	接线方式（2、4 线制） .....	15
3.	测量速度 .....	16
4.	自动调零 .....	16
5.	滤波 .....	16
二、	单阶恒流输出测量（BiasIMeasureV-Single） .....	16
1.	功能简述 .....	16
2.	参数设置 .....	16
三、	单阶恒压输出测量(BiasVMeasureI-Single).....	19
1.	功能简述 .....	19
2.	参数设置 .....	19
四、	电流表测量模式(I-METER) .....	22
3.	功能简述 .....	22
4.	参数设置 .....	22
五、	电压表测量模式（V-METER） .....	23
1.	功能简述 .....	23
2.	参数设置 .....	23
六、	电阻测量(Resistance).....	25
1.	功能简述 .....	25
2.	参数设置 .....	25
七、	多阶恒流输出测量(BiasIMeasureV-Steps).....	26
1.	功能简述 .....	26
2.	参数设置 .....	26
八、	多阶恒压输出测量(BiasVMeasureI-Steps).....	28

1.	功能简述 .....	28
2.	参数设置 .....	29
九、	电流扫描测量(SweepIMeasureV) .....	30
1.	功能简述 .....	30
2.	参数设置 .....	31
3.	测试数据图形 .....	32
十、	电压扫描测量(SweepVMeasureI) .....	33
1.	功能简述 .....	33
2.	参数设置 .....	33
3.	测试数据图形 .....	35
十一、	太阳能电池 IV 特性测量(SolarCell-IV) .....	35
1.	功能简述 .....	35
2.	参数设置 .....	36
3.	数据的格式 .....	37
<b>第五章</b>	<b>运行测量 .....</b>	<b>39</b>
一、	开始及终止运行 .....	39
二、	数据及图形的保存格式 .....	39
<b>第六章</b>	<b>常见应用测试 .....</b>	<b>40</b>
一、	二线制与四线制的选择 .....	40
二、	使用自动量程还是固定量程 .....	41
三、	同时测试两个样品 .....	41
四、	用多阶恒压/流进行方波及阶梯波测量 .....	42
五、	任意定制 I-V 扫描 .....	43

六、	二极管 IV 特性测量测量.....	44
七、	电化学应用 .....	45

# 第一章 运行系统要求

## 一、支持机型

KEITHLEY2400, 2401, 2410, 2420, 2430, 2440; 如用户需要对 KEITHLEY2450 图形源表系列进行控制, 请联系我们, 我们将提供另外一款专门针对 2450 系列 (2450, 2460, 2461) 软件产品供您使用。

## 二、计算机要求

操作系统: 支持 Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8, Windows8.1, Windows10。

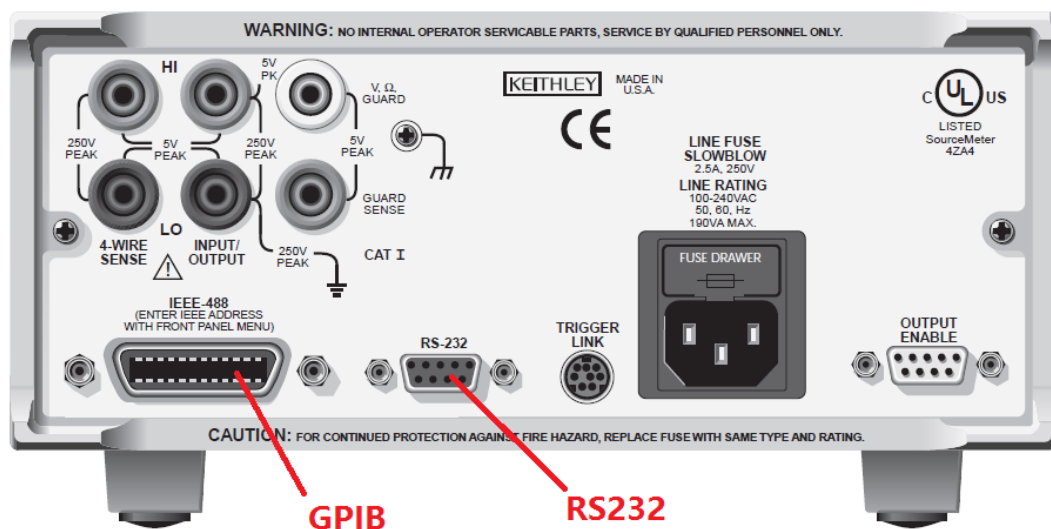
硬盘空间: 200M 空闲空间。

## 第二章 软件安装及设置

### 一、 通讯接口

#### 1. 接口类型

KEITHLEY2400 系列(以下简称 2400)源表支持两种通讯接口与计算机通信,分别是 GPIB 接口 (IEEE488) 和 RS232 接口, 见下图:



虽然这两种接口均可使用,但通讯时只能选择一种和计算机通信,不能同时使用两种接口。

#### 2. 接口设置

2400 在出厂时默认将通讯模式设置为 GPIB 方式, 如果想修改通讯方式为 RS232, 请在仪器前面板按下【Menu】键, 选择 COMMUNICATION, 切换通讯方式。

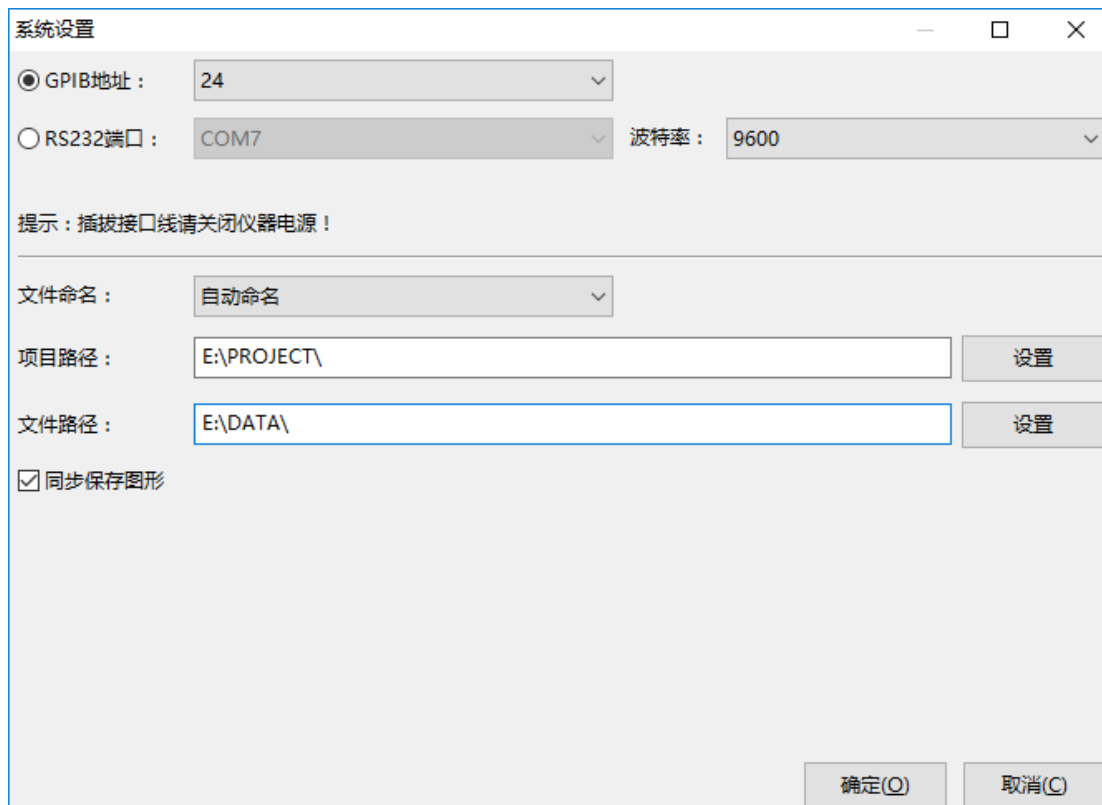
#### 3. 软件的安装

软件包本身不需要安装, 用户直接解压缩后运行即可, 软件本身需要 NI—VISA 驱动包的支持, 在运行软件之前, 请安装此驱动包, 您可以从美国国家仪器网站 (<http://www.ni.com>) 下载, 也可以联系我们索要。

## 二、 系统参数设置

软件在首次运行时，需要设置和 2400 的通讯接口参数及数据存储目录等信息。

在启动软件后，在菜单【工具】-选择【系统选项】，出现如下界面：



系统设置

GPIB地址： 24

RS232端口： COM7 波特率： 9600

提示：插拔接口线请关闭仪器电源！

文件命名： 自动命名

项目路径： E:\PROJECT\ 设置

文件路径： E:\DATA\ 设置

同步保存图形

确定(O) 取消(C)

