



RoboMaster 2023

英雄机器人机械结构说明文档

组织：吉林大学 TARS_Go 战队

时间：2023 年 7 月

目录

1. 概述	3
1.1. 战术定位.....	3
1.2. 机器人功能定义.....	3
1.3. 机器人核心参数.....	4
1.3.1. 基本参数.....	4
1.3.2. 传感器.....	4
1.3.3. 执行器件.....	4
1.3.4. 核心性能参数.....	5
2. 机械设计方案	6
2.1. 云台结构.....	6
2.2. 侧供弹方式.....	6
2.3. 发射机构.....	7
2.4. 重力补偿机构.....	8
2.5. 传感器安装及走线留孔.....	9
2.6. 摩擦轮电机安装板受力分析.....	10
2.7. Yaw 轴结构.....	11
2.8. 车架结构.....	12
2.9. 拨弹机构.....	13
2.10. 轮组机构.....	13
2.11. 避震器受力分析.....	14
2.12. 自适应悬挂机构.....	15
2.13. 保护壳设计.....	16
2.14. 人机交互.....	16
2.14.1. 视觉交互.....	16
2.14.2. 听觉交互.....	16
3. 研发迭代过程	18
3.1. 发射延迟较大.....	18
3.2. 拨盘卡弹.....	18
4. 总结与展望	20
4.1. 总结.....	20
4.2. 展望.....	20
5. 参考文献	21

1. 概述

1.1. 战术定位

英雄机器人由于其极高的伤害和其弹丸高昂的价格决定了要负责击打前哨站、哨兵及基地这些能够判定比赛胜负的因素。由于经济体系改变，团队能够拿到比以往赛季更多的经济，这就意味着比赛的胜负判定将由前哨站血量转变为哨兵血量或基地血量，这就意味着英雄机器人也要兼顾团战能力和吊射能力。

1.2. 机器人功能定义

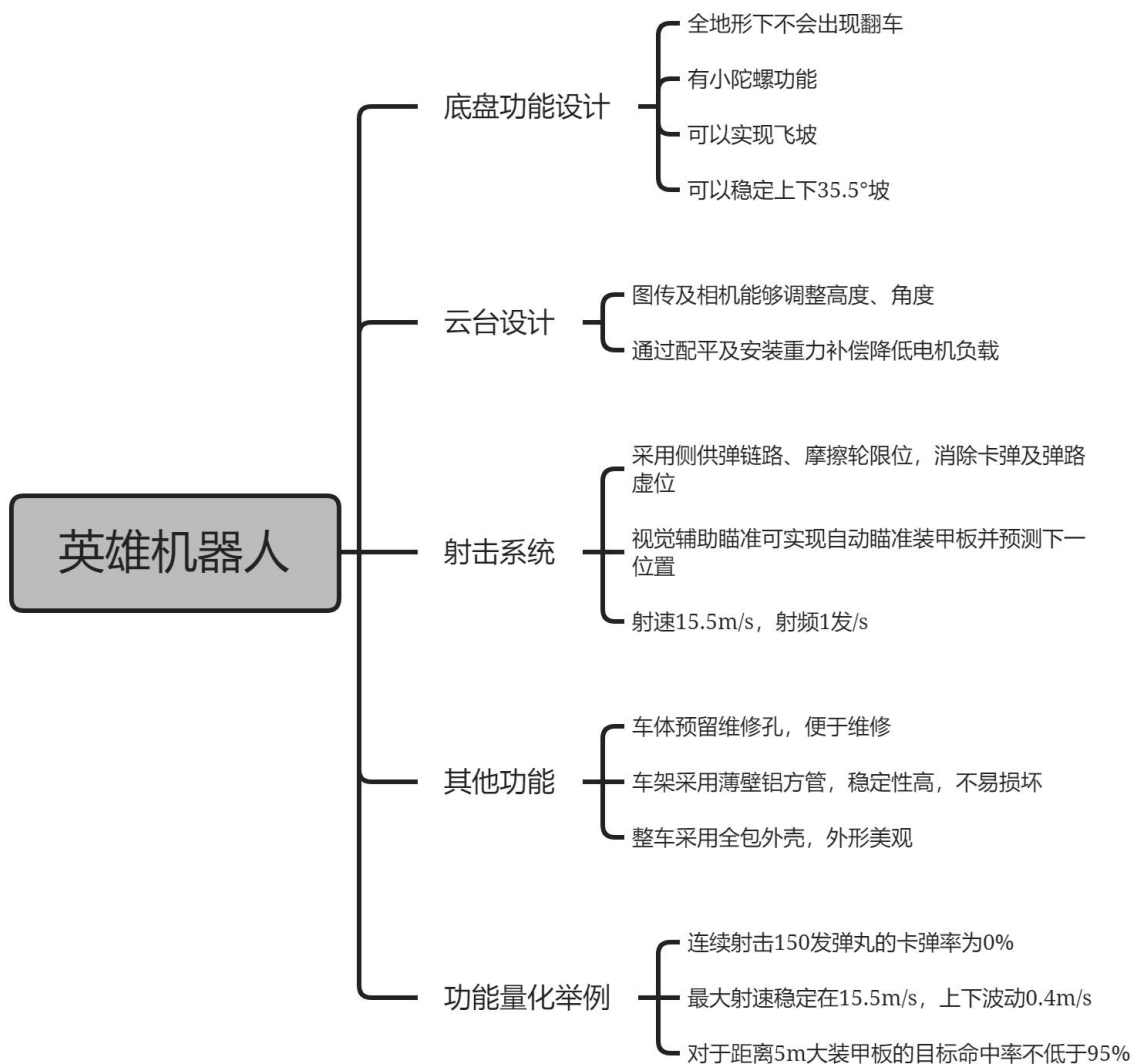


图 1.2.1 功能定义

1.3. 机器人核心参数

1.3.1. 基本参数

表格 1 基本参数

名称	参数
重量	30kg
长	766mm
宽	655mm
高	612mm
重心高度	217mm
云台与车体相对位置	处于底盘的几何中心

1.3.2. 传感器

表格 2 传感器

名称	数量	用途
大恒相机	1	视觉识别
TTL+USB 激光测距	1	反馈距离值，用于打击前哨站及吊射基地

1.3.3. 执行器件

表格 3 执行器件

名称	数量	用途
M3508	4	底盘动力输出
M3508	1	拨弹动力输出
M3508 转子	2	摩擦轮动力输出
GM6020	2	云台 yaw 轴和 pitch 轴动力输出
N20 减速电机	1	第三摩擦轮动力输出

1.3.4. 核心性能参数

表格 4 核心性能参数

名称	参数
车体最大爬坡角度	30°
云台自由度	2
云台俯仰角	22°、48°
弹仓容量	80 发
射频	约 60 发每分钟
射速	最大射速稳定在 15.2m/s，上下波动 0.4m/s
射击准度	小装甲板 5m: 95% 10m: 75% 20m: 25%

