管内高压智能清理机器人

赵东辉　宋 锦　刘 博　张 蕾　李计川

国家油气管道应急救援廊坊队

一、研发创意

油气管道开孔封堵救援实施过程中，无法直观观察到油气管道内部状况，如若发生开孔鞍形板或中心钻掉入管道内、管内出现杂质、异物、变形等情况会影响后续封堵救援的安全，因此亟需研制一种管内高压智能清理机器人，能实现管内爬行和调姿，进行精确安全的打捞作业。

二、成果简介

管内高压智能清理机器人由机器人本体、视频与照明系统、机械手系统、送进回收系统和控制系统组成，能实现管内全位置爬行，自动调姿，装载照明与摄像头探测管内情况，可实现管外遥控管内智能机器人可视行走和功能模块组合与操作。现行油气管道开孔封堵施工中，施工人员依靠经验判定作业结果，无法直观观察到作业后的管内状况，影响后续施工工序的安全判定；同时为确保封堵作业的安全，需要进行油气管道中的异物打捞，提高管道开孔封堵作业的质量和安全性。

三、技术特点

针对现行油气管道开孔封堵应急作业进行研制，进行管内高压智能清理机器人结构研究、控缆收放仓研究、送进回收机构的研究和可视化系统的研究，实现高压管内行走作业；具有管外智能控制功能、管内外控缆穿墙设计和机器人功能模块的组装设计。相对于传统打捞装置只能在管口 10cm 左右范围内进行作业，管内高压智能清理机器人具备 10m 范围内的行走、观察、打捞作业能力。

1．送进回收系统

送进回收系统包括送进开孔设备、收线器舱、收线器等。利用开孔机中心轴的伸缩控制机器人的送进与回收；收线器舱与开孔机中心轴通过连接件进行连接，其是辅助机器人进入管道内部的重要容器；收线器根据机器人的作业位置调整收放，避免电缆线对机器人造成干涉，并能辅助机器人进行拖拽作业。

2．机器人本体

机器人本体共分为三大系统：动力系统、摄像与照明系统、机械手系统。

动力系统提供机器人整体的运动、越障等，足够的动力是爬行机器人性能的重要保

证，因此动力系统的选取与匹配是机器人设计的关键。通过软件可实时监控参数变化，在设备运行时，动态监控数据变化，当内外部环境变化，如扭力超限，堵转，温度超限等会触及保护机制启动，从而保护舵机自身。舵机加装于壳体内，因机器人需要承受介质高压，需要考虑舵机壳体的承外压能力及密封能力，进行整体驱动电机在压力 6.4MPa 下的模拟抗压测试，电机是否有变形，或者内部舵机的变形情况，舵机需要配备外壳做防水抗压处理。

摄像与照明系统可以在管道内提供照明，并将摄像头监控的画面实时传输到控制箱内，便于操作员根据管内的情况来控制机器人作业。摄像头全方位实时在线监测，在线巡检：摄像头跟随机械手 360 度摆动，实时进行在线监测清理情况或者进行巡检工作。具备清晰的视频监控及录像功能（镜头可视物畸变接近 50 标准焦段，清晰度不低于 720P），可 360°观察阀门及管道内环境。

机械手系统由机械臂和四爪机械手组成，机械手抓取不同工装，便于机器人携带工装进入管道内。四轴机械臂与四爪机械手装在机器人主体上，由旋转电机带动机械臂转动。

3．机器人控制系统

机器人控制系统包括控制箱、控制电缆、水密接头等，可以实时监测显示机器人状态，控制机器人的前进、后退、机械手抓取等。控制系统由软硬件相互结合，实现对机器人的实时控制。采用 MODBUS 通信协议完成工控机和单片机之间的通讯，完成工控机监控软件的设计，电机运转状态和速度等，完成下位机电机运转控制。

