

人工智能技术在石油天然气智能化输配站运维中的应用探索

王建永 (国家管网集团北京管道有限公司山西输油气分公司, 山西 太原 030000)

丛玉章 (国家石油天然气管网集团有限公司东北分公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 近年人工智能技术在工业领域的渗透不断深化, 为传统能源基础设施的智能化转型提供了新的技术路径。石油天然气输配站作为能源输送的关键节点, 其运维过程涉及大量设备状态监测、流程优化及风险预警需求。计算机视觉、机器学习等 AI 技术的成熟应用, 使得输配站能够实现设备故障的智能诊断、运行参数的自主优化以及安全风险实时预测。通过部署智能传感器与边缘计算设备, 结合历史运行数据的深度挖掘, 人工智能系统可建立高精度的设备健康度评估模型, 显著提升运维效率与可靠性, 为构建无人化、自适应的新型输配站奠定了技术基础。

关键词: 人工智能技术; 石油天然气智能化输配站; 运维应用

中图分类号: TE974

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 020-0103-03

The application of artificial intelligence technology in the operation and maintenance of oil and gas intelligent transmission and distribution station

Wang Jianyong(State pipeline Group Beijing Pipeline Co., LTD. Shanxi oil and gas branch,Taiyuan Shanxi 030000, China)

Cong Yuzhang(State oil and gas pipeline Network Group Co., LTD. Northeast branch,Shenyang Liaoning 110000, China)

Abstract: Abstract: Artificial intelligence technology continues to deepen in the industrial field, helping the intelligent transformation of traditional energy infrastructure. As the key node of energy transmission, oil and gas transmission and distribution station involves a lot of equipment condition monitoring, process optimization and risk early warning needs. The mature application of AI technologies such as computer vision and machine learning enables the transmission and distribution station to realize intelligent diagnosis of equipment faults, autonomous optimization of operating parameters, and real-time prediction of security risks. Artificial intelligence systems can build high-precision equipment health evaluation models, significantly improving operation and maintenance efficiency and reliability.

Keywords: artificial intelligence technology; Intelligent oil and gas transmission and distribution station; Operation and maintenance application

在石油天然气行业数字化转型的背景下, 智能化输配站建设已成为提升运营效能的重要突破口。人工智能技术通过整合 SCADA 系统实时数据、设备运维记录及环境监测信息, 构建了覆盖全站区的智能分析体系。基于深度学习的异常检测算法可精准识别压缩机振动异常、管道压力波动等潜在故障; 自然语言处理技术则实现了运维日志的自动归类与知识提取, 辅助制定科学的维护策略。这种智能化运维模式降低了人为误判风险, 更通过预测性维护大幅延长了关键设备的使用周期。

1 人工智能技术的定义与特点

人工智能技术是指通过计算机系统模拟人类智能行为的技术体系, 其核心在于使机器具备感知、学习、推理和决策的能力。人工智能技术的特点包括自主性、适应性和高效性。自主性体现在系统能够独立完成特定任务, 无需人工干预。适应性表现为系统能够根据

环境变化调整行为模式, 优化运行效率。高效性则反映在人工智能技术能够快速处理复杂数据, 提升任务执行速度。在石油天然气智能化输配站运维中, 人工智能技术通过整合多源数据, 实现对设备状态的实时监测与故障预警, 从而提升运维的精准性和可靠性。

2 人工智能技术在输配站设备监测与故障诊断中的应用

2.1 基于传感器数据的设备状态实时监测

输配站通过在关键设备上部署振动传感器、温度传感器、压力传感器和流量传感器等各类监测设备, 实现对设备运行状态的全面数据采集, 这些传感器以毫秒级频率持续采集设备运行参数, 并通过工业物联网平台将数据传输至中央监控系统, 系统对采集到的原始数据进行滤波去噪、特征提取和归一化处理, 消除环境干扰因素对数据质量的影响, 处理后的数据通过预设的阈值判断规则进行初步分析, 当监测参数超

出正常范围时自动触发预警机制，同时系统建立设备运行状态的历史数据库，通过趋势分析算法识别参数的缓慢变化过程，实现对设备性能退化的早期发现，监测数据通过可视化界面实时展示，支持运维人员随时查看设备运行状态，系统还具备数据存储和回溯功能，便于后续进行深入分析和故障诊断，这种基于传感器数据的实时监测方式显著提升了设备状态感知的及时性和准确性。

