

文章编号:1673-5005(2012)01-0122-05

复杂地形条件下气体泄漏扩散规律仿真与试验

邓海发¹, 陈国明¹, 朱 渊¹, 付建民¹, 刘德绪²

(1. 中国石油大学 海洋油气装备与安全技术研究中心, 山东 青岛 266555;

2. 中原石油勘探局 勘察设计研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要:针对复杂地形气体泄漏扩散问题,基于计算流体动力学方法,建立复杂地形气体泄漏扩散数值仿真方案,确定地面气体分布特点、监测点气体质量浓度随时间变化规律、地形及环境风向、风速等对气体扩散的影响作用。以 SF₆ 为示踪气体,设计并在川东北某山区集气站实施气体释放试验,以有色烟雾发生器为工具确定采样点布置,采用电子时控大气采样器和气相色谱-电子捕获检测法进行样品采集和分析,得到不同采样点、不同时间段内示踪气体浓度值。SF₆ 释放试验结果表明,试验方案设计合理、可靠、具有广泛的适用性,能够有效降低采样点数量,提高采样数据的有效性,实现对试验数据的采集和分析。试验与仿真计算数据的一致性验证了建立的数值模型处理复杂地形气体泄漏扩散过程的有效性。

关键词:气体泄漏;数值模拟;CFD;试验;示踪气体

中图分类号:X 937 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2012.01.021

Simulation and experiment of gas leakage and dispersion in complex topography

DENG Hai-fa¹, CHEN Guo-ming¹, ZHU Yuan¹, FU Jian-min¹, LIU De-xu²

(1. Centre for Offshore Engineering and Safety Technology in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;

2. Petroleum Prospecting and Design Institute, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang 457001, China)

Abstract: Aiming at the problem of gas leakage and dispersion in complex terrain, a CFD-based gas leakage and dispersion numerical simulation model in complex terrain was proposed. The gas distribution on the ground and variation of tracer gas concentration of monitoring points with time were estimated. The effects of terrain, wind direction and wind speed on gas dispersion were obtained. Taking SF₆ as tracer gas, a gas release experiment was carried out in mountain gas gathering station. The colored smoke generator was taken as a tool to determine the arrangement of the sampling points. The electronic time-controlled air sampler and gas chromatography-electron capture detection method were used for sample collection and sample analysis, respectively, which could measure the concentration of tracer gas in sampling points at different time. The results of SF₆ release experiment show that the experimental program is reasonable and has wide applicability. The model can effectively reduce the number of sampling points, improve the effectiveness of sampling data, and implement the test data acquisition and analysis. The contrast between simulation results and experiment results illustrates the validity of numerical model in handling gas leakage and dispersion in complex mountainous terrain.

Key words: gas leakage; numerical simulation; CFD; experiment; tracer gas

目前,高压、高产、高含 H₂S 的“三高”气田已成为中国油气资源开采领域的重要组成部分,而 H₂S 为剧毒物质,其阈限质量浓度仅为 15 mg/m³^[1],一旦发生天然气泄漏,释放出的含有大量 H₂S 的气体将会对

影响区域内的居民人身安全形成极大的威胁,造成严重的人身伤亡和财产损失事故。2003 年,重庆开县罗家 16H 井发生特大井喷事故,喷出的大量高含硫气体随空气快速扩散,影响到井场周围的 4 个乡镇,9.3 万

收稿日期:2011-07-12

基金项目:大型油气田及煤层气开发国家科技重大专项课题(2008ZX05017);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(12CX04060A)

