华南虎战队

华南理工大学机器人实验室

华南理工大學

South China University of Technology



第二十四届全国大学生机器人大赛RoboMaster2025

英雄机器人

开源报告

摘要 英雄机器人机械结构开源

开源人员 曾庆鋆 边浩翔 吴雨桐 杨润煦

目录

目录 1

1.背景和设计思想 5

1.1 研发背景与意义 5

1.2 需求分析 5

1.2.1 一代车问题总结 5

1.2.2 二代车需求分析 6

1.2.3 二代车问题总结 6

1.2.4 三代车需求分析 7

1.3 方案分析 7

1.3.1 底盘方案 7

1.3.2 拨盘方案 8

1.3.3 yaw 轴方案 9

1.3.4 云台方案 9

1.3.5 发射方案 10

2.机构设计 11

2.1 基本参数 11

2.2 底盘设计 11

2.2.1 分区赛底盘设计 11
2.2.2 国赛底盘设计 14
2.3 拨盘设计 16
2.3.1 分区赛中心供弹拨盘设计 16
2.3.2 国赛切向供弹拨盘设计 22
2.3.3 拨盘设计总结 24
2.4yaw 轴设计 24
2.4.1 分区赛 yaw 轴设计 24
2.4.2 国赛 yaw 轴设计 26
2.4.3yaw 轴设计总结 26
2.5 云台设计 26
2.5.1 分区赛云台设计 26
2.5.2 国赛云台设计 32
2.6 发射设计 35
2.6.1 分区赛三摩擦轮发射设计 34
2.6.2 国赛六摩擦轮发射设计 36
2.6.3 问题总结 39
3. 改进预想 40
3.1 更优秀的地形适应能力 40
3.2 更强的视觉辅助 40
4. 总结思考 40

鸣谢 41

附录： 41

附录 1：英雄机器人设计研发进度时间轴 41

1.背景和设计思想

1.1 研发背景与意义

英雄在赛场上是推塔的主力，它所搭载的 42mm 大弹丸发射机构发射的大弹丸可以对前哨站和基地造成大量伤害。在 25 赛季的赛规中，英雄可以在己方半场开启部署模式进行部署吊射，可以造成更高额的伤害。这对英雄吊射散布、频率以及灵活性要求更高。

为此，我们选择继续优化三摩擦轮构型和参数、研发六摩擦轮发射机构来优化吊射散布；采用新的舵轮轮组和内嵌电机麦轮轮组来提高英雄的机动性、灵活性；使用雷达尝试视觉吊射来快速启动吊射，加快出伤速度，提高机器人上限。在从而让我们的英雄可以有效抓住时机进行部署吊射，也能灵活执行撤退、冲家等战术。

1.2 需求分析

1.2.1 一代车问题总结

底盘

1. 底盘移动速度较慢
2. 小陀螺速度慢
3. 整车重量大

拨盘

1. 拨盘拨力不够，在发射拨珠限位较硬时拨盘卡弹严重
2. 拨盘和 yaw 轴连接设计有问题，容易卡弹，且无法回拨

Yaw

yaw 轴结构在弹舱空间中，会造成卡弹

云台

1. pitch 连杆传动效率低，轴系负荷大，轴承易损坏，连杆易松
2. 走线混乱
3. uwb 支架因为干涉问题无法实装

发射

1. 射速不稳定，无法实现远距离吊射
2. 倍镜结构设计有问题，强度不够

1.2.2 二代车需求分析

表 1 二代车需求分析表

需求等级/优先级	需求功能	需求内容	需求来源
一级需求	优越的底盘性能	更快的小陀螺速度与移动速度	
	优秀的地形通过能力	稳定下	
	更强的拨盘性能	拨力足够大，拨弹稳定，不卡弹	
	推前哨能力	8m 小装甲板命中率百分百	快速推掉前哨争取更多吊射时间
	吊射能力	16m 大装甲板命中率百分之六十	
	管路平滑	减小拨弹振动和弹丸虚位	
	俯仰角覆盖范围	满足吊射角度要求以及近距离打人	
二级需求	滑口各位置对弹丸约束效果一致	保证进入玻珠时的姿态	
	yaw&pitch 电机抖动控制	减小后座对散布影响	
三级需求	小电脑散热	小电脑过热会重启或死机	
	保护壳覆盖性	保证小弹丸没有留存在机器人结构内导致运动受到干涉的可能性	

1.2.3 二代车问题总结

底盘

1. 轮组阻力大
2. 底盘功率分配存在问题

拨盘

拨盘过大，使得整车空间和重量难以压缩

Yaw

yaw 轴结构侵入弹舱空间，弹舱容易架桥

云台

1. 雷达安装位置对视觉队友不友好，识别情况差
2. 未充分考虑倍镜结构前后反转对 pitch 质心的影响，导致重力补偿结构无法在使用倍镜的工况下工作，进而导致 pitch 电机超额定功率运作，影响吊射时对 pitch

的抖动控制

发射

1. 射速极差缩减至 0.2，仍有提升空间
2. 大倍镜对舵机不友好，很容易坏

1.2.4 三代车需求分析

表 2 三代车需求分析表

需求等级/优先级	需求功能	需求内容	需求来源
一级需求	优越的底盘性能	更快的小陀螺速度与移动速度	
	优秀的地形通过能力	稳定下二级台阶、一级台阶	
	高吊射准度	16m 大装甲板命中率百分九十	国赛赛场上对英雄吊射准度有更进一步的要求
	合适的俯仰角	俯可抽人，仰可吊射	
二级需求	飞坡	配合冲家战术	
	轻量化	在保证强度的情况下，有更轻的质量	
	便于检修		
三级需求	外形美观		

1.3 方案分析

1.3.1 底盘方案

1.3.1.1 分区赛底盘方案

联盟赛问题总结

1. 底盘移动速度较慢
2. 小陀螺速度慢
3. 整车重量大

方案分析

我们想通过改变底盘构型来解决以上问题

表 3 麦轮方案与舵轮方案对比

麦轮底盘	舵轮底盘
官方麦轮约 700g，轮组只需要四个 3508 电机	轮可自制，约 200g；轮组需要四个 3508 电机和四个 6020 电机
需速度分解，而且前进时受静摩擦力和滚动摩擦力	无需速度分解，前进时受滚动摩擦力
小陀螺需速度分解，有功率损耗	小陀螺时舵转向即可，无需速度分解

权衡利弊后，我们选择做一版舵轮底盘。

下面是对悬挂部分方案的分析

表 4 舵上与舵下悬挂方案对比

舵上悬挂	舵下悬挂
悬挂需要滑块滑轨，结构相对复杂，整体重量较重	只需两个避震器，结构简单，整体轻便
悬架抗点头角最大，制动点头角小	悬架抗点头角相对较小，制动点头角相对较大
轮心时刻在舵正下方，舵在转动时无额外功率损耗	轮心有时不在舵正下方，舵有时刻会有额外功率损耗

最终选择舵下悬挂方案

1.3.1.2 国赛底盘方案

由于二代车重量过大，载弹后达到 31kg，平地移动速度和小陀螺速度都达不到预期，并且国赛车确定要上六摩擦轮云台，底盘方面必须减重。

为此我们选择回推麦轮方案。

1.3.2 拨盘方案

表 5 大弹丸拨盘方案对比

切向供弹	中心供弹
拨盘偏置于 yaw 中心，适合麦轮等非中心对称构型的底盘	拨盘中置于 yaw 中心，适合四舵、四全等中心对称构型的底盘

管路长度长，但管路转弯半径大	管路长度短，但管路复杂，转弯半径小
电机直驱拨齿，拨齿拨力由电机和电机减速比决定	一般是电机侧置，再通过传动机构驱动拨齿，传动机构减速比也会影响拨齿的拨力
切向拨盘出口处难以做到弹丸无缝衔接，使得弹丸可能会在管路中产生振动	中供拨盘的向心螺旋链路可以使弹丸无缝衔接，理论上可以减小振动

1.3.2.1 分区赛拨盘方案

有了一代车第一版中心供弹方案的尝试，我们对中心供弹有一定了解和积累。选择继续做一版中心供弹适配舵轮底盘。

1.3.2.2 国赛拨盘方案

二代车运动性能没有达到预期效果，继续优化二代方案可预见的收益不明显。所以我们决定回退麦轮，拨盘也回退切向供弹拨盘。

1.3.3yaw 轴方案

yaw 轴结构经过多个赛季的优化，已非常成熟和稳定，没有太大改动空间。所以本赛季 yaw 轴方案没有大改，一直沿用之前的方案和设计。

1.3.4 云台方案

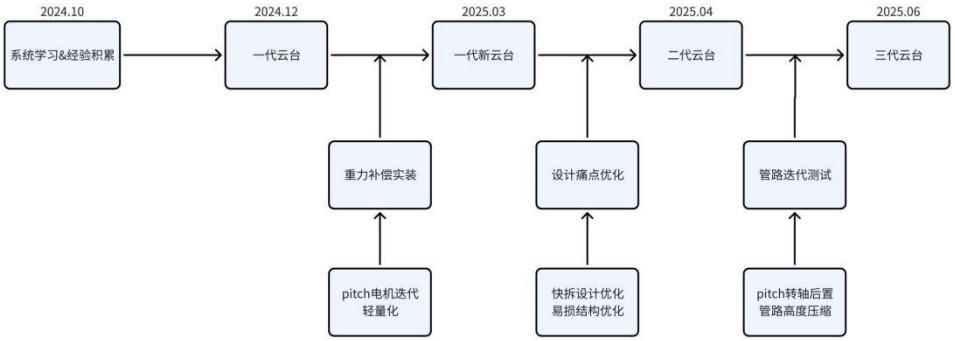
1.3.4.1 云台方案迭代对比

表 6 云台方案迭代表

一代车（旧）	一代车（新）	二代车	国赛车
Pitch 沿用了 24 国赛的翎控 MF9025 电机，靠电机重量进行 pitch 配平，既会导致电机发烫，又会导致云台质量变大，整车质心上移	考虑到后期的 yaw 轴电机更换，因此 pitch 换用 6020 电机，靠压簧进行重力补偿，补偿效果很好但在电机控制上为电控队友带来了一些困难	相对于一代新云台无明显改动，此时的工作重心偏向于适配六摩擦轮的管路测试	为六摩擦轮的实装进行了一些适配调整，同时将电机换为 6006 电机，且由于其电机铝外壳较薄，因此将电机中置进行保护
Pitch 采用连杆机构进行传动，优点是电	为将 6020 电机的中空轴改为面输出，pitch	优化了 pitch 电机及连杆机构的尺寸链，	为减小发射质心前移导致 yaw 的负载

机进行了后置，不影响 pitch 转轴的维护和鹅颈链路的延伸，缺点是错误分析了 pitch 连杆的负荷导致轴承易碎，轴系需经常维护	电机的固定以及 pitch 连杆采用了板材堆叠的形式，优化了上一代云台的轴系负荷问题，但板材堆叠导致的尺寸链变长导致的平行度过大又进一步引发了 pitch 轴系易松动	由板材堆叠改为机加铝件以控制平行度，极大程度改善了 pitch 连杆的易松问题	过大，云台方面进行了新管路的适配上车，后置了 pitch 转轴，以保证 yaw 轴的结构在没有大改的前提下仍能保留飞坡能力

1.3.4.2 云台研发时间轴



1.3.5 发射方案

1.3.5.1 分区赛发射方案

上个赛季国赛可以达到射速极差 0.1，11m 散布 70*90，证明了一套调好的三摩是符合比赛需求的。因此分区赛选择延续上个赛季的三摩擦轮方案，不断优化

1.3.5.2 国赛发射方案

分区赛后发现目前发射散布大的主要原因是射速不稳导致的上下散布大。为了能够稳定射速，进一步优化散布，国赛选择了双级摩擦轮构型

双级发射机构，目前应该有三种选择，分别为 2+2 的四摩擦轮，2+3 的五摩擦轮和 3+3 的六摩擦轮。最终选择六摩擦轮构型

表 7 双极发射方案对比

四摩擦轮	五摩擦轮	六摩擦轮
对弹丸的竖直约束不足，易产生偏转（尤其在弹丸大小不均时）	异形结构带来的变量更多，测试项目更复杂	摩擦面积大，加速充分，射速稳定
单一摩擦轮故障可能直接导致发射失败	加速充分，射速稳定	单轮失效时仍能维持基本功能，可靠性高

		六个电机重量增加，pitch 电机负荷更大
		结构复杂度高，加工与装配精度要求高（需保持两级同心度）

2.机构设计

2.1 基本参数

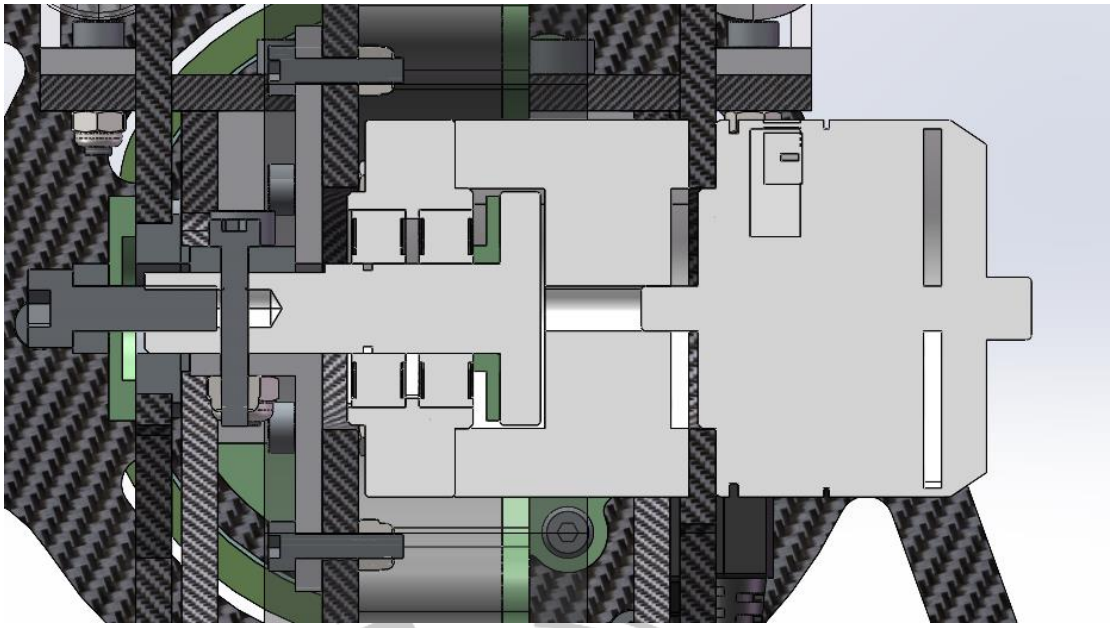
表 8 英雄机器人基本参数

车辆	二代车	三代车
最大尺寸	650mm*650mm*655mm	640mm×594mm×650mm
重量	30kg	26kg
轮距（中心-中心）	460mmx460mm	417mm×444mm
云台俯仰角	+48°~-15°	+42°~-12°
弹仓容量	70	70

