

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107645

基于 FLACS 软件的 LNG 加气站储罐 泄漏扩散模型验证及模拟*

周宁¹ 霍靖¹ 李雪¹ 陈兵² 袁雄军¹ 刘俊¹

(1.常州大学石油工程学院 常州 213164; 2.中国安全生产科学研究院 北京 100000)

摘要: 研究液化天然气加气站储罐发生气相泄漏的气云扩散过程,能够得到风速、泄漏高度以及障碍物因素对 LNG 储罐泄漏扩散影响的规律。利用 FLACS 构建储罐泄漏扩散模型,借助 FLACS 的后置处理器 Flowvis,实现了可视化气体扩散模型设计,执行对各种变量的二维与三维图形输出操作,完成视频的自动化生成和数据分析。结果为风速由 2 m/s 增加至 8 m/s 时,1/2 下燃烧限度(LFL)气云下风向最远扩散距离不断增大,风速大于 8 m/s 时,1/2LFL 气云下风向最远扩散距离随着风速的增加而减小;随着泄漏高度增加至 8 m,气云下风向最远扩散距离逐渐减小;泄漏 60 s 后,1/2LFL 气云最远扩散距离为 116 m,较单罐泄漏缩短了 14 m。结果表明风速会因实际数据的变化而对气相泄漏扩散产生增大或降低的作用;泄漏高度越高则气相泄漏的距离越低;障碍物的存在一定程度上阻碍了气云向下风向的扩散,减小了爆炸危害范围。

关键词: 安全工程; LNG 储罐; 泄漏扩散; 数值模拟; 风速; 罐区; FLACS

中图分类号: TP15; TE88; X84 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6020

Numerical simulation and analysis of leakage and diffusion of tanks in LNG refueling station based on FLACS software

Zhou Ning¹ Huo Jing¹ Li Xue¹ Chen Bing² Yuan Xiongjun¹ Liu Jun¹

(1. School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China;

2. China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100000, China)

Abstract: To study the diffusion process of liquefied natural gas tank gas phase leakage, we can get the laws of wind speed, leakage height and obstacle factors on the leakage and diffusion of LNG tank. FLACS is used to build the tank leakage diffusion model. With the help of Flowvis, the post-processor of FLACS, the design of visual gas diffusion model is realized. Two-dimensional and THREE-DIMENSIONAL graphics output operation of various variables is performed, and automatic video generation and data analysis are completed. The results are as follows: when the wind speed increases from 2 m/s to 8 m/s, the maximum downwind diffusion distance of the 1/2LFL cloud increases; when the wind speed is larger than 8 m/s, the maximum downwind diffusion distance of the 1/2LFL cloud decreases with the increase of the wind speed. With the increase of leakage height to 8 m, the farthest downwind diffusion distance of gas cloud decreases gradually. After 60 s of leakage, the maximum diffusion distance of 1/2LFL gas cloud is 116 m, which is 14 m shorter than that of single tank leakage. The results show that the wind speed will increase or decrease the diffusion of gas phase leakage due to the change of actual data. The higher the leakage height is, the lower the gas phase leakage distance is. The existence of obstacles to a certain extent obstructs the diffusion of gas cloud downward wind direction, reducing the explosion damage range.

Keywords: safety engineering; LNG tank; dispersion; numerical simulation; wind speed; tank farm; FLACS

0 引言

随着天然气需求量上升,液化天然气(liquefied natural

gas, LNG)储存终端的数量迅速增加。在液化天然气储存终端建设、使用的全过程中,都需要对 LNG 潜在释放的危害进行评估^[1-2],以保证 LNG 产业链的安全性。在对 LNG

收稿日期:2021-08-19

* 基金项目:国家重点研发计划(2017YFC0806600)、江苏省高校自然科学基金项目(20KJB620004)、江苏省研究生培养创新工程(KYCX20_2576, SJCX20_0986)资助