作者简介:邓海发(1984-),男(汉族),河南南召人,博士研究生,主要从事油气安全工程方面的研究。

余人受灾,造成243人因 H_2S 中毒死亡^[2]。因此,开展有毒气体泄漏扩散规律研究,减少重大人身伤亡事故的发生,对于提升“三高”气田安全生产具有重要的指导价值。目前,较多研究采用计算流体力学(computational fluid dynamic, CFD)方法进行有毒气体的扩散模拟。朱渊等^[3]采用CFD方法研究了复杂地形天然气净化厂脱硫装置 H_2S 泄漏扩散规律,提出了应急救援实施方案;章博等^[4]研究了高含硫气田集气站天然气泄漏扩散规律,并开展了集气站气体检测报警仪布置优化分析;Scargiali等^[5]研究了复杂地形条件下重气泄漏扩散规律;沈艳涛等^[6]针对Thorney Island Experiments系列试验中第008号试验数据开展了平坦地面氟利昂扩散过程数值模拟。上述研究或缺乏相应的试验验证,或只是开展了平坦地形条件下气体扩散试验,而没有开展复杂山区地形条件下气体扩散试验,研究成果不具有普遍的指导意义。笔者利用CFD方法建立复杂地形气体扩散仿真模型,对气体扩散规律进行数值模拟,采用在国内外气体泄漏扩散研究领域获得广泛应用的无色无毒重气 SF_6 ^[7-9]作为示踪气体代替剧毒气体 H_2S 开展现场试验研究,重点研究重气在复杂地形条件下的泄漏扩散规律,并验证所建立的复杂地形气体泄漏扩散仿真模型的有效性。

1 气体泄漏扩散仿真计算

1.1 控制方程

有毒气体泄漏后在大气中的运动包括湍流流动、物质扩散及传热等过程^[10]。采用大涡模拟理论计算湍流流动,采用组分输运方程模拟气体组分质量变化。大涡模拟采用滤波思想过滤掉湍流运动中的小尺度脉动,将小尺度脉动对大尺度(大涡)的作用建立模型^[11],满足Navier-Stokes方程和质量扩散方程,能够有效分析复杂地形气体运动^[12]。通过过滤运算得到的控制方程组^[11]为

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{c} \bar{u}_j) = D \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial T_j}{\partial x_j} + S_c. \quad (3)$$

式中, ρ 为流体的密度, kg/m^3 ; $\bar{u}$ 为流体的平均流速, m/s ; $\bar{p}$ 为流体的压力, Pa ; t 为时间, s ; i, j 分别为坐标轴方向; ν 和 D 分别为分子黏性系数和分子扩散系数; $\bar{c}$ 为气体组分体积分数; τ_{ij} 为亚格子应力; T_j

为亚格子质量通量; S_c 为源项, $kg/(m^3 \cdot s)$ 。

1.2 地形模型建立

以川东北某气田所提供30 m数字高程数据 and 等高距为1 m的集气站场局部等高线图为基础,在经纬度两个方向上采用曲线拟合方法建立集气站场及其附近区域地形模型。该集气站北侧为山坡,地势逐步升高,最大高差为69.4 m;东侧为一深沟,与集气站最大落差约为15 m,其他方向地势逐步降低。所建立地形模型区域长1 500 m,宽600 m,最大高差约为194 m。该集气站场所在区域地图及所建立的三维几何模型如图1、2所示。



图1 集气站区域地形及周边情况

Fig.1 Regional topography and surrounding circumstances of gas gathering station



图2 三维地形模型

Fig.2 Three dimensional terrain model

1.3 CFD 仿真计算

以非结构体网格对整个区域进行网格划分,并通过建立size函数以控制不同区域网格密度,在 SF_6 钢瓶区域附近采用较密网格,随着离钢瓶区域的增加,逐步增大网格。计算时,区域顶部采用对称边界条件,出流面采用出流边界条件,区域底面采用无滑移边界条件, SF_6 释放入口采用质量入口边界条件。入流边界条件是由Profile函数给出的速度入口边界条件。

计算过程中,控制方程离散采用有限体积法,对流项离散采用二阶迎风格式,扩散项离散采用中心差分格式,压力速度耦合采用SIMPLE算法。选用瞬态求解方法分2步完成气体泄漏扩散仿真计算:首先计算风场,随后引入气体释放入口进行风场和气体泄漏扩散的耦合计算。