【GPIB 地址】：如果用户使用 GPIB 与 2400 通信，请点此项，并设置对应的地址（缺省出厂设置为 24）。

【RS232 端口】：如果用户使用 RS232 与 2400 通信，请点此项，并设置和 2400 对应的串口号和波特率。

如何查看和 2400 通讯的串口号？

在计算机-我的电脑（或者资源管理器）-点击鼠标右键，选择“管理”-“设备管理器”，见下图：





如果没有出现该项，则说明您的计算机没有 RS232 端口或者您使用了 USB-RS232 的通讯线，但没有正确的安装 USB-RS232 的驱动程序。

**【文件命名】**：该选项定义在测试的过程中如果给数据文件命名，命名方式分为两种。

**自动命名**：使用该方式，软件在测试开始的时候，以当前计算机的系统时间生成一个时间戳文件名，该文件名就是开始测试的时间字符串。

**用户自定义**：使用该方式，软件在测试开始的时候，弹出对话框，提醒用户输入一个文件名用于保存。

**【项目路径】**：指定用户建立的测试项目的保存文件夹，缺省设置为软件的当前目录。

**【文件路径】**：用于设置测量数据文件存放的文件夹，缺省为软件的当前目录。

**【同步保存图形】**：勾选该项，则软件在每测试完一个步骤的时候，自动将该步骤测试图形保存为 JPG 文件，以方便用户调取图形查看。

## 第三章 编辑测试项目

### 一、 什么是测试项目

#### 1. 测试项目的定义

将用户的功能模块选择以列表的形式保存在项目文件中,用户可以在一个项目文件中建立一个或者多个功能模块,软件将按照功能模块的顺序执行测量,

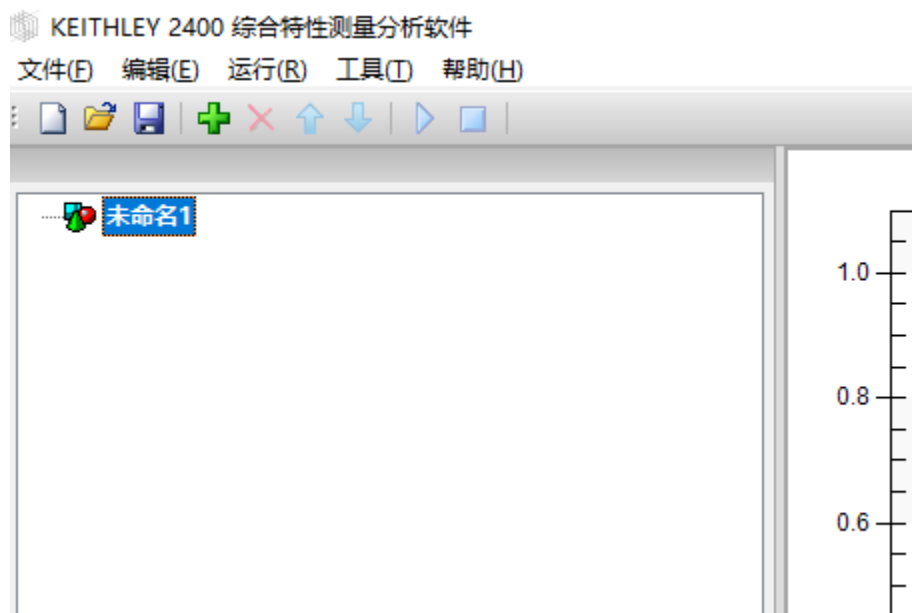
#### 2. 为什么要使用测试项目


使用测试项目有以下优点

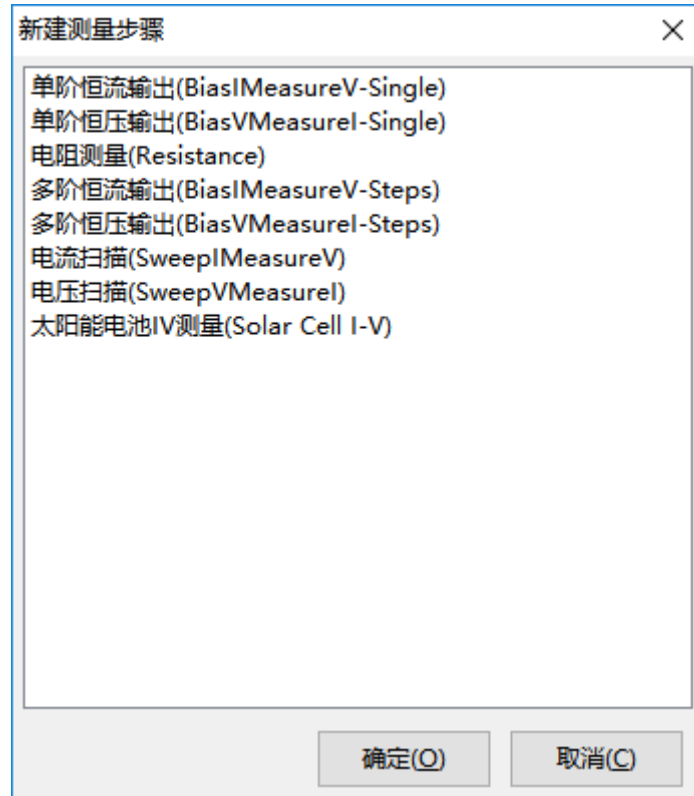
- 每个用户可以分别保存自己的专用测试项目以防止被无意修改而造成测试设置不正确。
- 使用项目测试,用户可利用 2400 的基本测量功能经过参数的设置及步骤的搭配完成复杂的测试。

### 二、 建立一个测试项目

软件在启动的时候,会显示出空项目或者自动打开上次建立和保存的测试项目,我们以空项目为例,见下图:

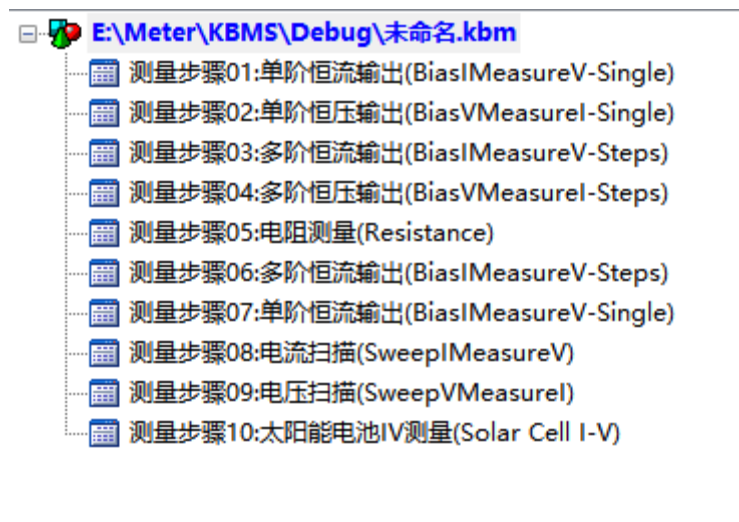


用户可以在【编辑】菜单中,选择【增加】或者在工具栏中点击来增加一个测试模块,见下图:



**(提示：图上显示的功能可能随着版本的升级会有更多步骤出现)**

用户选择一个需要的功能，点击“确定”后，一个测试步骤就添加到项目中，如果用户仅测试单项功能，则一个测试步骤就可以了，如果用户需要自动测试多个功能步骤，可以连续增加多个测试模块，则最终形成的测试项目可能如下图所示：



### 三、 测试项目的编辑

用户在建立测试项目后，可对测试项目进行编辑修改。


#### 1. 修改步骤参数

每一个步骤参数对应着一个测试功能，我们点击任意一个测量步骤，在其列表下方出现详细的设置参数，我们可以对其进行设置修改，每个测试功能将在第四章进行详细的说明，见下图：


测量步骤9:电流扫描

参数设置	
☐ 通用设置	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
☐ 测量设置	
循环扫描次数	1
循环扫描间隔	0 秒
扫描区间数	2
☐ 区间01	
起始电压	1 V
终止电压	10 V
步进电压	100 mV
钳位电流	100 mA
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	91
☐ 区间02	
起始电压	10 <span>...</span>
终止电压	1 V
步进电压	1 V
钳位电流	100 mA
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	10

## 2. 删除步骤参数

如果不需要测试某个步骤，可以选择将其删除，选择该步骤后，在菜单【编辑】-选择【删除步骤】，或者点击工具栏中的  键，或者按下键盘 Delete 键将其删除。

## 3. 调整步骤顺序

如果需要对测量步骤的先后顺序进行调整，可以在菜单【编辑】，选择【上移测量】【下移测量】，或者在工具栏中点击 ，或者利用组合快捷键 Ctrl+上箭头，下箭头进行测量顺序的调整。

