

第二十一届全国大学生机器人大赛
RoboMaster 2022 超级对抗赛
太原理工大学 TRoMaC 战队
工程机器人技术报告



摘 要

本文介绍太原理工大学 TRoMaC 战队 2022 赛季工程机器人并对其机械设计方面进行说明。自 2021 赛季开始，工程机器人主要任务为获取金矿石并兑换金币为队伍提供经济保障，是战术环节中至关重要的一部分。本赛季 TRoMaC 战队工程机器人项目组主要对反空接方案进行了设计研发，用以应对具备极限高度空接工程的敌方工程，增大抢夺金矿石的成功率。反空接功能初见成效并在赛场中展现出了不错的效果。

本文主要讲解了反空接方案的技术思路和确定历程，讲述了各个模块的相关设计和技术细节。

最后对该机器人存在的问题及改进思路进行了分析、改进和展望。

关键词：工程机器人，反空接，极限尺寸，线连杆。





目录

| | |
|--------------------------|-----------|
| 1 工程机器人分析综述 | 4 |
| 2 工程机器人核心参数 | 4 |
| 3 技术思路 | 5 |
| 3.1 方案简述..... | 5 |
| 3.2 方案测试与竞品分析..... | 5 |
| 4 机械设计 | 8 |
| 4.1 底盘模块..... | 8 |
| 4.2 抬升模块..... | 8 |
| 4.3 前伸模块..... | 9 |
| 4.4 夹爪模块..... | 11 |
| 4.5 视野模块..... | 11 |
| 4.6 救援模块..... | 12 |
| 4.7 线连杆模块..... | 13 |
| 4.8 机械加工..... | 14 |
| 4.8.1 铝管加工..... | 14 |
| 4.8.2 板材加工..... | 15 |
| 4.8.3 打印件使用..... | 15 |
| 4.9 走线布局..... | 16 |
| 5 总结与展望 | 17 |
| 参考文献 | 19 |

1 工程机器人分析综述

自 RMUC2021 开始, 工程机器人的主要任务由原本的获取大弹丸补给己方英雄改为了抓取矿石兑换金币为全队输出提供经济支撑, 是战术环节中至关重要的一环, 其重要性不言而喻。工程机器人的工作效率及稳定性决定着队伍的发挥水平, 一旦工程机器人在场上发生故障无法获取金矿石并兑换, 整个队伍会陷入没有经济购买弹丸从而无法执行战术的局面, 使队伍完全处于劣势, 几乎没有胜利的可能。相比 RMUC2021, 工程机器人的设计规范及战术定位在 RMUC2022 改动相对较小。因此追求极致的性能和强大的稳定性在 RMUC2022 对于工程机器人来说至关重要。本赛季工程项目组主要对反空接方案进行了研发, 并在实战中取得了不错的效果。

2 工程机器人核心参数

工程机器人核心参数见表 2-1

表 2-1 核心参数

| 项目 | 参数 |
|--------------------|---------------|
| 最大初始尺寸 (mm, L*W*H) | 595*595*595 |
| 最大伸展尺寸 (mm, L*W*H) | 1082*925*1000 |
| 最大重量 (Kg) | 36.4 |
| 质心高度 (mm) | 257 |
| 左右轮距 (mm) | 484 |
| 前后轮轴距 (mm) | 398 |

机器人初始状态如图 2-1 所示, 极限变形状态如图 2-2 所示。

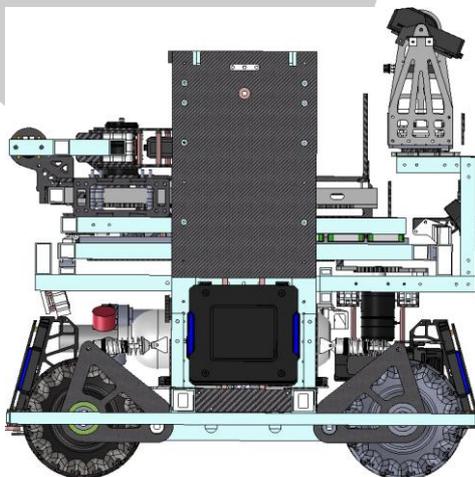


图 2-1 初始状态

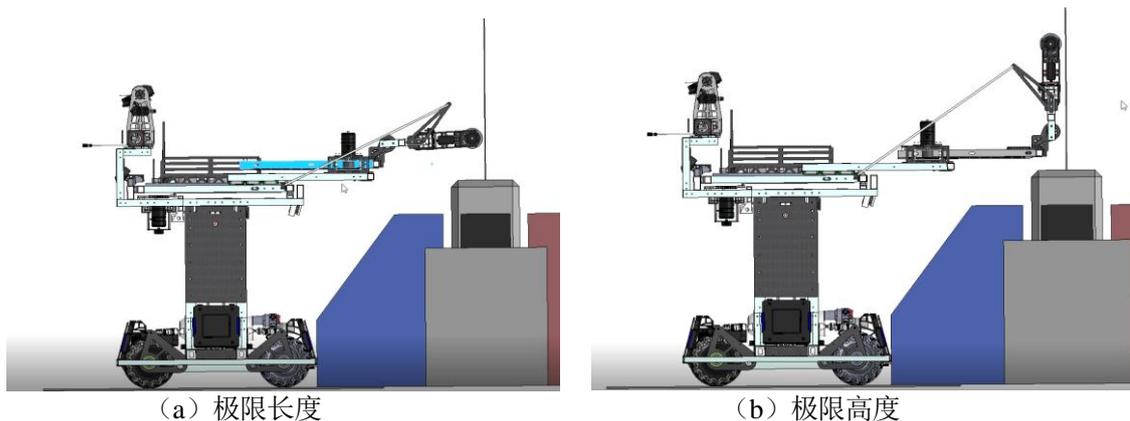


图 2-2 极限变形状态

3 技术思路

3.1 方案简述

在 RMUC2021 技术交流活动中，大部分队伍的工程机器人都展现出了不俗的取矿能力，更是有不少队伍有着优秀的空中接矿能力，开局便能造成经济碾压，为队伍创造优势。其中东北大学中鸿 T-DT 战队创新性的使用吸盘进行空接获取矿石，极限高度的空接矿石能力在全国参赛队伍中处于极为领先地位。中鸿 T-DT 战队的优秀设计和方案也为本赛季许多队伍的工程机器人研发提供了一种新思路。不可否认，在金矿的争夺之中，空接高度是绝对竞争力，因此如何增加工程机器人的空接高度来增大己方获取金矿石的概率是本赛季工程项目组在研发过程中不可忽视的指标。

