

V1.0

Using a 32-bit motor driver chip and Field-Effect Transistors (FETs), the RoboMaster C60 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.

Exclusively designed for the RoboMaster M6000, this Brushless DC Motor Starter and C60 Brushless DC Motor Speed Controller, this M6000 Assembly Kit includes several wheels and a terminal block.

RoboMaster System Specification Manual, RoboMaster User Manual, Introduction of RoboMaster Modules

The M6000 Assembly Kit includes several wheels and a terminal block, catering to specific competition scenarios for the RoboMaster M6000.



第二十一届全国大学生机器人大赛 ROBOMASTER 2022 高校单项赛

河南科技大学

鼎行·双创战队赛季规划

目录

1. 规则技术点分析	3
1.1 机器人规格调整	3
1.1.1 尺寸变化.....	3
1.1.2 夹取机构调整.....	3
1.2 赛场规则调整	4
1.2.1 地图调整.....	4
1.2.2 资源岛矿石调整.....	5
1.2.3 地面采矿点.....	6
1.2.4 兑换要求调整.....	6
1.3 规则注意事项	6
1.4 重要技术点分析	7
2. 技术方案分析	7
2.1 机械结构方案设计	7
2.1.1 抓取机构.....	9
2.1.2 转向机构.....	13
2.1.3 升降机构.....	14
2.2 硬件方案设计	16
2.2.1 硬件整体框图.....	18
2.2.2 单板硬件说明.....	19
2.2.3 重要传感器选型说明.....	20
2.3 软件方案设计	20
2.3.1 软件系统架构.....	20
2.3.2 通信链路设计.....	28
2.3.3 系统功能复杂度分析.....	31
2.4 算法方案设计	34
2.4.1 PID 控制器	34
2.4.2 卡尔曼滤波器.....	39

2.4.3 搭建算法测试环境.....	43
2.5 测试方案设计	45
2.5.1 测试方法.....	45
2.5.2 测试计划.....	46
3. 项目进度计划.....	47
4. 赛季人力安排.....	49
5. 团队建设思路.....	50
5.1 团队梯队建设计划	50
5.1.1 招募队员方向及要求.....	50
5.1.2 队员发展制度.....	51
5.2 团队文化建设计划	52
5.2.1 团队氛围建设.....	52
5.2.2 队伍传承.....	52
5.2.3 人员考核制度.....	53
6. 预算分析.....	53
6.1 预算估计	53
6.2 资金筹措计划	56
7. 技术方案分析参考文献.....	57

1. 规则技术点分析

1.1 机器人规格调整

1.1.1 尺寸变化

工程车的初始尺寸不变，仍为 600*600*600。最大伸展尺寸放宽到 1200*1200*1000，这对结构的伸缩性提出了更高的要求，工程车可以更好的展开。对于单项赛需要注意的是，矿石抓取机构向前伸出时，超出机体部分尺寸不得超过 400mm 且不得超过资源岛中线，也就是总体伸展增加，但夹取机构的伸展不能增加。

1.1.2 夹取机构调整

表 1-1 对部分规则的解读

规则手册： 矿石抓取机构	1. “矿石抓取机构”特指工程机器人可从资源岛以及小资源岛上抓取矿石的唯一机构，每台工程机器人最多只能安装一个矿石抓取机构
	2. 一次只能抓取一个矿石，不可使用粘黏性材料
	3. 在使用一个矿石抓取机构的情况下，允许机器人采用流水线的形式抓取矿石
	4. 其他抓取机构或者机械爪（如用于搬运障碍块的机构）的安装数量不受限制
	5. 当矿石离开资源岛（即与资源岛凹槽不接触），例如掉落在地面，允许任何抓取机构接触该矿石，不限制一定使用“矿石抓取机构”
	6. 矿石抓取机构向前伸出时，超出机体部分尺寸不得超过 400mm，且不得超过资源岛中线
解	可以采用另一个机构夹取地面的矿石，会更加简单稳定。

读		
官方规则答疑	如果说地面采矿点的矿石不能再使用一个矿石抓取机构的话，能否将其用工程车将其脱离采矿区在其他地区后使用第二个抓取机构进行抓取。	地面采矿点的矿石允许再使用一个矿石抓取机构
	制作规范手册第二十页上面说只能有一个抓取机构，但又说当工程机器人离开资源岛之后，当矿石掉落，可以使用任意抓取机构进行拾取，那么能否对于地面采矿点的那块矿石单独设立一个抓取机构，或者是地面采矿点就是小资源岛，资源岛和小资源岛只能有一个抓取机构？	允许。“矿石抓取机构”特指工程机器人可从资源岛以及小资源岛上抓取矿石的唯一机构，每台工程机器人最多只能安装一个矿石抓取机构。从地面获取弹药箱的抓取机构不属于矿石抓取机构
	若机械结构上存在一机械臂专用于兑换矿石，该机械臂是否会被认定为矿石抓取结构	允许。“矿石抓取机构”特指工程机器人可从资源岛以及小资源岛上抓取矿石的唯一机构，每台工程机器人最多只能安装一个矿石抓取机构。但是必须保证此抓取机构没有从资源岛获取弹药箱的可能性。
解读	这个规则答疑变化提供了新思路，爪子可以是两个、三个甚至更多。兑换可以不用受伸长 400mm 的尺寸限制，有了更多的发挥空间。	

1.2 赛场规则调整

1.2.1 地图调整

对于工程单项赛来说，地图的整体变化不大，增加了一个矿石兑换点。

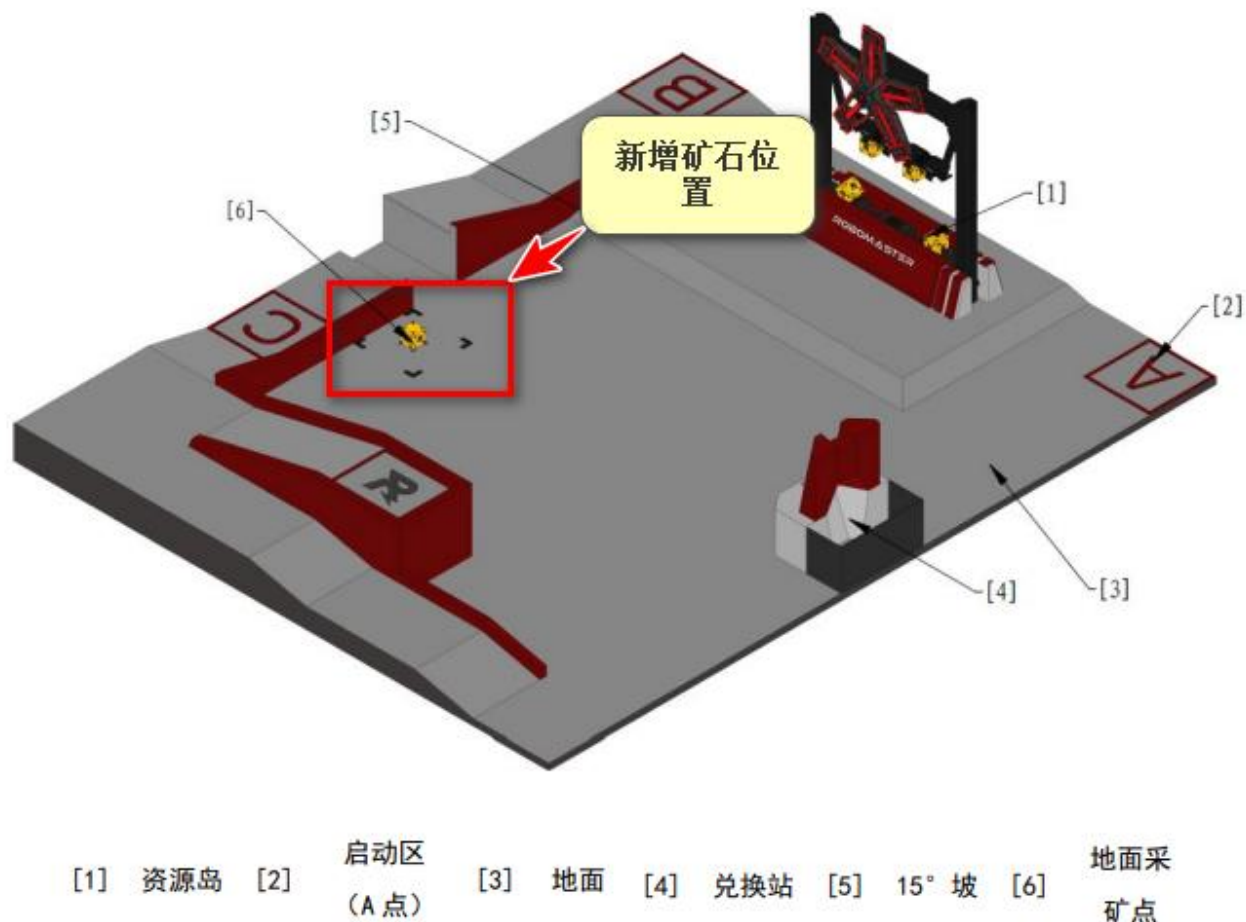


图 1-1 工程采矿场地轴测图

1.2.2 资源岛矿石调整

表 1-2 规则解读

	最新规则	解读
掉落顺序	2 号和 4 号机械爪内各放置一个矿石，1 号和 5 号矿石置于资源岛凹槽内，比赛开始 10 秒后，机械爪开始随机逐个释放 2 号和 4 号矿石，每次间隔 5 秒。	只有两个掉落，两个矿石直接放置好。
掉落结果调整	1, 矿石下落后，矿石的姿态可能会与下落前不一致，含有条形码图案的一面有一定概率不朝下。 2, 2 号和 4 号矿石凹槽较深。	之前掉落条形码必然朝下，现在要求工程车有调整矿石姿态的能力；二号四号矿槽加深导致不能平行抓取，爪子必须伸入矿槽。

矿石姿态	一个倾斜 37 度和一个倒置矿石	要求抓取机构能适应不同情况，工程车能对矿石进行旋转
------	------------------	---------------------------

1.2.3 地面采矿点

地面矿石需要夹取，考虑另一个夹取机构，或者夹取高度能到达地面。

1.2.4 兑换要求调整

工程机器人将其携带的矿石按照正确的方向（条形码朝下）放置在己方兑换站的矿石识别区，随后将其推入兑换站，可完成矿石兑换。

要实现矿石兑换，必须完成以下两个步骤：

(1) 矿石识别区的场地交互模块检测到矿石内的场地交互模块卡（每个矿石内的场地交互模块卡具有唯一 ID，用于裁判系统辨识）

(2) 在场地交互模块结束检测后，机器人在 3 秒内将此矿石推入兑换站收集槽，触发光电传感器（空闲状态为高，下降沿触发），从而完成矿石兑换

规则强制要求条形码朝下，不然无法完成兑换，结合前面的情况，矿石姿态调整装置不可或缺。

1.3 规则注意事项

表 1-3 各项规则注意点

规则	注意点
计分规则	首先保证完成夹取任务，其次是时间，最后是重量，若队伍总分相同，则机器人重量较轻者排名靠前
气动要求	气瓶合格证保存，压力调节合适，固定牢靠，适当的保护装置。
显示和灯光	不能一直补光，显示屏最大 7 寸
主控模块	预留安装位置

装甲模块	装甲模块可以临时遮挡，注意最大尺寸。
	高度要求

1.4 重要技术点分析

表 1-4 技术重难点分析

技术难点/存在问题	电控	机械
夹取倾斜矿石和槽内矿石	精准控制电机旋转角度	重新设计抓取机构
矿石姿态调整	驱动机构协作，识别矿石姿态	设计姿态调整机构
兑换不顺畅可能会卡住	精准控制电机旋转角度，电机之间良好的配合	工程车结构改进，增加可调范围等
识别矿石位置	增加传感器	合理设计预留位置

2. 技术方案分析

2.1 机械结构方案设计

表 2-1 机械结构设计思路

机构	需求分析	设计思路
夹爪伸出机构	稳定夹取矿石，并且由于比赛规则的更改，还可以夹取凹槽内部的矿石，空接矿石并且可以实现矿石的平稳着陆，设计符合机械设计规范。	单侧面外加弧度设计，可以让机械爪无障碍的伸到，资源岛内部
底盘	要求对控制器的安装便利，可变性较高，于轮轴之间保持较大的轮距。	一改往年的整块状结构，区域式的划分，让工程车总重减少，且可以更好地利用底部铝管结构的支撑主体。

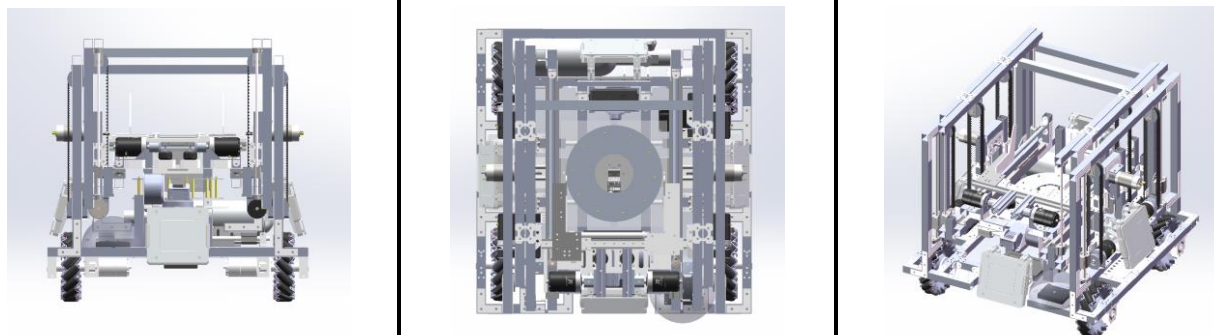
抬升机构	稳定并且迅速，抬升机构的速度对于取矿石的效率来说具有较大的影响能力，稳定性要求较高。	使用带轮——皮带——抬升主体的传动顺序，提高主体的稳定性与速度。
矿石储存调整机构	对矿石的存储量需到达两个及以上数量，调整机构对于矿石的翻转及识别需要达到三百六十度无死角旋转，并且每一个面经过识别系统是都会被识别一次。矿石 200*200*200 的大小设计，要求可被稳定夹取，且底部带有二维码，在兑换矿石时要求位置正确可被识别。	矿石转向机构的设计，巧妙的解决的矿石的转向问题，并且木质托盘上装有二维码识别摄像头，能有效地识别出二维码位置，实现转向。

表 2-2 工程车机械结构参数

机械参数	参数值
重量	21KG
尺寸/mm (长/宽/高)	590/570/580
最大伸展尺寸/mm (长/宽/高)	990*570*990
接近角	40°
离去角	43°
重心相对底盘高度/mm	+130
升降结构	层叠式

图表 2-1 工程车三视图

主视图	俯视图	轴测图
-----	-----	-----



2.1.1 抓取机构

(一) 机械爪的材料及疲劳应力极限分析

机械爪结构其是由低碳钢通过金属切割做成的前爪及前爪挡板两个部分，厚度为两毫米（如图 2.1 所示），考虑到在爪子抓取时会受到非稳定循环应力，其应力随时间作非稳定变化，循环变化中爪所受最大应力 σ_{\max} 为（150），最小应力 σ_{\min} 为（70），循环特性 r 为（2.142857）（ $r=\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ ）。考虑到钢板的最大受力，采用含碳量为 0.25%的低碳钢可满足机械爪的基本需要。

计算机械爪所需抓取力公式为：

$$F_n = m_1 g \div u_1 = 1.95 \times 9.8 / 0.5 N = 38.22 N$$

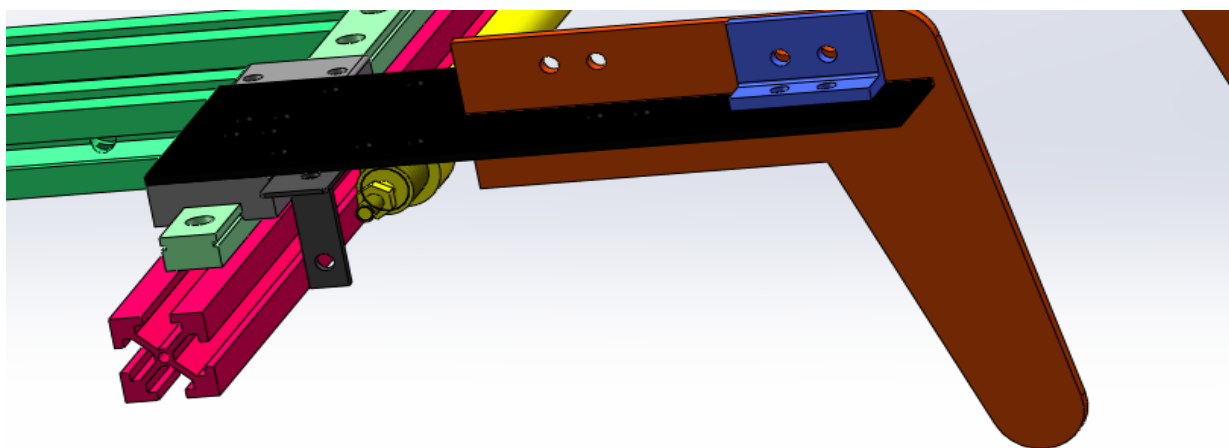


图 2-1 机械爪部分结构图

在变应力作用下,机械零件的主要失效形式是疲劳断裂。为了避免使用气泵传动时给机械爪施加的横向的力过大超过机械爪应力极限导致接触面断裂，我们所采用的低碳钢含碳量为 0.25%，经过大约估算该 0.25% 含碳量的钢板最大屈服极限为 207MPa 可满足所需,屈服强

度是金属材料发生屈服现象时的屈服极限，也就是抵抗微量塑性变形的应力。对于无明显屈服现象出现的金属材料，规定以产生 0.2% 残余变形的应力值作为其屈服极限，称为条件屈服极限或屈服强度。大于屈服强度的外力作用，将会使零件永久失效，无法恢复。如低碳钢的屈服极限为 207MPa，当大于此极限的外力作用之下，零件将会产生永久变形，小于这个的，零件还会恢复原来的样子。如图 2.1 所示，机械爪顶端设计成曲线加圆角并且增加了整体的长度，使其能更好的伸入矿石存储格里，在材料应力极限允许的情况下尽可能的使抓取更加牢固。

