

# 第十八届全国大学生机器人大赛

RoboMaster 2019 机甲大师赛

华侨大学华机战队

## 设计 报告



2019 年 2 月 22 日

# 目录

第 1 章 需求确定	3
1.1 总体需求	3
1.2 机器人具体需求	4
第 2 章 系统框图	7
2.1 硬件资源	8
2.2 程序逻辑	9
第 3 章 结构设计	12
3.1 需求分析	12
3.2 设计图纸	15
3.3 材料和工艺	15
3.4 有限元分析	18
第 4 章 算法设计	23
4.1 需求分析	23
4.2 方案设计	23
4.3 算法对比与性能分析	27
第 5 章 人机工程分析	28
5.1 机械设计	28
5.2 布线部分	28
5.3 操作手人机交互	28
第 6 章 科学设计方法	29
6.1 系统辨识	29
6.2 基于闭环传递函数进行补偿器设计	33
第 7 章 科学实践改进	37
7.1 测试需求	37
7.2 测试方案	37
7.3 测试结果及分析	37
第 8 章 传感器选型	40
8.1 陀螺仪	40
8.2 摄像头	41
8.3 红外线传感器	41
第 9 章 创新性	42

第 10 章 外观设计.....	43
附录一 枪管工艺过程卡.....	44
附录二 机械加工工序卡片.....	45

# 第1章 需求确定

根据对往年参赛视频的分析以及对规则手册的研读并结合队伍自身情况，我们确定了这个赛季的需求，并且对本次参赛的机器人进行兵种与功能优先级的划分。优先级从高到低分为5级，五级为最高，用五颗星表示（★★★★★），1级为最低，用一颗星表示（★）。

## 1.1 总体需求

完成步兵机器人、英雄机器人、工程机器人以及哨兵机器人，所有机器人均达到检录要求，在此基础上的需求具体划分如下。

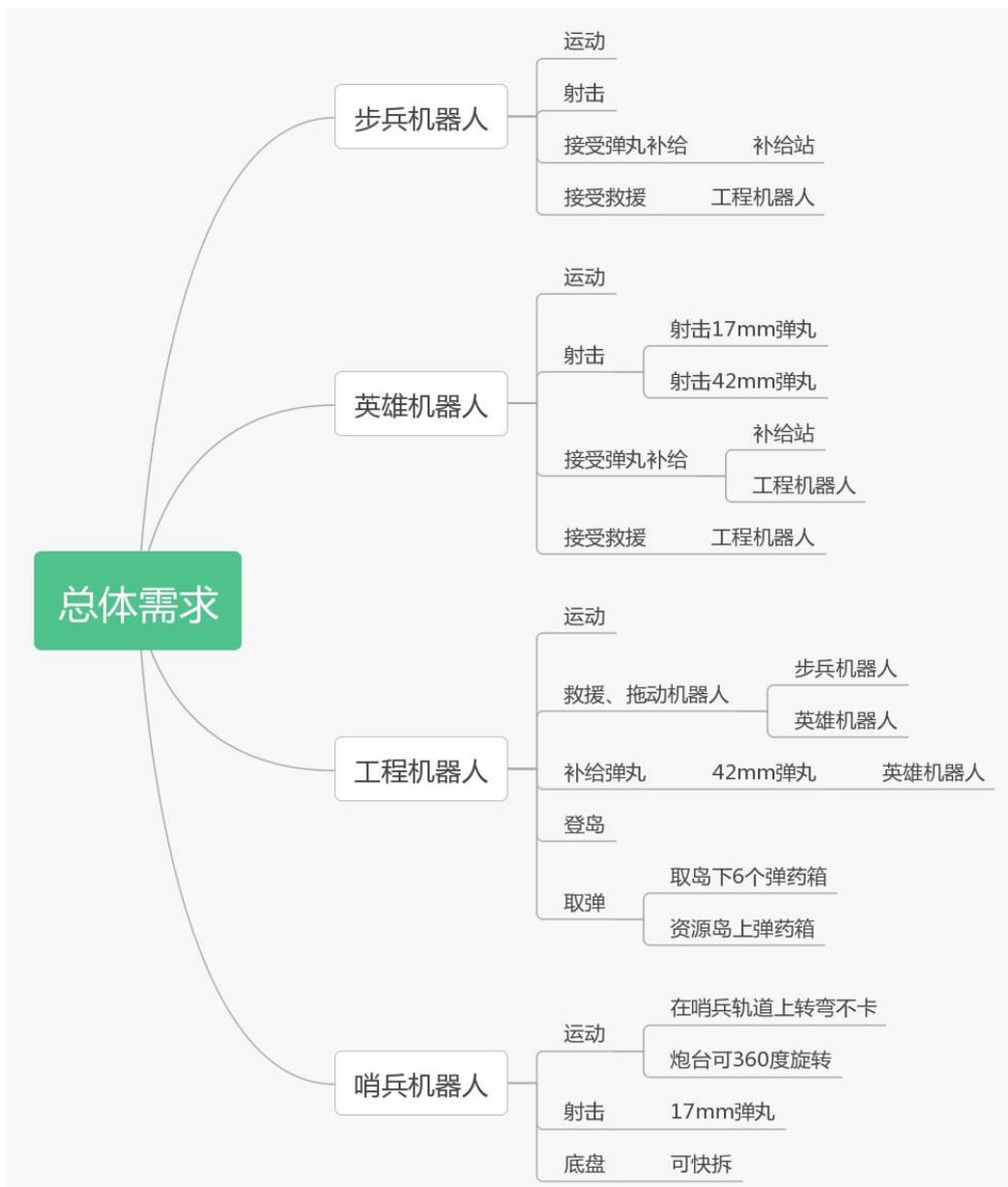


图1-1 总体需求

## 1.2 机器人具体需求

### 1.2.1 步兵机器人

优先级为5级，必须上场，可发射17mm小弹丸。其良好的运动能力与攻击能力是赢得比赛的基础。需要在规则允许的范围内发挥其最大的作用。

关键技术点：

表3-1 步兵机器人关键技术点

<p>运动 (★★★★)</p>	<p>a、运动灵活全地形通过可靠平稳，不超功率（速度至少可达1.5m/s，爬坡能力不低于20°）；</p> <p>b、使用超级电容模块，让操作手可自主选择加快步兵运动速度。</p>
<p>射击 (★★★)</p>	<p>a、子弹无卡弹问题，传输链路流畅；</p> <p>b、射击精准，射速稳定在28m/s，5米射击小装甲板命中率70%；</p> <p>c、射频控制精准。</p>
<p>接受补给 (★★)</p>	<p>a、补给迅速，步兵从进入补给站到补给完成耗时控制在5秒内；</p> <p>b、载弹量大，单个步兵最大载弹量为200发；</p> <p>c、漏弹少，补给的弹丸至少90%可进入弹仓，配备弹仓盖，运动过程中不损失弹丸。</p>
<p>接受救援 (★)</p>	<p>可被工程车救援。</p>

### 1.2.2 英雄机器人

优先级为5级，必须上场。可发射大弹丸以及小弹丸，其发射大弹丸的能力在比赛中非常重要，具有决胜作用。

关键技术点:

表3-2 英雄机器人关键技术点

运动 (★★★★)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a、运动灵活, 通过斜坡可靠平稳, 不超功率 (速度至少可达1m/s, 爬坡能力不低于20°);</li> <li>b、使用超级电容模块, 让操作手可自主选择加快运动速度。</li> </ul>
射击 (★★★)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a、子弹无卡弹问题, 传输链路流畅;</li> <li>b、射击精准, 小弹丸射击初速度稳定在28m/s, 5米射击小装甲板命中率70%; 大弹丸射击初速度稳定在15m/s;</li> <li>c、射频控制精准。</li> </ul>
补给弹丸 (★★)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a、可接受工程补给的大弹丸, 交接速度快, 15s以内完成对接以及补给的过程; 可接受补给站补给的小弹丸, 从进入补给站到补给完成耗时控制在10秒内;</li> <li>b、载弹量大, 大弹丸最大载弹量为60发, 小弹丸最大载弹量为200发;</li> <li>c、漏弹少, 补给的弹丸至少90%可进入弹仓, 配备弹仓盖, 运动过程中不损失弹丸。</li> </ul>
接受救援 (★)	可被工程车救援。

### 1.2.3 工程机器人

优先级为4级。担任登岛、取弹、补给弹丸、复活等多个重要任务, 其取弹以及登岛能力决定了英雄机器人的战斗力。

关键技术点:

表3-3 工程机器人关键技术点

运动 (★★★★★)	运动灵活, 通过斜坡可靠平稳 (速度至少可达1.5m/s, 爬坡能力不低于20°)。
取弹 (★★★★)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a、能够快速获取资源岛下的6盒弹药箱, 一盒弹药箱取弹时间控制在10s内;</li> <li>b、载弹量大, 42mm弹丸最大载弹量为80发。</li> </ul>
补给弹丸 (★★★)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a、漏弹少, 补给的弹丸至少90%可进入弹仓, 运动过程中不损失弹丸;</li> <li>b、交接速度快, 15s以内完成对接以及补给的过程。</li> </ul>

登岛 (★★)	上岛可靠稳定，上岛、取弹、下岛总时间控制在3min内。
救援 拖动机器人 (★)	与步兵、英雄机器人对接迅速，对接过程控制在10s内。

### 1.2.4 哨兵机器人

优先级为3级。可发射小弹丸。

关键技术点：

表3-4 哨兵机器人关键技术点

运动 (★★★)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a、运动灵活，不超功率；</li> <li>b、转弯不卡；</li> <li>c、炮台可以360°旋转。</li> </ul>
射击 (★★)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a、子弹无卡弹问题，传输链路流畅；</li> <li>b、射击精准，小弹丸射击初速度稳定在28m/s，5米射击小装甲板命中率70%；</li> <li>c、射频控制精准；d、可识别到3m内的敌方目标并进行自动射击。</li> </ul>
底盘 (★)	可快拆，装弹方便。

