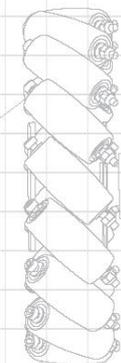




Using a BL-HS motor driver chip and Field-Oriented Control (FOC), the RoboMaster G300 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.



Exclusively designed for the RoboMaster G300, this 100W Brushless DC Motor Speed Controller, the L298N Assembly Kit includes several cables and a terminal board.

RoboMaster System Specification Manual, RoboMaster System User Manual, Introduction of RoboMaster System Module

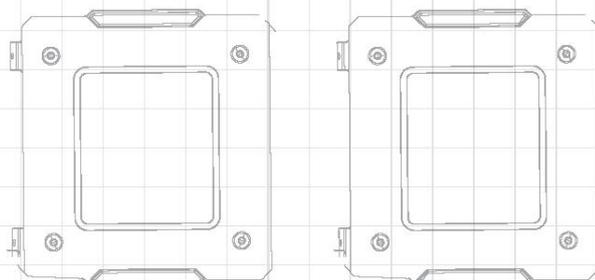


The 100W Assembly Kit includes several cables and a terminal board, enabling compatible assembly systems driven by their RoboMaster system.

ROBOMASTER 机甲大师超级对抗赛 技术方案

厦门大学 RCS 编制

2023年07月 发布



前言

模块	撰写人员 1	撰写人员 2
机械	莊孟潔	林家乐
硬件	罗聪	
软件	罗聪	
算法		
其他	林家乐	邓文狄

目录

前言	2
1. 概述	4
1.1 背景&目标	4
1.2 其它学校机器人分析综述	4
1.3 机器人功能定义	4
1.4 机器人核心参数	6
1.5 设计方案	7
1.5.1 机械结构设计	7
1.5.2 硬件设计	14
1.5.3 软件设计	20
1.5.4 算法设计	22
1.5.5 其它	25
1.6 研发迭代过程	25
1.6.1 测试记录	25
1.6.2 版本迭代过程记录	25
1.6.3 重点问题解决记录	26
1.7 团队成员贡献	27
1.8 参考文献	28
1.9 技术方案复盘	28
1.9.1 赛场性能表现情况分析	28
1.9.2 赛场性能表现与规划对比分析	29
1.9.3 经验总结	29

1. 概述

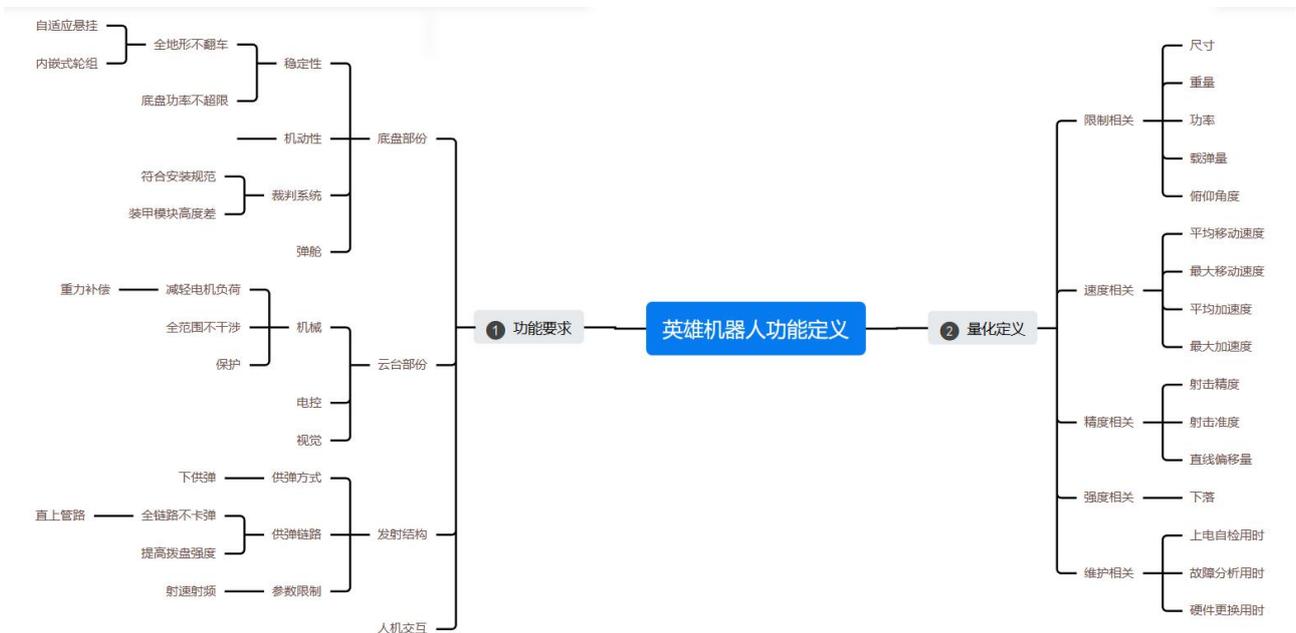
1.1 背景&目标

RoboMaster 英雄机器人是一种远程控制的地面单位战斗机器人。而在整个赛事之中，英雄机器人扮演着战场输出主力的角色。因此，需要较高的大弹丸命中率。此外，今年的规则改动要求英雄机器人和步兵机器人之间进行更加紧密的协调作战。综上所述，英雄应具有高的灵活性和机动性。从战略角度来看，英雄机器人要求成为输出主力，而从战术角度来看，则要求英雄机器人具有灵活机动能力。

1.2 其它学校机器人分析综述

英雄机器人，是战场上的推塔主力，由于热量限制、发射精度的要求等，英雄单兵作战能力不强，作为一个重要的火力点，英雄需要稳定的输出能力和一定的自保能力，自 19 年上海交通大学的下供弹英雄，现阶段英雄的主流是下供弹英雄，下供弹的巨大优势在于英雄能够通过小陀螺来规避弹丸伤害，具有比较强大的自保能力，但是由于供弹链路较为复杂，输出的稳定性会降低，为了提高输出稳定性，桂林电子科技大学尝试以气动作为发射动力且取得显著效果（22 年英雄单项赛南部分区赛冠军）。此外英雄下供弹的方式有多种，一种是以牺牲俯仰角的短链路脖颈曲线进入发射机构如上海交通大学、大连理工大学等，另一种是长链路大仰角的供弹如东北大学、华南理工大学等。

1.3 机器人功能定义



根据对其他学校机器人的分析综述，结合对赛场的理解，我们将英雄机器人的设计计划为三大部分。

1. 底盘结构：

需求分析：英雄机器人需要快速移动和转向。底盘结构应该具有足够的强度和刚度，能够承受机器人的重量与冲击力。此外，底盘结构应设计成低重心，高稳定性的结构，以保证机器人在不同地形下的平稳运动。

量化指标：

(1) 移动速度：0.8m/s

(2) 转向速度：2rad/s

(3) 行进稳定度：以 0.8m/s 地面起伏相对高度不大于 20mm 的路径，云台起伏低于 1.5°

(4) 爬升能力：

2. 云台结构：

需求分析：云台结构应具有足够的强度和刚度，能够承受云台本身和其他设备的重量，以及受到的外力和震动，以确保机器人在运动时云台的平稳运动，避免影响子弹射击的精度和命中率。

量化指标：

(1) 旋转速度：1rad/s

(2) 俯仰速度：0.5rad/s

(3) 稳定性：以 0.8m/s 速度移动时，俯仰角起伏不超过 1°

(4) 俯仰角度：-15° -55°

(5) 载荷能力：1000N

(6) 防护能力：可以承受住 30m/s 大弹丸进 50 次连续攻击。

3. 射击系统：

需求分析：以稳定和精准的射击为主要目标。为了达到目标，枪管的设计，其形状、尺寸、和重量等特性会影响射击效果。弹舱的容量也应纳入考量之中。此外，在弹道控制方面，机械部件和电子元件需相互配合，实现弹道的调整，以期达到更精准的射击。

量化指标：

(1) 射程：摩擦轮转速（3508 电机驱动）全开，俯仰角达到 45°，射程达到约 60 米

(2) 命中精度：10m/s 初速度 5 米装甲板命中率 90%

(3) 射速：0—40m/s

(4) 弹舱容量：96—100 发大弹丸

- 英雄功能举例
 - 底盘功能设计
 - ◆ 有小陀螺功能
 - ◆ 机动性强
 - 自适应悬挂
 - 稳定爬坡
 - 云台设计
 - ◆ 实现三轴云台，保证射击稳定性
 - ◆ 增加俯仰角，可吊射基地
 - ◆ 轻量化加快响应
 - 其他功能
 - ◆ 便于维护
 - 小模块损坏 1 分钟内可修复
 - 大模块损坏 3 分钟内可修复
 - ◆ 稳定性高，不易损坏
 - ◆ 整体外形美观
- 功能量化举例
 - 射击系统稳定
 - 连续射击 1000 发弹丸的卡弹率为 0
 - 最大射速大于或等于最高速 30m/s
 - **射速方差**不大于 2

1.4 机器人核心参数

描述完整形态机器人的核心参数，包括但不限于下列的参数内容。

机械			电控		
项目	说明	单位	项目	说明	单位
尺寸	630*525*585	mm*mm*mm	移动速度	2.0	m/s
重量	25	kg	移动加速度	NF	m/s ²
重心	205, 左偏 11, 后偏 14	mm	旋转角速度	NF	n° /s
轮距	450	mm	射速	9.8	m/s

机械			电控		
底盘高度	115	mm	射击精度	60	mm/5m
云台高度	280	mm	静态底盘功率	6	W
云台仰角	55	n°	传感器	微动开关	-
云台俯角	-15	n°			
载弹量	96	颗			