2.2 利用机器学习算法进行故障预测

输配站设备故障预测系统采用监督学习算法对历史故障数据进行建模分析，对设备全生命周期运行数据进行清洗和标注，构建包含正常状态和各类故障模式的数据样本集，系统采用随机森林算法对设备运行参数进行特征重要性排序，筛选出与故障相关性最高的关键参数作为模型输入，通过支持向量机算法建立设备健康状态分类模型，实现对常见故障模式的识别和分类，针对设备性能退化问题，采用长短期记忆神经网络构建时序预测模型，通过对历史数据的深度学习预测设备未来一段时间的运行趋势，系统定期使用新采集的数据对模型进行在线更新和优化，保持预测模型的适应性，预测结果通过概率形式输出，当故障发生概率超过设定阈值时自动生成预警信息，同时给出置信度评估，帮助运维人员判断预警的可靠性，这种基于机器学习的故障预测方法能够提前发现潜在故障风险，为预防性维护提供决策依据。

2.3 智能诊断系统的构建与应用

输配站智能诊断系统采用多模态数据融合技术，整合设备实时监测数据、历史维护记录和专家经验知识，构建全面的诊断知识库，系统基于深度学习框架开发了卷积神经网络和注意力机制相结合的诊断算法，能够同时处理结构化监测数据和非结构化设备图像数据，实现故障特征的自动提取和模式识别，针对复杂故障场景，系统采用图神经网络建模设备各部件之间的关联关系，通过拓扑分析定位故障传播路径，诊断过程引入不确定性推理机制，结合贝叶斯网络对多种诊断结果进行概率评估，输出最可能的故障原因和位置，系统提供交互式诊断界面，支持运维人员输入现场观察到的现象和测试结果，通过人机协同方式提高诊断准确性，诊断结果自动关联维护知识库，推荐相应的处理措施和备件信息，系统还具备自学习功能，通过持续积累诊断案例不断优化诊断模型，这种智能诊断系统显著提升了故障诊断的效率和准确性，缩短了设备恢复时间。

2.4 故障快速定位与隔离技术

输配站故障定位系统采用分布式光纤传感技术，

沿关键管道和设备的全长部署传感光纤，实时监测温度、振动和应变等参数变化，当检测到异常信号时，系统通过时域反射分析技术精确定位故障点位置，定位精度可达米级，针对电气系统故障，采用行波测距算法分析故障电流波形特征，实现故障区段的快速识别，系统建立设备拓扑关系模型，当某点发生故障时自动分析故障影响范围，生成最优隔离方案，通过智能断路器实现故障区段的自动隔离，隔离操作考虑电网拓扑约束和设备承载能力，确保非故障区域的安全供电，系统还具备故障场景重构功能，通过三维可视化技术直观展示故障发生过程和影响范围，支持运维人员快速理解故障情况，故障定位和隔离结果自动生成处置报告，记录故障参数和处理过程，为后续分析提供数据支持，这种快速定位与隔离技术显著缩短了故障处置时间，最大限度降低了故障影响。

2.5 设备健康管理与维护决策支持

输配站设备健康管理系统基于设备实时监测数据和历史维护记录，构建设备健康状态评估模型，系统采用模糊综合评价方法，综合考虑设备运行参数、性能指标和环境影响等因素，计算设备的健康指数，健康指数按百分制表示，并划分为优良中差四个等级，系统建立设备剩余使用寿命预测模型，通过粒子滤波算法融合设备退化机理模型和数据驱动模型，预测设备到达维护阈值的时间，维护决策模块考虑设备重要性、维护成本和故障后果等因素，采用多目标优化算法生成最优维护计划，计划包括维护时间、维护方式和所需资源等信息，系统支持维护策略的动态调整，当设备状态发生突变时重新评估维护优先级，维护过程实施闭环管理，记录维护效果并反馈至健康评估模型，实现持续优化，系统还提供设备全生命周期成本分析功能，帮助管理人员制定长期资产优化策略，这种基于健康管理的维护决策支持系统实现了从定期维护向状态维护的转变，提高了维护资源的利用效率。

3 人工智能技术在输配站生产调度与优化中的应用

3.1 智能生产调度模型的建立

输配站智能调度系统采用混合整数规划方法建立生产调度数学模型，模型考虑管道输送能力、储罐存储限制、设备运行约束和产品需求等多重因素，以生产成本最小化和资源利用率最大化为优化目标，系统引入滚动优化机制，每15分钟重新计算一次调度方案，适应生产条件的动态变化，针对大规模优化问题，采用分解协调算法将全局问题分解为多个子问题并行求解，提高计算效率，调度模型考虑设备启停成本和操作限制，避免频繁切换造成的设备损耗，系统建立多场景模拟功能，评估不同调度方案在异常工况下的鲁棒性，选择最

优方案,调度结果通过甘特图直观展示各设备的运行计划,支持人工调整和确认,调度指令自动下发至现场控制系统执行,执行情况实时反馈至调度模型,形成闭环控制,这种智能调度模型实现了生产过程的精细化管控,显著提升了调度效率 and 经济效益。

