

空天地一体化多源联控智能巡护系统

助力油气长输管道技防能力提升

时若楠 刘 洋（国家管网集团北京管道有限公司内蒙古输油气分公司，内蒙古 呼和浩特 010010）

摘 要：油气长输管道是一种将石油天然气从产地输送至储存库或使用单位的重要能源运输设施，作为连接油气生产与消费的“大动脉”，在全球能源供应中扮演着不可替代的角色。油气长输管道不仅确保了能源的有效分配，还对国家的能源安全和经济发展起到了关键作用。然而，随着管道周边社会经济活动的不断增长，油气长输管道面临着越来越多的挑战和机遇。

关键词：油气管道；无人机；光纤预警；视频监控

目前管道巡护主要以人工巡护为主，通过每天定时巡检，发现管道第三方施工等危害管道的行为及时制止并上报，确保管道系统的安全和完整性，防止因人为破坏、自然灾害或管道老化等因素导致的泄漏、爆炸等严重事故。管道企业需要建立专门的巡护管理机构，配备专职人员，制定详细的巡护计划和方案。巡护人员应具备必要的专业知识和技能，并在内部考核合格后才能上岗。人工巡护存在劳动强度大、工作效率低、检测质量不稳定、手段单一等弊端。在现代油气管道巡检中，传统的人工巡护方式已逐渐不能满足高效、安全、准确的要求。虽然人工巡护在历史上发挥了重要作用，但在现代化、智能化的巡检需求面前，其弊端愈发明显。因此，寻找新型的高效智能巡检模式成为现代管道安全保卫亟待解决的问题。内蒙古分公司空天地一体化多源联控智能巡护系统，是在鄂尔多斯作业区所辖陕京四线“陕蒙界-8# 阀室”共 178km 管道试点的新型智能化巡护模式，通过 IMS 系统整合无人机智能化巡检系统、光纤预警系统和视频监控系统实现数据接通、预警联动。

1 无人机智能化巡检系统

无人机智能化巡检系统是利用无人机搭载多种传感器和智能分析系统，对油气管道等基础设施进行自动化、高效化、精准化的巡检服务。随着技术的不断进步，无人机在工业领域的应用愈发广泛，尤其在油气管道巡检中，无人机智能化巡检已成为一种新兴且高效的手段。

综合考虑无人机续航里程，为提升无人机巡检、报警处置的快速机动响应，通过实地调研将 178km 分为三段，在每段的中点即 3#、5#、7# 阀室附近部署

共 3 套无人机库（图 1 所示），其中 3# 阀室机库覆盖 61km，主要负责陕蒙界至 4# 阀室巡检，5# 阀室机库覆盖 60km，负责 4# 阀室至 6# 阀室巡检，7# 阀室机库覆盖 57km，负责 6# 阀室至 8# 阀室巡检。共设置 3 个监屏点，在鄂尔多斯压气站站设置主控中心，可将实时飞行画面同步传输到分公司值班室、乌审旗驻地和手机 app。

无人机可搭载包括可见光相机、红外相机、激光雷达等多种传感器，对目标区域进行大范围、快速、精细化巡检。通过无人机低空飞行算法及二次开发安全策略模块如北斗导航、电量保护机制等，确保无人机在机身安全的前提下顺利完成目标任务。飞行管理平台提供无人机飞控、实时态势直播、航线规划、飞行历史回放等功能，集成于 5G 网联无人机地面站，实现高效全面的飞行管理。

无人机智能化巡检凭借其灵活性高、成本低、覆盖范围大等优势，在油气管道以及其他各类基础设施的巡检工作中发挥了重要作用。



图 1

2 光纤预警系统

光纤预警系统是利用分布式光纤传感技术，实时监测和分析管道周围的振动和声波信号，对可能危害管道安全的事件发生进行预警和精确定位。内蒙古分

公司在乌审旗 178km 管道加装华为光纤预警设备，实时检测管道周围 200m 范围内振动情况并准确预警。

光纤预警系统能够对油气管道沿线进行 24 小时不间断的实时在线监控，确保任何时间段的安全状况都能得到及时掌握。当监测到异常信号时，系统能够精确定位事件发生的位置，便于管理人员快速响应和处理。同时光纤预警系统可以生成数据库并“自我学习”，自动识别异常行为或特征，减少误报率，提高监控效率。

