

# 管道异物检测清理机器人

## 快捷 QC 小组

### 前言：

现代大型发电厂水汽管道总长度可达数千米，管道总重量可达上千吨，电厂管路错综复杂，管道从预制加工，再到现场焊接，表面保温等工作完成，时间跨度较长，管道内可能会进入异物，即使管道吹扫后也不能保证管道内没有异物。而管道管线一般较长，且管道内径小，人员难以进行清理，如遗留的异物不及时清理，可能会卡塞阀门，造成阀门内漏，甚至危及整台机组的运行安全。



### 一、小组概况

表 1：小组概况

小组名称	快捷 QC 小组				
课题名称	管道异物检测清理机器人				
小组注册号	2018YJDY001	小组登记日期	2018.03		
课题类型	创新型	组 长	唐守昱		
小组成员		10 人			
小组成员接受 TQC 教育情况：共 52 课时					
小组成员概况	姓 名	性 别	文化程度	职 务	组内分工
	唐守昱	男	大专	组长	活动协调
	张洪硕	男	本科	组员	全面负责
	王运航	男	本科	组员	调试验证
	孔星	男	本科	副组长	对策实施
	郭明山	男	大专	组员	质量监督
	贾光明	男	大专	组员	对策实施
	郭伟	男	本科	组员	对策实施
	崔伟	男	本科	组员	对策实施
	董洪帅	男	本科	组员	对策实施
开万硕	男	本科	组员	对策实施	

制表人：唐守昱

时间：2018-03-20

## 二、选择课题

1. **现状**：一台核电机组常规岛及 BOP 管道共计 13KM，其中 800mm 以上口径管道占 20%，300mm-800mm 口径管道占 70%（以下简称特定管道），300mm 以下占 10%。800mm 以上管道人员可以进入清理，不在本次课题考虑范围内。但特定管道占比大，且人员难以进入，如果异物跟随介质进入系统设备造成机械卡塞，阀门无法关闭泵体无法运转，甚至可能造成机组停运，对人民的生命财产安全造成重大的威胁！

2. **检测清理准确率低**：在特定管道中检测，局限于内窥镜数据线的长度、目标位置等，检测准确率低。

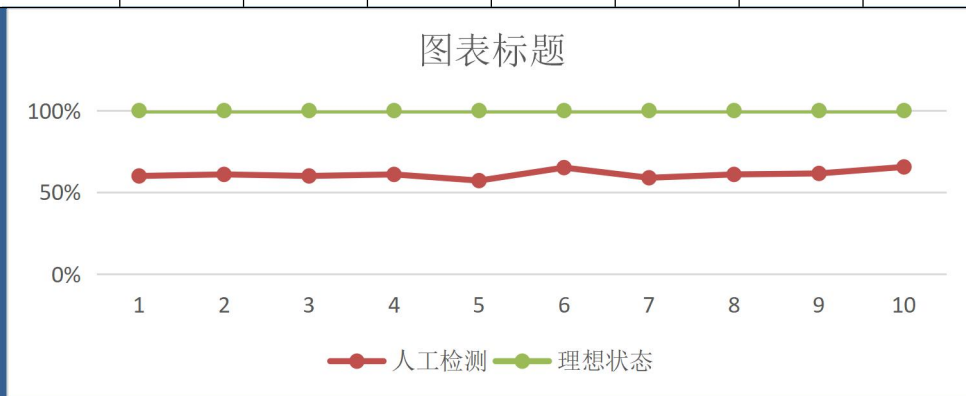
3. **检测清理无法同时进行**：内窥镜检测只能检测，无法同时对小型异物进行清理。

4. **整体性检查难度大**：管道系统整体性检查需要对管道开孔设置检查点，本身增加了异物存在的风险，实施难度较大。

据调查，1—4 号机组管道移交前内部无异物检测率 100%（**检测率=检测到异物点/总的检测点**），移交运行后仍有事故发生，异物大多是焊渣、垫片、铁丝等小型异物，人员无法进入管道，以下是在 GCT 系统 100 米特定管道水平段随机 60 个异物点进行重复十次的人工检测清理试验的准确率：

表 2：人工检测清理准确率

人工检测清理准确率									
次数/检测到异物点/检测准确率%									
第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
45	47	45	47	40	56	43	47	48	57
75%	78%	75%	78%	66.7%	93.3%	71.6%	78%	80%	95%



制表人：王运航

时间：2018-03-22

由表可知，在人员无法进入的特定管道内进行传统异物检测准确率较低，平均仅为 79%，安全隐患大，容易造成事故发生。因此，我们急需一种新型的检测工具！

查新借鉴：随后我们从百度、知网等进行相关产品的学习，在除暴与消防机器人中得到启发：

1. 公安除暴机器人可以进入危险的场所，用机械手将危险品转移；2. 消防机器人的视频部分能清晰及早的洞察险情。如果研制一种能在特定环境下进行移动检测、清理，且不受环境限制，可以远程遥控的机器人，岂不是同样能达到降低风险的目的？

综合以上两种机器人特点做一款适合管道异物检测清理的机器人！



图 1：公安除暴机器人与消防机器人

制图人：张洪硕

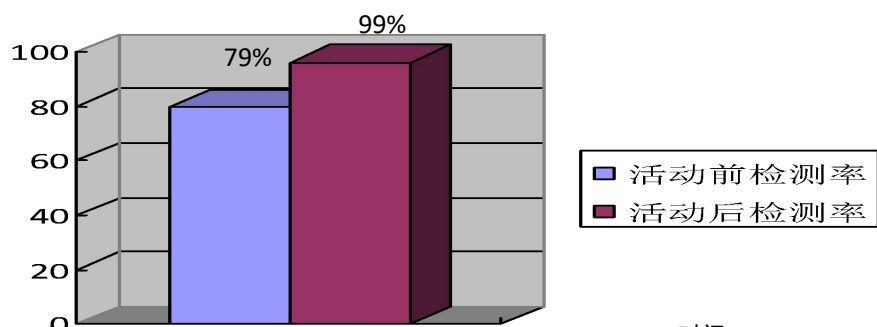
时间：2018-03-22

3、确定课题：研制管道异物检测清理机器人。

### 三、设定目标

1、设定目标：异物检测清理准确率达 99%以上。

表 3：设定目标



制表人：张洪硕

时间：2018-03-22

## 2、目标可行性分析：

百度检索除暴机器人的抓取率和消防机器人的检测率，如下表：

表 4：除暴机器人的抓取率和消防机器人的检测率

消防机器人检测准确率									
次数	1	2	3	4	5	6	7	8	合计
检测个数	60	60	60	60	60	60	60	60	480
检测率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
除暴机器人清理准确率									
次数	1	2	3	4	5	6	7	8	合计
清理个数	60	60	60	60	60	60	60	60	480
清理率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

