



南方科技大学

SOUTH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

# 无人机抓捕机构的设计

指导老师：陈昀昊 邓辉

王文晖 谢济宇 黄骁 张晓宇

2018.1.14

# 目录

---

1.项目背景

2.项目目标

3.项目方案

4.结构

5.选型&设计&校核

6.总结

# 项目背景

## 无人机飞进机场净空区 一男子被铜仁凤凰机场警方行政拘留5日

贵州都市报 百家号 | 11-03 08:07

记者2日从贵州省公安厅机场公安局获悉，近日，一男子因在机场净空保护区操控无人机飞行，被铜仁机场公安行政拘留。机场公安部门提醒：严禁在机场净空保护区内放飞无人航空器，被发现会面临追责，造成严重后果将被追究刑事责任。



## 长沙黄花机场被无人机逼停13趟航班:与客机擦肩而过

发稿时间：2017-08-23 10:23:56 来源：三湘都市报 中国青年网

无人机所带来的安全隐患日益突出，需要提高对无人机紧急处置的能力。

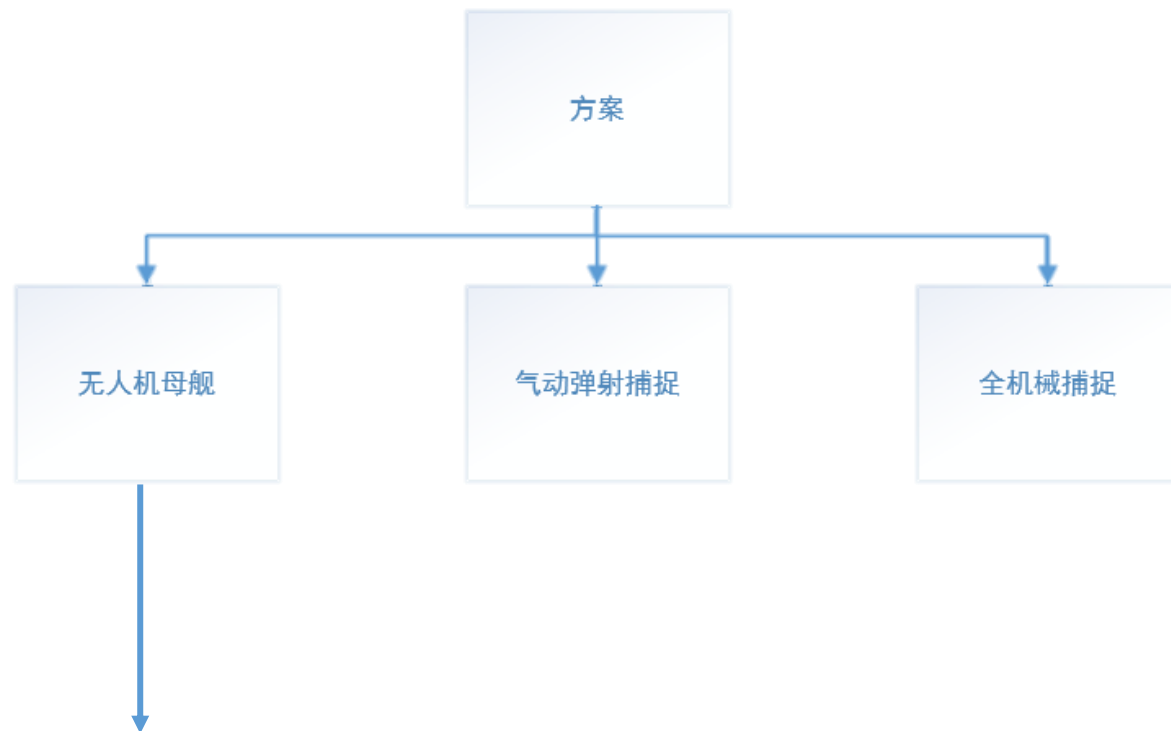
# 项目背景—现有情况&缺点



**设计一款无人机捕捉系统，需满足以下条件：**

1. 捕捉成功率较高
2. 可重复使用
3. 成本较低

# 方案选取

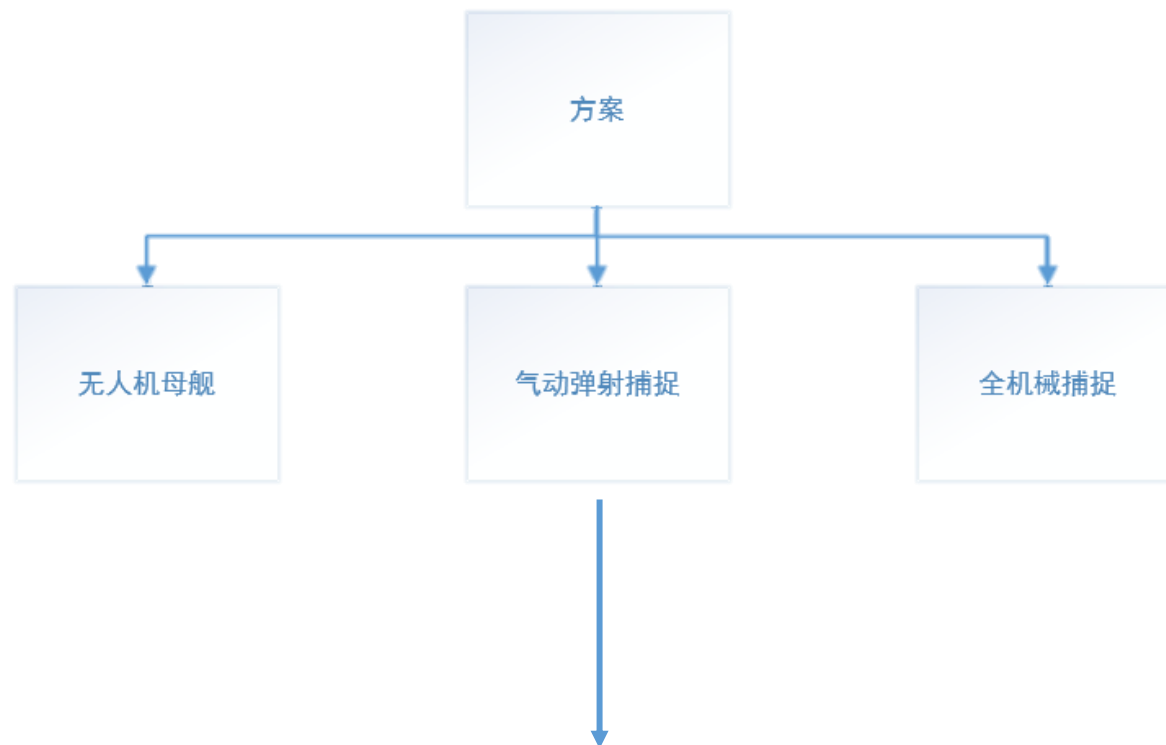
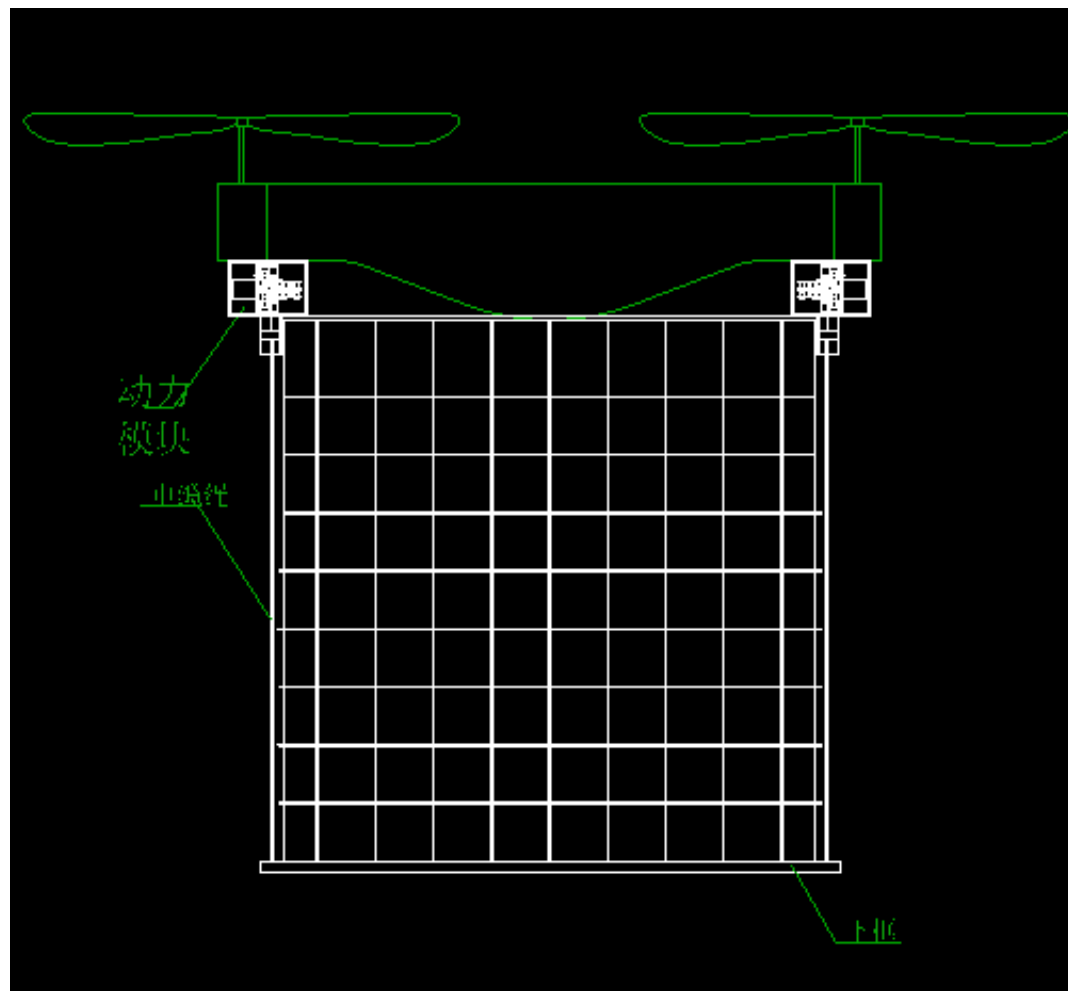


大型无人机\*1：高续航能力

小型无人机\*3：高速

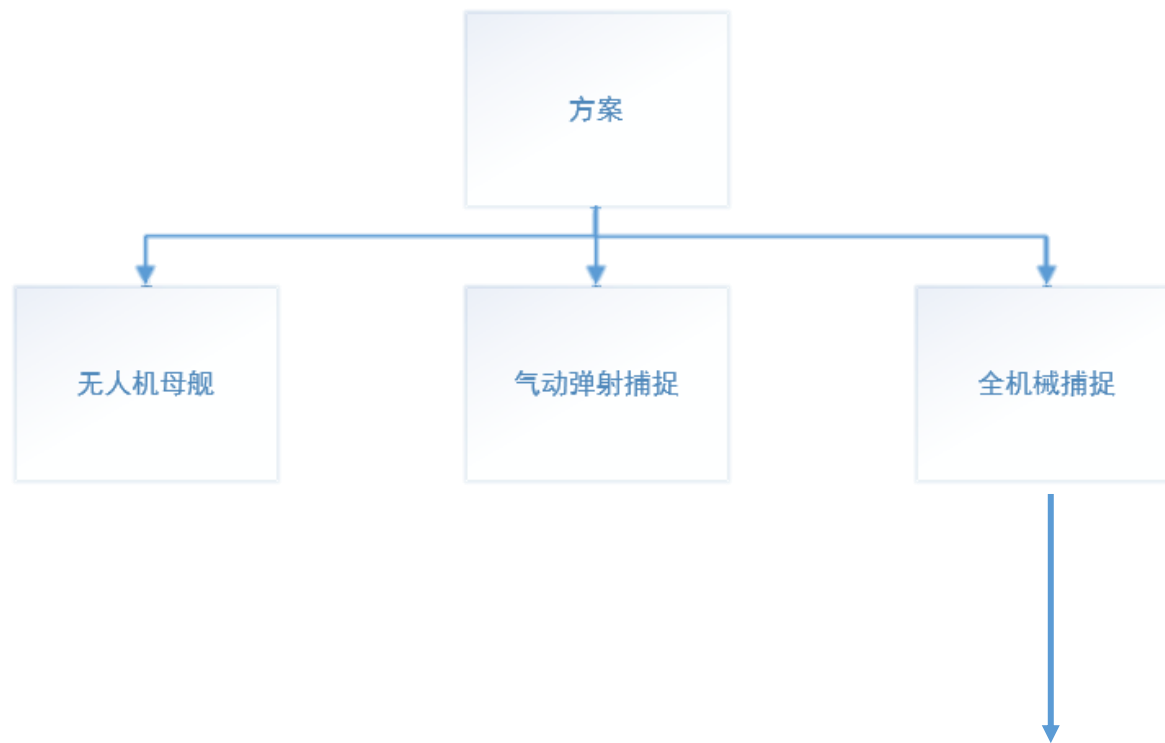
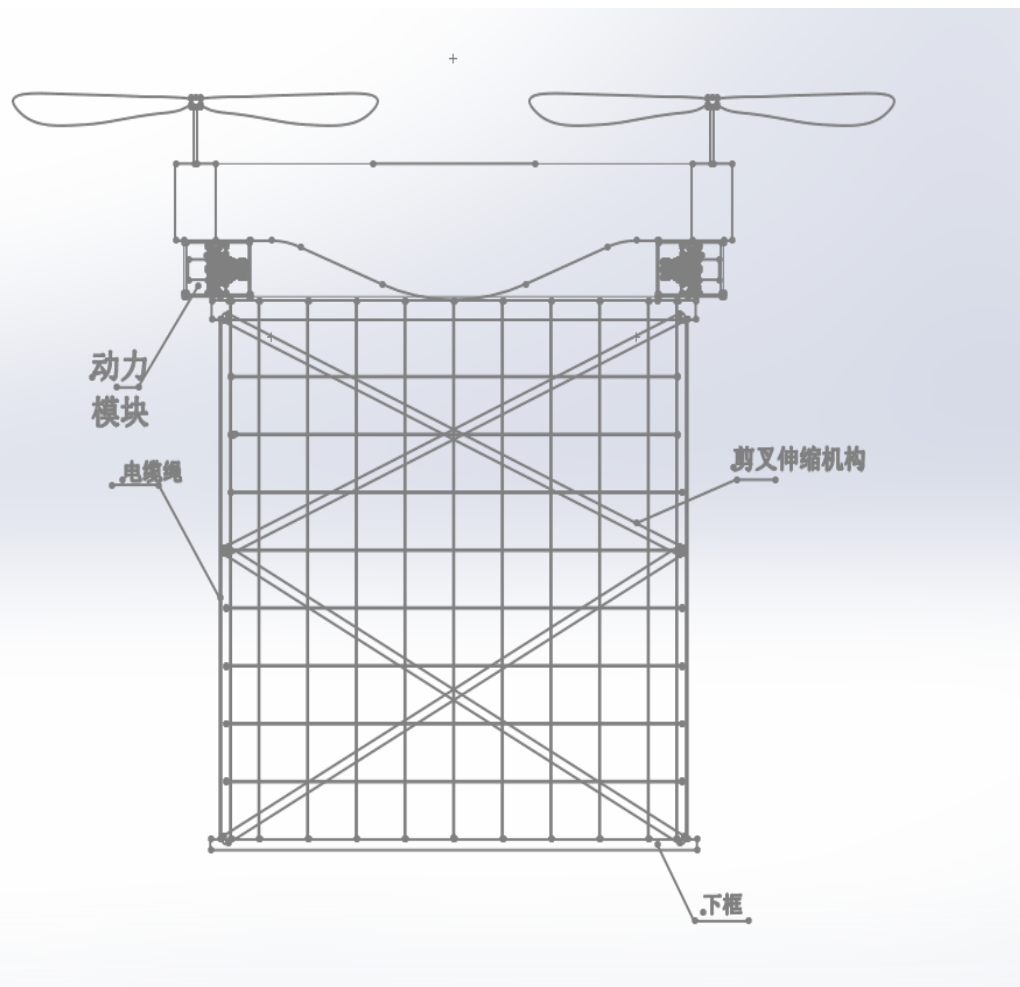
工作时，小型无人机不运行并停在大型无人机下。当大型无人机靠近目标时小无人机带网高速接近目标并缠绕。

