



附件：管道破拆机器人双臂履带车技术方案

管道破拆机器人双臂履带车 技术方案汇报

2026年5月1日

汇报人：杨工

目录CONTENTS

01

项目概述与核心挑战

项目背景、核心任务、关键约束

02

整体技术方案设计

总体设计思路、核心子系统概览

03

核心系统设计详解

履带底盘、主作业臂、副作业臂、智能控制系统

04

作业流程与效率分析

标准作业流程、时间效率分析

05

总结与展望

方案优势总结、应用前景展望



01 项目背景：“破壁求生”的极限挑战

赛题设置

科目描述

- (1) 2段长2000mm内径为1000mm的水泥管中间，垂直放置1块1200*1200mm正方形厚度100mm的钢筋混凝土板，水泥板长C30，钢筋直径8mm；混凝土板正中用红色喷漆标注有边长600mm的等边三角形。
- (2) 参赛队伍1台机器人，携带切割或破拆工具，进入水泥管道，机器人形态不限，工具不限，可以为无齿锯、金刚石链锯、坏壁、电锤、风镐、自研工具等。水泥板另一侧设置等候区，停放由救援会统一提供的救援物资，机器人高度为400mm。
- (3) 机器人进入从一侧管道，抵达垂直水泥板后，对喷漆标注的三角形内的水泥进行破拆。
- (4) 破拆过程中，机器人在可受操控处精准的的水泥残渣，避免掉落物影响破拆工作。
- (5) 机器人在将水泥板打开一定大小后，后边并发送指令，通知水泥管中另外一侧的机器狗穿过水泥板。
- (6) 机器狗顺利通过中间水泥板，抵达另一侧完成作业，如机器狗未能顺利通过，管道内等待区，让救援人员继续破拆完成通道，直到再次发出通过指令。
- (7) 最短时间完成所有作业者获胜。

《破壁求生》

对应“地震坍塌与狭小空间破拆”，是地震、建筑坍塌后最为典型的救援场景。

狭小空间破拆

项目来源

本方案旨在应对“破壁求生”竞赛场景，模拟地震、地质灾害或狭小空间坍塌后的典型建筑救援环境，对机器人的综合救援能力提出全方位考验。

环境·狭窄管道

需进入并穿越两段长2000mm、内径1000mm的水泥管道，空间受限。

障碍·混凝土板

管道中段设有1200mm×1200mm、厚10mm的C30混凝土板，硬度极高。

目标·精准破拆

需在混凝土板上600mm边长的等边三角形区域内，精准破拆出安全通道。

任务·通道通行

最终形成的破拆通道需保障一台40cm高的机器狗顺利通过，验证实用性。

01 核心任务与设计目标



本项目的核心任务是设计并制造一台能够**自主或遥控**完成复杂破拆与清障任务的机器人系统，以应对管道环境下的极端作业挑战。

01

精准抵达与定位

自主导航穿越管道，精准定位至600mm等边三角形作业区。

02

高效破拆能力

搭载专用工具，在受限空间内高效切割并破碎高强度混凝土板。

03

智能清渣防堵

及时清理并转移混凝土及钢筋废渣，防止机械结构卡阻，确保运行流畅。

04 通道核验与协同

自动感知并检查通道通行条件，向协作单元（机器狗）精准发出行动指令。

05 效率与安全并重

在保障系统运行稳定性和操作安全性的前提下，追求全流程最短的总作业时间。



01 关键约束与技术挑战



空间限制

- **管道内径约束:**
内径仅1000mm, 要求机器人最大宽度严格小于800mm, 适配性要求极高。
- **整机作业高度:**
受管道检修空间限制, 整机高度需低于700mm。



破拆性能

- **工具行程要求:**
破拆执行机构行程需超过700mm, 并具备灵活角度调节能力。
- **作业范围覆盖:**
有效作业半径 $\geq 600\text{mm}$, 需实现360°全方位覆盖。



清渣能力

- **单次抓取能力:**
需稳定抓取 $\geq 5\text{kg}$ 的大块或高密度废渣, 保证单次作业效率。
- **高效转运处理:**
具备将清理后的废渣快速、安全推移或搬运至管道两侧的能力。



控制与通信

- **双重冗余控制:**
采用“有线+无线”双冗余遥控模式, 确保复杂电磁环境下的控制绝对安全。
- **实时作业反馈:**
配备高清摄像头, 实现关键部位作业画面的低延迟实时回传。



