

V1.0

Using a 55-55 motor driver chip and Field-Oriented Control (FOC), the RoboMaster C620 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.



Especially designed for the RoboMaster M6000 P10 Brushless DC Motor and C620 Brushless DC Motor Speed Controller, the M3500 Assamaticus RT includes several cables and a terminal board.

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

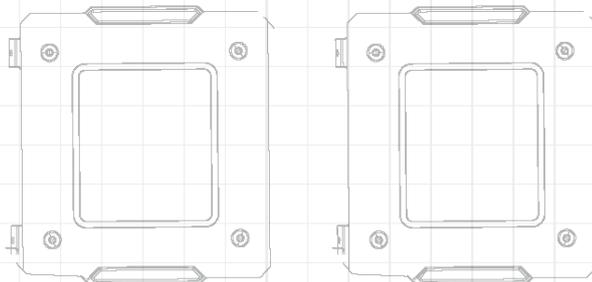
6x M8000 Assamaticus RT include several cables and a terminal board, which is capable of parallel connection to four independent motors.



# 第二十一届全国大学生机器人大赛 ROBOMASTER 2022 高校单项赛

湘潭大学 PathFinder 机甲大师战队

## 飞镖打靶赛季规划





# 目 录

<b>1. 规则技术点分析</b> .....	<b>4</b>
<b>2. 技术方案分析</b> .....	<b>4</b>
2.1 飞镖方案设计 .....	5
2.2 飞镖结构设计 .....	6
2.3 发射架及维护 HUB 方案设计 .....	7
2.4 硬件方案设计 .....	8
2.4.1 硬件整体框图.....	9
2.4.2 单板硬件说明.....	9
2.4.3 重要传感器选型说明.....	10
2.5 算法方案设计 .....	10
2.6 测试方案设计 .....	11
2.6.1 主电机霍尔元件测试.....	11
<b>3. 项目进度计划</b> .....	<b>12</b>
<b>4. 赛季人力安排</b> .....	<b>13</b>
4.1 团队架构设计 .....	13
4.2 团队建设思路 .....	14
<b>5. 预算分析</b> .....	<b>14</b>
5.1 预算估计 .....	14
5.2 资金筹措计划 .....	15
<b>6. 参考文献</b> .....	<b>15</b>

# 1. 规则技术点分析

总体来看，相较于去年和前年，飞镖发射架的制作参数、飞镖及发射架与场地交互的逻辑没有大的变化。不过今年的飞镖可用展向、航向、高度尺寸和空重都得到了一定提升，从气动设计的角度考虑，更大的展向尺寸可以获得更大的翼面积，有效提高升阻比；更大的航向和高度尺寸让布置机内元器件变得更加从容。某种程度上来说，这种升级更倾向于推动有动力有控飞镖的发展。

飞镖打靶项目和超级对抗赛共用一个场地，基本逻辑和超级对抗赛的飞镖相同，都是计算对前哨站或基地造成的血量伤害判定胜负和排名。每支参赛队有两次挑战机会，首局比赛开始时有 3 分钟准备时间，第二局比赛开始时有 2 分钟准备时间。比赛时间为 1 分钟，比赛开始后 5 秒可以打开飞镖闸门，比赛结束前 5 秒闸门自动关闭，即只有 50 秒可用于比赛。比赛时间相当紧凑，对于飞镖发射的节奏要求很高。

## 2. 技术方案分析

分析飞镖问题的基本思路是先确定飞镖的实现方式各项参数，再根据飞镖的各项参数确定发射架的实现方式和基本参数。最后确定外围的支持设备和工装参数。飞镖的作用过程更多和导弹相似，但需要循环使用这点和飞机比较类似。团队在开发飞镖的过程中气动设计部分主要参考飞机气动设计方法，内部结构设计主要以飞机结构设计方法为指导，结合消费级产品的结构和硬件设计工作流程。探索一套适用于超微型 MAV 的工作思路。

飞镖工作的主要任务剖面为：射前段、弹射段、上升段、平飞段、攻击段、保护段。

射前段对发射飞镖使用的发射储能元件充能。发射架使用钢丝拉簧或橡皮筋作为发射储能元件，通过丝杆电机的方式拉伸储能元件完成充能。将储能元件推到预定的长度后，通过舵机驱动的钩锁钩住带有轴承的横轴完成锁止。

弹射段将舵机抬起，释放被锁止的充能的发射储能元件，将飞镖发射出去。为了避免飞镖在空中启动电机时产生的反扭力矩，在飞镖弹射开始瞬间，飞镖主电机启动并在飞镖脱离轨道前达到规定的转速。