1.5 设计方案

1.5.1 机械结构设计

整体设计

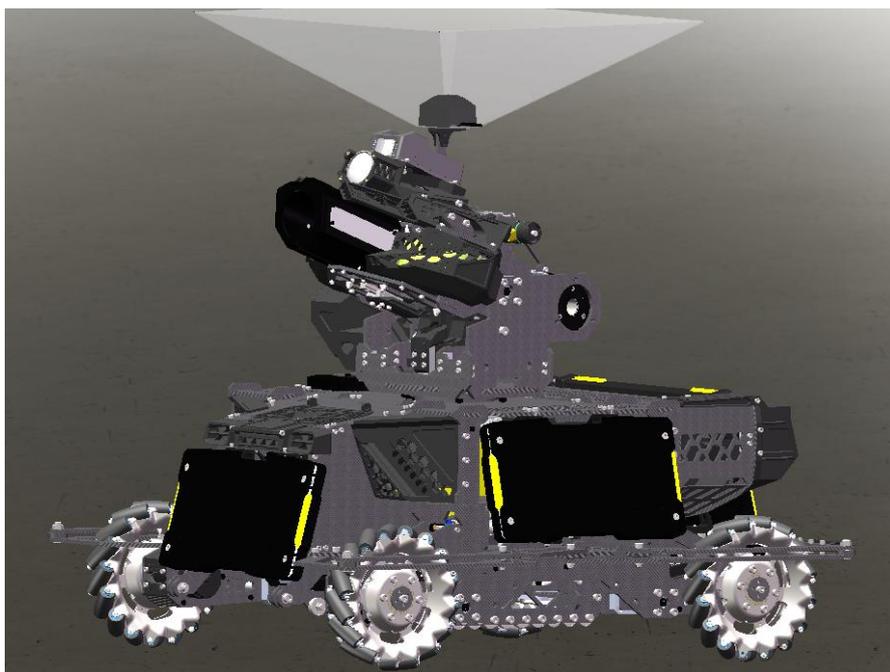


图 英雄机器人渲染图

核心结构设计

底盘部份：

- (1) 电机驱动系统：用于提供动力和转换力矩。**考虑能耗**
- (2) 弹簧悬挂系统：主要是用于减轻机器人行驶时的震动，提高车身稳定性。悬挂部分借鉴上交的自适应悬挂底盘达到更好的爬坡效果。

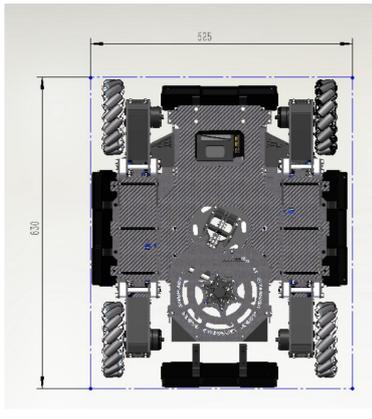


图 底盘尺寸

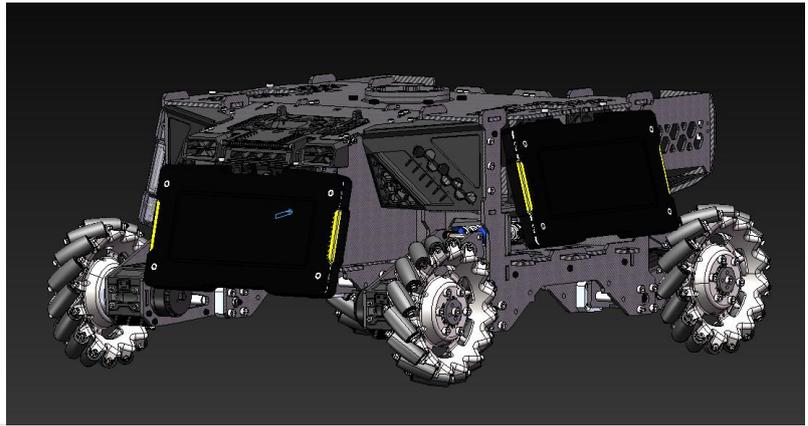


图 使用了碳纤维板材料的底盘

(5) 多层底盘设计：分为上中下三层。

上层底盘用于承重，采用由碳纤维板材构造的箱型结构，坚固可靠。

中层底盘利用了装甲支撑架的结构与上层底盘连接，实现了对材料的高效利用。

下层底盘用于 6020 电机支撑和电池保护，场地交互模块的固定以及硬件线路放置。

中层与下层连接悬挂系统与车身，可以大大减小云台受到的冲击、悬挂受到的冲击在整车内的传播距离，可以更高效地利用材料。

在三层底盘之间放置垂直方向的碳纤维板材，使得车身在垂直方向，水平方向都不易变形。

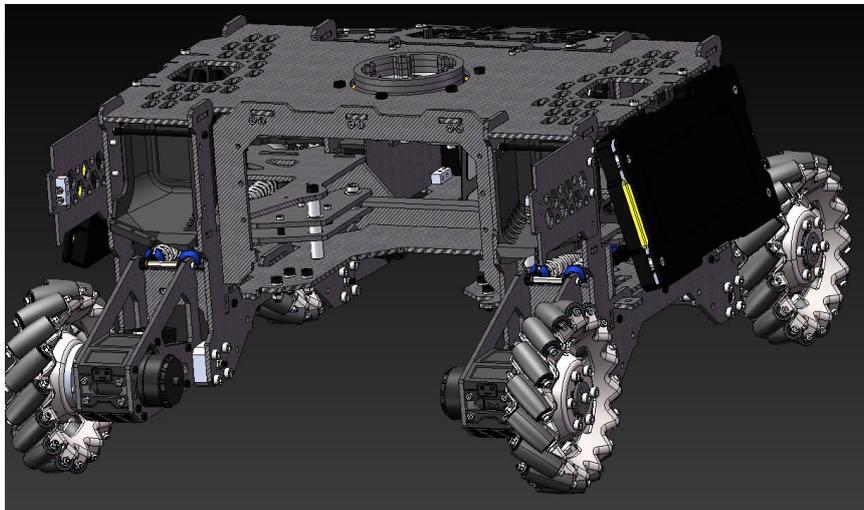


图 底盘分层结构展示图

(6) 底盘模块：我们创新地使用了通用化底盘方案，将在英雄上研制成功的底盘根据兵种的需求进行改进。

云台部份：

(1) 俯仰调节方案：使用齿轮传动，如图所示。此设计简化了结构，提高了俯仰控制的最大力矩与响应速度。相较于传统的电机直连型，降低了电机高度，使得重心降低，同时减少了对电机的冲击。相较于连杆式，结构更加简单可靠，占用空间更小。

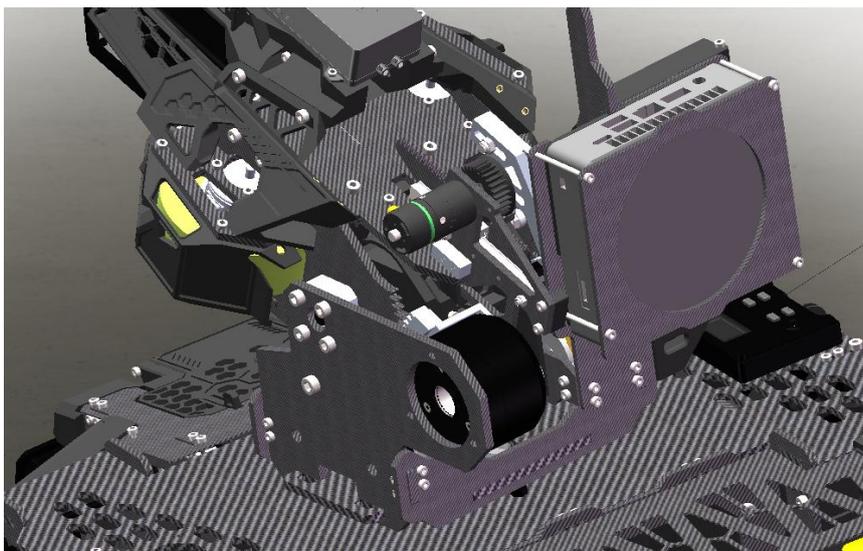


图 齿轮传动俯仰方案示意图

- (2) 云台重力补偿：由于 42mm 测速模块质量比较大，加上英雄云台整体重心偏前，为了补偿掉这一部分由重力带来的力矩，在尾部加装恒力卷簧以此来补偿前端云台的重力，以此来对云台进行静力平衡。

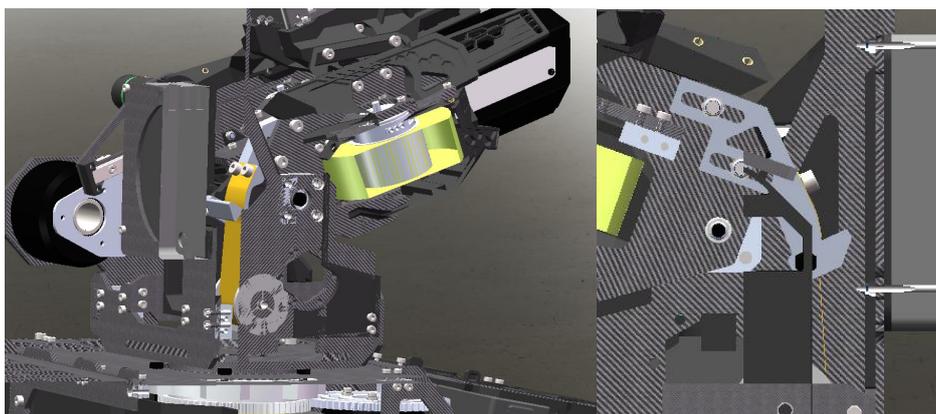


图 重力补偿方案

图 可通过调节螺丝改变力矩

射击系统

- (1) 无枪管：根据弹道测试结果，选择此种方案。
- (2) 供弹链路：为了减少供弹过程中不确定性因素，我们可以缩短整个供弹路程。具体而言，弹丸从拨盘出发后经过一个弯曲路径后直接通过导电滑环，到达云台俯仰转轴中心位置时，会卡住限位。然后，发射弹丸时后面的推板会将弹丸推入摩擦轮中，同时卡住下面的弹丸，以实现一次发射一发弹丸的目的，从而提高机器人的射击能力。
- (3) 此外，发射部分增设弹丸挤压限位装置，用于对摩擦轮射出的弹丸进行一次挤压限位。可以提高发射精度。

