

基于大数据分析的石油天然气管道运营效率优化

涂秉健

国家石油天然气管网集团有限公司甘肃分公司, 甘肃 兰州 730060

摘 要： 随着全球能源需求的不断增长，石油天然气管道作为重要的能源运输途径，其运营效率优化问题日益受到关注。大数据分析技术为管道运营提供了强有力的支持，通过实时数据采集、故障诊断预测以及维护策略优化，有效提升了管道的运行安全性和可靠性。本文通过探讨大数据分析在石油天然气管道中的应用场景，详细阐述了数据采集与监控、故障诊断与预测、维护策略优化等方面的内容，并提出了一套基于大数据的运营效率决策支持系统优化方案。大数据分析不仅显著提高了运营效率，还为成本优化提供了有力支持。

关 键 词： 大数据分析；石油天然气管道；运营效率

Operation Efficiency Optimization of oil and gas pipelines based on big data analysis

Tu Bingjian

State Oil and Gas Pipeline Network Group Co., Ltd. Gansu branch, Lanzhou, Gansu 730060

Abstract： with the increasing global energy demand, oil and gas pipelines as an important way of energy transport, its operational efficiency optimization has been increasingly concerned. Big Data Analysis Technology provides strong support for pipeline operation. Through real-time data collection, fault diagnosis and prediction, and maintenance strategy optimization, the security and reliability of pipeline operation are effectively enhanced. This paper discusses the application scenario of big data analysis in oil and gas pipelines, and expounds the contents of data acquisition and monitoring, fault diagnosis and prediction, maintenance strategy optimization, etc., a set of operation efficiency decision support system optimization scheme based on big data is proposed. Big data analysis not only significantly improves operational efficiency, but also provides strong support for cost optimization.

Keywords： big data analysis; oil and gas pipelines; operational efficiency

引言

石油和天然气管道是现代能源基础设施的重要组成部分，承担着全球范围内能源传输的任务。随着能源需求的增加，如何提高管道的运营效率，降低维护成本，保障能源输送的可靠性，已成为石油天然气行业的核心问题。近年来，随着物联网（IoT）、人工智能（AI）和大数据技术的发展，石油天然气管道的运营模式正在发生深刻变革。大数据分析技术可以通过对海量运营数据的深入挖掘，提供更为精准的故障诊断和预测能力，优化维护策略，并实现智能化的决策支持。

一、大数据分析在石油天然气管道中的应用场景

（一）数据采集与监控

在石油天然气管道的运行管理中，涉及众多数据类信息，如压力、温度、流速、管道振动等物理量数据，同时也涵盖环境状况与设备的工作状况等。在管道关键部位嵌入传感器，便能获取数据的即时捕获。物联网技术被应用于这些数据的传输过程，确保其被送至中央数据库，运营人员利用数据采集系统，能够对管道的实时运行状况进行监督，以便迅速辨识任何异常状况。在压力数据表现出异常状况时，该系统具备发出预警的能力，有助于运维人员快速识别问题并防止进一步的损失。

（二）故障诊断与预测

对管道运行数据进行深入挖掘的大数据分析，能显著提高故

障诊断的精确度和预测效能。分析历史数据以识别典型故障模式的故障预测模型，可基于大数据构建。借助机器学习方法对数据集进行处理，构建的系统能够辨识并掌握多种故障模式，进而能够在潜在故障出现之际提前发出警示信号。实施此种预测性对策显著降低了系统中断的频率，从而防止了由潜在故障导致的严重后果。

（三）维护策略优化

确保石油天然气管道的安全可靠，维护工作至关重要，针对管道系统，采用基于大数据分析的方法，可以优化维护策略，实现根据实际运行数据的动态调整。分析管道过往的运行记录，使得运维人员能够辨别出设备和管段的维护重点，据此编制出定制化的维护方案。采用以数据为驱动的维护策略，不仅减少了维护的经济开销，而且提升了管道的稳固性与信赖度。

二、基于大数据的石油天然气管道运营效率决策支持系统优化

（一）增强数据采集与整合能力

为了提升石油天然气管道的运营效率，关键在于实现数据的高效采集与整合，在管道系统的运行过程中，涉及众多物理量和参数，包括压力、温度、流速、振动以及腐蚀速率等。在管道周沿部署传感器群体，涉及压力、温度、流速及加速度等参数的监测设备，用以常规收集相应的数据信息。在现代的石油天然气管道网络中，每公里的监测设备安装量可能介于50至100个之间，这一数字随着管道设计的复杂性与所穿越地区的地理特性而变化。在涵盖输送站、压缩站等关键环节以及那些可能出现应力集中与腐蚀加重的管段的基础上，对传感器进行广泛设置，从而保障数据的完整性与准确性。在一个延伸500公里之远的管道系统中，至少需要安装2,500个传感器设备。在应对极端气候和复杂环境的情况下，选择和布置传感器时，必须重视其耐用特性以及对干扰的抵抗能力，某些高精度传感器的使用期限可长达十年。

