

文章编号: 1005- 8893 (2006) 02- 0026- 04

化工重大泄漏事故扩散过程的模拟研究^①

邵 辉¹, 施志荣¹, 朱其良¹, 秦文浩², 吴国新²

(1. 江苏工业学院 环境与安全工程系, 江苏 常州 213164; 2. 江苏江东化工股份有限公司, 江苏 常州 213004)

摘要: 基于江苏工业学院油气储运安全综合实验模型平台, 并结合江苏江东化工股份有限公司的实际, 研究分析了由于危险源的客观存在和企业在城市时、空结构中的潜在不安全性, 认为企业危险源对城市公共安全的影响是绝对的。在试验室建立试验模型, 用示踪剂法模拟研究了气体瞬时泄漏的扩散过程并作了定性分析, 初步确定了泄漏气体浓度与相关物理量的变化关系:

$c = \frac{Q}{x^3} \cdot f\left(\frac{v \cdot x}{t}\right)$, 为进一步进行定量分析提供了科学依据。研究成果对有针对性的建立应急救援预案, 实施有效的现场控制, 也具有一定的参考价值。

关键词: 化工泄漏; 示踪实验; 扩散模式; 数模分析

中图分类号: X 928

文献标识码: A

Simulative Research on Diffusion Process of Major Leakage Accidents in Chemical Industry

SHAO Hui¹, SHI Zhi- rong¹, ZHU Qi- liang¹, QIN Wen- hao², WU Guo- xing²

(1. Department of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; 2. Jiangdong Chemical Co., Ltd., Changzhou 213004, China)

Abstract: The research was based on experimental platform of oil- gas storage and transportation security in Jiangsu Polytechnic University with the practice in Jiangdong Chemical Co. Ltd., Jiangsu. It gave the analysis that the effects of enterprise hazards on urban public security was absolute, owing to the objective existence and potential risk of enterprises in space- time structure. The experimental model was constructed in laboratory and tracer method was used to simulate the diffusion process of instantaneous leakage of gas. The course of gas- leakage diffusion was qualitatively analyzed and the variable relationship between gassy density and related physical quantity was elementarily determined: $c = \frac{Q}{x^3} \cdot f\left(\frac{v \cdot x}{t}\right)$. The research provides a scientific gist for further quantitative analysis and has certain reference value to constructing emergency response rescue plan and implementing effective field control.

Key words: chemical industry leakage; tracer experiment; diffusion model; digifax analysis

化工重大泄漏事故的扩散过程是引发火灾、爆炸和中毒的关键因素, 它不仅影响到企业本身的安全, 甚至影响到区域的公共安全。如 2005 年 11 月 13 日位于吉林省吉林市中石油吉林石化公司 101

① 收稿日期: 2006- 02- 14

基金项目: 常州市社会发展研究计划项目资助 (CZ2005004)

作者简介: 邵辉 (1955-), 男, 安徽寿县人, 教授, 国家注册安全工程师。

厂发生连续爆炸事故而引起大量有害有毒物质的泄漏,造成松花江水体严重污染的公共安全事故并引起国际纠纷。再如 2004 年 4 月重庆天原化工总厂的氯气泄漏事故造成 9 人失踪死亡,3 人受伤,15 万名群众紧急被疏散。这些重大泄漏事故向人们一次次的敲响警钟。石化行业鉴于危险有害物质的运输、储存及生产过程的高危险性及普遍性,其泄漏的安全、环境问题已引起了社会的极大关注。

准确地判断泄漏量的大小,掌握泄漏后有毒有害、易燃易爆物质的扩散范围、泄漏速度、泄漏物的浓度分布等技术参数,对现场救援安全、实施现场控制处理,最大限度地降低事故的损失,保障企业和区域公共安全是非常重要的。

研究基于江苏工业学院油气储运安全综合实验模型平台^[1],并结合江苏江东化工股份有限公司的实际,定性地研究了泄漏后有害气体扩散机理和过程,讨论了泄漏的相关影响因素。