# 第2章 系统框图

一辆步兵机器人的系统框图如下：

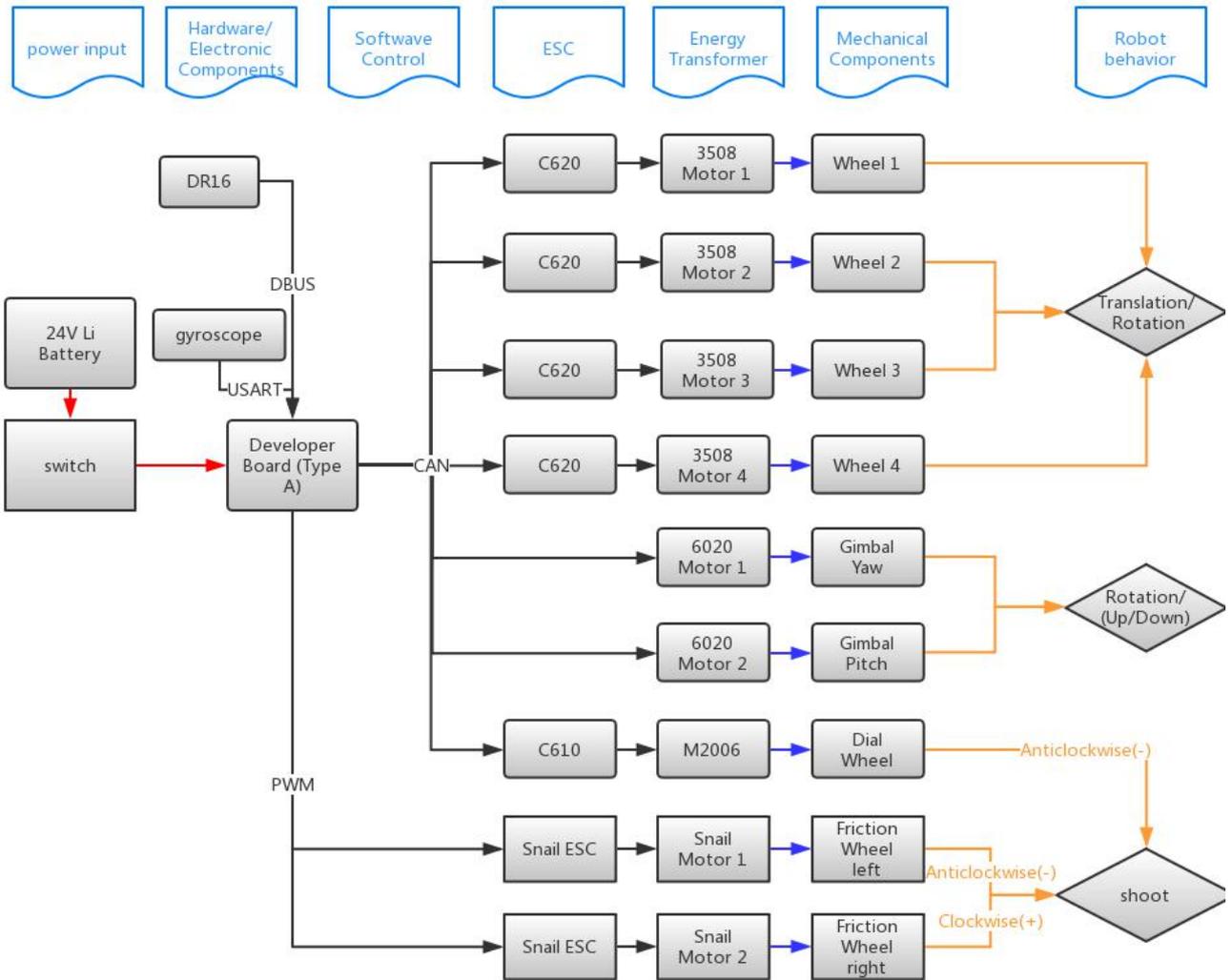


图2-1 步兵机器人的系统框图

## 2.1 硬件资源

一辆步兵机器人的硬件资源如下：

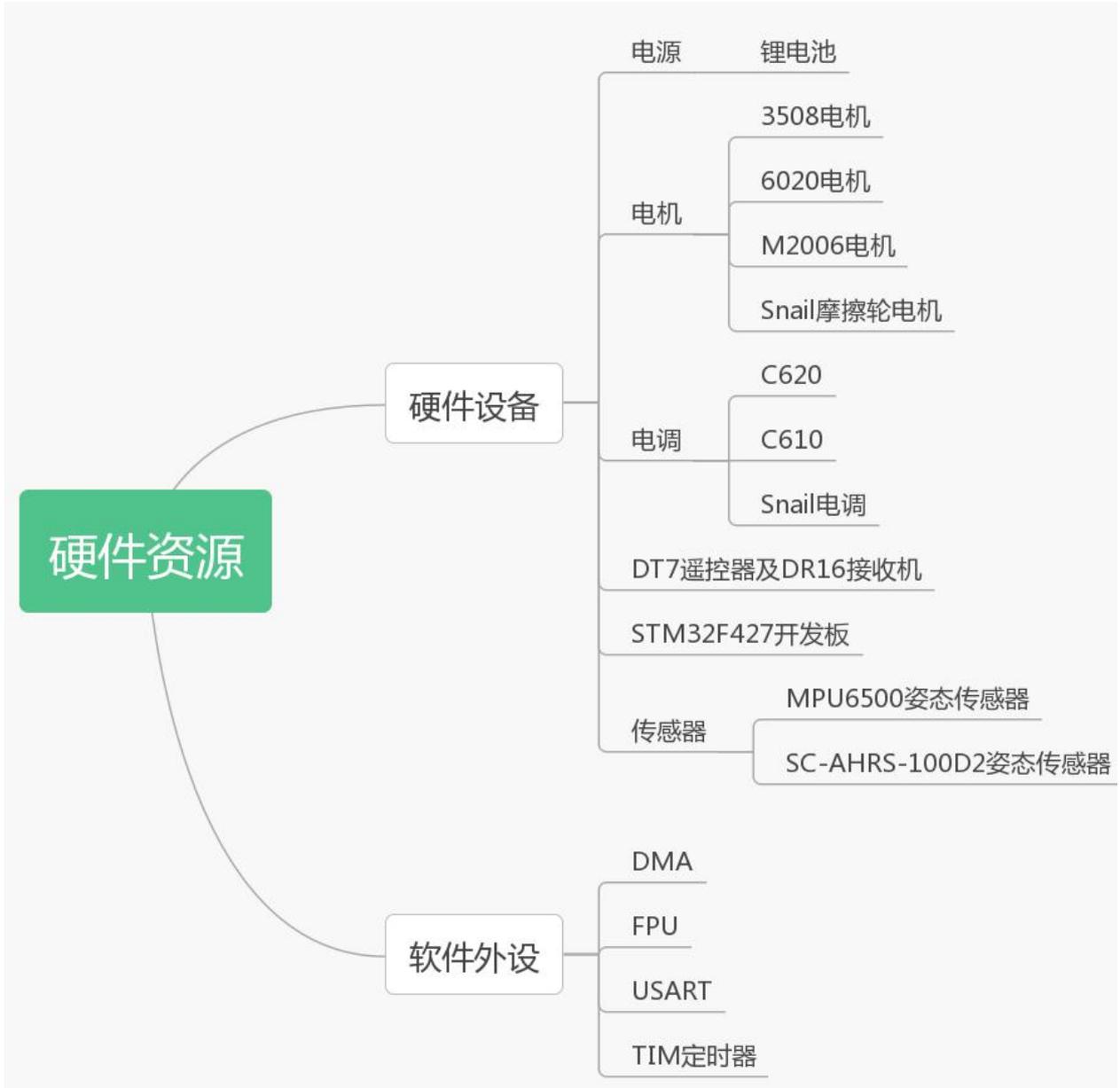


图2-2 步兵机器人的硬件资源

## 2.2 程序逻辑

以步兵机器人的程序为例。硬件平台使用官方A型开发板，使用定时器进行任务调度。通过将任务模块化，使得程序更加简洁，逻辑更加清晰。以下是步兵任务分支：

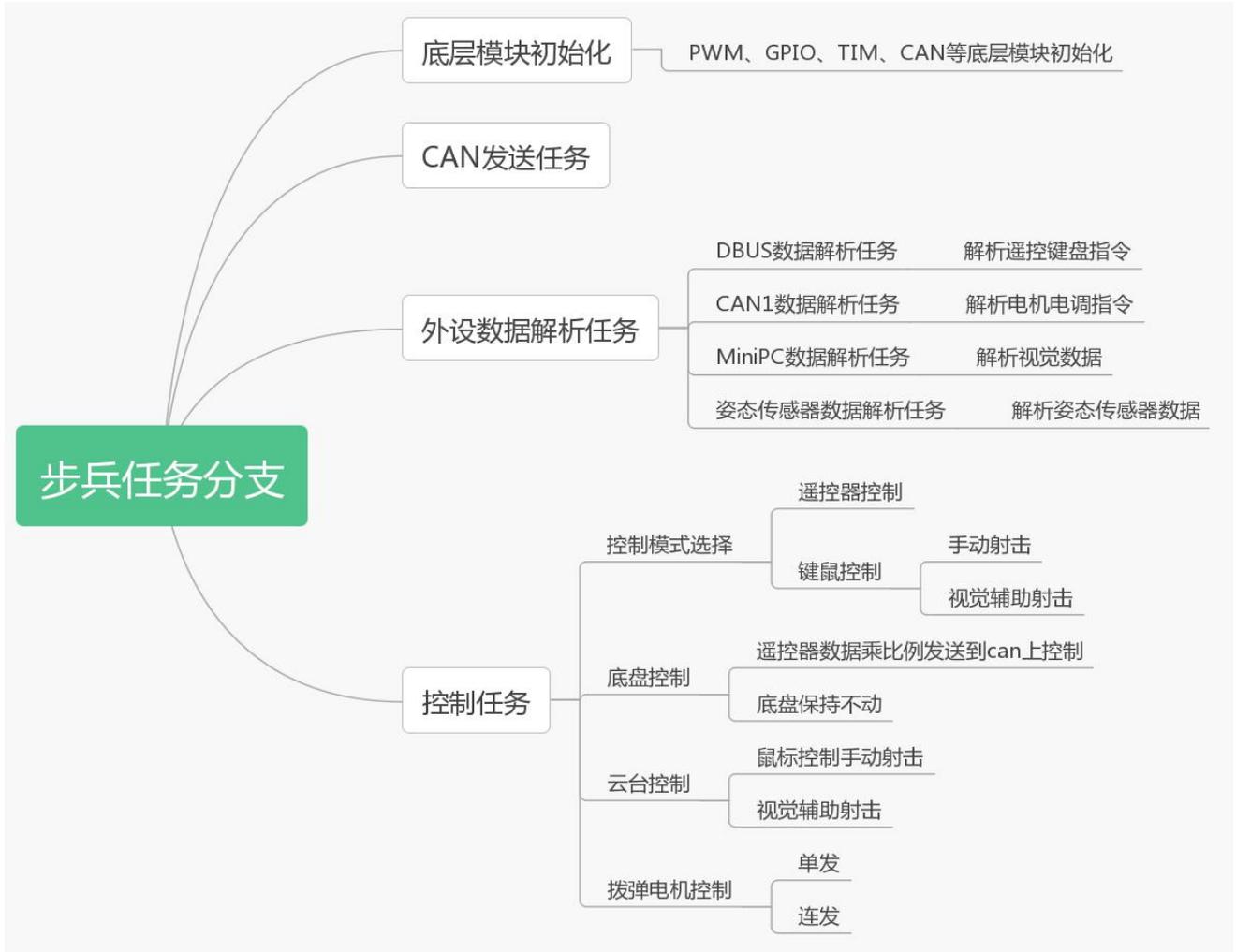


图2-3 步兵机器人的任务分支

## 2.2.1 总体任务流程

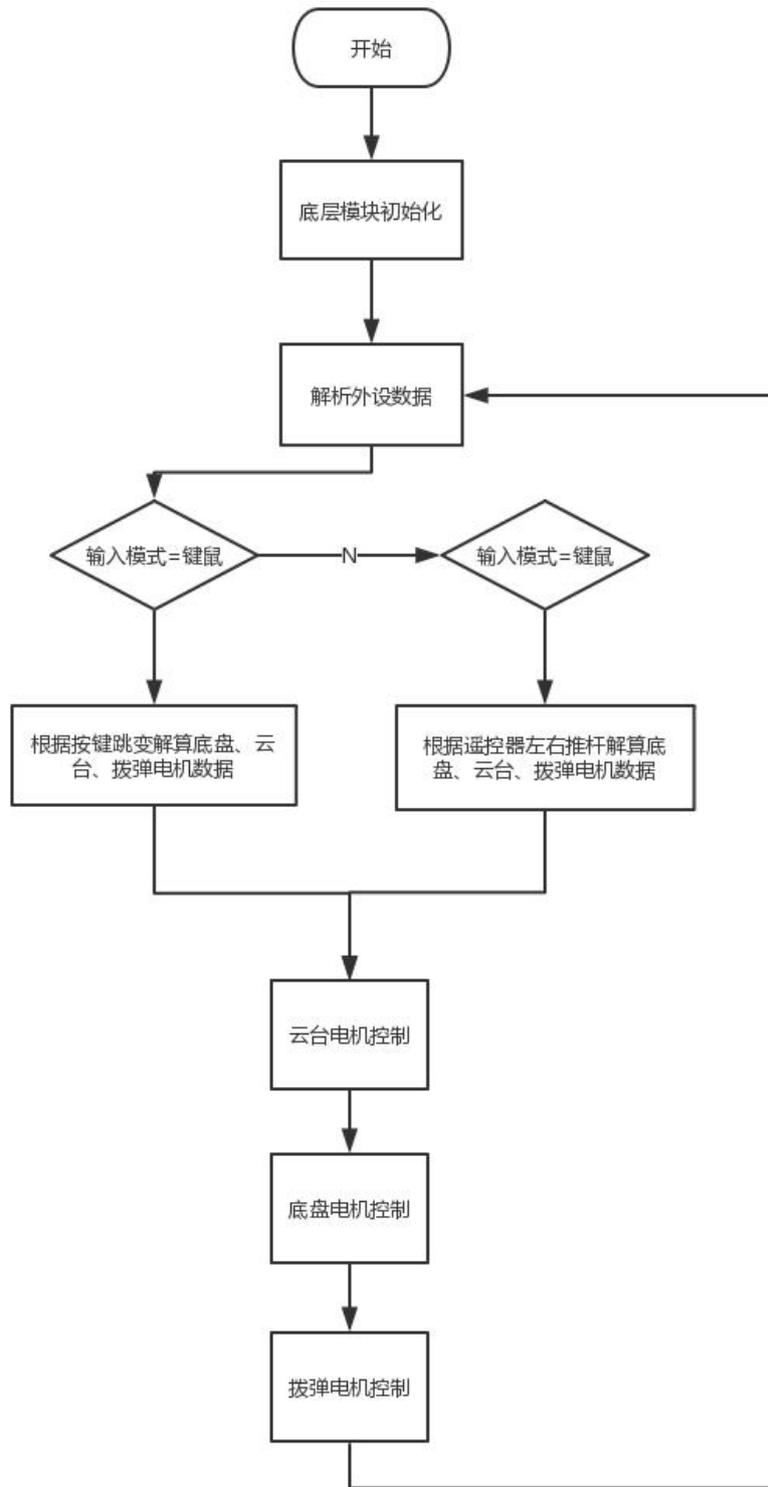


图2-4 总体任务流程

## 2.2.2 底盘控制任务

首先CAN初始化，判断输入的数据是键鼠还是遥控器，如果同时输入则以键鼠为准，接收到数据后解算出麦克纳姆轮各轮速度，对底盘进行PID速度环单环控制。后续添加功率环进行串级PID控制。

## 2.2.3 云台控制任务

首先CAN初始化，两云台电机回中，判断遥控输入，若为手动射击则解析鼠标信息对Yaw轴云台与Pitch轴云台进行位置环PID控制，否则根据MiniPc回传的数据进行位置环PID控制。

## 2.2.4 视觉逻辑框图

如果开启辅助瞄准，则进行视觉数据解算与传输，程序框图如下：

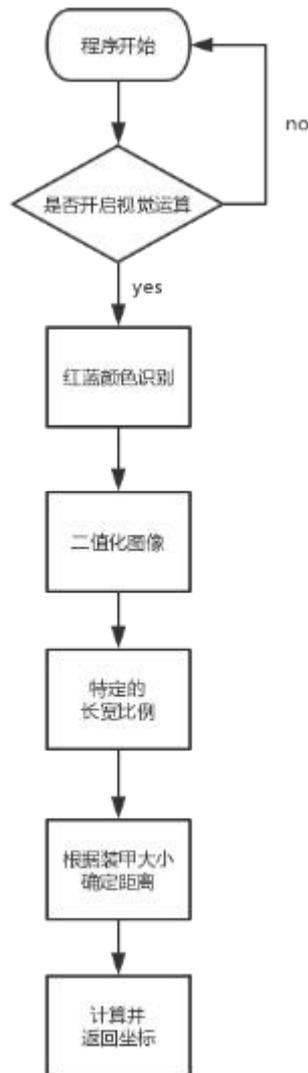


图2-5 视觉逻辑框图

# 第3章 结构设计

## 3.1 需求分析

### 3.1.1 机构功能

- (1) 具有抓紧资源岛弹药箱功能
- (2) 可适应不同高度弹药箱的夹取
- (3) 能将弹药箱中弹丸装载
- (4) 夹取机构简单、迅速

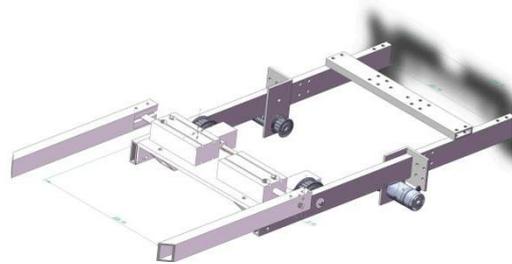


图3-1 抓取机构

### 3.1.2 性能指标

- (1) 弹药箱是200\*200\*200的正方体，六个平面均倒角处理，材料为EVA，顶面有直径为115mm的孔。
- (2) 抓取机构伸出方向的机身与某一垂直平面紧密接触时，抓取机构与该垂直平面的最大水平距离为400mm。

### 3.1.3 部件的选择

- (1) 弹药箱夹取采用两个独立的气缸进行夹取，可以避免因为单气缸而导致行程加长造成结构强度降低的问题。

因为工程车为气瓶供气，只有在夹取时需要气缸伸出，故选用常闭型（弹簧压回单项气缸）。

据手册每个弹药箱的距离间距为110，为了给夹取位置提供较大容错空间，同时提高夹取速度，气缸行程选用32mm。

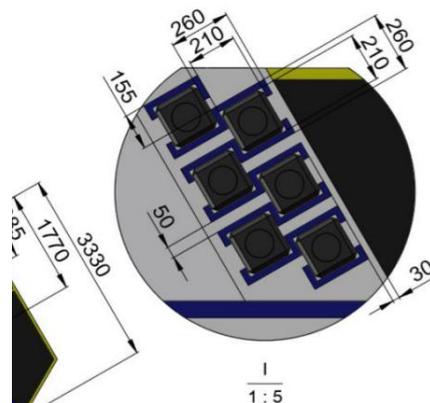
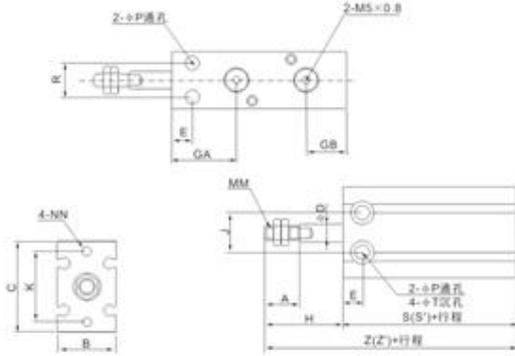