# 方案选取



加入传感器等电子设备对目标进行锁定并逐渐靠近。运行至被抓捕无人机上方时，开始抓补，以气动将下框弹出，底部网迅速关闭，抓捕完成。

# 方案选取



加入传感器等电子设备对目标进行锁定并逐渐靠近。运行至被抓捕无人机上方时，开始抓补，使用剪叉式机构将下框迅速放下，底部网迅速关闭，抓捕完成。



# 方案选取

	成本	结构	成功率	使用难度	捕捉范围	设计难度
无人机母舰	-	-	✓	-	✓	-
气动弹射抓捕	●	●	●	✓	-	●
全机械抓捕	✓	✓	●	✓	-	✓



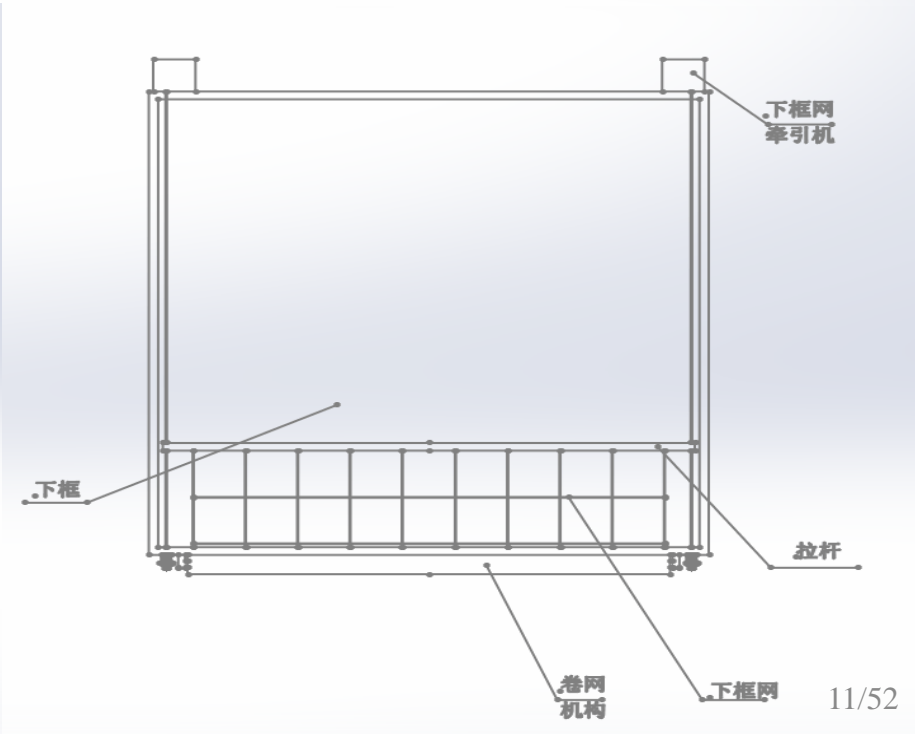
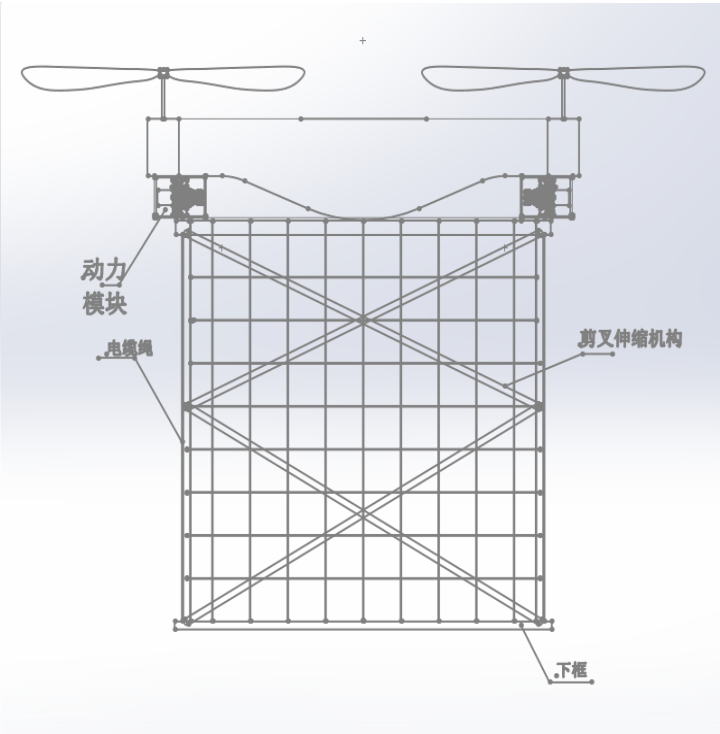
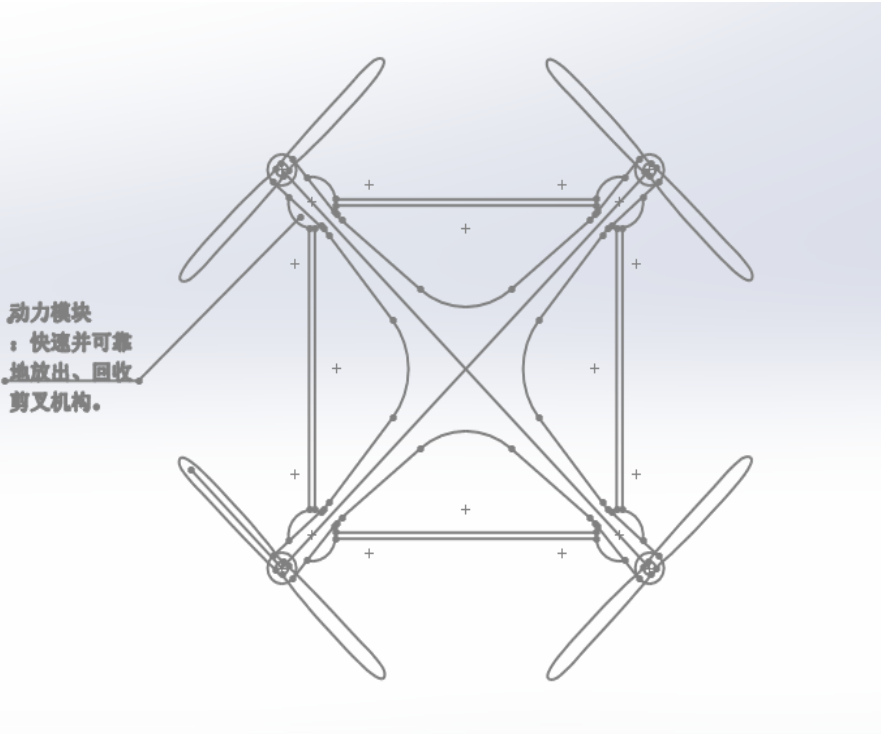
# 方案选取

	成本	结构	成功率	使用难度	捕捉范围	设计难度
无人机母舰	-	-	✓	-	✓	-
气动弹射抓捕	●	●	●	✓	-	●
全机械抓捕	✓	✓	●	✓	-	✓

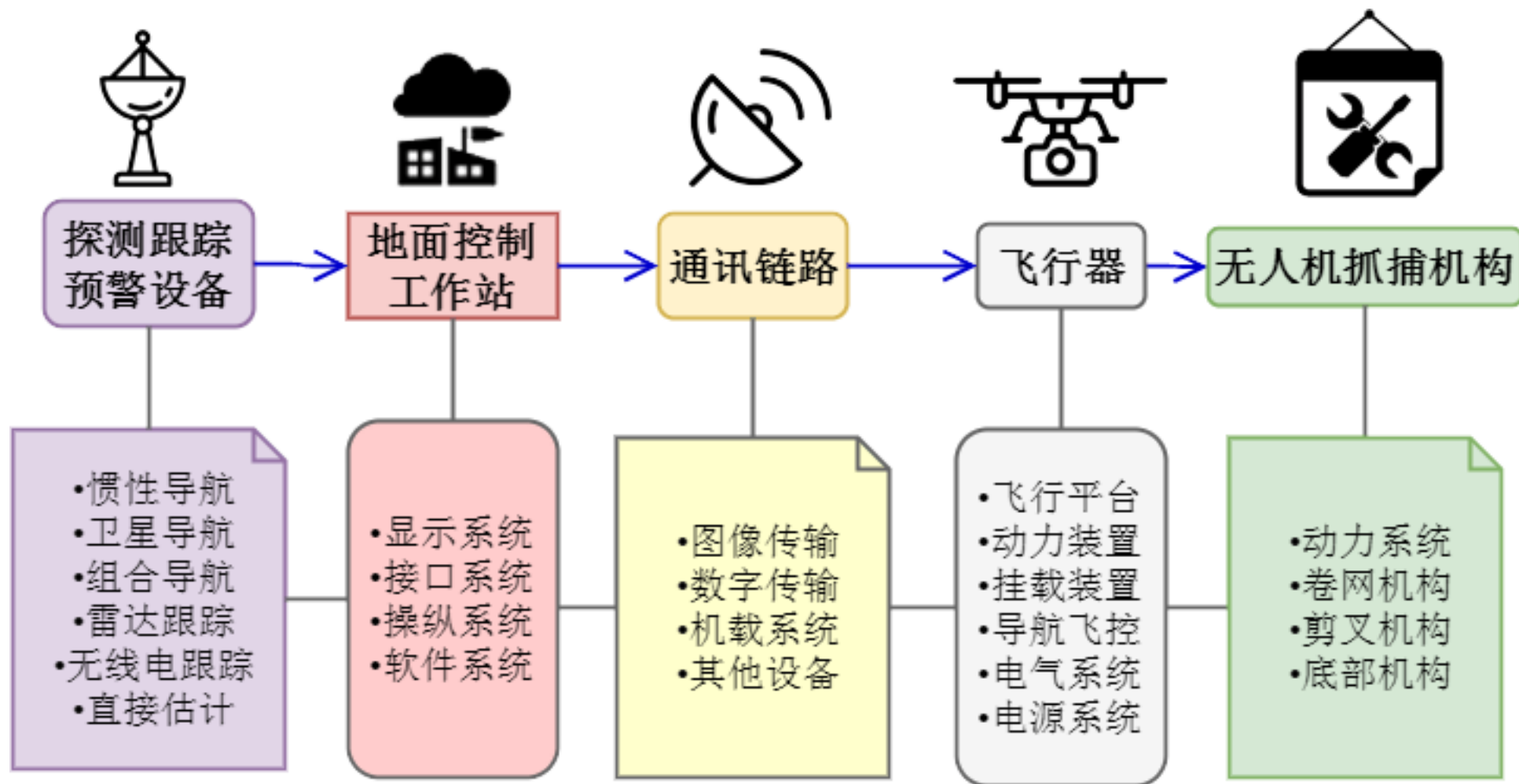
# 项目方案

部件	卷网机构	剪叉机构拉伸动力系统	剪叉机构	网	框架
----	------	------------	------	---	----

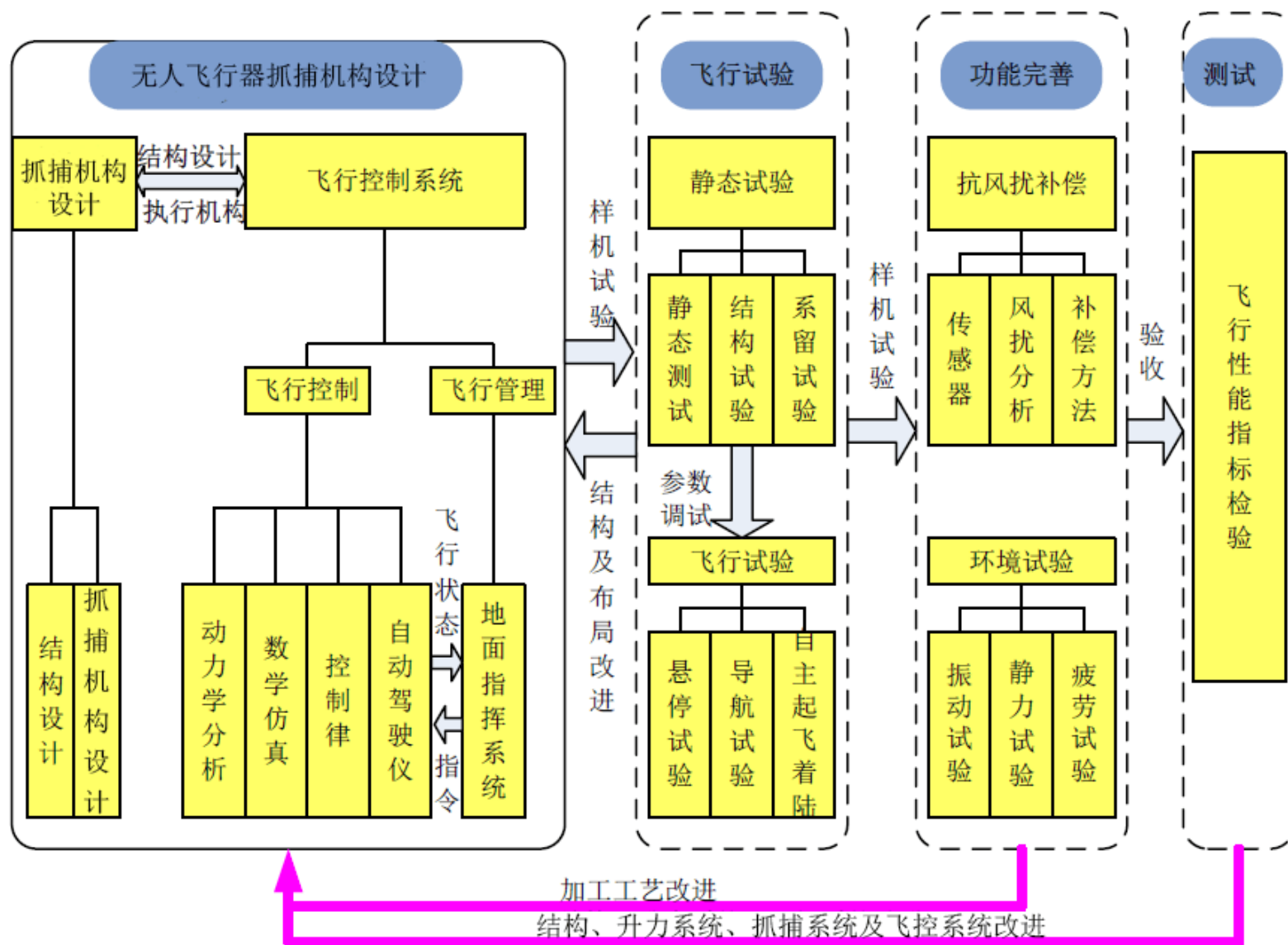
优缺点	成本	结构	成功率	使用难度	捕捉范围	设计难度
全机械抓捕	✓	✓	●	✓	-	✓