制表人：张洪硕

时间：2018-03-22

由统计结果可知，消防机器人检测率与除暴机器人清理率均达 100%，借鉴采用的视频部分与机械爪部分均能符合目标要求，因为 300mm-800mm 口径管道，人员无法进入，机器人最大直径为 290mm，所以完全可以实现异物检测清理功能。

科研小组经项目部领导班子批准成立，科研资金研发性材料由队办负责，现场试验环境资金由项目部负责；阳江核电六号机组管道检测环境适合本次 QC 成果的研制。

小组曾研制的电缆测温机器人已获得授权专利，并荣获中电建协会 QC 成果二等奖、中国施工协会 QC 成果一等奖等多项荣誉，对成果肯定的同时更是对我们实力的认可！



图 2：小组所获荣誉

制图人：张洪硕

时间：2018-03-22

#### 四、提出各种方案并确定最佳方案

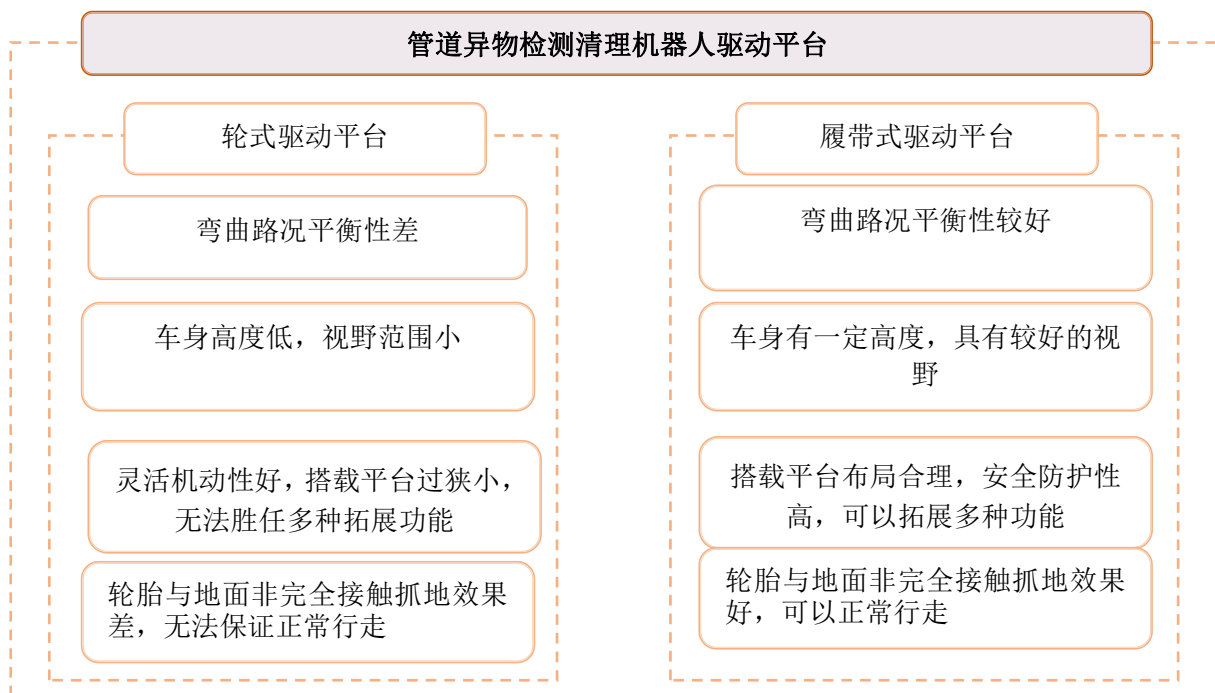
##### 1. 提出方案

小组展开讨论，要实现利用机器人进行管道异物清理，机器人必须具体以下功能，查找异物视频部分，夹取异物机械手，驱动部分，远程遥控部分。因为在**借鉴视频部分与机械臂结构的同时**，要使机器人能达到远程控制，必须加入**通信模块**，而机器人要在管道内自由移动的**驱动结构**和**异物夹取**的机械结构无疑缺一不可。至此，确定该机器人必须有以下组成部分：1. 驱动部分 2. 机械臂控制部分 3. 视频部分 4. 通信部分 5. 驱动平台载体。

载体是驱动结构组成的一部分，合适的载体能让检测清理效率事半功倍，小组提出优先确定载体结构的研制方案。

围绕研制异物检测清理机器人小车需达成的目标，小组成员集合一起，运用头脑风暴法，广开思路，针对驱动载体平台提出两种研制方案：

表 5：亲和图



制表人：孔星

时间：2018-03-26



## 2、选择方案

表 6：选择方案

名称	方案一：轮式驱动平台	方案二：履带驱动平台
平台面积	面积小，可搭载模块少	面积大，能搭载多种模块
车身稳定性	支架连接及支撑薄弱，车身稳定性差。	支架结构稳定性好，固定调节完后无需调整，稳定性好。
平衡性	设备结构简单，平衡差	设备结构严密，机械固定，平衡性好
抓地效果	轮胎接触面小，弯曲面接触面积小，摩擦力小，抓地效果差	履带结构，弯曲路面接触面积大，摩擦力较大，抓地效果好
适应路况	车身低，视野范围小，只适用于平坦路面	车身高，可视范围广，可适应弯曲路面
结论	因为管道环境的制约，故最终选择抓地稳定性好、平衡好、可在管道内检测清理的 <b>履带驱动平台</b> 。	

