



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



2018.3

V 2.0

福建工程学院

RC 机器人实验室-苍霞铁甲战队

| 日期 | 版本 | 改动记录 |
|----------|------|---|
| 2018.3.7 | V1.0 | 首次发布 |
| 2018.3.9 | V2.0 | <ol style="list-style-type: none">1. 添加需求的数值目标2. 完善工艺路线3. 补充修改有限元分析4. 添加图纸5. 完善系统辨识内容 |

目录

| | |
|------------------------|----|
| 第 1 章 需求确定 | 1 |
| 1.1 步兵机器人 | 3 |
| 1.2 英雄机器人 | 3 |
| 1.3 工程机器人 | 4 |
| 1.4 补给机器人 | 5 |
| 1.5 空中机器人 | 5 |
| 第 2 章 结构设计 | 5 |
| 第 3 章 程序逻辑 | 5 |
| 3.1 状态任务切换、离线检测模块 | 7 |
| 3.2 CAN 发送模块 | 8 |
| 3.3 外设数据解析模块 | 8 |
| 3.4 控制任务模块 | 8 |
| 第 4 章 人机工程 | 10 |
| 4.1 机械设计的人机工程 | 11 |
| 4.2 整机人机工程 | 11 |
| 第 5 章 科学设计方法 | 14 |
| 5.1 云台的传递函数与 MATLAB 仿真 | 14 |
| 5.2 数据采集与处理 | 15 |
| 5.3 参数优化 | 18 |
| 5.4 实际测试结果 | 19 |
| 第 6 章 科学实践改进 | 20 |

| | |
|------------------------|----|
| 第 7 章 创新性 | 22 |
| 7.1 弹仓与发射机构的连接方式 | 23 |
| 7.2 枪管预置装置 | 24 |
| 第 8 章 外观设计 | 24 |
| 8.1 外观设计理念 | 25 |
| 8.2 色彩设计理念 | 25 |
| 附录一 英雄机器人爬升机构设计 | 26 |
| 附录二 电机轴图纸 | 41 |
| 附录三 加工工艺、工序卡 | 42 |

第1章 需求确定

根据 RM 比赛规则手册并结合本校实际情况，对本次参赛的所有机器人进行兵种与其功能优先等级划分，优先级从高到低依次为四级 I 为最高，IV为最低，以此优先级作为本战队设计机器人的侧重点。具体划分如下。

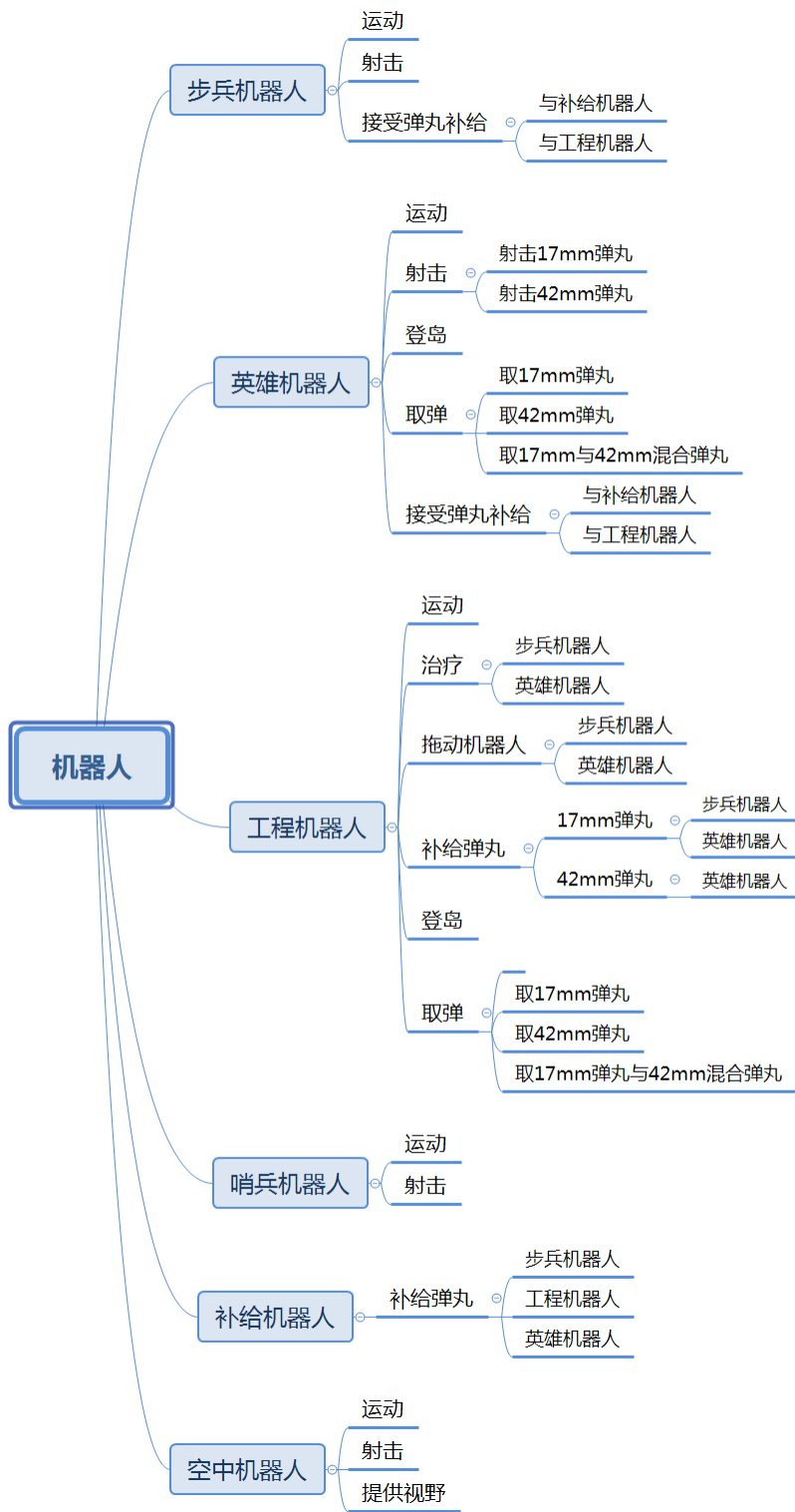


图 1.1 机器人总体功能

1.1 步兵机器人：

兵种优先级为 I，必须上场，其特点为运动快速灵活，作为最基础兵种，其功能的完善是比赛取得好成绩的基础。

关键技术点：

I 运动、射击。ROBOMASTER 机甲大师赛以机器人对抗射击为主题，因此地面机器人最基础功能为运动与射击，运动的灵活性(全地形通过平稳可靠，速度至少可达 1.5m/s，爬坡能力不低于 20°) 与射击的精准性 (5m 距离下子弹下坠小于 10cm，子弹无卡弹问题，射频控制精准) 对赢得比赛胜利极为重要。

II 接受补给。机器人射击前提是具备充足的弹丸，所以接受补给的能力尤为关键。步兵机器人从进入补给站到补给完成耗时控制在 5s 内，一次补给弹丸数可达 100-150 发，且与工程机器人的补给交互需要迅速完成。

1.2 英雄机器人

兵种优先级为 II，必须上场，其优先级与步兵机器人相当，作为发射 42mm 弹丸的唯一机器人，其是对比赛的胜负天平倾斜的重量级砝码。

关键技术点：

I 运动、射击。ROBOMASTER 机甲大师赛以机器人对抗射击为主题，因此地面机器人最基础功能为运动与射击，运动的灵活性(全地形通过平稳可靠，速度至少可达 1.3m/s，爬坡能力不低于 20°) 与射击的精准性 (5m 距离

下子弹下坠小于 20cm, 子弹无卡弹问题, 射频控制精准) 对赢得比赛胜利极为重要。

II 登岛、取弹。在比赛时 42mm 弹丸只能从资源岛上获取, 因此登岛取弹是获得 42mm 弹丸的唯一途径。上岛可靠稳定, 尽量做到“一键”登岛, 上岛准备时间控制在开场 30s 内, 完成上岛及其取弹控制在 1'30 内, 完成下岛控制在 2'00 内。

III 接受其他机器人的弹丸补给。具备快速受补能力, 与工程补给交互需要迅速完成。

1.3 工程机器人

兵种优先级为 III, 必须上场, 作为复活、治疗和补给的唯一兵种, 对比赛胜率的提升具有重要意义。

关键技术点:

I 运动。运动是实现工程其他功能的前提。具备运动灵活(全地形通过平稳可靠, 速度至少可达 1.0m/s, 爬坡能力不低于 20°) 的能力。

II 拖动机器人。机器人的复活需要工程机器人具备拖动其他机器人的功能。与其他机器人的拖动联接控制在 5s 内完成。

III 取弹、补给弹丸。比赛中英雄机器人本身具有取弹功能, 而步兵机器人可以通过补给机器人获得弹丸, 因此对于工程机器人来说该功能需求较为不明显。

IV 治疗, 在如此高强度的比赛中完成机器人治疗的一系列动作过于复杂、繁琐, 故性价比不高。治疗动作控制在 10s 完成。

1.4 补给机器人

兵种优先级为IV，可不上场，但是作为步兵机器人弹丸的主要来源，其重要性也显而易见。

关键技术点：

I 补给弹丸是补给机器人的唯一功能。分配弹丸迅速，一次补给弹丸可达100-150发。

1.5 空中机器人

兵种优先级为IV，可不上场，具有空中优势，其他机器人无法对其攻击。

关键技术点：

I 运动、提供视野。空中机器人运动是最基本的功能，通过运动可以为其他队友提供赛场视野。

II 射击。具有充足的弹丸，可提供空中火力压制。具有精准的射击能力（射速可达 25m/s，射频控制精准）。

第 2 章 结构设计

以英雄机器人上岛爬升结构设计为例，详见附录。

第 3 章 程序逻辑

以步兵机器人的程序为例。本届的硬件平台采用官方开发板 STM32F427II，程序框架上加入了 FreeRTOS 系统，使得程序的控制逻辑更加的清晰，任务调度的形式代替了去年的定时器

中断，省去了多个定时器开启的逻辑混乱问题。

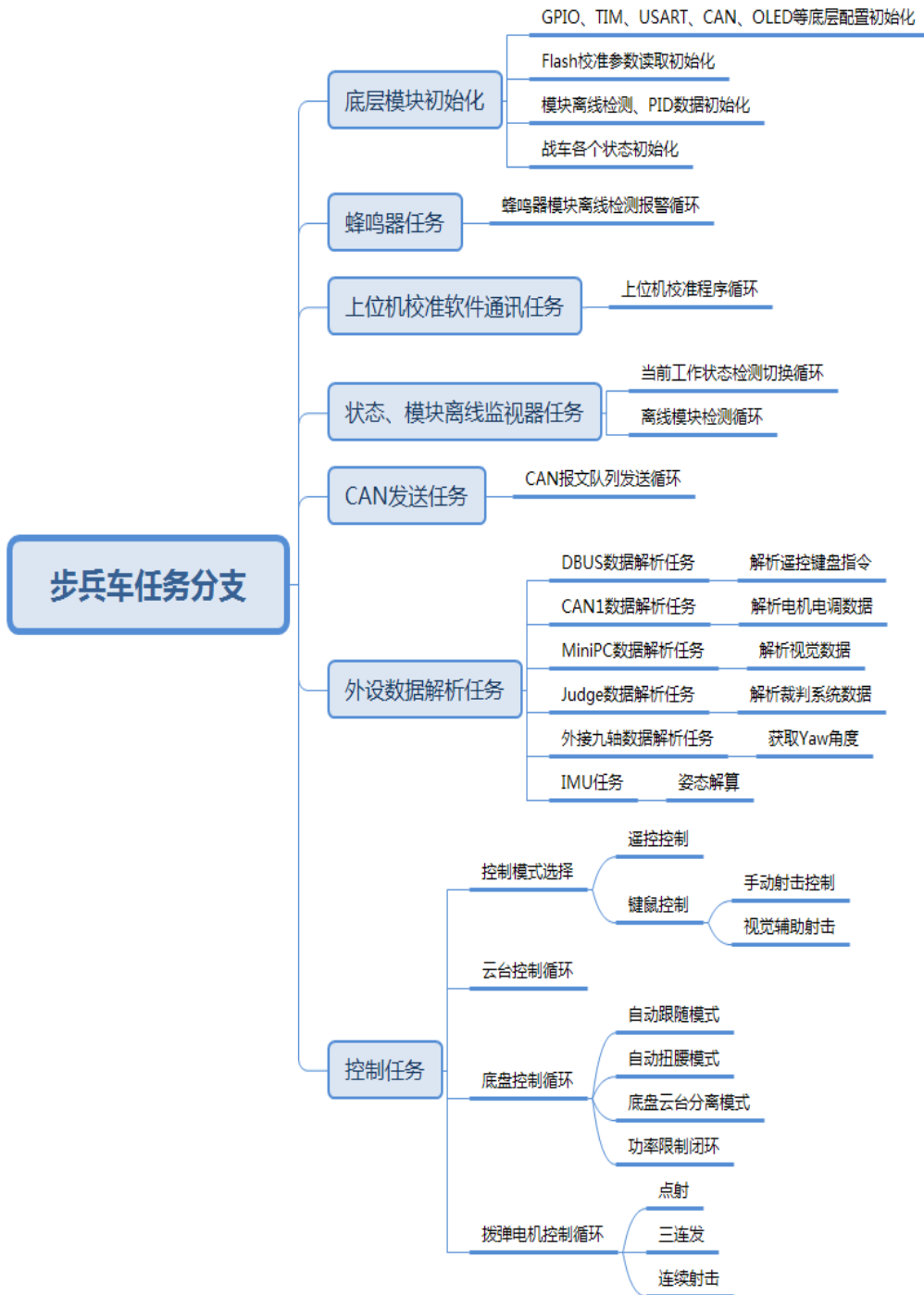


图 3.1 战车程序框架

步兵机器人各个任务优先级：

更高优先级任务：控制任务；

高优先级任务：CAN 发送任务、外设数据解析任务

低优先级任务：模块离线监视器任务、上位机校准软件通讯任务、蜂鸣器任务。

抢占式多任务系统如图 3.2。

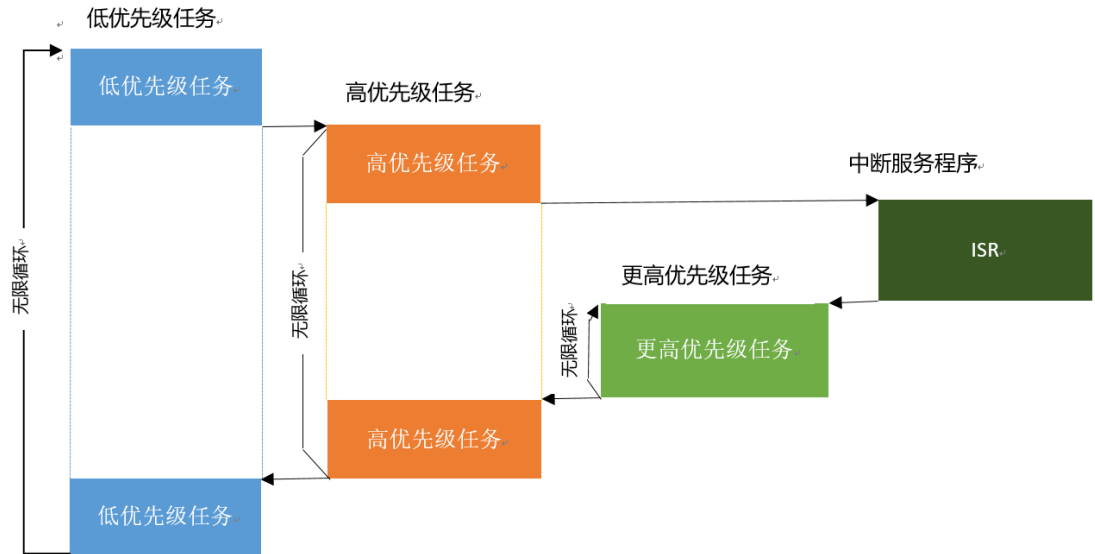


图 3.2 抢占式多任务系统

3.1 状态任务切换、离线检测模块

状态切换任务则是用检测战车的当前的工作状态，归类为以下的几种分几种：

- 1、正常状态：正常遥控，键鼠控制模式。
- 2、静止状态：遥控和键鼠均无输入指令的时候切换。
- 3、校准状态：上位机校准时切换到该状态，使得战车瘫软，方便调试。
- 4、停止状态：拨杆拨到停止位时候切换，防止战车疯转。