3.2 基于大数据分析的生产优化策略

输配站生产优化系统采集并整合生产过程数据、设备状态数据和市场信息数据,构建全面的生产大数据平台,系统采用关联规则挖掘算法分析历史生产数据,发现工艺参数之间的隐含关系,优化操作参数组合,针对复杂工艺过程,采用深度学习建立输入输出关系的代理模型,替代传统的机理模型进行快速仿真计算,优化模块采用遗传算法搜索最优操作点,在满足产品质量约束的前提下最大化产能或最小化能耗,系统建立关键性能指标的实时监控看板,通过对比实际值和目标值及时发现偏差,自动触发优化计算,优化结果包括操作参数调整建议和预期效益评估,支持操作人员决策,系统还具备知识沉淀功能,将优化案例和经验转化为规则知识库,实现经验的数字化传承,这种基于大数据分析的生产优化策略实现了从经验驱动向数据驱动的转变,持续提升生产运行水平。

3.3 实时负荷预测与资源分配

输配站负荷预测系统整合历史负荷数据、天气预报和经济指标等多源信息,采用时间序列分析算法建立短期负荷预测模型,预测未来 24h 内的负荷变化趋势,系统针对不同季节和天气条件建立多个预测子模型,根据实际情况自动选择最合适的模型组合,预测过程考虑特殊事件和节假日的影响因素,通过人工修正提高预测准确性,基于负荷预测结果,资源分配模块采用线性规划方法计算最优设备组合和运行参数,平衡生产需求和能源消耗,分配方案考虑设备效率曲线,确保各设备在高效区间运行,系统建立负荷跟踪机制,当实际负荷偏离预测值时自动调整资源分配,保持供需平衡,预测和分配结果通过可视化界面展示,支持调度人员监控和干预,系统还提供负荷预测准确性评估功能,持续优化预测算法,这种实时负荷预测与资源分配方法实现了生产资源的精准匹配,提高了整体运营效率。

3.4 管道输送效率的智能提升

输配站管道智能优化系统采用计算流体力学方法建立管道输送过程的数字孪生模型,实时模拟管内流体的流动状态和热力特性,系统基于模型预测控制技术,动态调整泵站运行参数和阀门开度,优化管道输送压差和流量分配,降低能源消耗,针对不同油品输送任务,系统采用序列优化算法计算最优批次调度方

案,减少混油量和冲洗损耗,系统建立管道效率实时监测指标,包括单位输送能耗、压降梯度和流速分布等参数,通过趋势分析发现效率下降的早期迹象,清洗决策模块基于管道阻力增长模型和清洗成本分析,推荐最优清洗时机和方法,系统还具备异常工况识别功能,当检测到泄漏或堵塞迹象时自动预警,这种管道输送效率智能提升技术实现了输送过程的精细化管控,显著降低了运营成本。

3.5 应急调度与安全保障机制

输配站应急调度系统建立全面的风险数据库,包含设备故障、自然灾害和人为事故等多种应急场景的处置预案,系统采用案例推理技术,根据当前报警信息和环境条件匹配最相似的应急案例,推荐处置措施,应急响应模块考虑事故影响范围和演变趋势,通过仿真计算评估不同处置方案的效果,生成最优应急调度指令,调度指令自动下发至相关设备和人员,并跟踪执行情况,系统建立应急资源管理功能,实时监控应急物资库存和抢险队伍状态,确保资源快速调配,通讯模块支持多终端协同工作,实现现场人员、调度中心和专家组的实时信息共享,应急过程全程记录,事后自动生成分析报告,总结经验教训并更新预案库,系统定期组织应急演练,通过模拟各种突发情况检验预案可行性,这种智能化的应急调度与安全保障机制显著提升了输配站应对突发事件的能力,保障了生产安全。

4 结束语

人工智能技术在石油天然气输配站的应用,标志着能源基础设施运维模式的重要变革。通过将算法模型与工业场景深度融合,智能化系统展现出在复杂环境下的精准决策能力与持续优化潜力。未来,随着技术迭代与行业经验的积累,人工智能将进一步释放其在设备全生命周期管理、能效优化及安全管控等方面的价值。这一技术路径为传统输配站的升级改造提供了可行方案,也为构建高效、低碳的新型能源输送网络探索了实践方向。

参考文献:

- [1] 张茂富,刘小兵,赵勇坚.智能化技术在石油化工企业安全管理中的应用[J].化工管理,2023(21):84-87.
- [2] 宫彦双,吴超,安超,等.智能化技术在石油化工行业的应用现状与前景分析[J].智能建筑与智慧城市,2023(03):166-168.
- [3] 韩晨靖,陈忠辉.基于智能化出入管理平台优化石油化工企业生产安全管理方案[J].信息系统工程,2022(09):133-136.