

智能监测技术在油气储运安全保障中的应用分析

杨晓波（中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司，天津 300451）

摘要：本文分析了智能监测技术在油气储运安全保障中的应用。从管道、储存设施到运输工具，通过传感器、物联网、大数据与人工智能等技术，构建了实时感知、智能预警与精准决策的全链条防护体系。结合沿海 LNG 接收站案例，验证了其在泄漏预警、预测性维护和应急响应中的显著成效。同时，探讨了技术集成、成本压力、数据安全与人才短缺等挑战，并提出了标准化推进、商业模式创新及人才赋能等对策，为行业智能化转型与安全水平提升提供理论参考与实践路径。

关键词：智能监测；油气储运；安全保障；数字孪生

中图分类号：TE88 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2026）011-0130-03

Application analysis of intelligent monitoring technology in oil and gas storage and transportation security

Yang Xiaobo (CNOOC Energy Technology & Services Ltd – Oil Production Service Co., Tianjin 300451, China)

Abstract: This paper analyzes the application of intelligent monitoring technology in oil and gas storage and transportation security. From pipelines, storage facilities to transportation tools, a full chain protection system of real-time perception, intelligent early warning and accurate decision-making has been built through technologies such as sensors, Internet of things, big data and artificial intelligence. Combined with the case of coastal LNG terminal, its remarkable effect in leakage early warning, predictive maintenance and emergency response is verified. At the same time, the challenges of technology integration, cost pressure, data security and talent shortage are discussed, and the Countermeasures of standardization promotion, business model innovation and talent empowerment are put forward, providing theoretical reference and practical path for the intelligent transformation and security level improvement of the industry.

Key words: intelligent monitoring; Oil and gas storage and transportation; Safety guarantee; Digital twins

在当今迅猛发展的科技时代，智能化技术的崭新面貌正在深刻地改变着世界各行各业的运营方式。从制造业到服务业，从医疗领域到金融行业，智能化技术已经渗透到生产、管理、决策的各个层面，成为推动社会进步的新引擎之一^[1]。在这个背景下，油气储运行业也迎来了智能化时代，为这一传统而关键的领域注入了新的活力与生机。在过去，油气储运行业的运作往往依赖于传统的手工操作和经验积累。然而，这种方式在面对日益变化的市场环境和技术压力时显得越来越力不从心。智能化技术的广泛应用为油气储运带来了全新的操作方式和管理理念。例如，智能传感器的运用能够实时监测管道运行状态，大数据分析可以为决策提供更精准的支持，而人工智能系统则在优化运营方面展现出巨大潜力^[2]。

1 油气储运的特点与风险

油气储运系统其特点首先是规模庞大且环境复杂，长距离管道穿越地质条件多变的地区，大型储罐区集中存储大量危险介质。其次是介质本身具有高危特性，原油、成品油、天然气等具备易燃、易爆、有毒及易挥发等危险性质。物理风险包括管道与储罐因腐蚀、材料疲劳或第三方施工破坏导致的泄漏；操作风险源于人为失误或工艺控制不当；自然风险如地质

灾害、极端天气可能引发设施损毁。一旦发生事故，极易引发火灾、爆炸、环境污染等灾难性后果，造成重大生命财产损失和深远的社会影响，因此其安全保障要求极高。

2 安全保障的关键要素

首先是本质安全与预防，通过优化设计、选用耐腐蚀材料、设置物理防护来降低固有风险。第二是实时状态感知与监控，即利用各类检测手段对压力、温度、流量、泄漏信号等进行不间断监测，确保对运行状态的全面掌握。第三是风险评估与预警，基于监测数据和分析模型，及时识别潜在故障与异常趋势，实现事前预警。第四是应急响应与处置，建立快速、精准的泄漏定位、隔离和抢险机制，以控制事故后果^[3]。

3 常见智能监测技术介绍

3.1 传感器技术

油气储运领域中应用广泛的传感器有光纤传感器，可以分布式测量温度、振动、声波，对管道微泄漏和第三方入侵非常敏感；超声和导波传感器，用来检测管壁腐蚀厚度和内部缺陷；激光光谱和红外气体传感器，可以准确地识别出甲烷、VOCs 等危险气体的泄漏；智能内检测器（智能清管器），在管道内运行时通过漏磁、超声等技术高清成像，对管体健康状

况进行全方位的评价^[4]。

3.2 物联网技术

物联网技术利用无线通信协议（LoRa、NB-IoT、5G）把分布在管道、储罐、运输工具上的大量传感器节点连在一起，从而达到对监测数据进行远程实时传输以及对设备状态进行远程监控的目的。它的主要价值就是实现数据集成，打破信息壁垒，把分散的监测点整合成一个统一的管理视图；支持边缘计算，在数据源头就完成初步处理和即时报警，大大提高了响应速度；赋能预测性维护，用设备互联来系统地分析运行趋势，提前发出预警。