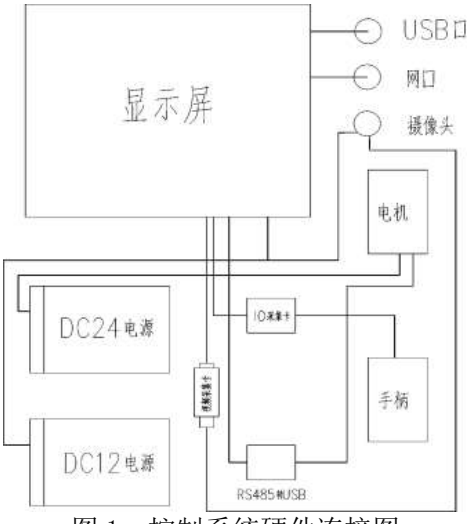

图 1　控制系统硬件连接图

四、实践应用成效

管内高压智能清理机器人相比于传统机械关节探测打捞设备具有更广的打捞范围，可视化和操控更加直观，数次应用于管道掉落异物打捞现场并成功取出，为开孔作业后续工序提供了安全保障。

五、代表性图片

国家知识产权局

300070

2022年07月30日

专利申请受理通知书

图 1 专利及荣誉

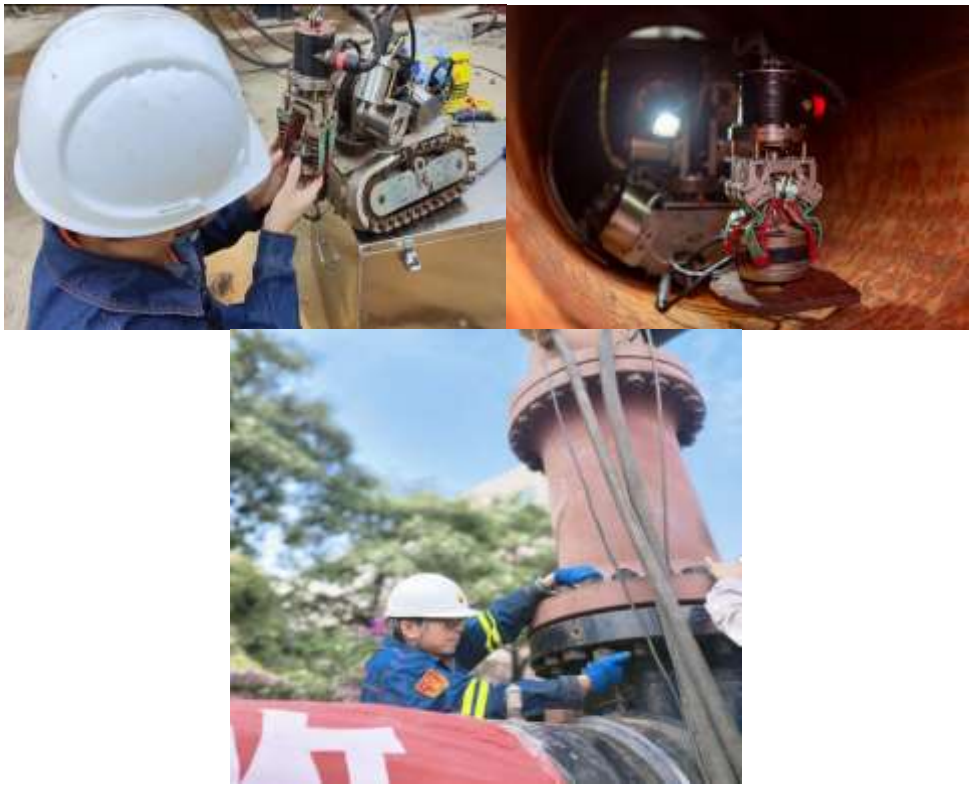

图 2 实物及使用照片

六、成果联系人

姓名：李计川　　联系方式：13903262640

地址：河北省廊坊市经济技术开发区四海路 18 号