

--西安交通大學--

RoboMaster2023-篤行戰隊

工程機器人技術報告



--2025/07/08 – JedAuditore—

篤行 2023 屆工程組成員

熊杰 廖锦程 夏天翊 易明璋 魏炳文

目录

目录.....	2
1 前言.....	3
2 项目背景.....	3
2.1 规则分析.....	4
2.2 相关工作.....	4
3 设计方案.....	4
3.1 机器人构型.....	4
3.2 可行性分析.....	5
3.2.1 构型可行性.....	5
3.2.2 兑换功能.....	5
3.2.3 获取矿石.....	8
3.3 其它要求.....	9
4 机械结构设计.....	11
4.1 多自由度机械臂.....	11
4.2 大行程平移机构.....	12
4.2.1 抬升机构.....	13
4.2.2 前伸机构.....	13
4.2.3 横移机构.....	14
4.3 矿仓.....	14
4.4 硬件和线路.....	15
5 总结.....	16
6 致谢.....	16

1 前言

本文介绍西安交通大学笃行战队在 RoboMaster 机甲大师赛 2023 赛季全国赛阶段的工程机器人机械结构设计。该工程机器人（后文简称工程或机器人）由 4 自由度机械臂、3 自由度平移机构和带有小云台的麦克纳姆轮底盘构成。工程能够使用机械臂末端的吸盘固连 200*200*200（mm*mm*mm）的方块状比赛道具“矿石”（后文简称矿石），并凭借平移机构将其快速放置到机器人体内的矿仓中。在兑换矿石阶段，机器人能够使用 4 自由度机械臂对矿石姿态作出灵活调整，并依靠平移机构将其送入兑换框。在机器人操作期间，矿仓的设计使矿石能够被快速储存。小云台设计使得在执行任务和运动时操作者有良好的视野。该机器人在比赛期间表现优异，多次获得 MVP，帮助队伍打入全国十六强。

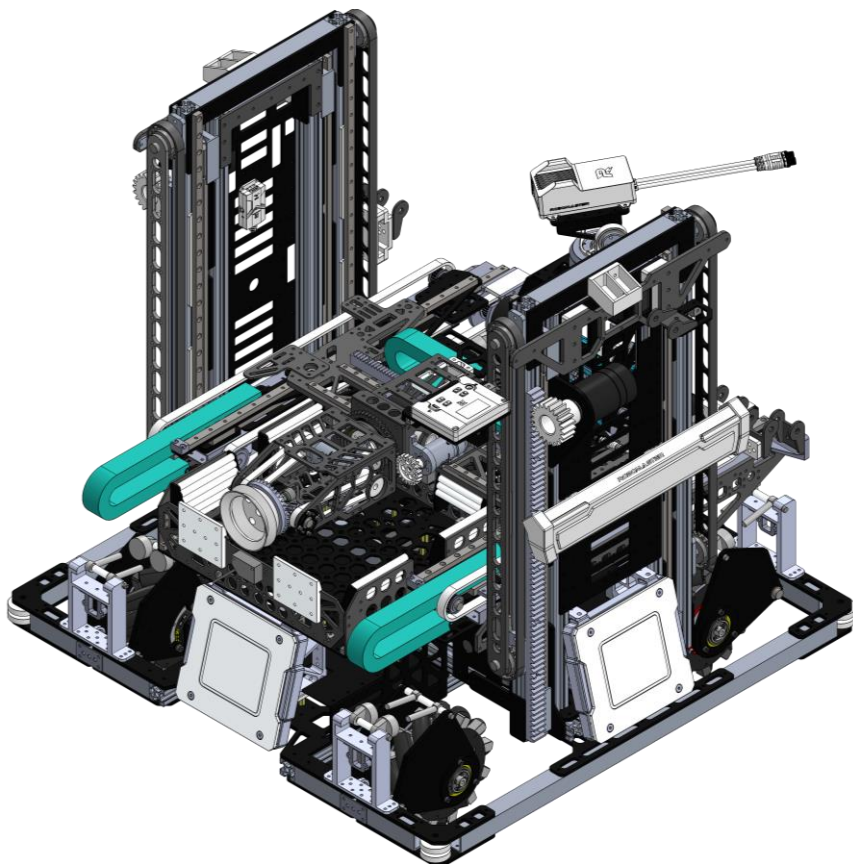


图 1-1 西安交通大学 2023 赛季全国赛阶段工程机器人

2 项目背景

全国大学生机器人大赛 RoboMaster 机甲大师超级对抗赛（RMUC, RoboMaster University Championship），侧重考察参赛队员对理工学科的综合应用与工程实践能力，充分融合了“机器视觉”、“嵌入式系统设计”、“机械工程”、“自主导航”、“人机交互”等众多机器人相关技术学科，同时创新性地将流行呈现方式与机器人竞技相结合，使机器人对抗更加直观激烈，吸引了众多的科技爱好者和社会公众的广泛关注。

对战双方需自主研发不同种类和功能的机器人，在指定的比赛场地内进行战术对抗，通过操控机器人发射弹丸攻击对方机器人和基地。比赛结束时，基地剩余血量高的一方获得比赛胜利。

在超级对抗赛中，工程机器人的作用是搬运矿石，并将其以特定的姿态置于兑换框内完

成兑换，从而为队伍获取经济。工程机器人是一台具有搬运矿石道具和将矿石进行复杂姿态兑换能力，第一视角遥控操作的运输机器人。

2.1 规则分析

表 2-1 简要概括了 23 赛季相比 22 赛季在对抗赛规则和机器人制作规范中与工程机器人有关的改动：

表 2-1 23 赛季对比 22 赛季工程机器人相关规则改动

改动内容	RM2022（分区赛）	RM2023
矿石兑换	将矿石条形码朝下推入固定的兑换口	将矿石条形码朝下放入位置随机的兑换框，需要能够调整矿石 6 个自由度的姿态
大资源岛矿石获取	资源岛上的矿石姿态稳定	大资源岛的五个矿石中三个姿态随机，两个姿态较稳定
救援机构	使用 RFID 与机器人交互	无救援功能
工程机制	工程机器人生命值较高	生命值降低，但在特定阶段有防御加成
控制方式	遥控、键鼠	遥控、键鼠、自定义控制器

其中对于机器人结构设计影响最大的改动是矿石的多自由度兑换以及救援功能的取消。这两者导致参赛队对一台优秀的工程的要求从“获取矿石、兑换和救援队友”变成了“获取矿石和进行复杂兑换”，在取消救援机构的同时又要求机器人增加能够对矿石姿态进行多自由度调整到机构。