光纤预警在油气长输管道中的应用，不仅提升了管道的安全防护水平，还通过高科技手段提高了监控效率和准确性，为管道的平稳运行提供了有力的技术支持。

3 视频监控系统

视频监控实在油气长输管道线路加装视频监控摄像头，对管道沿线进行实时监视和控制，以提高管道安全运行的可靠性和效率。内蒙古分公司乌审旗 178km 管道加装了 135 套视频监控摄像头，平均每个摄像头可覆盖 1.32km 管道。视频监控摄像头采用太阳能板供电，无需外接电源，即使在恶劣环境下也能做到长时间在线，保证系统的稳定运行（图 2 所示）。



图 2

视频监控系统能够全天候、全时段对管道沿线进行实时监控，确保任何时间段的安全状况都能得到及时掌握。并且一旦监控画面出现异常情况，如第三方施工、地形地貌变化等，系统能够立即通知管理人员，实现快速响应和处理。针对夜间或光线不足的环境，视频监控系统配备红外夜视功能，确保在黑暗中也能清晰监控。管理人员可以通过网络远程访问视频监控系统，进行实时查看或回放监控录像，便于远程管理和决策。视频数据可以通过网络存储于云端服务器，不仅提高了数据的安全性，也便于进行大数据分析和处理。

4 空地一体化多源联控智能巡护系统

空地一体化多源联控智能巡护系统是将无人机智能化巡检系统、光纤预警系统和视频监控系统整合接入 IMS 系统，实现数据互通、智能联动。系统架构

组成（图 3 所示），具体工作原理为：



图 3

无人机在正常巡检时，将实时画面通过图传技术传输至智能平台，平台进行 AI 智能识别，对异常情况生成预警信息发送至作业区线路管理人员，作业区进行信息确认。智能平台采用先进的计算机视觉算法，可以自动检测画面中的异常目标，如可疑人员、车辆、施工机械等，并实时比对历史影像数据，识别出场景变化。一旦发现异常情况，系统立即生成预警信息，标注异常目标的类型、位置、出现时间等关键要素，通过短信、APP 推送等方式及时通知相关管理人员。管理人员可通过移动终端远程查看异常画面，并与现场巡检人员沟通核实，确保对每一个预警信息的真实性进行甄别，避免误报或漏报。

出现管道周边第三方施工时，光纤振动预警系统应用前沿预警设备触发警示信息，将信息传至 IMS 系统，在有视频监控摄像头满足要求的情况下，IMS 系统利用网络发出指令操作摄像机取得实时图像，光纤预警系统部署在管道沿线，利用分布式光纤传感技术，可以实时监测管道周边一定范围内的振动信号，当捕捉到异常行为时，软件自行解析出振动数据特性，判断预警等级，产生警示消息传输至信息处理平台，集中管理系统依据报警位置准确坐标，查找周围监控设备，挑选适宜的摄像头，使用云台操作和焦距调节立刻调整摄像头，瞄准现场捕捉清晰度图像。

在无人机联动方面，当光纤预警平台发出报警后，IMS 系统根据报警点位置自动调用最近的无人机前往报警点采集现场画面，进行现场核实、喊话警示以及驱离等。报警信息以及核实情况通过手机 APP 推送至管道管理人员，以跟踪并处置报警情况。具体而言，IMS 系统会综合考虑无人机的位置、电量、任务状态等因素，智能选择最优机组，自动生成飞行任务，引导无人机快速到达报警点上空。无人机搭载高清摄像头和红外热成像仪，可以对现场情况进行全方位、多角度的影像采集，并实时回传至地面站和移动终端，

为进一步分析判断提供第一手资料。

内蒙古分公司鄂尔多斯作业区天然气管道横穿毛乌素沙漠腹地,因管道沿线牧民铁丝围网圈围较多,巡护工需绕行巡检,巡检效率较低,且因人烟稀少巡护工雇工困难。考虑到传统的管线巡护方式不仅工作量大而且条件艰苦,特别是在执行夜间巡护、特情巡护等任务时所花时间长、人力成本高、困难大,内蒙古分公司于2023年开始探索引进无人机自动巡检的巡护模式,现阶段,长续航、大载重的复合翼无人机具有“天空视角”、快速响应、作业效率高等优势,可以挂载光电吊舱、激光甲烷遥测仪等检测设备,对天然气管道开展常态化飞行巡检。当复合翼无人机与自动机场相互结合时,即可实现复合翼无人机在恶劣野外环境中的全自主作业。这样一来,一线巡护员的工作负担大大降低,天然气管道巡检的效率和自动化程度也会大幅度提升。

空天地一体化多源联控智能巡护系统极大的提升了管道安全保卫能力,从主动发现到报警合适再到应急处置实现了全自动智能化管理,为管道新型巡护模式探索迈出了重要一步。

5 空天地一体化多源联控智能巡护系统未来展望

5.1 拓展智能巡检应用场景

依凭现有的技术根基,全方位探索智能巡检于各种管道系统环境潜在用途,有利于明显增强系统变通性和调整机能,经过探究不通管道环境具有特点和需求,改进巡查安排和飞行设置,使无人飞行器可以高效率、精确地执行不同复杂环境在这些巡查工作,同时,研究无人航空器和多样化应用,比如应用数据加工、智能技术,发掘巡查数据中隐含的资讯,对管道完整性监控供应更为精确的决策依据,也是智能巡检技术发展的重要方向。

5.2 优化智能巡检技术方案

在现有无人机智能巡检系统的基础上,深入研究多源异构数据的高效融合方法,建立统一的数据管理和分析平台,实现对管道安全状态的全面感知和评估,将是未来系统优化的重点方向。通过引入先进的人工智能算法,提高数据处理的智能化水平,增强对管道潜在风险的预测和识别能力,使系统能够更加准确、及时地发现安全隐患。在无人机平台硬件方面,加强飞行器的环境适应性研究,优化机体结构设计,提高抗风能力和防尘防水性能,确保无人机在复杂气象条件下安全高效运行。引入新型高分辨率传感器,拓展无人机的感知能力,获取更加丰富、细致的巡检数据。

软件方面,着力强化飞行管控平台的功能,研发智能航线规划、自主避障、精准降落等核心算法,提高飞行的自主性和灵活性。深化机载智能分析技术,实现对巡检数据的实时处理和解译,缩短信息反馈的时延,为管道安全决策提供有力支撑。

5.3 强化智能巡检成果应用

油气长输管道智能巡检成果的应用将会向着更为智能化、精细化、一体化方向推进,人工智能效能智能巡检数据加工能力范畴运用将持续提高,前沿的智能学习计算方法和深度学习模型,将提供数据处理以显著地提高工作性能和更为智能化程度,平台能自行进化与完善,从大量检验数据集中自行地提炼特征、辨识模式,揭示潜在风险因子因素,制定准确的管道健康诊断和风险警示。此外,智能巡检系统将管道数字孪生平台深度整合,应用网络技术、大数据等尖端技术,建立管道全周期数字化模型,完成对管道物理实体的实时绘制和模型分析,监测信息可立刻融合孪生模型,同步呈现管道的即时状态,优化管道的安全评估模型,管理者能够在数据环境下执行管道的可视化监管,依据紧急情况,编制周详应急计划。

6 结语

综上所述,空天地一体化多源联控智能巡护系统是内蒙古分公司在鄂尔多斯作业区进行的一项创新性的管道智能巡检模式探索。该系统通过整合无人机智能巡检、光纤预警和视频监控三个子系统,构建了集数据感知、分析、预警、决策于一体的智能管控平台。实践表明,该系统能有效提升管道安全保障水平,减轻一线员工的工作强度,推动管道巡护模式的革新升级。

参考文献:

- [1] 郭鑫阳. 基于SDN的天地一体化网络路由算法研究[D]. 北京:北方工业大学,2024.
- [2] 赵纯禹. 输油管道动态交流杂散电流检测与排流防护措施研究[C]//中国机电一体化技术应用协会.第七届全国石油和化工电气设计与应用论文大赛入选论文集.中石油锦西石化公司,2024:7.
- [3] 冯黎明,伍淑辉,卓勇. 油气管道安全防护智能视频监控系统设计[J]. 石油工业技术监督,2020,36(08):48-51+60.
- [4] 郝晓平,黄晓雯,高志刚,等. 无人机技术在油气管道巡护中的应用[J]. 油气储运,2019,38(08):955-960.

作者简介:

时若楠(1990-),男,汉族,山西襄汾人,本科,助理工程师,研究方向:管道完整性管理。