潜在释放的危害进行评估环节,LNG 泄漏测试是其中应用最为广泛的评估方法之一。1990 年,Brown 等^[3]在加利福尼亚州进行了 5 次大型 LNG 泄漏测试,以评估蒸汽栅栏作为液化天然气意外泄漏缓解技术的有效性,并首次为障碍物下 LNG 泄漏模型验证提供了数据集。随着现代计算机技术的飞速发展,FLACS 爆炸模拟软件与 LNG 泄漏测试模拟方面的结合程度逐渐加深。2021 年,周宁等^[4]研究了风速对 LNG 泄漏扩散的影响,发现了云团扩散形态规律,并根据模拟结果得到了风速、泄漏时间与风险范围的关系;2021 年,张欣雨等^[5]通过 UDF 修正风速模型,研究了下风向轴线甲烷浓度变化,发现风速过高时,扩散路径上甲烷最大浓度随扩散距离的增大而减小。然而,在传统的利用 FLACS 进行 LNG 加气站储罐泄漏扩散模型验证的相关研究中,多主要研究风速、泄露时间等指标,对于泄漏位置、障碍物等的影响方面的研究较少。本文认为,在当前 LNG 加气站储罐的实际建设环境下,分析气相泄漏位置以及障碍物的存在对泄漏扩散模型的影响更加符合 LNG 产业的实际需求。因此,本文借助 FLACS 软件对 LNG 加气站储罐泄漏扩散模型中的风速、泄漏高度以及障碍物等指标因素进行了验证,试图填补当前相关领域的研究空白,为 LNG 产业安全运作提供借鉴。

1 分析原理与方法

1.1 分析原理

FLACS 是由挪威 Gexcon 公司研发并推出的一种以流体力学(CFD)计算技术为基础的三维后果模拟软件,在复杂工艺区域的通风、泄漏、扩散、火灾以及爆炸后果的模拟中有较为广泛的应用。现如今,FLACS 软件已经得到了很多实验的验证,在油气及过程工业领域的应用表现出明显的优势。很多国际权威标准均对 FLACS 软件表示认可,像是美国联邦法规 49 CFR193.2059,FLACS 是其唯一认可可以在 LNG 设施选址过程中所要求的全部 LNG 蒸汽扩散场景模拟中应用的 CFD 软件。

2010 年,Gavelli 等^[6]首次使用 FLACS 软件研究了液化天然气高压喷射发生闪蒸后障碍物和复杂几何形状对空气和蒸气流动的影响,确定了闪蒸事故下的气云扩散危险距离;2012 年,Ichard^[7]首次在 FLACS 模型中实现了 Euler-Lagrange 方法,从而可以在加压液化气释放的实际模拟中考虑障碍物的影响;2011 年,庄学强等^[8]首次借助 CFD 软件结合用户自编程序,实现了对大型 LNG 储罐泄漏扩散的两相泄漏数值模拟;2018 年,张祚等^[9]利用理论模型、数值模拟与实验结合,研究了 LNG 储罐泄漏气云爆炸危险范围,通过对比发现当泄漏量较小时,3 个方式下气云扩散结果基本相同;2018 年,陈兵等^[10]通过对不同地面热通量下 LNG 泄漏扩散模拟,确定了地面热通量的增加有利于减小扩散的危险范围;2019 年,王志寰等^[11]利用相对偏差率分析了风向、风速、围堰高度对 LNG 气云扩散后果

的影响,发现泄漏 300 s 内,围堰高度对可燃气云的泄漏扩散影响最大;2019 年,秦雅琦等^[12]以实际接收站储罐为原型,使用 CFD 软件模拟计算了不同障碍物情况下的储罐气云扩散特性。这些学者的相关研究基本肯定了利用 FLACS 对 LNG 储存终端泄漏分析时风向、风速等指标的影像规律。然而,对于同样能够影响 LNG 储存终端泄漏扩散的泄漏位置、障碍物等的研究尚处于空白。因此,本文的研究是在充分借鉴相关学者研究方法的基础上,对 LNG 储存终端泄漏扩散的泄漏位置、障碍物两个指标的补充。