在上升段时，飞镖受到重力和来自主电机的推力，推动飞镖快速飞行到预定高度，并调整姿态进入平飞段。上升段仅进行姿态控制。

在平飞过程中，飞镖将开始通过视觉引导飞行。进入攻击段，飞镖将通过机载摄像头寻找目标装甲板，完成攻击动作。

在传感器检测到撞击目标的冲击后，飞镖将主电机断电，启动蜂鸣器，点亮所有状态指示 LED 灯，进入保护状态。直到主控检测到飞镖上的解除保护按钮被按压，或被重新放回发射架或专用充电维护 HUB。此时飞镖将舵面恢复水平，进入下一工作周期。

## 2.1 飞镖方案设计

前文提到，飞镖的总体、结构、气动设计参照飞机设计思路进行，硬件部分按照消费电子产品硬件设计思路进行。下面将描述飞镖方案的总体设计思路。

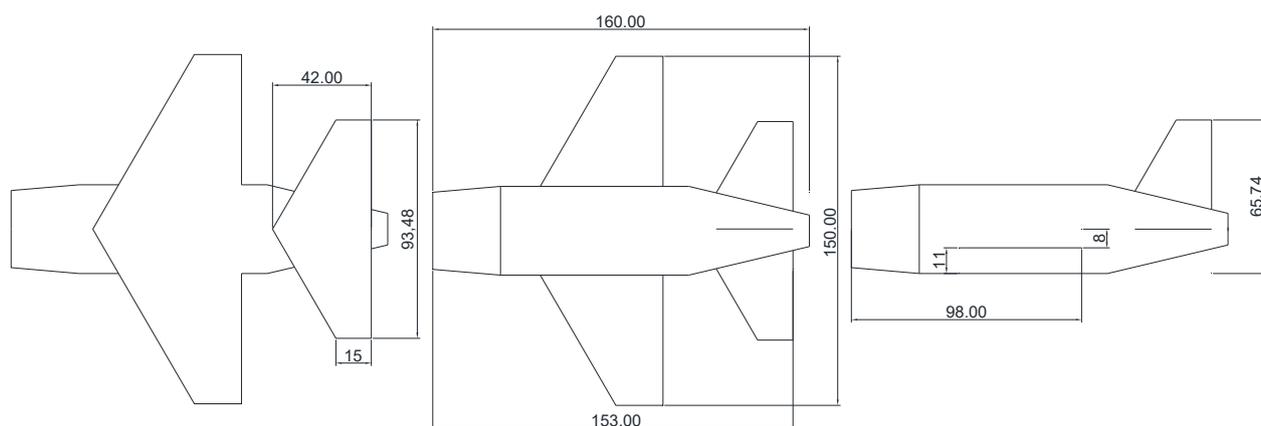


Figure.1 飞镖的初步布局设计

根据制作规范手册和规则手册的参数要求选定基本外形尺寸、重量和电源参数。为了获得最大的翼面积，增加展弦比，飞镖的外部尺寸确定为  $160 \times 150 \times 80$ （航向  $\times$  展向  $\times$  高度）；起飞重量选定为 200 g（包含飞镖触发装置）。规则将最大供电电压限制为 8.4 V。由于飞镖工作时间很短，为了获得最大的输出电压，此处选择 2S 锂离子电池作为飞镖的电池。经测试发现，电机输出的功率和电池电压有直接关系。为了使飞镖在工作后能够在最短时间内充到 8.4 V，需要在可选范围内选择尽可能小容量的电池，同时小容量的电池还能降低起飞重量，获得更高性能。

受限于团队的精力分配和羸弱的技术水平，我们无法分出精力研究使用超级电容驱动主电机的方案绕开规则对 2S 电压的限制，只能选用 2S 的无刷电机作为动力源。由于带动力的飞镖必然为尾推式布局，主电机尺寸需要小于 20 mm，以确保机尾收缩比减小到 0.5 左右，这有利于减小总气动阻力。

飞镖的初步布局设计如 Figure.1 所示，为了降低气动设计的难度，采用全动水平尾翼和垂直尾翼的常规布局设计。后续将进行气动设计、结构设计和硬件设计，最后进行重量计算、气动计算、性能计算和结构分析，循环迭代更新直到满足设计要求。最后试制样机，整机试飞后交付电控视觉进行飞控部分开发。下面将详细描述结构、发射架、硬件、算法部分的工

作思路。

## 2.2 飞镖结构设计

结构设计的主要工作是在总体的基础上对气动模型进行细化，形成面向制造的零件图和装配图。机身部分主要分为三个分段：第一分段为飞镖触发装置；第二分段为大翼分段；第三分段为舵面分段。大翼分段中部的空间用于布置安装有电池、摄像头、基于和谐美好芯片的视觉引导 PCB、基于和谐美好的主控 PCB 和陀螺仪模块的八边形中心筒，配有一个辅助散热的 20 mm 风扇，从机身前部飞镖头进气，从尾部的主电机和壳体的缝隙排气。大翼分段下部还有一个由卡扣螺丝固定的盖板，打开之后可以安装一个蓝牙模块便于调参阶段回传和写入数据，比赛时按要求拆除即可。舵面分段安装有主电机和三套用于驱动舵面的减速电机，主电机节约篇幅不再赘述。减速电机配合蜗轮蜗杆实现二级减速。输出端的蜗轮上安装有侧向充磁磁铁，通过编码器（如和谐美好，具体选型待定）测量舵面实际偏角实现位置闭环。