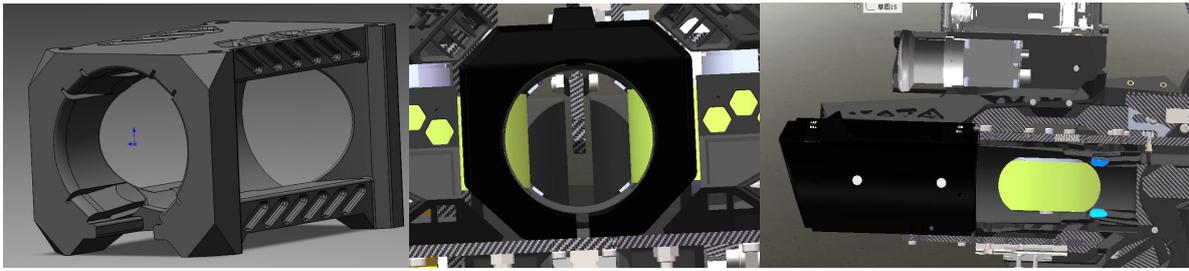


图 挤压限位装置结构图

图 装置安装位置示意图

工艺选择

材料选择：需要考虑到机械性能、轻量化、成本等因素。常见的选择包括铝合金、碳纤维、塑料等。

制造工艺：包括机械加工、焊接、铸造、3D 打印等多种方式，根据具体的性能需求进行选择。

本机器人主体框架结构使用的是碳纤维板材榫卯结构(加上桥架螺母)。利用碳纤维板材轻便且坚固的特性，保证了机器人整体的机械强度。

在关键部位使用了铝合金 CNC 加工零件，保证了轮组的可靠性。此外，在设计时，尽量采用标准件，降低成本。

机器人的外壳保护使用了打印件，相对于碳纤维板材保护，很大程度上降低了成本，同时更加便于设计，且保证了足够的防护能力。

传感器的设计安装

本机器人采用推弹板进行发射，每次发射一发，因此为了提高射击精度，我们在弹丸预备发射处增加了传感器，以确保弹丸在发射前的位置准确。此外，传感器的设计需要考虑到精度和实时性。

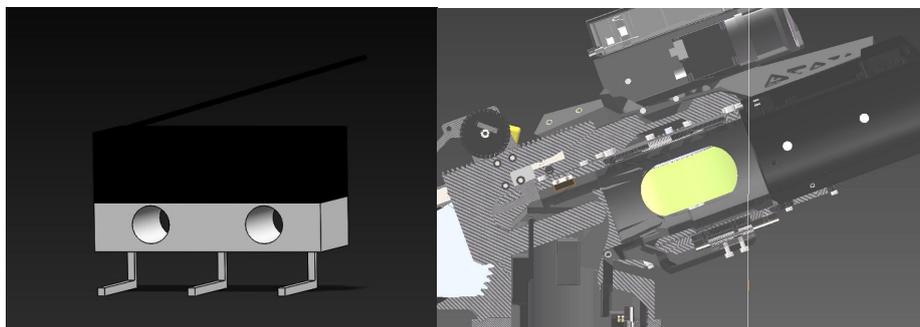


图 传感器

图 传感器安装位置

电路板的固定及走线情况以及电路保护

考量到整体外观，以及电路走线的安全，在云台设计出能安置电路板及线路的空间，预留走线孔位配合走线。

电路盒使用了 3D 打印件对电路板和线路进行保护，节省成本且设计方便。经步兵、哨兵机器人实弹测试，可以有效抵御赛场上来自各个方向的 17mm 弹丸打击。

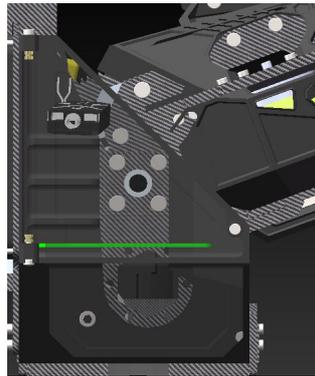


图 电路保护盒

核心零件的有限元分析、静力学分析

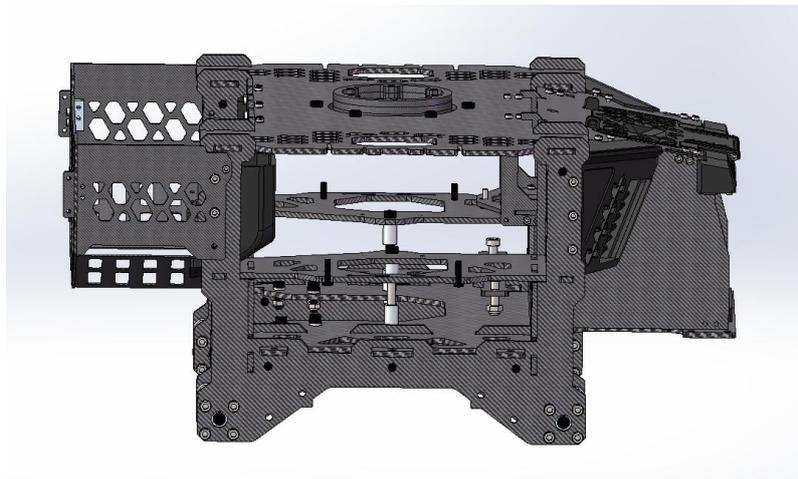


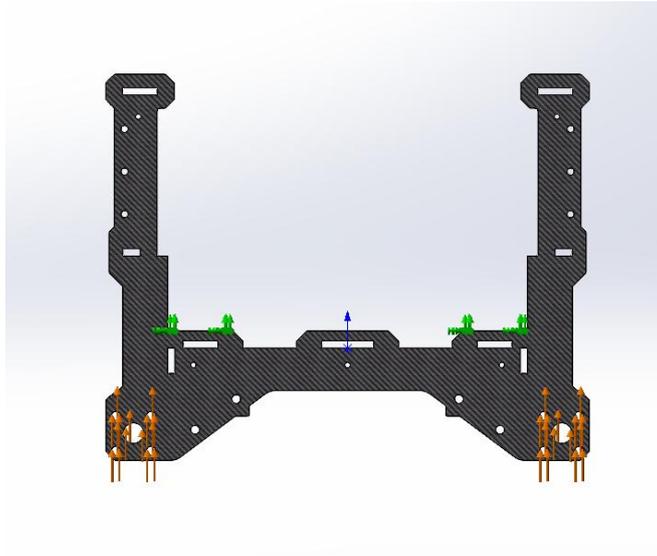
图 核心零件示意图

受限于电脑算力、研究人员的技术水平，对整体装配体的有限元分析较为困难，故采用分别对各个零件进行分析的方法。整车的核心部分为上层底盘的箱型承重结构。该核心部分由碳纤维板材零件装配而成，有限元分析的材料属性来源于网络，具体数值如图所示。

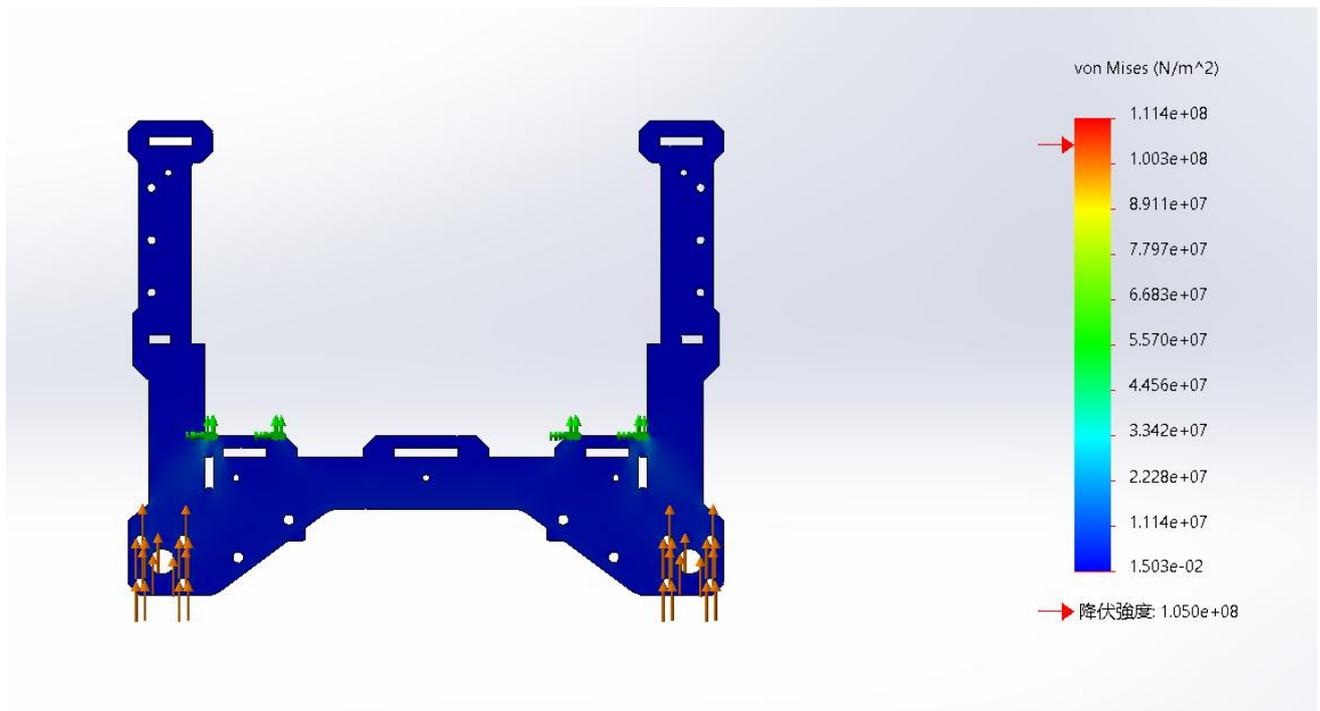
属性	值	单位
的弹性模数	1.200000042e+20	N/m ²
的 Poisson 比	0.3100000024	不适用
的剪力模数	8200000000	N/m ²
质量密度	1620	kg/m ³
的抗拉强度	1700000000	N/m ²
的抗压强度	1200000000	N/m ²
降伏强度	105000000	N/m ²
的热膨胀系数		/K
的热传导率	0.2256	W/(m·K)
比热	1386	J/(kg·K)
材料阻尼比例		不适用