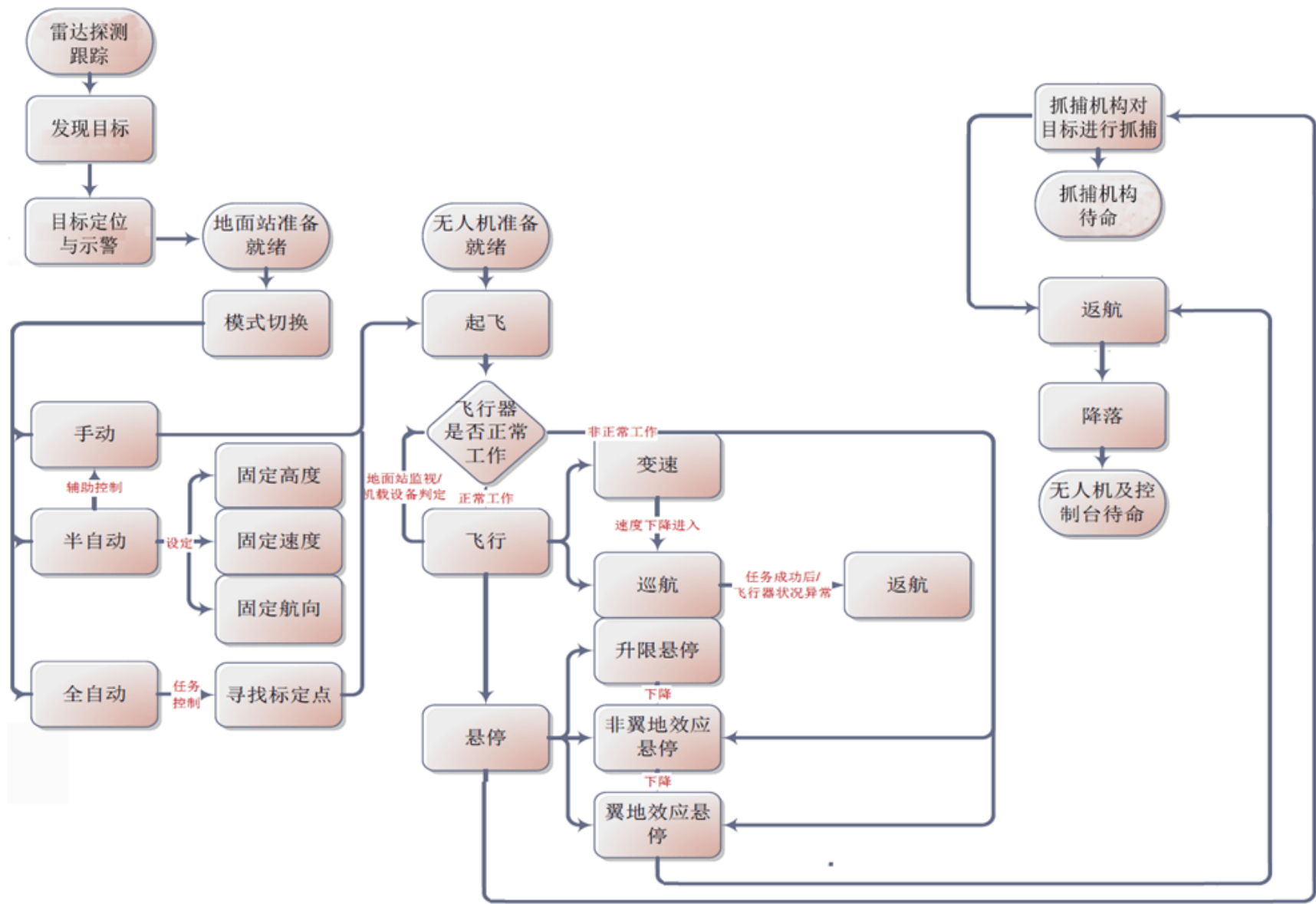
# 项目方案——无人机抓捕系统组成框架



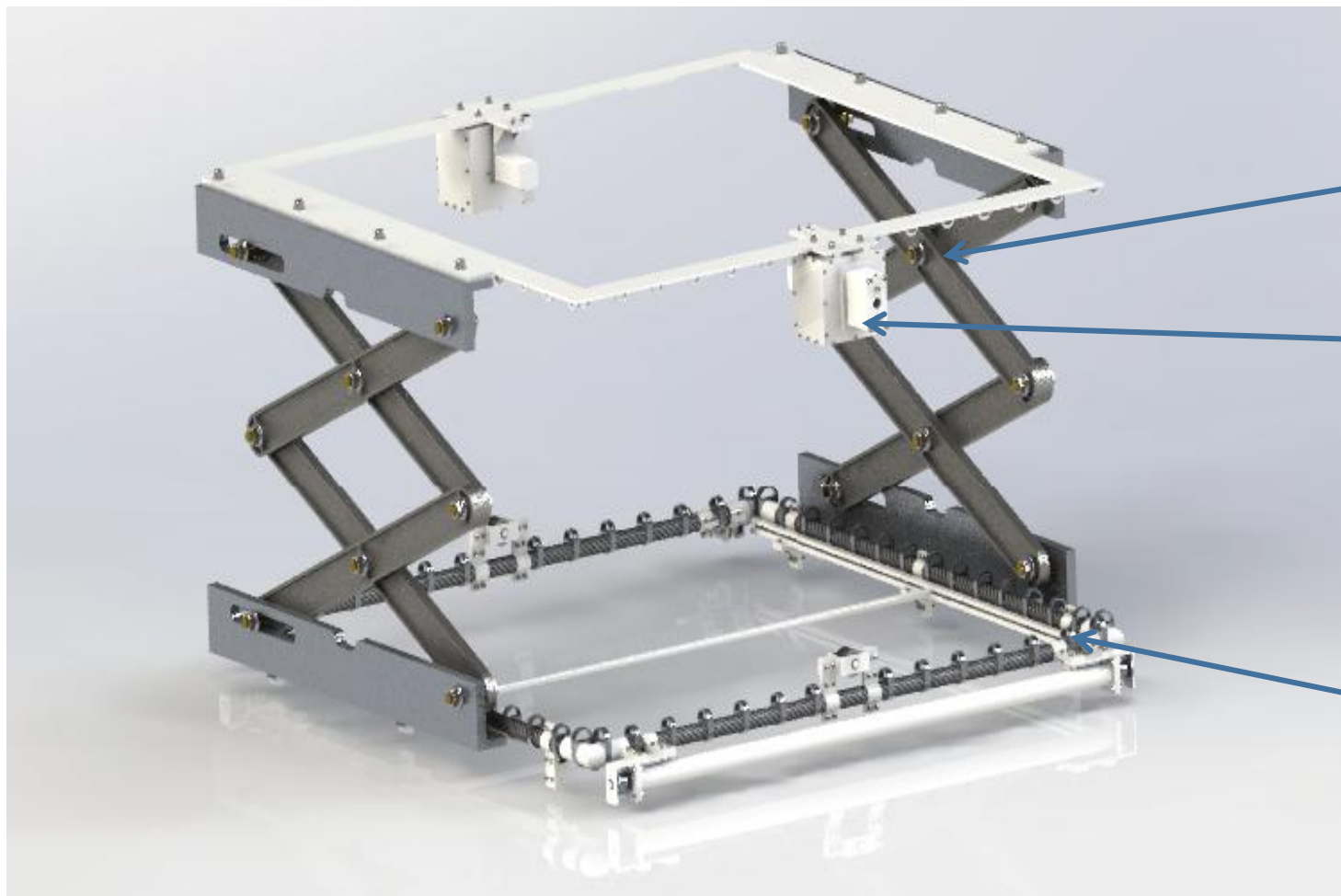
# 项目方案——无人机抓捕系统实施步骤



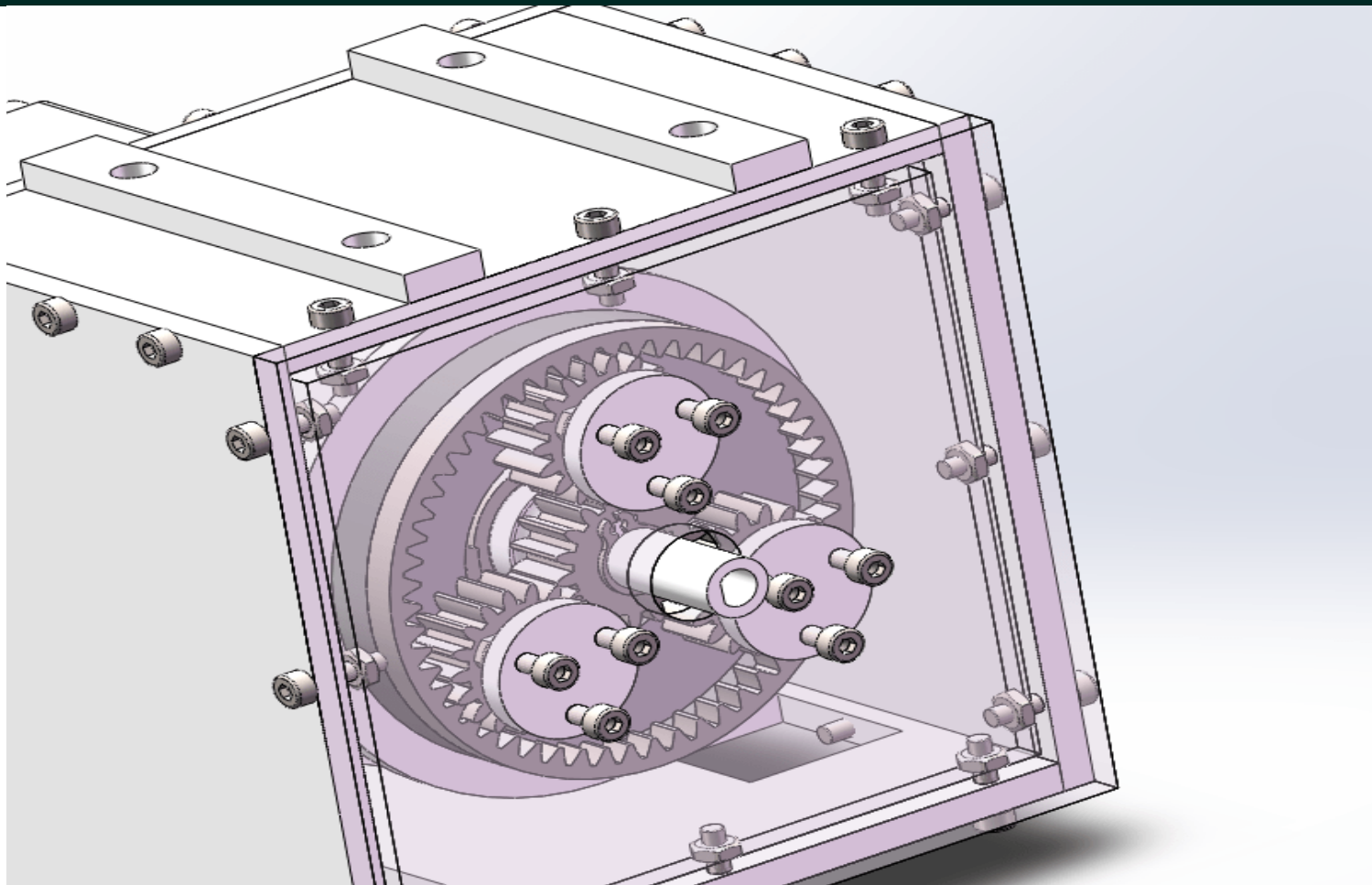
# 项目方案——无人机抓捕系统工作流程图



# 结构

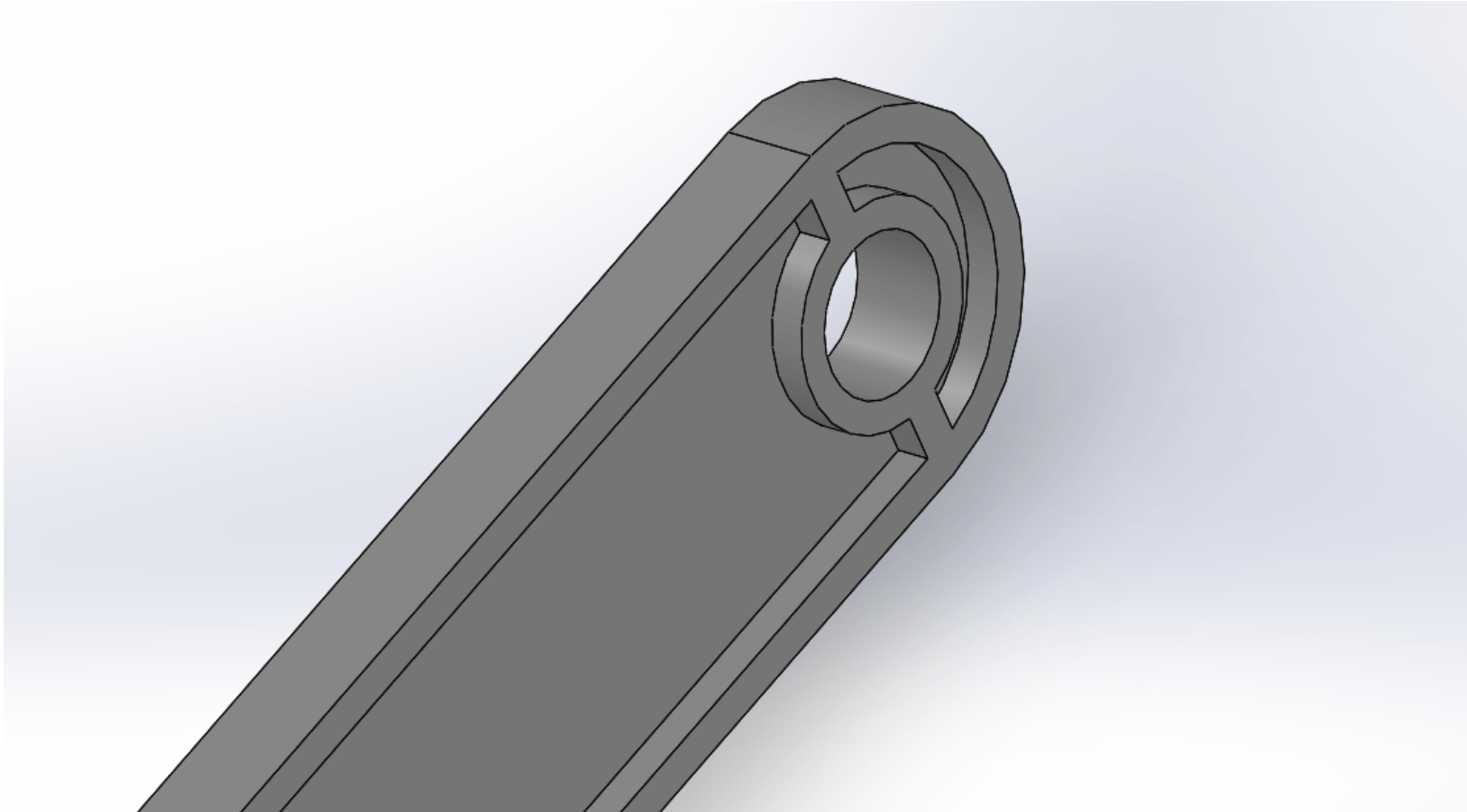


- 剪叉机构
- 动力系统
- 网
- 底部机构

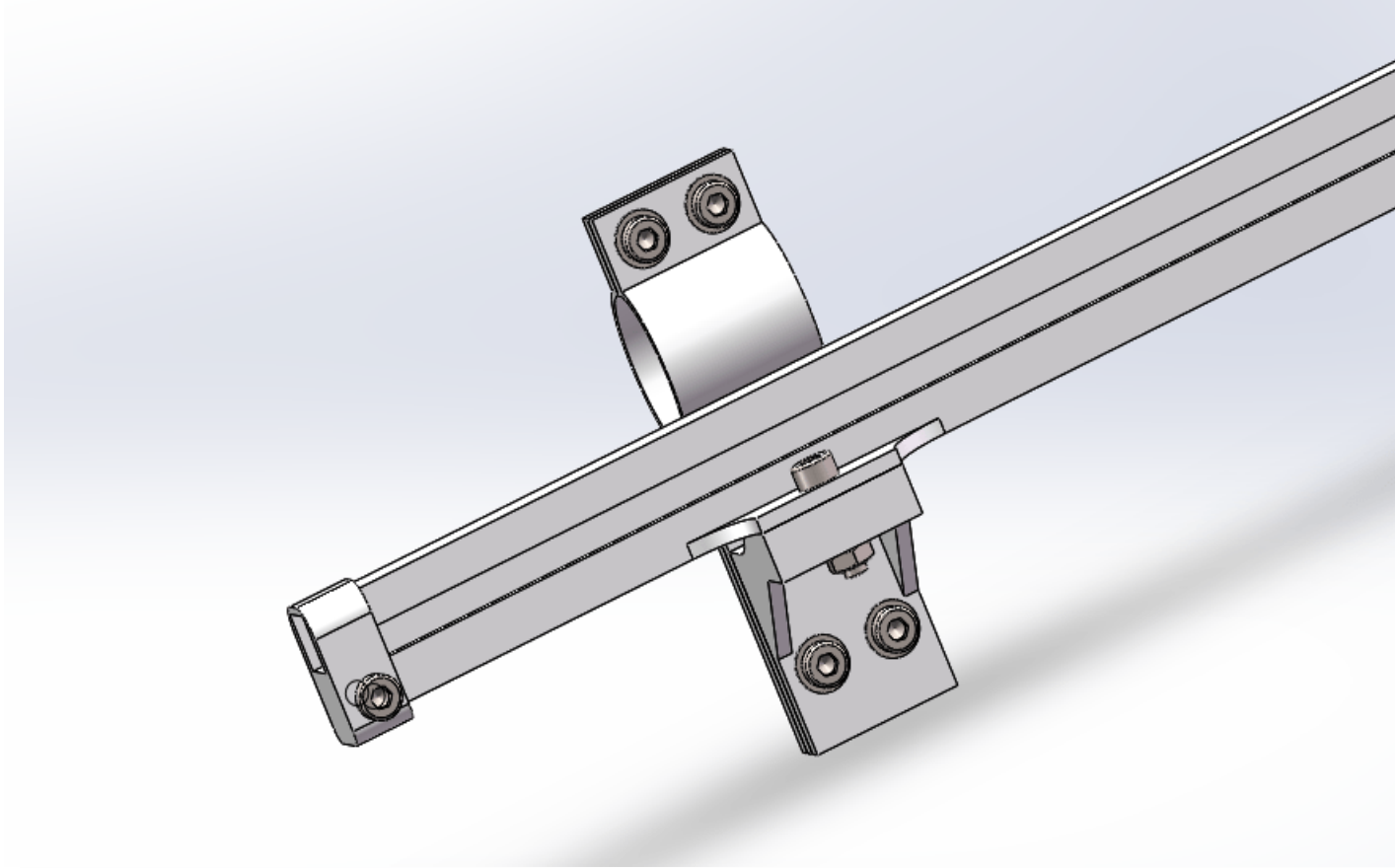


动力系统



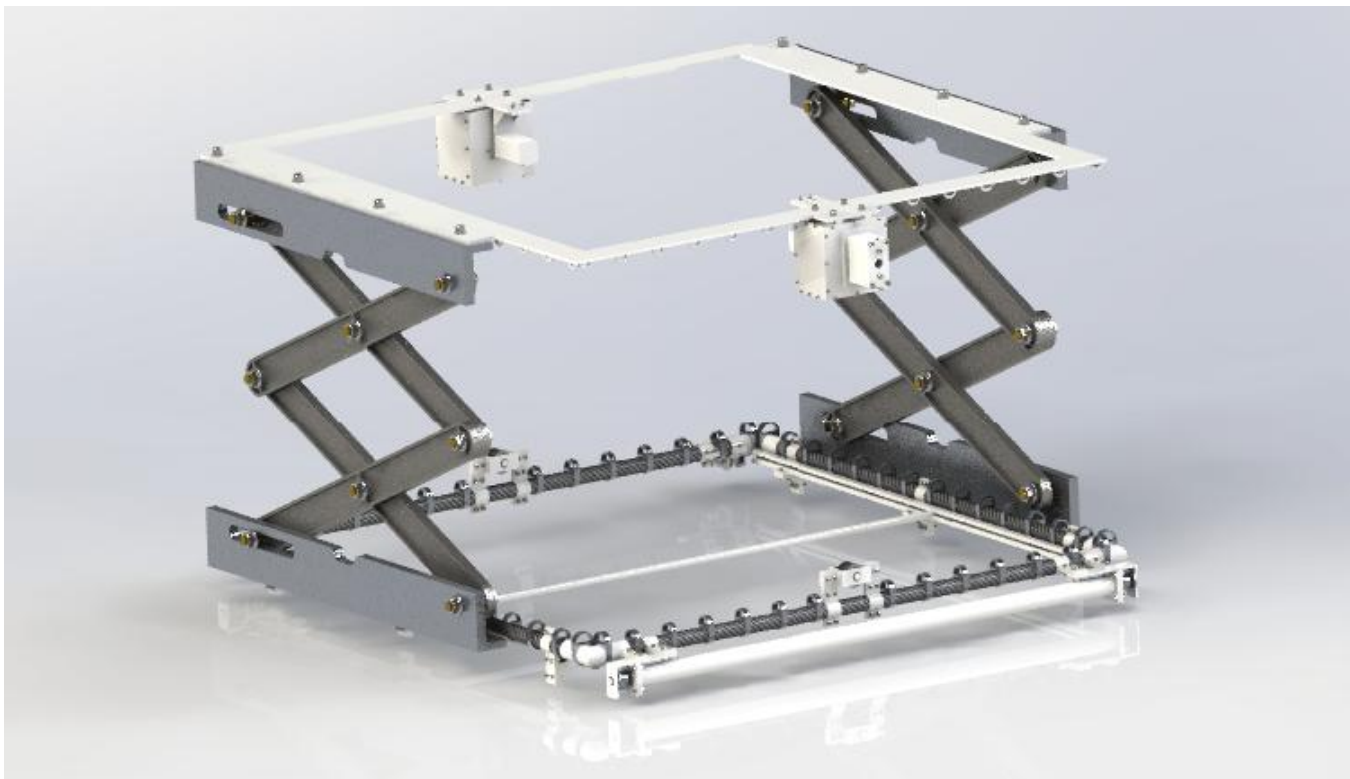


剪叉机构



底部框架

# 选型&设计&校核



- 网
- 底部机构
- 剪叉机构
- 剪叉机构动力系统

# 选型&设计&校核—网

- 失效模式：

1. 因网孔尺寸过大，无法对小尺寸无人机进行有效阻拦
2. 无人机的力过大导致网损坏

## 1. 网

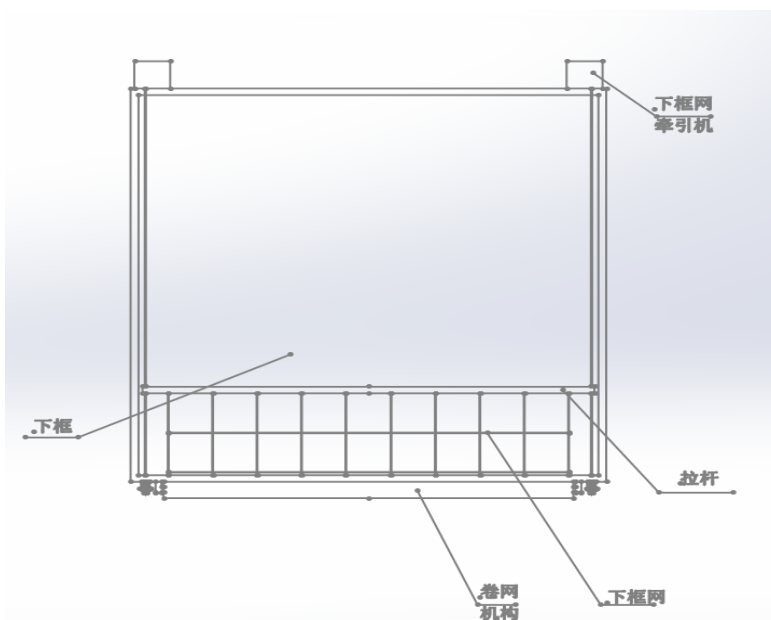
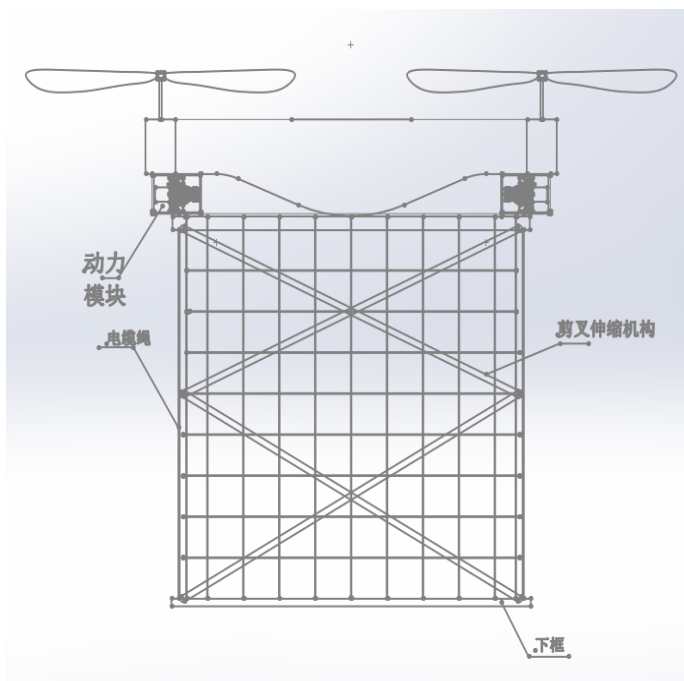
### 1.1 网受力

1.11 运载无人机的拉力计算

1.12 无人机之间出现相对运动时的短时冲击力计算

1.13 螺旋桨与网的剪切力&挤压力计算

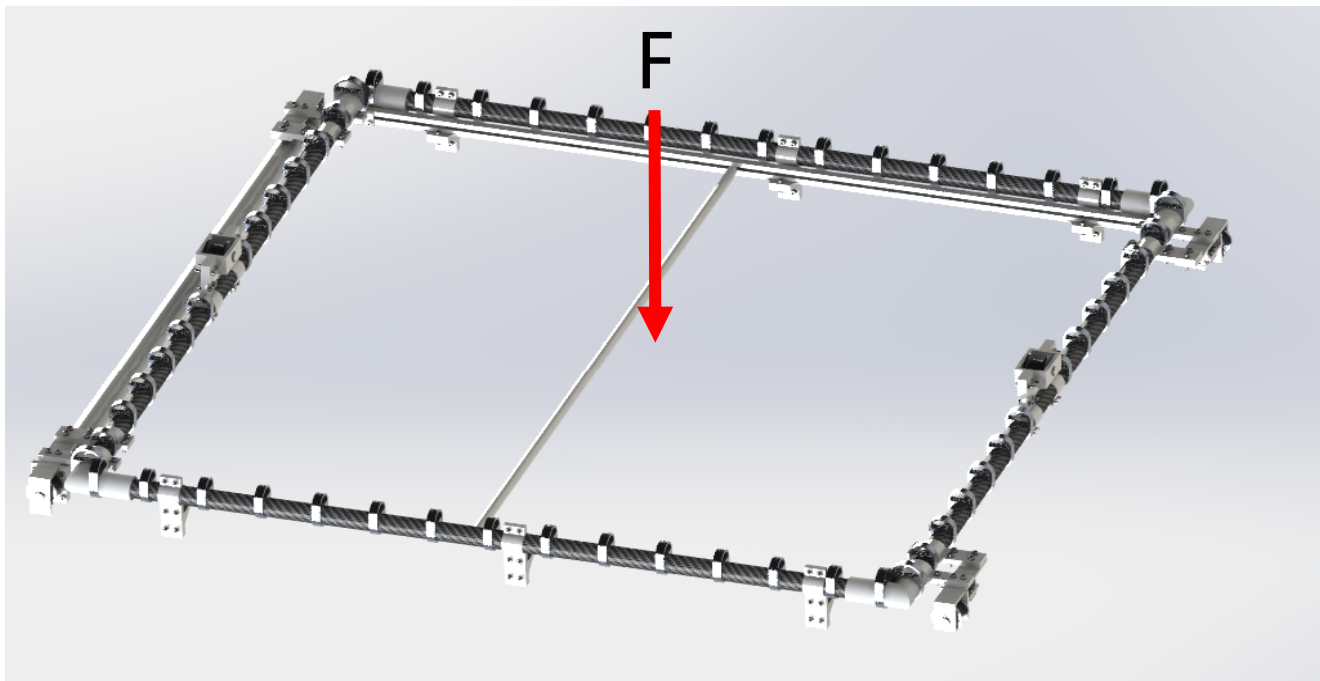
### 1.2 网选型



# 网受力

## 1. 运载无人机的力

当捕捉成功时，需给被捕捉无人机提供重力以及运动的加速度。



最大合力：

$$F_0 = mg + ma$$

DJI inspire：

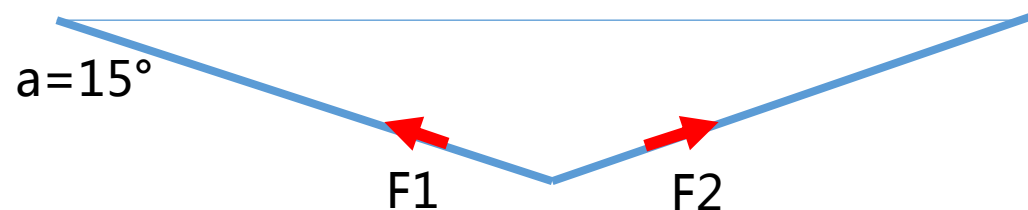
$$m = 4\text{kg}$$

假设最大加速度：

$$a = 4\text{m/s}^2$$

有15根绳与两侧接触

$$F_1 = F_2 = F_0 / (15 \times 2 \times \sin 15^\circ) = 8\text{N}$$

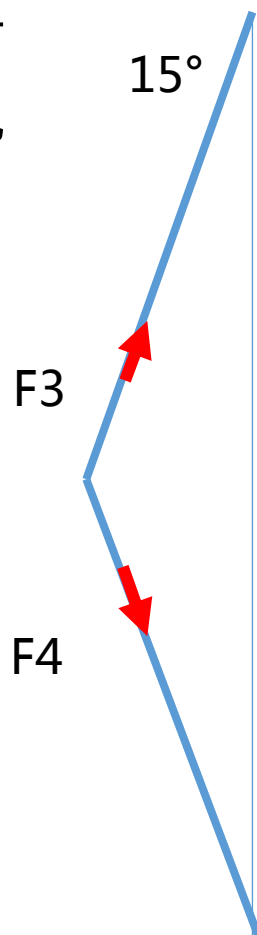


