



第十七届全国大学生机器人大赛

RoboMaster 2018 机甲大师赛

设计报告

2018.03

V 2.0

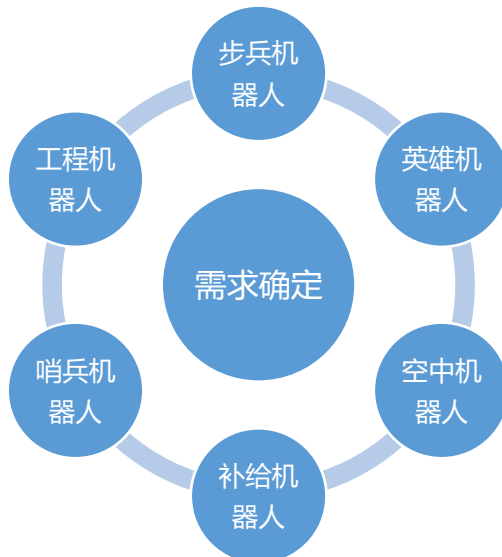
目录

第1章 需求确定.....	3
1.1 步兵机器人.....	3
1.2 英雄机器人.....	5
1.3 工程机器人.....	6
1.4 哨兵机器人.....	6
1.5 补给机器人.....	7
1.6 空中机器人.....	7
第2章 结构设计.....	8
第3章 程序逻辑.....	9
3.1 机器人的驱动方案.....	9
3.2 机器人的云台方案.....	10
3.3 机器人视觉逻辑框.....	12
第4章 人机工程分析.....	13
4.1 射频测速模块目的.....	13
4.2 基本原理.....	13
4.3 软件及环境.....	13
4.4 程序截图.....	13
4.5 实验截图.....	15
4.6 结果分析.....	16
第5章 科学设计方法.....	17
5.1 装甲检测功能.....	17
5.2 原理及操作.....	17
5.3 软件及环境.....	21
5.4 操作程序流程图.....	22
5.5 实验结果分析.....	23
5.6 实验问题和探究.....	24

第 6 章 科学实践改进.....	25
第 7 章 创新性.....	28
7.1 英雄机器人底盘创新目的.....	28
7.2 方案核心创新点	28
第 8 章 外观设计.....	30
附录一 结构设计	31
1 需求分析.....	31
2 设计图纸.....	32
3 材料和工艺.....	33
4 枪管有限元分析.....	34
附录二 加工工艺和工序卡	38
附录三 建造场地.....	41

第1章 需求确定

Robomaster机甲大师赛作为一个国际标准化大赛，具有明确的规则要求，参赛队伍须在熟知规则的情况下，忖度自身条件，找出不足加以改正，并在赢得比赛的关键技术上深入研究。因而明确团队自身需求是十分重要的环节。现将Areas战队在本届比赛的需求确定情况机器人不同种类进行说明。



总目标需求：主要完成步兵机器人、英雄机器人、工程机器人、哨兵机器人、空中机器人、补给机器人，以实现其需要的具体功能。以下进行详述。

类别	需求确定
步兵机器人	控制云台转动、子弹发射、底盘运动和接受弹丸补给
英雄机器人	控制云台转动、大弹丸发射、底盘运动、升降机构的运动、弹药箱抓取机构的运动、登岛和接受弹丸补给
工程机器人	底盘运动、升降机构的运动、弹药补给机构的工作、登岛、治疗和拖动机器人
哨兵机器人	云台转动、小弹丸发射、哨兵在轨道上的运动
空中机器人	稳定飞行、云台转动、小弹丸发射、提供视野
补给站	弹丸分配、补弹

1.1 步兵机器人

步兵机器人必须按照要求安装裁判系统，可以安装一个相机图传模块、一个遥控器以及一个17mm口径的发射机构。步兵机器人的射速、射频和底盘功率均受到裁判系统的限制。

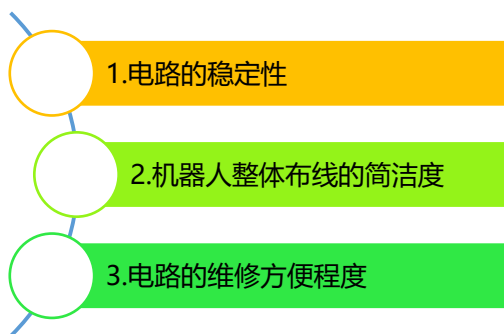
关键技术点：

- (1) 电路部分：控制云台转动、子弹发射、底盘运动

任务优先级：



指标:



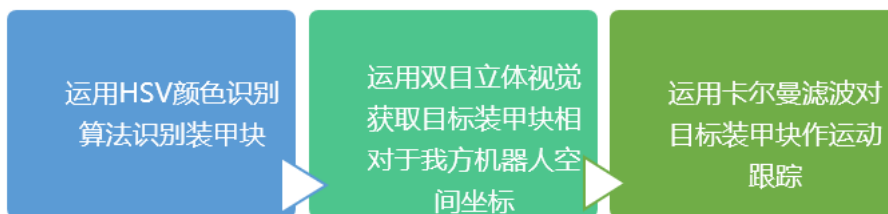
(2) 视觉部分: 实现机器人可视化、自动化、精准化打击。

任务优先级:



指标:

①在任务a中, 涉及的关键技术指标要求能在距敌方机器人5m的范围内稳定、准确地识别敌方机器人装甲并对其精准打击。涉及的技术点主要有:



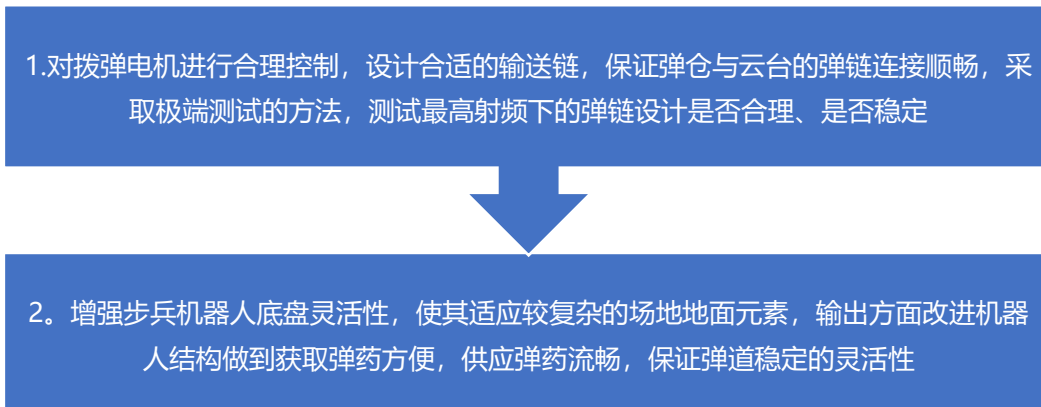
②在任务b和c中, 涉及的关键技术指标要求我方机器人在能量机关击打区能稳定、准确地识别密码区数字、手写阿拉伯数字和动态火焰阿拉伯数字。



(3) 电控部分: 控制好各步兵机器人的功率限制, 在最大有效功率使用前提条件下能够使剩余的功率作用在其他地方, 实现功率的最大利用, 帮助机器人稳定安全的进行比赛。

(4) 机械部分: 在上届的基础上更换底盘电机, 由RM35换为3508电机, 解决供弹卡弹问题

指标:



1.2 英雄机器人

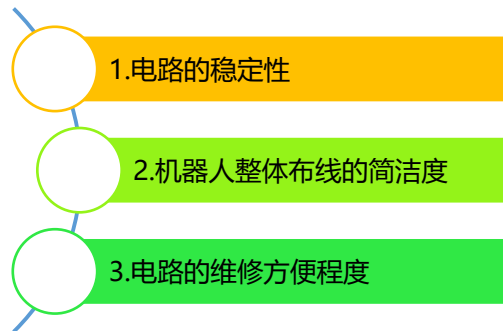
英雄机器人必须按照要求安装裁判系统，可以安装一个相机图传模块、一个遥控器，以及可同时安装一个17mm口径的发射机构和一个42mm口径的发射机构。英雄机器人的射速、射频和底盘功率均受到裁判系统限制。

