



Using a 32-bit motor driver chip and Field-Oriented Control (FOC), the RoboMaster C300 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.

Exclusively designed for the RoboMaster M300S P18 Brushless DC Gear Motor and C300 Brushless DC Motor Speed Controller, the M310S Acromechatronics RT includes several rollers and a terminal board.

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

All M300S Acromechatronics RT include several rollers and a terminal board, ensuring a complete and stable system when the robot is in motion.

# ROBOMASTER 机甲大师超级对抗赛 技术方案

华北理工大学 Horizon 战队 编制

2024年6月 发布

# 前言

本技术方案由华北理工大学 Horizon 战队编制，适用于 RoboMaster 2024 机甲大师超级对抗赛。主要撰写人员包括：

| 模块 | 撰写人员 1 | 撰写人员 2 |
|----|--------|--------|
| 机械 | 刘田     |        |
| 硬件 | 王涵炜    |        |
| 软件 | 王涵炜    |        |
| 算法 | 杨忠涛    |        |
| 其他 |        |        |

# 目录

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 前言 .....                  | 2         |
| <b>1. 概述 .....</b>        | <b>5</b>  |
| 1.1 背景&目标 .....           | 5         |
| 1.2 其它学校机器人分析综述 .....     | 5         |
| 1.2.1 底盘模块 .....          | 5         |
| 1.2.2 上层结构 .....          | 6         |
| 1.2.3 二级抬升 .....          | 8         |
| 1.2.4 存矿机构 .....          | 10        |
| 1.3 机器人功能定义 .....         | 12        |
| 1.4 机器人核心参数 .....         | 13        |
| <b>2. 设计方案 .....</b>      | <b>15</b> |
| 2.1 机械结构设计 .....          | 15        |
| 2.1.1 开发工具和工艺选择 .....     | 15        |
| 2.1.2 方案概述 .....          | 15        |
| 2.1.3 机械各模块机构概述 .....     | 17        |
| 2.1.4 微动开关行程检测及线路布局 ..... | 25        |
| 2.2 硬件设计 .....            | 27        |
| 2.2.1 气泵控制板设计 .....       | 27        |
| 2.2.2 战队主控设计 .....        | 27        |
| 2.2.3 陀螺仪设计 .....         | 29        |
| 2.3 软件设计 .....            | 30        |
| 2.4 算法设计 .....            | 35        |
| 2.4.1 工程转矿的视觉算法设计 .....   | 35        |
| 2.4.2 数据集处理 .....         | 37        |
| 2.4.3 算法性能、优缺点分析 .....    | 37        |
| 2.4.4 算法结果 .....          | 38        |
| 2.5 其它 .....              | 38        |
| 2.5.1 组合动作设计 .....        | 38        |
| 2.5.2 UI 设计 .....         | 38        |
| 2.5.3 自定义灯条 .....         | 39        |
| <b>3. 研发迭代过程 .....</b>    | <b>40</b> |
| 3.1 测试记录 .....            | 40        |
| 3.1.1 三轴机械臂研发测试 .....     | 40        |

---

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 3.1.2 R、P 轴 2006 电机联动测试 ..... | 40        |
| 3.1.3 机械臂装车测试 .....           | 41        |
| 3.1.4 转矿机构研发测试 .....          | 42        |
| 3.1.5 第一代自定义控制器研发 .....       | 42        |
| 3.1.6 第一代车体控制检测 .....         | 44        |
| 3.1.7 陀螺仪校准测试 .....           | 45        |
| 3.1.8 一键取矿测试 .....            | 45        |
| 3.2 版本迭代过程记录 .....            | 46        |
| 3.3 重点问题解决记录 .....            | 47        |
| <b>4. 团队成员贡献 .....</b>        | <b>50</b> |
| <b>5. 参考文献 .....</b>          | <b>51</b> |
| <b>6. 技术方案复盘 .....</b>        | <b>52</b> |
| 6.1 赛场性能表现情况分析 .....          | 52        |
| 6.2 赛场性能表现与规划对比分析 .....       | 52        |
| 6.3 经验总结 .....                | 53        |

# 1. 概述

## 1.1 背景&目标

由于今年比赛规则的变化很大，尤其是对工程机器人来说，经济体制的改动，工程血量的削减，空接机制的取消，半自动工程的首次提出，机械臂技术的成熟发展，工程机器人已不单单限制于传统的龙门架构型，而对于这几年来依赖于单一的传统机械结构的我们工程组来说，这是一次空前的危机与挑战，所以我们必须破釜沉舟，背水一战。

对于赛场来说，不论是作战机器人补给与买活还是无人机和哨兵的增援都依赖于工程所获得的经济，且工程的血量较低，已失去部分战场职能，所以工程机器人的经济获取能力是设计的核心重点。按照新赛季的经济体系与规则，原来的空接机制变为了矿洞争夺模式，而兑换一共有五个等级，因此我们的目标是三金三银，保底四级，只有这样才能保证队伍的经济需求，从众多队伍中脱颖而出。

## 1.2 其它学校机器人分析综述

### 1.2.1 底盘模块

RM 赛事从 2015 年发展至今，底盘也从最初普通的麦轮底盘发展到全向轮底盘，舵轮底盘，半舵半全向底盘，平衡底盘等新式底盘，作为设计者一定得知道什么底盘适用于自己所负责的兵种，不能盲目选用，就工程机器人来说，在很久之前的比赛中我们可能会看到月球车的存在，但如今工程机器人不用登岛争抢资源，所以这种设计已成为历史，而工程机器人的上层结构比较复杂且占用体积较大，当工程机器人完全延展后重心上移，所以全向轮的底盘也无法使用，而现今工程机器人的主要底盘模块是四驱独立悬挂麦轮底盘和舵轮底盘，下面我会做一些有关的详细概述。

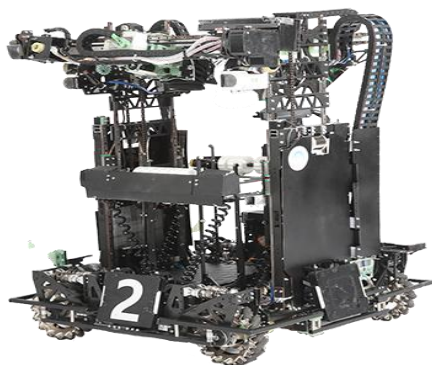


图 1.2.1-1 四驱独立悬挂麦轮底盘

四驱独立悬挂麦轮底盘：如图 1.2.1-1 所示，为华南理工大学 2023 年工程机器人的麦轮底盘展示，这类底盘是各大战队工程机器人底盘的首选，轮组通过避震器与底盘结构件直连，再同过合页或者转轴给予相应角度的转动，轮组之间相对独立，形成各自的悬挂系统，麦克纳姆轮与电机的连接可分为内嵌式和外

置式，内嵌式价格昂贵，但可以减小轮组的宽度，而外置式价格便宜，制作简单，方便拆卸，队伍可根据相应的情况选择适配的轮组。

优点：结构简单，易于开发，方便拆装，制作成本较低，轮组所占空间小，适应各种地形，满足移动的基本需求，重量轻。

缺点：跑动时震动较大，有滚轮的损耗问题，且转向机动性相对较慢，操作手感相对生硬。

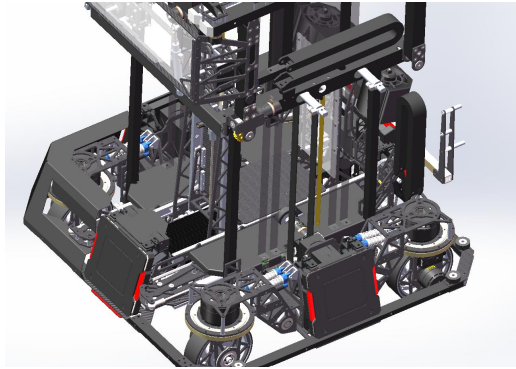


图 1.2.1-2 舵轮底盘

舵轮底盘：如图 1.2.1-2 所示，为北京理工大学的舵轮底盘展示，作为一种新兴的底盘模块，上场之初就给各大高校带来不小的震撼，其高机动性和灵敏性使得各个战队争相研发，而工程机器人的底盘功率不限无疑能将舵轮底盘的优势发挥到极致。

优点：机动性强，转向快，无滚子损耗，适应地形能力强，精度高，走路十分丝滑

缺点：价格昂贵，制作安装相对麻烦，电控调试有一定难度，且因为四个舵向电机的存在导致重量较重

以上是现今比赛常用的底盘模块，对于未来我想可能会出现气动或电动的主动悬挂这一类的地盘模块，操作手可通过调整底盘姿态来更好的兑换矿石，或者之后的半自动工程机器人要在复杂地形下取矿兑矿，可安装陀螺仪来稳定底盘姿态，从而更好的工作，当然这也只是我的一些猜测。

## 1.2.2 上层结构

工程的上层结构最初都是以龙门架为基础而设计的，到 19 赛季以后，弹药箱变为了矿石，以广东工业大学为典型代表的战队开始研发多轴机械臂，成为工程机器人另一种亮眼的色彩，而 23 赛季的兑换站机制的改动更是将工程机器人上层结构的定义与样式推向了改革的高潮。





图 1.2.2-1 龙门架+六轴机械臂

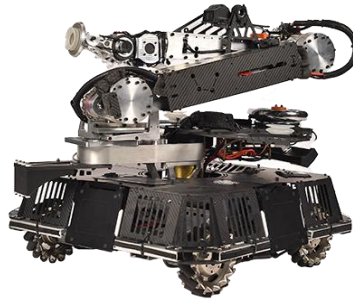


图 1.2.2-2 六轴机械臂

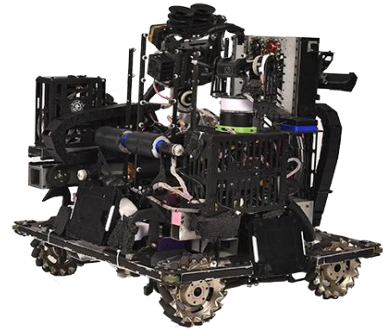


图 1.2.2-3 单边抬升+直线机构+机械臂

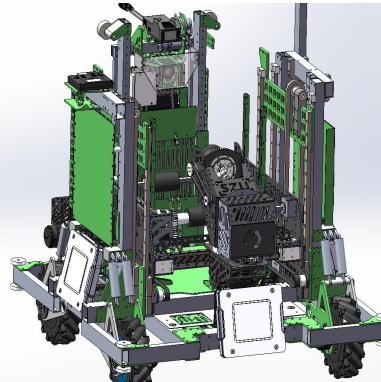
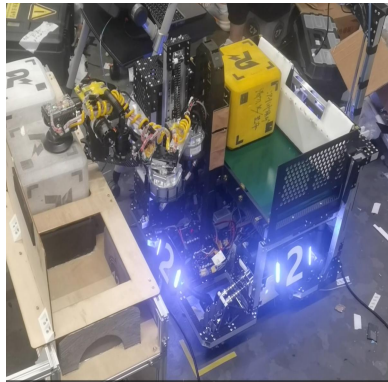


图 1.2.2-4 单边抬升+SCARA 机械臂、龙门架+直线、非传统龙门架构型机构+低自由度机械臂

### 1. 龙门架+六轴机械臂：

如 1.2.2-1 所示，为广东工业大学 2022 年工程机器人上层结构展示，由龙门架结构，前伸机构和六轴机械臂组成，其设计想法新颖，灵活度高，理论上十分完美，但缺点也很明显，例如对电控的算法难度极大，整体完全展开后重心十分靠上和靠前，容易翻车，且走线相对麻烦，装配难度相对较高等，但在当时确实为工程机器人的设计提供了一个全新的思路。

### 2. 六轴机械臂：

如图 1.2.2-2 所示，为上海交通大学 2023 年国赛工程机器人展示，是上层结构为大型的六轴机械臂的典型代表，在当时的赛场上十分亮眼，稳定性高，响应速度快，灵活度极高，其极致的兑换速度为整个队伍埋下了坚实的经济基础，但其缺点在于制作成本太高，对电控的算法能力要求也非常高，对于一般的队伍来说需要有一定的技术积累。

### 3. 单边抬升+直线机构+机械臂：

如图 1.2.2-3 所示，为上海交通大学 2023 年分区赛工程机器人展示，其具备单边抬升，前伸横移系统，4 轴机械臂，具有高灵活性和高延展性，是传统直线结构与多轴机械臂的中间版本，十分满足赛季需求，虽然设计理念十分优异，但装配精度较高，结构刚度需求较高，可能涉及到焊接作业等，且机械臂重心位置把控不当，将导致整体的晃动，以我的加工制作水平来看，未能满足其要求。

### 4. 单边抬升+SCARA 机械臂

如图 1.2.2-4（左一）所示，为南方科技大学 2023 年工程机器人取矿展示，SCARA 机械臂是生活中较为常见的一种机械臂，由多个 Y 轴叠加组成的机械臂，其活动半径大，结构稳定可控，且机动性较高，会成为未来赛季的一大趋势所向，整体灵活度很高，但其缺点与六轴机械臂基本一致，需要用到一定的定制件，价格较高，对电控来说需要一定的算法基础。

#### 5. 龙门架+直线机构+低自由度机械臂：

如图 1.2.2-4（左二）所示，为深圳大学 2023 年工程机器人模型，由传统的龙门架结构加上直线横移结构和四轴机械臂，其赛场表现十分优异，该结构是传统龙门架结构向未来版本的过渡段，性能十分稳定，结构相对简单，开发难度相对较低，成本较低，是新老队伍十分不错的一项选择，其缺点在于灵活度相对较低，受尺寸限制范围较大，技术研发性相对较弱，只能作为现今赛季的过渡版。

#### 6. 非传统龙门架构型：

如图 1.2.2-4（左三），为东北大学 2023 年分区赛工程机器人，这种设计颠覆了以往固定式龙门架的构型，增添了龙门架的灵活性与自由度，两边抬升高度错位形成 R 轴，前伸错位形成 Y 轴，加上单独的一个 P 轴，整个上层结构轻量化结构设计，加装支轮整体横移，在比赛中也取得了非常不错效果，非常适合上个赛季，但缺点也很明显，装配比较复杂，加工精度要求较高，自由度也比较受限，但确实是十分优秀的构型。

#### 7. 双机构

从东北大学 2021 工程机器人夹爪取地矿吸盘空接的方案，到其 2023 年前伸机构推出一位三矿加上上层机械臂的结构，双机构的发展一直在东北大学中取得十分亮眼的表现，而我个人认为，双机构的发展是未来所向，因为获取矿石完全可以被响应速度快的直线机构所完成，而机械臂速度比不上直线机构，而兑换则需要高自由度的机械臂来完成，二者结合在一起，搭配视觉所成的半自动工程定是能获取极致的经济效益，我的第一版图纸便是直线机构搭配夹爪获取银矿和地矿，机械臂搭配直线机构空接和兑换，但由于部分原因以及取消了空接机制，更换了该方案，但双机构的发展定会在这三年内展露头角。

## 1.2.3 二级抬升

现今场上除了六轴机械臂这种上层结构外几乎都用到了抬升机构，抬升机构的使用无外乎齿轮齿条、链传动、带传动，但一倍的抬升路径可能无法满足我们的需要，而叠加的抬升路径增添了电机且增加了重量，这时我们考虑到使用二级抬升，所谓二级抬升便是通过一定的机械结构使电机在走过一倍的线路行程下给予上层结构两倍的抬升路径，下面从涉及到的原理进行举例。



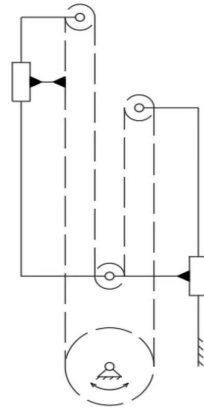
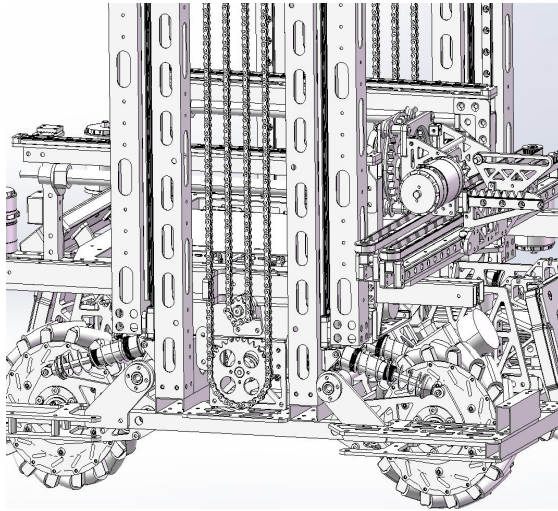


图 2-7 链条升降机构简图

图 1.2.3-1 动滑轮原理升降

### 1、动滑轮原理：

如图 1.2.2-5 所示，为北京信息科技大学 2023 年设计的工程机器人模型，旁边是其结构原理图，第一段的抬升与动滑轮所连接，第二段的抬升在第一段的抬升框架中，上层结构所需要链条抬升的行程则是由动滑轮的一倍位移所产生的二倍路径所提供的，上层结构和动滑轮同步抬升共同组成了二级抬升系统。

