



Using a R2-M6 motor driver chip and Field-Oriented Control (FOC), the RoboMaster C200 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.

Exclusively designed for the RoboMaster 600W 48V Brushless DC Motor and C200 Brushless DC Motor Speed Controller, the 48V48W Assembly Kit includes power cables and a terminal board.

Refer to System Specification Manual, RoboMaster User Manual, Introduction of RoboMaster Modules

600 48V48W Assembly Kit includes several cables and a terminal board, enabling a complete propulsion system setup for your RoboMaster system.

ROBOMASTER 高校单项赛

赛季总结

哈尔滨工业大学（深圳） 南工骁鹰战队

编制

2022 年 9 月 发布

目录

1. 规则技术点复盘	2
1.1 规则技术点分析回顾	2
1.2 实际实现技术点	2
1.3 异同原因分析	4
1.4 解决方法分析和经验总结	4
2. 技术方案复盘	6
2.1 机械结构方案	6
2.2 硬件方案	9
2.3 软件方案	9
2.4 算法方案	10
2.5 测试方案	10
3. 项目进度复盘	11
4. 赛季人力安排复盘	12
5. 预算复盘	13
6. 技术方案参考文献	14
附录 学术创新成果	15

1. 规则技术点复盘

本赛季中英雄吊射单项赛中 20m 超远距离吊射基地对英雄机器人的发射机构提出了非常高的要求，且由于单项赛中没有移动性能、射频等要求限制，使专门用于单项赛的发射机构具有实现的可能，意味着除传统的摩擦轮发射外，还有其他可选的发射方案。因此赛季初，对于英雄吊射单项赛，我们首先将可选的发射机构列出并分析各自特点，依此决定出用于吊射单项赛的方案。

1.1 规则技术点分析回顾

赛季初基于对规则分析，我们认为本赛季英雄技术点主要有以下几点：

1. 吊射距离约为 20m，在 16m/s 每秒的射速下，英雄机器人要具备一个较大的仰角（45° 以上），这是吊射的前提和基础。
2. 远距离吊射对英雄机器人的**发射机构**提出很高的要求。具体有：①时间充裕，射频基本无要求，至少平均每十秒打出一发弹丸，要求发射链路不卡弹。但由于摧毁基地时的剩余时间是排名的依据之一，因此需要保证在一定的射频下射击的稳定性。②射速稳定，射速偏差需控制在 $\pm 0.1\text{m/s}$ 以内。③射击精准度要求在 20m 距离对直径 400mm 圆的命中率至少为 14%（达到评奖标准），若要摧毁基地，要求命中率至少为 67%。
3. 远距离吊射的另一难点在于**瞄准和定位**。吊射时英雄机器人不能通过图传看到基地的位置和弹丸落点，难以手动调整狙击角度和位置；距离过远，视觉也难以识别基地装甲板。因此我们认为，精准吊射除了发射机构的设计外，还需要借助传感器和雷达辅助定位和瞄准，采用在场上定点吊射的方案。
4. 即使是定点吊射，也需要根据弹丸实际落点调整狙击点或弹丸初速。因此需要借助雷达站的**第三视角反馈弹丸落点**，根据反馈调整摩擦轮转速或者云台角度。
5. 远距离吊射要求英雄机器人的**底盘和云台在发射时保持足够稳定**，保证重复发射的精度。

1.2 实际实现技术点

1. **发射机构**：主要考虑了**摩擦轮**和**抛射**两种方案，都进行了可行性论证及实物制作。

- ① **摩擦轮方案**：由于其结构简单，体积适合，经过各队伍长期的测试和技术迭代，摩擦轮发射机构已经比较成熟，但由于其发射方式受弹丸、摩擦轮、电机等许多难以准确把握的因素影响，导致摩擦轮发射机构在 20m 的距离吊射表现难以稳定，即远距离吊射散布较大。因此我们将**摩擦轮方案作为一种可行但最终效果期望值相对较低的方案**，对摩擦轮发射机构进一步优化以达到更高精度。拨弹仍然采用传统下供弹摩擦轮发射方案。
- ② **轨道抛射方案**，根据官方测试结果，抛射大弹丸可以达到非常高的吊射精度，且从球形弹丸发射的原理分析，抛射方案避免了弹丸自旋对弹道的影响，轨道的约束使弹丸初速方向固定，整个结构简单而稳定，但缺点在于发射机构占用大量体积，机器人整体机动性变差，只适用于单项赛这种不需