2.2 相关工作

在分区赛阶段，很多队伍的工程机器人就展现出来优秀的兑换能力。华南理工大学和东北大学都采用了额外的取矿机构加多自由度机械臂的方案。额外的取矿机构使机器人能够一次获取多个矿石并直接进行存储，多自由度机械臂配合平移机构用于兑换。这种设计大大提升了采矿效率，有效保证了矿石获取速度占有优势，同时也增加了机构复杂度，使稳定性、重心和轻量化面临挑战。深圳大学采用和华南理工大学相似的多自由度机械臂加平移机构方案，直接依靠机械臂进行矿石的获取和兑换。这种设计更加简洁，在兑换矿石时给予机构更大的活动空间，有效提升了兑换性能。同时更加灵活的机械臂在获取矿石时效率也有提高。上海交通大学采用了 7 自由度机械臂的设计，车身更加简洁。7 自由度机械臂能够灵活完成取矿和兑换的任务，在与自定义控制器的适配上也提供了便利，使得机器人总体性能优秀。西安交通大学在分区赛阶段的工程机器人采用了 4 自由度机械臂加平移机构的方案。由于对机械臂布置不够合理，导致获取矿石和兑换过程不够流畅，在分区赛没有很亮眼的发挥。

3 设计方案

为解决西安交大工程在分区赛阶段存在的因机械臂设计不合理造成的取矿过程效率低、兑换过程中机器人变形范围不够大导致需要持续调整机器人姿态的问题，我们在自己队伍 22 赛季工程的基础上设计了一种新的 4 自由度机械臂加大行程平移机构的工程机器人。

3.1 机器人构型

项目采用 4 自由度机械臂加大行程平移机构的方案。其中 4 自由度机械臂参考深圳大学和华南理工大学工程小机械臂的设计在末端使用了差速器结构。大行程平移机构的抬升部分来自西安交大 22 赛季的工程，在此基础上增加了长行程前伸机构和机械臂横移机构。底盘部分同样来自 22 赛季的工程，在其基础上重新设计了存矿机构、移除救援机构和添加了一

个用于传回第一视角画面的小云台。

工程由四个部分组成：带有矿仓和小云台的麦克纳姆轮底盘、抬升机构、前伸和机械臂横移机构和 4 自由度机械臂。

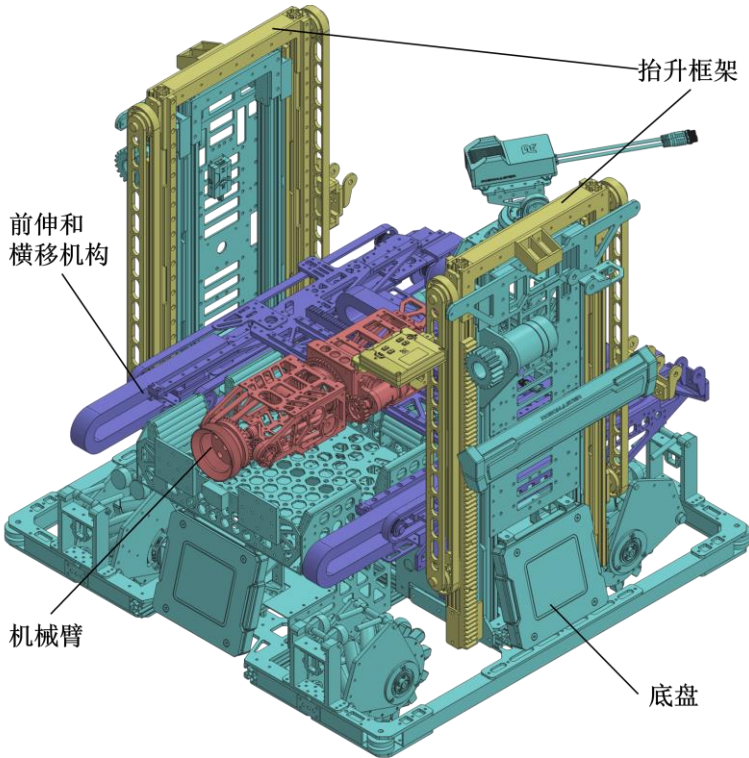


图 3-1 工程机器人构型示意图。

3.2 可行性分析

由于该工程改自本队 22 赛季的工程机器人，因此未做调整的部分：吸盘气动系统、麦克纳姆轮底盘、小云台的设计已经经过赛场充分验证。可行性分析主要针对新结构。

3.2.1 构型可行性

在构思构型阶段，我们希望机器人首先保证兑换效率，其次保证获取矿石的速度。在兑换效率方面，对抗赛中最高等级的兑换难度要求机器人能够调整矿石 rx 、 ry 、 rz 的姿态。我们要求机器人能够实现这一功能。机器人的 4 自由度机械臂能够调整矿石的 3 个选择自由度，大行程平移机构保证机器人能够在调整好矿石姿态后将矿石送入兑换框。我们考虑到这一过程需要操作手对矿石和兑换框有较为清晰的视野，因此设计了架在底盘后方的独立小云台。除了兑换速度快，我们同样对取矿的效率有较高要求。我们通过简化机器人在取矿过程中的运动和控制流程来达成这一目标。

3.2.2 兑换功能

赛事规则文件说明了兑换过程中兑换点的状态，如图 3-2 所示。要让机器人能够顺利完成兑换，其在兑换矿石时的工作空间必须至少覆盖五级兑换难度的范围。将图 3-2 (a) 中的图 5-9 表示的坐标原点与图 3-3 表示的机器人坐标原点重合，并将图 3-2 (a) 中的图 5-9 表示的兑换框坐标系原点与机械臂吸盘的坐标原点重合，则工程的机械臂末端所需达到的工作空间如表 3-1 所示。

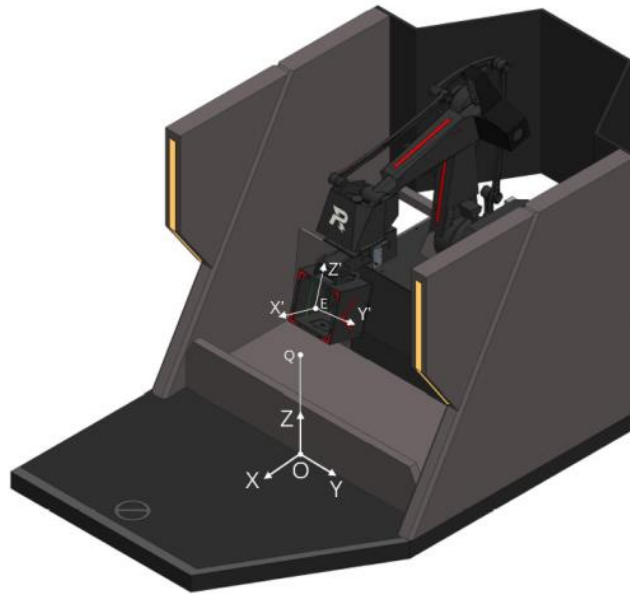
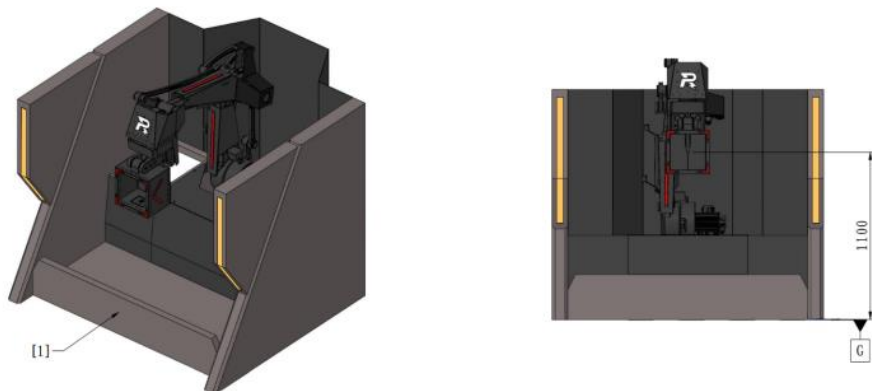


