



DELICATE & ACCURATE

Model F2031

程控功率电流源

用户手册

MAN-F2031-Rev07-2025

本文档包含操作和编程信息

IREFA 乐真科技

Printed in China
Edition 7, Aug., 2025

在任何情况下，如果本产品在未经北京乐真科技有限公司书面授权的情况下被拆卸、调整、更换部件或维修，北京乐真科技有限公司有权拒绝提供任何形式的保修、维修、维护或校准服务。

有限保修服务

1. 以下有限保修担保只针对在中国大陆地区销售的产品。
2. 本产品之制造商北京乐真科技有限公司对此产品及其附件自发货之日起 12 个月内实行保修。
3. 在保修期内，所有得到北京乐真科技有限公司认可返回的产品及其附件，针对产品质量问题，享受保修服务。服务内容包括维修和部件更换，不收取部件更换和维修人工费用，以及将维修后的产品重新寄至用户所需邮寄费用。
4. 在保修期内，维修后的产品或更换的部件所享受的保修期限截止至原保修期限。
5. 对于非产品质量问题，以及未按规定使用产品或其附件、或者未按正确操作指示进行操作而造成的产品故障和损毁，北京乐真科技有限公司不承担保修义务。
6. 北京乐真科技有限公司对超出保修期限的产品提供维修服务，只收取部件更换费用、必要的维修人工费用以及将维修后的产品重新寄至用户所需邮寄费用，并对维修后的产品以及更换的部件实行 90 日保修服务。


校准服务

1. 以下校准服务只针对在中国大陆地区销售的产品。
2. 本产品之制造商北京乐真科技有限公司对此产品自发货之日起提供 1 次免费校准服务。
3. 免费校准服务不收取校准费用和人工费用，以及将校准后的产品重新寄至用户所需邮寄费用。对于非强制计量产品，如果用户需要开具计量证书，则由用户承担计量所需费用。
4. 对于非免费校准服务，北京乐真科技有限公司只收取必要的校准费用和人工费用，以及将校准后的产品重新寄至用户所需邮寄费用。对于非强制计量产品，如果用户需要开具计量证书，则由用户承担计量所需费用。
5. 以上校准服务只针对无故障的产品。如果校准前发现产品存在故障问题，北京乐真科技有限公司将在征得用户许可后按照有限保修服务条款维修并收取维修费用，而后向用户提供校准服务。

关于本文档的声明

1. 本文档公开和描述的方法及装置由北京乐真科技有限公司独立资金支持并开发。不存在任何其它契约形式支持，并且不存在可能通过任何途经影响或削弱北京乐真科技有限公司知识产权的任何关系。
2. 北京乐真科技有限公司保留在不事先通知的情况下，在任何时间添加、改进、变更或收回产品功能、变更设计、变更产品或变更产品文档的权利。
3. 北京乐真科技有限公司不对本文档所含错误、或者偶然事件、或者由于产品配置、性能或由于使用本文档所造成的损失承担责任。
4. 北京乐真科技有限公司对本文档拥有版权，并保有一切权利。在未经北京乐真科技有限公司书面授权的情况下，不得对本文档的任何部分通过任何途经（包括使用电子、机械、影印、复制或其它任何途经）进行任何形式的复制、转载或传播。

注册商标声明

1.  图案及文字是北京乐真科技有限公司的注册商标。
2. 本文档所涉及的其它商标属于其各自所有者所有。

安全性总括

在所有形式的针对本产品的操作、维护、维修过程中，必须首先研读下列通用安全预防措施。违反以下通用安全预防措施或本手册中任何位置提及的特殊警告，将造成对于本产品的设计、生产和使用用途所遵循的安全标准的破坏。北京乐真科技有限公司对于违反安全预防措施或本手册提及的特殊警告所造成的后果不承担责任。

安全总则

1. 本产品为“Safety Class 1”类仪器，通过保护地线端子提供安全保护。
2. 本产品的安全特性可能由于使用非本手册提供的操作方法而受到削弱或损伤。
3. 本产品使用的发光二极管 LED 均为 IEC 825-1 所规定之“Class 1 LEDs”。

环境条件

1. 本产品为室内用途产品，设计用于最大相对湿度 80%、最高海拔 2000 米的环境使用。
2. 本产品使用的交流电源规格以及运行环境温度限制请参考本手册内的技术规格。

上电之前必须检查

1. 匹配的交流电源线电压和电流规格，请务必使用随仪器配置的电源线，额定电流不足的电源线将导致电源线严重发热，并导致严重的电击事故和火灾事故。
2. 已安装正确的保险管。

仪器接地

1. 本产品为“Safety Class 1”类仪器，通过保护地线端子提供安全保护。
2. 为避免电击事故的发生，本产品的底板和机箱必须连接至电学地。
3. 本产品必须通过具有 3 根芯线的电源线连接至交流电源，其中保护地线必须牢固连接至电源插座的电学地（安全地）。
4. 任何保护地线的断开或不连接保护地线的操作将导致潜在的电击事故，并导致人身伤害。

使用正确的保险

1. 必须使用具有正确额定电压/电流和指定类型（规定烧断熔丝、时间延迟等）的保险管。
2. 禁止使用修复的保险管，禁止使用导体短路保险管座。否则将导致电击和火灾事故。

禁止在爆炸性气氛中使用

禁止将本产品暴露于可燃气体、烟雾中使用，否则将造成严重的安全事故。

远离带电电路

1. 操作者不可移除仪器封盖。
2. 必须由具有资质认证的维修人员进行内部部件的替换和调整。
3. 不可在交流电源线连通的情况下更换部件。
4. 在某些情况下，断开交流电源线后，产品表面和内部仍可能呈现危险电压。
5. 为最大程度避免人身伤害，接触仪器前应断开交流电源线、为电路完全放电并断开任何与本产品连接的外部电源供给。

切勿独自维护或调整仪器

1. 切勿在单独一人的情况下尝试本产品的内部维护或调整。
2. 进行内部维护或调整时，必须有具备提供急救和复苏能力的另一人在场。

切勿超越输入规格限制

















1. 本产品使用电源滤波器，因此必须连接至正确接地的电源插座以避免电击事故。
2. 使用超越输入规格限制的线电压或频率将导致峰值大于 5.0 毫安的漏电流。

切勿置换部件或更改仪器

1. 由于存在导致人身伤害的危险，切勿自行置换部件或对仪器进行任何非授权的改动。
2. 请将本仪器返回至北京乐真科技有限公司进行维修和维护，以保持仪器的安全性能。

损坏、损毁或有缺陷的仪器应妥善封存以避免继续使用，直至得到授权的维修后方可再次使用。

安全标志

标志	描述	标志	描述
	直流 Direct Current		永久安装设备的火线端子 Terminal for Line Conductor
	交流 Alternating Current		永久安装设备的零线端子 Terminal for Neutral Conductor
	直流和交流 Both Direct and Alternating Current		警告，电击危险 Caution, Risk of Electric Shock
	三相交流 Three-Phase Alternating Current		警告（参见文档） Caution
	接地端子 Earth (Ground) Terminal		警告，发热表面 Caution, Hot Surface
	保护接地端子 Protective Earth (Ground) Terminal		开启（电源） On (Supply)
	机架或底板端子 Frame or Chassis Terminal		关断（电源） Off (Supply)
	端子位于地电位 Terminal is at Earth Potential		保险 Fuse

生产商信息



北京乐真科技有限公司
REFERENCE DEVICES CORPORATION, LIMITED

地 址： 北京市朝阳区崔各庄乡草场地村 166 号一层 X16-1
电 话： 13910918693
万维网址： www.REFdevice.net
电子邮箱： shichen717@126.com

检查和开封

当您收到本产品时，请检查运输包装是否存在外部损伤，以及是否存在部件缺失。如果缺失比较明显，请尽快通知北京乐真科技有限公司。

1. 打开运输包装后，请首先依据本页装箱清单确认仪器、传感器、附件和手册是否齐全，并查找是否存在损伤。
2. 丢弃包装物之前请务必清点所有部件。
3. 如果存在仪器或部件的运输损伤，请尽快通知北京乐真科技有限公司，我们将协助您向运输商和保险公司索赔。
4. 如果存在部件缺失现象，请尽快通知我们。在中国大陆地区，自货物发送之日起 15 日后，北京乐真科技有限公司不对任何部件缺失承担责任。

装箱清单			
名 称	程控功率电流源		
型 号	F2031		
数 量	1 台		
序列号	F2031000109070122		
附 件	CAB-AC250-052	3 芯交流 250V/5A GB1002 电源线，长度 2 米	1 条
	CAB-232-DCE-3	RS-232C 标准 9 芯直通电缆，长度 3 米	1 条
	CAB-USB-AB-2	USB 标准 A-B 电缆，长度 1.8 米	1 条
	FUSE5C-25040	250V/4A 陶瓷保险管，体积 5×20 毫米	2 只
	CD-F2031	F2031 产品信息光盘	1 张
	内含：		
	MAN-F2031	用户手册电子文档	1 份
	DRV-USB232	USB 接口驱动程序	1 份
装箱：		复查：	
日期： 年 月 日		日期： 年 月 日	

版本历史和文档注释

Rev01	文档序号 MAN-F2031-Rev01-2013	2013 年 06 月 26 日
Rev02	文档序号 MAN-F2031-Rev02-2018	2018 年 07 月 30 日
	<div>1. 硬件升级导致的性能指标提升（1.5、1.7、3.11、3.14）。</div> <div>2. 外观更改导致的图例变化。</div> <div>3. 增加极头退磁 SWD 功能（3.10.5）。</div> <div>4. USB-232 转换器硬件变更导致的驱动程序描述变更（3.20.3）。</div> <div>5. 增加“警告”和“注”的颜色标记</div> <div>6. 修正可能的图文错误。</div>	
Rev03	文档序号 MAN-F2031-Rev03-2020	2020 年 04 月 03 日
	<div>1. 硬件升级导致的稳定度提升（1.5）和输出电流温度系数降低（1.7）。</div> <div>2. 增加负载过热保护功能（1.5、2.4.5、3.20）和接口命令/查询（4.6）。</div> <div>3. 增加渐变结束声响（3.5.6）、接口命令/查询（4.6）、表 4-1、表 3-3、图 3-33。</div> <div>4. 增加计算机接口数据格式解释（4.5.2）。</div> <div>5. 修正可能的图文错误。</div>	
Rev04	文档序号 MAN-F2031-Rev04-2021	2021 年 07 月 12 日
	<div>1. 注释和警告格式变化。</div> <div>2. 修正可能的图文错误。</div>	
Rev05	文档序号 MAN-F2031-Rev05-2022	2022 年 05 月 12 日
	<div>1. 部分指标变更。</div>	
Rev06	文档序号 MAN-F2031-Rev06-2024	2024 年 07 月 03 日
	<div>1. 硬件升级导致的稳定度提升（1.5）和输出电流温度系数降低（1.7）。</div> <div>2. 与设置分辨率，温度系数，稳定度和输出阻抗相关的内容对应修改。</div> <div>3. 与设置分辨率相关的计算机接口命令的格式变更。</div>	
Rev07	文档序号 MAN-F2031-Rev07-2025	2025 年 08 月 12 日
	<div>1. 硬件升级导致的准确度提升（1.5）、（1.7）、（3.11）。</div> <div>2. 硬件升级导致的输出阻抗提高（1.5）、（1.7）、（3.12）。</div> <div>3. 关于包装物及仪器寄回时重新包装的描述（2.2）。</div> <div>4. 修正可能的图文错误。</div> <div>5. 更改联系方式。</div>	

我们欢迎您关于本文档的注释。尽管我们已经尽了所有努力保持本文档文本、图示和表格内容的正确性，但仍有可能出现错误。

当您报告一个具体错误时，请对其进行简要描述，并指示出现错误的章节、图示、表格和页号。请将您的注释通过邮件或电子邮件寄至北京乐真科技有限公司，我们将对此不胜感激。

Contents

目录

有限保修服务.....	A
校准服务.....	A
关于本文档的声明.....	A
注册商标声明.....	A
安全性总括.....	B
安全标志.....	C
生产商信息.....	C
检查和开封.....	D
历史版本和文档注释.....	E
1. 简介.....	1-1
1.1 手册内容.....	1-1
1.2 阅读导引.....	1-1
1.3 交流电源选项.....	1-1
1.4 安全要求.....	1-1
1.5 产品特征.....	1-2
1.6 固件版本.....	1-3
1.7 技术性能规格.....	1-3
1.8 校准期限.....	1-6
2. 安装.....	2-1
2.1 简介.....	2-1
2.2 包装物.....	2-1
2.3 安装方法.....	2-1
2.3.1 桌面安装.....	2-1
2.3.2 保留安全散热间距.....	2-2
2.3.3 避免热量耦合和电磁干扰.....	2-2
2.4 后面板详解和电缆连接.....	2-2
2.4.1 电源输入组件.....	2-3
2.4.2 RS-232C 和 USB-232 接口.....	2-4
2.4.3 功率电流输出接口.....	2-5
2.4.4 触发输出 BNC 接口.....	2-6
2.4.5 负载保护输入 BNC 接口.....	2-7
2.5 初始设置和开机检测.....	2-7
2.5.1 上电之前.....	2-7
2.5.2 开机检测.....	2-8
3. 操作.....	3-1
3.1 简介.....	3-1
3.2 前面板详解.....	3-1
3.2.1 LCD 显示器.....	3-1
3.2.2 LED 指示器.....	3-3
3.2.3 键盘区.....	3-3
3.2.4 电源开关.....	3-3
3.3 前面板键盘定义.....	3-4
3.4 设置输出电流.....	3-4

3.4.1	微调输出电流	3-4
3.4.2	电流设置界面	3-5
3.5	电流线性渐变输出方式	3-6
3.5.1	电感性负载的时间常数	3-6
3.5.2	时间常数引起的过冲	3-6
3.5.3	电流线性渐变输出方式	3-6
3.5.4	设置电流线性渐变速率	3-6
3.5.5	电流线性渐变过程中的台阶效应	3-8
3.5.6	渐变结束声响	3-8
3.6	电流方向和换向延迟时间	3-8
3.6.1	电流方向和换向方式	3-8
3.6.2	电流换向过程	3-8
3.6.3	设置换向延迟时间组合	3-9
3.6.4	换向冲击	3-10
3.7	输出电压范围和负载直流电阻限制	3-10
3.7.1	电压钳位状态	3-10
3.7.2	电压钳位指示	3-11
3.7.3	负载最高直流电阻限制	3-11
3.7.4	长期通电工作的负载	3-11
3.7.5	内部过功率保护及其解除	3-11
3.7.6	负载最低直流电阻限制 $R_{LOADMIN}$ 和最大输出电流限制 I_{OUTMAX}	3-13
3.7.7	时间常数导致的触发保护	3-13
3.8	设置输出端状态	3-13
3.8.1	输出端状态和开机更换负载	3-13
3.8.2	切换输出端状态	3-14
3.8.3	输出端恢复正常输出状态时的输出电流	3-14
3.9	停止电流线性渐变、电流快速归零和中止电流换向	3-15
3.9.1	停止电流线性渐变	3-15
3.9.2	电流快速归零	3-15
3.9.3	中止电流换向	3-15
3.10	电流扫描	3-15
3.10.1	扫描模式	3-15
3.10.2	扫描最大值	3-16
3.10.3	扫描速率	3-17
3.10.4	扫描的开始、暂停、继续和中止	3-17
3.10.5	极头退磁扫描	3-17
3.11	输出电流准确度	3-18
3.11.1	额定准确度	3-18
3.11.2	计算误差电流	3-18
3.11.3	输出电流稳定性	3-18
3.12	输出阻抗	3-18
3.13	输出补偿网络	3-19
3.13.1	内部输出补偿网络	3-19
3.13.2	追加的外部补偿网络	3-19
3.14	电流纹波	3-20
3.15	常规触发输出	3-21
3.15.1	常规触发输出	3-21
3.15.2	设置常规触发输出方式和触发延迟时间	3-21
3.15.3	常规触发输出时序	3-21
3.15.4	触发输出端口	3-22
3.16	扫描触发输出	3-22

3.16.1 扫描触发输出.....	3-22
3.16.2 设置扫描触发输出方式和触发时间间隔.....	3-23
3.16.3 扫描触发输出时序.....	3-24
3.16.4 降低测量时长差异导致的扫描测量误差.....	3-24
3.16.5 根据仪器的测量时长正确设置触发时间间隔.....	3-25
3.17 测量负载两端电压.....	3-25
3.18 键盘锁.....	3-26
3.19 负载保护.....	3-26
3.19.1 开启和关闭负载保护功能.....	3-26
3.19.2 负载保护接口的输入端.....	3-26
3.19.3 通过常闭型温度开关实现负载过热保护.....	3-27
3.19.4 更复杂的负载保护方法.....	3-28
3.20 设置计算机接口.....	3-28
3.20.1 设置接口类型.....	3-28
3.20.2 设置串行接口波特率.....	3-28
3.20.3 安装并设置 USB-232 接口.....	3-29
3.21 恢复出厂设置.....	3-30
3.22 接地关系.....	3-31
3.22.1 浮动输出.....	3-31
3.22.1 接地关系.....	3-32
3.23 键盘菜单结构.....	3-32
4. 计算机接口.....	4-1
4.1 简介.....	4-1
4.1 计算机接口选择.....	4-1
4.2.1 接口构成.....	4-1
4.2.2 选择接口和设置波特率.....	4-1
4.3 RS-232C 接口概述.....	4-1
4.3.1 物理连接.....	4-1
4.3.2 硬件支持.....	4-3
4.3.3 传输格式.....	4-3
4.4 USB-232 接口概述.....	4-3
4.5 接口命令语法和软件控制机制.....	4-3
4.5.1 消息字符串.....	4-3
4.5.2 数据格式.....	4-4
4.5.3 应答机制.....	4-4
4.5.4 消息流控制.....	4-4
4.5.5 接收缓存.....	4-4
4.5.6 通讯故障诊断.....	4-5
4.6 接口命令和查询详解.....	4-5
4.6.1 接口命令和查询集.....	4-5
4.6.2 通用接口命令.....	4-6
*RST.....	4-6
4.6.3 通用接口查询.....	4-7
*IDN?.....	4-7
4.6.4 设备特殊命令.....	4-7
CUR.....	4-7
CURFD.....	4-7
CURFDOWN.....	4-8
CURFUP.....	4-8
FAST0.....	4-8
LOCK.....	4-8
LOADP.....	4-9

NTRIG.....	4-9
NTRIGD.....	4-9
OUT.....	4-9
OVLDRST.....	4-10
PN.....	4-10
RAMPAUDIO.....	4-10
RATE.....	4-10
REV.....	4-11
REVDELAY.....	4-11
STOP.....	4-11
SWEEP.....	4-11
SWABORT.....	4-12
SWCONT.....	4-12
SWPAUSE.....	4-12
SWMODE.....	4-12
SWMAX.....	4-13
SWTRIG.....	4-13
SWTRIGINT.....	4-13
4.6.5 设备特殊查询.....	4-13
CMPLS?.....	4-13
CUR?.....	4-14
CURFD?.....	4-14
DIR?.....	4-14
LOCK?.....	4-14
LOADP?.....	4-15
LOADPS?.....	4-15
NTRIG?.....	4-15
NTRIGD?.....	4-15
OUT?.....	4-15
OVLDS?.....	4-16
RAMPAUDIO?.....	4-16
RATE?.....	4-16
REVDELAY?.....	4-16
SWEEP?.....	4-16
SWMODE?.....	4-17
SWMAX?.....	4-17
SWTRIG?.....	4-17
SWTRIGINT?.....	4-17
5. 附件.....	5-1
5.1 简介.....	5-1
5.2 附件.....	5-1
5.2.1 交流电源线 CAB-AC250-052.....	5-1
5.2.2 通讯电缆 CAB-232-DCE-3.....	5-1
5.2.3 通讯电缆 CAB-USB-AB-2.....	5-2
5.2.4 转换器 CONV-232-9-25.....	5-2
5.2.5 其它附件.....	5-2
附录.....	A-1
A.1 磁学单位换算.....	A-1
A.2 常用物理量.....	A-2
A.3 前缀表示法.....	A-3
A.4 希腊字母.....	A-3
A.5 美制线规对照表.....	A-3
A.6 ASCII 编码.....	A-4

Figures

图示

图 1-1 由序列号中读出 F2031 的固件版本.....	1-3
图 1-2 F2031 的标准显示界面.....	1-6
图 2-1 运输时需粘贴的保护标志.....	2-1
图 2-2 F2031 的安全散热间距.....	2-2
图 2-3 F2031 后面板详解.....	2-3
图 2-4 电源输入组件和交流电源线插头.....	2-3
图 2-5 计算机接口连接器以及使用 USB 电缆连接 F2031 和计算机.....	2-4
图 2-6 功率电流输出 2 芯接线柱和安全接地端子.....	2-5
图 2-7 触发输出 BNC 接口.....	2-7
图 2-8 负载保护输入 BNC 接口.....	2-7
图 2-9 F2031 的开机启动画面.....	2-8
图 2-10 F2031 的开机检测界面.....	2-8
图 2-11 F2031 的标准界面.....	2-9
图 3-1 F2031 前面板详解.....	3-1
图 3-2 LCD 显示器功能区域划分.....	3-2
图 3-3 F2031 的 LED 指示器.....	3-2
图 3-4 F2031 的键盘分区.....	3-3
图 3-5 电源开关的开、关位置状态.....	3-3
图 3-6 微调输出电流.....	3-5
图 3-7 电流设置界面.....	3-5
图 3-8 电流超调过冲和电流线性渐变输出方式.....	3-7
图 3-9 电流线性渐变过程中的台阶效应.....	3-8
图 3-10 输出端为正常输出状态时由正向至反向的完整电流换向过程.....	3-9
图 3-11 负载最高直流电阻限制.....	3-10
图 3-12 内部功率过载保护下 F2031 的显示信息.....	3-11
图 3-13 内部过功率保护导致的 $R_{LOADMIN}$ 和 I_{OUTMAX} 限制.....	3-12
图 3-14 使用 OUTPUT 键切换输出端状态.....	3-14
图 3-15 F2031 的四种扫描模式.....	3-16
图 3-16 有限输出阻抗 R_{OUT} 造成的分流误差.....	3-18
图 3-17 F2031 的内部输出补偿网络.....	3-19
图 3-18 追加的外部补偿网络.....	3-20
图 3-19 常规触发输出时序.....	3-22
图 3-20 通讯延迟造成的测量时差 Δt	3-23
图 3-21 SWB 模式下的扫描触发输出时序.....	3-24
图 3-22 二线式连接方式造成测量误差.....	3-25
图 3-23 四线式连接方式避免测量误差.....	3-26
图 3-24 负载保护接口的输入端.....	3-27

图 3-25 使用常闭型温度开关实现负载过热保护..... 3-27

图 3-26 F2031 的计算机接口系统..... 3-28

图 3-27 设备管理器中的 RS-232C/USB 转换器设备..... 3-29

图 3-28 USB Serial Port (COMn) 属性窗口..... 3-29

图 3-29 修改 RS-232C/USB 转换器的端口号..... 3-30

图 3-30 恢复出厂设置..... 3-31

图 3-31 同时接地产生的地线环路..... 3-31

图 3-32 F2031 的接地关系..... 3-32

图 3-33 F2031 键盘菜单结构图（输出设置和计算机接口）..... 3-33

图 3-34 F2031 键盘菜单结构图（线性渐变、扫描和负载保护）..... 3-34

图 3-35 F2031 键盘菜单结构图（触发输出）..... 3-35

图 4-1 常用 DCE 设置 9 针连接器引线序列..... 4-2

图 5-1 交流电源线 CAB-AC250-052..... 5-1

图 5-2 通讯电缆 CAB-232-DCE-3..... 5-2

图 5-3 通讯电缆 CAB-USB-AB-2..... 5-2

Tables

表格

表 1-1 手册其它章节内容..... 1-1

表 1-2 技术性能规格..... 1-3

表 1-3 补充技术性能规格..... 1-5

表 3-1 换向延迟时间和适用电感性负载时间常数..... 3-9

表 3-2 典型输出电流下的误差..... 3-16

表 3-3 恢复出厂设置值..... 3-30

表 4-1 接口命令和查询集..... 4-5

表 5-1 F2031 附件清单..... 5-1

表 A-1 标准国际单位制 (SI) 和厘米-克-秒制 (cgs) 磁学单位换算..... A-1

表 A-2 标准国际单位制 (SI) 物理常数..... A-2

表 A-3 标准国际单位制 (SI) 前缀..... A-3

表 A-4 希腊字母表..... A-3

表 A-5 美制线规 AWG (American Wire Gage) 对照表..... A-3

表 A-6 ASCII 编码表..... A-4

简介

1.1 手册内容

本章包含 F2031 程控功率电流源的技术性能规格，以及电源选项和安全信息。本手册其它章节包含产品的安装方法、操作方法、计算机接口功能、附件和校准方法，列于表 1-1：

表 1-1 手册其它章节内容 TAB-MAN-F2031-0001

章节序号	内容简介	页 数
第 2 章	仪器的安装方法和后面板接线。	10
第 3 章	前面板操作方法、操作中需注意的细节和输出转换器的使用方法。	34
第 4 章	计算机接口的描述、操作方法、接口命令集和编程示例。	18
第 5 章	附件信息，仪器各接口的物理尺寸和电学定义。	2

1.2 阅读导引

如果您初次接触 F2031 程控功率电流源，请首先阅读第 2 章，熟悉仪器的安装方法并正确连接后面板各类电缆。而后请着重阅读第 3 章，掌握 F2031 的各项操作方法。需要编程的用户请阅读第 4 章，第 4 章提供所有针对 F2031 编程的细节内容以及简单的编程示例，从而协助用户进行计算机语言编写。第 5 章为 F2031 各项附件的详细信息，以及仪器各物理接口的规格和电学定义。

本文档中，均以文字格式 **OUTPUT** 和 **OUT** 分别着重表示键盘和计算机接口命令/查询。并在重要位置以文字格式 **AAAAA** 着重标示。对于需要特别注意的内容和事项，以 **注** 单独标示。对于必须严格遵守的原则、规定和事项，以 **警告** 单独醒目标示。

1.3 交流电源选项

在中国大陆地区销售的本产品，出厂时交流电源规格均设置为：

交流 220 伏特，50-60 赫兹
AC220V, 50-60Hz

1.4 安全要求

本产品为“Safety Class 1”类仪器，即通过“保护地线端子”提供安全保护。此保护地线端子必须牢固连接至配置接地端的三芯交流电源插座的接地端上，并且电源插座的接地端与大地良好连通。

请仔细阅读并遵守本手册前述“安全性总括”中的各项通用安全规定。特殊的安全信息位于本手册中需提示用户注意的相应位置。

1.5 产品特征

本产品具有以下特征：

► 输出电流

- 输出范围 -5A — 5A DC
- 高步进分辨率 0.05mA ($1/100000$ F.S.) ——为精细磁场控制提供足够解析度
- 准确度 $\pm(0.05\%\text{设置值}+0.25\text{mA})$ 、稳定度优于 30ppm/h ——高精度励磁电流驱动
- 噪声/纹波: 1mA RMS 典型值
- 浮动输出 ——灵活配置参考电位，降低地线环路干扰
- 最大输出功率 300W ——适于驱动亥姆霍兹线圈、空心螺线管和小型电磁铁

► 输出电压

- 有效输出电压范围 0V — 60V DC、开路输出电压: $80\text{V}\pm 5\text{V}$ @ 5A

► 电流换向

- 微处理器控制的继电器换向方式、5 种可选延迟时间 ——根据负载时间常数灵活配置
- 换向电流冲击小于 1mA ——避免换向造成的磁场不连续

► 负载适应性

- 满幅输出负载直流电阻范围 1 — 12Ω ——自动预稳压、支持宽广的负载直流电阻范围
- 输出阻抗 $>2.5\text{M}\Omega$ ——低负载效应，适应大范围变化的负载
- 内部配置输出补偿网络 ——适应强电感性负载和强干扰环境

► 负载保护

- 可控的输出端状态 ——支持开机更换负载
- 线性渐变方式处理突变电流设置 ——避免电感性负载中电流过冲造成的磁场尖峰
- 电流线性渐变速率 0.01A/s — 2A/s ——根据负载时间常数灵活调整
- 内部过功率保护 ——硬件电路保护电源安全
- 配合负载内部温度开关的负载过热保护

► 扫描功能

- I、I-III、I-III-I 象限和极头退磁四种扫描模式 ——适应大多数磁学扫描类型
- 线性扫描速率范围 0.01A/s — 2A/s 、最大扫描电流设置范围 0.1mA — 5A DC

► 自动控制

- 标准配备 RS-232C 计算机接口和易用的接口特性 ——适用于自动化测量
- 标准配备内部 USB—RS-232C 转换接口 ——提高计算机串行端口容量
- 完备的计算机接口命令集 ——通过程控完全操作各项功能
- 触发输出同步功能 ——确保测量实时性，适用于系统应用
- 扫描过程中的定时连续触发输出功能 ——便于进行与扫描相关的同步测量

► 交互能力

- 白色背光 FSTN LCD 显示器——任何灯光条件下均清晰可读
- 必备的 LED 状态指示器
- 与显示器和指示器配合的 3×4 键交互型功能键盘操作

► 标准规格

- 提供用户手册
- 3U 台式仪器，交流 $220\text{V}/50\text{Hz}$ 供电 ——适于台式应用

1.6 固件版本

本产品的固件版本可通过接口查询 *IDN? 返回的 17 位产品序列号读出，如图 1-1 所示，也可于开机检测或恢复出厂设置时于显示器中显示。

图 1-1 由序列号中读出 F2031 的固件版本

F	2	0	3	1	0	0	0	1	0	9	0	7	1	0	X	X
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Firmware Version: X.X

FIG-MAN-F2031-0001

1.7 技术性能规格

表 1-2 为 F2031 程控功率电流源的技术性能规格，其中各项于 25±10℃ 温度范围内均为可保证指标。

表 1-2 技术性能规格

TAB-MAN-F2031-0002

技术指标	符号	单位	测试条件	最小值	典型值	最大值
输入						
交流电源电压 RMS	Vac	V	Fac=50Hz	209	220	231
交流电源频率	Fac	Hz	Vac=220V	48	50	60
视在功率	Papp	kW	220V/50Hz	---	1.2	1.5
温度和湿度						
使用温度 ^[1]	Tamb	℃	额定准确度	15	25	35
存储温度	Tst	℃	受 LCD 显示器限制	0	---	55
相对湿度	Hamb	%	Tamb=31℃	---	---	80
直流电流输出						
输出范围	IRng	A	---	-5	---	5
步进分辨率	IRes	mA	---	---	0.05	---
准确度	AI	---	Tamb=15—35℃	±(0.05%设置值+0.25mA)		
噪声/纹波 RMS Iout=5A	NRrms	mA	RL=10Ω+100mH	---	1	---
噪声/纹波 Ip-p Iout=5A	NRp-p	mA	RL=10Ω+100mH	---	6	---
温度系数	IdT	ppm/℃	Tamb=15—35℃	---	---	±5
短期稳定度	STI	ppm/h	Tamb=23℃	---	---	30
输出阻抗/负载效应	RIO	MΩ	直流	2.5	---	---
电源调整率	PSRR	ppm/V	额定交流输入范围	---	---	5
电流线性渐变速率	IRR	A/s	---	0.01	---	2
输出高阻态漏电流	IOFF	mA	RL<500Ω	---	---	0.1
灌入电压容限	VINT	V	RL=∞	---	---	80

表 1-2 技术性能规格 (续)

TAB-MAN-F2031-0002

技术指标	符号	单位	测试条件	最小值	典型值	最大值
输出电压						
有效输出范围	VRng	V	---	-60	---	60
开路输出电压	Voc	V	---	75	80	85
输出高阻态开路电压	VOOC	V	输出端开路	---	---	± 0.1
输出功率						
最大输出功率	POM	W	RLDC=12 Ω Iout=5A	---	---	300
电流换向						
换向前延迟时间	TDF	s	---	1	---	5
换向后延迟时间	TDA	s	---	1	---	3
换向电流冲击	IRS	mA	RLDC=12 Ω TDF=5s	---	0.2	1
负载适应性						
直流电阻	RLDC	Ω	Iout=5A DC	1	---	12
时间常数	LL	H/ Ω	1H/ Ω =1s	0	1	2
电流扫描						
电流扫描速率	ISRR	A/s	---	0.01	---	2
扫描最大电流	ISMAX	A	SWA、SWB SWC、SWD	0.001	---	10
换向前延迟时间	TDF	s	---	1	---	5
换向后延迟时间	TDA	s	---	1	---	3
预热						
预热时间 ^[2]	Twm	min	Tamb=15°C-35°C	5	30	---
物理参数						
宽度	W	mm	---	---	247	250
高度	H	mm	不含脚钉	---	132	133
深度 ^[3]	D	mm	不含突出部件	---	462	465
质量	Wgt	kg	不含附件和包装物	---	7	8
运输全重	Ws	kg	标准配置	---	20	25