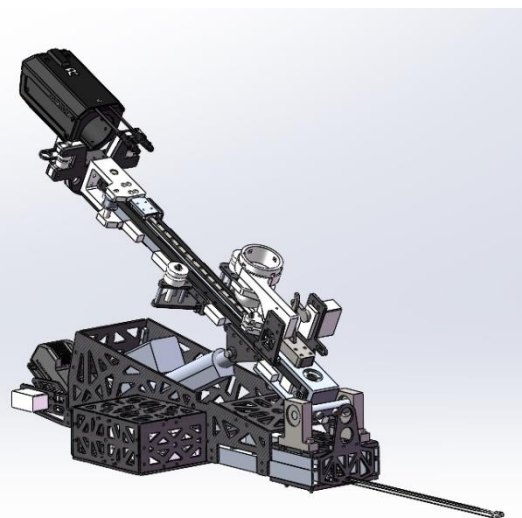
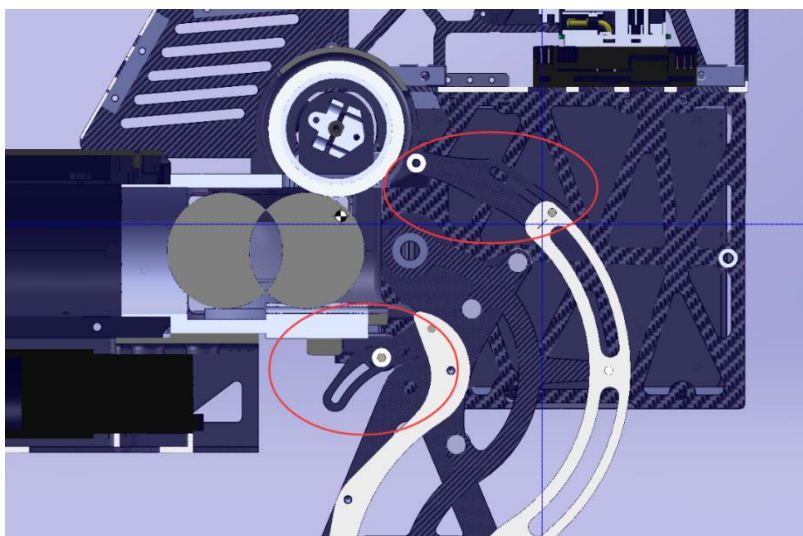
要移动的场所。也正是由于这个原因，除官方的抛射英雄外，各个队伍几乎都没有轨道抛射机构的技术积累，因此可能会遇到未知的技术难题，有失败风险。因此我们将轨道抛射方案作为一种有风险最终期望值较高（如果研发成功的话）的方案。

实现情况：

- ① 摩擦轮方案：在上赛季的基础上，经过两轮较大设计迭代，我们最终采用**双端支撑、第三个摩擦轮辅助发射**（为了保证弹丸进入摩擦轮的速度稳定）的方案。弹丸初速能够稳定在 $\pm 0.25\text{m/s}$ 内，方差 **0.17**，距离预期 $\pm 0.1\text{mm}$ 还有不小差距，但该结果也与摩擦轮发射方案的特点有关，经过测试发现，弹丸直径、磨损程度等对摩擦轮发射机构初速的影响较大，这也是我们没能继续提高初速稳定性的一大原因。20m 吊射测试中，我们以 10 发为一组进行测试，考察落点位于 $\Phi 600$ (mm) 直径的几率，还想初速不稳导致前后散布较大，但左右散布较小，20m 处整体散布呈长方形。最好一组测试数据为 **10 中 8**。
- ② 吊射方案，我们采用**滑轨作为轨道**，**弹簧蓄力**进行发射。发射架考虑到龙门架结构虽然稳定，但是体积较大，因而采用形如吊车的结构，**使用电动推杆伸缩调节仰角**。实际测试过程中，由于发射架本身刚性不足，在发射过程中容易由于弹簧突然释放而晃动导致落点有较明显的左右散布，同时底盘也存在刚性不足的问题，最终未达到预期效果。由于后期疫情导致进度滞后，考虑到人力和效果，我们不得不暂停了轨道抛射吊射英雄的研发。

2. 发射机构仰角，链路设计

- ① 摩擦轮方案：为给电脑和 pitch 轴电机留出空间，弹丸链路没有采用侧供形式，而是从发射机构后方通过两段安装转轴和滑槽的零件进行连接，从而保证链路长度在云台 -20° 到 45° 之间基本不变，同时弹丸可以顺畅通过链路。如图所示



- ② 轨道抛射方案：由于该方案要求较长的轨道，因此设计了类似吊车液压的机构，使用电推杆调节仰角，最大可达 45° ，没有俯角。如图所示。采用软管上供弹的链路方案。

3. 瞄准和定位方案

赛季初，我们原本想利用安装在底盘上两个距离传感器，确定机器人与 3 号高地上两个相互垂直的围挡间的距离实现机器人在 3 号高地上的定位。但之后的分析讨论中，我们发现即使是定点吊射，瞄准方案的优先级也远比定位方案优先级更高，因此放弃了定位方案。

为了避免操作手单击鼠标发射时鼠标微小抖动使弹道偏移，我们设置了“锁头”模式，在已经瞄准时锁定云台避免偏移。

实际场上测试时，我们发现 15m/s 的初速下，3 号高低吊射基地的仰角大概是 37° 左右，从操作手视角来看，基地几乎刚好在屏幕下边缘外，导致比赛时我们只能先以较低仰角对准基地，再慢慢升高仰角调整落点。因此分区赛单项赛后，我们调整了图传安装角度，使其高度稍微增高（避免被测速模块遮挡视野），同时相对弹丸轴线向下偏移了约 5° 左右，以此能够利用屏幕下端视野直接对准基地，减少调整次数。同时由于没有考虑到吊射时使用了普通白弹，无法发光，且场地较暗的情况，比赛时雷达视角几乎无法看到弹丸落点，这也直接导致操作手无法进行瞄准（因为没有落点反馈），最终遗憾未能获得评奖资格。因此赛后我们讨论决定将雷达上的一个视角换成长焦镜头，对准基地来查看落点。

