



香港科技大学 RM2026 串联腿步兵

分析

规则解读

步兵机器人的角色定位对比以往赛季有了许多变化。由于伤害体系的改变，队伍不用执着于用步兵机器人保护英雄的方式打开战局。队伍从以往的英雄单核体系转变为了多极多核的作战模式。

综合来说，本赛季的规则大量利好一个队伍去完成一台综合性能极强的串联腿步兵。单颗小弹丸伤害的增加和热量上限的减少使得提高单颗命中率和赛场信息感知能力成为左右地面战局的关键。

利用自定义 UI 结合雷达为步兵操作手提供全局感知和敌方信息，可以帮助操作手更好的结合自瞄实现先手接敌；或是利用更优的沟通效率，先于敌方形成局部多打少的情况，在地面作战中获取优势。

步兵机器人与能量机关激活时机的配合也十分重要，尤其今年高环数大符对弹丸冷却的加成，能够大幅加强步兵对建筑和其他单位的打击效率。

需求分析

1. 底盘模块

为有效支撑地面作战，步兵底盘需具备卓越的地形跨越能力与高机动性。结合队伍技术积累，具体需求如下：

- 串联腿结构，实现连续地形跨越和倒地自救能力，强化机动性；
- 轻量化，实现 200mm 以上的跳跃能力，节省功率，增加移动速度和自保能力；
- 高强度结构，应对倒地和碰撞，杜绝结构性失效；
- 确保稳定飞坡能力，拓展终结比赛的战术手段；
- 稳定上二级台阶，地形跨越，25%的防御增益；
- 全局高机械稳定性，保障长周期赛事中无意外故障；
- 高可维护性：关键组件模块化、快拆快装，提升应急响应效率；
- 弹仓容量控制在 600 发以上，兼顾备弹充足与整机轻载；
- 采用中心供弹布局，优化整体结构紧凑性。

1. 云台模块

具体需求如下：

- 轻量化，减少云台惯量，提升自瞄响应；
- 高强度，承受倒地冲击；
- 俯仰角范围：-20° 至 +35°。

1. 发射机构

本赛季需要进一步强化步兵机器人发射机构的准确程度，为适应更高的打击精度需求，具体需求如下：

- 采用单级双弧形摩擦轮结构 - 以获得更加稳定的弹速；
- 实现 25HZ 以上的发射频率；
- 在 8 米距离上，稳定命中小装甲板，落点精度控制在目标面积 1/4 以内；
- 弹速稳定控制在 23.5 m/s 左右。

1. 算法部分

算法研发核心聚焦于：

- 强化对机器人的自动瞄准能力，提升操作手容错空间，追求高经济-伤害转化率并优化伤害输出效率；
- 利用雷达系统信息实现偷袭与反偷袭预报，提升爆发输出与自保能力。

总览

香港科技大学 ENTERPRIZE 对 2026 赛季兵种研发有以下见解

1. 英雄机器人应只考虑近战英雄，以弥补队伍无法开发高精度发机的劣势(去年研发 15 米吊射已经是实验室环境的上限，香港常年高湿且场地申请困难。对需要长时间大场地调试的项目有天然的劣势，已经被学校保安赶走好多次了)同时可以与步兵公用相同的髋部以及腿部设计，能减少一部分的研发成本。
2. 队伍需要一台能保证 1-3 级兑换能力的工程，以确保队伍不会陷入等级和经济压制的困境。考虑到队伍机械产能不足，在规则还未完全陈述的赛季初期，队伍需要一台所见即所得，不会冒任何风险的简单工程。同时需要具有快速跨越二级台阶的能力来保证效率和生存性。兑换机构采用传统的六轴机械臂，以减少研发成本。
3. 步兵的主要目的是进一步强化队伍在地面作战上的优势，以弥补队伍在远程活力上的不足。25 赛季需求步兵建立战术上的优势，以帮助队伍压制对方战略单位，以弥补队伍对建筑攻击能力不足的问题。

因此，队伍将一大部分的研发重心放在了串联腿步兵上，希望可以满足以上战术需求。本赛季的步兵可以说是港科上一代步兵的升级，同时延续了去年的一些成熟设计。更改部分如下：

1. 将髋关节从翎控 8016 改为了达妙 8009p，以寻求反飞坡和，强化地形跨越能力。
2. 更改涨紧方案为髋关节大 CNC 件，以减少整体复杂度和减轻重量
3. 重新进行了全车布局，优化走线和结构分布。

技术指标

1. 重量控制在 23kg 以下
2. 全车没有易损设计，极端工况下不会出现机械稳定性问题
3. 实现全姿势和所有云台状态下的最快速起身
4. 全车没有裸露的线材，包括弹舱内部
5. 整车模块化拆解，易于维护
6. 发机精度实现 8m 小装甲板
7. 车体重心控制
8. 快速跨越地形，包括 5cm 坎，反飞坡
9. 击打小能量机关

基础数据

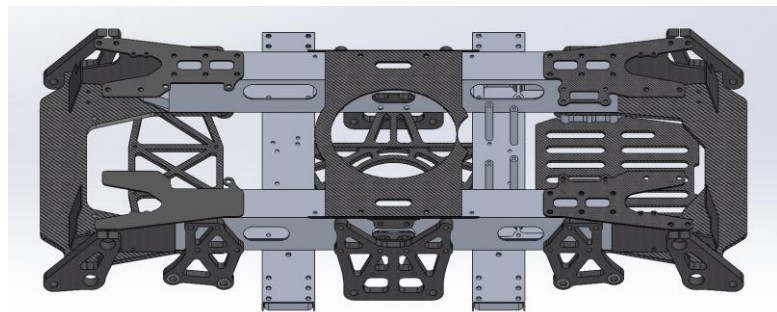
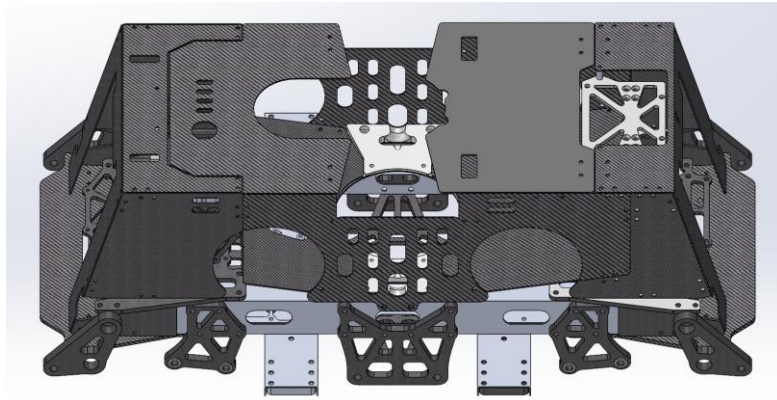
名称	参数
裸车重量	22.5kg
长宽	538mm*591mm
云台俯仰角	+35 度 -20 度
供弹方式	中心供弹
弹舱容量	600+

执行器

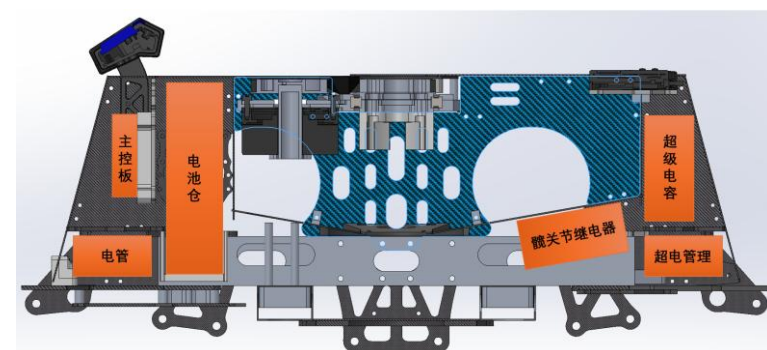
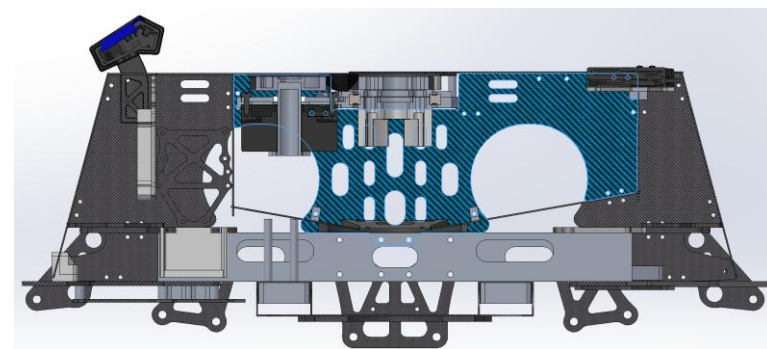
用途	名称
底盘驱动	3508*2
髋关节	8009P*4
供弹	6002
Yaw	LK-MHF7015
Pitch	DM4310
发射机构	3508*2

