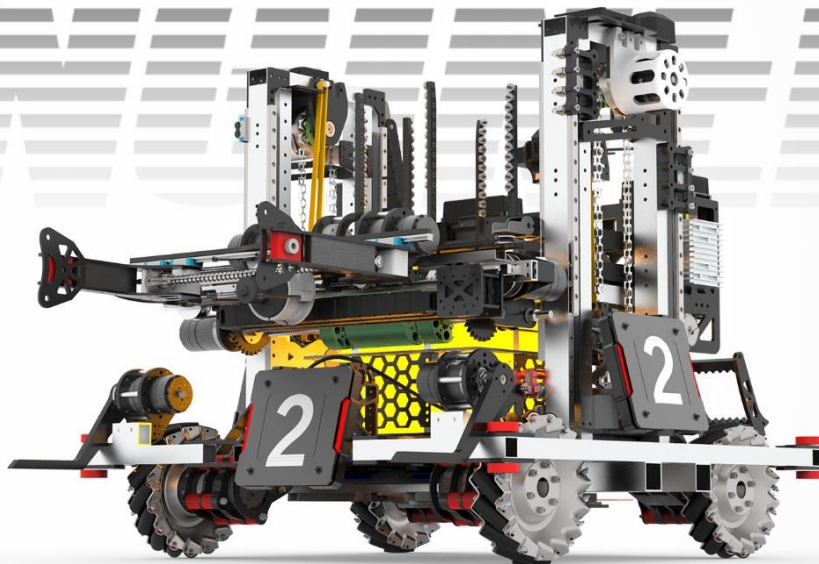


全电工程机器人技术说明文档



Queen

ROBOMASTER

2022.07

摘 要

在 ROBOMASTER 赛场上，工程机器人主要承担取大小资源岛的金银矿石并兑换金币、救援复活战场上阵亡的地面机器人、搬运障碍块、挡拆卡位、反导等功能。与 2021 赛季相比，2022 赛季规则对工程机器人的最大伸展尺寸做了适当调整，对工程机器人前伸时的车身刚度提出了更高的要求。基于上一赛季做全电工程机器人所留下来的经验，结合 COD 战队的队情，最终研发出满足本赛季功能需求、可稳定完成所有基本任务的全电工程。

22 赛季全电工程主要是对 21 赛季的工程做了继承创新，仍然沿用 21 赛季全电工程的部分思路。22 赛季的全电工程保留了拉线自适应悬挂、拉线机械夹爪、涵道兑换反导反空接、简化了障碍块搬运机构、优化了救援机构，创新使用了定电机倍程横移机构、倍程抬升机构、正交自适应转矿机构、抬升重力补偿机构等，笔者将在第三章围绕这些机构分节进行说明。

关键词：全电工程，拉线夹爪，自适应底盘，涵道兑换，倍程横移



目 录

摘 要	1
第一章 需求分析	3
1.1 战术定位	3
1.2 功能需求	3
第二章 主要技术参数	4
2.1 机器人基本参数	4
2.2 执行器件的用途及数量	4
第三章 机械设计方案分析	5
3.1 底盘	5
3.1.1 轮组设计	5
3.1.2 悬挂设计——拉线自适应悬挂	7
3.2 直线运动机构	9
3.2.1 倍程抬升机构	9
3.2.2 前伸机构	10
3.2.3 定电机倍程横移机构	11
3.3 拉线机械夹爪	13
3.4 正交自适应转矿机构	15
3.5 救援机构	17
3.5.1 拖拽救援机构	17
3.5.2 刷卡救援机构	18
3.6 障碍块搬运机构	18
3.7 图传云台	19
第四章 补充与展望	20
4.1 补充说明	20
4.2 未来展望	20

第一章 需求分析

1.1 战术定位

以稳定取矿兑换、快速救援为主，挡拆卡位为辅的全电工程机器人。

1.2 功能需求

自经济体系融入 RM 赛制以来，工程机器人的首要任务仍是稳定取到大小资源上的矿石并成功兑换，保障全队有充足的金币用以兑换弹丸输出，不至于陷入打低保战的被动局面。但全电工程电驱动的夹爪夹取速度亚于吸盘和普通气动夹爪，为在大资源岛上能快速抢取矿石，全电工程机器人需具备三矿石距离横移连取，反空接及快速取地面矿石的能力。掉落的矿石大概率会发生翻面的情况，工程机器人还需要具备矿石换面的功能。

再者就是快速救援战场上阵亡的地面机器人。要求工程机器人的操作手在救援时具有良好的救援视野以快速对位，刷卡机构不卡待救援机器人底盘，拖拽救援过程中尤其是推拉转弯不发生脱落。

与上一赛季相比，2022 赛季场地增加了大面积的起伏路段，若还要快速上环形高地和梯形高地堵截敌方机器人，工程机器人的底盘悬挂和整车重心需要着重考究。

障碍块在战场上具有重要的作用，合理运用障碍块可为己方队伍带来进攻和防守上的优势。工程机器人在不妨碍其它机构布置运作的情况下，可增设障碍块搬运机构，用于在局间配合战术发挥作用。



图 1.1 工程机器人主要功能需求

第二章 主要技术参数

2.1 机器人基本参数

机器人重量、长宽高、重心高度、云台自由度如表 2.1 所示。

表 2.1 机器人基本参数

机器人重量	长×宽×高	重心高度	云台自由度
36.3kg	590mm×590mm× 595mm	230mm	2

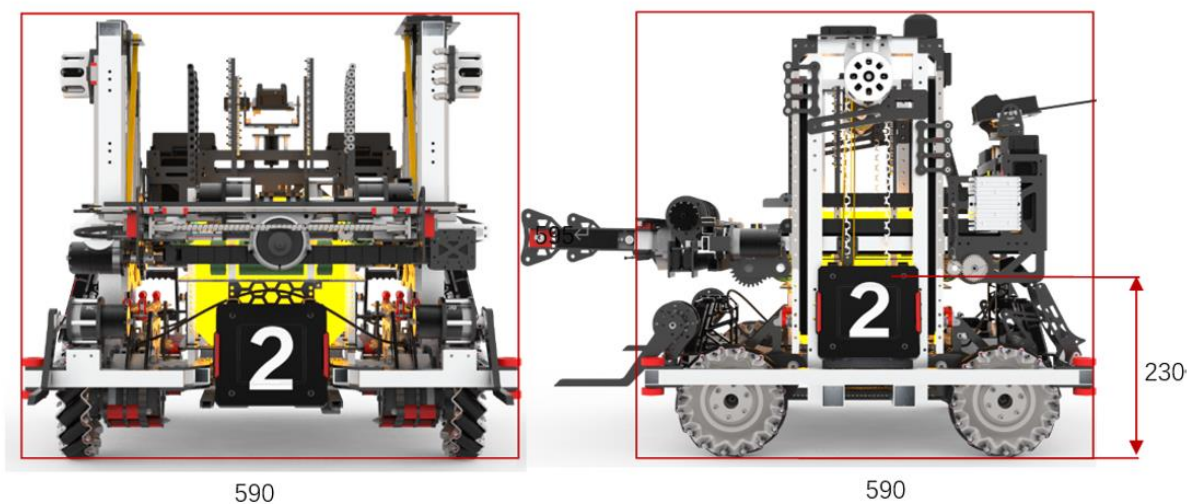


图 2.1 机器人基本参数示意图

2.2 执行器件的用途及数量

表 2.2 机器人执行器件

执行器件名称	数量	用途
3508 电机	14	驱动电机
2006 电机	3	云台电机和救援电机
舵机	1	云台 pitch 轴电机
50 涵道电机	1	兑换及反空接