在研读规则和大量分析比赛后，工程项目组创新性的提出“反空接”的战术思路，想为矿石争夺开辟一种新思路，反制拥有极限高度获取矿石能力的敌方工程，增大成功抢夺矿石的概率。

3.2 方案测试与竞品分析

反空接方案的选择在最开始有两个构想，一个是涵道风机方案，另一个是摩擦轮方案。

我们首先对这两个方案的效果进行了测试。涵道风机方案具有在矿石刚掉落时就吹动矿石并使其发生偏移的效果，可有效在工程接触矿石之前将其偏移预定轨道，阻碍敌方工程接触矿石。摩擦轮方案能在工程机器人接触矿石的一瞬间击飞矿石，且可把矿石击飞较远距离。

我们将两方案进行对比测试，并分析总结其优劣性。两方案优缺点对比分析见表 3-1。

表 3-1 两方案优缺点对比

| 方案 | 优点 | 缺点 |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 涵道风机方案 | 可在敌方工程机器人接触矿石之前对矿石进行干扰使其发生偏移，脱离原来轨迹 | 整体模块体积大，难与取矿功能整合，吹飞矿石的距离较近，无法吹至己方半场 |
| 摩擦轮方案 | 整体模块体积小，可与夹爪模块整合易设计，且可将金矿石击飞至己方半场 | 控制不当易损坏矿石表面造成违规，必须与矿石接触时才能发挥干扰作用 |

最终分析讨论，认为摩擦轮方案击飞矿石距离较远且可击飞至己方半场，有利于下一步捡取地面矿石战术的执行，因此初步确立了摩擦轮反空接方案。为了确保该方案的可行性与可靠性，我们进一步做了深入测试，设计并搭建了反空接测试平台。测试机构如图 3-2 所示。

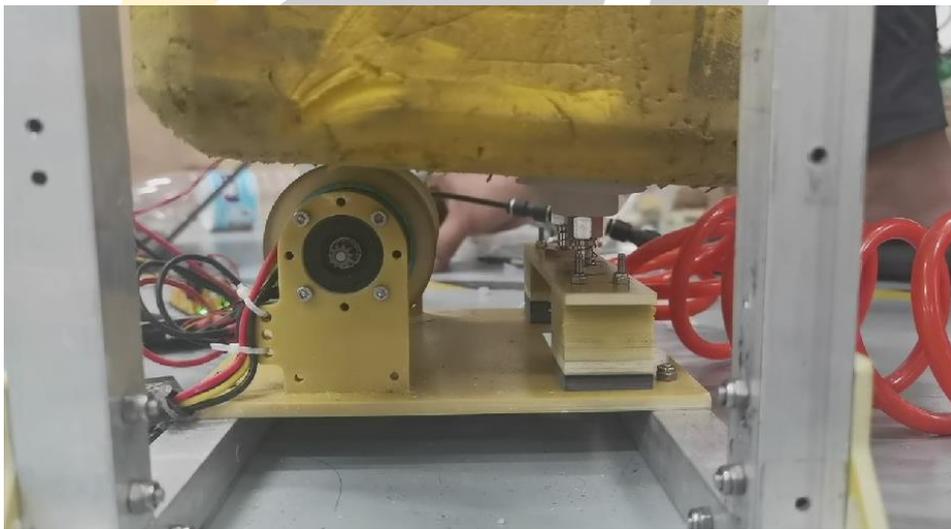


图 3-2 测试机构

摩擦轮电机为去减速箱的 M3508 电机，摩擦轮为溪地创新 3508 摩擦轮。吸盘选型为天行硅胶吸盘 DP-50，真空泵选型为 KMDP-C4 无刷真空泵。测试的变量为摩擦轮与吸盘的上切面高度差，记为 x 。统计并计算反空接成功率，得到数据统计表 3-2。数据统计表见表 3-2。

表 3-2 测试结果数据统计表

| X (mm) | 成功率 |
|--------|-------|
| -1 | 9.4% |
| 0 | 21.6% |

| | |
|---|-------|
| 1 | 30.2% |
| 2 | 45.1% |
| 3 | 84.2% |
| 4 | 100% |

分析测试结果得出，不可否认吸盘的强大吸力可以轻易的将矿石吸住，高度差 x 为 0 时反空接的成功率仅 21.6%，在这种情况下吸盘仍然占据绝对优势。但是不可忽视吸盘由于自身形状以及翻转特性，有效空接平面的高度并非其极限尺寸。

吸盘翻转尺寸理论草图如图 3-3 所示。

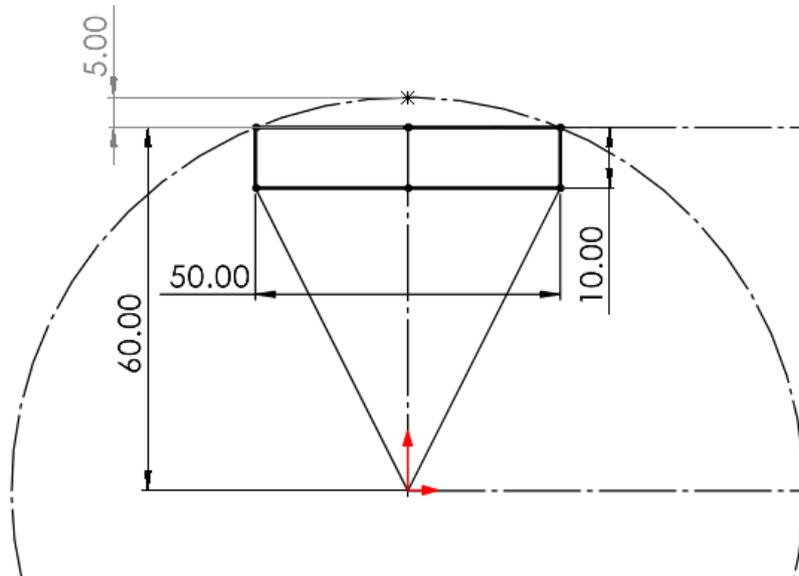


图 3-3 吸盘翻转尺寸理论草图

如图 3-3 所示，吸盘由于翻转，不可避免存在有效高度的损失，当有效空接平面距离转轴 60mm 时仍存在 5mm 的有效高度损失。再结合高度差不同时的反空接成功率，分析可得出结论，摩擦轮反空接方案可行且可靠。该技术方案也成为本赛季工程项目组的研发核心。