本次的负载为整车上安置了 40kg 的物件，假设车体部分重量约为 40kg，总重 80kg，重力加速度取 80N/kg，即车体核心部分需要承受 800N 的惯性力。整车重量通过四块垂直放置的支撑板承担，并通过

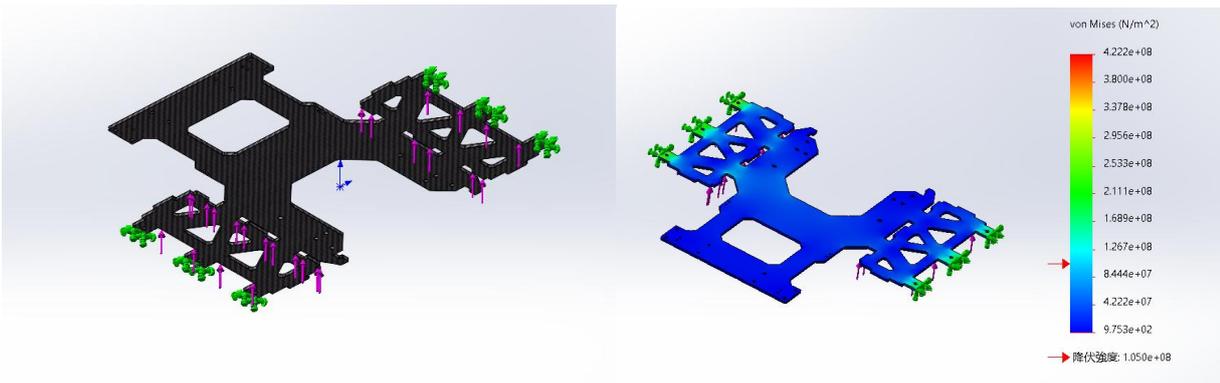
螺栓传递到轮组上，受力点如图所示。



对此零件的有限元分析通过固定板子的上侧与上层底盘接触的位置，在对应的孔施加载荷来实现。按照载荷均匀分配的情况，每个孔位均受到一个 100N 的向上的应力。添加网格并运行后，应力的有限元分析显示结果如图。可以看出此零件受到的最大剪切力未超过屈服极限，且尚有其他支撑板分担应力，因此此零件理论上不存在断裂风险。

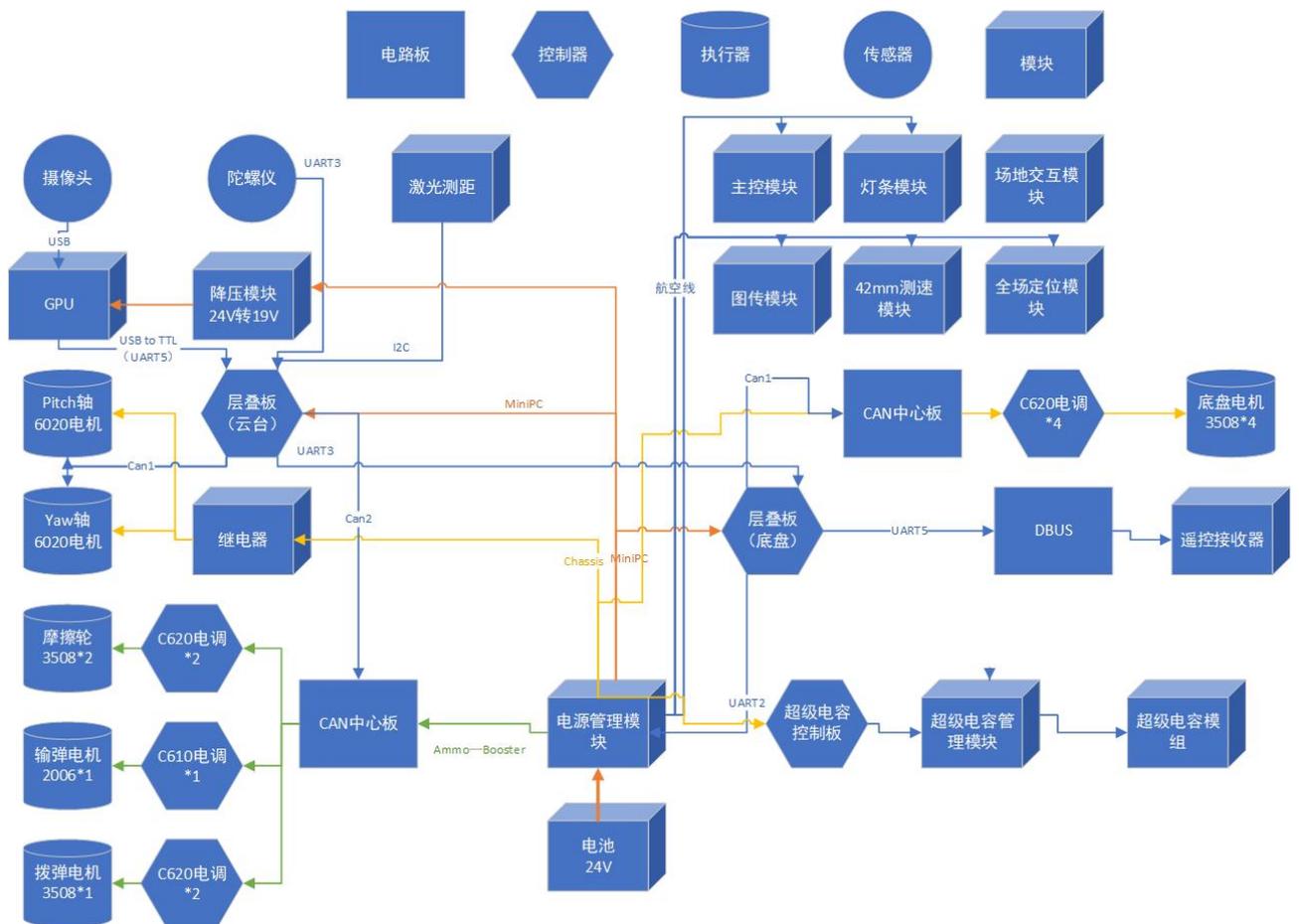


支撑板将应力传递到底盘上，作用点以及有限元分析结果如图所示。可以看出此时最大剪切力依旧低于屈服极限，并且前后两个防扭夹板所分担的应力也未计算在内，由此证明该结构理论上可以顺利通过应力测试。



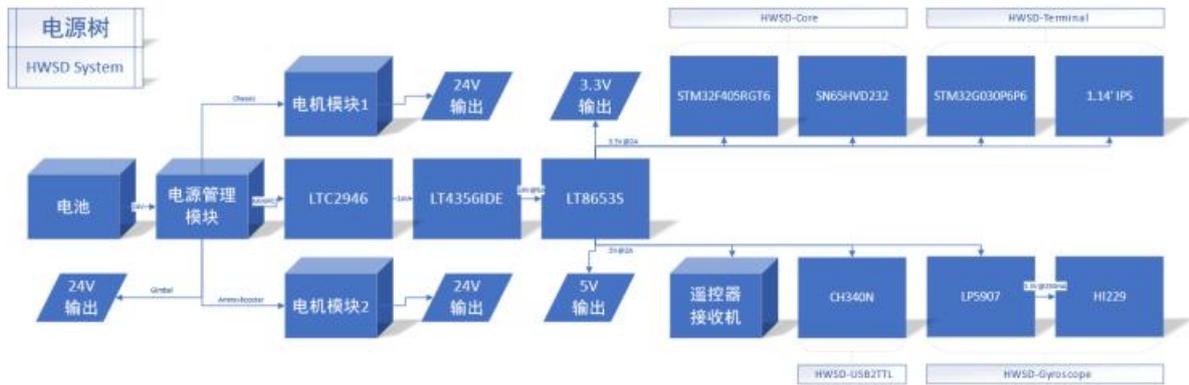
1.5.2 硬件设计

1. 整机硬件方案框图



本机器人执行器使用 CAN 通信进行控制，传感器使用 UART 串口通信协议交换数据。各块电路板按照硬件标准化的规范进行设计，组装成电源模块、控制模块、电机模块 3 种模块，在硬件设计-详细设计中将进一步介绍。

2. 硬件详细设计（自研）



机器人硬件系统电源树

硬件系统由 24V 电池供电，接入裁判系统电源管理模块分流管理，我们自行设计的电源模块接入 MiniPC 电源输出端口，不占用底盘功率。经 LTC2946 功率监测芯片、LT4356 浪涌抑制芯片、LT8653S 双通道降压芯片，输出最大电流 2A 的 5V 和 3.3V 两个电压轨，其中 3.3V 电压轨给主控模块 HWSD-Core 上的 MCU STM32F405RGT6、CAN 收发器芯片 SN65HVD232，以及显示模块 HWSD-Terminal 上的 MCU STM32G030F6P6、1.14 寸 IPS 供电；5V 电压轨给遥控器接收机 DR16、USB 转串口模块 HWSD-USB2TTL 上的转换芯片 H340N、陀螺仪模块 HWSD-Gyroscope 上的 LDO LP5907 供电，LP5907 单独产生一个最大电流 250mA 的 3.3V 电压轨 给陀螺仪芯片 HI229 供电。