(二) 机械爪气动执行装置

2(默认-)
节应力 应力1

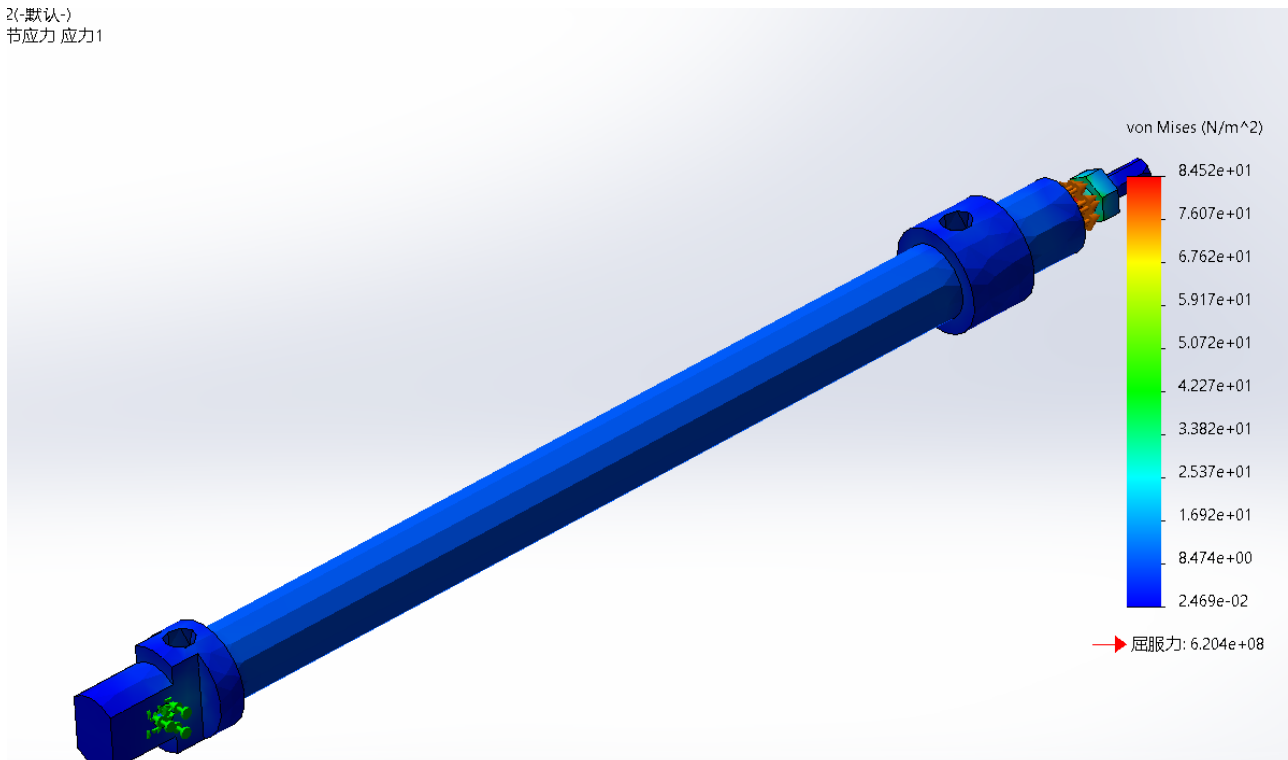
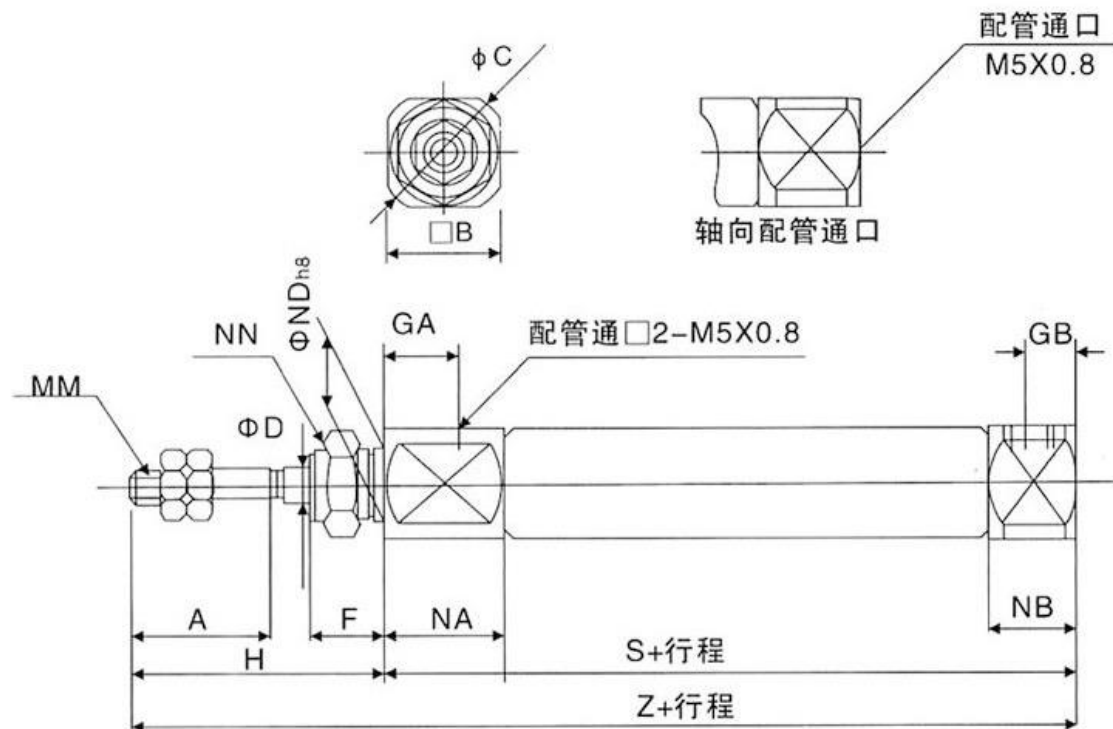


图 2-2 机械爪气动执行装置

该车所用气缸型号为 M16X100SCA，其内最大气压为 20MPa，最大伸出长度约大概 37 厘米，满足夹取矿石所需的 20~30 厘米余量所需。气缸和机械爪的连接需要相应的钣金连接，需要相应的中碳钢钣金进行连接。

由于夹爪夹紧的动作是靠气缸活塞杆收缩动作实现的，取安全系数为 $K=1.35$ ，因此气缸的拉力为：

$$F = F_n * K = 38.22 \times 1.35N = 51.97N$$



缸径mm	A	B	C	D	F	GA	GB	H	MM
6	15	12	14	3	8	14.5	-	28	M3X0.5
10	15	12	14	4	8	8	5	28	M4X0.7
16	15	18.3	20	5	8	8	5	28	M5X0.8

缸径mm	NA	NB	Hdh8	NN	S	T	Z
6	16	7	6	M6X1.0	49	3	77
10	12.5	9.5	8	M8X1.0	46	-	74
16	12.5	9.5	10	M10X1.0	47	-	75

图 2-3 各型号气缸动力参数

由于已经知道气缸的总气压故可求气缸的有效长度：

$$\Delta S = F \div P \div (\pi r^2) \approx 65.6\text{mm}$$

由气缸理论输出力表，根据气缸有杆腔长度 $\Delta L=65.5\text{mm}^2$ ，气缸拉力 $F=51.97\text{N}$ ，我们由此得知应选择缸径 D 为 20mm ，活塞杆直径 d 为 5mm ，行程大于 65.6mm 的气缸，符合设计需求。

(三) 机械爪滑轨，滑块

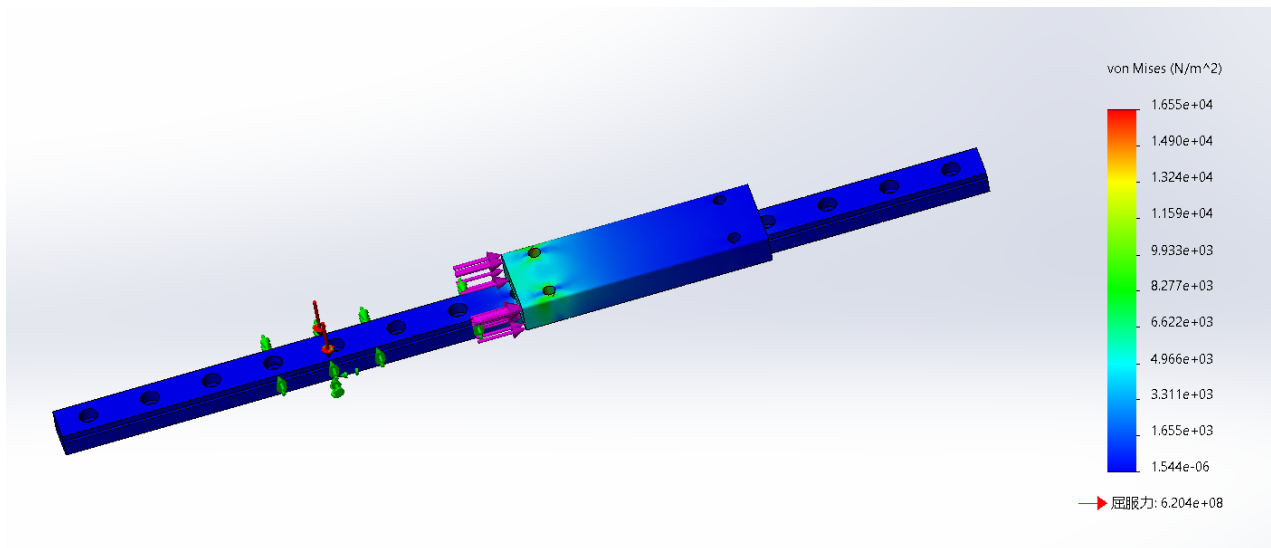


图 2-4 机械爪末端滑轨滑块

直线导轨,用来支撑和引导运动部件。直线导轨的移动元件和固定元件之间不用中间介质, 而用滚动钢球, 为了防止由于安装时有不可避免的人为误差及系统误差导致的精度差异, 从而使滑轨两侧的横向受力不均匀, 出现滑块脱轨或滑块卡槽等现象, 使用重载轻型滑轨一方面可以减少总体总量另一方面可以让滑轨受力得到满足。由于轻载滑轨的钢珠由于受力过大及安装手法不正确, 会导致钢珠掉落影响比赛过程中夹取机构的进行, 最终决定采用具有良好的传动性能及安装便携性的工业级的重载滑轨——滑块。其前伸的动力由气缸加鱼眼轴承提供, 该结构对左右滑轨的安装要求极高, 如果左右安装不平行, 则当气缸工作时会对滑轨造成周期性挤压, 这对滑轨与滑块的材料较高, 该挤压力 F_s 经计算大概为:

$$F_p \cdot \sin\theta = F_s \quad (\theta \text{ 暂设为 } 3^\circ, F_p \text{ 为所用气缸提供的推力})$$

$$F_s = 20\text{Mpa} * 2.5^2 * 10^{-6} \sin 3^\circ = 6.542\text{N}$$

该部分使用的工业级滑轨最大受力 F_{\max} 为 98N。

(四) 机械爪升降结构

机械爪的升降结构采用的是光杆——直线轴承传动的方式, 同时使用大小升降结构, 大升降模块使用皮带——齿轮的传动方式, 使其可以稳定、迅速的上升, 同时为了避免当机械爪前伸导致工程车车体产生因为重心偏移导致的车体前倾, 位于底部的气瓶安放于车体最后方位置及转向模块的结构基本位于中心位置, 保证了重心的偏移位于一个极小的范围内。

备选方案:

- a) 设计一套联动装置, 当爪子前伸时, 相应的会有等重量的块和爪子一起被动后移减

少其产生的系统惯力，从而保证其重心的位置只产生微小的变化。

- b) 更改轮组数量，增加前轮前的一个带有较好减震效果的小轮组，并使其安装位置稍微靠前，使机械爪伸出时所带来的新增力矩尽可能减小。

2.1.2 转向机构

转向机构是由 3508 电机、二维码识别摄像头、木质托底、滑轨、滑块等机构组合而成，下面是对于各个小机构的介绍与具体数据展示：

(一) 3508 电机，GM6020 转向电机

3508 电机主要用于控制矿石在工程车内部的方位调整，并且电机下方配有相应的滑动导轨使电机和矿石的接触更加稳定，由于接触时会产生较大的纵向力：

经计算后得该纵向力 $F_n=23.5\text{ N}$ ，其对于铝管连接处的直角连接产生的应力不足以让铝管产生变形，通过使用 solidworks 分析结果如图所示，GM6020 电机主要用于矿石的水平转向，并且上面携带有相应的二维码识别模块，当矿石工程处内部时会对其进行识别然后对下一步矿石的位置进行调整。

关于木质托板及矿石摩擦问题为了防止在工程车转向时出现矿石脱落的现象，但同时又要满足矿石对于转向的空间要求，对木质托板的摩擦因数进行估计：

经计算： $F_{n\max}=1.372\text{ N}$

所以对应的： $\mu=0.7$

当工程车转向运动时，会产生最大约 1.372N 左右的向心力，因此需要让木质托板上的摩擦因数最小为 0.7，才能满足我们所需，当然仅靠木质底板的防滑还是容易出现意外的，因此添加相应的限位结构，在完成矿石转向调节之后，负责竖直翻转的电机就会贴上矿石进行进一步的限位，当矿石被兑换时电机会自动解开限位。

(二) 位于转向机构下的气缸——导轨机构

为了尽量减少工程车自重，导轨采用气缸驱动，因此对于导轨的承力要求较高，采用的是和机械爪一样的重载轻型滑轨——滑块，经过相应的有限元分析得出其承力的示意图，可以看到其受力基本均匀，并且滑轨——滑块模块并没有发生侧移或者形变，由于当气缸带动滑块进行运动时，受力的主要区域为铝管连接的 T 型部分，该部分的有限元分析上述已列出。

以下是受力的基本分析后得到的滑块所受气泵推力与导轨相对滑动产生力的计算结果：

$$F_{N1}=20*10^{-6}*2.5*10^{-3}*2.5*10^{-3}*3.14*2/13=65.42N$$

我们采用的轻质重载滑轨可承受力为 100N，但是铝材的可承受强度为 80~100Mpa，因此我们采用的是铝块受力面积 S 受力较大，气泵输出力 F_p 有效面积较小，由公式 $F_1*S_1=F_2*S_2$ 可以得到知道，要尽可能的减小 F_2 的大小。

如果在后续的调车中铝管连接处出现多次撞击导致开裂等状况，将会更改铝管处使用的材料为“米字形”管材，该种管材的受力相对于铝方管来说承力性能更好，但是重量较重，所以作为第二选择。

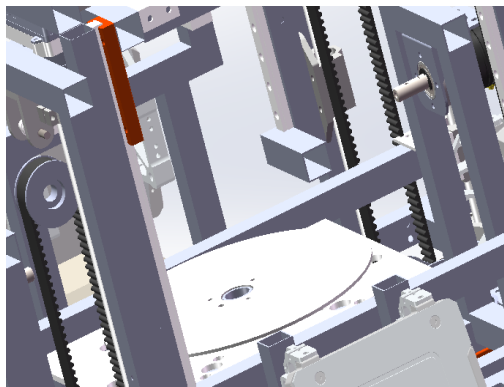


图 2-5 矿石调整机构

对于矿石的位置调整设计为底部一个圆形转盘（负责水平位置上矿石的转向），上方设有一对对应的电机由底部的滑轨和气缸控制，来对于矿石进行竖直方位的调整，上下配合完成矿石的全方位转向控制。

对于转向机构的设计，目前是利用矿石与木质地板间的相对弹性形变来实现矿石竖直方向上的调位。水平间的转向是利用矿石与木质地板间的摩擦来实现（具体分析上面已经给出）。

备选方案：通过给矿石的水平转向模块加配一套升降模块，使矿石可以被水平转向模块上下搬运，并将竖直模块调高，使其可以在空中对矿石进行调整。

2.1.3 升降机构

（一） 大体设计原理及分析比对

①结构分支：升降模块最终选取的是双层叠加的架构，该结构大体分为两个部分。第一部分：与底盘固结的四根铝管以及控制运动的四个电机和皮带；第二部分：与以上提到的四根铝管固结上的另外四根铝管以及两个电机。

②运动原理：在第一部分电机的带动下，第一部分的四根铝管可以带着第二部分在竖直方向做上下移动，此时第二部分上电机不转动，第二部分相对于第一部分静止。而当第二部分到达指定位置时，让第一部分电机停转，启动第二部分的电机，这时就可以使得第二部分在第一部分的高度上，做指定运动，并且由于高度的提升，使得第二部分上抓取部分的范围更大。

③原理分析：（a）选择使用四个铝方管为主要框架，首先铝管在底盘的四个角位置，具有稳定性，通过应力公式 $\sigma = W/A$ (kg/mm²)、 $\sigma = (\sigma_b^2 + 4\gamma t^2)^{0.5}$ 等公式合理计算出第一部分与底盘固结处应力约为 1MPa，这个应力下，车每部分受力均衡，不会出现某一部分受力过重产生弯曲变形翻车现象；其次，使用铝材料，是因为铝的硬度适中，且价格适宜，在财政有限情况下是比较恰当的选择。（b）第一部分与第二部分的连接采用电机带动皮带轮带动，因为电机可以在代码程序语言控制下精准到达所需定位并且电机皮带传动的稳定性较强。（c）第一部分和第二部分采用类似于俄罗斯套娃的层层包裹结构，设计最初的想法是借鉴了消防车、吊车的云梯结构。再经过分析应力、受压以及承重分析，运用公式： $M = Pac/L$ 、 $f = M/W$ 的公式计算，验证方案的合理性。

