

四川大学川山甲战队硬件组手册



更新版本号

Release 1.4.1 ： 黄河、万恒、范林涵

Release 2.0.2 ： 黎文斐

序

1.4.1 版本作者序

硬件乃机器人的肌肉、神经、大脑，对于硬件来说稳定性是生死攸关的。

所以我先在这份手册前半部分叙述一些严肃严谨的条条框框、要求注意事项和硬件遇到问题时如何处理的 Debug 流程手册等等。在后半部分进行一些未来的展望、发展方向。

如何使用本手册：推荐使用的方式：全文阅读后忘记它，然后在遇到觉得熟悉的问题的时候来 Ctrl-F 查一查。也可以直接当作 Debug 手册、Q&A 指南来使用。

——涵无 Kannmu（范林涵）

2022.7.25

2.0.2 版本作者序

本质上是一个比较懒惰的人，直到看完了第一代手册。

本质上是一个喜欢夸耀的人，所以特地写序留个记录。

本质上是一个喜欢规范的人，因此进行了较大的改动。

尽量安排每个章节不会太多字（每页四张左右），省去了很多实际的操作，更多是经验之谈，可共通的内容，但还是觉得很繁杂，希望未来大家一起努力，让该手册越来越好。

——黎文斐

2023.7.11

目录

第 1 章

简介 6

 1.1 关于该手册 6

 1.2 如何参与 6

 1.3 格式手册 7

第 2 章

赛题、机器人、交流与硬件 10

 2.1 什么是硬件 10

 2.2 从读赛题开始 11

第 3 章

电路板 PCB 设计流程 14

第 4 章

PCB 设计细节要点 18

 4.1 PCB 细节部分 18

 4.2 整机布线、走线部分 19

第 5 章

焊接、制作部分 22

第 6 章

Debug 手册 24

 6.1 PCB 问题 Debug 流程 24

 6.2 通信问题 Debug 流程 25

第 7 章

展望未来	27
7.1 FOC 驱动技术	27
7.2 遥控器	28

第 1 章

简介

1.1 关于该手册

关于该手册

川山甲硬件组手册致力于成为一个免费开放且持续更新机器人比赛（以 Robocon 为主）硬件知识整合手册。

交流方式

本项目主要使用 [QQ](#) 进行交流沟通。

QQ 联系人为当前版本更新主要负责人联系方式：3243821894

QQ 群号码：（暂无）

1.2 如何参与

在文章开始之前，川山甲硬件组十分欢迎您为本手册贡献属于您独有的经验，正因为有了许许多多像您一样的人，该手册才会越来越完善。

本篇文章将主要叙述参与手册修改的写作过程。请您在撰稿或修正手册以前，仔细阅读以下内容，以帮助您完成更高质量的内容。

参与协作

在开始编写一段内容前，请确认当前版本手册没有其他人在做相同的工作之后，开启批改模式保存并修改该手册。

Release 版本通常是发行版本，即 PDF 格式，您需要从 [交流方式](#) 寻找到发行最终版

本的 QQ 号，联系并让他提供 Word 文档或者是其他 Debug 版本人的联系方式，得到可编辑的硬件组手册后，使用 Word 自带的修订和批注功能进行修改，每一次小节的修改将在版本后最末位加 1，每次新章节或大改动则在版本第二位加 1，川山甲战队换届后，不同年的硬件组成员进行修改，则在版本第一位加 1，如果有其他学校版本参与，后续版本号前面加上学校英文简称，如 SCU 2.0.1，如果有笔记版本，做出明显区分即可。

最后编者语：这种实时修改的手册最好是用 GitHub，MD 做个 wiki 最好，但是由于编者的精力有限，所以只能寄希望于后人或者强校。

引用维基百科的一句话：不要害怕编辑，勇于更新页面！[\[1\]](#)

参考资料和注释

[\[1\]维基百科：新手入门/编辑](#)

