

--西安交通大學--

Robomaster2022-篤行戰隊

工程機器人技術報告



--2022/10/22 – JedAuditore—

目录

前言	3
1 其他学校机器人综述	3
1.1 总体概况	3
1.2 东北大学 2021 工程机器人	3
1.3 上海交通大学 2021 工程机器人	3
1.4 哈尔滨工业大学 2021 工程机器人	3
1.5 大连交通大学 2021 工程机器人	3
2 机器人功能定义	4
3 机器人核心参数	4
3.1 核心参数	4
3.2 配件型号	4
4 机构设计	6
4.1 吸盘负压气路相关参数计算	6
4.1.1 所需性能参数估计	6
4.1.2 估算吸盘直径	7
4.1.3 真空系统的估算	9
4.2 气路设计	10
4.3 机械设计	11
4.3.1 设计概述	11
4.3.2 取矿机构	11
4.3.3 抬升机构	13
4.3.4 人机交互	13
5 成员贡献	15
6 参考文献	15
7 致谢	16

前言

非常高兴能够整理并且分享这篇开源文档。这篇文章的重点在于介绍真空吸盘系统和 22 赛季我们开发真空吸盘的过程。希望能够给到想要将吸盘方案作为研发方向的队伍一些帮助，也希望与各个队伍交流，促使我们共同进步。

RM 是我做过最浪漫的事。我们队伍经历了 21 赛季北区小组淘汰后的漫长低谷，22 赛季的进步来之不易，这离不开所有 22 赛季队员的努力。

21 赛季在北区遇到了斯基。有幸近距离看过他的设计，让我深受触动。精巧、高效、可靠。从那以后我就是老哈吹了，做出像他一样优秀的设计也成为激励我的动力。21 年暑假东流哥来队里和我们交流设计经验，我印象最深的是他说一定做好人机交互。这辆工程的人机交互设计，就是从这里受到启发的。

这辆工程的主要模块只有三个：取矿和兑换模块、底盘模块、救援模块。设计理念是做好吸盘模块，并用它完成“取矿兑换”、“取障碍块”、“取地面矿石”、“救援”这 4 个功能。因此在机械设计以这方面为中心。

1 其他学校机器人综述

1.1 总体概况

RM2021 赛季的工程机器人功能设置主流为“取矿兑换 > 救援 > 障碍块 > 其它”，部分学校也很注重获取地面矿石的能力。“取矿兑换”是最重要的功能，强大的取矿能力可以直接转化成可观的经济优势，很好赢。储存矿石并兑换给工程机器人的存储空接提出了更高要求，甚至有很多队伍还专门设计了小屏幕来适应这一变化。

绝大部分队伍的取矿机构设计采取了夹爪的方案。传统艺能了，确实稳定好用。上海交通大学更是做出了优秀的夹爪空接功能。兑换机构基本上就是取矿机构。部分队伍在矿仓有独特的设计，其中上海交通大学的摩擦轮方案非常惊艳，在 22 赛季也受到了很多队伍的效仿，包括我们（谢谢！）。障碍块交互机构基本上采用了两只前伸直杆。

1.2 东北大学 2021 工程机器人

东北大学 2021 国赛的工程机器人采用了吸盘结构，在竞赛中展现出了强大的空接能力。采用 X 轴方向排布矿仓的设计。两个真空泵放置在提升机构上以减少泵到吸盘的气管长度。

