



Using a BL-HS motor driver able and field-oriented control (FOC), the RoboMaster G300 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.

Exclusively designed for the RoboMaster M3000 PMS Brushless DC Gear Motor and G300 Brushless DC Motor Speed Controller, the M3000 Assembly Kit includes several cables and a terminal board.

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

The M3000 Assembly Kit includes several cables and a terminal board, providing a complete peripheral system for your RoboMaster system.

ROBOMASTER

机甲大师超级对抗赛

技术方案

前言

本报告由香港科技大学 ENTERPRIZE 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	张天瑞	吴子曜
硬件	区发锐	戎羿
软件	甘泽森	

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
机器人功能定义.....	8
1.3 机器人核心参数.....	9
2. 设计方案.....	10
2.1 机械结构设计.....	10
2.2 硬件设计.....	20
2.3 软件设计.....	27
2.4 其它.....	28
3. 研发迭代过程.....	30
3.1 版本迭代过程记录.....	30
3.2 重点问题解决记录.....	30
4. 团队成员贡献.....	32
5. 参考文献.....	33

1. 概述

1.1 背景&目标

23 赛季，我们饱受工程不稳定的影响，导致比赛时经济不足，屡屡受到对手牵制。在整个复活赛期间，操作手仅仅成功兑换了 3 枚银矿。进入 24 赛季，我们有“重返国赛”的目标，故一个简单强大的工程机器人至关重要。这样才能有经济发动攻势，否则只能依靠空中机器人，飞镖系统等打开局面，非常被动。

目前，24 赛季工程机器人有如下基本需求（目标）：高自由度与大工作空间（兑换高级矿石），较为细长的取矿机构（大资源岛取金）。而我队亦有额外的需求，总结为：

1. 高稳定性，不易受赛场环境影响。（这一点来源于上赛季对于六轴机械臂的避障算法稳定性不足）
2. 操作简单，符合直觉，易于快速训练合格工程操作手。（这一点来自上赛季图传看屏幕画面的清晰度不足）
3. 成本低，小于 10000HKD，易于复制备车。
4. 设计较为通用，符合赛事基本演化方向，增加进入下赛季的复用性。（较大的工作范围，易于维护与操作）
5. 进一步需求：取兑矿速度快，有较大的存矿空间，有能力救援英雄等较为重要的机器人。

1.2 其它学校机器人分析综述

因为今年我们采用了龙门架工程构型，将末端执行器沿 XYZ 轴的平动完全交由平移机构去实现，故我们主要参考龙门架工程构型。此外，由于 SCARA 构型与龙门架构型有相似之处，故我们也会加入对于部分 SCARA 优秀构型的讨论。对于全旋转的六轴（或以上）机械臂，我们不再讨论。

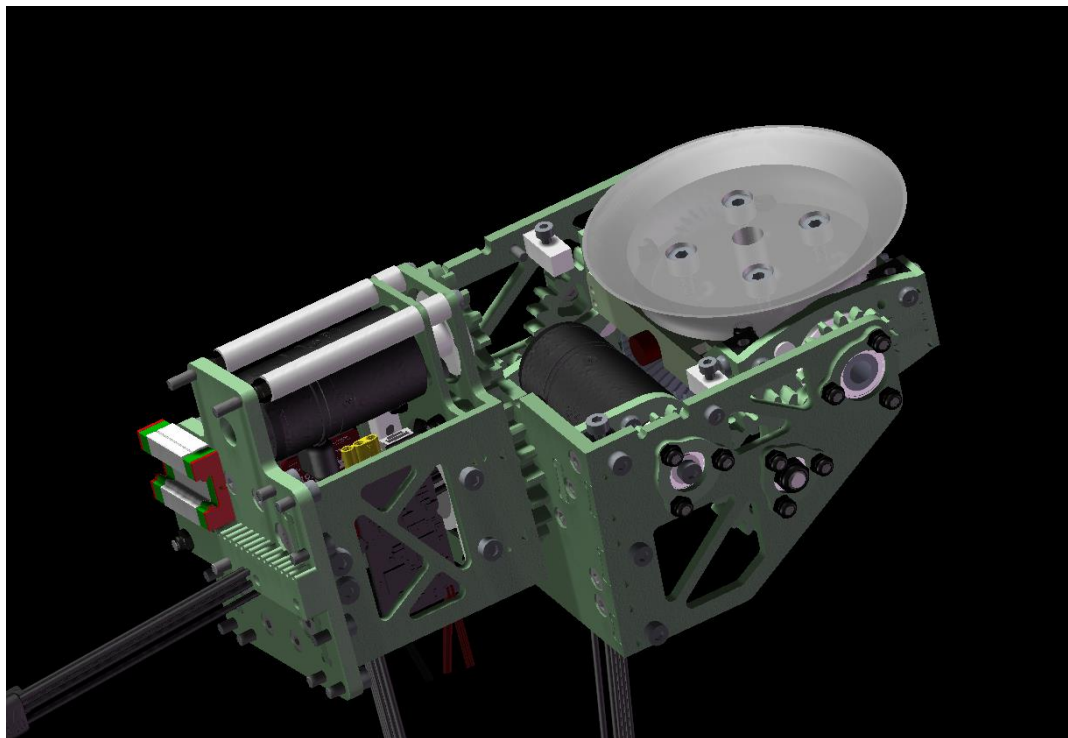
A. 龙门架构型（23 赛季）

● 华南理工大学

23 赛季华南理工大学工程机器人采用了龙门架构型，其 XYZ 轴平移完全由平移机构实现，其末端执行机构（3 自由度+吸盘）设计紧凑，结构精巧，完成度极高。

龙门架抬升采用链条，这一点与深圳大学与南方科技大学相同。

末端执行机构采用差速齿结构，这一点与深圳大学与上海交通大学相同。由于 23 赛季中央资源岛的矿石姿态复杂，末端 Pitch 所连机构过长会导致工作空间损失极大（因工程机器人本身的尺寸限制），这种 Pitch 与 Roll 耦合的设计优势很大。此外，此设计可以使得 Roll 自由度原动机靠后（不再存在于 pitch 前），使得无需导电滑环亦可实现无限转动。



图表 1 华南理工大学 23 赛季末端执行机构

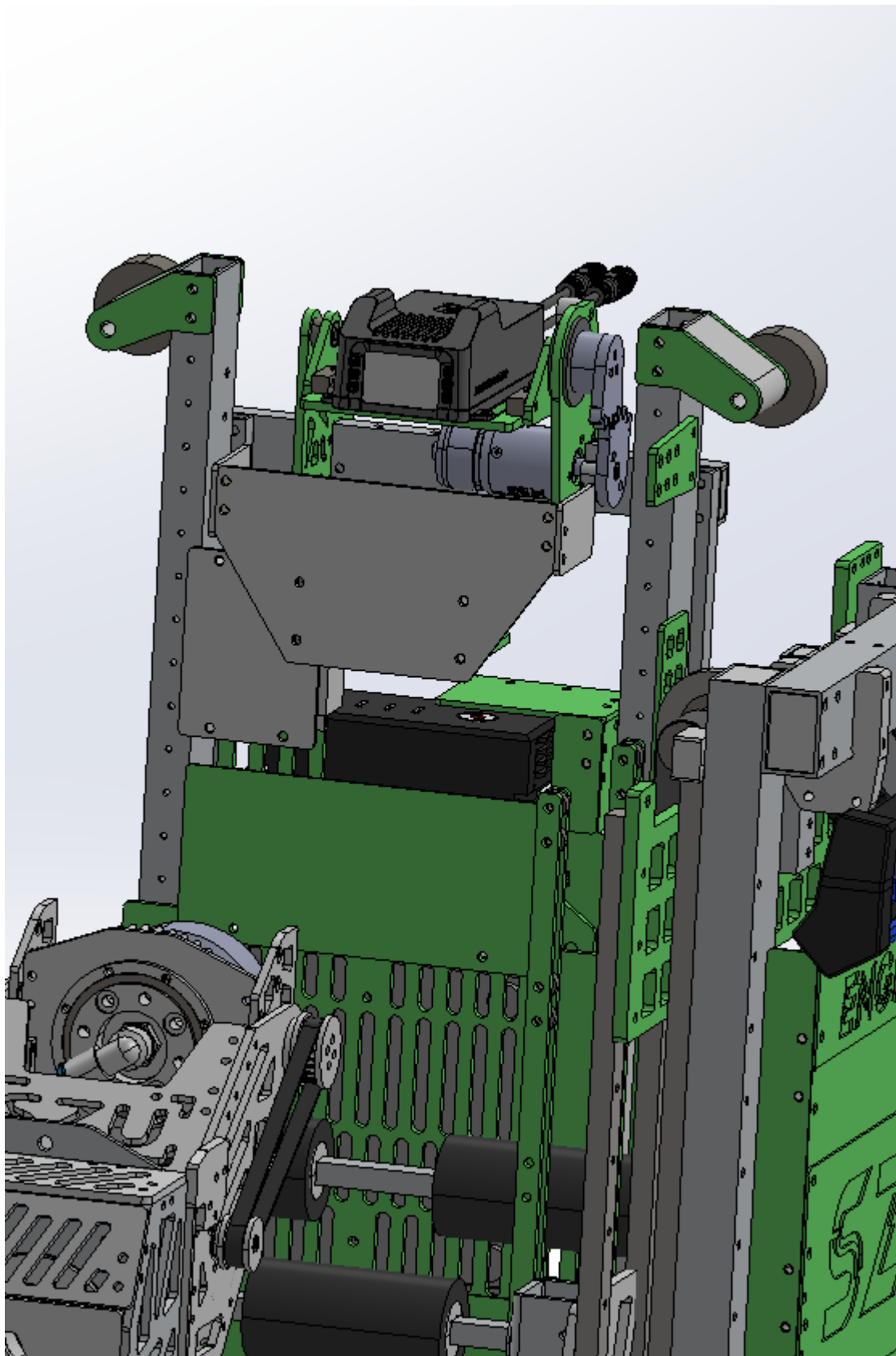
在与华南理工的工程研发人员交流中，我们了解到，其工程机器人的抬升机构采用了两个 M3508 电机提供动力。这意味着这两个电机必须同步。而此工程机械结构上没有机械层面的同步，故而只能依靠嵌入方面的控制同步。这虽然不影响功能上的性能，但是考虑到软件人为因素（烧录代码有误或控制代码有误），无机械同步仍然是一个十分危险的举动。据华南虎成员透露，因为此设计，工程曾经过多次大修。

- 深圳大学（23 赛季工程）

深圳大学与华南理工大学的设计趋同。其区别在于末端执行机构的差别。此外，深圳大学的工程机器人机电一体化程度极高，管线几乎无外露，这使得其稳定性极强。从这些方面来看，深圳大学 23 赛季的工程完成度极高，且对比赛规则适应性强，工作空间大，自由度高，不易因规则变动而失能。

值得注意的是，深圳大学的抬升机构设计十分巧妙，其负责抬升的 M3508 电机位置很低，十分利于保护，而且仅仅使用单级链条的行程即可满足设计需求。此外，我们注意到，其抬升机构前后尺寸较小，故无需机械同步亦可做到先后基本无高低差。

