

复杂工况下石油化工管网降压排流故障诊断技术研究

李 飞 张志斌 钱明佺 苏楠子

(江苏省特种设备安全监督检验研究院连云港分院, 江苏 连云港 222000)

摘要:本文深入探讨复杂工况下石油化工管网降压排流过程中常见的故障诊断技术,旨在提高管网运行的安全性与稳定性。结合先进的传感器技术及信号处理算法,构建一套综合故障诊断系统。该系统能够有效识别并定位降压排流过程中的异常状态,如流量波动、压力骤降及泄漏等,为快速响应与维护提供科学依据。研究结果表明,该技术显著降低了故障误报率,提高了故障识别准确率,对保障石油化工行业生产安全具有重要意义。

关键词:石油化工管网; 复杂工况; 降压排流; 故障诊断

随着石油化工行业的快速发展,装置规模日益扩大,工况条件愈加复杂多变。在此背景下,降压排流作为维持管网稳定运行的关键环节,其安全性与可靠性直接影响到整个生产流程的效率与安全性。然而,复杂工况下,降压排流过程易受多种因素影响,导致故障频发,传统故障诊断方法已难以满足高效、准确的需求。研究复杂工况下石油化工管网降压排流的故障诊断技术,对于提升行业竞争力、保障生产安全具有重要意义。

1 复杂工况对降压排流的影响分析

在石油化工管网的运行过程中,复杂工况对降压排流过程产生了深远的影响。这些复杂工况包括但不限于高温高压环境、多相介质共存、介质物理化学性质变化频繁等。高温高压环境不仅增加了设备的运行负荷,还可能导致材料性能退化,进而影响降压排流系统的密封性和稳定性。多相介质共存则使得流动特性复杂化,增加了压力波动和流量不稳定的风险。介质物理化学性质的变化,如粘度、密度、相态等,也会对降压排流过程中的流动参数产生直接影响^[1]。深入分析复杂工况对降压排流的影响,是制定有效故障诊断策略的前提和基础。降压排流监理流程如图1所示。

2 传感器技术与数据采集

2.1 高精度传感器选型与布局优化

在复杂工况下的石油化工管网中,高精度传感器的选型与布局优化对于确保降压排流过程的稳定运行至关重要。传感器的选型需考虑其测量精度、响应速度、耐腐蚀性、耐高温高压等特性,以确保在极端工况下仍能准确捕捉关键参数^[2]。布局优化则是通过科学合理的传感器布置方案,实现监测数据的全面覆盖和冗余备份,提高故障诊断的准确性和可靠性。高精

