

目录

1. 需求确定	5
1.1 总体需求	5
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	6
1.2.3 工程机器人	7
1.2.4 哨兵机器人	7
1.2.5 空中机器人	8
1.2.6 飞镖	8
1.2.7 雷达	9
2. 步兵机器人避震结构设计	10
2.1 需求分析	10
避震结构概览:	10
(1) 弹簧减震器选型	11
(2) 避震安装板 (图中黄色部分)	11
(3) 其他部件选型	12
2.2 设计图纸	12
2.3 材料和工艺	13
2.3.1 材料的选择	14
2.3.2 工艺流程	14
2.3.3 降低成本措施	15
2.4 有限元分析	17
2.4.1 网格化零件	19
2.4.2 应力结果分析	19
2.4.3 位移大小分析	20
2.5 可制造性设计分析	21
2.5.1 电机支架的可制造性分析	21
2.5.2 避震器连接件的可制造性分析	22
3. 程序逻辑	25
4. 科学设计方法	26
5. 创新性	30
5.1 第一代云台设计	30
5.2 第二代云台设计	31
5.3 第三代云台设计	31

6. 成本控制	33
6.1 玻纤板	33
6.2 云台支架	33
6.3 Demo 环节	33
6.4 采购环节	34
7. 工业设计	35
7.1 工业设计	35
7.2 人机工程	36
7.2.1 步兵车的日常搬运	36
7.2.2 赛时搬运	37
8. 感受与总结	38

1. 需求确定

1.1 总体需求

作为一只新改组后的队伍，本战队各部分基础都为零，对比 20 赛季规则与 19 赛季，20 赛季规则主要对电控、算法部分提出更高的要求，机械部分变动不大。

结合本校实际情况，我们针对今年的新规则做了取舍（例如放弃了雷达站的主要功能），以保证机器人基本功能的稳定实现，将主要精力放在研发步兵、英雄、工程这三个主要的兵种上。

详情见表 1-1:

兵种	需求	要求	兵种	需求	要求
步兵	射击	发射 17mm 弹丸	英雄	射击	发射 42mm 弹丸
	运动	平地、15° 坡、飞坡		运动	平地、15° 坡
	补给	接受补给站补给		补给	接受工程补给
	被救援	与工程配合		被救援	与工程配合
工程	运动	平地、15° 坡	哨兵	运动	在平直轨道运动
	取弹	获取 42mm 弹丸		射击	发射 17mm 弹丸
	补给	与英雄配合	飞镖	射击	发射自制飞镖
	救援	与步兵、英雄配合		调整	调整姿态
空中机器人	运动 视野	平稳飞行 提供额外视野	雷达站	视野	提供额外视野

表 1-1 总体需求

批注 [何1]: 该项目得分为 9 分，问题在于对各项数据没有一个比较清晰的认识，对各个兵种的认识不够深入，分析不够细致。新兵种的研究力度不够，不能因为今年暂时不打算做就放弃了对其的研究。反思下来，在撰写该部分时存在一个比较严重的问题：对技术指标不清楚，导致部分数据均参考其他学校。

1.2 机器人具体需求

批注 [何2]: 部分指标不够具体, 要求太低, 这对于后期机器人进行迭代、测试都不太友好。

1.2.1 步兵机器人

步兵机器人必须上场, 为最基本的兵种优先级高, 下限低上限高, 故一台优秀的步兵机器人是打赢每场比赛的关键。

批注 [何3]: 这个机器人很重要, 技术指标最好往高一些定
例如命中率, 距离
速度能不能比英雄再高一点
转弯限制速度

必达需求	关键技术指标
射击	发射 200 发小弹丸无卡弹问题; 5m 内小装甲命中率 > 85%; 射频 > 15/s;
运动	平地速度 > 2.3m/s; 实现飞坡;
重量	< 15KG (不包括裁判系统)
其他	救援实现时间 ≤ 5s 且无问题

表 1-2 步兵技术指标及需求

1.2.2 英雄机器人

英雄机器人必须上场, 作为基本兵种优先级高, 此外能够发射 42mm 大弹丸, 是提供强有力输出的关键。

必达需求	关键技术指标
射击	发射 10 发大弹丸无卡弹问题; 5m 内小装甲命中率 > 85%; 5m 外大装甲命中率 > 65%;
运动	平地速度 > 2m/s;

重量	25kg 左右（不包括裁判系统）
其他	救援实现时间 $\leq 5s$ 且无问题

表 1-3 英雄技术指标及需求

1.2.3 工程机器人

工程机器人必须上场，作为基本机器人优先级高，能够实现取弹、救援、补给，是比赛中维持持续性进攻的支撑和后备保障。

必达需求	关键技术指标
取弹	取弹时间 $\leq 5s$ （一箱）； 一次性取三箱弹丸；
补给	补给时间 $\leq 8s$ ；
运动	平地速度 $> 2m/s$ ；
重量	30kg 左右（不包括裁判系统）
救援	救援实现时间 $\leq 5s$ 且无问题

表 1-4 工程技术指标及需求

1.2.4 哨兵机器人

哨兵机器人选择性上场，作为基地的保障力量，是基地保障中不可或缺的关键一环（如在基地无敌状态解除的情况下，哨兵机器人的存活与否能影响虚拟护盾是否生效）。在输出伤害的同时，为其他兵种前线作战提供额外时间。

必达需求	关键技术指标
射击	发射 200 发小弹丸无卡弹问题； 5m 内小装甲命中率 $> 85\%$ ；

	射频 $>15/s$;
运动	轨道运行速度 $>2m/s$;
重量	$<15KG$ (不包含裁判系统)

表 1-5 哨兵技术指标及需求

1.2.5 空中机器人

空中机器人选择性上场，作为全场唯一的空中力量，空中机器人能提供额外的视野及高效的输出。作为一支新队伍，战队并无在无人机方面的技术储备，故不作发射机构，仅提供额外视野辅助战术决策。

必达需求	关键技术指标
运动	平稳飞行
重量	$<10KG$ (不包含裁判系统)

表 1-6 无人机技术指标及需求

1.2.6 飞镖

飞镖是今年新加入的兵种，能在关键时刻给予对手致命一击，提供额外的输出。但是鉴于队伍暂无精力与充分的技术研发新兵种，故只做一些预先型研究作为技术储备。

必达需求	关键技术指标
射击	平稳飞行 $25m$; 打击 $1m$ 大小圆形板命中率 $>80%$;
调整	在 $5s$ 之内完成姿态调整;
重量	$<10KG$ (不包含裁判系统);

表 1-7 飞镖技术指标及需求

批注 [14]: 这个不错，建议安排 2-3 人马上动手做

1.2.7 雷达

雷达是今年新晋兵种，能辅助队伍进行决策，提供更多的赛场信息。由于队伍成员相关知识欠缺，暂未涉猎通信领域，且主要由机械专业学生组成，故今年不对雷达作专门设计，留住精力主攻基本兵种。



2. 步兵机器人避震结构设计

此处以步兵机器人避震结构设计为例。

2.1 需求分析

在机器人车体结构中，避震至关重要，直接影响整车路面通过性、加速性、爬坡能力等方面。通过对现有资料的分析，我们比较了独立悬挂和斜臂悬挂的特点，独立悬挂倾侧性较差，但占用空间较小，成本较低，结合自身实际考虑，选择采用独立悬挂结构。

批注 [何5]: 这一部分让我深刻的认识到理论只是的重要性，战队目前存在一个比较严重的问题就是知识储备不够，设计时主要还是凭感觉，所以导致了一些资金浪费，性能不足等问题。

