

2400 系列源表®

用户手册

目录

目录	2
1. 入门指南.....	11
1.1. 一般信息.....	12
1.1.1. 联系信息.....	12
1.1.2. 手册添加项.....	12
1.1.3. 安全符号和术语.....	12
1.1.4. 检查.....	12
1.1.5. 选项和附件.....	13
1.2. 产品概览.....	14
1.3. 前面板和后面板介绍.....	15
1.3.1. 前面板摘要.....	15
1.3.2. 后面板概要.....	17
1.4. 电源启动.....	20
1.4.1. 电源连接.....	20
1.4.2. 上电顺序.....	20
1.4.3. 电源频率设置.....	21
1.4.4. 更换保险丝.....	21
1.5. 冷却风扇.....	22
1.6. 显示.....	23
1.6.1. 显示格式.....	23
1.6.2. 编辑键.....	23
1.6.3. 切换键.....	23
1.6.4. 状态和错误消息.....	23
1.6.5. 远程显示编程.....	24
1.6.6. 前面板测试.....	24
1.7. 默认设置.....	25
1.7.1. 保存和恢复用户设置.....	25
1.7.2. 出厂默认设置.....	25
1.7.3. 远程设置.....	28

1.8. 菜单.....	29
1.8.1. 主菜单.....	29
1.8.2. 导航菜单规则.....	30
1.8.3. 编辑源和合规性值.....	31
1.8.4. 切换源和测量显示字段.....	32
1.8.5. 禁用前面板显示.....	32
1.8.6. 配置菜单.....	33
2. 连接.....	34
2.1. 连接概述.....	35
2.1.1. 前/后端子选择	35
2.2. 与 DUT 的连接.....	35
2.2.1. 感测方法.....	37
2.2.2. 保护方法.....	39
3. 基本的源-测量操作	45
3.1. 警告-注意事项	46
3.2. 操作概述.....	47
3.2.1. 源测量能力.....	47
3.2.2. 合规性限制.....	49
3.2.3. 设置合规性限制.....	51
3.2.4. 基本电路配置.....	52
3.3. 操作注意事项.....	53
3.3.1. 预热.....	53
3.3.2. 自动校零.....	53
3.3.3. NPLC 缓存	53
3.3.4. V-source 保护	54
3.3.5. 源延迟.....	55
3.4. 基本的源测量步骤.....	57
3.4.1. 前面板源测量步骤.....	57
3.4.2. 远程命令源测量流程.....	59
3.5. 仅测量.....	61
3.5.1. 前面板仅测量.....	61

3.5.2. 远程命令仅测量.....	62
3.6. 汲取操作.....	63
3.6.1. 电池充放电.....	63
3.6.2. 汲取编程示例.....	64
4. 欧姆测量.....	65
4.1. 欧姆配置菜单.....	66
4.2. 欧姆测量方法.....	67
4.2.1. 选择欧姆测量方法.....	67
4.2.2. 欧姆测量程序.....	68
4.3. 欧姆感测.....	69
4.3.1. 感测选择.....	70
4.4. 抵消偏差欧姆法.....	71
4.4.1. 启用/禁用抵消偏差欧姆法.....	71
4.4.2. 欧姆精度计算.....	71
4.5. 欧姆源读回.....	73
4.5.1. 欧姆源读回选择.....	73
4.6. 6 线欧姆测量	74
4.7. 远程欧姆编程.....	75
4.7.1. 远程欧姆命令.....	75
4.7.2. 欧姆编程示例.....	75
5. 脉冲模式操作 (仅适用 Model 2430)	76
5.1. 概述.....	77
5.2. 脉冲特性.....	78
5.2.1. 脉冲宽度	79
5.2.2. 输出关闭时间	80
5.2.3. 脉冲占空比	81
5.2.4. 快速脉冲输出	81
5.2.5. 脉冲抖动	83
5.3. 脉冲能量限制 (10A 范围)	84
5.4. 脉冲模式配置.....	85
5.4.1. 前面板脉冲模式配置	85

5.4.2. 远程命令脉冲模式配置	86
5.5. 脉冲测量注意事项	86
5.5.1. 测量速度	86
5.5.2. 滤波器	86
5.5.3. 自动量程	86
5.5.4. 并行测量	86
5.5.5. 欧姆源读回	87
5.5.6. 切换键	87
5.5.7. 偏置补偿欧姆	87
5.5.8. 源延迟	87
5.5.9. 触发延迟	87
5.5.10. 输入触发器	88
5.5.11. 输出触发器	88
5.5.12. 自动输出关闭	88
5.5.13. 输出关闭状态	88
5.5.14. 打开源	88
5.5.15. SCPI 信号取向的测量命令	88
6. 源测量概念	89
6.1. 合规性限制	90
6.1.1. 合规性类型	90
6.1.2. 最大合规性值	91
6.1.3. 合规性示例	92
6.1.4. 确定合规性限制	92
6.2. 过热保护	93
6.2.1. 过热情况	93
6.3. 源-延迟-测量循环	94
6.3.1. 扫描波形	94
6.4. 操作界限	96
6.4.1. 源或汲取	96
6.4.2. 占空比	96
6.4.3. I-Source 的操作边界	100

6.4.4. V-Source 操作边界.....	104
6.4.5. 源 I 测量 I 和源 V 测量 V	107
6.5. 基本电路配置.....	108
6.5.1. 源 I.....	108
6.5.2. 源 V	108
6.5.3. 仅测量 (V 或 I)	109
6.6. 保护.....	111
6.6.1. 电缆保护.....	111
6.6.2. 欧姆保护.....	112
6.6.3. 保护感测.....	115
6.7. 数据流.....	117
6.7.1. 缓冲区考虑事项.....	119
7. 量程、位数、速度和滤波器.....	121
7.1. 量程和数值.....	122
7.1.1. 量程.....	122
7.1.2. 数值	124
7.1.3. 远程范围和数字编程	124
7.2. 速度.....	126
7.2.1. 设置速度	126
7.2.2. 远程速度编程	126
7.3. 滤波器.....	128
7.3.1. 前面板滤波器控制	128
7.3.2. 远程滤波器编程	130
8. 相对和数学.....	131
8.1. 相对模式.....	132
8.1.1. 前面板 rel	132
8.1.2. 远程 REL 编程	132
8.2. 数学运算.....	134
8.2.1. 内置数学函数.....	134
8.2.2. 前面板数学运算	136
8.2.3. 远程数学运算	136

8.2.4. 用户定义的数学函数	136
9. 数据存储	138
9.1. 数据存储概述	139
9.2. 前面板数据存储	139
9.2.1. 存储读数	139
9.2.2. 召回读数	139
9.2.3. 缓冲区统计信息	140
9.2.4. 时间戳格式	141
9.2.5. 缓冲区注意事项	141
9.3. 远程命令数据存储	142
9.3.1. 数据存储命令	142
9.3.2. 数据存储编程示例	142
10. 扫描操作	144
10.1. 扫描类型	145
10.1.1. 线性阶梯扫描	145
10.1.2. 对数阶梯扫描	147
10.1.3. 合规性终止	148
10.1.4. 自定义扫描	148
10.1.5. 源内存扫描	149
10.2. 配置和运行扫描	154
10.2.1. 前面板扫描操作	154
10.2.2. 远程扫描操作	159
10.3. 脉冲模式扫描 (仅适用于 Model 2430)	163
10.3.1. 前面板脉冲模式扫描程序	164
10.3.2. 远程脉冲模式扫描操作	164
11. 触发	166
11.1. 前面板触发操作	167
11.1.1. 前面板触发模型	167
11.1.2. 配置触发	171
11.2. 远程触发操作	174
11.2.1. 远程触发模型	174

11.2.2. 远程触发命令	179
11.3. 触发器链接.....	181
11.3.1. 输入触发器要求	181
11.3.2. 输出触发器规格	182
11.4. 脉冲模式触发 (Model 2430)	182
11.4.1. 触发模型	182
11.4.2. 无效的触发设置	185
12. 限制测试.....	187
12.1. 限制类型	188
12.1.1. 通过/失败信息	188
12.1.2. 数据流	189
12.1.3. 限制 1 测试 (符合性)	189
12.1.4. 限制 2、限制 3 和限制 5-12 测试	189
12.1.5. 限制 4	189
12.1.6. 限制测试模式	189
12.1.7. 分选	189
12.2. 操作概述	190
12.2.1. 等级模式	190
12.2.2. 分类模式	193
12.3. 分选系统	195
12.3.1. 处理程序接口	195
12.3.2. 处理器类型	196
12.3.3. 基本分选系统.....	197
12.3.4. 数字输出清除模式	198
12.4. 配置和执行限制测试	200
12.4.1. 配置限制测试	200
12.4.2. 执行前面板限制测试	202
12.5. 远程限制测试	203
12.5.1. 限制命令	203
13. 数字 I/O 端口、输出启用和输出配置	207
13.1. 数字 I/O 端口	208

13.1.1. 端口配置	208
13.1.2. 数字输出配置	209
13.1.3. 控制数字输出线	210
13.2. 输出启用线.....	212
13.3. 前面板输出配置.....	213
13.3.1. 配置 OUTPUT 菜单	213
13.3.2. 输出关闭状态	214
13.3.3. 输出关闭状态和电感负载	215
13.4. 远程输出配置.....	216
13.4.1. 输出配置命令	216
14. 远程操作.....	217
14.1. 区别：远程操作与本地操作.....	218
14.1.1. 操作增强（远程操作）	218
14.1.2. 从本地转到远程	218
14.1.3. 从远程到本地的转换	218
14.2. 选择接口.....	219
14.3. GPIB 操作.....	220
14.3.1. GPIB 标准	220
14.3.2. GPIB 连接	220
14.3.3. 主地址	220
14.4. 通用总线命令.....	221
14.5. 前面板 GPIB 操作.....	221
14.5.1. 错误和状态消息	221
14.5.2. GPIB 状态指示灯	221
14.5.3. LOCAL 按键	222
14.6. 编程语法.....	222
14.6.1. 命令单词	222
命令和命令参数.....	222
14.6.2. 查询命令	225
14.6.3. 大小写敏感性	225
14.6.4. 长格式和短格式版本	225

14.6.5. 简写规则	225
14.6.6. 响应消息	227
14.6.7. 消息交换协议	228
14.7. RS-232 接口操作	228
14.7.1. 发送和接收数据	228
14.7.2. 波特率	228
14.7.3. 数据位和奇偶校验	229
14.7.4. 终止符	229
14.7.5. 流量控制（信号握手）	229
14.7.6. RS-232 连接	230
15. 状态结构	232
15.1. 概述	233
15.1.1. 状态字节和 SRQ	233
15.1.2. 状态寄存器集	233
15.1.3. 队列	233
15.2. 清除寄存器和队列	235
15.3. 编程和读取寄存器	236
15.3.1. 编程启用寄存器	236
15.3.2. 读取寄存器	237
15.4. 状态字节和服务请求（SRQ）	238
15.4.1. 状态字节寄存器	239
15.4.2. 服务请求启用寄存器	239
15.4.3. 串行轮询和 SRQ	239
15.4.4. 状态字节和服务请求命令	240
15.5. 状态寄存器集	242
15.5.1. 寄存器位描述	242
15.5.2. 条件寄存器	246
15.5.3. 事件寄存器	247
15.5.4. 事件启用寄存器	247
15.6. 队列	248
15.6.1. 输出队列	249

1. 入门指南

-
- 一般信息 - 包括联系方式、安全符号和术语、检查以及可用选项和附件的一般信息。
 - 产品概述 - 总结了源表的特点。
 - 前后面板熟悉 - 总结了仪器的控制和连接。
 - 上电 - 包括电源连线、电源电压设置、保险丝更换和上电顺序。
 - 冷却风扇 - 涵盖了 2410、2420、2425、2430 和 2440 型号中的冷却风扇。
 - 显示 - 提供有关源表的信息。
 - 默认设置 - 包括出厂默认设置以及保存和调用用户设置。
 - 菜单 - 包括主要和配置菜单以及导航菜单规则。

1.1. 一般信息

1.1.1. 联系信息

如果您有任何问题, 请联系当地的 Keithley 代表或拨打我们的应用工程师电话 400-820-5835 (仅限中国) 。

1.1.2. 手册添加项

关于仪器或手册的任何改进或更改都将在附带手册的添加项中进行解释。请务必注意这些更改并将其纳入手册中。

1.1.3. 安全符号和术语

以下符号和术语可能在仪器上找到或在本手册中使用。

仪器上的  符号表示用户应参考手册中的操作说明。

仪器上的  符号显示端子可能存在高电压。使用标准安全措施以避免人员接触这些电压。

本手册中使用的“警告”标题解释可能导致人员受伤或死亡的危险。在执行指示程序之前, 务必非常仔细地阅读相关信息。

本手册中使用的“注意”标题解释可能损坏仪器的危险。此类损坏可能使保修无效。

1.1.4. 检查

在装运之前, 源表已经经过电气和机械方面的仔细检查。从发运包裹中取出所有物品后, 请检查是否有任何明显的物理损坏迹象, 这些损坏可能发生在运输过程中。 (显示屏上可能有一层保护膜, 可以将其撕下。) 立即向运输代理报告任何损坏。保存原装包装箱以备未来可能的装运。每个源表订单都包括以下项目:

- 源表和电源线。
- 测量表笔 (2400、2400-C 型号使用 8605 型; 所有其他系列 2400 单位使用 1754 型) 。
- 已订购的附件。
- 校准证书。
- 用户手册。
- ~~服务手册。~~
- 支持软件光盘, 包括 GPIB 的 TestPoint 仪器库和 Windows 驱动程序的 LabVIEW。
- ~~手册添加项, 包括对仪器或手册的任何改进或更改。~~

如果需要额外的手册, 请订购适当的手册套装 (例如 2400-901-00) 。手册套装包括手册和任何相关的添加项。

1.1.5. 选项和附件

以下是可与源表一起使用的 Keithley 选项和附件。

电缆和适配器

模型 2499-DIGIO 适配器-使您可以将数字 I/O 端口扩展到 16 位而不是 4 位。

7007-1 型和 7007-2 型屏蔽 GPIB 电缆-使用屏蔽电缆和连接器将源表连接到 GPIB 总线，以减少电磁干扰 (EMI)。7007-1 型长 1m; 7007-2 型长 2m。

8501-1 型和 8501-2 型触发器链接电缆-将源表连接到其他具有触发器链接的连接器（例如，模型 7001 开关系统）的仪器。8501-1 型长 1m; 8501-2 型长 2m。

模型 8502 触发器链接适配器-使您可以将源表的六根触发器链接连接到使用标准 BNC 触发连接器的仪器。

8503 DIN 到 BNC 触发电缆-使您可以将源表的第一条（伏特表完成）和第二条（外部触发）触发器链接线连接到使用 BNC 触发连接器的仪器。8503 电缆长 1m。

8505 触发器链接电缆-8505 为公头到双母头的触发器链接电缆。

机架安装套件

4288-1 单固定机架安装套件-将单个源表安装在标准的 19 英寸机架上。

4288-2 并排机架安装套件-将两个仪器（型号 182、428、486、487、2000、2001、2002、2010、2015、2400、2410、2420、2425、2430、2440、6430、6517、7001）并排放置在标准 19 英寸机架上。

4288-3 并排机架安装套件-将源表和型号 199 并排放置在标准 19 英寸机架上。

4288-4 并排机架安装套件-将源表和一个 5.25 英寸仪器（型号 195A、196、220、224、230、263、595、614、617、705、740、775 等）并排放置在标准 19 英寸机架上。

4288-5 双固定机架安装套件-在标准 19 英寸机架上并排放置源表和另一台 3H 英寸高的仪器（型号 182、428、486、487、2000、2010、2400、2410、2420、2425、2430、6430 或 7001）。

手提箱

型号 1050 加厚手提箱-源表的手提箱。包括手柄和肩带。

1.2. 产品概览

源表将精密、低噪音、高稳定的直流电源与低噪音、高重复性、高阻抗万用表结合在一起。它具有 0.012% 的基本精度和 5 位半分辨率。在 5 位半时，源表通过 IEEE-488 总线每 s 提供 520 个读数。在 4 位半时，它可以读取高达 2000 个读数/s 到其内部缓冲区中。请参见附录 A 了解规格。

源表的一些其他功能包括：

- 远程接口上同时测量所有三个功能。
- 源-测量扫描功能（线性和对数台阶扫描、最多可有 2500 个点的源扫描列表、最多可有 100 个仪器设置的内存扫描）。
- 带有可编程 I 源或 V 源和 V 或 I 夹具的 6 线Ω测量。
- 4 象限源和汲取操作。
- 最多 12 个限制测试阶段，并带有内置比较器进行合格/不合格测试。
- 独立数字 I/O 进行分选操作或与元件处理器接口。
- 编程语言和远程接口 – 源表使用 SCPI 编程语言和两个远程接口端口（IEEE-488/GPIB 和 RS-232C）。
- 触发器链接接口到 Keithley Series 7000 开关硬件。
- 数学表达式 - 五个内置、最多五个用户定义（仅总线）。
- 读取和设置存储 - 最多可存储 2500 个读数和七个设置（五个用户默认值、出厂默认值、* RST 默认值）可以进行存储和调用。
- 闭盖校准 - 仪器可以从前面板或远程接口进行校准。

1.3. 前面板和后面板介绍

注意：本手册所涵盖的源表型号在外观上非常相似。因此，为避免冗余，本手册使用通用的型号 2400 进行示例说明。

1.3.1. 前面板摘要

源表的前面板如图 1-1 所示。在操作仪器之前，应查看以下缩写信息。

*Figure 1-1
SourceMeter front panel*



测量 (MEAS) 功能键：

- | | |
|------|---------|
| V | 测量电压。 |
| I | 测量电流。 |
| Ω | 测量电阻。 |
| FCTN | 执行数学函数。 |

源 (SOURCE) 功能键：

- | | |
|-------|-----------------|
| V | 源电压 (V-Source)。 |
| I | 源电流 (I-Source)。 |
| Δ 和 ∇ | 增加/减少源或合规性值。 |

操作键：

- | | |
|--------|--------------------------------------|
| EDIT | 选择要编辑的源或合规性读数。 |
| TOGGLE | 切换源和测量读数的显示位置，或显示电压 (V) 和电流 (I) 测量值。 |

LOCAL	取消远程操作。
REL	启用/禁用当前功能的相对读数。
FILTER	显示数字滤波器状态以及切换滤波器开/关。
LIMIT	执行已配置的限制测试。
TRIG	从前面板触发测量。
SWEEP	启动已配置的扫描。
左/右箭头	在功能和操作中移动参数值或选择项。
DIGITS	更改显示分辨率的数字位数。
SPEED	通过选择精度或指定 NPLC 来更改测量速度。
STORE	设置缓冲区大小并启用读取存储。
RECALL	显示已存储的读数和时间戳。
CONFIG	按下 CONFIG, 然后按适当的键来配置功能或操作。
MENU	访问和配置主菜单选项。在输入数字数据时, 使用它将读数清零为最小绝对值。
EXIT	取消选择。使用它退出菜单结构。
ENTER	接受选择。

范围键:

△	移动到下一个更高范围、递增数字、移动到下一个选择。
▽	移动到下一个较低的范围, 递减数字, 移动到上一个选择。
AUTO	启用或禁用测量自动范围。

指示灯:

EDIT	仪器处于编辑模式。
ERR	可疑的读数、无效的校准步骤。
REM	GPIB 远程模式。
TALK	GPIB 通信中, 正在发送数据。
LSTN	GPIB 通信中, 正在接收数据。
SRQ	GPIB 服务请求。

REAR	已选中后置输入/输出连接器。
REL	显示相对测量读数。
FILT	启用数字滤波器。
MATH	启用数学函数。
4W	启用远程感测。
AUTO	启用自动量程。
ARM	正在执行源-测量操作。
TRIG	已选中外部触发源。
*	正在存储读数。

输入/输出连接器：

INPUT/OUTPUT HI 和 LO 用于源测量电压、电流和电阻。

4-WIRE SENSE HI 和 LO 用于 4 线远程感测。

输入/输出控制：

ON/OFF	开启或关闭源。
FRONT/REAR	选择前置还是后置面板的输入/输出连接。

手柄：

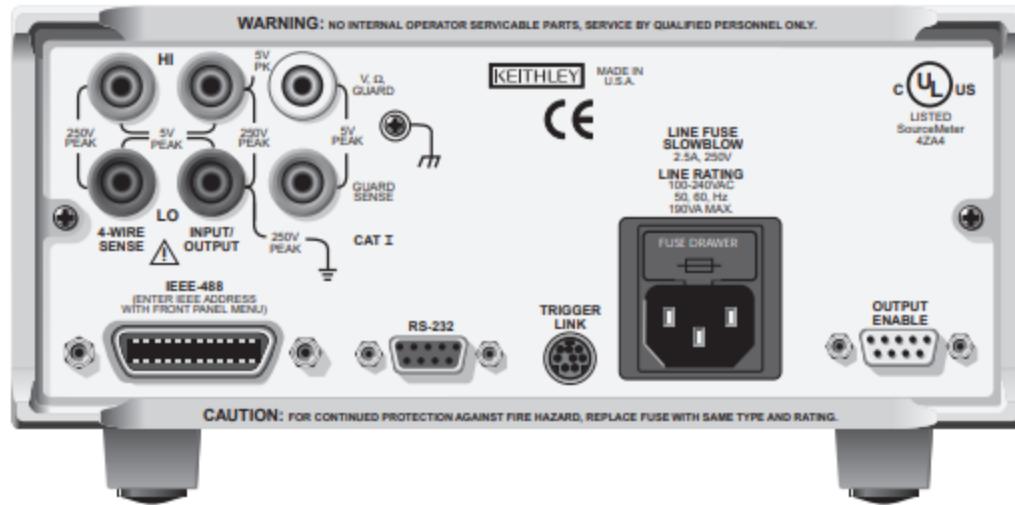
向外拉动并旋转到所需位置。

1.3.2. 后面板概要

图 1-2 显示了型号 2400 源表的后面板。（型号 2410、2420、2425、2430 和 2440 类似。）在操作仪器之前，应先查阅以下简要信息。

注意：型号 2420、2425、2430 和 2440 未经过 UL 认证。

Figure 1-2
SourceMeter rear panel



输入/输出连接器：

- INPUT/OUTPUT HI 和 LO 用于源测量电压、电流和电阻。
- 4-WIRE SENSE HI 和 LO 用于四线远程感测。
- V, Ω GUARD 为保护测量提供驱动保护。
- GUARD SENSE 用于校正 Guard 输出引线中的 IR 压降。
- ⊕ 地 (机壳) 接地螺丝。

警告：输入/输出 LO 未与机壳内部连接，不能浮动超过第 2 节中图 2-1 所示的机壳接地值。

输出许可和数字输入/输出端口：

OUTPUT ENABLE 用于数字输出线、输出许可和元件处理器信号的连接器。

电源模块：

包含 AC 线插座和电源保险丝。

触发器链接接口：

TRIGGER LINK 8 引脚微型 DIN 连接器，用于发送和接收触发脉冲。使用触发器链接电缆或适配器，例如型号 8501-1、8501-2、8502、8504。

RS-232 接口：

RS-232 程控操作的接口。使用直通（非零调制解调器）DB-9 电缆。

GPIB 接口：

IEEE-488
INTERFACE 用于 GPIB 程控的 IEEE-488 接口。使用屏蔽电缆（型号 7007-1 或
7007-2）。

1.4. 电源启动

在电源启动期间，源表的端子可能会出现电压尖峰。这些电压尖峰可能达到危险水平（42.4V 峰值），并可能损坏敏感的 DUT。在启动源表之前，永远不要触摸外部电路或测试引线。在启动该设备之前，将 DUT 与源表断开连接是一种好习惯。

为了防止电击，测试连接必须配置为用户无法接触导体或任何与导体接触的 DUT。安全的安装需要适当的屏蔽、障碍和接地以防止接触导体。操作员的保护和安全是产品安装人员的责任。

当处理源表时，永远不要触摸位于机箱左侧的散热器。这个散热器可能足够热，会导致烧伤。

1.4.1. 电源连接

源表工作电源从 100 至 240V 范围内，以 50 或 60Hz 的频率运行。电源电压和频率会自动感应。因此，没有需要设置的开关。请检查您所处地区的操作电压是否兼容。

注意：在错误的电源电压下操作仪器可能会导致损坏，可能使保修失效。

执行以下步骤将源表连接到电源并将其打开：

1. 在插入电源线之前，确保前面板电源开关处于关闭（0）位置。
2. 将所提供的电源线的母头连接到后面板上的 AC 插座上。
3. 按下前面板电源开关将仪器打开（1）位置即可。

1.4.2. 上电顺序

在上电时，源表对其 EEPROM 和 RAM 进行自检，并短暂地点亮所有分段和指示灯。如果检测到故障，则仪器会短暂地显示错误消息，并打开 ERR 指示灯（错误消息列在附录 B 中）。

注意：对于型号 2430，有一个内部的电容器组需要充电。充电时，将显示“正在充电电容器组，请稍候”消息，大约需要 10s 钟。

如果在仪器保修期内出现问题，请将其送回 Keithley Instruments 公司进行维修。

如果仪器通过了自检，将显示型号和固件版本级别。例如：

REV A01 A02

其中： A01 是主板 ROM 版本。

A02 是显示板 ROM 版本。

还会显示电源频率。（如果显示了错误的频率，可以按下面的方式手动设置）。通信接口状态会简要显示。如果 IEEE-488 总线是当前选择的接口，识别消息将包括主地址。例如，如果主地址是

24（出厂默认值），将显示“IEEE Addr=24”消息。如果选择了 RS-232 接口，则会显示“RS-232”消息。

上电顺序完成后，仪器进入正常显示状态，输出关闭（OUTPUT 指示灯关闭）。当输出关闭时，将显示“OFF”消息，并用破折号替换读数。

1.4.3. 电源频率设置

在工厂中，源表被配置为感测电源频率并自动选择频率设置。但是，如果电源线路嘈杂，上电时源表可能会选择错误的设置。如果出现这种情况，则会导致嘈杂的测量读数，并可能影响精度。您可以从前面板菜单/ADCTRL/LINE-FREQ 选择或通过远程方式手动设置线频率（SYST:LF）。

1.4.4. 更换保险丝

后面板的保险丝保护着源表的电源输入。如果需要更换该保险丝，请执行以下步骤：

注意：为了持续保护防火或仪器损坏，请仅使用下列的类型和额定值替换保险丝。如果仪器反复熔断保险丝，请先找出问题的原因，再更换保险丝。

1. 保险丝位于 AC 插座上方的抽屉中（图 1-2）。在保险丝抽屉底部有一个小标签，在此处使用小刀形螺丝刀将保险丝抽屉打开。
2. 滑动保险丝抽屉以便更换保险丝。请注意，保险丝抽屉不会完全从电源模块中拉出。
3. 将保险丝从抽屉中弹出，并使用相同类型的保险丝进行更换（附录表 1-1）。
4. 将保险丝抽屉推回电源模块中。

Table 1-1
Power line fuse

SourceMeter	Fuse description	Keithley part number
2400, 2400-LV, 2401, and 2410	250V, 2.5A, 5 × 20mm	FU-72
2420, 2425, 2430, and 2440	250V, 3.15A, 5 × 20mm	FU-106-3.15

1.5. 冷却风扇

型号 2410、2420、2425、2430 和 2440 使用冷却风扇来帮助防止过热。型号 2400 和 2401 没有冷却风扇。无论是否有风扇，都必须保持适当的通风以防止过热。有关保持适当通风的详细信息，请参阅第 3 节开头处的“警告-注意”。

型号 2410 - 使用恒速风扇，在电源开启时连续运行。

型号 2420、2425、2430 和 2440 - 使用一个三速风扇。在输出打开时，风扇速度设置由当前电流范围（源或测量）确定。

2420, 2425, 2430, and 2440 range	Fan speed
10uA, 100uA, 1mA	Low (50%)
10mA, 100mA	Medium (75%)
1A, 3A, 3A/10A (2430)	High (100%)
1A, 5A (2440)	High (100%)

当输出关闭时，风扇将以低速运行或保持输出时的速度（取决于电流范围）。此速度选项是从 GENERAL MENU 的 FAN 选择中设置的。（请参见本节中的“主菜单”。）

注意：如果型号 2420、2425、2430 或 2440 过热，输出将跳闸，并且冷却风扇将以高速运行（不管设置的速度选项为何）。有关详细信息，请参阅第 6 节“过热保护”。

1.6. 显示

1.6.1. 显示格式

源表 显示器主要用于对源和合规性值进行设置并显示测量读数。位于读数/消息显示器顶部指示各种操作状态，如前面“前面板概要”所述。

上电时，当输出开启时，顶部（主）显示器用于测量（输出关闭时，“OFF”显示）。显示器左下角显示设置的源值（Vsrc 或 Isrc），显示器右下角的用于设置合规性（Cmpl）限制值。

读取信息可以使用工程单位或科学计数法以固定点或浮点格式显示。使用主菜单的 GENERAL/NUMBERS 选项选择显示格式，如本节后面的“菜单”中所讨论的那样。

工程单位示例：1.23456 μ A

科学计数法示例：1.23456e-6

注意：为了提高速度，可以禁用显示。请参阅“禁用前面板显示”，第 1-24 页。

1.6.2. 编辑键

必须处于编辑模式才能设置源和合规性值。通过按 EDIT 键（EDIT 指示灯亮起）选择编辑模式。源或合规性读数的编辑光标（闪烁数字）将出现。如果未在 6s 内编辑值，则取消编辑模式。处于编辑模式时，EDIT 键在源值和合规性值之间切换。有关设置源和合规性值的详细信息，请参见第 3 节。

1.6.3. 切换键

注意：对于型号 2430 脉冲模式，TOGGLE 键已禁用。

在输出开启时，TOGGLE 键操作显示器顶部和左下角的读数。它对位于右下角的合规性读数（Cmpl）没有影响。每次按 TOGGLE 键都会序列化显示选项。

当选择电压（V）或电流（I）测量函数时，TOGGLE 键可让您同时显示电流和电压测量值。它还允许您切换源和测量读数的显示位置。

当选择欧姆（ Ω ）测量函数时，欧姆测量始终显示在显示器顶部。TOGGLE 键可让您在显示器左下角上显示设置的源值、电流测量值或电压测量值。

TOGGLE 键还用于在数据存储中存储的读数上显示统计数据。此功能从数据存储 RECALL 模式执行。

注意：如果启用了 FCTN、REL 或 Limits，则 TOGGLE 键将被禁用。

1.6.4. 状态和错误消息

状态和错误消息会短暂显示。在源表操作和编程期间，您将遇到许多面板消息。典型消息是状态或错误的性质，并在附录 B 中列出。

1.6.5. 远程显示编程

显示器也可以通过各种 SCPI :DISPlay 子系统命令进行控制。有关使用这些命令的更多信息，请参见第 18 节“DISPlay 子系统”。也请参阅“禁用前面板显示”，第 33 页。

1.6.6. 前面板测试

使用主菜单中的 TEST/FRONT-PANEL-TESTS 选项测试前面板的各个方面。有关更多信息，请参见“菜单”，第 1-19 页。

1.7. 默认设置

通过使用适当的菜单选项，您可以保存和调用各种仪器设置，定义开机配置或按照以下步骤恢复出厂默认设置。

1.7.1. 保存和恢复用户设置

您可以保存和恢复最多五个自己的用户设置，如下所述。此功能提供了一种方便的方法来保存特定的仪器配置，然后根据需要进行调用。请注意，您还可以设置源表在开机时恢复特定的用户设置。“开机配置”，请参见第 26 页。

注：有两种类型的设置。仪器配置（用户）设置（在此处涵盖）和源存储器扫描设置（第 10 节）。

保存设置

1. 选择要保存的各种仪器操作模式。
2. 按 MENU 键，选择 SAVESETUP，然后按 ENTER 键。
3. 从 SAVESETUP 菜单中，选择 GLOBAL，然后按 ENTER 键。
4. 从 GLOBAL SETUP MENU 中，选择 SAVE，然后按 ENTER 键。
5. 选择要保存的设置位置（0-4），然后按 ENTER 键完成保存。

恢复设置

1. 按 MENU 键，选择 SAVESETUP，然后按 ENTER 键。
2. 从 SAVESETUP 菜单中，选择 GLOBAL，然后按 ENTER 键。
3. 在 GLOBAL SETUP MENU 中，选择 RESTORE，然后按 ENTER 键。
4. 选择要恢复的设置位置（0-4），然后按 ENTER 键完成恢复。

开机配置

您还可以定义存储的（出厂默认或用户）设置作为仪器开机配置：

1. 按 MENU 键，选择 SAVESETUP，然后按 ENTER 键。
2. 从 SAVESETUP 菜单中，选择 GLOBAL，然后按 ENTER 键。
3. 在 GLOBAL SETUP MENU 中，选择 POWERON，然后按 ENTER 键。
4. 从 SET POWER-ON DEFAULT 中，选择开机配置：BENCH 或 GPIB（见下文），或 USER-SETUP-NUMBER。
5. 如果您选择使用用户设置作为开机配置，请选择用户设置编号，然后按 ENTER 键。

1.7.2. 出厂默认设置

如表 1-2 所总结的，在 BENCH（前面板）和 GPIB（远程）中有两组出厂默认值。您可以按照以下步骤恢复这些默认设置：

1. 按 MENU 键，选择 SAVESETUP，然后按 ENTER 键。
2. 从 SAVESETUP 菜单中，选择 GLOBAL，然后按 ENTER 键。

3. 在 GLOBAL SETUP MENU 中, 选择 RESET, 然后按 ENTER 键。
4. 根据需要选择 BENCH 或 GPIB 默认值, 然后按 ENTER 键完成进程。

Table 1-2
Factory default settings

Setting	BENCH or GPIB default
A/D Controls:	
Auto-zero	On
Line frequency	No effect
Beeper	On
Contact check mode	Disabled**
Contact check threshold resistance	50ohms**
Contact check event detection	Disabled**
Contact check timeout	0**
Data Store	No effect
Digital output	HI, HI, HI, HI
Digits	5
Fan (2420, 2425, 2430, and 2440)	Output on
FCTN	Power (off)
Filter:	Off
Averaging type	Repeat
Count	10
GPIB address	No effect
Guard	Cable
Limit tests:	
DigOut:	
Size	4-bit
Mode:	Grading
Binning control	Immediate
Auto clear:	Disabled
Delay	0.00001 sec

Table 1-2 (cont.)
Factory default settings

Clear pattern	15**
H/W limits:	
Control	Disabled
Fail mode:	In compliance
Cmpl pattern	15
S/W limits:	
Lim 2, 3, 5-12:	
Control	Disabled
Low limit:	-1.0
Low pattern	15
High limit:	+1.0
High pattern	15
Pass (all tests):	
Pass pattern	15
Source memory	Next
location	
EOT mode	EOT
Numbers	No effect
Ohms source mode	Auto
Offset compensated ohms	Off
Output	Off
Output enable	Disabled
Off state	Normal*
Auto-off	Disabled
Power-on default	No effect
Pulse Mode (2430 only)	
Pulse delay	0.0s
Pulse width	0.20ms
Ranging (measure):	
Auto range	Enabled
Rel	Off
Value	0.0
RS-232	No effect
Sense mode	2-wire
Source delay	1ms
Auto-delay	Enabled
Source shape (2430 only):	DC mode
Speed	Normal (1 PLC)
Sweep	Linear staircase
Start	0V or 0A
Stop	0V or 0A
Step	0V or 0A
Sweep count	1
Sweep Pts	2500
Source ranging	Best fixed
Abort on compliance	Off

Table 1-2 (cont.)

Factory default settings

Voltage protection	NONE
Triggered source:	
Control	Disabled
Scale factor	+1.0
Triggering:	
Arm layer:	
Event	Immediate
Count	1
Output trigger	Line #2, Off
Trigger layer:	
Event	Immediate
Count	1
Output triggers	Line #2, All off
Delay	0.0 sec

* Model 2410 default off state is guard.

** For instruments with contact check option (denoted by a -C in model number).

1.7.3. 远程设置

您还可以使用以下 SCPI 命令通过远程保存和恢复设置：

- 使用*SAV 和*RCL (第 16 节) 保存和恢复用户设置。
- 使用*RST (第 16 节) 恢复 GPIB 默认值。
- 使用:SYSTem:PRESet (第 18 节) 恢复 bench 默认值。
- 使用:SYSTem:POSetup (第 18 节) 保存电源开机配置。

1.8. 菜单

以下段落讨论主菜单、配置菜单以及导航菜单规则。

1.8.1. 主菜单

使用 MENU 键访问主菜单，选择、配置和/或执行各种仪器操作。整个主菜单结构总结在表 1-3 中。使用“导航菜单规则”检查和/或更改主菜单选项。

*Table 1-3
Main menu*

Menu item ¹	Description	Parameters
SAVESETUP	Configure setup conditions.	
GLOBAL	Control instrument settings.	
SAVE	Save present SourceMeter setup to memory location.	0 to 4
RESTORE	Return the SourceMeter to setup saved in memory.	0 to 4
POWERON	Select the power-on default setup.	
BENCH	Powers-on to BENCH defaults.	See Table 1-2
GPIB	Powers-on to GPIB defaults.	See Table 1-2
USER SETUP NUMBER	Powers-on to user setup.	0 to 4
RESET	Returns unit to BENCH or GPIB defaults.	See Table 1-2
SOURCE MEMORY	Control memory sweep source setup configurations.	
SAVE	Save present setup configuration to memory location.	1 to 100
RESTORE	Return to configuration saved in memory location.	1 to 100
COMMUNICATION²	Select and configure remote interface.	
GPIB	Select GPIB (IEEE-488 Bus), set primary address and GPIB protocol.	0 to 30 (Default: 24)
RS-232	Select the RS-232 interface, set parameters.	
BAUD	Select baud rate.	57600, 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, 1200, 600, 300
BITS	Select number of data bits.	7 or 8
PARITY	Select parity.	NONE, ODD, EVEN
TERMINATOR	Select terminator.	CR, CR+LF, LF, or LF+CR
FLOW CTRL	Select flow control.	NONE or XON/XOFF
CAL³	Calibrate SourceMeter. (See Service Manual.)	
UNLOCK	Unlock calibration.	
EXECUTE	Execute calibration steps.	
VIEW DATES	Display cal dates and count.	
SAVE	Save calibration constants.	
LOCK	Lock calibration.	
CHANGE PASSWORD	Change calibration password.	
TEST	Perform tests on SourceMeter.	
DISPLAY TESTS ⁴	Test front panel keys and display digits.	
KEYS	Test front panel keys.	
DISPLAY PATTERNS	Test display pixels and annunciators.	
CHAR SET	Test special display characters.	

Table 1-3 (cont.)

Main menu

Menu item ¹	Description	Parameters
A/D CTRL AUTO ZERO ⁵ DISABLE ENABLE ONCE LINE FREQ NPLC CACHE DISABLE ENABLE REFRESH RESET	Control auto-zero, line frequency, NPLC caching. Control auto zero. Disable auto zero. Enable auto zero. Force auto zero immediate update. Set line frequency. Control NPLC caching. Disable NPLC caching. Enable NPLC caching. Update all NPLC values in cache immediately. Clear NPLC cache of all NPLC values.	50 or 60Hz, or AUTO
GENERAL DIGOUT SERIAL# TIMESTAMP FAN (2420, 2425, 2430, and 2440)	Select general operations. Set Digital I/O port bit pattern. Display serial number, firmware revision, SCPI version. Reset timestamp. Set fan speed control. ALWAYS — fan runs at the same speed with the output on or off. OUTPUT ON — fan runs at low speed with the output off. See "Cooling fan," page 1-12.	0-15 ⁶ YES or NO ALWAYS or OUTPUT ON
NUMBERS BEEPER	Select engineering units or scientific notation display format. Enable or disable beeper.	ENGR, SCIENTIFIC

1. 顶级菜单选项以粗体字显示。缩进标识每个较低的子菜单级别。
2. 当远程操作接口选择 (GPIB 或 RS-232) 更改时, 源表执行电源重置。要检查或更改所选界面的选项, 必须重新输入菜单结构。
3. 在校准被锁定时, 仅可访问“查看日期”。需要密码才能解锁校准。
4. 按“退出”键取消测试。
5. 禁用自动归零将降低测量精度。
6. 0-65535 与 2499-DIGIO 16 位选项。

1.8.2. 导航菜单规则

许多源测量功能和操作是从前面板菜单配置的。使用以下规则来浏览这些配置菜单：

注意：完整的编辑源和合规性值的规则可以在第 3 节中的基本源测量步骤中找到。请参见下面的“编辑源和合规性值”进行概述。

- 通过将光标放在菜单项上并按 ENTER 键来选择菜单项。正在闪烁的菜单项或选项表示光标位置。EDIT Δ 和∇键控制光标位置。

- 底部行上显示的箭头表示有一个或多个其他项目（或消息）可供选择。使用适当的光标键进行显示。
- 将光标放在范围标识符（即 k、M、G 等）上，并使用 SOURCE Δ 或 ∇ 或 RANGE Δ 或 ∇ 键来更改源或参数值范围。请注意，当选择下一个更高或更低的源范围时，读数会增加或减少一个数量级。
- 通过将光标放在要更改的数字上并使用以下方法之一键入参数值：

注意：您可以按 MENU 键清除参数值。

- 使用 SOURCE Δ 或 ∇ 或 RANGE Δ 或 ∇ 键，增加或减少数字。
- 使用数字键（0 到 9）在所选数字处键入值。
- 使用 \pm 键，更改源值极性，无论光标位置如何。
- 布尔选择（例如 ON/OFF 和 HIGH/LOW）通过将光标放在选择上并按 SOURCE 或 RANGE 向上或向下箭头键进行切换。
- 只有在按 ENTER 键后才执行更改。输入无效参数会生成错误，并忽略该条目。但是，输入超出范围的值（太小或太大）分别会选择较低或较高的限制。
- EXIT 键用于退出菜单结构。未输入的任何更改都将在按 EXIT 键时取消。

1.8.3. 编辑源和合规性值

使用以下按键来编辑源和合规性值：

- EDIT - 选择要编辑的源或合规性显示字段。一个闪烁的光标将出现在要编辑的字段中。如果几秒内没有按任何键，则编辑模式将自动取消。
- EDIT 箭头键 - 将显示光标置于要更改的显示数字上。
- SOURCE Δ 或 ∇ - 增加或减少源或合规性值。请注意，按下这些键之一将自动启用源编辑模式。
- RANGE Δ 或 ∇ - 选择源或合规性范围。
- 数字键（0-9） - 允许您直接输入源或合规性值。
- EXIT - 在等待超时期间退出编辑模式。

编辑源和合规性值的基本过程如下概述。有关更多详细信息，请参见第 3 节“基本源测量步骤”。

1. 按 EDIT 键，直到闪烁的光标位于要编辑的源或合规性值显示字段中。
2. 如果需要，使用 RANGE Δ 或 ∇ 键选择所需的源或合规性值范围。
3. 要简单地增加或减少显示值，请使用 EDIT 箭头键将闪烁的光标放在要更改的数字上，然后使用 SOURCE Δ 或 ∇ 键，增加或减少该值。请注意，源或合规性值将立即更新；您无需按 ENTER 键来完成该过程。
4. 要直接输入源或合规性值，只需在光标闪烁时使用数字键输入所需的值。同样，源或合规性值将立即更新。

1.8.4. 切换源和测量显示字段

通常，测量读数值将出现在上部主显示行中，而源和合规性值将分别出现在下部显示行的左侧和右侧字段中。您可以通过按 TOGGLE 键将源和测量显示字段进行切换，以将源和测量值放置在所需位置。

1.8.5. 禁用前面板显示

可以禁用前面板显示电路，以允许仪器以更高的速度运行。在禁用时，显示将被冻结并显示以下消息：

FRONT PANEL DISABLED

按 LOCAL 键恢复。

正如消息所报告的那样，所有前面板控件（除了 LOCAL、TRIG 和 OUTPUT ON/OFF）都将被禁用。

前面板控制

前面板显示电路是通过 DISABLE DISPLAY 配置菜单进行控制的，可以通过按 CONFIG 然后 EDIT（或 TOGGLE）来访问该菜单。要选择一个选项（NOW、NEVER、SWEEP 或 STORE），请使用 EDIT 光标键将光标放置在所需选项上，然后按 ENTER。

DISABLE DISPLAY 的选项解释如下：

NOW-选择此选项立即禁用显示。

NEVER-如果您不想禁用显示，请选择此选项。

SWEEP-如果您希望在执行扫描时禁用显示，请选择此选项。显示将在扫描开始时禁用。显示将在扫描完成后自动重新启用。

STORE-如果您希望在将源测量读数存储在缓冲区中时禁用显示，请选择此选项。当启用缓冲区时，显示将禁用。存储过程完成后，显示将自动重新启用。请注意，使用此选项时，在执行扫描时将禁用显示。扫描读数将自动存储在缓冲区中。

远程命令编程

使用以下 SCPI 命令启用或禁用前面板显示电路：

:DISPlay:ENABLE OFF 禁用显示

:DISPlay:ENABLE ON 启用显示

1.8.6. 配置菜单

可以通过按 CONFIG 键，然后按适当的功能或模式键来访问多个配置菜单。例如，您可以通过按 CONFIG 然后 SOURCE V 来配置电压源。以下操作模式提供了配置菜单：

- 测量功能 (V、Ω、FCTN) :
- SOURCE V、SOURCE I 和 RANGE:
- REL、FILTER 和 LIMIT:
- TRIG:
- SWEEP、DIGITS、SPEED 和 STORE:
- ON/OFF 输出和显示 (EDIT 或 TOGGLE) :

2. 连接

- 连接概述 - 讨论前/后端子选择和使用输出许可。
- 与 DUT 的连接 - 包括使用 4 线远程感测、2 线本地感测、电缆和欧姆保护等各种方法进行与 DUT 的连接, 以及感测和保护选择。

2.1. 连接概述

警告 为防止电击，测试连接必须配置成用户无法接触到导体或与导体接触的任何被测物。安全安装需要适当的屏蔽、障碍和接地以防止接触导体。操作员的保护和安全是安装产品的人员的责任。
在上电期间，源表的端子可能会出现电压尖峰。这些电压尖峰可能达到危险水平（42.4V 峰值），并可能损坏敏感的被测物。在启动源表时，永远不要触摸外部电路或测试引线。在启动源表之前，最好总是从源表断开被测物连接。
输出和保护端子上可能存在危险电压。为了防止可能导致伤害或死亡的电击，永远不要在设备开启时进行连接或断开连接。在处理连接到输出的电缆之前，从前面板关闭设备或从源表的后部断开主电源电缆。将设备置于待机模式如果发生硬件或软件故障，不能保证没有输出。

2.1.1. 前/后端子选择

输出 (HI 和 LO) 和 SENSE (HI 和 LO) 端子可以从前面板，或者后面板连接。GUARD、GUARD SENSE 和 EARTH (机箱地) 端子只能从后面板连接。

前面板端子选择

FRONT/REAR TERMINALS 键用于控制连接到源表的端子集合。按下此键可以在前面板和后面板之间切换源表的连接。当 REAR 指示灯亮时，后面板的端子与源表相连。当 REAR 关闭时，则选中了前面板的端子。

注意 按下 FRONT/REAR TERMINALS 键会关闭输出。

远程命令端子选择

使用: ROUTe: TERMINALS (第 18 节) 命令通过远程选择前面板或后面板端子。

测试夹具输出启用

可以使用测试夹具开关来保护被测物，将源表与测试夹具配合使用。当打开测试夹具盖子时，源表输出将关闭。但是，在确认源表输出已关闭之前，您必须始终认为电源处于开启状态。详见第 13 节。

2.2. 与 DUT 的连接

源表上标示了终端之间允许的最大电压差。图 2-1 显示了各种型号源表的这些电压差。

警告 为了防止触电或对源表造成损坏，不要超过图 2-1 中所示的最大允许电压差。源表的前后端子仅适用于连接到被评级为安装类别 I 的电路。不要将源表端子连接到 CAT II、CAT III 或 CAT IV 电路。如果将源表输入/输出端子连接到高于 CAT I 的电路中，可能会损坏设备或使操作者暴露在危险电压下。

共模电流限制-如图 2-1 所示, 最大共模电压是 INPUT/OUTPUT LO 和机壳地之间的电压。为了防止触电或对源表造成损坏, 外部共模电压源引入的电流必须受到限制。可以通过使用保护性阻抗或保险丝来实现电流限制。

警告

为了防止触电或对源表造成损坏, 必须按以下方式从外部限制共模电压:

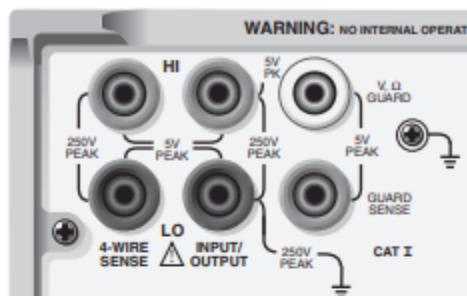
2400、2400-LV、2401 和 2410 型号-将共模电压限制为 250VDC, 最大 1.05A

2420 和 2425 型号-将共模电压限制为 250VDC, 最大 3.15A

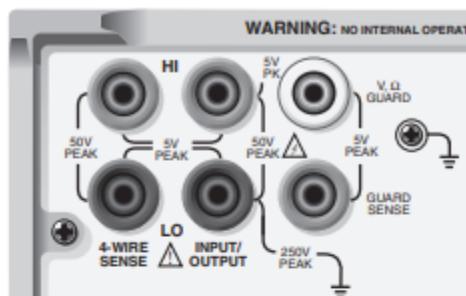
2430 型号-将共模电压限制为 250VDC, 10.5A (脉冲)

2440 型号-将共模电压限制为 40VDC, 最大 5.25A

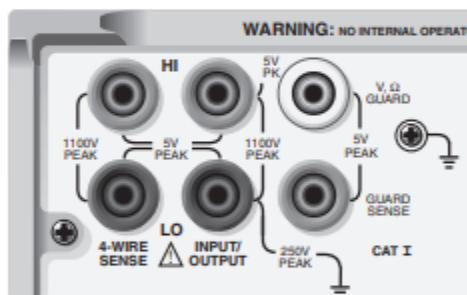
Figure 2-1
Terminal voltage differentials (rear panel)



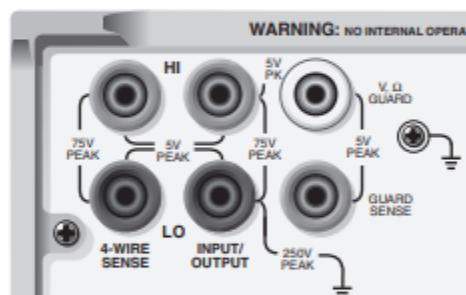
Model 2400, 2400-C



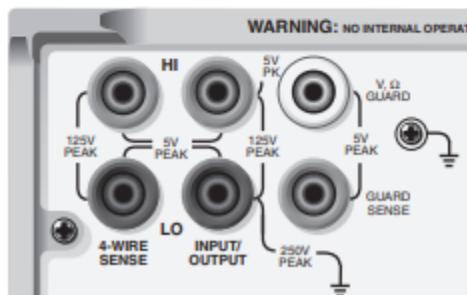
Model 2401



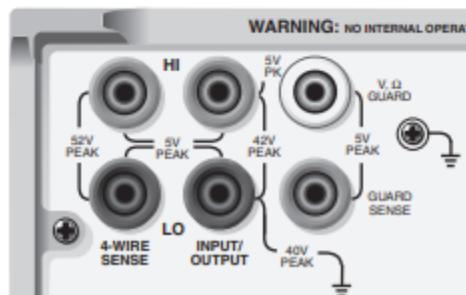
Model 2410, 2410-C



Model 2420, 2420-C



Model 2425, 2425-C, 2430, 2430-C



Model 2440, 2440-C

注意 为避免冗余，在本节中将使用通用源表图纸。通用图纸不包括终端电压差的标签。

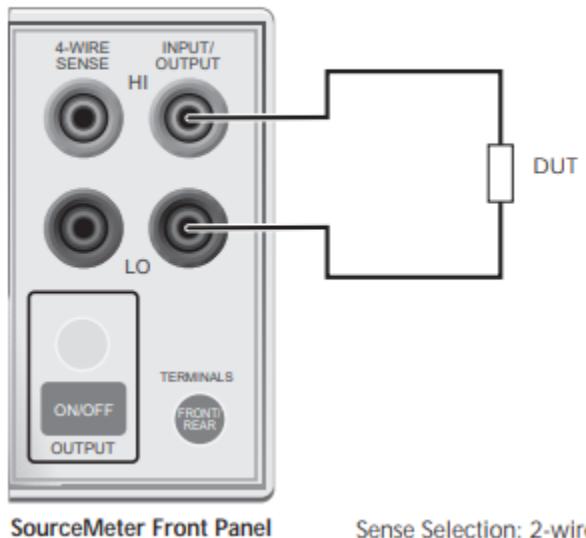
2.2.1. 感测方法

基本的源测量操作使用 2 线本地感测连接（图 2-2）或 4 线远程感测连接（图 2-3）进行。出厂设置默认的感测选择是本地。请参见“感测选择”，第 2-12 页，以检查和/或更改感测选择。另请参见第 4 节有关“欧姆感测”问题的内容。

警告 源表的地和选择的输入/输出 LO 端子之间没有内部连接。因此，危险电压 ($> 30V$ 有效值) 可能会出现在该 LO 端子上。通常情况下，当源表在任何快速更改输出的模式下运行时，例如可以使用零、自动关闭输出状态或快速脉冲扫描操作生成的脉冲波形时，就会发生这种情况。

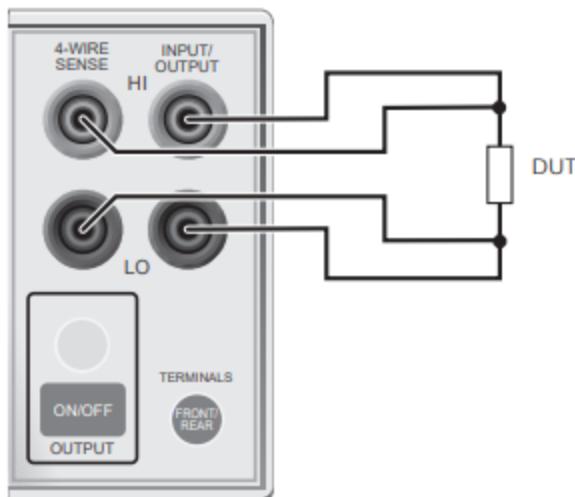
为了防止这种情况发生（如果您的应用程序允许），将输入/输出 LO 端子连接到地。您可以将 LO 端子连接到后面板的机箱接地螺钉端子或已知的安全地。请注意，前面板端子与后面板端子隔离。因此，如果您正在使用前面板端子，请接地前面板 LO 端子。如果使用后面板端子，请接地后面板 LO 端子。

Figure 2-2
Two-wire connections (local sense)



Sense Selection: 2-wire

Figure 2-3
Four-wire connections (remote sense)



SourceMeter Front Panel

Sense Selection: 4-wire

注意 连接本身并不能决定感测模式。对于本地感测（图 2-2），必须从 CONFIGURE V-SOURCE 菜单的 SENSE MODE 选项中选择 2 线感测。对于远程感测（图 2-3），必须选择 4 线感测。2 线感测模式是 BENCH 和 GPIB 默认设置。有关详细信息，请参见“感测选择”，第 2-12 页。

4 线远程感测

在源电压和/或测量电压时，测试引线中的 IR 压降会产生误差。使用 4 线远程感测连接可以优化电压源和测量准确度。在源电压时，4 线远程感测确保设置电压传递到被测物。在测量电压时，只测量被测物上的电压降。对于以下源测量条件，请使用 4 线远程感测：

- 测试电路阻抗小于 $1\text{k}\Omega$ 。
- 需要最佳欧姆、V-Source 和/或 V-Measure 准确度。

注意 仅使用 4 线远程感测才能实现规定的源和测量准确度。

警告 在远程感测中源电压时，请确保感测引线已连接到被测物。如果感测引线断开，则将感测为 0V ，源表将增加输出电压（可能到达危险水平）进行补偿。为了提高安全性，您可以通过源表限制电压输出。请参见第 3 节“V-Source 保护”，以限制输出电压级别。

注意 在 4 线感测模式下关闭输出时，出于安全原因，感测线内部断开连接。当打开输出时，感测线会自动重新连接，4 线感测会恢复。

2 线本地感测

只有当测试引线 IR 压降引起的误差可被用户接受时，才可以使用 2 线本地感测连接。在电流低于 100mA 的情况下，误差通常不显著（假设测试引线电阻不大于 1Ω ）。由于串联电路中的电流在回路中的所有点上都相同，因此远程感测无法提高 I-Source 或 I-Measure 的准确度。因此，如果源电流和测量电流，则可以使用本地感测。允许使用 2 线本地感测的其他条件包括：

- 测试电路阻抗为 $1k\Omega$ 以上到 $1G\Omega$ ，还应使用保护（“电缆保护”）。
- 仅测量操作（V 或 I）。

2.2.2. 保护方法

电缆保护

在以下源测量条件下，使用图 2-4 所示的高阻抗（电缆）保护连接方案：

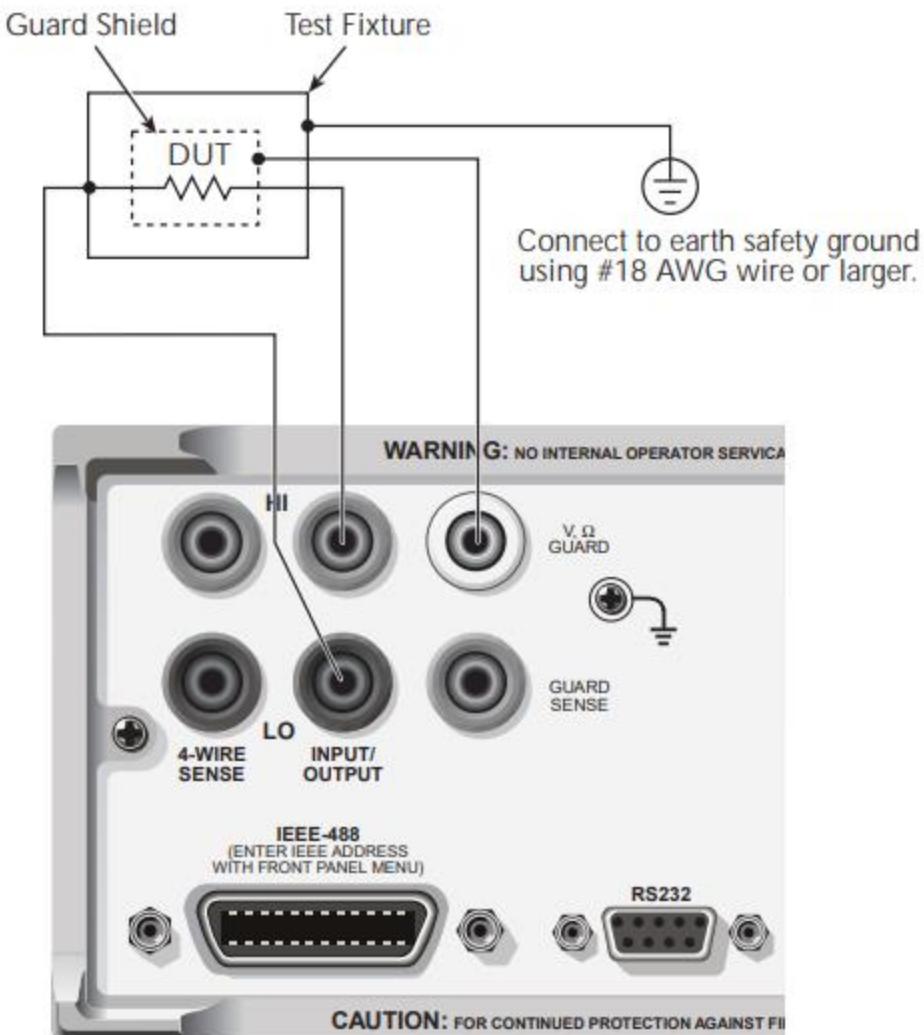
- 测试电路阻抗 $> 1G\Omega$ 。

请注意，必须选择电缆保护以使用此连接方案。请参见“保护选择”，第 2-13 页，选择电缆保护。

测试夹具通常用于测试高阻抗器件。测试夹具可降低噪声并保护用户免受保护屏蔽（或板）上潜在危险的电压。有关使用保护的详细信息，请参见第 6 节“保护”。

请注意，测试夹具机箱连接到 In / Out LO 以减少噪声。

Figure 2-4
High-impedance guarding (cable guard)



欧姆保护

在存在其他寄生泄漏器件的 DUT 上进行电路内阻抗测量时, 请使用图 2-5 显示的带保护的欧姆连接方案进行以下源测量操作:

- 在存在其他寄生泄漏器件的 DUT 上进行电路内阻测量。

请注意, 必须选择欧姆保护以使用此连接方案。欧姆保护不适用于 1A 范围 (源或测量)。有关选择欧姆保护和第 4 节“6 线欧姆测量”的详细信息, 请参见“保护选择”, 第 2-13 页。

图 2-5 显示了如何连接以测量电阻网络中单个电阻器 (DUT) 的电阻。有关带保护的欧姆测量的详细信息, 请参见第 6 节“保护”。

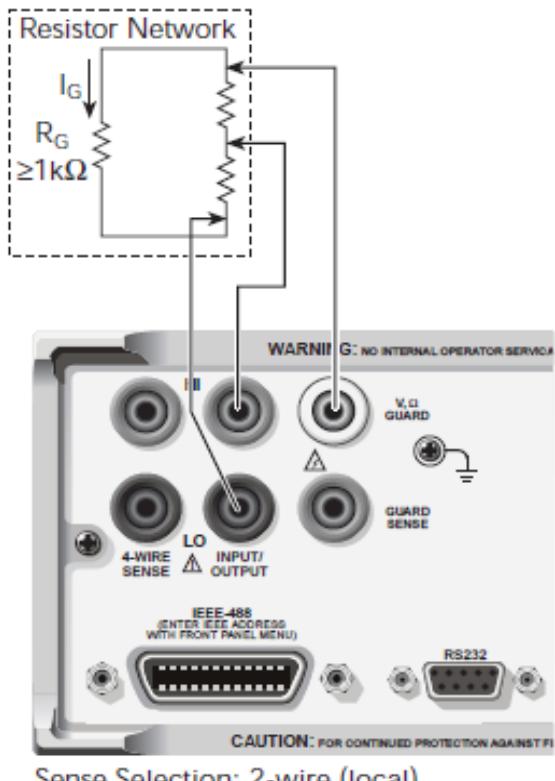
带保护的欧姆测量的基本连接方案如图 2-5A 所示。如果保护电阻路径 (RG) $< 1\text{k}\Omega$, 则保护测试引线中的 IR 压降落可能足够高, 以致于电阻器网络处的保护电压显着低于 DUT 的输出电压。这会

导致泄漏电流并破坏测量结果。为了抵消保护测试引线中的 IR 压降落效应, 请按图 2-5B 所示将 GUARD SENSE 连接到电阻器网络。保护传感器确保电阻器网络处的保护电压与 DUT 的输出电压相同。

请注意, 如果 $DUT < 1k\Omega$, 则应使用 4 线测量方法 (远程感测) , 方法是将 SENSE HI 和 LO 连接到 DUT 并启用远程感测 (图 2-5C) 。