选取 SF_6 释放质量为23.5 kg的试验进行分析。试验过程中集气站场实时气象监测数据每分钟更新一次,监测数据显示试验过程中大气温度、湿度

和大气压力变化较小,风速、风向变化较大,且风速、风向对气体扩散过程影响较大^[13]。因此,在仿真计算中将前三者数值取为平均值,风向、风速根据监测数据进行实时更新,以更加真实地反映试验过程中主要影响因素的变化情况,减少试验结果与仿真结

果之间的误差。试验过程中大气平均温度为 18.9℃;平均湿度为 29.8%;平均大气压力为 86.7 kPa。风向和风速如图 3 所示。平均风速为 2.39 m/s,平均风向角为 230.6°,其中风向角指风向与正北向顺时针方向的夹角。

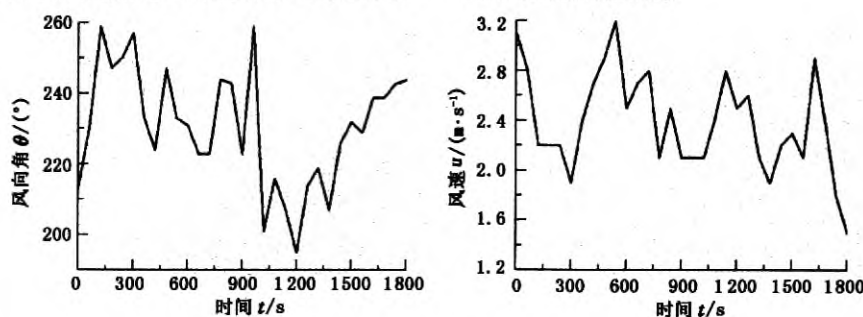


图3 试验过程风向和风速

Fig.3 Wind direction and wind speed in experiment

1.4 数值仿真计算结果分析

SF₆ 释放后 10 min 和 30 min 时地面 SF₆ 分布区域如图 4 所示。由图 4 可知,在试验开始之后,SF₆ 在风场的影响下,迅速向下风向运动,当 SF₆ 气体扩散到东侧地势较高区域后受到地形的阻滞作用,在

地势低处形成集聚,随泄漏量的增加,集聚区域 SF₆ 质量浓度逐步增加,部分 SF₆ 将在地形的诱导作用下向东偏南地势较低处进行扩散,同时,部分 SF₆ 在风场的影响下,被迫向地势较高的下风向方向抬升,而形成条带状的较大范围影响区域。

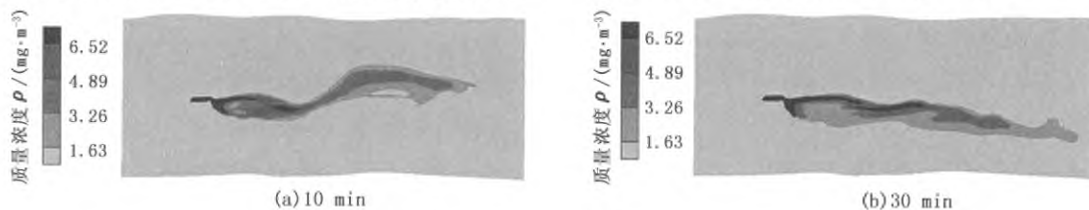


图4 地面 SF₆ 分布情况

Fig.4 Distribution of SF₆ on ground

试验时风场为旋转风,不同时刻地面 SF₆ 分布区域具有显著差异:在 10 min 时,地面 SF₆ 向东侧扩散,SF₆ 质量浓度为 6.52 mg/m³ 区域下风向最大长度为 407 m,宽度为 60 m;在 30 min 时,地面 SF₆ 向东偏南方向扩散,SF₆ 质量浓度为 6.52 mg/m³ 区域下风向最大长度为 600 m,宽度为 76 m。

