

文章编号:2095-0411(2017)03-0083-06

障碍物对重质气体泄漏扩散行为的影响

汤才林¹,滕欣²,周昊²,周宁²

(1. 浙江浙能石油新能源有限公司 生产安全与建设管理部,浙江 杭州 310000; 2. 江苏省油气储运技术重点实验室(常州大学),江苏 常州 213016)

摘要:为研究仓储罐区构建筑物对重质气体泄漏扩散行为的影响,采用可视化技术与定量检测技术在油库罐区模拟实验平台上开展了重质气体泄漏扩散实验。对不同形状、不同截面长度障碍物设置工况下重质气体泄漏扩散行为进行可视化和定量检测研究,获得罐区重质气体泄漏扩散规律的可视化和定量数据。结果表明:可视化研究直观揭示了罐区重质气体泄漏扩散的全过程,揭示了泄漏扩散重质气体到达障碍物后的扩散行为;障碍物对重质气体泄漏扩散行为的影响很大,且面向泄漏源侧的障碍物截面长度越长,对泄漏扩散过程的影响越大,重质气体越容易在障碍物附近集聚,形成高浓度区域并保持较长时间,事故风险越高;相同截面长度不同形状的障碍物对泄漏扩散行为的影响基本相同,即障碍物的截面长度是影响泄漏扩散行为的关键因素。因此,罐区及邻近区域应尽量避免建设构建筑物,必须建设时应使其短边正对罐区。

关键词:罐区;重质气体;泄漏扩散;障碍物;可视化

中图分类号:TQ 31

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2017.03.012

Effects of Obstacles to Heavy Gas Leakage Diffusion Behavior

TANG Cailin¹, TENG Xin², ZHOU Hao², ZHOU Ning²

(1. Production Safety and Construction Management Department, Zhejiang Zheneng Oil & New Energy Co. Ltd., Hangzhou 310000, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation Technology, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

Abstract: In order to research the impact of structure buildings in storage tank farm on heavy gas leakage diffusion behaviors, the paper adopts visualization technology and quantitative detection technology to carry out heavy gas leakage diffusion experiment in oil storage tank farm simulation platform. Through the visualization and quantitative test study of setting obstacles with different shape, different cross-section length in the conditions of heavy gas leakage diffusion process, the visualization and quantitative data of heavy gas leakage diffusion behavior regularity in the tank farm are obtained. The Results indicate that the visualization research intuitively reveals the whole process of heavy gas leakage diffusion in the tank farm and the heavy gas diffusion behavior after approaching obstacles; obstacles have great influence on heavy gas leakage diffusion behavior, and obstacles which have longer cross-section length facing the leakage source side have greater impact on the leakage diffusion process, and it is easier to form high concentration

收稿日期:2016-07-08。

基金项目:公安部科技强警基础工作专项项目(2014GABJC047);公安部消防局科研计划项目(2015XFR22);建筑消防工程技术公安部重点实验室开放课题(KFKT2015ZD03)。

作者简介:汤才林(1980—),男,四川武胜人,工程师,主要从事油气工程建设、管理研究。通讯联系人:周昊(1979—),E-mail:zhouhao791012@sina.com.cn

area of heavy gas near the obstacles and keep a long time, the risk of accident is higher; the influence of the obstacles in different shapes but with same cross-section length on the heavy gas leakage diffusion behavior is basically the same. Thus the cross-section length of obstacles is the key factors to influence the leakage diffusion behavior. Therefore, it is better to avoid the construction of buildings in tank farms and its adjacent area. When the construction is necessary, its short side should be faced to tank farm.

