

仿真计算与模拟演练在提升管道应急管理中的应用

刘刚¹, 唐振维², 刘锐¹, 秦阳¹, 余春雨¹, 杨放¹

1. 中石油中亚天然气管道有限公司, 北京 102206

2. 中国石油集团东南亚管道有限公司, 北京 102206

摘要 : 随着管道运输在能源供应领域的重要性不断提升, 管道安全面临的挑战日益复杂。本研究旨在阐述仿真计算与模拟演练在管道应急管理中的应用, 详细介绍其功能特点与操作流程, 探讨如何为应急决策提供科学依据、增强人员应急能力以及优化资源配置, 以提升管道应急管理的整体效能, 保障管道系统安全稳定运行。

关键词 : 管道应急管理; 仿真计算; 模拟演练; 应急决策

Application of Simulation Calculation and Simulation Drill in Improving Pipeline Emergency Management Capability

Liu Gang¹, Tang Zhenwei², Liu Rui¹, Qin Yang¹, Yu Chunyu¹, Yang Fang¹

1. Trans-Asia Gas Pipeline Company Limited, Beijing 102206

2. China National Petroleum Corporation Southeast Asia Pipeline Company Limited, Beijing 102206

Abstract : With the increasing importance of pipeline transportation in the field of energy supply, the challenges faced by pipeline safety are becoming more complex. This study aims to elaborate on the application of simulation calculation and simulation drills in pipeline emergency management, introduce its functional characteristics and operating procedures in detail, and explore how to provide a scientific basis for emergency decision-making, enhance personnel emergency response capabilities, and optimize resource allocation, in order to improve the overall effectiveness of pipeline emergency management and ensure the safe and stable operation of the pipeline system.

Keywords : pipeline emergency management; simulation calculation; simulation drill; emergency decision-making

引言

管道作为能源运输的重要方式, 其安全运行对于保障能源供应至关重要。然而, 管道面临着诸多风险, 如自然灾害、第三方破坏等, 一旦发生事故, 可能造成严重后果。在这种背景下, 有效的应急管理措施成为确保管道安全的关键^[1-2]。油气气长输管道应急管理面临挑战, 环境复杂使事故处理难度大, 预案不切实际且执行流于形式, 人员应急能力不足, 这些问题制约着应急管理水平提升, 亟待解决以保障管道安全运行^[3]。仿真计算与模拟演练作为管道应急管理的重要手段, 能够帮助管理者提前预测事故后果、制定合理的应急策略、提升人员应急响应能力, 从而最大限度地减少事故损失, 保障管道系统的安全稳定运行。

一、仿真计算在管道应急管理中的应用

(一) 天然气扩散分析

1. 模型投放原理与操作流程

在管道应急管理系统中, 进行天然气扩散分析时, 首先进入仿真计算→天然气扩散分析页面(如图1)。页面左侧的GIS面板具备多种功能和工具, 如基础图层、管道图层等图层信息展示, 以及长度、面积测量等工具。在小GIS中, 通过单击扩散模型图标, 可在地图上选取投放扩散模型的位置(如图2)。系统会自动读取模型参数, 用户可进一步调整扩散方向、风速、投放高度等

参数后点击投放按钮(如图3)。

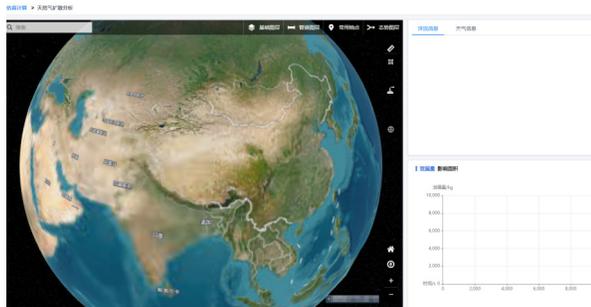


图1: 天然气扩散分析



图2: 天然气扩散模型投放

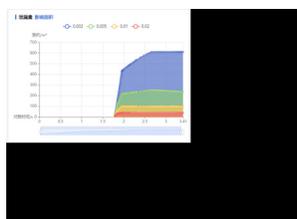


图3: 天然气扩散模型

2. 数据统计与分析功能

模型投放后, 页面会根据预选的扩散模型及其参数进行渲染, 将扩散模型投放在三维场景中。下方时间轴可以播放, 用户可观察扩散模型随时间变化的情况, 且扩散模型动画播放速率可调整, 时间轴可拖动。同时, 系统会根据事发地点和扩散模型影响计算泄漏量统计图和影响面积统计图, 并在页面右下角显示。这些统计数据能直观地反映天然气泄漏后的扩散范围和泄漏量变化趋势, 为应急决策提供重要的数据支持。