仿真计算时在每一个采样点位置建立监测点,以实时输出采样点位置 SF₆ 质量浓度值。1#采样点 SF₆ 质量浓度随时间变化如图 5 所示。

从图 5 可以看出:在 SF₆ 释放之后,1#采样点处 SF₆ 质量浓度快速升高,在 40 s 时达到第一个峰值浓度 52.6 mg/m³;在仿真时间内,该点 SF₆ 质量浓度值变化起伏较大,多次出现峰值浓度,这是由于试验过程中现场环境风速和风向时刻都在发生变化(图 3),使 SF₆ 的扩散路径发生变化,产生旋转流动造成的。这说明环境风速和风向对气体扩散路径及

空间浓度分布影响较大。

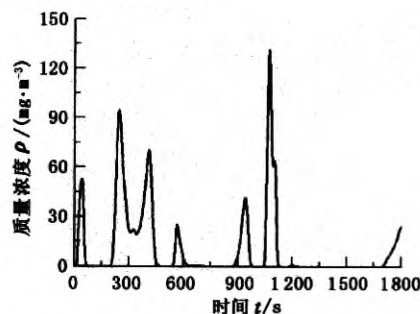


图5 1#采样点 SF₆ 浓度随时间变化

Fig.5 Variations of SF₆ concentration of NO.1 sampling point with time

综上可知:SF₆ 在泄漏扩散过程中易于在地势较低处集聚;地形对重气扩散方向具有阻滞和引导作用;环境风场对重气扩散路径影响较大,在较高风速的影响下重气依然向地势较高区域扩散。

2 气体泄漏扩散试验

2.1 试验方案设计

本试验在川东北某大型气田—集气站场区域进行,通过释放一定数量的示踪气体 SF_6 ,采集多个位置不同时刻气体样品,最后测量得到采样点浓度分布情况。试验过程中基本气象条件通过该集气站场实时监测数据获取,包括风向、风速、环境温度、大气压力和湿度等参数。在试验开始之前将 SF_6 钢瓶置于集气站场外侧地面上,并测取其经纬度坐标。试验过程中通过减压阀调节流量以达到 SF_6 均匀释放条件。每次释放时间为 30 min,通过对比释放前后钢瓶质量来确定释放量。共开展 5 次 SF_6 释放试验,释放质量为 10.3 ~ 28.7 kg, SF_6 质量流速为 5.72 ~ 15.94 g/s。

2.2 试验仪器及材料

试验仪器及材料主要包括有色烟雾发生器、电子时控大气采样器、气相色谱仪、GPS 定位仪、 SF_6 示踪气体、 SF_6 标气等。

2.3 采样点布置

SF_6 示踪试验均是在大范围空间内展开^[7-8],根据试验时及试验前观测到的风向等原则进行采样点的布置,没有考虑风向变化的特点,缺少直观性,容易造成采样点布置较多,而部分位置不能采到数据的情况。因此,为了有效降低人员设备需求和数据处理工作量,提高采样数据的有效性,在每次 SF_6 释放试验之前,以有色烟雾发生器为工具,释放烟雾以确定泄漏后气体在山区复杂地形环境下最可能的扩散路径,烟雾释放及扩散情况如图 6 所示。



图 6 烟雾释放及扩散情况

Fig. 6 Release and dispersion of colored smoke

根据观测到的有色烟雾扩散情况,结合下风向区域居民点分布情况及布点方便的原则,进行采样点布置。试验中共布置 12 个采样点,其中距泄漏源

最远采样点位置为 300 m,即该气田集气站场周围拆迁距离。

2.4 样品采集与分析

试验过程中采用电子时控大气采样器进行样品采集。每次 SF_6 释放试验开始之后 5 min 进行采样,每次采样时间为 5 min,中间间隔时间为 5 min,每次试验完成 3 次气体样本采集,即每次试验所采集 SF_6 质量浓度值为示踪试验开始之后的 5 ~ 10 min、15 ~ 20 min、25 ~ 30 min 3 个时间段内各采样点 5 min 的质量浓度平均值。

