

# 电子负载基础知识

## 电源极性定义

在详细了解电子负载之前，我们首先来了解一下关于电源极性的定义。这一基本概念可以帮助您了解电子负载的工作原理。图 1 所示为具有标准电压和电流极性的电源（双端子器件）示意图。标准电源通常是一个输出功率的器件。为了输出功率，电流必须从正电压端子流出。大多数电源通过提供正输出电压和正输出电流来提供电能。极性通常是指电压的极性，而不是电流的方向。如果电流流入正电压端子，那么电源就会像电子负载一样消耗电流 — 它会吸收和消耗功率，而不是提供功率。



### 电源和电子负载

如果电流流入正电压端子，那么电源就会像电子负载一样消耗电流 — 它会吸收和消耗功率，而不是提供功率

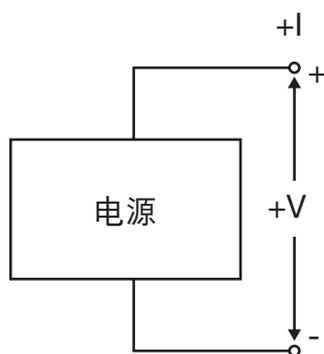


图 1. 电源极性定义

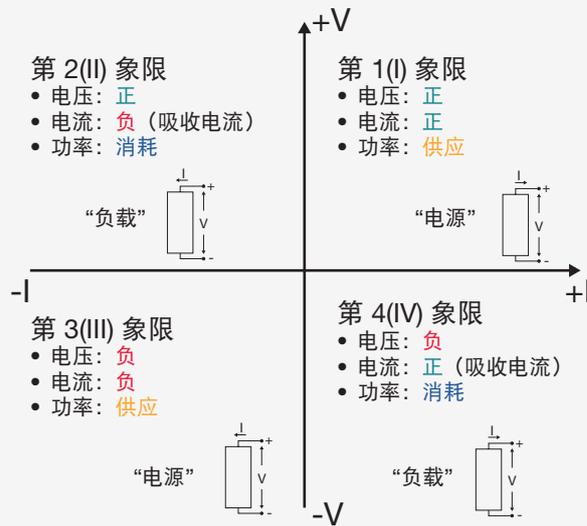


图 2. 笛卡尔坐标系

双极性电源可在全部四个象限中运行。在第 1 象限和第 3 象限中，双极性电源提供功率，电流从正极电压端子流出。在第 2 象限和第 4 象限中，双极性电源消耗功率，电流流入正极电压端子，如图 2 所示。

## 为什么需要直流电子负载？

从前文中可以了解到，当电源吸收电流（消耗功率）时，它实质上相当于一个电子负载。电子负载设计模仿的是一个消耗电力的器件。它对电源进行拉载，可以使电源“看到”DUT 中的负载（应用和环境）。它们可以进行编程，以提供不同类型的负载；它们具有静态和动态拉载模式。实际负载更为复杂并且难以预测，但电子负载可以提供稳定且有程控的负载模式。

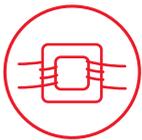
直流电子负载是设计、制造和评测直流电源（电池、转换器和逆变器）时必不可少的工具。其他应用包括燃料电池和光伏电池测试。

直流电子负载包含一组功率晶体管或金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET），目的是消耗或吸收功率。电流放大器通过开关这些晶体管来调节电子负载的输入电流。

## 电子负载应用

随着技术的发展，传统的机械驱动逐渐被电气驱动替代，导致功耗大大增加。电力需求的大幅增加使得人们愈发重视节能。设计人员竞相开发各种高效产品。对电源和耗电器件执行严格的测试可以拓宽直流电子负载的应用领域。