1.3 格式手册

在文章开始之前，川山甲硬件组十分欢迎您为本手册贡献属于您独有的经验，正因为有了许许多多像您一样的人，该手册才会越来越完善。

本章节将列出在硬件组手册编写过程时推荐使用的格式规范与编辑方针。请您在撰稿或者修正硬件组手册以前，仔细阅读以下内容，以帮助您完成更高质量的内容。

贡献文档要求

当你打算贡献某部分内容时，你应该尽量熟悉以下三部分：

- 文档存储的格式
- 文档的合理性
- 文档的基本格式要求

文档存储的格式

请务必确认文档中引用的[外链](#)能够稳定正常的引用。以及文档内链不会出现跳错页的情况。

文档的合理性

合理性，指所编写的内容具有如下特性：

由浅入深，内容难度应该具有渐进性，非必要不需要加繁杂的公式，教条的课本。

逻辑性，与上下文有一定联系性。

择优而言，不要因为害怕这是网上可以随便搜索出来的东西就放弃添加，觉得有必要就可以大胆写上去。

除去现有内容质量较低的情况外，建议尽量从补充的角度来做贡献，而非采取直接覆盖的方式。如果拿不准注意，可以参考 [交流方式](#) 一节，与最终版本负责人或者未来项目组联系。

文档的基本格式要求

正文使用等线五号，其余与 Word 样式基本相同，不使用标题三样式，若基本样式不同，请根据手册格式对样式进行添加或修改。

标点符号的使用

- 请在每句话的末尾添加句号。
- 请正确使用全角标点符号与半角标点符号。汉语请使用全角符号，英语请使用半角符号。
- 注意区分顿号与逗号的使用。
- 注意括号的位置。句内括号与句外括号的位置不同。
- 通常使用分号 来表示列表环境中各复句之间的关系。
- 对于有序列表，推荐在每一项的后面添加分号，在列表最后一项的后面添加句号；对

于无序列表，推荐在每一项的后面添加句号。

第 2 章

赛题、机器人、交流与硬件

2.1 什么是硬件

什么是硬件

大到工作用产品、Robocon 和 Robomaster 竞赛，小到 DIY 项目和工训赛等等，硬件在里面貌似微乎其微，但它们又是不可或缺的一部分。

在哈工大的硬件组培训中，其指出硬件是**特定需求下实现特定目标功能的模块**。常见的外购模块如 DC-DC 电源模块、HC-SR04 超声波模块和各种各样的单片机最小系统板。这些模块最直观的好处就是方便和快捷，并不需要你亲自动手设计与焊接，适合的情况下直接选择购买不失是一种妙手。

所以为了满足比赛特定需求，我们会专门设计一些特定的模块，比如东大 Action 战队在 2021 年投壶行觞比赛中设计了一个 2000W 的射箭驱动器。

如何设计一个属于自己的模块

知识：拥有足够的知识是设计的前提，较为基础的数电、模电和电路，再到专门 EDA 软件的使用，再到各类教程视频、文档博客，以及开源网站和淘宝，足够的知识储备是实现你天马行空想法的必要前提。

明确需求：万事开头难，无论是甲方还是自己给自己提出任务需求，常常因为视界的有限性去不经意的遗漏其他需求，明确需求，明确需求是否要特别设计，能否采用已有方案设计.....最大化利用成熟资源。

芯片选型、电路设计：这里常用工具有 TI 的 webench，和亚德半导体的 LTPOWERCAD（上网可以直接搜索到），Proteus、Pspice 和 Multisim 等在一些情况下可以用来验证电

路可行性。

验证迭代：接口设计、BUG 优化，第一版板子是最优版本较为少见，基本都是不断的迭代优化，增加新功能，减少成本后得到一个令人满意的方案。

什么是硬件组

由上可知，硬件组更多是在为研发和生产特定比赛需求模块的一个组别，一个技术领先、运行可靠的硬件平台是战队机器人实现的基础，硬件组成员责任重大。

2.2 从读赛题开始

前言

当你成为硬件组的一员，那么 PCB 原理图成图到 Layout 部分不应该是首要解决的问题，这些问题会在后续板子的设计和查阅资料，以及后续内容中得以解决。

无论是日常考试、比赛或者是解决生活上的一些问题，你应该形成这样的习惯：先读题形成大致思路（是什么），而后思考“得分点”（为什么），最后答题过程注意细节（怎么做）。