优点：宽度狭小，省空间

缺点：笨重，所用定制件较贵，装配比较麻烦

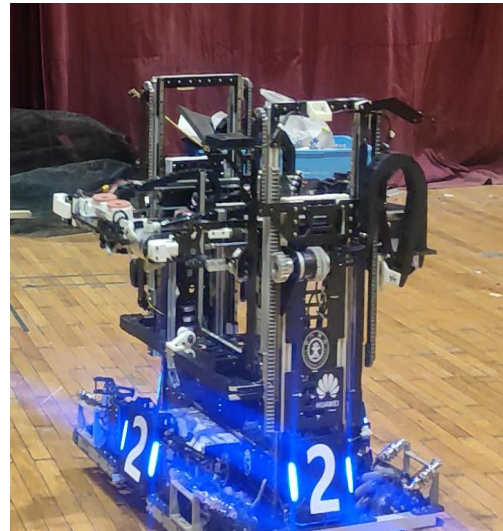
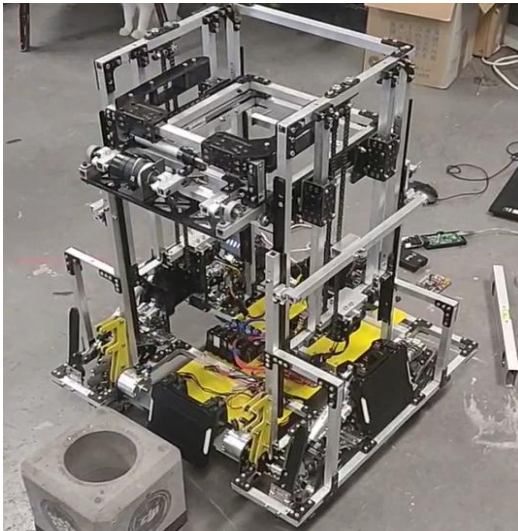


图 1.2.3-2 相对位移原理升降

### 2、相对位移原理：

如图 1.2.3-2 所示，两者的二级抬升原理均为相对位移，左图是我队 21 年的分区赛工程机器人，其二级抬升结构我队已使用了三年，外侧线性约束使用两对抽屉滑轨，二级升降采用自制滑道约束，由于我们工况较差，加工精度低下，常常导致卡顿，其链条一侧的上端与底盘固定，链条另一侧的下端与上层结构固定，电机与从动轮装配在相对于底盘抬升的第一段抬升框架中，链条的下降的一侧由于相对位移给予了

第一段抬升框架的抬升，链条的上升一侧给予了上层结构相对于第一段抬升框架的第二段抬升，第一段抬升框架和上层结构一起抬升组成了二级抬升系统，这也是其它队伍较为常用的二级抬升装置。

优点：安装制作简单，便宜，重量较轻。

缺点：装配精度无法保证的前提下，会十分容易卡顿。

右图是西安交通大学 2022 年工程机器人抬升展示，虽然基本原理也是相对位移，内容却有所不同，属于第二类相对位移原理的二级抬升机构，该二级抬升将传动分成两个部分，一级传动由底盘上的电机通过齿轮齿条抬升中间框架，中间框架上有两个从动轮通过皮带连接，皮带的一侧与底盘框架连接，当中间框架被抬起来时，因为相对运动关系，皮带连接底盘的一侧下降，另一侧抬升并于与上层结构连接，上层结构相对于中间框架的抬升形成二级传动，中间框架与上层结构一起抬升形成了二级抬升系统。

优点：安装制作简单，便宜，过程稳定，容错性高。

缺点：笨重，宽度较大，占用空间相对较多。

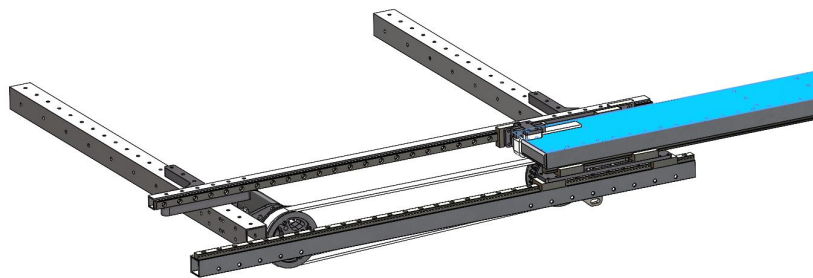


图 1.2.3-3 同步带二级横移

### 3、同步带的特性：

如图 1.2.3-2 所示，为上海交通大学横移同步带总成模型，虽然这不属于抬升范畴，但其属于二级传动，所以就浅提一下，他的原理其实就是将原有的同步带系统打开，使其中一个同步轮的平面位移，由于同步带是弯曲可折叠的特性，将其迂回缠绕绑在铝管两端，如同扭曲的“N”形，在横移过程中一段收缩，一段延长，相当于共用且延长一段同步带，形成了二倍路径。

优点：结构轻便。

缺点：纵向负载能力小，一般用作前身横移装置，安装较为麻烦

## 1.2.4 存矿机构

为了获取极致的经济效益，存矿机构是工程机器人不可缺少的结构，单一的箱体式矿仓，容量小，一次性只能存储一个矿石，且不能直接调整矿石姿态，操作手难以直接对准，与拥有存矿机构一次性存下 2~3 个矿石的相比，在比赛中兑换的经济量差距很大，因此这也是我比较重视的一点。

### 1、可移动式单层滚轮机构+矿链：

工程机器人的上层结构中间加装单层滚轮机构，带滚轮的转轴一般分布在前后以及两侧，可用于调整矿石姿态以及存储，在底盘中间竖起长长的矿链，以确保矿石可以顺利下滑且在底盘上不会发生相对转动和移动，典型代表为深圳大学 2023 年工程机器人，如图 2.2.7 所示。

优点：可存储 2~3 个矿石，结构轻巧。

缺点：由于跟随上层结构一直运动，滚轮一直处于转动挤压矿石的状态，磨损较大。

### 2、固定式双层滚轮机构：

相比单层滚轮机构，又增加了一层滚轮机构用于储存和传递矿石，且存矿机构成为单独的一个整体，而不干涉其它机构，典型代表为东北大学 2023 年分区赛工程机器人，如图 2.2.8 所示。

优点：可存储两个矿石，调试简单，稳定可控。

缺点：增添了电机数量，需要占用一定的空间。

### 3、吸盘式存储：

如图 1.2.4-1 所示，为上海交通大学 2023 年国赛工程机器人，在六轴机械臂后面的平面上增添了三个小吸盘，当取完矿石后与小吸盘对接完成矿石存储，以及如图 2.3.3 所示为东北大学 2023 年国赛工程机器人，其创新性的采用了单独的机构加装三个独立控制的吸盘，进行一位三矿的获取以及存储矿石，可以看到吸盘式存储也是未来存矿机构的发展方向之一。

优点：可存放 2~3 个矿石，所占空间小，便于设计，也可演化为第二套机构增加其它功能。

缺点：无法主动调整矿石姿态，气路控制方面比较复杂，吸盘为单独气路控制，需加装气泵，转接时可能会出现差错，稳定性较低。

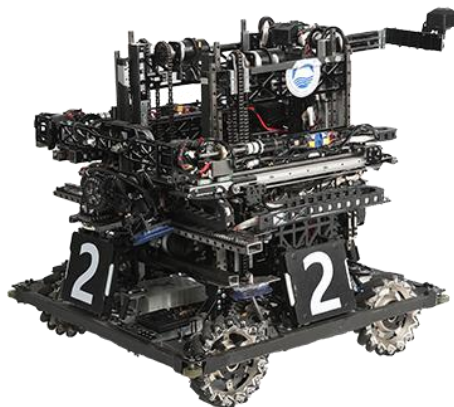


图 1.2.4-1 一位三矿吸盘式存储

### 4、改进箱式矿仓（矿链）：

经过改进的箱式矿仓可以存放多个矿石，且稳定性较高，开发简单，如图 2.2.6 所示，为南方科技大学 2023 年取矿展示，其取矿机构的后方便是箱式矿仓，内置传送带，一次性可存放 2 个矿石。

优点：结构简单，开发难度低，便于设计。

缺点：无法主动调整矿石姿态，操作手存矿时需要精确的放置，容易产生过多的存放时间。

## 1.3 机器人功能定义

- 工程机器人功能举例
  - 底盘功能设计
    - 全身延展后不会出现翻车
    - 稳定性强，机动性良好
    - 具有平移功能
    - 机构简单，可快速修复
    - 四驱独立悬挂
    - 麦克纳姆轮
- 上层设计
  - 结构整体的稳定性
  - 风险较低，投入资金较少
  - 空间的合理利用且外形美观
  - 向未来版本的过渡段，自动化获取矿石
  - 运动范围宽广
  - 龙门架+直线横移机构+机械臂
- 抬升机构
  - 可伸入矿洞获取金矿
  - 可兑换高等级矿石
  - 可捡取地上的矿石
  - 二级抬升
- 存矿机构
  - 结构简单，便于维护
  - 自由调整矿石姿态
  - 可存放两个矿石，保证取矿效率
  - 固定式双层滚轮机构
- 机械臂
  - 可伸入矿洞获取金矿，高效率获取银矿
  - 可兑换高等级矿石
  - 末端电机直连作为Y轴，向前沿伸制作3-4自由度机械臂
- 图传机构

- 给予操作手极佳的观察视野
- 图传有独立的抬升机构
- 设置图传云台，并配置舵机给予俯仰角
- 功能量化举例
  - 开局争抢金矿，获得经济领先
  - 高质量兑换，保底四级，争取五级
  - 高效率获取矿石，一次性拿三个
  - 自动化获取矿石，视觉转矿存矿，向未来迈步

## 1.4 机器人核心参数

| 名称                   | 参数  |
|----------------------|---|
| 重量、重心                | 整车重量在不包含裁判系统的情况下约为<br>33.8kg, 重心高度约为 230mm  |
| 尺寸（长宽高）              | 594mm*594mm*598mm（初始尺寸）<br>1095mm*970mm*1008mm(延展尺寸)  |
| 主要传感器型号、参数、数量        | ICM20609,MAX4080  |
| 工作电压                 | 24V   |
| 执行器件（电机、气缸等）用途与数量说明等 | 官方电机：<br>RM3508 电机：共 9 个<br>4 个——底盘轮组电机<br>2 个——二级抬升机构电机<br>2 个——前伸机构电机<br>1 个——横移机构电机<br>RM2006 电机：共 7 个<br>4 个——存矿机构电机<br>2 个——机械臂 P 轴与 R 轴电机<br>1 个——图传抬升电机<br>RM6020 电机：共 1 个<br>1 个——机械臂末端 Y 轴 |



|             |  |
|-------------|--|
|             | <p>非官方电机：</p> <p>MG995 舵机：共两个</p> <p>2 个——图传云台与 P 轴电机</p>  |
| 机械臂各自由度运动范围 | <p>Pitch 轴： <math>-110^{\circ}\sim+110^{\circ}</math></p> <p>Roll 轴： <math>-270^{\circ}\sim+90^{\circ}</math></p> <p>Yaw 轴： <math>-45^{\circ}\sim+180^{\circ}</math></p> |

## 2. 设计方案

### 2.1 机械结构设计

#### 2.1.1 开发工具和工艺选择

机械部分主要使用 solid works 软件绘图和应力分析,使用 ANSYS 中的静态结构板块进行有限元分析, CAD 作为零件加工、标注(如制作定制图, 2D 排版等)辅助工具, Cura 作为 3D 打印控制软件, ArtCAM 作为雕刻机路径生产代码软件, Mach3Mill 作为雕刻机控制软件。

车身主体支撑框架主要使用 6061 铝方管型材组成,以 4mm 环氧树脂板、3mm 黑色玻璃纤维片和 12.9 级螺丝连接各方形管,无焊接部分,较复杂且受力不大的零件主要使用 PLA 材料 3D 打印加工,对于底盘麦轮联轴器部分受力大且要求强度高的部分主要使用自制铝件或成品获得,直线从动辅助机构均使用 MGN9 系列滑轨滑块,整车无 CNC 等定制加工件,零件均为标准件以减少制作成本。

系统电路板、传感器等在设计过程中都留有安装孔位用螺丝固定连接。

采用的标准文件有中华轴承网、今日制造等零件数据查询和零件库。

#### 2.1.2 方案概述

在准备方案之初我首先进行了目标优先级定义: 兑换高等级矿石>取金矿石>取银矿石>一次性携带 3 个矿石>救援。按照目标优先级确定相应的机构模块,然后整合到一起,确定方案和大致的结构设计,由此一步一步构成最终版型。

由于兑换高等级的矿石可以带来极高的经济效益,因此我把兑换放在在了首位,而高等级的兑换则需要一定自由度的机械臂结构,该模块为设计之首,而金矿的价值要高于银矿,因此必须要有取金矿的结构,顺带能取得银矿,由于该赛季取消了空接机制,而我在比赛规则发布之前所准备的方案均是围绕空接所展开的设计,因此在规则发布之后,我用了一周时间选择出最容易改动且符合该赛季水准的方案,并进行相关的结构细化。

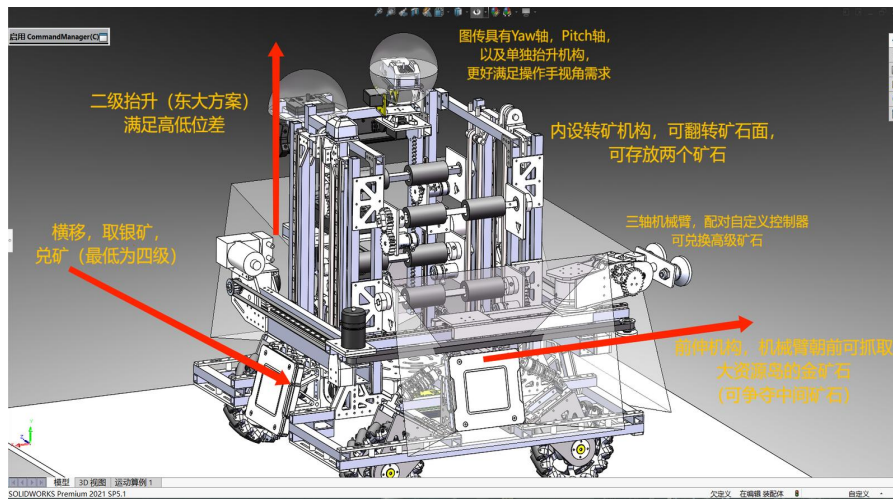


图 2.1.2 计划方案

如图 2.1.2 为规则发布后一星期时间所呈交的工程计划方案，为规则发布之前所设计的方案简单改造而来，该方案使用了四驱独立悬挂麦轮底盘，井字型底盘设计，上层结构采用了龙门架+直线机构+低自由度机械臂的设计，抬升机构采用了第二类相对位移原理的二级抬升结构（类似于东北大学 2023 年分区赛工程机器人），可兑换 4~5 级矿石，并通过横移机构高效的抓取金矿，抬升后，前伸横移系统与机械臂的自动化程序又可快速的连续取得三块银矿，存矿机构为固定式双层滚轮机构，可翻转矿石，存储两块矿石，机械臂可再拿取一块矿石，一共可携带三块矿石，满足基本需求，因空间安装问题以及救援的含金量较低，舍去了救援机构（工程的血量较低，救援时极易被击杀），图传有专门的抬升机构，以及云台和 P 轴，给予操作手更好的操作视角。

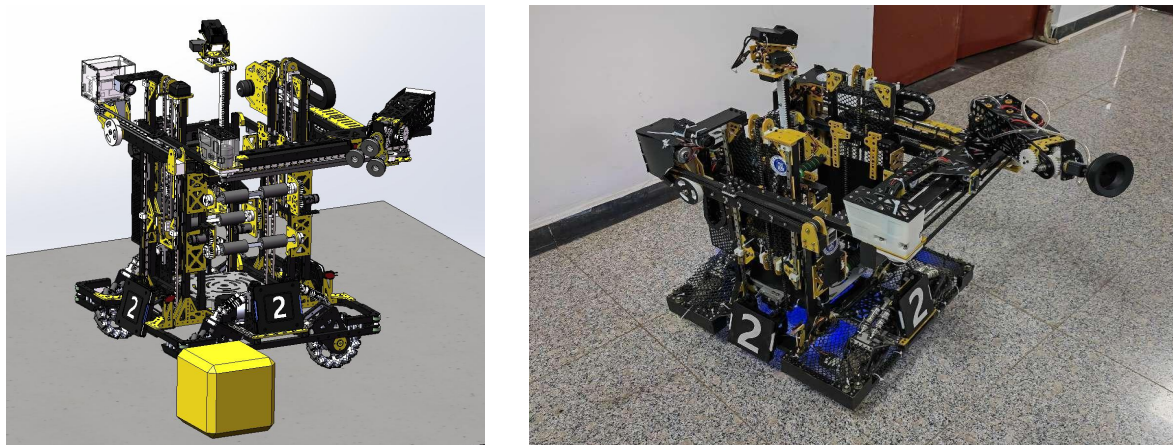


图 2.1.2-1 整车模型与车体实物展示

该方案使用经费低，获取比赛经济效益高，结构简单且稳定，电控调试开发难度小，非常适合我们工程技术积累较低的队伍，在通过队内审核后，我先花费了一些时间研发制作了尚未拥有技术的实验测试装置，由于实验均达到了测试预期，接着使用了两三个星期的设计第一代图纸，并着手加工制作（因队内经费紧张，板材铝管均为自己制作，所占时间较长），紧赶慢赶终于在一月底出车，好在第一代车体顺利的经过了中期测评的考验，而现今也已完成二代的车体的更新，接着进行线路保护，即可达到赛场标准。

