

油田集输管道集群化泄漏监测系统研究与应用

张 斌 (长庆油田分公司数字和智能化事业部, 陕西 西安 710018)

梁德平 李 岩 臧国军 翟博文 (长庆油田分公司油田开发事业部, 陕西 西安 710018)

摘 要: 针对油田原油集输管道内部流动复杂、高程落差大等特点, 存在管道泄漏监测系统误报率高、适应性差、一次投资大等缺点, 提出了集群化泄漏监测系统的解决方案。集群化泄漏监测系统集成了多种滤波和泄漏检测方法, 多种方法协同工作, 提高集群化泄漏检测系统报警可靠性; 系统根据不同平台、不同用户层级、岗位发布的需求, 采用了平台化和集群化的架构设计, 具有良好的扩展功能。通过油田现场 6 条管道 32 次泄漏实验和启停泵实验, 结果显示: 其平均最小可监测的泄漏量为 $0.73\text{m}^3/\text{h}$, 泄漏报警平均最快响应时间为 2.4min , 同时对管道启停泵工况的调整具有很好的可靠性, 现场实验验证了系统响应灵敏度高、报警响应时间短、报警可靠性强。

关键词: 集输管道; 泄漏监测; 集群化; 应用研究

1 引言

由于油田原油集输管道内部流动复杂、流体介质多为含有各种腐蚀性物质如硫化物, 其运行特点为: 油气水多相混合、高程落差大、不满管运行、存在段塞流管段、非连续输油等。管道分布较为分散且多为山区地貌, 管道管径较小、管道输送距离短。常用的泄漏监测系统为单机版, 一套泄漏监测系统监测的管道数量有限, 导致建设投资大, 且监测方法较为单一, 难以应对集输管道复杂的工况。目前应用于油气管道的泄漏监测方法有许多种, 根据所监测的参数不同, 主要分为质量/体积平衡法、负压波法、模型法、分布式光纤法、声波法、机器学习智能算法等。这些方法在长输大管道上的应用取得了良好的效果, 但是由于油田集输管道的运行特点, 使得这些方法具有误报率高、鲁棒性不强、需要额外增加建设投资、针对单根管道监测的缺点, 导致其实用性不强。

针对以上存在的问题, 本文提出了油田集输管道集群化泄漏监测系统, 系统融合多种滤波和泄漏检测方法, 基于 BS 开放架构, 达到方法集成和系统集成的目的, 探讨泄漏监测系统架构、功能作用, 并通过实际现场应用, 展示应用过程、效果, 以期对未来集输管道泄漏监测系统研究及应用提供有价值的参考。

2 集群化泄漏监测系统架构与功能

集群化泄漏监测系统可将油田公司所有需要监测的管道运行数据汇聚在服务器平台上, 可覆盖到油田公司、厂区、作业区各管理层级, 以便集中管理和掌握管道数据及工况。系统基于管道生产运行的实时数

据, 经过数据预处理之后, 进行泄漏监测的识别、定位等计算, 融合多种方法的计算结果, 显著提高了泄漏监测报警的可靠性; 且系统具备泄漏监测定位功能, 可将泄漏位置精确显示于管道 GIS 地图; 同时存储泄漏报警信息, 形成泄漏报警数据库, 以便后期分析和调查泄漏事故。

2.1 系统架构

集群化泄漏监测系统采用 BS 开放架构, 以便充分利用不同的数据条件, 可充分利用泄漏监测的功能向不同平台、不同用户层级、岗位发布及分享特定数据, 集群化泄漏监测系统的数据流由三层架构组成, 主要包括数据采集与预处理模块、泄漏监测模块和结果展示模块, 其相互支撑又相对独立。系统数据服务器直接从现场管道两端的 PLC 上直接采集实时数据, 储存在数据库中, 以便查询和调用; 通过数据预处理手段, 获得高质量实时数据。结合管道的管长、管径等结构数据以及管道高程、海拔等分布数据进行管道系统的建模, 调取经过预处理的实时数据, 进行泄漏监测系统的计算, 并将泄漏速率、位置、报警结果等数据储存于实时数据库, 通过上报接口, 将实时数据和泄漏数据进行发布。通过调用泄漏监测模块的数据结果, 完成对管道实时数据的监测、更新, 泄漏的报警提醒、报警查询, 管道地图可视化显示泄漏位置等主要功能。