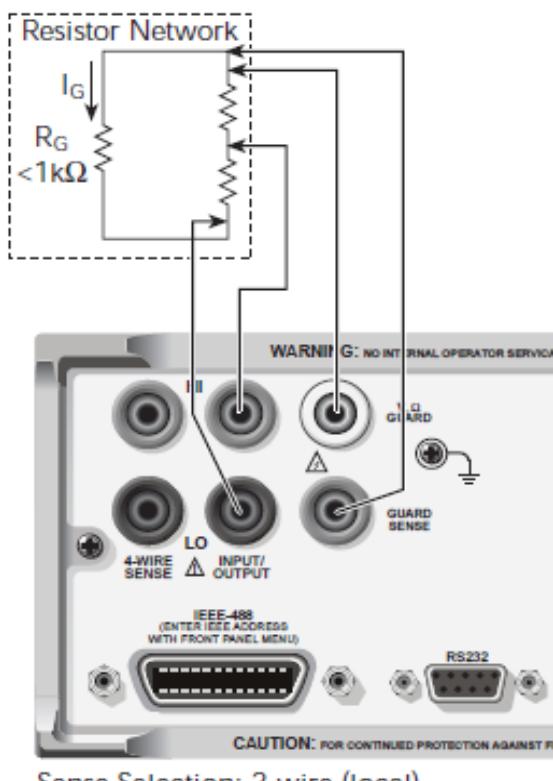
注意 保护电流 (IG) 永远不得超过 50mA。如果超过此值, 保护电压将小于输出电压并破坏测量结果。

Figure 2-5
Guarded ohms measurements (ohms guard)



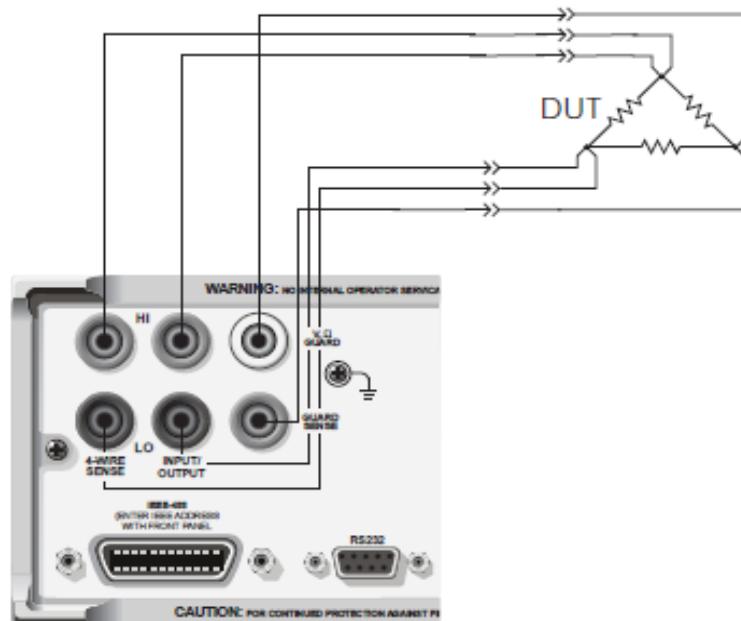
Sense Selection: 2-wire (local)

A. Basic connections



Sense Selection: 2-wire (local)

B. Connections using guard sense



C. 6-wire ohms connections

感测和保护选择

注意 当感测或保护设置更改时，输出会关闭。

感测选择

在使用源表的 SENSE HI 和 LO 端子时，必须选择四线远程感测。如果不使用这些端子，则必须选择本地感测。感测选择解释如下。关于感测的详细信息，请参见“操作概述”第 3 节。

注意 无论感测设置如何，当输出关闭时，源表默认为 2 线（本地）感测模式。当打开输出时，当前感测设置将生效。

前面板感测选择

上电时，仪器会自动设为 2 线本地感测。执行以下步骤以检查和/或更改感测选择：

1. 按 CONFIG，然后按 SOURCE V、MEAS V 或 Ω 键。在一个配置菜单中更改感测会使它在所有其他菜单中更改。
2. 对于 SOURCE V 和 Ω ，使用 \leftarrow 和 \rightarrow 键将光标（闪烁的菜单项）放在 SENSE MODE 上，然后按 ENTER。

注意 光标位置表示当前的感测选择。2 线表示选择本地感测，4 线表示选择远程感测。要保留当前选择，请使用 EXIT 键退出菜单结构并跳过接下来的两个步骤。

3. 要更改感测选择，请将光标置于 4-wire 以选择远程感测或 2-wire 以选择本地感测，然后按 ENTER。
4. 使用 EXIT 键退出菜单结构。

远程命令感测选择

使用 :SYST:RSENse 命令（第 18 节“系统子系统”）通过远程选择本地和远程感测。例如，发送以下命令以启用远程感测：

```
:SYST:RSEN ON
```

反之，发送此命令以禁用远程感测（启用本地感测）：

```
:SYST:RSEN OFF
```

保护选择

电缆保护用于对电缆（即同轴电缆和三同轴电缆）和测试夹具进行高阻抗保护。欧姆保护提供了高电流保护输出，可允许在电路中进行带保护的欧姆测量。上电时，选择电缆保护。

注意 对于 6 线欧姆测量, 请使用保护输出关闭模式。有关各种输出关闭状态以及如何选择保护输出关闭状态的详细信息, 请参见第 13 节“前面板输出配置”。另请参见第 4 节“6 线欧姆测量”。

前面板保护选择

执行以下步骤以检查或更改保护选择:

1. 按 CONFIG, 然后按 SOURCE V、SOURCE I 或 Ω 。更改一个配置菜单中的保护也会更改所有其他菜单中的保护。
2. 使用 SOURCE 箭头键将光标 (闪烁的菜单项) 放置在 GUARD 上, 然后按 ENTER。

注意 光标位置表示当前的保护选择 (OHMS 或 CABLE)。要保留当前选择, 请使用 EXIT 键退出菜单结构并跳过接下来的两个步骤。

3. 要更改保护选择, 请将光标放置在替代选择上, 然后按 ENTER。
4. 使用 EXIT 键退出菜单结构。

注意 不要在同轴电缆上使用欧姆保护, 否则可能会发生振荡。在 1A 或更高范围 (源或测量) 中无法选择欧姆保护。

远程命令保护选择

使用:SYSTem: GUARd 命令 (第 18 节“SYSTem 子系统”) 通过远程选择电缆和欧姆保护模式。例如, 发送以下命令以启用欧姆保护:

:SYST:GUAR OHMS

相反, 发送此命令以启用电缆保护:

:SYST:GUAR CABL

3. 基本的源-测量操作

- 操作概述 - 讨论源-测量能力、符合限制和基本的源-测量配置。
- 操作注意事项 - 包括预热、自动校零、V-source 保护和源延迟等内容。
- 基本源-测量流程 - 描述了设置源表进行源-测量操作的基本流程，包括选择源函数、输出值和符合限制；选择测量范围和功能；打开和关闭输出等。
- 仅测量 - 介绍如何仅使用源表进行测量。
- 汲取操作 - 描述汲取操作。

3.1. 警告-注意事项

源表使用散热器散热。此外，2410、2420、2430 和 2440 型号配备有冷却风扇。机箱的左侧被切割出来以暴露黑色的散热器。该散热器会变得很热，甚至可能热到足以引起烧伤。即使仪器关闭，也应该假定散热器仍然很热，因为它需要相当长的时间来冷却。

警告：处理源表时，永远不要触摸机箱左侧的散热器。该散热器可能会热到足以引起烧伤。

注意 有关冷却风扇的操作详见第 1 节。

过高的温度会损坏源表，至少会降低其性能。必须在环境温度不超过 50°C 的情况下操作源表。

注意 为了防止热量积聚造成损坏，并确保规定的性能，请遵循以下预防措施：

- 保持散热器不受灰尘、污垢和污染物的影响，因为它的散热能力可能会受到影响。
- 防止底部散热口被堵塞。永远不要拆下塑料脚，让源表直接放在平面上。永远不要在软表面（如地毯）上操作源表，这可能会阻塞底部散热口。
- 不要将任何设备放置在源表旁边，以使其受到（加热或未加热的）空气吹入或吹到其表面或散热口。这种额外的气流可能会影响准确性能。
- 在机架安装源表时，请确保底部和侧面都有充足的气流，以确保适当的冷却。适当的气流可以使源表表面附近约一英寸范围内的空气温度在所有操作条件下保持在指定的限制范围内。
- 将高功率耗散设备与源表相邻的机架安装可能会导致过度加热。必须在源表表面维护指定的环境温度精度。
- 在只有对流冷却的情况下保证机架的适当冷却的一个好方法是将最热的设备（例如电源）放在机架的顶部。精密设备（如源表）应尽可能放置在机架底部，因为那里的温度最低。在源表下面添加隔板可以帮助确保充足的气流。

3.2. 操作概述

3.2.1. 源测量能力

从前面板上，源表可以被配置执行以下操作：

- 电压源 - 显示电流和/或电压测量
- 电流源 - 显示电压和/或电流测量
- 测量电阻 - 显示测量的电压或电流分量
- 仅测量 (V 或 I) - 显示电压或电流测量

电压和电流 - 表 3-1 列出了电压和电流功能的源和测量限制。

全范围的操作在“过热保护”和“操作边界”章节中进行了解释。

注意 输出瞬态恢复 - 在负载电流步进变化后，V 源恢复到其原始值（在 0.1% 加负载调节误差内）所需的时间小于 250μs。这不包括自动量程切换的响应时间或非纯电阻负载对第二阶效应的影响。

负载调节 - V 源模式下负载变化的电压规格为 0.01%+ 1mV。这意味着在 200mV 范围内，负载电流可以从零变化到满量程，误差小于 1.02mV。计算：

$$\text{误差} = (0.01\% \times 0.2V) + 1mV = 1.02mV$$

假设电流变化为 0 到 1A，则输出阻抗相当于 $1.02m\Omega$ ($1.02mV / 1A = 1.02m\Omega$)。只有使用 4 线远程感测才能达到这个水平。

Table 3-1
Source-measure capabilities

2400/2400-LV/2401			2410		
Range	Source	Measure	Range	Source	Measure
200mV	±210mV	±211mV	200mV	±210mV	±211mV
2V	±2.1V	±2.11V	2V	±2.1V	±2.11V
20V	±21V	±21.1V	20V	±21V	±21.1V
200V*	±210V	±211V	1000V	±1.1kV	±1.1kV
1µA	±1.05µA	±1.055µA	1µA	±1.05µA	±1.055µA
10µA	±10.5µA	±10.55µA	10µA	±10.5µA	±10.55µA
100µA	±105µA	±105.5µA	100µA	±105µA	±105.5µA
1mA	±1.05mA	±1.055mA	1mA	±1.05mA	±1.055mA
10mA	±10.5mA	±10.55mA	20mA	±21mA	±21.1mA
100mA	±105mA	±105.5mA	100mA	±105mA	±105.5mA
1A	±1.05A	±1.055A	1A	±1.05A	±1.055A
(*2400 only) Max Power = 22W			Max Power = 22W		
2420			2425/2430		
Range	Source	Measure	Range	Source	Measure
200mV	±210mV	±211mV	200mV	±210mV	±211mV
2V	±2.1V	±2.11V	2V	±2.1V	±2.11V
20V	±21V	±21.1V	20V	±21V	±21.1V
60V	±63V	±63.3V	100V	±105V	±105.5V
10µA	±10.5µA	±10.55µA	10µA	±10.5µA	±10.55µA
100µA	±105µA	±105.5µA	100µA	±105µA	±105.5µA
1mA	±1.05mA	±1.055mA	1mA	±1.05mA	±1.055mA
10mA	±10.5mA	±10.55mA	10mA	±10.5mA	±10.55mA
100mA	±105mA	±105.5mA	100mA	±105mA	±105.5mA
1A	±1.05A	±1.055A	1A	±1.05A	±1.055A
3A	±3.15A	±3.165A	3A/10A	*	**
Max Power = 66W			2425 and 2430 Max Power DC Mode: 110W (105V, 1.05A) 66W (21V, 3.15A) Pulse Mode: 1.1kW (2430 only)		

Table 3-1 (cont.)
Source-measure capabilities

2440		
Range	Source	Measure
200mV	$\pm 210\text{mV}$	$\pm 211\text{mV}$
2V	$\pm 2.1\text{V}$	$\pm 2.11\text{V}$
10V	$\pm 10.5\text{V}$	$\pm 10.5\text{V}$
40V	$\pm 42\text{V}$	$\pm 42\text{V}$
10 μA	$\pm 10.5\mu\text{A}$	$\pm 10.55\mu\text{A}$
100 μA	$\pm 105\mu\text{A}$	$\pm 105.5\mu\text{A}$
1mA	$\pm 1.05\text{mA}$	$\pm 1.055\text{mA}$
10mA	$\pm 10.5\text{mA}$	$\pm 10.55\text{mA}$
100mA	$\pm 105\text{mA}$	$\pm 105.5\text{mA}$
1A	$\pm 1.05\text{A}$	$\pm 1.055\text{A}$
5A	$\pm 5.25\text{A}$	$\pm 5.25\text{A}$
Max Power = 66W		

* $\pm 3.15\text{A}$ (DC mode; 2425 and 2430)
 $\pm 10.5\text{A}$ (Pulse mode; 2430 only)

** $\pm 3.165\text{A}$ (DC mode; 2425 and 2430)
 $\pm 10.55\text{A}$ (Pulse mode; 2430 only)

3.2.2. 合规性限制

在源电压时，源表可以设置电流限制。相反地，在源电流时，源表可以设置电压限制。源表输出不会超过合规性限制。表 3-2 总结了按范围划分的合规性限制。有关合规性限制的更多详细信息，请参见第 6 节。

Table 3-2
Compliance limits

2400/2400-LV/2401		2410		2420	
Measure range	Maximum compliance value	Measure range	Maximum compliance value	Measure range	Maximum compliance value
200mV	±210mV	200mV	±210mV	200mV	±210mV
2V	±2.1V	2V	±2.1V	2V	±2.1V
20V	±21V	20V	±21V	20V	±21V
200V*	±210V	1000V	±1.1kV	60V	±63V
1µA	±1.05µA	1µA	±1.05µA	10µA	±10.5µA
10µA	±10.5µA	10µA	±10.5µA	100µA	±105µA
100µA	±105µA	100µA	±105µA	1mA	±1.05mA
1mA	±1.05mA	1mA	±1.05mA	10mA	±10.5mA
10mA	±10.5mA	20mA	±21mA	100mA	±105mA
100mA	±105mA	100mA	±105mA	1A	±1.05A
1A	±1.05A	1A	±1.05A	3A	±3.15A
2425/2430		2440			
Measure range	Maximum compliance value	Measure range	Maximum compliance value		
200mV	±210mV	200mV	±210mV		
2V	±2.1V	2V	±2.1V		
20V	±21V	10V	±10.5V		
100V	±105V	40V	±42V		
10µA	±10.5µA	10µA	±10.5µA		
100µA	±105µA	100µA	±105µA		
1mA	±1.05mA	1mA	±1.05mA		
10mA	±10.5mA	10mA	±10.5mA		
100mA	±105mA	100mA	±105mA		
1A	±1.05A	1A	±1.05A		
3A/10A	**	5A	±5.25A		

* 2400 only

** ±3.15A (2425 and 2430 DC mode)

±10.5A (Pulse mode; 2430 only)

3.2.3. 设置合规性限制

前面板合规性限制

按以下步骤从前面板设置合规性限制：

1. 使用 MEAS 和 SOURCE 键选择所需的源和测量功能。
2. 按 EDIT 键，直到光标在合规性 (Compl:) 显示字段中闪烁。
3. 使用 RANGE 箭头键选择所需的合规性范围。
4. 若要增加或减少合规性值，请使用 EDIT 箭头键将光标置于要更改的数字上，然后按 SOURCE 箭头键增加或减少合规性值。
5. 要直接更改合规性值，只需在光标在合规性显示字段中闪烁时使用数字键输入值。

合规性范围同步

启用此功能将强制在自动范围关闭时测量范围跟随合规性范围设置。当设置合规性值时，测量范围将与合规性设置相同。

您可以通过按 CONFIG 然后按 MEAS V (电压) 或 MEAS I (电流) 来启用范围同步。选择 CMPL-RANGE-SYNC，然后 ON 启用，或 OFF 禁用范围同步。

远程合规性限制

表 3-3 总结了设置合规性限制的基本命令。有关这些命令的更多细节，请参见第 18 节“设置合规性参数”。要设置合规性，只需使用所需的参数发送命令。例如，以下命令将当前合规性设置为 50mA：

:SENS:CURR:PROT 50E-3

同样，以下命令将电压合规性设置为 4V：

:SENS:VOLT:PROT 4

Table 3-3
Compliance commands

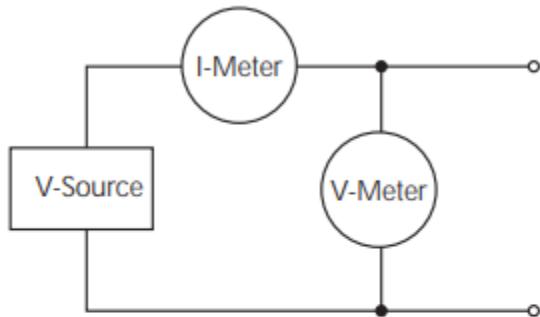
Command	Description
:SENSe:CURR:PROTection <n>	Set current compliance (n = compliance).
:SENSe:VOLTage:PROTection <n>	Set voltage compliance (n = compliance).

3.2.4. 基本电路配置

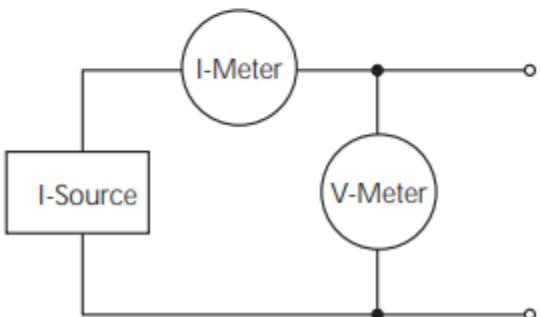
源表的基本源测量配置如图 3-1 所示。在输出电压时，可以测量电流或电压 (配置 A)。在输出电流时，可以测量电压或电流 (配置 B)。

有关这些电路配置的更详细信息，请参见第 6 节“基本电路配置”。

*Figure 3-1
Fundamental source measure configuration*



A. Source V



B. Source I

3.3. 操作注意事项

以下段落讨论了预热时间、自动校零、V 源保护和源延迟等问题。

3.3.1. 预热

为达到额定精度，必须打开源表并允许其预热至少 1 小时以达到额定精度，规格请参见附录 A。

3.3.2. 自动校零

每次 A/D 转换（读取）都是通过一系列的零、参考和信号测量计算出来的。启用自动校零后，对于每个读数，都会执行这三种测量以实现额定精度。禁用自动校零时，不进行零点和参考测量。这会增加测量速度，但零漂最终会破坏精度。禁用自动校零时，请定期更改测量速度。

仪器内部的元件温度变化可能导致 A/D 转换器的参考和零值漂移，因而发生热电效应。自动校零作用是消除漂移效应，以便随着时间的推移保持测量精度。如果未启用自动校零，则测量可能会漂移并产生误差。

前面板自动校零

请按以下步骤从前面板设置自动校零：

1. 按 MENU 键。
2. 从主菜单中选择 A/D CTRL，然后按 ENTER 键。
3. 选择 AUTO ZERO，然后按 ENTER 键。
4. 根据需要选择 ENABLE 或 DISABLE，然后按 ENTER 键。
5. 如有必要，请按 EXIT 键返回正常显示。

远程指令自动校零

使用 :SYST:AZERo 命令通过远程启用或禁用自动校零。请参见第 18 节“系统子系统”。例如，发送以下命令以启用自动校零：

```
:SYST:AZER ON
```

相反，发送此命令以禁用自动校零：

```
:SYST:AZER OFF
```

3.3.3. NPLC 缓存

NPLC 缓存是指将 A/D 参考值和零值缓存起来，以加快源内存扫描的速度。启用 NPLC 缓存后（通过选择 NPLC-CACHE/ENABLE 菜单选项），最近 10 次电压、电流和电阻测量功能设置的 A/D 参考值和零值将会被保存。每当通过 SPEED 键更改积分率、使用 SAVESETUP/RESTORE 菜单选择重新调用用户设置或进行源内存回忆（无论是通过-MEMORY/RESTORE 菜单还是进行源内存扫描），都会存在 NPLC 缓存。如果积分率已经存储在缓存中，则会调用并使用存储的参考值和零值。否则，将获取参考值和零值并存储在缓存中。如果有 10 个 NPLC 值被存储，最旧的那个将被最新的那个覆盖。

注意 为了获得最大的源内存扫描速度, 应禁用自动校零; 否则, 缓存的作用不大。启用自动校零后, 每个读数都会进行新的 A/D 参考值和零值采集, 并保存到缓存中, 从而减慢扫描操作。然而, 如果关闭了自动校零, 则可能会导致测量漂移和误差。为了在禁用自动校零时最小化漂移, 可以定期选择 A/D-CTRL 菜单中的 AUTO-ZERO/ONCE, 以强制立即进行自动校零更新。

NPLC 缓存设置

以下是启用和使用 NPLC 缓存进行源内存扫描的步骤:

1. 按 MENU 键, 选择 A/D-CTRL, 然后按 ENTER 键。
2. 选择 AUTO-ZERO, 然后按 ENTER 键。
3. 选择 DISABLE, 然后按 ENTER 键禁用自动校零。
4. 从 A/D-CTRL 菜单中选择 NPLC-CACHE, 然后按 ENTER 键。
5. 选择 ENABLE, 然后按 ENTER 键启用 NPLC 缓存。
6. 使用 EXIT 键退出主菜单结构。
7. 设置源内存参数, 并运行源内存扫描。 (请参阅“执行源内存扫描”第 10 节。)

3.3.4. V-source 保护

使用 V-source 保护来选择源表可以输出的最大电压级别。可用设置如下所示:

SourceMeter	V-Source protection limit settings
2400	20V, 40V, 60V, 80V, 100V, 120V, 160V, NONE (>160V)
2401	20V, NONE (>20V)
2410	20V, 40V, 100V, 200V, 300V, 400V, 500V, NONE (>500V)
2420	6V, 12V, 18V, 24V, 30V, 36V, 48V, NONE (>48V)
2425/2430	10V, 20V, 30V, 40V, 50V, 60V, 80V, NONE (>80V)
2440	4V, 8V, 12V, 16V, 20V, 24V, 32V, NONE (>40V)

这些是绝对值, 具有 5%的容差。上电时默认值为 NONE。

警告 即使将电压保护限制设置为最低值, 在 OUTPUT 开启时, 永远不要触摸连接到源表端口的任何物品。始终假定在 OUTPUT 开启时存在危险电压(> 30V rms)。为防止对 DUT(被测设备)或外部电路造成损害, 请勿将 V-Source 设置为超过电压保护限制的电平。当源表浮动电压 >30V rms 时, 请小心使用。

前面板 V-source 保护

从前面板设置 V-source 保护:

1. 按 CONFIG, 然后按 SOURCE V。
2. 从显示的选项中选择 PROTECTION, 然后按 ENTER。
3. 选择所需的保护值, 然后按 ENTER。
4. 按 EXIT 返回正常显示。

远程命令 V-source 保护

通过远程使用:SOURce:VOLTage:PROTection 命令来设置 V-source 保护值。请参见第 18 节“设置电压限制”了解详细信息。例如, 以下命令将 Model 2400 或 2410 的保护值设置为 20V:

:SOUR:VOLT:PROT 20

3.3.5. 源延迟

注意 对于 Model 2430 脉冲模式, 不使用源延迟。以下信息假定 Model 2430 处于 DC 操作模式下 (显示“VplS”或“IplS”)。要选择 DC 模式, 请按 CONFIG, 然后选择 SOURCE V 或 I, 从可用菜单项中选择 SHAPE, 然后选择 DC。

源延迟选项用于设置源的稳定时间。该源延迟是 Source-Delay-Measure (SDM) 周期的延迟阶段。请参见第 6 节。自动延迟选项用于自动设置延迟。延迟周期取决于范围 (表 3-4)。

延迟选项用于手动设置延迟时间, 从 000.00000s 到 9999.99900s。手动设置延迟将禁用自动延迟。

Table 3-4
Auto source delay

2400/2400-LV/2401 I-range	2410 I-range	2420 I-range	2425/2430 I-range	2440 I-range	Auto delay (Source V)	Auto delay (Source I)
1µA	1µA	10µA	10µA	10µA	3msec	3msec
10µA	10µA	100µA	100µA	100µA	2msec	1msec
100µA	100µA	1mA	1mA	1mA	1msec	1msec
1mA	1mA	10mA	10mA	10mA	1msec	1msec
10mA	20mA	100mA	100mA	100mA	1msec	1msec
100mA	100mA	1A	1A	1A	1msec	1msec
1A	1A	3A	3A/10A*	5A	1msec	2msec

*10A range only on Model 2430.

前面板源延迟

要从前面板设置手动源延迟:

1. 按 CONFIG 然后 SOURCE V。
2. 从显示的选项中选择 DELAY, 然后按 ENTER 键。
3. 输入所需的 DELAY 值, 然后按 ENTER 键。

4. 按 EXIT 返回正常显示状态。

要从前面板设置自动源延迟状态：

1. 按 CONFIG 然后 SOURCE V。
2. 从显示的选项中选择 AUTO DELAY，然后按 ENTER 键。
3. 根据需要选择 ENABLE，然后按 ENTER 键。
4. 按 EXIT 返回正常显示状态。

远程命令源延迟

使用:SOURCE:DELAY 或:SOURCE:DELAY:AUTO 命令通过远程编程设置源延迟。（有关详细信息，请参见第 18 节“设置延迟”）。例如，以下命令将源延迟设置为 500ms：

```
:SOUR:DEL .5
```

同样，发送以下命令以启用自动延迟：

```
:SOUR:DEL:AUTO ON
```

3.4. 基本的源测量步骤

3.4.1. 前面板源测量步骤

使用以下步骤执行源表的基本源测量操作。参见第 4 节“欧姆测量”以进行欧姆测量。

注意 对于 Model 2430，以下步骤适用于 DC 模式操作。脉冲模式操作详见第 5 节。如果 Model 2430 处于脉冲模式(Vpls 或 Ipls 显示在源字段中)，您可以从源/脉冲配置菜单中选择 DC 模式。按 CONFIG SOURCE V 或 I，选择 SHAPE 菜单项，然后选择 DC。使用 EXIT 键返回正常显示。在 DC 模式下，源字段中显示 Vsrc 或 Isrc。

以下步骤假设源表已经按照第 2 节“连接”的说明连接到 DUT 上。

第 1 步：选择源。

按 SOURCE V 选择 V-Source 或按 SOURCE I 选择 I-Source。当前设置的源值(VSRC 或 ISRC)和合规性级别(Cmpl)将被显示。请注意，“OFF”消息会显示，表示源已关闭 (ON/OFF 指示器关闭)。

第 2 步：设置源电平和合规性限制。

源电平是所选源 (V-Source 或 I-Source) 的电压或电流设置。合规性限制作为 DUT 的功率限制器，并设置为保护 DUT 免受损坏电流或电压的影响。使用 V-Source 时，设置电流合规性值。使用 I-Source 时，设置电压合规性值。合规性值定义了源表可以输出的最大绝对值。

请注意，合规性值也可以由测量范围确定。取决于哪个值较低，合规性值会在设置值 (实际合规性值) 或当前固定测量范围的最大合规性值 (范围合规性值) 处发生。例如，将合规性值设置为 2V 并选择 200mV 测量范围时，合规性值将变成 210mV。在 20V 测量范围下，合规性值将为 2V。有关实际和范围合规性值的详细信息，请参见第 6 节“合规性限制”。

注意 源表必须处于编辑模式(EDIT 指示器打开)才能设置源和合规性值。编辑模式是通过按 EDIT 键选择的。源或合规性读数的闪烁数字表示源表处于编辑模式。如果在六 s 内没有执行编辑操作，则编辑模式超时并被取消。要返回编辑模式，请再次按 EDIT。在编辑模式下，按 EDIT 键可以在源值和合规性值之间切换。

SOURCE 和 EDIT 箭头键也可以启用编辑模式。它们选择最后选择的字段。

在编辑源值时，源会立即更新，允许您在输出开启时调整源值。

在源表执行扫描时，无法更改源值。这会在输出开启时，按下 SWEEP 键，欧姆下启用偏移补偿，或者启用 OFF-COMP-OHMS、VOLT-COEFF 或 VAR-ALPHA 功能时发生。

在编辑合规性值时，只有在按下 ENTER 或允许编辑模式超时之后，才会更新合规性值。

EDIT 始终首先转到源字段，除非正在进行扫描，在这种情况下，它进入合规性字段。

在 AUTO OHMS 模式下无法编辑源和合规性值。MANUAL OHMS 允许您编辑源和合规性值。请参见第 4 节。

执行以下步骤以编辑源值和合规性值：

1. 按 EDIT 进入编辑模式。闪烁的数字表示当前选定的读取（源或合规性）正在进行编辑。如果要编辑另一个字段，请再次按 EDIT。
2. 使用 RANGE 箭头键选择可容纳要设置的值的范围。（有关范围信息，请参见第 7 节。）为了获得最佳精度，请使用可能的最低源范围。
3. 输入所需的源或合规性值。有两种方法可用于编辑值：值调整和数字输入。

注意 要将源值清零为 0V 或 0A，请在编辑源字段时按 MENU 键。

- 值调整-要调整值，请使用 EDIT 光标键将光标放置在适当位置，并使用 SOURCE 箭头键增加或减少该值。
 - 数字输入-当进入编辑模式时，光标位于值的最高有效数字上。从此位置开始，您可以使用数字键（0 到 9）输入值。每输入一个数字后，光标向右移动一位。如果需要，您可以使用 EDIT 光标键将光标置于要更改的数字上，并按适当的数字键。不必将光标放在值的极性符号上即可更改极性。如果按下 MENU 键，则源值将清零为 0V 或 0A。
4. 要编辑另一个字段，请按 EDIT 选择它，并重复步骤 1 和 2。
 5. 编辑源和合规性值完成后，按 ENTER 或等待六 s 钟退出编辑模式。

注意 当输入合规性限制值时，源表会自动转换到最低（最灵敏）的合规性范围，以适应该值。
对于 Models 2400、2400-LV、2401 和 2410，可以设置的最低合规性水平为 0.00100 μ A（1nA）和 000.200mV（200 μ V）。对于 Models 2420、2425、2430 和 2440，这些级别为 00.0100 μ A（10nA）和 000.200mV（200 μ V）。

第三步：选择测量功能和范围。

通过按 MEAS V（电压）或 MEAS I（电流）选择所需的测量功能。

在测量源时（即源电压测量电压），无法使用测量 RANGE 键选择范围。所选的源范围确定测量范围。

在不测量源时（即源电压测量电流），可以手动或自动选择测量范围。在手动选档时，请使用可能的最低范围以获得最佳精度。在自动选档中，源表自动进入最灵敏的范围进行测量。

第四步：打开输出。

通过按 ON/OFF OUTPUT 键打开输出。OUTPUT 指示灯将亮起表示输出已经打开。

第五步：观察显示屏上的读数。

如果“Cmpl”标签或显示的合规性设置的单位标签（例如“mA”）闪烁，来提示源表的合规性状态。如果“Cmpl”标签闪烁，则实际的合规性发生了，输出被钳位在显示的合规性值处。如果单位标签在闪烁，则范围合规性发生了，输出被钳位在当前固定测量范围的最大合规性值处。例如，如果目前处于 2V 测量范围，则电压合规性值的单位标签闪烁表示输出被钳位在 2.1V 处。

第六步：关闭输出。

完成后，通过按 ON/OFF OUTPUT 键关闭输出。OUTPUT 指示灯将关闭。

3.4.2. 远程命令源测量流程

基本的源测量程序也可以通过远程方式执行，通过按照适当的顺序发送命令来完成。以下段落总结了基本命令并给出了一个简单的编程示例。

基本的源测量命令

表 3-5 总结了基本的源测量命令。有关使用这些命令的更多信息，请参见第 18 节。

注意：表 3-5 中的第一个命令 (SOURce:FUNCtion:SHAPe DC) 仅适用于 Model 2430。对于 Model 2400、2410、2420、2425 和 2440 无效。

Table 3-5
Basic source-measure commands

Command	Description
:SOURce:FUNCtion:SHAPe DC	Select DC Mode of operation (Model 2430 only).
:SOURce:FUNCtion[:MODE] <name>	Select source function (name = VOLTage or CURRrent).
:SOURce:CURRent:MODE FIXed	Select fixed sourcing mode for I-source.
:SOURce:VOLTage:MODE FIXed	Select fixed sourcing mode for V-source.
:SOURce:CURRent:RANGE <n>	Select I-source range (n = range).
:SOURce:VOLTage:RANGE <n>	Select V-source range (n = range).
:SOURce:CURRent:LEVel <n>	Set I-source amplitude (n = amplitude in amps).
:SOURce:VOLTage:LEVel <n>	Set V-source amplitude (n = amplitude in volts).
:SENSe:FUNCtion <function>	Select measure function (function = "VOLTage" or "CURRrent").
:SENSe:CURRent:PROTection <n>	Set current compliance (n = compliance).
:SENSe:VOLTage:PROTection <n>	Set voltage compliance (n = compliance).
:SENSe:CURRent:RANGE <n>	Select current measure range (n = range).
:SENSe:VOLTage:RANGE <n>	Select voltage measure range (n = range).
:OUTPut <state>	Select output state (state = ON or OFF).
:READ?	Trigger and acquire reading.

源测量编程示例

表 3-6 总结了基本的源测量步骤的命令顺序。注意，这些步骤对应于之前列出的“前面板源测量步骤”。这些命令设置源表如下：

- 源功能和范围：伏特， 20V
- 源模式：固定
- 源输出电平：10V
- 电流合规性值：10mA
- 测量功能和范围：电流， 10mA

Table 3-6
Basic source-measure programming example

Step ¹	Action	Commands ^{2,3}	Comments
1	Select source function, mode	*RST :SOUR:FUNC VOLT :SOUR:VOLT:MODE FIXED	Restore GPIB defaults. Select voltage source. Fixed voltage source mode.
2	Set source range, level, compliance	:SOUR:VOLT:RANG 20 :SOUR:VOLT:LEV 10 :SENS:CURR:PROT 10E-3	Select 20V source range. Source output = 10V. 10mA compliance.
3	Set measure function, range	:SENS:FUNC "CURR" :SENS:CURR:RANG 10E-3 :FORM:ELEM CURR	Current measure function. 10mA measure range. Current reading only.
4	Turn on output	:OUTP ON	Output on before measuring.
5	Read data	:READ?	Trigger, acquire reading.
6	Turn off output	:OUTP OFF	

1. Steps correspond to front panel steps listed previously in “[Front panel source-measure procedure](#).”

2. Commands must be sent in order given.

3. Instrument must be addressed to talk after :READ? to acquire data.

3.5. 仅测量

3.5.1. 前面板仅测量

除了常规的源测量操作外，源表还可以用于仅测量电压或电流。执行以下步骤以使用源表测量电压或电流：

1. 选择源-测量功能。

仅测量电压（电压表）-按 SOURCE I 选择 I 源，然后按 MEAS V 选择电压测量功能。

仅测量电流（安培表）-按 SOURCE V 选择 V 源，然后按 MEAS I 选择电流测量功能。

2. 设置源和合规性值。

使用基本源-测量步骤第二步中提供的编辑过程来编辑源和合规性值，方法如下：

- a. 选择最低源范围，并将源设置为零 (0.00000 μ A 或 000.000mV)。

- b. 将合规性值设置为高于预期测量的值。

注意 当使用源表作为电压表时，V-Compliance 必须设置高于正在测量的电压。如果不这样做，由于过度的电流将流入源表，可能导致仪器损坏。

3. 选择范围。

使用 RANGE 箭头键选择一个固定的测量范围，以适应预期读数。为了获得最佳精度，请使用可能的最低范围。在测量电流时，可以使用自动范围。源表将自动进入最灵敏的范围。在测量电压时，不要使用自动范围（请参见以下注意事项）。

注意 当仅使用源表作为电压表时，不要使用自动选档，并且永远不要选择低于应用信号电平的测量范围。如果不这样，外部源的高电流会流出。这种高电流可能会损坏外部源或测试电路。

4. 连接待测电压或电流。使用 2 线连接将 DUT 连接到源表。（图 2-2）

5. 打开输出。按 ON/OFF 键打开输出。

6. 从显示器上读取读数。

7. 完成后，关闭输出。

3.5.2. 远程命令仅测量

表 3-7 总结了仅测量的基本命令序列。概述的步骤对应于上面的“前面板仅测量”序列中的步骤。

Table 3-7
Measure only programming example

Step ¹	Action	Commands ^{2,3}	Comments
1	Select measure, source functions	*RST :SOUR:FUNC CURR :SOUR:CURR:MODE FIXED :SENS:FUNC "VOLT"	Restore GPIB defaults. Current source function. Fixed current source mode. Volts measure function.
2	Set source and compliance	:SOUR:CURR:RANG MIN :SOUR:CURR:LEV 0 :SENS:VOLT:PROT 25	Lowest source range. 0A source level. 25V compliance.
3	Select volts measure range	:SENS:VOLT:RANG 20 :FORM:ELEM VOLT	20V range. Volts only.
5	Turn on output	:OUTP ON	Output on before measuring.
6	Read data	:READ?	Trigger, acquire reading.
7	Turn off output	:OUTP OFF	Output off after measuring.

1. Steps correspond to front panel steps listed previously in "Front panel measure only."

2. Commands must be sent in order given.

3. Instrument must be addressed to talk after :READ? to acquire data.

3.6. 汲取操作

当作为汲取器（电压和电流极性相反）时，源表是在耗散功率而不是提供功率。外部电源（例如电池）或能量存储设备（例如电容器）可以强制将操作转换到汲取器区域。

例如，如果将 12V 电池连接到被设置为+10V 的 V-Source（In/Out HI 连接到电池高处），则汲取操作将发生在第二象限（源+V 且测量-I）中。

注意 当使用 I-Source 作为汲取器时，必须始终将 V-Compliance 设置为高于外部电压电平的值。否则，由于会流入源表的过大电流，可能会损坏仪器。

注意 汲取操作限制显示在第 6 节“操作边界”中。

3.6.1. 电池充放电

警告 为了防止人身伤害或损坏源表，请勿尝试给不可充电电池充电。一些常见的可以用源表充电的电池类型包括：

- 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
- 铅酸电池

警告 始终遵循电池制造商使用源表充电或放电电池的要求。如果未正确充电或放电电池，则可能会导致泄漏或爆炸，从而造成人身伤害和财产损失。在不具备内置保护的情况下给电池充电时，应提供超电压和过电流保护电路。

不要尝试充放电电流或电压超过以下要求：

- Model 2400, 2400-C: 21V @ 1.05A or 210V @ 105mA
- Model 2400-LV, 2401: 21V @ 1.05A
- Model 2410, 2410-C: 21V @ 1.05A or 1100V @ 21mA
- Model 2420, 2420-C: 21V @ 3.15A or 63V @ 1.05A
- Model 2425, 2425-C: 21V @ 3.15A or 105V @ 1.05A
- Model 2430, 2430-C: 105V @ 1.05A or 105V @ 10.5A (pulse mode)
- Model 2440, 2440-C: 10.5V @ 5.25A or 42V @ 1.05A

当充电电池时，源表作为源在操作。当放电电池时，源表作为汲取在操作。使用 V-Source 来充电和放电电池。对于充电和放电，请执行以下步骤：

1. 将输入/输出 HI 连接到电池的正 (+) 端口，将输入/输出 LO 连接到电池的负 (-) 端口。

2. 配置源表以发出电压并测量电流。
3. 将 I-compliance 设置为电池要充电或放电的电流水平。
4. 选择适当的电流测量范围或使用自动范围。

充电电池-要充电电池, 请将源表设置源输出与电池电压等效的电压。例如, 要充电 10V 电池, 请将源表设置为源输出 10V。随着电池充满, 电流将减小, 直到达到零或接近零 (电池已充满)。

注意 当源表进入合规性状态时, V 源变成了 I 源 (或 I 源变成了 V 源)。因此, 请确保电压合规性值高于电池电压。有关详细信息, 请参见第 6 节。

放电电池-要放电电池, 请将源表设置为输出 0V。在此配置中, 源表作为汲取操作以放电电池。电池的电流流入源表的 HI 端口, 导致负电流测量值。随着电池放电, 电流将逐渐减小, 直到达到零 (电池已放空)。

注意 当使用 V-Source 充电和放电电池时, 请使用 HIGH-IMPEDANCE 输出关闭状态 (第 13 节)。该输出关闭状态在关闭 OUTPUT 时打开输出继电器。此开路条件可保持外部电池在输出关闭时不会放电。

注意 如果使用 I-Source 来充电和/或放电电池, 则必须遵守以下预防措施。如果不遵守这些预防措施, 可能会导致损坏源表, 而该损坏不受保修范围。
确保外部电压永远不超过 I-Source 的电压合规性设置。否则, 会从外部电池或源流入过度电流。
确保 I-Source 的输出关闭状态设置为 HIGH-IMPEDANCE。此设置在关闭 OUTPUT 时打开输出继电器。如选择 NORMAL 输出关闭状态会将电压合规性值设置为零。此 0V 合规性值条件将从外部电池或源流入过高的电流。有关详细信息, 请参见“前面板输出配置”第 13 节, 以选择高阻态输出关闭状态。

3.6.2. 汲取编程示例

表 3-8 列出了一个命令序列, 用于将源表编程为汲取操作。

Table 3-8
Sink programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB defaults.
:SOUR:FUNC VOLT	V-source function.
:SOUR:VOLT:MODE FIXED	Fixed source mode.
:SENS:FUNC "CURR"	Current measure function.
:SENS:CURR:RANG:AUTO ON	Auto measure range.
:SENS:CURR:PROT 100E-3	100mA compliance (discharge current).
:OUTP ON	Turn on output.
:READ?	Trigger and acquire reading.

4. 欧姆测量

- 欧姆配置菜单 - 概述了欧姆配置菜单，可以让您设置各种欧姆测量方面。
- 欧姆测量方法 - 讨论了自动和手动欧姆测量方法以及如何选择它们。
- 欧姆感测 - 包括二线和四线欧姆感测。
- 偏移补偿欧姆 - 描述了偏移补偿欧姆，可用于克服低电阻测量时的偏移影响。
- 欧姆源读回 - 涵盖启用和禁用欧姆源读回。
- 6 线欧姆测量 - 描述了设置源表进行 6 线欧姆测量的基本步骤，可用于测量电阻网络和混合电路。
- 远程欧姆编程 - 总结了编程源表进行欧姆测量所需的基本远程命令，并给出了几个典型的编程示例。

4.1. 欧姆配置菜单

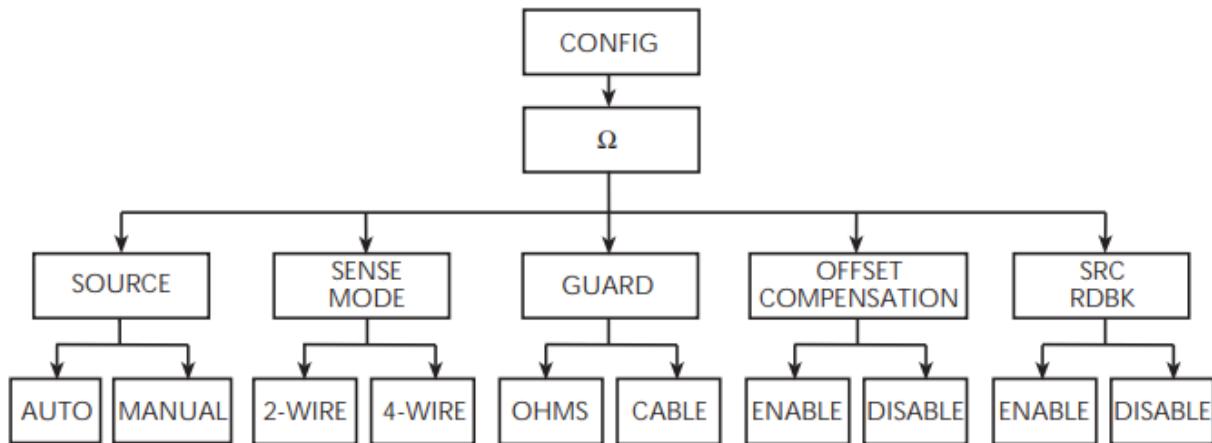
注意 对于 Model 2430 脉冲模式，无法从欧姆配置菜单启用偏置补偿欧姆。但是，偏置补偿欧姆可作为数学函数使用（第 8 节“数学运算”）。

要访问欧姆配置菜单，请按下 CONFIG，然后选择 OHMS。使用第 1 节“导航菜单的规则”中的方法选择菜单树中的各个项，如图 4-1 所示。菜单项包括：

- SOURCE - 选择自动或手动源模式。
- SENSE MODE - 选择 2 线或 4 线感测模式。
- GUARD - 选择 OHMS 或 CABLE 守护。
- OFFSET COMPENSATION - 启用或禁用偏置补偿欧姆（对于 Model 2430 脉冲模式无效）。
- SRC RDBK - 启用或禁用源读回模式。

下面的段落将详细讨论各个方面。

Figure 4-1
Ohms configuration menu tree



4.2. 欧姆测量方法

注意 对于 Model 2430，以下欧姆测量程序假定选择了直流操作模式（在源字段中显示“Vsrc”或“Isrc”）。如果处于脉冲模式（显示为“Vpls”或“Ipls”），可以通过按 CONFIG V 或 I，选择 SHAPE 菜单项，然后选择 DC 来选择直流模式。脉冲模式操作在第 5 节中介绍。

测量欧姆有两种方法：自动欧姆和手动欧姆。使用自动欧姆时，源表作为传统的恒流源欧姆表或数字万用表工作。要使用此方法，只需选择欧姆测量范围（或使用自动范围），并从显示器上读取读数。在使用自动欧姆时，默认测试电流随欧姆范围而变化，如表 4-1 所总结。

注意 无法更改自动欧姆模式下的测试电流。如果尝试在自动欧姆中更改源电流，则源表将显示错误消息。

使用手动欧姆模式，您可以选择使用源 V 或源 I 进行欧姆测量，单位会自动使用 V/I 测量方法计算电阻读数。配置所需的源和选择电压或电流测量范围后，选择Ω测量方法以显示计算出的 V/I 欧姆读数。

注意 为了达到最佳精度，源表会测量 V 和 I，并在欧姆计算中使用这些值（启用源读回）。测量的源值比编程的源值更准确。对于远程操作，用户指定要测量的功能。请参见附录 A 中的电阻测量精度规格。

Table 4-1
Auto ohms default test currents

Auto ohms range	2400, 2400-LV, 2401, and 2410 default test current	2420, 2425, 2430, and 2440 default test current
2Ω	-	1A
20Ω	100mA	100mA
200Ω	10mA	10mA
2kΩ	1mA	1mA
20kΩ	100μA	100μA
200kΩ	10μA	10μA
2MΩ	1μA	10μA
20MΩ	1μA	1μA
200MΩ	100nA	-

4.2.1. 选择欧姆测量方法

上电时，自动欧姆是欧姆功能的默认方法。执行以下步骤来检查和/或更改欧姆测量方法：

1. 按 CONFIG，然后按Ω以显示欧姆配置菜单。
2. 使用 EDIT 键，在 SOURCE 上放置光标（闪烁的菜单项），然后按 ENTER。

注意 光标位置表示当前选择的欧姆测量方法。要保留此选择, 请使用 EXIT 键退出菜单结构并跳过接下来的两个步骤。

3. 要更改测量方法, 请将光标放在备选选择 (AUTO 或 MANUAL) 上, 然后按 ENTER。
4. 按 EXIT 退出菜单结构。

4.2.2. 欧姆测量程序

执行以下步骤执行自动欧姆测量。

注意 以下过程假定已按照“连接”第 2 节中的说明将源表连接到 DUT。

警告 为了防止电击, 请勿在输出开启时进行与源表的连接或断开连接。如果开启, 请按 ON/OFF OUTPUT 键关闭输出。

1. 通过按 MEAS Ω 选择欧姆测量功能。
2. 选择欧姆测量方法 (AUTO 或 MANUAL)。

注意 当需要高速稳定时, 请使用手动欧姆模式和 V 源方法。

3. 对于手动欧姆, 配置源。

对于手动欧姆, 您可以对源 I 或源 V 的输出电平进行设置。最低允许的合规性限制基于负载和源值。例如, 如果向 $1\text{k}\Omega$ 电阻器提供 1V , 则最低允许的电流合规性值为 1mA ($1\text{V} / 1\text{k}\Omega = 1\text{mA}$)。将限制设置低于 1mA 将使源在合规性范围内。

4. 选择测量范围。

使用 RANGE 键选择适合预期欧姆读数的范围, 或通过按 AUTO 使用自动范围。在使用手动调节时, 选择最敏感 (最低) 的范围可提供最佳的准确性。自动调节会自动切换到最敏感的范围。

5. 打开输出。

通过按 ON/OFF OUTPUT 键打开输出。指示灯 OUTPUT 将亮起以表示输出已开启。

6. 在显示屏上观察读数。

如果超出了最大欧姆测量范围, 则源表将进入合规性状态。

8. 关闭输出。

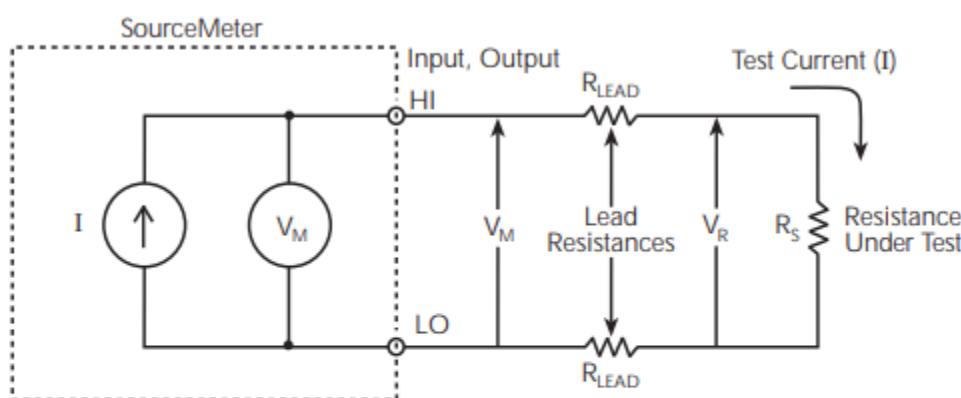
完成后, 通过按 ON/OFF OUTPUT 键关闭输出。指示灯 OUTPUT 将熄灭。

4.3. 欧姆感测

可以使用 2 线或 4 线感测方法进行欧姆测量（有关连接和感测方法的信息，请参见第 2 节）。请注意，电阻测量精度规格基于使用 4 线感测。

2 线感测方法的优点是只需要两个测试引线。但是，如图 4-2 所示，测试引线电阻会严重影响 2 线电阻测量的精度，特别是对于较低电阻值。在图 4-3 中显示的 4 线感测方法通过使用第二组测试引线测量待测试电阻器上的电压来最小化或消除引线电阻的影响。由于源表电压计具有高输入阻抗，因此感测引线的电流微不足道，并且测量电压基本上等于待测试电阻器上的电压。

Figure 4-2
2-wire resistance sensing



I = Current sourced by SourceMeter

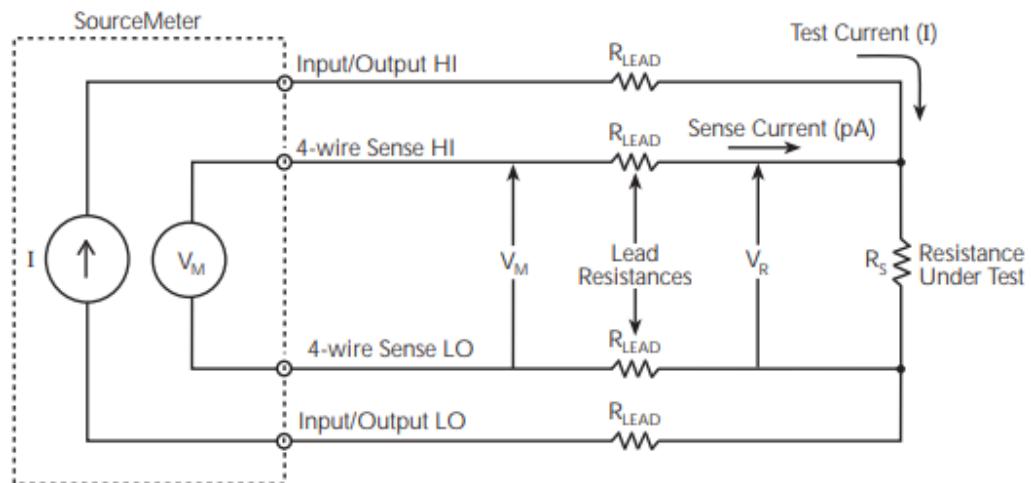
V_M = Voltage measured by SourceMeter

V_R = Voltage across resistor

$$\text{Measured resistance} = \frac{V_M}{I} = R_s + (2 \times R_{\text{LEAD}})$$

$$\text{Actual resistance} = \frac{V_R}{I} = R_s$$

Figure 4-3
4-wire resistance sensing



I = Current sourced by SourceMeter
 V_M = Voltage measured by SourceMeter
 V_R = Voltage across resistor

Because sense current is negligible, $V_M = V_R$
 and measured resistance = $\frac{V_M}{I} = \frac{V_R}{I}$

4.3.1. 感测选择

要选择感测模式, 请按 CONFIG, 然后选择 Ω , 选择 SENSE MODE, 然后选择 2 线或 4 线。

4.4. 抵消偏差欧姆法

注意 对于 Model 2430，在脉冲模式下，以下抵消偏差欧姆法无效。然而，可以将抵消偏差欧姆作为数学功能使用（第 8 节，“数学运算”）。

热电势的存在可能会对低阻测量精度产生不利影响。为了克服这些不希望出现的偏置电压，可以使用抵消偏差欧姆测量方法。

一般来说，此方法在特定源电平处测量电阻 (V/I)，然后再减去零电平下进行的电阻测量。在零电平下，源电平是热电势。因此，热电势的电阻被消除了。

这种两点测量方法数学上表示为：

抵消偏差 $\Omega = \Delta V / \Delta I$ ，其中 $\Delta V = V2 - V1$ ， $\Delta I = I2 - I1$ 。

$V1$ 是源设置为特定电平时的电压测量值。

$V2$ 是源设置为零时的电压测量值。

$I1$ 是源设置为特定电平时的电流测量值。

$I2$ 是源设置为零时的电流测量值。

对于自动欧姆，源表将选择适当的电流源电平和电压测量范围。对于手动欧姆，先在输出关闭时选择适当的源 (V 或 I) 值。打开源后，输出将在设置值和零 (0A 或 0V) 之间相减以获得抵消偏差欧姆测量。

4.4.1. 启用/禁用抵消偏差欧姆法

从 CONFIG OHMS 菜单的 OFFSET COMPENSATION 选项启用或禁用抵消偏差欧姆法。

4.4.2. 欧姆精度计算

以下是针对源读取、偏移补偿和正常/增强模式各种组合的例子精度计算。详细规格请参见附录 A。

100mΩ @ 5mA 源电流、正常模式下的欧姆精度

源读取 OFF，偏移补偿 OFF 时的欧姆精度 = I_{source} 精度 + V_{meas} 精度：

I_{source} 精度 = (5mA) (0.045%) + 2μA

$2.25\mu A + 2\mu A = 4.25\mu A$

$4.25\mu A / 5mA = 0.085\%$

V_{meas} 精度计算 (100mΩ) (5mA) = 500μV：

(500μV) (0.012%) + 300μV

60nV + 300μV = 300.06μV

$$300.06\mu V / 500\mu V = 60.01\%$$

总欧姆不确定度

$$60.01\% + 0.085\% = 60.09\%$$

$$100m\Omega \pm 60.09\% = 39.9m\Omega \text{ 到 } 160.09m\Omega$$

5 毫安源电流下 100 毫欧姆的精度, 普通模式

Source Readback 开启

欧姆精度=电流测量精度+电压测量精度:

$$\text{电流测量精度} = (5mA)(0.035\%) + 600nA$$

$$1.75\mu A + 600nA = 2.35\mu A$$

$$2.35\mu A / 5mA = 0.047\%$$

$$\text{电压测量精度} = (500\mu V)(0.012\%) + 300\mu V$$

$$60nV + 300\mu V = 300.06\mu V$$

$$300.06\mu V / 500\mu V = 60.01\%$$

总欧姆不确定度:

$$60\% + 0.047\% = 60.06\%$$

$$100 \text{ 毫欧姆} \pm 60.06\% = 39.94 \text{ 毫欧姆} \text{ 至 } 160.06 \text{ 毫欧姆}$$

5 毫安源电流下 100 毫欧姆增强模式的欧姆精度,

Source Readback 开启, Offset 补偿开启

欧姆精度=[电流测量% Rdg 精度+电压测量% Rdg 精度]+系统噪声*

$$\text{电流测量精度} = (5mA)(0.035\%)$$

$$1.75\mu A$$

已测系统噪声: 00.0000mA

$$1.75\mu A + 00.0000mA = 1.75\mu A$$

$$1.75\mu A / 5mA = 0.035\%$$

$$V_{\text{measure}} \text{ 增益精度 (100 毫欧姆) (5mA)} = 500\mu V$$

$$(500\mu V)(0.012\%) = 60nV$$

已测系统噪声: 000.002mV

$$60nV + 2\mu V = 2.06\mu V$$

$2.06\mu\text{V}/500\mu\text{V} = 0.412\%$

$0.035\% + 0.412\% = 0.447\%$

100 毫欧姆 $\pm 0.447\%$

99.55 毫欧姆至 100.44 毫欧姆

*系统噪声包括与 DUT 的外部连接。为确定系统噪声，使用测试导线将电压和电流噪声与 DUT 连接并进行测量。

例如，连接 100 毫欧姆电阻器后，通过按下 V measure 按钮、选择适当的 200mV 范围、按下 REL 按钮，并记录系统噪声数量来测量噪声电压。在此示例中，测量值为 000.002mV 或 $2\mu\text{V}$ 。

要测量电流源噪声，请将测量功能更改为电流测量，选择适当的电流范围（在这种情况下为 10mA），按下 REL 并注意系统噪声幅度。在该示例中，系统噪声电流分量被测量为 00.0000mA。

4.5. 欧姆源读回

注意 对于 Model 2430 Pulse Mode，无法启用欧姆源读回。

在启用欧姆源读回的情况下，仪器测量实际源值而不是用于欧姆测量的编程值，并使用该测量值进行读数计算。通常情况下，为了获得最佳的欧姆测量精度，应将欧姆源读回保持启用状态，因为源表的测量精度优于源编程精度（请参见附录 A 中的规格）。但是，禁用源读回将允许您在符合性源的情况下进行有效的欧姆测量。有关更多详细信息，请参见第 6 部分“源 I 测 I 和源 V 测 V”。

4.5.1. 欧姆源读回选择

请按照以下步骤启用或禁用欧姆源读回：

1. 按 CONFIG，然后按 Ω 。
2. 选择 SRC RDBK，然后按 ENTER。
3. 选择所需的 DISABLE 或 ENABLE，然后按 ENTER。
4. 按 EXIT 返回正常显示。

注意：禁用源读回会使符合性字段中的读数无效。

4.6. 6 线欧姆测量

6 线欧姆测量配置允许您在内部电阻连接节点无法访问的情况下对电阻网络和混合器件进行精确的电阻测量。4 线 Kelvin 连接和保护欧姆特性的组合消除了内部并联电阻的影响，这可能会降低测量精度并减少测量速度。以下是设置源表进行 6 线欧姆测量的基本步骤。

注意 请参见图 2-5C 中的 6 线欧姆连接。还请参见第 2 节“欧姆保护”和第 6 节“保护”。

1. 按 CONFIG，然后按 Ω 显示 CONFIG OHMS 菜单。
2. 选择 SENSE MODE，然后按 ENTER。
3. 选择 4-WIRE，然后按 ENTER。
4. 在 CONFIG OHMS 菜单中，选择 GUARD，然后按 ENTER。
5. 选择 OHMS，然后按 ENTER。
6. 按 EXIT 返回正常显示。
7. 按 MEAS，然后按 Ω 选择欧姆测量功能。
8. 选择适当的测量范围，或者如果需要，使用自动量程。
9. 按 ON/OFF OUTPUT 键打开输出。
10. 从显示屏上取读数。
11. 按 ON/OFF OUTPUT 键关闭输出。

4.7. 远程欧姆编程

以下段落概述了远程欧姆编程所需的基本命令，并提供一个典型欧姆测量情况的编程示例。

4.7.1. 远程欧姆命令

表 4-2 总结了用于进行基本欧姆测量的远程命令。有关这些命令的更多详细信息，请参见第 18 节。

Table 4-2
Remote commands for basic ohms measurements

Command	Description
:SENSe:FUNCTION "RESistance"	Select ohms function.
:SENSe:RESistance:RANGE <n>	Select ohms range (n = range).
:SENSe:RESistance:MODE <name>	Select ohms mode (name = MANUAL or AUTO).
:SENSe:RESistance:OCOMPensated <state>	Enable/disable offset compensation (state = ON or OFF).
:SENSe:VOLTage:PROTection <n>	Set voltage compliance n for manual ohms.
:SENSe:CURRent:PROTection <n>	Set current compliance n for manual ohms.
:SOURce:FUNCTION <name>	Select source function (name = VOLTage or CURRent).
:SYSTem:RSENse <state>	2-wire/4-wire sensing (state = ON, 4-wire; OFF, 2-wire).
:OUTPut <state>	Turn output on or off (state = ON or OFF).
:READ?	Trigger and acquire reading.

4.7.2. 欧姆编程示例

表 4-3 总结了典型自动欧姆测量的命令序列。这些命令设置源表如下：

- 欧姆模式和范围：自动，20kΩ
- 偏移补偿：关闭
- 传感器模式：四线制

Table 4-3
Auto ohms programming example

Step	Action	Command	Description
1	Select function	*RST	Restore GPIB defaults.
2	Select ohms mode	FUNC "RES"	Select ohms measurement function.
3	Select range	RES:MODE AUTO	Auto ohms mode.
		RES:RANG 20E3	Select 20kΩ range.
4	Output on	:SYST:RSEN ON	Enable 4-wire sensing.
5	Get reading	:FORM:ELEM RES	Resistance reading.
6	Output off	:OUTP ON	Turn on output.
		:READ?	Trigger and acquire reading.
		:OUTP OFF	Turn off output.

* Numbers correspond to steps in "Ohms measurement procedure," procedure, page 4-4.