关键技术点：

- (1) 电路部分：控制云台转动、大弹丸发射、底盘运动、升降机构的运动以及弹药箱抓取机构的运动
任务优先级：



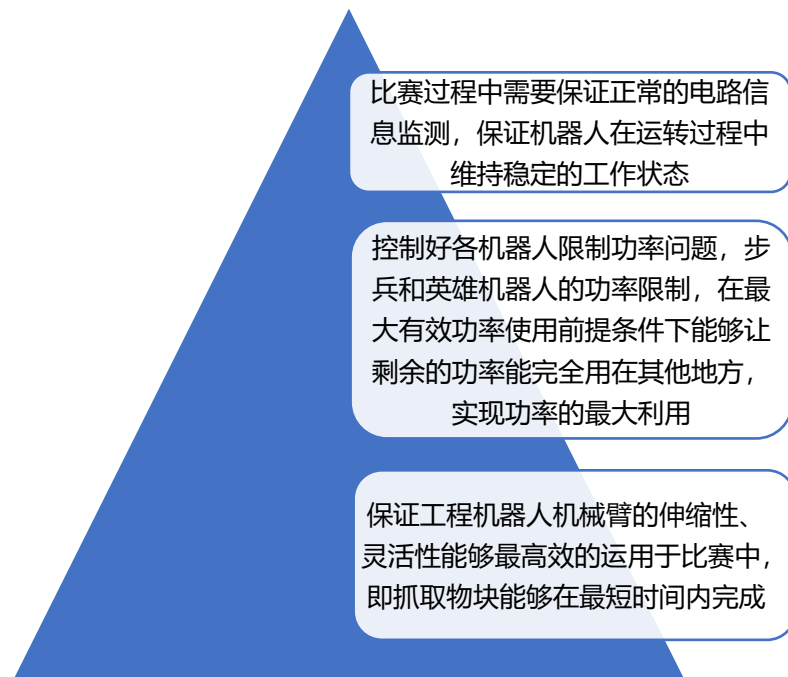
指标：



- (2) 视觉部分：实现英雄机器人视觉辅助打弹

(3) 电控部分：控制好各英雄机器人的功率限制，在最大有效功率使用前提条件下能够使剩余的功率作用在其他地方，实现功率的最大利用，帮助机器人稳定安全的进行比赛。

任务优先级：



指标：

- ①PID 控制器

②位置-速度双闭环控制器

③反馈系统的建立与校准

PID 控制器的三个基本结构单元作用如下：



④通信系统

⑤云台与底盘 CAN 通信的稳定性，正常比赛过程中比赛的通信基础。

(4) 机械部分：做到快速稳定的上下资源岛和抓取弹药箱以获取弹丸指标；

任务：提高英雄机器人的生存能力和作战能力

1.3 工程机器人

工程机器人必须按照要求安装裁判系统，可以有一个相机图传模块和一个遥控器，不能安装任何发射机构。

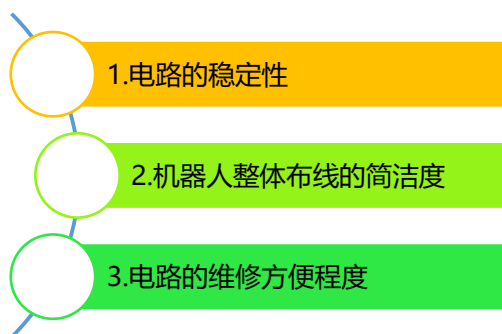
关键技术点：

(1) 电路部分：底盘运动、升降机构的运动、弹药补给机构的工作

任务优先级：



指标：



(2) 机械部分：保证拖行速度以及拖行时的连接稳定性

任务：强化工程机器人的综合补给维护能力

指标：通过增大功率和优化电路等方法提高工程机器人的补给速度和补给量

1.4 哨兵机器人

必须出场的全自动机器人，简称“哨兵”。

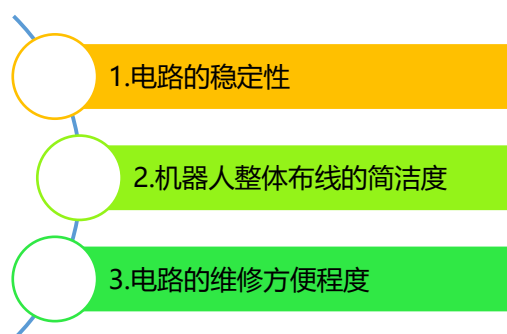
关键技术点：

(1) 电路部分：云台转动、小弹丸发射、哨兵在轨道上的运动

任务优先级：



指标：



(2)机械部分：使其成为一个攻防兼备的角色

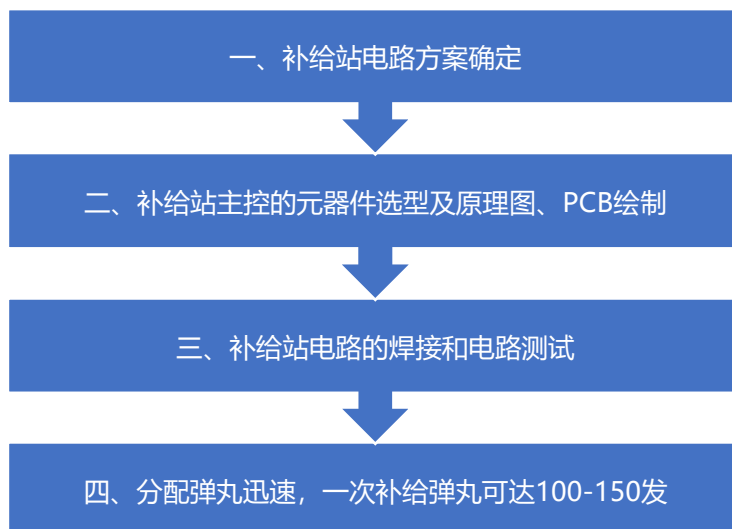
任务：全自动哨兵机器人机器热我方基地

指标：调整摩擦轮电机和云台的旋转角度，使哨兵机器人具有360度无死角攻击和远程攻击能力。

1.5 补给机器人

作为步兵机器人弹丸的主要来源，弹丸分配、补弹，做好双补弹口稳定工作，使其能在补弹的同时给己方机器人提供有效的防御。

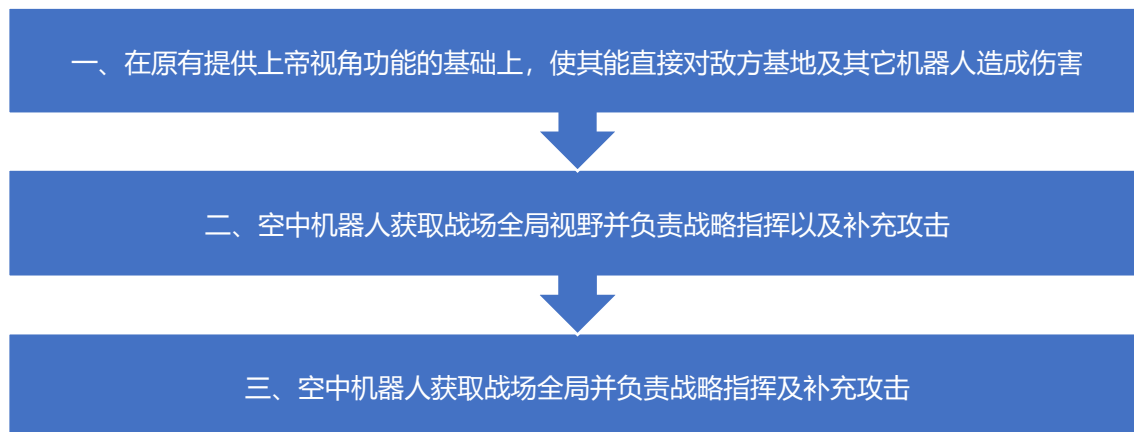
任务及技术点：



1.6 空中机器人

可不上场，具有空中优势，其他机器人难以攻击。要保证其稳定飞行、云台转动、小弹丸发射。

任务及技术点：



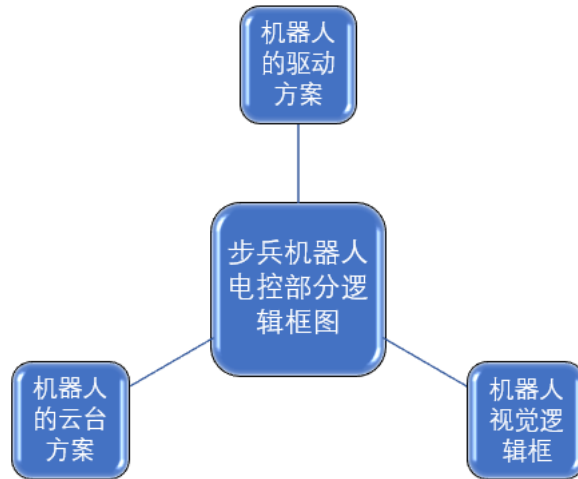
第2章 结构设计

以步兵机器人云台发射机构为例，具体细节内容放附录。

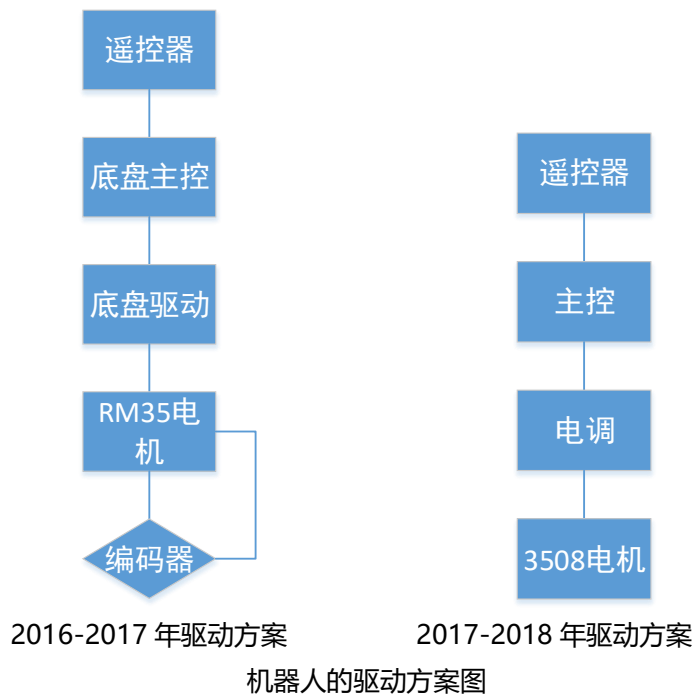
第3章 程序逻辑

以步兵机器人电控逻辑框图为例。

下图将分析步兵机器人电控逻辑框图分为3部分进行阐述。



3.1 机器人的驱动方案



由于采用了新的底盘驱动电机，3508电机配合电机的电调，直接反馈电机速度，减少了外接编码器反馈速度的步骤。还可以利用输入电流直接控制电流的输出，减少了电流计的使用，可以更简单的控制电机。

改进的方面：

程序上电流控制只是简单的限幅，后续应该把电流环和速度环串起来调节，这样机器人的速度控制更为有力，减少机器人移动的延迟。

满足了底盘电机正常行驶的需要：精准控速，电机的电流控制。

3.2 机器人的云台方案

为了提高机器人云台操作时的流畅性和瞄准时的精准度，战队云台采用 Pitch 和 Yaw 两个轴。如果只采用单 Pitch 轴，虽然 Yaw 方向可以由底盘转动来实现，但是由于底盘转动精度有限，会影响 Yaw 方向瞄准的精准度。

云台的 Pitch 轴和 Yaw 轴电机采用 DJI 的 6623 无刷电机，内部集成 6623 无刷电机电调，通过 CAN 总线反馈位置、电流信息以及接收控制信息。

云台电机有两种控制方案：

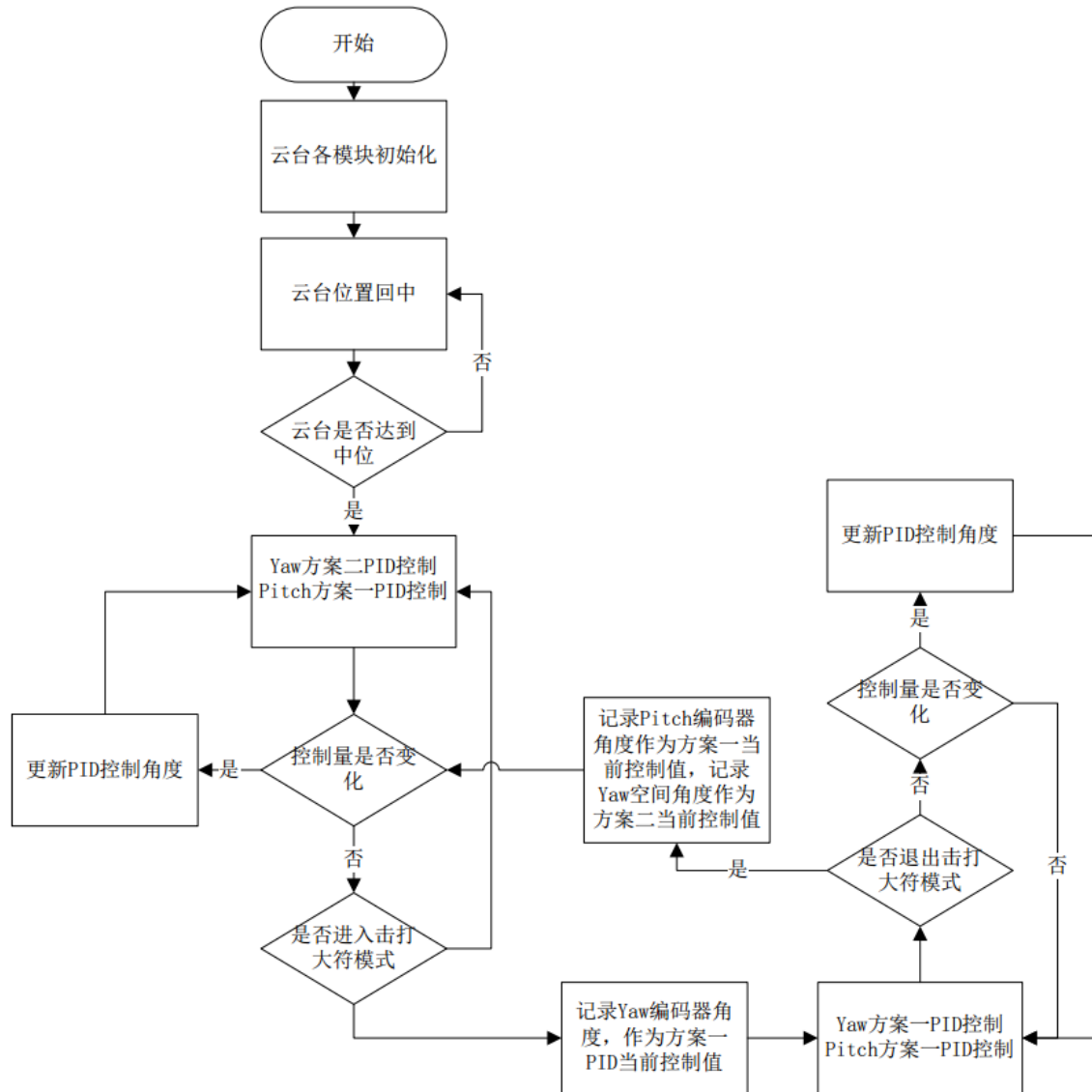
- (1) 采用云台电机反馈的位置和电流进行速度、位置双环 PID 进行控制；
- (2) 采用云台电机反馈的电流和陀螺仪加速度计解算的位置进行双环 PID 控制。

第一种方案实现的云台，云台平面相对于底盘保持稳定，随着底盘的运动，云台上枪管会跟随底盘的运动而在 Pitch 和 Yaw 方向上保持相同的运动。第二种方案实现的云台，云台平面相对于水平面保持稳定，云台上枪管不会随着底盘的运动而在 Pitch 和 Yaw 方向产生运动，而是保持原 Pitch 和 Yaw 的位置。相对水平面角度的反馈我们采用四轴飞行器上常用的 MPU6050 六轴传感器芯片，利用自带的 DMP 模块直接读取四元数解算出各空间角度。

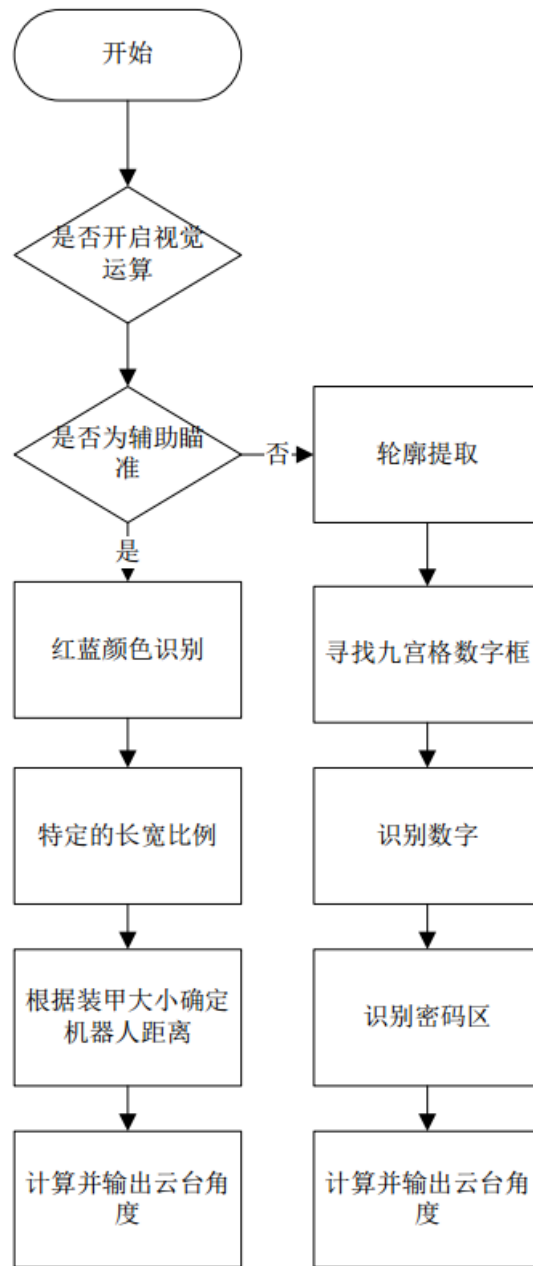
由于要实现机器人“扭腰”的功能以实现装甲躲避子弹，所以在 Yaw 轴方向，云台的控制采用第二种控制方案，保证在扭腰时枪管在 Yaw 轴的指向保持不变。对于 Pitch 轴，如果采用第二种方案，即使底盘在 Pitch 方向发生转动时，枪管的指向不变，但是枪管的垂直高度依然会发生变化，导致枪管指向点发生变化；而且在上下坡过程中，枪管在 Pitch 方向保持不动，需要操作手大量的调整，给操作带来不便，所以在 Pitch 轴方向采用第一种控制方案。