2.2 底盘设计

2.2.1 分区赛底盘设计

2.2.1.1 轮组轮系设计



轮系自右至左：

3508 电机屁股——电机处轮侧板——电机齿轮箱——3mm 玻纤法兰垫片——输出轴——压板联轴器——10×14×1 垫片——10×19×5 法兰轴承——输出轴处轮侧板——玻纤压板——微型推力球轴承——M5 螺钉

出于压缩轮组轴向尺寸，同时又有较高的结构强度的目的，将轮侧板嵌入电机之中，轮侧板与电机孔轴配合，在设计时注意尺寸；

轮毂采用 3mm 玻纤，轮身采用 pom，外套胎皮。较重，效果不如包胶轮；

由于联盟赛麦轮轮组上抱紧式联轴器出现过失效问题，在二代车上想做一些尝试，故更换为压板式联轴器。

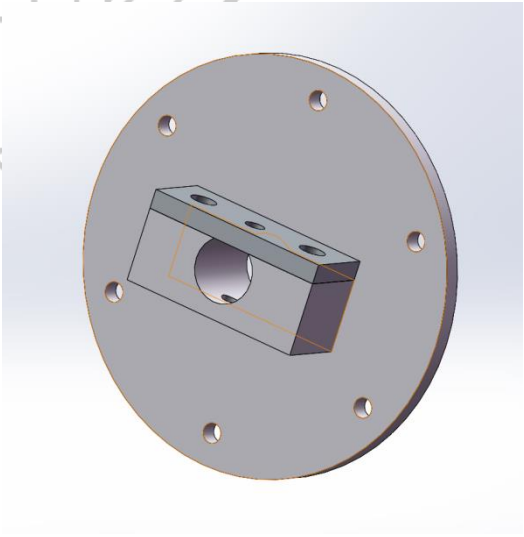
压板联轴器是使用一块钢板将输出轴 D 形面压紧，从而实现传动效果的。

凸台上两侧 M4 螺钉压紧，中间贯穿一颗 m3 螺钉。

输出轴 D 形面可以略微高过铝件面，钢板压紧效果更佳。

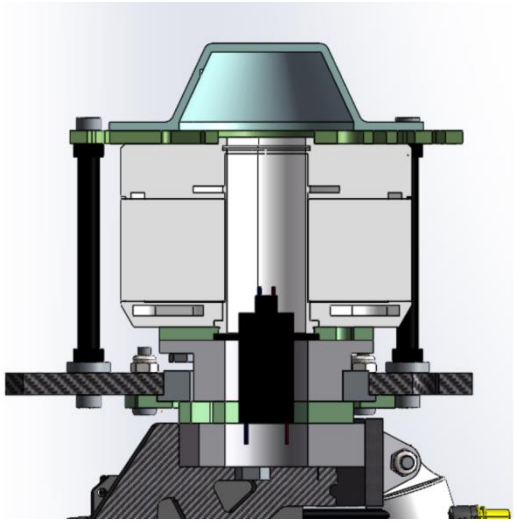
该模型只是示意，稍作修改即可铨洲

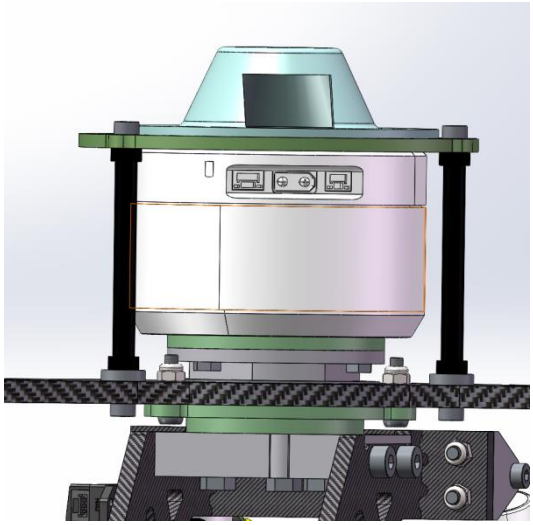
分区赛使用下来未出现过问题。



外侧轴承压板实际是过约束，该车作为备车时拆掉，无影响。

2.2.1.2 轮组舵系设计





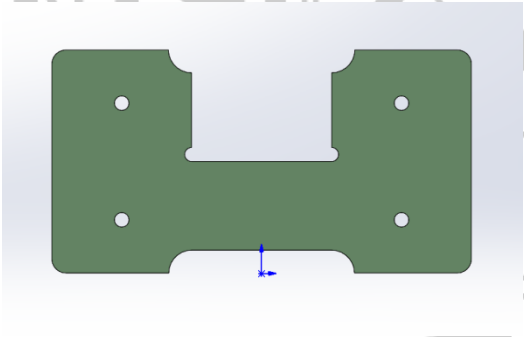
通过深沟球轴承实现转动副，在空间有限的地方使用外六角螺钉，便于检修。

2.2.1.3 车架设计

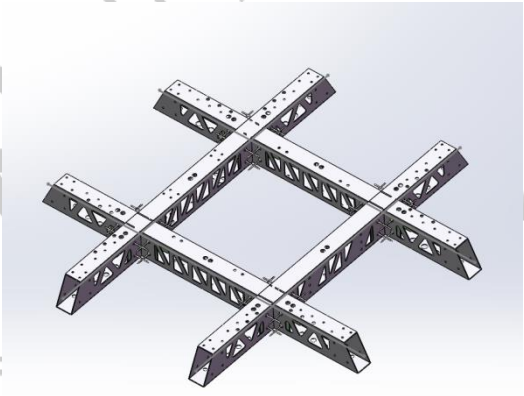
单层车架

二代车使用焊接车架，结构简洁且质量轻

接榫处使用板材补强，焊接基本是一次性的，用铆钉连接即可



缺口是防焊接时烧到玻纤，有毒

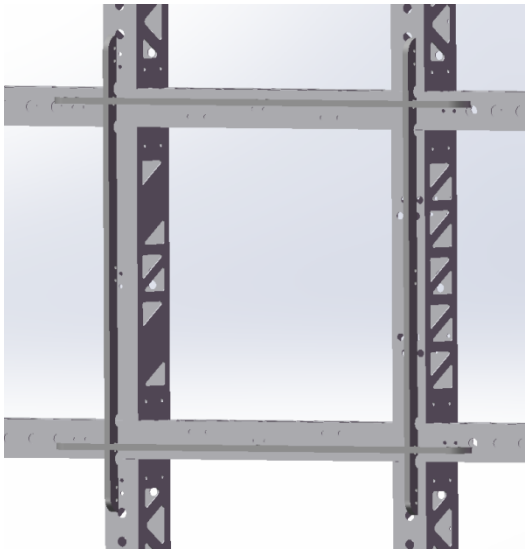


做好 simulation，强度十分足够

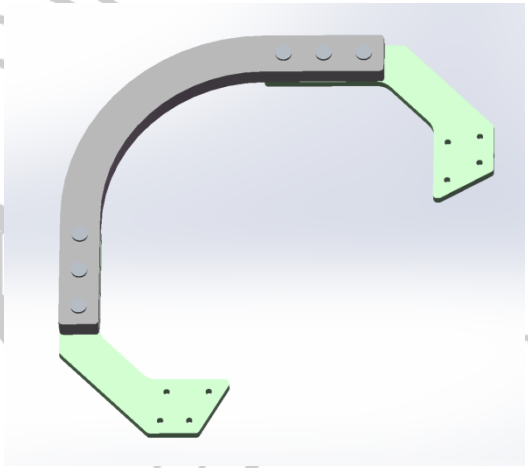
建议用板材固定防变形

轮组用铝管垫起，压低底盘高度，装甲板高低交错

车底部安装 pom 材质流利条，保护拨盘结构，同时在下台阶时起润滑作用



防撞采用玻纤、pom 材质，使用对锁螺母防止固连

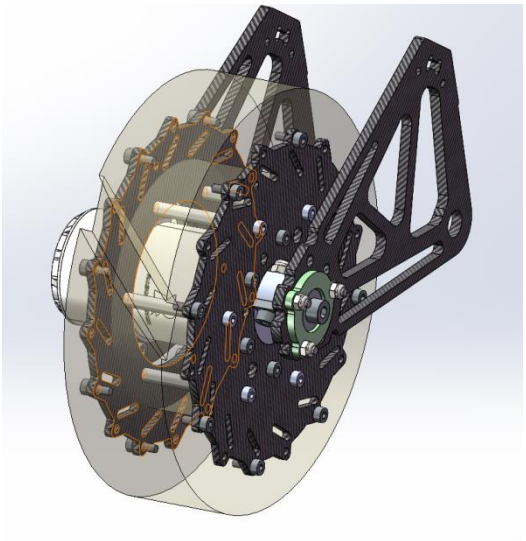


2.2.2 国赛底盘设计

2.2.2.1 轮组设计

国赛车回推麦轮版本

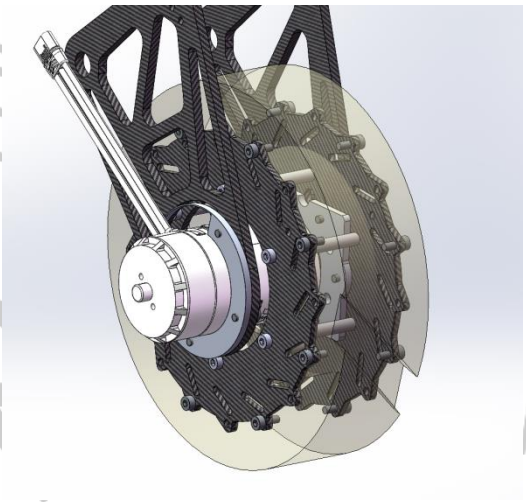
修改轮组结构，为了减重和解决 hexroll 内嵌电机麦轮检修困难的问题，对其进行改装



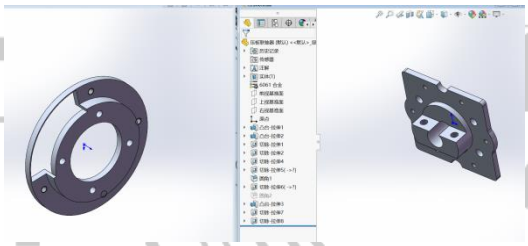
辊子部分：使用其辊子支架与销轴，购买相同尺寸轴承，利用实验室剩余的辊子胶皮

轮侧板：钣金换碳板，在上面开装配孔，中间用铝柱支撑

轮系：为了便于检修电机螺钉、麦轮螺钉与联轴器螺钉，选择结构精简的压板联轴器



认为强度冗余，删去原版另一侧轴承支撑



左侧零件可铣洲，为电机固定件，凸台面与电机内部螺钉孔连接，法兰面与摇臂板连接

（薄壁是为了可以铣洲，件到了之后剪掉）

右侧零件可铣洲，为压板联轴器，与轮侧板连接；圆柱凸台，定位，防止连接螺钉受剪

压板采用 3mm 冷轧不锈钢板

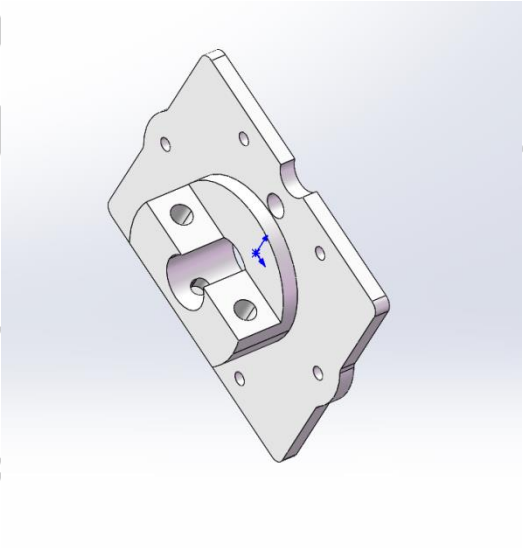


输出轴周围开装配孔

中心螺钉配合电机外的推力滚针作轴向限位

初版的轮组在经过两周的训练后，发现了钢板易弯、抱紧效果变差的问题，紧急修改：

压板联轴器加一槽口，中间加一颗高强度螺钉贯穿，改善压板受力



同样，钢板上也加一槽口

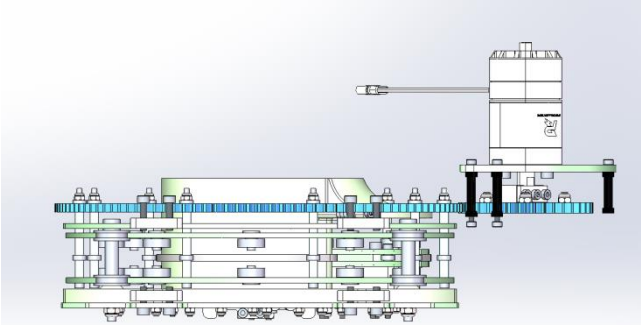
加槽口是为了避免在中心螺钉旋紧过程中，上面那颗螺钉承受较大的剪力

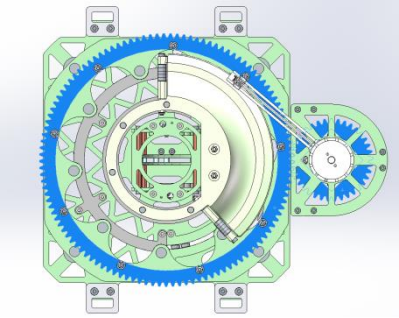
装配时先将输出轴径向螺钉旋入一部分，再旋中心限位螺钉至轮子阻力适中，后旋紧输出轴径向螺钉，而后旋紧螺母，最后是两颗 m4 螺钉

