



第十九届全国大学生机器人大赛
ROBOMASTER 2020
机甲大师对抗赛

参赛队伍技术报告

RoboMaster组委会

Design 11.20.2019
Copyright © 2019. All rights reserved.
This document is the property of the RoboMaster 2020 Organizing Committee. All rights reserved.

RoboMaster 2020 Organizing Committee
All rights reserved. This document is the property of the RoboMaster 2020 Organizing Committee. All rights reserved.

RoboMaster 2020 Organizing Committee
All rights reserved. This document is the property of the RoboMaster 2020 Organizing Committee. All rights reserved.

RoboMaster 2020 Organizing Committee
All rights reserved. This document is the property of the RoboMaster 2020 Organizing Committee. All rights reserved.

目录

1.	需求确定	6
1.1	总体需求	6
1.2	机器人具体需求	6
1.2.1	步兵机器人	6
1.2.2	英雄机器人	7
1.2.3	工程机器人	8
1.2.4	哨兵机器人	9
1.2.5	空中机器人	10
1.2.6	飞镖系统	10
2.	结构设计	11
2.1	设计图纸	11
2.2	材料和工艺	12
2.3.1	需求分析	12
2.3.2	既有加工路线	13
2.3.3	加工路线的分析与改进	14
2.3	有限元分析	16
2.4.1	加载条件	16
2.4.2	网格分化	17
2.4.3	结果分析	17
2.4.4	结构优化	18
2.4	可制造性设计分析	19
3.	程序逻辑	20
3.1	电控系统硬件连接	20
3.2	电控逻辑示意图	21
3.3	程序流程图	22
4.	科学设计方法	22
4.1	设计指标	22
4.2	仿真与选型	23
4.2.1	发射架最佳劲度系数的确定	23
4.3	迭代改进	25
4.3.1	释放结构的仿真分析	25
4.3.2	问题机构的改进	26
5.	创新性设计	27

5.1 飞镖控制系统痛点分析.....	27
5.2 硬件选型与总体方案.....	27
5.3 视觉部分方案设计.....	29
5.4 姿态与控制部分设计.....	29
6. 成本控制.....	30
6.1 加工成本分析.....	30
6.2 成本控制措施.....	31
7. 工业设计.....	31
7.1 工业设计.....	31
7.2 人机工程.....	33
7.2.1 操作便利性.....	33
7.2.2 维修的便捷性.....	33
7.2.3 布线设计创新.....	33

图表目录

图 2.1 发射机构导轨二维图纸.....	12
图 2.2 发射机构导轨三维模型.....	12
图 2.3 摇臂安装板示意图.....	16
图 2.4 摇臂安装板受力分析图.....	16
图 2.5 改进前的摇臂安装板.....	16
图 2.6 摇臂安装板的网格分化结果图.....	17
图 2.7 改进前摇臂安装板受力集中.....	17
图 2.8 摇臂安装板应力最小的情况示意图.....	18
图 2.9 修改后的摇臂安装板受力图.....	19
图 2.10 自制角码使用效果图.....	20
图 2.11 DFM 改进前后的零件对比图.....	20
图 3.1 英雄机器人电控系统硬件连接图.....	21
图 3.2 英雄机器人底盘和云台控制逻辑草图.....	22
图 3.3 英雄机器人电控系统程序流程图.....	22
图 4.1 弹射过程中飞镖及滑块的受力分析图.....	23
图 4.2 飞镖离架前的 Simulink 仿真图.....	24
图 4.3 Simulink 仿真结果.....	24
图 4.4 第一代飞镖发射架三维图.....	25
图 4.5 释放机构三维图和实物图.....	26

图 4.6 铝固定柱零件仿真图	26
图 5.1 飞镖电控系统总体结构图	28
图 5.2 FPGA 视觉采集与处理模块结构图	29
图 5.3 姿态采集与控制模块结构图	29
图 7.1 步兵机器人外观设计图	32
图 7.2 步兵机器人实机图	32
图 7.3 步兵机器人线路连接板 PCB 设计图	33
表 1.1 步兵机器人技术指标表	6
表 1.2 步兵机器人主要技术点表	7
表 1.3 英雄机器人技术指标表	7
表 1.4 英雄机器人主要技术点表	8
表 1.5 工程机器人技术指标表	8
表 1.6 工程机器人主要技术点表	8
表 1.7 哨兵机器人技术指标表	9
表 1.8 哨兵机器人主要技术点表	9
表 1.9 空中机器人技术指标表	10
表 1.10 空中机器人主要技术点表	10
表 1.11 飞镖技术指标表	10
表 1.12 飞镖主要技术点表	11
表 1.13 飞镖发射架技术指标表	11
表 1.14 飞镖发射架主要技术点表	11
表 2.1 小批量导轨加工工艺路线	13
表 2.2 大批量导轨加工工艺路线	14
表 2.3 上孔最低安全系数表	18
表 2.4 下孔最低安全系数表	18
表 4.1 飞镖发射架的设计指标表	23
表 5.1 飞镖控制系统方案表	27
表 5.2 飞镖电控系统关键部件选型表	28
表 6.1 各加工项成本分析表	30

1. 需求确定

1.1 总体需求

2020 赛季规则相较 2019 赛季规则有一定重要改变。场地起伏明显增加，弯道增多，这些都使地面机器人机动性以及功能性要求提高：英雄和步兵机器人在具备飞坡功能的同时还需要就具备上台阶功能；由于可移动的 17mm 发射机构的加入，工程机器人在完成上下岛、取弹补弹、救援的同时，也有机会作为输出单位参加战斗。本队作为一支新的队伍，很多技术从零开始研发，哨兵和无人机以追求功能稳定为基础进行设计，尽可能提高射击精度和射击效率。

1.2 机器人具体需求

1.2.1 步兵机器人

表 1.1 步兵机器人技术指标

步兵机器人技术指标		
重量	≤17kg（不含裁判系统）	
大小	在 600*600*500 之内	
射击	最大射速	30m/s
	弹道	5m 小装甲命中率≥95%
供弹	弹仓	能容纳 250 发弹丸
	卡弹率	<0.5‰
	最大射频	15 发/s
悬挂	压缩行程	70mm
	竖直方向冲击	>800mm 自由落体
	最大承重	60kg
整体框架及保护框	能够承受>8m/s 水平方向冲击	
移动	最大前进速度	>3.5m/s

	最大旋转速度	>1.5r/s
	平稳上坡	>20°
自动射击	5m 内慢速目标命中率≥90%	
云台	P 轴俯仰角	-15°~35°
	Y 轴旋转速度	1.5r/s

表 1.2 步兵机器人主要技术点表

步兵机器人主要技术点	
机械	纵向双摇臂悬挂
	小陀螺
	精准单发射击
电控	高效率电源管理系统
	线路布置
	瞬时大功率放电
	散热系统设计
视觉	图像高帧率处理
	目标跟踪&轨迹预测

1.2.2 英雄机器人

表 1.3 英雄机器人技术指标表

英雄机器人技术指标	
重量	32kg≥m≥27kg（不含裁判系统）
大小	规则范围内
容弹量	大弹丸≥40
机动性	≥2.5m/s
	可飞跃沟壑
	可在 3 秒内爬上上 20cm 台阶

射频	大弹丸极限 $\geq 5/s$
射速	控制误差 $\pm 1.5m/s$
弹道	3m 小装甲板命中率 $\geq 95\%$
	7m 大装甲板命中率 $\geq 70\%$
自动打击	5m 内慢速目标命中率 $\geq 90\%$

表 1.4 英雄机器人主要技术点表

英雄机器人主要技术点	
机械	底盘悬挂
	拨弹机构&云台发射机构
	上台阶机构
电控	线路布局
	超级电容
视觉	目标跟踪&轨迹预测

1.2.3 工程机器人

表 1.5 工程机器人技术指标表

工程机器人技术指标	
重量	$\leq 35kg$ (不包含裁判系统)
大小	最大初始尺寸 740*730*720 最大伸展尺寸 1140*940*1120
取弹	$\leq 10s$
补弹	$\leq 5s$
拖曳救援	$\leq 5s$
复活卡	$\leq 10s$

表 1.6 工程机器人主要技术点表

工程机器人主要技术点	
机械	底盘强度及其稳定性

	救援机构的强度
	取弹机构的准确性及速度
	补弹机构的准确度及速度
	拨弹机构、云台和发射机构
电控	线路布局合理
	一键控制取弹的逻辑控制
	传感选型及通信
	机器人动作路径的优化
视觉	弹药箱识别辅助取弹
	发射机构辅助瞄准

1.2.4 哨兵机器人

表 1.7 哨兵机器人技术指标表

哨兵机器人技术指标	
机动	轨道全长单次往返 $\leq 10s$ ，加减速时间不超过 3s
射界范围	YAW 轴 360°自由转动
	PITCH 轴为 $-15^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ，双枪无干涉
射速	稳定处于 $27\pm 2m/s$
射频	单枪 $\geq 10/s$ 无卡顿
自主打击	识别并追踪 5m 内 2m/s 以下移动目标并达到 80% 命中率

表 1.8 哨兵机器人主要技术点表

哨兵机器人主要技术点	
机械	碰撞蓄能装置
	双枪云台
电控	简明走线布局
	不同逻辑模式切换

	云台控制稳定
视觉	目标识别检测
	目标测距
电控-视觉	数据传输稳定，跟踪目标并自主打击
其它	电磁铁吸附，减压提速

1.2.5 空中机器人

表 1.9 空中机器人技术指标表

空中机器人技术指标	
重量	14kg \geq （不含裁判系统）
大小	规则范围内
容弹量	小弹丸 \geq 500
射频	\geq 20/s
射速	控制误差 \pm 1.5m/s

表 1.10 空中机器人主要技术点表

空中机器人主要技术点	
机械	六轴方案设计
	动力系统选择
	两轴云台轻量化稳定性设计
电控	飞行控制
	云台控制
	线路布局

1.2.6 飞镖系统

表 1.11 飞镖技术指标表

飞镖技术指标	
最大重量	0.15kg

最大尺寸	200*120*80
------	------------

表 1.12 飞镖主要技术点表

飞镖主要技术点	
机械	外形设计（减小阻力） 强度设计
电控	飞行途中的形态变换 线路布局
视觉	目标检测 识别目标

表 1.13 飞镖发射架技术指标表

飞镖发射架技术指标	
旋转角度	Yaw 轴转角：不限 Pitch 轴俯仰角：25-45
最大重量	25kg
最大尺寸	1000*600*1000
最大供电电压	30v