1.3 异同原因分析

两个技术点所采用的发射原理不同：

摩擦轮方案通过摩擦力驱动和动量交换发射弹丸，导致弹丸初始状态对最终的发射效果影响很大。因此研发和改进的方向基本以在弹丸表面质量、直径等近似相等的前提下尽可能稳定弹丸初始状态，保证每一次发射过程尽可能相似（设计三摩擦轮方案原因所在）。实际效果中，摩擦轮发射可能导致弹丸射出时旋转，在 15m/s 的高速运动中受空气阻力影响产生不可控的弹道偏移，从而造成散布。

轨道抛射方案则是通过橡皮筋或弹簧储能发射弹丸。由于射出过程中弹托与弹丸相对静止，避免了弹丸射出自旋导致的弹道偏移，同时由于每次储能几乎相等，加上轨道的约束，弹丸无论是初速度还是运动方向都非常稳定，因此该方案理论上能达到很高的精确度，限制其准确度的因素反而是发射架和底盘的刚性。

两者技术共性在于设计要点：

1. 保证每颗弹丸经历的从发射过程尽可能相似（稳定弹速）
2. 保证每颗弹丸射出的方向尽可能一致（减小散布）
3. 避免弹丸射出后旋转

1.4 解决方法分析和经验总结

综上所述，在研发过程中，我们主要遇到了以下问题：

- ① 轨道抛射效果未能达到预期。我们的解决方法是进行风险和人力评估，最终选择暂停轨道抛射方案的研发，采用传统摩擦轮方案。可是问题在于，导致进度滞后的很大一部分原因是因为我们没有合理遵循从简单到复杂的测试流程，在测试用的版本上浪费了过多时间和精力优化细节，没有抓住重点，导致最终进度拖延。换言之，版本更新迭代速度太慢，而正是急于求成，妄想一次成功的心态导致了这样的失误，最终即使认识到其巨大潜力，也没能让“版本答案”轨道抛射英雄登上赛场，错失进入单