离线检测模块采用了类似看门狗模式，首先在任务中开启了各个模块的计数，若进入重要模块中断时，这说明模块在线，则将计数清零喂狗，否则等待定时计数溢出后就会提示模块离线，并反映在 OLED 屏幕上。若重要模块离线，则立马进入急停模式，防止机器人失控导致损毁。

3.2 CAN 发送模块

CAN 报文的发送统一在任务中进行，采用队列形式，先入先出的队列原则在保证报文完整发送的同时，又合理地利用了 FreeRTOS 的时间片，使得控制任务有足够的时间执行大量的逻辑运算，同时通过检测 STM32 主控的 CAN 寄存器 ESR 来实现 CAN 的错误恢复，从而多重保障了底盘和云台电机的正常运行。

3.3 外设数据解析模块

外设数据解析任务则是通过二值信号量将串口、CAN 等数据解析以任务调度的方式来实现，减短了主线程在中断滞留的时间过长，减少了一些重要的任务运行时间滞后，同时又保证了外设数据与任务之间的同步执行问题，做到数据不丢帧，让数据解析部分更加方便管理。采用数据缓存的方式存储数据，通过 C#引入 ArrayList 数据结构，可以更好更加方便的管理数据，并且移植性强，不仅裁判系统协议可用，其他外设串口协议解析均可通用，能够尽可能的避免数据的丢帧现象出现。与妙算通讯也采用了串口通讯协议，参考官方裁判系统的格式规范撰写协议代码，采用结构体，联合体的方法定义各个数据结构，方便修改的同时又能使程序的思路清晰。数据校验统一采用了 CRC16 校验方式，实现通讯数据的准确无误。

3.4 控制任务模块

控制任务模块大致程序框图（如图 3.4.1 所示）控制任务循环包括了键鼠与遥控的基本控制，以及云台和底盘控制循环，将云台、底盘、拨弹的 PID 控制计算部分统一写入在控制任务末尾，控制只需要修改 PID 目标值即可，因为编码器测量角度十分精准，但是测量低速会有很大的误差，因此云台的双环 PID 速度内环的反馈以陀螺仪角速度测量做反馈，位置外环以云台编码器为反馈，可以更加精准的控制。

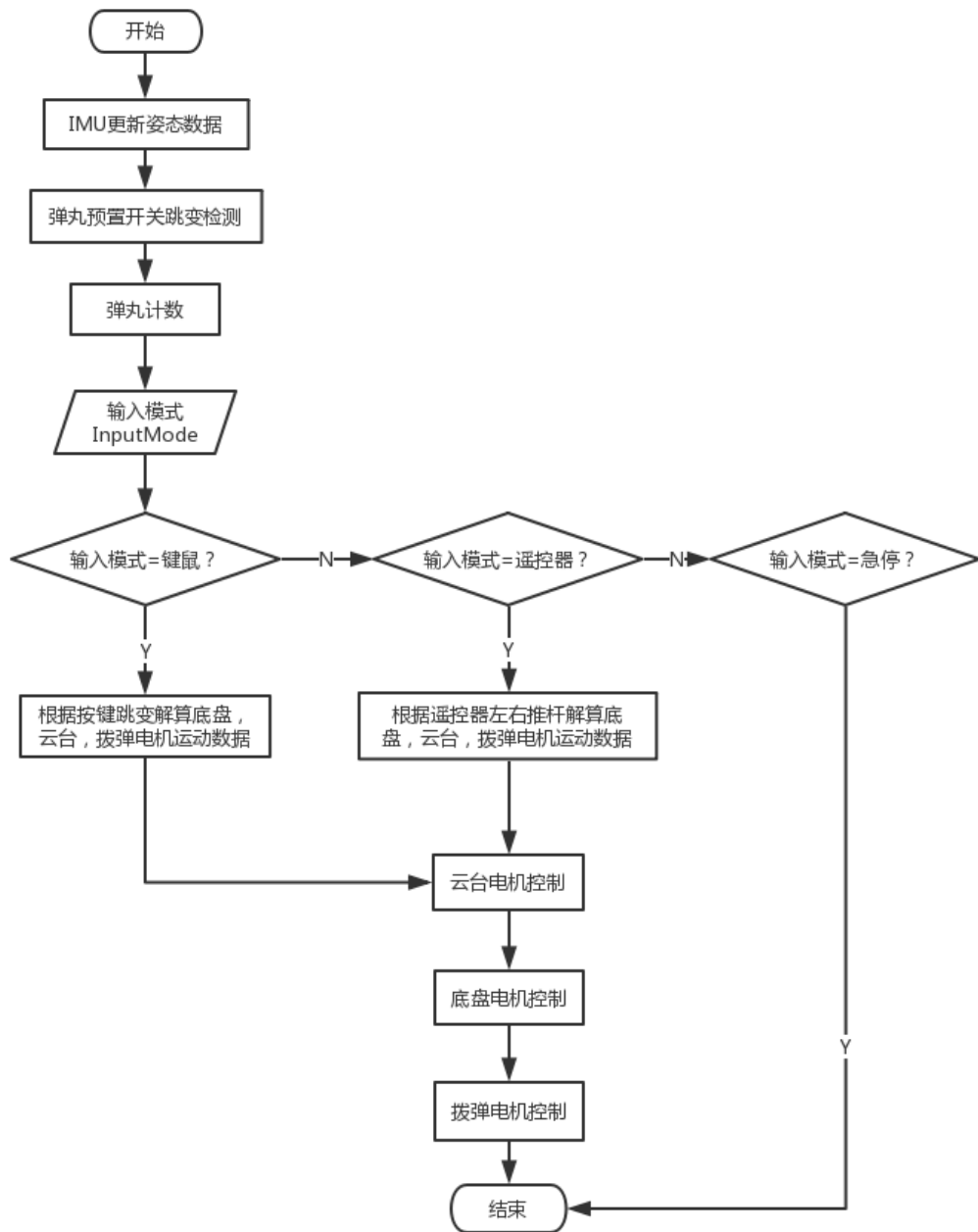


图 3.4.1 控制任务流程图

射击模式分为单发，三连发，连射等，因为拨弹电机编码器固然精准但是无法解决拨盘空弹的状态，因此放弃拨盘的位置环固定角度拨弹，采用了微动开关的跳变检测来停止拨弹实现精准射击。

控制循环加入了随机角度和速度的扭腰功能，以及底盘跟随功能和底盘云台脱离功能，可以更好

的适应各种战况所需要切换的模式，同时加入了自动跟踪瞄准模式，配合妙算实现装甲板的自动跟踪打击，妙算返回的是坐标信息，难免会存在一定的延迟，为了避免跟踪滞后采用了坐标的曲线拟合，通过妙算反馈的坐标以及图像识别的坐标间隔拟合曲线预测指定时间的坐标，实现预判功能。

IMU 任务将姿态解算以任务的形式实现，同样是为了节约单片机的运算时间，在任务停滞时候将主线程的控制权转让给其他的准备就绪任务。

功率限制采用闭环控制（如图 3.4.2 所示）。不仅如此，在软件层面，硬件电路层面也加入了电容模组，有效的防止电池的瞬间电流过大导致的各类问题等。

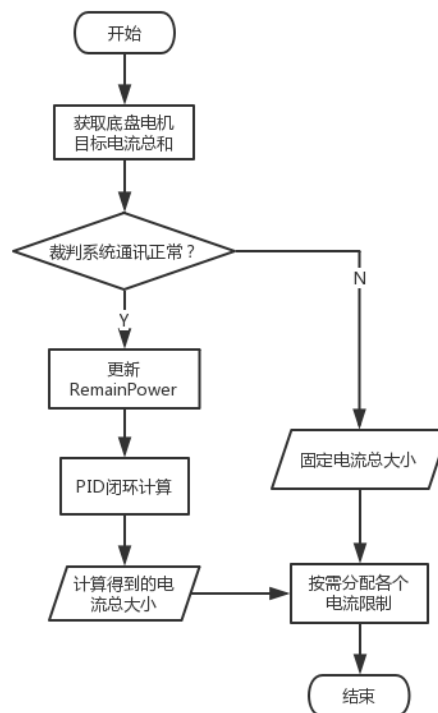


图 3.4.2 电机控制

第 4 章 人机工程

人机工程的主要问题是人与机器人的协调问题。本次大赛设计过程中我们主要从机械设计

以及整机人机交互、布线等方面考虑。

4.1 机械设计的人机工程

在所有机器人的机械设计过程中，人机工程主要体现在安全防护方面。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，既保证了人员的安全，也实现了外形美观，同时防止子弹打入摩擦轮等不确定问题。

哨兵机器人比赛中运动在哨兵轨道上，赛后又需将其拆下，因此设计哨兵机器人时为实现快速的装拆，采用肘夹机构夹紧。其使用方便快捷，再者牛眼轮承载能力大，并且能够使得原先的滑动摩擦转为滚动摩擦，减少哨兵机器人在轨道运行时候的噪声；哨兵机器人的夹紧装置（如图 4.2.1 所示）拆卸方便使得我们维护和调试方便，大大减轻了人的工作负荷；肘夹的稳定性，使得人在近距离接触哨兵机器人时，安全性高，不容易发生脱落轨道，伤害到调试人员。

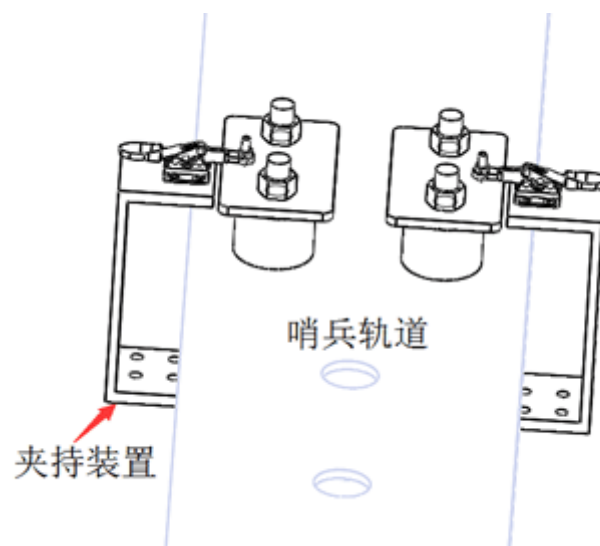


图 4.1.1 哨兵模型

4.2 整机人机工程

1、整机程序设计的人机工程

在程序设计时，对功能按键进行简化处理，减少同类的功能的多种模式切换需要的按键数量。例如切换三种射击模式采用单按键方式轮流触发等；部分功能按键也按照一般的FPS游戏的操作习惯设计，例如“shift”键加速、鼠标右键开启视觉辅助等，使得人更加自然地进入到“环境空间”中，形成人机“直接对话”。

主控板上加入了一个OLED显示屏，可以在机器人启动时候滚动输出初始化的内容，以及输出错误的原因，提高调试效率。



图4.1.1 oled显示屏

2、整机布线人机工程

步兵战车底盘部分的大致走线（如图4.1.3所示）采用了横平竖直的原则。线缆走线的固定采用了黑色的尼龙扎带固定座与黑色尼龙扎带固定；色调的统一，接线的统一，使得外观简洁统一。

为防止接口脱落而导致模块掉线，专门为主控设计了一个扩展板（如图4.1.2所示），用防呆的接口替代板上的杜邦接口，以及反复拔插导致的接口寿命的骤减。开发板外接的模块接口统一朝向，减少了接线数量方便后期的走线设计。

