



cnwans.com

---

P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D

直流恒流型数控电子负载用户手册

Build: 1.5

版本	修订时间	修改记录
Build: 1.0	2023.01.12	初始版本，主要更新 P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载说明。
Build: 1.1	2023.01.14	完善部分缺失的说明。
Build: 1.2	2023.03.28	勘误部分错误，补充部分说明。
Build: 1.3	2023.04.15	增加电子负载被测电源输入端子接线说明（见附录 C），增加电子负载与上位机通信和烧录固件接线说明（见附录 D），增加运算放大器补偿电容说明（见附录 E）。
Build: 1.4	2023.12.01	修改运算放大器补偿电容说明，完善部分说明。
Build: 1.5	2024.08.03	增补部分缺失条目，调整文档排版。



## 特别声明

本手册内容仅供参考，因软件版本升级或硬件设计优化等原因，实物可能与本手册内容有所出入，具体请以实物为准。

若发现文档有误，请联系 [122985267](#) 反馈，感谢您的不吝指正。

我们所有发售的数控电子负载均支持固件升级，通过固件升级可以使产品更加完善，您可以访问我们的网站[<https://s.cnwans.com>]获取最新版本的固件以及固件升级的操作流程，若您对产品有好的创意也可以通过网站留言和联系 [122985267](#) 进行反馈。每一个创意都值得被尊重，因为有用户的声音，才能使产品设计更贴合用户的使用习惯，让每一位用户使用时能无师自通、得心应手。有大佬曾经说过：“一个优秀的产品是不需要说明书的”，显然，我们所做的还是略有欠缺。

因开发者精力有限，需要同时维护多达近 10 个“线程”的项目，部分项目的进度会比较缓慢，也请大家体谅。

本产品自 2023 年 3 月 20 日正式开源（原理图和 PCB），已经将相关工程文件发布至数码之家论坛、立创开源硬件社区以及我们的网站。此后作为开源产品，您可以自由把玩本工程，但您不得将此工程商业化（少量制作与销售无伤大雅），本工程由 cnwans.com 保留部分权利。

不得将本手册上传至各营利平台，一经发现，必将追责！



## 目录

特别声明 .....	1
一、产品简介 .....	4
二、产品设计参数 .....	4
三、P100C 系列操作说明 .....	5
3.1、使用操作流程 .....	5
3.2、产品实物图解 .....	6
四、P100C 系列运行模式详解 .....	7
4.1、恒流模式 .....	7
五、P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列操作说明 .....	7
5.1、特别提醒 .....	7
5.2、使用操作流程 .....	8
5.3、产品实物图解 .....	9
六、P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列运行模式详解 .....	10
6.1、恒流模式 .....	10
6.2、自动测试 .....	11
6.3、动态测试 .....	12
6.4、恒压模式 .....	13
七、电子负载系统设置详解 .....	14
7.1、P100C 系列电子负载系统设置项详解 .....	14
7.2、P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载系统设置项详解 .....	15
八、校准说明 .....	24
8.1、关于校准的释疑 .....	24
8.2、校准界面说明 .....	24
8.3、校准内部算法说明 .....	25
8.4、校准流程 .....	26
九、故障排查指导 .....	26
9.1、故障的产生 .....	26
9.2、故障分类 .....	26
9.3、内部告警提示 .....	26
9.4、外部异常现象 .....	30
附录 A、产品运行过程中发热情况检测 .....	33
附录 B、与上位机软件进行通讯及云服务说明 .....	34
B.1、关于上位机通讯说明 .....	34
B.2、串口通讯参数设置 .....	34
B.3、串口通讯帧格式说明 .....	34
B.4、通用寄存器地址一览表 .....	35
B.5、辅助寄存器地址一览表 .....	36
B.6、上位机软件使用 .....	36
附录 C、电子负载被测电源输入端子接线说明 .....	38
C.1、四线差分输入接线方式 .....	38
C.2、两线输入接线方式 .....	38
附录 D、电子负载与上位机通信和烧录固件接线说明 .....	39
D.1、与上位机通信接线说明 .....	39

D.2、烧录固件失败原因排查 .....	40
附录 E、运算放大器补偿电容说明.....	41
E.1、关于运算放大器补偿电容的释疑.....	41
E.2、如何选取合适的补偿电容容值 .....	41
鸣谢与吐槽.....	43

## 一、产品简介

P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列直流恒流型数控电子负载是基于 STC8H 系列单片机为主控芯片开发而成，充分利用其优秀的硬件外设，运行为其深度定制开发的全新交互式控制系统，以运行安全稳定为前提，不断优化提高精度的电路设计，辅以优秀的人机交互操作，基本达到 DIY 电子负载的天花板。

已发售过的 PCB 板型信息（同一系列不同板型仅 PCB 电路设计略有调整，功能完全相同）

P100C	V1.2、V1.3、V1.3+
P150C	Beta1.0、1.1B2、V1.1B3、V1.1B4
P150C Pro	V1.0B5、V1.0B6
P150C Pro-D	V1.0D2、V1.0D3、V1.0D5、V1.0D6

## 二、产品设计参数

型号	P100C	P150C	P150C Pro	P150C Pro-D
额定输入电压	+100V <sup>①</sup>		± 150V	
电压测量精度		0.5% ± 0.01V		
额定输入电流	+10A <sup>②</sup>		+15A	
电流测量精度		0.5% ± 0.01A		
额定耗散功率	100W		150W	
恒流电流可调		0.01–15.00A <sup>③</sup>		
截止电压可调		0.01–99.99V <sup>④</sup>		
计时停止	无	00 时 00 分–99 时 59 分		
PCB 外形尺寸	5*10cm		9*16cm	
液晶屏分辨率	128*64		220*176 ( 彩色 )	
容量计量		100Ah		2000Ah
库仑计计量		10kWh		100kWh
运行时间计量		1000 小时 <sup>⑤</sup>		
计量精度		≤ ± 0.5%		
散热风扇选用	2 线高速	兼容 2 线、3 线或 4 线风扇 <sup>⑥</sup>		
运算放大器选用	TP09	SGM8522 或 SGM8552		SGM8272
MOS 管选用	Fairchild IRFP250A/B		IRFP250/460	

注 1: P100C 系列为 2 线输入，不能反接正负极，因此不支持测量负电压。

注 2: 本手册所列所有型号电子负载电流端子反接时均可以测量负电流，注意防止短路烧毁电子负载或造成被测电源故障。

注 3: P100C 系列也可以设置高于 15A 恒流电流，但原设计使用的输入端子额定载流为 10A，若测量超过 10A 电流，建议改装后再使用。

注 4: 因液晶显示屏显示区域受限，P100C、P150C、P150C Pro、P150C Pro-D 系列均无法设置高于 100V 的截止电压。

注 5: P100C 系列在 2022.11 版本固件中已调整运行时间计量，由 10000 小时调整为 1000 小时，容量计量、库仑计计量以及运行时间计量累计到最大值时自动停止运行。



**注 6:** P150C、P150C Pro、P150C Pro-D 系列板载 3pin 端子 (负极 GND、正极 VCC、转速反馈 Sensor)，兼容 2 线、3 线和 4 线散热风扇，自带 PID 温控算法，系统调制 PWM 输出电压调节散热风扇转速，所以无需接 4 线散热风扇的专用调速线。若使用 2 线无转速反馈的散热风扇，需要将散热选项内的[转速保护]定值调至 0，否则系统启动散热风扇后未检测到转速反馈将会报散热故障并停止运行。若您使用四线调速风扇，请将正极 VCC 短接至供电正极，并从三极管 S8050/SS8050 引出 PWM 信号至散热风扇调速引脚。

### 三、P100C 系列操作说明

P100C 系列采用传统方向键操作方式，原设计使用 5 向摇杆按键和 1 只普通按键完成全部操作，适合小体积 PCB 使用，但可以自行将 5 向摇杆按键改装分体式按键，即独立出上下左右中 5 个按键。

**注 1:** 开机后若发现液晶屏显示不清或显示全黑，可以在任意时候按下五向按键的中键并向左按下左键或向右按下右键调节 V0 电阻比例，可调节范围 1-7 档，该操作可以迅速调节屏幕显示对比度，任意时候按下五向按键的中键并向上按下上键或向下按下下键调节驱动电压（即调节 Contrast），可调节范围 1-63，该操作可以微调屏幕显示对比度，建议先调节 V0 后调节 Contrast，保持两个值在较为中间范围。

**注 2:** 使用 ST7565R 作为控制器的屏显示会错行（通常是整体向下偏移 32 像素，即 4 页），这是因为 ST7567 与 ST7565R 页寄存器起始地址不同。

#### 3.1、使用操作流程

P100C 系列电子负载通过五向按键完成该设备的所有操作。



将电子负载放置于平稳的平面，该平面应为绝缘体，且无异物凸起接触 PCB 板背面元件，远离依然易爆物体，例如纸张、塑料袋、锂电池等，接入设备供电电源，P100C 系列电子负载供电电压为 Type-C 端口输入 5.00V，设备供电电流均需要大于 1A（确保能为所安装的散热风扇提供稳定可靠的工作电流）。

接入被测电源，P100C 系列电子负载使用 2 线输入，请正确连接被测电源正极与负极，P100C 系列电子负载未集成有任何反接保护，反接正负极通常会击穿 MOS 管或造成被测电源短路故障。

P100C 系列电子负载仅有恒流模式。通过五向按键上下左右调整屏幕上方框指示器位置，短按五向按键中键进入被指示器选中的设置项，此时被选中的设置项最低位将以下划线凸出显示，通过五向按键的左右按键调整当前选中位，通过五向按键的上下按键调整当前选中位的值。

设备左侧为 TFT 液晶显示屏。显示屏左侧从上至下依次显示[实时电压]值、[实时电流]值、[实时功率]值、[容量计量]值、[电能量计量]值，显示屏右侧从上至下依次为运行电流

设置、截止电压设置、集中参数设置、运行时间累计、MOS 管温度、估测内阻值以及运行 (RUN) 与停止 (OFF) 指示。

设置完成后，长按[运行/停止]按键启动运行，为防止被测电源误保护，可以通过调整集中参数设置内的[上升斜率 UP]来控制电流上升速率，当电流达到设定值后系统自动计算被测电源直流内阻（直流内阻通常无法精确反映被测电源真实内阻，测量值仅供参考，需要在电压选项中启用内阻估算功能，如需准确得知被测电源内阻，建议使用交流内阻测试仪），短按[运行/停止]按键即可停止运行，系统除手动按[运行/停止]按键停止运行以外，还可以由保护系统自动停止运行，例如触发[截止电压]值和被测电源断线等，双击[运行/停止]按键可以清零所有计量数据和复位保护。

特别提醒：调节运行电流、截止电压及参数设置时，长按五向按键上键或下键可以快速增加或减小。

## 3.2、产品实物图解

图片为 P100C 系列 V1.3+ 版本 (白色) 实物图，绿色/黑色/紫色以及 V1.0/V1.2 版本 PCB 正面设计基本一致。

适用于P100C系列  
V1.3+板型，其他  
版本也可以以此图  
片进行参考，请以  
实物为准。

[液晶显示屏]  
实时电压  
实时电流  
实时功率  
设置、计量、保护  
与运行/停止提示

[Type-C供电口]  
支持DC 5.0V电压  
不小于1.0A电流  
严禁输入高压  
不支持外部通讯



[散热器]  
仅支持高速2线散  
热风扇  
仅支持50cm\*50cm  
铝合金散热器

[功率耗散MOS管]  
设计支持仙童  
IRFP250A/B  
250V 30A 80mΩ  
或较低开启电压  
(<5.0V) 的型号

[五向按键]  
通过上下左右方向  
键调整屏幕指示器  
位置  
中键确认或退出

[运行/停止按键]  
短按停止运行  
长按启动运行  
双击清零计量数据

## 四、P100C 系列运行模式详解

### 4.1、恒流模式

P100C 系列电子负载仅支持恒流模式，由运行电流[SET CUR]、截止电压[SET VOL]共 2 个选项构成。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET CUR ( 运行电流 )	A	00.00A	25A
启动运行后系统将以设置的[运行电流]值调制负载电流，系统将以设置的[UP 上升斜率]速率逐步达到设置的[运行电流]值。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET VOL ( 截止电压 )	V	00.00V	99.99V
当启动运行后，系统检测到实时电压值低于[截止电压]时立即触发告警并停止运行。			