结构拆分

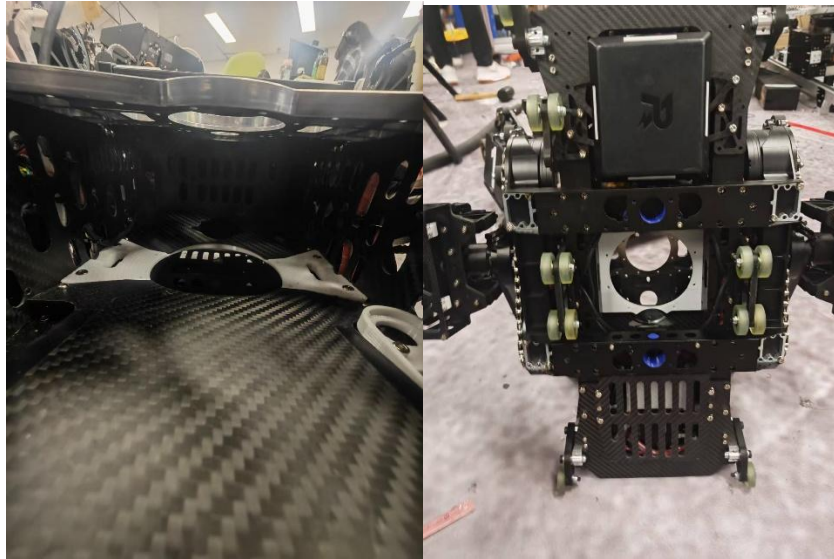
车体设计



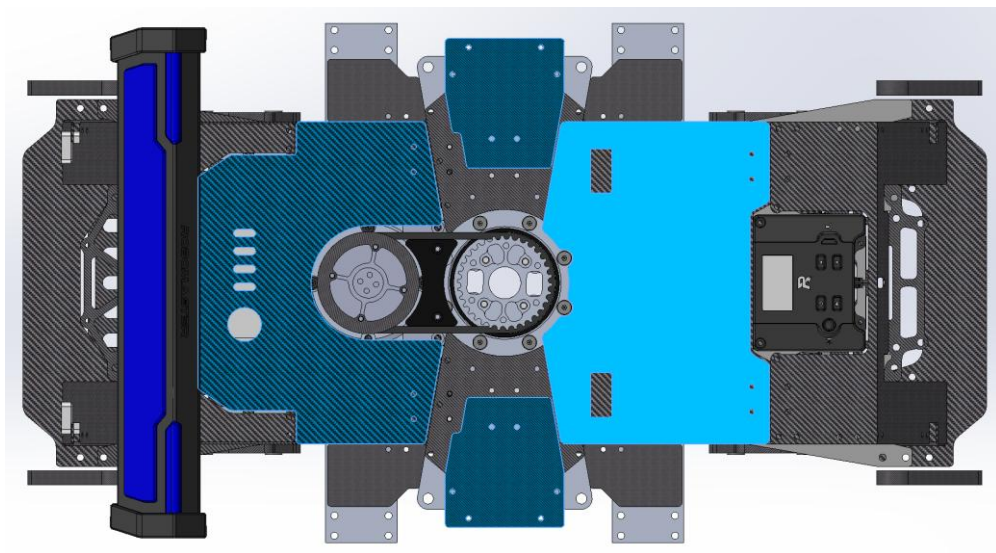
采用了上海交通大学开源同款的井字形车架设计，并用 cnc 填充件来保持车架整体刚性。



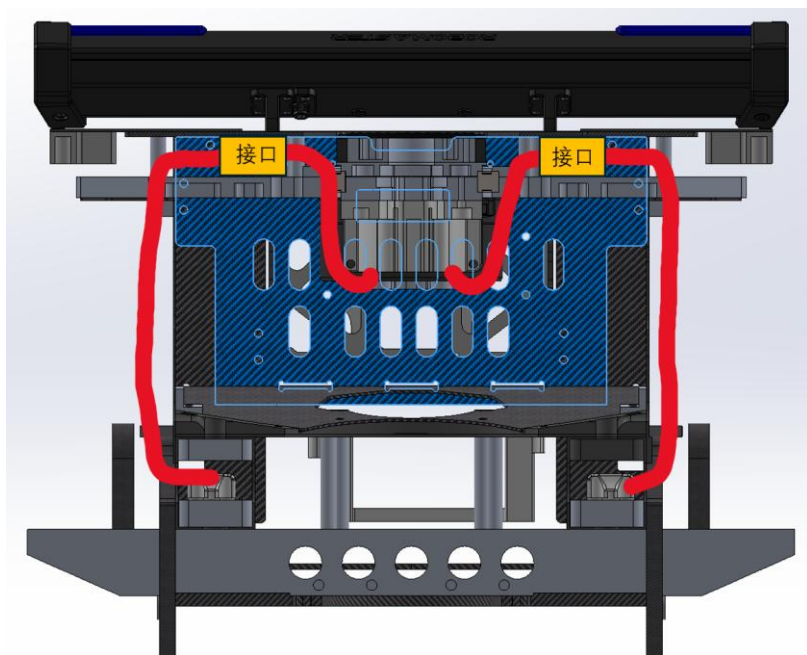
整体采用了电气仓和弹舱分离的排布，在走线时用蛇皮管保护线材，将部分线材由纵向铝通中穿过，其余线材从弹舱板下面穿过，使得不同地区的功能完全隔离，实现弹舱里没有一根线。（如下左图）



在供弹方面，由于中心供弹天生的模块化属性，我们也做了对应的快拆设计。同时将的大部分的电路设备集中在装甲板后和底盘附近，使得可以快速的对车辆进行检修。（如上右图）

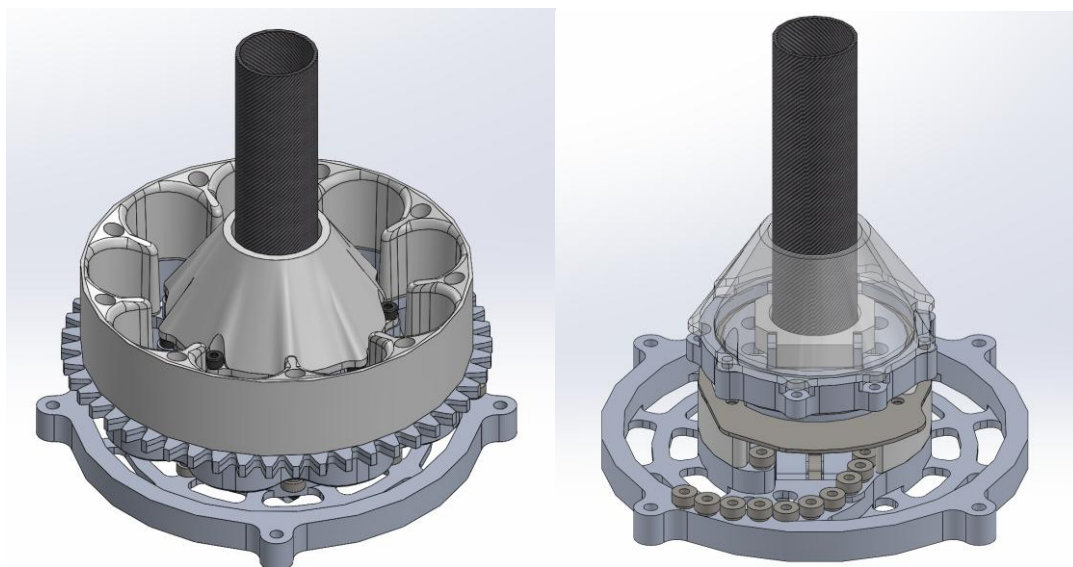


场地人员可以通过前后两个盖板补充弹丸，也可以通过打开同一块后弹舱盖来更换电池。同时使用弹簧合页来保证弹仓始终由关上的力，即使绑带松动也可以继续比赛，不会出现翻车或摔落后弹舱漏弹的问题。



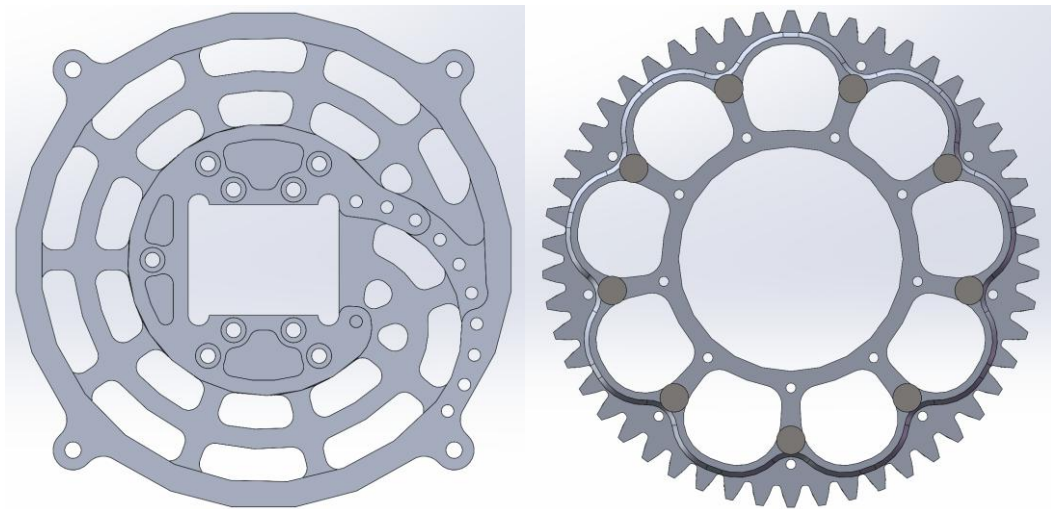
云台快拆方面，我们也参考了上交的优秀设计，由于需要用一部分高度来使得同步轮可以与车体同高，Yaw 承载板的上方多出了一部分空间，使得我们可以多做出两块盖板来将以云台滑环链接的六个 XT 接口放在这里，这样我们在拆除云台进行维修时只需要先拧掉 Yaw 承载板的四个 M6 螺丝，然后断开六个 XT 接口，就可以将整个云台模块拆除，极大方便了检修。