Key words: tank farm; heavy gas; leakage and diffusion; obstacles; visualization

近年来,随着工业和经济的迅速发展,世界各地对石油化工产品的需求日趋旺盛,石油化工业快速发展,极大的提高人民的生活质量。与此同时,越来越多的安全隐患也逐渐显现,石油化工仓储罐区不断发生各种事故,其中泄漏事故造成重质气体扩散并引发次生灾害的事故也时有发生。2012年8月,位于委内瑞拉的阿穆艾炼油厂发生了丙烷气体泄漏爆炸事故,事故累及周边9个储罐,该事故造成了48人死亡,150多人受伤的严重后果。2013年6月,江西某化工厂的甲醇储罐发生多源泄漏爆炸事故,后引发严重火灾,致使现场1人死亡,经济损失惨重^[1]。当化工罐区有毒有害重质气体发生泄漏时,罐区及周边会存在一些障碍物,如泄漏储罐、周边其他储罐、防火堤、防火堤内外的其他构建筑物等,由于这些障碍物的影响,会改变周围气流的流动状态,使重质气体泄漏扩散行为更加复杂。目前国内外的研究主要集中在采用模型试验和数值模拟的方法对泄漏气体本身的扩散状态上,也取得了较多的成果^[2-5,6],而对于障碍物对重质气体的研究相对较少^[7]。因此,文章采用可视化技术研究障碍物对重质气体泄漏扩散过程的影响,以期为重质气体泄漏事故的监测预警和事故防治提供理论支撑。

1 实验平台与实验条件

1.1 实验平台

实验分为定性实验和定量实验2个部分。泄漏可视化实验是研究重质气体泄漏后的扩散状态规律,是重质气体泄漏扩散的定性试验。重质气体泄漏浓度监测实验是定量实验部分,其目的是与定性实验比较,验证可视化结果。实验过程都是在室内模拟平台上模拟无风时气体的泄漏扩散过程。

本次定性实验的材料和设备为二氧化碳、示踪气体混合容器、高清数字摄像机等装置。试验装置图见图1。

该实验装置的作用就是把不可见的重质气体转换成可以记录下来的可见泄漏重质气体,即将彩色烟雾弹(发烟饼)和二氧化碳气体混合,并用数字摄像机拍摄记录泄漏出来的重质气体泄漏扩散过程,分析研究生成的重质气体泄漏扩散过程的可视化图像数据;同时利用模拟罐区、GMS环境监测监控系统、二氧化碳钢瓶等对泄漏扩散过程开展定量测试,图中气体浓度监测传感器在指定位置监测重质气体扩散浓度并会通过GMS环境监测监控系统生成数据,处理成曲线图像,以便对定性和定量研究结果进行对比分析,实验平台示意图见图2。

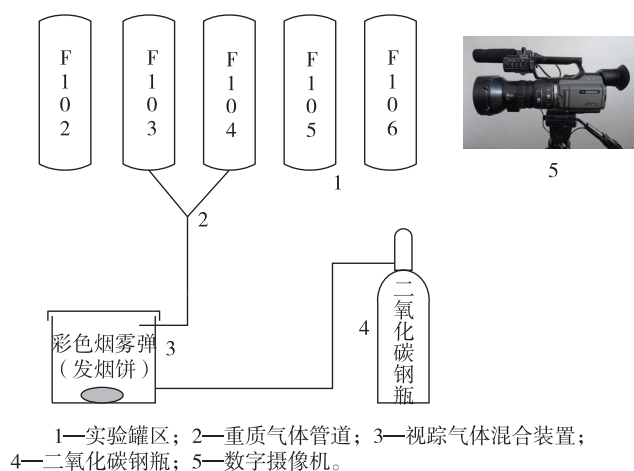


图1 实验装置示意图

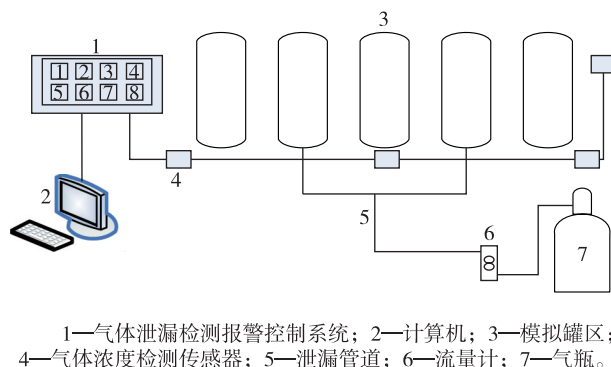


图2 实验平台示意图

1.2 实验条件

实验设置了长方体和圆柱体 2 种形状的障碍物,障碍物的具体参数如表 1 所示。

2 实验结果与分析

2.1 障碍物对重质气体泄漏扩散影响的可视化研究

2.1.1 障碍物尺寸对泄漏扩散过程的影响

重质气体泄漏后的扩散过程总体上分为多个阶段,但由于其密度较大,其泄漏后一般会沿地表扩散,因此泄漏区的地形地貌及建构筑物情况是影响其扩散的重要因素。泄漏区若存在障碍物,则周围大气的流动状态会产生变化,使重质气体泄漏扩散行为更加复杂。罐区储罐本身就具有遮挡障碍作用,泄漏区障碍物的存在是必然的。实验从可视化角度研究障碍物对重质气体泄漏扩散行为的影响。