此外，深圳大学的设计十分注重用户体验，有图传模块有独立的升降装置，使得操作手视野灵活，利于快速兑换矿石。这同时帮助进一步减轻前部升降机构的负载。



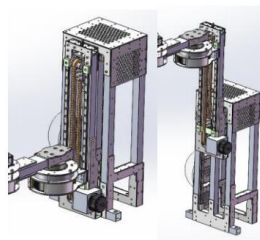
图表 2 深圳大学独立升降云台

可能的改进之处：深圳大学工程机器人的伸出机构采用两台 M3508 电机驱动，且采用较小半径同步带，其理论向前输出推力大小可达 170kgf，远超工程自重，可能比较多余。

● 南方科技大学

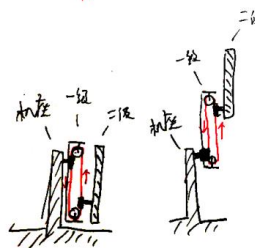
南方科技大学在 23 赛季的工程设计可谓独树一帜。无论是其 SCARA 机械臂还是其存矿方式都非常新颖，且完成度高（场均白银矿工），十分不容易。

其抬升机构采用链条多级同步抬升，设计新颖，在功率相同的条件的情况下以牺牲抬升力的方式增加了其功程，也就变相的增加了行程。



两段滑轨+滑块会同步进行抬升

抬升的动力为一个原减速比的 M3508 电机，我们使用了链传动来将转动转为平动。通过将链条的两侧固定到机座和二级抬升框架上，我们能实现两级抬升的同步运动。



二级同步抬升示意图

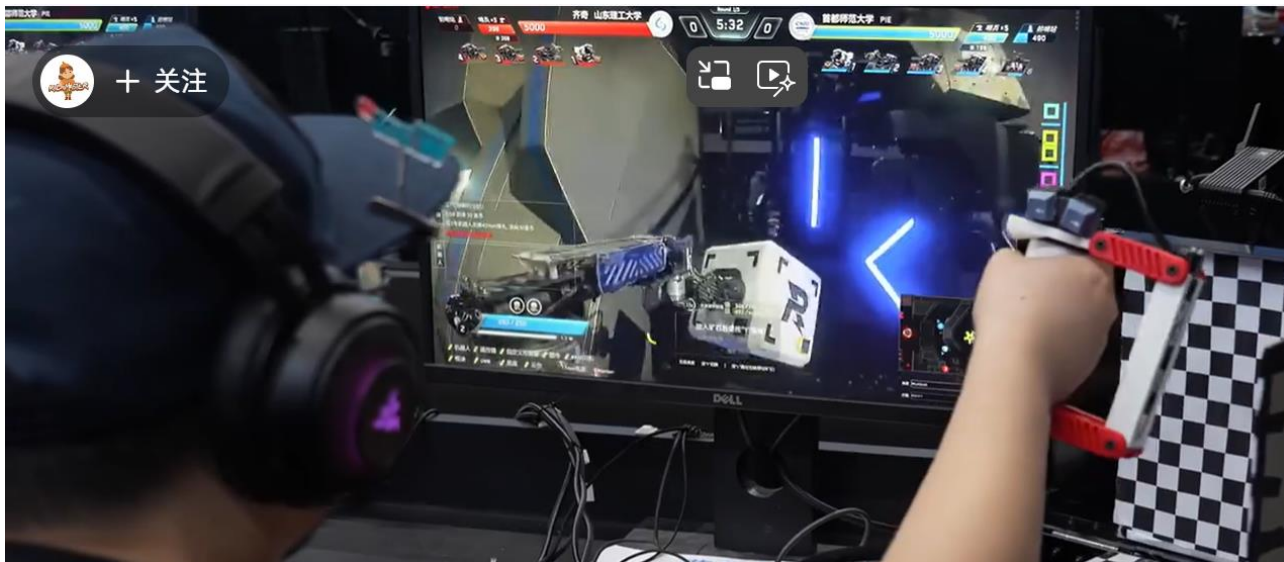
图表 3 南方科技大学 23 技术方案节选

此外，我们通过基本的几何学可知，全旋转机械臂，如果不增加特殊的机构，则其工作空间为球形（上海交通大学采用定宽曲线的性质采用凸轮机构使得其工程工作空间变化为一近似立方体）；SCARA 构型则为一圆柱体；龙门构型则呈现立方体。在现行规则下，由于官方统计机器人尺寸采用曼哈顿距离而非几何距离，所以全旋转的构型在不加改动的情况下实则兑换优势不大。

到目前为止，官方并未在兑矿时限制底盘的运动。从这一点来看 SCARA 构型机械臂在兑换时优势强于龙门架构型工程，其优势集中体现在一下两点：

- ✓ 结构简单且负载小（结构上负责 XY 平面内运动的电机无需抵抗结构自重）

- ✓ 在相同体量的结构，以及相同数量的活动关节下，其活动自由度更大（这一点实际上来自于机械臂自身结构与其抓取矿石的干涉。由于 SCARA 独特的构型，其可以避开与矿石的干涉，而龙门架构型则需要增大结构体量或活动关节数来避开矿石。这两种方案在 24 赛季，前者会影响中央资源岛矿石的获取，后者则会增加上场时的不稳定性。）



图表 4 24 赛季首都师范大学工程机器人（目前最大 SCARA）

机器人功能定义

一、 核心功能

取矿，兑矿，存矿（排名有先后）

- ✓ 取矿：快速获取金矿（以工程对准矿槽方位开始，2-3s 内获取，成功率接近 100%），且可从己方位置获取对手侧的金矿（防止被步兵或哨兵偷袭）。银矿采集快速可靠（以工程对准矿槽方位开始，2-3s 内获取，成功率接近 100%）
- ✓ 兑矿：（几乎）保证矿石可以兑换 5 级，即经济不止步于黄金矿工。

单次兑换时间小于 30s

支持自定义控制器控制

- ✓ 存矿：（包含取矿吸盘）工程机器人可携带 4 块矿石

二、 次级功能

救援场上重要机器人，遮挡对方攻击视野以及攻击弹道，通过性

- ✓ 救援：可以救援英雄等较为重要的机器人，节省金币（不增加结构，作为取矿结构的附属功能实现
- ✓ 遮挡视野与攻击：采用侧向吸盘吸住矿石，举到高出，由存矿机构实现，可遮挡宽至 1000mm，高 1000mm 的空域。

- ✓ 底盘通过性：不必支持下台阶，支持上坡，平地运行稳定。

1.3 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。

名称	参数
重量、重心	34.6kg(不含裁判系统)；（随变形变化）
尺寸（长宽高）	586*586*（随变形变化）
主要传感器型号、参数、数量	鼠标微动开关*2； 气压传感器 XGZP101 *4
电路功耗、所有电容总容量、工作时电压范围等	最大总功耗约 600W； 电容总容量 4400uF； 工作电压 24V (6S 电池)，底盘与其他机构分开供电。
执行器件（电机、气缸等）用途与数量说明等	M3508*6 抬升，底盘 M2006*8 伸出机构，横移机构，存矿机构，末端微型机械臂 负压气泵*2 吸盘*4
最大速度	> 2m/s
最大携带矿石数	4
取矿机构最大伸出	≈500mm
最大举升重量	≈12kgf

2. 设计方案

2.1 机械结构设计

1. 整体机械结构设计/核心结构设计说明

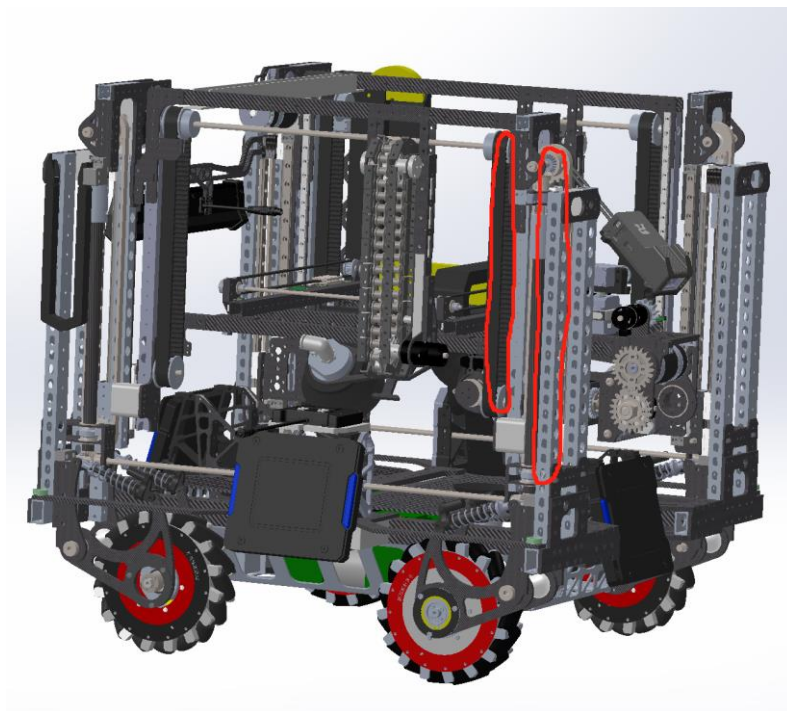
经过仔细权衡，结合上赛季的经验教训，我们选择了机械结构较为复杂，而嵌入及算法较为简单的龙门架工程方案：由直线横移，伸出，抬升机构分别执行 XYZ 方向的平移，而末端最后的绕 XYZ 轴旋转交由高度集成，高自由度的末端机构（5 轴）实现。