第三章 机械设计方案分析

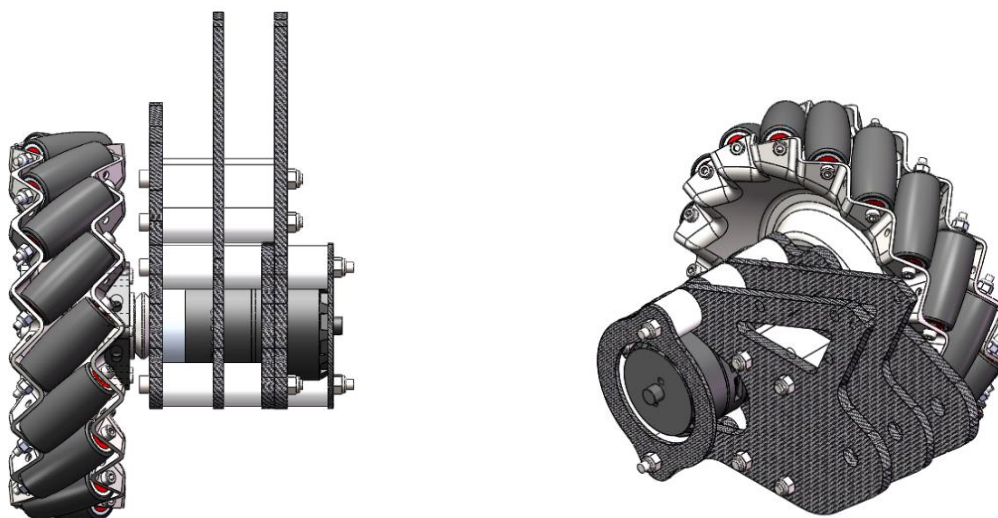
3.1 底盘

工程机器人是 RM 所有地面兵种中体积最大、质量最大的一个兵种。2022 赛季的比赛赛场大面积增加了起伏路段，为充分发挥工程机器人底盘不限功率的属性，提高工程机器人的通过能力，机器人底盘设计需要着重考究。

3.1.1 轮组设计

轮组采用板材和打印件堆叠的方式构成，如图 3.1，麦轮和电机使用上海交通大学开源的夹紧式联轴器配合推力球轴承直连。该连接方式可避免电机输出轴不受弯矩，极大保护了电机减速箱内的齿轮，整个结构简单稳定，电机的输出效率高。

图 3.1 轮组结构图



单侧直连轮组能增大轮距，充分利用轮组空间，且在拆装维护上也比普通双边连接更加便携快速。但对于沉重的工程机器人来说，单侧直连的方式处理不好时往往会发生轮组外八的情况。为此，我们对轮组建立了如下模型（图 3.2），其中设 a 为麦轮中心点到轮组悬臂内侧板的距离， b 为悬臂内外侧板的间距， c 为电机输出轴和悬臂旋转轴的中心距。对于单侧直连轮组，若 a/b 越接近于 1， c 越短，悬架梁的数量（1，2）越多，轮组的抗外八能力越强。其中减小 c 和增加悬架梁的数量本质上是从结构上提高悬臂的抗弯抗扭能力。

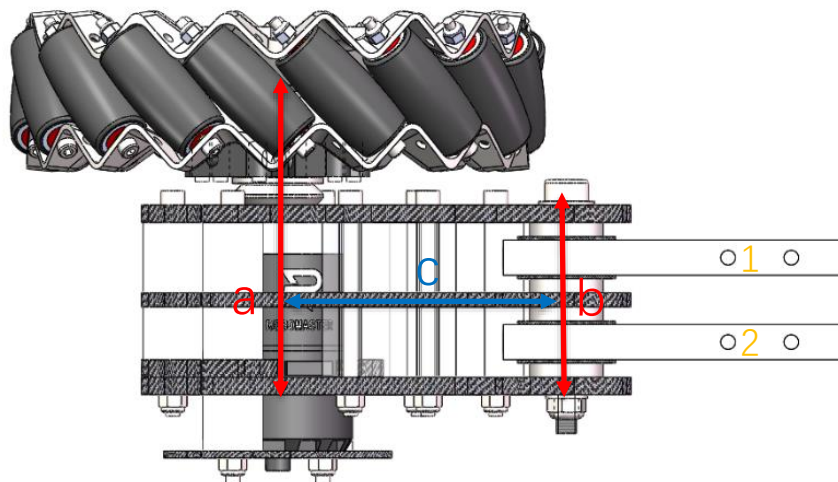


图 3.2 轮组防外八结构图

机器人在运动时会遇到各种颠簸，悬臂梁（铝管）会受到冲击，容易发生塑性变形，塑性变形造成的间隙也会加剧冲击破坏，也会影响到轮组外八。在管内塞入大小合适的碳板做轴承的限位（如图 3.3），可分散冲击破坏。碳板在铝管出口处设置两突起方便轴承的定位。

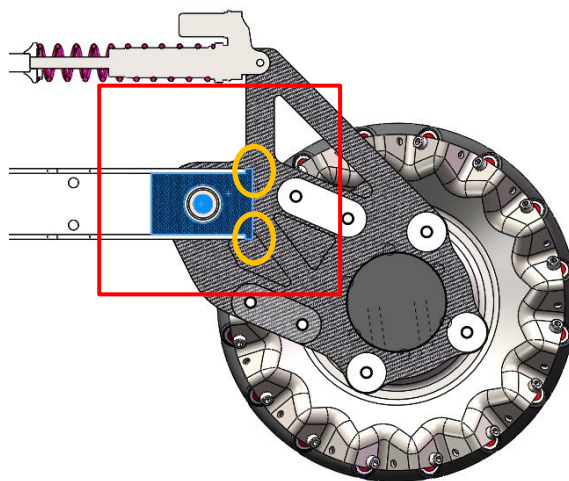


图 3.3 轮组轴承限位碳板

3.1.2 悬挂设计——拉线自适应悬挂

2019 赛季上海交通大学创新发明使用了自适应悬挂，大大提高了机器人底盘的性能。2019 年末，我队前队长李泰龙受此启发，独立研制了我队的拉线自适应悬挂，并全部应用至我队的所有地面兵种。

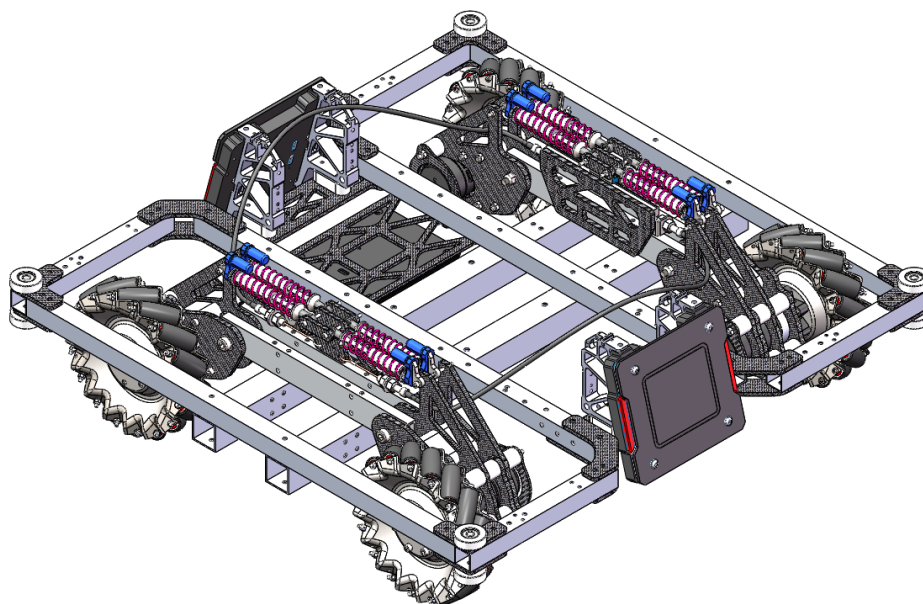


图 3.4 工程底盘上的自适应悬挂

拉线自适应悬挂的原理是通过增加一段线轨将同侧前后两悬臂连接起来使之非独立，再用两根自行车刹车线连接左右两侧滑块形成封闭的闭合环路，实现 4 组轮组的非独立联动，如图 3.5 所示。