批注 [何6]: 太过笼统，应该列出比较的过程

批注 [何7]: 这里的需求和指标应该还能再具体一点

避震系统	
功能需求	保证四轮着地； 对地形具有适应性； 对障碍物具有较好的通过性 飞坡；
性能指标	平稳爬上 15° 坡； 飞坡落地时保证结构稳定； 不被地上散落的弹丸卡住； 平地速度大于 2.3m/s；

表 2-1 避震系统功能及性能

避震结构概览：

根据需求分析我们设计了如下的避震结构：

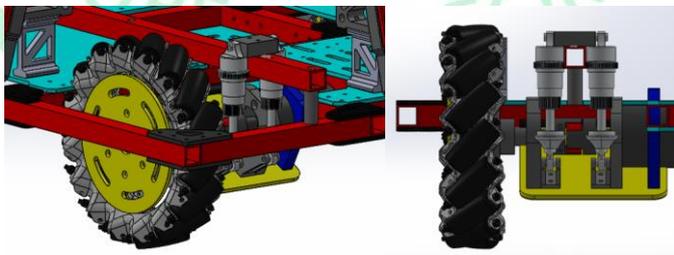


图 2-1 避震轴测图

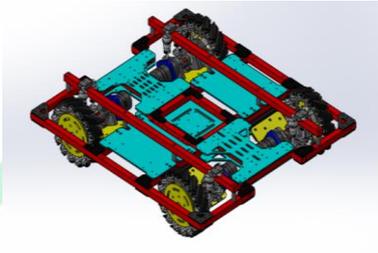


图 2-2 避震正视图

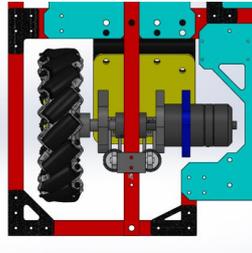


图 2-3 底盘轴测图



图 2-4 避震俯视图



(1) 弹簧减震器选型

整车重量预计在 22KG 左右，根据弹簧选型表，我们确定 100mm 至 110mm 全金属避震器，经过价格和实际效果等多方面考虑，我们选用适用于 20KG-30KG 机器人的 105mm 的全金属避震器。

批注 [J8]: 如果有飞坡动作，避震需要根据车重进行校核

批注 [何9]: 该处选型没有进行具体计算选型。不够细致

选型表

种类	名称	安装孔距 mm	安装孔类型	宽度 mm	可压缩量 mm	可调节量 mm	弹力系数 N/mm	重量 g/个	报价 RMB/对										
塑料避震器	HITI-90-20-20-15-1-S	90	5mm 通孔+3mm 球头孔	20	20	15	1.25	20g	35										
	3.5						45												
全金属避震器	HITI-85-20-20-15-1-M	85	5mm 通孔+3mm 球头孔	20	20	15	1	30g	75										
	HITI-85-20-20-15-2-M						4		89										
	HITI-100-20-20-15-1-M	100	5mm 通孔+3mm 球头孔	20	20	15	1	35g	75										
	HITI-100-20-20-15-2-M						4		89										
双桶式全金属负压避震器 (加粗中轴版)	HITI-90-20-30-20-2-MN	90	3mm 球头孔+3mm 球头孔	20	30	20	1	35g	155										
	HITI-90-20-30-20-3-MN						4		155										
	HITI-100-20-30-20-2-MN	100					3mm 球头孔+3mm 球头孔	20	30	20	1	40g	155						
	HITI-100-20-30-20-3-MN										4		155						
	HITI-110-20-30-20-2-MN										110		3mm 球头孔+3mm 球头孔	20	30	20	1	45g	155
	HITI-110-20-30-20-3-MN																4		155
全金属避震器 (加粗中轴版)	HITI-85-24-30-20-3-MNS	85	3mm 球头孔+3mm 球头孔	24	30	20	4	44g	135										
	HITI-110-24-30-20-3-MNS	110	3mm 球头孔+3mm 球头孔	24	30	20	4	53g	135										
德国进口安斯曼金属缸体避震器	Ansman-140-22-35-25-1-E	140	5mm 通孔+3mm 球头孔	22	35	25	0.85	50g	200										
	Ansman-140-22-35-25-2-E						4		200										
全金属双弹簧加粗中轴避震器	HITI-150-30-30-30-1-MD	150	3mm 球头孔+3mm 球头孔	30	30	30	2	90g	300										
	HITI-150-30-30-30-2-MD						5		300										

备注 1: 以上价格均不含税和运费
 备注 2: 因为弹簧加工工艺，弹力系数为标称值，实际值会存在误差
 备注 3: 因为产品原料价格，进出口关税等限制，产品报价并非实价，请悉知。

图 2-5 弹簧减震器选型表

(2) 避震安装板 (图中黄色部分)

综合安装板强度及质量需求考虑，选用 3mm 玻纤板，后期通过有限元分析来分析其强度，见 2.4 有限元分析。

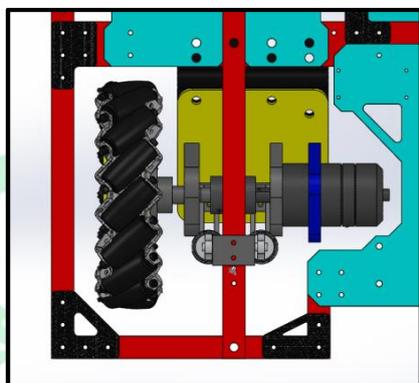


图 2-4 避震俯视图

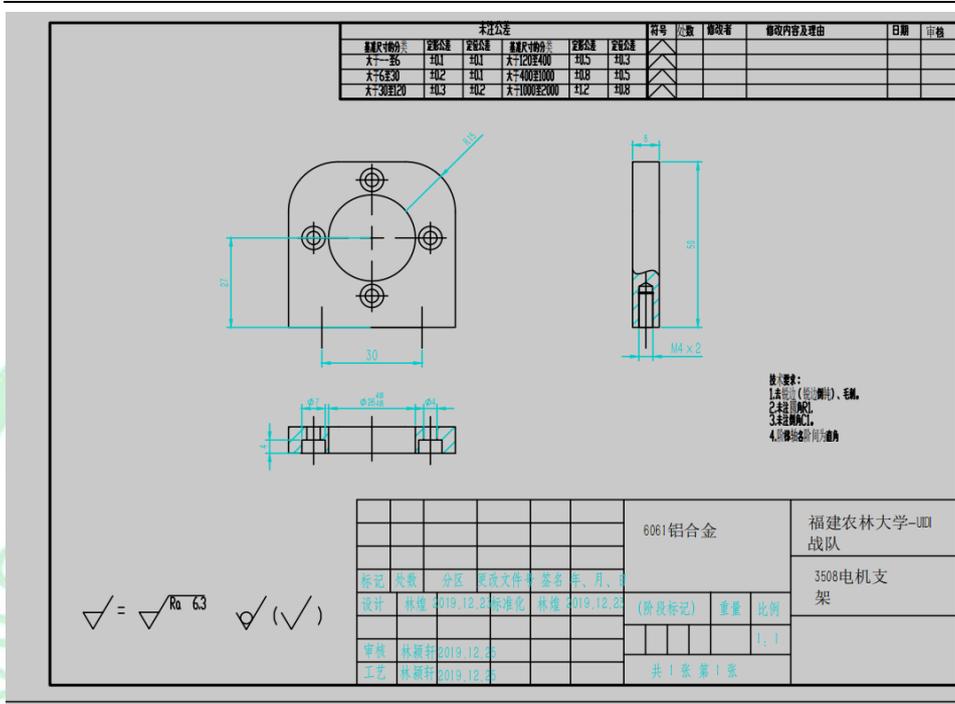
(3) 其他部件选型

为了达到平地速度不低于 2.3m/s 这一指标，我们首先选择了 **3508** 电机，持续最大扭矩 $3\text{N}\cdot\text{m}$ 足以保证充足的底盘动力，使用梅花联轴器作为连接，主要结构材料选用了 **3mm** 黑色环氧板、**6061** 铝方管、**6061** 铝合金机加工件来保证稳定性和较轻的重量。