## 2. 无人机冲力——两无人机之间意外出现相对速度

在正常情况下，两无人机在整个抓捕过程中相对静止，当出现以下情况时，两无人机可能会出现相对速度导致碰撞而产生短时冲力：

- 无人机本身飞行误差
- 未准确测量被捕捉机器的速度
- 动力系统差别

在以上误差发生时，相对速度较小，设为1m/s。



相对速度：

$$V=1\text{m/s}$$

冲撞时间：

$$t\approx 0.1\text{s}$$

DJI inspire：

$$m=4\text{kg}$$

动量守恒：

$$F3 \cdot t = m \cdot v$$

$$F3 = F4 = 5.7\text{N} < F1$$

故以F1作为标准进行设计

# 网受力

网最大受力为8N，选取尼龙（PA6）作为网的材料，其抗拉强度为74~76Mpa

尼龙网中每根绳直径应满足以下要求：

$$D0 \geq \sqrt{\frac{4F}{P\pi}} = 0.369\text{mm}$$

故选取的尼龙网直径应大于0.369mm。

# 网受力

## 3. 螺旋桨与网的剪切力

被捕捉无人机桨叶有一定概率剪切捕捉网，在这种状态下：

- 设定无人机电机堵转扭矩
- 当桨叶被堵转且网刚好被切断时，切割点与电机的距离小于可接受值
- 取可接受值d为5mm



电机功率与转速的关系：

$$P = T \times n / 9550$$

设电机参数如下：

- KV880
- 最大功率：200w
- 额定电压：11.1V

$$T_{\max} = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

剪切面积： $\pi \times D^2 \div 4$

剪切强度：取25Mpa

$$D1 \geq \sqrt{\frac{4T}{\pi d P}} = 1.43 \text{ mm}$$

则可知，当直径大于D的网被螺旋桨剪切时，大概率不会被切断。





## 4. 螺旋桨与网的挤压力

由于螺旋桨与网接触面积较小，可能会出现局部挤压应力过大的情况：

- 取挤压应力最大值
- 求能满足挤压应力的网绳直径
- 取可接受值d为5mm



设电机参数如下：

- KV880
- 最大功率：200w
- 额定电压：11.1V

$$T_{\max} = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_{\max} = 40 \text{ N}$$

