

Adernal 超级电容控制器用户手册

此文档为用户手册，以尽可能简洁易懂的语言让使用者快速上手而编写

警告！严禁将人体皮肤或任何静电源接触在任何工作状态下的超级电容控制器！

严禁将超级电容控制器置于任何高温热源附近！

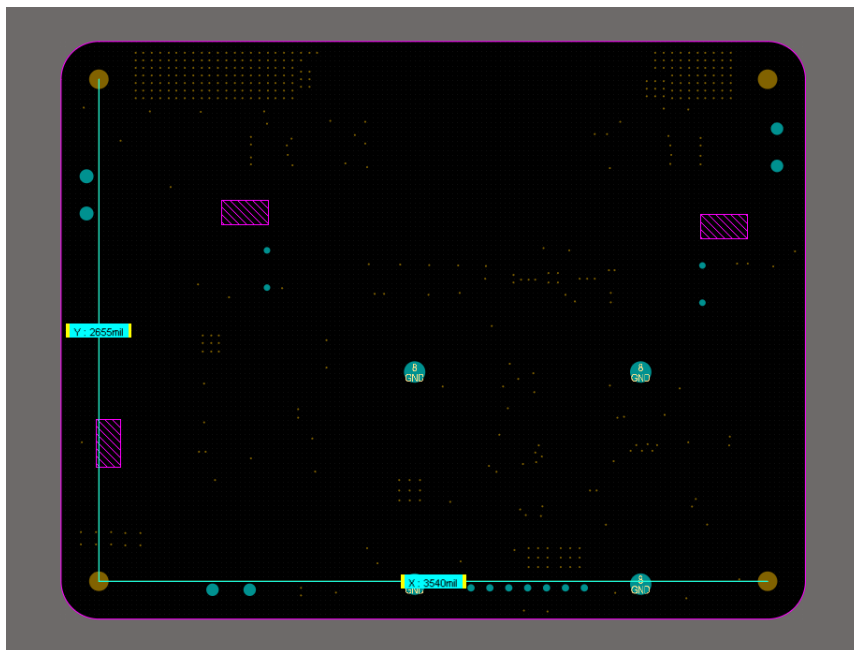
超级电容控制器为高发热器件，使用时注意散热。

此超级电容控制器仅为 DEMO 版本，仅在实验室条件下稳定工作，不保证其在任何条件下皆能稳定工作，特此告知。

版本	主要改动
1.0	--
1.1	修改控制帧、反馈帧内容
1.2	修改初始化帧内容
1.3	①完善“Work 模式”的表述。 ②完善“工作强度”的表述。 ③修改协议的 Exceed 部分。 ④修复反馈帧字节数错误问题。 ⑤对电容组插接时电压提出要求。
1.4	①重构对“安全管理”的表述 ②添加 OLED 屏幕显示信息的释义
1.5	①完善对“Exceed”的表述 ②修改对“工作强度”的表述
1.6	为 Exceed 功能添加注意事项

一、 装配

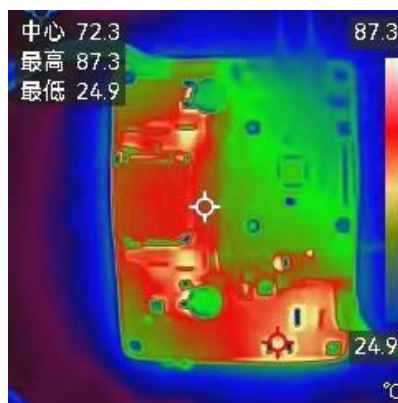
超级电容控制器提供 4 个适合 2.5 直径螺丝固定整板的通孔，可以将超级电容控制器与任意刚体固连。具体尺寸见下图（高度约为 21）。



