

氯气泄漏扩散风险分析

周德红¹, 王六九²

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074;

2. 铜陵市郊区八一学校, 安徽 铜陵 244000)

摘要:针对氯气泄漏潜在的危害,对氯气泄漏扩散进行风险分析,选用高斯模型来计算氯气泄漏浓度及扩散距离,并通过 Matlab 对氯气泄漏进行数值模拟,能够掌握氯气泄漏后的浓度分布及泄漏扩散后浓度随距离的变化情况,确定人员疏散的安全警戒距离,掌握氯气泄漏扩散浓度分布与大气稳定度等因素的变化关系,确定人员中毒及伤害范围,可以为生产企业和其他相关部门应急反应决策提供技术支持。

关键词:氯气;泄漏;风险分析

中图分类号:X937

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2011.06.017

0 引言

氯气是我国化学事故发生率最多的危险化学品之一,氯气泄漏事故往往会导致众多人员中毒或死亡,不仅给公众的生命健康和环境造成非常严重的影响,给人民的生命财产造成了损失,而且也为了抢险救援工作带来极大的困难.其重要原因之一就是人们对氯气泄漏扩散规律不甚了解,尤其是氯气泄漏扩散后中毒伤害范围的变化,安全警戒疏散距离的确定等信息不能及时获得,从而延误了中毒区域内人员的最佳救援时机.本文对氯气泄漏扩散规律进行风险分析,选用高斯模型,根据 Matlab 编程对氯气泄漏扩散进行数值模拟,估算出泄漏气体扩散浓度的分布及危害范围,从而为现场警戒、人员紧急疏散以及采取必要的补救措施提供科学的依据,将有助于指导企业在发生氯气泄漏事故后,及时了解氯气泄漏的扩散范围和浓度分布,指导遇险人员正确逃生,避免因吸入氯气而中毒或窒息,达到“本质安全化”,保证企业的安全生产。

1 氯气的危害

氯气在室温下为黄绿色气体,属于 2.3 类有毒气体,其理化性质见表 1^[1].由于氯气的物质特性,氯气的危害主要表现为毒性危害、腐蚀性危害、燃爆性危害和环境危害.氯气易造成人员中毒,具有强刺激性.吸入 5~10 min 氯气的致死浓

度为 0.09%,吸入 0.5~1 h 致死的氯气浓度为 0.003 5%~0.005%,吸入 0.5~1 h 致重病的氯气浓度为 0.001 4%~0.002 1%^[2-3].

表 1 氯气的理化性质

Table 1 The physical and chemical properties of chlorine

相对 分子量	液体平均比热容/ (kJ·(kg·°C) ⁻¹)	沸点/ °C	相对密度		汽化热/ (kJ·kg ⁻¹)
			液体	气体	
71	0.96	-34	1.47	2.48	2.89×10 ²

2 氯气泄漏风险分析模型

2.1 氯气泄漏原因分析

根据对氯气发生的事故统计,一般情况下,以泄漏型事故较为常见,泄漏事故主要有以下四种类型^[4]:设计失误、设备原因、安全管理原因和人为失误。

2.2 风险预测模型的选择

本文选择高斯模型对氯气泄漏进行模拟分析,高斯模型对气体泄漏计算具有一定的普遍性和通用性.高斯模型计算公式见公式(1)^[5].

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \times \left\{ \exp\left[-\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (1)$$

式(1)中:C(x, y, z)—气体泄漏在空间任意一点的浓度,mg/m³;

Q—单位时间排放量,mg/s;

收稿日期:2011-02-17

作者简介:周德红(1978-),男,安徽宿松人,讲师,博士,注册安全工程师,注册安全评价师,注册环境影响评价师.研究方向:安全系统理论与应用,化工风险分析.

- y —泄漏点的垂直距离, m;
- z —泄漏点的铅直距离, m;
- u —平均风速, m/s;
- σ_y, σ_z —横向和铅直向的扩散参数, m;
- H —泄漏点高度, m.

2.3 基于 Matlab 模拟氯气泄漏扩散流程

本文将通过 Matlab 编程对于氯气泄漏扩散进行数值模拟^[6]. 根据氯气理化特性、泄漏方式、环境参数及扩散参数, 对氯气泄漏过程进行可视化模拟, 模拟流程见图 1.