制表人：王运航

时间：2018-03-26

### 1) 工具模拟图

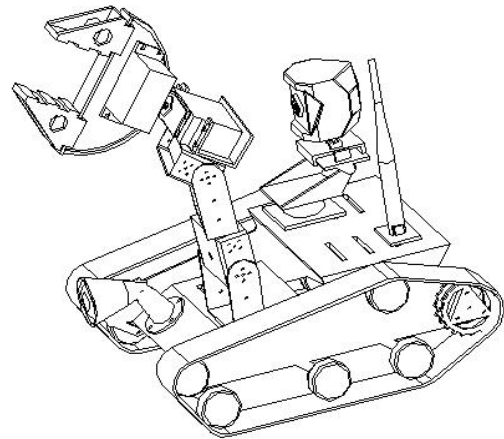
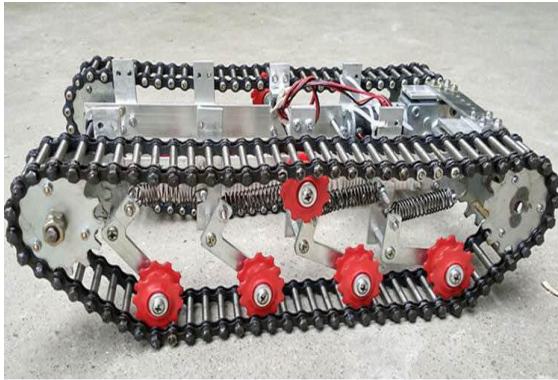