本车从实验装置测试到车体的最终版本形态的预算经费在两万五千元左右，实际由于电机和视觉物品

等为以往赛季所遗留下来的产物，且车体使用的零件基本为标准件和自制，所以实际花费在五千元以内，在各大战队中，已属于成本较低的一款工程机器人。

如图 2.1.2-1 为工程设计模型与第一代车体实物展示。

## 2.1.3 机械各模块机构概述

### 2.1.3.1 底盘模块兼电源核心模块

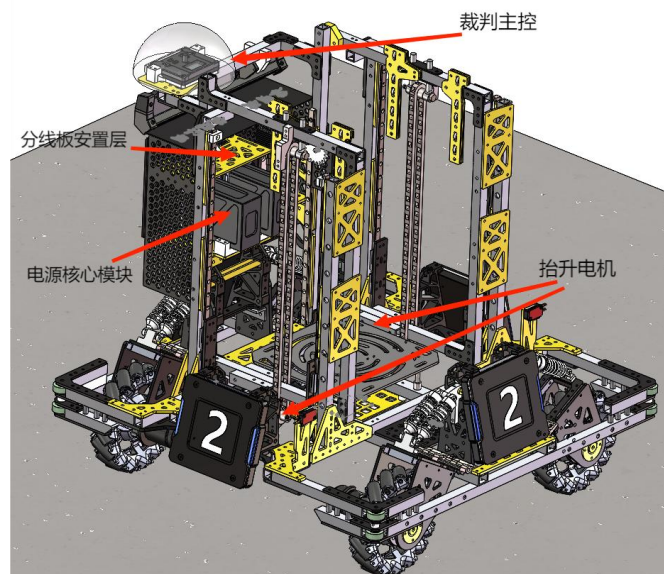


图 2.1.3.1-1 底盘模块

如图 2.1.3-1 所示为工程机器人底盘模块展示，该底盘采用了井字形设计，整车底盘框架使用尺寸为 15\*15\*2 的 6061 铝方管型材构架，通过与 4mm 环氧树脂板以及 3mm 黑色玻纤拼接而成，由 12.9 级螺丝固定，该构建材料和搭建方式为我们工程机器人历年来传统方案，结构十分稳定牢固，其板材为自己使用雕刻机雕刻而成，铝管为自己使用台钻和切割机加工而成，虽然整体误差在 1mm 左右，但也足够使用了，且所用经费较少。

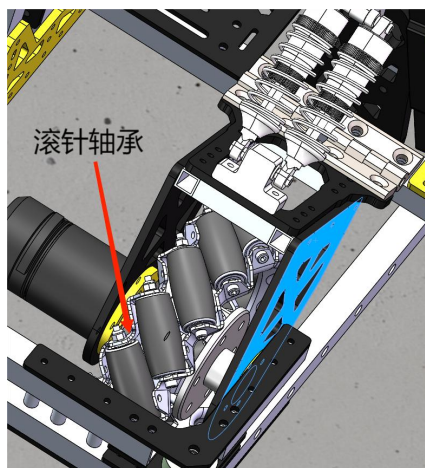


图 2.1.3.1-2 轮组模块



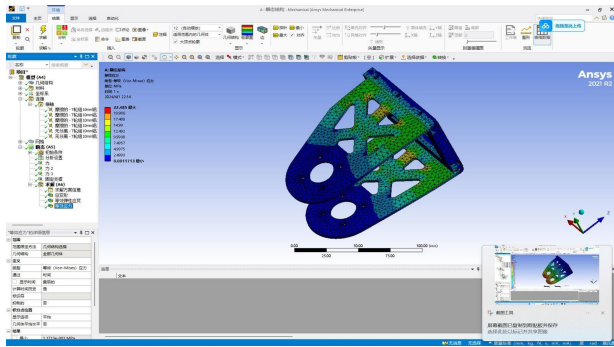


图 2.1.3.1-3 轮组玻纤应力分析图

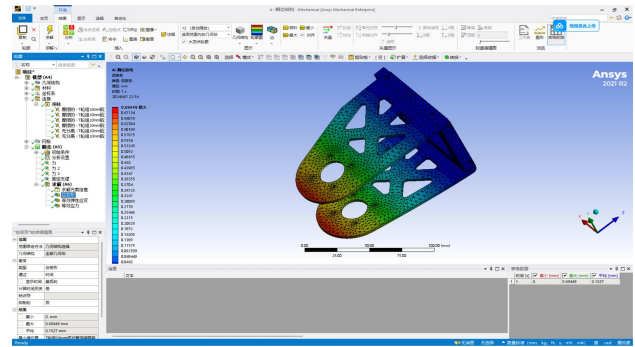


图 2.1.3.1-4 轮组瞬态有限元分析形变图

如图 2.1.3.1-2 所示，我们的轮组依旧采用了合页加避震器的传统减震方式和电机外置的连接方式，避震器采用溪地避震器，工程的轮组采用了刚性较大的弹簧，以保证车体变形时，车体不会因为重心变化而产生倾斜，轮组的电机联轴器为成品件，采用了螺纹压紧 D 形孔的方式固定电机轴，相比以往的法兰联轴器，不会出现偏心和顶丝滑丝的情况，麦轮通过联轴器，滚针轴承和玻纤的压紧进行定位，同时轮组另一侧与自制法兰相连，并用其凸台穿过压紧的深沟球轴承形成从动，凸台内部有螺纹孔，与垫片相连形成固定，整体采用玻纤和 10\*10\*1 的铝管相连，再通过合页形成转轴，轮组两侧连接电机和自制法兰均为 4mm 黑色玻纤，如图 2.1.3.1-3 和图 2.1.3.1-4 所示为轮组瞬态应力分析图，通过应力分析得知，该玻纤连接片可以承受住工程整体重量和侧压，验证了该设计方案可行，一套轮组的重量约为一斤左右，虽然重量较重，但价格远比定制铝件的轮组便宜，且减震效果良好，如果经费充足的话，我们还是希望能将电机内嵌，这样就可以省很多空间。

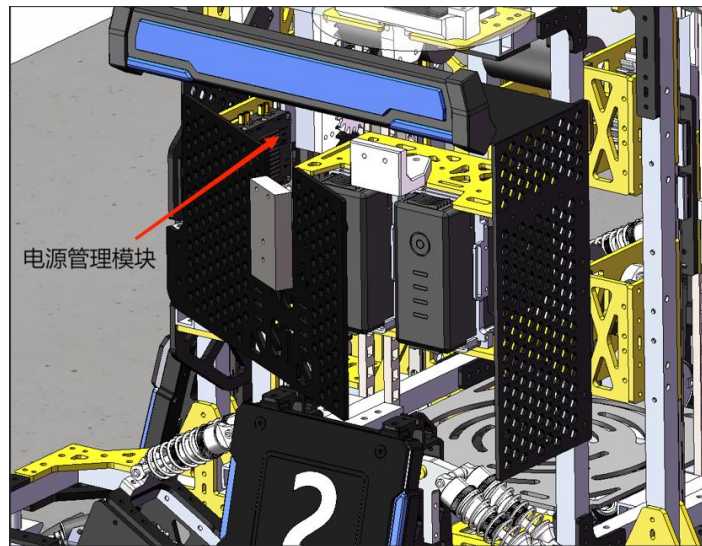


图 2.1.3.1-4 电源核心方仓展示

而说到电源主控核心模块的安装位置，我没有像以往那样将其放置底盘，首先以往将电池放置底盘，导致更换电池比较麻烦，电源管理模块也不好放置，且走线较为麻烦，当硬件方面出现问题时，不容易查看，如图 2.1.3.1-4 所示，我们单独在车体后方做了一个方仓，里面可以放置电池、电池开关、还有电源管理模块，电池支架上方有一个隔板，隔板上方可放置主控，分线板之类的硬件设施，同时利用合页和锁扣做了一扇方便随时打开的仓门，并且将电源核心模块放在方仓里的另一个作用就是作为配重，对于不少学



校来说，工程前伸导致车体前倾是一个十分头疼的问题，而将电池的核心移置后上方进行配重未尝不是一种好方法，在第一代车完工之时我做了一项测试，我们将整车完全延展，并对机械臂末端施加 40N 的力，肉眼未见车体前倾现象，在兑矿时和正常行走时无翻车的可能性，同时该方仓的设计也便于了电控调试和检查线路。

### 2.1.3.2 转矿、存矿模块

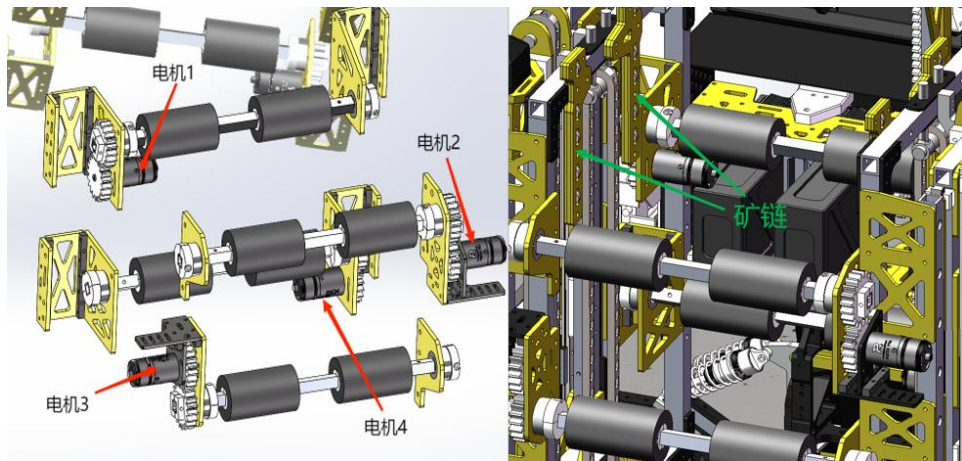


图 2.1.3.2-1 转矿机构展示

如图 2.1.3.2-1 为我们工程的转矿系统，采用了固定式双层滚轮机构，因为这样，转矿、存矿模块就可以作为单独的一套系统进行研发测试而不干预别模块，该结构可存储两个矿石，调试简单，稳定可控，在设计之初，我们就专门搭建了一个平台进行转矿的研发测试，因为当时我们的工程组并没有转矿结构的技术，好在测试效果十分令人满意，接着用计算好上下滚轮机构的距离，如图 2.1.3.2-2 为计算样例，在将第一个矿石存放后，上层滚轮机构在旋转第二块矿石时不会干涉到第一块矿石，并完成第二块矿石的存放，而矿石也可以通过上下两层滚轮机构层层递交，完成取矿动作，同时我们第一次研发使用视觉转矿，目前还在调试中，这也是我们工程组第一次与视觉联系，相信在不久的未来视觉将成为工程不可或缺的一部分。

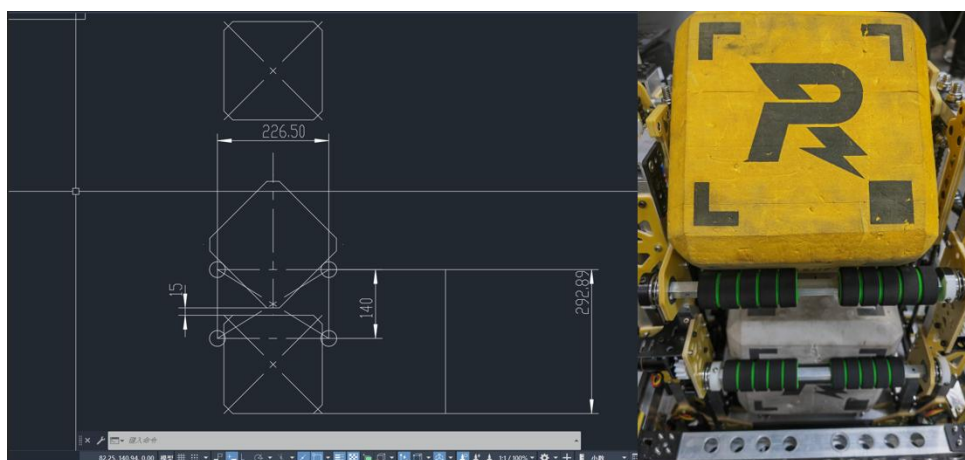


图 2.1.3.2-2 转矿理论计算图、存矿实际效果图

对于转轴的设计，我们采用了 10\*10\*1 的铝管搭配打印件的设计方案，其结构简单，制造简单，所用经费少，且刚度较高，将打印件分成上下两半，铝管打通孔，打印件留下螺帽和螺母的安装空间，通过螺

丝紧密相连包裹铝管，并套入法兰轴承，通过推力球轴承将打印件与环氧树脂板压紧，完成定位，滚轮也是用类似的办法安装在转轴上，一开始滚轮外面贴上了 EVA 海绵胶，但时间长久会出现开胶的现象，偶然的一次机会，我发现我们空中机器人起落架上的缓冲套也十分适合用来转矿，于是我们买上合适大小的缓冲套进行转矿测试，发现效果十分优异，于是便将滚轮外侧均换上了缓冲套，如图 2.1.3.2-2 所示，因为是缓冲套一体的，所以不用担心开胶问题，转轴的传动我们采用了 2006 电机做输出齿轮传动的方式，齿轮的模数齿数均相同，经测试，完全没有问题，我将转矿、存矿模块通过 4mm 的环氧树脂板直接安置在一级抬升电机的框架上，从而压缩了尺寸，且便于安装维修，在一级抬升电机框架上安装了 4 条小矿链以进行矿石翻转范围的限位，即使矿石斜着进入矿仓，也可通过滚轮转动进行矫正。

### 2.1.3.3 二级抬升系统

对于今年的比赛机制，如果使用了龙门架+直线机构+低自由度机械臂的方案的话，二级抬升是非常有必要的，因为需要足够大的抬升范围取金矿和兑换，今年我们使用二级抬升方案与东北大学类似，属于第二类相对位移原理的二级抬升系统，该结构安装制作简单，便宜，过程稳定，容错性高，我们直接将该结构放在了第一代车上进行测试，效果也十分令人满意。

如图 2.1.3.3-1（左一）所示为二级抬升系统的中间框架，中间框架由 15\*15\*2 的铝管和 4mm 环氧树脂板拼接而成，中间框架最下方铝管的连接板通过安装 15\*10\*2 的短管向内延展并连接 5mm 条状玻纤，该条状玻纤与底盘上 3508 抬升电机所传动的链条连接，形成一级传动，一级传动的链轮由塞打螺丝穿过鱼眼轴承螺栓固定，鱼眼轴承螺栓穿过底盘框架上方的铝管通过 M8 螺母固定，同时可调节该鱼眼轴承螺栓与螺母的松紧度进行一级抬升链条的胀紧。

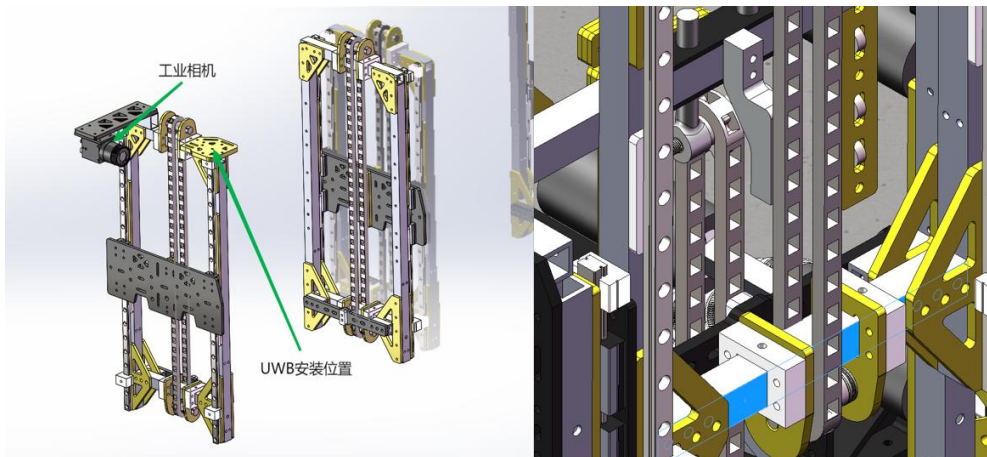


图 2.1.3.3-1 二级抬升中间框架、二级抬升部分零件展示

中间框架上有两个从动链轮通过链条连接，由打印件的 4mm 环氧树脂板组成链轮支撑架，赛打螺丝穿过 HK 直线滚针轴承套在链轮里面并装在链轮支架上，我们将链轮的真实间距减小 2.5mm 形成胀紧，如图 2.1.3.3-1（左二）所示，该链条的一侧与底盘框架上的一块铝件连接，当中间框架被抬起来时，由于相对运动关系，链条连接底盘框架的一侧下降，另一侧抬升并于与一张 4mm 厚的黑色玻纤片连接，该黑色玻纤片一侧连接了链条和 4 个 MGN9-C 滑块，另一侧连接前伸横移系统的铝管框架形成上层结构，上层结

构相对于中间框架的抬升形成二级传动，中间框架与上层结构一起抬升形成了二级抬升系统，整套抬升系统均使用了 MGN9 系列的直线滑轨滑块作为从动传动机构，为保证结构刚度需求，每条滑轨上均安置了 2 个 MGN9-C 滑块，经第一代车体抬升测试，该结构十分坚固、稳定、丝滑，符合预期，并且中间框架的铝管顶部为除机械臂模块外的最高点，所以上方又可安置 uwb,工业相机，激光雷达等。