2.2 数据采集与预处理模块

集群化管道泄漏监测系统通过对管道始末站安装的 PLC 进行数据的实时采集, 对采集的数据通过小波

分析去噪、奇异值去噪、FFT、正态性检验等手段实现数据检验与缺失值、异常值的处理；将各管道数据统一储存在集群化泄漏监测系统服务器中，实现各站场管道运行数据的集群化管理；将管道运行实时数据发布至油田公司级平台。管道运行数据是泄漏监测的基础条件，泄漏监测是由实时运行数据驱动，因此实时数据的好坏直接关系到泄漏监测系统运行的精度、可靠性、灵敏度等核心功能应用。为了防止 SCADA 系统和集群化泄漏监测系统之间的相互影响，集群化泄漏监测系统相对独立的采集管道运行实时数据。集群化泄漏监测系统需要采集的管道实时数据有流量、压力、温度、密度、泵频率等参数。该模块负责存储和管理作业区管道集输系统采集上来的实时数据、历史数据等；对原始数据进行边缘计算，对数据进行初步判断，提高数据边缘点的分辨率，提高泄漏监测效率。管道实时数据的完整性和可靠性对集群化泄漏监测系统来说至关重要，系统建立了实时数据检验、校对、缺失值补偿等，以保证在通信失效或者数据丢失等异常情况下仍能提供可靠的泄漏监测结果。

2.3 泄漏监测模块

泄漏监测模块是集群化泄漏监测系统的核心部分，结合管道结构和分布数据对作业区管道系统进行数学建模，进而得到管道泄漏监测模型；读取数据采集与预处理模块所存储的管道运行实时数据，通过多种泄漏监测方法对管道实时运行数据进行计算，得到管道泄漏监测情况及变化趋势；将泄漏速率、泄漏位置、是否进行报警等管道工况的报警数据，按照不同方法的可靠性，对报警状态结果赋予不同的权重，通过算法融合技术，最终得到管道的最终泄漏报警结果，提高报警可靠性；通过公司级平台数据接口，将泄漏监测计算结果发布至公司级平台；并为后续模块的结果可视化、泄漏报警进一步分析、诊断工作提供数据支撑。

2.4 结果展示模块

采用云平台技术，泄漏监测结果可与管道运行实时数据一起发布，便形成了泄漏结果共享应用平台。为不同层级、部门、用户提供了专门展示和分析平台，使其尽可能的掌握管道系统的运行工况和泄漏状态，以应对可能存在的泄漏事故并做出相应的响应措施。此外，该系统针对了不同层级、部门、用户的应用和数据需求，分别设置了不同的数据权限和展示结果，以便不同人群的使用。

系统对报警日志进行数据库存储，对报警的监测数据通过曲线进行查阅。该模块具备以下功能：①泄漏报警。通过读取服务器中的泄漏报警数据，一旦发现某条管道的报警数据，则会第一时间向油田公司级平台网页上进行弹窗发布，同时设置有语音提醒，并在现场工作人员的电脑上发布管道检查和巡检任务，可以进行定位和上传巡检图片和视频；②地图展示。发布管道泄漏定位的数据，并在管道 GIS 地图上显示管道的泄漏位置，以提醒工作人员；③基础资料管理。系统具备管道各类基础资料管理、泄漏历史等失效档案管理、管道腐蚀评价数据管理、管道后果区识别与可视化管理等模块。

3 现场泄漏实验

为了验证集群化泄漏监测系统在现实应用的可靠性，在某油田的两个作业区分别挑选了 6 条管道进行了现场泄漏实验。实验主要是通过运行中的管道中设置泄漏点进行泄漏操作，以此来模拟实际管道发生泄漏时的真实工况。现场泄漏实验主要是对管道在正常、启泵、停泵、排量变化等不同工况下，泄漏监测系统的运行情况、报警可靠性、报警灵敏度等进行现场实验评价。

3.1 模拟泄漏管道工艺

作业区需提前准备以下配套设备：每条管道需配套转接头 2 个、高压软管 2 根、流量计 1 台、调节阀门 1 个、21m³ 油罐车 1 辆。工艺流程：将管道转接头连接快速球阀，随后连接高压软管，安装调节阀门用以控制泄漏的大小，之后连接外接流量计测量实际泄漏量，最后连接高压软管，接通油罐车。

3.2 模拟泄漏实验设计

模拟多种管道运行工况下的泄漏，从而验证集群化泄漏监测系统的实用性、可靠性和通用性：①最小泄漏量实验：设置不同泄漏量的模拟实验，实验泄漏监测系统最小可监测的泄漏量；②不同工况下泄漏可靠性实验：设置停泵、启泵、管道排量变化等工况，分别将泄漏模拟设置在不同工况发生前和发生后，实验泄漏监测系统在不同工况下的可靠性。

3.3 最小泄漏量实验

管道 1 全长 1km，外径 89mm，壁厚 4.5mm，设计压力 4MPa，运行压力 1.1MPa，采用碳钢材质，防腐保温采用 HCC 内衬防腐与黄夹克。实验具体操作为：开启泄漏阀，观察外接流量计读数至预定数值，停止调节，直至读数稳定后记录数据；停止泄漏后到观察