1.3 上海交通大学 2021 工程机器人

上交 21 年做的夹爪空接非常丝滑，是传统横移夹爪的变型。个人觉得最大的亮点是摩擦轮收矿机构。空间紧凑，控制简单，结构简洁。在装配和控制上都有很大优势。

1.4 哈尔滨工业大学 2021 工程机器人

斯基的工程设计风格挺像 VEX。他把各个模块布置得井井有条。连杆夹爪动作简单响应迅速，是取矿最快最稳的设计之一。

1.5 大连交通大学 2021 工程机器人

大交设计偏向传统方案，机构非常简洁高效，再常规状况下有很好的性能，并且不容易出错。看上去很简单，但要做到这样并不容易。

2 机器人功能定义

结合队伍的情况，我们在 22 赛季有 3 个重点投入的方向工程、飞镖、平衡车。工程机器人的核心功能是取矿兑换和救援。障碍块和取地面矿石功能朝简单的方向做。

取矿功能在设计时以“取落到资源岛的矿石--空接--取地面矿石”的功能优先级排列。在适应机械臂兑换点方面我们决定不予考虑，因为打进 8 强对我们来说已经足够了。

救援功能在取矿机构之后考虑，目标是简单且稳定。会在布局上给取矿机构让步。

3 机器人核心参数

3.1 核心参数

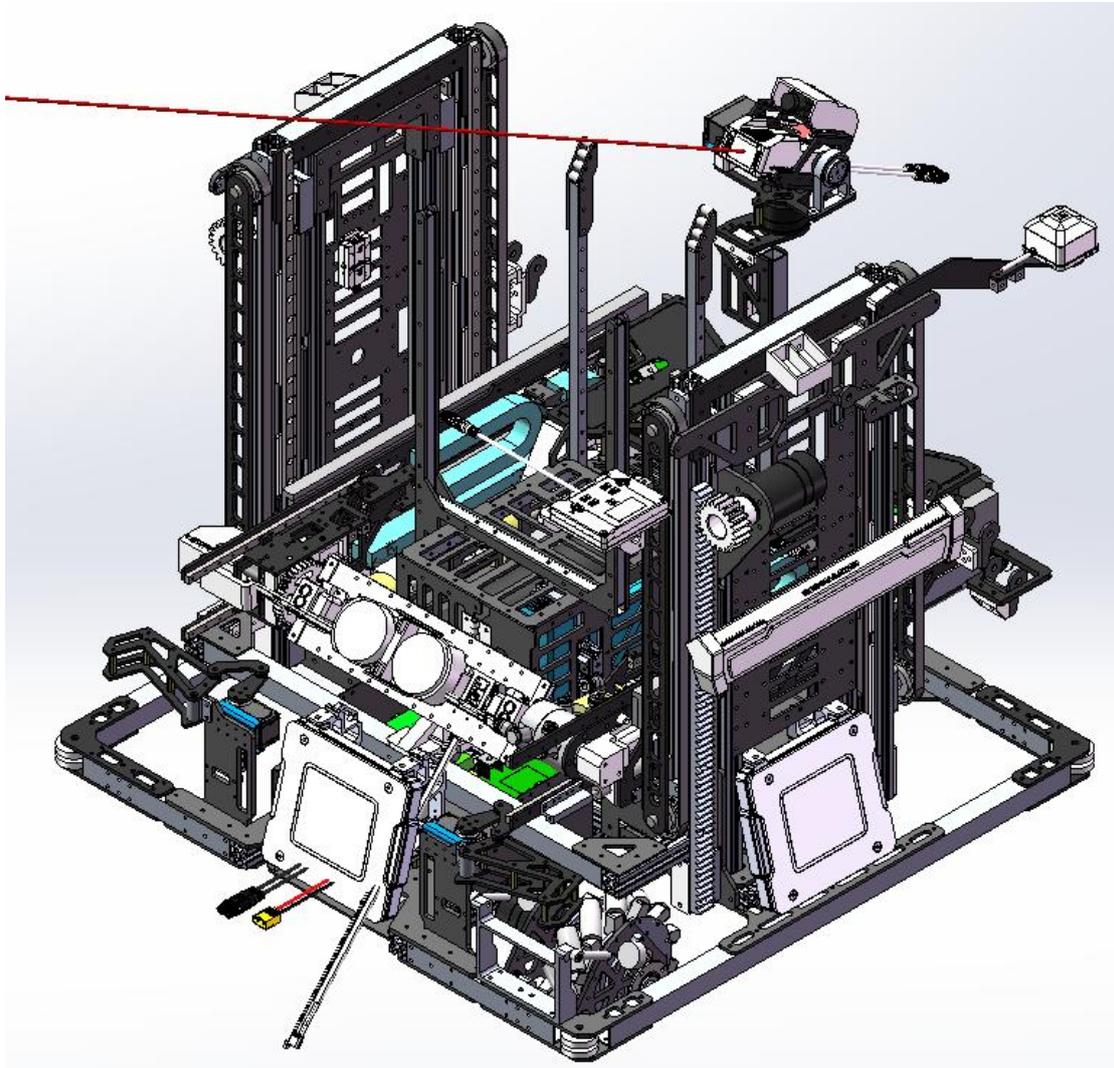
参数分类	数据
重量	36.82kg
初始尺寸	600*600*590mm (L*W*H)
最大伸展尺寸	1100*600*998mm (L*W*H)
最大真空度	-0.73Mpa
理论最大持续流量	180L/min
空接时间	0.2-0.3s
最大抬升行程	720mm
吸盘面最低高度	185mm
吸盘面最高高度	985mm
最多同时携带矿石	3

3.2 配件型号

项目	型号	链接
吸盘	DP-50	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.3e382e8dK2dkVt&id=564152472634

项目	型号	链接
		&_u=n204s6t7in5df7
真空泵	KDMP-C60 12V/24V	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.3e382e8dK2dkVt&id=605199220466&_u=n204s6t7in6d40
主要管路	PU 6*4mm	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.1db42e8dtbsVtm&id=534285416042&_u=n204s6t7in2ee7
单向阀	CV-02	https://detail.tmall.com/item.htm?_u=n204s6t7in06b3&id=627333234437&spm=a1z09.2.0.0.3e382e8dK2dkVt
电滑环	12 路 5A	https://detail.tmall.com/item.htm?_u=n204s6t7in0f5f&id=557065302363&spm=a1z09.2.0.0.3e382e8dK2dkVt
气滑环	MQR2-1/8	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.3e382e8dK2dkVt&id=629614350718&_u=n204s6t7in2111
光电开关	E3Z-D62	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.11.683053a8rKW9wT&id=674140755761&ns=1&abbucket=3#detail
流体控制阀	VQ21A1-5E-C6-F	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.1db42e8dtbsVtm&id=37866912193&_u=n204s6t7in2267