图3-2 资源岛区弹药库俯视图

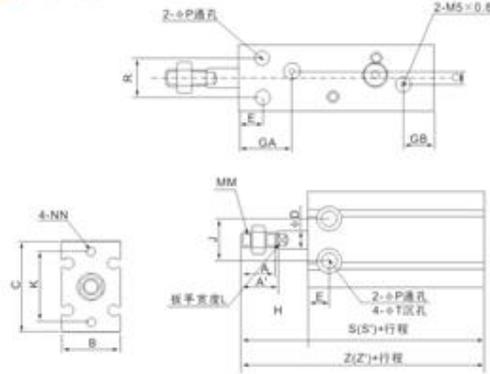
外形尺寸图(毫米)

基本型, 内置磁环型 (双作用、单作用弹簧压回/压出)

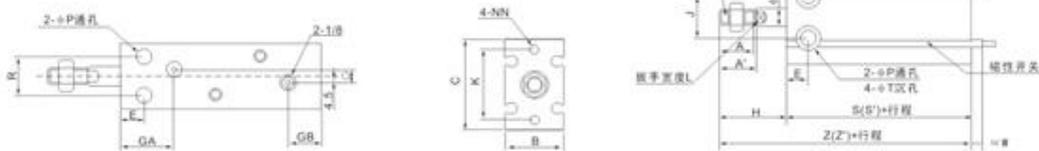
●  $\phi 6, \phi 10$



●  $\phi 16 - \phi 25$



●  $\phi 32$



共同尺寸表

型号	A	A'	B	C	$\phi D$	E	GA	GB	J	K	L	MM	NN	$\phi P$	Q	R	$\phi T$
C□U6	7	-	13	22	3	7	15	10	10	17	-	M3×0.5	M3×0.5深5	3.2	-	7	6深4.8
C□U10	10	-	15	24	4	7	16.5	10	11	18	-	M4×0.7	M3×0.5深5	3.2	-	9	6深5
C□U16	11	12.5	20	32	6	7	16.5	11.5	14	25	5	M5×0.8	M4×0.7深6	4.5	4	12	7.6深6.5
C□U20	12	14	26	40	8	9	19	12.5	16	30	6	M6×1.0	M5×0.8深8	5.5	9	16	9.3深8
C□U25	15.5	18	32	50	10	10	21.5	13	20	38	8	M8×1.25	M5×0.8深8	5.5	9	20	9.3深9
C□U32	19.5	22	40	62	12	11	23	13	24	48	10	M10×1.25	M6×1.0深9	6.6	13.5	24	11深11.5

双作用尺寸表

型号	H	基本型		内置磁环型		
		S	Z	W	S'	Z'
C□U6-□D	13	33	46	2.5	33	46
C□U10-□D	16	36	52	1	36	52
C□U16-□D	16	30	46	0	40	56
C□U20-□D	19	36	55	1	46	65
C□U25-□D	23	40	63	-1	50	73
C□U32-□D	27	42	69	-4	52	79

单作用(弹簧压回)尺寸表

型号	H	基本型						内置磁环型						
		S			Z			W	S'			Z'		
		5st	10st	15st	5st	10st	15st		5st	10st	15st	5st	10st	15st
C□U6-□S	13	38	43	48	51	56	61	2.5	38	43	48	51	56	61
C□U10-□S	16	41	46	56	57	62	72	1	41	46	56	57	62	72
C□U16-□S	16	35	40	50	51	56	66	0	45	50	60	61	66	76
C□U20-□S	19	41	46	56	60	65	75	1	51	56	66	70	75	85
C□U25-□S	23	45	50	60	68	73	83	-1	55	60	70	78	83	93
C□U32-□S	27	47	52	62	74	79	89	-4	57	62	72	84	89	99

单作用(弹簧压出)尺寸表

型号	H		基本型						内置磁环型							
	5st	10st	S			Z			W	S'			Z'			
			5st	10st	15st	5st	10st	15st		5st	10st	15st	5st	10st	15st	
C□U6-□T	18	23	28	38	43	48	56	66	76	2.5	38	43	48	56	66	76
C□U10-□T	21	26	31	41	46	56	62	72	87	1	41	46	56	62	72	87
C□U16-□T	21	26	31	45	50	60	66	76	91	0	45	50	60	66	76	91
C□U20-□T	24	29	34	41	46	56	65	75	90	1	51	56	66	75	85	100
C□U25-□T	28	33	38	45	50	60	73	83	98	-1	55	60	70	83	93	108
C□U32-□T	32	37	42	47	52	62	79	89	104	-4	57	62	72	89	99	114

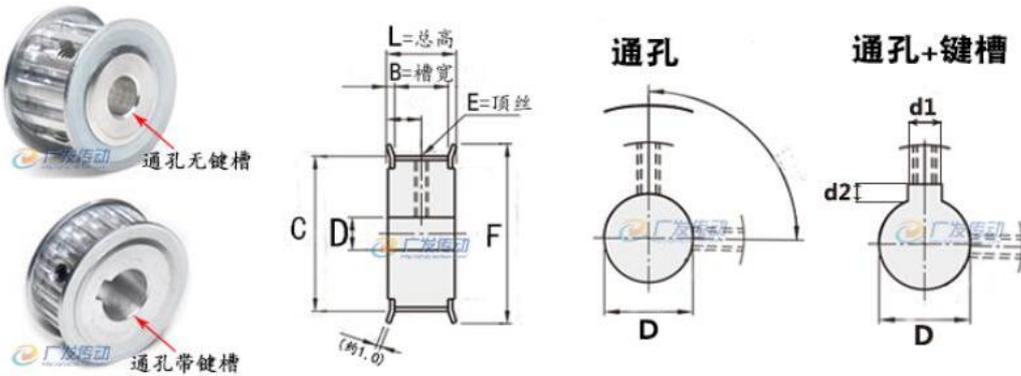
\*St + 行程

图3-3 气缸选型

综上：依据手册，选用型号为CU32-S

(2) 为使夹取到的弹药箱中弹丸能成功装载，在夹取机构处设置翻转机构。

翻转机构选用同步带轮，使电机部分移位车体中心，同时避免夹取位置不正确导致机构卡死损伤电机。



型号	B	L	C	F	E	可选内孔
	槽宽	总高	齿外径	挡边	顶丝	键槽孔持续更新中，请看链接选项
<b>XL-10</b>	11	15	15.66	19	M4*2	/4/5/6/
<b>XL-12</b>	11	15	18.89	22	M4*2	4/5/6/6.35/7/8
<b>XL-14</b>	11	15	22.13	26	M4*2	4/5/6/6.35/7/8
<b>XL-15</b>	11	15	23.75	28	M4*2	4/5/6/6.35/7/8/10/12
<b>XL-16</b>	11	15	25.36	29	M4*2	5/6/6.35/7/8/10/12/12.7/14/15/16
<b>XL-17</b>	11	15	26.98	30	M4*2	5/6/6.35/7/8/10/12/12.7/14/15/16
<b>XL-18</b>	11	15	28.6	32	M4*2	5/6/6.35/7/8/10/12/12.7/14/15/16
<b>XL-19</b>	11	15	30.21	35	M4*2	5/6/6.35/7/8/10/12/12.7/14/15/16
<b>XL-20</b>	11	15	31.83	35	M4*2	5/6/6.35/7/8/10/12/12.7/14/15/16/17/19/20
<b>XL-22</b>	11	15	35.07	40	M5*2	5/6/6.35/7/8/10/12/12.7/14/15/16/17/19/20
<b>XL-24</b>	11	15	38.28	45	M5*2	5/6/6.35/8/10/12/12.7/14/15/16/17/19/20
<b>XL-25</b>	11	15	39.92	45	M5*2	5/6/6.35/8/10/12/12.7/14/15/16/17/19/20
<b>XL-30</b>	11	15	47.85	54	M5*2	5/6/6.35/8/10/12/12.7/14/15/16/17/19/20
<b>XL-32</b>	11	15	51.24	56	M5*2	8/10/12/14/15/16/17/19/20
<b>XL-35</b>	11	15	55.83	60	M5*2	6/8/10/12/12.7/14/15/16/17/19/20
<b>XL-36</b>	11	15	57.75	65	M5*2	8/10/12/14/15/16/17/19/20
<b>XL-40</b>	11	15	64.17	70	M5*2	6/8/10/12/12.7/14/15/16/17/19/20

图3-4 同步带轮选型

同步带轮，选用XL系列，电机处选用24齿；关节处选用12齿，提高翻转效率。

## 3.2 设计图纸

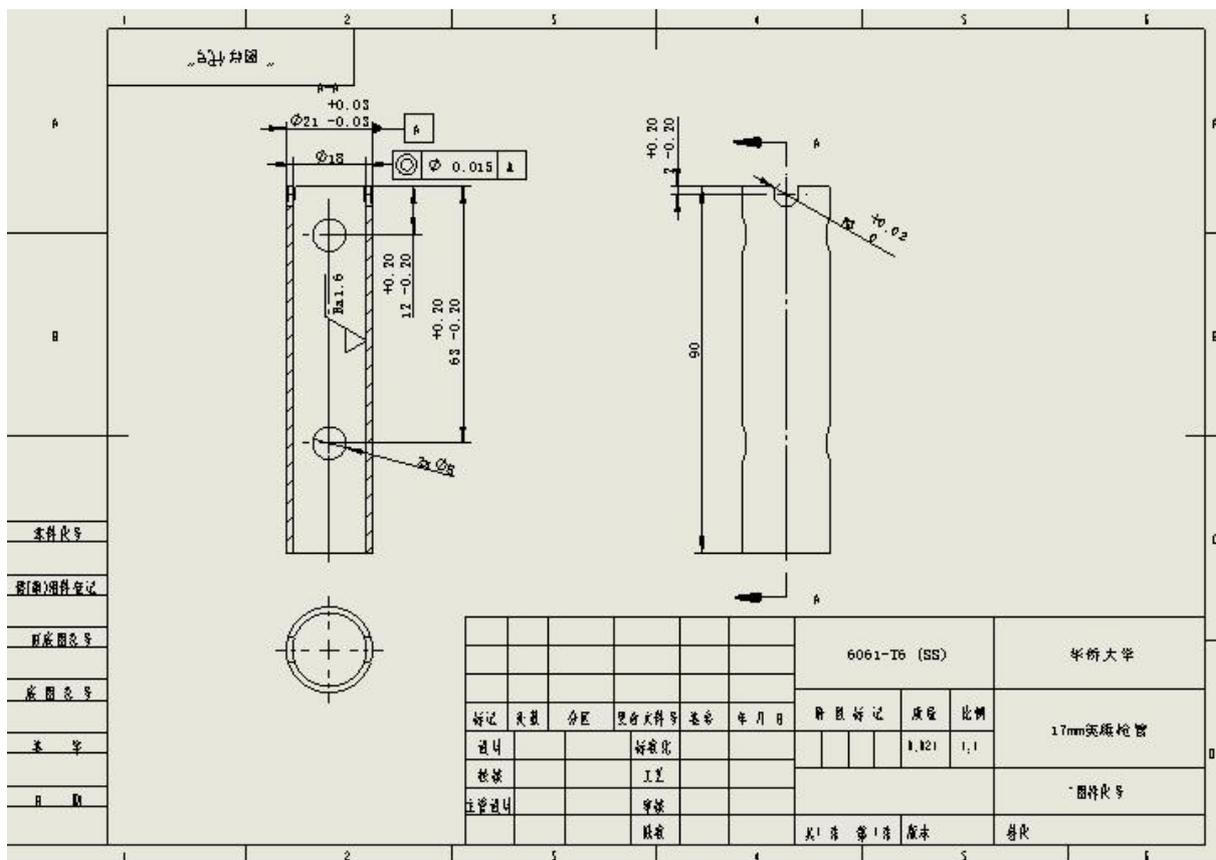


图3-5 枪管设计图

三维图纸见附件。

## 3.3 材料和工艺

对枪管进行材料与工艺分析

### 3.3.1 材料选择

6061是经热处理预拉伸工艺生产的高品质铝合金产品，具有加工性能极佳、优良的焊接特点及电镀性、良好的抗腐蚀性、韧性高及加工后不变形、材料致密无缺陷及易于抛光、上色膜容易、氧化效果极佳等优良特点。且价格便宜，机械性能良好。适用于比赛需要。

根据裁判系统要求枪管应该采用无导磁材料，并且搭载在云台上要求工件质量尽可能小。且加工成本低，材料的机械性能良好。满足的材料有6061铝合金和碳纤维。碳纤维开模价格贵并且加工成本高。在满足使用条件情况下，选择6061铝合金作为枪管材料

### 3.3.2 加工工艺路线

见附录一与附录二。

### 3.3.3 加工成本统计

3-1 两根枪管成本统计

用途	费用 (元)
材料费	20
外包人工加工费	400
总计	420

### 3.3.4 理想情况下降低成本方案

单件情况下可以在一台机床上完成车，钻，镗。孔和半槽用线切割完成。

在大批量的情况下采用压力铸造铸造毛培。工件孔内径为18mm同轴度为 $\pm 0.015$ 。查标准公差表，公差等级为IT7。根据经济的加工方案。查表满足的加工工艺为扩孔-半精镗-精绞。加工余量查表为2mm。压力铸造公差为 $\pm 0.6$ mm毛培内径为 $16.0 \pm 0.6$ 。同理工件外圆直径为 $21.00 \pm 0.03$ ，查标准观察表为IT8。根据经济的加工方案。查表满足的加工工艺为粗车半精车-精车。加工余量查表为5.2，压力铸造公差为 $\pm 0.6$ 。毛培外圆直径为 $26.2 \pm 0.6$ 。

表3-2 理想情况加工工艺过程

步骤	特征	公差等级	要求	说明	成本/时间 (min)
毛培	铝合金6061 圆管 外径 $\phi 26.2 \pm 0.6$ mm 内径 $16 \pm 0.6$ mm 长度95mm	IT16	外观良好	长度可以有余量	原料价格: 1.26元/根
钻中心	车端面, 钻中心孔 掉头车另一端面总长90mm至90.50mm, 钻中心孔	IT8	GB/T4459.5-A4 /8.5	A型中心孔 设备: C6140	基本时间: 0.27 辅助时间: 0.054