原则上，超级电容控制器的装配位置需要与高温热源（例如电源管理模块）及电磁敏感装置（例如场地交互模块）保持尽可能远的距离。

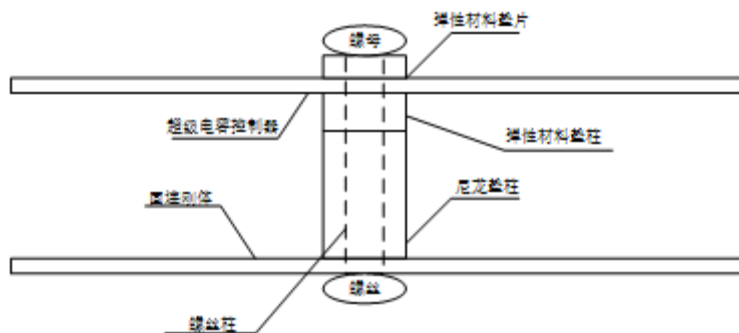
若装配位置不可避免地需要靠近高温热源，需要对热源与超级电容控制器部署尽可能完善的散热措施（包括但不限于贴装散热片、风扇主动散热），并且从软件上限制超级电容控制器的 Pchassis 期望功率。压力测试过程中的热成像图如下：

压力测试过程中的热成像图如下：



若装配位置不可避免的需要接近电磁敏感装置，并且在实际工况中已经对电磁敏感装置的工作产生了一定的影响，可以要求硬件工程师在控制器上的 R5,R8 焊盘上贴装 0805 或更大尺寸的 2R4 电阻，在 C13,C14 焊盘上贴装 0805 或更大尺寸的 4.7nF 陶瓷电容，需要注意陶瓷电容需要在 0~30V 的偏置下保持尽可能稳定的容值，这种举措可能会导致一定程度上的板级发热。

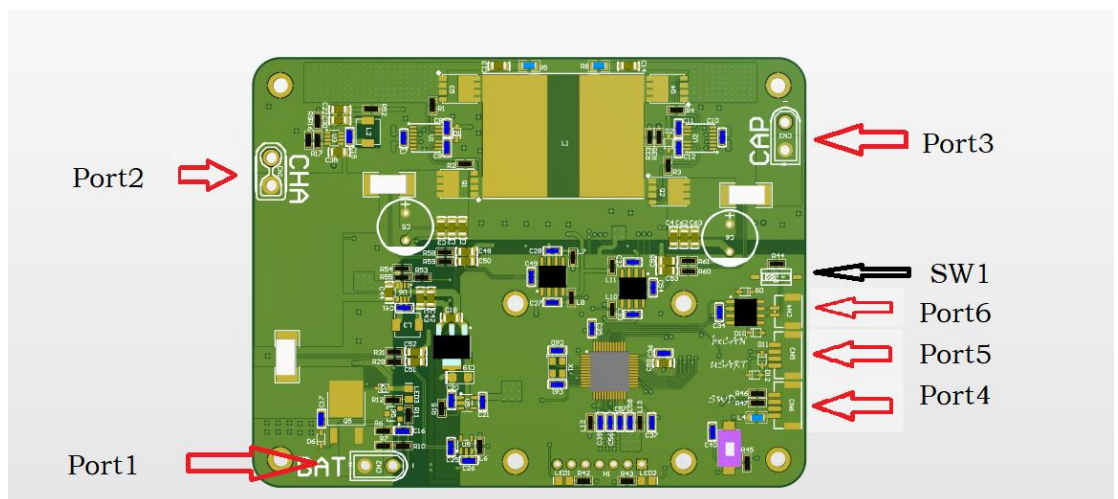
超级电容控制器需要尽可能避免受到瞬时大冲量的冲击以免造成板载元件损坏。针对上述问题，一种可行的装配方案如下示意图。



[图片]

上述方案中，超级电容控制器基板需要与机器人所处地面平行，图中，尼龙垫柱的作用为避免控制器的电子元件与金属部分与所固连的刚体接触，弹性材料垫柱与弹性材料垫片的作用为对超级电容控制器受到的瞬时大冲量进行缓冲，弹性材料可以使用 TPU 材料。