下面介绍的就是电子负载典型应用，以及它们如何帮助业界测量。



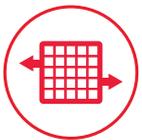
**电源转换器和逆变器测试** — 测试 DC-DC、AC-DC 和 DC-AC 的快捷方法。在输出端应用电子负载可以仿真上电过程中的产品。您可以使用不同等级的负载来测试最小和最大输入开启电压电平。使用电子负载可以进行纹波和噪声测量、负载和电源调整以及过压和过流保护测试。



**不间断电源 (UPS)** — 完整测试需要交流电源、直流电源、直流负载和交流负载。直流负载使用负载组来测试 UPS 内的备用电池和充电器。交流负载测试整个 UPS 系统。负载组测试可以验证 UPS 在不同负载条件下提供所需电力的能力，以及电压稳定性和控制系统的效率。



**电池和燃料电池** — 与电阻负载组相比，它们可为您提供恒定负载，从而缩短测试时间。如需进行容量测试，请使用 CP 模式，以便在电池电压随时间下降时提供一致的功耗。电子负载可以通过编程输出包括快速跳变的各种负载曲线，使用户能够测试电池充电和放电循环的特征曲线。



**太阳能电池板** — 用于大功率光伏测试的出色解决方案。它能够以较低的成本供应大电流。使用 CV 模式捕获 I-V 曲线、或增加电压以便进行电流测量。



**便携式器件** — 对电子负载进行编程，以仿真产品的各种功率状态，如睡眠模式、节能模式和全功率模式，从而执行功耗测试。

典型的电子负载具有：

- 多种测量功能，可以测量电压、电流、功率、峰值、均值、最小值和最大值
- 通过前面板，可以显示输入读数和测量读数
- 独立通道工作
- 内置脉冲发生器，用于连续工作、脉冲工作和触发瞬态工作
- 触发输入，支持并联配置实施同步测量
- 通过 SCPI 命令语言进行远程编程

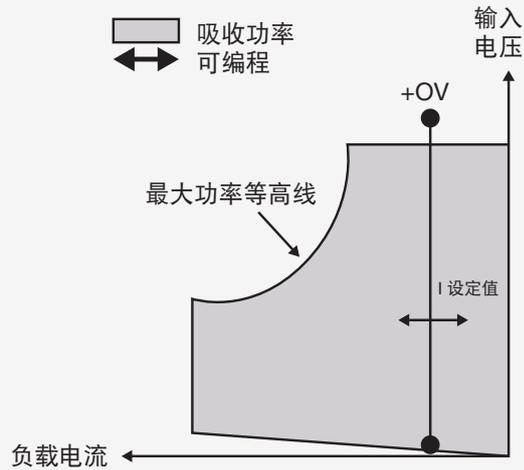
## 直流电子负载工作模式

当您确定了被测器件的负载测试类型后，负载需要进行模式选择。电子负载最常见的工作模式有恒流（CC）、恒压（CV）、恒功率（CP）和恒电阻（CR）模式。将电子负载编程为某一模式后，它将保持该模式，直到模式发生变化为止。此外，如果发生过功率或过温等故障情况，模式也会发生改变。

如果选定了模式，下文中的电流、电阻、电压和功率模式参数都是可以通过编程设定的。通过前面板选择模式或通过编程设定模式时，大多数相关参数会在输入端生效（例外情况见模式说明中的备注）。

## 恒流工作 (CC)

在此模式下，无论输入电压是多少，负载模块都会按照编程的值消耗电流。



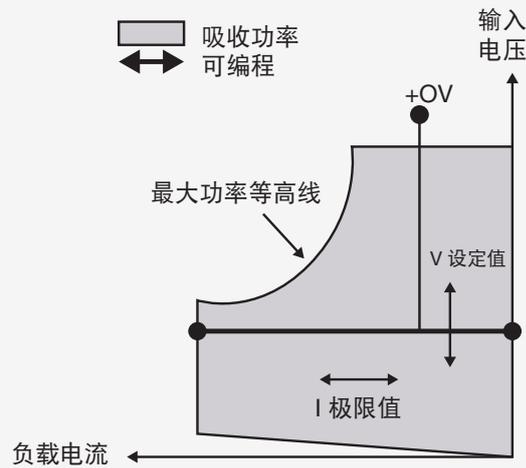
粗实线表示可能的工作点与输入电流之间的关系。恒流 (CC) 状态标志表示电流以规定的设置值输出。