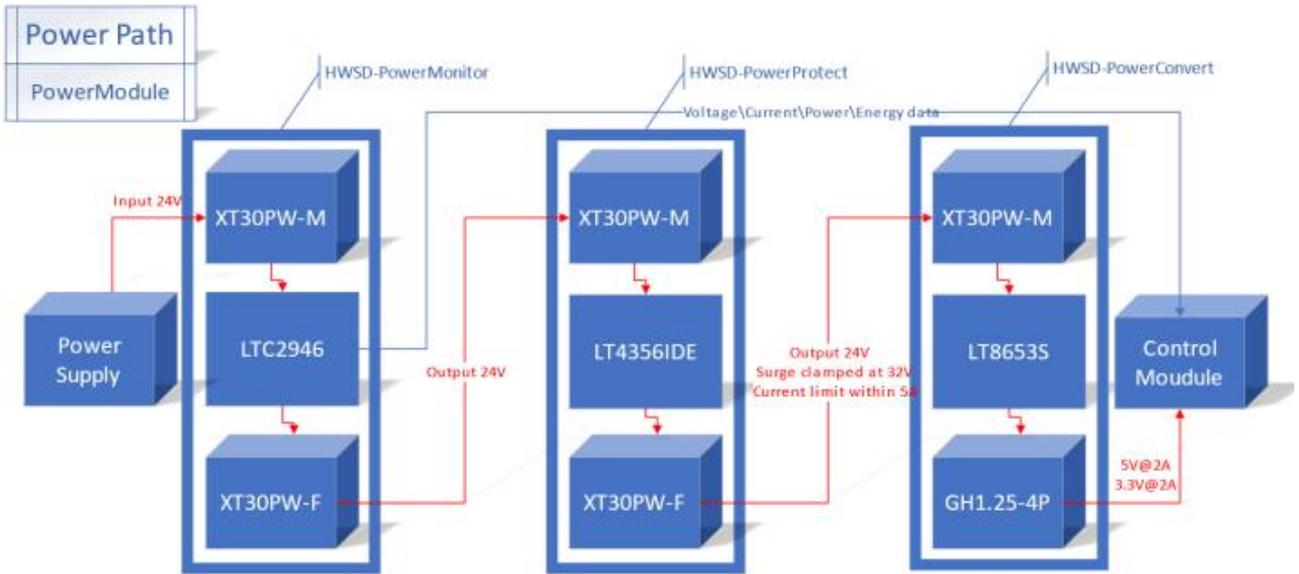
详细设计：

电源模块：

电源是硬件的起点。电源优劣决定后续模块能否正常实现功能。在持续多个赛季的针对 电源稳定性优化的研发过程中，我们逐渐总结设计出一套适用于机器人的电源系统，包括电 源监测、电源保护、电 源转换 3 类模块。本机器人系统使用的电源模块组成如图 4.2.3 所示， 电源路径如图 4.2.4 所示。



图 4.2.3 硬件标准化电源模块



硬件标准化电源模块 Power Path

电源监测模块基于 LTC2946 电源监测芯片设计，该芯片支持 0-100V 电压输入，可实现电 压、电流、功率、能耗、电荷 5 种电源数据的测量，并通过 I2C 通信传回数据。模块原理图、PCB 如图 4.2.5 所示。

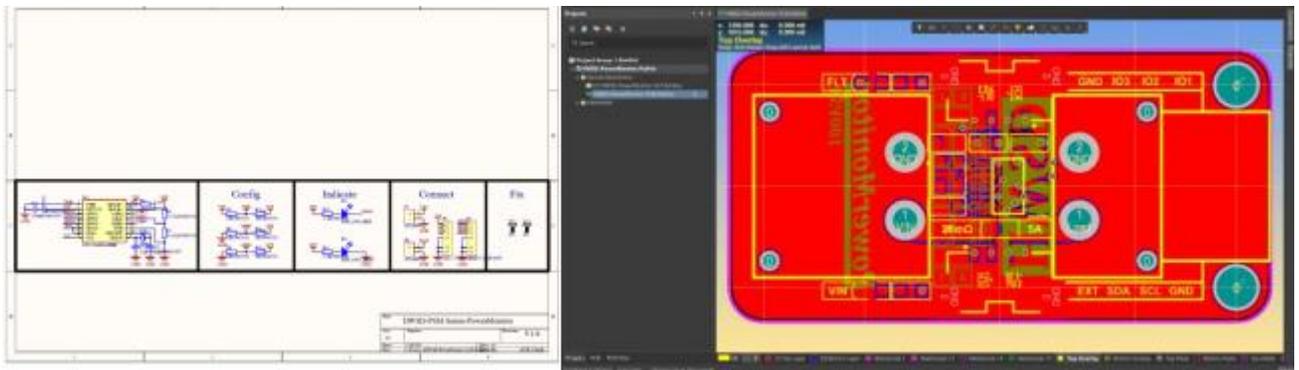


图 4.2.5 HWSD-PowerMonitor 原理图（左） PCB（右）

电源保护模块基于 LT4356 浪涌抑制芯片设计，通过控制 MOSFET BSC098N10NS5 的导通实现 对高达 80V 浪涌电压的抑制，非常适合多电机的机器人系统。模块原理图、PCB 如图 4.2.6 所示。

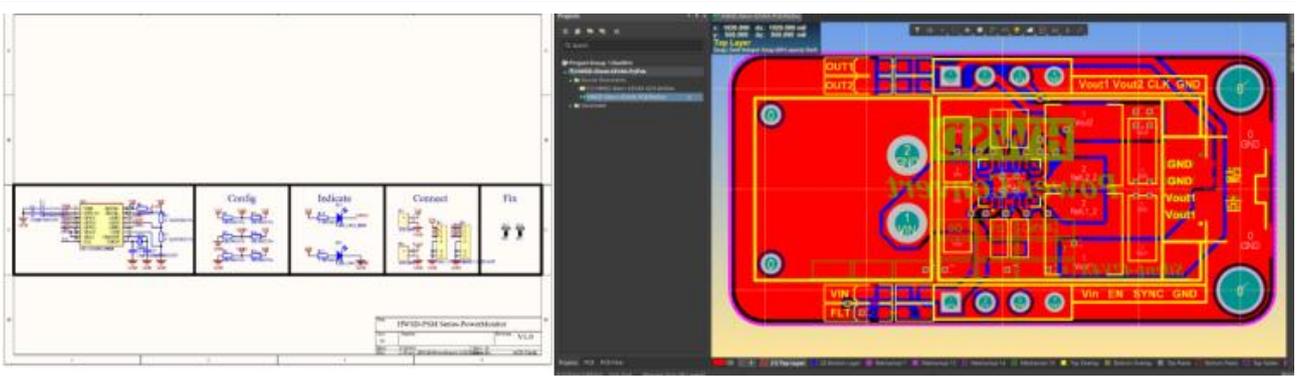


图 4.2.6 HWSD-PowerProtect 原理图（左） PCB（右）

电源转换模块基于 LT4356 浪涌抑制芯片设计，通过控制 MOSFET BSC098N10NS5 的导通实现对高达 80V 浪涌电压的抑制，非常适合多电机的机器人系统。模块原理图、PCB 如图 4.2.7 所示。

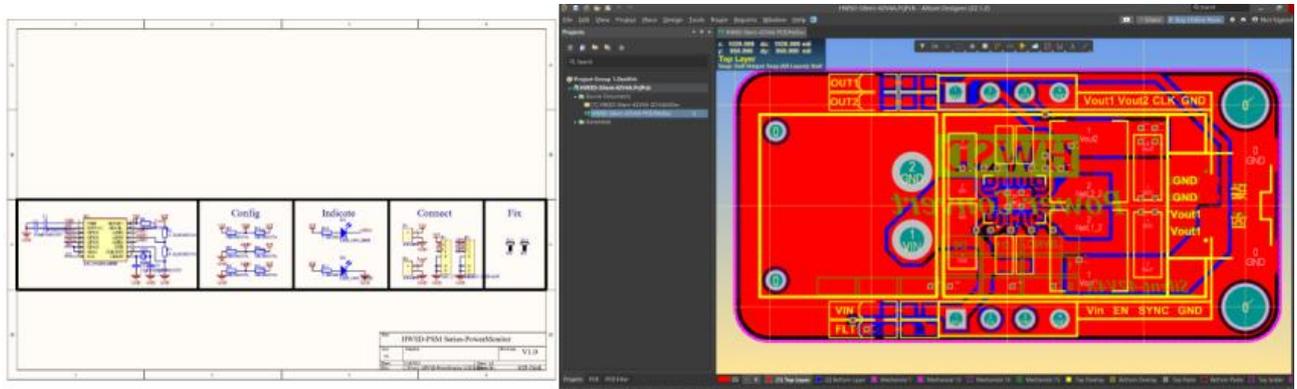


图 4.2.7 HWSD-PowerProtect 原理图（左） PCB（右）

控制模块：

控制模块是机器人的控制核心。控制模块包括核心模块 HWSD-Core、调试模块 HWSD-DAPLink、显示模块 HWSD-IPS 3 个模块组成。控制模块渲染图如图 4.2.3 所示。



图 4.2.8 硬件标准化控制模块

核心模块 HWSD-Core 是从 HWSD-MAIN 发展而来的精简版，针对只有单一类型执行器（CAN 电机）的机器人系统设计，仅提供 CAN1、CAN2、UART2、UART3、UART5、I2C2、SWD 7 个功能接口，以此获得 40mm*20mm 的迷你尺寸，其原理图、PCB 如图 4.2.9 所示。

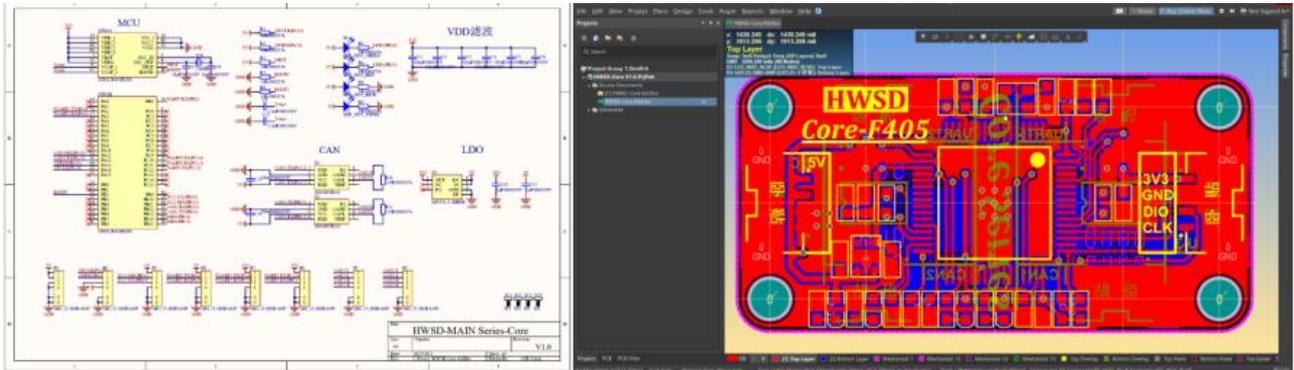


图 4.2.9 HWSD-Core 原理图（左） PCB（右）

调试模块 HWSD-DAPLink 使用了硬件标准化定义的 GH1.25 4Pin 信号接口，替代使用排针接口的传统 ST-Link，以提高连接稳定性和调试效率。此模块原理图参考了 DAPLink 开源项目。模块原理图、PCB 如图 4.2.10 所示。