1 企业危险源泄漏危险分析及影响

江苏江东化工股份有限公司地处常州市南,位于城区,常年主导风向为东南风,周围分布有医院、学校、企事业单位、商业网点和居民小区等,人口密度较大。企业如果发生重大危险有害物质泄漏事故,将严重威胁常州市的公共安全。

1.1 企业的危险目标

根据 GB18218-2000《重大危险源辨识》,企业存在两个主要危险目标。一是液氯的罐装及贮存区域;二是氯乙烯的贮槽区及相关聚合装置。这些区域的危险有害物质(氯气、氯乙烯)的存贮量均远远大于国标限值,构成了重大危险源。

1.2 泄漏物质危险性分析

氯气被列入《剧毒化学品目录》,对人、生物和植物具有极大的毒害作用,同时氯气还是很强的助燃剂;氯乙烯是 1.1 类易燃气体,易引发火灾爆炸事故,其热分解产物有氯化氢、光气、一氧化碳等毒害物质。

1.3 企业危险源对城市公共安全的影响

由于企业在城市时、空结构中的潜在不安全性,从本质安全的角度来说,企业危险源对城市公共安全的影响是绝对的。也就是说,这种危险只能靠被动的措施来防护。如采取各种技术方法和加强

管理防止物质的泄漏、泄漏后如何将泄漏量和泄漏扩散范围控制在最小等。总体来说,其影响主要反映如下^[2]: ①重大危险源是影响城市公共安全水平的重要因素; ②企业与城市的空间逻辑关系; ③企业与城市公共安全规划; ④化工企业的自我控制水平与城市防灾应急体系的关联程度。它包括 3 个方面的内容,企业事故的自我控制水平、城市的防灾应急体系、企业的自我控制水平与城市防灾应急体系的关联程度。

2 气体扩散的基本模式及影响因素

2.1 气体泄漏扩散的基本模式

在石油化工生产、油气储运中一旦由于某种原因发生物质泄漏,则泄漏的物质就会在浓度梯度和环境条件的作用下在大气中扩散。通过扩散模式可以估算泄漏物质的影响范围及危险性程度,达到预测火灾爆炸危险区、急性中毒致死区和无明显影响区的目的,为危险程度识别、泄漏事故后的火源控制、确定人员疏散区域等提供科学依据。一般来说,气体扩散的基本模式按泄漏源几何形态可以分为点源、线源、面源和体源等;按泄漏的时间又可分为瞬时泄漏和连续泄漏。点源是最简单也是较为常见的一种形式,对于一般的泄漏可以近似地简化为点源。

2.2 影响泄漏物质扩散的主要因素

影响气体扩散能力的主要因素有两个方面,动力因素和热力因素。而热力因素与大气的温度层结和大气稳定度有关,在实验室中主要考虑动力因素。

动力因素主要是指风和湍流,二者对气体的扩散和稀释起着决定作用。风对气体的扩散有两个作用,整体的输送作用和冲淡稀释作用。风向决定气体迁移运动方向,风速决定泄漏物质的迁移速度。风速越大,单位时间内混合的清洁空气量越大,冲淡稀释作用就越好。一般来说,泄漏气体浓度与泄漏气体的总排放量成正比,而与风速成反比。大气除了整体水平运动外,还存在着旋涡运动,即湍流运动,湍流愈强,物质向下风向的扩散速度和空气的稀释速度也愈快。因此,风和湍流是决定泄漏物质在大气中扩散状态的最直接和最本质的因子,是决定泄漏物质扩散的决定因素。

另外,地面情况、泄漏源高度也对扩散产生一

定的影响。地面情况（如建筑、设备、树木等）会加强地表大气的湍流程度，即加强气体的混合稀释作用，而开阔平坦地、湖泊等则相反。泄漏源高度增加，泄漏物质扩散至地面的垂直距离增加，在同等源强和气象条件下，地面同等距离的物质浓度会降低。