1.2 分析方法

首先,本文将会在流体力学计算原理的指导下,FLACS 软件对有限体积法加以采用,在三维笛卡尔坐标系下求解 Navier-Stokes 控制方程组,并借助标准 $k-\epsilon$ 湍流模型执行对湍流的处理任务,获取特定区域的流场变化和化学反应过程^[13]。其次,运行 FLACS Run Manager,将 CASD 前处理软件打开,在 Geometry→Database 中进行几何模型的构建,其中对 Materials(模型颜色)、Objects(几何部件)以及 Geometry(几何组件)的建立予以涉及。最后,对搭建的模型进行验证,借助 FLACS 的后置处理器 Flowvis,实现可视化气体扩散,执行对各种变量的二维与三维图形输出操作,完成视频的自动化生成和数据分析。借助 FLACS 的后置处理器 Flowvis,可实现可视化气体扩散,同时,执行对各种变量的二维与三维图形输出操作,完成视频的自动化生成,对于结果展示及评估具有积极意义。

2 FLACS 储罐泄漏扩散模型

2.1 基本控制方程

在对储罐泄漏扩散进行模拟之时,需要按建模、网格化分、参数设置与求解计算来完成。软件对前处理模块 CASD、求解器 Runmanager 与后处理模块 FLOWVIS 予以涉及。对于后处理模块,能够一维、二维与三维可视化展示相应的计算结果。

FLACS 在模拟过程中主要对如下基本控制方程予以遵循:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varphi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\mu_i\rho\varphi) - \left[\rho\Gamma_{\varphi} \frac{\partial}{\partial x_j}(\varphi)\right] = S_{\varphi} \quad (1)$$

式中: φ 为通用求解变量,对质量、动量以及能量等予以涉及; ρ 为气体密度,单位为 kg/m^3 ; x_j 为 j 方向上的积分; μ_i 为 i 方向上的速度矢量; Γ_{φ} 为扩散系数; S_{φ} 为源项。

2.2 几何模型建立与验证

1) 几何模型建立。可在 Add menu 中借助“BoX”、“Cylinder”、“Ellipsoid”、“GTC”以及布尔操作等各种组合命令进行各种基础模型的构建,同时,赋予这些模型差异化的颜色,之后,利用坐标将位置确定,便能实现对所需复杂几何模型的组合。举例而言,可借助参考平面布局图与三维示意图,按以上步骤,运行与处理软件 CASD 执行对图 1 与 2 所示几何模型的建立任务。

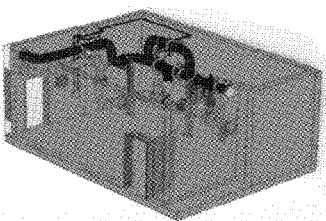


图 1 参考图

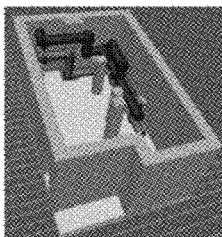


图 2 FLACS 模型

2) 网格模型划分。在执行网格划分任务之时,需要对如下指导原则予以遵循:其一,借助 Crid→Simulation Volume 将仿真区域确定下来,此区域的选择通常要比模型所在区域大,且在区域内部,需要借助“Region”→“No_of_control_volumes”针对 X 轴、Y 轴与 Z 轴进行网格数据的填写,以此完成对网格的划分任务,如图 3 所示。

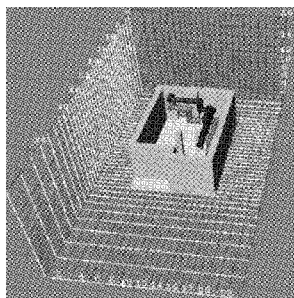


图 3 模型网格划分

需要提及在部分区域,可执行局部优化泄漏位置周围栅格的操作,“smooth”命令允许两个由宽度尺寸存在差异的网格构成的区域,存在一个光滑的过渡;通过对增加某根网格线、按坐标移动某根网格线、按距离移动某根网格线的结合,执行对总体仿真区域、核心区域以及伸展区域的进一步网格化分处理操作,能够有效地将仿真结果准确度增加。

3) 模型验证。Falcon 系列实验是于 1987 年在 Frenchman Flat 进行的大型 LNG 泄漏实验。试验的目的是评估蒸汽屏障作为液化天然气意外泄漏缓解技术的有效性,并为模型验证提供数据集。本文选用 Falcon1 号实验结果作为模型验证实例,其试验条件如表 1 所示。由于 Falcon 系列实验采用 4 根管道作为泄漏源,为与实验工况保持一致,模拟设置了 4 个泄漏口^[14]。