请注意，在 CC 工作中，电压限值不可以编程。但是，如果 DUT 施加的电压高于规定电流范围允许的电压，那么过压保护机制启动，跳闸并关闭输入。

电流可在两个重叠范围中的任意一个（高量程和低量程）进行编程。低量程在小电流设置下可提供更好的分辨率。负载会选择与编程的量程值相对应的量程。如果量程值位于量程重叠区域，那么负载会选择低量程。如果当前电流设置在低量程之外，那么负载会自动将输入调整为低量程内的最高值。如果您在之后编程设定了一个超出低量程的输入值，前面板显示屏上会显示“超出量程”错误信息。

## 恒压工作 (CV)

在此模式下，负载模块会试图消耗足够的电流，以便将电源电压控制到编程值。



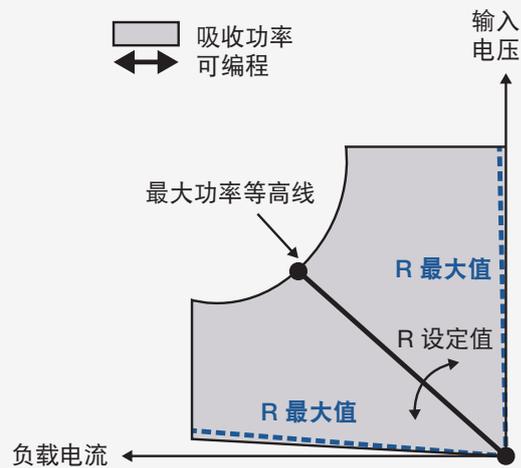
粗实线表示可能的工作点与输入电压之间的关系。

请注意，CV（恒定电压）工作中设置了电流限值。该实线的水平段表示，如果负载电流保持在电流限值设置的量程内，输出电压将保持其编程的设置。CV 状态标志表示输出电流在限值设置量程内。

当输出电流达到电流限值时，装置不再以恒压模式工作，输出电压不再保持恒定。取而代之的是，电子负载此时会将输出电流调节到其电流限值设置。设置负电流限值状态标志以指示达到电流限值。如果电压持续增加，直到超出指定电流量程允许的电压或最大功率等高线，那么过压保护机制会启动，跳闸并关闭输入。

## 恒电阻工作 (CR)

在此模式下，负载模块消耗的电流与编程电阻的输入电压成正比。

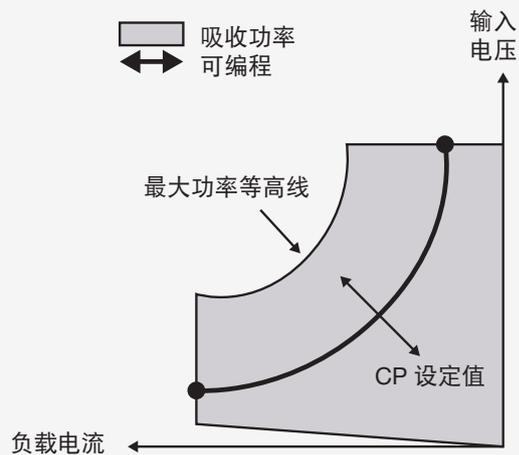


粗实线表示可能的工作点与电阻设置之间的关系。电阻斜线向下延伸至  $R_{min}$  (虚线)，使得电子负载可以在加载大电流的同时产生低电压。

电阻可在三个重叠电阻量程当中的任意一个（高、中、低）进行编程。负载选择与编程的电阻值对应的量程。如果电阻值位于量程重叠区域，那么负载会选择具有最高分辨率的量程。如果当前输入设置超出您选择的量程，那么负载会自动将输入设置调整为新选定量程内最接近的可用值。如果您在之后编程设定了一个超出新选定量程的输入值，前面板显示屏上会显示“超出量程”错误信息。

