

阀室气体泄漏模拟与应急疏散路径规划

郭嘉 陈蕴恺

国家石油天然气管网集团有限公司华中分公司

【摘要】本文旨在通过对阀室气体泄漏模拟和应急疏散路径规划进行研究,为减少泄漏事故的危害提供科学依据。文中分析了当前阀室气体泄漏和应急疏散路径规划的现状,讨论了存在的问题,包括气体泄漏模拟精度不足、模拟时间较长、模拟结果不确定性高,以及应急疏散路径规划不合理、缺乏动态调整能力、应急预案执行困难等。针对这些问题,提出了相应的解决办法,如优化物理和数学模型、应用先进的算法、定期演练和提高公众应急意识等。

【关键词】阀室气体泄漏; 应急疏散路径规划; 模拟精度优化

Simulation of valve chamber gas leakage and emergency evacuation path planning

Guo Jia Chen Yunkai

National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., LTD

【Abstract】This paper aims to provide a scientific basis for reducing the harm of leakage accidents by studying the gas leakage simulation of the valve chamber and the emergency evacuation path planning. This paper analyzes the current situation of valve chamber gas leakage and emergency evacuation path planning, and discusses the existing problems, including insufficient simulation accuracy, long simulation time, high uncertainty of simulation results, unreasonable emergency evacuation path planning, lack of dynamic adjustment ability, and difficulty of emergency plan implementation. For these problems, corresponding solutions are proposed, such as optimizing physics and mathematical models, applying advanced algorithms, practicing regularly, and raising public awareness of emergency response.

【Key words】gas leakage in valve chamber; emergency evacuation path planning; simulation accuracy optimization

引言

随着工业化进程的不断推进,阀室作为控制和调节管道流体的重要设备,其安全性日益受到关注^[1]。然而,阀室内气体泄漏事故频发,不仅严重威胁着现场人员的生命安全,还可能导致环境污染和经济损失。因此,如何有效地模拟阀室气体泄漏及规划合理的应急疏散路径,成为亟待解决的重要问题。

1 阀室气体泄漏情况概述

阀室气体泄漏事故频发,常见的泄漏类型包括密封失效、阀体结构破损和连接部位泄漏,泄漏的气体种类多样,如有毒有害气体、可燃气体和窒息性气体,均对人员和环境构成严重威胁^[2]。泄漏事故的主要原因包括设备老化、维护不当、操作失误及环境因素等影响,导致的后果往往广泛且严重,容易造成如人员伤亡、环境污染、经济损失等重大的社会影响。因此,研究并优化阀室气体泄漏的模拟与应急疏

散路径规划,对提升安全管理水平和减少事故损失具有重要意义。

2 现有气体泄漏模拟技术

现有气体泄漏模拟技术包括物理模型、数学模型和计算流体力学(CFD)模拟工具,已广泛应用于研究气体泄漏行为和评估泄漏影响。物理模型通过实验获取数据,数学模型利用高斯烟羽模型和扩散方程模型进行计算,而CFD模拟工具如ANSYS Fluent、OpenFOAM和COMSOL Multiphysics则提供高精度的数值模拟。然而,这些技术仍存在模拟精度不足、计算时间较长和结果不确定性等局限性,需进一步优化和改进。

3 应急疏散路径规划工作发展现状

目前针对气体泄露的应急疏散路径规划主要还是依赖静态规划方法,常用的有最短路径算法和基于图论的优化算

法^[3]。这些方法在一定程度上能够提供有效的疏散路径，但在实际应用中存在不合理性、缺乏动态调整能力等问题，导致在复杂和变化的突发事件中难以实现高效的疏散。此外，疏散路径规划的执行还受到场地条件、人员素质和应急预案完善程度等因素的影响，整体疏散效率有待提高。

4 阀室气体泄漏模拟与应急疏散路径规划面临的问题

4.1 气体泄漏模拟方面的常见问题

气体泄漏模拟方面存在多个问题，包括模拟精度不足、计算时间较长以及结果的不确定性。现有模型在应对复杂环境和多变气象条件时常显得力不从心，导致模拟结果与实际情况存在偏差。此外，高精度模拟通常需要大量的计算资源，造成计算时间较长，影响实时性和效率。模拟结果的可靠性也受到初始条件和边界条件不确定性的影响，进一步制约了其应用效果。