在数据采集环节，硬件的精确度是基本要求，同时，数据传递必须保证稳定与及时。借助于无线传感器网络（WSN）、LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术，大规模分布式传感器节点的数据得以实现实时传输。在具体实施中，LoRa技术能够实现高达15公里的信号传输距离，而NB-IoT技术则能够支持连接上百万的物联网设备。海量数据由传感器产生，通过边缘计算在这些数据生成地进行初步加工，根据需要再发送到中央数据库保存。单一节点在进行边缘计算时通常能够达到每秒处理10至20次数据的能力，这样的效率显著降低了数据传输的延迟，并极大增强了信息的实时性。详情如表1所示。

表1 数据采集与整合

数据类型	参数值	单位	备注
传感器部署密度	50-100	个 / 公里	根据管道复杂程度变化
传感器通讯距离	10月15日	公里	LoRa无线传输
数据处理能力 (边缘计算)	10月20日	次 / 秒	每节点数据处理速度

（二）改进大数据分析算法

在大数据处理领域，算法的构建与改进是核心，其作用在于提升管道运营数据处理的效率及精确度。针对石油天然气管道的运行，效率的提升需求促使数据分析实时性与高维度特性对算法形成了显著挑战。在管道运营数据的处理过程中，时间序列分析是一种普遍采用的技术，这类数据通常按时间序列的形式进行存储。通过分析历史数据的时间序列，可以识别数据中的趋势、季节性变化以及异常值。此方法助力管道运营商在维护和优化运营过程中，对未来的运行状况做出更为准确的预估。在时间序列分析领域，ARIMA、SARIMA以及LSTM模型是三种代表性的处理序列数据的计算方法。LSTM模型，依赖神经网络结构，擅长处理并行分析长时间序列数据，准确捕捉数据间的时间依赖性，在预测设备故障及分析走势方面展现出显著优势。ARIMA模型是一种常见的时间序列分析模型，其数学表达式为：

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + ... + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-2} + ... \theta_q \epsilon_{t-q} + \epsilon_t$$

其中， y_t 表示时间 t 时的预测值， ϕ 和 θ 分别为自回归和移动平均参数， ϵ_t 是误差项。这一模型通过结合自身回归和移动平均成分，能够很好地捕捉管道数据中的趋势和波动，帮助运营商预测管道未来的运行状态。

在处理包含多个维度的数据集时，机器学习方法如随机森林、支持向量机以及梯度提升树均体现了卓越的数据分析效能。借助这些算法，能够从繁杂的数据集合中，自动辨识出关键特征，进而识别出管道运营中可能遭遇的风险与故障类型。例如，通过组合若干独立决策树所得出的平均预测结果，随机森林模型增强了预测的准确度与稳健性。在随机森林算法中，每一棵决策树通过从训练数据集随机抽取样本的方式进行构建，这种方法有效地减少了过拟合的可能性。

（三）引入人工智能辅助决策

引入人工智能技术之后，石油天然气管道的运营决策过程实现了智能化升级。借助人工智能技术的决策支持系统，通过分析数据和应用机器学习模型，实现决策过程的持续优化。借助人工智能技术，通过对庞大的数据集进行学习，可以建立起用于精确识别设备故障的诊断模型。在石油天然气管道行业，日常运营所产生的大量数据，如传感器读数、维护历史和地理坐标等，可达到每天500GB以上。面对庞大的数据集，传统的分析手段通常效率不高，然而，人工智能技术借助并行计算和分布式的数据处理系统，能在数小时内完成对大规模数据的分析，并输出最佳建议。历史运行数据的分析，可通过贝叶斯网络这一决策模型实现，进而指导决策过程。利用贝叶斯网络，根据输入参数（例如压力、温度和流量）推导条件概率，进而对管道潜在故障进行预测，并据此制订相应的维护策略。依据某管道的历史数据，当温度升高至70° C以上时，其出现故障的可能性显著提高，此时，应用贝叶斯网络算法，可以精确计算出实施预防性维护的最佳时间点。

深度学习技术在预测性维护以及异常模式识别方面表现出巨大的应用潜力，通过构建卷积神经网络（CNN）或长短期记忆网络（LSTM）模型，人工智能能够自行从历史数据中挖掘并辨识那些隐蔽的异常模式。借助长短期记忆网络模型，可以对管道的历史振动数据进行学习，进而识别出其中的异常频率信号。在未来，当数据呈现出特定的振动模式时，该系统能够预先发出警报，从而有效降低设备故障的风险。人工智能技术能够运用诸如遗传算法与粒子群优化算法等智能优化技术，为管道系统的操作参数确定最优配置。借助于模仿生物界进化的机制，遗传算法能够在大量迭代中迅速辨识出最佳的操作参数组合，从而大幅提升管道运输的效率。详情如表2所示。