## 四、 测试项目的保存

在菜单【文件】中，可以打开，保存测试项目文件，软件在退出的时候会自动记忆当前保存的项目文件名，在下次启动后自动加载该项目文件。

## 第四章 功能设置

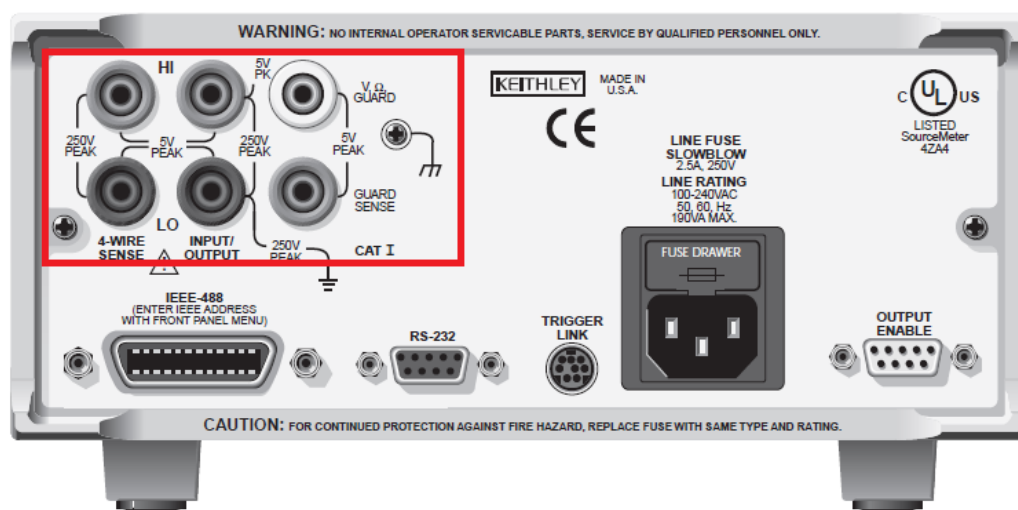
### 一、通用设置

#### 1. 输出面板

2400 分为前、后两个面板，见下图：



上图为前面板接线部分（见红色框）。

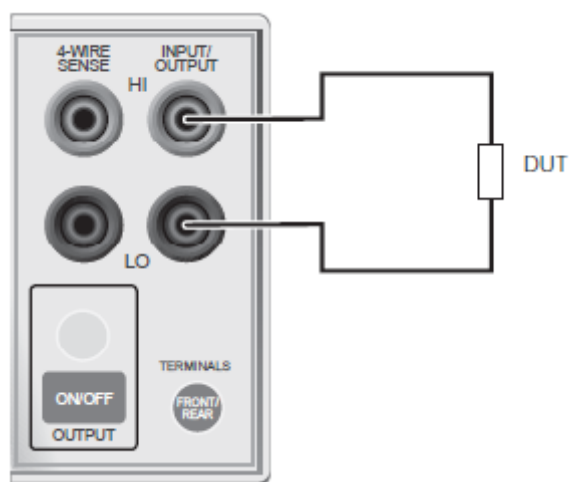


上图为后面板接线部分（见红色框）

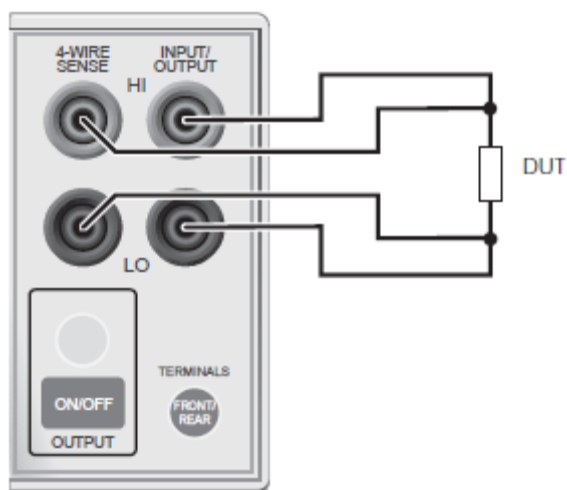
前后面板均可接测试表笔/测试线缆连接到样品上进行测试，但同一个测试功能在同一时刻只能选择前面板输出或者后面板输出。

软件在每项功能的通用设置中，均可设置测试面板。

## 2. 接线方式（2、4 线制）



上图为 2 线制接线方法



上图为 4 线制接线方法

何时选择 2 线制进行测试，何时选择 4 线制进行测量？（[见第六章第一节](#)）

### 3. 测量速度

测量速度实际上选择 A/D 转换器的积分时间，即测试输入信号的时间。积分时间可以影响读数噪声的大小和仪器最终的读数速率。积分时间是由多少个电源周期来 (NPLC) 来指定的，其中 60Hz 的 1PLC 为 16.67ms (1/60)，50Hz (和 400Hz) 的 1PLC 为 20ms (1/50)。所有量程的速率设置都是统一的。因此，不管当前选择的量程是什么都不会影响您。

测量速度越慢，则测量精度越高，因此您需要在速度和精度找到一个最佳平衡点。

### 4. 自动调零

每一个 A/D 转换 (读操作) 是从零值、相对读数值和信号测量值计算获得，启动自动调零，所有的测量从以上 3 个值中计算获得，以达到额定精度。

禁用自动调零，零和参考值不测量。这增加了测量速度，但零漂最终会破坏精度。如果禁用自动调零功能，请定期改变测量速度。

仪器内各部件之间的温度变化可能导致 A/D 转换器因温差而漂移的参考值和零点值影响。自动调零消除了漂移的影响，以长时间的维持测量精度。

### 5. 滤波

滤波可以稳定由嘈杂的输入信号引起的测量中的噪声。但也可能抑制与平滑测量信号的突变信号，软件默认将滤波关闭，滤波分为滑动滤波 (MOVING) 和重复滤波 (REPEAT)。

## 二、单阶恒流输出测量 (BiasIMeasureV-Single)

### 1. 功能简述

单阶恒流输出是将 2400 的工作模式设置为源输出为电流，测量功能设置为电压，默认输出 V-T 曲线 (电压-时间)。

### 2. 参数设置

在项目中增加 1 个单阶恒流输出功能 (操作方法见第三章)，见下图。



参数设置	
☐ 通用设置	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
☐ 测量设置	
输出电流	1 mA
量程模式	自动量程
钳位电压(量程)	10 V
采样模式	单点模式
同步测量电流	<input type="checkbox"/>
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
☐ 图形显示	
曲线类型	电压-时间曲线
Y轴显示为	原值
实时显示点数	10000

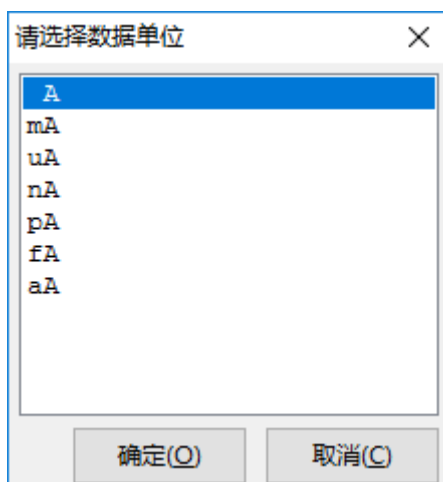
通用设置：见本章第一节。

测量设置部分

【输出电流】：设置输出电流的大小，注意：在鼠标放置在该输入框的时候，右侧会出现单位选择按钮



点击该按钮，出现如下单位选择框



您可以选择合适的单位进行输入,类似的,在输入电压类型的值时也会出现单位选择框,在后面将不再一一赘述。

**【量程模式】**：选择测量电压的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电压的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电压值设置为量程。

**是选用自动量程还是固定量程？见第六章第二节。**

**【钳位电压/量程值】**：钳位电压是值在测量电压时设置的保护电压值，在测量时防止测量电压超过保护电压，该值一般设置成为比样品的最大测量电压略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电压量程使用。

**【采样模式】**：分为两种

- 单点模式：开始测试后，软件实时测量电压并将测量值上传到计算机，计算机在接收到数据后，在软件界面上实时显示出来，单点模式是最常用的模式，这种模式可以实时的测量并显示数据的变化，而且可以长时间的持续测量，选择单点模式，以下两个参数设置配合该功能使用：

采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒

在下面将对这两个参数进行说明。

- 缓冲区模式：该模式用于短时间内密集采集测量数据，该模式的优点在于采样间隔小于单点模式，但不能够实时显示数据和图形，只能等到测量结束后才能上传到计算机上，另外该采样模式只能设置采样点数，不能设置采样间隔和采样时间长度，单次采样点数不能够超过 2500 个点（2400 的缓冲区最大值）。

**【同步测量电流】**：缺省情况下，2400 在恒流模式下，电流值采用编程值，即设置输出电流是多少，2400 回传给计算机的电流值就是多少，选择该项，则在测试电压的同时，会同时测量输出电流，使用该功能，测量速度会降低。

**【采样间隔】**：该功能在采样模式为单点模式下使用，用于设置采集数据点的时间间隔，注意：由于 2400 测量数据的时间受到测量速度、滤波开关、量程、通讯接口的影响，当采样间隔的值设置值比 2400 实际测量的时间还要小的时候，以 2400 的测量时间为准。当采样间隔设置为 0 的时候，表示软件以当前测量设置的最大速度进行测量。

**【采样时长】**：该功能在采样模式为单点模式下使用，当运行时间达到设置值后，软件停止电流输出，终止测量或者是转到下一个测量步骤，该值最大可设置为 999999 秒。

**【缓冲区点数】**：该功能在采样模式为缓冲区模式下使用，当 2400 在测量点数达到该值后，终止测量或者是转到下一个测量步骤，该值最大可设置为 2500 个点。

#### 图形显示设置部分

**【曲线类型】**：在恒流模式下，我们可以设置绘制三种曲线类型  
电流-时间曲线，电压-时间曲线（默认），电阻-时间曲线。

**【y 轴显示为】**：该功能设置测量值以何种形式显示在图形当中，有以下选项可以设置

- 原值：即测量的原始值。
- 反值：即将测量值取反后显示。
- 绝对值：即将测量值取绝对值后显示。
- 对数值：即将测量值去对数后显示，当测量值为负时，先取绝对值。