4.2 应急疏散路径规划方面的常见问题

应急疏散路径规划方面面临的问题包括路径规划的不合理性、缺乏动态调整能力和预案执行困难。传统的路径规划方法多基于静态模型，无法及时应对突发事件中环境和条件的变化，导致疏散路径可能不符合实际需求。此外，实际执行过程中，疏散计划往往受到场地布局、人员行为和预案完善程度的影响，难以达到预期的疏散效率和安全效果。

5 阀室气体泄漏模拟优化策略

5.1 提高气体泄漏模拟精度

提高气体泄漏模拟精度一般可以通过优化物理和数学模型、改进计算工具和方法来实现。首先，气体泄漏模拟应更新和改进泄漏模拟中的物理和数学模型，确保其可以更为准确地反映气体的物理性质和流动行为，包括气体的扩散、沉降和混合特性等现象。其次，利用先进的计算流体力学（CFD）工具，可以有效提升计算精度和模拟效率，例如引入更高分辨率的网格和更精细的边界条件设置。最后，通过多场景模拟和数据验证，可以增强模型的可靠性和结果的确性。这些措施共同作用，可以显著提高气体泄漏模拟的精度，帮助更好地预测和管理泄漏风险。

5.2 缩短模拟时间

缩短气体泄漏模拟时间对于提高应急响应的效率至关重要，而要实现这一目标，一般可以通过优化计算方法和应用高效算法来有效降低模拟时间。其中，优化计算方法是缩短模拟时间的关键一步。在优化计算方法的时候，简化模型

是一个相对有效的手段，例如，通过减少不必要的细节和降低模型复杂度，可以显著降低计算负荷。在保证模拟精度的前提下，简化几何模型或忽略次要物理过程，可以加快计算速度。此外，采用多尺度建模技术将复杂系统拆分为多个较小的子模型进行逐一计算，然后整合结果，这样可以更高效地处理复杂情况，减少整体计算时间。高效算法的应用也是缩短模拟时间的重要策略。采用近似算法，如经验模型或降阶模型，可以在较短时间内生成足够准确的模拟结果。例如，利用快速计算的体验模型代替复杂的数值解法，或者引入自适应网格技术，根据气体流动的实际变化动态调整网格密度，从而在保证精度的同时减少计算量。

5.3 增强模拟结果的确性

增强模拟结果的确性可以通过改进模型输入、进行多场景模拟和加强数据验证来实现。具体措施包括：改进模型输入→确保输入参数（如气体性质、泄漏速率、环境条件等）测量准确→对模型进行校准，使用高分辨率和高准确度的数据来源减少模拟误差→进行多场景模拟，在不同初始条件和边界条件下评估各种可能的泄漏情景和环境变化，开展敏感性分析，识别和量化模型参数对结果的影响程度→加强数据验证，将模拟结果与实际实验数据进行对比，利用历史泄漏事故的数据进行验证→使用不确定性量化方法，如应用蒙特卡罗方法进行不确定性分析，采用贝叶斯推断方法将先验知识与数据融合，提高预测准确性和结果的确性。

6 应急疏散路径规划完善对策

6.1 采用先进的算法

现代城市环境相对复杂、人口密集程度相对较高，一旦发生阀室气体泄漏，后果不堪设想，因此，优化应急疏散路径就成为解决气体泄露问题的关键举措之一。在优化应急疏散路径之时，可以采用如遗传算法、粒子群算法和蚁群算法等先进的算法，提高疏散路径的规划效率和准确性，确保在紧急情况下人员能够迅速、安全地疏散。其中，遗传算法可以模拟自然选择和遗传机制，通过生成多个初始疏散路径方案，并通过选择、交叉和变异操作逐代优化这些路径。遗传算法的全局搜索能力可以有效避免陷入局部最优解，其可以综合考虑人员密度、通行能力和安全因素，找到更合理的疏散路径。粒子群算法则可以模拟鸟群觅食行为，通过调整群体中各个粒子的位置和速度，逐步逼近最优解。算法中的每个粒子代表一个潜在的疏散路径方案，粒子通过相互学习和合作，共同找到最优路径。其简单易行和快速收敛的特点，特别适用于大规模路径优化。在动态应急环境中，粒子群算