由于平动机构的特殊设计，此版本工程侧方具有巨大空洞。取/存矿机构在腹中完成交接，然后交由存矿机构透过空洞完成侧方存矿。

- 直线抬升机构说明

- i. 三级同步抬升

我们参考了南方科技大学的两级同步抬升[1]，设计了三级抬升机构，其前两级采用 04c 链条传动，而后两级由于负载减小，采用了 HTD-5M 齿形同步带。



图表 5 红色标注同步带与链条

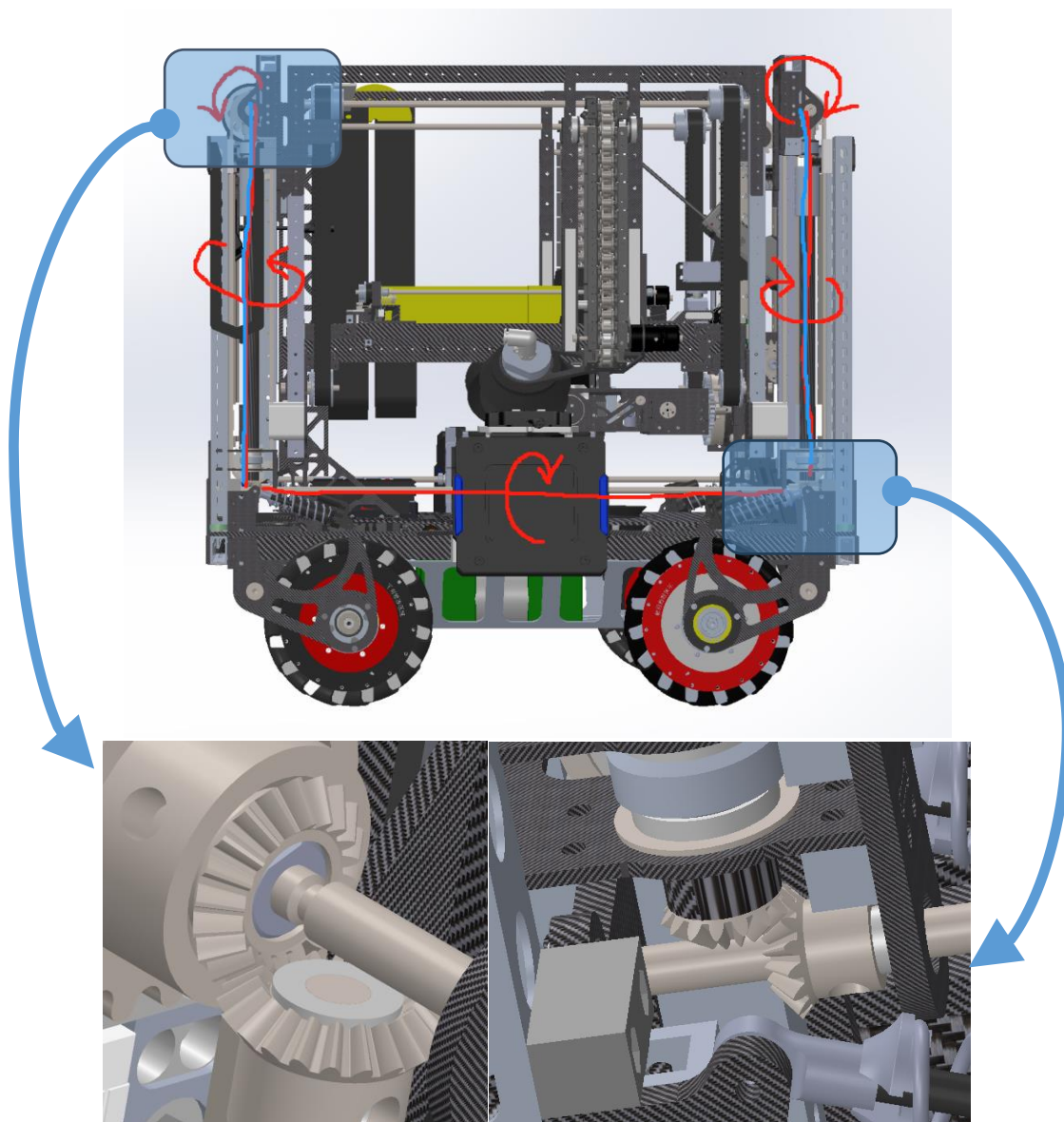
ii. 前后同步抬升

由于抬升机构较大的前后跨度，我们必须设计抬升的前后同步，我们采用双保险方案：

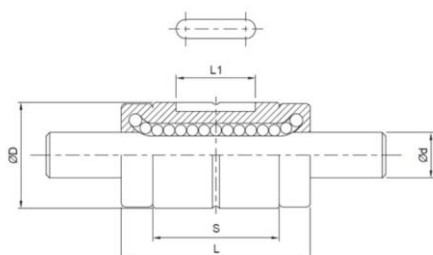
伞齿轮-滚珠花键同步 + 3 级光轴同步

✓ 伞齿轮-滚珠花键同步：

我们利用伞齿轮的直角传动与对称性，迫使链轮的转动角速度大小相同，方向相反↓



但是由于抬升机构的特殊性，图中标为蓝色的传动杆的长度需要变化。为了解决伸长的同时仍然可以保持传动的问题，我们采用了滚珠花键↓



由于 M3508 电机的额定扭矩为 2.8NM 我们选用了 SLT06 型号的滚珠花键，其较为节省空间。

公稱型號	基本額定負荷		基本額定扭矩		容許靜力矩		質量	
	C	C0	CT	C0T	MA1	MA2	花鍵外筒	花鍵軸
	kgf	kgf	kgf·m	kgf·m	kgf·m	kgf·m	g	kg/m
SLF006	137	225	0.46	0.76	0.39	3.48	36.7	0.22
SLF008	137	225	0.60	0.99	0.39	3.82	47	0.39
SLF010	285	397	1.62	2.25	0.95	8.53	100	0.60
SLF013	396	540	2.89	3.94	1.50	12.46	117	1.03
SLF016	545	849	4.77	7.43	3.71	26.09	226	1.56
SLF020	724	1109	7.90	12.09	5.53	38.00	303	2.44
SLF025	1003	1593	21.99	43.01	10.35	68.59	458	3.80
SLF030	1160	1980	30.26	62.93	15.68	93.27	633	5.49
SLF040	2972	4033	105.37	176.05	36.59	246.34	1430	9.69
SLF050	4086	5615	179.89	304.35	51.58	428.72	2756	15.19

公稱型號	基本額定負荷		基本額定扭矩		容許靜力矩		質量	
	C	C0	CT	C0T	MA1	MA2	花鍵外筒	花鍵軸
	kgf	kgf	kgf·m	kgf·m	kgf·m	kgf·m	g	kg/m
<u>SLT006</u>	137	225	0.46	0.76	0.39	3.48	14	0.22
SLT008	137	225	0.60	0.99	0.39	3.82	16	0.39
SLT010	285	397	1.62	2.25	0.95	8.53	37	0.60
SLT013	396	540	2.89	3.94	1.50	12.46	52	1.03
SLT016	545	849	4.77	7.43	3.71	26.09	130	1.56
SLT020	724	1109	7.90	12.09	5.53	38.00	188	2.44
SLT025	1003	1593	21.99	43.01	10.35	68.59	285	3.80
SLT030	1160	1960	30.26	62.93	15.68	93.27	395	5.49
SLT040	2972	4033	105.37	176.05	36.59	264.34	843	9.69
SLT050	4086	5615	179.89	304.35	51.58	428.72	1758	15.19

✓ 三级光轴同步

由于第三级同步轮处于同心位置，我们采用一长光轴连接两同步轮，迫使同步轮同步转动，从而迫使抬升同步↓



图表 6 3 级光轴同步所在位置

iii. 重力补偿

此外，由于上层机构有一定的重量，我们采用了恒力弹簧进行补偿。我们再下图红圈位置利用 3 级同步光轴安装了一对 15kg 级别的恒力弹簧连接光轴与三级结构，本质上是拉住第三级与第二级结构。实际上，由于结构不可预测的阻尼与重量，我们无法直接通过理论计算得出准确恒力弹簧的使用值。在这个情况下，解析解显得参考性不大。

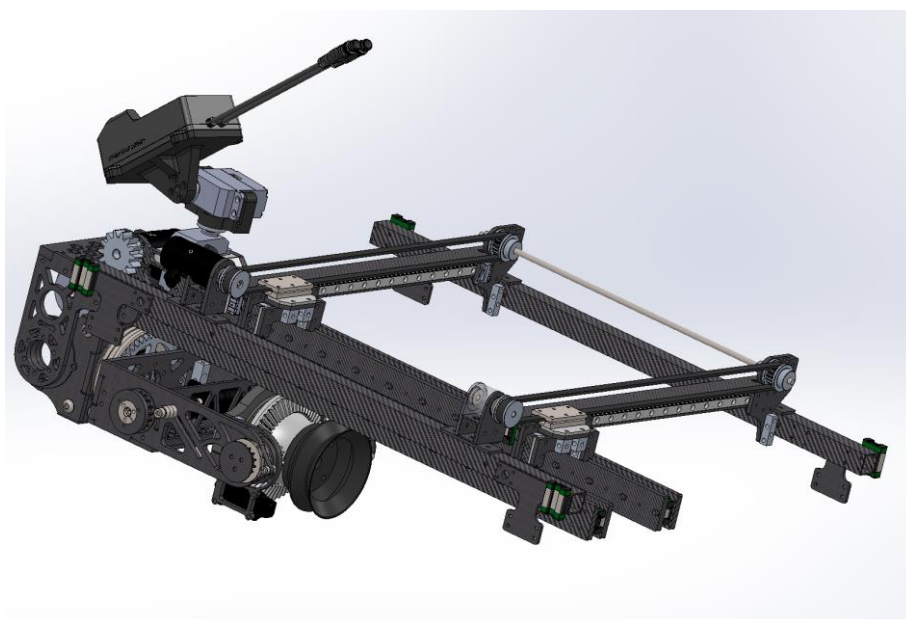


● 横移以及伸出机构说明

i. 横移机构

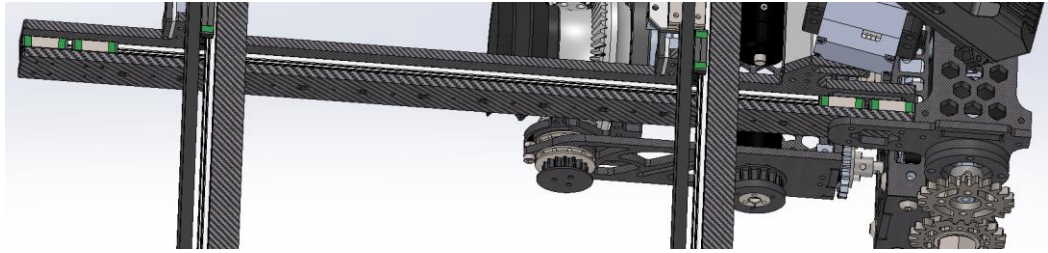
由于 24 赛季有掏洞需求，我们将伸出机构设计的极细（宽度 $\leq 100mm$ ），故伸出机构需基于横移机构设计。（当然，其原动机也可以对称布置，即采用 CoreXY 架构，在我们的工程设计中，出于对伸出结构强度的考虑，我们并未使用这一构型）

我们采用 M2006 电机作为横移机构的原动机，并使用了 HTD-3M 同步带进行传动。由于较大的前后跨度，我们采用了 4mm 光轴进行同步。



ii. 伸出机构

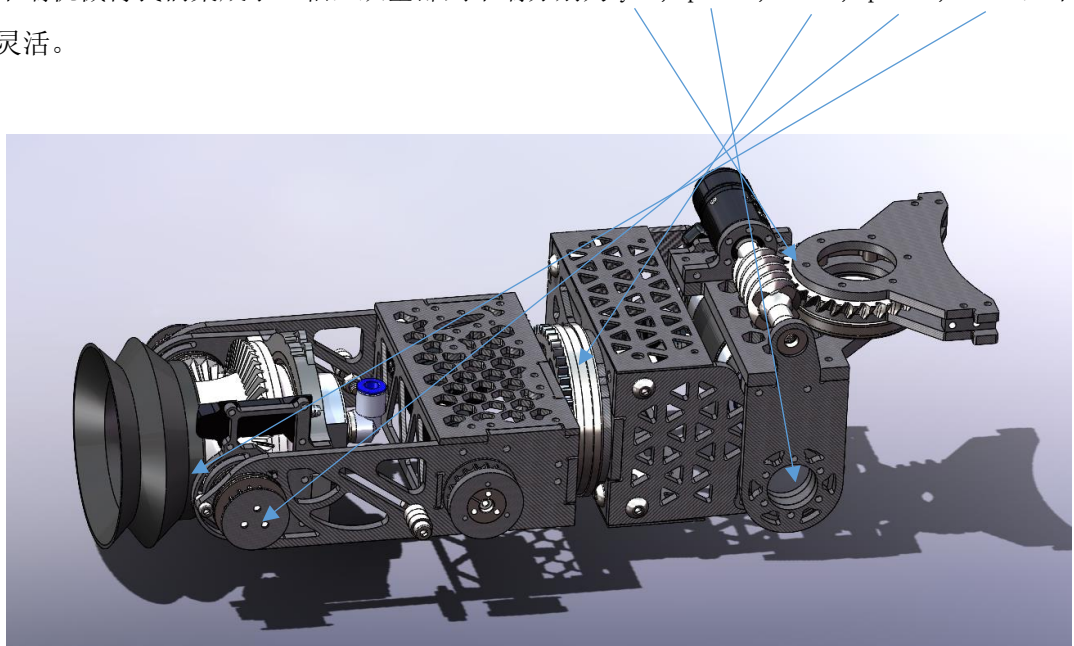
伸出机构我们采用齿轮齿条传动，参考深圳大学的方轨伸出结构方案[2]，将原动机改为



M2006.