二、连接



功率连接器 P1~P3 使用的是 Amass 的 XT30 连接器。

P1 为超级电容控制器的电源输入(BAT)，在 RoboMaster 应用中将其连接至电源管理模块的 Chassis 端口。

P2 为超级电容控制器的输出端口(CHA)，在 RoboMaster 应用中将其连接至底盘动力系统的供电。

P3 与超级电容组进行连接。将该连接器与超级电容组进行连接时需保证电容组电压不高于 10V，以免发生打火现象。

信号连接器 P4~P6 使用的是日压端子(JST)的 GH1.25 连接器。

P4 为 4Pin 连接器，暂不考虑向用户开放。

P5 为 4Pin 连接器，暂不考虑向用户开放。

P6 为 2Pin 连接器，为 bxCAN 接口，用以与其余微控制器通讯，接受控制命令与返回数据。

SW1 为 1Port 拨码开关，控制是否在总线两端连接 120R 电阻，决定超级电容控制器是否为 CANbus 的终端设备。

三、控制

在提供通讯协议前，有必要对超级电容控制器工作过程，及控制、返回数据所涉及到的专有名词进行解释。

一、适配电容组类型

超级电容控制器提供三种类型的超级电容组适配，分别为类型 1、类型 2、类型 3。不同类型仅在电容组最高充电电压有所区别，最低电压均为 3.5V。

类型 1：电容组最高充电电压为 24V。

类型 2：电容组最高充电电压为 28V。

类型 3：电容组最高充电电压为 30V。

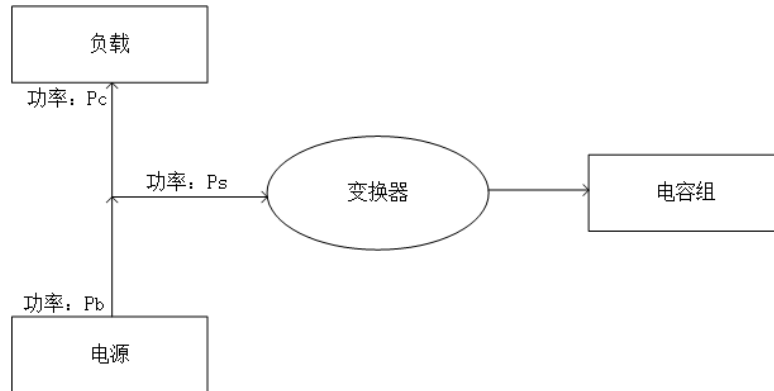
Note1：在设置类型前用户需深刻了解与超级电容控制器连接的超级电容组允许在什么类型下进行工作，超级电容控制器无自动检测能力，对此方面的避险能力有限。若用户设置的类型超过了超级电容组的能量储存能力，最严重的情况是超级电容组与超级电容控制器均发生不可逆损伤。

Note2：根据非官方消息，裁判系统电容管理模块上电流检测芯片检测端最大共模电压仅为 28V，因此类型 3 在 RoboMaster 赛事应用中是存在风险的，但因为 30V 相对于 28V 收益巨大并且部分战队反馈在比赛中电容组电压在 28V 至 30V 之间并未出现严重损坏现象，故特意设置类型 3。

二、工作模式

超级电容控制器根据应用场景的不同，设置了三种工作模式，分别为 Work, Charge, Silent。

超级电容控制器的简要拓扑如下：



当能量流动方向与箭头方向一致时，对应的 $P > 0$ 。

根据能量守恒定律，下式恒成立。

$$Pb = Pc + Ps \quad 1$$

在 Work 模式下，超级电容控制器尽可能保证 Pb 恒定于 Pb_Set (Pb_Set 由用户设置)。即满足下式

$$Pb_Set = Pb = Pc + Ps \quad 2$$

因为超级电容控制器的工作能力有限，对上式作出如下限制：

- ① 超级电容组低压时不适合大功率充放电行为，因此在超级电容组低压时对充放电行为采取限流措施。充电时， $Pb_Set > Pb = Pc + Ps$ ；放电时， $Pb_Set < Pb =$