图 3：履带式底盘模拟图

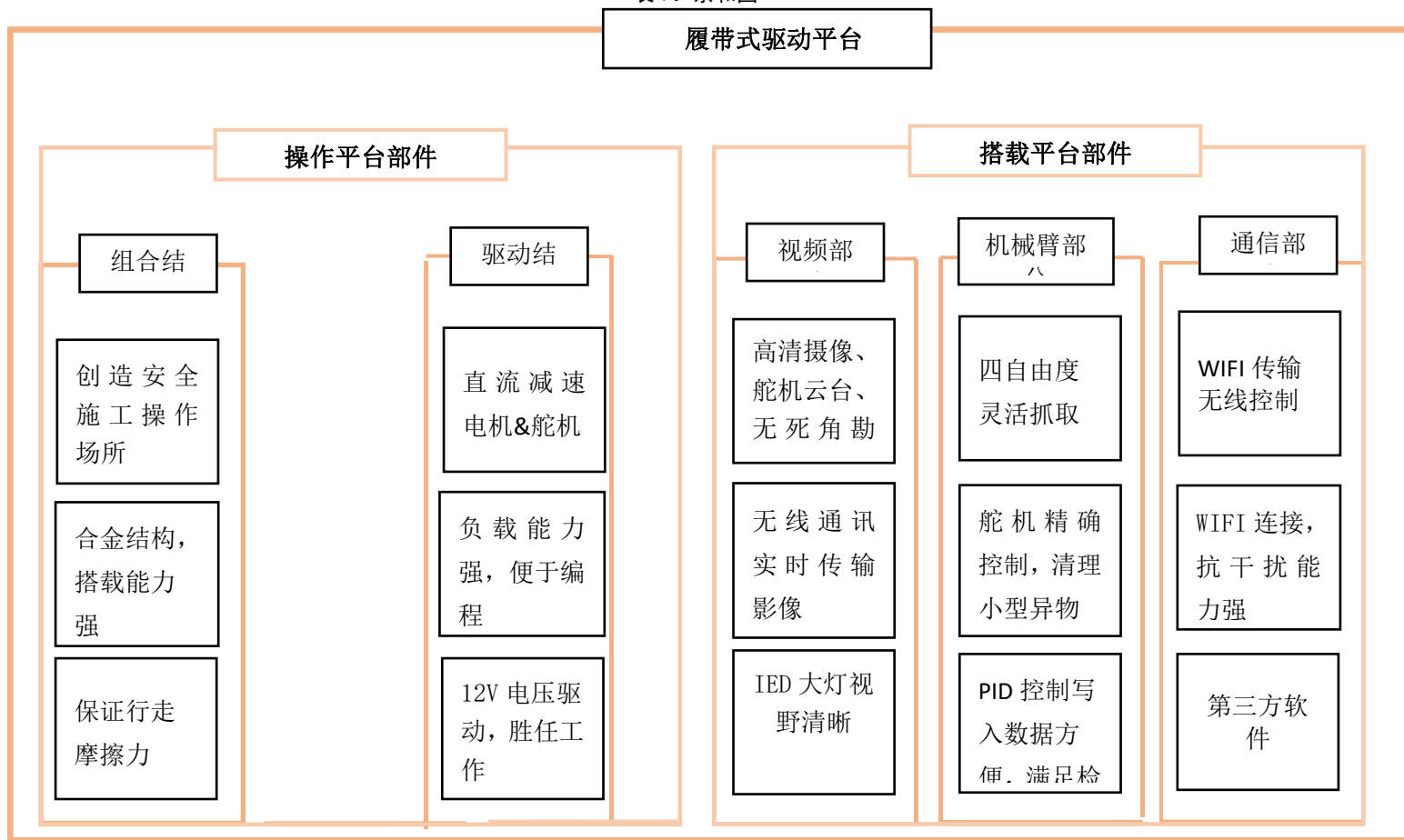
制图人：张洪硕

时间：2018-03-26

2) 方案条件及要求

围绕平台各个部件选择，小组再次集合在一起，运用头脑风暴法，广开思路，提出以履带式平台设计为方案，确定各个部件应具备条件和满足的要求，并运用亲和图整理归纳。

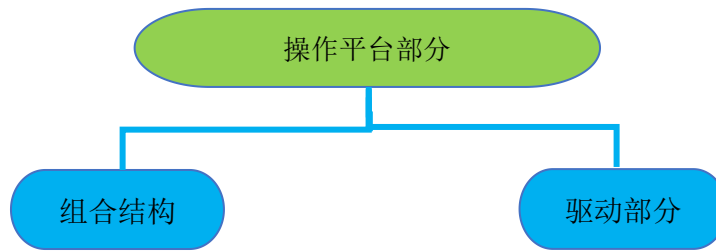
表 7: 亲和图



制图人: 王运航

时间: 2018-03-28

### 3. 分析论证



操作平台包括组合结构和驱动部分。组合结构即车体的结构材质，要保证车身稳定和平衡；驱动部分为行走电机的驱动，尽可能输出更多的有效功率。

#### 1)、组合结构选择

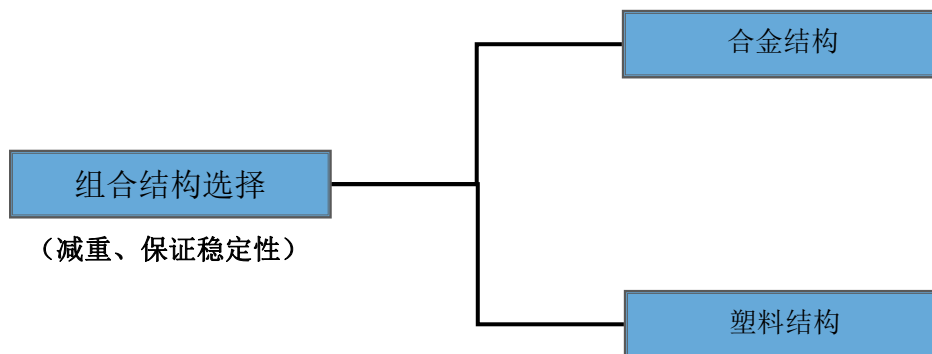


表 8：组合结构选择

分类	方案一:塑料结构 (亚克力)	方案二:合金结构
结构样式		
驱动方式	相同。单独驱动两个履带 (差速驱动)	相同。单独驱动两个履带 (差速驱动)
摩擦力	整体质量轻, 摩擦力小, 履带非完全接触时抓地效果不佳	质量略重, 摩擦力大, 抓地效果好, 履带较小接触面能保持正常行走
对元器件保护的 安全性	安全性较差	安全性较好
维护保养	结构稍显复杂, 日常维护简单。	零部件较多, 多为精密元件, 保养复杂。
稳定性	质量较轻, 稳定性差	质量适中, 车身稳定性提高 40%
结 论	经上述分析, 合金结构安全性强、结构牢实、抓地效果好, 因此采用 <b>合金结构式</b> 。	

制表人: 张洪硕

时间: 2018-06-09



## 2)、驱动结构选择

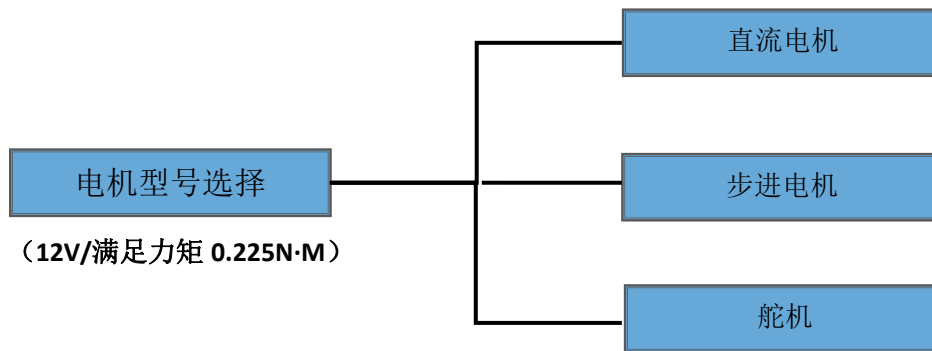
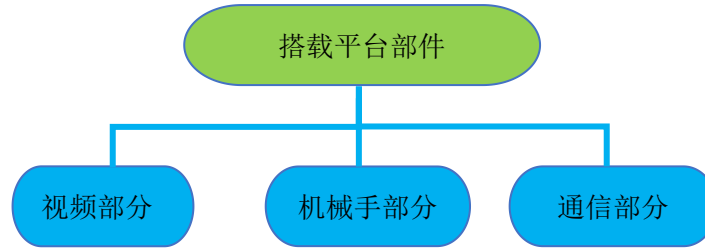


表 9：驱动结构选择

分类	直流电机	步进电机	舵机
设计描述			
特点分析	直流电动机结构简单，制造、使用、维护方便，运行可靠性高，重量轻。	也是直流电机的一种，步进电机内部有多个线圈，要想电机连续转动，就要依次给各个线圈通电。	一个连续转动的直流电机，加一个闭环反馈控制的回路，以实现精确的位置控制。
适用范围	电源用于驱动机器人的移动	用于机器人低精度固定位置控制的场合，如数控车床。常用于机械臂、关节处	高精度位移控制，可用于驱动机器人的腿，手臂，关节处。
安全性	操作简单、安全。	操作安全。	操作安全。
维护保养	结构简单，日常维护保养简单。	结构较复杂，日常维护保养较复杂。	结构较复杂，日常维护保养较复杂。
经济性	价格低廉，RMB. 20。	价格较贵，RMB. 80。	设备精密，科技含量高，价格较贵 RMB. 70。
结论	<p>在机械臂关节处用到的四个电机选为舵机，协同协作控制机械手的抓取动作。</p> <p>综合以上对比分析，确定车体总重，小车重量大约为 1.8Kg，行走速度为 0.5m/s，直径 <math>d=500\text{mm}</math>，<math>\text{转矩}(\text{N}\cdot\text{m})=\text{扭力}(\text{N})\cdot\text{作用半径}(\text{m})=1.8\text{Kg}\times 9.8\times 0.025\text{m}=0.44</math>，因此从履带齿轮出来的转速 <math>n=v/2\pi r=0.5\text{m}/2\pi\times 0.25\text{m}=1146\text{rpm}</math>，由于机器人行走时受到摩擦力，设定其摩擦系数 <math>\mu=0.5</math>，则履带力矩 <math>M=\mu mgr=0.5\times 1.8\times 10\times 0.025=0.225\text{N}\cdot\text{m}</math>。已知 CGM-25GA-370/12V 直流电机转速为 12000rpm，力矩为 0.84N.m 完全满足小车动力所需。</p> <p><b>故小组决定采用安全性好、用于小车移动、精密位移动作的直流减速电机和舵机。</b></p>		

