

企业车间氩气泄漏模拟

李 席^{1,2} 郭 勇¹ 金效齐¹ 朱林林¹ 杨贵丽³ 李宗群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; 3. 蚌埠医学院第一附属医院 安徽蚌埠 233030)

摘 要: 用Fluent软件模拟企业车间氩气扩散过程,分析环境风速和氩气泄漏速度对氩气泄漏扩散的影响,结果:氩气泄露以射流进入受限空间,向地面扩散沉积显著;环境风速越大,氩气射流的水平距离越短,氩气泄漏扩散的范围越小,人安全区域越大;氩气泄露速度越大,向下扩散的趋势越显著,氩气浓度的上升速度越快,扩散范围越广,人逃生越困难。

关键词: 车间;氩气泄漏;扩散;模拟

中图分类号: X951

文献标识码: A

文章编号: 2095-0438(2020)12-0154-04

氩气作为一种惰性稀有气体,在工业上应用相当广泛。在航空航天制造、节能玻璃、医学、化工行业、金属冶炼和热处理工业中常作为保护气,防止金属被空气氧化或氮化^[1-2]。氩气不会对人体有直接危害,但其浓度过高时可造成人死亡。近年来,受限空间氩气泄漏造成事故较多。比如2001年合肥某企业车间发生氩气泄漏事故,造成4人死亡;南京一钢铁厂转炉车间2014年发生氩气泄漏,造成3人死亡;2019年扬州市某个工厂突然发生氩气泄漏事故,紧急疏散一百多名员工^[3-5]。因此,研究氩气泄露扩散以可靠地监测空间内氩气的分布浓度和扩散范围,对于妥善的应急处置十分必要。

近年来,国内外学者对易燃、易爆、有毒有害气体等泄漏扩散进行了广泛研究^[6-8],而关于氩气空间的研究较少,高江

涛等应用离散相模型对某钢厂200t钢包底吹氩进行数值模拟研究^[9];吴强等结合理论分析和实验研究探讨了氩气有限空间内传热过程^[10];现有研究较少针对受限空间泄露扩散,为此,本文利用计算流体力学软件Fluent模拟企业车间氩气的泄漏过程,探讨环境风速和氩气泄露速度对氩气泄漏扩散后的浓度空间分布影响,所得结果可为氩气泄漏预防及事故处理提供参考。

一、氩气泄露扩散的计算模型

(一)物理模型。氩气泄漏扩散的基本方程有质量守恒方程、连续性方程、动量方程、能量方程、组分传输方程等^[11]。

收稿日期: 2020-06-20

作者简介: 李席(1989-),男,安徽蚌埠人,蚌埠学院硅基新材料安徽省工程技术研究中心讲师,研究方向:安全工程教学及科研工作。通讯作者:李宗群(1967-),男,安徽六安人,蚌埠学院硅基新材料安徽省工程技术研究中心教授,硕士,研究方向:新型复合材料设计及应用研究。

基金项目: 安徽省高等学校省级质量工程项目“工业锅炉DCS控制和3D虚拟仿真实验”(2019xfxm79);安徽省高等学校省级质量工程项目“精馏3D及工业双塔精馏DSC控制虚拟仿真实验”(2018xfsyxm009);蚌埠学院质量工程项目“化工安全工程化教学改革的质量监控及反馈机制研究”(2019JYXML15);蚌埠学院质量工程项目“基于模块化工程化《化工制图》及《化工制图课程设计》教学模式与教学方法探索”。

选择普遍使用的标准 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型,该模型计算收敛性和精确性都能达到一般工程计算要求^[12]。

以某加工车间建立 2D 物理模型(图 1),研究氩气泄漏,计算域长 6m、高 3m^[13],水平方向距离地面 1m 处有直径 0.1m 的泄漏孔,工作时门为关闭状态,空间内窗户高为 0.8m,位于泄露口对侧高度 1.2m 处和计算域正上方。