注意：该功能只是在显示时进行处理，保存数据时依旧保存原始数据。

**【实时显示点数】**：该功能在采样模式为单点模式下使用，当在图表显示的测量点数超过该值后，图形将以滚动的方式显示新的数据，该值的缺省值为 10000。

### 三、 单阶恒压输出测量(BiasVMeasureI-Single)

#### 1. 功能简述

单阶恒流输出是将 2400 的工作模式设置为源输出为电压，测量功能设置为电流，默认输出 I-T 曲线（电流-时间）。

#### 2. 参数设置

在项目中增加 1 个单阶恒流输出功能（操作方法见第三章），见下图。

参数设置	
☐ 通用设置	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
☐ 测量设置	
输出电压	1 V
量程模式	自动量程
钳位电流(量程)	100 mA
采样模式	单点模式
同步测量电压	<input type="checkbox"/>
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
☐ 图形显示	
曲线类型	电流-时间曲线
Y轴显示为	原值
实时显示点数	10000

通用设置：见本章第一节。

测量设置部分

【输出电压】：设置输出电压的大小。

【量程模式】：选择测量电流的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电流的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电流值设置为量程。

**是选用自动量程还是固定量程？见第六章第二节。**

【钳位电流/量程值】：钳位电流值是在测量电流时设置的保护电流值，在测量时防止测量电流超过保护电流，该值一般设置成为比样品的最大测量电流略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电流量程使用。

【采样模式】：分为两种

- 单点模式：开始测试后，软件实时测量电流并将测量值上传到计算机，计算机在接收到数据后，在软件界面上实时显示出来，单点模式是最常用的模式，这种模式可

以实时的测量并显示数据的变化，而且可以长时间的持续测量，选择单点模式，以下两个参数设置配合该功能使用：

采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒

在下面将对这两个参数进行说明。

- **缓冲区模式：**该模式用于短时间内密集采集测量数据，该模式的优点在于采样间隔小于单点模式，但不能够实时显示数据和图形，只能等到测量结束后才能上传到计算机上，另外该采样模式只能设置采样点数，不能设置采样间隔和采样时间长度，单次采样点数不能够超过 2500 个点（2400 的缓冲区最大值）。

**【同步测量电压】：**缺省情况下，2400 在恒压模式下，电压值采用编程值，即设置输出电压是多少，2400 回传给计算机的电压值就是多少，选择该项，则在测试电流的同时，会同时测量输出电压，使用该功能，测量速度会降低。

**【采样间隔】：**该功能在采样模式为单点模式下使用，用于设置采集数据点的时间间隔，注意：由于 2400 测量数据的时间受到测量速度、滤波开关、量程、通讯接口的影响，当采样间隔的值设置值比 2400 实际测量的时间还要小的时候，以 2400 的测量时间为准。当采样间隔设置为 0 的时候，表示软件以当前测量设置的最大速度进行测量。

**【采样时长】：**该功能在采样模式为单点模式下使用，当运行时间达到设置值后，软件停止电流输出，终止测量或者是转到下一个测量步骤，该值最大可设置为 999999 秒。

**【缓冲区点数】：**该功能在采样模式为缓冲区模式下使用，当 2400 在测量点数达到该值后，终止测量或者是转到下一个测量步骤，该值最大可设置为 2500 个点。

图形显示设置部分

**【曲线类型】：**在恒流模式下，我们可以设置绘制三种曲线类型

电流-时间曲线（默认），电压-时间曲线，电阻-时间曲线。

**【y 轴显示为】：**该功能设置测量值以何种形式显示在图形当中，有以下选项可以设置

- 原值：即测量的原始值。
- 反值：即将测量值取反后显示。
- 绝对值：即将测量值取绝对值后显示。
- 对数值：即将测量值去对数后显示，当测量值为负时，先取绝对值。

注意：该功能只是在显示时进行处理，保存数据时依旧保存原始数据。

**【实时显示点数】：**该功能在采样模式为单点模式下使用，当在图表显示的测量点数超过该值后，图形将以滚动的方式显示新的数据，该值的缺省值为 10000。

## 四、 电流表测量模式 (I-METER)

### 3. 功能简述

该功能直接 2400 设置成电压源输出，电流测试模式，并将电压源输出值设置为 0，将 2400 变成 1 台电流表使用。

### 4. 参数设置

在项目中增加 1 个电流表模式测量功能（操作方法见第三章），见下图

参数设置		帮助信息
通用设置		
输出面板	前面板	
测量速度	缺省	
自动调零	OFF	
滤波开关	关闭	
测量设置		
量程模式	固定量程	
钳位电流(量程)	100 mA	
采样模式	单点模式	
采样间隔	0 秒	
采样时长	10 秒	
图形显示		
Y轴显示为	原值	
实时显示点数	10000	

通用设置：见本章第一节。

测量设置部分

【量程模式】：选择测量电流的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电流的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电流值设置为量程。

【钳位电流/量程值】：钳位电流值是在测量电流时设置的保护电流值，在测量时防止测量电流超过保护电流，该值一般设置成为比样品的最大测量电流略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电流量程使用。

【采样模式】：分为两种

- 单点模式：开始测试后，软件实时测量电流并将测量值上传到计算机，计算机在接收到数据后，在软件界面上实时显示出来，单点模式是最常用的模式，这种模式可以实时的测量并显示数据的变化，而且可以长时间的持续测量，选择单点模式，以下两个参数设置配合该功能使用：

采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒

在下面将对这两个参数进行说明。

- 缓冲区模式：该模式用于短时间内密集采集测量数据，该模式的优点在于采样间隔小于单点模式，但不能够实时显示数据和图形，只能等到测量结束后才能上传到计算机上，另外该采样模式只能设置采样点数，不能设置采样间隔和采样时间长度，单次采样点数不能够超过 2500 个点（2400 的缓冲区最大值）。

## 五、 电压表测量模式 (V-METER)

### 1. 功能简述

该功能直接 2400 设置成电流源输出，电压测试模式，并将电流源输出值设置为 0，将 2400 变成 1 台电压表使用。

### 2. 参数设置

在项目中增加 1 个电压表模式测量功能（操作方法见第三章），见下图。

☐ 通用设置	
输出面板	前面板
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
☐ 测量设置	
量程	21 V
提示	量程值必须超过测量值
采样模式	单点模式
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
☐ 图形显示	
Y轴显示为	原值
实时显示点数	10000

通用设置：见本章第一节。

【量程】：设置测量电压的量程，在设置为电压表模式的状态下，系统将自动选择为固定量程，不使用自动量程，相关的说明请参考 Keithley2400 仪器手册。

**注意：一定要将量程值设置比待测电压要大！否则有可能对仪器造成伤害！**

【采样模式】：分为两种

- 单点模式：开始测试后，软件实时测量电流并将测量值上传到计算机，计算机在接收到数据后，在软件界面上实时显示出来，单点模式是最常用的模式，这种模式可以实时的测量并显示数据的变化，而且可以长时间的持续测量，选择单点模式，以下两个参数设置配合该功能使用：

采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒

在下面将对这两个参数进行说明。

- 缓冲区模式：该模式用于短时间内密集采集测量数据，该模式的优点在于采样间隔小于单点模式，但不能够实时显示数据和图形，只能等到测量结束后才能上传到计算机上，另外该采样模式只能设置采样点数，不能设置采样间隔和采样时间长度，单次采样点数不能够超过 2500 个点（2400 的缓冲区最大值）。



## 六、 电阻测量 (Resistance)

### 1. 功能简述

该功能直接使用 2400 的电阻测量功能，对待测样品进行测量。

### 2. 参数设置

在项目中增加 1 个电阻测量功能（操作方法见第三章），见下图。

参数设置	
☐ 通用设置	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
☐ 测量设置	
电阻量程	200MΩ
偏移补偿	<input type="checkbox"/>
采样模式	单点模式 <span>▼</span>
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
☐ 图形显示设置	
实时显示点数	10000

通用设置：见本章第一节。

【电阻量程】：可以设置从  $2\Omega$  ~  $200M\Omega$  的测量范围，也可以设置成自动量程。

【采样模式】：分为两种

- 单点模式：开始测试后，软件实时测量电压并将测量值上传到计算机，计算机在接收到数据后，在软件界面上实时显示出来，单点模式是最常用的模式，这种模式可以实时的测量并显示数据的变化，而且可以长时间的持续测量，选择单点模式，以下两个参数设置配合该功能使用：

采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒

在下面将对这两个参数进行说明。

- **缓冲区模式**：该模式用于短时间内密集采集测量数据，该模式的优点在于采样间隔小于单点模式，但不能够实时显示数据和图形，只能等到测量结束后才能上传到计算机上，另外该采样模式只能设置采样点数，不能设置采样间隔和采样时间长度，单次采样点数不能够超过 2500 个点（2400 的缓冲区最大值）。

**【采样间隔】**：该功能在采样模式为单点模式下使用，用于设置采集数据点的时间间隔，注意：由于 2400 测量数据的时间受到测量速度、滤波开关、量程、通讯接口的影响，当采样间隔的值设置值比 2400 实际测量的时间还要小的时候，以 2400 的测量时间为准。当采样间隔设置为 0 的时候，表示软件以当前测量设置的最大速度进行测量。

**【采样时长】**：该功能在采样模式为单点模式下使用，当运行时间达到设置值后，软件停止电流输出，终止测量或者是转到下一个测量步骤，该值最大可设置为 999999 秒。

**【缓冲区点数】**：该功能在采样模式为缓冲区模式下使用，当 2400 在测量点数达到该值后，终止测量或者是转到下一个测量步骤，该值最大可设置为 2500 个点。

**【实时显示点数】**：该功能在采样模式为单点模式下使用，当在图表显示的测量点数超过该值后，图形将以滚动的方式显示新的数据，该值的缺省值为 10000。

## 七、多阶恒流输出测量(Bias|MeasureV-Steps)

### 1. 功能简述

多阶恒流输出可以连续设置 1~10 段不同的电流输出，每段电流输出可以设置不同的电流值和持续时间，并可以重复循环执行，因此使用该功能可以自定义电流方波及阶梯波输出，具有很大的灵活性。

