

数字化转型下油气储运系统智能监控与调度技术研究

廖兆龙

北京东方华智石油工程有限公司, 天津市, 300000;

摘要: 在全球能源结构调整与数字化转型驱动下, 油气储运系统运行效率与安全水平影响能源供应与行业效益。传统模式有监测盲区多、调度滞后等痛点, 难适配现代需求。本文立足数字化转型, 梳理智能监控与调度技术架构, 分析关键技术应用逻辑, 结合案例验证成效, 剖析推广瓶颈并展望趋势, 为行业智能化升级提供参考。

关键词: 数字化转型; 油气储运; 智能监控; 智能调度

DOI: 10.69979/3060-8767.26.01.065

引言

油气储运是能源供应链核心, 我国储运网络完善使系统复杂度与风险提升。传统模式以人工巡检、经验调度为主, 监测有盲区、调度响应慢、决策缺数据支撑。数字化转型提供解决方案, 新兴技术融合推动储运系统转变, 智能监控实现实时感知预警, 智能调度提升资源配置与决策科学性。我国行业已有一批标杆成果, 研究相关技术对行业发展有重要意义。

1 油气储运系统智能监控与调度技术核心架构

数字化转型下的油气储运智能监控与调度系统, 构建感知层-网络层-平台层-应用层全链条技术架构, 各层级协同联动, 实现从数据采集到决策执行的闭环管理。

感知层是系统基础, 承担数据采集任务。通过部署智能传感器、视频采集设备、无人机等感知终端, 采集储运系统多维度数据, 如在管道沿线、油库等部署设备, 结合 AI 视觉识别、北斗定位等获取数据, 为调度提供支撑。

网络层是数据传输桥梁, 将感知层数据传至平台层。因设施分布环境复杂, 采用 5G+光纤+卫星通信多网络融合模式, 5G 实时通信, 光纤稳定传输, 卫星应急备份, 同时部署安全技术防范风险。

平台层是系统中枢, 承担数据处理等功能。基于云计算、大数据构建一体化数据管理平台, 整合数据形成资源池。嵌入 AI 算法引擎等模块, 为应用层提供支撑, 如预警风险、模拟推演、生成方案等。

应用层是技术落地载体, 聚焦核心业务场景, 形成智能监控、智能调度、应急管理等应用。智能监控监测预警, 智能调度优化资源配置与流程, 应急管理针对突发状况生成预案, 提升应急能力。各应用模块数据互通、

协同联动, 构建全流程智能化管控体系。

2 关键技术在智能监控与调度中的应用逻辑

2.1 智能监控核心技术及应用

智能监控技术旨在全维度感知储运系统运行状态、精准预警风险, 关键技术有智能感知、AI 视觉识别、分布式监测等, 协同破除传统监测盲区与痛点。

智能感知技术是精准监测基础, 部署高精度传感器实时采集关键参数。储罐监测中, 雷达液位计高精度监测液位, 结合压力变送器数据预判小呼吸损耗、优化呼吸阀工作; 管道监测里, 分布式光纤振动监测系统毫秒级识别风险, 某沿海油库应用后年泄漏处置成本降 40%。

AI 视觉识别技术填补传统视觉监测依赖人工短板, 实现作业场景智能监管。某企业自研的慧眼 AI 系统依托视频图像与 AI 识别构建施工现场防控体系, 单框架支持超 800 路算法并发, 精准识别 20 类隐患, 准确率超 90%, 已辅助提醒超 3.6 万次, 还拓展至储库建设等领域, 实现远程实时监控。

分布式监测技术解决长距离、大范围储运设施监测难题。跨国长输管道监测中, 部署感知网络结合外部数据全方位感知运行状态。某国际管道运营企业构建的智能感知网络提升地质灾害识别准确率至 92%, 寒潮时能自动生成预警报告保障供气安全。

2.2 智能调度核心技术及应用

智能调度技术旨在优化资源配置、提升决策效率, 关键技术包括数字孪生技术、智能算法引擎、数据协同技术推动调度模式从经验驱动向数据驱动转变。数字孪生技术为智能调度提供可视化与模拟推演支撑, 构建储运系统虚拟镜像, 实现对物理实体运行状态的实时映射