2.2 设计图纸

下图为步兵机器人底盘轮组避震结构电机支架二维图纸，STEP 文件及图纸高清图见附件。

批注 [何10]: 图纸有点过于简单了



批注 [何11]: 未注公差方面参考深圳大学, 希望以后能有自己的一套标准

图 2-5 3508 电机支架工程图

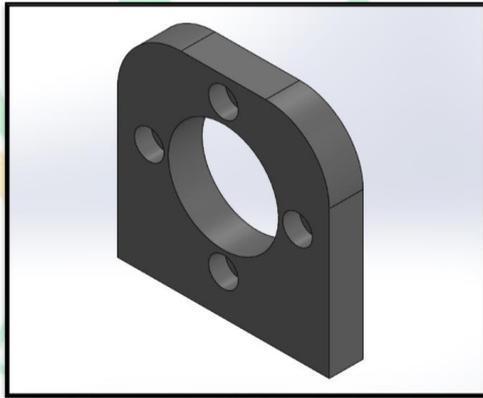


图 2-6 3508 电机支架三维图

2.3 材料和工艺

以联轴器组件为例。

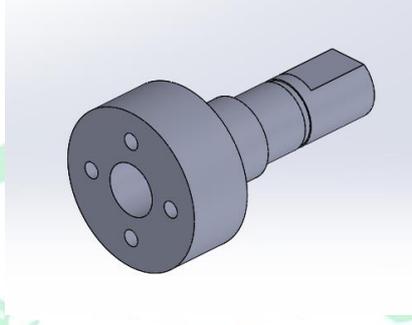


图 2-7 联轴器轴件三维图

2.3.1 材料的选择

该联轴器选用的材料为 **6061-TI** 铝合金，直径 **25mm** 的棒状毛坯。

2.3.2 工艺流程

该零件为电机和麦克纳姆轮之间的连接件，主要起到连接、承受载荷和传递扭矩的作用。作为联轴器，零件材料需要有足够的刚度来传递扭矩，需要有一定的韧性起到一定程度的缓冲作用。

该零件主要在普通车床上进行加工，需要材料车削性能良好。为保证装配成功且使用寿命长，零件上加工的螺丝孔要保证一定的尺寸位置精度，不易滑丝。

批注 [何12]: 该处队员还没学完互换性，机械制造基础知识不够深入，与加工商的交流还不够多。

批注 [J13]: 这里的成本太高，建议队员自行加工

步骤	特征	公差等级	要求	说明	成本(元)
毛培	6061-TI 铝合金棒状毛坯，直径 25mm、长度 50mm	IT13	外观良好	无	2.9
粗车端面	无	IT10	无	无	2
粗车	外圆周车到 24mm	IT10	尺寸在要求范围内	留 0.5mm 加工余量	5

粗车	车阶梯轴，长度 31mm，直径 19mm	IT10	尺寸在要求范围内	留 0.5mm 加工余量	5
半精车	精车阶梯轴，直径 12mm	IT8	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	5
半精车	车阶梯轴，长度 21mm，直径 10mm	IT8	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	5
粗车	车凹槽，直径 9.6，宽 1.1，距小端面 12mm	IT10	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	3
精铣	铣 D 字轴，长度 10mm，深度 9mm	IT8	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	10
粗铣	铣大端面的中心孔，直径 8mm，深度 7mm	IT10	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	10
钻孔	安装位置要求，钻出 4 个直径 2.5mm，深度 8mm 的孔	IT7	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	10
攻丝	在钳工台上对 4 个光孔进行攻丝，加工 M2.5 的螺纹	IT10	螺纹满足使用要求	无	5
后处理	倒角、去毛刺	IT7	表面良好无毛刺	无	5
合计成本					67.9

表 2-2 连接件加工工艺流程及成本（版 1）

2.3.3 降低成本措施

1. 大端面处的中心孔无较大作用，且铣削成本较高，可省去。
2. 在大批量生产中可用组合钻床加工 4 个安装孔，节约工时。

3. 在钻床上加工 4 处安装孔，其位置精度较低，可能导致装配失败，浪费前面加工工序的成本，也可能在装配后产生较大偏心，影响机器正常运作。故可以加工一块钻孔辅助装置，钻孔时套在大端面上，将钻头对准后进行加工，增加了加工精度，减少潜在成本。

4. 阶梯轴中部的直径可以设计为 18mm，加工时可省去一次粗车。

步骤	特征	公差等级	要求	说明	成本(元)
毛培	45 号碳钢棒状毛坯，直径 25mm、长度 50mm	IT13	外观良好	无	2.9
粗车	外圆周车到 24mm	IT10	尺寸在要求范围内	留 0.5mm 加工余量	5
粗车	车阶梯轴，长度 31mm，直径 18mm	IT10	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	5
粗车	车阶梯轴，长度 21mm，直径 13mm	IT10	尺寸在要求范围内	留 0.5mm 加工余量	5
半精车	半精车阶梯轴，直径 10.5mm	IT8	尺寸在要求范围内	留 0.5mm 加工余量	5
精车	精车阶梯轴，直径 10mm	IT8	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	5
精铣	铣 D 字轴，长度 10mm，深度 9mm	IT8	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	10
钻孔	安装位置要求，钻出 4 个直径 2.5mm，深度 8mm 的孔	IT7	尺寸在要求范围内	达到图纸精度要求	5*0.2=0.1
攻丝	在钳工台上对 4 个光孔进行攻丝，加工 M2.5 的螺纹	IT10	螺纹满足使用要求	无	10
合计成本					48

表 2-3 连接件加工工艺流程及成本(版 2)

2.4 有限元分析

由于避震安装板是一个关键部位（即图中黄色部分），是动力传输的载体，因此我们此进行了有限元分析。

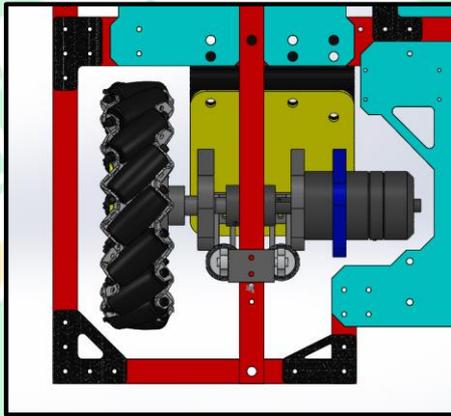


图 2-8 避震俯视图

整车重量预计为 **22KG**，由于后方预留电池安装位置，前方要承受冲击，故假设每个连接板所受最大重量约 **6kg, 54N** 左右。在材料方面，由于碳板存在静电问题，故材料选择为 **FR-4** 玻纤板。我们根据西北农林科技大学的开源报告，得到下表 2-4 玻纤板的材料性能。