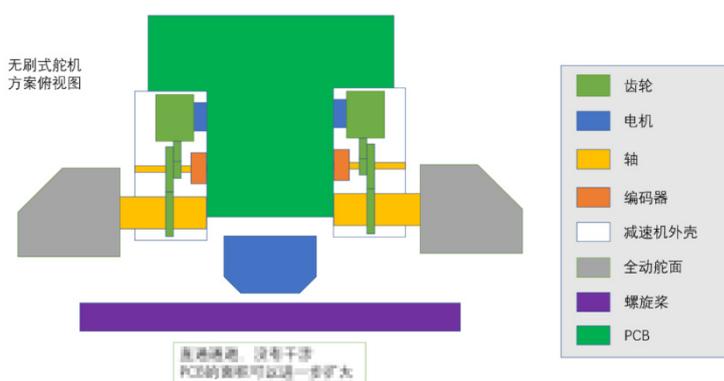


Figure.2 最初始的舵机方案

在方案的初始，我们设想使用电机-多级直齿轮箱的常规减速方案来实现舵面所需的转速。如 Figure.2 所示，我们设想在飞镖的尾部使用带有直齿轮的，转速约为 18000 RPM 的无刷电机作为主动电机。通过 2~3 级齿轮减速箱最终输出到舵面上。但最终经过计算后发现，若采用该方案，至少需要使用三级直齿轮进行减速，且三个舵面的减速机包络无法满足前述机尾收缩比 0.5 以下的要求。最终该方案被放弃。选用替代方案为减速电机-0.5 m 蜗杆-蜗轮-舵面的方案，附带获得了舵面能够自锁的能力。但同时带来了无法使用角度规对传感器进行校准和采购加工成本飙升的问题。

舵面的蜗轮蜗杆设计是一大重点，设计本身没什么难度，难在如何才能将加工成本控制在合理的预算范围内。这一部分可能会考虑使用市场上市售的蜗轮蜗杆组件通过自行加工或外协加工的方式实现在飞镖上使用，如能实现可以大幅度的降低成本。实在没有办法可能会考虑找给出加工价格在预算范围 200% 以内的加工商加工。如果加工的方案不能实现，将使用铝合金或钛合金 SLM 工艺 3D 打印的蜗轮蜗杆。

结构还要负责测试机身材料和工艺。从结构强度和加工难易程度的角度考虑，机身使用惠普的 MJF 工艺打印 PA12 尼龙。它的优点是强度和韧性特性极佳，具有很高的抗拉压强度，而且还有非常详尽完善的材料特性手册可供查询，有利于进行力学性能仿真。但由于其采用激光熔融工艺，工件表面粗糙，粗糙的表面对于微型飞行器的气动特性来说是一场灾难，将会提升临界雷诺数，使附面层更早的从固体表面分离。可能可以通过打磨或喷涂耐磨漆的方式解决。后续如果实验或仿真发现材料的缺陷无法满足要求，备选方案为 EOS 的 SLA 工艺打印 PA2200 尼龙，它的表面更加光滑，强度虽然相对 MJF 尼龙更低，但也远比普通的光固化打印要强。EOS 尼龙也有完善的材料特性手册可查。

此外，结构还要负责飞镖结构力学性能实验和仿真。对于主体结构选择，考虑到飞镖外壳最终的加工工艺是使用粉床 3D 打印工艺，为了便于通过 PRS 清理粉末，大翼最终选择使用多墙式结构的设计思路。这样清理粉末时只需要将 PRS 的喷嘴置于大翼末梢，多墙式结构形成的管道可以把困在大翼中的粉末从机身内部推出。形成空心的大翼结构。对于机身而言，需要结合塑料件加强筋工艺的设计要求和桁梁式机身结构的设计要求。后续将对使用该机身结构进行设计的飞镖进行整机力学性能仿真，重点仿真在冲击载荷下该结构的力学性能，要求设计后的飞镖机身结构在 150 G 轴向冲击载荷下不被破坏，侧向冲击工况下要求承受 50 G 冲击载荷不被破坏。此外，后续将尝试进行飞镖结构疲劳损伤容限的评估，为后续编制快速检查手册提供数据支持。

## 2.3 发射架及维护 HUB 方案设计

考虑到飞镖电池容量很小及状态通信的需要，飞镖和飞镖发射架之间需要通过 POGO-PIN 连接器连接，提供锂电池平衡充电、待机供电和 CAN 通信功能（用于状态设置），POGO-PIN 具体使用端子数待定，在发射架弹簧锁止机构释放瞬间扯脱连接器。飞镖发射架使用 TB47D 电池，按照机器人设计规范安装裁判系统模块。为了降低整体成本，使用实验室闲置的 6623 电机作为 Pitch 轴、Yaw 轴及弹簧充能丝杆的驱动电机。

