

# RoboMasters Summer Camp 2015

## 1 组

### 机械设计方向 技术报告

---

一、主要设计思路.....	3
1.1 飞机起飞质量核算 .....	3
1.2 飞机基本设备的安装位置及其对于飞机重心位置的影响 .....	4
1.2.1 飞机基本设备的安装位置 .....	4
1.2.2 机上设备对于飞机重心位置的影响 .....	4
1.3 机械方案的自由度的确定.....	5
1.3.1 抓球及投球策略.....	5
1.3.2 抓球的精度要求.....	6
1.4 机械装置的各个尺寸限制.....	6
1.5 飞控及视觉对于机械装置位置的要求.....	7
1.6 标准化 .....	7
二、抓球方案 .....	8
2.1 水平运动自由度驱动--驱动导杆.....	8
2.2 欠驱动的旋转运动自由度.....	9
2.3 取球筒的取球自由度驱动.....	10
2.4 机械结构对于飞机重心位置的影响.....	11
2.5 材料的选择.....	11
2.6 机械组人员分工 .....	12
致谢 .....	12
参考文献.....	12

## 一、主要设计思路

### 1.1 飞机起飞质量核算

DJI Matrice 100 (以下简称 M100) 使用的是 DJI E800 动力系统, 1345s 定距螺旋桨, 单轴效率最高拉力为 800g, 即 M100 的效率最佳起飞质量为 3200g, 同时经查询可知, M100 的最大起飞重量为 3400g, 极限起飞重量 (估测, 夏令营组委会提供数据为 4500g)。经搜索, 各个负载状况下的飞行续航时间<sup>[1]</sup>如表 1 所示:

表 1 M100 在各个工况下负载状况下的续航时间

供电及设备情况	续航时间
TB47D 电池	无负载: 22 min, 负载 500 g: 17 min, 负载 1 kg: 13 min
TB48D 电池	无负载: 28 min, 负载 500 g: 20 min, 负载 1 kg: 16 min
TB47D 电池 x2	无负载: 33 min
TB48D 电池 x2	无负载: 40 min

经实测, M100 在挂载 Gudience 单传感器、挂载 SkyMind 机上 NUC 但不工作、挂载 TB47D 电池的情况下, 满电状态下可飞行 5 个起落约 18min, 尚有余电 35%。由表 1 及实测数据可以判断整个系统有足够余量来完成此次飞行任务。

因此, 为提供机械结构设计时有足够的重量裕度来完成任务以及续航时间大于 10min 考虑, 以 3400g+150g 为起飞质量上限, 为核算该上限, 进行各个单部件的质量核算, 各个部件质量<sup>[1,2]</sup>如表 2 所示:

表 2 M100 所载各个部件的质量

M100	重量 (含 TB47D 电池)	2355 g
	重量 (含 TB48D 电池)	2431 g
	最大起飞重量	3400 g
	扩展架重量	45 g
	电池仓重量	160 g
Gudience	视觉处理模块	64g
	视觉传感模块 (单个)	43g
	VBUS 线缆 (每根)	11.6g

飞机任务重量可由下式计算:

(1)

式中: 一飞机任务重量

一飞机任务所需设备总重, 包括飞机自重, 机上挂载设备重量

一机械结构总重, 即作动系重量, 不包括高尔夫球重

一飞机任务重量余量, 取为 100g。

飞机最大任务重量可由下式计算:

(2)

式中: 一任务中所取得高尔夫球重, 5 个球共计为 225g。

此外, SkyMind 机上 NUC 重量可以取值为 200g, 因此可以得到:

(1) 使用 TB47D 电池:

$$2355+64 \times 1+43 \times 1+11.6 \times 1+200=2673.6\text{g}$$

(2) 使用 TB48D 电池:

$$2431+64\times 1+43\times 1+11.6\times 1+200=2749.6\text{g}$$

由前述可知，，因此可以反算，即：

$$=3175\text{g}\sim 3325\text{g}$$

则可以得到：

(1) 使用 TB47D 电池

$$501.4\text{g}\sim 651.4\text{g}$$

(2) 使用 TB48D 电池

$$425.4\text{g}\sim 575.4\text{g}$$

则有：

即机械结构、机械结构控制、XT30 端口 DC-DC 供电模块，RGB 摄像头及附属线缆总重量区间为 425.4g 至 651.4g，机械结构质量在此区间内飞机的起飞重量及最大任务重量均可以在 E800 动力系统承受范围内，并且可以有足够的时间宽容度来完成既定任务。

## 1.2 飞机基本设备的安装位置及其对于飞机重心位置的影响

M100 在默认情况下，电池位置位于中心盘下方，Gudience 视觉处理模块与视觉传感模块均安装在电池下方，对于机械结构的安装有较大影响，因此需要对电池仓和 Guidance 以及其他附属但必须的设备的安装位置进行相应的调整。

### 1.2.1 飞机基本设备的安装位置

1、机械结构挂载于飞机下部便于取、存、放球三个动作的执行，因此将电池盒安装位改为 M100 中心盘上部，SkyMind 机上 NUC 安装于电池盒上部，并使用螺栓固定；

2、GPS 磁罗盘模块杆件至于飞机中心盘上部右侧，XT30 取电 DC-DC 供电模块置于飞机中心盘上部左侧；

3、Gudience 视觉处理模块安装于云台安装板上方，并使用减震球和飞机中心盘上板云台安装板预留孔位相连接，Guidance 视觉传感模块（对地）安装于飞机中心盘下板靠前区域；

4、飞机调试所用的图传安装于飞机中心盘上部左侧，与 SkyMind 左侧板和中心盘上板粘接，使之原理 GPS 磁罗盘模块；

5、USB Hub 安装于 DC-DC 供电模块上部，并与之粘接，保持稳定。

### 1.2.2 机上设备对于飞机重心位置的影响

经悬挂法找出安装飞机基本设备后新的重心位置后，对 M100 的飞控进行重心参数的确定，具体为：

预计挂载机械装置之后，飞机重心会下移，因此取了较小的 Z 值。此外，经过实测，M100 在偏载情况下对于飞机整体的稳定性影响不大，故未调整 X 轴与 Y 轴的偏移量。

偏心问题的解决可以在一定程度上去依赖算法与 M100 本身的飞控系统来解决该问题，但是机械结构偏心问题在飞机降落取球的阶段较为突出，但由于此时 M100 处于静止状态，对于姿态及飞行过程中的影响几乎可以忽略。

### 1.3 机械方案的自由度的确定

机械结构的自由度的多少对于机械结构的可靠性有着较大的影响，复杂的系统的稳定性会下降而控制的难度会上升，与此同时，由于前述飞机的负载限制，以及现有设备的限制，自由度应不大于三个，理由如下：

- 1、每一个自由度的驱动，可以为标准舵机、丝杠、同步带等不同结构，其中舵机自身重量约为 60g，丝杠加驱动板重量约为 50g，同步带加驱动加驱动板重量约为 100g，根据前述重量限制，三个自由度即接近重量限度。
- 2、根据与嵌入式方向同学讨论结果，自由度多时，需要与之对应的反馈机制，从而造成整个系统可靠性下降，因此需要在尽可能降低自由度数的情况下完成既定任务
- 3、与控制算法方向同学讨论结果，飞控精度应该能够保证按照既定的位置落在取球盒上方，因此可以有意识有选择的降低自由度数或者采用欠驱动机构。

