



用户手册

**YL4012**

**精密程控电流源**

MAN4012-Rev01-2008

北京亿良科技有限公司

通信地址：北京市海淀区清河安宁庄东路 18 号  
2 号办公楼 201 室

邮政编码：100085

电 话：86-10-62919611

传 真：86-10-62926817

万维网址：[www.yltec.com](http://www.yltec.com)

电子邮箱：[service@yltec.com](mailto:service@yltec.com)

本文档公开和描述的方法及装置由北京亿良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京亿良科技有限公司知识产权的任何关系。北京亿良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、变更或收回设备功能、变更设计、变更产品或变更产品的说明书、用户手册等文档的权利。北京亿良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负责。

## 有限保修担保

以下有限保修担保只针对在中华人民共和国大陆地区销售的产品。

本产品之制造商北京亿良科技有限公司对此产品由发货之日起 12 个月内实行保修。在此保修期间内，所有得到北京亿良科技有限公司认可返回的产品及其附件，针对产品的质量问题的，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送至用户所需邮寄费用。在保修期间内，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。对于非产品质量问题以及由于非正常操作所造成的故障和损毁，北京亿良科技有限公司不承担保修义务。

北京亿良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、必要的人工费用以及将维修后的产品重新寄送至用户所需的必要邮寄费用，并对维修后的产品以及更换的部件实行 90 日保修服务。

**在任何情况下，如果本产品在经过北京亿良科技有限公司授权的情况下被拆卸、调整、更换部件或维修，北京亿良科技有限公司有权拒绝提供任何形式的保修、维修或维护服务。**

## 注册商标声明

北京亿良科技有限公司所提供产品说明书中涉及到的注册商标属于各商标所有者所有。

Windows 是 Microsoft Corp. 的注册商标。

PC 是 IBM 公司的注册商标。

## 版权声明

北京亿良科技有限公司对本手册拥有版权，并保有一切权利。在未得到北京亿良科技有限公司书面授权的情况下，不得对本手册的任何部分通过任何途径（包括使用电子、机械、影印、复制或其他任何途径）进行任何形式的复制、转载或传播。

## 目录

<b>第 1 章 简介</b>	<b>1-1</b>
1.0 概述	1-1
1.1 产品描述	1-2
1.2 规格	1-3
1.2.1 通用规格	1-3
1.2.2 直流输出电流	1-3
1.2.3 输出钳位电压	1-4
1.2.4 前面板显示和键盘	1-4
1.2.5 接口功能	1-5
1.2.6 通用使用规格	1-5
1.2.7 仪器和附件清单	1-5
1.3 安全总述	1-5
1.4 安全标志	1-6
<b>第 2 章 安装</b>	<b>2-1</b>
2.0 概述	2-1
2.1 检查和开封	2-1
2.2 重新包装和运输	2-1
2.3 后面板连接	2-1
2.4 电源输入和保险组件	2-2
2.5 电流输出组件	2-2
2.6 负载样品端电压输出 BNC 连接器	2-3
2.7 RS-232C 连接器	2-3
2.8 自然风冷散热	2-4
2.9 初始设置和系统检验流程	2-4
<b>第 3 章 操作</b>	<b>3-1</b>
3.0 概述	3-1
3.1 前面板控制定义	3-1
3.1.1 前面板键盘定义	3-1
3.1.2 前面板显示定义	3-1
3.1.3 通用键盘操作	3-2
3.2 Ent 键和 Esc 键	3-3
3.3 设置输出电流	3-3
3.4 设置输出钳位电压	3-3
3.5 Output 键	3-4
3.6 输出端静电保护和抗冲击保护	3-4
3.7 Baud 键	3-5
3.8 键盘锁	3-5

3.9 恢复出厂默认设置.....	3-6
3.10 4 线式连接方法.....	3-6
3.10.1 2 线式和 4 线式连接方法.....	3-6
3.10.2 使用数字电压表测量输出电压.....	3-7
3.10.3 使用示波器观察输出端波形.....	3-7
3.11 适用电流范围.....	3-7
3.12 输出响应.....	3-9
3.12.1 电流/电压模式转换时的临界状态.....	3-9
3.12.2 输出电流过冲.....	3-9
3.12.3 输出电压钳位保护时的输出电压过冲.....	3-10
3.12.4 避免输出过冲.....	3-10
3.13 电容性负载样品.....	3-12
3.13.1 纯电容性负载的恒流充电特性.....	3-12
3.13.2 纯电容性负载的手动放电.....	3-12
3.13.3 LORS 开关放电及保护.....	3-13
3.14 电感性负载样品和 R-C 减振器.....	3-13
3.15 pn 结负载.....	3-14
3.16 噪声和干扰.....	3-15
<b>第 4 章 计算机接口操作.....</b>	<b>4-1</b>
4.0 概述.....	4-1
4.1 串行接口概述.....	4-1
4.1.1 物理连接.....	4-1
4.1.2 硬件支持.....	4-1
4.1.3 字符格式.....	4-2
4.1.4 消息字符串.....	4-2
4.1.5 消息流控制.....	4-2
4.1.6 改变波特率.....	4-3
4.1.7 故障诊断.....	4-3
4.2 串行接口命令.....	4-4
4.2.1 通用接口命令.....	4-4
4.2.2 设备特殊命令.....	4-4
<b>第 5 章 附件.....</b>	<b>5-1</b>
5.0 概述.....	5-1
5.1 附件型号明细.....	5-1
5.2 电缆附件详解.....	5-1
5.3 机柜安装组件.....	5-1
<b>第 6 章 维护.....</b>	<b>6-1</b>
6.0 概述.....	6-1

6.1 通用维护和使用注意事项..... 6-1

6.2 静电放电..... 6-1

    6.2.1 静电放电敏感元件的标识..... 6-1

    6.2.2 操作静电放电敏感元件..... 6-2

6.3 更换保险..... 6-2

6.4 后面板连接器定义..... 6-2

6.5 串行通讯电缆..... 6-3

**附录：常用术语..... A-1**

## 图示

图 1-1	YL4012 精密程控电流源前面板	1-2
图 2-1	YL4012 精密程控电流源后面板	2-1
图 2-2	电源输入和保险组件以及电源开关	2-2
图 2-3	后面板 4 线式电流输出组件连接器和接地端	2-3
图 2-4	负载样品端电压输出 BNC 连接器	2-3
图 2-5	RS-232C (DCE) 连接器	2-4
图 3-1	YL4012 精密程控电流源前面板	3-1
图 3-2	YL4012 前面板显示定义	3-1
图 3-3	使用 LORS 开关进行静电保护	3-4
图 3-4	使用 LORS 开关进行抗冲击保护	3-5
图 3-5	2 线式和 4 线式连接方法	3-6
图 3-6	YL4012 的 4 线式电缆连接方法	3-7
图 3-7	YL4012-100 的适用电流范围	3-8
图 3-7	YL4012-50 的适用电流范围	3-8
图 3-7	YL4012-10 的适用电流范围	3-8
图 3-10	电流/电压模式转换时的临界状态	3-9
图 3-11	电感性负载下的电流阶跃响应过冲	3-10
图 3-12	正常输出状态下纯电阻性负载的输出端电压过冲波形	3-10
图 3-13	使用 Output 功能抑制输出电压过冲	3-11
图 3-14	使用 Output 功能时的电流输出时序	3-11
图 3-15	纯电容性负载充电特性曲线	3-12
图 3-16	后面板 R-C 减振器	3-13
图 3-17	电感性负载与 R-C 减振器的连接方法	3-14
图 5-1	YL4012 单独占用一层时的机柜安装方法	5-2
图 5-2	YL4012 与另一台半宽仪器共用一层时的机柜安装方法	5-2
图 5-3	YL4012 的机柜安装组件	5-2
图 6-1	后面板 4 线式电流输出 4 芯插座	6-2
图 6-2	后面板电压输出 BNC 插座	6-3
图 6-3	后面板 9 针 D 型串行接口连接器	6-3
图 6-4	YL4012 连接至 PC 的 9 针串行接口	6-3
图 6-5	YL4012 连接至 PC 的 25 针串行接口	6-4

## 表格

表 4-1	YL4012 的串行接口说明	4-2
表 4-2	串行接口命令	4-4

## 第 1 章 简介

### 1.0 概述

本章对 YL4012 精密程控电流源进行简要介绍。YL4012 精密程控电流源由北京亿良科技有限公司设计并制造，是用于在 0—100mA/0—100V (YL4012-100)、0—200mA/0—50V (YL4012-50) 以及 0—1A/0—10V (YL4012-10) 范围内为各种样品负载提供稳恒直流电流以及直流钳位电压保护的高精度智能化仪器，具有以下基本特点：

- 浮动电流输出，最大输出功率 10W
- 电流输出范围
 

YL4012-100:	0—100mA DC
YL4012-50:	0—200mA DC
YL4012-10:	0—1A DC
- 电流设置分辨率 4<sup>1/2</sup>位
- 步进分辨率
 

YL4012-100:	0.01mA
YL4012-50:	0.01mA
YL4012-10:	0.1mA
- 输出电流准确度
 

YL4012-100:	优于设置值的±0.05%±100nA
YL4012-50:	优于设置值的±0.05%±100nA
YL4012-10:	优于设置值的±0.05%±1μA
- 输出电压钳位范围
 

YL4012-100:	10—100V DC	/步进 1V
YL4012-50:	5—50V DC	/步进 1V
YL4012-10:	1—10V DC	/步进 0.1V
- 前面板电压钳位 CMPL 指示
- 钳位电压准确度优于设置值的±1%
- 4 线式电流输出和返回电压输出
- 前面板 **Output** 按键便于开机更换样品
- 输出禁止状态下负载两端短路避免负载样品受到静电损伤
- 关机状态下负载两端短路，避免对负载样品的开机冲击和静电损伤
- 可选的输出补偿网络，降低输出噪声并适用于强电感性负载
- 4-20mA 工业接口电流范围位于同一量程，提高工业应用的检测速率
- 输出振荡检测和声讯报警
- 2×16 字符点阵液晶显示
- 良好的交互型键盘操作
- 串行计算机接口
- 自然风冷，避免运行噪音

如果您刚收到一台全新的 YL4012 精密程控电流源，请参阅第 2 章熟悉仪器的安装方法。第 3 章为仪器的完整操作信息。第 4 章为使用计算机通过串行接口进行远程控制的方法。第 5 章为附件的详细信息。第 6 章为仪器的维护。附录为常用术语。

我们欢迎关于本手册的注释。尽管我们已尽了所有努力保持本手册文本、图示和表格的正确性，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，并指出出现错误的章节、图示、表格和页号。请将注释寄至北京亿良科技有限公司，我们将对此不胜感激。

本手册中所含各项资料可能在不事先通知的情况下进行更新。

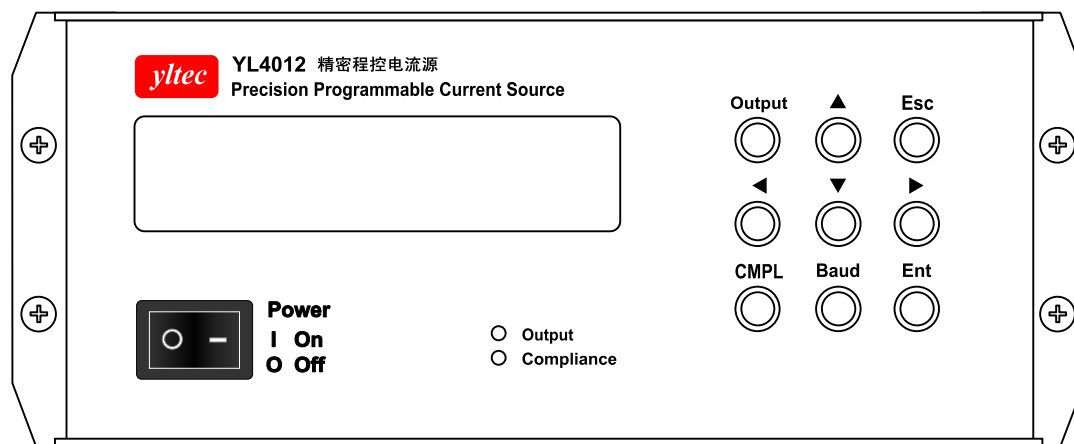


图 1-1 YL4012 精密程控电流源前面板

## 1.1 产品描述

YL4012 精密程控电流源是针对传统指针式、数字表头式以及使用电位器调整的电流源的智能化解方案，具有良好的键盘交互性能，以及易用的计算机接口控制性能，便于与其它智能化仪器共同构成自动化测量系统。YL4012 提供生产和研发所需更高的设置分辨率、准确度和稳定性以及更好的重复性和易用性，并对负载样品提供完善的过压、静电和抗冲击保护，在合理的价格下最大程度地满足您的要求。

### 性能

对于生产和研究型实验室，仪器的性能至关重要。应此要求，YL4012 改进了准确度、分辨率和稳定性，并提供便于开机更换负载样品的输出禁止功能和输出钳位电压保护，以及必备的接口特性，具体使用方法请参阅第 3 章和第 4 章中的相应内容。

### 交互能力

仪器的可用性在测量操作中与性能同样重要。YL4012 的设置和相关信息显示采用大尺寸背光液晶显示器，从而保证在任何灯光条件下清晰可读。用户可在显示提示下直接使用键盘进行操作。

### 自动化

YL4012 具有必备的接口特性，适用于自动测量系统。通过 RS-232C 接口，用户可以使用计算机进行几乎全部前面板键盘功能的操作。YL4012 默认使用最常用的 9600bps 波特率，同时波特率可通过前面板 **Baud** 键设置，从而满足各种通讯速率的控制要求。

### 工业控制应用

针对工业测试需要，YL4012 对量程进行了优化，4-20mA 输出电流位于同一量程内，从而避免由于切换量程造成的输出电流不连续和测量速度下降。

## 4 线式方法连接

YL4012 与样品之间采用 4 线式方法连接，在向样品输出电流的同时将负载样品两端的电压返回仪器，并通过 BNC 连接器输出，便于数字万用表进行采集，适用于远端样品的电阻测量。

### 输出钳位电压保护

YL4012 提供输出电压钳位保护功能。通过设置恰当的输出钳位电压，可有效防止负载样品在施加电流的过程中两端电压超过其电压容限，适用于工业接口测试及精密易损元器件测量等对输入电压有明确限定的应用。



## 静电保护和抗冲击保护

YL4012 在关机或输出禁止状态时，仪器内部将输出端短路，并提供不大于  $100\text{m}\Omega$  的短路电阻，避免在上电过程中仪器输出端的不确定状态对于负载样品的冲击，以及在任何非输出（关机和输出端禁止）状态下避免静电对负载样品的损伤，特别适用于激光二极管等静电敏感器件。

## 输出振荡报警和可选的 R-C 减振器

连接电感性负载样品时，YL4012 输出端可能产生振荡。此时 YL4012 发出声讯报警，并提供可选的 R-C 减振器避免可能的振荡现象。同时 R-C 减振器还可在负载样品为纯电阻性时提供更低的输出噪声水平。

## 标准显示

					1	0	<u>0</u>	.	0	0		m	A		
	C	M	P	L					1	0	<u>0</u>		V		

YL4012-100

					2	0	<u>0</u>	.	0	0		m	A		
	C	M	P	L					5	<u>0</u>		V			

YL4012-50

					1	0	0	<u>0</u>	.	0		m	A		
	C	M	P	L			1	0	.	<u>0</u>		V			

YL4012-10

YL4012 使用  $2 \times 16$  字符点阵液晶。全输出范围电流设置分辨率为  $4^{1/2}$  位，分别适用于：

0—100mA (YL4012-100)、

0—200mA (YL4012-50) 和

0—1A (YL4012-10) 电流范围，显示单位为毫安 (mA)， $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}=10^3\mu\text{A}$ 。

钳位电压设置分辨率 2 位，分别适用于：

10—100V (YL4012-100)、

5—50V (YL4012-50) 和

0.1—10V (YL4012-10) 电压范围，显示单位为伏特 (V)。

## 1.2 规格

### 1.2.1 通用规格

输出方式：	4 线式样品连接、I 象限 ( $I_{\text{OUT}}>0$ 、 $V_{\text{OUT}}>0$ )
电流输出连接器：	4 针插座
电压输出连接器：	BNC 插座