$$P_C + P_{S_\odot}$$

- ② 超级电容组达到电压限制边界时, 变换器仅保证电容组电压恒定, 分两种状况。第一种, 当变换器持续为超级电容组充电达到超级电容组最高电压时, 变换器保证超级电容组电压恒定拒绝为其充电, 此时 $P_{b_{Set}} > P_b = P_c + P_s$; 第二种, 当变换器持续为超级电容组放电达到超级电容组最低电压时, 变换器保证超级电容组电压恒定拒绝为其放电, 此时 $P_{b_{Set}} < P_b = P_c + P_s$ 。
- ③ 超级电容控制器不能承受过大的放电功率, 当放电需求过大时对超级电容组的放电功率加以限制。此时 $P_{b_{Set}} < P_b = P_c + P_s$ 。

为满足 RoboMaster 赛事应用中“攒一波”的需求,特意设置 Charge 模式。在 Charge 模式下,超级电容控制器尽可能保证:

$$\begin{cases} Pb_{set} = Pb = Pc + Ps \\ Ps > 0 \end{cases} \quad 3$$

因为超级电容控制器的工作能力有限, 对上式作出如下限制:

- ① 超级电容组低压时不适合大功率充电行为，因此在超级电容组低压时对充电行为采取限流措施。此时 $P_{b_{set}} > P_b = P_c + P_s$ 。
- ② 超级电容组达到电压限制边界时，变换器仅保证电容组电压恒定。当变换器持续为超级电容组充电达到超级电容组最高电压时，变换器保证超级电容组电压恒定拒绝为其充电，此时 $P_{b_{set}} > P_b = P_c + P_s$ 。

在 Silent 模式下，下式恒成立：

$$\begin{cases} Pb = Pc \\ P_S = 0 \end{cases} \quad 4$$

控制器工作期间，当前所处模式在 OLED 屏幕上实时反馈：

Vcap:

Mode:

Exceed:

00000000

三、电容组电压

向主控返回的电容组电压经过了 ESR 修正，不能表示电容组当前的真实电压，但是更能体现电容组当前剩余能量。建议主控接收到电容组电压之后进行如下处理：

$$\mu = \frac{U_{cap}^2 - U_{min}^2}{U_{max}^2 - U_{min}^2} \quad 5$$

μ 为当前电容组剩余能量的百分比， U_{cap} 为当前电容组电压， U_{max} 为电容组最高电压限制， U_{min} 为电容组最低电压限制。

控制器工作期间，电容组电压值在 OLED 屏幕上实时反馈：

Vcap:

Mode:

Exceed:

00000000

四、工作强度

在超级电容控制器工作过程中，存在最高充放电电流限制、最高放电功率限制，分别对应着工作强度 1(α_1)与工作强度 2 (α_2)。

两种工作强度为百分比值，可以用下式表示：

$$\begin{cases} \alpha_1 = \left| \frac{I_{cap}}{I_{cap_max}} \right| \\ \alpha_2 = \left| \frac{P_s}{P_{s_max}} \right| \end{cases} \quad 6$$

在 Exceed 处于 Off 时， α_1 与 α_2 均无法超过 100%，在 Exceed 处于 On 时， α_1 将不能超过 135%。

五、Exceed

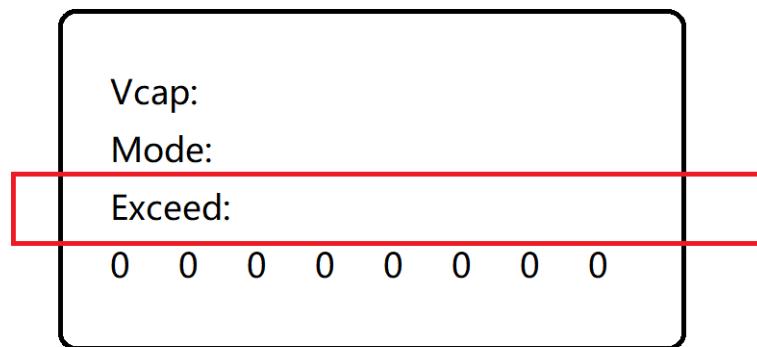
超级电容控制器不论处于上述任何一种工作模式(work,silent,charge)中，其工作能力不会超过各元器件数据手册提供的可持续额定值。考虑 RoboMaster 赛事工况中，绝大部分队伍的超级电容控制器与电容组的工作常常超过手册的可持续额定值，为了在赛场上保证较高性能与其他队伍对抗，推出 Exceed 模式。