同时，竞赛中存在击打大符的情况，如果此时 Yaw 轴依然采用第二种方案，由于 MPU6050 在 Yaw 轴存在零点漂移，击打大符时需要计算当前底盘正前方的 Yaw 轴角度，不如直接采用第一种方案方便和精准。所以在击打大符时，需要把 Yaw 轴的控制方案切换到第一种控制方案。

云台的控制流程图如下：



3.3 机器人视觉逻辑框



步兵机器人视觉逻辑框图

步兵机器人的视觉辅助，可以实现机器人辅助打弹和击打大神符的任务。辅助打弹时，先识别敌方机器人的颜色的装甲，利用装甲片固定的长宽比例，排除掉场面上的一些干扰（反光）以及出现多块装甲的情况，识别出距离我方最近的一块装甲块，计算出装甲的尺寸大小，离我方机器人的距离，输出云台角度。击打大神符时，先找轮廓，提取出九宫格的位置坐标，利用机器学习的方法，识别九宫格中间的数字，再识别九宫格上方的密码区，提取数字，输出云台角度。

第4章 人机工程分析

以射频测速模块为例，进行人机工程案例分析。

4.1 射频测速模块目的

通过 2 个红外传感器感应模块和 STM32 单片机，使参赛者可以实时监控子弹的射频和射速，更好测量子弹的速度，方便参赛者根据要求对子弹的速度进行调整设计；在不超过裁判系统的限制下，根据参赛者需求，实现射频射速的最大优化；同时设置串口调试助手，方便参赛者调试与记录，优化整机人机交互功能。

4.2 基本原理

射频测速模块原理为以下几个部分：

- (1) 在子弹口安装射频测速模块
- (2) 设置两个红外传感器外部中断服务程序
- (3) 在红外传感器 1 触发外部中断，进入外部中断 1 服务函数
- (4) 在外部中断 1 服务函数中，开启定时器，开始计数
- (5) 在红外传感器 2 触发外部中断，进入外部中断 2 服务函数
- (6) 在外部中断 2 服务函数中获取计数器值，同时关闭定时器
- (7) 在主函数中计算速度值，并且通过串口输出射频和射速

4.3 软件及环境

在 Windows10 下的 keil5 开发环境，串口调试助手，液晶串口显示

4.4 程序截图

4.4.1.主函数截图

```
*****  
/***** 头文件 *****/  
#include "stm32f10x.h"  
#include "LED.h"  
#include "exti.h"  
#include "systick.h"  
#include "usart.h"  
#include "time6.h"  
  
int main()  
{  
    /* 初始化函数 */  
    SystemInit(); //初始化STM32内部时钟为72M  
    USART1_init(); //串口初始化 用于串口输出  
    printf("\r\n这是一个测速的实验:\r\n");  
    Exit2GuangdianInit(); //红外传感器1 初始化配置  
    Exit3DianchiInit(); //红外传感器2 初始化配置  
    time6_init(); //定时器初始化配置  
    while(1) ;| //进入死循环  
}
```

4.4.2 传感器触发中断 1 服务函数

```

/* 外部中断2服务函数 */
void EXTI2_IRQHandler()
{
    /* 判断中断是否来了 */
    if(EXTI_GetITStatus(EXTI_Line2) != RESET)
    {
        EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line2);
        TIM_Cmd(TIM6, ENABLE); //1ms中断一次
    }
}

```

4.4.3 传感器触发中断 2 服务函数

```

/* 外部中断3服务函数 */
void EXTI3_IRQHandler()
{
    /* 判断中断是否来了 */
    if(EXTI_GetITStatus(EXTI_Line3) != RESET)
    {
        EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line3);
        TIM_Cmd(TIM6, DISABLE); //定时器失能
        printf("\r\n时间为: %d ms\r\n", GuangdianMS); //串口打出时间
        speed = (float)(Distance/GuangdianMS)*1000; //计算速度
        printf("\r\n小球的速度为: %2.4f m/s\r\n", speed); //串口打出速度
        GuangdianMS = 0; //清零
        TempCount = 0;
    }
}

```

4.4.4 定时器中断服务函数

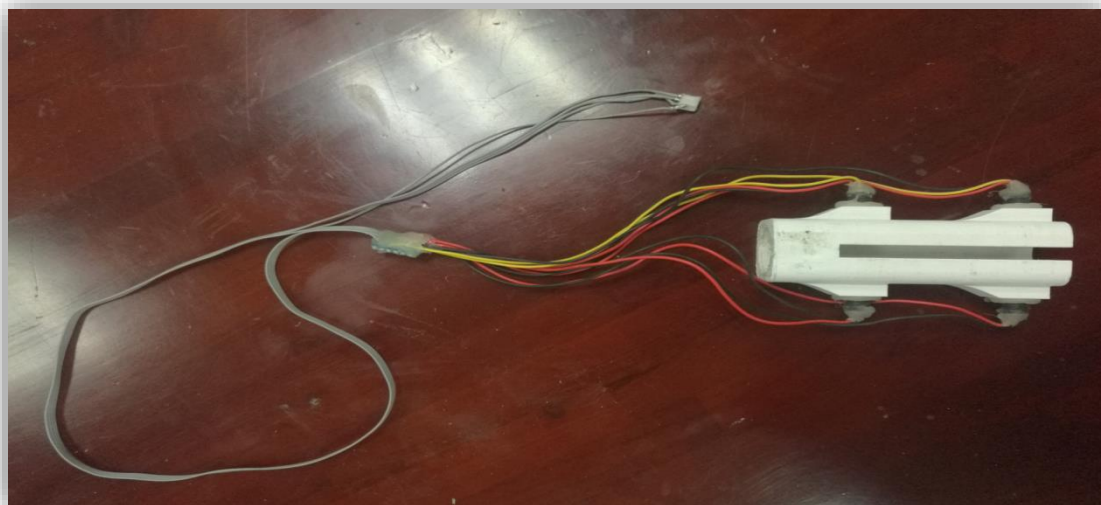
```

/* 定时器6服务函数 */
void TIM6_IRQHandler()
{
    /* 判断中断是否真的来了 */
    if(TIM_GetITStatus( TIM6, TIM_IT_Update) != RESET )
    {
        TIM_ClearITPendingBit( TIM6, TIM_IT_Update) ;
        TempCount ++ ;
        GuangdianMS = TempCount ;
        if(GuangdianMS == 65535) { GuangdianMS = 0 ; TempCount = 0 ;}
    }
}

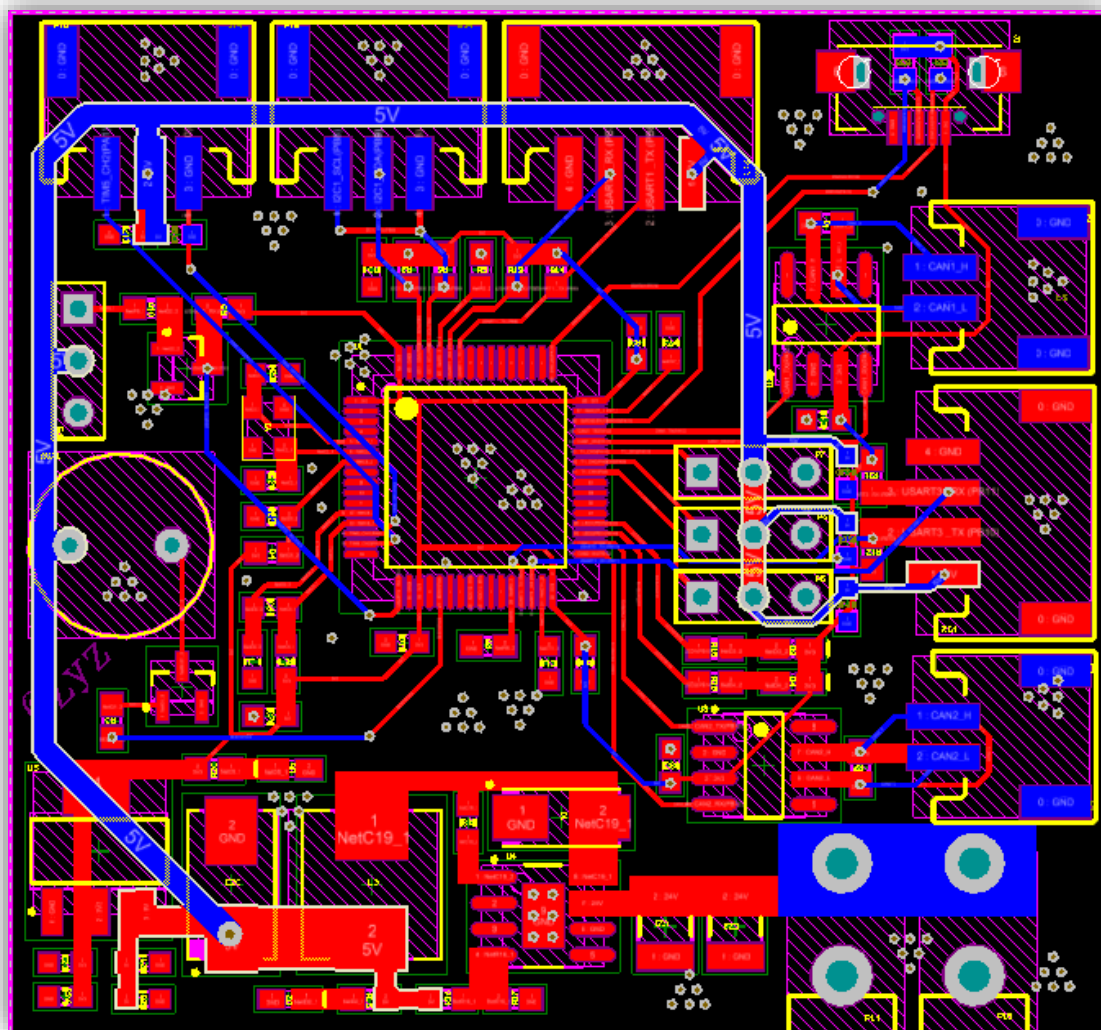
```

4.5 实验截图

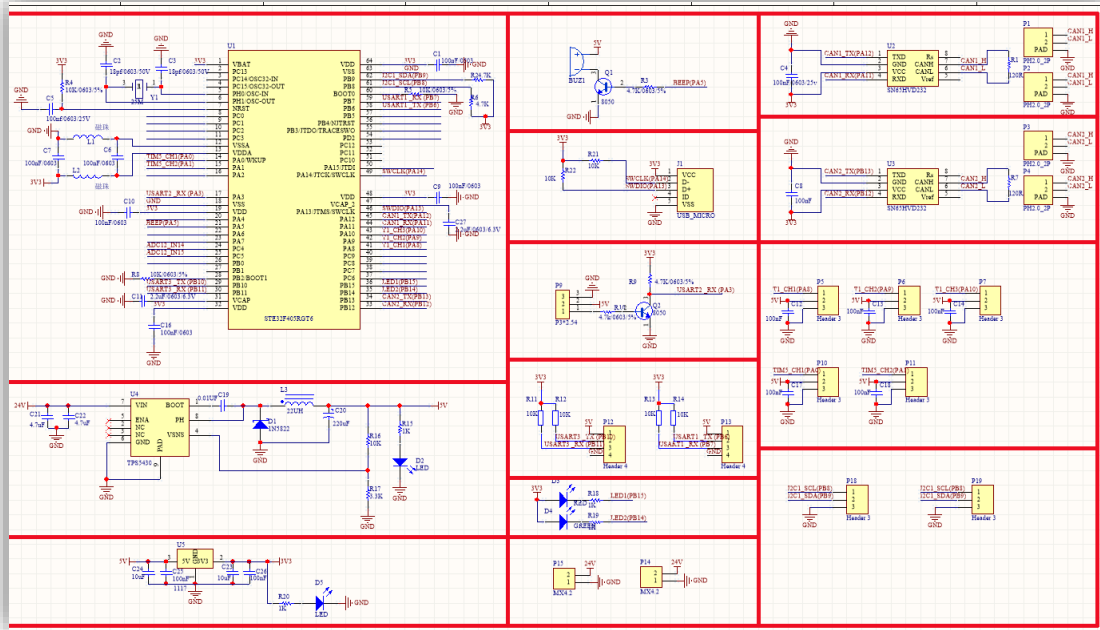
4.5.1.测试机械实物图



4.5.2.电路布线图



4.5.3 电路原理图



4.5.4 调试助手与串口输出结果图



4.6 结果分析

该方法可以通过更改定时器中断溢出时间来修正测量精度，比较灵活通用，在 STM32F405 单片机高速运行条件下，测试精度能够达到微秒级，超过了要求的精度，所以测量比较准确，经过反复的实验测试，此方案符合精度要求，通过实验数据证明射速符合要求，电路整体布局设计良好，布线合理稳定，通过串口调试助手，更加凸显整机人机交互功能，方便参赛者对于射频频速的实时监测。