表 1.14 飞镖发射架主要技术点表

飞镖发射架主要技术点	
机械	俯仰及云台的角度 强度设计
电控	线路布局

2. 结构设计

本章以工程机器人为例进行结构设计部分的阐述。

2.1 设计图纸

以发射机构中的导轨为例，该机构的二维设计图纸如下：

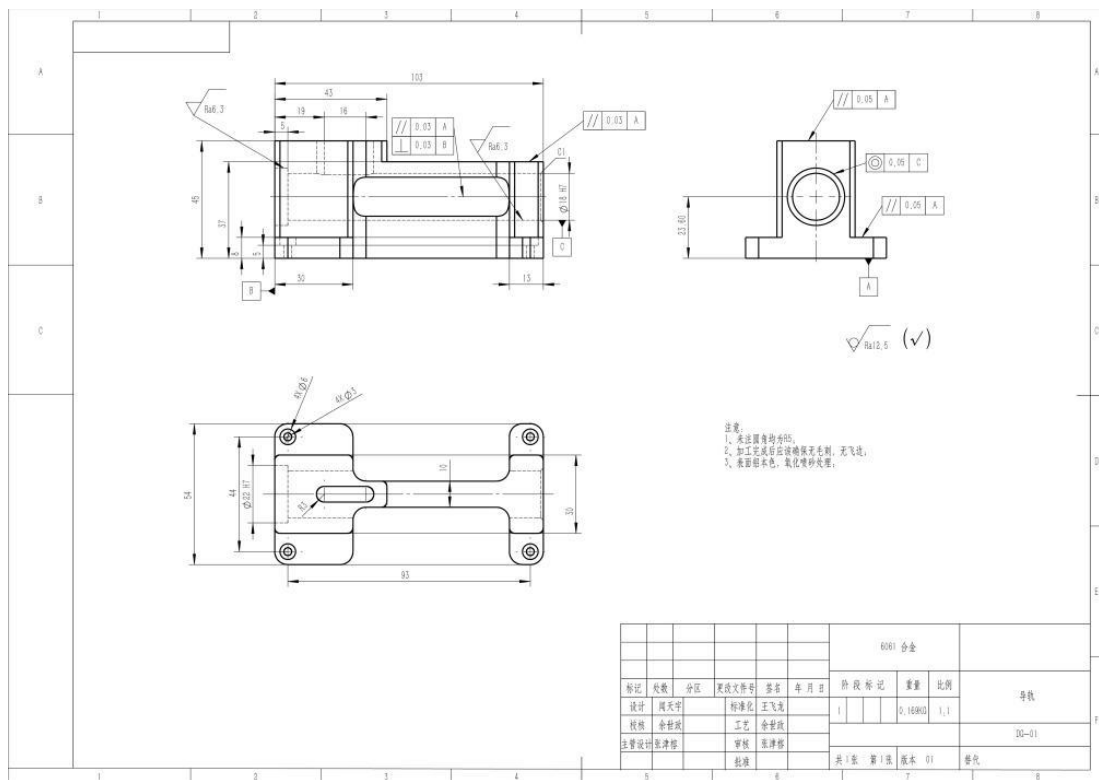


图 2.1 发射机构导轨二维图纸

发射机构导轨的三维图如下所示：

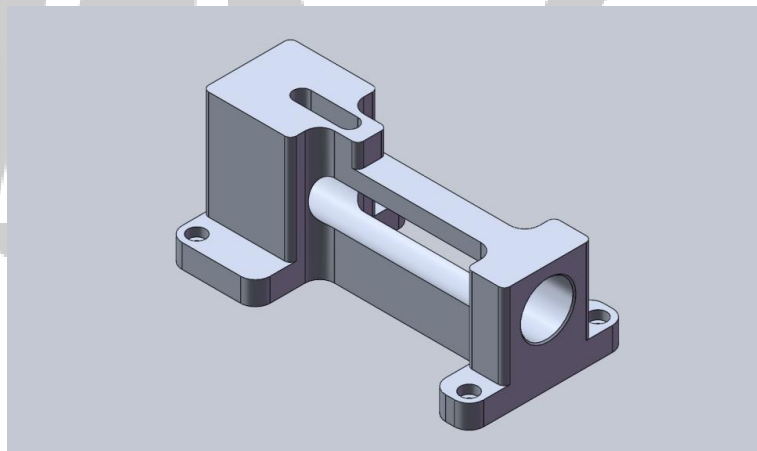


图 2.2 发射机构导轨三维模型

2.2 材料和工艺

2.3.1 需求分析

性能需求：底盘、云台及发射机构是机器人的重要组成部分，在实际使用中，发射精度是机器人性能的重要参数，需要重点保证的参数有：底部定位安装孔的几何精度及相对位置精度、中心通孔的表面粗糙度与几何精度、限位开关的位置精度。

材料与加工方法：第一版导轨零件通过 3D 打印技术制造，由于 3D 打印过程中的中心通

孔会因为喷嘴发热而引起内径微量变形而使得几何精度达不到要求，重复打印多次以后才能得到合格的导轨。在使用中也发现，由于 3D 打印的中心通孔的粗糙度较高，会对 17mm 弹丸产生磨损，长时间发射会在摩擦轮上产生一层白色颗粒层，影响发射精度。将密度是 1.26g/cm³ 的 PLA 换成密度是 2.75g/cm³ 的 6061 铝合金，增加的质量对云台的平衡影响不大，并且提高了零件的强度，延长了使用的时间。加工方法换成一般机加工方式。

成本与可加工性分析：通过普通机加工方式制造本零件成本在预算范围内，所有加工工步均可通过常规机加工方式加工，具备可加工性。

2.3.2 既有加工路线

小批量加工路线如下表

表 2.1 小批量导轨加工工艺路线

步骤	特征	公差等级	要求	说明	成本(元)
毛坯	铝合金 6061 块 (长*宽*高) 110mm*60mm*50mm	IT13	外观良好	长度可以有余量	13.5 元
粗铣、半精铣	粗铣、半精铣上下底面至 45, Ra12.5	IT7	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量，达到图纸精度要求	20
粗铣、半精铣	粗铣、半精铣前后面至 103, Ra12.5	IT7	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量，达到图纸精度要求	15
粗镗、半精镗	粗镗、半精镗中心通孔至 $\phi 18$, Ra6.3	IT7	误差在要求范围内	满足图纸精度与粗糙度要求	55
粗车、半精车	粗车、半精车倒角 C1 与中心阶梯孔至 5, Ra6.3	IT7	误差在要求范围内	满足图纸精度与粗糙度要求	35
粗铣、半精铣	粗铣、半精铣限位开关槽至 16, Ra12.5	IT7	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量，达到图纸精度要求	10
粗铣、半精铣	粗铣、半精铣上台阶面至 43, Ra12.5	IT7	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量，达到图纸精度要求	15
粗铣、半精铣	粗铣、半精铣下台阶面至	IT7	误差在要	粗加工留 0.5mm 加	10

	30、13, Ra12.5		求范围内	工余量 , 达到图纸精度要求	
粗铣、半精铣	粗铣、半精铣外轮廓	IT7	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量 , 达到图纸精度要求	40
钻扩铰	钻扩铰固定孔至 $\phi 3$, Ra12.5	IT6	误差在要求范围内	满足图纸精度与粗糙度要求	15
粗铣、半精铣	粗铣、半精铣 5 阶梯沉孔至 $\phi 5$, Ra12.5	IT7	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量 , 达到图纸精度要求	15
后处理	表面氧化、去毛刺、清洗	IT7	表面良好无毛刺	达到图纸精度要求	25
成本合计					268.5

2.3.3 加工路线的分析与改进

对于加工路线的改进可以省略非必要的高精度加工，由于固定孔需要与云台底板固定，两者的精度应该匹配，因此只用钻孔即可保证其精度，可以略去扩孔与铰孔。

表 2.1 中工序相对集中，若针对大批量生产，工序应当适当分散，可以采取采用更高转速的机床和其他加工设备，通过专用夹具进行装夹减少装夹时间等措施，进而降低单一零件的成本。在此仅考虑加工成本，形成的加工工艺路线如表 2.2 所示。

表 2.2 大批量导轨加工工艺路线

步骤	特征	公差等级	要求	说明	成本(元)
毛坯	铝合金 6061 块(长*宽*高) 110mm*60mm*50mm	IT13	外观良好	长度可以有余量	13.5
粗铣	粗铣上下底面至 45.5	IT10	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量	5
半精铣	半精铣上下底面至 45	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	10
粗铣	粗铣前后面至 103.5	IT10	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量	4

半精铣	半精铣前后面至 103	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	8.5
粗镗	粗镗中心通孔	IT10	误差在要求范围内	留有一定余量, 保证位置精度	15
半精镗	半精镗中心通孔	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	30
粗车	粗车倒角与中心阶梯孔	IT10	误差在要求范围内	留有一定余量, 保证位置精度	9
半精车	半精车倒角 C1 与中心阶梯孔至深度 5	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	15
粗铣	粗铣限位开关槽至 16	IT10	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量	5
粗铣	粗铣上台阶面至 37.5	IT10	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量	5
半精铣	半精铣上台阶面至 37	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	8
粗铣	粗铣下台阶面至 8.5	IT10	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量	3
半精铣	半精铣下台阶面至 8	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	5
粗铣	粗铣外轮廓	IT10	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量	10
半精铣	半精铣外轮廓	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	24
钻	钻 $\phi 3$ 定位孔	IT11	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	5
粗铣	粗铣 $\phi 5$ 阶梯沉孔	IT10	误差在要求范围内	粗加工留 0.5mm 加工余量	4
半精铣	半精铣 $\phi 5$ 阶梯沉孔	IT7	误差在要求范围内	达到图纸精度要求	8
后处理	表面氧化、去毛刺、清洗	IT7	表面良好无毛刺	达到图纸精度要求	25
成本合计					212