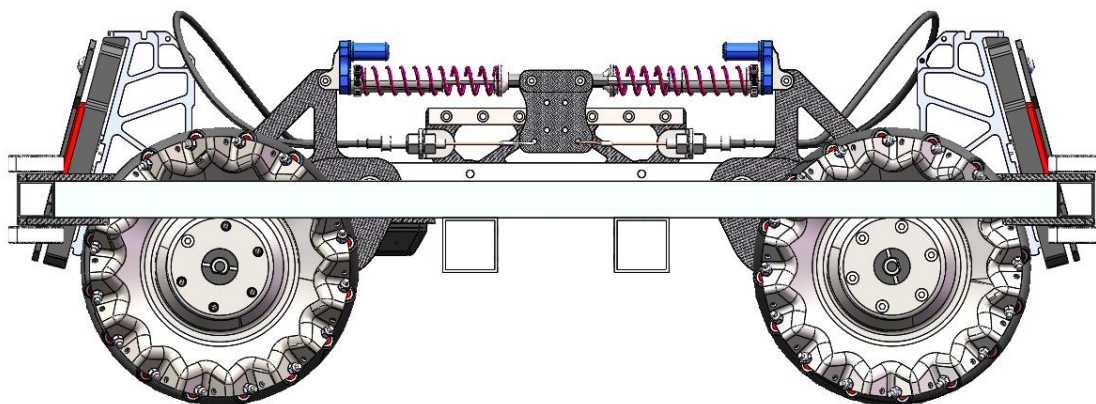


图 3.5 拉线自适应悬挂原理

细节：采用自锁螺母和空心螺丝作为自行车刹车线管的限位和拉线的张紧（实测只需要在机器人装配的时候张紧）；在空心螺丝和刹车线管间套入两螺母，减小连接处的曲率；使用 8 字铝套连接自行车刹车线，如图 3.6 所示。

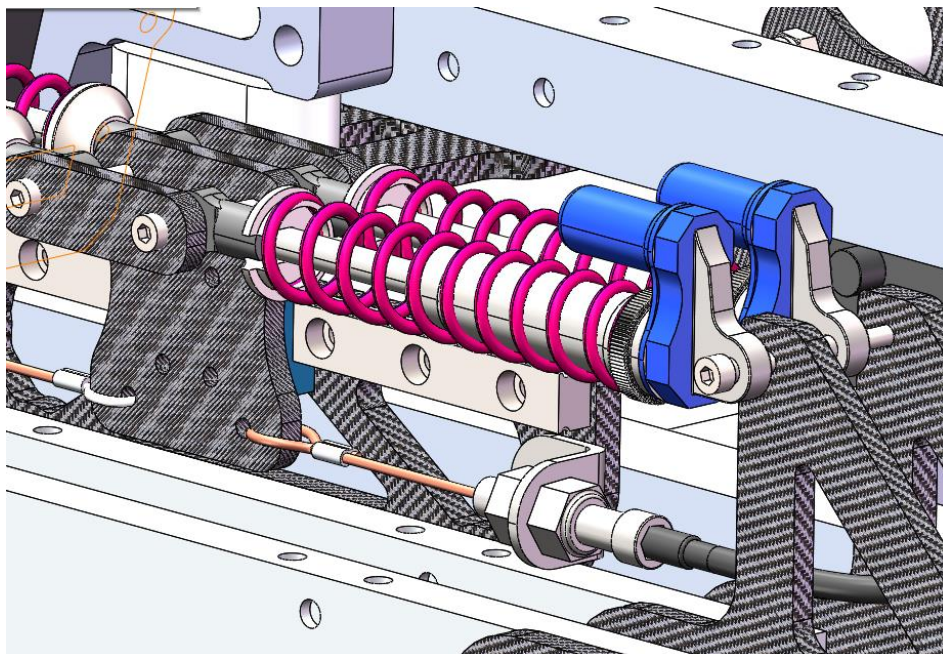


图 3.6 拉线自适应悬挂细节

优势：22 赛季场地高差大、坡段多、盲道覆盖面大。自适应悬挂具备独立悬挂优势的同时使机器人能更好的适应战场环境，在斜直上下坡，坡上小陀螺等状态下表现出明显的优势。我队自研的拉线自适应悬体积小巧轻便，腾出了机器人底盘中部的空间，使机器人在搭建“上层建筑”的布局更加灵活。

3.2 直线运动机构

3.2.1 倍程抬升机构

场地大小资源岛、兑换区的高度不同，要求工程机器人具备抬升能力。为能实现取大小资源岛及地面矿石的功能，抬升机构使用倍程抬升机构，如图 3.7。

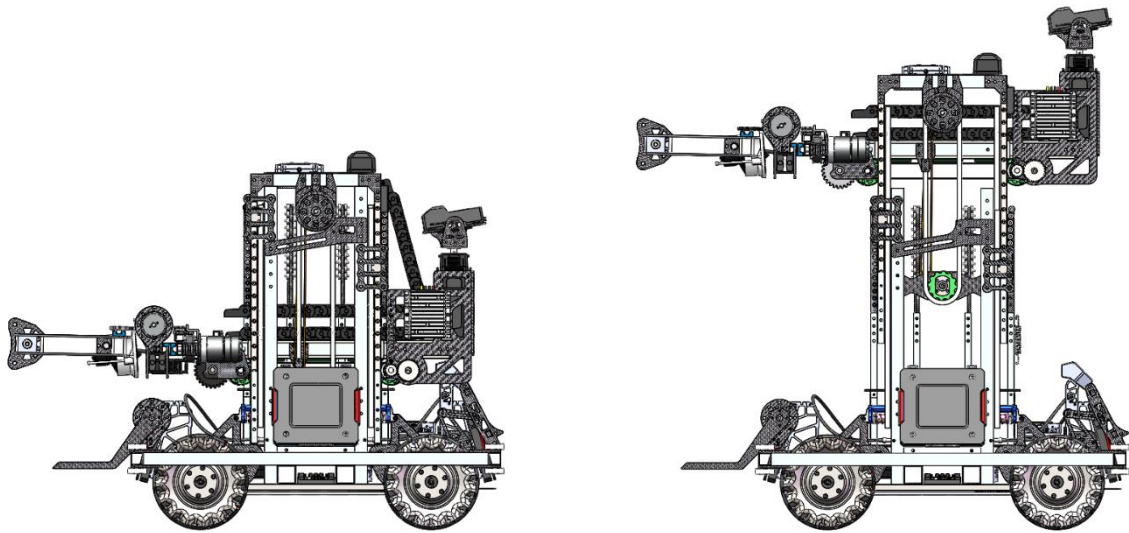


图 3.7 倍程抬升机构

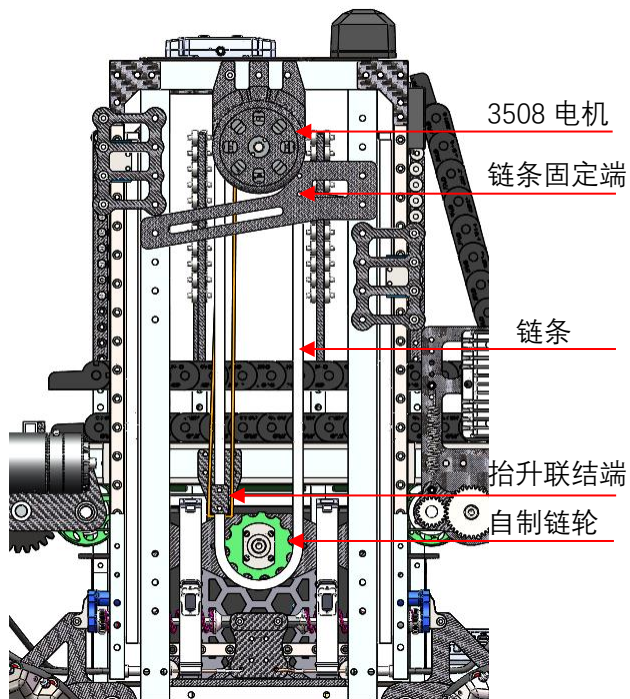


图 3.8 倍程抬升机构组成

倍程抬升机构具体细节如左图（图 3.8）所示。在车架上引出一块板联链条的固定端，链条的另一端连接第二级抬升机构，电机固定在第一级抬升机构之上，带动链条转动的同时抬升，使得第二级抬升的行程是第一级的两倍。