4 机构设计



国赛版本工程机器人装配图

吸盘方案的优势在于，它能顶着工程的最大延展尺寸截留矿石。虽然和机械爪争夺时可能会处于下风，但空接这一机制几乎从根源打败了机械爪。

4.1 吸盘负压气路相关参数计算

4.1.1 所需性能参数估计

（部分过程需结合 4.1.3 真空环境计算方法）

设定矿石下落距离、质量：

$$h=0.25 \text{ (m)} \quad m=0.7 \text{ (kg)}$$

吸头由刚性吸盘和劲度系数为 k 的缓震弹簧组成。要求吸着响应时间

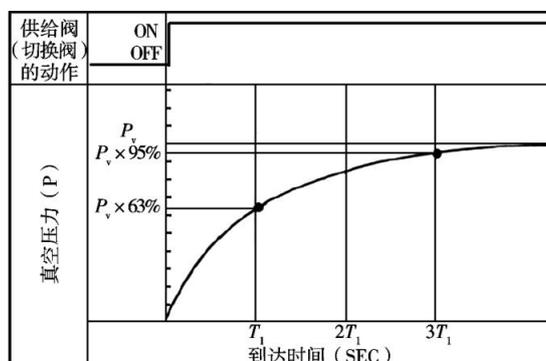
$$T \leq 0.3 \text{ (s)}$$

在吸头旋转机构能够及时跟上矿石姿态翻转的情况下，吸盘与矿石平面始终视为贴合。估计

吸着响应时间,参考自东北大学开源视频。其中 T_1 为真空度到达最终真空度 63%左右的时间, T_2 为到达最终真空度 95%所需时间,

$$T_1 = \frac{60V}{q_v} \quad T_2 \approx 3T_1$$

q_v -通过真空泵的平均流量 q_{v1} 和通过管路的平均流量 q_{v2} 的较小者 (L/min) V -真空系统线路体积 (L)



吸盘内真空度-到达时间的曲线

参考东北大学的开源测试资料,取

$$T_1=0.1 \text{ (s)} \quad T_2=0.3 \text{ (s)}$$

(*后续测试中得出实际时间更小一些)

设吸着响应时间 T_2 时吸力 F (N), 矿石与吸盘接触时矿石速度 V_0 (m/s)

$$V_0 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.225 \text{ (m/s)}$$

以完全弹性碰撞计,吸力需要

$$\frac{mV_0}{T_2} = 0.7875 \text{ (N)}$$

使用垂直吸取安全系数 $f=8$, 则

$$F_0 \geq f * 0.7875 = 6.3 \text{ (N)}$$

T_1 时真空度达到 63%左右,为保证吸力在增加过程中足够大,取

$$F=2F_0=12.6 \text{ (N)}$$

吸盘带动矿石旋转,设最大角加速度

$$\beta = 10 \text{ (rad/s}^2\text{)}$$

旋转机构臂长

$$l=50 \text{ (mm)}$$

吸盘与矿石件摩擦力

$$F_f = \frac{m\beta (100+50)}{50} = 21 \text{ (N)}$$

设摩擦系数 $\mu=0.6$,需要 35N 正压力。

(*该过程不是严格并非严格计算所需力的大小。是在研发前期缺少数据情况下的预估,判断项目推进的方向)

4.1.2 估算吸盘直径

$$D = \sqrt{\frac{4000W}{3.14Pnf}}$$

D: 吸盘直径 (mm) n: 相对于工件的吸盘数量 W: 吸附力 (N) P: 真空度 (-kPa) f: 安全系数
 带入网上能够选购的真空发生原件平均最大真空度

$$P = -0.83 \sim -0.92 \text{ (Mpa)}$$

根据工业开发规律，吸盘平面只在水平方向工作时， $f \geq 4$ ；吸盘工作面有竖直朝向时 $f \geq 8$ 。
 预计在交互机构中使用两个吸盘。D 取整数

$$D \geq 20 \text{ (mm)}$$

这里的实际计算并不是人完成的，而是在工业辅助网站上完成的。

<https://www.yhdfa.com/modelTool/Sucker>

真空吸盘-自动计算

使用次数: 32547

真空吸盘吸力计算公式:

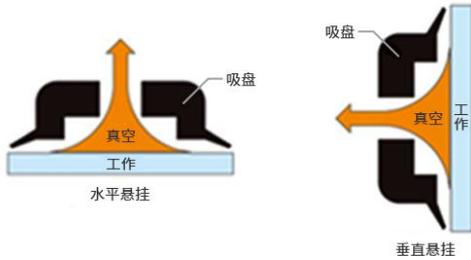
$$W = C \times P \times 0.1 \times f$$

W: 吸附力(N)

