

人工智能在天然气管道故障预测与预警中的应用

邓魁武 姜尚伯 韩立锋 王盈盈（国家管网集团北方管道有限责任公司，河北 廊坊 065000）

摘要：天然气管道等基础设施是整个社会能源供给的核心保障，然而由于天然气管道铺设于地下、偏远地区或难以到达的区域，传统的故障探测、报警等方式并不能及时有效覆盖所有区域。随着人工智能技术的飞速发展，如机器学习、数据挖掘、传感器监测等技术已在天然气管道的故障预警及预测方面得到普遍使用。利用人工智能技术，能够基于实时数据解析、深度学习等方法准确地识别隐患，精准做出预测，提前做出警示，降低意外事故发生的概率，保障管道安全平稳运行。本文重点介绍了人工智能技术在天然气管道故障预测及预警的应用，分析了其对天然气管道安全性以及响应速度的影响。

关键词：人工智能；天然气管道；故障预测；预警系统；机器学习

中图分类号：TE8

文献标识码：A

文章编号：1674-5167(2025)023-0132-03

Application of artificial intelligence in fault prediction and early warning of natural gas pipeline

Deng Kuiwu, Jiang Shangbo, Han Lifeng, Wang Yingying (North Pipeline Co., Ltd., National Pipeline Network Group, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Natural gas pipeline and other infrastructure is the core guarantee of the whole social energy supply. However, because natural gas pipeline is laid in underground, remote areas or difficult to reach areas, traditional fault detection, alarm and other methods can not timely cover all areas effectively and effectively. With the rapid development of artificial intelligence technology, such as machine learning, data mining, sensor monitoring and other technologies have been widely used in the fault early warning and prediction of natural gas pipelines. Using artificial intelligence technology, it can accurately identify hidden dangers based on real-time data analysis, deep learning and other methods, make accurate predictions, make warnings in advance, reduce the probability of accidents, and ensure the safe and stable operation of the pipeline. This paper focuses on the application of artificial intelligence technology in natural gas pipeline fault prediction and early warning, and analyzes its influence on the safety and response speed of natural gas pipeline.

Key words: artificial intelligence; natural gas pipeline; fault prediction, early warning system; machine learning

天然气管道作为天然气输送的主要通道之一，其设施的可靠性和安全性对能源供应的稳定性和国家安全有着至关重要的影响。天然气管道故障引发的事故颇多，给国家的能源安全带来了严峻的挑战。随着天然气管道网络的不断扩大和复杂性增加，管道的运行和维护面临越来越大的压力。任何故障或事故的发生不仅会导致能源供应中断，还可能造成严重的环境污染和人员伤亡。因此，确保天然气管道的安全运行，及时识别和预测潜在的故障，是保障能源供应稳定和人民生命财产安全的基础。随着技术的发展，尤其是人工智能技术的应用，管道故障预测与预警系统正在逐步实现自动化、智能化，有助于提升天然气管道的管理水平和安全性，减少潜在的风险和损失。

1 天然气管道的重要性

1.1 天然气管道的功能与作用

天然气管道主要负责从气源地到各个用气市场的天然气输送，承担着主要能源输送的基本功能。管道系统主要向天然气相关的产业（工、商、民）提供充足的天然气以满足能量需求。由于天然气是一种清洁

能源，故而天然气用途非常广泛，如发电、加热、制造工业等行业。

天然气管道除了承担能源的输送功能外，亦能促进社会发展的功能，是因为天然气管道有着高效的、环保的特征。较之于其他能源输送方式，天然气管道有着更大的输送量、更低的运输成本、更小的环境污染，从而形成了世界各地能源基础建设的主要形式。另外，天然气能建造、运输以及运营，能帮助人类实现良好的全球能源构架和保证绿色的低碳经济的发展实现。

1.2 天然气管道在能源输送中的地位

作为世界能源运输最强大的一种渠道，天然气管道在能源跨区域调配以及能源供应安全中发挥着重要的作用。随着全球能源需求的日益增长，天然气管道的功能不断向连接生产端到用户端的能源市场转变，以确保能源的有效传递。相比之下，相比液化天然气运输方式而言，管道运输在长距离运输、能耗控制、运输效率等方面优势显著。

在管道运输还可以为用户提供稳定连续输送的同

时，还能实现快速响应能源需求的变化。许多国家和地区的天然气管网网络已经成为确保能源供求平衡的关键因素。伴随着全球天然气消费的逐年增长，管道运输在国际能源贸易中的地位日趋突出，尤其是在中国、俄罗斯、欧洲地区，管道运输也成为主要的天然气跨国交易形式。