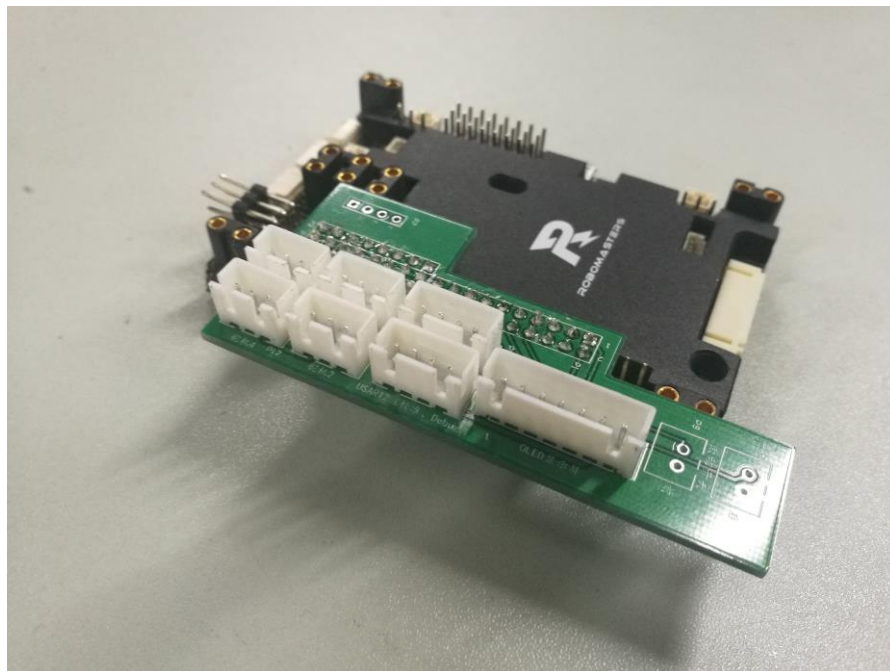


图 4.1.2 拓展板

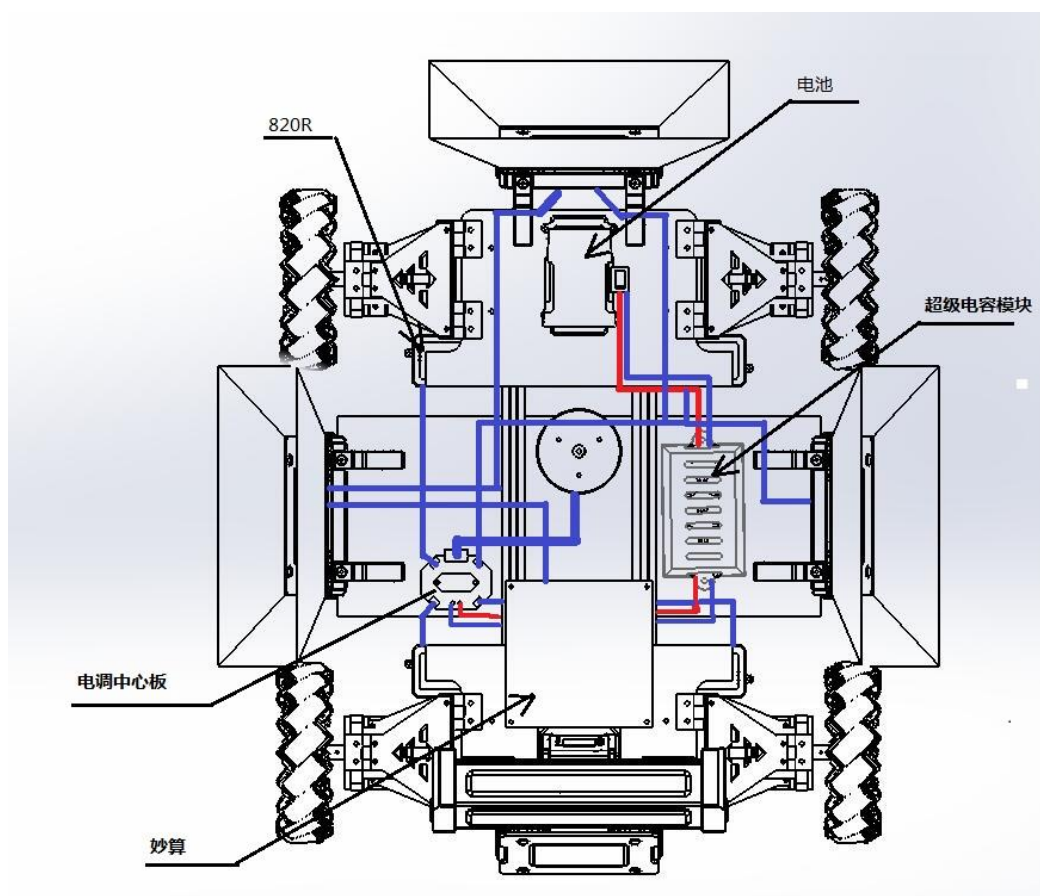


图 4.1.3 走线图

第 5 章 科学设计方法

5.1 云台的传递函数与 MATLAB 仿真

反馈系统的结构图如图所示：

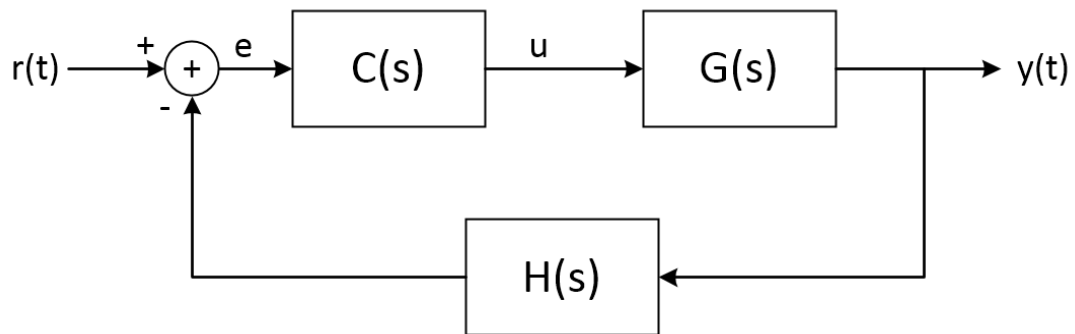


图 5.1.1 反馈结构图

$G(s)$ 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

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

先是对激励信号的设计，产生频率从 1Hz 到 500Hz 变化的正弦信号，每个频率点持续 10

个周期。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]); %频率激励信号
```

```
T = round(1000./F); %周期取整数
```

```
F = 1000./T; %频率
```

```
subplot(2,1,1);
```

```
plot(T);
```

```
hold on;
```

```
plot(T,'*');
```

```
subplot(2,1,2);
```

```
plot(F);
```

```
hold on;
```

```
plot(F,'*');
```

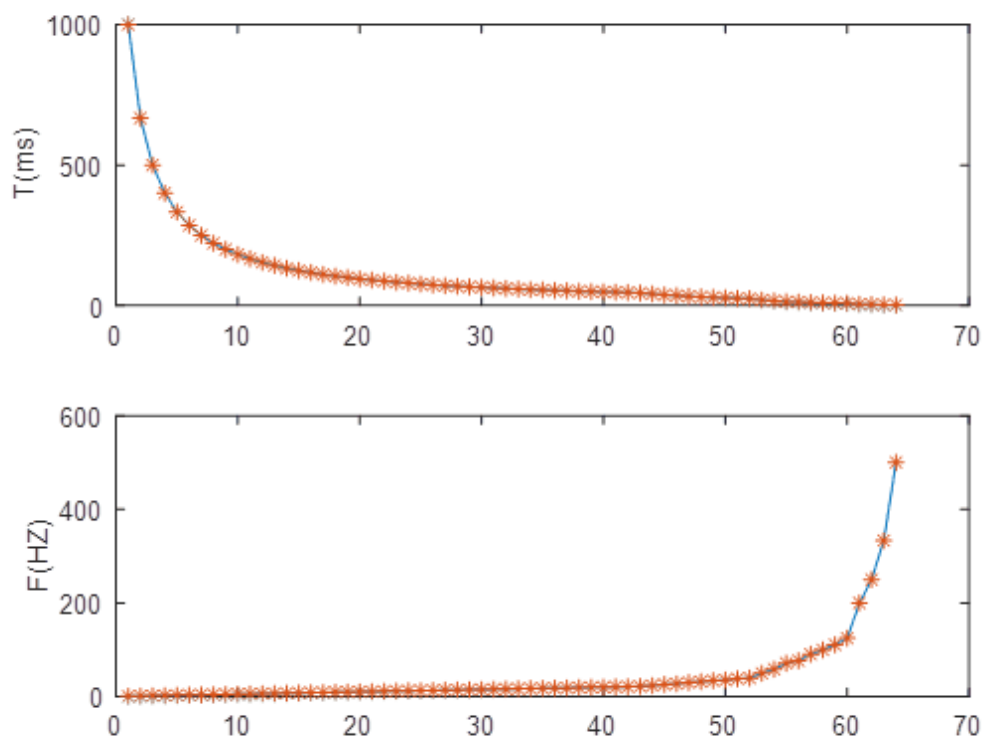


图 5.1.2 激励信号

5.2 数据采集与处理

配置 J-Scope 工程，设置好相关参数后启动测试程序，用 J-Scope 记录云台的期望角速度和实际角速度以及当前误差，采集完成后导出数据为 csv 格式。

用 MATLAB 导入 csv 文件中的的数据。

处理后的数据绘制如下：

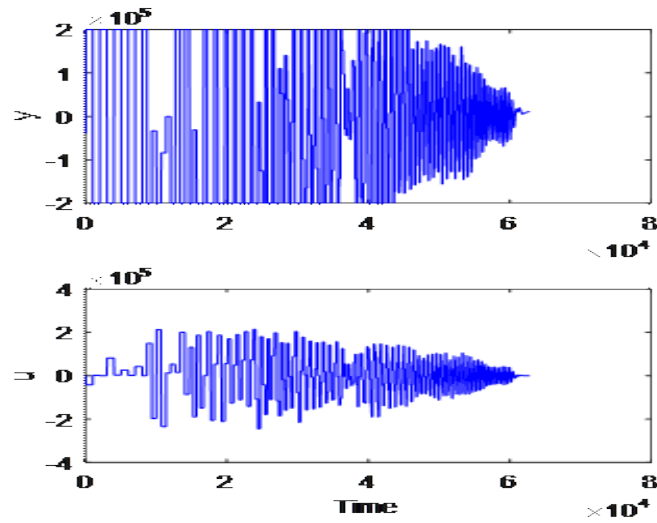


图 5.2.1 振幅

有图像可以看到，云台在高频下的振幅有明显的衰减。

在 MATLAB 中打开系统辨识工具箱，将数据加入 System Identification 工具。

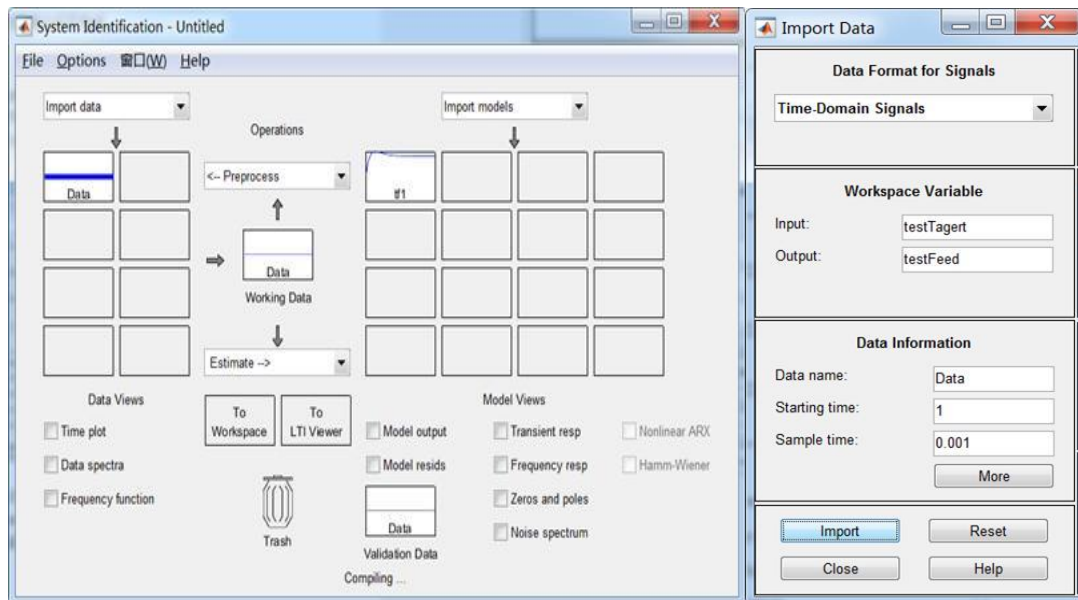


图 5.2.2 工具配置

得到系统传递函数如下图：

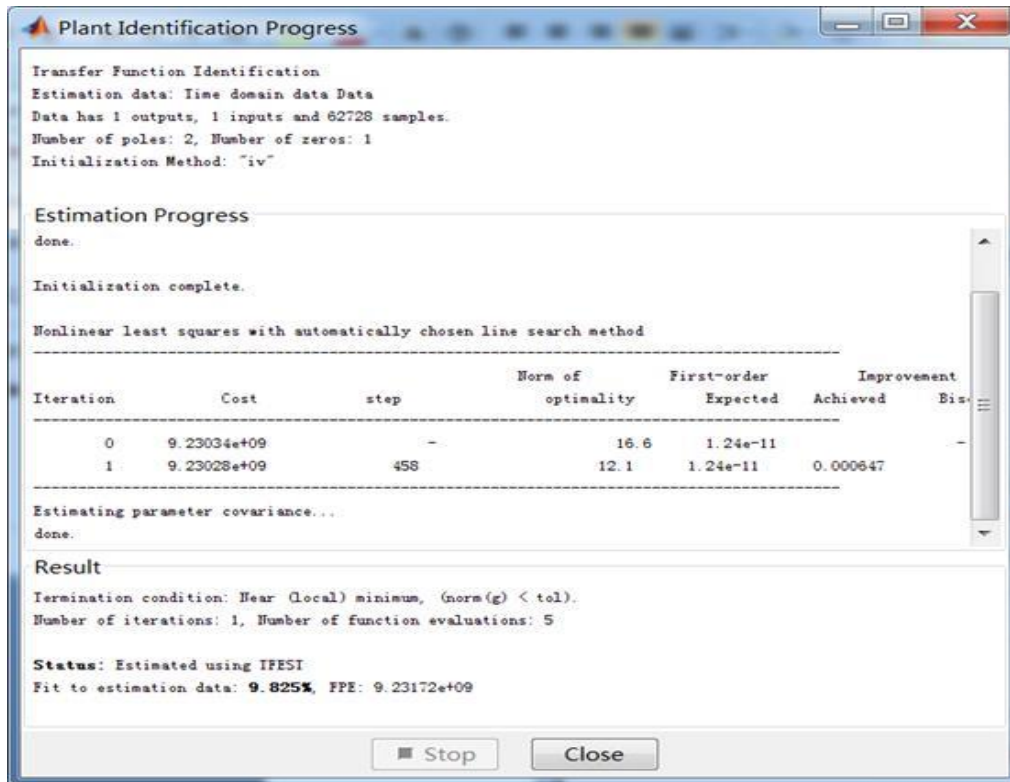


图 5.2.3 数据拟合

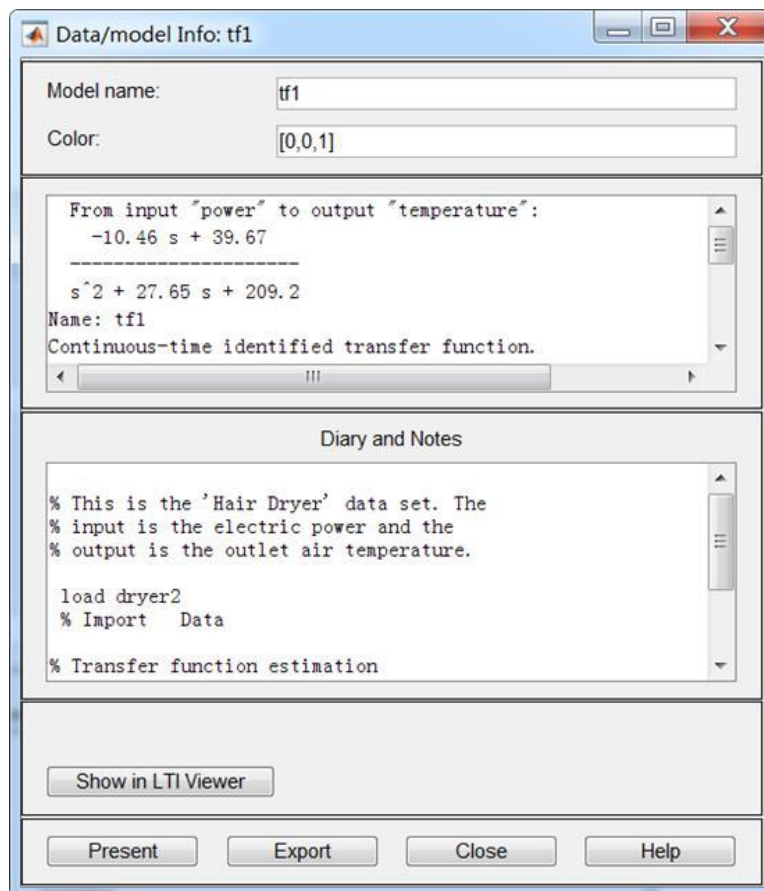


图 5.2.4 传递函数

5.3 参数优化

参数优化时对参数进行 Simulink 仿真，仿真模型如下：

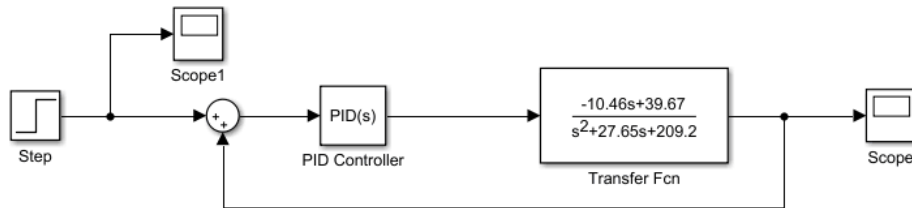


图 5.3.1 仿真模型

运行仿真模型计算得到 PID 阶跃信号的响应曲线如下图：

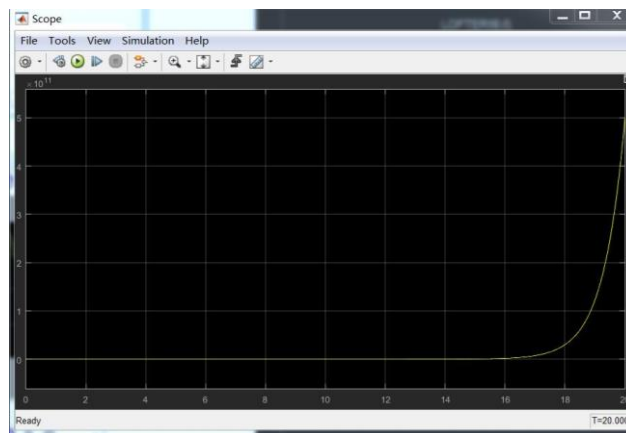


图 5.3.2 响应曲线

在适当调节 PID 参数后如下图：

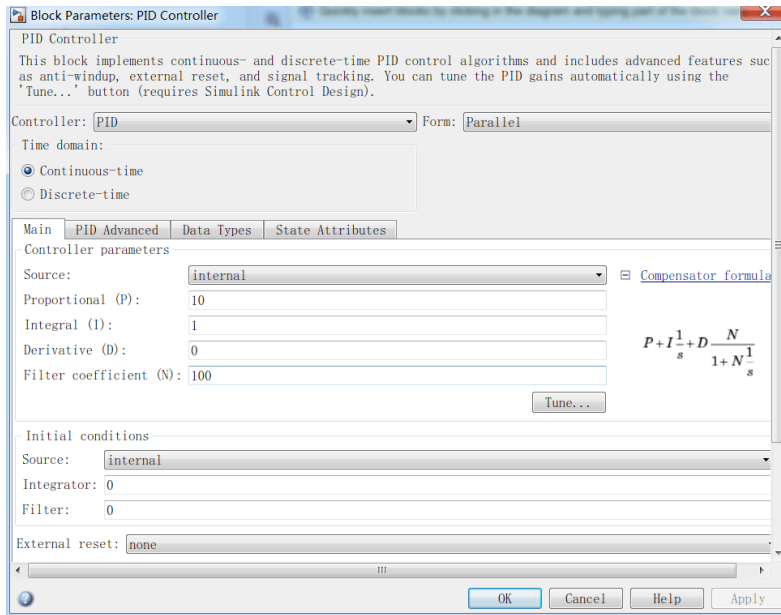


图 5.3.3 pid 调节

5.4 实际测试结果

将仿真参数输入步兵车工程中，经过数据采样，对数据用 MATLAB 处理如下图：

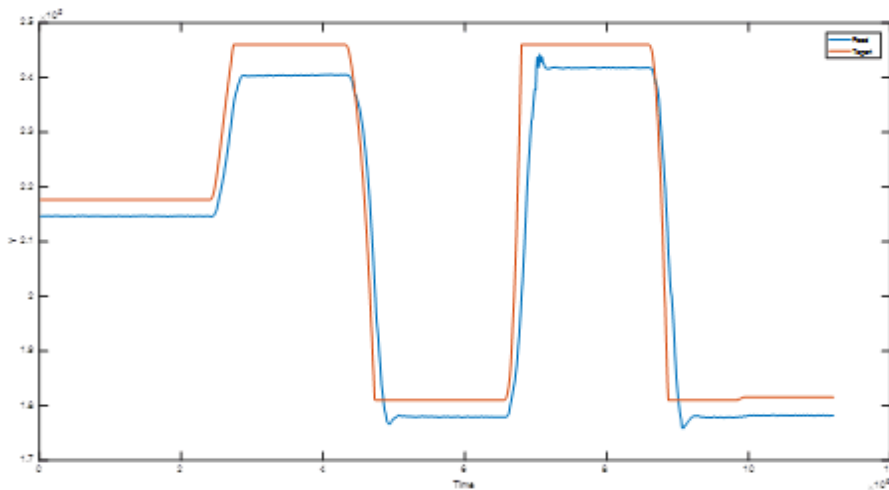


图 5.3.4 Matlab 处理后

由图像可看出，期望值与实际响应值仍然有一段静态误差无法消除。需继续在原有的基础上适当调节参数达到最优控制效果。

第 6 章 科学实践改进

步兵机器人使用摩擦轮方式发射 17mm 弹丸为了达到 30m/s 的速度进行的实验。

结合查阅资料，发现在使用相同电机、相同的弹丸情况下。弹丸速度的影响因素主要是摩擦轮的邵氏硬度和两摩擦轮的间距。

选用 50、60 邵氏硬度，找出它最优间距和极限速度

分别测出 17mm 弹丸用 50、60 邵氏硬度的摩擦轮在 14, 12, 11.5, 11, 10.5, 10mm 间距下速度。

表 6.1 间距 14, 12, 11.5 测试数据

| 间距14 | 硬度60 | 硬度50 | 间距12 | 硬度60 | 硬度50 | 间距11.5 | 硬度60 | 硬度50 |