### 2.1.3.4 前伸横移系统

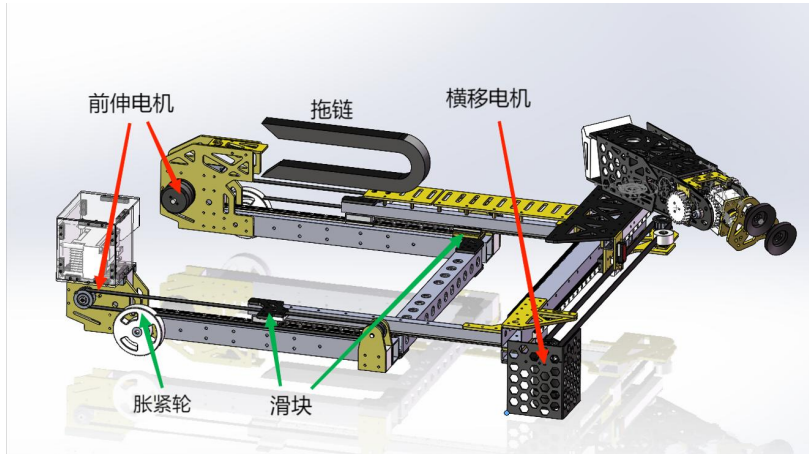


图 2.1.3.4-1 横移前伸系统

如图 2.1.3.4-1 所示为我队工程机器人的前伸横移系统展示，同步带具有重量较轻，便于安装，调试简单容错量大等优势，固前伸，横移的动力系统均采用同步带传动，对于同步带的胀紧，我采用了胀紧轮的方式，在滑轨下方的 30\*30\*2 的铝方管上直接打通孔，然后用塞打螺丝穿过推力球轴承和打印的胀紧轮固定在铝管上，而与同步带的连接则使用了成品的同步带压板与前伸的铝管上的玻纤片相连，为了尽可能降低机械臂的高度，我使用了 15\*15\*2 的铝管作为前伸铝管，同时为确保前伸整体的强度，我们采用了上下双层滑轨连接的方式，前伸铝管的后方和承重铝管的前方均安置了 MGN9-H 滑块，分别与上下铝管相连，同时又为保证整体的结构强度，确保不会在抬升失灵或错位下发生损坏，我在承重铝管的中间增添了一根 30\*30\*2 的保护铝管，通过玻纤将这三根铝管连成 U 型的整体，为减轻重量，我们使用台钻通过给铝管打规则间距的大直径孔洞进行镂空减重，通过铝管和铝条搭配 5mm 环氧树脂板构成电机支架，电机架上留出一定的空间可放置气泵，TX-2 电脑，走线等，这里可以稍微给重一点，用于给前伸做重力配平。

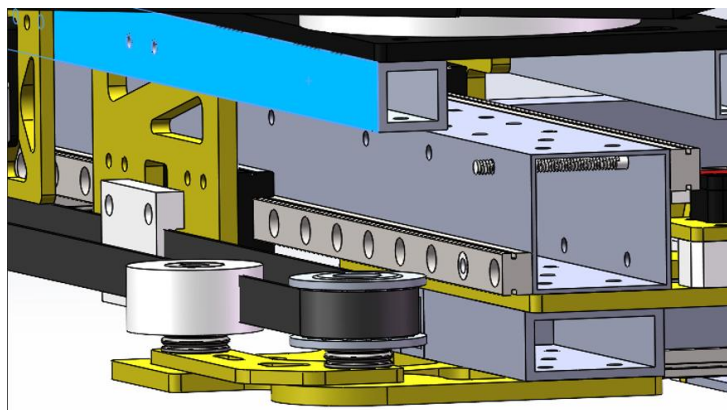


图 2.1.3.4-2 横移部分结构展示



前伸铝管与横移铝管的连接使用 4mm 环氧树脂板与铝管直接上下压紧，如图 3.2.4 所示将横移的铝管直接架在前伸铝管上，螺丝直接贯穿拧紧，上下玻纤板与相邻的短管合围压住，既保证了强度，又减少了材料消耗，而为了横移系统的轻量化，在压缩尺寸和减少资金使用的前提下，我们将横移的滑轨分布在一根 30\*30\*1 的铝管两侧，且上下错开，便于安装，滑块与玻纤片相连，再转接到铝管从而搭建机械臂的平台，因为我们需要机械臂通过横移取得金矿石，机械臂大约 200~300mm 的长度，所以机械臂安置的平台至少从车体向外沿伸 100mm，才能满足取得中间矿石的运动范围，而这样设计又一个好处是机械臂安置的平台可以随意更改，横移的范围可以随意更改，便于后期的调整测试，同时机械臂安置的平台距 横移铝管高 20mm，电控方面可以此从内走线。

### 2.1.3.5 机械臂模块

对于机械臂的设计需求分析：

- 1、伸入矿洞获取金矿-----高度低，宽度窄
- 2、兑换高等级矿石-----具有 3~4 自由度
- 3、价格便宜，重量要轻-----2006 电机传动伞齿组
- 4、便于取银矿石，吸取矿石上表面-----P 轴放置前端
- 5、便于存放矿石-----机械臂末端为 Y 轴或 P 轴
- 6、方便更换，修理-----安装方式采用螺纹连接
- 7、结构稳定、坚固-----榫卯加配铝条

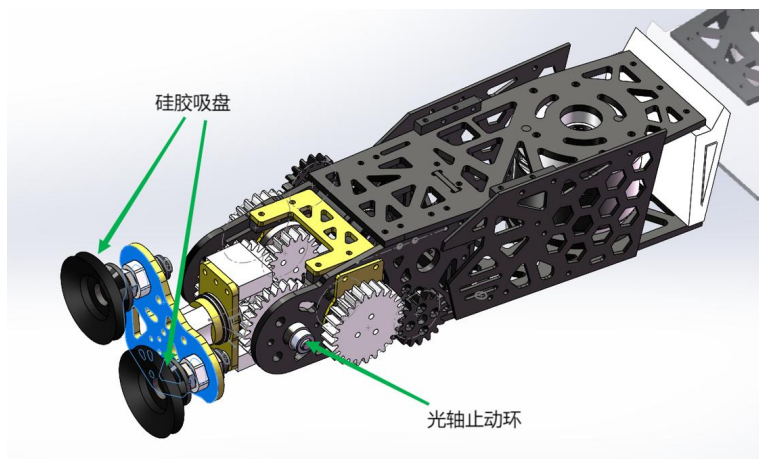


图 2.1.3.5-1 三轴机械臂外观展示

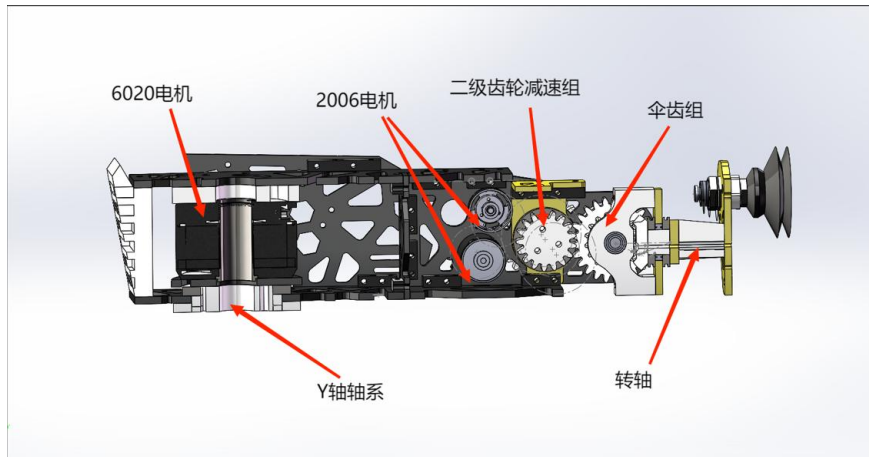


图 2.1.3.5-2 三轴机械臂剖视图

如图 2.1.3.5-1 为我们工程机器人的机械臂模块，为了便于电控调试和赛场的稳定性保证，我只选择了 R、P、Y 三个自由度，其 Y 轴放置最末端，由 6020 电机直连，P 轴和 R 轴在同一个空间，由两个 2006 电机控制的伞齿组控制，如图 2.1.3.5-2 所示为机械臂模块剖视图，整体框架通过 4mm 黑玻与铝条搭建，结构十分稳定，且重量较轻，通过二级齿轮减速组，增大配合间距，将 2006 电机内置机械臂里层，减小机械臂的宽度，同时增大机械臂的力矩，伞齿组和二级齿轮组的齿轮由于是打印件，所以基本上都有旷量，但我们使用了陀螺仪可自动检测误差并进行校准。

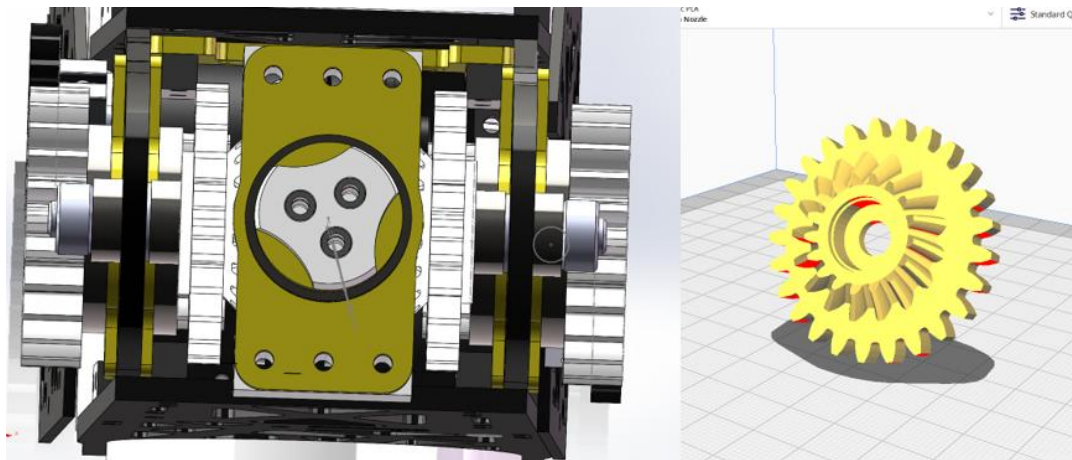


图 2.1.3.5-3 机械臂转轴局部剖视图、一体成型齿组

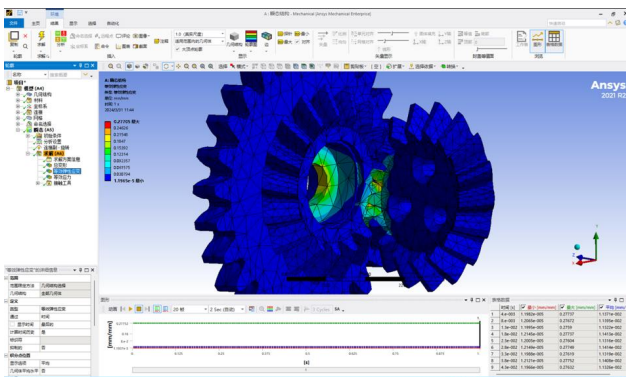


图 2.1.3.5-3 有限元分析效果图

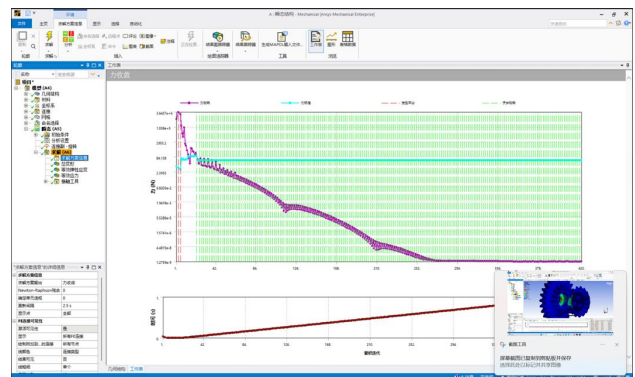


图 2.1.3.5-4 齿组瞬态结构受力数据分析



如图 2.1.3.5-3（左一）所示，机械臂的转轴里套装了铜柱，通过铜柱的螺纹孔与吸盘放置板和锥齿轮相连，而外层的打印件增添了结构刚度，放置与铜柱的连接处松弛，装配简单，使用时效果良好，同时 Y 轴轴系的打印连接件也采用了该设计方案，通过铜柱与机械臂放置板相连，拆卸时只需要拧六颗螺丝即可，拆装十分方便，同时打印连接件外侧套装了两个滚针轴承将深沟球轴承加在中间，机械臂下层安装板将深沟球轴承套在里面，以此增添机械臂的受力平面，保证结构强度。

如图 2.1.3.5-3（左二）为打印的一体成型齿组，里面可放置两个深沟球轴承减小齿组在光轴上的摩擦，通过推力球轴承层层压紧，再用光轴止动环将其锁死，防止伞齿组在工作时机械臂侧板张开导致滑齿，如图 2.1.3.5-3 和图 2.1.3.5-4 为该一体成形齿组在最高负载下的受力分析图，结果显示该打印齿组已达到赛场使用标准，并且机械臂齿轮组的拆装十分便捷，只需拧出光轴止动环的顶丝，卸下光轴即可。

相对于其它大学的低自由度机械臂来说，我们的机械臂的成本较低，结构轻盈，坚固稳定，便于开发，拆装简单等，当然在后期，我们可能会增添自由度，以此更好的满足操作手的兑矿需求。

### 2.1.3.6 图传机构

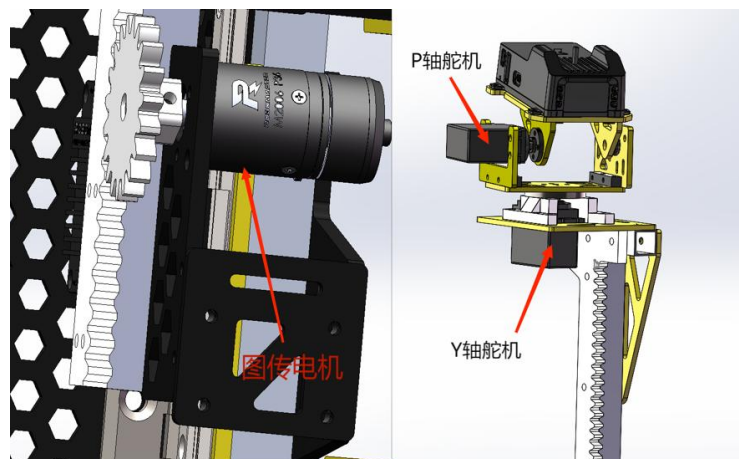


图 2.1.3.6 图传机构

为保证操作手有良好的操作视野，我们给图传加上了单独的抬升机构以及云台和 P 轴，如图 2.1.3.6 显示，图传机构通过齿轮齿条结构进行抬升，为尽可能的压缩图传机构的空间，同过玻纤和铝条的转折连接，将用于图传抬升的 2006 电机安置在装有直线滑轨的铝管正前方，而该铝管也是搭建方仓并与底盘框架连接的铝管，齿轮齿条均为打印件，齿条下方和铝管均有通孔，沉头螺丝从内向外依次与转接玻纤片、铝管、齿条连接，再通过螺母锁死，转接玻纤片事先与 MGN9-H 滑块相连，以此构成图传抬升的直线机构，该铝管的尺寸为 15\*15\*1，通过与短管，环氧树脂板和打印件拼接构成图传抬升支架，支架外延 3mm 环氧树脂板与 MG995 舵机直连用作图传云台，舵机上装有舵机盘，舵机盘外有一圈滚针轴承，外侧打印件与抬升支架固定并垫高滚针轴承与 P 轴安置板压紧，P 轴安置板与舵机盘通过螺纹连接，云台的舵机与 P 轴的舵机均采用直连的方式，从而便于调试以及缩小机构尺寸。

对于云台的电机方案我们也经过了一些讨论，虽然大多数学校使用无减速箱的 3508 电机作为图传的云台和 P 轴，虽然精准度高，便于安装，但其价格昂贵，综合考虑后，我们选择使用 MG995 舵机作为动

力来源，舵机价格十分便宜，且舵机重量较轻，精度也相对较高，是一个性价比较高的选择。

## 2.1.4 微动开关行程检测及线路布局

对于工程机器人来说，除了机械结构较为复杂外，与硬件设施连接的线路也十分难走，像以往我们的工程机器人结构简单，功能单一，自由度较少，整车内部的剩余的空间很大，可以留给电控充足的走线空间，所以机械负责人很少考虑走线的事情，而今年，为满足高难度的取矿和兑矿动作需求，工程机器人的结构多，电机多，各模块机构紧密相连，内部空间狭小，所以在图纸设计时就留好相应的气路、电路走线空间。