3 实验室气体泄漏扩散过程模拟实验

3.1 试验模型的建立

试验模型是现实系统的映射，是能够在模型上进行相关实验、收集与实际系统有关的信息和描述的系统。建立实验模型必须完成建立模型结构和提

供数据这两项基本内容，建立模型结构时要确定系统的边界，要鉴别系统的实体、属性和活动^[3]。图1和图2是江苏工业学院安全工程研究所构建的油气储运安全综合试验平台的系统逻辑结构示意图和平面图。

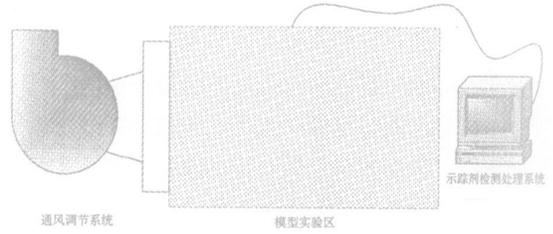


图1 实验模型结构示意图

Fig. 1 Sketch map of experimental model structure

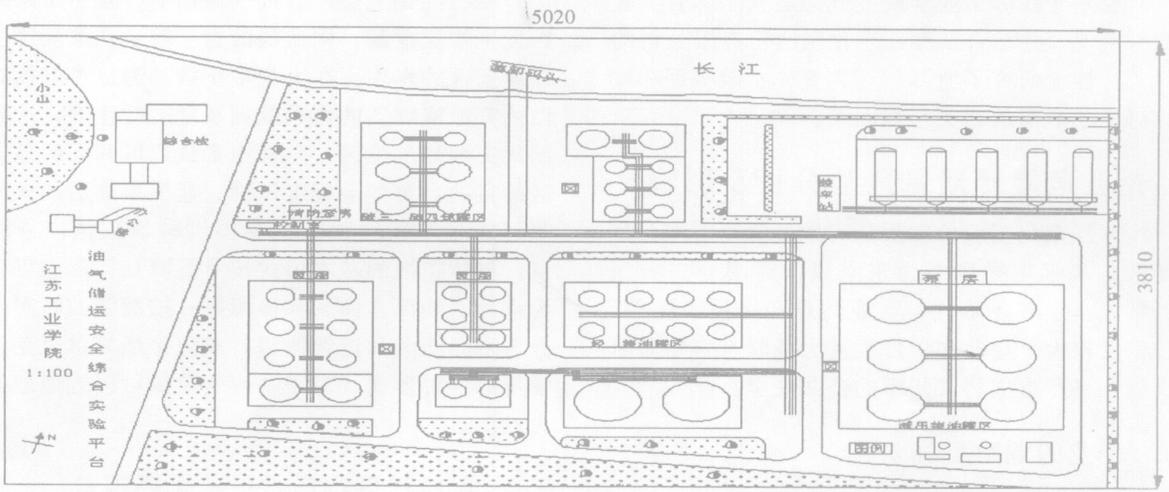


图2 试验模型平面图

Fig 2 Ichnography of experimental model

3.2 实验过程简介

示踪剂法是一种较好的测量扩散参数的方法，通常也用这种方法验证预测模式。示踪剂法的基本做法是，首先在实验范围内释放一定数量的示踪剂，再测量示踪剂在空间的浓度分布，最后利用正态模式或标准差的定义反推出扩散参数。用示踪剂

法测量横向扩散参数比较容易，测量垂直方向扩散参数时，难度稍大，所得结果准确性的影响因素也较多。

3.3 实验室气体泄漏的扩散过程

实验室气体泄漏的扩散过程见图3和图4。



图3 无风时 ($v=0$) 的气体扩散过程

Fig 3 Diffusion process of gas with no wind

图4 有风时 ($v > 0$) 的气体扩散过程

Fig 4 Diffusion process of gas with wind

3.4 实验过程的定性分析

在本次实验过程中主要考虑风速的影响(地面情况、泄漏源高度等因素将在下一步的研究中再考虑),实验目标是,当储罐某一点瞬时泄漏 Q 总量的有害气体时,在风速为 v (模型通风系统可以模拟不同的风速),经过时间 t 后,距泄漏源 x 处的有害物质的浓度 c ,根据以上的分析和假定,对实验过程进行量纲分析。