5. 脉冲模式操作 (仅适用 Model 2430)

- 概述 - 提供了脉冲模式操作的概要。
- 脉冲特性 - 描述了组成脉冲周期的脉冲宽度和输出关闭时间的时序特性。解释如何实现最快的脉冲输出。
- 脉冲能量限制 (10A 范围) - 涵盖了 10A (源或测量) 范围的脉冲能量消耗限制。
- 脉冲模式配置 - 解释如何选择和配置脉冲模式操作的基本方面。
- 脉冲测量注意事项 - 解释了正常 (DC 模式) 和脉冲模式操作之间的操作差异。

5.1. 概述

注意 脉冲模式仅适用于 Model 2430。本节中的文档不适用于 Models 2400、2400-LV、2401、2410、2420、2425 和 2440。

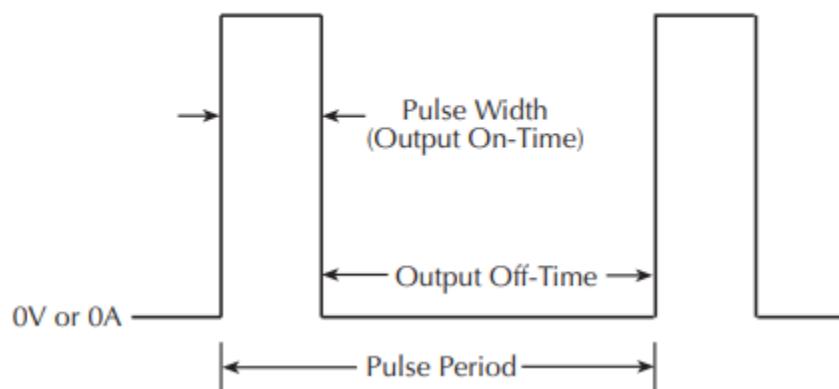
当处于脉冲模式时，Model 2430 可以输出一个或多个脉冲。脉冲是通过打开输出一段时间，然后关闭输出（0V 或 0A）形成的。单个脉冲周期如图 5-1 所示。

Model 2430 可以在 10.5A @ 105V 下输出电流脉冲，也可以在 105V @ 10.5A 下输出电压脉冲。脉冲输出极性可以是正或负。在固定源模式下，输出将在设置的脉冲电平和零（0V 或 0A）之间交替。在进行扫描时，输出将在每个扫描步骤/点和零之间交替。有关扫描操作的详细信息，请参见第 10 节。

仅当输出处于打开状态时才执行脉冲读取。当输出关闭（0V 或 0A）时，不执行读取。对于远程操作，可以禁用脉冲读取。

在脉冲模式下可以执行自动和手动欧姆测量。此外，偏移补偿欧姆可作为数学函数（FCTN）使用。但是，无法在脉冲模式下启用欧姆源读回。

Figure 5-1
Pulse period



5.2. 脉冲特性

注意 为了讨论目的, 以下插图展示了正极性脉冲。请记住, Model 2430 可以输出负脉冲。

如图 5-1 所示, 一个脉冲周期包括一个输出开时间 (脉冲宽度) 和一个输出关时间。根据源表的配置, 脉冲宽度可以短至 $150\mu\text{s}$ 或长达 5ms 。启用测量时, 输出关时间可以短至 2.9ms 或长达约 $10,000\text{s}$ 。禁用测量时, 最短输出关时间为 1.1ms 。有关详细信息, 请参见表 5-1“源表脉冲模式定时摘要”。

图 5-2 显示了构成脉冲宽度和输出关闭时间的组合。

注意 请参见附录 A 中的 Model 2430 规格说明。

Figure 5-2

Pulse-measure timing for default source-measure configuration.

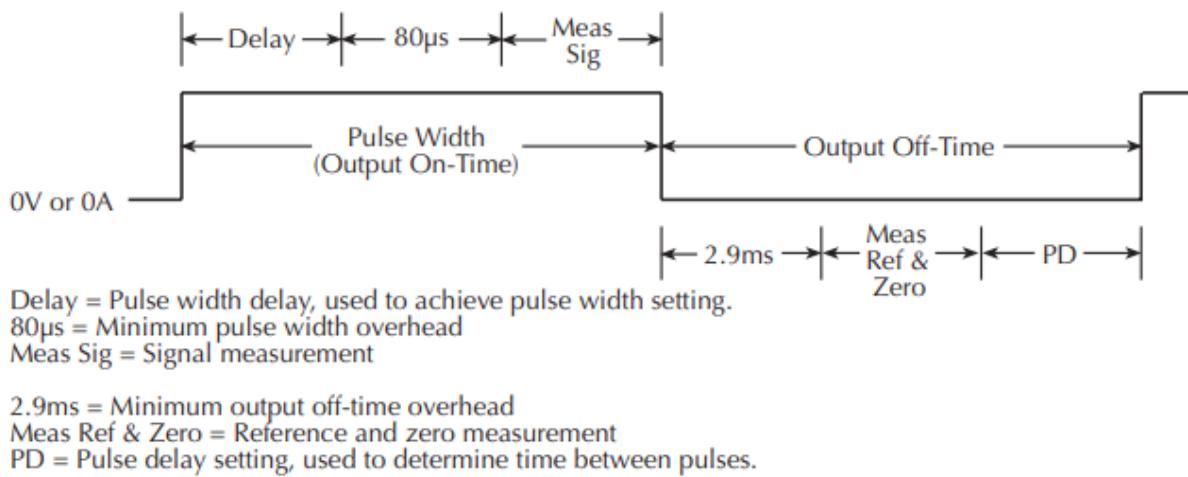


Table 5-1
SourceMeter pulse mode timing summary

Setting ^{1,2}	Minimum Pulse Width (msec)	Maximum Pulse Width (msec)	Minimum Output Off Time (msec)	W/ Display Disabled (msec)
Default source-measure cycle with auto zero on, current range <10A.	0.15	5.0	5.0	4.0
Source-Measure cycle with auto zero off, current range <10A.	0.15	5.0	2.9	1.9
Source only, current range <10A.	0.15	5.0	2.9	1.9
Source-Measure cycle with autozero on, current range set to 10A.	0.15	2.5	5.0	4.0
Source-Measure cycle with autozero off, current range set to 10A.	0.15	2.5	2.90	1.9
Source only, current range set to 10A.	0.15	2.5	2.90	1.9

¹ Pulse delay is set to zero for all settings.

² For consistent pulse period, duty cycle should not exceed 8%

Note: Minimum output off time assumes minimum pulse width setting.

5.2.1. 脉冲宽度

脉冲宽度可以设置为 0.15ms 到 5.00ms。但是，根据源表的配置方式，可能无法实现脉冲宽度设置。例如，如果执行信号测量需要 1.667ms，则可以实现的最小脉冲宽度为 1.75ms (1.667ms 信号测量加上 80μs 的过充)。因此，如果脉冲宽度设置比可实现的宽度短，则会忽略该设置。

10A 范围 (源或测量) 的最大脉冲宽度为 2.5ms，如果设置大于 2.5ms，则源表将限制脉冲宽度为 2.5ms。

信号测量

脉冲读数由三个测量转换组成。测量信号（脉冲），测量精确的内部参考，最后测量零点（公共点）。从这些测量值计算读数。

如图 5-2 所示，信号测量（Meas Sig）是脉冲宽度的一个组成部分，而参考和零点测量（Meas Ref & Zero）是关闭时间的组成部分。将测量过程分为这种方式是为了允许尽可能短的脉冲宽度。执行信号测量的时间取决于源表的速度设置（NPLC）和电源频率：

$$\text{Meas Sig} = \text{NPLC} / \text{Line Frequency}$$

其中： Meas Sig 是测量信号所需的时间。

NPLC 是当前的速度设置（0.004 到 0.100 PLC）。

Line Frequency 是电源的频率（50 或 60 Hz）。

注意 对于前面板操作，按下 SPEED 键会显示设置速度的菜单。对于远程操作，可以使用:NPLCycles 命令设置速度。有关详细信息，请参见第 7 节“速度”。

过充时间

如图 5-2 所示，由于测量过程的固有特性，存在一些脉冲宽度过充时间。80 μ s 是可以实现的最小过充时间。如果源表被配置为执行其他操作（例如，数学计算、相对、存储、扫描），则此时间将更长。

脉冲宽度延迟

当脉冲宽度设置大于信号测量和开销时间之和时，会使用延迟来实现所需的脉冲宽度。该延迟通过以下方程式自动由仪器计算：

$$\text{脉冲宽度延迟} = \text{PW} - \text{Sig Meas} - 80\mu\text{s}$$

其中： PW 是脉冲宽度设置，

Sig Meas 是信号测量时间，

80 μ s 是最小脉冲宽度过充时间。

例如，假设脉冲宽度设置为 1ms，信号测量时间为 167 μ s。对于 80 μ s 的过充时间，脉冲宽度延迟为 753 μ s：

$$\text{脉冲宽度延迟} = 1\text{ms} - 167\mu\text{s} - 80\mu\text{s} = 753\mu\text{s}$$

注意 如果脉冲宽度延迟计算的结果是负数，则将脉冲宽度延迟设置为 0s。负数表示脉冲宽度设置太短（无法实现）。

5.2.2. 输出关闭时间

参考和零点测量

如前所述，“脉冲宽度”、“信号测量”，脉冲读数的参考和零点测量是在脉冲周期的输出关闭时间内进行的（图 5-2）。执行这两个测量所需的时间取决于源表的速度设置（NPLC）和电源频率：

$$\text{Meas Ref \& Zero} = 2 \times \text{NPLC} / \text{Line Frequency}$$

其中： Meas Ref & Zero 是测量参考和零点所需的时间。

NPLC 是当前的速度设置（0.004 到 0.1 PLC）。

Line Frequency 是电源线的频率（50 或 60 Hz）。

过充时间

如图 5-2 所示，源-测量过程中存在一些固有的过充时间。2.9ms 是在输出关闭时间内可实现的源测量周期的最小过充时间。最小的输出关闭时间可能会因仪器设置而有所不同（请参见第 5-4 页上的表 5-1 以获取详细信息）。如果源表配置为执行其他操作（例如数学计算、相对、存储、扫描等），则此时间将更高。

脉冲延迟

脉冲延迟（PD）由用户设置。它可以设置为 0 到 9999.999s。总的输出关闭时间是脉冲延迟、自动零点测量时间和仪器的最小输出关闭时间之和。

5.2.3. 脉冲占空比

占空比是输出处于开启状态的脉冲周期时间百分比。计算方法如下：

$$\text{Duty Cycle} = \text{Pulse Width} / (\text{Pulse Width} + \text{Off-time})$$

例如，如果脉冲宽度为 1ms，关闭时间为 9ms，则占空比计算如下：

$$\text{Duty Cycle} = 1\text{ms} / (1\text{ms} + 9\text{ms})$$

$$= 1\text{ms} / 10\text{ms}$$

$$= 0.10$$

$$= 10\%$$

根据可配置的输出开/关时间，脉冲占空比可以从 1% 到 83.5% 不等。

注意 10A 范围的脉冲占空比应限制在 8% 以实现一致的脉冲。请参见第 5-9 页“脉冲能量限制（10A 范围）”。

5.2.4. 快速脉冲输出

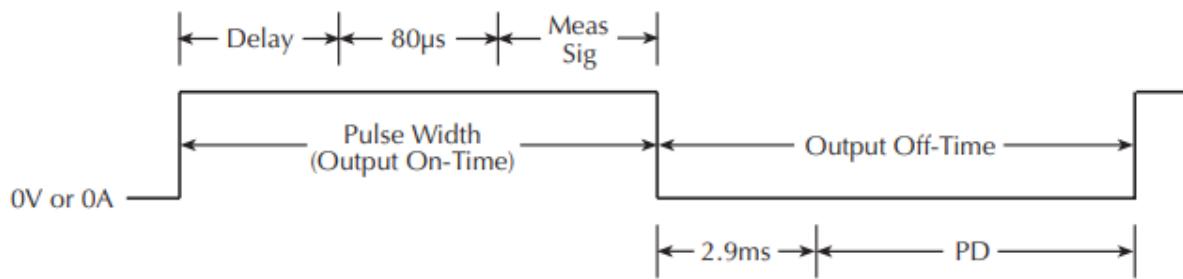
通过将源表配置为最短的脉冲宽度和最短的输出关闭时间，可以实现最快的脉冲。这是通过将测量速度设置为 0.004 PLC，将脉冲延迟设置为 0s，禁用自动校零，并确保不执行其他操作（即相对、数学计算、存储、扫描）来实现的。详见表 5-1。

自动校零

通过禁用自动校零可以缩短输出关闭时间。在禁用自动校零的情况下，只测量信号。如图 5-3 所示，参考和零测量（通常是关闭时间的一部分）不执行。还请注意，关闭时间中发生的最小过充时间减少到 2.9ms。因此，如果将脉冲延迟设置为 0s，则输出关闭时间可以尽短至 2.9ms。

Figure 5-3

Pulse-measure timing (auto zero off)



注意 禁用自动校零后, 零漂移将最终损坏脉冲测量的准确性。要重新建立准确的脉冲测量, 请启用自动校零或更改速度设置。

注意 从前面板上, 自动校零由主菜单的 A/D CONTROLS 来设置。对于远程操作, “:SYSTem:AZERo”命令控制自动校零。

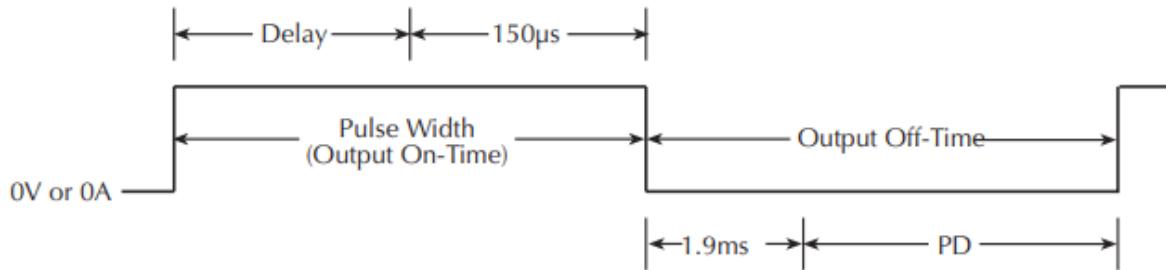
仅脉冲

通过禁用测量可以实现最快的脉冲。如图 5-4 所示, 如果不对信号进行测量, 则脉冲宽度可以尽短至 150μs 的过充。如果不测量参考和零, 并禁用显示, 则输出关闭时间可以尽短至 1.9ms 的过充。

注意 无法从前面板上禁用测量。对于远程操作, “[SENSe]:FUNCTION:OFF:ALL”命令可以禁用测量。详见第 18 节。要从前面板上禁用显示, 请按 CONFIG 然后 EDIT, 然后选择 NOW。

Figure 5-4

Pulse-only timing



5.2.5. 脉冲抖动

脉冲抖动定义为配置的脉冲开和关时间的方差。可能发生的抖动量取决于源表的设置。为了使脉冲开启时间的抖动最小 ($<5\mu\text{s}$)，请关闭显示。详见第 1 节“禁用前面板显示”。如果打开显示，则脉冲开启时间的抖动取决于脉冲宽度。对于脉宽 $<1\text{ms}$ 的脉冲，开启时间的抖动可能高达 $20\mu\text{s}$ 。对于脉宽 $>1\text{ms}$ 的脉冲，开启时间的抖动为 $5\text{-}40\mu\text{s}$ 。

脉冲关闭时间的抖动可能高达 1ms ，这取决于积分速率、自动零点测量和开启时间。通常，关闭时间越长，抖动越大。

5.3. 脉冲能量限制 (10A 范围)

脉冲能量由内部电容器组提供。每次脉冲都会从电容器中消耗能量。生成脉冲后，电容器开始充电。只要电容器有足够的时间充电，下一个脉冲就会在配置的时间发生。如果电容器未能充电以提供脉冲，则仪器将等待直到必要的充电能量可用为止。

脉冲消耗的充电能量取决于脉冲电流和脉冲宽度，表达式如下：

$$Q = I \times t$$

其中：Q 是脉冲消耗的充电能量。

I 是脉冲电流。

t 是输出开启时间（脉冲宽度）。

从上述方程可以看出，较高的电流和/或较长的输出开启时间会导致较高的能量消耗，因此电容器的充电时间更长。

除了 10A 范围（源或测量）之外，脉冲的充电能耗很低，足以使电容器在下一个脉冲到来之前充电。这种快速的充电过程使得配置的脉冲周期保持一致（无抖动）。

在 10A 范围（源或测量）上，只要脉冲占空比不超过 8%，配置的脉冲周期就会保持一致。超过 8%，电容器将无法在下一个脉冲到来之前充电足够。因此，脉冲周期变长（由于脉冲之间的额外充电时间），且更加不一致（抖动）。

为了在 10A 范围内实现一致的脉冲周期，请设置一个关闭时间，以获得不超过 8% 的占空比。例如，如果脉冲宽度为 2ms，则所需的关闭时间计算如下：

$$\text{Pulse Off-time} = (\text{Pulse Width} / \text{Duty Cycle}) - \text{Pulse Width}$$

$$= (2\text{msec} / 8\%) - 2\text{msec}$$

$$= 25\text{msec} - 2\text{msec}$$

$$= 23\text{msec}$$

如果您的测试不需要一致的脉冲周期，则 10A 范围允许输出快速、高能量 (>8% 占空比) 的脉冲。将脉冲延迟设置为 0s 后，每个后续脉冲将在电容器充电充足后尽快输出。

5.4. 脉冲模式配置

5.4.1. 前面板脉冲模式配置

选择 **Pulse Mode** 并设置脉冲宽度和脉冲延迟

1. 按 CONFIG, 然后选择 SOURCE V 或 I。
2. 从显示的选项中选择 SHAPE, 然后按 ENTER。
3. 从显示的选项中选择 PULSE, 然后按 ENTER。选择 Pulse Mode 会启用菜单中的脉冲宽度和脉冲延迟项。
4. 从显示的选项中选择 PULSE WIDTH, 然后按 ENTER。
5. 输入所需的脉冲宽度值 (0.15ms 至 5.00ms), 然后按 ENTER。请注意, 脉冲宽度在 10A 范围 (源或测量) 内将被限制为 2.5ms。
6. 从显示的选项中选择 DELAY, 然后按 ENTER。
7. 输入所需的脉冲延迟值 (0 到 9999.99872s), 然后按 ENTER。
8. 按 EXIT 返回正常显示。

设置脉冲测量速度

选择 Pulse Mode 后, 可用的 NPLC 值变得可以访问, 以设置脉冲测量速度。

1. 按 SPEED 显示脉冲速度菜单。
2. 选择速度设置 (0.004 至 0.100) 并按 ENTER。

设置脉冲计数

臂计数和触发计数确定将发出多少个脉冲。通常, 要发出的脉冲数量是臂计数和触发计数的乘积。例如, 如果臂计数为二, 触发计数为五, 则在输出打开时会发出十个脉冲。但是, 如果将臂计数设置为无限, 则 Model 2430 在输出打开时会持续发出脉冲。请注意, 有限值计数的乘积不能超过 2500。详见第 11 节“触发模型”。

执行以下步骤设置臂计数:

1. 按 CONFIG, 然后选择 TRIG 显示触发配置菜单。
2. 从显示的选项中选择 ARM LAYER, 然后按 ENTER。
3. 从显示的选项中选择 COUNT, 然后按 ENTER。
4. 对于连续脉冲输出, 请选择 INFINITE, 按 ENTER 并进入第 6 步。否则, 选择 FINITE, 按 ENTER 并继续下一步以设置臂计数。
5. 输入所需的臂计数值, 然后按 ENTER。
6. 使用 EXIT 键退出菜单。

执行以下步骤设置触发计数:

1. 按 CONFIG, 然后按 TRIG 显示触发配置菜单。

2. 从显示的选项中选择 TRIG LAYER 并按 ENTER。
3. 从显示的选项中选择 COUNT 并按 ENTER。
4. 输入所需的触发计数值，然后按 ENTER。
5. 使用 EXIT 键退出菜单。

禁用/启用自动零点校准

通过禁用自动零点校准可以提高脉冲速度。但是，零漂会最终破坏脉冲测量的准确性。要重新建立准确的脉冲测量，请启用自动零点校准或更改速度设置。

1. 按 MENU 显示主菜单。
2. 从显示的选项中选择 A/D CTRL 并按 ENTER。
3. 从显示的选项中选择 AUTO ZERO 并按 ENTER。
4. 选择 DISABLE 或 ENABLE，然后按 ENTER。
5. 使用 EXIT 键退出菜单。

5.4.2. 远程命令脉冲模式配置

对于远程操作，选择和配置脉冲模式的命令在表 18-6 和表 18-7 中提供。

5.5. 脉冲测量注意事项

5.5.1. 测量速度

在脉冲模式下，测量速度可以设置为 0.004 至 0.100 PLC。如果在 DC 模式下的速度设置>0.10 PLC，在选择脉冲模式时则会更改为 0.004。如果速度设置<0.10 PLC，在选择脉冲模式时将保留该设置。如果脉冲模式速度设置<0.01，在选择 DC 模式时将更改为 0.01。

对于远程操作，“[:SENSe] ... :NPLC ”命令的参数值最大为 0.10。详见第 7 节“速度”。

5.5.2. 滤波器

Model 2430 脉冲模式下无法使用滤波器。您可以配置滤波器，但无法启用它。按 FILTER 键会显示“Invalid in Pulse Mode!”消息。对于远程操作，“[:SENSe]:AVERage[:STATe] ”命令（用于启用滤波器）会导致错误+831: Invalid in Pulse Mode。

5.5.3. 自动量程

在脉冲模式下无法使用（启用）自动量程测量。按 AUTO RANGE 键会显示“Invalid in Pulse Mode!”消息。对于远程操作，“[:SENSe] ... :RANGE:AUTO ”命令（用于启用/禁用自动量程测量）会导致错误+831: Invalid in Pulse Mode。

5.5.4. 并行测量

对于远程操作，在 DC 模式下可以同时测量多个功能。但是，在脉冲模式下，每个脉冲只能测量一个功能。[:SENSe]: FUNCtion: CONCurrent ”命令（用于启用/禁用并发测量）会导致错误+831:

Invalid in Pulse Mode。[:SENSe]: FUNCtion [:ON]: ALL"命令将选择欧姆功能。详见第 18 节“SENSe1 子系统”-“选择测量功能”的详情。

5.5.5. 欧姆源读回

对于 DC 模式操作，可以启用欧姆源读回。仪器在欧姆测量时测量实际源值，然后使用该测量值进行读数计算。对于脉冲模式，无法启用欧姆源读回。第 4 节涵盖了“欧姆源读回”。

注意：在脉冲模式时，请确保欧姆源读回被关闭。

5.5.6. 切换键

在 DC 模式下，切换键可在输出开启时操作显示读数。在脉冲模式下，输出仅在非常短的时间内（脉冲宽度）处于开启状态。因此，在脉冲模式下禁用了切换键。

5.5.7. 偏置补偿欧姆

从前面板上，有两种方法可以执行偏置补偿欧姆测量。对于一种方法，从 CONFIG OHMS 菜单启用，以用户设置的源电平和 OV 或 OA 进行 2 点测量。这个方法在脉冲模式下不适用。另一种方法是数学函数 (FCTN)，用户为 2 点测量过程设置两个源电平，进行 2 点测量。此方法适用于脉冲模式。有关详细信息，请参见第 8 节“数学运算”。

对于远程操作，作为数学函数 (: CALCulate1 subsystem) 的偏置补偿欧姆可以在脉冲模式下执行。从:SENSe subsystem，不能执行偏置补偿欧姆。[: SENSe]: RESistance:OCOMpensated 命令（启用/禁用偏置补偿欧姆）导致错误+831: Invalid in Pulse Mode。

5.5.8. 源延迟

在 DC 模式下，源延迟是源和测量操作之间的延迟。可以手动设置延迟时间或使用自动延迟。使用自动延迟，延迟根据功能和范围自动设置。有关详细信息，请参见第 3 节“操作注意事项”和“源延迟”。

对于脉冲模式，不能使用源延迟。对于前面板操作，选择 Pulse Mode 时，用于设置源 DELAY 和选择 AUTO DELAY 的菜单项将替换为用于设置 PULSE DELAY 和 PULSE WIDTH 的菜单项。因此，在脉冲模式下无法设置源延迟。

对于远程操作，可以设置源延迟，但在脉冲模式下将忽略该设置。忽略源延迟的命令包括:SOURce: DELay <n> 和 :SOURce: DELay: AUTO

5.5.9. 触发延迟

在 DC 模式下，触发延迟是发生在触发和脉冲操作之间的用户设置延迟。在脉冲模式下，不使用触发延迟。你可以在脉冲模式下设置触发延迟，但它只有在返回 DC 模式后才会起作用。有关触发的详细信息，请参见第 11 节。对于远程操作，由:TRIGger: DELay <n>设置的延迟在脉冲模式下被忽略。

5.5.10. 输入触发器

在 DC 模式下，您可以启用源、延迟或测量的输入事件检测器。有关触发的详细信息，请参见第 11 节。

在脉冲模式下，您可以启用源、延迟或测量的输入事件检测器。然而，这些事件检测器与 DC 模式中的源、延迟和测量操作不相关。在脉冲模式下，所有三个事件检测器都会在脉冲动作之前发生。请参阅“Pulse Mode triggering (Model 2430)”，第 11-20 页，了解更多详细信息。

5.5.11. 输出触发器

在 DC 模式下，您可以配置源表在源、延迟和/或测量操作后输出触发器。有关触发的详细信息，请参见第 11 节。

在脉冲模式下，您可以启用源、延迟和/或测量输出触发器。源和延迟触发器在脉冲输出开始时连续发生。这从固件版本 C27 开始同步。在此版本之前，源和延迟输出触发器将在源动作之前发生。在所有固件版本中，测量输出触发器在脉冲动作完成后发生。请参阅“Pulse Mode triggering (Model 2430)”，第 11-20 页，了解更多详细信息。

5.5.12. 自动输出关闭

对于 DC 模式，启用自动输出关闭后，输出将在每个 SDM 循环的开始处打开，并在每次测量完成后关闭。详见第 13 节“输出关闭状态”，了解自动输出关闭的详细信息。

在脉冲模式下，自动输出关闭始终启用。对于远程操作，您可以发送:SOURce:CLEar:AUTO OFF 命令来禁用自动输出关闭，但会被忽略。

5.5.13. 输出关闭状态

在脉冲模式下，使用正常的输出关闭状态。你不能在脉冲模式下选择其他模式中的任何一种。对于远程操作，:OUTPut[1]:SMODe <name>命令（用于选择输出关闭状态）会导致错误+831: Invalid in Pulse Mode。有关详细信息，请参见第 13 节“输出关闭状态”。

5.5.14. 打开源

对于远程脉冲模式操作，使用:INITiate 命令启动脉冲输出过程。:READ?命令将发送:INITiate 以开始脉冲过程，并获取脉冲读数。单独使用:INITiate 命令将启动脉冲过程，但不会获取任何脉冲读数。（如果您使用:INITiate 启动脉冲过程，则应使用:FETCH?来获取读数。）可以通过发送:ABORt 命令随时停止脉冲过程。

发送:OUTPut[1][:STATe] ON 也将发送:INITiate 以启动脉冲过程。但请注意，你不能使用:OUTPut[1][:STATe] OFF 来终止脉冲输出过程。

5.5.15. SCPI 信号取向的测量命令

:CONFigure: <function> 和 :MEASure[:<function>]?命令是无效的，并导致错误+831: Invalid in Pulse Mode。这些命令在第 17 节中有记录。

6. 源测量概念

- **合规性限制** - 讨论合规性限制，包括实际和范围合规性、最大合规性值以及如何确定合规性限制。
- **过热保护** - 提供有关防止源表过热的信息，包括功率方程式。
- **源延迟测量周期** - 描述源延迟测量周期的各个阶段以及扫描波形。
- **操作边界** - 包括电压和电流操作边界对于源和汲取操作，I-source 和 V-source 以及源测量模式。
- **基本电路配置** - 包括源 I、源 V 和仅测量操作模式的基本电路配置。
- **保护** - 包括电缆保护、欧姆保护和保护感测。
- **数据流** - 描述测量读数、数学、rel 和限制操作以及数据如何存储在缓冲区中。

6.1. 合规性限制

在源电压时，源表可以设置电流限制。相反地，在源电流时，源表可以设置电压限制。源表输出不会超过合规性限制。

2400/2400-LV/2401 - 电流限制可从 1nA 到 1.05A 设置，电压限制可从 200 μ V 到 210V 设置（2400-LV 和 2401 为 21V）。

2410 - 电流限制可从 1nA 到 1.05A 设置，电压限制可从 200 μ V 到 1.1kV 设置。

2420 - 电流限制可从 10nA 到 3.15A 设置，电压限制可从 200 μ V 到 63V 设置。

2425 和 2430 DC 模式 - 电流限制可从 10nA 到 3.15A 设置，电压限制可从 200 μ V 到 105V 设置。

2430 脉冲模式 - 电流限制可从 10nA 到 10.5A 设置，电压限制可从 200 μ V 到 105V 设置。

2440 - 电流限制可从 10nA 到 5.25A 设置，电压限制可从 200 μ V 到 42V 设置。

注意 在以下讨论中，“测量范围”指的是与源功能相反的测量功能。当源电压时，电流测量范围是讨论的重点。相反地，在源电流时，电压测量范围是讨论的重点。

6.1.1. 合规性类型

合规性有两种类型：“实际”和“范围”。根据哪个值较低，输出将在显示的合规性设置（真实合规性）或对于固定测量范围的最大可能合规性值处钳位（范围合规性）。这种钳位动作有效地限制了可以向设备提供的功率。当源表充当电流源时，电压被钳位在合规性值处；相反，在源表充当电压源时，电流被钳位在合规性值处。请注意，如果选择了 AUTO measurement range，则无法发生范围合规性。因此，为避免范围合规性，请使用 AUTO range。

注意 对于 Model 2430，脉冲模式下不适用 AUTO range。

当处于真实合规性状态时，源会以显示的合规性值钳位。例如，如果合规性电压设置为 1V，测量范围为 2V，则输出电压将钳位在 1V 处。在这种情况下，“CMPL”报警灯将闪烁。

当处于范围合规性状态时，源输出在固定测量范围的最大合规性值处钳位（而不是合规性值）。例如，如果合规性设置为 1V，测量范围为 200mV，则输出电压将夹紧在 210mV 处。在这种情况下，合规性显示字段中的单位将闪烁。例如，在以下显示中：Vcmpl: 10mA，“mA”单位指示会闪烁。

6.1.2. 最大合规性值

测量范围的最大合规性值总结在表 6-1 中。

*Table 6-1
Compliance limits*

2400/2400-LV/2401		2410		2420	
Measure range	Maximum compliance value	Measure range	Maximum compliance value	Measure range	Maximum compliance value
200mV	±210mV	200mV	±210mV	200mV	±210mV
2V	±2.1V	2V	±2.1V	2V	±2.1V
20V	±21V	20V	±21V	20V	±21V
200V*	±210V	1000V	±1.1kV	60V	±63V
1µA	±1.05µA	1µA	±1.05µA	10µA	±10.5µA
10µA	±10.5µA	10µA	±10.5µA	100µA	±105µA
100µA	±105µA	100µA	±105µA	1mA	±1.05mA
1mA	±1.05mA	1mA	±1.05mA	10mA	±10.5mA
10mA	±10.5mA	20mA	±21mA	100mA	±105mA
100mA	±105mA	100mA	±105mA	1A	±1.05A
1A	±1.05A	1A	±1.05A	3A	±3.15A

*Table 6-1 (cont.)
Compliance limits*

2425/2430		2440	
Measure range	Maximum compliance value	Measure range	Maximum compliance value
200mV	±210mV	200mV	±210mV
2V	±2.1V	2V	±2.1V
20V	±21V	10V	±10.5V
100V	±105V	40V	±42V
10µA	±10.5µA	10µA	±10.5µA
100µA	±105µA	100µA	±105µA
1mA	±1.05mA	1mA	±1.05mA
10mA	±10.5mA	10mA	±10.5mA
100mA	±105mA	100mA	±105mA
1A	±1.05A	1A	±1.05A
3A/10A	**	5A	±5.25A

* 2400 only

** ±3.15A (2425 and 2430 DC mode)

±10.5A (Pulse mode; 2430 only)

6.1.3. 合规性示例

当源表进入真实合规性时，合规性显示的 Cmpl 标签会闪烁。当源表进入范围合规性时，单位标签（“mA”）将闪烁。对于以下示例，加粗字体的标签表示它们正在闪烁。

测量范围：100mA

合规性设置：Cmpl: 075.000 mA。闪烁的 Cmpl 表示已发生真实的合规性。输出钳位在 75mA 处。

测量范围：10μA

合规性设置：Cmpl: 075.000 μA。闪烁的 mA 表示已发生范围合规性。输出被钳位在 10.5μA 处。

6.1.4. 确定合规性限制

表 6-2 提供了确定实际合规性限制的示例（Model 2400）。在表中的前三个条目中，合规性值设置为 150V。在 200V 的测量范围内，实际的合规性值为 150V（合规性值设置<测量范围=真实合规性值）。在 20V 和 200mV 的测量范围内，合规性值分别为 21V 和 210mV（测量范围<合规性值设置=范围合规性值）。同样的规则适用于下面三个条目的电流合规性值。

Table 6-2
Compliance examples

Compliance setting		Measurement range		Actual compliance	
Display message	Setting	Display message	Range	Value	Type
Cmpl: 0.15000kV	150V	---.---V	200V	150V	Real
Cmpl: 0.15000kV	150V	---.---V	20V	21V	Range
Cmpl: 0.15000kV	150V	---.---mV	200mV	210mV	Range
Cmpl: 075.000 mA	75mA	---.---mA	100mA	75mA	Real
Cmpl: 075.000 mA	75mA	---.---mA	10mA	10.5mA	Range
Cmpl: 075.000 mA	75mA	---.---mA	1mA	1.05mA	Range

6.2. 过热保护

为防止源表过热，需要进行适当的通风。有关维护适当通风的详细信息，请参见第 3 节开头的“警告-注意事项”。

源表具有过温保护电路，如果源表过热，将关闭输出。如果输出由于过热而跳闸，则会显示指示此条件的消息。在源表冷却之前，您将无法重新打开输出。

注意 Models 2420、2425、2430 和 2440 - 在过热状态下，冷却风扇将以高速运行。

注意 Models 2420、2425、2430 和 2440 - 如果在 90s 后，源表仍然过热，则可能出现“OVER-TEMP FAILURE !!!”消息。在这种情况下，请立即关闭源表并让其冷却 30 分钟。

关闭源表后，请检查所有散热口，确保它们没有被堵塞。不要触摸散热器，因为温度可能足够高，会导致烧伤。

重新打开源表后，请验证冷却风扇是否正在运转。如果故障消息仍然存在，请联系 Keithley 进行维修。在故障消息显示的情况下让源表保持开机状态可能会损坏源表。

6.2.1. 过热情况

假设保持适当通风，当源表作为源（非汲取）运行且环境温度 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ 时，源表不会过热（并随后关闭输出）。

在 30°C 以上的情况下，无论是源操作还是汲取操作，如果不使用高功率范围，则源表不会过热。对于 2400 和 2410 型号，高功率范围为 1A。对于 2420 型号，高功率范围为 20V、3A 和 60V、1A。对于 2425 型号和 2430 DC Mode，高功率范围为 20V、3A 和 100V、1A。对于 2440 型号，高功率范围为 10V、5A 和 40V、1A。

注意 有关源和汲取操作的详细信息，请参见“操作边界”。

6.3. 源-延迟-测量循环

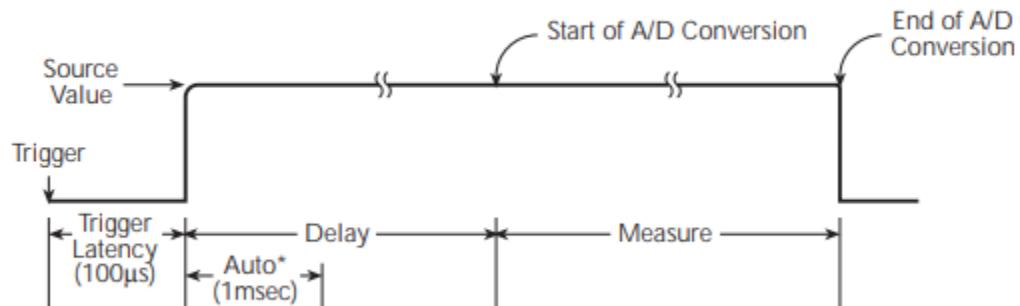
除了静态源和/或测量操作外，源表操作可以由一系列源-延迟-测量（SDM）周期组成（图 6-1）。在每个 SDM 周期中，会发生以下事件：

1. 设置源输出电平。
2. 等待源延迟。
3. 进行测量。

注意 对于 Model 2430 Pulse Mode，不使用源延迟。Pulse Mode 使用的延迟在第 5 节中介绍。

有关 SDM 周期如何与触发模型相关的详细信息，请参见第 11 节。

Figure 6-1
Source-delay-measure (SDM) cycle



* If enabled

SDM 周期的延迟阶段允许源在进行测量之前稳定下来。延迟时间取决于源延迟如何配置。源延迟可以手动设置为 0000.00000s 到 9999.9990s。如果使用自动延迟，则延迟取决于当前选择的源范围，如表 3-4 所述；有关详细信息，请参见第 3 节。

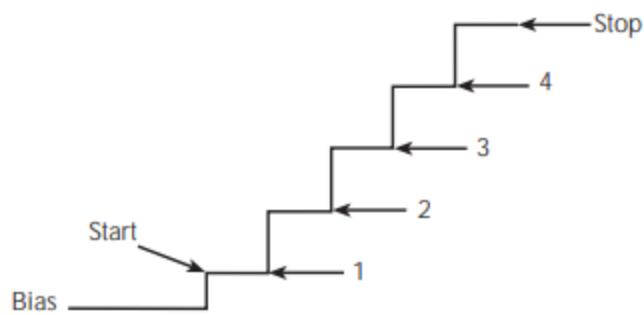
手动设置的延迟（最长达 9999.999s）可用于补偿外部电路所需的更长的稳定时间。输出端看到的电容越大，源就需要更长的稳定时间。实际所需的延迟时间可以通过计算或试错确定。对于纯电阻性负载和较高电流水平，可将可编程延迟设置为 0ms。

测量时间取决于所选的测量速度。例如，如果速度设置为 0.01 PLC（电源频率），则 60Hz 操作的测量时间为 167µsec (0.01/60)。

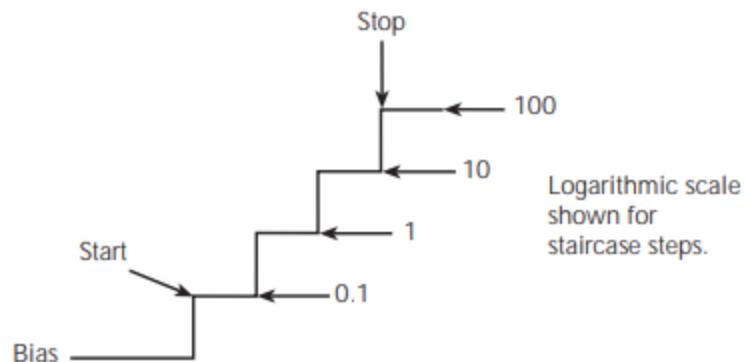
6.3.1. 扫描波形

有四种基本的扫描类型可供选择：线性阶梯、对数阶梯、自定义和源存储器。其中三个扫描类型如图 6 所示。

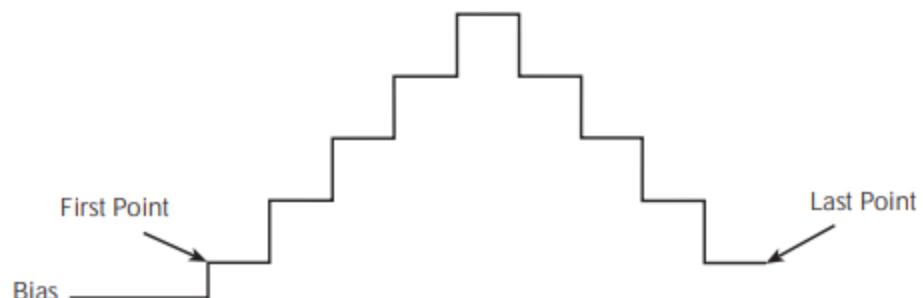
Figure 6-2
Three basic sweep waveform types



A. Linear Staircase Sweep



B. Logarithmic Staircase Sweep



C. Custom Sweep

6.4. 操作界限

6.4.1. 源或汲取

根据编程方式以及连接到输出端（负载或源）的设备，源表可以在任何四个象限中进行操作。源表型号的四个操作象限如图 6-3 至图 6-7 所示。当在第一（I）或第三（III）象限中进行操作时，源表作为源运行（V 和 I 具有相同的极性）。作为源，源表向负载提供电力。当在第二（II）或第四（IV）象限中进行操作时，源表作为负载运行（V 和 I 具有相反的极性）。作为负载，它会耗散电能而不是提供电能。有关更多信息，请参见第 3 节“仅远程命令测量”。

6.4.2. 占空比

占空比是源开启时间与总时间周期的比例，以百分比表示。例如，如果电源在 10 秒钟中有 6 秒钟处于接通状态，则占空比为 60%。。

Model 2400/2400-LV/2401 源表

Model 2400/2400-LV/2401 的一般操作范围如图 6-3 所示。在此图中，1A、20V 和 100mA、200V 大小是标称值。源表的实际最大输出大小为 1.05A、21V 和 105mA、210V（2400-LV 和 2401 的 21V）。还要注意，这些边界未按比例绘制。

仅当源表在环境温度为 30°C 或以下的环境中运行时，这些操作边界才有效。

注意 在 30°C 以上，高功率操作可能会使源表过热，从而导致输出关闭。有关详细信息，请参见“过热保护”，第 6-6 页。

粗实线显示连续输出操作的限制。请注意，在二、四象限（汲取操作）中，1A 范围的限制按以下方式降级：

1A 范围-极限线性减额从：-1A、20V 至 -0.6A、20V 1A、-20V 至 0.6A、-20V

如果将输出占空比降低到 60% 或更低，则汲取操作限制将恢复正常，如图 6-3 中的点线所示。

Model 2410 和 2420 源表

Model 2410 和 2420 的一般操作边界如图 6-4 和图 6-5 所示。

Figure 6-3
Model 2400/2400-LV/2401 operating boundaries ($T_{amb} = 30^{\circ}C$)

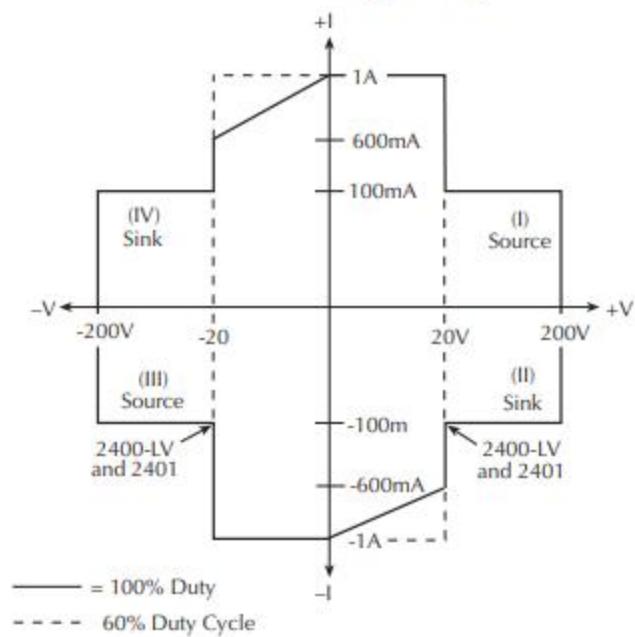


Figure 6-4
Model 2410 operating boundaries ($T_{amb} = 30^{\circ}C$)

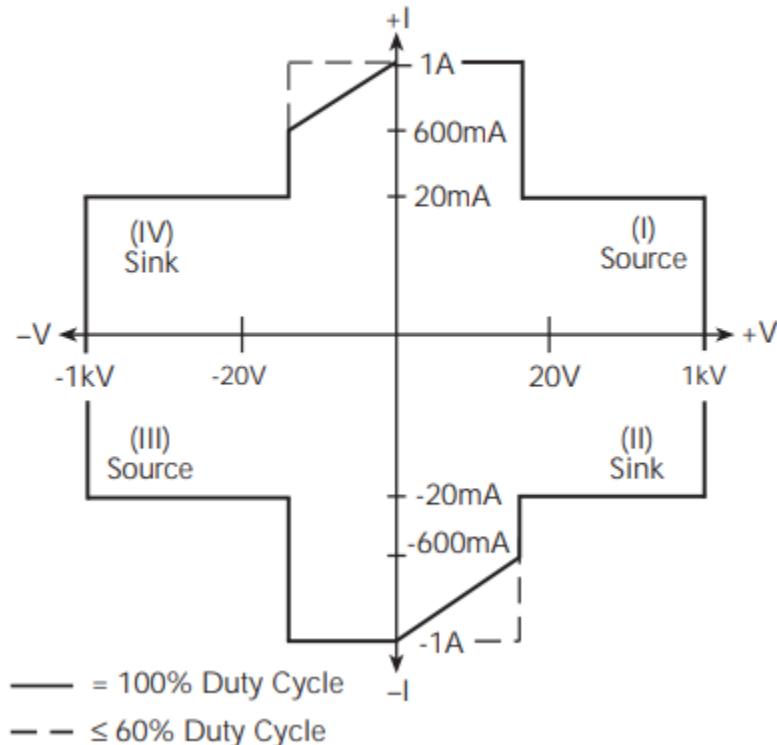
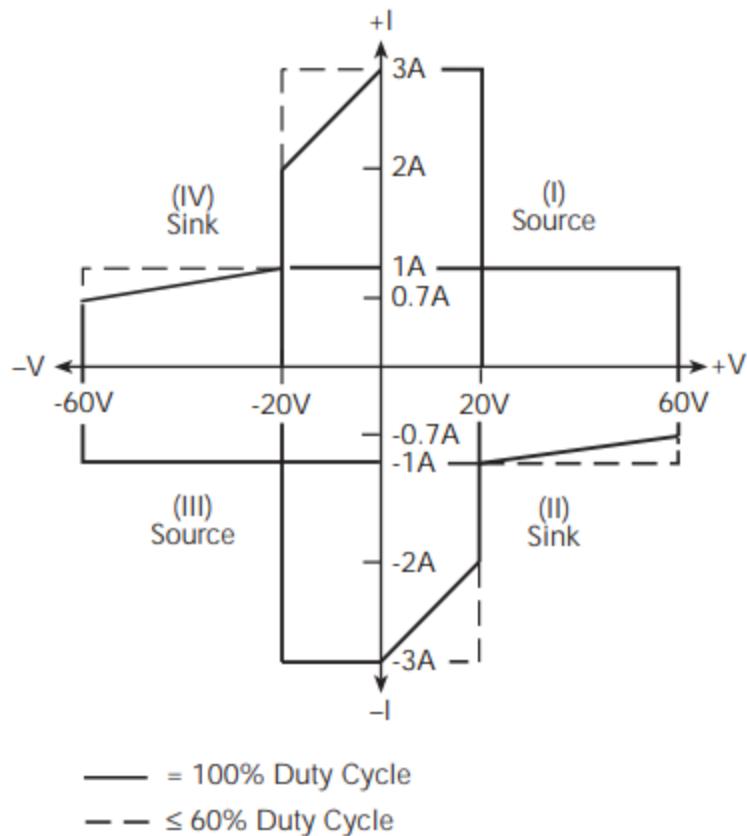


Figure 6-5
Model 2420 operating boundaries ($T_{amb} = 30^{\circ}C$)



Model 2425 和 2430 源表

图 6-6 显示了 Model 2425 和 2430 的一般操作边界。图 6-6A 显示了 Model 2425 和 Model 2430 DC 模式的边界，而图 6-6B 则显示了 Model 2430 Pulse 模式的边界。

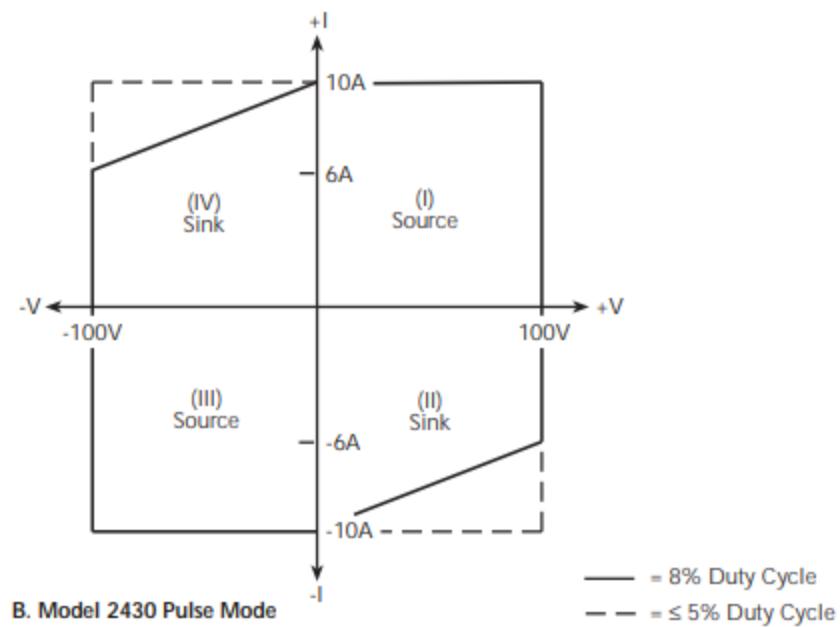
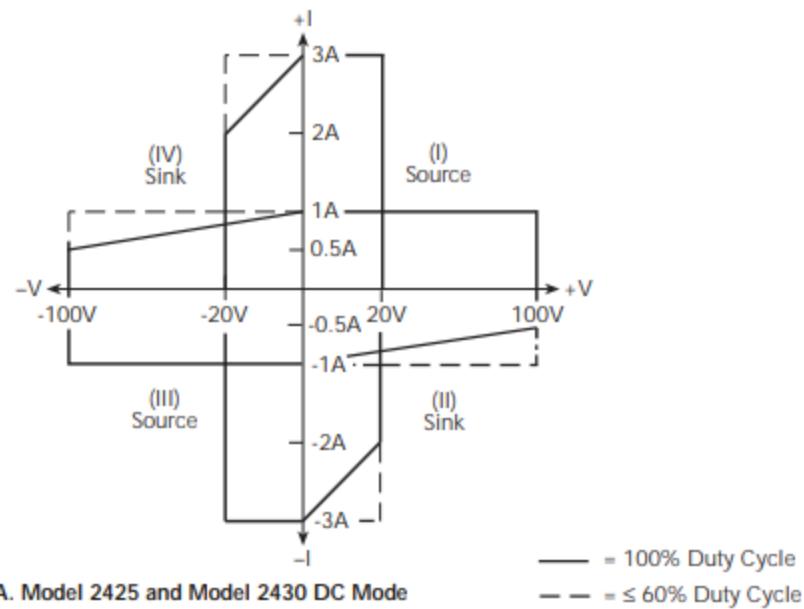
Model 2425 和 2430 DC 模式

在图 6-6A 中，Model 2425 和 Model 2430 DC 模式的 3A、20V 和 1A、100V 数值是标称值。源表的实际最大输出幅度为 3.15A、21V 和 1.05A、105V。

Model 2430 Pulse 模式

在图 6-6B 中，Model 2430 Pulse 模式的 10A 和 100V 幅度为标称值。源表的实际最大输出幅度为 10.5A 和 105V。

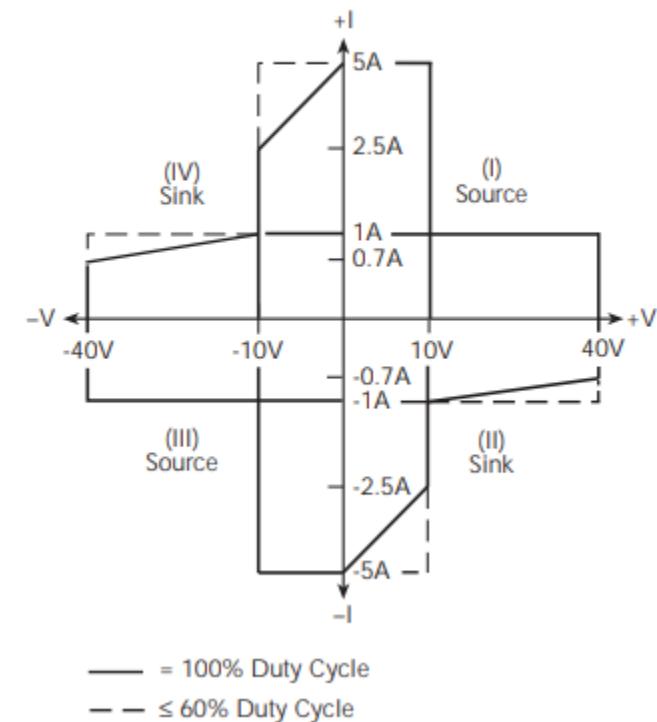
Figure 6-6
Model 2425/2430 operating boundaries ($T_{amb} = 30^{\circ}\text{C}$)



Model 2440 源表

图 6-7 显示了 Model 2440 的一般操作边界。

Figure 6-7
Model 2440 operating boundaries ($T_{amb} = 30^{\circ}C$)



6.4.3. I-Source 的操作边界

图 6-8 和图 6-9 显示了 I-Source 的操作边界。仅覆盖了第一象限的操作。其他三个象限的操作类似。

Figure 6-8
I-Source output characteristics

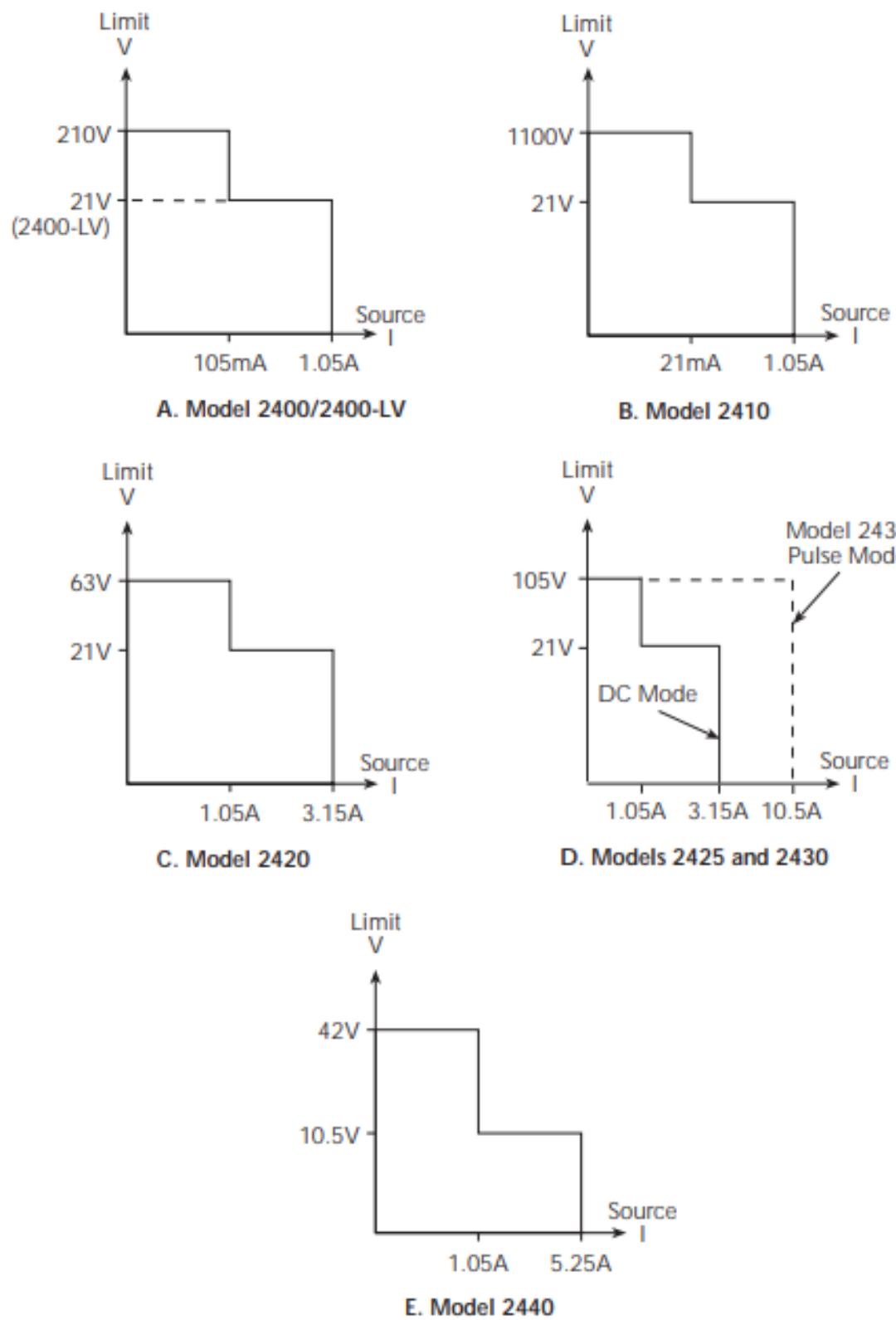
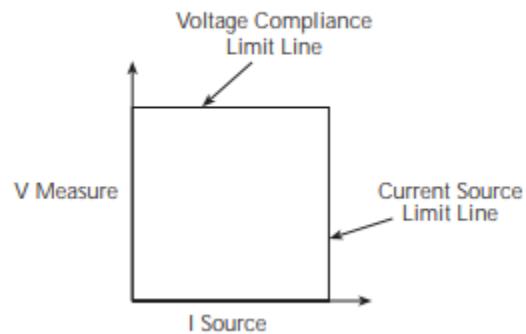


图 6-9 显示了 I-Source 的限制线。电流源限制线代表当前选择的电流源范围可能实现的最大源值。例如，如果在 100mA 电流源范围内，则电流源限制线为 105mA。电压合规性限制线代表实际生效的合规性值。请记住，合规性可以是真实或范围（参见“合规性限制”，第 6-2 页）。这些限制线是表示源表在此操作象限的工作限制的边界。操作点可以在这些限制线内部（或上面）任何位置。其他象限的限制线边界类似。

Figure 6-9
I-Source limit lines



电压合规性边界

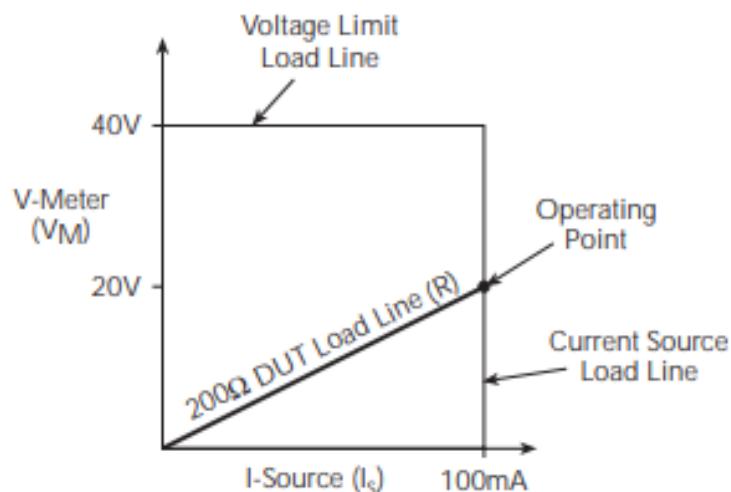
源表的工作范围取决于连接到其输出端口的负载 (DUT)。图 6-10 分别显示了电阻负载为 200Ω 和 800Ω 的操作示例。对于这些示例，源表被编程为提供 100mA 并限制 40V。（请参见第 3 节，“基本的源测量步骤”。）

在图 6-10A 中，源表向 200Ω 负载提供 100mA，随后测量 20V。如所示， 200Ω 的负载线与 100mA 电流源线相交处为 20V。

图 6-10B 显示了如果将负载电阻增加到 800Ω 会发生什么。 800Ω 的 DUT 负载线与电压合规性限制线相交，将源表置于合规性状态。在合规性状态下，源表将无法提供其编程的电流 (100mA)。对于 800Ω 的 DUT，源表只会输出 50mA (在 40V 限制下)。

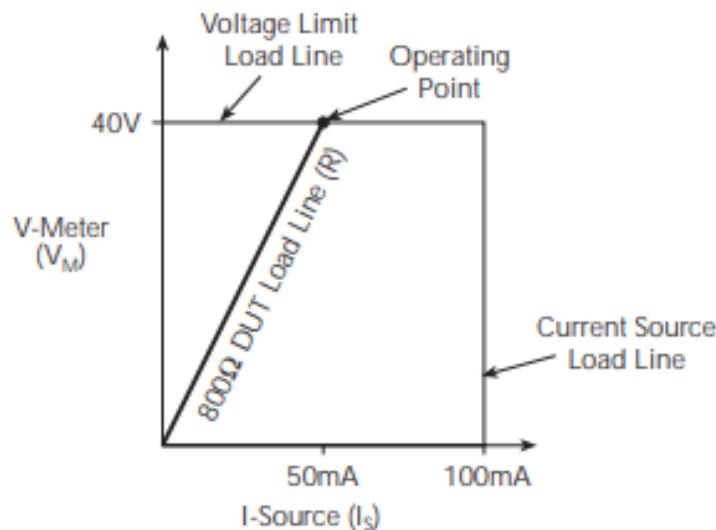
请注意，随着电阻的增加，DUT 负载线的斜率也会增加。当电阻趋近于无穷大 (开路输出时)，源表将在 40V 下源出几乎为 0mA。反之，当电阻减小时，DUT 负载线的斜率降低。在零电阻 (短路输出) 时，源表将在几乎 0V 处输出 100mA。无论负载如何，电压永远不会超过编程的 40V 合规性值。

Figure 6-10
I-Source operating examples



$$\begin{aligned}
 V_M &= I_S \cdot R \\
 &= (100\text{mA}) (200\Omega) \\
 &= 20\text{V}
 \end{aligned}$$

A. Normal I-Source Operation



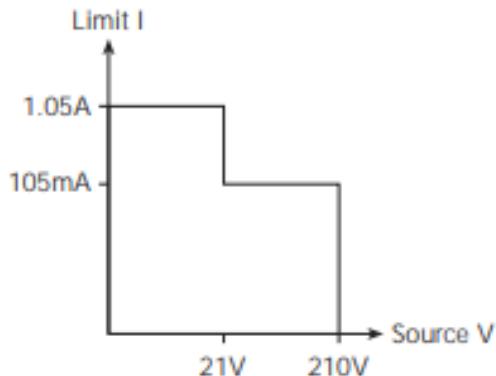
$$\begin{aligned}
 I_S &= V_M / R \\
 &= 40\text{V} / 800\Omega \\
 &= 50\text{mA}
 \end{aligned}$$

B. I-Source In Compliance

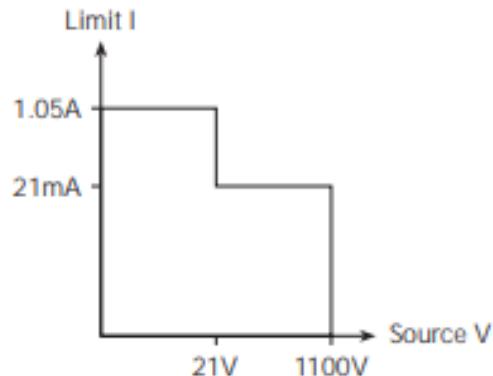
6.4.4. V-Source 操作边界

图 6-11 和图 6-12 显示了 V-Source 的操作边界。仅涵盖第一象限的操作。其他三个象限的操作类似。

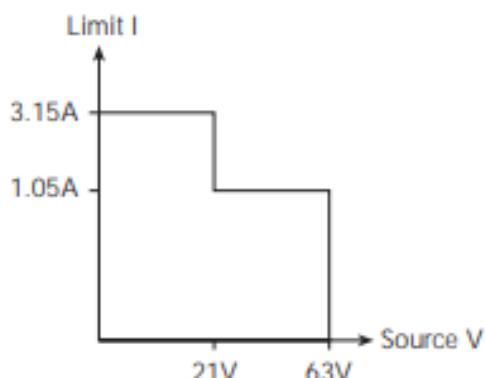
*Figure 6-11
V-Source output characteristics*



