

大型 LNG 接收站泄漏事故灾害效应分析与预测

孙 洋 (中石油大连液化天然气有限公司, 辽宁 大连 116600)

摘 要: 本文主要分析了大型 LNG 接收站泄漏事故灾害效应及预测相关内容, 目的是确保大型 LNG 接收站可安全平稳运行, 避免灾害事故的发生。如下表述。

关键词: 大型 LNG 接收站; 泄漏事故; 灾害效应; 分析与预测

LNG 具有较高的危险性, 近年来由于 LNG 导致的灾害事故多达数十起。因此储存和运输 LNG 过程中的安全问题被业界人士尤为关注。本文选取某个大型 LNG 码头为例, 分析大型 LNG 接收站泄漏事故灾害效应, 详细研究情况如下。

1 数值计算方法有效性验证及分析

本次所采用的计算软件为 FLACS 软件, 该软件可以模拟 LNG 爆炸扩散情况, 且任何环境参数不被改变。知识对边界条件、持续时间、计算步长以及点火时刻等作出相应改变, 求解扩散结果。该软件模拟 LNG 爆炸扩散效应准确性较高。可对计算结果进行有效性验证。FLACS 软件实验涉及的主要参数如下, 实验编号 Falcon1 泄漏速率为 201kg/s、泄漏时间 130s, 环境温度 32.7℃、平均风度 1.7m/s, 风角向量 (6.10, -1); Falcon2 泄漏速率为 133kg/s、泄漏时间 154s, 环境温度 34.8℃、平均风度 4.1m/s, 风角向量 (17.3, 1); Falcon3 泄漏速率为 61kg/s、泄漏时间 300s, 环境温度 31.2℃、平均风度 5.1m/s, 风角向量 (10.19, -1)。LNG 泄漏最大浓度实验值与数值计算预测值比较情况如下, Falcon1 在下风向距离 50m 时, LNG 泄漏最大浓度体积分数在 1m 时的实验值为 22.6%, 预测值为 19.2%, 5m 时的实验值为 17.4%, 预测值为 13.3%; 在下风向距离 150m 时, LNG 泄漏最大浓度体积分数在 1m 时的实验值为 11.4%, 预测值为 11.0%, 5m 时的实验值为 0.7%, 预测值为 1.2%。

2 构建数值计算模型并设置计算参数

本次研究的某大型 LNG 接收站出现了罐体破裂的问题。罐底的潜液泵将 LNG 向外输送时, 储液罐低温出液管道受多种因素的影响会破损或断落, 导致 LNG 从罐体中泄漏出来。在设置 LNG 泄漏扩散数值计算参数时, 要采取低速泄漏类型, 其原因是 LNG 蒸发产生的气云扩散速度不高。在设置边界条件时需要将无反射 Plane-Wave 边界条件设置到每个边界上, 对 LNG 气云无风自由扩散情况进行模拟。

3 分析数值计算结果

3.1 LNG 泄漏与扩散基本特征和规律

本次所研究的大型 LNG 接收站一共有 5 个大型储液罐。如果在无风的情况下 3 号罐为假定的漏液点。此时的可燃燃气云会出现重气严重扩散情况。其原因是可燃燃气云一开始的温度较低, 密度远远大于空气, 受重力的影响导致可燃燃气云最先在地面堆积, 且分层效应出现在竖直方向上。距离地面越近, 浓度相对就越高。因此爆炸危险性主要集中在地面高度。此外, 加上罐体和罐区围堰的阻挡作用, 可燃燃气云不会出现立马沿着壁面爬升、飘逸的问题, 但是可燃燃气云可以沿着障碍物扩散, 堆积的一定浓度之后开始溢

出围堰。

3.2 常风条件下 LNG 气云扩散灾害效应

如果本次研究的大型 LNG 接收站常年风速在 4.3m/s 左右, 风向为 45°。LNG 泄漏后会形成可燃燃气云, 可燃燃气云形成初期受到重气扩散沉降的作用, 会在围堰附近地面处扩散。但是扩散极不规则, 其原因是受到了围堰、储罐以及风的影响。围堰竖直方向的可燃燃气云有明显的分层, 且距离地面越近, 可燃燃气云的浓度越高。LNG 接收站泄漏后会进一步扩散, 形成窒息气云。储罐区范围内是窒息气云主要分布区域, 窒息气云的形成速度较快, 窒息气云向储罐爬升时受到风的作用会很快稀释, 因此在储罐竖直方向上窒息气云浓度分层较为明显。