小弹丸中心供弹



中心供弹结构较去年没有大的变化，主要的改变是将大部分的结构从板材加 3D 打印变为了全 cnc，加强了拼装后的结构一致性并且简化了结构。（但是成本变高了）由于在去年的长时间使用后，外圈轴承和其固定螺丝出现了不同程度的弯曲，使得供弹困难，同时变形也使得旋转拨盘与下方的螺丝头干涉，实在是无法接受。最终认为是由于 3D 件刚性不足，导致固定小轴承的螺丝无法得到足够的支撑，从而使得受力巨

大的那几个螺丝连接失效。

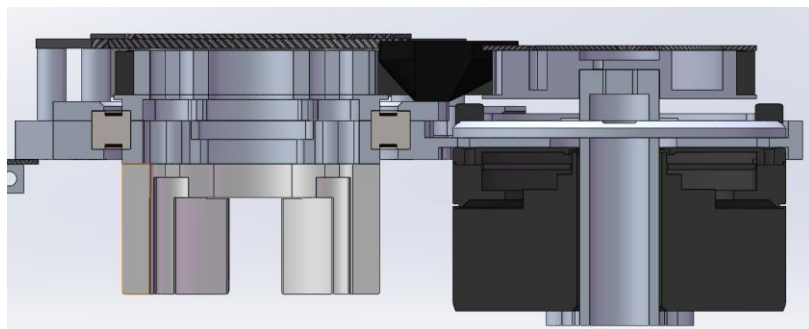


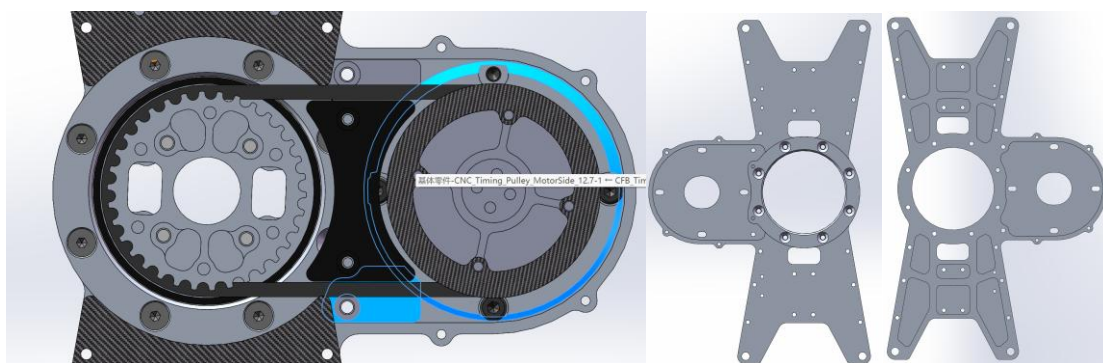
于是我们最终选择将所有承载螺丝的地方全部换成 CNC 件，并对原先分体的件进行了整合。同时使用自带螺杆的轴承，并统一所有轴承的规格，解决了上一代手拧 M2 螺丝滑丝然后红温的不良体验。（只是价格有点贵，不过为了稳定性还是值得的，而且现在有铨洲大大价格还是能接受的）

分弹片依旧使用嘉立创钣金，直接切割 1mm 钢材，效果拔群，价格非常便宜，这也为之后我们在车体设计大量使用钣金件做了验证。总的来说，在整体重量上实现了减轻，但由于备赛后期较为混乱的版本管理，现在手头上有的版本没有经过最终的减重，不过图里的草图管理还是很不错的，大家如果采用该方案可以自行减薄壁厚。

还有一个比较重要的点是在供弹底面开了大面积的减重孔，一定程度上可以帮助供弹自行排出异物。

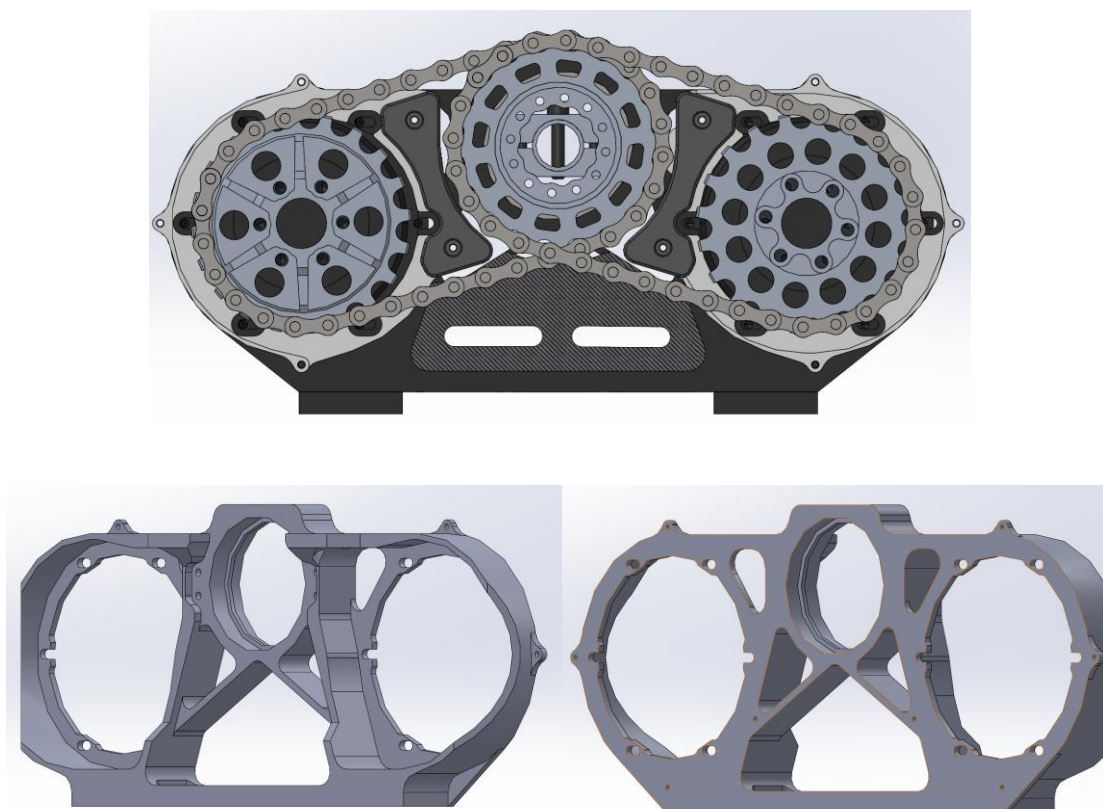
Yaw 轴系设计





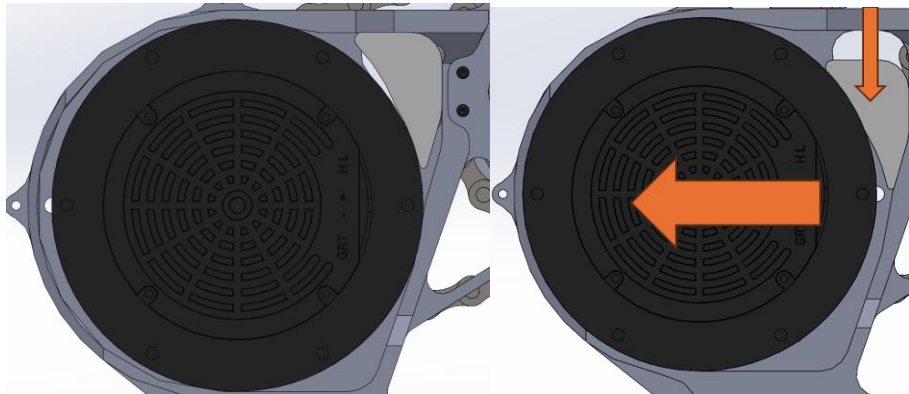
Yaw 整体还是采用了比较传统的设计，但是在涨紧方案上做了一些创新。利用如上图显示的两个 45 度倒角的楔块，用螺丝下压楔块来挤出电机，实现了一定的防松能力。在首次完成装配后的整个赛季里买油出现涨紧劣化的情况。承载板使用全 cnc 结构，并大量镂空。