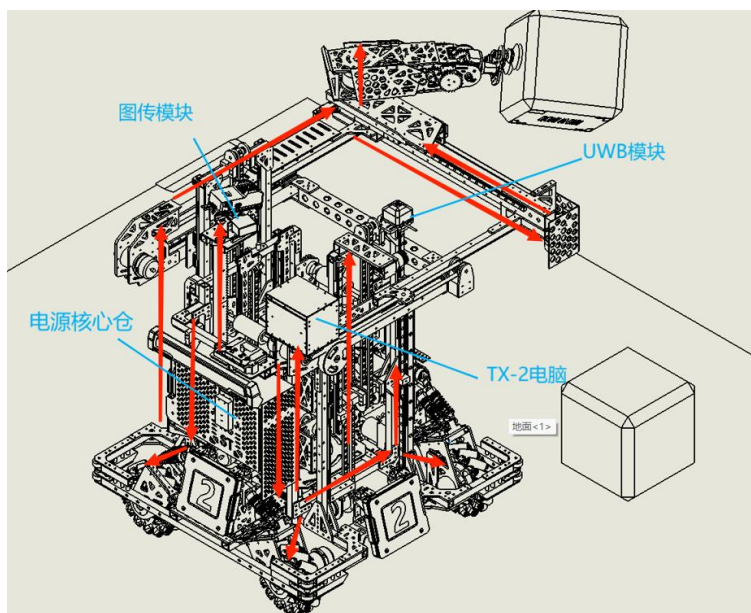


图 2.1.4-1 整车线路布局

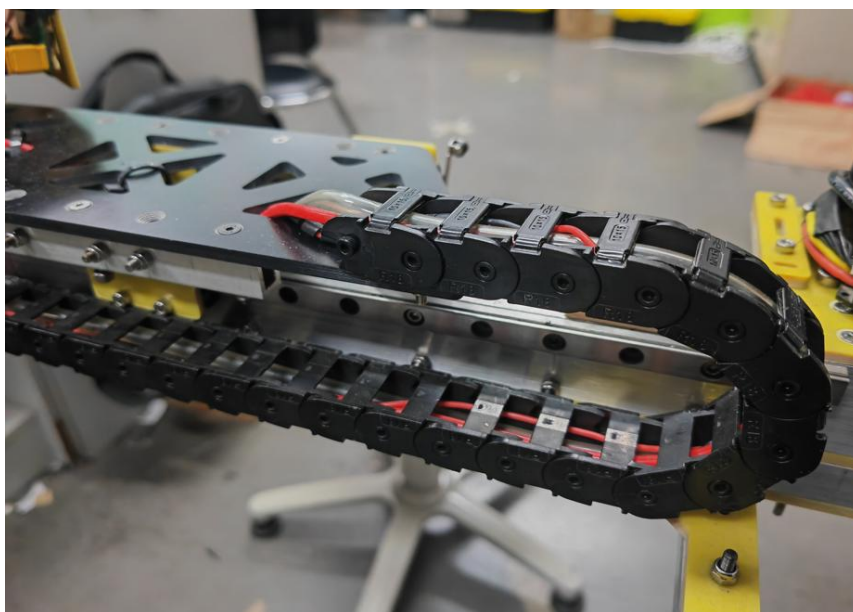


图 2.1.4-2 横移线路展示



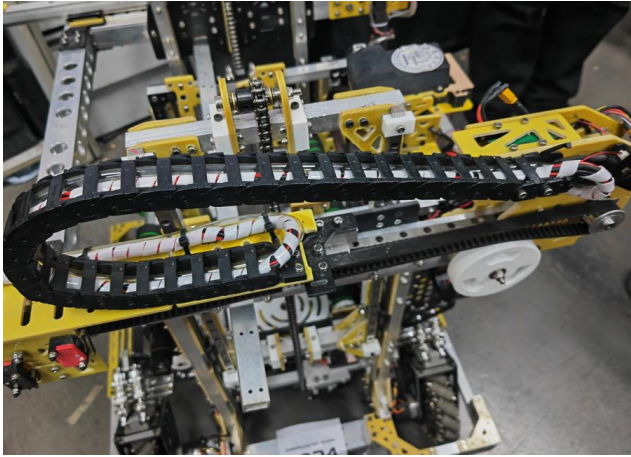


图 2.1.4-3 前伸线路展示

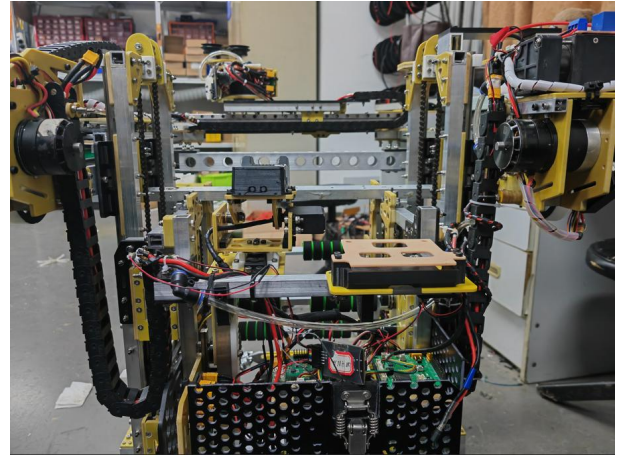


图 2.1.4-4 抬升线路展示

如图 2.1.4-1 为整车线路布局，所有线路以电源核心仓为起点向四周散布，前伸、横移、抬升等移动线路则使用拖链装置进行保护，如图 2.1.4-2 为横移线路布局，图 2.1.4-3 为前伸线路布局，图 2.1.4-4 为抬升线路布局。

以管材为骨架，以板材为血肉，以线路为血管，以电机为关节，这是我们该工程机器人的设计特点，而添入的微动开关则相当于我们工程机器人的神经元，通过微动开关传来的反馈，我们可以得知各直线机构的行程和位置，对运动过程的机构进行限位保护，从而实现取矿、存矿自动化过程，提高工程机器人的取矿效率，并为半自动工程机器人的建设打下基础。

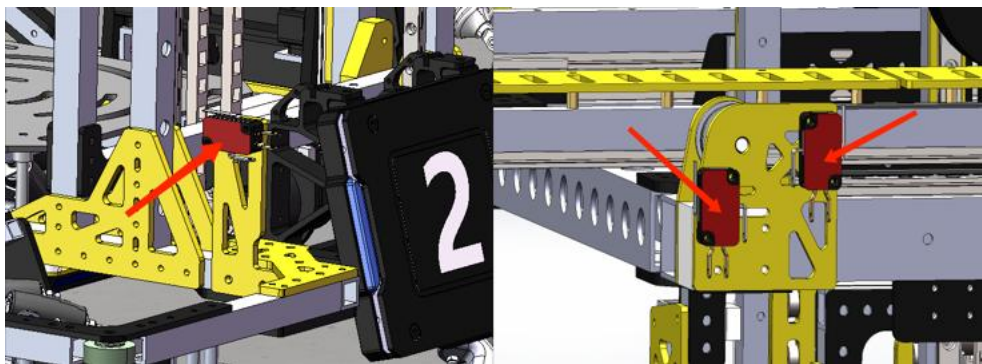


图 2.1.4-5 抬升、前伸微动

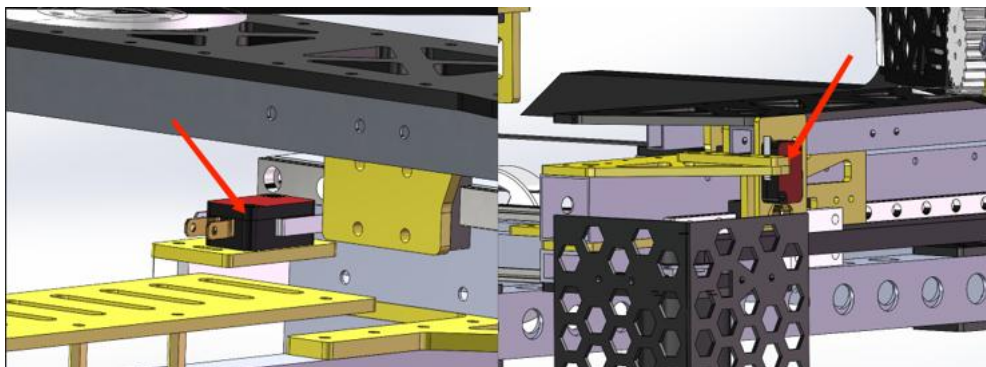


图 2.1.4-6 横移微动

如图 2.1.4-5 左图为检测抬升升降的微动开关，图 2.1.4-5 右图为检测前伸行程的微动开关，图 2.1.4-6

为检测横移路径的微动开关。

相比其它检测路径元件和传感器，微动开关价格低廉，安装简单，精确度相对较高，所以在这版工程机器人身上我们使用了大量的微动开关进行行程限位与检测。

## 2.2 硬件设计

### 2.2.1 气泵控制板设计

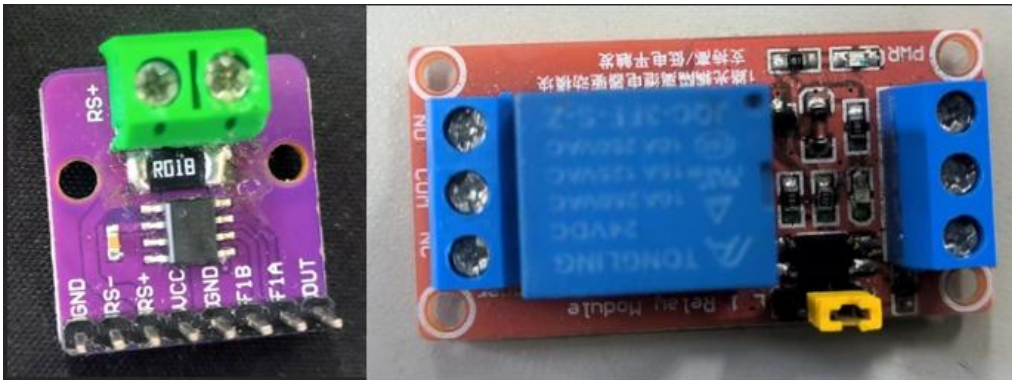


图 2.2.1-1 采样芯片、继电器

如图 2.2.1-1 为采样芯片和继电器，此设计一开始是为了使主控芯片能够检测吸盘是否吸到了矿石而出现的。通过观察气泵在吸盘悬空以及吸取矿石时的工作状态，我们发现其电流是有稳定的变化的，故此，使用电流检测芯片检测气泵电路上的电流大小，就可以识别出吸盘是否吸到了矿石。经过一次迭代后。最终采样 MAX4080 采样芯片检测电流。与继电器配合使用，即可实现对气泵的控制。



图 2.2.1-2 气泵控制元件

如图 2.2.1-2 为气泵控制元件，在第一代的基础上，将控制开关从继电器改为三极管为第二次迭代，三极管提供了 PWM 控制口，可以实现对电流大小通道的控制，至此对气泵形成了闭环控制，并将所有用到的元件画在了一块 PCB 板中。

### 2.2.2 战队主控设计

工程机器人主控在 2024 赛季采用了战队自研主控，采用 STM32F427VIT6 作为控制板芯片板，板上集



成了 2 个 CAN 收发器和 1 个取反电路用于接收遥控数据 and 用于 debug 的 RGB 灯，主控板还采取了模块化设计，重要部分均可单独拆卸，留有 CAN、UART 等接口均与官方接口相同，极大减少了走线的难度。电路平均功耗小于 1.5W,工作电压范围:4.5-42V。主控板原理图、主控板 3D 图和主控板实物图分别如图 2.2.2-1、图 2.2.2-2、图 2.2.2-3 所示。

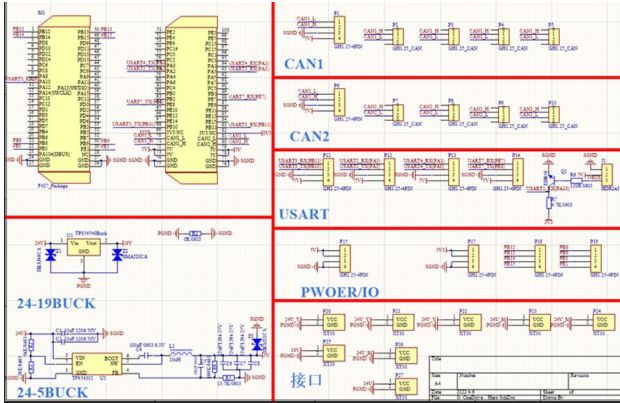


图 2.2.2-1 主控板原理图

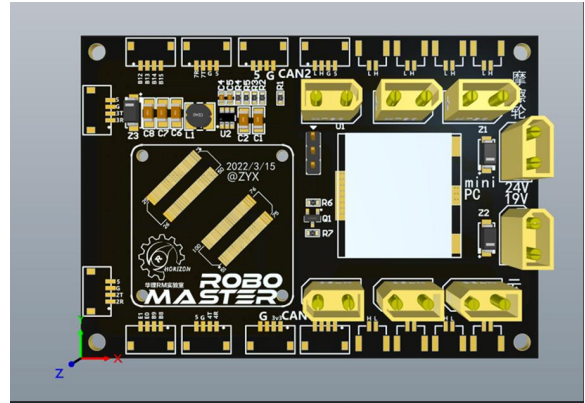


图 2.2.2-2 主控板 3D 图

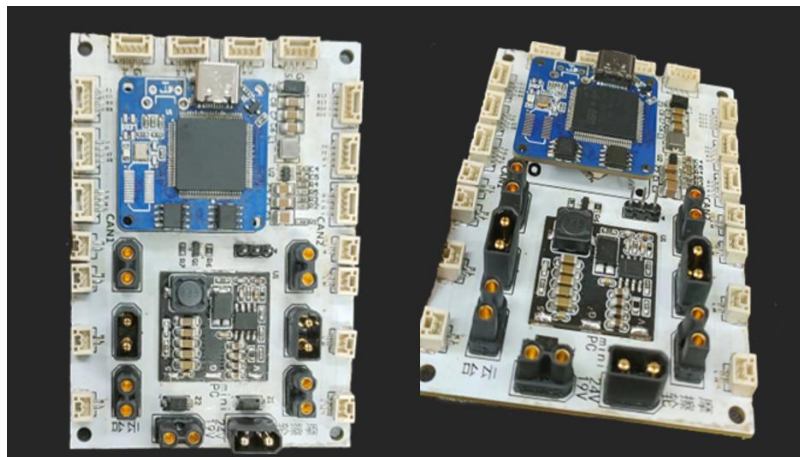


图 2.2.2-3 主控板实物图

降压部分我们采用 TPS54540 绘制成了单独模块，可随时在 主控板、分电板上完成快速安装与拆卸，易于重复利用，节省成本。降压模块 3D 图如图 2.2.2-4 所示。

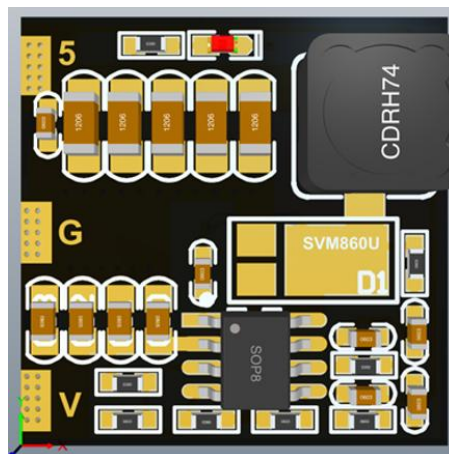


图 2.2.2-4 降压模块 3D 图

图 2.2.2-4 降压模块 3D 图，并在板上集成了 CAN 收发器、5V-3V3LDO、debug 灯，同时预留了陀螺仪接口、主控载板接口及 Type-c 口，且大小仅有 3\*3CM。MCU 原理图和 MCU 3D 图如图 2.2.2-5 和图 2.2.2-6 所示。

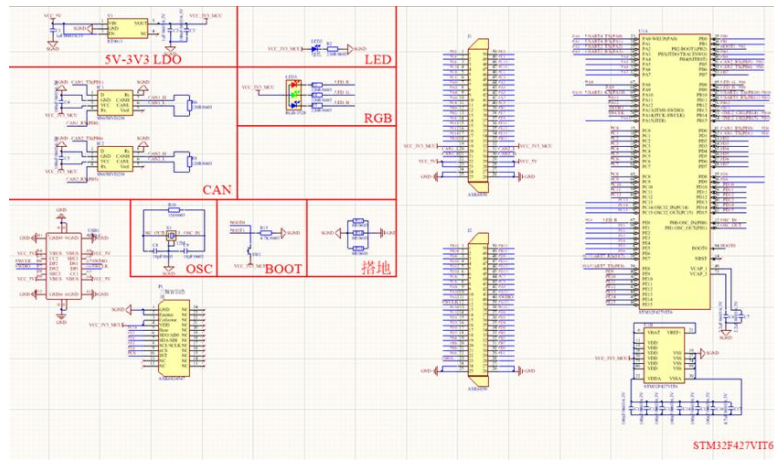


图 2.2.2-5 MCU 原理图

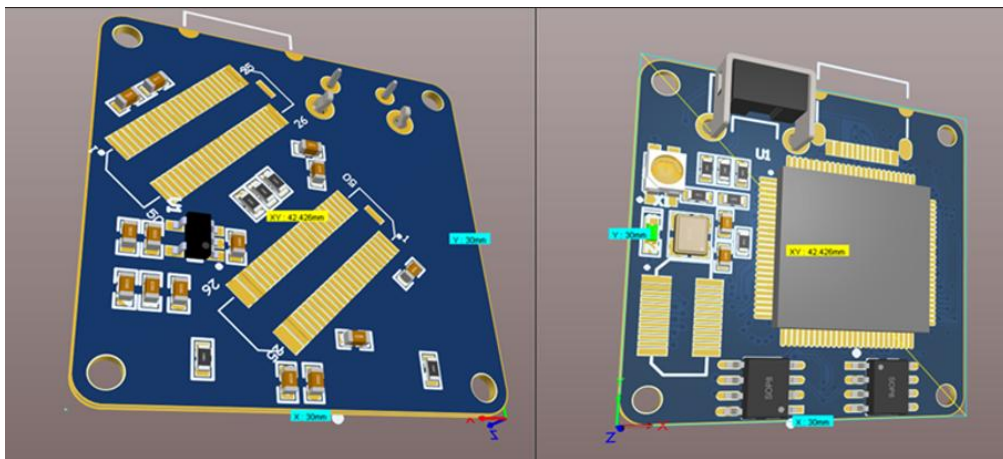


图 2.2.2-6 MCU3D 图

## 2.2.3 陀螺仪设计

IMU 我们采用了 ICM20602,相较于市面上常用的 MPU6500,ICM20602 拥有更低的温度和更高的精度,满足了比赛中长时间工作的要求。陀螺仪 PCB layout、陀螺仪原理图、陀螺仪实物图如图 2.2.3-1、图 2.2.3-2 和图 2.2.3-3 所示。