图 3、图 4 分别为障碍物 1 和障碍物 2 存在条件下重质气体泄漏扩散过程。

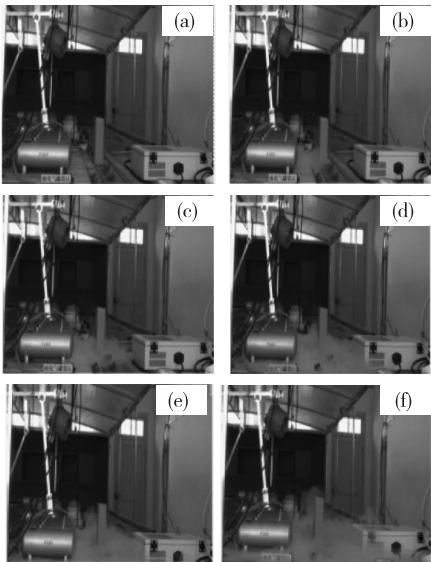


图 3 障碍物 1 对重质气体泄漏扩散的影响

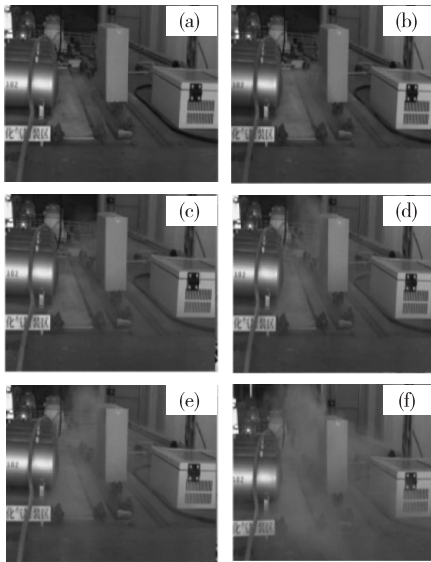


图 4 障碍物 2 对重质气体泄漏扩散的影响

图 3 与图 4 皆为相同泄漏扩散时间时障碍物 1、2 对泄漏扩散的影响。障碍物 1 存在时,从图 3(a)到图 3(c)时间内,障碍物前气体聚集变化并不明显;到图 3(c)对应的时间时,泄漏的气体已经绕流至障碍物背面。障碍物 2 存在时,从图 4(a)到图 4(c)同样的时间段内,障碍物前阻挡住的气体越来越多,且已经沿障碍物垂直壁面上升到顶部;时间在图 4(e)时间段时,泄漏的重质气体才开始逐渐在障碍物背后聚集。其他几组实验也反映类似规律,因此,认为相同形状的障碍物,与泄漏源正对面障碍物截面长度越长,对重质气体扩散的阻碍作用越大,障碍物迎向泄漏源方向的浓度越大,障碍物背面重质气体浓度越小。

2.1.2 障碍物形状对泄漏扩散过程的影响

选取障碍物 3 和障碍物 4(圆柱体)2 种不同形状但截面尺寸相同的障碍物为研究对象,得到泄漏扩散过程如图 5、图 6 所示。

图 5(a)到图 5(d)中呈现的泄漏扩散过程与图 6(a)到图 6(d)中记录的过程状态只有微小差异,此时障碍物 3 和 4 对泄漏扩散影响区别不大。但是从图 5(e)、图 5(f)对应的时间开始气体扩散现象出现显著不同,存在障碍物 4 时,由图 6(e)、图 6(f)图像可以看到泄漏的气体逐渐沿障碍物前垂直壁面上升,由于空气卷吸作用气体继续上升并开始从顶部绕过障碍物,而存在障碍物 3 时图像图 5(e)、图 5(f)显示障碍物前气体并没有沿壁面上升,而是一直聚集沉降在近地面处,并且直接绕过圆柱体继续扩散,显然不如长方体对气