<b>粗车</b>	车 $\phi 21.50_{0}^{+0.05}$ mm 外圆至 $\phi 22.00_{0}^{+0.10}$ mm	IT 11		设备: C6140	基本时间: 0.420 辅助时间: 0.084
<b>半精车</b>	车 $\phi 21.00_{-0.03}^{+0.03}$ mm 外圆至 $\phi 21.50_{0}^{+0.05}$ mm	IT9	工步完成后检验	设备: C6140	基本时间: 1.01 辅助时间: 0.21
<b>精车</b>	车 $\phi 21.00_{-0.03}^{+0.03}$ mm外圆 至 $\phi 21.00_{-0.03}^{+0.03}$ mm	IT7	工步完成后检查	设备: C6140	基本时间: 1.68 辅助时间: 0.336
<b>扩孔</b>	扩孔至 $\phi 17.85_{0}^{+0.11}$ mm	IT11		设备: 镗床T68	基本时间: 0.338 辅助时间: 0.068
<b>半精镗</b>	半精镗至 $17.94_{0}^{+0.03}$ mm	IT8	工步完成后检查	设备: 镗床T68	基本时间: 0.428 辅助时间: 0.068
<b>精镗</b>	精镗至 $18.00_{0}^{0.01}$ mm	IT7	工步完成后检查	设备: 镗床T68	基本时间: 1.26 辅助时间: 0.252
<b>钻</b>	钻孔 $\phi 8$ mm×2	IT11	定位准		基本时间: 0.075 辅助时间: 0.015
<b>线切割</b>	线切割半槽	IT8	定位准		基本时间: 0.075 辅助时间: 0.015

表3-3 厦门地区的加工基本价

用途	费用 (元/小时)
车	20
钻	15
线切割	60

根据厦门地区的加工基本价计算得:

$$\text{单件加工费费用} = 4.064 * 20 / 60 + 2.008 * 15 / 60 + 0.09 * 60 / 60 = 1.95 \text{元}$$

$$\text{单价成本} = \text{单价材料费} + \text{单价加工成本} = 1.95 + 1.26 = 3.21 \text{元}$$

## 3.4 有限元分析

英雄机器人轮板有限元分析

### 3.4.1 定义材料属性

英雄机器人轮板使用玻璃纤维作为承载（环氧树脂类）；

#### □ 环氧树脂

密度	1.14E-06 kg / mm <sup>3</sup>
杨氏模量	4940 MPa
泊松比	0.39
屈服强度	12.4 MPa
极限拉伸强度	24 MPa
热导率	4.68E-04 W / (mm C)
热膨胀系数	3.98E-05 / C
比热	1000 J / (kg C)

图3-6 环氧树脂材料属性

### 3.4.2 设置约束、载荷

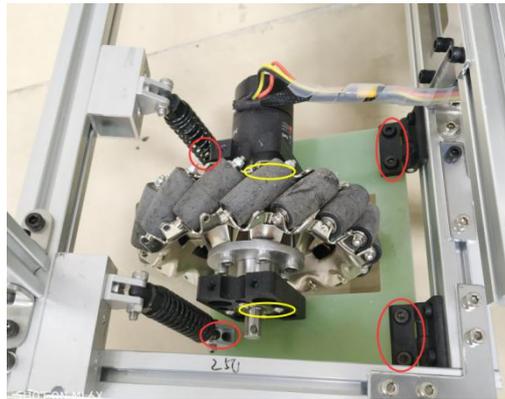


图3-7 英雄机器人轮板载荷分布

在有限元分析中，合页及避震弹簧可近似看成对承载板的刚性约束，从而对英雄车轮板进行静态分析。载荷按照规则最大承载设定，35kg，均匀分布在四个车轮上，所以载荷设定为87.5N；

### 3.4.3 网格划分

对模型整体设置元素大小为模型的百分之六，在初步分析后发现在弹簧处的安全系数较低，但由于网格较大，并未占满三格区域，不能得出准确数值，故在弹簧处设置0.1mm的细化网格。

#### 网格

平均元素大小(占模型大小的百分比)	
实体	6
缩放每个零件的网格大小	否
平均元素大小(绝对值)	-
元素顺序	抛物线型
创建弯曲网格元素	是
曲线上的最大转角(度)	35
最大相邻网格大小比	1.5
最大纵横比	10
最小元素大小(占平均大小的百分比)	20

#### 自适应网格优化

优化步数	6
结果收敛公差(%)	5
要优化的部分元素(%)	40
基线精度的结果	Mises 等效应力

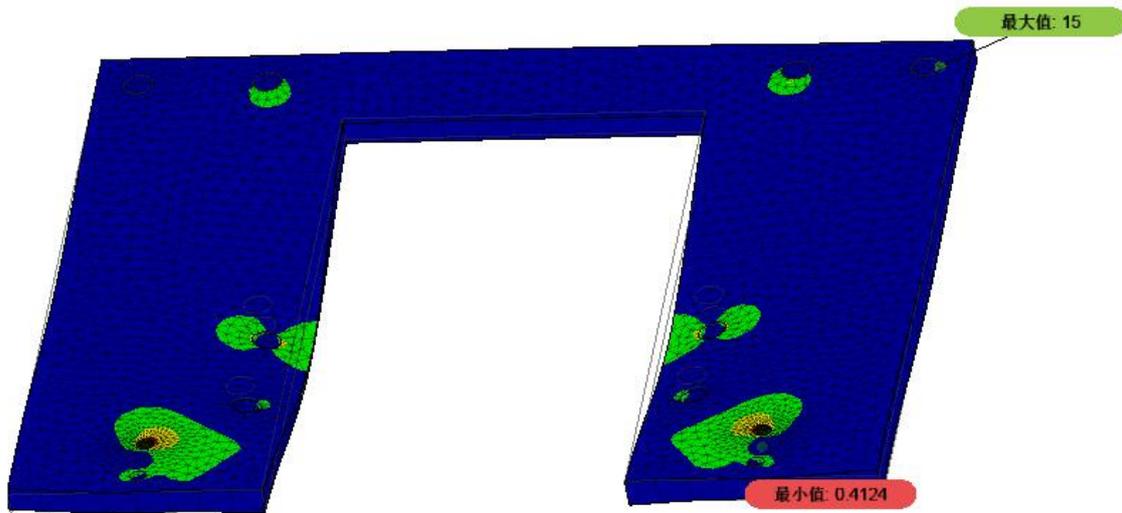
图3-8 整体网格划分



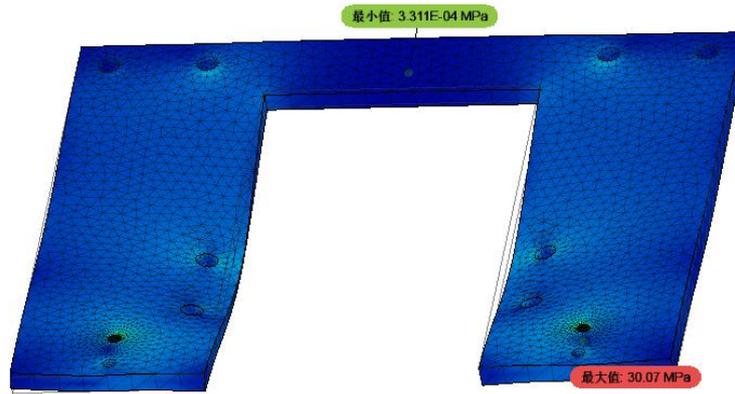
图3-9 网格局部划分位置

### 3.4.4 分析结果

名称	最小值	最大值
安全系数		
安全系数(每个实体)	0.4124	15
应力		
Mises 等效应力	3.311E-04 MPa	30.07 MPa
第一主应力	-23.37 MPa	36.17 MPa
第三主应力	-56.57 MPa	12.43 MPa
法向 XX	-38.59 MPa	25.71 MPa
法向 YY	-41.49 MPa	26.09 MPa
法向 ZZ	-31.17 MPa	15.81 MPa
剪切应力 XY	-7.337 MPa	8.771 MPa
剪切应力 YZ	-11.39 MPa	2.307 MPa
剪切应力 ZX	-10.76 MPa	8.881 MPa
位移		
总计	0 mm	0.1848 mm
X	-0.01142 mm	0.01139 mm
Y	-0.01053 mm	0.01053 mm
Z	-0.1848 mm	0.02722 mm
反作用力		
总计	0 N	2.149 N
X	-1.13 N	1.045 N
Y	-1.964 N	2.064 N
Z	-1.128 N	1.114 N
应变		
等效	1.038E-07	0.01113
第一主应力	8.163E-08	0.008455
第三主应力	-0.0124	-9.356E-08
法向 XX	-0.003508	0.002766
法向 YY	-0.00296	0.002785
法向 ZZ	-0.002493	0.002909
剪切应力 XY	-0.004129	0.004936
剪切应力 YZ	-0.006411	0.001298
剪切应力 ZX	-0.006055	0.004998



安全系数 0  8



Mises 等效应力 [MPa] 0 30.07

图3-10 有限元分析结果

### 3.4.5 拓扑优化

▣ 标准

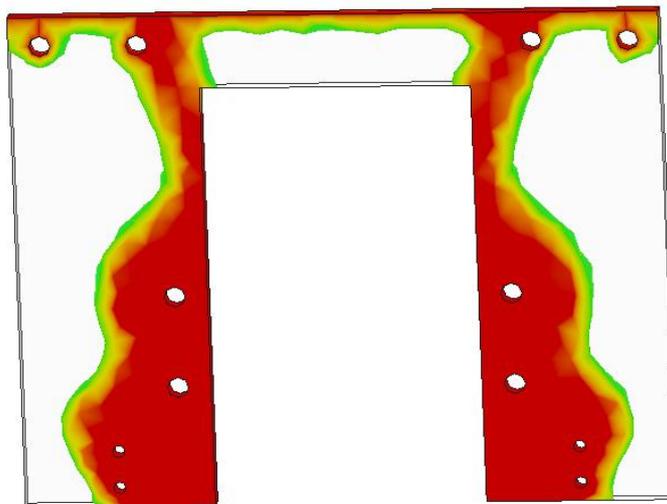
参数	表达式	值
目标质量	< OR =	50 %
刚度	最大化	

▣ 结果

▣ 优化摘要

名称	值
之前的质量	0.082 kg
之后的质量	0.041 kg
质量比	50.13 %

图3-11 拓扑优化参数



载荷路径临界状态 0 1, 阈值: 0.5 - 1

图3-12 拓扑分析结果

### 3.4.6 根据分析结果对模型进行修改

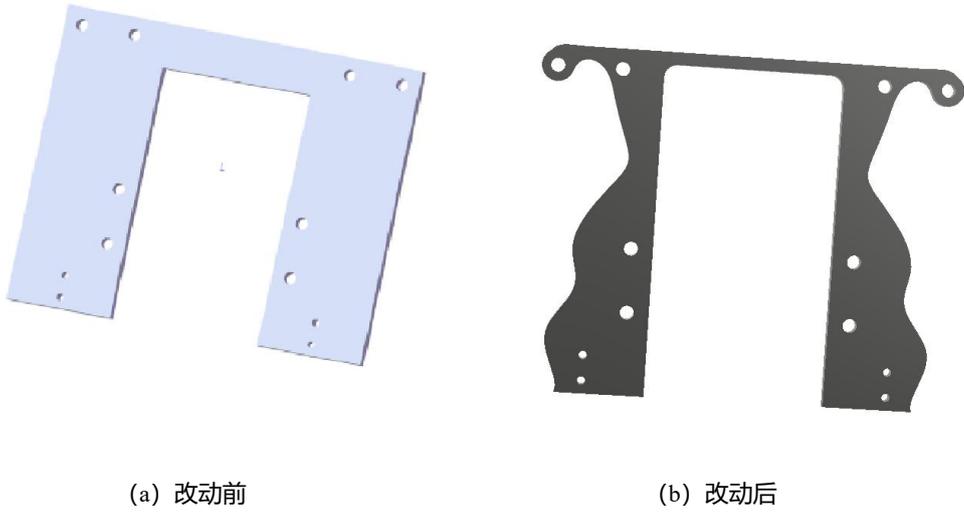


图3-13 优化后结果对比

# 第4章 算法设计

## 4.1 需求分析

### 4.1.1 程序实现目标

实现对敌方装甲板识别，并能够避免环境中的杂光、反光的影响以及避免不同装甲板上的灯条由于距离靠近而产生的误判，并能将对应的打击信息回传。

### 4.1.2 硬件要求

miniPC (intel NUC) 、摄像头模块 (KS2A17)

## 4.2 方案设计

### 4.2.1 总体流程

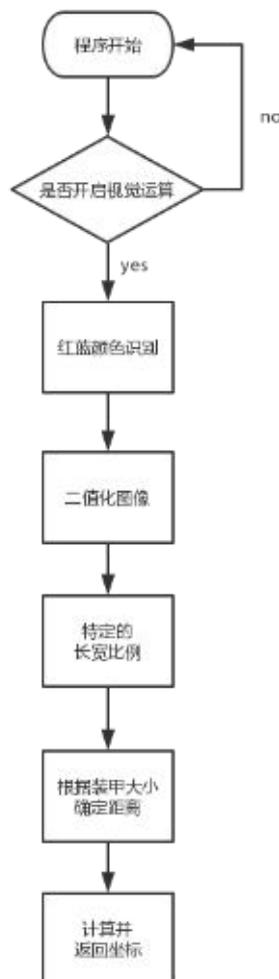


图4-1 总体流程

步兵机器人视觉可以实现辅助射击的功能。辅助打击时先识别敌方机器人装甲的颜色，利用装甲板特定的长宽比例，排除场上的干扰光线对目标识别的影响。紧接着，锁定离我方最近的敌方目标，将其设为打击对象，并且计算其距离，并返回应该瞄准的X,Y值。