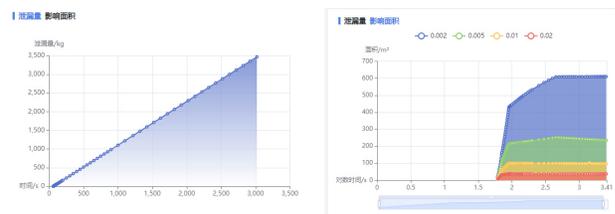


图4: 天然气泄露量和影响面积

(二) 原油扩散分析

1. 模型投放操作步骤

进入原油扩散分析页面(仿真计算→原油扩散分析), 其页面布局与天然气扩散分析页面类似(如图5), 左侧GIS面板同样具备丰富功能。在投放原油扩散模型时, 单击扩散模型图标后, 在地图上选取投放位置, 选择相应的扩散模型(如原油管道水上泄漏等模型), 并调整扩散方向、泄漏孔径、投放高度等参数, 最后点击投放按钮(见图6)。

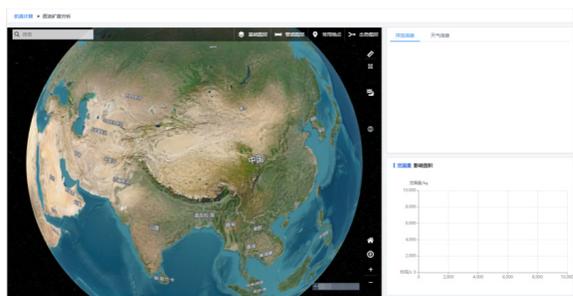


图5: 原油扩散分析



图6: 原油扩散模型投放

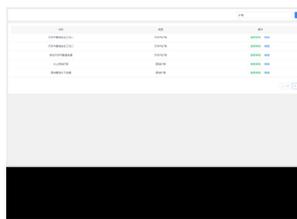


图7: 原油扩散模型

2. 数据统计与分析应用

模型投放后, 同样可通过时间轴观察扩散模型随时间的变

化, 动画播放速率和时间轴操作与天然气扩散分析类似。页面右下角会显示根据事发地点和扩散模型影响计算的泄漏量统计图和影响面积统计图。这些数据有助于评估原油泄漏对周边环境的影响, 从而为制定针对性的应急措施提供依据, 如部署油污清理设备、设置围油栏的范围等。

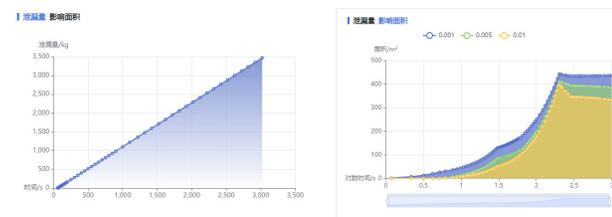


图8: 泄漏量和影响面积

(三) 仿真计算对管道应急决策的支持

1. 提供数据依据

无论是天然气扩散分析还是原油扩散分析, 所生成的泄漏量、影响面积等数据统计结果, 都能为应急决策提供精确的数据支持。在事故发生前, 通过模拟不同场景下的泄漏情况, 管理者可以了解到不同事故规模下可能造成的影响范围, 从而提前规划应急资源的配置。在事故发生时, 实时的仿真计算结果可以帮助指挥人员快速评估事故的严重程度, 及时调整应急策略。

ID	名称	类型	操作
1	天然气管道泄漏模型一	天然气扩散	查看数据 删除
2	天然气管道泄漏模型二	天然气扩散	查看数据 删除
3	海上原油泄漏模型	天然气扩散	查看数据 删除
4	水上原油泄漏	原油扩散	查看数据 删除
5	原油管道水下泄漏	原油扩散	查看数据 删除

图9: 模型数据管理

2. 优化资源配置

根据仿真计算得出的不同事故情况下的资源需求预测, 管道运营企业可以优化应急资源的配置。同时, 通过对不同事故场景的模拟, 企业可以合理规划应急救援队伍的驻扎地点和巡逻路线, 确保在事故发生时能够迅速响应, 提高资源利用效率, 减少事故损失。

