

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.02.005

液氨泄漏范围影响因素的研究*

徐 鹏 方国强 饶国宁
南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

[摘 要] 液氨是一种常见的化工原料,由于具有腐蚀性且易挥发,通常储存于耐压储罐中。以液氨泄漏后几种事故情况中的毒气扩散为研究重点,运用 ALOHA 软件对立式储罐的泄漏情况进行模拟,对泄漏点的孔径大小和高度这两个因素展开分析,分别改变泄漏点的孔径和高度,结合数据和效果图中泄漏范围变化的趋势,比较泄漏结果。分析结果表明,氨气扩散范围随着泄漏点孔径的增大而增大,在孔径达到一定值后保持不变,并随泄漏点距地面高度的上升而降低。

[关键词] ALOHA; 液氨; 泄漏; 孔径; 高度

[分类号] TQ113.5

Influencing Factors on Leak Range of Liquid Ammonia

XU Peng, FANG Guoqiang, RAO Guoning

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

[ABSTRACT] As a common raw chemical, liquid ammonia is usually stored in a pressure containing storage tank due to its nature of corrosive and volatile. In this paper, the toxic spread was discussed as the key point among the several accident situations by liquid ammonia leakage. ALOHA software was used to simulate the vertical storage tank leakage and extended to the factor analysis of pore size and pore height of leak point. The simulation results were compared in combining with the leakage range in design sketch by alternating the pore size and pore height correspondingly. Analysis results indicate that the scope of ammonia diffusion increases with the increase of pore size of the leak point and remains unchanged thereafter, but consistently decreases with the increase of pore height.

[KEYWORDS] ALOHA; liquid ammonia; leakage; pore size; height

引言

液氨是一种无色液体,具有强烈的刺激性气味,是重要的化工原料,可用于生产尿素、硝酸等化学肥料,也可应用于制冷剂、医药、火箭发射等领域^[1-2]。由于液氨极易挥发(沸点 - 33.42℃),所以,在运输和储存过程中需要处于低温或者高压环境下。若充装过量或者压力过大,易发生罐体裂缝甚至爆炸。液氨属于高度危险物^[3],一旦泄漏到大气中,会在常温常压下迅速膨胀气化,生成大量氨气,氨气具有毒性,与空气混合,遇明火会发生燃烧和爆炸,极易引发事故,且有害气体将对人员和环境造成重大威胁^[4-6]。

近年来,液氨广泛的用途和其固有的危害共存,使得液氨泄漏事故频繁发生^[7-8],仅在2013年就发生了8起。其中,2013年8月31日,上海宝山区某冷藏库发生的液氨泄漏事件造成了15人死亡,30多人受伤^[9]。泄漏事故每年都造成了巨大的人员和财产的损失,因此,针对液氨泄漏事故进行风险分析,模拟液氨泄漏事故的后果,可以为各个涉氨环节的安全以及事故的应急救援工作提供重要的科学依据。

2006年,湖北孝感某公司发生液氨泄漏,泄漏出的氨气扩散至居民区并造成1死6伤。针对这一事故,假定在对储罐的保养及检修不足的情况下,液氨的腐蚀及储罐原本的锈蚀共同作用引发了罐壁穿孔,分析影响毒性扩散范围的因素。

* 收稿日期:2016-06-24

作者简介:徐鹏(1991-),男,硕士研究生,主要研究方向为安全评价。E-mail: nustxp@sina.com

通信作者:饶国宁(1978-),男,博士研究生,讲师,主要研究方向为安全工程。

1 模拟软件 ALOHA 简介

ALOHA (arial locations of hazardous atmospheres, 有害大气空中定位软件) 是由美国环保署 (EPA) 化学制品突发事件和预备办公室 (CEPPO) 与美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 响应和恢复办公室共同开发的应用程序^[10], 主要用来模拟危险化学品泄漏而产生的毒气扩散、火灾、爆炸等事故后果。ALOHA 内置的危险化学品数据库中含有近 1 000 种常见的危险化学品的物理性质、化学性质和毒性数据; 并且该软件计算结果精确, 能够应用于危险化学品的实际泄漏情况预测和敏感点处化学品浓度的预测^[11]。该软件可与 CAMEO 软件配套使用, 直接从 CAMEO 的数据库中读取泄漏物质的理化性质数据^[12]。目前, ALOHA 已经成为危险化学品事故的应急救援、安全培训及学术研究使用的重要工具^[13]。