## 4.2.2 详细内容

装甲检测功能

检测场景中的敌方装甲，并返回其在视野中的坐标与距离，在多目标时保证打击的专一性。

## 4.2.3 原理及操作

基本原理如下：

(1) 通过对RGB颜色通道给予一定的阈值实现二值化，效果图如下：

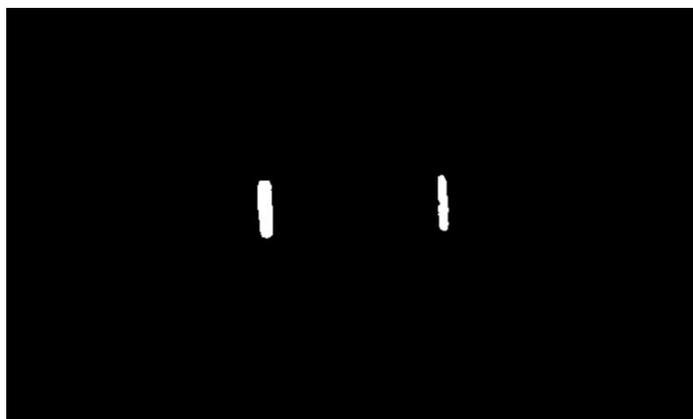


图4-2 二值化

(2) 使用OpenCv内置函数findCounters()提取内轮廓，效果图如下：

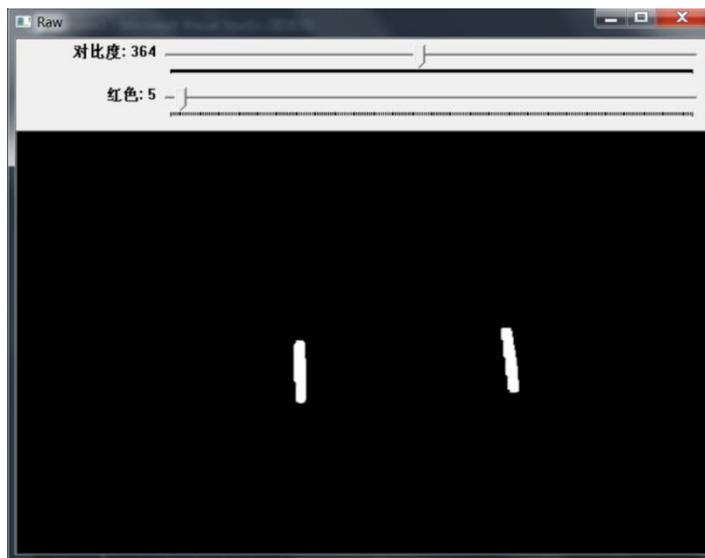


图4-3 提取内轮廓

(3) 提取出图中所有白色区域，并使用ellipse()函数提取出来，筛选其中满足以下条件的椭圆：

1. 轮廓大小大于十个像素点
2. 椭圆中心点为白色
3. 以椭圆中心为中心的5\*5个像素点在图中

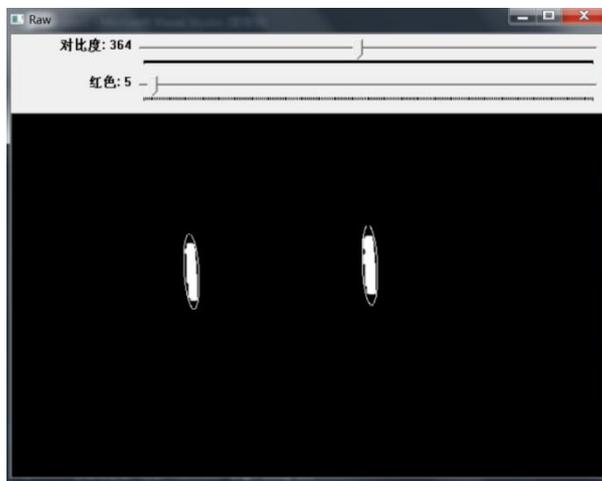


图4-4 产生椭圆

(4) 遍历产生的所有椭圆，并将其依次配对产生旋转矩形，筛选其中满足以下条件的椭圆和矩形：

1. 椭圆大小近似，且外切矩形的角度差值小于预设值
2. 椭圆中心点距离和外围包括的轮廓的比例满足装甲板实际比例
3. 产生的旋转矩形关于水平面的角度小于设定值
4. 遍历过程中删除其中过小的矩形
5. 绘制其中产生的最大的，符合要求的打击区域



图4-5 求取打击区域

### 4.2.4 程序流程图

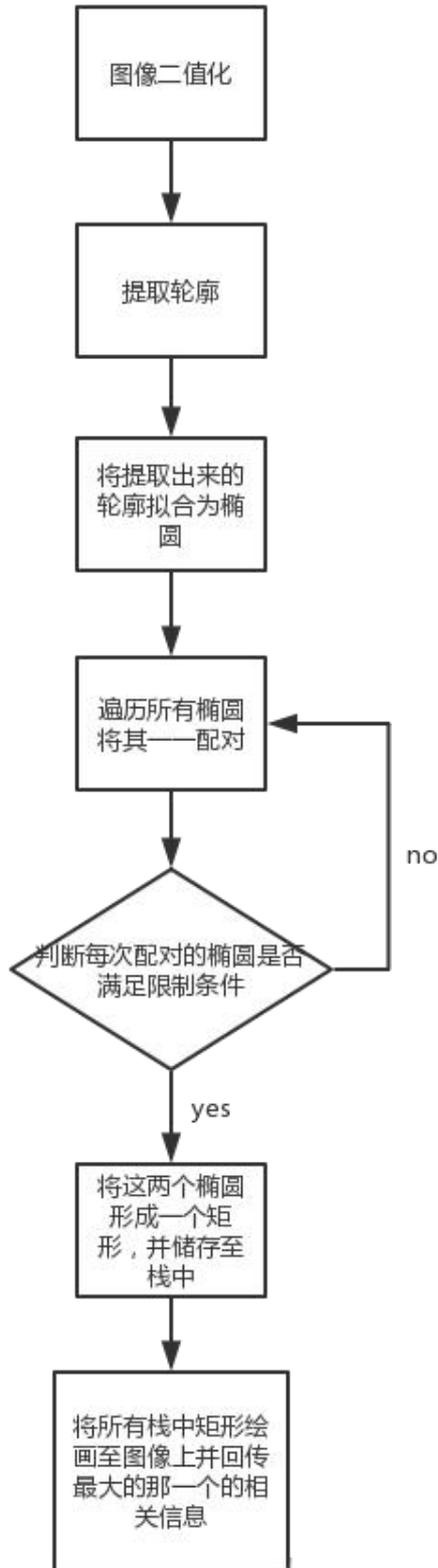


图4-6 视觉方案程序流程图

## 4.3 算法对比与性能分析

(1) 在装甲识别的过程中，我们的算法能够做到准确识别敌方装甲板，并且能够保证不被其他的干扰灯条所影响，并且准确返回先关打击信息

(2) 我们的问题在于，在敌方装甲处于高速移动状态下，例如自选状态下时，由于算法运行速度和摄像头质量问题导致准确度下降，画面中的灯条变成光带。

(3) 在敌方装甲距离我方较远时，识别功能效果下降严重，主要原因还是摄像头清晰度较低，在摄录画面中，光条在较远距离下由于像素较低而被判成背景杂光。

## 第5章 人机工程分析

人机工程是为了方便人机交互，而人机交互设计的评判准则一般可分为三个原则：优先级、一致性、感觉与临界点，结合这三个原则，本次设计过程我们主要考虑了机器人机械设计、整体布线、操作手与机器人之间的交互。

### 5.1 机械设计

首先要遵从功能优先级，设计出来的机器人要满足运动、射击、补给、救援等基本功能；其次是加工优先级，机器人的设计过程中各零件锐边都加了倒角做防割手处理，摩擦轮的前端也加入了流线型防护罩，这样确保了加工的安全性；在此基础上，我们还考虑到了视觉优先级，对一些重要的部件进行了拓扑优化，打破方方正正的机械加工件设计传统，给零件赋予灵魂，使机械结构更加轻便，减少了机器人整体重量，同时也使机器人看上去更加美观。

### 5.2 布线部分

在整体布线上，我们考虑到了元素的一致性，步兵战车底盘部分基本走线采用横平竖直原则。线缆走线的固定采用黑色的尼龙扎带固定，并使用黑色绕线管将多分支并在一起，保护电线不受磨损及保持绝缘，改进电线弯曲的美观性，色调接线的统一，使得整体外观简洁利落。

走线优先沿铝型材内侧，将电调及其接口隐藏于底盘的框架以及玻纤板固定连接处，尽量减少暴露在外侧并避免悬空，并用绕线管包好，电机电源线朝向底盘底部内侧走，避免受到外部打击而导致断电。

### 5.3 操作手人机交互

#### 5.3.1 键位设计

感觉与临界点的原则即从操作手的角度充分考虑，在程序设计时，大部分按键以当下较为流行的FPS游戏操作作为基准，例如“WSAD”移动，鼠标右键开启辅助瞄准，左键射击，“shift”加速等；对于一些特殊的操作按键，则以简化、简单作为设计基准进行设计，例如“R”键切换射击子弹、“F”键进行子弹补给等，让操作手能够在短时间内适应键位，并且在比赛时能够迅速反应，将机器人操作得得心应手。

#### 5.3.2 弹药量检测

通过弹仓内壁固定放置的红外传感器，实时测量弹仓当前剩余弹丸堆积高度，计算剩余弹丸数量，并在图传模块前侧放置RGB LED灯，当剩余弹丸数量超过下限时，LED灯变为红色并闪烁，提醒操作手根据目前剩余弹丸状态做好补充弹丸的准备，避免在攻击过程中突然弹丸用光情况的出现。

# 第6章 科学设计方法

使用系统辨识的方法分析云台传递函数。

反馈系统的结构图如下所示：

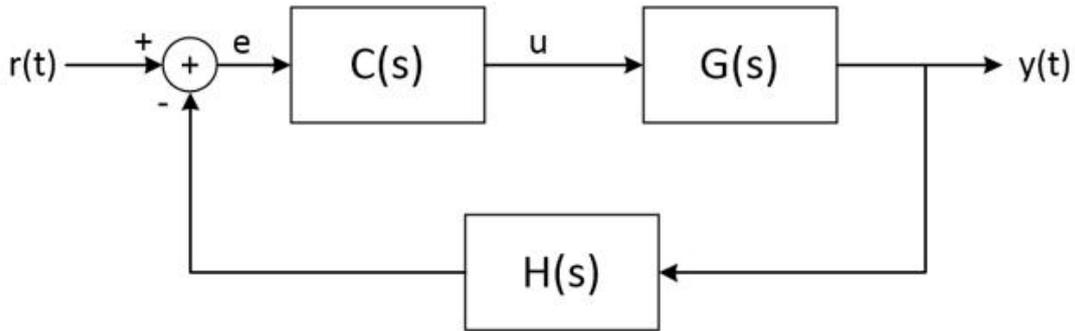


图6-1 云台传递函数

$G(s)$ 代表被控对象， $C(s)$ 为控制器， $H(s)$ 为反馈。

在不考虑扰动的情况下，系统的闭环传递函数为：

$$\Phi(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)H(s)}$$

## 6.1 系统辨识

### 6.1.1 位置环PID控制器

在Yaw轴云台上加载位置环PID控制器，根据经验和时域响应情况，调节PID参数使得云台可以稳定运行。

### 6.1.2 激励信号的设计

6020电机能响应的电压信号频率为1kHz，根据采样定理，截止频率最高到达500Hz。产生频率从1Hz到500Hz变化的正弦信号，每个频率点持续20个周期。由于频率范围较大，且高频部分云台振幅变化较小，为了减少数据量，采用类指数形式的变化趋势。为了保证信号不会发生跳变，在每次信号频率发生变化时都需要从零相位开始，因此周期需要是整数。使用MATLAB生成的激励信号频率如下：

```
F = ([1:0.5:22, 24:2:40, 50:10:120,200,250,333,500]);
T = round(1000./F); //周期取整
F = 1000./T;
subplot(2, 1, 1);
plot(T);
```

```

ylabel('T(ms)');
hold on;
plot(T,'*');
subplot(2,1,2);
plot(F);
ylabel(['F(Hz)']);
hold on;
plot(F,'*');
    
```