为了飞镖维护保养的便利，还需要单独为飞镖准备一个手提式的维护充电 HUB。供电方式可为 TB47D 电池、19 V 电源适配器接市电。可以为飞镖提供 CAN 通信功能（用于状态设置）、烧录程序、待机供电和锂电池平衡充电。手提式维护充电 HUB 需要具备为 5 台飞镖服务的能力，其中四台飞镖通过插入到 HUB 上固定的 POGO-PIN 的方式完成连接，剩余一台飞镖用末端带有 POGO-PIN 连接器的线连接到 HUB。

## 2.4 硬件方案设计

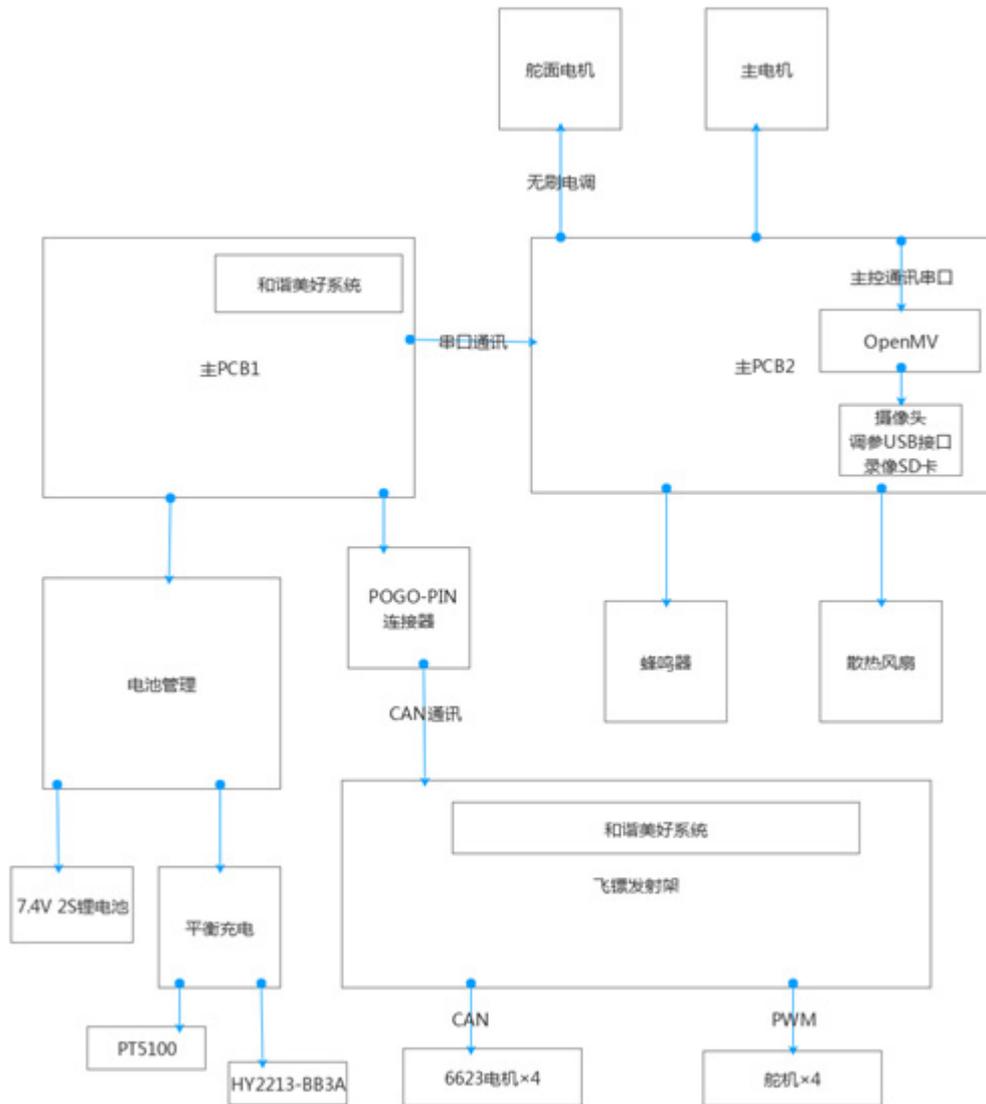
飞镖供电方案设计。方案选择最大供电电压为 8.4 V 的 2S 锂离子电池作为飞镖的电池，而蜂鸣器、蓝牙模块等相应模块的供电电压为 5 V，和谐美好系列供电电压为 3.3 V，因此需自行设计 8.4 V 降至 5 V、3.3 V 的 BUCK 电路。根据相应要求，选择了 TPS56339 芯片作为 5 V 稳压芯片，TPS56339 为 TI 公司生产的 Buck Converter,4.5 V-24 V 输入，5 V 输出，最大输出电流 3 A，符合本方案要求。3.3 V 供电则选用经典的 AMS1117 系列稳压器，此处不做详述。