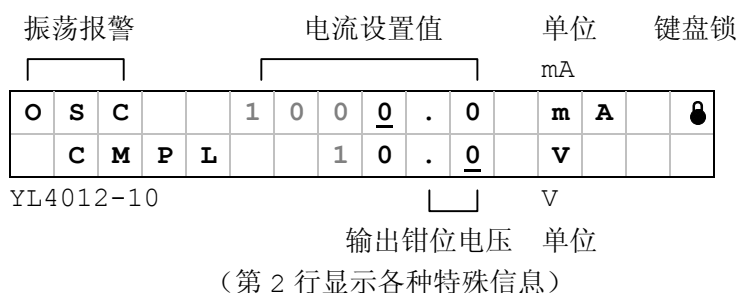
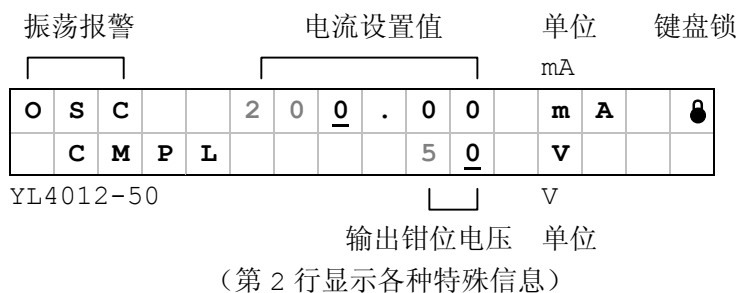
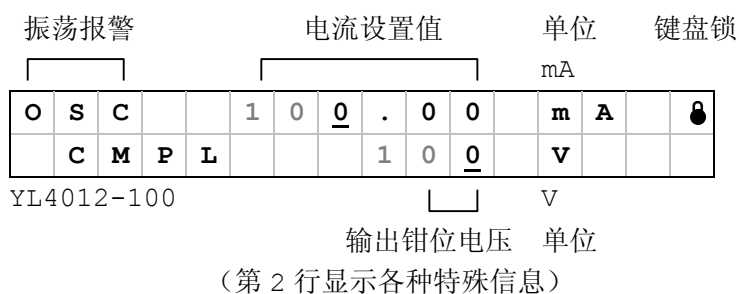
### 1.2.2 直流输出电流

项目	YL4012-100	YL4012-50	YL4012-10
设置分辨率	$4^{1/2}$ 位		
步进分辨率	0.01mA	0.01mA	0.1mA
输出范围	0—100mA	0—200mA	0—1A
准确度	设置值的 $\pm 0.05\% \pm 100\text{nA}$		设置值的 $\pm 0.05\% \pm 1\mu\text{A}$
温度系数	优于设置值的 $\pm 0.01\% / ^\circ\text{C}$		

### 1.2.3 输出钳位电压

项目	YL4012-100	YL4012-50	YL4012-10
设置分辨率	2 位		
步进分辨率	1V	1V	0.1V
输出范围	0—100V	0—50V	0—10V
准确度	设置值的±1%		
温度系数	优于设置值的±0.05%/°C		

### 1.2.4 前面板显示和键盘



- 显示类型:                      2×16 字符点阵液晶
- 电流显示单位:                      mA (毫安)    1mA=10<sup>-3</sup>A=10<sup>3</sup>μA
- 输出钳位电压显示单位:                      V (伏特)
- 输出禁止状态漏电流:                      <20nA
- 键盘:                      9 键功能键盘
- 前面板功能:                      键盘直接操作、显示提示、键盘封锁

### 1.2.5 接口功能

RS-232C 功能

波特率:	9600、19200、38400、57600、115200bps
连接器:	9 针 D 型 (DB9)、DCE 设置 (使用直通电缆与 PC 连接)

### 1.2.6 通用使用规格

使用温度范围:	15°C—35°C (额定精度)、5°C—40°C (精度降低)
电源需求:	交流 220V (-10%、+5%)、50-60Hz、30VA
仪器尺寸:	W×H×D=217mm×88mm×317mm (8.5'×3.5'×12.5')
质量:	2kg

### 1.2.7 仪器和附件清单

#### 仪器本体

YL4012	精密程控电流源 1 台
--------	-------------

#### 包含附件

WEIPU1604	4 芯插头 1 只
250V/0.5A	5×20mm 保险 2 只
220-10	3 芯 220V 单相交流电源线 1 条
RS232-DCE9	9 芯 RS-232C 直通串行通讯电缆 1 条
MAN4012	YL4012 用户手册 1 册

#### 可选附件

4S2-3	3 米 4 芯屏蔽输出/输入电缆 1 条
RM-1/2	半宽机箱安装耳 1 只
RM-1	全宽机箱安装耳 1 只
CD-401201	安装信息光盘 1 片
RS232-USB	RS-232C 转 USB 1.0 接口转换器 1 台

北京亿良科技有限公司保有在不事先通知的情况下变更上述规格的权利。

## 1.3 安全总述

在任何形式的仪器操作、维护和维修过程中，均应遵循如下通用安全预防措施。不遵循这些安全预防措施或本手册中任何位置提及的特别警告，将有可能破坏本仪器的设计、生产和使用的安全标准。用户不遵循这些要求时，北京亿良科技有限公司将不承担任何责任。

在任何形式的仪器操作、维护和维修过程中，请仔细阅读以下安全预防措施。本仪器应由熟悉电击事故并具有处理由此造成之可能伤害的能力的专业人员操作。本仪器用于任何测量和控制用途时，任何其它未知电路可能带有危险电压（即交流电压均方根值大于 36 伏特，直流电压高于 36 伏特）并可能导致电击事故的发生。危险电压可能出现于仪器的机箱体、电缆插头和插座、传感器金属外壳、测量夹具，或者任何与本仪器连接的设备的相应位置。遵循以下安全预防措施将保护仪器的操作者、维护和维修人员以及操作环境远离电击伤害、燃烧、机械事故、极高或极低的温度和火灾的传播。超出以下操作环境限制时可能造成对操作者的人身伤害和对操作环境及本仪器的损害：

温度:	5—40 摄氏度	最大相对湿度:	31 摄氏度下 80%
额定电源电压:	交流 220 伏特	电源电压涨幅:	额定电源电压的-10%—+5%

## 仪器接地

为最大程度避免电击事故，应将本仪器的底盘和机箱体连接至大地。本仪器使用三芯单相交流电源线，应将其插入符合国家安全标准的 3 端 220 伏特单相交流电源插座或适配器中。电源插座和适配器应具有接地线，操作、维护和维修人员应保证此接地线已牢固可靠的与安全地（大地）连接。

## 勿在爆炸气氛中使用

请勿将本仪器暴露于可燃气体、烟雾中使用，否则将可能造成严重的安全事故。

## 远离仪器内部的带电电路

为保证操作者的人身安全并保证所有者的保修权利，请勿自行打开机箱进行任何调整和维修，应由有资格认证的维修人员进行内部元件替换或内部调整。维修人员应尤其注意，切勿在交流电源线连接状态下替换元件。为最大程度避免任何可能的电击伤害，在接触仪器前应断开交流电源供给，并为电路完全放电。

## 请勿置换部件或改动仪器

由于存在引入伤害的危险，请勿自行置换部件或对仪器进行任何非授权的改动。请尽量将本仪器返回至北京亿良科技有限公司进行保养和维修，以保持仪器的安全性能。

## 1.4 安全标志

 直流电流（电源线）	 开启 On（电源）
 交流电流（电源线）	 断开 Off（电源）
 交流或直流电流（电源线）	 设备使用双绝缘或加强绝缘保护 (等效于 IEC 536, Class II)
 3 相交流电	 警告：高压，电击危险
 大地端子	 警告或警示：见本文档相关位置
 保护导体端子	 保险
 机柜或底板端子	

## 第 2 章 安装

### 2.0 概述

本章为 YL4012 精密程控电流源的安装指导。其中，2.1 为检查和开封，2.2 为重新包装和运输，2.3—2.8 为后面板连接信息，2.9 为初始设置和系统检验流程。

### 2.1 检查和开封

首先请检查运输包装是否存在外部损伤，以及是否存部件缺失。如果损伤或缺失比较明显，请尽快通知运输商。

打开运输包装，依据内附包装清单确认仪器、传感器、附件和手册是否齐全，并查找是否存在损伤。丢弃包装物之前请务必清点所有提供的部件。如果存在仪器或部件的运输损伤，撰写并尽快向运输商和保险公司发送正当的索赔单，并通知北京亿良科技有限公司。如果出现缺失现象，请尽快通知我们，货物发送 6 日后，北京亿良科技有限公司不对任何缺失现象承担责任。

### 2.2 重新包装和运输

为将 YL4012 及其附件返回北京亿良科技有限公司进行维修或更换，请将仪器使用保护袋包裹，并使用原厂填充物进行保护，重新包装于原厂纸板箱内，使用尼龙带封好，并粘贴运输标签和易碎标志。

### 2.3 后面板连接

本节提供 YL4012 后面板连接的详细描述。后面板包括电源输入和保险组件、电流输出和电压输入组件、样品端电压输出 BNC 连接器 RS-232C 连接器和散热器。请首先阅读 2.3—2.8 节，而后阅读 2.9 了解初始化设置和系统检测流程。后面板连接器引线的详细信息请参阅 6.4。

**警告：** 检查后面板标示的输入线电压是否与交流电源电压相符。接入交流电源以及开机前，请检查是否安装了适用的保险管。

**警告：** 作为通用的操作规定，进行任何后面板连接前，必须关闭本仪器。

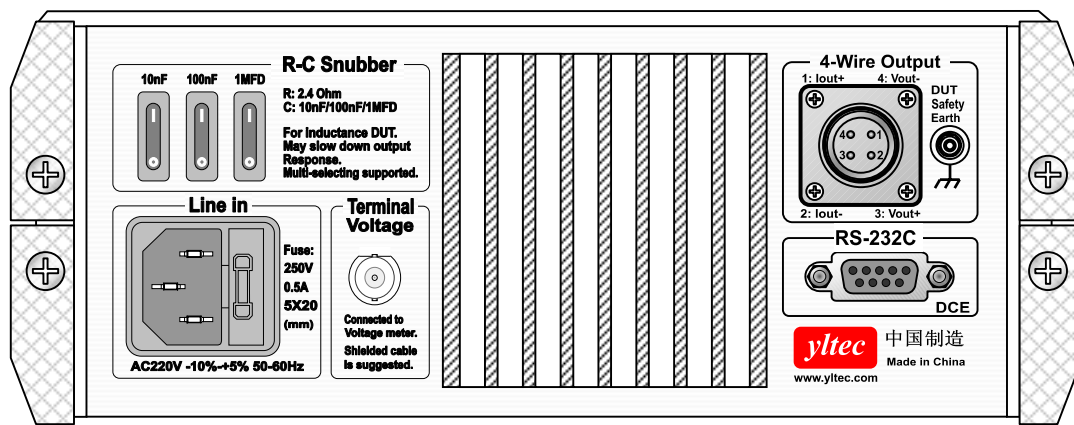


图 2-1 YL4012 精密程控电流源后面板

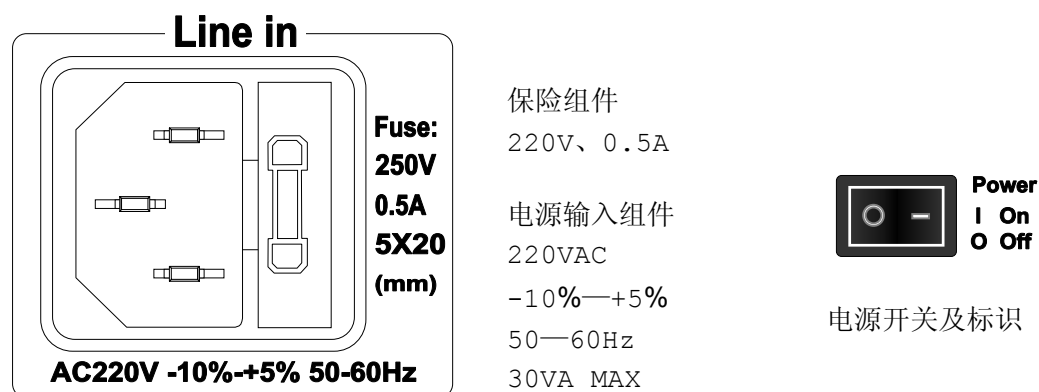
## 2.4 电源输入和保险组件

请仔细阅读 YL4012 后面板左下侧标示的交流电源输入规格，由电源输入和保险组件输入的交流电压及其频率必须严格处于此规格限制范围内。YL4012 使用 3 芯单相交流电源线。

输入的交流线电压连接至电源输入组件外侧两导体上，中间导体为安全地，与仪器机箱体和金属底板相连。为安全起见，请将电源线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。

在首次开启 YL4012 前，必须取出保险组件中的保险，并确认其适用性。请务必使用与后面板所示规格（220V、0.5A）相同的保险。

YL4012 的电源开关位于前面板左下侧。按下“**I**”时电源开启，按下“**O**”电源关断。



A. 电源输入组件和保险组件（后面板左下侧）      B. 电源开关（前面板左下侧）

图 2-2 电源输入和保险组件以及电源开关

## 2.5 电流输出组件

**警告：** YL4012 精密程控电流源使用的某些测量附件具有导电部分。请勿在靠近暴露的电压附近进行任何操作，否则将造成对使用者的人身伤害以及对仪器的损害。

**警告：** 作为通用的操作规定，进行任何后面板连接前，必须关闭本仪器。连接负载样品前，应首先关闭本仪器或使用前面板 **Output** 键将输出端置于输出禁止状态。

YL4012 精密程控电流源使用 4 线式电流输出组件，4 线式连接器位于后面板右侧上方，为 4 芯插座，如图 2-3 所示。

依据线序 1—4 分别为电流输出高电压端  $I_{out+}$ 、电流输出低电压端  $I_{out-}$ 、高电压测量端  $V_{out+}$  和低电压测量端  $V_{out-}$ ，4 芯插座右侧金属螺柱为接地端。负载样品存在导电表面或外壳时，应将此导电表面或外壳连接至接地端，以策安全。接地端与 YL4012 机箱连接，并通过三芯单相电源线的接地线与安全地相连。

电流由  $I_{out+}$  端流出，流经外部电流输出连接线①和②以及负载样品后由  $I_{out-}$  端流入。与此同时，在负载样品两端产生的电压，其高端和低端各自通过 1 条独立的电压测量连接线③和④分别连接至  $V_{out+}$  和  $V_{out-}$  端，并连接至 YL4012 的样品端电压输出 BNC 连接器。由于流经电压测量连接线③和④的电流微小，电压测量连接线上由于自身电阻产生的电压降可以忽略， $V_{out+}$  和  $V_{out-}$  两端的电压差即为负载样品两端的电压。4 线式连接方法适用于远端样品电阻测量。

4 线式电流输出组件使用 4 芯插座，与附件中的 4 芯插头或可选附件 4S2-X 输出/输入电缆的 4 芯插头匹配。连接负载样品时，将 4 芯插头对准后面板的 4 芯插座并将其平直插入。为达可靠，请使用插头所附紧固部件将其紧密连接于后面板上。紧密连接可以保护电缆安全并避免干扰。

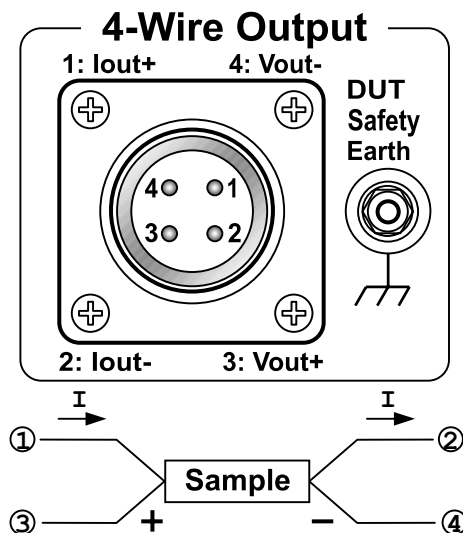


图 2-3 后面板 4 线式电流输出组件连接器和接地端

## 2.6 负载样品端电压输出 BNC 连接器

YL4012 使用 BNC 插座提供 4 线式电流输出组件返回的负载样品两端电压，信号  $v_+$  位于中心导体。BNC 连接器外壳为信号参考电平  $v_-$ ，均为浮动输出，与机箱体无电气连接。请参阅 3.9 得到更多负载样品端电压输出连接器的操作信息。