本文中, 将使用 ALOHA 对液氨泄漏后氨气的扩散范围进行模拟评估。

2 液氨泄漏模拟

由于液氨泄漏后会形成包括喷射火焰、闪火、蒸气云爆炸和气体扩散在内的几种事故^[14], 其中, 气体扩散的影响范围最广。本文中, 重点研究泄漏高度和泄漏孔径大小对气体扩散范围的影响。

2.1 孔径大小对气体扩散范围的影响

试验模拟: 假定 1 个高 3 m、直径 1 m 的立式圆柱体储罐发生液氨泄漏, 泄漏口为圆形。泄漏发生时, 风速为 3 m/s, 风向为西风, 空气湿度为 50%, 环境温度为 20 ℃, 地面粗糙度选择 Open Country (空旷地域), 储罐内温度为 -40 ℃, 液氨 100% 装满储罐, 泄漏未发生燃烧。

试验中, 浓度标准选择美国工业卫生协会 (AIHA) 制定的应急响应计划指南 (ERPG)。

ERPG-1: 人员暴露于有毒气体环境中约 1 h, 除了短暂的不良健康效应或不当的气味之外, 不会有其他不良影响的最大容许浓度。

ERPG-2: 人员暴露于有毒气体环境中 1 h, 不会对身体造成不可恢复之伤害的最大浓度。

ERPG-3: 人员暴露于有毒气体环境中约 1 h, 不会对生命造成威胁的最大气体浓度。

利用高斯 (Gaussian) 模型^[15], 对蒸气云的蔓延

区域进行模拟, 得到模拟效果见图 1。

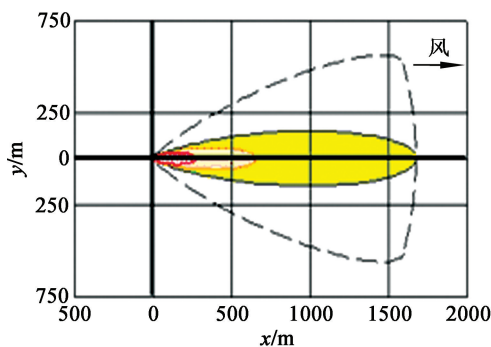


图 1 液氨泄漏蒸气云扩散区域

Fig. 1 Diffusion region of vapor cloud of leaked liquid ammonia

图 1 为所设定条件下液氨泄漏后毒害区域的模拟结果。红色区域表示体积分数大于 750×10^{-6} (ERPG-3); 橙色区域表示体积分数大于 150×10^{-6} (ERPG-2); 黄色区域表示体积分数大于 25×10^{-6} (ERPG-1)。由于环境条件的变化, 风向在不同时间可能略有不同, 从而导致氨气的扩散区域的偏移, 图 1 中的虚线表示由于风向影响扩散区域的浮动范围。在设置的特定风向中, 泄漏的液氨蒸气云在 95% 的时间会处于此区域, 即扩散区域的浮动范围^[16]。

由图 1 可以看出: 泄漏后氨气体积分数大于 750×10^{-6} (即达到 ERPG-3 标准), 区域的最大扩散范围的长度为沿下风向直线 250 m, 宽度为下风向直线两侧各 24 m, 区域形状类似纺锤形; 体积分数达到 150×10^{-6} (即达到 ERPG-2 标准), 区域最大范围的长度为沿下风向直线约 610 m, 宽度为中心线两侧各 80 m, 区域形状同为纺锤形; 体积分数达到 25×10^{-6} (即达到 ERPG-1 标准), 区域最大范围的长度为沿下风向直线约 1 540 m, 宽度为中心线两侧各 200 m, 区域形状同为纺锤形。

模拟计算的数据见表 1。

为了较为直观地表现出泄漏范围的变化趋势, 将表 1 用折线图的方式呈现, 见图 2。蓝色曲线表示体积分数为 750×10^{-6} (ERPG-3); 红色曲线表示体积分数为 150×10^{-6} (ERPG-2); 黄色曲线表示体积分数为 25×10^{-6} (ERPG-1)。