#### 1.3.1 抓球及投球策略

任务区安排如图 1 所示：

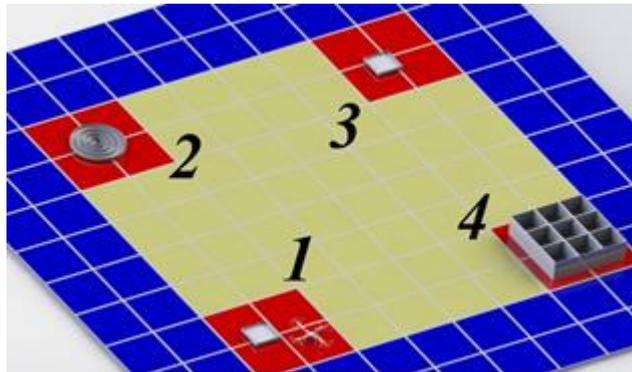


图 1 任务区安排

图 1 中，其中 1 区为白球区，3 区为绿球区且 1 区亦为起飞区，起飞时可预装 5 个白球。根据九宫格与同心圆所给出的尺寸，九宫格靶区难度要小于同心圆靶区难度，绿球分数为白球分数的 1.5 倍，因此制定策略如下：

- 0、采用 TB48D 电池以延长续航时间，其相关参数<sup>[1]</sup>如表 3 所示：

表 3 TB48D 相关参数

类目	参数
容量	5700 mAh
电压	22.8 V
电池类型	LiPo 6S
能量	129.96 Wh
电池整体重量	676

- 1、飞机预装 5 个白球起飞，从 1 区起飞后将预装 5 个白球投入九宫格靶区内的红色高分区内；
- 2、飞往 3 区，两次起落取走 10 个绿球，投入九宫格靶区内的红色高分区内；
- 3、使用两个起落取 1 区内白球并投入九宫格内红色高分区内。

经过实测，上述步骤可以在规定的 10min 内完成，并且在使用 TB48D 电池的情况下余电 35% 左右。

采用所述策略的情况下最高分数为  $15 \times 100 + 10 \times 150 = 3000$  分，而在该任务规则下，

基本最高分（即圆环靶区中心仅有一个球）为  $3000+100+10\times 150=4600$  分，理论最高分（即圆环靶区中心内球四堆积）可以达到  $3000+150\times 1.5\times 3+150\times 7+100=4825$  分，由于理论最高分基本上无可能实现，且采用所述策略与基本最高分策略分差为 1600 分，但与此对应的，圆环靶区内分值分布差异较大，最外环分数仅有 5 分，因此风险太大，因此采用所述方案更加稳妥。

### 1.3.2 抓球的精度要求

1、高尔夫球放置于取球篮内，取球篮内衬有海绵，并且经过实测，高尔夫球在飞机下洗气流的扰动下并不会发生移动；

2、M100 在 API 模式下降落在取球篮上方时，会有位置和角度上的偏差，因此需要一套机构或者大冗余度的取球装置来抵消或修正这种偏差；

3、取球装置的长度不能太长，太长则会对于飞机控制的要求提升，裕度则会下降；

4、Gudiance 的控制精度<sup>[2]</sup>如表 4 所示：

表 4 Gudiance 的控制精度

项目	数据
测速量程	0 ~ 16 m/s (离地 2 m)
测速精度	0.04 m/s (离地 2 m)
定位精度	0.05 m (离地 2 m)
有效观测范围	0.20 m ~ 20 m
环境要求	照明情况良好 观测对象纹理明显