管道首末端流量与压力,直至流量与压力恢复至泄漏前的水平后记录数据,重复以上操作,管道1的具体泄漏操作。

3.4 实验总结

通过此次泄漏监测实验与结果分析,可以做出以下结论:①集群化泄漏监测系统灵敏度高:集群化泄漏监测系统在目标管线上可监测到的模拟最小泄漏率在 $0.19\sim 1.27\text{m}^3/\text{h}$ 范围之间,平均 $0.73\text{m}^3/\text{h}$;②泄漏报警响应时间短:集群化泄漏监测系统在目标管线上最快响应时间在 $1\sim 3\text{min}$ 范围之间,平均 2.4min ;③泄漏报警可靠性高:对于32次最小泄漏量实验,系统均发出可靠监测结果;对10次不同工况下可靠性实验,系统也具有较好的可靠性。

4 结论

①集群化泄漏监测系统针对集输管道系统的运行特点,根据不同平台、不同用户层级、岗位发布的需求,采用了平台化和集群化的架构设计,针对性的开发了不同功能和数据权限,能同时管理多条集输管道,节省建设成本,是油田公司集中管理集输管道系统的迫切需求,又是数字化油田应用的必然产物;②通过在油田现场6条管道上的泄漏实验,分别进行了集群化泄漏监测系统的最小泄漏量和管道不同工况下的实验,其平均最小可监测的泄漏量为 $0.73\text{m}^3/\text{h}$,泄漏报警平均最快响应时间为 2.4min ,同时对管道启停泵工况的调整具有很好的可靠性,证明了系统响应灵敏度高、报警响应时间短、报警可靠性高。

参考文献:

- [1] 武刚,赵敏,郑欣,等.基于白化滤波的天然气管道微泄漏定位方法[J].油气储运,2022,41(2):159-164.
- [2] Kingsley E. Abbulimen, Alfred A. Susu. Liquid pipeline leak detection system: model development and numerical simulation[J]. Chemical Engineering Journal, 2004,97(1):47-67.
- [3] 石光辉,齐卫雪,陈鹏,等.负压波与小波分析定位供热管道泄漏[J].振动与冲击,2021,40(14):212-218+286.
- [4] 王洪超,李强,罗毅,等.基于相似度的管道泄漏负压波定位算法[J].油气储运,2021,40(6):679-684.
- [5] Boxiang Liu, Zhu Jiang, Wei Nie. Negative pressure wave denoising based on VMD and its application in pipeline leak location[J]. Springer, 2021(1).
- [6] 孙良.基于模型的油气管道泄漏监测与定位方法研究[D].北京:北京化工大学,2010.
- [7] Kajiro Watanabe, D. M. Himmelblau. Detection and location of a leak in a gas-transport pipeline by a new acoustic method[J]. 1986,32(10):1690-1701.
- [8] Juan Li, Ying Wu, Wenjun Zheng, et al. A Model-Based Bayesian Framework for Pipeline Leakage Enumeration and Location Estimation[J]. Springer, 2021,35(13):4381-4394.
- [9] 袁文强,郎宪明,曹江涛,等.基于声波法的管道泄漏监测技术研究进展[J].油气储运,2019(11):11-13.
- [10] Anselemi B. Lukonge, Xuwen Cao, Zhang Pan. Experimental Study on Leak Detection and Location for Gas Pipelines Based on Acoustic Waves Using Improved Hilbert-Huang Transform[J]. Springer Singapore, 2021,12(1).
- [11] L. L. Ting, J. Y. Tey, A. C. Tan, et al. Acoustic Emission and Dual-Tree Complex Wavelet Transform with Soft Threshold De-Noising to Enhance Pipeline Leak Detection and Location[J]. Springer Singapore, 2021(3):79-92.
- [12] Haochen Liu, Yifan Zhao, Anna Zaporowska, et al. A machine learning-based clustering approach to diagnose multi-component degradation of aircraft fuel systems[J]. Springer, 2021(1).
- [13] Nagoor Basha Shaik, Srinivasa Rao Pedapati, A. R. Othman, et al. An intelligent model to predict the life condition of crude oil pipelines using artificial neural networks[J]. Springer, 2021,33(21):14771-14792.
- [14] Thang Bui Quy, Jong-Myon Kim. Real-Time Leak Detection for a Gas Pipeline Using a k-NN Classifier and Hybrid AE Features[J]. Sensors (basel), 2021,21(2).
- [15] Rodolfo Pinheiro da Cruz, Flávio Vasconcelos da Silva, Ana Maria Frattini Fileti. Machine learning and acoustic method applied to leak detection and location in low-pressure gas pipelines[J]. Springer, 2020,22(3):627-630.
- [16] Yingchun Xie, Yucheng Xiao, Xuyan Liu, et al. Time-Frequency Distribution Map-Based Convolutional Neural Network (CNN) Model for Underwater Pipeline Leakage Detection Using Acoustic Signals[J]. Sensors (basel), 2020,20(18).