3.3 大数据与人工智能分析技术

大数据技术用来处理海量、多源、高速度的监测数据，用数据清洗、存储和关联分析来发现肉眼难以发现的复杂模式和相关性。在此基础上，人工智能算法（尤其是机器学习、深度学习）可以建立预测模型来准确预测腐蚀发展趋势或者设备剩余寿命，实现智能诊断，自动识别异常模式（泄漏特征波形），定位故障根源，还可以驱动数字孪生，用虚拟模型模拟不同的工况下系统的运行情况，从而优化运行策略和应急方案^[5]。

4 智能监测技术在油气储运安全保障中的应用

4.1 管道运输中的应用

管道运输中利用分布式光纤声波传感（DAS）和流量压力平衡法相结合的方式，可以对微小泄漏进行早期准确的定位，灵敏度比传统的方法提高了十倍以上。结构健康监测依靠智能内检测器周期性巡检，外检测的超声导波技术来量化的评价管道的腐蚀速率和缺陷发展。地质灾害预警是在高风险地段设置北斗/GNSS 位移监测站和深部应变传感器，得到滑坡、沉降等毫米级形变，发出预警。智能调控和决策依靠 SCADA 系统以及数字孪生模型，就输送压力、温度实施动态改善并做仿真推演，在保证安全的基础上改进输送效率。

4.2 储存设施中的应用

大型储罐区、地下储库等地方的智能监测技术主要是对状态进行全方位的感知，并且实现风险精准的控制。罐体完整性监测用雷达液位计、多点温度传感器和罐底声发射传感器来实时监测液位、温度分层和底板腐蚀状态。泄漏和气体检测使用激光扫描式可燃气体探测器和红外热成像仪，可以对挥发性有机物（VOCs）无组织排放进行快速扫描和可视化定位^[6]。火灾预警与防控系统把视频智能分析（识别烟雾、火焰）同热成像测温技术融合起来，做到秒级火灾报警并立刻联动泡沫灭火系统。

4.3 运输工具中的应用

移动运输工具上，智能监测技术希望达到全程可追溯、状态可预警的闭环管理。实时状态监控就是对运输工具上安装的压力、温度、液位等多参数传感器和 GPS/北斗定位终端进行监测，从而实现对运输工具的位置、轨迹、介质状态以及阀门开关情况的实时跟踪。驾驶行为与安全监测采用 ADAS（高级驾驶辅助系统）和 DSM（驾驶员状态监测）摄像头，配合 AI 算法对疲劳驾驶、分心驾驶和前向碰撞风险进行实时分析并发出预警。装卸过程智能控制是在装卸栈桥或码头上集成自动鹤管、质量流量计和联锁系统，实现定量装车、防溢流自动切断和电子运单同步，杜绝人为误操作。

5 应用案例分析

5.1 具体案例介绍

以国内某大型沿海 LNG 接收站为例，其构建了一套深度融合数字孪生与智能传感的“智慧接收站”安全监测体系。该站在外输高压管道上全线敷设分布式光纤传感系统，实时感知第三方施工振动与温度异常；在 16 万 m³ 大型 LNG 储罐外壁部署应变与沉降传感器网络，并与罐内液位、温度数据联动，在线评估罐体结构应力；在码头装卸区应用激光气体云扫描仪与高精度热成像摄像头，24h 不间断监测可能的微量气体泄漏与低温冻伤风险。

5.2 案例效果评估

在该 LNG 接收站的应用实践中，智能监测技术发挥了关键性作用，成效显著。首先，在风险预警能力上取得突破，分布式光纤系统曾成功预警一次距管道 50m 外的非法机械施工，避免了可能的破坏；气体云扫描仪多次在巡检前发现人眼难以察觉的微量泄漏，实现“技防”先于“人防”。其次，维护模式得以革新：基于传感器数据与数字孪生模型的预测性维护，使储罐和管道的计划外停机检修次数下降约 40%，维护成本降低 25% 以上。再者，应急响应效率大幅提升：三维平台实现泄漏点位、影响范围、关键阀门的秒级可视化定位，应急响应决策时间平均缩短 60%。最后，整体安全管理水平迈上新台阶：该体系实现了从孤立点监控到全站系统性风险管控的跨越，形成了“实时感知-智能预警-精准处置-持续优化”的安全闭环，人员暴露于高风险区域的频次减少，为同类能源枢纽的智能化安全运营树立了标杆，充分验证了智能监测技术的巨大价值与可靠性。