制表人：王运航

时间：2018-06-09



1)、视频部分的选择

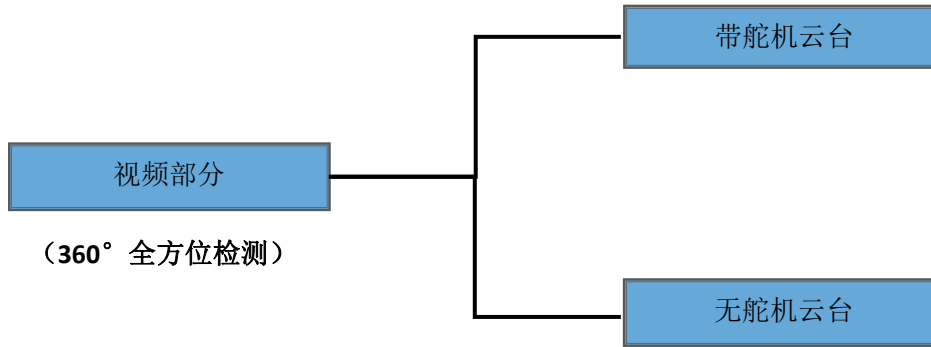


表 10: 视频部分选择

分类	方案一:带舵机云台	方案二:无舵机云台
结构样式		
特点分析	舵机云台的加入,使原本固定的摄像头有了脖子,可以任意转动,实时勘测路况,避障绕行降低车体风险,更好的完成检测工作。	固定在搭载平台之后无法调节角度,视角单一,机动性差,导致视野盲区,增加车体安全隐患。
可视范围	360°	0° (只能靠机器人的整体移动调整角度)
稳定性	和操作台连为一体,稳定性好。	稳定性不好,易晃动。
灵活性	角度可上下左右转动,灵活性好	固定后无法转动,无灵活性
视频帧数	720P 高清摄像	480P 标清摄像
结论	经上述分析,小组决定选定可视范围广、无死角勘测路况的 <b>舵机云台式</b> 视频部分。	

制表人: 孔星

时间: 2018-06-10

## 2)、机械臂的选择

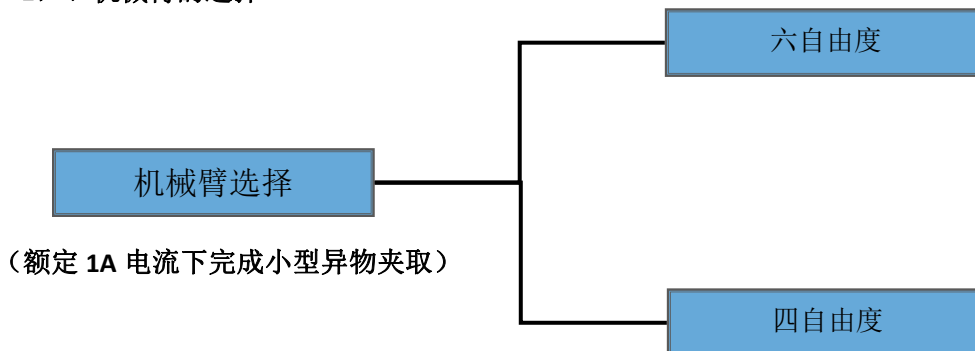


表 11: 机械臂选择

分类	方案一:六自由度	方案二:四自由度
结构样式		
特点描述	机械臂可以上下前后左右运动, 爪子可以旋转, 六舵机串行控制: 一个舵机控制机械爪开合, 四个舵机控制机械臂上下前后摆动, 一个舵机控制爪子旋转。拥有较大的抓持器, 可以夹取较大更重的物品。	机械臂可以上下前后运动, 爪子可以旋转, 四舵机串行控制: 一个舵机控制机械爪开合, 两个舵机控制机械臂上下前后摆动, 一个舵机控制爪子旋转。拥有较大的抓持器, 可以夹取小到螺母垫片大到矿泉水瓶等物品。
能耗	电流需求大 20~30A, 耗能多	干电池即可供电 1A, 能耗低
编程难度	编程困难	编程容易实现
重量	多用于固定机械台面, 质量重	可搭载于任意平台, 质量轻, 且结构灵活。
适用性	主要用于小型异物的夹取, 并不适用本次成果。	主要用于小型异物的夹取, 适合本次方案。
结论	经上述分析, 因成果用于狭小的管道空间, 异物体积小, 最终选择更加灵活, 结构更为简单的 <b>四自由度机械手</b> 。	

制表人: 张洪硕

时间: 2018-06-10

### 3)、通信部分

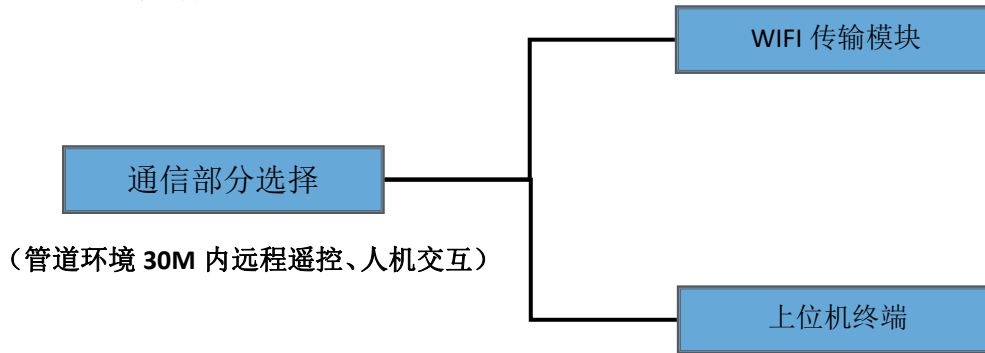


表 12: 通信部分选择

分类	WIFI 模块	上位机终端
实物图		
必要性	必要	必要
特点分析	<p>WIFI 模块可以自建局域网，这样便避免了无网络覆盖的影响，即便是在重重阻隔的混凝土环境依然可以接收和发射信号。</p> <p>而 APP 软件则是机器人的控制终端，接收显示数据的反馈。</p> <p>完成的操作离不开每一个模块，缺少任何一个模块，检测工作只能停滞不前，故此通信部分是协同协作的过程，并非单一个体完成任务。</p>	
抗干扰能力	强	强
最大传输距离	45M	/
有效传输距离	30M	
结论	<p>小组决定选定相互辅佐，共同协作的 <b>WiFi 模块以及上位机终端</b>。</p>	