二、模拟演练在管道应急管理中的应用

(一) 演练模拟考核功能

1. 导演组功能与操作

在管道应急模拟演练中, 导演组起着关键的管理作用。其操作流程如下: 首先, 进入演练模拟考核页, 利用搜索栏和添加按钮管理演练项目(如图10)。添加模拟演练时(如图11), 先填基本信息, 涵盖名称、时间、地点(可地图选点获坐标)、类型、主题及参演单位等, 随后进入条件设置(如图12)。在此环节, 可设天气与环境、参演人员(含考核与专家组, 能添加成员并设专家组评分算法)及考核方式等。完成上述设置后进入启动演练

步骤，导演组能在 GIS 系统页面按需添加应急资源、态势图等提升演练针对性，还可点击“题目”按钮设定答题时间与内容，发布后完成考核设置，且可随时查看实施组答题与专家组评审情况。



图 10: 模拟演练考核（导演组）



图 11: 模拟演练添加 - 基本信息



图 12: 模拟演练添加 - 条件设置



图 13: 演练页面（导演组）

2. 实施组功能与操作

实施组为被考核角色。登录系统后，在模拟演练→模拟演练考核页面（如图 14），可通过搜索栏查找相关模拟演练项目，选择一项后点击右侧操作列的演练按钮进入演练页面（如图 15）。在演练页面中，实施组可以看到导演组设置的模拟演练场景，包括基本信息以及 GIS 中应急资源、态势图等各类信息。点击右上角“题目”按钮，右侧弹出答题面板（如图 16），可看到导演组设置的答题倒计时，点击题目右侧的“回答”按钮进行解答，答题除文本外还可上传附件补充内容，作答完当前题目点击确定保存答案，答案可在答题时限内修改，所有题目作答完毕后点击“提交”按钮完成模拟演练，此时不能再修改答案，倒计时停止。

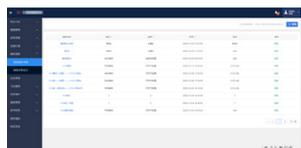


图 14: 模拟演练考核（实施组）



图 15: 演练页面（实施组）

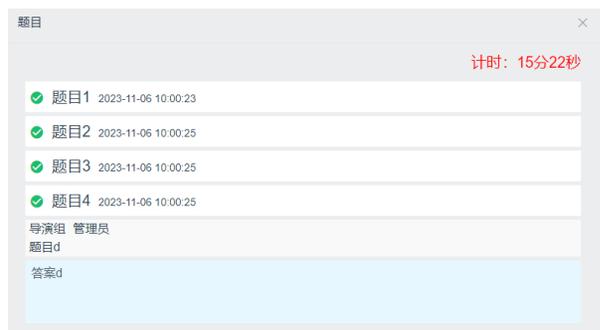


图 16: 实施组答题页面

3. 专家组功能与操作

专家组担任评审角色。登录系统后，在模拟演练→模拟演练考核页面点击对应的“演练”按钮进入模拟演练页面（如图 17），可查看导演组设置的演练场景信息。点击右上角“题目”按钮，右侧弹出答题面板，点击“评分进行中”可看到导演组设置的题目以及实施组的作答，专家组在下方进行打分和点评，评分完成后点击提交。之后返回答题面板，评分栏会显示实施组人

员的答题分数。

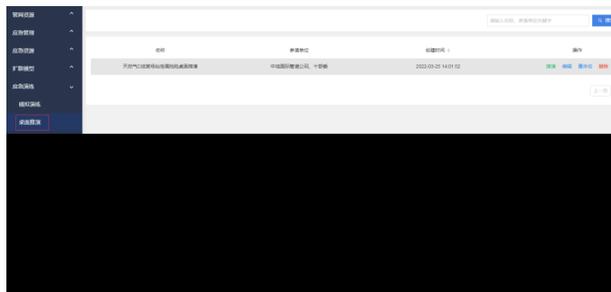


图 17: 模拟演练考核（专家组）

（二）演练效果设计功能

1. 推演内容编辑与管理

在桌面推演模块（如图 18），支持对演练内容的添加、编辑、推演播放、删除、重命名和模糊搜索。单击【添加】按钮，先输入推演的名称和参演单位，单击【重命名】按钮可修改名称。单击【编辑】按钮进入推演编辑界面，左侧为推演时间节点的目录树，右侧为各节点展示内容。单击推演名称后面的【新增】按钮创建推演的第一个时间节点并描述主要内容，之后为该节点及后续节点添加推演内容，推演内容支持调阅态势图、添加文本、上传图片、视频和附件等多种形式。