由图 4 可以看出,模拟与实验结果气云浓度变化大体吻合,Falcon1 号实验 04 监测点最大浓度为 23.2%,模拟

表 1 Falcon 系列实验主要参数

实验编号	风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	物质	泄漏速率/ ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)	泄漏时间/ s
1	1.7	LNG	202	131

最大浓度为 21.7%,误差为 6.5%。其误差在可接受范围内,说明基于 FLACS 的 LNG 泄漏扩散数值计算方法具有一定的可靠性与有效性。

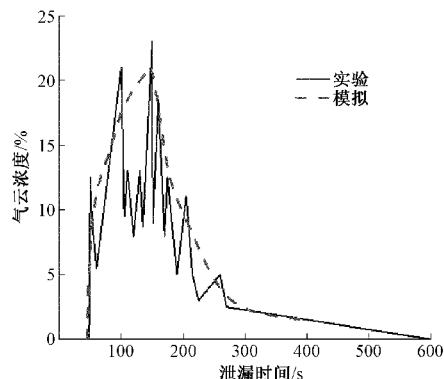


图 4 Falcon1 号实验 04 监测点气云浓度变化模拟结果

2.3 参数设置

经 Scenario→MONITOR POINT→ADD 将需要监测的各点添加进来,之后,借助坐标点将其在仿真区域中的具体位置明确,模拟过程中,可对其中的一个或多个变量进行监视。FLACS 提供了多种变量,如果执行对泄漏扩散模拟的任务,通常可选择 FMOLE(体积比)、FUEL(质量比例); Scenario→SINGLE_FIELE_SCALE_TIME_OUTPUT 结合具体情况执行相应的选择任务。如图 5 所示,设置之时需要对在网格线上放置监视点这一情况加以规避。

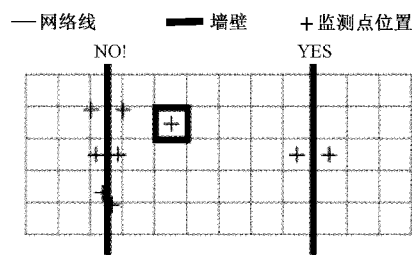


图 5 监视点设置

本文模拟泄漏口位于储罐背风面,储罐操作压力为 0.8 MPa,罐内温度为 $-141\text{ }^{\circ}\text{C}$, LNG 气体泄漏速率为 6.96 kg/s 。当 LNG 储罐发生气相泄漏后,气体将以高速射流从泄漏口喷出,故选用高动量泄漏(JET)模型^[15-17]。由于本文需要研究风速对气云扩散的影响,故仅在下风向设置 NOZZLE 边界,其余边界条件设置为 WIND。

3 模拟结果与分析

3.1 风速对 LNG 储罐泄漏扩散的影响

为研究不同风速对 LNG 泄漏扩散的影响,设置泄漏口

位于储罐背风面高度 2 m 处,分别对风速为 2、4、6、8、10、12 m/s 工况下储罐泄漏扩散进行数值模拟^[18],其中表 2 为对应的大气风速等级。

表 2 风力等级表

风级	名称	选取风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
2 级	轻风	2
3 级	微风	4
4 级	和风	6
5 级	清风	8
6 级	强风	10、12

图 6 为不同风速下 1/2 下燃烧限度 (lower flammability limit, LFL) 气云下风向最远扩散距离随时间变化图。从图 6 中可以看出,由于气体射流的存在,泄漏初期气云最远扩散距离迅速增加。泄漏 10 s 后,各风速下泄漏后 1/2LFL 气云扩散距离均大于 68 m。泄漏后期,风的平流输送作用对气云扩散的影响显著,高风速与低风速下气云扩散距离差异较大。泄漏 60 s 后,风速为 2 m/s 时气云最远扩散距离为 130 m,而风速为 8 m/s 时气云最远扩散距离达到了 153 m,增加 23 m。当风速大于 8 m/s 时,此时气云最远扩散距离随着风速的增大逐渐减小,风速为 12 m/s 时,1/2LFL 气云下风向最远扩散距离仅为 108 m,较风速为 8 m/s 时缩短了 30%。这一结果表明,当风速由 2 m/s 增加到 8 m/s 时,此时风对气云的平流输送促进了气云的扩散,使得 1/2LFL 气云下风向最远扩散距离随着风速的增加而增大。当风速大于 8 m/s 时,高风速下大气湍流加剧,大气与气云的混合稀释作用增强,导致 1/2LFL 气云扩散距离随着风速的增加而减小。同时,高风速使得气云更早的进入了平衡状态。