|------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 次数 | 速度 | | | 速度 | | | 速度 | |
| 1 | 24.2 | 20.99 | | 24.19 | 28.02 | | 25.85 | 31.25 |
| 2 | 22.43 | 22.69 | | 22.87 | 28.88 | | 23.58 | 30.25 |
| 3 | 22.83 | 23.42 | | 26.15 | 26.81 | | 24.68 | 29.65 |
| 4 | 22.08 | 22.39 | | 23.55 | 26.53 | | 27.65 | 29.65 |
| 5 | 22.15 | 22.04 | | 25.91 | 28.41 | | 23.58 | 30.45 |
| 6 | 23.68 | 25.05 | | 26.7 | 27.3 | | 24.95 | 28.96 |
| 7 | 23.18 | 24.71 | | 25.99 | 27.27 | | 24.35 | 30.25 |
| 8 | 22.47 | 25.32 | | 26.23 | 25.71 | | 26.58 | 31.25 |
| 9 | 22.93 | 22.97 | | 25.91 | 28.49 | | 27.55 | 29.65 |
| 10 | 23.04 | 25.17 | | 25.89 | 28.56 | | 26.85 | 30.5 |
| | | | | | | | | |
| 平均 | 22.899 | 23.475 | | 25.339 | 27.598 | | 25.562 | 30.215 |
| 最大 | 24.2 | 25.32 | | 26.7 | 28.88 | | 27.65 | 31.25 |

表 6.2 间距 11, 10.5, 10 测试数据

| 间距11 | 硬度60 | 硬度50 | 间距10.5 | 硬度60 | 硬度50 | 间距10 | 硬度60 | 硬度50 |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|------|-------|--------|
| | 速度 | | | 速度 | | | 速度 | |
| | 25 | 29.28 | | 18.02 | 29.68 | | 9.93 | 27.21 |
| | 24.71 | 28.05 | | 17.75 | 30.25 | | 8.56 | 28.56 |
| | 25.91 | 31.56 | | 20.45 | 28.65 | | 8.66 | 28.75 |
| | 25.27 | 29.58 | | 16.22 | 28.56 | | 8.99 | 30.54 |
| | 24.57 | 31.6 | | 16.58 | 27.65 | | 9.21 | 28.62 |
| | 25.65 | 28.21 | | 20.66 | 29.65 | | 8.36 | 29.58 |
| | 25.17 | 31.64 | | 19.62 | 28.65 | | 9.33 | 29.21 |
| | 25.07 | 31.02 | | 16.35 | 31.25 | | 9.75 | 28.36 |
| | 24.93 | 31.56 | | 18.35 | 32.66 | | 10.12 | 27.23 |
| | 25.22 | 30.14 | | 18.25 | 27.95 | | 9.65 | 28.96 |
| | | | | | | | | |
| | 25.15 | 30.264 | | 18.225 | 29.785 | | 9.256 | 28.702 |
| | 25.91 | 31.64 | | 20.66 | 32.66 | | 10.12 | 30.54 |

将每个间距下测出的数据进行数值平均处理得出当前间距下的算术平均值。

将平均值带入 Matlab, cftool 工具箱进行数据曲线拟合。

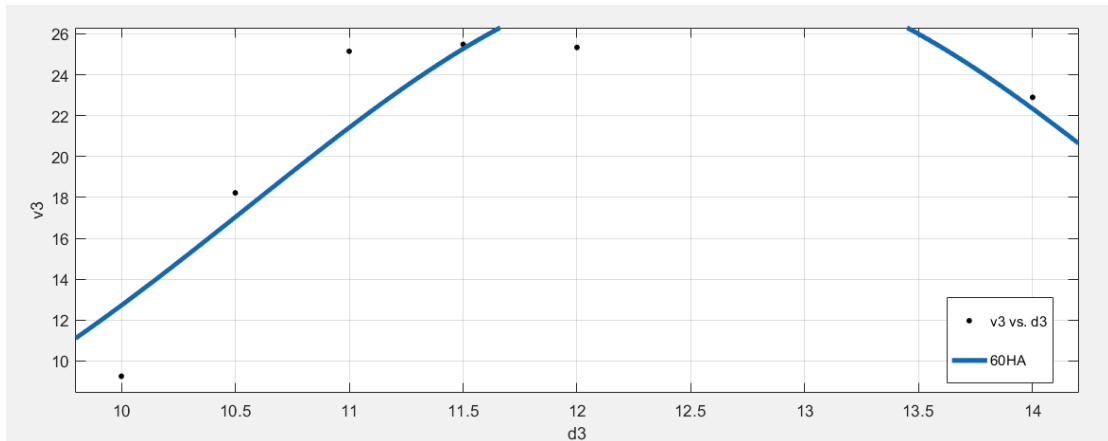


图 6.1 60HA 间距-v 曲线图

```

Results
General model Gauss1:
f(x) = a1*exp(-((x-b1)/c1)^2)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 = 29.06 (-42.13, 100.3)
b1 = 12.59 (7.109, 18.07)
c1 = 2.761 (-8.509, 14.03)