法可以迅速响应和调整,保持疏散路径的最优状态。而蚁群算法则可以模拟蚂蚁觅食行为,通过蚂蚁之间的信息传递和路径选择,逐步找到最优解。蚁群算法的分布式计算和自适应能力使其在复杂多变的环境中具有较高的鲁棒性。通过调整信息素的挥发和更新机制,蚁群算法可以更为灵活的应对不同应急情境,优化疏散路径规划效果。

6.2 加强动态调整能力

在应急疏散路径规划中,加强动态调整能力是提高疏散效率和安全性的关键策略之一。因为在突发事件中,环境和状况的变化往往迅速而猛烈,静态疏散路径规划基本难以满足实际需求,故此,我们需要通过整合实时监测数据,才能够更为大幅的提升动态调整能力。其中,整合实时监测数据是动态调整的基础。现代技术可以帮助我们更快的获取包括人员位置、环境变化和通道阻塞等实时数据。这些数据可以通过物联网传感器、监控系统和移动设备收集,并传输到中央控制系统。实时数据的整合可以帮助系统迅速识别和评估现场情况,及时发现潜在危险和阻塞点,并实时更新疏散路径,确保人员选择最安全和畅通的疏散路线,从而大幅提升应急疏散路径规划的动态调整能力。在实际应用中,这种动态调整能力可以更为有效的应对复杂多变的环境,确保人员在最短时间内选择最安全的疏散路径,提高疏散效率 and 安全性。

6.3 优化预案执行

在应急疏散路径规划中,优化预案执行是确保疏散有效性和安全性的关键环节。通过定期演练、提高公众和员工的应急意识、优化应急设施和设备,以及建立持续改进机制,可以显著提高应急预案的执行效果。其中,定期演练和评估是优化预案执行的重要手段。定期组织各种类型的应急演

练,包括全员疏散演练和针对特定事故的专项演练,可以检验预案的实际有效性和执行情况。演练后进行详细评估,分析发现的问题,并根据评估结果调整和改进应急预案,可以确保预案能够在实际紧急情况下有效运行。同时,要建立持续改进机制,确保预案能够不断适应新的挑战和需求。比如,可以建立问题反馈机制,鼓励人员报告实际执行中的问题和反馈,及时调整和优化应急预案。根据演练和实际事故的反馈,持续更新和完善应急预案,提升其适应性和实效性。也可以通过分析历史数据和最新技术发展,预见可能的突发事件类型和变化趋势,提前做好准备。

7 结论

为了充分提高阀室气体泄漏事故处理的有效性和安全性,本文针对阀室气体泄漏模拟与应急疏散路径规划工作进行了详细研究,针对现有技术和方法的瓶颈问题,提出了相应的优化策略。通过对现有气体泄漏模拟技术和应急疏散路径规划的现状及问题的分析,本研究发现现有技术在模拟精度、计算效率、路径规划合理性和应急预案执行等方面存在一定的局限性。因此,针对气体泄漏模拟方面存在的问题,本研究认为可以通过优化模型、提高计算效率和增强结果确定性等措施,来改进模拟精度,缩短模拟时间,并提高模拟结果的可靠性。而对于应急疏散路径规划方面存在的问题,本研究建议采用更为先进的规划算法、加强动态调整能力和优化预案执行等策略,来充分提升事故疏散的效率性和安全性。未来的研究可以继续关注这些技术的应用和发展,从而探索更高效、更精准的解决方案。

参考文献

- [1]贾文龙,温川贤,杨明,黄军,吴瑕,李长俊. 掺氢天然气输送管道阀室泄漏扩散规律研究[J]. 油气与新能源, 2021, 33 (06): 75-82.
- [2]单克. 基于数据统计及情景模拟的燃气管道定量风险评价方法研究[D]. 中国石油大学(北京), 2019.
- [3]刘墨山. 川渝地区含硫天然气管道泄漏事故后果模拟研究[D]. 中国地质大学(北京), 2010.