图 5-9 兑换站坐标示意图



[1] 兑换站前挡板

图 5-10 兑换槽初始位置示意图

兑换槽位姿范围满足以下条件：

- ① $x=-300, y=0, z=720$ 或 $x^2+y^2+(z-600)^2\leq 300^2$ ($-270\leq x\leq 0, -255\leq y\leq 255, 720\leq z\leq 900$) ;
- ② $\theta \in [0, 60], \Phi \in [-45, 45], \psi \in [-90, 90]$, 当 $\overrightarrow{EX'} \cdot \overrightarrow{OZ} > 0$ 时, 约定此时的 θ 为正值; 当 $\overrightarrow{EY'} \cdot \overrightarrow{OZ} > 0$ 时, 约定此时的 Φ 为正值; 当 $\overrightarrow{EX'} \cdot \overrightarrow{OY} > 0$ 时, 约定此时的 ψ 为正值。
- ③ Q 点的坐标为 $(0, 0, 600)$, $\angle \vec{e}, \overrightarrow{EQ} \in [0, 90]$;
- ④ 兑换槽任意结构不会超出兑换站底座正面所在平面;
- ⑤ 兑换槽位姿与难度等级相关, 具体关系如下:

表 5-11 不同难度等级的兑换槽位姿取值范围

难度等级	x	y	z	θ	Φ	ψ
一级	-300	0	720	0	0	0
二级	-200	[-185,185]	720	0	0	0
三级	[-270, 0]	[-255, 255]	[720, 900]	0	0	0
四级	[-270, 0]	[-255, 255]	[720, 900]	[0, 60]	[-45, 45]	0
五级	[-270, 0]	[-255, 255]	[720, 900]	[0, 60]	[-45, 45]	[-90,90]

每局红蓝双方兑换槽在同一难度等级下, 位姿变化情况相同。

(b)

图 3-2 兑换点机制 (取自 RoboMaster 2023 机甲大师超级对抗赛比赛规则手册 V2.0 (20230704)》)

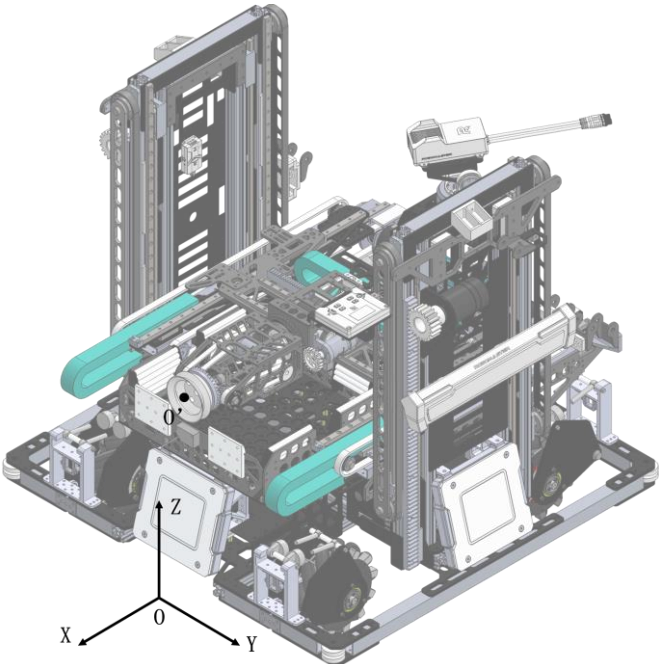


图 3-3 机器人和机械臂末端坐标系

表 3-1 机械臂末端取值范围

自由度	x/mm	y/mm	z/mm	ϕ	θ	ψ
取值范围	[-200, 270]	[-455, 455]	[720, 1100]	[-45, 45]	[0, 60]	[-90, 90]

这里我们注意到理论上要求的吸盘工作最大高度为 1100mm, 但其实如图 3-7, 工程的最大高度伸展尺寸仅为 1000mm, 因此我们按照 1000mm 来进行设计。同时对于 x 和 y 方向的工作空间, 机器人可以移动底盘来进行适应, 因此也不作为重点参考。三个旋转轴的角度对于机械臂的设计非常重要, 因此作为机械臂设计的指标。

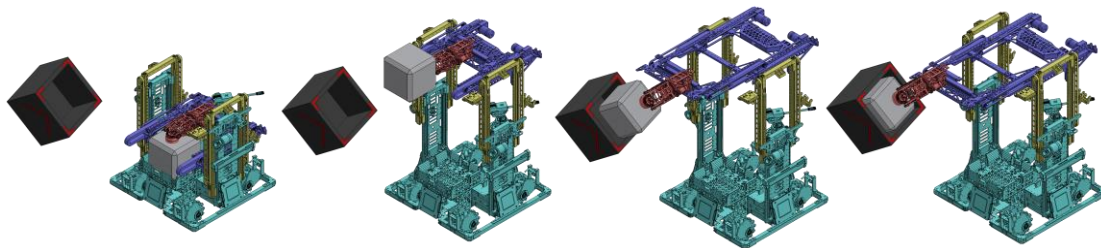


图 3-4 兑换矿石

为了便于机器人兑换矿石,我们希望机器人在调整好矿石姿态后能够完全依靠平移机构来将矿石推入兑换框,而不是移动底盘。因此要求机器人的横移机构最小行程 l_y 不小于矿石边长,即:

$$l_y \geq 200 \text{ (mm)}$$

3.2.3 获取矿石

获取矿石分为接取大资源岛掉落的矿石,从大资源岛获取已掉落的矿石和获取小资源岛的矿石。其中大资源岛 1、3、5 号位掉落的矿石姿态不确定性高,因此对这三个矿石采用在掉落时接取的方式获取。2、4 号位掉落的矿石姿态相对稳定,与小资源岛情况类似,因此这里只介绍接取矿石和获取大资源岛矿石两个功能。