密度	1.8g/cm ³	PRXY	0.35
泊松比	0.35	PRYZ	0.35
E _{xy}	24GPa	PRXZ	0.35
G _{xy}	8.9GPa		

表 2-4 FR-4 玻纤板材料性能

批注 [何14]: 有限元分析部分也是这个问题，队员知识水平不够高，导致只能大致分析，不够具体，同时对结果的影响会比较大。

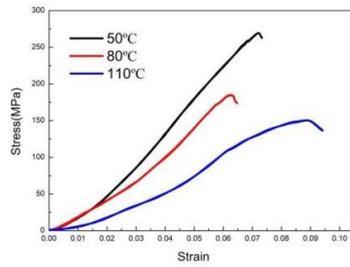


图 2-6(a) 55wt.% 试件在不同温度下应力-应变曲线

Fig. 2-6(a) The stress-strain curve at different temperatures of the 55wt.% specimen

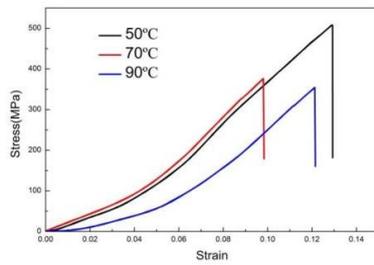


图 2-6(b) 75wt.% 试件在不同温度下应力-应变曲线

图 2-9 玻纤板的应力-应变曲线

根据实际使用情况，我们划分出支撑面与受力面。主要支撑面面积为 2854.45mm^2 ，主要受力面面积为 243.92mm^2 。

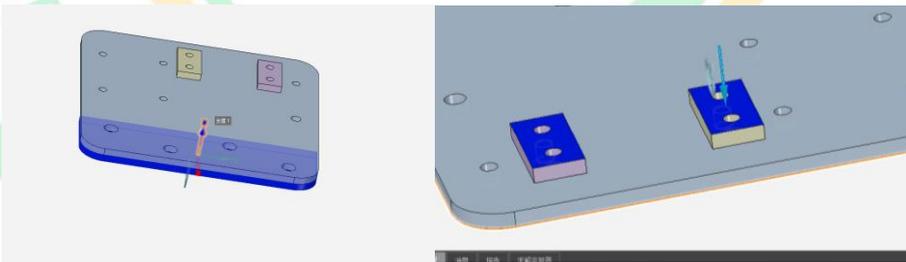


图 2-10 主要支撑面

图 2-11 主要受力面

2.4.1 网格化零件

在使用 ANSYS aim 进行拓扑优化后，进行结构的优化，为了保证足够的精度，应选择较小的网格，所以我们选择网格单元的大小为 **1mm**，单位体积为六面体。