制表人：唐守昱

时间：2018-06-11

#### 4. 确定最佳方案

经过小组层层比较分析，最终确认了管道异物检测清理机器人的最佳设计方案。

表 13：系统图



制表人：唐守昱

时间：2018-06-16



图 4：最佳方案 3D 模拟图

制图人：张洪硕

时间：2018-06-16

#### 四、制定对策

##### 1、制定对策表

表 14：对策表

步骤	对策	目标	措施	地点	负责人	完成时间
1	合金结构	承重 1.8kg，在承载物体时保持车身稳定	选择符合本次成果要求的铝合金。质量轻，硬度大，稳定性好。	物资	张洪硕 唐守昱 王运航	2018-06-21
2	直流减速电机 舵机	满足机器人位移的动力要求 0.225N·M	根据计算机器人驱动扭矩及机械臂抓取动力选择电机。	项目部	张洪硕 唐守昱 王运航	2018-06-22
3	带舵机云台 高清摄像	360° 观测周围环境，反馈路况及异物情况	分析比较视频在移动状态下的帧数，选择画质清晰的摄像头	项目部	张洪硕 唐守昱 王运航	2018-06-23
4	四自由度 机械臂	体积小，灵活度高，抓取力度好，在额定电流 1A 下能完成对异物的夹取	针对抓取物体分析，模拟实验选择抓取效果良好的机械臂	项目部	张洪硕 孔星 王运航	2018-06-24
5	WIFI	WIFI 模块 5DBi 外置 WiFi 天线，有效传输距离 30M	能组建局域网，实现在较远距离稳定的信号传输	项目部	张洪硕 孔星 王运航	2018-06-24
	APP	PAD 画质清晰	屏幕大，实时反馈数据和画面，便于操作	项目部	张洪硕 王运航	2018-06-25
6	编程调试	实现指令动作，完成设定目标。	对控制器进行分步调试，最终实现视频信号稳定正常，行进动作稳定到位，机械臂动作准确稳固。	项目部 及现场 办	张洪硕 王运航	2018-06-27

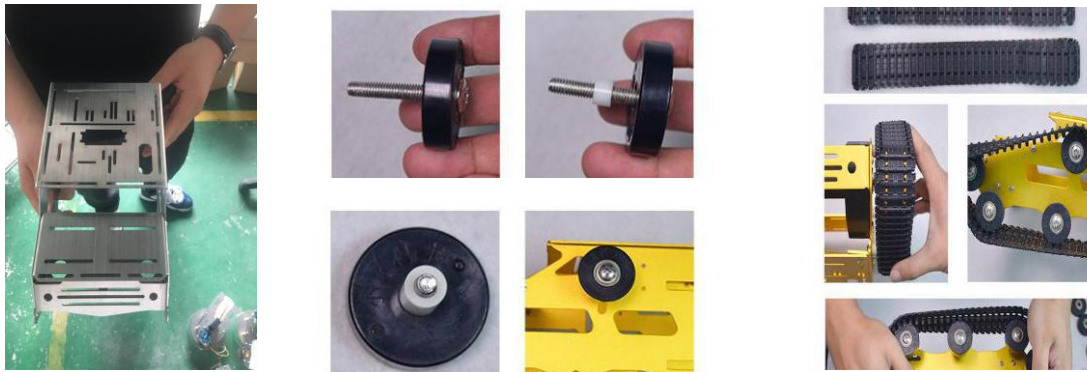
制表人：张洪硕

时间：2018-06-27



## 五、对策实施

### 对策实施一：合金结构车身



车身框架

承重、驱动车轮安装

履带安装

对策目标值检查：经验证，承载力对策目标值实现！

表 15：目标值检查

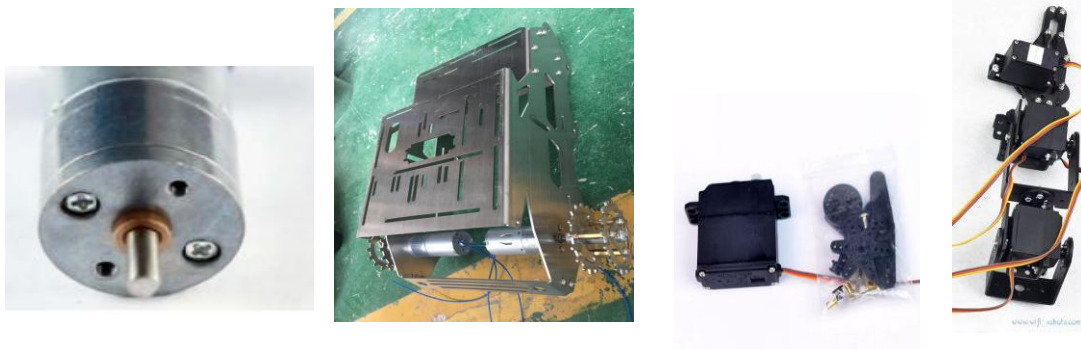
材料	要求	实物	是否符合要求	验收人
车灯	能耗低	5V 供电	符合要求	刘振军
承重轮	摩擦力小	M3*8/M2 螺丝，轴承良好	符合要求	
驱动轮	一对	锯齿啮合，顶丝/联轴器/M4 螺丝	符合要求	
底盘	合金材质	合金，1~3 螺帽、金属配件	符合要求	
履带	可拆卸	针扣调节履带	符合要求	

制表人：王运航

时间：2018-06-28

针对机身适当增加了轴距使车身更稳定，履带的啮齿也具有更好的抓地力。

### 对策实施二：直流减速电机与舵机



减速电机实物图

舵机实物图

表 16：目标值检查

材料	要求	实物	是否符合要求	验收人
减速电机	2 个、电源电压稳定	2 个、12V 供电	符合要求	刘振军
舵机	4 个、不需要额外降压	4 个、12V 供电	符合要求	