● 末端机械臂说明

末端机械臂我们集成了 5 轴，从基部到末端分别为 yaw, pitch, roll, pitch, roll，十分灵活。



i. 吸盘选型

吸盘选型十分重要，大了成功率无法保证，小了又吸不稳。经过各方面的权衡，我们开始选用了 63HB 型号的重载吸盘。其大小合适，吸力也有保证（深圳大学工程机械强推）[2]。但是，由于实地测试，发现 20L 流量负压泵配合 63HB 吸盘极易掉矿，我们后期更换为 80HB 吸盘。

ii. Yaw 设计

我们的对 yaw 结构的设计需求是：高度极小；扭矩在 5-10NM 之间；重量较轻。

市面上并没有直接符合要求的电机售卖。我们综合考虑重量等因素，仍然决定使用 M2006 电机。而其有两个问题：1 输出角速度向量方向尺寸较大；2 扭矩仅仅为 1NM。

针对这两个问题，我们需要设计一个结构，其可转换结构转动轴的方向，亦可提升结构的扭矩。常用的有伞齿轮，蜗轮蜗杆结构。在此，我们选择对啮合精度要求没有那么高的蜗轮蜗

杆方案。

蜗轮蜗杆选型：由于我们无法支持定制蜗轮蜗杆的高昂价格，只能选择金属 3D 打印。故模数不能太小。在此，我们选择了模数为 2 的蜗轮蜗杆。此外，为了防止根切发生，我们采用齿数大于 16 齿的蜗轮。因为这一系统直接连接于 XRU1008 交叉滚子（外径 52mm）上，我们直接选用了 28 齿的蜗轮（外径约为 60mm）。因为扭矩需要控制在 5-10NM，我们直接选用 4 头蜗杆。传动比为：

$$p = \frac{Z1}{Z2} = \frac{28}{4} = 7$$

如此，我们得到理论扭矩为 7NM 的结构。由于此蜗轮蜗杆结构的导程角为：

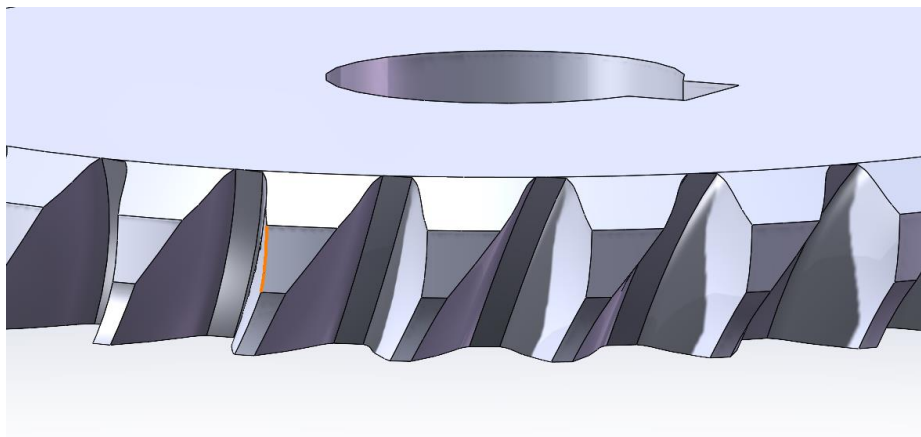
$$\alpha = \arctan\left(\frac{d}{2\pi r}\right) = \arctan\left(\frac{8\pi}{18\pi}\right) \approx 23.96^\circ$$

（其中 d 为齿距，计算公式为 头数*模数* π ，r 为分度圆半径）

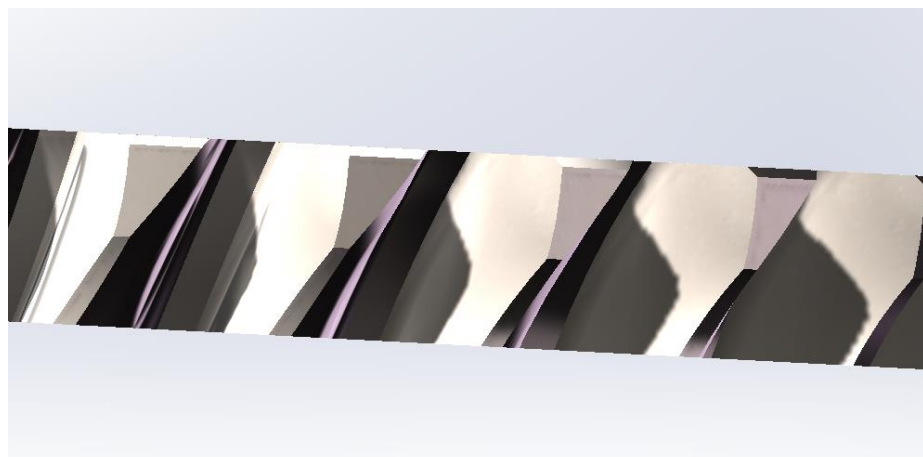
其导程角较大，效率较高，估计 $\eta \approx 70\%$

此外，由于 3D 打印零件表面粗糙度较大，约 Ra16, 其摩擦系数较大， $\arctan(\mu) > 23.96^\circ$ ，会引发自锁。这可以进一步提高机构在场上稳定性。因为无法被反驱，即使电机在场地上损坏，也不会使得整个结构摆动。

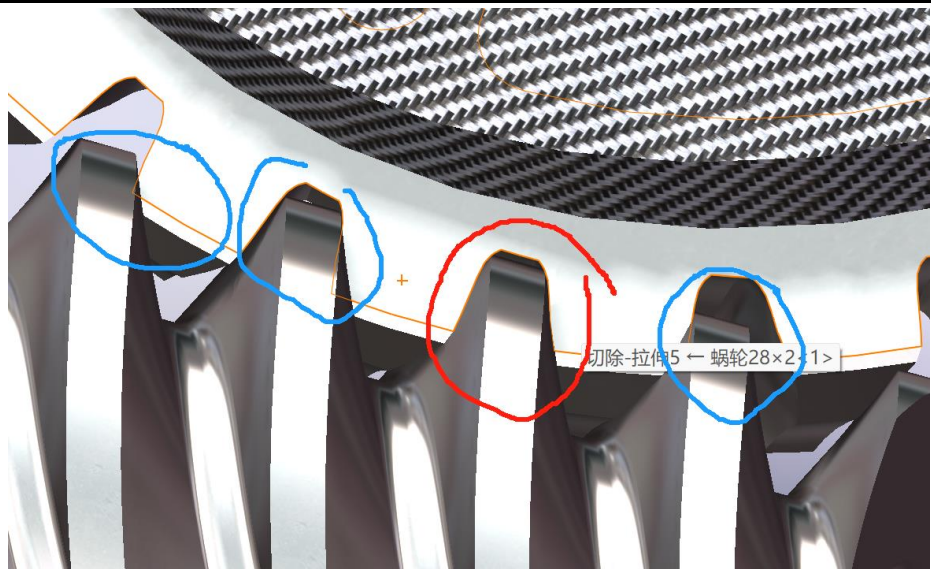
蜗轮蜗杆结构设计难度较大，尤其是多头蜗杆对应的蜗轮与单头蜗杆对应的蜗轮有极大的不同，蜗轮形状需要改动。常见的工业插件，如大工程师，生成的蜗轮蜗杆均有干涉现象出现，并不正确。故而，我们需要运用复数等数学工具进行计算，计算过程较为复杂，不再展示。



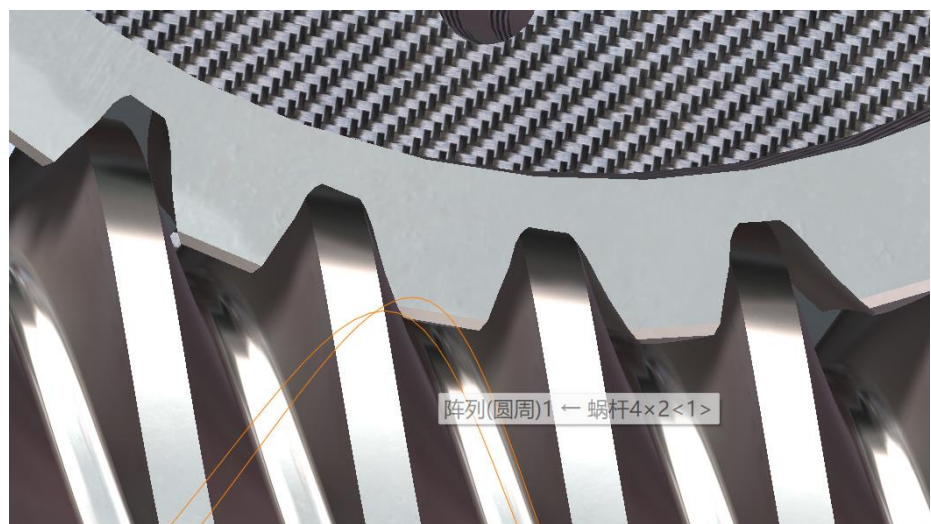
图表 8 大工程师提供的错误蜗轮齿形



图衣 1 头蜗杆的齿形



图表 10 大工程师提供的蜗轮（啮合有干涉）



图表 9 正确的啮合

iii. 大 Pitch, Roll 设计

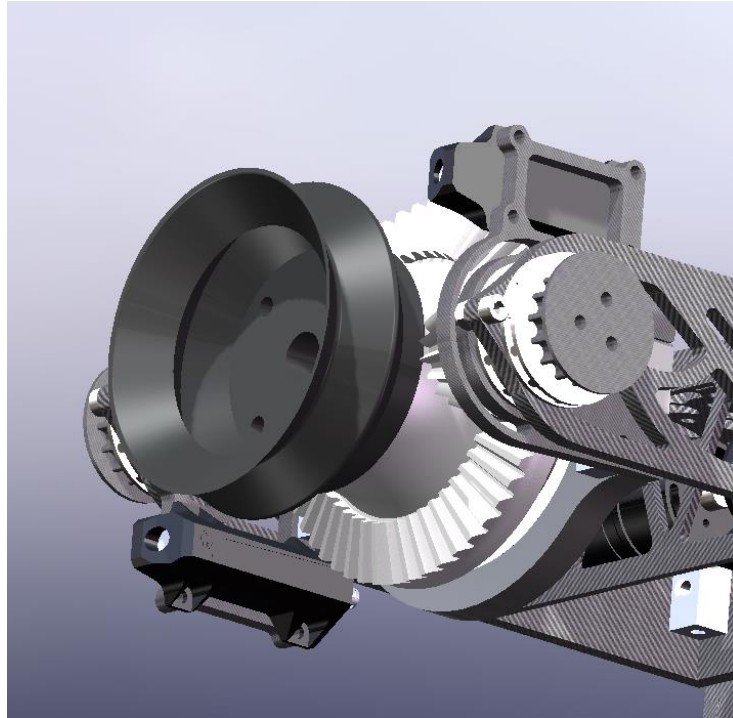
Roll 负载较小，采用 6061 合金打造的齿轮+M2006 驱动，而 pitch 则采用 M3508+钢制齿轮驱动。