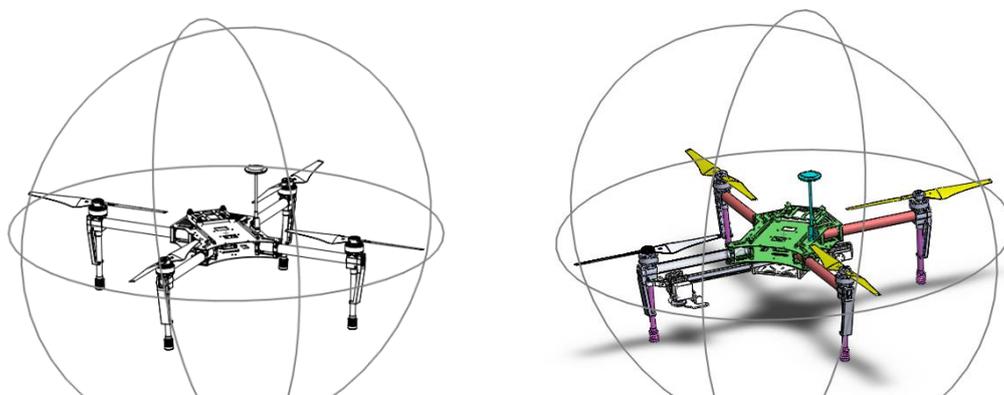
因此在前期确定方案时，机械结构所预留给飞控算法方向的精度要大于两倍表 3 中定位精度的数据，如有可能的话应保证三倍的精度余量。

### 1.4 机械装置各个尺寸限制

机械装置各个尺寸限制有如下几个约束条件：

- 1、规则约束：比赛规则要求飞机任何时候尺寸限制在直径 1 米的球体内部，而在不装载任何机械结构时，飞机尺寸已经达到约 500mm×500mm（不含桨），并且与直径 1000mm 的球的关系如图 2（a）所示；
- 2、飞机自身约束：根据 1.2.1 节对飞机基本设备的安装位置的确定，可以知道机械装置将会安装于飞机中心盘下板下部，经实测，中心盘下板安装位置区域在不另附安装板的情况下，安装位有 12 个 M2 螺纹孔，区域面积大约为 100mm×100mm。
- 3、算为了便于飞控方向的同学便于写控制算法与精度控制，需要在飞机中心盘下板飞机纵轴线上安装一个尺寸约为 40mm×40mm 的对地 RGB 摄像头，因此需要预留安装位或设计安装支架，并不能与机械结构相冲突。

安装机械结构上部驱动装置之后的飞机形态与直径 1m 的球的关系如图 2(b)所示：



(a) (b)  
 (a)不搭载机械装置时与直径 1m 的球的尺寸关系 (b)搭载机械装置时与直径 1m 的球的尺寸关系

图 2 飞机尺寸与机械尺寸关系

从图 2 (b) 中可以看出，安装了机械结构的上部驱动装置之后，对于飞机整体尺寸几乎没有影响，并且飞机下部依然存在足够的安装空间来安装取、存、放球装置，且起落架加高方便。

### 1.5 飞控及视觉对于机械装置位置的要求

如前述，我们需要在飞机中心盘下板飞机纵轴线上安装一个尺寸约为  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$  的对地 RGB 摄像头，因此需要预留安装位或设计安装支架，并不能与机械结构相冲突。在机械结构存在一主梁的情况下，并不能够在飞机中心盘下方留出相应的安装位，因此设计一预留安装支架，设计的该安装支架需要能够调整 RGB 摄像头的朝向与平面位置，又由于项目组所提供的机加工时间过长，因此设计板材件，实物图如图 3 所示：