最后很欢迎这部分内容分享给你并肩作战的其他组的队友，宏观到微观的流程无论是战队运营、比赛进展，还是个人生活，都是一个相对重要的内容。

Robocon2022“同创辉煌”赛题

如何设计一个能够完成比赛任务的 R1 机器人

1. 了解规则（请自行上网查找当年规则视频）

了解赛题规则后，你的抱负和想法将会在这些规则的“框架”下大展身手。

2. R1 机器人需要完成的任务

当你阅读完当年赛题或观看规则视频后，对 R1 机器人的第一直观任务想法便是——射

球。不过射球之前，你首先要**遥控**机器人**移动**到球摆放的位置，**取球**装填后，有**目标**的向塔和 R2 机器人的头顶球进行射击，如果要是自动取球，你还可能要设计一套精准的**定位**系统。

那么主要任务归结如下：

遥控、移动、取球、定位、视觉检测目标、射击.....

3. 如何让 R1 机器人完成任务

如了解规则所言，你所设计的机器人将无法脱离规则的“框架”下进行设计，同样的，我们设计机器人时，也会根据这些规则和条件，让机器人能够成为赛题的最优解。

以定位为例，由于平整场地，我们的定位可以采用码盘（如 OPS-9）定位，由于场外设有一定高度的围栏，且球、塔都有一定的体积和大小，我们可以通过激光测距来实现定位，由因为球、塔在不同视距下大小不一，可以通过视觉方案或者激光雷达建图来实现定位。

其他任务的实现在此留作思考。

最后根据所思考的内容，完成机器人整体方案的框图，并在后续继续细化。

那么，你已经初步拥有了设计机器人的思维与能力。

4. 精益求精与其他

这道赛题光是在定位上就有不同方案，那么许许多多不同任务不同方案的组合成就了一台又一台比赛用的机器人，除去选取更精准的定位或射击、机器人结构上的用电安全和布线问题、有限成本下的合理分配资源.....这是硬件组与其他组都要考虑的问题，其中硬件组作为机械组与电控组、视觉组沟通的桥梁，应积极与其他组别的队友们沟通交流。

交流

相信

在与其他组别交流的过程中，首先要保持对队友的信任，这将会是你未来十几个月共事的战友，没有信任，那么沟通就是低效乃至无效的。必要时候也可能会因此剔除一些难以沟通或不听取建议的队员。你对其他组别提出一些天马行空的想象的同时，你要相信他们的专业性和能力，否则你的需求也将毫无意义。硬件组作为机械组与电控组、视觉组沟通的桥梁，

应积极与其他组别的队友们沟通交流。

质疑

作为硬件组的一员，你也有自己的专业领域，固然不要盲从他人的全部意见。另外各组或同组由于所在专业、所学知识不同，可能会出现当局者迷旁观者清的情况。另外充满“火药味”的交流容易激发灵感。所以应该有一定的质疑精神。

具体细节与沟通只有实际加入战队、或者来一本沟通或战队管理手册才能得以补充，至此，硬件组将进入正题。

第 3 章

电路板 PCB 设计流程

前期准备

“工欲善其事，必先利其器”，要做出一款差强人意的板子，除了设计好原理图外，还要讲究规范、明细。在进行 PCB 设计之前，首先要准备好原理图 SCH 元件库和 PCB 元件库，元件库可以用网上论坛公开的标准库、也可以从 Protel、立创 EDA 的自带库中找出需要的元件库。但通常情况下难以找到合适的，此时最好是根据自己所选器件的标准尺寸资料自己做元件库。通常是先做原理图库，再做对应 PCB 库，但由于 PCB 的元件库要求高，会直接影响板子的安装，原理图库则相对宽松，只要保证管脚属性和 PCB 元件的对应关系就行——是故原则上先完成 PCB 的元件库，再做对应的原理图库。另外对于固定封装，也可通过原理图更改分配管脚属性来实现相应元件库的配置。

PCB 结构设计

虽然 ROBOCON 比赛的赛题要求和机械结构上对电路板位置的固定与安装没有过高要求，但个别情况下需要进行具体设计。在这一步应确认电路板尺寸和各项机械定位，避免出现电气属性相通但发生机械干涉或无法装配的情况，在 PCB 设计环境下绘制 PCB 板面，并按定位要求放置所需插接件、按键/开关、螺丝孔、装配孔等等。并充分考虑和确定布线区域和非布线区域（如螺丝孔周围多大范围属于非布线区域）。