2.3 拨盘设计

2.3.1 分区赛中心供弹拨盘设计

2.3.1.1 传动设计

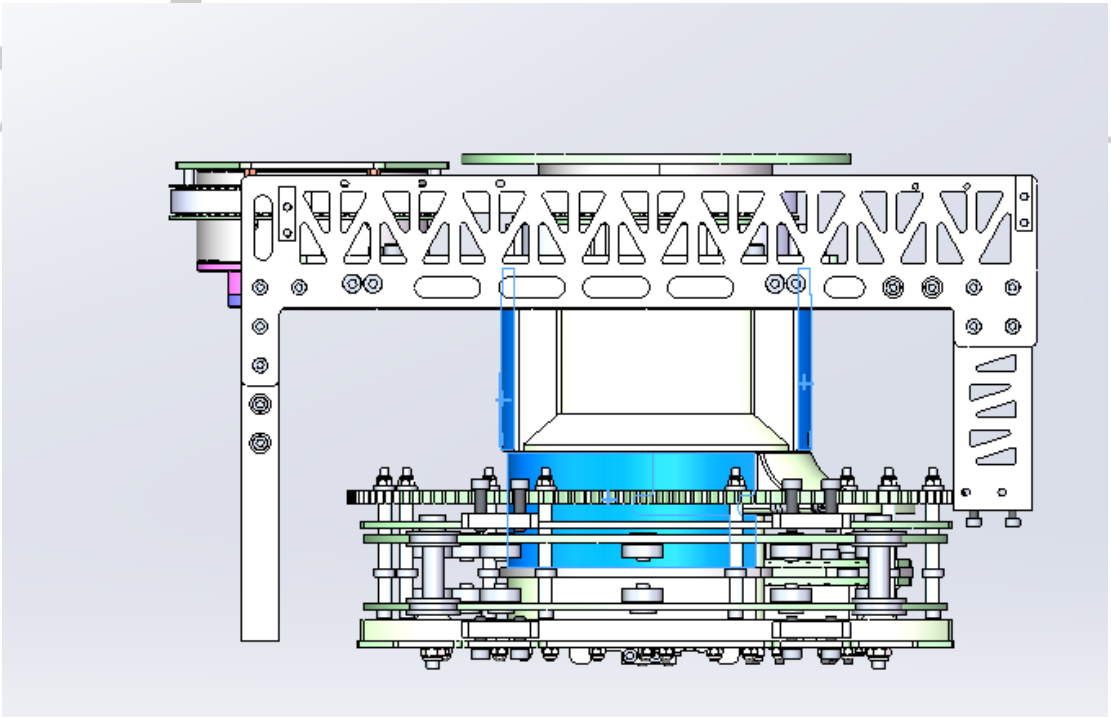




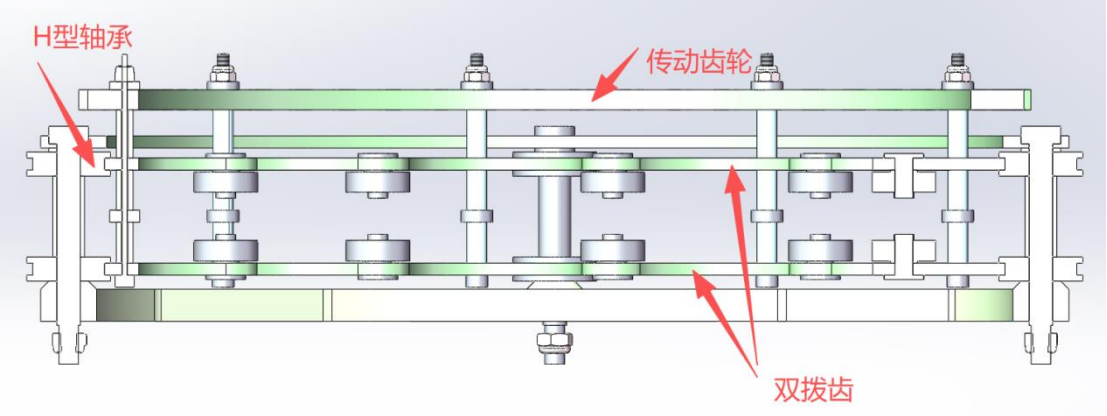
在一代车的设计中，中心供弹是由同步带来传动的，同步带传动需要张紧，且需要空间比较大。换成齿轮传动，经过校核，5mm 厚的玻纤齿轮强度已经足够了，更加节约空间。使用玻纤齿轮有一个潜在的风险是玻纤齿轮容易磨损，磨损严重会增加齿轮侧隙，甚至齿被破坏使传动失效，在实际使用过程中，我们分区赛和国赛打下来，齿轮状态都良好，不会有明显的磨损。

经过计算，我们使用的是模数为 2 的标准齿轮，主动轮轮齿数为 37 齿，齿宽为 6mm；从动轮齿数为 117 齿，齿宽为 5mm。使用齿轮模数为 2 是因为齿轮加工方法使用的是成型法，直接使用铣刀将齿形铣削出来，模数太小的话铣刀无法加工。

2.3.1.2 拨齿设计



在一代车中，滑环保护壳滑环在入弹口上方会影响弹丸落入拨盘，需要将滑环抬高一截留出弹丸落入拨盘的空间。如果增大拨盘内壁，将滑环完全缩进拨盘内壁中，这样就不需要抬高滑环，此时拨盘大小在 220~230mm 合适。此时确定拨齿为 9 齿合适，拨盘大小为 230×230mm。

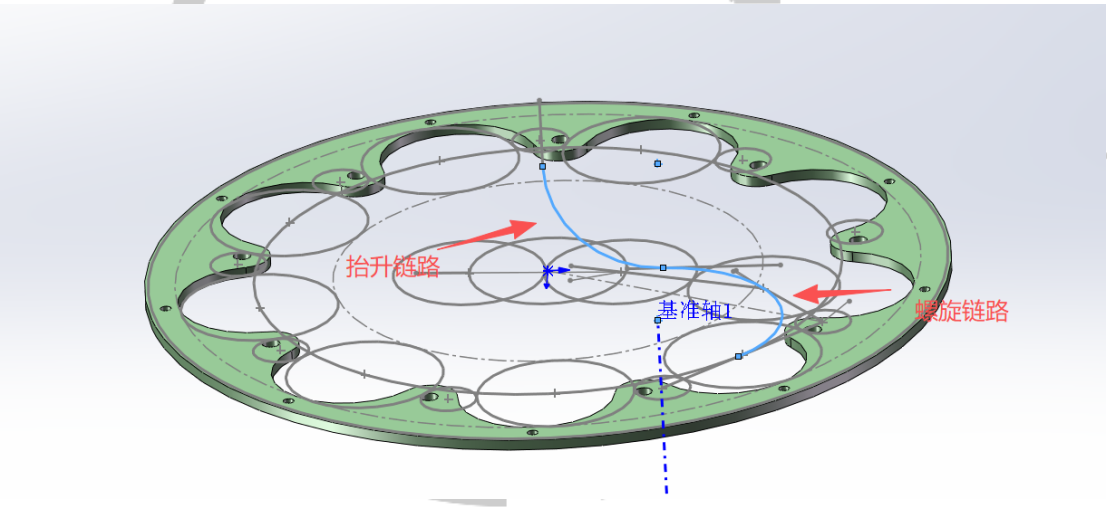


拨齿采用双层拨齿，使弹丸受力更加均匀，稳定。

拨齿与弹丸接触的地方放置轴承，使得轴承与弹丸接触，减小摩擦力影响。拨齿中的轴承使用半空心敲铆和拨齿连接，固定牢固可靠，不会松动，且占用空间极小，能够避免很多干涉；缺点是拆卸、更换困难。

H 型轴承直接固定拨齿，使用效果不错，在刚装好时转动拨齿比较涩，可以喷一些 wd40 来润滑轴承和玻纤接触面，效果立竿见影。

2.3.1.3 链路设计



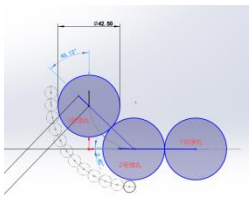
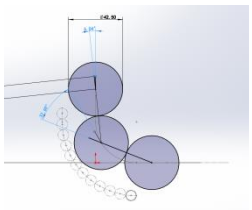
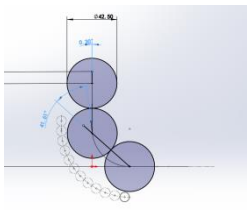
链路设计应该是中心供弹拨盘的设计重点及难点。设计时我们将中心供弹的链路分为两段，分别为螺旋链路和抬升链路。如图：螺旋链路为弹丸进入中心的链路；抬升链路为弹丸进行抬升进入到 yaw 管路和上面云台管路的链路。我们的设计思路有两个：

1. 螺旋链路和抬升链路两段不耦合，避免出现没有预测到的复杂情况，减少试错成本。

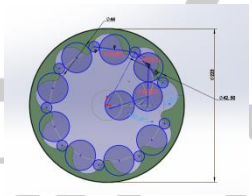
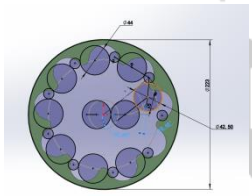
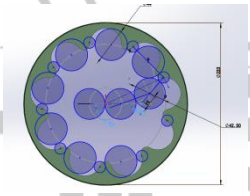
2. 我们需要保证弹丸受到压力角尽可能小。压力角是指弹丸受到推力的方向和其前进方向形成的夹角，压力角越小，效率越高，弹丸就越容易被推动，形成的链路就越顺滑。

据此我们分析：拨齿推动弹丸进入螺旋链路后，此后就是由弹丸推动弹丸，弹丸

推动弹丸会形成一个稳定的压力角。弹丸在进入抬升链路后，受到的压力角在螺旋链路的压力角的基础上，又形成了另一个方向的压力角（是由抬升链路所产生的压力角），两个压力角会通过平行四边形法则相加共同作用，此后抬升链路产生的压力角逐渐增大，螺旋链路产生的压力角逐渐减小。所以整体链路中是螺旋链路中形成的压力角影响较大。所以我们把螺旋链路半径稍微做大，使其压力角较小，以此获得更好的链路效果。

抬升过程中链路 1 号弹丸与 2 号弹丸之间的压力角逐渐变大，最大达到 41.61°

螺旋链路中，拨齿拨动 5 号弹丸进入螺旋链路，5 号弹丸推动 4 号弹丸在螺旋链路中，压力角会一直保持在 37.69°，在 4 号弹丸进入抬升链路后逐渐减小

2.3.1.4 润滑设计

大弹丸拨盘使用的拨盘电机一般都是 3508，扭矩比较大，在阻力大的地方没有做好润滑是很容易卡弹的。做好润滑设计是提高拨盘性能很好的方法。我们按经验来说有三种润滑方式，分别是：使用轴承润滑；使用铁氟龙板润滑；使用铁氟龙胶布润

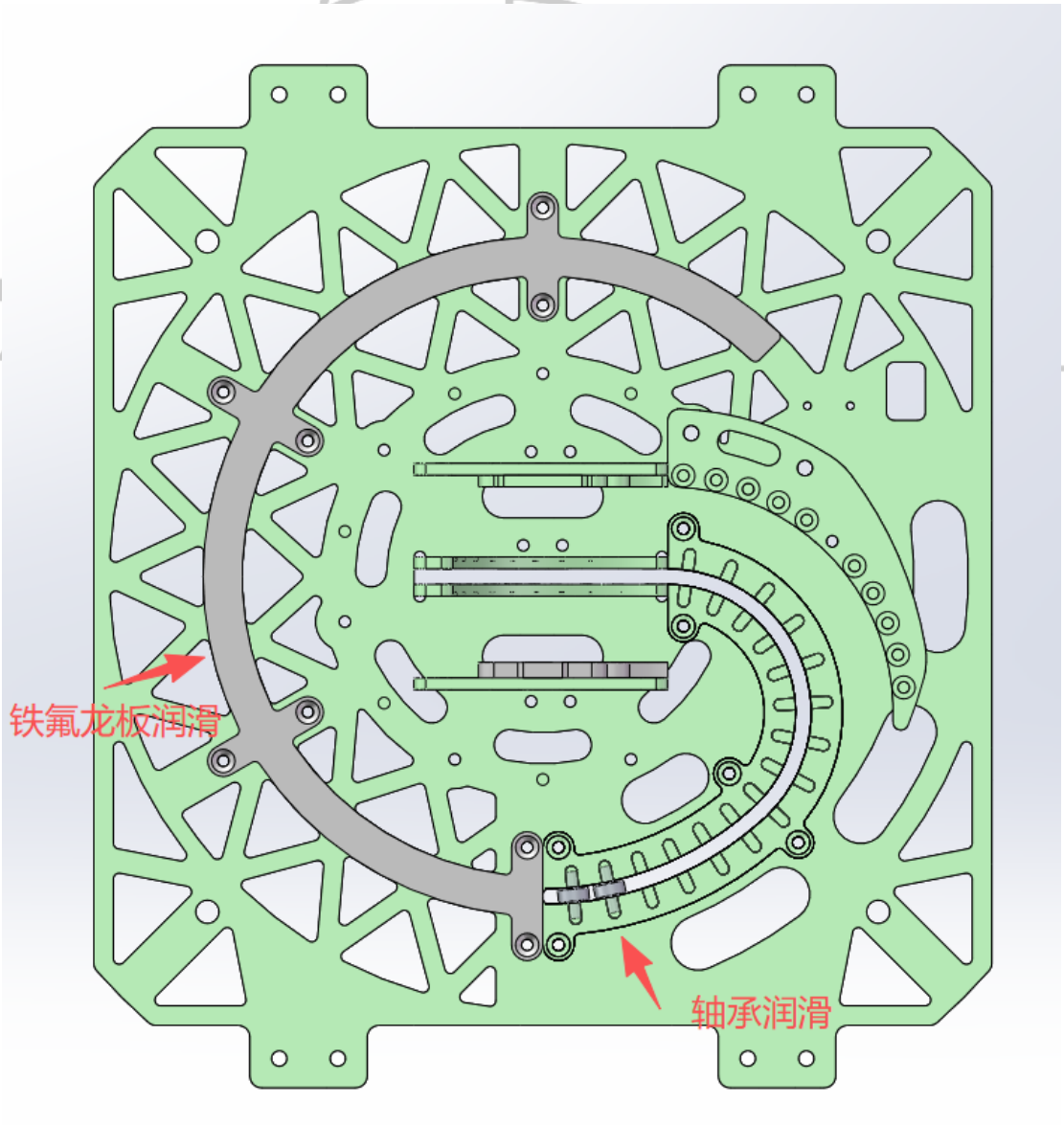
滑；利用 POM 板的自润滑性来做润滑

1. 轴承润滑总体来说效果是最好的，且轴承润滑承载力大，可用在弹丸对侧壁压力比较大的地方，即前面提到的压力角较大的地方。轴承的缺点是它只能润滑一个方向且它会使弹丸前进起伏、跳动

