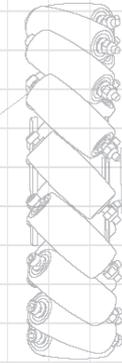


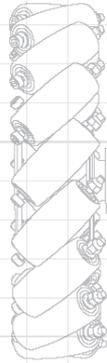


Using a BL-66 motor driver chip and Field-Oriented Control (FOC), the RoboMaster D200 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor speed.



Exclusively designed for the RoboMaster D200 Brushless DC Motor and D200 Brushless DC Motor Speed Controller, the 65400 Assembly Kit includes screws, cables and a terminal board.

RoboMaster System Specification Manual, RoboMaster User Manual, Introduction of RoboMaster System Module



65400 Assembly Kit includes screws, cables and a terminal board. Complete protection system offers by four independent systems.

# ROBOMASTER 高校单项赛

# 赛季总结

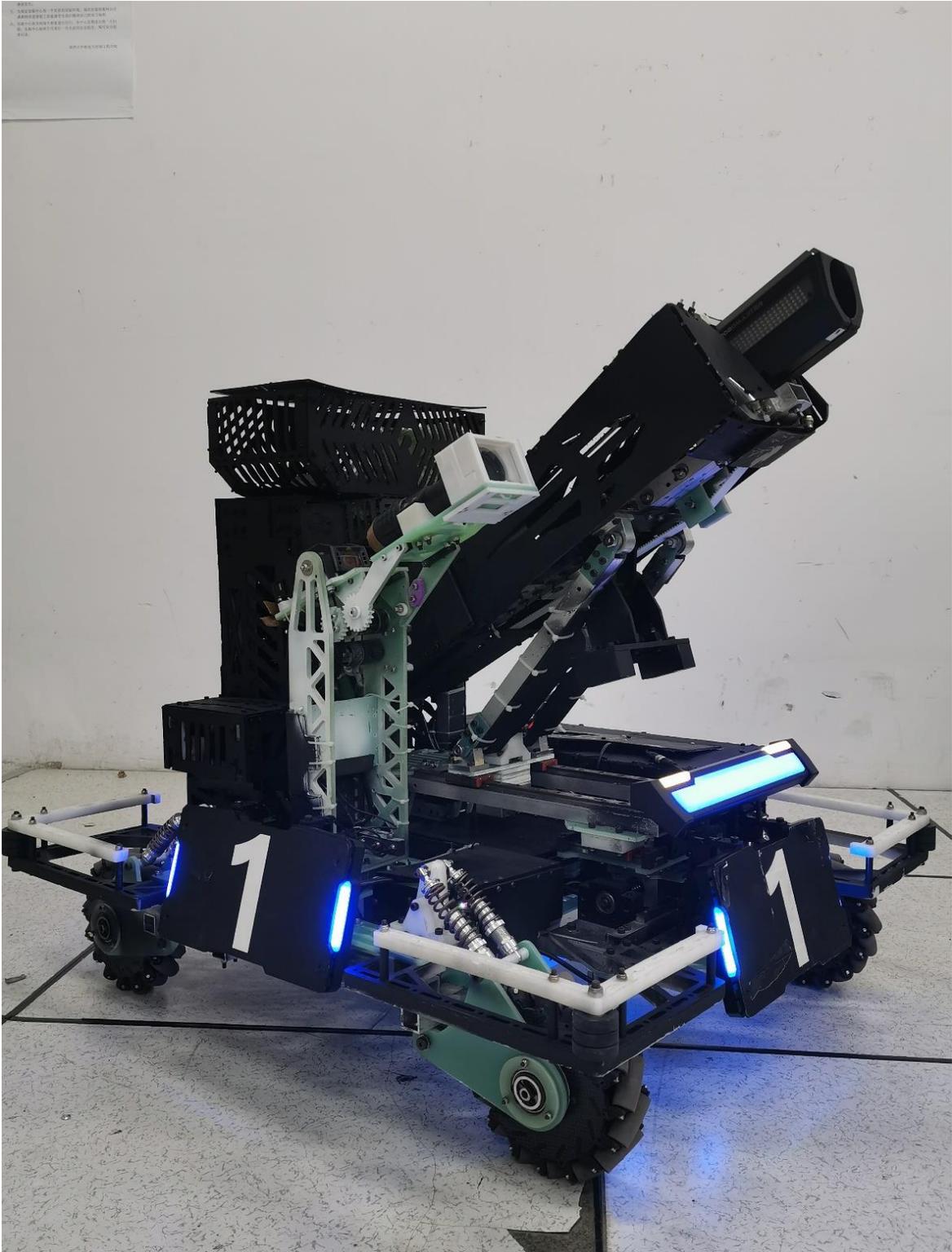
深圳大学松灵 RobotPilots 战队 编制

2022 年 9 月 发布



# 目录

<b>1. 规则技术点复盘</b> .....	<b>3</b>
1.1 规则技术点分析回顾 .....	3
1.2 实际实现技术点 .....	4
1.3 现有技术开源分析比较 .....	4
1.4 关键技术点分析与思考 .....	5
<b>2. 技术方案复盘</b> .....	<b>12</b>
2.1 机械结构方案 .....	12
2.1.1 发射机构的设计 .....	12
2.1.2 Pitch 轴与 Yaw 轴运动方式设计 .....	16
2.1.3 低角度支撑的设计 .....	19
2.1.4 供弹方式设计 .....	20
2.1.5 图传小云台的设计 .....	25
2.1.6 整车保护装置的设计 .....	28
2.2 硬件方案 .....	31
2.2.1 硬件整体框图 .....	31
2.2.2 单板硬件说明 .....	32
2.2.3 重要传感器选型说明 .....	32
2.3 软件方案 .....	33
2.4 算法方案 .....	34
2.4.1 图像识别 .....	34
2.4.2 测距算法 .....	34
2.4.3 吊射 .....	36
2.5 测试方案 .....	37
2.5.1 机械测试方案 .....	37
2.5.2 电控测试方案 .....	38
2.5.3 视觉测试方案 .....	38
2.5.4 部分测试数据 .....	38
<b>3. 项目进度复盘</b> .....	<b>41</b>
<b>4. 赛季人力安排复盘</b> .....	<b>43</b>
4.1 团队架构设计 .....	43
4.2 团队建设思路 .....	45
<b>5. 预算复盘</b> .....	<b>46</b>
5.1 资金筹措 .....	46



# 1. 规则技术点复盘

英雄机器人作为 RoboMaster 比赛中的重要攻城单位，所发射的 42mm 大弹丸对于建筑物的伤害极为可观。普通的英雄机器人一般都采用推进到建筑物附近进行“贴脸攻击”，有时会有对于前哨站单位的稍远程攻击，称为“吊射”，但是对于重兵防守的基地单位，如果不能将对方战队地面单位消耗殆尽并且推掉哨兵机器人，很难有机会打到基地。因此很多场比赛都因为基地全程无任何掉血而无法以基地血量进行判定胜负。

2022 赛季初，RoboMaster 组委会在单项赛的规则手册上首次提出了英雄吊射项目。所谓英雄吊射，即我方英雄机器人在我方吊射狙击点通过远程吊射的能力直接攻击对方基地并造成重大伤害。实际上，从吊射狙击点到对方基地装甲板的有大约 21m 的直线距离，想要精准命中基地装甲板并非一件易事。要想在此项单项赛中取得较好的成绩，那就必须要对整个英雄机器人进行改进和优化。

在这一赛季中，我们尝试了数种不同的发射形式，最后确定下以皮筋作为动力配合发射座的形式作为本赛季吊射英雄的主要发射形式。这种发射形式具有极高的稳定性和命中率，并且易于调试，在本赛季中部分区赛英雄吊射单项赛中取得了令人惊艳的成绩。

## 1.1 规则技术点分析回顾

根据《RoboMaster 2022 机甲大师高校单项赛比赛规则手册 V2.0》中对于英雄吊射项目的相关规则介绍，我们对于吊射英雄的规则技术点分析如下：

一是要有较高的吊射命中率。根据排名规则中的第一条“总伤害血量较高者排名靠前”，英雄吊射必须要有较高的吊射命中率由此才能获得较高的排名。即使是最差的情况也要有两次弹丸命中。根据规则，吊射击中基地顶部三角装甲板有 750 点血量伤害，而击中其余三块大装甲板有 500 点血量伤害，而基地初始状态有 5000 点血量。因此若吊射目标为打完所有基地血量，则必定要有 7~10 发弹丸击中目标。而比赛规则规定只能发射 15 发弹丸，因此英雄吊射基地的命中率必须在 13.3% 以上才具备获得评奖资格，在 46.7% 以上才有可能将基地的 5000 点血量清空。

二是要有较快的发射弹丸频率。比赛排名规则第二条：“若总伤害血量相同，当造成最后一次伤害时，比赛剩余时间较多者排名靠前”。正式比赛的时间为 2 分 30 秒，期间可以发射 15 发弹丸。因此最多每 10 秒钟就要发射一颗弹丸，以保证在比赛时间内将弹丸全部发射

出去。操作手需要在这不到 10 秒钟的时间内要完成修正角度等一系列操作，同样对操作手的操作水平提出了一定要求。

三是要有较轻的重量。根据比赛排名规则最后一条中“以上条件无法判定排名顺序时，机器人重量较轻者排名靠前”，因此我们要尽可能将英雄的重量减轻。

综上所述，一个完美的吊射型英雄机器人需要具备较高的吊射命中率、较快的发射弹丸的频率以及较轻的重量。其中，命中率的优先级最高，其次是射频，最次是重量。

## 1.2 实际实现技术点

在本赛季我战队研发的吊射型英雄机器人中，已实际实现的技术点有较高的命中率以及较快的发射频率，而较轻的重量并没有完全实现。

关于命中率，我吊射型英雄机器人在 6 月中部分区赛单项赛中发射了 13 发弹丸，其中 8 发对基地一共造成 4000 点伤害，其中命中率达到 61.53%。而后在备赛国赛期间进行改进研发，经过测试，其对基地的吊射命中率可以达到 85% 左右，远超最初对吊射型英雄机器人对于吊射命中率的预期。

关于发射频率，主要受制于操作手操作水平。分区赛上之所以只发射了 13 发弹丸，其主要原因为操作手对于键盘操作不熟悉。之后在备赛国赛期间，电控成员对程序进行了简练与优化，配合机械部分进行机构改进，实现一键打弹等高效操作，目前弹丸发射频率可以达到 2~3 秒一发，达到了最初对吊射型英雄机器人的射频预期。

关于重量，主要受制于机械设计以及零件选型。因为采用了新的发射形式而导致需要较大的空间和较重的零件，因此整车最终质量达到了 31kg，并没有很好地达到最初对该机器人的重量方面的预期。

总而言之，本赛季我战队设计研发的吊射型英雄机器人在重点性能上实现了技术突破，基本完成了赛季初对于机器人的设计需求，但同时也抱有一些遗憾，有一些改进和提升的空间。

## 1.3 现有技术开源分析比较

在进行吊射英雄的机械结构设计之前，我们在 RoboMaster 技术论坛上找过相关的资料进行分析和参考。目前在论坛上关于吊射英雄的内容尚且不多，总结一下基本上有以下几种发

射形式。

- **传统摩擦轮发射形式——代表学校：华南理工大学、大连交通大学、上海交通大学**

本部分就华南理工大学在 2021 赛季的开源进行分析。华南理工大学在 2021 年对英雄的吊射能力尚属研究阶段，仅仅作为英雄的一个辅助功能进行研发。

华南理工大学 2021 赛季的英雄云台采用了经典的下侧供弹与摩擦轮配合的形式，对于弹丸限位等关键技术也做得非常出色，但是囿于摩擦轮的技术瓶颈，其吊射效果差强人意。

我们也曾在自己的摩擦轮英雄上进行过优化和改进，但是其吊射的效果非常一般，于是我们并不打算采用传统的摩擦轮发射形式作为吊射英雄的发射形式。

- **气动发射——代表学校：桂林电子科技大学**

桂林电子科技大学在气动发射英雄方面一直处于一枝独秀的地位，通过采用了一种完全不同于传统摩擦轮的发射形式，让弹丸的射速比较稳定，而且弹丸的限位等也采用了全新的方案设计。其吊射的效果也是比较不错的。但是我们战队并无这方面的技术经验，再加上可以参考资料较少，因此我们也并没有打算做这个方面的尝试。

- **皮筋发射——代表：官方技术论坛圆桌会议**

这个想法是由官方首次提出，但是因为形式太过新颖，大部分学校并未在这方面进行过尝试。然而我们在一次试验中，通过改装了 2021 赛季我战队的飞镖架进行吊射测试后发现其效果确实比摩擦轮的发射形式更为优异，之后我们经过详细的技术论证和测试后决定将皮筋发射作为本赛季我吊射型英雄机器人的主攻方向。

## 1.4 关键技术点分析与思考

在确定了我们将采用皮筋发射的形式作为本赛季吊射型英雄的主要研究方向后，通过分析与思考，总结出以下几个关键技术点

- **弹道分析模型**

首先通过测量场地图纸可以发现，吊射点位置与基地装甲板之间的直线距离大约 20~21m，因此我们在设计方案时就将吊射的目标定为 21m。

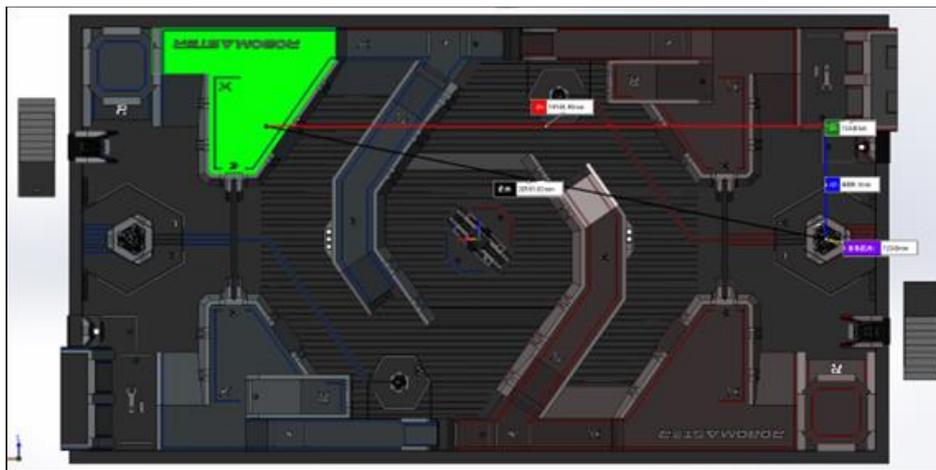


图 1 吊射点与基地装甲板的距离测量示意图

因为大弹丸在飞行过程中必定会受到空气阻力的作用，仅仅凭借理想化的物理模型对弹道进行分析是有缺陷的。通过物理分析，根据空气阻力  $\vec{f} = -k\vec{v}$  得到：

$$\begin{cases} f_x = -kv_x \\ f_y = -kv_y \end{cases}$$

因此有微分方程组：

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}v_x \\ \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{k}{m}v_y - g \end{cases}$$