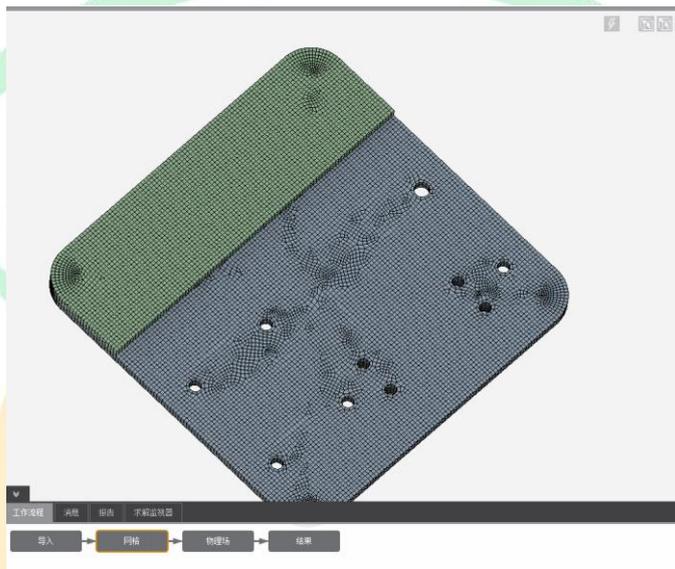


图 2-12 避震安装板网格化分析

2.4.2 应力结果分析

有限元分析后得出给定静载荷 54N, 所承受最大应力为 **42.673Mpa**，最小应力为 **0MPa**，平均应力为 **2.7976MPa**。

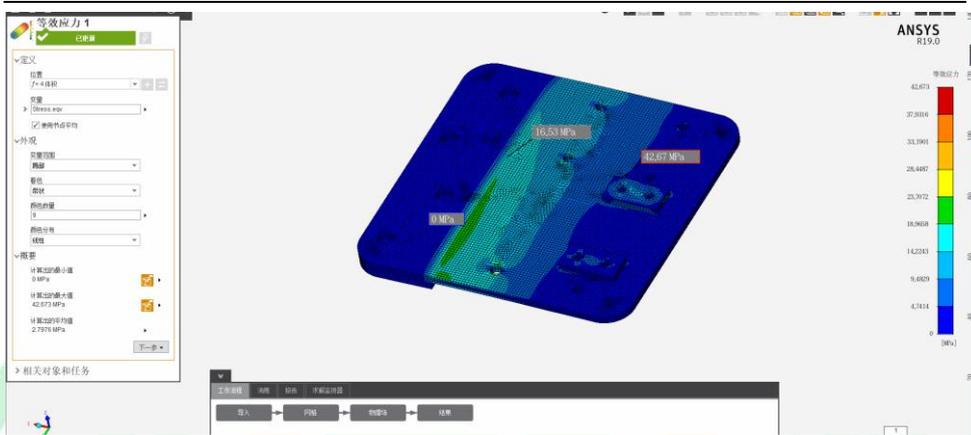


图 2-13 避震安装板有限元应力分析

2.4.3 位移大小分析

最大位移为 **1.8013mm**，最小位移为 **0mm**，平均位移为 **0.40638mm**，在可接受范围内，该玻纤板完全符合设计需要。

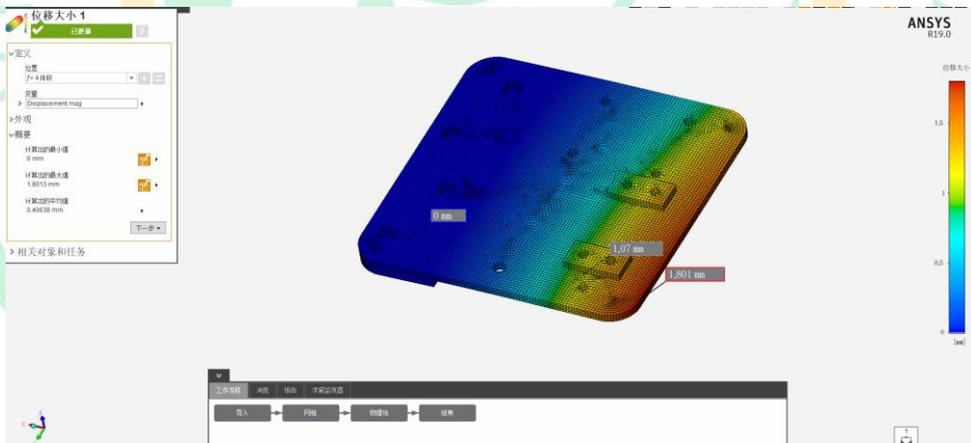


图 2-14 避震安装板有限元位移分析

2.5 可制造性设计分析

2.5.1 电机支架的可制造性分析

3508 电机是整车的动力来源，我们通过梅花联轴器来传输动力，同时也保护了电机。

此处以 3508 电机支架为例，电机支架应该具有以下性能指标：

1. 保证有效连接，从 1m 处落下不能与电机分开；
2. 重量不得超过 100g。

实现的功能有：

1. 与 3508 电机连接；
2. 与环氧板连接。

DFM 之前的设计如下，由 2mm 厚不锈钢板钣金，左右焊接支撑板制成，重量在 25g 左右。外观如下图。

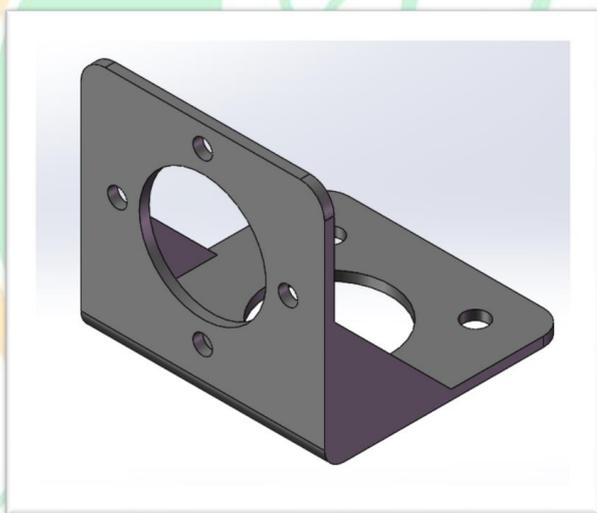


图 2-15 电机支架三维图（改进前）

经过实际使用和测试，我们发现该钣金件存在以下问题：

1. 价格较贵，在 35~50 元左右；
2. 两端面不能可靠保证垂直度要求，影响联轴器使用；
3. 孔位设计不合适，拆装困难；

4. 安装空间需求大。

针对上述四个问题，我们对其进行 **DFM** 分析，改进思路如下：将固定面与玻纤板进行融合，即舍弃固定面，改为采用两颗 **M5X10** 螺丝固定，电机安装面增厚至 **8mm**，同时材料跟换为 **6061** 铝合金方便加工，外观修改后如图 2-16 所示。

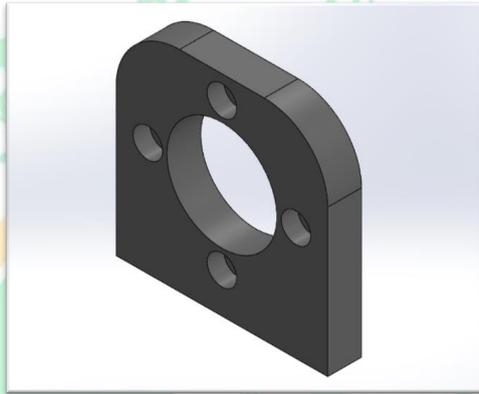


图 2-16 电机支架三维图（改进后）

经过 **DFM** 分析后，加工工艺得到简化，上述四项问题也基本得到解决：

1. 价格为 **30~45** 元；
2. 线切割工艺保证电机安装面与环氧板垂直，通过 **M5** 螺丝固定保证了安装的稳定性；
3. 只需两颗 **M5X10** 螺丝锁紧，拆装方便，不占额外空间。

2.5.2 避震器连接件的可制造性分析

图 2-17 中浅蓝色部分即为联轴器组件，该联轴器连接麦克纳姆轮与梅花联轴器，起到传输动力的作用。

该零件主要起到以下功能：1. 传输动力 2. 连接麦克纳姆轮。

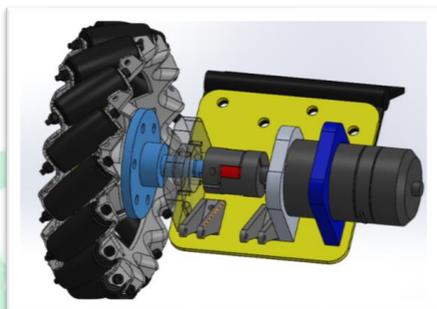


图 2-17 步兵底盘轮组轴测图

在设计之初，联轴器为一整体，并无做出分割（如图 2-18），加工难度较大，成本高且通用性不强。

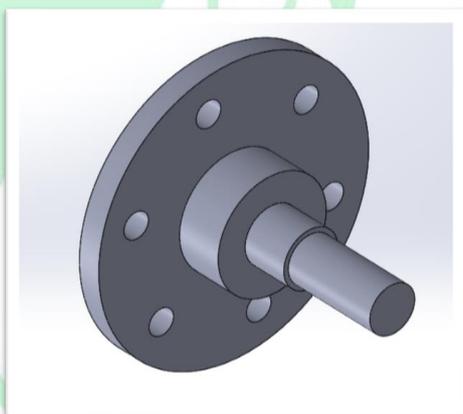


图 2-18 联轴器轴测图（改进前）

经过 DFM 分析，我们将零件拆分为两部分，组件一联轴器轴与组件二联轴器端盖。组件一连接在麦克纳姆轮上后与组件二连接，组件二与轴承采用过盈配合，并通过卡簧卡死，保证不会脱落。拆分后组件一的加工难度低，成本在 15~20 元左右；组件二加工难度相对较大，但是是为了保证稳定性，开出平面，防止联轴器打滑，增加传动效率，成本在 30~45 元左右。两者材料均选用 6061-TI 铝合金保证强度。

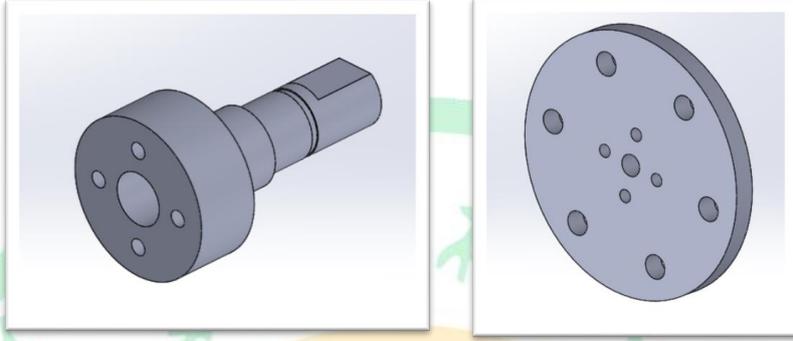


图 2-19 联轴器轴轴测图（改进后）

图 2-20 联轴器端盖侧图（改进后）

3. 程序逻辑

程序逻辑流程图以步兵机器人底盘为例。

批注 [何15]: 电控以及算法方面由于人手、知识水平问题一直是我们的弱点，现在也只是实现了基本的功能，还在摸索阶段，对于一些高深的技术还没有进行探索。相比其他学校，缺少了硬件逻辑图等方面的内容。