倍程抬升机构有效的降低了整车在原始状态下的重心。但在第一级第二级抬升机构之上设有多个执行机构，重量较沉。为此在工程的抬升机构是增设了重力补偿装置。

所谓的重力补偿装置，其实就是一根闭环对叠扣上的皮筋，如图 3.9 所示。因工程机器人的抬升机构使用的是倍程抬升机构，在抬升过程中，第二级抬升机构与第一级抬升机构的相对距离是逐渐靠近的，因此只要将劲度系数合适的皮筋连接两级抬升机构，当二级抬升机构处于最低位置时，皮筋被拉伸“蓄力”，抬升电机抬升上层机构时，皮筋收缩起到“重力补偿”的效果。

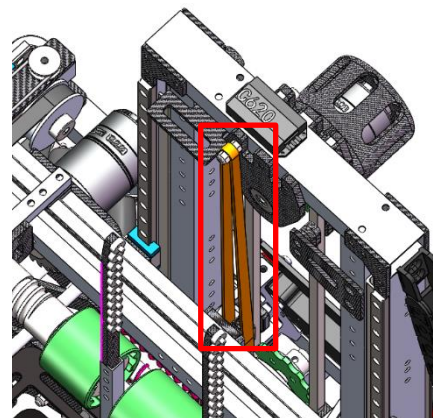


图 3.9 重力补偿皮筋

在实际对比测试后，加了“重力补偿”装置抬升的效果明显优于未加前，甚至能起到“弹射抬升”的效果。

3.2.2 前伸机构

因大小资源岛、兑换站距离车体的位置不同，工程机器人需设计前伸机构用于获取距离不同的矿石。该工程机器人在二级抬升之上设有前伸机构，如图 3.10 所示。工程机器人的前伸机构使用齿轮齿条传动，左侧的电机通过内孔 10 和内孔 8 的法兰联轴器连接正齿轮和光轴，光轴传递电机的转矩至另一端的正齿轮，啮合齿条同步传动。

工程机器人前伸对精度的要求不高，因此采用 2 模的玻纤板材质齿轮齿条，齿轮的齿宽要稍小于齿条，保证传动稳定、耐磨。

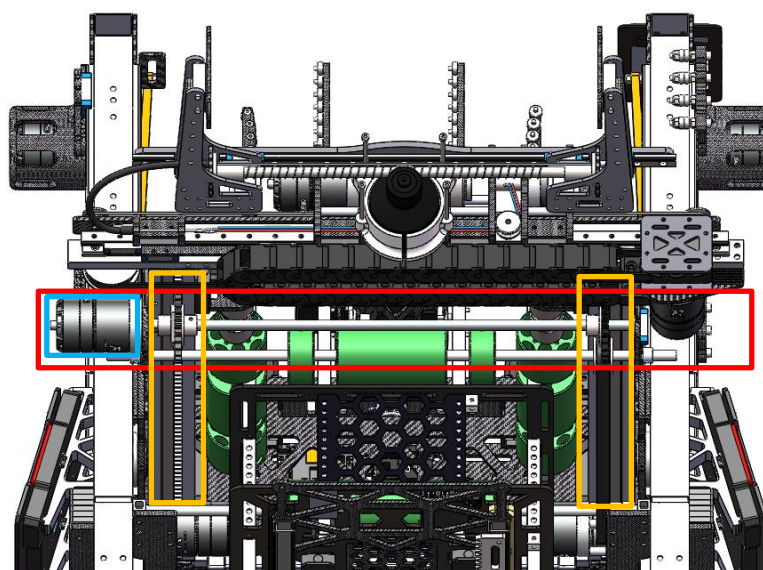


图 3.10 齿轮齿条前移机构

3.2.3 定电机倍程横移机构

在工程机器人制定需求分析时，为开局快速在大资源岛取到矿，多抢矿，大资源岛三矿石间距横移连取被纳入了设计范畴。根据规则和机器人制作规范，大资源岛2号和4号金矿的中心距离为640mm，而工程机器人原始尺寸长宽均不能超过600mm，若要在大资源岛中间通过横移机构稳定的连取到2号和4号矿石，机器人夹爪中心必须能平移出车体外，这就需要使用倍程平移机构来实现这个功能。

如前文所述的倍程抬升机构，将电机固定在第一级抬升机构上传动并将第二级抬升机构移动到两倍的高度。使用该原理能实现将机械夹爪移出车体外的功能，但该方案存在传动电机随横移机构一起移动容易与其它机构发生干涉，占用空间较大等弊端。笔者经仔细思考，根据定动滑轮原理，设计出了固定传动电机的倍程横移结构，并称之为“定电机倍程横移机构”。这也是该全电工程主要的亮点之一。

定电机倍程横移机构的结构组成如下图所示。机构主要由3508驱动电机，同步带，同步齿轮、铝钣金件、抽屉导轨（碳板下）、凯夫拉线、长条碳板、防跳线导轮组成。其中凯夫拉线的蓝点连接机械夹爪，黄点固定在钣金件上，同步带在中间连接长条碳板中间向里突出的区域。当3508电机转动时，同步带带动长条碳板往其中一个方向运动，碳板带着防跳线导轮和凯夫拉线传动，因凯夫拉线在黄点与钣金件固定，蓝点处连接的机械夹爪会沿着长条碳板运动的方向移动两倍的距离，实现倍程横移。

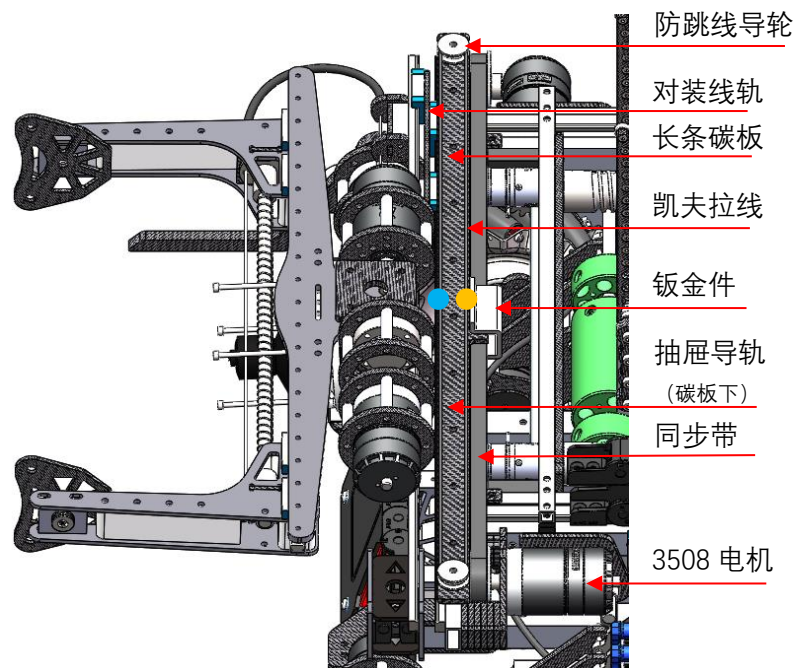


图 3.11 定电机倍程横移机构

定电机倍程横移的实物效果展示如图 3.12 所示。其中蓝线为同步带移动的距离，红线为机械夹爪移动的距离，为蓝线的两倍，夹爪中心已成功移出车体之外，能实现横移连取大资源岛 2、4 号金矿的功能。另外，理论上若把同步带中心距拉到 580mm，夹爪中心就能在 1160mm 之间移动，若考虑夹爪宽度约为 300mm，工程的横移的最远端距离能达到 1500mm（已经超出制作规范要求，实际也并不需要这么远）。