其中， $x$ 表示水平方向射程， $y$ 表示竖直方向射程； $k$ 为空气阻力系数，通过测试可以得出； $m$ 为弹丸质量， $g$ 为重力加速度； $v_x$ 表示水平方向分速度， $v_y$ 表示竖直方向分速度。通过使用 GeoGebra 等数学软件可以解出一个很符合实际的弹道模型：

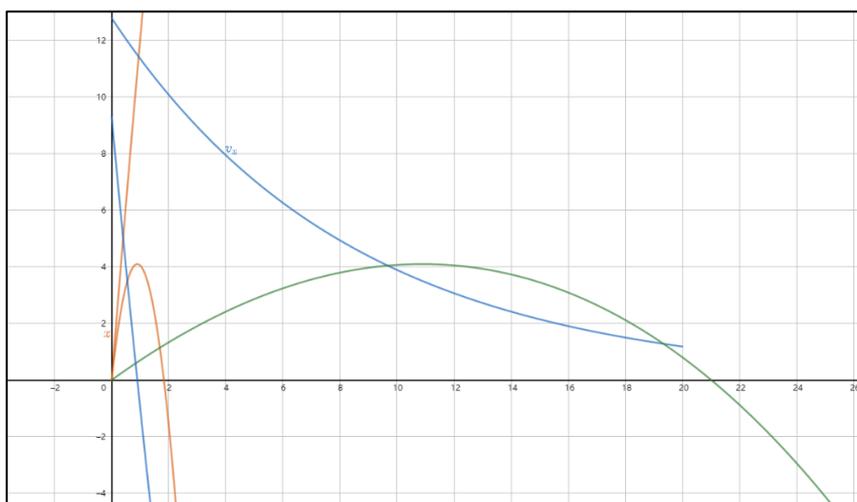


图 2 受空气阻力影响的弹道模型分析

图 2 中，绿色线条为弹丸实际轨迹（横坐标表示水平位移，纵坐标表示竖直位移，单位均为 m），蓝色线条代表 x、y 方向速度随时间的变化（横坐标表示时间，单位为 s；纵坐标表示速度，单位为 m/s），橙色线条代表 x、y 方向的位移随时间的变化（横坐标表示时间，单位为 s；纵坐标表示位移，单位为 m）。

根据实际情况对参数进行调整和修改后可以得到吊射时最佳的仰角-射速关系。以我战队本赛季的吊射英雄为例，采用仰角  $36^\circ$ ，射速  $15.8\text{m/s}$  的方案进行基地吊射。

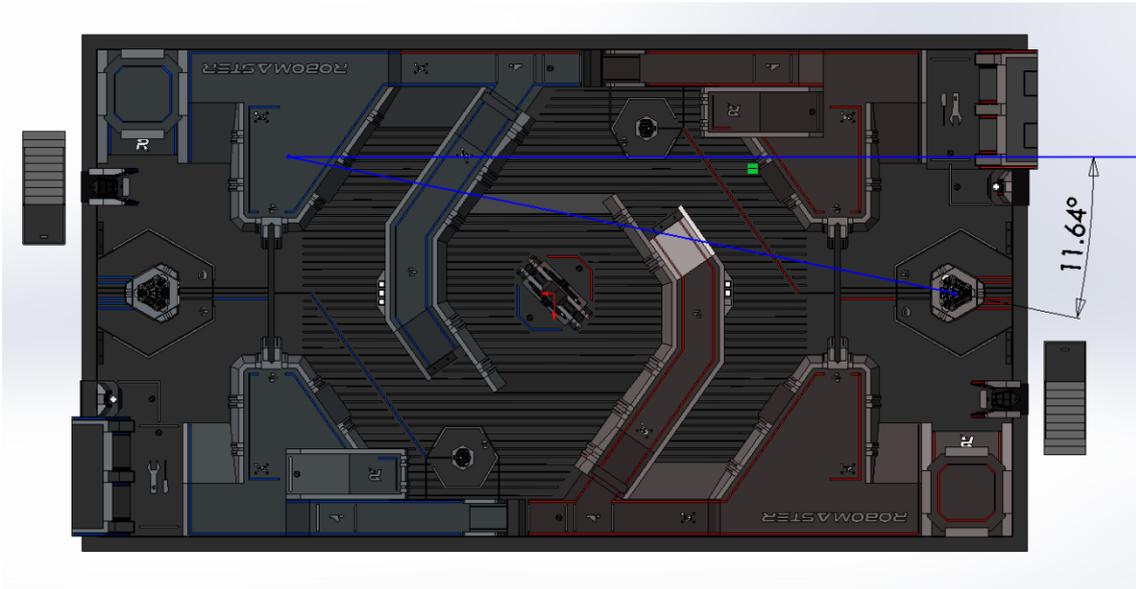


图 3 吊射点与基地装甲板的角度测量示意图

此外，由于吊射时，车体与基地中线存在夹角，而这个夹角在吊射时，对于弹丸在击中装甲板时在装甲板法向量上的分速度会造成影响，有可能会产生导致弹丸识别不准确或识别不到，因此我们也对击中装甲板时的速度分量进行了分析。分析方法为以弹道平面与基地顶部的四个装甲板所得的交线为 x 轴，在弹道平面上垂直于该交线的直线为 y 轴，弹丸落点为该坐标系原点，将弹丸射速沿 x、y 方向正交分解（实际上还应考虑 z 轴方向，但是因为其角度较小可以忽略，而且分解的方向越多，在各方向上的分速度越小，因此忽略第三个方向上的速度分解）。分析的结果为基地顶部的 4 个装甲板中，只有顶部三角装甲板和正前方的小装甲板可以作为吊射目标，而其余两块侧边的装甲板会因为击中时在装甲板法向速度小于检测速度的最小值而不能被识别成大弹丸或造成有效伤害。

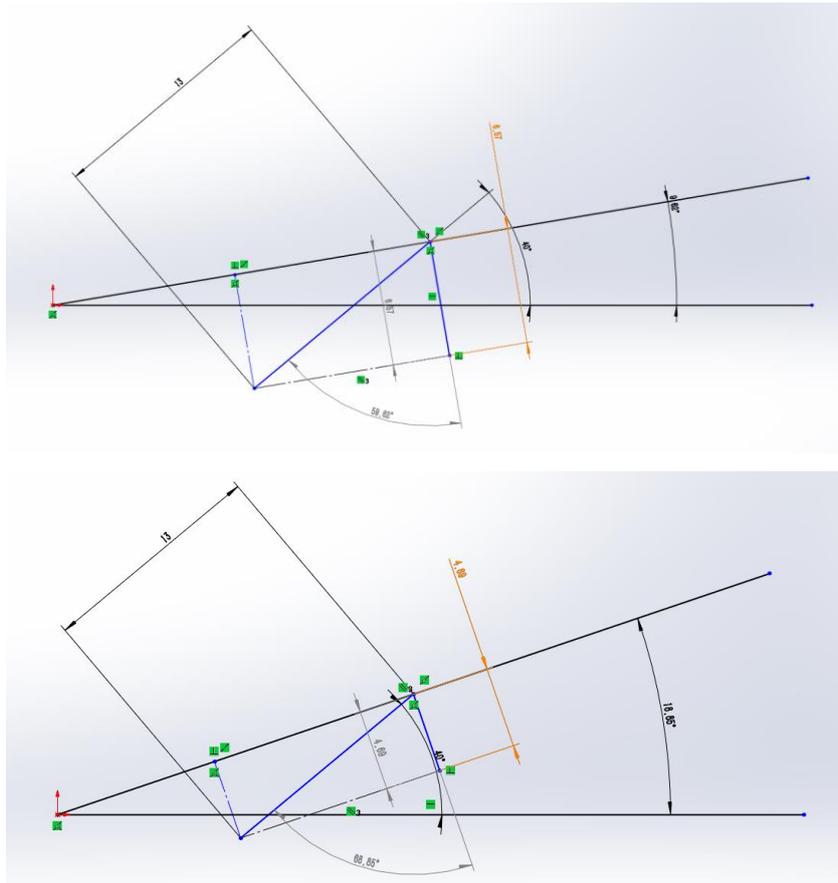


图 4 弹丸击中两侧装甲板时的速度分解图

总而言之，对于弹道分析模型，我们的结论是：采用仰角  $36^\circ$ ，发射初速度  $15.8\text{m/s}$ ，击中大约  $20\sim 21\text{m}$  外的基地顶部三角装甲板和前部小装甲板。

#### ● 弹丸发射限位

所谓弹丸发射限位，就是在弹丸从加速到射出测速模块的这一段过程中，每颗弹丸的位置都是固定的。这样可以很大程度上缩小弹丸落点的散布范围。而如何做到这一点，每个学校都有自己的尝试与努力，效果也不尽相同，各有优缺点。考虑到我们采用了皮筋发射，需要有一个稳定的发射座来作为皮筋能量转移到弹丸上的中介，因此我们的弹丸发射限位主要就从发射座上入手。

根据立体几何的知识，对于一个球体，如果直径确定，那么只需要 3 个不共线的点和 1 个方向限制条件就可以确定该球的确切位置。因此在我们的发射座设计上，也采用了同样原理的 3 点限位装置对弹丸的位置进行约束和限制。

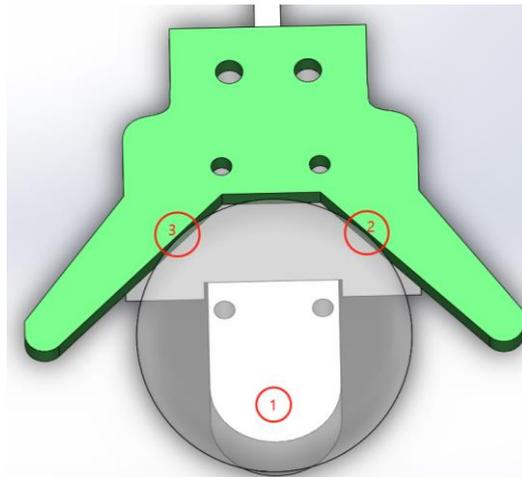


图 5 发射座 3 点限位示意图

从最后的效果来看，该方案确实可以将弹丸每次都限制在同一个位置，很大程度上缩小了弹丸的散步范围，很有利于吊射精准度的提升。

#### ● 弹丸射速稳定

弹丸射速稳定是精准吊射的一个重要保证。没有一个稳定的射速，我们无法对下一次弹丸的落点有一个合理的判断，同时其落点的前后散布会非常之大，严重影响吊射的命中率与吊射效果。而采用皮筋发射的这种形式就可以很好地控制弹丸射速较长时间内处于一种稳定的状态，非常有利于吊射基地。

本赛季中，我们对皮筋的选型有了比较深入的了解和认识。弹弓竞技用的皮筋中有圆皮筋和扁皮筋两种形式，考虑到寿命因素我们更倾向于使用圆皮筋。一般情况下，对于同一跟皮筋来说，拉伸行程越大，弹力越大；皮筋越细，弹力越小，但是回弹速度越快；皮筋串联相同行程弹力更小，并联弹力更大。因此在设计皮筋位置的时候，我们采用了单根中等粗细的圆皮筋来回缠绕形成并联的样式，这样一来使得皮筋的拉伸行程更大，弹力也更大，而且回弹速度也不会太慢。最重要的一点是单根皮筋拥有较好的自适应能力，可以更容易将左右两侧的皮筋拉力控制相同，有利于弹丸发射。



图 6 皮筋安装形式

● 角度精准控制

吊射过程中，仰角需要精准调节。因为任何一个小的角度偏差放之于 20m 左右的射程中都会产生极为可观的影响。所以对于仰角调节，我们尽可能要做到精准且稳定。因为发射形式会占用较大的空间，采用传统的电机直连驱动 pitch 轴进行旋转调节的方式显然有点力不从心，而且电机直连时，为了维持角度的稳定需要长时间高负荷工作，对电机的健康也不是非常友好。因此在这个吊射英雄上，我们采用了全新的 pitch 轴仰角调节形式，即采用滚珠丝杠和连杆的配合，仿照飞镖架的形式进行了设计。