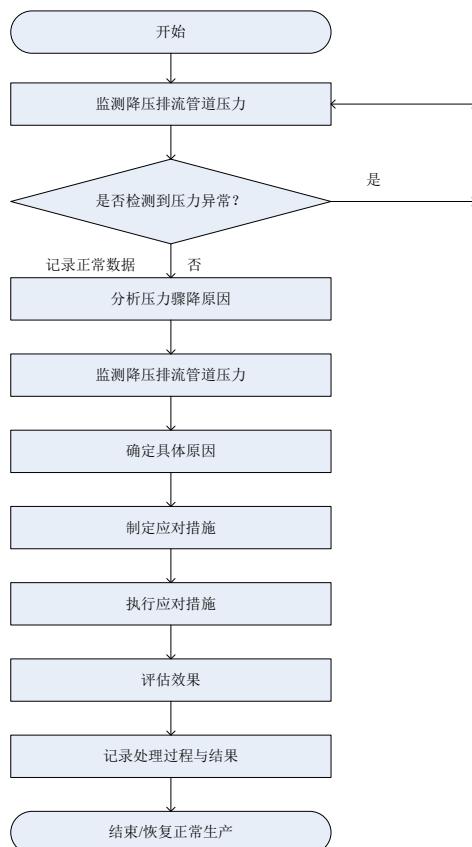


图1 降压排流监理流程图

度传感器选型与布局优化情况如图2所示。

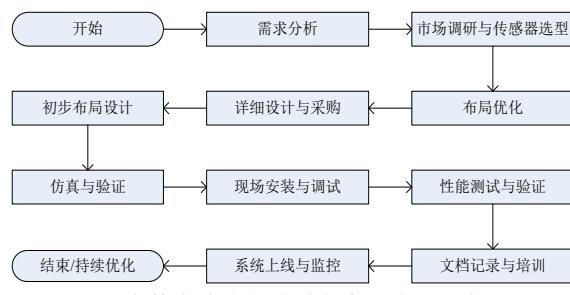


图2 高精度传感器选型与布局优化示意图

2.2 实时数据采集与预处理

2.2.1 实时数据采集

2.2.1.1 采集方式

石油化工管网通常配备有多种传感器，如压力传感器、温度传感器、流量传感器等，用于实时监测管网的运行状态。这些传感器通过有线或无线方式将采集到的数据传输至数据采集系统^[3]。

采集系统需具备高可靠性和实时性，能够确保在复杂工况下稳定工作，并实时捕获关键参数的变化。

数据采集到预处理流程如图 3 所示。

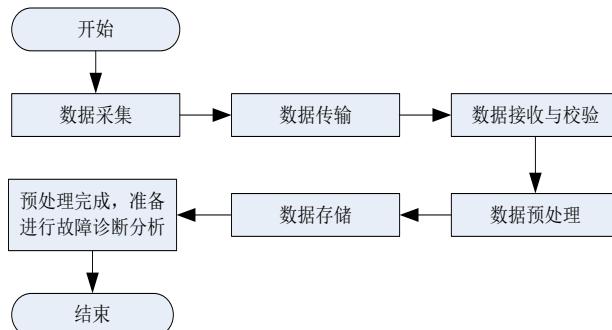


图 3 数据采集到预处理流程图

2.2.1.2 数据接口与协议

数据采集过程中，需要采用统一的数据接口和通信协议，以确保不同传感器和设备之间的数据能够顺利传输和交换。常用的通信协议包括 OPC 标准通信协议、Modbus 等。

通过 SCADA（监控与数据采集）系统，可以实现对整个管网运行参数的集中监控和远程管理。SCADA 系统通过 OPC 服务器提供的接口服务，可以定制 OPC 客户端，实现数据的多点实时采集。

2.2.2 数据预处理

2.2.2.1 数据校验与清洗

实时采集的数据可能包含噪声、异常值或缺失值等，需要通过数据校验和清洗步骤进行预处理。数据校验可以检查数据的完整性和一致性，确保数据的准确性。清洗步骤则包括去除噪声、填补缺失值、识别并剔除异常值等，以提高数据的质量和可靠性。

2.2.2.2 数据压缩与存储

由于石油化工管网产生的数据量巨大，为了节省存储空间和提高处理效率，需要对采集到的数据进行压缩。数据压缩可以在保证数据精度的前提下，减少数据的冗余和存储空间的需求。压缩后的数据需要存储在可靠的数据库中，以便后续的数据分析和故障诊断使用^[4]。数据库应具备高可靠性和可扩展性，以应对大量数据的存储和查询需求。

2.2.2.3 数据融合与关联

在复杂工况下，石油化工管网的运行参数之间往往存在复杂的关联关系。通过数据融合技术，可以将不同传感器采集到的数据进行整合和关联分析，以揭示这些参数之间的内在联系和变化规律。

数据预处理流程如图 4 所示。

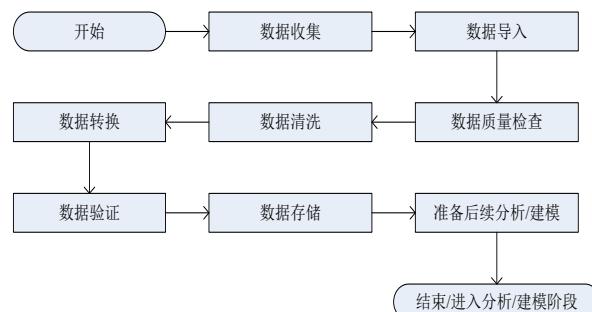


图 4 数据预处理流程图

数据融合有助于更全面地了解管网的运行状态，提高故障诊断的准确性和可靠性。例如，通过综合分析压力、温度、流量等参数的变化趋势，可以判断管网是否存在泄漏、堵塞等故障风险。