2.3 有限元分析

本节内容将对摇臂安装板为例进行有限元分析及优化。下图中蓝色零件为摇臂，绿色零件为摇臂安装板。

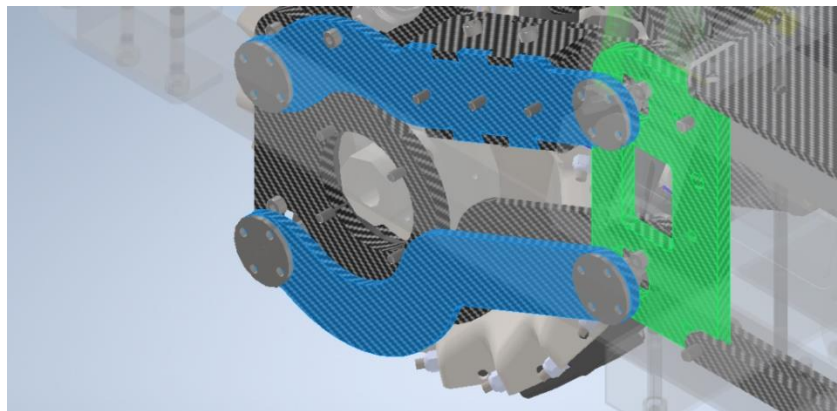


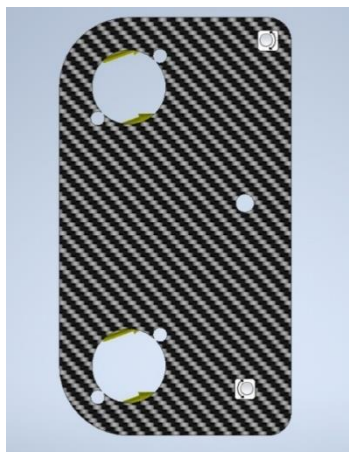
图 2.3 摇臂安装板示意图

2.4.1 加载条件

对摇臂安装板受力分析，不难判断图 2.4 的红圈处可认为与车身固连。



图 2.4 摇臂安装板受力分析图



由于其它载荷比摇臂的重力大很多，故将摇臂看作两端铰接的轻杆，则摇臂只提供沿杆方向的力。故加载约束及载荷如图 2.5，两处在车体上的铰接。两处轴承引起的平行力（图中所示为单一轴承引起的力，不是圆柱面上的均匀力）考虑到激烈冲撞，令单个力大小为 1000 牛。

图 2.5 改进前的摇臂安装板

2.4.2 网格分化

取平均元素大小 0.01，最小元素大小 0.100，分级系数 1.500，最大转角 60deg。并在应力易集中点使用局部网络（大小 0.2mm）网格质量如下图：

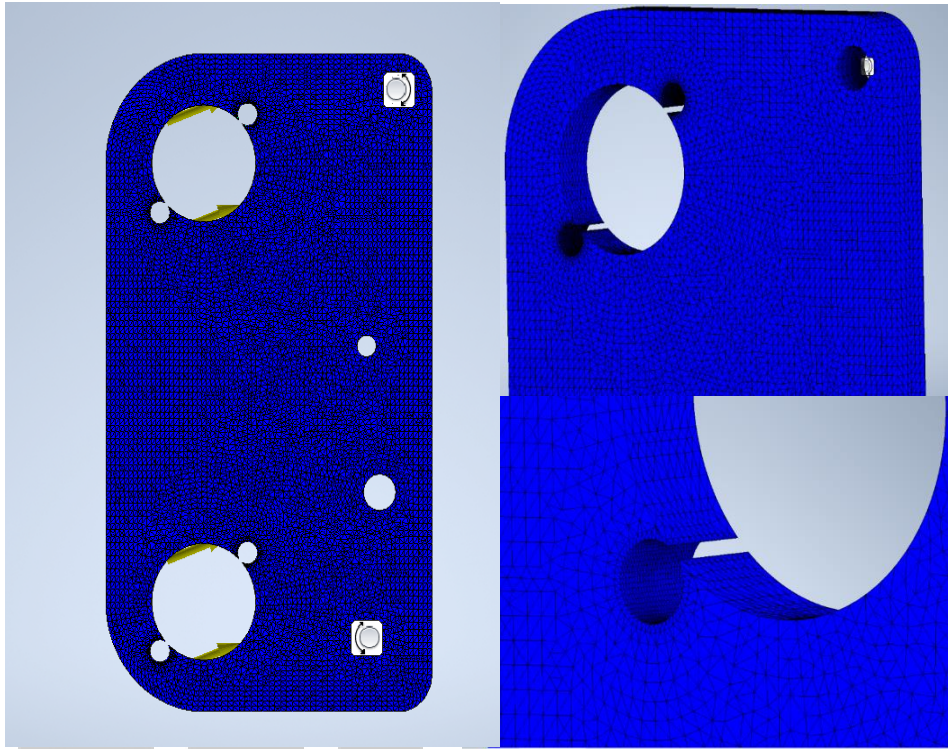
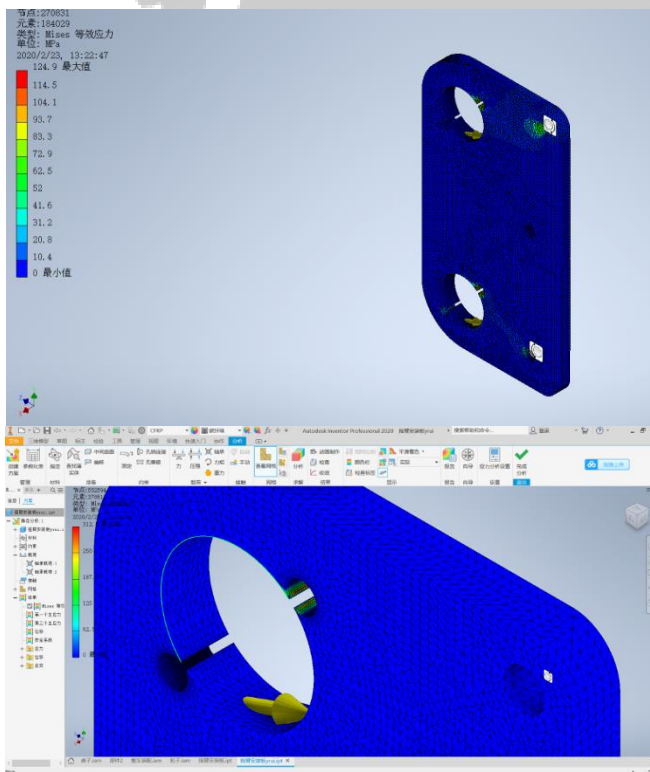


图 2.6 摇臂安装板的网格分化结果图

2.4.3 结果分析



最大 mises 等效应力大小 312.5MPa，最大形变量 0.01224mm。如图 2.4.4 所示。应力主要集中于与车体铰接处和轴承固定孔处。

图 2.7 改进前摇臂安装板受力集中

2.4.4 结构优化

调整固定孔位置使得轴承的作用力不直接作用于它。此时最大应力为 84.18MPa，最大型变量为 0.003792mm。在应力极小处挖孔和槽最大应力为 78.28MPa，最大型变量为 0.006022mm。发现在载荷的作用点与固定点中挖孔以分担应力。故通过安全系数来研究孔的最合适位置。

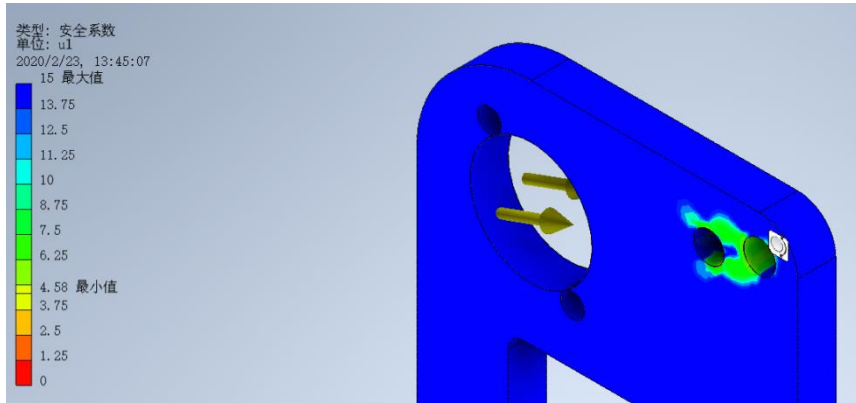


图 2.8 摇臂安装板应力最小的情况示意图

表 2.3 上孔最低安全系数表

离固定孔的距离 (mm)	5	6	7	8	10
孔径 (mm)					
0	3.81				
2	3.93	4.42	4.17	4.05	4.43
4		4.14	4.56	4.43	

表 2.4 下孔最低安全系数表

离固定孔的距离 (mm)	5	6	7	8
孔径 (mm)				
0	7.2			
3	6.63	7.14	6.57	6.32
4	6.6	7.2	7.05	6.65

综上，修改的最终结果：最大应力 65.8MPa，最大形变 0.00627，共减重 4.586g。

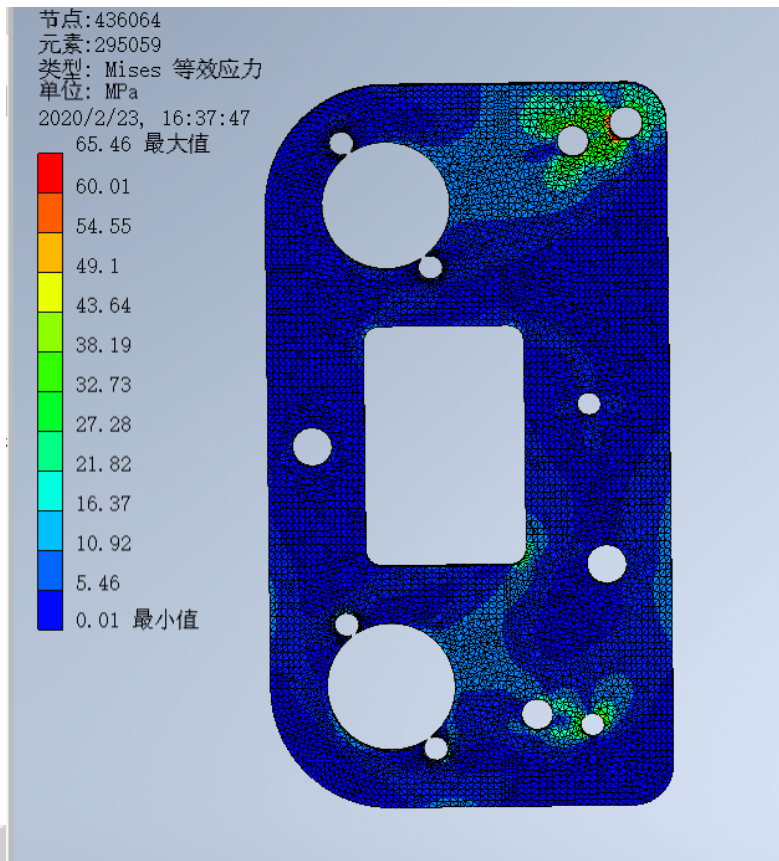
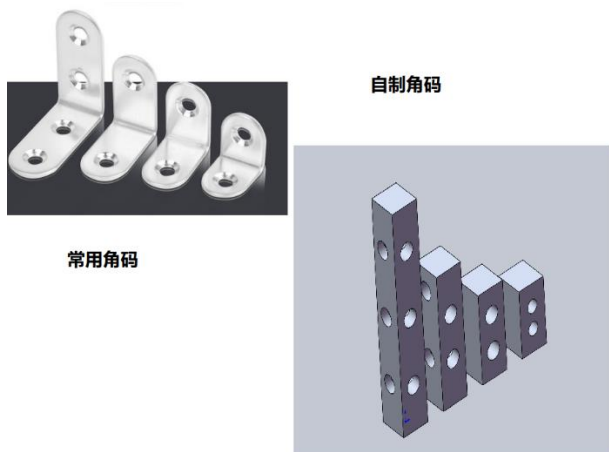