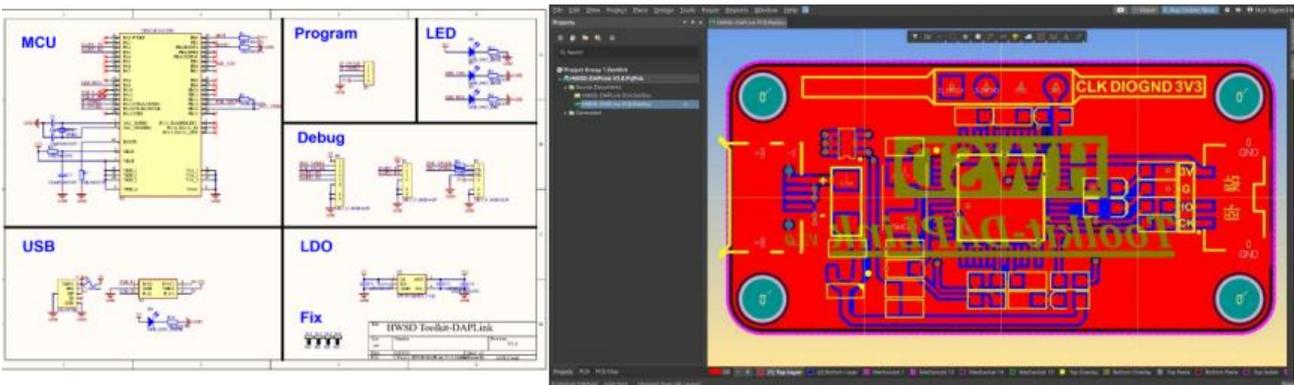


图 4.2.10 HWSD-DAPLink 原理图（左） PCB（右）

电机模块：

电机模块包括 1 输入 7 输出 HWSD-XT2XT 电源扩展模块、2 输入 8 输出 HWSD-GH2GH 信号扩展模块以及作为 CAN 冗余备份的 HWSD-Core-F042 核心模块。

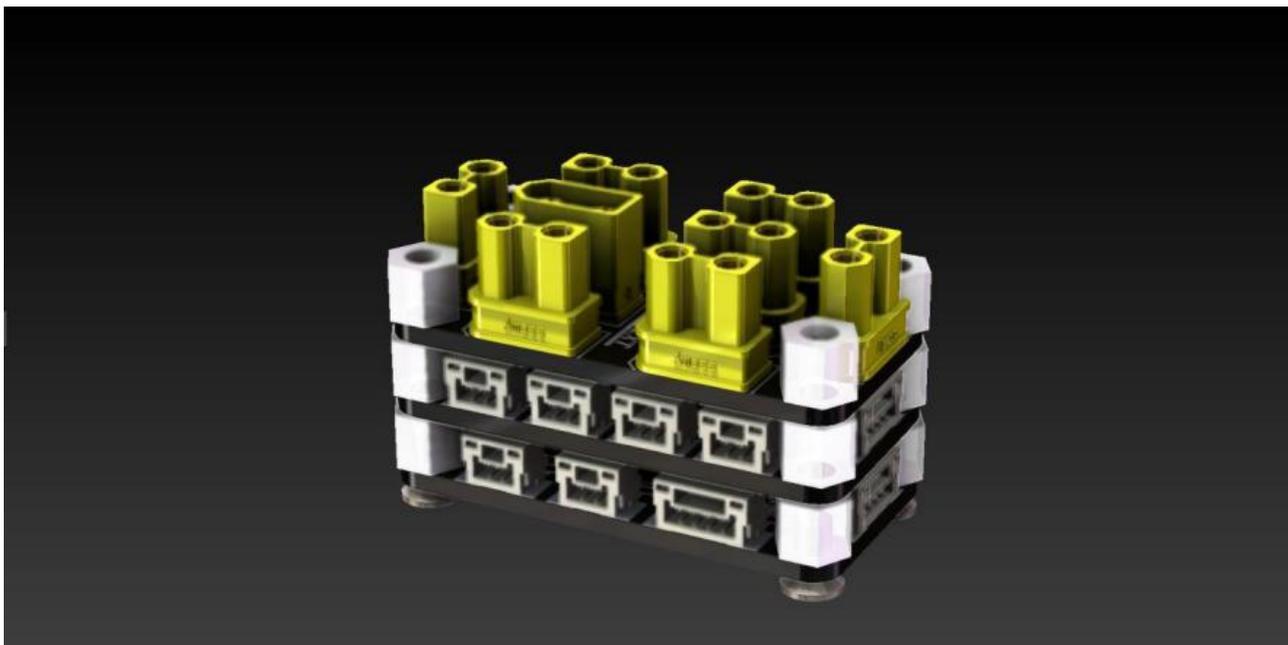


图 4.2.12 硬件标准化电机模块

上述电路板均采用统一的 40mm*20mm 尺寸和 M3 固定孔位，可实现机械友好型层叠安装。

3. 关键器件选型

MCU:

主控模块 HWSD-Core 的 MCU 采用 STM32F405RGT6，连续多个赛季以来我们始终使用这款芯片进行自研主控板设计与嵌入式开发，具有良好的硬件和软件基础积淀。

功率器件:

功率器件包括降压电路中用的 BUCK、LDO、MOS 管以及功率电感。考虑到机器人系统的硬件运行环境跟汽车运行环境类似，本设计的功率器件基本采用通过 AEC-Q 认证的汽车级器件，包括但不限于 AEC-Q200 认证的 IHLP-2020CZ-5A 功率电感、AEC-Q100 认证的 LT8653S 双通道降压芯片等。

基础元件:

电阻标准化全部使用了 0603 封装，X7R 类型，精度不低于 5%；电容区分信号电容和功率电容，信号电容统一 0603 封装，16V 耐压；功率电容采用 1206/1210 封装，25V/50V 耐压。通过标准化元件库，实现高效的物料管理，进而降低研发成本。

电阻标准化全部使用了 0603 封装，X7R 类型，精度不低于 5%；电容区分信号电容和功率 电容，信号电容统一 0603 封装，16V 耐压；功率电容采用 1206/1210 封装，25V/50V 耐压。通过标准化元件库，实现高效的物料管理，进而降低研发成本。

1.5.3 软件设计

软件项目开发基于 Visual Studio 2019、GDB 5.5、ARM toolchain 10.3.1/10.2.90/r1、STM32 Devices 2022.01 和 OpenOCD 20201228-0.10.0。