制表人：张洪硕

时间：2018-06-28

经验证：启动力矩 0.225N·M 目标值实现。

### 对策实施三：舵机云台摄像



高清摄像头



舵机云台摄像安装



带舵机云台摄像头

表 17：目标值检查

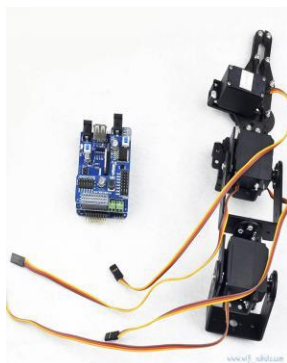
材料	要求	实物	是否符合要求	验收人
高清摄像头	画质清晰，视野面广	720P 百万高清、广角镜头	符合要求	刘振军
舵机云台	快速响应、旋转灵活	9G 舵机、云台套件	符合要求	

制表人：唐守昱

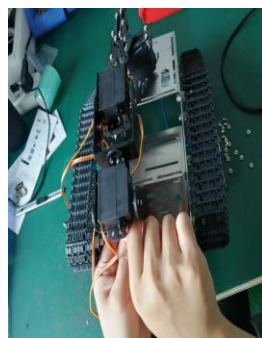
时间 2018-07-01

经验证：舵机云台摄像结构 360° 全方位检测对策目标值实现。

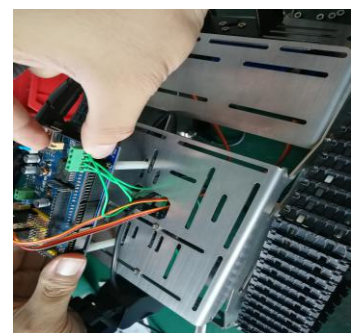
### 对策实施四：四自由度机械臂



机械臂与开发板



机械臂安装



开发板安装

表 18：目标值检查

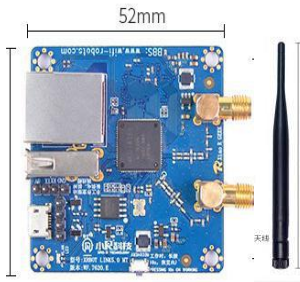
材料	要求	实物	是否符合要求	验收人
995 舵机	扭矩 7KG	4 个、12V 供电，扭矩 7KG	符合要求	刘振军
机械爪	支架性能好、整体质量轻	U 型、L 型支架，铝合金爪	符合要求	张洪硕

制表人：唐守昱

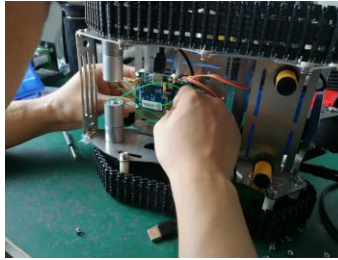
时间 2018-07-05

经验证：四自由度机械臂快速响应机动灵活的对策目标值实现。

对策实施五：WiFi、APP



WIFI 模块及外置天线



系统安装



上位机终端

表 19：目标值检查

材料	要求	实物	是否符合要求	验收人
WIFI 模块及天线	自建局域网模块，天线	AR93310penwrtRobot-Link4.0、5dBi 外置天线	符合要求	张洪硕
移动设备	PAD/PC/PHONE	PAD	符合要求	张洪硕

制表人：孔星

时间 2018-07-11

经验证：WIFI 模块与单片机相结合并与移动终端通信良好。  
在完成以上功能模块的安装后，对未调试系统整体进行检查评估：

快捷小组安装检查验收单

系统：AUTOMATION 区域：平台安装

检查项目	质量标准	检查结果
操作平台	结构坚实，无松动	符合标准
搭载平台	无松动运行良好，无卡顿	符合标准

验收结论：符合标准

验收人：张洪硕 2018.07.04

日期：2018.07.04

QC1 签字/日期：张洪硕 2018.07.04

QC2 签字/日期：孔星 2018.07.04

快捷小组安装检查验收单

系统：AUTOMATION 区域：零部件安装

检查项目	质量标准	检查结果
承重架	80*80 螺栓	符合标准
驱动轴	直径/联轴器/轴 螺栓	符合标准
底座	80*120 螺栓、电机、金属配件	符合标准
车轮	3V 供电	符合标准
履带	可拆卸	符合标准
双轴减速机	5000 减速机	符合标准
摄像头	USB 免驱高清摄像头	符合标准
摄像头	视自由度	符合标准
WiFi 小车控制终端网络控制	AR93310penwrtRobot-Link4.0	符合标准

验收结论：符合标准

验收人：张洪硕 2018.07.04

日期：2018.07.04

QC1 签字/日期：张洪硕 2018.07.04

QC2 签字/日期：孔星 2018.07.04

图 5：平台整合质量验收单、零部件组装质量验收单

制表人：孔星

时间 2018-07-11

从检查结果得知：车身框架无歪斜且负重良好、车轮无卡顿且转动流畅、履带链条紧实无松动脱落现象、搭载平台各精密元器件可正常上电且保护良好。

故可以进行系统的编程调试。

## 对策实施六：编程调试

对策目标检查：经检查，驱动装置组装牢固，无上下移动偏差，纵横方向无移动，搭载部件安装位置灵活，固定后牢固。进行对系统软件连入上位机调试。

**技术参数：**



电机参数



驱动电路图



机械臂舵机的电路原理

**调试运行：**



波特率计算



通讯串口调试



程序编写

**表 20：目标值检查**

序号	试验物品	物品质量	抓取情况	结果检查	试验日期
1	焊渣	30g	Y	符合要求	2018-07-12
2	垫片	15g	Y	符合要求	2018-07-12
3	螺母	50g	Y	符合要求	2018-07-12
4	螺栓	100g	Y	符合要求	2018-07-13
5	碎布	100g	Y	符合要求	2018-07-13
6	螺丝刀	150g	Y	符合要求	2018-07-14
7	斜口钳	200g	Y	符合要求	2018-07-14
8	石子	100g	Y	符合要求	2018-07-15
9	饮料瓶	500g	Y	符合要求	2018-07-15

在验证异物大小的同时，对通信连接做了实验，传输距离：**理想无障碍物环境 45M，现场环境 30M。**

制表人：王运航

时间：2018-07-16



机器人小车运行步骤：

1. 启动电源，各模块通电进入待机状态；

2. 连接设备与操作端，可支持手机、PAD、PC 客户端。

3. 待 WiFi 模块指示灯常亮时，连接 WIFI，打开通信 APP。界面上方有舵机控制、动力调整按钮，点击舵机控制，弹出六条垂直线，如图 1 所示，因为选用的是四自由度舵机，所以前四条分别控制机械手的前后上下及抓取，分别控制如图 2 所示四个舵机。