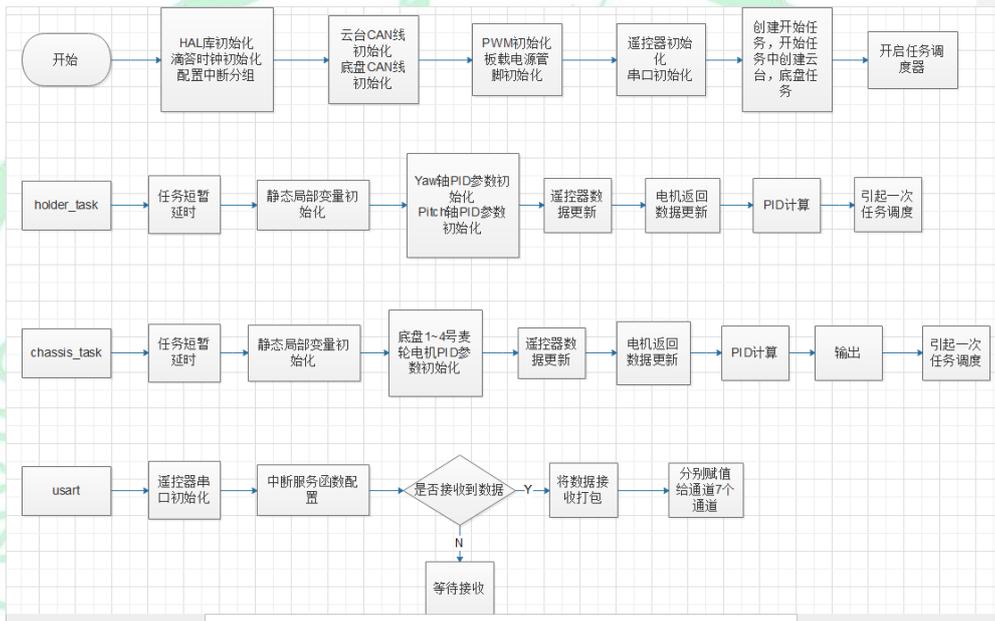


图 3-1 步兵程序逻辑图

4. 科学设计方法

此处列举步兵动力组中联轴器选型计算。（计算可能存在误差）

考虑到比赛时冲撞较大，且具有飞坡需求，工作环境比较恶劣，若采用电机直连麦轮的方案，会对电机的主动轴造成较大损害，造成物资缺失与经济损失。故在动力系统上我们增加了联轴器保护电机。

首先根据可能出现的工作环境判断，主动轴与从动轴之间存在综合位移。

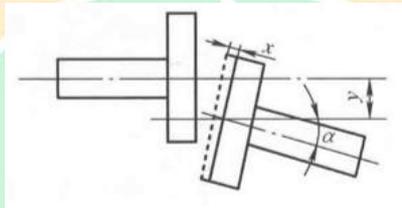


图 4-1 主从动轴工况

根据联轴器具体分类（GB/T12458-2003），见图 4-2，我们选用有弹性元件挠性联轴器。这类联轴器装有弹性元件，既可以补偿来两轴间的相对位移，还具有缓冲减振能力。其中，梅花弹性联轴器结构简单，维护方便，可补偿不大的两轴相对位移，具有减振、缓冲能力，比较适合用于中小功率传动场合。

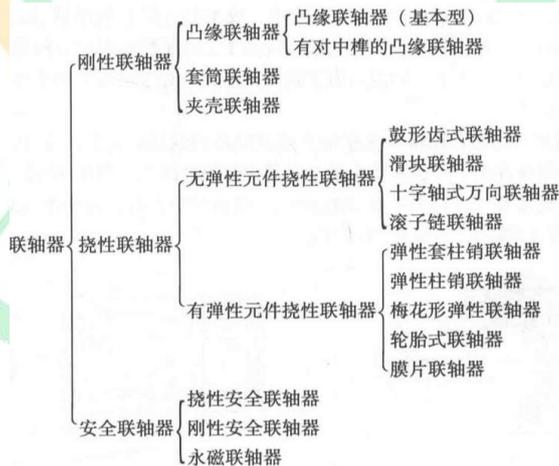


图 4-2 联轴器分类

随后，根据 3508 减速电机相关参数（见下表）进行联轴器选型。

额定电压	24V
空载转速	482rpm
持续最大扭矩	3N·m
3N·M 下最大转速	469rpm
最大功率	230w
输出轴直径	10mm

表 4-1 3508 减速电机相关参数表

翻阅《机械式联轴器选用计算(JB/T 7511-1994)》，联轴器的主参数是公称转矩 T_n ，按照 GB 3931 规定，选用是各转矩间应符合以下要求：

$$T < T_c \leq T_n < T_{max} \quad (1)$$

式中： T -理论转矩（N·m）； T_c -计算转矩（N·m）； T_n -公称转矩（N·m）； T_{max} -最大转矩（N·m）。

理论转矩（主动端）按下式计算：

$$T = 9550 \frac{P_w}{N} \quad (2)$$

得： $T = 4.683N \cdot m$

计算转矩按下式计算：

$$T_c = K_A T \quad (3)$$

式中： K_A -工作情况系数； T -理论转矩。查 4-2 工况系数表可知， K_A 选取分类III、电动机，即 $K_A = 1.9$

分类	工作情况及举例	K_A			
		原 动 机			
		电动机、 汽轮机	四缸及以 上内燃机	双缸内 燃机	单缸内 燃机
I	转矩变化很小，如发电机、小型通风机、小型离心泵	1.3	1.5	1.8	2.2
II	转矩变化小，如透平压缩机、木工机床、运输机	1.5	1.7	2.0	2.4
III	转矩变化中等，如搅拌机、增压泵、有风轮的压缩机、压力机	1.7	1.9	2.2	2.6
IV	载荷变化和冲击载荷中等，如织布机、水泥搅拌机、拖拉机	1.9	2.1	2.4	2.8
V	转矩变化和冲击载荷大，如造纸机、挖掘机、起重机、碎石机	2.3	2.5	2.8	3.2
VI	转矩变化大并具有极强烈冲击载荷，如压延机、无飞轮的活塞泵、中型轧机	3.1	3.3	3.6	4.0

表 4-2 工况系数表

计算得： $T_c = 8.8977N \cdot m$ 此处选用 $T_c = T_n = 8.8977N \cdot m$

接下来计算冲击载荷，根据《机械式联轴器选用计算(JB/T 7511-1994)》的要求， T_{max} 不得小于工作中的冲击转矩 T_s ，即：

$$T_{max} \geq (T_{AS}K_{AJ}K_{AS} + T_{LS}K_{LJ}K_{LS})K_tK_z \quad (4)$$

式中： T_{AS} —主动端冲击转矩， $N \cdot m$ ； T_{LS} —从动端冲击转矩（取 10）， $N \cdot m$ ； K_{AJ} —主动端质量系数； K_{LJ} —从动端质量系数； K_{AS} —主动端冲击系数（取 1.8）； K_{LS} —从动端冲击系数（取 1.8）； K_t —温度系数（取 1.0）； K_z —起动系数（取 1.0）。

根据公式：

$$T_{max} = 2T_n = 17.79N \cdot m$$

$$T_{AS} = 2T = 9.366N \cdot m$$

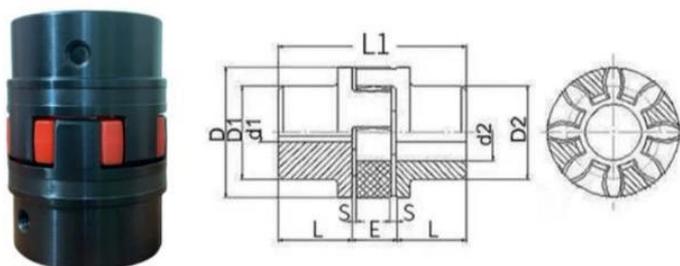
联立公式：

$$\begin{cases} K_{AJ} = \frac{J_L}{(J_A + J_L)} \\ K_{LJ} = \frac{J_L}{(J_A + J_L)} \\ J = \frac{1}{2}mr^2 \end{cases}$$

得，

根据公式（4）得，，因为 $17.79 > 17.433$ ，故 T_{max} 选用 $17.79N \cdot m$

主动轴与从动轴尺寸均为 10mm 根据选型表，我们选用 XL0 型梅花联轴器。



型号	外径 D	小头直径 D1、D2	轴孔加工的范围 (d1、d2)	轴孔长度 (L)	总长 (L1)	E	公称扭矩 (NM)	许用转速 (rpm)	重量 (Kg)
XL0	30	30	8~16	18	50	13	20	19000	0.1
XL1	40	32	8~25	25	66	16	20	19000	0.328
XL2	55	40	10~30	30	78	18	70	14000	0.66
XL3	65	48	10~38	35	90	20	190	11800	1.13
XL4	80	66	12~48	45	114	24	380	9500	2.27
XL5	95	75	15~55	50	126	26	530	8000	3.57
XL6	105	85	15~60	56	140	28	620	7100	4.8
XL7	120	98	20~70	65	160	30	820	6300	7.37
XL8	135	115	22~75	75	185	35	1250	5600	10.89
XL9	160	135	30~90	85	210	40	1950	4750	17.73
XL10	200	160	40~100	100	245	45	4800	3750	29.6