图 2.9 修改后的摇臂安装板受力图

2.4 可制造性设计分析

DFM 是新产品研发并行工程策略的重要组成，通过 DFM 可以减少产品的设计修改，从而能够大大缩短新产品的开发周期，降低开发成本，这对于保证产品质量和可靠性十分重要。由于步兵机器人在整体要求中有着重要地位，因此针对步兵的相关零部件开展 DFM 进行优化设计显得十分必要。本节将列举我们在研发过程中的两各例子说明 DFM 在战队设计研发过程中起到的作用。



根据 DFM 的减少零件数量和减少紧固件类型的原则，我们发现在一些受力较小的板材进行直角连接时采用角码连接，因为角码的孔径一般为 $\phi 5.5$ ，对于一些狭小空间的直角固定而言，不是很方便进行装配，因此我们统一设计了一系列长度的直角连接件，如左图所示。采用这种直角连接件，可以提高设计的速度，同时方便更换。使用该直角

连接件的效果图，如图 2.10。

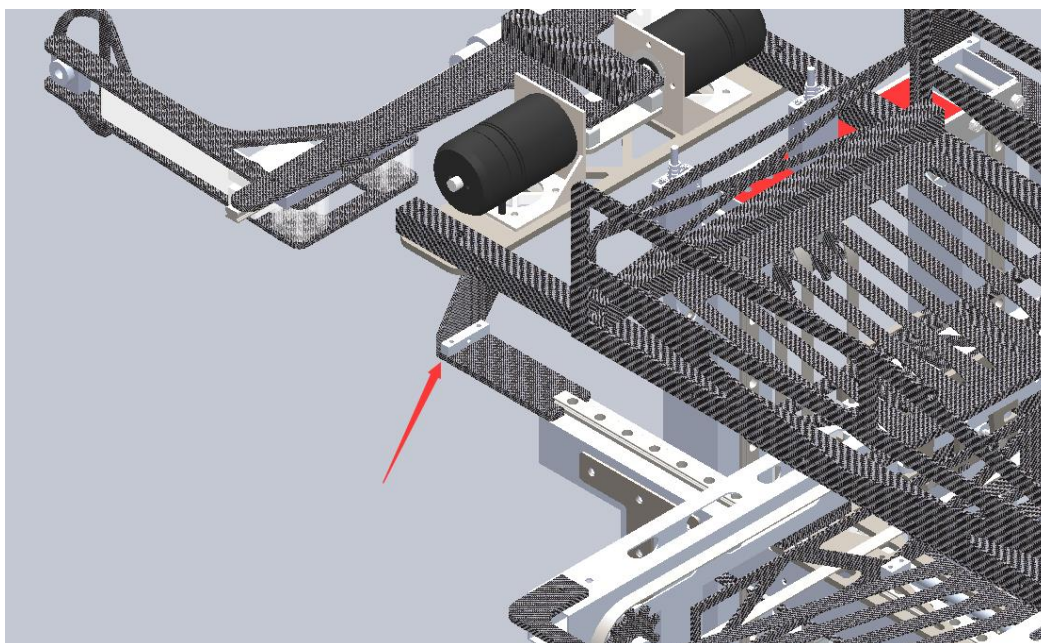


图 2.10 自制角码使用效果图

根据 DFM 的所设计的零件易于加工和防止零件过约束的原则，我们发现悬挂连接板的不合理性。其在铣床加工过程中极易发生形变，又因为该零件两端各有一个孔必须连接车体，故导致装配困难。将该零件拆解成装配体。在解决上述问题的同时加强了薄弱处，也防止铣削变形导致的不合格而引起原料浪费，改进前后的对比如图 2.11。