## 五、P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列操作说明

P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列操作方法基本一致，因此以 P150C Pro-D 系列电子负载实物图作为介绍。

P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列数控电子负载采用[校准/设置]、[运行/停止]2 只按键和[旋转编码器]（电子负载液晶显示屏上简称文字为“旋编”）完成所有功能的操作。

### 5.1、特别提醒

对于公版 PCB，您不能超过以下极限参数使用该系列电子负载，否则将造成不限于 MOS 管损坏、设备硬件损坏、PCB 烧毁、被测电源烧毁等严重后果。对于您 DIY 设计的 PCB 或采用更高规格元器件，不受此参数限制。

项目	150V/15A 版本	380V/12A 高压版本
功率耗散 MOSFET 管选用	IRFP250	IRFP460
功率耗散 MOSFET 管耐压	200V	500V
电压测量极限	$\pm 400V$	
PCB 板绝缘击穿最小值	1000V (<90%RH)	
电流测量输入端子载流极限	20A	
保险丝熔断电流	25A@<10min/30A@<5s	



功率耗散 MOSFET 管载流极限	30A	20A
电流采样电阻选用		1mΩ
电流测量极限		± 25A
功率耗散 MOSFET 管耗散功率极限 ( 25°C 以下 )	214W	280W
满足额定电流最小运行电压 <sup>①</sup>	1.3V@15A	3.3V@12A
电流采样电阻功率		1W

**注 1:** 满足额定电流最小运行电压由 MOS 管的导通电阻  $R_{DS}$  决定，通常高压 MOS 管的导通电阻更大，因此不适用于低压大电流场合，设计选用的 MOS 管 IRFP250 兼顾大部分应用场合。

## 5.2、使用操作流程

将电子负载放置于平稳的平面，该平面应为绝缘体，且无异物凸起接触 PCB 板背面元件，远离依然易爆物体，例如纸张、塑料袋、锂电池等，接入设备供电电源，P150C Pro-D 系列电子负载供电电压允许范围 DC9V~24V ( 原设计使用的 CPU 散热风扇额定电压 DC12V，使用不同电压供电前一定要检查散热风扇是否匹配 )，P150C Pro 系列电子负载供电电压允许范围 DC12V~15V。设备供电电流均需要大于 1A ( 确保能为所安装的散热风扇提供稳定可靠的工作电流，建议不要使用无控制芯片的反激电源，通常该类电源有较大纹波，可能会影响测量精度 )。

根据需要设置电子负载运行模式，默认为恒流模式，P100C/P150C 系列仅有恒流模式，P150C Pro/P150C Pro-D 系列其他模式可能会根据固件版本升级有所不同，请参考固件升级网页上的说明。

接入被测电源，若使用 4 线差分输入，请使用 4 根输入线 ( 电流输入线载流必须达标，电压输入线无要求 )，分别接在电子负载端[电压+]、[电流+]、[电流-]、[电压-]四个输入端子上，另一端将[电压+]、[电流+]和[电流-]、[电压-]两两并联后连接在被测电源上；若使用 2 线输入，请先使用短接线分别将电子负载端[电压+]、[电流+]和[电流-]、[电压-]端子两两短接，然后从[电流+]和[电流-]端子接出 2 根输入线连接在被测电源上。特别注意：2 线输入时，[电压+]、[电流+]和[电流-]、[电压-]端子两两短接后必须从[电流+]和[电流-]端子接出 2 根输入线连接在被测电源上，请勿从[电压+]和[电压-]上引出输入线，这样会产生一定压降引起设备计量误差。接线示意图请参考 [《附录 D、电子负载与上位机通信和烧录固件接线说明》](#)。

通过[旋转编码器]调整显示屏上红色指示器位置，短按[旋转编码器]中键进入被指示器选中的设置项，此时指示器将以红色背景色凸出显示当前被选中的位，按住[旋转编码器]并旋转可以左右调整当前选中位，旋转[旋转编码器]调整当前选中位的值。长按住[旋转编码器]3 秒以上可以锁定或解锁系统，锁定后屏幕左下角运行/停止指示内部带有锁定的图标，同时所有按键仅有提示音声音（如果打开了按键提示音）系统不会响应任何事件，此时系统启动运行可以由自动测试模式启动或由多功能 I/O 控制（设置为启停信号输入时）启动，停止运行可以由系统保护停止或由多功能 I/O 控制（设置为启停信号输入时）停止。

设备左侧为 TFT 液晶显示屏。显示屏顶栏显示依次为时间计量、MOS 管温度或外部温度、散热风扇转速显示，底栏显示运行状态、运行或停止提示信息，中间部分显示[实时电压]值、[实时电流]值、[实时功率]值、[容量计量]值、[电能量计量]值，显示屏右侧为设置区域，可以使用[校准/设置]按键切换参数校准和参数设置界面。

设置完成后，长按[运行/停止]按键启动运行，为防止被测电源误保护，可以通过调整



设置页内的[上升斜率]来控制电流上升速率，当电流达到设定值后系统自动计算被测电源直流内阻（直流内阻通常无法精确反映被测电源真实内阻，测量值仅供参考，需要在电压选项中启用内阻估算功能，如需准确得知被测电源内阻，建议使用交流内阻测试仪），短按[运行/停止]按键即可停止运行，系统除手动按[运行/停止]按键停止运行以外，还可以由保护系统自动停止运行，例如触发[截止电压]值和设定的[计时时间]归零等，双击[运行/停止]按键可以清零所有计量数据和复位保护。

特别提醒：调节运行电流或截止电压时，按住[旋转编码器]中键并旋转可以向左或向右调节指示器位置，即默认在小数点后第2位位置，可以向小数点后第1位、个位、十位调整。其他选项调节时类似，数值类参数调整时则可以 $\times 10$ 倍速快速增减，P150C Pro/P150C Pro-D 系列在 2024.06 版本固件以后按住[旋转编码器]中键后根据旋转加速度提供 $\times 10\sim \times 500$ 倍速便于快速调整。

**注 1：计划在未来将“锁定后所有操作无响应”调整为“锁定后除运行/停止以外所有操作无响应”。**

### 5.3、产品实物图解

图片为 P150C Pro-D 系列 V1.0D3 版本实物图，P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列其他 PCB 板型也可以以此图片进行参考。

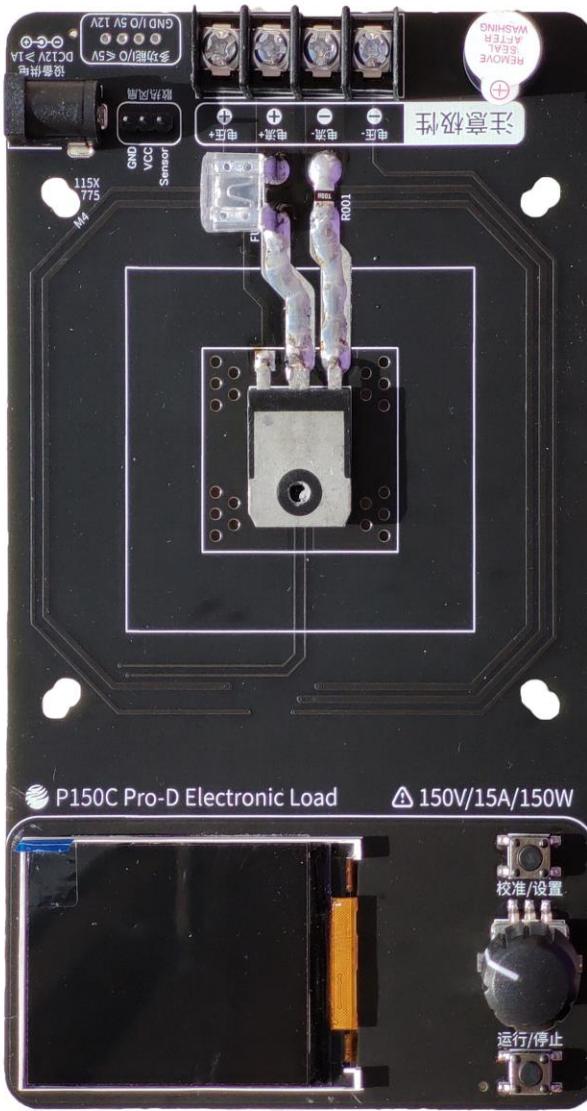


[多功能I/O接口]  
注意I/O无驱动能力  
在设置里可选择  
1. 过压保护输出  
2. 充电使能输出  
3. 启停信号输出  
4. 启停信号输入  
5. 外置温度输入

[设备供电插座]DC12V  
型号DC005 5.5mm  
根据散热风扇电流选用  
合适电源，建议 $\geq 1A$

[散热器安装孔]  
兼容Intel CPU散热器  
LGA775、LGA115X

[散热风扇电源插口]  
兼容2/3/4线风扇  
负极、正极、转速反馈  
使用2线时不接转速反馈  
使用4线时不接风扇调速



[蜂鸣器]  
按键操作提示音  
系统告警提示音

[功率耗散MOS管]  
推荐IRFP250系列  
250V 30A 85mΩ

[MOS管NTC温敏电阻]  
型号10KΩ B3950

[液晶显示屏]  
顶栏显示时间计量、  
MOS管温度/外部温度、  
散热风扇转速  
底栏显示运行状态、  
运行/停止提示信息

图片为P150C Pro-D系列V1.0D3板型，也适用于P150C Pro系列V1.0B5/V1.0B6和P150C Pro-D系列V1.0D2，  
P150C系列也可以以此图片进行参考，请以实物为准。

## 六、P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列运行模式详解

### 6.1、恒流模式

恒流模式为 P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列数控电子负载基础功能，由[运行电流]、[截止电压]、[计时停止]三个选项构成。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
运行电流	A	00.00A	[电流限制]或 实时电流限制 <sup>①</sup>
启动运行后系统将以设置的[运行电流]值调制负载电流，系统将以设置的[上升斜率]速率逐步达到设置的[运行电流]值。			
<b>注 1：</b> 实时电流限制功能开启后，最大可设置值为（功率限值 ÷ 实时电压值）与[电流限制]其中的最小值。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
截止电压	V	00.00V	99.99V <sup>②</sup>
当启动运行后，系统检测到实时电压值低于[截止电压]时立即触发告警并停止运行。			
<b>注 2：</b> 受限于显示屏显示区域，最大只能设置到 99.99，下同。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
计时停止	小时:分钟	00:00	99:59 <sup>③</sup>
当设置计时值大于 00 小时 00 分钟即启用计时停止功能，当启动运行后，系统开始倒计时，当倒计时归 0 时触发告警并停止运行。倒计时的时间同时纳入系统总运行时间。			
需要特别注意的是，启用计时停止功能后将作用于其他模式，包括自动测试、动态测试、恒压模式。			
<b>注 3：</b> 受限于显示屏显示区域，最大只能设置到 99:59。			

## 6.2、自动测试

自动测试为 P150C Pro/P150C Pro-D 系列数控电子负载独有功能，由[运行电流]、[带载电压]、[卸载电压]三个选项构成。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
运行电流	A	00.00A	[电流限制]

启动运行后系统将以设置的[运行电流]值调制负载电流，系统将以设置的[上升斜率]速率逐步达到设置的[运行电流]值。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
带载电压	V	[卸载电压]	99.99V
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
卸载电压	V	00.00V	[带载电压]
启动运行后系统检测到实时电压低于[卸载电压]值后，系统将暂停运行，直到再次触发[带载电压]。当多功能I/O设置为充电使能输出时，该模式可以配合带使能输出功能的充电器实现蓄电池自动充放循环功能，但该模式暂无循环计数控制功能。			