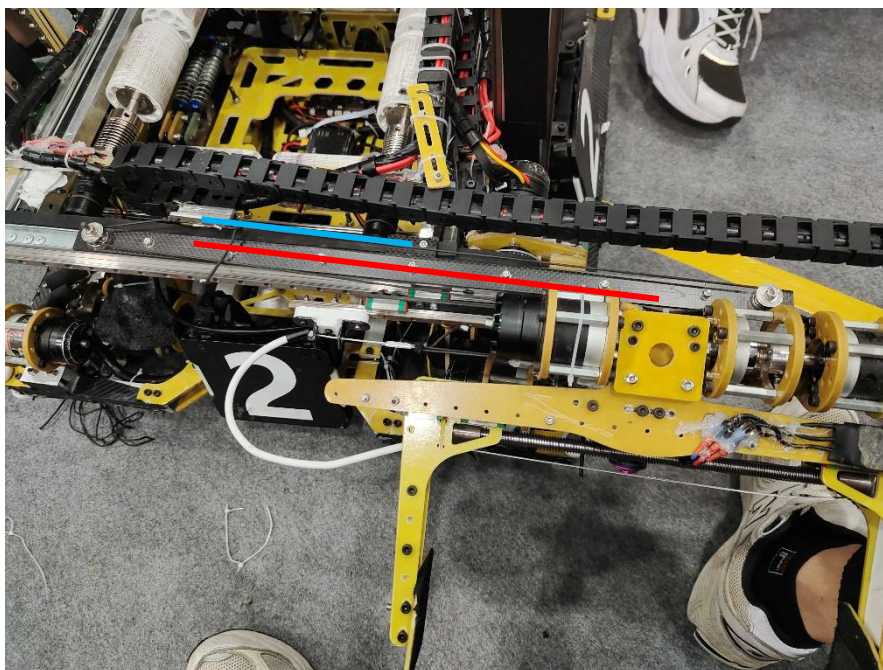


图 3.12 定电机倍程横移实物效果展示

固定机械夹爪的横移导轨，一开始选用的是双向的抽屉导轨，经测试其在导轨宽面法向的刚度不足，间隙过大，变形严重。后来改选用的是 mgn9c 的直线滑块导轨，如 3.13 所示。采用 mgn9c 的滑块滑轨对装的加长导轨在实际测试中效果良好，完全满足横移机构横移的刚强度要求。



图 3.13 对装直线导轨

3.3 拉线机械夹爪

市面上有众多的机械臂产品，其上许多都配有各式各样的电动机械夹爪，传动方式有丝杆传动、齿轮传动、连杆传动等。经分析研究，这些传动方式均不适合应用到 RM 比赛的工程上（作者水平有限，不能根据这些机构原理得到一个“较优解”）。2021 赛季，笔者受自行车刹车机构启发，并根据其原理设计了拉线机械夹爪。因拉线柔性传动的特点，执行电机可在上层机构灵活布置，无需直接装到夹爪之上，也间接减轻了机械夹爪的质量。经测试，拉线机械夹爪运行效果良好。

22 工程机器人的拉线机械夹爪结构组成如下图所示（图 3.14）。固定在横移导轨上的 3508 电机卷起凯夫拉线。凯夫拉线拉动套在刹车线管里的钢丝绳，线管和钢丝绳会同时给左右两夹爪一个向中间的力，使夹爪几乎（摩擦力）是同时往中间夹取矿石。

因钢丝绳柔性不够，不适合大曲率的缠绕，所以在第二级拉线选用的是柔韧性更强的凯夫拉线，绳线之间的连接用自锁结打结。电机在卷曲过程中可能把凯夫拉线拉断，为此在设计的时候增加了一根备用线（红蓝中的一根），该备用线独立于使用的线，在卷曲的时候处于不受拉力的稍松弛状态（相对较长几毫米）。若正式使用的凯夫拉线被拉断之后，备用线可立刻被操作手直接调用，相当于有了一份绳断的保险。实际上，保险绳未被使用到过。

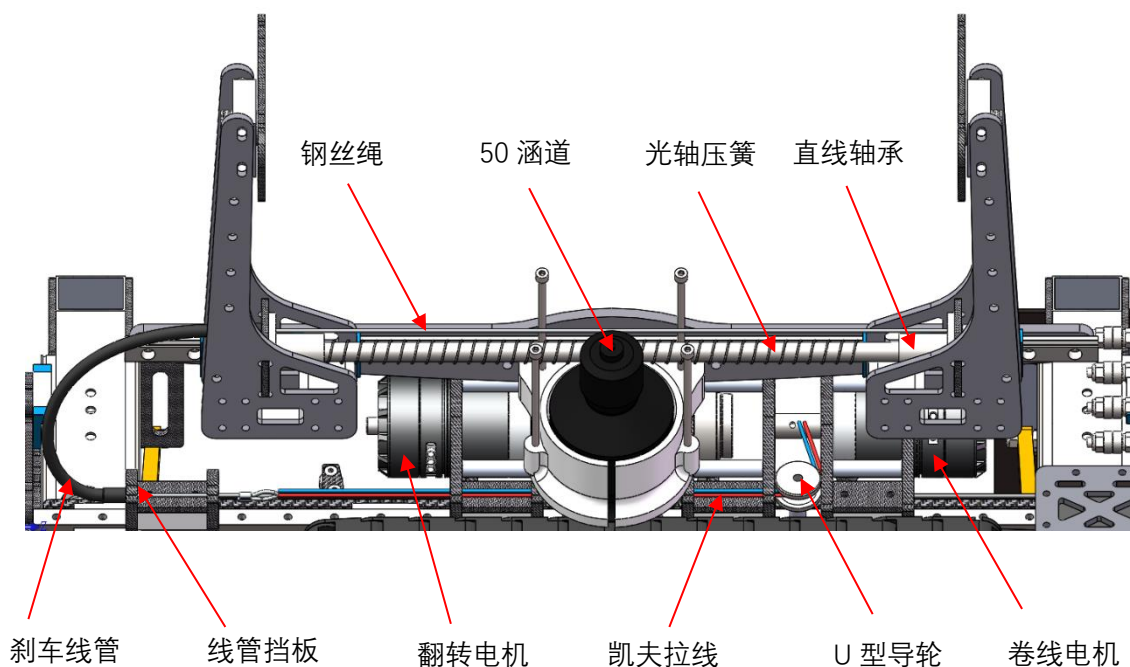


图 3.14 拉线机械夹爪结构组成图

夹爪上的 50 涵道电机也是全电工程上的一个特色之一。早在 2021 赛季，我队的工程已经开始使用该涵道电机来快速兑换矿石和反导反空接（夹爪往前吹矿石，往上吹飞镖），快速兑换矿石实测效果优异，矿石在兑换站识别到 RFID 之后松开爪子矿石就立刻能滑进收集箱。