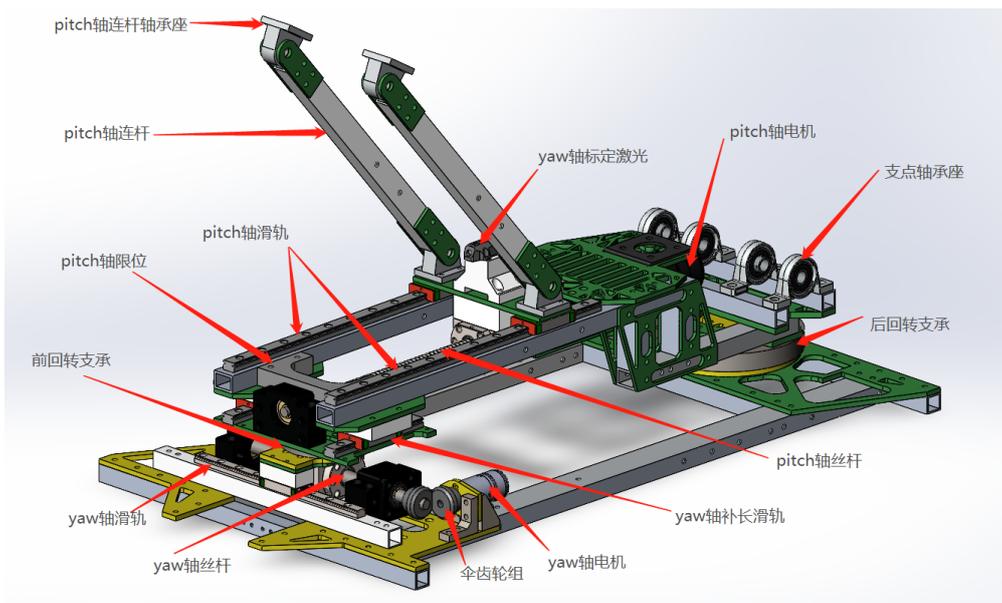


图 7 发射机构 pitch 轴与 yaw 轴机械设计

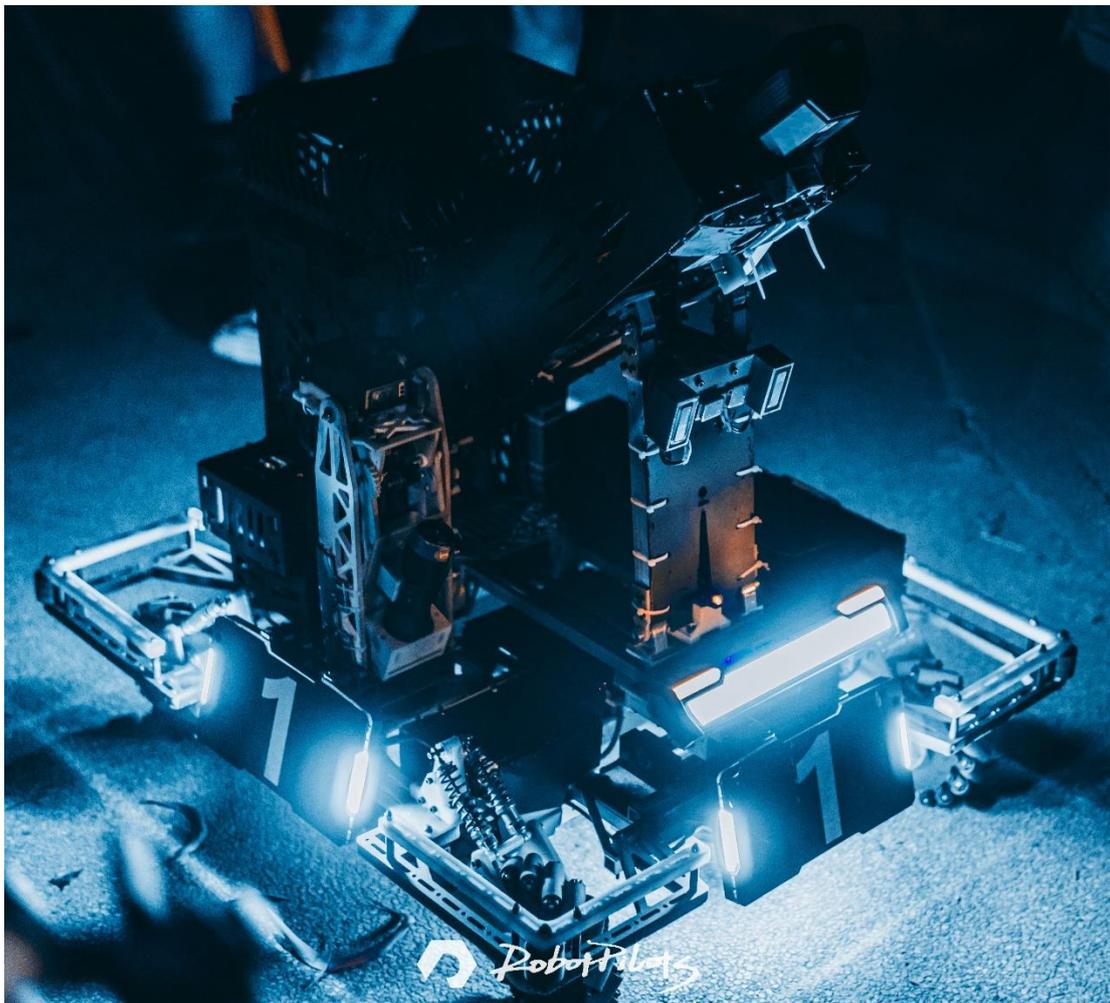
滚珠丝杠对于行程有着精准的控制，并且可以承受一定的载荷，可以承受发射弹丸瞬间发射机构的后座力，因此我们采用了这一套方案进行角度调节。此方案在前端还有一个可以小范围调节 yaw 轴的滚珠丝杠，对吊射时的角度精确调节有了更多的选择，保障弹丸精准打击基地装甲板。

### ● 整车稳定性强

我们一开始有考虑过在吊射的一瞬间，后坐力会不会让使用麦轮的整车发生有不确定性的位移，所以一开始有考虑过各种固定装置，比如像起重机那样等等，但是在后面实际测试中，发现在使用官方的小胶轮、3508 电机锁紧的情况下，即使发射 16m/s 的弹丸也不会产生位移，这样的话每次对位的精确度就有了保证。

在悬挂部分，由于吊射英雄没有飞坡或者大量走盲道的需求，而且悬挂越软的话，吊射的一瞬间车体就会越晃，而晃起来微微的不确定性就有可能导致 20m 的吊射散布变大，所以说每个轮组的悬挂部分是采用了双避震器的独立悬挂，且挑选的还是劲度系数较大的弹簧。

另外，由于整车重量较大，轮组部分在后期采用了两侧固定，可以有效防止轮组外八。



## 2. 技术方案复盘

### 2.1 机械结构方案

#### 2.1.1 发射机构的设计

我战队今年赛季设计的吊射英雄主要以机械部分为主，以下将分部分进行介绍。

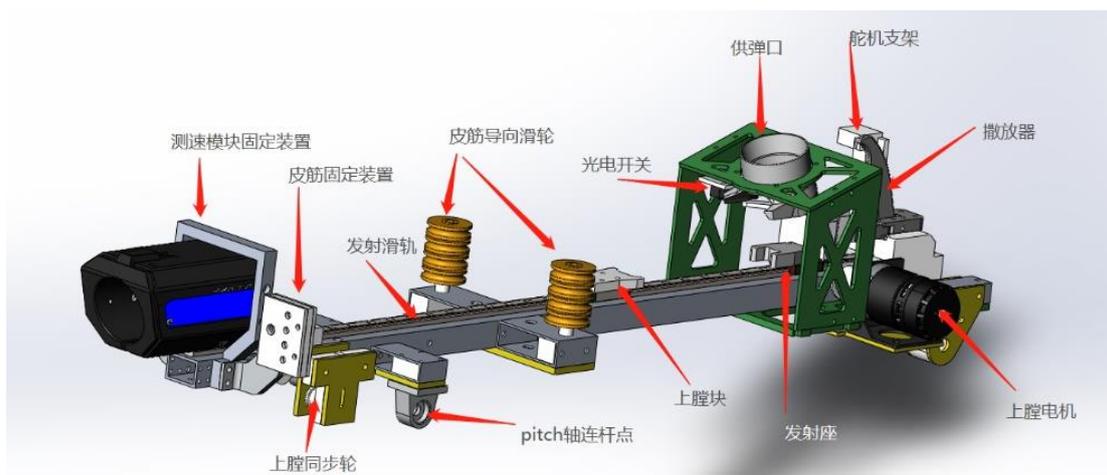


图 8 发射机构总装配体

##### 2.1.1.1 发射座的设计

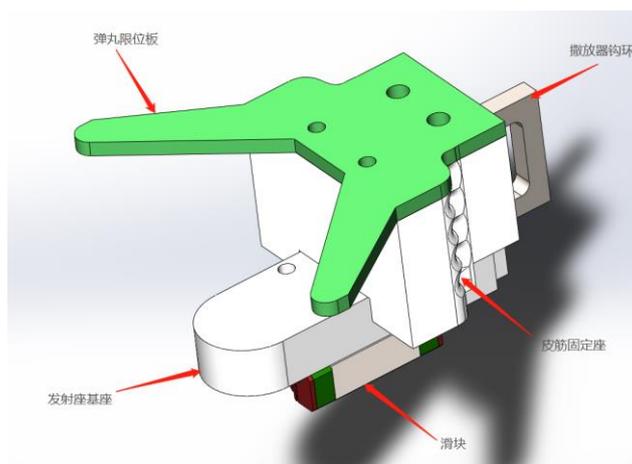


图 9 发射座装配体图

发射座在整个发射的过程中起到的作用类似于弹弓中的“皮兜”，负责把弹丸装载好之后精准地打出去，然后再返回最初位置。有关发射座的设计主要考虑以下这些方面：

**重量。**根据动量守恒定律，我们可以很容易地写出在弹丸脱离发射座瞬间前后动量守恒

的表达式：

$$(M + m)v = Mv_1 + mv_2$$

式中 $M$ 表示发射座质量， $m$ 表示弹丸质量， $v$ 表示脱离前整体的合速度， $v_1$ 表示脱离后发射座的速度， $v_2$ 表示脱离后弹丸的速度。用物理知识就可以知道如果想让弹丸的最终速度达到预期射速，在皮筋能够提供的最小推力下，发射座的重量肯定是要越轻越好。在整个发射座中，重量最大的部分来自于滑块，因此滑块的选型会非常重要。滑块一是要轻，二是要能够承受瞬间的强大正反向加速度，并且能够稳定承受。其次关于重量，在上方的发射座基座、皮筋固定座这些地方也可以尽量做一些减重设计，比如我在发射座基座下方就做了减重。

**强度。**发射座在一次弹丸发射中会承受很大的正反向加速度，整体发射座的强度一定要足够。尤其是上膛卡在撒放器中的时候，此时整个发射座处于一种前后撕扯极为严重的时候。皮筋会给整个发射座一个强大的向前的拉力，而撒放器又会通过本身的机械结构牢牢拉住发射座，此时对于发射座基座、皮筋固定座和弹丸限位座的强度是一个非常巨大的考验。我的撒放器拉环使用的是 2021 赛季飞镖上的零件，采用 45 钢制，强度足够；发射座基座采用 POM 板料制作，皮筋固定座为 3D 打印件，填充密度 100%，弹丸限位板使用绿板或者碳板制作，也是出于强度考虑。

**限位。**关于此部分已在前文有过介绍，此处不再赘述。

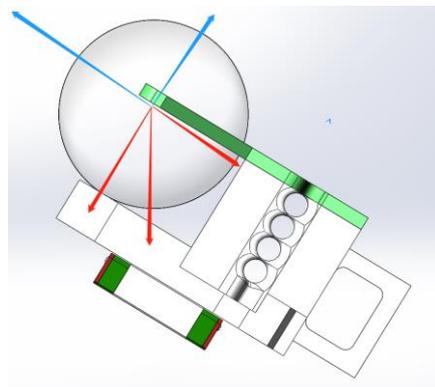


图 10 弹丸发射瞬间受力分析

此外，还要考虑一下在发射时，弹丸的受力情况。如上图所示，红色箭头表示弹丸重力及其分力，蓝色表示弹丸受到的力在发射方向和径向上的支持力，这样分析下来，弹丸发射瞬间受到的合力是沿着发射方向向前的，这样比较好。当然弹丸限位板应该在弹丸中心偏上一点的位置，这样就可以避免弹丸因为惯性在发射瞬间向后飞出的情况，而且较高的限位板也可以留给皮筋更方便地安装与调试空间。

还有一个设计要点是发射座不宜过长，让弹丸在发射座基座上时弹丸距离发射座最前端

距离小于 3mm，因为弹丸在脱离发射座瞬间有可能会与发射座前端进行摩擦，导致弹丸下旋，这样会大幅缩减弹丸射程，影响弹道稳定性。但是较短地发射座又有可能导致供弹时掉弹概率增加。所以需要在两者之间找到平衡点。

### 2.1.1.2 上膛机构设计

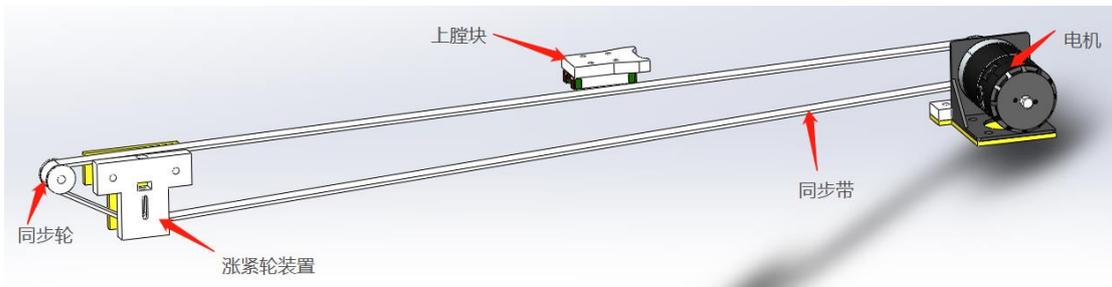


图 11 上膛机构装配体（压紧板和连接板未显示）

对于用皮筋发射的形式来说，必须要有一个机构可以将发射座拉回初始位置，这个时候上膛机构就发挥出作用了。上膛机构采用电机带动单侧同步带传动压紧板带动的上膛块和滑块，将发射座拉回初始位置。结构比较简单，设计起来也不是特别困难。设计时主要考虑以下几个重点：

**同步带强度。**这个地方涉及同步带选型，需要设计者权衡比较各种同步带性能之后做出决定。我的这台车采用的是内嵌钢丝的白色聚氨酯 3M 型开口同步带，带宽 10mm。强度尚可，就是在安装时比较费力。压紧板位于两个端口闭合位置处，起到闭环并且固定同步带的作用。关于同步带的选型还是要仔细考虑一下，之前选型时并没有做足很多功课，在选型时按照以往经验选型，虽然到目前位置同步带还算好用，但是曾经出现两次同步带被拉断的情况，主要有两个原因导致。一是单侧受力让同步带的受力形式不是非常健康，二是这个同步带与实际的拉力强度不相符，导致同步带疲劳断裂。这个选型还是要好好考虑一下，毕竟装上车之后再去修改就比较麻烦了。

**同步轮位置。**同步轮的位置对于同步带的受力同样重要，我们的同步带主要用于在同步带上传动物体而非传递扭矩，因此我们不需要额外考虑同步轮的减速比等，只需要根据实际位置选择合适大小的同步轮配套同步带使用就可以。但是同样因为这个原因，我们的同步带有压紧板的那一侧就需要和滑轨保持平行状态，而且压紧板位置不应过高或过低，这样同样会使得同步带受力不健康，会让同步带扭曲变形。此外关于同步轮的安装也需要考虑一下受力。前端位置的同步带可以做一个简支梁结构，不然只有一个螺栓承受拉力的话很容易将螺栓拉弯。

涨紧结构。涨紧轮是一定要安装的，资料上说涨紧轮最好和一侧的同步轮靠近一些，这样就不会占用很多的中部空间而且可以减短同步带长度。涨紧轮是一方面，另外一方面是让同步带处于合适的长度，有的时候多一个齿的长度会让涨紧轮往下拉伸很多，而少一个齿的长度又会使得同步带安装不成功。总之，涨紧轮的作用就是将同步带拉紧，如果跳齿的话对于上膛来说是致命的（因为电控在控制电机的时候是按照电机圈数确定距离的，属于开环控制系统，跳齿的这种干扰因素电机是不会知道的，这样去发射、上膛的话必定会破坏机械结构）