根据上述测试也得知，反空接仍需追求极限高度，然而单纯的增加抬升高度至极限尺寸势必带来重心太高等后果，极大增加了工程机器人的不稳定性。因此，如何避免有效高度的损失的同时兼顾工程机器人的稳定性又是工程项目组面临的一大难题。因此经过工程项目组长期的思考与讨论，提出了“线连杆”的构想，在尺寸限制范围内解决了传统工程机器人在前伸长度和翻转高度上相互制约的问题，突破了工程机器人在矩形空间上的全伸展模式，同时实现了反空接有效高度无损失。

4 机械设计

4.1 底盘模块

对于工程机器人底盘而言，最重要的就是稳定性，因此降低全车质心高度和具备良好的底盘通过性能是最重要的。底盘高度的设计在保证不卡弹丸的前提下压到了最低，离地高度仅 45mm，同时除了不具备飞坡功能，可自由通过全地形。经实战测试，并无发生底盘过度倾斜或者翻车等现象，机器人整体稳定性高。

底盘机架大量使用大截面薄壁铝管，铝管数量少且结构简单，整体结构强度高。底盘机架图纸如图 4-1 所示。底盘机架内层全为焊接，大量节省出了板材和连接的空间。而外层防撞为板材和子母螺丝连接，连接强度可靠且不会外露螺母，保证强度的同时有效防止了固连的发生。同时防撞若发现变形损坏，可快速拆卸并进行更换。

整个底盘横纵排布清晰，结构布局清楚有致，硬件布局、走线思路简洁可靠，具有比较合理的空间布局。底盘模块图纸如图 4-2 所示。

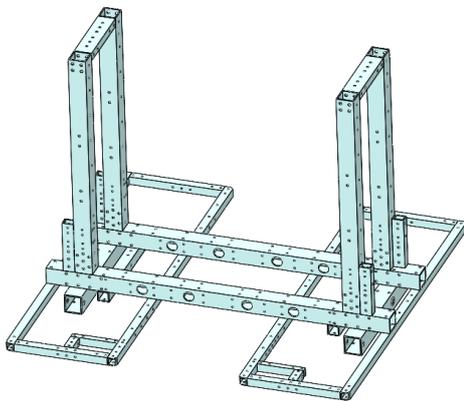


图 4-1 底盘机架图纸

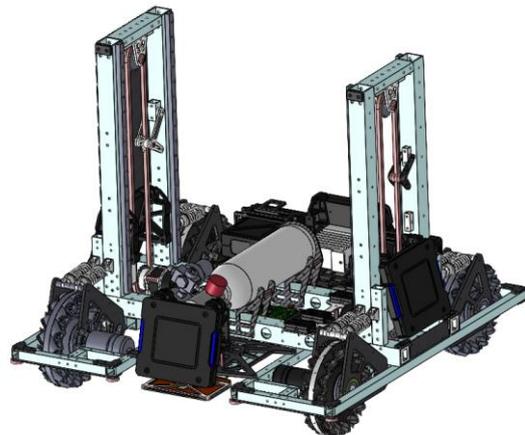


图 4-2 底盘模块图纸

4.2 抬升模块

抬升的动力驱动为 2 个 M3508 电机驱动链条，链条选型为 04c 型号；直线机构使用 MGN12 系列的滑轨滑块，整体结构刚度高无晃动且双边驱动同步性好，使用 MGN12H 滑块还有一个优点在于容错率高，无需花太多时间调隙，能充分补偿连接体由于焊接、加工精度等所导致的偏差。通过电动抬升可以灵活到达多个行程，既能实现极限高度 1m 的反空接，也可实现夹爪向下翻转夹取地面矿石。抬升模块见图 4-3。

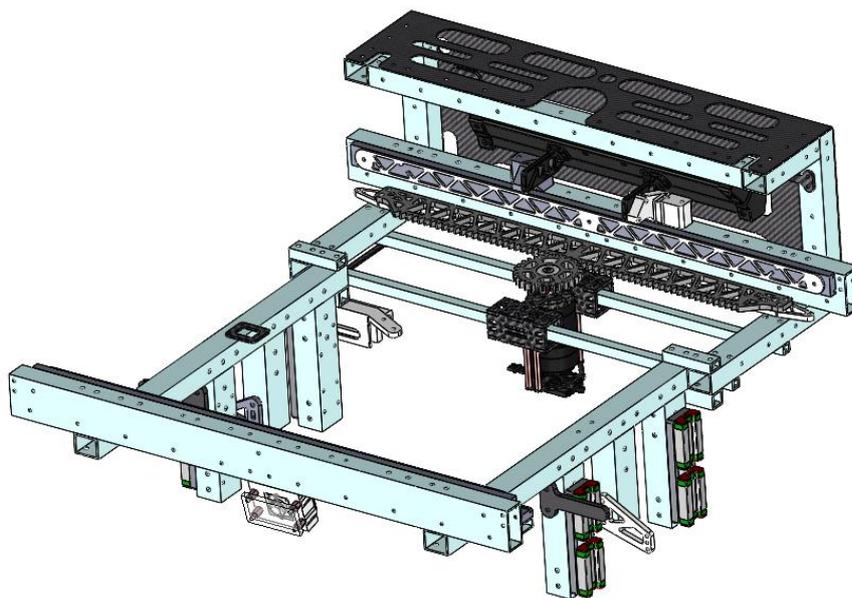


图 4-3 抬升模块

特别注意的是，钢轨和链条应做好防锈处理，从分区赛回来之后抬升突然就不能用了，电控程序里将抬升电机的输出增加为原来的 1.1 倍才恢复正常，排查了很多因素之后判断是因为钢轨生锈（锈的很明显）和链条生锈导致抬升阻力增加，建议也让电控调高阈值，防止比赛到一半因为生锈导致抬升失效。必要时做好防锈处理还是相当重要的。