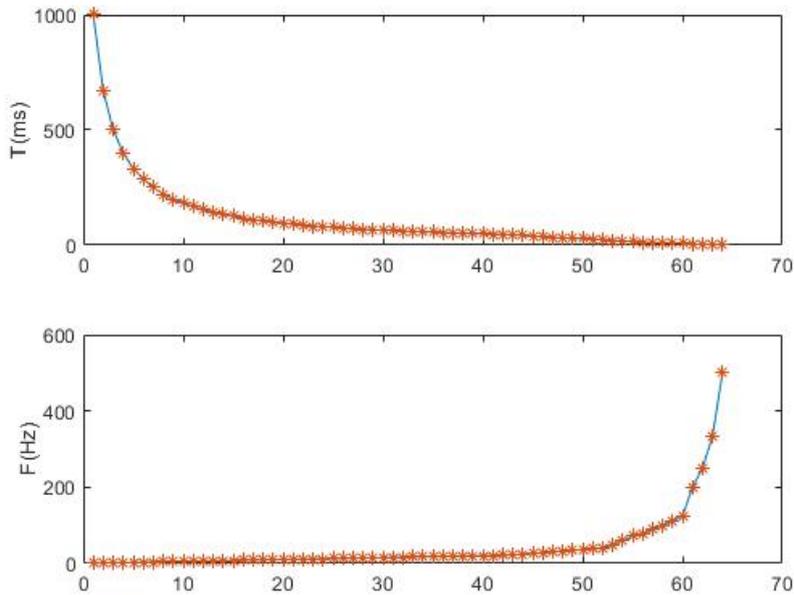


图6-2 激励信号

### 6.1.3 数据采集与处理

配置J-Scope工程，Keil设置好相关参数后启动程序，用J-Scope记录云台的期望角度和实际角度，采集完成后导出数据为csv格式。

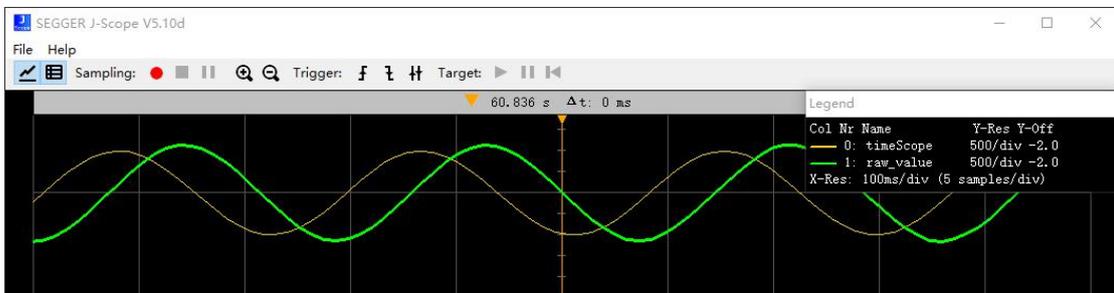


图6-3 云台的期望角度和实际角度对比

用MATLAB导入csv文件中的数据。

处理后的时域数据绘制如下：

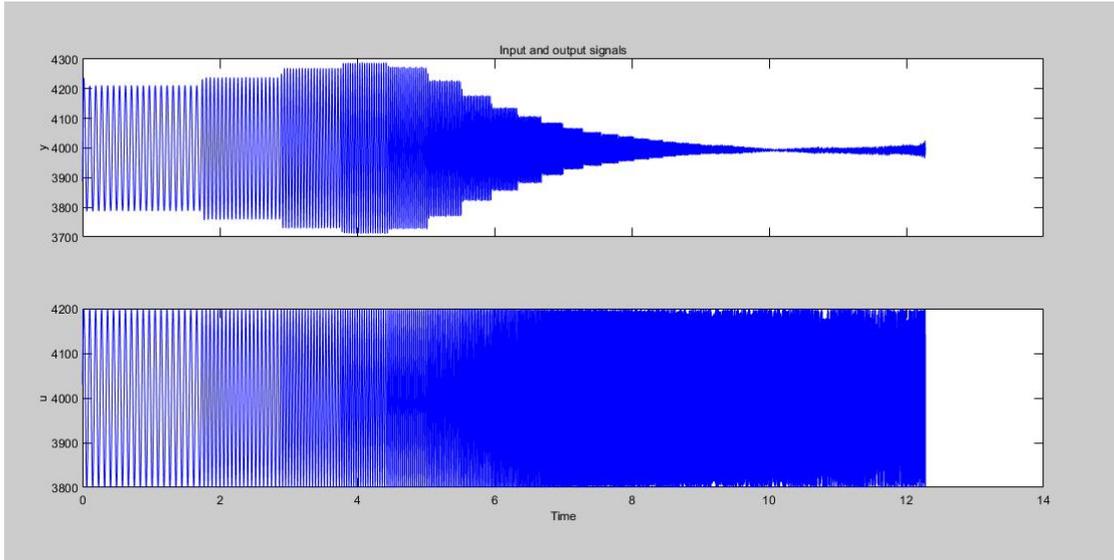


图 6-4 振幅

由时域的图像可以明显看到，云台在高频下的振幅由明显衰减。

系统辨识:在MATLAB的命令行窗口输入systemIdentification，打开系统辨识工具箱。

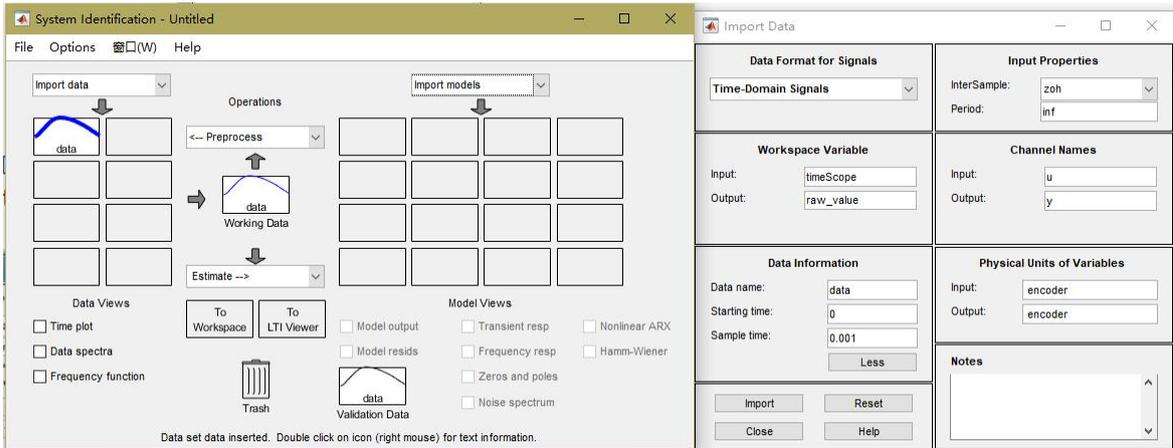


图6-5 统辨识工具箱

导入数据，点击 Estimate ，多次设置零点、极点个数，比较得到拟合结果较好的系统闭环传递函数如下：

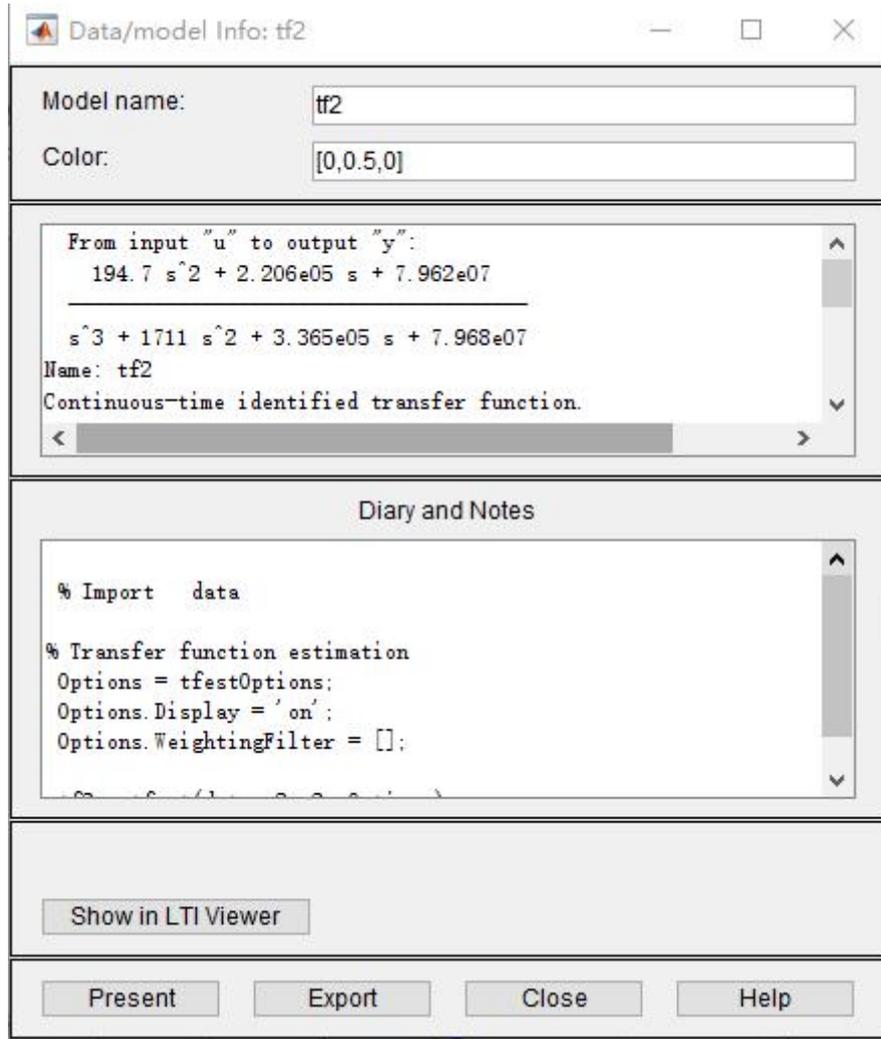


图6-6 系统闭环传递函数

点击Model output和Frequency resp显示传递函数模型的拟合结果和频率响应图:

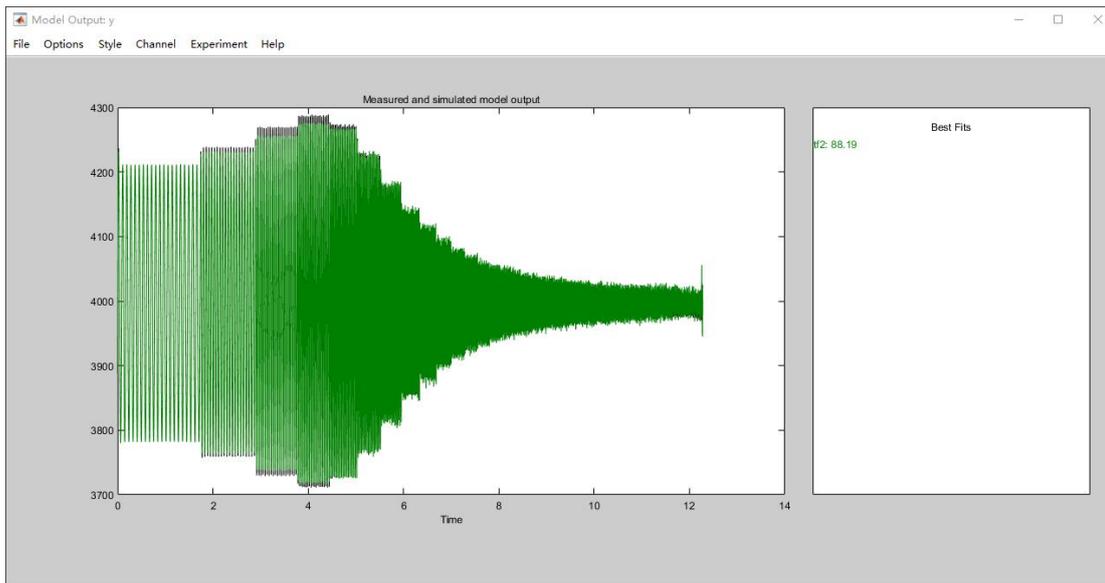


图6-7 传递函数模型的拟合结果

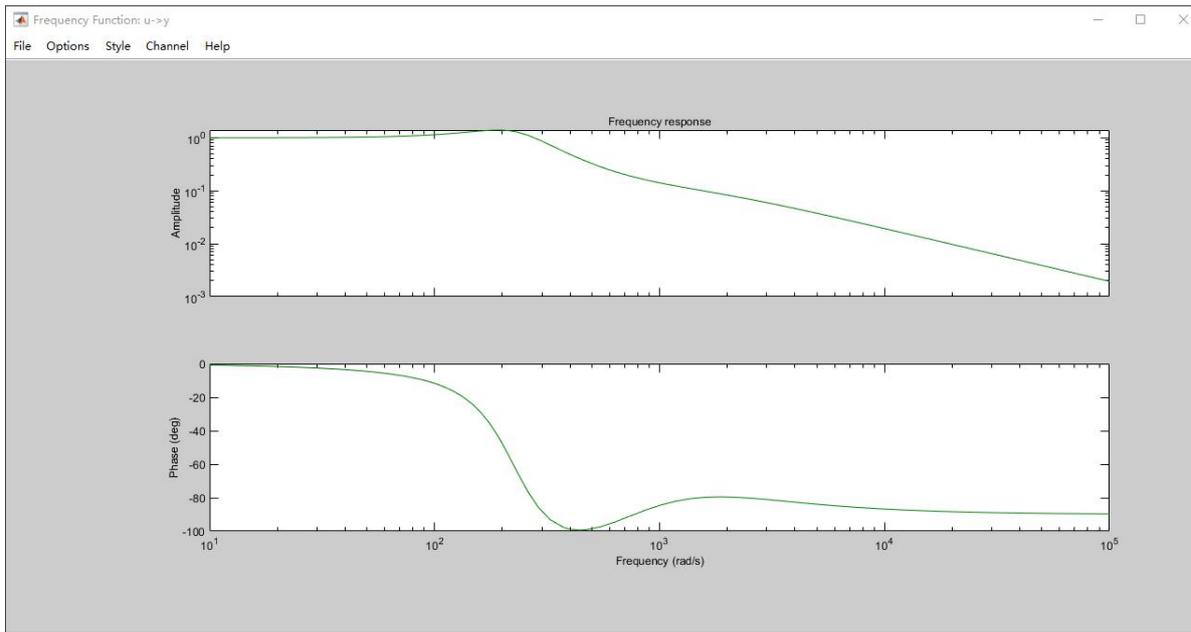


图6-8 频率响应图

由 Model output 图像可知，该传递函数的输出结果拟合度达到88.19%，可以较好的刻画系统的动态特性。

## 6.2 基于闭环传递函数进行补偿器设计

### 6.2.1 系统闭环传递函数

由系统辨识得到的系统闭环传递函数为：

$$G = \frac{194.7 s^2 + 220600 s + 7.962e07}{s^3 + 1711 s^2 + 336500 s + 7.968e07}$$

### 6.2.2 对实际系统进行分析

(1) 简化原先的PID控制的云台系统， $P(s)$ 为PID控制器， $M(s)$ 为云台和电机模型

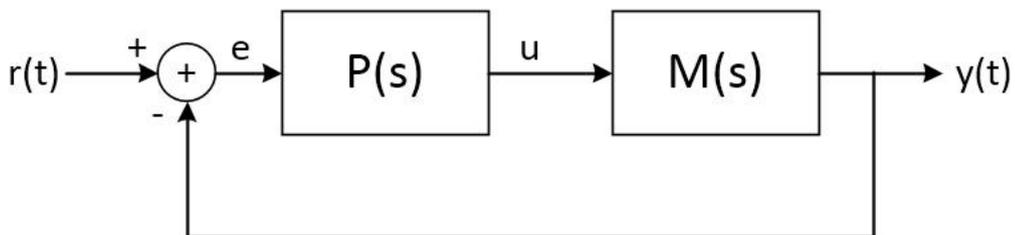


图6-9 原控制系统框图

在PID控制器之前加入补偿器，得到系统框图如下所示：

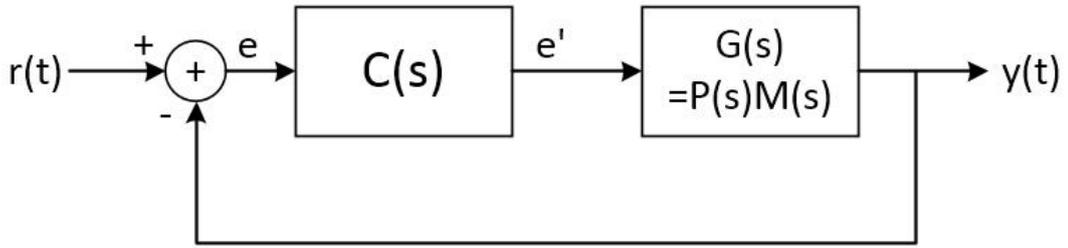


图6-10 加入控制器后系统框图

C(s)即所要设计的补偿器。

(2) 对闭环传递函数进行变换得到开环传递函数如下：

$$G = \frac{194.7 s^2 + 220600 s + 7.962e07}{s^3 + 1516 s^2 + 115900 s + 60000}$$

