

街道峡谷内燃气管道泄露扩散模拟分析

□ 中煤科工集团重庆设计研究院 (400016) 郝安佳 吴琦 杜强

□ 陕西延长石油 (集团) 有限责任公司油气勘探公司 (716000) 李 素

摘 要: 随着城镇燃气建设事业的蓬勃发展, 城区管道泄露对环境及人员的威胁越来越引起人们的重视。本文针对湖北省荆州市楚源大道燃气管道, 建立物理模型并利用商用CFD软件进行数值计算。计算得到不同环境下的组份分布情况, 并分析了不同外界风速对气体泄漏过程的影响及其爆炸极限分布情况。

关 键 词: 燃气管道 泄露 扩散 数值计算

Simulation and Analysis on Gas Pipeline Leak Diffusion in the Street

China Coal Technology & Engineering Group., Chongqing of Design & Research Institute Hao Anjia, Wu Qi, Du Qiang
Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd. Li Su

Abstract: Along with the vigorous development of the town gas construction career, the threat of city pipeline leaks on the environment and personnels has attracted the attention of people. In this paper, Established physical model of Hubei chuyuan avenue gas pipeline in jingzhou prefecture and numerical calculated it by using commercial CFD software. Calculated the distribution of the components under different environment and analysed the effects of the outside different wind speed range and the distribution of the explosion limit.

Keywords: Gas Pipeline leak spread numerical calculation

近年来世界经济快速腾飞, 能源问题成为各国和各区域发展的主要障碍。我国正掀起又一波的油气管道建设高潮。输气管道与输油管道相比压力更高, 泄漏后扩散速度更快, 危害更大。环境对管道的腐蚀作用及一些人为或非人为的机械破坏, 一旦发生输气管道的穿孔、断裂, 天然气与空气相混合形成云团将对人员财产形成威胁。另外, 油气管道多采用埋地敷设, 这对施工、管理及维护都更为困难。另一方面, 一部分现役管道已进入了老龄阶段甚至超期服役阶

段。由于不能及时更换及维护这些存在隐患的管线, 使得这些输送易燃易爆介质的压力管道发生泄漏、爆炸等危险事故的可能性增大。因此, 对燃气管道泄漏扩散问题应进一步引起技术及管理人员的关注, 并开展深入研究。通过高速计算机对天然气管道损坏后的扩散规律与影响范围进行计算能准确预测天然气管道的泄露扩散, 对事故实施合理有效的处理提供科学的数据和有力的技术支持。这对确定安全距离, 编制应急措施及对设计方案的确定都具有明显的意义。

1 研究现状

上世纪70年代,国内外就开始了对管道气体泄露方面的研究。Arnaldos^[1]小孔模型的泄漏率简单地作了计算分析。Young^[2]建立了化简后的管道小孔泄漏率算法模型。蔺跃武^[3]建立了输气管道破裂泄漏的计算模型,该模型能计算不同破裂程度的泄漏量。董玉华^[4]建立了高压长输管道泄露工况下气体数学模型并证明了它的适用性。潘旭海^[5]就泄漏扩散过程分析了多种环境因素对泄漏扩散过程的影响。丁信伟^[6]在气体的扩散数值模拟过程中引用了板块模型。魏利军^[7]模拟计算了泄漏事故发生的过程,分析得出在不同空间位置泄露体的分布情况及扩散速度。张文艳^[8]建立了风速影响下泄漏后天然气团偏移量的计算公式,并进行了实例计算。于洪喜^[9]对高含硫天然气管道泄漏后的甲烷、硫化氢的扩散进行了数值模拟,得出污染范围规律。

2 模拟方法

计算流体力学是在20世纪随着计算机科学技术的成熟,数值计算方法的发展给偏微分方程的求解带来了新的途径。这种方法是通过建立不同条件下的平衡方程(包括动量、质量、能量等)、边界条件和初始条件,采用数值求解的理论和方法,实现模拟真实过程各场的分布,如温度场、流场、组份场等。然而,近几年计算机的快速发展更是给计算流体力学技术的应用带来了空前的机遇。数值模拟相对于实验研究具

有低投入、高效率、数据采集方便精确等优点。很多商用软件也为一些应用领域中各种场的仿真提供了一个平台。本文选用CFD软件,标准 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型针对埋地敷设天然气管道泄漏后扩散的过程进行模拟。