自制 OpenMV。在方案设计中提到在平飞过程中，飞镖将通过机载摄像头寻找绿色的目标引导灯。考虑到飞镖狭小的包络尺寸和严格的重量要求，因此需通过自制机器视觉模块，实现视觉引导功能。OpenMV 是一个功能强大的机器视觉模块，其有占地面积小、成本低等优点，且其可支持 OV2640 摄像头使用。因此我们将自行设计一个放置在飞镖主 PCB 上的基于 STM32H743VIT6 的 OpenMV 模块，完成视觉相关的任务。

平衡充电器制作。电池位于飞镖内部拆装不便，因此需通过 POGO-PIN 对飞镖进行充电，电池采用 2S 锂离子电池，因此需要自行设计平衡充电模块，最大充电电流不超过 1.7 A，充电电压 8.4 V，且充电过程中两电芯压差不超过 0.01 V。平衡控制采用 HY2213-BB3A 芯片，其具有精度高、成本低等优点。充电芯片则选用 TP5100，该芯片为 2 A 开关降压 8.4 V/4.2 V 锂电池充电器芯片其 QFN16 超小型封装与简单的外围电路，使得 TP5100 非常适用于飞镖的大电流充电管理应用。TP5100 具有 5 V-18 V 宽输入电压，对电池充电分为涓流预充、恒流、恒压三个阶段，涓流预充电电流、恒流充电电流都通过外部电阻调整，最大充电电流达 2A。TP5100 采用频率 400 KHz 的开关工作模式使它可以使用较小的外围器件，并在大电流充电中仍保持较小的发热量，内置输入过流、欠压保护、芯片过温保护、短路保护、电池温度监控、电池反接保护、功率 PMOSFET、防倒灌电路，所以无需防倒灌肖特基二极管等外围保护，大大节省了布局空间。对于飞镖而言，其是一款非常合适的充电芯片。

飞镖主 PCB 制作。主控采用和谐美好芯片，同时需将上述所有模块集成至 70 mm×25 mm 的上下两层 PCB 中。元器件集成度高、布线密集，为降低走线难度，PCB 将采用四层板绘制。

## 2.4.1 硬件整体框图



## 2.4.2 单板硬件说明

单板	设计需求	风险评估
飞镖主 PCB-1	基于和谐美好的主控系统，陀螺仪连接器，自制电子开关	没有风险
飞镖主 PCB-2	自制 OpenMV，自制有刷电调	PCB 板过小，无法兼容下所有模块
飞镖主电机编码器转 GH 插头板	主电机编码器	编码器贴配精度无法满足需求
飞镖接口板	连接 POGO-PIN 以及可拆除的用于调参蓝牙模块	
发射架底板 PCB	控制 Pitch 轴、Yaw 轴电机，连接	

单板	设计需求	风险评估
	裁判系统	
发射架旋转机构 PCB	连接上弦电机，四个释放舵机，四个充电模块与 POGO-PIN	
HUB 主板	连接五个充电模块	
POGO-PIN 公头转 GH 插头板	/	
POGO-PIN 母头转 GH 插头板	/	
飞镖主电机编码器测试 PCB	和谐美好能够输出正确波形，且 PCB 能够安装到测试工装上。	没有风险，已完成
飞镖主电机测试平台 PCB	能够正常驱动电机、读取推力、转速大小，具有低压报警功能，同时安装一个可以通过 15 A 电流的开关，在遇险时能够快速断开电路。	没有风险，已完成

Table.2 硬件单板一览表

### 2.4.3 重要传感器选型说明

编码器选型：

主电机转速使用径向磁铁和霍尔传感器组合进行测量，霍尔传感器的主要技术指标是响应频率、供电电压。主电机的转速能够达到 20000~30000 RPM，芯片引脚的电压不能大于 3.3 V。故霍尔传感器的响应频率不能小于 500 Hz，供电电压要涵盖 3.3 V。最后选用和谐美好作为测量元件。价格在 1~1.5 元之间，是一个低成本解决方案，实际测试结果表明测量误差能够在 ±2% 以内。

## 2.5 算法方案设计

算法方案主要用 OpenMV 实现两个主要目标；在 0~10 m 的范围内达到对地面目标（前哨站或基地）的准确识别，帧率达到 60 fps，地面目标的识别主要以目标底部的绿色灯光区别其他地面目标（如哨兵，工程机器人，英雄机器人等）加上装甲板识别（与其他大学相似），主要步骤是通过相机对装甲板进行图像捕捉，使用 OpenCV 对图像进行预处理：RGB 通道加权处理，寻找对应的红蓝分量，对通道进行相减，将单一颜色的区域划分出来，此处可以将图片转化成 HSV 颜色空间再用通道范围将红色/蓝色提取出来，这种方法可以排除掉很多干扰，可能的潜在风险是近距离时装甲板灯条超过摄像头的动态范围，如果膨胀不到位