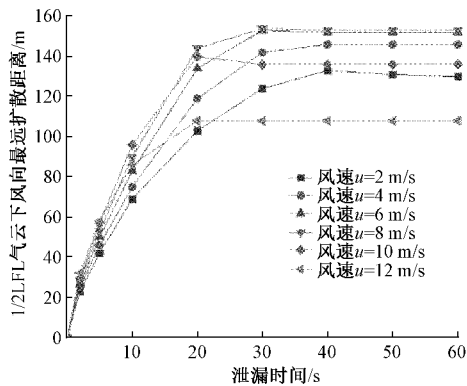
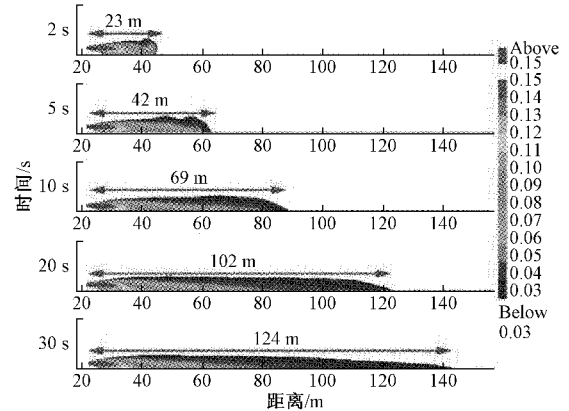
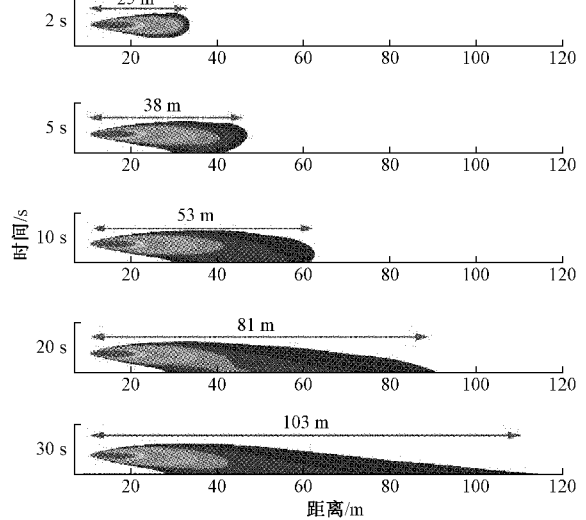
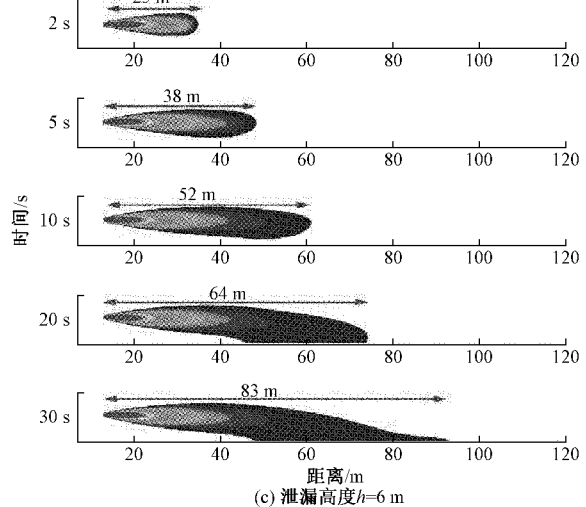


图 6 不同风速下 1/2LFL 气云下风向最远扩散距离随时间的变化

3.2 泄漏位置对 LNG 储罐泄漏扩散的影响

由于 LNG 加气站储罐罐体较高,为了研究不同泄漏高度对 LNG 储罐气相泄漏扩散的影响,设置泄漏口于储罐背风面高度 2、4、6、8、12 m 处,环境风速设置为 2 m/s,其他参数不变。