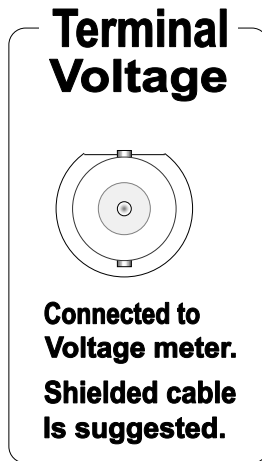


图 2-4 负载样品端电压输出 BNC 连接器

## 2.7 RS-232C 连接器

YL4012 的 RS-232C 通讯端口使用 9 针 D 型连接器，并采用 DCE 设置，通过直通电缆与 PC 的 9 针串行端口连接，或通过可选的 9 针转 25 针适配器与 PC 的 25 针串行端口连接。参阅 6.4 得到更多串行通讯电缆的连接信息。

YL4012 还配置可选的 RS-232C 转 USB 1.0 转换器附件，将本仪器的串行接口转换为 USB 接口，并在安装信息光盘中提供此转换器的 Windows 驱动程序。

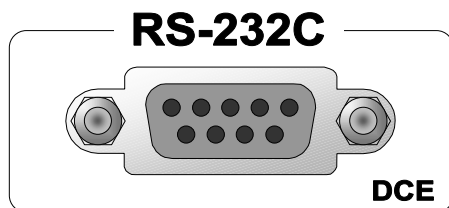


图 2-5 RS-232C (DCE) 连接器

## 2.8 自然风冷散热

YL4012 采用外部散热器配合后面板自然风冷散热，以避免仪器运行过程中产生的风扇噪声。输出电流为最大输出电流且输出端短路时，YL4012 散发热量达到最大值，通常此时散热器相对环境温度的温升不超过 30°C。

YL4012 各型号的最大输出电流分别为：

YL4012-100: 100mA

YL4012-50: 200mA

YL4012-10: 1A

使用过程中请勿遮挡或封闭 YL4012 的散热器，并在散热器上方保持至少 50mm 散热空间，以确保仪器良好散热。

## 2.9 初始设置和系统检验流程

以下流程在第一次操作前执行，用于检验基本单元功能。

1. 确认前面板电源开关位于关闭（O: Off）位置，并由电源输入和保险组件中取出电源线。

**警告：** 接入或更换负载前，必须首先关闭仪器电源或将电流输出端设置为禁止状态。

2. 在 4 芯插头上焊接电缆并连接负载样品，使用插头所附紧固部件将电缆紧密连接于后面板上。4 芯插座及插头芯线线序请参阅 6.4 中的相关内容。
3. 上电前检查其它后面板连接。
4. 插入电源线。
5. 拨动前面板电源开关至开启（I: On）位置，各型号前面板显示器分别显示如下启动信息：

Y	L	4	0	1	2	-	1	0	0	-	1	0	0	
C	u	r	r	e	n	t		S	o	u	r	c	e	

YL4012-100

Y	L	4	0	1	2	-	5	0	-	2	0	0		
C	u	r	r	e	n	t		S	o	u	r	c	e	

YL4012-50

Y	L	4	0	1	2	-	1	0	-	1	0	0	0
C	u	r	r	e	n	t		S	o	u	r	c	e

YL4012-10



6. YL4012 各型号的标准显示如下:

					1	0	0	.	0	0		m	A		
	C	M	P	L					1	0	0	V			

YL4012-100

					2	0	0	.	0	0		m	A		
	C	M	P	L					5	0		V			

YL4012-50

					1	0	0	0	.	0		m	A		
	C	M	P	L			1	0	.	0		V			

YL4012-10

7. 此时输出端处于输出禁止状态, 前面板 Output 和 Compliance LED 指示灯均处于熄灭状态。
8. 按下键盘区左上方的 **Output** 键, 使输出端转换为正常输出状态, 且前面板 Output LED 指示灯点亮。输出端状态请参阅 3.4 中的相关内容。
9. 根据负载样品要求设置适当的电流值。如果负载样品的直流电阻值与所设置电流值的乘积低于已预先设置的输出钳位电压, 则前面板 Compliance LED 指示灯保持熄灭状态, 否则 Compliance LED 指示灯点亮闪烁, 提示设置电流值超过适用电流范围, 输出电流与设置值可能存在较大误差。  
适用电流范围的相关内容请参阅 3.10 中的详细内容。更换负载样品时需首先使用 **Output** 键将输出端置于输出禁止状态, 参阅 3.5 中与更换负载样品相关的描述。
10. 为达最佳效果, 仪器使用前应至少预热 5 分钟。至少预热 30 分钟达到额定精度。

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 章得到更多操作信息。

(此页为空页)

## 第 3 章 操作

### 3.0 概述

本章包括 YL4012 精密程控电流源的各种操作方法。其中，3.1 为前面板控制定义，3.2-3.9 为前面板功能详解，3.10 为 4 线式连接方法，3.11 适用电流范围，3.12 为输出响应，3.13-3.15 为各种负载样品，3.16 为噪声和干扰的抑制方法。

### 3.1 前面板控制定义

本节为 YL4012 精密程控电流源的前面板控制定义。

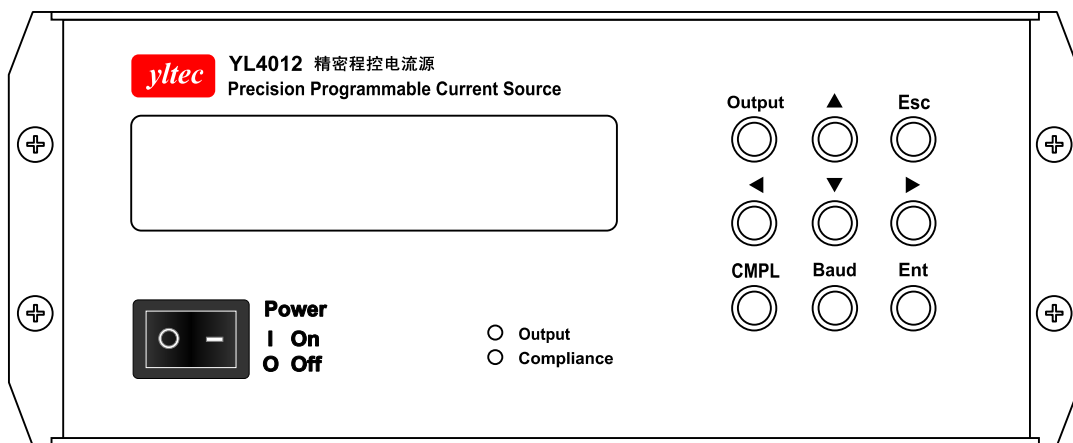


图 3-1 YL4012 精密程控电流源前面板

#### 3.1.1 前面板键盘定义

以下为前面板键盘的简要描述，后续章节将提供各种功能的详细描述。

- Ent:** 确认键。确认对某项参数的修改，或者使仪器由标准显示状态进入电流设置状态。
- Esc:** 取消键。取消对某项参数的修改、将其恢复修改前的设置值并恢复标准显示状态。
- CMPL:** 设置输出钳位电压。
- ▲▼:** 上、下方向键。标准显示状态下用于以 0.01mA (YL4012-100、YL4012-50) 或 0.1mA (YL4012-10) 步进调整当前输出电流，电流设置状态下用于调整每位数值，参数设置状态下用于选择参数。
- ◀▶:** 左、右方向键。电流设置状态下用于选定各数字位，左为高一位，右为第一位。
- Baud:** 设置波特率。
- Output:** 设置电流输出状态为正常输出或输出禁止状态。

#### 3.1.2 前面板显示

在通常的操作中，2×16 字符型 LCD 显示器的第 1 行显示当前输出电流设置值，使用前面板键盘进行功能操作时，第 2 行用于显示输出钳位电压和各种特殊信息。每个字符由 5×7 点阵组成。

振荡报警				电流设置值				单位	键盘锁	
								mA		
O	S	C		1	0	<u>0</u>	.	m	A	🔒
	C	M	P				1	v		
YL4012-100								V		
				输出钳位电压				单位	(第 2 行显示各种特殊信息)	



### 3.2 Ent 键和 Esc 键

**Ent** 键有 2 种主要用途，即进入电流设置状态和确认参数修改。

需要通过键入数据值设置输出电流时，需首先按 **Ent** 键由标准显示状态进入电流设置状态，请参阅 3.3 中关于电流设置的详细信息。进行仪器参数如波特率的调整时，**Ent** 键用于确认参数修改，并使仪器返回标准显示状态，请参阅 3.6 中的相关内容。

**Esc** 键用于取消参数修改，保持修改前的参数设置，并使仪器返回标准显示状态。或在封锁键盘状态下，按住 **Esc** 键 5 秒后，YL4012 解除键盘封锁，并恢复开机上电状态，请参阅 3.8 中的相关内容。

### 3.3 设置输出电流

YL4012 使用 2 种方法设置输出电流，即键入数值和微调步进。

键入数值是直观的设置方法。键入数值输出电流时需首先按 **Ent** 键由标准显示状态进入电流设置状态，而后使用◀、▶方向键在各个数字位之间切换选择，并使用▲、▼方向键设置各位数值。数字键入完毕，按 **Ent** 键确认，或按 **Esc** 键取消，仪器返回标准显示状态。

在某一数字位的数值达到 9 后，再按▲键时，当前位数值清零，并在高位进位。同样当前位数值为 0 再按▼键时，当前位数值变化至 9，并在高位借位。如果当前位和所有高位均为 0 再按▼键时，所有低位数值清零，即电流设置值回零。键入数值时，按住▲、▼方向键 1 秒后，当前位数值连续递增或递减步进，并在高位进位或借位。

数值键入过程中，输出电流保持上一次的设置值，按 **Ent** 键确认后，输出电流改变至设置值。

进入电流设置状态后 5 秒钟内如无任何操作，仪器将认为超时并将显示恢复至标准显示状态。

测量过程中需要对输出电流进行小范围调整时，微调步进是简单易行的方法。微调步进不需要使仪器进入电流设置状态，只需在标准显示状态下使用▲、▼方向键进行 0.01mA (YL4012-100、YL4012-50) 或 0.1mA (YL4012-10) 的步进操作，输出电流变化与步进操作同步。按下▲、▼方向键一次，输出电流立即以 0.01mA (YL4012-100、YL4012-50) 或 0.1mA (YL4012-10) 的步进值增大或者减小一次。按住▲、▼方向键 1 秒后，输出电流将以 0.01mA (YL4012-100、YL4012-50) 或 0.1mA (YL4012-10) 的步进值连续递增或递减步进。

### 3.4 设置输出钳位电压

YL4012 使用键入数值方法设置输出钳位电压  $V_{\text{CMPL}}$ 。输出钳位电压  $V_{\text{CMPL}}$  在关机后保存。

键入输出钳位电压数值时需首先按 **CMPL** 键由标准显示状态进入输出钳位电压设置状态，而后使用◀、▶方向键在各个数字位之间切换选择，并使用▲、▼方向键设置各位数值。数字键入完毕，按 **Ent** 键确认，或按 **Esc** 键取消，仪器返回标准显示状态。

在某一数字位的数值达到 9 后，再按▲键时，当前位数值清零，并在高位进位。同样当前位数值为 0 再按▼键时，当前位数值变化至 9，并在高位借位。如果当前位和所有高位均为 0 再按▼键时，输出钳位电压回复至可设置的最小值，YL4012-100、YL4012-50 盒 YL4012-10 的  $V_{\text{CMPL}}$  最小值分别为 10V、5V 和 1V。键入数值时，按住▲、▼方向键 1 秒后，当前位数值连续递增或递减步进，并在高位进位或借位。

数值键入过程中，输出钳位电压保持上一次的设置值，按 **Ent** 键确认后，输出钳位电压改变至设置值。进入输出钳位电压设置状态后 5 秒钟内如无任何操作，仪器将认为超时并将显示恢复至标准显示状态。

在适用电流范围之外，输出电压将达到并钳位至输出钳位电压，前面板 Compliance LED 点亮。此时输出电流与设置值之间可能存在较大误差。适用电流范围请参阅 3.11。

**注：** 尽管 YL4012 的输出电压钳位功能可使负载避免长时间过压损伤，但在输出电压钳位功能开启，即输出端由电流模式进入电压模式的过程中，可能产生输出电压过冲，并可能对电压敏感样品造成损伤。因此请在保证负载安全的前提下，尽量将输出钳位电压设置为高于对应输出电流的输出电压 2V 以上，或者在设置可能使输出电压高于对应输出电流的输出电压 2V 以上的较大电流之前，首先使用 **Output** 键将输出端状态设置为输出禁止状态，电流设置完毕后，再使用 **Output** 键将输出端状态设置为正常输出状态。输出电压过冲的详细内容请参阅 3.12.3，**Output** 键和输出端状态的详细内容请参阅 3.5。

### 3.5 Output 键

**Output** 键用于切换输出端状态。开机上电后，YL4012 的输出端为输出禁止状态，输出端内部短路且输出电压为 0，前面板 Output LED 熄灭，此时可进行负载连接或更换。按下 **Output** 键后，前面板 Output LED 点亮，输出端将在 1 秒内缓慢由输出禁止状态转换为正常输出状态，输出电流由 0 缓慢上升至设置电流值。再次按下 **Output** 键，前面板 Output LED 熄灭，输出端将在 10ms 内迅速由正常输出状态转换至输出禁止状态。

**警告：** 开机后接入或更换负载样品前，必须首先将输出端设置为输出禁止状态。

输出端处于正常输出状态时接入负载前或更换负载样品的过程中，可能出现输出端开路情形。在此情形下，输出电流为 0，输出电压将达到输出钳位电压  $V_{CMPL}$ ，输出端可能呈现较高电压，并可能高于负载样品的电压容限，此时接入负载，此高电压将短时施加于负载两端，直至 YL4012 将输出电流由 0 调整至电流设置值。对于某些负载样品，如发光二极管 (LEDs)、激光二极管 (LDs) 以及自身电阻较低且功率容量较小的负载样品，此短时高压可能造成电压击穿，或者在负载样品上产生瞬时高功率，导致负载样品的永久性损毁。因此必须首先使用 **Output** 键将输出端设置为输出禁止状态后才可进行负载样品的接入或更换。

输出端处于输出禁止状态时，输出漏电流小于 100nA (YL4012-100、YL4012-50) 或 1 $\mu$ A (YL4012-10)，输出端内部短路且输出电压为 0。

### 3.6 输出端静电保护和抗冲击保护

YL4012 通过内部的低闭合电阻开关 LORS (Low On Resistance Switches) 为负载样品提供关机和输出禁止状态下针对上电冲击和静电损伤的保护功能，如图 3-3 所示。对于激光二极管 (LDs: Laser Diodes) 等静电敏感或耐压容限较低等精密易损元器件的电流驱动过程中，LORS 开关可对元器件进行有效的静电和抗冲击保护。

关机状态下 YL4012 的电流源不工作，电流源输出端呈现开路状态，在不使用 LORS 开关时，连接于两输出端之间的负载样品由于输出端浮动而易受到静电损伤。加入 LORS 开关后，此时 LORS 开关处于闭合状态，导通电阻小于 100m $\Omega$ ，并将负载样品两端短路，避免静电损伤的产生，如图 3-3 所示。

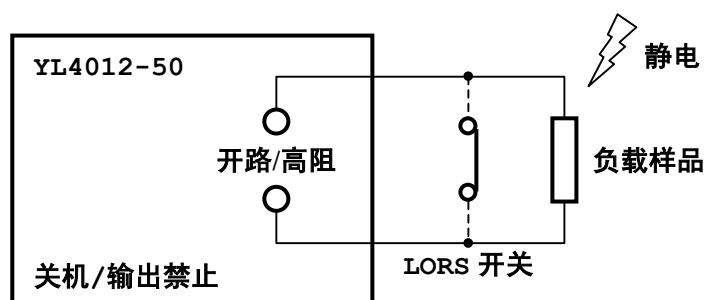


图 3-3 使用 LORS 开关进行静电保护

YL4012 在上电过程中，由于上电过程中的短时电平紊乱，其内部电流源可能处于不确定的状态，在不使用 LORS 开关时，此不确定状态将可能于负载样品内产生超过负载样品电流容限的瞬间电流冲击，并可能损伤负载样品。加入 LORS 开关后，此时 LORS 开关仍处于闭合状态，并将冲击电流吸收从而避免负载样品受到上电冲击损伤，如图 3-4 所示。