的话会出现灯条断裂的情况，膨胀的卷积核过大又会造成预处理耗时过长。下一步进行二值化，腐蚀与膨胀，将图像中的轮廓用旋转矩形进行框选。处理时采用分治思想，遍历轮廓进行灯条提取与匹配筛选，匹配筛选识别到的装甲板，并检查识别成功的装甲板中心有无数字或底部有无绿色灯光，以确定目标为待击打地面目标；为了提高帧率，采用多线程操作，将读取视频帧的部分单独放在一个线程执行，同时提供线程间同步、数据交互的支持，在主线程中运行目标检测模型和后续处理流程，必要时从读取视频帧的子线程获取最近的帧进行预处理、推理、后处理和可视化等操作。

测出摄像头质点与地面目标绿色灯光连线在摄像头坐标系内的方向矢量坐标并发送给电控，主要步骤是识别到装甲板后得到地面目标底部绿色灯光与图像中心的平面矢量值，已知相机水平视场角和垂直视场角可推算出地面目标在相机视野中的角度信息。

## 2.6 测试方案设计

### 2.6.1 主电机霍尔元件测试

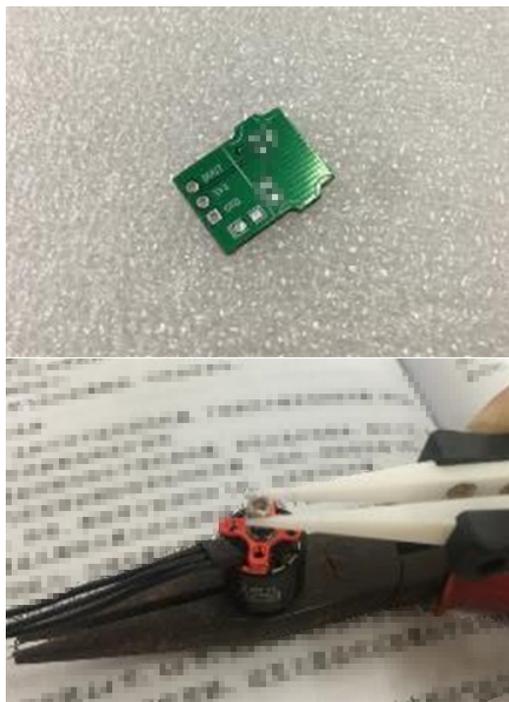


Figure.6 上图为和谐美好芯片测试板实物图，下图为电机安装编码器磁铁展示

在实际飞镖使用工况中，调控主电机推力大小的因素只有主电机的转速。为了比较精确的测量到主电机的转速参数，需要设置一套编码器采集主电机的转速信息。市面上的编码器方案主要分为接触式编码器、光电码盘编码器和磁编码器这几种。显然，传统的菲林码盘编码器无法安装到尺寸最大为 15 mm 的电机上，接触式编码器会导致额外的阻力，引起测量数据失真。综合考量最终选用了磁编码器方案。即使用侧向充磁的钕铁硼磁铁贴在电机尾部的转轴上，使用和谐美好传感器检测磁极变化，从而得到电机转速。

在方案确定后，需要解决一些工程问题。一是钕铁硼磁铁的选型和装配，二是贴配有和谐美好的 PCB，三是整体的测试工装。

磁铁我们最终找到了和谐美好侧向充磁磁铁，使用和谐美好胶水粘接到主电机的尾轴上，效果如 Figure.6 所示。在测试过程中我们还使用了和谐美好胶水、502 胶水等，这几款胶水的凝固时间较快，但抗剪性能太差，经常因为简单的磕碰就导致磁铁脱落，还会因为过强的

流动性粘住转子的定子，直接报废电机。在粘接前还需要将电机尾轴用锉刀或砂纸打磨粗糙，增大胶水的接触面积，增加胶水和金属作用的性能。

飞镖主电机编码器测试 PCB 如 Figure.6，目的仅为将芯片引脚引出，非常简单不做赘述。

完成飞镖主电机编码器测试 PCB 后，将 PCB 与电机通过专门设计的工装装配到一起，启动电机后，使用示波器测试输出信号的频率，其频率（Hz）应该等于电机转速（r/s），再通过手持式光电转速表测量电机的实际转速，对比二者的测量值，即可判断该方案是否可用。实测转速误差在±2%之内。

