

油气管网仿真技术在智能管网建设中的应用及展望

周泓宇 马 鑫 蒋 志 吕维敏 王志辉 (中国石油西南油气田公司川中油气矿, 四川 遂宁 629018)

摘要: 随着现代化油气管网的快速发展, 适合于油气管网运行需求的仿真技术也得到相应研究, 为后续保障管网安全及稳定运行提供对应协助。本文对油气管网仿真技术的各项应用要点展开研究, 为后续工作提供方向指导的基础上研究这类技术在智能管网建设之中的应用优势, 以此为基础提出对于仿真技术未来发展的几点展望, 尝试协助仿真技术稳定发展。

关键词: 油气管网仿真技术; 智能管网; 应用展望

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 035-0105-03

Application and Prospect of Oil and Gas Pipeline Network Simulation Technology in Intelligent Pipeline Construction

Zhou Hongyu, Ma Li, Jiang Zhi, Lv Weimin, Wang Zhihui (PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chuanzhong Oil and Gas Mine, Suining Sichuan 629018, China)

Abstract: With the rapid development of modern oil and gas pipelines, simulation technology suitable for the operation needs of oil and gas pipelines has also been studied, providing corresponding assistance for ensuring the safety and stable operation of pipelines in the future. This article conducts research on the key application points of oil and gas pipeline network simulation technology, providing direction guidance for subsequent work and studying the application advantages of such technology in intelligent pipeline network construction. Based on this, several prospects for the future development of simulation technology are proposed, attempting to assist in the stable development of simulation technology.

Keywords: Oil and Gas Pipeline Network Simulation Technology; Intelligent Pipeline Network; Application Prospects

随着互联网信息技术的高速发展, 智能管网的各项技术越发受到群众关注, 配合智能化技术为石油行业当中的油气管网稳定运行提供指南。基于人工智能技术的油气管网仿真技术在实际应用当中, 可弥补传统管理模式所存在的各项不足, 配合对管网开展实时检测, 来及时发现其中的各项安全隐患并带动管网系统向着更为安全稳定的方向发展。

1 国内外发展现状

1.1 国外发展现状

国外油气管网仿真技术发展于上世纪六十年代初, 于上世纪八十年代进入发展高峰期且商业化程度较高, 被广泛用于石油行业生产之中并为其提供对应协助。经过多年技术研发及应用, 现已存在 SynerGEE、ATMOSSIM 以及 TGNET/TLNET 等具有代表性的管网仿真技术及配套化程序, 为油气管道安全运输提供相应协助的同时也为国内油气管网设计生产提供参考。从技术研发的角度上来看, 国外科研团队通过优化数学模型, 整合油气管网中流体的黏性、可压缩性以及不同工况下的流动状态变化等流体物理特性, 使得仿真结果高度接近实际运行情况。欧洲部分国家为满足自身能源供给需求而将仿真技术与实际工程应用紧密

结合, 以此来研发出一系列适用于不同规模及复杂程度的油气管网仿真软件, 实现针对常规油气管网运行进行准确模拟, 还能针对极端工况和突发事件实现模拟分析从而为油气管网安全运行提供技术支持。

1.2 国内发展现状

对国内油气管网仿真技术发展情形进行分析可明确, GREEG 在线仿真系统在现阶段应用范围较广, 可基于精确的物理模型对油气管网运行情况实现有效模拟。该系统的动态模拟能力较强, 于实际应用当中可计算当前管网内各节点的压力及流量温度参数, 配合应用验证来将压力计算误差控制在 $\pm 1\%$ 以内, 流量计算误差在 $\pm 2\%$ 以内, 温度计算误差在 $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 以内。并且 GREEG 系统可快速响应管网中各项运行条件的变动情况, 模拟时长最短可达 0.1s, 进而实现对管网瞬态过程的实时跟踪。其中相对具有代表性的便是在管道发生阀门快速关闭等操作时, 系统可准确模拟出压力波的传播及衰减过程, 使得工程师在处理复杂工况下的多相流问题时模拟精度能达到 90% 以上。

TMOS 在线仿真系统则采用模块化设计理念, 本身具备灵活性高且拓展性强的优势, 实际应用当中不但可对传统的油气输送管网进行仿真模拟, 还可适应

氢气管道等新型能源管网的运行模拟需求。在模拟精度上，ATMOS 系统压力计算误差约为 $\pm 1.2\%$ ，流量计算误差约为 $\pm 2.5\%$ ，温度计算误差约为 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，整合机器学习算法预测管网内存在的故障隐患，此时整体预测准确率可达 85% 以上，为管网预防性维护提供相应协助。

RealPipe3.0 作为国内自主研发的一款专业油气管网仿真软件，实际应用当中可对不同类型的油气管网进行全面模拟。进行稳态模拟时，RealPipe3.0 可快速计算管网内水力热力参数，其压力计算精度可达 $\pm 0.8\%$ ，流量计算精度可达 $\pm 1.8\%$ ，温度计算精度可达 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。在动态模拟方面可模拟管道泄漏、压缩机故障等工况变化，如管道泄漏、压缩机故障等，进而为后续管网应急处置提供实质有效的决策依据。并且 RealPipe3.0 还支持三维可视化展示，协助工作人员直观查看当前管网布局及其运行状态。