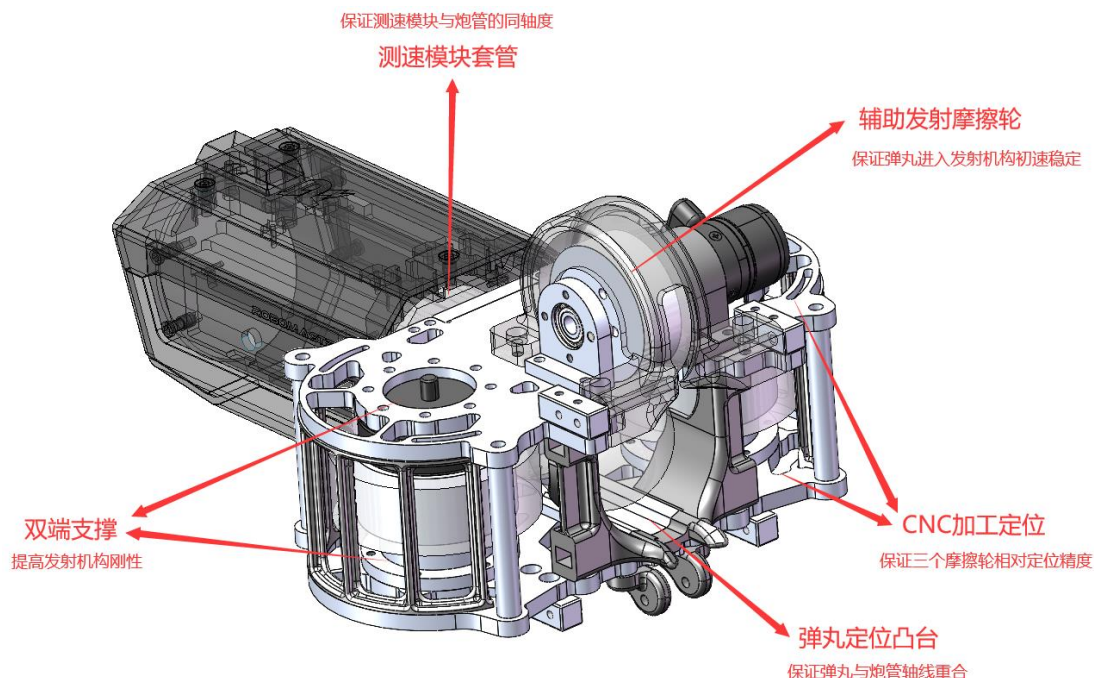
项赛决赛的机会。

- ② 研发思路保守，不敢花太多精力在轨道抛射英雄等新的技术点上，而在面临多个方案时一味求稳，没有大胆尝试性能优异的新方案。从今年比赛的情况来看，轨道抛射吊射英雄确实有碾压优势，前提是具有有效的瞄准方案。然而我们虽然意识到了这些问题，但是受制于担心失败或者担心进度等种种原因而放弃了该方案，最终成为本赛季一大遗憾。
- ③ 对方案实施细节欠考虑，表现在备赛过程中，就是没有测试过有效的瞄准方案（例如独立运动的图传加望远镜、雷达长焦镜头等）。出现该问题的原因在于，我们只在抛射轨道发射方案中详细讨论了如何瞄准和调整弹道（当时以抛射英雄上场为目标），对于摩擦轮方案如何瞄准的讨论，则非常草率和简单，导致最终放弃抛射方案后，摩擦轮发射方案无法获取落点反馈而一发未中，也是本赛季一大失误和遗憾。
- ④ 双端支撑摩擦轮对零件精度和装配精度要求很高，而由于没有做好精度设计，结构设计上使装配精度难以保证，导致双端摩擦轮容易出现装配不同心导致的阻力，在高速转动的情况下，还会出现震动情况。通过装配过程中的测量和修配，该情况有明显好转。这个问题很好的体现了精度设计的重要性，提醒我们应该规范和完善设计流程，结构设计固然重要，但精度设计、尺寸链计算同样会对机构性能有很大影响。