2.1 物理模型

本文针对湖北省荆州市楚源大道(荆楚大道~新北门)天然气中压管道安装工程进行管道断裂泄露后的扩散情况计算分析。该工程设计采用D219.1×6.0石油、天然气输送用直缝焊管,沿楚源大道路北向西敷设至荆州大道,穿越荆州大道,沿北环路路北向西敷设至新北门,穿越北环路,沿人民北路路西向南敷设,与人民北路已建中压干管相连。设计起点与荆楚大道待设计中压燃气干管连接,末端与人民北路已建中压燃气干管连接,全长1 986.4m,中压管道设计压力0.4 MPa,见图1。

2.2 数值求解

采用了CFD软件的物种传输与反应模块对管道天然气泄漏扩散进行了模拟分析。由于管道内气体压力较高,在泄漏口形成传输速度较大的射流。多组分气体的扩散过程是相互作用的湍流,采用耦合隐式求解器,基本方程为雷诺时均方程和标准 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型。

2.3 模拟参数

结合湖北省荆州市楚源大道(荆楚大道~新北门)天然气中压管道安装工程参数,按照天然气管道断裂泄露考虑。分别考虑不同风速环境下,不同时刻的甲烷分布情况。由于甲烷的体积爆炸范围为5%~15%,引起窒息的范围为大于10%,所以确定5%为其危险下限,在模拟计算结果分析时,取5%为

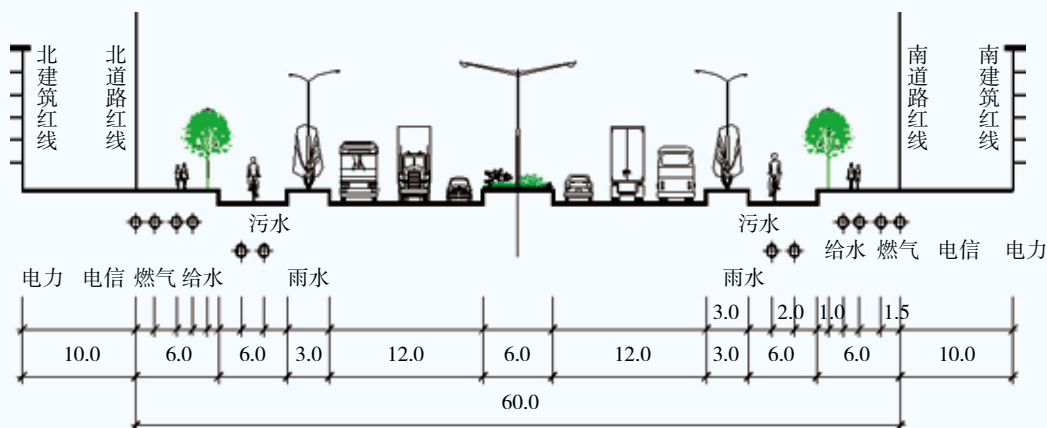


图1

分析临界点。受地质和外部环境影响,管道出现下沉,焊缝薄弱处发生应力变化而开裂。应用上述设定,计算天然气管道泄漏后天然气团任意时刻的偏移量,并模拟出其分布形状。

3 结果与分析

首先,假设外界风速为零的情况下,计算模拟了管道破裂后气体在空气中扩散不同时刻的结果,见图2。

天然气管道破裂后,形成紊态喷射,开始速度很大,受到的阻力较大。而相对阻力而言,重力对流场的作用较小。此后速度衰减,当速度衰减到一定程度时,气团受到的浮力、阻力与重力形成平衡状态,速度不再变化,气团匀速上升。气体的扩散性一方面由于压力差向空气喷射,另一方面由于受自身密度的影响,泄露气体密度要小于空气密度,气体呈现上升趋势。但上升速度因空气的不断稀释作用,导致密度差减小而变缓。

然后,按照风速2m/s考虑,计算模拟了管道破裂后气体在空气中扩散不同时刻的结果,见图3。

有风速影响下甲烷浓度分布、浓度等值线在气体出口附近比较密集,运动到一定高度后,变得较为稀疏。破裂口处气体具有大量动能,外界风力带来的冲

量影响较小。而随着高度的增加,泄露气动能逐渐减小,外界风冲量影响加大,以至于浓度降低。由图3可以看出,越接近地面,其浓度越大,垂直方向高度越高,其浓度越小。可见,环境风对气体浓度的偏移作用随着海拔的升高而增大。天然气管道破裂后,除了受到浮力、阻力和重力的影响,风速的影响还是很大的。随着时间的变化,整个街道(包括人行道、自行车道及机动车道)已完全受到泄露气体的影响,对人员及车辆已经造成威胁。