2. 机械设计方案

2.1. 云台结构

云台整体采用板材与铝件装配，核心部件采用厚板材和大镂空保证结构强度和整体精度，薄板材大部分配合不锈钢毛细管或铝柱保证抗弯强度，避免因结构变形导致的卡弹或射击精度降低等问题。

2.2. 侧供弹方式

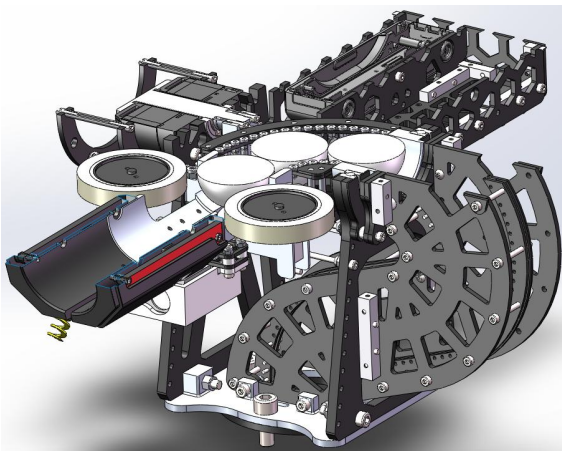


图 2.2.1 侧供弹弹链

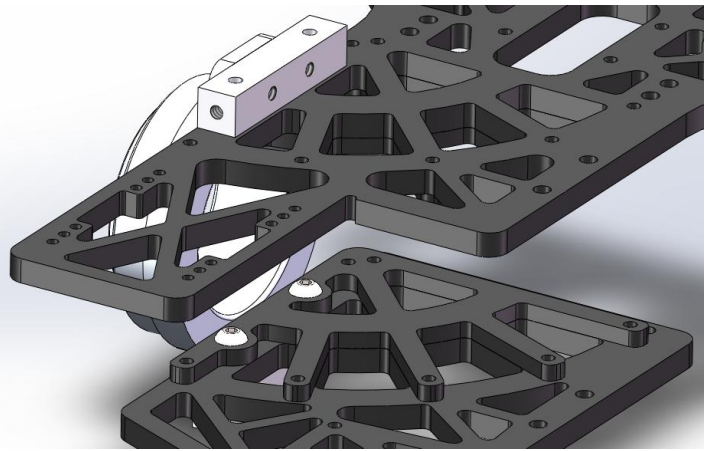


图 2.2.2 弹链连接处

由于鹅颈供弹在俯仰运动过程中链路长度会变化，可能会导致弹丸接触摩擦轮时速度不一致，进而影响弹速的稳定性，本赛季参考华南理工大学英雄机器人开源，采用侧供弹，此方案虽然较鹅颈供弹有一定的重量的增加，但可以保证链路的顺滑程度并且减小因链路长度发生变化所引起的弹速波动。弹链形状为两扇形被一直线相切，尽量缩短弹链长度，减小弹路阻力。弹链使用 3.2-4-19 的不锈钢毛细管作为支撑，减小装配难度，但由于加工量较小，建议需要用到毛细管的地方统一规格，减少加工费。

弹链连接处由两个长度为 48mm 的六面螺母和铝件上的四个安装孔固定，此六面螺母伸进弹链的两颗螺丝相距 32mm，使用圆头螺栓加弹簧垫圈也不会影响弹路中的弹丸运动。由于侧供弹零部件较多，需要考虑装配顺序，本人选择了先分别将铝件与六面螺母固定、上下板与末端弹链固定，此举在最终装配时需要使用球头披头固定螺栓，此位置六面螺母建议使用 M4 型号，避免装配时拧花螺栓。

2.3. 发射机构

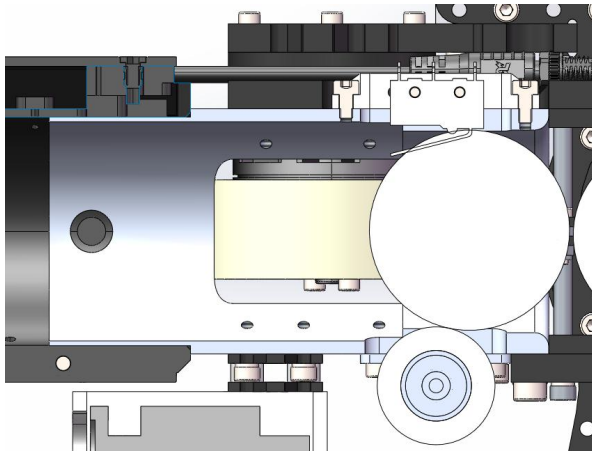


图 2.3.1 摩擦轮限位

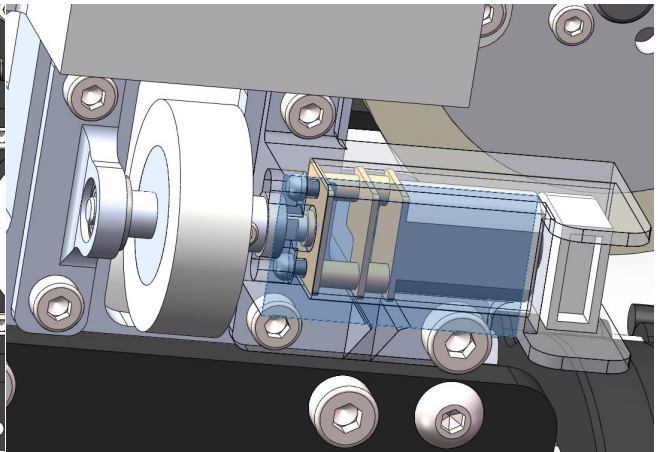


图 2.3.2 限位装置套件

上赛季由于疫情原因，备赛时间紧张，所使用的拉簧限位未经过恶劣环境测试，赛场上发生卡弹现象，经研究决定，本赛季使用由 N20 减速电机驱动的直径为 25mm 摩擦轮作为单发限位，摩擦轮为铝件包胶制成，聚氨酯硬度为邵氏 A45，需注意包胶厂家可能因夹具损伤铝件。经过测试选择 200rpm 的减速箱，能实现接近拨弹电机的发射延迟并且不会吐弹。由于第三摩擦轮、驱动电机、电机安装座重量较小，此套构件较为轻便，云台整体惯量较小，对 pitch 轴电机负载小，可通过配平和配置重力补偿防止电机发热。

发射通过微动开关检测弹丸位置，再由 N20 驱动摩擦轮拨出，减少了链路中的不确定因素，消除了弹路虚位，增加了发射的稳定性。在设计过程中原本将微动开关安装座与摩擦管一体式设计，发现价格涨幅较高，后将微动开关安装座换为尼龙打印，用螺丝与摩擦管固定，节省近 300 元开支，并且在测试过程中由于微动开关安装高度和前后位置问题导致出现弹丸压不到微动的情况，经过测试最终选择了孔位中心距离摩擦管上表面 3.5mm 的方案，并将微动开关向远离测速模块的方向安装在固定座上。