Goodness of fit:
SSE: 32.39
R-square: 0.8171
Adjusted R-square: 0.4514
RMSE: 5.691

```

图 6.2 60HA 间距和速度的拟合函数

得出 60HA 间距和速度的拟合函数，求出在间距 10-15mm 内的极值点为 12.560 其极值为 29.10

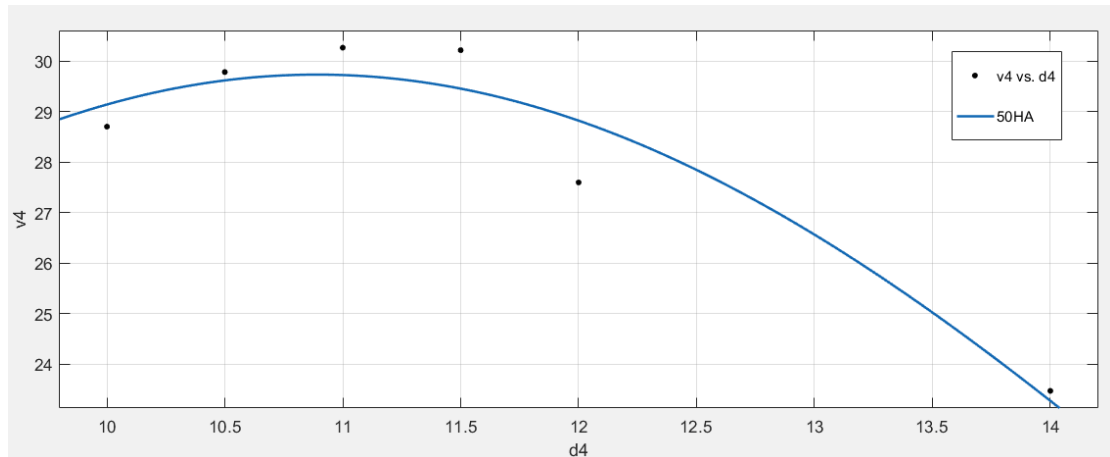


图 6.3 50HA 间距-v 曲线图

General model Gauss1:

$$f(x) = a1 * \exp(-((x-b1)/c1)^2)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a1 = 29.73 \quad (28.29, 31.17)$$

$$b1 = 10.89 \quad (9.546, 12.24)$$

$$c1 = 6.285 \quad (2.938, 9.631)$$

Goodness of fit:

SSE: 2.624

R-square: 0.922

Adjusted R-square: 0.87

RMSE: 0.9353

图 6.4 50HA 间距和速度的拟合函数

得出 50HA 间距和速度的拟合函数，求出在间距 10-15mm 内的极值点为 10.890 其极值为 29.730

综上所述应采用 50HA 的摩擦轮间距距离为 10.890 才能达到理论 30m/s 的射速。

第 7 章 创新性

为了解决卡弹问题，对弹仓和枪管进行优化设计，采用创新式平面供弹方式。同时，为了提高弹丸的分配效率和射击效率，在枪管放置微动开关实现数弹功能，实现子弹的“上膛”。

7.1 弹仓与发射机构的连接方式

分析和了解上供弹方式的利弊后我们决定简化机构，摒弃了下供弹的方式，将炮管与拨弹盘至于同一平面上。子弹不需要经过弯管，减少了弹丸下落的过程彻底杜绝卡弹，减小了加工难度，更增加了拨弹的效率。

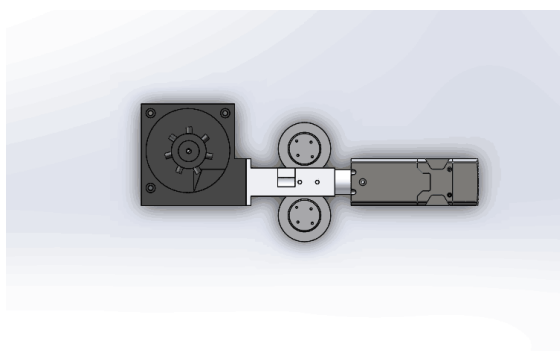


图 7.1.1 弹仓俯视图

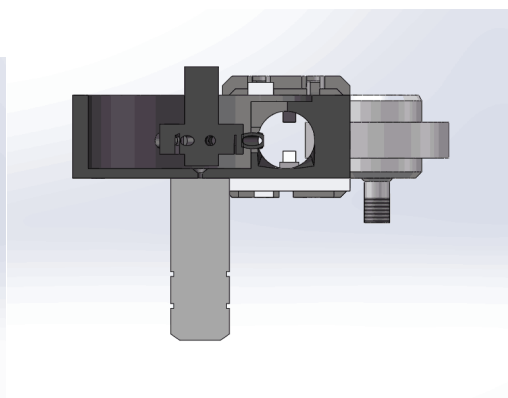


图 7.1.2 弹仓正视图

由于分配的是 17mm 弹丸，所以拨盘整体厚度为 24mm，中间槽深度为 21mm，槽深度 21mm 保证弹丸整个在槽里，保证出口容易设置。中间槽部分圆弧为直径 72mm，配合拨杆尺寸，保证 17mm 弹丸间隙，球受力图如下图

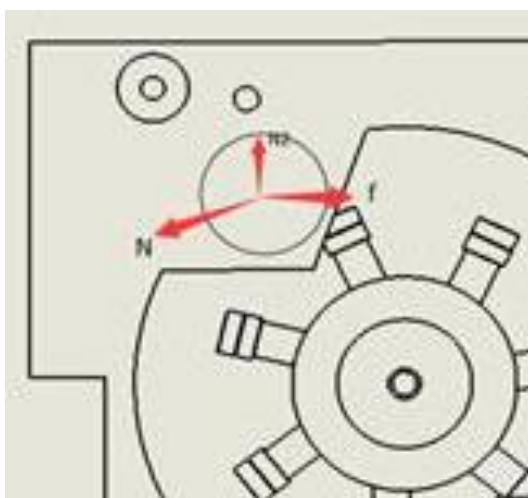


图 7.1.3 弹仓

7.2 枪管预置装置

枪管预置装置，采用两个微动开关用于预置和弹丸计数，第一微动开关，用于开机时对弹仓内弹丸进行预备（上膛），使用检测微动开关的跳变来消除射击延时。而第二个微动开关的作用，用于对弹丸射击出去的计数。

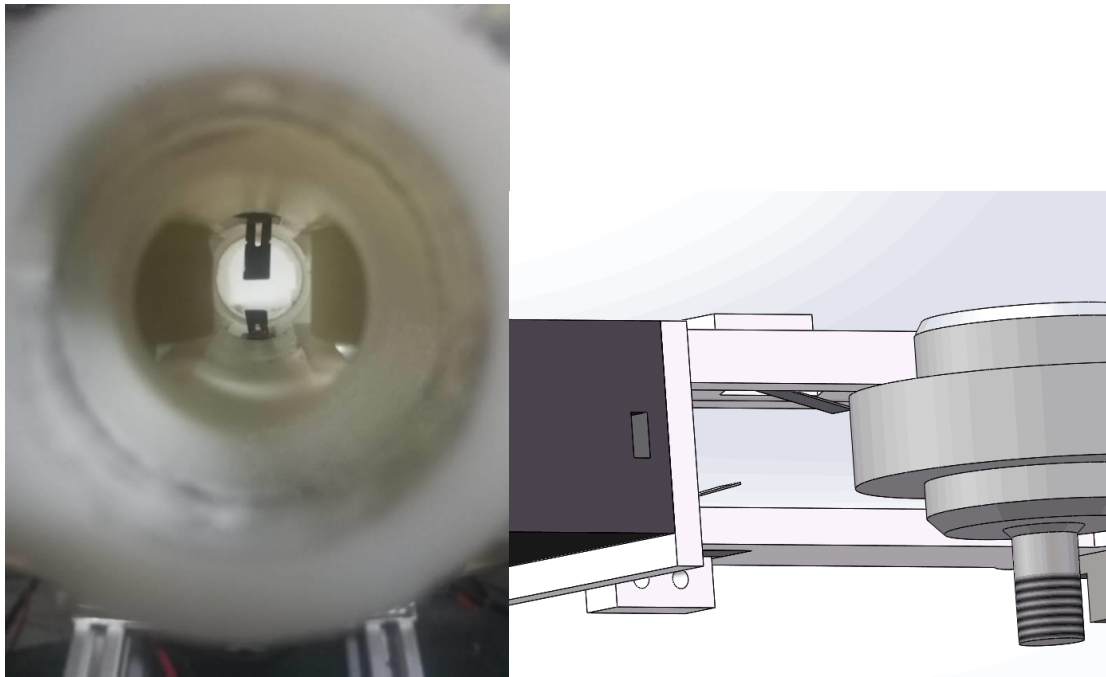


图 7.2.1 枪管预置

第 8 章 外观设计

机器人整体采用对称式的外观设计方案，对称一贯是形式美的重要法则，它符合人的生理、心理及自然规律。将这一设计形式用于战车机器人身上，可获得庄重、严格、稳定的效

果。

8.1 外观设计理念

本次机器人总体外观采用以矩形，梯形为主，三角形，椭圆，圆形为辅的面形设计理念。几何形本就会给人以理智，秩序，端正，简洁的感觉。其中矩形给人以稳定之感，又挺拔高大。三角形则有只用稳定，灵敏，锐利的感觉。单独的几何图形会有乏味，单调的感觉，所以需要多种图形相结合，丰富情感的同时还能抵消一些负面情绪，使之看上去更加顺眼，舒适，令人印象深刻。

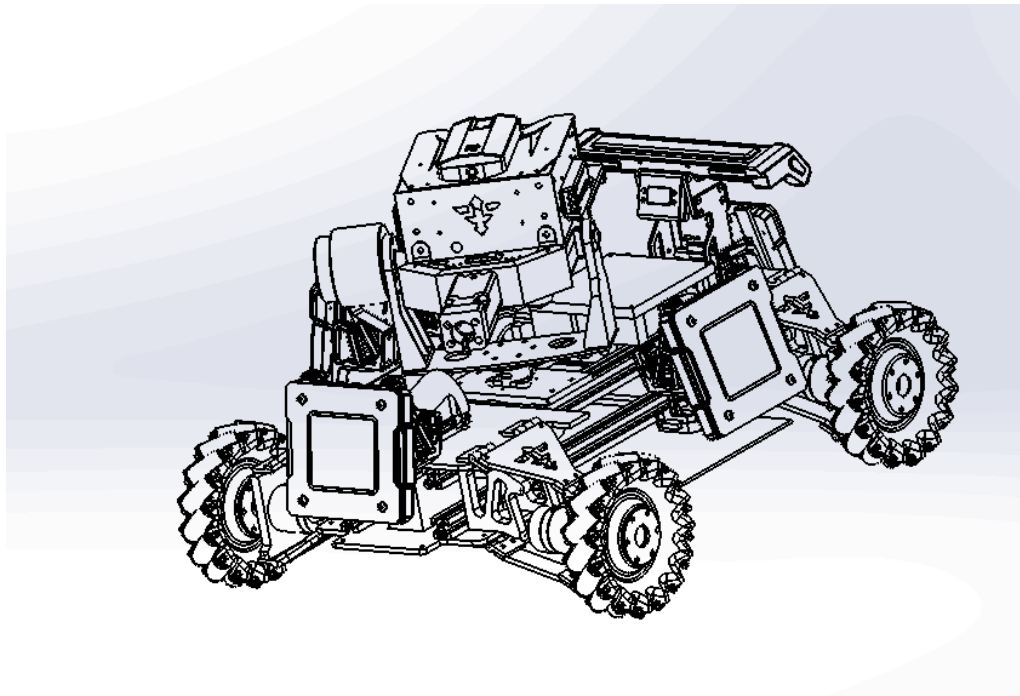


图 8.1.1 整车线框图

8.2 色彩设计理念

车身金属部分做不上色处理，及还原其金属光泽色。光泽色是反光能力很强的物体色，有

现代化科技感的印象。其余 3D 打印及碳板做黑色上色处理，黑色是无光，具有极强的视觉冲击，同时黑色也是很强的衬托色，可以充分显示光泽色的光感和色感，使机器人显得洁净，具有速度感。同时，黑色给人庄重的情感，赛场上可令对手心生畏惧，闻风丧胆。



图 8.3.1 整车渲染图

附录一 英雄机器人爬升机构设计

1 需求分析

1.1 机构功能

- 1) 能够带动英雄机器人迅速上升;
- 2) 英雄机器人登岛运动要稳;
- 3) 英雄机器人的登岛操作简单、便捷。

1.2 性能指标

- 1) 带动英雄机器人爬升的机构爬升高度为 450mm;
- 2) 带动英雄机器人爬升的机构爬升力至少为 350N;
- 3) 带动英雄机器人爬升的机构爬升时间 $< 2s$;
- 4) 带动英雄机器人爬升的机构能承受最大径向力为 200N;

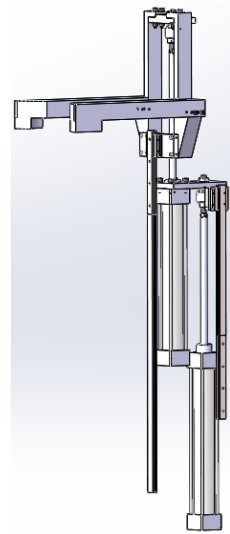


图 1 上岛机构

1.3 气缸的选择

气缸的行程要大于 400mm。由图 1 气缸的缸筒内径尺寸及行程优先系列选择表, 可选择气缸的行程为 500mm。

表 1 气缸的缸筒内径尺寸及行程优先系列选择表

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|--|
| 缸径 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | (90) | 100 | |
| | (110) | 125 | (140) | 160 | (180) | 200 | (220) | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 | | |
| 行程 | 第一 | 25 | 50 | 80 | 120 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | | | |
| | | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 4000 | | | |
| | 第二 | | 40 | | | 63 | | 90 | 110 | 140 | 180 | | | |
| | | 220 | 280 | 360 | 450 | 550 | 700 | 900 | 1100 | 1400 | 1800 | | | |
| | 第三 | 240 | 260 | 300 | 340 | 380 | 420 | 480 | 530 | 600 | 650 | | | |
| | | 750 | 850 | 950 | 1050 | 1200 | 1300 | 1500 | 1700 | 1900 | 2100 | | | |
| | | 2400 | 2600 | 3000 | 3400 | 3800 | | | | | | | | |

注：括号内数据为非优先选项。

英雄车最大重量为 35kg，气缸内的气压选定为 0.5mpa，因此气缸的缸径为：

$$R = \sqrt{4mg / P \cdot \pi} = \sqrt{4 \cdot 35 \cdot 10 / 0.5 \cdot 3.14} = 29.9\text{mm}$$