2. 技术方案复盘

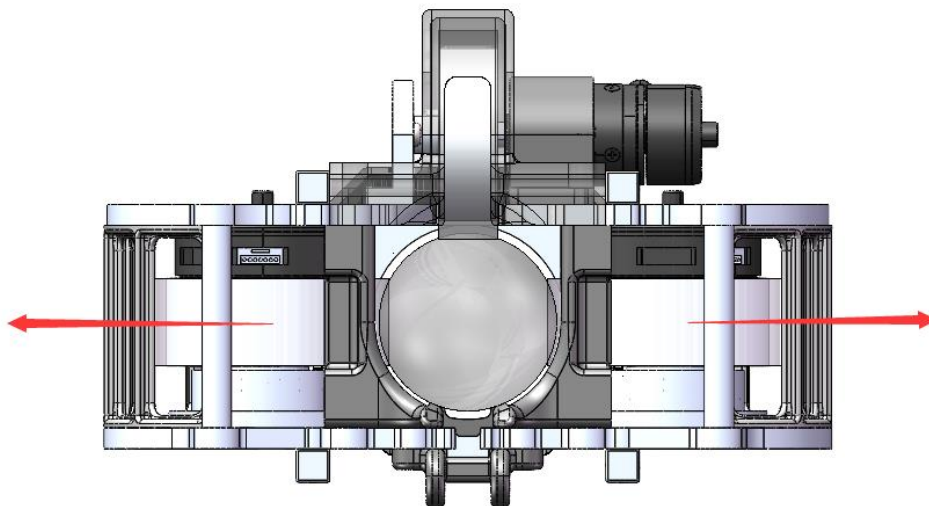
2.1 机械结构方案

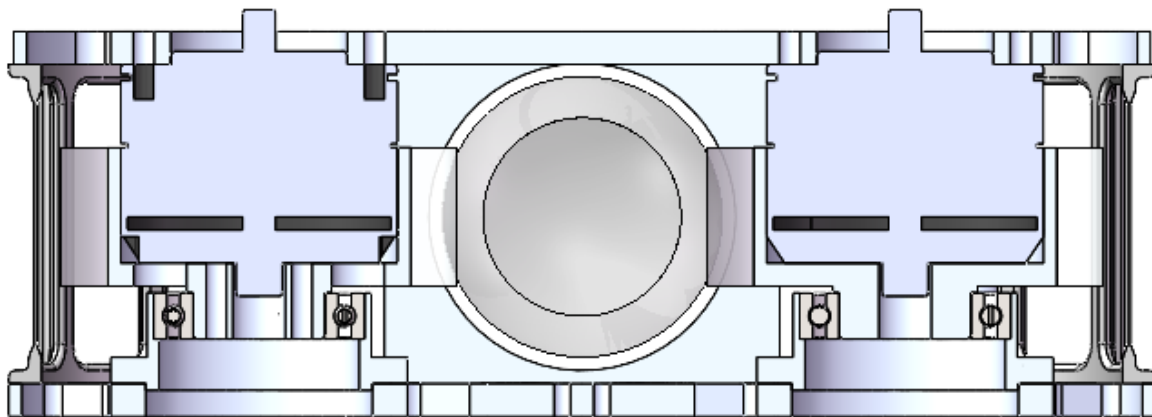
① 摩擦轮发射方案：



发射机构如图所示，主要创新点有：1. 双端支撑结构。2. 辅助发射摩擦轮。3. 弹丸定位凸台设计。

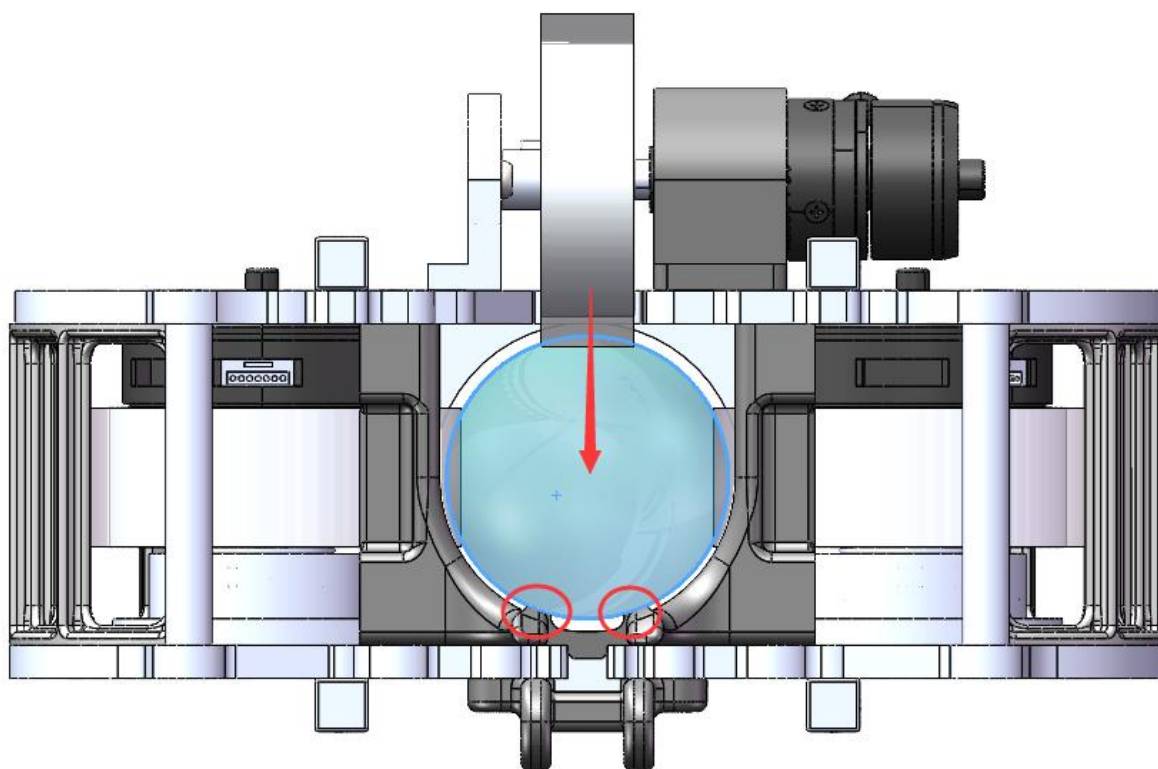
根据受力分析，摩擦轮发射弹丸过程中，摩擦轮两端由于弹丸挤压，受到较大的挤压力，如图所示。如果采用上方单端支撑的方案，该挤压力在电机固定端产生很大扭矩，容易使上端固定板发生弯曲形变，或使电机受力过大发生变形。上述变形都会使摩擦轮和弹丸接触的情况不稳定。因此将其优化为**双端支撑结构**，由摩擦轮电机和另一端的轴承共同承受弹丸的挤压力，消除固定端产生的扭矩，使上下两个板只承受左右平行于板的拉力，从而消除弯矩带来的弯曲形变。