1. 系统架构

系统的层级和各层功能，列举所使用的第三方中间件和模块，如 RTOS、文件系统、日志系统、GUI、协议框架等。宿主机开发环境和调试环境。

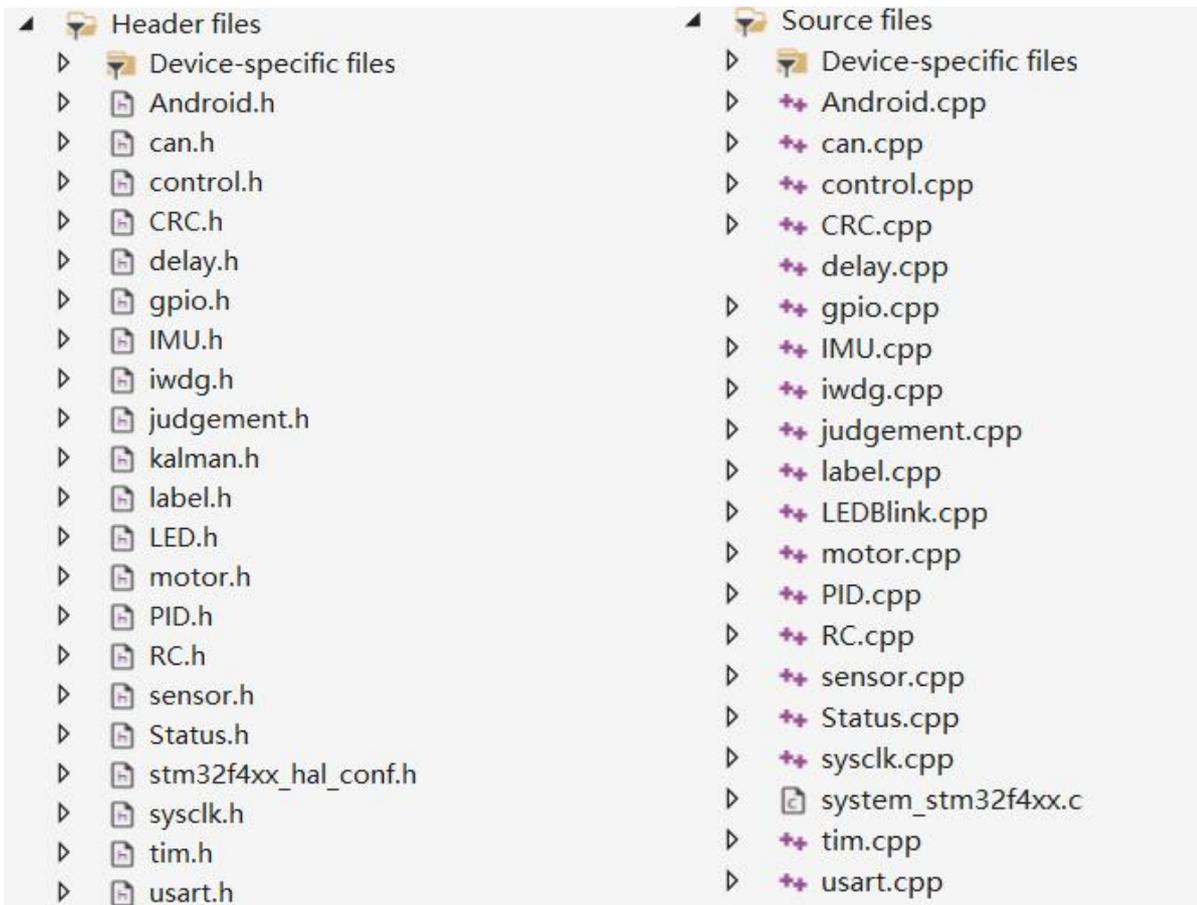


图 4.3.1 Header Files 目录（左） Source files 目录（右）

运行流程

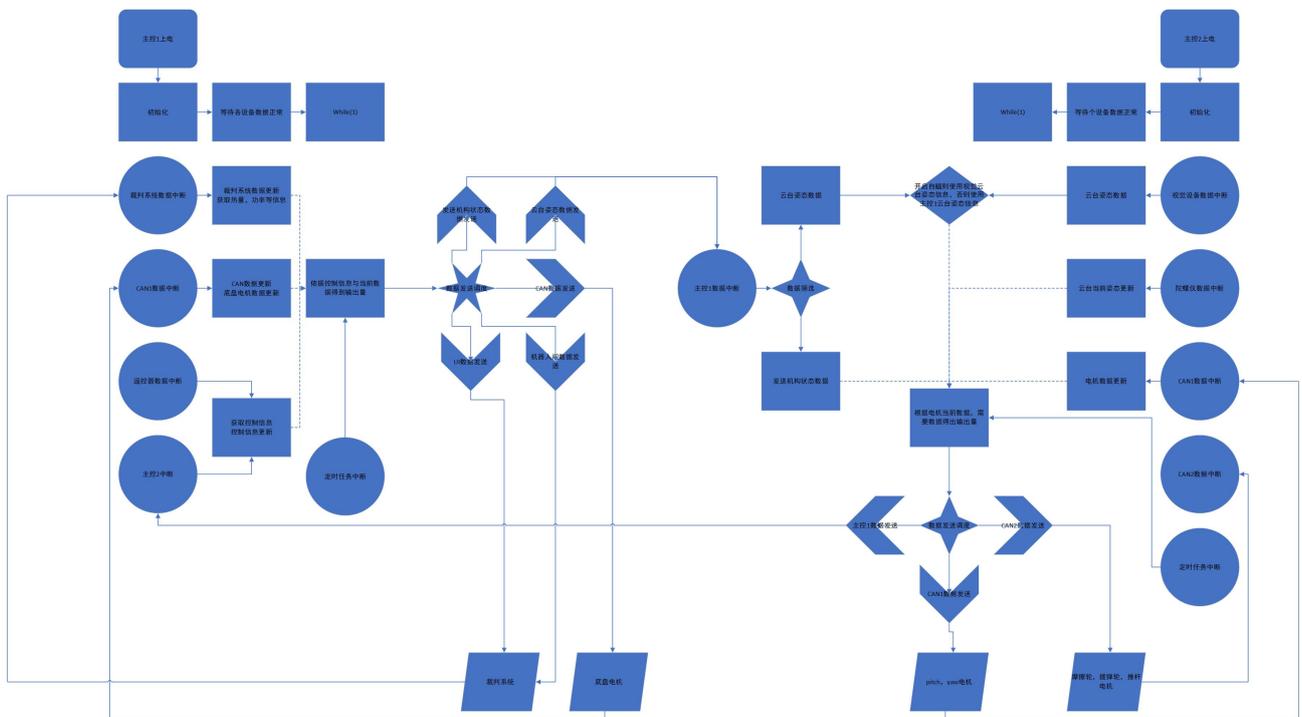


图 4.3.2 代码运行流程

2. 重点功能

支持自我检测模块功能是否正常。

3. 软件测试

射击测试：

发射频率具有小幅度变化。

运动测试：

功率可基本稳定目标功率上下。

HAL 库部分优化：

修改 HAL 中 UART_HandleTypeDef 类,实现 UART 可记录使用对象,中断调用更加简洁。如下图所示,在 stm32f4xx_hal_uart.h 修改

```

141         __IO uint32_t          ErrorCode;          /*!< UART Error code
142         void* pthis;
143         void (*callback)(void*, uint16_t);
144     }UART_HandleTypeDef;

```

修改 can 的接受方式,提高 can 数据的接收发送效率。如下图所示,对 stm32f4xx_hal_can.c 做出以下修改

```

859     //hcan->pRxMsg->Data[0] = (uint8_t)0xFF & hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDLR;
860     //hcan->pRxMsg->Data[1] = (uint8_t)0xFF & (hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDLR >> 8);
861     //hcan->pRxMsg->Data[2] = (uint8_t)0xFF & (hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDLR >> 16);
862     //hcan->pRxMsg->Data[3] = (uint8_t)0xFF & (hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDLR >> 24);
863     //hcan->pRxMsg->Data[4] = (uint8_t)0xFF & hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDHR;
864     //hcan->pRxMsg->Data[5] = (uint8_t)0xFF & (hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDHR >> 8);
865     //hcan->pRxMsg->Data[6] = (uint8_t)0xFF & (hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDHR >> 16);
866     //hcan->pRxMsg->Data[7] = (uint8_t)0xFF & (hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDHR >> 24);
867     memcpy(hcan->pRxMsg->Data, &(hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDLR), sizeof(uint32_t));
868     memcpy(&(hcan->pRxMsg->Data[4]), &(hcan->Instance->sFIFOMailBox[FIFONumber].RDHR), sizeof(uint32_t));

```

测试方案简介、测试执行情况和结果。

以上目标框架仅供参考,也可修改说明结构和方式,能将软件实现方式描述清晰即可,重点描述自主设计部分,说明软件系统架构以及重点完成功能。

1.5.4 算法设计

控制算法：

各受控类都需添加 Update()作为数据更新调用 Control 类下 Chassis, Pantile, Shooter 中 manual_xx 实现对 xx 类的数据计算,再由 xx 类下 Update()在 Control: : Update()中调用实现数据实时更新 Chassis 底盘具有三种模式:锁定 (LOCK),自由 (FOLLOW),自旋 (ROATION)。三种模式以操作手视角为前进方向,优点为便于操作。缺点是 LOCK 下底盘回正需要时间。如下图 所示。移动为常规 X 型麦克纳姆轮算法。

```
void Control::manual_chassis(int32_t speedx, int32_t speedy, int32_t speedz)
{
    follow_speed(&speedx, &speedy, &speedz);
    int32_t setX, setY, setZ;
    setX = -speedx*0.4;
    setY = -speedy*0.4;
    setZ = -speedz*0.4;
    chassis.PowerUpdate(&setX, &setY, &setZ);
    this->chassis.speedx = setX;
    this->chassis.speedy = setY;
    this->chassis.speedz = setZ;
}
```

如下图所示,功率限制运用裁判系统反馈的底盘功率限制、当前底盘功率以及当前缓冲 能量三个数据,通过负反馈对每个轮子进行速度控制与分配。该算法的优点是能最大效率利用功率。缺点是加速到最大速度具有更长时间 (500ms~1.5s),频繁变动速度可能具有较高 延迟 (以最高速度突然下达反向时最明显)。

```
double error;
if (!openBuffer)
    error = chassis_power_limit - now_chassis_power;
else
    error = chassis_power_limit - now_chassis_power + chassis_buffer;
if ((*speedx) || (*speedy) || (*speedz))
    del_used_power_limit = MIN(MAX(del_used_power_limit + speed_limit_PID.Delta(error), 0.0), 5.0);
else
    del_used_power_limit = 0;
(*speedx) = -(*speedx) * del_used_power_limit;
(*speedy) = -(*speedy) * del_used_power_limit;
(*speedz) = (*speedz) * del_used_power_limit;
```

Pantile 云台在锁定与自旋状态下以陀螺仪数据进行控制。相较于以云台数据反馈数据 进行控制。优点是使用陀螺仪数据能好实现云台与地面相对静止。缺点是易受干扰,稳定需 © 2022 厦门大学机器人队 版权所有 27 要比 6020 反馈数据为基准更长时间。需要添加前置量,否则云台将有 20°左右角度偏移而后回正。云台控制代码如下。

```

else if (this->chassis.m_chassisMode == Control::Chassis::ROTATION)
{
    imu_pantile.initialYaw = getDelta(imu_pantile.initialYaw + (adjangle * ch_yaw / 22.75f));
    imu_pantile.initialPitch = getDelta(MIN(MAX(imu_pantile.initialPitch + (adjangle * ch_pitch / 22.75), -27.f), 45.f));
    keepPantile(imu_pantile.initialYaw, &(pantile.setyaw), imu_pantile);
    keepPantile(imu_pantile.initialPitch, &(pantile.setpitch), imu_pantile);
}
else if (this->chassis.m_chassisMode == Control::Chassis::LOCK)
{
    imu_pantile.initialYaw = getDelta(imu_pantile.initialYaw + (adjangle * ch_yaw / 22.75f));
    imu_pantile.initialPitch = getDelta(MIN(MAX(imu_pantile.initialPitch + (adjangle * ch_pitch / 22.75), -27.f), 45.f));
    keepPantile(imu_pantile.initialYaw, &(pantile.setyaw), imu_pantile);
    keepPantile(imu_pantile.initialPitch, &(pantile.setpitch), imu_pantile);
}

void Control::keepPantile(float angleKeep, float* which, IMU frameOfReference)
{
    float delta = 0, adjust = this->pantile.sensitivity;
    if (which == (&(pantile.setyaw)))
    {
        delta = degreeToMechanical(getDelta(angleKeep - frameOfReference.GetAngleYaw()));
        if (delta <= -4096.f)
            delta += 8192.f;
        else if (delta >= 4096.f)
            delta -= 8291.f;
        if (abs(delta) >= 30.f)
            (*(which)) -= pantile.pantile_PID[Pantile::TOP_USE_YAW].Delta(delta);
    }
    else if (which == (&(pantile.setpitch)))
    {
        delta = degreeToMechanical(getDelta(angleKeep - frameOfReference.GetAnglePitch()));
        if (delta <= -4096.f)
            delta += 8192.f;
        else if (delta >= 4096.f)
            delta -= 8292.f;

        if (abs(delta) >= 10.f)
        {
            (*(which)) += pantile.pantile_PID[Pantile::TOP_USE_PITCH].Delta(delta);
        }
    }
}