表2 引入人工智能辅助决策相关参数

数据类型	参数值	单位	备注
数据集规模	500	GB/天	每日数据采集量
管道维护成本	10,000	元 / 公里	每公里维护费用
停工损失	1	天	每次故障导致停工时间
能耗降低	100,000	千瓦时	通过 AI 优化后年能耗降低

（四）提升可视化与用户交互体验

在用户体验优化过程中，数据的可视化扮演着至关重要的角色，不仅是运营决策支持系统中的基本要素，而且对提升整体运营效率具有显著影响。对于运营团队而言，若大数据分析的复杂成果未能以明了形式呈现，则可能遭到排斥。为了加强运营决策的支持，提升数据可视化技术是关键，这能使用户更准确地把握数据分析的成果。利用 GIS 技术，依托大数据平台，石油天然气管道的空间布局及其运行状况得以直观展示。利用 GIS 地图，运营人员可以准确地把握管道压力、流速及温度等关键数据，实现对整个管网运行状况的全面监控。在特定区域内若监测到异常状况，本系统具备用颜色标识、图标展示或动态变化的方法来作出警示，以便通知运维工作人员迅速做出应对。

在数据展示领域，除了静态图像之外，富含动态元素与用户交互的功能性分析正逐步成为一种流行方向。数据分析师通过指尖的点击和滑动，深入探索各个时段与不同管段的信息。热力图技术能有效揭示管道系统中的温度分布模式，使得运维团队能够迅速识别并标定温度偏移标准区域的状况。利用虚拟现实技术，可以三维展示管道构造，使运维人员深刻洞察内部运作情形，以便更准确地制定维护策略。系统需配备能够根据各岗位用户需求而定制的个性化视觉界面配置工具，以提高用户交互的满意度。

三、大数据分析应用对石油天然气管道效率优化的贡献

（一）运营效率提升

应用大数据技术显著提高了石油天然气管道的运营效率，通过对历史及实时数据的分析，运营商更有效地监控管道运行状态，从而降低了非必要停机时间及资源浪费。采用以数据为动力

的管理模式，极大优化了运输全程，不仅增强其安全性，同时也提升了能源传输的信赖度。

（二）成本优化

运用大数据分析技术，对运营成本进行了有效优化，通过精准预测设备故障和优化维护策略，实现了管道维护成本的显著下降。依据数据分析得出的结论，运营商能够有目标地分配资源，从而规避了传统模式下的无目的浪费。运营商通过采用智能化决策支持系统，能够更有效地处理能源传输过程中的能耗问题，这不仅优化了管理，而且显著降低了整体运营成本。表 3 中体现某项目成本优化的对比内容。

表 3 某项目成本优化的前后对比

优化项目	原始成本	优化后成本	节省金额
每次紧急维修费用	30,000 元	18,000 元	12,000 元 / 次
紧急维修次数	40 次 / 年	10 次 / 年	30 次 / 年
年度维护总成本	1,200,000 元	720,000 元	480,000 元
能源费用节省	0 元	500,000 元	500,000 元 / 年

四、结束语

石油天然气管道的运营效率优化是现代能源行业面临的重大挑战，通过大数据分析技术的应用，可以显著提升管道的运行效率、故障诊断与预测能力以及维护策略的合理性。基于大数据的决策支持系统优化，进一步推动了智能化管道运营的实现。本文提出的大数据应用场景和优化策略，不仅为管道运营提供了技术支持，也为行业未来发展指明了方向。未来，随着大数据和人工智能技术的不断进步，石油天然气管道的运营将朝着更加高效、安全、智能的方向发展。

参考文献

[1]尹景慧. 油气管道大数据研究进展 [J]. 山东化工, 2022, 51(05):82-84.
[2]孟繁春. 科技创新与数字化转型赋能国际能源管道运营 [J]. 石油科技论坛, 2021, 40(06):50-53.
[3]郑裕城. 基于大数据的全生命周期智能管网建设探析 [J]. 中国管理信息化, 2021, 24(12):191-192.
[4]王振声, 陈朋超, 王巨洪. 中俄东线天然气管道智能化关键技术创新与思考 [J]. 油气储运, 2020, 39(07):730-739.
[5]金剑, 朱学山, 刘艳阳, 等. 油气长输管道大数据整合技术方法研究 [J]. 油气田地面工程, 2020, 39(02):77-81.
[6]刘华. 石油天然气管道储运的安全管理探讨 [J]. 石化技术, 2023, 30(08):135-137.
[7]高振宇, 张慧宇, 高鹏. 2022 年中国油气管道建设新进展 [J]. 国际石油经济, 2023, 31(03):16-23.
[8]孙文. 石油天然气管道安全管理问题及对策研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(20):73-75.
[9]天津市石油天然气管道保护条例 [N]. 天津日报, 2021-10-09(007).DOI:10.28789/n.cnki.ntjrb.2021.004904.
[10]董绍华, 张河苇. 基于大数据的全生命周期智能管网解决方案 [J]. 油气储运, 2017, 36(01):28-36.