4.3 前伸模块

由于空接和反空接的特殊需求，为了拥有长距离的前伸行程，设计了二级前伸机构。一级前伸机构为气缸驱动，直线机构为滑轨滑块。二级前伸机构为齿轮齿条驱动，直线机构为滑车和铝管组合。这两部分前伸机构相互耦合，都为单边动力驱动双边机构，空间利用率高，充分利用了垂直方向空间。前伸的行程可以达到 486mm，整体结构刚度高，能有效解决长悬臂带来的下坠影响，降低空接高度的损耗。前伸模块见图 4-4。其中二级前伸的滑车将侧面镂空，将一部分齿轮埋进滑车里，减少了因齿轮齿条传动与滑车组配合时造成的前伸行程损耗，整个模块具有较高的集成度。滑车模块见图 4-5。



图 4-4 前伸模块

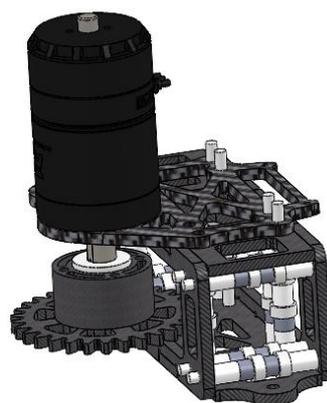


图 4-5 滑车模块

两级前伸均为单边动力源驱动，拿第二级前伸为例，仅需保证前伸架的刚度和直线约束的刚度，单边动力源驱动完全满足使用，该方法也经过本队两年的验证，认为完全是一个可行且可靠的方法。二级前伸铝架如图 4-6 所示。

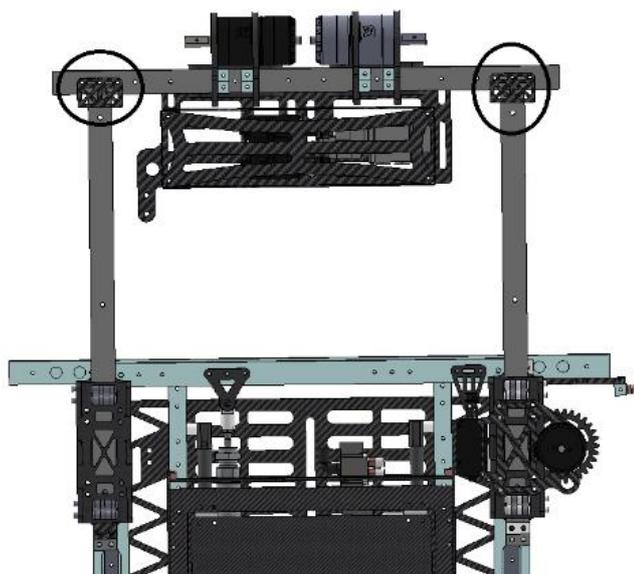


图 4-6 二级前伸架

二级前伸铝架两个连接点进行了焊接处理，大大增加了二级前伸铝架的刚度和抗扭能力。而与之配合的直线机构为左右两个滑车组，通过增加了 0.4mm 的压缩量实现了铝管和滑车组的紧配，防止了虚位和晃动的出现。在该情况下，单边动力源驱动完全满足使用要求，当面临动力源数量过多或者走线困难时可通过该方法有效减少动力源数量，简化设计。

4.4 夹爪模块

取矿机构仍为传统夹爪，夹取动力源选用了一条缸径 20 的气缸，巨大的夹紧力保证被抓住的矿石不会因车体的震动和夹爪的甩动而掉落，且在争抢矿石时更加占据优势。直线机构为滑车和铝管的组合，提供足够的强度和刚度以抵抗夹紧气缸带来的倾覆，整体稳定性高，强度大。夹爪上安装了欧姆龙光电开关 E3Z-D62 用以空接矿石的识别。夹爪前部为去减速箱的 M3508 电机搭配溪地创新 3508 摩擦轮，满足反空接功能的同时可以实现矿石的翻转功能，结构整体整合度较高，最大程度实现轻量化。夹爪模块见图 4-7。

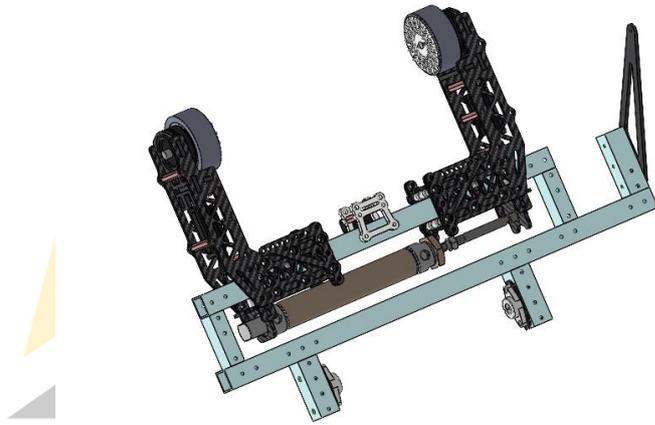


图 4-7 夹爪模块

4.5 视野模块

全车除了云台模块的图传提供一个视野，还需一个摄像头来提供车体前部的视野。前部摄像头见图 4-8。通过这样的视野布置，整车机器人在实战过程中不存在视野缺失的情况。且图传位置分布较为合理，取矿或者空接时视野开阔，便于对位，全车视野无死区。云台将图传和影像传输屏幕设计成一体化，图传只需要向下翻转即可看到车体前部视野，便于操作手控制。云台模块见图 4-9。