2.4. 重力补偿机构

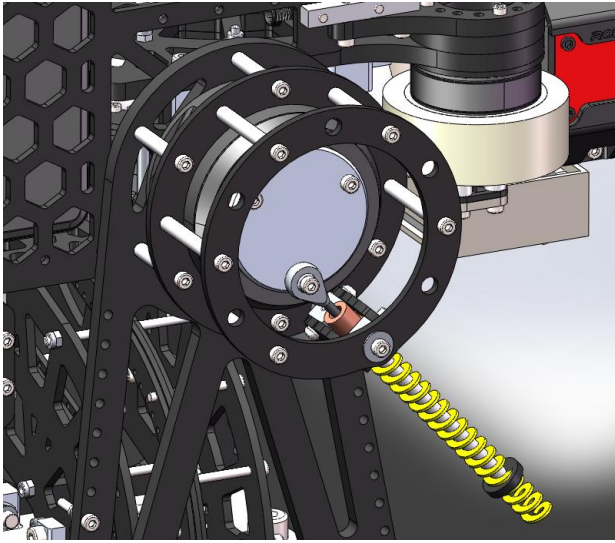


图 2.4.1 重力补偿机构

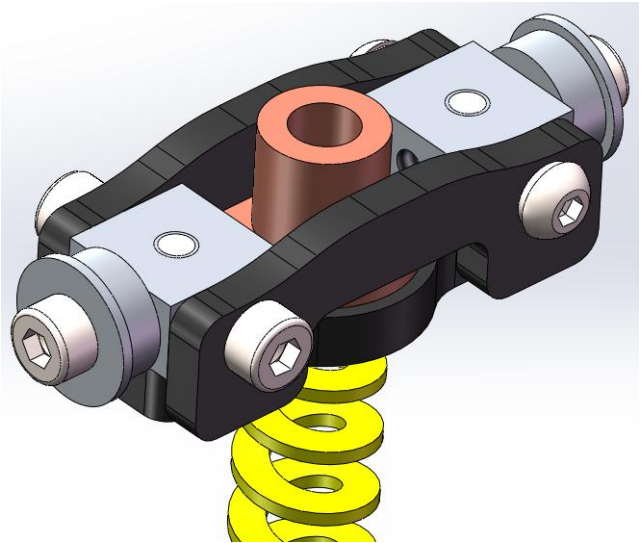


图 2.4.2 重力补偿连接块

云台通过使用 nuc 平衡 pitch 轴前端重量，由于若将 pitch 轴电机与云台活动端固连会导致云台仰角减少不满足吊射需求，进而导致只有 nuc 的 pitch 轴后端较前端轻，超出 6020 电机额定扭矩范围，故参考广东工业大学完美平衡重力补偿来设计重力补偿装置平衡云台重量。同时又因为已使用 nuc 平衡了一部分云台重量，导致重力补偿装置设计遇到困难，最终决定将重力补偿装置一端与 6020 电机转子端相连，另一端与云台支撑板相连，解决云台配重问题。

重力补偿连接块使用六面方螺母及板材代替铝件，能在降低成本的情况下完美符合工作需求。需注意铝柱精度不高，易出现无法穿过石墨铜套现象，可通过多采购找可用零件或打磨铝柱来实现。在云台布线完成后发现云台线材出现了影响重力补偿装置平衡的问题，通过调节弹簧的预压程度可缓解此问题。

2.5. 传感器安装及走线留孔

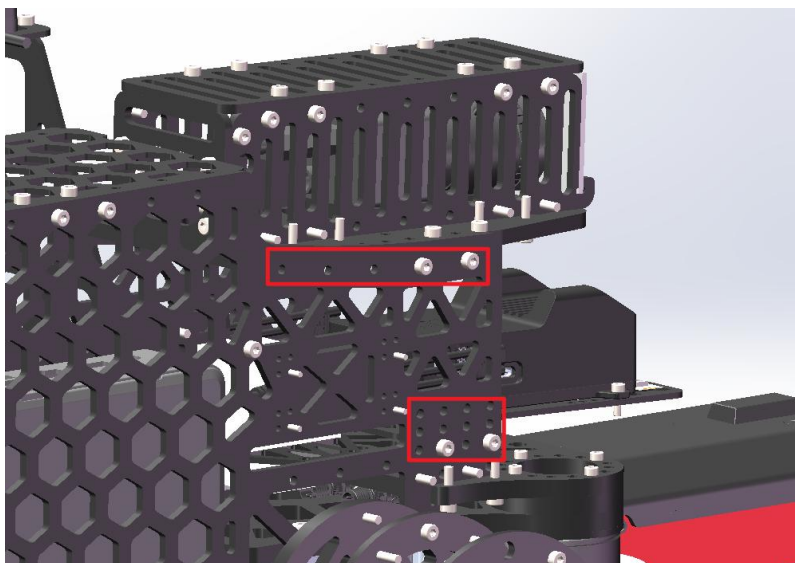


图 2.5.1 云台相机及图传安装

由于在设计过程中无法把控图传及相机的视野，为避免多次更换板材带来的时间上的耽误，于是在云台侧板上开有多组不同高度及角度的孔位，方便调试过程中根据视野及视角选择最佳安装位置。