第5章 科学设计方法

以装甲检测为例，进行相关分析。

5.1 装甲检测功能

检测场景中目标的位置，在目标旋转时保证目标位置的稳定性以及保证系统延时尽可能短，在多目标时，保证打击的一致性。

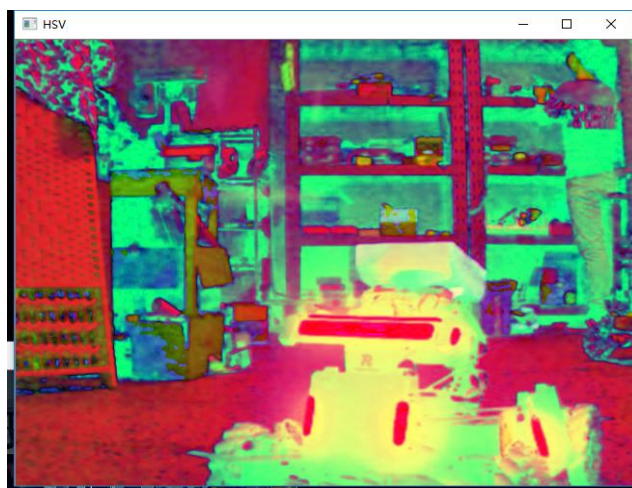
5.2 原理及操作

装甲检测的基本原理如下：

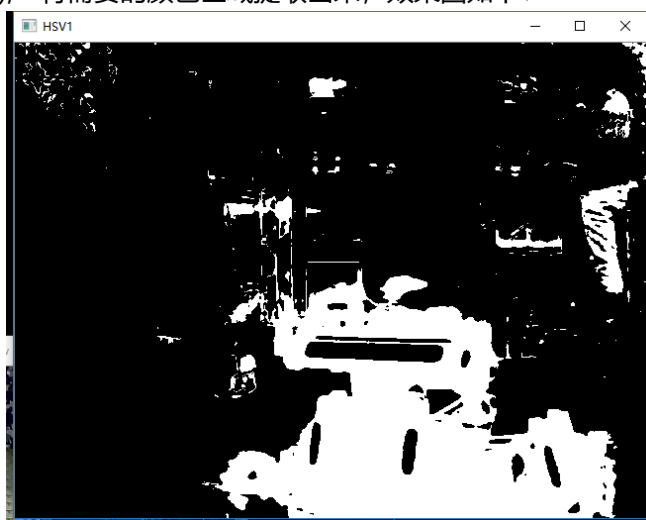
(1) 先将摄像头采集到的图像由 RGB 转化为 HSV，通过 HSV 通道给定特定的阈值，将所需要的颜色区域设置为感兴趣区域，随后对感兴趣区域进行操作；

具体实现方法：

①使用 opencv 中的内置函数 “`cvtColor(imgOriginalGB, imgHSV, COLOR_BGR2HSV);`” 将 RGB 转化为 HSV 空间；效果图如下：



②使用 opencv 中的内置函数 “`inRange(imgHSV, Scalar(iLowH, iLowS, iLowV), Scalar(iHighH, iHighS, iHighV), imgThresholded);`” 将需要的颜色区域提取出来；效果图如下：

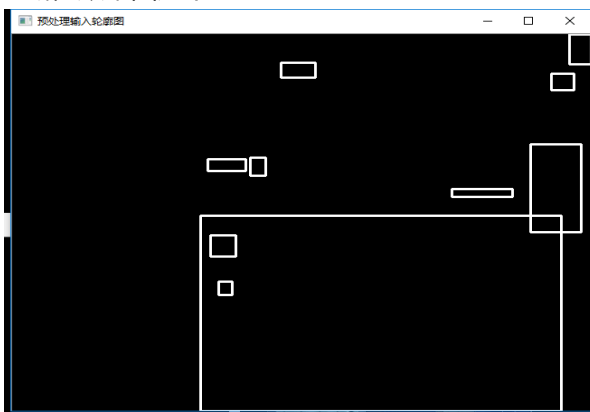


③使用 opencv 中的内置函数 “`findContours(imgThresholded, contours, hierarchy, RETR_EXTERNAL, CHAIN_APPROX_SIMPLE, Point(0, 0));`” 将需要的区域的轮廓找出来；

效果图如下：



④根据找到的轮廓设置感兴趣区域；效果图如下：



(2) 对提取到的感兴趣区域进行处理，找到感兴趣区域内的 LED 灯位置；并且将该区域标注。

具体实现方法：

①先将面积过小的区域剔除，方便后续的处理；

②使用 opencv 中的内置函数“cvtColor(Rio, Rio_out, COLOR_BGR2GRAY);”将彩色图像转化为黑白图像；

效果图如下：

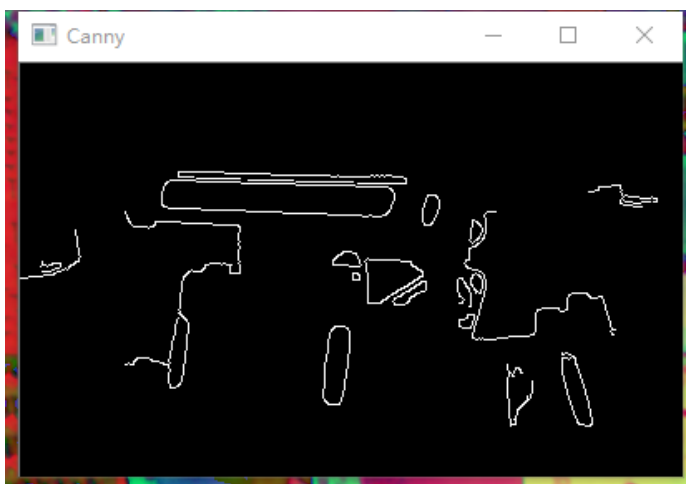


③对黑白图像进行滤波操作和形态学操作，`morphologyEx(reversal, reversal, MORPH_OPEN, element);`使得图像更加清晰可用；

效果图如下：



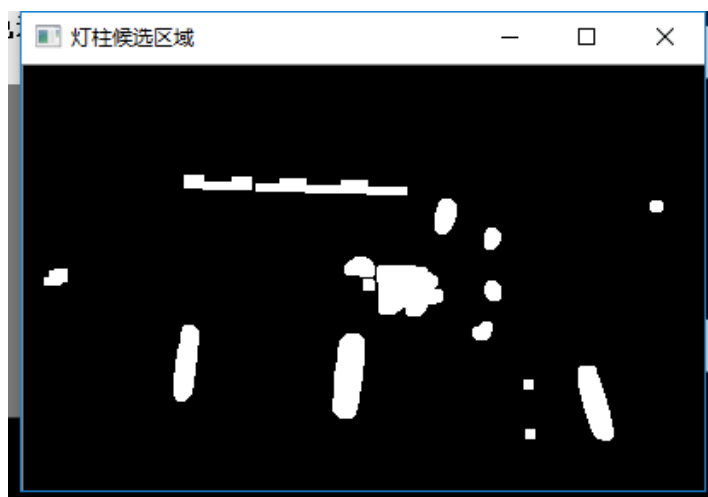
④使用 canny 算子检测边缘,将图像的边缘都找出来; `Canny(reversal, reversal, 150, 450);`
效果图如下:



⑤使用 opencv 中的内置函数 “`findContours(image_contour_all, contours_all, hierarchy_all, RETR_TREE, CHAIN_APPROX_NONE);`” 将需要的区域的轮廓找出来,只提取所有轮廓的内轮廓;效果图如下:



⑥绘制出内轮廓并且填充内轮廓,再次使用 “`findContours(drawing, last_contours, last_hierarchy, RETR_EXTERNAL, CHAIN_APPROX_NONE);`” 找到外轮廓,标注为灯柱候选区域。效果图如下:



(3) 对所有被标注的灯柱候选区域的中心像素点，判断是否满足条件，剔除不满足条件的区域，对所有标记为灯柱的区域进行椭圆拟合，剔除偏离垂直方向较大的候选区域和水平宽度较大区域。