④对比改进：（a）升降模块经历过几次改进与升级。原先的升降系统，需要抓取模块将地面上矿石的抓取起来然后传递到升降系统中，这个过程靠的是抓取的一个抛力，这其中含有很大的不确定因素，抛力角度有一点偏离就会抛歪，从而影响后续识别等一系列工作，并且速度较慢。对比分析之后采取了新想法的双层叠加结构。（b）原先的升降系统，采用的不是电机皮带传动，而且气缸传动。气缸传动较电机传动而言更加快速，但是成本更高，并且控制麻烦、不够平稳精准，所以采用了新想法的电机皮带传动。（c）原先的升降系统的限制，导致抓取部分只能分成两块，抓取的范围不大，成车灵活性不高，相较于此，新想法将高度提升后再进行抓取，活动范围增加，提高了灵活性。

（二） 成车问题的假设与解决方法

表 2-3 问题与解决方案

预设可能出现的问题	分析原因	解决方案
-----------	------	------

带传动打滑现象	a) : 皮带轮所能承受的负荷超过了最大范围; 小带轮直径过小, 所以包角要比大轮小, 接触面积少	增加皮带根数
	b) 皮带使用时间过长, 磨损严重, 包角过小, 接触面积小 c) 皮带上沾有油污或水, 降低了摩擦力, 皮带轮工艺稍差, 自身粗糙度小	及时检查皮带轮状况, 清洗或者更换
铝方管松动问题	d) 车身各部位受到的外力复杂而且分布不均 e) 长时间变应力冲击	使用多对紧固螺钉螺母, 加防松止动垫片。 最后一版车时, 将铝管焊接起来, 最大程度上保证了铝管不会松动, 提高机器人整体组装精度及稳定性。

2.2 硬件方案设计

本赛季硬件部分包含底部电机、云台电机等输出器和核心控制板、传感器等在内所有硬件花销预算 7000 元。本次工程采矿机器人主控芯片选择目前较为流行的、资料丰富的 STM32 系列芯片。ST 表示意法半导体, M 为 Microelectronics 的缩写, 表示微控制器, STM32 代表 ST 品牌 Cortex-Mx 系列内核(ARM)的 32 位微控制器, 根据 ST 公司所提供的常用产品型号及选型手册 (如下)

STM32 & STM8产品型号(仅适用于MCU)



图 2-6 常用产品型号及选型手册

结合以往相关机器人比赛经历，对主芯片有如下备选方案：

表 2-4 主芯片选型方案

型号	参数对比	具体选型
STM32F103 系列	时钟频率 72 MHz，且具有高达 1MB 的 Flash、可以进行电机控制，通讯方式具有串口通讯，SPI,IIC,USB 和 CAN 通讯等多种通讯方式	德飞莱 F103ZET6 核心板，正点原子 C8T6 核心板等淘宝售卖的核心板，或自己绘制 pcb 进行制作
STM32F407 系列	时钟频率 168 MHz CPU/210 DMIPS，高达 1MB 的 Flash，除常规通讯外，还增加了以太网 MAC 和照相机接口	ROBOMASTER 开发板 C 型采用 F407IGHx 芯片，专为机甲大师比赛设计
STM32F427 系列	时钟频率 180 MHz CPU/225 DMIPS，高达 2MB 的双区闪存，带 SDRAM 接口和 Chrom-ART Accelerator，串行音频接口，具有更高的性能和更低的静态功耗	ROBOMASTER 开发板 A 型采用 F427IIHx 芯片，专为机甲大师比赛设计
STM32F429 系列	时钟频率 180 MHz CPU/225 DMIPS，高达 2MB 的双区闪存，带 SDRAM 接口和 Chrom-ART Accelerator，具有 LCD-TFT 控制器	野火 F429 系列核心板等淘宝售卖核心板

2.2.1 硬件整体框图

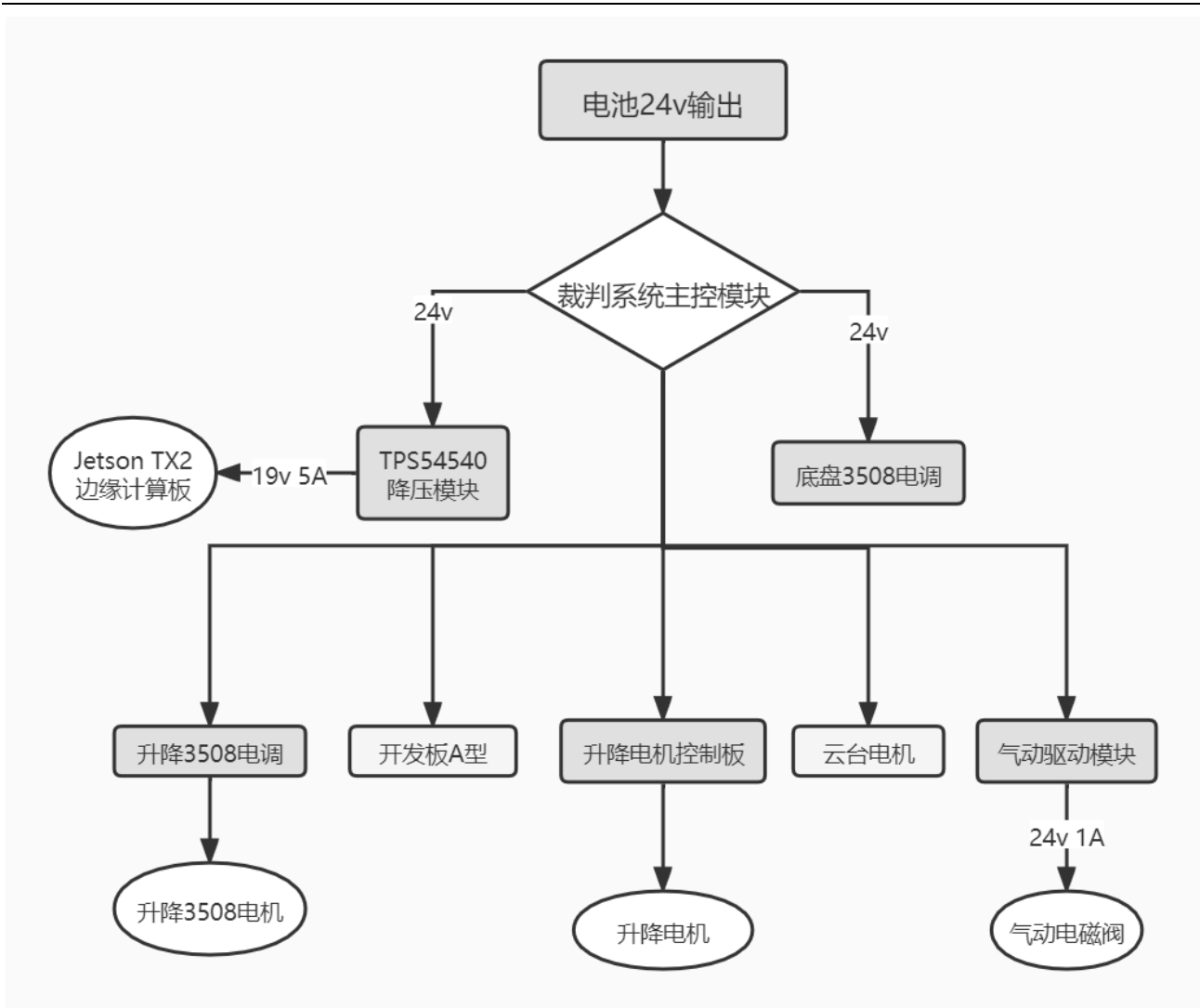


图 2-7 硬件整体框图

2.2.2 单板硬件说明

表 2-5 单板硬件需求分析

单板	设计需求	风险评估
底盘控制器	保证底盘实现各方位随指令运动	中
云台控制器	确保云台精准定位	低
气动驱动器	与主控和气缸相连接，实现通过STM32的IO口控制气缸的目标	低

2.2.3 重要传感器选型说明

表 2-6 传感器选型说明

传感器选型	选型说明
IMU 传感器	使用 ROBOMASTER 开发板 A 型板载 IMU 模块即由 MPU6500 陀螺仪与 IST8310 地磁传感器组成，作为整个机器人姿态信息的输入，其配有加热电阻，减轻 IMU 温漂问题。
图像传感器：	预计用于识别抓取后矿石各个面，从而实现调整矿石至正确姿态的目标。同时通过有线图传模块实现操作手对机器人状态的正确估计。
距离传感器：	预计加入距离传感器如超声波模块、红外模块等实现机器人在资源岛、兑换站等地的准确对位。
条形码/二维码扫描识别模块	模块型号 GM65，用于夹取矿石后正确识别矿石条码面的位置，以便进行下一步对矿石的姿态的调整，此模块与图像传感器模块二选一。

2.3 软件方案设计

2.3.1 软件系统架构

2.3.1.1 需求分析和整体控制

考虑到本次单项赛比赛难度提升，工程车的机械设计相比于去年更为复杂，因此控制方面也增加了难度。

通过对比赛规则的了解可以知道，工程车需要在规定时间内，分别抓取资源岛和地面的矿石，并通过识别二维码和推入兑换站的方式，将其完成兑换。本次比赛的难点在于拾取地面的矿石和调整物块姿态实现二维码的识别，因此我们对工程车的物块抓取系统增加了双层升降机构并且调整了工程车车体内部布局新增了物块姿态调整系统。

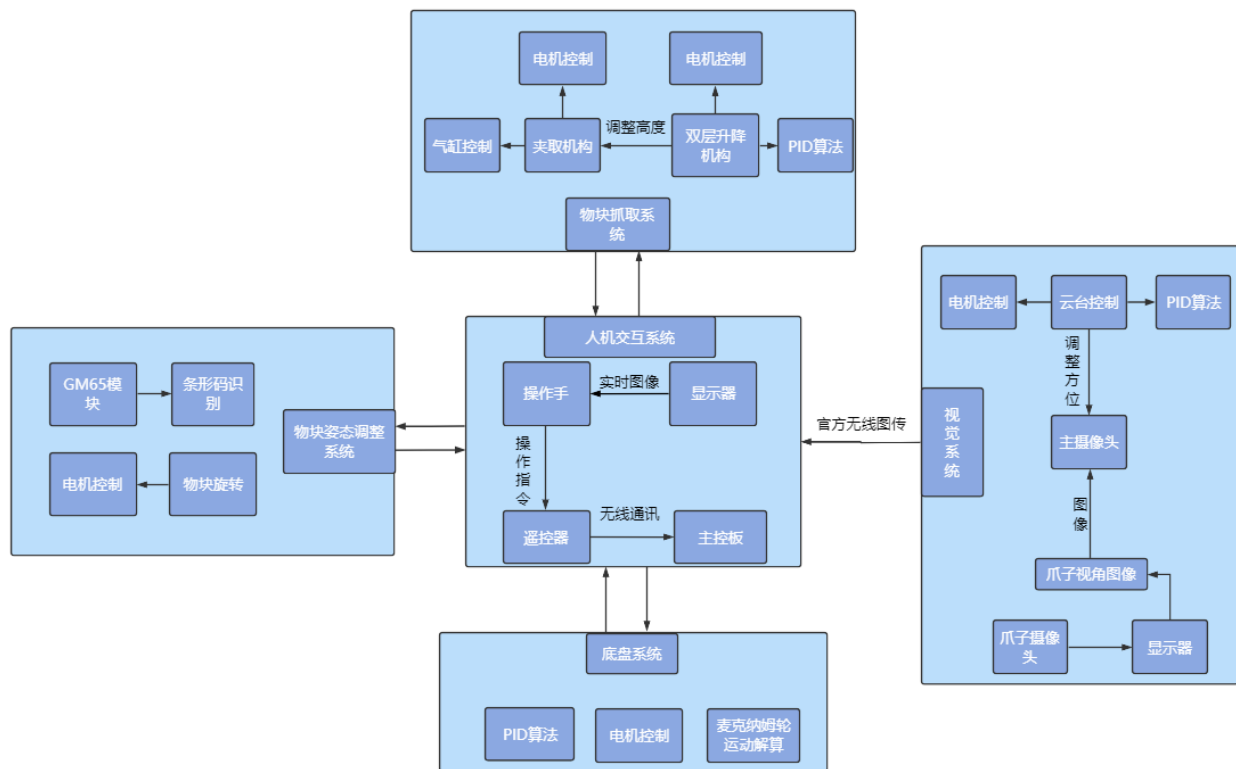


图 2-8 整体控制框图

2.3.1.2 各部分程序框架

(一) 底盘系统程序框架

底盘是车的动力部分，为了使车的运行更加流畅精准，我们对电机的控制采用了速度闭环控制。通过这样的控制可以实现每一个轮子转速的精准控制，并且可以实现在制动时轮子为零转速，从而达到稳定停车。麦克纳姆轮可以实现侧向平移，原地转向等操作，相比于普通轮子具有更好的性能。为了使车子平移，原地转向时更加精准流畅，需要对麦克纳姆进行运动解算。遥控器每过 14ms 发送一次数据，其中的数据包括麦轮转动方向和转动速度，C620 电调会通过 CAN 通道实时返回电机运动状态，通过这两种数据进行速度环 pid 的运算，从而实现底盘电机对遥控的精准响应。

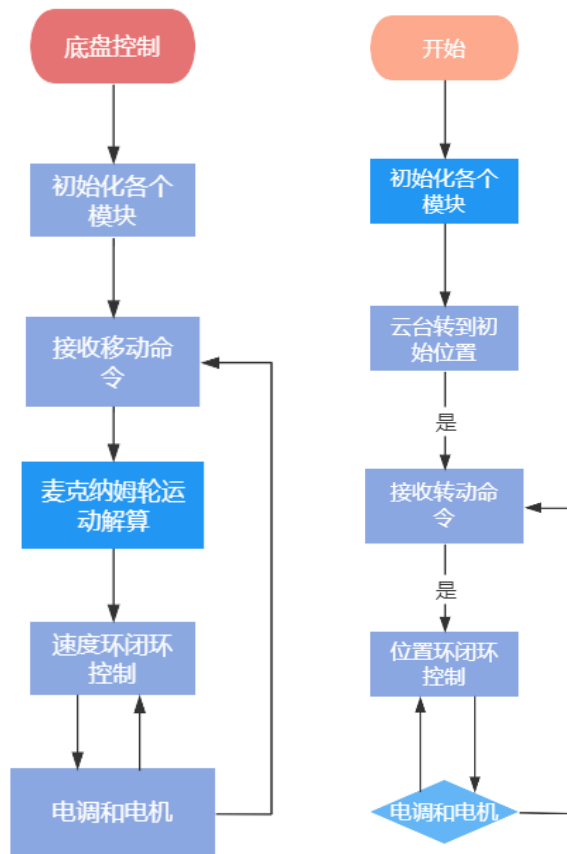


图 2-9 底盘程序流程（左）云台控制程序流程（右）

(二) 云台控制程序框架及流程

为了方便抓取物块和兑换物块，我们在爪子的中间位置增加了摄像头来获取爪子视角的影像，并且将影像传到云台侧边的显示器，通过云台转动使主摄像头识别到显示器内容，从而操作手可以通过爪子视角影像来更好的实现抓取和兑换物块的操作。云台电机使用的是 GM6020 电机,根据我们实际的需要,并且简化控制，云台的调整只需要实现绕 Yaw 轴的转动。程序部分也相对简单，使用位置环闭环控制实现云台 Yaw 轴转动的精准控制，并且在非控制状态时，回到初始位置。

(三) 物块抓取程序框架

物块抓取程序框架分为车体升降和爪子抓取,通过按键选取不同的功能,按下升降对应的按键时可以实现 (1)车体上升到最高高度；(2)车体下降到初始高度；(3)车体下降到最低高度。达到最高高度可以抓取资源岛上的物块,下降到最低高度可以抓取地面上的物块,车体升降时对电机采用速度环+位置环控制。机械爪抓取，按下抓取对应的按键时,一种是正常抓取,

即控制气缸收缩夹住物块，另外一种机械爪翻转，即将爪子翻向车体。通过爪子松开可以实现将物块放入车体内部。

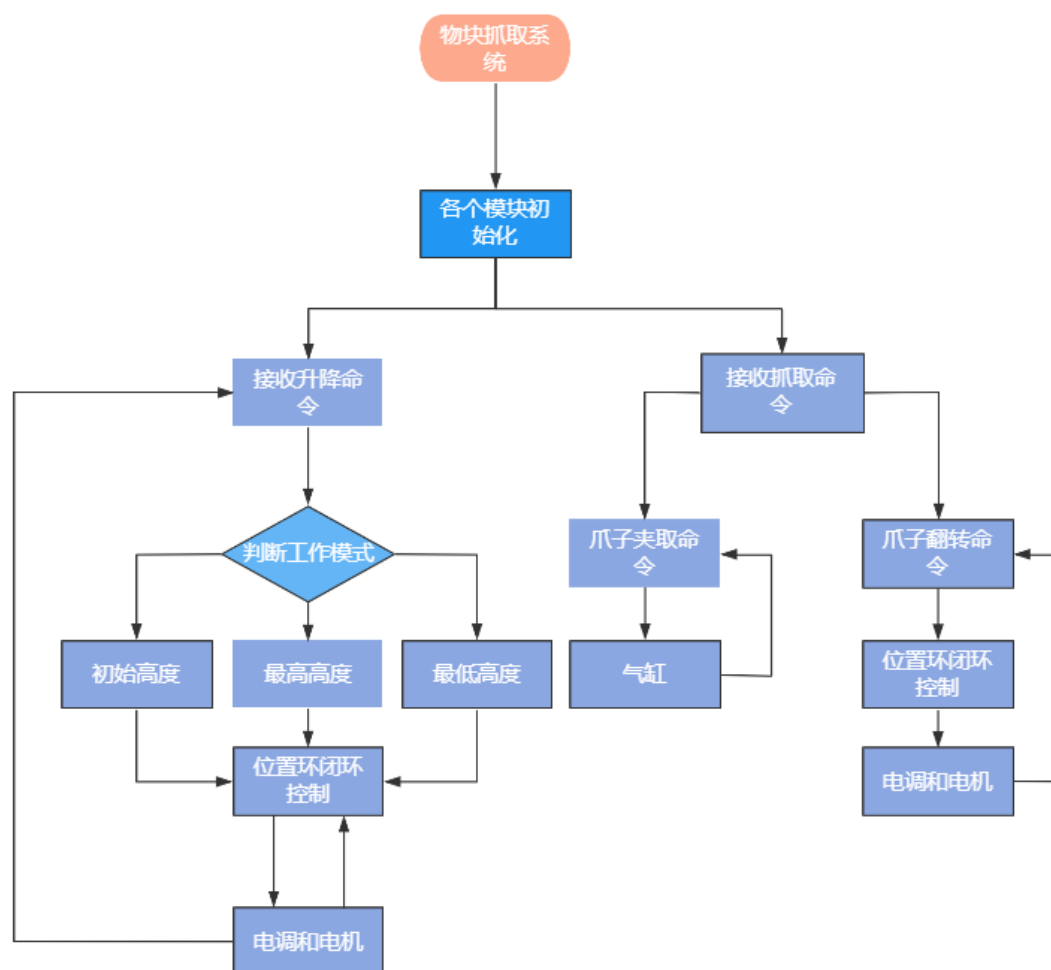


图 2-10 抓取系统流程

(四) 物块姿态调整程序框架

由于抓取时物块的姿态不确定和抓取后可能导致物块姿态的改变，因而导致二维码位置的不确定，且兑换物块时需要二维码朝下才能实现兑换，所以需要改变物块的姿态来使得条形码向上，那么在兑换时当爪子带着物块翻转就可以使爪子将物块以条形码朝下的姿态放置到兑换站。为了实现该功能，我们加入了条形码检测模块，通过条形码识别模块和 X 轴电机 Y 轴电机的配合实现闭环控制，并且通过下面框图的逻辑控制，就可以实现物块姿态的调整。