PCB 布局

布局简单而言便是往电路板放器件。若前面两项准备工作都做好的话，就可以在原理图上生成网络表（Design->CreateNetlist），之后在 PCB 图上导入网络表

(Design->LoadNets)。器件就开始集中到一处，管脚之间还有飞线提示连接，然后就可以对器件进行布局了。一般布局按如下原则进行：

1. 按电气性能合理分区，一般分为：数字电路区（怕干扰、产生干扰）、模拟电路区（怕干扰）、功率驱动区（干扰源）；
2. 实现同一功能的电路，应尽量靠近放置，并且调整各元器件以保证连线最为简洁，同时调整各功能块间的相对位置使得功能块的连线最为简洁。
3. 对于质量大的元器件应考虑安装位置和安装强度；发热元件与温度敏感元件分开放置，必要情况要考虑热对流措施；
4. I/O 驱动器件尽量靠近印刷板的边、靠近引出接插件；
5. 时钟发生器（如晶振）要尽量靠近用到该时钟的器件；
6. 在每个集成电路的电源输入脚和地之间，需加一个去耦电容（一般采用高频性能好的独石电容）；电路板空间较密时，也可在几个集成电路周围加一个钽电容；
7. 继电器线圈处要加放电二极管（1N4148 即可）；
8. 布局要求要均衡，疏密有序，不能头重脚轻或一头沉，需要特别注意，在放置元器件时，一定要考虑元器件实际尺寸大小（所占面积和高度），元器件之间的相对位置，保证电路板的电气性能和生产安装的可行性和便利性的同时，应该保证上面原则能够体现的前提下，适当修改器件的摆放，使其整齐美观，如同样的器件摆放整齐、方向一致，不得摆成“错落有致”。这个步骤关系到板子整体形象和布线的难易程度，所以要花大力气去考虑。布局时，对不太肯定的地方可以优先初步布线，充分考虑。

布线

布线是整个 PCB 设计中最重要工序。它直接影响了 PCB 性能的好坏。在 PCB 设计的过程中，布线可以有如下三境界的划分：

布通：这是 PCB 设计的最基本要求，如果线路没布通，搞得到处都是飞线，那将是一块不合格的板子，可以说还没入门。

电气性能的满足：这是衡量印刷电路板是否合格的标准。

整体观：布通之后，认真调整布线，使其能达到最佳的电器性能。接着是美观。假如你的布线布通了，也没有什么影响电器性能的地方，但是一眼看过去杂乱无章，五彩缤纷、花花绿绿的，那就算你的电器性能怎么好，在别人眼里还是垃圾一块。这样给测试和维修带来极大的不便。布线要整齐划一，不能纵横交错毫无章法。这些都要在保证电器性能和满足其他个别要求的情况下实现，否则就是舍本逐末了。

布线过程遵循以下原则可供参考：

1. 预先对要求严格的线（高频线）进行布线，输入端不输出端的边线应避免相邻平行，以免产生反射干扰。必要时应加地线隔离，两相邻层的布线要互相垂直，平行容易产生寄生耦合；
2. 时钟线要尽量短，且不能引得到处都是。时钟振荡电路下面、特殊高速逻辑电路部分要加大地的面积，而不应该走其它信号线，以使周围电场趋近于零；
3. 任何信号线都不要形成环路，如不可避免，环路应尽量小；信号线的过孔要尽量减少；
4. 尽可能采用 45° 的折线布线，不可使用 90° 折线，以减小高频信号的辐射；（要求高的线还要用双弧线）
5. 关键的线尽量短而粗，并在两边加上保护地；
6. 关键信号应预留测试点，以方便生产和维修检测用；
7. 原理图布线完成后，应对布线进行优化；同时，经初步网络检查和 DRC 检查无误后，对未布线区域进行地线填充，用大面积铜层作地线用，在印制板上把没被用上的地方都不地相连接作为地线用。或是做成多层板，电源，地线各占用一层。