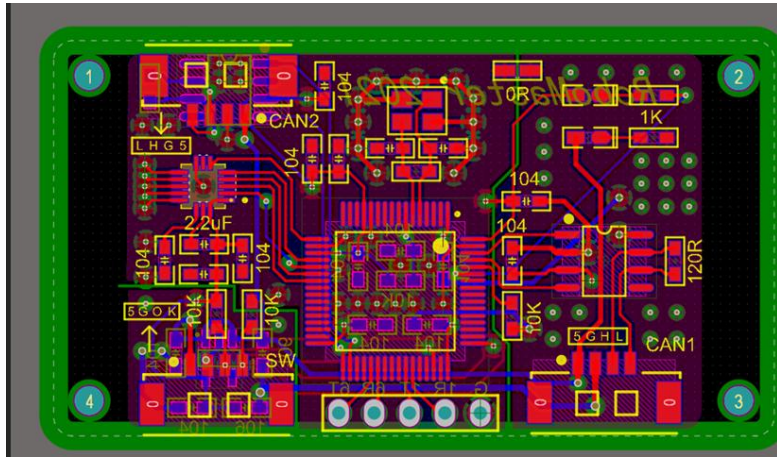


图 2.2.3-1 陀螺仪 PCB layout 图

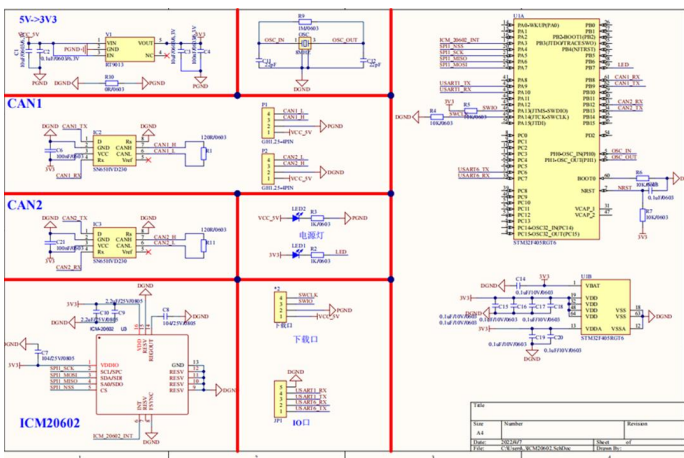


图 2.2.3-2 陀螺仪原理图

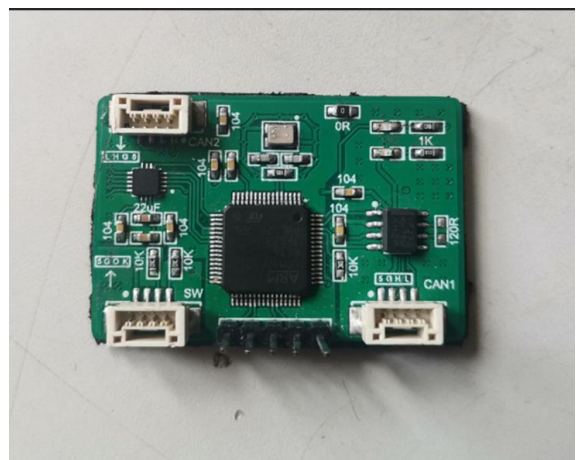


图 2.2.3-3 陀螺仪实物图

## 2.3 软件设计

### 1. 系统架构

系统分为四个层级

第一层级：接受层。根据操作手的选择，调整程序进入的模式。

第二层级：反馈层。负责对每个模块的状态进行检测，若发现模块离线则做出相应的处理，并且调整控制层的参数提高整体的稳定性。

第三层级：调节层。根据机器人当前的状态，以及反馈层获得的期望的运动状态调节控制层的参数。

第四层级：控制层。获得目标电机的设定值以及目标值，通过对应的 PID 解算得到电机的输出值，通过 CAN 总线发送到电机，从而实现对机器人的控制。

在实际的代码编写中，使用 STM32HAL 库函数，搭配 freertos 轻量级操作系统。通过 Keil5+vscode 插件(eide)进行开发与调试。

使用的第三方软件如下：



Keil uVision5



STM32CubeMX



匿名上位机 V7.0.0.75

## 2.运行流程

软件整体的运行流程、数据流向和处理过程。

数据流向大致为遥控->电机，通过解算和处理遥控的数据，获取运动控制的信息；同时接收电机的反馈和陀螺仪的反馈，完成闭环控制。



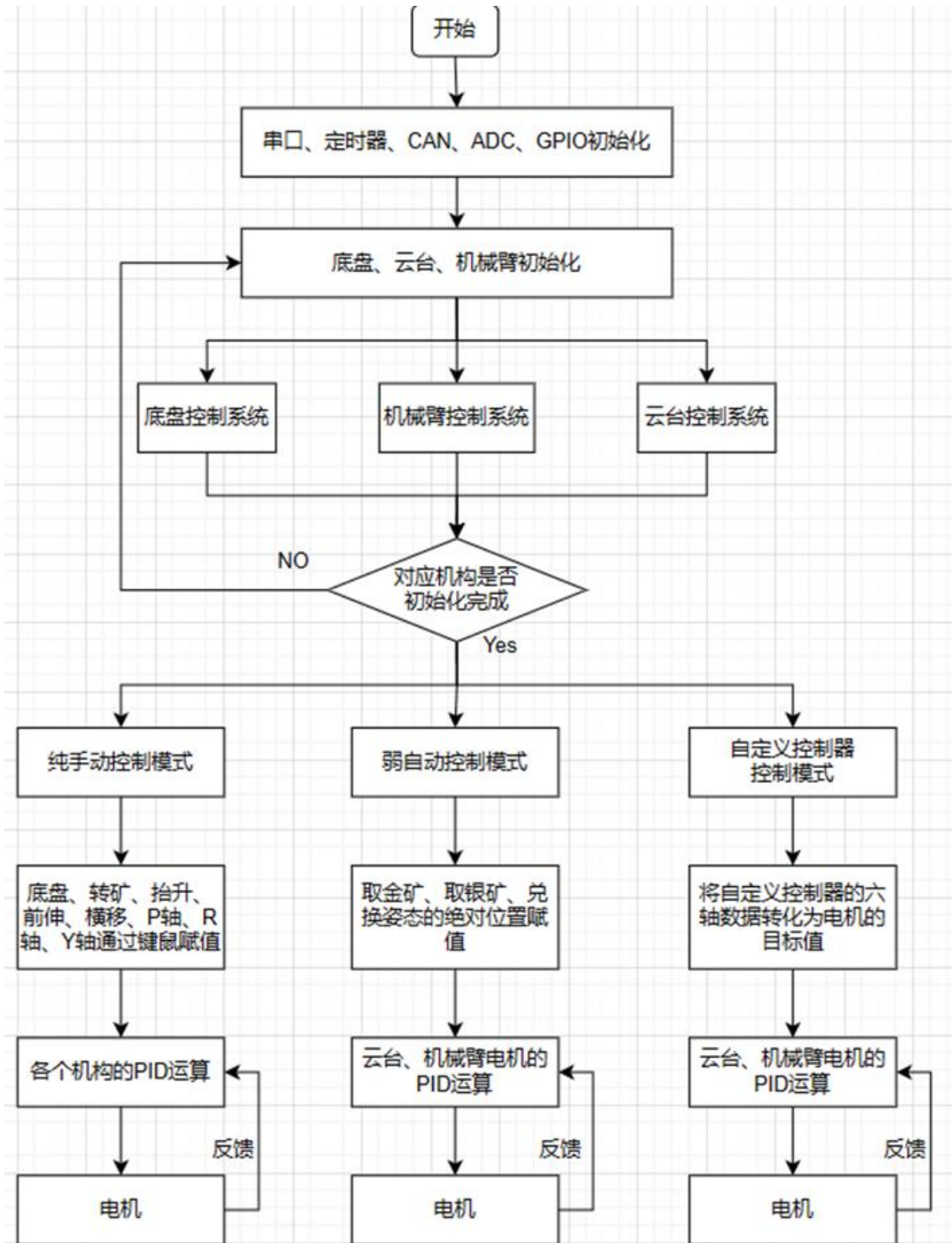


图 2.3-1 运行流程框架图

### 3.重点功能

#### (1) 差动关节绝对角度控制

功能描述：设计出差动关节的控制模型，实现 2006 电机的绝对刻度控制。

解决问题：解决 2006 编码器为相对刻度的问题。

解决方法：在末端添加一个陀螺仪控制板，实时检测位姿。在上电时先进行初始化，通过陀螺仪反馈

的位姿信息调整到预设的 0 刻度处，待初始化完成并确定了零刻度后，将反馈量修改为电机的角度与速度反馈，进行后续的运动控制。

没有让陀螺仪进行全过程控制的原因：差动关节的 P 轴实测活动角度为正负  $120^\circ$ ，在进行欧拉角解算时，会遇到万向锁的问题，当 P 轴达到  $90^\circ$  时 Roll 轴解算的数据会出现巨大的偏差并对气管与信号线造巨大的破坏。所以放弃了使用陀螺仪角度控制差动关节的做法。同时为了适应 P 轴的大角度运动，我们采用哈工程开源的 EKF 数据融合算法，将 P 轴反馈角度的范围从正负  $85^\circ$  提高到正负  $180^\circ$ 。

```

.....*电机刻度*...../
if(Manipulator.mode_flag == 2)

    RUI_F_MOTOR_PID_HEAD_INIT_2();

    //实际角度计算
    Roll_Angle = WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_L.DATA.Angle_Infinite + WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_R.DATA.Angle_Infinite;
    Pitch_Angle= WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_L.DATA.Angle_Infinite - WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_R.DATA.Angle_Infinite;

    //PID角度计算
    MPU_MOTOR_PID_ONE_2006RM(&WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_Pitch,Manipulator.MOTER_Aim.channels.P_Aim+Pitch_Angle_0,Pit
    MPU_MOTOR_PID_ONE_2006RM(&WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_Roll,Manipulator.MOTER_Aim.channels.R_Aim+Roll_Angle_0,Roll_f

    //PID速度计算
    MPU_MOTOR_PID_ONE_2006RM(&WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_L,
        WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_Roll.PID_S.All_out+WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_Pitch.PID_S.All_out,
        WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_L.DATA.Speed_now);

    MPU_MOTOR_PID_ONE_2006RM(&WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_R,
        -WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_Pitch.PID_S.All_out+WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_Roll.PID_S.All_out,
        WHW_V_MOTOR_HEAD_2006_R.DATA.Speed_now);

    //CAN发送

```

图 2.3-2 差动关节算法图



图 2.3-3 控制差动关节的陀螺仪

## (2) 自定义控制器

目前我们对自定义控制器的设计有两种方案。

方案一：一块 C 板+多路电压采样板。依靠外接摇杆的方式实现对三轴延展的控制，多路电压采样板主要用于采集摇杆的电压信号，C 板使用板载陀螺仪测量当前的姿态，接收电压采样板的数据，并将这些数据通过裁判系统规定的格式发送到工程机器人中响应。



图 2.3-4 自定义控制器外形图

方案二：上海交通大学开源的自定义控制器方案，通过三块 IMU 采集手臂数据，使用正运动学解算出手掌在三维空间的三轴位移和三轴姿态，映射给机器人的前伸、抬升、横移、Pitch、Roll、Yaw 六个轴。通过图传链路将数据发送给工程机器人，实现更加方便灵活的控制。

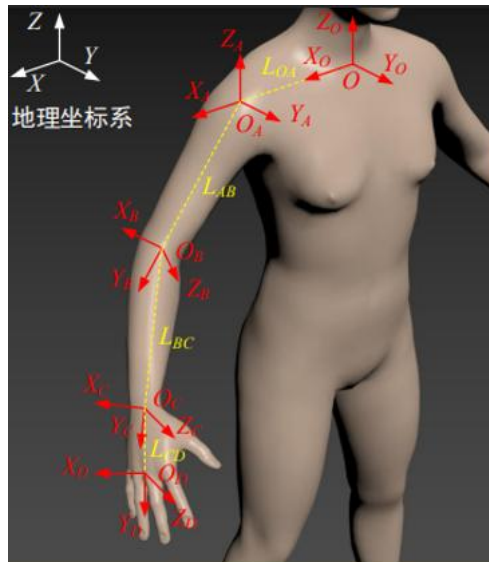


图 2.3-5 上肢运动学数学模型

#### 4. 软件测试

自定义控制器测试：需要测试自定义控制器中的 IMU 解算的角度与机械臂末端陀螺仪结算的角度来控制电机旋转的方案是否可行。

测试结果：自定义控制器控制方案在目标低速变化时可用有较好的响应。在快速变化时有失控发风险。

气泵控制板测试：需要测试气泵控制板中电流检测功能是否可用，检测光耦三极管的过流能力是否合格，PWM 功能是否可用。

测试结果：控制板上搭载的 MAX4080 能够检测到吸盘吸到矿石时的电流以及没吸到矿石时的电流，光耦三极管能够控制供电电路的通断。

## 2.4 算法设计

### 2.4.1 工程转矿的视觉算法设计

因为在赛场时，需要将矿石的条形码一侧朝下进行兑矿处理以保证能够成功兑矿，人工转矿将会耗费大量时间，所以进行了视觉转矿的设计。

主要设计了通过检测矿石上各个特征点来判断矿石位置，因此判断需要转动的方向，从而达到自主转矿的功能。

数据集的制作是通过自己拍照并进行相片的，灰度调节，图像旋转等等操作获得多倍的数据集，后自己用 labelimg 标注得到数据集，总共约 300 张图片，标签主要为三种标签，矿石上的黑色角标，黑色正方形标，条形码。然后通过 yolov5-5.0 训练得到模型。

然后使用通过 tensorRT 部署在 NVIDIA 的 JETSON TX2 上运行。

根据输出的检测到的各个标签的位置来判断矿石的位置。usb 相机位于矿石的正面，需要达成条形码一面朝下的需要。（大概摆放如下图所示：左侧为摄像头，右侧为矿石）。

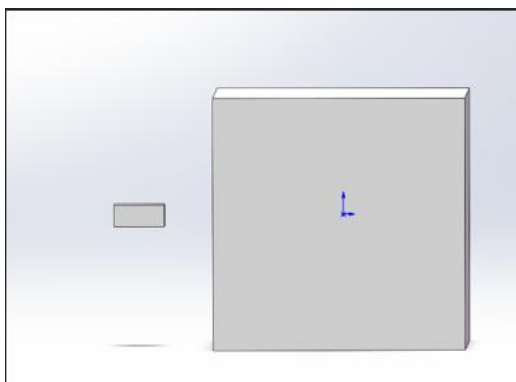


图 2.4.1-1 摄像头，矿石示意图

矿石六个面，仅一个面有条形码，所以有条形码的一面可以很方便的检测到，随后只要输出将矿石向下转动即可。输出“向下”：

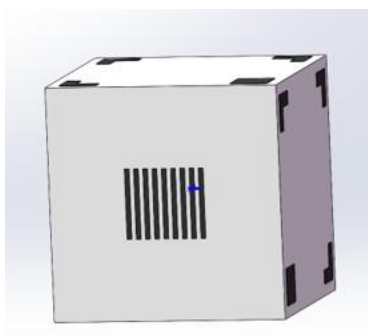


图 2.4.1-2 条形码在前示意图

矿石有四个面为带“R”标面，判断位置则需要检测到“R”标面的三个黑色角和一个黑色正方形的位



置所在，正方形在右下位置，则条形码就在下方，无需移动矿石。

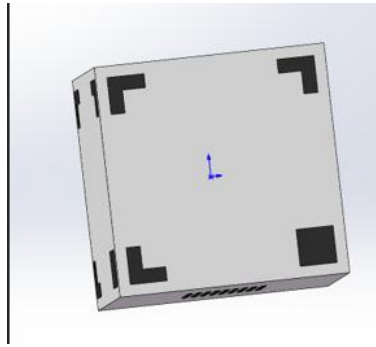


图 2.4.1-3 右下角正方形示意图

正方形在左下位置，则条形码在左方（根据正常取矿流程，理论上不存在此情况）没有左右转矿功能，只能通过机械臂调节。

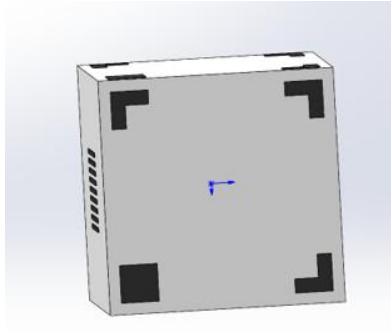


图 2.4.1-4 左下角正方形示意图

正方形在左上位置，则条形码在上方，输出向下转动（理论上向下向上都是需要两次，所以我选向下）随后等待下一次检测再输出。

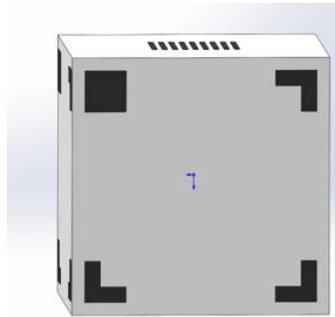


图 2.4.1-5 左上角正方形示意图

正方形在右上位置，则条形码在右方（根据正常取矿流程，理论上不存在此情况）没有左右转矿功能，只能通过机械臂调节。

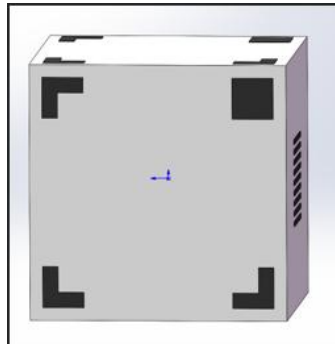


图 2.4.1-6 右上角正方形示意图

矿石还有一种状态为中心没有“R”标也没有条形码，只有两个正方形和两个角标。此时条形码在后方，向上转动即可，输出“向上”。

## 2.4.2 数据集处理

通常情况下的数据集都是自己进行生成处理的，因为没有开源的矿石图像数据集，而且可能实际场地上的矿石图像可能有较大的不同，会导致生成的检测成果也大大不同，所以，不仅仅需要在校内时训练好一套模型，还需要制作场地时使用的模型，这部分模型，我部分是从以往的官方比赛视频中截图获取，部分则是在比赛场地时，拍照，制作数据集。