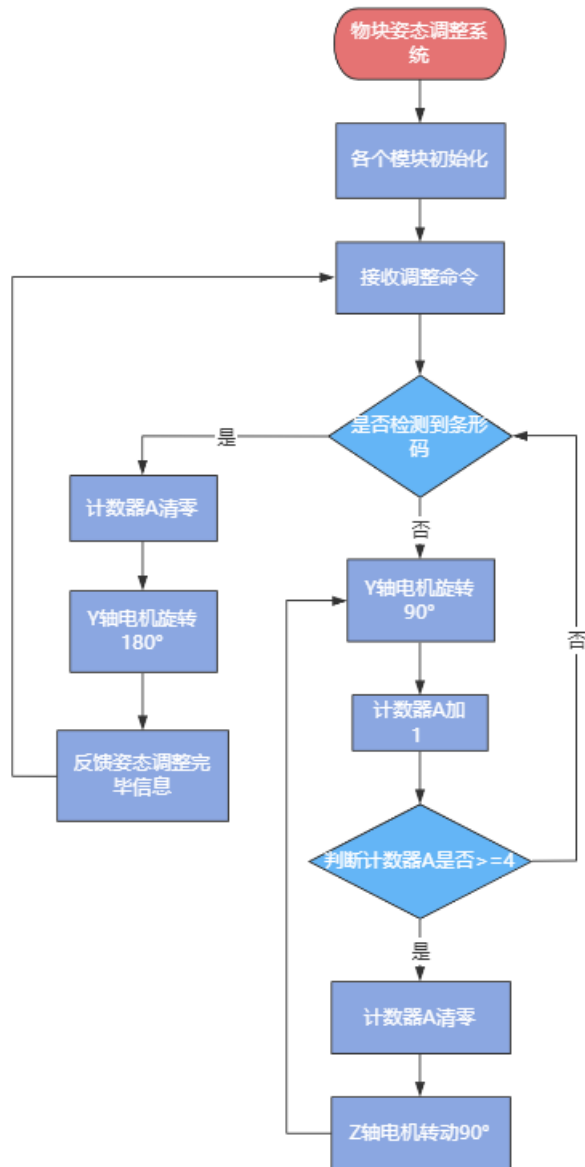


图 2-11 姿态调整流程

2.3.1.3 程序框架的具体实现

(一) 各模块的初始化及配置方法

在控制 M3508 电机部分,我们使用了 CAN 通道的通信方式,传输电机运动状态的参数并且发送给电调控制信号。因为 CAN 通讯总线有最大挂载量,差分信号稳定,且 CAN 通讯具有的高可靠性和良好的错误检测能力,相对于 PWM 控制具有更高的准确性,所以程序框图中几乎所有的电机控制都采用的是 CAN 通讯。

表 2-7 can 通讯的初始化配置方法

顺序	配置流程
----	------

1	初始化 CAN 通讯使用的目标引脚及端口时钟;
2	使能 CAN 外设的时钟;
3	配置 CAN 外设的工作模式、位时序以及波特率;
4	配置筛选器的工作方式;

遥控器对工程车的控制，需要与车上的主控通讯；另外主控需要与二维码识别模块通讯，用来识别物块的姿态，进而对物块进行姿态调整；为了使电机实现精准控制，需要使用到 PID 闭环控制算法，调试 PID 需要将电机数据通过主控板传回上位机，也需要通讯。对于这三个通讯方式我们都选择的串口通讯，因此需要用到三个串口。

表 2-8 串口通讯的初始化配置方法

顺序	配置流程
1	初始化串口通讯使用的目标引脚及端口时钟;
2	使能串口外设的时钟;
3	配置串口工作模式参数，波特率，数据字长;
4	使能串口;

(二) 核心程序部分

软件框架中一个重要组成部分是 Freertos 实时操作系统，相对于裸机系统，freertos 的内核支持抢占式，合作式和时间片调度，支持实时任务和协程，任务与任务间、任务与中断之间可以使用消息队列，二值信号量，递归互斥信号量和数值型信号量进行通信和同步，可以使用软件定时器。具有这些优点的 freertos 能同时执行多个任务，且任务之间互不干扰，满足比赛需求，我们将创建 6 个任务来实现 1.2 程序框架。

表 2-9 各任务程序框架

任务 1	云台调整, 计算出云台预期电压值, 通过 can 通道发送数据, 控制云台的左右转动
任务 2	爪子翻转, 控制电机转动固定角度, 完成爪子翻转任务

任务 3	车体的升降, 检测到升降按键按下时, 控制电机转动固定位置实现位置变化
任务 4	机械臂抓取, 判断抓取按键是否按下, 控制气缸开关, 抓取物块
任务 5	遥控控制车的运动, 通过遥控器的数据设置底盘电机的电压值和旋转方向
任务 6	条形码朝向的调整, 当检测模式开启后, 检测到条形码是直接转动 180°, 未检测到时, 每次转动 90° 并检测

根据不同任务的重要性不同, 为了保证在抓取过程中, 车体不会落下, 导致抓取失败, 所以任务 3 要比其他任务优先级更高。其余任务之间干扰性不强, 各个部分都能实现独立工作, 所以优先级不分先后。

2.3.1.4 遥控控制部分

(一) 关于遥控部分的通讯协议和电平转换

DJI 遥控器使用的为 DBUS 协议, DBUS 是一种进程间通信机制, 支持一对一和多对多的通信, 具有低延迟, 通信效率较高的特点, 协议为二进制形式并且为 RS232 电平, 要将其转化为 TTL, A 型开发板具有反相电路, 将预留出的接收机接口所送进的 232 电平转化为 USRT(即 TTL), 当我们拨动摇杆时, 数据流传入开发板, 通过读取 BUFF 实现不同功能。

(二) 遥控操作逻辑

表 2-10 遥控器功能

摇杆/拨杆/按键	功能
摇杆-左	底盘运动
摇杆-右	云台视觉调整
拨杆	解锁 / 上锁
按键 1	结构高度调整: 最高高度
按键 2	结构高度调整: 初始高度

按键 3	结构高度调整：最低高度
按键 4	物块姿态调整
按键 5	夹取
按键 6	爪子翻转
按键 7	爪子伸缩

(三) 掉线故障处理办法

当在调试过程中我们需要考虑到如果出现底盘失控（遥控器无法控制工程车）的情况，为防止底盘失控后造成危害和损失，我们给主控板定时发送一定数据，当超过一段时间接收不到数据时，自动上锁电机。

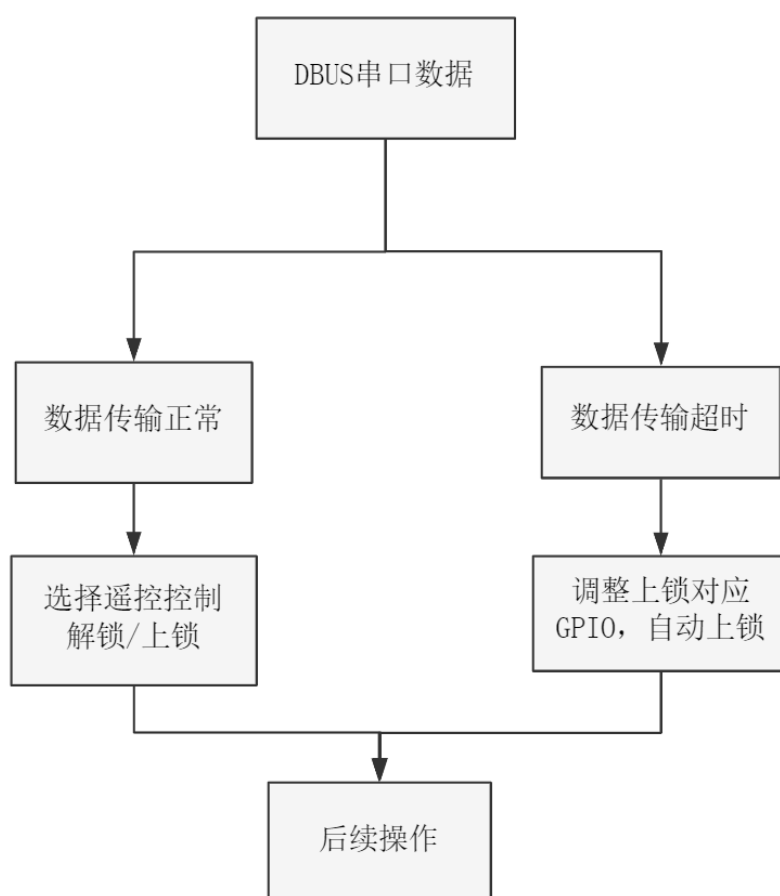


图 2-12 自锁流程图

2.3.2 通信链路设计

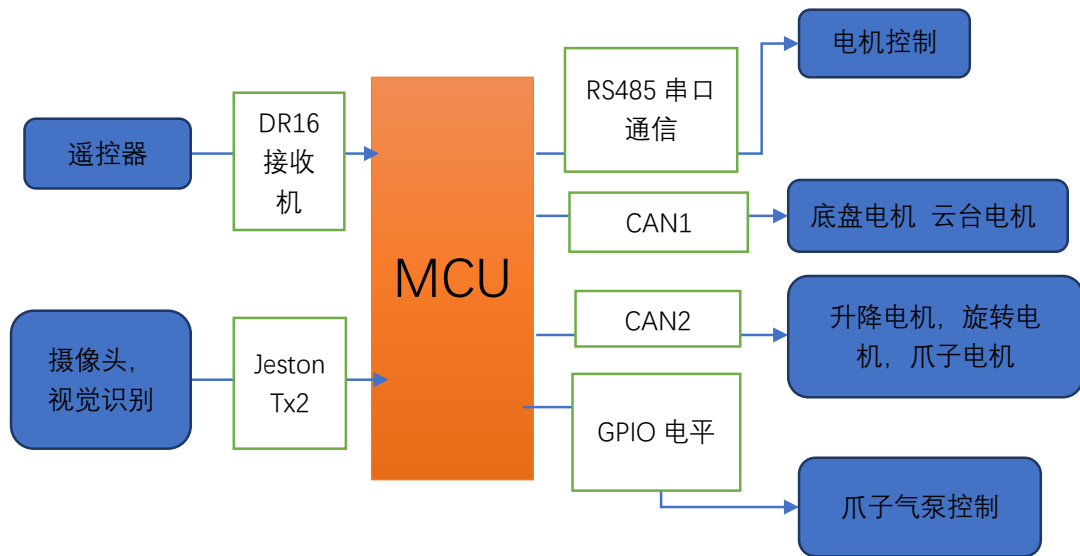


图 2-13 通信链路整体框图

(一) 遥控器与 MCU-DBUS 通讯

遥控器采用比赛官方的 DT7 遥控器，DR16 接收机，工作频率均为 2.4 GHz ISM，发送机与接收机之间采用 2.4 GHz D-BUS 协议进行通信，通信较稳定。除了遥控器上的按键控制外，遥控器还可直接通过 USB 与电脑连接，通过官方的 Robmaster 客户端，把电脑的键盘按键操作和鼠标操作发送给发射机，进而发送给接收机。DR16 接收机输出的信号为标准的 DBUS 协议数据，当遥控器与接收机建立连接后，接收机每隔 14ms 通过 DBUS 发送一帧 18 字节数据，可通过查看产品手册查看 18 字节的控制帧结构，传输距离方面，在开阔室外通信距离可以达到 1000 米，整个通信链路非常稳定，完全满足工程车在比赛过程中的遥控使用需求。

(二) MCU 与电机-CAN 通信

考虑到工程车的体积比较大，重量较大，整车的电机主要选用比赛官方的 3508 电机，电机性能较好，能较好地满足工程车的移动、起降等需求。电机电调自带 CAN 通信接口，而且整车整体主要采用电动，所用的电机数量比较多，若是直接使用 PWM 控制电机会占用过多的 MCU 的 IO 口，而 CAN 通信只需使用两根总线，信号表现为电压形式，通过 CAN_H 和 CAN_L 线上的电位差来表示 CAN 信号，分为显性电平和隐性电平两种类型。

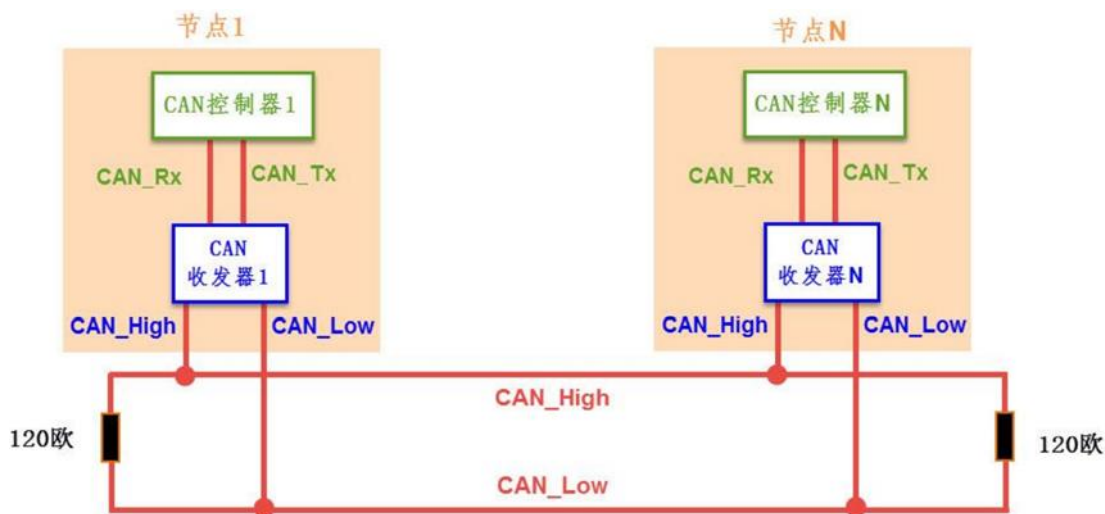


图 2-14 正点原子库函数手册

CAN 控制器根据两根线上的电位差来判断总线电平，差分电平与逻辑电平由 CAN 收发器实现，通过一个差分电平的方式传输信号，不仅用线数量少，而且在总线上可同时连接多个单元，可连接的单元总数理论上是没有限制的。此外，CAN 协议允许多主控制，所有单元都可以发送消息，而两个以上的单元同时开始发送消息时，根据标识符决定优先级。且总线相连的单元没有类似于“地址”的信息。因此在总线上增加单元时，连接在总线上的其它单元的软硬件及应用层都不需要改变。CAN 协议还具有错误检测、错误通知和错误恢复功能，故障封闭功能，能最大程度上确保整个通讯的可靠性与稳定性，最后在通信速率方面，采用 1M 赫兹的通信频率，数据传输速率较快，完全满足 MCU 与电机的通信需求。具体应用方面采用两条 CAN 总线，在 CAN1 上连接底盘电机，摄像头的云台电机，在 CAN2 上连接用于控制爪子和整车升降的电机。

综上所述，使用 CAN 通信能完全满足 MCU 与电机间的数据发送和接受电机反馈的传输任务，并且适应工程车的比赛环境，系统具有较高的可靠性与稳定性。

(三) MCU 与爪子气动-GPIO 电平变化

由于气动本质上是压缩气体的活塞运动，当驱动的过程中遇到障碍物时，活塞两端会形成同等压强从而停住在某一位置。如果是传统的电力传动，只有借助一系列传感器等方法才能达到同样的效果。而爪子的抓取对中间位置的控制没有要求，所以爪子的部分控制采用气动驱动。对于控制爪子的气泵，通过 MCU 控制 IO 口的高低电平变化来实现电磁阀控制换向。

(四) MCU 与视觉模块-串口通讯

摄像头通过 USB 接口直接与 Jeston TX2 连接。Jeston tx2 板载串口通信接口，不需进行多路通信，且直接使用串口通信较为简单，故 MCU 与 jeston tx2 之间直接采用串口进行通信。Jetson TX2 默认启用两路串口，其中的 ttyTHS1 和 ttyTHS3 分别是控制台串口和蓝牙模块，而 ttyTH2 就是我们要使用的串口。传输距离方面没什么要求，串口的传输速率也能满足 jeston tx2 与 MCU 之间的数据传输需求，在 DMA 中处理串口通信，把数据转移的工作交给 DMA，它可以在数据转移的同时进行数据运算，大大提高了效率。