2. 铁氟龙板润滑效果仅次于轴承。它的缺点是铁氟龙板长期受到挤压容易变形，使管路结构改变，可能对发射会有影响。所以它不适合用在弹丸对侧壁挤压较大的地方

3. 铁氟龙胶布的润滑效果要略次于铁氟龙板。它的优点是哪里都能润滑，只要能贴的地方就能润滑。缺点是在挤压大的地方容易脱落甚至撕裂，也不适合用在弹丸挤压大的地方

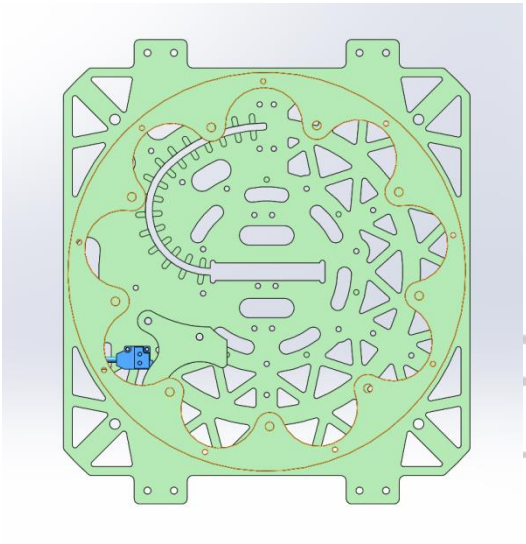
4. POM 板的润滑效果不如铁氟龙胶布，不过其耐磨性要优于铁氟龙胶布和铁氟龙板。



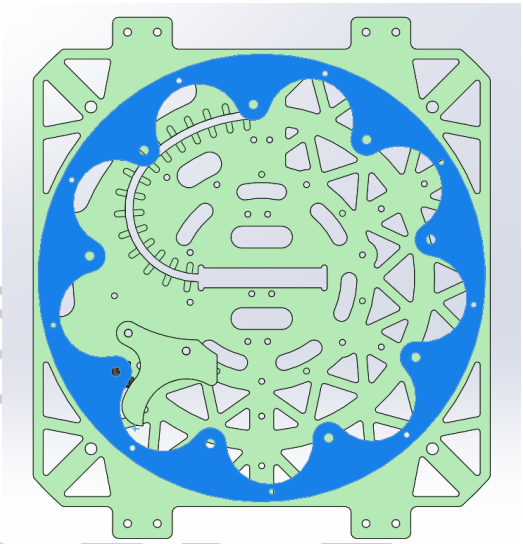
例如在拨盘底板中，我们使用了两种润滑方式，在进入螺旋链路前，弹丸对底板

挤压较小，我们使用了铁氟龙板来润滑，安装更加简便。在要进入螺旋链路以及进入螺旋链路后，使用轴承润滑，此时弹丸对底板的压力会慢慢变大，使用轴承润滑可以有很好的润滑效果以及较长的寿命。轴承的安装方法是上下两块玻纤板分别铣出宽 3mm 深度 1.5mm 的槽口，直径 3mm 的销轴中间放置 3 8 3 的轴承，轴承两端垫上 3 5 0.5 的垫片，将销轴卡入槽口，所有槽口放置完轴承后，再将上下两块玻纤锁紧。

2.3.1.5 感应开关设计



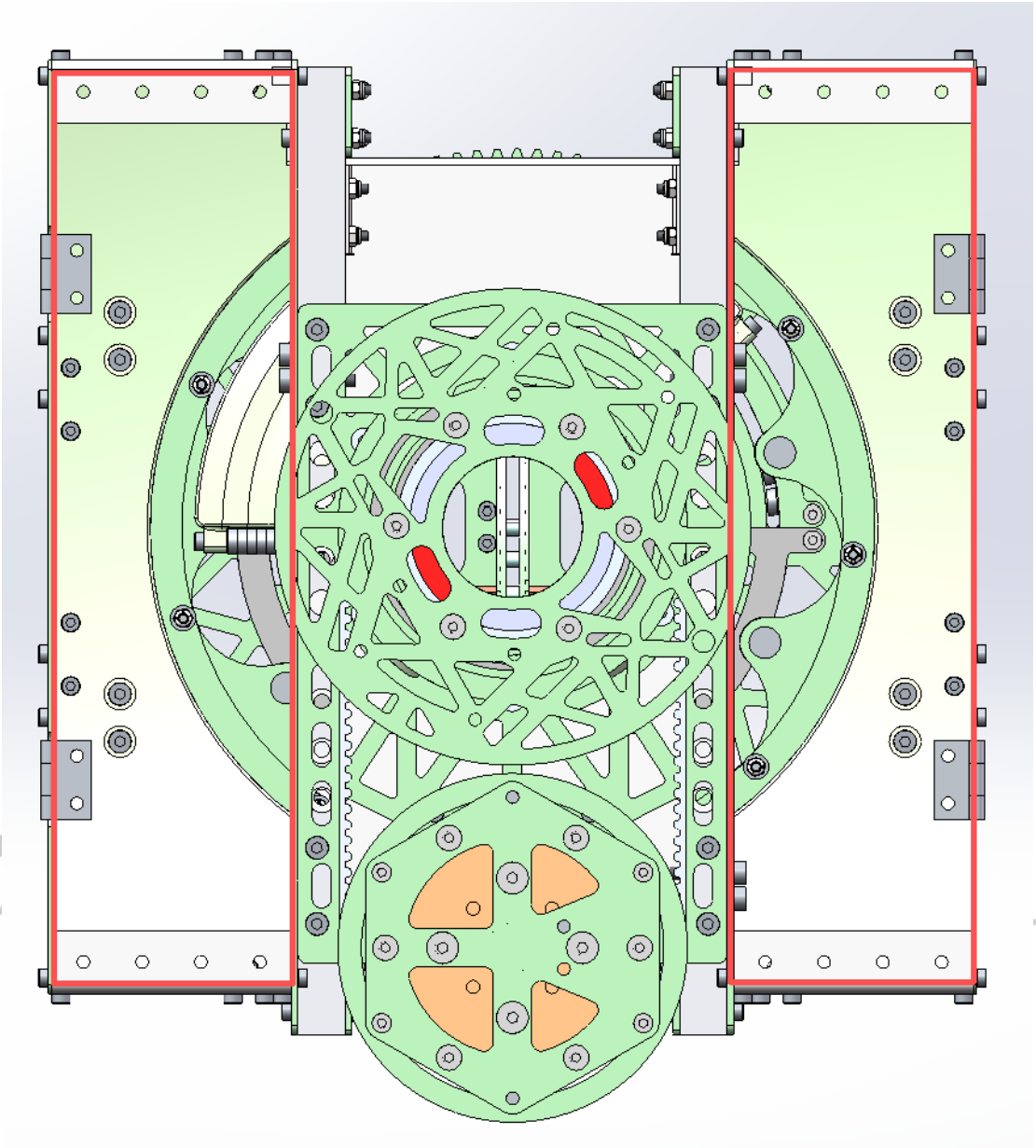
拨齿初位置



感应开关感应到拨齿

我们的发射系统与拨弹是耦合在一起的，所以需要尽可能保证拨弹的弹丸预置位是稳定的。因此我们使用了感应开关来控制拨盘预置位。感应开关工作流程如下：拨齿转动——拨齿转动到一定角度后感应开关感应到拨齿——感应开关接收到信号后拨齿再转动过一个固定角度 α 停止——完成拨弹。这样拨齿每次拨弹都会有感应开关进行修正，可保证误差不累计，最终使得拨盘拨弹预置位稳定。我们可以通过修改角度 α 来改变拨盘预置位，这样能够极大便利发射的调试和保证发射系统的稳定。

2.3.1.6 弹舱设计



中心供弹拨盘的弹舱中难以避免会有较多的结构，这可能会产生一些卡弹、架桥问题。我们的 yaw 轴结构是完全沉在弹舱中的，这导致 yaw 轴将弹舱分为了两个区域（上图示红框区域），会形成两个相对封闭的小区域分别储存弹丸和落弹至拨盘。这个小区域宽为 75.5mm，不够并排松散地放置两颗弹丸，但是又接近，使得弹丸排布会层层错落相互挤压，容易产生架桥，导致落弹困难，然后空弹。

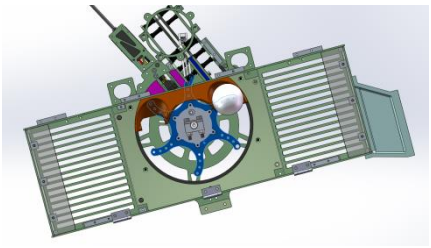
2.3.1.7 快拆设计

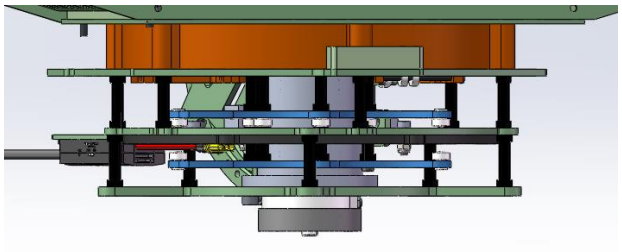
在一代车的经验下，我们很早确定了模块化和尽可能快拆的设计要求。所以我们对滑环进行改装（下文会详细提到），使滑环从上出线，线不经过拨盘，整个拨盘只有感应开关走线，拨盘本身拆下从动齿轮后，就能够从车架下方整体拆下，便于维修更换。

2.3.2 国赛切向供弹拨盘设计

2.3.2.1 结构设计

国赛回退到切供拨盘，该拨盘结构是我们之前多个赛季在不断迭代、优化的拨盘。

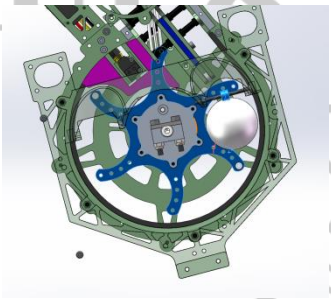


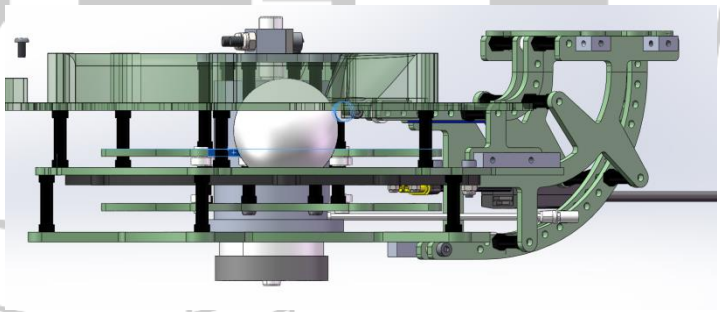


1. 采用渐开线的拨齿，当弹丸沿切线进入管路时，渐开线拨齿拨动弹丸的方向始终是沿切线方向，压力角为 0，拨弹效率高。
2. 采用双层拨齿，减少弹丸跳动，使拨弹效果更稳定。
3. 为适应新的云台管路，将电机改为 1：51 减速比的 3508 电机，以获得更大的拨盘拨力来克服管路阻力。
4. 同样设计了感应开关来控制拨盘预置位。

2.3.2.2 问题总结

在实际使用过程中，我们遇到如下问题：





弹丸在分层轴承处下落时，正好拨齿拨出，弹丸被卡在分层轴承和拨齿中间。在之前使用 1：27 减速比的电机时，该情况会在弹丸卡一段时间后触发回拨，弹丸就会下落至拨盘内，不会继续卡弹。而使用 1：51 减速比的电机后，拨齿拨力较大，有概率直接将拨齿拨断。

经分析，有几点原因：1、拨齿断裂处为图划红线处，该处有孔位，且截面面积小，是危险截面；2、拨齿在受到卡住的弹丸挤压时，会受到一个向下的压力，而碳纤材料在板厚方向的承载能力是远远不如另一个方向的；3、分层轴承设计的位置不合理。

据此，我们可以：1、增加碳板厚度；2、换成各向同性的材料来提高拨齿向下方向的承载能力；3、更改分层轴承位置。

综合考量后，我们将 3mm 厚碳板更换成 5mm 厚，优化了分层轴承的位置，此后没

有再出现拨齿断裂的问题。

2.3.3 拨盘设计总结

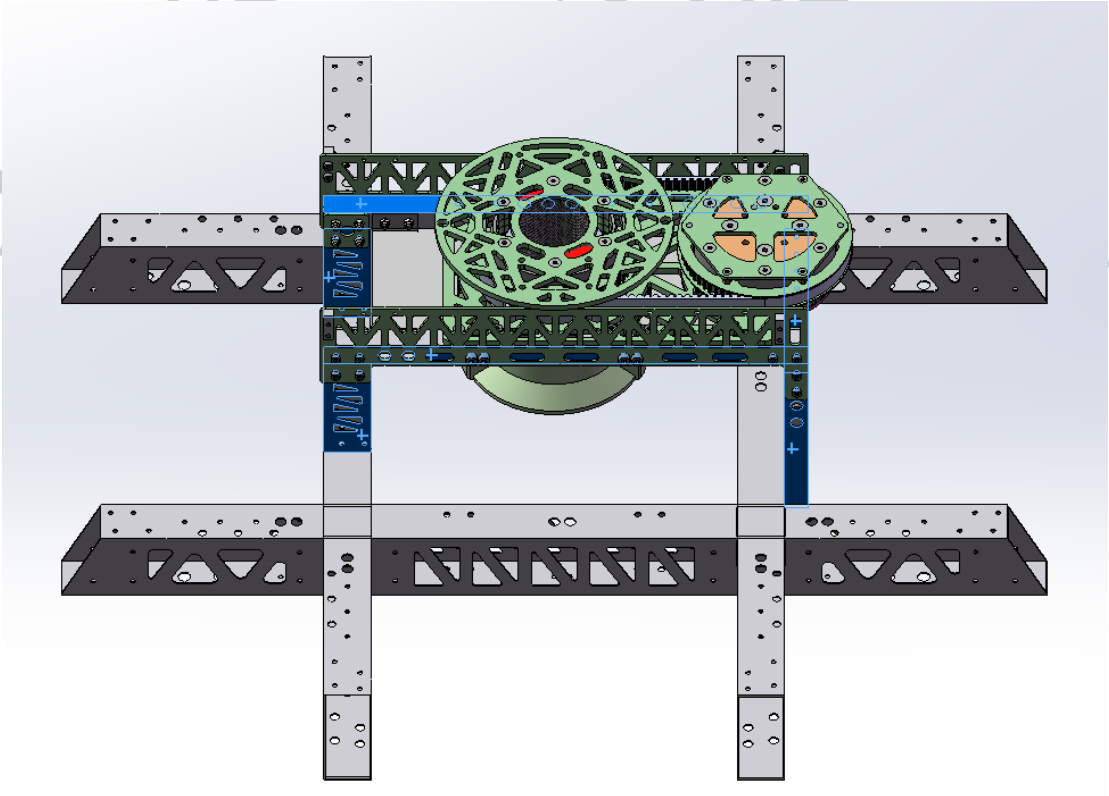
我们这个赛季对中心供弹和切向供弹拨盘都有所尝试，中心供弹拨盘一度是我们这个赛季重点研发的技术方向之一。我们认为中心供弹和切向供弹拨盘的效果可以做到差不多。是否选择中心供弹，最重要的是有没有必要去选择中心供弹构型、中心供弹构型能不能带来有效的结构优化。

