

工程机器人机械结构说明文档

RoboMaster 2022

组织：广东工业大学 DynamicX

时间：10月 2022



目录

| | | |
|----------|----------------|-----------|
| 1 | 简述 | 1 |
| 1.1 | 主要思路 | 1 |
| 1.1.1 | 需求分析 | 1 |
| 1.1.2 | 矛盾分析 | 1 |
| 1.2 | 技术方案 | 2 |
| 1.2.1 | 机械臂 | 2 |
| 1.2.2 | 底盘设计 | 2 |
| 1.2.3 | 取矿机构设计 | 3 |
| 1.3 | 战场战术定位 | 3 |
| 1.3.1 | 战场定位 | 3 |
| 1.3.2 | 战术定位 | 3 |
| 2 | 机器人功能定义 | 4 |
| 3 | 机器人核心参数 | 5 |
| 3.1 | 基本参数 | 5 |
| 3.1.1 | 机械参数 | 5 |
| 3.1.2 | 云台 | 5 |
| 3.1.3 | 机械臂 | 6 |
| 4 | 机械设计 | 8 |
| 4.1 | 机械结构设计 | 8 |
| 4.1.1 | 机械臂 | 8 |
| 4.1.2 | 底盘 | 13 |
| 4.2 | 工艺选择 | 17 |
| 4.2.1 | 2D 雕刻 | 17 |
| 4.2.2 | 3D 打印 | 18 |
| 4.2.3 | 铣削和车削 | 18 |
| 5 | 研发迭代过程 | 19 |
| 5.1 | 版本迭代过程记录 | 19 |
| 5.2 | 重点问题解决记录 | 19 |
| 6 | 总结 | 21 |
| 6.1 | 实际实现技术点 | 21 |
| 6.2 | 异同原因分析 | 21 |
| 6.3 | 解决方法分析和经验总结 | 21 |

第 1 章 简述

作为 Robomaster 赛场的不可或缺的一部分，工程机器人的重要性不言而喻，特别在现行规则下，其工作的效率及其稳定性决定着队伍的步兵以及英雄的作战能力。工程机器人主要有两大任务：(1) 夹取矿石并兑换；(2) 救援阵亡机器人。其中，夹取矿石尤为重要，一旦工程机器人故障，无法夹取矿石时，全队便会陷入吃低保的局面。面对具有稳定夹矿、兑矿功能的队伍，失误方将完全处于劣势，几乎没有胜利的可能。

相对于 RMUC2021 的比赛规则，2022 赛季对工程机器人的需求进一步提高。在国赛八进四阶段，兑换站会根据累计兑换金币数量后而改变其位姿，最终阶段将具有 x 、 y 、 z 、 $roll$ 、 $pitch$ 、 yaw 上的自由度，这对工程机器人兑换机构的设计与控制提出了较上赛季更高的要求。

1.1 主要思路

考虑到工程机器人在很小的尺寸下需要实现非常多的功能且需要应对国赛六自由度兑换站，我们定下了用一个灵活的机构实现大部分功能思路。结合我队的电控框架较为先进，并且在 2021 赛季中就已经搭建了一套机械臂控制程序并将其应用到我队 2021 赛季上场的工程机器人上。同时结合我队机械组上赛季已经具有设计机械臂经验，对多种形式的机械臂方案有一定了解，所以我们定下了使用机械臂作为主要机构的大方向。

1.1.1 需求分析

| 任务 | 需求分析 | 结构设计 |
|----|---|--|
| 取矿 | 保持底盘不动，快速横移间隔取矿且可以灵活取得大、小资源岛及地面的矿石 具有极高的空接成功率 可以同时取得多个矿石取兑换 | 取矿机构选用六轴机械臂 机械臂末端使用吸盘吸取矿石 使用矿石仓 |
| 兑换 | 可以在兑换站具有六自由度时完成兑换 有多个矿石时机械臂可以在同一位置快速连续夹取兑换 | 兑换机构选用六轴机械臂 为保证兑换时的效率，平移机构采用齿 + 双齿条传动 |
| 救援 | 使用救援卡救援全部机器人 将阵亡机器人拖拽回复活区 | 救援卡伸缩机构置于底盘 底盘前端增加拖拽机构 |
| 铺路 | 使用障碍块为己方提供行动便利，举起障碍块保护前哨站 | 机械臂一、四、五轴使用更换高减速比的 3508 电机 |
| 操作 | 操作手取矿、兑换、救援时有良好视野 | 在机械臂三轴安装云台，使得图传可以随机械臂升降与平移 |

表 1.1: 需求分析

如表 1.1，根据对 RMUC2022 规则的分析，设计者将工程机器人的主要功能分为取矿、兑换、救援三个大部分。另外补给、铺路作为备用计划的一部分，其结构设计及布局管理也纳入整体设计进行考量，除此以外，为了让操作手更加便利地操作机器人，操作的视野需求也被纳入整体设计中。

1.1.2 矛盾分析

如表 1.2，在设计时经常会出现需求与规则相矛盾的情况，该表列举相关状况并提供了解决方案。

| 要求 | 矛盾 | 解决方案 |
|-------------|-------------------|------------------------------|
| 伸展到最大尺寸空接矿石 | 最大伸长时不得超过机体 400mm | 空接时机械臂向前伸展如图 1.1(a) |
| | 最大伸展尺寸不得超过 1100mm | 吸取掉落到资源岛的矿石时机械臂向后伸展如图 1.1(b) |