(3) 使用sisotool工具进行环路整形，导入开环传递函数，得下图：

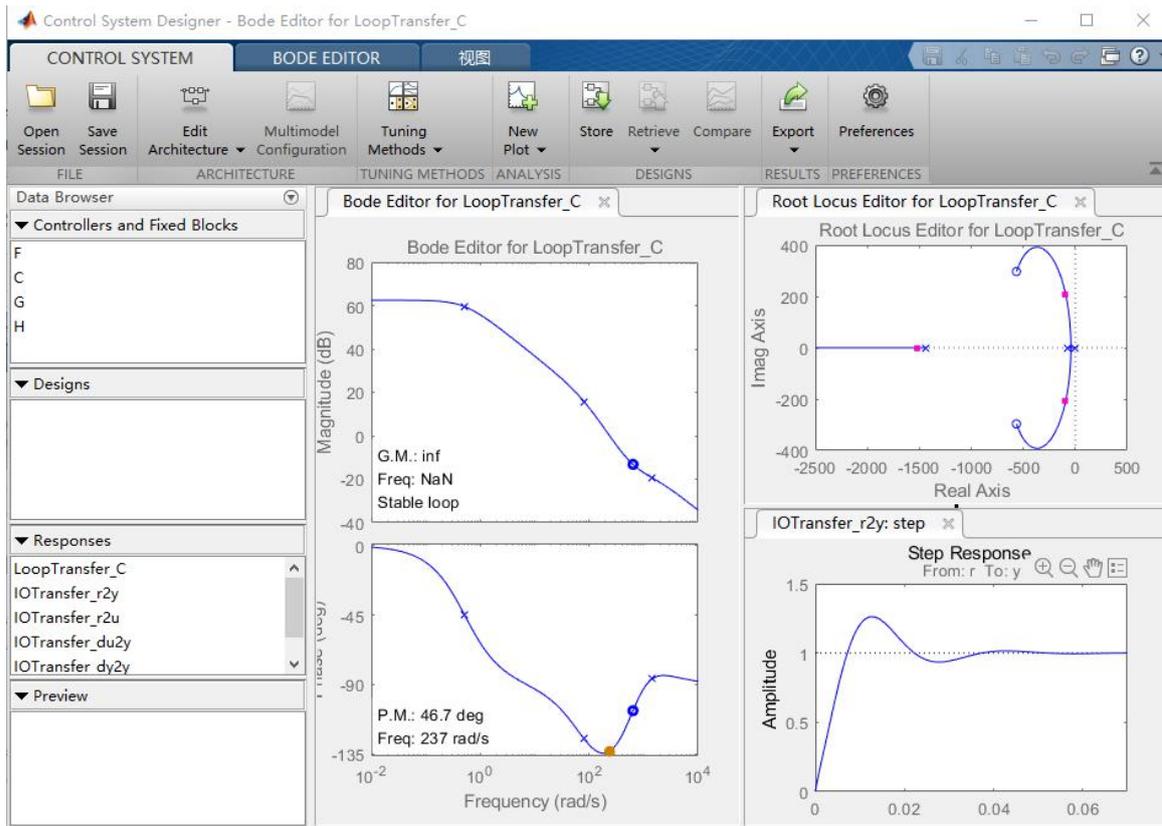


图6-11 原系统开环传递函数图

由时域图像可观察到过冲较严重，使用Loop Shaping工具设置补偿器，调整增益得到最终结果如下图：

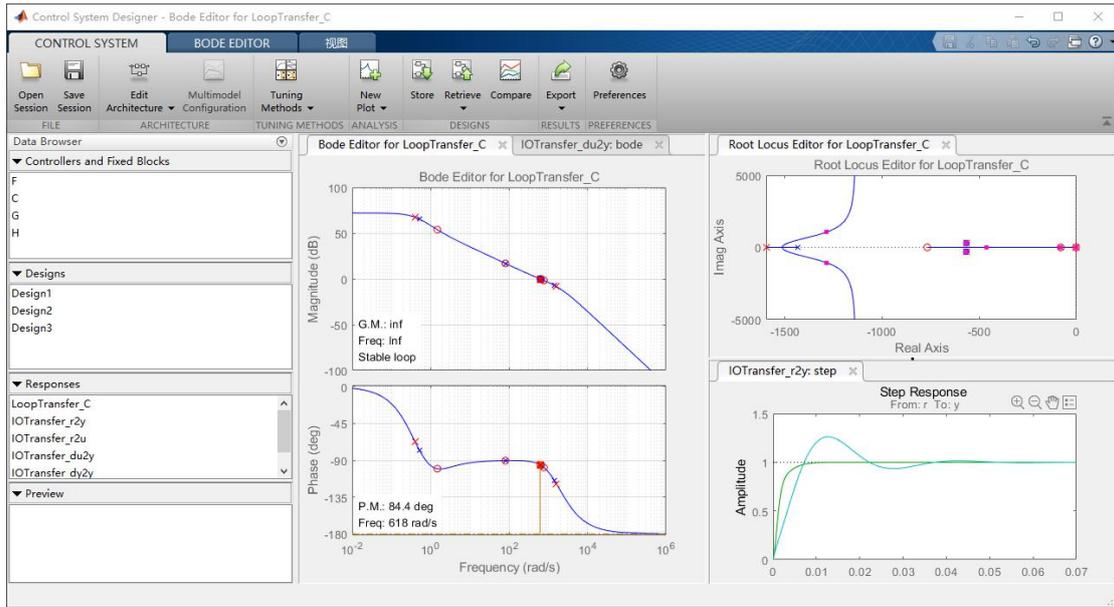


图6-12 加入补偿器后开环传递函数图

相位裕度为 $84.4^\circ$ ，阶跃响应稳态误差被消除，无超调量，上升时间约为0.01s，各项指标满足要求。

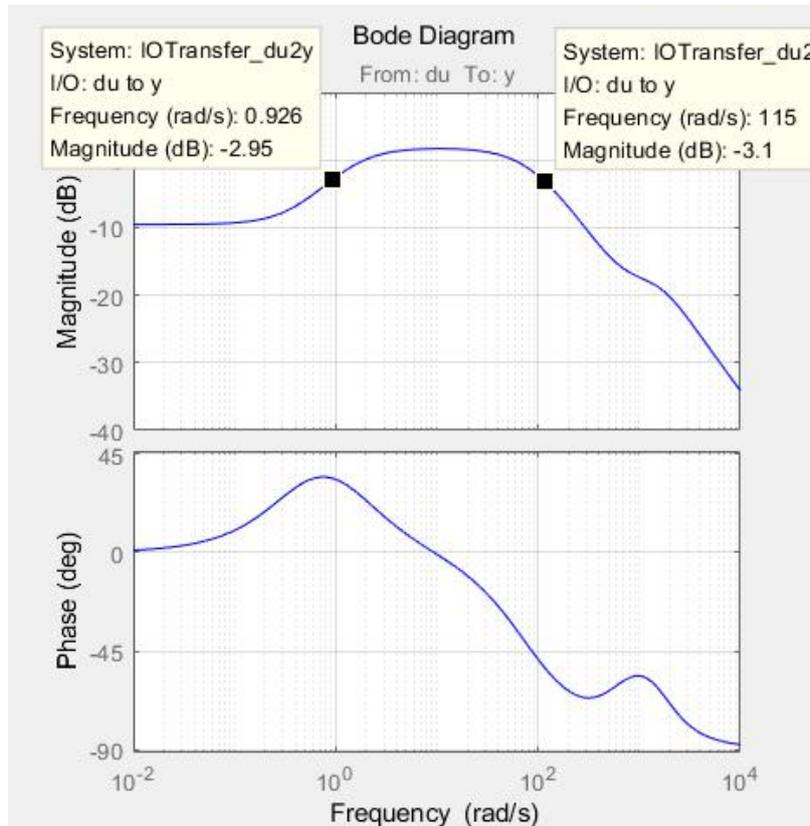


图6-13 加入补偿器后闭环传递函数bode图

由Bode图可知系统带宽约为115rad/s，系统可以响应的频率在18.3Hz以内。

### 6.2.3 补偿器实现

使用双线性变换法将传递函数离散化得到函数 $H(z) = (-8671679.0z^4 - 11330092.0z^3 + 4677750.0z^2 + 9762292.0z + 2426129.0) / (-7539661.0z^4 - 13255348.0z^3 + 1380210.0z^2 + 12737868.0z + 5631731.0)$ ，最后将其转化成差分方程形式用C语言实现。

发现实际效果并不理想，云台反而变得更加不稳定，后续将继续优化改进。

# 第7章 科学实践改进

## 7.1 测试需求

在其他条件不变的情况下，通过改变摩擦轮间距来寻求弹丸速度的最优解。

## 7.2 测试方案

### 7.2.1 实验设备

snail电机、包胶55邵氏硬度摩擦轮、15颗17mm小弹丸、枪管发射装置、两对红外传感器发射端与接收端、Arduino单片机、官方A型开发板、TB47电池。

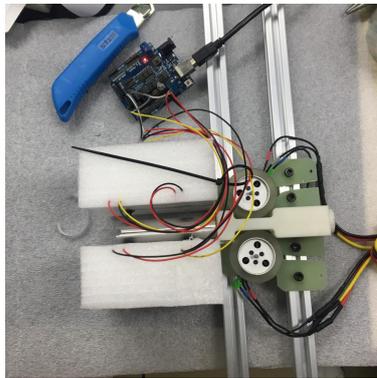


图7-1 实验装置

### 7.2.1 实验过程

控制实验过程中摩擦轮的转速相同。使用两对红外传感器与Arduino单片机来测速。通过改变两个摩擦轮间距，测出弹丸速度。

## 7.3 测试结果及分析

### 7.3.1 测试结果

间距为10.5、11.0、11.5、12、12.5、13、13.5、14、15、16mm的弹丸速度

表7-1 测试结果

间距 10.5		间距11.0		间距11.5		间距12		间距12.5	
次数	速度	次数	速度	次数	速度	次数	速度	次数	速度
1	26.13	1	25.4	1	25.81	1	24.47	1	24.38
2	25.71	2	25.6	2	25.45	2	24.47	2	24.61
3	25.3	3	25.76	3	25.4	3	24.33	3	23.74
4	25.3	4	25.65	4	25	4	24.52	4	24.38
5	26.13	5	25.15	5	24.95	5	24.43	5	23.44
6	25.71	6	25.2	6	24.71	6	24.15	6	24.47
7	25.71	7	25.6	7	24.76	7	23.97	7	24.71
8	25.71	8	24.71	8	25.55	8	24.43	8	24.47
9	24.9	9	25.1	9	24.66	9	24.24	9	24.06
10	25.3	10	24.43	10	24.95	10	24.52	10	25.55
11	25.3	11	25.25	11	25.45	11	23.79	11	24.71
12	25.71	12	25.76	12	24.81	12	24.15	12	25.81
13	24.52	13	25	13	25.2	13	24.15	13	25.5
14	25.3	14	24.95	14	25.6	14	24.33	14	24.57
15	25.3	15	25.2	15	25.5	15	24.24	15	25.81
均值	25.4687	均值	25.2507	均值	25.1867	均值	24.2793	均值	24.6807

间距13		间距13.5		间距14		间距15		间距16	
次数	速度	次数	速度	次数	速度	次数	速度	次数	速度
1	23.44	1	23.1	1	19.92	1	16.26	1	8.05
2	23.97	2	23.1	2	21.83	2	15.55	2	8.9
3	24.71	3	21.68	3	21.32	3	17.32	3	7.26
4	22.14	4	23.44	4	22.69	4	15.4	4	9.59
5	24.15	5	22.14	5	20.77	5	16.26	5	9.85
6	24.71	6	24.52	6	20.02	6	16.87	6	10.81
7	23.27	7	22.14	7	20.11	7	15.78	7	9.78
8	24.52	8	22.77	8	21.83	8	14.89	8	9.11
9	24.52	9	24.33	9	19.74	9	17.51	9	7.63
10	25.71	10	23.97	10	19.8	10	15.47	10	10.09
11	24.15	11	23.97	11	21.68	11	16.95	11	10.42
12	24.33	12	24.9	12	20.37	12	16.35	12	9.43
13	23.1	13	22.61	13	18.97	13	15.04	13	10.45
14	23.61	14	24.71	14	21.54	14	16.69	14	9.82
15	24.15	15	23.61	15	21.68	15	14.1	15	7.67
均值	24.0320	均值	23.3993	均值	20.8180	均值	16.0293	均值	9.2573

### 7.3.2 结果分析

(1) 将实验数据的均值代入MATLAB Curve Fitting Tool工具箱进行拟合，拟合结果如下：

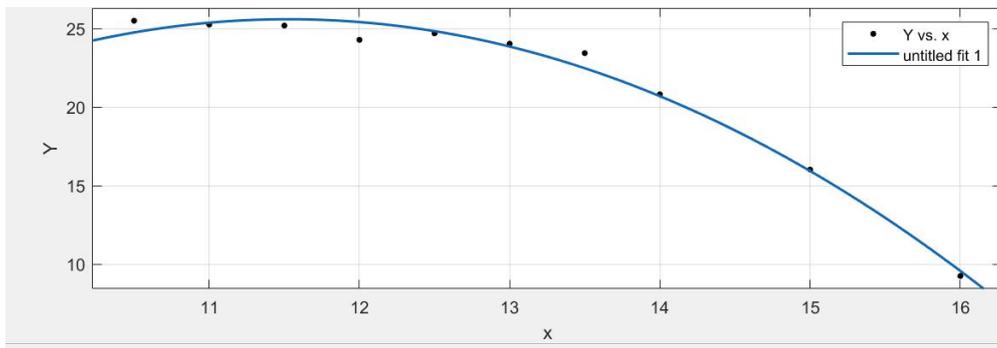


图7-2 MATLAB拟合结果

(Y为弹丸初速，x为两摩擦轮圆心距离减去二倍半径)

(2) 所得函数为：

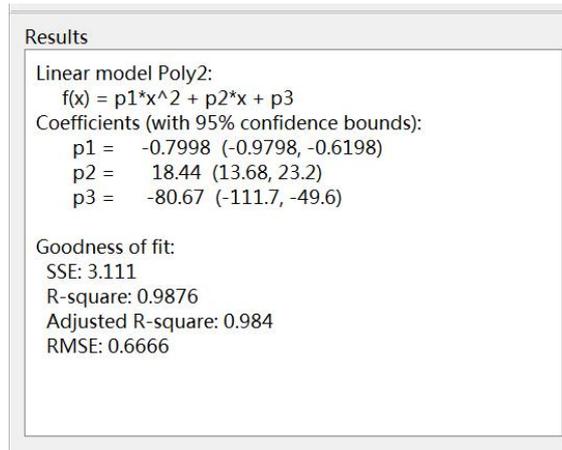


图7-3 MATLAB拟合结果所的函数

(3) 函数图像为:

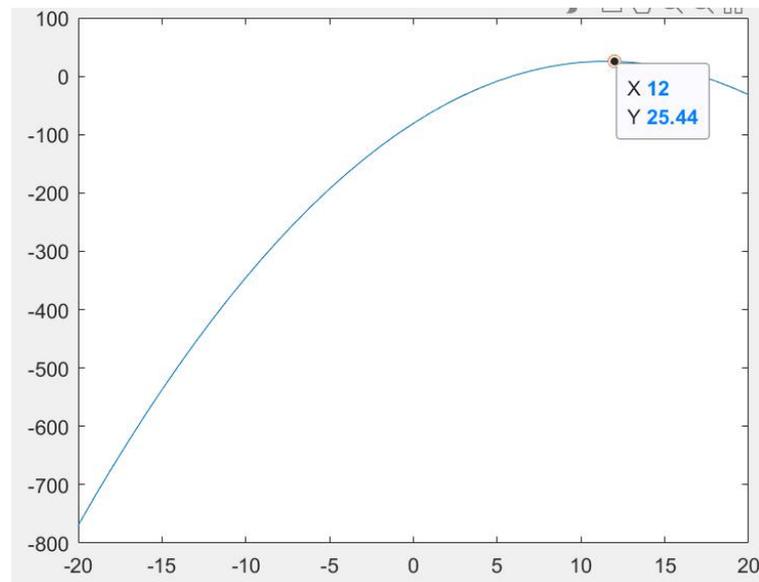


图7-4 拟合结果所得函数图像

最大值点如图所示，为 (12、25.44)

