

基于人工智能的石油天然气管道泄漏检测的分析

魏 雷

国家石油天然气管网集团有限公司东北分公司 辽宁 沈阳 110024

摘 要: 油气管道输送工况复杂,传统泄漏检测技术识别精度与适配性存在明显短板,难以适配复杂场景的监测需求。本文结合管道泄漏检测基本原理与人工智能技术体系,系统梳理各类智能技术的适配逻辑与应用机制,深入剖析复杂工况、数据质量、模型适配及外部环境带来的技术局限,同时从算法优化、数据体系完善、多技术融合等角度梳理优化路径,探析智能检测技术的发展方向,为油气管道智能化安全监测提供技术参考。

关键词: 石油天然气管道;泄漏检测;人工智能;特征提取;智能识别

引言: 石油天然气管道是能源输送体系的核心基础设施,运行稳定性直接关联能源输送安全与生产秩序。管道长期服役过程中会受结构变化、工况波动、外部环境干扰产生破损泄漏问题,常规检测模式难以适配复杂管道的精细化监测需求。人工智能技术具备强大的数据解析与特征挖掘能力,可弥补传统检测技术的运行短板。系统梳理智能技术与管道泄漏检测的结合体系,剖析实际应用中的各类局限,探索科学的技术优化方式,助力油气管道检测工作向智能化、精细化方向升级。

1 石油天然气管道泄漏检测与人工智能技术基础

1.1 石油天然气管道泄漏检测基本原理

石油天然气管道正常输送阶段可维持稳定的介质流动状态,管道结构出现破损时,内部介质流动平衡会被打破。介质外泄会造成管道压力与流量参数产生波动,周边环境状态也会出现对应改变。管道泄漏检测通过传感装置获取输送系统运行参数,结合流体力学相关理论对运行状态进行甄别^[1]。检测工作以管道稳态运行参数为参照标准,识别各类偏离正常区间的异常信号,完成泄漏状态判别。油气介质物理属性存在差异,泄漏产生的信号特征具备独特性,可作为泄漏识别的重要依据。

1.2 管道泄漏常规检测技术体系

管道常规泄漏检测技术基于传统监测理论构建成型的技术体系,不同技术依托差异化原理适配管道监测场景。物理传感检测方式依靠专用设备采集管道运行基础数据,依托数据比对完成泄漏排查。环境监测方式依托介质外泄引发的环境变化,通过现场作业实现管道异常定位。传统检测技术可适配长输管道与场站管道的基础监测场景,整体作业流程具备工业适用性。此类技术多聚焦宏观运行参数与外部环境表象,采集模式与分析模式固定,对微小泄漏和隐蔽点位泄漏的识别精度不足。

1.3 适配管道检测的人工智能技术类型

适配管道泄漏检测场景的人工智能技术包含多种算法与智能数据处理模块,各类技术拥有独立的特征挖掘与数据运算能力。数据挖掘技术能够梳理大规模管道监测数据,提取数据内部隐藏的异常变化规律。机器学习技术依托数据训练构建识别模型,实现管道运行异常状态的智能判别。深度学习技术适配多维复杂监测数据,精准解析管道运行参数的非线性变化特征。智能特征分类技术可以提取泄漏专属信号特征,划分管道正常运行与异常运行状态。

1.4 人工智能应用于管道泄漏检测的适配逻辑

管道泄漏检测工作对复杂数据处理、微弱异常识别、多变工况适配存在较高要求,人工智能技术的运行特性可以契合这类检测要求。管道长期运行生成的多维度监测数据体量庞大,传统人工处理与常规技术手段难以实现高效解析,智能运算体系可高效完成数据处理工作。管道运行工况动态多变,泄漏信号具备复杂非线性特征,智能算法可深度拆解复杂数据信息。智能技术可依托数据迭代优化识别性能,适配多样化管道运行工况。微弱泄漏信号的挖掘能力可以提升检测精细度,强化管道安全监测的专业水平。

2 人工智能在管道泄漏检测中的应用机制

2.1 管道泄漏检测数据的智能采集与处理机制

油气管道运行过程会持续生成压力流量温度等多元监测数据,智能采集体系依托自动化传感终端完成全域数据捕捉。终端设备针对管道运行的动态变化进行高频信息收录,覆盖管道全线运行点位的实时数据资源。原始监测数据掺杂大量无关联干扰信息,会影响后续检测工作的精准度^[2]。智能处理体系依托自动化运算流程完成数据清洗,剔除无效噪声数据与异常干扰信息。标准化数据转换流程可统一各类异构数据的格式标准,实现零散数据的规整化整合。