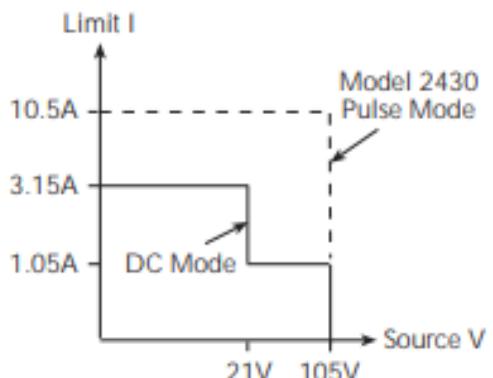
A. Model 2400



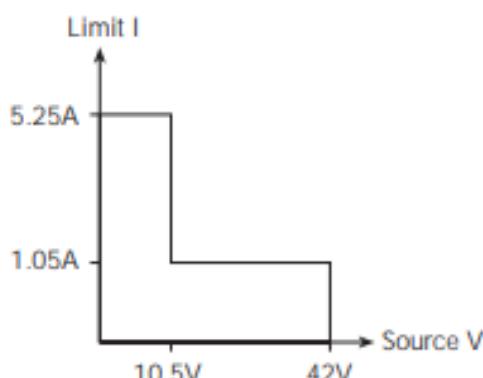
B. Model 2410



C. Model 2420

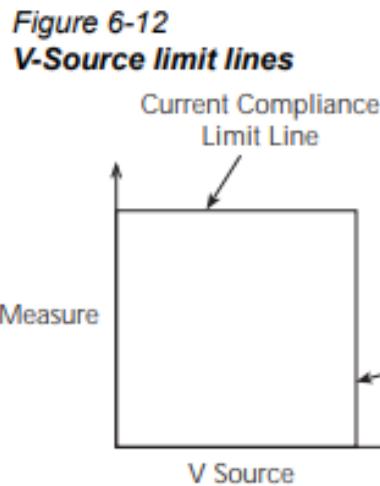


D. Models 2425 and 2430



E. Model 2440

图 6-12 显示了 V-Source 的限制线。电压源限制线表示当前选择的电压源范围可实现的最大源值。例如，如果在 20V 电压源范围内，则电压源限制线为 21V。电流合规性限制线表示实际生效的合规性值。请记住，合规性可以是实际或范围。（请参见“合规性限制”，第 6-2 页。）这些极限线是代表源表在此操作象限的工作限制的边界。操作点可以在这些极限线内（或上）。其他象限的极限线边界类似。



电流合规性边界

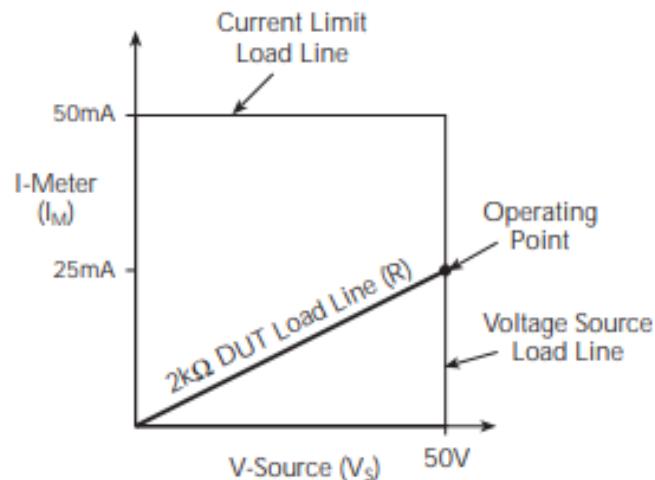
源表的操作范围取决于连接到输出的负载（DUT）。图 6-13 分别显示了 $2\text{k}\Omega$ 和 800Ω 电阻性负载的操作示例。对于这些示例，源表被编程以源 50V 并限制 50mA 。

在图 6-13A 中，源表向 $2\text{k}\Omega$ 负载提供 50V ，并随后测量 25mA 。如所示， $2\text{k}\Omega$ 的负载线与 50V 电压源线相交于 25mA 处。

图 6-13B 显示了如果将负载电阻降低到 800Ω 会发生什么。对于 800Ω DUT，DUT 负载线与电流合规性限制线相交，将源表置于合规性状态。在合规性状态下，源表将无法提供其编程电压（ 50V ）。对于 800Ω DUT，源表只会输出 40V （在 50mA 限制下）。

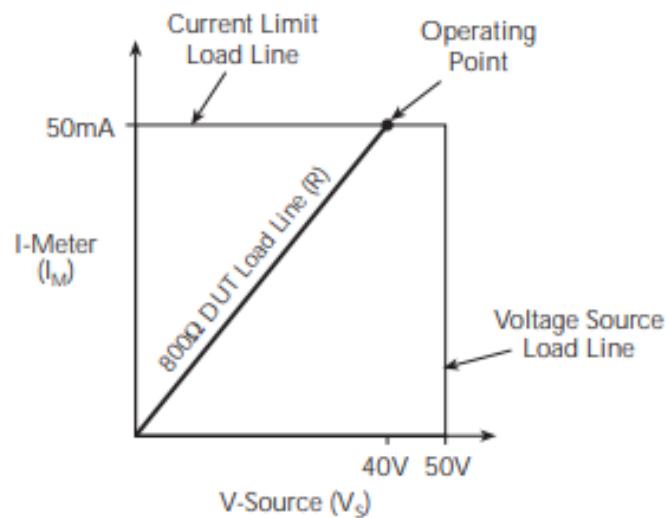
请注意，随着电阻的增大，DUT 负载线的斜率减小。当电阻趋近于无穷大（开路输出时），源表将在 0mA 时实际上源输出 50V 。反之，随着电阻的减小，DUT 负载线的斜率增大。在零电阻（短路输出）时，源表将在 50mA 时实际上源输出 0V 。无论负载如何，电流都不会超过 50mA 的编程合规性值。

Figure 6-13
V-Source operating examples



$$\begin{aligned} I_M &= V_S / R \\ &= 50V / 2k\Omega \\ &= 25mA \end{aligned}$$

A. Normal V-source operation



$$\begin{aligned} V_S &= I_M \cdot R \\ &= (50mA) (800\Omega) \\ &= 40V \end{aligned}$$

B. V-Source in compliance

6.4.5. 源 I 测量 I 和源 V 测量 V

源表可以测量其源的功能。当源电压时，可以测量电压。相反，如果源电流时，则可以测量输出电流。对于这些测量源操作，测量范围与源范围相同。

当处于合规性状态时，该功能非常有价值。在合规性状态下，无法达到编程的源值。因此，测量源可以让您测量实际输出电压。通过使用 TOGGLE 键，您可以同时显示任意两个功能（伏特、安培和欧姆）的测量值。对于远程操作，可以同时测量所有三个功能。（请参见第 17 节和第 18 节。）

源读回精度

源表的测量精度优于源精度（请参见附录 A 中的源泉规格）。因此，请选择相同的测量和源功能，然后使用测量值而不是编程源值以获得最佳精度。

6.5. 基本电路配置

6.5.1. 源 I

当配置为源电流 (I-Source) 时, 如图 6-14 所示, 源表将作为高阻抗电流源具有电压限制功能, 并可测量电流 (I-Meter) 或电压 (V-Meter) 。

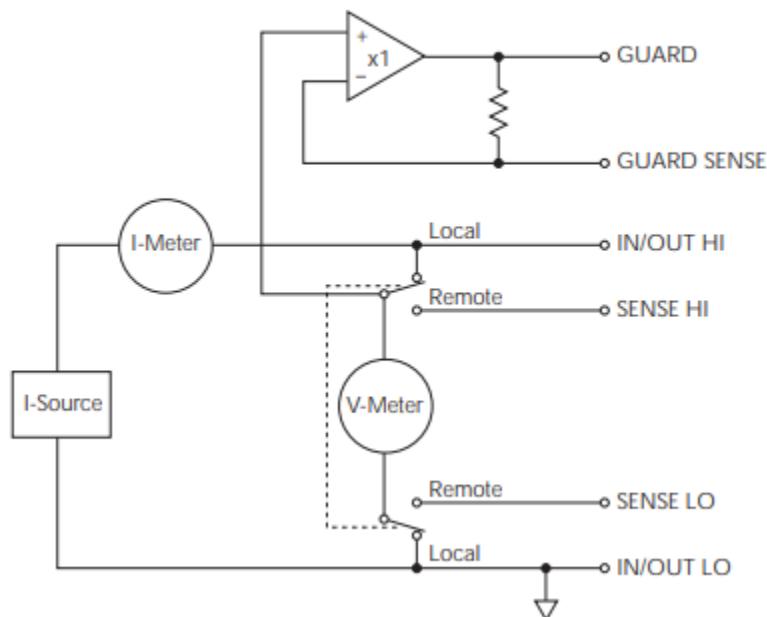
对于电压测量, 感测选择 (2 线本地或 4 线远程) 确定测量位置。在本地感测中, 电压在源表的输入/输出端子处进行测量。

在 4 线远程感测中, 可以使用 Sense 端子直接在 DUT 处测量电压。这消除了可能存在于测试引线或源表与 DUT 之间连接中的任何电压降。

注意 电流源不需要或使用感测引线来增强电流源的准确性。

在选择 4 线远程感测时, 必须连接感测引线, 否则会导致操作失效。如果存在感测引线断开的潜在危险, 则可以使用过压保护 (OVP) (请参见第 3 节, “V-source 保护”) 。

Figure 6-14
Source I



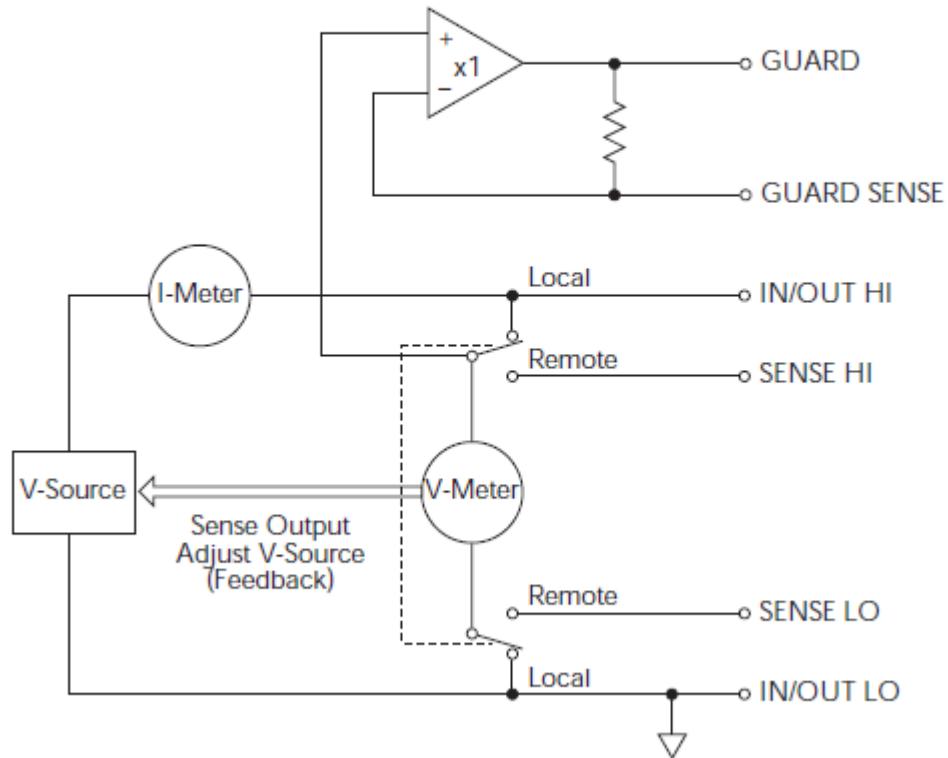
6.5.2. 源 V

当配置为源电压 (V-Source) 时, 如图 6-15 所示, 源表将作为低阻抗电压源具有电流限制能力, 并可测量电流 (I-Meter) 或电压 (V-Meter) 。

使用感测电路连续监视输出电压并根据需要调整 V-Source。V-Meter 感测 Input / Output 端子处的电压 (2 线本地感测) 或在 DUT 处 (使用 Sense 端子的 4 线远程感测), 并将其与编程的电压电平进行比较。如果感测到的电平与编程值不同, 则相应地调整 V-Source。远程感测消除了测试引线中的电压降的影响, 确保精确的编程电压出现在 DUT 上。

注意 反馈到 V-Source 的电压误差是模拟功能。源差分放大器用于补偿测试引线中的 IR 压降。

Figure 6-15
Source V



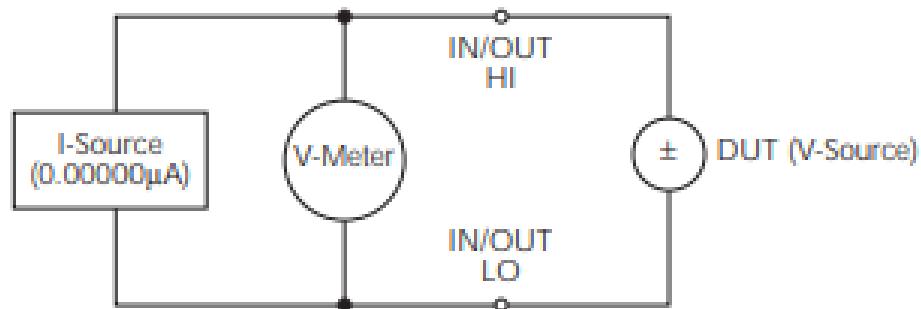
6.5.3. 仅测量 (V 或 I)

图 6-16 显示了将源表专门用作电压表或电流表的配置。如图 6-16A 所示，通过将其设置为源 0A 和测量电压，用作电压表。

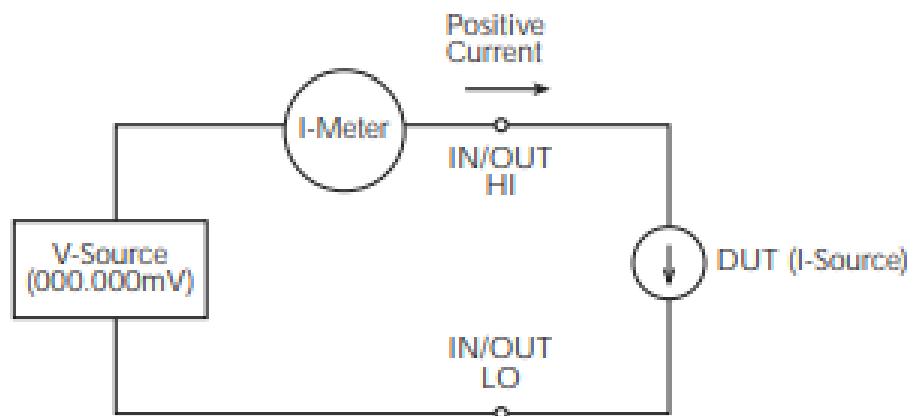
注意 V-Compliance 必须设置为高于测量电压的水平。否则，过多的电流将流入源表。这个电流可能会损坏源表。此外，当连接外部电压到 I-Source 时，将输出关闭状态设置为高阻模式。 (请参见第 13 节“输出关闭状态”。)

在图 6-16B 中，通过将其设置为源 0V 和测量电流，用作电流表。请注意，为了获得正 (+) 读数，传统电流必须从 IN / OUT HI 到 LO 流动。

Figure 6-16
Measure only (V or I)



A. Measure Voltage Only



Note: Positive current flowing out of **IN/OUT HI** results in positive (+) measurements.

B. Measure Current Only

Note: Use 2-wire local sensing.

6.6. 保护

警告 **GUARD** 与输出 HI 处于相同的电位。因此，如果在输出 HI 处存在危险电压，则 GUARD 端口也会存在。

注意 有关保护测试连接以及选择保护模式的详细信息，请参见第 2 节“保护方法”。

对于 6 线欧姆保护测量，请使用 GUARD 输出关闭状态。有关 GUARD 输出关闭状态的详细信息，请参见第 13 节“关闭状态”。

驱动保护（可在后面板的 GUARD 端口使用）始终处于启用状态，并提供一个缓冲电压，该电压与输入/输出 HI（或远程感测的 Sense HI）电压处于相同的电平。保护的目的是消除输入/输出高低之间可能存在的漏电流（和电容）的影响。在没有驱动保护的情况下，外部测试电路中的泄漏电流可能足够高，以对源表的性能产生不利影响。

泄漏电流可能通过寄生或非寄生泄漏通路发生。跨越同轴电缆或三同轴电缆绝缘体的泄漏通路就是寄生电阻的示例。非寄生电阻的一个例子是通过并联连接到 DUT 的电阻器的泄漏路径。

保护输出具有两个可编程的输出阻抗级别。高阻抗（约 $10k\Omega$ ）的 CABLE 保护用于减少测试电路中电容和泄漏电流路径的影响。低阻抗（ $<1\Omega$ ）的 OHMS 保护用于在测量电阻网络的电阻元件时取消并联电阻的影响。

6.6.1. 电缆保护

电缆保护选择提供了一个高阻抗（约 $10k\Omega$ ）的驱动保护，以防止使用屏蔽电缆时出现正反馈造成的振荡。电缆保护用于驱动电缆和测试夹具的屏蔽层。通过安全香蕉插头（例如 Model 8008-BAN），将保护传递到测试夹具。在测试夹具内部，保护可以连接到包围 DUT 的保护板或屏蔽器。

警告 为了防止受伤或死亡，必须使用安全屏蔽来防止与一个危险电位（ $> 30V_{rms}$ 或 $42.4V$ 峰值）的保护板或护罩物理接触。该安全护罩必须完全包围防护板或护罩，并且必须连接到安全地。图 6-17B 显示了测试夹具的金属外壳被用作安全屏蔽。

在测试夹具内部，可以使用三同轴电缆将保护引出到 DUT。电缆的中心导体用于 In/Out HI，内部屏蔽层用于保护，外部屏蔽层用于 In/Out LO，并连接到安全屏蔽（连接到安全地）。

如果保护电位不超过 $30V_{rms}$ （ $42.4V$ 峰值），则可以使用同轴电缆。中心导体用于 In/Out HI，外部屏蔽层用于保护。对于更高的保护电位，请使用前面解释过的三同轴电缆。

图 6-17 说明了电缆保护如何消除测试夹具中绝缘体的泄漏电流。在图 6-17A 中，泄漏电流 (I_L) 通过绝缘体 (R_{L1} 和 R_{L2}) 流向 In/Out LO，对 DUT 低电流（或高阻抗）测量产生不良影响。

在图 6-17B 中，驱动的保护引线连接到绝缘体的金属保护板。由于 R_{L1} 两端的电压相同 (0V 降)，因此没有电流可以通过泄漏电阻路径流动。因此，源表仅测量的电流通过 DUT。

当源或测量低电流 (<1 μ A) 时，应使用电缆保护。

注意 使用带屏蔽、三同轴或同轴电缆进行保护时，必须使用 CABLE 保护设置以防止振荡。CABLE 保护是工厂默认设置。

6.6.2. 欧姆保护

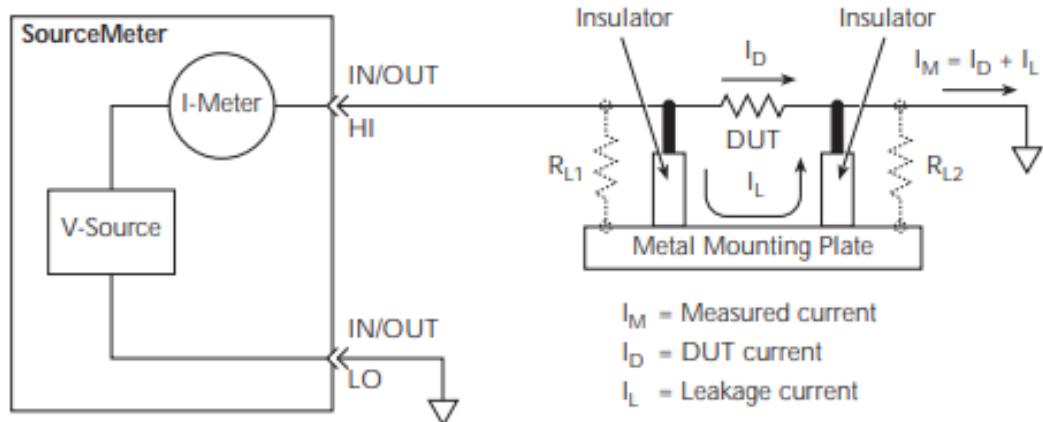
OHMS 保护选择提供低阻抗 (<1 Ω)、高电流（最高可达 50mA）的驱动保护。这使您可以在存在其他并联电阻路径的情况下对 DUT 进行线路欧姆测量。这些测量通常按 Delta 或 Wye 配置执行。

注意 1A、3A 和 5A (2420、2425、2430 和 2440) 范围（源和测量）不支持 Ohms 保护。如果在上列范围内，则无法选择欧姆保护。反之，如果已经选择了欧姆保护，则不能选择 1A、3A 和 5A (2420、2425、2430 和 2440) 范围。请参见第 4 节“6 线欧姆测量”和第 2 节“欧姆保护”。

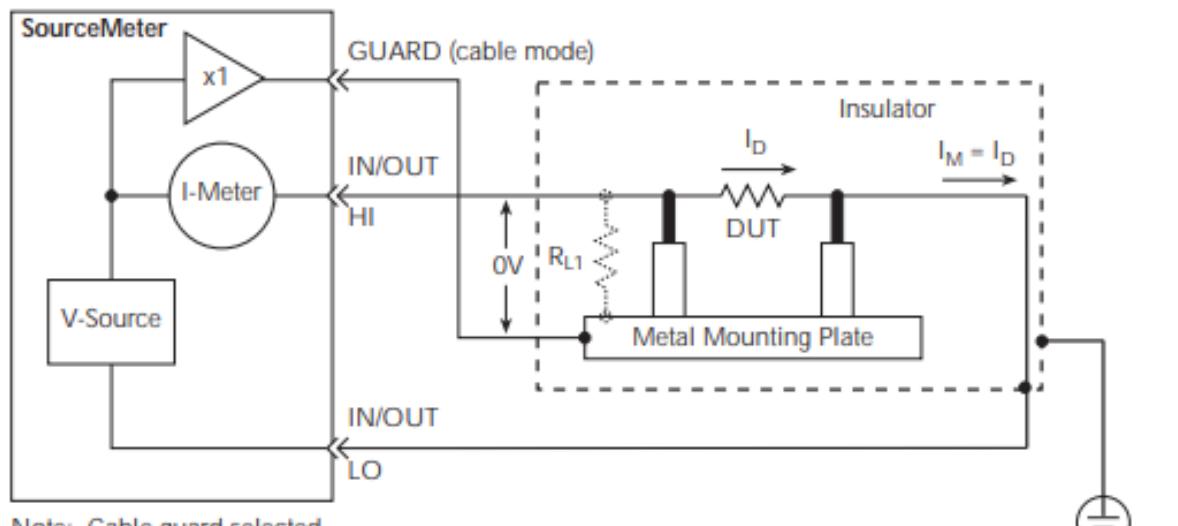
如果要测量网络中单个电阻器的电阻，则必须使用欧姆保护配置。图 6-18B 显示了如何测量 R_1 的电阻。由于 R_2 两侧的电压相同，因此不能通过它流动任何电流。因此，源表的所有编程电流 (I_M) 将通过 R_1 流动。然后测量 R_1 的电压，并计算出准确的电阻测量值，本例中为 20 $k\Omega$ 。

注意 当前保护电流 (I_G) 不能超过 50mA。如果超过了这个值，保护电压会降低至低于输出电压的电平，从而导致泄漏电流。因此，受保护的欧姆测量结果会变得不准确。

Figure 6-17
High-impedance measurements

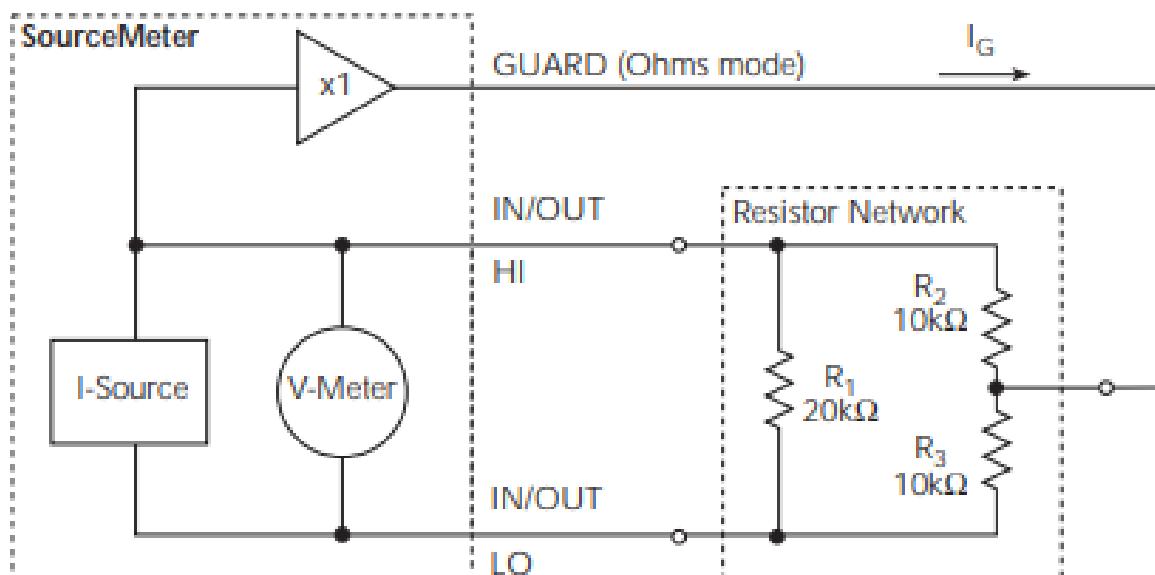
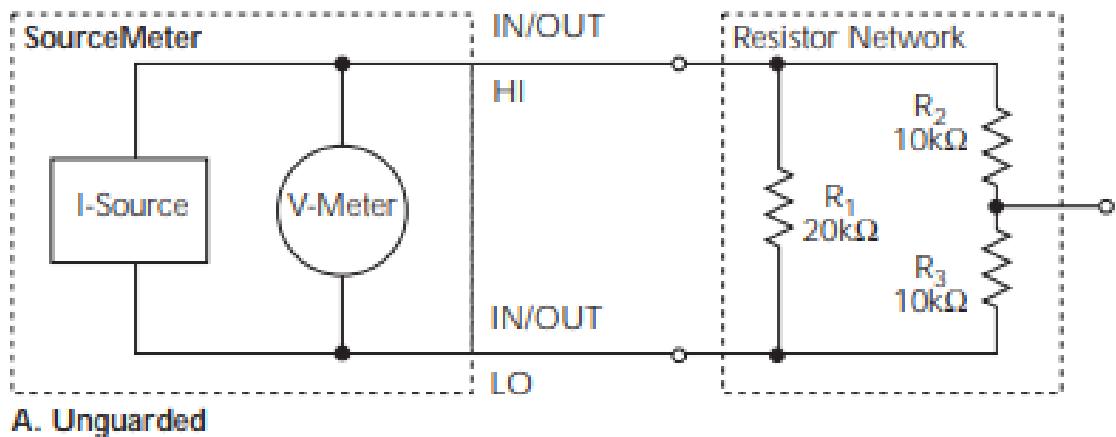


A. Unguarded



B. Guarded

Figure 6-18
In-circuit ohms measurements



Note: Ohms guard selected

$$I_G = \frac{V_M}{R_3}$$

6.6.3. 保护感测

当 GUARD 到 LO 电阻路径小于 $1\text{k}\Omega$ 时，应使用远程保护感测来补偿开关卡上的 GUARD 测试线和/或开关接点中的 IR 压降。

将图 6-18 通过将 R_3 的值更改为 100Ω 并显示 GUARD 测试线的 1Ω 电阻 (R_{TL}) 而修改为图 6-19A。由于从 GUARD 到 LO 的电阻路径小于 $1\text{k}\Omega$ ，因此防护测试线 (R_{TL}) 中的 IR 压降变得显著。施加在 R_2 底部的防护电压现在明显低于源表的 In/Out HI 电压。因此，漏电流 (I_L) 通过 R_2 流过，对 R_1 的电阻测试产生负面影响。

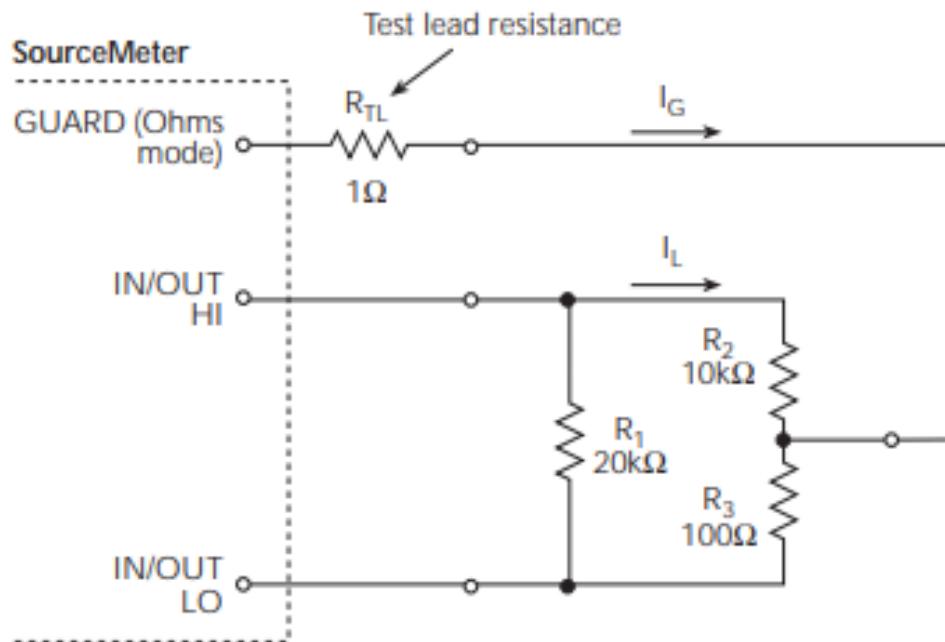
通过连接如图 6-19B 所示的 GUARD SENSE 来补偿保护测试线 IR 压降。感测允许在电阻器网络处感知（测量）保护电压，以获得更好的保护电压调节。如果远程感测的保护电压小于源表的输出电压，则保护电压将增加，直到感测到的保护电压等于输出 HI 电压。

请注意，为了确保图 6-19 中的防护电流 (I_G) 不超过 50mA ，源表的输出电压不得超过 5V ($50\text{mA} \times 100\Omega = 5\text{V}$)。

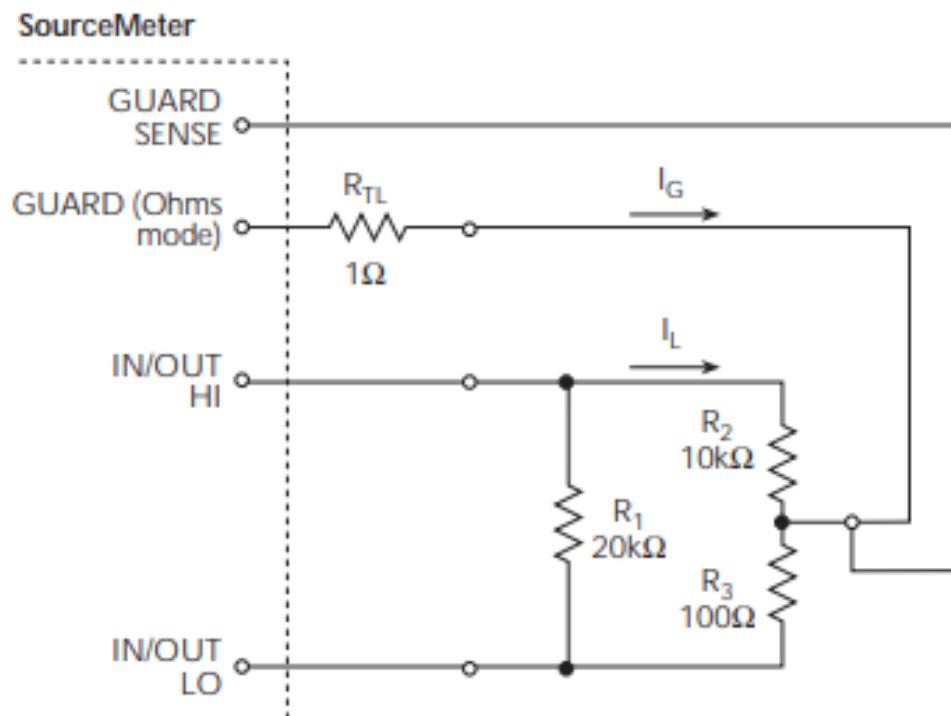
注意 保护感测操作是自动进行的。没有菜单选择来启用或禁用保护感测。

对于 6 线欧姆表保护测量，请使用 GUARD 输出关闭状态。有关 GUARD 输出关闭状态的详细信息，请参见第 13 节“输出关闭状态”。

Figure 6-19
In-circuit ohms measurements using guard sense



A. Local Guard Sense



B. Remote Guard Sense

6.7. 数据流

图 6-20 中提供的框图总结了前面板操作的数据流。请注意，如果启用 REL，则 rel 操作的结果将发送到其他模块。

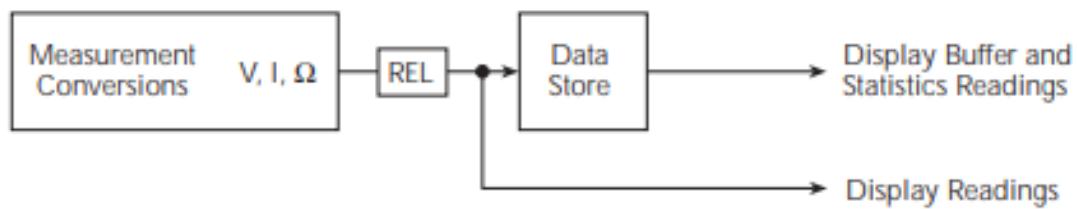
注意 有关远程操作数据流信息，请参见附录 C。

当使用 Math (FCTN) 和 Limit Tests (LIMITS) 禁用时 (参见图 6-20A)，源表显示测量读数。如果使用数据存储，则这些读数也会存储在缓冲区中以备后续调用。这些读数的统计数据也可调用。

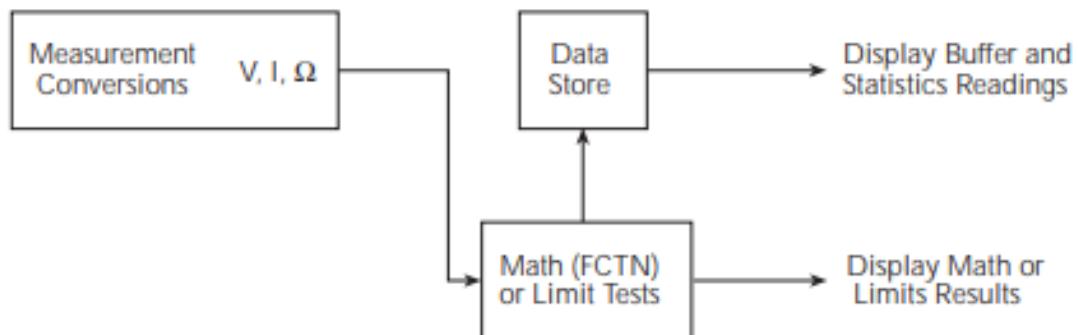
图 6-20B 显示启用 Math 或 Limit Tests 时的数据流。如果启用 Math，则显示 math 操作的结果。如果启用 Limit Tests，则显示原始读数以及测试结果 (通过或失败)。与之前的情况一样，这些读数也可以存储在数据存储器中。

图 6-20C 显示同时启用 Math 和 Limit Tests 时的数据流。首先执行 Math 操作，然后对该 math 结果执行限制测试。显示 math 操作的结果以及限制测试的结果 (通过或失败)。如图所示，这些读数也可以存储在数据存储器中。

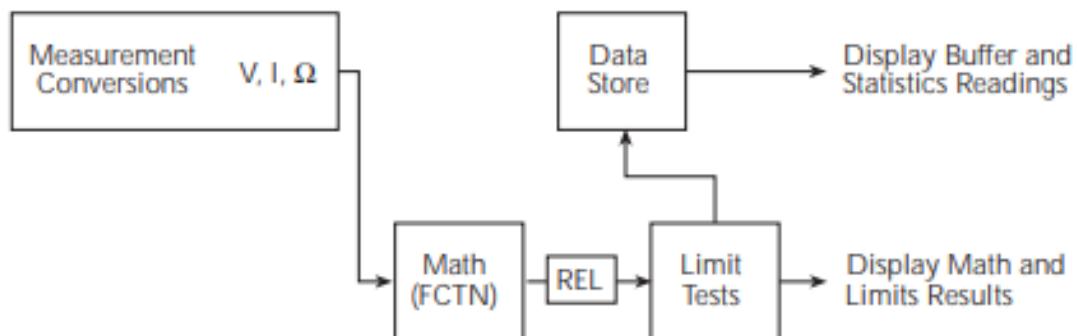
Figure 6-20
Data flow front panel



A. Math (FCTN) and Limit Tests Disabled



B. Math (FCTN) or Limit Tests Enabled



C. Both Math (FCTN) and Limit Tests Enabled

6.7.1. 缓冲区考虑事项

当源表正在存储读数时，配置更改会影响缓冲区中存储的内容。表 6-3 总结了这些存储考虑因素和限制。

Table 6-3
Buffer considerations

Configuration at start of the storage process	What happens if the basic measurement function (V, I, or Ω) is changed?	What happens if the MATH function is changed?	What happens if REL or LIMITS is changed?
Measure V, I, or Ω	Buffer tracks	V, I, or Ω stored MATH not stored OK	V, I, or Ω stored REL or Limits not stored MATH stored REL or Limits not stored OK
MATH (FCTN) enabled	Buffer pauses		
REL/LIMITS enabled	Buffer pauses	Buffer pauses	

表 6-3 的第一列显示开始存储过程时的源表配置。接下来的三列显示在源表存储读数时进行配置更改时会发生什么。

更改电压、电流或欧姆测量功能

- 如果您最初只选择了基本的测量功能，则缓冲区将跟踪基本的测量功能更改。例如，如果您从伏特开始并更改为电流，则缓冲区将存储电流读数。
- 如果您启用了 MATH、REL 和/或 LIMITS，则如果更改基本的测量功能，缓冲区将停止存储读数。如果返回到原始配置，则存储将继续。

有关选择测量功能的更多信息，请参见“基本源测量程序”第 3 节。

更改 MATH 功能

- 如果您最初只选择了基本的测量功能，则可以启用 MATH 功能，但仅会将计算的电压、电流或电阻部分存储在缓冲区中。MATH 函数的结果不会被存储。
- 如果您最初启用了 MATH 功能，则可以选择不同的 MATH 功能。新 MATH 功能的结果将存储在缓冲区中。
- 如果您已启用 REL 和/或 LIMITS，则选择 MATH 功能后，缓冲区将停止存储读数。如果返回到原始配置，则存储将继续进行。

有关 MATH 的更多信息，请参见第 8 节。

更改 REL 或 LIMITS

- 如果您最初只选择了基本的测量功能，则可以启用 REL 和/或 LIMITS，但仅会将操作的电压、电流或电阻部分存储在缓冲区中。REL 和/或 LIMITS 的结果不会被存储。
- 如果您最初启用了 MATH 功能，并且启用了 REL 和/或 LIMITS，则仅在缓冲区中存储 MATH 计算的结果。

- 如果您已启用 REL 和/或 LIMITS，则可以更改 REL 和/或 LIMITS。新的 REL 和/或 LIMITS 结果将存储在缓冲区中。

7. 量程、位数、速度和滤波器

- 量程和位数 - 讨论最大读数, 量程限制, 手动和自动量程以及显示分辨率。
- 速度 - 讨论速度设置, 用于控制 A/D 转换器的积分周期。
- 滤波器 - 提供有关可以用于减少读数噪声的两种数字滤波器的信息。

7.1. 量程和数值

7.1.1. 量程

所选的测量范围会影响测量的精度和最大可测信号。请注意，在输出关闭时，将显示虚线（即 $---$ μA ），表示没有进行测量。

最大读数

每个电压、电流和自动欧姆测量范围的满量程输入由所选的范围定义。例如， $\pm 2.11\text{V}$ 是 2V 范围的满刻度读数， $\pm 105.5\text{mA}$ 是 100mA 范围的满刻度读数， $\pm 2.11\text{k}\Omega$ 是 $2\text{k}\Omega$ 范围的满刻度读数。第 3 节的表 3-1 列出了所有范围的满刻度读数。

对于手动欧姆测量，显示读数是 V/I 计算的结果。实际上，没有欧姆范围。因此，在显示读数中永远不会有前导零。例如，测量为 $936.236\text{k}\Omega$ 的电阻器将显示为 $936.236\text{k}\Omega$ （5 位数字分辨率）。**RANGE** 键用于选择电压或电流测量范围。

超过最大电平的输入会导致显示“溢出”消息，而通过遥控器返回 $9.91\text{E} + 37$ 。

量程限制

在源电压 (Source V) 时，你不能使用 **RANGE** 键更改电压测量 (Measure V) 范围。同样，在源电流 (Source I) 时，你不能使用 **RANGE** 键更改电流测量 (Measure I) 范围。对于这些源-测量配置，测量范围由所选的源范围确定。有关范围，请参阅附录 A。

手动量程

对于 Source V Measure I、Source I Measure V 和欧姆配置，使用 **RANGE** 箭头键选择固定范围。请注意，最高可用范围取决于相应的合规性设置。

在范围合规性或仪器在特定范围上显示“溢出”消息时，选择更高的范围，直到显示出在范围内的读数。使用最低的范围，但不会导致溢出，以确保最佳的准确性和分辨率。

自动量程调节

注意 对于 Model 2430 而言，当处于脉冲模式时无法执行自动量程调节。因此，以下关于自动量程调节的所有信息都不适用于 Model 2430 脉冲模式。

对于源电压测量电流、源电流测量电压和欧姆配置，按下“**AUTO RANGE**”键可以启用自动量程调节。当选择自动量程调节时，“**AUTO**”指示灯会亮起来。通过选择自动量程调节，仪器会自动选择最佳量程以测量所施加的信号。需要注意的是，最高可用范围取决于相应的合规性值设置。

自动量程调节的注意事项

如果源表必须进行自动量程调节，则 **SDM**（源延迟测量）周期将被重复以在新范围内进行测量。这意味着每次单元必须进行自动量程调节时，任何编程的源延迟都将被应用。例如，如果编程了 1s 钟的源延迟，则如果它必须更改范围，则该单元可能需要 2s 或更长时间才能完成读数。

源表使用的自动量程算法如下：如果读数达到当前范围的 105%，则单元将上升 3 个范围，或者如果无法上升 3 个范围，则上升到最高范围。单元将进行另一个读数，然后决定是否需要继续增加范围或根据读数选择正确的范围。如果读数为当前范围的 10%、1% 或 0.1%，则它将根据读数下降 1、2 或 3 个范围。

自动量程变换模式

自动量程变换模式确定仪器执行自动量程调节的方式。在“SINGLE”模式下，源表只有在首次进行读数后才会自动量程调节。在“MULTIPLE”模式下，在源-延迟-测量（SDM）周期的延迟阶段达到合规性值后，源表将进行自动量程调节，从而最大限度地减少多个源表系统中出现源表处于合规性状态的可能性。仅在进行了一次读数后，源表才能向下一级量程调节。

注意 有关更多 SDM 信息，请参见第 6 节“源延迟测量周期”。

将自动量程变换模式设置为“MULTIPLE”后，您还可以编程浸泡时间，该时间指定在扫描的第一个点之后，单位将在循环中主动进行自动量程上下调节的时间量，以使多个源表配置稳定。仅在初始扫描触发后的第一个 SDM 周期中，此过程才会发生。（请参见第 11 节“触发模型”）。当存在长时间 DUT（例如低电流测量）的情况时，需要从较高范围进行多次下降调节，此功能特别有用。

浸泡时间仅在初始扫描触发后第一个 SDM 周期的延迟阶段代替延迟时间。有关触发模型的概述，请参见图 11-1。

选择自动量程变换模式

要配置自动量程变换模式，请按 CONFIG，然后按 AUTO。从 AUTO RANGE TYPE 菜单中根据需要选择 SINGLE SRC MTR 或 MULTIPLE。如果选择 MULTIPLE，则还会提示您输入 SOAK 时间，可以在 0.000s 到 9999.999s 的范围内编程。

自动量程限制

自动量程限制包括支持自动量程变换模式。对于电压和电流，上限由合规性范围控制，无法编程。然而，对于自动欧姆模式，下限是可调的。所有三个功能的下限都是可编程的，并且必须小于或等于上限。如果下限等于上限，则有效地禁用了自动量程变换。当禁用自动量程变换时，您可以手动更改到低于下限（V、I 或 Ohms）的任何范围或高于上限（仅限 Ohms）的任何范围。

设置自动量程限制

要设置上限或下限自动量程限制，请分别按 CONFIG ¹ 或 CONFIG _f，然后使用 Δ 和 ∇ 键在 ULIMIT 或 LLIMIT 提示处设置限制。请记住，您无法在 V 和 I 模式下设置上限，但该单位将在这两个功能中显示上限。

限制评估

只有当单位切换到自动量程模式时，才会评估上限和下限。这意味着，如果单位已经处于高于上限或低于下限的范围内，当设置限制时不会发生范围变化。

仅当单位必须升级时才评估上限。换句话说，如果您处于高于当前上限的范围内，并且单位自动调整到下一个更小的范围，则仍可能最终进入高于上限的范围。对于下限也是如此。

除非打开了自动量程变换，否则上限和下限没有意义，但是除非单位必须通过自动量程变换，否则不会评估限制。如果您已经处于正确的范围内并打开了自动量程变换，则不会评估限制。

7.1.2. 数值

测量读数的显示分辨率取决于 DIGITS 设置。此设置是全局的，这意味着 DIGITS 设置针对所有测量功能的显示分辨率。

DIGITS 设置对远程读数格式没有影响。显示的数字数量不会影响准确性或速度。这些参数由 SPEED 设置控制。

设置显示分辨率

有两种方法可以设置显示分辨率：

- DIGITS - 按 DIGITS 键直到显示所需的数字为止。
- CONFIG DIGITS - 按 CONFIG，然后按 DIGITS 以显示数字菜单。将光标放在所需的数字（3.5、4.5、5.5 或 6.5）上，然后按 ENTER。

注意 并行测量（通过使用 TOGGLE 键在次要显示器上可用）始终为 5 位数字。

更改 SPEED 会更改 DIGITS，但更改 DIGITS 不会更改 SPEED。

7.1.3. 远程范围和数字编程

表 7-1 总结了控制范围和数字所需的命令。有关这些命令的更多详细信息，请参见第 18 节。

范围和数字命令

Table 7-1
Range and digits commands

Command	Description
:SENSe:CURRent:RANGE <n>	Select manual amps range (n = range).
:SENSe:CURRent:RANGE:AUTO <state>	Enable/disable auto amps range (state = ON or OFF).
:SENSe:VOLTage:RANGE <n>	Select manual volts measure range (n = range).
:SENSe:VOLTage:RANGE:AUTO <state>	Enable/disable auto volts range (state = ON or OFF).
:SENSe:RESistance:RANGE <n>	Select manual ohms range (n = range).
:SENSe:RESistance:RANGE:AUTO <state>	Enable/disable auto ohms range (state = ON or OFF).
:DISPLAY:DIGITS <n>	Set display digits (n = 4, 5, 6, or 7).

Note: For the Model 2430, the :AUTO range commands are not valid while in the Pulse Mode.

范围和数字编程示例

表 7-2 显示了一个控制范围和数字的编程示例。源表的设置如下：

- 源: 电压
- 源电平: 10V
- 测量: 电流
- 电流量程: 10 μ A
- 显示数字: 5H

Table 7-2
Range and digits programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB defaults.
:SOUR:FUNC VOLT	Volts source function.
:SOUR:VOLT 10	Output 10V.
:SENS:FUNC "CURR"	Amps measure function.
:SENS:CURR:RANG 10E-6	10 μ A range.
:DISP:DIG 5	5 display digits.
:OUTP ON	Turn on output.
:READ?	Trigger and acquire reading.
:OUTP OFF	Turn off output.

7.2. 速度

速度/精度菜单用于设置 A/D 转换器的积分时间（输入信号测量的时间周期）。积分时间影响可用数字、读数噪声数量和仪器的最终读数速率。积分时间是根据电源周期数（NPLC）指定的参数，其中 60Hz 的 1 个 PLC 为 16.67ms (1/60)，而 50Hz 的 1 个 PLC 为 20ms (1/50)。

一般来说，最快的积分时间（FAST; 0.01 PLC）会导致增加读数噪声并减少可用数字。最慢的积分时间（HI ACCURACY; 10 PLC）提供了最好的噪声抑制。在两者之间的设置是速度和噪声之间的妥协。上电时默认的速度设置为 NORMAL (1 PLC)。

注意 对于 Model 2430 的脉冲模式，有效的 NPLC 范围为 0.01 到 0.1 PLC。

速度设置影响 NMRR（常模抑制比）和 CMRR（共模抑制比）。常模噪声是 HI 和 LO 输入端之间的噪声信号，而共模噪声是 LO 和机壳地之间的噪声信号。有关 NMRR 和 CMRR 规格，请参见附录 A。

7.2.1. 设置速度

速度从速度精度菜单设置，结构如下。使用第 1 节“导航菜单的规则”来检查和/或更改速度设置。

注意 对于 Model 2430 的脉冲模式，速度是从脉冲速度菜单设置的。此菜单结构位于速度精度菜单之后。请使用第 1 节“导航菜单的规则”来检查和/或更改速度设置。

前面板速度控制

按 SPEED 或 CONFIG SPEED 键以显示菜单。

- FAST - 将速度设置为 0.01 PLC，并将显示分辨率设置为 3H 数字。
- MED - 将速度设置为 0.10 PLC，并将显示分辨率设置为 4H 数字。
- NORMAL - 将速度设置为 1.00 PLC，并将显示分辨率设置为 5H 数字。
- HI ACCURACY - 将速度设置为 10.00 PLC，并将显示分辨率设置为 6H 数字。
- OTHER - 用于将速度设置为任何 PLC 值，从 0.01 到 10。使用此选项设置速度时不会更改显示分辨率。

注意 设置了速度后，可以使用 DIGITS 键更改显示分辨率。

脉冲速度 (NPLC) - Model 2430 脉冲模式

按 SPEED 或 CONFIG SPEED 键以显示速度选项：

0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10

注意 对于 Model 2430 的脉冲模式，速度设置不会影响显示分辨率。

7.2.2. 远程速度编程

速度指令

表 7-3 总结了控制速度的指令。有关更多信息，请参见第 18 节“设置测量速度”。

注意 速度设置是全局的，这意味着为一个功能设置速度会影响其他功能的速度。但是，速度设置存储在源内存中，您可以使用此功能在扫描期间更改速度。有关使用源内存的详细信息，请参见第 10 节。

Table 7-3
Speed commands

Command	Description
:SENSe:CURRent:NPLCycles <n>	Set amps speed (n = PLC, 0.01 to 10)*.
:SENSe:VOLTage:NPLCycles <n>	Set volts speed (n = PLC, 0.01 to 10)*.
:SENSe:RESistance:NPLCycles <n>	Set ohms speed (n =PLC, 0.01 to 10)*.

* For the Model 2430 Pulse Mode, n = PLC, 0.01 to 0.10.

7.3. 濾波器

注意 对于 Model 2430 的脉冲模式，不使用过滤器，因此无法启用。按 FILTER 键将显示“Invalid in Pulse Mode”消息。

滤波器可让你设置滤波器响应以稳定嘈杂的测量。源表使用基于读取转换的数字滤波器。显示、存储或传输的读数是一组读取转换的平均值（从 1 到 100）。

有两种可选择的平均滤波器类型：重复和移动（图 7-1）。对于重复滤波器（它是上电默认值），堆栈（滤波计数）填充，然后对转换进行平均以产生一个读数。然后清除堆栈，重新开始该过程。选择此滤波器以进行扫描，因此其他源电平的读数不会与当前源电平平均。

移动平均滤波器使用先进先出的堆栈。当堆栈（滤波计数）变满时，测量转换被平均，从而得到一个读数。对于放入堆栈中的每个后续转换，最旧的转换被丢弃。堆栈被重新平均，得到一个新的读数。

当首次启用滤波器时，堆栈为空。请记住，直到堆栈满时才会产生经过滤波的读数。第一个读取转换被放入堆栈中，然后复制到其他堆栈位置中以填充它。因此，第一个经过滤波的读数与第一个读取转换相同。现在正常的移动平均滤波器过程可以继续。请注意，只有当堆栈用新的读取转换（没有副本）填满时才会产生真实的平均值。例如，在图 7-1A 中，需要十个过滤读数来用新的读取转换填充堆栈。前九个过滤读数是使用复制的读取转换计算的。

注意 不建议启用移动平均滤波器进行扫描，因为它可能会产生错误的结果。所需的读数可能随着扫描源值而改变，这些变化可能会被平均技术所扭曲。

响应时间考虑

滤波器平均模式和计数会影响总读取速度。移动平均滤波器比重复平均滤波器快得多，因为单元不必为每个读数重新填充滤波器堆栈。此外，平均读数的数量将影响读数速度；随着平均读数的增加，读数速度会降低。

7.3.1. 前面板滤波器控制

配置滤波器

滤波器类型和计数是从 CONFIGURE FILTERING 菜单进行配置的，结构如图 7-2 所示。使用第 1 节“导航菜单的规则”来检查和/或更改滤波器配置。

CONFIGURE FILTERING 菜单

按 CONFIG，然后按 FILTER 键以显示菜单。

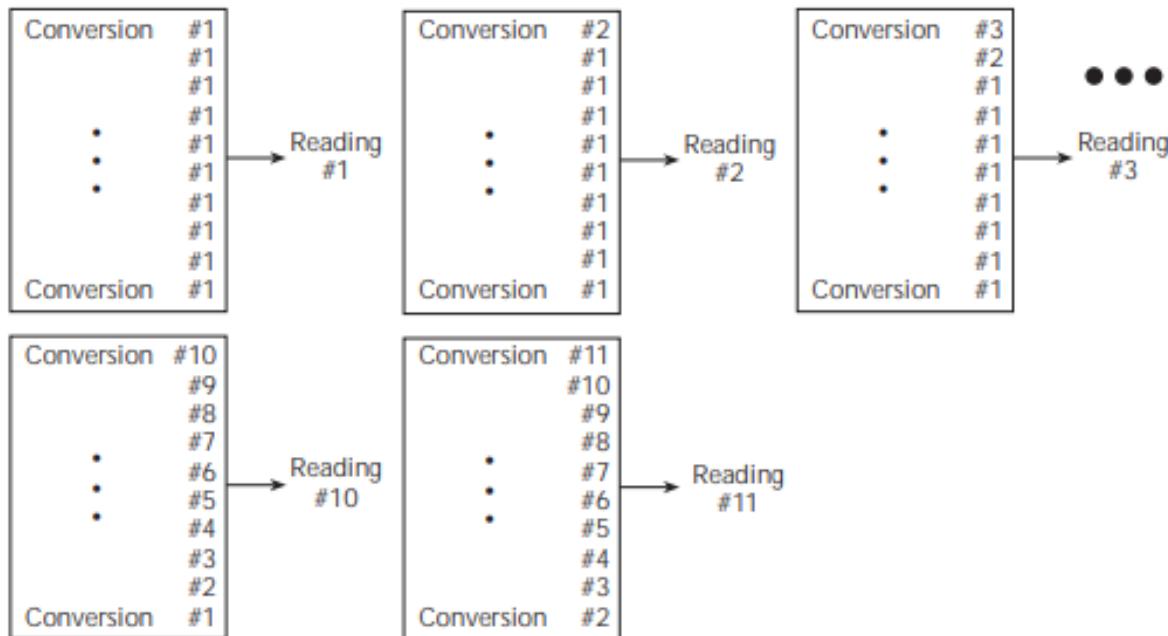
- AVERAGING MODE - 使用此菜单项选择滤波器类型（MOVING 或 REPEAT）。
- AVERAGE COUNT - 使用此菜单项指定滤波器计数（1 到 100 个读数）。

注意 对于所有测量功能，配置的滤波器都是相同的。

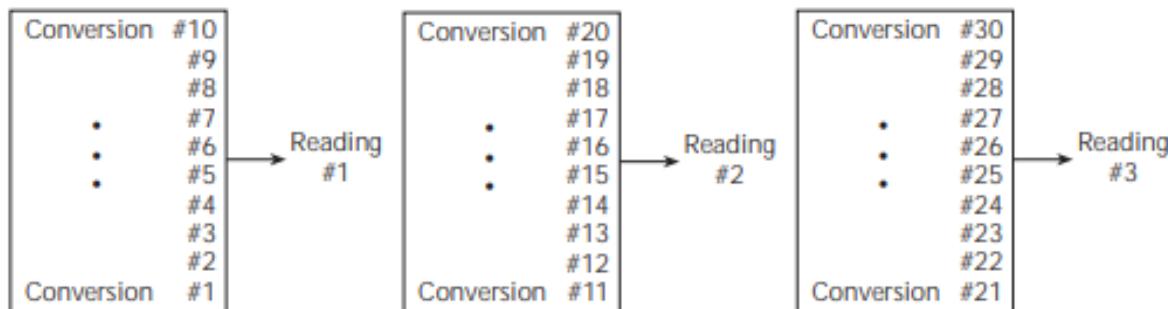
启用滤波器

通过按 FILTER 键启用滤波器。在滤波器启用时，会短暂显示“Filter Enabled”消息和过滤器计数。当启用滤波器时，FILT 指示灯亮起。再次按 FILTER 键可禁用滤波器。

Figure 7-1
Moving average and repeating filters



A. Type - Moving Average, Readings = 10

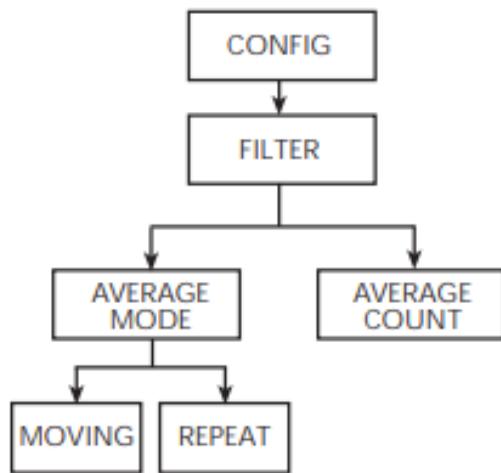


B. Type - Repeating, Readings = 10

响应时间

滤波器参数在显示、存储或输出滤波读数所需的时间方面进行了速度和精度权衡。这些影响速度与精度和对输入信号变化的响应之间的读取转换次数。

Figure 7-2
Filter configuration menu tree



7.3.2. 远程滤波器编程

滤波器命令

表 7-4 总结了滤波器命令。有关更多详细信息, 请参见第 18 节“SENSe1 子系统”中的“配置和控制滤波器”。

Table 7-4
Filter commands

Command	Description
:SENSe:AVERage:TCONtrol <type> :SENSe:AVERage:COUNT <n> :SENSe:AVERage <state>	Select filter type (type = REPeat or MOVing). Set filter count (n = count, 1 to 100). Enable/disable filter (state = ON or OFF)*.

* For the Model 2430 Pulse Mode, the filter cannot be enabled.

8. 相对和数学

- 相对 (Relative) — 讨论可以用于抵消偏移量或从读数中减去基线值的相对 (REL) 模式。
- 数学运算 — 提供了以下数学 (FCTN) 运算的详细信息：功率、抵消补偿欧姆、压敏电
阻、alpha、电压系数和百分偏差。

8.1. 相对模式

rel (相对) 功能可用于抵消偏移或从当前和未来读数中减去基线读数。启用 REL 后, 后续读数将是实际输入值与 rel 值之间的差异, 如下所示:

显示读数=实际输入-Rel 值

一旦为测量功能建立了 rel 值, 该值对所有范围都是相同的。例如, 如果在 20V 范围上设置 5V 作为 rel 值, 则在 2V 和 200mV 范围上的 rel 值也为 5V。

选择无法容纳 rel 值的范围不会导致溢出条件, 但它也不会增加该范围的最大允许输入。例如, 在 20V 范围上, 源表仍会对> 21.1V 的输入溢出。

注意 启用 rel 时, REL 指示灯亮起。更改测量功能会禁用 rel。

8.1.1. 前面板 rel

启用和禁用 rel

可以通过按 REL 键来使用 rel 以使零偏移无效化或建立一个零基线。读数 (成为 rel 值) 将从自身中减去。因此, 将显示零读数。再次按下 REL 将禁用 rel。

定义 rel 值

可以通过以下方法从前面板为所选测量功能确定唯一的 rel 值:

1. 按 CONFIG, 然后按 REL。将显示当前的 rel 值。
2. 设置所需的 rel 值。 (有关详细信息, 请参见“导航菜单的规则”第 1 节。)
3. 在显示所需的 rel 值时, 按 ENTER。源表将返回正常的源测量显示, 并启用 rel。读数将反映定义的 rel 值。

8.1.2. 远程 REL 编程

REL 命令

表 8-1 总结了 REL 命令。有关更多信息, 请参见第 18 节“CALCulate2”子系统。

Table 8-1
Rel commands

Command	Description
:CALCulate2:NULL:OFFSet <n>	Define null (rel) value (n = rel value).
:CALCulate2:NULL:STATe <state>	Enable/disable rel (state = ON or OFF).
:CALCulate2:NULL:ACQuire	Automatically acquire rel value (must have non-overflowed reading).

REL 编程示例

表 8-2 列出了设置和启用 REL 的命令。这些命令设置源表如下：

- REL 值：5
- REL 状态：启用

Table 8-2
Rel programming example

Command	Description
:CALC2:NULL:OFFS 5	Rel value =5.
:CALC2:NULL:STAT ON	Enable rel.