3.2.3.1 接取下落的矿石

在比赛开始后 30s, 3 号位矿石下落,再经过 15s, 1 号和 5 号矿石下落。机器人需要在接住 3 号矿石后快速储存并做好接住下一个矿石的准备。设真空吸盘吸附力 $W(N)$ 可根据气动系统参数计算:

$$W = C \times P \times 0.1 \times f$$

其中, C 为吸盘面积(cm^2), P 为真空压力($-\text{kp}$), f 为安全系数,水平悬挂时在 0.25 以上,垂直悬挂时在 0.125 以上。在接取矿石时工况更加极限,设定 $f = 0.1$ 。使用负压阀测得吸附时负压 $P = 74(-\text{kp})$ 。在设计允许的范围内,吸盘应选用更大的直径。结合其它功能进行空间分配,我们最终选用 ZP63HBN/S 丁腈橡胶吸盘。最终计算得 $W = 23.07(N)$ 。

这种吸力在理论上足够接住掉落的矿石并完成吸附。虽然理论数值上没有上一版的双吸盘设计更加优秀,但这里我们参考了深圳大学的比赛结果,他们用这个吸盘以及负压和流量更小的气路完成了接取矿石的功能,因此我们相信这样的设计也是可行的。

如图 3-5,为了接取矿石可行,我们需要机器人尽量伸长和抬高末端吸盘。这同样决定了我们采用 4 自由度机械臂+大行程平移机构的方案,而放弃使用一整个 6 自由度或 7 自由度机械臂。因为在现有的检录规则对伸展尺寸的要求下,整个大机械臂的设计很难到达这一最高最远的位置。大行程机构由于 xyz 三轴的自由度解耦,可以很容易做到这一点。

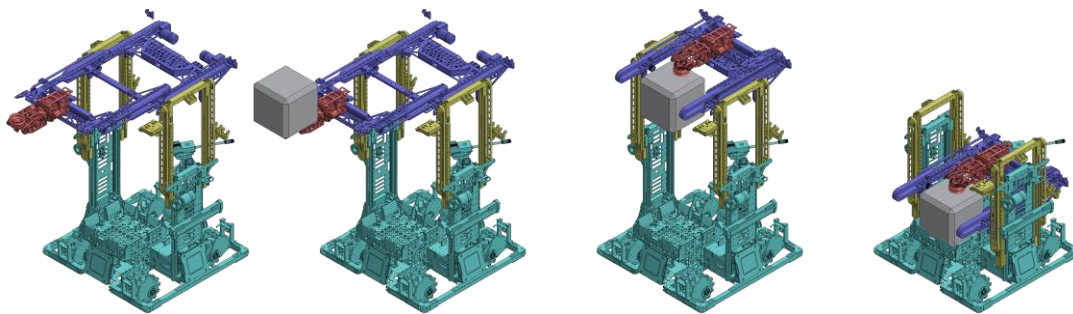


图 3-5 接取掉落的矿石

工程的最大变形高度 H_{max} 为 1000mm。由于我们需要考虑到机械臂要能捡起意外散落在地面的矿石,机械臂末端吸盘的工作面需要能达到距离地面 $H_k \leq 200\text{mm}$ 的高度。吸盘的

机构的旋转半径应尽量小。在初期设计中，吸盘机构的旋转半径最小可以被压缩到 $d_1 = 55\text{mm}$ ，吸盘表面距离旋转轴的距离为 $d_2 = 43\text{mm}$ 。因此在不考虑其它机构的情况下，要求抬升机构的行程 l_z 为：

$$l_z = H_{\max} - H_k - d_1 - d_2 = 702 \text{ (mm)}。$$

3.2.3.2 获取大资源岛 2 号、4 号矿石

我们需要机器人能够快速从大资源岛获取下落后姿态稳定的 2 号和 4 号矿石。要达到这一点，机器人必须能快速地在资源岛处定位，并使用一套相对固定而简洁的流程完成任务。如图 3-6，我们设计机器人在取矿时只需紧贴场地进行横移，与矿石交互时只需要控制机械臂的平移和吸盘开关来完成取矿动作。这一设计避免了我们以往遇到的机器人需要耗费时间用测距传感器对准资源岛和收集矿石逻辑复杂、浪费时间的问题。提高了取矿效率，且依靠机械结构设计降低了取矿过程中的控制复杂度。同样地，我们将这一设计应用在了相似的获取小资源岛矿石的流程中。

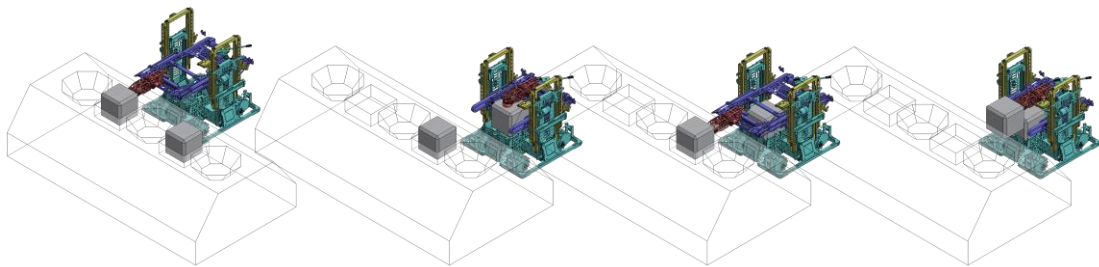


图 3-6 获取大资源岛 2 号 4 号矿石的步骤

在这一过程中，矿石需要被放置在机器人前端的矿仓内。已经尽量将矿仓靠前设置来减小对于前伸机构行程的要求。由于制作规范的限制，矿仓中心最后被设置在距离机器人前端 165mm 的位置。矿石在大资源岛的凹槽内向上突出 100mm，假设理想的吸附矿石位置在距离矿石顶面 50mm。矿石边长 a 为 200mm。则吸盘在回收时需要至少能够距离最前端 l_{x1} ：

$$l_{x1} = 165 - \left(\frac{a}{2} - 50\right) = 115 \text{ (mm)}$$

结合 3.2.3.1 提到吸盘应被伸出机器人体外尽量长的距离，工程被允许的最大伸出长度 $L_{\max}$ 为 500mm，因此前伸机构的最小行程 l_x 为：

$$l_x = L_{\max} - d_1 + l_{x1} = 560 \text{ (mm)}$$

则要求前伸机构的最小行程为 460mm，且回收状态下离机器人最前端距离应大于 l_{x1} 。

3.3 其它要求

除 3.2 中描述的一些设计指标，我们对机器人的结构设计还有一些其它要求：

- 硬件和电气线路布置稳定可靠，方便维修
- 机器人结构稳定性好，不易失效
- 外置一些调试接口，方便插拔
- 更换电池方便
- 搬运、手动操作机器人方便
- 模块化设计，方便分工
- 结构尽量简洁，易于加工装配，节省开销
- 轻量化
- 外型美观

《RoboMaster 2023 机甲大师赛高校系列赛机器人制作规范手册 V2.0 (20230704)》对所有参赛机器人提出了制作要求。除通用的机器人要求外，对工程机器人的特殊要求如图 3-7。