桨叶厚度h：取1mm

挤压强度：取31Mpa ( PA6 )

$$D2 \geq \frac{F}{Ph} = 1.29 \text{ mm}$$

$$D1 > 1.43 > D2 > D0$$

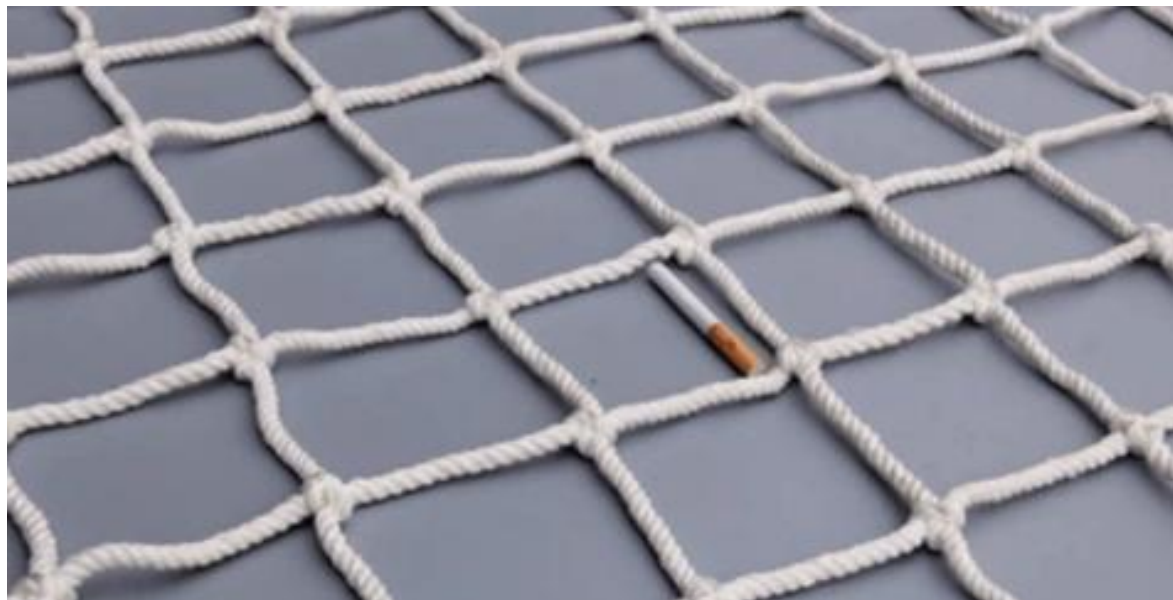
故当 $D > 1.43 \text{ mm}$ 时，尼龙网既不会被挤压破坏，又不会被剪切与拉伸破坏。



# 网选型

## 尼龙网尺寸

边长30mm	粗4mm
边长50mm	粗5mm
边长100mm	粗10mm



## 飞行器

起飞重量	300 g
尺寸	143 × 143 × 55 mm
对角线距离 (不含桨)	170 mm
最大上升速度	运动模式 : 3 m/s

# 选型&设计&校核—底部机构

- 底部机构包含以下部分：

1. 底部框架
2. 卷网机构
  - 2.1 弹簧
  - 2.2 电机
  - 2.3 轴承

- 失效模式

1. 框架受力过大导致损坏
2. 弹簧不能将卷网收回
3. 电机导致卷网速度过慢从而抓捕失败
4. 轴承受力导致损坏

## 2. 底部机构

### 2.1 底部框架

2.11 框架受力计算

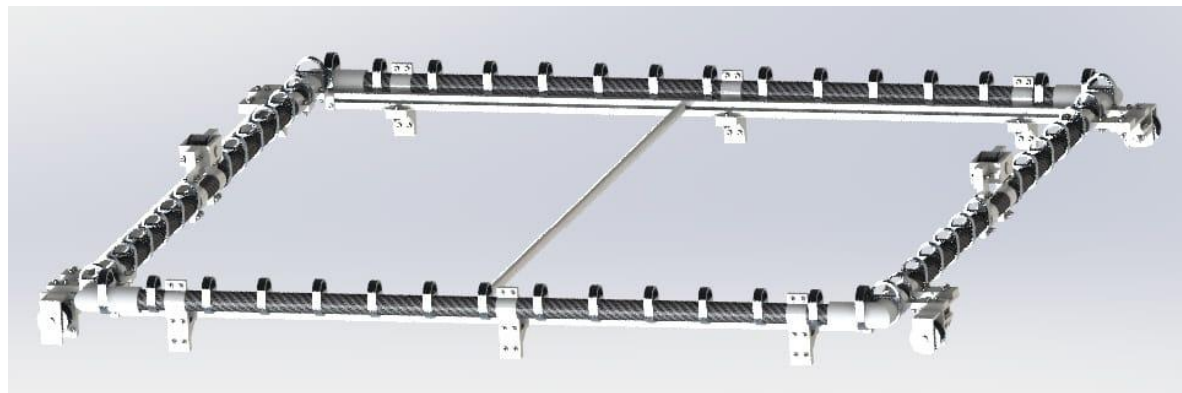
2.12 框架材料选取&尺寸设计

### 2.2 卷网机构

2.21 弹簧选型

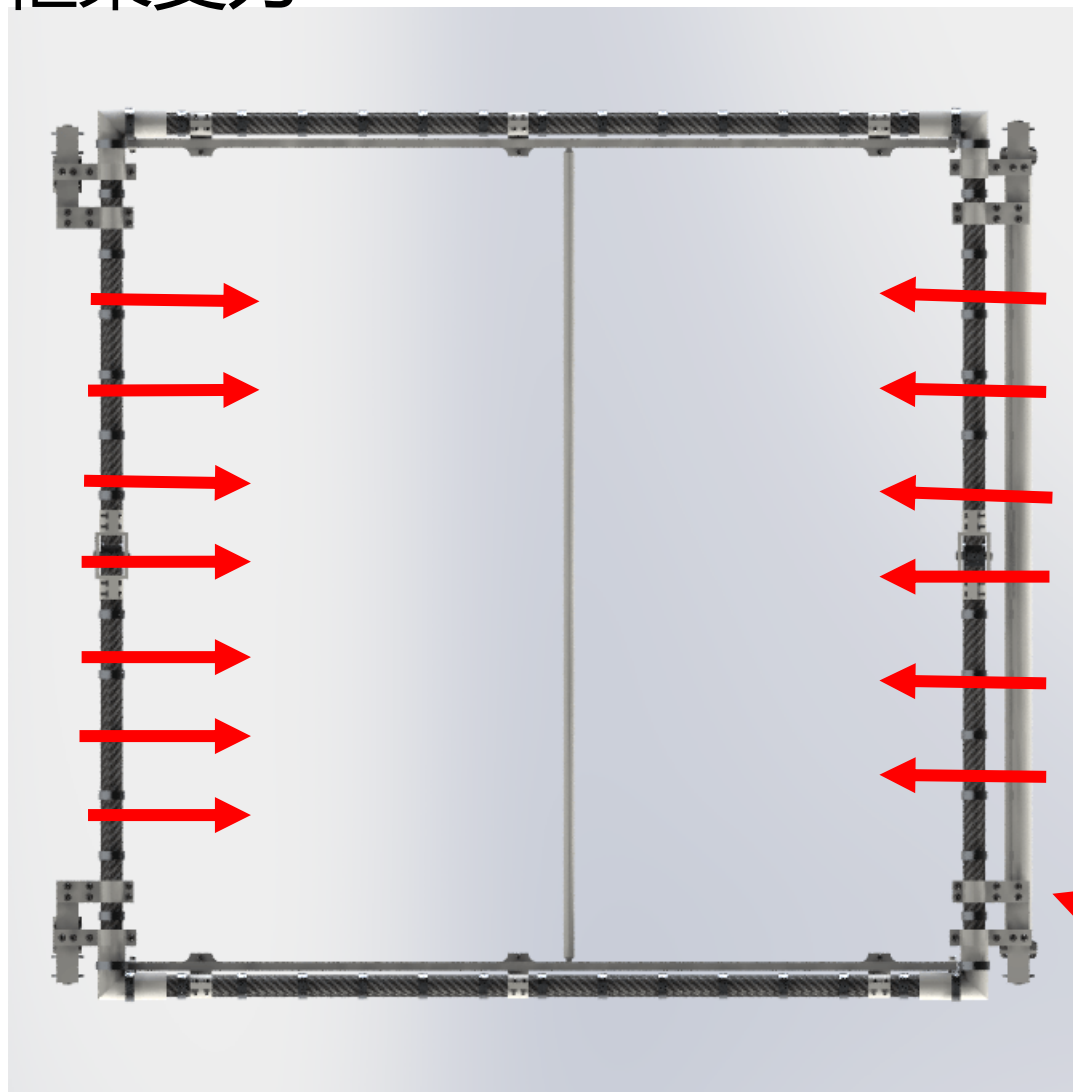
2.22 电机选型&卷网时间设计

2.23 轴承选型



# 底部机构

## 1. 框架受力



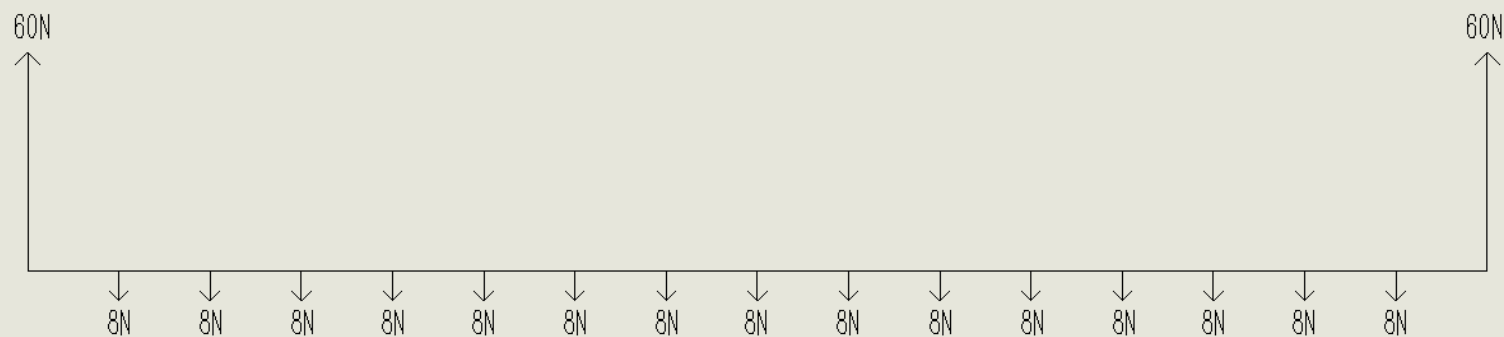
尼龙网受力已知，由于力最终传递到框架上，故框架受力已知。

当受力最大时，框架两侧每侧有15个受力点，每个点受力8N，力的方向与框架平面成 $15^\circ$ 夹角。

主要受力杆

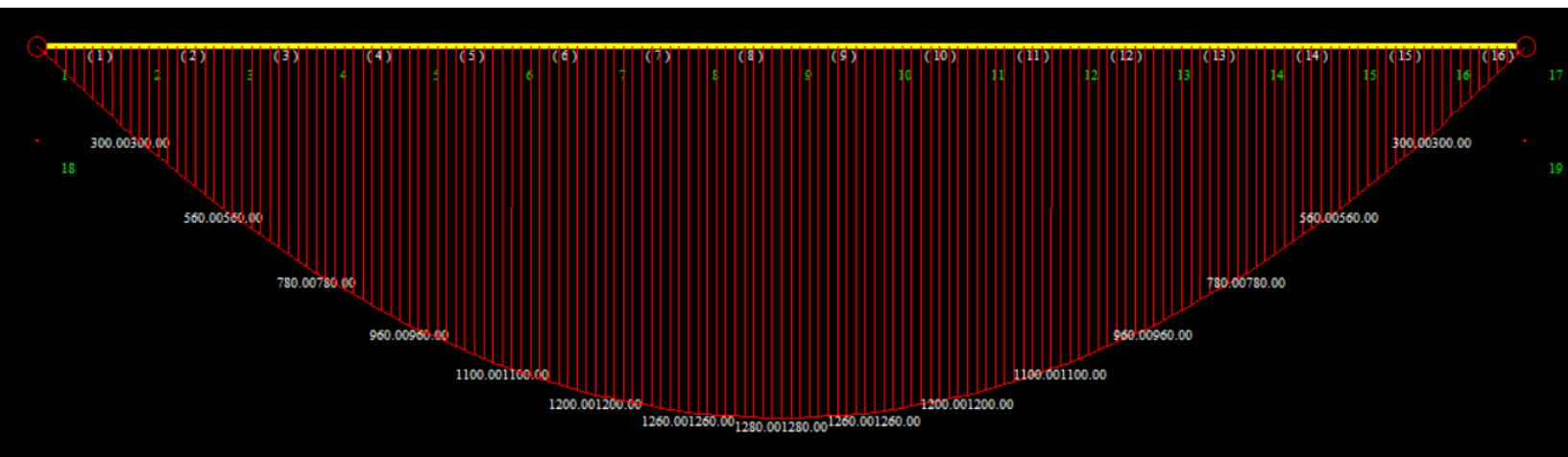
# 底部机构

## 1. 框架受力——主要受力杆



主要受力杆最大受力情况如左图所示。

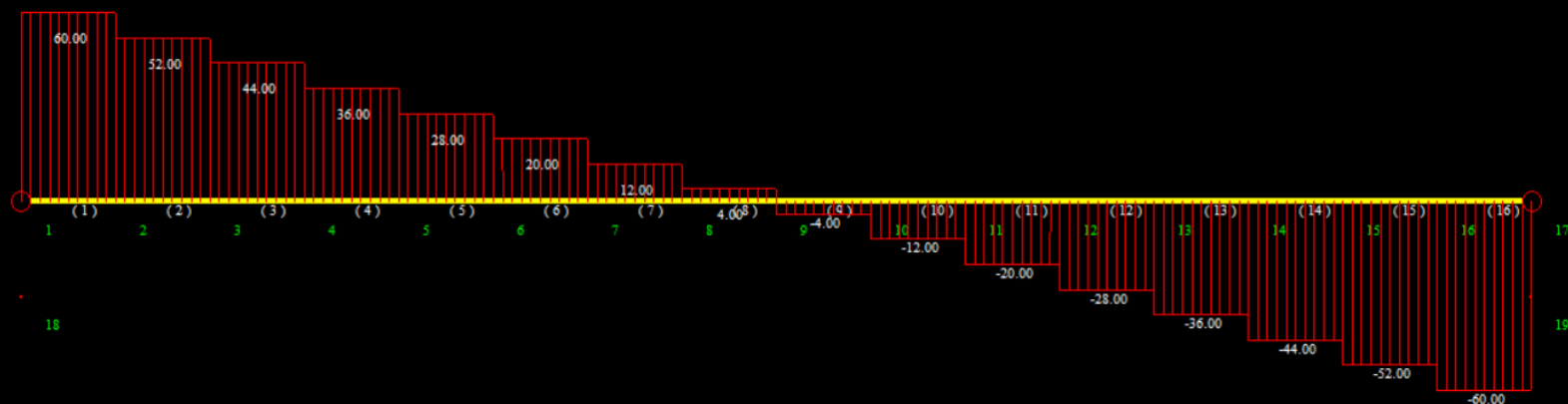
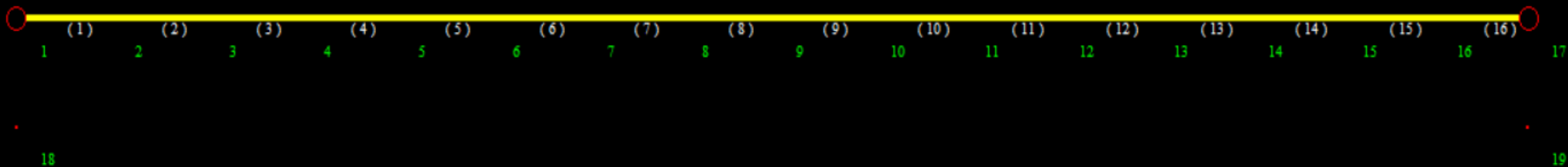
力的间隔相等，均为5cm