### 2. 参数设置

在项目中增加 1 个多阶恒流功能（操作方法见第三章），见下图。

通用设置	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
测量设置	
序列数	2
序列01	
输出电流	1 mA
钳位电压	10 V
量程模式	自动量程
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
序列02	
输出电流	1 mA
钳位电压	10 V
量程模式	自动量程
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
图形显示	
曲线类型	电压-时间曲线
Y轴显示为	原值
实时显示数据点	10000
循环设置	
循环次数	1

通用设置：见本章第一节。

测量设置

【序列数】：设置多阶恒流序列个数，最大可设置 10 个序列，选择多少个序列，则下方出现多个序列详细设置。

序列 01~10 设置方法相同，我们以序列 01 为例

【输出电流】：设置输出电流的大小。

【钳位电压/量程值】：钳位电压是值在测量电压时设置的保护电压值，在测量时防止测量电压超过保护电压，该值一般设置成为比样品的最大测量电压略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电压量程使用。

【量程模式】：选择测量电压的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电压的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电压值设置为量程。

**是选用自动量程还是固定量程？见第六章第二节。**

【采样间隔】：用于设置采集数据点的时间间隔，注意：由于 2400 测量数据的时间受到测量速度、滤波开关、量程、通讯接口的影响，当采样间隔的值设置值比 2400 实际测量的时间还要小的时候，以 2400 的测量时间为准。当采样间隔设置为 0 的时候，表示软件以当前测量设置的最大速度进行测量。

【采样时长】：当运行时间达到设置值后，软件停止本次电流输出，转到下一阶恒流输出，该值最大可设置为 999999 秒。

图形显示设置部分

【曲线类型】：在恒流模式下，我们可以设置绘制三种曲线类型

电流-时间曲线，电压-时间曲线（默认），电阻-时间曲线。

【y 轴显示为】：该功能设置测量值以何种形式显示在图形当中，有以下选项可以设置

- 原值：即测量的原始值。
- 反值：即将测量值取反后显示。
- 绝对值：即将测量值取绝对值后显示。
- 对数值：即将测量值去对数后显示，当测量值为负时，先取绝对值。

注意：该功能只是在显示时进行处理，保存数据时依旧保存原始数据。

【实时显示点数】：设置实时显示在图形的数据点数，当在图表显示的测量点数超过该值后，图形将以滚动的方式显示新的数据，该值的缺省值为 10000。

【循环次数】：设置多阶输出的循环次数。

## 八、多阶恒压输出测量(BiasVMeasure1-Steps)

### 1. 功能简述

多阶恒压输出可以连续设置 1~10 段不同的电压输出，每段电压输出可以设置不同的电压值和持续时间，并可以重复循环执行，因此使用该功能可以自定义方波及阶梯波输出，具有很大的灵活性。

## 2. 参数设置

在项目中增加 1 个多阶恒压功能（操作方法见第三章），见下图。

<b>通用设置</b>	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
<b>测量设置</b>	
序列数	2 <input type="button" value="v"/>
<b>序列01</b>	
输出电压	1 V
钳位电流	100 mA
量程模式	自动量程
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
<b>序列02</b>	
输出电压	1 V
钳位电流	100 mA
量程模式	自动量程
采样间隔	0 秒
采样时长	10 秒
<b>图形显示</b>	
曲线类型	电流-时间曲线
Y轴显示为	原值
实时显示数据点	10000
<b>循环设置</b>	
循环次数	1

通用设置：见本章第一节。

测量设置

【序列数】：设置多阶恒压序列个数，最大可设置 10 个序列，选择多少个序列，则下方出现多个序列详细设置。

序列 01~10 设置方法相同，我们以序列 01 为例

【输出电压】：设置输出电压的大小。

【钳位电流/量程值】：钳位电流是值在测量电流时设置的保护电流值，在测量时防止测量电压超过保护电流，该值一般设置成为比样品的最大测量电流略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电流量程使用。

【量程模式】：选择测量电流的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电压的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电压值设置为量程。

**是选用自动量程还是固定量程？见第六章第二节。**

【采样间隔】：用于设置采集数据点的时间间隔，注意：由于 2400 测量数据的时间受到测量速度、滤波开关、量程、通讯接口的影响，当采样间隔的值设置值比 2400 实际测量的时间还要小的时候，以 2400 的测量时间为准。当采样间隔设置为 0 的时候，表示软件以当前测量设置的最大速度进行测量。

【采样时长】：当运行时间达到设置值后，软件停止本次电流输出，转到下一阶恒压输出，该值最大可设置为 999999 秒。

图形显示设置部分

【曲线类型】：在恒流模式下，我们可以设置绘制三种曲线类型

电流-时间曲线（默认），电压-时间曲线，电阻-时间曲线。

【y 轴显示为】：该功能设置测量值以何种形式显示在图形当中，有以下选项可以设置

- 原值：即测量的原始值。
- 反值：即将测量值取反后显示。
- 绝对值：即将测量值取绝对值后显示。
- 对数值：即将测量值去对数后显示，当测量值为负时，先取绝对值。

注意：该功能只是在显示时进行处理，保存数据时依旧保存原始数据。

【实时显示点数】：设置实时显示在图形的数据点数，当在图表显示的测量点数超过该值后，图形将以滚动的方式显示新的数据，该值的缺省值为 10000。

【循环次数】：设置多阶输出的循环次数。

## 九、 电流扫描测量 (Sweep I Measure V)

### 1. 功能简述

电流扫描功能是通过设置起始、终止电流；步进（阶梯）电流，实现电流输出的快速变换输出，同时测量电压。

## 2. 参数设置

在项目中增加 1 个电流扫描功能（操作方法见第三章），见下图。

<b>通用设置</b>	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
<b>测量设置</b>	
循环扫描次数	1
循环扫描间隔	0 秒
扫描区间数	2
<b>区间01</b>	
起始电流	1 mA
终止电流	10 mA
步进电流	1 mA
钳位电压	10 ...
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	10
<b>区间02</b>	
起始电流	10 mA
终止电流	1 mA
步进电流	1 mA
钳位电压	10 V
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	10

通用设置：见本章第一节。

### 名词解释：什么是扫描区间？

在 2400 内置的线性扫描中，设置扫描起始值，扫描终止值，扫描步长（阶梯），这就形成了一个基本扫描区间，大部分情况下，用户构建 1 个完整扫描使用 1 个扫描区间就够用了，但有些情况下，用户需要从起始→终止，终止→起始或者 0→终止，终止→0，0→起始，起始→0 来构建一个完整扫描，或者是更复杂的扫描条件，在这种情况下单个扫描区间就无法完成任务，需要多个扫描区间来构建 1 个扫描，关于扫描区间的应用请参考[第六章第五节](#)。

【循环扫描次数】：一个完整的扫描重复执行的次数。

【循环扫描间隔】：每次完整扫描之间的时间间隔，如果循环扫描次数为 1，就忽略该设置。

【扫描区间数】：设置一个完整的扫描包含的区间数目，缺省为 1，即 1 个扫描区间，一个扫描最大可以包含 8 个扫描区间。

区间 01~08 设置

【起始电流】：设置电流扫描的起始值。

【终止电流】：设置电流扫描的终止值。

注意：起始到终止值的设置可从小到大，也可从大到小。

【步进电流】：设置电流扫描的步进（阶梯）值。

【钳位电压】：钳位电压是值在测量电压时设置的保护电压值，在测量时防止测量电压超过保护电压，该值一般设置成为比样品的最大测量电压略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电压量程使用。

【扫描点间隔】：设置步进（阶梯）之间的时间延时。

【量程模式】：选择测量电压的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电压的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电压值设置为量程。

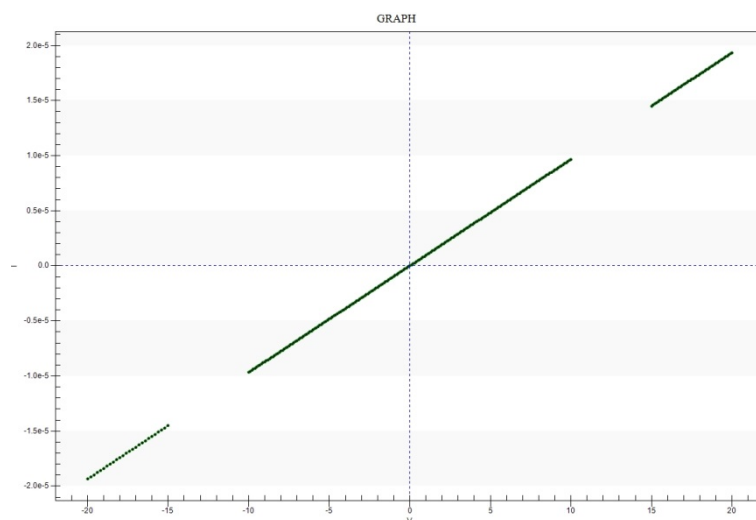
**是选用自动量程还是固定量程？见第六章第二节。**

【扫描点数】：这是一个提示信息，是根据起始值、终止值及步进（阶梯）值计算出一个扫描区间包含的扫描点数，注意：如果步进（阶梯）值设置过小，导致扫描点超过系统最大值 2500 个，系统将提示修改。