```

Shooter 发射机构采用“上拨一颗弹丸发射一颗弹丸”的流程。需要通过微动开关的状态判断是否能发射子弹，当 Ready_to_shoot 这个变量为高电平即代表已有弹丸在入弹口，接着 2006 电机可以通过齿轮驱动一块直角型的玻纤板推动弹丸至摩擦轮发射出去，发射过后，底盘的拨弹轮继续拨弹至微动开关状态为高电平。

```

if (shoot && !pushBack && Micro_Switch.Ready_to_shoot)
{
    shooter[3]->setcircle = 220500;
    pushBack = true;
}
if (pushBack && shooter[3]->curcircle >= 220400)
{
    shooter[3]->setcircle = 0;
    judgeShoot = true;
    pushBack = false;
}
if ((judgeShoot == true) && shooter[3]->setcircle < 15 && !Micro_Switch.Ready_to_shoot)
{
    shooter[2]->setcircle += -10;
}
else
{
    judgeShoot = false;
    shooter[2]->setcircle = shooter[2]->curcircle;
    shooter[2]->setspeed = 0;
}
if (load && !Micro_Switch.Ready_to_shoot && (shooter[3]->curcircle < 75))
{
    shooter[2]->setcircle += -3000;
}

```

1.5.5 其它

除了机械、硬件、软件、算法之外的研发投入说明，比如：工业设计、UI 交互开发。

1.6 研发迭代过程

研发过程中，不同阶段或者版本所完成的功能、发现的问题、问题定位分析以及改进解决方案说明。

以下格式仅作为参考，可自行更改格式。

1.6.1 测试记录

对机器人各项功能点进行测试验收，记录测试环境、测试设备等信息。

1.6.2 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	下供弹，采用斜 45 度自发射链路，云台重力补偿使用拉簧	2022.8.31

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.1	放弃斜 45 度供弹采取直角链路，并引入推弹电机完成将子弹推至摩擦轮	2022.10.25
V2.0	使用卷簧替代拉簧完成重力补偿	2022.12.5
V2.1	加入英雄保护件，更改悬挂	2022.12.30
V2.2	修改部分弹路	2023.1.24
V2.3	加入微动开关闭环控制拨弹电机角度	2023.1.28
V2.4	拨盘结构改成使用螺丝与 3508 电机固定	2023.2.1
V2.5	拨盘结构改成使用胀紧套与 3508 电机固定	2023.2.5

1.6.3 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 & 实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
	拨盘电机转子朝下容易碰地	整车底盘重心设计过低	电机反装，采用六轴联轴器 & 与地面有较长距离	V1.0	机械工程师：林家乐 机械工程师：冯敬超
1	下台阶容易被卡住	底盘设计未考虑充分	底盘加入四排轴承 & 下台阶顺利	V1.0	机械工程师：林家乐 机械工程师：冯敬超
2	上云台体积大	拉簧所占空间大	使用卷簧替代拉簧	V2.0	机械工程师：林家乐 机械工程师：冯敬超
3	弹路卡弹	亚克力管连接处有缝隙	将上部弹路的内径扩大 & 供弹稳定	V2.2	机械工程师：莊孟潔
4	难以精准地控制拨弹电机的角度	完全开环的控制系统	增设微动开关 & 拨弹电机角度可以精准控	V2.3	机械工程师：莊孟潔 嵌入式软件工程师：黄忠

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
			制		嵌入式软件工程师： 罗聪
5	拨盘与 3508 电机固定松动	拨盘采用打印件,用久了磨损导致打滑	使用一根穿过 3508 轴的长螺栓固定拨盘和电机&螺栓断裂	V2.4	机械工程师：莊孟潔 机械工程师：林家乐 机械工程师：冯敬超
6	拨盘与 3508 电机固定的螺栓断裂	采用螺栓固定的结构许可受力太小	拨盘采用机加工件保证强度并通过胀紧套与电机固定&供弹稳定	V2.5	机械工程师：莊孟潔 机械工程师：林家乐 机械工程师：冯敬超
7	仰角时，弹丸连发	微动开关并未被触发	采用两个微动开关	V2.6	机械工程师：莊孟潔 嵌入式软件工程师： 罗聪

1.7 团队成员贡献

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
林家乐	机械设计制造及其自动化、大三、机械设计装配负责人	负责整合机器人的机械部分的理论构建、机械设计、整台机器人的机械部分的加工装配和后期维护	25
冯敬超	自动化、大四、机械设计装配负责人	负责整合机器人的机械部分的理论构建、机械设计以及仿真分析	25
罗聪	机械设计制造及其自动化、大二、软件开发负责人	负责整个机器人的嵌入式开发，包括底盘控制、云台控制	20
黄忠	软件工程、大二、算法开发负责人	负责整合机器人的算法层面的研究与开发，包括 PID 算法	10

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为100%)
莊孟 潔	计算机科学与技术、大二、机械设计装配负责人	负责整台机器人的机械部分的加工装配、机械设计和后期维护	20

1.8 参考文献

[1] <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=21962>

[2] <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=11045>

[3] <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=11032>

[4] <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12210>

[5] <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=11036>

1.9 技术方案复盘

本赛季英雄机器人在场上的发挥，有以下两点无法达到预期效果：

第一点，在供弹链路中，虽然采用直上链路极大地减少了整体弹路中的弯曲处，但是在各零部件连接处并不平滑，造成卡弹的风险。

第二点，在较远处进行射击时，弹道飘忽不定，在发射弹丸时，不能确定达到预期效果，这直接导致了我方无法快速地摧毁敌方的建筑物。

1.9.1 赛场性能表现情况分析

(1) 缺点：

以移动速度为衡量标准：鉴于功率限制，赛场上机器人移动相对于其他队伍英雄机器人移动缓慢。

以转向速度为衡量标准：鉴于功率限制，赛场上机器人移动相对于其他队伍英雄机器人转速缓慢。

以命中精准度为衡量标准(在 10m 距离外)：弹道飘忽不定，因为难以精确调整俯仰角。

(2) 优点：

以命中精准度为衡量标准(在 10m 距离内)：命中率较高。

以行进稳定度为衡量标准：爬坡时行进稳定，可落风坡，显示出弹簧减震性能佳。

轻量化：英雄机器人的结构紧凑，有效利用空间。

轮组性能：未发现明显空程，未发现轮组外八情形。

防护能力：在赛后，未发现明显器件损伤。

1.9.2 赛场性能表现与规划对比分析

(1) 供弹链路

在供弹链路中，虽然采用直上链路极大地减少了整体弹路中的弯曲处，但是在各零部件连接处并不平滑，造成卡弹的风险。因此，英雄机器人在机械结构上还具备优化空间。

(2) 弹道

在狙击点吊射前哨战时，因为弹道飘忽不定，英雄机器人无法进行稳定的输出，这直接导致了我方无法快速地摧毁敌方的建筑物，分析其原因大致有二。其一，在发射弹丸前的限位遭到磨损，我们应该进行更多的参数测试，精确射击精度；其二，对于操作手而言，无法精确地调整俯仰角进行火力输出。分析其原因，我们选择齿轮传动做为俯仰方案，实际上，由于齿轮啮合存在间隙引发空程，导致俯仰角度难以精确调整。

(3) 底盘

本赛季中，底盘的设计，已大致实现规划的功能，但仍有可优化的空间。

内嵌式轮组是透过在轮组内放入涨紧套，机加工件，再与外部的 D 型法兰相连。然而，经过时间的验证发现，涨紧套有所松动，但并不影响实际跑动。

弹簧悬挂系统，在这套改进过后的系统上，车身的减震性能可以负荷全地形的爬坡与下落。还需改进的地方在于，维修过程所耗时间较长。

为了因应机器人在下坡时卡在台阶之上，在最底层安装了轴承，然而安装位置相对于地面过低，导致在赛场上某处爬坡失败。

轻量化结构一方面降低了车身重心，整车高度最高处为 585mm，安装图传的位置也过低，导致仰角时，若前方有建筑物时，无法看见视野。

整个底盘由于采用大量碳纤维板与榫卯结构，导致拆卸困难。为了方便维修，引入对应常拆卸孔位的镂空设计。

(4) 电机选型

本赛季中，在实现 yaw 轴旋转的方案上，我们引入了导电滑环。然而在选型上，并未详细考究，使用的导电滑环体积过大，重量过重。

1.9.3 经验总结

对于机器人设计与开发过程我们有以下的总结：

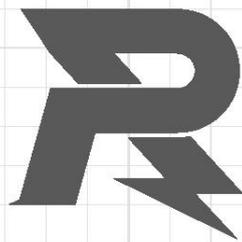
(1) 我们需要先对规则进行好的解读，因应各兵种不同的战略定位，设计可行的方案，进行合

理的人员分配，在机器人的设计中选择合适的器件。

(2) 掌握好研发进度。

(3) 各兵种组内应该加强交流，才能让个人发挥最大职能。

(4) 在设计中，与设计完成后，都要对局部模块，或是整车进行测试，测试应该要考虑到实际赛场，涵括更多复杂情况。



邮箱: robomaster@dji.com

论坛: <http://bbs.robomaster.com>

官网: <http://www.robomaster.com>

电话: 0755-36383255 (周一至周五10:30-19:30)

地址: 广东省深圳市南山区西丽街道仙茶路与兴科路交叉口大疆天空之城T2 22F