究其原因，由于 Pitch 需要对抗自重（重力补偿不好设计，因为其运动范围为前 90 度后 90 度，且空间有限）齿轮极易受到交变应力。而由于 6061 合金为铝合金，并不存在疲劳极限，而#45 钢存在明显的疲劳极限（SN 曲线收敛于非 0 值），故而采用#45 钢制作 Pitch 齿轮。

减速比为 1.5: 1. 此外，我们将大 Pitch 电机减速比改为 51: 1，使得扭矩足够。经过测试，此对齿轮点蚀现象严重，后期改为淬火齿轮，此问题得到一定解决。

iv. 前端差速 Pitch, Roll 设计

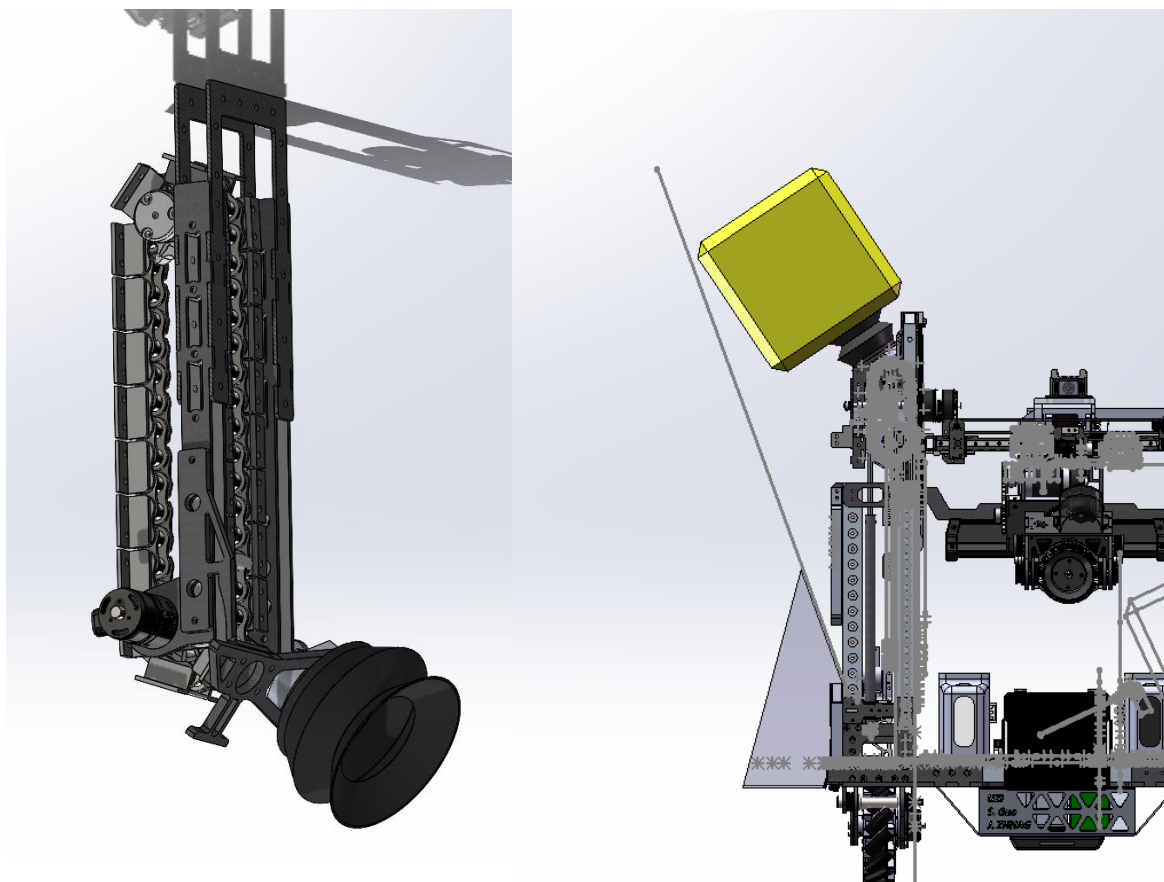
此设计在 24 赛季被广泛采用，并无特别之处。我们在 pitch 上安装了激光器，使得操作手更易判断机械臂的指向以及气泵的开闭情况。



- 通过一系列机构的设计，工程机器人工作空间可包含长宽高 700*450*900 的柱体（限制末端执行器指向有所缩小），基本可以进行 4-5 级的兑换。此外，其工作空间底部低于大部分机器人装甲板高度，可直接通过吸住装甲板救援机器人，也可帮助一些机器人脱困。
- 链条输送存矿机构（最终因稳定性原因未上场）

由于机械臂活动空间过大，大量的挤占了存矿空间，我们必须开发侧面空间用于存矿。我们的核心需求有：存矿牢固，不易掉落；不遮挡装甲板。

经过仔细考量，我们决定采用链条输送机构，以保证其成功率。此外，此机构正下方亦有矿石存放区域，即使存矿失败也能至少存上一枚矿石。下图为从腹中接住矿石转出至侧面示意图↓



2. 工艺选择

铝方管	激光切割
碳板玻板	铣削
非标零件	CNC，3D 打印，激光切割+钣金
标准件	直接购买

由于香港焊接需要凭证，我们无法使用焊接机，而铆接不方便维护。故我们的所有连接均采用螺丝，榫卯等方式固定。

3. 传感器的设计安装、电路板的固定及走线情况

机器人底盘处设计有电控仓，其中放置了电池、继电器、裁判系统电源模块、气泵、电磁阀、主控电路板等硬件。碳纤维制作的翻盖，增加了线路固定空间，以及帮助保护底下的电路。

本机器人设计有很多平移结构（升降、左右、前后平移），如果直接连线会导致不同状态下线长变化，下垂的线路会有概率被牵拉。为了使线路不被牵拉、保持整洁、易检修，使用拖链承载平移部分的线路。经过测试，使用拖链的设计中，平移移动不会导致线路牵拉。

平移结构需要机械限位与软件限位。本机器人中大部分运动使用软件堵转检测实现限位，如升降机构、前后平移、机械臂上的大部分关节。同时，在例如左右平移运动中，因为阻尼较大、无法有效实现堵转检测，因而使用微动开关实现限位检测。

对于部分旋转处，例如机械臂上的关节、图传云台，使用波纹管包裹线路。波纹管材质较硬，即使有挤压也不会轻易损伤内部线路；同时波纹管外部较光滑，不容易被机械结构挤压。

对于气管转折处，先前常常遇到 6mm PU 气管收到挤压弯折闭气的情况，而本机器人也利用细波纹管限制气管的转弯半径，有效避免了挤压闭气的现象发生。

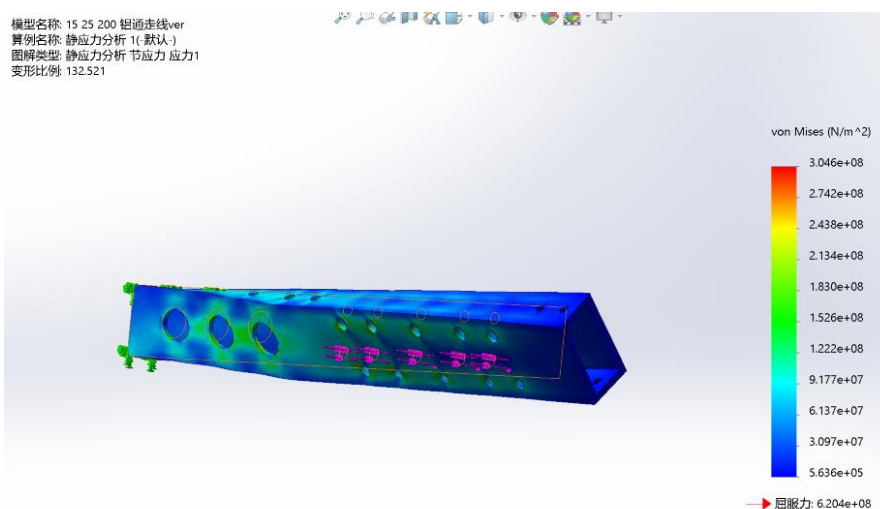
4. 核心零件的有限元分析、静力学分析

我们的静力学分析主要针对底盘。上层机构轻质，且不易收到冲击，故并未进行大量仿真。

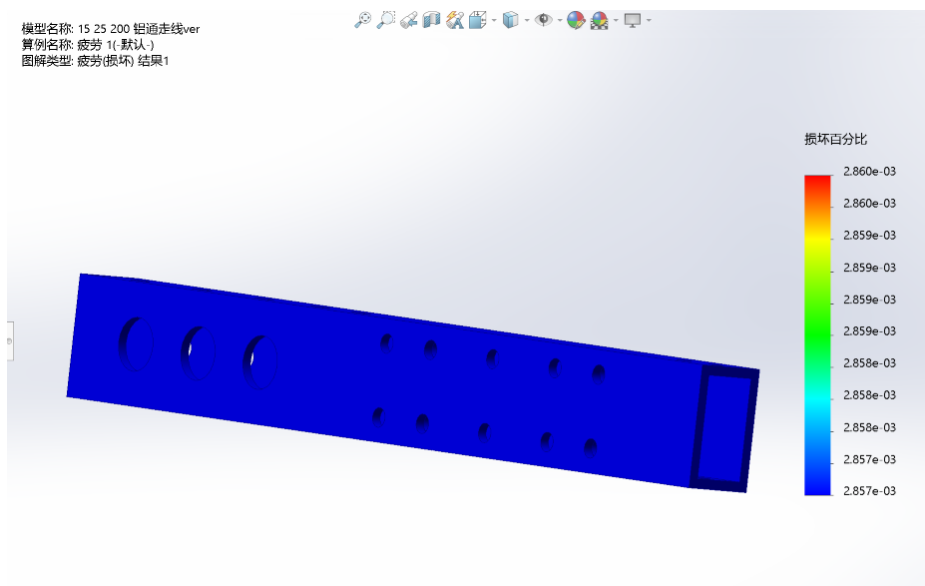
底盘主梁（我们采用底盘构型较为奇怪，为向内的摆臂式悬挂。这是为了增大工程的内部空间）是一个扭矩集中零件，我们受制于经费，采用了铝通作为车架的骨架，外包 4mm 玻纤板作为加强。总体来说，其强度大约相当于等大的钢制零件。

经计算，4 轮平均支持力为 88.2N，以摆臂转动中心为转动中心，支持力力矩为 $88.2 \times 0.085 = 7.497\text{NM}$ 故此结构需承受此力矩。