2.2 人工智能算法对泄漏特征的提取机制

管道正常运行与泄漏故障产生的数据信息存在细微差异,常规技术难以捕捉深层隐性的特征信息。人工智能算法依托多层运算结构对规整后的监测数据进行逐层解析,挖掘数据内部隐藏的状态关联信息。算法通过自主学习模式筛选具备故障标识性的信息内容,剥离不具备参考价值的通用数据特征。针对泄漏故障引发的参数波动规律,算法可锁定专属的波动形态与数据变化规律。深层特征提取模式可以捕捉微弱泄漏带来的细微数据变化,细化不同泄漏程度对应的特征信息,完成故障特征的精准提炼与归类。

2.3 管道泄漏状态的智能识别机制

智能识别体系依托算法训练形成的状态分辨能力,对提取的泄漏特征进行层级化研判。系统对输入的实时数据特征与存储的故障特征进行比对匹配,划分管道当前的运行状态。智能运算结构可应对管道复杂工况带来的数据波动干扰,弱化环境因素与运行负荷波动对识别工作的干扰。精细化的特征匹配模式可区分常规运行波动与真实泄漏故障,降低异常误判的出现概率。识别体系可依托持续的数据输入更新状态判断逻辑,逐步提升管道泄漏故障分辨的精准程度。

2.4 多维度人工智能技术的融合应用机制

单一人工智能技术仅能覆盖管道泄漏检测的部分作业环节,技术融合模式可实现检测全流程的智能化覆盖。数据处理算法与特征提取算法形成联动体系,打通数据规整与特征挖掘的作业链路。状态识别技术对接前置处理模块,构建一体化的智能检测作业流程。不同类型智能技术的功能优势形成互补,拓展管道检测的数据处理范围与故障识别维度。融合架构可适配复杂管道运行场景,统筹处理多源监测数据,全方位挖掘管道运行过程中存在的各类泄漏故障隐患。

3 人工智能检测技术在管道泄漏检测中的应用局限

3.1 复杂管道工况下智能检测的技术局限

油气管道实际运行工况具备动态多变的基本特征,输送介质流速压力的持续波动会干扰智能检测体系的运行精度。长输管道存在走向弯折、管径切换、支路分流等结构变化,这类结构变化会改变介质流动规律,生成的监测信号会呈现复杂化特征。智能检测技术对平稳工况的信号识别稳定性更强,面对工况频繁变动的管道场景会出现特征分辨偏差^[3]。介质混输、间歇输送等特殊运行模式会大幅弱化泄漏信号的独有特征,智能算法难以有效区分工况波动与故障波动的信号差异。复杂工况带来的信号耦合问题会压缩智能检测的有效识别空间,降

低异常状态捕捉的灵敏程度。

3.2 检测数据维度与质量对智能算法的约束

人工智能算法的运行精度高度依赖输入数据的完整度与纯净度,数据资源的综合水平直接决定算法运行效果。管道监测过程容易出现数据采集频次不均、数据缺失、信号噪声叠加等各类问题,劣质数据会干扰算法的特征挖掘过程。现有监测体系多聚焦常规运行参数收录,对管道结构损耗、介质细微物性变化等隐性数据的收录覆盖不足,数据维度存在明显缺失。单一化的数据结构无法为算法提供充足的特征参照,导致深层泄漏特征无法完成全面提取。噪声数据的持续输入会逐步干扰模型参数更新,弱化智能算法长期运行的识别稳定性。

3.3 人工智能模型适配管道场景的适配性短板

现有多数智能检测模型依托通用数据集完成训练搭建,参数优化逻辑偏向标准化工业场景,对油气管道专属运行场景的针对性不足。管道输送场景的故障特征具备小众化、差异化特点,通用模型的特征库无法完全覆盖各类泄漏故障的信号规律。模型训练阶段多采用规律性较强的规整数据,面对现场非规律性、非线性的管道运行数据会出现适配偏差。固定的模型结构难以自主适配不同管径、不同输送介质、不同敷设方式的管道检测需求,场景兼容能力存在明显不足。模型迭代更新需要依托大量全新现场数据,自主适配新型管道运行场景的能力较为薄弱。

3.4 复杂环境下智能检测体系的固有缺陷

油气管道多数设于户外野外等开放式环境,温度湿度地质条件的动态变化会持续影响传感设备运行状态。环境扰动会造成采集数据出现无序波动,这类波动信号会掩盖微弱泄漏故障信号,干扰智能检测体系的判断逻辑。极端环境会降低传感设备的采集精度,造成源头数据出现偏差,层层传导后影响整体检测流程的精准度。现有智能检测体系对环境干扰信号的剔除能力有限,无法完全剥离外部环境带来的数据扰动。环境因素的动态变化具备无规律特征,智能检测系统的抗干扰机制难以实现全方位覆盖,持续制约现场检测质量提升。