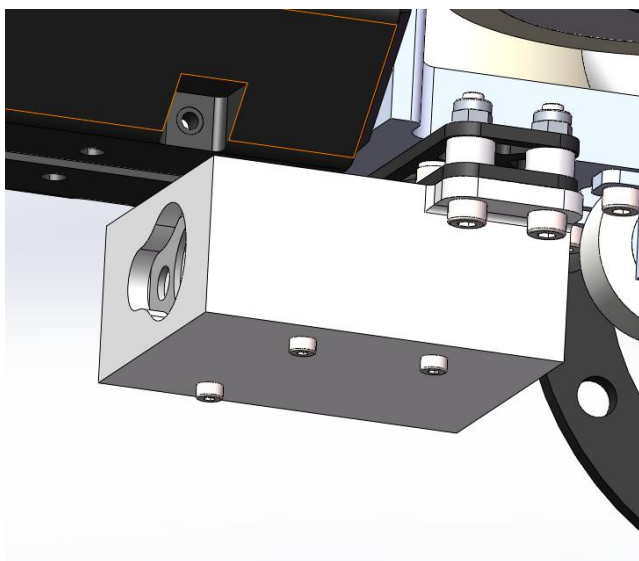


图 2.5.2 激光测距固定位置

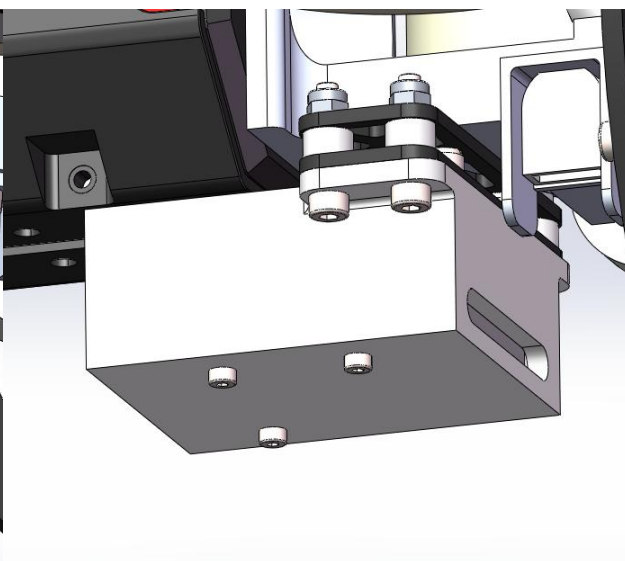


图 2.5.3 激光测距走线开槽

因考虑到激光测距在工作过程中会发热，有可能影响到测速模块的精度或对测速模块造成损坏，故将激光测距安装在摩擦管上，并在外壳后端为走线留好孔位，激光测距与 N20 的线将一起沿发射机构底部从 pitch 轴后端上留好的孔位穿过。

激光测距模块固定座原计划使用光敏树脂材质打印，后来安装座在联盟赛上被打坏，便加厚外壳壁厚，并使用 abs 材料打印。

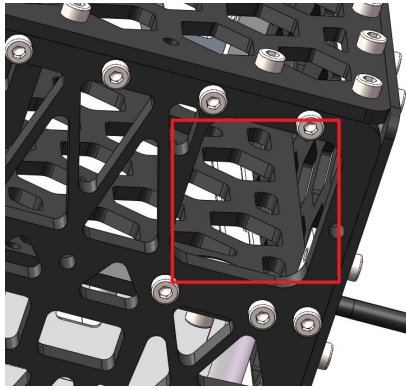


图 2.5.4 云台 pitch 后端走线开槽

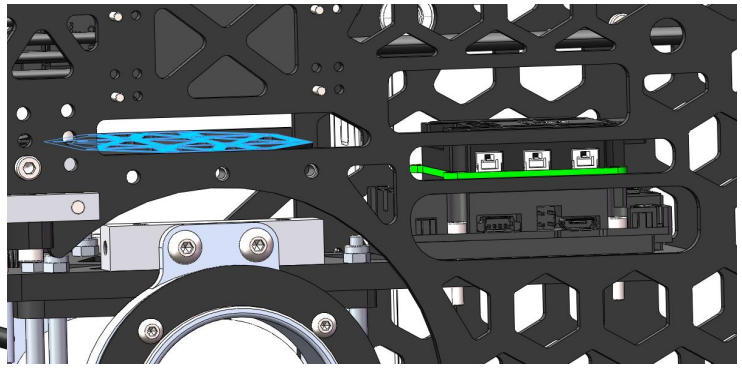


图 2.5.5 云台各模块安装位置

由于云台走线数目较多，故在云台 pitch 后端留出 28×33 的方圆孔以供走线。因新增摩擦轮限位，要留出 N20 的驱动板及降压板安装位置，于是在云台中部放置一块玻纤板以供安装电路板，C 板及中心板使用螺栓与云台玻纤板固连。

2.6. 摩擦轮电机安装板受力分析

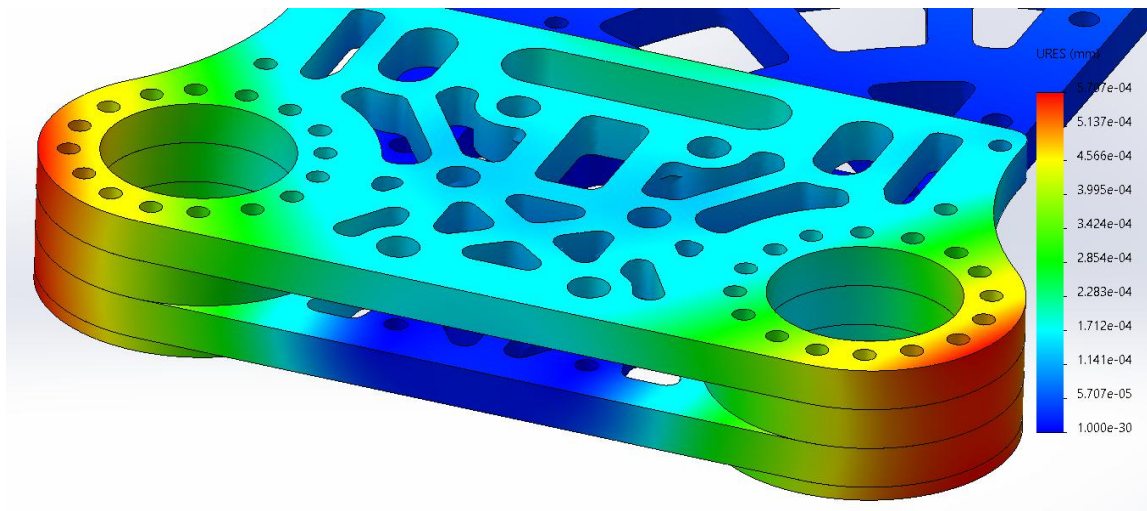


图 2.6.1 摩擦轮电机固定板位移图

摩擦轮电机为 3508 转子，摩擦轮目前采用溪地创新摩擦轮，经测试采用 38.5mm 作为摩擦轮间距，每个电机使用 M3*25 螺栓固定，并且在固定板上开了不同圆心的摩擦轮转子固定孔系，方便以后为测试组团加工的摩擦轮间距提供便利。云台摩擦轮电机使用两层 6mm 玻纤板固定，通过受力分析将摩擦轮受力简化到板材上。

为使摩擦轮在长期测试后的形变维持在很小的范围里，同时又避免板材过于厚重增加 pitch 前端重量，于是在两层 6mm 玻纤板强度足够的基础上对玻纤板进行减重，减重后通过有限元分析得出板材未在镂空处出现应力集中现象，且板材形变量极小，在竖直位置上仅有微米级形变，不会影响发射精度。

机器人在使用航空箱搬运后会出现弹丸掉速现象，目前归结于搬运过程中道路颠簸导致摩擦轮电机位置发生偏移，由于此电机固定方式仅由螺栓作为定位部件，目前方法是将螺栓与板材过盈配合，发现掉速问题依旧没有解决，于是先通过每次搬运完机器人后拧松再拧紧电机的安装螺栓来解决掉速问题，之后在去测试解决此问题。