表 1.2: 矛盾分析

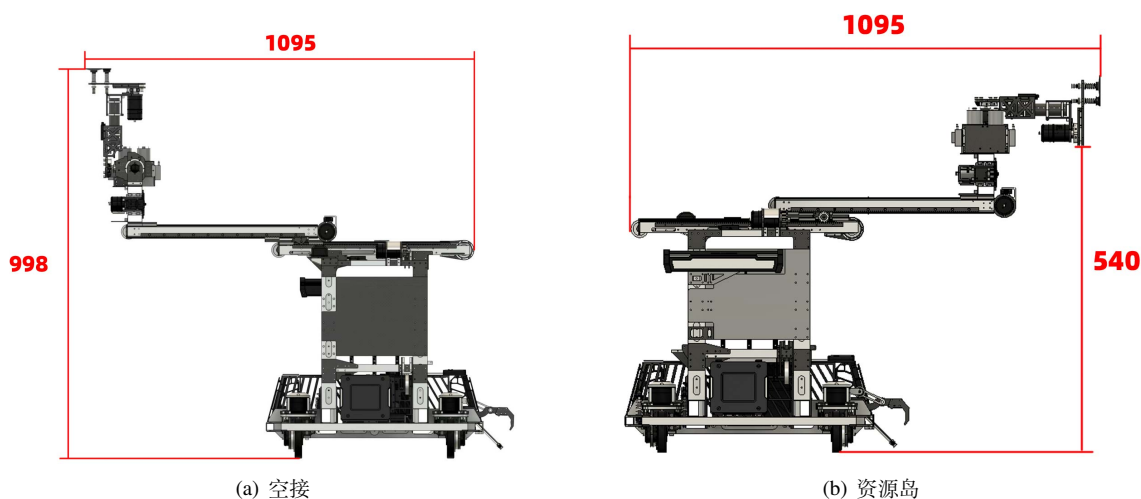


图 1.1: 机械臂伸展示意图

1.2 技术方案

1.2.1 机械臂

在决定使用机械臂作为机器人的主要执行机构后，我们对机械臂的一系列伸展尺寸进行了分析。

不同高度夹取分析

- 机械臂若按照把爪子末端假设成一个点，并且该点与矿石中心重合，再按照最终该点所在位置为目标区域中心，机械臂底座高度为 300mm。
- 兑换站：高度方向需伸展 400mm，水平方向需要移动 253mm。
- 小资源岛（槽内）：高度方向需伸展 400mm，水平方向需要移动 160mm。
- 大资源岛（槽内）：高度方向需伸展 200mm，水平方向需要移动 300mm。
- 掉落在地面的矿石：高度方向需伸展 -200mm，水平方向需要移动 150mm。
- 障碍块（不考虑工具外形）：高度方向需伸展 -160mm，水平方向需要移动 150mm。

1.2.2 底盘设计

在本赛季规则中，场地中起伏路段的面积大量增加，在起伏路段上无论是机器人的移动抑或是救援其它机器人时所需要的力都更大，如果采用麦轮，在麦轮向前平移运动时，是依靠相对应的轮组抵消对应左右方向的力，而留下前进方向的力，这样的形式必然会带来电机功率的损耗，而如果采用舵轮，舵轮底盘的最大速度效率方向是任意方向，则不会损耗相对应的功率因为所有的功率都用在了期望运动的方向上，能极大地提升牵引力。工程机器人的运动速度会直接影响队伍的支援问题，无论是取矿、兑换、救援、卡位等都需要一个速度更快的工程机器人。同时由于工程机器人不限制底盘功率，故工程机器人使用舵轮底盘。

1.2.3 取矿机构设计

在 2021 赛季全国赛中，东北大学的工程机器人^[1]创新性地使用吸盘来获取矿石，其工程机器人在比赛中展现了较传统的使用夹爪的工程机器人更为强大的空接能力。

传统的夹爪取矿机构需要矿石侧面接触到夹爪才能对矿石进行夹取，这势必会造成一定高度的损失，而使用吸盘来对矿石进行获取，这可以是空接高度无限接近 1000mm，这一点高度的优势在分寸必争的空接争夺中极为重要，几乎决定了矿石的归属权。同时，使用吸盘来进行空接时，我们只需要保证矿石掉落在吸盘上就可以保证获取到矿石，相对传统夹爪机构需要传感器来感知矿石掉落驱使夹爪夹紧来进行空接，吸盘不需要严格地调整机械臂的姿态，所以吸盘的成功率更高且更为简洁。因此我们将吸盘融合到 6 轴机械臂上。

综上所述，本赛季我们在机械臂的末端使用吸盘对矿石进行获取。

1.3 战场战术定位

1.3.1 战场定位

- 经济辅助：引进经济体系之后，工程机器人就成为了获取资源岛矿石进行兑换获取经济优势的强力辅助。
- 战略性防御：在某些情况下，工程机器人可利用自己较厚的血量来对己方前哨站进行遮挡保护，同时也可以可以在机器人作战中作为掩体或者障碍来影响机器人战斗的战况。
- 战场救援：工程机器人还具有战场救援的功能，可以在己方作战机器人阵亡之后进行复活救援。
- 战场辅助：工程机器人在己方机器人与敌方机器人产生战斗时，可以起到限制敌方机器人移动、堵住敌方机器人逃跑路线的作用

1.3.2 战术定位

- 抢占先机：在双方对局开始的时候，工程机器人主动出击，尽快占领大资源岛禁区并着手准备抢夺金矿石来获得经济优势。
- 经济优先：在双方对局的前期，要尽量保证己方取得经济优势，将工程机器人较多的精力放在争夺矿石获得经济优势上。
- 适时保护：在双方对局期间，工程机器人实时与作战机器人保持交流，在特定的场景对包括己方前哨站和作战机器人在内的单位进行一定程度的保护
- 输出优先：在双方对局的中后期，在保证有一定经济基础的前提下，优先考虑借助工程机器人的力量协助作战机器人的输出，达到血量优先，占领获胜先机的目的。