在本实验中,变量数 $n=5$,基本量纲 $m=3$,即长度 L ,质量 M 和时间 T ,则量纲一参数的数目为 $n-m=2$ 。选取 Q, t, x 为重复变量,则第一量纲一参数 π_1 可表示为:

$$\pi_1 = Q^{\alpha_1} t^{\beta_1} x^{\gamma_1} c \quad (1)$$

根据量纲分析, (1) 式可表示为:

$$\begin{aligned} [\pi_1] &= [Q]^{\alpha_1} [t]^{\beta_1} [x]^{\gamma_1} [c] = \\ &[M]^{\alpha_1} [T]^{\beta_1} [L]^{\gamma_1} [ML^{-3}] = \\ &[M]^0 [T]^0 [L]^0 \end{aligned} \quad (2)$$

由 (2) 式得到有关 L, M 和 T 的方程组:

$$\begin{cases} L: \alpha_1 + 1 = 0 \\ M: \beta_1 = 0 \\ T: \gamma_1 - 3 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

解方程 (3) 得到: $\alpha_1 = -1, \beta_1 = 0, \gamma_1 = 3$ 。

所以 (1) 式又可表示为:

$$\pi_1 = \frac{cx^3}{Q} \quad (4)$$

同理,第二量纲一参数 π_2 可表示为:

$$\pi_2 = Q^{\alpha_2} t^{\beta_2} x^{\gamma_2} v \quad (5)$$

$$\begin{aligned} [\pi_2] &= [Q]^{\alpha_2} [t]^{\beta_2} [x]^{\gamma_2} [v] = \\ &[M]^{\alpha_2} [T]^{\beta_2} [L]^{\gamma_2} [LT^{-1}] = \\ &[M]^0 [T]^0 [L]^0 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{cases} L: \alpha_2 = 0 \\ M: \beta_2 - 1 = 0 \\ T: \gamma_2 + 1 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

得到: $\alpha_2 = 0, \beta_2 = 1, \gamma_2 = -1$ 。所以 (5) 式又可表示为:

$$\pi_2 = \frac{v \cdot x}{t} \quad (8)$$

综合 (4) 式、(8) 式得到:

$$c = \frac{Q}{x^3} \cdot f\left(\frac{v \cdot x}{t}\right) \quad (9)$$

4 结论

(1) 根据研究企业的实际情况,分析了由于危险源的客观存在和企业在城市时、空结构中的潜在不安全性,研究认为企业危险源对城市公共安全的影响是绝对的。

(2) 研究从定性的角度,分析了泄漏物质浓度 c 与物质泄漏量 Q 、风速 v 、距离 x 和时间 t 之间的关系,其变化规律如 (9) 式所示。

(3) 通过定性分析和实验室研究,为化工重大泄漏事故的预防提供了明确的指导方向和操作程序。同时对泄漏事故实施有效的现场控制,也具有一定的指导意义。

(4) c 与 Q, v, x 和 t 之间的定量关系还需要深入地探讨,同时地面环境情况(如建筑、设备、树木等)、泄漏源高度等因素对泄漏物扩散结果的影响等将有待进一步地研究。

参考文献:

- [1] 邵辉,施志荣,王凯全. 气体泄漏扩散模式试验模型的设计研究[J]. 江苏工业学院学报, 2005, 17(1): 20-23.
- [2] 邵辉,朱其良,施志荣,等. 城市中化工企业对公共安全的影响与应急对策研究[A]. 2005中国(南京)第二届城市与工业安全国际会议论文集[C]. 南京:东南大学出版社, 2005. 95-99.
- [3] 邵辉. SF₆-CF₂ClBr 双元示踪气体检测复杂采空区漏风技术[J]. 煤炭科学技术, 1998, 26(4): 1-4.