图 18: 桌面推演

2. 推演演示与应用价值

添加完成推演内容后，返回桌面推演列表页，单击【推演】按钮可在新开页进入推演演示界面。在演示界面中，可按照设定的时间节点顺序展示演练内容，包括事故发生、应急响应启动、抢险过程、收尾总结等各个环节。通过这种方式，参演人员可以更加直观地了解整个应急处置流程，发现其中存在的问题和不足之处，从而对应急预案进行优化和完善，提高应急处置的效率和效果。

（三）模拟演练对管道应急人员能力提升的作用

1. 增强应急响应能力

通过模拟演练，应急人员能够在虚拟环境中熟悉各种事故场景下的应急响应流程，有助于提高他们在实际事故发生时的反应速度。专家组在评审过程中也能深入了解应急处置的各个环节，从而在实际指导中更加准确和及时。在反复的演练过程中，应急人员能够逐渐克服紧张情绪，熟练掌握应急设备的操作方法，提高信息传递的准确性和及时性，从而在真正的事故发生时能够迅速、有效地开展应急响应工作^[4]。

2. 提升团队协作能力

模拟演练通常涉及多个部门和不同角色的人员参与，如导演组、实施组、专家组以及可能涉及的管道运营、维修、安全管理等部门人员。在演练过程中，各部门和人员之间需要密切配合、协同工作。通过这种方式，不同部门和人员之间能够更好地理解彼此的职责和 workflows，加强沟通与协作，提高团队整体的应

急协作能力，确保在实际事故应急处置中能够形成高效的工作合力。

三、仿真计算与模拟演练的应用效果评估指标与方法

(一) 评估指标体系构建

为科学评估仿真计算与模拟演练于管道应急管理的成效，应构建多维度评估指标体系。对于仿真计算，从模型准确性、数据及时性及决策支持有效性等评估；模拟演练则考查参演人员知识掌握、技能提升、团队协作效率与预案完善程度等。同时，考量整个应急管理体系应用后的事故发生率、损失减少程度等宏观指标，以全面、客观评价其作用，为优化改进提供依据^[7-8]。

(二) 评估方法选择与应用

可以采用多种评估方法，了解他们对其应用效果的主观感受

和建议。运用实地观察法，在模拟演练过程中观察参演人员的操作行为、团队协作情况等。对于仿真计算的模型准确性等指标，可以利用层次分析法等多指标综合评价方法，对各个评估指标进行权重分配，综合计算得出仿真计算与模拟演练的应用效果评估值，以便全面、客观地评价其在管道应急管理中的作用，并为进一步改进和优化提供依据。

四、结论与展望

仿真计算以精准模型和数据分析助力应急决策、优化资源配置。模拟演练从人员能力着手，增强应急响应与团队协作能力。二者集成应用提升管道应急管理整体效能，实现各环节高效协同。未来，可借助大数据、人工智能等先进技术，有望进一步提升其应用水平，为管道安全稳定运行筑牢根基。

参考文献

- [1] 朱志博. 石油输送管道泄漏应急处置分析 [J]. 石化技术, 2021, 28(3): 167-168.
- [2] 张大勇, 姚佳林. 油气管道维修抢修技术进展 [J]. 化工设计通讯, 2018, 44(5): 55.
- [3] 赵东辉, 张金辉, 王志鹏. 油气管道运输泄漏分析及其应急管理机制 [J]. 辽宁石油化工大学学报, 2018, 38(4): 68-71+86.
- [4] 国静. 油气管道企业长输油气管道突发事件应急管理能力评价 [D]. 成都: 西南石油大学, 2015.
- [5] 王嘉乐. 天然气长输管道管存模拟仿真及计算研究 [D]. 陕西: 西安石油大学, 2023.
- [6] 禹浩. 天然气管道风险分析及应急管理 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46(3): 235-236.
- [7] 沙黎明. 天然气长输管道应急管理探究思考与探讨 [J]. 化工管理, 2020(6): 210-211.
- [8] 欧勇. 油气管道运输泄漏及其应急管理机制 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46(5): 111-112.