具体实现方法：

①便利候选灯柱的中心 5×5 区域，判断其像素点的像素值是否都大于一定值；

②使用 opencv 中的内置函数 `s = fitEllipse(last_contours[ii]);`，将满足条件的区域用最小椭圆包围；效果图如下：



③判断最小椭圆的角度和长宽比，去除不符合条件的区域；

(4) 利用左右灯柱组成候选的矩形目标区域，进行对比，剔除不符合条件的灯柱，由四部分组成：

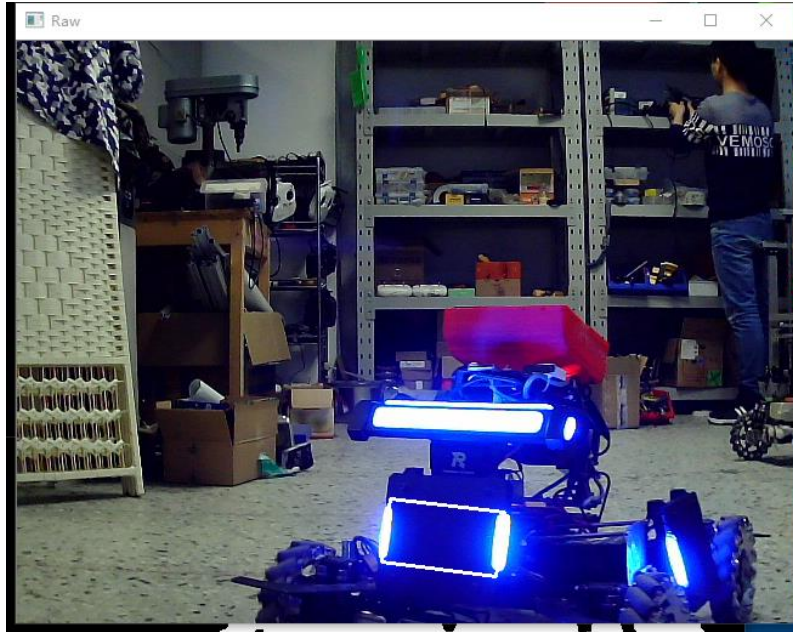
①左右灯柱角度差绝对值；

②左右灯柱偏离垂直方向的角度绝对值；

③左右灯柱中心点的高度差值；

④左右灯柱中心点的连线与水平线之间的角度值；

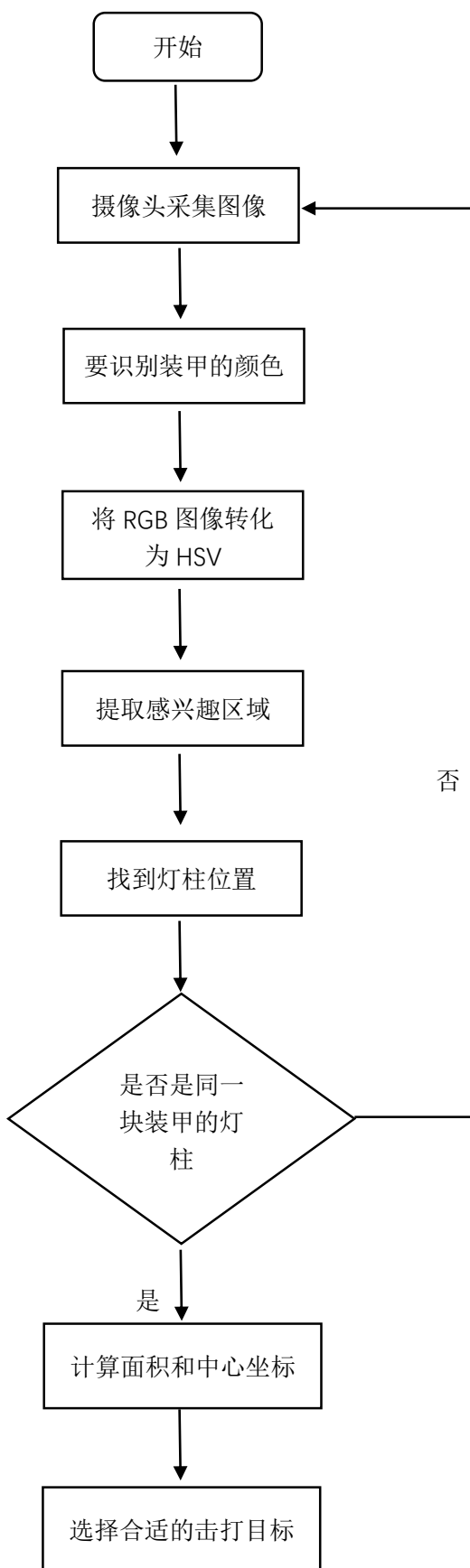
(5) 采用装甲面积大小和投票的方式选择最合适的装甲作为击打目标，最终结果图：



5.3 软件及环境

采用 Windows10+visual studio 2017+opencv3.3.0。

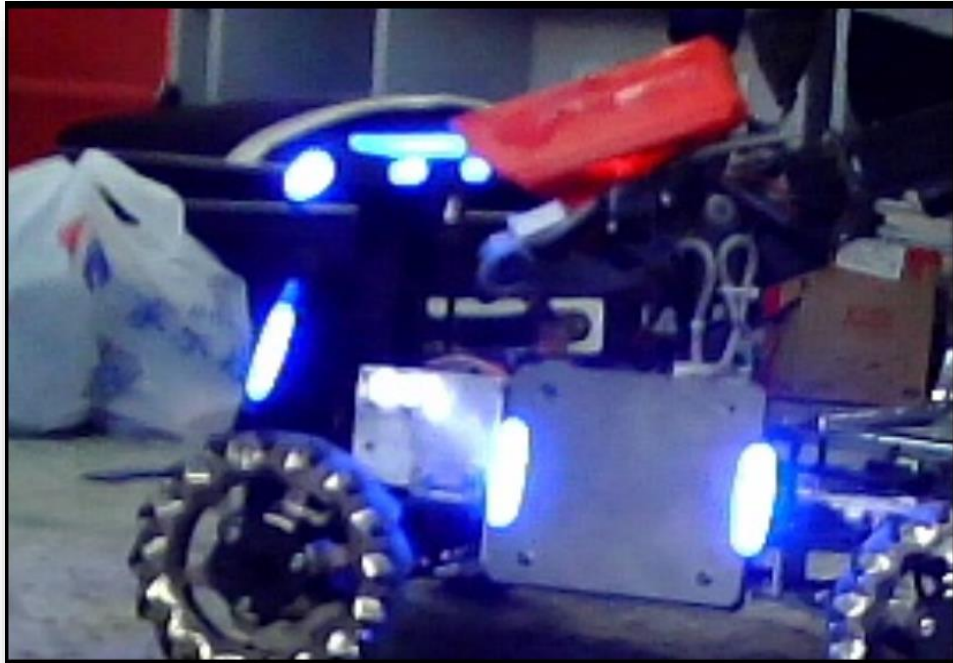
5.4 操作程序流程图



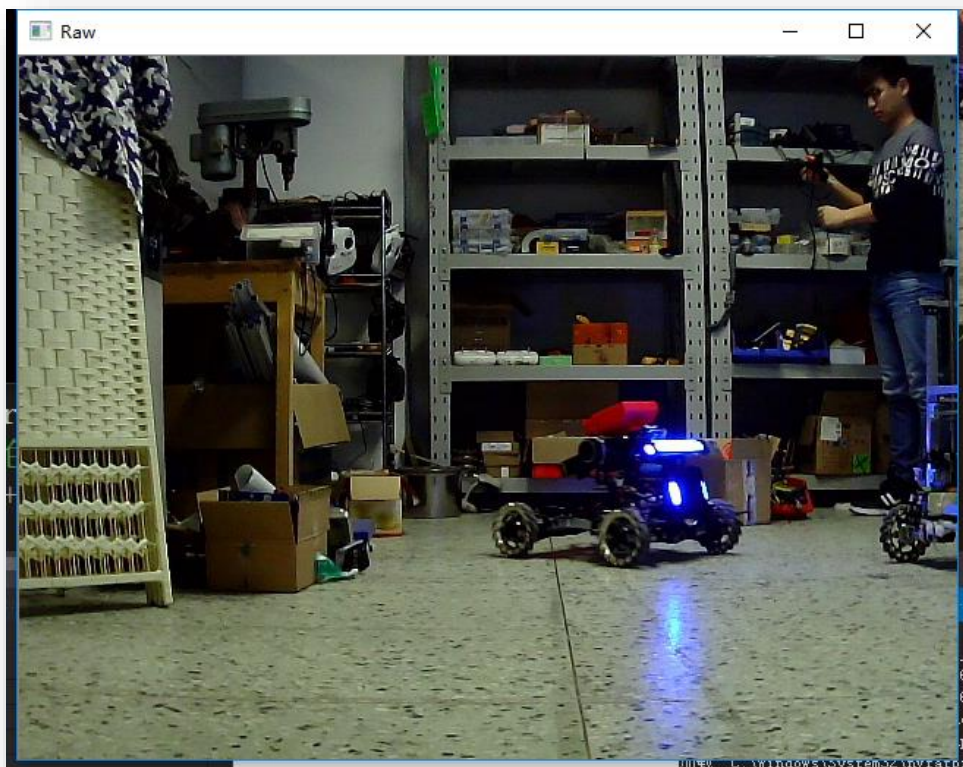
5.5 实验结果分析

实验出现无法识别的情况：

(1) 大片反光



(2) 一边灯柱面积过小



该方法可以准确的找到装甲的位置，在很多环境下可以正常的运行，能够在快速移动的单位上识别出装甲的位置，对地面反光和不同角度的装甲识别情况下有较好的适应性和准确性，但是当环境的光照过强或者遇到大面积的反光和强光直射时则会出现无法识别的情况，这需要采用新的算法或者在硬件上处理，也是后期所要解决的问题之一。

5.6 实验问题和探究

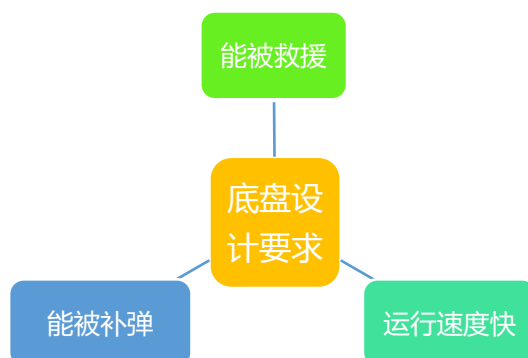
对于装甲的识别，主要就是找到装甲的特征并且准确的识别，而装甲最主要的特征就在于颜色和发光的灯柱以及灯柱的长宽比和两个灯柱之间的相对距离，总体来说只要能够找到灯柱的准确位置，通过灯柱的位置来确定装甲是一个十分可靠的方案，但是要准确的找到灯柱是很困难的，需要排除各种干扰的同时提高鲁棒性，同时还要考虑到各种情况下不同角度，不同光照的识别稳定性和准确性，还要保证识别的速度，毕竟识别的目的是为了击打，而击打的目标又是一个快速自由移动的物体，这对算法的效率要求更加的严格。所以，之后的新想法和代码的高效性也是一个很大的挑战，这就需要后期阅读大量的相关文献和算法来一步步的实现。最终能够完美的适应比赛的环境，在比赛中发挥稳定。

第6章 科学实践改进

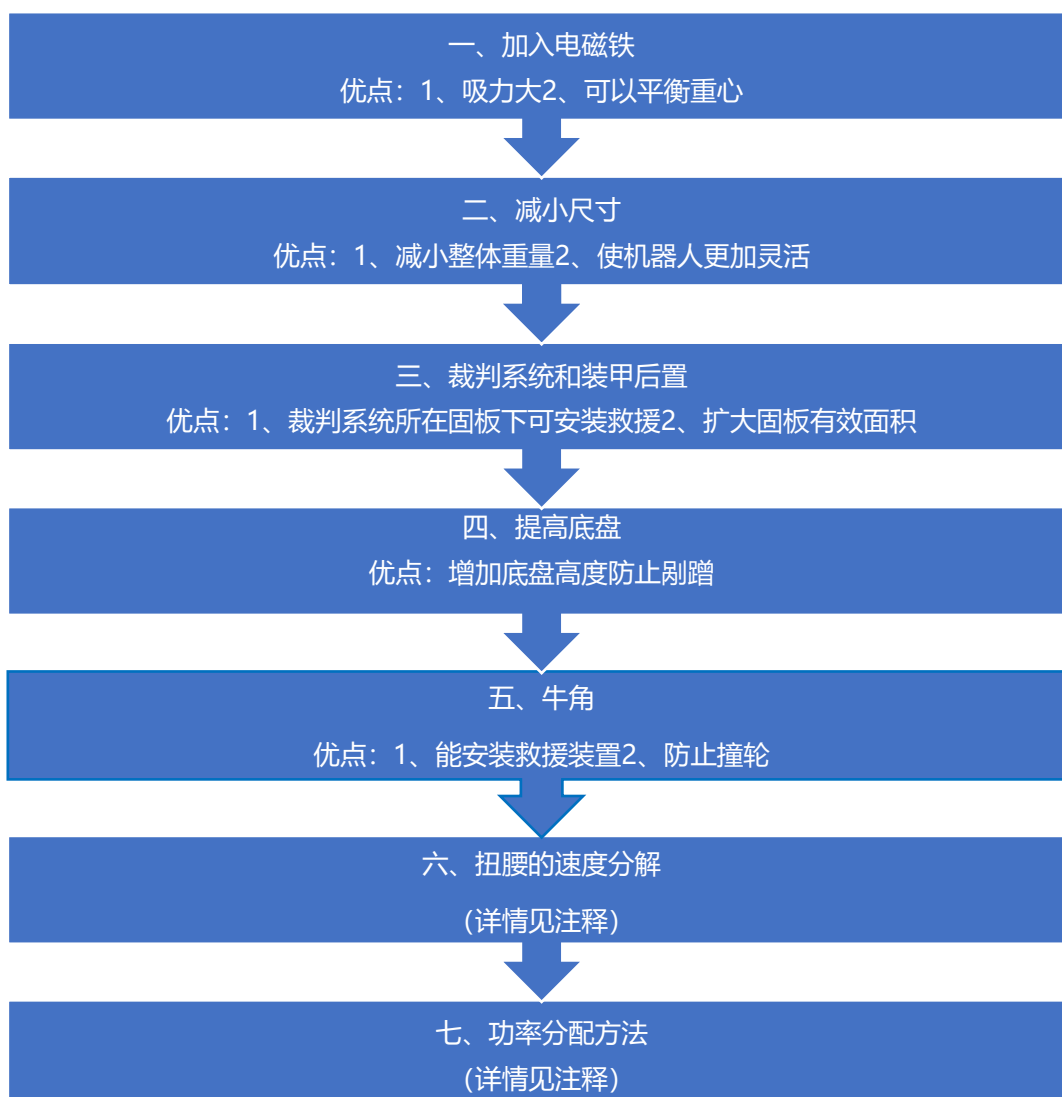
以步兵机器人的底盘设计为例，进行科学实践改进。

步兵机器人是在比赛中战斗的基石，拥有稳定的子弹来源，并拥有打击大符的能力，团队经过讨论认为，研发重点应在于提高步兵在全地形中机械性能的稳定性的。其中，底盘为设计重点。

步兵机器人的底盘要求：

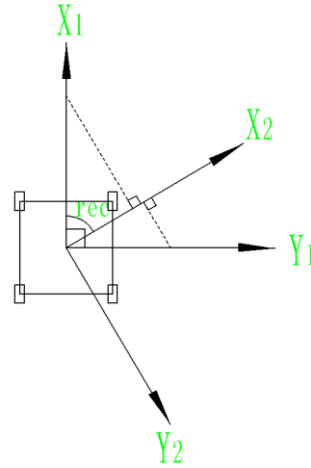


根据要求和去年参赛设计的步兵机器人的地盘，对其做出以下改进：



注:

(1)扭腰的速度分解是要把对底盘前进方向的期望变换到以炮管所指方向的期望，重点是坐标变换，设底盘前进正方向为 x_1 ，横移正方向为 y_1 ，此时云台正方向与底盘夹角为 rec ，设云台前进正方向为 x_2 ，横移正方向为 y_2 。如图将底盘的期望值分解到云台的坐标系中



则有如下公式:

$$\begin{aligned} V_{x2} &= V_{x1} * \cos rec + V_{y1} * \sin rec \\ V_{y2} &= -V_{x1} * \sin rec + V_{y1} * \cos rec \end{aligned}$$

设定扭腰最大角度为 50° ，左右各 25° ，扭腰速度由 W 控制，设 W 为 0.3m/s ，则使用 V_{x2} 、 V_{y2} 以及 W 代入分解公式，最后控制底盘电机的速度由麦克纳姆轮分解公式解得。