8.2. 数学运算

8.2.1. 内置数学函数

源表具有内置的数学函数来计算以下内容：

- 功率
- 抵消补偿 Ω
- 压敏电阻因子
- 电压系数
- 百分偏差

功率和百分偏差数学函数使用单个电压和/或电流测量值进行计算。抵消补偿 Ω 、压敏电阻因子和电压系数数学函数需要 2 点测量来进行计算。

功率

该数学函数使用测量的电压和电流值计算功率，如下所示：

$$\text{功率} = V \times I$$

其中：

V = 测量的电压

I = 测量的电流

请注意，功率以瓦特为单位显示，在显示器的单位字段中带有“W”。

抵消补偿欧姆

热电动势 (V_{EMF}) 的存在会对低电阻测量精度产生负面影响。为了克服这些不必要的偏移电压，使用抵消补偿 Ω 测量方法。一般而言，该方法会在特定的 I-Source 电平上测量电阻 (V/I)，然后从使用 I-Source 设置为另一个电平（通常为零）进行的电阻测量中减去一个电阻测量值。

注意 可以在 CONFIG OHMS 菜单结构中找到抵消补偿 Ω 选项。在此菜单中使用抵消补偿 Ω 会自动选择零作为一个源值。有关详细信息，请参见第 4 节“抵消补偿”。

这种两点测量方法在数学上的表示为：

抵消偏差后的 $\Omega = \Delta V / \Delta I$ ，其中 $\Delta V = V_2 - V_1$ ， $\Delta I = I_2 - I_1$ 。

- V_1 是电流源设定为特定电平时的电压测量。
- V_2 是电流源设定为不同电平（通常为零）时的电压测量。
- I_1 是电流源设定为特定电平时的电流测量。
- I_2 是电流源设定为不同电平（通常为零）时的电流测量。

您将被提示输入两个电流源值，并以显示器的单位字段中的“ Ω ”符号显示结果。

压敏电阻器参数 alpha

此数学公式用于确定压敏电阻 alpha (α)，这是定义压敏电阻特性的重要参数。Alpha 被定义为非线性 V-I 曲线上两个电压测量点的对数比，表示如下：

$$\alpha = \frac{\log(I_2 / I_1)}{\log(V_2 / V_1)}$$

其中：V1 是第一个 I-Source 点处的电压测量。

V2 是第二个 I-Source 点处的电压测量。

$\log(x)$ 函数使用 x 的绝对值。

在配置此数学函数时，您将被提示输入两个 I-source 值。（请参见本节后面的“前面板数学运算”。）

电压系数

高阻值或高兆欧电阻器会因应用电压的变化而产生电阻变化。这种效应称为电压系数。电压系数是单位变化的应用电压引起的电阻百分比变化，定义如下：

$$\text{Coefficient\%} = \frac{\Delta R}{R_2 \times \Delta V} \times 100\%$$

其中： $\Delta R = R_2 - R_1$

$\Delta V = V_2 - V_1$

R1 是第一个源点处的电阻测量值。

R2 是第二个源点处的电阻测量值。

V1 是第一个源点处的电压测量值。

V2 是第二个源点处的电压测量值。

如果提供电压，则会提示您输入两个 V-source 值。如果提供电流，则会提示您输入两个 I-source 值。（请参阅“前面板数学运算”，第 8-6 页。）

百分比偏差

该计算提供了正常显示读数与用户设置参考值之间的百分比偏差：

$$\% \text{Deviation} = \frac{(X - Y)}{Y} \times 100$$

其中：X 为正常显示测量读数（电压、电流，或 Ω ）。

Y 为参考值。

在提示输入参考值 (Y) 时, 您可以输入该值或让源表获取参考值。要获取参考值, 请打开输出并按 AUTO 键。源表将执行测量, 并将该读数显示为参考值。

8.2.2. 前面板数学运算

执行以下步骤以选择并启用数学表达式。

1. 选择数学表达式所需的适当源 (V 或 I)。
2. 按 CONFIG, 然后按 FCTN 键以显示数学表达式选项。将光标放置在所需的数学表达式上, 并按 ENTER 键:
 - 对于两点数学表达式, 您需要输入两个源值。输入每个源值后按 ENTER 键。
 - 对于百分比偏差, 您需要设置参考值。可使用以下方法:
 - 用户指定的参考值-输入所需的参考值, 然后按 ENTER 键。
 - 获得参考值-在输出打开的情况下, 按 AUTO range 键。源表将执行测量, 并将该读数显示为参考值。按 ENTER 键选择该参考值。
3. 按 ON/OFF 键打开输出。
4. 按 FCTN 键以启用所选数学函数。MATH 指示灯将亮起, 并显示数学表达式的结果。

请注意, 启用 FCTN 时, 两点数学表达式的扫描会持续运行。每个扫描都会更新读数。在运行 2 点扫描时, 源值无法更改。但是, 量程键仍然处于活动状态。

8.2.3. 远程数学运算

数学命令

表 8-3 总结了控制内置数学函数的命令。有关这些和其他数学命令的更详细信息, 请参见第 18 节“计算子系统”。

Table 8-3
Math commands

Command	Description
:CALCulate:MATH:NAME <name>	Select math expression (name = "POWER," "OFFCOMPOHM," "VOLTCOEF," "VARALPHA")
:CALCulate:STATe <state>	Enable/disable math (state = ON or OFF).
:CALCulate:DATA?	Query math data.

8.2.4. 用户定义的数学函数

除了预定义的数学函数之外, 您还可以使用适当的远程命令定义自己的函数 (用户定义的数学函数不能从前面板获得)。以下段落总结了用户定义函数的基本命令, 并列出了一个基本的编程示例。有关用户定义的数学函数的更多详细信息, 请参见第 18 节“计算子系统”。

用户定义数学函数的命令

表 8-4 总结了用户定义数学函数的命令。要定义数学函数：

- 如有需要，使用：CALC:MATH:UNIT 为计算结果分配单位。单位存储在计算中。
- 使用：CALC:MATH:NAME“user-name”命令为表达式分配名称（最多使用 10 个 ASCII 字符）。
- 使用：CALC:MATH:DEFine 或:CALC:MATH:EXPRession 命令定义表达式。新表达式是当前选择的表达式。
- 发送：CALC:STATE ON 启用数学函数。
- 发送：OUTP ON 打开输出，然后发送：INIT 以触发单位。
- 使用：CALC:DATA? 查询请求数据

Table 8-4
Commands for user-defined math functions

Command	Description
:CALCulate:MATH:UNITs <name>	Specified units for user-defined function (name = three ASCII characters in quotes).
:CALCulate:MATH:NAME <name>	Define math name (name = “user-name”).
:CALCulate:MATH[EXPression] <form>	Define math formula (form = formula). Valid names: VOLtage, CURRent, RESistance, TIME. Valid math operators: + - * / ^ log, ln, sin, cos, tan, exp.
:CALCulate:STATe <state>	Enable/disable math (state = ON or OFF).
:CALCulate:DATA?	Query math data.

用户定义的数学函数编程示例

表 8-5 显示了典型用户定义数学函数的命令序列。此示例定义了一个百分偏差数学函数。

Table 8-5
User-defined math function programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB defaults.
:SENS:FUNC:OFF:ALL	Disable concurrent functions.
:SENS:FUNC:ON "RES"	Select resistance function.
:CALC:MATH:UNIT "%"	Define "%" units name.
:CALC:MATH:EXPR:NAME "PER_DEV"	Define math expression name.
:CALC:MATH:EXPR (((RES - 10e3) / 10e3) * 100)	Define math expression.
:CALC:STAT ON	Enable math data.
:OUTP ON	Turn on output.
:INIT	Trigger unit.
:CALC:DATA?	Request math data.

9. 数据存储

- 数据存储概述 - 概述了基本的数据存储（缓冲区）功能。
- 存储读数 - 讨论了将读数存储到内部缓冲区的过程。
- 检索读数 - 提供了有关检索缓冲区中存储的读数的详细信息。
- 缓冲区统计信息 - 讨论了缓冲区数据可用的各种统计信息，包括最小值和最大值、平均值（均值）、标准差和峰峰值。
- 时间戳格式 - 解释如何选择检索缓冲区读数的时间戳格式（绝对或增量）。
- 远程编程 - 总结了控制数据存储的命令，并提供了一个编程示例。

9.1. 数据存储概述

源表具有一个数据存储器（缓冲区），可存储 1 至 2500 个源测量读数。仪器会存储在存储过程中显示的源测量读数。每个源测量读数还包括缓冲区位置编号和时间戳。如果读取符合要求，则在缓冲区召回中会闪烁 Cmpl。

数据存储还提供存储在缓冲区中的测量读数的统计数据。这些包括最小值、最大值、均值和标准偏差。

注意 执行扫描时，读数会自动存储在缓冲区中。

9.2. 前面板数据存储

9.2.1. 存储读数

执行以下步骤以存储读数：

1. 设置所需的源表配置。
2. 按 STORE 键。
3. 使用左右光标键和 SOURCE 或 RANGE 箭头键指定要在缓冲区中存储的读数数量。
4. 按 ENTER 键。星号 (*) 指示灯亮起，表示数据存储操作。存储完成后，它将关闭。
5. 打开输出并（如有必要）触发单元以开始进行采集和存储读数。

9.2.2. 召回读数

按 RECALL 键显示存储在缓冲区中的读数。源测量读数位于显示器的左侧，而缓冲区位置编号和时间戳位于右侧。

缓冲区位置编号

缓冲区位置编号指示源测量读数的存储位置。位置 # 0000 表示显示的源测量读数存储在第一个内存位置。如果执行了极限测试，则“P”或“F”将在缓冲区位置号之前，表示测试的通过/失败结果。极限测试在第 12 节中介绍。

时间戳

缓冲区中存储的第一个源测量读数(#0000)的时间戳为 0000000.000s。后续读数可以以绝对或增量时间戳格式调用。对于绝对格式，时间戳将读数与零 s 进行比较。对于增量格式，时间戳指示显示的读数与其前面的读数之间的时间。要设置时间戳格式，请参见本节中的“时间戳格式”。

显示其他缓冲区读数

要显示缓冲区中存储的其他源读数，请显示所需的内存位置编号。使用 SOURCE 和 RANGE 的箭头键递增和递减所选位置数字。用 EDIT 箭头键控制光标位置。当向前滚动超过最后一个存储的读数时，缓冲区回到第一个存储的读数。反之，当向后滚动超过第一个存储的读数时，缓冲区回到最后一个存储的读数。不同的按键声音提示回到了开始的位置。

也可以使用 0 到 9 的数字键输入存储位置号。将光标定位在适当的数字上，然后按下所需的数字键。然后，光标向右移动到下一个最低有效数字。例如，要显示读数#0236，将光标定位到最左侧 (MSD)，然后按 0、2、3、6。请注意，如果输入的数字超过了缓冲区大小，则显示最高存储位置处的读数。

要退出数据存储召回模式，请按 EXIT。

9.2.3. 缓冲区统计信息

在数据存储器处于召回模式时，可以使用 TOGGLE 键显示缓冲区统计信息。使用 TOGGLE 键遍访统计信息并将源表返回到正常数据存储器召回状态。任何时候都可以按下 EXIT 键将仪器返回到正常的源测量显示状态。

注意 V、I、Ω 和 MATH 的缓冲区统计数据分别计算并显示。例如，如果显示欧姆读数，则所有显示的缓冲区统计信息都基于欧姆读数。

最小值和最大值

该模式显示缓冲区中存储的最小和最大读数。这些读数的缓冲区位置编号和时间戳也被提供。如果需要，可以前往这些缓冲区位置获取有关读数的更多数据。

峰峰值

此模式显示峰峰值读数（峰峰值=最大值-最小值）。

平均值

平均模式显示存储在缓冲区中的所有测量读数的平均值。使用以下方程计算平均值：

$$y = \frac{\sum x_i}{n}$$

其中： y 是平均值。

x_i 是存储的读数。

n 是存储的读数的数量。

标准差

此模式显示缓冲读数的标准偏差。使用以下方程计算标准差：

$$y = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-1}^n X_i^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n-1}}$$

其中： y 是标准差，

X_i 是已存储的读数，

n 是已存储读数的数量。

9.2.4. 时间戳格式

可以使用绝对时间戳格式或增量格式来召回缓冲区读数。对于绝对格式，读数参考零 s。对于增量格式，时间戳指示显示读数和上一个读数之间的时间。

执行以下步骤以设置时间戳格式：

1. 在正常显示模式下，按 CONFIG，然后按 STORE 以显示时间戳选项。
2. 将光标放置在 ABSOLUTE 或 DELTA 上，然后按 ENTER 键

9.2.5. 缓冲区注意事项

从前面板，可以使用本节早期描述的方法存储和访问 2500 个源测量读数。但是，在总线上，实际上有两个分别为 2500 个读数的独立缓冲区，共计 5000 个读数。:TRACe 缓冲区是一个 2500 个读数的缓冲区，用于前面板数据存储，总线:TRACe 命令和存储扫描数据，并且是由电池备份的。READ? 缓冲区是一个单独的 2500 读取缓冲区，只能使用：READ? 命令通过总线访问。

9.3. 远程命令数据存储

9.3.1. 数据存储命令

表 9-1 总结了与数据存储操作相关的命令。有关这些命令的更详细信息, 请参见第 18 节“TRACe 子系统”和“CALCulate3”。

Table 9-1
Data store commands

Command	Description
:TRACe:DATA?	Read contents of buffer.
:TRACe:CLEar	Clear buffer.
:TRACe:FREE?	Read buffer memory status.
:TRACe:POINts <n>	Specify buffer size (n = buffer size).
:TRACe:POINts:ACTual?	Query number of stored readings.
:TRACe:FEED <name>	Specify reading source. Name = SENSe[1] (raw readings), CALCulate[1] (Calc1 readings), or CALCulate2 (Calc2 readings).
:TRACe:FEED:CONTrol <name>	Start or stop buffer. Name = NEXT (fill buffer and stop) or NEVER (disable buffer).
:TRACe:TSTamp:FORMAT <name>	Select timestamp format. Name = ABSolute (reference to first buffer reading) or DELTa (time between buffer readings).
:CALCulate3:FORMAT <name>	Select buffer statistic (name = MEAN, SDEViation, MAXimum, MINimum, or PKPK).
:CALCulate3:DATA?	Read buffer statistic data.*

* If :TRACe:FEED is set to :SENSe[1], this command will return one V, I, Ω and MATH result.

9.3.2. 数据存储编程示例

表 9-2 总结了基本数据存储操作的命令。这些命令设置源表如下:

- 读取源: 原始读数。
- 测量点数: 10 个。
- 获取的数据: 缓冲区读数、平均值和标准偏差。

注意 您可以通过读取相应的状态寄存器位确定缓冲区何时已满。有关状态结构的详细信息, 请参见第 15 节。

Table 9-2
Data store example

Command	Description
*RST	Restore GPIB defaults.
:SOUR:VOLT 10	Source 10V.
:TRAC:FEED SENS	Store raw readings in buffer.
:TRAC:POIN 10	Store 10 readings in buffer.
:TRAC:FEED:CONT NEXT	Enable buffer.
:TRIG:COUN 10	Trigger count = 10.
:OUTP ON	Turn on output.
:INIT	Trigger readings.
:TRACE:DATA?	Request raw buffer readings.
:CALC3:FORM MEAN	Select mean buffer statistic.
:CALC3:DATA?	Request buffer mean data.
:CALC3:FORM SDEV	Select standard deviation statistic.
:CALC3:DATA?	Request standard deviation data.

10. 扫描操作

- **扫描类型** - 描述了四种基本的扫描类型：线性阶梯、对数阶梯、自定义和源存储器扫描。
- **配置和运行扫描** - 讨论了设置和执行扫描的过程，包括选择和配置扫描、设置延迟并执行扫描。
- **脉冲模式扫描** (仅适用于 Model 2430) - 包括 2430 型号的脉冲模式扫描操作。

10.1. 扫描类型

扫描允许您编程仪器以在每个源值上步进特定电压和电流值并执行测量。下面描述的四种基本扫描类型包括：

- 线性阶梯
- 对数阶梯
- 自定义
- 源存储器

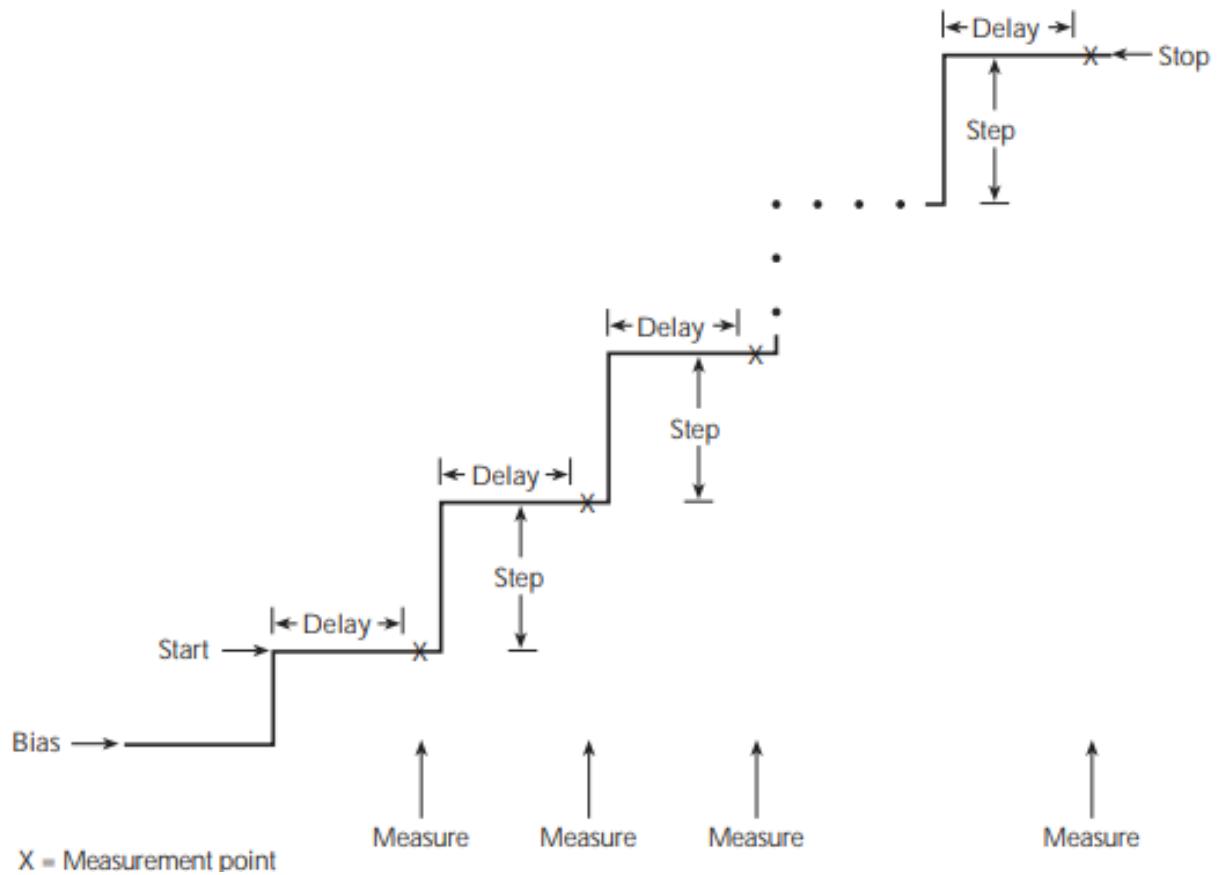
注意 只能执行电压或电流扫描。扫描读数会自动存储在缓冲区中。有关数据存储（缓冲区）的详细信息，请参见第 9 节。

10.1.1. 线性阶梯扫描

如图 10-1 所示，此扫描从起始源值到结束（停止）源值进行步进。可编程参数包括起始、停止和步进源级别。

当触发此扫描开始时，输出将从偏置电平更改为起始源电平。输出然后会按相等的步骤更改，直达到到停止源电平。在将触发延迟设置为零时，每个步骤的时间持续时间由源延迟和执行测量所需的时间（NPLC 设置）确定。请注意，一旦配置和运行扫描，延迟就不能更改，并且所有步骤的延迟都相同。

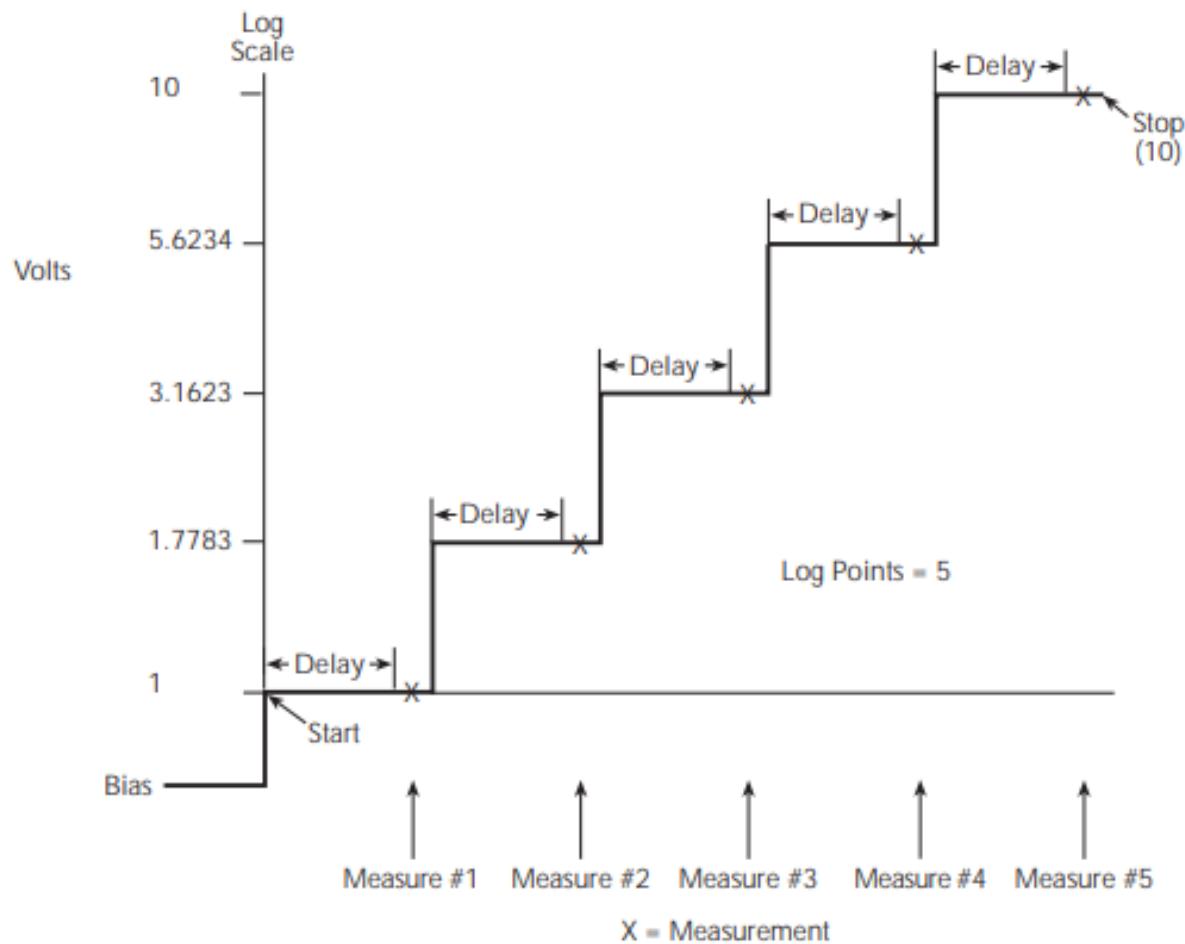
Figure 10-1
Linear staircase sweep



10.1.2. 对数阶梯扫描

此扫描与线性阶梯扫描类似。然而，步骤是在对数刻度上完成的，如图 10-2 中的示例扫描所示。这是从 1 到 10V 的 5 点对数扫描。与阶梯扫描一样，延迟周期对于所有步骤都是相同的。

Figure 10-2
Logarithmic staircase sweep (example 5-point sweep from 1 to 10 volts)



对数扫描的可编程参数包括起始和结束电平以及扫描的测量点数。指定的起始、结束和点参数确定了扫描的对数步长。在图 10-2 中，扫描的步长计算如下：

$$\begin{aligned}
 \text{Log Step Size} &= \frac{\log_{10}(\text{stop}) - \log_{10}(\text{start})}{\text{Points} - 1} \\
 &= \frac{\log_{10}(10) - \log_{10}(1)}{5 - 1} \\
 &= \frac{(1 - 0)}{4} \\
 &= 0.25
 \end{aligned}$$

因此，该扫描的五个对数步长为 0、0.25、0.50、0.75 和 1.00。这些点处的实际 V-Source 电平列在表 10-1 中（V-Source 电平是对数步长的反对数）。

Table 10-1
Logarithmic sweep points

Measure point	Log step	V-Source level (volts)
Point 1	0	1
Point 2	0.25	1.7783
Point 3	0.50	3.1623
Point 4	0.75	5.6234
Point 5	1.0	10

当启动此扫描时，输出将从偏置电平转到起始源电平（1V），并扫描对称的对数点。如果触发延迟设置为零，则每个步骤的时间持续时间由源延迟和执行测量所需的时间（NPLC 设置）决定。

10.1.3. 合规性终止

该功能在检测到合规性时中止正在进行的扫描。有三种模式，永远不、早期和晚期。永远不关闭该功能，早期会在 SDM 周期开始时检测到合规性后立即中止，晚期在 SDM 周期结束时中止。请参见第 10-12 页上的“配置和运行扫描”。

10.1.4. 自定义扫描

此扫描类型允许您配置自定义扫描。可编程参数包括扫描中测量点的数量和每个点的源电平。

当启动此扫描时，输出从偏置电平到扫描中的第一个源测量点。扫描将按照编程顺序通过源/测量点进行，并在最后一个源测量点后停止。如果将触发延迟设置为零，则每个步骤的持续时间由源延迟和执行测量所需的时间（NPLC 设置）确定。对于所有扫描点，此延迟都相同。

10.1.5. 源内存扫描

对于源内存扫描，可以将最多 100 个设置配置保存在内存中。执行扫描时，将调用每个存储器点处的设置。这允许在扫描中使用多个功能和数学表达式。例如，在源内存扫描中，第一个点可以源电压并测量电流，下一个点可以源电流并测量电压，第三个点可以源电压并测量电压，最后一个点可以使用数学表达式。该功能允许您为每个扫描点自定义特定的仪器设置，而不是被绑定到所有扫描点的一组设置中。

一旦保存了源内存设置并启动了扫描，源表将非常快速地按照设置进行序列操作。这个功能允许您将仪器用作快速、自动测试顺序器。

注意 NPLC 缓存可用于加速源内存扫描。有关详细信息，请参见“NPLC 缓存”第 3 节。

电流范围抑制

当源电压并测量电流时，电流范围抑制增加了加快低电流测量的能力。此功能仅在进行源内存扫描时可用。它将瞬间将测量范围设置为合规性范围，以通过快速充电较高范围上的电容来克服电容效应，但会返回较低的测量范围以获得良好的低电流测量结果。这避免了受到范围合规性的限制，而这要么需要更长的延迟时间，要么必须在更高的电流范围上进行测量。此功能仅通过远程可用，但两个参数都将保存在每个存储器位置中。

扫描配置

用户指定要扫描的内存位置点数量以及开始扫描的位置。例如，您可以指定从内存位置 98 开始的六点扫描。当启动扫描时，将召回内存位置点 98、99、100、1、2 和 3 处的设置。当扫描超过 100 点时，扫描会自动回到内存位置点 1。默认情况下，源存储器扫描从位置 1 开始。

注意 这些扫描的组件和其他组件可以从 *CONFIGURE SWEEPS* 菜单中进行配置。请参见本节后面的“配置和运行扫描”。

设置保存在备用电池支持的存储器中，并且即使源表失去外部电源，它们也会保留并可被召回。

保存和恢复源存储器设置

源存储器设置保存在内存中，并可以从 *MAIN MENU* 的 *SAVESETUP (SOURCE MEMORY)* 选项中恢复。（请参见第 1 节“主菜单”）

注意 源存储器设置与开机和用户定义设置不同，这些设置是通过 *SAVESETUP (GLOBAL)* *MAIN MENU* 选项编程的。有关详细信息，请参见第 1 节。

保存源存储器设置

执行以下步骤以保存源存储器设置：

1. 将源表配置为所需的源、测量和/或数学表达式操作。
2. 按 MENU 键以显示 MAIN MENU：
 - 选择 SAVESETUP。
 - 选择 SOURCE MEMORY。
 - 选择 SAVE。
 - 使用 SOURCE 箭头键和光标键显示所需的内存位置，并按 ENTER 键。
 - 使用 EXIT 键退出菜单结构。
3. 将源表配置为扫描中的下一个点，并重复步骤 2，将该设置保存在下一个内存位置中。
4. 对于扫描中的所有点重复步骤 3。

恢复源存储器设置

除了自动扫描源存储器位置（请参见本节后面的“配置和运行扫描”）之外，您还可以按照以下方式单独调用它们：

1. 按 MENU 键显示 MAIN MENU。
2. 选择 SAVESETUP，然后按 ENTER。
3. 选择 SOURCE MEMORY，然后按 ENTER。
4. 选择 RESTORE，然后按 ENTER。
5. 选择要恢复的源存储器位置（1-100），然后按 ENTER。

保存多个源存储器扫描

如果需要，可以在 100 个内存位置中保存多个源存储器扫描。例如，您可以在 1 到 4 号位置保存一个扫描的设置，并在任何其他范围的存储器位置中保存其他设置，例如 50 到 58 号位置。要选择要执行的扫描，请简单地选择两个设置：(1) 扫描起始位置 和 (2) 扫描点数。（请参见本节后面的“执行源存储器扫描”）。

保存的源存储器配置

表 10-2 总结了每个源存储器位置保存的配置以及相应的远程命令。有关这些远程命令的更多详细信息，请参见第 18 节。SCPI 命令参考表，从表 18-1 到表 18-11，也列出了源存储器参数。

Table 10-2
Source memory saved configurations

Mode	Remote command
Current integration rate	SENSe[1]:CURRent:NPLCycles
Resistance integration rate	SENSe[1]:RESistance:NPLCycles
Voltage integration rate	SENSe[1]:VOLTage:NPLCycles
Concurrent functions	SENSe[1]:FUNCTION:CONCurrent
Enable functions	SENSe[1]:FUNCTION:ON
Disable functions	SENSe[1]:FUNCTION:OFF
Manual/auto ohms	SENSe[1]:RESistance:MODE
Offset-compensated ohms	SENSe[1]:RESistance:OCOMPensated
Enable/disable filter	SENSe[1]:AVERage:STATe
Filter type	SENSe[1]:AVERage:TCONtrol
Filter count	SENSe[1]:AVERage:COUNT
2430 pulse function	SOURCE[1]:FUNCTION:SHAPe
Source mode	SOURCE[1]:FUNCTION:MODE
Source delay†	SOURCE[1]:DELay
Source auto delay†	SOURCE[1]:DELay:AUTO
Scaling factor*	SOURCE[1]...X...:TRIGgered:SFACtor
Enable/disable scaling*	SOURCE[1]...X...:TRIGgered:SFACtor:STATe
2430 pulse width	SOURCE[1]:PULSe:WIDTH
2430 pulse delay	SOURCE[1]:PULSe:DELay
Source Value, Range, Auto Range	
Sense Protection, Range, Auto Range	
Enable/disable auto-zero	SYSTem:AZERo:STATe
Enable/disable remote sense	SYSTem:RSENse
Front/rear terminals	ROUTe:TERMinals
Enable/disable CALC1	CALCulate1:STATe
CALC1 math expression	CALCulate1:MATH[:EXPReSSion]:NAME
CALC2 input path	CALCulate2:FEED
REL value	CALCulate2:NULL:OFFSet
REL on/off	CALCulate2:NULL:STATe
Limit 1 on/off	CALCulate2:LIMIT[1]:STATe
Limit 1 fail conditions	CALCulate2:LIMIT[1]:COMPliance:FAIL

Table 10-2 (cont.)
Source memory saved configurations

Mode	Remote command
Limit 1 bit pattern	CALCulate2:LIMIT[1]:COMPliance:SOURce2
Enable/disable Limit X**	CALCulate2:LIMITX:STATe
Limit X upper limit	CALCulate2:LIMITX:UPPer[:DATA]
Limit X upper bit pattern	CALCulate2:LIMITX:UPPer:SOURce2
Limit X lower limit	CALCulate2:LIMITX:LOWER[:DATA]
Limit X lower bit pattern	CALCulate2:LIMITX:LOWER:SOURce2
Composite limits bit pattern	CALCulate2:CLIMits:PASS:SOURce2
Next pass memory location	CALCulate2:CLIMits:PASS:SMLocation
Trigger delay†	TRIGger:DELay
Guard type	SYSTem:GUARd

* X = CURRent or VOLTage.

** Limit X = Limit 2, 3, 5-12.

† Not available when the Model 2430 is in the Pulse Mode.

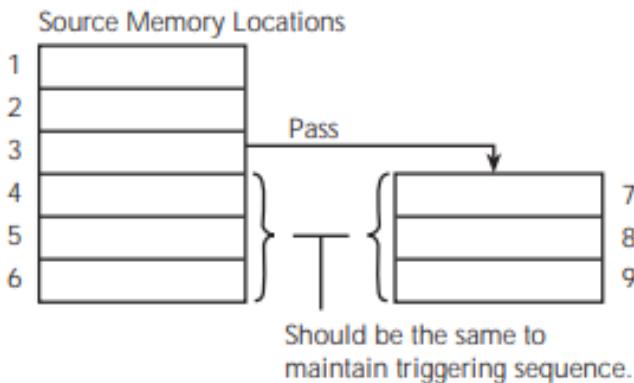
扫描分支

在执行极限测试使用源存储器扫描时，可以更改扫描内存点的正常顺序。当根据初始测试结果需要不同的测试集时，这非常有用。

扫描可以分支到指定的存储器位置点，或继续到列表中的下一个存储器位置。当指定存储器位置时，如果测试成功（PASS 条件），则扫描将分支到该存储器位置。如果不成功（FAIL 条件），扫描将继续到列表中的下一个存储器位置。选择 NEXT（默认选项）时，无论测试的结果是 PASS 还是 FAIL 条件，扫描都将继续到列表中的下一个存储器位置。

图 10-3 显示了一个六点扫描分支示例。在这种情况下，当在位置 3 处发生通过条件时，单元被编程为分支到位置 7。

Figure 10-3
Six-point test branching example



在进行分支时必须小心，因为可能会意外地创建无限内存循环。此外，单个源内存扫描将始终扫描指定数量的点，而不管采取了多少个分支。

内存扫描分支选项是从 CONFIG LIMITS 菜单中的 PASS (SRC MEM LOC) 项目设置的。 (有关详细信息, 请参见第 12 节“限制测试”和“配置限制测试”。) 通过远程, 使用:CALCulate2:CLIMits:PASs:SMLocation 命令。 (请参见本节中的“配置和运行扫描”。)

注意 仅通过远程可以使用故障分支, 在 CALC2: CLIM: FAIL: SML 下可用。有关详细信息, 请参见第 18 节。

10.2. 配置和运行扫描

10.2.1. 前面板扫描操作

扫描配置菜单

扫描配置菜单的结构如 图 10-4 所示。

注意，以下圆点表示扫描菜单的主要项目，破折号表示每个菜单项的选项。使用第 1 节“导航菜单的规则”，按以下菜单选择和配置所需的扫描。

配置扫描菜单：

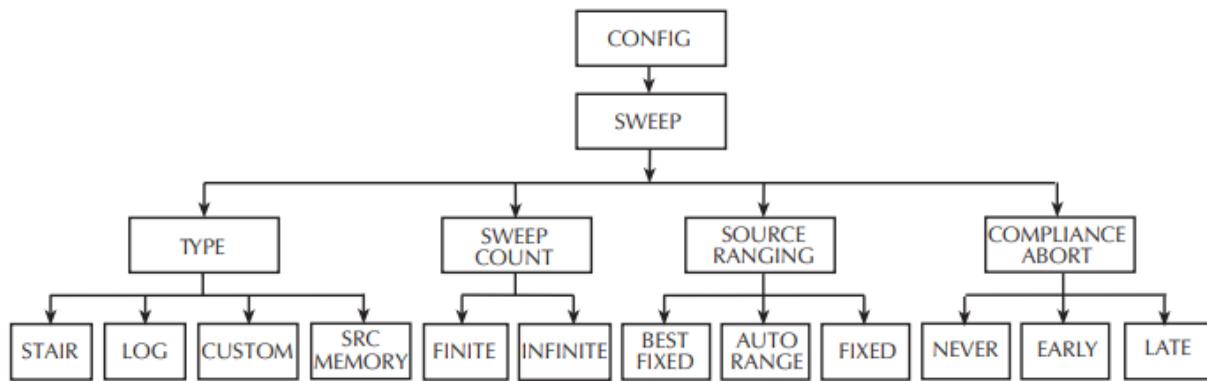
按 CONFIG 然后 SWEEP 以显示扫描配置菜单。

- TYPE - 使用此菜单项选择扫描类型：
 - STAIR - 选择线性台阶扫描时，您将被提示输入 START、STOP 和 STEP 电平。
 - LOG - 选择对数台阶扫描时，您将被提示输入 START 和 STOP 电平并指定测量点数量。
 - CUSTOM - 使用自定义扫描时，您可以在扫描中指定测量点数 (# POINTS) 和每个点处的源级别 (ADJUST POINTS)。使用 INIT 选项，您可以将扫描中一系列连续的测量点设置为特定级别。例如，假设对于 20 点自定义电压扫描 (# POINTS = 20)，您希望将 10 到 15 点设置为 1V。选择 INIT 选项后，将 VALUE 设置为 +1.000000V，将 START PT 设置为 10，将 STOP PT 设置为 15。
 - SRC MEMORY - 使用源存储器扫描时，您指定开始扫描的存储器位置起点（默认为 1）和扫描中的存储器位置数 (# POINTS)。当配置为超过 100 点的扫描时，扫描自动回到第 1 个点。
- SWEEP COUNT - 使用此菜单项指定要执行的扫描次数：
 - FINITE - 使用此选项输入要执行的离散扫描次数，结果存储在数据存储缓冲区中。可以执行的最大有限扫描次数如下所示：
 - 最高 finite 扫描计数 = $2500 / \# \text{扫描点}$
 - INFINITE - 选择此选项以连续重复配置的扫描。使用 EXIT 键停止扫描。数据不存储在缓冲区中。
- SOURCE RANGING - 使用此菜单项控制源范围（在源存储器中忽略）：
 - BEST FIXING - 使用此选项，源表将选择一个固定的源范围，以适应扫描中的所有源电平。例如，如果 Model 2400 扫描中的最小和最大源电平为 1V 和 30V，则将使用 200V 源范围。
 - AUTO RANGE - 使用此选项，源表将为扫描中的每个源电平选择最敏感的源范围。例如，对于 1V 源电平，将使用 2V 源范围，对于 3V 源电平，将使用 20V 源范围。请注意，AUTO RANGE 的范围更改过程可能会导致扫描中的瞬变。如果这些瞬变无法容忍，请使用最佳固定源范围。
 - FIXED - 使用此选项，当启动扫描时，源保持在当前范围上。对于超出源范围能力的扫描点，源将输出该范围的最大电平。例如，如果源在启动扫描时处于 2V 范围上，则整

个扫描过程中源仍将保持在 2V 范围上。如果配置的扫描点是 1V、2V、3V、4V 和 5V，则扫描将是 1V、2V、2.1V、2.1V 和 2.1V。

- COMPLIANCE ABORT - 使用此选项控制合规性中止，如果检测到合规性则会中止正在进行的扫描：
 - NEVER - 此选择禁用合规性中止。
 - EARLY - 如果在 SDM 周期开始时检测到合规性，则中止扫描。
 - LATE - 如果在 SDM 周期结束时检测到合规性，则中止扫描。

Figure 10-4
Sweep configuration menu tree



设置延迟时间

通常，扫描的每个步骤（或点）所需的时间包括源延迟和执行测量所需的时间（NPLC 设置）。

注意 在 Model 2430 脉冲模式下，不使用源延迟。相反，脉冲宽度（用于开启时间）和脉冲延迟（用于关闭时间）是由用户设置的延迟。脉冲模式扫描稍后在本节中介绍。

源延迟是 SDM 周期的一部分，用于在进行测量之前使源稳定。（有关详细信息，请参见第 6 节“源延迟测量周期”）。

源延迟的总时间包括自动延迟和/或用户编程延迟。启用自动延迟时，将使用 1ms 的延迟。用户可编程的源延迟在 0000.0000 到 9999.9990s 之间添加延迟。请参见第 3 节“源延迟”以设置这些延迟。

通过使用触发延迟，可以为扫描提供额外的延迟时间。该用户指定的延迟时间（0000.0000 至 9999.9990s）在扫描的每个 SDM 周期（设备操作）之前发生。因此，触发延迟在扫描中的每个新源点之前执行。请参见第 11 节“触发模型”和“配置触发”以设置触发延迟。

注意 对于线性阶梯、对数阶梯和自定义扫描，源延迟、触发延迟和 NPLC 设置是全局的，并同时影响所有扫描点。对于仅源存储扫描，源延迟和 NPLC 设置可以为扫描中的每个点设置不同的值。

触发计数和扫描点

触发计数和扫描点数量应相同或彼此的倍数。例如，对于五个扫描点和 10 次触发计数，扫描将运行两次。有关触发计数的详细信息，请参见第 11 节。

执行扫描

各种扫描类型的操作步骤如下。

注意 在 Model 2430 中，以下过程假定已选择 DC 操作模式（在源字段中显示“Vsrc”或“Isrc”）。如果处于 Pulse Mode（显示“Vpls”或“Ipls”），则可以通过按下 CONFIG V 或 I，选择 SHAPE 菜单项，然后选择 PULSE 返回到 DC Mode。使用 EXIT 键退出菜单。以下过程假定源表已连接到 DUT，如第 2 节所述。

警告 在执行快速脉冲扫描操作时，所选的输入/输出 LO 端可能会出现危险电压 (> 30V rms)。为消除这种触电危险，请将 LO 端连接到地面。如果使用前面板终端，请接地前面板 LO 端。如果使用后面板终端，请接地后面板 LO 端。接地连接可以在后面板上的机箱地螺钉或已知的安全接地上进行。

执行阶梯扫描

第 1 步：配置源-测量功能。

按如下方式配置所需的源-测量操作的源表：

1. 通过按 SOURCE V 或 SOURCE I 键选择所需的源功能。
2. 将源电平和合规性限制设置为所需值。
3. 按 MEAS V 或 MEAS I 键选择所需的测量功能，然后选择所需的测量范围。

第 2 步：配置扫描。

按以下方式配置扫描：

1. 按 CONFIG 然后按 SWEEP 键。
2. 选择 TYPE，然后按 ENTER 键。
3. 选择 STAIR，然后按 ENTER 键。
4. 在提示处输入所需的 START、STOP 和 STEP 值。
5. 从 CONFIGURE SWEEPS 菜单中选择 SWEEP COUNT，按 ENTER 键，然后根据需要选择 FINITE 或 INFINITE。
6. 再次从 CONFIGURE SWEEPS 菜单中选择 SOURCE RANGING，按 ENTER 键，然后根据需要选择 BEST FIXED、AUTO RANGE 或 FIXED。
7. 按 EXIT 返回正常显示。

第 3 步：设置延迟。

按以下方式设置源延迟：

1. 按 CONFIG, 然后根据所选的源函数选择 SOURCE V 或 SOURCE I。
2. 选择 DELAY, 然后按 ENTER 键。
3. 将延迟设置为所需值, 然后按 ENTER 键。
4. 按 EXIT 返回正常显示。

步骤 4: 打开输出。

按下 ON/OFF OUTPUT 键以打开输出 (OUTPUT 指示灯亮起)。源表将输出预设偏置电压 (或电流)。

步骤 5: 运行扫描。

按下 SWEEP 键以运行扫描。扫描完成后, 通过按下 ON/OFF OUTPUT 键关闭输出。

步骤 6: 读取缓冲区。

使用 RECALL 键来访问存储在缓冲区中的源测量读数。使用 TOGGLE 来显示统计信息。 (参见第 9 节, “数据存储”)

执行自定义扫描

步骤 1: 配置源测量功能。

按以下步骤配置所需的源测量操作:

1. 通过按下 SOURCE V 或 SOURCE I 选择所需的源函数。
2. 将源电平和合规性限制设置为所需值。
3. 按 MEAS V 或 MEAS I 选择所需的测量功能, 然后选择所需的测量范围。

步骤 2: 配置扫描。

按以下步骤配置扫描:

1. 按 CONFIG, 然后按 SWEEP。
2. 选择 TYPE, 然后按 ENTER。
3. 选择 CUSTOM, 然后按 ENTER。
4. 使用显示的菜单选择输入所需的# POINTS、每个点的值 (ADJUST POINTS) 和 INIT (初始) 值。
5. 在 CONFIGURE SWEEPS 菜单中, 选择 SWEEP COUNT, 按 ENTER, 然后根据需要选择 FINITE 或 INFINITE。
6. 再次从 CONFIGURE SWEEPS 菜单中选择 SOURCE RANGING, 按 ENTER, 然后根据需要选择 BEST FIXED、AUTO RANGE 或 FIXED。
7. 按 EXIT 返回正常显示。

步骤 3：设置延迟。

按如下方式设置源延迟：

1. 按 CONFIG，然后根据所选源功能选择 SOURCE V 或 SOURCE I。
2. 选择 DELAY，然后按 ENTER。
3. 将延迟设置为所需值，然后按 ENTER。
4. 按 EXIT 返回正常显示。

步骤 4：打开输出。

按 ON/OFF OUTPUT 键以打开输出（输出指示灯亮起）。源表将输出编程的偏置电平。

步骤 5：运行扫描。

要运行扫描，请按 SWEEP 键。扫描完成后，通过按 ON/OFF OUTPUT 键关闭输出。

步骤 6：读取缓冲区。

使用 RECALL 键访问存储在缓冲区中的源测量读数。使用 TOGGLE 显示统计信息。

执行源内存扫描

步骤 1：将设置存储在源内存中。

按以下方式将仪器设置存储在源内存中：

1. 配置源表以获得各种所需操作模式，例如源、测量、延迟和/或数学表达式操作。有关可以在每个源内存位置中存储的设置，请参见表 10-2。
2. 按 MENU 显示 MAIN MENU：
 - 选择 SAVESETUP。
 - 选择 SOURCE MEMORY。
 - 选择 SAVE。
 - 使用¹和 f 键以及光标键显示所需的存储位置，并按 ENTER。
 - 使用 EXIT 键退出菜单结构。
3. 对于扫描中的所有点，重复步骤 1 和 2。

步骤 2：配置扫描

按照以下方式配置扫描：

1. 按 CONFIG，然后按 SWEEP。
2. 选择 TYPE，然后按 ENTER。
3. 选择 SRC MEMORY，然后按 ENTER。
4. 使用菜单选项输入所需的 START 存储位置和源内存扫描 # POINTS。
5. 在“CONFIGURE SWEEPS”菜单中，选择 SWEEP COUNT，按 ENTER，然后选择所需的 FINITE 或 INFINITE。

6. 再次从“CONFIGURE SWEEPS”菜单中选择 SOURCE RANGING, 按 ENTER, 然后根据需要选择 BEST FIXED、AUTO RANGE 或 FIXED。
7. 按 EXIT 返回正常显示。

步骤 3：打开输出。

按 ON/OFF OUTPUT 键打开输出（OUTPUT 指示灯亮起）。

步骤 4：运行扫描。

按 SWEEP 键运行扫描。扫描完成后, 按 ON/OFF OUTPUT 键关闭输出。

步骤 5：读取缓冲区。

使用 RECALL 键访问存储在缓冲区中的源测量读数。使用 TOGGLE 显示统计信息。

10.2.2. 远程扫描操作

阶梯扫描命令

表 10-3 总结了用于线性和对数阶梯扫描操作的远程命令。有关这些命令的更多详细信息, 请参见第 18 节“配置电压和电流扫描”。

Table 10-3
Linear and log staircase sweep commands

Command	Description
:SOURce:CURRent:MODE SWEEP	Select current source sweep mode.
:SOURce:CURRent:STARt <n>	Specify sweep start current (n = current).
:SOURce:CURRent:STOP <n>	Specify sweep stop current (n = current).
:SOURce:CURRent:STEP <n>	Specify sweep step current (n = current).
:SOURce:CURRent:CENTER <n>	Specify sweep center current (n = current).
:SOURce:CURRent:SPAN <n>	Specify sweep span current (n = current).
:SOURce:VOLTage:MODE SWEEP	Select voltage source sweep mode.
:SOURce:VOLTage:STARt <n>	Specify sweep start voltage (n = voltage).
:SOURce:VOLTage:STOP <n>	Specify sweep stop voltage (n = voltage).
:SOURce:VOLTage:STEP <n>	Specify sweep step voltage (n = voltage).
:SOURce:VOLTage:CENTER <n>	Specify sweep center voltage (n = voltage).
:SOURce:VOLTage:SPAN <n>	Specify sweep span voltage (n = voltage).
:SOURce:SWEEP:RANGing <name>	Select source ranging (name = BEST, AUTO, or FIXed).
:SOURce:SWEEP:SPACing <name>	Select sweep scale (name = LINEar or LOGarithmic).
:SOURce:SWEEP:POINTs <n>	Set number of sweep points (n = points).
:SOURce:SWEEP:DIREction <name>	Set sweep direction. Name = UP (sweep start to stop) or DOWN (sweep stop to start).
:SOURce:SWEEP:CAbort <name>	Abort on compliance. Name = NEVER (disable), EARLY (start of SDM cycle), or LATE (end of SDM cycle).

阶梯扫描编程示例

作为线性阶梯扫描操作的示例，假设源表用于生成二极管的 I-V 特性。许多二极管测试，例如击穿电压和泄漏电流，仅需要单点测量。有些测试（如对边际零部件进行质量保证分析）需要执行完整的 I-V 扫描以进行详细分析。

表 10-4 列出了二极管编程示例的命令序列。

Table 10-4
Staircase sweep programming example (diode test)

Command	Description
*RST	Restore GPIB default conditions.
:SENS:FUNC:CONC OFF	Turn off concurrent functions.
:SOUR:FUNC CURR	Current source function.
:SENS:FUNC 'VOLT:DC'	Volts sense function.
:SENS:VOLT:PROT 1	1V voltage compliance.
:SOUR:CURR:START 1E-3	1mA start current.
:SOUR:CURR:STOP 10E-3	10mA stop current.
:SOUR:CURR:STEP 1E-3	1mA step current.
:SOUR:CURR:MODE SWE	Select current sweep mode. ¹
:SOUR:SWE:RANG AUTO	Auto source ranging.
:SOUR:SWE:SPAC LIN	Select linear staircase sweep.
:TRIG:COUN 10	Trigger count = # sweep points. ²
:SOUR:DEL 0.1	100ms source delay.
:OUTP ON	Turn on source output.
:READ?	Trigger sweep, request data.

1. This command should normally be sent after START, STOP, and STEP to avoid delays caused by rebuilding sweep when each command is sent.
2. For single sweep, trigger count should equal number of points in sweep: Points = (Stop-Start)/Step + 1. You can use SOUR:SWE:POIN? query to read the number of points.

自定义扫描命令

表 10-5 总结了用于自定义扫描操作的远程命令。有关这些命令的更多详细信息, 请参见第 18 节“配置列表”。

Table 10-5
Custom sweep commands

Command	Description
:SOURce:CURRent:MODE LIST	Select current list (custom) sweep mode.
:SOURce:VOLTage:MODE LIST	Select voltage list (custom) sweep mode.
:SOURce:LIST:CURRent <list>	Define I-source (list = I1, I2,... In).
:SOURce:LIST:CURRent:APPend <list>	Add I-source list value(s) (list =I1, I2,...In).
:SOURce:LIST:CURRent:POINts?	Query length of I-source list.
:SOURce:LIST:VOLTage < list>	Define V-source list (list = V1, V2,... Vn).
:SOURce:LIST:VOLTage:APPend <list>	Add V-source list value(s) (list =V1, V2,...Vn).
:SOURce:LIST:VOLTage:POINts?	Query length of V-source list.
:SOURce:SWEEP:RANGing <name>	Select source ranging (name = BEST, AUTO, or FIXed).

自定义扫描编程示例

表 10-6 总结了执行自定义扫描的基本远程命令序列。

Table 10-6
Custom sweep programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB default conditions.
:SENS:FUNC:CONC OFF	Turn off concurrent functions.
:SOUR:FUNC VOLT	Volts source function.
:SENS:FUNC 'CURR:DC'	Current sense function.
:SENS:CURR:PROT 0.1	100mA current compliance.
:SOUR:VOLT:MODE LIST	List volts sweep mode.
:SOUR:LIST:VOLT 7,1,3,8,2	7V, 1V, 3V, 8V, 2V sweep points.
:TRIG:COUN 5	Trigger count = # sweep points.
:SOUR:DEL 0.1	100ms source delay.
:OUTP ON	Turn on source output.
:READ?	Trigger sweep, request data.

源存储器扫描命令

表 10-7 总结了用于自定义扫描操作的源存储器远程命令。有关这些命令的更多详细信息, 请参见第 18 节“配置存储器扫描”。

Table 10-7
Source memory sweep commands

Command	Description
:SOURce:FUNCTION MEM	Select memory sweep mode.
:SOURce:MEMory:POINTs <n>	Specify number of sweep points (n = points).
:SOURce:MEMory:STARt <n>	Select source memory start location (n = location).
:SOURce:MEMory:RECall <n>	Return to specified setup (n = memory location).
:SOURce:SAVE <n>	Save setup in memory (n = memory location).
:SENSe:CURRent:RANGE:HOLDoff 	Enable (ON), disable (OFF) current range holdoff.
:SENSe:CURRent:RANGE:HOLDoff:DELay <NRf>	Set holdoff delay in seconds.

源存储扫描编程示例

表 10-8 总结了执行基本源记忆扫描的基本远程命令序列。

Table 10-8
Source memory sweep programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB default conditions.
:SENS:FUNC:CONC OFF	Turn off concurrent functions.
:SOUR:FUNC MEM	Source memory sweep mode.
:SOUR:MEM:POINT 3	Number memory points = 3.
:SOUR:MEM:STAR 1	Start at memory location 1.
:SOUR:FUNC VOLT	Volts source function.
:SENS:FUNC 'CURR:DC'	Current sense function.
:SOUR:VOLT 10	10V source voltage.
:SOUR:MEM:SAVE 1	Save in source memory location 1.
:SOUR:FUNC CURR	Current source function.
:SENS:FUNC 'VOLT:DC'	Volts sense function.
:SOUR:CURR 100E-3	100mA source current.
:SOUR:MEM:SAVE 2	Save in source memory location 2.
:SENS:FUNC 'CURR:DC'	Current sense function.
:SOUR:MEM:SAVE 3	Save in source memory location 3.
:TRIG:COUN 3	Trigger count = # sweep points.
:OUTP ON	Turn on source output.
:READ?	Trigger sweep, request data.

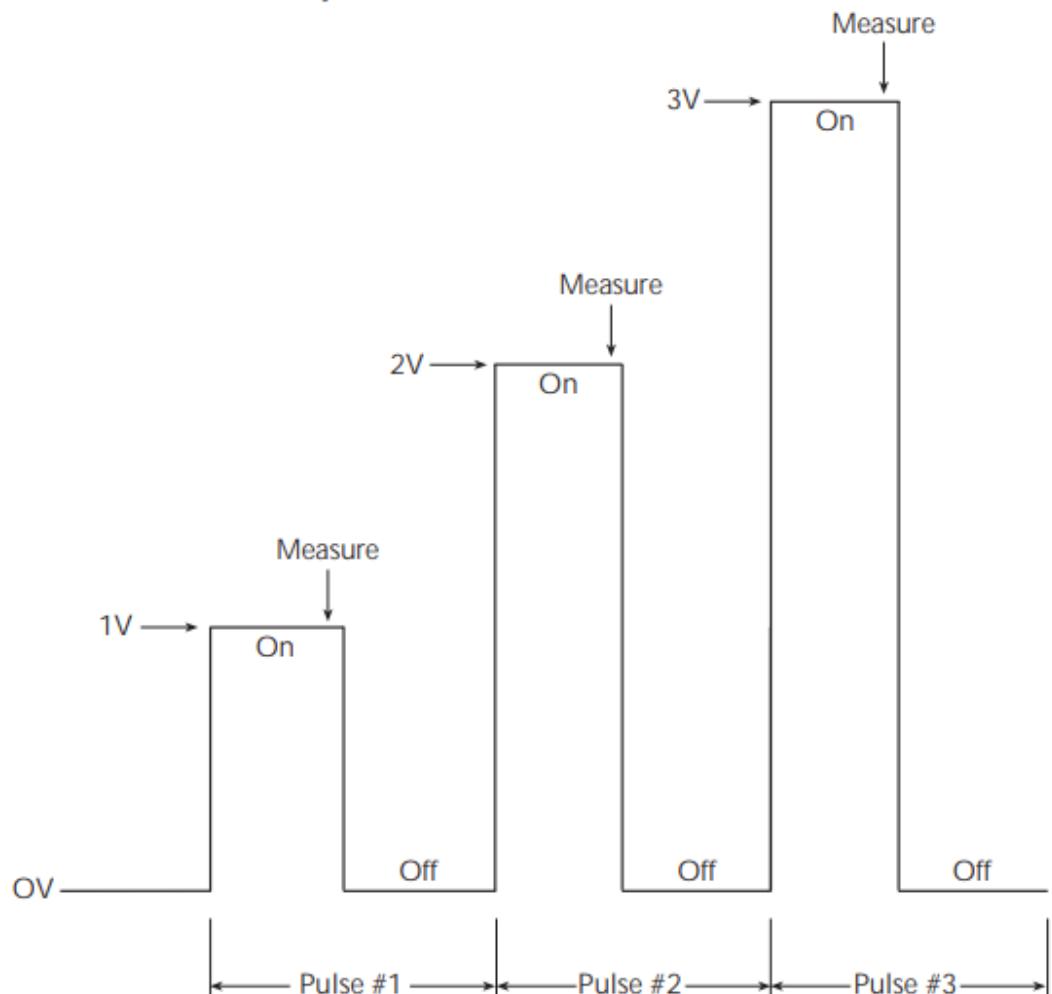
10.3. 脉冲模式扫描 (仅适用于 Model 2430)

使用 Model 2430 在脉冲模式下进行扫描时，每个步骤或扫描点都由脉冲周期组成。通常情况下，脉冲周期包括脉冲宽度（输出打开时间）和输出关闭时间。图 10-5 显示了脉冲模式下的 3 步线性楼梯扫描示例（起始=1V，停止=3V，步长=1V）。对于三个脉冲步骤中的每一个，都会执行一次测量读数。不会在输出关闭时间进行读数。

对于正常的（DC 模式）扫描操作，每个步骤所花费的持续时间包括设置源延迟和执行测量所需的时间。对于脉冲模式，不使用源延迟。脉冲宽度包括脉冲宽度延迟、内部过充时间和脉冲信号测量。输出关闭时间通常包括零和参考测量值（用于计算准确的脉冲读数）、内部过充时间以及可选的脉冲延迟。

注意 有关 Model 2430 脉冲模式操作的详细信息，请参见第 5 节。

Figure 10-5
Pulse Mode linear staircase sweep



10.3.1. 前面板脉冲模式扫描步骤

执行脉冲模式扫描的步骤如下：

注意 以下过程假定 Model 2430 已连接到 DUT，如第 2 节所述。

警告 在执行快速脉冲扫描操作时，所选输入/输出 LO 端子上可能会出现危险电压 (>30V rms)。为消除这种触电风险，请将 LO 端接地。如果使用前面板端子，请将前面板 LO 端接地。如果使用后面板端子，请将后面板 LO 端接地。接地连接可在后面板的机箱接地螺钉处或已知的安全接地处进行。

步骤 1：选择和配置脉冲模式。

脉冲模式的基本参数包括脉冲宽度、脉冲延迟、脉冲测量速度和脉冲计数。请参阅“脉冲模式配置”第 5 节以选择脉冲模式并设置脉冲参数。

步骤 2：设置合规性极限，并选择测量功能和范围。

按照第 3 节“基本源-测量步骤”的 1 到 3 步设置 Model 2430。

请注意，自动测量范围在脉冲模式下无效。确保您选择的固定测量范围可以容纳扫描中的每个测量点。

步骤 3：配置扫描。

选择并配置扫描，如“配置和运行扫描”所述。

步骤 4：运行扫描。

要运行扫描，请按 SWEEP 键。在扫描中的最后一个脉冲源完成时，输出将关闭并保持关闭状态。可以通过按 ON/OFF OUTPUT 键或 EXIT 键随时停止正在进行的扫描。

步骤 5：读取缓冲区。

使用 RECALL 键访问存储在缓冲区中的源-测量读数。使用 TOGGLE 显示统计信息。（请参阅第 9 节“数据存储”。）

10.3.2. 远程脉冲模式扫描操作

脉冲模式操作的命令在第 5 节中提供，而阶梯扫描命令在表 10-3 中提供。

表 10-9 提供了执行图 10-5 所示的 3 点脉冲模型线性阶梯扫描的典型远程命令序列。

Table 10-9
Pulse Mode linear staircase sweep programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB default conditions.
:SOUR:FUNC PULS	Select Pulse Mode.
:SOUR:PULS:WIDT 0.005	5ms pulse width.
:SOUR:PULS:DEL 0.003	3ms pulse delay.
:SENS:VOLT:NPLC 0.1	Measure speed = 0.1 PLC. ¹
:TRIG:COUN 3	Pulse count = # sweep points. ²
:SOUR:FUNC VOLT	Volts source function. ¹
:SENS:FUNC 'CURR'	Current sense function. ¹
:SENS:CURR:PROT 0.1	100mA current compliance.
:SOUR:VOLT:START 1	1V start voltage.
:SOUR:VOLT:STOP 3	3V stop voltage.
:SOUR:VOLT:STEP 1	1V step voltage.
:SOUR:VOLT:MODE SWE	Select volts sweep mode. ³
:READ?	Trigger sweep, request data.

1. These commands are not required in this case, since unit assumes these operating states after *RST but are included to demonstrate complete programming steps.
2. Trigger count should equal number of points in sweep:

$$\text{Points} = (\text{Stop-Start})/\text{Step} + 1.$$
You can use `SOUR:SWE:POIN?` query to read the number of points.
3. This command should normally be sent after START, STOP, and STEP to avoid delays caused by rebuilding sweep when each command is sent.