3.3 LNG 接收站泄漏与扩散受泄漏点位置的影响

本次所研究的大型 LNG 接收站, 若为单一泄漏, 且储罐 35m 处为泄漏点位置, 如果泄漏 5min 后立即停止。此时接收站风速在 4.3m/s, 风向 45°。所有泄漏点泄漏 5min 后, LNG 气化形成可燃燃气云, 此时浓度大于 5%, 可燃燃气云逐渐扩散开来。采取溢出罐区围堰最远距离来对 LNG 泄漏扩散后灾害效应进行评价。结果发现在风速 4.3m/s, 风向 45° 的条件下, 形成可燃燃气云面积较大且在围堰处堆积较厚的是 1 号储罐, 1 号储罐泄漏出来的 LNG 形成的可燃燃气云有部分溢出围堰, 21.4m 为最大溢出距离。3 号储罐可以对可燃燃气云形成阻挡的作用。3 号储罐一翼的可燃燃气云会向 2 号储罐扩散。2 号储罐泄漏的 LNG 形成的可燃燃气云会在围堰内扩散流动, 但是此时的云图案分布普遍不厚。3 号储罐的 LNG 泄漏后受到风的运输作用, 接收站左侧围堰处会堆积很多的可燃燃气云, 并向接收站设备的操作区溢出, 此时 51.4m 为左侧围堰溢出可燃燃气云最远的距离。4 号储罐的 LNG 泄漏后, 受到 3 号储罐的阻挡作用, 可以绕开 3 号储罐并扩散到左上角和左下角, 并沿着左下角围堰溢出。4 号储罐受到阻挡作用, 在风的影响下侧罐区围堰会堆积大量的可燃燃气云, 可燃燃气云距离围堰下侧最远距离为 43.4m。

3.4 LNG 接收站泄漏与扩散灾害效应敏感性受风和围堰的影响

本次研究选取的风向分别是 45°、90° 和 135°, 对应的风速为 0.90m/s、4.40m/s、9.35m/s。在围堰高度为 5m 的基础上又设置了 4m 和 6m, 定量分析 LNG 气云扩散情况, 详细数值分析结果见表 1 和表 2。

表 1 5min 时刻不同影响因素下最大可燃距离统计图

最大可燃 距离 /m	风向			风速 / (m·s ⁻¹)			围堰高度 /m		
	45°	90°	135°	0.9	4.4	9.4	4	5	6
X ⁺	150	155.0	75	197	125.0	133	142	125.0	108.0

X ⁻	82	104.0	212	205	82.0	26	56	82.0	87.0
Y ⁺	121	103.5	106	113	103.5	110	112	103.5	103.5
Y ⁻	156	178.0	137	168	156.0	43	205	156.0	173.0

表 2 5min 时刻不同影响因素下最大窒息距离统计图

最大窒息距离 /m	风向			风速 / (m·s ⁻¹)			围堰高度 /m		
	45°	90°	135°	0.9	4.4	9.4	4	5	6
X ⁺	61.5	61.5	5.0	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5
X ⁻	67.0	57.0	102.0	127.0	67.0	2.0	7.0	35.0	32.0
Y ⁺	102.0	57.0	97.0	103.5	103.5	103.5	89.0	103.5	103.5
Y ⁻	68.0	84.0	83.0	153.0	75.0	36.0	81.0	68.0	83.0

3.5 爆炸灾害效应受可燃气云意外点火的影响

本次研究的大型 LNG 接收站,可燃云覆盖情况受围堰高度的影响较大。因此在围堰高度为 4m,且处于常风的情况下计算爆炸流场。受到风和围堰的影响扩散的可燃气云会形成气云团,如果点火位置为可燃气云浓度较高处,此时在 5min 时进行点火爆炸。对可燃气云爆炸冲击波产生的威力进行分析,模拟结果表明,1.01bar 为意外点火爆炸造成的最大超压,该压力下可促使爆炸核心区域内工作人员当场死亡,且摧毁建筑物。