(2)功率分配方法，按需分配，由麦克纳姆轮速度分解公式得到每个轮的控制量 $speed_want_A$ 、 $speed_want_B$ 、 $speed_want_C$ 、 $speed_want_D$ 按照比例分配 $80W$ 的功率。

$$Power(x) = 80 * (speed_want_x) / (\sum speed_want)$$

同时当旋转量 W 大于阈值 $th1$ 且小于最大值 W_max 时，按比例减少速度分解时 X 和 Y 方向的分量。

$$Rate = (W - th1) / (W_max - th1)$$

则

$$Direct_x = Direct_x * rate$$

$$Direct_y = Direct_y * rate$$

由此增加转弯时的车身响应速度。

进行实验，实验流程如下:



实验结果如下:

- (1) 平坦路面上, 最大速度: 2m/s;
- (2) 爬 20 度斜坡无障碍;
- (3) 最大翻越极限: 斜坡 45 度, 高度 20mm 的障碍。

经过实验科学的改进, 步兵功率 80w, 步兵重量 18kg, 效率 20 到 30%且麦克纳姆轮摩擦系数较大取 0.5 可知理论数值与实验数据相差不大。满足性能指标, 说明步兵机械机构可以达到要求, 实现其功能。

第7章 创新性

以英雄机器人底盘为例，进行创新性分析。

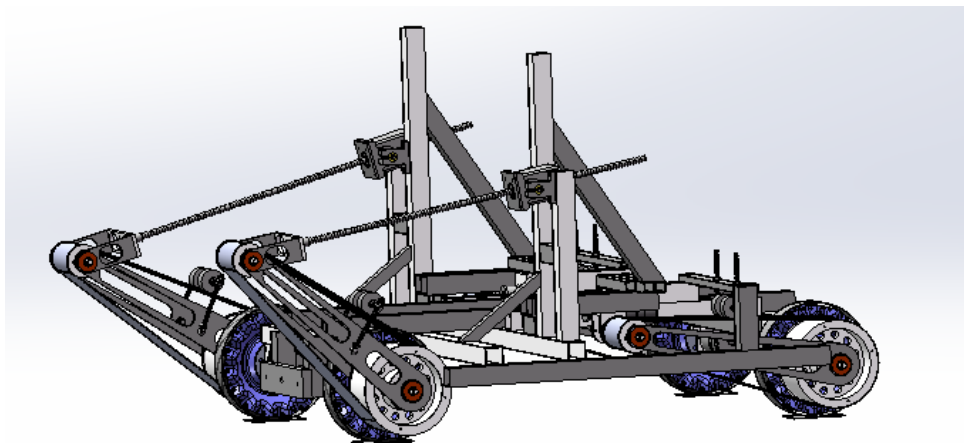
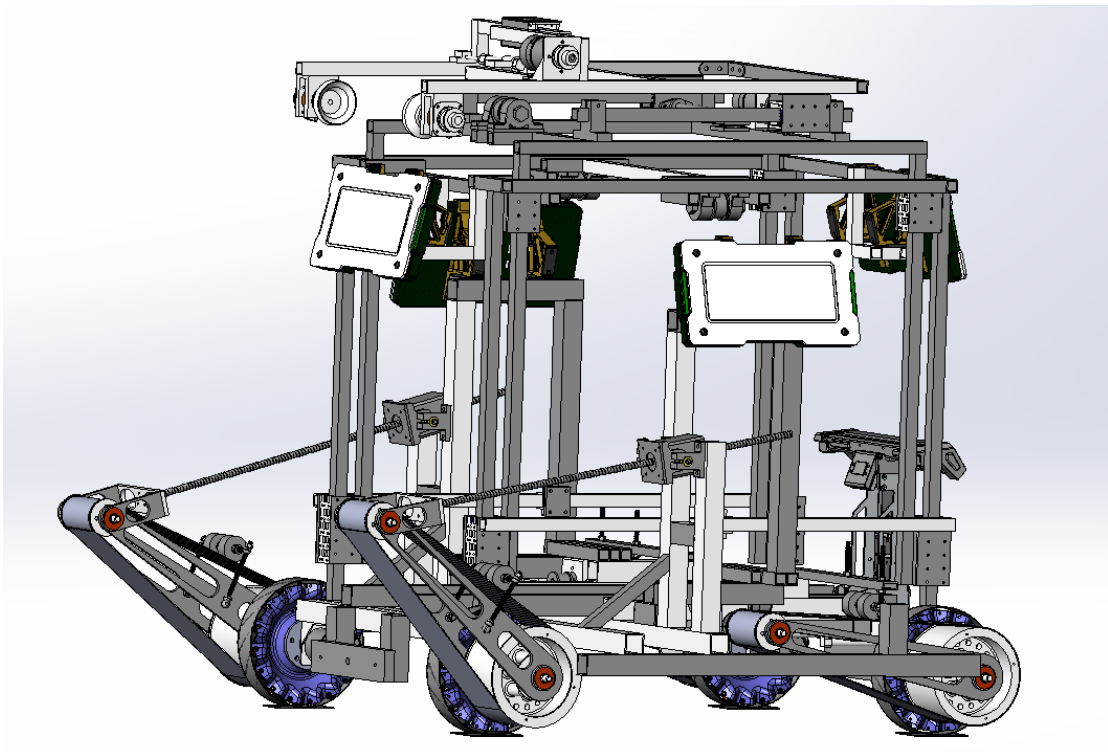
7.1 英雄机器人底盘创新目的

由于比赛资源岛的台阶更改为两节，以及英雄需要登岛取弹以获得较大的杀伤力，加之传统抬升机构登岛存在登岛时间长的问题，因此需要变更单一运动方式，并调整轮带及其他部件结构，最大限度保证英雄顺利登岛。结合同步带登岛方案，决定采用在麦轮一侧增加同步带的方式进行英雄车设计。

7.2 方案核心创新点

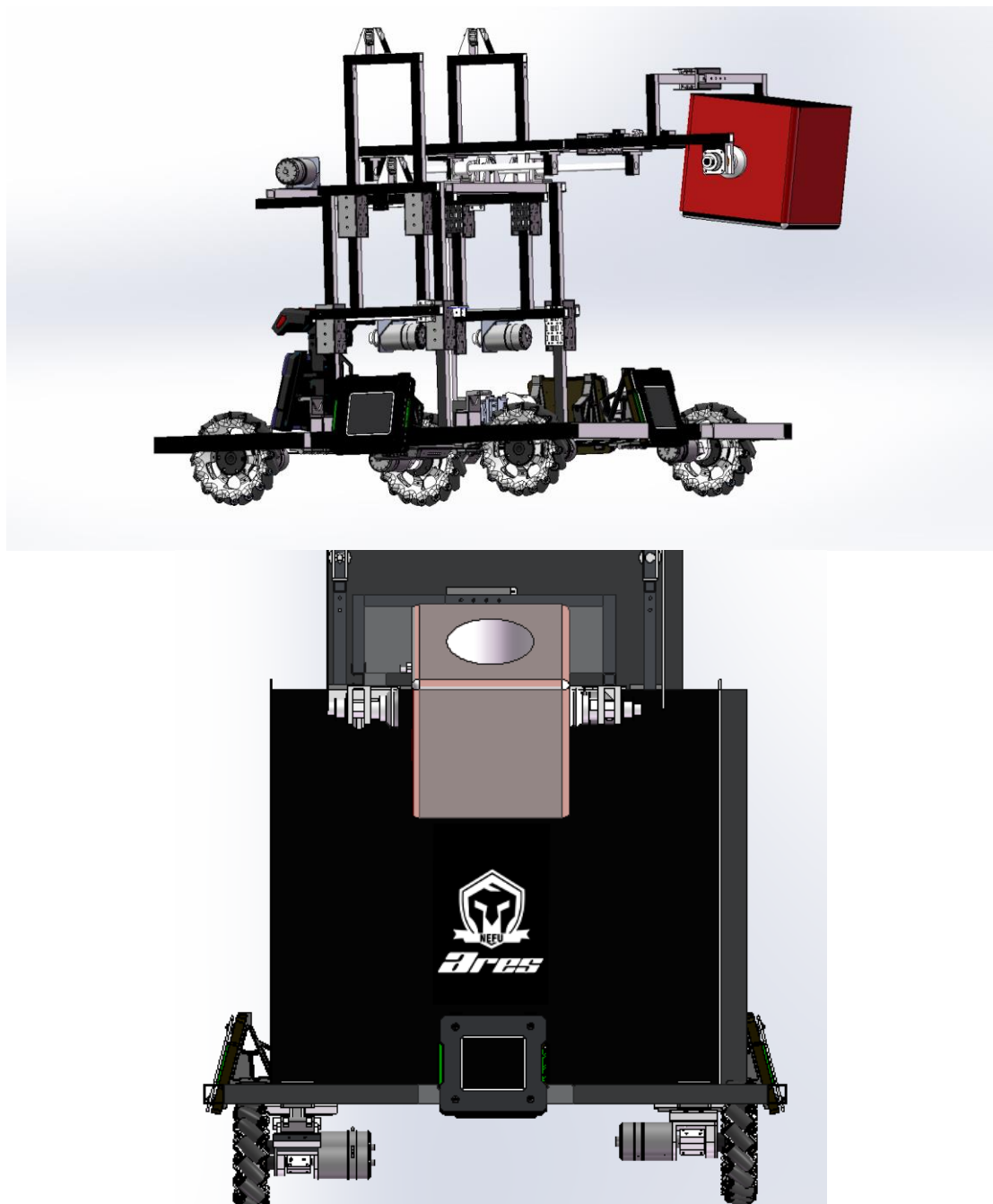


根据创新方案设计的英雄车地盘如下图：



第8章 外观设计

本季Ares战队的所有战车都采用机械棱角分明的外观，突出其原本的骨骼，还原最本真的机械之美，我们能直观地感受到机械设计师的创作理念，洞察机械结构，分析机械原理。本季沿用了上一季比赛中的优势设计，并增强了其稳定性与安全性，做到稳中求变，推陈出新。在颜色上选用了严谨而有质感独特的黑色，体现了战队成员们对比赛的态度认真负责，严谨细致，同时而又不失个性与创新。

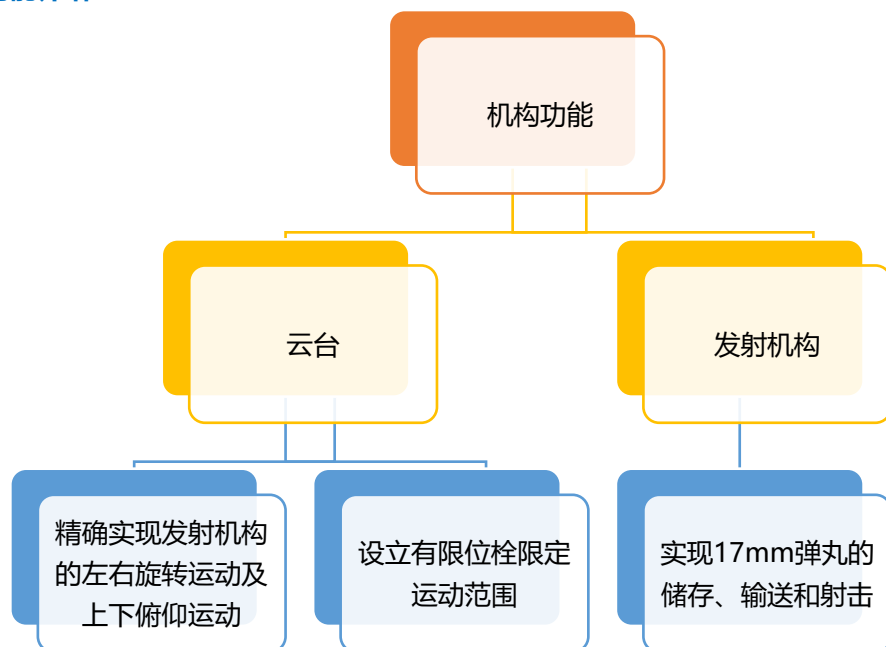


附录一 结构设计

1 需求分析

以步兵机器人云台发射机构为例，进行分析。

1.1 机构功能介绍



1.2 性能指标

(1) 云台与发射机构指标

云台

- 转动速度: yaw轴 (0~2) r/s, pitch轴 (0~2) r/s
- 转动角度: yaw轴正负120度, pitch轴正负30度
- 最大负载: 2.8KG
- 定位准确度: 0.2度
- 回差: 无齿轮, 间隙为0
- 平均修理时间MTTB: 47min