最后,按照风速5m/s考虑,计算模拟了管道破裂后气体在空气中扩散不同时刻的结果,见图4。

考虑风速较大时,气团在水平方向高速风力的影响,已经无法向高处漂浮。在外界强烈风的影响下,泄露的气体完全沿着地面扩散。在这种情况下,爆炸极限范围及燃烧的范围遍布人员设备密集的地区,安全隐患严重。

图5中的曲线表示管道泄漏后,甲烷浓度随横向的变化。可以看出,在无风的状态下管道泄出的甲烷对道路一侧的影响较小,完全在爆炸浓度及窒息浓度以下;在风速2m/s的状态下管道泄出的甲烷对道路一侧有一定影响,已经可以导致人员的窒息并有局部位具有爆炸的可能;在风速达到5m/s的情况下管道泄出的甲烷对道路一侧影响较大,已经完全在爆炸极限范围内。综上所述,街道峡谷内的燃气管道泄露后由

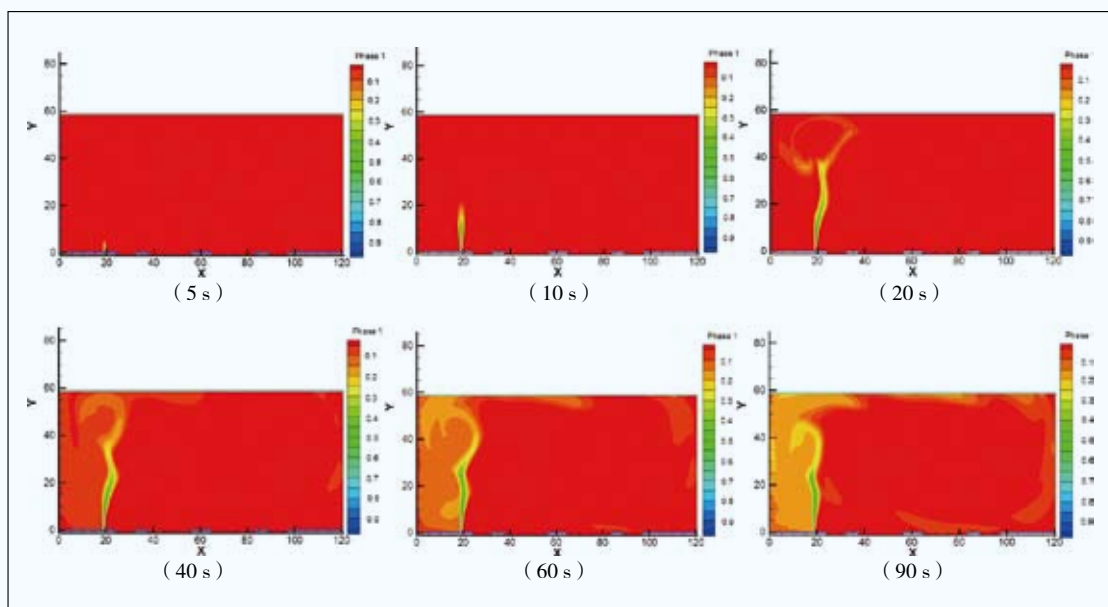


图2

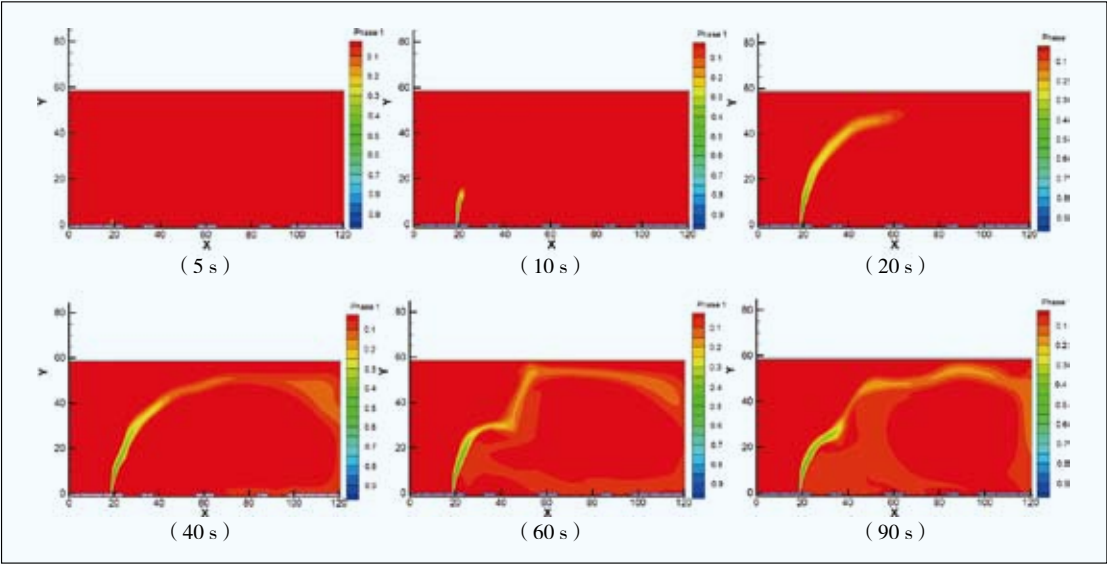


图3

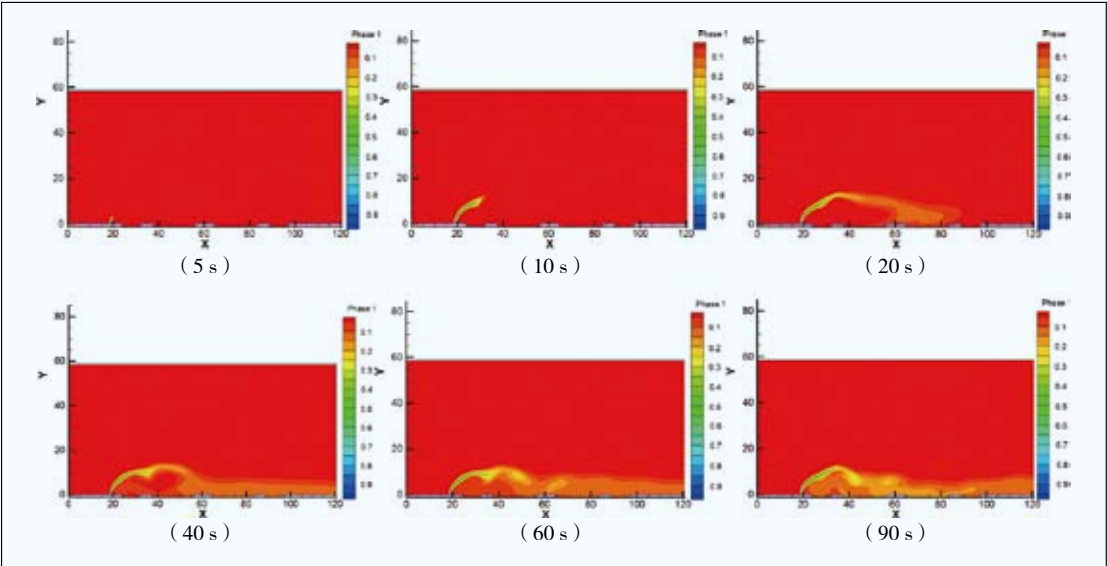


图4

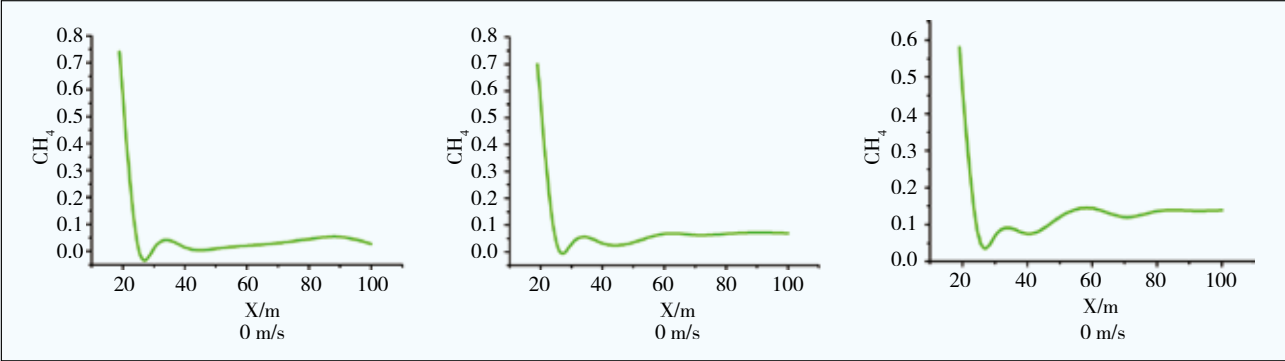


图5

于风速的影响,导致危险区域的分布发生了明显的改变。在有风的情况下街道上的安全已经受到明显的威胁。

4 结论及建议

风速较小时,随着扩散区域高度的增加甲烷的浓度逐渐降低。在泄漏开始阶段浓度降低梯度更大,而后梯度减缓。在顺风方向,天然气向下风向偏移,扩散尺寸远大于其他方向。当风速较大时,泄漏扩散区域随时间逐渐增大,在风的作用下逐渐顺风向偏移,由于浮力的作用逐渐上浮,射流作用逐渐衰减,扩散作用逐渐增强,横向污染距离大,增加抢险救灾的难度。湖北省荆州市楚源大道(荆楚大道~新北门)天然气中压管道街道峡谷内的燃气管道泄露受到风速的影响明显,风速5m/s时,下风向范围内爆炸及中毒风险高。