(五) MCU 与自制电机控制板通信

考虑到负责车体起降的电机要求不高，只需要最基本的起降，故采用了在淘宝上选购的电机，并且自制了一个电机控制板，在 MCU 与电机控制板之间的通信采用 MAX485 电平收发器，MAX485 是一个八引脚的 RS485 电平收发器。内部含一个输入信号接收器 R、一个输出信号驱动器 D。当多机通信时，可以很方便地将 MAX485 挂在 485 总线实现。

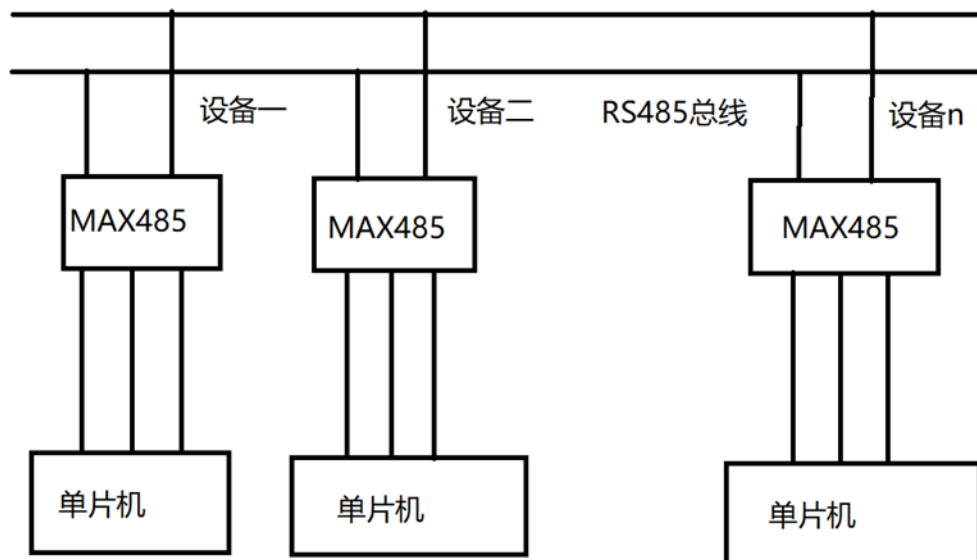


图 2-15 通信链路图

相比较于 RS-232-C，RS485 接口信号电平比 RS-232-C 降低了，就不易损坏接口电路的芯片，且该电平与 TTL 电平兼容，可方便与 TTL 电路连接。同时采用平衡驱动器和差分接收器的组合，抗共模干扰能力增强，即抗噪声干扰性好。与 CAN 通信一样，一般只需两根线，最大传输距离实际上可达 3000 米，数据最高传输速率为 10Mbps，完全满足 MCU 与电机控制板之间的通信需求。首先 MCU 通过串口将数据发给 MAX485，经过 MAX485 电平转化之后，通过引脚 A、B 将数据发送到 485 总线上，在电机控制板接收端同样经过 MAX485 电平转化之后接受数据。采用 485 总线传输在信息传输距离、速度、抗干扰能力等方面都具有较高的稳定性与可靠性，完全满足 MCU 与电机控制板之间的通信需求。

2.3.3 系统功能复杂度分析



图 2-16 系统分类

(一) 视觉系统

没有一个优秀的视觉系统，就像一个人没有眼睛一样。在这一方面，工程车主要需要实现的功能是云台的控制，图像的传递。

在云台方面，最常用的云台有两种，全方位云台以及水平云台。全方位云台，其内部拥有两个电机，分别负责云台的上下和左右各方向的转动。通过上下左右各个方向的移动是可以实现对摄像头进行 360 度全方面的移动，可以让操作手所能观察的范围更加的广泛，有利于对于工程车所夹取物品的判断，可以让操作手更加容易夹取物品。但是，在让全方位云台保持水平的同时，是需要对两个电机同时进行控制的，这也在某些程度上提高了算法方面的要求。而水平云台，顾名思义，运动范围只在水平上，其内部只需要一个电机就可以实现摄像头的左右移动。相比于全方位云台的两个自由度，水平云台的自由度本身只有一个，在某些程度上水平云台的限制是有的，但是其优点也是极其明显的，只需用一个电机来进行控制，在算法方面更加容易实现，可以对摄像头的定位更加的精确。

就工程车本身的需求进行讨论之后，发现工程车本身对摄像头的要求并不高，只需用对夹取的物品进行大概地定位就可以。所以，暂且抛弃了平时我们所采用的全方位云台，而是选择采用了水平云台。

在图像的传递方面，采取的是官方所给的图传系统。工程车本身所采取的图传是一种很简单的图传，在裁判系统中已经有了相应的图传系统，不需要加上自己的图传。

(二) 物块抓取系统

物块抓取系统要想快速且精准地夹取物块，必须拥有一个完善的抓取系统。

战队考虑并参考了两种方案，第一种方案是单极抬升，只用两个电机控制升降，另一种是两级抬升，将皮带和直线导轨配合使用，分别用四个电机控制皮带和直线导轨的升降。由于矿石位于多个不同位置，包括地面，所以对抓取功能的要求比较高，爪子所能到达的位置变得至关重要。第一种方案由于爪子的初始位置已经很高，再经过抬升就相当于舍弃了地面的矿石。第二种方案则比较全面，在第一个方案的基础上做了一些优化。升降机构配有两组、每组两个电机，通过自己设计的电机控制板控制两组电机升降的速度和高度，结合电机上自带的编码器，读取并计算出各自的速度和当前所处位置，经过两级电动机构相互之间的精密配合，再通过位置环与速度环串级 PID 控制器的调节，可以使爪子准确地到达指定高度，资源岛和地面的矿石都能轻松夹取，抓取机构的灵活性得到了很大的提升。综上考虑，决定采用两级电动抬升的方案。

物块夹取的方案比较单一，主要是气动和电动二者结合，也就不再采用开源方案。气缸的控制使用电磁阀，电磁阀可以控制缸内气体的流向从而改变爪子的夹取宽度。电磁阀只需通过简单的通断电实现各个气路的通断即可，爪子的旋转则用到两个 3508 电机，通过 CAN 通讯发送电流值控制电机转动，再从 C620 电调读取电机反馈回来的参数传进 PID 控制器调节电机转动到目标位置。

升降和抓取机构的有效配合使得爪子能够高效地夹取不同位置的矿石，总体来说软件方案不是很复杂，但其实现的功能是很强大的。

(三) 物块姿态调整系统

本次的参赛规则发生了变化，在兑换站中要对夹取的物块进行二维码识别，只有识别成功才算成绩，否则成绩不能记录上。所以增加了物块姿态调整系统，这个系统的目的是调整物块的姿态，确保物块上的二维码可以被识别出来。

调整物块的姿态最简单的办法是用夹子放回去重新夹，但这种方式明显是不符合需求，费时又费力，而比赛时间有限，要求在一定时间内抓取尽量多的物块并放入兑换站中。参考了网上的魔方机器人结构设计，借用夹取的结构并对其进行优化使其符合工程车的需求，以及通过视觉识别，将物块上有二维码的那一面放到上面，以此来确保将物块投入兑换站时二维码可以被识别。

(四) 底盘系统

工程车的底盘使用了四个麦克纳姆，每个麦克纳姆轮都由一个电机驱动，可以实现全向移动。底盘运动的同时也要考虑到摄像机云台的位置，这两者需要配合控制，底盘在旋转的同时云台也要进行旋转操作，这样才能保证云台的稳定。

麦克纳姆轮的机械结构十分特殊，需要分析计算出每个轮的速度矢量。在运动解算方面查阅了许多相关资料，也运用了一些学到的理论尝试对其进行解算，同时也参考了官方与其他队伍的开源方案并与我们的做了对比，汲取其他方案的优点，在原有方案的基础上做出一定优化。

关于 PID 算法，相比于大部分的资料，官方所提供的资料更加全面，所以采用官方的资料来调节相应的数值。如图所示：

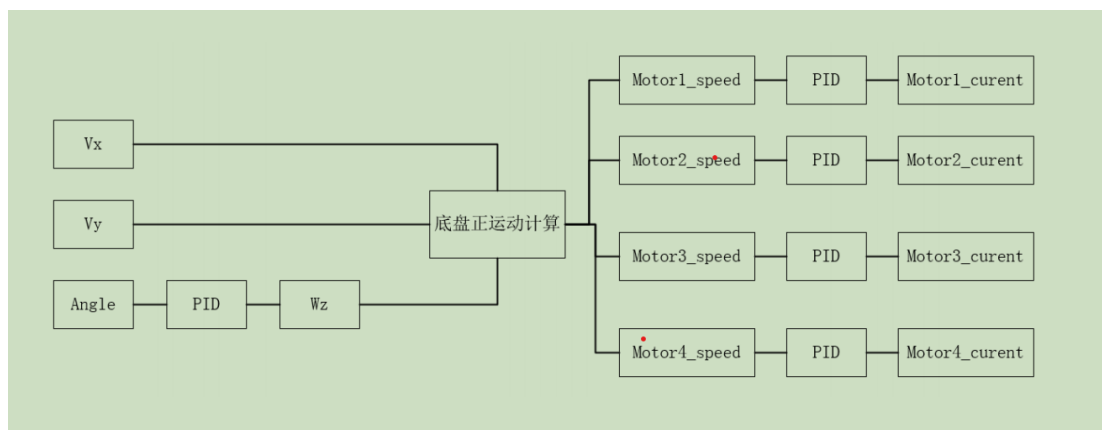


图 2-17 PID 算法

(五) 通信系统

通信系统，比较容易实现的部分是遥控器与 MCU 之间的通信，以及摄像头和 MCU 之间的通信，这两部分所用到的部分全部都是官方的开源系统，只需要简单的调试就可以运用到工程车中。

机械爪的动力采取的是气动驱动，但控制气动驱动的最终是 MCU。在 MCU 和气瓶之间建立的通信中极其重要。参考其他的资料中得知，这个控制并不难实现，只需要加上一个电磁阀，就可以实现 MCU 通过控制 GPIO 口的高低来控制气瓶的开关。

比较难实现的是对电机的同步控制。在通讯方面，想要实现对电机的控制有很多种办法，比如说通过串口通信输入 PWM 来控制电机，以及通过 CAN 通信来控制电机。方法有很多种，但根据排除了串口通信，因为如果用 PWM 输入来控制电机，所需要控制的电机数量并不少，但 MCU 的 IO 口有限，PWM 控制电机是要占用大量的 IO 口。所以，最后采用的是 CAN 通讯，优点有实时性强、传输距离较远、抗电磁干扰能力强、成本低，采用双线串行通信方式，检错能力强，可在高噪声干扰环境中工作。同时，为了更好的控制电机，以及减少 MCU 的压力，电控组还根据需求单独设计了一款电机控制板来控制电机。

2.4 算法方案设计

2.4.1 PID 控制器

PID 算法原理简介：PID 是比例 (proportion)，积分 (integral)，微分 (differential) 的英文首字母缩写，是比例，积分，微分三种环节于一体的闭环控制算法，该算法是以误差作为输入量，通过比例、积分、微分三个环节计算后得到输出量。PID 算法是比较经典的控制器，简单实用，是目前为止在连续控制系统中较为成熟的一种控制算法。

框架如图 1.1:

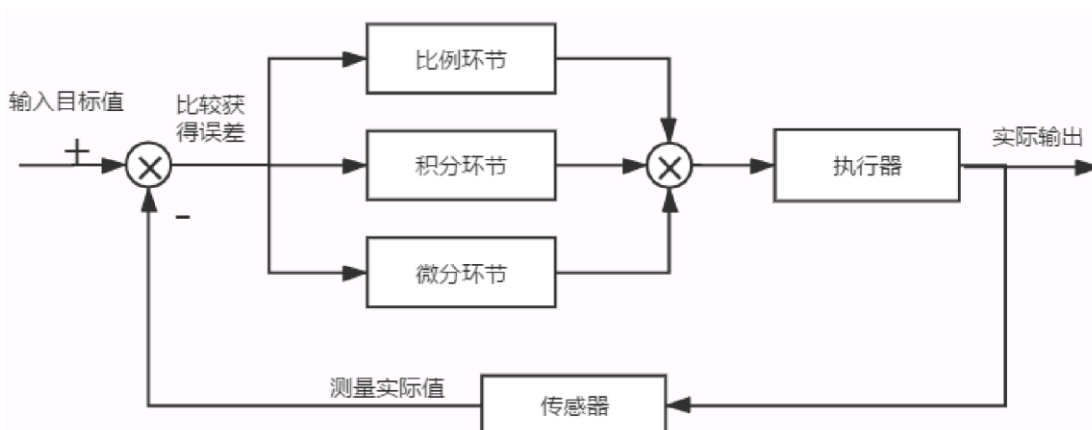


图 2-18 PID 算法框架

PID 控制其实就是对偏差的控制过程；如果偏差为 0，则比例环节不起作用，只有存在偏差时，比例环节才起作用；积分环节主要是用来消除静差，所谓静差，就是系统稳定后输

出值和设定值之间的差值，积分环节实际上就是偏差累计的过程，把累计的误差加到原有系统上以抵消系统造成的静差；而微分信号则反应了偏差信号的变化规律，也可以说是变化趋势，根据偏差信号的变化趋势来进行超前调节，从而增加了系统的预知性。

在时域中，连续系统 PID 控制器的控制规律为：

$$u(t) = k_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

式中 $e(t)$ 为输入输出误差信号； K_p 为比例系数； T_i 为积分时间常数； T_d 为微分时间常数，其精髓为“基于误差反馈来消除误差”。

其传递函数可写为： $G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s$

简单来说，PID 控制器各校正环节的作用如下：

表 2-11 各校正环节作用

校正环节	作用
积分环节	主要作用是消除系统的稳态误差，同时增强系统抗高频干扰能力。积分时间常数 T_i 越小，积分作用越强，反之越弱。
微分环节	能够反映出误差的变化趋势，可在误差信号出现之前就起到修正误差的作用。微分控制可以增大截止频率和相角裕度，减小超调量和调节时间，提高系统的快速性和平稳性。
比例环节	输出与误差信号成比例关系，偏差一旦产生，调节器立即产生控制作用，使被控量朝着减少偏差的方向变换，偏差减小的速度取决于比例系数 K_p ， K_p 越大，偏差减小得越快。

使用用闭环 PID 控制的原因：举个简单的例子，在 RoboMaster 的电机控制中，我们想让电机以一定的期望转速 90r/min，开环控制的话，通过单片机输出一定的占空比的 pwm 给驱动器去驱动电机转，但是随着电源电压的降低，轮子的松紧等因素的干扰，或者负载的变化都会影响电机最后的输出转速，是一直在变化的。要解决这个问题，就得用闭环控制，设计控制器去使得电机的转速稳定，RoboMaster 的大部分电机都是带霍尔传感器的，可以反馈转速信息，因此可以通过闭环的方式进行控制。

如何设计 PID 控制器：结合《自动控制原理》和《信号分析与处理》来设计 PID 控制器。在控制原理中，有分为时域上的分析和频域上的分析，主要是用频域进行分析与设计。引入传递函数来进行系统的稳定性分析，一个闭环系统的系统框图如图：

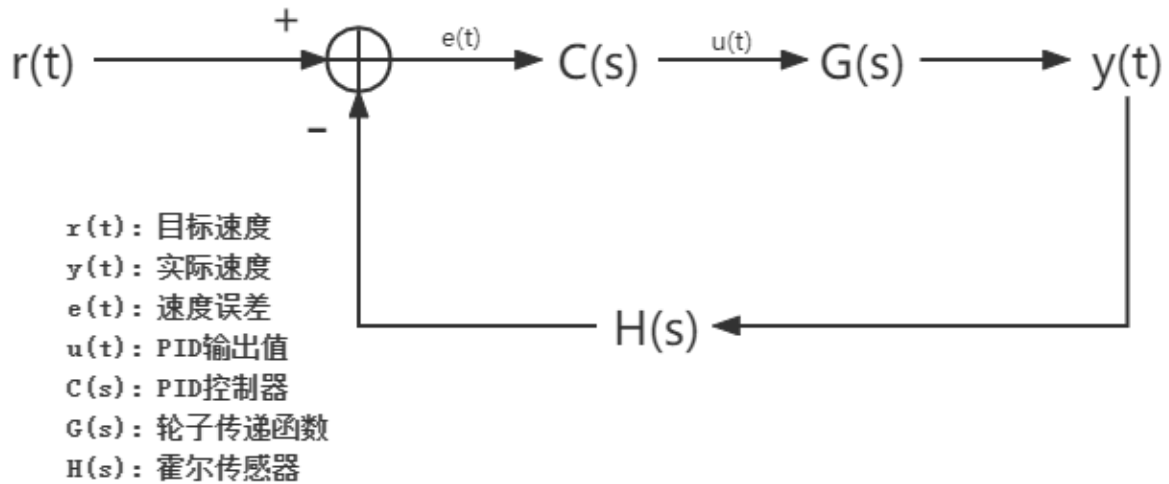


图 2-19 闭环系统框图

$$\text{系统闭环传递函数: } \phi(S) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{c(s)G(s)}{1+c(s)G(s)} H(s)$$

在 RoboMaster 的比赛中，主要是控制麦轮的转速和云台，要让车子和云台不“疯掉”，那就需要引入 PID 控制器。就先举个控制轮子的例子，调云台也是同样的道理，只是传递函数不一样。我们都知道控制轮子的转速的数学模型推导出来是一阶微分方程，也就是一阶系统，那么就可以用 matlab 的系统辨识工具箱，通过测系统在阶跃信号的激励下的阶跃响应去辨识系统的传递函数，如下图。