发射机构

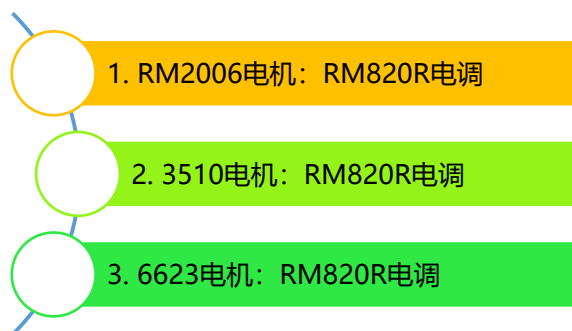
- 摩擦轮直径: 200pcs
- 枪管长度: 105mm
- 摩擦轮功率: 12W
- 弹丸初速度: 25m/s
- 弹丸发射极限频率: 8hz
- 弹仓容量极限: 200pcs
- 拨弹电机最大功率: 14.7W

(2) 对应不同工况下的性能指标分析

工况	平坦		上坡		下坡	
性能指标	yaw	pitch	yaw	pitch	yaw	pitch
转动速度 r/s	0~2	0~2	0~1.8	0~1.8	0~1.8	0~1.8
转动角度范围	±120	±60	±120	±30	±120	±30
最大负载/KG	2		1.5		1.5	
平均无故障时间 MTTF	500		500		500	
微动开关的极限次数	100000					

(3) 传感器选型：霍尔元件

(4) 驱动器选型



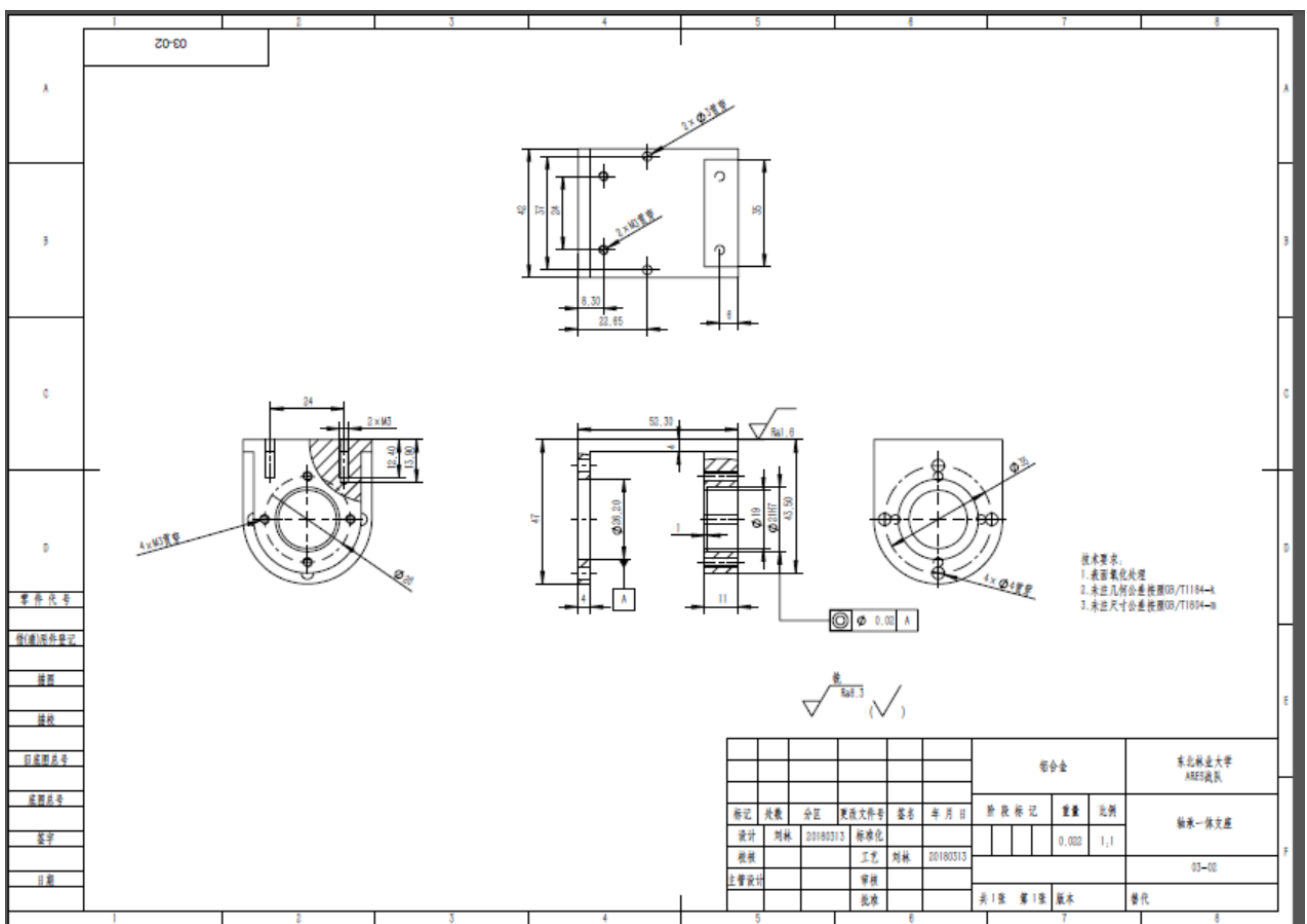
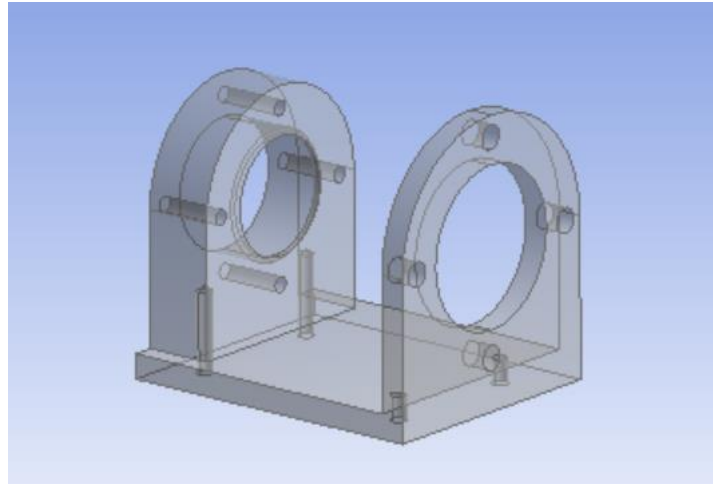
注：①RM820R 电调说明

数据域	DATA[0]	DATA[1]	DATA[2]	DATA[3]	DATA[4]	DATA[5]	DATA[6]	DATA[7]
内容	电流给定 高8位	电流给定 低8位	电流给定 高8位	电流给定 低8位	电流给定 高8位	电流给定 低8位	电流给定 高8位	电流给定 低8位
驱动板 ID	0X201		0X202		0X203		0X204	

2 设计图纸

以轴承一体支座为例。

轴承一体支座三维模型及工程图纸截图如下图，详细图纸可见附件，机械加工工艺过程卡片及机械加工工序卡见附录二。



3 材料和工艺

3.1 材料

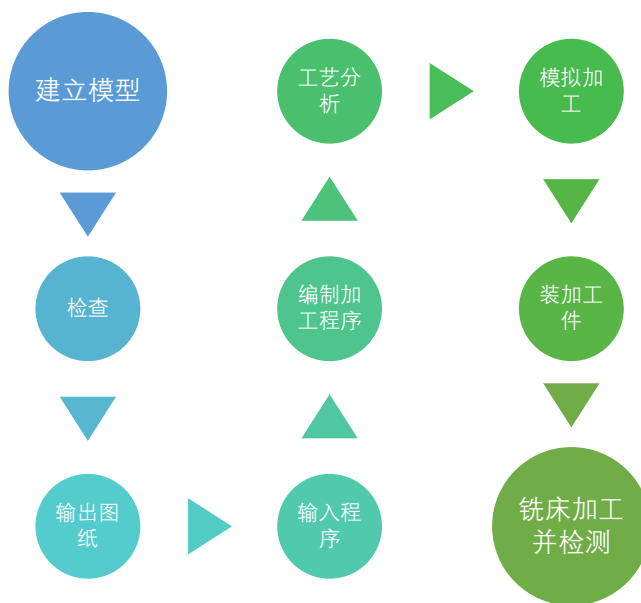
- (1) 光敏树脂
- (2) 铝合金

3.2 加工工艺路线

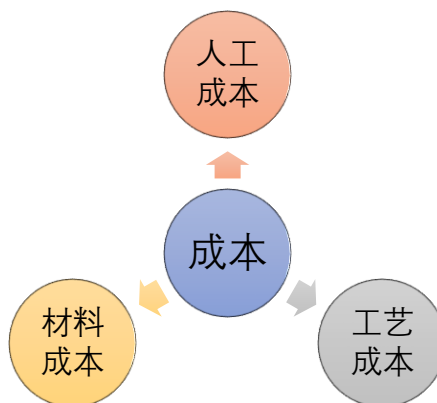
- (1) 3D 打印



(2) CNC 铣床加工



3.3 加工成本及方案



注: 3D 打印, 枪管重 45 克, 询价 1 元/克, 议价一件 40 元, 批量打印一件 36 元 (0.8 元/克)。

CNC 加工, 数控铣床, 询价每小时 20 元, 议价批量生产每小时 16 元, 材料费每件 60 元, 合计每件 80 元。

降低成本方案: 所有机器人共需 5 个枪管, 因 CNC 加工和 3D 打印成本相差较大, 同时 3D 打印出的枪管满足参赛测试的要求, 因此所有枪管包括替换件均用 3D 打印。

4 枪管有限元分析

将枪管三维模型, 导入 ANSYS-Workbench 中, 各前处理步骤, 如定义材料属性: 枪管材料多采用光敏树脂, 其材料参数为: 弹性模量为 2650~2880 MPa, 取 2700 MPa; 泊松比为 0.41, 密度为 1.13 g/cm³, 枪管尾部约束 6 个自由度, 其余部位自由, 对枪管进行柔性设置, 其余部件进行刚性化设置, 同时定义各部件间的接触类型为绑定接触等。

4.1 加载条件

(1) 边界条件:

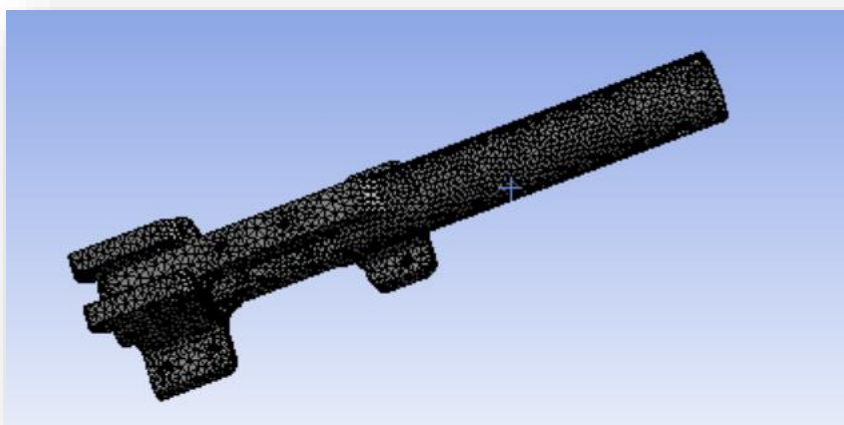
枪管与枪管支架产生一定摩擦, 故在枪管间添加的接触类型为摩擦接触。查询机械设计手册, 摩擦系数设定为 0.6。

(2) 载荷施加:

为了能尽可能全面准确地模拟发射子弹时气体对枪管的作用, 从 2 个方面考虑气体的作用力: 一是气体对枪膛底座的推力; 二是气体在径向对枪管的膨胀力作用。对于膛底的推力, 采用列表输入法进行施加。对径向膨胀力, 其大小随时间而变化, 同时其作用区域也随时间而变化, 即所施加的压力载荷是一个随时间变化的、移动边界的分布压力载荷, 其作用的范围由弹丸所走过的行程确定, 故需作近似处理。沿身管轴线方向, 将整个身管内壁离散成较小的作用区。根据膛压—时间曲线和弹丸到达某一作用区域所对应的时刻, 确定相应的载荷。最后, 在各个不同的离散区域作用相应的载荷, 按离散值循环加载并求解。

4.2 网格划分

基于所建立的几何模型, 六面体单元对结构进行有限元网格划分, 生成网格并进行模型检查, 消除重复节点。



Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	65214
<input type="checkbox"/> Elements	21234