第2章 机器人功能定义

工程机器人功能定义如图 2.1所示。

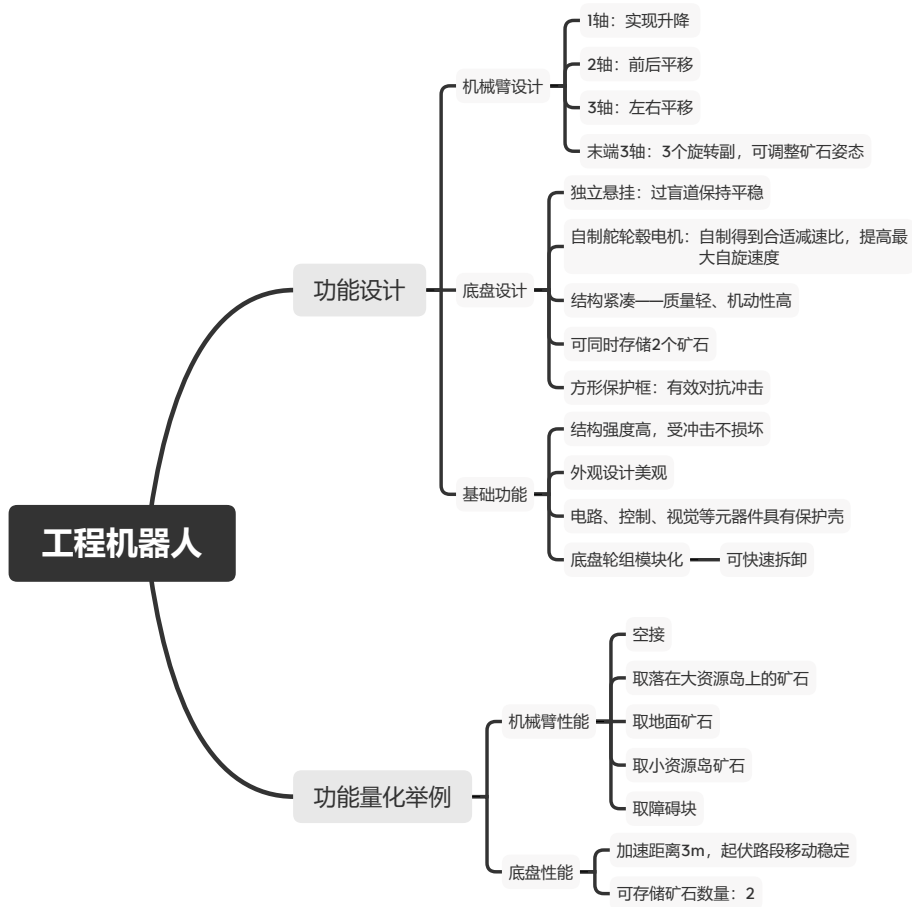


图 2.1: 工程机器人功能定义图

第3章 机器人核心参数

3.1 基本参数

3.1.1 机械参数

工程机器人重量，长、宽、高、重心高度等

| 名称 | 参数 |
|------------|--|
| 重量 (kg) | 31.2kg (含裁判系统) |
| 长、宽、高 (mm) | 590*590*595 (收缩尺寸) 918*995*995(伸展尺寸) |
| 重心高度 (mm) | 216 |
| 运动速度 | 平移 4.76m/s 旋转 16.2rad/s |
| 运动加速度 | 平移 6m/s ² 旋转 15rad/s ² |

表 3.1: 工程机器人机械参数

3.1.2 云台

云台的固定形式为与机械臂 link3 刚性固定，可随着末端机械臂位置的变化来调整视野的高度，以机械臂向前为 x 轴正方向，竖直向上为 z 轴正方向，云台相对于 joint3 的相对位置为 (148, 0, 98)，如图 3.1 所展示。

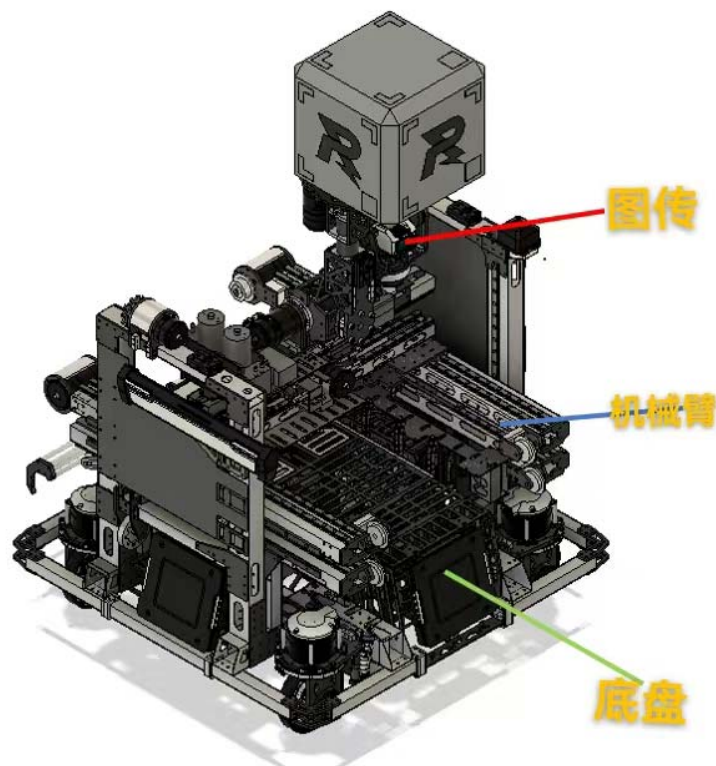


图 3.1: 云台位置示意图

3.1.3 机械臂

机械臂是七轴六自由度机械臂，其中 joint1, joint2 以及 joint3 依靠两个电机驱动同一轴。机械臂的 Link 和 Joint 的定义如图 3.2，它们的参数如表 3.2、表 3.3 所示。

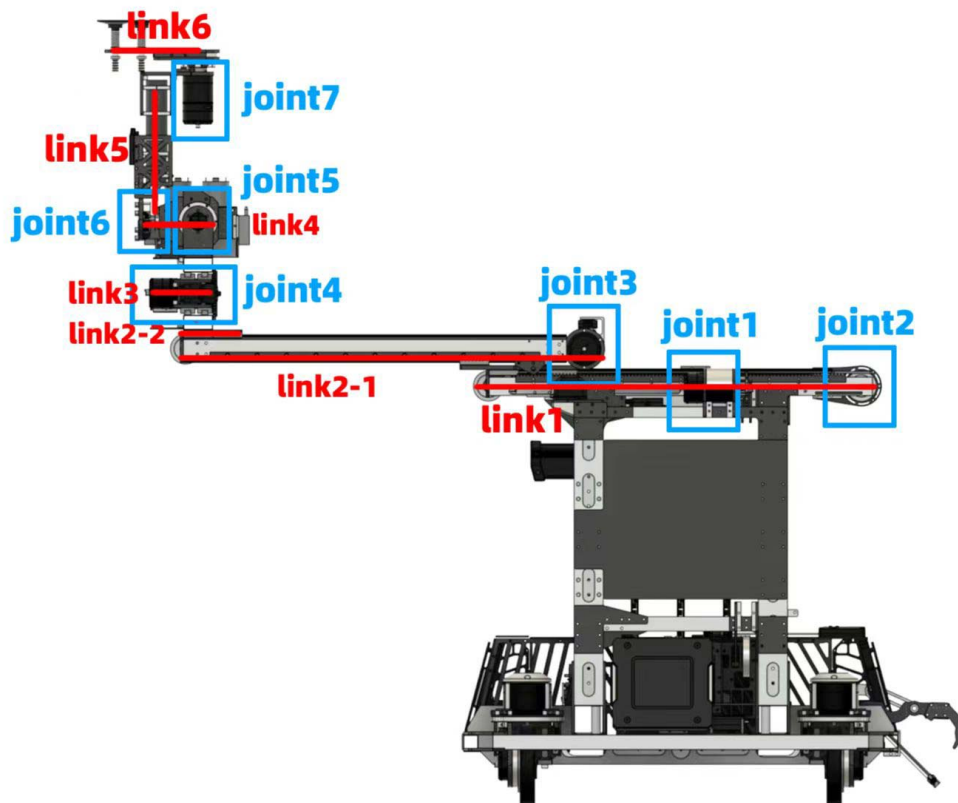


图 3.2: 机械臂的 link 和 joint 示意图

| 连杆名称 | 质量 (Kg) | 臂长 (mm) |
|---------|---------|---------|
| Link1 | 2.324 | 128 |
| Link2_1 | 0.961 | 162 |
| Link2_2 | 0.961 | 162 |
| Link3 | 0.953 | 113 |
| Link4 | 0.897 | 95 |
| Link5 | 0.023 | - |
| Link6 | 0.961 | 162 |