分析结果显示当摩擦轮间距为12mm时弹丸有最大速度25.44m/s。

### 7.3.3 优化改进

将小弹丸发射装置摩擦轮间距改为12mm。

# 第8章 传感器选型

## 8.1 陀螺仪

陀螺仪传感器可提供动静环境下实时的、高精度的横滚角、俯仰角和航向角，将其装在机器人云台上，可以使得在机器人运动过程中云台可保持固定的角度不受干扰，不受底盘移动以及车身倾斜的影响，实现稳定精准打击。

传感器选型：SC-AHRS-100D2是一款高性价比的姿态模块/航姿参考系统，由惯性测量单元、磁传感器等构成。产品内部嵌入扩展卡尔曼滤波算法，提供精确的磁航向、姿态等角度信息。相对于传统的航姿参考系统，通过产品内部各传感器相互作用，提高了产品的精度和可靠性，具有抗振动、抗短时外部磁场干扰、高带宽等特性。

表8-1 SC-AHRS-100D2陀螺仪参数

参数		指标	单位
姿态角	测量范围: 俯仰角	$\pm 90/\pm 180$	$^{\circ}$
	静态精度	0.2	$^{\circ}$
	动态精度	0.5	$^{\circ}$
	分辨率	0.1	$^{\circ}$
航向角	测量范围	$\pm 180$	$^{\circ}$
	动态	2 (RMS)	$^{\circ}$
	分辨率	0.1	$^{\circ}$
陀螺仪	测量范围: 仰俯/横滚	$\pm 1000$	$^{\circ}/s$
	零偏稳定性	50	$^{\circ}/h$
	非线性度	0.2	%FS
加速度计	三轴测量范围	$\pm 2$	g
	零偏稳定性	5	Mg
	非线性度	0.5	%FS
磁力计	三轴测量范围	$\pm 12$	Guass
	分辨率	0.003	Guass
	非线性度	0.1	%FS

## 8.2 摄像头

KS2A17 (光脚无畸变100度)

1. USB免驱摄像头
2. 高清画质 1080P
3. 30fps 高帧率
4. MJPEG编码压缩, 感光面1/2.7尺寸 OV2710高端视频芯片 非常优秀的室外效果
5. 可选配多种焦距、不同视角的镜头, 广角160度, 广角100度无畸变, 长焦12mm等, 手动对焦, 可微距拍摄
6. 系统兼容性强, 支持各种系统

## 8.3 红外线传感器

QT30CM分体对射式红外传感器是一款性价比较高的红外传感模块, 为NPN三线常开型, 可输出高低电平直接驱动继电器, 在正极与信号间加1k上拉电阻可直接接单片机IO口。

表 8-2 传感器技术参数

技术参数	指标	单位
感应距离	2-30	cm
感应方式	光速遮断 (红外)	
发射角度	<5	°
接受角度	<10	°
响应时间	2	ms

目的分析: 前期测速实验分析阶段, 通过两组红外传感器, 通过弹丸经过枪管两点处的时间差测出弹丸速度, 以进行分析调试以及机构改进。后期将红外传感器固定放置于弹仓上侧, 通过测量已弹丸堆积高度计算目前剩余弹丸数量, 将信息反馈给操作手。

## 第9章 创新性

工程机器人牵引装置的创新性：

此工程机器人采用的牵引装置与以往的不同，以往的工程机器人的牵引装置采用的是液压或气压作直线运动来启动挂钩，使挂钩作旋转运动，以实现挂钩的抓取和松开。此方式虽然简单，但是一整套系统的质量无法保证，能耗较大。有些还是类似于人推的方式来驱动机器人，这种方式效率太低，转向困难，而且失误率高，难操控等缺点。

次工程机器人采用的牵引装置是用一个电机，电机轴上用联轴器连有丝杆，丝杆随电机轴的绕动可以旋转。在丝杆上绕有钢丝绳，钢丝绳绕在动滑轮上，动滑轮的轴钩下有一根钢丝绳连在挂钩上，挂钩的“中心部”有一孔，此孔是将挂钩固定并可以旋转绕在车体上，挂钩本身也相当于一个省力杠杆，动滑轮也可以省力。另外本牵引装置的挂钩有一对，采用左右对称式，提高挂取成功率。由于采用了多层省力装置，故可以采用小功率的电机，可以有效降低工程机器人牵引装置的质量，提高工程机器人的工作效率。

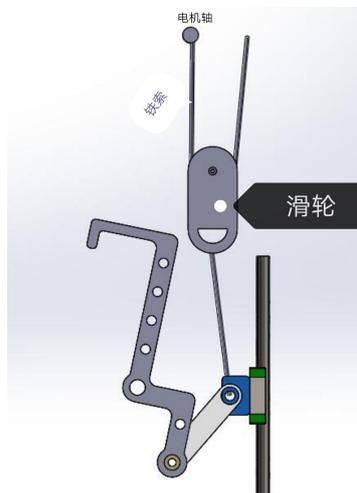


图9-1 工程机器人牵引装置

## 第10章 外观设计

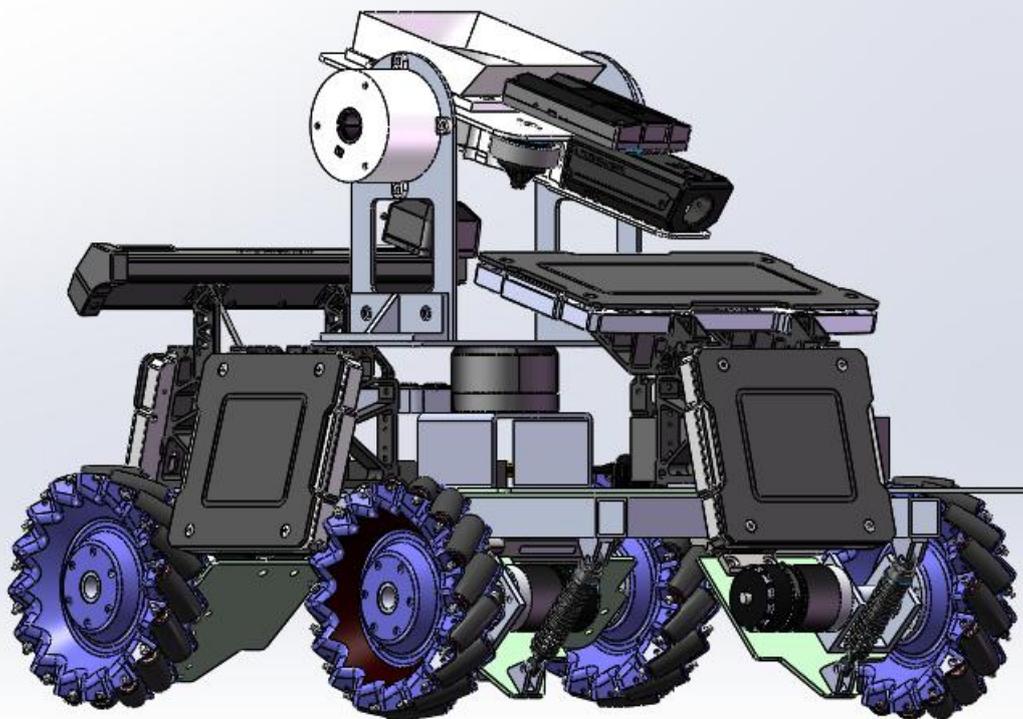


图10-1 步兵机器人外观设计

### 外观设计理念

本赛季华机战队机器人以方形结构为主,在适当的地方辅以三角形支撑,与机器人内在的技术机构巧妙结合,整体呈现上窄下宽的四棱锥形态,给人以视觉上的稳重感,结构合理,适用、美观、大方。

在材料上选用金属铝,产生光亮的金属表面质感,向人们传达了科技、理性的语义;对一些加工件、板材采用黑色亚光喷漆处理,使得整车配色以金属色与黑色为主,色调统一,给人清爽、简洁的感觉。

# 附录一 枪管工艺过程卡

机械加工工艺过程卡片														
华侨大学		机械加工工艺过程卡片				产品型号		零件图号		17mm 英雄枪管		共 页	第 1 页	
材料牌号	6061	毛坯种类	棒料	毛坯外型尺寸	∅ 24×95	每毛坯可制作件数	1	每台件数	1	备注				
工序号	工序名称	工序内容				车间	工段	设备	工艺装备	工 时				
										准终	单件			
10	备料	棒料												
20	钻中心孔	1. 车端面, 钻中心孔 2. 掉头车另一端面总长 90mm 至 90.50mm, 钻中心孔				金工		C6140	硬质合金可转位 45° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007) 游标卡尺 (125/0.02)		0.323			
	粗车	车 ∅ 21.00±0.02mm 外圆到 21.50mm,				金工		C6140	硬质合金可转位 60° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007) 游标卡尺 (125/0.02)		0.0504			
	精车	1. 车 ∅ 21.00±0.02mm 至尺寸 2. 车端面至 90.00mm				金工		C6140	硬质合金可转位 60° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007) 游标卡尺 (125/0.02)		2.016			
30	钻	钻孔 ∅ 18.00 至 ∅ 17.5mm				金工		Z525	锥柄麻花钻 (GB1438-2008) 硬质合金锥柄麻花钻莫氏 2 号 内径百分表		0.406			
40	镗	精镗镗孔 ∅ 18.00 至尺寸				金工		T68	镗刀 内径百分表		1.406			
50	钻	钻孔 ∅ 8, 钻孔 ∅ 8, 钻孔 R3				金工		Z525	锥柄麻花钻 (GB1438-2008) 硬质合金锥柄麻花钻莫氏 2 号 游标卡尺 (125/0.02) 内径百分表		0.267			
60	线切割	切割槽口				金工		线切割	游标卡尺 (125/0.02)		0.09			
70	去毛刺					钳工					0.01			
80	检	检验				检					2			
90	入库													
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	设计 (日期)	审核 (日期)	标准化 (日期)	会签 (日期)		
绘图		描校		底图号		装订号			日期	2019 年 2 月				

# 附录二 机械加工工序卡片

机械加工工序卡片										产品型号	零件图号		零件名称		17mm 英雄枪管		共	页	第	页
										产品名称										
										车间	工序号	工序名称	材料牌号							
										金工	20	车	6061							
										毛坯种类	毛坯外形尺寸	每毛坯可制件数	每台件数							
										棒料	$\phi 24 \times 95$	1	1							
										设备名称	设备型号	设备编号	同时加工件数							
										卧式车床	C6140		1							
										夹具编号	夹具名称	切削液								
	三爪自定心卡盘 尾座	乳化液																		
												工序工时 (分)								
												准终	单件							
工步号	工 步 内 容					工 艺 装 备			主轴转速 r/min	切削速度 m/min	进给量 mm/r	切削深度 mm	进给次数	工步工时						
1	车端面					硬质合金可转位 45° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007)			1120	84	0.2	1.5	1	0.054	0.011					
2	钻中心孔					A型中心钻			1400	9	0.1	3.51	1	0.053	0.010					
3	掉头粗车另一端面总长 90mm 至 90.50mm IT11					硬质合金可转位 45° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007) 游标卡尺 (125/0.02)			1120	84	0.2	1.5	2	0.108	0.022					
4	钻中心孔					A型中心钻			1400	9	0.1	3.51	1	0.053	0.010					
5	粗车 $\phi 21.00 \pm 0.03\text{mm}$ 外圆到 22.00mm IT11					硬质合金可转位 75° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007) 游标卡尺 (125/0.02)			1120	84	0.2	2.5	1	0.420	0.084					
6	精车 $\phi 21.00 \pm 0.03\text{mm}$ 至尺寸 IT6					硬质合金可转位 90° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007) 游标卡尺 (125/0.02)			1400	88	0.1	0.25	2	1.68	0.336					
7	车端面至 90.00mm IT8					硬质合金可转位 45° 偏头外圆车刀 (GB5343.2-2007) 游标卡尺 (125/0.02)			1120	84	0.1	0.25	2	0.27	0.054					
										设计 (日期)	校 对 (日期)	审 核 (日期)	标准化 (日期)	会 签 (日期)						
标记	处数	更改文件号	签 字	日 期	标记	处数	更改文件号	签 字	日 期											



机械加工工序卡片										产品型号	零件图号	共 页 第 页		
										产品名称	零件名称			
										车间	工序号	工序名称	材料牌号	
										金工	50	钻		
										毛坯种类	毛坯外形尺寸	每毛坯可制件数	每台件数	
										棒料	∅24×95	1	1	
										设备名称	设备型号	设备编号	同时加工件数	
										立式钻床	Z525			
										夹具编号	夹具名称	切削液		
										工序工时 (分)				
										准终	单件	394.1		
工步号	工 步 内 容					工 艺 装 备		主轴转速	切削速度	进给量	切削深度	进给次数	工步工时	
								r/min	m/min	mm/r	mm		机动	辅助
1	钻孔 ∅8 IT11					锥形麻花钻 (GB1438-2008) 硬质合金锥形麻花钻莫氏 2 号 游标卡尺 (125/0.02)		1360	34	0.1	4	1	0.074	0.015
2	钻孔 ∅8 IT11					锥形麻花钻 (GB1438-2008) 硬质合金锥形麻花钻莫氏 2 号 游标卡尺 (125/0.02)		1360	34	0.1	4	1	0.074	0.015
3	钻孔 ∅3 IT11					锥形麻花钻 (GB1438-2008) 硬质合金锥形麻花钻莫氏 2 号 游标卡尺 (125/0.02)		1360	13	0.1	1.5	1	0.074	0.015
										设计 (日期)	校对 (日期)	审核 (日期)	标准化 (日期)	会签 (日期)
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期					

机械加工工序卡片										产品型号	零件图号	共 页 第 页		
										产品名称	零件名称			
										车间	工序号	工序名称	材料牌号	
										金工	60	线切割		
										毛坯种类	毛坯外形尺寸	每毛坯可制件数	每台件数	
										棒料	∅24×95	1	1	
										设备名称	设备型号	设备编号	同时加工件数	
										线切割				
										夹具编号	夹具名称	切削液		
										工序工时 (分)				
										准终	单件			
工步号	工 步 内 容					工 艺 装 备		主轴转速	切削速度	进给量	切削深度	进给次数	工步工时	
								r/min	m/min	mm/r	mm		机动	辅助
1	线切割槽					游标卡尺 (125/0.02)							0.075	0.015
										设计 (日期)	校对 (日期)	审核 (日期)	标准化 (日期)	会签 (日期)
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期					