由图 2 和表 1 可以看出, 当液氨泄漏以后, 随着泄漏孔径的扩大, 气体扩散范围也相应地扩大, 而且当孔径达到一定值时, 扩散范围相对稳定, 不再继续扩散。

为了避免偶然性, 在环境条件保持不变的情况下, 改变储罐的参数, 再次进行模拟, 对模拟结果进

行检验。

罐体改为直径 1 m、高度 5 m,液氨泄漏范围见表 2。

罐体改为直径 2 m、高度 5 m,液氨泄漏范围见表 3。

表 1 直径 1 m、高度 3 m 的罐体泄漏范围

Tab.1 Leakage range for tank 1 m in diameter and 3 m in height

泄漏孔直径/ cm	蒸气云扩散范围/m		
	ERPG-3	ERPG-2	ERPG-1
1	33	76	188
10	258	597	1 523
20	384	851	1 931
23	380	855	1 931
24	380	860	2 092
30	395	881	2 092
40	416	912	2 092
49	435	945	2 092
50	437	949	2 092
52	437	950	2 092
60	437	950	2 092

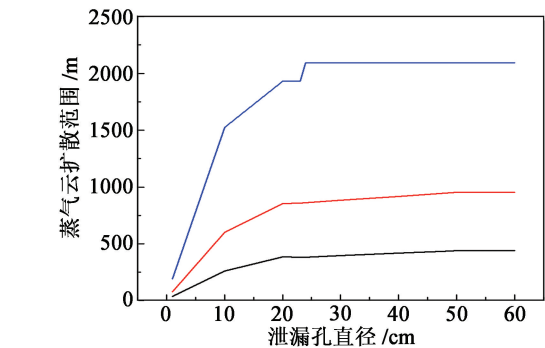


图 2 不同泄漏孔直径下蒸气云扩散范围

Fig.2 Diffusion range of vapor cloud under different pore sizes

表 2 直径 1 m、高度 5 m 的罐体泄漏范围

Tab.2 Leakage range for tank 1 m in diameter and 5 m in height

泄漏孔直径/ cm	蒸气云扩散范围/m		
	ERPG-3	ERPG-2	ERPG-1
1	38	89	220
10	239	604	1 454
20	343	801	1 931
23	362	841	2 092
24	367	850	2 092
30	386	874	2 092
40	382	887	2 092
50	388	890	2 092
55	388	899	2 092
56	388	900	2 092
60	389	900	2 092

表 3 直径 2 m、高度 5 m 的罐体泄漏范围

Tab.3 Leakage range for tank 2 m in diameter and 5 m in height

泄漏孔直径/ cm	蒸气云扩散范围/m		
	ERPG-3	ERPG-2	ERPG-1
1	44	102	255
10	288	686	1 770
20	477	1 142	3 058
30	583	1 386	3 541
40	693	1 565	3 701
42	708	1 586	3 682
50	767	1 609	3 862
56	784	1 609	3 862
57	786	1 770	3 862
65	791	1 770	4 023
70	786	1 770	3 862

当不同罐体之间进行比较时发现,按罐体由小到大,液氨扩散范围达到稳定不变时的孔径分别为 50、55、57 cm。由此可见,罐体越大,扩散范围越远,泄漏范围达到稳定的孔径也越大。

2.2 泄漏高度对泄漏范围的影响

试验模拟:假定 1 个高 3 m、直径 1 m 的立式圆柱体储罐发生液氨泄漏,泄漏口为圆形。泄漏发生时,风速为 3 m/s,风向为西风,空气湿度为 50%,地面粗糙度选择 Open Country,环境温度为 20 ℃,储罐内温度为 -40 ℃,液氨 100% 装满储罐,泄漏未发生燃烧。

表 4 泄漏点不同高度下蒸气云的扩散范围

表 4 泄漏点不同高度下蒸气云的扩散范围

Tab.4 Diffusion range of vapor cloud under different leakage heights

泄漏点距地面 高度/cm	蒸气云扩散范围/m		
	ERPG-3	ERPG-2	ERPG-1
0	205	478	1 232
10	198	459	1 184
20	191	443	1 141
30	187	435	1 116
40	184	425	1 084
50	177	410	1 040
60	169	389	979
70	155	354	889
80	133	304	753
90	93	212	532
100	59	133	331

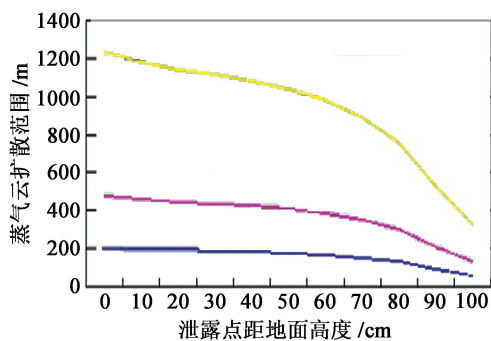


图 3 泄漏点不同高度下的蒸气云扩散范围

Fig. 3 Diffusion range of vapor cloud
under different leakage heights

图3为表4的折线图。蓝色曲线表示体积分数为 750×10^{-6} (ERPG-3);红色曲线表示体积分数为 150×10^{-6} (ERPG-2);黄色曲线表示体积分数为 25×10^{-6} (ERPG-1)。