表 3.2: 机械臂 Link 参数

| 关节名称 | 力或力矩 | 限位角度或限位距离 | 速度 |
|--------|------------|------------------|--------------|
| Joint1 | 609.75 (N) | +0.24,-0 (m) | 0.4 (m/s) |
| Joint2 | 110 (N) | +0.33,-0.35 (m) | 1.9 (m/s) |
| Joint3 | 258 (N) | +0.31,-0.12 (m) | 0.964 (m/s) |
| Joint4 | 85.47 (N) | +0.31,-0.31 (m) | 2.92 (m/s) |
| Joint5 | 13.3 (N m) | +3.84,+0.0 (rad) | 18.8 (rad/s) |
| Joint6 | 13.3 (N m) | +0.9,-0.9 (rad) | 18.8 (rad/s) |
| Joint7 | 5 (N m) | +4.5,-1.3 (rad) | 50 (rad/s) |

表 3.3: 机械臂 Joint 参数

第 4 章 机械设计

4.1 机械结构设计

机械整体设计主要将工程机器人分为机械臂和底盘两部分。

4.1.1 机械臂

如图 4.1 所展示，机械臂基本自由度由 3 个转动副和 3 个移动副组成。

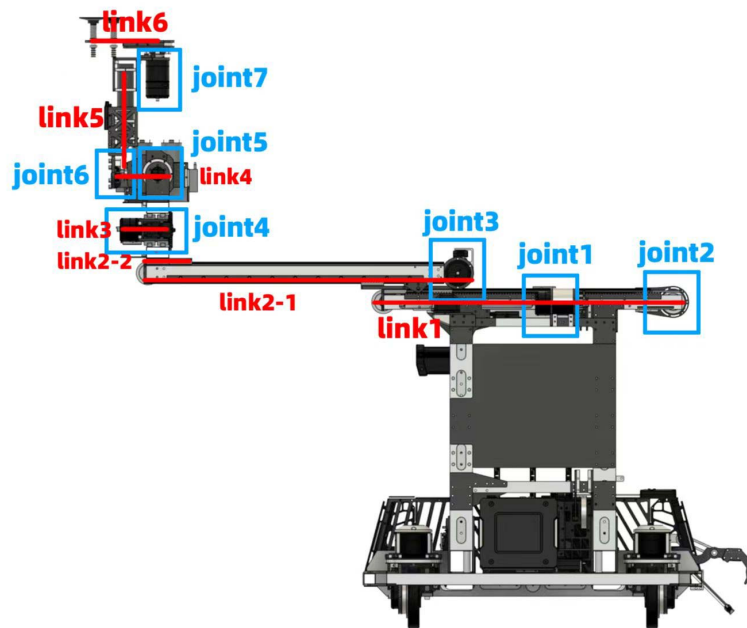


图 4.1: 机械臂

机械臂每个自由度由各电机独立驱动，机械分别采用了链传动，齿轮齿条传动，改电机减速比后直连等方式。

4.1.1.1 Joint1 与 Link1

一轴为了增大承载能力，所以采用了链传动，电机选型采用 M3508（改减速比 1: 51），持续输出的最大力矩为 8.05Nm，另外外加恒力弹簧，由此来抵消机械臂的整体重量，使得在无外力作用下，一轴可以悬停在任意位置，并且有效的提高了升降的速度。

为了增大一轴的支撑刚度，升降架顶端用一根 20*30 的铝管连接。为配合两侧装甲板高度并满足规则限高，我们将升降架放置在距离中心 200mm，依然满足矿仓存储矿石的要求。升降支架主体采用两根 40*30 的铝管支撑，质量轻强度高。为减小 1 轴惯量，我们选择将恒力弹簧分别连接 1 轴和 2 轴之间来抵消机械臂的重力，起到了重力补偿的效果。1 如图 4.3 所展示。

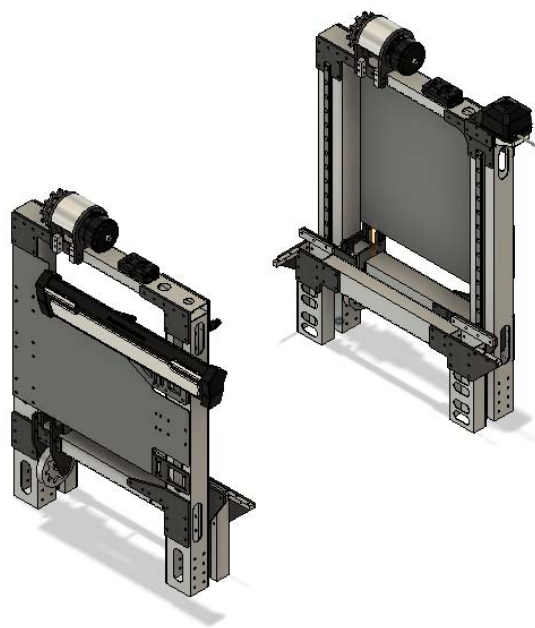


图 4.2: Link1

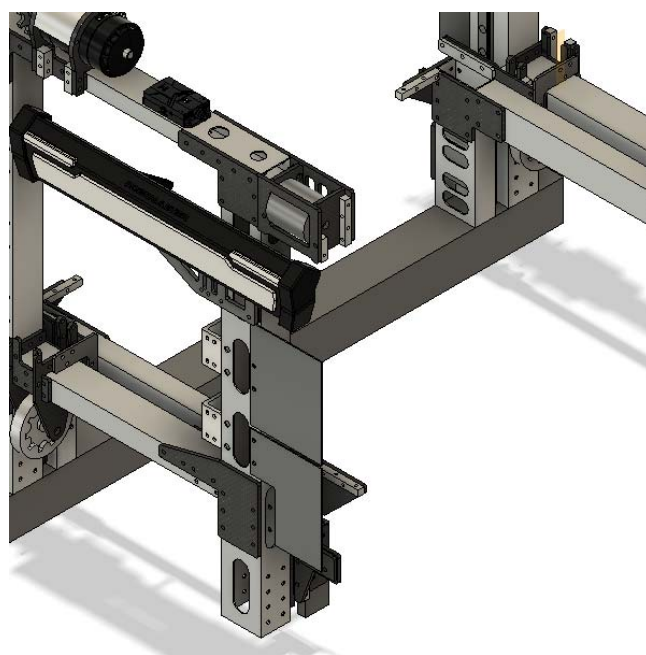


图 4.3: 恒力弹簧图

4.1.1.2 Joint2、Joint3 与 Link2

Joint2-平移副-齿轮齿条加链条传动。缺点：齿轮易磨损。齿轮和齿条之间存在间隙，导致校准的时候存在偏差。链条使用久之后容易松动。2轴整体的质量太大。考虑到加速度的附加，两层各自通过两个电机驱动。如图所示，第一层链条带动中间滑块移动，齿轮连接中间滑块，同时和上下齿条啮合，在链条带动齿轮向前移动同时，第二层铝管的齿条也向前移动，因此可以实现双倍行程的效果。第二层延伸轴链条带动上层滑块移动，因此实现了空接和取大资源岛在机器人前后方向。