采用气相色谱—电子捕获检测法 (GC-ECD) 进行样品分析,以获得各采集时间段内 SF_6 质量浓度。

3 试验数据与仿真计算数据对比分析

根据仿真结果计算各采样点不同时间段内的 SF_6 质量浓度平均值,并与试验实测值进行对比分析。

图 7 为 1# 采样点和 4# 采样点在不同时间段内 SF_6 平均质量浓度的实测值和计算值。从图 7 可以看出,1# 采样点 SF_6 实测平均质量浓度在 5 ~ 10 min、15 ~ 20 min、25 ~ 30 min 时间段内呈现先增加后降低的趋势,而 4# 采样点 SF_6 实测平均质量浓度呈逐步下降的区域。与仿真计算结果对比可以看出 2 个采样点处 SF_6 平均质量浓度值与仿真计算值随时间变化的趋势基本一致,且数值比较接近,相对误差较小。

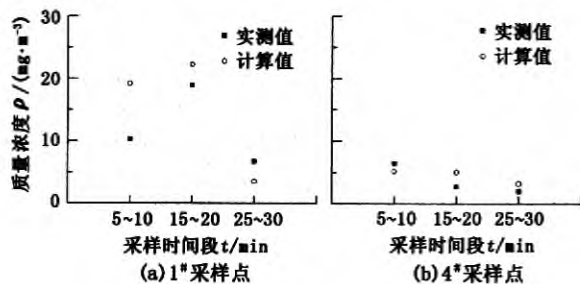


图 7 不同时间段内 1#、4# 采样点

SF_6 平均质量浓度实测值和计算值

Fig. 7 Experimental value and calculated value of SF_6 average concentration of NO. 1 and NO. 4 sampling points at different periods

图 8 为 25 ~ 30 min 时间内 12 个采样点处 SF_6 平均质量浓度的试验实测值和仿真计算值(图中曲线并不代表各采样点 SF_6 浓度变化趋势,仅为便于对比而连接)。由图 8 可知,试验实测值与仿真计算值比较接近,在可接受的误差范围内。

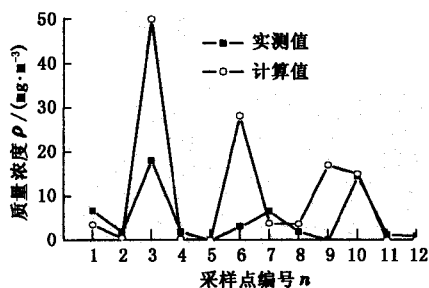


图8 25~30 min 时间内各采样点
SF₆ 平均浓度的实测值和计算值

Fig.8 Experimental value and calculated value
of SF₆ average concentration of all sampling
points in 25-30 min

从图7、8可以看出:试验值与计算值比较吻合,但二者之间存在一定的偏差,其中3*、6*和9*采样点位置25~30 min 时间内 SF₆ 平均质量浓度现场实测值与仿真计算值之间的偏差相对较大,这是由于这3个采样点处于集气站场东侧深沟区域,该区域地势向东南方向逐步降低,而且文中所建立的地形模型网格间距为30 m,将会出现局部地势较低区域被填平,而局部地势较高区域被削平的情况,致使这3个采样点所在区域地形呈现更为明显的沟渠特性,而对 SF₆ 扩散过程产生引导作用,使该区域 SF₆ 大量积聚,从而导致这3个采样点处 SF₆ 试验值与仿真计算值相差较大;试验过程中该区域风向角变化范围为195°~259°,风速变化范围为1.5~3.2 m/s,频繁变化的风向和风速,以及受地面植被、集气站场缓冲罐、分离器等的影响,使 SF₆ 气体在扩散过程中发生旋转变换,而仿真过程中模拟风场为每1 min 更新一次,并对地面树木、集气站设备等进行简化处理,这些变化使模拟风场与实际存在一定的偏差,从而导致试验数据与仿真计算值存在偏差;试验仪器的精度、人为因素等原因也影响试验结果的准确性。因此,在以后的研究中,应尽可能获取更为详细的地面数字高程数据,提高仿真几何模型精度,降低由地形模型引起的计算误差。