工程机器人制作参数如下所示：

表 2-5 工程机器人制作参数说明

项目	限制	备注
运行方式	不限，最多配置一个遥控器和一个自定义控制器	-
最大供电总容量（Wh）	265	-
最大供电电压（V）	30	-
矿石抓取机构	- 任何能够在大资源岛接触到矿石的机构都被视为矿石抓取机构 - 不可使用粘黏性材料 - 矿石抓取机构向前伸出时，超出机体部分尺寸不得超过 500mm，且不得超过大资源岛中线 - 矿石抓取机构在获取、兑换矿石时不得对矿石产生明显的痕迹或破坏	-
发射机构	不允许安装发射机构	-
最大重量（kg）	35	包含电池重量，但不包含裁判系统重量
最大初始尺寸（mm, L*W*H）	600*600*600	在地面的正投影不得超出 600*600 方形区域
最大伸展尺寸（mm, L*W*H）	1200*1200*1000	- 在地面的正投影不得超出 1200*1200 方形区域 - 工程机器人所有机构在变形过程中均不可超出其规定的最大伸展尺寸
裁判系统	小装甲模块	重量为 3.04kg

项目	限制	备注
	- 相机图传模块（发送端） - 场地交互模块 - 定位模块 - 主控模块 - 电源管理模块 - 灯条模块	

图 3-7 工程机器人参数要求

4 机械结构设计

4.1 多自由度机械臂

由于在矿石兑换时要求调整矿石 3 个自由度的姿态，并且要求特定的条形码面朝下，我们在最少需要设计 3 自由度机械臂的情况下设计了 4 自由度机械臂。如图 4-1，除了调整矿石姿态必须的关节 2、3、4 外，额外增加了关节 1。这样做的目的是在将矿石从矿仓中取出时能够选择吸附侧面或者吸附顶面，如图 4-2，从而保证矿石能够以正确姿态被兑换。除此之外机械臂的关节 1 保持 180° ，使得连杆 1 和连杆 2 处于轴线平行的状态。在兑换时，使用关节 2、3、4 调整矿石姿态。

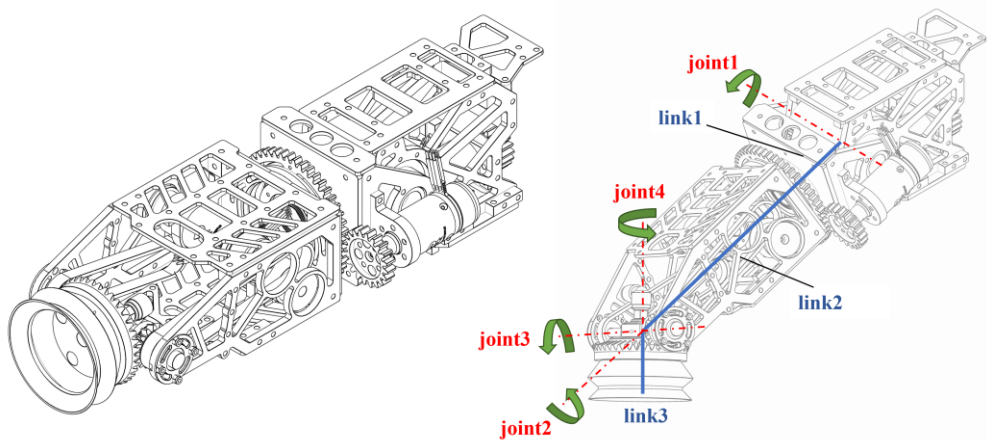


图 4-1 机械臂结构示意图

机械臂末端采用了 joint2、joint3、joint4 两两相交的球形腕设计。这种设计实现了末端执行器姿态和位置的解耦，使得正逆运动学解算更加容易，奇异点更便于管理。同时更加直观、控制器设计更加简单，这为我们后续操作手练习兑换和设计控制器提供了便利。该球腕的三个旋转关节为 yaw-pitch-roll。该机械臂球腕的三个关节限位角度如表 4-1。

表 4-1 机械臂球腕角度范围

旋转轴	Yaw	Pitch	Roll
限位范围	$[0, 30] \cup [35, 360]$	$[0, 100] \cup [263, 360]$	无限制

除 yaw 轴的一部分角度因限位原因无法到达，机械臂的工作范围几乎覆盖整个半球。满足兑换角度 $\phi \in [-45, 45]$ ， $\theta \in [0, 60]$ ， $\psi \in [-90, 90]$ 的需求。

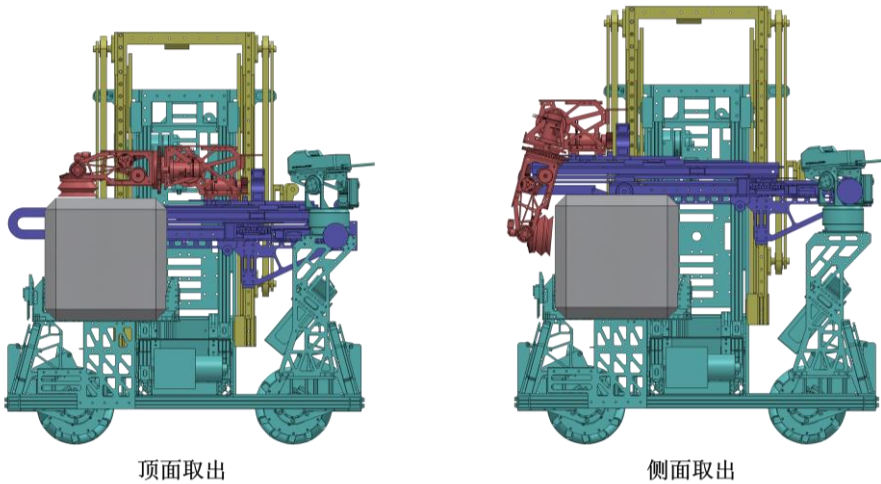


图 4-2 两种取出矿石方式：从顶面取出和从侧面取出

图 4-3 展示了机器人内部轴系剖面图和内部结构。其中关节 1 由 DM4310 电机直接驱动。关节 2 由侧置的 M2006 电机通过 20:50 的直齿轮传动进行驱动。这样设计给关节中心留出了直径 28mm 的通孔用于连接电气线路。这样设计的缺陷是 M2006 电机没有绝对值式的编码器，在启动时需要将关节 2 转到限位处复位；同时 M2006 电机有明显的背隙，由于背隙在可接受的范围内，这一版机器人的背隙问题仅靠控制上的补偿进行优化。在下一版设计中，我们采用空心的关节电机加电滑环，气路绕行的方案来解决这个问题。

在吸盘机构的设计上，我们参考深圳大学和华南理工大学在 23 赛季分区赛工程机器人的末端设计，采用三个锥齿轮组成差速器结构用于驱动吸盘。两侧轴上的锥齿轮分别使用 M2006 电机驱动的同步带进行传动。这种设计将两个旋转轴紧凑地结合到一起。在吸盘轴上采用了旋转气动接头，能够实现 joint4 的无限制旋转。这个设计不仅提升了性能，也为控制提供便利。