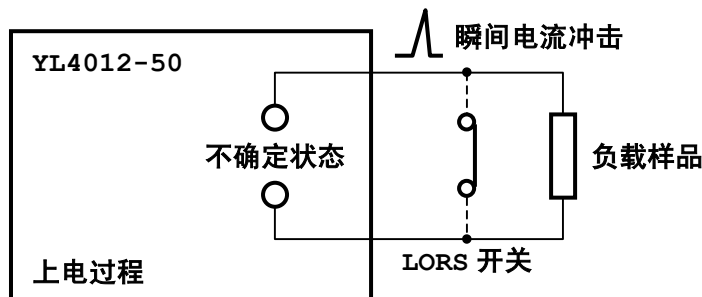


图 3-4 使用 LORS 开关进行抗冲击保护

开机后且 YL4012 输出端处于正常输出状态时 LORS 开关断开。

开机后且 YL4012 输出端处于输出禁止状态时，与图 3-3 所示情形类似，负载样品在不使用 LORS 开关时易受到静电损伤。加入 LORS 开关后，此时 LORS 开关处于闭合状态并将负载样品两端短路，从而避免静电损伤。

开机后且 YL4012 输出端处于输出禁止状态时，在更换样品的过程中，与图 3-3 所示情形类似，负载样品在不使用 LORS 开关时易受到静电损伤。加入 LORS 开关后，此时 LORS 开关处于闭合状态，并将输出端短路，使两输出端之间的电压为 0。

### 3.7 Baud 键

**Baud** 键用于设置串行通讯波特率。按 **Baud** 键进入波特率参数设置界面。

按 **▲**、**▼** 键在各种波特率之间循环选择，按 **Ent** 键确认或按 **Esc** 键取消，并返回标准显示状态。

波特率是用户唯一可以设置的接口参数。可选波特率为 9600、19200、38400、57600 和 115200bps。出厂默认波特率为 9600bps。参阅第 4 章中关于串行通讯格式设置的相关信息。

			0	0	0	.	0	0		m	A			
			9	6	0	0		b	p	s			↑	↓

波特率在关机后保存。

### 3.8 键盘锁

通过 PC 程序控制 YL4012 时，流程开始前建议使用 **LOCK 1** 命令封锁前面板键盘，以避免远程控制和本地控制之间的冲突造成的误操作，保护负载样品安全。相应的，在 PC 程序退出前需使用 **LOCK 0** 命令使前面板键盘解锁，恢复仪器的可操作性。前面板键盘封锁后，显示器第 1 行右侧第 1 位出现“**🔒**”标识符，解锁后此标识符消失。**LOCK** 命令请参阅 4.2 中的相关内容。

				2	0	<u>0</u>	.	0	0		m	A		🔒
C	M	P	L					5	<u>0</u>	V				

### 3.9 恢复出厂默认设置

在标准显示状态下，包括前面板键盘封锁的情况下，按住 **Esc** 键 5 秒后出现如下界面：

R	E	S	T	O	R	E		D	E	F	A	U	L	T	.
		Y	I	L	I	A	N	G		T	E	C	H		

2 秒后仪器恢复出厂默认设置：

输出电流： 0  
 输出钳位电压： 10V (YL4012-100)、  
 5V (YL4012-50) 或者  
 1V (YL4012-10)  
 波特率： 9600bps  
 前面板键盘： 解锁  
 输出状态： 输出禁止

### 3.10 4 线式连接方法

#### 3.10.1 2 线式和 4 线式连接方法

连接 YL4012 和负载的电流输出连接线不可避免的具有直流电阻，电流通过时，将在连接线两端产生误差电压  $V_{error}$ 。2 线式连接方法中，测量电压  $V_M$  为负载两端电压  $V_{LOAD}$  与  $V_{error}$  的总和，如图 3-5a 所示。

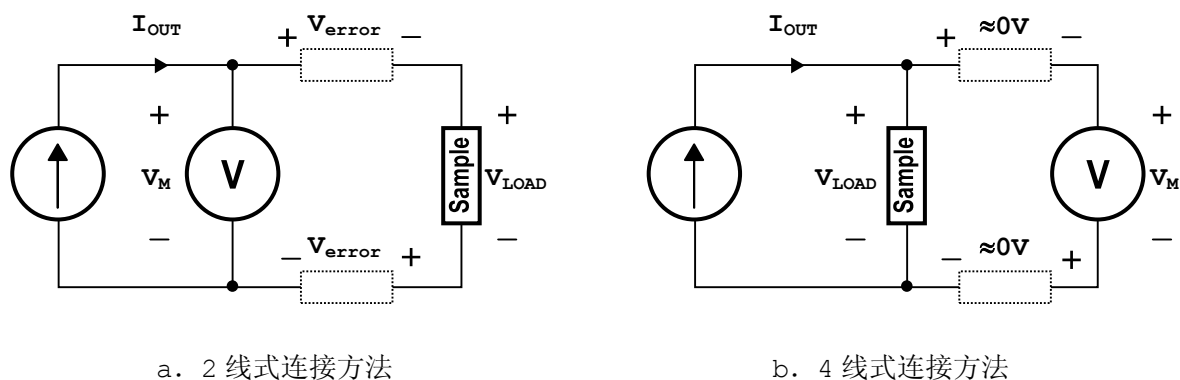


图 3-5 2 线式和 4 线式连接方法

当连接线电阻与负载电阻可比时， $V_{error}$  与  $V_{LOAD}$  可比，并严重影响  $V_{LOAD}$  的测量准确度。此时必须采用 4 线式连接方法，如图 3-5b 所示。由于电压表的输入阻抗接近无穷大，因此电压测量连接中基本无电流通过， $V+$  和  $V-$  之间的测量电压  $V_M$  与负载样品两端电压  $V_{LOAD}$  相同，从而避免了电流输出连接线电阻对电压测量准确度的影响。

YL4012 通过 4S2-X 电缆（参阅 5.2）采用 4 线式方法与负载样品连接。其中  $I_{OUT+}$  和  $V+$  以及  $I_{OUT-}$  和  $V-$  在样品连接端分别连接至负载样品两端根部， $V+$  和  $V-$  线上返回的负载样品两端电压在仪器内部直接连接至 BNC 连接器输出，便于与各种电压表配合使用，如图 3-6 所示。



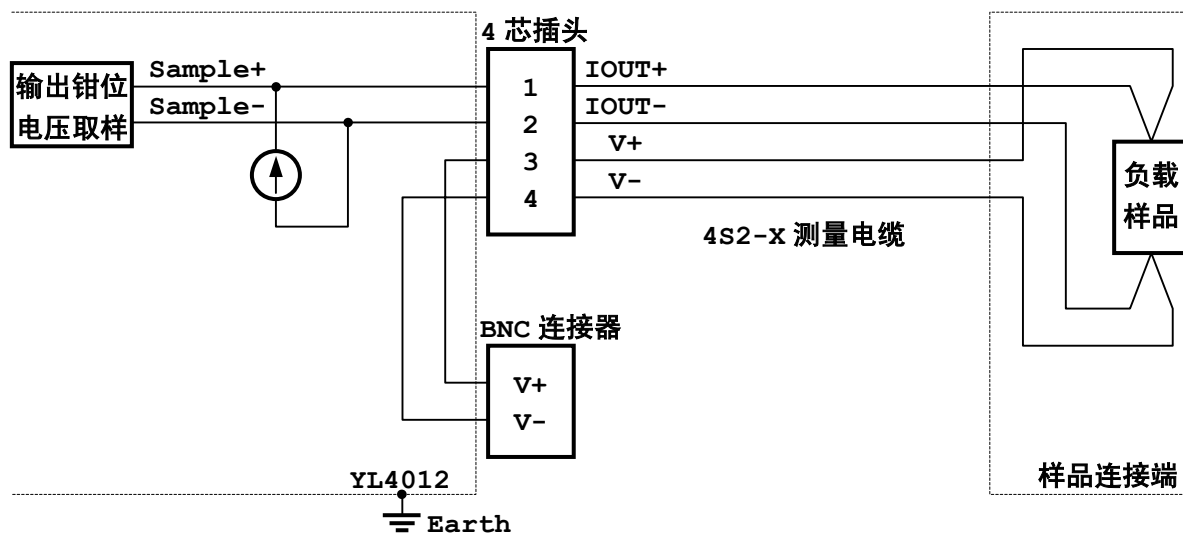


图 3-6 YL4012 的 4 线式电缆连接方法

### 3.10.2 使用数字电压表测量输出电压

采用屏蔽电缆连接 YL4012 后面板与电压表输入端可降低噪声干扰。为最大程度减小电压表内阻分流造成的输出电流与流过负载的实际电流之间的误差，与 BNC 连接器相连的电压表应具有足够高的输入阻抗。通常数字万用表 100V 量程下内阻为  $10\text{M}\Omega$  或相同量级，某些数字万用表的内阻可高至  $10\text{G}\Omega$ 。为保证输出电流准确度，测量电压时请尽量使用高内阻的万用表，或者将负载样品的最大直流电阻值应限制于  $5\text{k}\Omega$  以下。

### 3.10.3 使用示波器观察输出端波形

由于示波器探头的接地端连接于示波器机箱体并与大地相连，使用示波器观察输出波形时，当此接地端与 V- 端连接时，可能由于接地阻抗较大而感应 50Hz 或 100Hz 工频信号，通过 V- 端进入仪器内部放大并体现于负载两端，尤其当负载直流电阻较大时，可在输出端观察到明显的干扰波形。此时使用数字万用表测量负载两端电压，低位示数可能出现明显波动。将探头接地端连接于 V+ 端可避免此干扰现象。DC 档输入时，示波器输入端呈现约  $1\text{M}\Omega$  的直流电阻，可能造成输出电流误差，使用 AC 档输入可避免此误差的产生。

## 3.11 适用电流范围

通过设置输出钳位电压，YL4012-100、YL4012-50 和 YL4012-10 可分别提供 10—100V、5—50V 和 1—10V 的开路输出电压。当负载样品两端电压达到输出钳位电压时，YL4012 将无法保证输出电流的准确度。因此，在设置输出电流时，应根据负载样品的直流电阻  $R(\Omega)$  和所设置的输出钳位电压  $V_{\text{CMPL}}(\text{V})$ ，选择输出电流  $I_{\text{OUT}}$  的适用范围，如图 3-8 所示，适用电流范围为  $0—I_{\text{OUTmax}}$ ，其中  $I_{\text{OUTmax}}(\text{mA})$  为：

$$I_{\text{OUTmax}} = 10^3 V_{\text{CMPL}} / R$$

对于 YL4012-100，如图 3-7 所示，负载样品的直流电阻  $R=500\Omega$ ，设置输出钳位电压  $V_{\text{CMPL}}=30\text{V}$ 。设置输出电流  $I_{\text{OUT}}$  由 0 起步进增大，此时 YL4012 处于电流模式，输出电流即为设置电流值，直至达到  $I_{\text{OUTmax}}=10^3 V_{\text{CMPL}} / R=60\text{mA}$ ，输出电压达到  $V_{\text{CMPL}}=30\text{V}$ 。

对于 YL4012-50，如图 3-8 所示，负载样品的直流电阻  $R=200\Omega$ ，设置输出钳位电压  $V_{\text{CMPL}}=30\text{V}$ 。设置输出电流  $I_{\text{OUT}}$  由 0 起步进增大，此时 YL4012 处于电流模式，输出电流即为设置电流值，直至达到  $I_{\text{OUTmax}}=10^3 V_{\text{CMPL}} / R=150\text{mA}$ ，输出电压达到  $V_{\text{CMPL}}=30\text{V}$ 。

对于 YL4012-10，如图 3-9 所示，负载样品的直流电阻  $R=50\Omega$ ，设置输出钳位电压  $V_{\text{CMPL}}=3\text{V}$ 。

设置输出电流  $I_{OUT}$  由 0 起步进增大，此时 YL4012 处于电流模式，输出电流即为设置电流值，直至达到  $I_{OUTmax}=10^3V_{CMPL}/R=600mA$ ，输出电压达到  $V_{CMPL}=3V$ 。

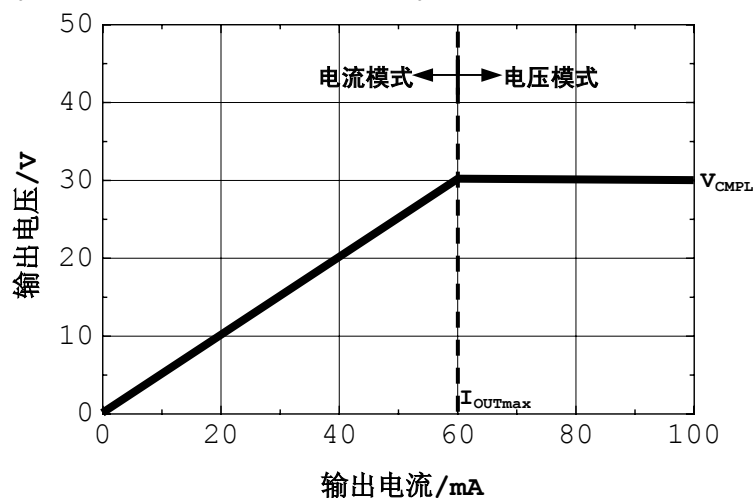


图 3-7 YL4012-100 的适用电流范围

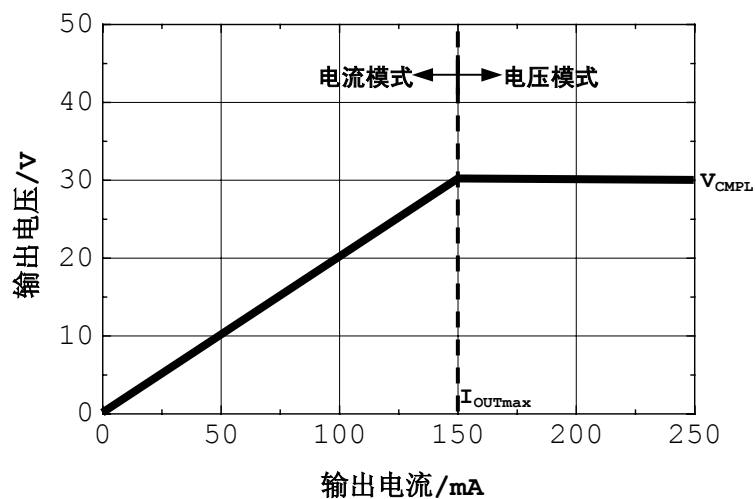


图 3-8 YL4012-50 的适用电流范围

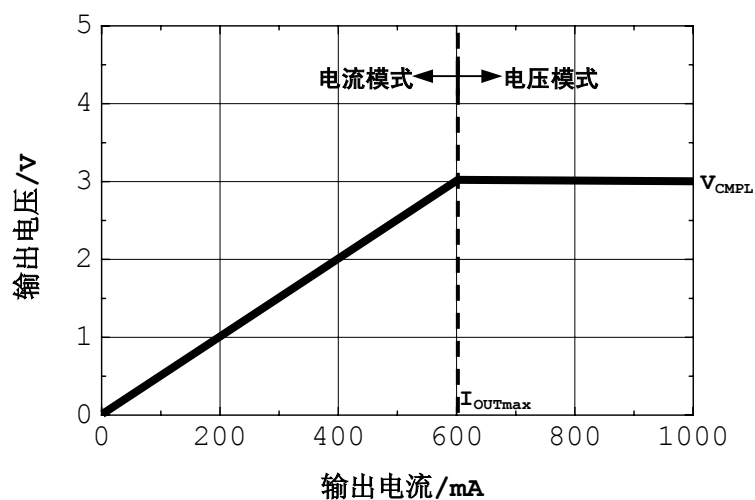


图 3-9 YL4012-10 的适用电流范围

继续设置输出电流增大并超过  $I_{OUTmax}$  直至 YL4012 可设置的最大电流值, 此时 YL4012 进入电压模式, 实际输出电流将不再随设置电流值增长, 输出电压由 YL4012 钳位保持于  $V_{CMPL}$ , 同时 YL4012 前面板的 Compliance LED 点亮闪烁。YL4012-100、YL4012-50 和 YL4012-10 的可设置最大电流值分别为 100mA、200mA 和 1A。

虽然 YL4012 进入输出电压钳位时为电压模式并相当于电压源, 但由于电压模式的噪声和准确度原因, 请尽量不将 YL4012 作为电压源使用。

### 3.12 输出响应

#### 3.12.1 电流/电压模式转换时的临界状态

在输出钳位电压  $V_{CMPL}$  附近, 当 YL4012 由电流模式进入电压模式, 或者由电压模式返回电流模式时, 可能出现由电压模式和电流模式共同控制的临界状态, 如图 3-10 所示:

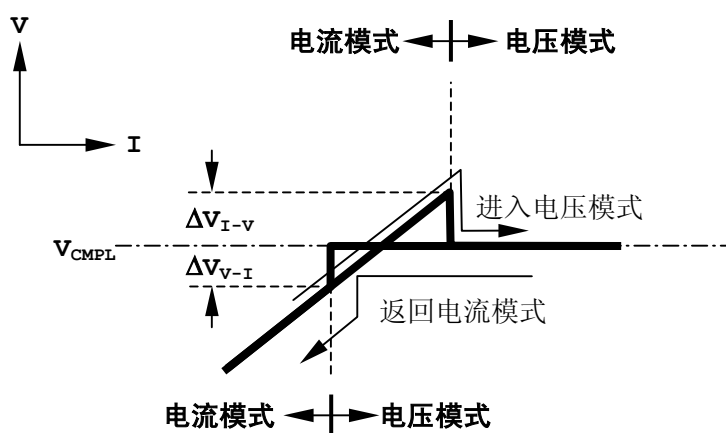


图 3-10 电流/电压模式转换时的临界状态

由电流模式进入电压模式时, 随输出电流增大, 输出电压增大至略高于  $V_{CMPL}$  的电压  $V_{CMPL} + \Delta V_{I-V}$  时进入电压模式。由电压模式返回电流模式时, 随输出电流减小, 输出电压减小至略低于  $V_{CMPL}$  的电压  $V_{CMPL} - \Delta V_{V-I}$  时返回电流模式。通常  $\Delta V_{I-V}$  和  $\Delta V_{V-I}$  均不大于 100mV。

由于临界状态的存在, 输出电压处于  $V_{CMPL}$  附近时 YL4012 的模式可能不确定, 并可能造成输出电流与电流设置值不符, 以及产生较大的噪声, 因此在 YL4012 的使用过程中应尽量避免使用  $V_{CMPL} \pm 500mV$  范围的区域。

#### 3.12.2 输出电流过冲

纯电阻性和电容性负载下, 输出电压不大于输出钳位电压  $V_{CMPL}$  时, YL4012 输出端的电流阶跃响应无电流过冲现象。电感性负载下可能出现明显的电流过冲, 过冲电流幅度  $\Delta I_{OUT}$  和过冲时间  $T_{SETTLE}$  由负载的电感量决定, 如图 3-11 所示。

使用适当的 R-C 减振器对电感性负载进行补偿, 可降低电流过冲现象。R-C 减振器请参阅 3.14 中的相关内容。

输出钳位电压  $V_{CMPL}$  过于接近与输出电流  $I_{OUT}$  对应的输出电压  $V_{OUT}$ , 且  $V_{CMPL}$  与  $V_{OUT}$  的差异小于电流过冲  $\Delta I_{OUT}$  造成的电压过冲值  $\Delta V_{OUT}$  时, 可能造成 YL4012 的输出电压钳位电路动作, 即由电流模式进入电压模式, 并在电压模式内经过一定的恢复时间  $T_{RESTORE}$  后重新进入电流模式, 恢复时间  $T_{RESTORE}$  为 YL4012 由电压模式转换至电流模式的时间。

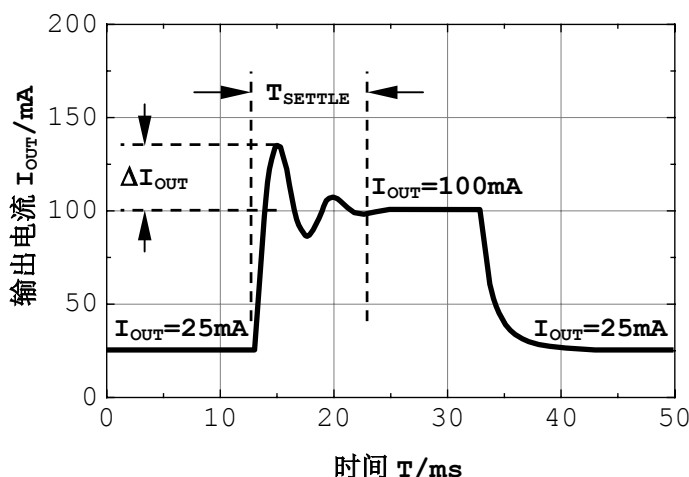


图 3-11 电感性负载下的电流阶跃响应过冲

### 3.12.3 正常输出状态下输出电压钳位保护时的电压过冲

YL4012 处于电流模式，即输出电压低于输出钳位电压时，设置电流  $I_{OUT}$  使输出电压  $V_{OUT}$  大于输出钳位电压  $V_{CMPL}$  时，输出端在输出电压钳位保护时可能出现电压过冲现象。

电压过冲现象由 YL4012 的输出电压钳位电路动作产生，即发生于由电流模式向电压模式的转换过程中。过冲幅度  $V_{OVERSHOOT}$  决定于  $V_{OUT}$  超出  $V_{CMPL}$  的电压差  $\Delta V_{OUT}$ 。

$$V_{OVERSHOOT} < \Delta V_{OUT} = V_{OUT} - V_{CMPL}$$

$\Delta V_{OUT}$  愈大，过冲幅度  $V_{OVERSHOOT}$  愈大。输出端发生过冲后， $V_{OUT}$  经过一定过冲时间  $T_{SETTLE}$  恢复至输出钳位电压  $V_{CMPL}$ 。过冲时间  $T_{SETTLE}$  为 YL4012 由电流模式转换至电压模式所需时间，决定于  $\Delta V_{OUT}$ ，通常  $\Delta V_{OUT}$  愈大， $T_{SETTLE}$  愈小。

纯电阻性负载下，稳定时间  $T_{SETTLE}$  不大于 10ms。此时输出端电压过冲波形如图 3-12 所示：

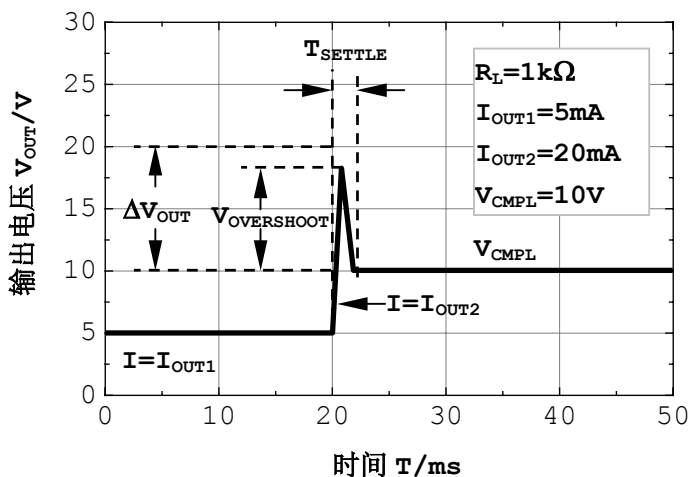


图 3-12 正常输出状态下纯电阻性负载的输出端电压过冲波形

电感性负载下，输出端电压过冲特性与纯电阻性负载下相同。

电容性负载下，输出端电压过冲幅度  $V_{OVERSHOOT}$  与纯电阻性负载下相比较，并可能大于  $\Delta V_{OUT}$ ，同时过冲时间  $T_{SETTLE}$  增大。负载的电容性愈大，过冲幅度和过冲时间的增大程度愈严重。

### 3.12.4 避免输出过冲

**注：** 虽然 YL4012 输出端的电压和电流过冲产生的能量不致造成负载样品过热损毁，但对于电压或电流敏感样品仍可能造成损伤。

可采取以下措施减小或避免输出电压过冲：

- (1) 在无法预知在所需电流下的输出电压时，使用 **Output** 键使输出端进入输出禁止状态，电流设置完成后，再使用 **Output** 键使输出端恢复至正常输出状态。

YL4012 内部配备输出电压过冲抑制电路，用于在输出端状态变化时消除由于电流/电压模式切换所可能产生的电压过冲尖峰。

输出端恢复至正常输出状态后，如果进入电压钳位保护，即输出为电压模式时，纯电阻性负载的输出时序和电压波形如图 3-13 所示。其中，由按下 **Output** 键（或通过 RS-232C 接口发送 Output 1 命令）起至输出端恢复至正常输出状态所需建立时间  $T_{SETTLE}$  不大于 1 秒。

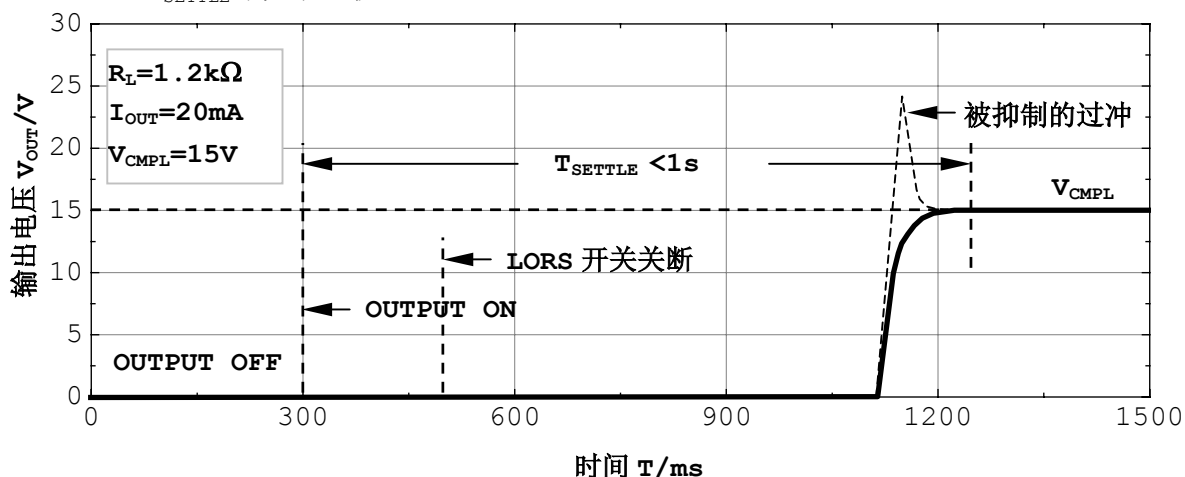


图 3-13 使用 Output 功能抑制输出电压过冲

未进入电压钳位保护，即输出为电流模式时，纯电阻性负载的输出时序和电压波形如图 3-14 所示。其中，由按下 **Output** 键（或通过 RS-232C 接口发送 Output 1 命令）起至输出电流准确度达到设置值的 0.05% 所需建立时间  $T_{SETTLE}$  不大于 1s。

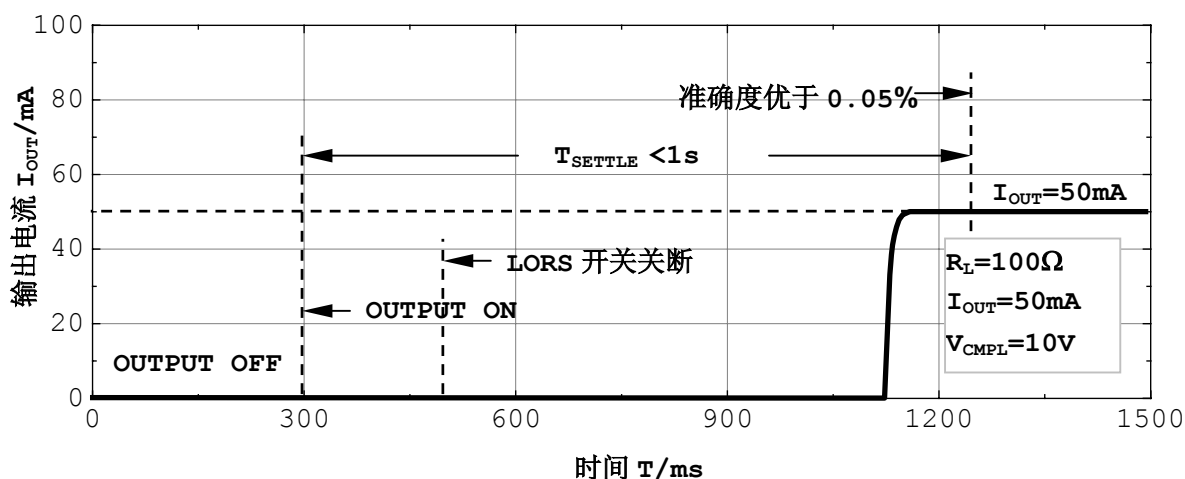


图 3-14 使用 Output 功能时的电流输出时序

- (2) 在保证负载样品安全的前提下，设置输出钳位电压  $V_{CMPL}$  总大于与设置输出电流  $I_{OUT}$  相对应的输出电压至少 2V，以避免 YL4012 频繁由电流模式向电压模式转换。
- (3) 使用尽量小的电流步进，使 YL4012 由电流模式向电压模式的转换过程中  $\Delta V_{OUT}$  以及过冲幅度  $V_{OVERSHOOT}$  尽量小。
- (4) 尽量降低负载的电容性。

以及可采取以下措施减小或避免输出电流过冲：

- (1) 使用尽量小的电流步进，降低电流阶跃响应的超调量。
- (2) 尽量降低负载的电感性。

### 3.13 电容性负载样品

#### 3.13.1 纯电容性负载的恒流充电特性

YL4012 输出端连接纯电容性负载时，电容耐压应大于所设置的输出钳位电压，如果使用电解电容，请务必确认极性的正确性。此时 YL4012 根据设置电流  $I_{OUT}$  (mA) 以恒流方式对电容充电，直至输出电压达到输出钳位电压  $V_{CMPL}$  (V)，充电时间  $T_{CHARGE}$  (s) 由负载电容量  $C_L$  ( $\mu F$ ) 确定：

$$T_{CHARGE} = 10^{-3} C_L V_{CMPL} / I_{OUT}$$

充电结束后，输出电压达到  $V_{CMPL}$ 。例如电容  $C_L=100\mu F$ 、设置电流  $I_{OUT}=2mA$ 、 $V_{CMPL}=30V$  时的充电时间  $T_{CHARGE}$  为 1.5 秒，充电特性曲线如图 3-15 所示。

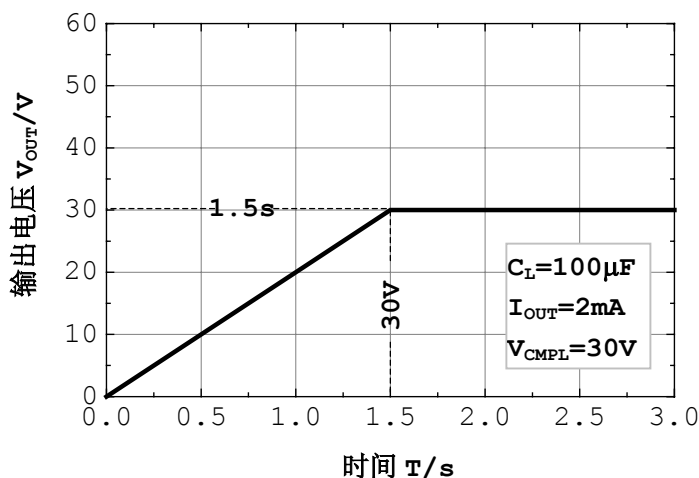


图 3-15 纯电容性负载充电特性曲线

实际电容器，尤其是铝电解电容，可能存在较大的漏电流。此时实际电容等效为理想电容两端并联与漏电流相关的电阻，并可能造成输出电压并非随时间非线性增大，以及延长充电时间  $T_{CHARGE}$ 。

电容充电后，两极之间可能呈现较高的电压，并可能超越安全电压，造成电击危险。YL4012 为单臂输出，电容的放电只依赖于 YL4012 输出端有限的电流拉动能力，因此放电时间远高于充电时间，此时可通过手动放电或使用 LORS 开关放电两种方式在避免可能的强烈放电现象的前提下对电容进行快速放电。

#### 3.13.2 纯电容性负载的手动放电

将电容与输出端断开后，可使用阻值为  $R_{DISCHARGE}$  ( $k\Omega$ ) 的放电电阻电阻并联至电容两端进行手动放电，负载样品电容量为  $C_L$  ( $\mu F$ ) 时的放电时间  $T_{DISCHARGE}$  (s) 约为：

$$T_{DISCHARGE} = 1.2 \times 10^{-3} (C_L + 1) R_{DISCHARGE}$$

放电前电容两端电压为  $V_{CAP}$  (V) 时的瞬间最大放电电流  $I_{DISCHARGE}$  (mA) 约为：

$$I_{DISCHARGE} = V_{CAP} / R_{DISCHARGE}$$

例如放电电阻为  $1k\Omega$  时， $100\mu F$  电容的放电时间约为 121ms， $V_{CAP}=10V$  时瞬间最大放电电流约为 10mA。如果电容两端呈现高于 36V 的危险电压，请妥善做好电容及放电电阻暴露的金属部位与人体之间的绝缘，以避免可能的电击危险。放电过程中可能产生火花，因此切勿在易燃易爆气体环境中以及易燃的可挥发液体附近进行放电操作。