本文的模型没有考虑非稳定过程。实际工程中,管道断裂有可能是渐变的过程。整个泄露过程的散发量会是非稳定的。因为在危险程度评价及事故应急维修方案确定过程中,通常考虑的是连续的泄漏状况,是可以按照稳态泄露来处理的。如果需要更为精确的计算结果,则需要利用计算流体力学中动态边界和动网格技术并建立相应的状态方程来处理。

参考文献

- 1 J.Arnaldos, J.Casal,H.Montiel, etc.Design of a computer tool for the evaluation the consequences of accidental natural gas releases in distribution pipes[J].Journal loss prevention in the process industries, 1998; 11(2): 135~148
- 2 J.D.Young,B.J.Ahn.Analysis of hazard areas sociated with high-pressure natural-gas pipelines[J].Journal of prevention in the process industries, 2002; 15(3): 179~198
- 3 蔺跃武,刘典明.天然气输送管道破裂泄漏量计算[J].化工设备与管道, 2004; 5: 44~47
- 4 Dong Yuhua,Gao HuiLin ect.Gas release through holes in pipeline[J].Chemical engineering journal, 2003; 237~241
- 5 潘旭海,蒋军成.化学危险性气体泄漏扩散模拟及其影响因素[J].南京化工大学学报, 2001; 23(1): 19~22
- 6 丁信伟,王淑兰,徐国庆.可燃及毒性气体扩散研究[J].化学工程, 2000; 28(1): 33~36
- 7 魏利军.重气扩散的数值模拟[J].中国安全科学学报, 2000; 10(2): 26~34
- 8 张文艳.风力对天然气管道泄漏后扩散过程的影响研究[J].天然气工业, 2006; 26(12): 150~152
- 9 于洪喜.高含硫天然气集输管道泄漏扩散数值模拟[J].中国石油大学学报, 2008; 32(2): 119~131

企业管理消息

天津上半年4.7万户城乡居民用上天然气

到2012年6月底为止,随着天津河东区军馨家园、南开区兴业家园、蓟县青山溪雨等小区居民用上清洁的天然气,天津市燃气集团通过不懈努力,在2012年上半年新发展城乡居民用户4.7万户,使遍及全市各区县上百片小区的居民,用上“清洁能源”。

据了解,天津市燃气集团及其所属天津滨海燃气集团为了支持城市建设,进一步改善城乡居民生活条件,从年初以来,他们千方百计筹措资金,筹划安排居民用户发展工作。他们认真组织各施工单位,在市区政府和交管、市政道路等相关单位及施工区域居民大力支持下,克服地下

障碍物多、部分地区人流密集车辆多等困难,先后为河东区军馨家园、南开区兴业家园、蓟县青山溪雨、北辰区柴楼新庄园(二期)、西青区张家窝、滨海地区的富贵家园(1至16栋)、滨海湖(二期)等遍及全市各区县上百片小区居民,共计47 469户城乡居民家庭通上管道天然气。与此同时,天津市燃气集团及所属天津滨海燃气集团还为坐落在东丽区航空有限责任公司航材储运基地、河西区甬尚餐饮等分布在全市各个地方的138家工商企业用户,先后通上天然气。

(高继德 赵金茹 陈茜 齐润臣)