注

[1] 环境温度 15—35°C 范围内达到额定准确度, 5—40°C 范围内准确度下降。

[2] 每次开机上电后, 至少预热 5 分钟。至少预热 30 分钟后达到额定准确度。

[3] 突出部件可能包括: 连接器、散热器和尼龙撑垫。

表 1-3 为 F2031 程控功率电流源的补充技术性能规格。

表 1-3 补充技术性能规格

TAB-MAN-F2031-0003

技术指标	描述	备注
RS-232C 计算机接口		
连接器	标准 9 针 D-Sub 型插座 (DB9)	Female
波特率	300、600、1200、4800、9600	bps
内置 RS-232C 转 USB 计算机接口		
连接器	USB Standard-B Socket	兼容 USB1.1 规范
波特率	300、600、1200、4800、9600	bps
显示和键盘		
显示器	128×64 图形点阵白色背光 FSTN LCD	65mm×37.5mm
键盘	12 键功能键盘	双色
常规触发		
触发方式	Off、On、On+♪	♪为声响提示
触发输出延迟时间	0—5s，步进 0.1s	---
触发输出连接器	标准 BNC 插座	---
外部触发电平	TTL 兼容、下降沿有效	内部 1kΩ限流
耐压容限	-15VDC—+15VDC	---
扫描触发		
触发方式	Off、On、On+♪	♪为声响提示
触发输出间隔时间	0.1—2s，步进 0.1s	---
触发输出连接器	标准 BNC 插座	---
外部触发电平	TTL 兼容、下降沿有效	内部 1kΩ限流
耐压容限	-15VDC—+15VDC	---
负载保护		
保护方式	标准 BNC 插座	常闭温度开关
电流输出连接器		
连接器	2 芯多用途接线柱	---
电流容量	>20A	冷压接线片连接
	>10A	香蕉插头连接

图 1-2 为 F2031 程控功率电流源开机后的标准显示界面。

1.8 校准期限

F2031 的校准期限为 2 年。

F2031 于出厂时进行校准，并保证由出厂之日起 2 年内仪器各项性能完全符合表 1-2 所述指标。到达校准期限时，用户可将 F2031 仪器本体寄回北京乐真科技有限公司进行校准。

对于新购产品，北京乐真科技有限公司提供 1 次免费校准服务。对于其后的校准，服务条款请参阅 A 页内容。

将产品寄回乐真科技时，请参阅 2.2 中的内容进行包装和运输，并于包装箱外表面明显位置粘贴图 2-1 所示保护标志，以尽量避免仪器在运输过程中可能受到的损伤。如果可能，请尽量于仪器寄出前通过电话或电子邮件与我们联系，确认校准事宜。

图 1-2 F2031 的标准显示界面

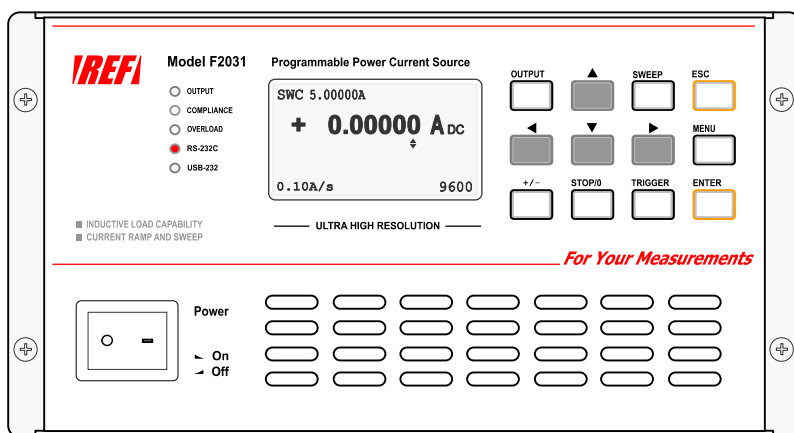


FIG-MAN-F2031-0002

1.9 重要操作事项提要

交流电源

1. 正确的交流输入线电压 ——2.4.1 (2-5)、2.5.1 (2-9)
2. 正确的交流输入频率 ——2.4.1 (2-6)
3. 可靠接地 ——2.4.1 (2-6)、3.22.2 (3-29)
4. 更换保险 ——2.4.1 (2-6)
5. 使用正确的保险 ——2.4.1 (2-6)、2.5.1 (2-9)

后面板操作

1. 不可带电操作 RS-232C 电缆 ——2.4.2 (2-7)、5.2.2 (5-1)
2. 不可带电进行后面板连接 ——2.5.1 (2-9)
3. 使用足够电流容量的输出电缆 ——2.4.3 (2-7)
4. 避免使用电流容量不足的香蕉插头 ——2.4.3 (2-8)
5. 不可在正常输出状态下开机操作负载 ——2.4.3 (2-8)、3.8.1 (3-11)
6. 选择正确的输出端额外并联电容 ——3.13.2 (3-17)
7. 安全安装输出端额外并联电容 ——3.13.2 (3-17)、3.13.2 (3-18)

仪器操作

1. 设置足够长的换向延迟时间 ——3.6.3 (3-9)
2. 不可超出输出端浮动耐压容限 ——3.22.1 (3-28)

外部触发输出

1. 可耐受的最大输入电平限制 ——3.16.4 (3-21)

运输和安装

1. 粘贴保护标志 ——2.2 (2-1)
2. 避免单人拆封和取出仪器 ——2.3.1 (2-1)
3. 拆除橡胶底脚时避免单人倒置仪器 ——2.3.2 (2-2)、2.3.2 (2-3)
4. 保留安全散热间距 ——2.3.3 (2-4)
5. 避免热量耦合和电磁干扰 ——2.3.4 (2-4)

安 装

2.1 简介

本章包含 F2031 程控功率电流源的安装方法和后面板接线方法。其中 2.2 为包装物，2.3 为仪器的安装方法，2.4 为后面板详解和电缆连接，2.5 为初始设置和系统检测流程。

2.2 包装物

产品开封并检查确认后，请妥善保存包装木箱、内部填充物和包裹保护袋。

将 F2031 仪器及其附件等部件返回北京乐真科技有限公司进行校准、维护、维修或更换时，请将仪器使用保护袋包裹，并使用原厂填充物保护，重新包装于原厂木箱内，使用足够数量的自攻螺钉将木箱盖板封好，并于木箱外表面明显处粘贴运输标签和图 2-1 所示“易碎物”、“向上”及“怕雨”等保护标志。

图 2-1 运输时需粘贴的保护标志

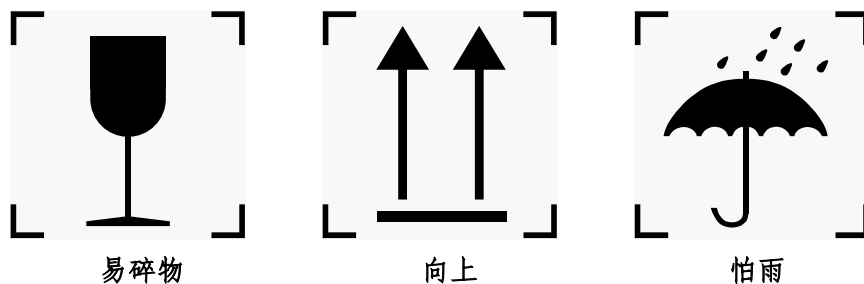


FIG-MAN-F2031-0003

2.3 安装方法

F2031 为 3U 台式仪器，尺寸为 W×H×D=247mm×132mm×462mm，适于桌面使用。

2.3.1 桌面安装

F2031 机箱底板配置 4 只橡胶底脚以支撑仪器的全部重量。F2031 的总质量超出 7kg，因此桌面及其支撑结构必须可承受至少 15kg 重量。置于桌面使用时，请务必保证桌面水平，并且机箱 4 只橡胶底脚均须与桌面牢靠接触。请尽量将 F2031 置于桌面中心，以防桌面和仪器由于重心偏移发生翻覆，从而保证操作者的人身安全，以及仪器的妥善放置。

警告

仪器总质量较大，将仪器由包装中移至桌面的过程中请务必小心操作，以保证操作者的人身安全。如果可能，请尽量保证在至少 2 人在场的情况下完成此操作。

2.3.2 保留安全散热间距

F2031 内部采用强制风冷散热，进气口位于前面板和顶板前部，出气口均位于后面板。

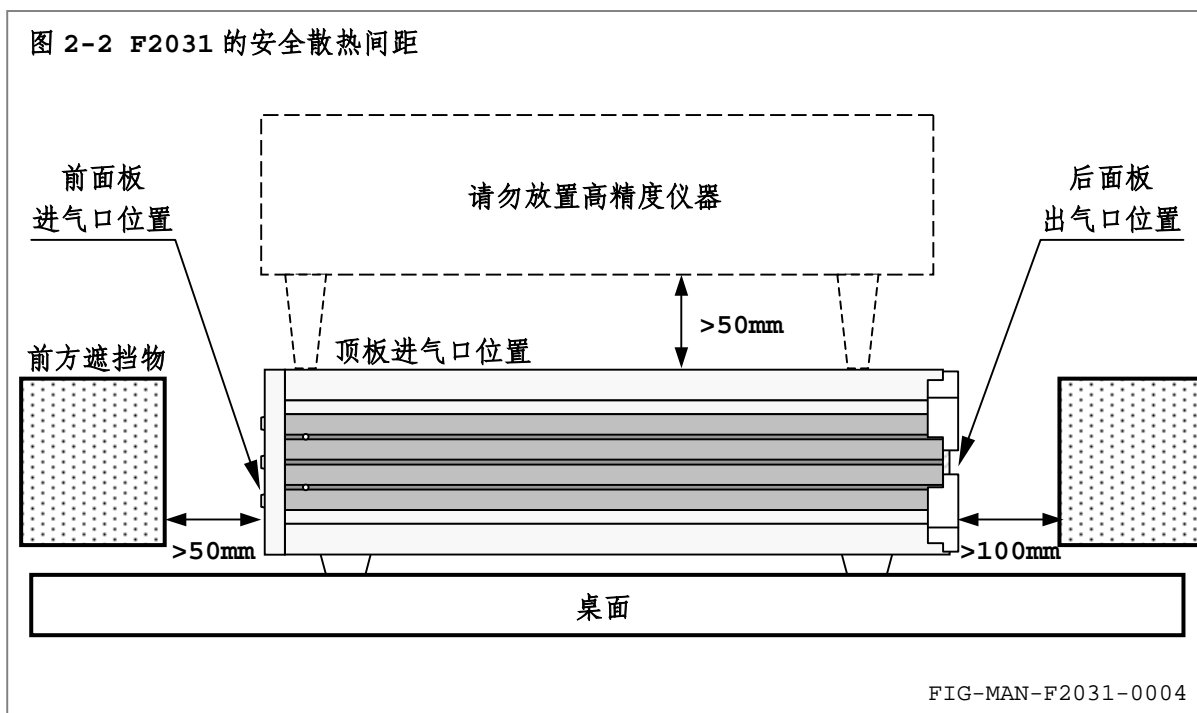
前面板面对操作者时，主散热器位于机箱左侧，并与后面板相应位置的出气口相对。主散热风扇位于机箱内部，由前面板和顶板的进气口将空气导入散热器，并由相应的出气口排出。

此外后面板还配置一只辅助散热风扇。前面板面对操作者时，辅助风扇安装于机箱右侧的后面板上。辅助风扇将电源内部的其余热量排出，并保证内部电路稳定工作。

无论桌面放置，或者机柜安装，均应保留足够的安全散热间距。切勿遮挡或封闭进气口和出气口，否则可能导致仪器内部过热，并造成输出电流准确度下降。长时间无法正常散热可能导致仪器内部电路损毁。

通常，机箱前面板和顶板均应保留至少 50mm 散热间距，后面板应保留至少 100mm 散热间距。如果 F2031 上方需要放置其它仪器，请务必使用高度不小于 50mm 的支脚抬高上方仪器，并确保不遮挡顶板上的进气口，如图 2-2 所示。

图 2-2 F2031 的安全散热间距



2.3.3 避免热量耦合和电磁干扰

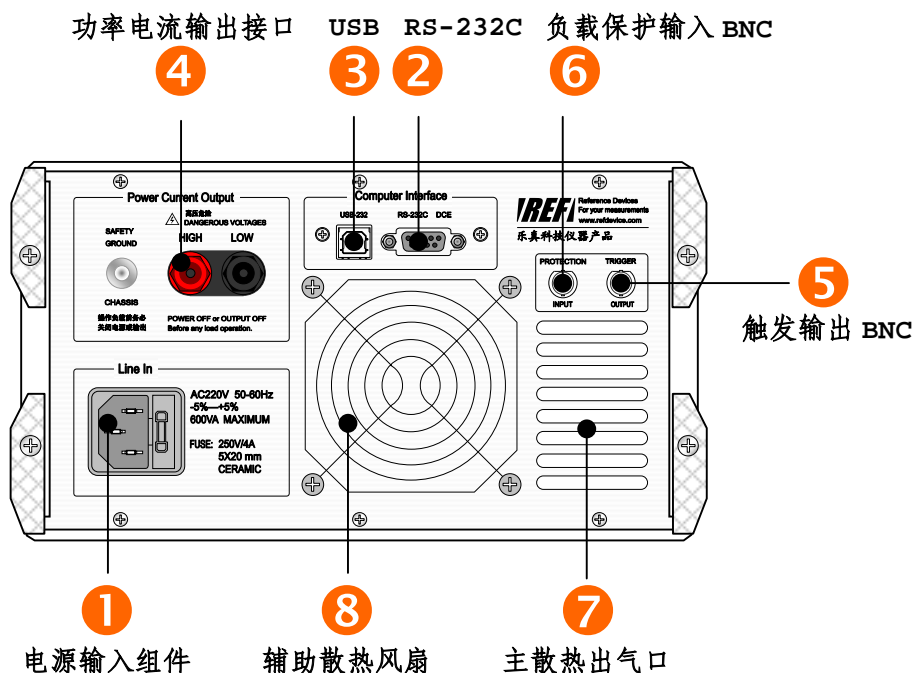
长期工作时 F2031 主散热器的热量将通过金属底板传导至机箱体，并使机箱顶板温度上升。因此请勿将高精度仪器放置于 F2031 上方，以避免高精度仪器产生明显的温度漂移。

F2031 属于大功率设备，虽然已经施加屏蔽措施，工作中的 F2031 周围仍可能存在微弱的电磁干扰，尤其于顶板进气口附近以及前面板等屏蔽薄弱的位置更为严重。因此请尽量将对电磁干扰敏感的仪器及其电缆远离 F2031，或者采取更为严格的屏蔽措施，例如使用屏蔽罩和屏蔽电缆，以保证这些仪器的正常工作。

2.4 后面板详解和电缆连接

F2031 后面板包括①电源输入组件、②RS-232C 接口、③USB 接口、④功率电流输出接口、⑤触发输出 BNC 插座、⑥负载保护输入 BNC 插座、⑦主散热出气口和⑧辅助散热风扇，共 8 部分，如图 2-3 所示。以下各节分别对上述 8 部分及其电缆连接方法进行描述。

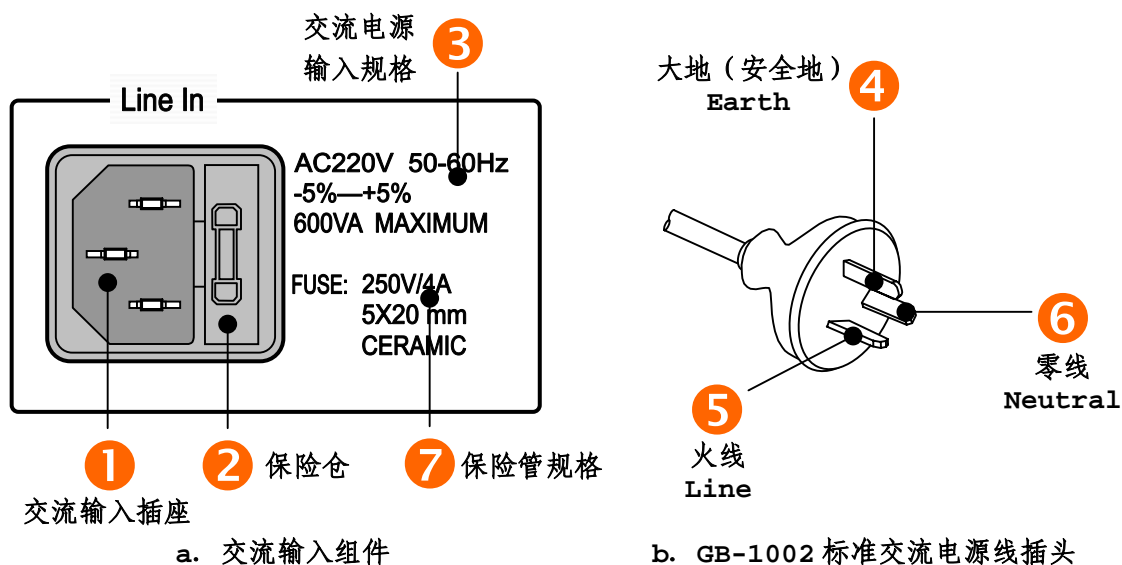
图 2-3 F2031 后面板详解



2.4.1 电源输入组件

电源输入组件通过电源线为 F2031 提供交流电源。电源输入组件包括：①交流输入插座，和②保险仓。如图 2-4a 所示。请仔细阅读 F2031 后面板左上方标示的③“交流电源输入规格”，由交流电源插座输入的交流电压和频率必须严格位于此规格限制范围内。

图 2-4 电源输入组件和交流电源线插头



警告

输入交流电压低于后面板标示的输入线电压时，将造成仪器无法正常运行。
高于后面板标示的输入线电压时，将造成仪器损毁及可能的电击或火灾事故。

警告

输入交流电源频率必须位于后面板标示的频率范围内，否则可能导致峰值大于 5.0 毫安的漏电流，并可能造成可能的电击、火灾事故或仪器损毁。

交流输入插座与附件 CAB-AC250-052 交流电源线匹配，其中交流电压连接至交流输入插座中外侧 2 导体上，中间导体为大地（安全地），并与机箱体及金属底板相连。

附件 CAB-AC250-052 插头及端子定义符合 GB-1002 标准，其中：④中心导体为大地（安全地）、两侧导体⑤和⑥分别为火线（L）和零线（N），如图 2-4b 所示。此插头必须可靠连接至符合国家相关安全标准且可靠接地的 3 端 220 伏特单相交流电源插座或适配器，并保证④中心导体与大地之间的良好连通性。

警告

接地不良可能导致仪器机箱体、传感器和附件的导电部分感应带电，并造成可能的电击事故或仪器运行故障。

首次开启 F2031 前，必须在未连接交流电源线的前提下取出保险仓中的保险管，并依据后面板左下方标示的⑦“保险管规格”确认其适用性。请务必使用与此规格相符的保险管。

警告

检查及更换保险管前，必须首先由电源输入组件中取出电源线，否则可能导致严重的电击事故。

警告

保险管的电压和电流容量与后面板表示不符，可能导致电击和火灾事故。禁止使用修复的保险管或用导体代替保险管，否则将导致电击和火灾事故。

2.4.2 RS-232C 和 USB-232 接口

F2031 配置标准 RS-232C 计算机接口，并于后面板配置 9 针 D 型连接器，采用 DCE 设置，通过附件 CAB232DCE-3 串行电缆连接至计算机的串行端口的 9 针 D 型连接器，或配合可选附件 CONV232-9-25 连接至计算机的 25 针串行端口，串行端口及其配置请参阅第 4 章中的相应内容。

图 2-5 计算机接口连接器以及使用 USB 电缆连接 F2031 和计算机

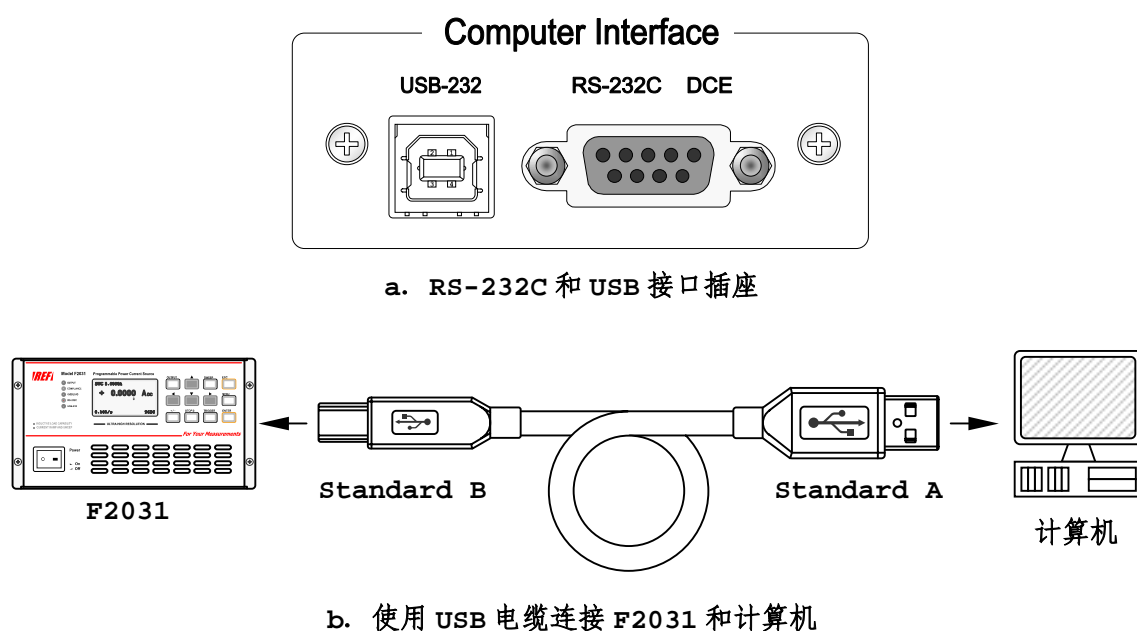


FIG-MAN-F2031-0007

除标准 RS-232C 接口外, 为避免计算机串行接口资源缺乏问题, F2031 内部将标准 RS-232C 接口转换为 USB1.1 兼容接口, 并于后面板配置 USB Standard B 插座, 通过附件 CAB-USB-AB2 连接至计算机的 USB Standard A 插座。

RS-232C 和 USB-232 接口可通过前面板键盘切换, 请参阅 3.20 中的相应内容。

RS-232C 和 USB-232 接口如图 2-5a 所示。USB 电缆连接如图 2-5b 所示。

2.4.3 功率电流输出接口

F2031 配置 2 芯多用途功率接线柱, 如图 2-6 所示, 其中电流为正向输出时, 电流由①红色接线柱流出, 经过负载后由②黑色接线柱流入。

2 芯功率接线柱左侧的裸露金属接线柱为③安全接地端子, 端子在仪器内部连接至底板和机箱体, 并经由电源输入组件的中间导体通过 3 芯单相交流电源线的接地线与安全地相连。三芯单相电源线及其连接方法请参阅 2.4.1 中的详细内容。

负载样品存在导电表面或外壳时, 建议将此导电表面或外壳牢固连接至③安全接地端子, 以策操作者的人身安全。F2031 为浮动电流输出, 因此即使导电表面或外壳与 F2031 电流输出端存在电气连接关系, 也可安全接地。不可将与 F2031 电流输出端存在电气连接关系的不同电位导电表面或外壳同时接地, 否则将可能造成负载电流的显著误差。

图 2-6 功率电流输出 2 芯接线柱和安全接地端子

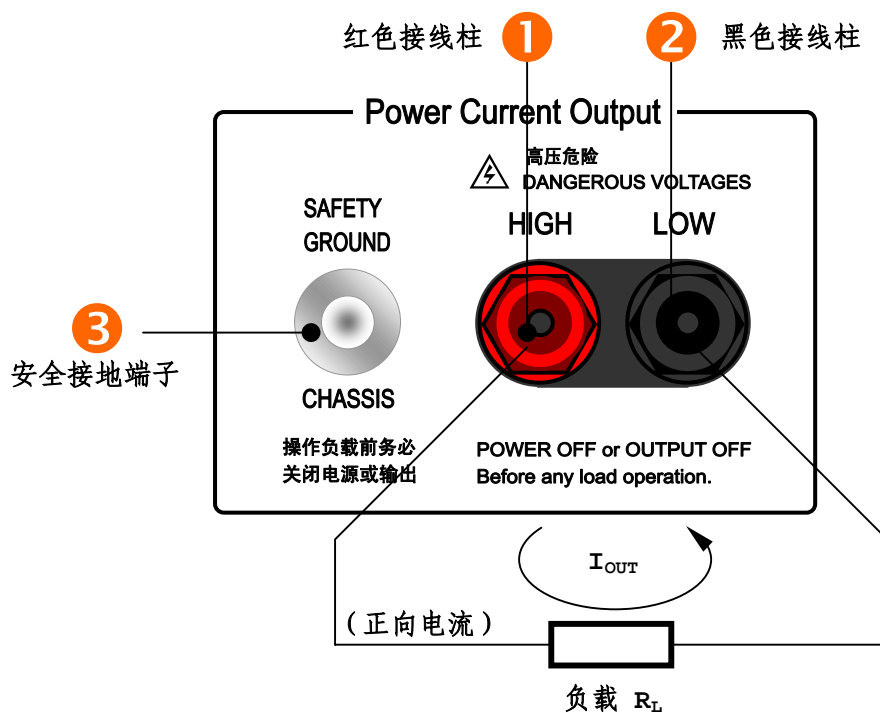


FIG-MAN-F2031-0008

F2031 的最大输出电流为 5A。为保证足够的电流容量并避免长期工作时的发热现象, F2031 与负载之间的连接电缆芯线截面积应不小于 2mm^2 , 并优选为大于 2.5mm^2 。

警告

F2031 与负载之间的连接电缆芯线截面积不足时, 将导致长时间工作过程中电缆发热。过小的芯线截面积可能造成火灾事故, 并可能造成针对操作者的电击事故。

F2031 的输出直流电压可达到 60V 以上，最大开路输出电压为 80V，均高于安全电压限制。因此在操作负载时，必须关闭电源，或者在开机状态下将输出端设置为高阻状态，以避免操作负载过程中输出端开路时产生的高压对操作者人身安全的威胁。输出端状态及其设置方法请参阅 3.8 中的详细内容。

警告

开机且输出端为正常输出状态时操作负载可能造成针对操作者的电击事故。

可通过 3 种方法连接负载与 F2031 功率电流输出接线柱：

（1）冷压接线片连接：

建议用户采用冷压接线片方式处理负载电缆，并与 F2031 的电流输出接线柱连接，以保证最大的电流容量和最牢靠的连接强度。由于 F2031 的 2 芯功率接线柱的柱头无法完全旋出脱离金属接线柱芯，因此应采用双叉式而非圆形中心孔式冷压接线片。

使用冷压接线片连接时，每一功率接线柱具有高于 20A 的电流容量。

（2）电缆直接连接：

剥去来自负载的具有多股芯线的电缆自由端的绝缘外皮，并露出长度为 10mm 的多股铜质芯线。使用适用的工具将暴露的多股芯线旋为一股，以避免连接过程中的芯线外露和由此造成的可能的短路故障。旋松 2 芯功率接线柱的柱头，暴露出金属接线柱芯上的接线孔。将处理完成的红色和黑色电缆暴露的芯线分别插入对应颜色接线柱的金属接线孔后用力旋紧柱头。

采用电缆直接连接时，每一功率接线柱具有高于 20A 的电流容量。但在长期使用时，电流容量也可能由于暴露铜质芯线表面的氧化而逐渐降低。

（3）香蕉插头连接：

如果负载电缆的自由端已制备为香蕉插头，可首先旋紧柱头，而后将红色和黑色电缆的香蕉插头插入对应颜色的柱头接线孔内。

采用香蕉插头连接时，每一功率接线柱具有高于 10A 的电流容量。

香蕉插头的金属部分必须采用铜质，且其弹片必须具有良好的弹性，以保证与柱头接线孔内壁的良好接触。劣质香蕉插头的金属部分电阻较大，且弹片软薄，其与柱头内壁的接触电阻过大，因而无法保证足够的电流容量。

虽然 F2031 配置的双接线柱间距为标准间距，可与常见的双香蕉插头匹配，然而由于双香蕉插头的设计电流容量通常较小，通常不建议用户使用双香蕉插头处理负载电缆的自由端，以及与 F2031 连接。

警告

使用电流容量不足的香蕉插头将造成接触点发热。接触点的热量累积可能造成香蕉插头塑料部分软化，并可能导致火灾事故。

2.4.4 触发输出 BNC 接口

F2031 配置触发输出 BNC 接口，如图 2-7 所示。

BNC 插座为触发输出接口，与单芯线屏蔽电缆的标准 BNC 插头匹配。用户可制备或使用成品 BNC 屏蔽电缆完成 F2031 与可接收触发控制信号的仪器之间的连接。

BNC 插座的中心导体为触发信号，外壳为触发信号地。触发信号地与机箱底板、机箱体和安全地等电位。触发信号兼容标准 TTL 电平，依照国际惯例，触发信号下降沿有效。

触发输出的电学性能及其应用请参阅 3.16 和 3.17 中的详细内容。

图 2-7 触发输出 BNC 接口

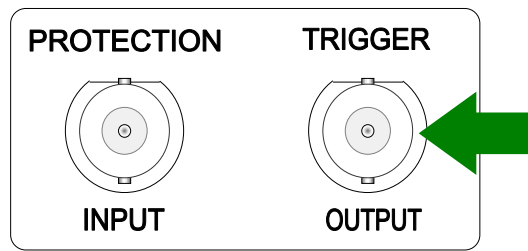


FIG-MAN-F2031-0009

2.4.5 负载保护输入 BNC 接口

F2031 配置负载保护输入 BNC 接口，如图 2-8 所示。

图 2-8 负载保护输入 BNC 接口

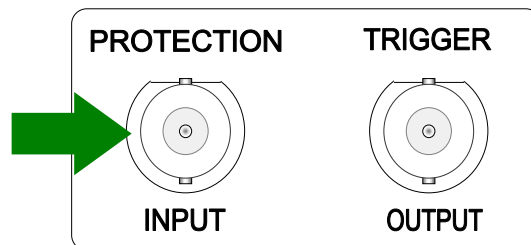


FIG-MAN-F2031-0010

BNC 插座为触发输入接口，并与单芯线屏蔽电缆的标准 BNC 插头匹配。用户可制备或使用成品 BNC 屏蔽电缆完成 F2031 与负载内部保护元件之间的连接。

通常，F2031 默认使用常闭的温度开关作为负载过热保护元件。温度高于关断阈值时，温度开关由闭合转换为断开状态，F2031 识别此断开状态并通过关断输出电流保护负载。负载温度下降至闭合阈值时，F2031 脱离保护状态并允许用户对输出电流进行操作。

此外，负载保护输入 BNC 接口也可识别 TTL 兼容电平，用户可使用其他负载保护装置对负载进行过热保护，此装置可使用继电器或 TTL 电平输出至 F2031，并遵循 F2031 的保护逻辑。

负载保护的详细内容请参阅 3.20。

2.5 初始设置和开机检测

2.5.1 上电之前

以下流程务必于上电前执行，以策使用者的人身安全、使用环境安全以及仪器安全。

1. 确认前面板电源开关位于关闭（O: Off）位置，且电源线已由电源输入组件中取出。
2. 将直流电阻为 10Ω 、耗散功率容量大于 $1000W$ 的负载通过芯线截面积大于 $4mm^2$ 的电缆连接至后面板 2 芯功率电流输出接线柱，并将负载通过安全接地端子妥善接地。
3. 上电前完成后面板其他电缆（包括 RS-232C 接口/USB 接口和触发输出）连接，并确保连接状况良好。

警告

作为原则性的操作规程，进行后面板连接前，必须首先关闭本仪器，否则可能造成仪器或与之连接的设备损毁。

4. 检查输入交流电压是否位于后面板标示的输入线电压范围内。

警告

输入交流电压低于后面板标示的输入线电压时，将造成仪器无法正常运行。
高于后面板标示的输入线电压时，将造成仪器损毁及可能的电击或火灾事故。

5. 检查电源输入组件中保险管的型号是否与后面板的标示相同。

警告

保险管的电压和电流容量与后面板表示不符，可能导致电击和火灾事故。
禁止使用修复的保险管或用导体代替保险管，否则将导致电击和火灾事故。

2.5.2 开机检测

完成上述检查后，将电源线 CAB-AC250-052 插入电源输入组件，即可进入开机检测流程：

6. 拨动前面板电源开关至开启（I: On）位置，前面板显示器显示如图 2-9 所示启动画面：

图 2-9 F2031 的开机启动画面



FIG-MAN-F2031-0011

7. 约 1 秒后，进入图 2-10 所示开机检测界面：

图 2-10 F2031 的开机检测界面

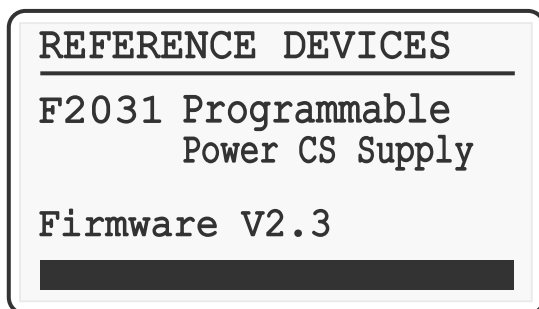


FIG-MAN-F2031-0012

8. 开机检测完成后，进入图 2-11 所示标准显示界面：

注

为达最佳效果，仪器使用前应至少预热 5 分钟。至少预热 30 分钟后达到额定准确度。

9. 将万用表直流电压档量程设置为大于 100V DC。

按 **OUTPUT** 键将输出端设置为正常输出状态，允许电流输出。

图 2-11 F2031 的标准界面

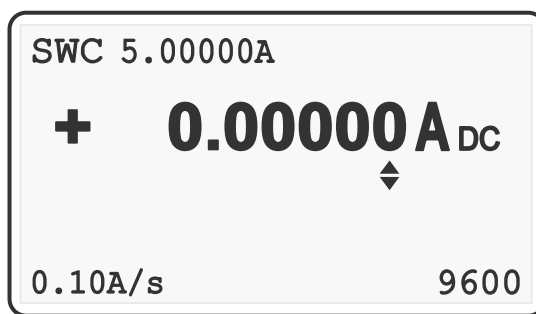


FIG-MAN-F2031-0013

按 **ENTER** 键进入电流设置界面。使用 **◀**、**▶** 键在各位中移动并使用 **▲** 和 **▼** 键设置输出电流为+1.0000A, 按 **ENTER** 键确认并返回标准显示界面等待至少 10 秒。使用万用表测量负载两端而非 F2031 后面板接线柱之间的电压, 电压约为 10V。