与多场景模拟。相关国际管道运营企业的某数字化平台，基于该技术构建跨国管网虚拟模型，实现万里管道同平台管理。某跨国管道突发气源波动时，调度策略协同寻优智能体启动数字孪生推演，2小时完成全流程，较传统方式提速4倍，调控后管道自耗气量降低5%。油库调度中，结合相关信息模拟作业流程，优化装卸车/船方案，某成品油库应用后装卸作业效率提升30%，车辆排队时间缩短50%。

智能算法引擎是调度优化核心，嵌入先进算法生成最优方案。某跨国管网调度中，数字化平台关键调度数据服务智能体穿透9个异构数据源，3分钟生成专项报告。输量波动分析工作如今通过自然语言交互即可完成，日报准确率达98%，冬季保供方案效率提升40%。某油库作业调度中，模型预测控制（MPC）算法控制罐区液位波动，减少大呼吸损耗；遗传算法优化运输路线与装卸顺序，提升资源利用效率。

通过数据协同技术解决传统调度信息孤岛问题，实现跨区域、跨部门数据共享与协同。数字化平台的1+N数字化体系实现八大模块协同运作，提升跨国调度协同效率20%。国内油库调度整合数据实现全流程数字化，结合定位追踪触发指令，使库存周转率提升25%。

3 典型案例分析

3.1 案例一：慧眼AI智能预警系统在油气储运施工现场的应用

项目背景：油气储运工程施工现场环境复杂，人员违规操作、设备异常运行等隐患易引发安全事故，传统人工监督模式存在覆盖不全面、响应滞后等问题。为解决这一痛点，管道局龙慧公司自主研发施工风险隐患智能监督系统（简称慧眼AI），应用于管道、储库、燃气等领域的建设及运营业务。

技术应用：该系统整合视频数据与AI智能识别预警功能，采用分布式部署模式，降低数据报警延迟，解决视频数据占用资源庞大的问题。系统已拓展识别场景至40余种，涵盖人员违规行为、设备异常运行等核心风险点。在多家大型能源企业的工程建设项目中，系统接入施工现场数百路视频监控，搭建起典型风险行为AI分析及预警系统；在多家区域能源企业项目中，系统识别信息实时推送至管理平台及手机APP终端，实现远程实时监控。

实施效果：系统上线至今，已发出智能预警数万次，

辅助提醒监督报警超过3.6万次，成功识别人员违规穿越现场、未穿戴劳保用品操作等20类隐患。在多个重点项目中，实现了施工项目的全方位、全时段监控，有效降低了安全事故发生率，为施工和运行现场实现本质安全保驾护航。

3.2 案例二：智控智能调度模块在跨国管网中的应用

项目背景：某国际管道运营企业负责运营覆盖多个国家、总里程超1.1万公里的跨国管网体系，传统跨国调度需协调多国值班人员，存在数据共享不及时、调度响应滞后、决策效率低等问题。为提升管网调度智能化水平，公司研发专用的数字化平台，并上线智控智能调度模块。

技术应用：该模块基于梦想云构建全链条数字化架构，嵌入大模型智能体集群，包括关键调度数据服务智能体、智能监测与安全运营保障智能体、调度策略协同寻优智能体等。模块整合SCADA实时数据、历史案例库、气象地质数据等多源信息，通过自然语言交互实现数据查询与方案生成，结合数字孪生技术实现调度方案的模拟推演。

实施效果：在某跨国天然气管道突发状况处置中，值班调度员通过输入指令，系统8分钟内给出压力调整建议与设备操作预案，较传统模式大幅提升响应效率；冬季保供方案效率提升40%，日报准确率达98%；管道自耗气量降低5%，办公效率提升20%，数据共享率提高20%。该模块的应用，实现了跨国管网调度的数据、规则、决策三统一，为跨国能源合作项目提供了智能化解决方案。

4 当前技术推广面临的瓶颈问题

尽管智能监控与调度技术在油气储运行业已取得显著应用成效，但在大规模推广过程中，仍面临系统兼容性、数据安全、人才储备、投资回报等多方面瓶颈，制约了技术价值的充分释放。

系统兼容性不足是首要痛点。由于油气储运行业设备更新周期长，新旧设备并存现象普遍，不同厂家、不同年代的设备采用的通信协议不统一（如Modbus、OPCUA混用），导致数据交互效率低，难以实现系统间的无缝对接。部分中小型油库、区域转运站仍采用传统控制系统，与新建智能系统存在信息孤岛，数据无法