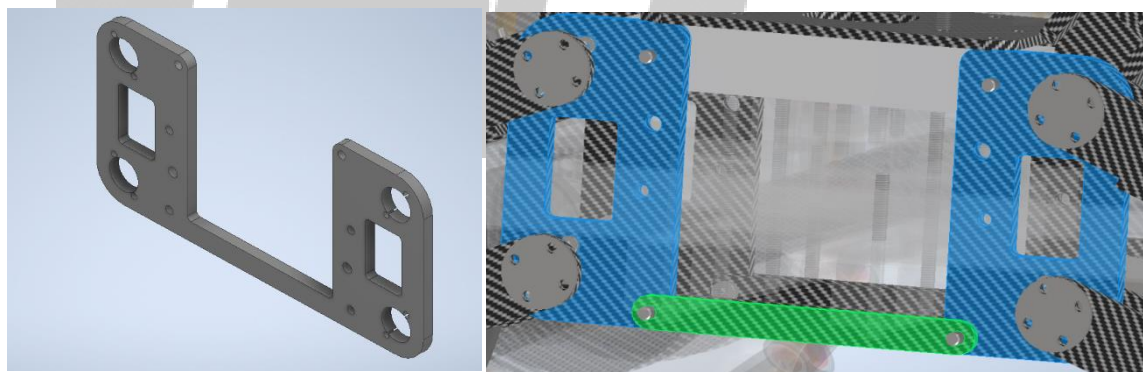


图 2.11 DFM 改进前后的零件对比图

3. 程序逻辑

本章以英雄机器人的电控系统为例介绍程序逻辑。

3.1 电控系统硬件连接

下图为英雄机器人电控系统的硬件连接示意图：

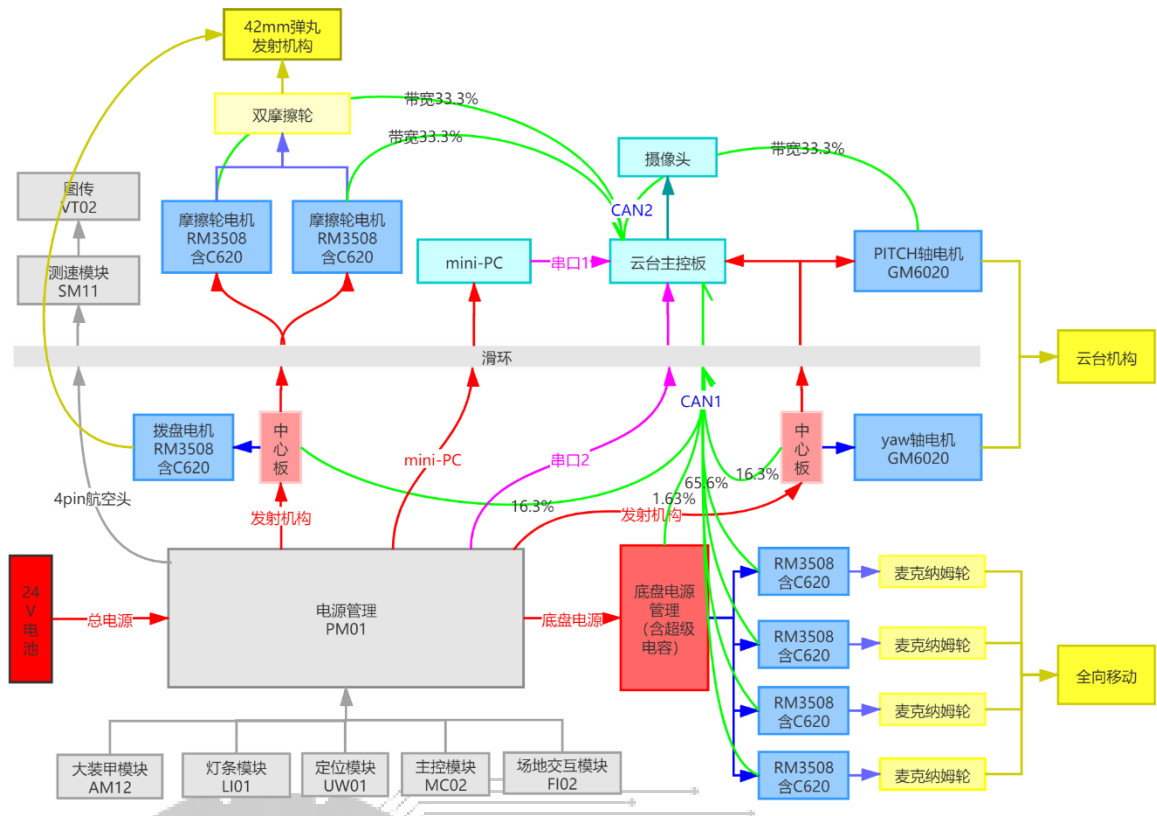


图 3.1 英雄机器人电控系统硬件连接图

3.2 电控逻辑示意图

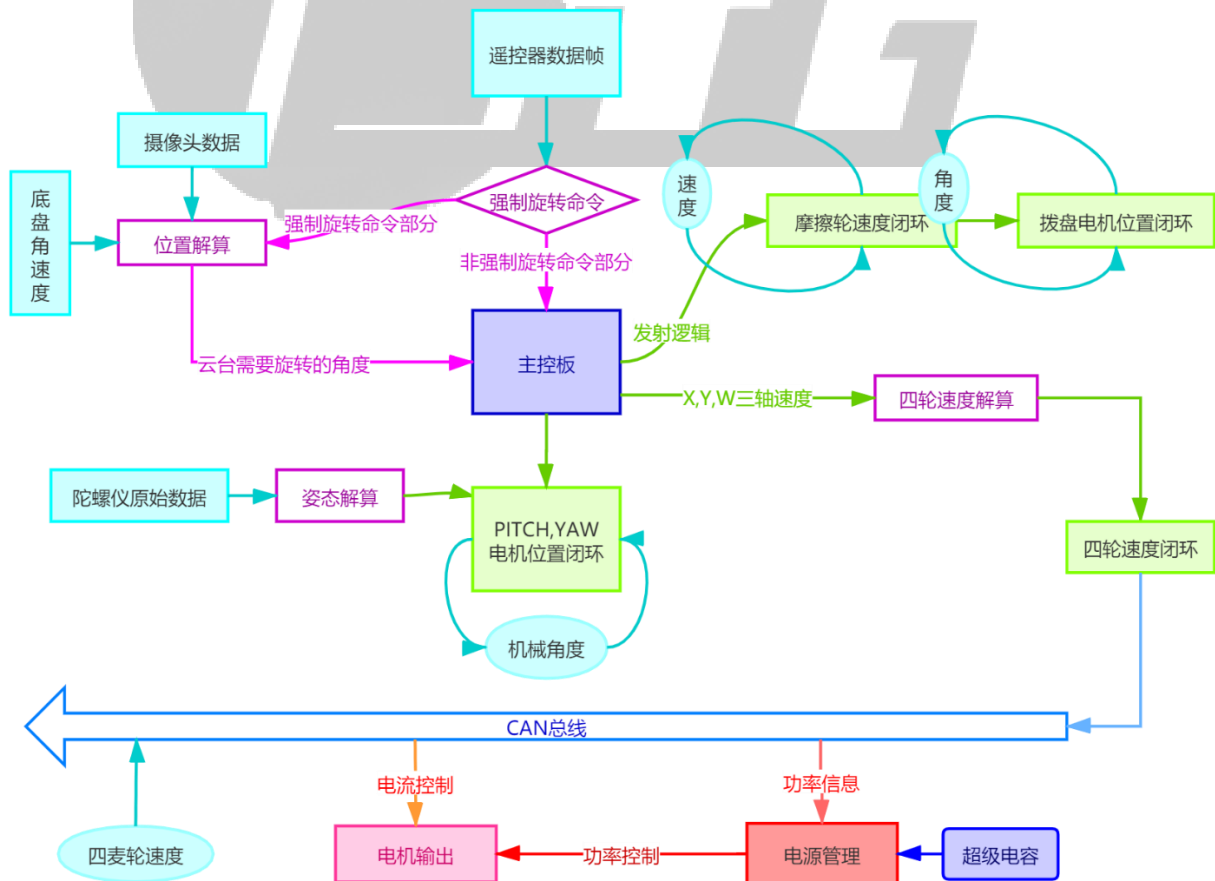


图 3.2 英雄机器人底盘和云台控制逻辑草图

3.3 程序流程图

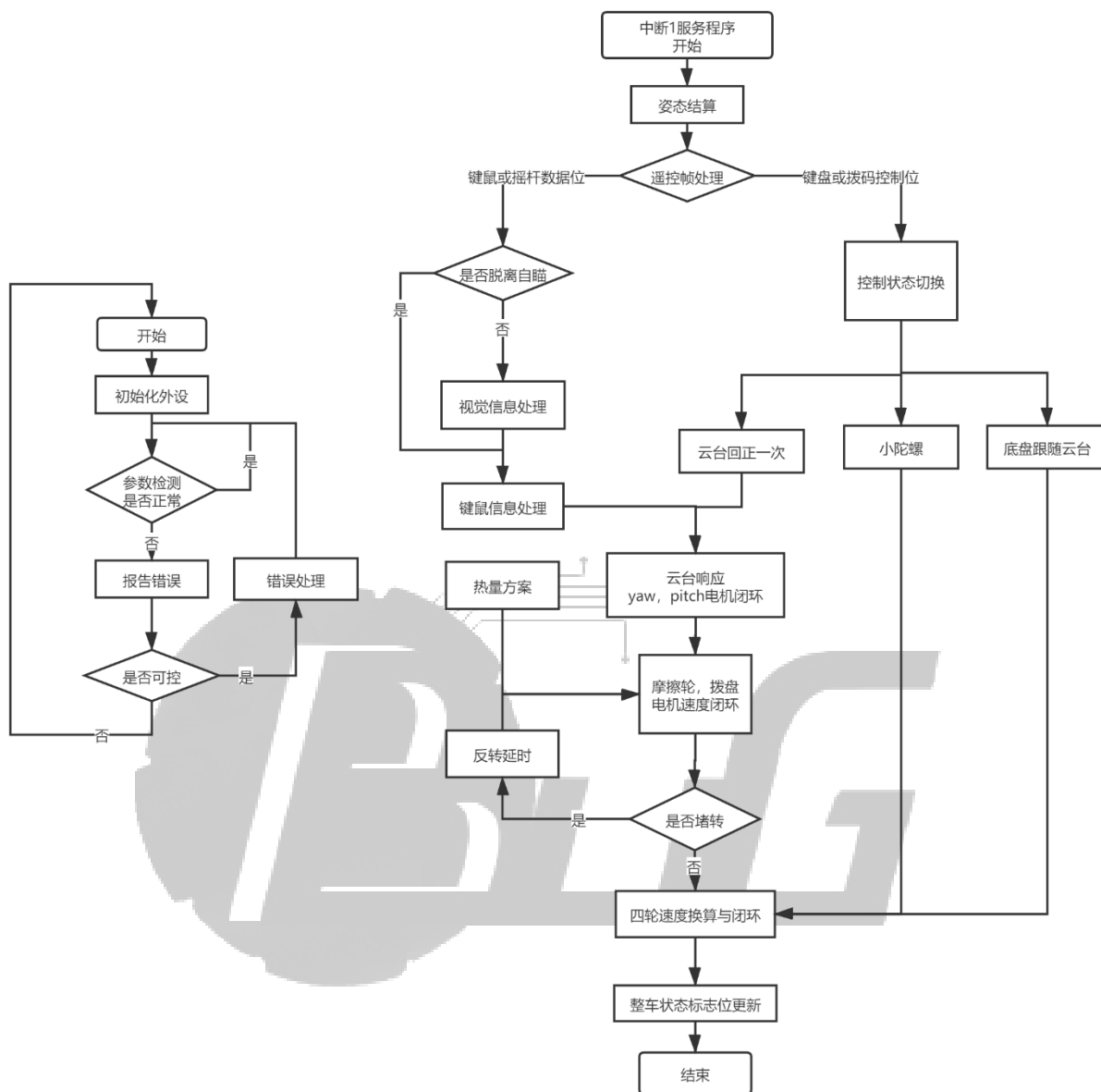


图 3.3 英雄机器人电控系统程序流程图

4. 科学设计方法

本章以飞镖系统中的发射架为例进行阐述。

4.1 设计指标

设计一个飞镖发射架，要求具有高重复稳定性与发射装填速度。具体应满足下表：

表 4.1 飞镖发射架的设计指标表

项目	指标
重量	25kg
发射初速度	16.5m/s
射速下限	0.2hz

4.2 仿真与选型

4.2.1 发射架最佳劲度系数的确定

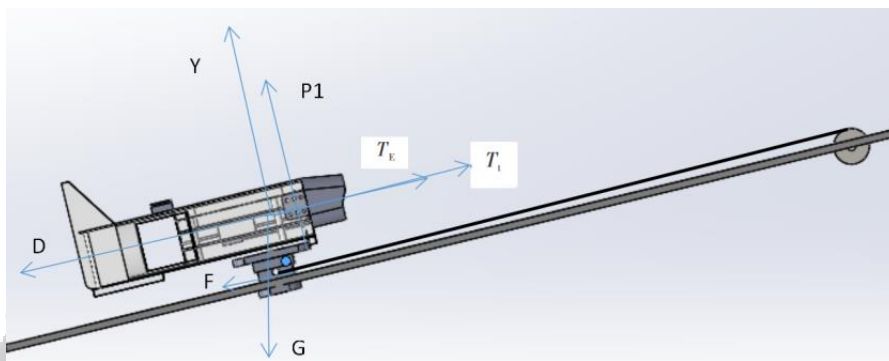


图 4.1 弹射过程中飞镖及滑块的受力分析图

在上图和下面的公式推演中， G 为飞镖所受重力，在飞行中不受变化。 T_t 为所受橡皮筋牵引力，弹射过程中随橡皮筋长度而发生变化。 T_E 为涵道推进最大推力。 P, F 分别为牵引滑块对飞镖的支持力与摩擦力。 D 为气动阻力, Y 为气动升力。 θ 为弹射轨道与水平面之间的夹角。 ϕ_w 为飞镖弹翼安装角稳态时，飞镖气动升力与气动阻力可由下式计算：

$$D = C_x^z \cdot \alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho v^2 \cdot S$$

$$Y = C_y^z \cdot \alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho v^2 \cdot S$$

$$\alpha = \theta + \phi_w$$

发射架的牵引力与阻力有如下关系：

$$F = \mu P$$

$$P = G - Y \cos(\theta + \phi_w)$$

综合上述各式可得：

$$m_{v_x} = (T_t - D - F)\cos\theta + T_e\cos\theta - Y\sin(\theta + \phi_w)$$

$$m_{v_y} = T_E\sin\theta + Y\cos(\theta + \phi_w) + (P_t - D - F)\sin\theta - G$$