按 **OUTPUT** 键将输出端设置为高阻状态并断开负载连接。按 **OUTPUT** 键允许电流输出, 此时前面板 LED 指示器中的“COMPLIANCE”指示灯应闪烁。切勿接触功率电流输出接线柱及与其有电气连接的任何部件。按 **OUTPUT** 键将输出端设置为高阻状态, 禁止电流输出, 并关机。

注

如果仪器至此步骤均操作良好, 则 F2031 基本功能正常。

10. 成功完成上述检测流程后, 仪器即可投入正常使用。请进入第 3 章得到关于 F2031 的完整操作信息。

<本页为空页>
This Page Intentionally Left Blank

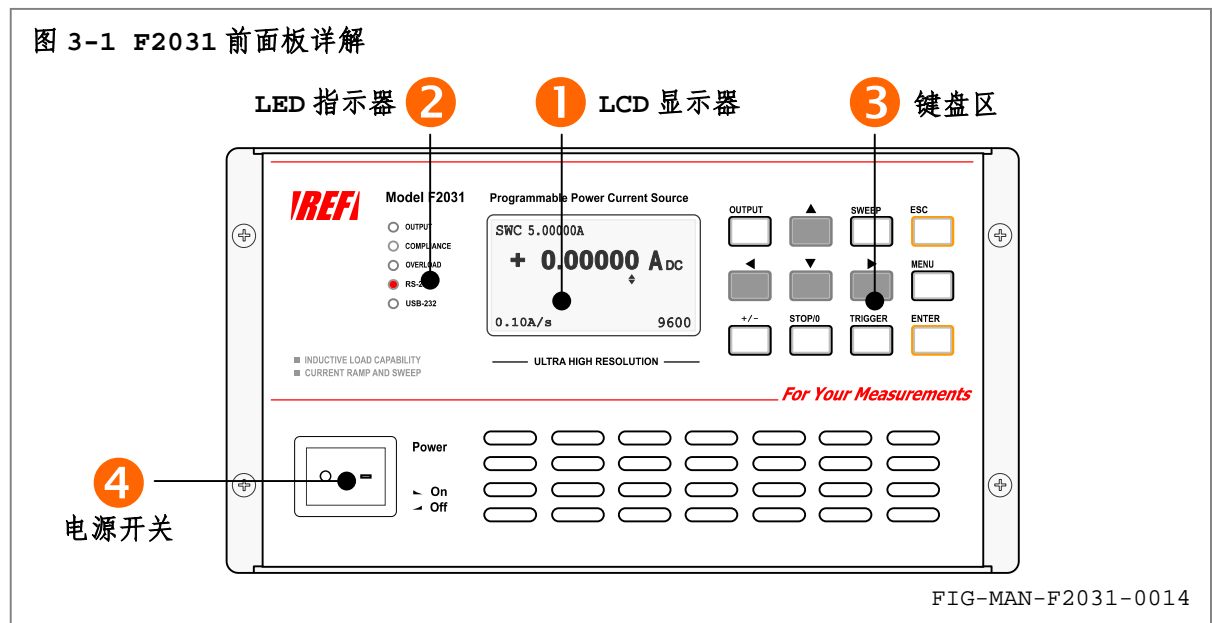
操作

3.1 简介

本章包含 F2031 程控功率电流源的操作方法。3.2 为前面板详解，3.3 为键盘操作方法，3.4 为设置输出电流，3.5 为电流线性渐变输出方式，3.6 为电流方向和换向延迟时间，3.7 为输出电压范围和负载直流电阻限制，3.8 为设置输出端状态，3.9 为电流设置停止和快速归零，3.10 为电流扫描，3.11 为输出电流准确度，3.12 为输出阻抗，3.13 为输出补偿网络，3.14 为电流纹波，3.15 为常规触发输出，3.16 为扫描触发输出，3.17 为测量负载两端电压，3.18 为键盘锁，3.19 为负载保护，3.20 为设置计算机接口，3.21 为恢复出厂设置，3.22 为接地关系，3.23 为键盘菜单结构。

3.2 前面板详解

F2031 程控功率电流源前面板包括①LCD 显示器、②LED 指示器、③键盘区和④电源开关共 4 部分，如图 3-1 所示，并详解如下：



3.2.1 LCD 显示器

F2031 使用 128×64 图形点阵白色背光 FSTN LCD 显示器，如图 3-2 所示。LCD 显示器根据功能划分为：

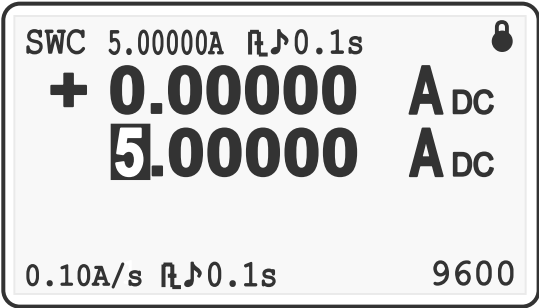
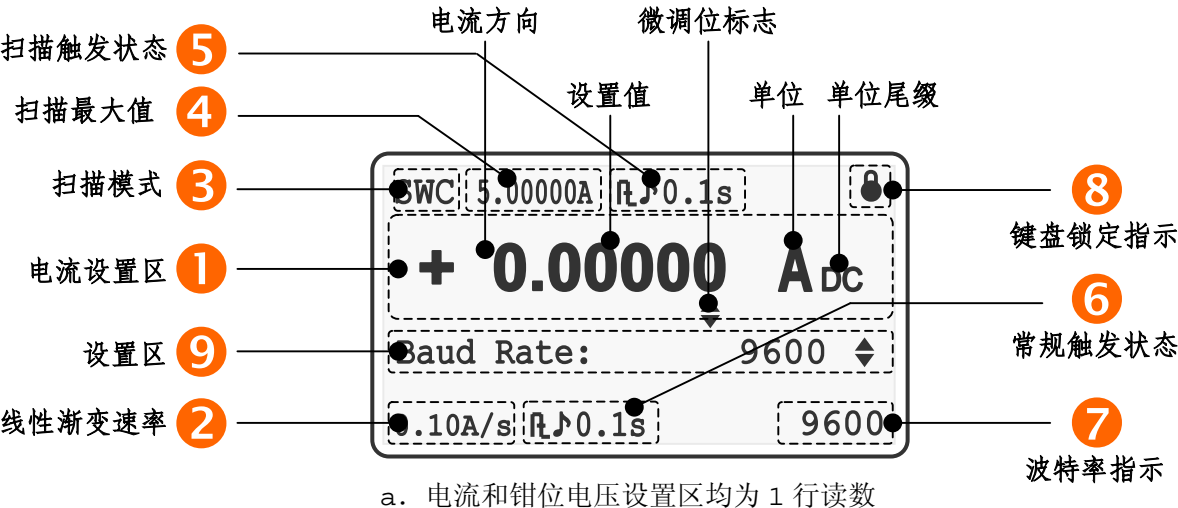
① 电流设置区：设置输出电流。

标准显示界面下，电流设置区为单行，显示当前输出电流，并于输出电流的低 4 位中的一位下方显示微调位标志，如图 3-2a 所示。进入输出电流设置界面时，电流设置区为双行，第 1 行显示当前输出电流，第 2 行显示电流设置值，设置位反转显示，如图 3-2b 所示。当前输出电流值和电流设置值单位为安培 A， $1\text{A}=10^3\text{mA}=10^6\mu\text{A}$ 。单位尾缀均为 DC。

② 线性渐变速率：显示当前设定的电流线性渐变速率，电流扫描同样遵循此速率。

- ③ 扫描模式：显示当前扫描模式 SWA、SWB 或 SWC。
- ④ 扫描最大值：显示当前设定的扫描最大值，扫描最大值无符号。
- ⑤ 扫描触发状态指示：显示扫描触发的方式、间隔时间和声响提示状态。
- ⑥ 常规触发状态指示：显示常规触发方式、延迟时间和声响提示状态。
- ⑦ 波特率指示：显示当前波特率，单位为 bps (bit per second)。
- ⑧ 键盘锁定指示：显示键盘锁定状态。
- ⑨ 设置区：设定各项参数时的设置界面。

图 3-2 LCD 显示器功能区域划分



b. 电流设置区为 2 行读数

FIG-MAN-F2031-0015

图 3-3 F2031 的 LED 指示器

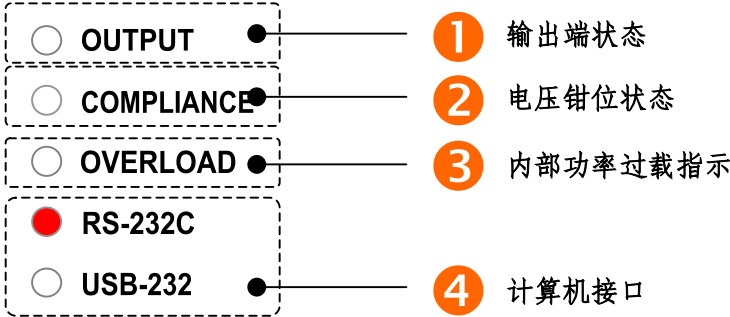


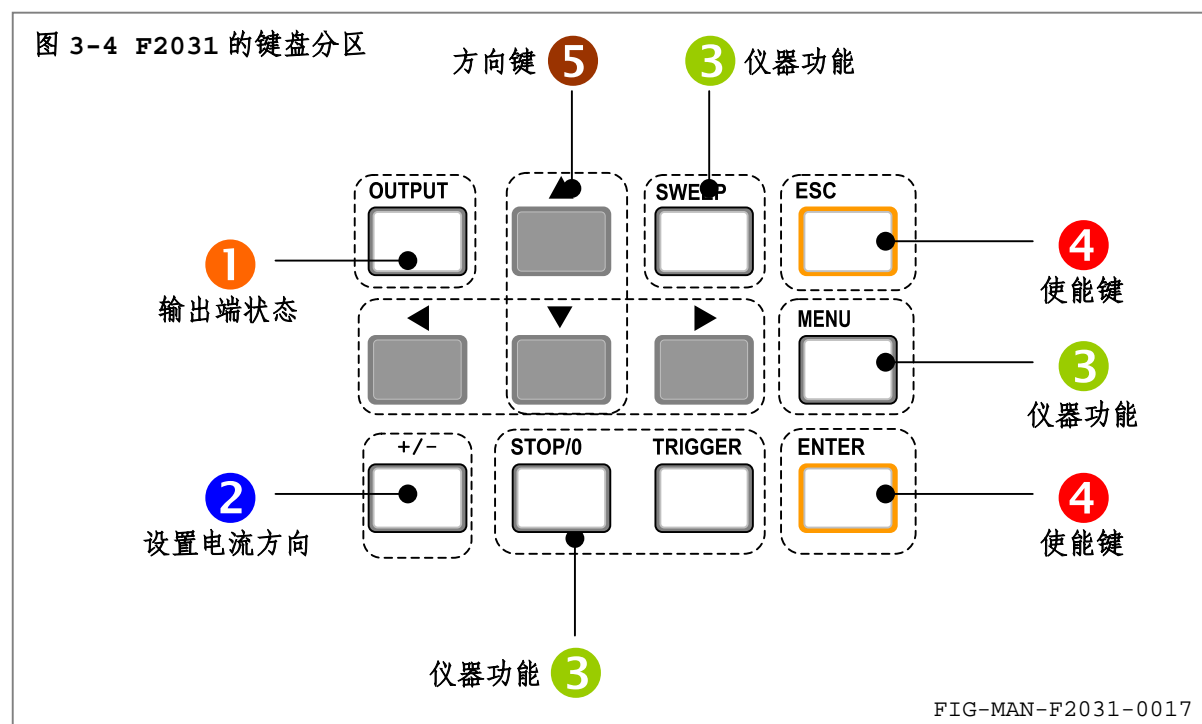
FIG-MAN-F2031-0016

3.2.2 LED 指示器

LED 指示器用于指示①输出端状态、②电压钳位状态、③内部功率过载指示和④计算机接口等参数选项，LED 点亮时，对应功能处于开启状态，如图 3-3 所示。

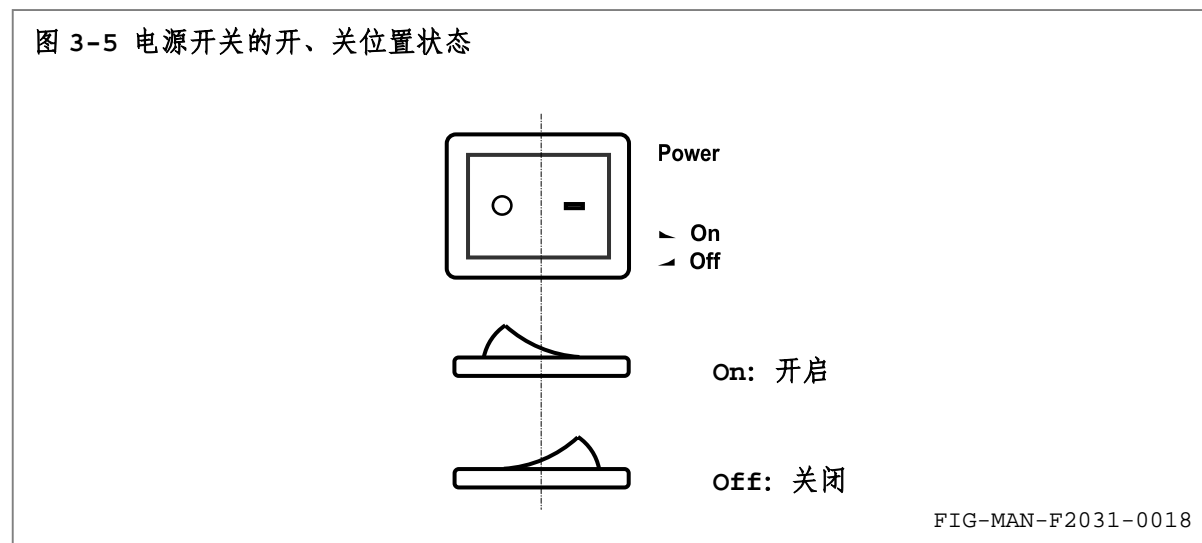
3.2.3 键盘区

F2031 的键盘依据功能划分为①输出端状态、②设置电流方向、③仪器功能、④使能键和⑤方向键共 5 部分，如图 3-4 所示。



3.2.4 电源开关

F2031 的电源开关采用船形开关，开、关位置状态如图 3-5 所示。



3.3 前面板键盘定义

以下为前面板键盘功能定义，后续章节将提供对应各种功能的键盘操作详细描述。

❶ 输出端状态：

OUTPUT：切换输出端状态为正常输出/高阻状态。

❷ 设置电流方向：

+/-：标准显示状态下切换电流方向，电流设置界面中改变电流设置值的方向。

❸ 仪器功能：

TRIGGER：设置常规触发输出模式、延迟时间和声响提示状态。

设置扫描触发输出模式、间隔时间和声响提示状态。

MENU：设置计算机接口、串行通讯波特率、电流线性渐变速率、扫描模式、扫描最大值和电流换向延迟时间等各项高级功能。

SWEEP：根据扫描模式、扫描最大值、电流线性渐变速率等参数进行电流扫描。

STOP/0：标准显示状态下使输出电流归零。

电流设置完成但以线性渐变方式变化并未达到设置值时，停止线性渐变过程，并使当前输出停止于按下此按键时刻的电流值。

扫描过程中用于暂停扫描。

扫描暂停状态下用于停止扫描过程并使输出电流归零。

❹ 使能键：

ENTER：确认键，确认对某项参数的设置。

标准显示模式下用于进入电流设置界面。

扫描暂停状态下用于使扫描过程继续。

ESC：取消键，取消对某项参数的修改，以及恢复出厂设置。

❺ 方向键：

▲、**▼**：标准显示模式下对当前电流微调位进行数值设置，电流设置界面下对设置位进行输出电流设置，参数设置状态下用于选择参数值。

◀、**▶**：标准显示模式下选择当前电流微调位，电流设置界面下用于切换设置位。

3.4 设置输出电流

F2031 提供 2 种输出电流的键盘设置方法：微调 and 电流设置界面。

3.4.1 微调输出电流

标准显示界面下，当前输出电流值低 5 位（0.01mA/0.1mA/1mA/10mA/100mA 位）中某一位下方显示微调位。使用方向键 **◀** 和 **▶** 在低 5 位之间循环移动选择微调位。

选定微调位后，使用方向键 **▲** 和 **▼** 使微调位数值增加或减小 1（0.01mA 位数值增加或减小 5），如图 3-6 所示。输出端为正常输出状态且输出电压未达到钳位电压时，输出电流的变化与操作同步。

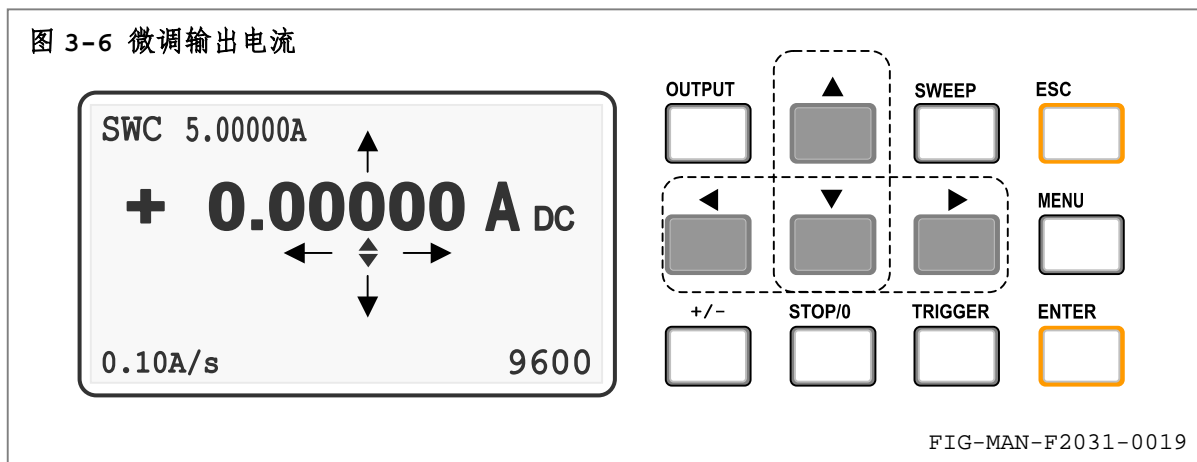
微调输出电流过程中，输出电流随微调操作同步生效，输出电流速率由负载的时间常数决定，与电流线性渐变速率无关。

微调输出电流遵循如下规则：

- ① 微调位为 9（0.01mA 位为 5），且按方向键 \blacktriangle 时，微调位数值为 0 并向高位进位。
- ② 当前输出电流为最大值 5.00000A 且按方向键 \blacktriangle 时，输出电流不变化。
- ③ 微调位+1（0.01mA 位+5）使输出电流大于最大值 5.00000A 时，输出电流限制为最大值。
- ④ 微调位为 0，且按方向键 \blacktriangledown 时，微调位数值为 9（0.01mA 位为 5）并向高位借位。
- ⑤ 微调位为 0，并且所有高位均为 0 时，按方向键 \blacktriangledown 后微调位之后的所有低位清零。

输出电流也可通过计算机接口命令 **CURFD**、**CURFUP** 和 **CURFDOWN** 实现微调控制，请参阅第 4 章中的相关内容。

图 3-6 微调输出电流

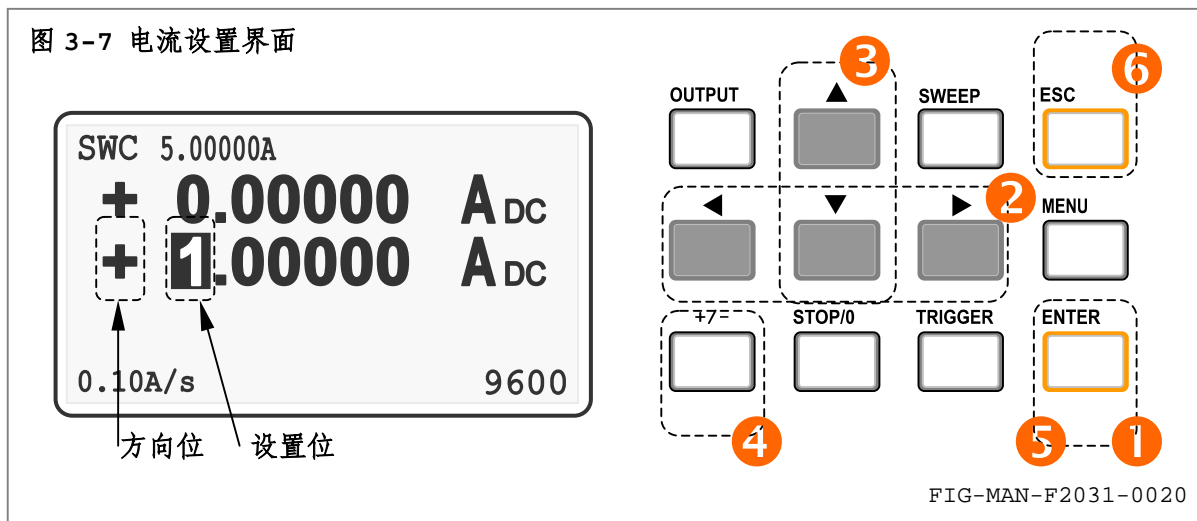


3.4.2 电流设置界面

标准显示界面下，请遵循以下步骤于电流设置界面中设置输出电流，如图 3-7 所示：

- ① 按 **ENTER** 键进入电流设置界面，第 2 行显示电流设置值，当前设置位反转显示；
- ② 使用方向键 \blacktriangleleft 和 \blacktriangleright 使设置位向左、右循环移动；
- ③ 使用方向键 \blacktriangle 和 \blacktriangledown 使设置位数值增加或减小 1（0.01mA 位增加或减小 5）；
- ④ 按 **+/-** 键切换电流设置值的方向位；
- ⑤ 设置完成后，按 **ENTER** 键确认使当前输出电流变化至电流设置值；或⑥按 **ESC** 键取消设置，当前设置电流维持设置前数值。

图 3-7 电流设置界面



通过电流设置界面设置输出电流遵循以下规则：

- ❶ 使用 **ENTER** 键确认电流设置值前，输出电流的大小和方向维持不变，设置过程中对各设置位和方向位的操作不影响当前输出电流。
- ❷ 设置位数值为 9（0.01mA 位为 5），且按方向键 **▲** 时，设置位数值为 0 并向高位进位。
- ❸ 设置位数值+1（0.01mA 位+5）使电流设置值大于最大值 5.00000A 时，电流设置值限制为最大值。
- ❹ 设置位数值为 0 且按方向键 **▼** 时，设置位数值为 9（0.01mA 位为 5）并向高位借位。
- ❺ 设置位数值为 0 且所有高位均为 0 时，按方向键 **▼** 后设置位之后的所有低位清零。

输出电流也可通过计算机接口命令 **CUR** 设置，或通过查询 **CUR?** 查询当前输出电流，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.5 电流线性渐变输出方式

3.5.1 电感性负载的时间常数

F2031 设计用于励磁应用，目标负载为具有强电感性的亥姆霍兹线圈、空心螺线管和小型电磁铁。这些负载具有相当大的电感值 L_{LOAD} (H)，并且实际均具有不为 0 的直流电阻 R_{LOAD} (Ω)，二者之比 $L_{LOAD}/R_{LOAD}=\tau_{LOAD}$ (s) 为负载的时间常数。

过大的电感性负载时间常数将引起电流源的超调响应，并在负载中产生电流过冲。

3.5.2 时间常数引起的电流过冲

负载的时间常数较大时，由于频率响应的原因，电流源输出阶跃电流时将在负载上产生电流过冲以及欠阻尼振荡。过冲幅度与电流阶跃幅度和负载的时间常数相关，更大的电流阶跃幅度和更大的时间常数对应更明显的电流过冲，如图 3-8a 所示。欠阻尼振荡的衰减速率同样与负载时间常数有关，更大的时间常数通常对应更低的衰减速率和更长的振荡持续时间。

线圈和电磁铁产生的磁场与激励电流成正比，因此电流过冲将引起磁场尖峰，并在某些应用中严重影响测量的准确度和连续性。通常频率响应越慢的电流源将产生更小的电流过冲，但过慢的频率响应可能导致输出电流质量下降，并在输出电流中表现为工频及其倍频频率上更显著的纹波。

3.5.3 电流线性渐变输出方式

F2031 具有足够快的频率响应，可保证相对很低的纹波系数，但在进行电流阶跃设置时更易于产生电流过冲。因此 F2031 采用电流线性渐变输出方式应对电流的阶跃设置。

当用户设置电流变化一定幅度时，F2031 将以预先设置的电流线性渐变速率使输出电流以线性递增或递减的方式变化，直至输出电流达到设置值。如图 3-8b 所示。

注

电流线性渐变过程中，除使用 **STOP/0** 键停止渐变过程外，无法进行其它操作或设置。除 **STOP** 命令外无法进行其它计算机接口操作。

3.5.4 设置电流线性渐变速率

标准显示界面下，请遵循以下步骤设置电流线性渐变速率：

- ❶ 使用 **MENU** 键进入菜单，按 **▲**、**▼** 方向键选择“Ramp Rate”，并按 **ENTER** 键进入电流线性渐变速率设置界面；
- ❷ 按 **▲**、**▼** 方向键在 0.01—2.0A/s 范围内增大或减小电流线性渐变速率，调整步进为 0.01A/s；
- ❸ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ❹ 按 **ESC** 键保留原速率并返回标准显示界面。

图 3-8 电流超调过冲和电流线性渐变输出方式

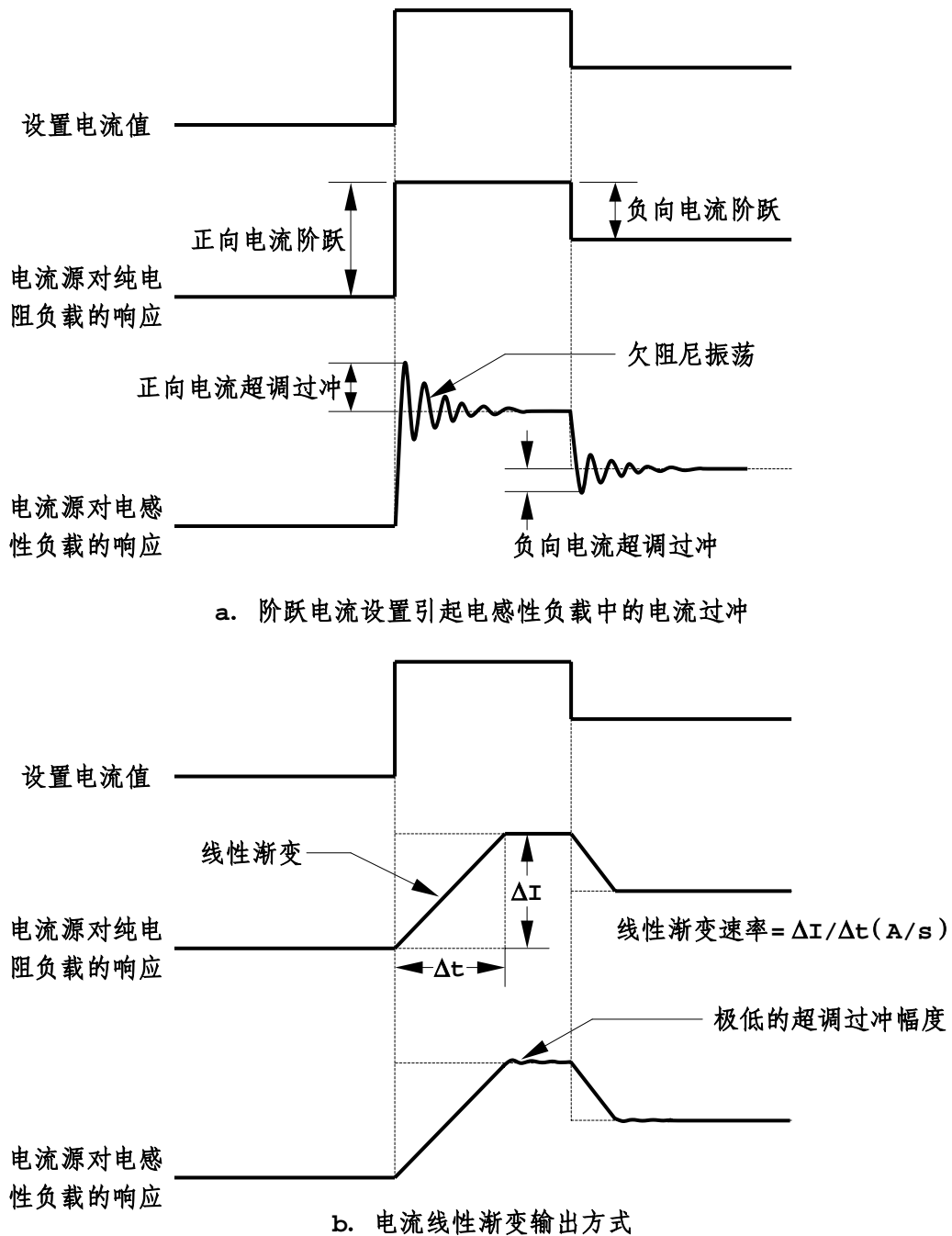


FIG-MAN-F2031-0021

设置完成后，前面板显示器左下方显示当前电流线性渐变速率值。

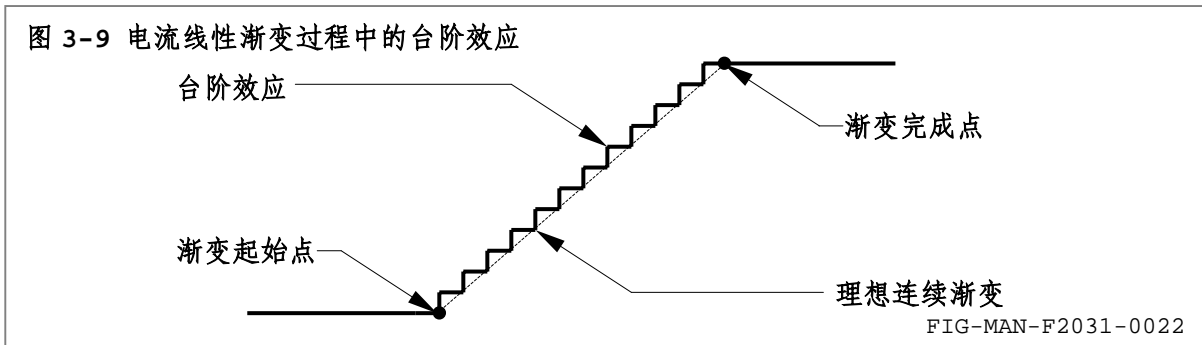
注

电流线性渐变速率保存于 F2031 内部非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

电流线性渐变速率也可通过计算机接口命令 **RATE** 设置，或通过查询 **RATE?** 查询当前渐变速率，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.5.5 电流线性渐变过程中的台阶效应

电流线性渐变通过连续改变 F2031 内部的控制信号达成，控制信号由微处理器控制下的 DAC 给出。实际的 DAC 分辨率有限，无法连续变化，此外线性渐变过程中对 DAC 的设置也具有有限的时间密集度，因此实际线性渐变过程并非理想连续调整，而是由众多微小的台阶组合得到，如图 3-9 所示。F2031 的 DAC 设置时间密集度为 50 次/s，在 2A/s 最高渐进速率下，每一台阶的高度限制于 40mA，从而抑制实际负载中由台阶效应导致的可能的电流过冲，并最大程度保证渐变连续性。在 0.01A/s 渐进速率下，每一台阶高度为 0.2mA，台阶效应对于大多数负载均可忽略。



3.5.6 渐变结束声响

电流线性渐变结束时，F2031 提供声响提示用户渐变已完成。当电流渐进速率较低且步进较大时，用户需等待较长的渐变时间，渐变结束声响为用户提供简单的渐变结束时刻判断方法，而无需用户时刻注视显示器。换向声响和电流扫描过程中的渐变声响均与渐变结束声响设置同步。