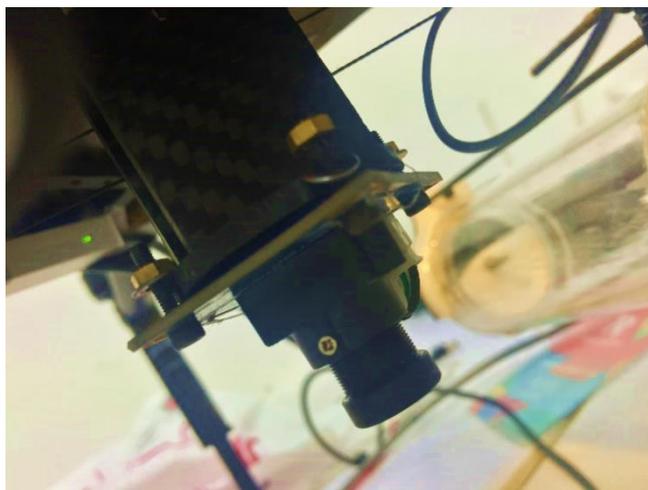


图 3 板材件 RGB 摄像头安装支架

图示的板材件 RGB 摄像头安装支架紧固在主梁上，相对位置在飞机中心盘纵轴线中心，线驱动装置的尼龙张紧线可以从支撑摄像头的平台下两片支撑侧板内穿过，不会对拉线装置的张紧线产生影响，同时，摄像头通过泡沫双面胶与支撑摄像头平台相连接，起到隔震连接的作用，同时摄像头四个角上使用螺栓与支撑摄像头平台相连接，进一步防止摄像头意外掉落的同时可以调整摄像头的平面角度，使 RGB 摄像头的焦平面与地面相平行。

### 1.6 标准化

由于机械结构所涉及的零件较多，因此需要引入标准化的概念，并在尺寸上尽量取整，不好取整或者在图纸中较难表现出的相对位置均以实际为准，标准化方面如表 5 所

示：

表 5 标准化零部件尺寸规格

零部件	规格
碳纤维板	2.5mm
碳纤维方管	10*10*1
轴承（尼龙，钢，V型）	4*12*4
螺杆	M2.5, M3
碳纤维杆	$\phi 3\text{mm}$

## 二、抓球方案

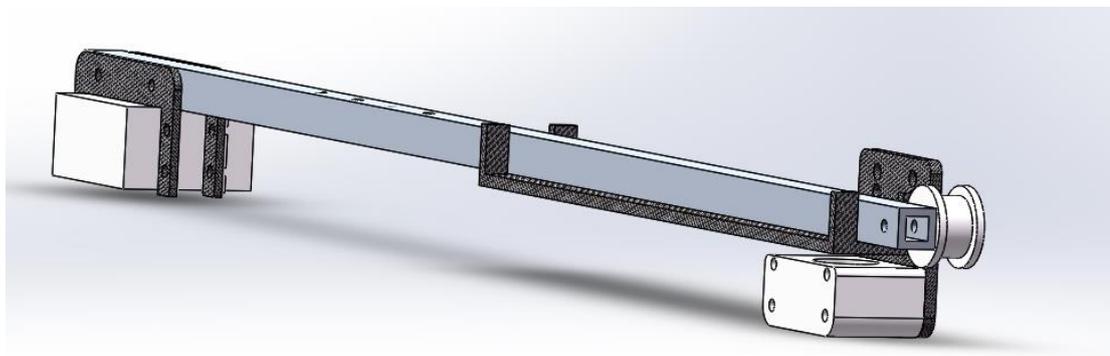
采用平面内三自由度运动的方式，一个驱动的水平运动自由度、一个驱动的旋转运动自由度，以及一个欠驱动的旋转运动自由度，抓球与放球同采用一个旋转运动自由度。



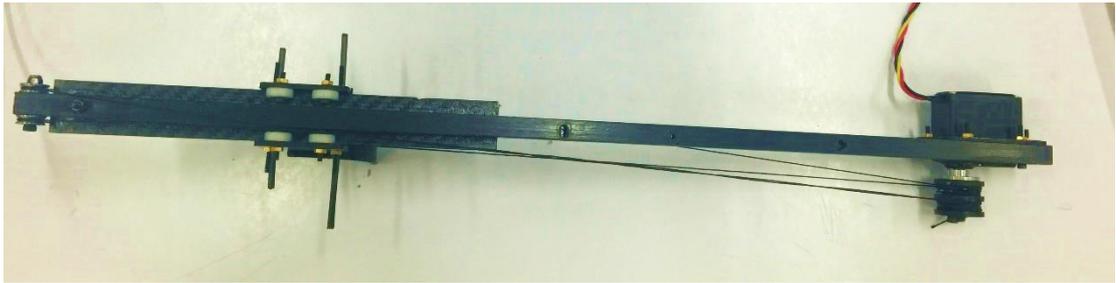
图 5 RM1 战机

### 2.1 水平运动自由度驱动--驱动导杆

水平运动自由度#1：水平运动轴#1 采用双绳多股缠绕式方案控制#1 轴所带动的下一级的机械结构，并在滑轨上加入前后两个限位块，如图 4 所示：



(a)