Link2 整体结构设计思路如图 4.4 所展示。



图 4.4: Link2 图

4.1.1.3 Joint4 与 Link3

Joint4-移动副-齿轮传动 3，齿轮位于上下两层铝管之间，与电机通过联轴器直连，齿条分别连接上下两层铝管上。电机驱动带动齿轮旋转，从而驱动齿条相对移动，实现双倍行程的效果。如图 4.5 所展示。

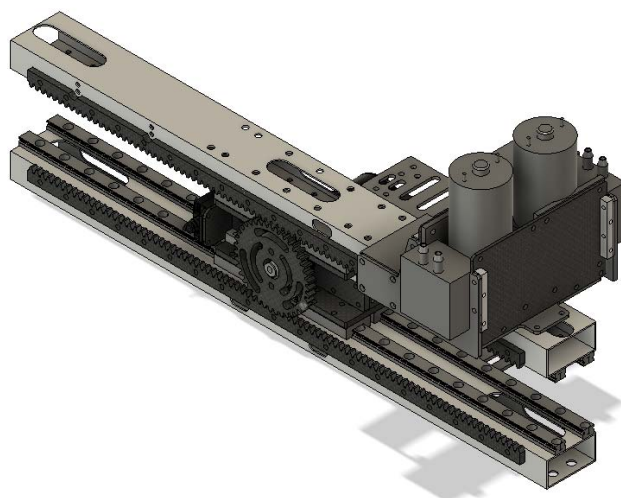


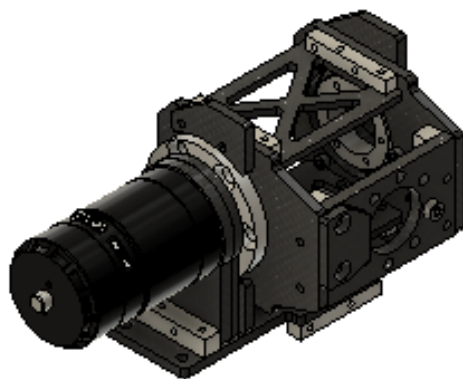
图 4.5: Link3

4.1.1.4 Joint5 与 Link4

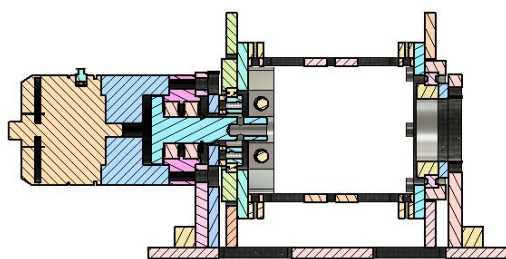
Joint5-转动副-电机直连，设计预计机械臂末端伸出机体 500mm 左右，力臂较大，需要抬起 2.25kg 的障碍块，静态所需扭矩较大，电机选型 M3508（减速比 1: 51），最大持续输出力矩 8.05N m，缺点：改减速比后静态游离缝隙大。电机通过螺丝固定在碳板上，再用打印件作辅助固定，因机械臂运动中会出现较大的径向力和轴

向力，力会集中作用在电机轴处，故设计时电机轴外部放置交叉滚子轴承，内部改装电机放置角接触轴承，使其能承受电机轴方向内外双向的力，保护电机不被破坏。

Link4 结构复杂，由 2 块侧板与铝件组成，其中中间部分为 Link5 的电机，如图 4.6(a)。



(a) Link4 图 (含部分 Link3)



(b) Joint4 截面图

图 4.6: Joint4 与 Link4 展示图

4.1.1.5 Joint6 与 Link5

Joint6-转动副-电机直连，电机选型 M3508（减速比 1: 51），最大持续输出扭矩 8.05N m，3508 电机的固定、安装推力和角接触轴承、承受双向力等方式与 Joint5 一样。如图 4.7 所展示。

Link5 为 3508 电机输出轴。

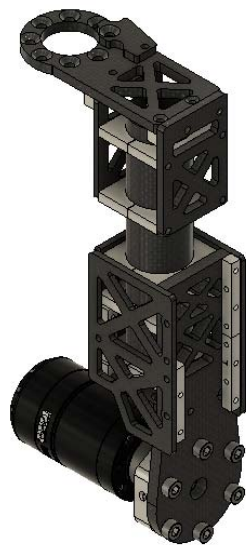


图 4.7: Link5 图

4.1.1.6 Joint7 与 Link6

Joint7-转动副-电机直连，电机选型 M3508（减速比 1: 19），最大持续输出扭矩 3N m，3508 电机的固定、安装推力和角接触轴承、承受双向力等方式与 Joint5 一样。如图 4.8 所展示。

Link6 为 3508 电机输出轴。

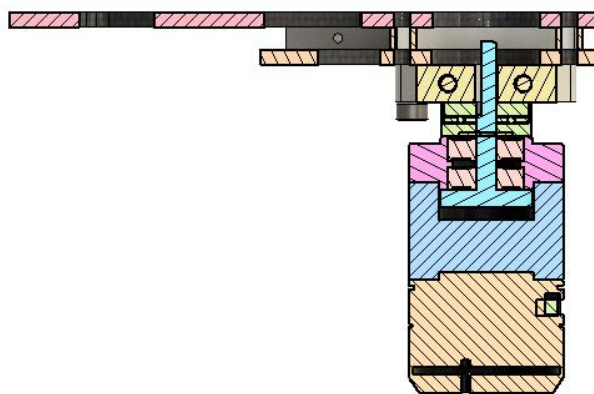


图 4.8: Joint7 截面图

4.1.1.7 吸盘

吸盘为两个直径 50mm 的硅胶吸盘，通过弹簧缓震延长矿石与吸盘的接触时间，使吸盘抽真空的时间增加，因此提高了空接矿石的成功率。外加两块碳板增加吸盘的刚性，避免吸附矿石后出现一个矿石前倾的情况。