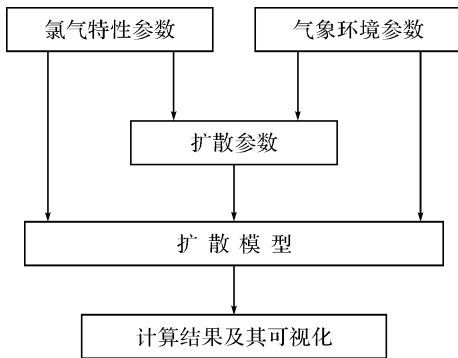


图 1 基于 Matlab 模拟氯气泄漏扩散流程图

Fig. 1 Simulation and analysis flow chart about the chlorine leakage

3 实例—氯气储罐泄漏风险分析

本文以氯气储罐为例, 假设风速方向为 x 轴方向, 则扩散符合高斯模式. 设该储罐最大可储存液氯 40 t, 储罐尺寸为直径 3.0 m, 高度为 6 m, 首先计算泄漏速率. 假定液氯储罐距离地面高 3.0 m 处发生泄漏, 氯气在储罐中是液态形式存在, 预测液氯泄漏可能的影响范围, 泄漏速率采用公式 (1), 参数的设定和计算结果见表 2.

表 2 设定事故条件下液氯泄漏速率计算表

Table 2 The calculation of chlorine leakage rate under premise accident condition

泄漏口当量孔径/cm	泄漏口之上液位高度/m	大气压力/MPa	液体密度/(kg/m ³)	液氯排放速率/(kg/s)	液氯储量/t
2	3	0.10	1 468.5	22.70	40

3.1 氯气泄漏风险分析与模拟准备

根据高斯模式, 使用 Matlab 编写程序模拟氯气泄漏扩散情况, 预测氯气泄漏风险.

3.2 氯气泄漏扩散风险影响分析

根据 Matlab 编写程序计算氯气泄漏后分别在 A、C、D、F 大气稳定度下浓度变化情况见图 2~9 (模拟平均风速为 2 m/s 未列出 B 和 E 大气稳定度下浓度变化图, 因其变化不明显).

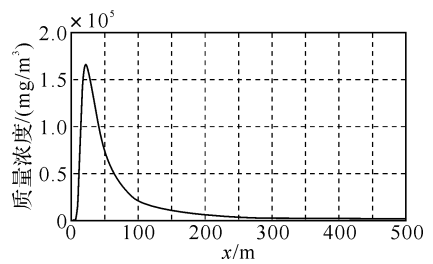


图 2 大气稳定度为 A、风速 2 m/s 时氯气泄漏浓度沿风速方向变化曲线图 ($y=0$)

Fig. 2 The change curve of chlorine dispersion concentration under A atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($y=0$)

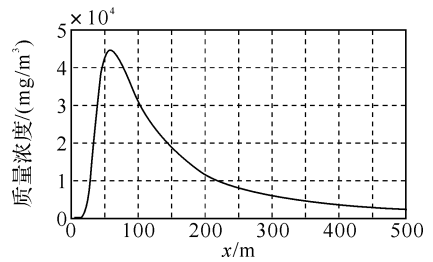


图 3 大气稳定度为 C、风速 2 m/s 时氯气泄漏浓度沿风速方向变化曲线图 ($y=0$)

Fig. 3 The change curve of chlorine dispersion concentration under C atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($y=0$)

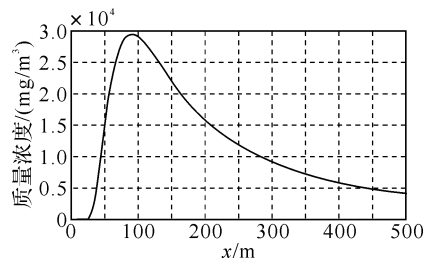


图 4 大气稳定度为 D、风速 2 m/s 时氯气泄漏浓度沿风速方向变化曲线图 ($y=0$)

Fig. 4 The change curve of chlorine dispersion concentration under D atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($y=0$)

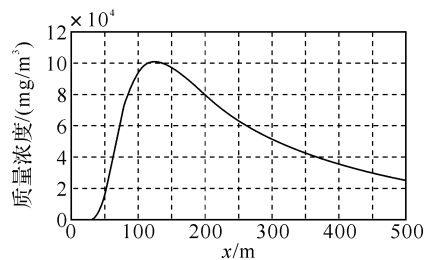


图 5 大气稳定度为 F、风速 2 m/s 时氯气泄漏浓度沿风速方向变化曲线图 ($y=0$)

Fig. 5 The change curve of chlorine dispersion concentration under F atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($y=0$)