2.3 数据质量评估与异常检测

2.3.1 数据质量评估

2.3.1.1 评估指标

数据完整性：描述数据信息缺失的程度。对于石油化工管网的数据采集系统而言，完整性检测包括检查传感器是否按预期工作，以及数据传输过程中是否有丢失或遗漏。完整性缺失可能导致对管网运行状态的误解，从而影响故障诊断的准确性。

数据准确性：反映数据记录的信息与客观事实之间的接近程度。在石油化工管网中，准确性受传感器精度、环境因素（如温度、压力波动）和人为错误等多种因素影响。准确性评估通常通过比对历史数据、校验公式或参考标准值来进行。

数据时效性：强调数据的实时性和及时性。在降压排流过程中，实时数据对于及时发现和应对异常情况至关重要。时效性评估关注数据采集、传输和处理的速度，确保数据在需要时能够及时可用。

数据一致性：检查不同来源或不同时间点的数据是否相互矛盾或存在不一致性。在石油化工管网中，多个传感器可能同时监测同一参数，一致性评估有助于识别并处理潜在的测量误差或系统故障。

2.3.1.2 评估方法

采用统计方法和数据挖掘技术对数据进行分析，识别异常值、缺失值等质量问题。

建立数据质量评估模型，根据评估指标对数据进行打分或评级。

定期对评估结果进行审查和调整，以反映数据质量的实际变化。

数据质量评估与异常检测流程如图 5 所示。

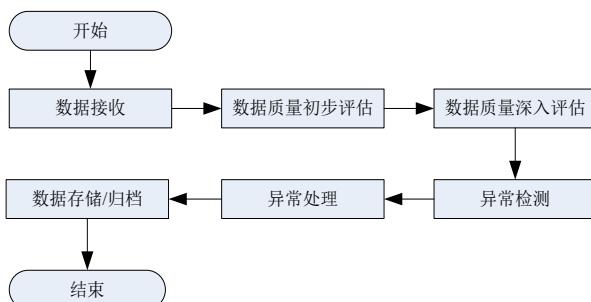


图 5 数据质量评估与异常检测流程图

2.3.2 异常检测

数据预处理：对采集到的数据进行清洗、整合和转换，以满足异常检测算法的要求。

模型训练：根据选定的检测方法，使用历史数据对模型进行训练和优化。

实时监测：将训练好的模型部署到实时监测系统中，对新采集的数据进行实时分析和处理。

异常处理：当检测到异常时，及时触发警报并采取相应的处理措施（如停机检查、调整工艺参数等）。

异常检测流程如图 6 所示。

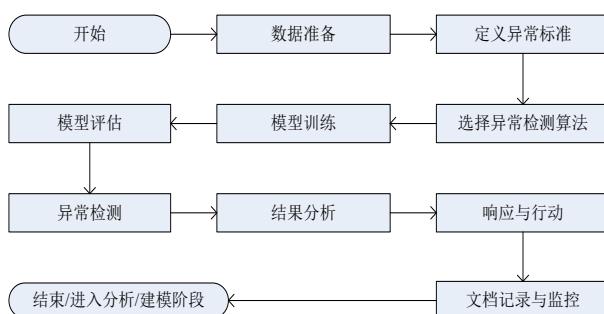


图 6 异常检测流程图

3 复杂工况下石油化工管网降压排流故障诊断应用

3.1 故障诊断模型构建与验证

模型建构与验证的数据基础主要来源于石油化工管网的实际运行数据，这些数据包括但不限于设备的运行状态参数（如压力、温度、流量等）、传感器读数、历史故障记录以及设备维护日志等。这些数据通过数据采集系统（DCS）或工业物联网（IIoT）技术实时或定期收集，并经过预处理（如清洗、转换、特征提取等）后，用于构建和验证故障诊断模型。