环境适应性

- **动力系统配置:**
采用220V工业级锂电池供电, 平衡持续作业时长与机身重量。
- **严苛防护标准:**
整机需满足IP65防水防尘等级, 适应管道内潮湿多尘的恶劣工况。

02 总体设计思路：双机械臂协同作业

为应对挑战, 我们提出了基于“双机械臂履带车”的总体设计方案, 核心思想是**分工协作, 效率最大化**。通过差异化配置与协同调度, 解决复杂场景下的单一作业瓶颈。



主作业臂 · 破拆先锋

专注于高强度破拆任务, 配备大功率、高精度的工业级切割工具, 负责完成混凝土板、钢结构的精准轮廓切割, 是攻坚核心力量。



副作业臂 · 全能清道夫

专注辅助与协同任务, 搭载多功能末端执行器(液压夹爪、高频破碎锤), 负责破拆后的残渣清理、现场支撑加固与物料搬运。



重型履带式底盘

提供适应废墟、泥泞等复杂地形的高机动性与作业稳定性, 配合精准的伺服电机驱动系统, 确保双机械臂在任意位置都能稳定作业。



智能控制系统 · 中枢大脑

集成多传感器融合感知、运动规划算法与实时任务调度模块, 统一指挥双机械臂的动作时序与空间路径, 保障高效、安全的协同。



全自动化作业流程：一键启动，自主完成

将所有步骤预编程，实现机器人自主标定和作业，是完全可行的，也是提升竞赛效率的关键。比赛时，操作员只需下达指令，机器人即可自主完成全部任务。

01 自动导航与定位

- 机器人启动后，副手臂带着摄像头沿管道自主行进。
- 通过视觉传感器识别管道内特征，精准定位混凝土板作业区域。

02 自主标定与规划

- 自动识别并锁定混凝土板上600mm等边三角形目标。
- 内置算法自动计算最优切割路径与作业姿态。

03 执行自动化作业

- 自动启动主作业臂，按预设程序完成轮廓切割。
- 切割完毕后，自动切换成副手，无缝衔接在切割板上清渣作业。

04 任务自检与归位

- 清渣完成后，自动检查通道是否符合标准。
- 确认无误后自动后退，发出完成信号，等待下一步指令。



效率最大化

流程全链路无缝衔接，大幅减少人工干预时间，实现总作业耗时最短。



精度最高化

机器视觉与算法自动标定，消除人为操作偏差，确保切割与作业的精准度。



操作最简化

“一键式”启动，无需复杂的手动控制，极大降低了操作门槛与心理压力。

02 核心子系统概览

本方案由四大核心子系统构成，各系统协同工作，共同完成任务。



01

履带式移动底盘 ROBOT CHASSIS

机器人的“双腿”，负责承载本体重量与全地形移动。



02

主作业机械臂 MAIN MANIPULATOR

机器人的“主力手”，负责核心的切割、破拆等攻坚任务。



03

副作业机械臂 SUB MANIPULATOR

机器人的“辅助手”，负责破碎、清渣与现场支撑作业。



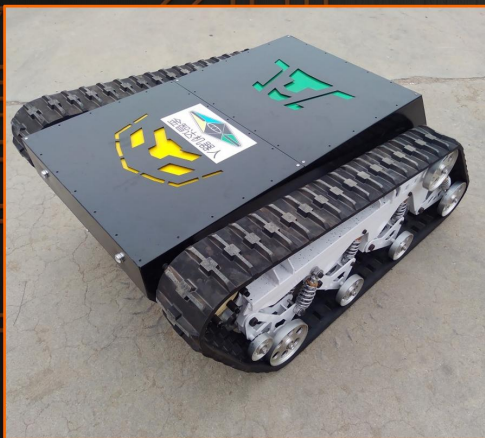
04

智能控制与感知系统 CORE & SENSING

机器人的“大脑和眼睛”，负责整体决策、精准控制及全方位环境感知。



03 履带式移动底盘：稳定可靠的移动平台



结构形式 · STRUCTURE

采用双独立履带驱动，配合外八式带避震摆臂结构设计，在复杂地形下可显著增强抓地力和机身稳定性，适应各类工业作业场景。



核心性能 · PERFORMANCE

驱动：双路 $\geq 500W$ 直流无刷电机，支持灵活差速转向 | 动力：0-0.5m/s可调速，牵引力 $\geq 200kg$ /推力 $\geq 200kg$ | 防护：整机IP65防护等级，不惧潮湿与粉尘