髋关节



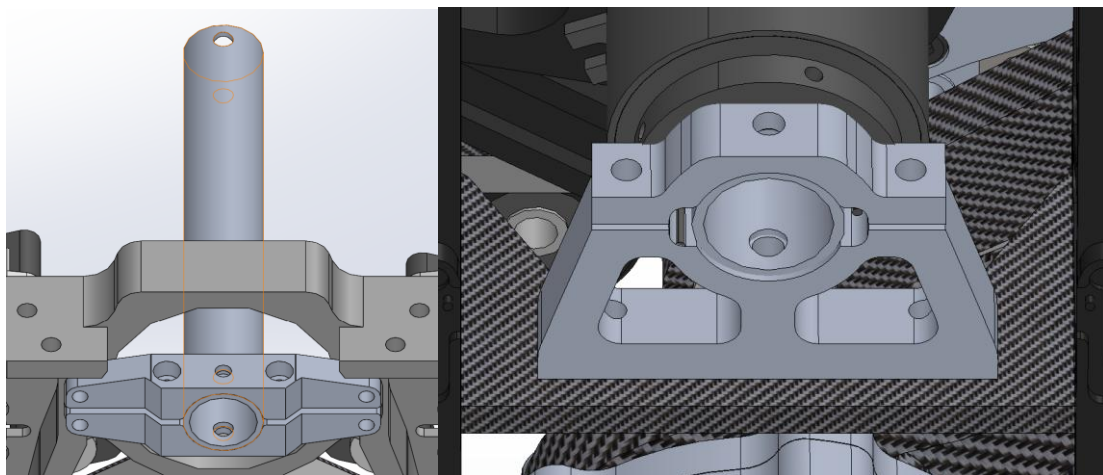
髋关节也采用了整体 cnc 的方案，由于此髋关节设计于赛季非常早的时候，那会铨洲的打样还存在诸多限制，导致有些地方没法使用更加激进的减重。不过总体来说三百多一点的重量还是很能看的，如如采用此方案可以自行修改一些参数。（我们回家后我又重画了一版髋关节，极限能压倒两百左右，且受力没有太大问题）铨洲方案的主要问题是最大厚度只有 30，没法进一步优化受力和减少重量。但是实在是太便宜了，这个髋关节放进铨只要 400 不到，加上氧化也就四百出头。

说回方案，我们还是沿用了去年腿的四角接触方案，利用该轴承背对背安装的大承载力实现腿部轴系的刚性。



电机涨紧方案，我们使用 cnc 件顶部的一个 M6 螺丝孔，利用拧动螺丝对白色楔块的推力将电机像垂直于涨紧螺丝的方向挤，将电机推开。此方案在步兵上几乎没有出现过松动的情况，重新涨紧也只需要略微拧松正面的六颗 M4 螺丝，然后用扳手大力拧动顶部的两个 M6 螺丝，然后再重新拧紧 M4 即可，可谓简单。另外楔块我们采用了三明治结构，即 3D 件来保证宽度，用中间的玻纤件来吃螺丝的推力。之前用的纯 3D 件楔块，即使百分百填充也会被螺丝挤烂，而且还很重。

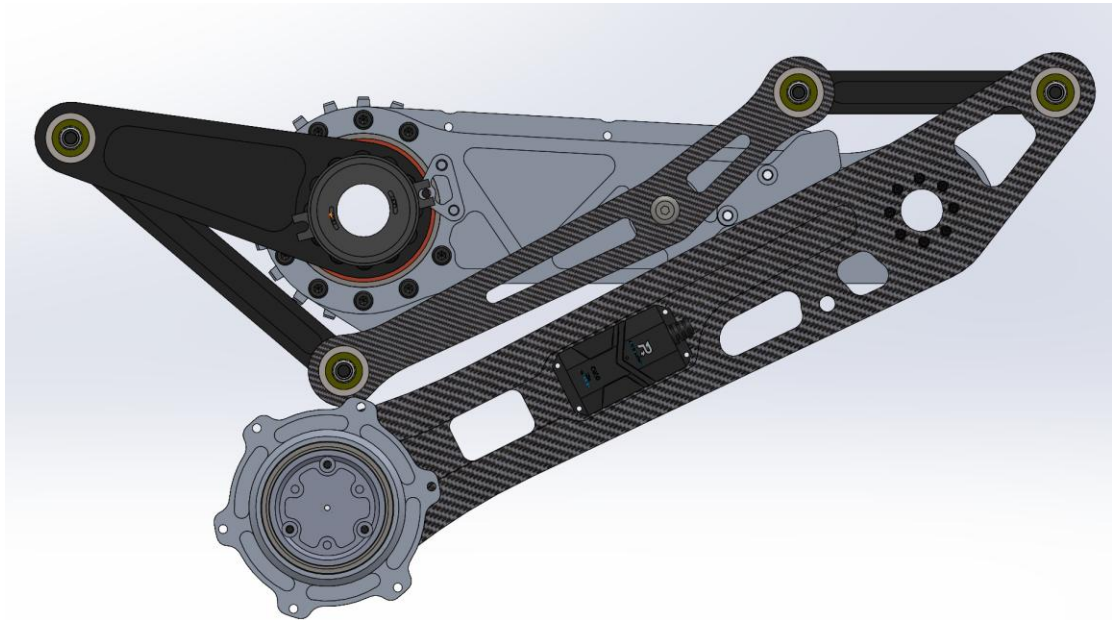
传动选用了九速的链条，链轮用金属销和电机的定位孔链接，确保安装同心度，不然会出现半圈松半圈紧的情况。



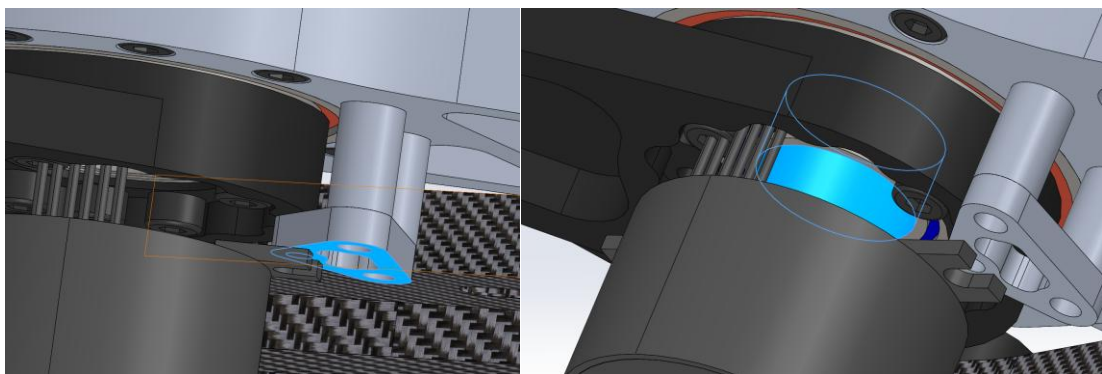
支撑装甲板的管子和 25 赛季一样选用了外径 20mm 的管子，主要时受到滑环数据的制约。在初期使用了壁厚 1.5 的 7075 管，但其实是一个失败的选型，由于制造工艺的问题，要将铝管外径加工到能和轴承配合的精度就得上车铣，然后就是价格起飞。而在实际的使用中，侧装甲板可谓是承受了一切，一开始老是会断掉，后来通过优化了侧装甲板的受力方式稍微优化了这个问题，可还是会出现管子被预紧力挤扁的情况。于是最终板还是改成了钢管，确实不值得为这点重量牺牲自己的心情。记得在定制的时候一定要标注抛光到对应的尺寸，不然装不了。就管子的固定问题，我们预想

的是在加工时预留自己攻螺纹的孔，然后吧螺丝从自己 c 的管夹里拧进管子里实现固定，这样时肯定没问题的。（但是比赛的时候最后也没改，还是有测装甲板容易被撞歪的问题）

串联腿

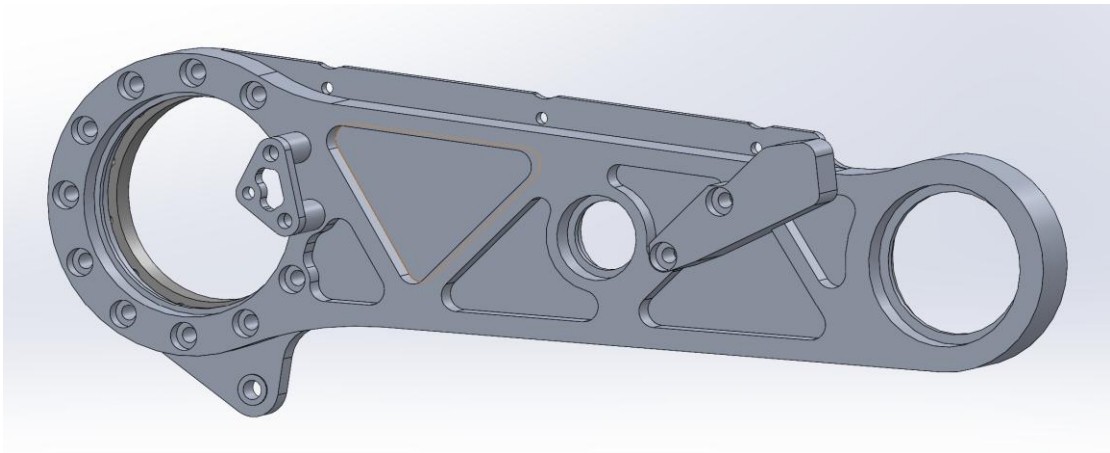


串联腿结构与采用了与 24 赛季相同的排布，依旧使用背对背角接触轴承固定轴系，用塞打轴承过盈配合来保证刚性。（PS 铨洲有段时间公差很迷，相同的尺寸出来的配合关系完全不一样，正确的配合应该是靠蛮力无法装配的，必须使用压接器才行，所有过盈或者比较紧的间隙配合都应当使用这个方法）转换相似的那个连杆中间使用了对锁螺丝，在选型的时候不要买错，有很多这类的螺丝都是自带很大负公差的，会导致框量。