然而，当电流渐进速率较高，且步进较小时，频繁设置电流将导致不断出现的渐变结束声响。在需要安静的测试环境中，可遵循以下步骤关闭渐变结束声响：

- ❶ 使用 **MENU** 键进入菜单。按 **▲**、**▼** 键选择“Ramp Audio”，并按 **ENTER** 键进入渐变声响设置界面；
- ❷ 按 **▲**、**▼** 方向键在选项“On”和“Off”之间循环选择；
- ❸ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ❹ 按 **ESC** 键保留原扫描模式并返回标准显示界面。

注

渐变结束声响保存于 F2031 内部非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

渐变结束声响也可通过计算机接口命令 **RAMPAUDIO** 设置，并通过查询 **RAMPAUDIO?** 查询当前渐变结束声响是否开启，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.6 电流方向和换向延迟时间

3.6.1 电流方向和换向方式

F2031 采用继电器换向方式提供正、反两个电流方向。开机后 F2031 将电流方向设置为正向。

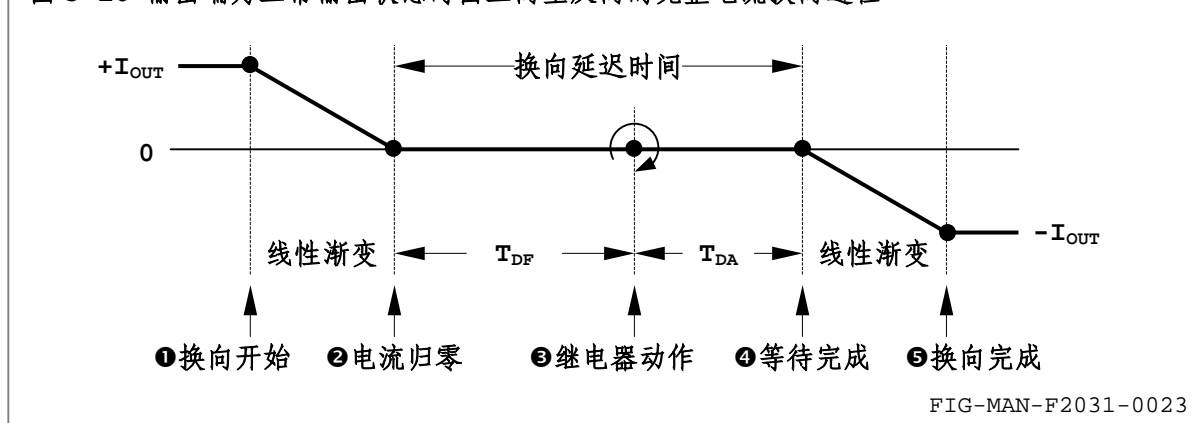
电流方向为正向时，显示器中当前输出电流符号为“+”，反之为“-”。正向电流下，电流由后面板功率电流输出接线柱的红色柱头流出，经由负载后由黑色柱头流入。反向电流下，电流由黑色柱头流出，经由负载后流入红色柱头。

继电器换向方式可提供大小完全相同的相反方向输出电流。在霍尔效应测试系统中，这一特性将产生完全相同的相反方向磁场，保证测量准确度不受正、负磁场差异的影响。

3.6.2 电流换向过程

在标准显示界面且输出端为正常输出状态下，按 **+/-** 键直接切换电流方向。在电流设置界面中，**+/-** 键用于改变电流设置值的方向，并在设置完成按 **ENTER** 键后生效。

图 3-10 输出端为正常输出状态时由正向至反向的完整电流换向过程



输出电流不为 0 时切换电流方向将使电感性负载产生强烈的反电动势。反电动势的电压可能高于安全电压限制，并在操作者接触负载时产生电击事故。此外强烈的反电动势可能导致 F2031 内部电路损毁。因此电流换向必须于零输出电流下进行。

输出端为正常输出状态时切换电流方向，F2031 首先①依据设定的电流线性渐变速率将当前电流降至 0，②等待换向前延迟时间 T_{DF} 使输出电流稳定后③驱动继电器换向，并在④等待换向后延迟时间 T_{DA} 后⑤依据设定的电流线性渐变速率将输出电流恢复至换向前的大小。换向瞬间当前输出电流值符号相应改变。完整的电流换向过程如图 3-10 所示。

输出端为高阻状态时，F2031 立即切换输出电流方向，并相应改变输出电流值的符号。

切换电流方向也可通过计算机接口命令完成。F2031 提供 2 种程控换向方式，使用命令 **PN** 换向时，换向过程遵循图 3-6 所示时序，使用命令 **REV** 换向时，F2031 只完成前 4 个步骤，换向完成后的电流值为 0。通过改变命令 **CUR** 参数的方向也可直接设置电流方向。此外，可通过查询 **DIR?** 查询当前电流方向，或通过查询 **CUR?** 返回的电流值符号判断当前电流方向。计算机接口操作请参阅第 4 章中的相关内容。

3.6.3 设置换向延迟时间组合

F2031 提供 5 种换向延迟时间组合，以适应不同时间常数的电感性负载，如表 3-1 所示：

表 3-1 换向延迟时间和适用电感性负载时间常数

TAB-MAN-F2031-0004

延迟组合	换向前延迟时间 T_{DF}	换向后延迟时间 T_{DA}	适用电感性负载时间常数 τ_{LOAD}
1s+↱+1s	1s	1s	<400ms、最大 1000ms
2s+↱+1s	2s	1s	<800ms、最大 2000ms
3s+↱+1s	3s	1s	<1200ms、最大 3000ms
4s+↱+2s	4s	2s	<1600ms、最大 4000ms
5s+↱+3s	5s	3s	<2000ms、最大 5000ms

警告

负载时间常数过大而延迟时间过短将使换向时输出电流无法完全归零，导致明显的换向电流冲击，并造成换向继电器的触点损伤、寿命降低以及可能的损毁。

标准显示界面下，请遵循以下步骤设置换向延迟时间：

- ① 使用 **MENU** 键进入菜单，按 **▲**、**▼** 键选择“Reverse Delay”，并按 **ENTER** 键进入换向延迟时间设置界面；
- ② 按 **▲**、**▼** 方向键在各选项中循环选择；
- ③ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ④ 按 **ESC** 键保留原延迟时间组合并返回标准显示界面。

设置完成后, 在电流换向过程中前面板显示器当前电流值下方根据设定的延迟时间组合显示延时过程, 并以 1s 间隔发出声响提示, 直至 T_{DA} 结束。

注

换向延迟时间组合保存于 F2031 内部非易失性存储器内, 并于下次开机时保持。

换向延迟时间组合也可通过计算机接口命令 `REVDELAY` 设置, 或通过查询 `REVDELAY?` 查询当前换向延迟时间组合, 请参阅第 4 章中的相关内容。

3.6.4 换向冲击

除去由于时间常数与换向延迟时间不匹配造成的换向电流冲击外, 也可能由于电流的零点误差而产生换向冲击。电流换向过程中, 继电器的动片由一端向另一端的切换所需时间内, 电流输出端将短暂开路。如果此时输出电流不为 0, 短暂开路将造成输出端呈现高压, 并在动片切换到位时将此高压施加于负载造成电流冲击。F2031 内部具有零点保持电路, 可保证切换过程中小于 1mA 的输出电流, 并有效抑制短暂开路期间输出端呈现的电压, 从而最大程度上避免由此导致的换向冲击。

测量过程中, 可通过以下 2 个方法避免换向冲击造成的影响:

- (1) 使用尽可能长的换向延迟时间组合。
- (2) 使用计算机接口控制换向时, 务必等待 F2031 换向完毕且返回接口响应并等待足够长的时间再继续后续测量步骤。
- (3) 使用硬件常规触发输出连接的应用中, 使用尽可能长的触发延迟时间。
- (4) 电流扫描应用中使用硬件扫描触发输出连接, 并使用触发输出信号控制测量仪器进行同步测量。在电流扫描所涉及的换向过程中, F2031 不输出触发信号, 从而避免由触发输出信号控制的测量仪器在换向过程中的测量行为。

3.7 输出电压范围和负载直流电阻限制

F2031 的有效输出电压 V_{CMPL} 为 60V, 开路输出电压 V_{OPEN} 约为 80V。

图 3-11 负载最高直流电阻限制

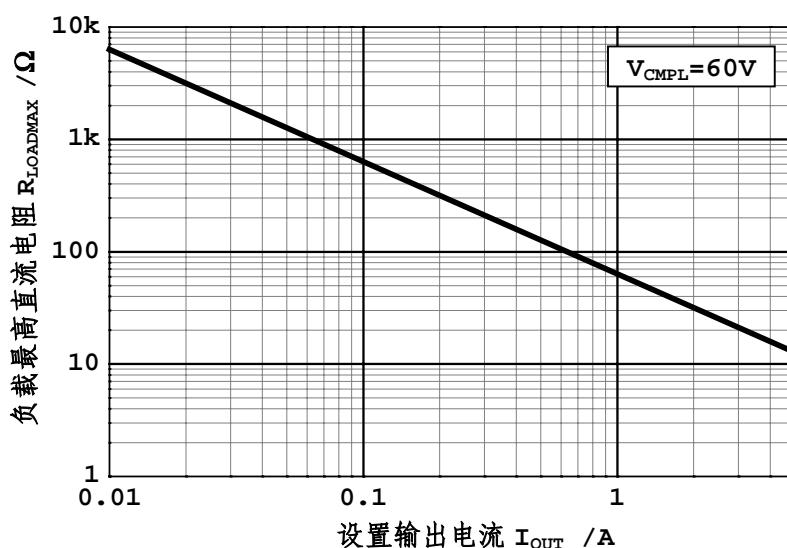


FIG-MAN-F2031-0024

3.7.1 电压钳位状态

输出端位于正常输出状态时, 一定的设置输出电流 I_{OUT} 下, 不同的负载直流电阻 R_{LOAD} 可能导致输出电压 $V_{OUT}=I_{OUT}R_{LOAD}$ 达到或超过 $V_{CMPL}=60V$, 例如设置 5A 电流流经 30Ω 电阻时将导致输出电压高于 V_{CMPL} 并达到开路输出电压 $V_{OPEN}=80V$, 并造成实际输出电流低于 5A。

虽然输出电压略微高于 $V_{CMPL}=60V$ 时并不显著影响输出电流准确度，然而，为确保输出电流的正确性，以及保证操作者对输出电压状态的完全掌控，F2031 设定输出电压高于 60V 时即已无法确保自身处于恒流状态，并已进入电压钳位状态。

3.7.2 电压钳位指示

进入电压钳位状态后，F2031 前面板 LED 指示器中的“COMPLIANCE”黄色指示灯闪烁，提示操作者此时输出电流无法达到额定准确度。

用户也可通过计算机接口查询 **CMPLS?** 查询电压钳位状态，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.7.3 负载最高直流电阻限制

有限的输出电压范围 $V_{OUT}<V_{CMPL}$ 将限制一定设置输出电流 I_{OUT} 下的最高负载直流电阻 $R_{LOADMAX}$ ，即 $R_{LOADMAX}<V_{CMPL}/I_{OUT}$ ，如图 3-11 所示。

3.7.4 长期通电工作的负载

长期通电激励的磁场源，例如亥姆霍兹线圈、空心螺线管和小型电磁铁负载，均会由于欧姆热的积累导致发热。线圈或电磁铁内的铜质导线具有正温度系数，其直流电阻随温度升高而增大。设计良好的磁场源的直流电阻由于温度升高导致的变化率限制于 10% 以内，但在散热条件不佳的环境中长期工作，可能导致此变化率达到 30% 以上。

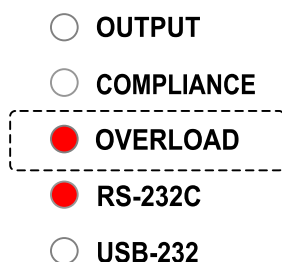
常规励磁电源通常使用针对固定负载直流电阻的预稳压方式降低电源整体热耗散功率。这种方法对于负载直流电阻 R_{LOAD} 的明显变化比较敏感。负载发热导致 R_{LOAD} 增大时，输出电流的准确度和稳定度可能显著下降，而由于设计公差造成 R_{LOAD} 小于预期值时，电源的整体热耗散功率明显提高。

与常规励磁电源不同，F2031 采用自动预稳压技术，对负载直流电阻的变化不敏感。可正常驱动直流电阻位于 $0-R_{LOADMAX}$ 范围内的负载。然而对于长期工作的负载，为保证其产生磁场的长期稳定性，请于采购或设计负载时针对其冷态直流电阻保留足够余量。建议冷态的直流电阻不高于 $R_{LOADMAX}$ 的 80%。例如最大输出电流为 5A 时， $R_{LOADMAX}=12\Omega$ ，负载冷态直流电阻应不高于 9.6Ω 。

3.7.5 内部过功率保护及其解除

大功率电源通常通过预稳压电路降低内部功耗，以适应更大范围的负载变化。预稳压使用可控硅触发电路实现，并因此产生大量高频谐波，高频谐波一部分以输出电流纹波的形式输出至由负载，并相应产生磁场纹波，另一部分以交流电源回馈或空间传播方式干扰微弱信号测量仪器。此外，即使采用预稳压电路，负载变化范围仍然受到限制，当负载电阻过小且输出较大电流时，预稳压电路将产生更多的高频谐波，并使电源的视在输入功率急剧增大。

图 3-12 内部功率过载保护下 F2031 的显示信息



OVERLOAD PROTECTION

Internal Overload
Detected.

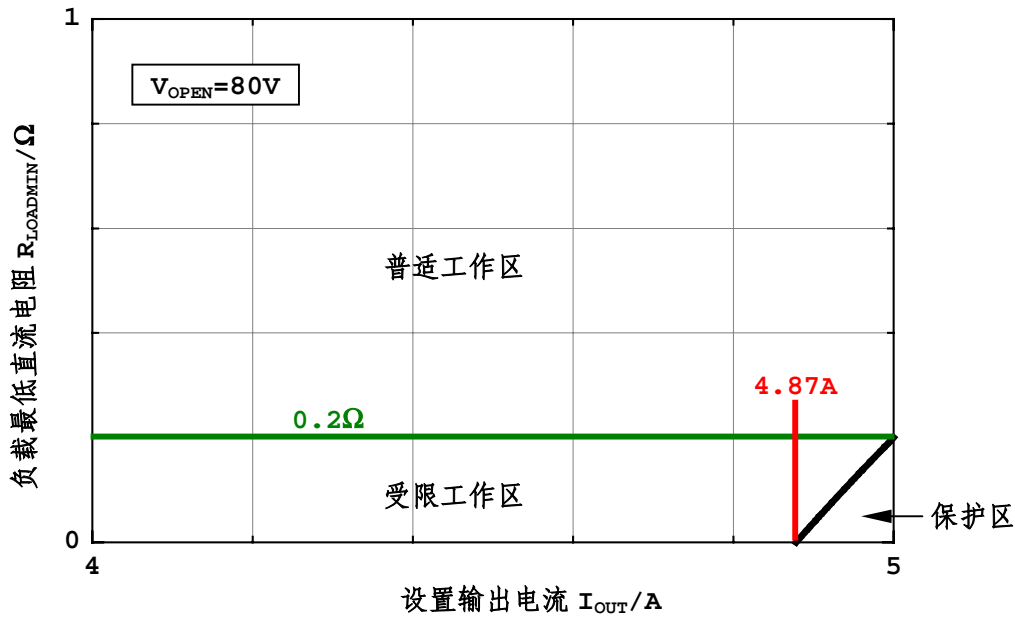
ZERO-OUTPUT restored.

Esc = QUIT Protection.

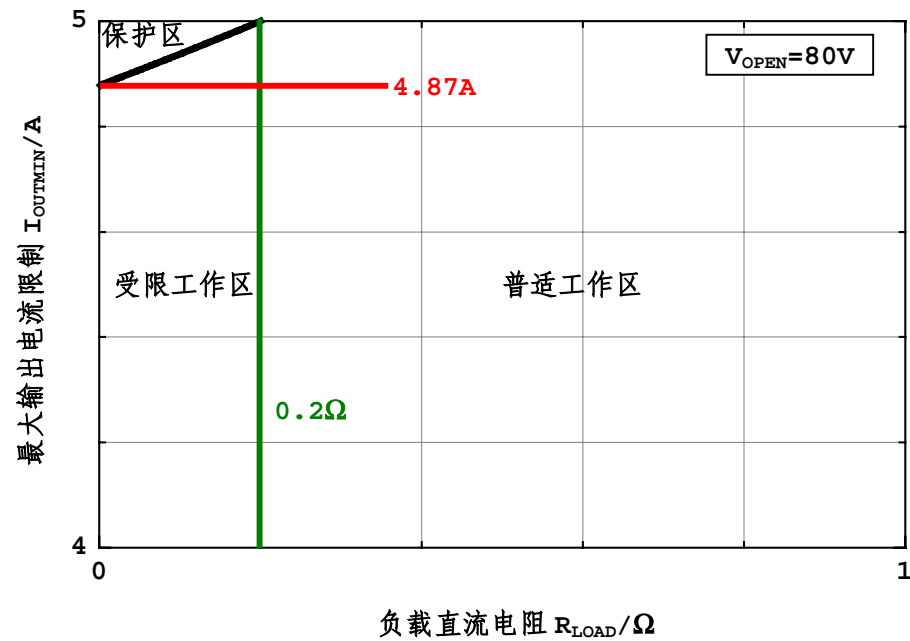
FIG-MAN-F2031-0025

F2031 采用自动切换的预稳压电路。面对较低的输出电压时，F2031 不启动预稳压电路，直至输出电压增大至某一阈值，预稳压电路自动启动，并将内部功耗限制在安全范围内。F2031 因此具备更宽的负载电阻范围，输出电流为 5A 时的负载电阻范围为 0.2—12Ω。

图 3-13 内部过功率保护导致的 $R_{LOADMIN}$ 和 I_{OUTMAX} 限制



a. 负载最低直流电阻限制 $R_{LOADMIN}$



b. 最大输出电流限制 I_{OUTMAX}

FIG-MAN-F2031-0026

负载电阻低于 1Ω 时，F2031 内部功耗达到 500W 将触发 F2031 的内部过功率保护，进入内部过功率保护状态。F2031 配置的内部过功率保护电路为硬件保护电路，无需接受微处理器的软件查询，因此具有更佳的保护实时性。

进入保护状态后，F2031 前面板显示器显示保护信息，LED 指示器中的“OVERLOAD”指示灯点亮，并发出 5 声连续声响报警，如图 3-12 所示。F2031 将输出端状态锁定为由保护电路控制的高阻状态，输出电流设置值降低至零，但不改变输出电流方向。电流线性渐变或电流扫描过程中进入保护状态时，F2031 将停止正在进行的渐变或扫描过程。输出端状态请参阅 3.8 中的内容。

进入保护状态后操作者无法进行针对 F2031 的任何操作，直至通过前面板键盘或计算机接口解除保护。无论键盘是否锁定，操作者均可在妥善处理输出端与负载后按下前面板 **ESC** 键使 F2031 脱离保护状态。

用户也可通过计算机接口查询 **OVLD?** 查询保护状态，以及通过计算机接口命令 **OVLD RST?** 解除保护，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.7.6 负载最低直流电阻限制 $R_{LOADMIN}$ 和最大输出电流限制 I_{OUTMAX}

F2031 的最大开路输出电压为 $V_{OPEN}=120V$ ， V_{OPEN} 实际为 F2031 的内部主线路最高供电电压。不同输出电流 I_{OUT} 对应的负载最低直流电阻限制 $R_{LOADMIN}$ 如图 3-13a 所示，不同负载直流电阻 R_{LOAD} 对应的最大输出电流限制 I_{OUTMAX} 如图 3-13b 所示。事实上，图 3-13a 与图 3-13b 为公式横纵轴互易的 2 种表述方式。

为避免触发内部过功率保护电路，F2031 应尽量工作于普适工作区。如果内部过功率保护功能频繁触发，请依据图 3-13 检视负载和输出电流是否位于工作区内。使用具备足够功率容量的串联电阻 R_{SERIES} 与负载 R_{LOAD} 串联可提高最大输出电流限制 I_{OUTMAX} ，并使 F2031 进入普适工作区。

例如根据图 3-13b，负载 $R_{LOAD}=0.1\Omega$ 的最大输出电流限制 $I_{OUTMAX}=4.94A$ ，串联 $R_{SERIES}=0.1\Omega$ 后进入普适工作区，此时串联电阻 R_{SERIES} 的最大功耗为 2.5W，保留 50% 功率余量时实际使用 $0.1\Omega/5W$ 功率电阻器，并尽量使用强制风冷冷却串联电阻。

鉴于保护电路的固有误差，计算的容差范围为 $\pm 10\%$ ，请将负载电阻控制于 1—12 Ω 范围内。

3.7.7 时间常数导致的触发保护

由于电感性负载导致的电流过冲和滞后，对于时间常数较大的负载可能在较高的线性渐变速率下意外触发内部过功率保护，降低线性渐变速率可改善并避免产生意外触发保护。

3.7.6 中，使用串联电阻 R_{SERIES} 与负载串联可降低等效负载时间常数。实际操作中，请尽量避免使用电感性的电抗器替换串联电阻，即使电抗器的直流电阻确实可使 F2031 进入普适工作区，以避免可能产生的更大的等效负载时间常数。

3.8 设置输出端状态

3.8.1 输出端状态和开机更换负载

F2031 提供正常输出状态和高阻状态 2 种输出端状态，并支持开机更换负载。F2031 开机后默认设置输出端进入高阻状态。

正常输出状态下，F2031 输出设定电流 I_{OUT} ，或在进入电压钳位状态后输出 $V_{CMPL}<V_{OUT}<V_{OPEN}$ 范围内的某一电压。正常输出时更换负载，输出端可能开路并使 F2031 输出开路输出电压 V_{OPEN} 。再次连接负载时， V_{OPEN} 将瞬间施加于负载两端，并在负载内部产生瞬间大电流，直至 F2031 再次进入恒流状态并将输出电流调整至设定值。

F2031 的开路输出电压高于安全电压限制，因此在输出端开路情况下操作负载，可能造成针对操作者的潜在电击危险。如果 V_{OPEN} 高于负载的额定耐压，或者瞬间大电流超出负载的耐流极限，则可能造成负载瞬间损伤或损毁。

高阻状态下，F2031 的主电流回路呈现高阻抗，输出端对负载呈低电阻，有效隔离输出端开路时主电流回路呈现的高电压，允许开机更换负载。

F2031 内部输出补偿网络中的电容在正常输出状态下储存的能量在输出端进入高阻状态后的 300ms 内由内部放电电路完全泄放，并避免由此导致的针对操作者的可能的电击事故。

警告

正常输出状态下，输出端开路时可能呈现高于安全电压的危险电压。
此时更换负载将造成对操作者的可能的电击危险。

警告

正常输出状态下开机更换负载将可能造成负载损伤或损毁。
开机更换负载前，请首先使 F2031 输出端处于高阻状态。

3.8.2 切换输出端状态

标准显示界面下，使用 **OUTPUT** 键使 F2031 的输出端状态在正常输出和高阻状态之间切换。正常输出时，前面板左侧 LED 指示器中的“OUTPUT”LED 点亮，高阻状态下，此 LED 熄灭。如图 3-14 所示。

图 3-14 使用 **OUTPUT** 键切换输出端状态

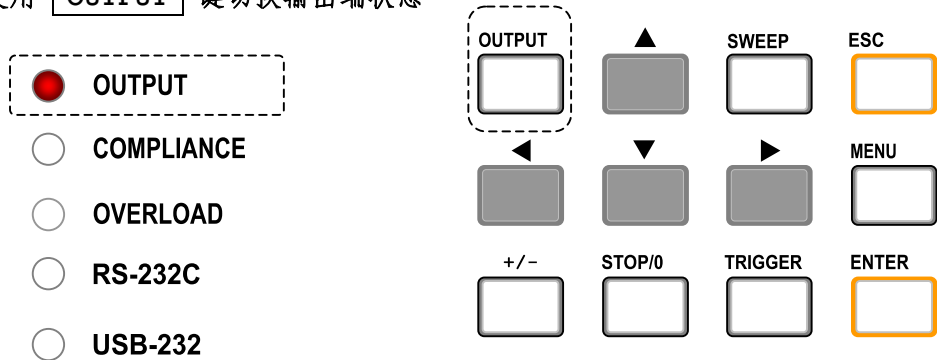


FIG-MAN-F2031-0027

输出端状态也可通过计算机接口命令 **OUT** 设置，并通过查询 **OUT?** 查询当前输出端状态，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.8.3 输出端恢复正常输出状态时的输出电流

输出端由高阻状态恢复至正常输出状态时，如果此时的电流设置值不为零，F2031 将依据设定的线性渐变速率控制输出电流由 0 渐进至设置值。

F2031 的输出端由高阻状态恢复至正常输出状态时，输出端首先呈现与当前电流设置方向相反、幅值为 13mA 的恢复电流，此恢复电流于 100m 秒内衰减至 0。F2031 的输出端由高阻状态恢复至正常输出状态时，可能由于内部自动预稳压电路动作而使随后设置的输出电流短暂滞后。滞后程度由输出端进入高阻状态时的输出电压和输出端恢复至正常输出状态后的时间决定。输出端进入高阻状态时 F2031 的输出电压愈高，输出端恢复至正常输出状态后的时间越短，此输出电流滞后于设置的现象越明显。此电流滞后现象只存在于输出端由高阻状态恢复至正常输出状态后的首次电流变化过程中。

对输出端状态的操作中，请遵循以下原则，以尽量避免直至消除此滞后现象：

- (1) 将输出端设置为高阻状态之前，首先使输出电流归零。
- (2) 在无需频繁更换负载的应用中，开机后即将输出端设置为正常输出状态，并在持续至少 5 分钟的预热过程结束后对负载施加电流。
- (3) 除非必须对负载进行操作，在 F2031 的使用过程中尽量避免切换输出端状态。

3.9 停止电流线性渐变、电流快速归零和中止电流换向

3.9.1 停止电流线性渐变

在实验室环境的磁学测量中，操作者可能在实验和调试过程中要求立即停止电流线性渐变过程，并保持当时的输出电流，以便于快速的定性分析。

F2031 可通过 **STOP/0** 键满足这一需求。在 F2031 将输出电流线性渐变至此设置值的过程中，任意时刻按下 **STOP/0** 键均可使线性渐变过程停止，输出电流保持于按下 **STOP/0** 键时刻的渐进电流值。

停止电流线性渐变也可通过计算机接口命令 **STOP** 实现，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.9.2 电流快速归零

由于调试过程中对磁场的频繁设定，某些情况下可能要求 F2031 的输出电流快速回零，以提高调试效率。当 F2031 的电流线性渐变速率较低时，在电流设置界面中设置输出电流为 0，并使输出电流以此线性渐变速率归零的过程相当缓慢，例如 0.1A/s 的速率下将 5A 电流归零需要 50 秒，但更高的渐变速率可能无法满足调试的其他要求。

输出端为正常输出状态，并且输出电流线性渐变结束进入稳态时，标准显示界面下任意时刻按下 **Stop/0** 键均可使 F2031 的输出电流快速回零，但不改变电流方向。为避免可能的电流冲击，回零过程以 3A/s 的固定速率通过渐变方式完成。输出端为高阻状态时快速回零无效。

快速回零也可通过计算机接口命令 **FAST0** 实现，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.9.3 中止电流换向

电流换向过程中的任意时刻按下 **STOP/0** 键均可使换向过程中止。

中止电流换向也可通过计算机接口命令 **STOP** 实现，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.10 电流扫描

3.10.1 扫描模式

F2031 提供 4 种常用扫描模式，如图 3-15 所示：

- (1) SWA 模式：I 象限扫描。I 象限内，正向电流①由 0 线性扫描至设定的扫描最大值，而后②返回至 0。
- (2) SWB 模式：I+III 象限扫描。完成 I 象限扫描后③切换电流方向为反向进入 III 象限，正向电流④由 0 线性扫描至设定的扫描最大值，并⑤返回至 0，而后⑥切换电流方向为正向。
- (3) SWC 模式：I+III+I 象限扫描。完成 I+III 象限扫描后重新切换电流方向为正向，再次进入 I 象限，正向电流⑦重新由 0 扫描至扫描最大值，而后⑧返回至 0。
- (4) SWD 模式：Degauss 极头退磁。输出电流由扫描最大值开始，于 I、III 象限内交替衰减扫描至 50mA。

标准显示界面下，请遵循以下步骤设置扫描模式：

- ① 使用 **MENU** 键进入菜单。按 **▲**、**▼** 键选择“Sweep Mode”，并按 **ENTER** 键进入扫描模式设置界面；
- ② 按 **▲**、**▼** 方向键在各选项中循环选择；
- ③ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ④按 **ESC** 键保留原扫描模式并返回标准显示界面。

设置完成后，前面板显示器左上方显示当前扫描模式。

注

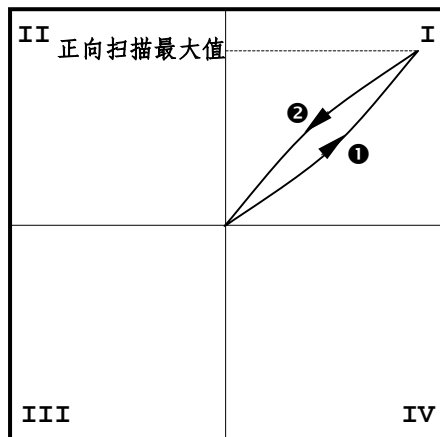
扫描模式保存于 F2031 内部非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

扫描模式也可通过计算机接口命令 **SWMODE** 设置，并通过查询 **SWMODE?** 查询当前扫描模式，请参阅第 4 章中的相关内容。

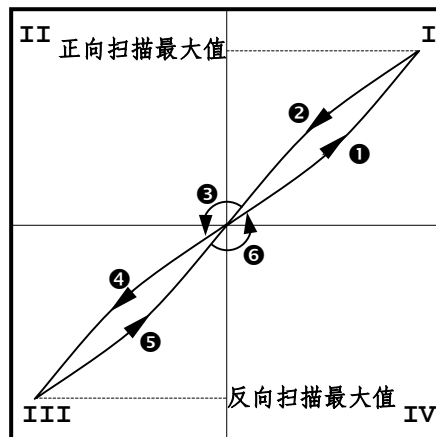
3.10.2 扫描最大值

F2031 的电流扫描最大值范围为 0.00005A—5A。

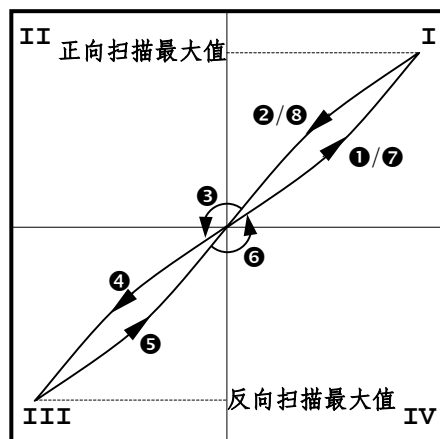
图 3-15 F2031 的四种扫描模式



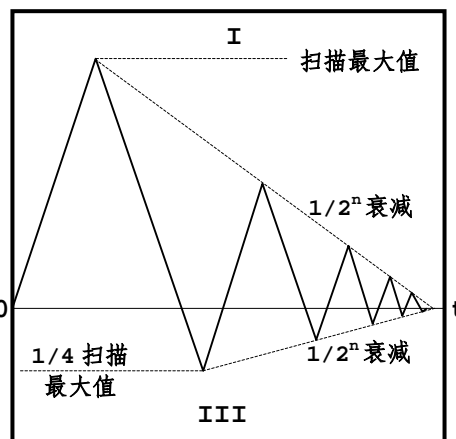
a. SWA 模式 (I 象限)



b. SWB 模式 (I+III 象限)



c. SWC 模式 (I+III+I 象限)



d. SWD 模式 (极头退磁)

FIG-MAN-F2031-0028

标准显示界面下，请遵循以下步骤设置扫描最大值：

- ① 使用 **MENU** 键进入菜单。按 **▲**、**▼** 方向键选择“Sweep Max”，并按 **ENTER** 键进入扫描最大值设置界面，第 1 行显示当前电流设置值，第 2 行显示当前扫描最大值，当前设置位反转显示；
- ② 使用方向键 **◀** 和 **▶** 使设置位向左、右循环移动；
- ③ 使用方向键 **▲** 和 **▼** 使设置位数值增加或减小 1；
- ④ 设置完成后按 **ENTER** 键确认；或按 **ESC** 键保留原最大值并返回标准显示界面。

扫描最大值的设置界面和设置方法与电流设置界面类似，并遵循相近的设置规则，但扫描最大值的最小设置值为 0.00005A 而非 0。

设置完成后，前面板显示器上方扫描模式右侧显示当前扫描最大值。

注

扫描最大值保存于 F2031 内部非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

扫描最大值也可通过计算机接口命令 **SWMAX** 设置，并通过查询 **SWMAX?** 查询当前扫描模式，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.10.3 扫描速率

F2031 的电流扫描速率遵循电流线性渐变速率，并可据此计算扫描时间。渐变速率为 0.1A/s ，扫描最大值为 3A 时，各象限的单向扫描时间为 30 秒，巡回扫描时间为 60 秒。