图 4.9: 吸盘图

4.1.1.8 云台

考虑到操作手需要广阔的视野和精准的对位，所以选择将云台安装在 Link3 上可以随着机械臂前后平移和左右平移。云台设计的 yaw 轴与 pitch 轴均为电机直连，电机选型为 M3508（无减速箱），设计中以轻量化贯彻始终，故选择拆除减速器的 M3508，单个重量约 80g，设计结构简单为，如图 4.10 所示。

4.1.2 底盘

工程机器人的底盘根据井字形结构设计，主要由主框、救援机构、保护框、轮组、矿仓四部分组成。如图 4.11 所示。

4.1.2.1 主框

主框是底盘的主要构成部分，承担着承载矿石仓和机械臂的作用。主框主要包括主梁，碳板，救援机构等。

主梁采用薄壁粗铝方管，但经过测试后发现上交步兵底盘使用装螺母的内嵌件进行方管连接虽然有一定的便利之处，可若经常拆装，3D 打印的内嵌件会磨损坏导致无法固定住螺母，进而使得螺母在内嵌件内打滑，导致无法拆卸的问题。因此我们采用 2mm 碳板套进主梁内 (如图 4.12(b))，并配合使用拉铆螺母保证连接处的连接强度和刚度，具有质量轻，成本低，易于拆卸的优点。

4.1.2.2 救援机构

救援机构分为刷卡救援机构和拖拽救援机构两部分。

救援卡救援机构采用齿轮齿条传动，通过线轨实现远距离输出，使用 M2006 电机进行驱动。如图 4.13(a) 所示。

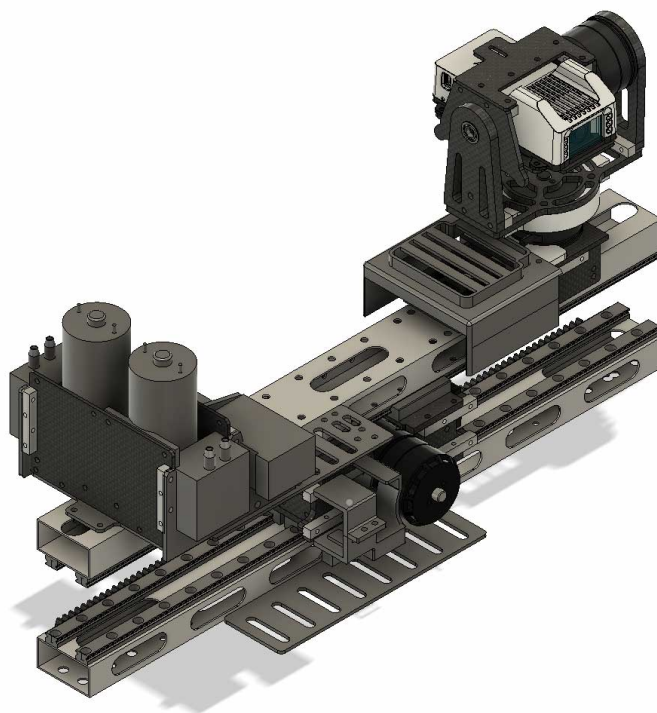


图 4.10: 云台安装示意图

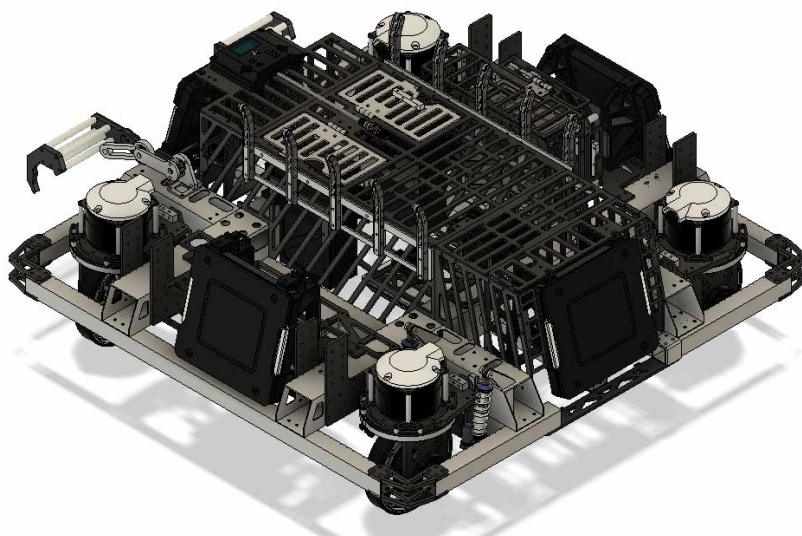


图 4.11: 底盘

拖拽救援通过 2006 驱动 4 连杆来驱动爪子旋转，利用四连杆自锁的原理，使拖拽的过程不太容易受到外界的影响。如图 4.13(b)所示。

4.1.2.3 保护框

保护框主要是起着保护轮组和主框的作用，避免机器人受到冲击后直接损坏机器人的内部机构。保护框主要由细铝方管制成框架，防触底，活动板组成。

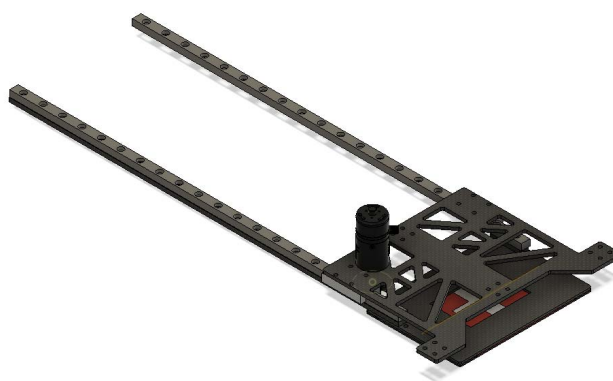
框架由 20*20*1 的 2 根长铝方管和 4 根短铝方管组成；各管之间使用 4mm 的碳板连接，减小冲击；四个角装有包胶轴承，减小撞击时的静摩擦力。