通常放电时间应大于 100ms，瞬间最大放电电流不大于 20mA，以避免放电造成的显著火花。

### 3.13.3 LORS 开关放电及保护

由于 YL4012 输出端配置用于静电及抗冲击保护的 LORS 开关，因此电容充电后使输出端由正常输出转换为输出禁止状态时，电容将通过 LORS 开关进行放电，LORS 开关的信息请参见 3.6 中的相应内容。放电强度和放电时间  $T_{DISCHARGE}$  取决于负载样品的电容量  $C_L$  和串联电阻  $R_S$ 。通常  $C_L$  愈大以及  $R_S$  愈小，则放电时间愈短且放电愈强烈。负载样品电容量为  $C_L$  ( $\mu F$ )、串联电阻为  $R_S$  ( $\Omega$ ) 时的放电时间  $T_{DISCHARGE}$  (s) 约为：

$$T_{DISCHARGE} = 1.2 \times 10^{-6} (C_L + 1) (R_S + 0.1)$$

放电前电容两端电压为  $V_{CAP}$  (V) 时的瞬间最大放电电流  $I_{DISCHARGE}$  (mA) 的理论值约为：

$$I_{DISCHARGE} = V_{CAP} / (R_S + 0.1)$$

例如串联电阻为  $100m\Omega$  的  $100\mu F$  电解电容的放电时间约为  $24\mu s$ ， $V_{CAP}$  为 10V 时的瞬间最大放电电流的理论值约为 50A，并足以损伤 LORS 开关，以至降低 LORS 开关的寿命。

为避免强烈的放电现象，请尽量降低电容性负载的电容量，或者在 YL4012 输出端与电容性负载之间串联适当的电阻  $R_L$  (k $\Omega$ )，此时放电时间  $T_{DISCHARGE}$  (s) 约为：

$$T_{DISCHARGE} = 1.2 \times 10^{-3} (C_L + 1) R_L$$

放电前电容两端电压为  $V_{CAP}$  (V) 时的瞬间最大放电电流  $I_{DISCHARGE}$  (mA) 约为：

$$I_{DISCHARGE} = V_{CAP} / R_L$$

例如对于串联电阻为  $100m\Omega$  的  $100\mu F$  电解电容放电时间为 121ms 时的  $R_L$  约为 1k $\Omega$ ， $V_{CAP}=10V$  时的瞬间最大放电电流为 10mA。

通常放电时间应大于 100ms，瞬间最大放电电流不大于 20mA，以避免放电造成的瞬间电流尖峰损伤 LORS 开关。

### 3.14 电感性负载样品和 R-C 减振器

YL4012 为纯电阻性负载设计，使用电感性负载尤其使用强电感性负载时，输出端可能产生强烈的振荡，并可能造成负载和仪器的损毁。

为避免致命的振荡，YL4012 后面板提供了输出振荡报警和可选的并联于负载样品两端由电阻和电容串联构成的 R-C 减振器。

YL4012 检测到输出端振荡时，发出频率为 1Hz 的声讯报警，提示用户输出端产生了明显的甚至可能的致命振荡现象，显示器左上角显示“OSC”。

O	S	C			2	0	<u>0</u>	.	0	0		m	A		
			C	M	P	L				5	<u>0</u>		V		

此时应使用 Output 键使输出端进入输出禁止状态，并选择适当的 R-C 减振器避免振荡现象。后面板 R-C 减振器如图 3-16 所示：

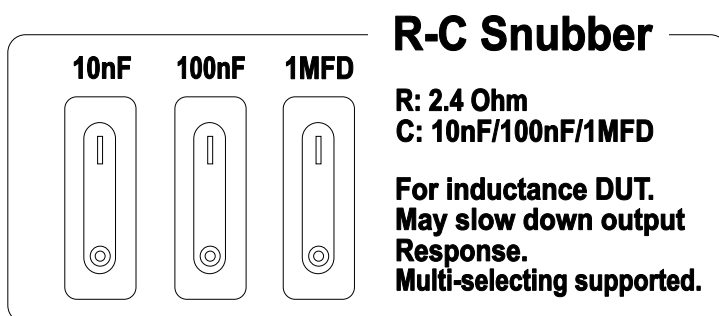


图 3-16 后面板 R-C 减振器

R-C 减振器旁路高频信号，避免其流回 YL4012 内部反馈端，从而破坏振荡条件，使输出稳定。其中  $R=2.4\Omega$ ，C 可选为 10nF、100nF 和  $1\mu\text{F}$ ，适用于不同电感量的负载样品，并可复选，如图 3-17 所示：

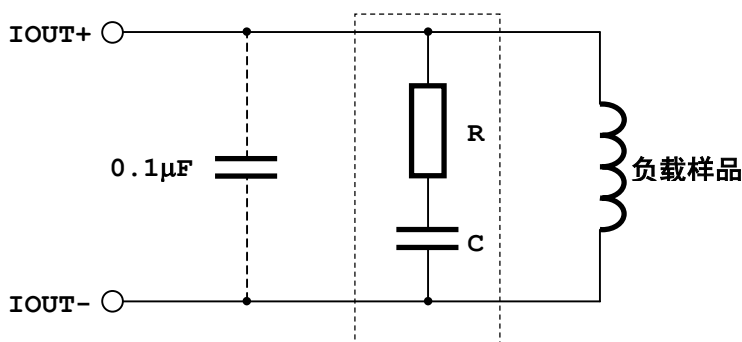


图 3-17 电感性负载与 R-C 减振器的连接方法

使用 R-C 减振器可降低输出噪声水平，但同时可能降低输出电流的响应速率。

**注：** 开机状态下切换 R-C 减振器时，应首先使用 **Output** 键将输出端置于输出禁止状态，而后进行切换。

输出端处于输出禁止状态时，YL4012 内部的 LORS 开关闭合，并将所选电容 C 置于电压为 0 的初始状态，以避免电容 C 上可能存在的高电压施加于负载样品两端，造成负载样品过压损伤。

电容 C 上出现高电压并瞬间施加于负载样品两端的过程可能由以下步骤的连续操作造成：

- (1) 选择 R-C 减振器中的某一电容  $C_1$ ，并且输出端为正常输出状态时设置输出电流为  $I_{OUT1}$ ，对应负载样品  $R_1$  的输出电压为  $V_{OUT1}$ ，此时电容 C 两端电压为  $V_{C1}=V_{OUT1}$ 。
- (2) 输出端为正常输出状态时断开 R-C 减振器中的电容  $C_1$ ，由于不存在放电回路， $C_1$  两端电压  $V_{C1}$  保持为  $V_{OUT1}$ 。
- (3) 将输出端置于输出禁止状态下更换为负载样品  $R_2$ ，并在正常输出状态下设置输出电流为  $I_{OUT2}$ ，对应输出电压为  $V_{OUT2}$ ，且  $V_{OUT2}<V_{OUT1}$ 。
- (4) 输出端为正常输出状态时选择 R-C 减振器中的电容  $C_1$ ，由于  $V_{C1}=V_{OUT1}>V_{OUT2}$ ，则电容  $C_1$  两端电压  $V_{C1}$  施加于负载样品  $R_2$  两端，直至  $V_{C1}$  降低至  $V_{OUT2}$ 。
- (5)  $V_{C1}$  降低至  $V_{OUT2}$  所需时间为  $1.1C_1R_2$ ，例如  $C_1=1\mu\text{F}$ 、 $R_2=500\text{k}\Omega$  时需耗时 550ms，如果  $V_{C1}$  超出负载样品  $R_2$  的最高耐压容限，则放电过程中可能造成负载样品  $R_2$  损伤。

电感性负载内部的电流达到设置值之前可能产生延时，延时时间  $T_{DELAY}$  (s) 决定于负载的电感量  $L_L$  (mH) 和直流电阻值  $R_L$  ( $\Omega$ )。

$$T_{DELAY} = 5 \times 10^{-3} L_L / R_L$$

输出电压  $V_{OUT}$  (V) 决定于设置电流  $I_{OUT}$  (mA) 和负载直流电阻值  $R_L$  ( $\Omega$ )。

$$V_{OUT} = 10^{-3} I_{OUT} R_L$$

### 3.15 pn 结负载

负载样品为 pn 结，包括二极管 (Diodes)、发光二极管 (LEDs: Light Emitting Diodes)、激光二极管 (LDs: Laser Diodes) 时，输出电压  $V_{OUT}$  由电流设置值  $I_{OUT}$  和 pn 结 I-V 特性决定。

**警告：** 接入或更换 pn 结负载前，必须首先关闭仪器电源或者将输出端设置为输出禁止状态，以防止输出端呈现的短时高压造成负载电压击穿，以及避免可能的静电损伤。

某些 pn 结负载，例如 LED，只使用于正偏电压高于阈值电压的工作区域，并且其应用对于结压降非常敏感。在此区域内，电流相对于电压呈指数速率增长，微小的电压扰动可能导致电流的量



级变化，施加电压测量电流的方法不易在此工作区域得到更详细的 I-V 特性。在此情况下，使用电流源更易于保证测量的准确性和样品的安全。YL4012 提供电流的线性步进，配合数字万用表测量 I-V 特性时可以获得 0.01mA 的精细电流步进获得更高的数据点密度。

对于多 pn 结使用的情形，由于结特性的离散性，请尽量避免并联使用，以避免同等电流下较小结压降的 pn 结由于承担过大的电流而损毁。串联使用可以保证流经各 pn 结内电流的一致性。

由于半导体工艺和封装工艺的差异，结压降具有离散性，通常可能位于额定结压降 $\pm 10\%$ 的范围内。例如白光 LED 在 20mA 下的额定结压降为 3.3V，然而多只样品的测量结果表明，20mA 下的结压降可能在 3.0V-3.6V 之间变动。这种离散性将在计算串联总负载电压时累积误差，引发应用设计中的大量问题。YL4012 可提供 50V 的输出电压，便于测量多只 pn 结负载串联时的 I-V 特性，为应用设计工程师提供更准确的数据。

### 3.16 噪声和干扰

输出电缆可能在空间中感应工频干扰，在电磁环境较差的环境中可能感应高频数据噪声，使输出电流含有大量交流成分，造成输出电流及测量误差。

减小噪声和干扰的首要方法在于使用屏蔽输出/输入电缆，并在 YL4012 后面板 BNC 插座与万用表输入端之间采用屏蔽电缆连接。

纯电阻性负载下，使用 YL4012 后面板提供的可选的 R-C 减振器可显著减小干扰。使用 R-C 减振器后，YL4012 的输出端由输出禁止状态转换为正常输出状态时，可能经过较长的建立时间  $T_{SETTLE}$ ， $T_{SETTLE}$  (s) 为达到 1% 误差时的建立时间，由负载电阻  $R_L$  (k $\Omega$ ) 和 R-C 减振器中的电阻 R (2.4 $\Omega$ ) 电容 C ( $\mu$ F) 决定。

$$T_{SETTLE} = 4.61 \times 10^{-3} (R_L + 0.024) (C + 1)$$

经过  $1.5T_{SETTLE}$  后，达到额定准确度。例如， $R_L$  为 10k $\Omega$ 、 $C=1\mu$ F 时的 1% 误差建立时间为 92ms，达到额定准确度的时间为 138ms。

(此页为空页)

## 第 4 章 计算机接口操作

### 4.0 概述

YL4012 精密程控电流源配备 RS-232C 串行计算机接口。计算机接口允许计算机控制仪器设置并设定仪器的输出电流。大多数仪器功能可通过计算机接口进行操作。本章介绍 YL4012 的计算机接口特性，其中 4.1 为接口信息和接口能力，4.2 为接口命令详解。

### 4.1 串行接口概述

YL4012 使用的串行计算机接口通常也称为 RS-232C 接口。RS-232C 为电子工业协会 (EIA) 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。RS-232C 标准十分灵活，并允许采用各种不同的设置方法。本节以下部分将简要叙述 YL4012 支持的串行接口的主要特性。为达成可靠通讯，需要用户提供具有正确接口设置的计算机。

#### 4.1.1 物理连接

YL4012 后面板配置 1 只 9 针 D 型连接器用于串行通讯。最初的 RS-232C 标准指定使用 25 针连接器，但至今 9 针和 25 针连接器已在计算机工业领域中成为通用标准。许多第三方通讯电缆可以用于通过 9 针或 25 针将电子设备连接至计算机。6.4 给出最常用的 9 针和 25 针连接器引线分配，但必须提请用户注意，YL4012 并不支持其中列出的全部引线功能。

YL4012 配备的串行连接器为一对匹配 9 针 D 型连接器的插口 (Female) 一侧，且必须与通讯电缆的插针 (Male) 一侧匹配。如果通讯电缆的线序正确，但末端为插口 (Female)，则必须使用交换电缆匹配仪器后面板和串行电缆末端的两个插口 (Female)。

串行接口连接器上方的字符 (DCE) 代表数据通讯设备 (Data Communication Equipment)，并决定了如发送数据线 (Tx) 和接收数据线 (Rx) 等方向引线的线序和连接。具备数据终端设备 (DTE, Data Terminal Equipment) 配线的电子设备可以通过一条直通电缆与 YL4012 连接。例如 DCE 连接器的 2 脚和 3 脚分别为发送数据线 (Tx) 和接收数据线 (Rx)，而 DTE 连接器的 2 脚和 3 脚分别为接收数据线 (Rx) 和发送数据线 (Tx)，从而实现互补对接。通常 PC 上配置的串行接口为 9 针 D 型 DTE 设置，可以使用一条直通电缆连接至 YL4012。

两台通过串行接口连接的设备可能同为 DCE 配线，在此情况下，必须交换两只 DCE 连接器的互补线 (即发送数据线 Tx 和接收数据线 Rx)，用于交换互补线的电缆称为空调制解调器。在两台 DCE 配线设备之间必须使用空调制解调器，两台 DTE 配线设备之间亦然。6.5 图解出用于连接 YL4012 和通用计算机的推荐电缆线序。

YL4012 使用的串行驱动器可以产生满足 RS-232C 标准的传输电平。由于接口电压和电流限制于较低的水平，在正常操作条件下可认为接口电压属于安全电压。串行驱动器设计用于驱动长度不超过 15 米的通讯电缆。

#### 4.1.2 硬件支持

YL4012 的串行接口硬件支持以下接口特性。在一个字符的各个位 (bit) 均使用异步时钟，此时钟需要起始和结束位作为字符的一部分，由此数据发送者和数据接收者可以在不同字符之间进行重新同步。YL4012 采用半双工传输方式，此传输方式允许仪器作为数据发送者或者数据接收者，但不能同时作为两者。串行通讯速率支持的波特率为 9600、19200、38400、57600 和 115200bps。波特率是用户唯一可以修改的接口参数。

YL4012 不支持硬件握手。硬件握手通常用于避免数据消息字符串冲突，且保证数据接收者准备好之前没有数据送达。在本仪器的远程操作过程中，恰当的软件时序代替了硬件握手，用户程序必须对其中涉及到的流控制和时序全面负责。

### 4.1.3 字符格式

字符是接口传输中的最小信息片断。每个字符长度为 10 位 (bit)，包含数据位和同步位。YL4012 采用 8 位数据位，1 位起始位和 1 位停止位用于同步相邻的字符，无奇偶校验位。

ASCII 格式的字符和数字是最常用的字符数据。此外，还使用 1 个不可显示的特殊 ASCII 字符“回车”(CR, 0DH, Carriage Return) 作为命令结束符标明一个消息字符串的结尾。

表 4-1 YL4012 的串行接口说明

连接器	9 针 D 型插座 (Female)
连接配线	DCE
数据接口电平	发送和接收使用 EIA 电平
传输长度	最长 15 米
时序格式	异步, RS-232C 电气格式
传输模式	半双工
波特率	9600、19200、38400、57600 和 115200bps
握手	软件时序
每字符位数	1 位起始、8 位数据、和 1 位停止
校验类型	无奇偶校验
结束符	CR (0DH)
命令速率	最大每秒 10 命令