6 智能监测技术应用面临的挑战与对策

6.1 面临的挑战

①技术集成和标准化的难题。新旧系统兼容性差

是主要问题,很多老旧的基础设施(服役几十年的管道、储罐等)没有标准化的数据接口,新型智能传感器很难集成或者改造成本非常高。多源异构数据融合难,各种厂商、各种协议的传感器和业务系统产生的数据格式不同、时序不同,造成数据孤岛,不能在同一个平台上实现有效的关联分析和协同预警。②全生命周期成本和投资回报的难题。初期投资大,包含高性能传感器(分布式光纤)、物联网通信网络、云平台、数字孪生系统和定制化软件开发,对资产密集但是利润受市场波动影响的油气企业来说是沉重的财务负担。运营维护成本一直存在,传感器校准、更换,通信服务费,数据存储和计算资源消耗,软件升级以及专业团队运营费用构成长期的现金流压力。③数据安全、网络安全和人才短缺问题。数据安全、网络安全风险上升,监测系统同核心生产网络的联通、海量敏感运营数据的云边传送和存储,成了网络攻击的目标,一旦遭到篡改、窃取或者服务中断,就会直接造成生产安全事故或者重大商业机密泄露。复合型专业人才严重缺乏成了制约技术深度应用的主要障碍,既懂油气储运工艺、设备特性、安全规范,又会分析数据、使用人工智能算法、掌握网络信息技术的跨界人才极其缺乏。另外,现有的运维人员知识结构跟不上智能系统的复杂性,不能很好地操作和维护日益复杂的智能系统,出现系统先进而人员脱节的落地困境。

6.2 应对策略

①推进技术标准化并创建开放生态系统。积极推动标准体系的建立,联合龙头企业、科研院所、行业协会、标准制定机构等共同制定和推广涵盖数据接口、通信协议、系统架构、安全评估等各方面的智能监测技术系列标准和实施指南,为互联互通打下基础。提倡使用模块化、开放式的系统架构,鼓励用微服务、容器化等方式创建可扩展的平台,并且要制定开放的应用程序编程接口(API),方便新的旧系统逐步对接以及第三方应用的接入。培育健康的产业生态,依靠创建技术联盟或者开源社区来推动设备商、软件开发商、服务商同用户之间的协同创新以及方案互认,削减技术锁定风险,加快成熟解决办法的复制推广。②创建新的商业模式并准确评价价值效益。探索多元化的投资方式和商业模式,采用“建设-运营-移交”(BOT)或者“监测即服务”(MaaS)模式,由专业的服务公司负责前期的投资和系统的运营,企业按照服务的效果来付费;或者利用产业基金、政策性补贴等方式分摊初始的投入。创建全生命周期成本分析和精准价值评价模型,除了可以量化直接节省的维修费用、减少的保险赔付之外,还要对由于事故避免而造

成的环境修复成本、停产损失、品牌声誉损害等隐性价值进行系统的评估,并把安全绩效提升带来的运营效率增益(优化输送计划、延长检测周期)纳入投资回报计算中,给决策提供有力的支撑。③创建纵深防御体系并开展人才赋能工程。创建起一个包含网络以及数据安全纵深防御体系的集成化体系,严格实行生产控制网和管理信息网的逻辑隔离,安装工业防火墙、入侵检测系统,传输和存储的数据使用端到端加密和区块链存证技术保证完整性与可追溯性,形成常态化的安全审计、渗透测试和应急响应机制。实行多层次、系统化的教育赋能战略,在高校创建油气设施智能化、工业互联网等交叉学科,定向培育复合型人才;企业内部创建“数字工匠”培育计划,用体系化培训、技能认证、实战演练等方式加快现有技术人员转型;同专业技术服务商达成战略合作,依靠外部专家力量弥补短期内自身能力的欠缺,塑造起内外结合的人才支撑局面。

7 结论

因此智能监测技术实现了油气储运过程的实时感知、智能分析、主动预警,明显提高安全管理的准确性、前瞻性。实践证明,在泄漏早期发现、设备预测性维护、应急响应优化等方面效果明显。但是技术集成复杂、全生命周期成本高、数据安全风险和复合型人才短缺等问题还须要系统解决。未来要依靠加快标准制订、革新商业模式、创建安全防护体系、培育人才等众多途径,促使技术深度整合并实现规模化应用。

参考文献:

- [1] 张超, 孟子楠, 李佳欣. 智能技术在油气储运中的应用与展望 [J]. 化工管理, 2024(20):87-89.
- [2] 邱亚威. 油气储运中安全隐患防范研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025,45(21):69-71.
- [3] 杨瑞. 油气储运中的安全隐患及防范措施分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025,45(21):81-83.
- [4] 阎宏, 温纪宏, 王天哲, 等. 机器视觉技术在油气储运领域中的应用优势研究 [J]. 粘接, 2025,52(07):125-128.
- [5] 王现中. 油气储运智能化研究进展 [J]. 当代化工研究, 2020(18):7-8.
- [6] 胡永光. 长距离油气储运技术面临的问题及解决策略 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025,45(17):143-145.

作者简介:

杨晓波(1975-),男,汉族,安徽肥东人,大学本科,中级职称,研究方向:石油开采设备的技术研究。