### 2.1.1.3 撒放器的使用

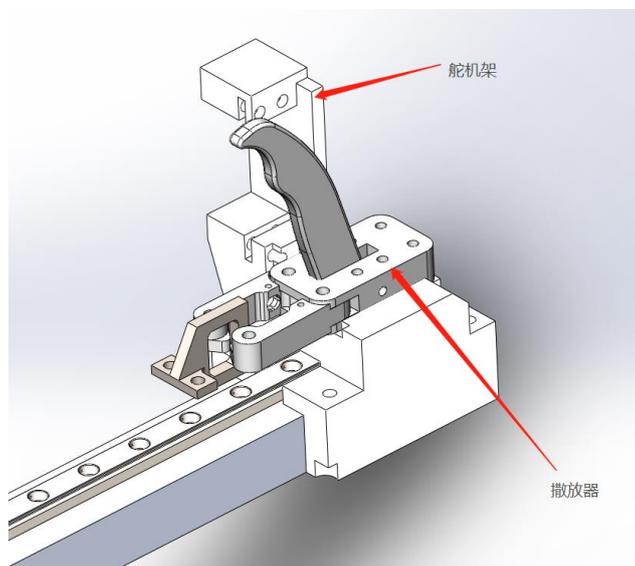


图 12 撒放器

撒放器对于弹弓玩家来说是耳熟能详的，但是对于普通人来说是非常陌生的。撒放器在弹弓枪上起到扳机的作用，在此处也是同样的道理。上膛块将发射座拉回来后，撒放器闭合，其机械结构会让两侧的钩爪牢牢固定住发射座，待弹丸准备完成后，舵机控制撒放器开启，发射座将弹丸发射出去。这个机构需要有足够的强度支撑其在上膛时的巨大拉力即可。

### 2.1.1.4 滑轮位置的确定

滑轮在整个机构中处于一个划分加速距离与减速距离的标志。皮筋穿过滑轮连接发射座，发射座运动起来的时候在经过滑轮前皮筋处于收缩状态，发射座加速，经过滑轮位置后发射座在惯性作用下继续向前运动，同时反向拉伸皮筋，皮筋产生反向的力使得发射座减速。如下图所示，初始位置为绿色箭头，减速到 0 的时候为黄色箭头位置，此后被回弹拉回红色箭头位置停住。因为加速距离和减速距离经过不断测试得到最优解，可以做到让发射座在碰撞

到上膛块的前一点点被完全拉停然后反弹，因此不会造成机械损伤。目前车上的这个加速距离和减速距离之比是对于目前这种形式的发射座和皮筋的最优解，即不用借助任何外力，只靠皮筋自身弹力实现从加速到减速的完全自给自足。

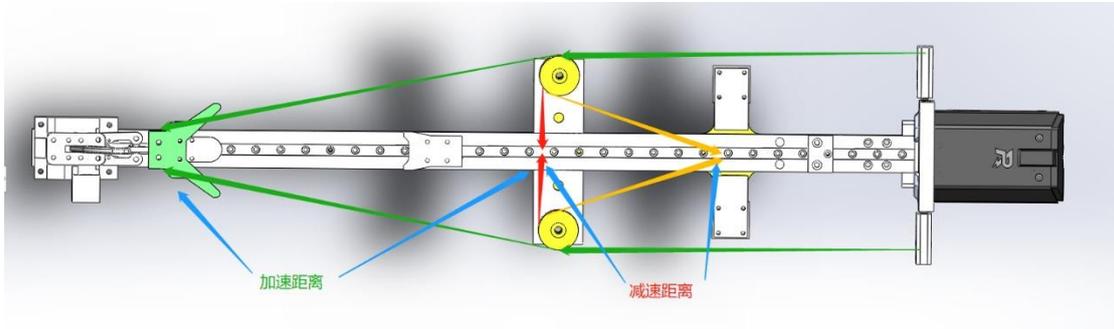


图 13 皮筋运动方式

根据动量守恒定律，在弹丸飞出去前后弹丸带走了大部分的动量，于此同时留给发射座和皮筋的动量已然不多，所以减速距离在设计的时候比加速距离会稍微短一点。如果觉得还要再减少减速距离，我觉得可以在减速距离中放置一段拦截钩索，给发射座在反方向上的力更大一点。但是要考虑拦截钩索的高度会不会影响弹丸轨迹。

对于新的装置上加速距离和减速距离的确定，我的建议是多多测试。可以在发射滑轨的铝管上打上一排测试孔位，然后逐个测试出最合适的位置。因为皮筋不是弹簧，不适用于胡克定律，而且皮筋本身的弹性受其型号和批次的影响也会略有一些差异。因此我觉得这个方面只有实践才能告诉你最合理的方式。

## 2.1.2 Pitch 轴与 Yaw 轴运动方式设计

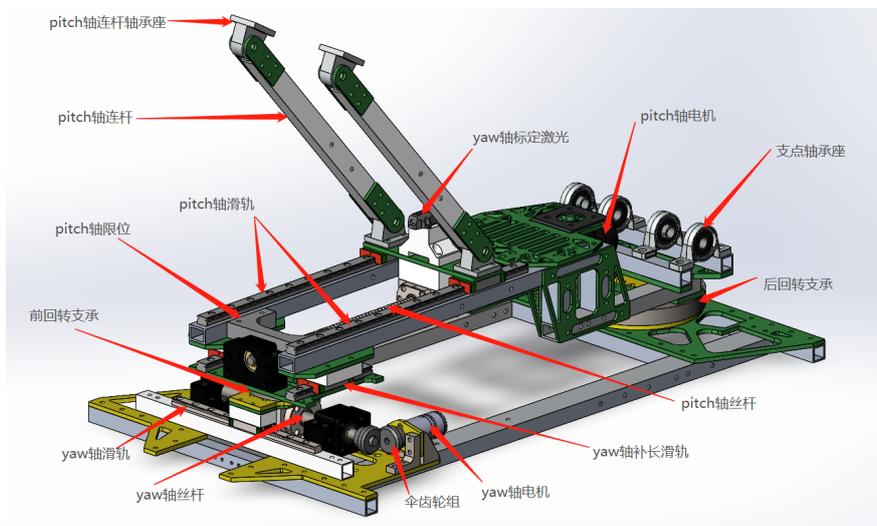


图 14 发射架的 pitch 轴与 Yaw 轴机构

Pitch 轴和 Yaw 轴位于整个发射机构的底部，属于发射机构的底盘部分。此部分结构比较复杂，在设计的时候需要考虑以下几方面：

角度调整精准。吊射英雄的一切都是为了精准的命中，在解决了限位和射速问题之后，另外一个会很大程度上影响吊射稳定性的就是机构对于角度控制的精准性。经过实际测试会发现角度上的一点点偏差，对于 21m 左右的吊射距离都是不可忽视的影响因素。因此在调整 Yaw 轴和 Pitch 轴角度的时候都要非常精准。我参考了去年飞镖架的设计，采用了滚珠丝杠与直线滑轨的搭配设计，效果令人满意。

滚珠丝杠的优势在于精确的行程控制，并且有比较强的自锁功能。在选型参考时，强烈建议仔细阅读葵花宝典《PMI 综合技术型录》，其中对于丝杠和滑轨的选型有非常专业的指示和建议。以我本次设计过程来看，综合考虑到重量、载荷、稳定性等因素，我使用了 1204 型滚珠丝杠配合 BK10 和 BF10 丝杆座作为 pitch 轴和 yaw 轴的主要机构，辅助以 MGN12/9 滑轨和 MGN12/9H 滑块作为整个 pitch 轴和 yaw 轴的机构设计。之所以要将丝杠和滑轨一起使用，是因为如果仅使用丝杠的话，丝杠本身会有一些的左右虚位，放大到整个上层机构上就会产生可观的角度变化，尤其是在 Yaw 轴上。最初的 yaw 轴是没有滑轨辅助的，但是的确会产生一些角度变化导致弹道不稳定，因此加上滑轨作为减少虚位的重要装置，效果很好。而对于 Pitch 轴的滑轨配备两条的原因，主要还是为了在发射弹丸时整车更好的稳定性。

另外一个使用此种类型的 pitch 轴运动方式有一个优势，即根据几何关系，滑块和丝杆螺母前进的距离与发射仰角的变化之间存在三角函数关系，如下图所示。

$$\Delta h = l \sin \theta_1 - l \sin \theta_2$$

$$h = l \sin \theta$$

$$\Delta x = l \cos \theta_2 - l \cos \theta_1 - 2L \sin \frac{1}{2}(\beta - \alpha) \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta)$$

当滑块位于滑轨前 70% 左右的行程内时，因为  $\theta_1$  接近  $90^\circ$ ，所以  $\Delta h$  变化量并不多，又因为  $h$  与仰角存在正相关的关系，所以在这一阶段发射架的俯仰角变化并不大，非常适合用来作为吊射基地时的角度微调；而当滑块位于后 30% 左右的行程内时， $\theta_1$  会远小于  $90^\circ$ ，从而导致  $\Delta h$  变化量剧增或剧减，所以在这一阶段发射架的俯仰角变化非常明显，适合快速用以调整吊射前哨站和吊射基地两种模式之间的迅速切换。

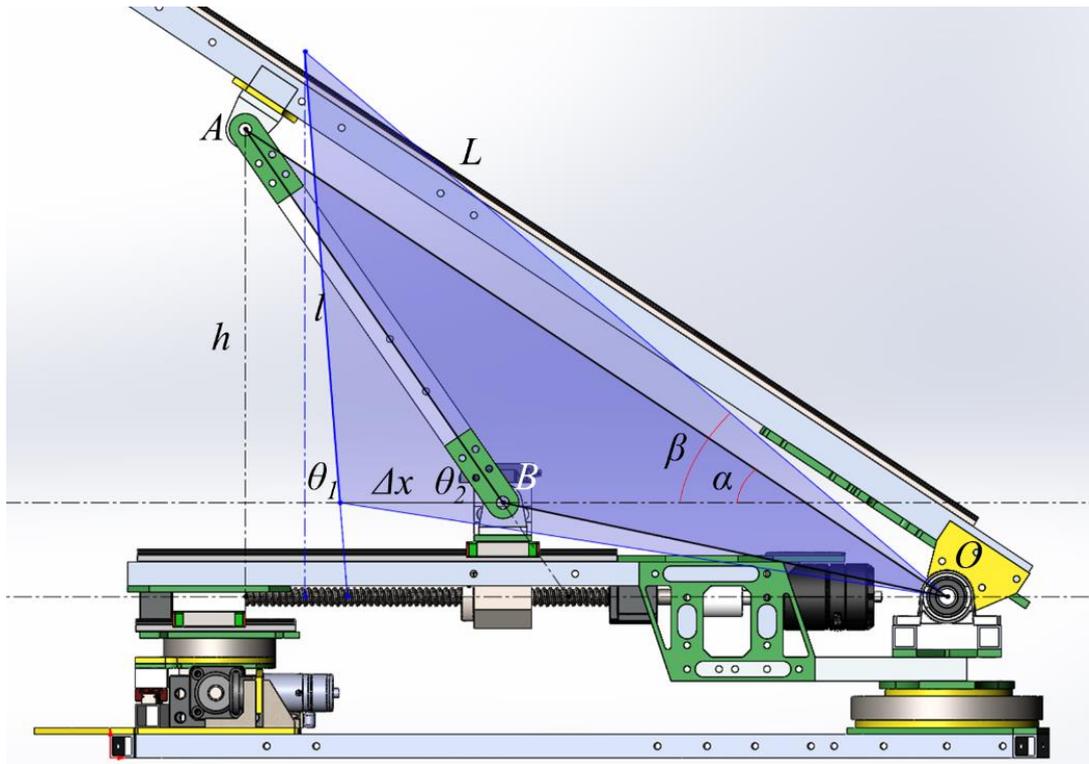


图 15 pitch 轴几何解析

因为 yaw 轴在移动时会有长度上的变化，因此在最前端有两个小滑轨滑块来补充长度。前后有两个回转支承作为转动装置。回转支承可以承受来自各方向上的载荷，对于发射时猛烈的后坐力冲击也是可以顶得住的，因此我们选用在这里安装回转支承。

此外关于连杆长度与丝杠长度确定，最好是使用草图先进行简单的模拟计算，之后再改变装配体中的长度进行评估，最后确定好各个位置的几何尺寸关系。在这里要着重强调一下 pitch 轴连杆支撑座在整个发射滑轨上的位置，最好是位于整个发射滑轨的前 1/3 处，过于靠前会导致最低仰角偏高，过于靠后也会导致发射时发射滑轨前端太长，发射弹丸时机构晃动明显。

空间位置与重量。这里的空间位置主要是要和底盘轮组位置以及电控布线位置考虑。设计断层结构的 pitch 轴滑轨方案，一是为了方便将丝杠藏在较低位置不占用上方发射滑轨的空间，二是为了给 yaw 轴丝杠提供空间，三是为了给电控布线或者小电脑的位置提供空间（后来因为视觉技术原因，这台车并没有实现自瞄功能，因此没有安装小电脑，将这里做成了电控布线位置）。此外为了防止 yaw 轴电机和丝杠直连导致电机会与轮组干涉，使用一对伞齿轮将电机放置在与轮组平行位置，保证了传动精度的同时也保证了空间位置。

关于重量，一套滚珠丝杠的重量已然不轻，但是为了保证精度却不得不用。整车较重的一部分就在这个位置了。一个回转支承的重量也不容小觑，所以在选型时最好使用较小的型

号，极限够用即可。

### 2.1.3 低角度支撑的设计

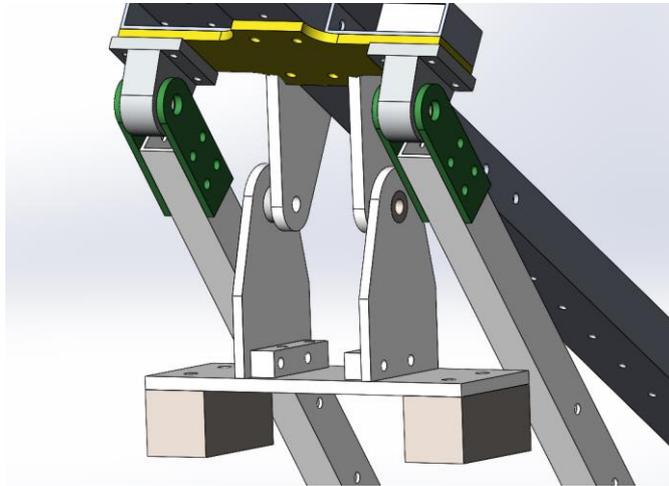


图 16 低仰角支撑辅助装置

对于英雄吊射单项赛而言，目的很简单只有一个，那就是要去打爆基地。但是对于对抗赛而言，在没有推倒前哨站之前打击基地是没有价值的。因此为了让吊射英雄能够站上对抗赛的赛场，我必须要让吊射英雄拥有打击前哨站的能力。