4 人工智能管道泄漏检测技术的优化与发展方向

4.1 管道检测专用人工智能算法的优化路径

通用智能算法的运行架构难以匹配油气管道复杂的运行数据特征,针对性优化工作需要围绕管道检测场景的专属特性开展算法迭代。可针对管道运行数据非线性、强波动的特点调整算法运算结构,优化多层特征提取层级的运算逻辑,提升模型对微弱泄漏信号的捕捉能力。依托管道现场积累的海量运行数据完成模型参数微

调,修正通用算法对油气输送工况的识别偏差,强化模型对管道故障信号的专属辨识能力^[4]。引入轻量化运算改造方式缩减算法冗余运算步骤,降低智能检测设备的运行算力消耗,适配管道现场嵌入式设备的部署条件。结合管道泄漏信号的分布规律更新模型训练机制,丰富非稳态工况下的故障特征训练内容,提升算法在动态工况中的运行稳定性。持续优化模型的抗干扰运算逻辑,强化算法对环境噪声与工况扰动信号的过滤能力,提升泄漏识别的精准程度。

4.2 管道泄漏检测数据体系的完善方式

数据资源的完整程度与规整质量决定智能检测技术的落地效果,完善管道检测数据体系需要从数据采集、筛选、储备多个维度开展升级。拓展管道监测数据的采集维度,增设管道结构形变、介质物性波动、敷设环境变化等多元化监测内容,打破常规参数数据的单一化局限。优化全域数据采集设备的布设模式,统一各类传感设备的采集频次与输出标准,改善数据收录不均、时序错位的问题。搭建自动化数据筛选与规整机制,持续清理采集链路中产生的噪声数据与异常无效数据,保障输入算法的数据具备高度纯净性。构建动态更新的管道检测数据库,持续收录不同工况、不同环境、不同泄漏状态的现场数据,充实模型训练的数据资源储备。规范多源异构数据的整合处理流程,搭建标准化的数据转换体系,实现各类监测数据的高效融合与高效调用。

4.3 多技术融合的智能检测体系构建思路

单一智能技术的功能覆盖范围存在局限,多技术融合模式能够拓宽管道泄漏检测的技术覆盖维度,构建全方位的智能监测体系。结合数据挖掘、深度学习、特征分类等不同智能技术的功能优势,搭建分工明确、相互衔接的一体化检测运行链路。依托前端数据处理技术完成监测数据的规整净化,依托中层智能算法完成故障特征深度提取,依托后端识别模块完成运行状态精准判定,形成完整的智能化检测流程。结合管道远程监测的作业需求,推动智能算法与自动化监测终端的深度结合,实现现场数据采集、分析、判别的一体化运行。引入多元数据融合技术统筹处理多类型监测数据,打破单

一数据维度的检测局限,提升复杂场景下泄漏故障的识别能力。依托技术融合架构弥补单一智能技术的运行短板,强化检测体系对复杂工况、复杂环境的适配能力。

4.4 人工智能管道检测技术的长远发展趋势

油气管道智能化监测的行业需求持续升级,推动人工智能检测技术朝着专业化、精细化、自适应化方向持续发展。专属化管道智能检测模型会逐步替代通用算法,成为管道故障监测的核心技术载体,针对油气输送场景的定制化算法研发力度会持续提升。智能检测体系的自主适配能力会不断强化,可依托现场实时数据完成模型参数自主迭代,减少人工干预带来的运行滞后。轻量化、嵌入式智能检测技术会得到广泛应用,实现管道全线点位的常态化智能监测,提升管道故障监测的实时性。多技术深度融合的智能架构会持续完善,逐步实现管道泄漏识别、隐患预判、状态分析的一体化智能作业。智能检测体系的环境适配与工况兼容能力会持续提升,能够适配各类复杂敷设场景与动态输送工况,为管道安全运行提供长效技术支撑。

结束语

油气管道泄漏智能检测技术的落地推进,需要算法研发、数据体系搭建与现场场景适配的协同发力。当前行业仍需持续打磨技术细节,补齐复杂工况下的性能短板,逐步构建覆盖管道全生命周期的智能监测体系。相关技术的迭代升级,将为油气输送网络的安全稳定运行筑牢坚实的技术屏障,助力油气储运安全管理水平稳步提升。

参考文献

- [1]王捷.基于智能算法的油田天然气管道泄漏检测研究[J].消费电子,2026(1):71-73.
- [2]董宏丽,孙桐,王闯,等.基于门控注意力网络模型的天然气管道泄漏检测新方法[J].天然气工业,2025,45(1):25-36.
- [3]李勇,吕卫斌,王进军,等.长输管道泄漏检测技术应用策略探讨[J].全面腐蚀控制,2024,38(10):125-128.
- [4]常秦堃,刘明建,朱贝贝,等.超声波检测技术在天然气管道泄漏检测中的应用[J].现代商贸工业,2026,47(3):247-250.