

有限空间的甲烷泄漏模拟

李秋¹, 潘承继^{1,2}, 李席^{1,2*}, 王传虎¹

(1. 蚌埠学院 硅基新材料安徽省工程技术研究中心, 安徽 蚌埠 233030;

2. 南京理工大学 化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 甲烷气体意外泄漏扩散时, 容易造成人员伤亡, 破坏环境。采用 Fluent 软件模拟有限空间的甲烷气体泄露, 建立计算模型, 对不同位置发生的气体泄漏进行模拟计算, 分析甲烷的泄漏口位置、障碍物位置和泄露时间的影响, 并得出有限空间内甲烷易于聚集的区域和甲烷不易聚集的区域, 为甲烷报警器的安装和发生泄漏时的应急处理提供了理论依据。

关键词: 泄漏时间; 甲烷; 泄漏; 有限空间

中图分类号: X82; X507

文献标识码: A

文章编号: (2022)02-0026-03

DOI:10.13900/j.cnki.jbc.2022.02.022

Methane Leak Simulation in Finite Space

LI Qiu¹, PAN Cheng-ji^{1,2}, LI Xi^{1,2*}, WANG chuan-hu¹

(1. Engineering Technology Research Center of Silicon-based Materials, Bengbu University, Bengbu, 233030, Anhui;

2. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094, Jiangsu)

Abstract: When methane gas accidentally leaks and diffuses, it is easy to cause casualties and damage the environment. Fluent software was used to simulate methane gas leakage in a limited space. Related model was established and gas leakage was simulated. The methane leakage was analyzed from the impact of methane leak location, obstacle location and leakage time. The methane accumulation area and the area where methane is not easy to accumulate was in a limited space were obtained. The results would provide a theoretical basis for the installation of methane alarms and emergency treatment in case of leakage.

Key words: leak time; methane; leak; limited space

天然气在城市生活和工业生产中得到广泛的应用。2019年我国天然气消费总量为3,064亿立方米,能源消费占比达到8.1%。天然气常发生的事故是居民室内生活燃气泄漏所引起的爆炸,增加了天然气推广和国家能源结构转型的难度。天然气主要成分为甲烷,甲烷作为一种易燃易爆气体,爆炸极限为5%–15%,遇热源和明火有燃烧爆炸的危险。燃气管道泄漏位置难以预测,泄漏发生后人员大多不能及时处理,所以对天然气中甲烷的泄漏扩散分

析有重要的意义。

目前,对气体扩散的研究中,李席^[1]基于计算流体力学对船舱CO₂泄漏扩散进行模拟,探究了泄漏速度、障碍物高度和倾斜角对泄漏扩散的影响。屈洋^[2]对长输管道天然气泄漏扩散进行分析,并计算天然气泄漏的危害区域,由此预防和控制由管道气体泄漏引起的事故。叶峰^[3]利用有限元方法和流体力学的有关理论,建立了天然气在大气中扩散传播的有限元模型和数学模型,并对天然气在大气

收稿日期: 2021-09-10 * 通讯联系人

基金项目: 安徽省教育厅虚拟仿真实验教学项目(2019xfxm79); 蚌埠学院“课程思政”示范课程项目(2020KCSZ24); 蚌埠学院教育教学改革研究项目(2020jyxm20); 安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2020A0747); 蚌埠学院产学研合作项目(00010005)。

作者简介: 李秋(1979-),女,辽宁大连人,讲师,硕士。E-mail: liqiu1802051@126.com

中的扩散传播动态情况进行计算模拟。国内学者大多针对气体在大气中扩散建立模型,对于甲烷气体在室内发生泄漏的研究暂缺,因此本研究针对有限空间的应用环境,模拟甲烷泄漏后的扩散,以得出甲烷易聚集区,为有限密闭条件下安全问题的分析提供依据。

1 甲烷泄漏的模拟设计

1.1 基本假设

由于泄漏模型较为复杂,为了简化模拟计算出区域内甲烷泄漏扩散形成的浓度场模型,做出以下基本假设:

(1) 泄漏的甲烷气体是理想气体,遵守理想气体状态方程;

(2) 风速不会对整个扩散过程产生影响;

(3) 忽略地面对泄漏甲烷气体的吸收;

(4) 整个过程中不发生任何化学反应。

1.2 初始条件

所选用的有限空间是一个长 5 m、宽 2 m、高 2.5 m 的储藏室,为了方便对结果观察,将储藏室简化成剖视图 1 中长 5 m、高 2.5 m 的长方形区域。