电流线性渐变速率的设置方法请参阅 3.5.3 中的详细内容。

3.10.4 扫描的开始、暂停、继续和中止

标准显示界面下且 F2031 未位于电流线性渐变过程中且未进入扫描状态时，以及输出端处于正常输出状态下，按 **[SWEEP]** 键开始扫描，前面板显示器显示“Stop/0=PAUSE”。

如果扫描开始时输出电流不为 0，或电流方向为反向，F2031 首先以 3A/s 的固定渐进速率使电流归零，并依据换向延迟时间将电流方向转换为正向，恢复扫描初始状态后开始扫描。扫描过程中，包括扫描前恢复初始状态过程以及扫描所涉及的换向过程中的任意时刻按下 **[STOP/0]** 键均可使扫描过程暂停。扫描暂停后，未启用键盘锁时前面板显示器显示提示信息“Stop/0=STOP Ent=Cont.”并可按下 **[ENTER]** 键由暂停点继续扫描，或按 **[STOP/0]** 键中止扫描。键盘锁定时，前面板显示器只显示“Stop/0=STOP”信息，此时只可按下 **[STOP/0]** 键中止扫描。

扫描操作也可通过计算机接口命令 **SWEEP**、**SWPAUSE**、**SWCONT** 和 **SWABORT** 实现，或通过查询 **SWEEP?** 查询当前扫描状态，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.10.5 极头退磁扫描 SWD

使用电磁铁作为磁场发生器时，由于极头的固有特性，产生较高磁场后，极头之间的气隙可能呈现 $\pm 100\text{G}$ 范围内的明显剩磁。某些应用对样品测试的初始条件要求严格，例如接近于 0 的初始磁场，以避免额外磁化导致样品测试误差。

SWD 退磁扫描模式用于对电磁铁极头退磁，足够次数的退磁扫描可将极头剩磁控制于 5G 以内，通常可使极头退磁至 2G 以内。由于每次退磁扫描的结果决定是否需要后续进行退磁扫描，建议在退磁操作中使用零点高度稳定的 F1205⁺ 系列高斯计对极头气隙磁场进行监测。

警告

极头退磁扫描将于极头气隙中产生强磁场，退磁开始前请将极头气隙中的样品取出，且于退磁过程结束前勿置入任何样品，以避免额外磁化导致的样品测试误差。

退磁扫描始于第 I 象限，因此要求极头剩磁于退磁扫描之前呈现负磁场。F2031 无法对正的剩磁进行退磁，当高斯计测量气隙剩磁为正时，需首先对极头进行 III 象限的预充磁。预充磁时，F2031 输出负电流 $-I_{\text{PRE}}$ ，调整 $-I_{\text{PRE}}$ 使极头进入饱和区。对于常规电磁铁，进入饱和区时极头气隙磁场约 $-(5500-6500)\text{G}$ 之间。

进入退磁扫描后，F2031 于 I 象限的起始电流为最大扫描电流 I_{MAX} ，III 象限起始电流为 $1/4 I_{\text{MAX}}$ ，而后于 I、III 象限交替进行幅值不断衰减的线性渐变扫描，衰减率均为 $1/2$ ，直至 I 象限扫描电流低于 50mA 时结束。

退磁扫描的最大扫描电流 I_{MAX} 应使极头气隙磁场位于 $1500-2000$ 范围内。较小的 I_{MAX} 将降低退磁效率，并可能需要更多后续扫描才可将极头剩磁控制于所需范围内。较大的 I_{MAX} 可提高效率，但可能在第一次退磁后，使极头剩磁为正，并可能超出可容许的范围。

精细的多次退磁过程可将气隙剩磁降至 1G 以内。多次退磁时，每次退磁后剩磁逐渐减小，使得各次退磁的效率依次降低，直至剩磁由负磁场逐渐逼近于 0。气隙剩磁降至 -2G 以内时，再次施加的等量 I_{MAX} 退磁可能令气隙磁场略微为正，此时可将最大扫描电流 I_{MAX} 减半后实施后续退磁。

由于电磁铁的结构以及极头气隙差异，不同型号，或者相同型号不同极头气隙下的电磁铁所需预充磁电流 $-I_{PRE}$ 和退磁扫描最大电流 I_{MAX} 差异显著。此外，极头磁畴状态与充磁历史相关，以及相同的剩磁可能对应不同的磁畴状态，导致相同的极头剩磁对应的退磁次数不同。

3.11 输出电流准确度

3.11.1 额定准确度

F2031 的输出电流准确度使用固定误差表示法。

恒流状态下，电流输出额定准确度为 $\pm (0.05\% \text{设置值} + 0.25\text{mA})$ 。

3.11.2 计算误差电流

恒流状态下，设置输出电流为 I_{SET} 时的输出误差为 $I_{ERROR} = \pm (0.05\% I_{SET} + 0.25\text{mA})$ 。典型输出电流下的误差如表 3-2 所示：

表 3-2 典型输出电流下的误差

TAB-MAN-F2031-0005

输出电流 I_{SET}	最大误差电流 I_{ERROR}	最大绝对百分比误差
5A	$\pm 2.75\text{mA}$	$\pm 0.055\%$
1A	$\pm 0.75\text{mA}$	$\pm 0.075\%$
100mA	$\pm 0.3\text{mA}$	$\pm 0.3\%$
10mA	$\pm 0.255\text{mA}$	$\pm 2.55\%$

3.11.3 输出电流稳定性

15—35°C 环境温度范围内，F2031 的输出电流平均温度系数优于 $\pm 5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。为保证输出电流的高度稳定，请勿于环境温度剧烈变化的环境内使用。

环境温度为 23°C 且恒定，当安装位置满足 F2031 的散热安全间距要求时，F2031 的短期稳定性为 30ppm/h。

3.12 输出阻抗

理想电流源输出阻抗 R_{OUT} 为无穷大。实际电流源的输出阻抗为有限值。 R_{OUT} 等效并联于负载 R_{LOAD} 两端，并造成分流误差，如图 3-16 所示。F2031 具有大于 $2.5\text{M}\Omega$ 的额定直流输出阻抗。在可预见的适用负载直流电阻范围内，由 R_{OUT} 造成的分流误差可以忽略。

图 3-16 有限输出阻抗 R_{OUT} 造成的分流误差

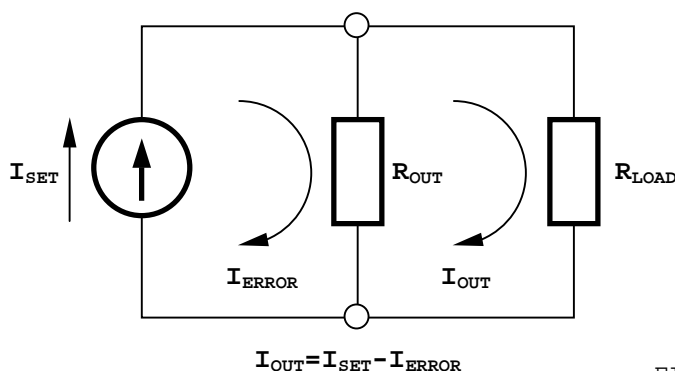


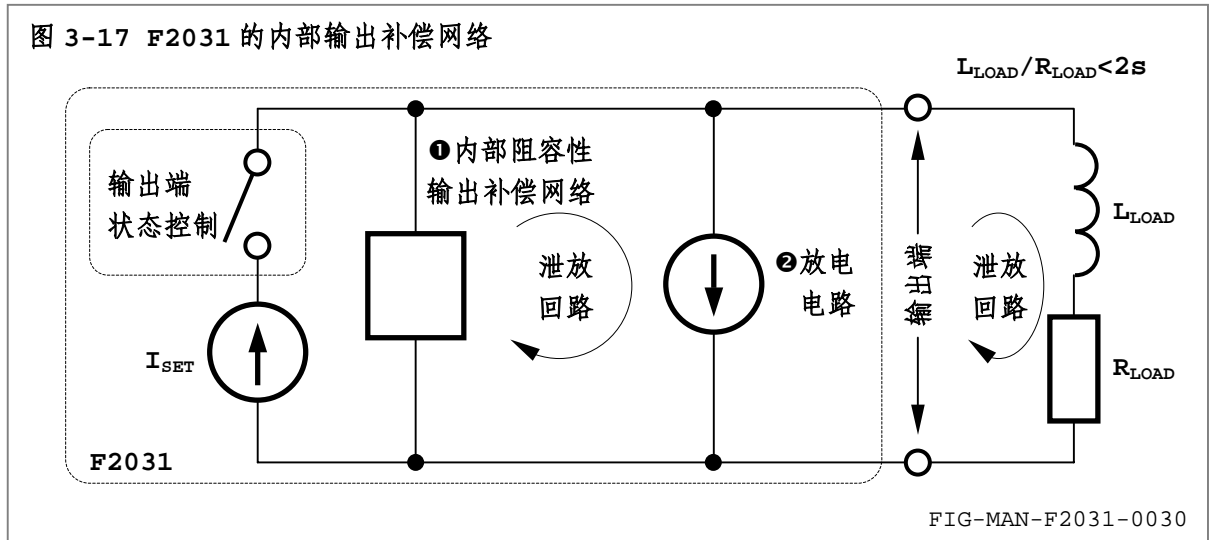
FIG-MAN-F2031-0029

3.13 输出补偿网络

3.13.1 内部输出补偿网络

相对于电压源，电流源更易不稳定，尤其面临时间常数较大的电感性负载时，电流源可能由于过快的频率响应产生显著的输出振荡。F2031 使用输出补偿网络确保电流源输出稳定。

F2031 提供①内部阻容性输出补偿网络，可稳定驱动时间常数高至 2s 的电感性负载，适用于大多数亥姆霍兹线圈、空心螺线管和小型电磁铁。如图 3-17 所示。



输出补偿网络内的电容将储存与输出电压相同的电压，此电压可能超出安全电压范围。此电压在输出端进入高阻状态后的 300ms 内可由负载和 F2031 内部②放电电路钳制为安全的负电压。

输出端开路且设置为正常输出状态时，如果设置输出电流不为 0，将造成①内部输出补偿网络两端呈现 F2031 的开路输出电压，此时关机后，由于②内部放电电路无法工作以及输出端未连接负载而无法形成针对此高电压的泄放回路，并导致输出端呈现超出安全电压限制的直流电压。因此在输出端开路时，如果设置的输出电流不为 0，用户应首先设置输出端进入高阻状态后至少 300ms，使内部放电电路对此电容充分放电，而后关闭电源。

3.13.2 追加的外部补偿网络

对于更高时间常数的负载，为保证 F2031 的频率稳定性，可在 F2031 外部追加额外的输出补偿。通常在输出端并联大于 100μF 的薄膜电容或无极性电解电容可使 F2031 正常驱动时间常数高至 10s 的电感性负载。如图 3-18 所示。

并联电容的额定耐压必须大于 F2031 的开路输出电压 80V，为保证长期可靠工作，电容的额定耐压应不低于 160V。由于 F2031 具有 I、III 象限输出能力，即在反向电流下于输出端呈现负电压，因此切勿使用具有极性的电解电容。

警告

在输出端并联耐压低于 80V 的电容将造成薄膜电容损毁和短路，以及无极性电解电容的爆裂，以及由此引发的针对操作者的安全事故。

警告

在输出端并联有极性的电解电容将在输出电压极性与电解电容极性相异时导致电解电容的爆裂，以及由此引发的针对操作者的安全事故。

虽然无极性电解电容的漏电流相对于可预见的负载直流电阻而言可以忽略，但长期使用的无极性电解电容可能由于电解液干涸导致电容量显著下降，因此请尽可能使用薄膜电容。

图 3-18 追加的外部补偿网络

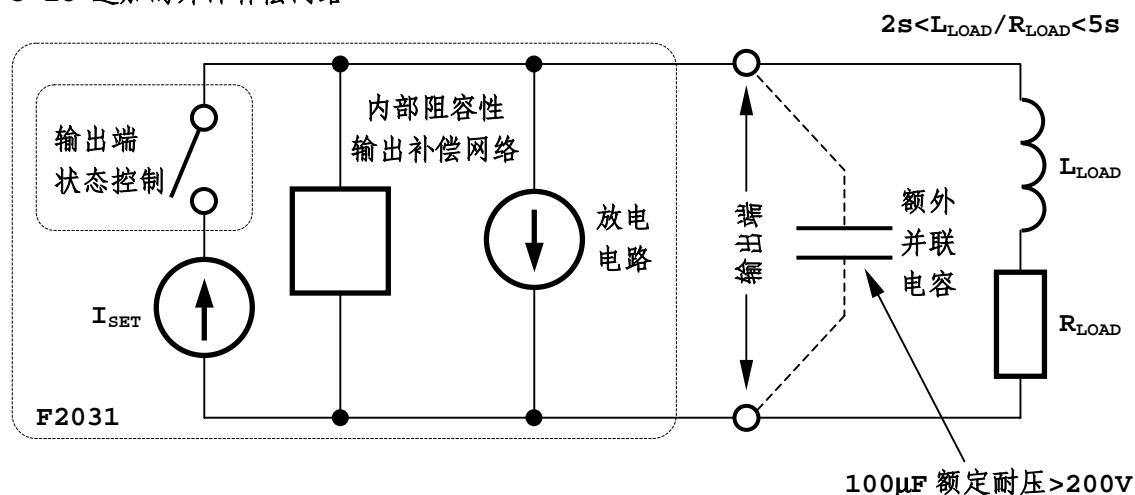


FIG-MAN-F2031-0031

警告

在 F2031 输出端操作并联的额外电容必须在关机且内部输出补偿网络完全放电的条件下进行，以策操作者的人身安全。

电容在并联于 F2031 的输出端之前必须使用电阻值为 10k Ω 的 10W 功率电阻完全放电，以避免电容可能储存的高压对 F2031 内部电路的冲击和可能导致的 F2031 输出级损毁。由输出端取下的电容必须使用电阻值为 10k Ω 的 10W 功率电阻完全放电后方可进入储存状态，以避免电容储存的高压对操作者和可能接触此电容的人员造成可能的电击危险。

通常使用 10k Ω 电阻对两端电压为 100V 的 100 μ F 电容完全放电时间为 5s，最大放电电流为 100mA，放电完成后电容两端残余电压小于 1V。

警告

未完全放电的电容并联于 F2031 的瞬间将对 F2031 内部电路放电，并可能导致 F2031 的功率输出级损毁。

警告

储存未完全放电的电容可能造成针对与其接触的人员的电击事故，并可能导致与其接触的电气设备或电路损毁。

注

在 F2031 输出端追加并联电容将导致输出端开路且进入高阻状态时，针对此电容的放电时间增加。

3.14 电流纹波

F2031 向纯电阻负载输出 5A 时，测量带宽为 300kHz 的 RMS 噪声/纹波典型值为 1mA。测量带宽降低时，RMS 噪声/纹波系数相应下降。

F2031 输出电流的噪声以工频及其倍频成分为主，因此测量 F2031 的输出电流、以及由此电流驱动的磁场发生装置所产生的磁场时，当测量仪器具备工频及其倍频的抑制能力时，其读数的 RMS 噪声/纹波系数将显著降低。

例如，当电流表的测量速率设置为 0.1PLC 时，其测量周期为 2ms，即 0.1 个工频周期，读数速率为 500 读数/s，此时测量得到 F2031 于 5A 输出电流下的波动峰峰值小于 0.6mA。更低的测量速率，例如 1PLC（测量周期 20ms，读数速率 50 读数/s）时的电流波动峰峰值小于 0.2mA。

3.15 常规触发输出

F2031 提供 2 种触发输出功能，即用于常规电流设置和电流换向的常规触发输出，以及在电流扫描过程中等时间间隔连续输出的扫描触发输出。

3.15.1 常规触发输出

F2031 采用电流线性渐变方式处理输出电流的变化。由于电流线性渐变必须耗用一定时长，因此在电流线性渐变完成之前，由 F2031 驱动产生的磁场连续变化且未达到预定值。在此期间进行的测量可能产生显著误差。

手动操作中，操作者必须持续注视 F2031 的前面板显示器监测电流大小和方向操作的完成情况。此外，用户可通过计算机接口命令 **CUR**、**PN** 和 **REV** 设置 F2031 的电流大小和方向，并通过查询 F2031 返回的响应判断电流线性渐变和换向过程是否完成，并在完成后通过计算机接口指示其他测量仪器完成测量。

F2031 通过常规触发输出功能提供另一种对此过程进行监测并驱动其它仪器进行同步测量的途径。触发连接是一种高速触发总线，为 F2031 与其他仪器之间提供简单而准确的同步测量协调。触发连接可避免仪器固有测量时间以及计算机接口通讯导致的延迟，从而有效提高系统工作速率。

F2031 可为具备外部触发输入功能的测量仪器提供常规触发输出信号，并提供 3 种常规触发方式和可选的触发输出延时，以适应自动化测量的各种应用要求。同时 F2031 还提供触发输出声响提示功能用于监视仪器运行状态。

3.15.2 设置常规触发输出方式和触发延迟时间

TRIGGER 键用于开启和设置触发输出方式，并在开启触发输出后设置触发延迟时间和声响提示。设置步骤如下：

- ① 标准显示界面下，按 **TRIGGER** 键进入触发设置菜单。按 **▲**、**▼** 方向键选择“Normal”，进入常规触发方式选择界面；
- ② 按 **▲**、**▼** 方向键循环显示“Off”（关闭常规触发输出）、“On”（常规触发输出）、和“On+♪”（具有声响提示的常规触发输出）；
- ③ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ④ 按 **ESC** 键保留原常规触发方式并返回标准显示界面；

选择“Off”时，常规触发状态指示区无显示，F2031 不输出触发信号。

选择“On”、或“On+♪”时，常规触发状态指示区显示触发标志和相应的声响提示标志“♪”，并进入常规触发延迟时间设置界面，并遵循如下步骤设置常规触发延迟时间：

- ⑤ 按 **▲**、**▼** 方向键在 0—5.0s 范围内增大或减小常规触发延迟时间，调整步进为 0.1s；
- ⑥ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ⑦ 按 **ESC** 键保留原触发延迟时间并返回标准显示界面。

注

常规触发输出方式和延迟时间保存于 F2031 内部非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

常规触发方式也可通过计算机接口命令 **NTRIG** 设置，并通过查询 **NTRIG?** 查询当前触发方式。命令 **NTRIGD** 和查询 **NTRIGD?** 分别用于设置和查询常规触发延迟时间，请参阅第 4 章中的相关内容。

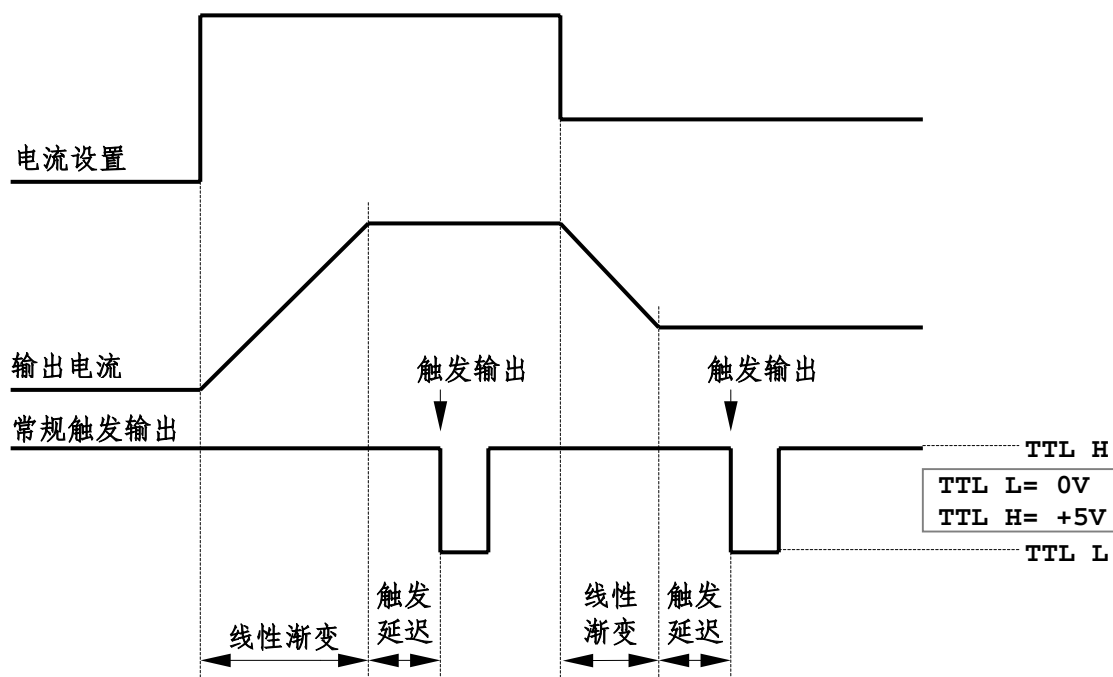
3.15.3 常规触发输出时序

常规触发方式为“On”或“On+♪”时，输出端处于正常输出状态下，F2031 于电流设置完成且线性渐变过程结束后，经过设定的常规触发延迟时间，于后面板触发输出端口输出下降沿有效的触发信号。在“On+♪”方式下，F2031 于触发信号输出时刻发出一次声响提示。如图 3-19 所示。

输出端处于正常输出状态下，微调电流、使用 $\boxed{+/-}$ 键切换电流方向、进入电流设置界面、或者通过计算机接口命令 **CUR**、**CURFUP**、**CURFDOWN**、**PN** 和 **REV** 设置电流的大小和方向，F2031 均输出常规触发信号。通过计算机接口设置电流时，即使输出电流设置前后未发生变化，例如 2 次 **CUR** 的参数相同，F2031 同样输出常规触发信号。此外，输出状态由高阻状态切换至正常输出后，如果电流设置值不为零，F2031 将以电流线性渐进方式输出电流达到设置值，并输出触发信号。

输出端处于高阻状态下，F2031 对于针对电流大小和方向的操作不输出常规触发信号。

图 3-19 常规触发输出时序



注

常规触发延迟时间内设置电流并完成线性渐变过程后，本次触发输出失效，并由线性渐变过程完成时刻起再次经过触发延迟时间后输出触发信号。

3.15.4 触发输出端口

F2031 的触发输出端口使用 TTL 电平，下降沿触发有效。触发输出端口在等待时间内保持高电平，输出触发下降沿后，低电平保持时间为 10ms。触发输出端口输出阻抗为 1k Ω 。为避免明显的电平衰减，连接于触发输出端口的负载输入阻抗应不小于 10k Ω ，以保证触发设备可正确识别电平。触发输出端口可耐受的外部施加的最大电平范围为 -15V—+15V。

警告

为保证操作者人身安全，以及仪器内部电路安全，请务必限制触发输出端口电平位于 -15V—+15V 范围之内。

3.16 扫描触发输出

3.16.1 扫描触发输出

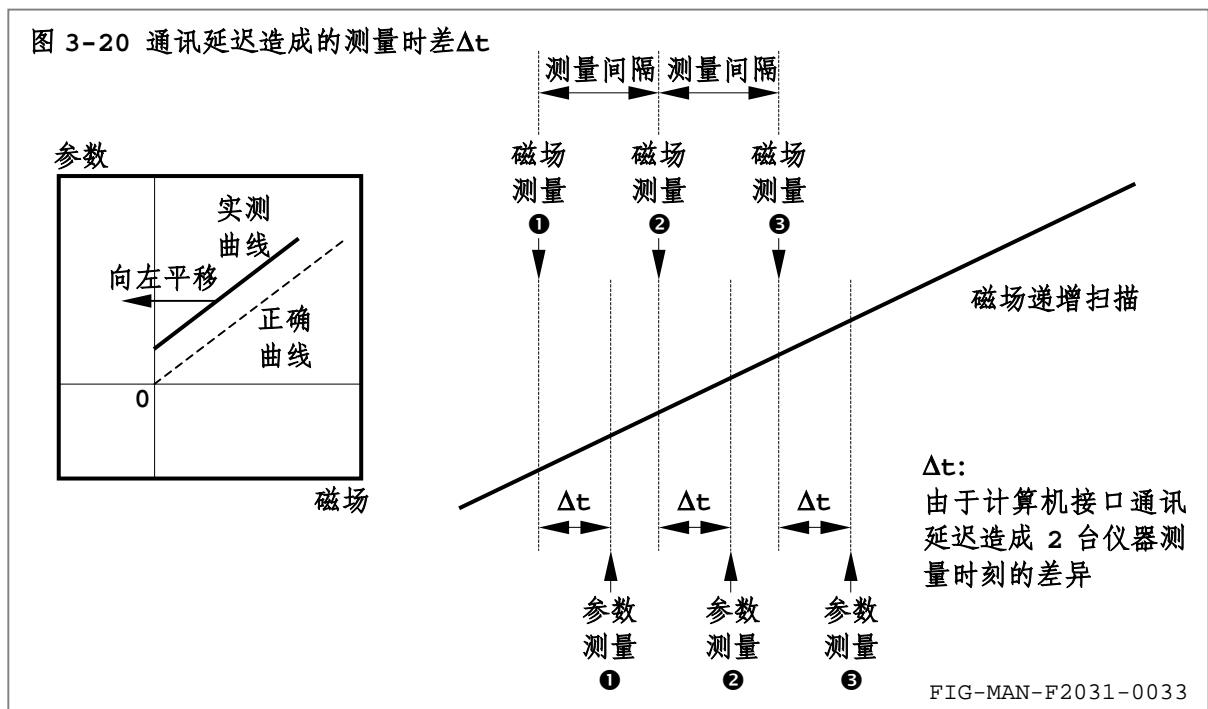
进入电流扫描状态后，F2031 依据扫描模式、扫描最大值、电流线性渐变速率和换向延迟时间组合执行完整的扫描过程。在此期间，除针对扫描过程的暂停、继续和中止操作外，F2031 无

法响应其他操作。

电流扫描功能通常针对需要磁场扫描并在扫描中进行连续测量的应用。在这些应用中，其他多台测量仪器在扫描过程中以一定的时间间隔连续测量磁场以及随磁场变化的其他参数，例如电阻和磁矩。通过计算机接口的统一操作，可在一定程度上达成测量的同步性，但接口自身的通讯延迟又可能破坏 F2031 之外的磁场测量仪器和另一台测量仪器的同步性，从而使测量曲线以磁场为水平轴出现向左或向右的平移。平移程度和方向由磁场扫描速率、2 台仪器测量时刻的差异和测量先后顺序决定。如图 3-20 所示。

磁场扫描速率愈大，通讯延迟时间愈长，曲线的平移现象愈明显。正向磁场递增扫描过程中，磁场测量先于参数测量时，曲线向左移动，其它扫描过程中的曲线移动方向类推。

为应对此问题，F2031 提供扫描触发输出功能。开启此功能后，F2031 以设定时间间隔连续输出的触发信号驱动具有外部触发输入功能的多台测量仪器在触发时刻进行同步测量。



3.16.2 设置扫描触发输出方式和触发时间间隔

扫描触发输出方式设置步骤如下：

- ① 标准显示界面下，按 **TRIGGER** 键进入触发设置菜单。按 **▲**、**▼** 方向键选择“Sweep”，进入扫描触发方式选择界面；
- ② 按 **▲**、**▼** 方向键循环显示“Off”（关闭扫描触发输出）、“On”（扫描触发输出）、和“On+♪”（具有声响提示的扫描触发输出）；
- ③ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ④ 按 **ESC** 键保留原扫描触发方式并返回标准显示界面；

选择“Off”时，扫描触发状态指示区无显示，F2031 在电流扫描期间不输出触发信号。

选择“On”、或“On+♪”时，扫描触发状态指示区显示触发标志和相应的声响提示标志“♪”，并进入触发时间间隔设置界面，并遵循如下步骤设置扫描触发时间间隔：

- ⑤ 按 **▲**、**▼** 方向键在 0—2.0s 范围内增大或减小触发时间间隔，调整步进为 0.1s；
- ⑥ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ⑦ 按 **ESC** 键保留原触发时间间隔并返回标准显示界面。

注

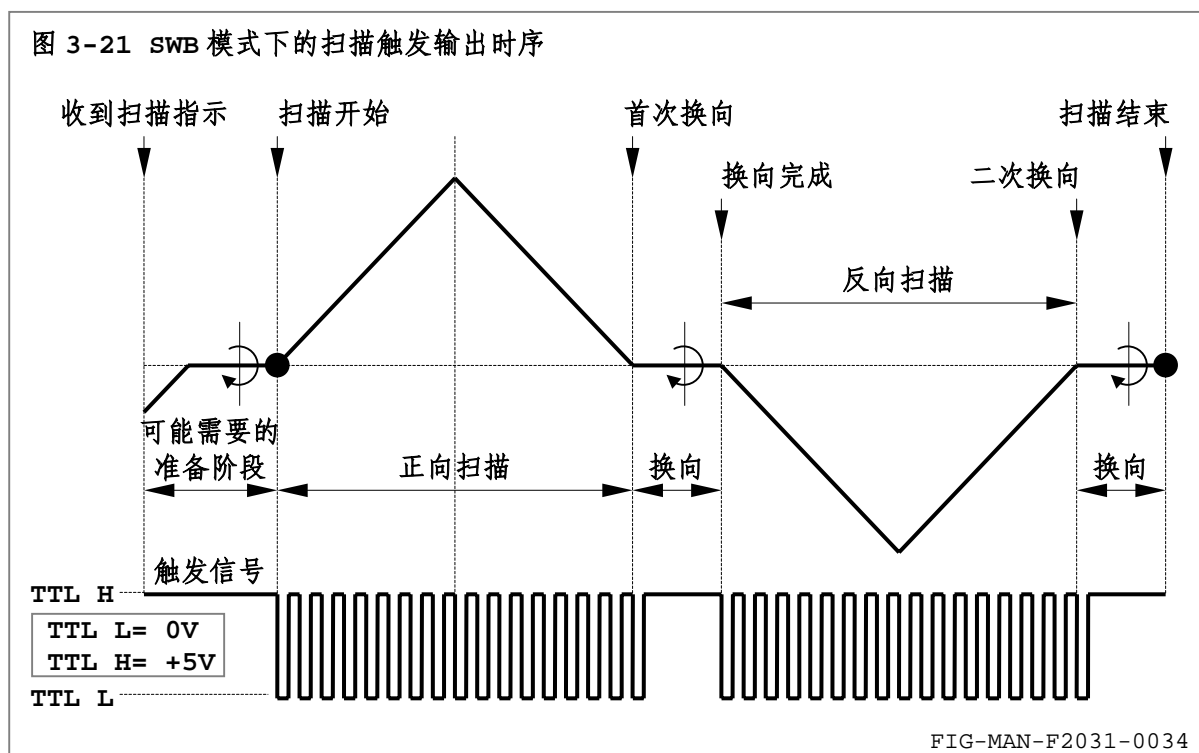
扫描触发输出方式和触发时间间隔保存于 F2031 内部非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

触发方式也可通过计算机接口命令 **SWTRIG** 设置，并通过查询 **SWTRIG?** 查询当前触发方式。命令 **SWTRIGINT** 和查询 **SWTRIGINT?** 分别用于设置和查询扫描触发时间间隔，请参阅第 4 章中的相关内容。

3.16.3 扫描触发输出时序

扫描开始后，F2031 以设定的扫描触发时间间隔连续输出下降沿有效的触发信号，但在可能的准备阶段以及扫描所涉及的换向过程中不输出触发信号，以保证触发信号与完整扫描过程的同步，以及避免换向中可能出现的电流过冲对测量准确度的影响。SWB 模式下的扫描输出时序如图 3-21 所示，SWA、SWC 和 SWD 模式下的时序类推。

图 3-21 SWB 模式下的扫描触发输出时序



开启扫描触发功能后，无论使用前面板 **SWEEP** 键，或使用计算机接口命令 **SWEEP** 开启电流扫描，F2031 均输出扫描触发信号。

扫描暂停时，扫描触发信号随之暂停输出，并在扫描继续时刻起恢复。如果扫描过程中止，扫描触发信号随之停止输出。

F2031 可提供的最小触发时间间隔为 100ms，对应最大触发输出密集度为 10 次/s，即测量仪器每秒获得 10 个数据点。在最高扫描速率 2A/s、最大扫描值为 5A 的情形下，用户在扫描的一次递增或递减过程中可获取 25 个数据点。

3.16.4 降低测量时长差异导致的扫描测量误差

扫描触发输出可避免由于计算机接口通讯延迟导致的同步问题，然而在实际应用中，用于磁场测量的高斯计和用于测量其他参数的仪器，例如台式万用表和锁定放大器均具有必需的测量时长要求。测量时长与仪器内部电路采样方式和数据处理速度有关。例如具有外部触发输入功能的高斯计 F1206，其触发测量时长为 20ms，而台式万用表 Keithley 2000 在 6 1/2 位低速模式下的触

发测量时长约为 200ms，中速模式下为 20ms，设置时间常数为 100ms 的锁定放大器在外部触发测量模式下获得采样值并处理为稳定读数的时间约为 150ms。