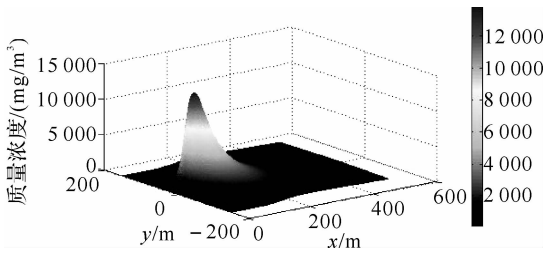


图 6 大气稳定度为 A、风速 2 m/s 时
氯气泄漏扩散模拟图 ($z=0$)

Fig. 6 The simulation figure of chlorine leakage dispersion under A atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($z=0$)

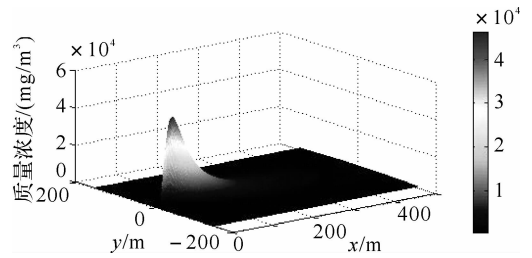


图 7 大气稳定度为 C、风速 2 m/s 时
氯气泄漏扩散模拟图 ($z=0$)

Fig. 7 The simulation figure of chlorine leakage dispersion under C atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($z=0$)

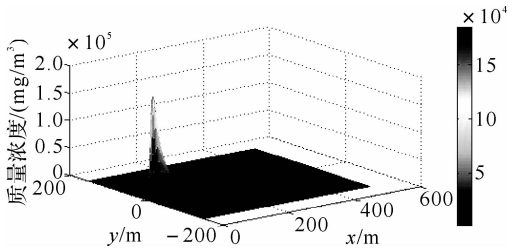


图 8 大气稳定度为 D、风速 2 m/s 时
氯气泄漏扩散模拟图 ($z=0$)

Fig. 8 The simulation figure of chlorine leakage dispersion under D atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($z=0$)

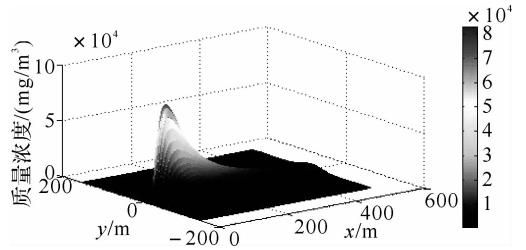


图 9 大气稳定度为 F、风速 2 m/s 时
氯气泄漏扩散模拟图 ($z=0$)

Fig. 9 The simulation figure of chlorine leakage dispersion under F atmospheric stability, 2 m/s wind speed ($z=0$)

3.3 氯气泄漏扩散风险模拟结果

从风险分析结果可以看出,在大气稳定度为 A 时,浓度最高值约为 170 g/m^3 ,出现在 25 m 处;在大气稳定度为 C 时,浓度最高值约为 44 g/m^3 ,出现在 60 m 处;在大气稳定度为 D 时,浓度最高值约为 28 g/m^3 ,出现在 90 m 处;在大气稳定度为 F 时,浓度最高值约为 10 g/m^3 ,出现在 130 m 处。氯气泄漏后,出现浓度最高点的距离随大气稳定度 A 至 F 呈现减小趋势,氯气泄漏影响区域范围随大气稳定度 A 到 F 的变化而增大。

4 结 语

氯气属于剧毒品,一旦发生泄漏将产生重大恶性事故。本文通过对氯气泄漏扩散规律进行风险分析,选用高斯扩散模型,通过 Matlab 进行数值模拟。风险分析结论如下:

a. 能够更好地了解氯气泄漏后的浓度分布及

泄漏扩散后浓度随距离的变化规律;

b. 风险分析结果可以确定人员疏散的安全警戒距离、人员中毒及伤害范围;

c. 可以模拟出不同大气稳定度下氯气泄漏扩散的浓度变化规律。

参 考 文 献:

- [1] 《新编危险物品安全手册》编委会. 新编危险物品安全手册[M]. 北京:化学工业出版社.
- [2] 刘崇芝,李春孝. 浅谈氯气泄漏事故的特性及处置方法[J]. 山东消防,1997(12):41-42.
- [3] 周德红,张艳芳,王红汉. 氯气泄漏扩散半径估算与应急处置[J]. 工业安全与环保,2006,32(8):4-6.
- [4] 王凯全,邵辉. 事故理论与分析技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [5] 郭廷忠. 环境影响评价学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [6] 种秀华. 基于 MATLAB 气体扩散的高斯烟羽模型界面化数值模拟[J]. 科学进步与对策,2007(10):244-246.

(下转第 81 页)