为方便建模,以圆孔口泄漏为基础,当孔口不规则时,采取当量直径代替,选取泄漏口直径为 0.04 m。增加 4 个测点,测点的高度设置为人的呼吸器官所在的高度^[4],如图 1 所示,可以得到若干组不同的甲烷浓度、速度随时间变化的数据。

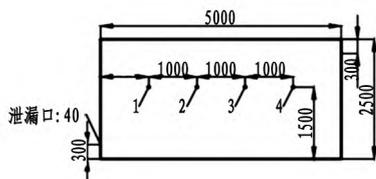


图 1 空间中甲烷泄漏的物理模型

模型采用的是结构化网格划分,网格模型的整体网格划分采用快速的表面 2D 网格生成方法,网格尺寸为 0.02 m,对网格局部进行细分,进口和出口单独采用尺寸调整的方法进行细分,入口出口尺寸为 0.005 m,最后统计网格数量为 31394 个,有 31778 个节点,表面积为 12.5 m²。将进口边界命名为(inlet),出口边界命名为(outlet),其余边界均为墙壁,命名为(wall)。

2 甲烷气体泄漏的模拟分析

甲烷的扩散属于湍流扩散,所以本设计通过 Fluent 软件使用标准 k-epsilon 模型^[5],模型常数保持默认。

2.1 泄漏位置高度的影响

甲烷气体在发生泄漏事故时,泄漏位置影响有限空间气体浓度的分布和传播。为了考察泄漏位置高度对扩散的影响,选取了泄漏口离地 0.3 m 和 0.6 m 的高度,将泄漏速度固定为 6 m/s,无障碍物影响,扩散 60 s,通过模拟观察浓度的变化。

根据图 2 和图 3 可知,甲烷在泄漏口上方聚集,而下方甲烷浓度明显要小于上方的浓度。这是因为甲烷在泄漏初始阶段具有初速度,会形成射流,在扩散中甲烷受到浮力的作用。当气体密度低于空气密度时,气体向上扩散,上方的气体浓度会大于下方。观察图 2 和图 3 两组图形可以看出在靠近通风口上方的浓度较大,这是因为空间内外存在气体浓度差,靠近通风口区域的甲烷气体顺气体浓度梯度溢出室外,所以空间内离泄漏口远的,上方甲烷浓度最大。泄漏口位置偏高时,甲烷气体更易聚集在有限空间的对面墙壁附近。而不同高度泄漏口,甲烷浓度最大的位置都是对侧墙壁上方,所以在浓度大的位置开设通风口,将有效降低甲烷气体浓度。

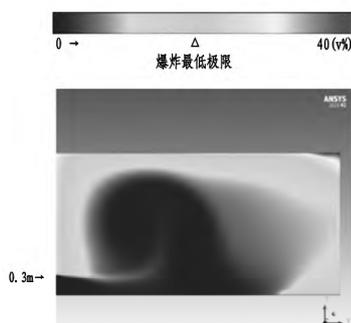


图 2 泄漏口离地 0.3 m 时浓度图像

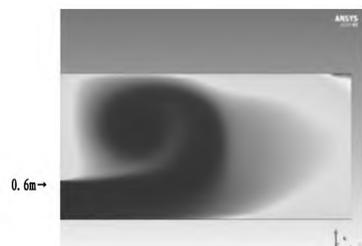


图 3 泄漏口离地 0.6 m 时浓度图像

2.2 障碍物位置的影响

为了比较障碍物对甲烷扩散的影响,固定泄漏口径为 0.04 m,泄漏速度 6 m/s,比较泄漏口距障碍物分别为 1 m 和 2 m 两种情况。有限空间中障碍物影响了甲烷气体的扩散过程,甲烷气体在遇到障碍物时改变了运动路径。由图 4、图 5 可知,障碍物离泄漏口的距离不同,各个位置得到的浓度值不同,但形成的浓度场分布却相似。在有障碍物的条件