2.7. Yaw 轴结构

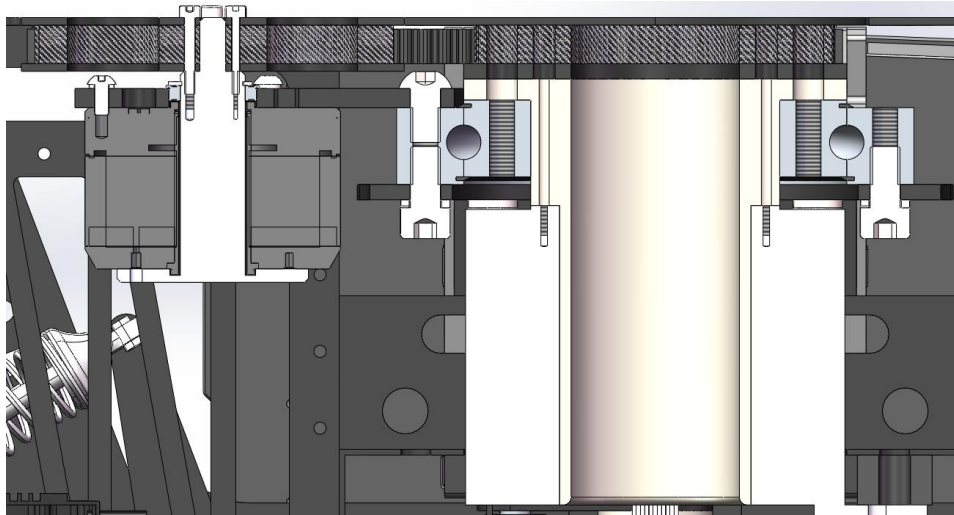


图 2.7.1 yaw 轴

Yaw 轴轴承使用 010.10.100 回转支承轴承，其上有螺纹孔，安装方式简单，承受载荷较高，但重量较大，且会在某一位置转动阻力较大。Yaw 轴链路使用光敏树脂打印制成，可自定义形状厚度，便于设计尺寸。滑环于森瑞普定制 15 路滑环，外径较小但价格昂贵。Yaw 轴电机使用同步带 1:1 传动，传动轴配有法兰轴承及卡簧，避免电机承受径向力，延长电机寿命，同步轮中心距经过大量测试，最终选择理论中心距加 0.6mm 的尺寸，既保证轴承阻力不会太高，又保证传动过程中不会滑齿。电机安装板在最初镂空较大，发现安装后板材形变较大，主动同步轮不水平，后将镂空去掉得以解决。

2.8. 车架结构

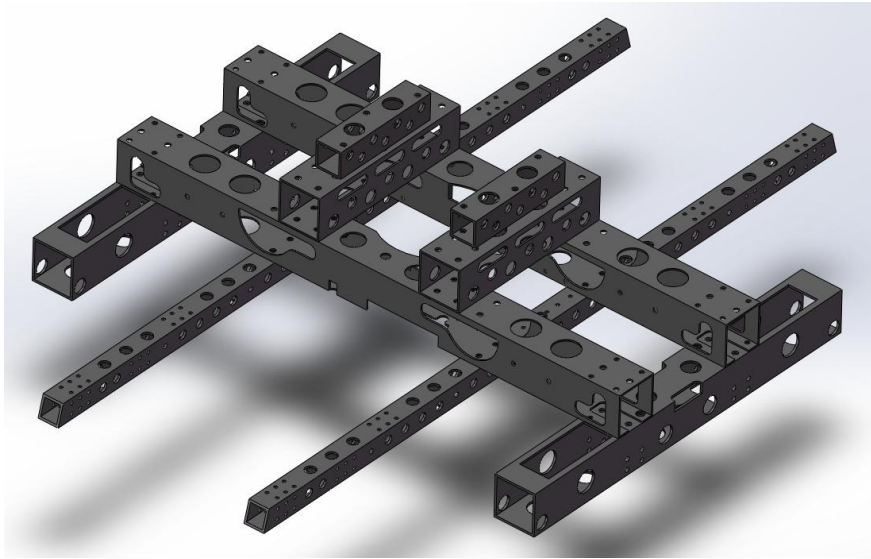


图 2.8.1 车架

车架采用薄壁铝方管堆叠而成，管材之间使用螺栓连接，在保证结构强度的情况下做圆形减重孔镂空，各铝方管末端之间使用 4 到 6mm 不等玻纤板连接并做大镂空，提高车体抗弯性能，避免因板材断裂而造成的结构损伤。