4. 点击红心加号会弹出如图 3 所示界面，点击中间 IED 大灯按钮，便可以在光线不足的环境中进行检测清理工作；点击动力调整，弹出如图所示速度百分比，可以通过调节百分比直接控制车体速度。



图 1

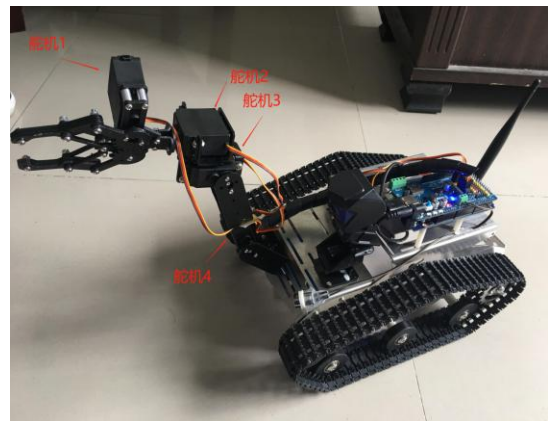


图 2



图 3



图 4

制图人：张洪硕

时间：2018-07-17

经验证，机器人各模块运转正常，管道环境 15m 范围内通讯良好，可以实现自由行走、实时监测、目标抓取（15g~500g）等一系列目标指令动作，符合目标及标准要求。

至此，小组活动取得圆满成功！

## 六、效果检查

### 1、目标值检查

针对机器人小车试验进行目标值检查，现采用异物检测清理机器人小车在 08.15 日上午检测 6 号机未移交 GSS 系统特定管道水平段，全长 300m，此次检测施工符合设计及规范要求。



现场管道



内径 300mm 管道



异物夹取

1)、首先，在 GSS 系统未移交 300m 管道中，设置 100 个异物点，并经过反复试验，考察机器人小车的检测准确率及异物清理率，经过试验总结，绘制图表如下：

表 21：机器人异物检测统计

机器人异物检测统计											
时间项目	8. 15	8. 16	8. 17	8. 18	8. 19	8. 20	8. 21	8. 22	8. 23	8. 24	合计
设置异物点 (个)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000
检测异物点 (个)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000
检测准确率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
清理异物点 (个)	98	100	99	100	100	99	98	99	100	99	992
清理准确率	98%	100%	99%	100%	100%	99%	98%	99%	100%	99%	99.2%

制表人：郭明山

时间：2018-08-23

由表可知，机器人的异物检测率达 100%、清理率达 99%以上。检测清理异物准确率达到目标要求，拥有人工无法匹及的优越性。

综上所述，小组制定的目标全部实现，小组活动取得圆满成功！



## 2、经济效益检查

采用 6#机组 GSS 管道距离为定量，考察人工及材料消耗。计算如下：

表 22：异物检测清理机器人小车目标值检查

异物检测清理机器人小车目标值检查		
分类	项目	
		#6 机 GSS 管道（前）
		#6 机 GSS 管道（后）
是否采用探测小车		未采用机器人
检测时间		4H
检测距离		1KM
检测人员		4 人工
人走物清检查		2 人工
材料消耗		内窥镜一台、红外探测仪一个、口罩四个、监护马甲一个、焊接设备一套、警示带及围栏立柱一套、干电池 8 节、绝缘手套两副
总日工消耗		6 日工
对比总结		在相同距离的管道检测，未使用小车消耗人工及材料多，造成人力资源的浪费，机器人检测只需要一名操作人员一名记录人员即可完成检测。

制表人：张洪硕

时间：2018-08-25

采用工具后，各项数据经济效益计算如下：

在相同环境下检测管道：

未使用机器人人工成本为 6 人工/千米，使用机器人人工成本大约为 2 人工/千米， $(6-2) \times 240 \text{ 元/人工} = 960 \text{ 元}$ ；

阳江核电 6 号机组符合检测条件的管道共计 7.948KM，检测频率为每周一次，系统移交运行前共计已检测 20 次，共节省  $20 \times 960 \times 7.948 \approx 15.26 \text{ 万}$ 。

## 3. 社会效益检查：

综合以上，机器人投运后有效减少了人员及时间的浪费，攻克了特定管道检测清理无法同时进行的难题；对系统的移交与日常的维护起到了积极的推动作用。

质量管理活动经济效益认定书					
小组名称	快捷 QC 小组	小组人数	5 人	活动时间	2018.03-2018.08
课题名称	管道异物检测清理机器人				
QC 小组成果经济效益测算：					
异物检测清理机器人小车目标值检查					
分类	项目	#6 机 GSS 管道	#6 机 GSS 管道		
是否采用探测小车		未采用机器人	采用机器人		
检测距离		1KM	1KM		
检测人员		4 人工	1 人工		
人走物清检查		2 人工	1 人工		
材料消耗		内窥镜一台、红外探测仪一个、口罩四个、监护马甲一个、焊接设备一套、警示带及围栏立柱一套、干电池 8 节、绝缘手套两副	机器人一台、警示带及围栏立柱一套、监护马甲一个、可充电锂电池 4 节		
总日工消耗		6 日工	2 日工		
本次 QC 活动主要是提高了施工效率，其经济效益主要体现在人工费用的节约上；在相同环境下检测管道，各项数据经济效益具体计算如下： 未使用机器人人工成本为 6 人工/千米，使用机器人人工成本大约为 2 人工/千米， $(6-2) \times 240 \text{ 元/人工} = 960 \text{ 元}$ ； 阳江核电 6 号机组符合检测条件的管道共计 7.948KM，检测频率为每周一次，系统移交运行前共计已检测 20 次，共节省 $20 \times 960 \times 7.948 \approx 15.26 \text{ 万}$ 。					
经济效益认定 常部门意见	经济计算小组活动材料 经济效益 15.26 万  公章：2018年12月5日				
申报单位：中电建核电公司      申报人：张洪硕      2018年12月30日					