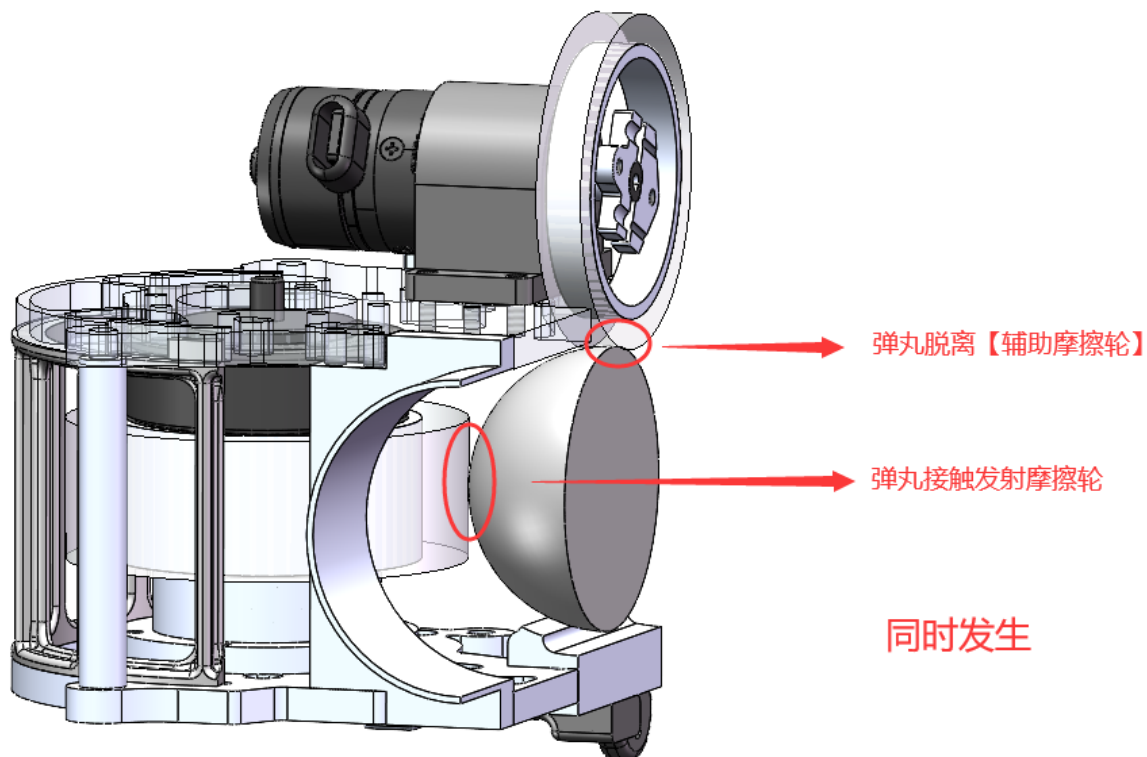


由于双端支撑结构对支撑两端的同轴度要求较高，该发射机构使用了较多的 **CNC 加工件** 来满足精度要求，并在有定位要求的部位设计定位凸台。在两个摩擦轮相位置的定位上，使用精度较高的 **CNC 加工铝件** 制作上下定位板（使用雕刻机加工的板材精度难以保证），再利用电机的定位凸台和另一端支撑件的定位凸台进行两摩擦轮间距的精准定位。

为保证弹丸被射出时的方向稳定，需要弹丸在预置位（进入摩擦轮之前的位置）进行定位。该需求由炮管下方的定位凸台和炮管上方的辅助发射摩擦轮共同完成，如下图所示。其定位过程如下：弹丸接触辅助发射摩擦轮，弹丸处于【预置位】。发射阶段，辅助摩擦轮转动将弹丸“吸入发射机构”，在挤压力作用下弹丸紧贴下方两个定位凸台，使弹丸中心刚好与炮管轴线重合，直到弹丸接触发射摩擦轮。



弹丸脱离辅助摩擦轮后，能够获得一个比较稳定的初速度，且由于【定位凸台】的作用，仍能保持弹丸中心与炮管轴心重合，此时立即使弹丸与发射摩擦轮接触。



② 轨道抛射方案

布局：发射架上沿基面圆直径布置一可俯仰的发射轨，发射轨前下端布置可独立俯仰的图传和测距雷达。发射轨上配备蓄力电机和受弹装置。

1. 发射：42mm 轨道发射机构（单弹簧并联弹射，皮筋耐久度不足），由一个有步进电机的电推杆驱动俯仰，配备牵引蓄力电机 2006 和扳机舵机
2. 观测：一个图传，侧面布置一个舵机，用于开车时提供 pitch 可俯仰视角
3. 测距定位系统：一个测距雷达，布置在图传下方，也由驱动图传的舵机驱动俯仰
4. 线路：云台上线路集成到小滑环，再通到底盘