11. 触发

-
- **前面板触发操作** - 讨论前面板触发，包括触发模型、各种层、事件检测、延迟和设备操作以及前面板触发配置。
 - **远程触发操作** - 详细介绍远程触发模型并总结触发指令。
 - **触发链接** - 讨论触发链接，包括输入触发和输出触发。
 - **脉冲模式触发 (Model 2430)** - 解释 Model 2430 的直流模式和脉冲模式之间触发的差异。

11.1. 前面板触发操作

11.1.1. 前面板触发模型

注意 对于 Model 2430, 下面关于触发模型的讨论明确适用于直流操作模式。脉冲模式的触发模型运行方式略有不同, 这些差异将在本节后面的“Pulse Mode Triggering (Model 2430)”中介绍。

注意 对于带有接触检查选项的仪器, 请参阅附录 F 以了解触发操作的详细信息。

图 11-1 中的流程图总结了前面板操作的触发过程。触发模型是根据用于控制触发的远程命令所建模的。 (请参见“Remote Trigger Commands”, 第 11-18 页。) 流程图中包括了关键的触发模型设置。请注意, 默认值由“+”符号表示。

触发模型的主要操作包括源、延迟和测量。源操作输出编程电压或电流值, 而编程延迟提供源在执行测量之前的稳定时间。

触发模型由两层 (Arm Layer 和 Trigger Layer) 组成, 以提供灵活性。可编程计数器允许操作重复进行, 并且提供多种输入和输出触发选项, 以通过触发链接在源表和其他仪器之间提供源-测量同步。

除非另有说明, 触发模型的可编程方面均从“CONFIGURE TRIGGER”菜单执行。 (请参见“Configuring Triggering”, 第 11-7 页。)

事件检测

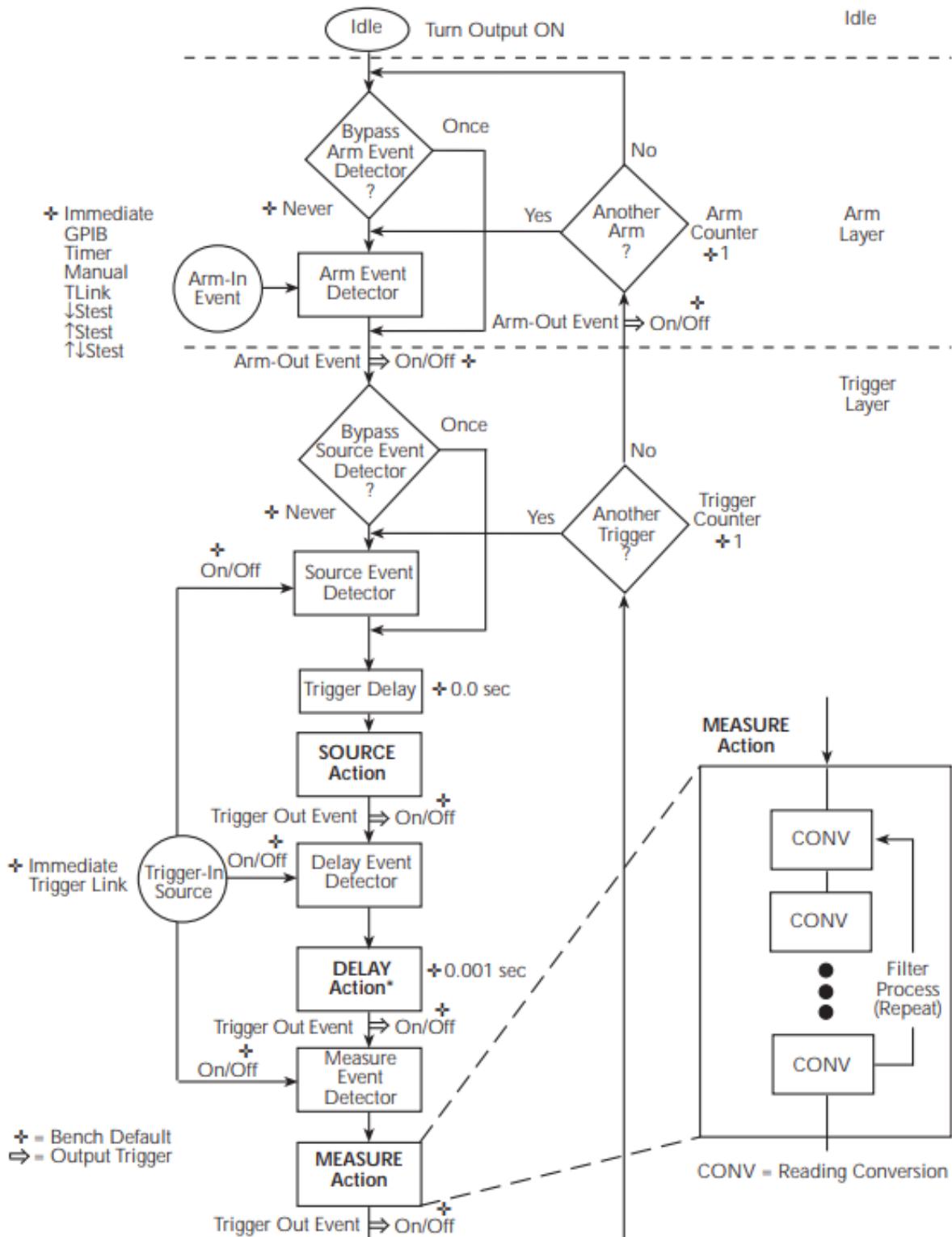
一般而言, 在事件检测器中操作会被阻塞, 直到编程事件发生。但是, 请注意, 如果事件检测器具有旁路, 则可以编程使操作循环绕过事件检测器。

空闲状态

当源表未在触发模型的 Arm Layer 或 Trigger Layer 中运行时, 它处于空闲状态。在空闲状态下, ARM 指示灯关闭。要将源表从空闲状态中退出, 请打开输出。

可以通过选择“CONFIGURE TRIGGER”菜单的“HALT”菜单项随时将源表返回到空闲状态。 (请参见“Configuring Triggering”, 第 11-7 页。)

Figure 11-1
Front panel trigger model



* Soak time takes the place of the delay time only during the first SDM cycle after initial sweep trigger if the unit is in the MULTIPLE mode. See Section 7, "Autorange change mode."

准备层

事件检测器旁路 - 如图 11-1 所示, 准备事件检测器有一个旁路。只有在 TLINK 或 STEST 被选择为选定的 Arm-In 事件时才可以使用此旁路。该旁路用于“跳转启动”操作。当事件检测器旁路设置为 ONCE 时, 当输出被打开时, 操作将循环绕过准备事件检测器。

以下是准备层的可编程 arm-in 事件的描述:

IMMEDIATE - 事件检测会立即发生, 从而使操作继续进行。

GPIB - 当收到总线触发 (GET 或 *TRG) 时, 事件检测会发生。

TIMER - 使用计时器选择后, 当输出被打开时, 事件检测会立即发生。通过“Another Arm ? Yes”的重复传递, 在编程计时器间隔到期时, 事件检测会发生。如果操作采用了“No”的路线, 则计时器重置, 允许再次立即检测事件。

MANUAL - 当按下 TRIG 键时, 事件检测会发生。

TLINK - 当通过触发链接输入线接收到输入触发信号时, 事件检测会发生。有关更多信息, 请参见本节后面的“触发链接”。通过将事件检测器旁路设置为 ONCE, 您可以绕过 Arm 事件检测器进行循环。

↓ STEST - 当数字 I/O 端口的测试开始 (SOT) 线脉冲为低电平时, 事件检测会发生。该脉冲是从处理程序接收的, 用于开始极限测试。见第 12 节。

↑ STEST - 当数字 I/O 端口的测试开始 (SOT) 线脉冲为高电平时, 事件检测会发生。该脉冲是从处理程序接收的, 用于开始极限测试。见第 12 节。

↑ ↓ STEST - 当数字 I/O 端口的测试开始 (SOT) 线脉冲为高电平或低电平时, 事件检测会发生。该脉冲是从处理程序接收的, 用于开始极限测试。见第 12 节。

注意 STEST 仅应在扫描开始时使用, 不应用于触发扫描中的每个点。

触发层

触发层使用三个事件检测器; 每个动作 (源、延迟和测量) 都有一个。可以单独打开或关闭每个事件检测器。

事件检测器旁路 - 如图 11-1 所示, 源事件检测器有一个旁路。只有在选择触发链接作为选定的触发输入源时, 该旁路才有效。如果将该事件检测器旁路设置为 ONCE, 则操作将绕过源事件检测器进行。

触发层可编程的触发输入源如下所述:

IMMEDIATE - 选择立即后, 三个检测器的事件检测会立即满足。操作通过触发层执行源、延迟和测量动作。

TRIGGER LINK - 选择触发链接后，当接收到触发链接输入线上的输入触发时，启用每个检测器的事件检测。例如，如果源事件检测器的触发输入为 ON，则操作将在该检测器处停留，直到接收到输入触发。但是，如果禁用了源事件检测器 (OFF)，则操作不会停止。操作将继续执行并执行源动作。选择触发链接触发输入源后，操作将绕过源事件检测器（如图 11-1 所示），通过将事件检测器旁路设置为 ONCE 来实现。

触发延迟

SOURCE Action 之前有一个可编程的延迟。触发延迟可以手动设置为 0.00000 到 999.99990s。请注意，此延迟与 SDM 周期的延迟动作是分开的。下一节将讨论延迟动作。

源、延迟和测量动作

源表的 SDM 周期包括三个动作：源、延迟和测量：

SOURCE Action - 执行任何编程输出电压或电流水平更改。

DELAY Action - 该可编程延迟用于在执行测量之前使源稳定。它可以手动设置为 0.00000 到 9999.99900s，或者可以启用自动延迟。启用自动延迟后，源表会根据所选功能和范围自动选择标称延迟时间。

注意 **DELAY Action** 是从“CONFIGURE V-SOURCE”或“CONFIGURE I-SOURCE”菜单中设置的。
请参见第 3 节“源延迟”

在 MULTIPLE 模式下，浸泡时间仅在初始扫描触发后的第一个 SDM 周期中替代延迟时间。请参见第 7 节“自动范围切换模式”。

MEASURE Action — 在 SDM 周期的此阶段，测量过程将进行。如果启用了重复滤波器(如测量操作的放大图所示)，则仪器会对指定数量的读取转换进行采样，以产生单个已滤波的读数(测量值)。如果使用移动滤波器，或者禁用了滤波器，则只有一次读数转换就会产生一个读数。

计数器

可编程计数器用于重复触发模型层内的操作。例如，如果进行 10 个点的扫描，则触发计数器将被设置为 10。操作将一直停留在触发层，直到扫描的 10 个源-延迟-测量点完成。

如果要重复三次扫描，则将 Arm 计数器设置为三。然后可以执行三次 10 点扫描，共进行 30 个源-延迟-测量操作。请参见本节末尾的示例。

源表的最大缓冲区大小为 2500 个读数。两个计数器值的乘积不能超过 2500。例如，如果将 Arm 计数设置为 2，则最大触发计数将为 1250 (2500/2=1250)。但是，可以将 Arm 计数设置为 INFINITE。使用无限次的 Arm 计数，最大的触发计数为 2500。

注意 当配置扫描时，触发模型设置不会改变，直到开始扫描。扫描完成后，触发模型将重置为先前的设置。

输出触发

可以编程源表在各种触发模型操作之后（通过后面板的 Trigger Link 连接器）输出触发。输出触发用于触发另一个仪器执行操作。有关更多信息，请参见第 11-19 页的“触发链接”。

Trigger Layer Output Trigger — 在每个操作（源、延迟和测量）之后，如果选择了 Trigger Link 作为选定的 Trigger-In Source，则可以编程源表发送输出触发。例如，如果 Measure 的 Trigger Out Event 为 ON，则在 Measure Action 之后将发送输出触发。与扫描仪一起使用时，每次测量后的输出触发可以向扫描仪发出信号，以选择扫描中的下一个通道。

注意 在使用源表自动量程选择时，建议使用测量输出触发以避免错误结果。

Arm Layer output Trigger — 源表还可以编程输出触发，当操作进入 Trigger Layer 或从 Trigger Layer 离开并重新进入 Arm Layer 时。此输出触发通常发送到另一个仪器，以结束扫描。

工作台默认值

工作台默认值如下所示。它们在图 11-1 中也用“+”符号表示。

- Arm-In 事件 = 立即执行
- 触发源 = 立即执行
- Arm 计数 = 1
- 触发计数 = 1
- 触发延迟 = 0.0s
- 延迟操作 = 0.001s
- 源触发事件 = 打开
- 延迟触发事件 = 关闭
- 测量触发事件 = 关闭
- 触发出事件 = 所有触发出事件均已禁用（关闭）
- Arm Out 事件 = 关闭
- 事件检测旁路 = 从不（两个层）

当输出被打开时，源表将在触发模型周围运行连续循环。在每个测量操作之后，操作将继续在触发模型的顶部进行。通过关闭输出，可以将源表返回到空闲状态。

11.1.2. 配置触发

触发配置菜单

按 CONFIG，然后按 TRIG，显示触发配置菜单，如下所述并在图 11-2 中显示。请注意，以下圆点表示菜单的主要项目，而破折号和斜杠表示选项。使用第 1 节“导航菜单的规则”来检查和/或更改触发选项。

- ARM LAYER - 使用此菜单项来配置触发模型的准备层：
 - ARM IN - 用于选择准备层的检测事件：

- / IMMEDIATE - 事件检测立即发生。
- / GPIB - 当接收到总线触发 (GET 或 *TRG) 时发生事件检测。
- / TIMER - 初始情况下, 事件检测立即满足。在计时器间隔过去后, 随后的事件检测会发生。选择此准备事件后, 您将被提示指定计时器间隔 (以 s 为单位)。
- / MANUAL - 当按下 TRIG 键时发生事件检测。
- / TLINK - 选择此准备事件后, 您将被提示选择 Trigger Link 的输入线以及事件检测旁路的状态。选择 ONCE 后, 操作将在每次通过触发模型时环绕准备事件检测器进行。选择 NEVER 后, 操作始终等待输入触发。
- / ↓ STEST - 当数字 I/O 端口的 SOT 线脉冲下降时发生事件检测。选择此准备事件后, 您将被提示选择事件检测旁路的状态。选择 ONCE 后, 操作将在每次通过触发模型时环绕武器事件检测器进行。选择 NEVER 后, 操作始终等待输入触发。
- / ↑ STEST - 当数字 I/O 端口的 SOT 线脉冲上升时发生事件检测。选择此准备事件后, 您将被提示选择事件检测旁路的状态。
- / ↑ ↓ STEST - 当数字 I/O 端口的 SOT 线脉冲上升或下降时发生事件检测。选择此准备事件后, 您将被提示选择事件检测旁路的状态。
- ARM OUT - 用于配置准备层输出触发器:
 - / LINE - 选择输出触发器的 Trigger Link 线: 线 #1, #2, #3 或 #4。
 - / EVENTS - 启用 (ON) 或禁用 (OFF) 准备层输出触发器。TRIG LAYER EXIT ON 在退出触发层时启用输出触发器, 而 TL ENTER ON 在进入触发层时启用触发器。
 - / COUNT - 指定武器计数, FINITE (可编程计数) 或 INFINITE (永不结束计数)。
- TRIG LAYER - 使用此菜单项配置触发模型的触发层:
 - TRIGGER IN - 用于选择触发层的检测事件:
 - / IMMEDIATE - 事件检测立即发生。
 - / TRIGGER LINK - 在选择此触发输入源后, 将按以下顺序提示:
 - > TRIG-IN TLINK LINE - 选择 Trigger Link 的输入线 (#1、#2、#3 或 #4)。
 - > EVENT DETECT BYPASS - 设置源事件检测器的旁路。使用 ONCE, 操作将在源事件检测器周围循环。选择 NEVER 时, 操作将等待输入触发。
 - > TRIGGER IN EVENTS - 启用 (ON) 或禁用 (OFF) 触发输入事件 (SOURCE、DELAY 和 MEASURE)。当触发输入事件 ON 时, 操作将等待该事件以进行输入触发。当触发输入事件为 OFF 时, 操作将不会等待。它将简单地继续并执行适当的操作。

注意 对于 Model 2430 Pulse Mode, 不使用 DELAY 和 MEASURE 事件。因此, 这些事件的设置被忽略。

- TRIGGER OUT — 用于配置触发层的输出触发:
 - / LINE — 选择输出触发的 Trigger Link 线路; #1、#2、#3 或 #4 条线路。
 - / EVENTS — 启用 (ON) 或禁用 (OFF) 在源、延迟和测量操作之后出现的输出触发。

注意 对于 Model 2430 Pulse Mode, 输出触发仅在测量操作之后出现。因此, 源和延迟操作的输出触发设置被忽略。

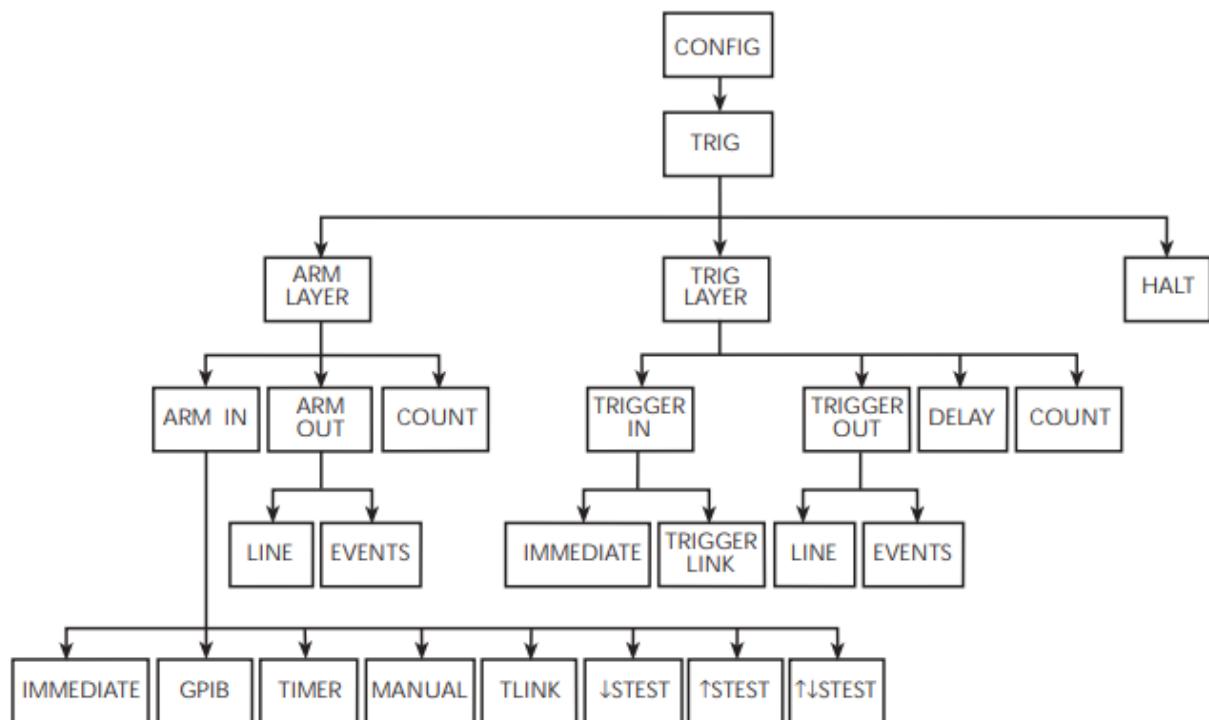
- DELAY — 指定触发延迟的时间 (以 s 为单位)。

注意 对于 Model 2430 Pulse Mode, 不使用触发延迟。因此, 触发延迟设置被忽略。

- COUNT — 指定触发计数。

- HALT — 用于将源表返回到空闲状态。HALT 不会关闭输出。编程的源电平仍将在 OUTPUT 终端可用。以下操作将使源表退出空闲状态:
 - 关闭输出, 然后再次打开。
 - 重新选择 Arm 或触发事件。
 - 从菜单结构中退出, 然后通过按 CONFIG, 然后 TRIG 重新进入它。

Figure 11-2
Trigger configuration menu tree



11.2. 远程触发操作

注意 对于 Model 2430，下面关于远程触发的讨论明确适用于 DC 模式。脉冲模式的触发模型运作略有不同。这些差异在“脉冲模式触发 (Model 2430)”，第 11-20 页中有所涵盖。

注意 对于具有接触检查选项的仪器，请参见附录 F 以获取有关触发操作的详细信息。

11.2.1. 远程触发模型

图 11-3 中的触发模型流程图概述了远程触发操作。（流程图与显示在图 11-1 中的前面板操作基本相同，只是此图中显示了用于编程各种触发参数的远程命令。）操作由触发子系统的 SCPI 命令控制。关键的远程命令包含在触发模型中。还要注意，GPIB 默认值由“+”符号表示。

触发模型的主要动作是 Source、Delay 和 Measure。源操作输出编程电压或电流值，编程延迟提供源进行测量之前的稳定时间。

触发模型由两个层 (Arm Layer 和 Trigger Layer) 组成，以提供灵活性。可编程计数器允许重复操作，并提供各种输入和输出触发选项，以通过 (Trigger Link) 在源表和其他仪器之间提供源测量同步。

空闲和启动

当仪器没有在触发模型层中操作时 (ARM 指示灯关闭)，该仪器被认为处于空闲状态。在空闲状态下，仪器无法执行任何测量。需要一个启动命令来将仪器从空闲状态中退出。以下命令执行启动操作：

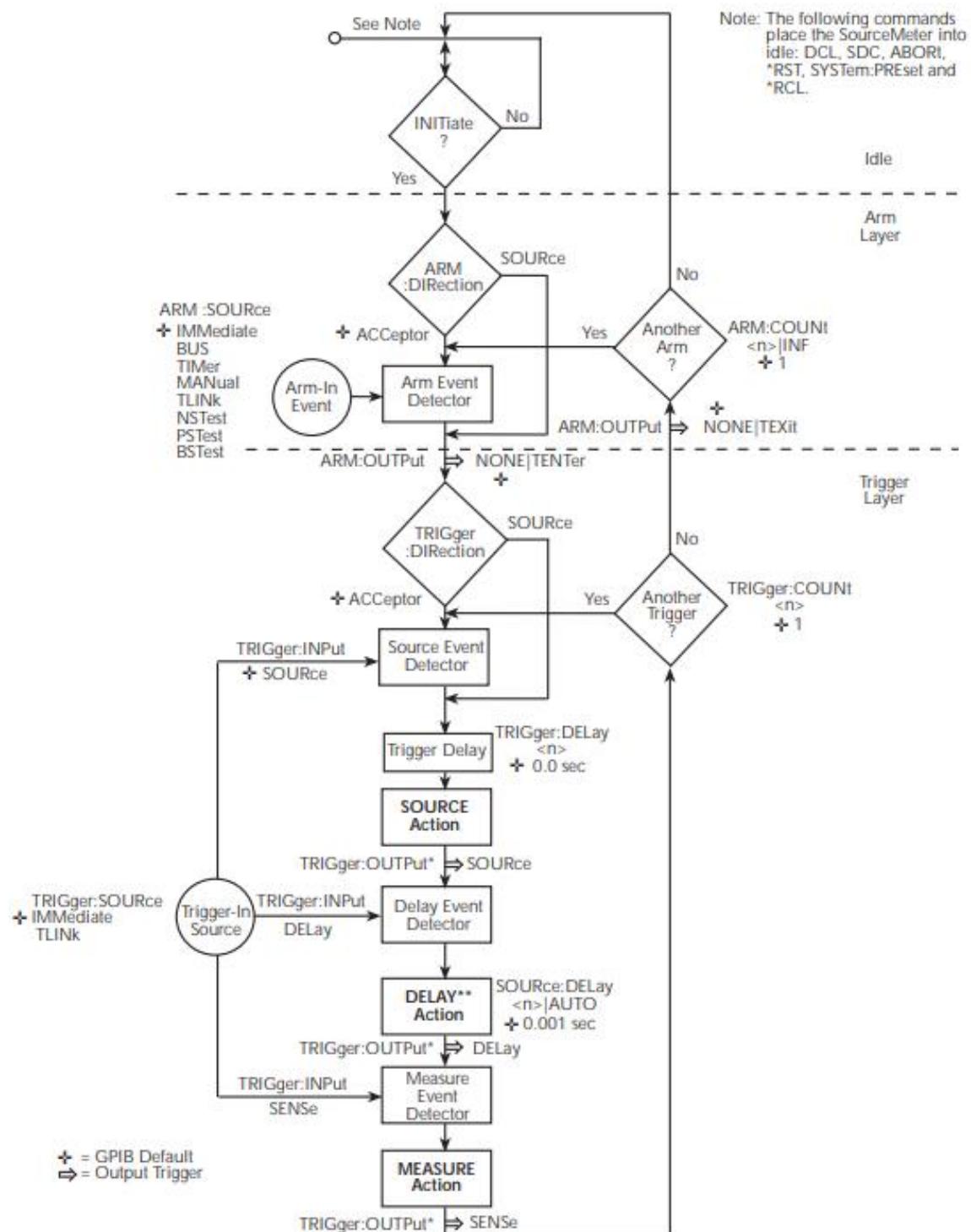
- :INITiate
- :READ?
- :MEASure?

相反，如果源表正在进行读数，则大多数命令（除了 DCL、SDC、IFC 和 ABORT）都已经排队，直到源表返回空闲状态才会执行。

当禁用自动输出关闭 (:SOURce1:CLEar:AUTO OFF) 时，在发送:INITiate 或 :READ?命令之前，必须先打开源输出。:MEASure? 命令会自动打开输出。请注意，在仪器返回空闲状态后，输出将保持打开状态。

当启用自动输出关闭 (:SOURce1:CLEar:AUTO ON) 时，可以使用上述任何三个命令来启动操作。源输出将在每个 SDM (源-延迟-测量) 周期开始时自动打开，并在每次测量完成后关闭。

Figure 11-3
Remote trigger model



Note: The following commands place the SourceMeter into idle: DCL, SDC, ABORT, *RST, SYSTEM:PREset and *RCL.

* GPIB default parameter for TRIGGER:OUTPut is NONE.

** In :SYSTem:RCMode MULTiple, the soak time programmed with :SOURce[1]:SOAK takes the place of the delay time only during the first SDM cycle after the initial sweep trigger. See Section 17 for details.

在触发模型中操作 (ARM 指示灯亮起) 时, 大多数命令将不会在源表完成所有编程的源-测量操作并返回空闲状态之前执行。IFC (接口清除)、SDC (选择设备清除) 和 DCL (设备清除) 命令可以在任何情况下在触发模型内操作时执行。它们会中止任何其他命令或查询。

- :ABORt
- :SYSTem:PRESet
- *TRG 或 GET
- *RST
- *RCL

注意 SDC, DCL, 或 :ABORt 会将源表置于空闲状态。为了获得最快的响应, 请使用 SDC 或 DCL 返回空闲状态。

事件检测

一旦将仪器从空闲状态中退出, 操作将通过触发模型执行源、延迟和测量动作。

通常情况下, 在事件检测器上操作被持续保持, 直到编程的事件发生。但请注意, 如果事件检测器有一个旁路(:DIRection), 则操作可以编程围绕事件检测器循环。

准备层

Event Detector Bypass — 如图 11-3 所示, Arm 事件检测器有一个旁路(ARM:DIRection)。只有当 TLINK、NSTest、PSTest 或 BSTest 是选定的 Arm-In Event 时, 才能使用此旁路。旁路用于“启动”操作。将旁路设置为 SOURce 时, 当发送 INITiate 命令时操作将绕过 Arm 事件检测器 (假设输出已打开)。

准备层的可编程 arm-in 事件如下所述:

IMMEDIATE — 事件检测立即发生, 允许操作继续进行。

BUS — 当接收到总线触发 (GET 或 *TRG) 时, 事件检测会发生。

TIMER — 在初始通过触发模型时立即发生事件检测。每个后续检测在编程计时器间隔过去时满足。当仪器进入空闲状态时, 计时器将重置为其初始状态。

MANUAL — 当按下 TRIG 键时, 事件检测发生。源表必须处于本地模式才能响应 TRIG 键。按 LOCAL 键或通过总线发送 LOCAL 24 将源表退出远程。

TLINK — 当通过 Trigger Link 输入线接收到输入触发时, 事件检测会发生。有关更多信息, 请参见“触发链接”, 第 11-19 页。选择 TLINK 后, 可以通过将事件检测旁路(ARM:DIRection)设置为 SOURce 来围绕 Arm 事件检测器循环。

NSTEST — 在数字 I/O 端口的测试开始 (SOT) 线路低电平脉冲时, 事件检测发生。这个脉冲是从处理器接收用于开始极限测试的。 (请参见第 12 节“极限测试”和第 13 节“数字 I/O 端口”。)

PSTest — 在数字 I/O 端口的测试开始 (SOT) 线路高电平脉冲时，事件检测发生。这个脉冲是从处理器接收用于开始极限测试的。（请参见第 12 节“极限测试”和第 13 节“数字 I/O 端口”。）

BSTest — 在数字 I/O 端口的测试开始 (SOT) 线路高电平或低电平脉冲时，事件检测发生。这个脉冲是从处理器接收用于开始极限测试的。请参阅第 12 节和第 13 节。

注意：NSTest、PSTest 和 BSTest 仅可在扫描的开始处使用，不应用于触发扫描中的每个点。

触发层

触发层使用三个事件检测器，每个动作 (Source、Delay 和 Measure) 一个。

事件检测器旁路 — 如图 11-3 所示，为 Source 事件检测器提供了一条旁路 (TRIGger:DIRection)。仅在 TLINK 是选定的触发源时，该旁路才有效。将此事件检测器旁路设置为 SOURce 时，操作将继续绕过 Source 事件检测器。

以下是 Trigger Layer 的可编程触发源的描述：

IMMEDIATE — 选择 Immediate 后，三个检测器的事件检测立即满足。操作通过触发层，执行 Source、Delay 和 Measure 动作。

TLINK — 选择 TLINK 后，在接收到通过 Trigger Link 输入线接收到的输入触发信号时，每个已启用的检测器都会发生事件检测。通过在 TRIGger: INPut 命令中包含其参数名称来启用检测器。例如，要启用 Delay 事件检测器和 Measure 事件检测器，必须发送以下命令：

TRIGger:INPut DELay, SENSe

上述命令禁用了 Source 事件检测器，因为它的参数名称 (SOURce) 未包含在参数列表中。禁用 Source 事件检测器后，操作不会停顿，它会继续执行 Source Action。操作将在 Delay 事件检测器处停止，直到接收到输入触发信号，然后将在 Measure 事件检测器处停止，直到接收到另一个输入触发信号。

触发延迟

Source Action 之前可设置可编程延迟。触发延迟可以手动设置为 0.00000 至 999.99990s。请注意，此延迟与 SDM 周期的 Delay Action 不同，Delay Action 将在下面讨论。

源，延迟，和测量操作

源表的 SDM 循环包括三个操作：Source、Delay 和 Measure：

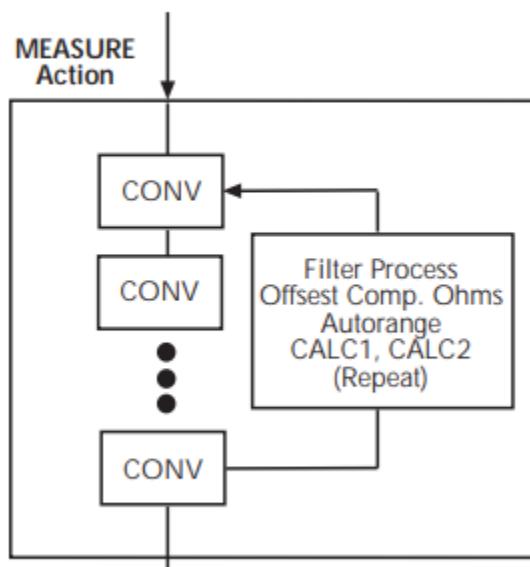
SOURCE Action — 执行任何编程输出电压或电流水平的更改。

DELAY Action — 该可编程延迟用于在执行测量之前使源稳定。它可以手动设置为 0.00000 至 9999.99990s，或者可以启用自动延迟。启用自动延迟后，源表会根据所选功能和范围自动选择名义延迟时间。

注意 在:Syst em:RCMode MULTiple 模式下，使用:SOURce [1]:SOAK 编程的稳定时间仅在初始扫描触发后的第一个 SDM 周期中替代延迟时间。请参阅第 18 节。

MEASURE Action — 在 SDM 循环的此阶段，进行测量过程。如果启用了重复滤波器（如图 11-4 所示），则仪器会采样指定数量的读取转换以产生单个经过滤的读数（测量值）。如果使用移动滤波器或禁用滤波器，则只有一次读数转换就会产生一个读数。

Figure 11-4
Measure action



CONV = Reading Conversion

计数器

可编程计数器用于在触发模型层内重复操作。例如，如果进行 10 点扫描，则触发计数器将设置为 10 (TRIGger:COUNT 10)。直到完成扫描的 10 个源-延迟-测量点，操作才会停留在触发层。

如果您想要重复三次扫描，则准备计数器将设置为 3 (ARM:COUNT 3)。然后可以执行三个 10 点扫描，总共进行 30 个源-延迟-测量动作。

源表的最大缓冲区大小为 2500 个读数。两个计数器的有限值的乘积不能超过 2500。例如，如果您设置了一个准备计数器为 2，则最大的触发计数器将是 1250 ($2500/2 = 1250$)。但是，您可以将准备计数器设置为无限(INF)。使用无限的准备计数器，最大的触发计数器为 2500。

注意 仅使用面板操作时，当配置扫描时，触发模型设置不会改变，直到开始扫描。完成扫描后，触发模型将重置为先前的设置。

输出触发器

源表可编程地输出触发信号（通过后面板的触发链接连接器），在各种触发模型操作之后。输出触发器用于触发另一台设备执行操作。默认情况下没有输出触发器。有关更多信息，请参见本节后面的“触发链接”。

触发层输出触发器—源表可编程地在 SDM 周期（源、延迟和测量）每个动作后输出触发器。使用 TRIGger:OUTPut 命令来控制输出触发器。

例如，要在测量动作之后输出触发器，必须发送以下命令：

```
TRIGger:OUTPut SENSe
```

上述命令不包括源和延迟动作的参数名称（SOURce 和 DELay），因此将禁用这些动作的输出触发器。

在与扫描仪一起使用时，每次测量后的输出触发器可以向扫描仪发送信号，以选择扫描中的下一个通道。

准备层输出触发器—如图 11-3 所示，可以编程源表在离开准备层进入触发层或离开触发层再次进入准备层时输出触发信号。这种输出触发器通常发送到另一台设备，以结束扫描。使用 ARM:OUTPut 命令来控制这些输出触发器。TENTER 参数在进入触发层时启用触发器，TEXit 参数在离开触发层时启用触发器，NONE 参数禁用两个输出触发器。

GPIB 默认值

GPIB 默认值如下所示。它们也在图 11-3 中用“+”符号表示。

- Arm-In 事件=立即
- 触发输入源=立即
- Arm 计数=1
- 触发计数=1
- 触发延迟=0.0s
- 延迟动作=0.001s
- 启用的事件检测器=源事件检测器（禁用延迟和测量检测）
- 启用的输出触发器=None
- 事件检测旁路=Acceptor（两个层）

当输出打开（OUTPut ON）时，当 INITiate 命令被发送时，源表将执行一个 SDM 周期。测量完成后，源表将返回到空闲状态。

11.2.2. 远程触发命令

表 11-1 总结了远程触发命令。这些命令在第 18 节中有更详细的介绍，除了*TRG，它是第 16 节中介绍的常见命令。

Table 11-1
Remote trigger commands

Command	Description
:INITiate	Take SourceMeter out of idle state.
:ABORt	Abort operation, return to idle.
:ARM:COUNt <n>	Set arm count (n = count).
:ARM:SOURce <name>	Specify arm control source. Name = IMMEDIATE, TLINK, TIMER, MANUAL, BUS, NSTEST, PSTEST, or BSTEST.
:ARM:TIMER <n>	Set arm layer timer interval (n = interval).
:ARM:DIRection <name>	Control arm bypass. (Name = SOURce or ACCEPTor).
:ARM:ILINe <NRf>	Select arm layer input line. (NRf = input line #).
:ARM:OLINe <NRf>	Select arm layer output line (NRf = output line #).
:ARM:OUTPut <event list>	Select arm layer output events. (Event list = TENTER, TEXIT, or NONE).
:TRIGger:CLEar	Clear any pending input triggers immediately.
:TRIGger:COUNt <n>	Set trigger count (n = count).
:TRIGger:DELay <n>	Set trigger delay (n = delay). ¹
:TRIGger:SOURce <name>	Specify trigger control source. Name = IMMEDIATE or TLINK.
:TRIGger:DIRection <name>	Control trigger bypass. (Name = SOURce or ACCEPTor).
:TRIGger:ILINe <NRf>	Select trigger layer input line (NRf = input line).
:TRIGger:OLINe <NRf>	Select trigger layer output line (NRf = output line).
:TRIGger:INPut <event list>	Select trigger input layer events. (Event list = SOURce, DELay, SENSe, or NONE).
:TRIGger:OUTPut <event list>	Select trigger layer output events. (Event list = SOURce, DELay, SENSe, or NONE).
*TRG	Trigger SourceMeter (if BUS source selected).

1. Invalid (ignored) for the Model 2430 Pulse Mode.

11.3. 触发器链接

输入和输出触发器通过后面板的 TRIGGER LINK 连接器接收和发送。触发链接有四条线路。在出厂时，第 2 条线路被选择为输出触发器，第 1 条线路被选择为输入触发器。这些输入/输出线路分配可以从 CONFIGURE TRIGGER 菜单中更改。（请参见“配置触发”，第 11-7 页。）连接器引脚定义如图 11-5 所示。

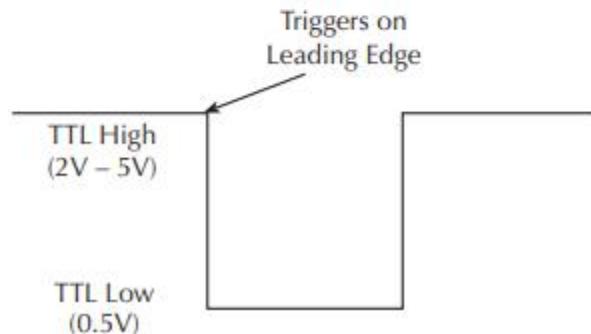
11.3.1. 输入触发器要求

输入触发器用于满足为 TRIGGER LINK 事件配置的触发模型层的事件检测。（请参见“触发模型”，第 11-20 页。）输入需要具有下降边沿、与 TTL 兼容的脉冲，其规格如图 11-6 所示。

*Figure 11-5
Rear panel pinout*

Rear Panel Pinout	Pin Number	Description
	1	Trigger Link 1
	2	Trigger Link 2
	3	Trigger Link 3
	4	Trigger Link 4
	5	Not connected
	6	Not connected
	7	Ground
	8	Ground

*Figure 11-6
Trigger link input pulse specifications*

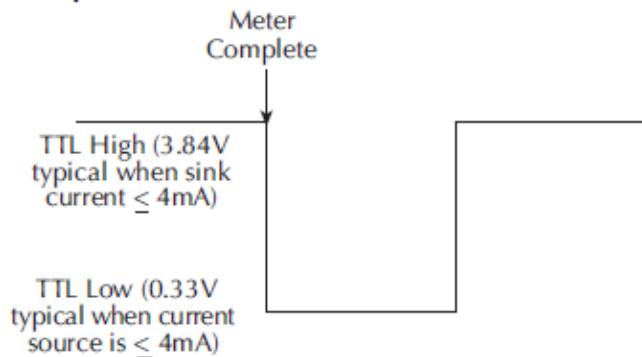


11.3.2. 输出触发器规格

源表可以编程输出各种触发模型操作之后的触发器。（请参见“触发模型”，第 11-20 页。）输出触发器提供一个与 TTL 兼容的输出脉冲，可用于触发其他仪器。此触发脉冲的规格如图 11-7 所示。

Figure 11-7

Trigger link output pulse specifications



11.4. 脉冲模式触发 (Model 2430)

Model 2430 的触发类似于 DC 模式的触发。然而，为了实现快速脉冲输出，脉冲模式的触发被简化了。以下信息涵盖了 DC 模式和脉冲模式之间的触发差异。

11.4.1. 触发模型

脉冲模式的前面板触发模型如图 11-8 所示，远程操作的触发模型如图 11-9 所示。这些触发模型是它们的 DC 模式对应物（图 11-1 和图 11-3）的简化版本。

注意 以下触发模型信息假定您已经熟悉本节中介绍的基本 DC 模式触发模型操作。

Figure 11-8

2430 Pulse Mode trigger model (front panel operation)

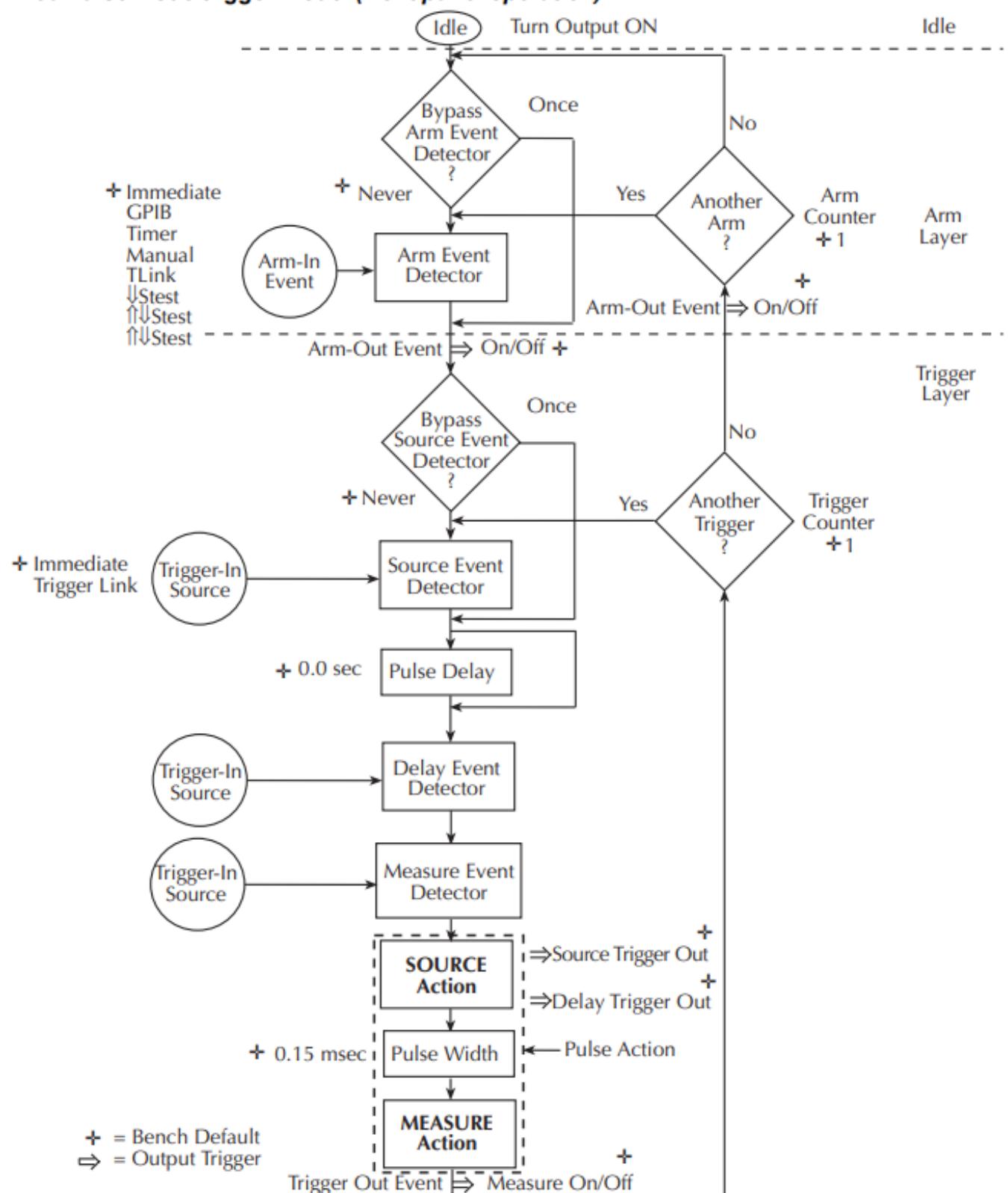
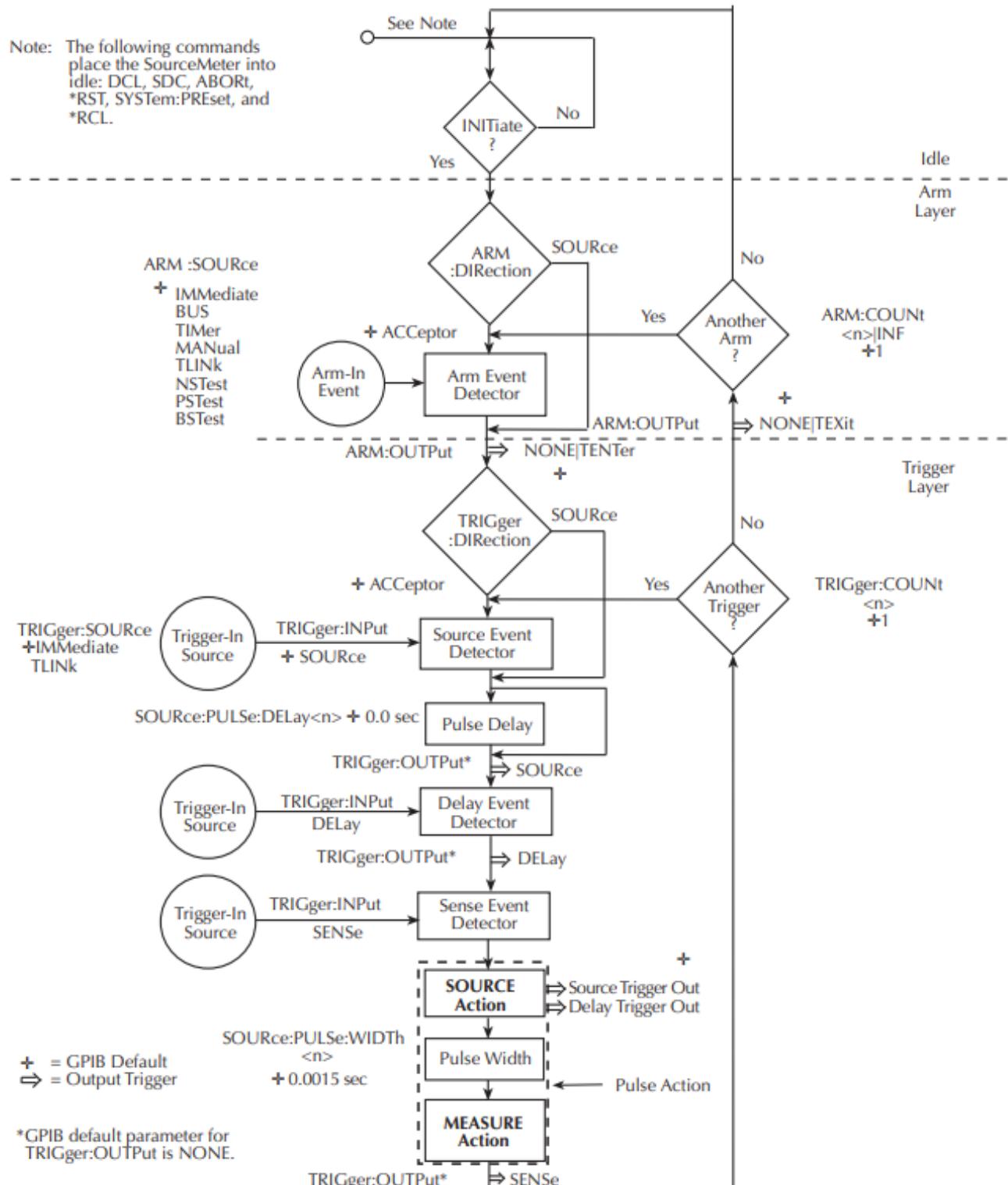


Figure 11-9
2430 Pulse Mode trigger model (remote operation)



+ = GPIB Default
⇒ = Output Trigger

*GPIB default parameter for
TRIGger:OUTPut is NONE.

空闲状态

与 DC 模式的前面板操作一样，在按下 ON/OFF OUTPUT 键后，源表会退出空闲状态。

对于 DC 模式的远程操作，必须打开输出，然后发送启动命令以将仪器从空闲状态中退出。对于脉冲模式的远程操作，当发送：INITiate、：READ？或：OUTPut[1][:STATe]ON 时，输出被打开并且初始化被满足。

脉冲延迟

脉冲模式使用脉冲延迟而不是 DC 模式中使用的触发延迟。这个延迟由用户设置，是脉冲关断时间的一部分。

在事件检测之后，操作进入脉冲延迟。然而，在初始通过触发模型时，像图 11-8 所示，脉冲延迟被绕过。这个初始循环延迟允许在打开输出后立即产生脉冲。

源动作

源动作打开输出以产生脉冲。

脉冲宽度

脉冲宽度是输出开启的持续时间。根据源表的配置，脉冲宽度可以短至 0.25ms 或长达 5ms。一般而言，脉冲宽度由延迟和信号测量组成。请参阅第 5 节了解脉冲宽度时间的详细信息。

测量动作

启用自动归零后，读数包括三个测量值：信号、参考和零点。这三个测量值然后用于计算准确的脉冲读数。首先在输出开启时测量信号。信号测量完成后，输出关闭，然后执行参考和零点测量。

禁用自动归零后，不会执行参考和零点测量。这可以通过缩短输出关断时间来实现更快的脉冲频率。但请注意，零漂将最终导致不准确的读数。

对于 DC 模式，滤波过程是测量动作的一部分。在脉冲模式下不使用滤波。

输出触发器

所有三个输出触发器都可在脉冲模式的触发层中使用。如果启用，输出触发器将在触发模型中指定的位置发生。

11.4.2. 无效的触发设置

前面板操作

对于前面板操作，大多数触发设置都是通过按下 CONFIG 然后 TRIG 来访问“CONFIGURE TRIGGER”菜单完成的。对于脉冲模式操作，“TRIG LAYER”的以下设置将被忽略。

DELAY - 触发延迟未使用。因此，触发 DELAY 设置将被忽略。

TRIGGER OUT EVENTS - 对于 DC 模式，源延迟从源配置菜单设置，该菜单通过按下 CONFIG 然后 SOURCE V 或 I 来访问。选择脉冲模式后，源延迟菜单项（DELAY 和 AUTO DELAY）将被脉冲 DELAY 和 PULSE WIDTH 菜单项替换。

远程操作

以下命令在脉冲模式下无效，因此将被忽略：

:TRIGger:DELay - 在脉冲模式中不使用触发延迟。

:SOURce:DELay 和:SOURce:DELay:AUTO - 在脉冲模式下不使用源延迟。

12. 限制测试

- **限制类型** — 讨论三种限制类型：符合性、粗限制和细限制。还总结了两种操作模式：分级和分选。
- **操作概述** — 包括分级和分选模式的分选控制和通过/失败条件。
- **分选系统** — 详细介绍处理器接口，以及单元素和多元素分选和数字输出清除模式，在分选操作后会发生。

注意 Model 2401 不使用数字 I/O 端口的数字输出线路。Model 2401 没有处理器接口，因此无法与组件处理器一起用于执行分选操作。

- **配置和执行限制测试** — 描述如何为限制测试配置源表，并总结典型的测试过程。
- **远程限制测试** — 总结限制命令并提供一个基本的编程示例。

12.1. 限制类型

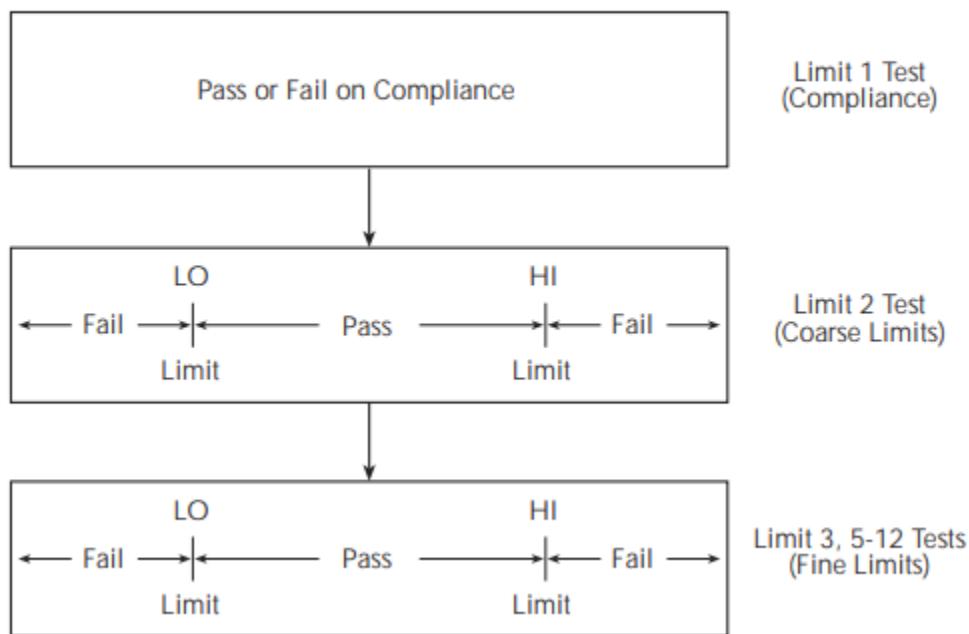
如图 12-1 所示, DUT 可以进行 11 种限制测试。这些限制包括:

- 限制 1: 符合性测试
- 限制 2: 粗限制
- 限制 3、5-12: 细限制

注意 限制 4 保留用于接触检查选项。有关详细信息, 请参见附录 F。

仅在启用测试时才执行测试。因此, 您可以执行一个、两个或所有 11 个测试。测试始终按照图示顺序执行。

Figure 12-1
Limit tests



12.1.1. 通过/失败信息

可以通过以下方式获取限制测试的通过/失败信息:

- 前面板显示屏上显示的 PASS 或 FAIL 指示。
- 通过编程单元输出特定的通过/失败的位模式到数字 I/O 端口, 该端口可用于控制其他设备, 例如用于分选操作的器件处理程序。有关更多信息, 请参见“分选系统”, 第 12-10 页和第 13 节“数字 I/O 端口”。

注意 Model 2401 没有处理程序接口, 因此不能与组件处理程序一起用于执行分选操作。

- 通过远程查询：CALCulate2:LIMIT<n>:FAIL?，其中<n>是限制测试号码（第 18 节“CALCulate2”）。
- 通过读取各种状态位（第 15 节“状态结构”和第 18 节“FORMAT 子系统”）。
- 注意在缓冲区位置号码前面出现的“P”或“F”（第 9 节“读取读数”）。

12.1.2. 数据流

所有限制测试均属于 CALC2 数据块。有关限制测试如何适应源表整体数据流的概述，请参见附录 C。

12.1.3. 限制 1 测试（合规性）

此硬件（H/W）测试检查源表的符合状态。它使用编程合规性作为测试极限。在或超过编程极限时，仪器符合要求。低于限制时，仪器不符合要求。

12.1.4. 限制 2、限制 3 和限制 5-12 测试

这些软件（S/W）测试用于确定 DUT 是否在指定的高低限制范围内。通常，Limit 2 测试用于测试粗糙公差限制，而 Limit 3 和 Limit 5-12 测试用于细小公差限制。

12.1.5. 限制 4

此硬件测试仅适用于配有可选接触检查功能的仪器。有关接触检查选项的详细信息，请参见/。可以为每个限制和每个高/低通过或失败条件设置不同的数字 I/O 位模式。

12.1.6. 限制测试模式

限制测试有两种操作模式：分级和排序。对于限制 1 测试（符合性），两种限制测试模式的操作类似。如果限制 1 测试失败，则显示“FAIL”消息，并终止该 DUT（或 DUT 元素）的测试过程。通过条件允许测试过程继续进行到下一个启用的限制测试。

如果选择分级模式，则执行每个启用的软件测试（Limit 2、3、5-12），直到出现故障。当测试失败时，将显示“FAIL”消息，并终止该 DUT（或 DUT 元素）的测试过程。

如果选择排序模式，则执行每个启用的软件测试（Limit 2、3、5-12），直到测试通过为止。当测试通过时，将显示“PASS”消息，并终止该 DUT 的测试过程。

12.1.7. 分选

虽然对于被测物件（DUT）不需要额外的设备来进行极限测试，但是可以将元件处理器与源表数字 I/O 端口连接起来执行分选操作。测试过程结束后，DUT 将会被放置在指定的存储箱中。

注意 型号 2401 没有处理器接口，因此无法使用处理器执行分选操作。

针对等级模式，可以通过添加扫描仪来进一步自动化分选系统。使用扫描仪可以重复（循环）测试单个封装（即电阻网络）的各个元素。有关使用元件处理器和扫描仪执行分选操作的更多信息，请参见“分选系统”第 12-10 页。

12.2. 操作概述

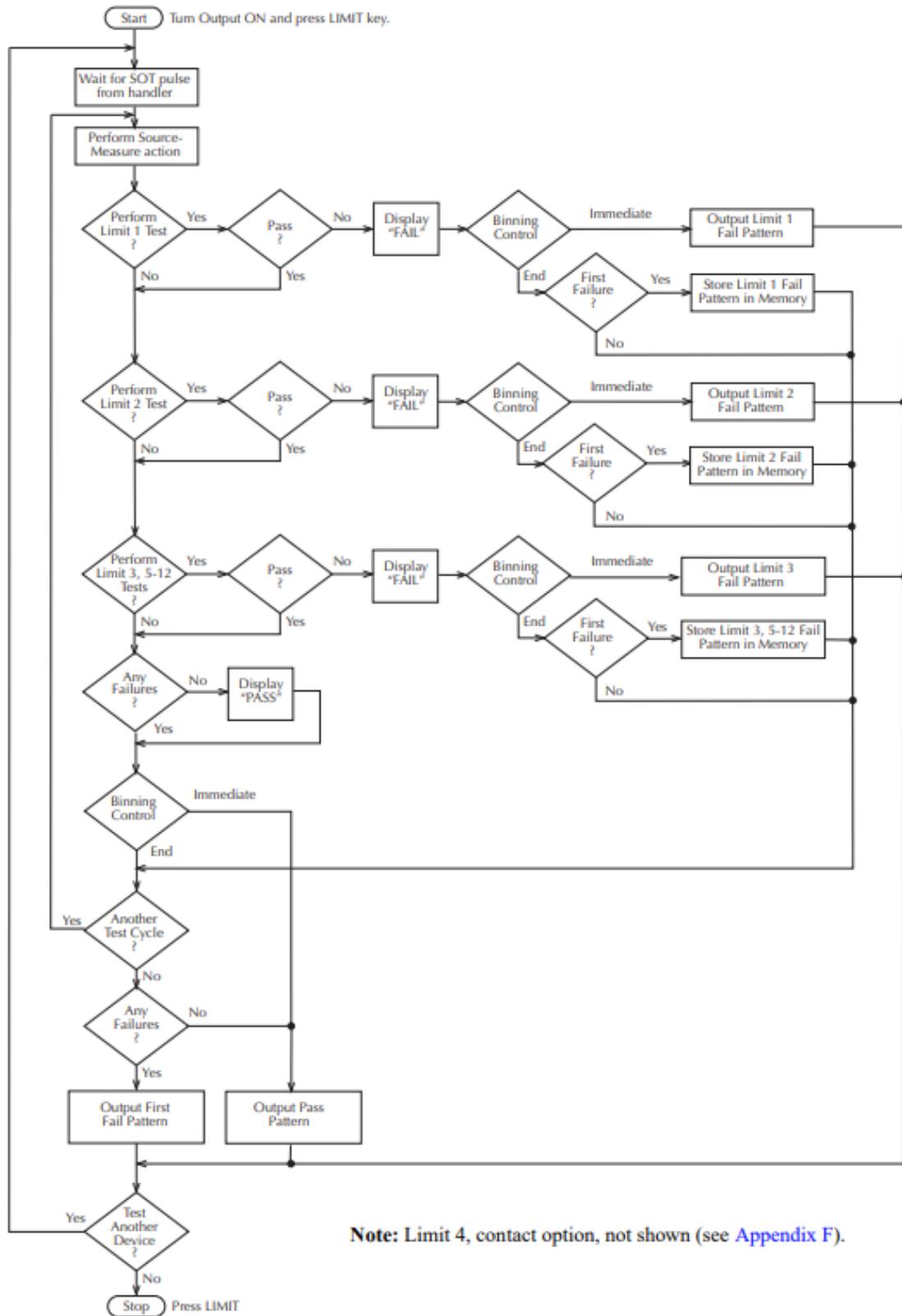
12.2.1. 等级模式

图 12-2 中的流程图详细说明了等级模式限制操作。只有当启用测试时才会执行测试。如果禁用，则操作继续进行到下一个测试。以下假设前三个限制测试已启用，并且源表的数字输出已连接到元件处理器以进行 DUT 分选。（请参见“分选系统”第 12-10 页。）如果未使用处理器，则忽略数字输入/输出（处理器接口）操作。

注意 型号 2401 没有处理器接口，因此无法使用处理器执行分选操作。

通过正确配置限制测试，打开源表输出并按下 LIMIT 键。在本例中，当元件处理器向源表发送测试开始 (SOT) 闪烁脉冲时，测试过程将会启动。请注意，如果未使用处理器，则测试将在按下 LIMIT 键后开始。再次按下 LIMIT 键将终止测试过程。如流程图所示，在测量转换后执行限制测试。

Figure 12-2
Grading mode limit testing



注意 如果使用联系检查选项, 请参见附录 F 中的流程图 Figure F-4。

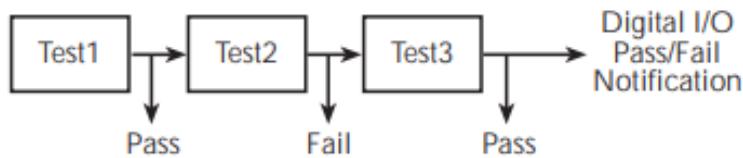
分选控制

分选控制选择确定测试过程何时停止并进行适当的分选操作。根据限制测试数据, 结果通过数字 I/O 端口进行通信。(请参阅“分选系统”, 第 12-10 页。) 在分级模式下有两种类型的分选控制: 立即和结束。

注意 分选会影响联系检查测试。有关详细信息, 请参见附录 F。

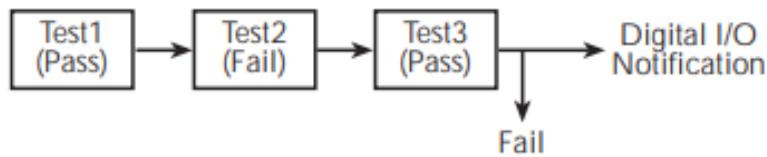
立即分选——当您希望在发生第一次故障后停止所有测试时, 请使用立即分选。任何未完成的测试都将被取消, 并将 DUT 放置在分配给该测试故障的存储箱中。如果没有发生故障, 则将执行所有启用的测试, 并将 DUT 放置在分配的通过存储箱中。该过程如图 12-3 所示。

Figure 12-3
Immediate binning



结束分选——结束分选允许扫描完成后再执行分选操作。在发生故障时, 第一个测试故障确定存储箱分配。(请参见图 12-4。)

Figure 12-4
End binning



通过条件

对于本讨论, 假设所有分级模式限制测试都通过。在三个限制测试通过后, “PASS”消息被显示, 操作下降到分选控制决策块。(请注意, 也可以通过远程方式使用: CALC2:LIM <n>FAIL? 查询来确定通过条件。)

立即分选 — 对于立即分选, 测试过程停止。源表通过数字 I/O 端口向组件处理器输出通过模式以执行分选操作。

结束分选 — 对于结束分选, 操作下降到 Another Test Cycle? 决策块。如果编程在 DUT 封装上执行其他测试(即扫描), 则操作循环回到执行下一个源测量动作。成功完成所有编程测试周期后, 源表将通过模式输出到组件处理器以执行分选操作。

如果配置为测试另一个 DUT 封装，则操作循环回到流程图的顶部，并等待组件处理器的测试开始 (SOT) 脉冲。

失败条件

当发生故障时，会显示 FAIL 消息（并且也可以通过远程方式读取：CALC2:LIM<n>FAIL?），操作继续进行到分选控制决策块。

立即分选 — 对于立即分选，当发生故障时，测试过程终止，并将该特定故障的失败模式发送到组件处理器以执行分选操作。触发保持在测试系统中的其他仪器或组件中。

结束分选 — 对于结束分选，第一个故障的失败模式存储在内存中，并且操作继续进行到 Another Test Cycle? 决策块。如果编程在 DUT 封装上执行其他测试（即扫描），则操作循环回到执行下一个源测量动作。

完成所有编程测试周期后，源表将在数字 I/O 端口上输出存储在内存中的失败模式。这反映了设备封装的测试过程中发生的一个故障。组件处理器将 DUT 放置在适当的存储箱中。

如果配置为测试另一个 DUT 封装，则操作循环回到流程图的顶部，并等待组件处理器的测试开始 (SOT) 脉冲。

12.2.2. 分类模式

分类模式限制操作的详细信息请参见图 12-5 中的流程图。只有启用测试时才会执行测试。如果禁用，则操作继续进行到下一个测试。以下假设源表的数字输出已连接到元件处理器以进行 DUT 分选。（请参见“分选系统”第 12-10 页。）