从现有的吊射 pitch 轴调整情况来看，当我需要降低仰角打击前哨站时，pitch 轴轴心、pitch 轴连杆在滑轨处的轴心和在发射滑轨处的轴心三点会非常接近共线，从而导致 pitch 轴仰角会有大范围幅度的上下晃动，并且会严重影响弹道稳定（下图中红色三角形区域）。为了最大程度上避免这个问题对于发射轨道角度的稳定，于是在发射滑轨处增加了一个低仰角支撑辅助装置。

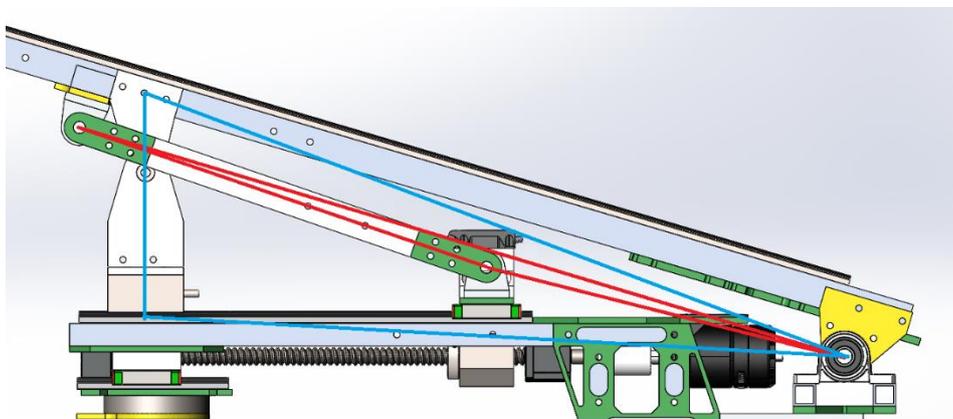


图 17 设计原理图

因为滑轨是钢制的，可以被电磁铁吸附。所以我们在低仰角状态下增加一个垂直于 pitch 轴滑轨支撑发射滑轨的机构，当进入前哨站吊射模式，仰角降低，电磁铁受重力影响自动放平贴在滑轨上，并且产生磁性将电磁铁与滑轨牢牢吸住。整个机构的机械部分承担发射后坐力向下的分力，同时磁力又会吸收发射之后发射滑轨向上晃动的能量，使整个发射滑轨在发射弹丸前后不会因为后坐力或者其他因素的影响而导致上下晃动，从而稳定弹道精准打击前哨站。

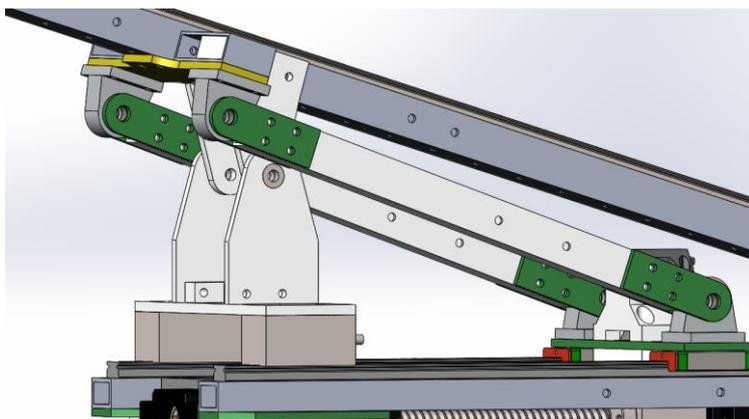


图 18 低仰角辅助装置的使用

## 2.1.4 供弹方式设计

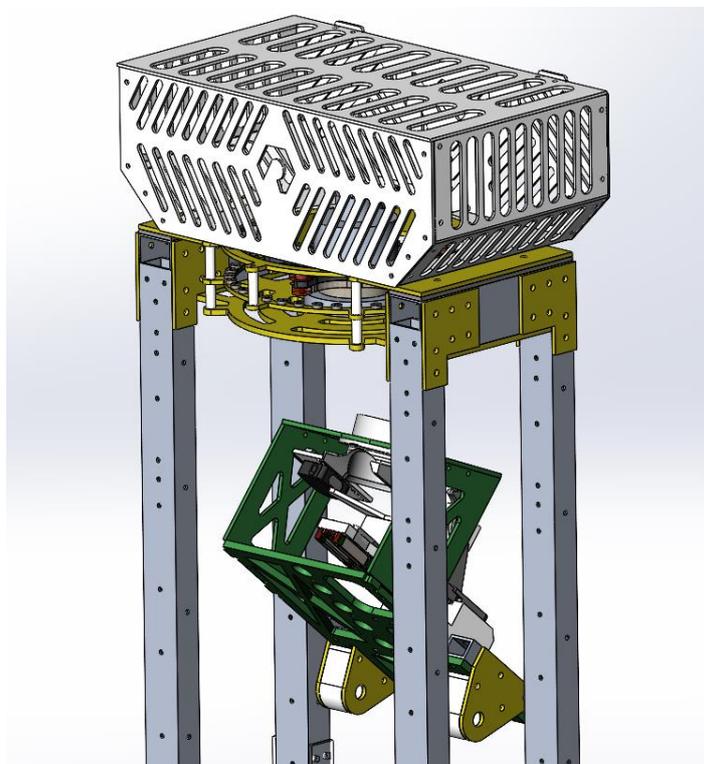


图 19 弹仓以及供弹装置（供弹软管未画出）

吊射英雄因为弹丸要从发射座中射出，考虑到发射座最合适的供弹方式应该是上供弹，结合实际吊射发射架对于车体体积的占用和空间布局，我在吊射英雄上舍弃了一贯在普通英雄上采用的底盘弹仓下供弹的形式，而是将整个弹舱放置在整车最高位置，然后直接从发射座上方的位置进行拨弹和供弹。

整体供弹流程为：

1. 上膛块拉动发射座到达既定位置，撒放器闭合，上膛块复位；
2. 拨盘供弹，光电开关检测到弹丸落下并已在发射座中；
3. 撒放器打开，发射弹丸。
4. 如果光电开关发现弹丸掉弹，则上膛块回拉至顶住弹丸和发射座，撒放器打开，上膛块拉动发射座回位，经过滑轮时弹丸从下方掉落，然后重新执行步骤 1。

### 2.1.4.1 拨盘设计

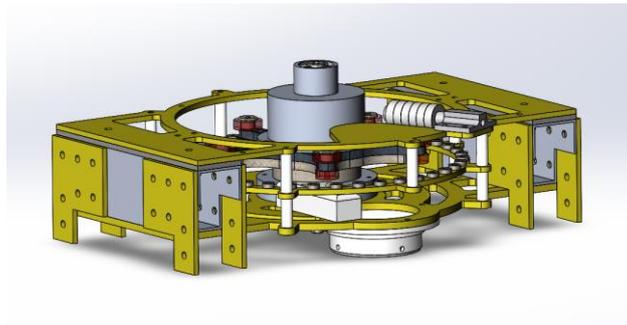


图 20 拨盘装配体

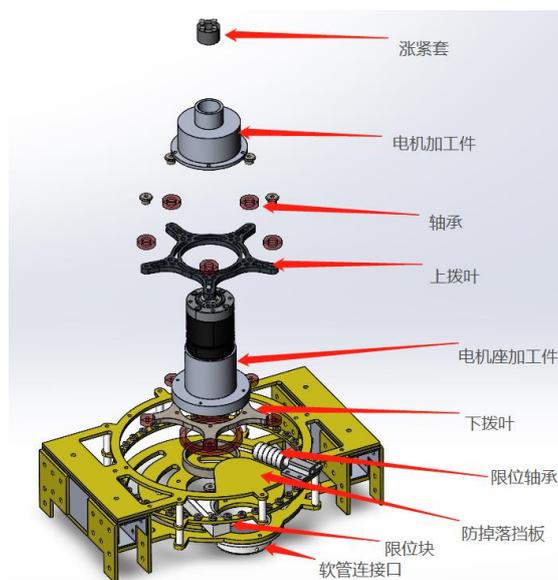


图 21 拨盘拨叶爆炸视图

拨盘和拨叶采用了经典的结构,在去年英雄拨盘的基础上进行了改进,优化了拨叶结构,不会在拨动弹丸的过程中卡弹。拨叶的设计采用了新的轴承设计,非常顺滑。因为是直接从弹仓掉入软管中供弹的结构,因此也不需要考虑过多的其余复杂结构。

### 2.1.4.2 弹链设计



图 22 弹链实际装配图

弹链使用内径 50mm 的 PVC 软管,两端用铁箍固定在打印件上。因为是上供弹,而且又是软管作为供弹链路,所以基本上不会有太大问题。注意点有以下几个方面:

1. 软管不需要买中间有钢丝的,也不要使用 TPU 软管。最好使用最为柔软的 PVC 软管。
2. 软管安装时注意两端不要有太过于大的角度偏差,可能会导致在最高仰角时软管被压缩在最短的时候,管内因为受到挤压而产生影响管道内壁的褶皱,这会使得管内径变小从而发生卡弹情况。
3. 裁剪软管时请务必以最低仰角状态时标定软管长度。因为软管只可压缩不可拉伸,所以可以从长减短,但是不能从短变长。

### 2.1.4.3 供弹口设计

整个供弹系统中,难度最高的设计便是供弹口的设计。一个好的供弹口可以稳定地将弹

丸稳妥地供到发射座上，而且还可以在任意角度平稳安放。对于供弹口而言，不掉弹，不卡弹，不影响发射时弹丸轨迹，便是最好的供弹口。

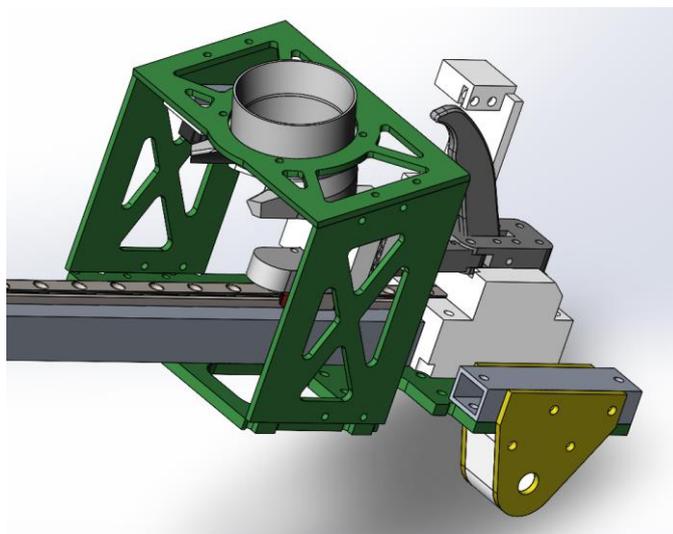


图 23 供弹口装配体

这里分析一下供弹口两侧的板料为什么会向前倾斜。如果将供弹口所处平面与发射座平面平行，那么当发射仰角处于低角度状态时，因为角度问题，弹丸会从供弹口的后上方掉入供弹口，这就会导致弹丸在经过供弹口的时候有一个斜向前方下侧的速度，而这个速度在发射座上是无法被抵消的，因此弹丸发生掉弹的概率会大幅增加。将供弹口处的板料向前倾斜，通过这种方式来把弹丸这个斜向前方下侧的速度方向转变成为指向发射座中心位置，这样即使是在低角度供弹也可以最大程度上保证弹丸不会从发射座上脱落。

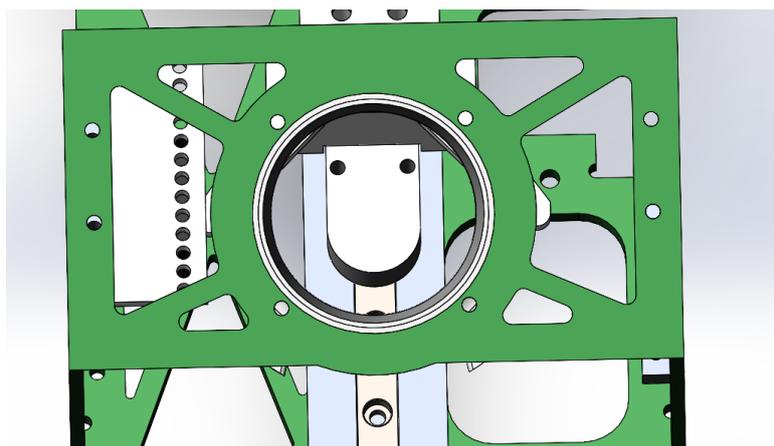


图 24 正视于供弹口

在设计供弹口这个打印件时，从供弹口安装的板料上正视于是一个很好的查看弹丸是否会精准掉入发射座中的办法。可以查看出弹丸在进入发射座中是否会被限位板等物体干扰导致无法正常进入发射座。此外，供弹口两侧向前延伸的部分是进一步保证弹丸不会从发射座

上掉落的利器，如果弹丸仍有向前掉落趋势，这两个前伸部分可以拦住弹丸不使其从两侧掉落，并且吸收其向前向两侧的动能，再受到重力影响向发射座中落回。后侧的圆形围挡也可以起到防止弹丸从发射座后面掉出。

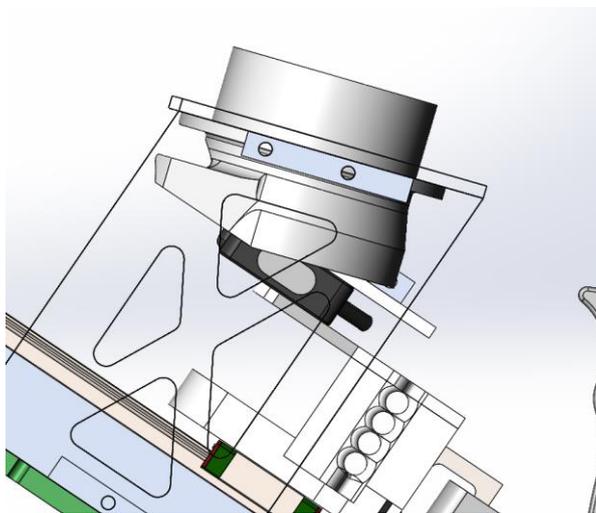


图 25 光电门安装角度

为了防止掉弹，我还特意联系电控在供弹口这里安装了光电开关，可以用来检测弹丸是否正确地放在了发射座中。如果发生掉弹，光电开关检测不到弹丸也可以以此作为依据调用退弹流程，以防止掉落的弹丸发射出去对机械结构进行损伤。光电门在安装时可以设计一个便于灵活调整的板，方便测试。