### 6.3、动态测试

动态测试为 P150C Pro/P150C Pro-D 系列数控电子负载独有功能，由[峰值电流]、[谷值电流]、[周期]、[占空比]四个选项构成。

该模式下通常用来测试被测电源的稳定性。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
峰值电流	A	[谷值电流]	[电流限制]
启动运行后系统在首个PWM周期将以设置的[峰值电流]值调制负载电流，系统将以设置的[上升斜率]速率逐步达到设置的[峰值电流]值，维持[周期] × [占空比]时间后，系统将以设置的[下降斜率]速率逐步达到设置的[谷值电流]值，在之后的周期以此循环。 [峰值电流]的最大可设置值也受限于[电流限制]，最小不能低于[谷值电流]。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
谷值电流	A	00.00A	[峰值电流]
启动运行后系统在首个PWM周期将以设置的[峰值电流]值调制负载电流，系统将以设置的[上升斜率]速率逐步达到设置的[峰值电流]值，维持[周期] × [占空比]时间后，系统将以设置的[下降斜率]速率逐步达到设置的[谷值电流]值，在之后的周期以此循环。 [谷值电流]不能超过[峰值电流]。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
周期	s	1s	60s
启动运行后系统在首个PWM周期将以设置的[峰值电流]值调制负载电流，系统将以设置的[上升斜率]速率逐步达到设置的[峰值电流]值，维持[周期] × [占空比]时间后，系统将以设置的[下降斜率]速率逐步达到设置的[谷值电流]值，在之后的周期以此循环。 因MCU执行速度原因无法设置低于 1s 周期。			

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
占空比	%	1%	99%
启动运行后系统在首个PWM周期将以设置的[峰值电流]值调制负载电流，系统将以设置的[上升斜率]速率逐步达到设置的[峰值电流]值，维持[周期]×[占空比]时间后，系统将以设置的[下降斜率]速率逐步达到设置的[谷值电流]值，在之后的周期以此循环。 [占空比]过大或过小可能因设置[上升斜率]值过小使调制的电流无法达到[峰值电流]，或因设置的[下降斜率]过小使调制的电流无法达到[谷值电流]。			

#### 6.4、恒压模式

恒压模式为 P150C Pro/P150C Pro-D 系列数控电子负载 2022.12 版本及以上固件新增功能，由[给定电压]、[截止电流]、[限流]、[调整率]四个选项构成。

恒压模式由软件实现，因此无法适应纹波较大或高动态调整率的开关电源，通常用于测试电压更为稳定的电池。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
给定电压	V	0.00V	99.99V
启动运行后，系统将消耗足够大的电流使实时电压值与设置的[给定电压]趋于一致。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
截止电流	A	0.01A	10.0A
启动运行后，当被测电源实时电压值与设置的[给定电压]趋于一致时，电流会逐渐减小，当实时电流小于设置的[截止电流]时触发告警并停止运行。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
限流	A	0.0A	65.5A或 实时电流限制
启动运行后，系统将消耗足够大的电流使实时电压值与设置的[给定电压]趋于一致，在此过程中若消耗的电流高于设置的[限流]值时触发告警并停止运行。			
<b>特别注意：实际限流保护与设置的限流值有一定误差，这是为了改善系统保护响应速度而特别优化的判定方法。</b>			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
调整率	%	1%	100%
启动运行后，系统将按一定比例调制电流上升与下降速率使实时电压值与设置的[给定电压]趋于一致，[调整率]设置过大会使系统不稳定发生超调抖动现象，甚至立即触发保护，[调整率]过低会消耗较多时间才能使实时电压值与设置的[给定电压]趋于一致，通常根据被测电源内阻来调节[调整率]。			

## 七、电子负载系统设置详解

### 7.1、P100C 系列电子负载系统设置项详解

P100C 系列电子负载提供完善的系统参数设置项。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET Z+	-	0	9999
<b>参考 8.2、校准界面说明[输出零点]说明。</b>			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET Vx	-	0	9999
<b>参考 8.2、校准界面说明[电压系数]说明。</b>			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET Ax	-	0	9999
<b>参考 8.2、校准界面说明[电流系数]说明。</b>			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET ax	-	0	9999
<b>参考 8.2、校准界面说明[比例系数]说明。</b>			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET V-	-	0	9999
<b>参考 8.2、校准界面说明[电压零点]说明。</b>			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET A-	-	0	9999
<b>参考 8.2、校准界面说明[电流零点]说明。</b>			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET Pm	W	0	2500
即[功率限制]简称，启动运行前系统将计算[实时电压值] × [运行电流] < [功率限制]定值方可正常启动运行，默认值为“100”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET UP	-	0	9999
即[上升斜率]简称，系统启动运行时，电流将以[上升斜率]速率达到恒流模式、自动测试下的[运行电流]和动态测试下的[峰值电流]，默认值为“20”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET ax	-	0	9999

参考 [8.2、校准界面说明](#)[输出零点]说明。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
SET V-	-	0	9999

参考 [8.2、校准界面说明](#)[输出零点]说明。

## 7.2、P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载系统设置项详解

P150C 系列电子负载仅有单页设置项，所有设置项目均可以参考 P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载，P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载提供完整的系统参数设置项，可以更为深度的掌控你的设备。

**提示 1：更改某一参数的值后，需要短按[旋转编码器]中键退出更改即可保存，未退出更改时设备若断电将不会保存此次更改。**

**提示 2：任何数值类的参数均可以按住[旋转编码器]中键后以 x10 倍速快速调整，P150C Pro/P150C Pro-D 系列在 2024.06 版本固件以后按住[旋转编码器]中键后根据旋转加速度提供 x10~x500 倍速便于快速调整。**

### 7.3.1、电压选项



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
检测电压	-	-	-
选择“是”时，启用截止电压功能，并同步启用内阻估算、实时电流限制功能，默认值为“是”。 选择“否”时，禁用截止电压功能，并同步禁用内阻估算、实时电流限制等需要实时电压参与的功能。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
过压保护	V	10V	650V
当系统检测到实时电压高于[过压保护]值时，触发告警并停止运行，且当多功能I/O设置为“过压保护输出”时，同步使能I/O输出低电平，通过双击运行/停止按键可以尝试重置系统状态，常规版本默认值为“180V”，高压版本请设置为“380V”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
内阻估算	-	-	-
选择“是”时，启用内阻估算功能，恒流模式和自动测试模式下，系统启动运行后当电流达到设置的[运行电流]值后会更新内阻值显示在屏幕下方，默认值为“是”。 选择“否”时，禁用内阻估算功能。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
断线电压	V	0.1V	10.0V



当系统启动运行后检测到实时电压低于[断线电压]值触发告警并停止运行，通常用于检测被测电源突然断开，默认值为“0.1”。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
交流测量	-	-	-

选择“开”时，电压测量ADC将启用高通滤波器模块，用于测量交流电压，极性指示不再具有参考价值。

选择“关”时，常规直流测量应用，默认值为“关”。

需要注意的是，[交流测量]选择“开”时，电流测量通道不受其影响，仍然只能测量直流电流，但其极性指示会取反。

### 7.3.2、电流选项



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
电流限制	A	0.1A	99.0A

恒流模式、自动测试下的[运行电流]最大可设置值受限于[电流限制]定值，常规版本默认值为“15.0”，高压版本请设置为“12.0”。

在 2024.01 版本固件以后，最大可设置值由“65.0A”调整至“99.0A”。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
过流保护	A	0.1A	99.5A

系统运行时检测到实时电流高于[过流保护]定值时，经过电流[保护延时]的时间后触发告警并停止运行，常规版本默认值为“16.0”，高压版本请设置为“13.0”。

在 2024.01 版本固件以后，最大可设置值由“65.5A”调整至“99.5A”。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
保护延时	s	0.01s	2.00s

系统运行时检测到实时电流高于[过流保护]定值时，经过电流[保护延时]的时间后触发告警并停止运行，默认值为“0.00”。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
上升斜率	A/s	1A/s	250A/s

系统启动运行时，电流将以[上升斜率]速率达到恒流模式、自动测试下的[运行电流]和动态测试下的[峰值电流]，默认值为“20”。

在 2023.02 版本固件以后，最小可设置值由“0.1”调整为“1”，最大可设置值由“25.0”调整至“250”。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
下降斜率	A/s	1A/s	250A/s

仅动态模式下系统启动运行时，电流将以[下降斜率]速率达到动态测试下的[谷值电流]。其

余模式不受[下降斜率]影响，默认值为“20”。

在 2023.02 版本固件以后，最小可设置值由“0.1”调整为“1”，最大可设置值由“25.0”调整至“250”。

### 7.3.3、功率选项



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
功率限制	W	10W	2500W
恒流模式、自动测试下启动运行前系统将计算[实时电压值]×[运行电流]<[功率限制]定值方可正常启动运行，默认值为“150”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
功率保护	W	10W	2550W
系统运行时检测到实时电流高于[功率保护]定值时，经过功率[保护延时]的时间后触发告警并停止运行，默认值为“160”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
保护延时	s	0.01s	2.00s
系统运行时检测到实时电流高于[功率保护]定值时，经过功率[保护延时]的时间后触发告警并停止运行，默认值为“0”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
实时电流限制	-	-	-
选择“开”时，恒流模式、自动测试下启动运行后系统将实时计算最大可设置电流，即[功率限制]÷[实时电压值]。			
选择“关”时，各个模式设置相关电流值时无此限制，默认值为“关”。			
在 2023.02 版本固件以后新增该功能，作为 DIY 产品一般无需打开此功能。			

### 7.3.4、散热选项

P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载支持自定义散热风扇的运行与停止温度，因为 PCB 板型默认仅支持 3 线风扇，在板载调压驱动部分大功率散热风扇时，可能由于电压过低导致风扇出现“打嗝”现象，尽管不影响运行，若您十分在意该现象，可以通过引出 PCB 上的 PWM 信号来驱动 4 线风扇。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
风扇控制	-	-	-
选择“温控”时，系统将根据实时MOS温度调制PWM控制散热风扇转速，以减轻因全速运转带来的噪音，其PI算法的线性调节区域为[温控阈值]的值至[温控阈值]的值+20°C，默认值为“温控”。			
选择“常开”时，系统调制100%占空比的PWM控制散热风扇全速运转，此时转速保护失效。			
选择“常闭”时，系统调制0%占空比的PWM控制散热风扇停止运转，此时转速保护失效。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
温控阈值	°C	10°C	100°C
[风扇控制]为“温控”时，启动/停止散热风扇运转的临界温度值，有±0.5°C迟滞，可以根据环境温度与散热器的选用适当调整[温控阈值]值，默认值为“45”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
过温保护	°C	30°C	110°C
系统运行时检测到实时温度高于[过温保护]定值时触发告警并停止运行，可以根据环境温度与散热器的选用适当调整[过温保护]值，默认值为“110”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
转速保护	rpm/min	0	2000
系统运行时，启动散热风扇运转后，实时温度高于[温控阈值]+20°C后检测到散热风扇转速低于[转速保护]定值时触发告警并停止运行，将[转速保护]定值设置为0可以禁用此保护，适用于2线无转速反馈的散热风扇。[风扇控制]为“常开”或“常闭”时[转速保护]失效，默认值为“1000”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
温度校准	-	0.10	2.00
校准NTC热敏电阻偏移，实时温度从0°C起×[温度校准]值，因此不建议用于调整因NTC热敏电阻安装位置不在中心而产生的误差，默认值为“1.00”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
外温保护	°C	30°C	110°C
当多功能I/O设置为“外置温度输入”时，系统运行时检测到外置NTC实时温度高于[外温保护]定值时触发告警并停止运行，默认值为“60”。			

### 7.3.5、提示音选项

系统提示音采用异步驱动，您可以在系统产生提示音中途操作任意按键打断提示音，



因此您在操作过快时，可能无法察觉到提示音。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
按键声音	-	-	-
选择“开”时，启用[校准/设置]按键、[运行/停止]按键、[旋转编码器]中键声音，默认值为“开”。			
选择“关”时，禁用以上声音。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
旋编声音	-	-	-
选择“开”时，启用[旋转编码器]旋转声音，默认值为“开”。			
选择“关”时，禁用以上声音。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
系统告警音	-	-	-
选择“开”时，启用因系统保护停止运行时的告警声音（双4声），默认值为“开”。			
选择“关”时，禁用以上声音。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
电流异常告警	-	-	-
选择“开”时，启用电流异常告警功能，系统检测到实时电流异常时将产生长鸣告警声音。			
选择“关”时，禁用此功能，默认值为“关”。			