为了更加准确反映氩气泄漏扩散的影响,在计算域内设定测点,通过测点处氩气的浓度,可为制定氩气泄漏时应急处理措施提供依据。测点的高度依据正常人的呼吸器官高度 1.5m^[14],测点坐标如表 1 所示。

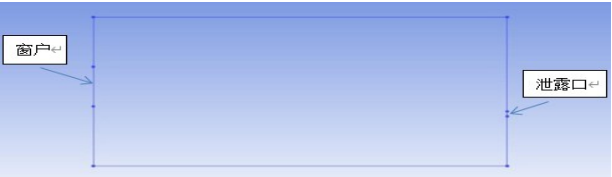


图 1 窗在泄露口对侧时氩气泄漏的物理模型

表 1 各个测点的坐标

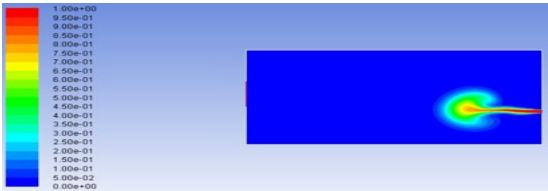
测点序号	1	2	3
坐标	(0.5, 1.5)	(3, 1.5)	(5.5, 1.5)

(二)初始条件。计算过程涉及速度入口、压力出口、壁面三种边界条件。泄漏口设置为速度入口、窗户设置为压力出口,其余边设定为壁面(WALL)边界条件。物理模型的网格采用全四边形网格,泄露口和窗户口附近加密的网格最大尺寸为 0.001m,其他网格的最大尺寸为 0.02m。影响氩气泄露扩散的因素较多,本文主要研究窗户位置、环境风速和、氩气泄露速度对氩气扩散的影响。

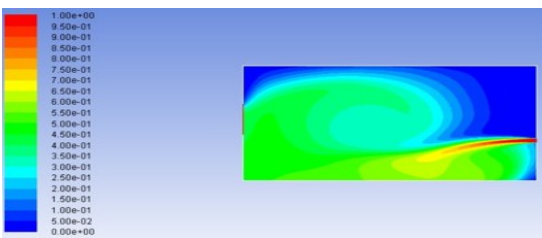
二、结果与讨论

(一)氩气泄露扩散基本过程。以氩气泄漏速度 5m/s,无环境风条件的模拟结果为例,图 2 为氩气管道扩散的各个时间点(T=1s,10s 和 30s)氩气质量分数空间分布图。

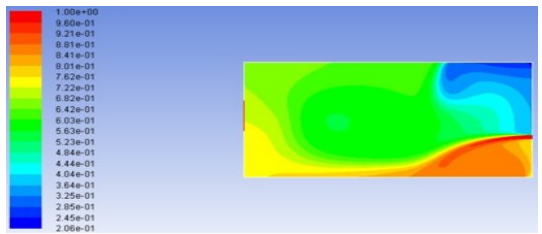
以氩气泄漏速度 5m/s,无环境风条件的模拟结果为例,图 2 为氩气管道扩散的各个时间点(T=1s,10s 和 30s)氩气质量分数空间分布图。



