

人工智能在油气管道完整性管理中的应用

刘 可 王晓刚 卢 兵 夏世文 李长东

(山东港联化管道石油输送有限公司, 山东 青岛 266400)

摘 要: 原油管道是全球能源供应链的核心, 其安全和高效运营对经济和环境具有重大影响。面对高维护成本、技术限制和复杂数据处理挑战, 传统的管道完整性管理方法逐渐显现不足, 不仅影响管道运行效率, 还可能带来严重的环境和安全风险。人工智能技术的发展为管道管理提供了新的解决方案。沿管道的视频、监控、油品界面跟踪技术、无人机巡检技术和巡检人员物联网开辟了新路径, 极大提高了监测的精度和效率。这些技术的应用不仅有助于预防事故, 还保障了能源供应的安全和可靠性, 对环境保护也产生了积极影响。

关键词: 完整性管理; 人工智能; 预测性维护

0 引言

人工智能在原油管道完整性管理中的应用代表了工业和技术发展的一大跨步。原油管道是全球能源供应链的重要组成部分, 它们的安全和效率对于能源的稳定供应至关重要。然而, 由于其广泛的地理分布和复杂的操作环境, 传统的管道监控和维护方法面临着许多挑战。人工智能提供了一种革命性的解决方案, 能够通过先进的数据分析、模式识别和预测维护来增强管道的完整性管理。近年来, 机器学习和深度学习技术的快速发展推动了人工智能在油气行业中应用的不断扩展。AI 系统还可以通过历史数据学习, 预测未来可能出现的问题, 从而实现预防性维护。这种预测性分析有助于提前识别问题, 避免重大事故的发生, 确保能源供应的连续性和安全性。

1 原油管道完整性管理的重要性

1.1 确保原油安全运输

任何管道的故障都导致油品运输的中断, 进而影响到整个供应链。维持管道的完整性对于保障原油供应的稳定性和可靠性至关重要。原油管道的破损或泄漏不仅会造成昂贵的原材料损失, 还对环境造成严重破坏。通过有效的完整性管理, 最大程度地减少环境风险, 确保社会和生态的持续健康。原油管道的完整性管理还包括对管道的定期检查和维修, 以及对潜在风险的及时识别和处理, 不仅预防事故的发生, 还能在发生泄漏时迅速采取措施, 减少损失。

1.2 降低事故风险和环境损害

实施有效的预防性维护是管道完整性管理的核心, 包括对管道进行定期的检查和维修, 及时发现并修复潜在的缺陷, 如腐蚀、裂纹或结构弱点。随着技

术的进步, 尤其是人工智能、机器学习和大数据分析的发展, 先进技术被广泛应用于管道的监测和维护中。通过对大量数据的分析, 预测和识别管道的潜在故障点, 从而提前采取措施, 避免事故的发生, 不仅提升了管道完整性管理的效率。

1.3 提高运营效率

预防性维护减少了突发故障的发生, 从而减少了因紧急维修导致的停工时间。利用先进技术如人工智能和大数据分析, 对管道运行的各个方面进行实时监控和预测性分析。这些技术能够准确预测维护需求, 优化维护计划, 从而减少不必要的维护活动, 提高资源的利用效率。完整性管理还包括对管道的操作参数进行优化。例如, 通过监测和调整流速和压力, 最大限度地提高原油的输送效率, 同时避免过度的磨损和损坏, 既保证了运营的连续性, 也延长了管道的使用寿命。管道完整性管理还有助于符合法规要求和行业标准, 减少因违规操作而产生的罚款和法律纠纷, 不仅降低了潜在的财务风险, 也保持了企业的良好声誉。有效的完整性管理还能增强决策的准确性。

2 传统管道完整性管理方法的局限

2.1 依赖人工检查, 成本高且不完善

人工检查通常涉及大量的人力资源, 需要训练有素的工作人员定期对管道进行物理检查, 不仅耗时而且劳动强度大。对于遍布广泛的管道网络, 要实现全面的覆盖检查是一项挑战, 同时也意味着高昂的人力成本。人工检查的精确度和完整性存在限制, 工作人员无法覆盖管道的每一个部分, 尤其是那些难以接近或隐藏的区域。人眼检查会错过微小的裂缝或腐蚀, 这些初期瑕疵如果未被及时发现和修复, 会发展成严

重的问题。人工检查通常是周期性的，意味着在两次检查之间，会发生未被及时发现的管道问题。传统的人工检查方法在数据收集和分析方面存在局限，由于缺乏高级的数据分析工具，从人工检查中收集的数据未被充分利用，从而错失了通过数据驱动的预测性维护和决策优化的机会。