由表 1 气缸的缸筒内径尺寸及行程优先系列选择表，我们可知缸径的选择应为 32mm。

由表 2 气缸外径尺寸选择表，可选择气缸滑竿的直径为 12mm。

表 2 气缸外径尺寸选择表

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 25 |
| 28 | 32 | 36 | 40 | 45 | 50 | 56 | 63 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 110 | 125 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 250 | 280 | 320 | 360 | 400 |

当气缸回缩时，气缸的力为：

$$F = P \cdot (A_1 - A_2) = 0.5 \cdot (\pi \cdot 16^2 - \pi \cdot 6^2) = 350\text{N}, \text{符合要求}$$

气缸的尺寸要超过 500mm，抬高了英雄机器人的重心高度，降低了英雄机器人的稳定性，提升了操作手的操作难度，因此，选用单气缸并不合适。

经过资料的查询，我们决定将两个气缸叠加使用如图 3，这样可以在满足行程的基础上防止英雄机器人过大的提高重心。

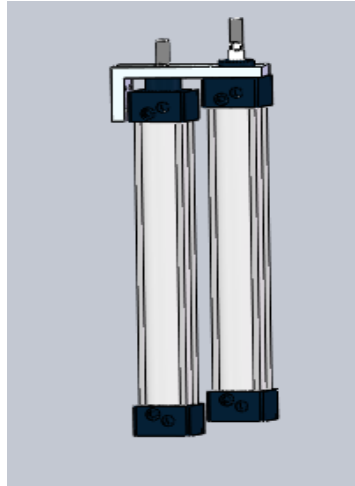


图 2 二级气缸

因采用两个气缸叠加使用，需合理分配两个气缸的行程。

如选用 320mm 行程与 100mm 的两个气缸非平均分配，整体气缸尺寸超过 400mm，如需正常登岛，夹爪底部到机器人底部的距离需小于 400mm，否则在英雄机器人旋转登岛时，会撞上资源岛，显然 300mm 行程的气缸不符合要求。

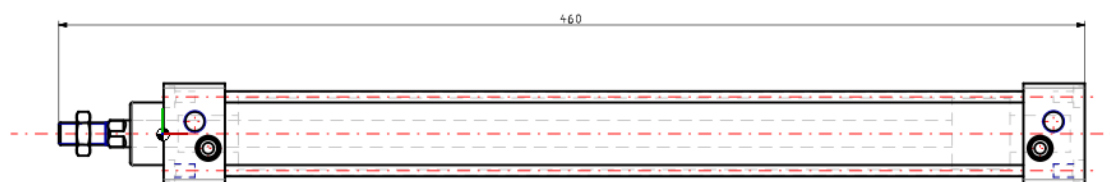


图 3 亚德客 300mm 行程气缸 2D 尺寸图

图 6 MGW15C 的尺寸图

对机构用 ADAMS 进行动力学仿真分析。

1.分析对象：夹爪是否能使英雄机器人挂在登岛立柱上上升。

2.条件：假设英雄车的重量为 350N。

3.建模过程：对其结构进行简化，主要与分析有关的结构为夹爪结构，对它们进行如图 7 的建模。图 7 中的白色部分为夹爪，夹爪中的圆槽要能够使登岛立柱上的圆盘嵌入其中。图 8 中的枣红色部分为立柱，红色为车轮以及白色的底盘。

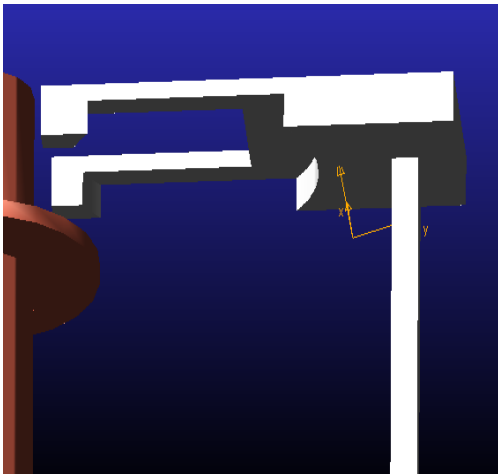


图 7 夹爪建模

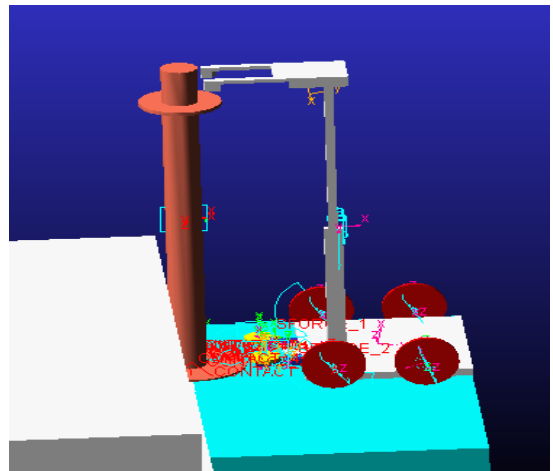


图 8 整体建模

4.参数设置：

a、设置英雄机器人的质量为 350N(图 9)

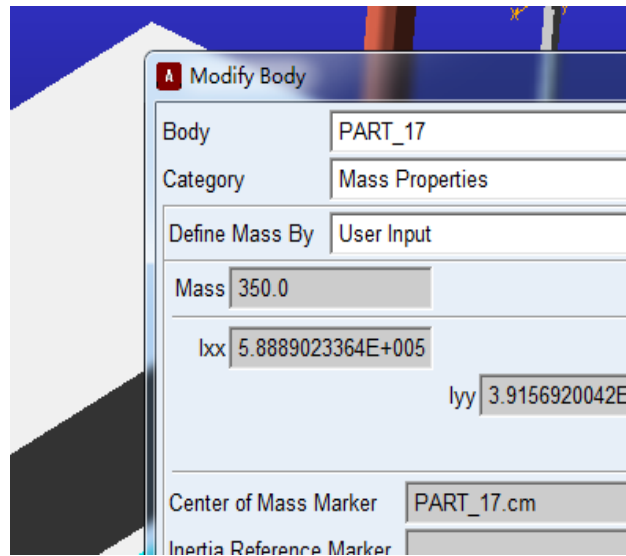


图 9

b、对各个部分进行接触力设置，其中最重要的为立柱的接触力设置。设置如图 10 所示。

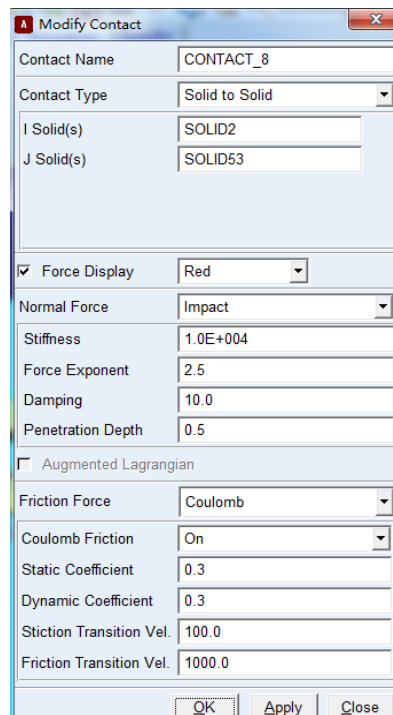


图 10

c、为了模拟英雄机器人的前进过程，我们给车轮创建旋转副，以及函数 $\text{step}(\text{time}, 0, 0d, 3, 150d)$ ，函数的意义为，轮子在在 0 到 3s 内转过角度为 150 度。(图 11)

d、模拟夹爪伸缩时的气缸过程，在第 3s 时夹爪圆形凹槽与立柱同心，气缸开始回缩，在气缸处设置移动副及函数 $\text{step}(\text{time}, 3, 0, 6, -350)$ ，函数的意义为气缸在 3 到 6s 内缩短 350mm。(图 12)

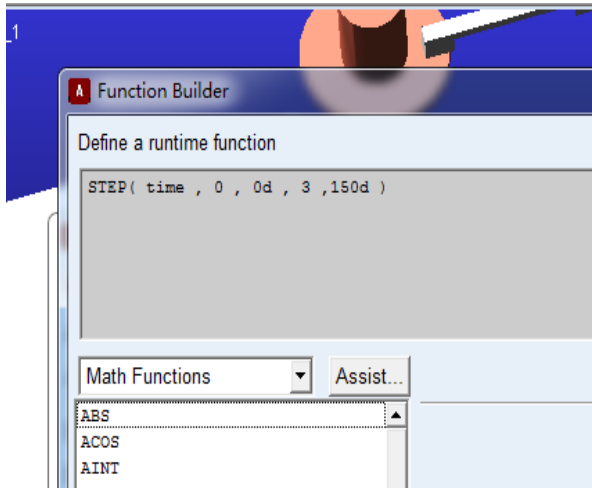


图 11

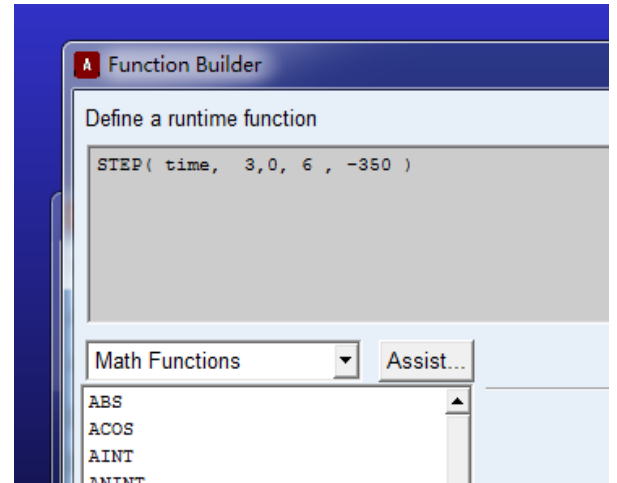


图 12

5、Adams 仿真结果

从 adams 的运动仿真结果中我们可得出,方案可行 (图 13)

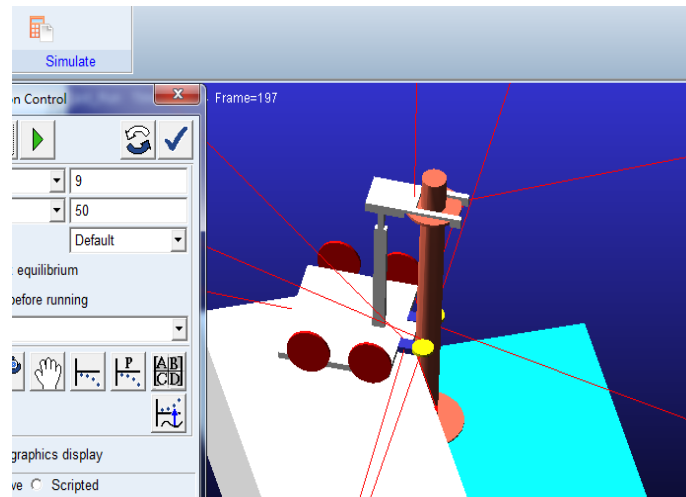


图 13

2 设计图纸

见附录二。

3 材料与工艺

对电机连轴进行材料与工艺分析。

3.1 材料选择：6061 铝合金

6061 铝合金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。广泛应用于自动化机械零件。

3.2 加工工艺路线

见附录三

3.3 加工成本统计

校内实验室自行加工，只需材料成本。

加工 8 件成本 160 元铝棒

3.4 不同批量下的降低成本方案

经济成本方面由于加工中心开放所以做不到降低

对于时间成本上

大批量可以通过不同机床来加工不同工序节约时间成本

单件加工就完全可以一台机床完成所有工序

4 有限元分析

4.1 加载条件

为了保证爪的强度计算后的结果能够满足车重量的要求，我们假设英雄车的重量抵达极限要求 35kg。在英雄车登岛时，爪趴在登岛立柱的圆盘上，假设在登岛过程中爪下表面与圆盘接触不分离，相当于悬臂梁结构的固定端。

重心在如图 14 所示，根据受力分析，由于重心不在受力方向上，上岛时爪受到存弯

矩作用，上岛时夹爪的受力由紧固件提供，即为 350N 向下的力和 23N*M 的弯矩。

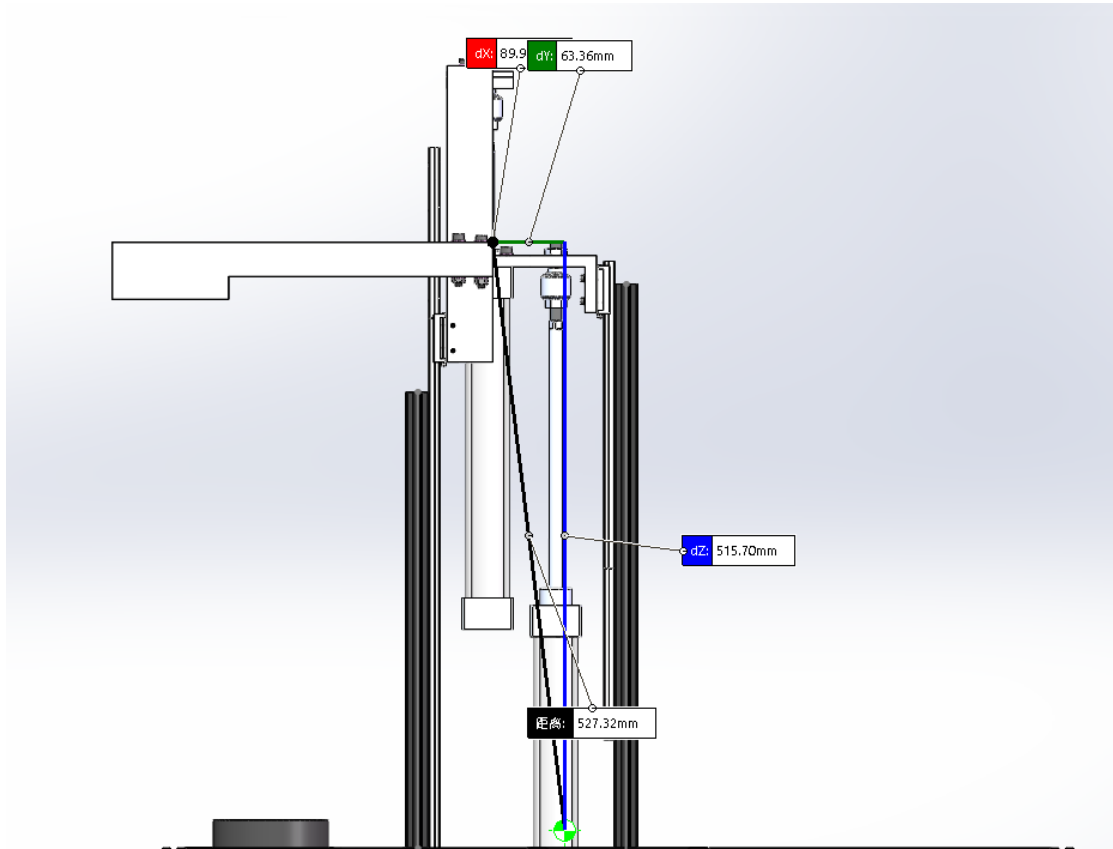


图 14 重心

将夹爪接触面与立柱接触的部分分割出来如图 15 所示

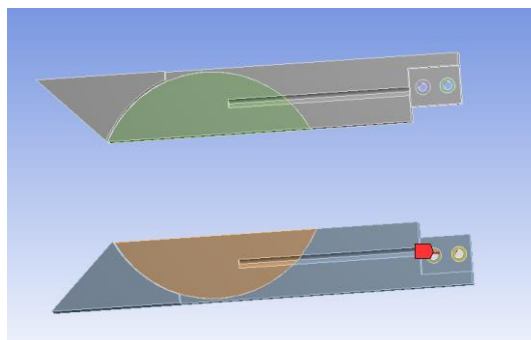


图 15 平面分割

对接触面施加约束条件如图 16 所示，对紧固件添加向下的 350N 的力如图 17 所示，对紧固件

添加 23N*M 的弯矩如图 18 所示。

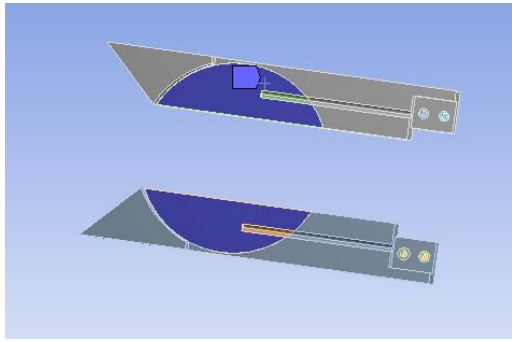


图 16 约束条件

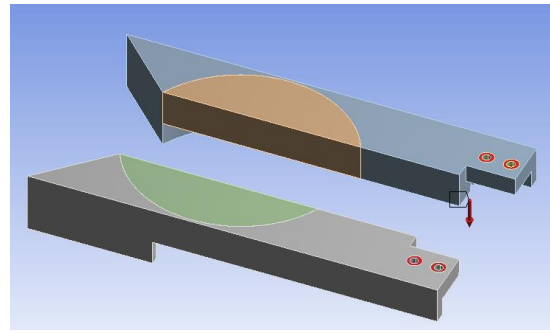


图 17 350N 加载

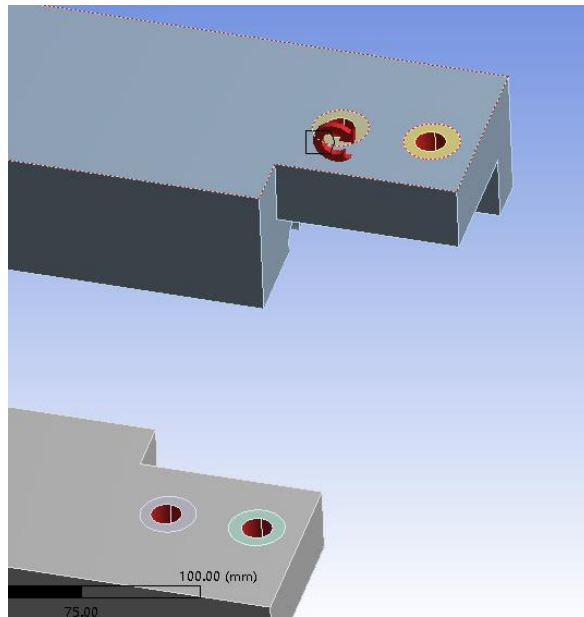


图 18 弯矩加载

4.2 网格划分

A、单元划分的大小

在满足足够精度的条件下，我们应选择较大的网格，这样能够减少计算的时间，同时，降低对计算机性能的要求。因此，我们选择网格单元的大小为 10mm（图 19）。

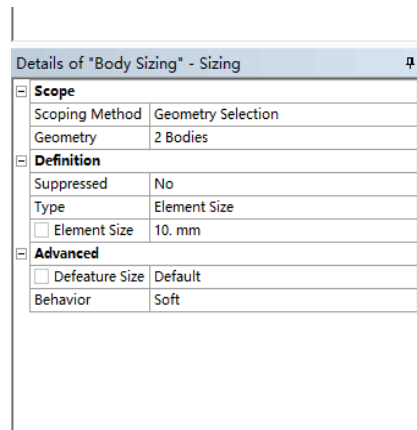


图 19 网格单元大小

B、网格单元的类型选择

由于夹爪仅仅是一个部件，并不复杂，因此我们选择网格类型为三角形。

夹爪网格划分后如下图：

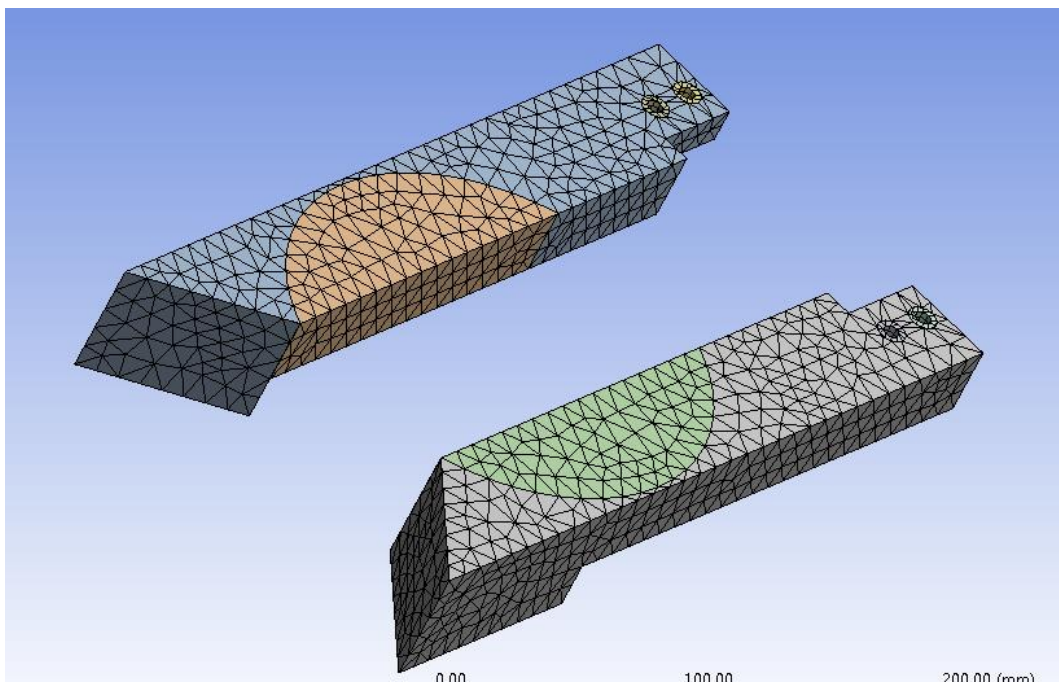


图 20 网格划分后的结果图

4.3 结果分析

进行 ansys 分析得结果图：

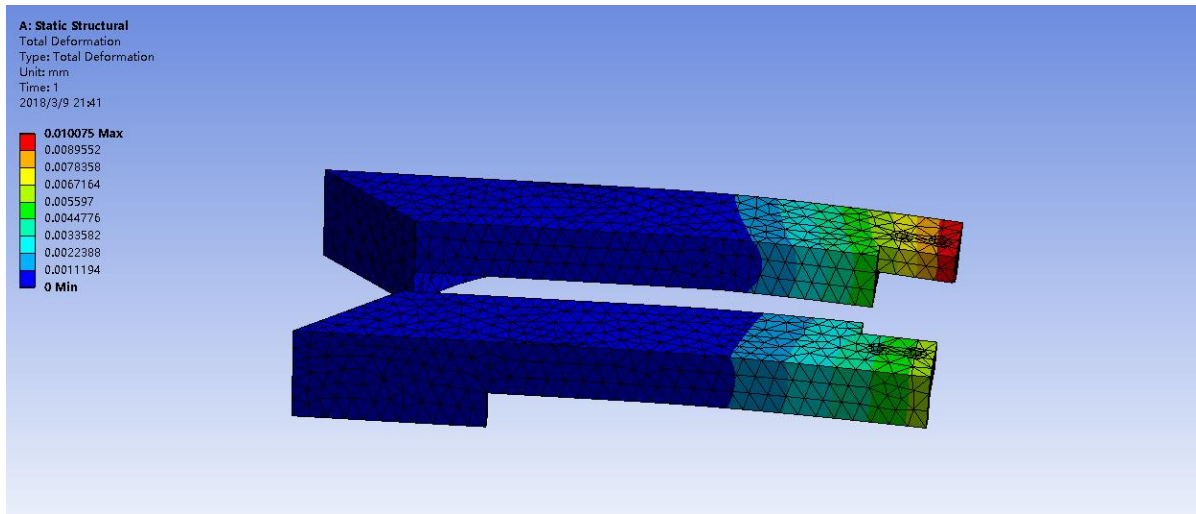


图 21 位移图

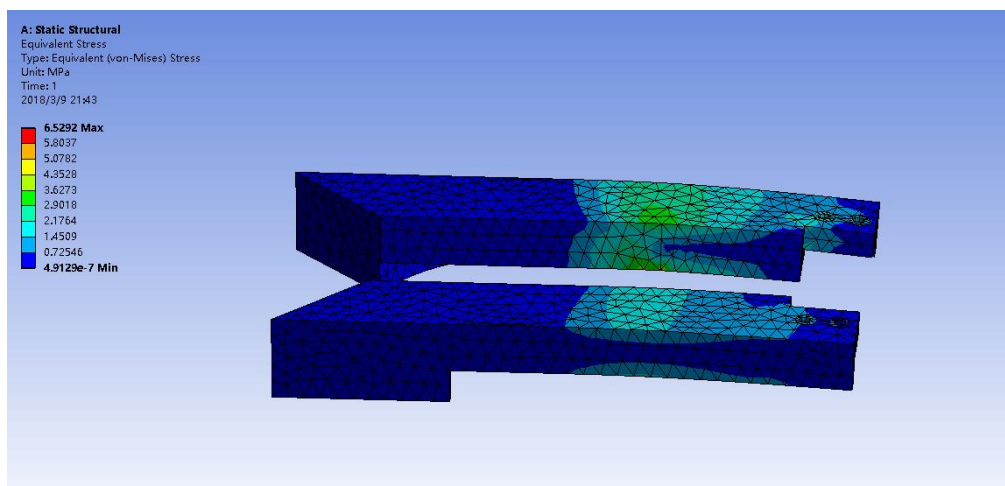


图 22 第三理论应力图