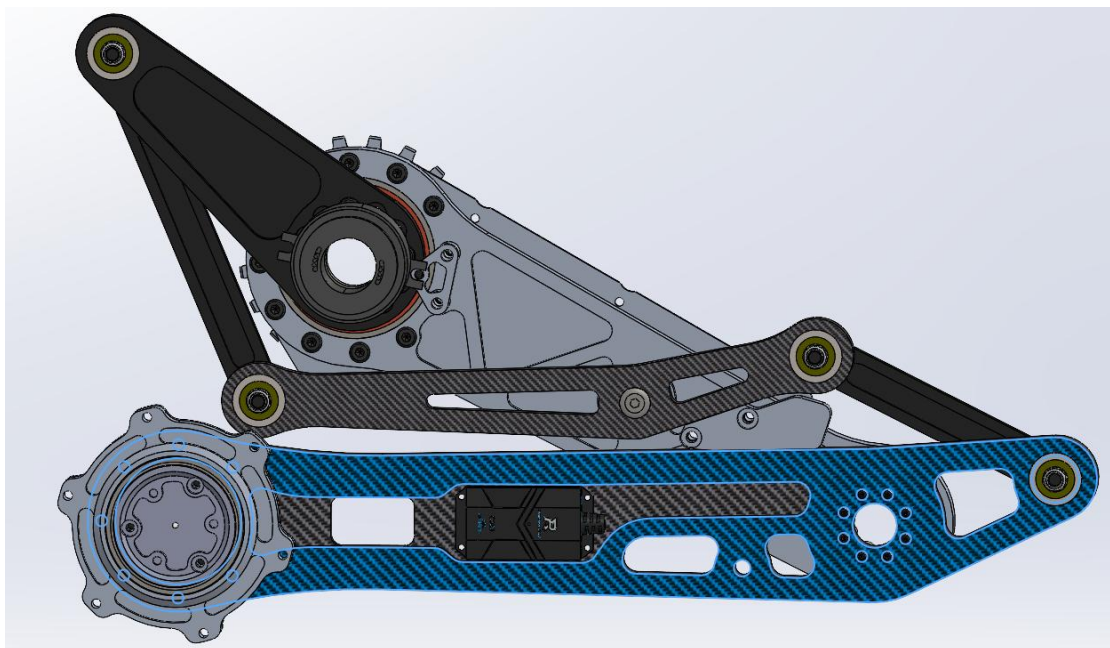


我们依然在腿部使用了去年同款的默孚龙内径 20 的滑环，利用两根铝间隔柱和一个小 cnc 件与滑环的耳朵链接，平且在腿的转轴出放置了一个深沟球轴承，在滑环和轴承中间加了一个 3D 打印的圆柱体来垫开滑环（图里没有，记得别忘了，另外图里的这个轴承型号好像没货了，四月份造第二第三台的时候就用了不同的人尺寸代替，记得查询

以下淘宝有没有补货，甚至替代的品类也最好屯一点，这个不是市面上常用的）另外拧住滑环的螺丝必须是一个很短的 m4 螺丝，备赛期间有小登拧了一颗长螺丝结果导致卡腿，查了好久苦哭笑不得。



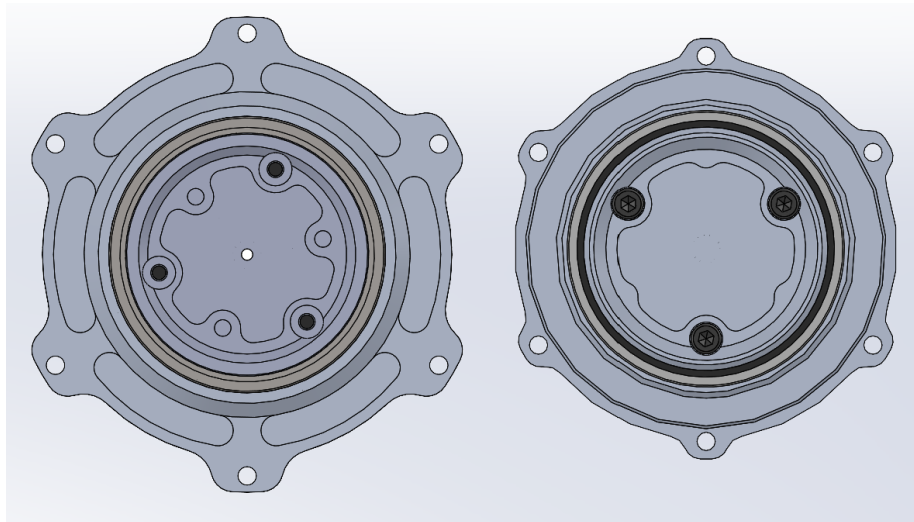
大腿采用了全 CNC 的方案，更加利好轴承专配，刚性也没有什么问题。在腿的上部削掉了一块来给走线留位置。同样这个腿可以有更加激进的镂空，尤其是有 7075 铨。限位块通过凸台卡在内部三角镂空里，保证螺丝不能吃剪力（断过），在多次大跳后没有出现问题。



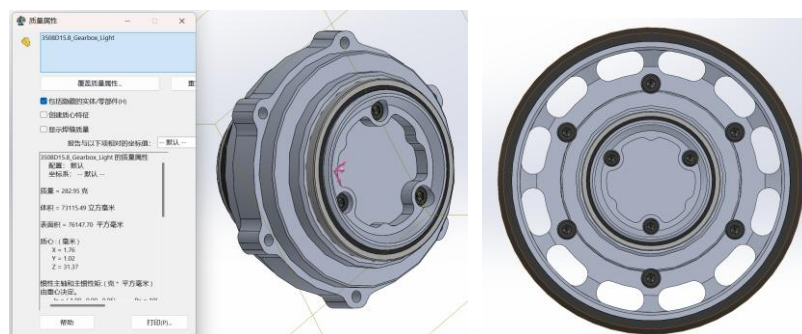
通过铣掉小腿的一部分结构，可以将走线完全藏在结构与内部，避免了刚蹭可能带来的问题。同时拆开 c620 更改线材的长度与 XT 头，可以将线材完全保护在大腿上部的开槽内。走线时将线材穿过大小腿连接处的洞口，保证在旋转后线材长度不变。在小腿保护方面，虽然我们给 C620 开了四个压铆螺母的安装位置，但实际上从来没用过，主要是他的 m2 螺丝太傻了。我们主要使用电工胶带来进行绑腿，一是他可以被拉扯，且足够薄，可以牢固的绑住所有地方，将线材限制住，而是拆除较为简单，且外

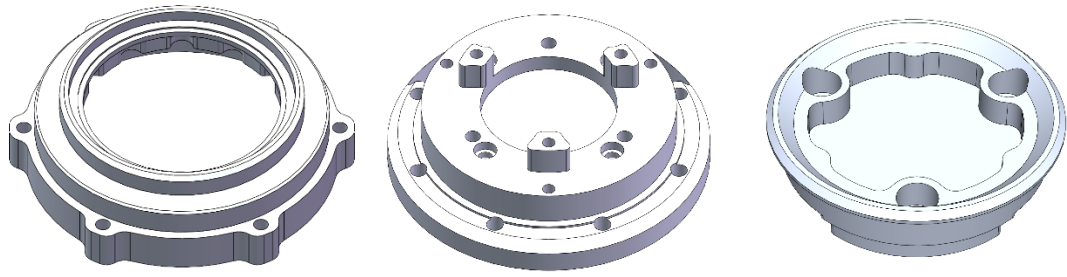
观比较美观（前提是用哑光电工胶）。气弹簧依旧采用 25 赛季同款，参数给的是 400N，但是用了自己设计的 cnc 接头，上面装法兰来保证转动时不会出现问题。小腿采用了 15mm 的碳纤维制作，老版本使用过 12mm 的玻璃纤维，大量测试过后也没什么结构性问题，只是在踢腿末端的时候材料刚性不组会有振动的问题，掰也会出现形变，总之省成本可以考虑使用，玻纤腿常便宜。

驱动减速箱



我们今年对主要修改了关于齿轮箱的两个问题。一是齿轮箱结构比较复杂，装配要花费大量的时间，我们希望尽量减少装配难度，以及提高良品率。二是将齿轮箱改为双端轴承，可以帮助其拥有更好的承载能力，避免在极端情况（例如大跳）中碎齿或其他失效，同时也可以防尘。上左是我们在比赛中使用的齿轮箱，我们更改了传动比至 15.8（近似），以帮助能够在更加怪异的姿势下起身，提高加速度能力。上右是比赛过后的优化版本（左图是我紧急救火后的产物，虽然足够稳定但是不够优雅，全齿轮箱依然要 5 个 cnc 件）。右图的主要的优化是减少了 cnc 零件的数量，只要三个零件，底座，顶盖，和输出。