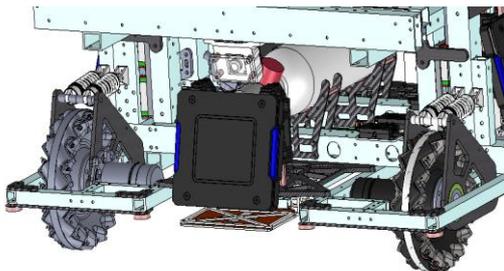


图 4-8 前部摄像头

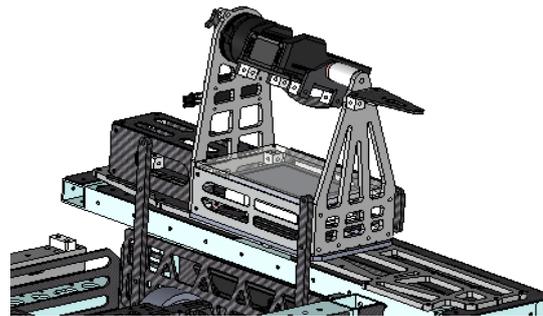


图 4-9 云台模块

前部的视野用的是骆日精品（淘宝店铺）的摄像头，影像传输屏幕是树莓派加树莓派屏幕一整套模块，视野清晰程度不亚于图传，值得注意的是需要处理好图传到屏幕的距离，图传离屏幕太近，会因为图传的自身焦距导致图像传输到图传之后变糊。同时树莓派温度过高会触发高温保护导致自动熄屏，所以需要增加散热装置。故在树莓派侧面加了一个小风扇专门用来散热。树莓派散热风扇如图 4-10 所示。

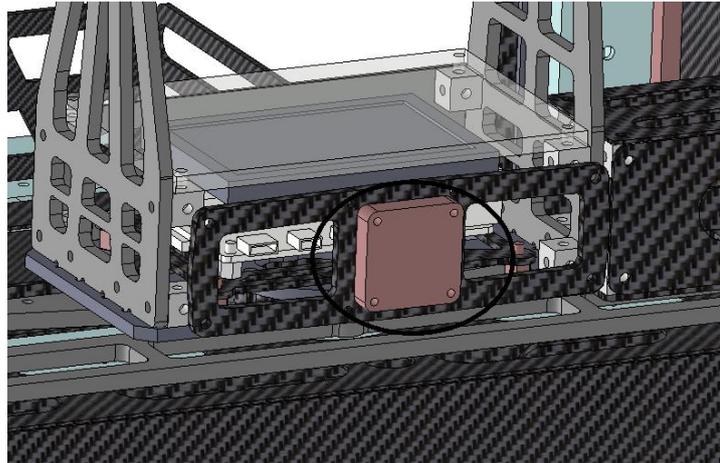
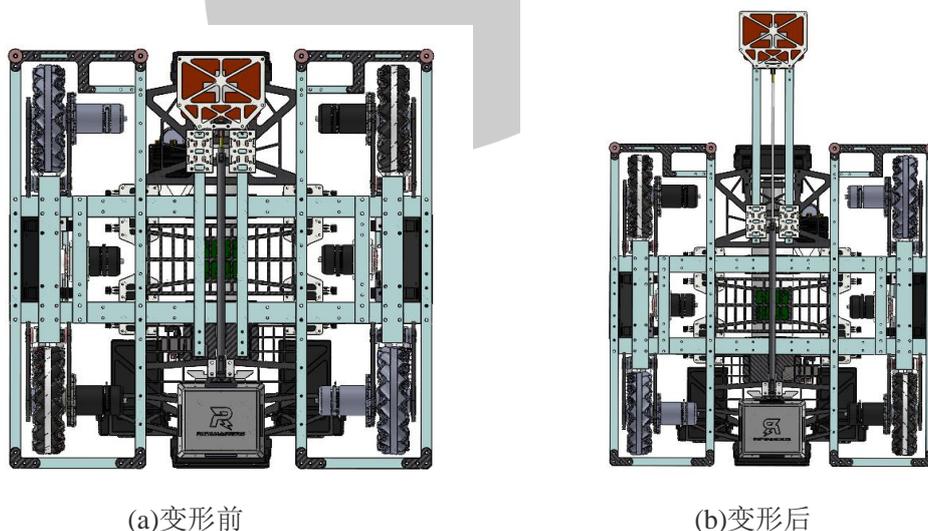


图 4-10 树莓派散热风扇

4.6 救援模块

由于今年上场阵容为两辆舵轮步兵，传统的拖车救援难以实现效果，因此经讨论决定舍弃拖车救援模块，全车仅使用刷卡救援。直线机构为滑车加铝管的组合，使用一条缸径 10 的气缸做动力源。设计简单且整体结构强度高，经实战测试，在战况复杂的战场中并未有过损坏的情况，较为可靠。该模块整体空间占用小，设计方便的同时也便于控制。救援模块变形前后展示见图 4-11。



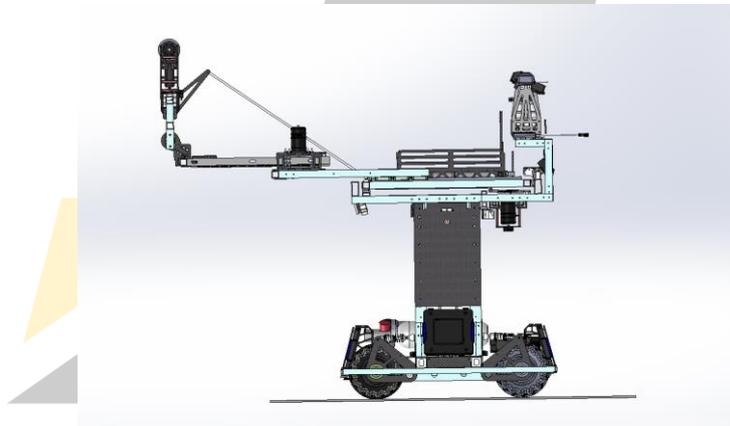
(a)变形前

(b)变形后

图 4-11 救援模块变形前后展示

4.7 线连杆模块

线连杆机构为全车的核心机构，通过该机构工程机器人突破了在方形空间的全伸展约束，从而实现了工程机器人抬升层不需要抬升到 1 米就可以在极限 1 米高度的空接和反空接。实现功能的同时大大降低了抬升前后的质心高度，相比于全抬升至 1 米高度的方案线连杆机构能让机器人整体重心更低，底盘更加稳定。线连杆拉线选取为同步带，既能实现轻量化的需求，也拥有很高的抗拉强度以保证限位的需求，实战中也未出现过损坏、断裂等情况。线连杆机构的运用，在满足了所有功能需求的情况下，保证了任意运动状态下均不会超尺寸，符合制作规范的要求。极限变形尺寸展示见图 4-12。