## 恒功率工作 (CP)

在恒功率工作中，负载模块根据编程的恒定功率值调节被测器件的功耗。



负载模块通过测量电压和电流的输入来调节输入功率，并根据 AD 转换器的测试数据流来调整输入功率。请注意，在 CP 模式下，相应的编程量程会覆盖选择的电压和电流测量量程。电子负载自动选择可能的最低量程，以提供更好的分辨率和精度。

负载模块具有内置过功率保护功能，防止功率超过负载模块的额定输出功率（最大功率等高线）2% 以上。



## 如何选择合适的电子负载

市面上有各种各样的直流电子负载产品。如何选择合适的电子负载以满足应用需求十分关键。以下是选择合适的电子负载时要考虑的基本因素。

- 额定容量
  - 最大电压、电流和额定功率能提供应用所需的必要信息，可确保电子负载能够处理电源的容量
- 动态测试
  - 有些负载是动态负载，电子负载的任意功能允许您使用不同的功能，如脉冲、步进和斜率变化
- 工作模式 — CR、CC、CV 和 CP
  - CC 用于功耗测试
  - CR 可以直接取代电阻器
  - CV 用于电流电源测试
  - CP 用于存储容量测试
- 计算机控制  
当您无法通过前面板设置参数时，可以使用 RS232、GPIB 或 USB 编写复杂的测试程序
- 外形尺寸  
选择外形尺寸时需要将未来扩展的情况考虑在内

## 直流电子负载的外形尺寸

直流电子负载具有几种与电源相关的外形尺寸。以下是电子负载的三种常见外形尺寸：

### 1. 台式产品

台式外形最常见于实验室环境。这种低成本的仪器可提供基本功能，通过前面板完成大多数设置。电子负载配备基本连接，如 GPIB 或 RS232，可用于远程编程。较新的型号可能具有 USB 功能。



台式单路输入电子负载是具有基础功能的低成本仪器。

## 2. 系统电子负载

通常内置于机架系统中，主要用于自动测试系统（ATE）。ATE 集成在高吞吐量、大功率（超过 5 KW）制造环境中，可同时测试多个器件。该系统采用局域网等先进的连接方式。



机架配置中使用的系统电子负载，主要用于 ATE 测试

## 3. 模块化电子负载

通常由带有计算处理器的主机组成 — 模块化电子负载与电源装置在同一主机内一起工作。它可以根据应用要求更换不同的模块，灵活地调整大小。模块化电子负载通常配备一个大显示屏，以便您通过趋势图查看基本分析。下图所示的 N6705C 具有 USB 和 LAN 连接功能。



模块化电子负载有助于在制造环境中进行测试

模块化电子负载在制造环境中很常见，您可以轻松地将这个仪器添加到 1U 高主机中。大多数测试系统已经有了一个电源，因此可以轻松添加负载。主机采用由前往后的散热方式，因此只需 1U 的机架空间。上图所示的 N6700C 具有 USB 和 LAN 连接功能。

## 结论

电子负载是一种消耗电源电流的仪器，在直角坐标系中的第 2 和第 4 象限运行，其应用领域包括电力电子和能源市场。先进的电子负载可以通过稳定可靠的输入仿真复杂和动态变化的实际负载。它具有四种常见的工作模式：CC、CV、CP 和 CR。您可以根据应用需求选择不同类型的电子负载。

如需了解更多信息，请浏览 [K.com](http://K.com) 页面上关于**直流电子负载**的内容

如欲了解更多信息，请访问：[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

如需了解关于是德科技产品、应用和服务的更多信息，请与是德科技联系。

如需完整的联系方式，请访问：[www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