涵道电机使用打印件包夹，再使用猴箍圈扣在打印件上夹紧，可牢靠的将涵道电机固定住。打印件支出的四根螺丝可防止夹取的矿石接触到高速旋转的涵道电机转子。

其它细节：夹爪上的抓手使用魔术贴的扣面粘贴，大大增加了抓取矿石的摩擦力。为防止卷线电机输出轴上的凯夫拉线脱出，在输出轴的端面上加了压紧盖。翻转电机只使用到了一个 3508 电机，能满足在凹槽内取矿的需求。夹爪间最短的距离为 300，给矿石对位留了充足的裕量。防止光轴脱出，使用限位环做了轴向定位。

3.4 正交自适应转矿机构

矿石掉落不正，或者反空接矿石落到地面时，工程机器人需要设计转矿机构来实现矿石换面以提高兑换成功率。2021 赛季哈尔滨工程大学创梦之翼战队使用左右两侧的滚筒实现了矿石的 roll 轴转动，上海交通大学云汉交龙战队在全国赛青工会上分享了工程机器人的正交滚轮转矿机构。受此启发，我们自行设计了适应矿石间距的正交转矿机构（图 3.15），并称之为正交自适应转矿机构。

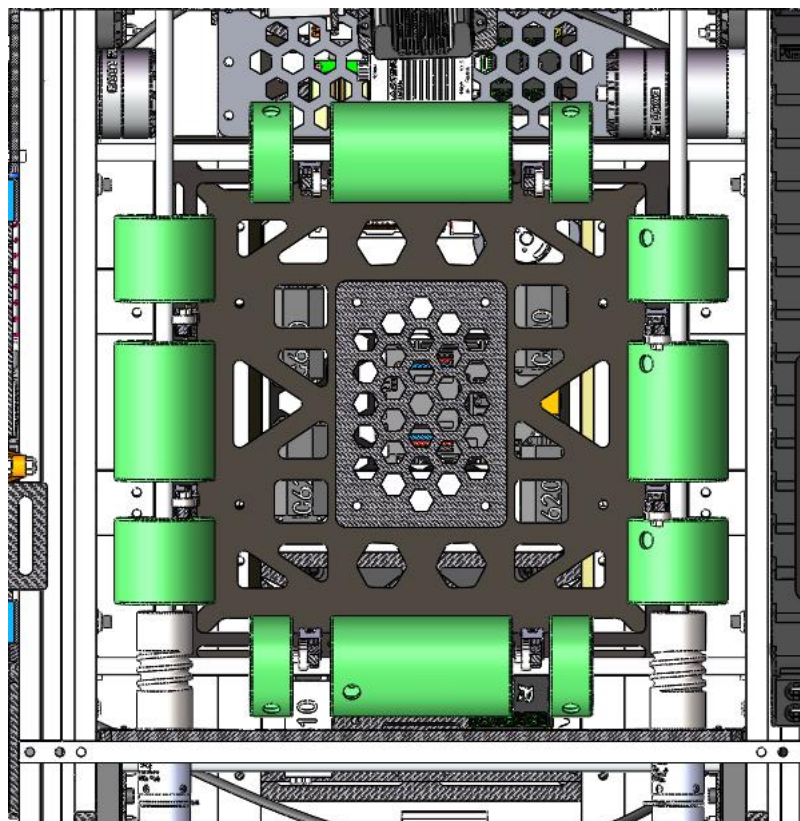


图 3.15 正交自适应转矿机构

为保证转矿机构不发生堵转，选取了两 3508 电机（前后）和两 2006 电机（左右）来提供转矿的输出。对侧转矿滚轮之间的最小间距为 194mm，略小于矿石的直径，为便于转矿机构的夹持和转矿，在装框机构设计了“悬挂”来适应矿石，如图 3.16 所示。其中左右两侧根据 2006 电机的峰值扭矩选用了合适的弹簧柔性联轴器，可提供偏心转矩，一个的偏心距可达 5mm。左右光轴的另一端（后侧），设有支承光轴的槽口，光轴可在槽口左右移动，再用劲度系数合适的皮筋将光轴往中间拉，以此来改变左右滚筒的中心距适应矿石。

前后只有单侧的适应机构，其原理是固定在后光轴上的齿轮边啮合边公转。当矿石进入滚筒中间时，光轴受压力影响向下偏移，大小齿轮在水平方向上的距离缩短并

适应矿石大小。当矿石离开时，拉簧给光轴向上的拉力使滚筒复位。另一边的齿轮啮合则是起到从动作用，该侧的 3508 电机通过带传动带动前方的滚筒旋转，不影响该侧的齿轮传动。图上的装配有点问题，应是将拆过的电机输出轴从外向里扣入齿轮中，不拧顶丝，两电机输出轴间用切掉杯头的 M5 螺丝连接，加螺纹胶。

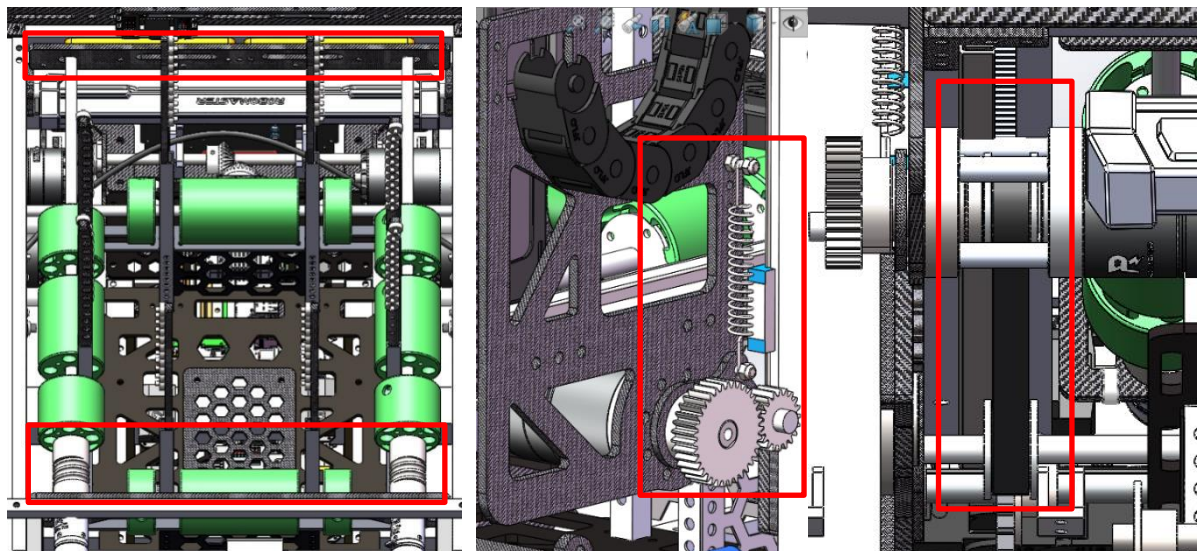


图 3.16 正交自适应转矿机构细节

转矿的滚筒均为自制的 3D 打印件，打印件打完后表面较为光滑，使用砂纸稍微打磨侧面可大大提高摩擦力。打印件里面可扣入法兰联轴器连接光轴，光轴和法兰联轴器连接面需磨一个小平面，防止顶丝打滑，用 M4 螺丝代替顶丝以防滑丝。