4-12 极限变形尺寸展示

线连杆理想运动状态以及理论几何关系的计算仅需通过 SolidWorks 草图功能绘制计算便可，无需复杂的仿真和计算。线连杆运动状态模拟草图如图 4-13 所示。

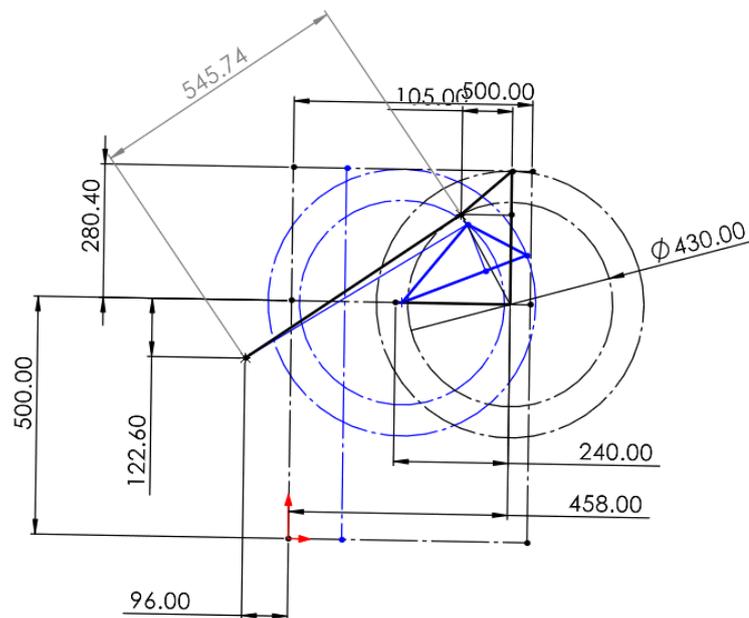


图 4-13 线连杆运动状态模拟草图

如草图 4-13 所示，将工程机器人运动状态的必要数据定义导入，通过拉动草图观察模拟的运动状态，再根据运动状态更改相关变量直至出现理想的运动状态，即可确定线连杆连接板相关参数和线连杆的长度，例如草图中长度标注 545.74，即为通过草图得出的理想运动状态下的线连杆长度。再通过线连杆运动状态模拟草图中的相关参数，便可以进行线连杆连接板的设计。线连杆连接板草图如图 4-14 所示。

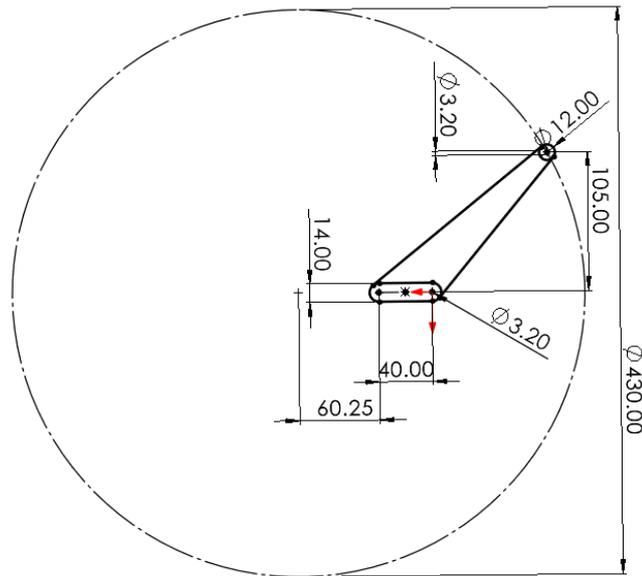


图 4-14 线连杆连接板草图

到此为止，便完成了线连杆模块的设计工作。合理运用草图进行运动模拟分析，可大大减少多变量机构的设计时间，提高效率。

线连杆结构的优势可更加方便于工程机器人的设计，突破多自由度动作下的机构尺寸限制，可以为未来机械臂等多自由度机构提供更多选择，不再因尺寸限制而困扰。

4.8 机械加工

4.8.1 铝管加工

该工程机器人全车大部分零件都为铝方管和玻璃纤维板材，铝管使用自制标尺辅助定位，使用台钻进行自主手动加工，加工精度相比外包商家数铣加工稍差一些，但完全满足使用需求，装配和使用无任何问题。大大减少了加工成本，节省经费。自制标尺见图 4-15。

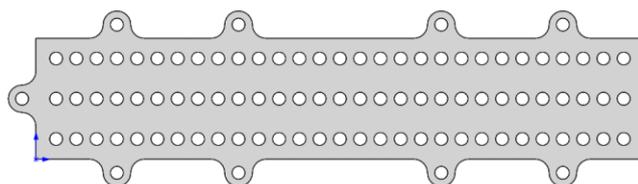


图 4-15 自制标尺

4.8.2 板材加工

玻璃纤维板材加工使用自有的数控机床搭配软件文泰雕刻 2003 或者 StetchUp2015 进行雕刻，可自行满足所有的设计需求。无需外包加工，节省经费。数控软件生成路径见图 4-16。

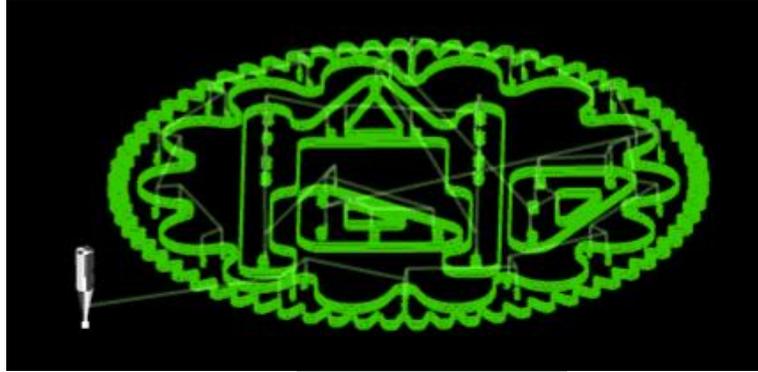


图 4-16 数控软件生成路径

4.8.3 打印件使用

全车只有轮组使用了外包机加工的铝件，再无其他机加工件，而多处使用了 3D 打印件。使用自有的打印机即可打印，结构强度完全符合要求，没有出现过任何断裂、损坏的情况。从动链轮板固定件见图 4-17。装甲板版固定块见图 4-18。