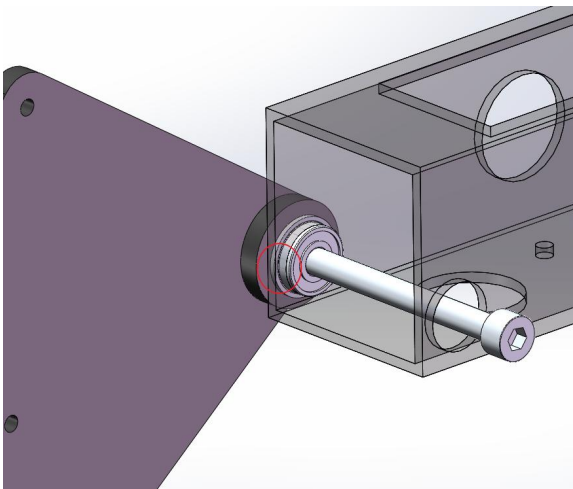


图 2.8.2 轮组连接处铝方管

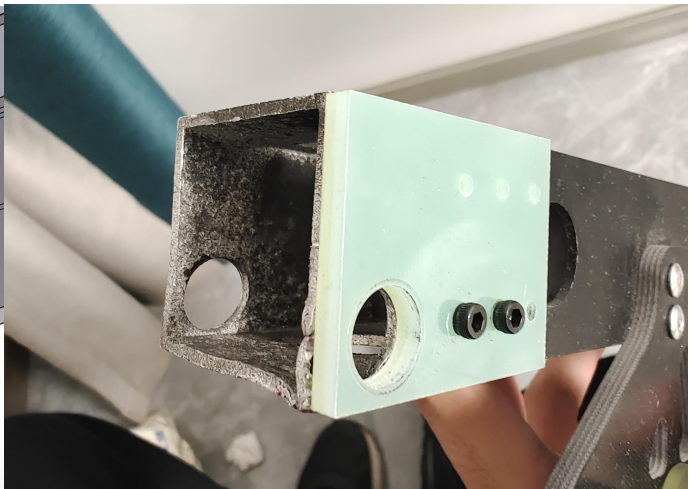


图 2.8.3 维修后实物图

但由于铝方管此处位置材料较少，在联盟赛中轮组被其它车碰撞导致断裂，在备场区进行紧急维修后勉强参加下一场比赛，之后返回学校后将八个位置全部使用玻纤板加固。

2.9. 拨弹机构

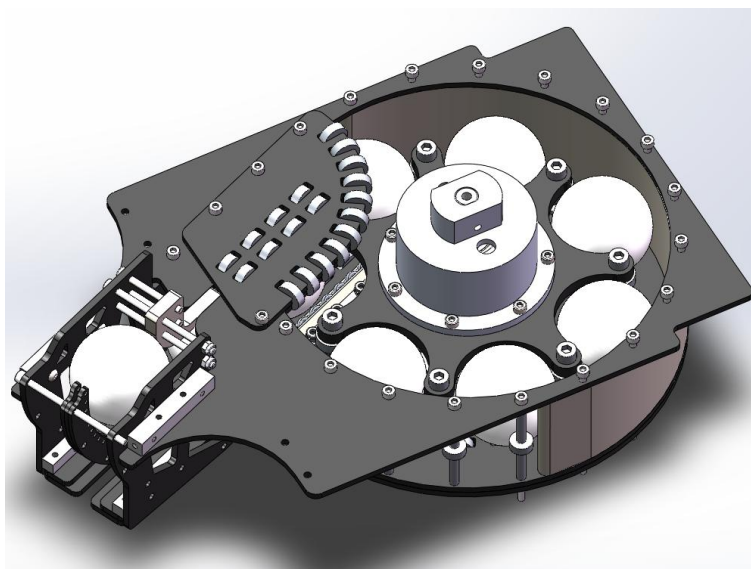


图 2.9.1 拨盘

采用七爪切向供弹拨盘，拨盘底部、拨盘侧面、拨爪末端、出弹口上部、分流条、导流条均有安装轴承，达到减小拨弹阻力和防止卡弹的效果。拨盘侧壁在部分位置使用光敏树脂打印，提高拨盘抗扭性能，同时方便安装。出弹链路与拨盘通过榫卯及螺栓连接，保证安装精度及整体强度。

2.10. 轮组机构

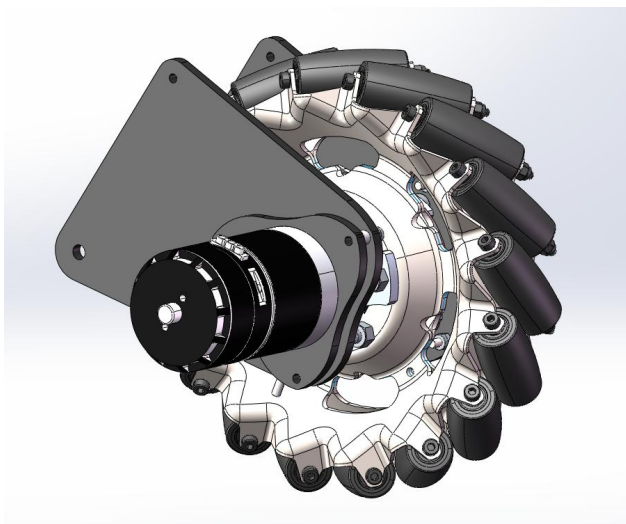


图 2.10.1 轮组左斜视

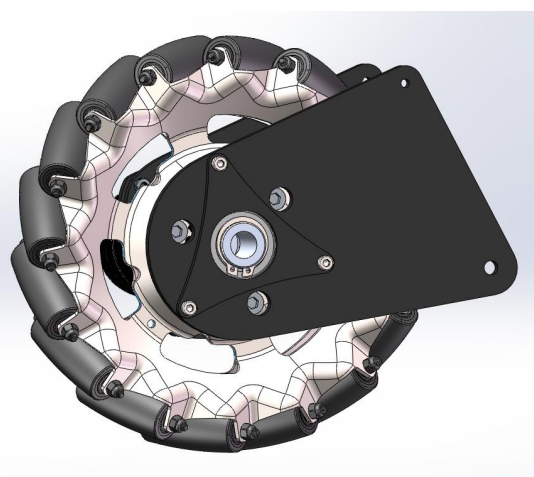


图 2.10.2 轮组右斜视

轮组为便于维修、更换，将左侧支撑板去除不受力的部分，便于伸入扳手固定螺母，在右侧有三个可以伸入 M5 杯头螺栓的圆孔，便于将六颗同侧安装的螺栓全部取出，法兰轴承挡板的固定螺丝为避免与 M5 螺栓干涉而放置较远，经测试固定效果尚佳。

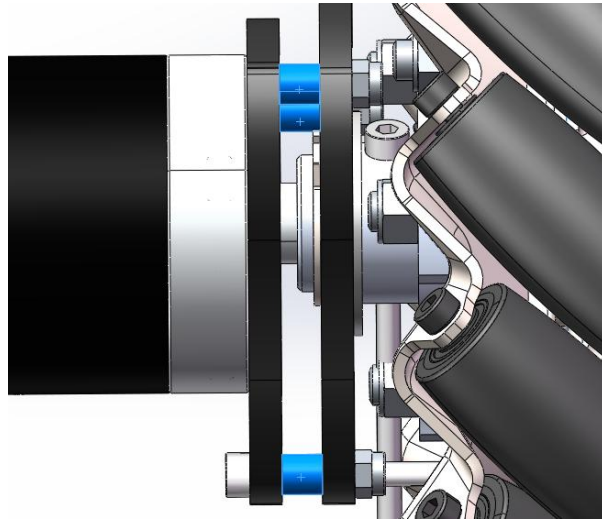


图 2.10.3 电机固定板于轮组侧板间垫块

此处位置最初设计时使用 5mm 玻纤板垫高，在实际装配过程中发现玻纤板厚度为 5.2~5.3mm，导致法兰联轴器上的螺栓安装孔位与电机轴上的螺纹孔错开，后将玻纤板换为铝柱控制厚度。

2.11. 避震器受力分析

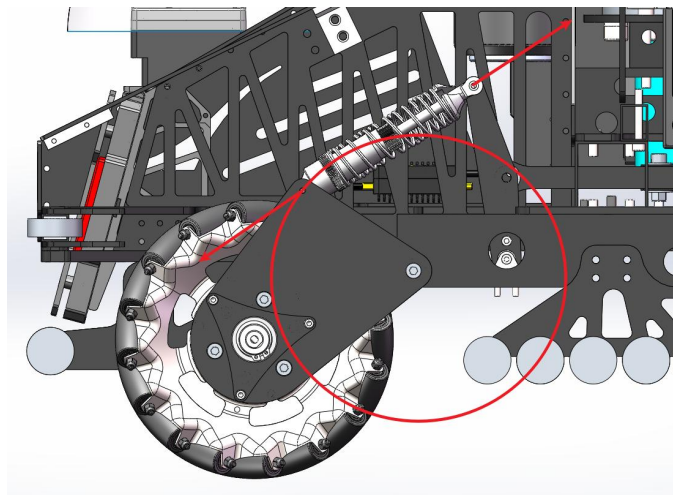


图 2.11.1 避震器对两端板材施力情况

由于英雄机器人重量较大，故将避震器行程处于运动轨迹切线附近，充分利用避震器支撑效果，并且尽量使避震器与竖直方向夹角减小，避免避震器受到的分力过大，于是将静止状态弹簧长度略比运动轨迹切点位置靠前，以便避震器被压缩时受力与压缩方向大致相同。