因为发射座本身对于弹丸具有限位作用，因此我在供弹口处不用再进行过多的限位设计，只需要将弹丸平稳落入发射座中即可。

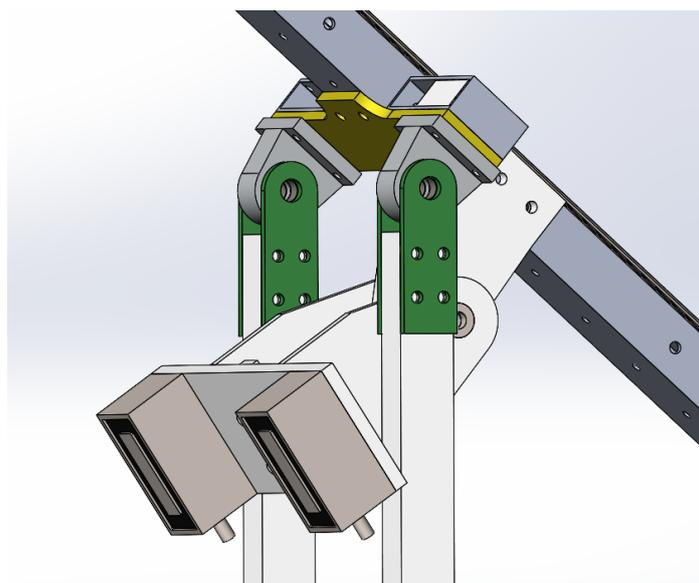


图 26 吊射基地时高仰角状态下该辅助装置的位置

而在吊射基地使用高仰角状态时，该装置会受到 pitch 轴连杆的支撑，转轴处会让电磁铁部分向上折起，从而不影响高仰角状态下的角度调节。

### 2.1.5 图传小云台的设计

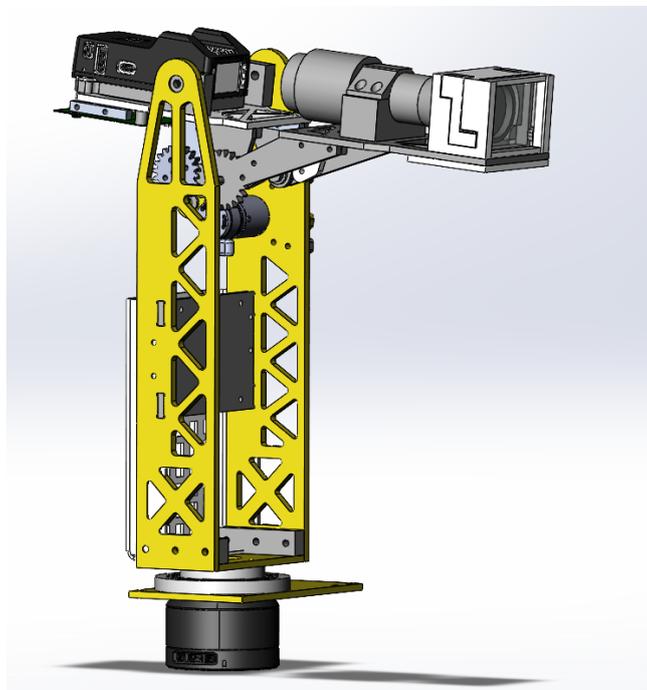


图 27 图传小云台装配体

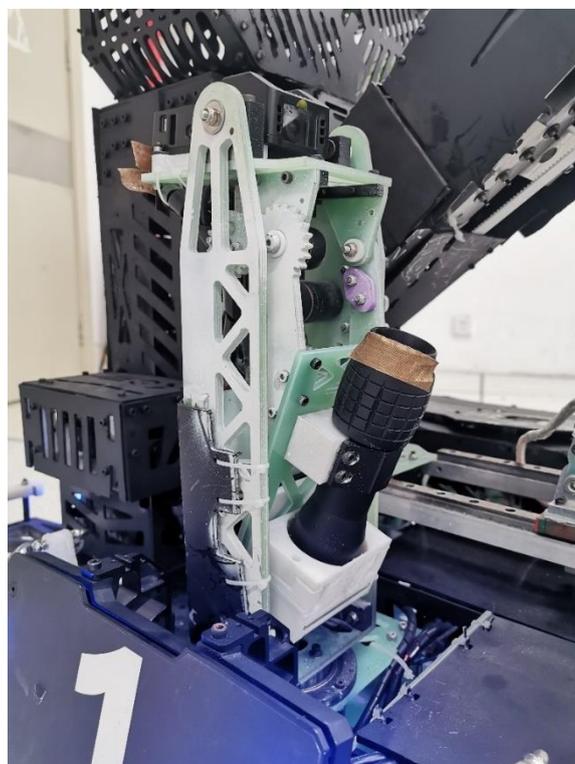


图 28 图传小云台实物图

图传是操作手操作机器人的重要工具，它可以将画面实时输出到操作手屏幕上，让操作手仿佛置身车内实现第一视角操作。对于吊射英雄来说，操作手对于图传的要求更为严苛。主要有以下这些方面：

吊射基地时，射程达到 21m 左右，仅靠单纯的图传模块摄像头是无法清晰地看到弹丸轨迹以及落点位置，从而无法精准判断下一次打弹时位置的调整。

平时开车时，图传模块需要有一个比较好的视野环境，这就要求图传模块位置尽可能的离地面高一点。

如果有小陀螺模式，图传模块需要在底盘自旋时保持稳定，因此需要图传模块最好可以 360° 无障碍旋转，并且最好位于车体中央位置。

结合吊射英雄的实际情况，我们最终创新设计，将图传模块安装在一个有单独的 pitch 轴和 yaw 轴的小云台上，并且在图传前加装了一个可以单独调节使用的望远镜。以此来实现上述需求中的 1、2 两点。至于第三点，因为吊射英雄中央被发射装置占据，无法将图传放置于正中间的位置，因此舍弃了吊射英雄小陀螺的功能。

### 2.1.5.1 云台 Pitch 轴与 Yaw 轴运动方式的设计

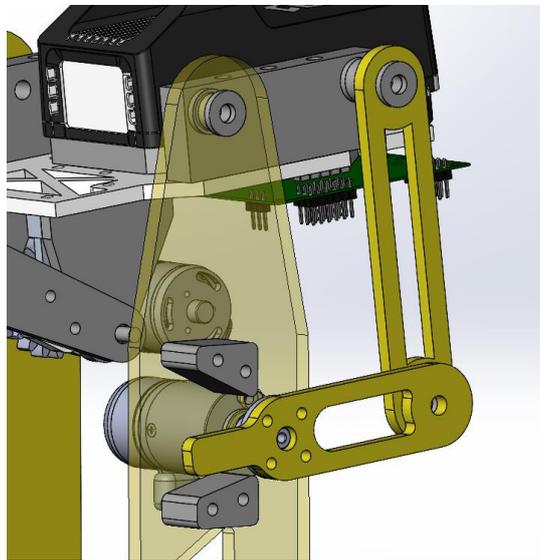


图 29 小云台 pitch 轴轴系

考虑到小云台上部空间紧凑狭小，无法将电机轴直接作为 pitch 轴，因此在设计时采用了连杆机构，将电机下置于轴心位置，通过一套连杆控制小云台图传平台在 pitch 轴方向上的运动。同时使用两个打印件做的限位块达到俯仰角限位的目的。注意，在连杆与连杆、连杆与小云台图传平面等地方，需要使用小轴承使得转动顺畅，最好还要在板料与板料、板料与打

印件之间添加铁氟龙垫片，以此避免摩擦力过大导致转动不顺畅。

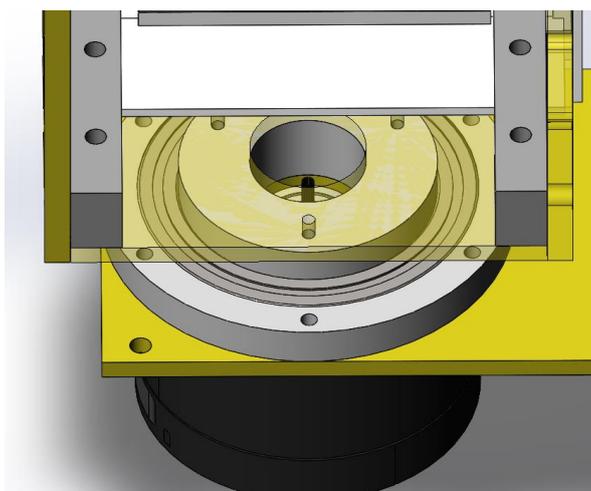


图 30 小云台 yaw 轴轴系

小云台 yaw 轴考虑到需要过线，并且要承受小云台上部整体的重量，因此选用了 6020 电机和薄壁轴承的配合，并且使用了一个小型的导电滑环。效果也很不错。

### 2.1.5.2 望远镜功能的设计与实现

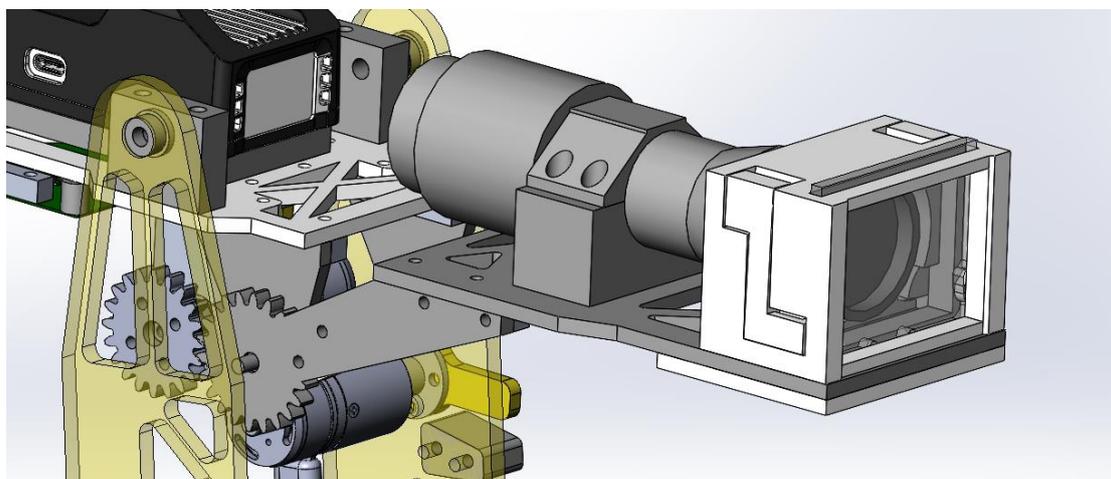


图 31 望远镜装置装配体

考虑到吊射英雄在远程吊射基地时，距离为 21m，对于单纯的图传模块而言无法准确看到弹丸轨迹和落点。因此我们在图传前方加装一个望远镜装置，在吊射基地的时候抬起望远镜，别的时候放下望远镜正常开车或者吊射前哨站。

望远镜的机构很简单，主要就是一个 2006 电机带动一个齿轮组控制望远镜的抬升与放下。望远镜使用的是一个小型的 3 倍镜，安装时要注意望远镜轴心与图传摄像头的同轴度，以此避免望远镜中出现黑影。



图 32 望远镜在图传界面中的效果

为了保护望远镜的镜头，我们设计了一个机构可以通过安装 PC 板在望远镜前方保护镜头。因为 PC 板极易磨损而且一旦磨损就会导致光线散射（尤其是在吊射基地时，望远镜中看到基地上的绿色飞镖引导灯时），严重影响操作手操作。因此我们设计的这款机构通过皮筋拉力的方式，可以快速更换镜头保护板，非常方便易用，而且增加了望远镜头部重量，在电机泄力的时候可以迅速受到重力而落下，不会出现望远镜不下去的情况。（小云台中间的支撑板上有贴防撞条，以防止望远镜在落下时撞击板料而导致望远镜的机械损伤）。

## 2.1.6 整车保护装置的设计

### 2.1.6.1 发射架保护装置

发射架的保护装置主要保护内部的皮筋、同步带以及在发射过程中不被别的弹丸影响。使用大炮筒的设计，一整个大炮筒套在整个发射机构上。在设计是使用钣金特征，设计并不困难。下方有搭扣的设计，可以在上面贴上魔术贴，直接粘住即可。



图 33 发射架保护装置实物图

为了方便拆装皮筋，我把发射架保护前端设计成了可以开合的形式，拆装皮筋时只要打开前端保护装置即可。另外，为了防止前后两部分保护装置的交接处磨损皮筋，在重合部分我都贴上了海绵胶布来避免棱角直接磨损皮筋。

在设计发射架保护的同时也要考虑保护是否会干扰弹道，要尽可能地将保护装置远离发射机构。安装完后从测速模块角度看进去如果没有遮挡弹道就可以。



图 34 发射架保护装置展开实物图

### 2.1.6.2 供弹链路保护装置



图 35 供弹链路保护实物图

全包围结构，以弹仓的 4 根铝管作为支架在外侧用 UPE 贴合其形状设计保护即可。注意在这部分的保护最好使用魔术贴将保护与铝管固定，因为此处机构复杂经常需要拆装维修，所以魔术贴比较易于拆装保护。