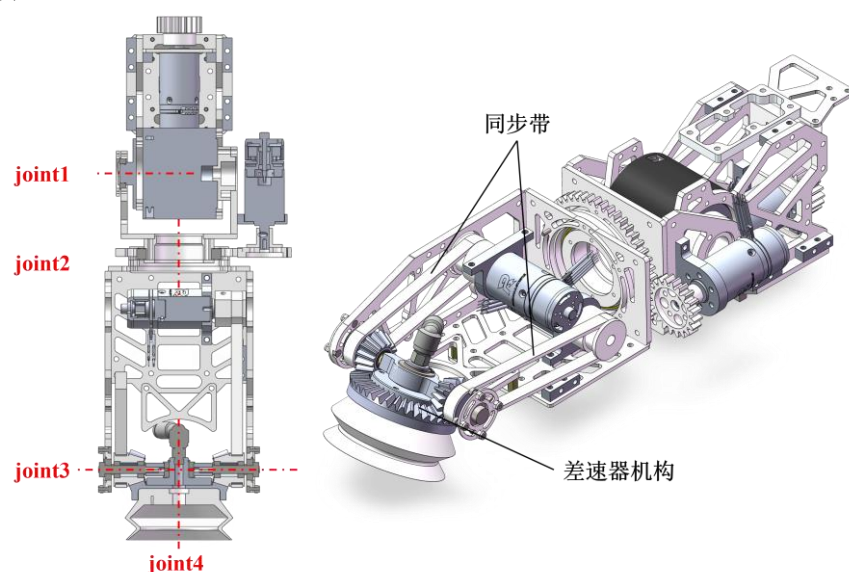


图 4-3 (a)机械臂轴系剖面图；(b)机械臂内部结构

4.2 大行程平移机构

大行程平移机构能使机械臂进行 xyz 三自由度的平移。如图 4-4，该机构在结构组成上包括固定于底盘上的导轨、抬升框架、前伸机构和横移机构。

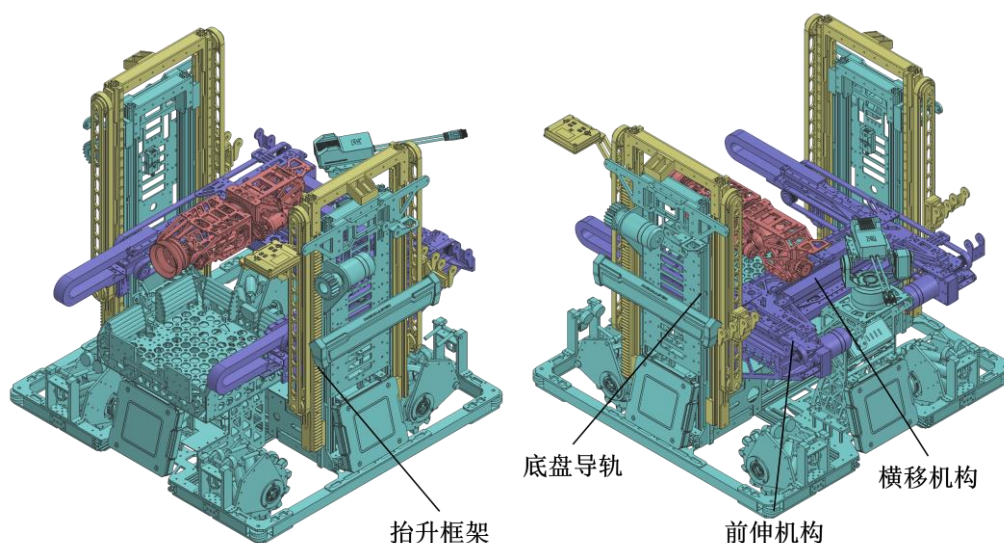


图 4-4 大行程平移机构构成

4.2.1 抬升机构

由于机器人对抬升行程的要求较高，在初始尺寸受限的情况下，设计行程倍增机构来增大抬升机构的行程。如图 4-5，抬升框架通过一级滑轨滑块安装在底盘上，前伸框架的侧板通过二级滑块与抬升框架上的二级滑轨连接。在抬升框架上安装从动的链条和链轮，链条一端固定在底盘上的链条固定点 1，另一端固定在前伸机构侧板上的链条固定点 2。当抬升电机通过齿轮齿条机构抬升二级框架时，链条从动地抬升前伸机构侧板，移动与二级框架相同的距离。由此实现前伸框架抬升的绝对高度为二级框架的 2 倍，实现在紧凑空间内的大行程抬升。

在抬升框架和底盘框架通过对装的一对滑轨滑块连接。这种布置能够良好地保证滑轨滑块机构的强度，避免在滑块运动到滑轨远端时出现的弯曲现象。

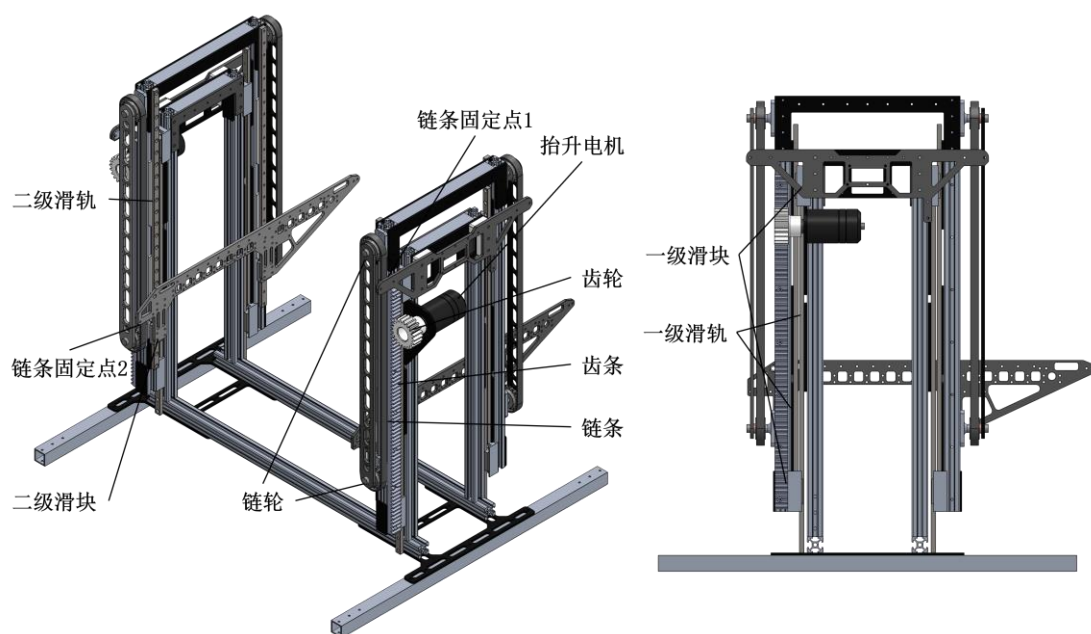


图 4-5 抬升机构

4.2.2 前伸机构

如图 4-6，为了实现大行程的前伸，在前伸机构上同样使用了与抬升机构相同原理的行程倍增机构。前伸机构的三级框架间均采用同步带连接。电机通过同步带驱动二级框架，固定在二级框架上的同步带从动地带动三级框架进行运动。在一二级框架间同样采用对装滑轨滑块的设计，保证在大行程伸展和完全收缩时的稳定性。