弯矩分布如作图所示，可看出，杆所受最大弯矩为1280N\*cm

# 底部机构

## 1. 框架受力——主要受力杆

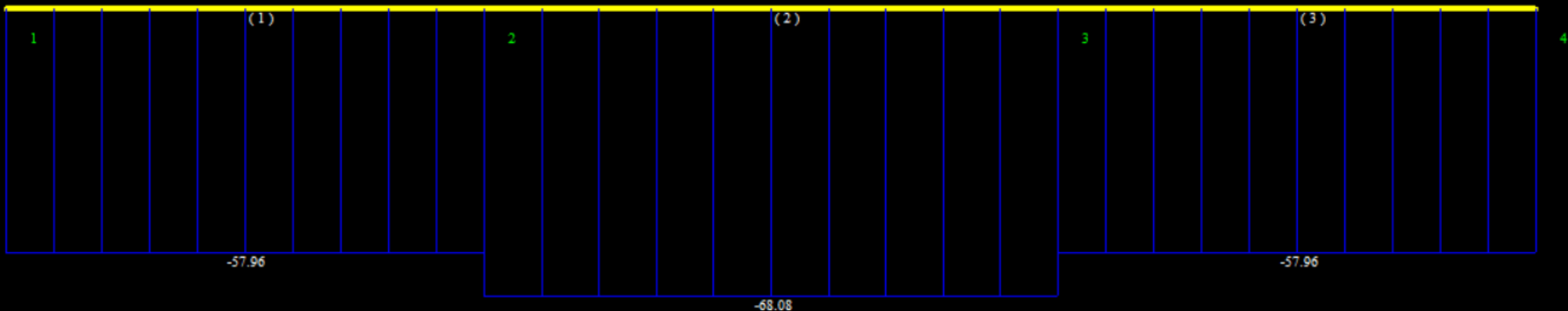


轴向力如上图所示，可知整杆无轴向力

剪力分布如作图所示，可看出，杆所受最大剪力为60N

# 底部机构

## 1. 框架受力——侧杆



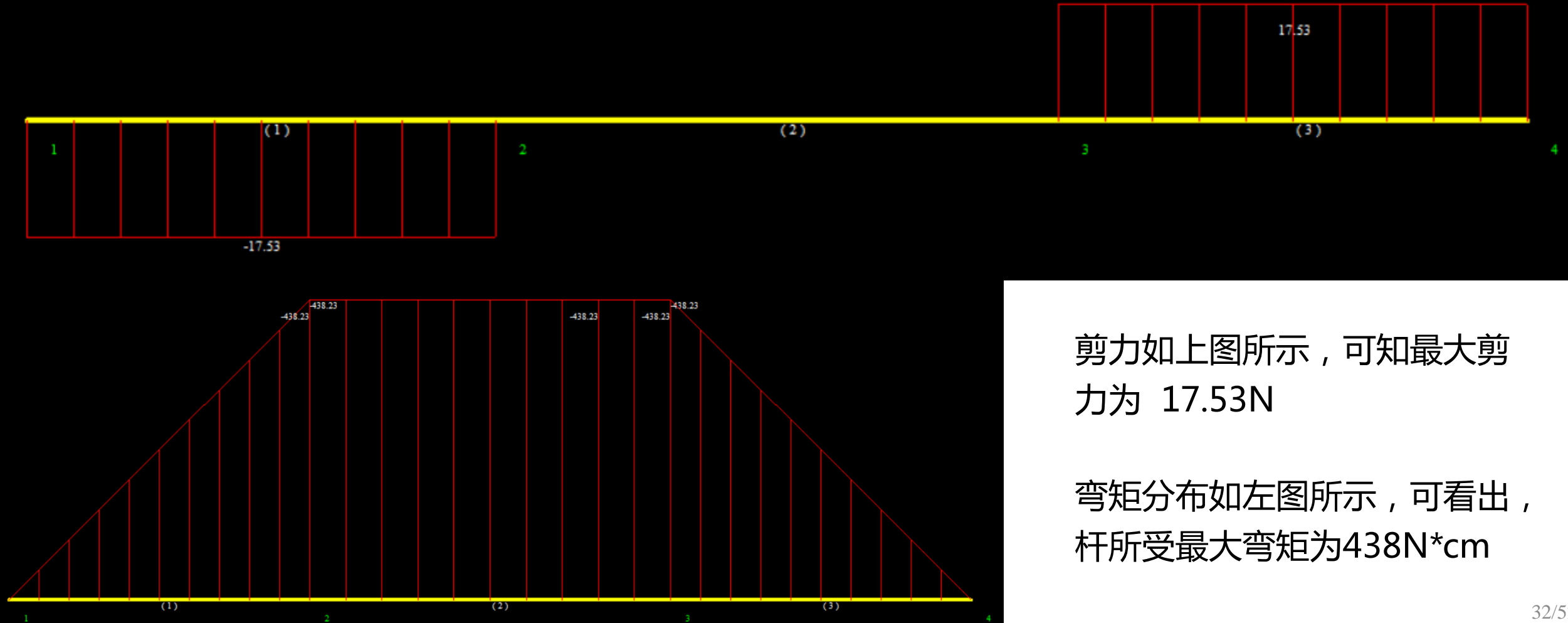
轴向力如上图所示，可知最大力为68.08N

最大受力情况如左图所示。

\*设每根杆及其附属件质量400g

# 底部机构

## 1. 框架受力——侧杆



剪力如上图所示，可知最大剪力为 17.53N

弯矩分布如左图所示，可看出，杆所受最大弯矩为438N\*cm



# 底部机构

## 2. 框架材料选取 & 尺寸设计

由于各杆完全一致，故取上述计算结果的最大值作为设计参数。

最大弯矩：1280N\*cm

最大剪力：60N

最大轴向力：68N

由于无人机载荷限制，对系统质量要求较高，故首先选取低密度的POM作为底部框架材料进行尝试。

考虑到杆件上需有足够的空间安装滑轨及挂钩，选用空心管的结构。

取压缩强度：60Mpa， $S_{min1} = 68N / 60Mpa = 1.1 \times 10^{-6} m^2$

取弯曲强度：88Mpa， $W_z = \frac{\pi D^3}{32} (1 - \alpha^4)$ ， $W = \frac{M}{\sigma}$ ，取 $\alpha = 0.8 \rightarrow D > 13.6mm$

取剪切强度为：30Mpa， $S_{min2} = \frac{60N}{30Mpa} = 2 \times 10^{-6} m^2 > S_{min1}$

杆尺寸：杆件上需有足够的空间安装滑轨及挂钩，同时需要一定的强度冗余，选取外径 $D = 20mm$ ，内径 $d = 16mm$ 进行设计，此时截面积为 $1.1 \times 10^{-4} m^2 \gg S_{min}$

# 底部机构

## 3.弹簧选型

当网收回时，卷网机构工作，弹簧将网收回。  
此时，由于仅需克服导轨滑动摩擦力，故力的需求为小量。  
选取涡卷弹簧作为卷网弹簧。

## 4.电机选型&卷网时间设计

电机需提供的力包括：

- 1.弹簧的拉力
- 2.滑动摩擦力

均为小量，为降低设计质量，选取小型直流电机拉动卷簧。

卷网机构周长62.8mm，则需转动13圈可将网完全拉出，设拉出时间 $< 2s$ ，  
则电机转速 $n > 390$ 圈/分钟，取480转/分钟，则此时，所选电机参数如下：

电压 DC/V	空载转速 rpm/min	负载转速 rpm/min	额定力矩 kg\cm	额定电流 MA	堵转力矩 kg\cm	堵转电流 MA	减速比 1:00
12	600	480	0.40	300	3.20	300	50



吴江市奥特精密五金厂

www.aoteth.com

全新N20减速马达



金属齿轮正反转

34/52

# 底部机构

## 5.轴承选型



由于此处轴承仅受径向载荷或轴向载荷相对可忽略，则有：

$$P = F_r = 60\text{N}$$

所需的径向基本额定动载荷：

$$C_r = \frac{f_p \times P}{f_t} \left( \frac{60n}{10^6} L_h \right)^{\frac{1}{e}}$$

轻微冲击， $f_p$ 取1.1；轴承工作温度为室温， $f_t$ 取1。

设最大转速 $n=600$ 转/分，使用寿命 $L_h=5000$ h。

$$C_r = \frac{f_p \times P}{f_t} \left( \frac{60n}{10^6} L_h \right)^{\frac{1}{e}} = \frac{1.1 \times 60}{1} \left( \frac{60 \times 600}{10^6} \times 5000 \right)^{\frac{1}{3}} = 372.65\text{N}$$

轴径6mm，查机械设计手册，选取628/6轴承，其 $C_r=1080\text{N} > 372.65\text{N}$

# 选型&设计&校核—剪叉机构

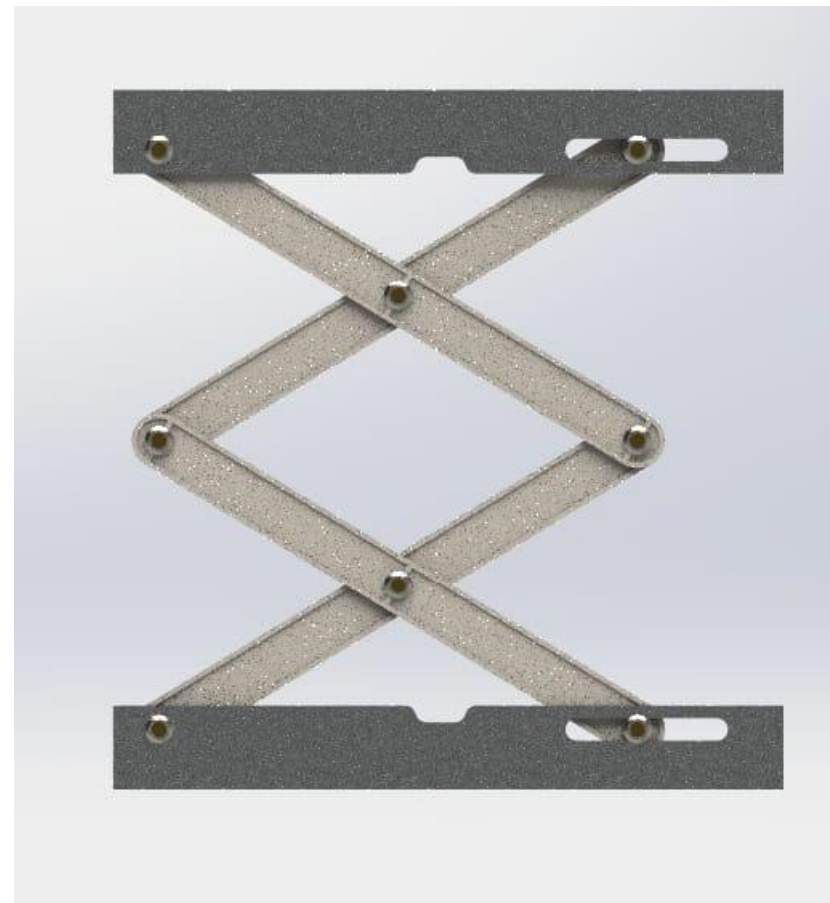
- 失效模式

- 1.应力过大导致形变&损坏

- 3. 剪叉机构

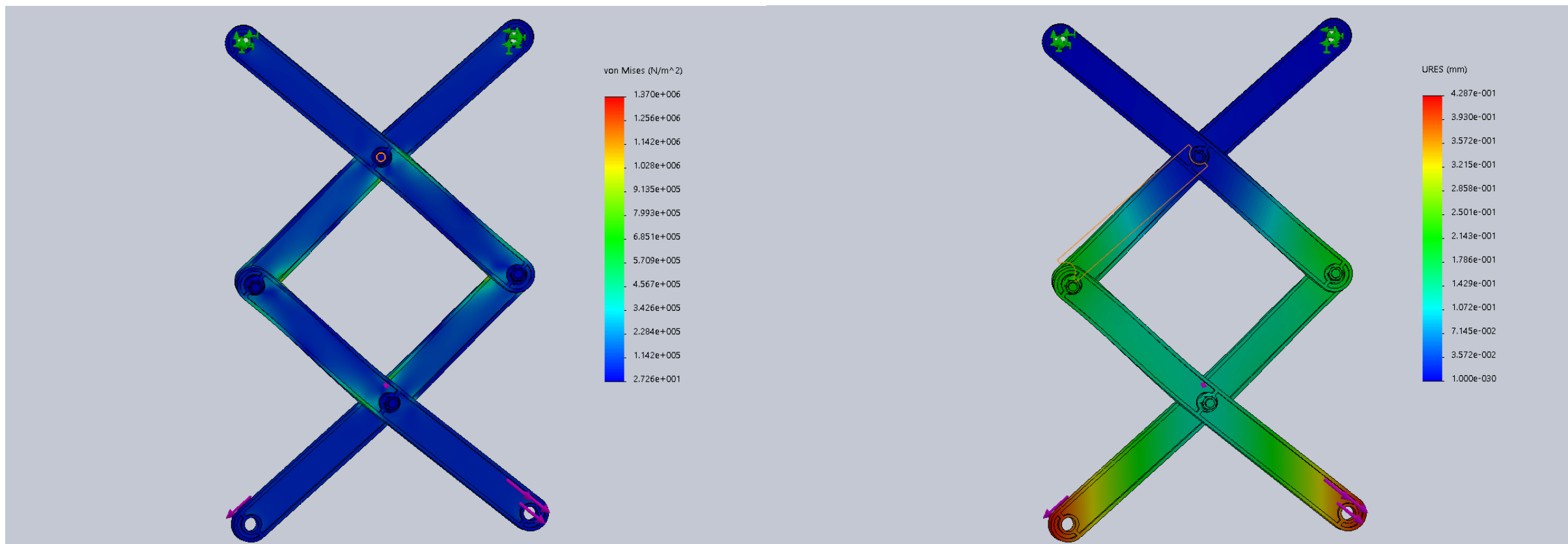
- 3.1材料选取

- 3.2剪叉机构仿真校核



# 剪叉机构

## 1.剪叉机构静力仿真



算例设置：上方两孔固定，下方施加静力（19.8N）。

材料: POM

结果：如图，最大应力 $<1.37 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ；最大位移 $<4.3 \times 10^{-1} \text{ mm}$ ，满足使用需求

# 选型&设计&校核—剪叉机构动力系统

- 剪叉机构动力系统主要包含以下部分：

- |           |        |
|-----------|--------|
| 1. 减速齿轮组  | 5. 弹簧  |
| 2. 弹簧     | 6. 连接盘 |
| 3. 电磁铁&衔铁 | 7. 拉绳  |
| 4. 电机     | 8. 轴承  |

- 失效模式

1. 电机及齿轮组不能提供足够回收力
2. 电磁铁不能将链接盘吸回
3. 连接盘受力过大而损坏
4. 拉绳被拉断
5. 齿轮组强度差导致损坏

\*由于轴承理论上不受径向&轴向力，不进行校核，按照尺寸需要进行选型

## 4. 剪叉机构动力系统

### 4.1 电机&齿轮组

#### 4.1.1 动力需求计算

#### 4.1.2 电机选型

#### 4.1.3 齿轮组传动比设计

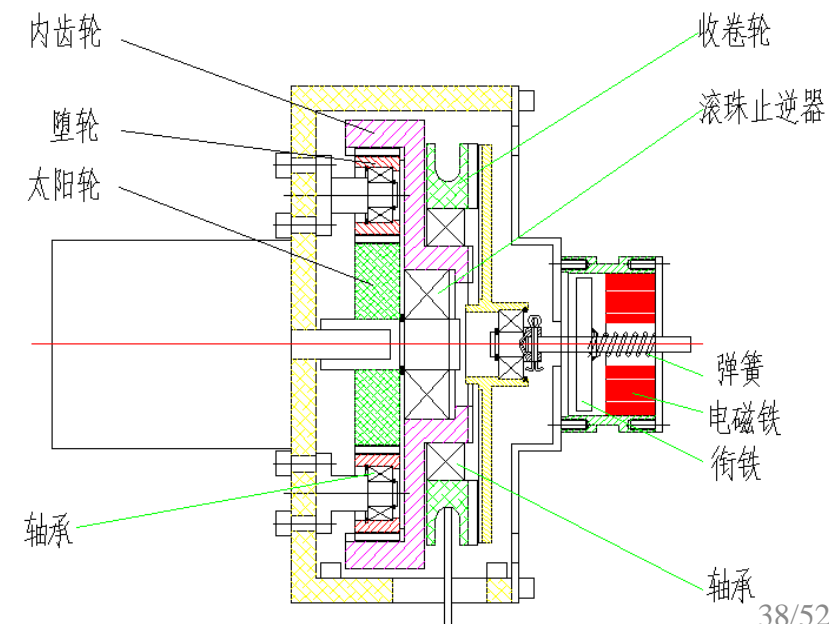
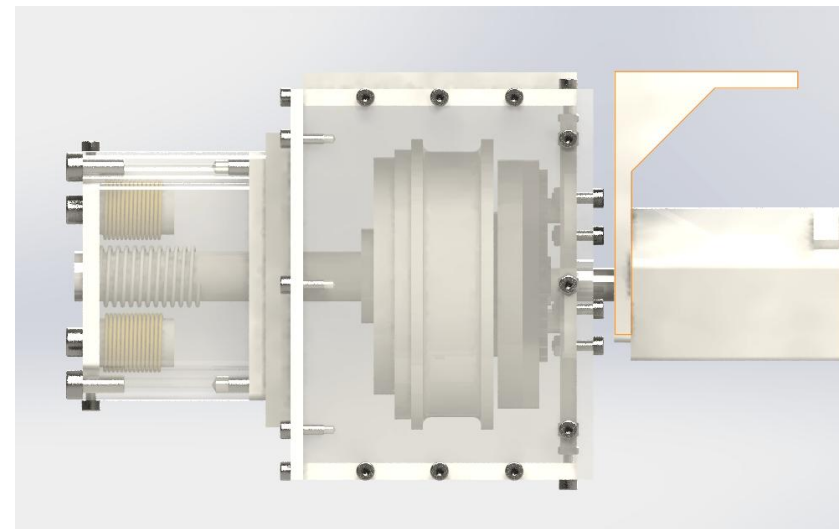
#### 4.1.4 齿轮参数设计&材料选取