图 7 所示为不同泄漏高度下气云浓度随时间的变化规律。在气云泄漏时间为 2 s 时,泄漏高度 4、6、8、12 m 处气云浓度分布基本相同。这一结果表明,当泄漏口远离地面时,泄漏初期,气云扩散主要受空气稀释与换热作用的影响。同时由于气体射流的存在,此时空气对气云的影响较小,气云主要沿水平方向扩散。

(a) 泄漏高度 $h=2$ m(b) 泄漏高度 $h=4$ m(c) 泄漏高度 $h=6$ m

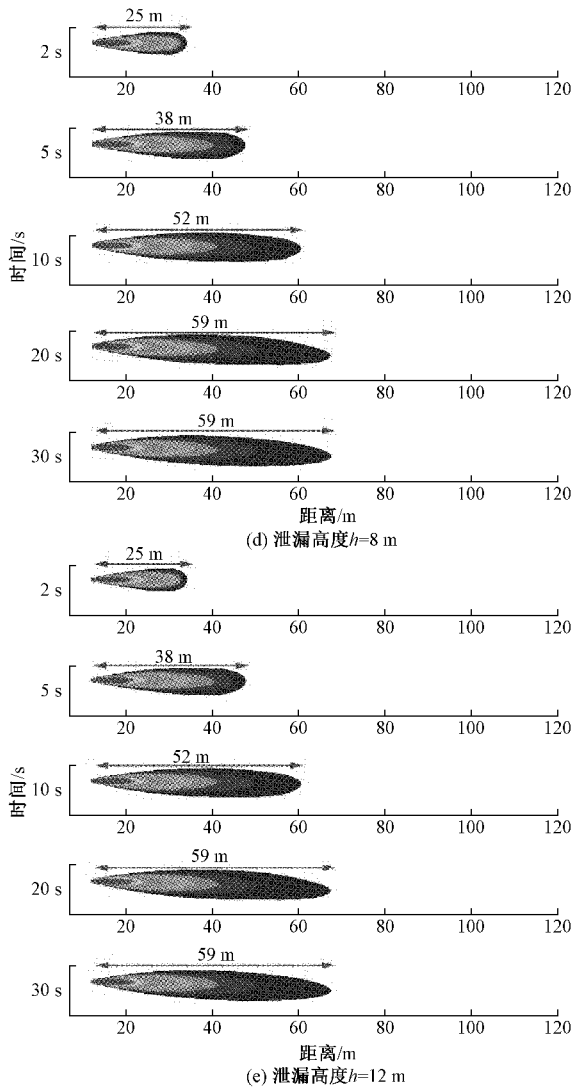


图 7 不同泄漏高度下甲烷浓度随时间变化图

泄漏高度为 2 m 时,泄漏扩散的气云受到地面摩擦力的作用,气云向下风向的扩散速度降低,气云扩散距离较其他泄漏高度有略微的减小,且气云前端出现堆积现象。随着泄漏时间的增加,泄漏高度 4 m 与 6 m 时的气云出现明显的重气沉降现象。这是因为当气体射流对云团扩散的影响衰减后,泄漏后的重质气云在重力的作用下向地面沉降。当云团接触地面后,气云迅速沿地面扩散开,气云与空气的接触面积减小,大气与云团的换热效应随之减弱。随着泄漏高度的增加,1/2LFL 气云下风向最远扩散距离逐渐减小。如泄漏 30 s 后,泄漏高度为 2 m 时气云最远扩散距离为 124 m;泄漏高度为 12 m 时气云最远扩散距离为 59 m,缩短了 65 m。当泄漏高度为 8 m 与 12 m 时,由于泄漏口离地较高,气云受到重力作用显现出轻微的沉降趋势,随后在风场作用下进入稀释消散阶段。同时,受到空气与云团的换热以及风场对气云稀释作用的影响,泄漏口高度为 8 m 与 12 m 的气云扩散则更早的进入平衡状态,此时气云

扩散的最远距离基本不随泄漏时间而改变。同时,泄漏高度为 8 m 与 12 m 时气云在扩散过程中主要受空气换热与风场的作用,使得两种泄漏高度下气云扩散浓度分布基本相同。