4 结论

重气扩散性是 LNG 泄漏形成气云扩散的主要特征,可

燃气云受到重力沉降特性的影响,最先在地面堆积,并且在竖直方向上呈现出明显的分层效应。距离地面越近浓度越大。建筑物、风会对可燃气云扩散产生影响,LNG 泄漏产生的窒息区域主要集中在储罐泄漏事故附近,但是窒息区范围相对较小。可燃气云覆盖范围内危险系数极高,可导致人员直接死亡。

参考文献:

- [1] 王志寰,李成兵,周宁.大型 LNG 接收站泄漏事故灾害效应分析与预测[J].天然气工业,2019,39(5):145-153.
- [2] 俞志东,吴建林.大型 LNG 储罐泄漏事故后果分析[J].广东石油化工学院学报,2016,26(4):90-94.
- [3] Alain Goy,Patrice Andre,Philippe Bouchy.LNG LEAK DETECTION BY INFRARED THERMAL CAMERA INSTALLATION AT FOS-CAVAOU TERMINAL[C].//17th International Conference and Exhibition on Liquefied Natural Gas 2013 (LNG 17): Houston, Texas, USA, 16-19 April 2013, Volume 3 of 3.2014:1930-1933.

作者简介:

孙洋(1988-),男,汉族,辽宁盖州人,本科学历,工程师。研究方向:液化天然气接收站储运与输送。

(上接第 20 页)的管理标准,保证了城市燃气管道的安全运行。

3 管道完整性管理展望

近年来我国越来越重视智慧型能源发展,并颁布了《能源生产与消费革命战略》,对未来能源提出了全面部署,能源发展将迈上新的台阶。以自动化控制系统、无线通信系统、大数据运行系统、云计算系统、人工智能系统等全新的信息技术将为智慧型能源发展提供技术保障。目前,城市燃气管道正在传统的信息数字化向智能化迈进,因此数字化管理、可视化管理、智能化管理将是未来智慧型燃气发展的主要技术依据。

3.1 数字化

通过管道结构所提前装置的各种数据监测系统,包括泄漏、变形的影像勘察,以及阴保数据采集以及 GIS 系统体现的数据信息,综合掌握管道运行的相关通讯、自控乃至工艺信息,实时掌握设备状态,并结合分布图所显现的地理位置所处环境信息,设备运行参数,AI 影像采集。制定标准的管道数据检测规范和运行标准,不断规范管道数据信息与管道内部结构相吻合。

3.2 可视化

管道可视化是将管道内部主体结构,以管道内部空间为坐标,从阀室阀井到三桩一牌,地质灾害关键点,人口稠密状况,建筑物分布等一系列数据与管道主体相嵌合,实现 AI 视觉效果。因此要采取二维或者三维的可视化科学技术,将基础管道信息及周边的辅助设施,数据维保信息,地质环境信息,运行信息数据进行归纳和总结;结合燃气管道主体,以阀室阀井、焊接缝隙、弯头部件等为重要考

核参数,将管道数据一一整合,燃气管道的动态数据将于管道实体结构完美结合,从而达到三维立体可视化管理。同时要做好各项数据的及时查询,为管道安全良好运行提供前提保障。同时应通过安全风险评估和完整性评价进行科学系统分析管道安全情况,科学判断管道发展前景,精准计算出管道剩余使用年限,全面掌控燃气管道的安全运行情况,实现管道安全预警,可视化指挥燃气管道的应急处置程序。

3.3 智能化

以燃气管道的数字化和智能化为契机,综合评估管道运行的安全系数和经济价值,建立智能决策辅助系统。将 SCADA、GIS 以及风险评估等燃气管道相关运行系统进行整合分析,并与管道应急处置相关资源相连接,依据管道体现的动态信息和体现的风险评估结果,准确把控管道风险。进而形成最佳的决策方案,包括维修方案在内的建议、计划、方式等等系统性信息。帮助指导管道运行和维保,减少人为因素带来的决策失误后果。最终达到燃气管道智能化运作管理,以管道安全运行为前提来提高经济利益。

4 结语

我国城市燃气管道完整性管理建设成果显著,智能化管控系统科学的避开了人为的操作失误,有效的保证了燃气管道安全。其中云抢修系统对标了国内外先同行,通过现代化应用远程监控,视频调度等便捷方法,科学合理的运用信息数字化手段解决了传统管理弊端。

参考文献:

- [1] 卢辰菲,詹淑惠.燃气管网完整性管理的数据收集与整理[J].云南化工,2020,47(11):163-165.