(a) 1s



(b) 10s



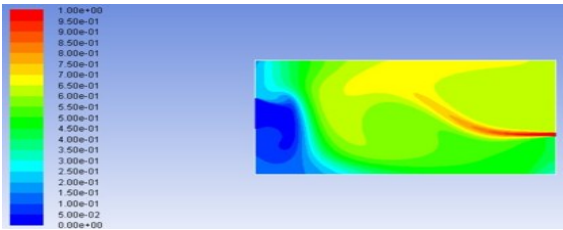
(c) 30s

图 2 不同时刻氩气质量分数空间分布图

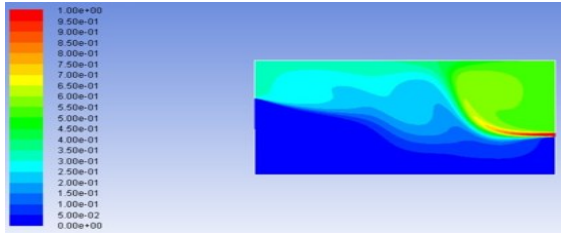
氩气刚发生泄漏时,以射流进入大气环境中^[15],由于浮力作用、空气阻力及重力等作用,一部分氩气向上扩散,另一部分向下扩散。随着氩气不断地扩散,泄漏氩气所受的惯性力作用逐渐减小,氩气是比大气密度更大的重气^[16],故氩气主要向下扩散趋势明显,导致地面附近氩气浓度增加,氩气碰撞地面后向四周散开,一部分氩气在压力出口被稀释。经过一段时间,下降趋势会随着大气的稀释而减弱,整个空间形成明显浓度分层,下层浓度明显高于上层浓度。

(二)影响因素。

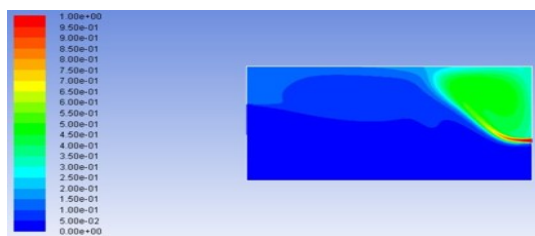
1. 环境风速。图 3 为氩气泄漏速度 5m/s,环境风速分别是 1m/s、3m/s 和 5m/s 情况下氩气泄漏扩散 30s 的质量分数空间分布图。图 4 为三种风速下测点氩气质量分数的变化图。



