

天然气长输管道智能化巡护方法研究

肖静文（山东省天然气管道有限责任公司，山东 济南 250000）

摘要：随着天然气长输管道网络的不断扩展，传统的巡护方法已难以满足高效、精准的需求。智能化技术的引入为管道巡护带来了革命性的变革。通过无人机、传感器网络和人工智能算法的结合，智能化巡护系统能够实时监测管道状态，快速识别潜在风险，并自动生成预警信息。这不仅大幅提升了巡护效率，还显著降低了人为失误和安全隐患。未来，随着技术的进一步发展，智能化巡护将成为保障天然气管道安全运行的核心手段。

关键词：天然气；长输管道；智能化；巡护方法

中图分类号：TE88 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)020-0097-03

Research on intelligent patrol method of natural gas long distance pipeline

Xiao Jingwen (Shandong Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: As the natural gas long-distance pipeline network continues to expand, traditional inspection methods can no longer meet the demands for efficiency and precision. The introduction of intelligent technology has brought about revolutionary changes in pipeline inspection. By integrating drones, sensor networks, and artificial intelligence algorithms, intelligent inspection systems can monitor pipeline conditions in real-time, quickly identify potential risks, and automatically generate warning information. This not only significantly improves inspection efficiency but also markedly reduces human errors and safety hazards. In the future, with further technological advancements, intelligent inspection will become a core means of ensuring the safe operation of natural gas pipelines.

Keywords: natural gas; long distance pipeline; intelligent; patrol method

天然气长输管道的巡护工作面临着复杂的地理环境和多变的气候条件，传统方法往往难以应对。智能化巡护技术的出现为解决这些问题提供了新的思路。通过大数据分析和机器学习，智能化系统能够预测管道故障，优化巡护路径，并实现远程监控。然而，技术的推广仍面临数据安全、设备成本等挑战。尽管如此，智能化巡护的潜力巨大，未来有望在提高管道安全性、降低运营成本方面发挥重要作用。

1 研究背景与意义

天然气作为清洁能源的重要组成部分，在全球能源结构中占据着举足轻重的地位。随着天然气需求的持续增长，长输管道的建设规模不断扩大，其安全运行成为保障能源供应和经济发展的关键。然而，传统的人工巡护方式存在效率低、成本高、覆盖范围有限等问题，尤其在复杂地形和恶劣气候条件下，难以实现全面、及时的监测。近年来，智能化技术的快速发展为解决这些问题提供了新的可能性。无人机、物联网、人工智能等技术的应用，使得管道巡护逐步向自动化、智能化方向迈进。

本研究旨在探索天然气长输管道智能化巡护的方法与技术，通过整合先进传感器、数据分析算法和智能决策系统，构建一套高效、精准的巡护体系。其意义在于：一方面，智能化巡护能够显著提升管道监测的实时性和准确性，降低事故风险，保障能源运输安

全；另一方面，通过优化巡护流程，减少人力投入和运营成本，推动天然气行业的可持续发展。此外，研究成果还可为其他能源运输领域提供技术参考，具有广泛的应用前景和社会价值。

2 天然气长输管道巡护现状分析

2.1 传统巡护方式概述

传统天然气长输管道巡护主要依赖人工巡检和基础监测设备，其核心方式包括地面徒步巡检、车辆巡检以及定点监测。地面徒步巡检是巡护人员沿管道线路步行检查，通过目视、听声、触感等方式识别管道表面异常，如腐蚀、裂缝或第三方破坏。车辆巡检则利用巡护车辆沿管道沿线行驶，结合车载设备进行初步检测，适用于较长距离的管道。此外，定点监测通过在关键位置安装压力、温度等传感器，实时采集管道运行数据，用于判断管道状态。然而，传统巡护方式存在明显局限性：一是效率低下，尤其在偏远地区或复杂地形中，巡检周期长、覆盖范围有限；二是依赖人工经验，容易因主观判断失误导致漏检或误判；三是难以实现全天候、实时监测，无法及时应对突发情况。这些问题使得传统巡护方式难以满足现代天然气管道安全运行的高标准需求。

2.2 智能化巡护技术发展趋势

随着物联网、人工智能、无人机等技术的快速发展，天然气长输管道巡护正逐步向智能化方向转型。

智能化巡护技术通过整合多种先进手段，构建了一套高效、精准的监测体系。首先，无人机巡检技术利用无人机搭载高清摄像头、红外传感器等设备，能够快速覆盖大面积区域，识别管道表面缺陷和周边环境异常。其次，物联网技术通过在管道沿线部署大量传感器，实时采集压力、温度、流量等数据，结合大数据分析，实现管道状态的动态监测和故障预测。此外，人工智能算法在图像识别、数据分析中的应用，能够自动识别管道损伤类型、评估风险等级，并生成预警信息。未来，智能化巡护技术将进一步融合 5G 通信、区块链等新兴技术，实现更高水平的自动化、智能化和协同化，为天然气管道安全运行提供更加可靠的技术保障。

3 天然气长输管道智能化巡护关键技术

3.1 无人机巡检技术

无人机巡检技术是天然气长输管道智能化巡护的重要组成部分。通过搭载高清摄像头、红外热成像仪、激光雷达等设备，无人机能够快速、高效地完成大面积管道的巡检任务。其优势在于能够覆盖复杂地形和偏远区域，减少人工巡检的风险和成本。无人机采集的图像和数据可以通过实时传输至地面站，结合人工智能算法进行自动分析，识别管道表面的腐蚀、裂缝、第三方破坏等异常情况。此外，无人机巡检还可以结合地理信息系统（GIS）进行精确定位，生成管道状态的三维模型，为后续维护决策提供数据支持。随着无人机技术的不断升级，其在管道巡护中的应用将更加广泛和深入。

3.2 管道光纤监测预警技术

管道光纤监测预警技术利用光纤传感原理，通过沿管道敷设的光纤实时监测管道运行状态。光纤传感器能够感知管道周围的振动、温度、应变等物理量变化，并将数据传输至监控中心进行分析。该技术的核心优势在于其高灵敏度和实时性，能够及时发现管道泄漏、第三方施工破坏等异常事件。

此外，光纤监测系统具有抗电磁干扰、长距离传输等优点，适用于复杂环境下的管道监测。通过结合大数据分析和机器学习算法，光纤监测预警技术能够实现管道故障的早期预警和精确定位，为管道安全运行提供有力保障。

3.3 视频监控 AI 智能分析技术

视频监控 AI 智能分析技术通过部署在管道沿线的摄像头，实时采集管道及其周边环境的视频数据，并利用人工智能算法进行智能分析。该技术能够自动识别管道表面缺陷、第三方入侵、地质灾害等异常情况，并生成预警信息。AI 算法的核心在于其强大的图

像识别和模式识别能力，能够从海量视频数据中快速提取有用信息，减少人工巡检的工作量。

此外，视频监控系统还可以结合深度学习技术，不断优化识别模型，提高检测的准确性和效率。随着 5G 通信技术的普及，视频监控 AI 智能分析技术将实现更高清、更实时的数据传输，进一步提升管道巡护的智能化水平。

3.4 智能化阴保监测技术

智能化阴保监测技术用于监测天然气长输管道的阴极保护系统，确保管道免受电化学腐蚀的侵害。传统的阴保监测主要依赖人工定期检测，效率低且难以实现实时监控。智能化阴保监测技术通过在管道沿线部署智能传感器，实时采集阴极保护电位、电流等数据，并通过无线通信技术传输至监控中心。结合大数据分析和人工智能算法，系统能够自动评估阴极保护效果，识别潜在问题并生成预警信息。此外，智能化阴保监测技术还可以结合地理信息系统（GIS）进行精确定位，为管道维护提供科学依据。该技术的应用显著提高了阴保监测的效率和准确性，为管道安全运行提供了重要保障。

4 天然气长输管道智能化巡护系统设计

4.1 系统架构设计

天然气长输管道智能化巡护系统的架构设计采用分层模块化结构，主要包括数据采集层、数据传输层、数据处理层和应用服务层。数据采集层由无人机、光纤传感器、视频监控设备等组成，负责实时采集管道状态及周边环境数据。数据传输层通过 5G、LoRa 等通信技术，将采集的数据高效传输至云端或本地服务器。

数据处理层利用大数据分析和人工智能算法，对数据进行清洗、分析和挖掘，生成管道状态报告和预警信息。应用服务层则通过 API 接口或 Web 服务，为用户提供实时监控、故障预警、数据分析等功能。这种分层架构设计确保了系统的高效性、可扩展性和安全性，能够满足复杂管道巡护的需求。

4.2 数据传输与存储设计

数据传输与存储设计是智能化巡护系统的核心环节，数据传输采用 5G、光纤通信和卫星通信等多种方式，确保数据在不同环境下的实时性和可靠性。对于偏远地区或复杂地形，低功耗广域网（LPWAN）技术如 LoRa 和 NB-IoT 能够实现长距离、低功耗的数据传输。数据存储则采用分布式云存储与边缘计算相结合的方式，将高频、高分辨率数据存储在边缘节点，减少传输延迟；将历史数据和综合分析结果存储在云端，便于长期管理和调用。此外，数据加密和访问控

制技术的应用，确保了数据的安全性和隐私性，为智能化巡护系统提供了坚实的技术支撑。

4.3 用户界面与交互设计

用户界面与交互设计是智能化巡护系统与用户之间的桥梁，其设计注重直观性、易用性和功能性。系统采用 Web 端和移动端双平台设计，用户可以通过浏览器或手机 App 实时查看管道状态、接收预警信息、生成巡检报告等。界面布局简洁明了，通过地图、图表、仪表盘等多种形式展示数据，帮助用户快速理解管道运行状况。交互设计采用智能语音助手和手势操作，提升用户体验。此外，系统支持个性化设置，用户可以根据需求定制监控参数和报警阈值。这种人性化的设计不仅降低了用户的学习成本，还提高了系统的实用性和可操作性，为管道巡护工作提供了高效便捷的工具。

5 天然气长输管道智能化巡护方法实施策略

5.1 技术选型与评估

在天然气长输管道智能化巡护方法的实施过程中，技术选型与评估是关键的第一步。首先，需根据管道的具体需求（如长度、地形、环境复杂度等）选择合适的技术组合，如无人机巡检、光纤监测、视频监控 AI 分析等。其次，通过技术评估，综合考虑技术的成熟度、成本效益、可扩展性和兼容性，确保所选技术能够满足长期巡护需求。评估过程中，还需进行小规模试点测试，验证技术的实际效果和稳定性。此外，与供应商和科研机构的合作，能够为技术选型提供专业支持，确保所选技术的前沿性和适用性，为智能化巡护系统的成功实施奠定基础。

5.2 人员培训与管理

智能化巡护系统的实施离不开专业人员的支持，因此人员培训与管理是重要环节。首先，需针对不同岗位（如巡检人员、数据分析师、运维工程师等）制定详细的培训计划，涵盖系统操作、数据分析、故障处理等内容。其次，采用理论与实践相结合的培训方式，通过模拟环境和实际案例，帮助人员快速掌握技术要点。此外，建立考核机制，定期评估人员的技术水平和操作能力，确保培训效果。在管理方面，需明确岗位职责，优化工作流程，并通过激励机制调动人员积极性。通过系统化的培训与管理，能够打造一支高效、专业的巡护团队，为智能化巡护系统的稳定运行提供人力保障。

5.3 运维管理与优化

智能化巡护系统的运维管理与优化是确保其长期高效运行的关键。首先，需建立完善的运维管理制度，包括设备维护、数据备份、故障处理等流程，确保系

统的稳定性和可靠性。其次，采用智能化运维工具，如自动化巡检系统、故障预警平台等，减少人工干预，提高运维效率。此外，定期对系统进行性能评估和优化，通过数据分析发现潜在问题，并升级硬件设备或软件算法，提升系统整体性能。在运维过程中，还需注重用户反馈，持续改进系统功能和服务质量。通过科学化的运维管理与优化，能够延长系统生命周期，降低运营成本，为天然气长输管道的安全运行提供持续保障。

6 结束语

天然气长输管道智能化巡护方法的研究与实施，标志着管道安全管理迈入了一个全新的时代。通过整合无人机巡检、光纤监测、视频监控 AI 分析等先进技术，智能化巡护系统实现了对管道状态的实时监控、精准预警和高效管理。这不仅大幅提升了巡护效率，降低了事故风险，还为能源运输的安全性和经济性提供了有力保障。

未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，智能化巡护方法将进一步优化，为天然气行业乃至整个能源领域的安全发展注入新的动力。让我们携手共进，推动智能化巡护技术的创新与应用，为构建安全、高效、可持续的能源运输体系贡献力量。

参考文献：

- [1] 张小卫, 葛云鹏, 鲍瑞瑜. 天然气长输管道的节能降耗技术措施探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2024,44(15):163-165.
- [2] 张晓冬. 天然气长输管道的节能降耗技术措施 [J]. 海洋工程装备与技术 ,2024,11(02):56-58.
- [3] 张明. 天然气长输管道运行安全风险及预防措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2024,44(04):87-89+92.
- [4] 何国生, 陈凯. 天然气长输管道第三方施工管理 [J]. 化工管理 ,2023(23):163-165.
- [5] 魏丽波. 天然气长输管道安全管理存在问题 [J]. 化学工程与装备 ,2023(07):247-249.
- [6] 胡荣. 石油天然气长输管道施工技术研究综述及展望 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2023,43(13):111-113.
- [7] 杨建功, 刘文祥, 于兴国, 徐挺. 基于微服务架构的天然气长输管道数字化平台研究与应用 [J]. 中国矿业 ,2023,32(06):72-79.
- [8] 葛云鹏, 闫楠, 寇健敏, 安国钰. 天然气长输管道自动分输技术现状及发展方向探讨 [J]. 当代化工研究 ,2023(10):6-8.
- [9] 林峰. 数字孪生在天然气管道动态仿真中的应用进展 [J]. 自动化仪表 ,2024,45(3):1-6.