将上述结果导入 Simulink 中进行仿真，其计算环境及其结果如下：

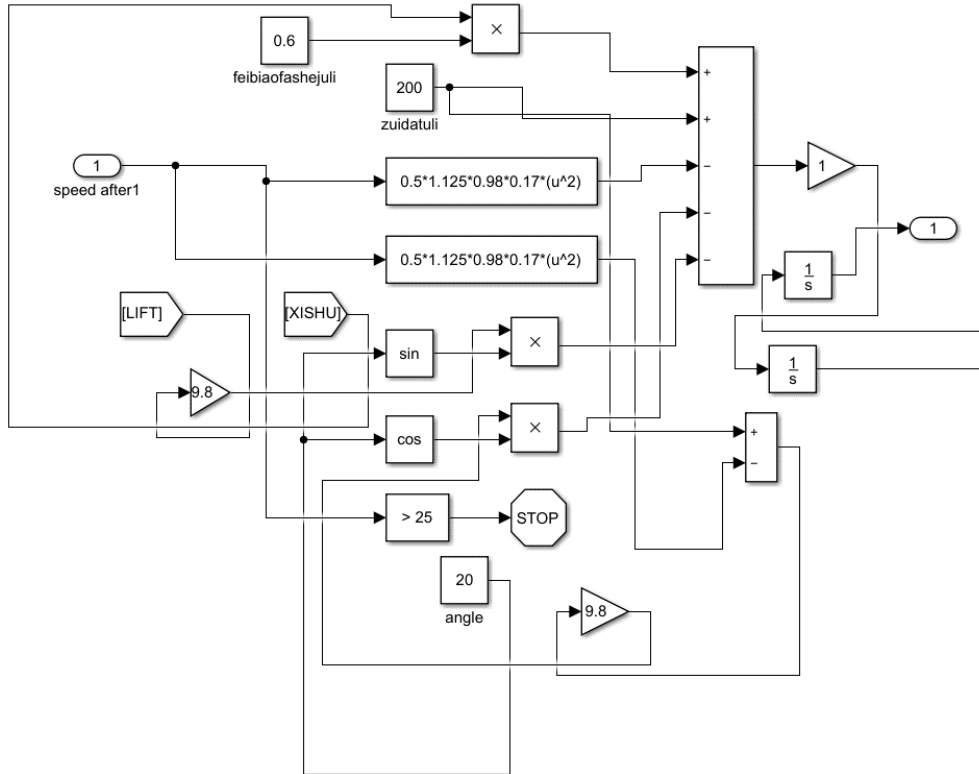


图 4.2 飞镖离架前的 Simulink 仿真图

限于体积限制橡皮筋做功长度选为 50cm，该条件下仿真结果为：

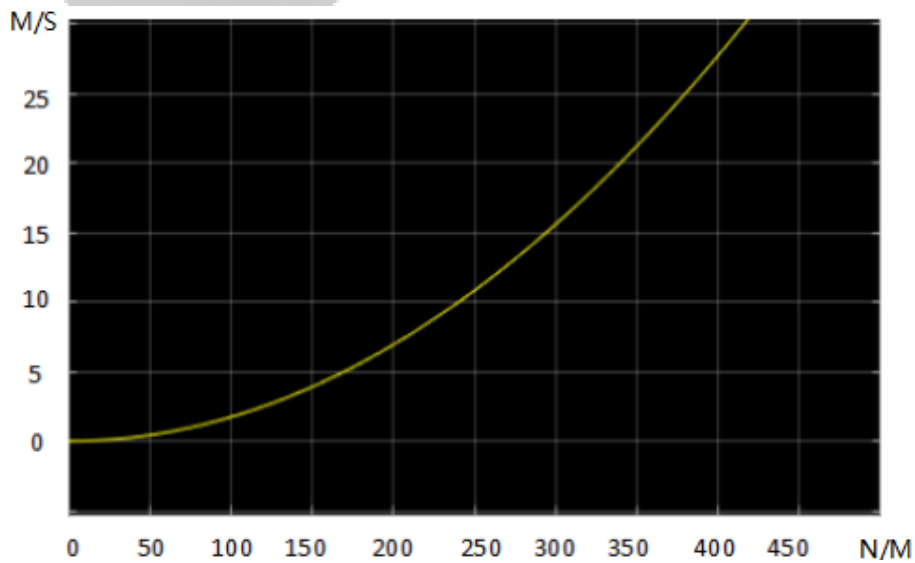


图 4.3 Simulink 仿真结果

经实测滑块动能损失与传动系统动能损失后，选用劲度系数为 300N/M 的驱动橡皮筋。为保证释放速度，采用了舵机驱动的连杆机构用来释放牵引块固定锁。给予 1.5 的安全系

数，通过下述公式计算出轴向舵机需提供的最小力矩远小于舵机可提供的扭力矩，验证了舵机释放的可行性。

$$F = \mu N$$

$$N = Kx$$

$$F = Mr$$

基于以上仿真结果制作了第一代飞镖发射架。在实际测试中飞镖的初速度与射程射高与计算相符。但在测试过程中第一代使用的舵机驱动的连杆机构释放滑块固定锁出现了释放成功率低下的情况。

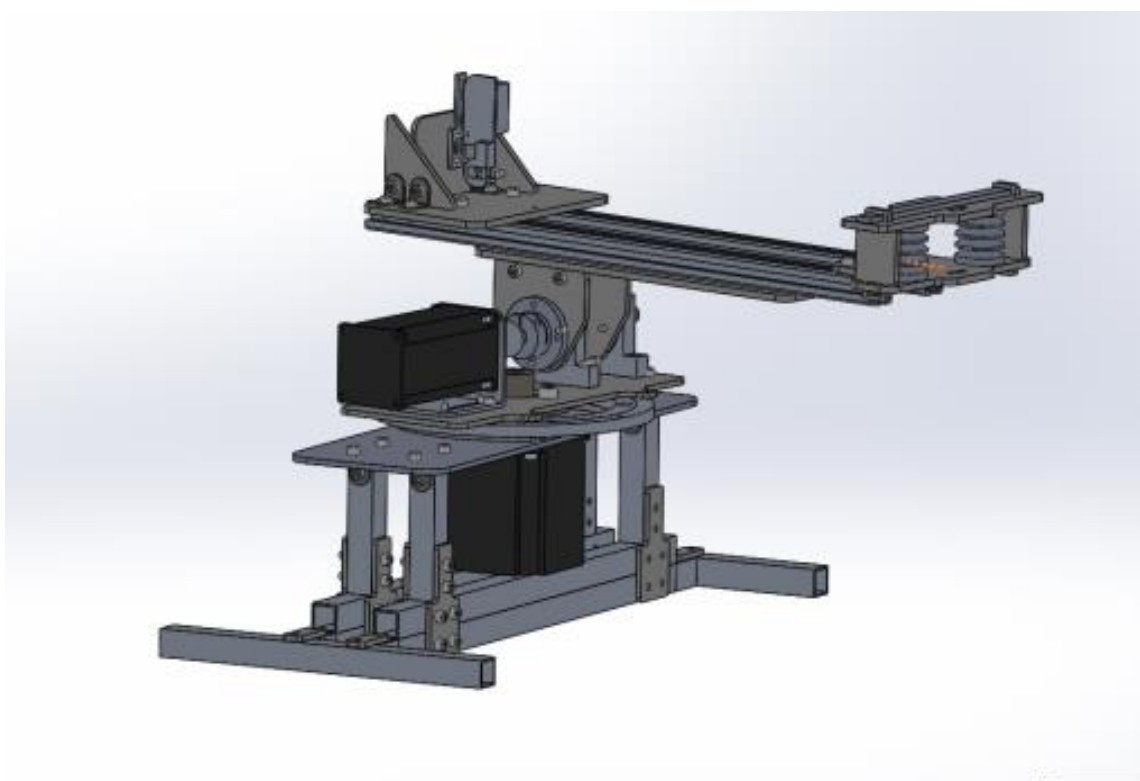


图 4.4 第一代飞镖发射架三维图

4.3 迭代改进

4.3.1 释放结构的仿真分析

针对试射中出现的理论计算可行，实际中却出现卡滞的情况利用 ANSYS WORKBENCH 进行了仿真与改进：

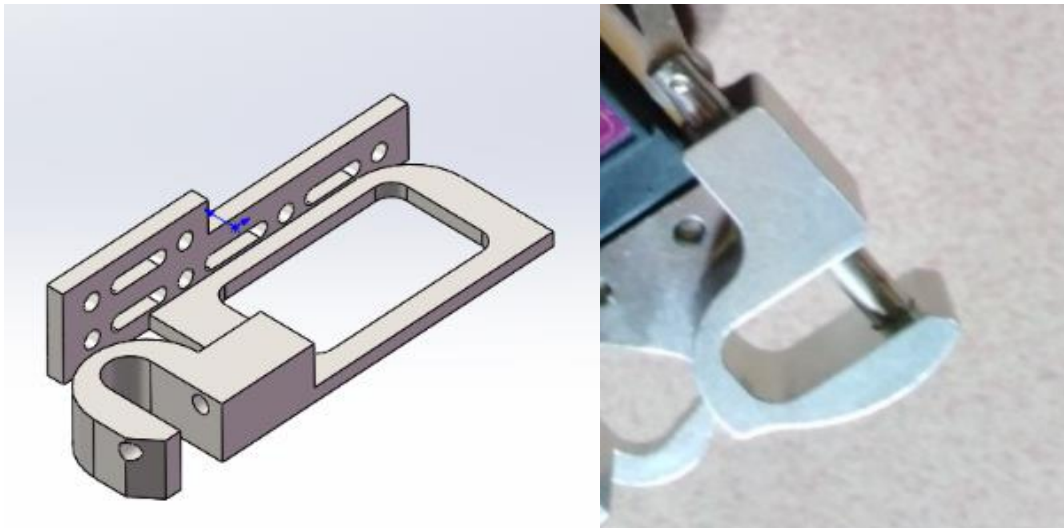


图 4.5 释放机构三维图和实物图

使用简化模型进行等效模拟。拉索材料为合金钢（泊松比 0.28，质量密度 $7700\text{Kg}/\text{m}^3$ ，弹性模量 $2.1\text{e}11\text{N}/\text{m}^2$ ）固定柱为铝合金（泊松比 0.3，质量密度 $2600\text{Kg}/\text{m}^3$ ，弹性模量 $6.9\text{e}10\text{N}/\text{m}^2$ ）并使拉索两端受沿固定柱径向共 180N 的拉力，且固定柱完全固定。整体以 $1\text{e}-4$ 单位划分网格，采用接触面细化。其结果如下，图中，由左至右分别为初始条件、整体仿真结果和固定柱变形情况：