(a) 风速 1m/s

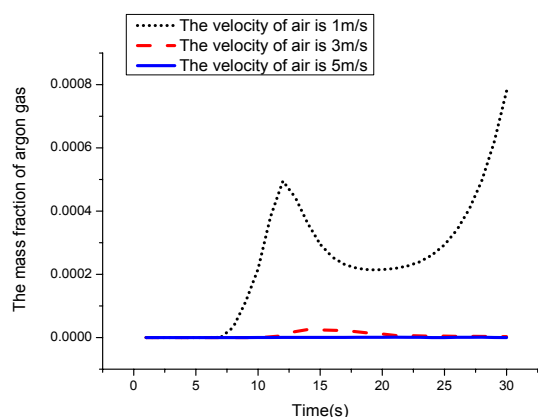


(b) 风速 3m/s

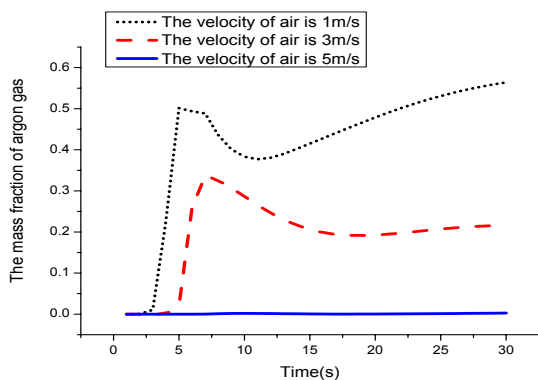


(c) 5m/s

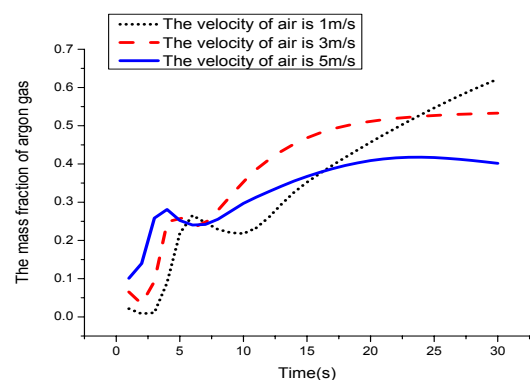
图3 不同环境风速车间氩气质量分数空间分布图



(1)测点1



(2)测点2

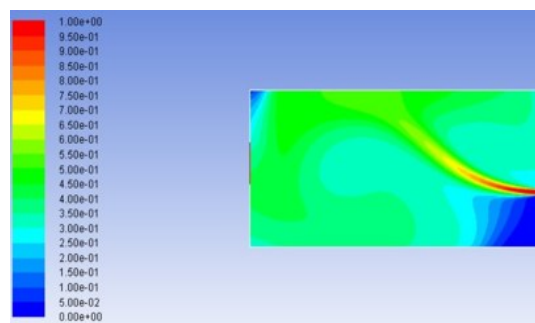


(c)测点3

图4 三种风速下不同测点氩气质量分数变化

结合图3~4可知,测点处氩气浓度的变化趋势基本相同,都有上升和下降变化过程,且各点的浓度值区分明显。环境风对泄漏扩散有明显的稀释作用,氩气迎风风速的作用下向上方运动趋势明显,风速越大,氩气扩散射流的水平距离越短,氩气越往泄露源上方附近区域靠拢,氩气泄漏扩散的范围越小。氩气的浓度达到33%时可使人窒息^[17],风速达到5m/s时,安全区域大幅度增加。

2. 氩气泄漏速度。图5为窗户设置在泄露口对面,泄露速度分别为2m/s、7m/s 氩气泄露扩散30s的氩气质量分数空间分布。

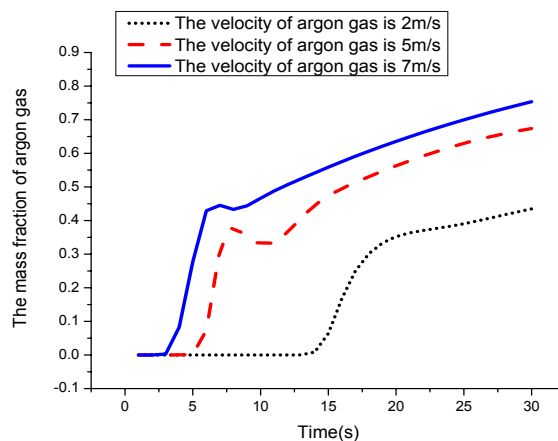


(a)泄漏速度2m/s

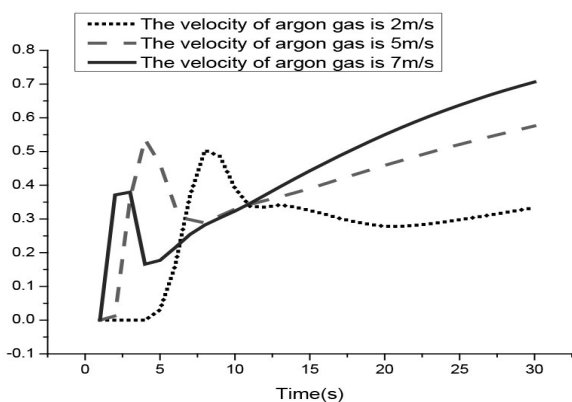


(b)泄漏速度7m/s

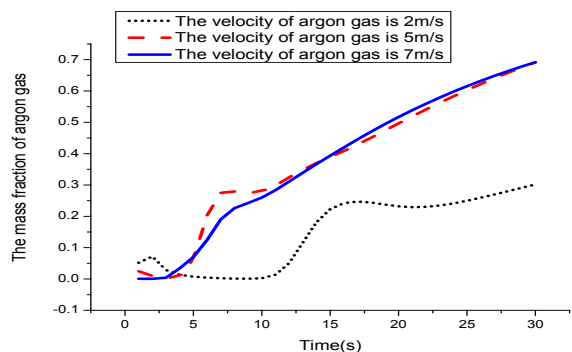
图5 不同泄露速度时氩气质量分数空间分布



(1)测点1



(2)测点 2



(c)测点 3

图6 三种泄漏速度下不同测点的氩气质量分数变化

结合图2、图5和图6分析可得:1)氩气泄漏速度越大,单位时间内泄漏出的氩气越多,射流受重力的影响越大,向地面沉积扩散越显著,射流的水平距离越远,扩散过程中出现的回流现象越明显,扩散范围越广,空间内浓度越高。2)泄漏速度越大,氩气浓度的上升速度越快。窗户附近区域泄漏速度为2m/s时,要接近20s氩气浓度才达到33%;泄漏速度为7m/s时,仅经过5s左右氩气浓度即到达使人窒息浓度,给人逃生带来较大困难。3)泄漏速度为5m/s和7m/s,泄露源附近区域在计算时间范围内氩气浓度上升速率几乎重合,15s氩气浓度即可让人窒息。