### 2.1.6.3 小云台保护装置

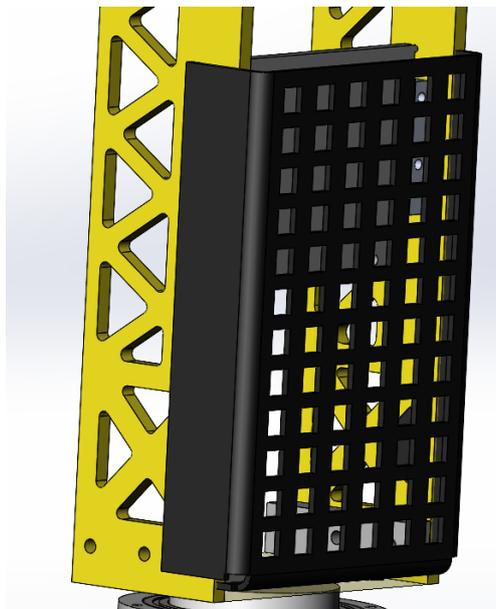


图 36 小云台保护装配图

小云台部分的保护主要是保护线材，并且固定线材和电路板。因此这里的保护设计成网

格状易于电控布线，并且前侧有云台支撑板可以起到保护作用。注意这里的保护不应伸出小云台过多，以防止在旋转过程中与其他机构干涉。

## 2.2 硬件方案

### 2.2.1 硬件整体框图

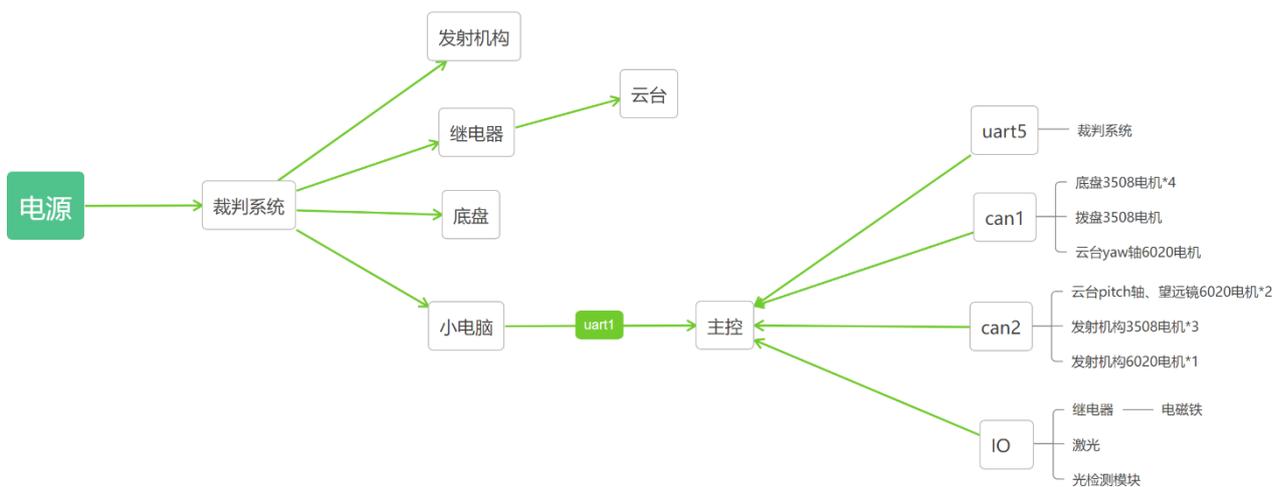


图 37 硬件设计框图

1.电源防反接：当 24V 没反接时，5V 通过 PMOS 管的体二极管（DS 间还没导通）到 S 极，S 极电压为  $24-0.7=23.3V$ ，此时  $U_{gs}=-23.3V$ ，PMOS 管导通（DS 间导通），体二极管被短接，电流都从 DS 流过，MOS 管导通后 DS 间的内阻很小，产生的压降基本可忽略，所以输出电压基本等于 24V。当 24V 反接时，G 极是高电平， $U_{gs}>0$ ，PMOS 管不会导通，起到保护电路的作用。

2.CAN 通信：通过排针连接上下层主板，将上下层主板传输的 CAN 信号传输到 SN65HVD232 芯片并通过其输出信号和外电路完成电机的运作。其中底盘和云台主板间共用一条 CAN 线进行通信。

3.降压电路模块：通过使用 LM25116 芯片设计相应的 BUCK 电路将输入的 24V 电压降压后稳定输出为 12V 电压；通过使用 MP2451 芯片设计的相应 BUCK 电路将输入的 24V 电压降压为板载 5V 输出；通过使用 SPX5205M5-3.3 芯片设计的 BUCK 电路将板载 5V 输出降压为 3.3V；通过使用 LM25011 芯片设计的 BUCK 电路将输入的 24V 电路降压输出为外部输出的 5V 为舵机供电。

4.法拉电容接口、串口传输接口、PWM 输出接口、无指定功能引脚接口：底板使用 GH25 接口将顶板的串口传输，PWM 信号和相应引脚接出，完成相应的信号输出。

5.USB to TTL 模块：主板背面集成了 USB to TTL 芯片（CP2102N），可以让小电脑直接通过一条数据线完成和主板的连接和数据传输。同时为了防止芯片出问题，保留了相应的串口 GH1.25 接口。

6.继电器模块：通过主板 GPIO 输出高低电平控制继电器 NO 和 NC 与 COM 端的闭合达到控制云台霍尔传感器的目的

## 2.2.2 单板硬件说明

单板	设计需求	风险评估
云台主控	主要控制主控板	双主控板之间通过 CAN 通信，可能导致两个主控板占用同一条 CAN 线，导致 CAN 线负载电机见减少
底盘主控	和裁判系统和超级电容主控通信	底盘控制与主控制器失联，导致底盘失去控制
超级电容主控	控制超级电容	超级电容控制板反馈信号可能会出现偶然问题，导致 PID 控制出现短时间内失调。

## 2.2.3 重要传感器选型说明

**1.霍尔传感器：**选用 SONGLE 继电器制作的现成模块。由于云台的动力传动比不是 1:1，而是 1:1.5，所以需要确认云台初始位置，故使用霍尔传感器，配合固定的磁铁用于初始位置的确认。所选霍尔传感器体型小巧，对整体框架无影响，且无需增加滑环线。

**2.电机：**大疆电机 M3508、C6020、M2006。

**3.遥控器：**大疆机器人专用遥控器。

**4.电池：**大疆 TB47S

## 2.3 软件方案

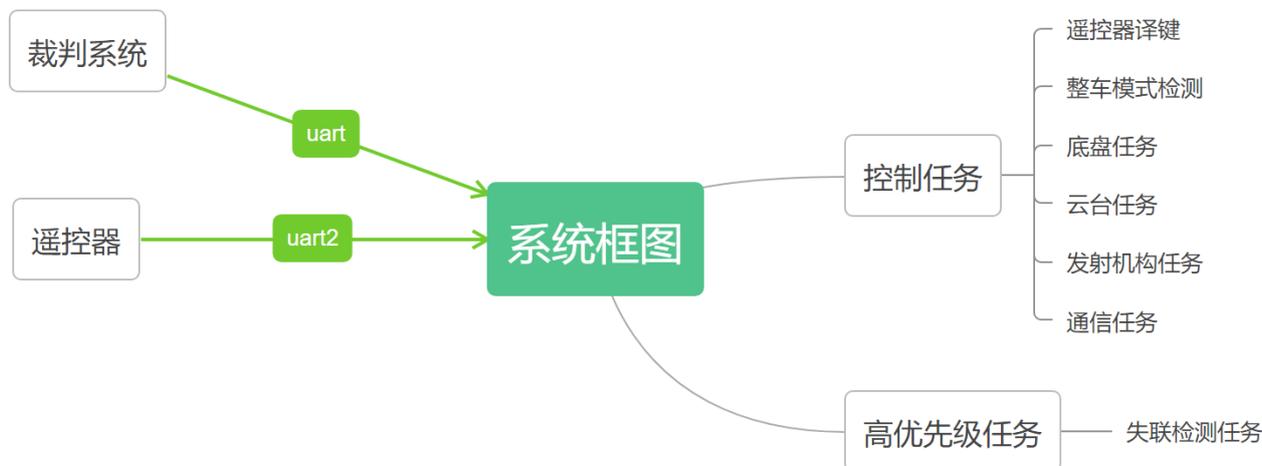


图 38 软件设计框图

上主控的外部串口通信仅有小电脑和遥控器接收器，且小电脑的优先级高与遥控器接收器，二者不会产生冲突情况，再由下主控与裁判系统进行交互，才将部分所需信息通过 can1 发送至上主控，合理利用资源，保证各部分通信的稳定性。

上主控的控制部分仅有两个优先级任务，分别是最高级优先级任务和次高级优先级任务。最高级优先级任务，即实时响应任务，该任务主要包括需实时进行的任务以及时延效应严重的任务，包括陀螺仪数据的获取，视觉通信，各模块的失联检测。

次高级优先级任务，主要用于各模块的正常控制任务，流程可简化为：

- 1、遥控器数据处理
- 2、整车模式切换检测及按键响应
- 3、底盘、云台、发射机构、状态灯等模块的控制任务
- 4、集体发送所有控制信息，即 can 总线发送

任务工作模型主要参照单片机的寄存器配置控制模型，通过对遥控器信息处理，将产生的遥控器状态变化转变为 bool 型变量的值的变化，再在整车模式切换检测及按键响应任务中，对这些变量进行整理并基于自身模式状态进行模式的切换以及产生命令，此处的命令也是 bool 型变量，接下来在各模块的控制任务中，对与各自有关的命令进行处理，完成控制任务，最后对所有电机进行统一的 can 数据发送。

## 2.4 算法方案

利用 opencv 实现场地近距离标志物识别与定位，确定自身与标志物相对位置，确定远距离目标位置。

### 2.4.1 图像识别

通过学习机器视觉如工业相机、图像处理操作、深度学习算法等相关知识，利用 opencv 实现对赛场实际情景下的目标物体识别，实现场景目标检测，成功识别我们指定目标；再通过相关测距算法，结合图像识别获取实际场地信息。

### 2.4.2 测距算法

英雄远距离吊射，也就意味着视觉这边对我们的测距的准确度有着极大需求。综合上个赛季的比赛经验和测试数据，本赛季我们最终决定在英雄上采用双目识别'R0'定位自身姿态的测距方案，在雷达站上采用激光雷达+相机测距。

**双目测距（识别近距离标志物）：**

上个赛季我们的雷达站采用了双目的测距方案，在实际测试中，这种测距的精度在 10m 的范围内误差可以控制在 50cm 左右，当时随着距离的上升，误差率会逐渐增大；通过网上双目测距的论文的测试数据进行对比，结果是竟是惊人的相似，随着距离的上升，误差也逐渐上升。

**Table 1.** Experimental results of binocular stereo ranging system

number	measured value/mm	actual value/mm	error/%
1	302.32	300	0.77
2	302.23	300	0.74
3	506.74	500	1.33
4	506.89	500	1.36
5	815.41	800	1.89
6	815.99	800	1.96
7	1026.27	1000	2.56
8	1555.05	1500	3.54
9	2099.32	2000	4.73
10	2665.53	2500	6.21

图 39 双目测试数据 1

表 1 测距结果

目标标号	系统测量值/mm	实际的距离/mm	误差/%
1	302.15	300	0.72
2	507.47	500	1.49
3	712.98	700	1.85
4	918.36	900	2.04
5	1 125.65	1 100	2.33
6	1 335.96	1 300	2.77
7	1 547.65	1 500	3.18
8	1 769.76	1 700	4.10
9	1 992.23	1 900	4.85
10	2 217.71	2 100	5.61
11	2 446.21	2 300	6.36
12	2 671.75	2 500	6.87

• 54 •

图 40 双目测试数据 2

在狙击点吊射敌方基地显然无法避免双目测距带来的误差，因此，我们提出这样的思路，将远距离的测距转化为近距离的测距。由于我们的目标敌方基地是静态的，自身是运动的，那么我们可以通过识别近距离的场地标志，确认自身姿态，从而获取我们与敌方基地的距离。

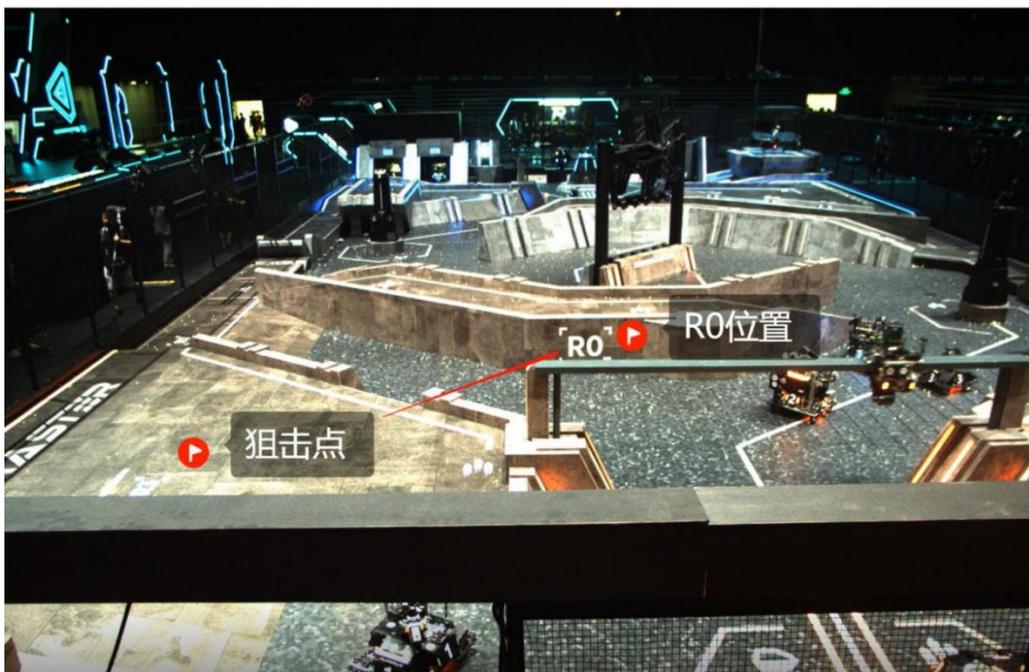


图 41 雷达视野

### 激光雷达+相机测距:

激光雷达能过获取其视野内的点云信息，也即一堆(x,y,z)三维坐标点。根据官方数据，livox-mid70 的误差范围在 2cm 左右，对于反射率 10% 的物体的量程可以达到 90m，性能指标远远超出比赛要求。如果是用在吊射英雄上面，难免有些性能过剩；但完全可以考虑用在雷达站上，且雷达可以上场提供图像指引。