(a) 拉铆螺母固定板

(b) 拉铆螺母装在铝管内

图 4.12: 铝管连接方式展示



(a) 刷卡救援机构图



(b) 拖拽救援机构图

由于机器人前重后轻，因此前后加装了贴近地面的防触底轮（包胶轴承），降低机器人翻车的趋势。

4.1.2.4 轮组

轮组系统负责机器人的正常运动以及适应战场地形，包括车轮支座、车轮、悬挂等机构。

轮组与东北大学的舵轮步兵轮组原理、结构相似，主要更改了 3508 电机的减速器，使其体积更小，质量更轻，转速更快。如图 4.13

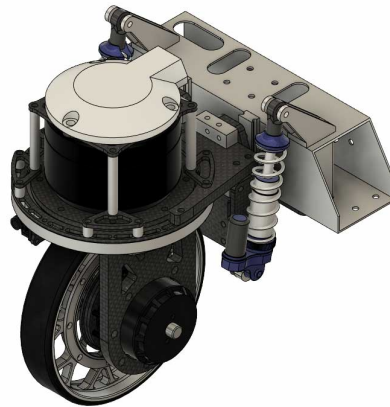


图 4.13: 轮组

4.1.2.5 矿弹仓

为了使机器人在有能力取得多个矿石的情况下，可以同时取得多个矿石并兑换，设计者在底盘中间设计矿石仓存储矿石。

矿石仓侧壁使用轴承，并且侧壁呈 135° ，保证了矿石可以顺利存储在矿仓里，机械臂能够快速，连续地夹取并兑换矿石。矿石仓的底部放置了 1 块 $200*300\text{mm}$ 的碳板并且表面贴上铁氟龙胶布进行润滑，保证了机械臂存取矿石时的容错率。后方通过 1 块 2mm 碳板连接来保证侧壁的刚性，避免存矿过程中对矿仓的损坏。如图 4.14。

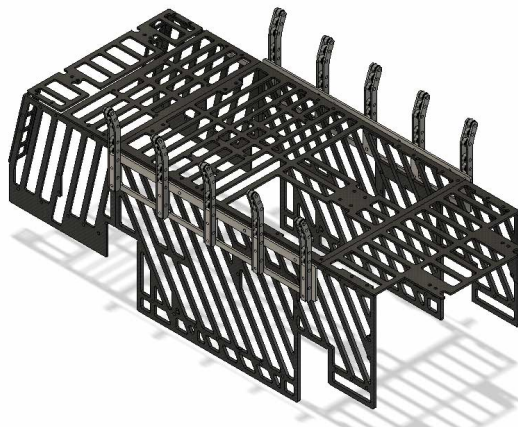


图 4.14: 矿仓

4.2 工艺选择

在工程机器人整体的设计过程中，综合机械制造的合理性，再结合本学校的加工资源情况，在工程机器人中采用了比较多的用 2D 雕刻加工玻纤板和碳纤板的结构设计，在一些必要的铝件上优化设计方案，设计出的铝件都可以利用团队三轴铣床自加工，避免复杂特征体的出现影响加工难度。结合 3D 打印件与部分车削的轴类零件作辅助。

4.2.1 2D 雕刻

工程机器人的大部分零件均为板类，如图 4.15 所展示。底盘除去铝管主框架外，剩下的轮组均为碳板结构；机械臂也采用的是碳板加铝管的设计。工程整体设计时工艺选择 90% 均可自加工完成，实现少外包。

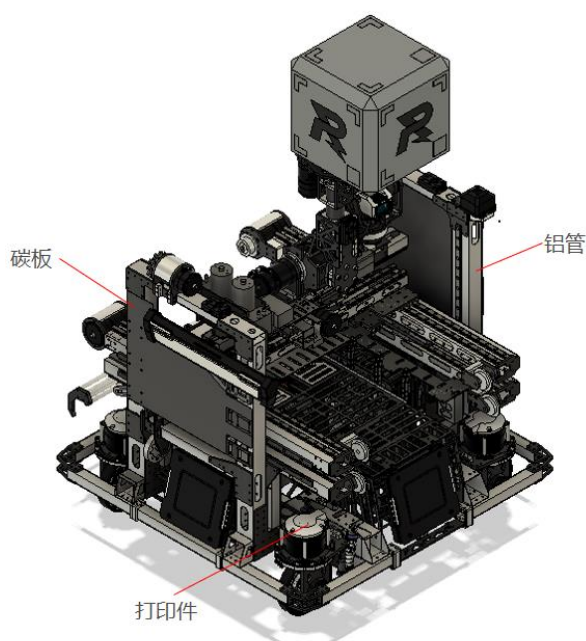


图 4.15: 工程机器人使用的材料指示图

因为设计时选择加工方式为 2D 雕刻，接着利用 fusion360 出简单刀路即可。铝管同理，铝管可看作由 4 个板面组成的整体，加工时就可以当作板子去雕刻，加工完成一面就翻转 90°。如此类推，就可以实现团队自行加工，无论是玻纤、碳纤板还是铝管。因为 2D 雕刻是最简单高效的加工方式，也是我们的工艺选择的首选。加工如图 4.16 所展示。