2.2 难以实时监测管道状态

传统原油管道完整性管理方法通常依赖于定期的物理检查，无法提供对管道状态的持续和实时监控。这种周期性检查的模式意味着在两次检查之间发生的问题，如管道裂纹、腐蚀或其他损伤，在未被发现的情况下加剧，从而增加了管道运营的风险。由于缺乏连续的数据流，传统的管道管理方法使得运营者难以获得关于管道状况的即时更新，从而限制了他们做出快速和准确决策的能力。这种缺乏实时数据的问题导致了对管道状况评估的滞后，会导致对管道状态的误判。传统方法通常无法有效地应对管道环境和运行条件的复杂性。管道会受到多种因素的影响，例如温度变化、压力波动和化学腐蚀，而复杂的变化往往难以通过常规的物理检查及时捕捉和响应。

2.3 无法准确预测事故风险

传统的方法由于管道状况受到多种因素的影响，如环境变化、物料特性和运行条件，仅仅依靠历史数据和经验判断是不足以全面评估当前的风险的。管道系统的运行数据是多维的，包含了各种参数和变量。传统的方法往往无法有效地整合和分析复杂的数据，从而难以准确预测未来发生的事故。管道的风险状况是动态变化的，需要实时的监控和连续的评估。然传统方法往往无法提供连续的监控和实时更新的风险评估，导致风险评估结果往往滞后于实际情况。由于缺乏先进的预测工具和算法，传统方法在预测潜在故障和事故方面的能力受限，不仅增加了意外事故的风险，还导致在安全预防措施和维护策略上的不足。

3 人工智能技术在管道完整性管理中的应用

3.1 沿管道的视频监控

通过在管道安装视频监控系统，公司利用太阳能和移动物联网技术，实现了管道沿线的高效监控。这种监控系统不仅提高了管道安全，还增强了对管道运行状态的实时了解。视频监控通过连续和全面的视觉数据捕捉，为管道完整性管理提供了关键信息。这些信息有助于及时发现潜在问题，从而减少事故风险，并确保原油的安全运输。这种智能监控系统的引入，

标志着公司从传统的人工巡检转向更高效、更精准的智能化监控。通过集成先进的图像处理和数据分析技术，视频监控系统能够自动识别异常情况，快速响应潜在风险。该系统的节能特性和远程操作能力进一步提高了管道运营的环境可持续性和成本效益。这些创新举措不仅提升了管道完整性管理的水平，也展示了人工智能技术在能源基础设施领域的巨大潜力。

3.2 油品界面跟踪技术

公司利用了先进的人工智能技术来改进油品界面的追踪。公司将技术扩展应用到更多的管道阶段，不仅提高了运输油品的安全性，也提升了操作的可视性。这种追踪技术允许公司更准确地监控和管理油品在管道内的流动，确保不同类型油品之间界面的清晰分离。利用人工智能技术，油品界面跟踪系统能够实时分析管道内的数据，自动识别油品类型的变化。这样的系统大大减少了对人工干预的依赖，提高了管理效率和精准度。同时，准确的油品界面追踪有助于避免交叉污染，确保油品质量。通过这种智能化的管理，公司在提高管道运营效率的同时，也强化了其环境保护和安全管理能力。

3.3 无人机巡检技术

公司采用了无人机技术对管道进行巡检，这是一种创新的人工智能应用。无人机巡检技术使得管道检查更加高效、全面。无人机配备了高分辨率摄像头和其他传感器（红外等），能够捕捉到管道表面的细节，包括腐蚀、泄漏或其他潜在缺陷。此技术还包括红外夜视等高级功能，增强了在复杂环境下的检测能力。通过实时传输的高清图像和数据，无人机技术为管道的维护和紧急响应提供了关键信息，不仅提高了巡检的安全性和准确性，也降低了人工巡检的风险和成本。公司计划进一步提升技术，包括无人机的自动化飞行和数据分析，以实现更高效和智能化的管道管理。

3.4 巡检人员物联网

公司利用物联网技术显著提高了管道巡检人员的工作效率和安全性。该技术通过长距离管道物联网对讲和健康监测平台，为巡检人员提供了强大的通信和健康监控支持。物联网设备使巡检人员能够在广阔和复杂的管道网络中保持通信连接，确保及时响应紧急情况。健康监测平台则实时追踪巡检人员的身体状况，如心率、体温等，确保他们在执行任务时的身体健康。此外，此技术还能够监测环境条件，如气体泄漏或其他潜在危险，从而提前预警并采取相应措施。通过这