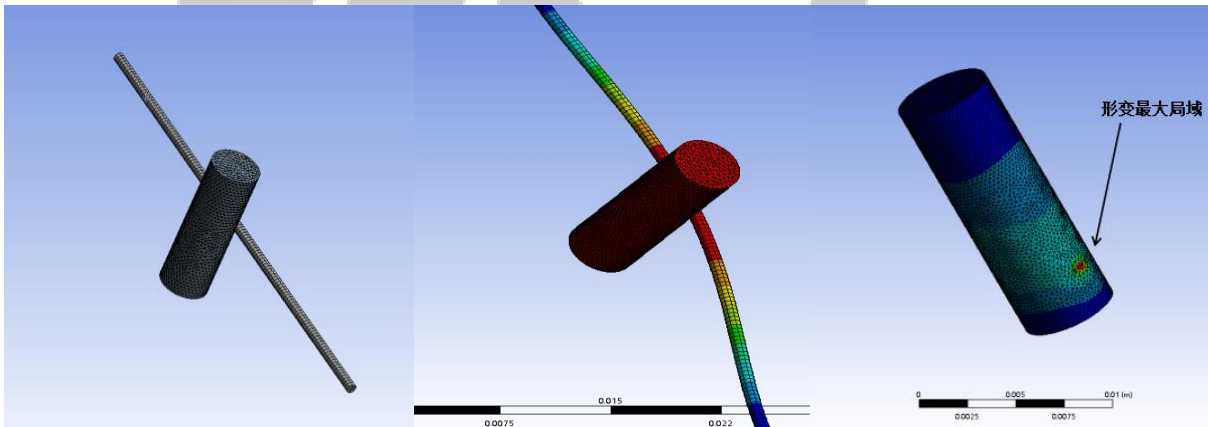


图 4.6 铝固定柱零件仿真图

从结果中可以看出在经过发射之后，未经表面处理的铝固定柱产生了局部形变与磨损，一旦形变产生，钢索便倾向于陷入其中，导致局部形变的进一步加大，并在整体上影响了固定柱的直线度。随着发射次数增加，固定柱形变程度随之增加，导致了显著增加的阻力矩，超过了释放舵机所能提供的最大力矩，最终导致随机性的发射失败。

4.3.2 问题机构的改进

从仿真结果来看，为避免固定柱受力过于集中引起局部变形和磨损，将固定柱换为表面

淬火光轴以提高表面硬度，在拉索上加装柔性套管以避免集中磨损，最终改进后版本未出现释放失败的情况。






5. 创新性设计

飞镖机器人是 2020 赛季新增加的兵种，要求尺寸小、重量轻并且性能强，常规的视觉和电控方案都不能搬来照比例缩小，其实我们的思维都禁锢在 CPU 体系上，在人类计算机的发展史上，硬件可编程器件才是计算机体系发展之源，因此我们设计了基于 FPGA 的飞镖方案。

5.1 飞镖控制系统痛点分析

根据大赛规则要求，飞镖的控制系统有两大关键约束：性能和重量。从这两点出发，我们对比了多种方案。

表 5.1 飞镖控制系统方案表

方案	STM32F4	OpenMV4	树莓派4B	nVidia TX2	ZYNQ
图片					
核心	ARM Cortex-M4 168MHz	ARM Cortex-M7 480MHz	ARM Cortex-A72 1.5GHz	ARM Cortex-A57 2.0GHz Denver 2 2.0GHz GPU 1.3GHz	ARM Cortex-A9 866MHz FPGA 125MHz
尺寸	60mm x 41mm	45mm x 36mm	85mm x 56mm	87mm x 50mm	80mm x 22mm
重量	38g	19g	55g	200g	12g
性能 (帧速)	1~10FPS	10~40FPS	30~60FPS	130FPS	400FPS

在性能方面，飞镖的高速飞行状态下，至少要 60FPS 以上的帧速才能满足要求。据此我们排除了 STM32F4 和 OpenMV4，以及树莓派 4B 的方案。而在重量方面，自然是越轻越好。在这里 ZYNQ 的 12g 显示出了压倒性的优势，而 TX2 由于需要散热，完全超出了规则中 150g 的限制。因此我们选择使用 ZYNQ 的 FPGA 来构建我们的飞镖控制系统。

5.2 硬件选型与总体方案

基于 FPGA 的飞镖电控系统主要包括 FPGA 核心板、摄像头、电池、舵机和涵道推进电

机等，由于整体重量限制于 150g，每一个部件在选型时除了满足性能，最关键的指标就是重量，经过一顿某宝操作，整体电控系统的重量不超过 90g，加上飞镖碳纤维材质外壳，满足 150g 的要求。

表 5.2 飞镖电控系统关键部件选型表

关键部件	关键参数	重量X数量	实物图
FPGA核心板	XC7Z020-CLG400 PS-DDR3 32bit 8Gbit PL-DDR3 16bit 4Gbit CAN+IMU+USBUART 2组LVDS CAMERA接口	12g*1=12g	
摄像头及镜头	IMX225 裁剪模式分辨率: 352*288 帧速: 400fps	8g*2=16g	
微型涵道风扇 /30A电调	直径30mm 14000KV 7.4V最大推力215g	20.6g*1=20.6g 4.8g*1=4.8g	
微型舵机	尺寸: 13.5 x 6.2 x 20.1 mm 4.2V扭力: 0.17 kg-cm 4.2V速度: 0.04 sec/60°	2.3g*3=6.9g	
石墨烯锂电池	电压: 7.V 容量: 450mAh 放电倍率: 85C 尺寸: 15*18*62 mm	28g*1=28g	
重量合计		88.3g	(飞镖碳纤维机体重量49g)

FPGA 硬件可编程器件既可以提供非常强大的并行图像采集处理能力，又能生成 PWM 控制信号，底部摄像头用于发射阶段对目标的跟踪，而前置摄像头用于俯冲阶段对目标的识别。

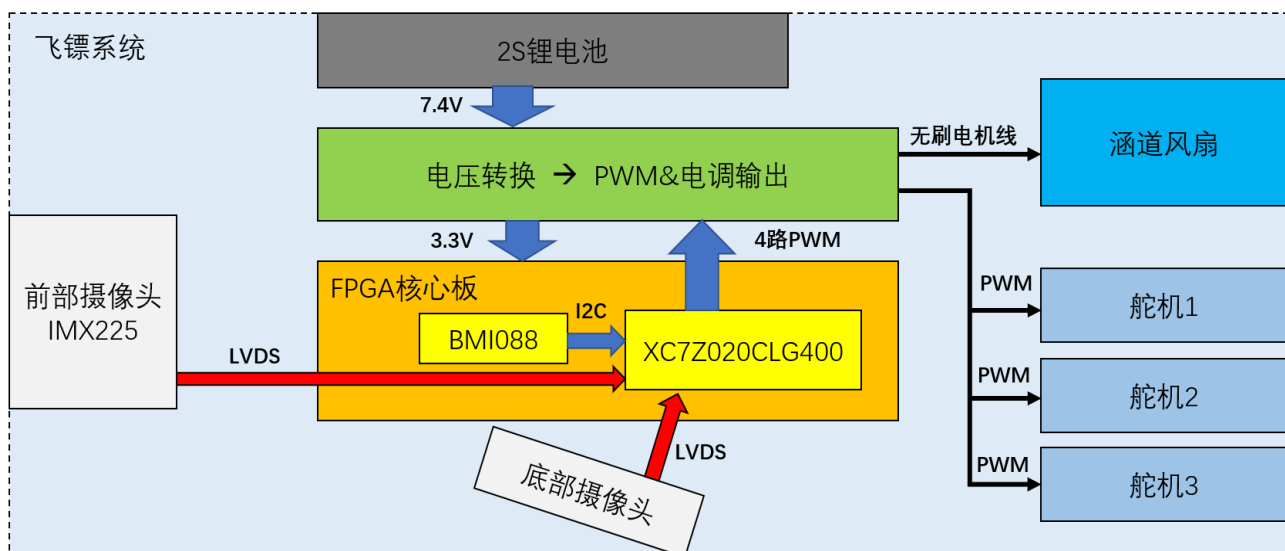


图 5.1 飞镖电控系统总体结构图

5.3 视觉部分方案设计

我们采用两个 IMX225 的镜头实现双视觉采集处理系统。在 PL 端，我们利用 SCCB 配置 IMX225 的寄存器，以 LVDS 协议读入图像并实现霍夫圆检测，从而识别圆形目标，最终输出图形和目标点中心位置。利用 VDMA 控制图像的输入，并将其存入 DDR3 中。在 PS 端我们主要实现定标校正匹配等功能。

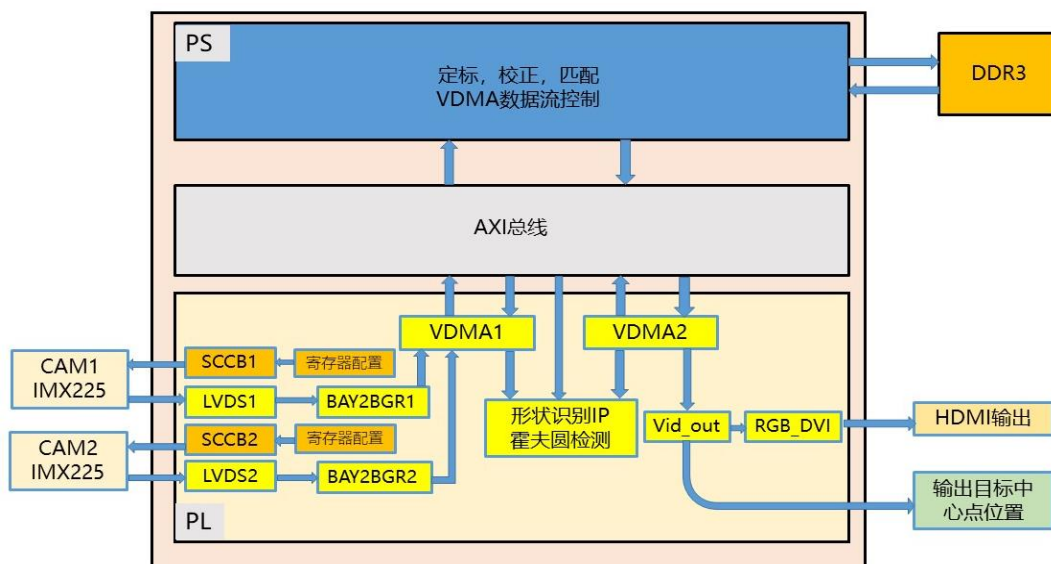


图 5.2 FPGA 视觉采集与处理模块结构图

5.4 姿态与控制部分设计

该部分以动力系统-传感器-控制芯片（FPGA）为主体的反馈环以实现导弹的稳定控制，其中 FPGA 程序设计部分采用的是 PS 端较为精确的时钟。传感器芯片采用的是用 I2C 协议通信的六轴传感器 BMI088。数据处理部分采用 PID 算法，流程图如下：