### 7.3.6、旋编选项

P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载程序兼容所有 EC11 类型[旋转编码器]，通过调整该选项可以切换当前[旋转编码器]类型。自主研发先进的解码技术支持智能纠错与高速解码，可以避免大量误操作可能（例如可以过滤按下时造成的轻微旋转产生的非主观意愿事件）。

固件默认设置正向半波编码器，当您安装了全波编码器时，需要控制好旋编旋转角度为 1/2 定位即可触发 1 次系统响应，进入系统后，在设置=>旋编选项内调整为全波编码器即可。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
正向全波	-	-	-
支持EC11 正向全波系列[旋转编码器], 例如常见 20 脉冲 20 定位。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
反向全波	-	-	-
支持EC11 反向全波系列[旋转编码器], 例如常见 20 脉冲 20 定位。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
正向半波	-	-	-
支持EC11 正向半波系列[旋转编码器], 例如常见 15 脉冲 30 定位, 默认值为“正向半波”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
反向半波	-	-	-
支持EC11 反向半波系列[旋转编码器], 例如常见 15 脉冲 30 定位。			

### 7.3.7、多功能 I/O

多功能 I/O 是 P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载独有功能，使用 MCU 的一个端口通过软件设置为数字量输入、模拟量输入或数字量输出。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
过压保护输出	-	-	-
设置为过压保护输出时, 系统检测到实时电压高于[过压保护]定值时, 多功能I/O输出高电平, 通过外部电路实现过压保护, 外部控制电路可以使用继电器、固态继电器、MOS管等开关器件实现, 外部控制电路可以由电子负载PCB上预留多功能I/O接口处 12V引脚供电, 电子负载被测电源输入端需经过该模块, 将控制信号与多功能I/O连接, 即可实现过压保护控制。			



触发过压保护后可以通过双击[运行/停止]按键复位多功能I/O输出为低电平，默认值为“过压保护输出”。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
充电使能输出	-	-	-

设置为充电使能输出时，在自动测试模式下启动运行，当实时电压低于[卸载电压]时，多功能I/O输出高电平，当实时电压高于[带载电压]时，多功能I/O输出低电平，自动测试模式启动运行，通过外部控制电路实现自动充放循环，外部控制电路可以使用继电器、固态继电器、MOS管等开关器件实现，外部控制电路可以由电子负载PCB上预留多功能I/O接口处12V引脚供电，外部控制电路通过控制外部充电器投切实现被测电池的放电与充电过程转换。外部充电器输出端经过外部控制电路后接入电子负载被测电源输入端或功率耗散MOS管前端。两者区别：当接入电子负载被测电源输入端时，电子负载无法检测到充电电流，当接入功率耗散MOS管前端时，电子负载可以采样到负电流。

需要注意的是：程序内没有循环计数功能，且不支持负电流端容量与电量计量，需要人工监测。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
启停信号输出	-	-	-

设置为启停信号输出时，系统启动运行时多功能I/O输出高电平，系统停止运行时多功能I/O输出低电平，适合作为主机批量控制从机（从机设置为启停信号输入）同时启动运行和停止运行，也适合外接运行或停止指示灯，也可以作为滞后电源使能输入控制。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
启停信号输入	-	-	-

设置为启停信号输入时，多功能I/O检测到高电平时系统启动运行，多功能I/O检测到低电平时系统停止运行，特别注意设置为启停信号输入时多功能I/O不能悬空。

设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
外置温度输入	-	-	-

设置为外置温度输入时，多功能I/O支持测量外置NTC热敏电阻温度值，外置NTC热敏电阻安装方法参见下图：



### 7.3.8、显示选项

因部分功能升级，在 2023.10 版本固件以后，背光亮度、息屏延时等选项从其他选项中调整到显示选项内。





设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
背光亮度	%	10%	100%
支持无极调节液晶显示屏背光亮度，系统调制PWM信号驱动背光LED频率约为39.1kHz，高频更护眼，默认值为“100”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
旋转显示	-	-	-
选择“是”时，显示内容旋转180°，即显示内容在液晶屏控制芯片COG邦定处右侧。选择“否”时，显示内容不旋转，即显示内容在液晶屏控制芯片COG邦定处左侧，默认为“否”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
息屏延时	min	0	60
当系统无操作时间大于[息屏延时]时，系统进入息屏状态，将关闭液晶显示屏显示及其背光，息屏状态下操作任意按键即可恢复正常状态，恢复正常状态前的操作任意按键不参与系统控制。设置为0时禁用此功能，默认值为“0”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
屏幕适配	-	0	4
添加适配ILI9225B/G、ST7775R等兼容芯片的Gamma数据，便于您调节面板参数使显示效果更佳，默认为“0”。			

### 7.3.9、字体选项

在2023.10版本固件以后，增加部分常用数字字体，以满足部分玩家的个性化需求。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
默认字体	-	-	-
默认字体设计灵感来自魅族FLyme9 息屏显示默认字体。			



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
数码管	-	-	-
数码管字体设计灵感来自 8 字段码式数码管。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
彩云 1.0	-	-	-
彩云 1.0 字体设计灵感来自“彩云体”和“琥珀体”等。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
宋体	-	-	-
宋体字体设计灵感来自经典的“宋体”，宋体为早期版本固件的默认字体，但随着有抄袭者仿造本产品设计界面，为避免鱼目混珠，不再将宋体作为默认字体。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
鸿蒙体	-	-	-
鸿蒙体字体设计灵感来自“HarmonyOS Sans SC”。			

### 7.3.10、其他选项

因部分功能升级，在 2023.10 版本以后的固件，背光亮度、息屏延时等选项从其他选项中调整到新增的显示选项内，暂未更新图片。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
带载延时	s	0s	180s
自动模式下启动运行后，系统检测到实时电压高于[带载电压]时，延时[带载延时]时间之后启动运行，默认值为“0”。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
极性指示	-	-	-
选择“正常”时，实时电压、实时电流的右上角显示正常的正负极性，默认值为“正常”。 选择“取反”时，实时电压、实时电流的右上角显示取反后的正负极性。 选择“小数”时，实时电压、实时电流的右上角显示第 3 位小数。			
需要注意的是，[交流测量]选择“开”时，电压测量ADC将启用高通滤波器模块，用于测量交流电压，极性指示不再具有参考价值，而电流测量通道不受其影响，仍然只能测量直流电流，但其[极性指示]会取反。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
断电保存	-	-	-
选择“开”时，系统断电时会自动保存当前所有运行数据，且在下次上电后自动恢复。 选择“关”时，系统断电后所有运行数据丢失。 当烧录固件时设置 1KB 及以上 EEPROM 大小时，[断电保存]功能有效，否则该项显示为			

“未启用”，首次烧录固件会自动检测一次EEPROM是否有效，也会显示“未启用”，断电后再次上电运行即可恢复正常，默认值为“开”。

需要注意的是，运行数据的存储与系统设置存储在2个独立扇区内互不影响，无论[断电保存]选择“开”或“关”功能均不影响设置参数的存储。

### 7.3.11、关于设备

关于设备内提供此设备固件版本信息和ID编号与对应的KEY密钥信息（图中为内测版本固件显示00000000）。



## 八、校准说明

### 8.1、关于校准的释疑

Q：为什么电子负载需要校准？

A：因为所有元器件参数均有细微差别，例如半导体类元器件MOS管，每一只MOS管的开启电压均不一样，然后是驱动MOS管所使用的运算放大器，每一枚运算放大器的失调电压、失调电流也都有细微差别，不同的元器件组合为成品后，最终产生的误差没有规律性，我们通常采用软件校准来消除误差，因此我们需要对每一个成品设备单独进行校准。

Q：为什么校准后的成品使用时仍会产生误差？

A：P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D系列电子负载均采用24Bit（即4294967296个字）高精度ADC芯片，每次通电电源纹波使基准电压改变、环境温度改变产生温漂等原因均会导致采样数据发生变化，即使只是尾数抖动几个字，反应到显示屏上可能会产生0.01级别的数字改变，因此建议每隔一段时间都要对设备进行校准。

Q：是否支持自动化设备校准

A：P100C系列只能通过手动校准，P150C/P150C Pro/P150C Pro-D系列电子负载支持上位机读写参数，因此理论上支持自动化设备校准，但作为DIY产品，少量制造使用手工校准是更为简便的方法，并且为了限制其商用，暂不提供相关校准寄存器。

### 8.2、校准界面说明

P100C系列电子负载参数校准集成在第3行，包含SET“Z+”、“Vx”、“Ax”、“ax”、“V-”、“A-”共6个设置项，分别与P150C/P150C Pro/P150C Pro-D系列的6个设置项按顺序一一对应，使用左右按键切换设置项，使用上键或下按键调整当前设置项的值，长按上键或下按键可以快速调整。

P150C/P150C Pro/P150C Pro-D系列电子负载参数校准界面为独立界面，短按[校准/

[设置]按键进入参数校准界面，其提供[输出零点]、[电压系数]、[电流系数]、[比例系数]、[电压零点]、[电流零点]共 6 个设置项，分别与 P100C 系列的 6 个设置项按顺序一一对应。



设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
输出零点 (Z+)	-	0	29999
输出零点表示设置电流为 0A 时实际电流也应为 0A (为方便校准，通常取 0.01A)。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
电压系数 (Vx)	-	0	29999
电压系数用于校准实际显示电压。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
电流系数 (Ax)	-	0	29999
电流系数用于校准实际显示电流。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
比例系数 (ax)	-	0	29999
比例系数用于校准设置电流与实际显示电流之比。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
电压零点 (V-)	-	0	29999
电压零点用于校准实际显示电压零点。			
设置项	计量单位	最小可设置值	最大可设置值
电流零点 (A-)	-	0	29999
电流零点用于校准实际显示电流零点。			

### 8.3、校准内部算法说明

P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载内部校准算法与参数校准几个值的关系如下算法，需要注意的是由于 ADC 芯片硬件限制，电压通道与电流通道的最大输入信号范围必须小于  $\pm 400mV$ ，且内部 PGA 增益不同，实际输入信号范围也有所不同。

实际运行电流=输出零点+设置电流<sup>①</sup>\*比例系数

**注 1：设置电流即主界面设置的运行电流值**

实时电流显示=采样电流信号<sup>①</sup>\*PGA 增益<sup>②</sup>\*电流系数-电流零点

**注 1：电流采样信号根据采样电阻选用的不同，信号范围也不同。默认设计采用  $1m\Omega$  采样电阻，通过  $\pm 15A$  电流时产生  $\pm 15mV$  信号。**

**注 2：电流通道 PGA 增益目前固定 16 倍，因此限制采样电流信号必须小于  $\pm 400mV/16 = \pm 25mV$ ，即采用  $1m\Omega$  采样电阻时，最大可测量电流约为  $\pm 25A$ 。**

实时电压显示=采样电压信号\*PGA 增益<sup>①</sup>\*电压系数-电压零点

**注 2：电压通道 PGA 增益目前固定 1 倍，因此限制采样电流信号必须小于  $\pm 400mV$ 。**



默认设计采用  $1M\Omega + 1k\Omega$  分压电阻，最大可测量电压约为  $\pm 400.4V$ 。

#### 8.4、校准流程

请先准备一个基准电源（例如睿登数控电源 RD6012P，其 5 位高精度适合作为基准电源），将电子负载静置一段时间后再通电开机，此时不要接入基准电源，观察电子负载电压值与电流值是否为 0，若有一定底数，通过调整参数校准界面的“电压零点<sup>①</sup>”与“电流零点”使电压值与电流值归零，即极性指示在+与-抖动时。

将电子负载的输入端子电压+与电流+，电压-与电流-分别短接（P100C 系列为 2 线输入无需此操作），然后接入基准电源，使用基准电源设置一个电压并打开输出，例如 10.00V，观察电子负载电压值，通过调整参数校准界面的“电压系数”使电子负载电压值与基准电源的电压值一致。