布线优化和丝印

“没有最好的，另有更好的！”不管如何绞尽脑汁去设计，当你画完后隔段时间再看看，还是觉得有很多地方需要修改的——优化布线和设计的时间往往是初步布线时间的两倍。感觉没什么地方需要修改之后，就可以铺铜了（Place->polygonPlane）。铺铜一般铺地线

（注意模拟地和数字地的分离），多层板时还可能需铺电源。时对于丝印，要注意不能被器件挡住或被过孔和焊盘去掉。同时，设计时正规元件面，底层的字应做镜像处理，以免混淆层面。

网络和 DRC 检查和结构检查

在确定电路原理图设计无误的前提下，将所生成的 PCB 网络文件与原理图网络文件进行物理连接关系的网络检查（NETCHECK），并根据输出文件结果及时对设计进行修正，以保证布线连接关系的正确性；网络检查正确通过后，对 PCB 设计进行 DRC 检查，并根据输出文件结果及时对设计进行修正，以保证 PCB 布线的电气性能。最后需进一步对 PCB 的机械安装结构进行检查和确认。

现在有很多 DRC 检查软件如[华秋 FDM](#)，也可以实现这部分的工作，减少工作负担。

制板和验证

在此前，最好还要多次审核检查。PCB 设计是一个考心思的工作，谁心思密，经验丰富，设计出的板子就好。所以设计时要细心，充分考虑各方面因素（焊接条件、维修与检查方便等就有很多人不去考虑），精益求精，虚心学习，就一定能设计出一块好板子。

第 4 章

PCB 设计细节要点

4.1 PCB 细节部分

接口与线材

若队伍无时间与精力自己去压线端子、制作线材的话，考虑直接采购的品控问题，高速信号应尽可能选用引脚间距较小且自带卡扣的接口，尽量不要使用杜邦线和采购的 2.54 接口线材对重要信号线进行接口（如串口线、CAN 线、磁编和光电编码器的 ABI 相线或 SPI 接口线）。

贴片接口注意固定用焊接点，在布局时接口不要过于靠近，一是手动焊接容易存在问题，二是可能造成想象不到的机械干涉。

电源部分

对于需要较高电流、较大功率的 5V 稳压场合（如遥控器串口屏驱动）建议不要使用 AMS1117-5.0 或者其他 LDO 稳压芯片，会造成大量的发热和功率损耗。建议使用开关电源芯片（如 TPS5430、或者 TI 其他 TPS 系列）。

布线部分

1. GND 回流问题：一定要注意整块板子的接地良好程度，电流流回电源 GND 的流通通畅。不能只是所有 GND 接在一起就行了，同时需要注意铺铜后有无 GND 孤岛（单独一块 GND，没有接入总的 GND，特别是 32 和其他多引脚、小引脚间距的芯片的 GND 引脚是否看起来接上了实际上还是悬空状态）。

2. 打过孔不会影响如 3.3V、5V、GND 等的电源供电部分，但是对于信号线（串口

RX、TX, CAN 线 H、L, SPI 的 CLK、MISO、MOSI 等) 应该尽量减少过孔的使用, 尽量在一层内完成布线。

元件 Layout 部分

1. 注意三脚开关当作单刀开关使用时闲置的第三个引脚的 net, 千万不要导致短路, 可以分配为 no net。
2. 晶振电路部分相当影响单片机功能, 应该尽可能将晶振放置靠近 MCU 上的引脚, 同时两根线上的电容容值也是严格要求的 (一般在 10pF 到 22pF 之间) 用于帮助晶振起振。同时由于是高速信号, 晶振下方也严禁走其他任何线。由于过孔会产生寄生电容, 不好控制容值, 所以一般也尽量不要将晶振和 32 芯片放置在不同面然后通过过孔接线。
3. MCU 的去耦电容应该靠近芯片上的 VCC 引脚, 由于 32 一般有多个 VCC 和多个 GND 引脚, 应该在每个 VCC 引脚附近放置一个 104 的去耦电容), 对于面积大的芯片也可以将电容放在芯片下方 PCB 背面, 打过孔不会影响电源供电。
4. 有意识区分电源部分 (电源接口、电源芯片、防反接二极管、保险丝、开关、电感、电解电容等)、单片机部分 (主 MCU、晶振电路、去耦电容、BOOT0 与 BOOT1 的下拉电阻)、接口部分 (串口接口、CAN 接口、NRF 接口、灯带接口等)。