1.3 天然气管道的安全性与环境影响

天然气管道的安全稳定供给关系到能源稳定供应和社会安全。若管道出现泄漏、损坏或故障，都可能带来严重的安全隐患，并导致火灾、爆炸事故。因而要采用严格的设计、建设和维护策略保证天然气管道的正常运行，并应用新技术完善实时监测和报警系统，经常检查和检修管道设施。随着管道建造技术的进步，新建的天然气管道也具有多种保护功能，如防腐、加厚壳层、智能化控制等措施能提升管壁的压力承受能力和耐腐蚀性能。

从环境保护角度来看，与其他管道输送方式相比，天然气管道输送对环境的污染影响较小，但大规模建设且穿越生态环境敏感区时也可能造成生态环境的损害。由于天然气在传输过程中存在的泄漏可能性，还会导致大量温室气体的释放。

2 人工智能在天然气管道故障预测中的应用

2.1 机器学习算法在故障预测中的应用

机器学习算法对预测天然气管道故障起着至关重要的作用，依靠历史数据以及实时数据实现对可能出现故障的自动诊断。该系统的机器学习算法通过对管道的历史事件和实时事件不断训练学习，获取大量传感器的数值，从中学习和挖掘管道运行时的常态与趋势的变化规律。

基于此，当管道发生异常状态时，机器学习算法能够进行异常报告发出故障警报。如支持向量机（SVM）、决策树、随机森林等分类算法通常应用于判断管道风险源，聚类技术常用于探测管道异常情形，揭示管道运行的隐藏问题。

不断更新优化和训练模型后，机器学习策略能够不断提高预测的准确度和稳定性，并为管道运营提供有效的故障预警和安全保障。随着数据的不断积累和算法的迭代优化，机器学习在故障预测中的应用将变得更加精确，进一步提升天然气管道的安全性与效率。

2.2 数据挖掘与大数据分析技术在预测中的作用

数据挖掘和大数据分析技术对于天然气管道故障预测具有很好的应用潜力。因为自然因素或人为因素都会引起天然气管道的故障，随着人们监测和控制设备的运用，监测和传感器的推广，使得大量时序性的数据产生并作用在天然气管道系统中，为天然气管道

系统故障预测提供了充足的原始数据信息。

基于大数据分析技术我们可以从大量的、复杂的数据中获取有价值的经验规则和趋势性规律，例如异常模式识别技术可以帮助我们找出管系运行存在的潜在问题表现形式。而关联规则挖掘技术可以揭示管道中不同设备或部件之间的关系，并且我们可以据此推断出这些设备或部件可能存在的问题。

大数据分析技术同样拥有处理或分析分布型数据的能力，可以在实时监测管道健康状况的前提下提供预测结果。通过对天然气管道系统运转情况做整体深入的分析，进一步提高对天然气管道故障的预测准确性，帮助管理人员及时干预阻止问题的产生。

2.3 传感器与监测技术的结合与人工智能应用

首先要借助传感器和监测手段来对天然气管道的故障进行预测，而且人工智能可以有效提高这种预测的准确性和效率。现在对现有天然气管道进行安装相关的各类传感器，并能实时采集和记录有关管道的压力、温度、速度和振动等参数数据，将传感器数据和人工智能模型结合，可以达到对管道问题更准确的预测目标。

人工智能模型能够自适应对来自传感器的大量数据进行自动处理和分析，并对整个管道状态进行持续监测，找出可能的风险预示。例如，在管道的压力传感器输出的压力值发生变化、管道的温度传感器检测到数据改变时，人工智能能够对这些数据进行全面分析，是否能够显示出管道处于漏损、变质或异常等问题上。

在以上算法和手段的应用下，我们可以通过先进性能的传感器和监测手段来应用人工智能在问题发生前发出预警信息，以避免意外事件的发生，提高了管道安全稳定质量。

2.4 深度学习与智能模型的构建与应用

深度学习的应用及智能模型对天然气管道问题预测起到重要的促进作用。深度学习作为其子项，模拟了人的大脑神经系统构成，能够主动地从中提取特征，并完成复杂模式识别和预测工作。尤其是对于天然气管道问题的预判过程，通过运用多层神经网络即可完成复杂时程的分析判断，进而得到管线的运行模式和可能存在的故障点。

通过建立智能模型，深度学习能够根据包含历史故障记录、传感器监测信息等各种输入数据准确地诊断管道故障的发生概率。例如，卷积神经网络（CNN）适用于影像信息处理，可用于观测管道外观，如是否有腐蚀、破损等。