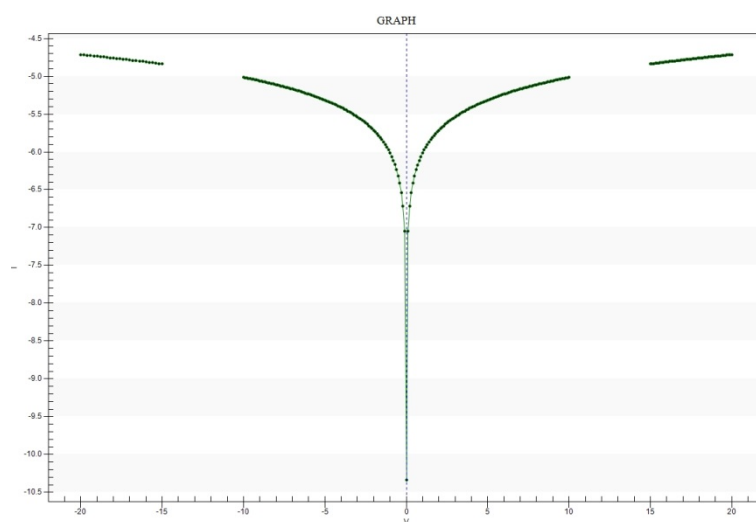
### 3. 测试数据图形

以下是一个由三个区间组成的一个扫描，每个区间之间设置为不连续，间隔和步进也各不相同，扫描结果见下图。





如果采用对数方式显示，则如下图



## 十、 电压扫描测量 (SweepVMeasureI)

### 1. 功能简述

电压扫描功能是通过设置起始、终止电压；步进（阶梯）电压，实现电压输出的快速变换输出，同时测量电流。

### 2. 参数设置

在项目中增加 1 个电压扫描功能（操作方法见第三章），见下图。

<b>通用设置</b>	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
<b>测量设置</b>	
循环扫描次数	1
循环扫描间隔	0 秒
扫描区间数	2
<b>区间01</b>	
起始电压	-1 V
终止电压	1 V
步进电压	100 mV
钳位电流	100 mA
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	21
<b>区间02</b>	
起始电压	1 V
终止电压	-1 V
步进电压	100 mV
钳位电流	100 mA
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	21

通用设置：见本章第一节。

### 名词解释：什么是扫描区间？

在 2400 内置的线性扫描中，设置扫描起始值，扫描终止值，扫描步长（阶梯），这就形成了一个基本扫描区间，大部分情况下，用户构建 1 个完整扫描使用 1 个扫描区间就够用了，但有些情况下，用户需要从起始→终止，终止→起始或者 0→终止，终止→0，0→起始，起始→0 来构建一个完整扫描，或者是更复杂的扫描条件，在这种情况下单个扫描区间就无法完成任务，需要多个扫描区间来构建 1 个扫描，关于扫描区间的应用请参考[第六章第五节](#)。

【循环扫描次数】：一个完整的扫描重复执行的次数。

【循环扫描间隔】：每次完整扫描之间的时间间隔，如果循环扫描次数为 1，就忽略该设置。

【扫描区间数】：设置一个完整的扫描包含的区间数目，缺省为 1，即 1 个扫描区间，一个扫描最大可以包含 8 个扫描区间。

区间 01~08 设置

【起始电压】：设置电压扫描的起始值。

【终止电压】：设置电压扫描的终止值。

注意：起始到终止值的设置可从小到大，也可从大到小。

【步进电压】：设置电压扫描的步进（阶梯）值。

【钳位电流】：钳位电流是值在测量电流时设置的保护电压值，在测量时防止测量电流超过保护电流，该值一般设置成为比样品的最大测量电流略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电流量程使用。

【扫描点间隔】：设置步进（阶梯）之间的时间延时。

【量程模式】：选择测量电流的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电流的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电流值设置为量程。

**是选用自动量程还是固定量程？见第六章第二节。**

【扫描点数】：这是一个提示信息，是根据起始值、终止值及步进（阶梯）值计算出一个扫描区间包含的扫描点数，注意：如果步进（阶梯）值设置过小，导致扫描点超过系统最大值 2500 个，系统将提示修改。

### 3. 测试数据图形

参见电流扫描功能中的测试数据图形。

## 十一、太阳能电池 IV 特性测量 (SolarCell-IV)

### 1. 功能简述

太阳能电池作为一种清洁能源材料，在近几年中得到了广泛的应用与开发，IV 测试也是太阳能电池的一项基本电学测试手段，通过 IV 测试能快速的获得相应的参数指标（短路电流、最大功率、填充因子等）。

**注意：在本功能中，电流的单位为 mA。**

**关于串并联电阻的计算：这是一个用户比较关心的指标，其算法有不同的论文讨论，在 Keithley 的一个官方资料上就有一篇通过在不同的光照条件下扫描多条 IV 曲线计算串**

并联电阻的论文，目前各家采用最简单的方法就是通过计算单条 IV 曲线的斜率来获得粗略值，但由于实际测量 IV 曲线并不是理想模型的曲线，曲线稍有波动，每次计算结果就差别很大，甚至连数量级都不对，不能作为结果使用，因此我们在这里就没有加入串并联电阻指标的计算，如果用户有准确的计算方法也可以向我们推荐。

## 2. 参数设置

在项目中增加 1 个太阳能电池 IV 测量功能（操作方法见第三章），见下图。

<b>通用设置</b>	
输出面板	前面板
接线方式	2线制
测量速度	缺省
自动调零	OFF
滤波开关	关闭
<b>测量条件</b>	
样品面积	1 cm <sup>2</sup>
环境温度	25 °C
温度系数(Isc)	0
温度系数(Voc)	0
温度系数(Pmax)	0
辐照度	100 mW/cm <sup>2</sup>
<b>扫描设置</b>	
扫描起始电压	0 V
扫描终止电压	5 V
步进电压	20 mV
扫描点数	251
钳位电流	100 mA
量程模式	自动量程
扫描点间隔	0 秒
<b>循环测量</b>	
循环测量次数	1
循环测量间隔	0 秒

通用设置：见本章第一节。

测量条件

【样品面积】：输入电池的有效面积，单位为平方厘米。

【环境温度】：输入测量的环境温度，缺省为 25° C，如果不是 25° C，软件将根据温度的偏差进行结果修正。

【温度系数  $I_{sc}$ 】：设置短路电流的温度修正系数，缺省值为 0（表示不修正），取值范围从  $(-1 \sim +1)$ 。

【温度系数  $V_{oc}$ 】：设置开路电压的温度修正系数，缺省值为 0（表示不修正），取值范围从  $(-1 \sim +1)$ 。

【温度系数  $P_{max}$ 】：设置最大功率点的修正系数，缺省值为 0（表示不修正），取值范围从  $(-1 \sim +1)$ 。

## 扫描设置

【扫描起始电压】：设置太阳能电池 IV 扫描的起始电压，一般是从 0 电压或者负电压开始。

【扫描终止电压】：设置太阳能电池 IV 扫描的终止电压，一般设置为开路电压略大的一个值。

【步进电压】：设置扫描的步进（阶梯）电压值。

【钳位电流】：钳位电流是值在测量电流时设置的保护电压值，在测量时防止测量电流超过保护电流，该值一般设置成为比样品的最大测量电流略大的一个值，当量程模式设置成固定量程的时候，该值作为电流量程使用。

【扫描点间隔】：设置步进（阶梯）之间的时间延时。

【量程模式】：选择测量电流的量程，量程模式分为两种

- 自动量程：在测量电流的过程中，2400 自动切换到最合适的量程。
- 固定量程：选用固定量程，2400 将钳位电流值设置为量程。

**是选用自动量程还是固定量程？见[第六章第二节](#)。**

【扫描点数】：这是一个提示信息，是根据起始值、终止值及步进（阶梯）值计算出一个扫描区间包含的扫描点数，注意：如果步进（阶梯）值设置过小，导致扫描点超过系统最大值 2500 个，系统将提示修改。

## 关于扫描的起始终止值

一般情况下的太阳能电池是从 0 或者负电压扫描到  $V_{oc}$  或者比  $V_{oc}$  略大的电压，但有时候为了研究的需要，IV 扫描需要反扫，即从正电压扫到 0 或者负电压，软件也是支持这种扫描方式，自动判断扫描顺序，并计算结果。

## 3. 数据的格式

【详细数据包含】：电流：单位 mA；电流密度：mA/cm<sup>2</sup>；电阻：ohm；功率：mW

【测试结果数据】：Isc (mA)：短路电流；Voc (V)：开路电压；Pmax (mW)：最大功率；Vpmax (V)：最大功率电压；Ipmax (mA)：最大功率电流；FF (%)：填充因子；Etac (%)：转换效率。