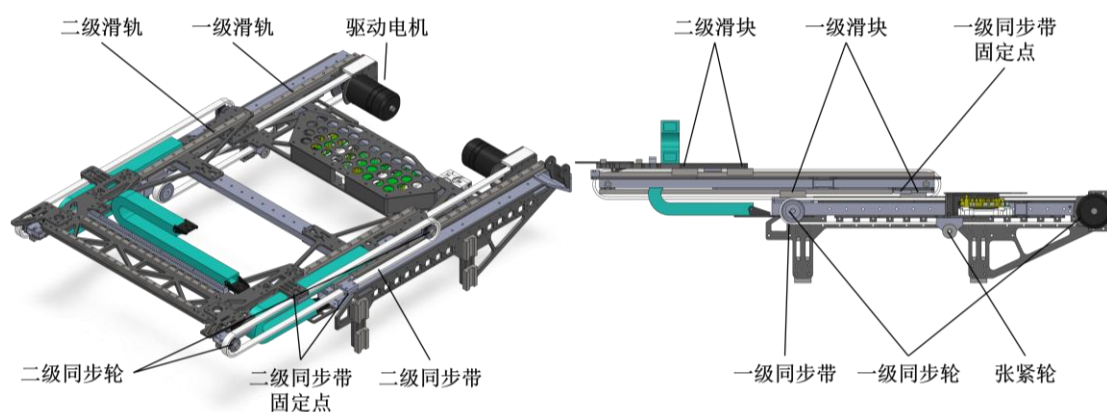


图 4-6 前伸机构

4.2.3 横移机构

如图 4-7，横移机构采用齿轮齿条机构。相比于其它横移机构，这种设计最能合理利用前端有限的空间。机械臂通过滑块与安装在前伸机构上的两条滑轨连接，并通过齿轮齿条机构进行横移。齿轮由安装在机械臂关节 1 内的 M2006 电机驱动，在上电时先运动到一侧进行复位。由于 M2006 电机的背隙问题，横移机构存在 1~2mm 左右的晃动。鉴于晃动量较小，并没有对机器人的工程产生过大影响。在考虑改进方案时，我们考虑加入弹簧作为张紧或使用双 M2006 电机进行驱动。

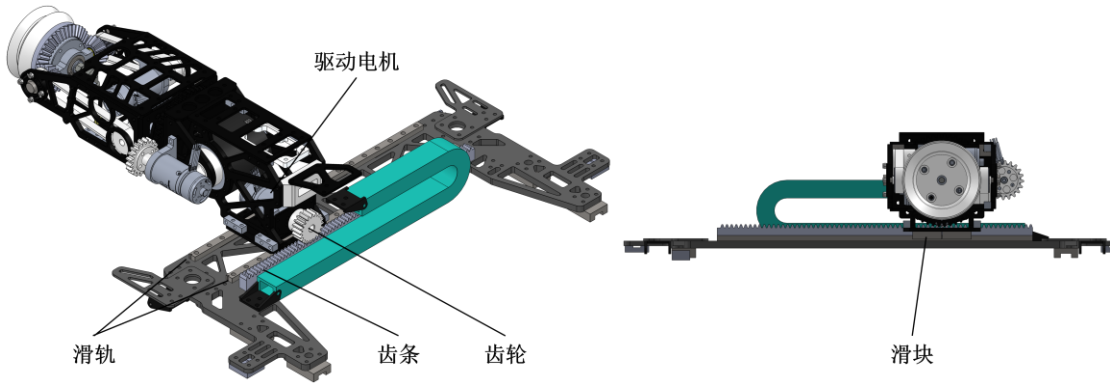


图 4-7 横移机构

大行程平移机构的设计行程如表 4-2，满足对平移机构行程的需求。多余的行程由限位结构进行限制。

表 4-2 平移机构行程

	l_x	l_y	l_z
行程要求	560	200	702
设计行程	590	215	740

4.3 矿仓

如图 3-9，矿仓为机器人携带矿石的结构，放置于底盘中央靠前位置。为了提高将矿石放入矿仓时的成功率，矿仓四周被设置了带有尼龙柱的斜面。这种结构使得矿石能够在偏差更大的情况下被放入，提高了储存的容错率。同时在矿仓四周设置了光电开关。光电开关会检测竖直方向上的遮挡情况。在放置矿石过程中若光电开关显示无遮挡，则认为矿石正在被以正确的姿态放入。若光电开关有遮挡，则表示矿石没有被以正确的 yaw 轴姿态放入，机械臂会自动调整矿石姿态，直到其被判断为姿态正确或手动强制放入。

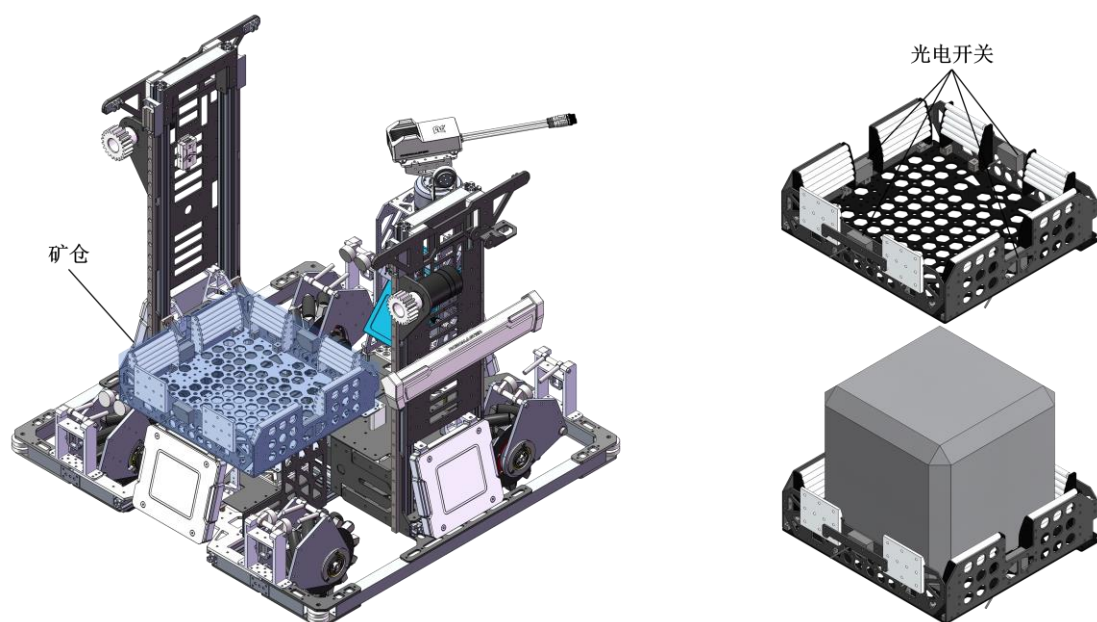


图 4-8 矿仓

4.4 硬件和线路

如图 4-9，控制板和转接板等硬件集中分布于两处硬件布置区。底盘和云台的通信线路通从底盘控制板引出，经过转接板后从拖链引至云台硬件布置区的转接板，再由转接板接到云台控制板上。云台布置区到机械臂的线路通过两段拖链结构进入机械臂。整机无外挂线缆。