保持基准电源输出，使用基准电源设置一个较大的恒流电流作为短路保护限流，例如 11.00A。设置电子负载的运行电流值为 0.01A，然后长按[运行/停止]按键启动运行，观察基准电源的实时电流值，通过调整参数校准界面的“输出零点”使基准电源的电流值也为 0.01A，同时电子负载的实时电流值也应为 0.01A。

保持基准电源输出和电子负载运行状态，设置电子负载的运行电流值为 10.00A，观察基准电源的实时电流值，通过调整参数校准界面的“比例系数”使基准电源的电流值也为 10.00A，最后通过调整参数校准界面的“电流系数”使电子负载的电流值也为 10.00A 即可完成校准<sup>②</sup>。

**注 1：“电压零点”是 P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载所支持的中文显示内容，在 P100C 系列电子负载中使用英文字符“V+”表示，同样的，下文中“电流零点”、“电压系数”、“输出零点”、“比例系数”、“电流系数”在 P100C 系列电子负载中分别由“A+”、“Vx”、“Z+”、“ax”、“Ax”表示。**

**注 2：完成校准后可以尝试设置多个电流值进行测试，例如 0.01A/0.10A/1.00A/10.00A 等，该设计选用的 ADC 芯片线性度非常好，单点校准后基本不会产生太大偏差（通常  $\pm 0.5\%$  以内的偏差都是正常的），若发现误差较大应先考虑更换运算放大器后再重新校准。**

### 九、故障排查指导

#### 9.1、故障的产生

P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载均集成智能保护算法，能自动感知设备运行过程中产生的异常状况，结合外部传感器数据经过分析处理给出相应的提示，但有限的数据通常无法准确定位故障原因，因此仍需要我们通过故障现象结合使用环境查明原因并排除故障。

#### 9.2、故障分类

通常故障分为内部告警提示与外部异常现象两大类，内部告警提示主要由传感器与算法判定触发，外部异常现象主要由被测电源异常引起或电子负载硬件故障引起。

#### 9.3、内部告警提示

提示信息带小括号的为 P100C 系列电子负载的精简提示。所有告警均会使电子负载立即停止运行。

提示信息	排查指导
停止运行,触发截止电压。	当实时电压值低于设置的截止电压时触发告警。



(运行中断或测试中断)	1. 被测电源因电能的消耗使电压降低正常触发截止电压自动停止运行(电池类)。 2. 设置运行电流过大使被测电源短路保护,从而输出电压下降到触发截止电压而停止运行(开关电源类)。
停止运行,触发倒计时停止。	当倒计时时钟归零时触发告警。 1. 倒计时时钟归零正常触发告警。
停止运行,温度过高保护。 (温度过高)	当MOS管NTC温度传感器实时温度高于设置的温度保护定值时触发告警。 1. 过功率运行时温度异常升高。 2. 温度保护定值设置太小,请根据环境温度适当调整保护定值。 3. NTC温度传感器故障,检查供电电源或NTC阻值是否异常。
停止运行,过功率保护 (过功率)	当实时功率高于设置的功率保护定值时触发告警。 1. 被测电源电压异常升高,例如误操作可调电源。 2. 系统未进行校准运行时实际电流与设置电流偏差过大,导致实际功率偏差过大。 3. ADC芯片损坏,通过校准方法测试ADC芯片是否正常工作。
停止运行,散热故障保护。 (散热不良)	在风扇控制为温控状态下,当系统温度高于设置的温控阈值+20°C,且系统检测到实时风扇转速低于设置的转速保护定值时触发告警。风扇控制为常开或常闭状态下无此告警。 1. 检查散热风扇是否正常运转,可以在设置中将风扇控制调整为常开来测试。 2. 检查实时风扇转速是否正常,若无转速反馈,请检查线路连接。 3. 若使用的低转速静音风扇,可以适当调小转速保护定值。 4. 若使用2线无转速反馈散热风扇,请将转速保护定值调整为0。
停止运行,负载断线。 (运行中断或测试中断)	当系统检测到实时电压低于设置的断线电压定值时触发告警。  <b>注:自2024.06固件版本以后程序内部分离出恒流部分故障单独进行告警提示,因此在2024.01固件版本及之前固件版本触发该告警信息还需要参考下一条目“停止运行,负载无法恒流”提示信息进行排查。</b> 1. 检查被测电源是否可靠连接电压+和电压-端子,没有虚接现象。 2. 当系统运行过程中意外断开被测电源会触发告警。 3. 检查被测电源是否可靠连接电流+和电流-端子,没有虚接现象。
停止运行,负载无法恒流	当设置运行电流大于0.1A启动运行后,实时电流未达到0.1A以上触发告警。  <b>注:自2024.06固件版本以后新增该告警提示,该告警</b>

	<p><b>提示由原来“停止运行，负载断线”告警中分离出来。</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>当未正确接入被测电源启动运行会触发告警。</li> <li>未校准输出零点使系统无法正常恒流，可以适当调大运行电流测试。</li> <li>MOS 管损坏开路或保险丝熔断，检测 MOS 管和保险丝。</li> <li>电流采样电路异常，测试采样电阻和 ADC 芯片是否损坏。</li> <li>运算放大器输出异常，检测运算放大器是否损坏，引脚是否脱焊。尝试设置 0.1A 以下运行电流并启动运行，然后测量从 MCU 至运算放大器至 MOS 管 G 极回路电压是否正常。 如果更换过功率耗散 MOS 管，注意检查该 MOS 管导通电压值应在 5.0V 以下，并且重新校准输出零点，否则无法正常驱动（P150C Pro-D 电路设计上采用高压运放驱动可以不考虑这一点）</li> </ol>
停止运行,过流保护。 ( 过流 )	<p>当运行电流高于设置的过流保护定值时会触发告警。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>请将设置中过流保护定值调整到高于[电流限制]。</li> <li>若运行时实时电流值高于设置电流时，请参考<a href="#">校准流程</a>对系统进行校准。</li> <li>过功率运行时 MOS 管损坏短路过流，检查保险丝是否熔断并彻底检查电子负载。</li> </ol>
设置截止电压高于当前电压。 ( 运行中断或测试中断 )	<p>启动运行时检测到设置的截止电压高于当前实时电压值触发告警。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>重新设置截止电压。</li> <li>对于不想受电压影响的测量，可以在设置内关闭电压检测。</li> </ol>
设置功率过高。	<p>启动运行时检测到运行功率（设置的运行电流 × 实时电压值）高于功率限制值时触发告警。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>重新设置运行电流使功率在保护范围之内。</li> <li>适当调大调整功率限制值。</li> </ol>
ADC 通讯故障。 ( P100C 系列数据不变化 )	<p>当系统与 ADC 芯片通讯时，超过 50ms 未收到 ADC 芯片返回数据将触发告警。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>若自行组装成品，请检查 ADC 芯片与 MCU 线路连接，并且在烧录固件时设置 MCU 正确的运行频率，。</li> <li>若在运行过程中触发该告警，检查硬件无异常后断电重启电子负载，若仍然告警，可能是 ADC 芯片损坏。</li> <li>远离强干扰源，请勿将电子负载放置在无线充电器、开关电源等高频设备上。</li> <li>设备供电电源含有较高噪声或供电电流过小，在启动散热风扇之后造成系统电压不稳，尝试更换优质电源。</li> </ol>
警告,输入电压过高。	<p>当实时电压高于设置的电压保护定值时触发告警，若在多功能 I/O 中选择过压保护输出功能，将同时使多功能 I/O 输出低电平，双击[运行/停止]按键可以复位高电平信号输出，否则系统不会自动复位。</p>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 移除不适用的被测电源。</li> <li>2. 380V 高压版更新固件后请手动调整电压保护定值至 380V。</li> </ol>
外部控制停止运行。	<p>在多功能 I/O 中选择启停信号输入时，可以由外部电平控制电子负载运行或停止，高电平为运行，低电平为停止。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在多功能 I/O 中取消选择启停信号输入。</li> <li>2. 检查是否被外部干扰误触发。</li> </ol>
停止运行,外置温度过高保护。	<p>在多功能 I/O 中选择外置温度输入时，检测到外置温度高于设置的外温保护值时触发告警。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查外置 NTC 温度传感器是否异常，不接 NTC 温度传感器时显示温度为 00.0°C 或无规律变化。</li> <li>2. 检查外置 NTC 热敏电阻安装位置是否合理。</li> <li>3. 适当调大[外温保护]阈值。</li> </ol>
停止运行,计量超限。	<p>当容量 ( mAh )、电量 ( Wh )、运行时间累计高于阈值时触发告警，若不进行清零将无法继续运行。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查容量计量是否为 399999.999mAh，或电量计量是否为 39999.9999Wh，或时间累计是否为 999:59:59，双击[运行/停止]按键清零计量后即可恢复正常运行。</li> <li>2. 早期固件存在 MCU 参数设置错误会导致首次通电运行记录数据异常现象，需要参考固件下载网页内的说明重新设置 MCU 参数再烧录固件。</li> </ol>
停止运行,负载保护:**.*A	<p>在恒压模式下（仅 P150C Pro/P150C Pro-D 有此模式），启动运行后，检测到电压突降将触发告警，同时显示电压突变时最大瞬时电流**.*A。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 被测电源为开关电源时，电子负载消耗足够大的电流使开关电源进入恒流状态或过流保护状态造成电压突降，可以适当调高给定电压。该功能可以检测该开关电源的保护电流阈值或检测充电器一类的电源是否足电流和足功率。</li> <li>2. 被测电源为电池时，检查是否带有保护板，保护板的过流保护也会造成电压突降触发告警。</li> </ol>
给定电压高于当前电压。	<p>在恒压模式下（仅 P150C Pro/P150C Pro-D 有此模式），启动运行前检测给定电压高于实时电压值时触发告警。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整给定电压到低于实时电压值。</li> </ol>
停止运行,触发截止电流。	<p>在恒压模式下（仅 P150C Pro/P150C Pro-D 有此模式），当被测电源实时电压值与设置的给定电压趋于一致时，电流会逐渐减小，当电流小于设置的截止电流时触发告警。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 被测电源为电池时，对于各类型电池需要设置不同的截止电流，请按需设置。</li> <li>2. 被测电源为恒流型开关电源时理论上无法触发该告警，可能为带有过流保护立即停止输出的开关电源保护引起，可以适当调低运行电流。</li> </ol>

给定电压压差过大。	<p>在恒压模式下（仅 P150C Pro/P150C Pro-D 有此模式），启动运行前设置的给定电压低于实时电压值 6.0V 时触发告警。你不能设置过低的给定电压，通常电子负载无法消耗足够大的电流使被测电源电压降低 6.0V。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>调整至合适的给定电压值。</li> <li>对于需要使被测电源降低 6.0V 及以上的场合，可以先调整至较小压差运行一段时间使被测电源电压下降后再逐步调大压差，或者先设置为恒流模式运行一段时间使被测电源电压下降后再切换为恒压模式。</li> </ol>
停止运行,负载无法恒压。	<p>在恒压模式下（仅 P150C Pro/P150C Pro-D 有此模式），系统将消耗足够大的电流使实时电压值与设置的给定电压趋于一致，在此过程中若消耗的电流高于设置的限流值时触发告警。特别注意：实际限流保护与设置的限流值有一定误差，这是为了改善系统保护响应速度而特别优化的判定方法。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>被测电源内阻极低，电子负载消耗足够大的电流仍然无法使电压拉低，适当调高设置的给定电压，使运行电流在合适的范围之内。</li> <li>适当调高设置的功率限值，启动运行前系统将根据功率限制值自动计算最大限流值（设置的功率限值 <math>\div</math> 实时电压值），当设置的限流值大于系统计算的最大限流值时，你会看到限流值自动调整为系统计算的最大限流值。</li> </ol>