下,相同扩散时间内,更易使甲烷出现高危险浓度区域,所以空间内发生爆炸危险的可能性比无障碍物的空间要大。并且,障碍物距离越近,泄漏口附近达到危险浓度的时间越短。

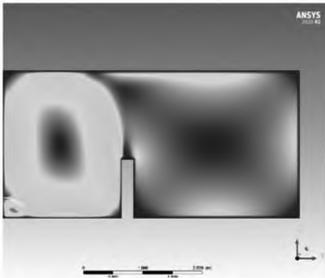


图4 障碍物距离泄漏口2 m, $t = 60$ s时浓度图像

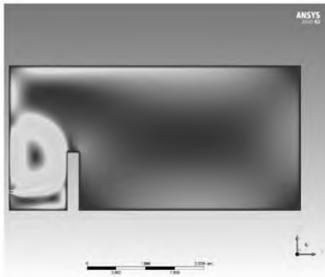


图5 障碍物距离泄漏口1 m, $t = 30$ s时浓度图像

2.3 泄漏时间的影响

将泄漏口孔径设置为0.04 m,离地高度0.3 m,障碍物距泄漏口2 m,将泄漏速度设为6 m/s进行瞬态设置,对不同时间的图像进行比较分析。

如图6 - 图11所示。甲烷从泄漏口喷射出来后,由于初始动能,气体进行扩散,扩散过程中甲烷与空气混合后,主要向对侧上方扩散。30 s之前,障碍物外侧甲烷气体主要在上方空间分布。

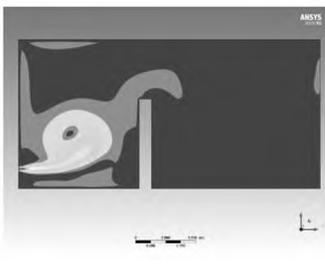


图6 泄漏瞬时图像, $t = 10$ s

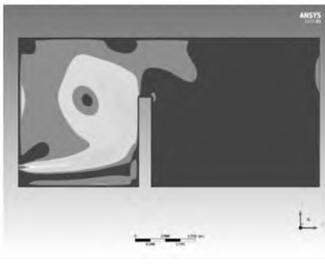


图7 泄漏瞬时图像, $t = 15$ s

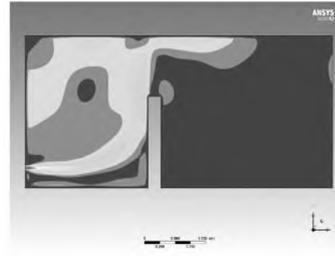


图8 泄漏瞬时图像, $t = 25$ s

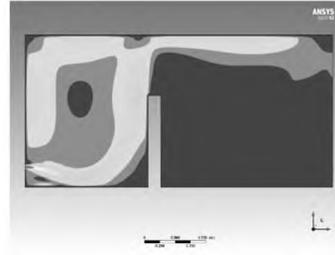


图9 泄漏瞬时图像, $t = 30$ s

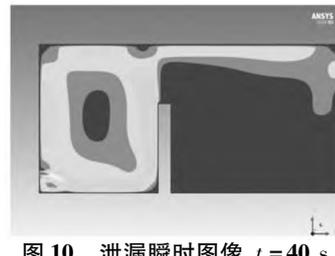


图10 泄漏瞬时图像, $t = 40$ s

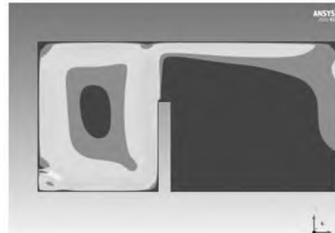


图11 泄漏瞬时图像, $t = 50$ s

以监测点二为例,追踪时间 - 浓度的关系,如图12所示。

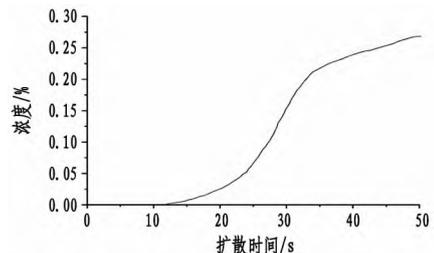


图12 测点二的时间 - 浓度图

(下转第35页)

参考文献:

- [1] 韩辉辉. 热处理温度对 W6Mo5Cr4V8In 高钒高速钢组织与性能的影响 [J]. 钢铁钒钛, 2017, 38(1): 54 - 59.
- [2] 侯锡铭, 刘坤峰, 曾雪兰. 热处理工艺对 SF9V 高速钢组织及性能的影响 [J]. 铸造技术, 2015, 36(4): 913 - 915.
- [3] DENG G Y, TIEU A K, SU L H, et al. Characterizing deformation behaviour of an oxidized high speed steel: Effects of nanoindentation depth, friction and oxide scale porosity [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2019, 155: 267 - 285.
- [4] KAMIMIYADA K, KONNO Y J, YANAGITSURU A. Effect of heating conditions before quenching on residual stress in high-speed steel type cast iron rolls by centrifugal cast [J]. Materials Transactions, 2020, 61(10): 1987 - 1993.
- [5] 迟宏宵, 马党参, 占礼春, 等. 热处理对高速钢 W6Mo5Cr4V3Co8 组织和性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2012, 33(12): 105 - 109.
- [6] 秦曾. 离心铸造高速钢热处理工艺及性能研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
- [7] 杜忠泽, 符寒光, 丰振军, 等. 回火处理对铸造高速钢轧辊耐磨性的影响 [J]. 材料热处理学报, 2011, 32(2): 93 - 99.
- [8] 周雪峰, 朱旺龙, 江红兵, 等. 高速钢过回火合金碳化物演变行为 [J]. 材料热处理学报, 2016, 37(9): 139 - 143.
- [9] 尧登灿, 张道达, 熊伟, 等. 高速钢 W6Mo5Cr4V2 热处理工艺新探讨 [J]. 热处理技术与装备, 2016, 37(6): 26 - 28.
- [10] 徐流杰, 李洲, 魏世忠. 高钒高速钢回火过程中碳化钒析出与残留奥氏体转变 [J]. 金属热处理, 2016, 41(5): 6 - 11.
- [11] 彭凯, 高原, 韦文竹, 等. 淬火温度对 W-Mo-Dy 稀土表面高速钢高温摩擦系数及磨损量的影响 [J]. 热加工工艺, 2017, 46(4): 251 - 253.
- [12] 李勇, 牛丽媛, 高光亮, 等. 淬火回火对 W6Mo5Cr4V2Si 新型高速钢组织与硬度的影响 [J]. 热加工工艺, 2013, 42(18): 155 - 157.
- [13] 于震, 符寒光, 杜忠泽, 等. 淬火对高硼高速钢轧辊材料组织和性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2013, 34(4): 138 - 142.
- [14] 杨智强, 郭红星, 吕潍威. 淬火处理对轧辊用高硼高速钢组织和性能的影响 [J]. 铸造技术, 2020, 41(3): 231 - 236.
- [15] YANG Y, FU H, LEI Y, et al. Phase diagram calculation and analyze on cast high-boron high-speed steel [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2016, 25(2): 409 - 420.
- [16] JIANG J, FU H, ZHENG L, et al. Effect of quenching on microstructure and wear-resistance of Fe-10Cr-1.5B-2Al alloy [J]. Materials Science and Engineering Technology, 2016, 47(9): 822 - 830.
- [17] 蒋一, 岑启宏, 蒋业华, 等. 冷却速度对离心铸造高硼高速钢轧环组织的影响 [J]. 材料热处理学报, 2013, 34(4): 128 - 132.

责任编辑: 朱家席

(上接第 28 页)

由图 12 可以看出, 在 10 s 以前泄漏的甲烷气体还没有到达测点二, 大约在 10 s 时气体运动到测点二, 随后的气体运动速度较快, 浓度显著增加。在 30 s 以后气体运动速度明显降低, 这是因为整个空间的气体浓度增大, 气体运动阻力增大, 且障碍物后方空间危险性越来越大。因此, 当如图 12 模拟发生泄漏, 经 10 s 测点二报警提示后, 20 s 内人员必须撤离现场。

3 结论

针对甲烷气体泄漏, 通过模拟分析得知:

(1) 泄漏口位置偏高时, 甲烷气体更易聚集在有限空间的对面墙壁附近。不同高度泄漏口, 甲烷浓度最大的位置都是对侧墙壁上方, 此处设置通风口, 将有效降低甲烷气体浓度。

(2) 障碍物距离泄漏口越近, 泄漏口附近达到危险浓度的时间越短。因此, 在甲烷气体存储点附

近尽量不要设有障碍物。

(3) 甲烷气体扩散需要一定时间, 若离泄漏点 2 m 的监测点报警提示, 人员需在报警后 20 s 内撤离事故现场。

参考文献:

- [1] 李席, 朱林林, 李宗群, 等. 船舱 CO₂ 泄漏模拟分析 [J]. 佳木斯大学学报, 2021, 1(1): 72 - 76.
- [2] 屈洋, 杜胜男, 王聪, 等. 天然气泄漏扩散模型研究 [J]. 当代化工, 2015, 44(10): 2483 - 2485.
- [3] 叶峰, 廖开贵, 张亚明, 等. 天然气管道泄漏数值模拟研究 [J]. 油气田地面工程, 2008(6): 19 - 20.
- [4] 杨唐, 韩云平, 李琳. 雾霾天人体平均呼吸高度处不同粒径气溶胶的微生物特征 [J]. 环境科学, 2019, 40(4): 162 - 169.
- [5] 郭航, 马重芳, 陶文铨, 等. SIMPLE 算法的一个新的改进方案 [J]. 西安交通大学学报, 2002(1): 20 - 24, 42.

责任编辑: 李云