超级电容控制器正常工作下的额定性能参数（电容组充放电电流、超级电容控制器放电功率）往往受到超级电容组的制约，进入 Exceed 模式后，超级电容控制器不再考虑超级电容组的寿命，将额定性能参数提高至超级电容控制器上器件的可持续额定参数。

其实际表现为，维持恒定 P_s 的能力上升 35%。

需要注意的是，虽然超级电容控制器不具备自行关闭 Exceed 的能力，但是长时间处于 Exceed: On 下工作是不安全的行为。Exceed 被设计为仅在电容组低压下仍需要大功率输出的解决方案。对于需要处于 Exceed: On 工作的超级电容控制器，散热片的贴装是必不可少的；并且每次 Exceed 的持续时间不应超过 10 秒，结束一次 ExceedOn 之后，需要保留足够的时间等待控制器与电容组温度降低后才能准备下一次 ExceedOn。

控制器工作期间，Exceed 开启与否在 OLED 屏幕上实时反馈：



六、安全管理

超级电容控制器在任何工作状态时刻进行对自身的安全检查。

安全管理对检测项问题严重程度分为以下不同等级：

0：安全。

1：警告。达到该等级的检测项不干预正常业务的进行，但向主控反馈警告信息。

2：风险。达到该等级的检测项强制停止变换器工作，等检测项安全等级下降后允许变换器工作。

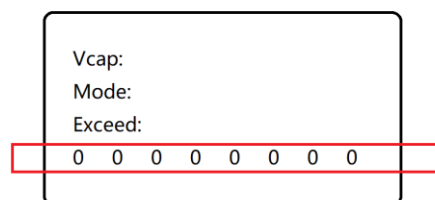
3：危险。达到该等级的检测项强制停止变换器工作，按下 reset 键重置控制器以重置该安全等级。

4：不可逆损伤。达到该等级的检测项强制停止变换器工作，需要硬件工程师勘误后重置该安全等级。

安全管理存在以下检测项：

- ① 固件错误：该错误涉及的安全等级有：安全、警告、不可逆损伤；时刻检查。用户侦测到该检测项达到不可逆损伤的安全等级，应立即将控制器交换与硬件工程师并详细描述发生错误时控制器所处工况。
- ② CAN 错误：该错误涉及的安全等级有：安全、风险；时刻检查。用户侦测到该检测项达到风险的安全等级，需检查主控的 bxCAN 协议是否正确，并检查信号传输连接是否良好。
- ③ 过热保护：该错误涉及的安全等级有：安全、警告、风险、不可逆损伤；时刻检查。用户侦测到该检测项达到风险、警告的安全等级，需要为控制器部署更高水平的散热措施；若检测项达到不可逆损伤的安全等级，应立即将控制器交换与硬件工程师并详细描述发生错误时控制器所处工况。
- ④ 校准错误：该错误设计的安全等级有：安全、危险；每次重置控制器后仅检查一次。用户侦测到该检测项达到危险的安全等级，通过按下 Reset 按键或者重新为控制器上电以尝试撤销该安全等级。若反复执行以上措施安全等级依然处于危险，应立即将控制器交换与硬件工程师并详细描述发生错误时控制器所处工况。
- ⑤ 电压错误：该错误涉及的安全等级有：安全、风险；时刻检查。用户侦测到该检测项长时间处于风险的安全等级，应检查并保证电池电压处于 19.5V 与 27.5V 之间，电容组电压处于 3.5V 与用户设定的电容组最高电压之间。若上述条件得到保证且安全等级依旧为风险，应立即将控制器交换与硬件工程师并详细描述发生错误时控制器所处工况。
- ⑥ 电流错误：该错误涉及的安全等级有：安全、警告、风险、不可逆损伤；时刻检查。用户侦测到该检测项达到不可逆损伤的安全等级，应立即将控制器交换与硬件工程师并详细描述发生错误时控制器所处工况。
- ⑦ 功率错误：该错误涉及的安全等级有：安全、警告、风险、不可逆损伤；时刻检查。用户侦测到该检测项达到风险、不可逆损伤的安全等级，应立即将控制器交换与硬件工程师并详细描述发生错误时控制器所处工况。
- ⑧ 采样错误：该错误涉及的安全等级有：安全、警告、危险；时刻检查。用户侦测到该检测项达到危险的安全等级，应立即将控制器交换与硬件工程师并详细描述发生错误时控制器所处工况。