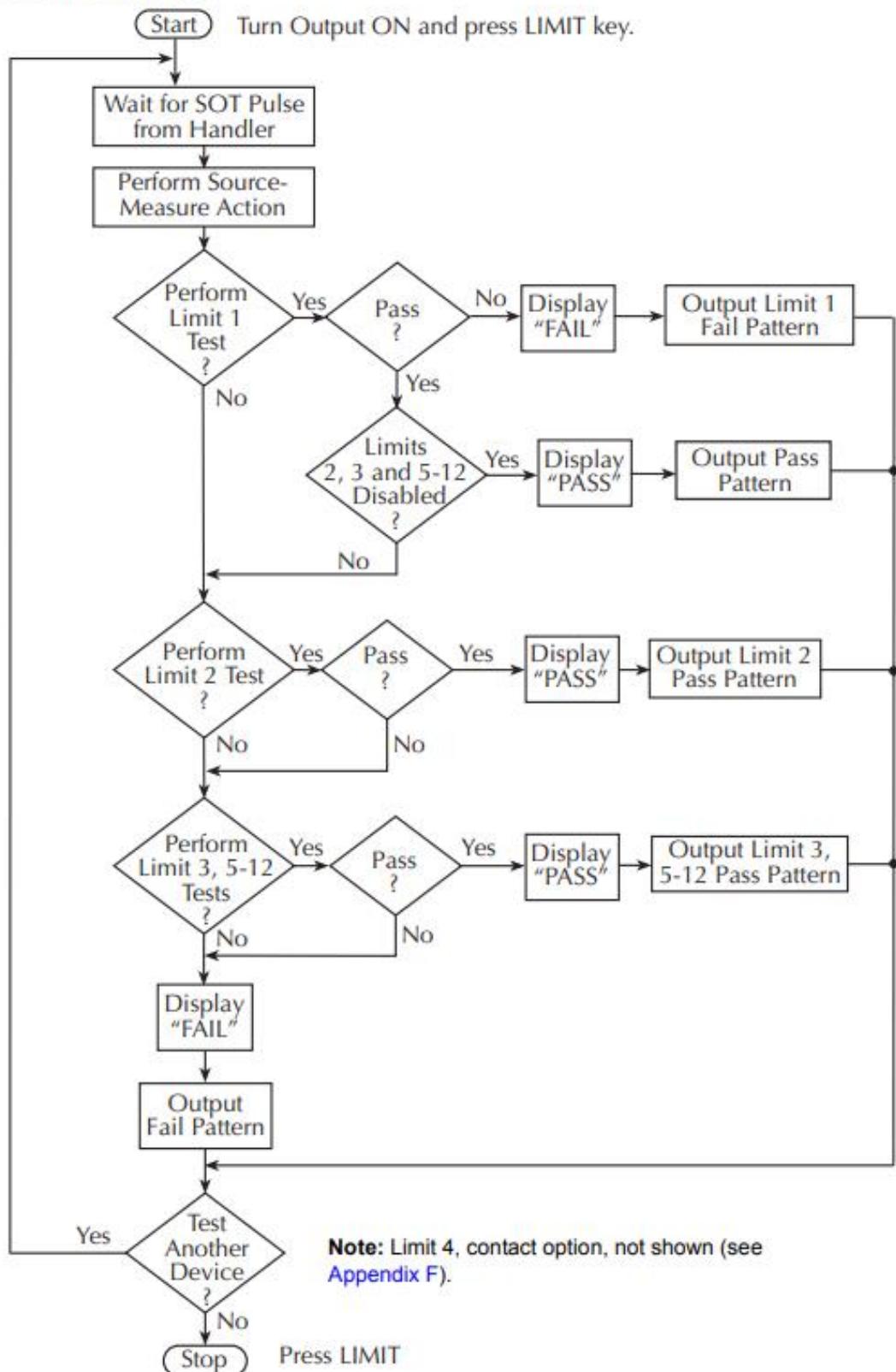
注意 型号 2401 没有处理器接口，因此无法使用处理器执行分选操作。

注意 如果使用接触检查选项，请参见附录 F 中的流程图 F-4。

分选

对于分类模式，只能执行即时分选。在测试过程完成后（显示 FAIL 或 PASS），适当的输出位模式将被发送给元件处理器，该处理器将 DUT 放置在指定的存储箱中。（也可以通过远程查询：CALC2:LIM<n>:FAIL? 来查询通过/失败状态。）

Figure 12-5
Sorting mode limit testing



12.3. 分选系统

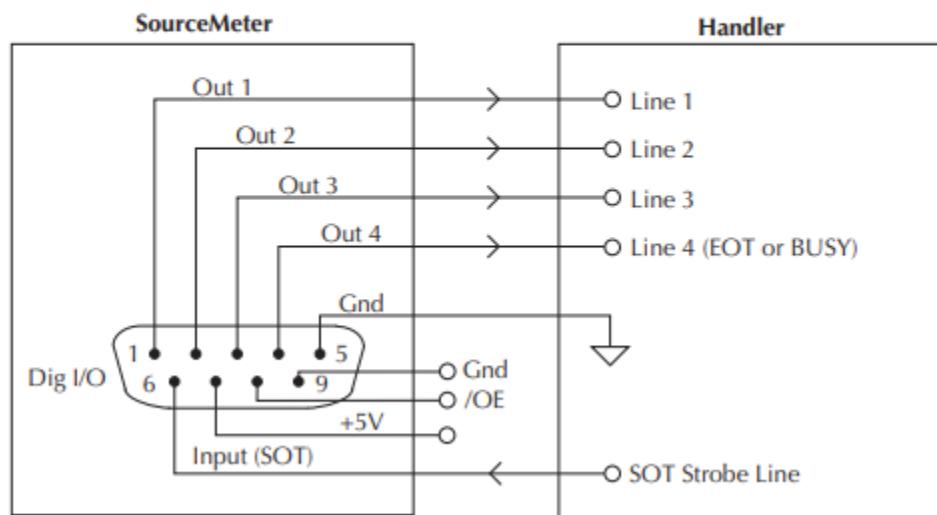
注意 Model 2401 没有处理程序接口。因此，它不能与组件处理程序一起用于执行分选操作。

源表可以与组件处理程序配合使用，对 DUT 封装执行分选操作。通过该系统，您可以测试单元素器件（即电阻器）。将扫描仪添加到系统中，可使多元素 DUT 封装进行分选操作。请参见多元素器件分选。

12.3.1. 处理程序接口

如图 12-6 所示，源表通过数字 I/O 端口与处理程序接口连接。I/O 端口具有四条用于输出信号的线路（Out 1 到 Out 4），以及用于测试开始（SOT）和/OE（输出启用）信号的输入线路。输出线路用于将限制测试通过/失败信号发送到处理程序，以执行分选操作。

*Figure 12-6
Handler interface connections*



数字 I/O 连接器

这些数字 I/O 线路在源表后面板的 DB-9 数字 I/O 连接器上可用。连接到源表需要使用标准母头 DB-9 连接器的自定义电缆。有关详细信息，请参见第 13 节“数字 I/O 端口”。

数字输出线路

四个输出线路根据各种限制测试的通过/失败结果输出特定的位模式。（请参阅“限制类型”，第 12-2 页。）在 3 位输出模式下，Line 4 也可以根据测试结束模式用作测试结束（EOT）或 BUSY 信号之一。（请参阅“配置限制测试”，第 12-16 页。）

EOT 或忙线

在 3 位模式中，第 4 条线可用于在数字 I/O 线可以读取时向处理程序发出标志。根据所使用的处理程序类型，可能使用 BUSY 或测试结束（EOT）。这些信号定义如下：

BUSY — BUSY 信号表示从接收到测试开始 (SOT) 信号到所有测量、限制测试和数字 I/O 操作完成的时间。当选择/BUSY 时，此期间线路 4 变为低电平。

注意：必须将 arm 源设置为 SOT 才能使用 BUSY。

EOT — 测试结束脉冲向处理程序发出信号，以表明可以读取数字 I/O 线。此脉冲在源表更新数字 I/O 线后约 $10\mu\text{s}$ 发生，并在数字 I/O 线实际清除之前约 $10\mu\text{s}$ 结束。EOT 脉冲宽度由数字自动清除延迟指定。当数字 I/O 更新时，EOT 为高电平。在数字 I/O 线更新后，/EOT 变为低电平。

注意 必须启用数字自动清除才能使用 EOT。

SOT 线

数字 I/O 的输入线 (SOT) 用于控制测试过程的开始。对于将 \downarrow STEST 选为触发模型的 arm 事件进行远程操作，当 SOT 线脉冲为低电平时，测试过程将开始。当 \uparrow STEST 作为所选的 arm 事件时，当 SOT 线被脉冲为高电平时，测试过程将开始。当选择 $\uparrow\downarrow$ STEST 时，当 SOT 被脉冲为高电平或低电平时，测试将开始。对于选择 IMMEDIATE arm 事件的前面板操作，在输出打开的情况下按下 LIMIT 键即可开始测试过程。有关触发器模型配置的详细信息，请参见第 11 节“触发”

使用 SOT 线时，处理程序在处于未就绪状态时不会输出脉冲。当处理程序准备好 (DUT 在处理程序中正确定位) 时，它会在 SOT 线输出低电平或高电平以启动测试。

/OE 线

数字 I/O 的/OE (输出启用) 线可用于组件处理程序配备开关的情况。正确使用时，当打开处理程序的盖子以消除可能的触电危险时，从 DUT 中移除电源。有关输出启用线的操作详见第 13 节“数字 I/O 端口”和“输出启用线”。

12.3.2. 处理器类型

源表可以与两种基本类型的处理器之一配合使用。

当与类别脉冲处理器一起使用时，源表会输出脉冲在四条处理器线路之一。然后，处理器将 DUT 放置到分配给脉冲线路的存储箱中。

当与类别寄存器处理器一起使用时，源表向三个处理器线路输出一个位模式。在源表向第四个处理器线路发送测试结束 (EOT) 的触发脉冲后，处理器将 DUT 放置在分配给该位模式的存储箱中。

类别脉冲元件处理器

使用此类型的处理器时，当出现通过或失败条件时，源表会输出脉冲在四条处理器线之一。然后，处理器将 DUT 放置在分配给脉冲线的存储箱中。在与此类型的处理器交互时，最多支持四个元件处理器存储箱。

如果处理器需要低电平脉冲，则源表的四条数字输出线必须最初设置为高电平。输出线上的初始 HI、HI、HI、HI 清除模式表示处理器的无动作状态，因为它正在等待其中一条线下降。当定义的失败或通过模式将其设置为低时，该线会下降。例如，如果要使特定的测试失败脉冲第 4 条处理

器线，则定义的失败模式必须为 HI、HI、HI、LO。当出现故障时，第 4 条线将被拉低，并将 DUT 放置在分配给该脉冲线的存储箱中。

如果处理器需要高电平脉冲，则源表的四条数字输出线必须最初设置为低电平。LO、LO、LO、LO 清除模式表示处理器的无动作状态。当其中一条线通过定义的通过或失败位模式（例如，LO、LO、LO、HI）被拉高时，DUT 将放置在分配给该脉冲线的存储箱中。

类别寄存器元件处理器

使用此类型的处理器时，当出现通过或失败条件时，源表会向三条处理器线发送一个位模式。这个位模式确定了 DUT 的存储箱分配。在输出通过/失败模式后，第 4 条线将被脉冲。这个测试结束（EOT）脉冲将位模式锁定到处理器的寄存器中，然后将 DUT 放置在分配的存储箱中。在与此类型的处理器交互时，最多支持八个元件处理器存储箱。

如果处理器需要高电平或低电平的 EOT 脉冲，则要对源表进行 3 位操作和适当的 EOT 模式编程。

注意 EOT 和 3 位模式从 CONFIG LIMITS 菜单中配置。请参见“配置限制测试”第 12-16 页。

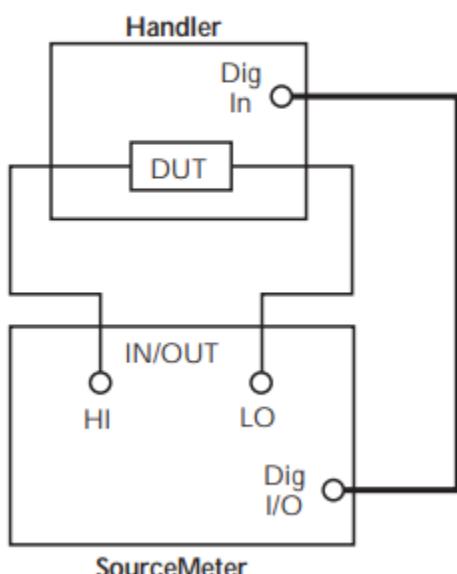
12.3.3. 基本分选系统

图 12-7 和图 12-8 显示了两个基本的分选系统。这两个系统都需要处理程序将设备封装物理放置在适当的存储箱中。源表通过数字 I/O 端口控制处理程序。

单元素器件分选

图 12-7 显示了用于单元素器件（即电阻器）的基本分选系统。完成 DUT 上所有编程测试后，将通过/失败的数字输出信息发送到组件处理程序，然后将 DUT 放置在适当的存储箱中。组件处理程序选择下一个 DUT，并重复测试过程。

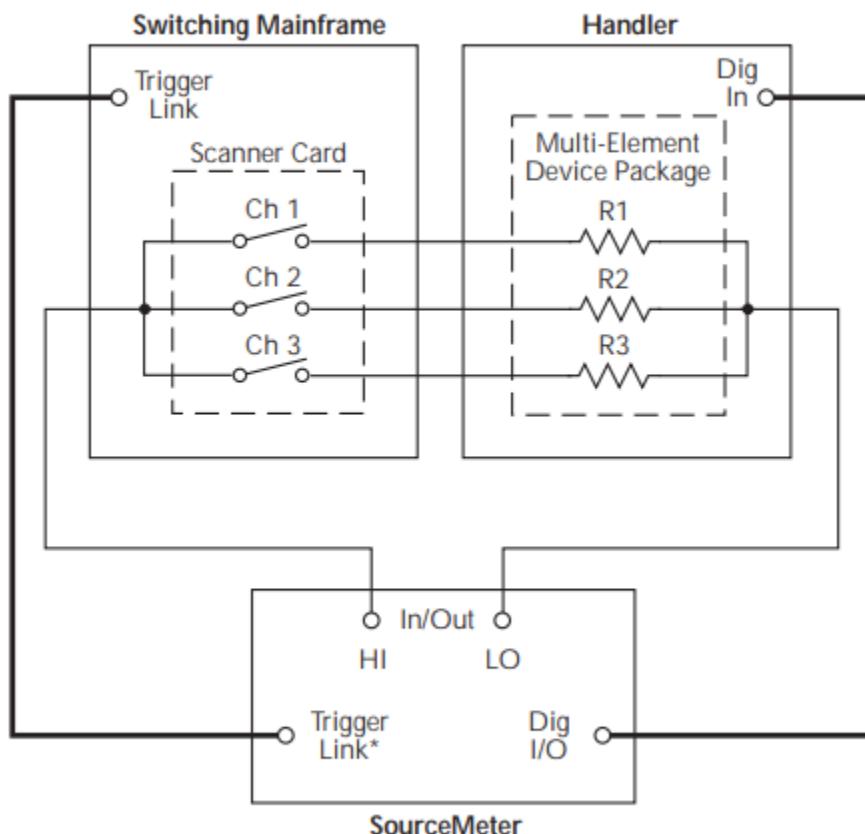
Figure 12-7
Binning system single-element devices



多元素器件分选

图 12-8 显示了用于测试三元素电阻网络的基本分选系统。请注意，该系统需要安装在切换主机框架中的扫描卡片。扫描卡片切换是通过触发链接进行控制的。此测试系统需要使用结束分选控制，因此必须使用分级模式。

Figure 12-8
Binning system multiple-element devices



*Trigger layer configured to output trigger pulse after each measurement.

12.3.4. 数字输出清除模式

在每次分选操作之后，数字输出需要重置为清除模式，该模式作为组件处理程序的无动作条件。

源表可以编程为在发送通过或失败模式后自动清除数字输出。启用自动清除后，您可以指定通过或失败模式所需的脉冲宽度（延迟）。（默认的自动清除脉冲宽度为 $10\mu\text{s}$ 。）如果不使用自动清除，则必须从 CONFIG LIMIT 菜单的 DIGOUT AUTO CLEAR 选项将数字输出返回到其清除模式。此选项还设置通过/失败模式和脉冲宽度。

启用自动清除

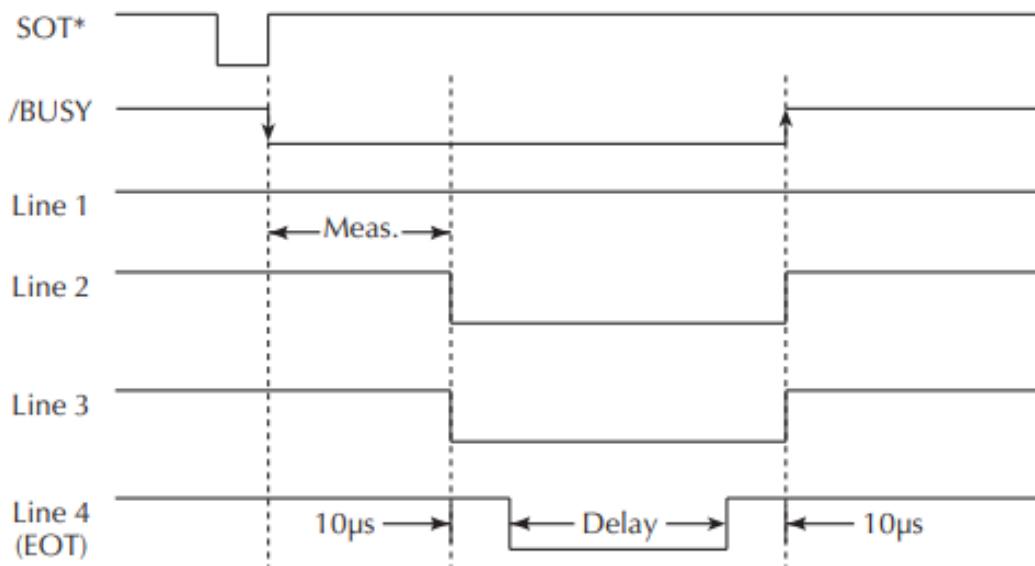
要启用自动清除：

1. 按 CONFIG, 然后按 LIMIT。
2. 选择 DIGOUT, 然后按 ENTER。
3. 选择 AUTO CLEAR, 然后按 ENTER。
4. 选择 ENABLE, 然后按 ENTER。
5. 在提示处, 设置自动清除脉冲宽度 (0s 到 60s) 和清除位模式 (0 至 15, 4 位; 0 至 7, 3 位大小)。使用 EXIT 返回正常显示。

自动清除时间

以下定时图例 (图 12-9) 和讨论解释了自动清除的数字输出线之间的关系。

Figure 12-9
Digital output auto-clear timing example



* With the SOT line being pulsed low (as shown), ↓ STEST must be the selected event for the trigger model. If the SOT line is instead pulsed high by the handler, ↑ STEST must be the selected arm event. For high or low pulses, select ↑↓ STEST.

最初, 四个数字输出线被清除 (在本例中, 它们都被设置为高电平)。当从组件处理程序接收到测试开始 (SOT) 脉冲时, 限制测试开始。当测试过程完成时, 通过或失败模式应用于数字输出。如图所示, 第 2、3 和 4 条线变低, 而第 1 条线保持高电平。

可以根据组件处理程序的要求将通过/失败模式的脉冲宽度 (延迟) 设置为 0 到 60s (10μs 分辨率)。请注意, 延迟指定第 4 条线的脉冲宽度。实际上, 第 1、2 和 3 条线的脉冲宽度要长 20μs。由于第 4 条线被类别寄存器组件处理程序用作测试结束 (EOT) strobe, 因此第 4 条线是倾斜的。第 1、2 和 3 条线建立位模式, 然后 10μs 后的 SOT strobe 告诉处理程序读取位模式并执行分选操作。这个 10μs 的偏移量用于确保处理程序读取正确的位模式。

在处理程序读取通过/失败之后, 启用自动清除, 数字输出返回到清除模式。

12.4. 配置和执行限制测试

12.4.1. 配置限制测试

注意 型号 2401 不使用数字 I/O 端口的数字输出线。因此，无法使用处理器执行分选操作。如果使用 Model 2401 进行限制测试，请忽略所有与分选相关的操作和信息。

按 CONFIG，然后按 LIMIT 键以显示 CONFIG LIMITS MENU 菜单。如下所示的限制配置菜单，如图 12-10 所示。请注意，圆点表示限制菜单的主要项目，破折号表示每个菜单或子菜单项目的选项。请参考“导航菜单的规则”文档来配置限制测试。

- **DIGOUT** — 使用此菜单项来控制以下数字 I/O 方面：
 - **SIZE** — 用于选择 3 位或 4 位数字 I/O 比特大小。在 3 位模式下，数字 I/O 线 4 成为 END OF TEST 模式所选的 EOT、/EOT、BUSY 或/BUSY 信号。在 4 位模式下，如果 END OF TEST 模式设置为 EOT，则手动控制数字 I/O 线 4。
 - **MODE** — 用于选择 GRADING 或 SORTING 模式：

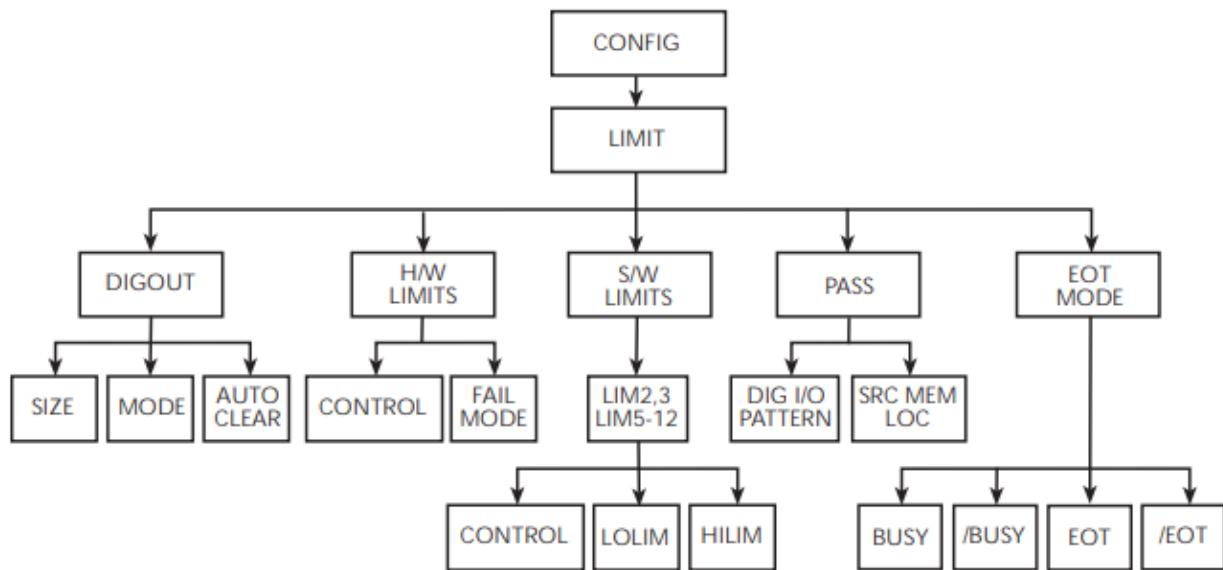
在 GRADING 模式下，仅当读数在启用的所有 HI/LO 限制公差范围内时，才通过，假定它已先通过 Contact Check（仅限 contact check 选项）和 Compliance 测试。数字 I/O 将驱动第一个 Contact Check、Compliance、HI 或 LO 失败的第一个模式。否则，将输出通过模式。在 GRADING 模式下，您还将选择分选控制模式。使用 IMMEDIATE 时，在第一个故障后测试过程将停止，并将失败模式放置在数字输出上。如果没有限制测试失败，则将通过模式放置在数字输出上，并停止测试过程。使用 END 时，测试过程将继续进行，直到程序化扫描完成，无论发生多少个故障都是如此。这允许测试多元件器件（例如电阻器网络）。测试结束后，第一个故障的位模式将被放置在输出上。如果所有测试均通过，则代之以放置通过模式。

在 SORTING 模式下，仅当读数未通过可选的 Contact Check Test、Compliance Test 或不在任何 Digital I/O 带内时才会失败。如果测试通过并且仅启用 Limit 1 或 4（可选的 contact check 测试），则将输出相关的通过模式。否则，通过的第一条限制测试带将输出其下限模式（上限模式将被忽略）。如果 Limit 1 或 4 失败，则会输出它们的失败模式。如果没有 Limit 2、3 或 5-12 通过，则将输出它们的失败模式。当选择 SORTING 时，也可以设置数字 I/O 位模式（0 到 7，3 位；0 到 15，4 位）。
 - **AUTO CLEAR** — 使用此菜单项开启或关闭数字输出的自动清除功能。启用自动清除后，将提示您设置通过/失败模式脉冲宽度（延迟；0-60.00000s）。然后，将提示您设置数字输出清除模式（0 到 7，3 位；0 到 15，4 位）。
- **H/W LIMITS** — 使用此菜单项控制并设置 Limit 1 (Compliance) 测试的失败模式：
 - **CONTROL** — 用于启用或禁用测试。
 - **FAIL MODE** — 用于选择 Limit 1 测试的失败模式。选择“IN”时，当源表符合规性定时，测试将失败。选择“OUT”时，当不符合规性定时测试将失败。还可以使用该模式指定 Limit#1 IN 或 OUT 测试失败的数字输出位模式（0 到 7，3 位；0 到 15，4 位）。

注意 如果安装了接触检查选项, H/W LIMITS 选择还将设置接触检查测试 (限制 4) 的选项。有关详细信息, 请参见附录 F 中的接触检查详细信息。

- **S/W LIMITS** — 使用此菜单项控制、设置限制, 并为 LIM2、LIM3 和 LIM5 至 LIM12 测试定义输出位模式:
 - **CONTROL** — 用于启用或禁用测试。
 - **LOLIM** — 用于设置低限制, 并且对于分级模式, 指定失败位模式 (0-7; 3 位; 0 至 15; 4 位)。
 - **HILIM** — 用于设置高限制, 并且对于分级模式, 指定失败位模式 (0 至 7; 3 位; 0 至 15; 4 位)。
- **PASS** — 使用此菜单项来规定通过条件下的操作:
 - **DIG I/O PATTERN** — 使用此选项来定义数字输出比特模式 (0 至 7, 3 位; 0 至 15, 4 位)。对于分级模式, 它是所有测试均通过条件的通过模式。对于排序模式, 它是当禁用所有其他软件限制测试时的限制 1 (符合性) 的通过模式 (0 至 7, 3 位; 0 至 15, 4 位)。
 - **SRC MEMI LOC** — 与源记忆扫描一起使用此选项, 以在 PASS 条件发生时选择下一个记忆位置点。如果选择 NEXT, 则将选择扫描列表中的下一个点。您还可以通过指定 Memory LOCATION# (1 至 100) 来跳转到扫描中的不同点。
- **EOT MODE** — 使用此菜单项控制数字 I/O 线 4 的操作, 使其作为测试结束 (EOT) 或 BUSY 信号:
 - **BUSY** — 在单元件繁忙时将数字 I/O 线 4 设置为 HI。选择 BUSY 后, 该单元件的行为就像它处于 3 位模式下一样。要求 SOT 为准备源。
 - **/BUSY** — 在单元件繁忙时将数字 I/O 线 4 设置为 LO。选择 /BUSY 后, 该单元件的行为就像它处于 3 位模式下一样。要求 SOT 为准备源。
 - **EOT** — 在 3 位模式下, 在测试结束时自动在数字 I/O 线 4 上输出一个 HI 脉冲。在 4 位模式下, EOT 不受自动控制。要求启用数字自动清除。
 - **/EOT** — 在 3 位模式下, 在测试结束时自动在数字 I/O 线 4 上输出一个 LO 脉冲。在 4 位模式下, EOT 不受自动控制。要求启用数字自动清除。

Figure 12-10
Limits configuration menu tree



12.4.2. 执行前面板限制测试

执行以下基本步骤以从前面板运行限制测试。有关远程命令和编程示例，请参见“远程限制测试”（第 12-20 页）。

注意 Model 2401 不使用数字 I/O 端口的数字输出线。因此，它不能与处理程序一起使用执行分选操作。如果使用 Model 2401 进行限制测试，则忽略与分选相关的所有操作和信息。

步骤 1：配置测试系统。

正如先前所解释的那样，测试系统可以简单地将 DUT 连接到源表（第 2 节“连接”），也可以使用处理程序进行分选操作。将扫描仪添加到测试系统中可让您测试多元件器件（例如电阻网络）。

步骤 2：配置源测量功能。

配置源表以进行所需的源测量操作。

步骤 3：配置限制测试。

按照“配置限制测试”（第 12-16 页）中所述选择并配置以下限制测试参数：

步骤 4：打开输出。

按下 ON / OFF 键以打开输出（OUTPUT 指示灯亮起）。Source-Meter 将输出所编程的偏置电平。

步骤 5：开始测试过程。

要启用限制测试, 请按 LIMIT 键。如果数字 I/O 的/SOT 线被处理程序使用, 则直到处理程序发送低电平脉冲为止, 测试过程将不会开始。否则, 按下 LIMIT 时开始测试过程。

注意 PASS 和 FAIL 消息指示每个测试周期的状态, 其中有以下例外情况:

- 在 NORMAL, HIGH IMPEDANCE 或 GUARD 输出关闭状态下, 显示 OFF 消息。通过和失败条件分别显示为 P OFF 和 F OFF。在 ZERO 输出关闭状态下, 显示 ZER 消息。通过和失败条件分别显示为 P ZER 和 F ZER。
- 如果源达到过压保护 (OVP) 限制, 则将显示 OVP 消息。通过和失败条件将分别显示为 P OVP 和 F OVP。

步骤 6: 停止测试过程。

可以通过再次按下 LIMIT 来随时终止测试过程。当使用处理器时, 测试过程将在最后一个 DUT 测试完毕后停止。

12.5. 远程限制测试

12.5.1. 限制命令

表 12-1 总结了控制限制测试参数的远程命令, 而表 12-2 总结了用于限制测试的数字 I/O 端口比特参数的命令。有关这些命令的更多详细信息, 请参见“CALCulate2”和“SOURce2”的第 18 节。

注意 型号 2401 不使用数字 I/O 端口的数字输出线, 也没有元件处理器接口。表 12-2 和表 12-3 中的命令对于型号 2401 无效, 并将导致未定义的标题错误。

注意 对于具有 contact check 选项的仪器, 请参阅附录 F 获取更多信息。

Table 12-1
Limit commands

Command*	Description*
:CALCulate2:FEED <name>	Select limit test input path (name = CALCulate[1], VOLTage, CURRent, or RESistance).
:CALCulate2:DATA?	Acquire limit test data.
:CALCulate2:LIMit:COMPliance:FAIL <name>	Set Limit 1 fail condition. Name = IN (fail into compliance) or OUT (fail out of compliance).
:CALCulate2:LIMitX:LOWer <n>	Specify lower Limit X; X = 2, 3, 5-12 (n = limit).
:CALCulate2:LIMitX:UPPer <n>	Specify upper Limit X; X = 2, 3, 5-12 (n = limit).

Table 12-1 (cont.)
Limit commands

Command*	Description*
:CALCulate2:LIMit[1]:COMPliance:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify limit 1 fail bit pattern. (NRf NDN = pattern).
:CALCulate2:LIMitX:LOWER:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify lower Limit X fail bit pattern for grading mode; X = 2, 3, 5-12 (NRf NDN = bit pattern).
:CALCulate2:LIMitX:UPPer:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify upper Limit X fail bit pattern for grading mode; X = 2, 3, 5-12 (NRf = bit pattern).
:CALCulate2:LIMitX:PASS:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify pass pattern for sorting mode (NRf NDN = bit pattern).
:CALCulate2:LIMit[1]:STATe <state>	Enable/disable Limit 1 test (state = ON or OFF).
:CALCulate2:LIMitX:STATe <state>	Enable/disable Limit X test; X = 2, 3, 5-12 (state = ON or OFF).
:CALCulate2:LIMit[1]:FAIL?	Query Limit 1 test result (0 = pass, 1 = fail).
:CALCulate2:LIMitX:FAIL?	Query Limit X test result; X = 2, 3, 5-12 (0 = pass, 1 = fail).
:CALCulate2:CLIMits:PASS:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify pass bit pattern (NRf NDN = pattern). Sorting mode only if limits 2, 3 and 5-12 disabled.
:CALCulate2:CLIMits:FAIL:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify fail bit pattern for sorting mode (NRf NDN = pattern).
:CALCulate2:CLIMits:PASS:SMLocation <location>	Specify pass source memory location. Location = NRf (memory #) or NEXT (next location).
:CALCulate2:CLIMitis:FAIL:SMLocation <location>	Specify fail source memory location. (Location = NRf (memory#) or NEXT (next location)).
:CALCulate2:CLIMits:BCONTrol <name>	Control I/O port pass/fail update. Name = IMMEDIATE (at failure) or END (end of sweep).
:CALCulate2:CLIMits:CLEar	Clear test results, reset I/O port.
:CALCulate2:CLIMits:CLEar:AUTO <state>	Enable/disable auto-clear (state = ON or OFF).
:CALCulate2:CLIMits:MODE <name>	Select Digital I/O control mode (name = GRADING or SORTING).

* LIMitX = LIMit2, LIMit3, LIMit5 through LIMit12. LIMit4 (Contact check option) not shown (see [Table 18-1](#) and [Appendix F](#)).

Table 12-2

Commands to control Digital I/O port for limit testing (not valid for the Model 2401)

Command	Description
:SOURce2:BSIZE <n>	Set Digital I/O port bit size (n = 3 or 4).
:SOURce2:TTL <NRf> <NDN>	Set I/O port bit pattern (NRf NDN = pattern).
:SOURce2:TTL?	Query actual output pattern.
:SOURce2:TTL4:MODE <name>	Set Digital I/O line 4 mode (name = EOTest or BUSY).
:SOURce2:TTL4:BSTate <state>	Set BUSY and EOT polarity (HI or LO).
:SOURce2:CLEar	Clear digital output lines.
:SOURce2:CLEar:AUTO <state>	Enable/disable I/O port auto clear (state = ON or OFF).
:SOURce2:CLEar:AUTO:DELay <n>	Set auto-clear delay (n = delay).

Table 12-3

Invalid limit commands for the Model 2401

Command*	Description*
:CALCulate2:LIMit[1]:COMPliance:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify limit 1 fail bit pattern. (NRf NDN = pattern).
:CALCulate2:LIMitX:LOWER:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify lower Limit X fail bit pattern for grading mode; X = 2, 3, 5-12 (NRf NDN = bit pattern).
:CALCulate2:LIMitX:UPPer:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify upper Limit X fail bit pattern for grading mode; X = 2, 3, 5-12 (NRf = bit pattern).
:CALCulate2:LIMitX:PASS:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify pass pattern for sorting mode (NRf NDN = bit pattern).
:CALCulate2:CLIMits:PASS:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify pass bit pattern (NRf NDN = pattern). Sorting mode only if limits 2, 3 and 5-12 disabled.
:CALCulate2:CLIMits:FAIL:SOURce2 <NRf> <NDN>	Specify fail bit pattern for sorting mode (NRf NDN = pattern).

* LIMitX = LIMit2, LIMit3, LIMit5 through LIMit12. LIMit4 (Contact check option) not valid for the Model 2401.

表 12-4 中的编程示例测试了二极管的两组上限和下限。该示例不适用于 Model 2401。

Table 12-4
Limits test programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB default conditions.
:SENS:FUNC:CONC OFF	Turn off concurrent functions.
:SOUR:FUNC CURR	Current source function.
:SENS:FUNC 'VOLT:DC'	Volts sense function.
:SOUR:CURR:TRIG 0.1	Output 100mA when triggered.
:SOUR:DEL 0.1	100ms source delay.
:CALC2:FEED VOLT	Use voltage for limits comparison.
:CALC2:LIM2:UPP 0.85	Limit 2 upper value = 0.85V.
:CALC2:LIM2:LOW 0.75	Limit 2 lower value = 0.75V.
:CALC2:LIM3:UPP 0.82	Limit 3 upper value = 0.82V.
:CALC2:LIM3:LOW 0.78	Limit 3 lower value = 0.78V.
:CALC2:CLIM:PASS:SOUR2 1	Digital I/O port = 0001 (1) when test passes.
:CALC2:LIM2:UPP:SOUR2 2	Digital I/O port = 0010 (2) when upper Limit 2 fails.
:CALC2:LIM2:LOW:SOUR2 2	Digital I/O port = 0010 (2) when lower Limit 2 fails.
:CALC2:LIM3:UPP:SOUR2 3	Digital I/O port = 0011 (3) when upper Limit 3 fails.
:CALC2:LIM3:LOW:SOUR2 3	Digital I/O port = 0011 (3) when lower Limit 3 fails.
:CALC2:CLIM:BCON IMM	Update Digital I/O port immediately after test.
:CALC2:LIM1:STAT 0	Turn off Limit 1 test.
:CALC2:LIM2:STAT 1	Turn on Limit 2 test.
:CALC2:LIM3:STAT 1	Turn on Limit 3 test.
:OUTPUT ON	Turn on source output.
:INIT	Trigger reading and limits test.
:OUTP OFF	Turn off output.
:CALC2:LIM2:FAIL?	Query Limit 2 test results (1 = discard diode).
:CALC2:LIM3:FAIL?	Query Limit 3 test results (1 = send diode to QA).

13. 数字 I/O 端口、输出启用和输出配置

- **数字 I/O 端口**— 讨论数字 I/O 端口上的各种输入/输出线路以及可用于为外部逻辑电路提供电源的+5V 线路。

注意：Model 2401 不使用数字 I/O 端口的数字输出线路。由于 Model 2401 没有处理程序接口，因此无法与组件处理程序一起用于执行分选操作。

- **输出启用**— 描述如何将数字 I/O 端口用作输出启用电缆。
- **前面板输出配置**— 详细说明数字 I/O 端口作为输出启用的配置以及配置主输出关闭状态。
- **远程输出配置**— 总结了用于控制数字 I/O 端口输出启用和主输出关闭状态的远程命令。还提供了一个简单的编程示例。

13.1. 数字 I/O 端口

源表具有数字输入/输出端口，可用于控制外部数字电路，例如在测试极限时用于执行分选操作的处理程序。

注意 Model 2401 不使用数字 I/O 端口的数字输出线。如果使用 Model 2401，请忽略所有与分选操作相关的信息。

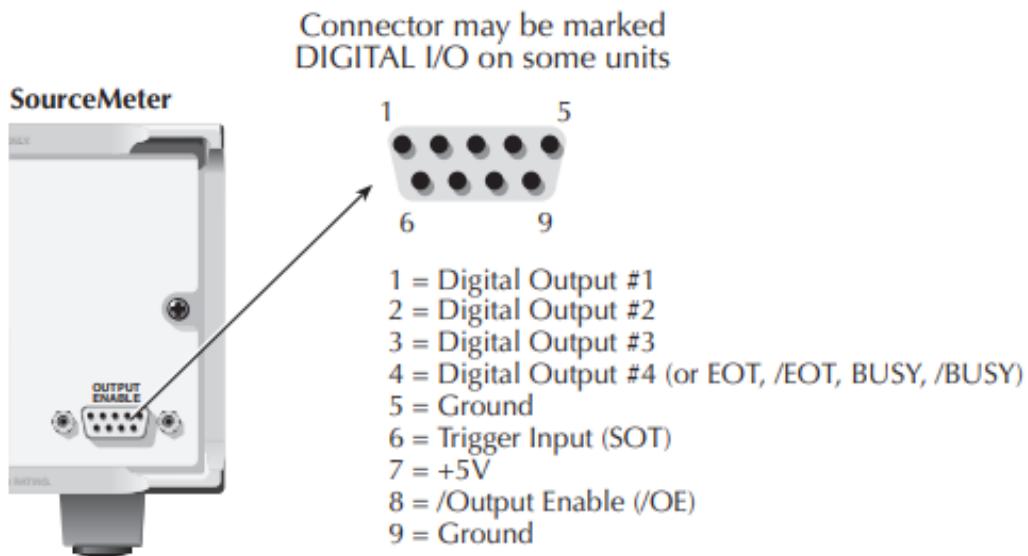
13.1.1. 端口配置

数字 I/O 端口位于后面板上，如图 13-1 所示。

注意 四个数字输出线和 SOT 线主要用于与设备处理程序进行限制测试。有关执行限制测试和与处理程序接口的详细信息，请参见第 12 节“限制测试”，有关编程源表以响应来自处理程序的测试开始 (SOT) 脉冲的信息，请参见第 11 节“触发”。

注意 Model 2401 不使用数字 I/O 端口的 1 至 4 号引脚。如果使用 Model 2401，请忽略所有与数字输出线相关的信息和操作。

*Figure 13-1
Digital I/O port*



数字输出线

该端口提供四个输出线。每个开路输出可以设置为高电平 (+5V) 或低电平 (0V)。每个输出线可以输出最多 2mA 或吸收最多 500mA 的电流。在使用类别寄存器处理程序进行限制测试时，通常使用输出线 #4 作为测试结束 (EOT) 或 BUSY 脉冲。从源表发送的这个脉冲会向处理程序发出信号，以执行分选操作或指示繁忙状态。（有关详细信息，请参见第 12 节“配置限制测试”）。

SOT 线

输入线 (SOT) 由处理程序用于启动限制测试。使用 \downarrow STEST arm 事件选项 (第 11 节“配置触发”)，处理程序必须将 SOT 脉冲设置为低电平，以提供事件检测以启动测试过程。使用 \uparrow STEST arm 事件选项，则处理程序必须将 SOT 脉冲设置为高电平，以提供事件检测，从而启动测试过程。使用 $\uparrow\downarrow$ STEST 选项，则高电平或低电平的 SOT 脉冲均可启动测试过程。

输出启用线

输出启用线 (/OE) 用于与元件处理器或测试夹具上的输出启用电路配合使用。有关详细信息，请参见“输出启用”，第 13-5 页。

+5V 输出

数字 I/O 端口提供一个 +5V 输出，可用于驱动外部逻辑电路。此线路的最大电流输出为 300mA。此线路受自复位保险丝 (1 小时恢复时间) 保护。

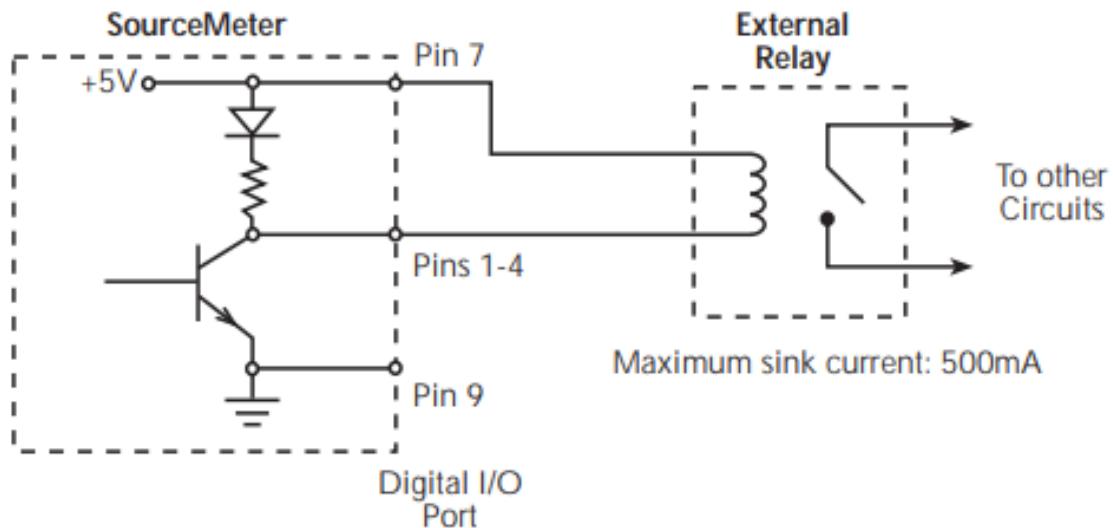
13.1.2. 数字输出配置

将外部组件连接到数字输出线有两种基本方法，分别是汲取操作和源操作。

汲取操作

图 13-2 显示了汲取操作的基本输出配置。请注意，外部继电器线圈连接在数字输出线 (引脚 1 到 4) 和 +5V (引脚 7) 之间。使用这种配置时，数字输出线必须设置为低电平以通电继电器，并且最大汲取电流为 500mA。

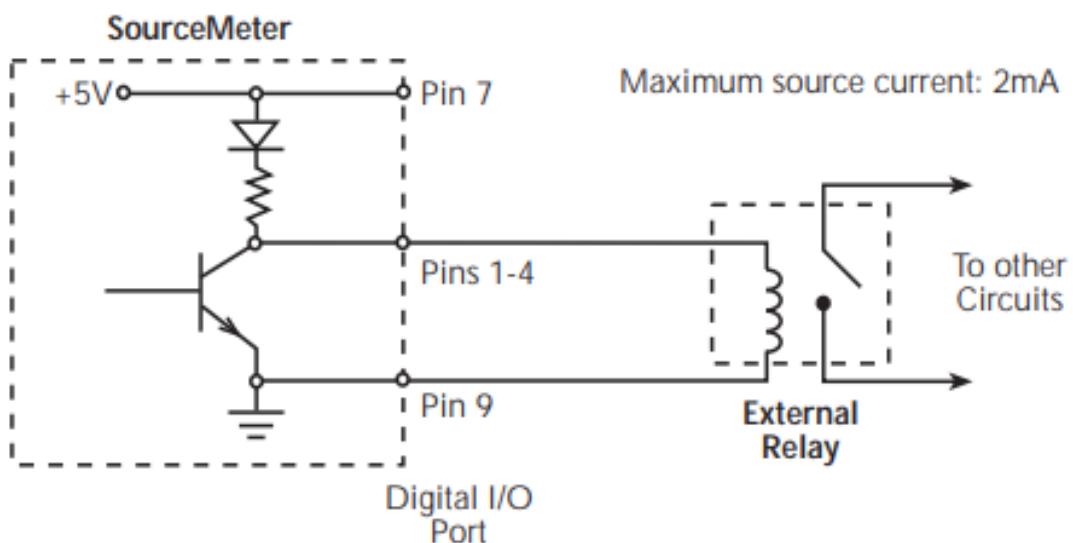
Figure 13-2
Sink operation



源操作

图 13-3 显示了源操作的基本输出配置。在这种情况下，外部继电器线圈连接在数字输出线 (引脚 1 到 4) 和地 (引脚 9) 之间。使用这种配置时，数字输出线必须设置为高电平以通电继电器，并且最大源电流为 2mA。

Figure 13-3
Source operation



13.1.3. 控制数字输出线

虽然数字输出线主要用于与设备处理程序一起进行限制测试，但它们也可以用于其他目的，例如控制外部继电器或指示灯。您可以通过以下方式从前面板或远程控制这些线路。

前面板数字输出控制

按以下步骤从前面板设置数字输出线逻辑电平：

1. 按 MENU 键。
2. 选择 GENERAL，然后按 ENTER。
3. 选择 DIGOUT，然后按 ENTER。
4. 使用 RANGE 和光标键将数字输出参数设置为所需的十进制值（表 13-1）。例如，要将输出线设置为 L、H、H、H，请将数字输出参数值设置为 7。
5. 按 EXIT 返回到正常显示。

远程数字输出控制

使用: SOURce2:TTL <NRf> 命令控制数字输出线逻辑电平，其中<NRf>是表 13-1 中显示的十进制值。例如，发送以下命令以将输出线设置为 L、H、L、H：

```
:SOUR2:TTL 5
```

Table 13-1
Digital output line settings

OUT 4	OUT 3	OUT 2	OUT 1	Decimal value*
L	L	L	L	0
L	L	L	H	1
L	L	H	L	2
L	L	H	H	3
L	H	L	L	4
L	H	L	H	5
L	H	H	L	6
L	H	H	H	7
H	L	L	L	8
H	L	L	H	9
H	L	H	L	10
H	L	H	H	11
H	H	L	L	12
H	H	L	H	13
H	H	H	L	14
H	H	H	H	15

L = Low (Gnd), H = High (>+3V)

* 0-7 in 3-bit mode, which is controlled by CONFIG LIMIT menu.(See [Section 12.](#)) 0-65535 with 2499-DIGIO 16-bit option.

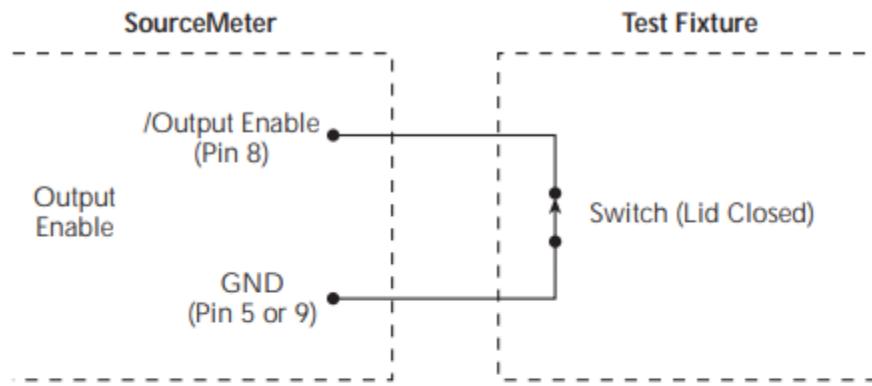
13.2. 输出启用线

注意 所有 Series 2400 源表 s 都可以使用输出启用线。

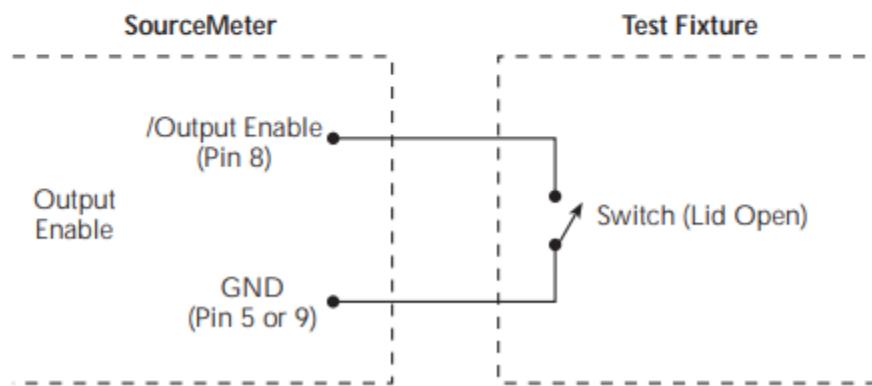
数字 I/O 端口提供了一个输出启用线，用于与测试夹具输出启用开关配合使用。当正确使用时，源表的 OUTPUT 将在打开测试夹具的盖子时关闭。有关使用测试夹具开关时的重要安全信息，请参见第 2 节“连接”。

当打开输出启用时（参见“前面板输出配置”，第 13-7 页），只有在通过开关将输出启用线拉低到地时，否则源表的输出无法打开，如图 13-4A 所示。如果测试夹具的盖子打开（图 13-4B），则开关打开，输出启用线变高，将源表的 OUTPUT 关闭（高阻）。只有在首先关闭测试夹具的盖子，然后按 OUTPUT ON/OFF 键才能重新打开输出。

Figure 13-4
Using test fixture output enable



A. SourceMeter OUTPUT can be turned on.



B. SourceMeter OUTPUT turns off.

注意 输出启用可以由数字 I/O 驱动。允许 100μs 的稳定时间和响应时间。数字 I/O 线是边缘敏感的开漏器，信号应去抖动以避免不稳定操作。

13.3. 前面板输出配置

从 CONFIGURE OUTPUT 菜单配置输出，结构如下所示。请注意，圆点表示扫描菜单的主要项目，而破折号表示选项。使用第 1 节“导航菜单的规则”检查和/或更改操作选项。

13.3.1. 配置 OUTPUT 菜单

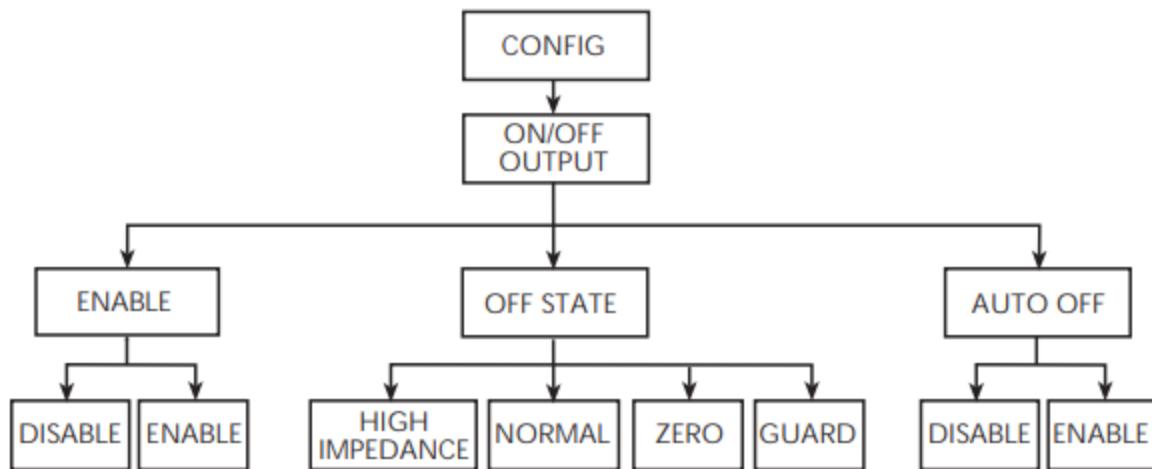
按 CONFIG，然后按 ON / OFF OUTPUT 显示菜单。图 13-5 显示了整个菜单结构。

注意 对于 Model 2430 Pulse Mode，ENABLE 是唯一显示的菜单项。对于 Pulse Mode，输出关闭状态始终设置为 NORMAL，并且自动输出关闭始终启用。

- **ENABLE** — 用于启用或禁用数字输出的输出启用线路。这条线路用作测试夹具的输出启用。请参见“数字 I / O 端口”（第 13-2 页）。
- **OFF STATE** — 用于选择输出的关闭状态。有关详细信息，请参见“输出关闭状态”（第 13-9 页）。
 - **HIGH IMPEDANCE** — 当 OUTPUT 关闭时，输出继电器打开。这会将外部电路与源表的输入/输出断开连接。
 - **NORMAL** — 当 OUTPUT 关闭时，V-Source 被选择并设置为 0V。电流合规性设置为当前电流范围的 0.5% 全刻度。
 - **ZERO** — 当 V-Source OUTPUT 关闭时，将 V-Source 设置为 0V，并且不更改电流合规性。当 I-Source OUTPUT 关闭时，选择 V-Source 模式并将其设置为 0V。电流合规性设置为编程的 Source I 值或当前电流范围的 0.5% 全刻度中的较大者。在输出关闭时执行并显示测量。
 - **GUARD** — 当 OUTPUT 关闭时，电流源被选择并设置为 0A。电压合规性设置为当前电压范围的 0.5% 全刻度。
- **AUTO OFF** — 用于启用或禁用自动输出关闭。启用后，每个 SDM 周期的测量阶段结束后，OUTPUT 将关闭。OUTPUT 会在下一个 SDM 周期开始时重新启动。禁用时，只要源表在触发模式（ARM 指示器开启）中运行，OUTPUT 就会保持开启状态。启用 OUTPUT 后，按下 ON / OFF 键将禁用 OUTPUT 并禁用自动输出关闭。

注意 如果打开自动关闭输出，并关闭自动零点校准，可能会导致读数不稳定，因为当进行 A / D 信号相位测量时，源可能尚未稳定。打开自动零点校准可能会改善读数，因为它在输出打开后但在进行 A / D 测量之前添加了 450μs 的延迟。如果读数没有稳定，必须增加源延迟。

Figure 13-5
Output configuration menu tree



13.3.2. 输出关闭状态

注意 对于 Model 2430 脉冲模式，输出关闭状态始终设置为 NORMAL。

高阻态

使用这种输出关闭状态时，在“OUTPUT”关闭时输出继电器会断开。这将从源表的输入/输出中断开外部电路。为了防止输出继电器过度磨损，请勿在频繁地开关输出电路的测试（例如“Output Auto-Off”模式）中使用此输出关闭状态。请注意，当输出打开时，继电器需要约 15 ms 的稳定时间。

正常态

在这种相对高阻态的输出关闭状态下，V-Source 被选择并设置为 0V。电流合规性被设置为目前电流范围的 0.5% 满量程。理论上，如果 V-Source 被设置为零，则源表不会提供或吸收电力。实际上，源值可能不完全为零。因此，源表可能会提供或吸收非常少的功率。在大多数情况下，此源或负载功率级别不重要。

零态

在这种输出关闭状态下，显示的是“ZER”而不是“OFF”，并配置源表如下：

当 V-Source 是所选源时：

- 编程的 V-Source 值保留在显示屏上。
- 在内部，V-Source 设置为 0V。
- 电流合规性设置保持与输出值保持相同。实际和范围的合规性检测仍然处于活动状态。
- 执行并显示测量。

当 I-Source 是所选源时：

- 编程的 I-Source 值保留在显示屏上。
- 在内部，选择 V-Source 并将其设置为 0V。
- 电流合规性被设置为编程 Source I 值或目前电流范围的 0.5% 满量程中较大的那个值。
- 执行并显示测量。

在零态输出关闭状态下，源表可以用作 I-Meter。

零态输出关闭状态也可以与 V-Source 和“Output Auto-Off”一起使用，以生成非常快速的脉冲电压波形。例如，启用“Output Auto-Off”，您可以生成 0 到 +5V 的脉冲。在这种相对低阻态的输出关闭状态下，源表将能够快速消耗（负载）由高输入电容（即电缆电容）或外部源引起的电流。这会导致快速的稳定时间。如果您在此应用程序中使用了正常输出关闭状态，则电流会非常缓慢地消散（稳定时间较慢），导致脉冲失真。

警告 使用零态、AUTO-OFF 输出状态生成快速脉冲波形时，所选的 INPUT/OUTPUT LO 端口可能会出现有害电压（30V rms）。为了消除这种电击风险，请将 LO 端子连接到地。如果使用前面板端口，则接地前面板 LO 端子。如果使用后面板端口，则接地后面板 LO 端子。接地连接可以在后面板的机壳地螺钉处或已知安全地处进行。

GUARD

在此输出关闭状态下，电流源被选择并设置为 0A。电压合规性设置为所选电压范围的全刻度的 0.5%。当执行 6 线保护欧姆测量或任何其他使用有源电源的负载时，应使用此输出关闭状态。

注意 在输出关闭状态下更改输出关闭状态时，所选的输出关闭状态将立即进入。

在上电时，在进入所选的上电输出关闭状态之前，源表会暂时处于高阻态输出关闭状态。

如果发生过温或输出启用线违规情况，源表将进入高阻态输出关闭状态。

13.3.3. 输出关闭状态和电感负载

您选择的电感负载的输出关闭状态取决于电感器保存的能量量。不建议使用 NORMAL 输出关闭状态，因为它会降低合规性设置。ZERO 或可能是 GUARD 状态更为适合，因为 ZERO 不会改变合规性设置，而 GUARD 输出关闭状态会将电压源更改为带有电压合规性的电流源。GUARD 状态通常仅用于防护欧姆测量。

为了保护设备免受感性能量的影响，应用程序可能需要在输入 HI 和 LO 端之间加入火花间隙。由于保护电路涉及某些泄漏电流（nA），因此源表没有内部火花间隙保护。

13.4. 远程输出配置

13.4.1. 输出配置命令

表 13-2 总结了输出配置命令。这些命令包括启用和禁用输出启用线的命令，以及控制输出关闭状态的命令。有关更多信息，请参见“OUTPut 子系统”和“SOURce 子系统”中的第 18 节。

输出配置编程示例。

Table 13-2
Output configuration commands

Command	Description
:OUTPut:ENABLE:[STATe] <state> :OUTPut:ENABLE:TRIPped? :OUTPut:SMODe <name>	Enable/disable output enable (state = ON or OFF). Query output enable line tripped state (1 = tripped). Select output-off mode (state = HIMPedance, NORMAL, ZERO, or GUARD). ¹
:SOURce:CLEar :SOURce:CLEar:AUTO <state>	Turn output source off when in idle state. Enable/disable auto output-off. State = OFF (output off after measurement) or ON (output stays on). ²
:SOURce:CLEar:AUTO:MODE <name>	Auto clear mode. Name = ALWays (every reading; default) or TCOunt (ON when trigger layer entered; OFF when leaving trigger layer).

1. For the Model 2430 Pulse Mode, the output-off mode is always NORMAL. Selecting one of the other output-off states causes error +831.
2. For the Model 2430 Pulse Mode, auto output-off is always enabled. You can set auto output to be off, but it will not disable until the DC Mode of operation is selected.

表 13-3 列出了输出配置的命令序列。

Table 13-3 lists the command sequence for output configuration.

Table 13-3
Output configuration programming example

Command	Description
*RST	Restore GPIB defaults.
:SOUR:VOLT 10	Output 10V.
:OUTP:ENAB:STAT ON	Enable output enable line.*
:OUTP:SMOD HIMP	Select high impedance output-off mode.
:SOUR:CLE:AUTO ON	Enable auto-off mode.
:READ?	Trigger and acquire readings.

*Connect pins 8 and 9 of digital I/O port to simulate closed switch.

14. 远程操作

- **区别：远程与本地操作** - 概述了远程操作增强功能以及从本地到远程和从远程到本地的转换。
- **选择接口** — 描述如何在 GPIB 和 RS-232 接口之间进行选择。
- **GPIB 操作** — 涵盖 GPIB 总线标准、总线连接和主地址选择。
- **通用总线命令** — 描述了用于基本 GPIB 控制的通用总线命令。
- **前面板 GPIB 操作** — 总结了 GPIB 错误消息、状态指示器和使用 LOCAL 键。
- **编程语法** — 描述了常见和 SCPI 命令的基本编程语法。
- **RS-232 接口操作** — 概述了使用 RS-232 接口通过远程控制源表。

14.1. 区别：远程操作与本地操作

14.1.1. 操作增强（远程操作）

有一些源测量操作可以通过 IEEE-488 总线和 RS-232 接口进行，而无法从前面板进行。以下是总结：

数学表达式

面板上有五个数学表达式可用。除了百分比偏差之外，所有预定义的数学表达式都可以在远程操作中使用。但是，远程操作允许您创建最多五个用户定义的数学表达式，共计九个表达式。示例程序显示如何将百分比偏差创建为用户定义的数学表达式。

并行测量

使用“TOGGLE”键，您可以同时测量（显示）两个功能。使用远程操作，可以对所有三个功能（电压、电流和电阻）执行并行测量。有关详细信息，请参见第 18 节“SENSe1 子系统”。

注意 对于 Model 2430，在脉冲模式下不能执行并行测量。有关脉冲模式操作的详细信息，请参见第 5 节。

14.1.2. 从本地转到远程

从本地操作切换到远程操作时，将执行以下操作：

- 源表停止执行源测量操作并返回空闲状态（ARM 指示灯关闭）。
- 所有扫描操作均被中止。
- 所有菜单都退出。
- 所有待处理的前面板命令都被中止。
- 禁用源和合规性编辑。
- 样品缓冲区中的数据丢失（即，:FETCh?、:CALC1:DATA? 和 :CALC2:DATA? 在远程操作之前不会返回任何数据，直到在远程进行读数）。
- 并行测量已启用。
- 所有其他设置不受影响，包括 :TRACe 缓冲区（数据存储）的设置。

14.1.3. 从远程到本地的转换

从远程操作切换到本地操作时，会发生以下操作：

- 源表停止执行源测量操作并返回空闲状态（ARM 指示灯关闭）。
- 所有扫描操作均被中止。
- 所有用户定义的显示信息都将被取消。
- 显示屏被打开（如果先前关闭）。
- 禁用源自动范围选取。
- 并行测量已启用。
- 如果启用了电阻功能，则启用源读回。

- 显示设置为默认的切换状态。
- 读数会持续进行（如果 OUTPUT 已打开）。

14.2. 选择接口

源表支持两种内置远程接口：

- GPIB（通用接口总线）
- RS-232 接口

一次只能使用一个接口。出厂时，默认的接口选择为 GPIB 总线。您只能从前面板选择接口。接口选择存储在非易失性存储器中；断电或远程接口重置后不会更改。

GPIB 总线是 IEEE-488 接口。您必须为 Source-Meter 选择唯一的地址。仪表上电时会显示地址。工厂设置的地址为 24。RS-232 接口是串行接口。

从主菜单的 COMMUNICATIONS 选项中选择和配置接口（第 1 节“主菜单”）。有关接口可编程方面的详细信息，请参见“主地址”，第 14-4 页和“RS-232 接口操作”，第 14-13 页。

注意 更改接口选择时，源表会执行重新上电复位。要检查和/或更改所选接口的选项，必须重新进入菜单结构。

14.3. GPIB 操作

该部分包含有关 GPIB 标准、总线连接和主地址选择的信息。

14.3.1. GPIB 标准

GPIB 是 IEEE-488 仪器数据总线，其硬件和编程标准最初由 IEEE（电气和电子工程师协会）于 1975 年采用。源表符合以下标准：

- IEEE-488.1-1987
- IEEE-488.2-1992

以上标准定义了向仪器发送数据和从仪器接收数据的语法，仪器如何解释此数据，应存在哪些寄存器来记录仪器状态以及一组常见命令。源表也符合以下标准：

- SCPI 1996.0（可编程仪器标准命令）

该标准定义了一个命令语言协议。它比 IEEE-488.2-1992 更进一步，并定义了一组标准命令，以控制仪器的每个可编程方面。

14.3.2. GPIB 连接

要将源表连接到 GPIB 总线，请使用配备标准 IEEE-488 连接器的电缆。

为了允许对一个仪器进行多个并行连接，请堆叠连接器。每个连接器上都有两个螺钉，以确保连接保持安全。

为避免可能的机械损坏，请不要在任何一个单元上堆叠超过三个连接器。

注意 为了最小化由电磁辐射引起的干扰，请仅使用带屏蔽的 IEEE-488 电缆。Keithley 提供的可用带屏蔽电缆型号为 7007-1 和 7007-2。

14.3.3. 主地址

源表出厂时的 GPIB 主地址为 24。当单元启动时，它会短暂地显示主地址。您可以将地址设置为 0 到 30 之间的值，但不要将相同的地址分配给其他设备或在同一 GPIB 总线上的控制器（控制器地址通常为 0 或 21）。

可以从主菜单（第 1 节“主菜单”）的 COMMUNICATIONS 选项中检查和/或更改主地址。

14.4. 通用总线命令

通用命令是指那些具有相同一般含义的命令，例如 DCL，在不考虑仪器时其含义相同。表 14-1 列出了通用总线命令。

Table 14-1
General bus commands

Command	Effect on SourceMeter
REN	Goes into remote when next addressed to listen.
IFC	Goes into talker and listener idle states.
LLO	LOCAL key locked out.
GTL	Cancel remote; restore SourceMeter front panel operation.
DCL	Returns all devices to known conditions.
SDC	Returns SourceMeter to known conditions.
GET	Initiates a trigger.
SPE, SPD	Serial polls the SourceMeter.