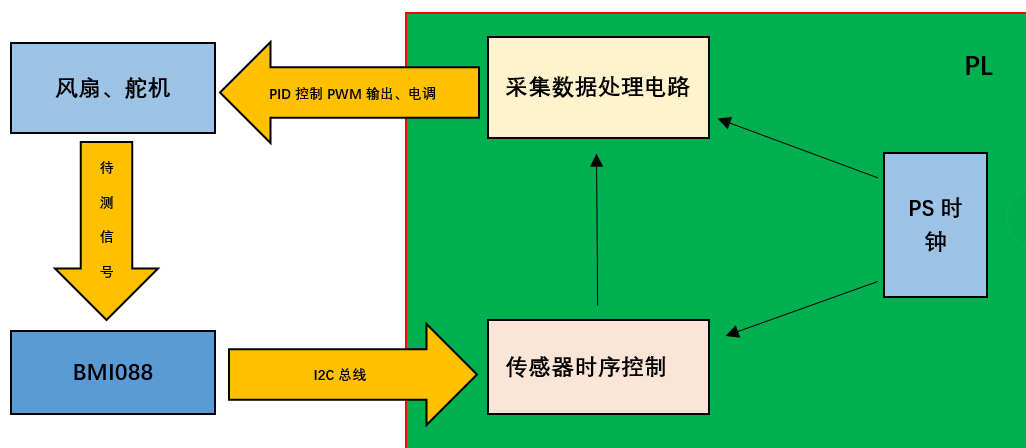


图 5.3 姿态采集与控制模块结构图

6. 成本控制

本章以玻纤板和铝方管的加工环节为例阐述战队成本控制。

6.1 加工成本分析

下表列出了玻纤板、铝方管加工过程中的成本情况：

表 6.1 各加工项成本分析表

玻纤板加工	加工方式	外包	手工对刀	CAD 对刀
	平均利用率		70%	95%
	平均成本	720 元/m ²	535 元/m ²	400 元/m ²
			自购板材平均 360 元/0.96m ²	
铝方管加工	加工方式	外包	分车加工	负责同学加工
	平均利用率		65%	85%
	平均成本	75 元/m	50 元/m	35 元/m
			自购管材平均 95 元/3m	
铣刀损坏	平均成本	110 元/10 天		
		自购平均 25 元/把		

6.2 成本控制措施



对于玻纤板的加工，战队采用了如下措施：定期试打孔以校准，调整模型数据，尽可能避免废品。几位熟练同学负责加工教学及质量监督，提高效率，降低废品率。创新加工方法，由手工机器对刀改为 CAD 加工前对刀，并实行先大后小，在大零件间隙加工小零件制度。机器手工对刀，间隙大，浪费板材，利用率平均 70%；CAD 加工前对刀，基本无间隙，利用率大大提高，平均可达 95%。

对于铝方管的加工。不分车，由熟练同学负责。先长后短，分配同学负责收集余料。

对于铣刀的保护。定期调整参数，确认最佳参数下切速率 170，进给速率 50，下切步距 3.8mm（3mm 板），2.4mm（4mm 板），2.9mm（5mm 板）。铣刀寿命由平均 1.5 天延长至 7 天，加工速率提升近 8 倍。

7. 工业设计

本章以步兵机器人为例介绍机器人的工业设计。

7.1 工业设计

步兵机器人的外壳采用 2mm 玻纤板，在保证外壳具有较高强度的同时尽可能地减轻了外壳的重量。整机外壳采用重点部位全包围防护。在机器人结构强度较高的地方，如悬挂摇臂，轮子等部位不加额外防护措施。对机器人的核心部分，比如机身内的超级电容器、裁判系统及电源管理系统，采取全包围的外壳，保证弹丸在任何角度射击机器人时，均不会击中机身内部的线路及设备。且外壳的设计有效利用了装甲板等已有的外部设备，节约外壳所用材料，进一步减轻重量，且保证了机器人整体的美观。

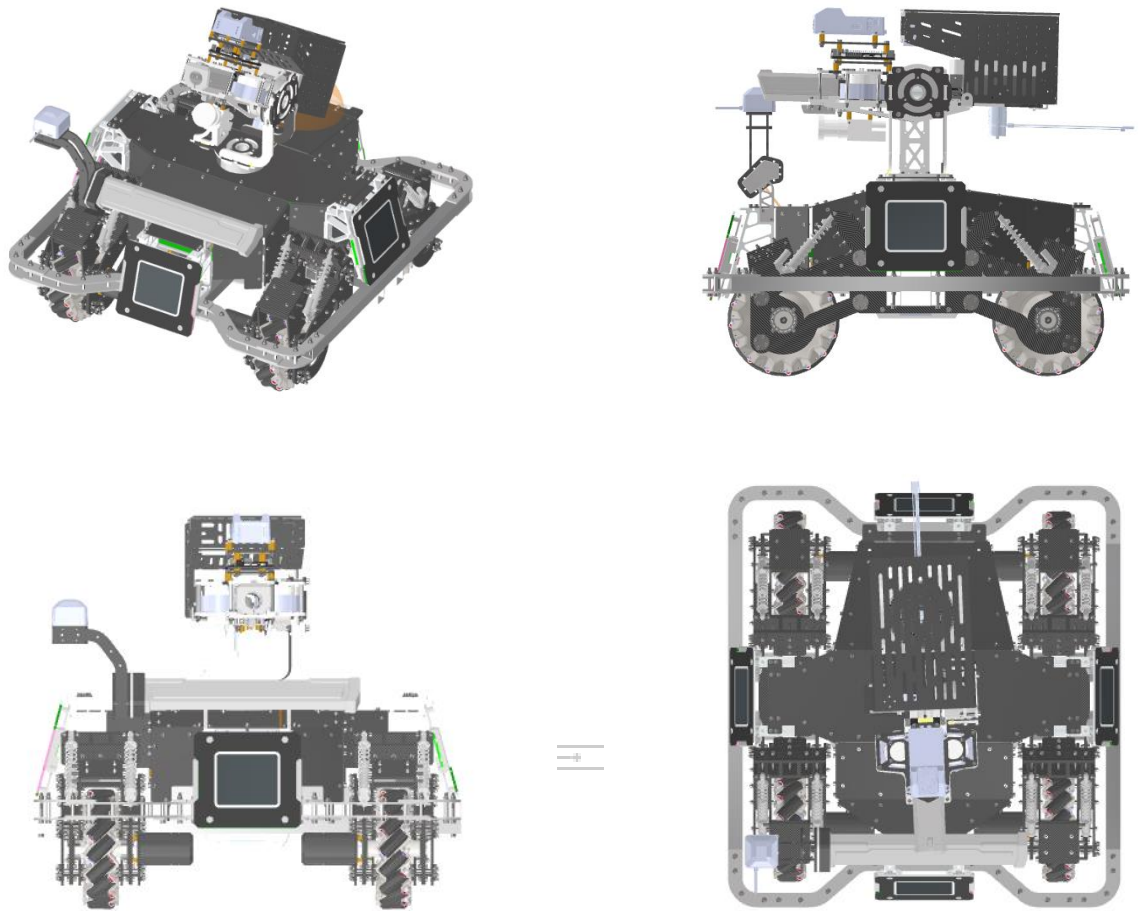


图 7.1 步兵机器人外观设计图



图 7.2 步兵机器人实机图

7.2 人机工程

7.2.1 操作便利性

步兵机器人在云台上采用了基于陀螺仪的控制方式，使得枪管及与其同轴的图传发射端与自瞄摄像头具有水平稳定及垂直稳定的双稳效果。使步兵机器人在启动、转弯、急停等各种运动状况或机器人在上坡、下坡、飞坡等各种地形行驶时都能保持枪管的指向、减少画面的抖动，从而大大缓解操作手在 pc 端进行操作时的眩晕感和疲劳感，也增强了自瞄系统识别和跟踪的稳定性。从而大大提高了机器人在动对动环境中对抗的灵活性和快速反应能力。

7.2.2 维修的便捷性

步兵机器人整机采用模块化设计思路，将摇臂组，避震器支撑，麦轮与驱动电机等分别整合成模块，当机器人有损坏时，只需更换损坏的模块，无需整机拆装，大大提高了维护人员维修的速度及便利性。机器人外壳采用 2mm 玻纤板拼接而成，两块外壳板之间的连接采用折弯攻丝 1.5mm45#钢片，所有螺丝均从机器人壳体外部拆装，所有装甲板均可从外部拆卸，方便维护人员对外壳内部的电路板等设备进行维护或更换。

7.2.3 布线设计创新

由于机器人内部设施多，裁判电源管理系统复杂，且机器人要实现小陀螺的功能，因此需要从滑环中走大量大电流供电及信号线路。为此我们选用了 24 线滑环。为了避免走线混乱及接线不便，我们在滑环两端设置了线路转接电路板，并用 24 路插头将接线板与滑环连接，这样便大大简化了线路，降低了布线的难度，简少了维护人员接线的工作量及错误率。

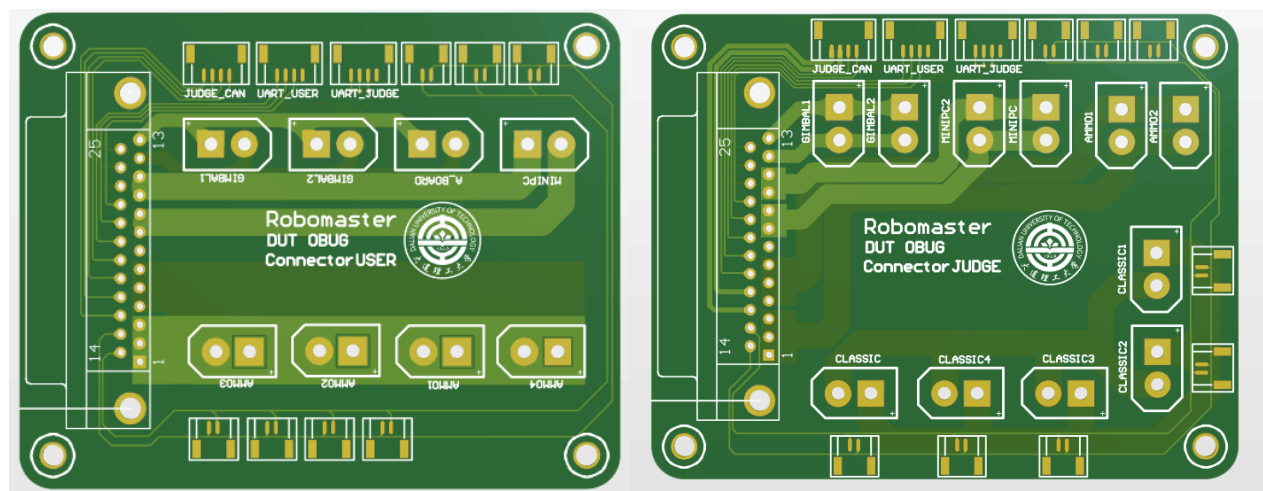


图 7.3 步兵机器人线路连接板 PCB 设计图