功能设计 · DESIGN

预留标准化动力单元与电池舱接口，支持多种作业工具的快速灵活适配；同时前端标配防碰撞缓冲护板，有效保护机身与作业对象安全。

03 主作业臂：高效精准的切割利器



设计思路 & 核心性能

- **设计逻辑**：采用多关节伺服电机控制架构，在保证高负载能力的同时，实现微米级运动轨迹精度。
- **极限负载**：有效负载能力 $\geq 30kg$ ，可灵活搭载各类重型液压与电动破拆工具组。



破拆利刃：高频环锯 (AC8400)

- **强劲动力**：额定输出功率达**5000W**，高扭矩输出，轻松应对高强度钢筋混凝土。
- **深透切割**：最大有效切割深度可达**29cm**，覆盖绝大部分建筑构件截面尺寸。
- **极致效率**：实测切割标准三角形轮廓 (周长1800mm) 仅需约**120秒**，大幅缩短现场救援时间。



03 副作业臂：多功能的辅助专家



结构形态 · STRUCTURAL FORM

采用高强度六节机械臂设计，最大伸展长度 $\geq 800\text{mm}$ ；通过与外部扩展轴的精密配合，实现多达10轴的复杂协同运动控制，确保在受限空间中的灵活性。

■ 模块化快换工具 MODULAR TOOLS

支持工具快换结构，可根据任务需求快速更换不同末端执行器。

气动夹爪：高夹持力设计，专为狭小空间优化，用于精准夹取混凝土碎块及钢筋废渣。

小型液压破碎锤：破碎力 $\geq 5\text{kN}$ ，高效分解大块混凝土。

仿真手爪：具备多自由度和力感知能力，实现复杂抓取与精细操作。

注：仿真手爪等部分先进工具作为补充思路，因成本问题暂不实施。

■ 核心作业优势 CORE ADVANTAGES



多相机融合感知

集成多目视觉，图像融合精准识别细小废渣，高效清渣。



遥操作力反馈

力反馈手柄感知接触力，实现人手般精准细腻操作。



“一机多能”复合角色

灵活切换清道夫、辅助支撑等角色，协同作业。



协同牵引与移出

牵引绳固定板块，平台牵引移出，避免二次破碎。

03 智能“大脑”与感知系统



感知系统 PERCEPTION SYSTEM

- ▶ **多传感器融合：**采用双目视觉与多相机融合技术，突破单目视野局限，极大拓展并提升了检测视野与环境建模能力。
- ▶ **实时视频回传：**支持4路高清摄像头画面低延迟实时回传，便于后台远程监控设备状态，并对关键作业步骤进行双向验证。

智能控制终端 INTELLIGENT CONTROL TERMINAL

- **高性能计算核心：**搭载工业级嵌入式计算平台，具备强大的数据处理与指令分发能力，保障系统稳定运行。
- **多模态交互控制：**支持触控屏、物理按键及远程指令等多种交互方式，灵活适配不同作业场景的操控需求。
- **边缘协同计算：**融合边缘计算与云端协同能力，实现本地快速响应与全局数据智能分析的有机结合。



05 方案优势总结



高效协同

双机械臂分工明确，主臂负责破拆，副臂同步清渣，作业效率实现质的飞跃。



稳定可靠

履带底盘提供强大地面附着力，配合专用顶升装置，确保复杂工况下切割精准与安全。



智能精准

深度融合机器视觉与深度学习算法，实现切割路径的自动化规划，大幅减少人工干预。



环境适应性强

整机具备 IP65 级工业防护等级，配合高扭矩动力系统，从容应对潮湿、粉尘等恶劣工业环境。

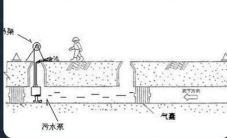


模块化设计

核心作业工具支持快速插拔更换，支持定制化扩展，降低维护成本，满足多元化作业需求。

05 应用前景展望

第二步：在封堵完成后，将管道内污水抽干净。



城市地下管网维护

对城市中老旧、堵塞的地下管道进行非开挖式修复和疏通，避免传统“开膛破肚”施工方式对交通与市容的影响，大幅降低维护成本。



灾后生命救援

在地震、塌方、火灾等复杂灾害现场，快速深入废墟内部，打通生命通道，探测幸存者位置，协助转运伤员，有效减少二次伤害风险。



化工高危作业

在高腐蚀、高易燃易爆风险的化工生产场景中，替代人工完成设备巡检、阀门开关、故障排除与紧急维修任务，保障人员生命安全。



核工业特种维护

在强辐射、高危险的核设施区域，远程操控完成设备拆除、核废料处理、反应堆内部部件更换与长期维护，从根本上规避人员辐射风险。