2 油气管网仿真技术在智能管网建设中的应用

2.1 基于物联网和大数据的油气管道数据采集

现阶段管道运输建设规模及覆盖范围呈逐步扩张趋势，油气管网仿真技术可基于物联网的油气管道数据采集来规避传统模式下存在的各项限制性问题，配合调控物联网技术整理各管道信号数据信息，协助石油产业向智能化方向转型升级。具体应用当中，技术人员可在油气管道沿线部署大量传感器来及时准确地采集各项数据信息，例如压力传感器可实时监测管道内压力变化，其测量精度可达 $\pm 0.1\%$ ，协助管理部门及时发现由管道泄漏、堵塞等问题引发的管道压力异常现象；流量传感器则可准确计量油气输送流量，整体精度能够达到 $\pm 0.2\%$ ，进而实现针对油气输送量的高质量管控。

目前数据采集点主要利用无线传感器和网络协议将信号数据上传到数据汇聚节点，汇聚节点接收信号后可通过数据汇聚节点实现响应，进而利用 GPRS 功能传输各项数据信息。搭载有 TCP 端口的数据采集终端可对传感器采集到的原始数据进行分析筛选，之后将经过处理的数据通过网络传输到数据中心。传输方面则采用通信协议机制，将丢包率控制在 0.1% 以下从而提升当前数据传输可靠性，摆脱传统结构下传统传感器存在的信息传输缺陷一带动油气管网实现全方位发展。

基于物联网和大数据的油气管道数据采集还为油气管网仿真技术提供丰富的输入数据，由于油气管网仿真模型之中需要引入大量管道参数、介质参数以及运行参数等数据实现模拟计算，配合大数据技术使仿真模型更加贴近实际情况，在这一过程中提升当前仿

真结果整体准度。其中相对具有代表性的便是展开管道泄漏仿真模拟工作时，运用实时采集到的压力、流量等数据作为输入来精确模拟当前泄露现象的发生过程，为后续制定应急处置方案提供决策参考。

2.2 基于人工智能的用户油气需求预测

油气输送过程中对管道内各个管段的用户的实际需求规律进行预测，可为后续油气管网内容配置提供对应协助，使管网工作人员精确把握管网变量从而为油气管网的应急和调峰提供工作参考。人工智能算法中的神经网络、支持向量机均可处理大量实时数据，在这方面基础上挖掘数据之中隐藏的各项规律模式。以神经网络为例，实际应用当中可通过多层神经元的非线性映射对用户油气需求以及多种影响因素之间进行建模，一个三层前馈神经网络便可有效拟合当前用户在油气需求当中产生的变化趋势，配合对某地区过去五年的用户油气需求数据以及相关的气象数据、经济数据等进行训练，该神经网络模型的预测准确率可以达到 85% 以上。

支持向量机则在处理小样本数据和高维数据方面具有显著优势，可通过寻找最优分类超平面将不同类型的数据进行区分，于用户油气需求预测之中支持向量机可根据用户历史需求数据和其他相关特征来对未来各项需求开展分析性预测，其中相对具有代表性的便是将用户需求分为高、中、低三个等级，整体预测准确率可达到 80% 左右。除上述算法之外，深度学习技术在用户油气需求预测中也得到了相对广泛的应用，其中长短期记忆网络（LSTM）和门控循环单元（GRU）可有效处理序列数据，在这一基础上捕捉时间序列中的长期依赖关系。

相关工作者进行油气需求预测方面的工作时，STM 和 GRU 模型可根据需求数据的时间序列特征对后续数据变动实现高精度预测。例如，通过对某城市天然气用户的日需求数据进行训练，LSTM 模型可以提前一周对用户需求展开预测并将预测误差管控在 10% 以内。

进行智能管网建设工作时，基于人工智能的用户油气需求预测结果可以为管网的规划和调度提供数据参考。规划方面可根据预测的需求数据来调整管网本身的建设规模及配置布局，规避出现过度建设以及建设不到位等现象。调度方面则要配合预测用户需求来优化油气的输送分配机制，以此来提升管网整体运行效率，此时可根据前期所预测到的需求高峰和低谷，合理调整压缩机运行参数从而降低能耗，并且在应急情况下需求预测结果可以协助技术人员制定适配度达标的应急预案，以此来协助油气实现稳定供应。