这种布置方式便于集中检查硬件线路问题，同时使硬件都处于完全被保护的安全位置。两个硬件布置区上的保护壳均为快拆结构，在出现问题时能够第一时间进行检修。

电池被放置于机器人端，在替换时打开合页挡板后可以便携地更换，提高检修效率。

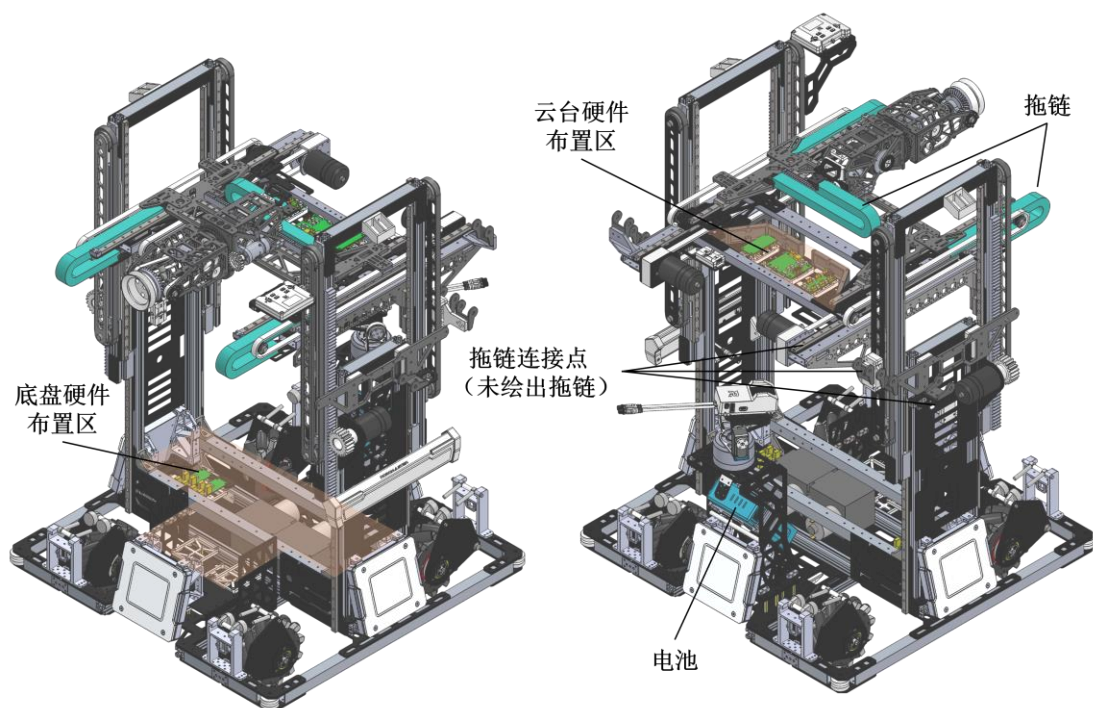


图 4-9 硬件和线路布置

5 总结

该项目设计了一款以 4 自由度机械臂和大行程平移机构为核心的工程机器人。该机器人完成了各项设计指标。最终机器人部分参数如表 5-1:

表 5-1 机器人各项参数

重量	35.4kg (含裁判系统)
初始尺寸 (L*W*H)	590mm*595mm*597mm
最大伸展尺寸 (L*W*H)	1114mm*595mm*994mm
最大气路负压	-73kp
吸附时间	约 0.3s
气泵工作时长	≥20min
最大携带矿石数量	2
控制方式	遥控器/键鼠/自定义控制器

这台工程机器人很好地完成了我们对于这个构型的期待,即在完成复杂任务的同时,为 RM 赛场这一特殊环境的特殊任务定制高效的解决方案。从现在的视角来看,这个构型在当时表现很优秀,但总体还是需要向 7 自由度机器臂发展。

在机械臂的设计中,采用了球碗关节末端加一个 pitch 自由度的设计,且 joint1 的 pitch 自由度在执行从侧面取出矿石这一任务以外都保存伸直状态,因此机器人可以看作是一个带球碗的三自由度机械臂加大行程平移机构的机器人。这种设计在保证机器人能够实现功能的同时降低了控制和操作难度。该机械臂的 yaw 轴采用 M2006 驱动,存在间隙,一定程度影响了机械臂性能;Joint1 的 DM4310 电机长时间出力,导致容易发热;前端的差速器结构设计强度不够,在调试过程中出现过锥齿轮断齿现象。在后续的改进中,应使用更精密的关节电机,避免电机持续出力,并且注重对强度的校核。(很高兴从现在看来,我们在后续迭代中顺利解决了这些问题)

在大行程位移机构的设计中,通过行程倍增机构实现了大尺寸的机器人变形,同时使结构保持稳定。实际上,抬升机构是 22 年工程的那一套,它成功经历了三年(22,23,24)赛场的考验,依然表现良好,耐用性得到了充分证实。抬升机构存在电机发热较严重的问题,我们在后续版本添加了持续提升二级框架的卷簧来解决这个问题。

在硬件线路布置上我们采取了分区分段布置的方式,使得线路稳定性提高,排查难度降低。我们还做了其它更多的人机交互设计,包括快拆外壳、手动抬升机器人的把手、方便替换的电池等。这些使我们在和这台工程打交道时十分愉快。

这台工程的设计还存在一些不足之处,比如对视角的考虑不够周全,导致在取矿和兑换时操作手视角受限。在下一版中,我们通过架高云台并添加图传的运动机构的方式解决了这个问题。整车的轻量化不足,平移机构安全系数过高,结构冗余,很大程度上增加了电机的负担。矿仓设计还需要持续改进,有时存矿会产生姿态不稳定情况。在气动系统设计上,可以学习上海交通大学自研高性能气泵,提升吸盘性能,降低气路复杂度。

总体而言,这是一项令人较为满意的工作。

6 致谢

感谢协力完成该项目的工程组成员,每个人在项目中都有很大的贡献。感谢队长薛嘉诚及其他所有队员在项目过程中提供的帮助。感谢西安交通大学的老师为队伍提供的支持。感谢深圳大学同学在 2023 赛季与我们分享的技术和经验。最后致谢 RoboMaster 组委会以及大疆创新为全球青年工程师搭建了一个成长平台。初心高于胜负,成长胜于输赢。