控制器工作期间，各检测项的安全等级在 OLED 屏幕上实时反馈：



从左至右，各数字所代表的含义分别为：固件错误检测项的安全等级，CAN 错误检测项的安全等级，过热保护检测项的安全等级，校准错误检测项的安全等级，电压错误检测项的安全等级，电流错误检测项的安全等级，功率错误检测项的安全等级，采样错误检测项的安全等级。

七、通讯协议

1.就绪帧（超电控制器 tx，主控 rx）	
ID:0X005	
标准数据帧，1byte(s)	
位值偏移	释义
0~7	0xFF：控制器已就绪，可以进行 can 数据收发 0x00：控制器不可用，接受的所有 can 帧将被忽略
Tips：该帧会在控制器上电后发送一次，工作中因为安全等级的变化可能再次进行发送。	

2.初始化帧（超电控制器 rx，主控 tx）	
ID:0X002	
标准数据帧，1byte(s)	
位值偏移	释义
0~7	0x00：超级电容组类型 1 0x01：超级电容组类型 2 0x02：超级电容组类型 3
Tips：该帧每次上电后仅接受一次。	

3.反馈帧（超电控制器 tx，主控 rx）	
ID:0X003	
标准数据帧，6byte(s)	
位值偏移	释义
0~7	ESR 修正后的电容组电压高 8 位
8~15	ESR 修正后的电容组电压低 8 位
16~23	工作强度 1
24~31	工作强度 2
32~39	电源输入功率高 8 位
40~47	电源输入功率低 8 位
Tips：电容组电压为真实电压值 X100 后忽略小数，例如电容组电压为 12.3421V，发送数据 1234。 工作强度为实际工作强度 X100 后忽略小数，例如当前工作强度 1(2)为 0.8147，发送数据 81。 电源输入功率为真实功率值 X100 后忽略小数，例如电容组电压为 12.3421W，发送数据 1234。 每 500ms 传输一帧。	

4.控制帧（超电控制器 rx，主控 tx）	
ID:0X004	
标准数据帧，3byte(s)	
位值偏移	释义
0~7	Pb_{Set}
8~15	0x00: Exceed 失能 0x01: Exceed 使能
16~23	0x00: Silent 工作模式 0x01: Work 工作模式 0x02: Charge 工作模式
Tips：用户可以仅在必要时传输该帧，避免相同内容反复发送影响控制器性能。控制权限低于控制器内置安全管理逻辑	

4.安全提示帧（超电控制器 tx，主控 rx）	
ID:0X001	
标准数据帧，8byte(s)	
位值偏移	释义
0~7	固件错误检测项的安全等级
8~15	CAN 错误检测项的安全等级
16~23	过热保护检测项的安全等级
24~31	校准错误检测项的安全等级
32~39	电压错误检测项的安全等级
40~47	电流错误检测项的安全等级
48~55	功率错误检测项的安全等级
56~63	采样错误检测项的安全等级
Tips：初始化时传输一次该帧，上述任意一个检测项安全等级变化时再次传输	