## 第五章 运行测量

### 一、开始及终止运行

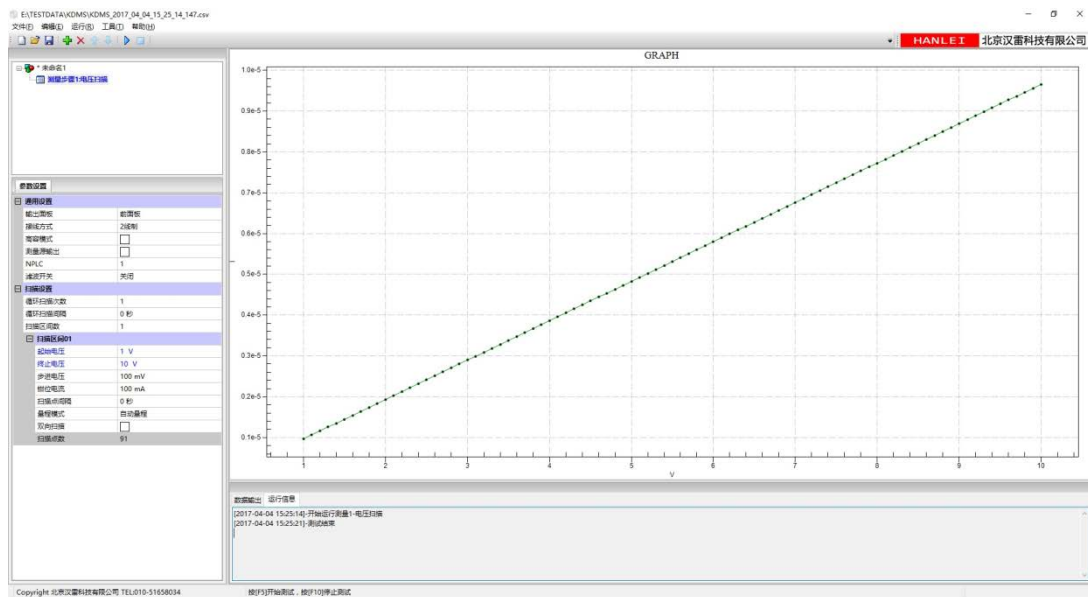
在设置好测量项目步骤后，点击开始按钮，或者按 F5 键，软件将按照设置好的步骤自动开始运行，在测量完毕后，软件终止运行，用户也可在测试的过程中点击停止按钮或者按 F10 键停止测量。

### 二、数据及图形的保存格式

在测试的过程中，测量数据以图形和表格的方式实时显示，在切换到下一步骤后，显示数据界面重新进行初始化，同时系统信息窗口提示当前正在执行的步骤。

数据在测试的过程中自动保存，在测试结束后可以用 Excel,记事本或者数据分析软件打开。

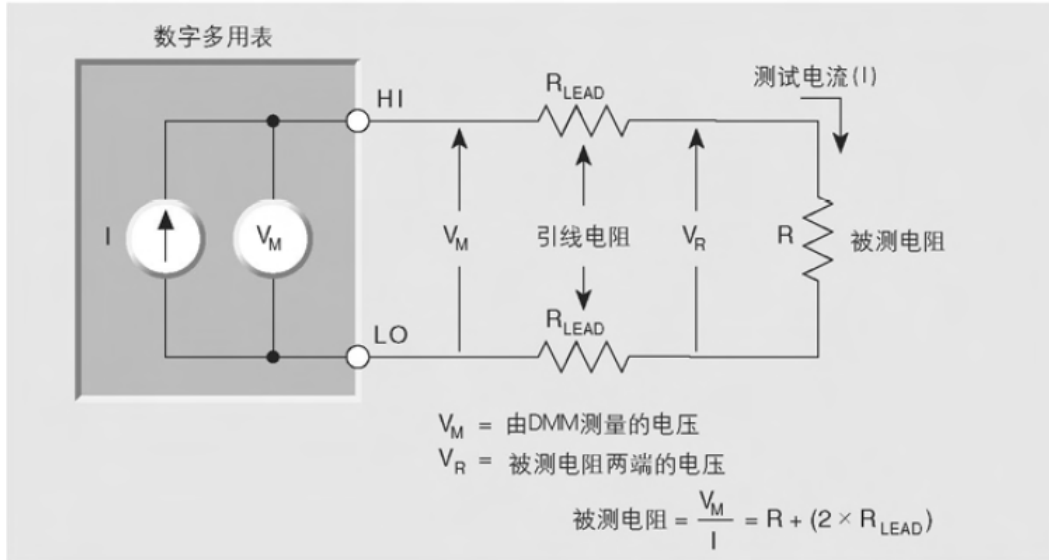
以下是软件测试图



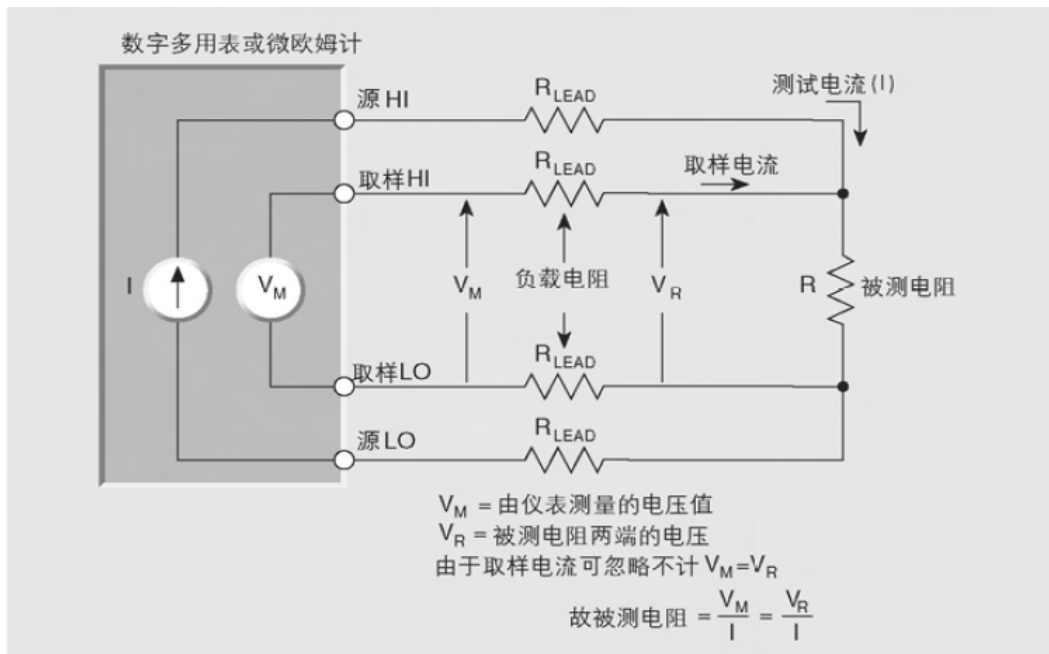
## 第六章 常见应用测试

### 一、 二线制与四线制的选择

首先了解一下二线制与四线制测量的原理图。



上图为二线制测量原理图



上图为四线制测量原理图



2 线测量方法用于低阻测试的主要问题是测量结果中增加了引线的总电阻。由于测试电流在引线电阻上产生了一个小、但是很重要的电压降，所以仪器测量的电压就不会和被测电阻上电压完全相同，于是产生了相当的误差。典型的引线电阻在  $1\text{m}\Omega$  -  $10\text{m}\Omega$  的范围内。

**所以当被测电阻小于  $10\Omega$  到  $100\Omega$  时，就很难用 2 线测量方法来获得准确的测量结果（取决于引线电阻的数值）。**

由于 2 线方法的局限性，所以对于低阻测量来说，人们一般都喜欢采用 4 线连接法（开尔文法）。在这种配置下，迫使测试电流经过一套测试引线流过被测电阻；而被测电阻上的电压则是通过称为取样（Sense）引线的第二套引线来测量的。虽然在取样引线上有小的电流流过，但是这些电流在所有实际测量工作中都是可以忽略的。由于取样引线上的电压降是可以忽略的，所以仪表测量出的电压和电阻上的电压实际上是相同的。这样，就能以比 2 线方法高得多的准确度来确定电阻的数值。

**注意，应当把电压取样引线连到尽可能接近被测电阻的地方。以避免在测量中计入测试引线的电阻。**

## 二、 使用自动量程还是固定量程

我们在电流电压测量中，在量程上一般可以设置成自动量程或者固定量程，那么这两种设置有什么不同呢？

**自动量程：**仪器将根据测量的电流/电压自动的切换不同的量程以适应测量信号，当待测信号数量级变化较大的时候（例如从  $\text{pA}$  ~  $\text{mA}$ ），选用自动量程可以获得很好的精度，但测量速度可能会变慢一些。

**固定量程：**仪器将量程设置成一个固定值，在全程测量中将使用该值作为量程，当待测信号数量级固定（例如待测信号在  $0.9\text{mA}$  ~  $1.1\text{mA}$  之间波动），可以使用固定量程，固定量程的优点在于不需要切换量程挡位，测量速度会快一些。

**注意：**当使用固定量程的时候选择量程值的大小很重要，例如您的电流测试范围在  $1\sim 5\mu\text{A}$ ，可以将量程值设置成  $10\mu\text{A}$ ，如果设置过大，例如设置成  $\text{mA}$  级别，就会导致测量精度不够，另外固定量程一般设置成钳位电流/压值，如果设置过小，则会导致待测信号到达钳位值时会被抑制住，而导致测量不准。

## 三、 同时测试两个样品

Keithley2400 是单通道型号的源表，同时只能进行 1 个样品的测试，在测试完毕后，需要将样品从测试表笔中取下，换上下一个样品进行测试，那么如何在不更换样品的情况下，自动进行两个样品的测试呢？