C: 吸盘面积(cm²)

P: 真空压力(-kp)

f: 安全系数 水平悬挂时: 1/4以上, 垂直悬挂时: 1/8以上



产品参数输入		重置参数值	
使用工况(吸盘种类)	请选择		
* 吸吊物重量 W	请输入值	kg=	N
* 安全系数 f	请输入值	=	
* 吸盘内的真空度 p	请输入值	Mpa=	Kpa
* 真空度安全系数 Pv	请输入值	%	最大真空度63%-95%
* 吸盘的数量 n	请输入值	个	

立即计算

计算结果 (点击“立即计算”后得出结果)

吸盘直径 D		mm
--------	--	----

值得注意点是这个计算过程不会考虑到大幅度运动的情况，因此我的处理办法是将上文得到的吸附力 F 换算为相应的质量后带入。

在计算吸盘时需要考虑吸盘型号:

吸盘类型	特点
平型	工作面平整无形变
平型带肋	工件表面易变形
深型	工件表面为曲面
风琴型	没有安装缓存的空间，吸附表面为斜面

吸盘种类	特点
硅胶吸盘	吸附能力强，对表面适应性更好，柔软易形变，易变性，寿命较短

吸盘种类	特点
丁腈橡胶吸盘	对表面形状适应性中等，寿命长，形变小，能够承受一定弯矩
硅胶吸盘（加海绵垫圈）	对粗糙表面适应性好，柔软易形变，易变性，寿命较短

因此能够得到一个东北大学已经实践过的结论：两个直径 50mm 的海绵吸盘用于矿石的交互是完全可行。虽然这是一个已经被验证过的结论，但是这为我继续展开吸盘工程的设计提供了相当的理论自信。

4.1.3 真空系统的估算

真空系统的简单计算需要解决的问题是：大约需要多大的流量、多高的真空度，才能在接触矿石内尽量短的时间形成真空并且维持在我们预期的水平。这方面我并没有在理论上搞得很清楚，而是参考一些设计说明、结合能找到的配件性能来评估实验的可行性。

对真空发生器有：

$$q_{v1} = C_q q_{ve}$$

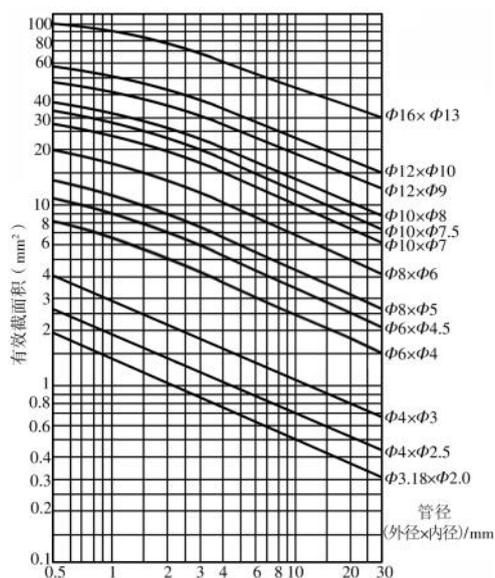
对真空切换阀有：

$$q_{v1} = C_q \times 11.1 S_e$$

式中： q_{ve} -真空泵的最大吸入流量 (L/min)； S_e -真空切换阀的有效面积 (mm^2)； C_q -系数， $C_q=0.33\sim 0.5$ ，取 $C_q=0.5$

$$q_{v2} = C_q \times 11.1 S$$

式中： S -配管有效截面积 (mm^2)



管路有效截面积

因为吸盘与吸附表面不完全贴合，存在泄露的情况。泄露会影响吸盘工作能力。

$$q_{vL} = 11.1 S_L$$

式中： q_{vL} -工件吸附时的泄露量 (L/min)； S_L -吸着漏气工件的有效截面积 (mm^2)

由真空发生原件的流量特性曲线可得吸附时泄露量：



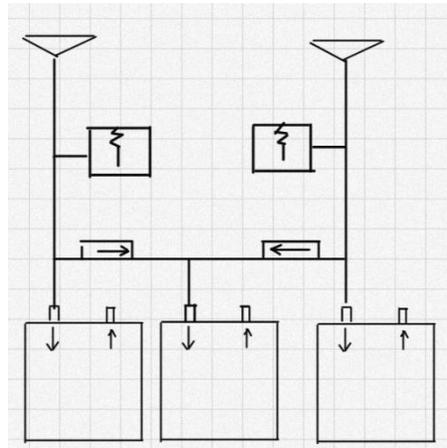
(*正式机器人上使用的真空泵缺少这一数据，因此用其它真空泵举例)