静力学仿真结果↓



然而，我们还需要考虑疲劳分析结果，否则我们实际的结果是不正确的↓

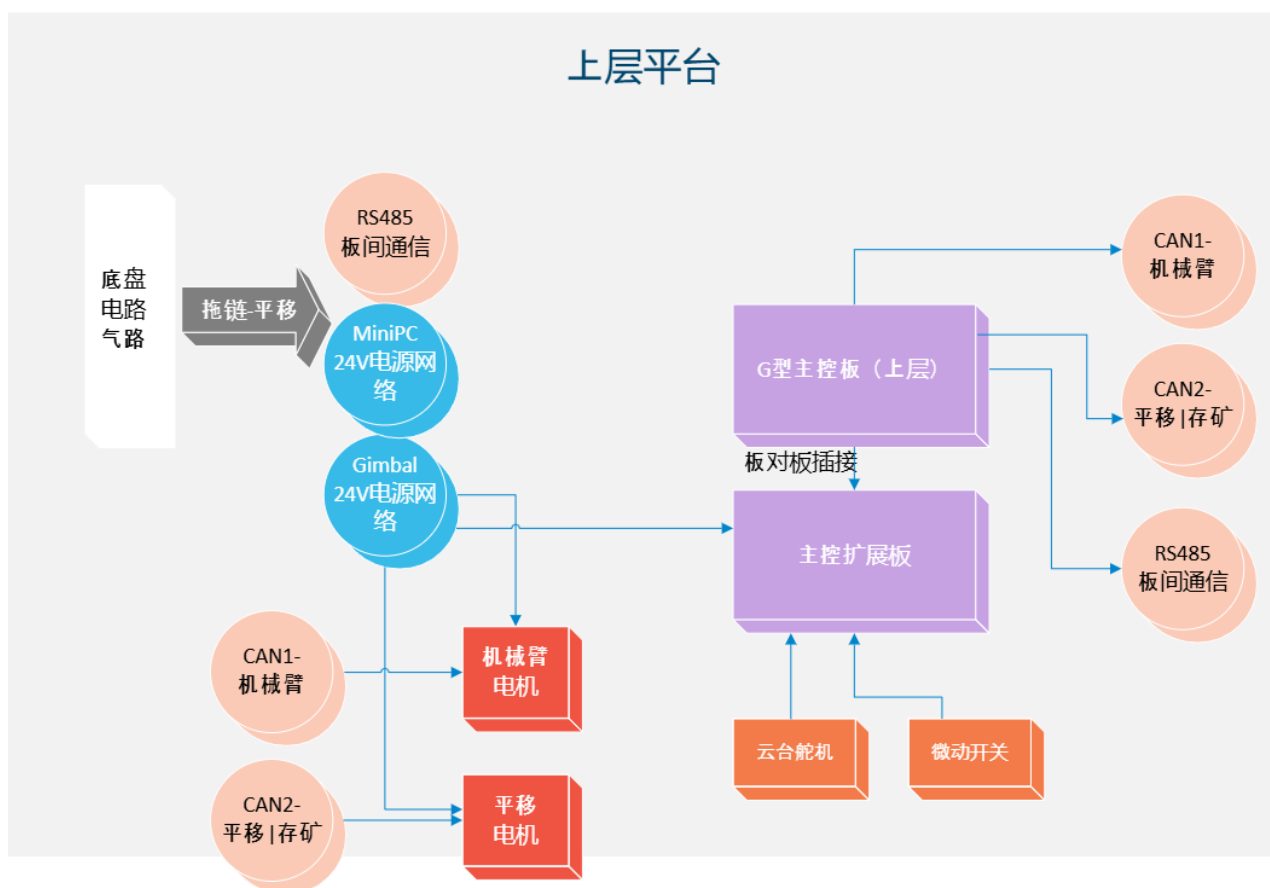
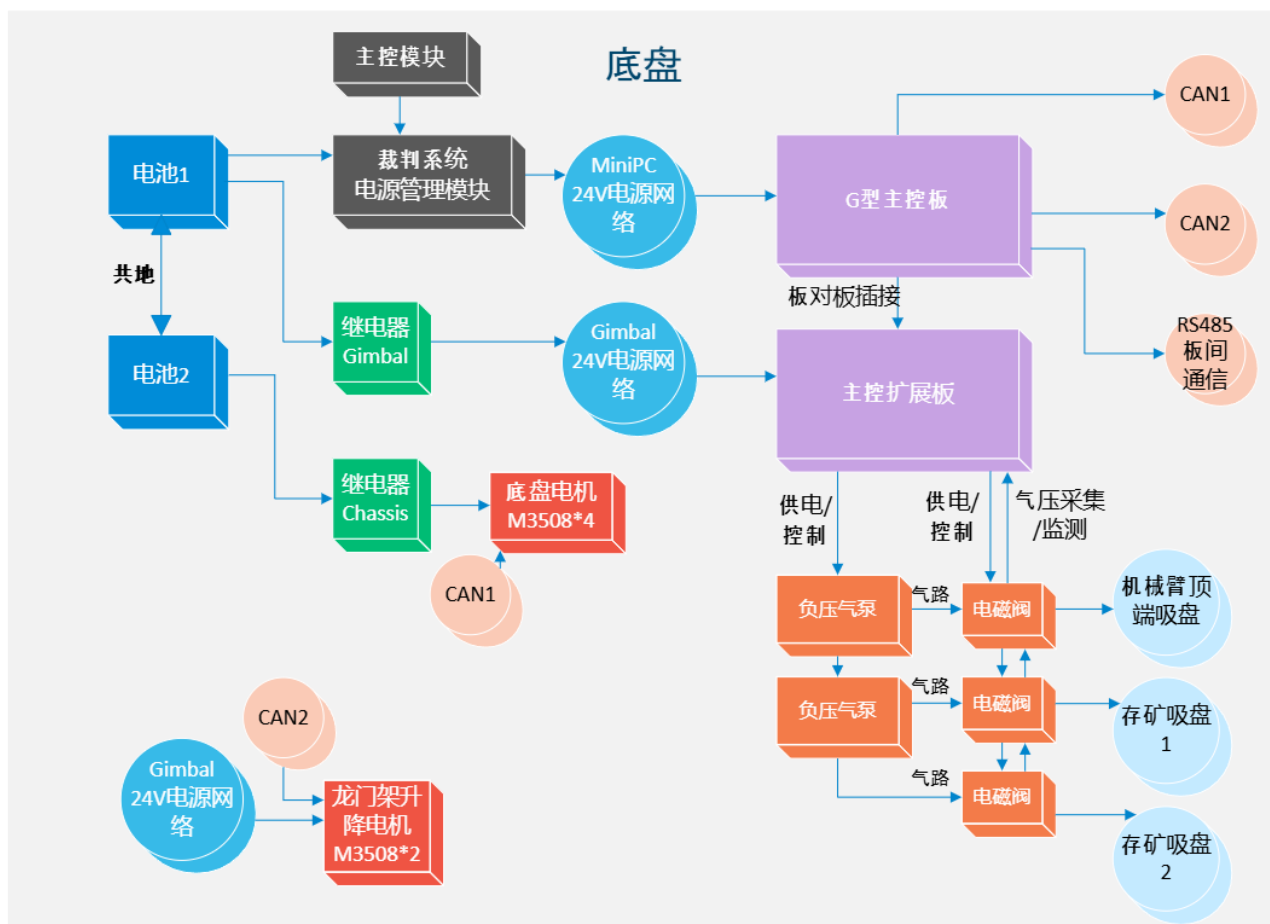


经疲劳分析，其生命周期极长，经过 1000 次交变应力并无明显损伤。

上层零部件，尤其是管材板材多采用碳纤与玻纤，其在材料学上分类为复合材料中的脆性材料，讨论其疲劳毫无意义。只需要考虑其抗拉强度，这是无法通过 SolidWorks 静力学分析求解的（因为断裂后断裂部分急剧加速，无意义）。我们实际可以通过分析截面惯性矩来自行计算或利用 SolidWorks 大型位移报错自行判断。但是结果均无法通过着色图给出（因为零件已经损坏）。

2.2 硬件设计

1. 整机硬件方案框图

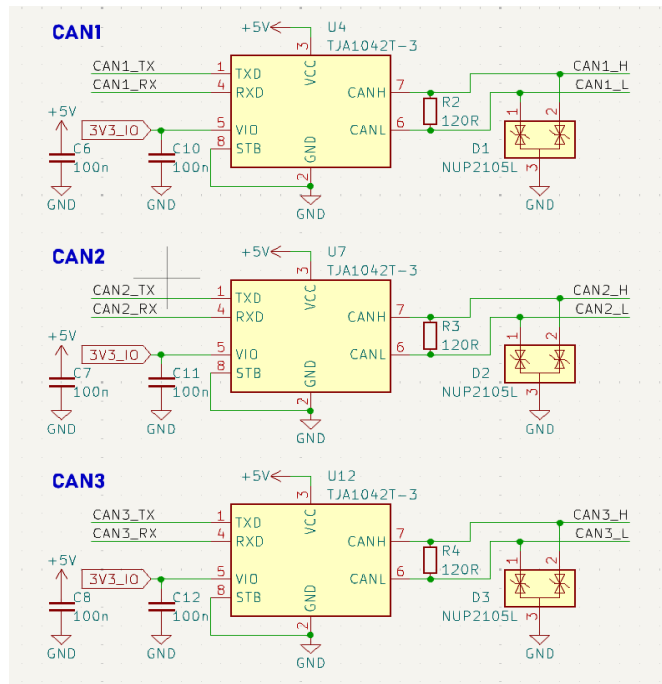


2. 自研电路板功能说明、设计原理图、外设接口等。

1) 自研嵌入式控制板核心板部分设计说明

经过与软件队员的讨论和综合考虑，为了满足工程机器人和优化机器人性能，我们决定该赛季研发基于 STM32G473VET6 的机器人主控板，该板有以下外设

i) 3*FDCAN 用于驱动底盘、龙门架升降与平移、机械臂移动等电机

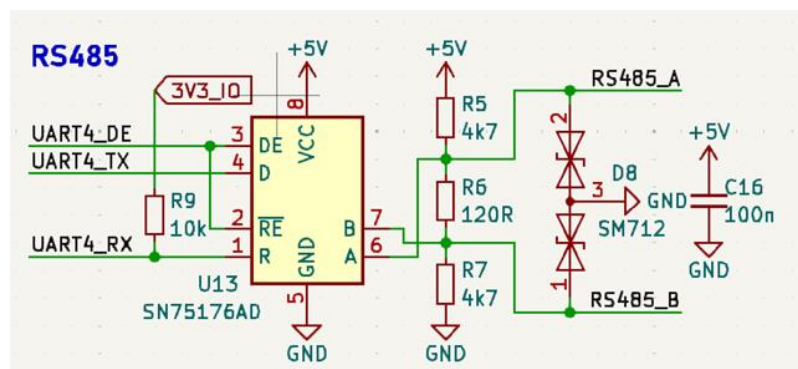


Fig(1): FDCAN 对应外设电路

ii) 5*UART

工程机器人功能复杂，自由度高，所需电机数量繁多。我们采用了双主控板，使用 RS485 通信协议实现板间通信的双板控制方案。

STM32G473 的 UART4 外设具有 hardware flow control(硬件流控)的功能，避免了硬件增加自动收发电路或者软件单独使用一个 GPIO 作为软件流控，降低了代码复杂度、缩小了主控板体积。