体的阻碍作用强。障碍物背面的重质气体大部分是经由障碍物横截面绕流后到达并逐渐堆积的,但障碍物前重质气体的浓度和高度均更大。

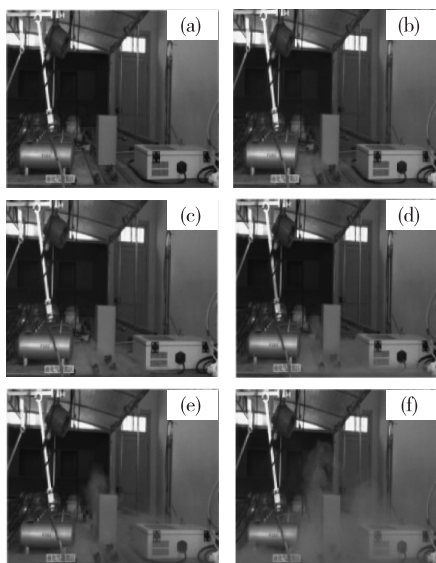


图 5 障碍物 3 对重质气体泄漏扩散的影响

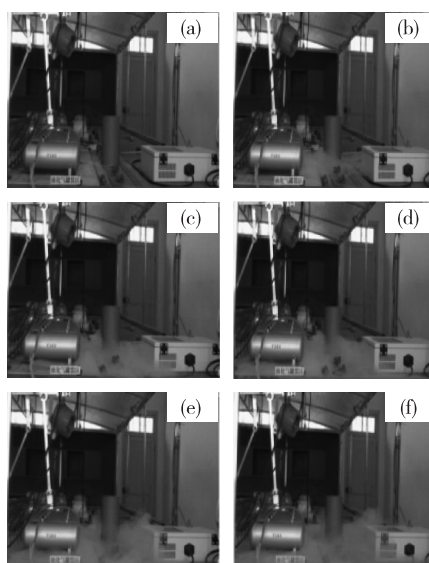


图 6 障碍物 4 对重质气体泄漏扩散的影响

2.2 障碍物对重质气体泄漏扩散过程的影响

2.2.1 障碍物大小对泄漏扩散过程的影响

为考察障碍物横截面大小对重质气体泄漏扩散过程的影响,选取障碍物 1,障碍物 2,障碍物 3 为研究对象,开展障碍物大小对重质气体泄漏扩散过程的影响的实验研究。

实验选取 F104 罐为泄漏源,将障碍物放置在泄漏源正前方,分别在障碍物的前面、右侧和背面设置气体浓度监测传感器 8 号、4 号和 6 号,障碍物和传感器布置示意图如图 7 所示。

图 8 至图 10 是罐区重质气体分别在 3 种横截面尺寸的障碍物条件下泄漏扩散测得的气体浓度分布。3 种状态下传感器监测到的气体浓度分布规律基本一致:整个泄漏扩散过程中 8 号传感器测得的浓度值上升最快,浓度峰也最大,并且保持最大气体浓度的时间最长。8 号传感器位于泄漏源正前方,泄漏的气体最先扩散到 8 号传感器处,由于障碍物的阻挡致使气体不易向周围扩散,造成该位置气体聚集,始终维持较高浓度;图中 4 号传感器测得的浓度分布显示,泄漏发生的开始阶段,浓度上升较快,但达到浓度最高值后就逐渐下降,与 8 号传感器数据相比,浓度下降的较快。分析认为 4 号传感器位于泄漏源侧前方,重质气体泄漏扩散到 4 号位置需要一定时间,随着泄漏时间的增加,重质气体的重力沉降作用慢慢消失,在重质气云的浮力和大气湍流的作用下开始稀释上升,近地面气体浓度逐渐减小。另一方面没有障碍物的阻挡,该位置处不会形成气体聚集,重质气体会继续向四周扩散,因此,气体浓度会较快下降;图 8 至图 10 中最下端的是 6 号传感器处浓度分布,该位置浓度