有泄露量 q_{vL} 时，按最大吸入流量选定真空切换阀的规格。

$$q_{vmax} = (2\sim3) \times \left(\frac{60V}{T} + q_{vL} \right)$$

除此之外，真空系统中若有多个真空泵并联，则最终流量近似于单个泵流量的线性叠加。

4.2 气路设计



气路原理图

图中，组成要素有：吸盘、流体控制阀、单向阀、真空泵。均为 3.2 中相应型号。

1、将两个吸盘连接到单独的两个真空泵上，若两个吸盘气路双向接通，出现仅单个吸盘交互的情况时极难形成真空，或者效果很差，无法完成交互任务。在我们中部分区赛小组赛的比赛中，出现过没完全对准而单个吸盘交互，依然完成空接的情况。

2、除两个接通吸盘的真空泵外，加装一个真空泵，通过两个单向阀接通两个吸盘气路。这样能够在单个吸盘交互的情况下自适应地提升吸盘性能，增大容错率。

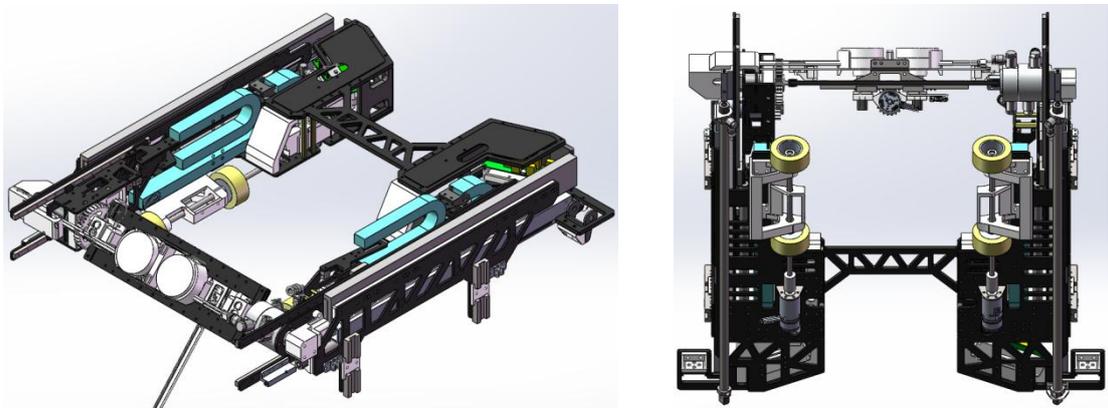
3、流体控制阀在吸盘工作时保持闭合状态，在需要松开时开启，接通大气。值得一提的是我们在很长时间内使用正压气路的电磁阀来作为吸盘的控制阀。在测试中发现其工作原理在负压中无法工作，于是更换为流体控制阀 VQ21A1-5E-C6-F。

4.3 机械设计

4.3.1 设计概述

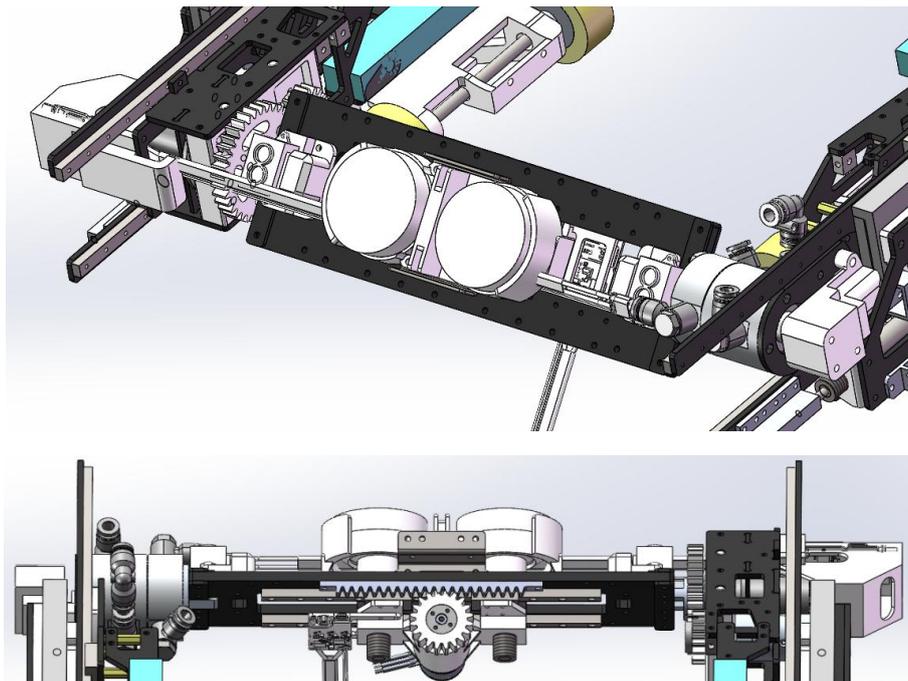
这辆工程的设计思路是想要用最简化的结构完成所有功能。众多周知工程机器人是 RM 中复杂度最高的兵种，由于众多功能需求，其模块数量一般较多。在前期测试中吸盘系统表现出非常优秀的性能，让我相信它有很大的潜力。于是就有了用吸盘机构来完成所有功能的想法，这真的很 coooooool，最终也成功实现了这一目标。