发射-装填逻辑：

电机 2006 带动同步带，牵引蓄力滑块带动弹托蓄力

→扳机机构锁紧

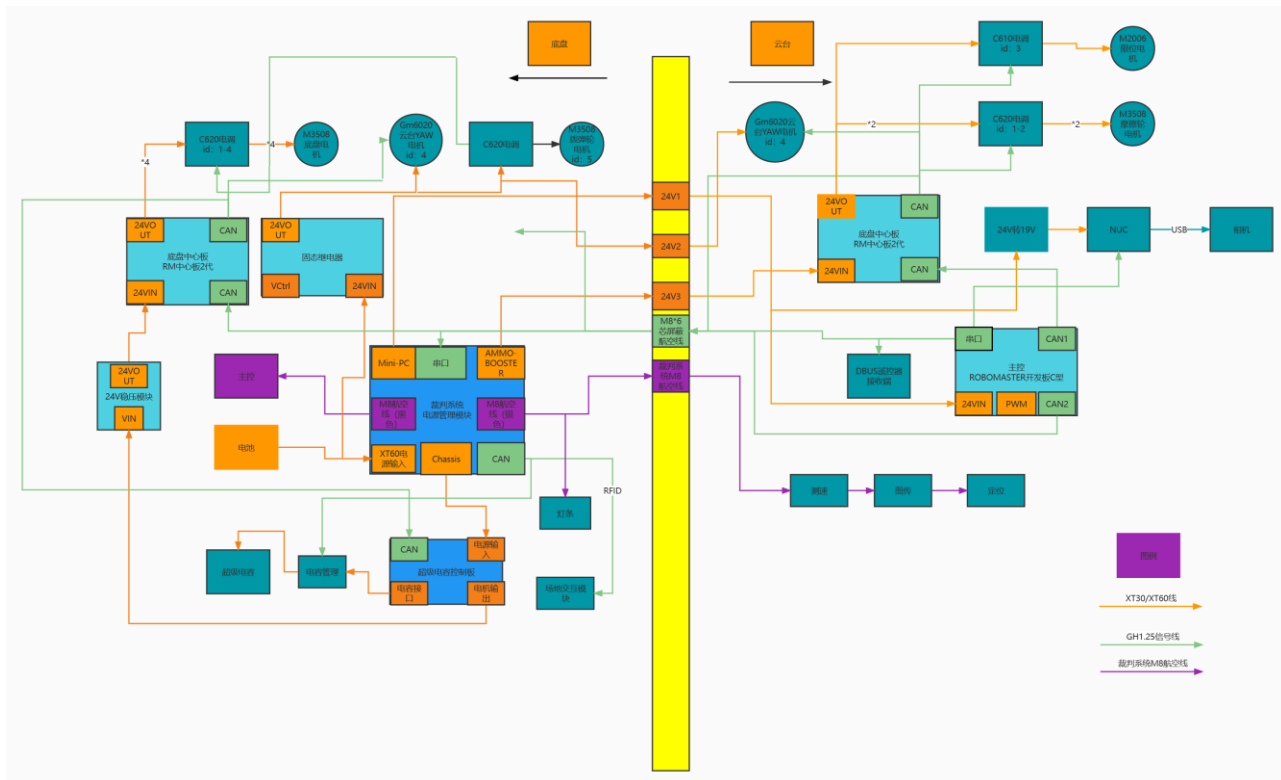
→拨盘转动，供一发弹进弹托，同时 2006 反转送蓄力滑块回发射轨末端

→释放扳机结构，发射

附：车不发射时，弹托不装弹，但蓄力。需要防止出现弹丸因车抖动而从弹托内掉出，发射机构空放的情况。

2.2 硬件方案

最终版本硬件框图:



2.3 软件方案

软件部分基于 `cubemx` 使用 `hal` 库编写，并使用 `makefile` 编译程序，并使用 `ozone` 调试器进行下载和调试。

系统整体架构分为三层，包括 **bsp** 层（对 **hal** 库函数进行简单封装，方便调用），**hal** 层（调用 **bsp** 层封装的函数，将各类外设功能封装好，方便顶层调用），**app** 层（具体执行逻辑部分）。例如使用串口与 **nuc** 进行通信时，可以使用分装好的串口通信函数预设好与 **nuc** 通信过程，当需要使用时只需要将该部分使能并传入预设的结构体就可以直接获得通信数据，并将对方所需数据发送。这赛季我们将通信所需模块，舵机控制模块，电机通信以及电机控制算法模块全部放入 **hal** 层中，大大减少了编写机器人控制逻辑时的工作量。**App** 层分为四个模块：主模块 **cmd**，以及发射，底盘，云台三个部分的控制模块，有关机器人控制逻辑部分在 **cmd** 中完成，并将所需电机，舵机的位置、速度、模式等要求分别发送到对应模块中，并在各个模块执行相应的函数，将需求转化为控制算法的期望传入控制运算内，达到机器人的控制效果。

由于 RoboMaster 机甲大师超级对抗赛软件设计方案向下兼容 RoboMaster 机甲大师高校 单项赛,因此我们决定沿用对抗赛的软件设计思路,仅为单项赛单独设计一个特殊模式,并 为之让渡出一个键位。该模式下开启自瞄模式,底盘驻点并采用底板的陀螺仪做反馈,云台 跟随底盘、以小电脑的返回值为基础相对底盘锁定,达到即使发弹有略微零飘依然能返回到 上一次发射的基准值的效果,鼠标不再能控制云台转向,此模式下 wasd 转而微调云台的 p 轴 和 y 轴。可能还会增加两个键位用于操作手手动控制摩擦轮

转速以控制发弹弹速。

2.4 算法方案

1. 下拨弹轮采用位置式 pid 速度位置双环控制，上拨弹轮以及外侧双摩擦轮采用位置式 pid 速度环控制
2. 剩余视觉部分方案设计同对抗赛自瞄方案。

2.5 测试方案

赛季初期，出于将超级对抗赛放在第一位的原则，也考虑到上赛季 42mm 摩擦轮发射机构表现欠佳，有很多技术细节未做到位的情况，我们做出将改善传统摩擦轮方案放在第一优先级，轨道抛射方案作为第二优先级的决定，重点测试摩擦轮方案。

第一版摩擦轮方案，我们首先优化常见的单端支撑摩擦轮。在对摩擦轮发射机构影响因素进行详细的分析与评级后，以此作为改进设计的出发点，保持摩擦轮间距、摩擦轮直径等已知较优参数不变，重点对发射机构炮管（弹丸从进入摩擦轮到被射出摩擦轮所经过的机构）、单发限位（弹丸从链路进入摩擦轮所经过的机构）、发射机构刚性等进行优化设计，同时测试摩擦轮硬度和铝芯材质对发射效果的影响。针对第一版所暴露出的问题，我们将双端支撑摩擦轮、三摩擦轮作为改进方向制作第二版，继续进行测试。

主要测试项目为：

- ① 统计弹速，做出弹速曲线，分析分布规律，计算均值、方差等作为评估标准。
- ② 测试不同距离下的弹丸落点分布规律和命中率，如统计 20m 外 $\Phi 600\text{mm}$ 圆的命中率。