2.12. 自适应悬挂机构

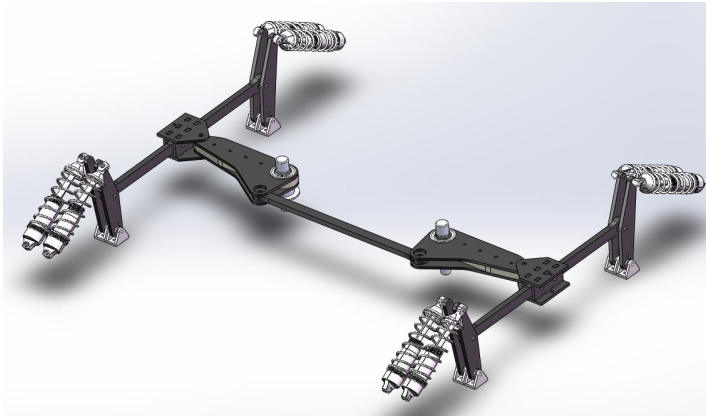


图 2.12.1 自适应悬挂

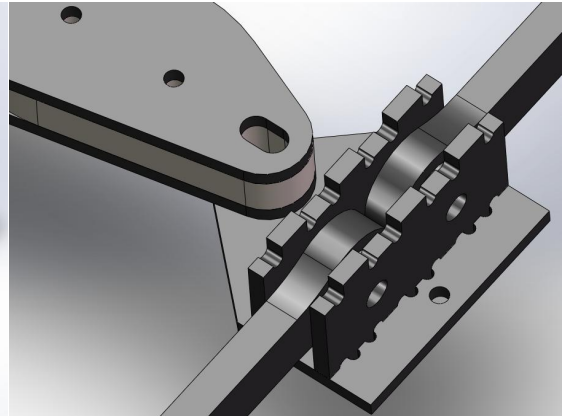


图 2.12.2 转轴三角板及连接块

自适应悬挂使用传统连杆设计，在之前学长的设计基础上加以改进，转轴三角板上开有长圆孔，在旋转过程中不妨碍同侧传动杆直线运动，避免转轴三角板因旋转带动两传动杆脱离共线位置，同时此套悬挂能适配成品避震器。

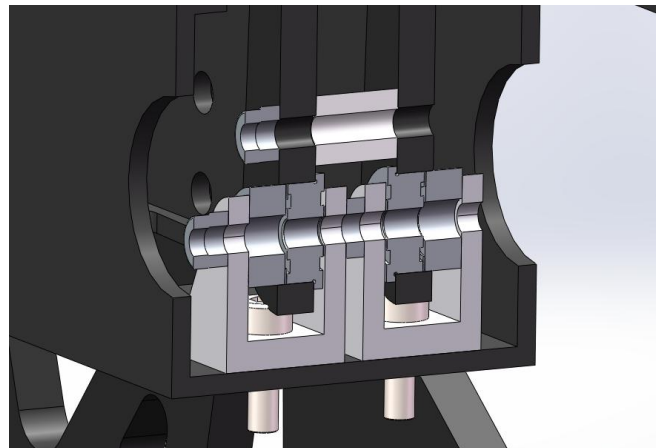


图 2.12.3 轮组三角板旋转位置轴承设计

轮组三角板旋转位置设计时过于理想化，导致装配过程极其阴间。

2.13. 保护壳设计

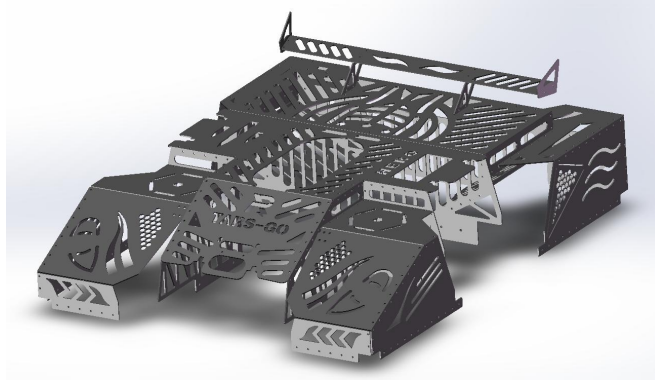


图 1.5.24 保护壳

保护壳采用全包设计，以图案作为镂空增加美观度。

2.14. 人机交互

2.14.1. 视觉交互

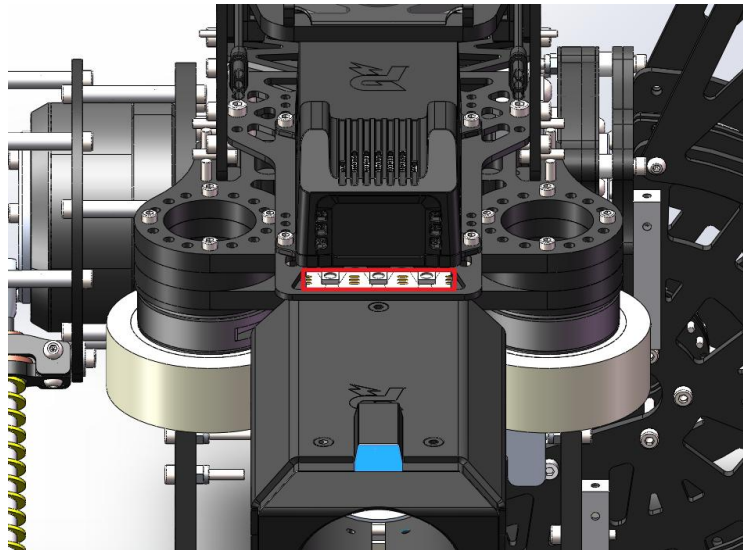


图 1.5.41 LED 指示灯

考虑到现场情况复杂，若只依赖自定义 UI，则发生通信故障时，操作手会丢失全部信息。因此在上述基础上，在图传前方还应添加硬件 LED 指示灯，指示必要信息：摩擦轮是否开启、超级电容能量预警、视觉是否识别到目标。完善人机交互系统的鲁棒性。

2.14.2. 听觉交互

由于发射机构使用第三摩擦轮限位，确保了发射的稳定性，拨弹逻辑为拨盘内的拨弹电

机将弹丸从底盘推到云台，在第一发弹丸压下微动开关后停止转动，此时弹丸也受到第三摩擦轮挤压，在操作手按下发射键后 N20 减速电机驱动第三摩擦轮转动，将第一发弹丸向前拨动直至接触发射摩擦轮后射出，并且若微动开关没被按下则按下发射键也无法发射弹丸。但在调试过程中由于摩擦管的封闭性不好判断第一发弹丸是否能同时压住微动开关及第三摩擦轮以及其他问题出现原因，于是将 C 板蜂鸣器编辑为当微动开关被按下后蜂鸣器响一声，通过此方式解决了弹丸接触到第三摩擦轮但未按下微动开关，发生拨弹电机持续拨动弹丸挤压摩擦轮现象，导致 N20 电机不足与拨动被挤压的弹丸。