(b)

图 4 水平运动自由度#1 (a) 设计模型 (半剖) (b) 实物

线轮采用双绳缠绕式驱动方式, 以保证两边所受的张拉力相同; 驱动绳采用尼龙绳, 可以承受较大的张拉力; 所选型的驱动舵机使用大扭力舵机改装而成的  $360^\circ$  全向舵机; 驱动轮采用半径为  $1\text{cm}$  的线轮, 舵机扭力为  $21\text{kg cm}$ , 因此牵引力约为  $21\text{kg}$ , 足以驱动附属装置。

## 2.2 欠驱动的旋转运动自由度

由于水平运动自由度的滑块结构存在结构虚位, 解决方案有二, 方案一是设计一个专用连接件来消减这个虚位, 使之固定紧固; 方案二是利用这个结构虚位, 在整个结构不会被破坏的情况下认为其是一个欠驱动的旋转运动自由度, 可以解决飞机在降落取球时角度上的偏差修正问题, 该虚位可以提供  $\pm 5^\circ$  的角度调整空间, 对于飞控组而言已经足够, 并且同时该结构在受到外部冲击时不会被破坏且不会自解体, 该结构虚位, 即可以认为是欠驱动旋转运动自由度结构如图 5 所示:



图 5 欠驱动的旋转运动自由度 (结构虚位)

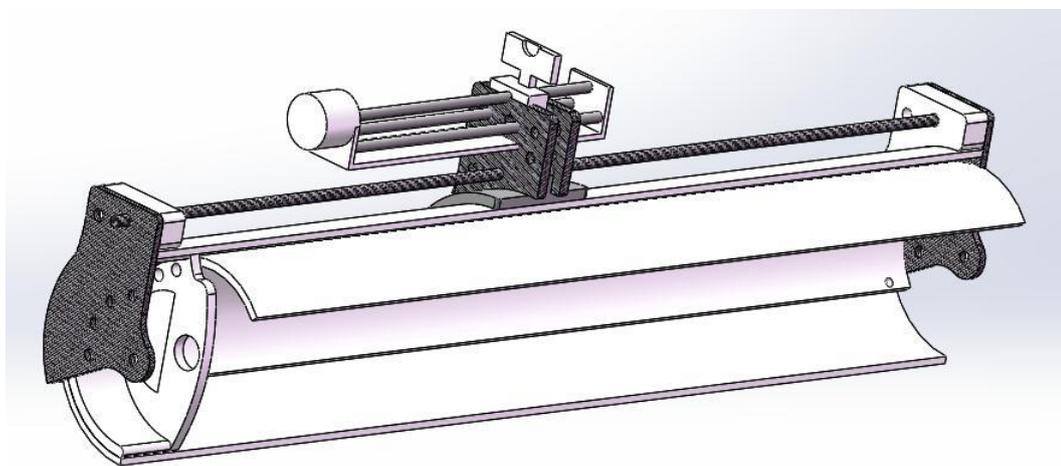
### 2.3 取球筒的取球自由度驱动

取球筒采用分段制造拼合方案来实现其在较大长度上的制造，采用边驱动的方式来实现在整个筒内的顺滑，后期方案改为亚克力材料制造，以解决 3D 打印件的强度不够问题或者机加工件比较沉重且各件连接易松动的问题。

取球筒分为内筒和外筒两部分，外筒负责支撑起整个取球筒结构并且附加结构使之与上部驱动即水平运动自由度#1 结构相连接并保持稳定，内筒将已经推到位的球揽入取球筒的外筒和内筒之间，并闭合整个取球筒结构，完成取球动作。