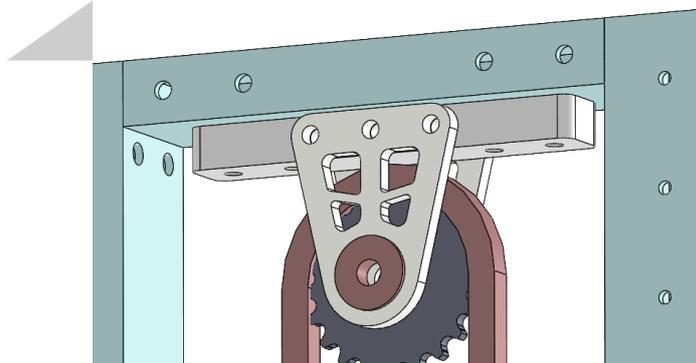


图 4-17 从动链轮板固定件

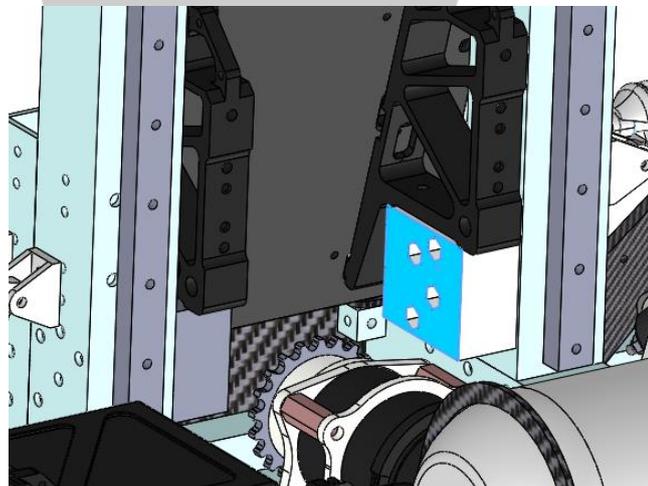
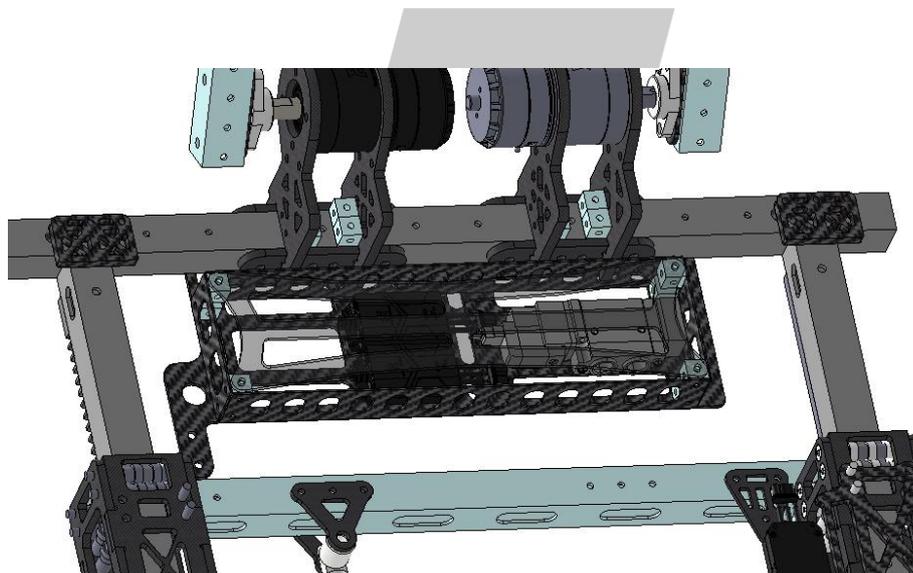