3. 研发迭代过程

3.1. 发射延迟较大

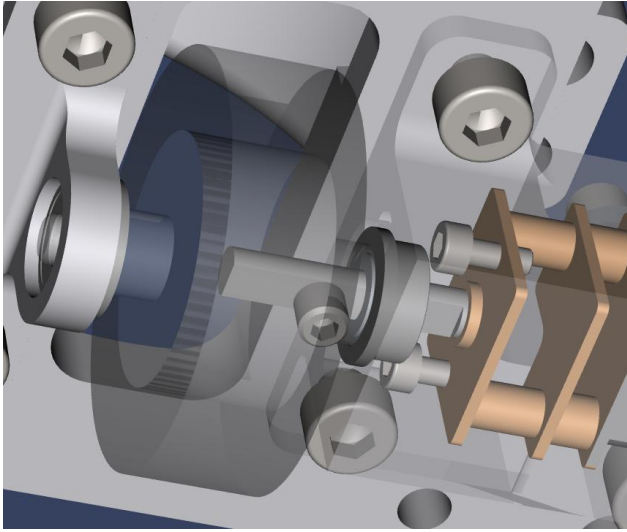


图 3.1.1 初代电机固定座

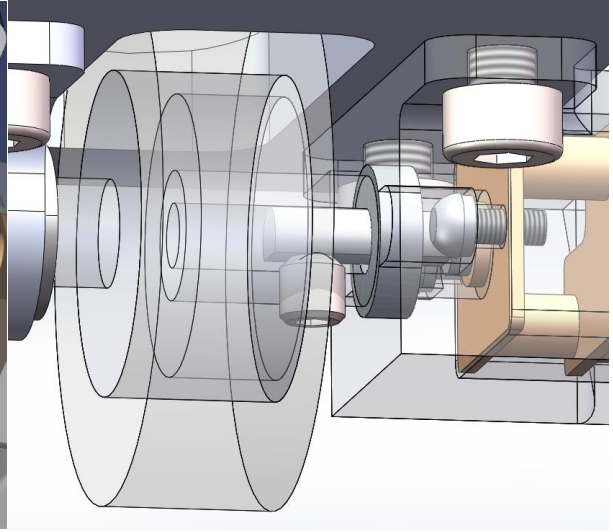
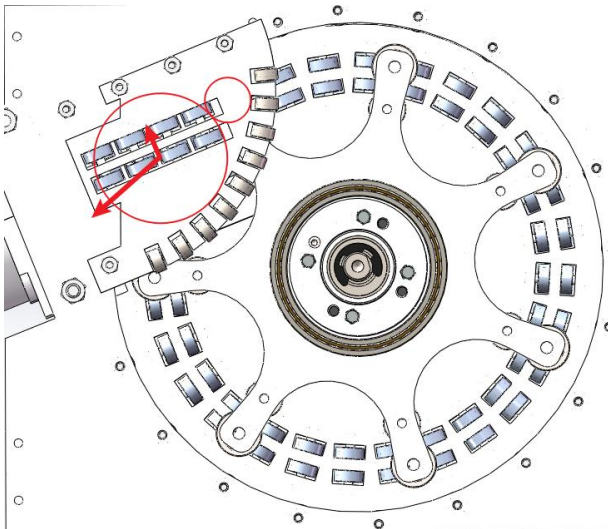


图 3.1.2 二代电机固定座

第三摩擦轮使用 N20 减速电机，受电机固定座厚度限制，初版结构使用 15mm 轴长的 N20 电机，但其只有 75rpm 转速型号，导致发射延迟较大，后将电机固定座优化，减小厚度，可适配于有大多型号的 10mm 轴，最终经过测试选择 200rpm 转速。

3.2. 拨盘卡弹



3.2.1 初代拨叉

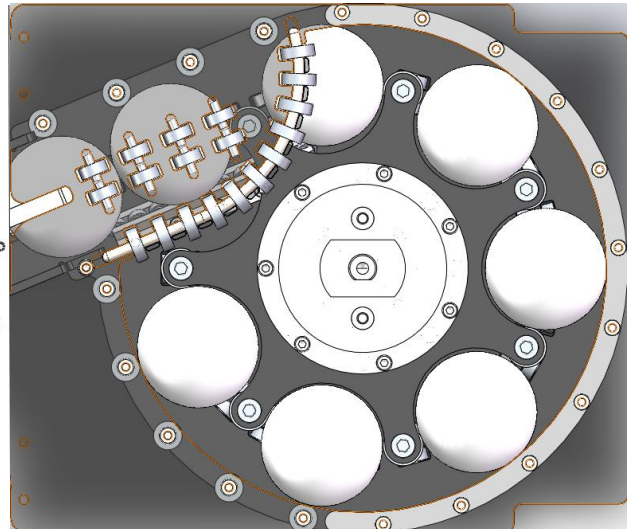


图 3.2.2 二代拨叉

初代拨叉使用双轴承拨弹，旨在为弹丸拨出过程中提供更持久的推力，但在测试过程中发生卡弹现象，经排查得出是拨叉外侧轴承在出弹口处将弹丸往导流条侧挤，导致弹丸卡在

导流条与上板之间，后将拨叉长度缩短，使弹丸受力方向沿切线略微靠外，解决拨弹卡弹。

4. 总结与展望

4.1. 总结

机器人对荧光大弹丸的弹速掌控不好，前期弹速波动较大，命中率不高；飞坡功能未能实现，由于飞坡场地搭建时间过晚，机器人在临近比赛也未完全稳定，未能测试飞坡效果；由于弹丸尺寸问题在场上发生过两次卡弹。

经过联盟赛对机器人发现的问题进行全部排查后，对抗赛的表现依旧不尽如人意，具体原因我们总结为赛季初兵种总体进度规范不明确，工作进度不透明，组员对于机器人的功能实现停留在能用就行，场下基本不测试，场上出问题后再解决，经验不足，对于容易隐藏问题的地方不了解，随机应变能力弱。

最后感谢周捷讯学长和王英凯学长在我设计过程中提供的帮助。

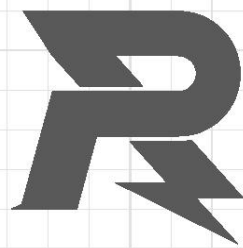
4.2. 展望

希望下赛季能减小荧光弹丸散布，找到问题起因，抓稳弹速波动。车身重量能多轻一些，30kg 搬起来都费劲。

5. 参考文献

表格 5 参考文献

开源文献	参考内容
2021 上海交通大学英雄机器人开源	机械结构设计
2021 华南理工大学英雄机器人开源	侧供弹链路及摩擦轮限位设计
.2022 广东工业大学	完美平衡重力补偿



邮箱: robomaster@dji.com

论坛: <http://bbs.robomaster.com>

官网: <http://www.robomaster.com>

电话: 0755-36383255 (周一至周五10:30-19:30)

地址: 广东省深圳市南山区西丽街道仙茶路与兴科路交叉口大疆天空之城T2 22F