三、结论

用计算流体力学Fluent软件对企业车间氩气泄漏扩散进行了模拟研究,分析了环境风速和泄漏速度对氩气泄露扩散的影响。主要结论有:

(1)氩气泄露以射流进入受限空间,受浮力作用、空气阻力及重力等作用,氩气向下方扩散趋势明显。

(2)环境风对氩气泄漏扩散稀释作用明显,环境风速越大,氩气泄露射流的水平距离越短,氩气向泄露源上方附近区域聚集越显著,氩气泄漏扩散的范围越小,人安全区域越大。

(3)氩气泄漏速度越大,向地面扩散沉积的趋势越显著,氩气浓度的上升速度越快,空间内浓度越高,人逃生越困难。

参考文献:

- [1]丁光柱,陈思杰,李报.焊接温度对连续油管TLP扩散焊接接头组织与性能的影响[J].材料科学与工程学报,2019,37(2):62-66.
- [2]王利达,李敏,邹江林,等.激光-钨极稀有气体电弧复合焊接等离子体的多重成像特征[J].中国激光,2019,6(3):88-93.
- [3]楚楚.未穿防护设备违规作业断送性命——江苏南京钢铁厂氩气泄漏致3死[J].广东安全生产,2014(13):50-50.
- [4]俞琪.西安市黑化工厂氩气泄漏致2人死亡厂长隐瞒事故真相将受重罚[J].广东安全生产,2016(6):63-63.
- [5]汪怀生.合肥发生氩气泄漏事故四死五伤[J].深冷技术,2002(1):53.
- [6]尚融雪,李子浩,张新伟,等.基于Fluent的城镇LPG管道泄漏事故后果及影响因素分析[J].广西大学学报:自然科学版,2019,44(1):298-303.
- [7]李海航,陈屹东,刘延雷,等.隧道内氩气泄漏扩散分布特征数值模拟[J].安全与环境学报,2019(3):813-817.
- [8]Law W P, Erain N, Ramli N I, et al. Assessment of chlorine leak dispersion around Gebeng industrial area and potential evacuation route[J].Atmospheric research, 2019, 216(2): 117-129.
- [9]高江涛,周建安,董方,等.00t钢包底部透气砖布置及喷吹氩气优化模拟[J].内蒙古科技大学学报,2014,33(2):186-190.
- [10]吴强,张东辉,吴纯良,等.CEFR主容器氩气空间温度分布模拟实验研究[J].中国原子能科学研究院年报,2010(1):9-10.
- [11]陈兵,康庆华,肖红亮.含杂质CO₂管道输送泄漏扩散的数值模拟[J].安全与环境工程,2019,26(3):95-100.
- [12]张俊飞,夏新,李德生,等.基于Fluent软件的氩气泄漏扩散研究[J].天津理工大学学报,2017,33(5):60-64.
- [13]董晓强,李坤,刘玉婷,等.氨制冷机房氨气泄漏扩散的数值模拟[J].制冷学报,2017,38(6):12-19.
- [14]童良怀,周文,石秀珍,等.密闭空间内氨气泄漏的模拟分析[J].特种设备安全技术,2017(6):23-25.
- [15]温濠玮.城市燃气管道泄漏扩散流场模型研究[D].廊坊:华北科技学院,2017.
- [16]杨芳南,郑家琪.有毒重气体连续泄露扩散模拟与风险评估[J].北京交通大学学报,2017,41(2):47-53.
- [17]才立云,王春霞,唐淑芝.急性重度氩气中毒16例临床分析[J].临床荟萃,2007,22(14):1046-1046.

[责任编辑 郑丽娟]