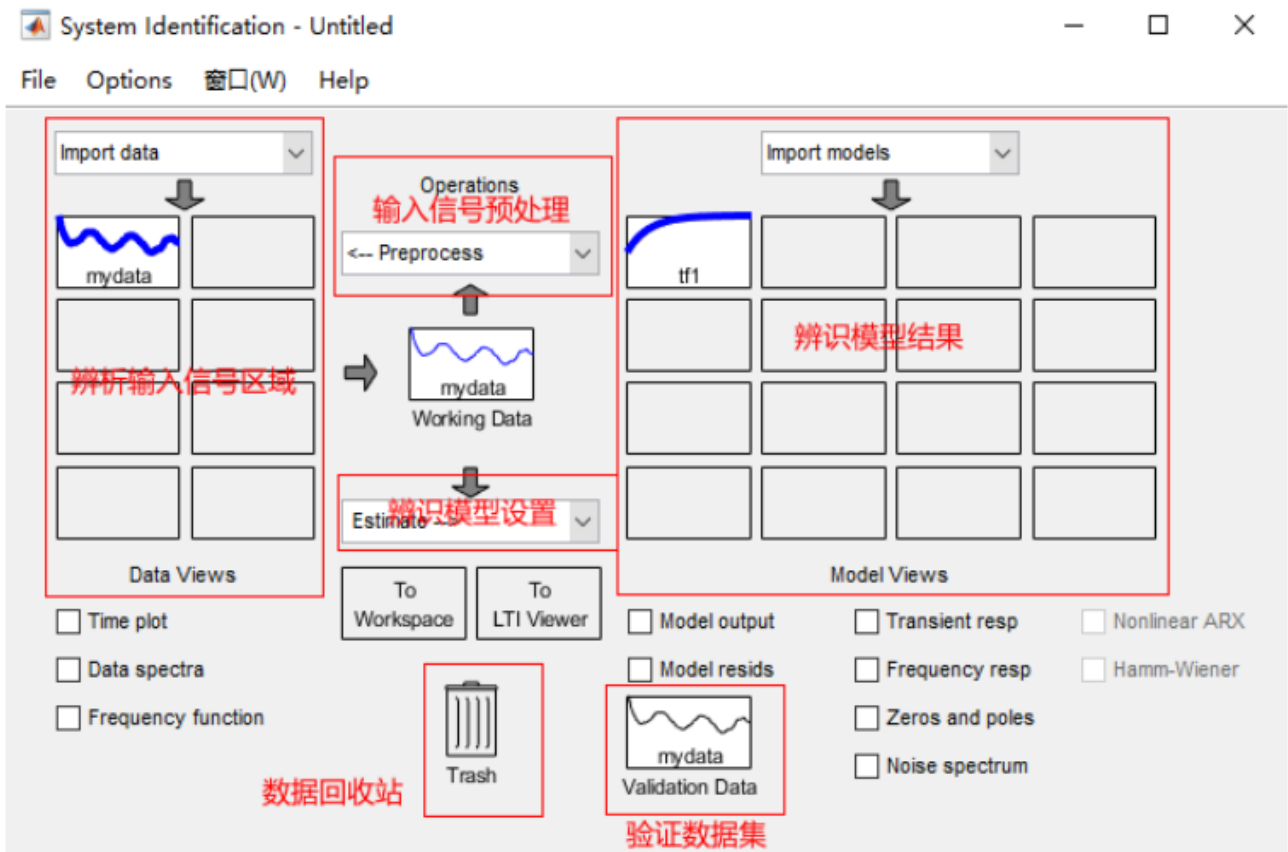


图 2-20 matlab 系统辨识工具箱说明

如此我们便获得了控制轮子转速的传递函数，PID 控制器在频域上的表达式如下：

$$G(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s$$

通过调节积分项，使积分段作用于系统的低频成分，保证系统稳定性，将微分段作用于系统的高频成分，保证系统的动态性能。要使得系统稳定的条件的充分必要条件就是该系统的极点全部位于复平面的左侧。其原本是不稳定的，当引入比例 PD 控制，得到电机转速的闭环传递函数后，就可以用 matlab 去绘制其引入控制器后的开环伯德图和根轨迹图，如图 2.11，进而去设计 PID 控制器。

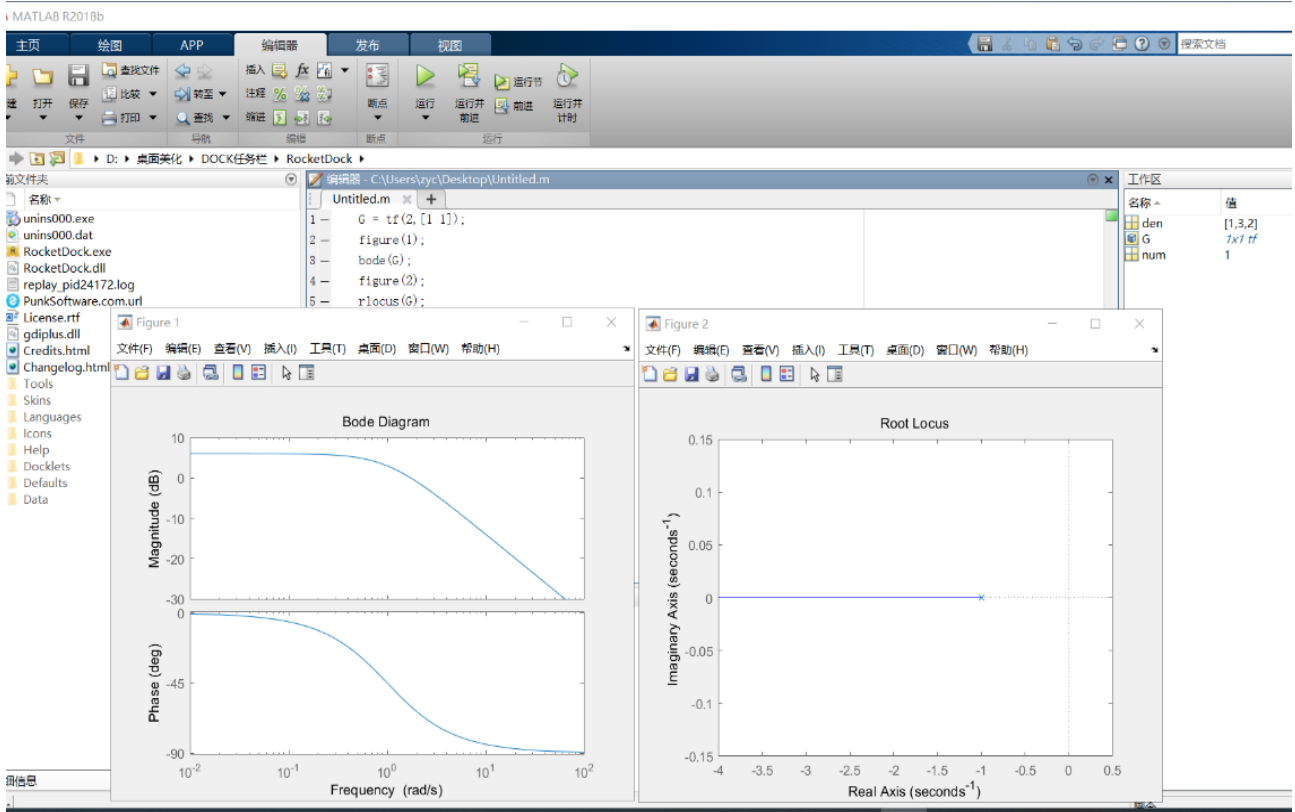


图 2-21 matlab 绘 bode 图和根轨迹

从 Bode 图和根轨迹可看出来，该系统是稳定的。但不仅要让系统稳定，还要让系统做到“快，准，稳”，就需要根据系统闭环传递函数的波特图进行分析，使幅频响应和相频响应满足幅度裕度条件和相位裕度条件，还有根据一阶系统的指标，超调量和上升时间等去设计 PID 控制器，据情况加入相位超前校正、相位滞后校正等，可借助 matlab 的工具箱进行分析。

在缺乏充足理论知识支撑，传递函数多数情况下难以获取的情况下，还可以通过经验法去调节 PID 参数。用经验法调 PID 参数： K_p 是加快系统响应速度，提高系统的调节精度； K_i 用于消除稳态误差； K_d 改善系统的稳态性能。

- a. 在输出不振荡时，增大比例增益 P 。
- b. 在输出不振荡时，减小积分时间常数 T_i 。
- c. 在输出不振荡时，增大微分时间常数 T_d 。

一般先把 k_p , k_i , k_d 的调为 0，先确定比例系数 k_p ， k_p 由 0 逐渐加大直至出现振荡，再反过来逐渐减少，直到系统振荡消失，记录此时的 k_p 。再确定 k_i ，先设定一个较大的值，再逐渐减少，到系统振荡消失，记录此时的 k_i 。接着确定 k_d ，逐渐增大到系统较稳定。整定时可以借助波形图进行参数的整定，能更快的确定参数。

代码实现：在程序中积分环节和微分环节很难表示出来，所以就分别对积分和微分环节进行离散化处理，积分项可离散成累加 $\sum err(t)$ 其实就是求和，微分项可离散成这次的变化量减去上一次的变化量 $[err(t) - err(t - 1)]$ 其实就是差分。进行离散化的公式如下：

$$\Delta u(k) = K_p(err(k) - err(k-1)) + K_i err(k) + K_d(err(k) - 2err(k-1) + err(k-2))$$

下面是 c 语言代码实现：

```

/*****
函数功能：增量式 PID 算法实现
入口参数：temp_val(当前实际值)
返回值：actual_val(通过 PID 计算后的输出)
*****/
float PID_Zrealize(float temp_val, _pid*pid)
{
    /*计算目标值与实际值的误差*/
    pid->err=pid->target_val-temp_val;
    /*PID算法实现*/
    pid->actual_val += pid->Kp*(pid->err - pid->err_next)
                    + pid->Ki*pid->err
                    + pid->Kd*(pid->err - 2 * pid->err_next + pid->err_last);
    /*传递误差*/
    pid->err_last = pid->err_next;
    pid->err_next = pid->err;
    // /*返回当前实际值*/
    if (pid->actual_val > 240)
        pid->actual_val = 240;
    if (pid->actual_val < -100)
        pid->actual_val = -100;
    return pid->actual_val;
}

```

图 2-22 c 语言代码实现 PID

控制的时候会 PID 的计算放在定时执行的任务里，保证实时执行，控制好采样周期，否则会影响系统稳定性，给调试带来不必要的麻烦。

2.4.2 卡尔曼滤波器

(一) 卡尔曼滤波器的介绍：

经过编码器和 IMU 的定位功能测试，其结果存在误差。如果我们有一方案能把两个数据进行融合，当哪个数据误差比较小时，我们更相信于它，即它的数据更可行，那我们就用这个数据。其实可以用卡尔曼滤波进行数据融合。卡尔曼滤波是一种利用线性系统状态方程，通过系统输入输出观测数据，对系统状态进行最优估计的算法。由于观测数据中包括系统中的噪声和干扰的影响，所以最优估计也可看作是滤波过程。简单来说，卡尔曼滤波器是一个“Optimal Recursive Data Processing Algorithm（最优化递归数据处理算法）”。在我们生活实际中存在不确定性，就比如在描述一个系统时不存在完美的数学模型；系统的扰动不可控，很难建模；测量传感器存在误差。而对于解决此类的问题，它是最优，效率最高甚至是最有用的。他的广泛应用已经超过 30 年，包括机器人导航，控制，传感器数据融合甚至在

军事方面的雷达系统以及导弹追踪等等。近来更被应用于计算机图像处理，例如人脸识别，图像分割，图像边缘检测等等。

(二) 原理简介:

下面我们举个例子来初步认识一下卡尔曼滤波，现在我们用尺子去测量一支的长度，因为尺子本身就有误差，加上每个人测量方式不同，测量出来的结果会不一样，用 z_k 来表示第 k 次的测量结果，在这时候要去估计这个笔的长度，我们首先想到的方法就是对测得的数据取平均。用 \hat{x}_k 来表示估计值，可以得到以下式子：

$$\begin{aligned}\hat{x}_k &= \frac{1}{k}(z_1 + z_2 + \dots + z_k) = \frac{1}{k}(z_1 + z_2 + \dots + z_{k-1}) + \frac{1}{k}z_k \\ &= \frac{k-1}{k} \frac{1}{k-1}(z_1 + z_2 + \dots + z_{k-1}) + \frac{1}{k}z_k = \frac{k-1}{k}\hat{x}_{k-1} + \frac{1}{k}z_k \\ &= \hat{x}_{k-1} - \frac{1}{k}\hat{x}_{k-1} + \frac{1}{k}z_k = \hat{x}_{k-1} + \frac{1}{k}(z_k - \hat{x}_{k-1})\end{aligned}$$

从 $\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + \frac{1}{k}(z_k - \hat{x}_{k-1})$ 可以看出越大时， $\frac{1}{k}$ 越趋于 0， \hat{x}_k 也越趋于 \hat{x}_{k-1} ，也就是说随着 k 的增加，测量结果不再重要，即更信任于估计值，而当 k 越小时， $\frac{1}{k}$ 越大，测量结果的作用就很大，也就是更信任于测量值。

如果我们用 K_k 代替 $\frac{1}{k}$ ，即 $\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + K_k(z_k - \hat{x}_{k-1})$ 也就是当前估计值 = 上一次估计值 + 系数 x (当前测量值 - 上一次估计值)，不难看出，当前的估计值和上一次估计值有关，上一次的估计值和上上次估计值有关，这是一种递归的体现。其优势在于不需要很久以前的数据，只需要上一次就可以了。实际上这个系数 K_k 就是卡尔曼增益 (Kalman Gain)。这边我们引入两个误差， e_{EST} 表示真实值与估计值的误差， e_{MEA} 表示测量值与真实值的误差。这里卡尔曼增益 $K_k = \frac{e_{ESTk-1}}{e_{ESTk-1} + e_{MEAk}}$ 。在 k 时刻，当 $e_{ESTk-1} \gg e_{MEAk}$ 时， K_k 趋于 1，所以 \hat{x}_k 趋于 z_k ，当 $e_{ESTk-1} \ll e_{MEAk}$ 时， K_k 趋于 0，所以 \hat{x}_k 趋于 \hat{x}_{k-1} ，很简单的道理估计误差大，我们就更相信测量值，测量误差大，我们更相信估计值。

接下来我们用卡尔曼滤波的思想去解决一个实际问题，一般有三个步骤：

1. 计算卡尔曼增益： $K_k = \frac{e_{ESTk-1}}{e_{ESTk-1} + e_{MEAk}}$
2. 计算 $\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + K_k(z_k - \hat{x}_{k-1})$
3. 更新估计误差： $e_{ESTk} = (1 - K_k)e_{ESTk-1}$

就比如测量一本书的长度，假设它的实际长度 $X = 50\text{mm}$ ；第一次的估计值 $\hat{x}_0 = 40\text{mm}$ ；

第一次的估计误差 $e_{EST0} = 5\text{mm}$ ；第一次测量值 $z_1 = 51\text{mm}$ ； $e_{MEAk} = 3\text{mm}$ ；做一个 EXCEL 表格，把这些初始值带入以上公式迭代，取前 16 次，其结果如下图：

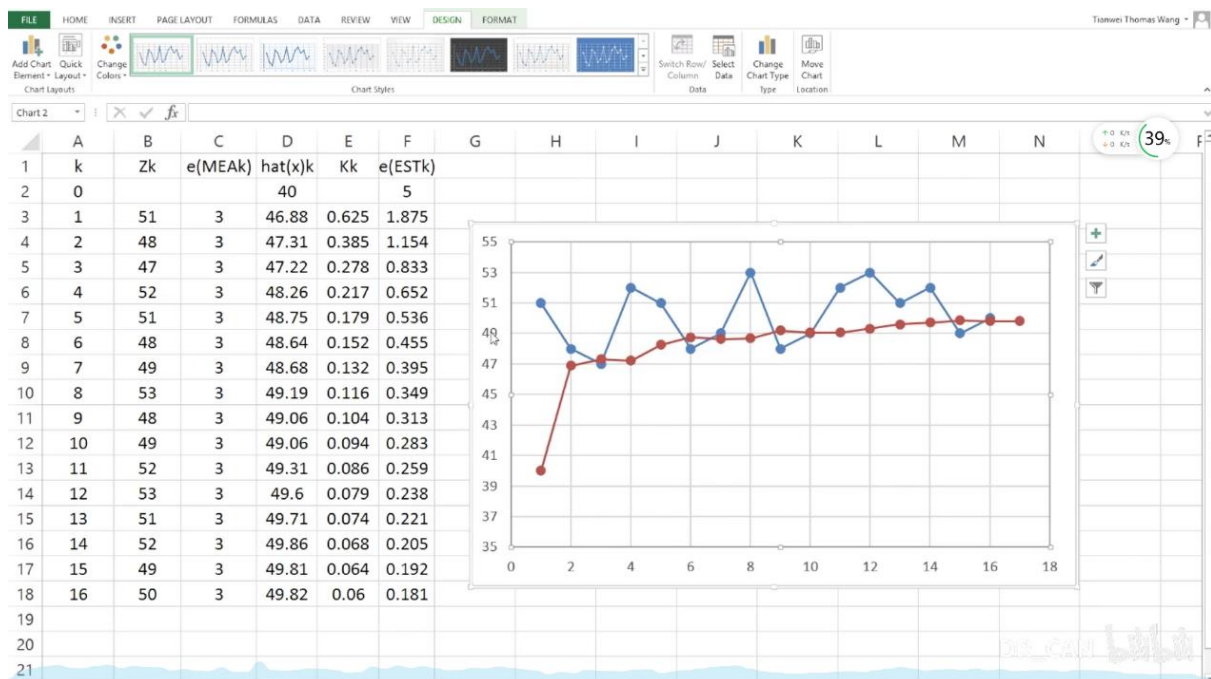


图 2-23 迭代结果

蓝色的折线图是测量结果，红色的折线图是估计结果随着不断的更新，不断的有新的数据进来，使得估计的值越来越靠近实际值，这就是卡尔曼滤波器的一个简单应用。

当然卡尔曼滤波还有其更深层次的应用，就比如能把数据进行融合，通俗点来讲就是能把两个不太准确的数据进行加权处理，使得结果更偏于实际值；还有适用于非线性系统的扩展卡尔曼滤波器等等，其公式推导也比较复杂，就不再一一叙述。