而中心供弹本身还有许多需要解决的问题，例如：1、如何在 yaw 轴结构尽量少侵占弹舱空间的情况下保证 yaw 轴结构强度。2、如何在不抬高滑环（不增加高度，保留过洞可能）的情况下将拨盘空间压缩。

2.4yaw 轴设计

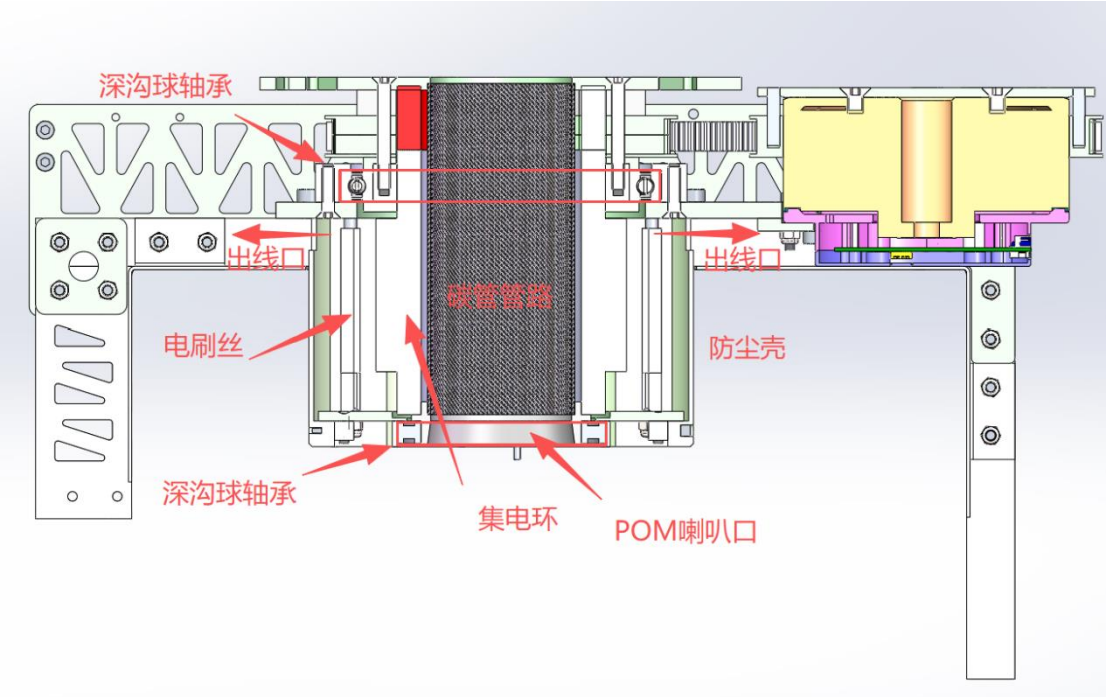
2.4.1 分区赛 yaw 轴设计

2.4.1.1 铝架设计



为了保证 yaw 轴强度以及保护拨盘，不让拨盘和管路承受云台重力以及飞坡冲击，我们设计了 yaw 轴铝架来承受云台重力以及飞坡冲击。yaw 轴铝架和车架相连，将力传导到车架。同时，yaw 轴和拨盘设计为仅定位，不固定，使力尽可能少传导到拨盘和管路，避免影响拨盘和管路进而影响发射系统。

2.4.1.2yaw 轴轴系设计



我们使用两个深沟球轴承来做轴系设计，分别是 61816 轴承（yaw 上轴承）和 61810 轴承（yaw 下轴承），在滑环内部用碳管管路支撑起 yaw 轴，使滑环本身不受力。

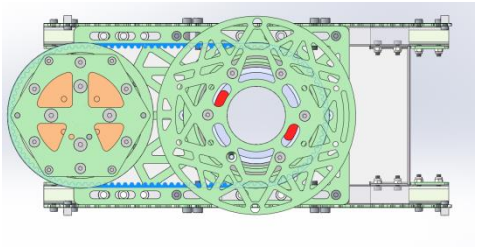
该轴系旋转部分为：yaw 上轴承内圈——yaw 上轴承内圈固定——yaw 同步带下垫片——yaw 轴同步带从动轮——POM 垫块——云台底板——碳管管路——POM 喇叭口——yaw 下轴承内圈。其中，POM 喇叭口和 yaw 上轴承内圈将集电环限位。

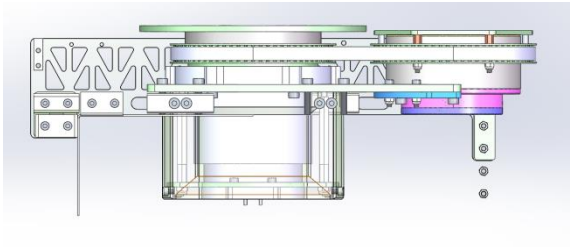
固定部分为：yaw 上轴承外圈——yaw 上轴承外圈固定——yaw 轴基板——电刷丝——yaw 轴滑环底板——yaw 下轴承外圈固定——yaw 下轴承外圈。其中 yaw 轴基板、电刷丝和 yaw 轴滑环底板通过螺钉连接在一起，并加入合适垫片将其高度垫至每对电刷丝与集电环一一配对。

2.4.1.3 滑环改装

我们使用 12 路外径 119mm 内径 50mm 的滑环，将其拆卸，取出集电环和电刷丝（电刷丝易损坏，需要非常小心），需要另外准备一些垫片，然后将集电环和电刷丝装入 yaw 轴，用垫片调整电刷丝和集电环的位置，直至两者一一配对，此时，将电刷丝的出线方向调整为上方出线，再将防尘壳装上即可。

2.4.1.4 传动设计

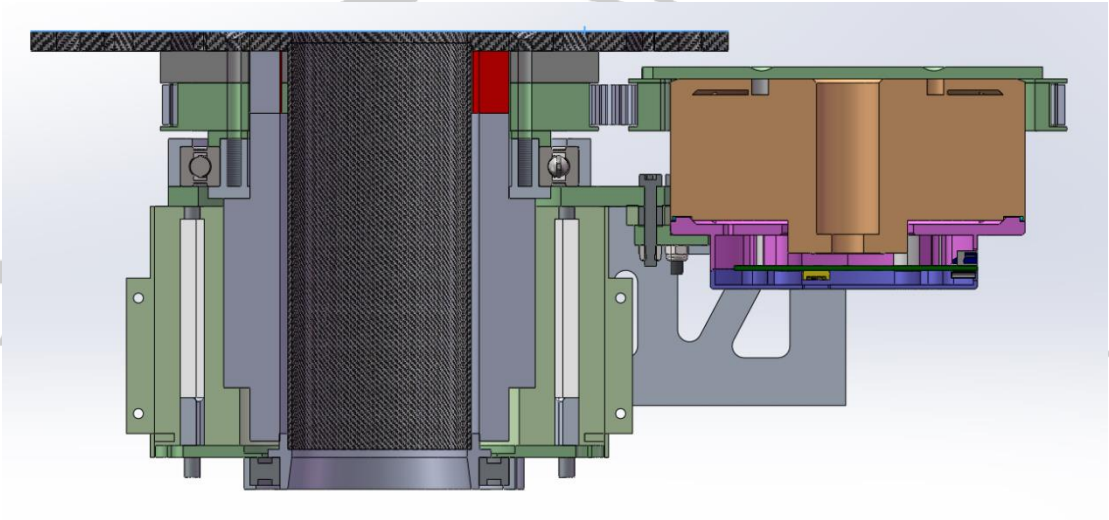




yaw 轴电机我们使用的是翎控 MF9025v2 电机进行驱动，它有高精度和高扭矩（相对我们一代车使用的 6020 电机）的特点，适合此处工况。

yaw 轴中心需要通过大弹丸，所以我们采用电机偏置的方案，使用同步带来传动。同步带传动精度高，无侧隙。但是使用同步带需要张紧，我们通过更换不同孔距的 yaw 轴 9025 固定板来改变两同步带轮的中心距，以此来张紧同步带。

2.4.2 国赛 yaw 轴设计



国赛基本沿用分区赛时的 yaw 轴设计，仅修改了 yaw 轴铝架部分来适配新的麦轮车架。

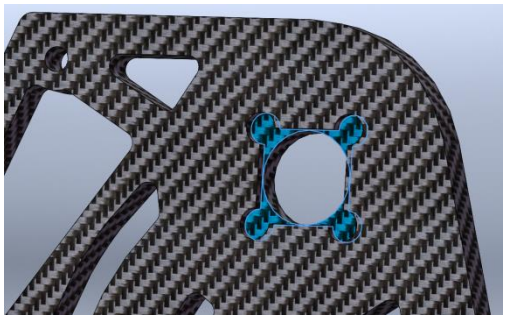
2.4.3yaw 轴设计总结

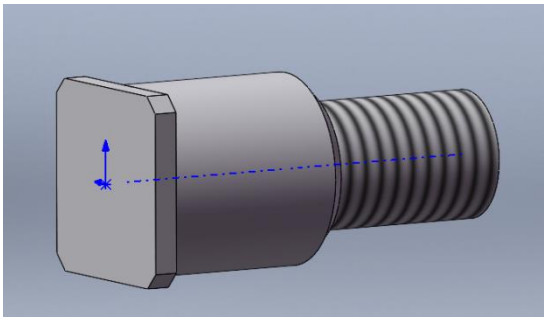
yaw 轴的结构在本赛季并没有大改。主要改动的地方是为了适配重量可能更大的云台，电控队友反映使用 6020 电机时力矩输出快要达到电机极限，所以将 yaw 电机换成了翎控 MF9025v2 电机。而 yaw 轴结构受到滑环的限制，能改的很少。今后的优化方向还是尝试更好的处理这个大滑环，来省出空间和重量。

2.5 云台设计

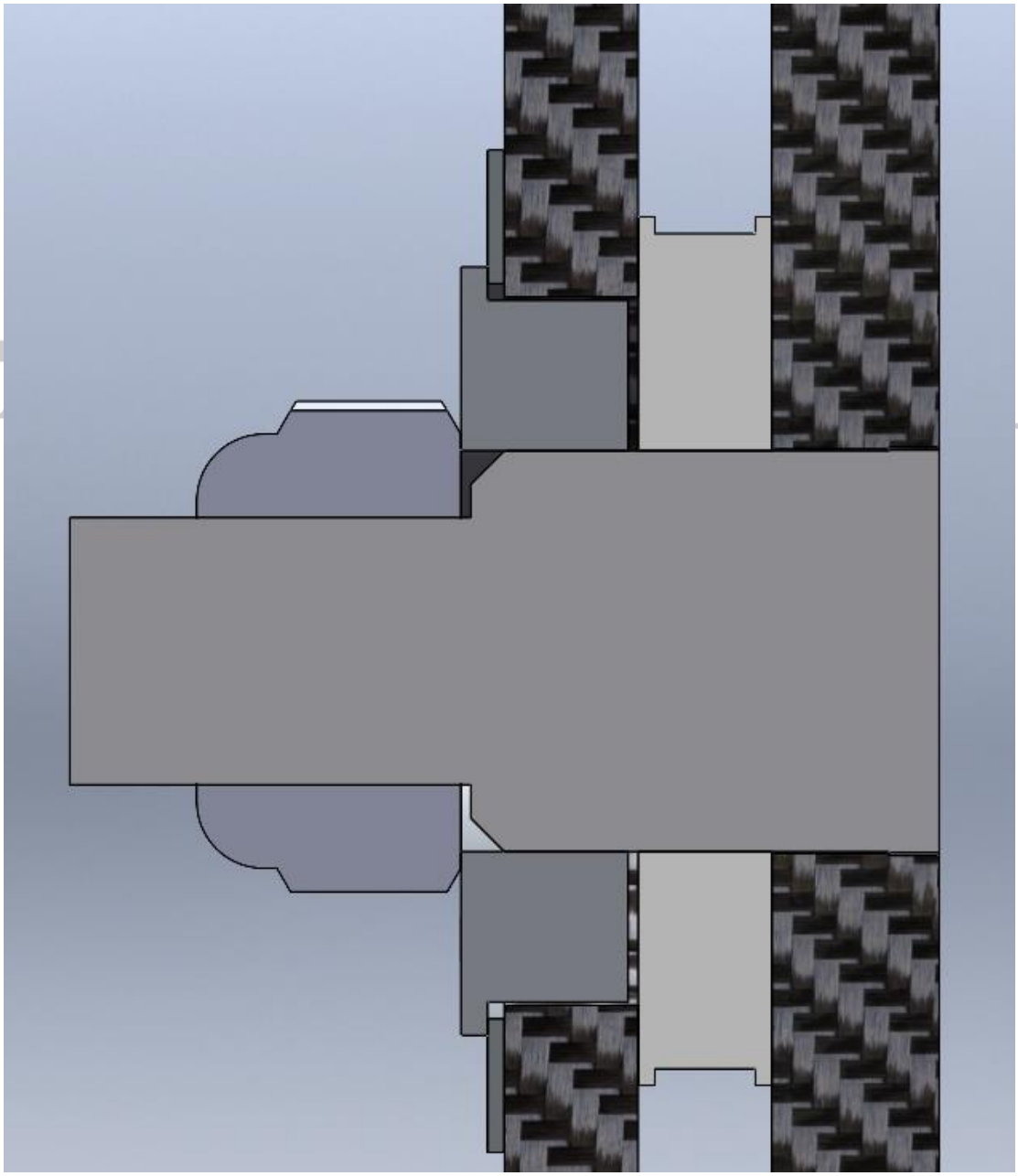
2.5.1 分区赛云台设计

2.5.1.1pitch 转轴设计





采用自制方头塞打螺钉作轴系，内嵌入板材型腔，国赛由 6061 铝换为 304 不锈钢，以保证螺纹不会因加工质量导致滑牙，同时为了更紧凑的轴系设计，仅通过一个法兰轴承以及一个推力滚针轴承完成对运动构件的隔离