4.3 结果分析

在 Workbench 求解器中进行计算, 分析类型为瞬态响应分析。分析结果如下图。

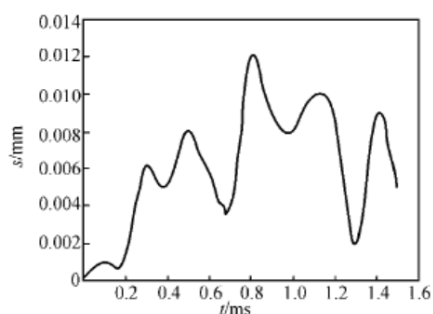


图 1 枪管在高低方向的位移响应曲线

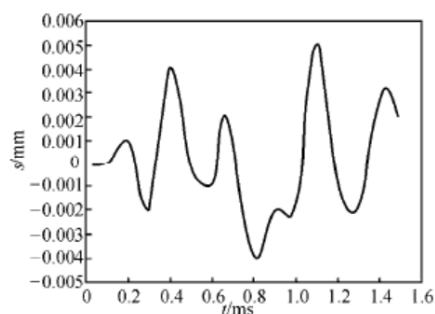
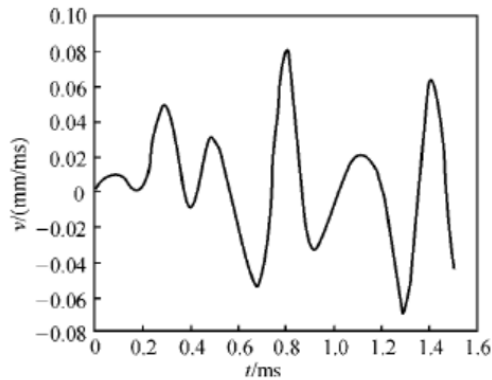
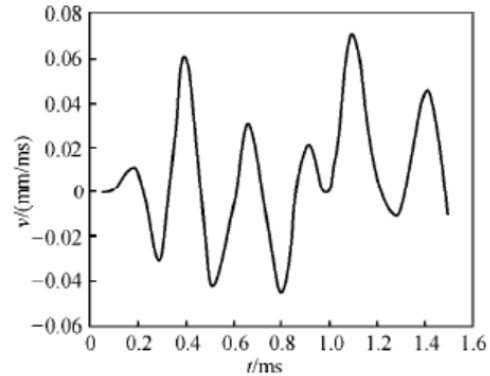


图 2 枪管在左右方向的位移响应曲线



枪管在高低方向的速度响应曲线

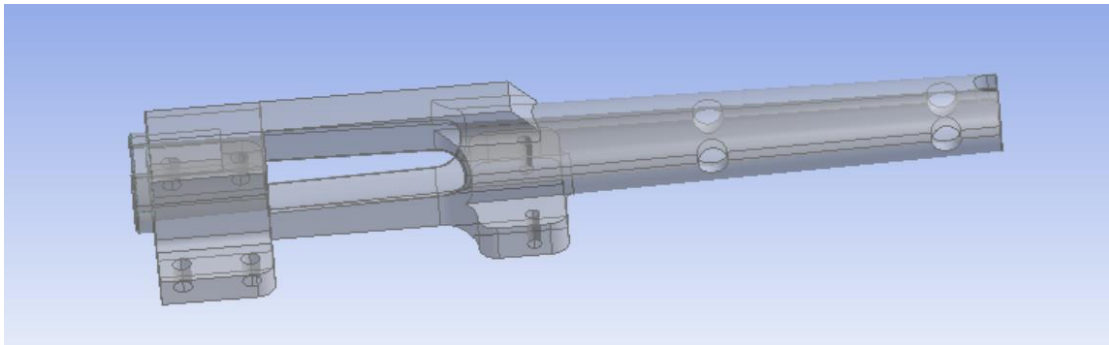


枪管在左右方向的速度响应曲线

由计算位移响应和速度响应的偏移量可知，速度响应所引起的弹着点偏移量比位移响应所引起的弹着点偏移量大得多。枪口中心点的速度响应是影响弹丸出枪口后偏移的主要因素。枪口速度响应减小，可有效减少弹丸出枪口后飞行过程中的偏移量，这对提高射击精度及射击稳定性是十分有利的。

4.4 优化处理

在长度及重量基本相同的情况下，由于锥形枪管其沿轴向有壁厚差，刚度较大，振动能量较小，所以将枪管设计带有一定锥度。此时优化设计的枪管带一个锥度，其三维图如下图。



使用 ansys 进行瞬态响应分析，设置与原枪管仿真条件相同，其结果如下图。

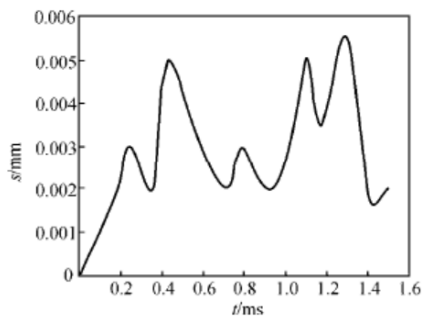


图 1 枪管在高低方向的位移响应曲线

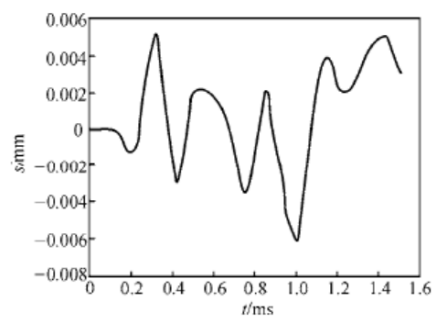
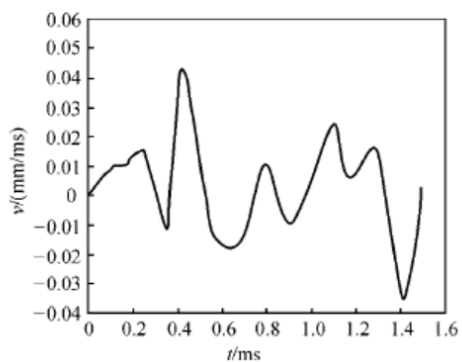
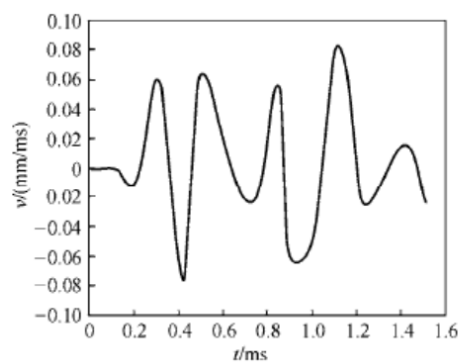


图 2 枪管在左右方向的位移响应曲线



枪管（带锥度）在高低方向的速度响应曲线



枪管（带锥度）在左右方向的速度响应曲线

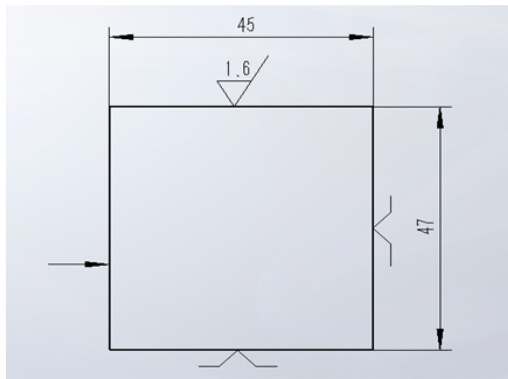
可以看出，枪管（带锥度）的枪口中心点位移响应和速度响应的最大值及弹丸出枪口时刻的响应值均比枪管（不带锥度）偏小，振动能量较小，连续发射时精准度将会有所提高。

附录二 加工工艺和工序卡

下面为加工工艺和工序卡截图,详细图纸可见附件。

东北林业大学 Ares 战队		机械加工工艺过程卡片				产品型号	零件图号		03-02		共 1 页 第 1 页	
材料牌号		6061	毛坯种类	方形棒材	毛坯外形尺寸	55x45x50	零件名称	轴承一体支座	每毛坯件数	1	每台件数	1
工序号	工序名称	工 序 内 容			车间	工段	设备	工 艺 装 备	工时/min			
									准终	单件		
10	铣削	粗铣并精铣底面、侧面			金工		XA5032、游标卡尺					
20	铣削	粗铣并精铣侧面、凹槽			金工		XA5032、游标卡尺					
30	钻削	钻-扩-铰Φ19、Φ21孔, 钻、攻螺纹 4xM3			金工		Z535、内径百分表					
40	钻削	钻-铰 4xΦ4、Φ26.2孔			金工		Z535、内径百分表					
50	钻削	钻、攻螺纹 4xM3			金工		Z535					
60	去毛刺	去毛刺			钳工							
60J	终检	终检			质检室							
					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			

东北林业大学 Ares 战队		机械加工工序卡片				产品型号	零件图号		共 5 页 第 1 页			
材料牌号		6061				零件名称	轴承一体支座	每毛坯可制件数	1	每台件数	1	同时加工件数
工步号	工 步 内 容	工 艺 装 备		主轴转速	切削速度	进给量	被吃刀量	进给次数	工时/min			
				r/min	m/min	mm/r	mm		机动	辅助		
1	粗铣底面 47.2、侧面 52.5	硬质合金端铣刀		300	94.25	0.16	1.5	1	0.53			
2	精铣底面 47、侧面 52.3	硬质合金端铣刀		600	188.5	0.1	0.5	1	0.83			
					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			



东北林业大学 Ares 战队		机械加工工序卡片		产品型号		零件图号		零件名称		轴承一体支座	共 5 页 第 2 页
				车间	工序号	工序名称	材料牌号				
				金工	20	铣削	6061				
				毛坯种类	毛坯外形尺寸	每毛坯可制件数	每台件数				
				块料							
				设备名称	设备型号	设备编号	同时加工件数				
				铣床	XA5032	02					
				夹具编号		夹具名称		切削液			
								有			
工位器具编号		工位器具名称		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	被吃刀量	进给次数	工时/min	
			r/min	m/min	mm/r	mm		机动	辅助
1	粗铣侧面 42.2	硬质合金端铣刀	300	117.8	0.2	1.5	1	0.55	
2	精铣侧面 42	硬质合金端铣刀	600	235.62	0.08	0.5	1	0.68	
3	粗铣凹槽	硬质合金端铣刀	300	117.8	0.2	1.5	1	0.55	
4	精铣侧面、凹槽	硬质合金端铣刀	600	235.62	0.08	0.5	1	0.68	

				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	

东北林业大学 Ares 战队		机械加工工序卡片		产品型号		零件图号		零件名称		轴承一体支座	共 5 页 第 3 页
				车间	工序号	工序名称	材料牌号				
				金工	30	钻削	6061				
				毛坯种类	毛坯外形尺寸	每毛坯可制件数	每台件数				
				块料							
				设备名称	设备型号	设备编号	同时加工件数				
				钻床	Z535	03					
				夹具编号		夹具名称		切削液			
工位器具编号		工位器具名称		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	被吃刀量	进给次数	工时/min	
			r/min	m/min	mm/r	mm		机动	辅助
1	钻孔 4xΦ3	Φ2 麻花钻	275	12.95	0.32		1	0.85	
2	钻孔 Φ19	Φ19 麻花钻	275	12.95	0.32		1	0.85	
3	钻孔 Φ20	Φ20 麻花钻	68	6.456	0.68		1	1.50	
4	扩孔 Φ20.75	Φ20.75 扩孔钻	68	7	0.96		1	0.99	
5	铰孔 Φ21H7	Φ21 铰刀	68	6.83	0.55		1	1.88	
6	攻螺纹 4xM3	M3 丝锥							

				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	

东北林业大学 Ares 战队				机械加工工序卡片				产品型号		零件图号					
								产品名称		零件名称		轴承一体支座			
										共 5 页 第 4 页					
								车间		工序号		工序名称		材料牌号	
								金工		40		钻削		6061	
								毛坯种类		毛坯外形尺寸		每毛坯可制件数		每台件数	
								块料							
								设备名称		设备型号		设备编号		同时加工件数	
								钻床		Z535		04			
								夹具编号		夹具名称		切削液			
								工位器具编号		工位器具名称		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	被吃刀量	进给	工时/min	
			r/min	m/min	mm/r	mm	次数	机动	辅助
1	钻孔Φ4	Φ4 麻花钻	530	16.64	0.27		1	0.21	
2	钻孔Φ26	Φ26 麻花钻	275	9.5	0.5		1	0.22	
3	扩孔Φ26.2	Φ26.2 扩孔钻	140	6.59	0.54		1	0.2	

								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			

东北林业大学 Ares 战队				机械加工工序卡片				产品型号		零件图号					
								产品名称		零件名称		轴承一体支座			
										共 5 页 第 5 页					
								车间		工序号		工序名称		材料牌号	
								金工		50		钻削		6061	
								毛坯种类		毛坯外形尺寸		每毛坯可制件数		每台件数	
								块料							
								设备名称		设备型号		设备编号		同时加工件数	
								钻床		Z535		05			
								夹具编号		夹具名称		切削液			
								工位器具编号		工位器具名称		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	被吃刀量	进给	工时/min	
			r/min	m/min	mm/r	mm	次数	机动	辅助
1	钻孔 4xM3	Φ2 麻花钻	750	16.49	0.2		1	0.14	
2	攻螺纹 4xM3								

								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			

附录三 建造场地

经过全体战队成员的通力合作，利用3月10、11日两天时间，花费约2100元，主要是使用木方和板材完成比赛场地的建造，为其他学校提供一个参考方案。场地包括启动区、轨道、半个坡道加一个桥洞、完整的资源岛。模拟半个场地的尺寸，完全恢复资源岛的大小，能够进行机器人安全登岛和取弹测试。下面为搭建完成的场地实景图。

