

乐东陆地管道无人机智慧巡线项目研究

王 凯（中海石油南海西部（海南）有限公司，海南 海口 570100）

摘要：中海油乐东油气田地处中国南海，其生产的天然气经海底管道和陆地管道送到东方终端处理。其中，长度近70km的陆地管道的巡线工作由一名巡线监督和九名巡线员组成的队伍每日进行。为解决乐东陆地管道传统巡检模式效率低、风险高、工作强度大等问题，引进无人机智能巡检服务。本文对此智慧巡线项目的系统配置等介绍，探索了无人机巡检的可行性，实现管道线路一体化自动巡护和智能化技术结合，保障乐东陆地管道安全运输和运维管控。

关键词：长输管道；无人机；管道巡检；智能

中图分类号：TE973 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)014-0115-03

Research on the Ledong Land Pipeline Unmanned Aerial Vehicle Intelligent Patrol Project

Wang Kai (CNOOC Nanhai West (Hainan) Co., Ltd., Haikou Hainan 570100, China)

Abstract: The CNOOC Ledong oil and gas field is located in the South China Sea, and the natural gas it produces is sent to the eastern terminals for processing via submarine pipelines and land pipelines. Among them, the patrol work of the land pipeline, which is nearly 70 kilometers long, is carried out daily by a team consisting of one patrol supervisor and nine patrolmen. In order to solve the problems of low efficiency, high risk and high work intensity of the traditional inspection mode of the Ledong land pipeline, the drone intelligent inspection service is introduced. This paper introduces the system configuration of this intelligent inspection project, explores the feasibility of drone inspection, and realizes the integration of pipeline line automatic inspection and intelligent technology combination to guarantee the safe transportation and operation and maintenance control of Ledong land pipelines.

Key Words: Long-distance pipeline; Unmanned aerial vehicle; Pipeline inspection; Intelligent

在长输管道运作的过程中，由于油气管道长期埋设在地下，会受到来自自身重力和外力挤压造成的形变及输送介质和埋设环境造成的腐蚀的影响而引起一系列的安全问题，因此应全方面落实管道巡检工作。传统的油气管道巡检方案存在较多风险。其中人员巡检安全风险主要是由于传统工作模式以人工巡检为主，需要巡检人员亲自到现场进行检测，整体巡检安全风险高。

同时在人工巡检的工作模式下，存在监控时效性差、漏报率高的问题。在当前许多长输管道建设规模高速增长的形势下，这种传统的巡检模式已不能满足各类工作需求。

传统巡检模式下的人工巡检方式，耗费时间久、人力物力消耗大、面对危急情况无法在巡检人员安全性得到有效保障的前提下及时应对。在此类工作模式的现状下，无人机智能巡检模式开始广泛应用。无人机智能巡查系统涉及的各类综合新技术领域较为广泛，同时无人机有着机体设备轻便灵活、信息运载方便高效、仪器操作简单方便、成本较低，可在危急情况下进行快速战略部署、巡查结果收效十分可观等一系列优点，同时具备可快速获取地貌的空间遥感信号，

在各类不同地势下的油气管道巡检、地貌探寻、线路优化与选择、气体泄漏点定位查询、应急抢险等工作中都可得到良好应用，已成为当前各类管道巡护工作中利用率高的有效新手段之一。

借助无人机的智能巡检模式，工作人员可以实现对各类长输管道的准确、远程、及时巡检，确保各类问题得到实时化的探查与及时准确的处理，并且能够对各类巡查监控数据进行全面的记录与存档，数据输出规范且连续，便于查阅，同时还能够保障巡检人员的自身安全。当今正在高速进入智能化新时代，拓展全面的信息化和智能化技术及应用，探索无人机智慧巡检项目能够保障油气管道的高效、安全运输运营，成为促进实现管道安全管控的重点措施。

1 无人机智能巡检系统在油气长输管道应用现状

建立一个长输管线智能巡查系统是把握管道各类管理的重要核心，此系统包括无人机和摄像机的综合应用巡检模式、巡检数据处理包含预警情况的上传和响应，可对长输管道的各类巡检信息进行备案、高校进行预警信息处理以及规范管理管道数据。

在长输管道巡检工作进行时，与传统巡检方式相比，无人机有着许多优点，如独立性高、工作高效、

不受外界环境地势限制、保障工作人员安全、操作简便、巡查准确性高等优点。

1.1 无人机巡检方案设计

无人机设备的选择在管道巡检过程中占主要地位。目前无人直升机、固定翼、旋翼、均在油气管道巡线之中应用广泛。由于长输管道管径大、远距离运输、高运输量，尤其是长输地下管道，路况地势复杂，面临着自然灾害等多种不确定因素，在巡线中应选择具有速度快，航程远，设备稳定等特点的无人机，目前大多数巡线项目选择固定翼和旋翼两种无人机。

无人机巡检方案的设计是智慧巡线的关键因素。温镜冉等利用无人机搭载摄像头，在巡查管道的同时得到高清的图片、视频数据，后期通过对摄像头数据的处理得到校正后的图像，进一步拼凑合成油气管道地面的信息，并通过系统建模和应用分析，得到所作项目特制的管道巡检方案。

1.2 无人机巡检系统

无人机巡检系统大多由空中检测、地面控制和数据处理模块三部分组成。

其中空中检测模块是由无人机搭载各类传感器组成，通过所获得的数据能够进行全方位建模。地面控制模块是通过与无人机的通信，从而操控与调节飞行状态。数据处理模块在数据采集平台上汇总无人机通过搭载获取的高清视频等数据，从而分析记录管路巡视情况。陈兆龙对交通工具等威胁管线安全的因素进行处理后，无人机采集的视频图像能够识别出来，确保管线运输安全可控。

无人机功能设计的落实必须要拥有无人机搭载平台的建立这一重要过程。在搭载平台中，通过不同的智能设备搭载，如远程通信设备、图像采集设备、热成像设备等。通过对上述各类设备与无人机的综合配合运用，达到无人机高效完成巡查各类应急工作的任务。

1.3 无人机技术应用现状

2011年，无人机技术首次应用；第二年，无人机管道巡线试飞行首次在西气东输公司进行。随后，多家公司投入使用无人机智慧巡线项目，通过无人机管道巡查完成对管道周边环境、地貌变化的监测。近年来，无人机在长输管道的应用广泛，通过进行对各类油气管道系统的安全防范检查，保证了管道安全情况的实时监测与掌控，防患于未然。

2 乐东陆地管道无人机智慧巡线项目

2.1 乐东天然气陆上输气管线概况

中海油乐东油气田地处中国南海，其生产的天然气经海底管道和陆地管道送到东方终端处理。其中，

长度近70km的乐东天然气陆上输气管线（简称“乐东陆管”）设计使用寿命30年，线路途经区域地貌特征主要为水田、山丘、旱地及河流，其巡线工作由一名巡线监督和九名巡线员组成的队伍，每日进行一次巡护，该巡检模式存在一定不足：包括部分山丘、水田等人员难以到达的区域不能保证隐患的及时发现、无法形成连续的监控影像资料、同时该区域的人员密集程度逐渐增大，加强管道的安全巡护与管理的需求更为紧迫。为提高管道线路的巡护效率和应急处置能力，在发生紧急情况及突发事件时能及时进行核查和取证，及时消除隐患，同时降低人工巡护工作安全风险，全面提升天然气管道安全管理服务水平，拟对所辖区域管道线路及场站隔离区开展无人机巡检工作，采购无人机智能巡检技术的管线巡检服务。

2.2 巡检需求与计划

巡检管线全长68.663km，包括东方终端西门外、登陆点及1#、2#、3#阀室，现需在东方终端西门外和3座阀室（其中，东方终端距3#阀室23.233km，3#阀室距2#阀室22.295km，2#阀室距1#阀室22.675km）布置无人机机巢，以完成无人机对该条管线进行巡检，确保该管道正常运行。无人机需要从东方终端西门外出发，第一站到3#阀室、第二站到2#阀室、第三站到1#阀室，然后飞行到陆管登陆点后返回1#阀室，然后依次返回东方终端西门外。

每日启动巡检任务主用无人机从东方终端西门外机巢起飞，沿线依次经过三座阀室，然后巡行到管线登陆点后返回，再依次经过1#阀室、2#阀室和3#阀室，最后回到东方终端西门外。单程飞行距离69km，任务耗时约3.5h（含充电间隔）。航线设计避开禁飞区与敏感设施，飞行高度50m，巡航速度12m/s，每日生成一次全覆盖巡检记录。恶劣天气自动暂停任务并推送预警至管理平台，待条件恢复后优先补飞。

2.3 系统配置与部署方案（保障和管理方案）

系统配置2台大疆M3D无人机及4套大疆机场。在指定的位置区域，部署无人机场设备，包括设备的布线、施工、安装及维护，完成每日执行自动巡检任务。无人机自动机场，能在-20℃至45℃环境下正常运行，机场设备具备不低于IP55的防护等级，设备充电输出电压大于等于28V，设备内置各类传感器，支持通过4G实现网络接入，设备供电口防雷能力不小于20kA，以太网口防雷能力不小于10kA。

配备多旋翼无人机，最长飞行时间大于50分钟，最大可承受风速大于12m/s，最大起飞重量不小于1.5kg，飞行器具备不低于IP54防护等级，最短飞行距离不小于设置在东方终端西门外和3个阀室相邻自

动机场的间距。无人机带有变焦相机，具备广角、长焦、热成像，影像传感器有效像素不低于4800万，分辨率不低于 $1920\times1080@30fps$ ，红外热成像支持利用AI算法进行像素扩展，扩展分辨率大于 $1280*1024$ ，支持可见光与红外热成像联动变焦，以实现对管道巡检高清图片、视频拍摄。

2.4 应急方案响应与成果交付

设备故障或异常事件触发应急机制时，驻点人员立即启用备用无人机，抵达目标区域执行人工巡检。备用无人机每日由驻点人员检查电量、螺旋桨状态及传感器校准，突发故障时立即启用人工巡检模式，并同步启动备件更换流程（关键备件现场库存 ≥ 2 套）。主用无人机每日任务完成后自动回巢充电，巡检盲区由备用机手动补飞，确保管线全覆盖。飞行数据实时回传，同时开启故障诊断：硬件故障修复，信号丢失时通过GPS定位追踪设备，提交处置报告。若主用无人机失控坠毁，备用机接管当日任务，确保巡检连续性。针对信号遮挡或设备误差导致的巡检盲区（如密林区、弯管段），驻点人员手动规划备用机飞行路径，补飞数据单独标注并合并至日报。每周日进行航线校准测试，校验RTK定位偏差 $\leq 0.1m$ ，确保全覆盖无遗漏。

成果交付由每日生成管线全覆盖巡检成果，包括巡检视频、日报报告、实时数据，交付时效为每日发送PDF日报和巡检视频；周度交付在每周五提交汇报报告，复核巡检覆盖率（ $\geq 99\%$ ）、定位精度及视频完整性，异常数据重飞补全；季度性交付打包原始视频及报告，刻录蓝光光盘提交。

2.5 小结

乐东陆地管道无人机智慧巡线项目独特的蛙跳式无人机巡线，通过在不同阀室巡检过程中所执行的降落充电和满电起飞，能够在保障各个阀门的巡检任务能够完成的前提下，保持无人机的备用电量和续航能力，使得单次航行距离大大拉长，高效完成项目所需的巡查任务，与人工巡检相比，乐东陆地管道巡检很大程度上解放了人力物力，降低了劳动强度。还能够保证各类传感器的搭载同时开展多种巡检任务工作。同时此次无人机智慧巡线项目应对设备故障或异常事件时设有完善的应急机制，能够及时进行各类应急情况的处理和预警信息的传送，保证所获得资料的连续性，避免危害安全的情况发生。大大提高了飞行、巡检任务的安全性、可靠性，实现多领域、准确、快速、无人化值守。

3 结语

随着“第四次工业革命”的加速到来，油气田领

域综合使用各类智能技术，从而最大程度上确保生产集输业务安全高效运行。实现无人机自动巡护，能够增强对危机情况的勘察处理能力，提升对实时数据和图像视频的处理优化质量，对集输管道的安全性管控，创造了创新应用效果和长远的研究发展价值。

本文通过乐东陆地管道无人机智慧巡线项目论述了无人机巡检油气管道的巡检方案，利用无人机进行油气管道巡护，在提高管道巡检的效率的同时、极大程度上提高了巡护的效果，同时促进了管道巡护的自动化巡检进程，保证巡护人员的自身财产和安全，产生极高的经济和社会效益。

无人机技术的应用不仅显著降低了人力成本和时间成本，其高效的数据收集和处理能力也大大增强了监控管道健康状况的能力，对环境风险和潜在经济损失进行了有效的预防和降低。未来无人机有望在油气行业扮演更重要的角色，无论是巡检效率的提升，还是管网系统智能化管理水平的提升，随着技术的发展和成本的降低，无人机智慧巡检项目都将扮演重要的角色和现实意义。

参考文献：

- [1] 谌贵辉,易欣,李忠兵,等.基于改进YOLOv2和迁移学习的管道巡检航拍图像第三方施工目标检测[J].计算机应用,2020,40(4):1062-1068.
- [2] 王辛楼,姜乃良,刘殷琦.无人机机库在油气管道线路的智能化应用研究[J].化工管理,2024,(31):98-102.
- [3] 温镜冉.无人机技术在天然气长输管道巡护管理的应用[J].网络安全技术与应用,2019,(03):96-97.
- [4] 陈兆龙,盛拥军,李国森.无人机巡检管道自动识别报警功能分析研究[J].中国设备工程,2020(10):14-15.
- [5] 徐晨华.无人机系统在陆地边防警务工作中的应用探析[J].信息化建设,2016(2).
- [6] 付昱玮,李宇明,姜洪.无人机巡线的发展和应用研究[J].科学技术创新,2014(3):25-27.
- [7] 黄庆江,何庆鹰.无人机技术在天然气长输管道巡护管理的应用分析[J].石化技术,2021(03):089-089.
- [8] 苏庆伟.无人机技术在长输天然气管道山区段巡护应用研究[J].化工管理,2023(31):61-64..
- [9] 李伟,胡红平,李彬彬,等.无人机在长输管道巡检中的应用[C]//第四届全国油气储运科技创新与信息化技术交流大会;中国石油学会,2015.

作者简介：

王凯(1986-)，男，汉族，海南人，大学本科学历，工程师，研究方向：计算机与信息通信。