### 2.4.3 吊射

最终结合比赛场地和比赛规则，视觉通过“识别 R0 (+雷达识别英雄位置)”->“识别绿点”->“雷达反馈”来设计吊射算法。

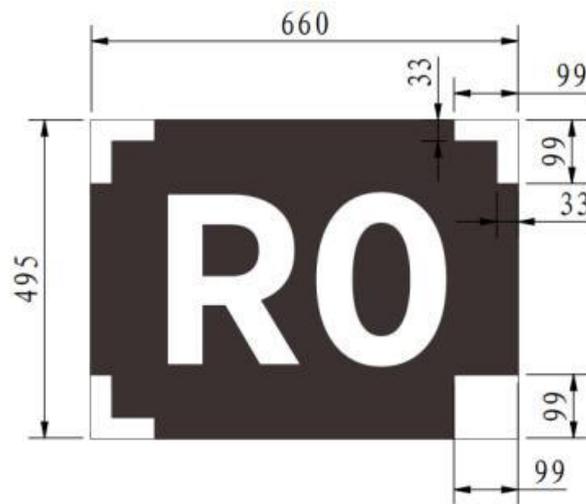


图 42 R0 标志图

### 双目识别'R0'定位自身姿态 (+雷达识别英雄位置):

首先通过识别场上标志‘R0’确定相机在场上的绝对位置，结合场地地图获得与敌方基地的距离。此外，为增加测距精度，可结合雷达提供英雄的位置数据

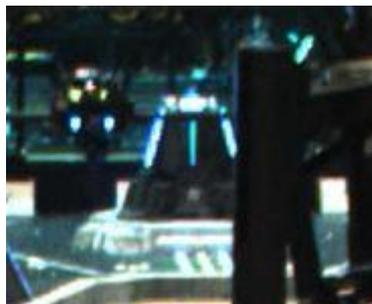


图 43 雷达基地视野

### 识别绿点：

通过长焦镜头，运用通道相减  $2g-r-b$  和操作灰度图提取绿色，参考现场光线作出筛选，最终锁定绿点。最后运用 pnp 算法+调整偏移量使得枪管对准敌方基地。结合已获取 distance 计算得出 pitch 和 yaw。

### 雷达反馈：

弹丸发出后，我们需要获取反馈以用来为下一颗弹丸的发射作出调整。由于远距离吊射加上枪口抬头量较大，英雄机器人本身是极难获取我们弹丸打出后的效果的。因此，最终决定直接让雷达获取弹丸的发射状况。雷达站将通过识别弹丸和绿点的相对位置，最终反馈给英雄一个以基地为圆心的平面坐标上弹丸的  $x$  和  $y$ ，然后英雄作出调整

## 2.5 测试方案

### 2.5.1 机械测试方案

#### (1) 模块化测试方案

我们将整个英雄机器人拆分为云台（发射机构）、弹链（供弹机构）和底盘 3 个部分进行模块化测试。测试过程中只考虑该测试机械结构的情况，尽可能减少其他结构对于该机构的影响。比如就目前对方案 1 的测试方案而言，就是做出一个测试版本的机构，安装在一个由铝型材制成的测试平台上进行测试。

#### (2) 控制变量法测试

在每个机构的各项参数和影响因素测试中均采用控制变量法，即控制除测试因素外的其他因素均为稳定合适值，然后对测试因素进行控制变化。比如对于发射机构的测试就是控制好变量因素后以 20 发弹丸为 1 组进行测试，统计落点分布、射速等数据，测试结束后还要对整体机构进行评估，检查是否有意料之外的情况发生。测试完一组项目之后进行数据分析，然后改变测试对象进行多次测试。以此测试出最合适的机械结构。

#### (3) 测试项目要求

每次机械机构测试将有至少 2 位成员参与，一位负责操作机器，另一位负责统计数据信息。

测试前将由测试负责人说明此次测试的目的和测试的变量因素。测试中控制变量并即使

统计数据，数据将以一个标准的模板进行统计。测试结束后将对数据进行分析，统计出必要的参考数据比如发射测试将会统计其射速的最大值、最小值和平均值、方差、标准差等数据指标，对整个发射机构进行评估；落点测试将会在目标位置放置复写纸和白纸，对落点能有一个精确的记录。之后要写一份测试报告，给出最合适的因素数值或者给出改进的意见建议。

## 2.5.2 电控测试方案

在控制流程确定的基础上，不断改进已知问题，并交由操作手操作，操作手通过自己的体验提出需求，再根据需求不断增加功能并优化控制流程。改进过程与增加新功能都基于不破坏原有控制流程的基础上，尽可能保证流程的固定。

## 2.5.3 视觉测试方案

依次实现各个视觉功能。初步测试视觉与电控通信是否正常，是否可以互相收发数据，收发数据是否正确，收发快慢；接着模拟实际赛场情景，看程序能否能够正常执行，是否达到预想效果，通过定位数据和控制变量，对程序功能进行测试与改进，在此过程中对算法的功能效率进行测试：如多线程是否正常运行，各函数功能是否得到实现，每个功能耗时、如何提升等并记录。预计实际测试中能发现更多的需求，视觉将作为备选项帮助解决各种紧急情况。

## 2.5.4 部分测试数据

### 2.5.4.1 吊射基地测试数据

吊射测试距离：21m

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
射速	16	16	15.9	15.9	15.9	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
是否命中	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
射速	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
是否命中	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
射速	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.8	15.8	15.7	15.8

是否命中	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
射速	15.8	15.7	15.8	15.7	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7
是否命中	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
射速	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.8	15.7	15.7	15.8	15.7
是否命中	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
射速	15.8	15.7	15.8	15.8	15.7	15.7	15.7	15.7	15.8	15.7
是否命中	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
射速	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.8	15.7	15.7	15.8	15.7
是否命中	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
射速	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.8	15.7	15.7	15.8	15.7
是否命中	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0

### 2.5.4.2 吊射前哨站测试数据

吊射测试距离：10.5m

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
射速	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
是否命中	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
射速	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.9	15.8	15.8
是否命中	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
射速	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
是否命中	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
射速	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.8	15.8	15.8	15.7	15.8
是否命中	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
射速	15.8	15.8	15.8	15.8	15.9	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8

是否命中	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
射速	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.7
是否命中	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
射速	15.8	15.7	15.7	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.8	15.8
是否命中	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
射速	15.8	15.7	15.8	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
是否命中	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

### 2.5.4.3 供弹口供弹测试

数据来源：2022 年某次供弹测试

测试方式：将 pitch 轴滑轨从前往后等距划分 10 个采样点，yaw 轴滑轨从左往右等距划分 3 个采样点，每个 pitch 轴和 yaw 轴采样点结合成为一次测试位置，在一个测试位置上测试 50 颗弹丸供弹，记录掉弹次数。

P \ Y	1	2	3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	1	0
9	0	0	0
10	0	1	0

### 3. 项目进度复盘

时间	机械组	电控组	视觉算法组
2021 年 10 月	对云台方案 1 进行设计和制造，完成初步测试。	待机械组将第一版测试机构制作完毕之后调试电机，配合机械组进行测试。	学习 linux 操作系统，相机和图像处理相关内容；根据任务自行设计算法。
2021 年 11 月	对云台方案 1 进一步优化，量化测试内容逐项改进测试。	配合机械组进行机构的测试，配合视觉组进行自瞄	初步和电控组进行串口通信联调，确认通信协议。
2021 年 12 月	改进测试云台方案1，若测试效果仍不能达到预期指标，及时更换方案 2 进行设计制造，并且进行测试。	的测试，研究算法以对传感器的数据进行处理，使传感器数据可靠性更高，研究通信部分以使通信的	开始和电控组测试自瞄算法；测试跟随功能，根据测试结果进行优化。
2021 年 1 月	确定云台发射形式之后对供弹系统设计测试，争取在寒假之前完成第一版英雄机器人的总装。	时延效应尽量减小以尽可能达到同步效果，或使得时延对控制或其他功能的实现不产生影响。	测试反陀螺功能，根据测试结果进行优化。
2021 年 2 月	对总装的英雄机器人进行测试和改进。	完成英雄机器人进行整体的调试，配合视觉组进行自瞄的测试	和电控进行完整自瞄的测试，根据测试结果进行优化。

<p>2021 年 3 月至 比赛前</p>	<p>不断改进，不断优化， 注意机器人的保养。</p>	<p>对英雄机器人的控制加入 一系列优化程 模式切换或行动时尽可能 使云台静止不动以增加操 作手的视觉体验效果，提 高操作手的舒适度使得操 作更流畅。 序，如启动速度曲线、 配合视觉不断提高自瞄的 准确度</p>	<p>研发与维护视觉算 法，同时根据测试结 果，不断优化程序功 能，提高自瞄准确度。 对已知问题不断改 进。</p>
----------------------------	---------------------------------	--	--

## 4. 赛季人力安排复盘

本赛季我队伍共有 15 人组成小队直接参与英雄机器人的研发。其分工如下表所示。

### 4.1 团队架构设计

职位	分类	角色	职责职能描述	人员要求	人数
指导老师			争取校内外宣传资源，积极扩大团队影响力；衔接协调团队与学校的日常事务以及为团队更新学校制度信息，参与团队重大事务的决策，为队伍的可持续发展提供帮助。	有责任心，积极进取，关心学生，对 RM 比赛充满热爱，可以给团队提供技术或者资源上的建议与支持。	5
顾问			参与一些重大决策如研发方案制定、团队章程修改以及对队伍提供技术、管理与发展上的建议与支持。能对团队研发提供积极作用。	积极进取，参与过 RM 比赛并担任过团队技术组成员或在某一擅长领域具有显著性的成就。	3
正式队员	管理层	队长	统筹管理全队资源，确定团队的走向，推动团队前进、制定赛事的工作与研发进度，与组委会、学校、指导老师进行资源对接，及时调整队员情绪，担任团队对	具有良好的时间管理安排能力、大局观和较强的沟通交流能力，善于观察队员情绪并进行队员情绪调整，处理与队伍相关的各种事务，敲定一些方案决策。能及时响应并反馈队内需求，协调组内关系积极向	1

		项目管理	<p>对团队制定好的进度计划</p> <p>进行监督执行和反馈工作,确保团队一切工作在既定计划内高效按时完成;负责团队物资购买,整理购买记录报表,整理发票并定期报账;保持与组委会的密切联系,及时进行信息传递;策划与执行团队活动;配合宣传经理进行团队文化建设工作,记录团队生活。</p>	<p>乐观开朗、细心,能与所有队员融洽相处,具有较强的沟通交流能力和调和队伍气氛的能力;对财务整理与报账有较强耐心。</p>	1
		机械组员	<p>机械结构构思、设计、仿真,机器人制造、装配、辅助调试,设计机构测试方案保障测试的参考性,及时发现问题所在并修改。</p>	<p>具有优秀的 CAD 能力,设计思维好,具有机械原理和机械设计的基础知识。</p>	2
		电控组员	<p>电路硬件设计与焊接;单片机、嵌入式软件与控制算法的研发。</p>	<p>要求具备硬件电路/单片机的基础知识,能够独立完成电路设计/单片机开发的任务。</p>	2
		视觉算法组成	<p>员</p> <p>相机,雷达等硬件的使用;研发与维护视觉算法。</p>	<p>要求具有 C++ 或者 python 等编程语言的基础;有一定的数学与英语基础;熟悉 OpenCV/深度学习。有 ROS 和 3D 视觉项目经验优先。</p>	1

## 4.2 团队建设思路

### (1) 组会制度

为了促进组内成员的相互交流，互相了解进度情况，我们采用组会制度。组会至少一周1次，团队核心成员将会分享自己这一周的进度进展和近期规划，讨论出现的问题和解决的方式。组会将有专人做会议记录，为后期提供一个参考。

### (2) 微信群聊

我们英雄机器人的团队有一个自己的微信群聊，大家可以在群内发布自己对机器人某一机构的新想法、测试的效果视频、数据统计和数据分析、测试报告等内容，为英雄机器人的研发减除沟通障碍。

### (3) 周结制度

根据队内的统一安排，每位研发人员都需要写周结对一周的工作进行回顾，对下一周的工作进行规划。我们使用的是腾讯文档作为队员周结的提交软件，由项目管理创建周结信息统计表，所有队员创建属于自己的周结文件夹，将链接录入周结信息统计表中。腾讯共享文档具有易于管理，操作简单的优点，并且队员可以看到组内其他成员的周结，互相学习。

### (4) 战队团队文化建设

RobotPilots 战队秉承“坦诚、极致、忘我、志远、不功利”的队训，力争引领校园的科技文化热潮，弘扬追求至臻的工程师文化，培育创新实践的技术型人才。良好的团队文化建设是工作顺利开展的前提。制定共同的目标，共同的目标是团队凝聚力的关键。队伍管理层要明确团队目标，分解阶段目标，尽可能的制定详细的计划分工，并做好监管工作，敦促大家朝着共同的目标努力，建立相互的信任，是团队凝聚力的基石。不仅在日常的工作生活中，还可以利用团建活动的开展，建立彼此的信任纽带。明确规范，严格执行。应在赛季初就建立相应的考勤、会议、审核制度，并在备赛过程中不断的完善，要明确纪律性、原则性。

## 5. 预算复盘

类目	子类目	费用	说明
研发耗材	机械部件	12700	包含标准件的采购和机加件，3D 打印件和铝型材等
	硬件相关	14205	包含电机、麦轮等官方元件和自制件
	工具相关	1500	包含机械工具和电控工具等物资
比赛差旅	住宿	6000	差旅住宿费
其它			

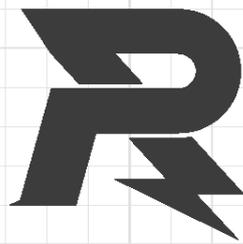
### 5.1 资金筹措

来源项	预计金额	筹措思路
学校赞助经费	18 万元	先从学院老师的资源中获取，寻找跟学院有交流基础的企业，比如：校友企业或跟学院有合作的企业，尽量从中能得到冠名赞助商，为战队提供资金的支持。
招商赞助经费		通过了解战队的的需求，联系能提供相关物资的企业，这部分企业可提供研发过程所需要的物资，尽量为战队节省开支。除了寻找相关企业，还可寻找有意向在大学生中推广的企业，比如：有赞助过学校大型活动的企业或消费对象主要为大学生的企业。

队内遗留物资	10318	根据队内已有物资进行统计 整理分配利用
--------	-------	------------------------

## 6. 技术方案参考文献

参考文献	收获点分析
<a href="#">2021 四川大学飞镖开源</a>	参考摩擦轮发射方式
<a href="#">2021 华南理工大学英雄机器人开源</a>	参考供弹方式
<a href="#">【RM2020 圆桌】第六期 谈谈英雄抛射</a>	参考抛射英雄形式
<a href="#">2021 深圳大学英雄机器人电控开源</a>	参考吊射电控功能设计
《中国弹弓射击运动实用教程》	参考抛射英雄设计



邮箱: [robomaster@dji.com](mailto: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镇茶光路1089号集成电路设计应用产业园2楼202