Fig(2): RS485 板间通信外设电路

其他 UART 分配为：2 个 UART 用于与裁判系统和图传链路通信，1 个用于驱动总线舵机，1 个保留为 DBUS 接受电路接受 DR16 接收机信号

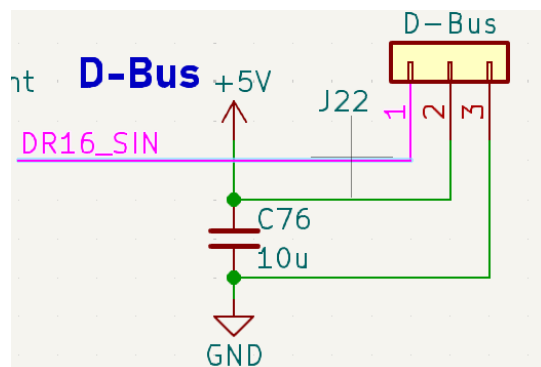


Figure 3 DBUS 接口

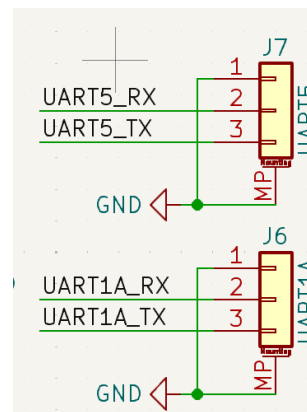


Figure 4 UART 接口

iii) ADC、GPIO、Timer 等其余外设，具体将于下文控制板拓展板部分说明

2) 自研嵌入式控制板拓展板设计说明

受限于工程机器人有限的空间和 PCB layout 上的难度，把实现工程机器人功能的外设电路集成在控制板核心板上将十分困难，因此我们采用了通过 BTB 连接器与核心板相连的拓展板的设计

i) 电源设计：由于气路控制和主控板供电不为一（MiniPC 与 Gimbal），需要给气阀和舵机设计独立的 dc-dc 供电。气阀供电约为 12v 1.5A, PWM 舵机供电为 5v 3.5A, 为了保障供电，我们使用了 TPS5430 和 LM3150 两个 Buck 电路作为 dc-dc 电源设计。

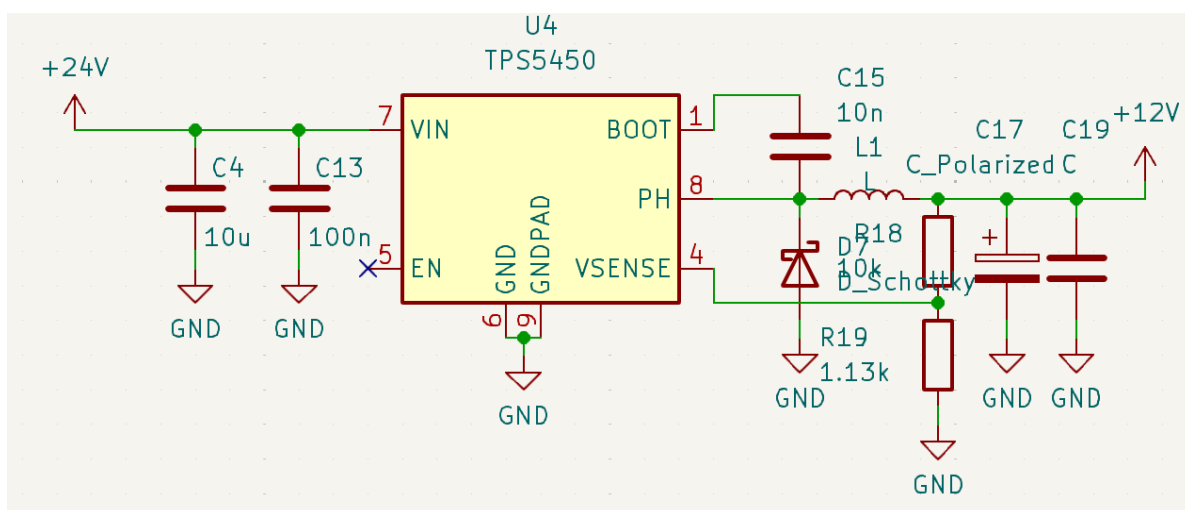


Figure 5 TPS5430 buck 电路

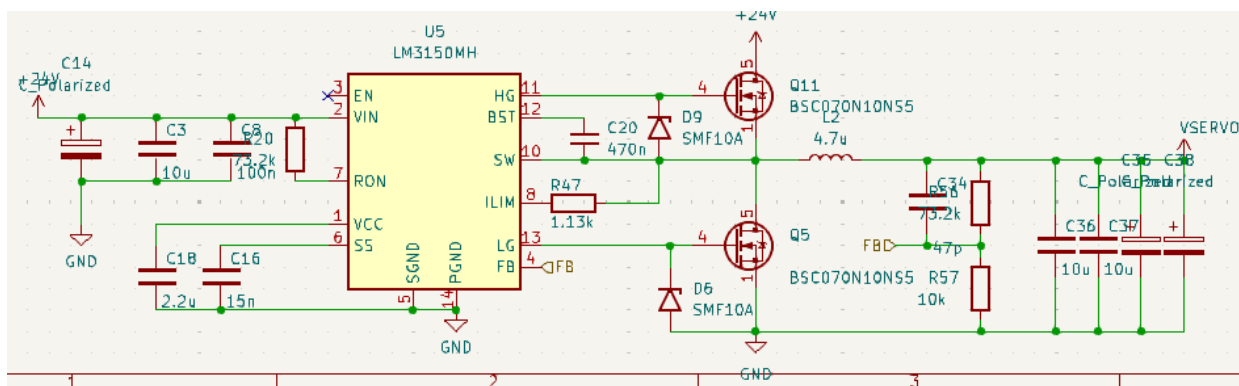


Figure 6 LM3150 buck 电路

TPS5430 降压电路与 LM3150 降压电路输入电压最大均为大约 42V，满足 6S 电池（最大 26.1V 电压）以及可能存在的电机刹车反充电压余量，而不会烧毁。

TPS5430 为内置 MOS 的开关电源芯片，芯片内置环路补偿电路，外围原件很少，做到 12V3A 输出的同时占用比较小的 PCB 面积。如此 12V 供电足够电磁阀的需求，同时物料成本也很低。

LM3150 则是需要外置开关 MOS 的开关电源控制芯片。NMOS 采用 BSC070N10，在网上平台可以轻易找到大约 0.5 元的芯片。LM3150 是 COT 模式的开关电源芯片，无需环路补偿即可工作，输出端的大量陶瓷电容与固态铝电解电容并联的设计也能减小纹波、增强瞬态电流响应能力。经过测试，LM3150 配合 BSC070 NMOS 可以实现 5V7A 的连续电流输出而不过温，可以充分地满足舵机的供电需求。

ii) 舵机接口

舵机在机械设计中被运用在图传云台中，因其体积小、输出扭矩足够、成本较低。最初设计使用的舵机为 MG995 PWM 舵机，因为在队中曾经广泛使用、且成本非常低。在测试的过程中，发现 PWM 舵机存在以下问题：

- a.) 每一个舵机都需要从主控板上接线（GND，+5V，PWM）。对于多个舵机同时使用的情况，需要各接线到主板，导致线束众多、且有较多 MCU IO 口占用。
- b.) 舵机无法反馈位置信息，导致软件中无法检测到可能存在的堵转情况。

为此，我们又寻找了另一款 UART 总线舵机 SP-15D。它的体积与 PWM 舵机相似，而使用单线 UART 接口实现与主控板的通信。由于 UART 信息中可以包含电机 ID 信息，从而 UART 总线舵机可以级联，只需要一根长信号线接到主控板即可。

UART 舵机也可以反馈回当前到达的位置信息，因而软件可以检测到堵转状态，做出响应判断。

最终的主控板扩展板上设计了 3 个 PWM 舵机接口与 1 个 UART 舵机接口，从而可以兼容每一种设计。

iii) 气阀与气泵驱动：MCU 通过 GPIO 驱动电路的能力并不足够，因此我们使用 MCU 驱动 NMOS(SI2300)，由 NMOS 驱动高位 PMOS(NCE40P)来为气泵提供高电流驱动能力。气阀功率相对较低（12v 0.5A），采用了单独 NMOS（SI2300）进行驱动的方案。

同时设计了 LED 灯并联于输出接口处, 便于早期排查问题: PCB 是否有成功的输出电压。

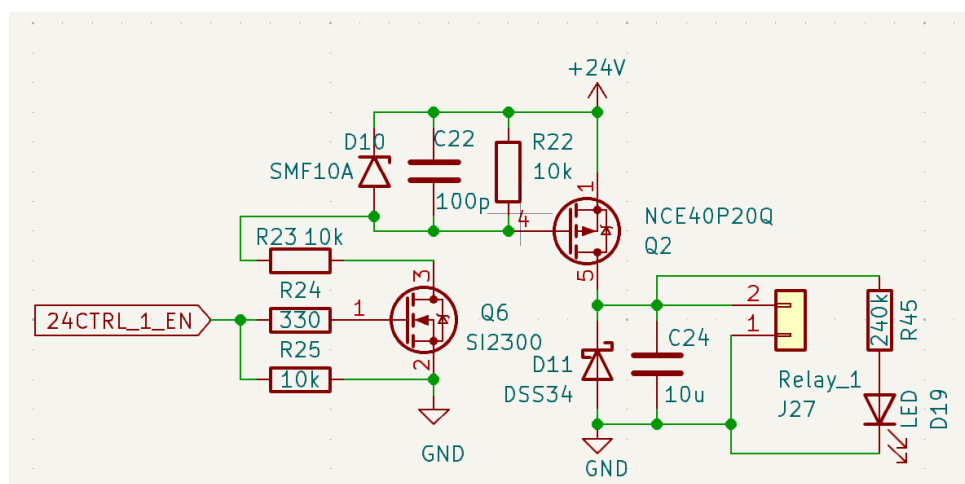


Figure 7 24v 气泵驱动电路

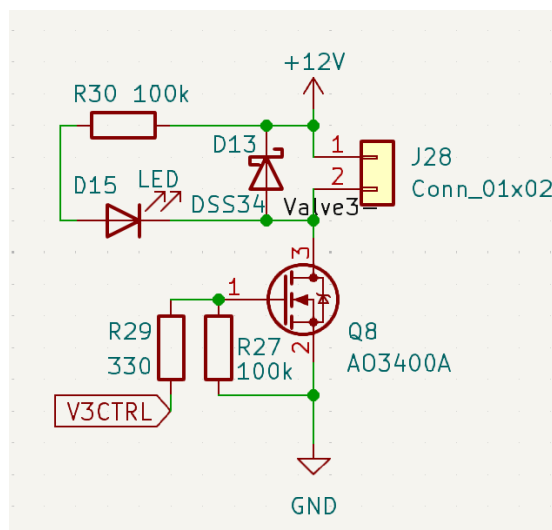


Figure 8 12v 气泵驱动电路

- iv) 气压检测模块:在上一赛季我们已有对相关技术进行研究,并将气压检测模块技术在本赛季工程机器人上应用。气压传感器型号 XGZP101 (Range: -100kPa - +100kPa) , 其中薄膜应变片形成惠更斯电桥电路, 在 3.3V 供电下将气压信号转换成微弱的差分电压信号。

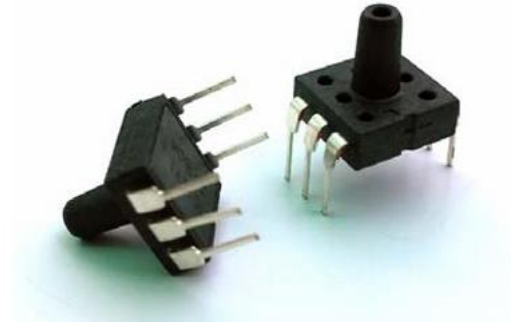
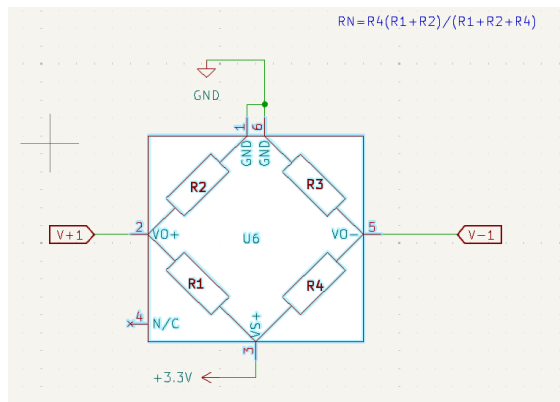