4.2 整机布线、走线部分

电源线布线

1. 由于使用的大部分电机供电都是 24V, 并且一般一辆车需要很多个电机 (12 个或以上), 所以在布线时使用一块有很多接口的电源分线器是非常有必要的。
2. 对于单个电机来说使用 XT30 接口一般都能够满足供电要求, 但是在电源总路上 (电池、分线器入口、多个分线器之间的连接) 则至少需要使用 XT60 及以上规格的接口来

保证足够大的供电电流和低的接触电阻。

3. 对于需求大功率高转速的无刷电机（舵轮驱动电机 U10、摩擦轮摩擦带驱动电机等）需要十分详细的考虑供电线上的电阻（供电线长度、粗细、接口的接触良好程度），原因是这类电机会产生巨大的电流消耗，在导线和接口上任何一点电阻都会产生明显的电压降，从而影响电机最大输出性能，甚至会触发电调 FOC 板的低电压报错导致系统失能。

4. 对于视觉机器（NX、Nano、树莓派等等）需要不间断供电（即不被急停开关影响），过于频繁的开关电源会影响机器和操作系统的稳定性。

5. ODRIVE 驱动高转速高负载无刷电机时，因为在 24V 上并没有稳压，因此电池的电压会直接影响到电机的性能发挥，电压不够大会导致电机无法释放全部性能而导致转速有较为明显的偏差，因此更需要注意在电阻上的考虑。（同第三点）

信号线布线

1. CAN 线信号（重点）：作为整个机器人上使用的最多的通信方式，CAN 通信的好处之一便是可以只使用两根线（High、Low）进行通信。在布线时需要注意以下部分：

a) 两根线最好使用双绞线，或者自己手动双绞，可以消除一定程度的共模干扰。

b) High 和 Low 两根线之间需要并联两个 120R 的电阻来消除回波反射，短距离少干扰的情况下虽然不严格限制电阻也可以使用，但是尽量满足该要求可以提高稳定性。对应使用万用表测量接口处两根线的电阻阻值为 60R。注意一般电调上都会留有 120R 电阻的开关，可以通过拨动开关或者跳线帽来选择是否打开 120R 电阻。

c) 传统上使用 GH1.25 接口和线来传送 CAN 信号，不过需要注意的是市面上有多种 GH1.25 的线售卖。有硅胶的软线和塑胶的硬线，硅胶线非常非常非常的脆弱不耐用，千万不要买错了。而且购买时也有反转和不反转线序的区别。注意分清。

d) 可以在线的接口内侧、线的末端涂抹三防漆来增强线的强度，提高多次重复插拔的耐用性。

e) 至于如何在 CAN 通信出问题的时候 Debug 放在后面检修的部分进行叙述。（这个肯定会是你们非常常见的问题）。

2. 串口接口，烧录接口，CAN 接口：为了方便整个团队的调试，以及防止粗心导致的错误，硬件组全体成员在设计板子时，必须统一接口方式，比如统一使用 3CDG,5CDG,5TRG 方式（电源和地位于两端以保证焊接不谨慎发生连锡时不会发生短路）。这样在使用烧录器时，也可以不用频繁地更换线序。即便统一接口顺序，丝印也要特别标注出来，便于检查。

第 5 章

焊接、制作部分

焊接部分

1. 常用的焊接方式一般有四种：烙铁手焊、热风枪吹、加热台焊接和回流焊机焊接。个人一般习惯使用烙铁焊接 0805 封装的电阻电容和一些脚距较大的芯片、使用焊锡膏+热风枪焊接如 32 和 QFN 封装等一些微小的封装。如果需要批量制作可以选择开钢网后使用回流焊机进行焊接制作 PCB。当然也可以选择使用 SMT 技术让嘉立创等代工厂代加工焊接（不过元件一般较贵，并且只可以焊接贴片元件）。