(三) 卡尔曼滤波在 RM 中的作用：

在经过设计 PID 控制器之后，能准确控制轮子转速后，为能更好地在抓取矿石前，进行

精准定位，用了卡尔曼滤波去融合陀螺仪和编码器使得其能更好地进行定位，在物块前能更好地配合视觉进行微调，实现更精准地采矿。

(四) 构建方程就行数据融合：

用卡尔曼滤波有五个步骤，第一步是预测当前值即先验估计；第二步是预测协方差矩阵；第三步是建立测量方程；第四步是计算卡尔曼增益，第五步是计算当前最优估计值即后验估计。这样通过迭代就能把数据进行了滤波处理。针对我们小车，可以把编码器的测得的速度作为估计，建立状态方程；把 IMU 测得的角速度作为预测值。

即卡尔曼滤波的 5 个方程：

$$X(k|k-1)=A X(k-1|k-1)+B U(k) \dots\dots\dots(1)//先验估计$$

$$P(k|k-1)=A P(k-1|k-1) A'+Q \dots\dots\dots(2)//协方差矩阵的预测$$

$$Kg(k)= P(k|k-1) H' / (HP(k|k-1) H' + R) \dots\dots\dots(3)//计算卡尔曼增益$$

$$X(k|k)= X(k|k-1)+Kg(k) (Z(k) - H X(k|k-1)) \dots\dots\dots(4)//通过卡尔曼增益进行修正$$

$$P(k|k)= (I-Kg(k) H) P(k|k-1) \dots\dots\dots(5)//更新协方差阵$$

代码如下（入口参数：编码器测得的速度；IMU 测得的加速度）：

```

/*****
函数功能：简易卡尔曼滤波
入口参数：速度，加速度
返回值：无
*****/
float Kalman_Filter(float VV, float a)
{
    VV += (a - Q_err) * dt; //先验估计

    PP[0][0] += (Q - PP[0][1] - PP[1][0]) * dt; // Pk-先验估计误差协方差微分的积分
    PP[0][1] += (-PP[1][1]) * dt; // =先验估计误差协方差
    PP[1][0] += (-PP[1][1]) * dt;
    PP[1][1] += Q_errq * dt;

    K_0 = PP[0][0] / (R + PP[0][0]);
    K_1 = PP[1][0] / (R + PP[0][0]); //卡尔曼增益

    PP[0][0] -= K_0 * PP[0][0]; //后验估计误差协方差
    PP[0][1] -= K_0 * PP[0][1];
    PP[1][0] -= K_1 * PP[0][0];
    PP[1][1] -= K_1 * PP[0][1];

    V += a*dt; //Zk
    V_err = V - VV; //Zk-先验估计
    V += K_0 * V_err; //后验估计，寻求最优解
    Q_err += K_1 * V_err; //后验估计，寻求最优解
    return V;
}

Vx = (Actual_R_Speed-Actual_L_Speed) * V_ratio;
Vx = Kalman_Filter(Vx, accel[1]/16384.0f*10);
Y += 0.02f*Vx*(float)sin((double)yaw);
X += 0.02f*Vx*(float)cos((double)yaw);

```

图 2-24 卡尔曼滤波代码

之后只要进行超参数的调试就行，经过测试，经过卡尔曼滤波之后的值更为准确，误差比较小。

2.4.3 搭建算法测试环境

(1) 用 keil 编写算法和测试算法，如下图

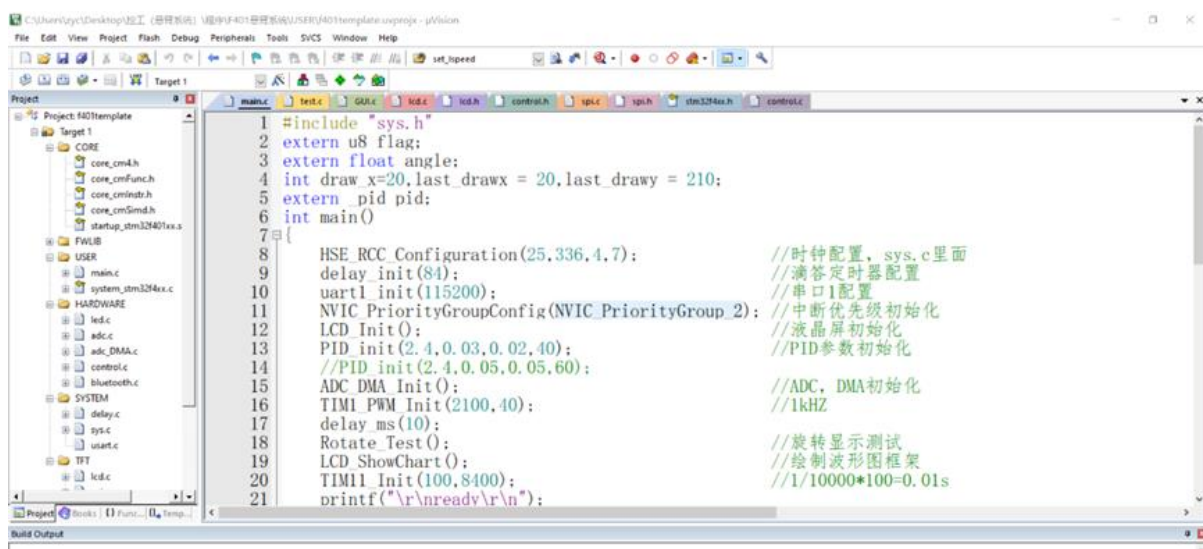


图 2-25 代码实现

(2) 用 serialplot 绘制串口波形，在时域上进行测试，如下图

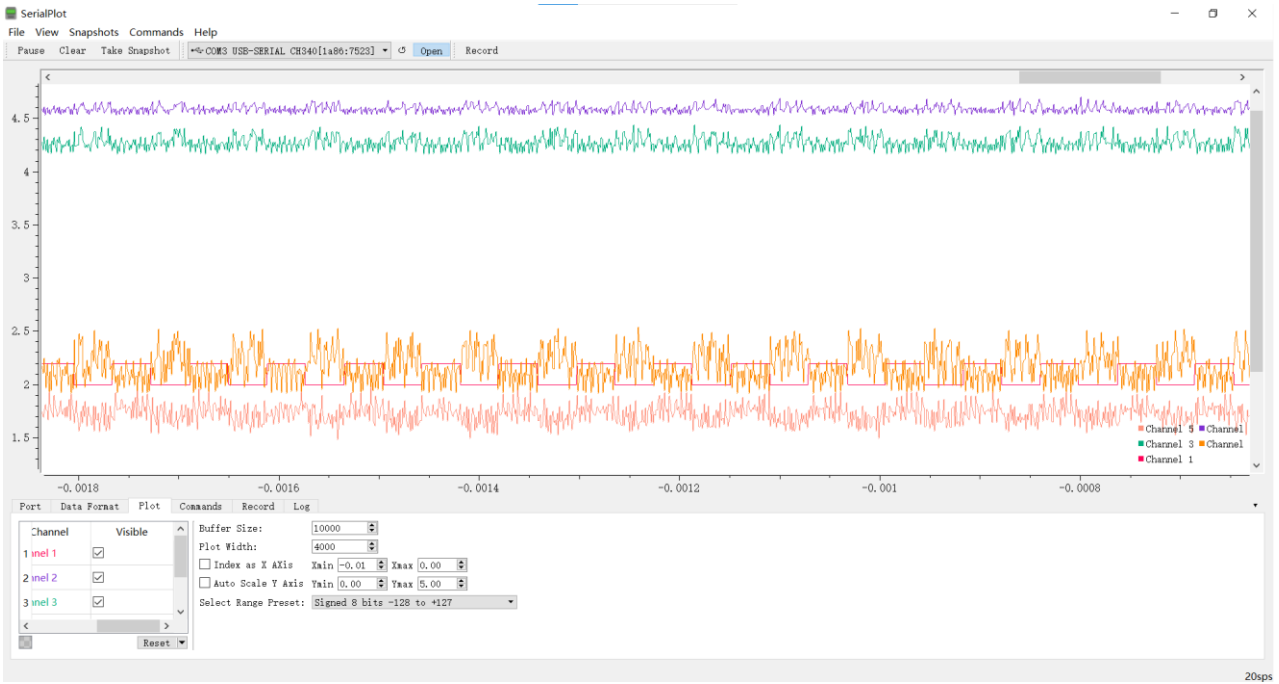


图 2-26 串口波形图

(3) 用 matlab 工具，例如用 simulink 仿真环境，如下图

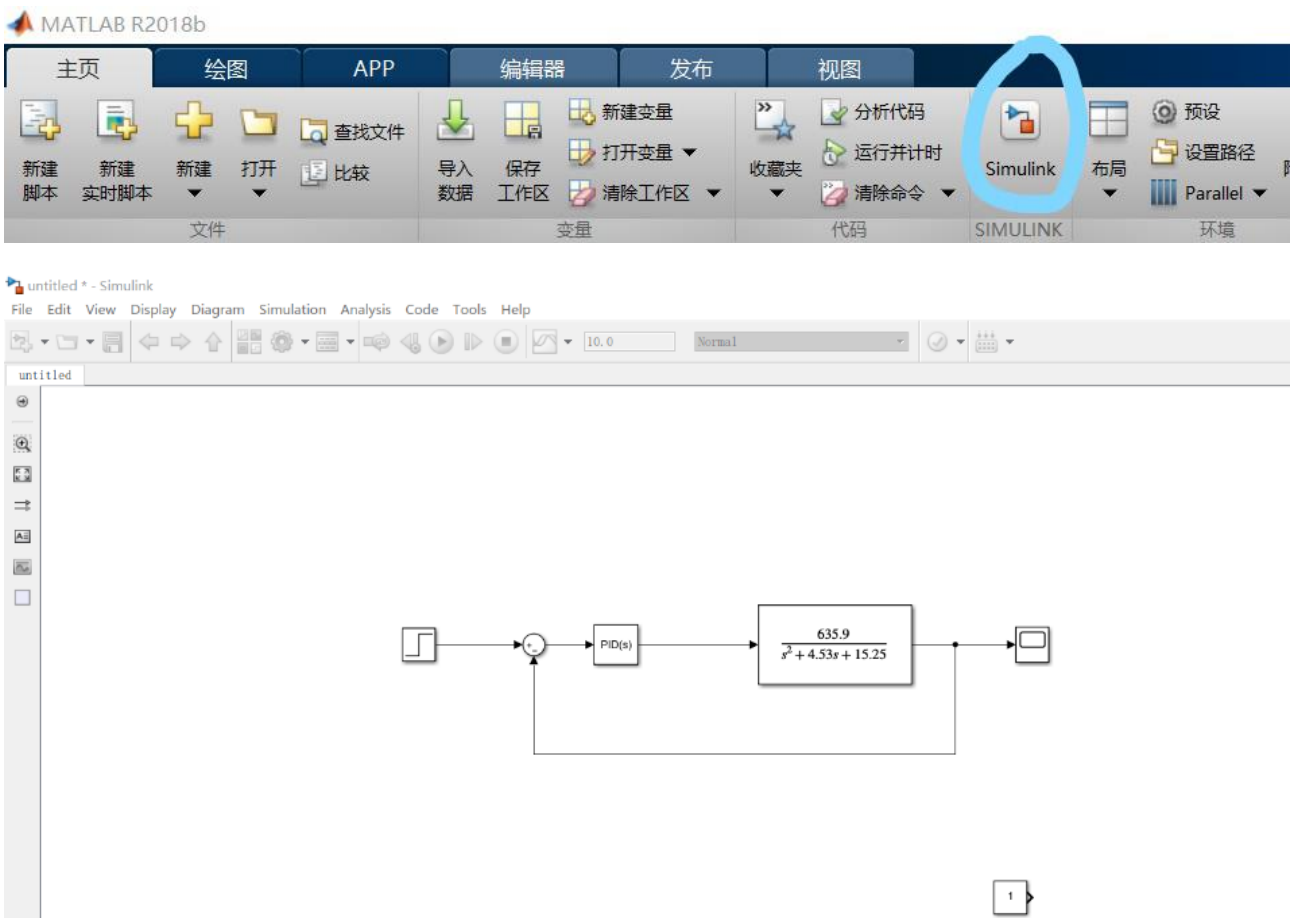


图 2-27 simulink 仿真图

2.5 测试方案设计

2.5.1 测试方法

结合以上资料及相关文献书籍，对本赛季工程采矿机器人的测试根据开发阶段不同，分为平台测试、单元测试、集成测试和系统测试共四项测试，详情如下：

（一）平台测试

本阶段测试主要包括硬件电路测试、所使用的 FreeRTOS 操作系统及涉及到的 STM32 基础功能和使用的模块的底层驱动程序测试等。

硬件电路测试需要所对应的测试工具来进行测试。使用电子负载、信号发生器、学生电源、示波器等对所使用到的硬件电路进行测试，保证其功能的完整性与准确性。

操作系统和底层驱动程序的测试主要关注多任务之间的调度，具体的实时性能，各任务之间、模块与 STM32 开发板之间的数据传输情况等指标。确保 FreeRTOS 操作系统的任务调度无问题、任务之间数据传递准确稳定、模块与开发板之间通讯正常，抗干扰能力强。

（二）单元测试

本阶段测试主要是将测试系统分成若干个单元模块，对每个单元模块进行测试，检查每个软件单位能否正确的实现最初设计的功能、性能、接口和其他要求等，发现单元内可能存在的各种错误，测试环境主要在 STM32F427IHX 即 ROBOMASTER 开发板 A 型上进行。

在本项测试中，使用静态测试的方法，不必运行被测代码，而是借助专用的软件工具对程序进行各种分析，如 QAC/C++。对代码进行分析和审查，要对 STM32 寄存器的使用、程序格式、入口和出口的连接、程序语言的使用、存储器的使用等内容进行检查。

（三）集成测试

本阶段测试主要是将所有模块进行组合，测试内容主要是各模块间接口的数据传输、关注集成后的功能实现和各模块之间的耦合性。集成测试主要采用黑盒测试和白盒测试相结合的方式。

白盒测试：主要考虑程序的控制流测试和数据流测试，与代码覆盖率密切相关。代码覆盖率越高，测试越充分。白盒测试一般不必在目标硬件上进行，更为实际的方式是在开发环境中通过硬件仿真进行。

黑盒测试：也称功能测试，根据软件的用途和外部特征查找软件缺陷，不需要了解程序内部的结构。其优点是不依赖代码，只需根据需求，设计相应的测试用例，根据输出结果判断程序的功能和性能。

通过两种测试方式的相结合，共同对组合后的集成模块进行测试，确保整个机器人所有模块的稳定运行与准确通讯。

(四) 系统测试

在集成测试完成之后，将所有模块系统完全移植到实际搭建的工程采矿机器人中，验证软件是否满足设计要求，对机器人整体进行各个方面的实验即进行系统测试。本阶段测试主要包括：功能测试、性能测试、接口测试、负载测试、安全性测试、稳定性测试、兼容性测试和可靠性测试。确保机器人有充足的应急处理方案，不会出现失控等危险情况。在保证安全和可操控的情况下对其各功能的性能、接口等进行测试。在本阶段完成后，工程采矿机器人应能基本实现所有设计要求和比赛任务。

2.5.2 测试计划

(一) 明确测试目标

根据项目需求，由各组队员共同制定符合出比赛要求且满足队伍所需的功能目标，并明确所测试的达标数据。

(二) 规划测试方案

根据测试的模块难易程度，由项目管理搭建出标准场地，由副队长合理安排项目的测试周期和合适人选，考虑测试的合理性与高效性。

(三) 记录测试视频

根据测试方案，在测试过程中，拍摄测试全过程，最大程度上模拟真实的场地数据，使得测试视频的参考价值真实有效，并且在测试结束后，将测试数据存档，作为后期审核及进度追踪的参考依据，也为下一赛季做好迭代。

(四) 整理测试数据及改进结果

各组队员根据测试所得的数据，进行分析，要求从测试结果、所遇问题、改进方向至少三个方面进行数据的总结，并将其总结随测试视频存档上传至群文件夹供队员参考。

3. 项目进度计划

本赛季个阶段任务及分工如下：

表 3-1 阶段任务分工

阶段	任务	分工
前期准备	根据今年的比赛规则，提出机器人的大体方向	全体成员都要参加，每个人都可以提出想法与思路，但主要由机械组的成员提出方案，并对其他方案进行审核
方案讨论	根据大体的方向，设计机械结构，电路排版和程序思路，并分析每个方案的优劣性	主要有机械组，电控组和视觉组的成员讨论
方案审核	针对多套方案进行评审，并由全体成员选择出最优的方案	由队长牵头，组织各个成员对方案进行表决，采取少数服从多数的方式，决定最后的方案
画出 3D 立体图	根据选定的方案，画出 3D 立体图	主要有机械组的成员完成
图纸审核	针对图纸，各个成员提出问题并进行审核，	全体成员都要参加，针对图纸提出自己的问题，机械组的同学对所提的问题进行解答或对图纸进行修改，最后定稿
零件加工与购买	将最终的图纸交给相关加工中心加工，购买所需零件，配合财务和队长完成下订单，付款和报销的工作	由机械组的队员联系相关加工中心，由财务和队长进行审核后，完成付款和报销等工作
组装	待所有零件等物资悉数到齐后，进行机器人的组装	由机械组的成员主导，其他组的成员进行帮忙完成

电控模块测试	完成相关电路的 PCB 设计，电路排版，电控模块的测试等	由电控组的成员主导，其他组的成员进行帮忙完成
视觉测试	完成机器人视觉方面程序代码的编写	由视觉算法组的成员完成
整体测试	将所有模块进行合并组装，并整体调试，并记录测试结果和遇到的问题	由测试嵌入组的成员主导，其他组的成员进行帮忙完成
完善	根据第一次整体测试发现的问题，进行修改和完善	由发现的问题的所属组的成员完成
第二次测试	继续测试机器人的整体功能，尤其针对之前遇到的问题进行重点测试，如果有问题继续完善	由测试嵌入组的成员主导，其他组的成员进行帮忙完成
总结	如果机器人达到验收标准，对机器人进行定稿，完成所有技术和资料的归档工作	由全体成员完成