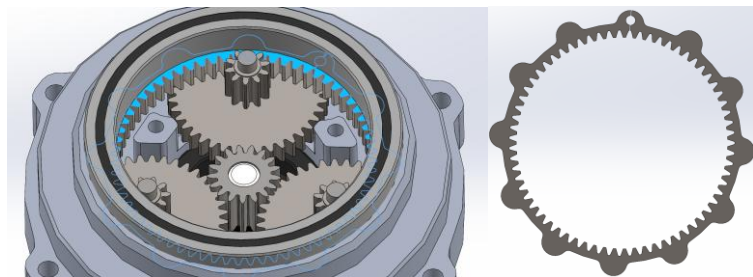




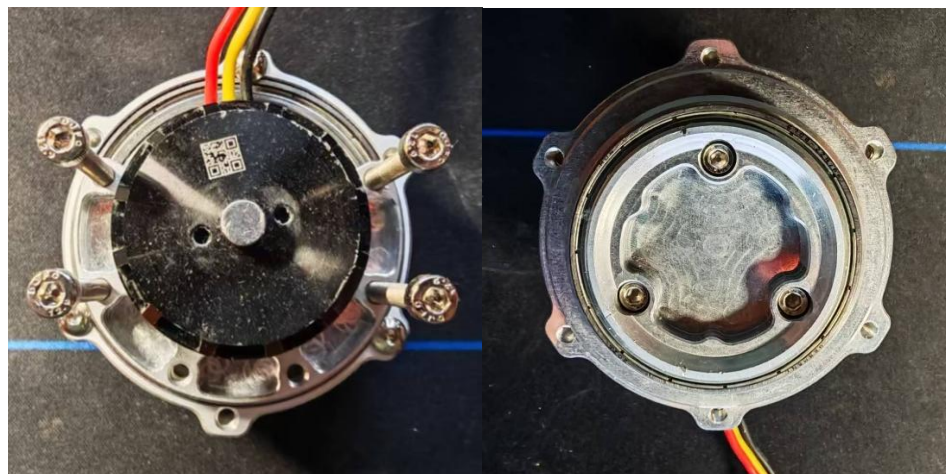
同时做到了减少了四分之一的重量 (283g, 至少我觉得这个重量非常轻)。在铨洲加持下 cnc 件非常的便宜, CNC 底壳 41.8, CNC 输出端 26.8, CNC 顶盖 11.8。唯一的问题就是外径变小了, 不能直接适配 Hexroll 的轮子。但是可以适配更多的轮子选择。

(连接孔位依旧和 hexroll 保持一致, 也依旧可以选择 14.3 的版本)

底座件为了合成一体, 也同时走 6.8, 有一个非常薄的封边来保证底面完整性, 在拿到之后需要自行拆除, 如果嫌边太划手就拿锉子搓一下就行。另外这个设计可以保证完全轴对称的机械结构(强迫症狂喜)



齿圈仍然采用线切割 45 钢, 通过内外联通来保证同心度。上右图中的圆型小孔是 m2*4 顶丝的安装位置, 起到固定齿圈的左右, 必须安装。建议购买专业的 0.9 螺丝刀, 不然很容易滑丝。如果滑了也可以直接通过前面提到的压机吧顶死直接压进去。在安装齿圈的时候一定要注意平行度, 不然就可能出现半圈松半圈紧的情况。加工商我们一直都是和淘宝的求是线切割定制, 体验不错。



另外双联齿的安装必须对其，不然无法传动。可以通过观察小齿的齿轮朝向来对准齿轮，即选定小齿轮上的一个齿轮，将三个齿轮中选定的全部平行放置就行。



特钢五金专营店
90天新增54条好评，平均17小时退款

进店逛逛 >



TBH17-M3*6
碳钢小径头杯头内六角...
TBH17-M3*6
HK可退 假一赔四 7天无理由退换 >
实付价 **¥2.2**

▼ ¥2.2
x16

另外我们使用了一种特殊的螺丝来固定 3508，一款小头得到 m3 螺丝（空间不够）价格比较离谱，但是小范围使用还是可以接受的（一个 2.2，确实有点贵）所有的螺丝最好都用中强度螺丝胶链接，222 容易寄。



工业胶水润滑油批发
90天新增15条好评，平均6小时退款

进店逛逛 >



杜邦润滑剂 KRYTOX GPL205 2...
试用装/100克分装
退货宝 7天无理由退货 >
实付价 **¥104**

▼ ¥158
x1



HR进口轴承销售处
客服平均26秒回复

进店逛逛 >



进口SKF低粘度低温超高速轴承...
LGMT3/0.4(进口品 最新期货到货)...

▼ ¥80
x1

7天无理由退货 >
实付价 **¥76**

润滑方面我们有两个选择，左边那个价格很贵，量很小，但其实省点用使用足以保证队伍所有车的润滑脂需求。好处是非常静音，需要上适量不然会太粘。右图量大管饱，就是正常的黄油。另外如果可以的话最好将双联齿中间的那根销上也涂满润滑油再安装齿轮（我们在串联齿上没有轴承，全靠间隙配合）可以参考下右图购买一个推子，然后吧润滑脂灌进去，挤着用，体验会更好。也可以选择直接问问硬件有没有多余的，一般助焊剂啥的都会用。