2. 常用的辅助焊接工具有：

- a) 吸锡带：一条铜纤维、用烙铁按在焊盘上便可以吸收掉多余的锡；
- b) 吸锡器：使用弹簧和活塞制造短时间负压将熔化的锡吸走的工具，一般用来清理拆过的被锡堵住的杜邦线、通孔。使用烙铁加热一面，用吸锡器从另一边吸取。
- c) 松香&助焊膏：具有非常强还原性的有机物，可以将被氧化的锡和焊盘还原成单质金属。可以极大的提升熔化锡的流动性，一般用于在 32 等小芯片引脚上堆积过多锡时来吸引补焊的（也可使用吸锡带）。注意松香有微毒，加热后会有大量烟雾，建议使用防毒面具或者憋一口气使用。用完后洗手。
- d) 海绵&钢丝球/铜丝球：加水后用来蹭掉烙铁头上的固体杂质，露出光洁的表面。

PCB 焊接完成后测试流程

- 1. 焊接完成后第一步：进行电源部分的电阻检测
 - a) 测量 24V 对地电阻（注意如果有防反接二极管的话需要留意表笔正反）如果数量级在 10K 欧及以上则正常。由于一般 24V 线上会有很多电容，所以刚刚开始测量时对电容

充电需要一定时间，电阻示数会显示很小，需要等待示数稳定后再读取。

b) 测量 5V、3.3V 或者其他电源电压线的对地电阻。5V 理论上应该为千欧级别及以上，3.3V 应该为 500 欧及以上（使用 AMS1117-3.3 的情况下）。

c) 如果以上示数过大（如兆欧级别）或者直接开路，则需要考虑是否虚焊、漏焊、二极管焊反等问题。

2. 进行完电阻检测通过后便可以放心上电测试了（FOC 等带直接接 24V 的 MOS 之类的板子还不能放心，五次烟花的教训）：

a) 上电后没有异常情况的话下一步进行代码烧录测试，如果无法烧录代码有以下几种情况：

i. 芯片 SCLK 和 SDIO 引脚虚焊，没有接上。解决办法：重新补焊对应引脚，推荐使用松香处理。（可能性非常大）

ii. 如果使用过长杜邦线排线的话需要将排线拆开成单独的一根一根线来烧录。（干扰问题）

iii. PCB 布线太不合理（过长、通过晶振、电感、干扰太严重）。解决办法：1.降低频率再烧录一下试试。2.重新画板打板、在 SCLK 和 SDIO 线上串接 2.2R 电阻减少高频噪音。

iv. 32 芯片本身是坏的、或者买到假芯片。在上电没有发热的情况下不是很可能出现这种情况，不过还是出现过（图便宜导致的）。解决办法：更换芯片。

b) 之后进行通信功能测试

i. 串口测试：出现问题大概率为芯片引脚虚焊；

ii. CAN 测试：更换 TJA1050 和隔离器 ISO7321 方案；如果相同方案下 CAN 测试没有通过，硬件上考虑 TJA1050 芯片损坏或不兼容，即便新的芯片也该如此考虑。

第 6 章

Debug 手册

6.1 PCB 问题 Debug 流程

有明显芯片烧毁或严重发热情况

1. 拆除烧毁或发热严重的芯片,通常这类损害来自于瞬间电压过大将芯片电源对地击穿导致电阻急剧减小。
2. 拆除确认坏掉的芯片对该电路板上其他内容进行排查,具体步骤有:
 - a. 再次检查各个电源线对地电压是否发生突变;
 - b. 出现电阻值差异过大的电源线,对其芯片进行逐个拆除排查,每次拆除一个元件重新测量电阻值,直至阻值正常为止;
 - c. 还出现阻值差异大,则需要考虑是否出现电容被击穿或者 PCB 本身内部走线被短路或虚短路等情况,此时该电路板已经无法再使用,需要更换新的备用板。并将拆除的元件焊接在其他测试板上进行检查或丢弃。

无明显硬件问题情况

1. 首先再次排除代码问题,比如重新烧录代码、检查 Keil 能否进入 Debug 模式、板子上的 LED 等闪烁任务有没有在跑等等。
2. 其次检查 BOOT0、BOOT1 引脚有没有下拉,芯片有没有从 Flash 读取程序。
3. 如果都没有问题,也能进 Debug 模式可以让电控组帮忙检查是否是外部晶振没有起振的问题。