在本次研究中，实验环节需要考虑到数据的多样性和不确定性，在实验环节，模型建构与验证的对象

是石油化工管网中的关键设备和系统，包括但不限于阀门、管道、传感器等。这些设备和系统由于长期运行在高压、高温、腐蚀性强的复杂工况下，容易出现各种故障，影响管网的安全稳定运行。模型的输入是预处理后的设备运行状态数据，这些数据通常包括多个维度的特征，如压力值、温度值、流量值、振动信号等。这些特征能够反映设备的当前运行状态和潜在故障信息。在实时故障诊断系统中，输入数据是实时采集并经过在线预处理的设备状态数据。模型的输出是故障诊断结果，即根据输入数据判断设备是否存在故障以及故障的具体类型。在集成模型中，SVM 和 LSTM 的预测结果会被综合起来，形成最终的故障诊断结果。系统还会根据诊断结果判断是否触发预警机制，并将诊断结果实时推送给相关人员，以便及时采取措施。基于上述内容，特采用先进的机器学习算法——支持向量机（SVM）与深度学习网络（如 LSTM）的集成模型。SVM 在处理高维数据和分类问题上具有优异性能，而 LSTM 则擅长捕捉时间序列数据中的长期依赖关系，二者结合能够有效提升故障诊断的准确性和鲁棒性。故障诊断数据集如表 1 所示。

表 1 故障诊断数据

样本编号	实际故障类型	SVM 预测	LSTM 预测	集成模型预测
1	阀门泄漏	阀门泄漏	正常	阀门泄漏
2	压力波动异常	正常	压力波动	压力波动异常
3	管道堵塞	管道堵塞	管道堵塞	管道堵塞
4	温度传感器故障	正常	温度异常	温度传感器故障
5	无故障	无故障	无故障	无故障

由表 1 内容可知，SVM 在单一类型的故障识别上表现出色，但在处理复杂故障或关联故障时略显不足；LSTM 则能够较好地捕捉时间序列中的细微变化，但在某些情况下可能产生过度拟合。而集成模型通过结合两者的优势，在大多数样本上均给出了准确的故障诊断结果，体现了其综合性能的提升。

3.2 故障诊断结果应用与反馈优化

系统将每次的故障诊断结果实时推送给相关人员，包括设备维护人员、生产管理人员以及安全监督人员等。根据诊断结果迅速采取相应措施，如调整操作参数、安排维修计划或启动应急预案等，以确保管网的安全稳定运行。表 2 为部分评估结果表。

表2 部分评估结果表

评估指标	评估周期	评估值	改进方向
故障诊断准确率	季度	98%	持续优化模型算法，提高精度
预警响应时间	月度	平均45ms	优化数据处理流程，减少延迟
故障修复效率	月度	90%	加强维护团队培训，提升响应速度
预防性维护比例	年度	30%	基于数据分析，增加预防性维护计划
安全生产事故率	年度	下降 20%	验证故障诊断系统对安全生产的积极影响

分析内容，可以看到故障诊断系统的应用显著提高了故障诊断的准确率和预警的及时性，同时也促进了故障修复效率的提升和预防性维护计划的实施。然而，也意识到在模型算法优化、数据处理流程改进以及维护团队培训等方面仍有提升空间。因此，后续需要继续收集和分析数据，不断优化系统性能，为石油化工管网的安全高效运行提供有力保障。

4 结语

本文深入探讨了复杂工况下石油化工管网降压排流过程中的故障诊断技术，通过分析可以了解到高精度传感器、信号处理算法在提升故障诊断能力方面的显著作用。研究结果证明，这些技术的应用不仅能够有效识别并定位故障点，还为快速响应与维护提供了

科学依据，显著提高了管网的运行效率和安全性。

参考文献：

- [1] 于波涛,李霖,王晓飞.基于石油化工装置异常工况处置的过程安全应用研究[J].山东化工,2023,52(24):194-197.
- [2] 崔杏杏.石油化工自动化仪表的常见故障及维护技术[J].现代制造技术与装备,2024,60(1):170-172.
- [3] 常亚娜,武锦涛,代玉强.数据分析与BP神经网络相结合的乙烯装置智能故障诊断系统[J].石油炼制与化工,2023,54(6):97-104.
- [4] 朱永青.石油化工装置设备检修过程中的安全管理措施框架思路构建[J].科海故事博览,2022(28):124-126.

作者简介：

李飞（1971-）男，汉族，江苏省连云港市人，研究生，高级工程师，主要研究方向为压力容器检验、化工装备设计等。

张志斌（1973-）男，汉族，江苏省连云港市人，研究生，研究员级高级工程师，主要研究方向为化工管道安全检测。

钱明佺（1980-）男，汉族，江苏省连云港市人，研究生，正高级工程师，主要研究方向为特种设备设计与检验。

苏楠子（1985-）男，汉族，江苏省连云港市人，研究生，高级工程师，主要研究方向为特种设备材料工程。