有效共享，影响了智能调度的全局优化效果。

数据安全风险不容忽视。油气储运系统作为关键基础设施，其运行数据涉及能源安全与企业核心利益。随着数字化程度的提升，工业网络面临勒索病毒、非法入侵等网络攻击风险，一旦控制系统被入侵或数据泄露，可能引发管道泄漏、设备瘫痪等连锁事故，造成重大经济损失与安全风险。目前，部分企业数据安全防护体系不完善，缺乏常态化的攻防演练与风险评估，数据安全保障能力有待提升。

复合型人才缺口突出。智能监控与调度技术的应用，需要既精通油气储运工艺，又掌握物联网、人工智能、大数据等数字技术的复合型人才。当前行业内传统技术人员占比高，数字技术储备不足，而高校相关专业人才培养与行业需求存在脱节，导致企业面临人才招聘难、培养成本高的问题，制约了技术的深度应用与迭代升级。

投资回报周期长影响企业积极性。智能监控与调度系统的建设需要投入大量资金，包括传感器部署、网络改造、平台开发、设备升级等。对于中小型油气储运企业而言，资金压力较大，且技术应用的效益多体现在长期的安全提升、效率优化与成本降低上，短期投资回报不明显，导致企业自动化改造意愿不足，技术推广存在区域不平衡现象。

5 未来发展趋势展望

面对数字化转型的深入推进与技术的持续迭代，油气储运系统智能监控与调度技术将朝着标准化、协同化、绿色化、无人化方向发展，逐步破解当前面临的瓶颈问题，构建更加安全、高效、绿色的智能化体系。

行业标准化体系将逐步完善。相关部门与行业协会将加快制定智能监控与调度系统的技术标准，统一设备通信协议、数据接口规范、安全防护要求等，推动新旧系统的兼容对接，破除信息孤岛。同时，将形成技术应用的行业规范与评价体系，为企业技术改造提供明确指引，促进技术的规模化推广。

数字孪生与AI技术将深度融合。未来，数字孪生技术将实现从静态映射向动态预测的升级，结合AI算法的自学习能力，构建更加智能的虚拟推演体系，能够对设备故障、管道泄漏、自然灾害等风险进行提前预判与模拟处置。同时，AI技术将拓展应用场景，从单一风险识别向多场景协同预警、智能决策升级，进一步提升系统的自主化运行能力。

绿色智能转型成为重要方向。结合双碳目标，智能监控与调度技术将融入绿色发展理念，通过优化调度方案降低能耗，结合光伏储能、余热回收技术构建零碳油库零碳站场；通过 VOCs 在线监测与智能控制，降低油气挥发排放，实现环保达标；建立碳足迹追踪系统，量化储运环节碳排放，为企业绿色转型提供数据支撑。

无人化运营模式逐步落地。随着5G、无人机、机器人技术的发展，油气储运系统将逐步实现无人化巡检与操作：无人机巡检结合AI识别技术，实现对长距离管道的全天候、全覆盖巡检；智能机器人替代人工完成油库装卸、设备维护等作业；调控中心实现全流程自动化调度，仅需少量人员进行监控与应急处置，大幅降低人工成本与人为操作风险。

跨国协同智能化水平持续提升。针对跨国油气储运项目的需求，智能调度系统将进一步强化多语言支持（如英语、俄语、缅语等）与跨国数据协同能力，结合卫星通信与5G技术，实现全球管网的实时监控与统一调度，为全球能源互联互通提供智能化支撑。

6 结论

数字化转型背景下，智能监控与调度技术已成为油气储运行业升级发展的核心驱动力。通过感知层-网络层-平台层-应用层的全链条技术架构，智能感知、AI识别、数字孪生等关键技术实现了对储运系统运行状态的全维度感知、精准预警与优化调度，典型案例验证了技术在提升安全水平、优化资源配置、降低运营成本等方面显著成效。尽管当前技术推广面临系统兼容性、数据安全、人才储备等瓶颈，但随着行业标准化体系的完善、技术的深度融合与绿色智能转型的推进，油气储运系统将逐步实现无人化、协同化、绿色化运营。未来，需进一步加强技术研发与人才培养，完善政策支持与标准体系，推动智能监控与调度技术在油气储运行业的深度应用，为能源供应链的安全稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1] 李遵照, 王剑波, 王晓霖, 等. 智慧能源时代的智能化管道系统建设 [J]. 油气储运, 2017, 36(11): 8. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2017.11.003.
- [2] 丁建林, 西昕, 张对红. 能源安全战略下中国管道输送技术发展与展望 [J]. 油气储运, 2022, 41(6): 8.