数据集需要大量的数据，但是实际上拍照获取成百上千的图像显然不太合适，所以我通常是进行几十张图像的拍照，然后对每一张图片进行，旋转，翻转，调整明暗度。随后再进行人工标注，获得数据集，进行模型训练。



图 2.4.2 检测成果示意图

## 2.4.3 算法性能、优缺点分析

该算法在 TX2 上运行，采用 1280\*1024 的分辨率，帧率在 60 帧左右，可以稳定跟随预测。缺点：检测结果有时并不准确，需要优化数据集。

## 2.4.4 算法结果

下面是实际检测过程展示:



图 2.4.4 检测成果示意图

## 2.5 其它

### 2.5.1 组合动作设计

将工程机器人的取金矿、银矿以及从存储结构中取矿的多个不同自由度的动作组合起来，实现一键取金矿、一键取银矿，一键准备兑矿。在一键功能的过程中设置急停按键，防止由于特殊原因导致损坏机械结构。

### 2.5.2 UI 设计

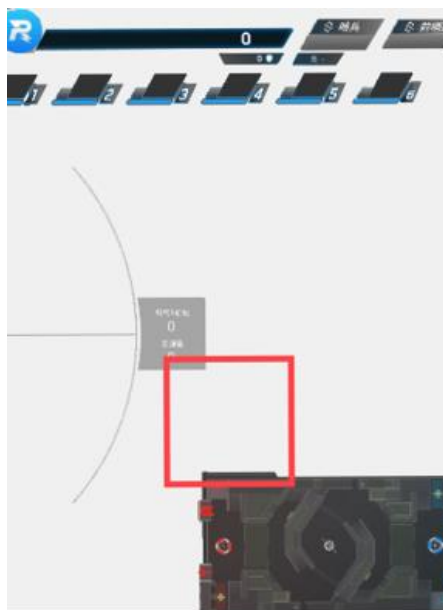


图 2.5.2 UI 画面展示

在不同的行为模式下会设计不同的 UI 用于辅助操作。在取金矿时，屏幕会显示一个方框和一个圆圈。方框将矿洞框起来，圆圈会画在矿洞中心，以便于操作手对准。在取银矿时，会设计两条粗线用于在第一

视角中分割三个银矿，同样用于辅助瞄准。在兑换时则会清空画面中所有的 UI，给操作手提供清晰整洁的视野兑换矿石。

### 2.5.3 自定义灯条



图 2.5.3 自制灯条

我们会在图传下方摆放一个自制的灯条，用来指示整车的运行状态。在服务器的上行频率比较极限的情况下，可以用灯条开代替一部分 UI。这种方法简单可靠且延迟更低，缺点就是会占用一部分图传的视野。



## 3. 研发迭代过程

### 3.1 测试记录

#### 3.1.1 三轴机械臂研发测试

名称：三轴机械臂研发测试，R、P、Y 三种自由度的控制。

内容：从分区赛回来后，我们深刻认识到自己与各队的差距，对于我们的工程机器人来说，其已经落后于时代整整两个版本，其总体架构大多是之前遗留下的传统结构，所以学期结束后，我们选择了留校，进行相关的研发测试，对于工程机器人来说，由于兑矿难度的提高，最重要的莫过于机械臂的开发与测试。

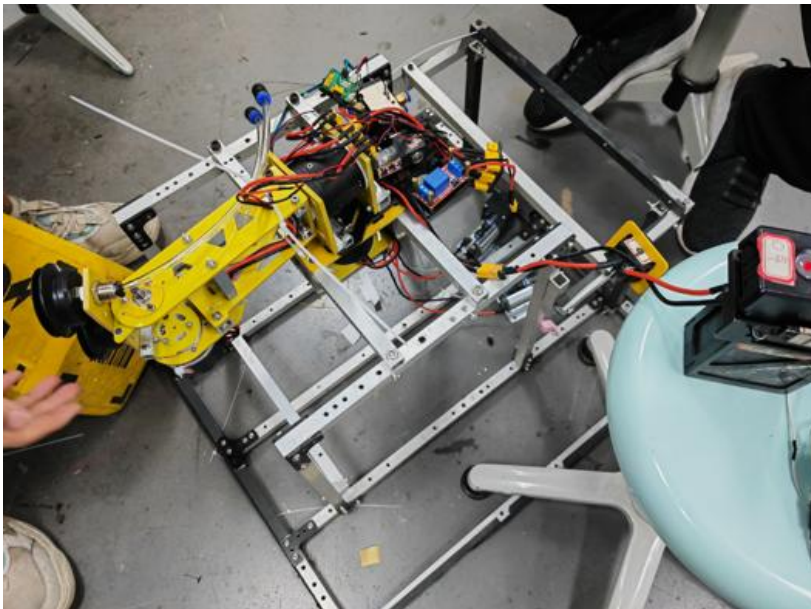


图 3.1.1 三轴机械臂测试现场

如图 3.1.1 所示为我们机械臂研发测试现场，我们利用队内遗留的车架搭建了一个简易的测试平台，然后组内向外借用了三个达妙 4310 关节电机作为机械臂输出来源，采用电机直连的方式控制机械臂 R、P、Y 轴三种角度，顺便更换了以往的风琴吸盘，改用硅胶吸盘，测试吸盘的吸力情况。

结果：经过该研发测试，我已初步具有控制和结算机械臂的能力。

#### 3.1.2 R、P 轴 2006 电机联动测试

名称：R、P 轴 2006 电机联动测试，自主研发轻量化机械臂。

内容：为了降低机械臂的使用成本，以及追求机械臂的轻量化设计，我们又制定了一套新的机械臂设计方案，如图 3.1.2 所示为 R、P 轴 2006 电机联动测试现场。

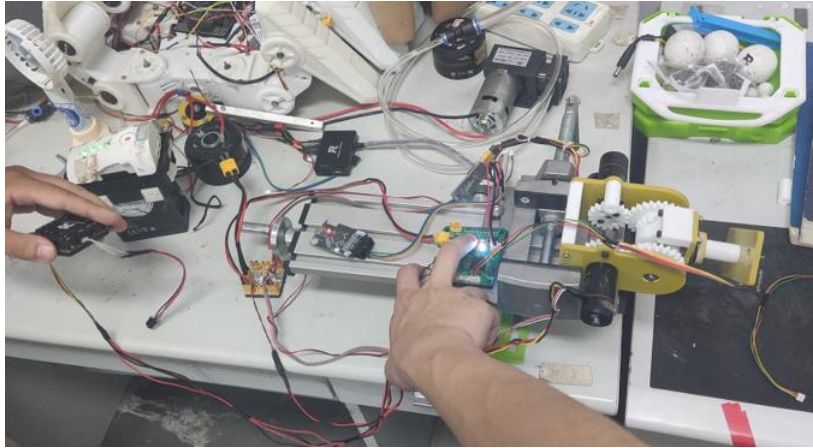


图 3.1.2 R、P 轴 2006 联动测试现场

通过两个 2006 电机控制前端的伞齿组，从而实现 R、P 轴的联动控制，所有机械构架均为环氧树脂板和打印件，同时我们在安置吸盘的平面上放置了陀螺仪，通过对陀螺仪控制算法的解算完成对该平面的姿态控制。

结果：通过陀螺仪可实现对普通直流电机的姿态控制，减少了机械臂的开发成本，同时为自定义控制器的开发打下了基础。

### 3.1.3 机械臂装车测试

名称：机械臂装车测试，整车各个模块机构联调。

内容：通过以上测试和一定的技术学习积累，我们研发设计了属于自己的第一代机械臂，并将其装在了上赛季工程机器人前伸支架上，从而对加装机械臂的整车进行研发控制和解算。

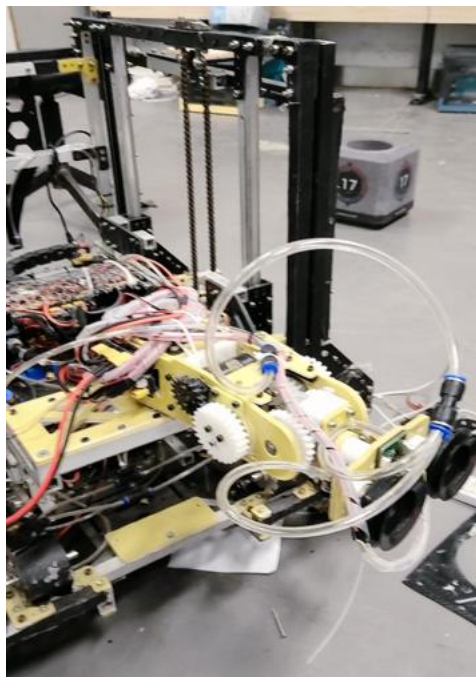


图 3.1.3 三轴机械臂装车测试

如图 3.1.3 所示为上赛季工程机器人加装自主研发三轴机械臂测试图片，整车测试过程流畅，控制上无过多问题，后因抬升结构损坏严重，常常出现抬升的卡顿现象，于是我们加快了新赛季工程机器人的研发与设计。

结果：已具备独立自主研发携带机械臂工程机器人的能力，为新赛季的研发和设计打下坚实基础。

### 3.1.4 转矿机构研发测试

名称：转矿机构设计制造，确定滚轮距离位置是否合理。

内容：对于以往赛季，我们工程机器人一直采用单一的箱体式矿仓，一次携带一个矿石进行兑矿，且无法调整矿石姿态，取矿兑矿效率低下，因此我们决定在今年开始研发转矿机构。

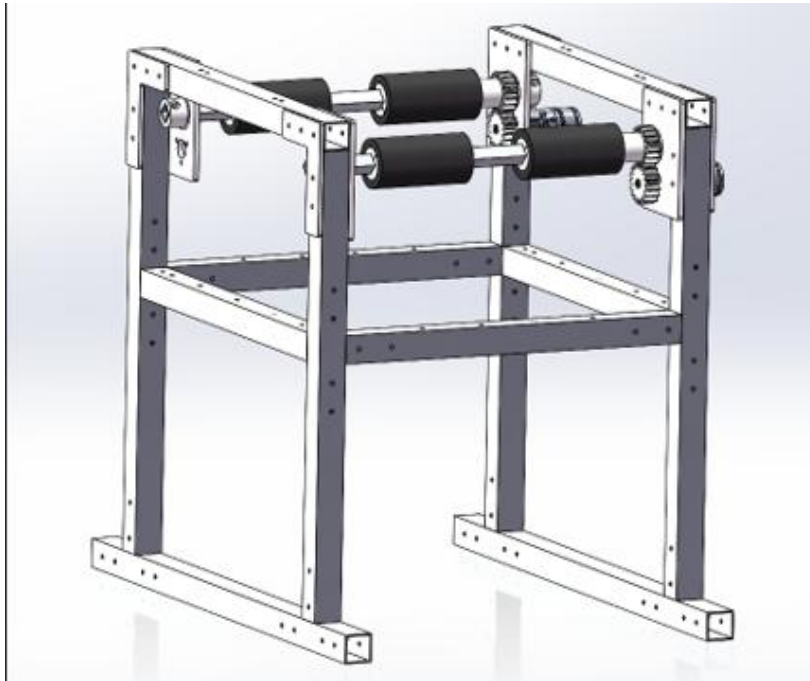


图 3.1.4 转矿测试支架模型

如图 3.1.4 所示为我们搭建的简易转矿测试支架，整体框架由 20\*20\*1 铝管和 4mm 环氧树脂板拼接而成，滚轮材料使用的是 PLA 耗材，滚轮外层包裹了 EVA 海绵胶，使用 2006 电机作为输出来源。

结果：测试结果十分良好，转矿、存矿过程十分流畅，为新工程固定式双层滚轮机构研发奠定了基础。

### 3.1.5 第一代自定义控制器研发

#### 3.1.5.1 C 板陀螺仪性能测试

名称：测试 C 板陀螺仪的性能，包括 Yaw 轴零飘，Pitch 轴、Roll 轴的解算范围。

内容：使用哈工程开源的 EKF 数据融合算法，经过移植和修改，下载到 C 板中，观察最后输出的欧拉角范围。

结果：Yaw 轴零飘大概在 7min 飘一度的范围，Pitch 轴为正负 180°，Roll 轴为正负 90°，符合工程机器人兑换矿石时的姿态需求。

### 3.1.5.2 电位遥感数据测试

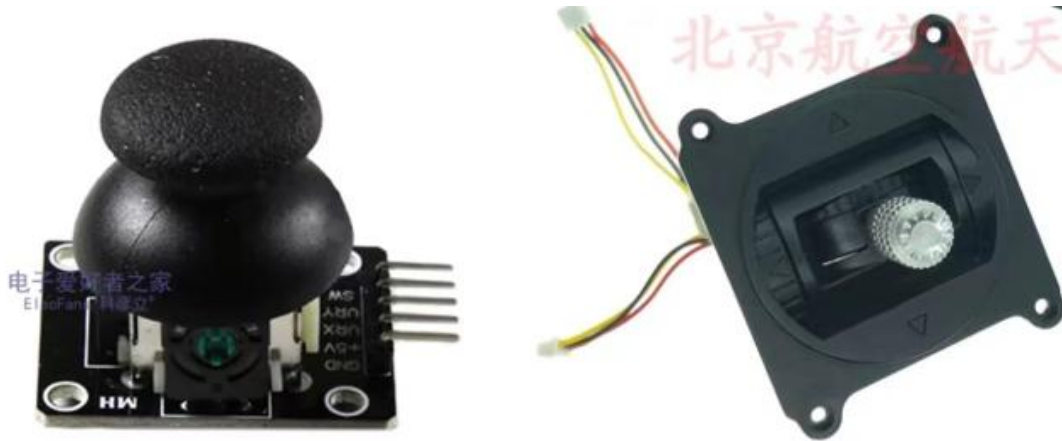


图 3.1.5.2 按键式遥感、电位遥感

名称：测试两款电位器摇杆的数据

内容：使用 STM32 中 ADC 采样的功能，采集电位器输出的电压，观察其数据的可用性，包括毛刺、中点、范围。

结果：第一款摇杆实际上为“按键式摇杆”，其中心点有较大偏移，效果并不好。第二款摇杆的电阻分配较为合理，在摇杆回中后，电压也大致保持在 1.65V 左右，大概为参考电压的一半。最终我们决定使用第二款摇杆。

### 3.1.5.3 电压采样板与 C 板的联合测试

名称：电压采样板与 C 板的联合测试。

内容：将电压采样板与 C 板通过串口连接，将电压采样板采集和处理过的数据发送给 C 板，C 板将收集到的电压采样数据以及将板载陀螺仪数据融合后的欧拉角，通过裁判系统规定的协议发送出去。

结果：此方案可以很好的输出自定义控制器中所反映的三轴旋转、两轴延展自由度的数据。

### 3.1.5.4 第一代自定义控制器设计

名称：第一代自定义控制器设计。

内容：在 23 赛季中，自定义控制器的使用给工程操作手带来了许多便利，极大提高工程机器人的兑矿效率，因此自定义控制器的研发也是这个赛季我们十分看重的一点，通过以上测试数据，我们迅速设计制造了属于我们自己的第一代自定义控制器。





图 3.1.5.4 第一代自定义控制器

如图 3.1.5.4 所示为我们设计制作的第一代自定义控制器,自定义控制器的整体由 PLA 耗材 3D 打印而成,两侧加装了微动开关,一个控制吸盘,另一个控制行径正反方向,中间安装了电位器摇杆,以吸盘的朝向为基准建立空间直角坐标系,通过遥感的拨动控制整个前伸,横移与抬升,下方的方盒安置了电池和 C 板等硬件设施,通过对陀螺仪的过程解算,实现了机械臂的三个自由度与人的手腕转动相拟合,时整个机器人的兑矿过程由一个自定义控制器即可完成。