Figure 9 气压传感器

利用 GS8554 精密四路运算放大器, 可以将微弱差分信号放大为 0-3.3V 的电压信号, MCU 用 ADC 外设读取该电压值并计算出气压值, 达到三路吸盘气路气压检测的结果。

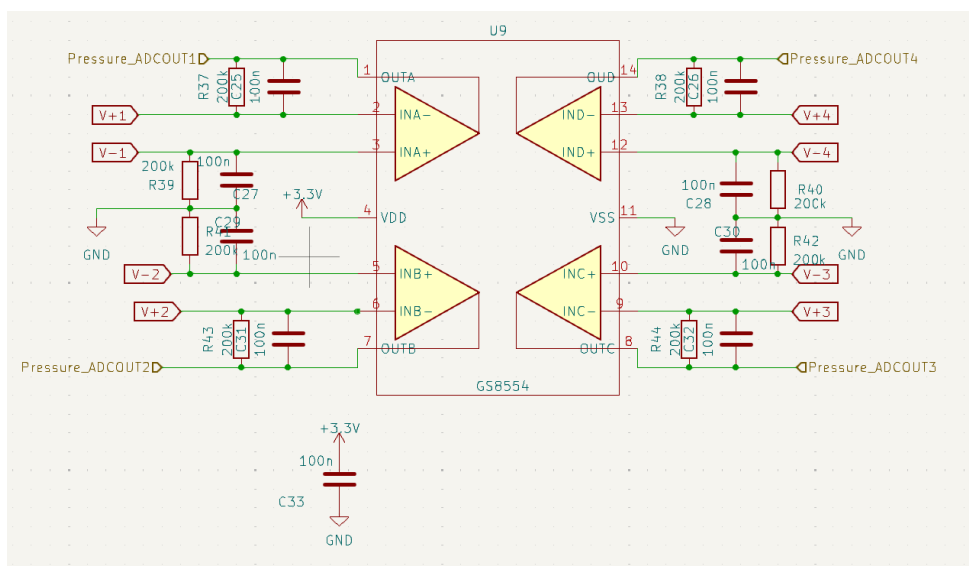


Figure 10 GS8554 运算放大器差分放大电路

气压检测功能的目的是让操作手知道当前吸盘内的情况。

对于机械臂前端的吸盘, 在取矿时: 通过检测气压可以知道机械臂有没有吸住矿物, 从而帮助操作手取矿时可以更高效地从矿槽中取出。

对于存矿区域的吸盘, 检测气压可以知道矿物转移有没有成功, 防止因为过早断开机械臂吸盘导致矿物掉落。



Figure 11 控制板实物照片（扩展板覆盖在核心板上方）

2.3 软件设计

1. 系统架构

系统的层级和各层功能，

软件系统由以下三个层级组成：

- 1、HAL 库层。该层使用 STM32CubeMX 配置后生成，提供最基本的驱动。
- 2、RM2024-Core 层。该层为各机器人通用的驱动（如电机驱动、IMU 驱动等），功能模块（如功率控制等）的实现和一些第三方中间件的移植（如 FreeRTOS、SystemView 等），由队伍软件成员共同开发和维护。
- 3、Engineer 应用层。该层为工程机器人的应用层，由控制各执行器以及控制命令处理和分发、组织板间通讯等 Tasks 组成。

2. 运行流程

软件整体的运行流程、数据流向和处理过程。

采用上下两块开发板对整车进行控制，在软件设计上采用了主从的模式，将上板规定为 Master，下板

规定为 Slave。

Master 接收来自 dr16 和 vtm 的信号，在 Command Task 内转变为各执行器的控制信号并分发给控制各执行器的 Task，控制各执行器的 Task 分别向 Command Task 进行反馈。此外，Master 通过 Interboard Task 与 Slave 进行数据交互。Slave 的数据组织形式和流向与 Master 类似。系统整体框图如下：



3. 重点功能

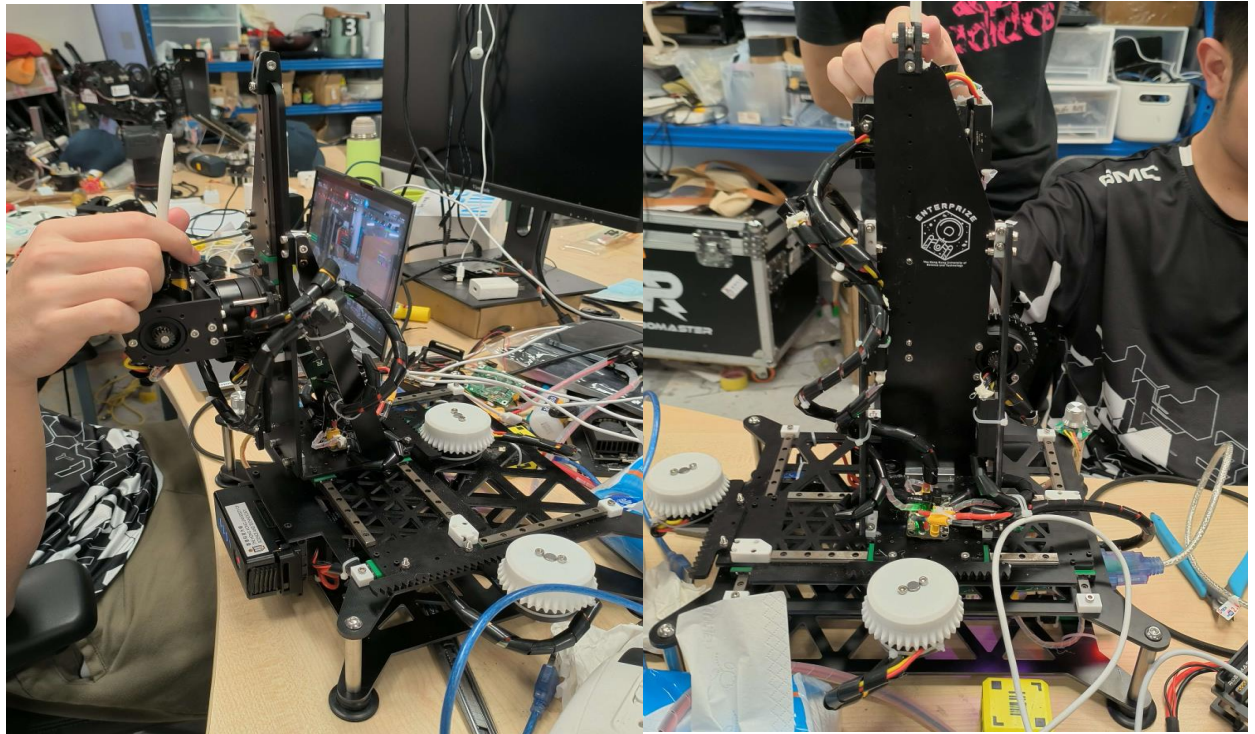
核心功能点描述，解决了何种问题，使用了何种技术。

传统龙门架工程并不涉及复杂的运动学控制和解算，核心功能点在于如何通过软件设计提高机器人的鲁棒性，使机器人在比赛过程中稳定高效地完成相应功能。其中，考虑到工程机器人系统的高复杂度以及第一人称视角操作的局限，对于如取矿、存矿等具有重复性和可预见性的操作，使用自动/半自动的方式来完成。为保证自动操作的成功率，同时避免系统复杂度的增加，仅使用各执行器电机的编码器以及存矿吸盘处的气压计提供反馈。在自动功能的实现上，采用节点（每一节点均包含各参与该自动的执行器的状态信息）的规划形式。在节点与节点之间的转移过程中设有超时、堵转等异常检测，避免对机器人结构造成损坏。例如，在 A→B→C→D→E 的过程中，C 节点向 D 节点转移时发生异常，则将自动回退到 C 节点处，并由操作手决定继续进行 C→D→E，或是回退 C→B→A。

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。

2.4 其它

自定义控制器：



为避免运动学逆解时的多解问题和运动规划，采用关节映射（非主从同构）的自定义控制器设计方案。为优化操作手的交互，设计笔杆式的握把。

3. 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。

3.1 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	抬升，伸出，横移架构完成，机械臂完成（仅有4自由度）	2024.4.6
V1.1	重力补偿，双保险同步	2024.4.12
V2.0	修改上层结构，优化走线，优化存矿机构	2024.5.20
V3.0	修改机械臂结构，增加 yaw 自由度，架构成为 XYZ+5 轴	2024.6.6

3.2 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	抬升前后同步效果不好	伞齿轮虚位	解决方案：加强啮合处结构，压紧伞齿轮 + 增加三级同步光轴	V1.0-V1.1	机械工程师：张天瑞，吴子曜
2	机械臂伸出后丢步	伸出机构自重较大，将齿条下压导致无法啮合	解决方案：加强结构；计算变形曲线重新修改齿形；更改模数	V1.1-V2.0	机械工程师：张天瑞，吴子曜
3	图传无法看清小资源岛银矿导致抓取不利	机械臂挡住视角	解决方案：在机械臂上加入激光器，使得操作手可以直接得知机械臂指向	V1.1-V2.0	机械工程师：张天瑞

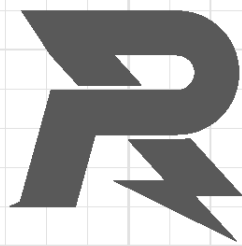
序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
	矿石存取难度大	侧面存矿机构不能通过单一的旋转达到接矿时朝内且足够低,存矿时朝外且足够高。	采用链条运输方案,并改变灯条位置	V1.1-V2.0	机械工程师: 梁方舟, 张天瑞
	五级矿石不使用底盘移动很难兑换	前端 pitch roll 过于集成,导致左右最多转过 90 度,否则与矿石干涉	加入第5个轴,使用蜗轮蜗杆结构. 伸出结构为适配需小改	V2.0-V3.0	机械工程师: 张天瑞, 吴子曜

4. 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%)
张天瑞	计算机科学与技术+应用数学、大二、机械组组长，工程项目负责人	负责监管整个机器人的开发工作，提出整体机器人架构，提出机器人核心功能的设计方案。上手设计与制造部分为 5 轴机械臂，底盘与自定义控制器	28%
吴子曜	综合系统与设计、大二、工程机械	负责设计并制造 XYZ 架构，负责整合机器人机械功能	28%
梁方舟	工学院、大一，飞镖机械负责人	在组长指导下完成链条存矿的设计替代原来单旋转存矿设计	5%
甘泽森	综合系统与设计、大一、工程电控	完成工程所有软件部分（包括自定义控制器）	19%
戎羿	计算机科学与技术、大二、超级电容负责人	完成工程走线	10%
区发锐	电子和计算机工程、大二、硬件组组长	负责工程拓展板研制	10%

5. 参考文献

- [1] RM2023- 南方科技大学 -ARTINX - 机械结构开源 - 工程机器人 ， [【RM2023-工程机器人机械结构开源】南方科技大学-ARTINX 战队【RoboMaster 论坛-科技宅天堂】](#)
- [2] RM2023-深圳大学-RoboPilots - 工程机器人机械结构开源 ， [【RM2023-工程机器人机械结构开源】深圳大学-RobotPilots 战队【RoboMaster 论坛-科技宅天堂】](#)



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