6.2 通信问题 Debug 流程

CAN 通信 Debug

CAN 通信出现问题的时候一般可以按照以下流程来处理：

1. 首先先测量出现问题的线路段两端的 High、Low 两线通断，确定线内部没有发生断裂后进行下一步。
2. 测量 High、Low 两线之间的电阻值，如果不是 60R 则开关线路上的 120R 之后再测试。同样也可以通过开关 120R 后从某处测试点测得的两线之间电阻值有没有变化来判断断线内部的通断。
3. 如果还是不能正常工作则需要考虑有一根或多根 CAN 线的 High 与 Low 线线序搞反了。这个问题尤其容易被忽视，由于可以通过上面两个测试，而且不容易找出搞反的地方具体在哪里。

串口通信 Debug

1. 串口通信出问题最先容易考虑到的就是 RX、TX 是不是接反了，需要注意的是有些模块上标的 RX、TX 和一般理解意义上的是反的（他意思是这个脚接其他的 RX 所以标 RX），所以出问题了有很大概率是由于 RX、TX 反接。
2. 排除掉反接问题后如果仍不能正常工作那么接下来需要考虑通信线接地是否牢靠、由于串口通信需要 GND 线作为电压基准来判断逻辑高低电平，同样的一般板间使用串口通信时也只需接 RX、TX、GND 三根线（需要使用串口接口供电的设备需要再接一根 VCC，比如无线下载器）

可能上面的部分写得过于刻板、细节了，对于大部分内容我都使用“建议、推荐”字眼。正是由于这些问题一般不会直接影响到系统正常工作，甚至一段时间都可以无 bug 使用。不过正像开头所说的那样，硬件最重要的便是稳定性，而稳定性便是来源于各个细节和可能

发生的情况的保护。

第 7 章

展望未来

7.1 FOC 驱动技术

使用 FOC 技术对高功率无刷电机驱动可以获得非常强劲的性能，几乎所有头部队伍都使用了 FOC 技术。我们川山甲战队也在 2022 届比赛中第一次使用了 FOC 驱动板。

目前市面上存在的 FOC 方案有 ODrive、VESC、SimpleFOC (小功率、大功率已停研)、稚晖君的 Ctrl、暴风电子的 DGM 等。尽管硬件组以前也尝试进行过多次自行研发，不过都以失败告终。

设计制作 FOC 驱动板对电路设计、PCB 元件 Layout、布线都是一个非常大的挑战。其实电路只有很简单的三部分：单片机 MCU 及外围电路部分、MOS 管驱动部分、电流采样部分。

由于使用时经常会有瞬时的巨大电流流过 PCB (70A 甚至更高)，但 MOS 最大电流一般可以轻松选到 170A，所以对 MOS 管驱动部分的布线 Layout 的要求非常高。一般需要采用在 Paste 层挖掉走线表面的阻焊层裸露出铜皮，然后用烙铁搪锡来极大的增强过电流能力。不过需要注意之后的绝缘问题。

如果使用 ODrive 的方案（即 DRV8301 驱动芯片）则非常非常非常需要注意 Layout 问题（亲身经历），详细具体参考 TI 的这个 PDF。

还需要注意 MOS 管栅极电容充电的问题，一般都会串一个电阻在驱动芯片输出脚和 MOS 管栅极之间来限制驱动电流。由于栅极本身有一定的电容，驱动过程栅极电压是缓慢增长的，可以看成在对这个寄生电容充电。所以这个电阻阻值是有要求的，不然会一个桥臂上下两个 MOS 管同时导通，造成非常剧烈的短路。

7.2 遥控器

今年（2023 年）在交流过程中，大部分队伍仍然在使用 2.4G、个别队伍使用 WIFI 组网，通过平板进行遥控，还有蓝牙通信（马术赛常用），具体优缺点不做比较，仅作参考。

另外，遥控器的设计上最好要充分考虑到人体工学，保留许多实际物理按键，个别情况添加触屏等，也不做过多介绍。