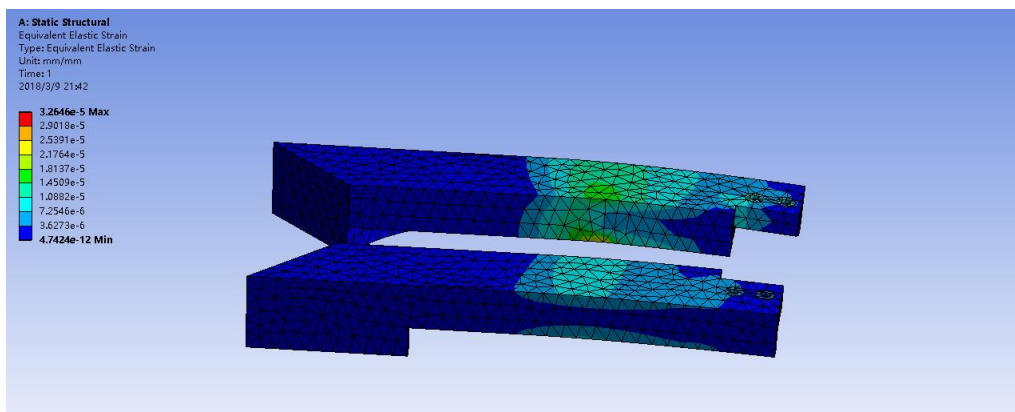


图 23 应变图

由以上图得结果:最大位移为 0.010mm, 最大应力为 6.5292Mpa, 最大应变为 3.26e-5mm/mm。

结果满足要求。

4、优化处理

我们基于 ANSYS 进行拓扑优化。在 ansys 中, 我们选择拓扑优化, 同时进行拓扑优化和静力学分析模块的关联 (图 24), 使得拓扑优化与静力学分析中的模型网格大小、材质等相同。

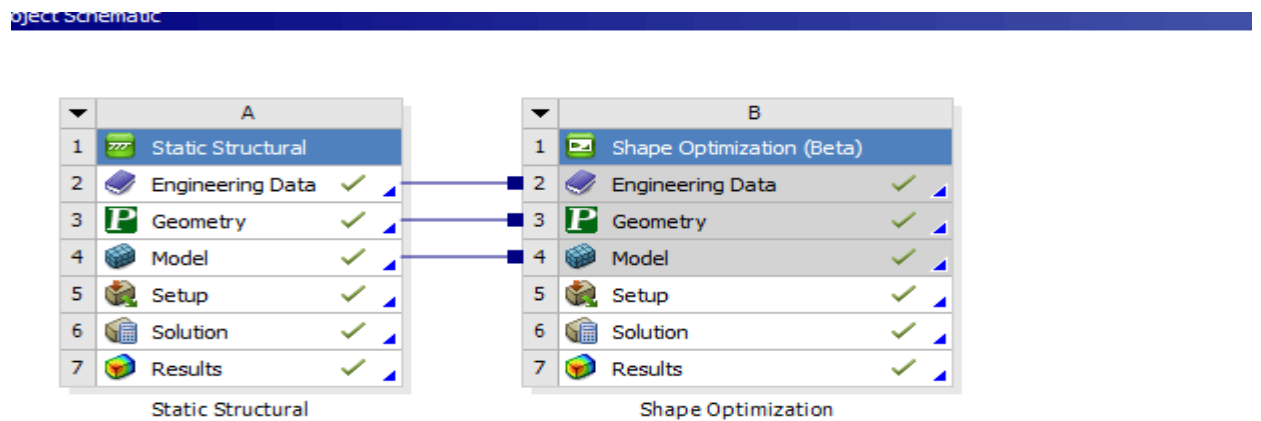


图 24 Ansys 模块关联图

我们在拓扑优化中设置去除 20%的材料, 进行拓扑优化得以下结果图。

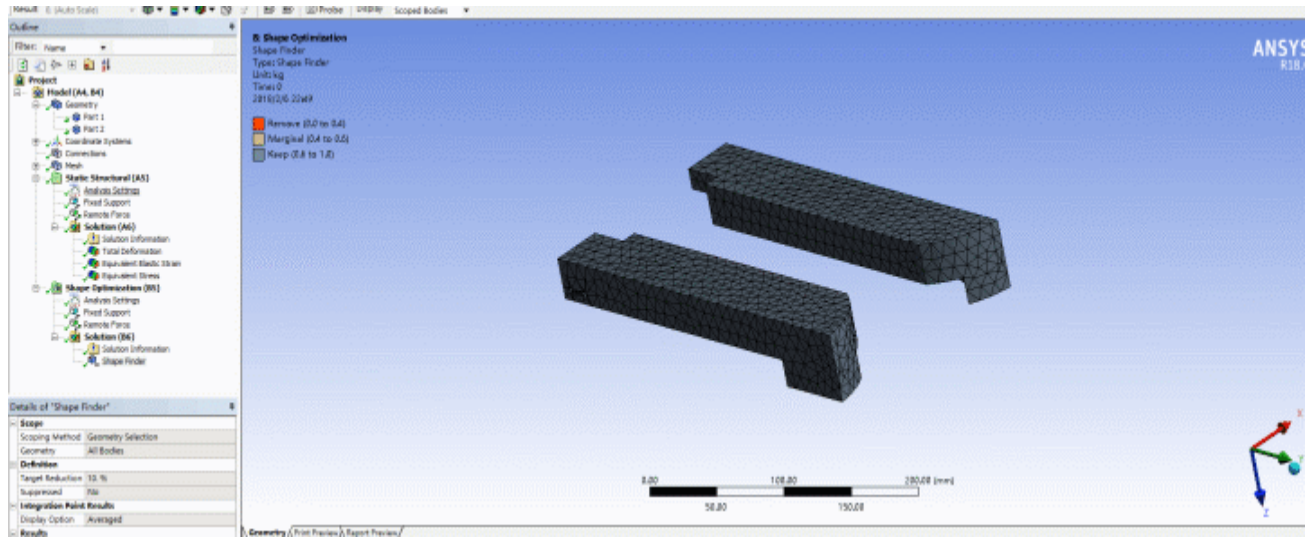
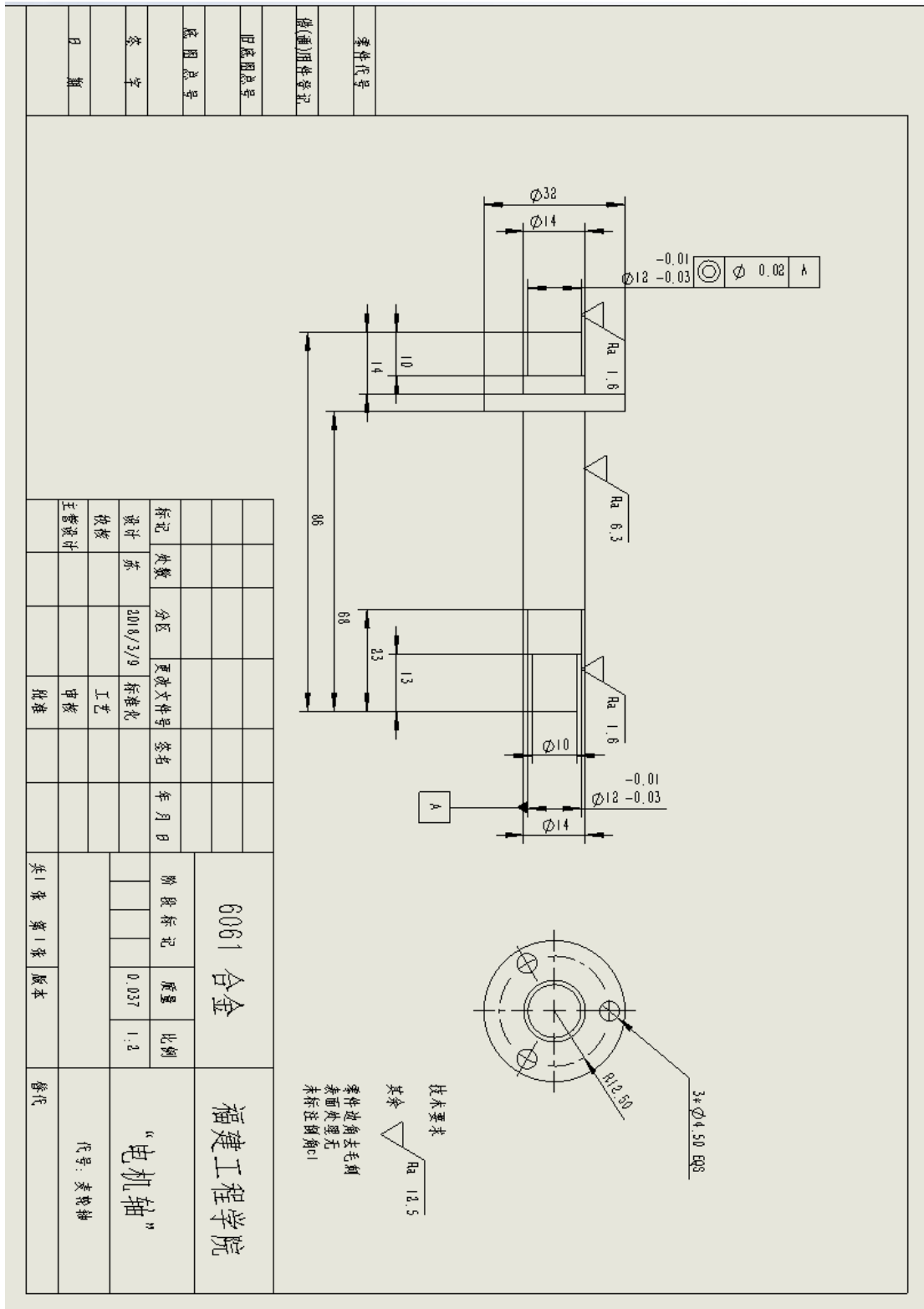


图 25 拓扑优化结果图

该结构所能进行优化的地方较少，继续减少材料将会对结构的强度有较大影响。

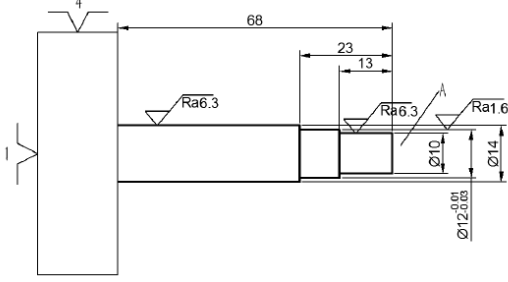
附录二 电机轴图纸



附录三 加工工艺、工序卡

| 福建工程学院 | | 机械加工工艺过程卡 | | | | 产品型号 | 零件图号 | 文件编号 | | | |
|--------|------|--|-------|--------|--------|--------|---------|----------------------------------|--------|----|---|
| | | | | | | 产品名称 | 零件名称 | 电机轴 | 共 1 页 | | |
| 材料牌号 | 6061 | 毛坯种类 | 棒料 | 毛坯外形尺寸 | Φ60x90 | 每毛坯件数 | 每台件数 | 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 | 单 |
| 10 | 车 | 粗车端面 A, 粗车、半精车 Φ10 外圆, 粗车、半精车、精车 Φ12 外圆, 粗车、半精车 Φ14 外圆 | | | 金 | | 车铣复合中心 | 硬质合金可转位 45° 端面车刀(GB/T 5343-2007) | | | |
| | | | | | | | | 硬质合金可转位 75° 外圆车刀(GB/T 5343-2007) | | | |
| | | | | | | | | 硬质合金可转位 90° 外圆车刀(GB/T 5343-2007) | | | |
| | | | | | | | | 游标卡尺(125/0.02) | | | |
| | | | | | | | | 螺旋测微器(25/0.001) | | | |
| 20 | 车 | 粗车端面 B, 粗车、半精车、精车 Φ12 外圆, 粗车、半精车 Φ14 外圆, 粗车、半精车 Φ32 外圆 | | | 金 | | 车铣复合中心 | 硬质合金可转位 45° 端面车刀(GB/T 5343-2007) | | | |
| | | | | | | | | 硬质合金可转位 75° 外圆车刀(GB/T 5343-2007) | | | |
| | | | | | | | | 硬质合金可转位 90° 外圆车刀(GB/T 5343-2007) | | | |
| | | | | | | | | 游标卡尺(125/0.02) | | | |
| | | | | | | | | 螺旋测微器(25/0.001)/(25~50/0.001) | | | |
| 30 | 钻 | 钻 Φ4.5 孔 | | | 金 | | 车铣复合中心 | 莫氏锥柄麻花钻(GB/T 1438-2008)莫氏圆锥 2 号 | | | |
| | | | | | | | | 内径百分表 | | | |
| 40 | 清 | 去毛刺, 清理工件 | | | | | | 锉刀 | | | |
| 50 | 检 | 检验工件 | | | | | | | | | |
| | | | | | 设计(日期) | 校核(日期) | 标准化(日期) | 会签(日期) | 审核(日期) | | |
| 更改文件号 | | 日期 | 更改文件号 | | 日期 | | | | | | |

| 福建工程学院 | | 数控加工工序卡 | | | | 产品型号 | 零件图号 | 文件编号 | | |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|--|--------|---------|---------|-----------------|--------|--------|----|
| | | | | | | 产品名称 | 零件名称 | 电机轴 | 共 2 页 | |
| | | | | | | 车间 | 工序号 | 工序名称 | 材料牌号 | |
| | | | | | | 金工 | 10 | 车 | 6061 | |
| | | | | | | 毛坯种类 | 毛坯外形尺寸 | 每坯件数 | 每台件数 | |
| | | | | | | 棒料 | Φ60x90 | 1 | 1 | |
| | | | | | | 设备名称 | 设备型号 | 设备编号 | 同时加工件数 | |
| | | | | | | 车铣复合中心 | NEXUS 200-II ML | | 1 | |
| | | | | | | 夹具编号 | 夹具名称 | 冷却液 | | |
| | | | | | | | 三爪卡盘 | 有 | | |
| | | | | | | | | | 总工时 | |
| | | | | | | | | | 准 | |
| | | | | | | | | | 单 | |
| | | | | | | | | | 终 | |
| | | | | | | | | | 件 | |
| 工步号 | 工序内容 | 工艺装备 | | 主轴转速/分 | 切削速度米/分 | 走刀量毫米/转 | 吃刀深度(mm) | 走刀次数 | 工时定额 | |
| | | | | | | | | | 机动 | 辅助 |
| | 粗车端面 A | 游标卡尺(125/0.02) | | | | | | | | |
| 1 | 粗车端面 A 面至 68, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位 45° 端面车刀 | | 600 | 101 | 0.5 | 1 | 2 | | |
| | 粗车、半精车 Φ10 外圆 | 游标卡尺(125/0.02)、螺旋测微器(25/0.001) | | | | | | | | |
| 2 | 粗车 Φ10 外圆至 Φ10.5, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位 75° 外圆车刀 | | 600 | 101 | 0.5 | 1.5 | 33 | | |
| 3 | 半精车 Φ10 外圆 Φ10, IT9, Ra3.2 | 硬质合金可转位 75° 外圆车刀 | | 800 | 200 | 1 | 0.5 | 1 | | |
| | 粗车、半精车、精车 Φ12 外圆 | 游标卡尺(125/0.02)、螺旋测微器(25/0.001) | | | | | | | | |