#### 9.4、外部异常现象

部分外部异常无法通过系统保护算法检测或判定，需要人为分析具体原因。

异常现象	排查指导
无电压电流值。	<ol style="list-style-type: none"> <li>电压接线端子存在虚接，请检查接线。</li> <li>被测电源确无电压，请检查被测电源。</li> <li>若刚接上被测电源一瞬间会有数据，可能是 ADC 芯片初始化异常，请断电重启电子负载。</li> <li>ADC 芯片内部击穿，请更换新的 ADC 芯片。</li> </ol>
启动运行后电压值跳变（例如增大很多甚至触发过压保护）。	<ol style="list-style-type: none"> <li>电压接线端子存在虚接，请检查接线。</li> <li>连接线内阻过大或无法承载较大电流。</li> <li>被测电源为开关电源时，开关电源动态响应太差，不适用于本电子负载测量，可以尝试并联大容量电容器后再试，或者移除电容 C20（104），并将 C19（104）移除或更换为 103 或 102 等较小电容量的电容，可以有效改善环路补偿及动态响应速度。特别注意：该操作有可能造成设备不可逆损坏。</li> </ol>
启动运行后电流值抖动。	<ol style="list-style-type: none"> <li>若为自行 DIY 设计制作的电路，请检查电流反馈环路设计是否合理。</li> <li>若为开源的公版 PCB V1.0D5 版本，请移除电容 C20（104），并将 C19（104）移除或更换为 106~104 以内容量的电容，可以有效改善环路补偿及动态响应速度。</li> </ol>



	<p>移除后若仍存在此现象再尝试移除或更换 C9 ( 104 ) 与 C10 ( 104 ) 电容，通过实际调试来匹配最佳容量。特别注意：该操作有可能造成设备不可逆损坏。</p> <p>3. 若为开源的公版 PCB V1.0D6 版本，请尝试移除电容 C20 ( 104 ) 或更换为 106~104 以内容量的电容，并将 C19 ( 104 ) 更换为 105~104 以内容量的电容，可以有效改善环路补偿及动态响应速度，通过实际调试来匹配最佳容量。</p> <p>4. 检查 PWM 低通滤波电路选用的电阻与电容是否匹配或是否损坏。</p>
接入被测电源后尚未启动运行就有电流值。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 功率耗散 MOS 管损坏，请检查功率耗散 MOS 管。</li> <li>2. 被测电源正负极反接，请检查电流端子正负极是否接反。</li> <li>3. 运算放大器零点漂移过大，特别是更换过运算放大器后，最简单是更换运算放大器，然后调整系统输出零点到合适的值。P150C Pro-D 系列电子负载电路设计上已经加了电压补偿，不再会出现负向零点漂移。旧版本 PCB 飞线补偿方法：首先撬起运算放大器第 5 脚，然后在第 5 脚与 PCB 焊盘之间串联 22Ω 电阻，最后在第 5 脚与运算放大器第 8 脚 ( VCC ) 之间串联 100KΩ 电阻。以上阻值可以自由调整或使用电位器微调，安装完这 2 个电阻后重新对系统进行校准即可。</li> </ol>
设置电流与运行电流不呈线性关系	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 若为自行 DIY 设计的电路，请检查 PWM 低通滤波电路设计是否合理，阻容参数与系统频率是否匹配。</li> <li>2. 若为开源的公版 PCB，建议更换运放后再进行测试。若现象复现，可以参考上一条中为运放加入电压补偿的方案。</li> </ol>
启动运行后无电流值或实时电流值与设置电流值偏差太大。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 烧录完固件后首次启动运行因为参数均为默认值，会产生一定偏移，请参考<a href="#">校准流程</a>进行校准。</li> <li>2. 电流接线端子存在虚接，请检查接线。</li> <li>3. 运算放大器损坏或脱焊，请进行补焊或更换。</li> <li>4. 电流采样电阻温漂过大，请尝试重新安装采样电阻，尽量紧贴 PCB 焊盘，不要填充过量的焊锡，也可以考虑更换更低温漂的锰铜采样电阻。可以尝试使用烙铁加热采样电阻表面，观察电流值不应有明显变化。</li> <li>5. 功率耗散 MOS 管损坏、保险丝熔断、电流采样电阻损坏，请进行检测。</li> <li>6. ADC 芯片损坏，损坏原因可能为高压击穿或差模电压过高击穿，该几率非常小。</li> </ol>
给电子负载上电无反应或液晶显示屏黑屏。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 未关闭按键声音的情况下，通过操作按键有无按键音来判断系统有无启动，若声音正常，应该考虑液晶显示屏故障，若无任何声音，请使用万用表测量各个供电回路有无电压。</li> <li>2. 若已经关闭了按键声音，可以长按[校准/设置]按键后再上电开机，该操作可以恢复默认设置，再参考上一点</li> </ol>

	<p>进行判断。</p> <p>3. 若为自行 DIY 设计制作的电路采用其他型号的液晶屏，应检查液晶屏控制器是否为 ILI9225G 或 ST7775，若为 GC9203 请烧录对应版本固件。</p>
上电后液晶显示屏白屏或显示几秒后白屏。	<p>1. 若开机就是白屏现象，请使用万用表测量 3.3V 供电回路有无电压，通常为 MOS 管损坏造成 ADC 芯片差模电压过高击穿，尝试拆除 ADC 芯片后再上电观察，若现象仍然存在，可能是液晶显示屏损坏。</p> <p>2. 若显示几秒后白屏一定是 3.3V 供电回路中的元件损坏，极大概率是 ADC 芯片损坏，尝试拆除 ADC 芯片后再上电观察，若不再白屏，会报出 ADC 通讯故障，安装新的 ADC 芯片即可恢复正常，注意检查其他硬件有无损坏。</p> <p>3. 若启动散热风扇后造成显示屏显示异常，可能是设备供电电源供电电流过小，可以尝试更换优质电源，若采用大功率散热风扇注意重新设计驱动电路。</p>

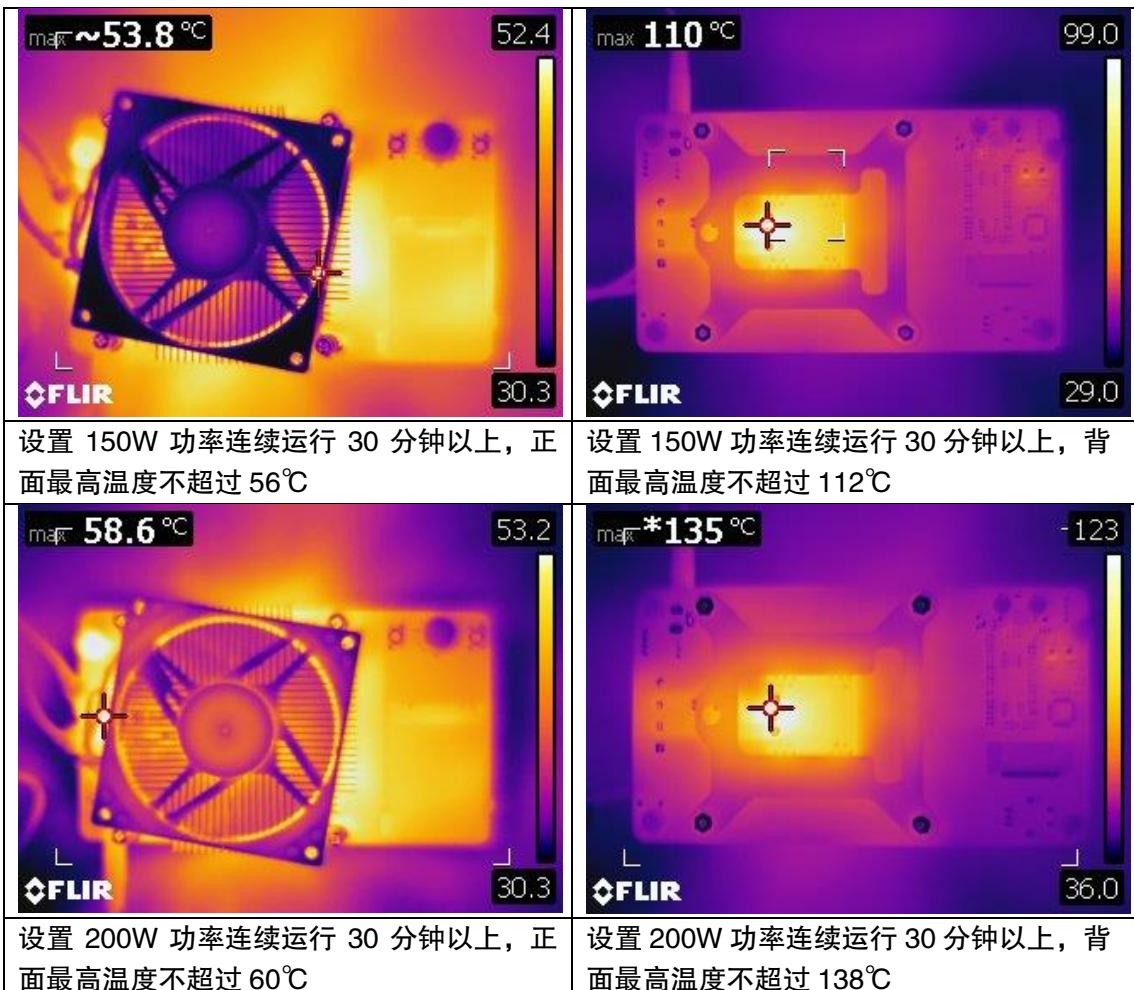
## 附录 A、产品运行过程中发热情况检测

被测设备：P150C Pro-D 数控电子负载（V1.0D2 版本）

检测设备：FLIR T440 热成像仪

检测条件：环境温度 25.0°C，安装 Intel 1150 CPU 散热器（下压式铜芯散热器，转速约 1800rpm/min，导热硅脂≥4.0W/m·k），连续拍摄多组照片，取中间结果。

检测结果：



普通 Intel 1150 CPU 散热器可以满足额定 150W 耗散功率下的运行条件。

**注 1：因实际散热效果与散热器选用等外部环境因素有很大关系，以上测试结果仅供参考，建议不要超过额定功率使用。**

**注 2：热成像测量 MOS 管核心温度为 110°C 时，设备 NTC 电阻测量温度为 86°C 左右，热成像测量 MOS 管核心温度为 135°C 时，设备 NTC 电阻测量温度为 103°C 左右，因此 NTC 电阻测量温度仅作为参考，无法体现 MOS 管核心真实温度。且因 NTC 电阻安装位置特殊，其测量温度与 MOS 管核心温度并不呈线性关系。**

**注 3：若您无法得知选用的散热器是否符合运行条件，建议您在安装散热器首次启动运行时，先进行小功率测试，然后逐渐调大耗散功率，并全程监测系统参数与运行情况。若选用的散热器不符合运行条件，可能造成 MOS 管损坏甚至酿成重大安全事故。**

## 附录 B、与上位机软件进行通讯及云服务说明

### B.1、关于上位机通讯说明

P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载均支持串口连接上位机通讯进行控制，其中 P150C/P150C Pro 系列板载串口通讯芯片 CH340C 和 Type-c 插口，P150C Pro-D 系列需要外接 USB 转串口模块。*(注意：外接 USB 转串口模块请参考《附录 D、电子负载与上位机通信和烧录固件接线说明》)*

串口通讯协议基于 Modbus-RTU 协议修改和简化而来，您只需要简单发送指令读写对应寄存器即可控制电子负载。

### B.2、串口通讯参数设置

波特率	9600bps
数据位	8
停止位	1
校验	偶校验

### B.3、串口通讯帧格式说明

自 2021.08 版本固件以后 P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载均支持以下通讯协议，后期可能会调整通讯协议采用完整版 Modbus-RTU 协议。

读取寄存器时上位机主动发送一个数据包：

发送数据包帧格式				
帧头	操作代码	寄存器 <sup>①</sup>	校验位 <sup>②</sup>	帧尾
0xA5	0x47	0x01	0xFF	0x5A

系统接收到数据包解析成功<sup>③</sup>后大约 20ms 内响应并返回一个数据包：

返回数据包帧格式						
帧头	操作代码	寄存器	数据 1 <sup>④</sup>	数据 2	校验位	帧尾
0xA5	0x47	0x01	0x00	0x00	0xFF	0x5A