表 3-2 时间进度表

时间	进度
10月15日---11月15日	机械3D图设计讨论，电控方案讨论，规则解读
11月15日---11月29日	采购材料，改进方案
11月20日---12月20日	搭建机械结构，根据实际问题改进方案
12月20日---12月25日	电控线路搭建，程序框架搭建
12月25日---1月15日	电控程序优化，机械结构三维图改进重建
1月15日---1月22日	学习裁判系统，进行考核

1月22日---2月20日	讨论操作键位方案，程序流程优化
2月20日---3月1日	采购机械材料，搭建场地
3月1日---3月20日	场地调试，结构搭建，改进结构方案，操作逻辑优化
3月20日---4月4日	实现完整形态，熟练操作，进一步优化结构，微调程序
4月4日---4月5日	准备比赛，测试稳定性，及时改进问题

4. 赛季人力安排

(一) 根据兴趣爱好以及技术特长，将战队普通队员分为电控、视觉算法、机械结构以及宣传运营四个方向。

(1) 机械组，主要负责机器人的设计选型、加工装配、迭代优化及后期维护，当中会结合机械设计相关知识用到三维建模、有限元分析、运动仿真等手段展开工作。

(2) 电控组，主要负责机器人电子线路和程序控制。包括电路设计和制作，嵌入式主控单元的软硬件开发，通信接口的封装和对接，各类电驱设备的选型和驱动，机器人算法控制。

(3) 视觉组，主要负责机器人所搭载计算机系统的开发，使机器人具备感知功能。具体任务包括图像处理、神经网络、SLAM、基于Linux系统的开发等。

(4) 运营组，运营组管理一切非研发的事务，比如招商、宣传、财务和后勤等等。

(二) 团队指导老师，需对全体队员的人身财产安全负责；协调校内资源，指导团队制定项目计划，把控备赛进度，帮助团队顺利完成比赛；参赛期间，指导老师需积极配合组委会的工作。

(三) 顾问，给团队提供战略、技术、管理等指导与支持；可承担实际的机器人制作以及其他参赛事务。

表 4-1 战队本赛季实际参赛人员架构

角色	职责职能描述	人数
----	--------	----

队长	队伍核心成员，团队技术、战术负责人，兼任视觉组组长	1
项目管理	队伍核心成员，项目整体管理者，负责战队的日常管理运营	1
副队长	配合项管协调各组项目进度	1
电控组组长	把握电控研发方向，带领电控组成员攻克技术难题	1
电控组成员	负责整车程序编写及调试，电路板绘制。	9
机械组成员	负责整车机械结构设计及制作	3
宣传组成员	配合项管做好战队日常运营宣传工作	1

5. 团队建设思路

5.1 团队梯队建设计划

5.1.1 招募队员方向及要求

表 5-1 梯队招募及发展

招募队员方向	招募要求	发展期望	人数
机械	1、有较好的动手实践能力 2、对机械结构感兴趣，且创新能力较强 3、有良好的沟通能力，注重团队协作	1、能够掌握机械原理、机械设计原理等基础知识； 2、能够使用 SolidWorks、CAD 机械制图软件； 3、熟练使用机加工设备，如：精雕机、雕刻机、铣床、激光雕刻机、台钻等。	6-8
电控	1、对电子类、计算机及 C 语言编程有一定兴趣； 2、逻辑思维能力较强，且	1、熟练掌握 C 语言的基础编程及语法； 2、具有 STM32 的基础知识； 3、熟练使用 Keil，如：使用 Debug 功能	10

	<p>做事有条不紊，认真负责，敢于钻研。</p> <p>3、对电路设计或模数电系统感兴趣；</p> <p>4、热爱自行设计电子电路；</p> <p>5、做事认真、细心且能够耐心解决问题。</p>	<p>等。</p> <p>4、能够掌握电路分析、模数电的基础知识；</p> <p>5、熟练使用 AltiumDesignerPCB 设计软件；</p> <p>6、能够熟练焊接电路板及贴片类电子元件。</p>	
视觉	<p>1、对视觉感兴趣，善于编程；</p> <p>2、数学逻辑思维敏感；</p> <p>3、对神经网络感兴趣；</p> <p>4、做事认真负责，且有大局观念，自制能力强。</p>	<p>1、熟练 C++基础编程及语法；</p> <p>2、了解 OpenCV、机器视觉的知识；</p> <p>3、学习及掌握两种以上视觉算法，如：SVM 算法等。</p>	6-8
运营	<p>1、有良好的文案编辑能力，且对运营自媒体平台有些浓厚兴趣；</p> <p>2、善于策划活动，了解活动流程，有较强的语言沟通能力；</p> <p>3、喜欢摄影或拍摄，愿意记录生活；</p>	<p>1、掌握一定的图像及视频处理软件，如：PS、PR；</p> <p>2、熟练掌握 OFFICE 办公软件；</p> <p>3、具备一定的财务管理能力；</p> <p>4、有良好的沟通能力，且对外有着良好的礼仪规范。</p>	2

5.1.2 队员发展制度

(1) 梯队队员：通过考核入驻实验室的新生。且具有一定的专业知识与技能，可以逐步上手设计、调试机器人，且可以运用利用实验室的平台进行除 RoboMaster 机甲大师赛外的其他比赛进行能力锻炼，以及参与正式队员备赛过程积累经验；

(2) 正式队员：在实验室学习过一年并且成功转正的队员，具有较强的专业知识与技能，可以参加本赛季比赛的主力队员。主要负责备赛以及培养梯队队员。

(3) 顾问：有机甲大师参赛经验的队员，留在队内帮助队员攻克一些技术难题。

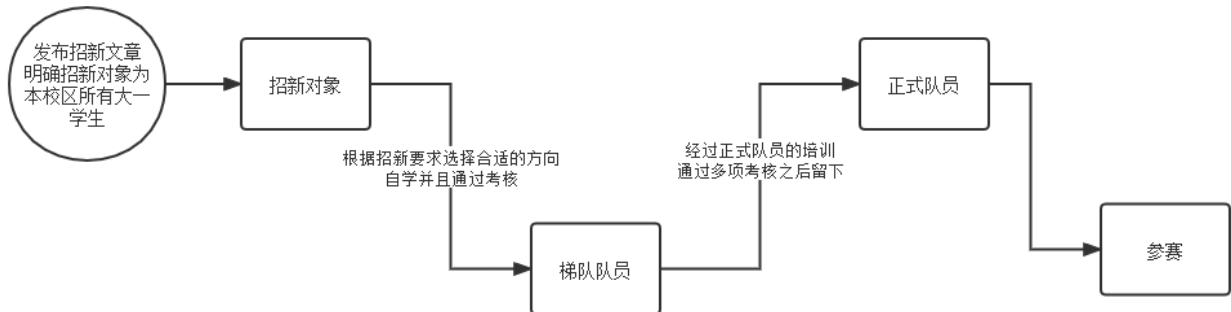


图 5-1 队员发展流程

5.2 团队文化建设计划

5.2.1 团队氛围建设

在节假日或空闲时间组织大型团建项目，如聚餐，观影等。在活动中共同促进团队的向心力，缓解备赛压力，同时也是对各位队员做出贡献的嘉奖。拍照记录战队内的高校日常，由队员们自行脑补 DIY 表情包。这些能很大程度上拉近队员之间的距离，让战队拥有一个更加温馨的氛围，缓解备赛压力，提高工作效率。

5.2.2 队伍传承

(一) 新老队员交流

正式参赛以来，所有正式队员均在 QQ 群中，主要包括已毕业队员和在队队员，并实时更新，日常交流技术问题及相关就业问题，也为在队的队员以后的发展的方向提供了参考信息。

(二) 资料传承

以一个赛季为一个周期，每一赛季比赛结束后，都做一次赛季总结，记录所有日常制作和测试中遇到的问题以及解决方案，并将备赛过程中的所有资料数据全部存到移动硬盘中归档保存，以供后来队员参考，帮助下一赛季参赛队员规避一些问题，少走弯路。

(三) 文化传承

战队文化是一个战队队员在长期的学习，创作，备赛过程中形成的，被大家广泛认可的一种价值观念。良好的战队文化应该是队员们参赛的精神支柱，不竭的动力源泉。而战队优秀的文化传承要靠每一位队员，自觉遵守各项规则，团结，积极向上，才能有好的氛围。

5.2.3 人员考核制度

(一) 战队实行自评及互评式项目制考核制度。每月均会发布若干有挑战性的项目让梯队队员以及正式队员自行选择，独立制作。月末由项目管理组织考核大会，队员逐一展示自己的作品。要求作品必须实现应有的所有功能，且具有创新部分。

(二) 考核大会队员之间可自行交流项目制作心得。展览结束之后，队员每人填写一张自评表，以及投票选出本月最佳创作。

A	B	C	D	E
20__年__月鼎行·双创战队（正式/梯队）队员自评表				
姓名	职位	项目	项目完成情况	项目收获

图 5-2 队员自评表格

(三) 对于项目管理以及宣传运营成员，则采取绩效考核制度。例如每月发布微信推文数量以及浏览量，剪辑宣传视频质量等。

(四) 在施行项目制考核的同时，考勤记录也将记入最终考核结果。缺勤两次记为一次未完成进度。

(五) 连续两次及以上没有按时完成项目进度者，给予一次警告，警告两次，考虑降级或清除出队。

6. 预算分析

6.1 预算估计

本赛季总预算分为研发耗材预算，比赛差旅预算以及日常经营开销预算。如下表所示：

表 6-1 研发耗材预算

名称	材料	尺寸	个数	单价/ (元)	合计/ (元)
铝方管	铝 6063-T5	20×20×2	50	3.7068	185.34
3508 电机支架	40#钢		9	20.666667	186
直线光轴	45#钢	直径 6mm+直径 10mm	16	8.5	165
304 不锈钢轴承	440 不锈钢	S6204	8	7.2	57.6
不锈钢角码	不锈钢	39mm×39mm	100	3	300
皮带齿轮	铝合金	直径 34.05mm, 槽宽 26mm	12	26.666667	320
皮带	橡胶	周长 770-780	6	18	108
滑块轴承座	轴承钢	SCS6UU	4	5.2	20.8
3508D 孔长轴法兰	航空铝合金	10mm	3	49	147
3508 方形法兰	航空铝合金	10mm	4	39	156
双轴气缸	铝合金	TN20*40s	2	60	120
自制轴承座	铝合金	20mm	4	21.5	86
六角铜柱	黄铜	M4*40	10	1.002	10.02
碳纤维贴纸	磨砂 pvc	1m	1 张	15.8	15.8
直线滑块+直线滑轨	铝合金	SGR10 导轨+SGB10E-5 轮	3	59.88	179.64
倒车影像	PVC 塑料	4.3 寸	1	79.99	79.99
螺母螺栓	碳钢	M4	500	0.106	53

挡边法兰轴承	铝合金	MF105ZZ 5*10*4	12	1.8	21.6
卧式光轴支撑	铝合金	6mm+8mm	8	10.25375	82.03
行星减速电机	铝合金	24v98r/min	2	81	162
RoboMaster M3508 P19 直流无刷电机			12	299	3588
RoboMaster C620 无刷电机调速器			12	239	2868
RoboMaster 电调中心板 2			3	53	159
RoboMaster 机器人专用遥控器套装			2	377	754
RoboMaster RFID 标签卡 TC02			2	27	54
RoboMaster 开发板 A 型			2	257	514
其他非标件机械加工耗材					2000
总计					12392.82

表 6-2 比赛差旅预算

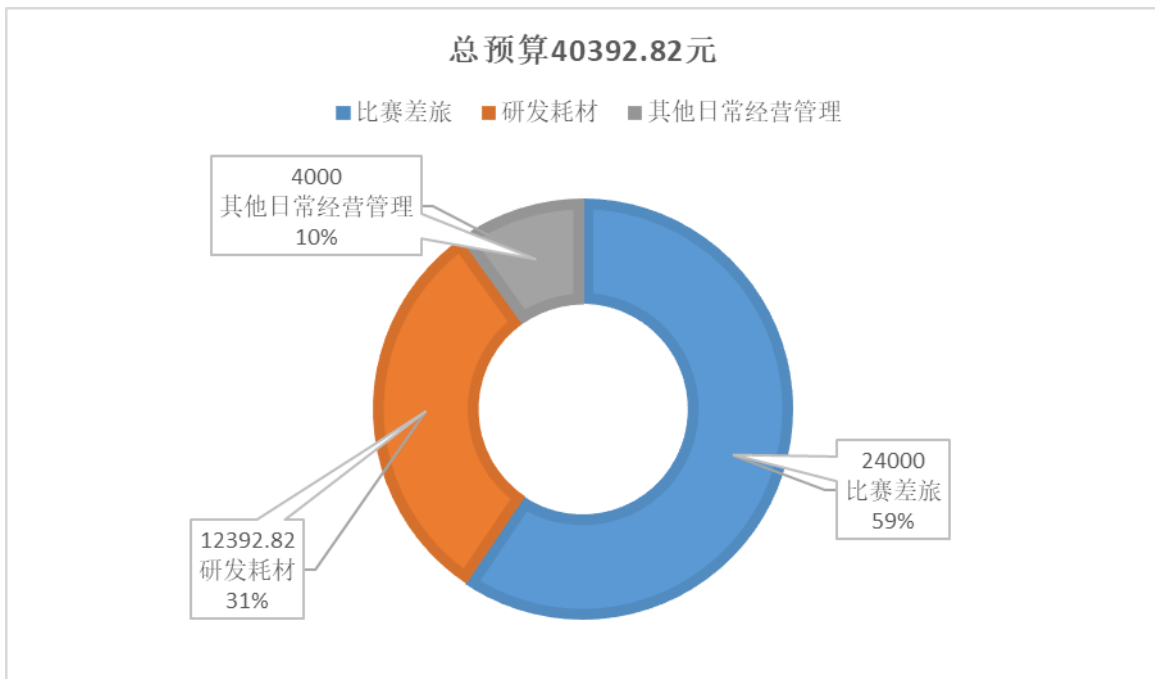
类别	预计	人数	总计
路费	1500	8	12000
住宿费	1000	8	8000
餐饮费	500	8	4000
总计	3000	8	24000

表 6-3 其他日常管理运营预算

类别	预计
----	----

宣传条幅及海报制作	2000
线下活动经费	1000
实验室管理	1000
总计	4000

图表 6-1 本赛季总预算



6.2 资金筹措计划

由于战队处于起步阶段，战队稳定的资金来源只有学校赞助经费。但是已经制定了相对完善的招商计划，待下一步实施。

表 6-4 招商分析

赞助商希望获得	战队需要
曝光（面向校园/面向特定人群/面向大众）	资金支持
雇主品牌建设	场地支持
科技属性赋权	生产加工支持

企业社会责任	物流支持
--------	------

通过上表的分析可确定目标企业：

表 6-5 初定目标企业

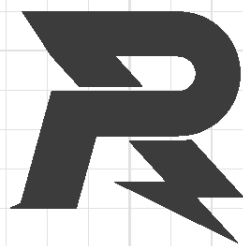
目标企业类型	原因
各类洛阳本地考研教育机构以及其他连锁店	这类公司主要消费对象是在校大学生，我们战队的校内宣传可以让他们获得很好的流量。
中小學生课外兴趣培训机构	可以与战队合作进行科创讲座，战队可赠送他们纪念模型等。
战队购买电子设备的一些外地公司	外地其他一些智能科技类公司，例如：科大讯飞股份有限公司，该公司是从事于智能语音的一家大型智能科技类公司，可以从该公司一些地区的分公司入手（尤其是该分公司在本地区宣传力度较弱的地点），这样可以争取到更大概率的机会，得到该公司的技术支持与合作。

7. 技术方案分析参考文献

表 7-1 借鉴参考文献及收获

参考文献	收获点分析
博客园作者 sasatori RoboMaster 电控入门系列教程（共九篇）	系统的了解了参加的 RM 电控方面所需要的知识，全篇教程贴合实战，作为入门教程很合适，在之后的培训体系建立后，可能会将此教程作为培训内容之一
官方 2019 年度步兵开源程序	参考了官方程序中部分各兵种通用的部分，例如底盘 3508 电机、云台电机与 A 型开发板的 CAN 通讯的配置以及整体程序的架构
常州理工大学 bilibili 电控培训视频	结合具体程序对机器人各个基础方面进行讲解，与博客园教程相配合，在电控初期起到了较大的

	作用，使电控成员快速了解和学习了所用到的 STM32 的知识
RoboMaster 开发板 A 型开源例程	在例程中，有相关模块的配置，在参考其中的陀螺仪例程之后，进行陀螺仪相关的程序移植与改进，最终成功读取板载陀螺仪角度且其误差限制在可接受的范围之内。
控制工程基础（孔祥东、姚成玉主编）	能运用理论知识和实践相结合，用阶跃响应去辨识一个动态系统的传递函数，进而在频域上去进行分析，设计出能使系统“快，准稳”的控制器。
新型 PID 算法及其运用（陶永华主编）	通过阅读本书，了解和熟悉的基本的 PID 算法，知道了什么是 PID 算法，及平时常用的 PID 算法种类。并学习了相关的 PID 参数调节方法。结合官方步兵开源程序，进一步针对实际的工程机器人写出合适的 PID 算法，并调整参数至最优
野火 FreeRTOS 内核实现与应用开发实战指南	来自野火的超详细的系统学习 FreeRTOS 的资料，通过本书初步掌握 FreeRTOS 的简单使用，并可以作为解答书，当遇到相关问题时，进行查阅，方便快捷
CSDN 张巧龙 魔方姿态调整博客	学习借鉴了其魔方姿态调整的思路与方法，结合本赛季工程规则，得到矿石夹取后姿态调整的基本思路。
正点原子 F4 系列开发指南 / STM32 野火 HAL 库开发实战指南	作为 STM32 使用过程中的“新华字典”使用，遇到忘记的知识点或者不熟悉的知识点可以进行查阅。
西南石油大学铁人战队赛季规划开源	借鉴了其团队管理方案及人员架构



邮箱: robomaster@dji.com

论坛: <http://bbs.robomaster.com>

官网: <http://www.robomaster.com>

电话: 0755-36383255 (周一至周五10:30-19:30)

地址: 广东省深圳市南山区西丽镇茶光路1089号集成电路设计应用产业园2楼202