3 油气管网仿真技术在智能管网建设中的技术展望

3.1 构建多功能模块协同仿真平台

若单纯依靠管网运行水力、热力工况模拟分析则无法为现阶段油气管网提供运行保障,需要相关工作者对当前管网展开针对性优化,配合在线仿真、风险评估、设备管理以及用户管理等各项技术协助来达成管理工作目标。多功能模块协同仿真平台的数据共享和交互属于其中的核心工作优势,各模块之间可利用统一化数据接口及通信协议完成数据交换,在这一过程中可完成数据内容的实时更新同步。于数据传输当中则采取更为稳定的网络架构,进而将数据传输延迟控制在毫秒级,为提升数据整体准确度,平台采用数据校验和纠错机制将数据传输的准确率提升至 99.9% 以上。

SynerGEE 仿真软件在构建多功能模块协同仿真平台中应用较广,兼并 SPS 瞬态仿真引擎后构建起覆盖范围较大的综合仿真软件产品。例如在热力仿真模块中,SynerGEE 软件考虑可考虑到当前管道的散热、介质热物性等多种因素,可实现针对油气管网中各类介质的详尽分析。配合各项实践案例验证可得该模块对管道内介质温度的模拟误差整体保持在 $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 以内。

3.2 基于 GIS/CAD 的可视化建模技术

基于 GIS/CAD 的可视化建模技术可为油气管网运行及技术应用提供对应协助,而 Flowmaster (V7) 和 SynerGEE 等仿真软件在基于 GIS/CAD 的可视化建模技术可为技术部门实现更为高效的管网管理。Flowmaster (V7) 支持与 GIS 和 CAD 的数据集成,在可视化建模方面能够将 GIS 所提供的管网地理布局信息与 CAD 所绘制的管道涉及信息融合,在这方面基础上构建出直观的三维管网模型。通过该软件用户可以快速准确地建立管网模型,建模效率相比传统方法提高了 40% 以上。模型精度方面 Flowmaster (V7) 可对管道长度、管径等参数进行建模误差修正,此时整体误差可控制在 $\pm 1\%$ 以内进而充分反应当前管网物理特性。

SynerGEE 可以直接导入 GIS 数据,结合 CAD 图纸对管网中的设备实现精确建模,技术人员若需构建管网模型,则可利用 SynerGEE 在短时间内完成大规模管网的可视化建模。并且 SynerGEE 可以提供逼真的三维展示,协助技术人员对当前管网空间布局及设备位置关系进行调整,整体可视化程度与传统二维图纸相较而言可提升 80% 以上。在另一方面,基于 GIS/CAD 的可视化建模技术还可协助油气管网引入可视化的管网维护及管理,具体应用当中管理人员可通过可视化模型来直接了解当前管网运行状态,以此来快速定位故障点,于应急响应当中基于可视化建模的决策

时间相比传统方法可缩短 50% 以上。

3.3 三维实景仿真技术

这类技术于实际应用当中可将二维图纸及各项数据转化为立体结构,配合调整颜色、透视、动画和观察视点参数来协助工作人员实现油气管网的全方位动态观察。从数据采集层面上来看,三维实景仿真技术依赖于高精度的数据获取,配合激光雷达扫描技术可快速且精确地获取到油气管网及其周边环境的三维空间数据。技术人员在对复杂地形中的油气管线进行扫描时,距离误差可控制在 $\pm 5\text{cm}$ 以内,角度误差在 $\pm 0.1^{\circ}$ 以内。倾斜摄影测量技术在油气管网当中使用率较高,整体影像分辨率可达分米级进而清晰捕捉到管道的走向、附属设施的位置等细节信息,以此来为后续三维实景模型搭建工作提供数据基础。

三维实景仿真技术能够协助规划人员在三维实景模型中进行虚拟的管道铺设和方案比选,配合模拟不同管道走向及布局方案来评估当前油气管网在后期应用当中容易出现的各类问题。从各项数据上来看,采用三维实景仿真技术进行规划设计能够使规划方案的制定时间缩短 30% 以上,并且方案评估当中还可精确计算出管道的长度、弯头数量等参数,此时油气管网施工运行误差可缩小至最低。

4 结语

综上所述,在对油气管网仿真技术在智能管网建设中的应用及展望进行研究时,需要相关工作者对各类技术软件展开多方位研究,逐步拓展仿真软件整体功能的过程当中,为后续油气管网仿真技术提供优化协助。

参考文献:

- [1] 宫敬,吴冕,赵周丙,等.油气管网行业大模型的思考、研究及应用[J/OL].油气储运,2025(04):11-19.
- [2] 童伟杨.基于 MATLAB 的高压燃气管网动态模拟[D].武汉:华中科技大学,2022(11).
- [3] 邓家胜,何旺达,余波,等.混输管网冬季常温集输工艺仿真与应用研究[J].系统仿真技术,2023,19(02):162-169.
- [4] 李姗姗.基于 TGNET 软件的某天然气管网能量计量方法研究[D].北京:中国石油大学(北京),2022(06).
- [5] 史博会,王玮,李玉星,等.油气长输管道仿真技术研究进展与发展趋势[J].油气储运,2021,40(4):361-372.

作者简介:

周泓宇(1987-),男,汉族,四川遂宁人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:地面集输。