测量时长的差异同样将导致测量曲线的平移。但可通过以下措施最大程度缓解此一问题：

- (1) 使用测量时长尽量短的仪器。
- (2) 尽量使用相同或相近测量时长的仪器组合，例如 F1206 与 Keithley 2000 在 6 1/2 位中速模式下的组合。
- (3) 无法保证仪器之间相同或相近测量时长且系统中存在低速仪器时，使用尽量低的扫描速率，以保证最大测量时长内磁场变化率不导致测量曲线的明显平移。例如设置电流线性渐变速率为 0.01A/s，且 5A 可驱动亥姆霍兹线圈产生 150G 磁场时，200ms 测量时长内的电流变化为 2mA，对应磁场变化 0.06G，即满幅磁场的 0.04%。

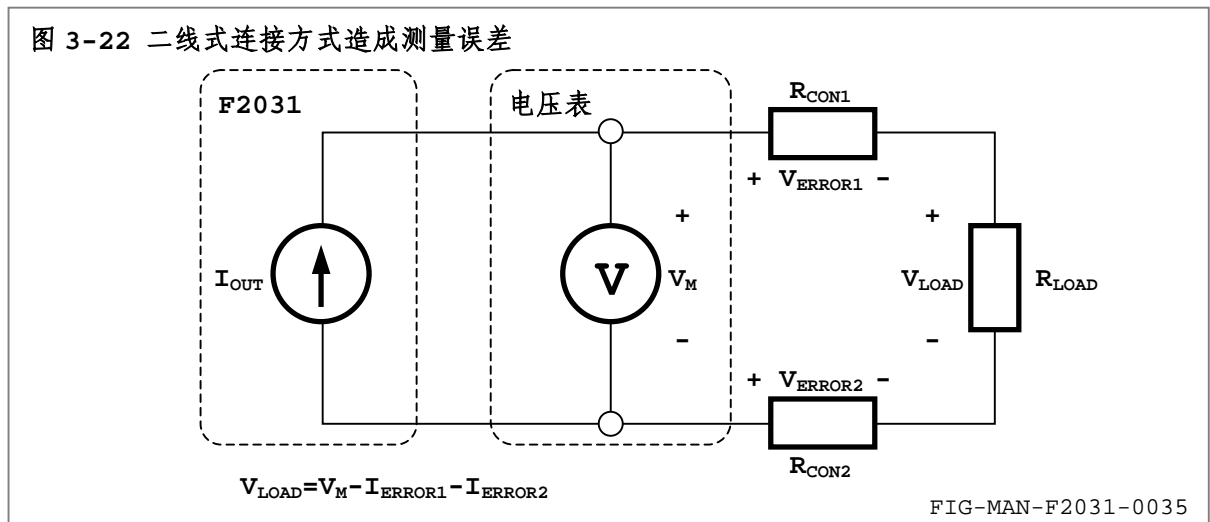
3.16.5 根据仪器测量时长正确设置触发时间间隔

扫描触发时间间隔应大于系统中最低速仪器的测量时长，以保证触发测量数据点的严格对应关系。在大多数具有外部触发输入功能的测量仪器中，一次触发测量未结束时即接收到下一次触发信号将导致本次触发测量结果失效，或者下次触发信号失效。二者之一均将导致与其他测量仪器数据点的对应关系混乱，并在测量曲线上表现为非正常的曲线波动和平移。

3.17 测量负载两端电压

除励磁应用外，F2031 也适用于恒流驱动大功率负载，例如测量低于 10mΩ 的电阻，需要测量负载两端的电压。此外在某些严格的应用场合中，例如驱动精密加热装置或驱动工作电流达到 3A 以上的大功率 LED 串联组合，需要测量负载两端电压以时刻监测负载运行状况。

常见的电阻测量使用二线式连接方式，如图 3-22 所示。连接电压表的测量导线具有电阻 R_{CON} ，通过电流时具有一定的压降 V_{ERROR} ，并造成测量误差。



V_{LOAD} 较高且 I_{OUT} 较小时 V_{ERROR} 远小于 V_{LOAD} ，误差可以忽略。然而 V_{LOAD} 较低且 I_{OUT} 较大时， V_{ERROR} 可能增大并导致显著的误差。例如 F2031 输出 5A 电流驱动 1Ω 电阻时，测量导线总电阻 $R_{CON1} + R_{CON2} = 10m\Omega$ 时误差电压为 50mV，为负载两端电压 5V 的 1%。

为避免测量导线造成的测量误差，常使用四线式连接方式保证电阻测量精度。如图 3-23 所示。

由 F2031 输出的电流通过导线电阻 R_{CON3} 和 R_{CON4} 以及负载形成回路。由于电压表输入阻抗远大于 R_{LOAD} ，流经电压测量导线的电流 I_M 很小。例如万用表电压档的输入阻抗为 10MΩ、 $V_{LOAD} = 1V$ 时 $I_M = 100nA$ ，即使总导线电阻 $R_{CON1} + R_{CON2}$ 达到 1Ω，误差电压为 100nV，造成的测量误差也仅为 0.1ppm。

图 3-23 四线式连接方式避免测量误差

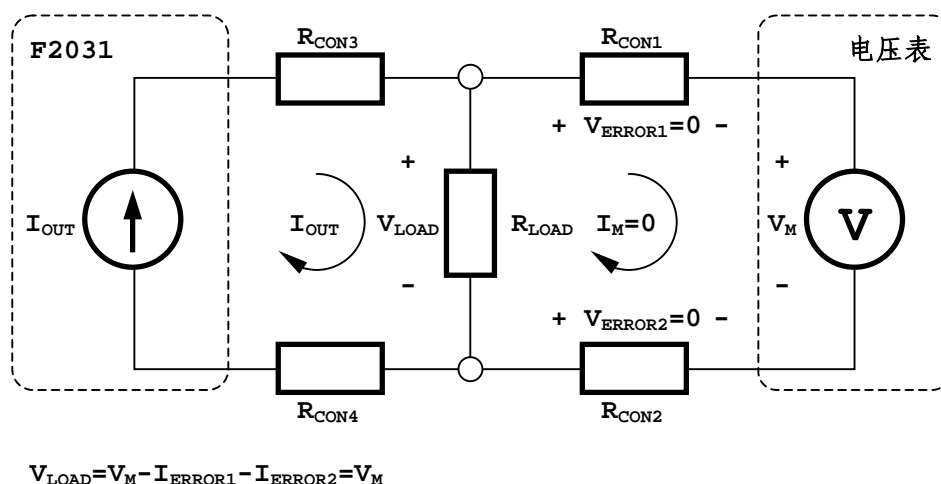


FIG-MAN-F2031-0036

3.18 键盘锁

F2031 配置键盘锁，用于在远程控制过程中避免与前面板键盘操作发生冲突。键盘锁由接口命令 **LOCK** 启动或解除，并由查询 **LOCK?** 进行查询。请参阅 4.6.4 和 4.6.5 中的相关内容。

键盘锁启动后，LCD 显示器右上方显示键盘锁标记“**Ⓚ**”。此时除 **ESC** 和 **STOP/0** 键外前面板其余按键无效。键盘锁启动后，按下 **ESC** 键 5 秒后恢复出厂设置，并解除键盘锁。

注

F2031 开机时键盘锁为解除状态。

3.19 负载保护

F2031 后面板配置的负载保护 BNC 接口用于对负载进行保护。

3.19.1 开启和关闭负载保护功能

标准显示界面下，请遵循以下步骤开启和关闭负载保护功能：

- ❶ 使用 **MENU** 键进入菜单，按 **▲**、**▼** 方向键选择“Protection”并按 **ENTER** 键进入负载保护功能设置界面；
- ❷ 按 **▲**、**▼** 方向键键循环显示“Off”（关闭负载保护）和“N.C.”（常闭型开关保护）；
- ❸ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ❹ 按 **ESC** 键保留原速率并返回标准显示界面。

注

负载保护功能设置保存于 F2031 内部非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

也可通过计算机接口命令 **LOADP** 开启或关闭负载保护功能，并由查询 **LOADP?** 查询负载保护功能是否开启，以及 **LOADPS?** 查询 F2031 是否进入负载保护状态。

3.19.2 负载保护接口的输入端

F2031 的负载保护接口可识别开关输入或 TTL 电平输入信号。输入端为使用上拉电阻的 TTL 电平施密特缓冲器输入，如图 3-24 所示。其中 R 为上拉电阻， R_s 为串联保护电阻，二极管 D_1 和 D_2 为施密特缓冲器输入端提供输入过压保护。

图 3-24 负载保护接口的输入端

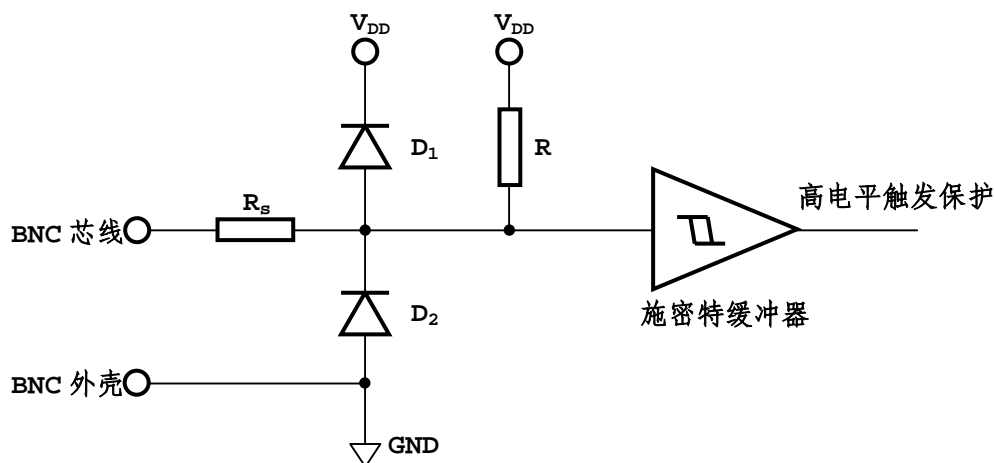


FIG-MAN-F2031-0037

3.19.3 通过常闭型温度开关实现负载过热保护

将温度开关预埋于负载内部或固定于负载表面可实现最简单的负载过热状态逻辑。温度开关分为常开（NO, Normal Open）和常闭（NC, Normal Close）型，F2031 的负载保护功能需使用常闭型号的两极分别连接至 BNC 的芯线和外壳，如图 3-25 所示。

警告

使用常开型温度开关将导致负载于冷态时 F2031 即进入负载保护状态。

对于常闭温度开关，负载温度低于断开阈值时内部开关闭合，BNC 芯线和外壳短路，经过施密特缓冲器后，F2031 内部接收低电平，允许用户正常操作输出电流。伏在温度高于断开阈值时内部开关断开，BNC 芯线与外壳开路，上拉电阻 R 使施密特缓冲器输入端和输出端均维持高电平，F2031 发出断续声响信号作为负载保护警报，输出电流以 2A/s 的速度降至零，输出端切换为高阻状态，而后 F2031 进入负载保护状态，并于电流设置值后“DC”上方显示“LP”。

图 3-25 使用常闭型温度开关实现负载过热保护

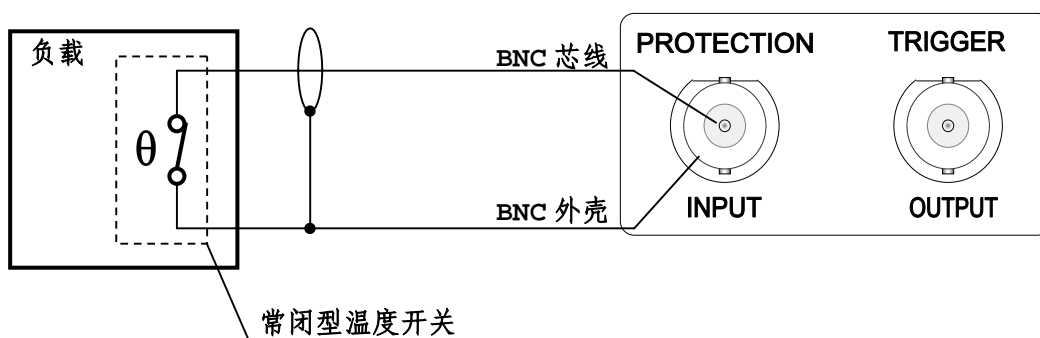


FIG-MAN-F2031-0038

负载保护状态下，F2031 允许用户设置输出电流、切换电流输出方向和更改各设置项，但不允许将输出端设置为正常输出状态，避免继续对负载施加功率，从而使负载温度下降，直至温度降至闭合阈值以下，温度开关再次闭合。

温度开关再次闭合后，F2031 脱离负载保护状态，电流设置值后“DC”上方显示的“LP”消失，并重新允许用户完全操作输出电流。

注

常闭型温度开关的闭合阈值温度低于断开阈值温度约 5-10℃。

3.19.4 更复杂的负载保护方法

F2031 的负载保护输入端口允许处理外部输入的 TTL 电平，因此可配合独立的负载保护装置实现更复杂的保护功能，例如具有数字电平信号输出的更精密的温度测量装置。这些额外的独立保护装置的数字信号输出电平和逻辑应与 F2031 的需求一致。

3.20 设置计算机接口

3.20.1 设置接口类型

F2031 除提供标准 RS-232C 接口外，还于内部将 RS-232C 转换为 USB1.1 兼容接口，以解决计算机串行接口缺乏问题并充分利用日益扩充的 USB 接口资源。如图 3-26 所示。安装必要的驱动程序后，转换后的 USB 接口对于计算机相当于标准 RS-232C 接口。

图 3-26 F2031 的计算机接口系统

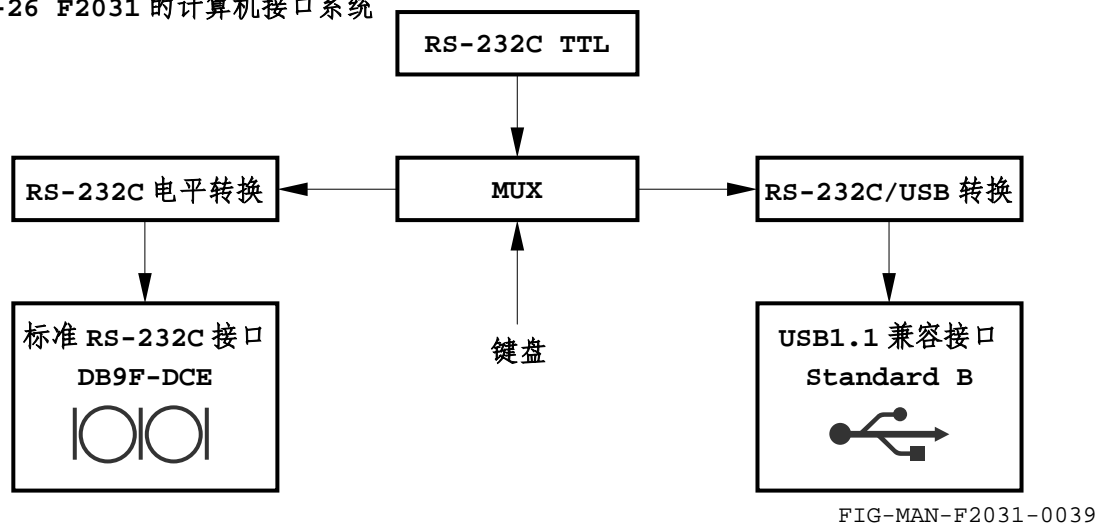


FIG-MAN-F2031-0039

标准显示界面下，请遵循以下步骤选择计算机接口形式：

- ❶ 使用 **MENU** 键进入菜单。按 **▲**、**▼** 方向键选择“Interface”，并按 **ENTER** 键进入计算机接口选择界面；
- ❷ 按 **▲**、**▼** 方向键在“RS-232C”和“USB-232”选项中循环选择；
- ❸ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ❹ 按 **ESC** 键保留原接口形式并返回标准显示界面。

设置完成后，前面板 LED 指示器中“RS-232C”或“USB-232”LED 相应点亮。

注

当前接口形式保存于 F2031 内部的非易失性存储器内，并于下次开机时保持。

3.20.2 设置串行接口波特率

RS-232C 接口和 USB 接口使用相同的波特率，标准显示界面下，请遵循以下步骤设置波特率：

- ❶ 使用 **MENU** 键进入菜单。按 **▲**、**▼** 方向键选择“Baud Rate”，并按 **ENTER** 键进入波特率设置界面；
- ❷ 按 **▲**、**▼** 方向键循环显示各可选波特率 300、600、1200、4800、9600；
- ❸ 按 **ENTER** 键确认选择；或 ❹ 按 **ESC** 键保留原波特率并返回标准显示界面。

设置完成后，前面板显示器右下方显示当前使用的波特率。

图 3-27 设备管理器中的 RS-232C/USB 转换器设备



FIG-MAN-F2031-0040

图 3-28 USB Serial Port(COMn)属性窗口

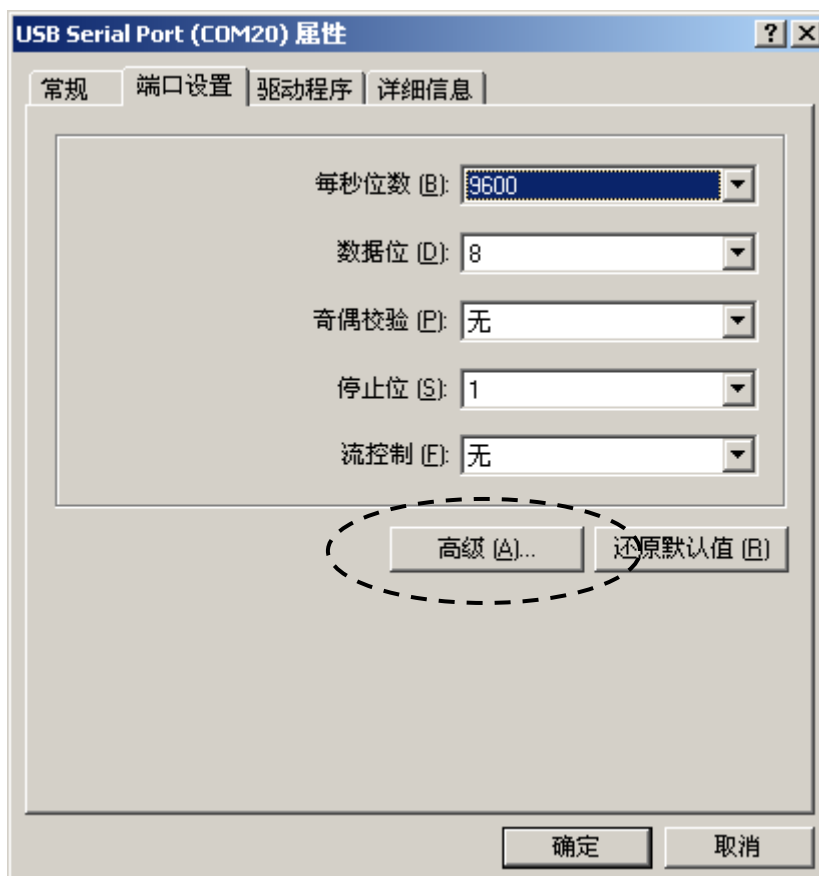


FIG-MAN-F2031-0041

3.20.3 安装并设置 USB-232 接口

F2031 内部将标准 RS-232C 接口转换为 USB1.1 兼容接口。计算机无法直接识别 F2031 的 USB 转换器设备，必须安装产品信息光盘 CD-F2031 内的驱动程序 DRV-USB232 后方可与计算机

正常通讯。驱动程序 DRV-USB232 适用于 Windows XP、7、8 和 10 操作系统。

安装驱动程序请遵循以下步骤：

- ① 关闭 F2031 前面板电源开关；
- ② 打开产品信息光盘 CD-F2031（设光驱盘符为 D:）中的 DRV-USB232 文件夹，并根据计算机中安装的 Windows 版本对应双击运行：

驱动 20824: “DRV-USB232(20824) for WINXP.exe”，或者

驱动 21226: “DRV-USB232(21226) for WIN7 WIN8 WIN10.exe”。

Windows XP 下，运行驱动 20824 后弹出控制台界面，并自行完成各项驱动设置。

Windows 7、8、10 下，运行驱动 21226 后弹出安装窗口，请循安装程序提示完成安装。

- ③ 将附件中的电缆 USB-AB-2 的 Standard A 型插头插入计算机后面板的 Standard A 型插座内，并将 Standard B 插头插入 F2031 后面板的 USB B 型插座内；
- ④ 开启 F2031 前面板电源开关，等待计算机识别设备。

设置 USB 接口时，请遵循以下步骤：

- ① 进入 Windows 系统的“设备管理器”页面，如图 3-27 所示，点击“端口（COM 和 LPT）”左侧的“+”；
- ② 双击“USB Serial Port (COMn)”，打开图 3-28 所示属性窗口；
- ③ 选择“端口设置”页，点击“高级”按钮，打开图 3-29 所示“COMn”的高级属性窗口，调整 COM 端口号为所需端口号；
- ④ 修改端口号后点击“确定”按钮，返回图 3-28 所示属性窗口，修改“波特率”与 F2031 所使用的波特率一致，修改“数据位”、“奇偶校验位”和“停止位”为“8”、“无”和“1”，参见第 4 章中的相关内容，设置“流控制”为“无”，点击“确定”按钮。

图 3-29 修改 RS-232C/USB 转换器的端口号

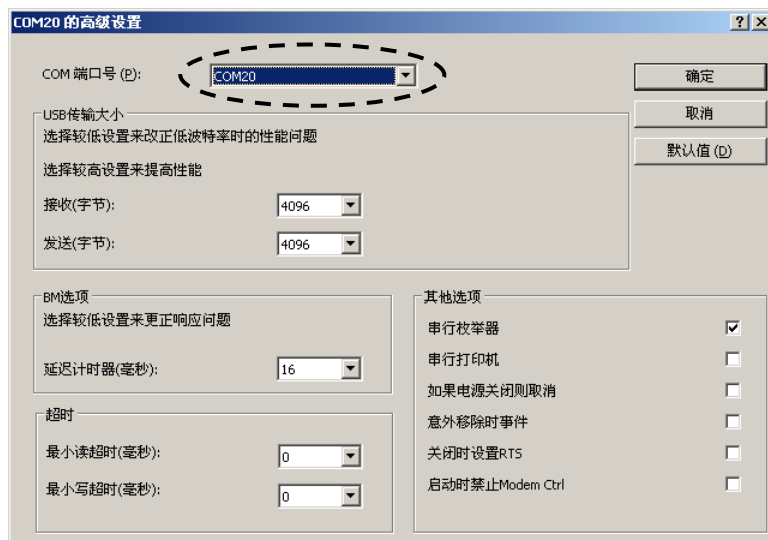


FIG-MAN-F2031-0042

3.21 恢复出厂设置

标准显示界面下，包括键盘锁启动状态下，按下 **Esc** 键 5 秒后进入图 3-30 所示恢复出厂设置界面，并将各参数恢复出厂设置，5 秒后恢复至标准显示界面。各项参数出厂设置如表 3-3 所示。恢复开机设置可通过发送计算机接口命令 ***RST** 达成。

表 3-3 恢复出厂设置值

TAB-MAN-F2031-0006

项 目	出厂设置值	项 目	出厂设置值
输出端	高阻状态	输出电流	+0
接口形式	RS-232C	波特率	9600bps
扫描模式	SWC	扫描最大值	5A
换向延迟	5s+┐+3s	常规触发输出	关闭
常规触发延迟	100ms	扫描触发输出	关闭
扫描触发间隔	1s	前面板键盘	解锁
负载保护功能	关闭	渐变结束声响	开启

图 3-30 恢复出厂设置

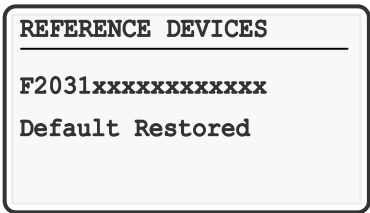


FIG-MAN-F2031-0043

3.22 接地关系

3.22.1 浮动输出

为保证操作者的人身安全，使用交流电源供电的电子仪器必须通过三芯单向交流电源的接地线妥善安全接入安全地，此外，为避免可能的干扰，所有仪器必须良好接地。

然而，多个同时接地的仪器可能产生地线环路。例如，在 2 台通过电源线同时接入安全地的源和表之间，由于用于测量的信号线具有连接 2 者的信号地，并且信号地可能均于 2 台仪器内部连接至安全地，从而构成地线环路，如图 3-31 所示。

地线环路构成事实上的天线，拾取空间干扰并对测量造成影响。此外，如果系统中存在功率设备，流经连接设备之间电缆的地线也将使地电平产生可考的差异，造成测量误差。

大多数台式万用表均为浮动输入测量，可避免形成地线环路。然而，某些测量设备的输入端必须内部接入安全地，例如安装于计算机内部的数据采集卡。对于此类测量设备，为达到尽可能高的

图 3-31 同时接地产生的地线环路

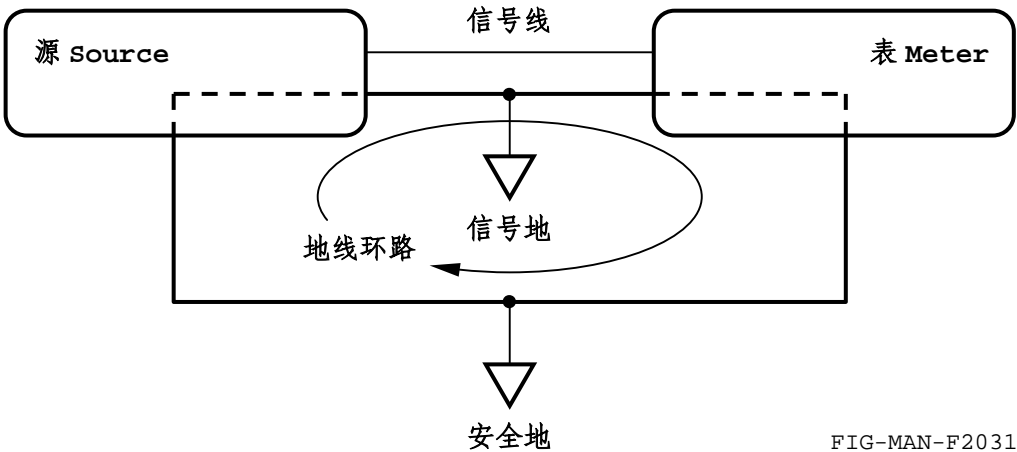


FIG-MAN-F2031-0044

测量准确度，要求源必须具有浮动输出。此外，某些驱动应用实例要求源的输出端必须承受以安全地为参考的共模电压，此时，源必须具有浮动输出能力，并必须在内部提供足够高的隔离电压。

F2031 的电流输出端与安全地无关，为浮动输出。输出端的任意一端与仪器安全地之间的电压峰值隔离能力不低于 200V。输出端中任意一端可根据应用需要在仪器外部连接至适当的接地点，从而保护操作者的人身安全。

警告

F2031 浮动输出端的任意一端与安全地之间的直流和交流电压叠加峰值不可超出 200V，否则可能造成内部电路击穿，并进而造成对操作者的严重电击事故。

3.22.2 接地关系

F2031 具有 2 个相互隔离的地电位，即 ❶ 机箱地 GND 和 ❷ 内部电流源隔离地 ISOGND，如图 3-32 所示。其中：

❶ 机箱地 GND：通过电源输入组件交流输入插座的中间导体，经由 AC220-3 附件连接至安全地（Earth），并作为机箱的保护地（PE）。同时机箱地与 RS-232C 端口的 DB9 插座外壳及其第 5 引脚、USB 端口的 Standard B 插座外壳及其第 4 引脚以及触发输出 BNC 插座外壳连通并等电位。

❷ 内部电流源隔离地 ISOGND：内部隔离地，无外接导体或端子。

图 3-32 F2031 的接地关系

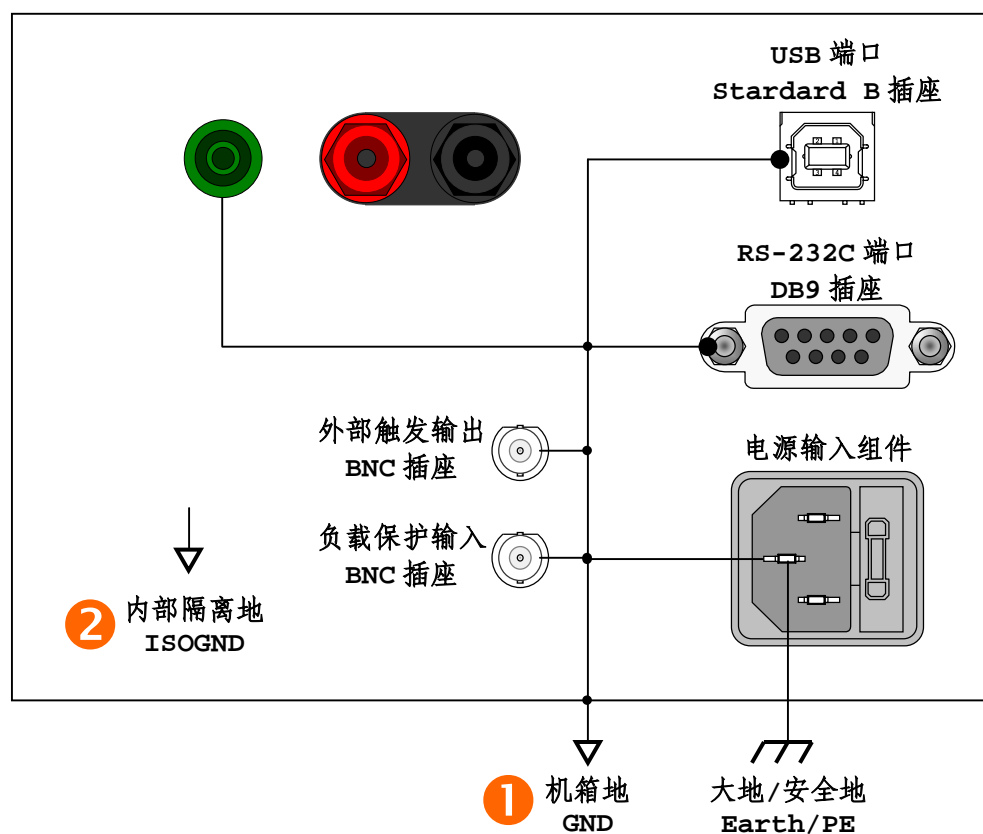


FIG-MAN-F2031-0045

警告

接地不良可能导致仪器机箱体和附件的导电部分感应带电，并造成可能的电击事故或仪器运行故障。

3.23 键盘菜单结构

图 3-33、图 3-34 和图 3-35 所示为 F2031 的键盘菜单结构图。其中图 3-33 为输出设置和计算机接口，图 3-34 为线性渐变、扫描和负载保护，图 3-35 为触发输出。