长短期记忆网络（LSTM）则擅长处理时序数据，

用于预测管道故障可能发生的可能性。通过持续的学习及修正，AI能在天然气管道问题预判方面提供更加精准及时的答复，大幅度提高故障报警反应速度及准确性。

3 人工智能在天然气管道预警中的应用

3.1 基于人工智能的实时监测与预警系统

人工智能技术监测与预警系统能实时搜集和分析来自天然气管道的各个传感器数据，利用AI技能实现天然气管道运行状态的自动化监测。采用机器学习和深度学习算法，此系统能够分辨正常运行和异常运行的方式，实时监测管道是否存在危险隐患。该系统不仅能监控管线压力、流量、温度等运行参数，还可以通过数据研究预测潜在风险，如瞬时压力波动、管道过热等问题。

预警系统通过其智能的诊断建议，可在出现事件前即刻报警，给管理者留下充足的时间采取防范措施，防止事故发生。该实时监测及预警系统还可减少人力巡查次数，提高了管道管理效率和运行安全性，使得管道系统在恶劣的环境中更为安全可靠。通过基于AI技术的监测及预警系统，可以更智能地发现危险因素，提升管道安全防护水平。

3.2 故障风险评估与预测模型的应用

人工智能在天然气管道故障预测中的应用能够通过机器学习和数据分析对管道风险进行评估。在大量历史问题记录、传感设备的信息和使用状态数据的基础上，构建故障风险评价、风险预测模型，从而识别潜在问题部位，并从历史记录中获取知识，以预测未来可能出现的问题，及其可能的出现时间和位置以及严重程度，同时，它能确定故障发生的类型，向管理人员提供精确的风险预警，帮助他们制定恰当的对策。借助于此模型，管道维修服务运作成为一条更精确的操作线，减少不必要的维护费用，降低系统停工的风险，预测模型的不断改进也将更准确地提供风险评价，使天然气管道操作变得更加智能化、自动化，从而有更长的使用寿命、更好的运行效率和更高的安全性。随着技术的不断进步，人工智能将进一步优化故障预测模型，为天然气管道的管理和维护提供更加可靠的决策支持。

3.3 多元数据融合在管道预警中的作用

AI可利用多源数据融合技术，利用从多个源头收集原始数据，如传感器返回值、气象数据变化以及过去的操作信息等，完成其预警工作。利用该项技术，AI可了解管道运行情况，从不同维度观察可能出现故障的危急度。多维度数据融合能够提升数据分析精确度，也可从不同消息中进行互查，降低误差，从而

确保预报结果的准确。例如，在天气发生变化时，AI可将环境因素同管道监控信息结合起来，分析气候变化对管道运行产生的影响，从而迅速发布预警。还可以借助GIS信息，来判断管道所穿过的区域是否存在安全隐患，并对管道预警系统进行完善，提高故障警报系统的综合有效性。这样一来，多维度的数据融合就大幅提升了管道预警系统的响应效率和精准定位水平，大幅提升了天然气管道安全保障水平。随着数据和技术的不断积累，AI将进一步优化预警系统，确保管道运营更安全、更高效。

3.4 人工智能在提升预警响应效率中的应用

就天然气管道而言，保障天然气管道的安全性需要灵敏及时地预警响应。但传统的依靠人工的预警响应需要耗费大量的人力、物力，并且易受各种人为干扰。而应该采用先进的人工智能（AI）技术，将其作为自动、智能预警响应处理系统，以充分利用对信息数据的海量获取和对管道运行异常的准确预测，对管道运行问题或风险第一时间提出解决问题的方法。此外，该人工智能（AI）依据历史数据及当前状况，可以给出应对各种类型突发事件适宜的应对方法，调节系统的参数设定，减少人工的干预，从而对天然气管道的预警响应起到了很好的作用，尽量保证预警响应的高效性。最后，依靠机器学习和深度学习功能进行训练，促进预警系统不断进步，不断提升对异常现象发现的能力和快速响应能力，尽可能减少人工的作用，进而达到提升天然气管道安全性和可靠性的目的。

4 结语

鉴于天然气管道在现代能源传输中的重要性以及不断提升的安全性和可靠性要求，人工智能技术特别是将其应用于故障预测以及预警系统的设计中，有效提升天然气管道经营的安全性。通过机器学习、大数据处理、传感器以及深度学习等技术，可以实时掌握天然气管道运行情况并精准地识别潜在风险和相关故障，并在问题发生前及时预警，保证管道的长时平稳运行。人工智能多元数据融合以及智能化的决策为天然气管道更高效、智能及自动化的管理提供有力的技术保障，从而为管道维护与管理工作的更好完成奠定技术基础。

参考文献：

- [1] 王华秋,李鑫. 门循环单元预测模型在故障诊断中的应用 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版),2021, 035(002):152-158.
- [2] 金晓航,王宇,ZHANG Bin. 工业大数据驱动的故障预测与健康管理 [J]. 计算机集成制造系统,2022 (005):028-028.