表 4-3 梅花联轴器选型表

5. 创新性

批注 [何16]: 该处得分仅为 4 分, 我觉得是这个地方的创新性不够, 都是一些不痛不痒的改进, 没有自己的特色。同时测试时间花不够多, 问题发现的不够多。

以云台 YAW 轴抖动及强度低的问题为例。

5.1 第一代云台设计

在第一代云台（图 5-1）中，我们使用了 6020 电机，在实际测试过程中，该云台在行驶中存在较为严重的抖动问题。

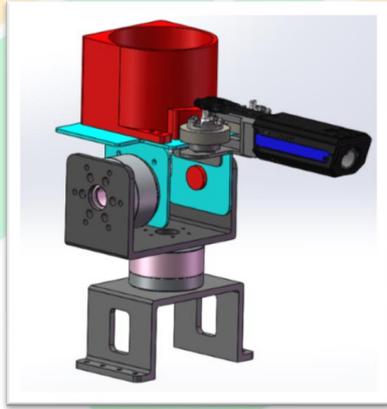


图 5-1 第一代云台轴测图

根据分析，列出以下原因：

1. 6020 电机中的螺纹孔较浅，锁入的螺钉强度不足，如遇较大冲击载荷容易断在螺纹孔内；
2. 支撑件由 3mm 铝板钣金而成，厚度不足且未加肋板，抗弯曲强度不足；
3. 云台整体高度较高，质量分布不合理，导致重心偏高；
4. 固定方式不恰当，导致受力面较小；
5. 麦轮本身行驶中存在抖动。

由于底盘还有飞坡需求，所以该版云台并不能很好的符合需求，故留作摩擦轮测试平台使用。

5.2 第二代云台设计

第二版云台采用了深圳大学的开源方案（感谢），保留了外观设计和拨弹设计，结合我校 6020 电机资源缺乏的实际情况，我们将 6020 更换为了 6623 电机，降低了采购成本以及制造成本。

第二版云台 YAW 轴设计出于中期视频时间考虑，所以只做了简化设计，将主要材料替换为 5mm 玻纤板，使用联轴器直连，经过实地测试，抖动得到很大程度上的缓解，但是这只是一时的缓兵之策，不能解决飞坡断头的问题。

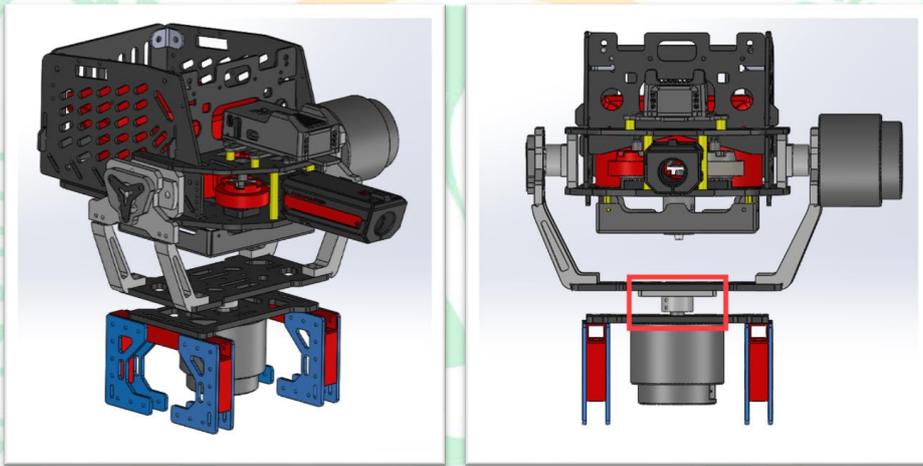


图 5-2 第二代云台轴测图

图 5-3 第二代云台正视图

从图中红框处可以看出，此版云台 YAW 轴设计不够合理。

批注 [17]: 断头问题是否解决了？红框处接触面积小，上部重量大，就算是第三代，头重脚轻的问题依然严重，建议预备一些方案

5.3 第三代云台设计

在通过观看 B 站的视频以及纪录片，我们分析了飞坡断头的原因：

1. 连接处接触面积不够大，导致受力集中
2. 底盘缓震性能不好，不能吸收主要的冲击
3. 云台过高使得整车中心偏高。

其中第二点为底盘方面的改进，在此处不做过多介绍。

故第三版云台中使用了桌面轴承，通过增大连接处的接触面积来加强 YAW 轴的强度，

降低冲击对电机轴的伤害。

使用 **120mm** 桌面轴承和长螺母，将桌面轴承外圈固定于底盘，内圈固定于云台，通过长螺母进行连接，改进玻纤板形状，使得冲击能够合理分布于整块玻纤板上，也为后期进化小陀螺留下了改进空间，但同时在也一定程度上增加了云台的重量。

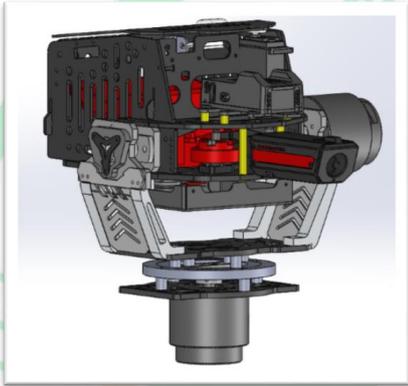


图 5-4 第二代云台轴测图

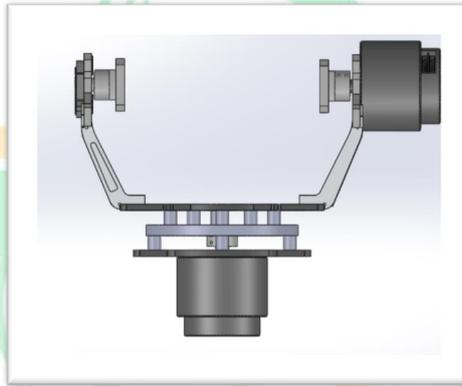


图 5-5 第二代云台轴测图

6. 成本控制

批注 [何18]: 该环节我们一直做得很不好。下学期要多向其他学校学习一下。

6.1 玻纤板

在一些非主要结构的地方，我们降低了玻纤板的厚度、替换为其他轻质材料，达到了减重和控制成本的作用。

6.2 云台支架

原本云台支架为专门设计的机加工件，后来一名队员提出用方管和玻纤板连接件进行代替，经过测试，该方案结构强度符合要求，同时采用了通用玻纤板连接件，降低了设计难度与制作成本。