### 3. 项目进度计划

时间	内容	人员安排
1.25~12.01	根据气动设计模型尝试进行气动仿真，在 12 月 1 日前完成主电机转速检测方案测试，电机和桨叶的选型	结构 1 人 电控 1 人
12.01~12.15	进行气动仿真。	结构 1 人
12.01-12.25	制作 OpenMV、平衡充电独立模块，进行测试。	硬件 1 人
12.15-12.25	飞镖结构设计、基于 Ansys 的整体结构冲击仿真，得到在工作速度下撞击目标时结构剩余强度、进行参数校核。确定蜗轮蜗杆的设计参数，尽快发加工	结构 1 人 电控 1 人
12.25	出图，进行飞镖外壳的 3D 打印加工、紧固件等采购。如部分组件未设计完成（如舵面不能够正常的工作），则在图纸中将其布尔运算为整体，一并进行加工。考虑进行测试条件：找可以拍摄慢动作视频的手机、防止飞镖损坏的软垫	结构 1 人
12.26~01.10	飞镖装配和手抛试飞确认飞行器具有三轴静稳定性，在无嵌入式姿态控制的前提下，务必保证飞镖在空中的攻角始终在稳定的 20°~2°度范围内。Roll 轴从起飞到落地的翻滚不应超过一圈。	结构 1 人
01.10~01.20	如果飞镖试飞结果异常，查找原因并修改设计，在 20220120 前完成一次迭代并加工装配完成。	结构 1 人

时间	内容	人员安排
01.10~区域赛	配合其他组别进行测试检查，若有问题及时画完改进版本。	硬件 1 人
02.09	完成飞镖发射架所有图纸设计工作，并移交加工。	结构 1 人
12.26~01.25	飞控程序基本完成。	电控 1 人
1.25~3.1	所有程序完成	电控 1 人
12.1~3.1	完成导引灯识别算法，并与电控对接	视觉 1 人
3.1~区域赛	实机飞行测试	结构 1 人 电控 1 人 硬件 1 人

Table.3 飞镖项目进度一览表

## 4. 赛季人力安排

我们所选择的技术路线决定了飞镖在各环节的设计和调试上不能依靠传统的“瞎猫碰到死耗子”的方式进行。因此该项目的参与人员需要在对应领域具备一定的知识积累和实践能力。

### 4.1 团队架构设计

角色	职责职能描述	人员要求	人数
气动和结构	负责飞行器气动设计、气动仿真、结构设计	了解团队研发流程。熟悉塑料产品设计相关流程，熟悉 3D 打印加工工艺。	1 人
飞控	负责飞控设计。	了解团队研发流程。	1 人
硬件	负责相应电路模块 PCB 设计	具有相关电路理论知识，熟悉 PCB 设计开发流程	1 人
视觉	负责引导灯识别	熟悉基于 OpenMV 的图像识别方法。	1 人
发射架结构设计与整机测试	负责发射架部分设计和飞行器测试	具备机械设计能力，具备使用实验室加工设备和工具制作零件装配整机，具备数据	1 人

角色	职责职能描述	人员要求	人数
		整理能力	
梯队队员	跟随正式队员学习相关知识，帮助完成装配、测试等。	对飞行器气动、结构、控制、硬件有浓厚兴趣。	适量

Table.4 团队架构

## 4.2 团队建设思路

飞镖项目组里都是从其他项目里摸爬滚打出来的老司机了，故飞镖团队的团队建设思路为自然发展，实事求是。由于飞镖团队规模非常小，飞镖团队中不太可能出现不团结的现象，团队建设主要靠臭味相投。可能大家开会讨论的时候可以揪着一个问题对喷，转身就一起去吃海底捞了。因此飞镖团队将建立海底捞基金会，在大家开会之后补充能量，让下一场会议来得更猛烈些。

## 5. 预算分析

### 5.1 预算估计

一级分类	二级分类	具体类别	数量	单位	单价	合计	
飞镖	打印件	惠普 MJF 3D 打印服务	1	项	800	800	
		EOS SLM 3D 打印服务	1	项	200	200	
	机加工	微型蜗轮蜗杆加工	15	套	26.6	399	
	工作部件	主电机	8	个	和谐美好	和谐美好	
		舵面电机	15	个	和谐美好	和谐美好	
		桨叶	4	套	7	28	
		编码器磁铁	20	个	1	20	
	硬件	和谐美好芯片(封装待定)	12	块	和谐美好	和谐美好	
		和谐美好芯片(封装待定)	5	块	10	50	
		和谐美好摄像头(视场角待定)	6	个	10	60	
		和谐美好	5	个	和谐美好	和谐美好	
		和谐美好连接器	21.5	套	5	107.5	
		其他元器件采购	1	项	200	200	
	发射架	打印件	其他光固化、FDM 打印	1	项	200	200
		机加件	单向滚珠丝杠	1	套	200	200
拉簧			8	根	25	200	
机加件			1	项	500	500	
方铝管			1	项	300	300	
板材		玻纤板	1	项	300	300	
		尼龙板	1	项	200	200	