4.3.2 取矿机构



取矿机构由三部分构成：吸盘机构、伸缩机构、转矿机构。

4.3.2.1 吸盘机构



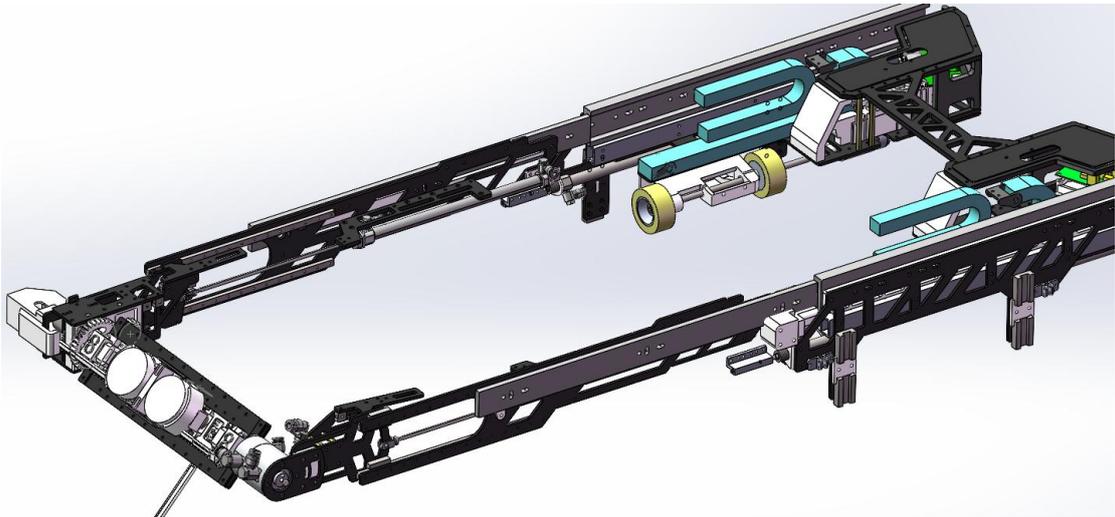
采用了双吸盘的设计，拥有足够的容错性和交互性能。选型三上使用海绵吸盘，在测试中能更好贴合矿石表面。在吸盘金具上加装吸盘保持架，用于承受矿石在翻转时的力矩使吸盘交互更加稳定。

该机构是可以自由旋转的设计，采用电滑环气滑环轴对向布置，分置在吸盘架两侧。这样做是为了使设计更加紧凑，同时解决早期版本出现的电气线路易干涉的问题。也使得将修正矿石 pitch 轴这一任务可以被吸盘兼顾。

在最左侧安装了霍尔编码器用于吸盘机构的角度定位。在此之前我们尝试过用陀螺仪加 2006 编码器解决这一需求，但是效果不稳定。

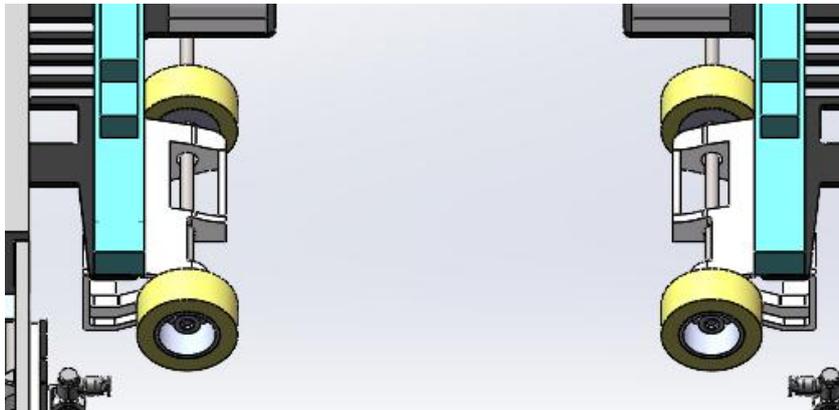
机构中加入了“小横移”的设计，这一功能是由吸盘架两边的光电开关（实物已经换成 E3Z-D62，图纸未更改）、导轨、齿轮齿条横移组成的。它的左右是能够左右调整吸盘的位置，用于辅助取矿对位和回收矿石。两边的光电开关间距略大于矿石，用于“判断是否对准矿石”和“矿石是否位于中间”。前者是用于取矿、空接的；后者是在取矿后自动调整矿石位置使其在收入矿仓时位置在中间。