### 4.2 其他部分

#### 4.2.1 连接盘设计

#### 4.2.2 电磁铁&弹簧选型

#### 4.2.3 拉绳选型



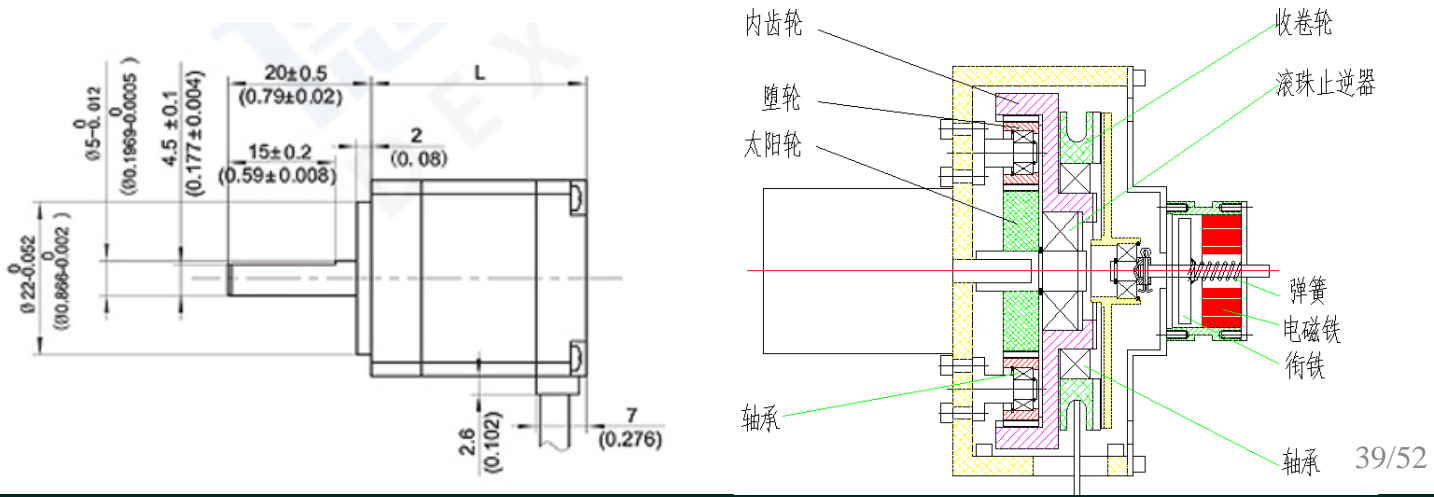


# 剪叉机构拉伸系统 ——电机&传动比

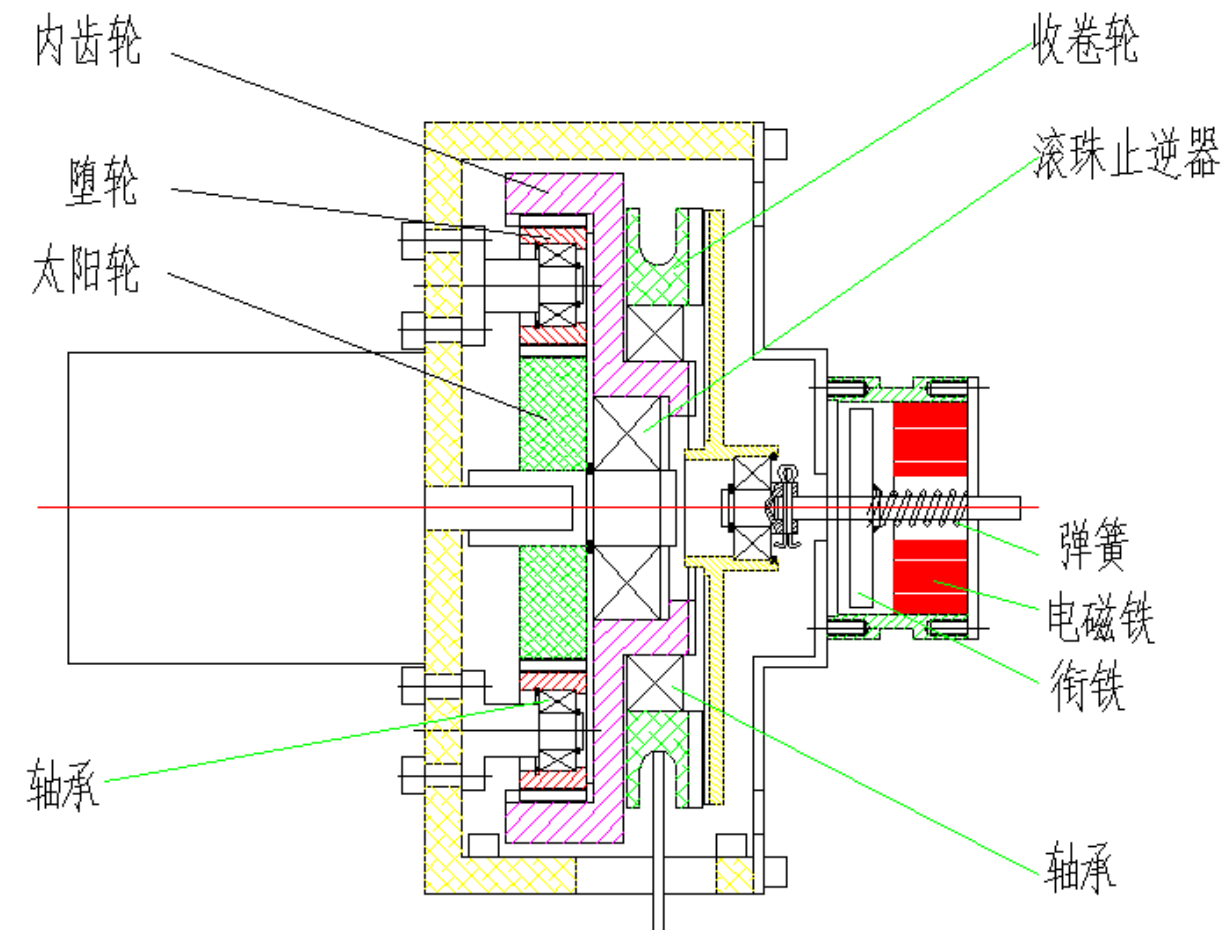
设剪叉机构及下框整体质量  $\leq 3\text{kg}$   
则剪叉机构上两个电机，每个需提供的拉力  $F \leq 15\text{N}$   
为减轻质量，在此处选择28步进电机，并使用齿轮组进行减速。  
保持转矩  $0.18\text{N}\cdot\text{m}$   
设收卷轮直径  $5\text{cm}$   
则收卷时扭矩约为：  
 $0.025\text{m} \times 15\text{N} = 0.375\text{N}\cdot\text{m}$   
传动比需求约为：

$0.375 / 0.18 = 2.1$   
考虑当无人机加速上升时收回剪叉机构的工作情况，设最大加速度为  $3\text{m/s}^2$ ，效率  $0.97$ ，传动比需求为：  
 $0.4875 / 0.18 / 0.97 = 2.79$   
综上，取传动比为 **1 : 3**

型号 MODEL	保持转矩 HOLDING TORQUE		额定电流 RATED CURRENT	相电阻 RESISTANCE	相电感 INDUCTANCE	引线数 LEAD WIRES (PINS)	转动惯量 ROTOR INERTIA		重量 MASS	厚度 L
	N · m	oz · in	A/PHASE	Ω/PHASE	mH/PHASE		g · cm <sup>2</sup>	oz · in <sup>2</sup>	kg(lb)	mm(inch)
28HB30-401A	0.07	10	0.6	6.7	5.0	4	9	0.05	0.1 (0.22)	30 (1.18)
28HB30-402A			1.0	2.4	1.8					
28HB40-401A	0.12	17	0.6	9.3	7.5		12	0.07	0.15 (0.33)	39 (1.54)
28HB40-402A			1.0	3.3	2.7					
28HB50-401A	0.18	25.6	0.6	12.5	11.0		18	0.10	0.2 (0.44)	50.5 (1.99)
28HB50-402A			1.0	4.4	4.0					



# 剪叉机构拉伸系统 —— 齿轮组

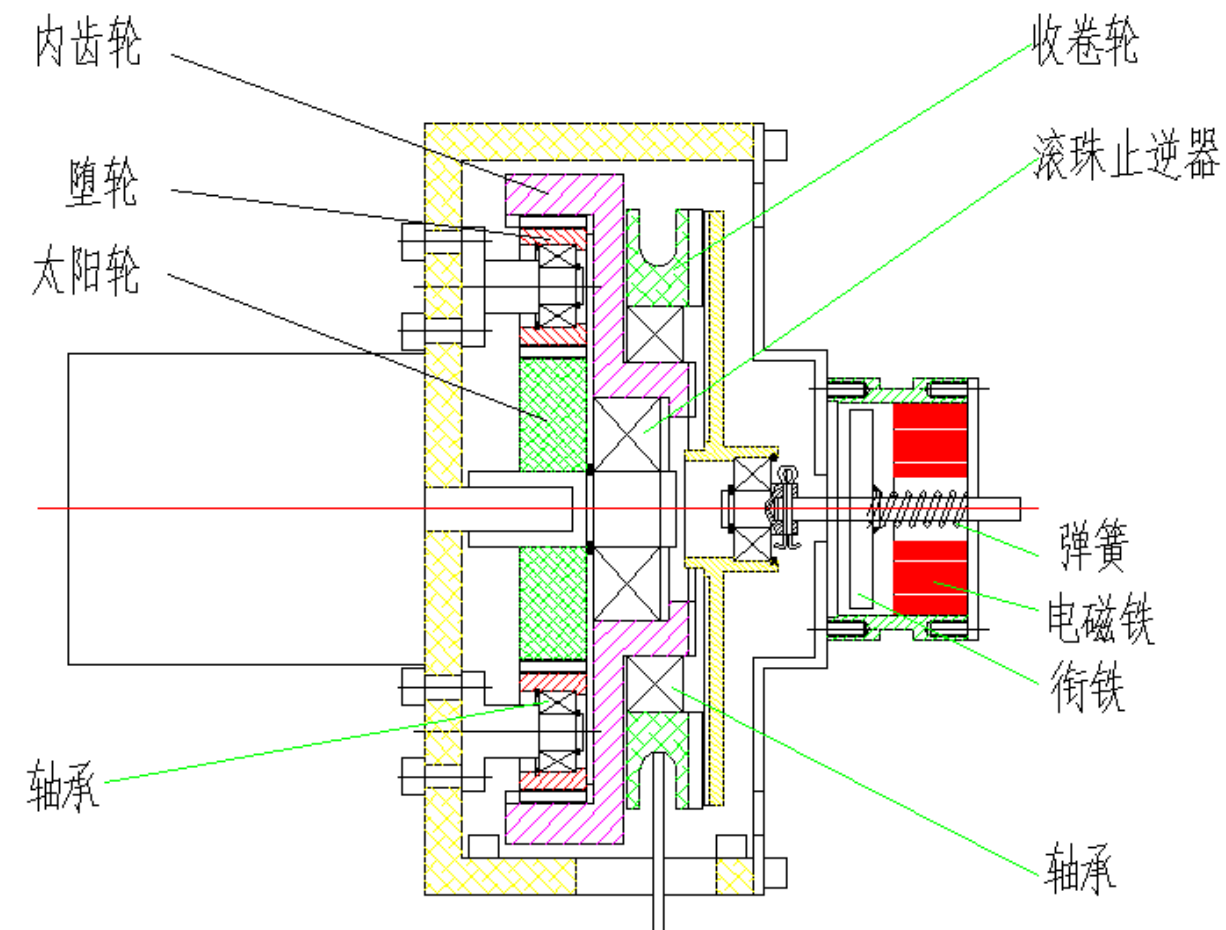


传动比为1 : 3，则太阳轮的外径 $d_1$ 与内齿轮的内径 $d_2$ 之比为1 : 3，行星轮直径与太阳轮直径之比为1 : 1。

齿轮按7级精度制造（减速器齿轮）。  
齿宽系数取0.3（悬臂布置，软齿面）。  
载荷系数 $K$ 取1.2（载荷均匀）。  
安全系数 $S_H$ 取1.25， $S_f$ 取1.6  
（失效概率 $< 1/1000$ ）



# 剪叉机构拉伸系统 —— 齿轮组



	45
弹性系数/Gpa	210
泊松比	0.3
硬度/HBS	156~217 (软齿面)
接触疲劳极限/Mpa	350~375
弯曲疲劳极限/Mpa	280~340

\*转矩不大时，一般选用碳素结构钢。

弹性系数：

$$Z_E = \sqrt[2]{\frac{1}{\pi \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}}$$

$$Z_E = 191.65 \sqrt{Mpa}$$

# 剪叉机构拉伸系统 —— 齿轮组

## 齿轮齿面接触强度计算

$$d_1 \geq 2.32 \times \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\delta} \frac{(u \mp 1)}{u} \left( \frac{Z_E}{[\sigma_H]} \right)^2}$$

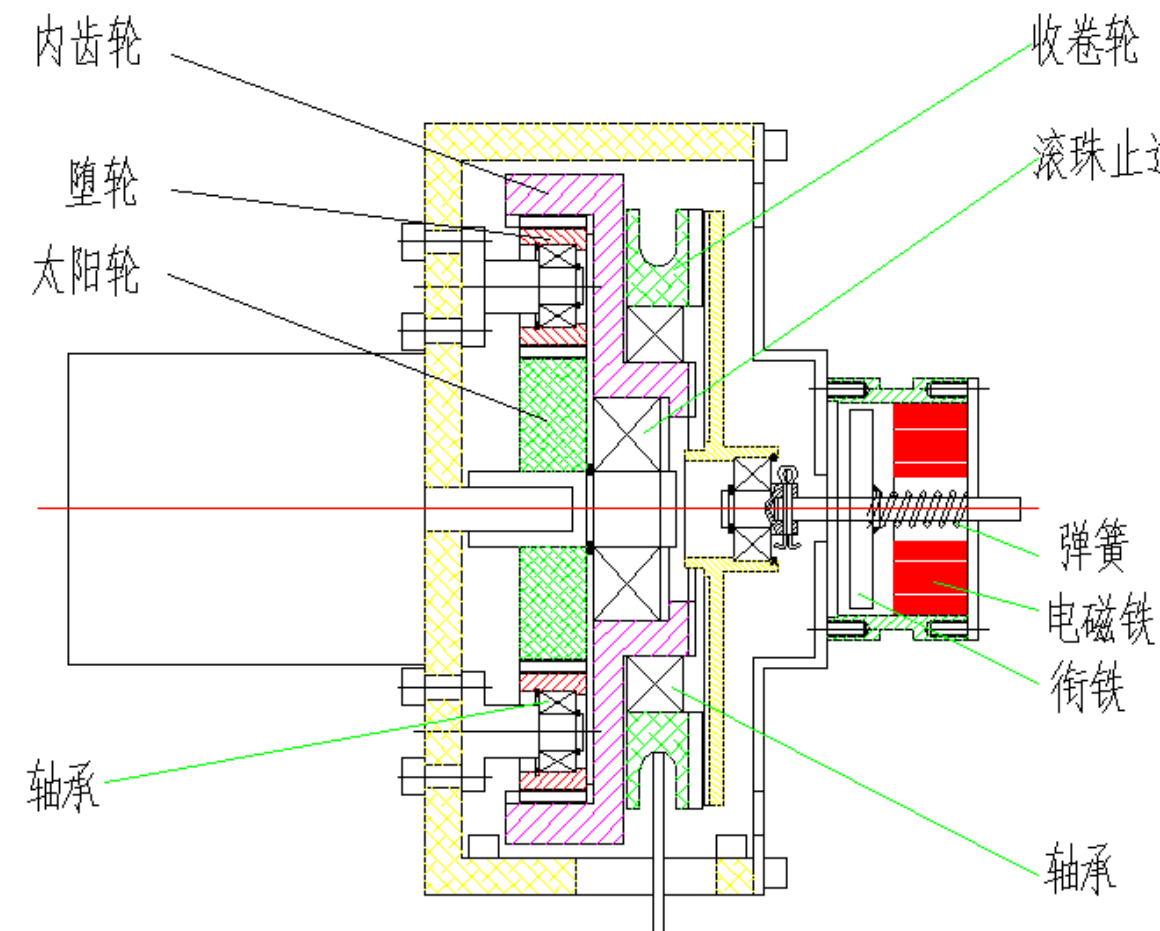
## 太阳轮与堕轮：

$$d_1 \geq 2.32 \times \sqrt[3]{\frac{1.2 \times 60}{0.3} \frac{(1+1)}{1} \left( \frac{191.65}{360 \div 1.25} \right)^2}$$
$$= 13.47 \text{ mm}$$