### 4.1.4 消息字符串

消息字符串是组合起来用于执行接口功能的一组字符。YL4012 有三种基本的消息字符串类型：命令、查询和响应。计算机通过用户程序发出命令和查询，仪器返回相应的响应。每次通讯只允许发送一条命令或查询，包含结束符在内的一个命令或查询的字符串长度不超过 50 字节。

命令字符串由计算机发出，并指示仪器执行一项功能或修改参数设置，格式为：

<命令助记符> <空格> <参数数据> <结束符>

查询字符串由计算机发出，查询仪器状态并指示仪器返回相应的响应，格式为：

<查询助记符> <?> <空格> <结束符>

查询助记符通常为命令助记符附加一个问号。

各命令和查询助记符参阅 4.2，其详细描述参阅 4.2.1。每条消息字符串发送时必须在其结尾处发送结束符。计算机应在发送查询后尽快等待响应。

响应字符串为仪器对一项查询的响应或应答。仪器将在收到查询后返回相应的响应，并在其结尾发送结束符。响应可以为读数值、状态值或当前参数值。响应字符串的格式列于 4.2.1 中相关查询之后。YL4012 的典型响应时间为 100 毫秒，某些响应时间可能更长。

使用计算机进行远程控制时，应首先使仪器处于标准显示状态。YL4012 在执行前面板键盘操作过程中将不响应命令或查询字符串。尤其是在设置输出电流、波特率和恢复出厂设置过程中，YL4012 将收到的远程命令暂存入接收缓冲区，直至键盘操作完成且仪器恢复至标准显示状态后，再依次执行缓冲区内的命令或查询。YL4012 的接收缓冲区长度为 50 字节，暂存命令或查询的总长度超过 50 字节后，新收到的字节将被丢弃，不完整的命令将被视为错误命令。YL4012 收到错误命令或查询后，将在 150 毫秒内将其丢弃，并重新准备好接收。

#### 4.1.5 消息流控制

用户必须牢记，用户程序在所有情况下应对串行通讯全面负责。YL4012 自身无法决定哪些设备应在哪些时刻或消息之间的哪些时段内发送命令、查询或响应，用户程序必须对此负责。

发送命令时，用户程序应：

- 使用正确的格式，并在传输命令时使用结束符。
- 保证最后一个字符发送后 100 毫秒内不发起其它通讯。

发送查询时，用户程序应：

- 使用正确的格式，并在传输查询时使用结束符。
- 立即准备接收响应。
- 接收包括结束符在内的完整仪器响应。
- 保证响应过程中或在其完成后 100 毫秒内不发起其它通讯。

不遵循以上的简单规则将导致无法可靠的与仪器建立通讯或通讯的间歇失效。

#### 4.1.6 改变波特率

为正确使用串行接口通讯，必须首先设置 YL4012 的波特率。波特率在关机后保存。

按 **Baud** 键进入如下波特率参数设置界面：

			1	0	0	.	0	0		m	A				
			9	6	0	0			b	p	s		▲	▼	

YL4012-100

			2	0	0	.	0	0		m	A				
			9	6	0	0			b	p	s		▲	▼	

YL4012-50

			1	0	0	0	.	0		m	A				
			9	6	0	0			b	p	s		▲	▼	

YL4012-10

按▲、▼键在各种波特率之间循环选择，按 **Ent** 确认或按 **Esc** 取消，并返回标准显示状态。

可选波特率为 9600、19200、38400、57600 和 115200bps。出厂默认波特率为 9600bps。

#### 4.1.7 故障诊断

仪器为全新安装但通讯出现故障：

1. 查看仪器的波特率。
2. 确认仪器的数据发送线 (Tx) 和数据接收线 (Rx) 分别连接至计算机的数据接收线 (Rx) 和数据发送线 (Tx)。
3. 每次发送命令或查询时均在结尾发送结束符。
4. 每次发送命令或查询时均发送完整的消息字符串并发送结束符。(某些终端仿真程序并不遵循此规则)。
5. 每次只发送一个单独的命令或查询直至通讯建立。
6. 确保命令和查询助记符及其参数拼写正确。

仪器已安装且曾正常通讯，但此时通讯出现故障：

1. 关闭仪器并重新开启，查看仪器内的固化软件是否失效。
2. 关闭计算机并重新启动，查看串行通讯接口是否挂起。
3. 确认仪器的波特率是否已在恢复出厂默认设置时恢复其默认值。

4. 检查所有通讯电缆连接。

通讯间歇挂起：

1. 检查通讯电缆连接是否正确，以及通讯电缆长度是否在 15 米之内。
2. 将命令之间的延迟时间延长至 200 毫秒以上，以确认仪器未出现通讯过载。

## 4.2 串行接口命令

本节为 YL4012 的串行接口命令详解，分为通用接口命令和设备特殊命令两组，分别参阅 4.2.1 和 4.2.2。全部命令列表列于表 4-2。

接口命令使用如下关键字：

\*: 通用接口命令前缀 [term]: 结束符  
?: 查询后缀 <参数>: 各类参数

XX.XXX 数字字符串

表 4-2 串行接口命令

命令	功能
通用接口命令	
*RST	仪器复位
设备特殊命令	
CUR	设置输出电流
CUR?	查询当前输出电流
CMPL	设置输出钳位电压
CMPL?	查询当前输出钳位电压
CMPLS?	查询当前电压钳位状态
LOCK	开启/关闭键盘锁
LOCK?	查询当前键盘锁状态
OSC?	查询当前输出端是否振荡
OUT?	查询当前输出端状态
OUT	设置输出端状态

命令名称	<b>CUR?</b>
功能简要介绍	<b>功能:</b> 查询当前输出电流值
用户必须输入的语法	<b>命令:</b> CUR?[term]
YL4012 返回的响应	<b>返回:</b> XXX.XX
返回值的解释和定义	<b>备注:</b> 单位为毫安 (mA)

### 4.2.1 通用接口命令

#### \*RST

**功能:** 仪器复位  
**命令:** \*RST[term]  
**返回:** 无  
**备注:** 设置仪器参数为上电状态，等效于仪器重新上电，已设定的波特率和输出钳位电压保持不变，输出电流回零。

### 4.2.2 设备特殊命令

#### CUR

**功能:** 设置输出电流  
**命令:** CUR XXX.XX[term]  
**返回:** CUR RESPONSE[term]  
**备注:** 单位为毫安 (mA)

**CUR?**

功能: 查询当前输出电流  
命令: CUR? [term]  
返回: XX.XXX [term]  
备注: 单位为毫安 (mA)

**CMPL**

功能: 设置输出钳位电压  
命令: CMPL XX [term]  
返回: 无  
备注: 单位为伏特 (V)

**CMPL?**

功能: 查询当前输出钳位电压  
命令: CMPL? [term]  
返回: XX [term]  
备注: 单位为伏特 (V)

**CMPLS?**

功能: 查询当前电压钳位状态  
命令: CMPLS? [term]  
返回: 0 [term]、1 [term]  
备注: 0=未钳位、1=钳位

**LOCK**

功能: 开启/关闭键盘锁 (“Esc” 键不受此命令影响。)  
命令: LOCK 0 [term]、LOCK 1 [term]  
返回: 无  
备注: 0=未锁键盘、1=封锁键盘。

**LOCK?**

功能: 查询键盘锁状态  
命令: LOCK? [term]  
返回: 0 [term]、1 [term]  
备注: 0=未锁键盘、1=封锁键盘。

**OSC?**

功能: 查询当前输出端是否振荡  
命令: OSC? [term]  
返回: 0 [term]、1 [term]  
备注: 0=未振荡、1=振荡。

## OUT?

- 功能: 查询当前输出端状态
- 命令: OUT?[term]
- 返回: 0[term]、1[term]
- 备注: 0=输出禁止、1=正常输出。

## OUT

- 功能: 设置输出端状态
- 命令: OUT 0[term]、OUT 1[term]
- 返回: 无
- 备注: 0=输出禁止、1=正常输出。



## 第 5 章 附件

### 5.0 概述

本章提供 YL4012 精密程控电流源所含附件的相关信息。其中 5.1 为附件型号明细，5.2 为电缆附件详解，5.3 为机柜安装组件的使用方法。

### 5.1 附件型号明细

附件为执行次要任务或者作为仪器主体的辅助或改良的部件。YL4012 所含附件如下：

型号	描述
WEIPU1604	4 芯锁紧输出/输入插头
220-10	3 芯 220V 单相交流电源线。
RS232-DCE9	9 芯 RS-232C 直通串行通讯电缆。
MAN4012	YL4012 用户手册。
RM-1/2	半宽机箱安装耳（机柜安装组件）。
RM-1	全宽机箱安装耳（机柜安装组件）。
CD-401201	包含用户手册、通讯演示程序在内的安装信息光盘。

与此同时，用户还可为 YL4012 选配 RS232-USB 附件，用于将 RS-232C 接口转为 USB 1.0 接口，便于使用 USB 总线控制，提高计算机的可控仪器容量。

北京亿良科技有限公司保有在不事先通知的情况下变更上述各项附件规格的权利。

### 5.2 电缆附件详解

YL4012 的附件中包含 4S2-3 和 RS232-DCE9 两种电缆附件。其中 RS232-DCE9 直通串行通讯电缆的详细信息请参阅 6.4 和 6.5 的相关内容。

WEIPU1604 为螺纹锁紧的 4 芯输出/输入插头，采用 4 线式方法与负载样品连接，4 线式方法的详细内容请参阅 3.9。

4 线电缆一端为 WEIPU1604 插头，与 YL4012 后面板电流输出组件中的 4 芯插座匹配。电缆另一端不配备连接器，以便于用户根据实际使用要求灵活配用，芯线顺序请参阅 6.4 中的相关内容。

实际使用过程中，应将芯线 1 (IOUT+) 和 3 (V+) 在不配备连接器的一侧端部相连，并将端部直接连接至负载样品一端的根部，对芯线 2 (IOUT-) 和 4 (V-) 作相同处理后将端部直接连接至负载样品另一端的根部。由芯线 3、4 返回的负载样品两端电压在仪器内部分别连接至后面板 BNC 连接器的中心导体和外壳，详细内容请参阅 3.9.1。

制作输出/输入电缆时请选择具备良好屏蔽功能的电缆形式，以减小交流工频噪声干扰。工频干扰在小电流和较高的负载样品阻抗情况下将明显影响本仪器的精度和实际测量效果。同时，输出电缆的电流容量应不小于 YL4012 最大输出电流的 2 倍，以避免电缆发热。

### 5.3 机柜安装组件

通过使用附件中的机柜安装组件 RM-1/2 和 RM-1，可将 YL4012 以标准 19 英寸机箱方式安装于标准机柜内部。

YL4012 在机柜中单独占用一层时，应在其两侧分别安装 RM-1/2 半宽机箱安装耳和 RM-1 全宽机箱安装耳各一只。其中 RM-1 安装耳将半宽机箱一侧紧贴固定于机柜的一只安装梁，RM-1/2 安装耳填充另一侧的半宽机箱空位，并连接至机柜的另一只安装梁。

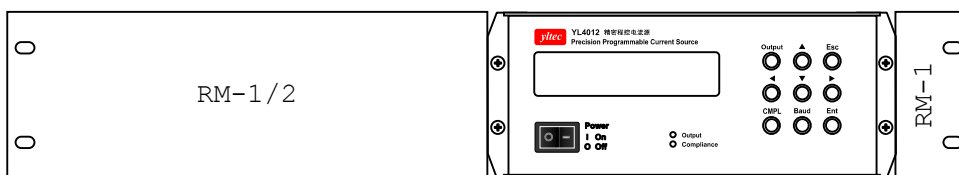


图 5-1 YL4012 单独占用一层时的机柜安装方法

YL4012 与另一台半宽仪器共用一层时，应在 YL4012 的一侧安装 RM-1 安装耳，并在另一台半宽仪器的另一侧安装此仪器附带的类似安装耳。RM-1 和 RM-1/2 安装耳与仪器连接的安装孔位可能与其他仪器不兼容。

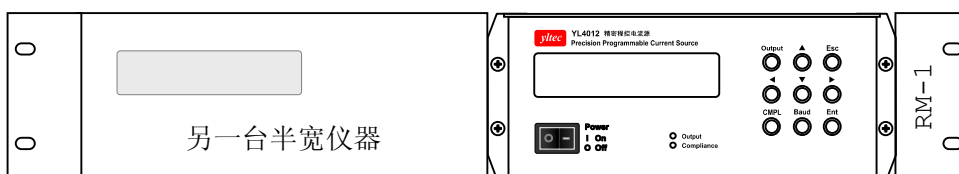


图 5-2 YL4012 与另一台半宽仪器共用一层时的机柜安装方法

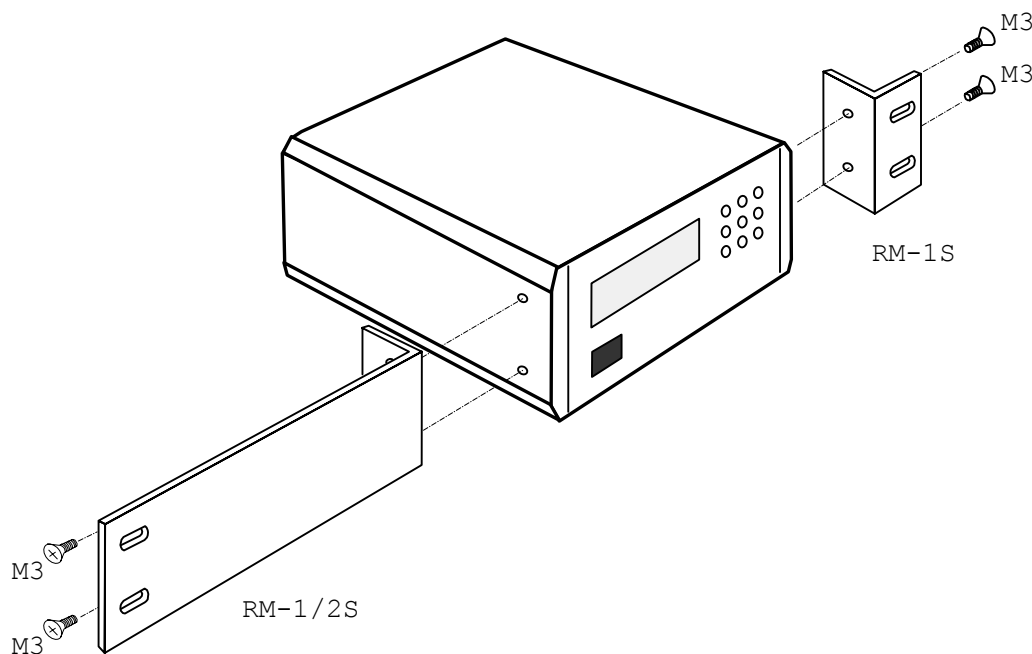


图 5-3 YL4012 的机柜安装组件

## 第 6 章 维护

### 6.0 概述

本章为 YL4012 精密程控电流源的通用维护和使用信息。其中，6.1 为通用维护注意事项，6.2 为静电放电，6.3 为更换保险，6.4 为后面板连接器定义，6.5 为串行通讯电缆。

### 6.1 通用维护和使用注意事项

本节内容为电子仪器设备的通用维护和使用注意事项。

1. 远离带电电路。
2. 安装人员及操作、维护和维修人员应在所有时间内遵循所有安全规则。
3. 进行电气连接或断开操作时必须首先关闭电源，并将交流电源线由仪器后面板电源输入组件中取出。
4. 将所有暴露的连接器金属部分、端子板或印刷电路板均视为可能的电击危险。
5. 维修人员在维修过程中如果需要对通电仪器进行测量连接，在测量待测电压或任何信号时必须首先保证此仪器已可靠接地。未得到授权的机构或个人严禁打开仪器机箱进行任何形式的维修，以最大限度的保证人身安全，以及保持仪器本身的安全性能。
6. 切勿独自一人安装、维护或调试仪器。在没有具备提供必要帮助能力的他人在场时，请勿接触仪器内部任何部件或对仪器进行调整。
7. 如果仪器在电源开关开启时未正常上电，请首先查看交流电源线是否已可靠连接至通电的插座，而后检查保险，请参阅 6.3。
8. 清洁仪器前必须首先关闭电源，并将交流电源线及一切后面板连线或电缆由相应的组件、适配器或连接器中取出。
9. 使用沾有柔和清洁剂的水溶剂的软布清洁仪器前、后面板和机箱体，以清除灰尘、油脂及其他沾污物。**切勿使用芳香烃或氯基溶剂进行清洁**，这些溶剂将与机箱体上的塑料材料及前、后面板和键盘的印刷丝印发生化学反应。