motor1979
90天新增10条好评，平均2天退款

进店逛逛 >



0.6 模数双联齿轮 内孔3mm 10...
退货宝 7天无理由退货 >
实付价 **¥3.5**

▼ ¥3.5
x30



碧多士医疗器械专营店
88VIP好评率98%，客服满意度93%

进店逛逛 >

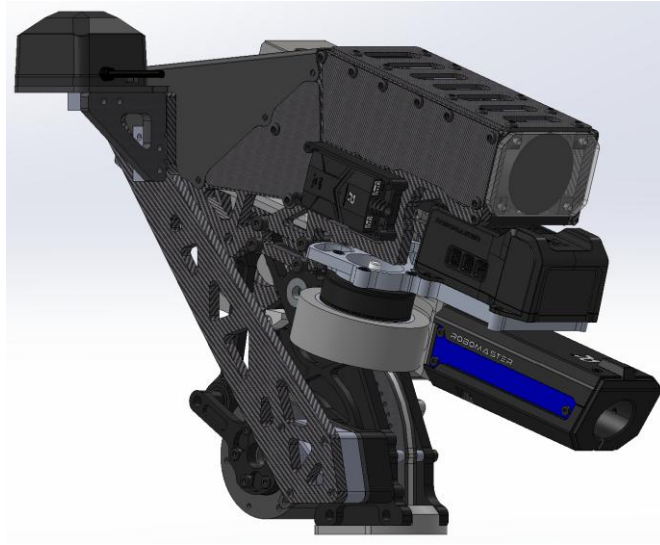


针筒非注射器大号容量给药医...
60ml（手按式）1支
大促价保 假一赔四 极速退款 >
实付价 **¥5.38**

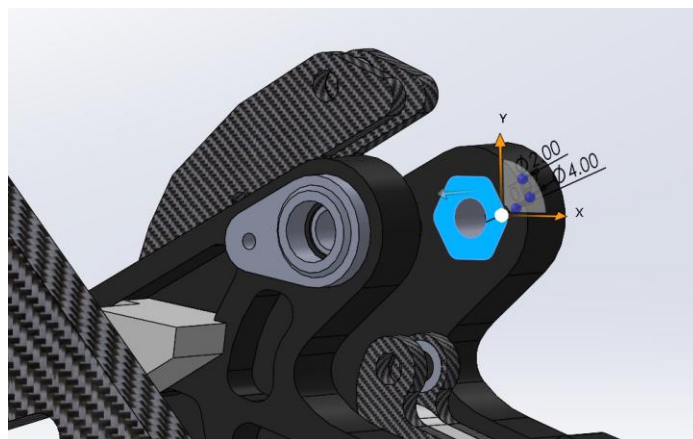
▼ ¥6.88
x1

双联齿轮参考左边这家，也是可以在他们加买到很多其他的种类。（就是老板不太理人，一些数据标注也有一些出入，最好买到手实际量一下确认变位）

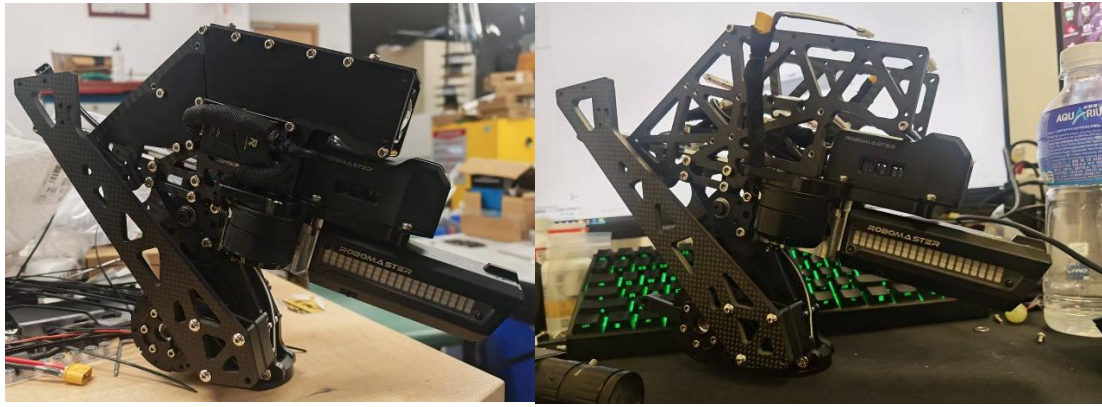
云台设计



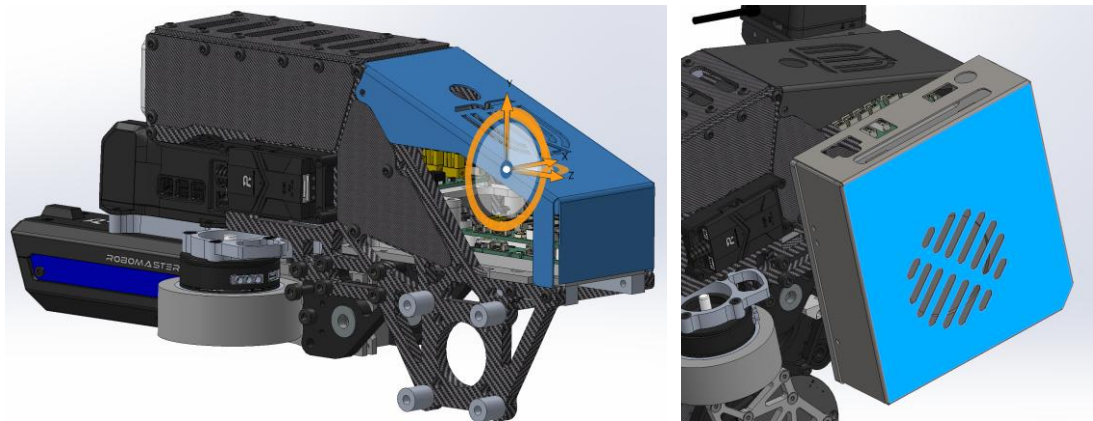
云台的主要设计方向有几个，惯量小，俯仰角够大，刚性够足，还有工作范围尽量小。惯量问题主要是利好自瞄控制，当然大惯量也不是不能控。俯仰角不用讲了。在此重点说一下刚性的问题（最后完全解决了）。我们在测试的过程中非常多次的出现了头出现严重 roll 的情况，分别在脖子连接处和 pitch 轴系都出现过严重的失效。先分开说，脖子根部链接件我们最先采用了 8 根 m4 螺丝拧进带侧孔的 6061 件里，但是多次出现了螺纹被连根拔起的情况，特别是在极端工况下，经常会出现恐怖的 roll。我们在此后也更换为了四个 m5，但是没有什么用。最终改为了一根塞打螺丝直接穿过脖子拧进另一侧的外板，靠塞打吃所有的剪力，最终完全杜绝了这个问题。（头终于是刚体了）另一个部分是 pitch，这里我们希望不使用对锁螺丝，可以直接从外侧拧出塞打以快速拆除头部，但是受力问题还是导致会把里面的铝螺纹给扯出来。



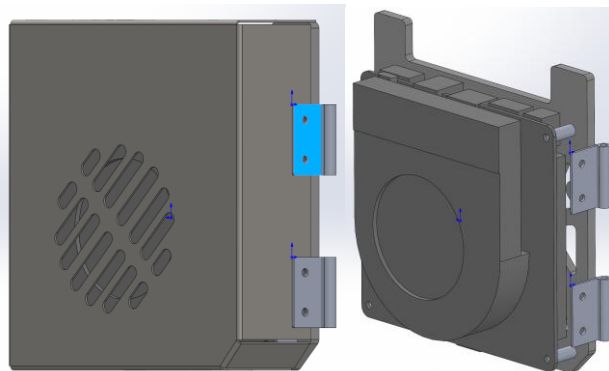
最终的解决方法是线切割了一个 45 钢的螺纹件，靠国盈卡在转轴处，替代铝螺纹，同时也优化了塞达的长度，尽量让螺纹不吃力（其实锯塞打螺丝头也行）



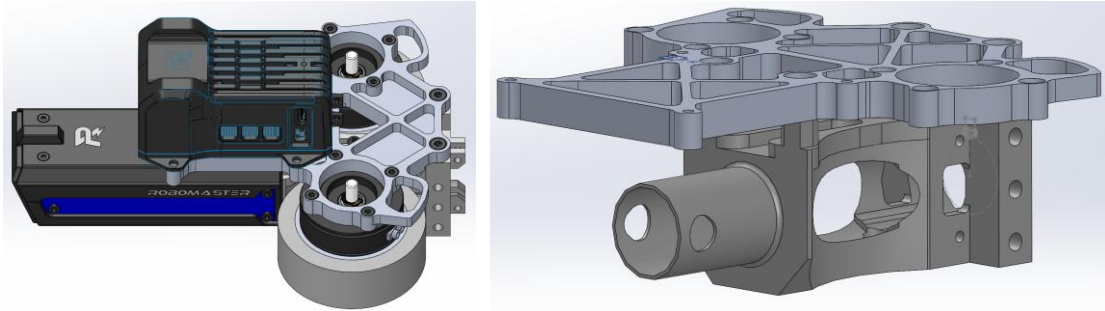
说回结构设计，头采用了完整的侧板，加大量的镂空（有时候其实怀疑 6mm 碳有点太刚了，感觉 5mm 也不是不行）。云台的一个指标就是要减少装配误差，所以零件最好越少越好。最后用 1mm 的玻纤板吧镂空封起来，放置小弹丸漏进去（其实更多是为了美观）



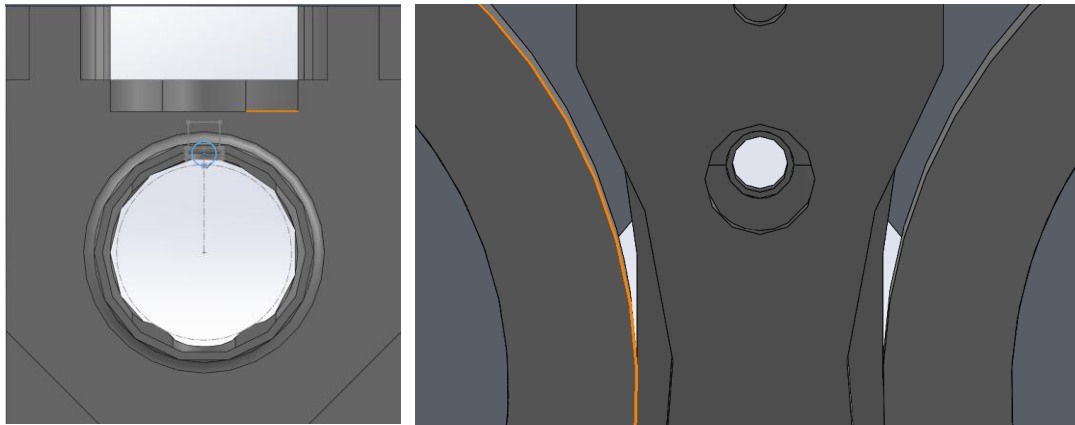
硬件仓我们使用了 0.8mm 厚的钢板金作为保护，在经受大量冲击后也没有什么形变。钣金是我们大量使用的一个元素，因为除了有点重没有任何坏处，其价格非常便宜，还可以标注让商家吧钣金的缝焊起来，进一步加强刚性。商家直接找嘉立创，无敌便宜。我们在电脑仓也使用了这种设计，原本是用好多两毫米板材拼接成一个壳子，但是拆装困难，同时也非常容易坏。



使用了钣金外壳后可以直接用合页打开罩子，=方便检修，同时我们也在钣金内部加了大量的减震棉，来进一步保护电脑。我们还在电脑的上部留出了一部分空间，用来吧线材全部藏在外壳内部，杜绝任何可能的意外。



发射机构方面，我们采用了传统的全 cnc 枪管，用枪管管夹抱紧的方式来杜绝出现同心度问题，用 cnc 件之间的间隙配合来保证摩擦轮和弹丸的接触关系。



小弹丸定心方案我们使用了 v 槽加单个弹簧定位销的方案，可以通过 c 件下部的开孔将定位销压入上面留下的控卫。这套系统用起来还是很不错的，但可以尝试使用更大的预紧力，可能会获得更好的散步。(我还是认为小弹丸散步时一个系统性问题，跟供弹和弹链的关系都非常大，本赛季基本可以做到在 6m 的距离非常有效的命中，到 8m 的散步会有所衰减，但是依然还是能看的，)