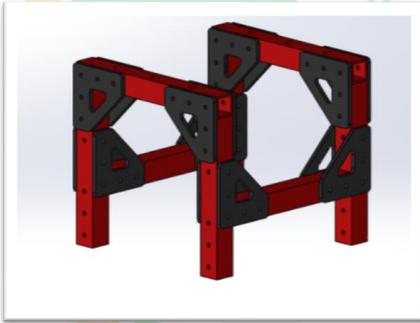


图 6-1 云台支架轴测图



图 6-2 云台支架工作图

6.3 Demo 环节

在进行一些结构测试是，我们利用手头上的打印机资源，利用 3D 打印来进行结构性验证。图为测试底盘的避震连接件的合适尺寸及枪管测试。

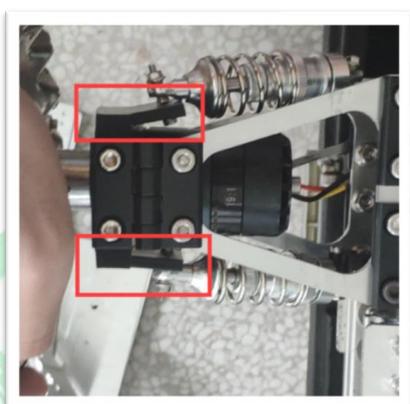


图 6-1 底盘的避震连接件小样



图 6-2 枪管小样

6.4 采购环节

在采购环节中，我们发现例如螺丝螺母，工具等物品在 1688 的价格会远低于淘宝，且均可以开发票进行报销。针对一些机加工件，我们将全部兵种的零件一齐发给加工商加工，节省了整体的开支，减少了时间的浪费。

7. 工业设计

7.1 工业设计

外观的设计强调科技感与速度感，所以我们认为设计应当线条明朗、尽量紧凑，合理利用车子的空余空间。配色上以黑色为主色，白色作为辅助搭配，避免了千篇一律的黑，从而增强对比度，提高战车的可观赏性，同时今后打算使用 J20 同款割裂迷彩增加视觉效果。

下面以步兵车的车壳为例（由于其他车壳暂未设计完），设计上使用了不同的倾角，一方面是为了使整车更加紧凑，另一方面也是为了增强速度感与科技感。为了避免单调和审美疲劳，我们在一些面积较大的覆盖面上，增添了一些特色图案。

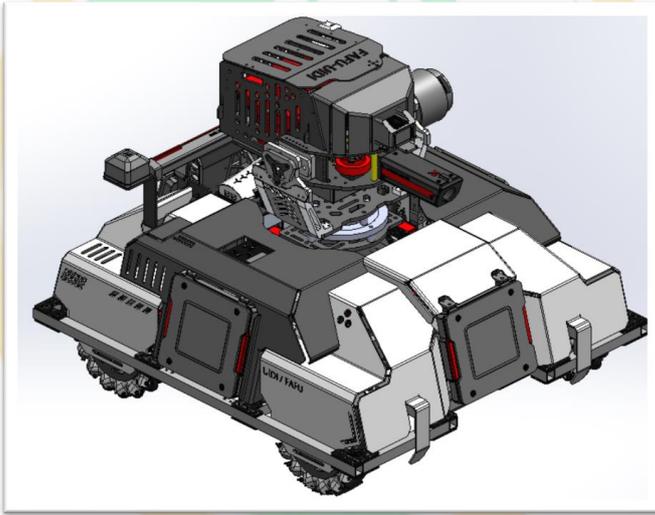


图 7-1 步兵外观设计

外壳由厚度为 2mm 的 PC 板采用热折弯工艺制造，由于 PC 板具有重量轻、抗冲击能力强等特点，故选择其作为外壳材料；PC 板外壳表面将会贴上碳纤贴纸作为保护，增强抗击打能力，提高使用寿命；内衬由黑色 EVA 材料通过切割制造，EVA 具有价格便宜、便于加工、具有一定的吸震能力的特点，故选用其作为内衬材料。

7.2 人机工程

以步兵车的运输为例，整车重量大致在 **18KG-22KG** 左右，重量较重，搬运过程会严重消耗队员体力。针对不同的情况，我们将搬运情形进行分类为：**1. 日常搬运 2. 赛时搬运。**

7.2.1 步兵车的日常搬运

日常搬运较为频繁，且存在距离较远等问题，一般为楼梯、实验室、广场等地。在短距离的平地（如实验室），我们做了一条长 **1.5m** 的双头牵引绳（由于没牌子，就举个类似），利用车身避震梁的加长螺母（图），通过挂钩勾住进行拖拉，提高了趣味性，节省了队员的体力和一些不必要的电源消耗。



图 7-2 牵引绳

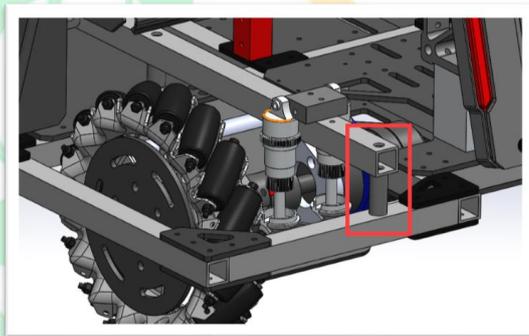


图 7-3 牵引位置

对于一些台阶地段，车子总共八处地方可供手提，见图 7-4、7-5。

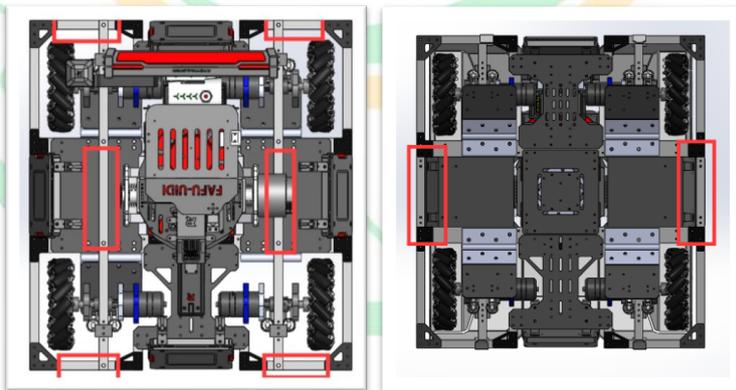


图 7-4 步兵俯视图

图 7-5 步兵仰视图

7.2.2 赛时搬运

赛时搬运由于整车具有外壳，且只有一人搬运，所以可利用方管的空隙，采用怀抱式进行搬运。

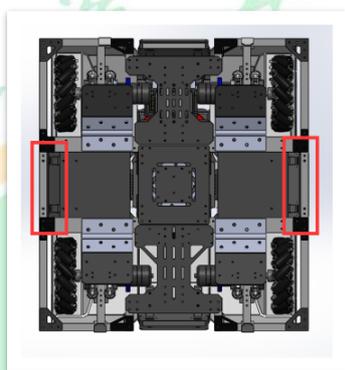


图 7-5 步兵仰视图

8. 感受与总结

经过这段时间的备赛，我们更加直观地感受到自己在设计和生产工艺相关知识的欠缺，也有幸能够在备赛的过程中逐步摸索，解锁新技能。尽管队内的进度一直被中期形态视频按在地上摩擦，导致部分结构设计仓促，缺少理论上的强度刚度校核，凭着感觉做设计（尽管大多情况测试的时候检验没毛病），在某些程度上也增加了一定的成本。

在搭建机器人的过程中，我们也意识到测试数据记录的重要性，记录下的数据将会是我们进行迭代的支撑，为后续的测试结果分析和进一步优化检查提供帮助，这也是我们需要补上的一块短板。

资料的查找能力和经验的交流在备赛过程中必不可少。由于经验的不足，一些地方的结构设计指导和零部件的选型，其他学校的方案为我们提供了思路，这让我们少走了许多弯路。我们也十分感谢直接或间接为我们提供过帮助的队伍（福建工程学院、福建师范大学、闽江学院、集美大学诚毅学院、深圳大学、上海交通大学、西北农林科技大学等）！



第一次全家福

可能我们学校技术方面比不过其他学校，但是论热情，我们绝不会输给他们！愿比赛场上见！