经过实际的测试得出，使用壁厚为 2mm 的亚克力管，外筒内径 56mm，内筒外径 54mm，内筒外圆柱面与外筒内圆柱面间隙微小，保证运动过程中内筒不会偏心，不会产生较大扭矩。并在右端非驱动端加上固定架、中心板以及档环，三道防线解决取球过程中内筒偏心卡住。

取球筒如图 6 所示；



(a)



(b)

图 6 取球筒 (a) 设计模型 (b) 实物

## 2.4 机械结构对于飞机重心位置的影响

为尽可能减少对飞机重心的影响以及对飞机稳定性的影响，除了使用调参软件进行重心调节之外，充分利用机械结构的各个自由度，使影响在能力范围内减到最小，因此产生两个方案：

方案一，固定力矩方案：

抓球筒在伸出最外侧时是空载，会对飞机产生一个固定大小的力矩，飞机在抓球完成后，将抓球筒收至飞机中间部分，但仍不能收至重心，因此会对飞机再产生一个固定大小的力矩，通过调整机构伸出主梁的长度限位块位置即可调节轻重抓球筒的位置，使得飞机附加的机械结构在抓球前后对飞机重心的影响相一致。

方案二，最小力矩方案：

起飞前将空载抓球筒收至最内侧，使之对飞机的偏载降至最低，使得飞机起飞及移动时平稳，抓球时再将抓球筒伸出，抓球动作完成后再将抓球筒收回，并收至最内侧后起飞，即该方案将轻载与重载时的抓球筒均收至机械结构最内侧的限位上，使由于不对称力对飞机所造成的偏载降至机构所限的最低范围内。

经过与飞控算法方向的同学讨论，决定采用方案二，即最小力矩方案。

## 2.5 材料的选择

对于零件材料的选择，我们需要充分考虑其力学性能、加工性能、质量以及价格，还有我们的连接基本都是采用螺钉连接和粘接，所以各种材料之间粘接性能也是很重要的。后期我们对不同的材料进行测试，选择最优的材料。



图7 几种零件的不同材料加工件  
我们主要采用碳纤维、亚克力、POM 和 ABS

## 2.6 机械组人员分工

人员分工方案由讨论产生，列如下：

- 1、刘煜程负责上部驱动导杆结构设计，包括水平运动轴#1、#2、旋转轴#1 的设计与配合，并与嵌入式组商议实现的可行性
- 2、刘纯阳负责取球筒的设计，并考虑其在较长结构上加工的可行性以及抓球连杆的驱动布置，并通过相应的机械接口与抓球筒的上部机械驱动结构相连接
- 3、江家敬负责前期工程图的绘制和板件的加工，刘煜程与刘纯阳建模过程中一旦某个零件的尺寸确定则发予江家敬进行工程图绘制或者自己动手用雕刻机进行碳板加工，江家敬亦负责整个小组的零部件采购工作。

## 致谢

感谢 DJI 大疆创新提供的机会，感谢 RoboMasters 夏令营组委会全体工作人员，感谢贝爷的技术指导，感谢项目管理周星宇的大力支持与帮助，感谢机械组的刘煜程所设计制造的驱动导杆，刘纯阳所设计制造的取球筒，江家敬所负责的外联、采购、出图以及机加工等工作，感谢嵌入式方向小伙伴将机械组所设计的动作实现并完美运行，感谢算法组能够实现所有的既定动作，感谢 1 组所有一起奋力前行，并肩战斗的小伙伴们，感谢所有出现在这个项目里的所有人让这个项目充满了活力。

希望这将是前行路上的一块重要的里程碑，希望能够不忘初心的走下去。

## 参考文献

1. Matrice 100 特性参数表.大疆创新官网：  
<http://dev.dji.com/cn/products/flying-platforms/matrice-100/specs>，2015 年 8 月 17 日
2. Guidance 特性参数表，大疆创新官网：  
<http://dev.dji.com/cn/products/devices/guidance/specs>，2015 年 8 月 17 日