齿宽： $b = \delta * d_1 = 4 \text{ mm}$  取  $d_1 = d_2 = 8 \text{ mm}$

模数： $m = \frac{d_1}{z_1} = 9.27 / \text{齿数}$

模数取1，齿数应不小于17，选取  $m = 1$ ，齿数  $z_1 = z_2 = 18$ （此时满足三堕轮安装条件）  
此时， $d_1 = 18 \text{ mm}$



# 剪叉机构拉伸系统 —— 齿轮组

## 齿轮齿面接触强度计算

### 堕轮与内齿轮：

$$d2 >= 2.32 \times \sqrt[3]{\frac{1.2 \times 60}{0.3} \frac{(3-1)}{3} \left( \frac{191.65}{360 \div 1.25} \right)^2} \\ = 9.6 \text{mm}$$

齿宽： $b2 = \delta * d2 = 2.88 \text{mm}$

模数： $m = \frac{d2}{z2} = 9.6 / \text{齿数}$

当 $b2=18$ ，齿数为18，齿宽8mm时，满足以上条件，此时，选取 $b3=3\text{mm}$ ， $z3=3*18=54$ ， $d3=54\text{mm}$

## 齿轮传动的轮齿弯曲强度验算

$$\sigma_{F1} = \frac{2KT_1 Y_{Fa1} Y_{sa1}}{bz_1 m^2} \quad \sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{Fa2} Y_{sa2}}{Y_{Fa1} Y_{sa1}}$$

### 太阳轮与堕轮：

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} = \frac{2 \times 1.2 \times 60 \times 3.07 \times 1.54}{8 \times 18 \times 1^2} = 4.72 \ll 187.5$$

### 堕轮与内齿轮：

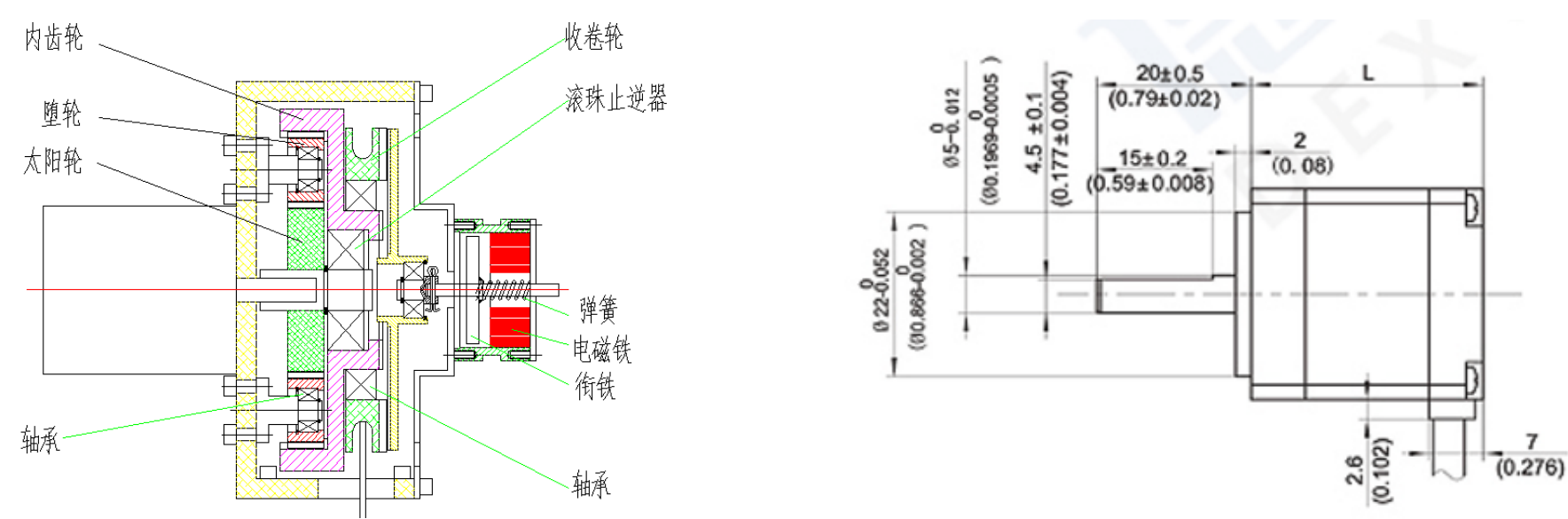
$$\sigma_{F2} = \frac{2 \times 1.2 \times 60 \times 3.07 \times 1.54}{3 \times 18 \times 1^2} = 12.61 \ll 187.5$$

$$\sigma_{F3} = 12.61 \times \frac{2.36 \times 1.7}{3.07 \times 1.54} = 10.69 \ll 187.5$$

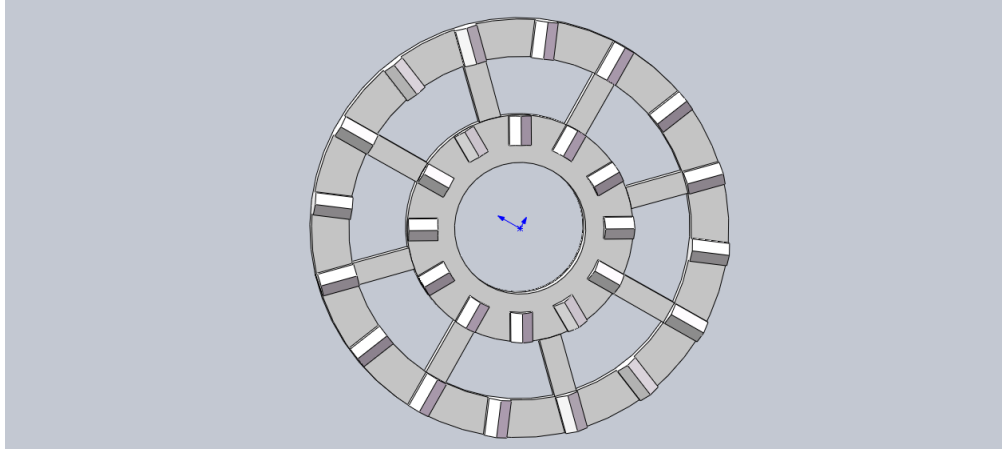
均安全。

# 剪叉机构拉伸系统 —— 齿轮组

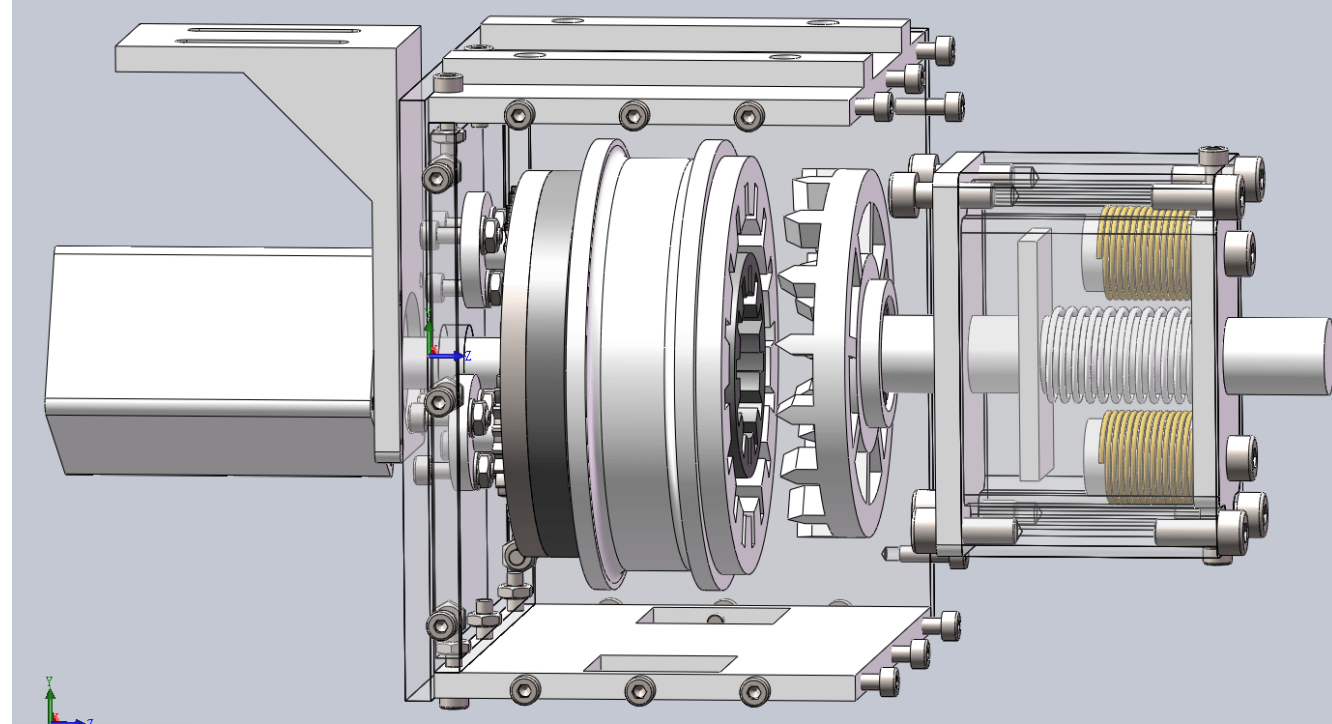
	太阳轮	堕轮	内齿轮
模数	1	1	1
直径/mm	18	18	54
齿宽/mm	8	8	3
齿数/个	18	18	54
材料	45碳素结构钢，硬度<350HBS		
润滑油黏度 $mm^2/s$	288~352 @ 环境10~35℃		



# 剪叉机构拉伸系统 —— 连接盘



- 最大转矩为 $0.54\text{N}\cdot\text{m}$ ，则大圆上的键每个承担转矩 $0.03375\text{N}\cdot\text{m}$ ，小圆上的键每个承担转矩 $0.045\text{N}\cdot\text{m}$ 。
- 小圆上的键平均半径为 $13.5\text{mm}$ ，侧面面积为 $10\text{mm}^2$ ，切面面积为 $12\text{mm}^2$ ，
- 大圆上键平均半径为 $26\text{mm}$ ，侧面面积为 $17.92\text{mm}^2$ ，切面面积为 $15\text{mm}^2$



功能：将变速箱输出转矩传递至收卷轮

- 计算转矩
- 校核挤压 & 剪切强度

# 剪叉机构拉伸系统 ——连接盘

- 挤压强度校核

取POM作为此部件的材料，并取挤压强度为38Mpa。

内圆键：

$$\sigma = \frac{2\tau}{DS_1} = 3.3 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.33 \text{ Mpa} < 38 \text{ Mpa}$$

外圆键：

$$\sigma = \frac{2\tau}{DS_1} = 7243 \text{ Pa} < 38 \text{ Mpa}$$

均满足挤压受力条件。

- 剪切强度校核

取POM剪切强度为30Mpa。

内圆键：

$$\sigma = \frac{2\tau}{DS_2} = 2.8 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.6 \text{ Mpa} < 30 \text{ Mpa}$$

外圆键：

$$\sigma = \frac{2\tau}{DS_2} = 9.6 \times 10^4 \text{ Pa} < 30 \text{ Mpa}$$

均满足剪切受力条件。



# 剪叉机构拉伸系统 —— 电磁铁、弹簧

连接键最大长度为8mm，则电磁铁工作时，吸引连接盘移动的最小距离为8mm，为保证安全，取10mm进行设计。

选取小型电磁铁如图所示，由于电磁铁吸力与距离的关系未知且受使用条件影响较大，故需实验测量。

当弹簧将连接盘顶入进行配合时，弹簧需提供预紧力，预紧力需实验测定，设预紧力为 $F_1$ ，电磁铁在 $x$ 处时吸力为 $F_x$ ，则需满足以下条件：

$$F_1 + kx \leq F_x$$

ELECALL® 伊莱科

## 直流电吸盘式电磁铁

✓ 电压DC12V

✓ 吸力1Kg



# 剪叉机构拉伸系统 —— 拉力绳

拉绳提供竖直向上的力，将底部边框收回。

共两根拉绳，当拉绳受力最大时，提供底部边框的力，同时提供底部边框的向上加速度，设最大加速度为 $3\text{m/s}^2$ ，下框质量 $\leq 3\text{kg}$ 。则有：

$$F_{\max} = 0.5 * (mg + ma) = 19.5\text{N}$$

当使用尼龙绳时，尼龙（PA6）抗拉强度为 $74\sim 76\text{Mpa}$ 。

此时有：

$$P = F \div (\pi \times D^2 \div 4)$$

推出：

$$D = 5.8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

D即为最小直径。

取安全系数 $S=4$ （缆风绳一般不小于3.5），得 $D_1 = 2.3 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，取尼龙绳直径为 $3\text{mm}$ 。





# 选型&设计&校核

- 网

## 1.1 网受力

1.11 运载无人机的拉力计算

1.12 无人机之间出现相对运动时的短时冲力计算

1.13 螺旋桨与网的剪切力计算

## 1.2 网选型

- 底部框架&卷网机构

## 2.1 底部框架

2.11 框架受力计算

2.12 框架材料选取&尺寸设计

## 2.2 卷网机构

2.21 弹簧选型

2.22 电机选型&卷网时间设计

2.23 轴承选型

- 剪叉机构

3.1 材料选取

3.2 剪叉机构仿真校核

- 剪叉机构拉伸动力系统

## 4.1 电机&齿轮组

4.11 动力需求计算

4.12 电机选型

4.13 齿轮组传动比设计

4.14 齿轮参数设计&材料选取

## 4.2 其他部分

4.21 连接盘设计

4.22 电磁铁&弹簧选型

4.23 拉绳选型

# 总结

- 完成了无人机抓捕机构的设计、选型与校核，整套系统实现预期目标（成功率较高，成本较低，可重复使用）。

优缺点	成本	结构	成功率	使用难度	捕捉范围	设计难度
全机械抓捕	✓	✓	●	✓	-	✓

- 可后续优化之处：
  - 1. 部分设计在力学性能上冗余较多：**
    - 齿轮组：因尺寸及平顺性要求，不能设计更小的尺寸致使其在力学性能上冗余较多，可尝试选取其他材料进行设计。
    - 连接盘：由于结构不确定性大，此处连接盘设计采用先预设尺寸再校核的方法，力学性能同样冗余较多，可进行结构优化。
    - 剪叉机构：由于受力较复杂，结构确定后使用力学分析校核，可优化尺寸减轻重量。
  - 2. 参数选取**
    - 由于资料较少，部分设计未选取合适的安全系数，可进一步选取合适的参数来优化设计。
    - 部分范围型系数，因无法准确把握最佳取值，可能会造成部分冗余。

# 项目分工和成员评价

## 项目分工：

黄骁：动力机构设计，各机构设计、修改，总装，报告撰写，PPT修改

张晓宇：理论计算，报告撰写，PPT制作

谢济宇：剪叉、电磁铁机构设计，电子系统设计，报告撰写

王文晖：底部框架机构设计，报告撰写

## 成员评价（百分制）：

张晓宇（100）

谢济宇（60）

王文晖（40）

指导老师：陈昀昊 邓辉

# 谢谢！

王文晖 谢济宇 黄骁 张晓宇

指导老师：陈昀昊 邓辉