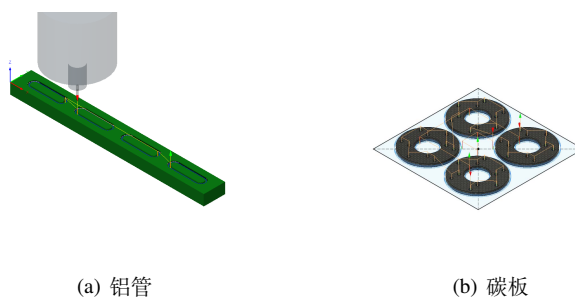


图 4.16: 2D 雕刻

4.2.2 3D 打印

对于一些拥有曲面的、强度要求不高、作平常固定非支撑件的零件，首选 3D 打印作为加工方式。



图 4.17: 3D 打印

4.2.3 铣削和车削

对于既要满足强度要求，又拥有着复杂特征结构的特殊零件，就需要选择三轴铣削加工工艺，如图 4.18 所展示。对回转体则采用车削工艺，如图 4.19 所展示。

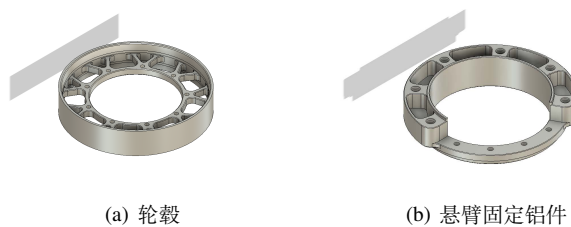


图 4.18: 铣削

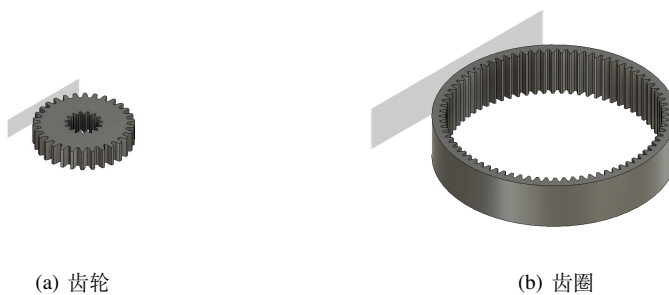


图 4.19: 车削

第 5 章 研发迭代过程

5.1 版本迭代过程记录

| 版本号 | 功能详细说明 | 完成时间 |
|------|--|------------|
| V0.5 | 模块化方案测试：拖拽救援结构测试、刷卡救援测试、1 轴重力补偿结构测试、舵轮轮系测试、改减速比末端 3 轴测试 | 2021.11.09 |
| V1.0 | 第 1 代底盘设计：经过对比舵轮、麦轮与全向轮底盘的优劣性，最后选择使用舵轮井字型分布底盘，再结合独立悬挂、方形保护外框、拖拽救援、刷卡救援 | 2022.01.07 |
| V1.5 | 第 1 代机械臂设计：1 轴升降、2 轴旋转副,3 轴左右平移，末端 3 轴等结构设计及加工装配 | 2021.01.23 |
| V2.0 | 第 2 代底盘设计：调整底盘高度、自制舵轮的替换、拖拽救援机构和刷卡救援机构的替换 | 2022.02.25 |
| V2.5 | 第 2 代机械臂设计：重新指定机械臂方案、替换了升降机构、增大 2 轴延伸臂的行程和刚度，将原来的旋转轴改为平移轴，提高了机械臂方案的可行性和稳定性 | 2022.03.20 |

表 5.1: 版本迭代过程记录

5.2 重点问题解决记录

| 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 | 解决人员 |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------|-------------|
| 升降机构易发生倾斜刚性不足 | 因为尝试使用的碳管和塑料（本着减轻重量的目的）时表现出明显刚性不足 | 用铝管和滑块滑轨实现平移，刚度大大提高 | V0.2 | （机械） 庾日熙 |
| 前后延伸臂用丝杆传动，齿轮与丝杆经常发生松动的情况 | 丝杆与齿轮连接不可靠 | 将丝杆传动换成链条传动，提高了衍生臂的稳定性。 | V0.3 | （机械） 庾日熙 |
| 两边舵轮会有外八的情况 | 舵电机固定板与侧板只用 4 个板板连接件连接，导致刚度不足 | 侧板添加加强筋支撑舵电机固定板。 | V0.4 | （机械） 庾日熙 |

接下页

| 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 | 解决人员 |
|----------------------------|--|--|--------|-------------|
| 刷卡救援用卷尺输出，在容易受起伏路段的干扰 | 卷尺的刚度不足，在伸出一定距离后会下垂 | 将其改成齿轮齿条传动，通过线轨输出。 | V2.0 | (机械) 庾日熙 |
| 矿石被吸盘吸附住之后，会发生前倾，移动过程中摇晃剧烈 | 硅胶吸盘的刚度不足 | 通过增加两块碳板夹住吸盘，两块碳板上下之间通过铝柱连接，从而避免了吸盘前倾 | V2.0 | (机械) 梁伟聪 |
| 2轴延伸臂与3轴左右平移固定不稳 | 连接螺丝直接连接滑块上，滑块与导轨之间需要调节平行度，装的时候需要调节螺丝的松紧，导致连接不可靠 | 用一块碳板单独连接3轴与2轴上的滑块，改变了原有的装配顺序，先调节滑块的平行度再去连接3轴。 | V2.5 | (机械) 庾日熙 |
| 拖拽救援刚度不足 | 使用两块不同厚度波纤板叠加起来 | 将3块波纤板改为一块7mm碳板增强爪子的刚度 | V2.5 | (机械) 庾日熙 |
| 矿仓与前后延伸臂上的拖链干涉并且存矿时会卡矿石 | 设计经验不足 | 减小矿仓壁之间距离，并在矿仓壁上添加轴承和在矿仓底部贴上特氟龙胶布 | V2.5 | (机械) 庾日熙 |

表 5.2: 重点问题解决记录

第6章 总结

6.1 实际实现技术点

1. 通过调节机械臂的长度、行程以及底盘高度来实现3种不同高度的地方抓取矿石。由于机械臂的结构复杂，所以要注意每个关节的活动对机械臂的影响，在限制尺寸的情况下完成任务。由于机械臂的质心靠前，所以会出现前倾的情况；
2. 在不超过最大高度的限制下将吸盘伸到距离地面995mm处来空接2号、4号矿石，可以通过调节机械臂第6轴的角度来吸取1号和5号矿石，并且可以通过其调整矿石的姿态，使有二维码的面刚好超下。由于吸盘吸力不足，未能取得一个矿石；
3. 在设计时考虑到最小通过角为 25° ，可以使机器人顺利爬坡。通过自主研发的减速器，提高了机器人的移动速度，减小机器人取得矿石兑换的时间。由于机器人质心靠前，且在加速度过大时，工程机器人移动过程中不能保持平稳；

6.2 异同原因分析

1. 设计初考虑不周，将过多的元器件放在三轴上；
2. 比赛前由于突发情况，花费大量时间维修，未能对机器人进行测试，没有及时发现吸盘吸力不足的问题以及替换；
3. 设计时把质量堆积在上层，导致头重脚轻；
4. ui辅助线是在来到比赛场地后才匆忙画出来的，测试的效果并没有经过适应性训练的检验，导致操作手对其成功率一直不自信；
5. 一轴的负载力过大，其加速度被调小以降低发热的程度。而在路径规划的时候是考虑到整体动作同时完成的速度的，所以在涉及一轴的动作时候，整体的运动规划速度会被拉低。

6.3 解决方法分析和经验总结

1. 减轻机械臂的质量，将主要的元器件放在底盘上，把质心降低；
2. 设计更加合理的线路排布，让电路组可以及时发现问题并对其进行维修，为测试留下更多的时间。在比赛前对机器人每一个功能的完成性进行检测；
3. 更加合理地布置底盘结构；
4. ui辅助线界面需要很早的画出来并交给操作手进行充分的训练。在保证几乎百分之百的成功率后，通过适应性训练的测试再次确认好ui辅助线的成功率以增加操作手的手感，其对位熟练度和自信都会大幅度的提高；
5. 对于负载力过大的电机可以通过更换大减速比电机来处理，或者增加恒力弹簧以抵消一轴重力所带来的负载。

参考文献

- [1] RM2021-东北大学-T-DT 战队-工程机器人-机械结构开源[Z]. <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12291>. (Accessed on 08/10/2022).