14.5. 前面板 GPIB 操作

本节描述了前面板中与 GPIB 操作相关的方面，包括消息、状态指示灯和 LOCAL 键。

14.5.1. 错误和状态消息

请参见附录 B 中的 IEEE-488 编程相关的错误和状态消息列表。可以编程仪器生成 SRQ，并可以执行命令查询以检查特定的错误条件。

14.5.2. GPIB 状态指示灯

REM（远程）、TALK（讲）、LSTN（听）和 SRQ（服务请求）指示灯显示 GPIB 总线状态。下面描述了每个指示灯。

REM

该指示灯显示仪器处于远程状态时。当仪器处于远程状态时，除了 LOCAL 键以外的所有前面板键都被锁定。当 REM 关闭时，仪器处于本地状态，可以恢复前面板操作。

注意 如果 LLO 生效，则 LOCAL 将被锁定。输出 ON/OFF 在远程状态下仍然可操作。如果 ARM:SOUR 设置为手动，则 TRIG 键在远程状态下将处于活动状态。

TALK

该指示灯在仪器处于讲述者活动状态时打开。

LSTN

该指示灯在源表处于听众活动状态时打开。

SRQ

当该指示灯亮起时，将生成服务请求。该指示灯一直保持亮着，直到读取串行轮询字节或清除导致 SRQ 的所有条件。有关更多信息，请参见第 15 节“状态结构”。

14.5.3. LOCAL 按键

LOCAL 按键取消远程状态并恢复仪器的本地操作。

按下 LOCAL 键还会关闭 REM 指示灯，并在显示了用户定义的消息时将显示屏返回到正常状态。

如果 LLO (本地锁定) 命令生效，则 LOCAL 按键也无法使用。

出于安全考虑，即使处于 LLO 状态，OUTPUT 键仍将处于活动状态。

14.6. 编程语法

本节中的信息涵盖了常用命令和 SCPI 命令的语法。有关此处未涉及的信息，请参见 IEEE-488.2 和 SCPI 标准。分别参见第 16 节和第 18 节，以获取有关常用命令和 SCPI 命令的更多详细信息。

14.6.1. 命令单词

程序消息由一个或多个命令单词组成。

命令和命令参数

常用命令和 SCPI 命令可能需要使用参数。以下是一些例子：

*SAV <NRf> 需要参数 (NRf)

*RST 不使用参数

:CALCulate1:STATe 需要参数

:SYSTem:PRESet 不使用参数

注意 命令单词和参数之间至少需要一个空格。

方括号[] 一些命令单词被括在方括号内([])。这些括号用于表示可选命令单词，不需要包含在程序消息中。例如：

:INITiate[:IMMediate]

这些括号表示：IMMediate 是隐含的（可选），不必使用。因此，上述命令可以通过以下两种方式之一发送：：

INITiate

或

: INITiate:IMMEDIATE

请注意，可选命令在程序中使用时不带括号。在程序中使用可选命令单词时，请勿包含方括号。

参数类型 — 以下是一些常见的参数类型：

**** Boolean — Used to enable or disable an instrument operation. 0 or OFF disables the operation, and 1 or ON enables the operation.
Example:

:CALCulate1:STATe ONEnable Calc 1 math expression

<name> Name parameter — Select a parameter name from a listed group.
Example:

<name>= NEVer

= NEXt

:TRACe:FEED:CONTrol NEXt

<NRf> Numeric representation format — This parameter is a number that can be expressed as an integer (e.g., 8), a real number (e.g., 23.6), or an exponent (2.3E6). Example:

:SYSTem:KEY 11Press EXIT key from over the bus

- <n> Numeric value — A numeric value parameter can consist of an NRf number or one of the following name parameters: DEFault, MINimum, MAXimum. When the DEFault parameter is used, the instrument is programmed to the *RST default value. When the MINimum parameter is used, the instrument is programmed to the lowest allowable value. When the MAXimum parameter is used, the instrument is programmed to the largest allowable value. Examples:
 :ARM:TIMER 0.1Sets timer to 100 msec.
 :ARM:TIMER DEFaultSets timer to 0.1 sec.
 :ARM:TIMER MINimumSets timer to 1 msec.
 :ARM:TIMER MAXimumSets timer to 99999.99 sec.
- <numlist> Numlist — Specify one or more numbers for a list. Example:
 :STATus:QUEue:ENABLE (-110:-222) Enable errors -110 through -222
- <NDN> Non-decimal numeric — This parameter is used to send values in the binary, octal, or hexadecimal format. The prefix designates the format type:
 #Bxx...x #B specifies the binary format.
 xx...x is the binary number (using 0s and 1s).
 #Qxx...x #Q specifies the octal format.
 xx...x is the octal number (values 0 through 7).
 #Hxx...x #H specifies the hexadecimal format.
 xx...x is the hexadecimal number (values 0 through 9 and A through F).
 Examples to send the decimal value 36 in the non-decimal formats:
 *ESE #b100100Binary format
 *ESE #q44 Octal format
 *ESE #h24 Hexadecimal format
- Angle brackets < > — Angle brackets (< >) are used to denote a parameter type. Do not include the brackets in the program message. For example:
 :OUTPut
 The indicates a Boolean-type parameter is required. Therefore, to enable the selected source, you must send the command with the ON or 1 parameter as follows:
 :OUTPut ON
 :OUTPut 1

9 和 A 到 F) 。

14.6.2. 查询命令

这种类型的命令请求（查询）当前编程状态。它通过命令基本形式末尾的问号（?）来识别。大多数命令都有一个查询形式：

:ARM:TIMer? 查询计时器间隔。

大多需要数字参数（<n>）的命令也可以使用 DEFault、MINimum 和 MAXimum 参数作为查询形式。这些查询形式用于确定 *RST 默认值和基本命令的上限和下限。例如：

:ARM:TIMer? DEFault 查询 *RST 默认值。

:ARM:TIMer? MINimum 查询最低允许值。

:ARM:TIMer? MAXimum 查询最大允许值。

14.6.3. 大小写敏感性

常见命令和 SCPI 命令不区分大小写。您可以使用大写或小写以及任何大小写组合。例如：

*RST = *rst

:DATA? = :data?

:SYSTem:PRESet = :system:preset

注意 全部使用大写会导致稍微更快的命令响应时间。

14.6.4. 长格式和短格式版本

SCPI 命令单词可以以其长格式或短格式版本发送。第 18 节中的命令子系统表格提供了长格式版本。然而，短格式版本由大写字符表示。例如：

:SYSTem:PRESet 长格式

:SYST:PRES 短格式

:SYSTem:PRES 长格式和短格式组合

请注意，每个命令单词必须是长格式或短格式，而不能介于两者之间。例如，:SYSTe:PRESe 是非法的，并将生成错误。该命令将无法执行。

14.6.5. 简写规则

使用以下规则确定任何 SCPI 命令的简写版本：

- 如果命令单词长度为四个字母或更短，则不存在简写版本。例如：
- :auto = :auto

这些规则适用于超过四个字母的命令单词：

- 如果命令单词的第四个字母是元音（包括“y”），则删除它及其之后的所有字母。例如：
:immediate = :imm
- 如果命令单词的第四个字母是辅音，则保留它，但删除其之后的所有字母。例如：
:format = :form
- 如果命令中包含问号（?；查询）或包含在命令单词中的非可选数字，则必须将其包含在简写版本中。例如：
:delay? = :del?
- 命令单词或字符被括在方括号（[]）中，属于可选项，不需要包含在程序消息中。

注意 为了获得最快的命令响应，请始终使用简写形式。

程序消息由计算机发送到仪器的一个或多个命令单词组成。每个常用命令都是三个字母的首字母缩写，前面带有星号（*）。SCPI 命令被归类为:STATus 子系统，并用于解释如何构建程序消息的命令单词结构。

:STATus	路径（根）
:OPERation	路径
:ENABLE <NRf>	命令和参数
:ENABLE?	查询命令
:PRESet	命令

单一指令消息

以上指令结构有三个级别。第一级由根命令(:STATus)组成，作为路径。第二级由另一个路径(:OPERation)和一个命令(:PRESet)组成。第三级路径由一个命令组成，用于:OPERation 路径。此结构中的三个命令可以通过以下方式发送三个独立的程序消息来执行：

```
:stat:oper:enab <NRf>
:stat:oper:enab?
:stat:pres
```

在以上每个程序消息中，路径指针从根命令(:stat)开始，并向下移动命令级别直到执行命令。

多个指令消息

只要它们以分号(;)分隔开来，你可以在同一程序消息中发送多个指令消息。以下是一个示例，展示了一个程序消息中的两个指令：

```
:stat:oper; :stat:oper:enab <NRf>
```

当上述消息被发送时，第一个命令单词被识别为根命令(:stat)。当检测到下一个冒号时，路径指针向下移动到下一个命令级别并执行命令。当路径指针在分号(;)后看到冒号时，它会重置为根级别并重新开始。

相同命令级别的命令可以在无需重新输入整个命令路径的情况下执行。例如：

```
:stat:oper:enab <NRf>; enab?
```

在执行第一个命令(:enab)之后，路径指针位于结构中的第三个命令级别。由于:enab?也在第三级上，因此可以输入而不必重复整个路径名称。请注意，:enab?的前导冒号未包含在程序消息中。如果包括了一个冒号，路径指针将重置到根级别并期望根命令。由于:enab?不是根命令，因此会发生错误。

命令路径规则

- 每个新的程序消息必须以根命令开头，除非它是可选的（例如，[:SENSe]）。如果根是可选的，请将下一个级别上的命令单词视为根。为了获得最快的操作速度，请不要发送可选数据。
- 程序消息开头的冒号(:)是可选的，不必使用。但是，删除第一个冒号会导致最快的操作速度。例如：
- :stat:pres = stat:pres
- 当路径指针检测到冒号(:)时，它会移动到下一个命令级别。一个例外是当路径指针检测到分号(;)时，分号用于分隔程序消息中的命令（见下一条规则）。
- 当路径指针检测到立即跟在分号(;)后面的冒号(:)时，它将重置为根级别。
- 路径指针只能向下移动。它不能向上移动一个级别。在更高级别上执行命令需要从根命令重新开始。

在同一条信息中使用常用命令和 SCPI 命令

只要使用分号(;)将它们分开，就可以在同一条信息中使用常用命令和 SCPI 命令。通用命令可以在任何命令级别上执行，并且不会影响路径指针。例如：

```
:stat:oper:enab <NRf>; *ESE <NRf>
```

程序消息终止符(PMT)

每个程序消息都必须以LF(换行符)、EOI(结束或标识)或LF+EOI结尾。如果您的计算机没有提供这种终止，则总线将挂起。下面的示例显示了多个命令程序消息如何被终止：

```
:outp on <PMT>
```

命令执行规则

- 命令按照程序消息中呈现的顺序执行。
- 无效命令会生成错误，并且当然不会被执行。
- 在多个命令程序消息中，先于无效命令的有效命令会被执行。
- 在多个命令程序消息中，后于无效命令的有效命令将被忽略。

14.6.6. 响应消息

响应消息是仪器对查询命令程序消息作出的回应所发送的消息。

发送响应消息

发送查询命令后，响应消息被放置在输出队列中。当源表被请求进行对话时，响应消息从输出队列中发送到计算机。

多个响应消息

如果在同一程序消息中发送多个查询命令（请参见“多个命令消息”，第 14-11 页），当源表被寻址到对话时，所有查询的多个响应消息都将发送到计算机。答案以发送查询命令的顺序发送，并以分号（;）分隔。同一查询中的项目用逗号（,）分隔。以下示例显示包含四个单项查询命令的程序消息的响应消息：

0; 1; 1; 0

响应消息终止符 (RMT)

每个响应均以 LF（换行符）和 EOI（结束或标识）终止。以下示例显示如何终止多个响应消息：

0; 1; 1; 0 <RMT>

14.6.7. 消息交换协议

两个规则总结了消息交换协议：

规则 1. 您必须始终告诉源表要向计算机发送什么。

从设备向计算机发送信息必须始终执行以下两个步骤：

1. 在程序消息中发送适当的查询命令。
2. 寻址源表进行对话。

规则 2. 在将另一个程序消息发送到源表之前，计算机必须接收完整的响应消息。

14.7. RS-232 接口操作

注意 RS-232 操作的可编程方面（波特率、数据位、奇偶校验和终止符）是从主菜单的 COMMUNICATION 选项进行配置的。（请参见第 1 节“主菜单”）

14.7.1. 发送和接收数据

RS-232 接口使用 8 位数据位，1 位停止位和无奇偶校验传输数据。确保您连接到源表的设备也使用这些设置。

您可以通过向仪器发送^ C（十进制 3）或^ X（十进制 18）字符字符串来中断数据传输。这将清除任何待处理的操作并丢弃任何待处理的输出。

14.7.2. 波特率

波特率是源表和编程终端之间通信的速率。可以选择以下可用的速率：

- 57600

- 38400
- 19200
- 9600
- 4800
- 2400
- 1200
- 600
- 300

出厂默认的波特率为 9600。

在选择波特率时, 请确保您连接到源表的编程终端或打印机支持您选择的波特率。源表和其他设备都必须配置为相同的波特率。

14.7.3. 数据位和奇偶校验

RS-232 接口可以配置为使用偶数、奇数或无奇偶校验发送/接收 7 或 8 位长的数据。只有当使用 8 个数据位时, 无奇偶校验才有效。

14.7.4. 终止符

源表可以配置为以下任何一种<CR>和<LF>组合之一终止传输到控制器的每个程序消息:

<CR>	回车
<CR+LF>	回车和换行
<LF>	换行
<LF+CR>	换行和回车

14.7.5. 流量控制 (信号握手)

控制器和仪器之间的信号握手允许两个设备彼此通信, 以了解它们准备接收数据的情况。源表不支持硬件握手 (流量控制)。

软件流控制采用 XON 和 XOFF 字符的形式, 并在选择 RS-232 FLOW CONTROL 菜单中的 XON 和 XOFF 时启用。当该单位的输入队列变得超过一定量时, 仪器会发出一个 XOFF 命令。控制程序应对此作出响应, 并停止发送字符, 直到源表发出 XON 为止, 一旦其输入缓冲区降至半满时, 它就会这样做。源表识别来自控制器的 XON 和 XOFF。XOFF 会导致仪器停止输出字符, 直到看到 XON 为止。接收到<CR>字符后, 才会处理传入的命令。

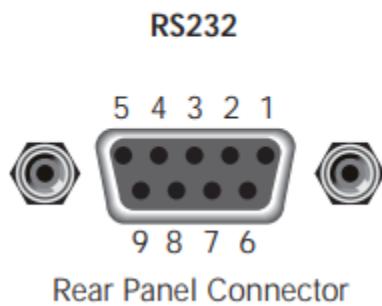
如果选择了 NONE 作为流控制, 则控制器和源表之间将没有信号握手。如果在接收设备准备好之前传输数据, 则数据将丢失。

14.7.6. RS-232 连接

RS-232 串行端口使用 DB-9 连接器终止的直通 RS-232 电缆连接到计算机的串行端口。不要使用无效调制解调器电缆。串口使用 RS-232 标准的发送 (TXD)、接收 (RXD) 和信号地 (GND) 线。图 14-1 显示了 RS-232 接口的后面板连接器，表 14-2 显示了连接器的引脚排列方式。

如果计算机的 RS-232 接口使用 DB-25 连接器，则需要一根带有 DB-25 连接器的电缆或适配器，另一端带有 DB-9 连接器，并进行直通布线（非空调制解调器）。

*Figure 14-1
RS-232 interface connector*



*Table 14-2
RS-232 connector pinout*

Pin number	Description
1	Not used
2	TXD, transmit data
3	RXD, receive data
4	Not used
5	GND, signal ground
6	Not used
7	RTS, ready to send
8	CTS, clear to send
9	Not used

NOTE: CTA and RTS are tied together.

表 14-3 提供了计算机 (PC) 上 9 针 (DB-9) 或 25 针 (DB-25) 串口连接器的引脚标识。

Table 14-3
PC serial port pinout

Signal	DB-9 pin number	DB-25 pin number
DCD, data carrier detect	1	8
RXD, receive data	2	3
TXD, transmit data	3	2
DTR, data terminal ready	4	20
GND, signal ground	5	7
DSR, data set ready	6	6
RTS, request to send	7	4
CTS, clear to send	8	5
RI, ring indicator	9	22

错误消息

请参见附录 B 以获取 RS-232 错误消息。

15. 状态结构

- **概述** — 提供了源表状态结构的操作概述。
- **清除寄存器和队列** — 讲解清除 (reset) 寄存器和队列的操作。
- **编程和读取寄存器** — 解释如何编程启用寄存器并读取状态结构中的任何寄存器。
- **状态字节和服务请求 (SRQ)** — 解释如何编程状态字节以生成服务请求 (SRQs)。展示如何使用串行轮询序列检测 SRQs。
- **状态寄存器组** — 为四个状态寄存器组提供位识别和命令信息; 标准事件状态, 操作事件状态, 测量事件状态和有问题事件状态。
- **队列** — 提供输出队列和错误队列的详细信息和命令信息。

15.1. 概述

源表提供一系列状态寄存器和队列，允许操作员监视和操作各种仪器事件。状态结构如图 15-1 所示。状态结构的核心是状态字节寄存器。用户的测试程序可以读取此寄存器以确定是否发生了服务请求 (SRQ) 以及导致其发生的事件。

15.1.1. 状态字节和 SRQ

状态字节寄存器接收四个状态寄存器集和两个队列的摘要位。寄存器集和队列监视各种仪器事件。当启用事件发生时，它会在状态字节寄存器中设置一个摘要位。当状态字节的摘要位设置且其相应的启用位被设置（由用户编程）时，RQS / MSS 位将被设置，表示已发生 SRQ。

15.1.2. 状态寄存器集

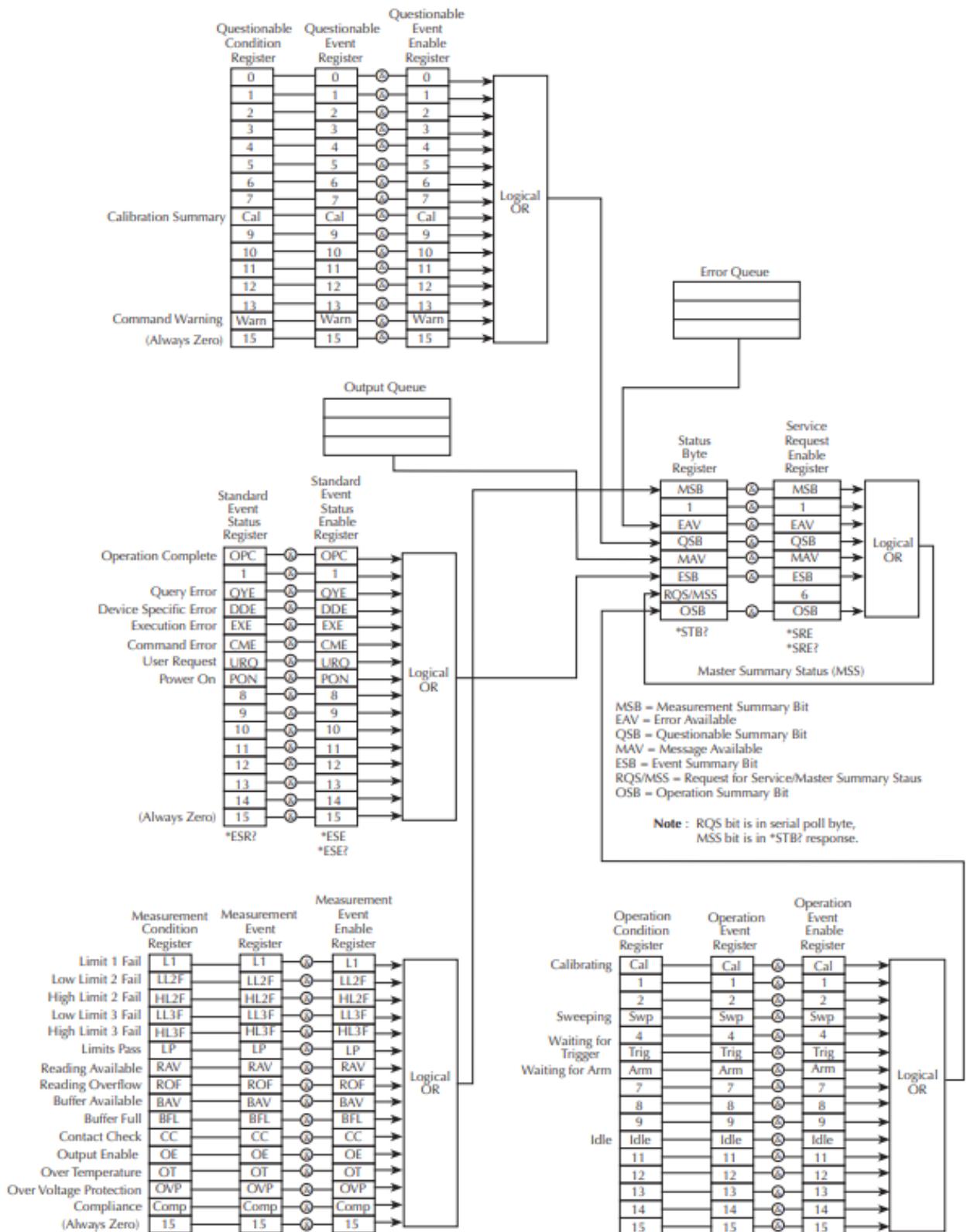
典型的状态寄存器集由条件寄存器、事件寄存器和事件启用寄存器组成。条件寄存器是只读寄存器，不断更新以反映仪器的当前操作条件。

当事件发生时，相应的事件寄存器位设置为 1。该位保持为 1，直到寄存器被复位。当事件寄存器位设置且其相应的启用位设置（由用户编程）时，寄存器的输出（摘要）将设置为 1，从而设置状态字节寄存器的摘要位。

15.1.3. 队列

源表使用输出队列和错误队列。查询命令的响应消息放置在输出队列中。各种编程错误和状态消息发生时，它们被放置在错误队列中。当队列包含数据时，它会设置状态字节寄存器的相应摘要位。

Figure 15-1
SourceMeter status register structure



15.2. 清除寄存器和队列

当源表被打开时，状态结构中所有寄存器的位都被清除（重置为 0），两个队列也被清空。将事件和事件启用寄存器以及错误队列重置的命令列在表 15-1 中。除了这些命令之外，任何启用寄存器都可以通过将单独的命令发送 0 参数值来进行重置。

注意 SYSTem:PRESet 和*RST 对状态结构寄存器和队列没有影响。

*Table 15-1
Common and SCPI commands to reset registers and clear queues*

Commands	Description	Ref.
To Reset Registers: *CLS	Reset all bits of the following event registers to 0: Standard Event Register Operation Event Register Measurement Event Register Questionable Event Register	Note 1
:STATus:PRESet	Reset all bits of the following enable registers to 0: Operation Event Enable Register Measurement Event Enable Register Questionable Event Enable Register	Note 1
To Clear Error Queue: *CLS	Clear all messages from Error Queue	Note 2
:STATus:QUEue:CLEar	Clear messages from Error Queue	Note 3
:SYSTem:ERRor:CLEar	Clear messages from Error Queue	Note 3

Notes:

1. The Standard Event Enable Register is not reset by STATus:PRESet or *CLS. Send the 0 parameter value with *ESE to reset all bits of that enable register to 0 (see "Status byte and service request commands," page 15-10).
2. STATus:PRESet has no effect on the Error Queue.
3. Use either of the two clear commands to clear the Error Queue.

15.3. 编程和读取寄存器

15.3.1. 编程启用寄存器

用户可以编程的唯一寄存器是启用寄存器。状态结构中的所有其他寄存器都是只读寄存器。下面解释如何确定用于编程启用寄存器的各种命令的参数值。实际命令稍后在本节中进行讨论(Table 15-3 和 Table 15-6)。

发送编程事件启用寄存器的命令时, 使用一个参数值, 该参数值确定适当寄存器中每个位的所需状态 (0 或 1)。可以使用以下任何数据格式来对启用寄存器进行编程: 二进制、十进制、十六进制或八进制。

寄存器的位位置 (图 15-2) 表示二进制参数值和十进制等效值。

*Figure 15-2
16-bit status register*

Bit Position	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
Binary Value	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Decimal	128	64	32	16	8	4	2	1
Weights	(2^7)	(2^6)	(2^5)	(2^4)	(2^3)	(2^2)	(2^1)	(2^0)

A. Bits 0 through 7

Bit Position	B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8
Binary Value	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Decimal	32768	16384	8192	4096	2048	1024	512	256
Weights	(2^{15})	(2^{14})	(2^{13})	(2^{12})	(2^{11})	(2^{10})	(2^9)	(2^8)

B. Bits 8 through 15

<NDN> (非十进制数值) 参数类型用于发送非十进制值。这些值需要一个标头 (#B、#H 或#Q) 来标识正在发送的数据格式。标头中的字母可以是大写或小写。<NRf> (数字表示格式) 参数类型用于发送十进制值, 不使用标头。以下示例显示了设置位 B5、B3 和 B2 的正确参数语法:

#b101100 二进制格式 (<NDN>参数类型)
#h2C 十六进制格式 (<NDN>参数类型)
#q54 八进制格式 (<NDN>参数类型)
44 十进制格式 (<NRf>参数类型)

非十进制参数值的有效字符如下所示:

<NDN> format	Valid characters
Binary	1s and 0s
Hexadecimal	0 through 9 and A through F
Octal	0 through 7

15.3.2. 读取寄存器

可以使用相应的查询 (?) 命令读取状态结构中的任何寄存器。以下解释如何解释返回的值（响应消息）。实际的查询命令将在本节后面介绍。（见表 15-3 和表 15-4 到表 15-7。）

响应消息将是一个值，指示寄存器中设置了哪些位。该值（如果不是二进制的）必须转换为其二进制等效形式。例如，对于二进制值 100101，位 B5、B2 和 B0 已设置。

返回的值可以采用二进制、十进制、十六进制或八进制格式。FORMAT:SREGister 命令用于选择返回值的数据格式（表 15-2）。

对于非十进制格式，返回的值之一将附带以下标头，以指示所选的格式：

#B = 二进制值的标头

#H = 十六进制值的标头

#Q = 八进制值的标头

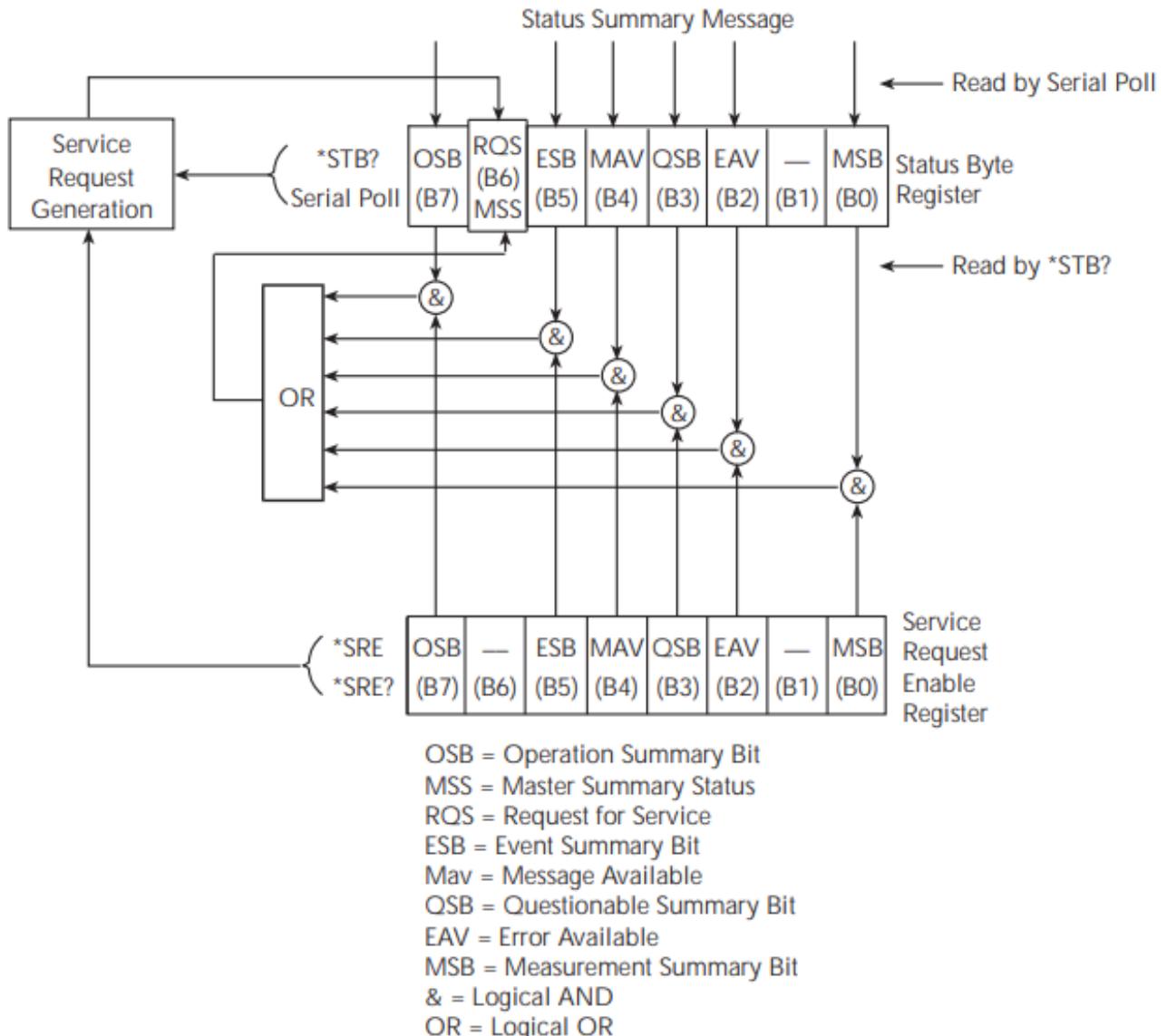
Table 15-2
Data format commands for reading status registers

Command	Description	Default
:FORMAT:SREGister <name>	Select data format for reading status registers: <name> = ASCii Decimal format HEXadecimal Hexadecimal format OCTal Octal format BINary Binary format	ASCii

15.4. 状态字节和服务请求 (SRQ)

服务请求由两个 8 位寄存器控制；状态字节寄存器和服务请求启用寄存器。图 15-3 显示了这些寄存器的结构。

Figure 15-3
Status byte and service request (SRQ)



15.4.1. 状态字节寄存器

状态寄存器和队列的摘要消息用于设置或清除状态字节寄存器的适当位 (B0、B2、B3、B4、B5 和 B7)。这些摘要位不会锁存，它们的状态 (0 或 1) 完全取决于摘要消息 (0 或 1)。例如，如果读取标准事件寄存器，则其寄存器将被清除。因此，其摘要消息将重置为 0，进而将状态字节寄存器中的 ESB 位重置。

状态字节寄存器的位描述如下：

- 位 B0，测量摘要位 (MSB) -设置摘要位表示已发生启用的测量事件。
- 位 B1-未使用。
- 位 B2，错误可用 (EAV) -设置摘要位表示错误或状态消息存在于错误队列中。
- 位 B3，疑问摘要位 (QSB) -设置摘要位表示已发生启用的疑问事件。
- 位 B4，消息可用 (MAV) -设置摘要位表示响应消息存在于输出队列中。
- 位 B5，事件摘要位 (ESB) -设置摘要位表示已发生启用的标准事件。
- 位 B6，请求服务 (RQS) /主摘要状态 (MSS) -设置位表示已设置状态字节寄存器的启用摘要位。
- 位 B7，操作摘要 (OSB) -设置摘要位表示已发生启用的操作事件。

根据使用方式不同，状态字节寄存器的位 B6 可以是请求服务 (RQS) 位或主摘要状态 (MSS) 位：

- 当使用源表的串行轮询序列获取状态字节 (又称串行轮询字节) 时，B6 是 RQS 位。有关使用串行轮询序列的详细信息，请参见“串行轮询和 SRQ”。
- 当使用*STB?命令 (表 15-3) 读取状态字节时，B6 是 MSS 位。

15.4.2. 服务请求启用寄存器

服务请求的生成由服务请求启用寄存器控制。该寄存器由您编程，用于启用或禁用状态字节寄存器的状态汇总消息位 (B0、B2、B3、B4、B5 和 B7) 设置位 B6 (RQS/MSS)。如图 15-3 所示，汇总位逻辑与 (&) 相应的启用位进行“与”运算。当一个设置 (1) 的汇总位与一个启用寄存器的启用 (1) 位进行“与”运算时，逻辑“1”的输出被应用到 OR 门的输入上，因此，在状态字节寄存器中设置 MSS/RQS 位。

可以使用*SRE 通用命令设置或清除服务请求启用寄存器的各个位。要读取服务请求启用寄存器，使用*SRE?查询命令。当电源循环或使用*SRE 命令发送参数值 0 (即*SRE 0) 时，服务请求启用寄存器将清除。表 15-3 列出了编程和读取 SRQ 启用寄存器的命令。

15.4.3. 串行轮询和 SRQ

任何从 0 到 1 的已启用事件汇总位都会设置 B6 位并生成 SRQ (服务请求)。在测试程序中，可以定期读取状态字节以检查是否发生了 SRQ 以及导致它发生的原因。如果发生 SRQ，则程序可以分支到一个适当的子程序，以服务请求。

通常，SRQ 由源表的串行轮询序列管理。如果未发生 SRQ，则状态字节寄存器的 B6 (RQS) 位将保持清除状态，并且在执行串行轮询后程序将简单地继续正常运行。如果发生 SRQ，则状态字节寄存器的 B6 位将被设置，并且当串行轮询检测到 SRQ 时，程序可以分支到服务子程序。

串行轮询自动重置状态字节寄存器的 RQS。这允许随后的串行轮询监视 B6 位，以检测其他事件类型生成的 SRQ 出现。在进行串行轮询后，即使引起第一个 SRQ 的事件寄存器未被清除，同一事件也可能会导致另一个 SRQ。

串行轮询不会清除 MSS。直到所有状态字节汇总位都被清除之前，MSS 位将保持设置状态。

SPE、SPD (串行轮询)

SPE、SPD 通用总线命令序列用于串行轮询源表。串行轮询获取串行轮询字节 (状态字节)。通常，串行轮询由控制器用于确定哪个仪器请求使用 SRQ 线进行服务。

15.4.4. 状态字节和服务请求命令

用于编程和读取状态字节寄存器和服务请求启用寄存器的命令列在表 15-3 中。有关编程和读取寄存器的详细信息，请参见“编程启用寄存器”，第 15-5 页，以及“读取寄存器”，第 15-6 页。

注意 要将服务请求启用寄存器的位复位为 0，请将 0 用作 *SRE 命令的参数值 (即 *SRE 0)。

Table 15-3
Status Byte and Service Request Enable Register commands

Command	Description	Default
*STB? *SRE <NDN> or <NRf>	Read Status Byte Register. Program the Service Request Enable Register: <NDN>= #Bxx...xBinary format (each x = 1 or 0) = #HxHexadecimal format (x = 0 to FF) = #QxOctal format (x = 0 to 377) <NRf> = 0 to 255Decimal format	(Note)
*SRE?	Read the Service Request Enable Register	

Note: *CLS and STATus:PRESet have no effect on the Service Request Enable Register.

编程示例-当出现错误时设置 MSS (B6)

表 15-4 中序列的第一个命令启用 EAV (错误启用)。当发送无效命令 (第 4 行) 时，状态字节寄存器的 B2 (EAV) 和 B6 (MSS) 位设置为 1。最后一条命令使用二进制格式读取状态字节寄存器 (该格式直接指示哪些位被设置)。选择格式的命令 (FORMAT:SREGISTER) 在表 15-2 中有文档记录。要确定错误的确切性质，您需要读取错误队列 (请参见“队列”，第 15-18 页)。

Table 15-4
Status byte programming example

Command	Description
*CLS	Clear Error Queue.
*SRE 4	Enable EAV.
FORM:SREG BIN	Select binary format.
*XYZ	Generate error.
*STB?	Read Status Byte Register.

15.5. 状态寄存器集

如图 15-1 所示，源表的状态结构中有四个状态寄存器集；标准事件状态、操作事件状态、测量事件状态和疑问事件状态。

注意 请参见附录 B，了解具体错误和状态条件设置哪些寄存器位的详细信息。

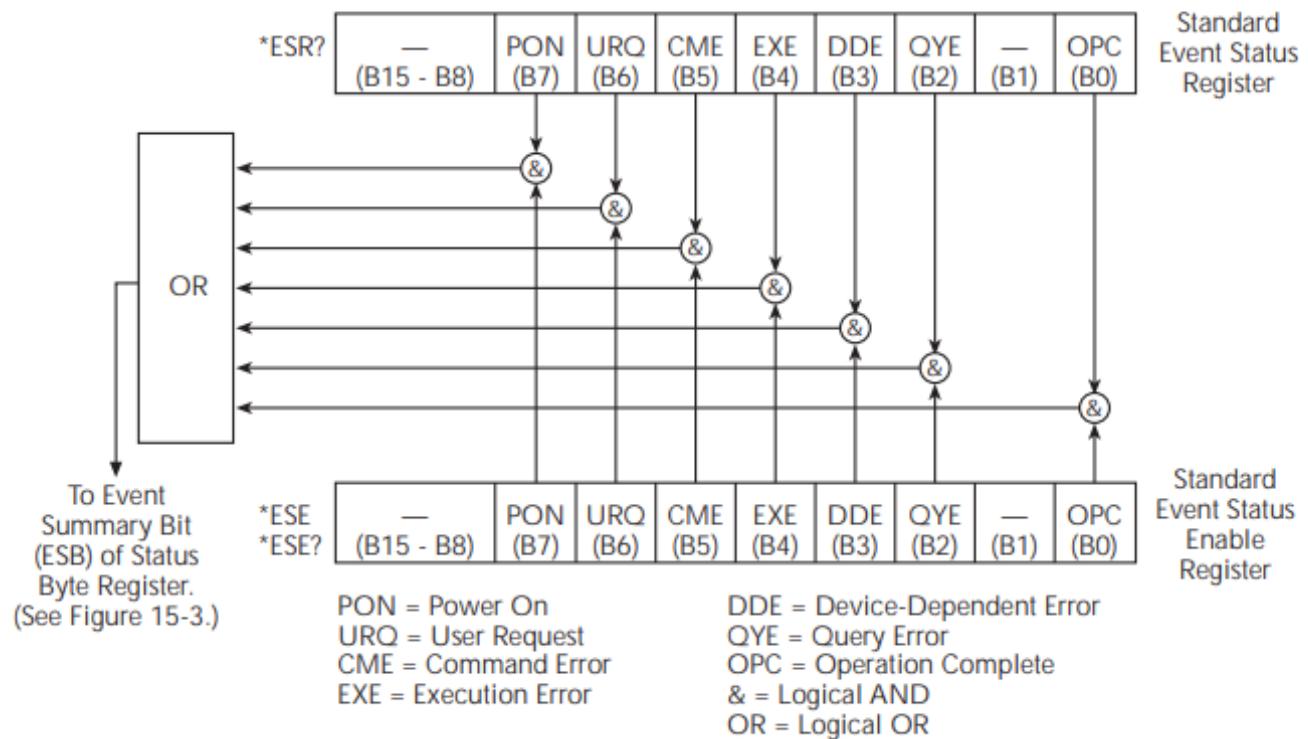
15.5.1. 寄存器位描述

标准事件寄存器

标准事件寄存器的使用位（如图 15-4 所示）描述如下：

- 位 B0，操作完成 — 设置位表示所有待处理的已选设备操作已完成，源表已准备好接受新命令。这个位只会在响应*OPC?查询命令时设置。详细信息请参见第 16 节的*OPC 和 *OPC?。
- 位 B1-未使用。
- 位 B2，查询错误 (QYE) — 设置位表示您尝试从空输出队列中读取数据。
- 位 B3，设备相关错误 (DDE) — 设置位表示由于某些内部条件，仪器操作未能正确执行。
- 位 B4，执行错误 (EXE) — 设置位表示源表在尝试执行命令时检测到错误。
- 位 B5，命令错误 (CME) — 设置位表示发生了命令错误。
- 命令错误包括：
 - IEEE-488.2 语法错误 — 源表收到的消息不符合 IEEE-488.2 标准定义的语法。
 - 语义错误 — 源表收到了拼写错误的命令或收到了未实现的可选 IEEE-488.2 命令。
 - 仪器在程序消息中收到了组执行触发 (GET)。
- 位 B6，用户请求 (URQ) — 设置位表示在源表前面板上按下了 LOCAL 键。
- 位 B7，电源开启 (PON) — 设置位表示自上次读取该寄存器以来，源表已被关闭并重新打开。

Figure 15-4
Standard event status

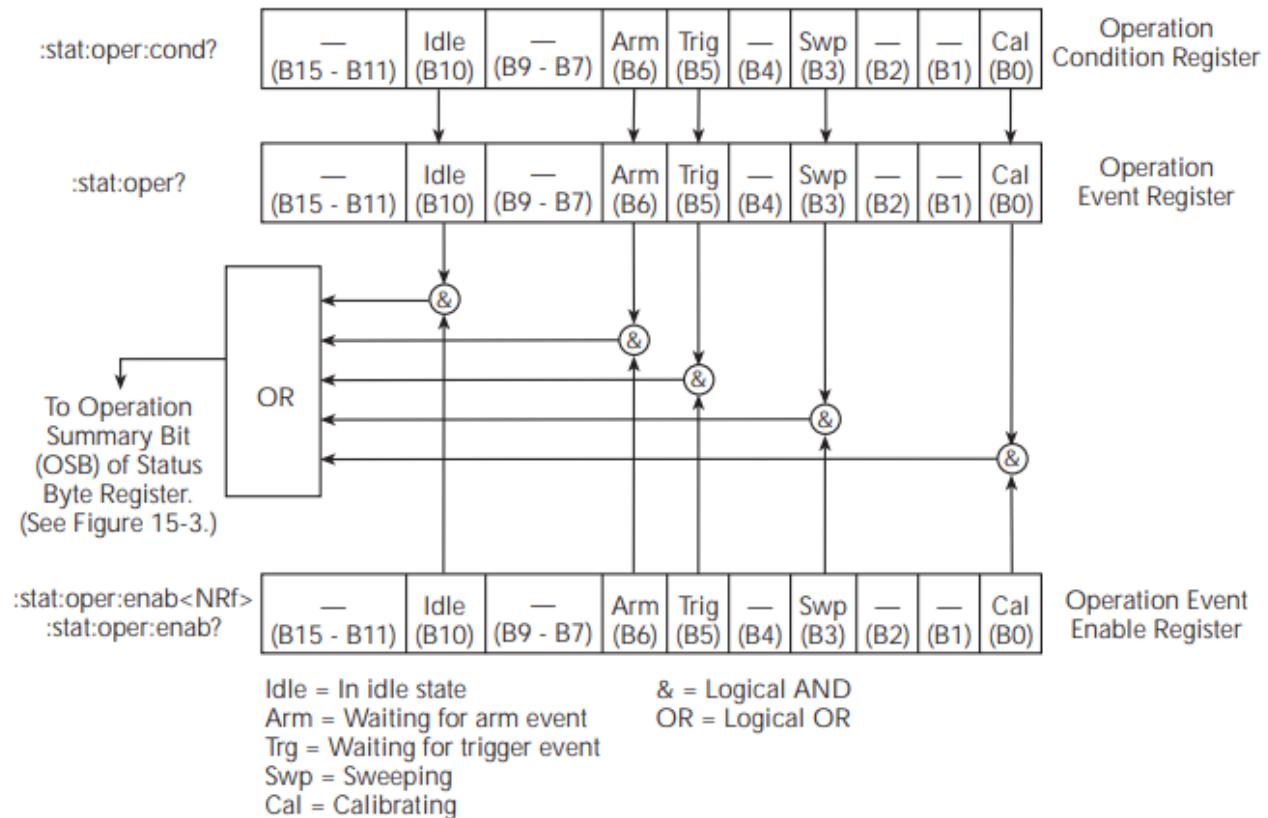


操作事件寄存器

操作事件寄存器的使用位（如图 15-5 所示）描述如下：

- 位 B0, Calibrating (Cal) — 设置位表示源表正在进行校准。
- 位 B1 和 B2 — 未使用。
- 位 B3, Sweeping (Swp) — 设置位表示仪器正在执行扫描操作。
- 位 B4 — 未使用。
- 位 B5, Waiting for Trigger Event (Trig) — 设置位表示源表在触发层等待 TLINK 触发事件的发生。
- 位 B6, Waiting for Arm Event (Arm) — 设置位表示源表在准备层等待 arm 事件的发生。
- 位 B7 到 B9 — 未使用。
- 位 B10, Idle State (Idle) — 设置位表示源表处于空闲状态。
- 位 B11 到 B15 — 未使用。

Figure 15-5
Operation event status



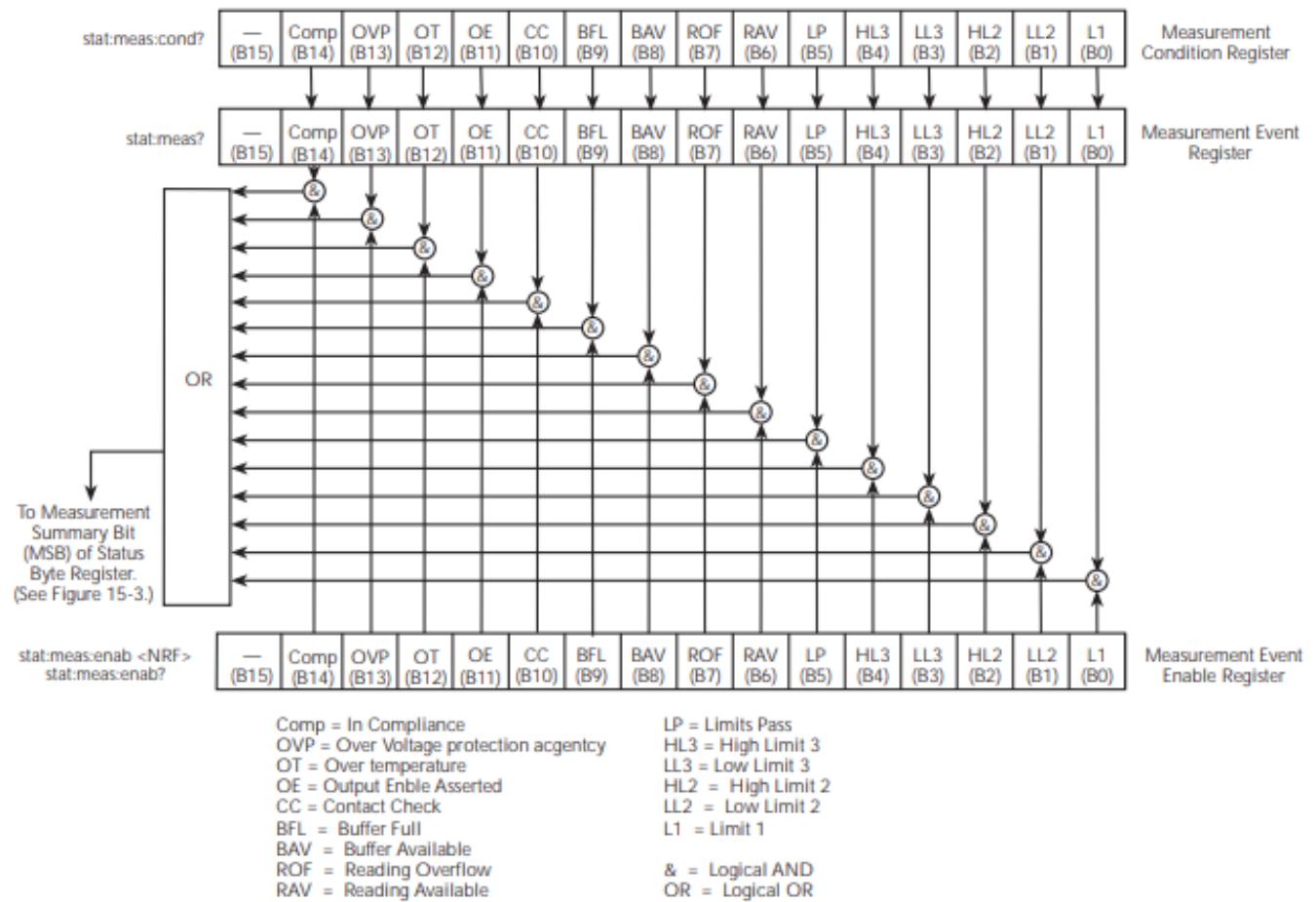
测量事件寄存器

测量事件寄存器的使用位（如图 15-6 所示）描述如下：

- 位 B0, Limit 1 Fail (L1) — 设置位表示 Limit 1 测试失败。
- 位 B1, Low Limit 2 Fail (LL2) — 设置位表示 Low Limit 2 测试失败。
- 位 B2, High Limit 2 Fail (HL2) — 设置位表示 High Limit 2 测试失败。
- 位 B3, Low Limit 3 Fail (LL3) — 设置位表示 Low Limit 3 测试失败。
- 位 B4, High Limit 3 Fail (HL3) — 设置位表示 High Limit 3 测试失败。
- 位 B5, Limits Pass (LP) — 设置位表示所有限制测试都通过了。
- 位 B6, Reading Available (RAV) — 设置位表示已经进行了读数和处理。
- 位 B7, Reading Overflow (ROF) — 设置位表示电压或电流读数超过了源表选定的测量范围。
- 位 B8, Buffer Available (BAV) — 设置位表示缓冲区中至少有两个读数。
- 位 B9, Buffer Full (BFL) — 设置位表示跟踪缓冲区已满。
- 位 B10 — Limit 4 - Contact Check (参见附录 F)。
- 位 B11, Output Enable Asserted (Int) — 设置位表示输出启用线处于数字低电平 (asserted)。可以打开源输出。

- 位 B12, Over Temperature (OT) — 设置位表示存在过温条件。不能打开源输出。
- 位 B13, Over Voltage Protection (OVP) — 设置位表示源正在以编程限制级别进行限制。
- 位 B14, Compliance (Comp) — 设置位表示源处于限制状态。
- 位 B15 — 未使用。

Figure 15-6
Measurement event status

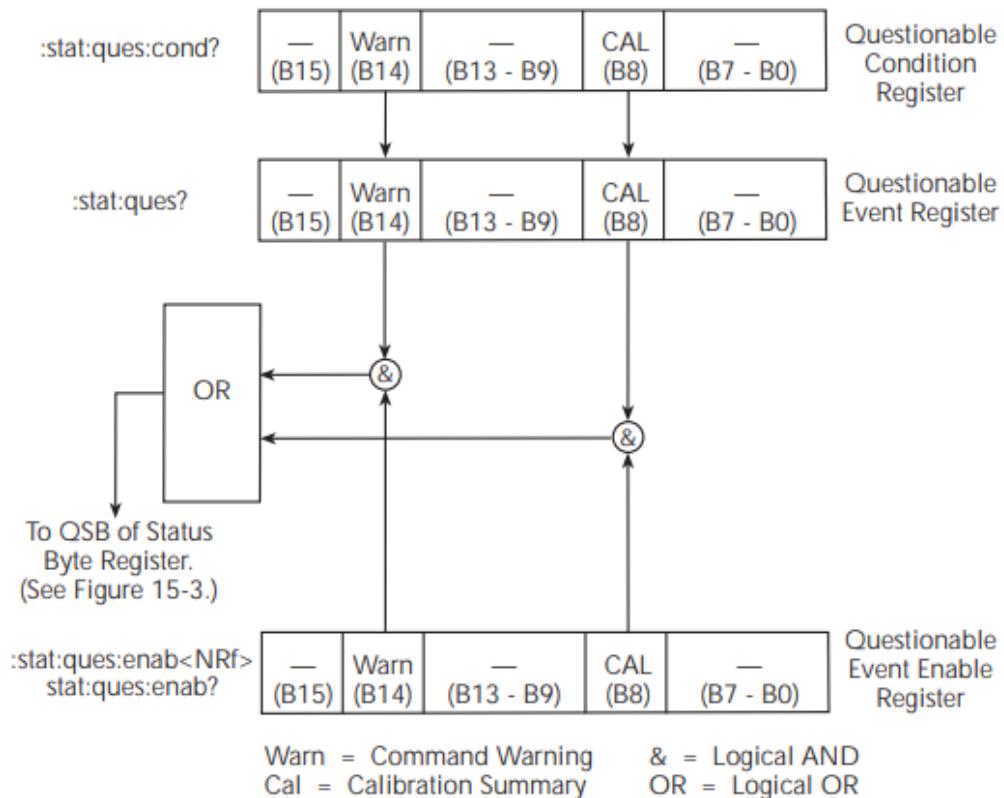


可疑事件寄存器

可疑事件寄存器的使用位（如图 15-7 所示）描述如下：

- B0 到 B7 位 — 未使用。
- B8 位, 校准摘要 (Cal) — 设置的位表示在上电序列期间检测到无效的校准常数。在成功校准仪器后, 此错误将清除。
- B9 到 B13 位 — 未使用。
- B14 位, 命令警告 (Warn) — 设置的位表示已忽略信号定向测量命令参数。
- B15 位 — 未使用。

Figure 15-7
Questionable event status



15.5.2. 条件寄存器

如图 15-1 所示，每个状态寄存器集（除标准事件寄存器集外）都有一个条件寄存器。条件寄存器是实时，只读寄存器，不断更新以反映仪器的当前操作条件。例如，当源表处于空闲状态时，操作条件寄存器的 B10 位（空闲）将被设置。当仪器退出空闲状态时，位 B10 会清除。

读取条件寄存器的命令列在表 15-5 中。有关读取寄存器的详细信息，请参见“读取寄存器”，第 15-6 页。

Table 15-5
Condition register commands

Command	Description
:STATus:OPERation:CONDition?	Read Operation Condition Register.
:STATus:MEASurement:CONDition?	Read Measurement Condition Register.
:STATus:QUEstionable:CONDition?	Read Questionable Condition Register.

15.5.3. 事件寄存器

如图 15-1 所示，每个状态寄存器集都有一个事件寄存器。当发生事件时，相应的事件寄存器位设置为 1。该位保持为 1，直到寄存器被复位。读取事件寄存器会清除该寄存器的位。*CLS 重置所有四个事件寄存器。

读取事件寄存器的命令列在表 15-6 中。有关读取寄存器的详细信息，请参见“读取寄存器”，第 15-6 页。

Table 15-6
Event register commands

Command	Description	Default
*ESR?	Read Standard Event Status Register.	(Note)
:STATus:OPERation[:EVENT]?	Read Operation Event Register.	
:STATus:MEASurement[:EVENT]?	Read Measurement Event Register.	
:STATus:QUEstionable[:EVENT]?	Read Questionable Event Register.	

Note: Power-up and *CLS resets all bits of all event registers to 0. STATus:PRESet has no effect.

15.5.4. 事件启用寄存器

如图 15-1 所示，每个状态寄存器集都有一个启用寄存器。每个事件寄存器位逻辑上 ANDed (&) 到相应的启用寄存器的启用位。因此，当设置事件位并设置对应的启用位（由用户编程）时，寄存器的输出（摘要）将设置为 1，这反过来会设置状态字节寄存器的摘要位。

编程和读取事件启用寄存器的命令列在表 15-7 中。有关编程和读取寄存器的详细信息，请参见“编程启用寄存器”，第 15-5 页和“读取寄存器”，第 15-6 页。

注意 任何启用寄存器的位都可以通过使用适当的启用命令（即 STATus:OPERation:ENABLE 0）发送参数值 0 来重置为 0。

Table 15-7
Event enable registers commands

Command	Description	Default
*ESE <NDN> or <NRf>	Program Standard Event Enable Register. (See "Parameters.")	(Note)
*ESE?	Read Standard Event Enable Register.	
STATus :OPERation :ENABLE <NDN> or <NRf> :ENABLE? :MEASurement :ENABLE <NDN> or <NRf> :ENABLE? :QUESTIONable :ENABLE <NDN> or <NRf> :ENABLE?	<p>STATus Subsystem:</p> <p>Operation Event Enable Register: Program enable register. (See "Parameters.") Read enable register.</p> <p>Measurement Event Enable Register: Program enable register. (See "Parameters.") Read enable register.</p> <p>Questionable Event Enable Register: Program enable register. (See "Parameters.") Read Measurement Event Enable Register:</p>	

Parameters:

<NDN> = #Bxx...x Binary format (each x = 1 or 0)
= #Hx Hexadecimal format (x = 0 to 7FFF)
= #Qx Octal format (x = 0 to 77777)
<NRf> = 0 to 32767 Decimal format

Note: Power-up and STATus:PRESet reset all bits of all enable registers to 0. *CLS has no effect.

编程示例-编程和读取寄存器集

表 15-8 中的命令序列编程并读取测量寄存器集。使用二进制格式读取寄存器（直接指示哪些位被设置）。选择格式的命令（FORMat:SREGister）记录在表 15-2 中。

Table 15-8
Program and read register programming example

Command	Description
FORM:SREG BIN	Select binary format to read registers.
STAT:MEAS:ENAB 512	Enable BFL (buffer full).
STAT:MEAS:COND?	Read Measurement Condition Register.
STAT:MEAS?	Read Measurement Event Register.

15.6. 队列

源表使用两个队列，这些队列是先进先出（FIFO）寄存器：

- 输出队列—用于保存读数和响应消息。
- 错误队列—用于保存错误和状态消息。（参见附录 B。）

源表状态模型（图 15-1）显示了这两个队列与其他寄存器的结构。

15.6.1. 输出队列

输出队列保存与仪器的正常操作相关的数据。例如，发送查询命令时，响应消息将被放置在输出队列中。

当数据放入输出队列时，状态字节寄存器中的 Message Available (MAV) 位已设置。读取数据消息后，它将从输出队列中清除。当输出队列为空时，认为输出队列已清除。空输出队列会清除状态字节寄存器中的 MAV 位。

通过在发送适当的查询之后将源表定址到对话框来从输出队列中读取消息。

15.6.2. 错误队列

错误队列保存错误和状态消息。当发生错误或状态事件时，会将定义错误/状态的消息放置在错误队列中。

将消息放入错误队列时，状态字节寄存器中的 Error Available (EAV) 位已设置。读取错误/状态消息后，它将从错误队列中清除。当错误队列为空时，认为错误队列已清除。空错误队列会清除状态字节寄存器中的 EAV 位。

错误队列最多保存 10 条错误/状态消息。读取错误队列的命令列在表 15-9 中。当您在错误队列中读取消息时，将读取“最旧”的消息，然后将其从队列中删除。如果队列已满，则消息“350, 'Queue Overflow'"将占据最后一个内存位置。上电时，错误队列为空。当队列为空时，将在队列中放置消息“0, 无错误”。

错误队列中的消息以代码编号为前缀。SCPI 定义的消息使用负 (-) 数，Keithley 定义的消息使用正 (+) 数。这些消息列在附录 B 中。如表 15-7 所示，有命令可以读取整个消息（代码和消息）或仅代码。

上电时，所有错误消息都已启用，并将在发生时进入错误队列。未启用状态消息，因此不会进入队列。如表 15-9 所列，有命令可用于启用和/或禁用消息。对于这些命令，`<list>`参数用于指定要启用或禁用哪些消息。消息由其代码指定。以下示例显示使用`<list>`参数的各种形式。

<code><list> = (-110)</code>	单个消息
<code>= (-110:-222)</code>	消息范围（从-110 到-222）
<code>= (-110: -222, -220)</code>	范围条目和单个条目（由逗号分隔）

启用消息时，列表中未指定的消息将被禁用。禁用消息时，将从启用列表中删除每个列出的消息。

注意 为防止所有消息进入错误队列，请按如下所示发送启用命令和空列表参数：
`STATus:QUEue:ENABLE ()`。

Table 15-9
Error queue commands

Command	Description	Default
STATus :QUEue [:NEXT]? :ENABLE <list> :ENABLE? :DISable <list> :DISable? :CLEar	STATus Subsystem: Read Error Queue: Read and clear oldest error/status (code and message). Specify error and status messages for Error Queue. Read the enabled messages. Specify messages not to be placed in queue. Read the disabled messages. Clear messages from Error Queue.	(Note 1) (Note 2) (Note 2)
SYSTem :ERRor [:NEXT]? :ALL? :COUNT? :CODE [:NEXT]? :ALL? :CLEar	SYSTem Subsystem: Read Error Queue: Read and clear oldest error/status (code and message). Read and clear all errors/status (code and message). Read the number of messages in queue. Code numbers only: Read and clear oldest error/status (code only). Read and clear all errors/status (codes only). Clear messages from Error Queue.	(Note 1)

Notes:

1. Power-up and *CLS empties the Error Queue. STATus:PRESet has no effect.
2. Power-up enables error messages and disables status messages. *CLS and STATus:PRESet have no effect.

编程示例 - 读取错误队列

以下命令读取错误队列:

STAT:QUE?