4.3.2.2 伸缩机构



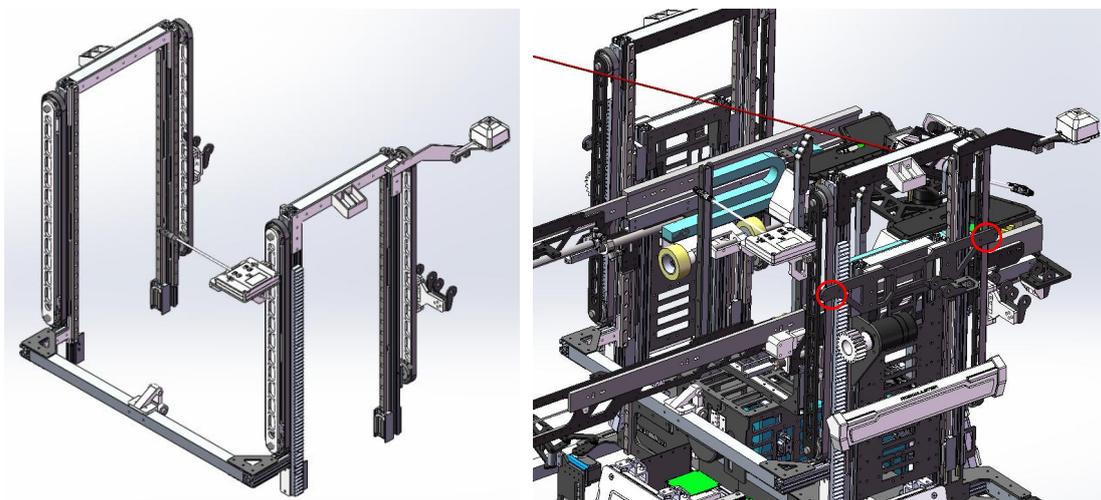
伸缩部分由两段组成：第一段行程 400mm，抽屉滑轨+气缸；第二段行程 175mm，直线导轨+气缸。这样设计的目的是尽可能腾出中间的空间以防止转矿干涉。并且一共能组合成 4 个伸缩位置，恰好满足功能需求。这个机构设计并不满意，因为它很难兼顾减小刚性冲击和运动速度。

4.3.2.3 转矿机构



转矿机构是模仿上海交通大学 21 赛季的设计，确实很好用。在机构简洁的同时能满足携带矿石和旋转的需求。值得一提的是我们在两边安装转轴的打印件空位处加装了两个光电开关，用于检测矿石是否被转到了竖直姿态。通过这个设计我们实现了“矿石一键旋转 90 度”的功能。也做了将矿石放入该机构时的“自动调正”。

4.3.3 抬升机构



二级抬升框架

因为想要用单个取矿机构完成所有的功能，那么吸盘的交互范围在竖直方向上就需要足够大，但又要保证吸盘机构旋转半径尽量小，否则会大大影响空接性能，于是就要求抬升机构形成足够长。因此我们采用货物运输叉车相似的行程倍增结构来进行设计。

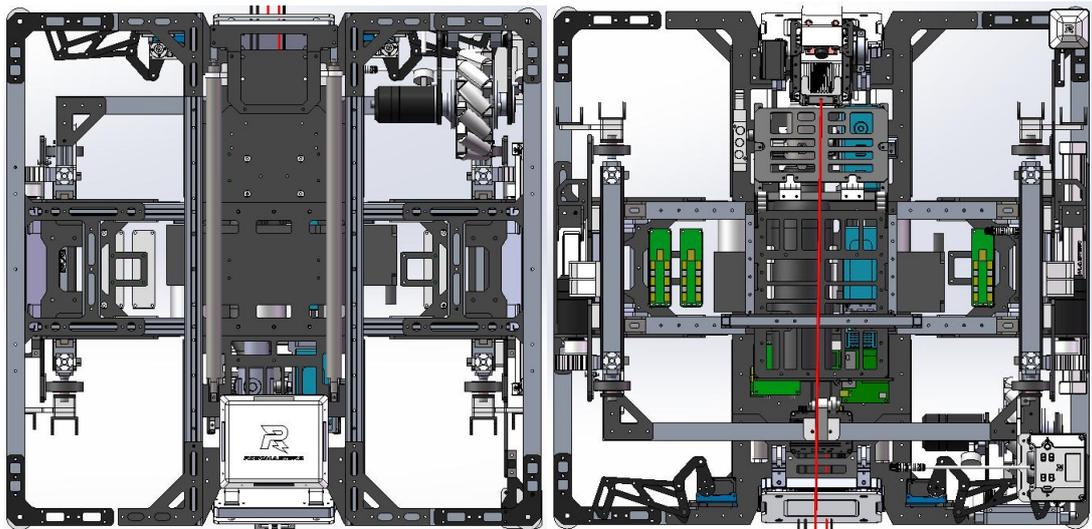
抬升由直线导轨（LRM9）、链条（04C）、齿轮齿条机构、二级抬升框架、底盘框架组成。其中链条的一点固定在右图红圈标出的位置。两端抬升电机驱动齿条将二级框架上台，二级框架抬升带动链条转动，将取矿框架拉起。