图 3-34 F2031 键盘菜单结构图（线性渐变、扫描和负载保护）

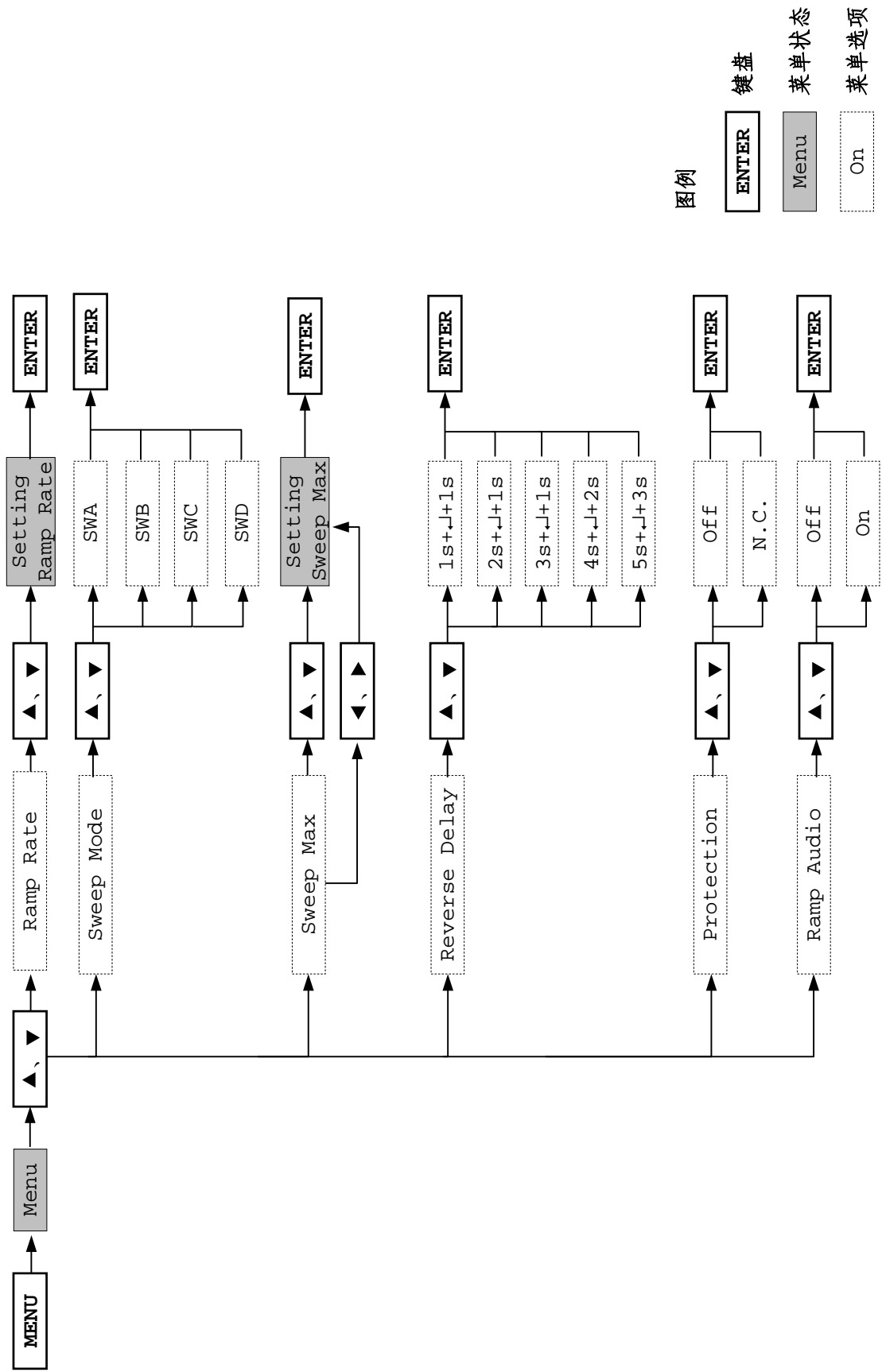


FIG-MAN-F2031-0047

图 3-35 F2031 键盘菜单结构图（触发输出）

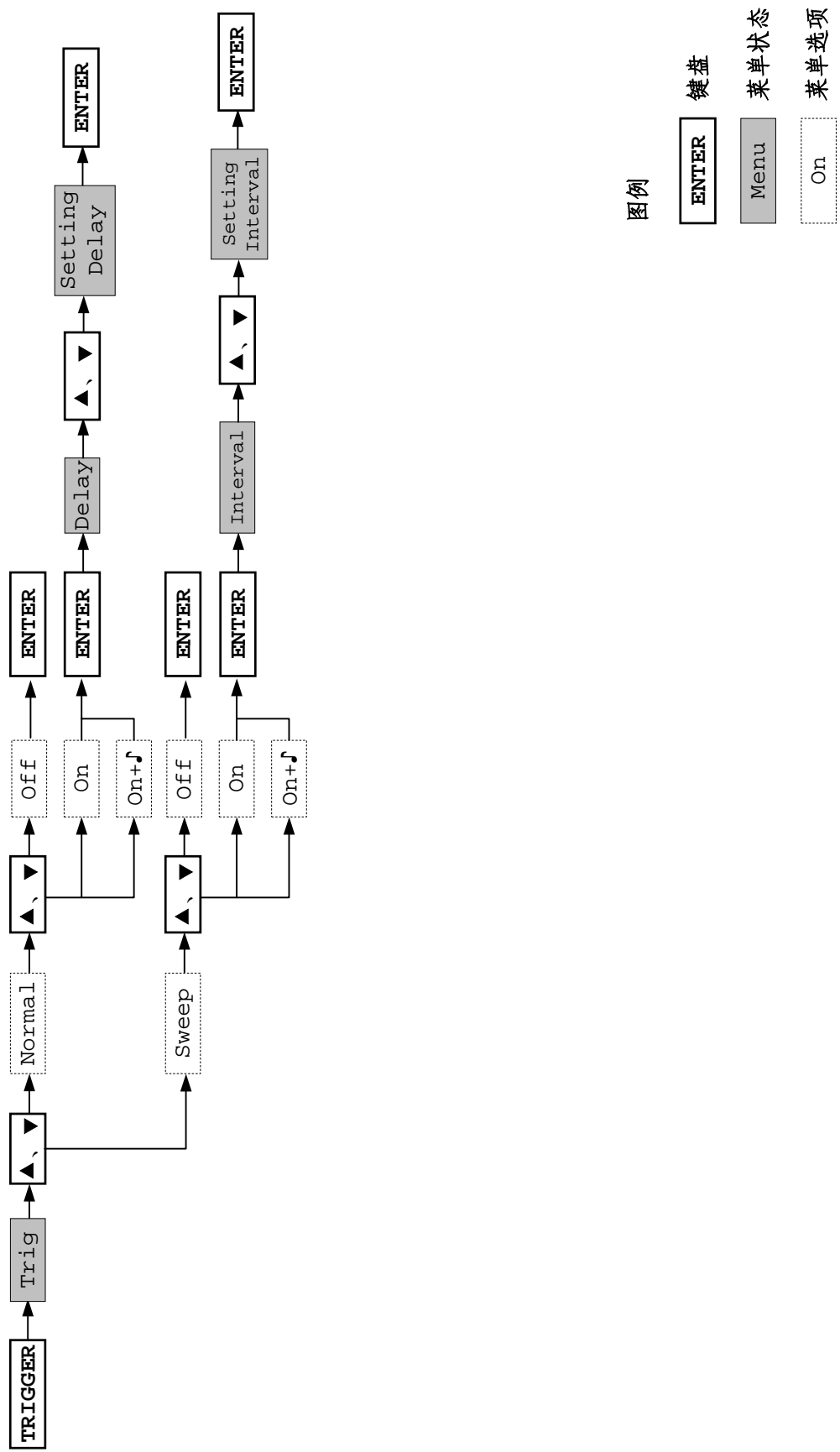


FIG-MAN-F2031-0048

<本页为空页>

This Page Intentionally Left Blank

计算机接口

4.1 简介

F2031 程控功率电流源配备计算机接口，所有仪器功能均可通过接口进行操作。本章包含接口操作方法，其中 4.2 为计算机接口选择，4.3 为 RS-232C 接口概述，4.4 为 USB-232 接口概述，4.5 为接口命令语法和软件控制机制，4.6 为接口命令详解。

4.2 计算机接口选择

4.2.1 接口构成

F2031 配备标准 RS-232C 串行计算机接口，并提供完整的命令集，以完成对仪器功能的操作。

同时为提高计算机的接口容量，F2031 内部提供将 RS-232C 协议转换为 USB 协议的 USB-232 转接器。使用 USB-232 接口时，用户可使用与 RS-232C 接口相同的命令和操作方法，并籍由符合 USB 1.1 规范的 USB 接口控制仪器。

通过简便的 USB 连接方式，一台计算机可通过固有的多个 USB 硬件接口连接多台与 F2031 类似的串行接口设备，从而无需由硬件扩充 RS-232C 接口。

4.2.2 选择接口和设置波特率

在同一时刻，用户只可使用 F2031 的一种接口形式，使用一种接口时，另一接口不响应任何操作。切换 RS-232C 和 USB-232 接口的操作方法请参阅 3.12.1 中的内容。

由于 2 种接口于 F2031 内部均视为标准 RS-232C 接口，因此 F2031 对二者使用相同的波特率设置，即对波特率的设置同时适用于 2 种接口，而无论设置波特率时正在使用何种接口。波特率的设置方法请参阅 3.16.2 中的内容。

使用 USB-232 接口时，需首先于计算机上安装 F2031 的接口驱动程序。驱动程序安装方法请参阅 3.16.3 中的相应内容。

4.3 RS-232C 接口概述

F2031 使用的 RS-232C 接口符合电子工业协会 EIA-232-E 标准。EIA-232-E 标准描述了各种用于计算机与电子设备之间连接的众多通用接口之一。在 F2031 内部，USB-232 接口数据也将转换为符合 EIA-232-E 标准的数据格式。

EIA-232-E 标准描述的 RS-232C 接口可以采用不同的设置方法和通讯参数。本节以下部分将描述适用于 F2031 的串行通讯特性。为达可靠通讯，用户需首先在计算机上正确设置端口参数。

4.3.1 物理连接

F2031 后面板配置 1 只 9 针 D 型连接器，适用于使用 RS-232C 接口与计算机通讯。最初的 EIA-232-E 标准指定使用 25 针连接器，至今 9 针连接器也已成为工业标准。众多第三方通讯电缆可用于通过 9 针或 25 针方式将电子设备连接至计算机。图 4-1 为常用 DCE 和 DTE 配置的 9 针连接器引线序列。必须提请用户注意，F2031 并不支持其中的全部引线功能。

图 4-1 常用 DCE 设置 9 针连接器引线序列



FIG-MAN-F2031-0049

DCE 配置代表数据通讯设备 (Data Communication Equipments), 并决定方向引线 Tx 和 Rx 的线序和连接方式。DTE 配置 (Data Terminal Equipments) 的设备通过的直通电缆 (即 2-2、3-3、5-5) 与 DCE 设备互补连接。DCE 配置的设备通过空调制解调器电缆 (即 2-3、3-2、5-5) 与 DCE 设备互补连接。类似的, DTE 配置的设备之间也需通过空调制解调器电缆互补连接。

F2031 的 RS-232C 串行驱动器可产生满足 EIA-232-E 标准的传输电平。由于接口电压和电流限制于较低的水平, 在正常操作中接口电压可视为安全电压。F2031 的串行驱动器设计用于驱动长度不大于 15 米的通讯电缆。更长的电缆可能造成通讯不稳定。

4.3.2 硬件支持

F2031 的 RS-232C 硬件接口具有以下特性：

- ① 异步时钟：每个字符的各个位均使用异步时钟。此时钟需要起始位和结束位作为一个字符传输的一部分，由此发送设备和接收设备可于不同字符传输中重新同步。
- ② 半双工传输方式：F2031 可作为数据的发送者或接收者，但无法同时作为两者。
- ③ 波特率：F2031 支持的波特率为 300、600、1200、4800 和 9600bps。
- ④ 硬件握手（流控制）：F2031 不支持硬件握手，因此在计算机接口操作中，用户程序必须对其中涉及到的流控制时序全面负责。

4.3.3 传输格式

字符是接口传输中的最小单位。F2031 使用的每个字符长度为 10 位，其中包含数据位和同步位。数据位为 8 位，对应 1 字节数据，同步位包含 1 位起始位和 1 位停止位，无奇偶校验位。

字符数据以 ASCII 编码为基本格式，此外 F2031 还使用 2 个不可显示的特殊 ASCII 字符 CR 和 LF 作为命令结束符，以标明一个完整字符串发送完毕，其中 CR=0DH (13)、LF=0AH (10)。F2031 可识别的结束符为 CR 和 LF 的任意组合，例如 CR、LF、CR+LF、LF+CR、CR+CR 和 LF+LF。

4.4 USB-232 接口概述

F2031 后面板配置 USB Standard B 连接器，用户可通过标准 USB A-B 电缆连接计算机和 F2031。USB 接口在 F2031 内部转换为标准 RS-232C 接口，对于计算机，此 USB-232 接口也等效于标准 RS-232C 接口，因此，对于 USB-232 接口的操作与标准 RS-232C 接口的操作完全相同。

USB Standard B 连接器通常用于设备端，对应的 USB Standard A 连接器通常用于控制端，二者在物理尺寸有较大差异，并通过 USB A-B 电缆相互连接。详细连接方法请参阅 2.4.2。

4.5 接口命令语法和软件控制机制

4.5.1 消息字符串

消息字符串为用于执行接口功能的一组字符。F2031 具有 3 种基本消息字符串，即命令、查询和响应。计算机通过用户程序向 F2031 发送命令和查询，F2031 视执行结果返回响应。由计算机发起的通讯每次允许发送多条命令和查询，消息字符串之间必须以结束符分隔。F2031 逐一对待命令进行响应，但包含结束符在内的多条命令/查询字节（字符）长度总和不应超过 200 字节。

命令字符串由计算机发出，指示仪器执行一项特定功能，或修改某一参数，格式为：

命令助记符	空格	参数	结束符
-------	----	----	-----

例如开启键盘锁命令：LOCK 1[CR]，以及不具有参数的命令，如设备复位命令：*RST[CR]。

查询字符串由计算机发出，查询 F2031 当前状态或参数设置，格式为

查询助记符	?	结束符
-------	---	-----

例如当前输出电流查询：CUR?[CR]。

消息字符串中的英文字符大小写不敏感，可均使用小写或大写，也可大小写混用，例如设置扫描模式命令 SWMODE 1[CR]也可写为 swmode 1[CR]或 SwMode 1[CR]。

响应字符串为 F2031 对命令或查询的应答。仪器收到命令并执行完毕后、或者收到命令但当前无法执行、或者收到查询后向计算机发送响应字符串，并在字符串结尾固定发送结束符[CR]。

响应时间视执行时间而异，F2031 处于空闲状态时的最大响应时间不大于 100ms。

4.5.2 数据格式

F2031 通过一系列 16 进制编码的 ASCII 码与计算机之间进行通讯，ASCII 编码请参阅 A.6 中的详细内容。例如计算机向 F2031 发送命令 `CUR 5.00000[term]`，当结束符`[term]=[CR]`时计算机实际通过串行接口发送的数据为：

格式		助记符			空格	参数							结束符
ASCII 码		C	U	R	Space	5	.	0	0	0	0	0	CR
实际发送字节	16 进制 HEX	43h	55h	52h	20h	35h	2Eh	30h	30h	30h	30h	30h	0Dh
	10 进制 DEC	67	85	82	32	53	46	48	48	48	48	48	13

4.5.3 应答机制

F2031 采用一问一答的应答机制，即对每个具有正确助记符的命令或查询均返回响应。如果命令助记符/查询助记符拼写错误，F2031 不返回响应并于 100ms 内抛弃助记符错误的命令/查询。

使用计算机接口控制时应首先使 F2031 处于标准显示界面，否则除命令 `*RST` 外 F2031 对其余命令/查询均返回忙 `BUSY`。F2031 尚未完成一项命令任务时即收到命令/查询，也将返回忙 `BUSY`。如果命令参数超出设定范围或浮点数格式不符合此命令规定的格式，F2031 返回 `ERROR`。

由于通讯时序问题及可能的空间干扰，F2031 可能未接收到包含结束符在内的完整命令/查询，或计算机发送的命令/查询不含结束符时，F2031 将等待 200ms 并于之后抛弃不完整命令/查询。因此，由计算机发出的命令/查询中包含结束符在内的两字符之间的时间间隔应小于 200ms。

4.5.4 消息流控制

F2031 采用一问一答的应答机制，并对所有接收到的命令和查询返回响应。然而，F2031 自身无法决定这些命令和查询何时到达，因此可能在尚未执行完当前命令所规定的任务时又接收到其它命令或查询，从而无法返回用户程序所需的应答响应。为此，用户程序应对消息流控制全面负责。

遵循一问一答的应答机制可最大程度保证消息流软件控制的有效性。建议用户程序一次只发送一个命令或查询，立即等待来自 F2031 的应答响应，并于接收到应答响应后发送下一命令或查询。

F2031 的串行命令处理机制可应对大多数常规的消息流控制。然而，为达通讯的最佳可靠性，可遵循以下简单原则，以保证每次命令和查询均可得到预期的应答响应：

- ① 使用正确的格式，并在发送完整命令后发送至少 1 个结束符。
- ② 最后一个结束符发送后的 100ms 内尽量不发起其它通讯。
- ③ 发送完整命令并发送 CR 和 LF 中至少 1 个结束符后，立即准备接收响应。
- ④ 接收包含结束符[CR]在内的完整响应。
- ⑤ 响应接收完毕后的 100ms 内尽量不发起其它通讯。

4.5.5 接收缓存

F2031 的串行接口具有 200 字节(字符)接收缓存。计算机连续发送多个命令/查询时，F2031 将接收到的各命令/查询及其结束符保存于接收缓存内，并视接收顺序依次处理，而后于每一命令/查询处理完成后向计算机依次返回响应。各命令/查询之间以结束符分隔。

然而，由于部分命令/查询的处理可能需要较长时间，或者命令的执行可能延续较长时间，其后发送的命令/查询可能无法正确执行。例如：F2031 输出端处于正常输出状态，设置输出电流为 10A 时，连续命令/查询 `CUR 5[term]CUR?[term]` 中，`CUR 5` 命令首先设置 F2031 的输出电流以线性渐变方式递增至 5A，此过程中 F2031 不接受任何查询以及不响应除 `STOP` 和 `FAST0` 之外的任何命令，`CUR?` 的响应为 `BUSY`，而无法查询当前输出电流。

因此，请尽量遵循 4.5.3 中的消息流控制机制，以保证接口通讯的可靠性。如需连续发送命令/查询，请务必确认其中可能造成后续命令/查询无法正确执行的命令位于连续命令的末尾。

4.5.6 通讯故障诊断

F2031 为全新品但仍出现通讯故障时，请检查如下事项：

- ① 查看仪器当前接口是否与后面板连接一致，以及
- ② 查看计算机使用的串行接口的端口号是否与后面板连接一致。
- ③ 查看是否使用了正确的 RS-232C 直通电缆或 USB A-B 电缆。
- ④ 查看 F2031 的波特率设置是否与计算机的串行接口波特率一致。
- ⑤ 查看计算机串行端口的数据位、奇偶校验、停止位和流控制设置是否正确。
- ⑥ 如果 RS-232C 接口通讯正常而 USB-232 接口无法通讯，请查看驱动程序安装是否正确。
- ⑦ 确保命令和查询的拼写正确，对于带参数的命令，应在命令助记符与参数之间添加 1 个空格，除此之外，所有命令和查询的其余位置均不应添加空格。
- ⑧ 查看用户软件是否每次发送命令或查询时均在结尾发送结束符，并于接收响应时接收包含结束符[CR]在内的完整响应。某些终端仿真程序可能并不严格遵循此原则。
- ⑨ 查看用户软件是否在 1 个消息字符串内的 2 个相邻字符之间的发送间隔大于 200ms。

4.6 接口命令和查询详解

4.6.1 接口命令和查询集

F2031 的接口命令和查询集划分为①通用接口命令、②通用接口查询、③设备特殊命令和④特殊命令查询 4 部分，如表 4-1 所示。其中[term]为命令和查询的结束符，响应的结束符均固定为[CR]。结束符的详细描述请参阅 4.3.3 和 4.5.1 中的相关内容。

表 4-1 接口命令和查询集

TAB-MAN-F2031-0007

助记符	描述	格式	正常响应
① 通用接口命令			
*RST	仪器复位	*RST[term]	CMLT
② 通用接口查询			
*IDN?	查询仪器序列号	*IDN?[term]	产品序列号
③ 设备特殊命令			
CUR	设置输出电流	CUR \pm x.xxxxx[term]	CMLT
CURFD	设置输出电流微调位	CURFD n[term]、n=0-2	CMLT
CURFDOWN	当前输出电流微调位数值-1	CURFDOWN[term]	CMLT
CURFUP	当前输出电流微调位数值+1	CURFUP[term]	CMLT
FAST0	输出电流快速归零	FAST0[term]	CMLT
LOCK	设置键盘锁状态	LOCK n[term]、n=0、1	CMLT
LOADP	设置负载保护功能	LOADP n[term]、n=0、1	CMLT
NTRIG	设置常规触发方式	NTRIG n[term]、n=0-2	CMLT
NTRIGD	设置常规触发输出延迟时间	NTRIGD x.x[term]	CMLT
OUT	设置输出端状态	OUT n[term]、n=0、1	CMLT
OVLDRST	解除内部功率过载保护	OVLDRST[term]	CMLT
PN	PN 方式电流换向	PN[term]	CMLT
RAMPAUDIO	开启或关闭渐进结束声响	RAMPAUDIO n[term]、n=0、1	CMLT
RATE	设置电流线性渐变速率	RATE x.xx[term]	CMLT

表 4-1 接口命令和查询集（续）

TAB-MAN-F2031-0007

助记符	描述	格式	正常响应
③ 设备特殊命令			
REV	REV 方式电流换向	REV[term]	CMLT
REVDELAY	设置换向延迟时间组合	REVDELAY[term]	CMLT
STOP	停止正在进行的电流线性渐变	STOP[term]	CMLT
SWEEP	开始电流扫描	SWEEP[term]	CMLT
SWABORT	中止电流扫描	SWABORT[term]	CMLT
SWCONT	由暂停点继续电流扫描	SWCONT[term]	CMLT
SWPAUSE	暂停电流扫描	SWPAUSE[term]	CMLT
SWMODE	设置扫描模式	SWMODE n[term]、n=0-3	CMLT
SWMAX	设置电流扫描最大值	SWMAX x.xxxxx[term]	CMLT
SWTRIG	设置扫描触发输出方式	SWTRIG n[term]、n=0-2	CMLT
SWTRIGINT	设置扫描触发输出时间间隔	SWTRIGINT x.x[term]	CMLT
④ 设备特殊查询			
CMPLS?	查询当前是否进入电压钳位状态	CMPLS?[term]	0、1
CUR?	查询当前输出电流设置值	CUR?[term]	±电流值
CURFD?	查询当前输出电流微调位	CURFD?[term]	0、1、2
DIR?	查询当前输出电流方向	DIR?[term]	0、1
LOCK?	查询当前键盘锁状态	LOCK?[term]	0、1
LOADP?	查询负载保护设置	LOADP?[term]	0、1
LOADPS?	查询负载保护状态	LOADPS?[term]	0、1
NTRIG?	查询当前常规触发输出方式	NTRIG?[term]	0、1、2
NTRIGD?	查询当前常规触发输出延迟时间	NTRIGD?[term]	x.x
OUT?	查询当前输出端状态	OUT?[term]	0、1
OVLDS?	查询当前内部功率过载状态	OVLDS?[term]	0、1
RAMPAUDIO?	查询当前渐变结束声响设置	RAMPAUDIO?[term]	0、1
RATE?	查询当前电流线性渐变速率	RATE?[term]	x.xx
REVDELAY?	查询当前换向延迟时间组合	REVDELAY?[term]	0—4
SWEEP?	查询当前电流扫描状态	SWEEP?[term]	0、1、2
SWMODE?	查询当前电流扫描模式	SWMODE?[term]	0、1、2、3
SWMAX?	查询当前电流扫描最大值	SWMAX?[term]	电流值
SWTRIG?	查询当前扫描触发输出方式	SWTRIG?[term]	0、1、2
SWTRIGINT?	查询当前扫描触发输出时间间隔	SWTRIGINT?[term]	x.x

4.6.2 通用接口命令

*RST

功能： 仪器复位

格式： *RST[term]

返回： 仪器复位后返回 **CMLT**[CR]，并返回标准显示界面。

备注： 设置输出端状态为高阻状态，输出电流归零，电流方向为正向，停止正在进行的电流扫描，解除内部功率过载保护。

4.6.3 通用接口查询

*IDN?

功能： 查询仪器产品序列号

格式： *IDN?[term]

返回： F2031 处于标准显示界面，完成电流线性渐变且未进行电流扫描，以及已完成上一命令任务时，仪器复位后返回产品序列号；否则立即返回 **BUSY**[CR]。

备注： F2031 使用 17 位产品序列号：

F	2	0	3	1	0	0	0	1	0	9	0	7	1	0	2	3
仪器型号					出厂序号				出厂日期						版本	

4.6.4 设备特殊命令

CUR

功能： 设置输出电流

格式： CUR \pm x.xxxxx[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

参数大于 5.00000，或者浮点数格式错误时，F2031 返回 **ERROR**[CR]。

输出电流设置完成后，F2031 返回 **CMLT**[CR]。

备注： 参数单位为安培（A）。

F2031 支持除“x.”以外的合法浮点参数 x.xxxxx 格式，小数点之前的位数应小于或等于 1 位，小数点以后第 5 位之后的位数自动省略。

输出端为正常输出状态时，设置电流后输出电流线性渐变至设置值，并可能需要等待较长时间，此过程中可随时按下前面板 **STOP/0** 键或使用命令 **STOP** 停止渐变过程并使输出电流保持于停止时刻的状态，或使用命令 **FAST0** 使电流快速归零。

输出端位于高阻状态，且 **CUR** 命令不改变当前电流输出方向时，F2031 立即改变当前电流设置值至命令参数数值，但不改变输出电流大小。

参数单位为“+”时，F2031 输出正电流，单位为“-”时反之。参数单位缺省时，F2031 默认电流方向为正向。

输出端位于高阻状态，且 **CUR** 命令将改变电流输出方向时，F2031 立即改变当前电流设置值至命令参数数值，并且改变输出电流方向，但不改变输出电流大小。

设置输出电流、电流线性渐变方式、电流换向、输出端状态和停止电流线性渐变的详细描述请分别参阅 3.4、3.5、3.6、3.8 和 3.9 中的内容，并请参阅命令 **STOP**、**FAST0** 和查询 **CUR?**。

CURFD

功能： 设置输出电流微调位

格式： CURFD n[term]、n=0—4

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

输出电流微调位设置完成后，返回 **CMLT**[CR]。

参数非 0、1、2、3 时，返回 **ERROR**[CR]。

备注： 0=0.01mA 位，1=0.1mA 位，2=1mA 位，3=10mA 位，4=100mA 位。

设置输出电流调整位可于任何输出端状态下操作。

输出电流微调的详细描述请参阅 3.4.1 中的内容，并请参阅命令 **CURFUP**、**CURFDOWN** 和查询 **CURFD?**。

CURFDOWN

- 功能：当前输出电流微调位数值-1（0.01mA 位-5）
- 格式：CURFDOWN[term]
- 返回：F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。
CURFDOWN 使当前输出电流微调位的数值-1（0.01mA 位-5）。微调完成后，返回 **CMLT**[CR]。
- 备注：正常输出状态下，输出电流立即发生变化，而不执行线性渐变过程。
 输出电流微调设置规则请参阅 3.4.1 中的详细内容，并请参阅命令 **CURFD**、**CURFUP** 和查询 **CURFD?**。

CURFUP

- 功能：当前输出电流微调位数值+1（0.01mA 位+5）
- 格式：CURFUP[term]
- 返回：F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。
CURFUP 使当前输出电流微调位的数值+1（0.01mA 位+5）。微调完成后，返回 **CMLT**[CR]。
- 备注：正常输出状态下，输出电流立即发生变化，而不执行线性渐变过程。
 输出电流微调设置规则请参阅 3.4.1 中的详细内容，并请参阅命令 **CURFD**、**CURFDOWN** 和查询 **CURFD?**。

FAST0

- 功能：输出电流快速归零
- 格式：FAST0[term]
- 返回：F2031 未处于标准显示界面，或正在进行电流扫描时，立即返回 **BUSY**[CR]。
 输出端为高阻状态时，立即返回 **ERROR**[CR]。
 输出端为正常输出状态且当前设置值为 0 时，立即返回 **CMLT**[CR]。否则 F2031 以 3A/s 的固定速率以线性渐变方式使输出电流快速归零，并在归零完成后 **CMLT**[CR]。
 快速归零不影响正在进行的换向过程，并立即返回 **CMLT**[CR]。
- 备注：快速归零不改变电流输出方向，并可于 F2031 处于电流线性渐变过程中生效。
 快速归零的详细描述请参阅 3.9 中的内容，并请参阅命令 **STOP**。

LOCK

- 功能：设置键盘锁状态
- 格式：LOCK 0[term]、LOCK 1[term]
- 返回：F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。
LOCK 1 开启键盘锁，并返回 **CMLT**[CR]。
LOCK 0 关闭键盘锁，并返回 **CMLT**[CR]。
 参数非 0 或 1 时，返回 **ERROR**[CR]。
- 备注：0=关闭键盘锁，1=开启键盘锁。
 键盘锁的详细描述请参阅 3.18 中的内容，并请参阅查询 **LOCK?**。

LOADP

- 功能： 设置负载保护功能
- 格式： `LOADP 0[term]、LOADP 1[term]`
- 返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 `BUSY[CR]`。
- `LOADP 1` 开启负载保护功能，并返回 `CMLT[CR]`。
- `LOADP 0` 关闭负载保护功能，并返回 `CMLT[CR]`。
- 参数非 0 或 1 时，返回 `ERROR[CR]`。
- 备注： 0=关闭负载保护，1=开启负载保护。
- 负载保护功能的详细描述请参阅 3.19 中的内容，并请参阅查询 `LOADP?` 和 `LOADPS?`。

NTRIG

- 功能： 设置常规触发输出方式
- 格式： `NTRIG n[term]、n=0—2`
- 返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 `BUSY[CR]`。
- `NTRIG 0` 关闭常规触发输出，并返回 `CMLT[CR]`。
- `NTRIG 1` 和 `NTRIG 2` 分别设置常规触发输出方式为“On”和“On+J”，并返回 `CMLT[CR]`。
- 参数非 0、1、2 时，返回 `ERROR[CR]`。
- 备注： 0=关闭，1=On，2=On+J。
- 常规触发输出方式的详细描述请参阅 3.15 中的相关内容，并请参阅命令 `NTRIGD` 和查询 `NTRIG?`、`NTRIGD?`。

NTRIGD

- 功能： 设置常规触发输出延迟时间
- 格式： `NTRIGD x.x[term]`
- 返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 `BUSY[CR]`。
- 无论关闭或开启常规触发输出，`NTRIGD x.x` 均有效，并于设置完成后均返回 `CMLT[CR]`。
- `x.x>5.0` 或浮点数表示法不正确时，F2031 返回响应 `ERROR[CR]`。
- 备注： 参数 `x.x` 为 0—5.0 之间的 2 位无符号浮点数。
- F2031 支持以下浮点数表示法：“0”、“0.0”、“0.1”、“.1”、“1”和“1.0”。
- 常规触发输出延迟时间的详细描述请参阅 3.15 中的相关内容，并请参阅命令 `NTRIG` 和查询 `NTRIG?`、`NTRIGD?`。

OUT

- 功能： 设置输出端状态为正常输出或高阻状态
- 格式： `OUT 0[term]、OUT 1[term]`
- 返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 `BUSY[CR]`。
- 输出端为正常输出状态时，`OUT 0` 立即切换输出端为高阻状态，并返回 `CMLT[CR]`。
- 输出端为高阻状态时，`OUT 0` 无效，并立即返回 `CMLT[CR]`。
- 输出端为高阻状态时，`OUT 1` 切换输出端为正常输出状态，并以线性渐变方式式输

出电流达到设置值，线性渐变过程完成后返回 **CMLT**[CR]。

输出端为正常输出状态时，**OUT 1** 无效，并立即返回 **CMLT**[CR]。

参数非 0 或 1 时，返回 **ERROR**[CR]。

备注： 0=高阻状态，1=正常输出状态。

命令 **OUT 1** 使输出端由高阻状态切换至正常输出状态且执行线性渐变过程中，可随时使用命令 **STOP** 或 **FAST0** 停止线性渐变或使输出电流快速归零。

输出端状态的详细描述请参阅 3.8 中的内容，并请参阅命令 **STOP**、**FAST0** 和查询 **OUT?**。

OVLD RST

功能： 解除内部功率过载保护

格式： **OVLD RST**[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则，无论 F2031 是否进入内部功率过载保护状态，均对保护电路进行复位，并立即返回 **CMLT**[CR]。

备注： 内部功率过载保护的详细描述请参阅 3.7 中的内容，并参阅查询 **OVLD S?**。

PN

功能： 以 PN 方式电流换向

格式： **PN**[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

输出端处于高阻状态下，F2031 不改变输出电流大小但立即切换电流方向并返回 **CMLT**[CR]。

输出端为正常输出状态时，F2031 首先以线性渐变方式使输出电流归零，并在换向后以线性渐变方式恢复之前的电流设置值，而后返回 **CMLT**[CR]。

备注： 输出端为正常输出状态且当前输出电流为 0 时，F2031 不执行线性渐变并立即切换电流方向。

电流方向和换向的详细描述请分别参阅 3.6 中的内容，并参阅命令 **REV**、**REVDELAY** 和查询 **DIR?**、**CUR?**、**REVDELAY?**。

RAMP AUDIO

功能： 设置渐进结束声响

格式： **RAMP AUDIO 0**[term]、**RAMP AUDIO 1**[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

RAMP AUDIO 1 开启渐进结束声响，并返回 **CMLT**[CR]。

RAMP AUDIO 0 关闭渐进结束声响，并返回 **CMLT**[CR]。

参数非 0 或 1 时，返回 **ERROR**[CR]。

备注： 0=关闭渐进结束声响，1=开启渐进结束声响。

渐进结束声响的详细描述请参阅 3.5.6 中的内容，并参阅查询 **RAMP AUDIO?**。

RATE

功能： 设置电流线性渐变速率

格式： **RATE x.xx**[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完

成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则，设置完成后返回 **CMLT**[CR]。

$x.xx > 2.00$ 或 $x.xx < 0.01$ ，或浮点数表示法不正确时，返回响应 **ERROR**[CR]。

备注：参数 $x.x$ 为 0.01—2.00 之间的 2 位无符号浮点数。

F2031 支持以下浮点数表示法：

“0”、“0.0”、“0.1”、“.1”、“1”、“1.0”、“.01”和“0.01”。

电流扫描的渐进速率同样遵循电流线性渐变速率。

电流线性渐变速率的详细描述请参阅 3.5 中的内容，并请参阅查询 **RATE?**。

REV

功能：以 REV 方式电流换向

格式：REV[term]

返回：F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

输出端处于高阻状态下，F2031 将输出电流设置值归零，并立即切换电流方向，而后返回 **CMLT**[CR]。

输出端为正常输出状态时，F2031 首先以线性渐变方式使输出电流归零，并在换向后再返回 **CMLT**[CR]。

备注：电流方向和换向的详细描述请分别参阅 3.6 中的内容，并参阅命令 **PN**、**REVDELAY** 和查询 **DIR?**、**CUR?**、**REVDELAY?**。