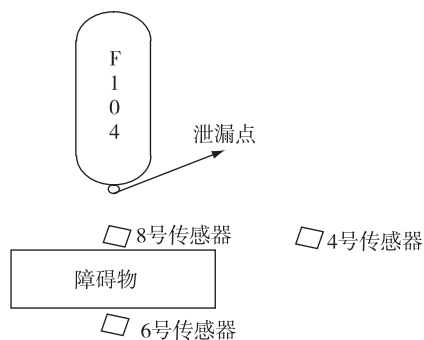


图 7 不同大小障碍物泄漏扩散示意图

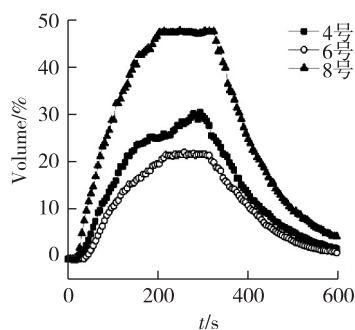


图 8 障碍物 1 对重质气体浓度分布的影响

上升最慢,下降最快,且最高浓度值最小,分析其原因:①距离泄漏源远;②障碍物使泄漏气体扩散的方向发生变化,重质气体是绕过障碍物才到达6号传感器位置。

图8中, $t=200\text{s}$ 时,8号传感器位置达到最大浓度; $t=300\text{s}$ 左右时,浓度开始下降。图9、图10中, $t=150\text{s}$ 时,该位置气体浓度达到最高值; $t=300\text{s}$ 左右时,浓度也开始逐渐降低。障碍物2是障碍物1横截面的2倍,障碍物1存在时该处先于障碍物2存在时达到最高浓度值,直至泄漏源关闭停止泄漏后,气体浓度开始下降。由此可以得出障碍物横截面增加,障碍物对重质气体扩散的障碍作用越大,重质气体在障碍物前更容易聚集,且聚集时间更长,危险性更大。同理,通过图8到图10中的4号传感器处浓度分布的比较,各障碍物条件下该处浓度分布基本一致,说明在障碍物侧前方的位置受障碍物影响较小。6号传感器处重质气体浓度分布为:障碍物2、障碍物3背面气体浓度明显比障碍物1背面浓度低,上升速度慢。这是由于障碍物横截面增加,障碍物对气体扩散的阻碍作用增大,重质气体绕过障碍物的时间增长,气体向没有障碍物方向的扩散加大,使得障碍物背面浓度显著降低。

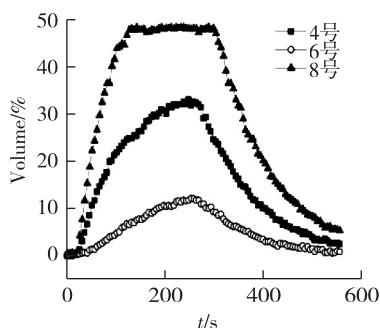


图9 障碍物2对重质气体浓度分布的影响

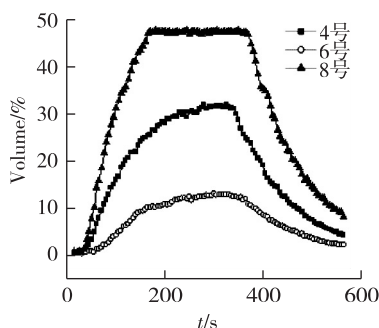


图10 障碍物3对重质气体浓度分布的影响

2.2.2 障碍物形状对泄漏扩散过程的影响

在储罐区泄漏事故现场,任何具有遮挡作用的物体都可能成为泄漏扩散的障碍物,会造成重质气体的聚集,引发次生灾害,因此实际的障碍物可能是各种形状的。储罐区的防火堤、建筑物和周围储罐最容易成为气体泄漏扩散的障碍物,用长方体和圆柱体可模拟泄漏区近似方形和圆柱形的障碍物。为探究障碍物形状对重质气体泄漏扩散的影响,本实验分别选取了长方体(障碍物3)和圆柱(障碍物4)2种形状的障碍作为研究对象,其中两种形状的障碍物截面尺寸相同。实验设置如图11所示,与前面实验相比,本次实验将4号传感器的位置做了调整,从障碍物侧前方移到障碍物正侧面,减小了障碍物和传感器的安放距离,探究障碍物侧面重质气体的泄漏扩散规律。

由图12和图13知,位于障碍物前的8号传感器处浓度分布与不同尺寸障碍物作用下该位置浓度分布规律一致;4号传感器测得的浓度明显小于8号传感器位置,与不同尺寸障碍物作用下该位置浓度分布变化较大。这是因为本实验中将4号传感器移向障碍物侧面,一方面距离泄漏源远一些,另一方面泄漏气体不能直接到达4号传感器位置,受到了障碍物影响,重质气体扩散到该位置的时间明显增长,致使该位置浓度显著减小;6号传感器位置不变,该位置处重质气体浓度分布规律基本不变。对比长方体障碍物和圆柱体障碍物浓度曲线,可以看到对应位置的传感器8号、4号和6号浓度分布曲