迭代与测试过程

完成车辆装配。经串联腿初始参数调参，多次系统无法收敛导致失控疯车后无明显结构损坏。结构强度基本符合初始预期。车辆重量符合建模软件的估计，较上赛季串联腿减少了 4kg 左右的重量。由于成本考量，26 赛季串联腿步兵首车大部分将使用玻璃纤维，仅在重要承力部位（如车辆前导轮缓冲结构，云台侧板）处使用碳纤维，导致少数结构存在刚性不足。

车辆子系统结构验证情况如下：

1.髋关节及主承力结构

使用整体 cnc 髋关节，对工件进行受力分析和结构优化，集成轴系，涨紧系统，同时优化了重量，保证轴系同心度。经摔落，撞击等暴力测试后无主要失效情况，存在如 1mm 铝通外壁轻微形变，非重要结构损伤。

1.腿部轴系

采用角接触轴承组建立主要轴系，正确装配后无明显结构晃动，轴系强度符合预期。

2.车辆外观件

大量使用 2mm 玻璃纤维板材制作车辆外壁，经暴力调式后无明显损伤，可更换为 1mm 碳纤维板材进一步节省重量。

3.导轮结构

导轮结构存在结构失效，尼龙防松螺母防松性能不及预期，塞打螺丝松动后改变承力结构，诱使法兰轴承损坏导致结构失效。后续在防松螺母基础上进一步加固螺丝，导轮结构刚性未出现问题，但需更多测试验证。

此步兵机器人经过了一次完整的迭代，初代的步兵出现了一些系统性不足，经过大量调试和压力测试下，出现了以下问题：

1. 髋关节与主承力结构

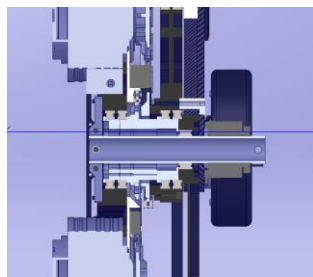
整体 cnc 髋关节在大量测试下无任何损伤，涨紧结构无损坏与松动。

少数结构存在可能的塑性形变风险，如前导轮下承力碳板，在如飞坡等极端工况种出现了偶发的失效现象。通过优化此处受力模式，将车前方向的三毫米碳板更换为四毫米碳板，经大量测试杜绝了该失效的可能。



2. 腿部

由于采用了内凸台为 1mm 的 6061 铝来固定双端角接触轴承，以及使用了 12mm 的玻璃纤维板材作为大腿结构，存在刚性不足的问题，但不影响正常使用。新版该模块使用 10mm 碳纤维板材制作小腿连杆，15mm 碳纤维板材制作小腿结构，并将内凸台改为 2mm 来加强结构，杜绝了该现象。



3. 车辆外观件

2mm 玻璃纤维外观件无损坏现象，存在强度过剩。为减轻重量，新版改为全车 1mm 碳纤维外板。

4. 导轮结构

导轮结构此后无明显损坏，用一大直径 1mm 厚度的垫片压住此前容易失效的轴承法兰，优化受力状况，杜绝了失效的情况。存在导轮本身失效的情况，如聚氨酯层剥离等，属于正常损耗。

其他结构优化



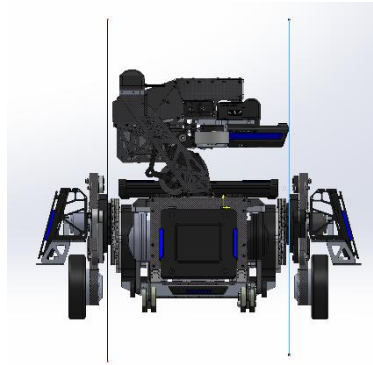
左图为第一版，右图为第二版

主要优化内容

1. 人机交互

存在如弹舱盖较小，补弹较为困难。电池舱开关方向向外，不符合操作逻辑等细节问题。新版通过优化整车布局解决该问题。

2. 倒地自起



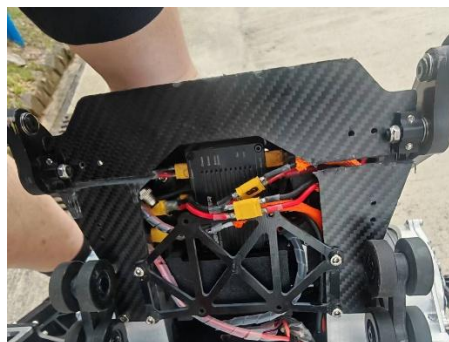
初版虽然可以倒地自起，但是云台工作空间与腿部运动空间存在重合，对起身速度有一定影响，故新版通过缩短云台长度，加宽车体等方式对此进行优化，使得腿部可以在头部任意朝向时实现无线旋转，加快了自救的速度。

3. 硬件走线优化

通过加宽车体的方式增加了走线空间，杜绝了线从车辆弹舱内穿过，从而占用弹舱空间的情况。

经多月调试和压力测试，步兵机器人在结构强度方面得到了充分的测试，并发现了几处设计隐患，在修改结构后不再触发结构失效。

1.前导轮下缓冲板多次断裂



步兵机器人前导轮在车辆跌落或摔倒时要承受车辆所有的撞击，虽然导轮利用碳板本身的弹性进行缓冲，但该设计会在上图断裂处堆积应力，直到结构失效。尝试使用纵向加强来刚性对抗形变，保证碳板不超过其应力极限，但在多次测试后仍有断裂的情况发生。后将该碳板更换为 4mm，后导轮碳板由于从未断裂，故认为其不会受到过多的冲击，仍保留 3mm 碳板。此后经 40+次飞坡摔落测试，未见损坏，

该结构问题被认为已解决。

1.机器人云台轴系多次松动

在经历大量的摔落后，串联腿步兵的云台多次出现松动情况。在加强螺丝胶等更强的粘合方式后，该问题仍然存在。经多次验证，发现云台轴系内的 6061 铝制螺纹出现损伤，怀疑铝合金并不能在此工况下承受轴系受到的力。从而轴系的松动导致对应轴系深沟球轴承多次损坏。以通过将内螺纹更改为 M6 以保证强度。此后测试未出现失效情况。后续将该轴系内螺纹修改为 45 钢材质，结构失效不再发生，该结构问题被认为已解决。

步兵机器人优化：

结合测试，我队规划了以下队串联腿步兵的升级内容，将在区域赛前队步兵机器人进行优化升级。

1.优化底盘布局，将 yaw 电机、RFID 交互模块，发光灯条系统、电池管理模块以及裁判系统位置相对于髋关节以及轮腿位置进行重新排布，优化布局，方便走线，提高空间利用率。

2.加宽车体弹仓部分，增加弹容量，以及车身整体刚度。利用髋关节电机作为外壳的一部分，减轻弹仓重量，方便走线，可以做到髋关节电机线不进入弹仓，提高线材寿命，进一步增加弹容量。同时，向外延伸的髋关节电机于弹仓中间部分的空间扩大，保证所有线头均可藏于对应空间，并且方便检修和插拔。解决在云台 yaw 特定角度翻到自救的过程中轮腿与云台发射机构或运算平台部分干涉的问题。

3.更换中心供弹系统拨弹盘驱动电机，由 DJI M2006 电机更换为领控 4005 电机，拥有更大的功率，同时高度显著降低，解决了原先 2006 电机侵入弹仓的问题，提高供弹系统的稳定性，增加弹仓容量。

4.髋关节电机固定零件优化，提高可维护性，优化镂空部分，增加整体强度，减轻部分重量。

5.优化轮腿设计，调整参数以获得更大的大腿小腿长度，整体刚性增加。重新设计 CNC 角度限位零件，优化受力结构，解决原先耐用性不足，限位长时间使用时容易失灵的问题。

6.优化镂空，整车减重，根据已经完成的实车，进行部分结构补强，同时在冗余结构上进行优化，减轻整车重量的同时提高部分结构强度。

7.取消 tof 传感器摆放位置，加长车体前后装甲板部分斜板，提高车体连贯性以及一致性。

8.髋关节电机处铝管固定重新设计，解决侧边装甲板受力能力有限以及在较大外力情况下会进行小角度旋转的问题，提高侧边装甲板支架的刚性

9.yaw 部分加宽，将电池仓合页部分转移至 yaw CNC 件上，理线仓部分设计进行优化，提高使用便捷性

10.弹仓盖开启方式进行优化，覆盖面积加大，一次性开盖，方便装填更多弹丸，

提高装弹以及弹仓维修效率；换用弹簧合页搭配魔术贴的设计，确保比赛过程中不会出现弹仓盖开启的状况，自动合盖锁紧。

11.弹链以及发射机构优化

通讯信息

非常感谢各位对香港科技大学 ENTERPRIZE 战队开源项目的关注与支持，欢迎通过以下方式联系我们，强烈推荐加入官方开源交流 QQ 群：

- 香港科技大学 ENTERPRIZE 战队开源交流 QQ 群: 581184202
- 战队微信公众号: HKUST ENTERPRIZE (ID:gh_855d709c046e)
- 战队 Bilibili 官号: 港科大 ENTERPRIZE 战队 (UID: 634988052)

若您在机器人设计过程中受益于我们的项目，恳请在开源引用中注明我们的项目来源。你们的支持是我们不断前行的动力。让我们携手共建一个鼓励创新、协作与超越的 RM 开源生态。