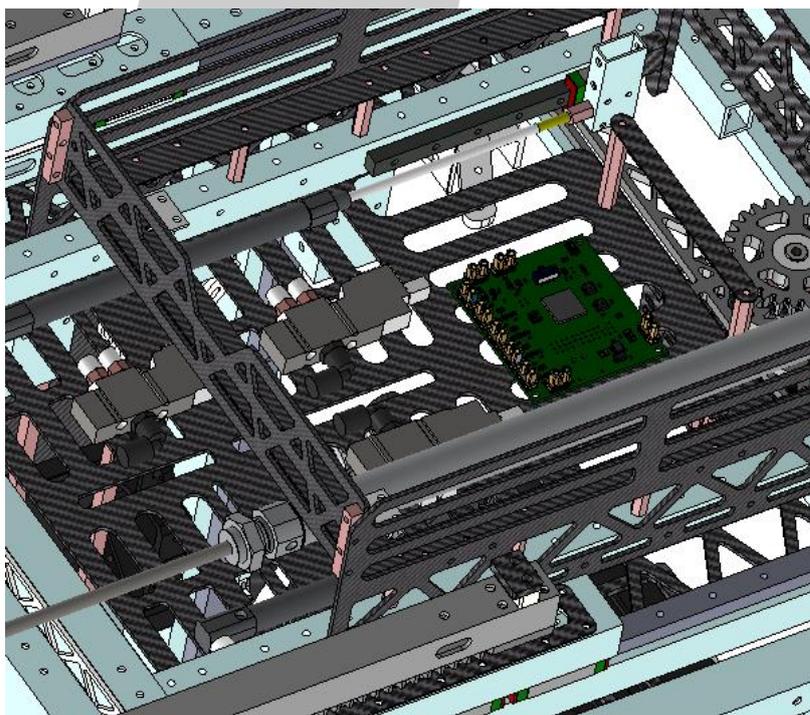
图 4-18 装甲板固定块

4.9 走线布局

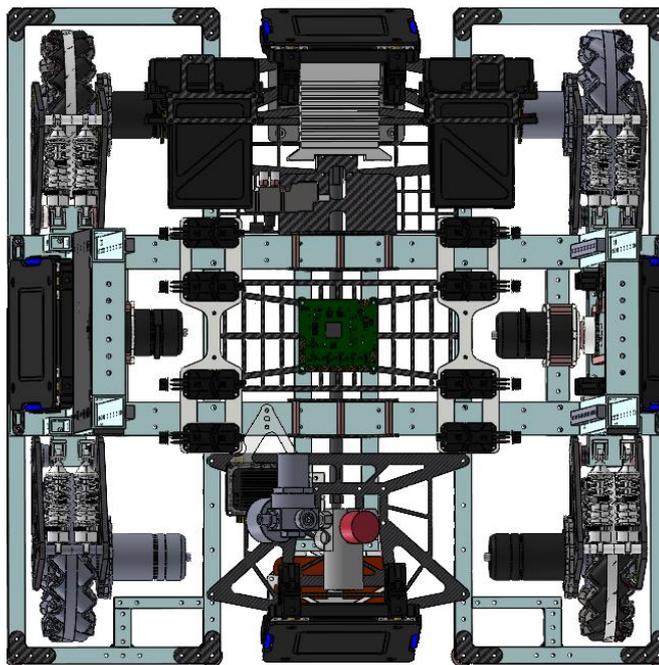
工程机器人由于机构复杂运动状态多，电机及电气原件多，所以如何优化硬件布局以及走线是在设计一开始就需要重视的一个点。全车多处放置分电板，在电路复杂的地方实现由多转一的布置，尽可能减少线路的数量，实现硬件模块化布局。通过多处放置分电板和转接板，可有效减少走线的数量，将多根电源线以及 can 线转接成一根总线，可以大大简化电路结构，合并为少数量的总线。这样可以选择更小型号的拖链，为其他结构的设计腾出空间。同时也实现了硬件电路板的集成放置，更便于维护。硬件模块化布局如图 4-19。



(a)前伸模块硬件放置



(b)抬升模块硬件放置



(b)底盘模块放置位置

图 4-19 硬件模块化布局

5 总结与展望

分区赛版本的工程机器人在年后不久便已经完成了全车图纸的设计工作，但是很可惜由于封校和疫情停快递等原因导致工程项目组的进度一度停摆，一直到五月初才开始了整车的装配工作，而六月初便出发前往赛场了，这期间仅仅不到一个月的时间，这直接导致了缺少测试和操作手训练环节，最终在比赛中也出现了较多的问题，赛场上的效果也并不能令人满意，这是本赛季该机器人特别遗憾的一个地方。

同时通过比赛也暴露出了该机器人许多设计上的不合理之处。抬升架是该机器人设计的一处最大败笔。由于受力分析失误和设计的不合理，将固定抬升滑块的铝管和抬升架的前后主梁进行焊接处理，这直接导致焊接点成为了应力集中点，使得前后梁成为两条独立的悬臂梁，最终导致整个抬升架变形严重，原本设计的横移功能，最后也因为抬升架的变形而失效。抬升架变形见图 5-1。

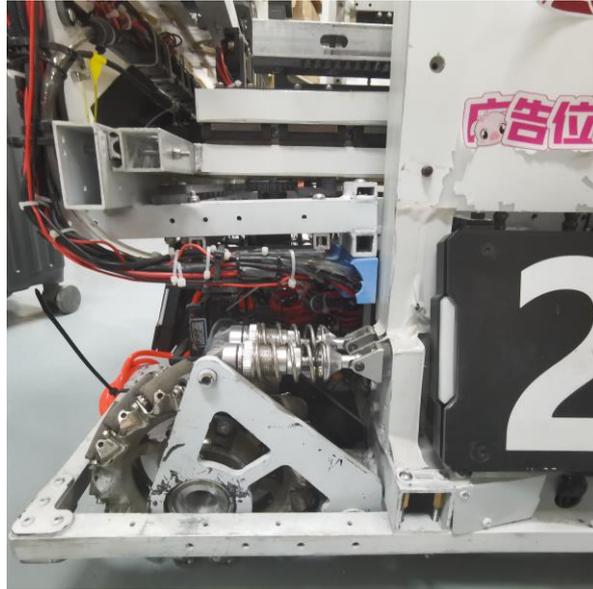


图 5-1 抬升架变形

夹爪上的摩擦轮电机为去减速箱的 M3508 电机，同时整合了矿石的翻转功能。但是矿石的翻转效果并不理想。由于去减速箱的 M3508 电机扭矩较小，导致当夹爪只抓住矿石的一个边角时，扭矩不足无法完成矿石的翻转，此时需要借助夹爪翻转的惯性才可完成矿石的翻转，大大增加了操作手的操作难度。

虽然变形之前整车质心较低底盘较稳，但是由于夹爪等上层模块减重并不理想，导致整个抬升层较重，因此在抬升之后，在进行前伸等操作时，仍有一定的概率发生机器人前倾翻倒的现象。之后为了解决这一问题，在底盘的铝管里塞了 3 块 1.4kg 的铅块对底盘进行了配重，一级前伸的气缸增加了节流阀，减缓了前伸的响应速度并减少了前伸时的冲击，最后电控再对抬升之后的状态进行了底盘限速，才解决了这个问题，之后再也没发生过翻车等现象，大大提高了整体的稳定性。

该机器人在设计上仍有许多不合理之处，仍有许多值得优化的地方，希望大家能提出自己宝贵的意见和优化建议，互相交流，共同进步。

回顾这个赛季，稳定仍是最重要的。机器人整机测试和操作手训练应当占据项目研发过程中的大部分时间，只有这样才能不断发现问题加以改进，减少机器人在比赛时的故障和失误，发挥出更好的效果。

最后特别感谢诸多学校在论坛上的开源，正是这些优秀的开源为该机器人的设计提供了灵感和指导方向，也给予了工程项目组巨大的帮助，真的十分感谢。

参考文献

- [1] 深圳大学松灵RobotPilots战队. *RM2021 RobotPilots战队 工程机器人 机械开源* [Z]. <http://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12321>, 2021-8-31
- [2] 上海交通大学云汉交龙战队. *RM2019-上海交大-工程机器人-机械技术开源*[Z]. <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=9225>, 2019-8-25
- [3] 北京科技大学Reborn战队. *RM2021-北京科技大学工程机器人开源*[Z]. <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12199>, 2021-8-20
- [4] 桂林电子科技大学Evolution战队.*RM2021-桂林电子科技大学Evolution战队工程机器人机械结构开源* [Z]. <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12312>, 2021-8-31
- [5] 东北大学中鸿T-DT战队.*RM2021-东北大学-T-DT战队-工程机器人-机械结构开源*[Z]. <http://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12291>, 2021-8-31
- [6] 北京理工大学Dream Chaser战队. *RM2021-北京理工大学 2020&2021 工程机器人机械开源*[Z]. <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12230>, 2021-8-26



追求卓越 精进不止
自强不息 责任担当

TRoMaC 2022 赛季

2022.10.1