我们知道，Keithley2400 分为前面板和后面板，前后面板均可插入测试线（表笔）进行测量，如果测试线插在前面板我们选用前面板输出，否则就是后面板输出。

我们以 IV 测试为例，来阐述如何利用本软件控制两个样品进行测试。

在前后面板上均插入测试线并分别连上测试样品，在测量软件中建立一个测试项目，添加两个 IV 测试模块，两个测试模块均设置为同样的测试参数，仅输出面板分别设置成前面板和后面板输出。

设置完后，点击开始测量，软件将第一个样品在前面板测量完毕后，自动切换到后面板进行测量第二个样品。

实际上，两个样品可以分别设置不同的测量方法，比如 A 样品设置为 I-T 测量，B 样品可设置为 V-T 测量，用户可以根据自己的需要进行设置。

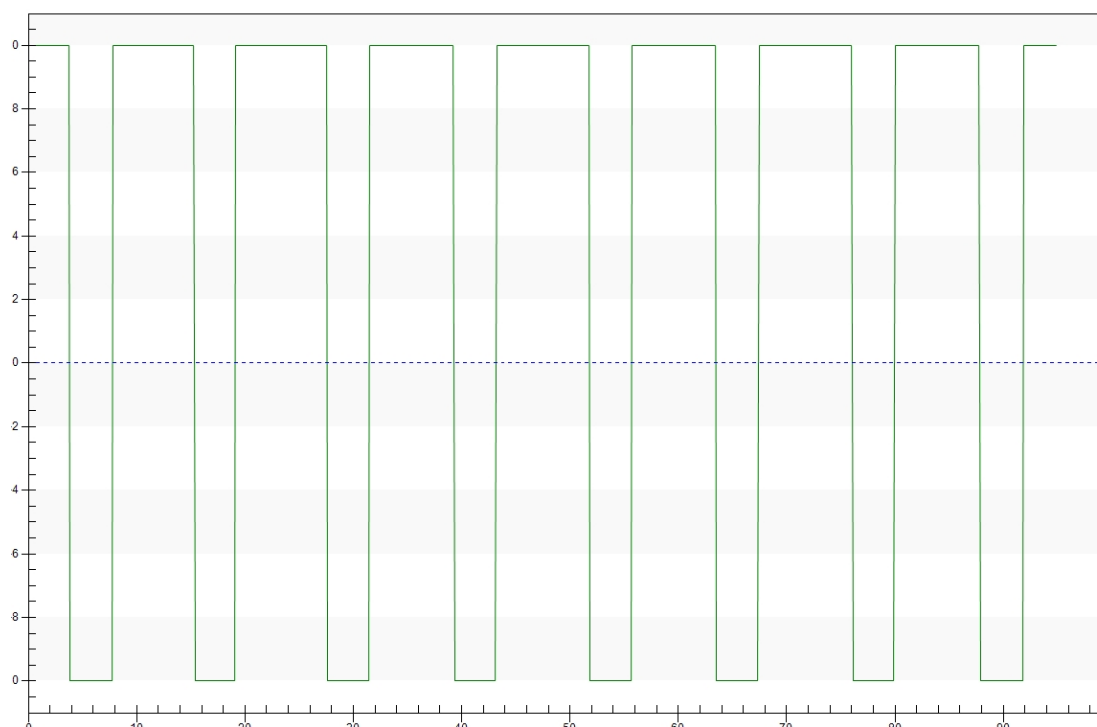
利用软件进行两个样品的自动测试，大大提高了实验效率，也使仪器设备发挥了最大作用。

#### 四、用多阶恒压/流进行方波及阶梯波测量

在用户日常测试中，会用到波形输出测量，那么如何利用软件进行波形输出测量呢？我们以多阶恒压输出为例。

<b>测量设置</b>	
序列数	2
<b>序列01</b>	
输出电压	1 V
钳位电流	100 mA
量程模式	自动量程
采样间隔	0 秒
采样时长	5 秒
<b>序列02</b>	
输出电压	-1 V
钳位电流	100 mA
量程模式	自动量程
采样间隔	0
采样时长	5 秒
<b>图形显示</b>	
<b>循环设置</b>	
循环次数	99999

我们将序列数设置为 2，分别将序列 1 的输出电压设置为 1V，序列 2 的输出电压设置为 -1V，每个电压的采样时长设置为 5 秒，重复循环次数按照用户的实际需求设置就可以了。这就是一个简单的方波设置输出，由于多阶恒流/压输出最大可以定义 10 阶，因此我们可以构筑更复杂的方波及阶梯输出，以下是测量波形图形



## 五、 任意定制 I-V 扫描

IV 扫描是一种常见的材料电学特性测试手段，其最基本的过程是从起始电压开始，按照步进值进行电压的变化，达到结束电压，同时测量电流，这是比较常见的 IV 测试，也是最简单的一种 IV 测试。

实际测试中，用户可能会有以下应用场景：

模式 1. 从起始电压扫描终止电压，然后从终止电压扫描到起始电压，结束扫描。

例如：从-1V 扫描到+1V，然后从+1V 回扫到-1V。

模式 2. 从 0 扫描到正最大电压，从正最大电压到负最大电压，从负最大电压到 0。

例如：0~+1V，+1V~-1V，-1V 到 0V。

模式 3. 步长不均匀

例如：从 0~10V 扫描，在 0~5V 的时候步长为 0.01V（较密集），在 5V~10V 的时候 0.5V（较稀疏）。

步长不均匀在模式 1, 2 中也可使用，在模式 1 中，可以设置正向扫描较密集，反向扫描较稀疏。

以上 3 种模式是用户较为常见的自定义模式，当然用户也可能会有其它的定制方式。

那么如何控制 2400 实现这些自定义扫描呢？

启动本软件，增加一个电压扫描测量，见下图

循环扫描次数	1
循环扫描间隔	0 秒
扫描区间数	2
☐ 区间01	
起始电压	-1 V
终止电压	1 V
步进电压	100 mV
钳位电流	100 mA
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	21
☐ 区间02	
起始电压	1 V
终止电压	-1 V
步进电压	100 mV
钳位电流	100 mA
扫描点间隔	0 秒
量程模式	自动量程
扫描点数	21

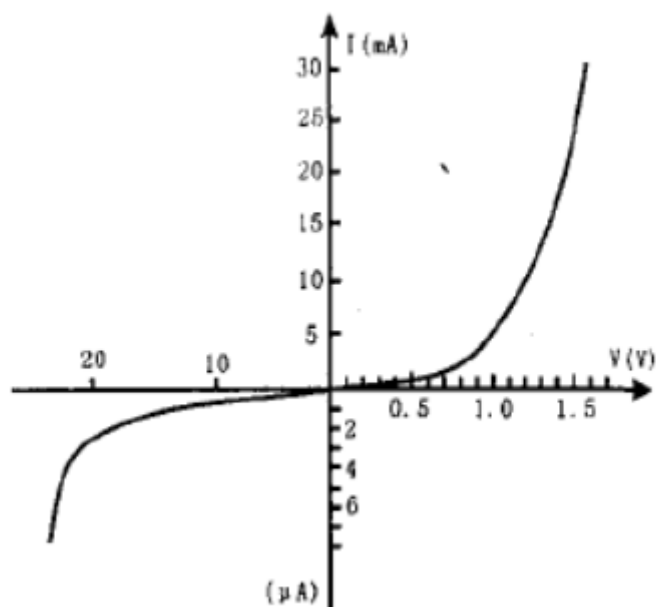
这就形成一个双向扫描，当然，双向的步长也可以设置不相同。

一个定制扫描最大可以定制 8 段，相信应该能够满足 99.9% 的特殊扫描需求了。

这里仅以电压扫描（IV）为例，同样的模式也适用在电流扫描（VI）中。

## 六、 二极管 IV 特性测量

晶体二极管是常见的非线性元件，其伏安特性曲线如图 1 所示。



当对晶体二极管加上正向偏置电压，则有正向电流流过二极管，且随正向偏置电压的增大而增大。开始电流随电压变化较慢，而当正向偏压增到接近二极管的导通电压（锗二极管为 0.2 左右，硅二极管为 0.7 左右时），电流明显变化。在导通后，电压变化少许，电流就会急剧变化。

当加反向偏置电压时，二极管处于截止状态，但不是完全没有电流，而是有很小的反向电流。该反向电流随反向偏置电压增加得很慢，但当反向偏置电压增至该二极管的击穿电压时，电流剧增，二极管 PN 结被反向击穿。

由于二极管正反向电流导电性的截然不同，如果在一个 IV 扫描中限制电流设置过大，很容易烧毁样品，因此可以利用电压扫描的分段区间功能设置正向扫描和反向扫描的不同限制电流，以达到保护样品并获得正确测试结果。

## 七、 电化应用

可用于

恒流输出（单阶/多阶）：计时电势分析。

恒压输出（单阶/多阶）：计时安培分析。

多阶电压输出：多电位阶跃（Multi-Potenital Steps）测量。

多阶电流输出：多电流阶跃（Multi-Current Steps）测量。

关于循环伏安法:

有用户希望在 2400 上实现电化学工作站上的循环伏安法测试,但由于 2400 是一款比较老的源表型号,由于循环伏安法的双向扫描需要连续无缝的进行,2400 精度和测量速度以及缓冲区太小使得它很难进行此项测量,如果用户目前有 KEITHLEY2600A/B 系列的源表,就能完美的实现循环伏安法的测量了,以下是我公司开发的 2600A/B 综合特性测量分析软件在 2636B 上的循环伏安扫描曲线结果。