3.3 障碍物对 LNG 储罐泄漏扩散的影响

目前部分 LNG 加气站内配有 2 座立式储罐,当储罐区上风向 LNG 储罐发生泄漏,气云扩散过程中所遇到的最大障碍物即为下风向的储罐。由于储罐周围会产生漩涡与回流,同时障碍物会对气云扩散起到一定的阻碍作用,使得气云的流动变得难以预测,如图 8 所示。

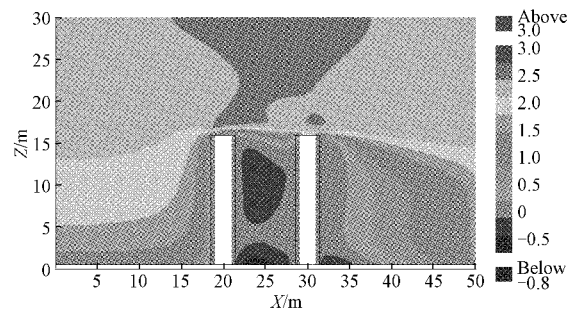


图 8 风速 2 m/s 时罐区风速分布图

从图 8 可以看出,在风速为 2 m/s 时,罐区两罐之间产生了大量的回流区,近地面紊流加剧。同时在障碍物储罐的背风面也存在着部分回流区,导致气云扩散过程更加复杂。为研究障碍物对 LNG 加气站储罐泄漏扩散过程的影响,在泄漏储罐下风向 10 m 处增加障碍物储罐。设置泄漏口为储罐背风面 2 m 处,对储罐区气云泄漏扩散进行数值模拟。

图 9 与 10 结果表明,LNG 储罐发生泄漏后,当泄漏口喷射出的一部分射流气体在扩散过程中受到障碍物储罐的阻挡时会产生分流现象,另一部分射流气体则会在撞击到障碍物储罐后发生反射。反射后的气云聚集在两罐间,在储罐间回流的作用下,气云沿着障碍物储罐出现爬升现象。分流后的两股气团则在障碍物储罐的背风面重新汇合,在风场的作用下向下风向扩散开。由图 6 与 9 可知,单罐泄

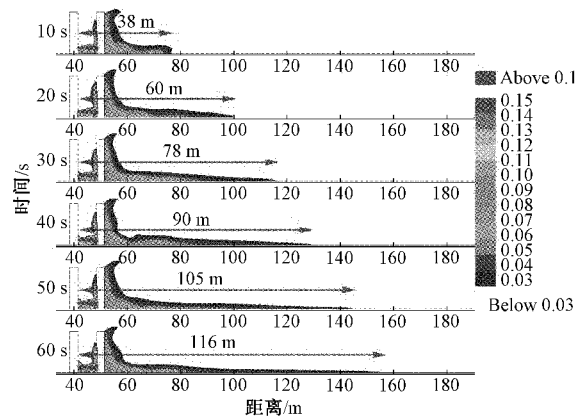


图 9 罐区泄漏甲烷浓度随时间变化图

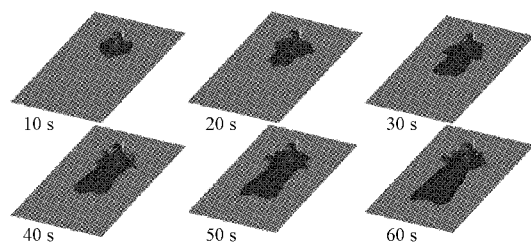


图10 罐区1/2LFL气云等值面随时间变化图

漏60 s后,1/2LFL气云最远扩散距离为130 m;障碍物条件下泄漏60 s后,1/2LFL气云最远扩散距离为116 m,较单罐泄漏缩短了14 m。障碍物的存在一定程度上阻碍了气云向下风向的扩散,减小了爆炸危害范围。

3.4 扩散模型优势分析

首先,本次搭建的FLACS储罐泄漏扩散模型创新性引入了扩散位置(高度)与障碍物等对扩散速度等指标,对储罐泄漏扩散模型影响因素的分析较之前学者的研究更为全面;其次,本文搭建并验证的储罐泄漏扩散几何模型具有较高的适用性,充分考虑了LNG储罐发生泄漏以后的实际情况,能够为相关产业工作人员提供更为理想的参考。