写入寄存器时上位机主动发送一个数据包：

发送数据包帧格式						
帧头	操作代码	寄存器	数据 1	数据 2	校验位	帧尾
0xA5	0x53	0x03	0x00	0x00	0xFF	0x5A

系统接收到数据包解析成功<sup>③</sup>后大约 20ms 内响应并返回一个数据包：

返回数据包帧格式					
帧头	操作代码	寄存器	数据 A <sup>⑤</sup>	数据 B	帧尾
0xA5	0x53	0x03	0x00	0x00	0x5A

**注 1：寄存器参考可读取寄存器列表，下同。**

**注 2：校验位暂未使用，后续可能会更新固件以支持校验位。**

**注 3：若数据包解析失败系统将无任何响应，可以先使用串口调试工具调试。**

**注 4：数据 1、数据 2...为动态数据长度，下同，数据长度为固定长度，因此无需在数据包内发送长度数据，每个数据长度可参考寄存器列表。**

**注 5：数据 A 与数据 B 暂未完善，返回数据内容可能与接收到的数据一致，一般写入**



寄存器后无需关心返回数据包，若需要验证是否写入成功可以在写入后再读取一次该寄存器数据。

#### B.4、通用寄存器地址一览表

通用寄存器支持 P150C 系列 2021.08 版本及以后的固件，P150C Pro/P150C Pro-D 系列 2022.03 版本及以后的固件，包含 0x01H–0x40H 寄存器。

地址	R/W	长度	说明
0x01H	R	2	读取实时电压值 返回数据为多个 8 位十六进制字节，先合并所有字节后再转换为十进制，例如返回[0x01H,0x72H]，合并为 0x0172H，转换为十进制为 03.70V（注意仅有 2 位小数点，小数点后第 3 位无法通过串口通讯读取）
0x02H	R	2	读取实时电流值 返回数据为多个 8 位十六进制字节，先合并所有字节后再转换为十进制，例如返回[0x00H,0x64H]，合并为 0x0064H，转换为十进制为 01.00A（注意仅有 2 位小数点，小数点后第 3 位无法通过串口通讯读取）
0x03H	RW	2	读取设置恒流放电电流值 返回数据格式同上 写入设置恒流放电电流值 将十进制数转换为 8 位十六进制字节后再发送，例如设置 10.00A，发送数据为[0x03H,0xE8H]（注意不转换小数点）
0x04H	RW	2	读取设置截止放电电压值 返回数据格式同上 写入设置截止放电电压值 将十进制数转换为 8 位十六进制字节后再发送，例如设置 03.20V，发送数据为[0x01H,0x40H]（注意不转换小数点）
0x05H	RW	2	读取设置运行倒计时时间值 返回数据为多个 8 位十六进制字节，先合并所有字节后再转换为十进制，例如返回[0x00H,0x78H]，合并为 0x0078H，转换为十进制为 120 分钟，再转换为时间为 02:00（小时:分钟） 写入设置运行倒计时时间值 将时间转换为十进制分钟数，例如设置时间 01:30（小时:分钟），转换为十进制为 90 分钟，再转换为 8 位十六进制字节后再发送，发送数据为 [0x00H,0x5AH]
0x06H	RW	1	读取运行状态 仅运行[0x01H]和停止[0x00H]两个状态 写入运行状态 仅运行[0x01H]和停止[0x00H]两个状态
0x07H	R	4	读取实时容量计量值 返回数据为多个 8 位十六进制字节，先合并所有字节后再转换为十进制，例如返回[0x00H,0x04H,0x93H,0xE0H]，合并为 0x000493E0H，转换为十进制为 3000.00mAh（注意有 2 位小数点）
0x08H	R	4	读取实时电量计量值



			返回数据为多个 8 位十六进制字节，先合并所有字节后再转换为十进制，例如返回 [0x00H,0x01H,0x86H,0xA0H]，合并为 0x000186A0H，转换为十进制为 10.0000Wh ( 注意有 4 位小数点 )
0x10H	R	1	读取系统注册状态 仅已注册[0x00H]和未注册[0x01H]两个状态
0x20H	RW	4	读取系统唯一 ID 编号 返回数据为多个 8 位十六进制字节，合并所有字节转换为字符串即可，例如返回 [0xE5H,0x8EH,0x03H,0xB7H]，则唯一 ID 编号为 E58E03B7 ( 注意转换时保留 0 ) 写入注册码 ( 特别注意是写注册码并非写 ID 编号 ) 将 8 字节长的注册码逐个转换为单个十进制数，例如 83977857 转换为[8,3,9,7,7,8,5,7]，再转换为 8 位十六进制字节后再发送，发送数据为 [0x08H,0x03H,0x09H,0x07H,0x07H,0x08H,0x05H,0x07H] ( 注册码虽然使用十六进制存储但仅使用 [0x00H–0x09H] 共 10 个数，通过串口通讯写入注册码功能仅能写入 3 次 )
0x30H	R	2	读取产品型号 返回数据为多个 8 位十六进制字节，合并所有字节转换为字符串即可，例如 P150C 返回 [0x15H,0x0CH]，则产品型号为 150C。 P150C Pro/P150C Pro-D 为 [0x15H,0x0DH]
0x40H	R	2	读取产品固件版本 返回数据为多个 8 位十六进制字节，合并所有字节转换为字符串即可，例如 2022.12 版本固件返回 [0x22H,0x12H]

### B.5、辅助寄存器地址一览表

辅助寄存器信息暂不提供。

地址	R/W	长度	说明
-	-	-	-

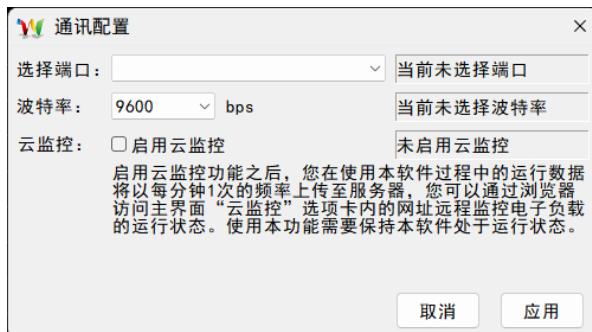
### B.6、上位机软件使用

软件主界面由绘图显示、数值显示、运行记录、信息与控制等板块构成，连接电子负载成功后并启动运行，数值显示开始实时刷新电压、电流数据并在左侧绘图显示区域绘制曲线图，曲线图支持横向时间轴与纵向显示比例缩放，当鼠标指针停放在纵向比例处会高亮显示，此时可以使用鼠标滚轮放大或缩小显示比例；当鼠标指针停放在纵向比例处以外的区域，此时可以使用鼠标滚路放大或缩小横向时间轴。





请先点击“通讯配置”，在通讯配置界面内设置对应的端口与波特率：



点击“应用”按钮之后，再点击主界面控制板块内的“连接设备”。若通讯配置无误，信息板块内将轮询获取电子负载信息并显示，通讯状态指示信号由红色变为绿色。

若您需要使用云监控功能，此时可以勾选启用云监控选项，软件将测试连接服务器是否成功，连接服务器成功之后即正常启用云监控。

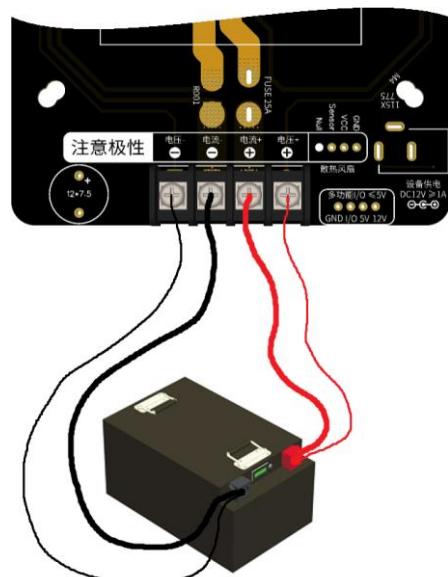
## 附录 C、电子负载被测电源输入端子接线说明

P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载被测电源输入端子均支持四线差分输入，可以有效减少因大电流下线损带来的测量和计量误差。P100C 系列电子负载仅支持两线输入。

P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载均不支持反接输入端子，请在连接被测电源之前注意输入正负极极性，避免造成不必要的损失。

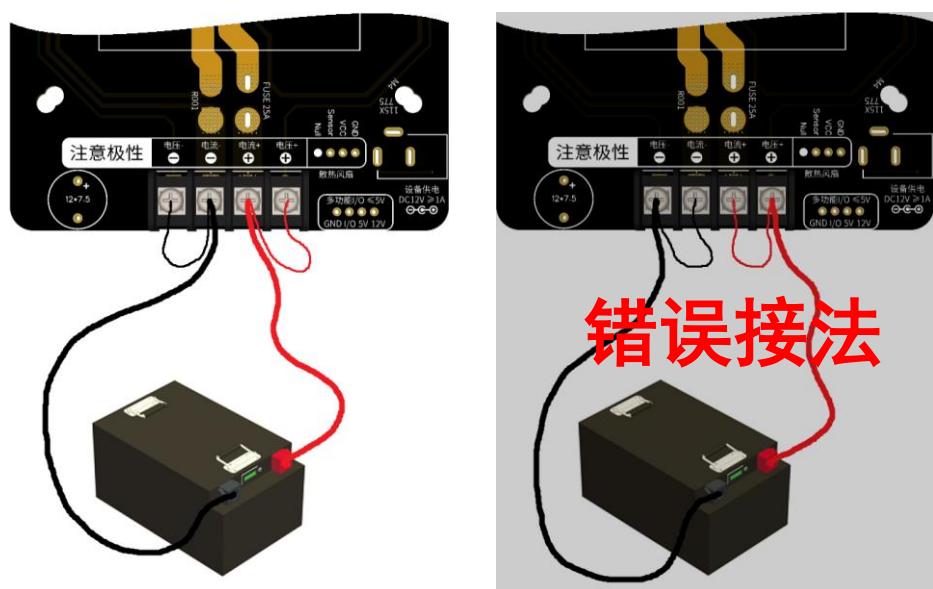
### C.1、四线差分输入接线方式

下图中粗线为载流线，线径必须满足运行电流要求，下图中细线为电压测量线，线径无要求。



### C.2、两线输入接线方式

请先连接至电流输入接线端子后再连接至电压输入端子，左侧图为正确连接方式，右侧图为错误连接方式。

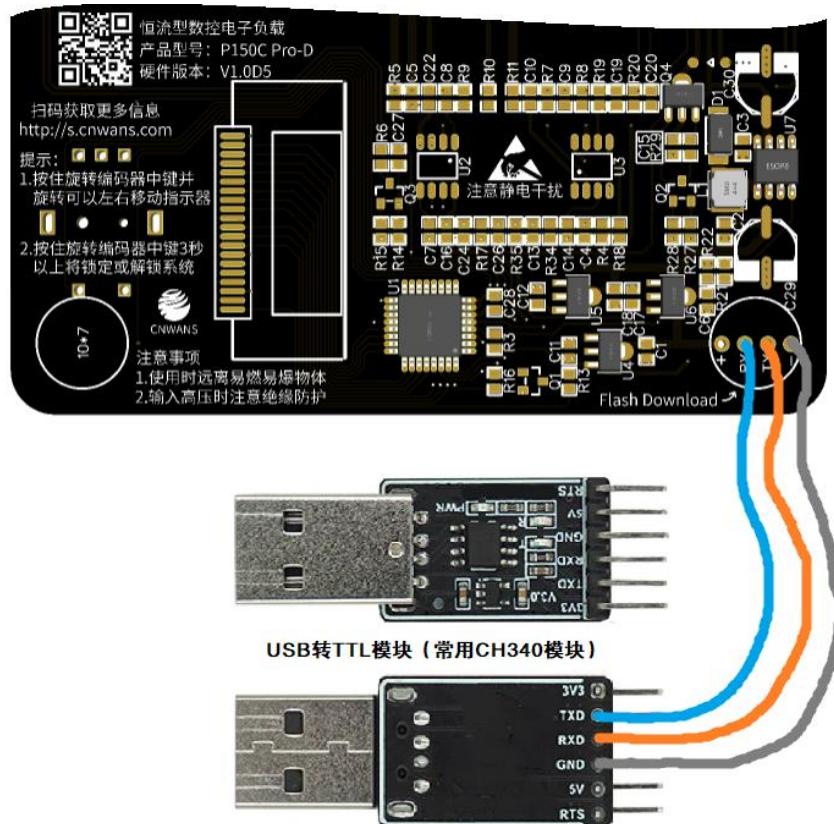


## 附录 D、电子负载与上位机通信和烧录固件接线说明

### D.1、与上位机通信接线说明

P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载均支持上位机通信功能，其中 P150C/P150C Pro 系列板载 CH340 USB 转 TTL 模块（P150C Pro 仅预留焊盘，需要额外加装）和 Type-C 插座，可以使用 Type-C 数据线直接链接至电脑。