REVDELAY

功能：设置电流换向延迟时间组合

格式：REVDELAY n[term]、n=0—4

返回：F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则，设置完成后返回 **CMLT**[CR]。

参数非 0—4 时，返回 **ERROR**[CR]。

备注：0=1s+┐+1s，1=2s+┐+1s，2=3s+┐+1s，3=4s+┐+2s，4=5s+┐+3s。

电流换向延迟时间组合的详细描述请分别参阅 3.6 中的内容，并参阅命令 **PN**、**REV** 和查询 **DIR?**、**CUR?**、**REVDELAY?**。

STOP

功能：停止正在进行的电流线性渐变过程和电流换向过程

格式：STOP[term]

返回：F2031 未处于标准显示界面，或正在进行电流扫描时，立即返回 **BUSY**[CR]。

输出端为高阻状态时，立即返回 **CMLT**[CR]。

输出端为正常输出状态，且 F2031 未执行电流线性渐变过程和电流换向过程时，立即返回 **CMLT**[CR]。

F2031 正在执行电流线性渐变过程或电流换向过程时，正在进行的过程立即停止，输出电流和方向保持于停止时刻的状态，并返回 **CMLT**[CR]。

备注：停止电流线性渐变过程和停止电流换向过程的详细描述请参阅 3.9 中的内容，并参阅命令 **FAST0**。

SWEEP

功能：开始电流扫描

格式：SWEEP[term]

- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或正在进行电流扫描, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
- 输出端处于高阻状态时, 立即返回 **ERROR**[CR]。
- 输出端为正常输出状态时, F2031 开始执行电流扫描, 并立即返回 **CMLT**[CR]。
- 备注: 电流扫描的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容, 并请参阅命令 **SWPAUSE**、**SWCONT**、**SWABORT**、**SWMODE**、**SWMAX**、**RATE** 和查询 **SWEEP?**、**SWMODE?**、**SWMAX?**、**RATE?**。

SWABORT

- 功能: 中止电流扫描
- 格式: **SWABORT**[term]
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
- 输出端处于高阻状态, 或者或 F2031 未启动电流扫描, 立即返回 **ERROR**[CR]。
- 否则, F2031 立即中止正在进行的电流扫描, 并返回 **CMLT**[CR]。
- 备注: 无论电流扫描处于暂停或正在进行状态, F2031 均中止扫描, 并恢复至标准显示界面。电流扫描的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容, 并请参阅命令 **SWEEP**、**SWPAUSE**、**SWCONT**、**SWMODE**、**SWMAX**、**RATE** 和查询 **SWEEP?**、**SWMODE?**、**SWMAX?**、**RATE?**。

SWCONT

- 功能: 由暂停点继续电流扫描
- 格式: **SWCONT**[term]
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
- 输出端处于高阻状态, 或者或 F2031 未启动电流扫描, 或者电流扫描并未暂停, 立即返回 **ERROR**[CR]。
- 否则, F2031 立即由暂停点继续进行电流扫描, 并返回 **CMLT**[CR]。
- 备注: 电流扫描的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容, 并请参阅命令 **SWEEP**、**SWPAUSE**、**SWABORT**、**SWMODE**、**SWMAX**、**RATE** 和查询 **SWEEP?**、**SWMODE?**、**SWMAX?**、**RATE?**。

SWPAUSE

- 功能: 暂停电流扫描
- 格式: **SWPAUSE**[term]
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
- 输出端处于高阻状态, 或者或 F2031 未启动电流扫描, 或者电流扫描已经暂停, 立即返回 **ERROR**[CR]。
- 否则, F2031 立即暂停正在进行的电流扫描, 并返回 **CMLT**[CR]。
- 备注: 电流扫描的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容, 并请参阅命令 **SWEEP**、**SWCONT**、**SWABORT**、**SWMODE**、**SWMAX**、**RATE** 和查询 **SWEEP?**、**SWMODE?**、**SWMAX?**、**RATE?**。

SWMODE

- 功能: 设置电流扫描模式
- 格式: **SWMODE** n[term]、n=0—3
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或正在进行电流扫描, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
- SWMODE 0**、**SWMODE 1**、**SWMODE 2** 和 **SWMODE 3** 分别设置扫描模式为 SWA、SWB、SWC 和 SWD, 并返回 **CMLT**[CR]。

参数非 0、1、2、3 时，返回 **ERROR**[CR]。

备注： 0=SWA, 1=SWB, 2=SWC, 3=SWD。

电流扫描模式的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容，并请参阅查询 **SWMODE?**。

SWMAX

功能： 设置电流扫描最大值

格式： **SWMODE x.xxxxxx[term]**

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

参数大于 5.00000 或小于 0.00005 或浮点数格式错误时，F2031 返回 **ERROR**[CR]。

扫描最大值设置完成后，F2031 返回 **CMLT**[CR]。

备注： **x.xxxxxx** 为无符号浮点数。

F2031 支持除“x.”以外的合法浮点参数 **x.xxxxxx** 格式，小数点之前的位数应小于或等于 1 位，小数点以后第 5 位之后的位数自动省略。

电流扫描最大的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容，并请参阅查询 **SWMAX?**。

SWTRIG

功能： 设置扫描触发输出方式

格式： **SWTRIG n[term]**、**n=0—2**

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

SWTRIG 0 关闭扫描触发输出，并返回 **CMLT**[CR]。

SWTRIG 1 和 **SWTRIG 2** 分别设置扫描触发输出方式为“On”和“On+J”，并返回 **CMLT**[CR]。

参数非 0、1、2 时，返回 **ERROR**[CR]。

备注： 0=关闭, 1=On, 2=On+J。

扫描触发输出方式的详细描述请参阅 3.16 中的相关内容，并请参阅命令 **SWTRIGINT** 和查询 **SWTRIG?**、**SWTRIGINT?**。

SWTRIGINT

功能： 设置扫描触发输出时间间隔

格式： **SWTRIGD x.x[term]**

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

无论关闭或开启扫描触发输出，**SWTRIGD x.x** 均有效，并于设置完成后均返回 **CMLT**[CR]。

x.x>2.0 或 **x.x<0.1**，或者浮点数表示法不正确时，F2031 返回响应 **ERROR**[CR]。

备注： 参数 **x.x** 为 0.1—2.0 之间的 2 位无符号浮点数。

F2031 支持以下浮点数表示法：“0”、“0.0”、“0.1”、“.1”、“1”和“1.0”。

扫描触发输出时间间隔的详细描述请参阅 3.16 中的相关内容，并请参阅命令 **SWTRIG** 和查询 **SWTRIG?**、**SWTRIGINT?**。

4.6.5 设备特殊查询

CMPLS?

功能： 查询是否进入电压钳位状态

格式： **CMPLS?[term]**

- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或正在进行电流扫描, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
 否则返回当前电压钳位状态: **0**[CR] 或 **1**[CR]。
- 备注: 0=未进入电压钳位状态 (当前为恒流状态), 1=进入电压钳位状态。
 电压钳位状态的详细描述请参阅 3.7 中的内容。

CUR?

- 功能: 查询当前输出电流设置值
- 格式: **CUR?**[term]
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或正在进行电流扫描, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
 否则无论输出端状态如何, 均返回包含电流方向在内的电流设置值 **±x.xxxxxx**[CR]。
- 备注: 返回响应 **±x.xxxxxx** 的单位为安培 (A)。
 返回响应符号为 “+” 时电流方向为正向, 为 “-” 时为反向。
 当前输出电流设置值为 0 时, F2031 根据电流方向返回 “+0” 或 “-0”。
 输出电流设置值的详细描述请参阅 3.4 中的内容, 并请参阅命令 **CUR** 。

CURFD?

- 功能: 查询当前输出电流微调位
- 格式: **CURFD?**[term]
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或正在进行电流扫描, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
 否则返回当前输出电流微调位: **0**[CR]、**1**[CR]、**2**[CR]、**3**[CR] 或 **4**[CR]。
- 备注: 0=0.01mA 位, 1=0.1mA 位, 2=1mA 位, 3=10mA 位, 4=100mA 位。
 输出电流微调的详细描述请参阅 3.4.1 中的内容, 并请参阅命令 **CURFD**、**CURFUP**、**CURFDOWN** 。

DIR?

- 功能: 查询当前输出电流方向
- 格式: **DIR?**[term]
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或正在进行电流扫描, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
 否则无论当前输出端状态如何, 返回当前输出电流方向: **0**[CR] 或 **1**[CR]。
- 备注: 0=反向, 1=正向。
 电流方向的详细描述请参阅 3.6 中的内容, 并请参阅命令 **PN**、**REV**、**CUR** 和查询 **CUR?** 。

LOCK?

- 功能: 查询当前键盘锁状态
- 格式: **LOCK?**[term]
- 返回: F2031 未处于标准显示界面, 或未完成电流线性渐变, 或正在进行电流扫描, 或未完成上一命令任务时, 立即返回 **BUSY**[CR]。
 否则返回当前键盘锁状态: **0**[CR] 或 **1**[CR]。
- 备注: 0=关闭键盘锁, 1=开启键盘锁。
 键盘锁的详细描述请参阅 3.18 中的内容, 并请参阅命令 **LOCK** 。

LOADP?

功能： 查询当前负载保护功能设置

格式： LOADP?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则返回当前负载保护功能设置： **0**[CR]或 **1**[CR]。

备注： 0=关闭负载保护，1=开启负载保护。

负载保护的详细描述请参阅 3.19 中的内容，并请参阅命令 **LOADP** 和查询 **LOADPS?**。

LOADPS?

功能： 查询当前负载保护状态

格式： LOADPS?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则返回当前负载保护状态： **0**[CR]或 **1**[CR]。

备注： 0=正常状态，1=进入负载保护状态。

负载保护的详细描述请参阅 3.19 中的内容，并请参阅命令 **LOADP** 和查询 **LOADP?**。

NTRIG?

功能： 查询当前常规触发输出方式

格式： NTRIG?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则 F2031 返回当前常规触发输出方式： **0**[CR]、**1**[CR]或 **2**[CR]。

备注： 0=关闭，1=On，2=On+J。

常规触发输出方式的详细描述请参阅 3.15 中的相关内容，并请参阅命令 **NTRIG**、**NTRIGD** 和查询 **NTRIGD?**。

NTRIGD?

功能： 查询当前常规触发输出延迟时间

格式： NTRIGD?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则无论 F2031 处于何种常规触发输出方式，F2031 均返回当前常规触发输出延迟时间 **x.x**[CR]。F2031 只支持“1.0”的返回浮点数格式。

备注： 参数 x.x 为 0—5.0 之间的 2 位无符号浮点数。

常规触发延迟时间的详细描述请参阅 3.15 中的相关内容，并请参阅命令 **NTRIG**、**NTRIGD** 和查询 **NTRIG?**。

OUT?

功能： 查询当前输出端状态

格式： OUT?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则返回当前输出端状态： **0**[CR]或 **1**[CR]。

备注： 0=高阻状态，1=正常输出状态。

输出端状态的详细描述请参阅 3.8 中的内容，并请参阅命令 **OUT**。

OV LDS?

功能： 查询当前内部功率过载保护状态

格式： OV LDS?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则返回当前内部功率过载保护状态：**0**[CR]、**1**[CR]或**2**[CR]。

备注： 0=未进入保护状态，1=进入保护状态。

内部功率过载保护的详细描述请参阅 3.7 中的内容，并请参阅命令 **OV LDRST**。

RAMP AUDIO?

功能： 查询当前渐进结束声响设置

格式： RAMP AUDIO?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则返回当前渐进结束声响设置：**0**[CR]或**1**[CR]。

备注： 0=关闭渐进结束声响，1=开启渐进结束声响。

渐进结束声响的详细描述请参阅 3.5.6 中的内容，并请参阅命令 **RAMP AUDIO**。

RATE?

功能： 查询当前电流线性渐变速率

格式： RATE?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则 F2031 返回当前电流线性渐变速率 **x.xx**[CR]。F2031 只支持“1.00”的返回浮点数格式。

备注： 参数 **x.xx** 为 0.01—2.00 之间的 2 位无符号浮点数，单位为安培每秒 (A/s)。

电流线性渐变速率的详细描述请参阅 3.5 中的相关内容，并请参阅命令 **RATE**。

REV DELAY?

功能： 查询当前电流换向延迟时间组合

格式： REV DELAY?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

否则返回当前换向延迟时间组合：**0**[CR]、**1**[CR]、**2**[CR]、**3**[CR]或**4**[CR]。

备注： 0=1s+↓+1s，1=2s+↓+1s，2=3s+↓+1s，3=4s+↓+2s，4=5s+↓+3s。

电流换向延迟时间组合的详细描述请分别参阅 3.6 中的内容，并请参阅命令 **PN**、**REV**、**REV DELAY** 和查询 **DIR?**、**CUR?**。

SWEEP?

功能： 查询当前电流扫描状态

格式： SWEEP?[term]

返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或未完成上一命令任务时，立即返回 **BUSY**[CR]。

当前输出端状态为高阻状态时，立即返回 **ERROR**[CR]。

否则返回当前电流扫描状态 **0**[CR]、**1**[CR]、或**2**[CR]。

备注： 0=扫描未开始或已停止，1=扫描正在进行，2=扫描暂停。
电流扫描的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容，并请参阅命令 SWEEP、SWPAUSE、SWCONT、SWABORT、SWMODE、SWMAX、RATE 和查询 SWMODE?、SWMAX?、RATE?。

SWMODE?

功能： 查询当前电流扫描模式
格式： SWMODE?[term]
返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 BUSY[CR]。
否则返回当前扫描模式：0[CR]、1[CR]、2[CR] 或 3[CR]。
备注： 0=SWA，1=SWB，2=SWC，3=SWD。
电流扫描的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容，并请参阅命令 SWEEP、SWPAUSE、SWCONT、SWABORT、SWMODE、SWMAX、RATE 和查询 SWEEP?、SWMAX?、RATE?。

SWMAX?

功能： 查询当前设置的电流扫描最大值
格式： SWMAX?[term]
返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 BUSY[CR]。
否则返回当前电流扫描最大值 x.xxxx[CR]。
备注： 返回响应 x.xxxx 的单位为安培（A），为无符号浮点数。
电流扫描的详细描述请参阅 3.10 中的相关内容，并请参阅命令 SWEEP、SWPAUSE、SWCONT、SWABORT、SWMODE、SWMAX、RATE 和查询 SWEEP?、SWMODE?、RATE?。

SWTRIG?

功能： 查询当前扫描触发输出方式
格式： SWTRIG?[term]
返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 BUSY[CR]。
否则 F2031 返回当前扫描触发输出方式：0[CR]、1[CR] 或 2[CR]。
备注： 0=关闭，1=On，2=On+J。
扫描触发输出方式的详细描述请参阅 3.16 中的相关内容，并请参阅命令 SWTRIG、SWTRIGINT 和查询 SWTRIGINT?。

SWTRIGINT?

功能： 查询当前扫描触发输出时间间隔
格式： SWTRIGINT?[term]
返回： F2031 未处于标准显示界面，或未完成电流线性渐变，或正在进行电流扫描，或未完成上一命令任务时，立即返回 BUSY[CR]。
否则无论 F2031 处于何种扫描触发输出方式，F2031 均返回当前扫描触发输出时间间隔 x.x[CR]。F2031 只支持“1.0”的返回浮点数格式。
备注： 参数 x.x 为 0.1—2.0 之间的 2 位无符号浮点数。
扫描触发输出时间间隔的详细描述请参阅 3.16 中的相关内容，并请参阅命令 SWTRIG、SWTRIGINT 和查询 SWTRIG?。

<本页为空页>
This Page Intentionally Left Blank

附件

5.1 简介

本章包含 F2031 程控功率电流源各附件的操作方法，以及各电学接口定义。5.2 为附件明细和电学定义的详细说明。

5.2 附件

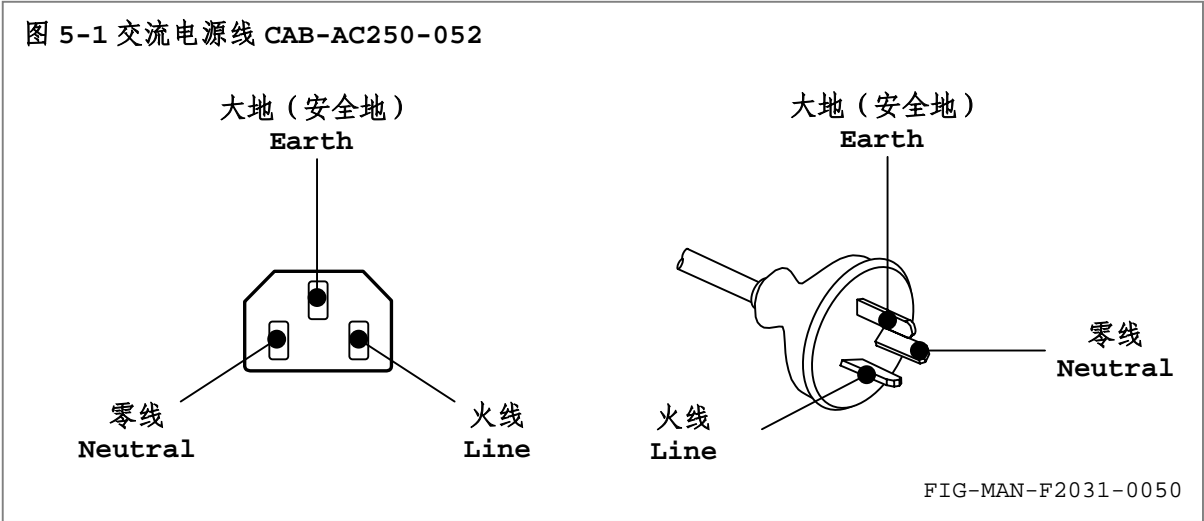
F2031 配备附件如表 5-1 所示：

表 5-1 F2031 附件清单 TAB-MAN-F2031-0008

型 号	描述	数量	标准配置
CAB-AC250-052	3 芯交流 250V/5A GB1002 电源线，长度 2 米	1 条	√
CAB-232-DCE-3	RS-232C 标准 9 芯直通电缆，长度 3 米	1 条	√
CAB-USB-AB-2	USB 标准 A-B 电缆，长度 1.8 米	1 条	√
CONV232-9-25	RS-232C 9 针转 25 针转换器	1 只	---
FUSE5C-25040	250V/4A 陶瓷保险管，体积 5×20mm	2 只	√

5.2.1 交流电源线 CAB-AC250-052

附件 CAB-AC250-052 为 3 芯交流 250V/5A GB1002 电源线，长度 2 米，与 F2031 后面板的电源输入组件匹配，符合 GB-1002 标准，如图 5-1 所示。



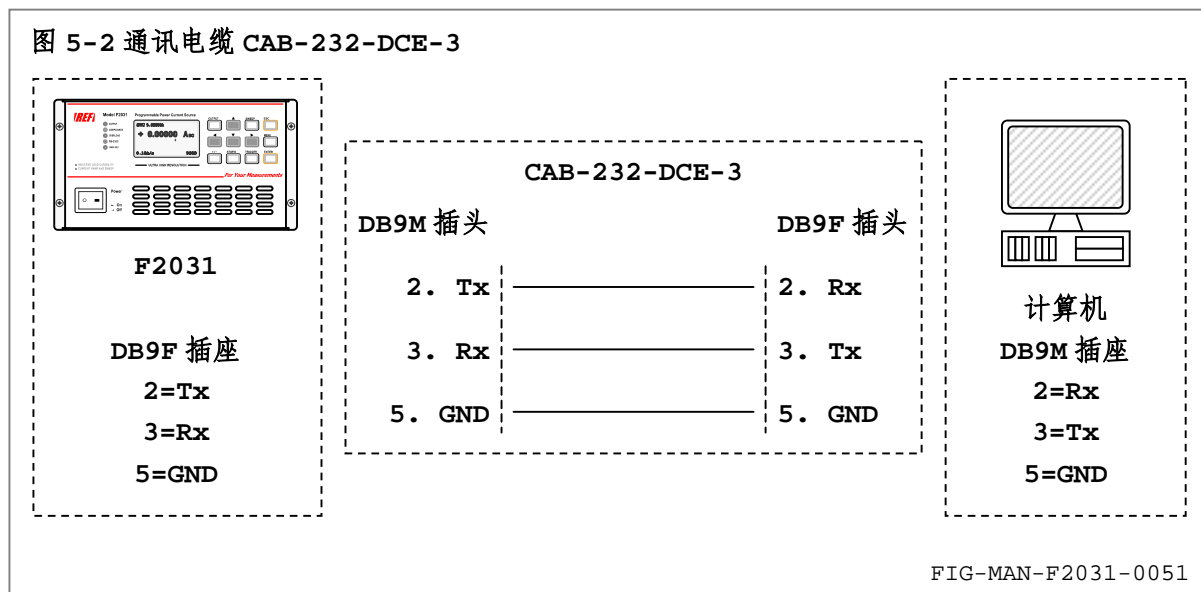
5.2.2 通讯电缆 CAB-232-DCE-3

附件 CAB-232-DCE-3 为 RS-232C 标准 9 芯直通电缆，长度 3 米，与 F2031 后面板的 RS-232C DCE 插座匹配，符合 EIA-232-E 标准，如图 5-2 所示。

警告

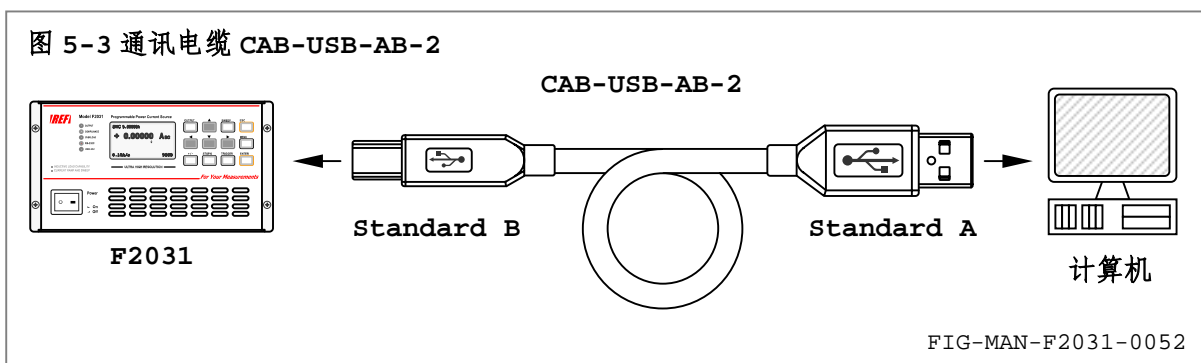
EIA-232-E 标准不支持热拔插操作，连接或断开 RS-232C 电缆前必须关闭 F2031 和计算机，否则可能造成 F2031 和计算机的 RS-232C 接口电路损毁。

图 5-2 通讯电缆 CAB-232-DCE-3

**5.2.3 通讯电缆 CAB-USB-AB-2**

附件 CAB-USB-AB-2 为 USB 标准 A-B 电缆，长度 1.8 米，与后面板的 USB Standard B 插座匹配，符合 USB 1.1 标准，如图 5-3 所示。

图 5-3 通讯电缆 CAB-USB-AB-2

**5.2.4 转换器 CONV-232-9-25**

附件 CONV-232-9-25 为可选附件。

某些早期型号的计算机只配备 25 针 DBM 型 RS-232C 接口，而非常见的 9 针接口，无法直接使用附件 CAB-232-DCE-3，同时此类计算机的设计年代通常不配备 USB 接口，因而也无法使用 USB 接口通讯。此时需要使用转换器进行物理接口转换。

附件 CONV-232-9-25 为 RS-232C 标准 9 针转 25 针转换器，用于将 DBM25 接口转换为常用的 DBM9 接口，并通过附件 CAB-232-DCE-3 连接至 F2031，符合 EIA-232-E 标准。

5.2.5 其它附件

附件 FUSE5C-25040 请参阅 2.4.1 中的详细内容。

Appendix

附录

A.1 磁学单位换算

表 A-1 标准国际单位制 (SI) 和厘米-克-秒单位制 (cgs) 磁学单位换算 TAB-MAN-F2031-0009

物理量	符号	高斯/cgs 单位制	转换因子	SI
磁通密度 磁感应强度	B	G (高斯)	10^{-4}	T (特斯拉) Wb/m^2
磁通	ϕ	Mx (麦克斯韦) $\text{G}\cdot\text{cm}^2$	10^{-8}	Wb (韦伯) V·s (伏特秒)
磁势差 磁通势	U、F	Gb (吉尔伯特)	$10/4\pi$ (0.7958)	A (安培)
磁场强度 磁化力	H	Oe (奥斯特) Gb/cm	$10^3/4\pi$ (79.58)	A/m
体磁化强度	M	emu/cm^3	10^3	A/m
体磁化强度	$4\pi M$	G (高斯)	$10^3/4\pi$ (79.58)	A/m
磁极化 磁化强度	J、I	emu/cm^3	$4\pi\times 10^{-4}$	T Wb/m^2
比磁化强度	σ 、M	emu/g	$\frac{1}{4\pi\times 10^{-7}}$	$\text{A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ $\text{Wb}\cdot\text{m}/\text{kg}$
磁矩	m	emu erg/G (尔格/高斯)	10^{-3}	$\text{A}\cdot\text{m}^2$ J/T (焦耳/特斯拉)
磁偶极距	j	emu erg/G	$4\pi\times 10^{-10}$	Wb·m
体磁化率	χ κ	无量纲数 emu/cm^3	--- $(4\pi)^2\times 10^{-7}$	H/m (亨利/米) $\text{Wb}/(\text{A}\cdot\text{m})$
比磁化率	χ_ρ κ_ρ	cm^3/g emu/g	$4\pi\times 10^{-3}$ $(4\pi)^2\times 10^{-10}$	m^3/kg $\text{H}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$
克分子磁化率 摩尔磁化率	χ_{mol} κ_{mol}	cm^3/mol emu/mol	$4\pi\times 10^{-6}$ $(4\pi)^2\times 10^{-13}$	m^3/mol $\text{H}\cdot\text{m}^2/\text{mol}$
磁导率	μ	无量纲数	$4\pi\times 10^{-7}$	H/m $\text{Wb}/(\text{A}\cdot\text{m})$
相对磁导率	μ_r	---	---	无量纲数
体能量密度 能积	W	erg/cm^3	10^{-1}	J/m^3
去磁系数	D、N	无量纲数	$1/4\pi$ (0.07958)	无量纲数

A.2 常用物理量

表 A-2 标准国际单位制 (SI) 物理常数

TAB-MAN-F2031-0010

物理量	符号	SI
真空磁导率 Permeability of Vacuum	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
真空光速 Speed of Light in Vacuum	c	$2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$
真空介电常数 Permittivity of Vacuum	$\epsilon_0 = (\mu_0 c^2)^{-1}$	$8.8542 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
精细结构常数 Fine Structure Constant	α	0.0073
	$1/\alpha$	137.0360
基本电荷 Elementary Charge	e	$1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$
普朗克常量 Plank's Constant	h	$6.6262 \times 10^{-34} \text{ J/Hz}$
	$\hbar = h/2\pi$	$1.0546 \times 10^{-34} \text{ J/Hz}$
阿伏加德罗常数 Avogadro's Constant	N_A	$6.0220 \times 10^{23} \text{ /mol}$
原子质量单位 Atomic Mass Unit	$1u = 10^{-3} \text{ kg}/(\text{mol} \cdot N_A)$	$1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
电子静止质量 Electron Rest Mass	m_e	$0.9109 \times 10^{-30} \text{ kg}$
		$5.4858 \times 10^{-4} \text{ u}$
质子静止质量 Proton Rest Mass	m_p	$1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
		1.0073 u
中子静止质量 Neutron Rest Mass	m_n	$1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$
		1.0087 u
量子磁通 Magnetic Flux Quantum	$\phi = h/(2e)$	$2.0679 \times 10^{-15} \text{ Wb}$
	h/e	$4.1357 \times 10^{-15} \text{ J}/(\text{Hz} \cdot \text{C})$
约瑟夫森频率-电压比 Josephson Frequency-Voltage Ratio	$2e/h$	483.5939 THz/V
量子周期 Quantum of Circulation	$h/(2m_e)$	$3.6369 \times 10^{-4} \text{ J}/(\text{Hz} \cdot \text{kg})$
	h/m_e	$7.2739 \times 10^{-4} \text{ J}/(\text{Hz} \cdot \text{kg})$
里德伯常数 Rydberg Constant	R_∞	$1.0974 \times 10^7 \text{ /m}$
波尔磁子 Bohr Magneton	$\mu_B = eh/(2m_e)$	$9.2741 \times 10^{-24} \text{ J/T}$
质子回磁比 Proton Gyromagnetic Ratio	γ_p	$2.6752 \times 10^8 \text{ /(s} \cdot \text{T)}$
逆磁屏蔽系数 (球形 H ₂ O 样品) Diamagnetic shielding Factor	$1 + \sigma(\text{H}_2\text{O})$	1.0000
摩尔质量常数 Molar Mass Constant	R	$8.3144 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
摩尔体积、理想气体 $T_0 = 273.15\text{K}$, $P_0 = 1\text{atm}$ Molar Volume, Ideal Gas	$V_m = RT_0/P_0$	$0.0224 \text{ m}^3/\text{mol}$
波尔兹曼常数 Boltzman Constant	$k_B = R/N_A$	$1.3807 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
斯台范-波尔兹曼常数 Stefan-Boltzman Constant	$\sigma = (\pi^2/60) k_B^4 / (h^3 c^2)$	$5.6703 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
第一辐射常数 First Radiation Constant	$c_1 = 2\pi\hbar c^2$	$3.7418 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2$
第二辐射常数 Second Radiation Constant	$c_2 = hc/k$	0.0144 mK
引力常数 Gravitation Constant	G	$6.6720 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

A.3 前缀表示法

表 A-3 国际标准单位制 (SI) 前缀 TAB-MAN-F2031-0011

因数 10 ⁿ	前缀	符号	因数 10 ⁿ	前缀	符号
24	yotta	Y	-1	deci	d
21	zetta	Z	-2	centi	c
18	exa	E	-3	milli	m
15	peta	P	-6	micro	μ
12	tera	T	-9	nano	n
9	giga	G	-12	pico	p
6	mega	M	-15	femto	f
3	kilo	k	-18	atto	a
2	hecto	h	-21	zepto	z
1	deka	da	-24	yocto	y

A.4 希腊字母

表 A-4 希腊字母表 TAB-MAN-F2031-0012

Alpha	α	A	Iota	ι	I	Rho	ρ	P
Beta	β	B	Kappa	κ	K	Sigma	σ	Σ
Gamma	γ	Γ	Lamda	λ	Λ	Tau	τ	T
Delta	δ	Δ	Mu	μ	M	Upsilon	υ	Υ
Epsilon	ε	E	Nu	ν	N	Phi	φ	Φ
Zeta	ζ	Z	Xi	ξ	Ξ	Chi	χ	X
Eta	η	H	Omicron	ο	O	Psi	ψ	Ψ
Theta	θ	Θ	Pi	π	Π	Omega	ω	Ω

A.5 美制线规对照表

表 A-5 美制线规 AWG (American Wire Gage) 对照表 TAB-MAN-F2031-0013

AWG	Dia. In.	Dia. mm	AWG	Dia. In.	Dia. mm	AWG	Dia. In.	Dia. mm	AWG	Dia. In.	Dia. mm
1	0.2893	7.348	11	0.0907	2.304	21	0.0285	0.7230	31	0.0089	0.2268
2	0.2576	6.544	12	0.0808	2.053	22	0.0253	0.6438	32	0.0080	0.2019
3	0.2294	5.827	13	0.0720	1.829	23	0.0226	0.5733	33	0.00708	0.178
4	0.2043	5.189	14	0.0641	1.628	24	0.0207	0.5106	34	0.00630	0.152
5	0.1819	4.621	15	0.0571	1.450	25	0.0179	0.4547	35	0.00561	0.138
6	0.1620	4.115	16	0.0508	1.291	26	0.0159	0.4049	36	0.00500	0.127
7	0.1443	3.665	17	0.0453	1.150	27	0.0142	0.3606	37	0.00445	0.1131
8	0.1285	3.264	18	0.0403	1.024	28	0.0126	0.3211	38	0.00397	0.1007
9	0.1144	2.906	19	0.0359	0.9116	29	0.0113	0.2859	39	0.00353	0.08969
10	0.1019	2.588	20	0.0338	0.8118	30	0.0100	0.2546	40	0.00314	0.07987

A.6 ASCII 编码

表 A-6 ASCII 编码表

American Standard Code for Information Exchange TAB-MAN-F2031-0014

					b7 b6 b5	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
b4 1	b3 1	b2 1	b1 1	列 行	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SPACE	0	`	P	@	p	
1	0	0	0	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q	
0	1	0	0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r	
1	1	0	0	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s	
0	0	1	0	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t	
1	0	1	0	5	ENG	NAK	%	5	E	U	e	u	
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v	
1	1	1	0	7	BEL	ETB	`	7	G	W	g	w	
0	0	0	1	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x	
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y	
0	1	0	1	A	LF	SS	*	:	J	Z	j	z	
1	1	0	1	B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{	
0	0	1	1	C	FF	FS	,	<	L	~	l	~	
1	0	1	1	D	CR	GS	-	=	M	]	m	}	
0	1	1	1	E	SO	RS	.	>	N	^	n	|	
1	1	1	1	F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL	