

智能巡检技术在天然气管道运输维护中的应用前景

孙雪纯（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：随着天然气需求增长，管道运输维护至关重要。本论文聚焦智能巡检技术在天然气管道运输维护领域的应用前景，开篇点明研究背景与意义，剖析传统巡检局限引出智能巡检需求。详细阐述智能巡检技术原理、构成及涵盖基于传感器、无人机、智能机器人等多种类型，结合国内外应用案例，深入分析其在提升巡检效率、准确性，增强安全保障，降低成本与优化管理决策等方面的优势。同时直面技术、管理运营、政策标准层面挑战，提出应对策略。最后展望技术发展趋势，如人工智能融合、物联网大数据创新应用，及跨区域管道、能源互联网融合等拓展场景，为智能巡检技术助力天然气管道维护发展提供全面参考。

关键词：智能巡检技术；天然气管道；运输维护；传感器；无人机；人工智能

1 研究背景与意义

天然气作为一种清洁、高效的能源，在全球能源结构中的占比日益增加，其管道运输成为保障能源供应的关键环节。然而，传统的天然气管道维护巡检方式主要依赖人工，存在诸多弊端。一方面，人工巡检效率低下，面对漫长且分布广泛的管道线路，难以实现高频次、全覆盖的检查；另一方面，受人员技能、经验及生理极限等因素限制，检测准确性欠佳，容易遗漏安全隐患。此外，在一些复杂环境如山区、沼泽地等，人工巡检还面临着巨大的安全风险。

2 智能巡检技术概述

2.1 智能巡检技术的原理与构成

智能巡检技术基于自动化感知、数据传输与智能分析原理构建而成。各类传感器作为“触角”，实时采集管道的压力、温度、流量、气体泄漏浓度等关键参数，以及管道周边的环境信息如地形地貌、地质振动等。这些采集到的数据通过有线或无线通信网络，如4G/5G、卫星通信等，快速传输至监控中心。

2.2 智能巡检技术的主要类型

2.2.1 基于传感器的智能巡检

压力传感器广泛安装于管道沿线，实时监测管道内部压力变化，一旦压力出现异常波动，如急剧升高或降低，可能预示着管道存在泄漏、堵塞或受到外力挤压等问题。温度传感器则对管道运行温度进行监控，过高的温度或许是由于摩擦、腐蚀加剧或外部火源靠近，及时发现可有效预防事故发生。

2.2.2 无人机巡检

无人机凭借其灵活机动、视野开阔的优势，成为智能巡检的得力助手。它可以搭载高清摄像头、红外热像仪、激光雷达等多种设备，按照预设的航线对管

道进行低空飞行巡检。高清摄像头能够清晰拍摄管道表面的腐蚀、变形、标识损坏等情况；红外热像仪则利用物体的热辐射特性，检测管道的温度分布，发现潜在的热点隐患，如因绝缘层破损导致的热量异常散失；激光雷达可快速获取管道及周边环境的三维空间信息，用于地形测绘、评估管道与周边建筑物或植被的安全间距。无人机巡检不受地形地貌限制，尤其适用于山区、河流穿越段、荒漠等人员难以到达或巡检效率低下的区域，大大提高了巡检的全面性与及时性。

3 天然气管道运输维护现状及挑战

3.1 天然气管道运输维护的重要性

天然气管道作为能源输送的大动脉，其稳定运行直接关系到工业生产、居民生活的正常用气需求。一旦管道发生故障，如泄漏、破裂等，不仅会导致天然气供应中断，影响经济发展，还可能引发爆炸、火灾等严重安全事故，对人民生命财产造成巨大损失。

3.2 传统巡检方式的局限性

传统的人工巡检模式耗费大量的人力、物力和时间。巡检人员需要沿着管道线路徒步或乘车进行检查，每日巡检里程有限，难以实现对长距离管道的高频次巡查。而且，人工检测主要依靠视觉观察、简单工具测量以及经验判断，对于一些隐蔽性较强的故障隐患，如地下管道的微小泄漏、深埋地下的管道防腐层破损等，很难做到及时发现。

3.3 天然气管道运输维护面临的新挑战

随着管道服役年限的增加，老化问题日益突出，管壁变薄、防腐层失效等现象频发，需要更加精准、频繁的监测手段来保障安全。同时，城市化进程的加快使得管道周边环境愈发复杂，第三方施工活动增多，稍有不慎就可能对管道造成破坏。气候变化也是一个

不可忽视的因素，极端气温、暴雨洪涝、地震等自然灾害可能导致管道基础沉降、位移，甚至直接损坏管道。此外，随着天然气需求的不断增长，管道的输送压力和负荷逐渐提高，对管道的运行稳定性提出了更高要求，传统巡检方式已难以满足新形势下的维护需求。

4 智能巡检技术应用的优势与效益分析

4.1 提高巡检效率与准确性

与传统巡检相比，智能巡检技术极大地提高了效率。基于传感器的实时监测系统能够 24 小时不间断工作，随时捕捉管道运行状态的变化，无需人工定时巡查。无人机和智能机器人可以快速覆盖大片区域，按照预设程序高效完成巡检任务，大大缩短了巡检周期。在准确性方面，传感器的高精度测量、无人机和智能机器人搭载的先进检测设备，以及后端强大的数据分析算法，能够精准定位管道的故障点，对故障类型、严重程度进行准确判断。例如，利用超声波传感器检测管道壁厚，精度可达毫米级，远远超过人工测量的精度水平。

4.2 增强安全保障能力

智能巡检技术能够实时监测管道的运行状况，提前发现潜在的安全隐患，如气体泄漏、压力异常等，及时发出预警信号，为抢修维护争取宝贵时间。通过远程监控与自动化检测，减少了巡检人员在危险环境中的暴露机会，保障了人员安全。在应对突发事件如自然灾害、第三方破坏时，智能巡检系统可以迅速启动应急响应机制，结合地理信息系统快速定位受灾区域，为应急救援提供准确信息，最大限度降低事故损失。

4.3 降低维护成本

从长期来看，智能巡检技术降低了维护成本。一方面，减少了人工巡检的人力投入，降低了劳动成本；另一方面，通过精准检测与预防性维护，能够及时发现并修复管道的微小损伤，避免小问题演变成大故障，减少了大规模维修和更换管道的费用。例如，某管道公司采用智能巡检技术后，每年人工成本降低了 20%，维修费用降低了 30%，取得了显著的经济效益。

4.4 提升管理决策水平

智能巡检技术采集的海量数据为管道维护管理提供了丰富的信息资源。通过对这些数据的深度挖掘与分析，管理人员可以清晰了解管道的运行趋势、各区域的故障分布情况，从而优化维护计划，合理分配资源。例如，依据数据分析结果，确定管道的高风险区域，增加巡检频次，重点投入维护力量；根据季节变化、用气需求波动等因素，提前调整管道运行参数，实现科学管理，提高管道运营的整体效益。

5 智能巡检技术应用面临的挑战与应对策略

5.1 技术层面的挑战

5.1.1 数据处理与分析能力

智能巡检产生的数据量巨大且复杂，如何快速、高效地处理和分析这些数据是一大难题。一方面，需要强大的计算硬件来支撑海量数据的存储与运算；另一方面，要研发更加先进的数据分析算法，如深度学习算法，以实现对管道故障的智能诊断与预测性维护。

应对策略包括：加大对高性能计算设备的投入，构建云计算平台或边缘计算节点，靠近数据源进行数据处理，减少传输延迟；加强产学研合作，鼓励科研机构和企业研发针对天然气管道巡检的专用数据分析软件，提高数据处理效率与精度。

5.1.2 设备可靠性与稳定性

智能巡检设备大多工作在复杂恶劣的环境中，如高温、高湿、强风、沙尘等，对设备的可靠性和稳定性提出了极高要求。设备一旦出现故障，不仅会影响巡检工作的正常开展，还可能导致漏检、误检等问题，危及管道安全。为此，要加强设备的研发设计，采用高可靠的元器件，进行严格的环境适应性测试；建立完善的设备维护保养体系，定期对设备进行巡检、维护和校准，确保设备始终处于良好的工作状态。

5.1.3 技术集成与融合

不同的智能巡检技术各有优势，但要实现它们之间的有效集成与融合并非易事。例如，如何让传感器采集的数据与无人机、智能机器人获取的信息无缝对接，共同为管道维护提供全面、准确的支持，需要解决数据格式、通信协议、接口标准等一系列问题。应制定统一的技术标准和规范，推动行业内企业和科研机构之间的合作与交流，建立开放的技术平台，促进不同技术的集成应用，实现智能巡检系统的整体优化。

5.2 管理与运营层面的挑战

5.2.1 人员技能与培训

智能巡检技术的应用要求运维人员具备全新的技能，如掌握数据分析软件操作、无人机操控、智能机器人调试等。然而，目前大部分传统巡检人员缺乏这些技能，人员技能转型面临较大压力。企业应制定系统的培训计划，邀请专业技术人员进行授课，开展线上线下相结合的培训课程；建立技能考核机制，激励运维人员主动学习新技术，提升自身素质，逐步打造一支适应智能巡检时代要求的专业队伍。

5.2.2 数据安全与隐私保护

智能巡检过程中采集和传输大量涉及管道运行、

地理位置等敏感数据，一旦数据泄露，可能会被不法分子利用，威胁管道安全甚至国家安全。因此，数据安全与隐私保护至关重要。要加强数据加密技术的应用，在数据传输和存储过程中进行加密处理；建立严格的访问控制制度，限定只有授权人员才能访问特定数据；定期开展数据安全审计，及时发现并堵塞安全漏洞，确保数据的安全性和完整性。

5.2.3 管理模式与流程的适应性

传统的管道维护管理模式和流程是基于人工巡检构建的，难以适应智能巡检技术带来的变革。例如，传统的巡检计划制定、故障报修处理、人员绩效考核等环节，都需要重新审视和优化。企业应结合智能巡检技术特点，对管理模式和流程进行全面梳理和再造。引入信息化管理系统，实现巡检任务的自动化分配、故障预警的实时响应、人员绩效的科学评估，提高管理效率，充分发挥智能巡检技术的优势。

6 智能巡检技术在天然气管道运输维护中的应用前景展望

6.1 技术发展趋势

6.1.1 人工智能与机器学习的深度应用

未来，人工智能和机器学习技术将在智能巡检领域发挥更大作用。通过对海量历史巡检数据的学习，智能系统能够自动识别管道各类故障模式，实现智能诊断，精准判断故障原因与发展趋势。例如，利用深度学习算法对管道腐蚀图像进行分析，不仅能检测出腐蚀区域，还能预测腐蚀速率，为预防性维护提供精确时间节点，极大提升维护的主动性与科学性。

6.1.2 物联网与大数据技术的融合创新

物联网技术持续发展，将实现管道全生命周期的实时感知，从建设阶段的材料质量监测，到运行中的参数动态采集，再到维护后的效果评估，全方位覆盖。结合大数据技术深度挖掘这些数据背后的价值，建立管道健康档案，精准分析风险因素，为运营决策提供依据。如依据不同季节、地域的用气需求及管道运行数据，动态优化输送压力与流量，保障高效稳定供气。

6.1.3 新型传感器与设备的研发应用

科研人员正致力于研发更高灵敏度、更强适应性的新型传感器。例如，量子传感器有望实现对天然气微小泄漏的超精准检测，即便在复杂电磁干扰环境下也能稳定工作；多功能巡检机器人将集成更多先进技术，如具备自主修复管道微小损伤的能力，结合虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，运维人员可远程操控机器人完成复杂检修任务，降低现场作业风险。

6.2 应用场景拓展

6.2.1 与管道建设和改造的结合

在新建天然气管道项目中，智能巡检技术可前置应用。从管道铺设伊始，利用传感器网络实时监测焊接质量、防腐层施工质量等关键指标，确保工程质量符合高标准。对于老旧管道改造，智能巡检系统精准定位薄弱环节，为改造方案提供详细数据支撑，实现精准改造，延长管道使用寿命，降低全生命周期成本。

6.2.2 跨区域和跨国管道的巡检管理

随着跨国天然气管道建设加速，智能巡检技术的优势愈发凸显。通过卫星通信、云平台等技术，构建跨国界的统一巡检管理体系，实现不同国家、地区间管道运行数据实时共享。利用全球定位系统（GPS）与地理信息系统（GIS）融合，对跨区域管道进行全方位监控，及时应对地缘政治、自然灾害等因素带来的挑战，保障国际能源输送安全稳定。

6.2.3 与能源互联网的融合发展

在能源互联网蓬勃发展的大背景下，天然气管道作为能源输送网络的重要一环，智能巡检技术将深度融入其中。与电力、热力等其他能源网络互联互通，实现数据交互与协同运行。例如，依据能源需求动态变化，智能调整天然气输送量，配合其他能源供应，优化能源配置效率，同时借助能源互联网的大数据分析平台，进一步挖掘智能巡检数据价值，为能源综合管理提供决策支持。

7 结论与建议

本研究系统阐述了智能巡检技术在天然气管道运输维护领域的应用现状，详细剖析其原理、类型及国内外实践案例，明确了该技术在提升巡检效率、保障安全、降低成本与优化管理决策等方面的优势。同时，全面探讨了技术、管理运营、政策标准层面面临的挑战，并针对性提出应对策略。展望未来，智能巡检技术在技术革新与应用拓展上前景广阔，将为天然气管道运输维护带来全新变革，有力推动能源行业可持续发展。

参考文献：

- [1] 郭涛, 陈静, 王芳, 等. 基于物联网的天然气管道智能巡检系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023, 40(12): 114-117+121.
- [2] 刘建明, 王磊, 李岩, 等. 智能巡检技术在天然气管道运维中的应用与发展趋势 [J]. 油气储运, 2024, 43(10): 1135-1142.