| | | | | | 设计(日期) | 校核(日期) | 标准化(日期) | 会签(日期) | 审核(日期) | |
| | | | | | | | | | | |



| 福建工程学院 | | 数控加工工序卡 | | 产品型号 | 零件图号 | 文件编号 | | | |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|---------|-----|
| | | | | 产品名称 | 零件名称 | 共 2 页 | 第 2 页 | | |
| 工步号 | 工 序 内 容 | 工 艺 装 备 | 主轴 转速 转/分 | 切削 速度 米/分 | 走刀量 毫米/ 转 | 吃刀 深度 (mm) | 走 刀 次 数 | 工 时 定 额 | |
| | | | | | | | | 机 动 | 辅 助 |
| 4 | 粗车Φ12外圆至Φ12.8, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 600 | 101 | 0.5 | 1.5 | 32 | | |
| 5 | 半精车Φ12外圆Φ12.3, IT9, Ra3.2 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 800 | 200 | 1 | 0.5 | 1 | | |
| 6 | 精车Φ12外圆Φ12, IT8, Ra1.6 | 硬质合金可转位90°外圆车刀 | 800 | 200 | 1 | 0.3 | 1 | | |
| | 粗车、半精车Φ14外圆 | 游标卡尺(125/0.02)、螺旋测微器(25/0.001) | | | | | | | |
| 7 | 粗车Φ14外圆至Φ14.5, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 600 | 101 | 0.5 | 1.5 | 31 | | |
| 8 | 半精车Φ14外圆Φ14, IT8, Ra1.6 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 800 | 200 | 1 | 0.5 | 1 | | |

| 福建工程学院 | | 数控加工工序卡 | | 产品型号 | 零件图号 | 文件编号 | | | |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|---------|-----|
| | | | | 产品名称 | 零件名称 | 共 2 页 | 第 1 页 | | |
| | | | | 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 | | 每坯件数 | 每台件数 | |
| | | | | 棒 料 | Φ60x90 | | 1 | 1 | |
| | | | | 设备名称 | 设备型号 | 设备编号 | 同时加工件数 | | |
| | | | | 车铣复合中心 | NEXUS 200-II ML | | 1 | | |
| | | | | 夹 具 编 号 | 夹 具 名 称 | | 冷 却 液 | | |
| | | | | | 三爪卡盘 | | 有 | | |
| | | | | | | 总 工 时 | | | |
| | | | | | | 准 终 | | | |
| | | | | | | 单 件 | | | |
| 工步号 | 工 序 内 容 | 工 艺 装 备 | 主轴 转速 转/分 | 切削 速度 米/分 | 走刀量 毫米/ 转 | 吃刀 深度 (mm) | 走 刀 次 数 | 工 时 定 额 | |
| | | | | | | | | 机 动 | 辅 助 |
| | 粗车端面 B | 游标卡尺(125/0.02) | | | | | | | |
| 1 | 粗车端面 B 面至 14, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位 45° 端面车刀 | 600 | 101 | 0.5 | 1 | 2 | | |
| | 粗车、半精车、精车Φ12外圆 | 游标卡尺(125/0.02)、螺旋测微器(25/0.001) | | | | | | | |
| 2 | 粗车Φ12外圆至Φ12.8, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 600 | 101 | 0.5 | 1.5 | 32 | | |
| 3 | 半精车Φ12外圆Φ12.3, IT9, Ra3.2 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 800 | 200 | 1 | 0.5 | 1 | | |
| 4 | 精车Φ12外圆Φ12, IT8, Ra1.6 | 硬质合金可转位90°外圆车刀 | 800 | 200 | 1 | 0.3 | 1 | | |
| | | | | 设计(日期) | 校核(日期) | 标准化(日期) | 会签(日期) | 审核(日期) | |
| | | | | | | | | | |

| 福建工程学院 | | 数控加工工序卡 | | 产品型号 | 零件图号 | 文件编号 | | | |
|--------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|---------|-----|
| | | | | 产品名称 | 零件名称 | 共 2 页 | 第 2 页 | | |
| 工步号 | 工 序 内 容 | 工 艺 装 备 | 主轴 转速 转/分 | 切削 速度 米/分 | 走刀量 毫米/ 转 | 吃刀 深度 (m) | 走 刀 次 数 | 工 时 定 额 | |
| | | | | | | | | 机 动 | 辅 助 |
| | 粗车、半精车Φ14外圆 | 游标卡尺(125/0.02)、螺旋测微器(25/0.001) | | | | | | | |
| 5 | 粗车Φ14外圆至Φ14.5, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 600 | 101 | 0.5 | 1.5 | 31 | | |
| 6 | 半精车Φ14外圆Φ14, IT9, Ra3.2 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 800 | 200 | 1 | 0.5 | 1 | | |
| | 粗车、半精车Φ32外圆 | 游标卡尺(125/0.02)、螺旋测微器(25-50/0.001) | | | | | | | |
| 7 | 粗车Φ32外圆至Φ32.5, IT11, Ra12.5 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 600 | 101 | 0.5 | 1.5 | 19 | | |
| 8 | 半精车Φ32外圆Φ32, IT8, Ra1.6 | 硬质合金可转位75°外圆车刀 | 800 | 200 | 1 | 0.5 | 1 | | |