由上述分析可知,建立的复杂地形气体扩散仿真模型计算结果与试验值比较接近,具有较高的精度,能够用于复杂地形条件下气体扩散规律的研究,指导事故评价、预防、控制等工作的开展。具体体现为:首先,该模型通过设置相应的初始条件和边界条件,可以分析不同环境、不同泄漏参数等条件下的气

体扩散规律,得出危险气体泄漏扩散后的时空分布情况(图4),从而根据危险气体毒害标准(如 H₂S 的阈限值为15 mg/m³,安全临界浓度为30 mg/m³,危险临界浓度为150 mg/m³)划分不同的危害区域,提前开展事故预防工作,制定有针对性的事故应急救援和控制技术方案,包括人员疏散区域、道路交通管制区域、现场人员防护措施等;其次,该模型通过建立不同的监测点,能够预测不同位置气体达到危险浓度所需时间及持续时间(图5),从而确定不同位置所允许的人员疏散时间及事故影响区域恢复安全所需时间,以指导气体泄漏事故中的人员疏散,确定现场人员是否采用就地庇护措施等。

4 结 论

(1)设计的利用有色烟雾发生器为工具进行采样点布置、采用电子时控大气采样器和气相色谱-电子捕获检测法进行样品采集和分析的试验方案是合理可行的,能够有效降低采样点数量,提高采样数据的有效性,实现对试验数据的采集和分析。

(2)提出的一套基于 CFD 方法的复杂地形气体扩散仿真模型计算结果可靠、精度较高,能够有效处理山区复杂地形条件下气体泄漏扩散过程,对危险气体泄漏事故评价、预防、控制等工作的开展具有实际指导意义。

(3)重气泄漏扩散过程中具有明显的向地表沉降的趋势,且地形、风向风速对气体泄漏扩散具有较大的影响。在复杂地形气体泄漏事故人员疏散过程中,可以据此做出快速反应,选择有效疏散路径。

致谢 在试验过程中,川东北某气田集气站工作人员提供了大力支持,中国石油大学海洋油气装备与安全技术研究中心谭清磊、郭恒、李准参加了现场的释放、采样、分析工作,特此致谢。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会. SY/T 5087-2005 含硫化氢油气井安全钻井推荐做法[S]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 徐龙君,吴江,李洪强. 重庆开县井喷事故的环境影响分析[J]. 中国安全科学学报,2005,15(5):84-87. XU Long-jun, WU Jiang, LI Hong-qiang. Analysis on environment impact of chongqing kaixian blowout [J]. China Safety Science Journal, 2005,15(5):84-87.

(下转第135页)