测试方案：

- ① 以 70 颗左右弹丸为一组，连续发射，通过测速模块反馈的弹速数据统计弹速分布。
- ② 为排除弹丸本身直径、磨损程度等因素带来的影响，我们先对要测试的弹丸进行筛选和分组，筛选方法主要由两种：一是按弹丸新旧程度初步分为新、旧、一般三组，再用游标卡尺测量弹丸直径，设置合适的直径梯度，将各组弹丸再次细分为小组。二是把需要测试的弹丸先全部测试一遍，得到每一个弹丸对应的弹速，取弹丸数量最多的速度作为速度的预期值，分别向上和向下设置合适的速度梯度（通常是预期达到的速度极差），按照设置梯度将弹丸分组，再进行分组测试，考察测试结果是否仍然处于原本的速度区间内。

抛射方案，为解决官方抛射英雄皮筋寿命的问题，将皮筋换成弹簧，制作了第一版测试样机。

在测试吊射过程中，首先尝试的是上下拨弹轮采用位置式 pid 控制，速度位置双环控制，外侧两摩擦轮采用位置时 pid 速度环固定转速控制。上下拨弹轮同时启动，上拨弹轮转动距离长于下拨弹轮，并且有上拨弹轮转速高于下拨弹轮，每次发射前弹丸会抵住上拨弹轮，发射开始时由于上拨弹轮转速更高，能够将弹丸与链路分离传送至外侧双摩擦轮，经过 100 发普通弹丸测试得到发射极差在 $\pm 0.3\text{m/s}$ 左右，方差 0.25。但是由于云台俯仰角调整是会改变链路长度，导致每次弹丸初始位置不同，偶尔会出现空弹接连发现象。最终方案更改为上拨弹轮采用速度环控制，发射时上拨弹轮以恒定低转速旋转一定时间，将弹丸以固定速度传送至外侧双摩擦轮射出，经过 100 发弹丸测试得到发射弹速极差在 $\pm 0.25\text{m/s}$ 左右，方差 0.17

3. 项目进度复盘

时间	项目
12 月上旬	整体框架（包括底盘、云台）出图
12 月中旬	图纸审核、发加工
1 月（寒假集训期间）	装配，第一版车落地，做相应的测试和 调试，测试软件和算法方案的可行性
2 月下旬	主力队员根据测试结果做相应的改进和调整，进行迭代设计和方案调整；梯度队员熟悉车的保养修配，继续做测试和记录等工作。
4 月	第二代车迭代发加工装配
5 月	嵌入式和算法部分进行大量调试，保证 性能稳定，并确定最终上场方案
6 月	完善和保养

4. 赛季人力安排复盘

角色	职责职能描述	人员要求	人数
组长兼主力机械设计人员	统筹安排整个英雄组各项目负责人任务，组织管理整组以实现整组的正常运作；对英雄机器人进行机械设计、绘制、迭代、完善	要求大二级以上有较强的组织管理能力，对相关技术有深入、全面的了解和掌握，熟练掌握solidworks 绘图和机械设计，最好有比赛经验的正式队员	1
电控组成员	主要负责英雄机器人底层控制逻辑编写、机器人及环境数据的采集处理，实现机器人基本运动和特殊功能，同时要负责机器人主控板、功能拓展板设计及电气和通信线路的铺设，为英雄机器人的电子设备控制提供完整解决方案	要求大二及以上具有软件设计、算法设计能力，能独立完成控制方案设计与执行，最好是有比赛经验的正式队员。	1
测试组成员	设计并测试不同方案的准确度和可行性，并对数据进行分析从而对机器人优化	要求有创新思维，记录数据严谨且细心；且有独立提出、设计和实现测试方案的能力	2
主要装配人员	主要负责英雄机器人的拆装和修缮	熟练使用各类加工装配工具	2
梯度队员	增加对赛事和相关技术的了解，并承担一定的步兵组任务，辅助主力队员完成机械结构装配、测试等工作	要求掌握基本加工能力，熟悉机器人硬件以及布线，具有一定的技术基础，并且有深入学习的耐心和热情	3-5

5. 预算复盘

类目	子类目	费用	说明
研发耗材	机械部件	40000	费用估算逻辑：考虑迭代和备用件的支出
	硬件相关	13500	费用估算逻辑：机器人的制作需要迭代；场上突发情况导致零件损毁需要更换备用件
	工具相关	3000	工具多为往届队员遗留，需求较小
比赛差旅	餐饮费用	2000	仅考虑单项赛参赛队员
	住宿费用	1500	仅考虑单项赛参赛队员
	租车费用	600	货拉拉

6. 技术方案参考文献

参考文献	收获点
RM2021-上海交通大学-云汉交龙战队-英雄 机器人-机械结构开源	轻量化设计，井字形车架结构，供弹链路设计和优化思路，发射机构。
M2021-北理工-中心供弹英雄机械开源	中心供弹思路，承载式车身，整体结构紧凑小巧。
RM2021-华南理工大学-普渡华南虎-机械设 计 开源-英雄机器人	发射机构设计和优化思路。
【RM2020 圆桌】第六期 谈谈英雄抛射	轨道抛射英雄设计思路和参考。

附录 学术创新成果

内容	性质	是否发布
2022 电控框架说明（C 语言版）	技术文档	未发布
框架初始化流程与层级结构	说明文档	未发布
英雄底盘减速箱测试数据	测试数据	未发布
英雄拨弹轮电机减速箱测试	测试结论	未发布



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镇茶光路1089号集成电路设计应用产业园2楼202