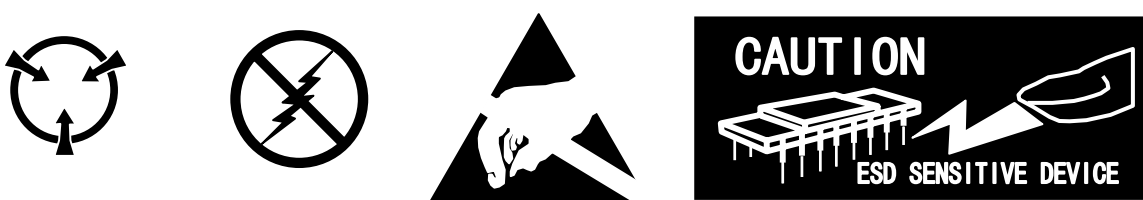
### 6.2 静电放电

静电放电 (ESD) 将损伤电学部件、组件和仪器设备。静电放电是携带静电电位的带电体之间的电荷运动，此静电电位可由直接接触或由静电场感应产生。人体产生并携带静电，是通常造成静电放电敏感 (ESDS) 器件损坏的低能量源。在较低的湿度环境中，简单走过地毯将产生高于 3 万伏特的静电。

当今的电子科技领域不断追求更高的集成度、更高的封装密度和有源器件中更小的电介质厚度，从而造成由此设计生产出的电子设备对静电放电更为敏感。某些器件较常规器件对静电放电更为敏感，在操作、维护和维修过程中，几百伏特的静电放电等级就可能损坏半导体、厚膜集成电路、薄膜晶体管及压电晶体等电子元器件。通常，静电放电电压低于 4 千伏特时无法为人所感知。

#### 6.2.1 静电放电敏感元件的标识

以下为用于标识静电放电敏感元器件的几种常用工业符号：



### 6.2.2 操作静电放电敏感元件

安装或操作前应查看所有可能的注意事项以避免损坏静电放电敏感 (ESDS) 元件。通过提供导电表面和泄放通路将仪器和所有与之连接的部件连接至大地电位。操作、维护和维修人员应至少查看以下 6 项注意事项：

1. 放电或断开所有仪器使用的电源和信号源以及负载。
2. 将仪器置于导电工作平面上。
3. 请接地技师使用具有  $1\text{M}\Omega$  串联电阻的导电腕带接地以保护操作者。
4. 将可能与仪器接触的工具如焊接设备等可靠接地。
5. 将由仪器取下的 ESDS 器件或组件置于导电工作平面上或导电容器内。置入或由容器内取出器件或组件的操作者必须与容器的导电部分保持接触。使用经过认可的防静电放电塑料袋存储 ESDS 部件。
6. 除非确实需要使用或测量，请勿在不必要的情况下操作 ESDS 器件或将其由防静电包装中取出。

### 6.3 更换保险

本节介绍取出并更换交流进线电压保险的操作流程。

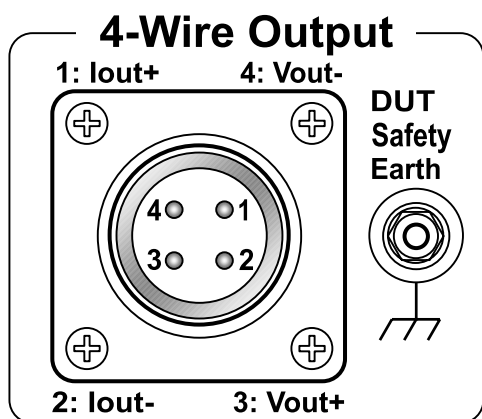
更换保险前，应使用欧姆表对新保险进行检查，切勿依赖于视觉观察。

**警告：** 为避免潜在的致命电击，执行任何流程前必须关闭仪器并将交流电源线由后面板电源输入组件中取出，使仪器与交流电源断开。

**注意：** 为避免火灾危险，请只选用与仪器后面板标识型号相同的保险进行更换。

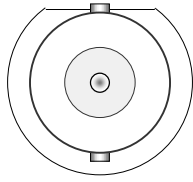
1. 将前面板左下侧电源开关拨动至“关闭 (O: Off)”位置。
2. 将交流电源线由后面板电源输入组件中取出。
3. 在后面板上找到位于电源输入和保险组件中的保险仓。
4. 使用螺丝刀打开保险仓顶盖，取出已有保险，并将其替换为  $5\times 20\text{mm}$  的  $220\text{V}/0.5\text{A}$  保险。
5. 安装保险仓顶盖。
6. 连接交流电源线。
7. 将前面板左下侧电源开关拨动至“开启 (I: On)”位置。

### 6.4 后面板连接器定义



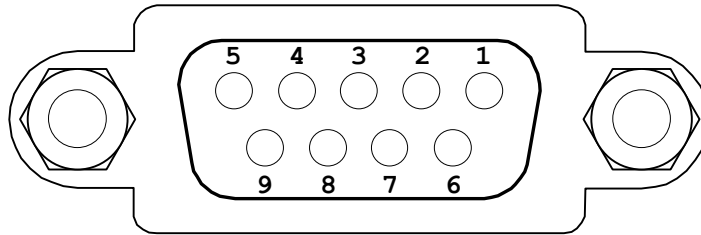
管脚	描述
0	安全地接地端
1	电流输出高端 I+
2	电流输出低端 I-
3	测量电压高端 V+
4	测量电压低端 V-

图 6-1 后面板 4 线式电流输出 4 芯插座



管脚	描述
1	电压输出高端 V+ 中心导体
2	电压输出低端 V- 连接器外壳

图 6-2 后面板电压输出 BNC 插座



YL4012 (DCE)		计算机 (DTE)			
DB-9F		DB-25M		DB-9M	
管脚	描述	管脚	描述	管脚	描述
1	空	2	Tx	1	DCD
2	发送数据 (Tx)	3	Rx	2	Rx
3	接收数据 (Rx)	4	RTS	3	Tx
4	空	5	CTS	4	DTR
5	地 (GND)	6	DSR	5	GND
6	空	7	GND	6	DSR
7	空	8	DCD	7	RTS
8	空	20	DTR	8	CTS
9	空	22	Ring in	9	Ring in

图 6-3 后面板 9 针 D 型串行接口连接器

### 6.5 串行通讯电缆

YL4012 使用串行直通电缆（附件 RS232-DCE9）与计算机的 9 针串行接口连接并进行通讯，也可在一定的电缆线序下使用正确的适配器与计算机的 25 针串行接口连接。

以下为将 YL4012 连接至 PC 时的推荐电缆连接图。

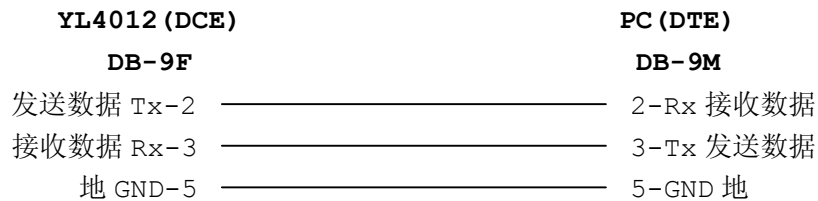


图 6-4 YL4012 连接至 PC 的 9 针串行接口

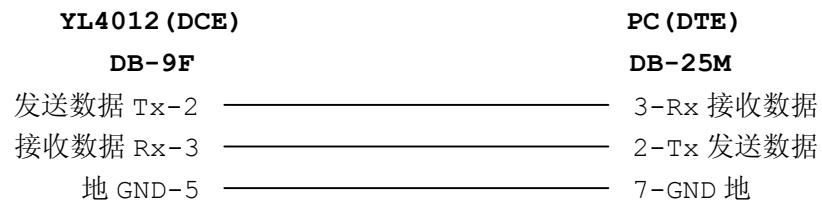


图 6-5 YL4012 连接至 PC 的 25 针串行接口

## 附录：常用术语

**准确度<sup>2</sup> (Accuracy):** 实际测量值与真值相比的正确程度。

**精度 (Precision):** 在可控条件下, 结果可重复的仔细测量, 请参阅“可重复性”。也可表示对探测微小偏差的把握性, 请参阅“分辨率”。

**可重复性<sup>2</sup> (Repeatability):** 在相同条件下对相同变量进行重复测量, 其测量结果的接近程度。

**分辨率<sup>2</sup> (Resolution):** 对非常接近的数量值的识别程度。

**显示分辨率 (Display Resolution):** 仪器实际显示的分辨率。通常不等于仪器的测量分辨率。指定为  $n$  位的十进制显示分辨率具有  $10^n$  个可能的显示值。 $n$  位加一个  $1/2$  位的分辨率具有  $2 \times 10^n$  个可能的显示值。

**测量分辨率 (Measurement Resolution):** 仪器解析测量量的能力。对于数字测量仪表, 测量分辨率通常由所使用的模数转换器决定。 $n$  位转换器可解析  $1/2^n$ 。可测量的最小信号变化量在任意量程内为满量程的  $1/2^n$ 。不可将分辨率和准确度混淆。

**偏差<sup>1</sup> (Deviation):** 受控变量的实际值与对应于给定值的期望值之间的差值。

**(仪器的) 漂移<sup>2</sup> (Drift):** 在施加固定参考输入的情况下, 经过一段时期后, 输出端上的一种非理想但比较缓慢的变化。注: 漂移通常由被测变量最大额定值的百分比表示。

**稳定性 (Stability):** 仪器或传感器在给定恒定输入时保持恒定输出的能力。

**容差 (Tolerance):** 允许的最大值和最小值之间的范围。

**误差<sup>2</sup> (Error):** 计算、观察或测量值与真值、指定值或理论正确值或条件之间的任何误差。

**(电学) 噪声<sup>2</sup> (Noise):** 产生于控制系统电路中并对控制系统电路造成有害效应的有害电学信号。

**设置点<sup>1</sup> (Setpoint):** 由自动化控制器选择并保持的值。

**接地<sup>2</sup> (Ground):** 一种导体连接, 无论故意或偶然, 通过此连接可将电路或设备连接至大地 (Earth), 或连接至可取代大地的大型延伸导体。注: 当导体与地连接时, 接地用于建立并保持大地 (或导体) 电位或接近此电位, 并用于将地电流导入或导出大地 (或导体)。

**电流源 (Current Source):** 一种通过自动调整自身电压从而可以对不同负载的电阻值提供恒定电流的电源。

**积分器<sup>1</sup> (Integrator):** 输出波形为输入波形对时间的积分的电路或网络。

**电气电子工程师协会 (IEEE):** Institute of Electrical and Electronics Engineers。

**百万分率 (ppm: Parts per Million):** 例如 5ppm 为  $5 \times 10^{-6}$ 。

**均方根<sup>1</sup> (RMS: Root Mean Square):** 物理量的平方对时间的平均值的平方根, 对于周期物理量可在一个完整周期内进行平均, 即有效值。

**赫兹 (Hz: Hertz):** 一种频率单位, 等于每秒一个周期。

**安培<sup>2</sup> (A: Ampere):** 将恒定电流保持于两无限长直线平行导体内, 忽略圆形交叉部分, 并将其中 1 米的部分置于真空内, 将在两导体间产生每米长度为  $2 \times 10^{-7}$  牛顿的力, 此时电流为 1 安培。安培是国际标准单位制中的基本单位。

**伏特<sup>2</sup> (V: Volt):** 承载 1 安培电流的导体, 当其两端之间消耗的功率为 1 瓦特时其两端的电位差。

**欧姆<sup>2</sup> ( $\Omega$ : Ohm):** 国际标准单位制中电阻的单位。欧姆为通过 1 安培电流并在两端产生 1 伏特电压的导体的电阻。

**瓦特<sup>2</sup> (W: Watt):** 国际标准单位制中的功率单位。瓦特为功率以每秒 1 焦耳的速率用于做功。

**伏安<sup>2</sup> (VA: Volt-Ampere):** 国际标准单位制中视在功率的单位。伏安指单相、两线系统中输入点处以安培为单位的电流的均方根值与以伏特为单位的电压的均方根值的乘积为 1。

**线电压 (Line Voltage):** 仪器主电源的均方根电压值。

**开尔文 (K: Kelvin):** 开氏温标的温度单位, 是国际标准单位制的基本单位。“度”及其符号“°”由此单位简化得到。

**开氏温标 (Kelvin Scale):** 开氏热力学温标是包括 ITS-90 在内的所有国际温标的基础。其由两个温度点确定：绝对零度 (0K) 和水的三态点 (273.16K)，水的三态点即纯水达到出现冰及蒸汽时的平衡温度。

**摄氏温标 (°C: Celsius Scale):** 一种在通常大气压下，以水的冰点为 0°C、沸点为 100°C 的温度标准。摄氏温标是纯粹的衍生单位，由开氏热力学温标计算得到。以往称其为百分度。

**华氏温标 (°F: Fahrenheit Scale):** 一种在通常大气压下，以水的冰点为 32°F、沸点为 212°F 的温度标准。

**电子<sup>2</sup> (Electron):** 携带最小负电荷的一种基本粒子。注：电子质量约为氢原子核质量的 1/1837。

**空穴<sup>2</sup> (Hole):** 半导体电子价带结构中的一种空位。其行为类似具有正质量的一个正电荷。

**半导体材料<sup>2</sup> (Semiconducting Material):** 通过电子和空穴导电的导电介质。在熔点以下的某些温度范围内，其电阻率具有负温度系数。

**半导体<sup>2</sup> (Semiconductor):** 一种电阻率介于金属和绝缘体之间的电导体，其电荷载流子浓度在有些温度范围内随温度升高而增大。某些半导体具有两种载流子，即带负电的电子和带正电的空穴。

**串行接口 (Serial Interface):** 一种计算机接口，通过此接口，信息每次传输一位 (bit)，而非并行接口中一次传输一字节 (byte)。RS-232C 是常用的串行接口。

**RS-232C:** 电子工业协会 (EIA) 定义的双向计算机串行接口标准。接口为单端且非寻址。

**位<sup>2</sup> (bit):** 术语“二进制数”的缩写词，是一种由 0 或 1 表示的信息的单位。

**波特率<sup>2</sup> (Baud):** 信号发送速率单位，等于每秒离散条件或信号时间的个数，或者一个字符中最短信号片断所用时间的倒数。

**静电放电 (ESD: Electrostatic Discharge):** 携带静电电位的带电体之间的电荷运动，此静电电位可由直接接触或由静电场感应产生。

**前缀 (Prefixes):** 本手册中可能使用的国际标准单位制前缀如下：

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

**希腊字母 (Greek Alphabet):** 希腊字母定义如下：

Alpha	α	A	Iota	ι	I	Rho	ρ	P
Beta	β	B	Kappa	κ	K	Sigma	σ	Σ
Gamma	γ	Γ	Lambda	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



**ASCII 码 (American Standard Code for Information Exchange):** 数据传输中使用的一种标准编码, 编码采用 7 位二进制数表示数字、字母、符号和特殊控制字符共 128 种。

					b7	0	0	0	0	1	1	1	1
					b6	0	0	1	1	0	0	1	1
					b5	0	1	0	1	0	1	0	1
b4	b3	b2	b1	列									
1	1	1	1	行	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	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	10	LF	SS	*	:	J	Z	j	z	
1	1	0	1	11	VT	ESC	+	;	K	[	k	{	
0	0	1	1	12	FF	FS	,	<	L	~	l	┌	
1	0	1	1	13	CR	GS	-	=	M	]	m	}	
0	1	1	1	14	SO	RS	.	>	N	^	n		
1	1	1	1	15	SI	US	/	?	O	_	o	DEL	

**美制线规 (AWG: American Wire Gage):** 以英寸或毫米为单位, 使用直径定义导线尺寸。

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

## 参考文献

1. Sybil P. Parker, Editor. Dictionary of Scientific and Technical Terms: Third Edition. New York: McGraw Hill, 1969 (ISBN 0-395-20360-0)
2. Christopher J. Booth, Editor. The New IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms: IEEE Std 100-1992, Fifth Edition. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993 (ISBN 1-55937-240-0). Definitions printed with permission of the IEEE.
3. Nelson, Robert A. Guide For Metric Practice, Page BG7 - 8, Physics Today, Eleventh Annual Buyer's Guide, August 1994 (ISSN 0031-9228 coden PHTOAD)

(此页为空页)