- tems Engineering-Theory & Practice, 2009,29(8):153-159.
- [11] 焦李成. 神经网络的应用与实现[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1993.
- [12] 胡瑾秋,张来斌,梁伟,等. 基于谐波小波分析的管道小泄漏诊断方法[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(4):118-124.
- HU Jin-qi, ZHANG Lai-bin, LIANG Wei, et al. Small leakage detection of long distance pipeline based on harmonic wavelet analysis[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(4):118-124.
- [13] 王浩,张来斌,王朝晖,等. 迭代奇异值分解降噪与关联维数在烟气轮机故障诊断中的应用[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2009,33(1):93-98.
- WANG Hao, ZHANG Lai-bin, WANG Zhao-hui, et al. Application of ISVD de-noising and correlation dimension in fault diagnosis of flue gas turbine[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009,33(1):93-98.
- (编辑 沈玉英)
-
- (上接第126页)
- [3] 朱渊,陈国明,刘德绪. 复杂地形天然气净化厂脱硫装置泄漏事故模拟及危害评价[J]. 化工学报, 2010, 61(10):2758-2764.
- ZHU Yuan, CHEN Guo-ming, LIU De-xu. Simulation and assessment on leakage hazard from gas sweetening unit of sour gas processing plant in complex terrain[J]. CIESC Journal, 2010,61(10):2758-2764.
- [4] 章博,陈国明. 基于计算流体力学的集气站气体检测报警仪布置优化[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2010,34(5):141-146.
- ZHANG Bo, CHEN Guo-ming. Optimization of gas detection and alarm instrument networks at gas gathering station based on CFD [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010,34(5):141-146.
- [5] SCARGIALI F, DI RIENZO E, CIOFALO M, et al. Heavy gas dispersion modelling over a topographically complex mesoscale: a CFD based approach [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2005,83(3):242-256.
- [6] 沈艳涛,于建国. 有毒有害气体泄漏的CFD数值模拟(I):模型建立与校验[J]. 化工学报, 2007,58(3):745-749.
- SHEN Yan-tao, YU Jian-guo. Numerical simulation of hazardous gas release with CFD model (I): establishment and verification of model [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2007,58(3):745-749.
- [7] 胡二邦,辛存田,宣义仁,等. 福建惠安核电厂址SF6示踪试验研究[J]. 环境科学学报, 2004,24(2):320-325.
- HU Er-bang, XIN Cun-tian, XUAN Yi-ren, et al. The SF6 tracer experiment study in the Fujian Huian nuclear power plant [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2004, 24(2):320-325.
- [8] 张永义,闫江雨,卫为强. 复杂地形条件下大气扩散六氟化硫示踪试验研究[J]. 辐射防护通讯, 2006,20(3):7-14.
- ZHANG Yong-yi, YAN Jiang-yu, WEI Wei-qiang. Sulfur hexafluoride-based atmosphere diffusion trace experimental study in complex topography [J]. Radiation Protection Bulletin, 2006,20(3):7-14.
- [9] GENIKHOVICH E L, SCHIERMEIER F A. Comparison of United States and Russian complex terrain diffusion models developed for regulatory applications [J]. Atmospheric Environment, 1995,29A(17):2375-2385.
- [10] 颜峻,左哲. CFD方法对突发性化学事故中危险物质泄漏范围的确定[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(1):102-106.
- YAN Jun, ZUO Zhe. Leaking coverage definition for dangerous materials during emergent chemical accidents based on CFD method [J]. China Safety Science Journal, 2007,17(1):102-106.
- [11] 崔桂香,史瑞丰,王志石,等. 城市大气微环境大涡模拟研究[J]. 中国科学G辑:物理学,力学,天文学, 2008,38(6):626-636.
- CUI Gui-xiang, SHI Rui-feng, WANG Zhi-shi, et al. Large eddy simulation of city micro-atmospheric environment [J]. Science in China Series G: Physics, Mechanics, Astronomy, 2008,38(6):626-636.
- [12] LI Xian-xiang, LIU Chun-hu, DENNIS Y C Leung, et al. Recent progress in CFD modeling of wind field and pollutant transport in street canyons [J]. Atmospheric Environment, 2006,40(29):5640-5658.
- [13] 孙安娜,段常贵,周卫. 地下燃气管道事故泄漏扩散分析[J]. 煤气与热力, 2007,27(1):17-20.
- SUN An-na, DUAN Chang-gui, ZHOU Wei. Diffusion analysis of leaked gas during accident of underground gas pipeline [J]. Gas & Heat, 2007,27(1):17-20.
- (编辑 沈玉英)