工程车设计之初目标是存两个矿，夹一个矿，能同时携带 3 个矿。因此就参考了上海交通大学云汉交龙战队在青工会分享工程的矿石限位方法。在矿石周围引出 8 根铝管，在铝管上加板连接轴承做矿石限位。该法能携带多携带一个矿石。但在实际测试过程中发现限位对装配的要求较高，机构卡上容易损坏；转矿时需抬到最高点旋转，取地面矿石也需要抬到最高点放入，从取矿到兑换的过程流程复杂。经研究规则综合考量，我们在实物工程上去掉了矿石限位，只携带两个矿石（完全满足全队经济所需），这样可减少取地面矿石的流程，同时能在行走的过程中在仓内完成转矿，还能避免机构卡坏的危险情况。

3.5 救援机构

3.5.1 拖拽救援机构

拖拽救援机构救援时要适配所有地面兵种（包括平衡步兵），要保证较大的裕量以实现快速抓取，在拖拽过程中推拉转弯不发生脱车，同时还要保证较高的强度。2022 全电工程的采用的是套框式救援机构（如图 3.17），该机构方案均满足上述要求。

该救援机构使用到了锥齿传动、连杆传动。2006 电机固定在工程机器人后装甲支撑架之上，使用锥齿驱动横向的光轴，带动摇杆在 pitch 轴方向旋转，连杆再推动摆杆（套框）旋转扣上待救援兵种保险杠上竖起的立柱实施拖拽救援。该救援机构中的 2006 电机只起到了收放救援套框的作用，扣上待救援机器人后，机构受力在工程机器人后保险杠之上。

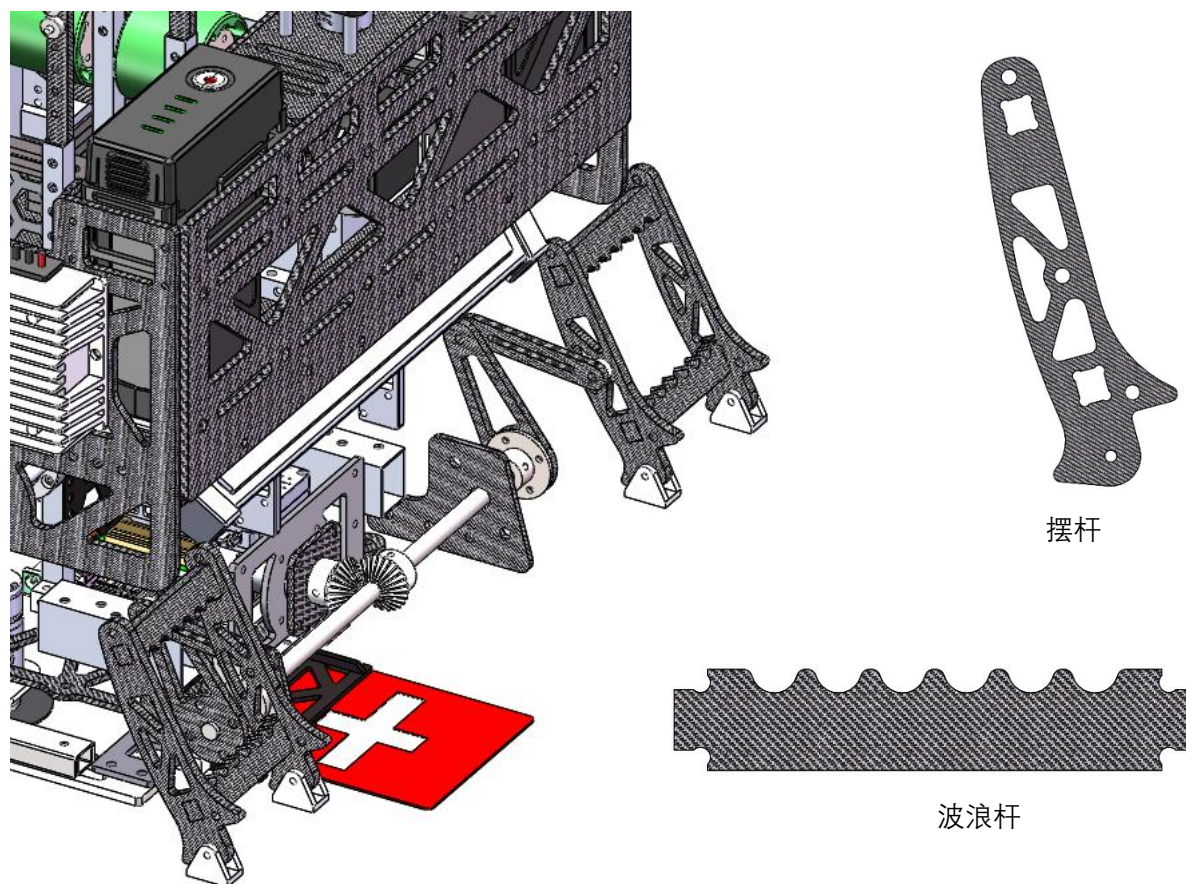


图 3.17 拖拽救援机构

设计细节：摆杆上设计有两块突起作为救援机构的限位。波浪杆上设计有直径略大于待救援机器人保险杠上的立柱，便于更稳定推拉，减少立柱滑动带来的冲击或者立柱脱扣的状况。

3.5.2 刷卡救援机构

刷卡救援机构是较为简单的齿轮齿条传动，向后伸出。传动的导轨使用的是宽17mm的抽屉导轨，其成本较为便宜，重量较轻，能满足刷卡救援的需求。救援卡依靠弹性形变的薄板夹持的方式携带，较为牢靠，拆装方便。整个机构简单稳定。

在设计时需注意离地高度，带救援机器人底盘高度等，在机构最低过渡处可加倒角或圆角，利于平稳过障。若将场地交互模块放置至其它区域，机构还可继续简化。

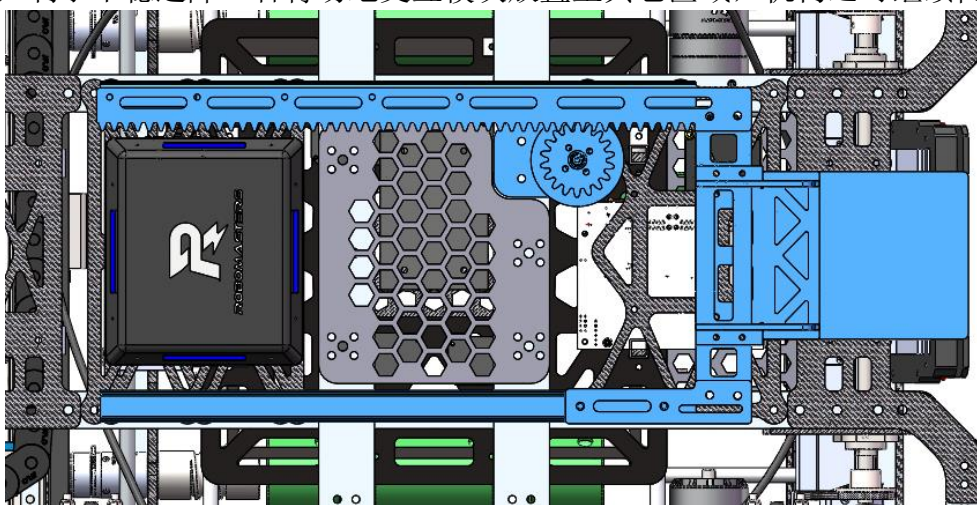


图 3.18 刷卡救援机构

3.6 障碍块搬运机构

障碍块搬运机构是该版工程机器人最后考虑的机构，障碍块较沉，为尽可能减小抬障碍块时的力臂，直接将电机挪到了前保险杠上，保证能轻易抬起。因直接收放搬运叉子会与横移机构干涉，所以在收放时抬升机构需要抬升一段小距离。

设计细节：叉子尖端易于对位叉到障碍块，旋转翻上后斜向右上角的小斜面变成水平面与障碍块接触，较为稳定。从铝柱中引出一根带螺母的长螺丝作为障碍块叉子的机械限位（图上为画出）。