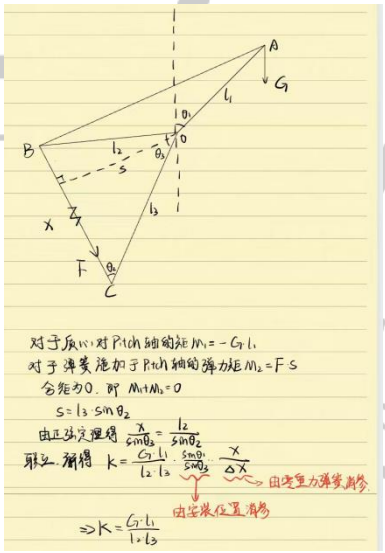
2.5.1.2 重力补偿设计

需求分析

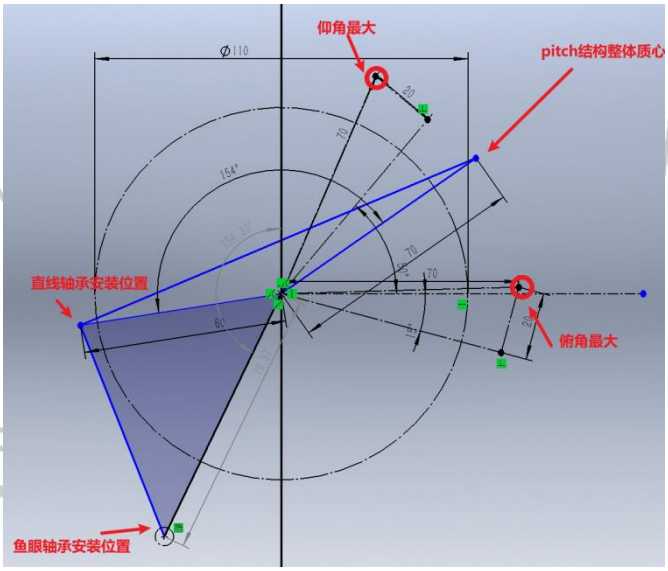
表 9 重力补偿机构需求分析

需求等级/优先级确定需求等级	需求分解明确需求内容	需求来源明确需求内容
一级需求	pitch 质心进行配平对中	减少 pitch 电机维持姿态时的常态扭矩输出
二级需求	结构运动副干涉范围小	缩小云台体积，减小干涉范围
三级需求	结构简单易维护	保证重力补偿稳定性

理论计算



安装位置确认



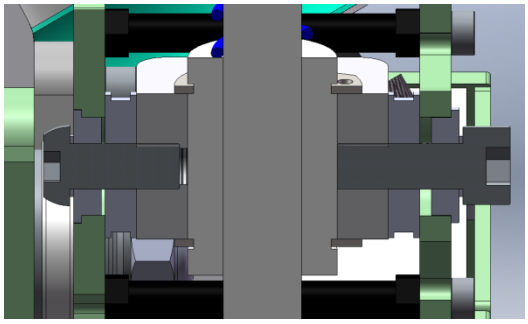
安装设计

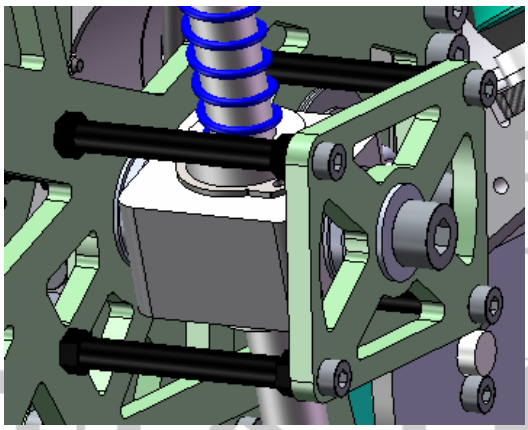
- 以下轴系均以光轴轴系为参考坐标系：

1. 两端使用 M6 螺钉，通过直线轴承座上的螺纹对直线轴承进行径向固定

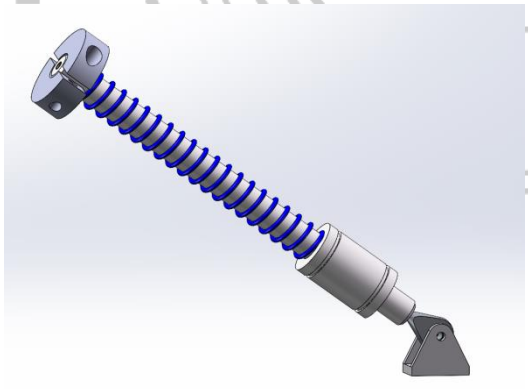
2. 铝柱外延轴系对直线轴承座进行双面固定，保证轴向受力稳定，以及减小板材应力集中，优化轴承载荷

3. 两侧通过法兰轴承以及推力滚针保证受力均匀，避免螺钉受剪





- 使用四根铝柱外伸侧板进行双轴系固定，采用内径 6 法兰轴承以及推力滚针轴承保证轴系强度满足要求，且校核后满足需求。
- 四根铝柱外伸的设计也可以改善轴系对侧板的受力



1. 光轴直接选用钢制镀铬硬轴，保证同轴度，减小阻力（现在看来有点略重，89g 左右，二代可以换成空心铝管，自加工两侧螺纹）

2. 顶端使用抱紧联轴器，顶部通过攻出的螺纹固定一个垫片，保证抱紧联轴器与直线轴承端面的平行度，保证弹簧安装受力

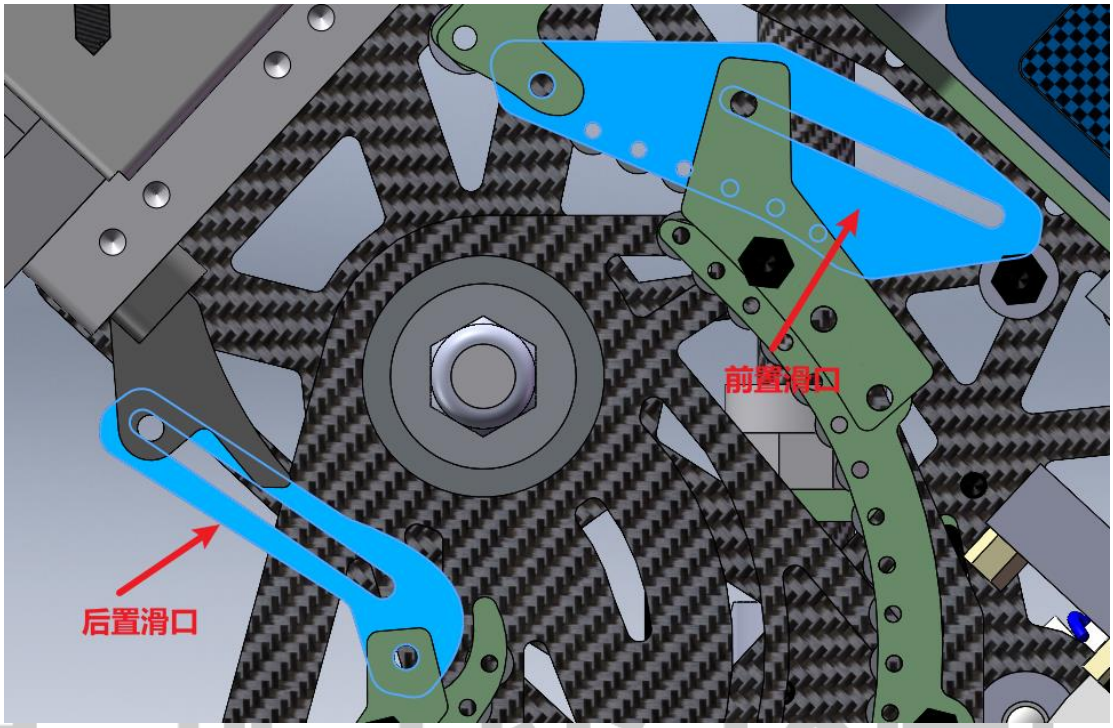
3. 转动端使用溪地成品轴座，以及外螺纹鱼眼轴承（M3 鱼眼轴承轴系强度不足会被剪断，最终使用 M5 鱼眼轴承）

2.5.1.3 滑口设计

滑口作为固定管路与发射头的连接结构，关键程度不言而喻，一个形状良好的滑口需要做到不过分增大弹丸压力角，尤其是俯角情况

滑口可根据固定方式分为以下两种：

- 后置滑口：滑口固定在管路部分，滑口槽与发射相连
- 前置滑口：滑口固定在发射，滑口槽与固定部分相连



下滑口——由于国赛管路的空间不便前置滑口安装，因此使用后置滑口，主要的设计难点在于下滑口本身形状，画大会干涉，画小会使弹丸在滑口位置跳动，限制作用不明显，且 2 厚的玻纤强度不够，滑口也算是对发射部分限位的最后一道防线，太小太细会出问题

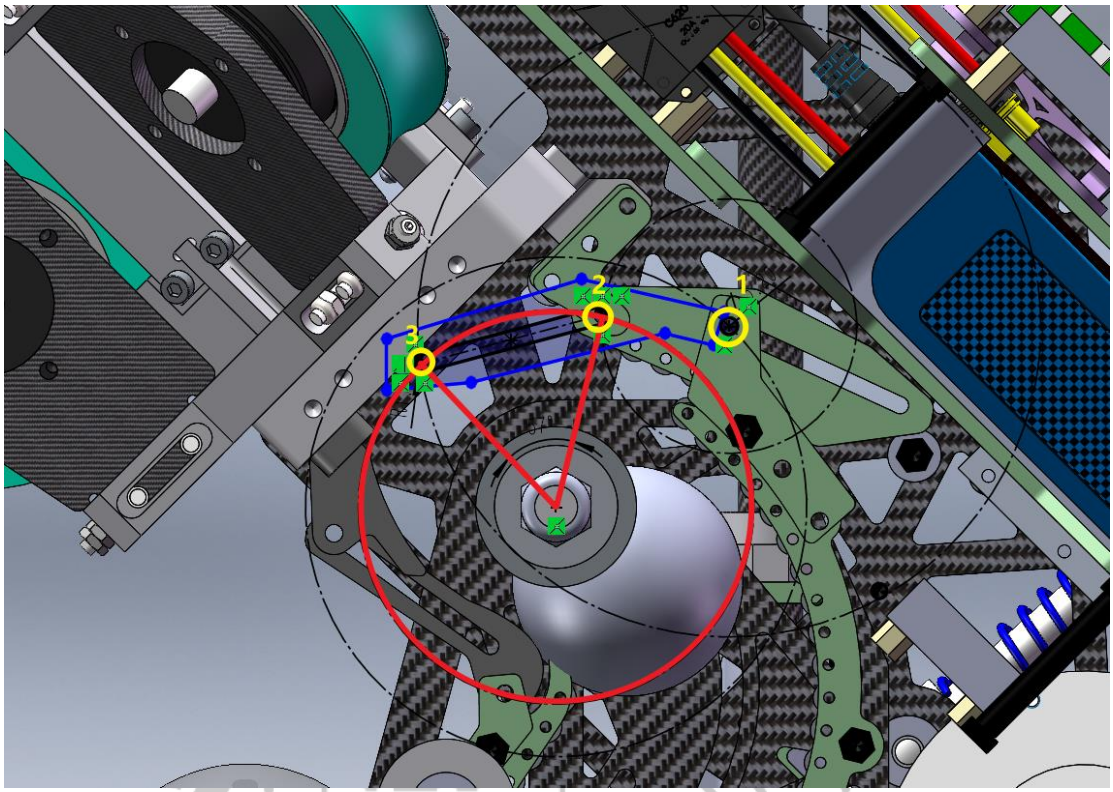
上滑口由于直接承受弹丸上拨带来的冲击，需保证结构刚强度满足要求，且摩擦系数不可过大，故采用两片 2 厚玻纤夹小轴承结构

下滑口仅起到连接作用，考虑到国赛管路的曲线形状，带轴承滑口的收益并不高，因此使用了打印件滑口内贴铁氟龙胶带

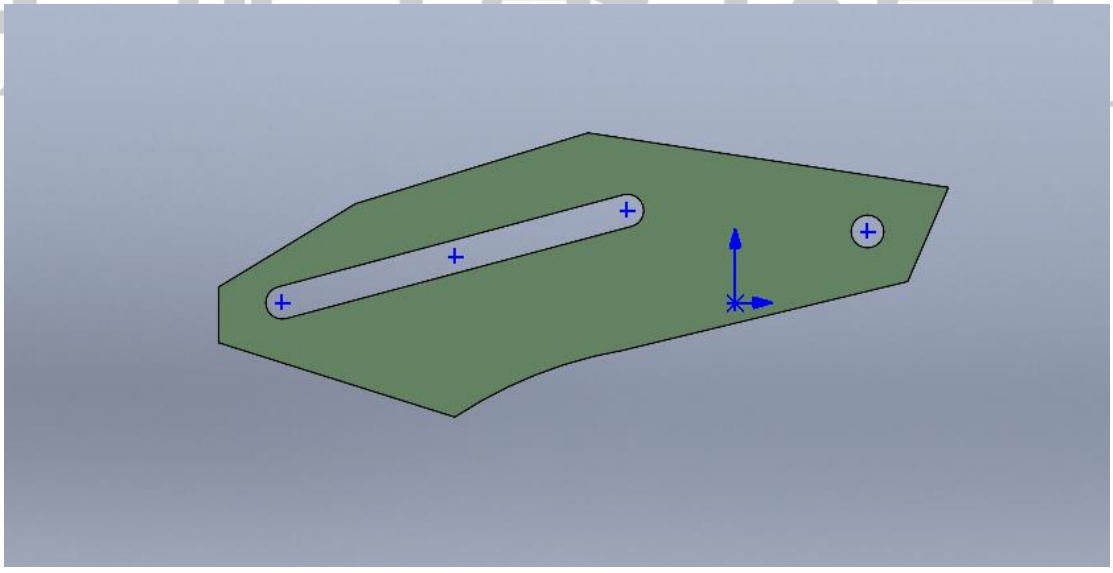
滑口轴承在装时需要考虑与滑口槽的干涉以及敲卯的力度，M2 敲卯用力过大或中心冲不垂直的话很可能敲出不能转的轴承，需要在两块玻纤中垫入与轴承和垫片厚度一致的 ABS 垫柱后再敲

下文简述滑口通用画法：

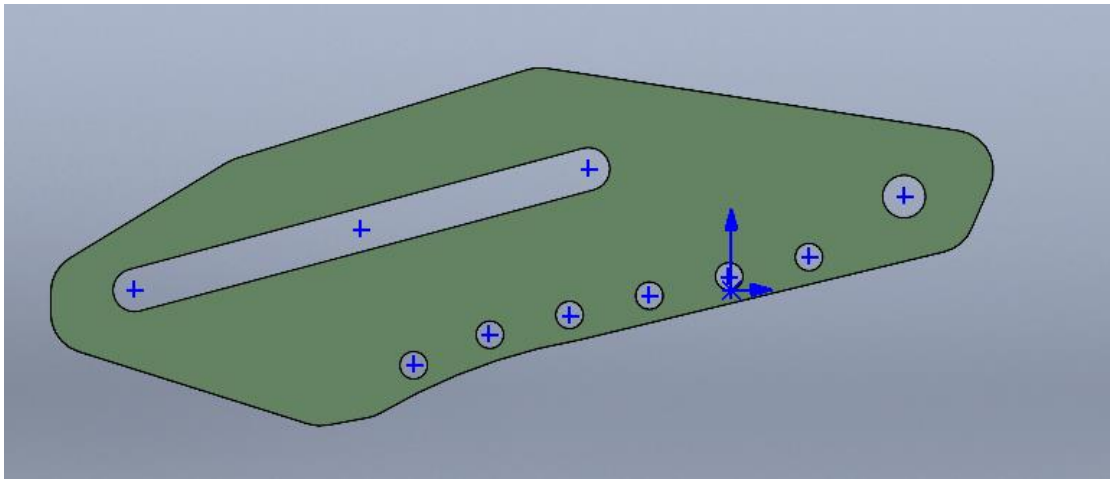
1. 首先标定固定管路上的固定螺钉口，记为圆 1
2. 以 pitch 转轴为圆心，以发射上的固定螺钉口圆心为半径画圆，并拉出一段圆弧，相应圆心角为云台的俯仰角度之和，此时可以标定出两个如图黄色圆 2,3
3. 以圆弧两端的圆 2,3 为槽口的起始和终止位置，画出直槽或圆槽，并以圆 1 为滑口的固定螺钉口