结果:我们在旧车装新臂的基础上进行了相关测试,最终结果表明该自定义方案方案完全可行,并在此基础上进行了改版迭代。

### 3.1.6 第一代车体控制检测

名称:第一代车体测试

内容:在第一代车体机械部分完工后,我们用了一到两天的时间将工程机器人的线路初步走完,然后便对抬升,横移,前伸等直线机构进行初步控制检测。

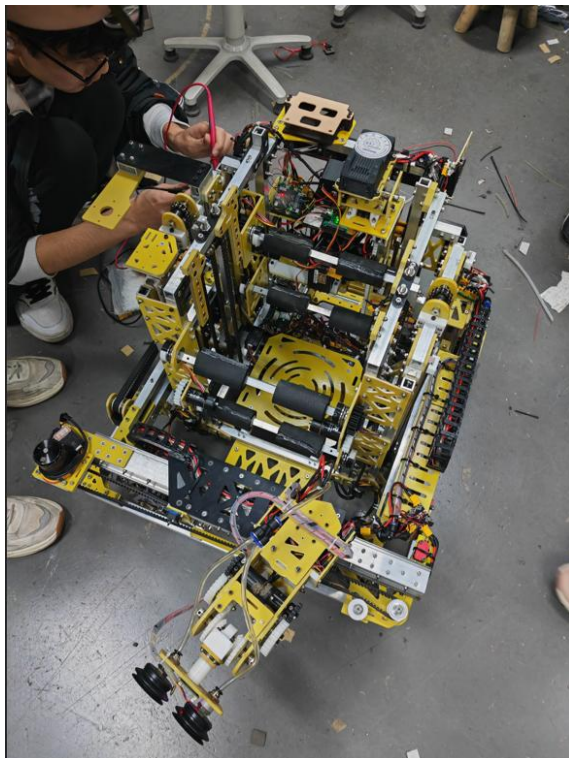


图 3.1.6 第一代车体调试现场

如图 3.1.6 所示为第一代车体调试现场，电控人员将之前准备好的代码放到各机构中单独进行调试和检测，确保各机构在整体运动使用之前能够各自稳定运行。

结果：基本功能均可单独完整运行，机械结构的刚度和强度可以保证，无卡顿现象发生，可以调试全车，测试兑矿和取矿等复杂运动过程，为后期的改进和迭代做好保障。

### 3.1.7 陀螺仪校准测试

名称：陀螺仪校准。

内容：末端差动关节处加装陀螺仪，通过陀螺仪采集到的绝对角度控制两个 2006 旋转，将差动关节复位到 Pitch 轴的  $0^\circ$  处，Roll 轴的  $0^\circ$  处，然后将反馈量改变为电机刻度。

结果：上电复位方法可行，电机刻度控制电机的方案的效果也明显优于陀螺仪角度控制电机的方案。

### 3.1.8 一键取矿测试

名称：一键取矿测试

内容：基于三个直线机构和三轴旋转机构，为整车编写一套流畅的取矿动作，包括取矿前摆正姿态，取矿以及取矿后收回、存矿。取银矿、取中间的金矿、取侧面的金矿和兑矿各有一套组合动作，提高工作效率。

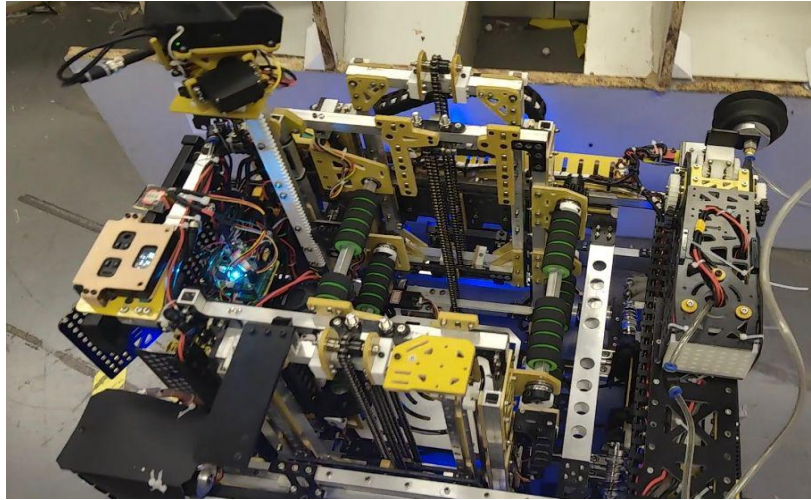


图 3.1.8 一键取矿测试图片

结果：在大多数情况下可以流畅的完成目标动作；少数情况下会因为气管线卡住 P 轴造成动作停顿。

## 3.2 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   | 第一代工程机器人制作完成             | 2024.1.18 |
| V1.1   | 初步完成整车的线路布置，实现了基本的功能     | 2024.1.20 |
| V1.2   | 使用自定义控制器控制车体运动           | 2024.1.30 |
| V1.3   | 优化了控制逻辑，添加了离线保护与堵转保护     | 2024.2.20 |
| V1.4   | 改进前伸横移系统，增添抬升保护管架        | 2024.3.1  |
| V2.0   | 末端关节添加陀螺仪控制板，开启陀螺仪复位功能   | 2024.3.2  |
| V2.1   | 部分机械结构材料更新，转矿材料换成缓冲套     | 2024.3.10 |
| V2.2   | 陀螺仪姿态融合算法更新，扩大 Pitch 轴角度 | 2024.3.15 |
| V2.3   | 第二次布线完成，优化整车线路结构         | 2024.3.25 |
| V3.0   | 换装新机械臂（目前进行相关调试）         | 2024.4.1  |
| V3.1   | 将部分板材替换为玻纤，增强结构          | 2024.4.18 |
| V3.2   | 将小吸盘替换成大吸盘，更新气泵和气路       | 2024.4.26 |
| V4.0   | 增添一键组合动作，取矿兑换效率大大增加      | 2024.5.1  |
| V4.1   | 连接图传链路，完成自定义控制器兑换矿石流程    | 2024.5.3  |

| 版本号或阶段 | 功能或性能详细说明              | 完成时间      |
|--------|------------------------|-----------|
| V5.0   | 根据备场测试情况对一键取矿动作的参数略作修改 | 2024.5.12 |

### 3.3 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         |
|----|--|---|--|-----------|--------------|
| 1  | 在横移过程中有拖链下坠的情况发生，导致干涉其余结构                  | 拖链在弯曲时，如果不加限制，可能会偏移原来的路径，导致折叠，下坠等情况产生       | 在横移管架下方，用2mm黑色玻纤片制作拖链移动辅助平面，无下坠现象发生                            | V1.0      | 机械负责人：刘田     |
| 2  | 工程机器人在抬升时，两侧抬升不同步导致横移平面倾斜，前伸支架连接处不同成度的出现扭曲 | 由于自己加工精度较低，工况环境复杂，电机会出现转速不同步的现象，且抬升保护措施不够完善 | 在前伸支架上，加装30*30*2的铝管作为横梁，并使用3mm黑色玻纤片夹装连接，构成抬升保护管架，横移平面无倾斜问题     | V1.3      | 机械负责人：刘田     |
| 3  | 末端陀螺仪在上电时不进入复位模式。                          | 与两个主控的上电顺序有关。                               | 将末端陀螺仪控制板的从miniPC取电方案改为从云台取电，利用死亡后云台断电的规则，只需要改成陀螺仪上电时初始化，即可解决。 | V2.0      | 嵌入式软件负责人：王涵炜 |
| 4  | 在抬升过程中，横移机                                 | 由于加工精度                                      | 通过更改转矿   | V2.1      | 机械负责人：刘田     |



| 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             |
|----|--|--|---|-----------|------------------|
|    | 构有机率干涉到转矿机构  | 低下, 预留机构间隔尺寸较为极限, 导致出现干涉的风险                              | 机构前端两个2006的位置, 进一步缩小机构尺寸, 留出余量即可  |           |                  |
| 5  | 陀螺仪解算出来的数据范围小, 当 Pitch 轴运动到 90°时数据发生错乱, 对机械结构造成损坏。 | Mahaony 数据融合算法的 Pitch 轴运动范围只在正负 85°之间, 超过此范围数据会向相反的方向变化。 | 采用 EKF 数据融合算法, Pitch 轴的解算范围扩大为 正负 180°。   | V2.2      | 嵌入式软件负责人:<br>王涵炜 |
| 6  | 机械臂上分线板的接头受挤压, 导线和气路所留出的气管过长, Y 轴电机运转时, 线路有被缠绕的风险  | 机械臂内部所留空间较小, 末端 Y 轴关节电机无中空, 无法穿线为满足自由度需要, 线路只能留长         | 增加机械臂的长度, 内留放置分线板和电调的空间, 将末端 Y 轴关节电机换成含有中空轴的 6020 电机, 机械臂的线路均从电机中空里穿过, 减短线路、气路长度, 无缠绕风险产生 | V3.0      | 机械负责人: 刘田        |
| 7  | 吸盘吸力不足, 原有的两个并联气路小吸盘无法稳定吸上矿石, 并容易掉落                | 原直流有刷气泵效率低下, 不再使用, 矿石材质改变, 小吸盘不在适用                       | 将原有气泵更换为直流无刷气泵, 并将小吸盘更换为直径为 80 的大吸盘, 效果十分良好,  | V3.2      | 机械负责人: 刘田        |

| 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             |
|----|-------------------------|----------|---------------|-----------|------------------|
|    |                         |          | 吸力强劲          |           |                  |
| 8  | 在一键过程中 Pitch 轴容易与气管卡在一起 | 差动关节气路外露 | 机械组设计中心气路     | V5.0      | 嵌入式软件负责人：<br>王涵炜 |

## 4. 团队成员贡献

| 姓名  | 基本信息               | 主要负责工作内容描述                           | 贡献度 |
|-----|--------------------|--------------------------------------|-----|
| 刘田  | 过程装备与控制工程、大二、机械负责人 | 负责整个机器人的机械结构的设计和整体方案的策划，以及工程机器人的加工制作 | 40% |
| 王涵炜 | 测控技术与仪器、大三、电控负责人   | 负责整车的运动控制，包括主控、电机的线路连接、相关功能的控制代码的编写  | 40% |
| 杨忠涛 | 智能科学与技术，大三，视觉负责人   | 负责机器人的视觉识别，识别矿石，判断位置，提供转矿方向，部分的视觉设计。 | 20% |

## 5. 参考文献

- [1] 东北大学.[机械设计] RM2023-东北大学-T-DT 战队-工程机器人-机械结构开源[EB/OL]. [2023-9-10].  
<https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=22761>
- [2] 上海交通大学.[开源汇总] RM2023-上海交通大学-云汉交龙战队-工程机器人-机械结构开源[EB/OL]. [2023-9-9].  
<https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=22758>
- [3] 深圳大学.[机械设计] RM2023-深圳大学-RobotPilots 战队-工程机器人-机械结构开源[EB/OL]. [2023-9-7].  
<https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=22745>
- [4] 华北理工大学.[开源汇总] RM2021-华北理工大学-Horizon 战队-工程机器人-机械结构开源[EB/OL]. [2021-8-30].  
<https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12274>
- [5] 王洪玺 四元数 EKF 姿态更新算法[EB/OL]. [2022-3-13].  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/454155643>



## 6. 技术方案复盘

本赛季技术方案为在时间较短、资金有限、技术储备过程中针对分区赛的应急技术方案，从赛场的表现情况来看，该赛季的工程机器人基本满足了我们对赛场的经济需求，达到了我们对该兵种的战术定位，总的来说，该技术方案是比较成功的一个技术方案。

### 6.1 赛场性能表现情况分析

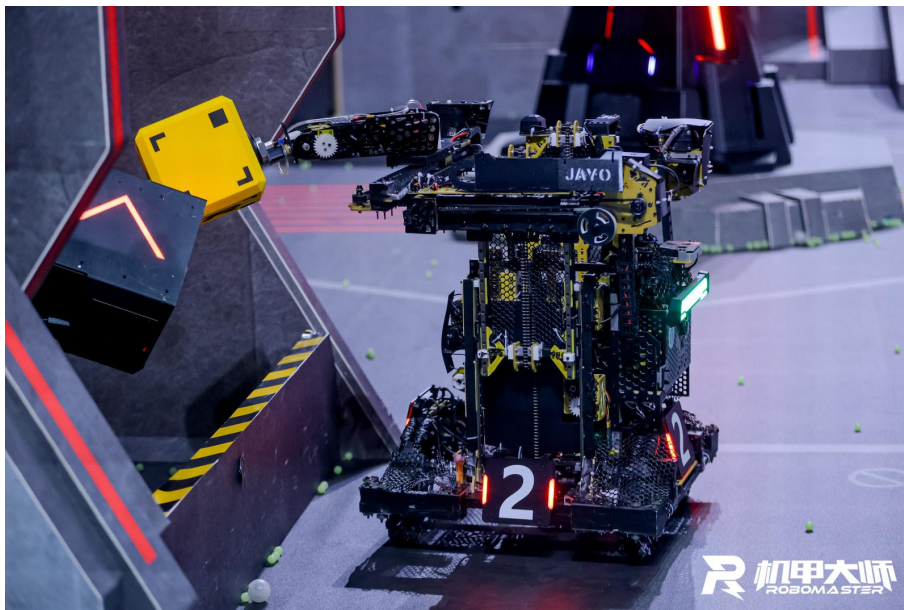


图 6.1 赛场工程机器人兑换照片

赛季初的目标是能够稳定快速的抓取多块金矿和银矿，并实现高难度等级兑矿，“三金三银，保底四级”是我们最初的期望，而实际比赛中，通过一键取矿的设定程序和搭配直线机构的快速相应，实现了快速获取金矿和银矿的能力，三自由度机械臂搭配二级抬升和前伸、横移等机构完全可以稳定的兑换四级矿石，为了求稳，我们没有尝试兑换五级矿石，由于时间等影响因素，操作手的熟练度不够，导致一局只能兑换 3~4 个四级矿石，但经济满足了基本需求，在比赛最后时间段，工程也辅助了其它兵种的作战，整体赛场情况表现还算比较可以的。

### 6.2 赛场性能表现与规划对比分析

| 赛季初目标功能需求        | 实际实现功能对比                    |
|------------------|-----------------------------|
| 车体延展及运动中均可保持自身平衡 | 重心配比得当，车体完全延展，运动过程中未有前倾现象产生 |
| 稳定实现取银矿功能        | 已实现：一键获取一银矿，一气呵成，10s 左右     |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 稳定实现取金矿功能                   | 已实现：一键取金矿，搭配机械臂前伸进洞取矿   |
| 手持自定义控制器控制整车及三轴机械臂运动        | 已实现：虽然操作略有卡顿，但是预期动作都能完成   |
| 稳定实现四级难度兑换                  | 已实现：因为四级矿在兑换时兑换站的状态是不确定的，我们兑矿的效率也不一样，两种情况一种较快，控制在 20s 左右，另一种状态则不稳定。 |
| 实现五级兑换                      | 由于时间准备不够充分，技术层次跨度较大，未能在末端执行器增添稳定兑换五级所用的自由度，固赛场没有尝试兑换五级矿石            |
| 车体能储存 2 个矿石，机械臂持有 1 个，共 3 个 | 已实现：吸盘拿一个，转矿机构存两个   |
| 机械臂关节力控                     | 未实现：机械臂末端负载不是很大，PID 控制即可  |
| 微动开关限位                      | 未完全实现：机构在活动时可能因为机械精度原因到达不了预期位置，导致某些微动开关不起作用。                        |
| 双层滚轮转矿机构                    | 已实现：能传送矿石，并且转杆在顶部实现转矿   |
| 视觉转矿算法                      | 未实现：时间准备不足  |
| 吸盘吸住矿石检测                    | 未实现：采样数据太不稳定，可能会出误判   |

通过以上对比，该赛季工程机器人已基本实现预定功能，有少量规划目标因时间，资金以及技术积累不足等问题导致未能实现，因此，我们将在下一赛季前做好充分准备，将我队工程机器人技术水平提到一个新的高度，在多机构和多自由度解算等新技术上取得突破。

## 6.3 经验总结

整体来看，今年造出了一台能快速取矿，并稳定兑换 4 级矿的工程机器人，在区域赛间贡献了稳定的经济支持，尽管受资金，时间，人力等的影响，功能上有些并没有达到预期的效果，但整体上场的稳定性还是达到了预期。但是也暴露了一些问题，具体如下。

在机械方面的问题：

1、图传视野不够，这是本赛季暴露出最严重的问题，由于图传问题导致对矿非常考验操作手熟练度，并且依赖于兑换站的随机姿态，一部分姿态因图传兑换难度极高。

2、质心偏移，导致车在行进的时候不走直线，在设计近乎对称的情况下，因为加工误差导致装配时出现偏移，这个问题因为加工技术的限制很难解决，对此应该提升加工技术，提高加工设备精度，适当进行外包。

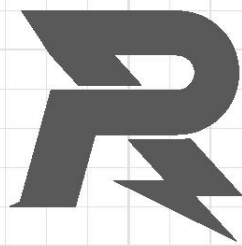
3、伞齿组旷量过大，齿轮误差过大。应该采用定制齿轮，或使用同步带方案。

在电控方面的问题：

1、在一键半自动功能上，总是卡在 if 条件判断上，现实条件中由于气管卡到机械臂，导致机械臂行程达不到判断条件，没法触发下一步功能。

2、气管布置上有时会存在被气管被差动关节 P 轴卡住的现象，这里并没有处理好。

针对这个赛季的经历以及出现的这些问题，纵观全局，我们收获了很多经验，无论是在人员任务分配上，在进度安排上，优先级考虑上，资金分配上，技术处理上我们都有了新的进步。因为工程车整个系统太过复杂，我们人力，资金方面条件又很紧张，所以在下个赛季我们会考虑让工程各个模块的设计，布线，功能，变得更加完整，更加集成化。我们也考虑到我们现在技术有限，在开发人员也不够的情况下，又为了能满足比赛需要，我们尽可能的在构思设计时避免耗费精力会太久且有概率做不出来的方案。在新赛季规则出来之前尽力调试，安排出可行稳定的方案。而且在今年我们第一次尝试工程与视觉的结合，第一次使用自定义控制器等都是新的尝试，我们认为我们未来的工程车会不断进步，我们也将教育我们未来的负责人不断创新，多加测试，制作出更稳定，更高效率的工程机器人，传承工程组的技术与品质。



邮箱: [robomaster@dji.com](mailto: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