4 结 论

传统的LNG加气站储罐泄漏扩散模型多以验证气相泄漏风速影响为主,对于气相泄漏的高度以及障碍物的存在所产生的影响并没有做出充分、明确的分析。因此,本文基于FLACS软件搭建了一种LNG加气站储罐泄漏扩散模型。该模型除可以模拟和验证风速对泄漏气相的影响外,还可以对气相泄漏高度和障碍物等进行模拟验证,充分完善了传统模型的功能体系,对于LNG加气站储罐泄漏防护领域而言具有更强的实用性。

参考文献

- [1] 金浩,冯陈玥.中国天然气需求塑造LNG进口新格局[J].中国远洋海运,2018(9):26-29.
- [2] 高振宇,高鹏,刘倩,等.中国LNG产业现状分析及发展建议[J].天然气技术与经济,2019,13(6):14-19.
- [3] BROWN T C, CEDERW ALL R T, CHAN S T, et al. Falcon series data report: 1987 LNG vapor barrier verification field trials [R]. America: Lawrence Livermore National Laboratory, 1990.
- [4] 周宁,张倩,李雪,等.风速对LNG泄漏扩散过程影响的数值模拟[J].安全与环境学报,2021,21(1):285-294.
- [5] 张欣雨,康建宏,蔡莲,等.工业LNG储罐泄漏扩散数值模拟[J].工业安全与环保,2021,47(2):34-38.
- [6] GAVELLI F, DAVIS S, HANSEN O R, et al. CFD simulation of vapor dispersion from LNG jetting and flashing releases[C]. AIChE Spring Meeting, Natural Gas Utilization Topical Session, San Antonio,

USA, 2010.

- [7] ICHARD M. Numerical computations of pressurized liquefied gas releases into the atmosphere[D]. Norway: University of Bergen, 2012.
- [8] 庄学强,廖海峰.液化天然气泄漏扩散数值模型分析[J].集美大学学报(自然科学版),2011,16(4):292-296.
- [9] 张祎,刘蓉,史永征,等.LNG储罐泄漏模型计算、模拟及实验研究[J].煤气与热力,2018,38(6):16-23.
- [10] 陈兵,刘金,周宁,等.地面条件对LNG泄漏扩散的影响[J].工业安全与环保,2018,44(11):1-5.
- [11] 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.
- [12] 秦雅琦,李玉星,韩辉,等.障碍物对大型LNG储罐泄漏蒸气扩散影响的模拟研究[J].石油与天然气化工,2019,48(2):103-110.
- [13] 李成兵,王亚洲,李春兴,等.基于通用CFD软件的LNG液池泄漏蒸发模型研究[J].安全与环境学报,2020,20(6):2286-2294.
- [14] 杨兆晶,候磊,朱森.某大型LNG储罐泄漏扩散及其影响因素研究[J].天然气与石油,2020,38(1):47-53.
- [15] 高克铭,李志刚,徐长明,等.混合整体趋势扩散的虚拟样本构建及其血液光谱分析应用[J].仪器仪表学报,2019,40(8):167-175.
- [16] GEXCON A S. FLACS V10.9 user's manual[M]. Norway: Gexcon, 2019.
- [17] 马馨玥,谢代梁,徐志鹏,等.不同结构微小音速喷嘴的数值模拟与特性对比[J].电子测量与仪器学报,2020,34(9):188-195.
- [18] 刘立辉,徐爽,朱彩霞,等.邢台地区雾霾等低能见度天气的初步研究[J].国外电子测量技术,2019,38(3):145-152.

作者简介

周宁,硕士生导师,博士,主要研究方向为爆炸与冲击力学、油气爆炸安全、油气储运工程。

E-mail:zhouning@cczu.edu.cn

霍靖,硕士研究生,主要研究方向为储运安全。

E-mail:zhaowenjing808@sina.com

李雪,硕士生导师,博士,主要研究方向为石油工程安全、石化安全技术与事故应急管理。

E-mail:lix@cczu.edu.cn

陈兵,博士,高级工程师,主要研究方向为有限空间火灾动力学及风险评估方法。

E-mail:chenb@chinasafety.ac.cn

袁雄军,讲师,工学硕士,主要研究方向为风险评估、安全信息化。

E-mail:yxj@cczu.edu.cn

刘俊,硕士,讲师,主要研究方向为云计算、数据挖掘。

E-mail:80128292@qq.com