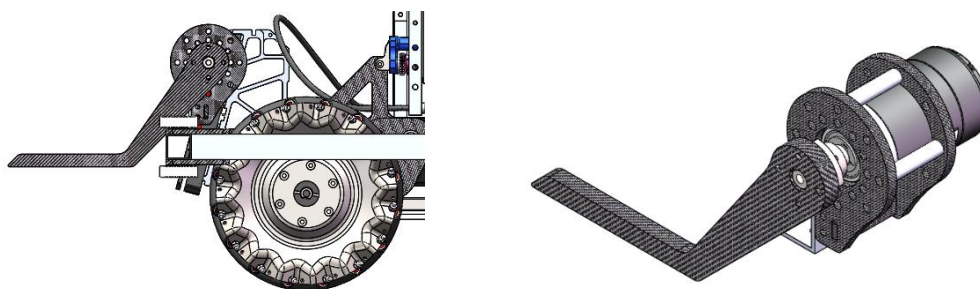


图 3.19 障碍块搬运机构

3.7 图传云台

图传视野就是操作手的视野，宽阔良好的视野能帮助操作手更稳定良好的发挥，提高取矿、兑换、救援、搬运障碍块的效率，同时还能察觉机器人当前的运行状态。

本赛季的工程机器人把图传云台当作一个重要的研究对象，要求其能直接看清矿石的位置以对位（包括地面矿石），直接观察矿石的翻面情况，直接看到拖拽救援和刷卡救援的情况等。因此在开始进行方案设计时，要求图传云台为两轴设计，在不超尺寸的情况下放置于最高处，显然二级抬升后端的最高处为最合适的地方。经实测，在该位置图传视野宽阔，能满足上述所有要求。

该图传云台 yaw 轴使用 2006 电机，响应较快，能在救援模式时“一键换头”，快速对位救援。云台 pitch 轴使用舵机，能上下俯仰观察车前车后的情况。

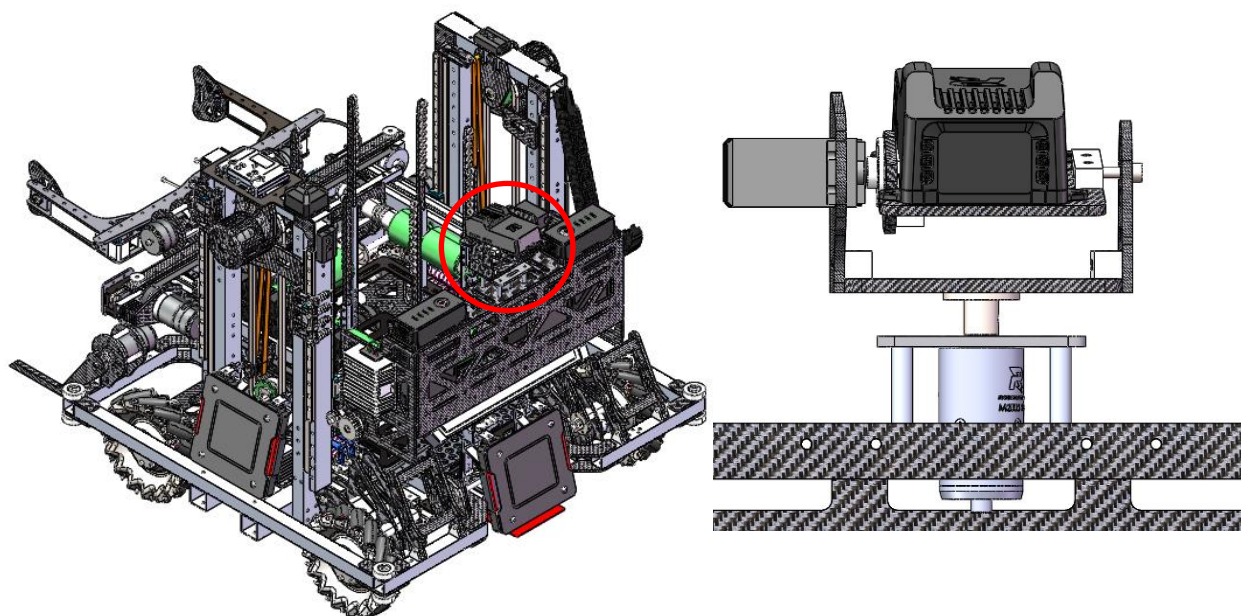


图 3.20 图传云台

第四章 补充与展望

4.1 补充说明

因学校开学后就直接封校封到了5月中旬，在宿舍和工作室打开通道后，该版工程机器人才开始匆忙加工组装调试，经实战测试全电工程表现稳定，基本满足了预期目标，但存在以下几个问题：

1. 二级抬升的刚度不足，加之选用的前移抽屉导轨存在间隙，造成横移机构在使用时变形和位移被放大，存在扭坏的风险，致使在实战中横移机构未被使用。
2. 在地面取小资源岛矿石对位要求较高，须距墙面一段距离取矿。抬升高度过于勉强，可适当在往上调一调。实际在环形高地上使用取地面矿石模式取小资源岛矿石效果良好。
3. 一级抬升的抽屉导轨在宽面法向上刚度不足，抬升时前倾变形较大，已使用加强结构加强（对角加紧），两种方案的加强结构如下图（图 4.1）所示。

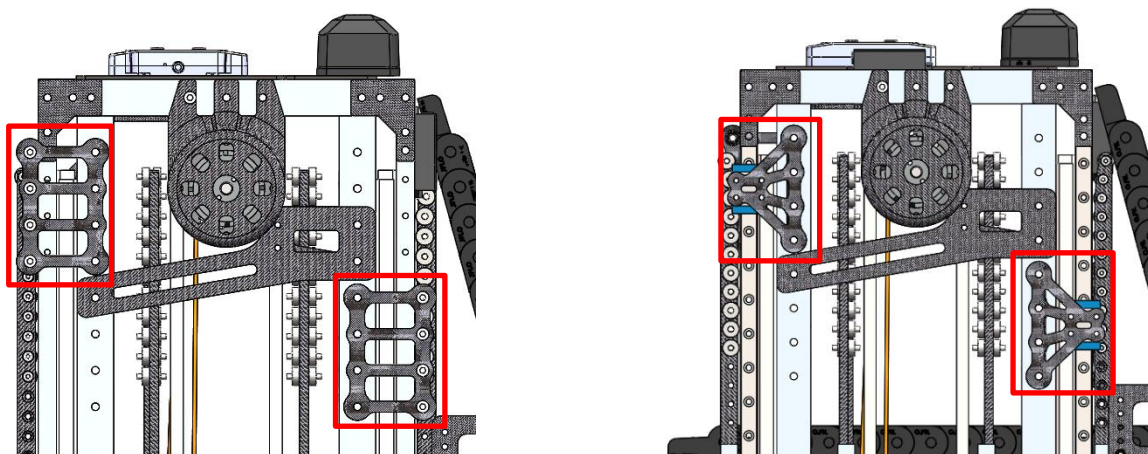


图 4.1 导轨加强结构

4.2 未来展望

吸盘，更刚，更高（抬升），更“骚”，加视觉，有碳。

致 谢

全电工程机器人设计之初，参考了部分队伍的开源分享及设计理念。在此，对以下队伍表示感谢：

1. 上海交通大学交龙战队-2021 年青工会技术答辩-工程机器人-横移、转矿机构
2. 哈尔滨工程大学创梦之翼战队-2021 年青工会技术答辩-工程机器人-转矿机构
3. 北京理工大学 DreamChaser 战队-2021 年青工会技术答辩-工程机器人-救援机构
4. 华北理工大学 Horizon 战队-2021 年工程机器人开源-工程机器人-抬升机构