4. 简单画出滑口外形包围槽口与螺钉口



5. 将该零件配合至管路上进行最终微调，加圆角并加轴承



2.5.2 国赛云台设计

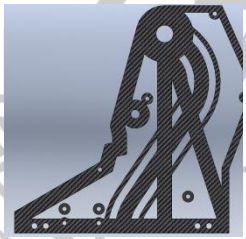
2.5.2.1 轻量化镂空设计

> 自分区赛以来，云台研发人员在兼任英雄操作手的同时进行管路的迭代测试，耗费了大量时间和精力，时间线相较于其他模块略有拖延；因此在国赛云台设计时采用了一种效率较高，符合轻量化设计理念，且易于调整的镂空方案，大大加快了模型后期磨合的速度

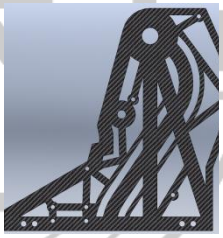
eg：云台左侧板



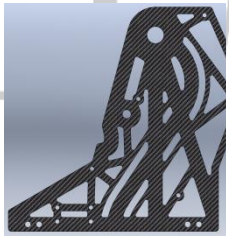
1. 确认原始板材的全部孔位以及需要保留板材位置



1. 确认主要力传递链，将模型尽可能镂空，将孔位以及进行拉出，主副力链可以根据负载情况加厚并仿真确认



1. 视减重情况使用肋条将无支撑或脆弱的孔位及边缘进行连接



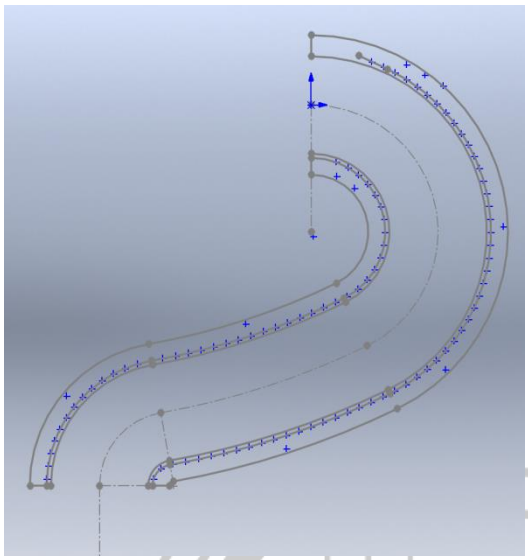
1. 加圆角并做最终修饰

该方法可以在很快的时间内做到极限减重且可以动态调整主副支撑结构的强度以及其余小支撑的添加位置，且可以视需求做防漏弹丸的设计，同时可以在仿真后对零件进行快速调整或通过 sw 的设计算例功能快速拓扑迭代。

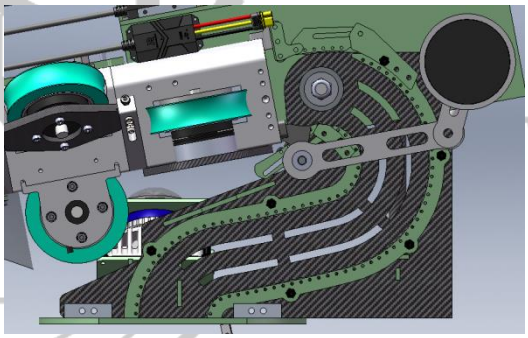
2.5.2.2 鹅颈链路迭代设计

2.5.2.2.1pitch 转轴后置 100mm

> 在最早预估六摩新发射时，安全裕度考虑较高，担心后置距离不足导致质心前移影响 yaw 轴刚度和飞坡能力，因此将 pitch 转轴后置 100mm



由于 pitch 中心的后置，新管路无法通过两段圆弧的形式进行调整，同时两端圆弧一段直线也会影响到草图的定性尺寸数量，导致形状拘束不够灵活；因此经过尝试后，将草图最终以三段圆弧相切，调节起始和终点两段圆弧的半径以及弧度进行定义



测试时发现，安装在 1:27 减速比 3508 电机的侧供拨盘下，在各俯仰角均出现拨力不够的情况，回拨现象明显，最终将问题定位为管路长度过长，内部堆叠的弹丸过多，重力分量带来的阻力过大以及滑口附近压力角过大，两者共同导致了卡弹问题频发

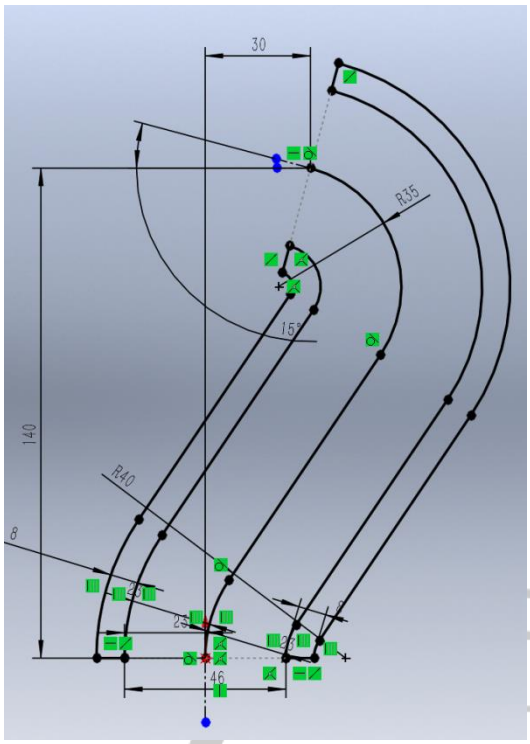
同时产生的问题是，全管路采用轴承减小拨弹阻力的前提下，过长的管路导致整套管路过重，不利于云台的整体轻量化

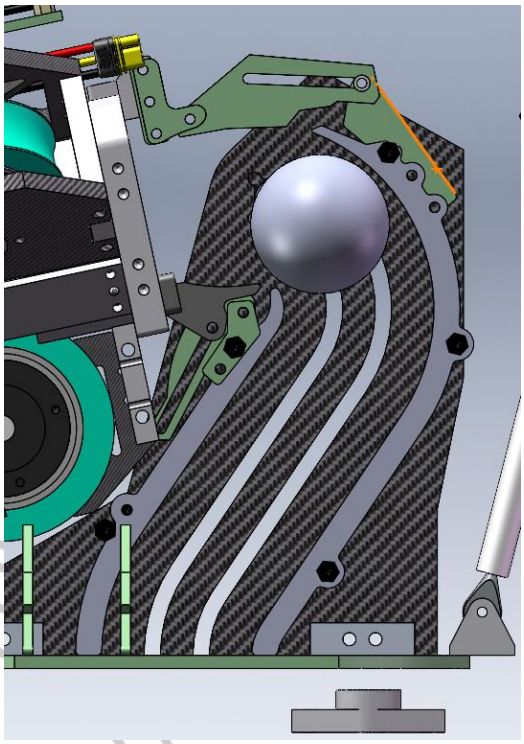
后在测试架上换用 1:51 减速比 3508 电机后，拨力不足的情况解决，但同时产生了新的问题——电机瞬时输出过大导致的整套发射系统在拨弹阶段产生的振动无法被管路结构吸收，这种抖动可能影响到弹丸进入摩擦轮系统时的初始姿态，因此两种电机的选择方案仍在摇摆

2.5.2.2.2pitch 转轴后置 30mm

六摩模型终审后，分析前期的测试结果以及六摩发射的最终质量，确定将 pitch

转轴后置 30mm 并绘制了最终的管路雏形





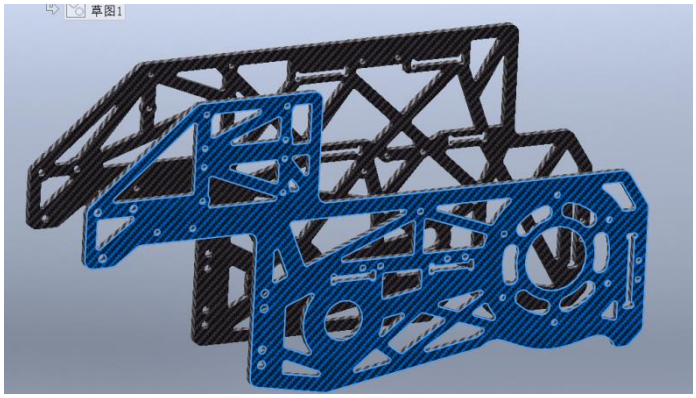
该版管路在没有改变管路整体质量的同时满足了 yaw 轴刚度需求，且更为适配六摩擦轮构型

前文所述的拨力过大问题经组内商讨后认为，六摩擦轮发射机构对该振动的容许程度足够大，且在六摩还未进行测试的情况下只能适当高估玻珠螺钉的硬度，1:51 减速比 3508 电机的实装是有必要的，具体振动问题可以从电控层面进行调整，因此最终还是保留了 1:51 减速比 3508 电机

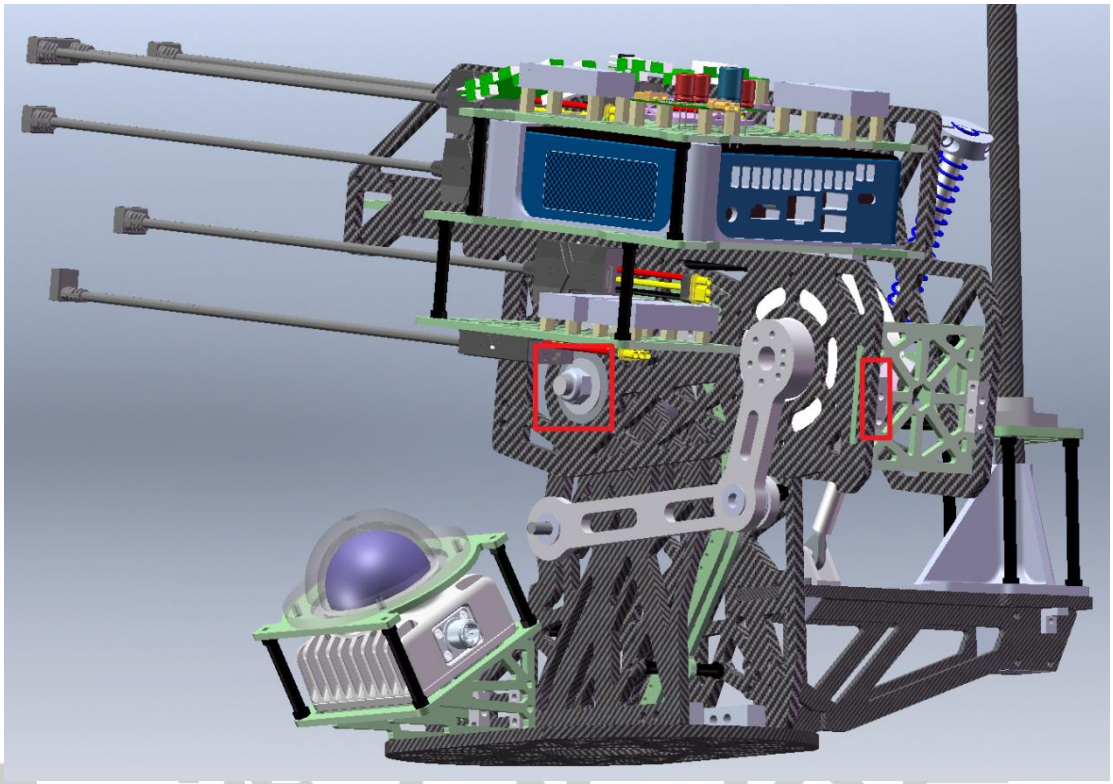
2.5.2.3 快拆维护设计

经过联盟赛和分区赛的验证后，在不影响具体功能的情况下对云台左右侧板进行功能耦合，国赛时云台整体的主要结构件仅为如图四块碳纤，两两一组承载了云台 pitch 部分以及固定部分的大多数结构





同时优化了紧固件的安装位置和顺序，拆卸 pitch 转轴的两颗螺母以及少量板接螺钉后，即可将云台解耦，保证可以在 20 分钟内更换云台的任意结构件（由于拆装顺序问题，云台底板不算在云台模块）



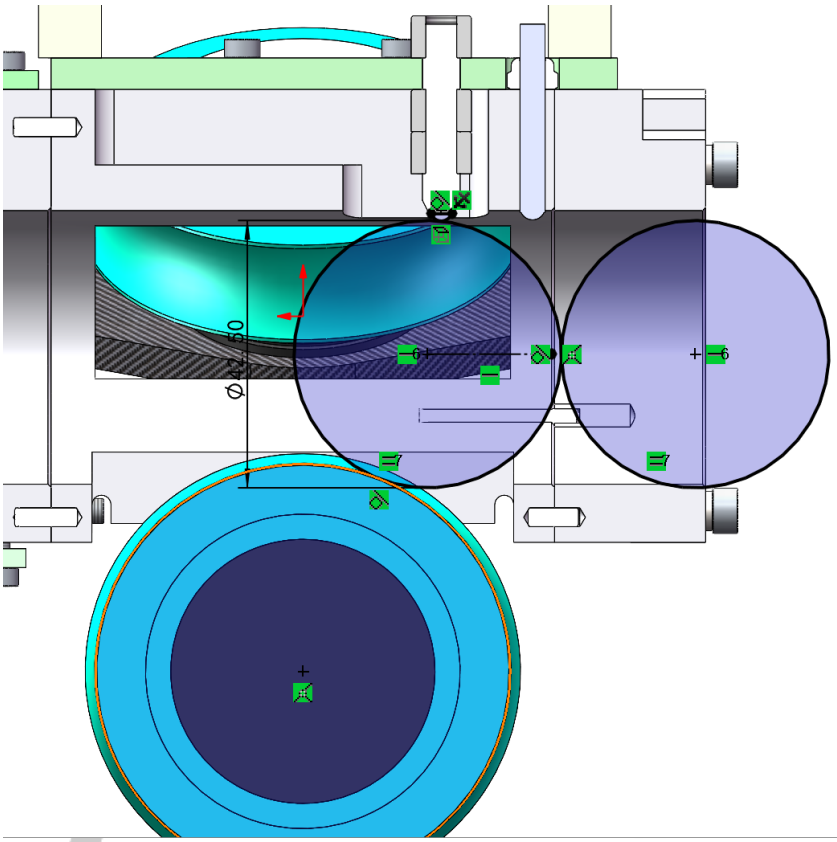
2.6 发射设计

2.6.1 分区赛三摩擦轮发射设计

三摩擦轮的发射系统由拨盘、管路、滑口、限位玻珠导轨、三主动摩擦轮组成。

发射执行过程：在下达开火指令后，拨盘会拨一格（角度 60°），此时弹链中的所有弹丸都往前走一颗弹丸的距离，最后一颗弹丸先通过滑轨和第一颗 M4 大小的玻珠螺钉进行碰撞，进行初次限位，然后再通过第二颗 M6 大小的玻珠螺钉进行第二次限位，最后在离开第二颗玻珠的下一时刻正好接触到三个摩擦轮，然后完成发射指令。