一级分类	二级分类	具体类别	数量	单位	单价	合计
	标准件	标准件	1	项	100	100
	硬件	和谐美好芯片(封装待定)	2	块	10	20
		其他元器件采购	1	项	150	150
	官方元件	RoboMaster 6623 电机	3	个	800	2400
	其他	舵机	6	个	30	180
其他项	差旅费	差旅费	1	项	2000	2000
TOTAL 合计						一万左右

Table.5 飞镖项目预算总览

## 5.2 资金筹措计划

来源项	预计金额	筹措思路
项目经费	和谐美好	为了避免给对抗赛的项目经费造成压力，飞镖项目尽量控制从项目经费中开销
队员自筹经费	和谐美好	因为热爱，所以垫钱 因学校是否报销差旅费不能确定，此处包含差旅费
与对抗赛共用部分	和谐美好	这部分经费主要从对抗赛分配的加工经费中筹措

Table.6 飞镖项目资金来源

## 6. 参考文献

参考书目：

参考文献	参考文献
空气动力学-闫再友	微小飞机设计与制作渐进教程-沈海军
计算流体力学基础及其应用-Jonh D. Anderson	
自动控制原理-高国燊	
信号与线性系统-管致中	
机械设计-濮良贵	
机械原理-孙恒	
飞行原理-邢琳琳	

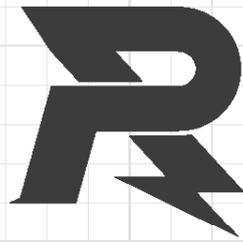
Table.7 飞镖项目使用到的参考书目

部分参考价值评级在 3 级以上的参考文献：

参考文献	收获点分析	参考价值
谌莹,范军芳.一种微小型无人飞行器的气动优化设计[J].飞航导弹,2015(11)47-50.	MAV 设计及气动仿真流程	4
白俊强,刘南,邱亚松,陈迎春,李亚林,周涛.大型民用运输机短舱涡流片增升效率以及参数影响研究[J].西北工业大学学报,2013,31(04)522-529.	附面层快乐片设计仿真方法	4
陈国栋,贾培发,刘艳.微型飞行器的研究与发展[J].机器人技术与应用,2006(02)34-44.	华南虎推荐 MAV 综述	2
蔡玉红,刘刚,洪冠新.一种连翼飞行器气动和飞行力学迭代仿真方法[J].北京航空航天大学学报,2021,47(04)779-791.	连翼布局飞行器气动计算和飞行力学仿真平台流程	4
飞镖系统技术报告	华南虎飞镖开源资料	3
王允良,高永,侯志强.无人飞行器外形布局设计及其气动特性计算分析[J].海军航空工程学院学报,2011,26(04)361-364+374.	气动特性仿真 workflow	4
张陈安,叶正寅.微型飞行器气动布局的弹射试飞研究[J].飞行力学,2005(04)25-28.	研究了翼梢小翼对于 MAV 飞行性能的影响	3
殷柏生,黄子安.静不稳定倾斜转弯导弹飞控系统的设计与分析[J].南京航空航天大学学报,1993(S1)22-29.		4
杨爱明,翁培奋.低雷诺数下微型飞行器小展弦比机翼的气动力特性分析[A].中国空气动力学会.2003'全国流体力学青年研讨会论文集[C].中国空气动力学会中国空气动力学会,2003:12.		3
陆韵,翁培奋,丁珏.低雷诺数下机翼复杂绕流的气动特性实验[J].上海大学学报(自然科学版),2013,19(02)181-185.		3
焦雪文,张立茹,牛佳佳,汪建文.低雷诺数下凹坑结构对翼型层流分离影响的数值研究[J].可再生能源,2021,39(03)346-352.		3
何飞.微型飞行器柔性翼气动及抗风特性研究[D].西北工业大学,2007.		3
陈志远,翁培奋,丁珏.微型飞行器齐默曼与反齐默曼机翼的气动力学特性分析[J].上海大学学报(自然科学版),2013,19(01)80-85.		3
杨爱明,翁培奋.微型飞行器小展弦比机翼的低雷诺数气动力特	微型飞行器气动特性的综述	4

参考文献	收获点分析	参考价值
性分析[J].空气动力学学报,2005(01)57-67.		
赵雄. 基于无源流体推力矢量喷管的飞行器控制技术实验研究[D].南京航空航天大学,2018.		3
龚东升. 基于微型涡喷发动机的无源流体推力矢量喷管的研究[D].南京航空航天大学,2020.	飞行器设计测试的工作流	3
龚东升,顾蕴松,周宇航,史楠星.基于微型涡喷发动机热喷流的无源流体推力矢量喷管的控制规律[J].航空学报.2020.41(10)106-117.		3
某型导弹动导数风洞试验和 CFD 数值模拟_岑梦希		5
Computation of Dynamic Derivatives Using CFD		5

Table.8 飞镖项目使用到的部分参考文献



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