值得一提的是因为核心机构只有一个，所以几乎一半的质量空间都被分配到上面。所以可以采用可靠性很高，性能很好，但是更沉的设计。

4.3.4 人机交互

4.3.4.1 快拆结构

这里的快拆意思并不是一般意义的快拆，是指拆卸非常方便，并且特地把结构框架和外壳分开设计。拆掉外壳会暴露所有的硬件、线路，但是不会影响机械结构的运行。

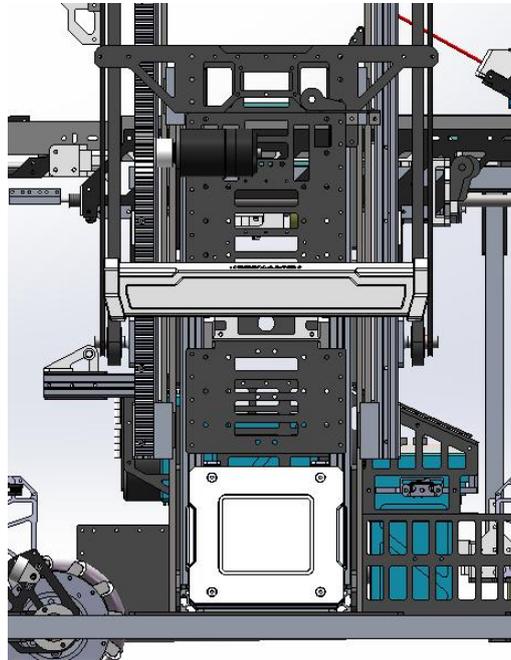


下视图

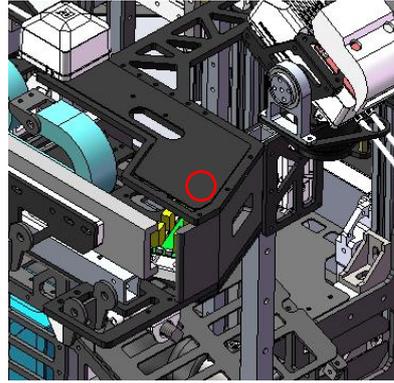
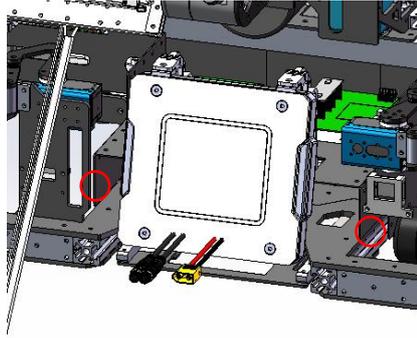
上视图

图中是吧快拆的板材都隐藏后的吸盘视图。因为底盘框架使用了欧标方铝，因此要把这些板材卸下来仅需将螺丝稍微拧松。可以看到整个底盘的线路布置完整展现在眼前。布线和检修都很方便。并且完全装上后从整机外观上只会看到极少处裸露的导线，这对机器的稳定性、外观都起到相当的提升。在漫长的调试过程中也为我们节省了很多精力。同时它在厦门那么恶劣的比赛环境下，也很让人放心。

4.3.4.2 硬件布置



首先在电控队员提供了完整的硬件框图，硬件组帮助进行了定制化的设计。由于工程出问题的频率较高，因此我们将硬件分出了 底盘、过渡、云台 三大块。底盘所有的线路汇集到两边传接板上，再走框架和拖链到取矿框架上的转接板，再转接到取矿框架上的硬件。这样就避免了在硬件损坏时大规模拆卸，极大提高了我们检修的效率。如图所示侧板上专门开了用于绑扎带固定线路的孔。



机器实物上在标注的三个地方安装了固定的 Jlink。这样电控每次调试的时候只需要拿一根 C 线插上接口即可。这让电控调试非常舒适。当时东流哥说，他要让官方车调试起来非常舒适，这句话我记了很久。这样的设计算是对他的致敬。

5 成员贡献

成员	工作
熊杰	机械设计，项目管理
夏天翊	机械设计、装配和维护
廖锦程	调试、操作手
杨健宇	模块调试
梁晨旭	模块调试
张天宇	视觉功能

6 参考文献

- 【1】RM2021-东北大学-TDT-机械设计开源-工程机器人
- 【2】RM2021 上海交通大学青工会答辩内容
- 【3】某建筑机器人真空泵的选型计算-周城
- 【4】工业自动化吸盘的类型及应用虚拟仿真实验教学系统的研究-李贵
- 【5】基于 CFD 的真空吸盘气场建模与仿真研究-段学鹏
- 【6】结构用集成材自动上下料装置真空吸附系统的研究与试验-高锐
- 【7】一种履带吸盘式清洁机器人自动配气机构设计和行走吸附力要求分析_占卓帆
- 【8】一种新型的负压系统设计_王强军

7 致谢

笃行 2022 赛季全体队员

Robomaster 组委会

支持过我们的参赛队伍：

西安电子科技大学 西北工业大学 长安大学 西安理工大学 大连交通大学

首都师范大学 天津大学 华中科技大学 深圳大学 太原工业大学 中国石油大学（北京）

中国民航大学 哈尔滨工程大学 陆军勤务学院