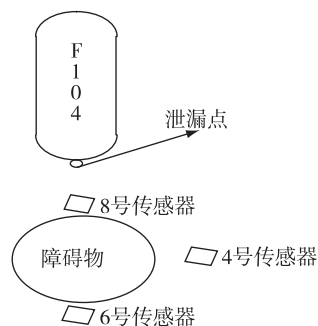


图11 不同形状障碍物泄漏扩散示意图

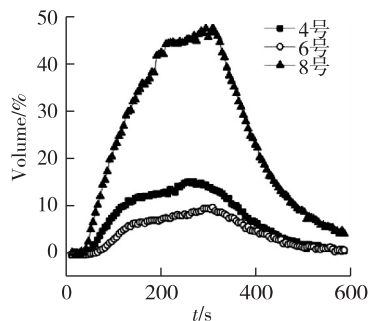


图12 障碍物3对空间重质气体浓度分布的影响

线是基本重合的,浓度分布一致。可以分析得到,截面尺寸相同的长方体障碍物和圆柱体障碍物对泄漏扩散的重质气体的阻碍作用差别很小,因此重质气体泄漏扩散的过程中,障碍物截面尺寸的影响要大于几何形状对泄漏扩散的影响。

3 结论与建议

通过定量和定性实验开展了障碍物对重质气体泄漏扩散过程影响的研究。

1)可视化方法使重气泄漏扩散过程、规律以更加形象具体的方式呈现出来,结合数学模型可以更加清晰和准确地展现整个泄漏扩散过程,对现场泄漏扩散事故的研究、预防和处置具有极其重要的指导意义。

2)重质气体泄漏扩散过程中遇到障碍物时,障碍物会对气体扩散过程产生较大的阻碍作用,重质气体会在迎向障碍物的方向聚集沉降,形成高浓度区,并且高浓度维持的时间较长,在障碍物背面有害气体浓度相对较低,但也不易散去。障碍物的存在从总体上增加了重质气体聚集的时间,增加了引发次生灾害的危险,因此储存重质气体的罐区或储存易挥发危化品的罐区要尽量避免不必要的构建筑物,避免泄漏事故发生时重质气体在构建筑物附近聚集,引发二次灾害。

3)正对泄漏源方向的截面长度是影响重质气体扩散的关键因素,截面越长对重质气体的阻碍作用越大,越容易在障碍物处形成重质气体聚集区,引发二次灾害事故的风险越大。因此在罐区及周围必须建设构建筑物时,应尽量使建筑物的短边面向罐区。

4)相同正截面尺寸的不同形状障碍物(长方体和圆柱体)对重质气体泄漏扩散的阻碍作用差别较小,即障碍物几何形状对重质气体泄漏扩散过程的影响要远小于障碍物正对泄漏源的截面长度对重质气体泄漏扩散过程的影响。

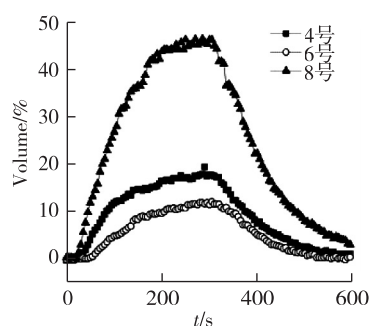


图 13 障碍物 4 对空间重质气体浓度分布的影响

参考文献:

- [1]朱红亚. 多源气体泄漏扩散的实验[D]. 合肥:中国科学技术大学,2013.
- [2]朱红萍,罗艾民,李润求. 重气泄漏扩散事故后果评估系统研究[J]. 中国安全科学学报,2009, 19(5): 119-124.
- [3]邵辉,施志荣. 化工气体泄漏事故扩散规律的实验室研究[D]. 常州:江苏工业学院,2006.
- [4]孙洁. 室外管道燃气泄漏扩散模拟与可视化研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2012.
- [5]于加收. 开放空间液氨泄露扩散规律及人员疏散的研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2014
- [6]JULIANE F, RAPHAEL R C S, FERNANDO F N, et al. An alternative CFD tool for gas dispersion modelling of heavy gas [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2016, 44(11): 583-593.
- [7]ROBINS A, CASTRO I, HAYDEN P. A wind tunnel study of dense gas dispersion in a neutral boundary layer over a rough surface[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 2243-2252.

(责任编辑:殷丽莉)