2.6.1.1 定心结构

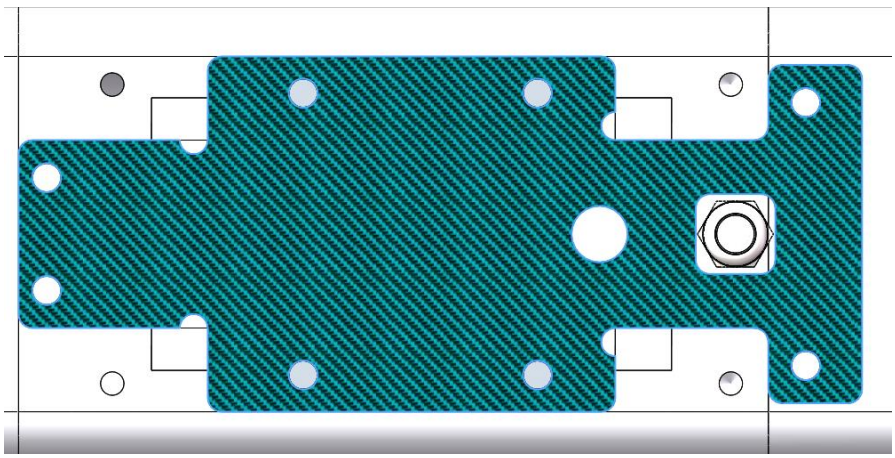


采用两颗拨珠螺钉+销轴导轨方案（三点定心）进行定心。第一颗玻珠螺钉进行单发限位，同时将发射状态尽可能与管路和拨盘隔离。第二颗玻珠螺钉起主要定心作用。通过调节玻珠螺钉的深度，可微调部件在轴线方向的居中位置，利用波珠的弹性补偿微小偏差。销轴提供横向定位，限制径向位移。

相较于其他定心方案，这种方案通过弹性补偿（玻珠螺钉）+刚性引导（销轴）定心精度更好，对于弹丸尺寸公差包容性更大同时调节成本小，维护成本低，测试起来更方便。测试时主要依赖调节玻珠螺钉顶入深度，可以做到精细调节

2.6.1.2 发射执行机构

2.6.1.1.1 定位设计



枪管铝件均有销轴进行定位，定位结构通过面定位保证精度。

2.6.1.3 测试

1. 定心

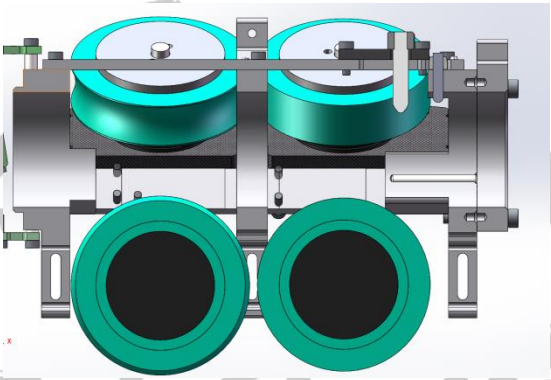
通过调节第二颗玻珠螺钉深度优化散布

2. 摩擦轮

用 0.1mm 垫片不断纠正三个摩擦轮的位置

eg：用手推动弹丸发现更容易先接触下摩擦轮，可以通过给下摩擦轮垫垫片尽可能让弹丸同时接触三个摩擦轮

2.6.2 国赛六摩擦轮发射设计



发射系统构成与逻辑同三摩擦轮发射机构相差不大。整体上，采用无枪管设计，使得这套发射的重量与三摩相差不大。采用倒三角构型，一是上方留出更大空间给图传及倍镜，二是可以尝试通过改变下摩擦轮转速使弹丸上旋削弱过度自旋。在两级摩擦轮间设计铝件固定

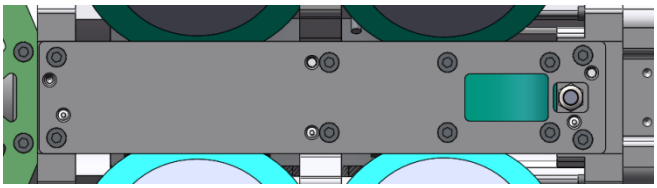
2.6.2.1 定心结构

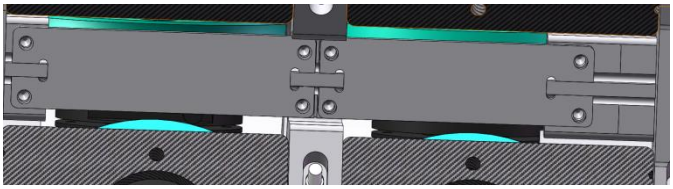
沿用三摩擦轮的定心方案，采用两颗拨珠螺钉+销轴导轨方案进行定心。在固定第一颗拨珠螺钉位置的基础上，第二颗拨珠螺钉通过螺母对锁固定在碳板上，便于对其位置和定心深度进行调节。由于碳板没有进行定位设计，在装配时用打印件进行辅助装配以保证碳板的位置准确。

2.6.2.2 发射执行机构

铝件做发射框架+6mm 厚碳板固定摩擦轮。经强度校核仿真，无强度问题。

2.6.2.2.1 定位设计





选择用三个支撑加定位铝板的方式搭建发射框架。为保证此部分的装配精度，上固定板用菱形销+圆柱销方式定位。左下及右下定位板用面接触进行定位，在面接触部分铣 0.1mm 型腔进行精加工，保证加工精度。摩擦轮用碳板进行固定，与前后两个铝件面定位。

2.6.2.2.2 防松设计

相比三摩擦轮，六摩擦轮发射时的震动更大。在固定摩擦轮碳板上的螺钉都使用了达克罗垫片，防松效果好于普通平垫。但测试发现下摩擦轮较左右两侧更容易松动，发射 1000 发左右需要重新上紧。

定心的第二颗玻珠螺钉采用双螺母防松，有效抵抗弹丸经过时的震动，国赛期间没有发生过松动。

2.6.2.2.3 可调节（便于测试）设计

碳板的固定方式为侧面用玻珠螺钉顶紧+塞打螺钉压紧。受碳板精度及装配误差的影响，测试不同挤压量时直接更换碳板变量比较多，可能对测试结果产生影响，这种设计可以通过加垫片调节不同挤压量。

摩擦轮可以通过直接拆卸固定在碳板的螺钉进行快速更换。

2.6.2.3 测试

整个发射系统变量多，且不同变量间存在着或多或少的联系，测试时要保证控制单一变量，并留存测试记录。整套测试从 abs3D 打印测试——外包光固化测试——铝件上车测试，前期测试由于精度及强度问题，主要发现一些设计导致的装配问题，以下测试结果均为铝件上车测试。

1. 不同摩擦轮

测试项目：平轮+平轮，槽轮+槽轮，平轮+槽轮，槽轮+平轮.

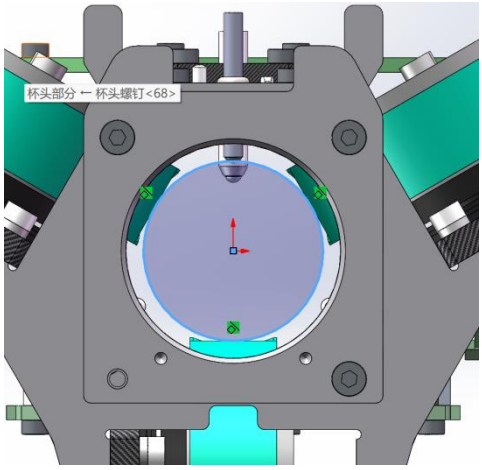
测试结果：槽轮对同心度要求高，一旦两级不同心或定心位置与摩擦轮中心不同心，散布效果会很差，但由于包胶及加工精度，电机尺寸等问题，很难保证两级同心度；双平轮对这一点包容性明显更好，但是平轮的使用寿命不如槽轮，且掉粉严重，2000 发后就会出现明显凹槽，但是从国赛情况来看凹槽并未对散布产生很大影响。

2. 不同摩擦轮硬度

测试项目：45A 50A 55A 及互相搭配

测试结果：45A 和 50A 的散布效果差别不大，换成 55A 后散布变差，考虑到摩擦轮寿命选择 50A

3. 不同挤压量



测试项目：平轮挤压量

测试结果：两级用相同挤压量：从与摩擦轮相切的圆直径为 36.8 开始 0.2 递增到 37.4，随着挤压量减小掉粉情况好转，37.2 时散布情况最好。

两级用不同的挤压量：尝试减小第一级挤压量，延长摩擦轮使用寿命。但效果不好，可能是两级摩擦轮对弹丸切向力不对称，轴线更容易出现偏移导致弹道不稳；或系统振动放大。最后仍选择相同挤压量。

4. 不同定心深度

测试项目 1：第一颗玻珠螺钉深度

测试结果：第一颗玻珠螺钉深度与拨盘力和拨盘预置位均有关，此深度应该保证拨盘每转一格弹丸可以停在相同位置且管路中弹丸不松动

测试项目 2：第二颗玻珠螺顶深度

测试结果：一般来讲定心深度越深，定心时间也越长，定心效果越好，不要超过玻珠极限

测试项目 3:第二颗玻珠螺钉位置

测试结果：保证弹丸出第二颗玻珠螺钉后立即接触摩擦轮

5. 不同转速配比

测试项目：前快后慢，前慢后快，转速相同，单独改变下摩擦轮转速

测试结果：对于转速配比一直有两种说法：前快后慢，第二级实现多退少补的功能；前慢后快，将加速过程分为两段，使弹丸在每一级都能充分加速。经过测试发现前慢后快的效果更好。测试过程中左右散布明显大于上下散布，且有周期性变化。用慢速相机拍摄发现弹丸是有明显的斜向自旋。选择单独调节第二级下摩擦轮转速，调节弹道。测试发现，小幅度降低第二级下摩擦轮转速会使左右散布变小，推断原因可能是下摩擦轮降速使弹丸上（下）旋，削弱了左右方向过度旋转，使弹丸转速趋近最优值

6. 一些不可控因素

天气：潮热天气和太阳直射的高温会影响摩擦轮加速效果

包胶：注意包胶的圆度，用千分表进行检测；摩擦轮轮毂与电机配作

电机：筛选电机跳动小的。测试时发现不同电机在摩擦轮空转时转速波动不同，尽量选择转速波动小的。

加工精度：3508 电机靠碳板进行定位，但装配时发现碳板精度并不好，在留有 0.15 余量的情况下仍存在过盈装不进去的情况，只能一次性多包碳板进行筛选。

2.6.3 问题总结

本套六摩发射测试时间短，还存在许多待测试可以继续优化的项目；且由于和电控对接有问题，临近国赛前才发现转速配比有问题导致前期许多测试结果存疑，后续重新进行测试。

3. 改进预想

25 赛季的英雄仍然存在不少问题，依然有着较大的进步空间。在此，我们很乐于把我们对于未来英雄改进方向的认知分享出来，和大家一起探讨，共同进步。

3.1 更优秀的地形适应能力

在赛季开始我们想做一辆可以上台阶的英雄，为此也进行了方案调研与需求分析，一方面没有想到很好的方案，另一方面是比较紧的时间线，仅确定了初步方案便搁置了。

在分区赛和国赛中，我们看到了许多优秀的上台阶方案，而且，在未来的趋势中，对地形跨越能力的要求只会越来越高。

对此，希望未来小登和各位同僚能给出更好的、更创新的解决方案。

3.2 更强的视觉辅助

由于英雄自身移动慢易被针对导致输出窗口期较短，在赛季初我们就确定了使用雷达进行全场视觉辅助吊射的需求以减少操作手在进行输出前的调整时间以及释放操作手精力保证场上生存能力，但因为一些原因，一直没有很好的效果。我们认为优秀的视觉辅助是提升车辆在赛场表现非常重要的一部分：无论是前场、后场还是抽人，相对应的自瞄技术都可以在赛场上发挥相当大的作用。

而且在未来的趋势中，自瞄的收益和必要性想必会越来越高，这也会是我们英雄组下个赛季需要继续重视且努力的方面。

4. 总结思考

从一代车初步尝试中心供弹构型、二代车推出舵轮底盘配合中心供弹到三代车决定底盘、拨盘回退，在确保性能的前提下从上层寻求突破——压缩云台高度，配合推出六摩擦轮发射，本赛季我们的英雄之路可谓跌宕起伏。复盘后，我们总结：方案分析不透彻、方案摇摆不定、对接效率过低、浪费大量时间、拖延时间线是我们的严重错误，特别是在研发新结构时影响更甚。期待未来的虎崽与各队伍能鉴往知来，砥砺前行。凭借更高的研发效率与更加大胆的创新，不断突破极限，不断攀登 RM 的最高

峰。

鸣谢

指导老师：黄沿江老师、杨丽新老师、李海老师。

技术指导：梁睿童、陈翀、陈俊标、徐子奕等。

宣传：杨皓翔

参赛学校（排名不分先后 ）：深圳大学、哈尔滨工业大学（深圳）、广东工业大学、广州城市理工学院、电子科技大学中山学院、华南农业大学、太原工业学院、东北大学、深圳职业技术大学等。

附录：

附录 1：英雄机器人设计研发进度时间轴

时间	进度
10 月中旬至 11 月中旬	设计机械结构、讨论兵种需求。
12 月中旬	完成联盟赛英雄的机械设计
1 月中旬	完成联盟赛英雄的装配
2 月至 3 月	完成联盟赛英雄的调试
4 月初	完成分区赛英雄的机械设计
4 月中旬	完成分区赛英雄的装配
4 月底	完成分区赛英雄的调试
6 月中旬	完成国赛英雄的机械设计
7 月初	完成国赛英雄的装配
7 月中旬	完成国赛英雄的调试