种高度智能化和自动化的方式，巡检工作变得更加安全和高效，同时降低了人为错误和事故的风险。物联网技术的应用不仅提升了巡检人员的工作能力，也为管道完整性管理带来了新的维度。

4 人工智能驱动的管道完整性管理策略

4.1 数据分析和预测维护

在原油管道的完整性管理中，数据分析和预测维护包括收集大量的管道运行数据，例如流量、压力、温度和化学成分，然后利用机器学习和数据挖掘技术从数据中提取有用的信息和模式。通过持续监测管道的运行状态，收集到大量的实时数据。这些数据通过先进的传感器技术和物联网设备收集，再通过无线网络传输至中央数据库。在这个过程中，数据的准确性和完整性至关重要，因为它们后续分析的基础。人工智能算法，尤其是机器学习模型，被用于分析数据。这些模型能够从历史数据中学习，识别出导致管道故障的模式和趋势。例如，通过分析过去发生泄漏的管道段的数据，AI 识别出类似情况再次出现的迹象。机器学习模型能够实时监测数据流，并快速识别出偏离正常范围的数据点。这些异常预示着即将出现的问题，比如管道泄漏、腐蚀或其他形式的损伤。基于这些分析，人工智能系统能够生成预测报告，并建议具体的维护措施。

4.2 异常检测和实时监控

实时监控系统依赖于一系列高度敏感和精准的传感器，传感器被安装在管道的关键位置。这些传感器能够连续监测诸如压力、温度、流速等关键参数。此外，还可以部署声波、振动和化学传感器来检测泄漏和腐蚀。这些数据被实时收集并传输至中央处理系统。在数据处理方面，人工智能算法，特别是机器学习和深度学习模型，在此发挥着核心作用。这些模型通过分析历史数据，学习正常运行时的数据模式，并能够识别出偏离模式的异常数据。例如，机器学习模型检测到压力的异常波动或温度的不寻常升高，是管道泄漏或其他故障的迹象。除了检测异常，人工智能系统还能在一定程度上分析异常发生的原因，预测其可能的影响，并向操作人员提供实时警报。警报通过图形界面直观显示，甚至自动触发紧急响应措施，如关闭阀门或启动安全程序。实时监控还包括使用先进的图像处理技术。例如，配备摄像头的无人机沿管道飞行，捕捉图像和视频数据，人工智能算法随后分析数据以检测潜在的结构问题。

4.3 图像识别和自动检测

图像采集通常通过安装在无人机、机器人或定点监控系统上的高分辨率摄像头来实现。设备能够捕捉管道表面的高清图像，甚至在恶劣的环境条件下也能保持良好的图像质量。接下来，采集到的图像数据被传输到处理中心，其中人工智能算法尤其是深度学习模型如卷积神经网络（CNN），被用于自动分析图像。模型经过大量标记过的图像数据训练，能够识别各种类型的管道缺陷，如腐蚀斑点、裂缝或其他异常标记。算法不仅能够识别出存在的问题，还能够对问题的严重性进行分类。例如，AI 可以区分轻微的表面磨损和严重的结构损伤，对于确定维护和修复工作的优先级非常重要。系统通过快速处理图像数据并生成分析结果，能够及时提供反馈，使得维护团队能够迅速响应，不仅减少了对人工检查的依赖，也大大提高了检测的效率和准确性。

5 结语

人工智能技术在原油管道完整性管理中的应用标志着新时代的到来，这些技术不仅提高了管道运营的安全性和效率，还大幅降低了维护成本和环境风险。通过创建数字孪生管道、实施热点区域的及时监测、以及开展预测性维护和事故预警，人工智能为识别和解决管道问题提供了先进的工具和方法。这些创新不仅优化了管道的日常运营，还增强了对未来风险的预测能力，确保了长期的可持续运营。此外，知识图谱和语音交互技术的应用在决策支持方面发挥着重要作用，使得信息的获取和处理更加高效，决策过程更加便捷。

参考文献：

- [1] 贾邦龙, 张苏, 刘保余等. 海底长输原油管道缺陷管理探索与实践 [J]. 当代石油石化, 2019, 27(05): 21-26.
- [2] 付春波. 长距离输油管道缺陷管理应用研究 [D]. 云南大学, 2018.
- [3] 张金锁. 现代原油集输管道泄漏与风险防范 [J]. 职业安全, 2016(07): 72-74.
- [4] 吴宗之, 王如君. 关注油气管道安全管理 [J]. 中国石油和化工经济分析, 2014(07): 16-21.

作者简介：

刘可 (1997-)，男，汉族，山东青岛人，本科，助理工程师，山东港联化管道石油输送有限公司，研究方向：管道管理。