P150C Pro-D 系列未预留模块安装位置，可以通过外置 USB 转 TTL 模块连接至电脑，推荐使用常见的 CH340 模块，其接线如下图所示。



**注 1:** USB 转 TTL 模块的 TXD、RXD 与电子负载的 TX、RX 线缆必须交叉连接。

**注 2:** 用作上位机通信时，请勿将 USB 转 TTL 模块的 5V 或 3V3 连接至电子负载 PCB 上的 VCC + 极。这是因为电子负载 PCB 上 VCC + 极与 DCDC 模块输出 8V 回路互通，即共用了 8V 电压以下的 U4、U5、U6 三颗 LDO 降压芯片为电子负载 MCU、屏幕、其他外设供电。

**注 3:** 烧录固件时，断开电子负载所有供电，首先将 TX、RX 线缆连接，点击 STC-ISP 软件内的“下载/编程”按钮后，再将 VCC 与 GND 线缆连接至电子负载，也可以点击 STC-ISP 软件内的“下载/编程”按钮后，将 4 根线缆同时连接至电子负载。

将 CH340 模块连接至电脑后，通常 Windows 系统会自动识别并安装驱动程序，若未自动安装驱动程序，请访问 WCH 沁恒官网下载 CH340 芯片驱动并安装即可。除

Windows 以外的其他系统未开发对应上位机，若用户有需求，可以参考通信说明自行进行开发。

## D.2、烧录固件失败原因排查

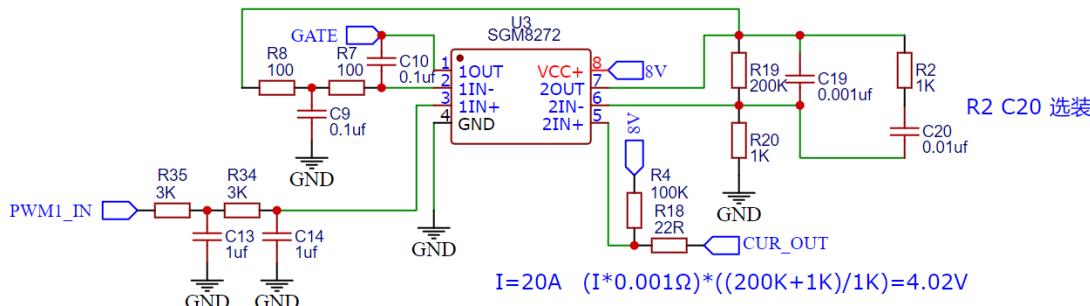
P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载均预留烧录固件端子，通常隐藏在橡胶脚垫下，接线与上图一致，所有硬件准备好之后按以下流程检查。

1. 检查 STC-ISP 软件内是否正确识别到 USB 转 TTL 模块设备。
2. 检查 USB 转 TTL 模块是否正常工作，输出电压与信号是否正常。
3. 检查 TTL 端 4 根线缆是否断路，是否连接牢固无松动现象。
4. 检查 USB 转 TTL 模块与电子负载 PCB 连接的 TX、RX 线缆是否交叉。
5. 检查电子负载 PCB 连接 USB 转 TTL 模块后各个 LDO 输出端电压是否正常。
6. 检查 MCU 与 PCB 焊盘之间是否有脱焊现象。
7. 若能正常检测到单片机但烧录过程中失败，应降低通讯波特率。
8. 若降低通讯波特率后仍然烧录过程中发生断线等现象，应考虑线缆是否松动，PCB 上是否有元器件内部短路导致拉低了整个回路的电压。

## 附录 E、运算放大器补偿电容说明

### E.1、关于运算放大器补偿电容的释疑

P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列电子负载均使用一颗双路运算放大器实现电流采样信号的放大与比较输出，其基本电路图如下（V1.0D6 改版）：



这里的补偿电容主要指上图中 C19 电容。

C19 电容的主要功能是为了消除运算放大器的反馈过深引起的自激振荡而做的环内移相补偿，使零点频率小于极点，在 P150C Pro-D 部分 PCB 版本中因设计失误直接去除了这个电容，所以后期成品是通过叠焊补偿电容在电阻 R19 的上面处理的，这个问题在开源 PCB 上已经修复。

另外通过各方面的验证，最终设计时考虑去除原有 6 脚对地的 C20 电容（在 V1.0D5 版本上），将 R2 与 C20 串联后并联在 C19 电容上（V1.0D6 改版）。

因为每个电路板及所使用的元器件的寄生电感、电容等参数都不一致，在未安装 C19 电容时，有一定几率使运算放大器产生高频自激振荡，导致被测电源工作异常，例如使恒压恒流电源出现电压或电流异常升高，或者大电流时因为瞬时电流过大造成保险丝熔断。当运算放大器在自激振荡时通常会伴随有高频啸叫噪音。

如果您需要更换不同型号的 MOS 管、不同型号的运算放大器，可能需要重新选择不同容值的补偿电容替换安装。

### E.2、如何选取合适的补偿电容容值

C19 与 R2+C20 组合中 C19 是推荐安装的，R2+C20 组合选装。取值通常根据 MOS 管的寄生电容和最大工作电流值选用，默认设计按 IRFP250A/B 匹配。

P100C/P150C/P150C Pro 系列电子负载 C19 取值  $0.1 \mu F$ ；P150C Pro-D 系列电子负载 C19 取值  $0.001 \mu F$ （部分成品有替换为  $0.01 \mu F$ ）。

如果您的身边有示波器，可以通过示波器观察电流与电压的波形来调节补偿电容的容值选择，操作更加方便，补偿电容取值应尽量小且刚好能有效抑制振荡。

通过普通恒压恒流型数控电源来选择 C19 容值：

1. 将数控电源设置一个较小的电压与电流，例如 5.00V/5.00A，打开输出并连接至电子负载被测电源输入端子。
2. 将电子负载设置 4.90A 左右并启动运行，观察数控电源的电压在电子负载启动运行前后是否出现恒压异常，例如出现电压异常升高，此时应该增大 C19 容值。
3. 若运行正常数控电源的电压没有出现恒压异常，缓慢调节电子负载运行电流至 5.00A，在这过程中观察数控电源在何时进入恒流状态（即电压迅速跌落），如果在大于 5.00A 时数控电源仍未进入恒流状态，则需要调小 C19 容值。
4. 若刚好在 5.00A 时数控电源进入恒流状态且电压不会出现异常跳变，则说明补偿电容容值选用恰当。此时若数控电源的电压出现连续缓慢升高或连续缓慢降低属于正常现象，



因为刚好处于数控电源恒压环与恒流环的临界点。

过补偿：环路响应变差，使恒压恒流数控电源进入恒流状态的恒流值偏大。

欠补偿：可能造成环路自激振荡，使恒压恒流数控电源进入恒流状态的恒流值偏小。

通常建议过补偿，C19 电容取值宜大不宜过小。

请勿图省事直接将 C19 加大一步到位，过深反馈将严重影响电子负载响应速度，使 MOS 管处于低频高幅振荡工作在开关模式，造成被测电源进入恒流状态或触发过流保护。

R2 与 C20 组合用于精调环路补偿，使元器件达到最佳组合状态，与开关电源环路补偿设计应用基本一致，建议参考 TI ( 德州仪器 ) 出版的英文手册：《Switch-mode power converter compensation made easy》( 轻松设计开关电源补偿 ) 第 16 页 “Type II error amplifier ( II 型误差放大器 )”。



## 鸣谢与吐槽

P100C/P150C/P150C Pro/P150C Pro-D 系列数控电子负载是一款 DIY 产品，因此性能参数上是不能与商业产品比较的。但因其创新的高度集成化电路设计，使得 DIY 制作非常便捷，再加上硬件资料开源，配合丰富的软件功能获得众多玩家推崇。

从设计之初的 P100C 系列到目前最新的 P150C Pro-D 系列，历经近 20 多个版本设计，耗时也长达 3 年之久，在这期间得到老冯、X II V、林℃、雄仙等众多大佬的答疑解惑与指导改进，让我站在巨人的肩膀上完成了该产品。得到大佬们的指点虽然不敢忘却，但仅能以文末鸣谢方式聊表感谢之情。对我来说，每设计一款产品一定是要量产的，不然毫无意义，因此元器件的选用基本都是低成本、易获取的，而对于要求更高的玩家们，通过提高供电稳定、基准电压稳定、调整反馈环路、调整 PCB 布线等等方案可以在此基础上更进一步，享受折腾带来的乐趣，而我们在软件上开放大量参数可供自由调整，尽量不限制您的发挥，并且我们长期提供所有已发售过的产品的配套备件，便于维修和正常损耗的备用，可以通过小黄鱼、小企鹅等平台联系到我购买。

随着本系列电子负载的销售量逐渐增大和大量 DIY 玩家加入，始终未能编写一份专用的用户手册略显缺憾，随着用户的呼声越来越高，抽空编写这一份用户手册，希望能帮助您在使用产品过程中更加如鱼得水。因为整个手册编写横跨几个月之久，可能导致上下文用词方面并不统一，有些地方描述不够精确，甚至有些词不达意，还请各位读者谅解，后续有时间会不断进行完善，因此建议在线查看本手册，不建议保存在本地。

在所有系列中，P150C Pro-D 应该是目前调教的最完美的，无论是电路设计、外观设计、软件设计等方面来说，他的前身 P100C 和 P150C/P150C Pro 均已经过时间的沉淀和市场的检验，证明其优秀的设计架构远超于同类 DIY 产品，而 P150C Pro-D 本着 DIY 更为便捷的目的而进一步改进，基本达到 DIY 电子负载的天花板。本想敝帚自珍，却不忍就此蒙尘，因此我也以硬件开源的方式贡献给大家，希望能够为电子爱好者们开发更加优秀的产品打开思路。

该设计也有一些不足之处。首先说一下液晶显示屏的选用，该设计所使用的液晶屏主要来自老王的库存，没啥别的，性价比高，其主要参数为：ILI9225G 控制器/220\*176 分辨率/普通宽视角 TFT 显示屏。因为开发者只会搞搞 51，即使选用了“地表最强”的 STC8H 单片机，频率拉到 40Mhz，屏幕刷新率方面仍不尽如意，而为了做到跟手的操作显示效果，断断续续花了近半年时间写了一套局刷驱动算法，效果自然无比丝滑，不得不佩服自己死磕 STC 单片机了。然而即使做到这样，STC8H 单片机面临高清 320\*240 分辨率的液晶屏也无能为力了，因此不是无法选择更好的高清液晶屏，而是受限于整体制造成本、硬件瓶颈限制等因素。

有人问为什么软件不开源呢，身为程序猿，我只能说软件开发很不易，而 Copy 很简单，尤其是单片机类产品开发，优秀的软件就是产品的灵魂，请恕我在这个项目上无法容忍他的灵魂被篡改。例如早期开源的电压电流表，现在也是被改的稀烂并且在小黄鱼大量制作售卖，看了下源码内将我的版权信息全部替换就算了，竟然改的面目全非，添加一些功能各种 BUG，实在不忍直视，因此向 APPLE 一样闭源也是有很多优点的，虽然很多功能更新比较慢，胜在稳定不会有“百花齐放”这种乱象，完整性更高。并且该产品为了防止被不法商用，我也在固件里加入了注册码，每一个都需要经过注册才能使用，小批量手工录入注册码还算轻松，而大批量生产是不太可能的。

为了尽快发布本用户手册，其他的也懒得说了，我想总的来说瑕不掩瑜，值得大家动手 DIY！