由表 4 和图 3 可以看出,在其他条件相同的情况下,ERPG-1、ERPG-2、ERPG-3 代表的 3 个体积分数范围的扩散距离均随着泄漏高度的升高而大幅减小;其中,尤以 ERGP-1 最为明显。这是由于泄漏高度越高,液氨在泄漏时受到的压力越小,泄漏速度慢,扩散效应不佳。

3 结论

由 HLOHA 软件模拟结果可以看出,当储罐中的液氨出现泄漏时,蒸气云的泄漏距离随着泄漏孔径的扩大而增长,当孔径达到一定值时,泄漏距离保持稳定不变;同时,泄漏范围也与泄漏点距地面的高度有关,高度越高则泄漏范围越小。

由此可见,在日常运行及维护时,尤其要加强罐体底部的检查及保养,一旦发现裂缝等要迅速采取措施,防止其扩大。在遇到紧急事故时,要会根据泄漏点大小及位置初步判断泄漏影响范围及严重性,做好危机应急处理。安全保障人员也可对不同泄漏情况进行梳理备案,当险情发生时,可根据现场测得数据迅速做出预测判断。

参 考 文 献

[1] 李竹霞,秦言杰,夏昕. 液氨装卸站泄漏事故分析及后果模拟[J]. 中国安全生产科学技术,2008,4(5):118-120.
LI Z X, QIN Y J, XIA X. Analysis and simulation of leakage accident in liquid ammonia station[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008,4(5):118-120.

[2] 孙晖,张树海,吴明亮. 液氨泄漏蒸气云爆炸的风险分析[J]. 安全与环境工程,2010,17(4):64-66.
SUN H, ZHANG S H, WU M L. Risk analysis of liquid ammonia vapour cloud explosion [J]. Safety and Environment Engineering, 2010,17(4):64-66.
[3] 丁晓晔,蒋军成,黄琴. 液氨储罐事故性泄漏扩散过程模拟分析[J]. 中国安全生产科学技术,2007,3(3):7-11.
DING X Y, JIANG J C, HUANG Q. Simulation analysis on release and dispersion process of liquefied ammonia tank [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2007,3(3):7-11.
[4] 张健文,安宇,魏利军. 化学危险品事故应急响应大气扩散模型评述[J]. 中国安全科学学报,2007,17(6):12-17.
ZHANG J W, AN Y, WEI L J. Review on atmospheric dispersion models for emergency response to chemical accidents [J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(6):12-17.
[5] 虞汉华,蒋军成. 城市危险化学品事故应急救援预案的研究[J]. 中国安全科学学报,2006,16(4):114-120.
YU H H, JIANG J C. Study of emergency rescue plan for accidents due to dangerous chemicals in urban area [J]. China Safety Science Journal, 2006,16(4):114-120.
[6] 周玉希,蔡治勇,王文松. 液氨储罐泄露事故模拟分析与定量风险评估[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2015,32(12):88-93.
ZHOU Y X, CAI Z Y, WANG W S. Simulation analysis and quantitative risk assessment of liquid ammonia tank leakage accident [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2015,32(12):88-93.
[7] 夏登友,钱新明,黄金印,等. 液氨泄漏扩散模拟及危害评估[J]. 中国安全科学学报,2014,24(3):22-27.
XIA D Y, QIAN X M, HUANG J Y, et al. Diffusion simulation and hazard evaluation for liquid ammonia leakage [J]. China Safety Science Journal, 2014,24(3):22-27.
[8] 曾小红,毕海普,甘元庆. 灰色理论在我国化工园区事故预测中的应用[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2011,28(2):186-190.
ZENG X H, BI H P, GAN Y Q. Application of gray theory to accident prediction in China's chemical engineering zone [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2011,28(2):186-190.
[9] 徐维维. 专家号脉上海液氨事故:对冷冻冷藏行业监管存漏洞[J]. 安全与健康月刊,2013(10):24-25.

[10] U. S. Environmental Protection Agency, National Oceanic and atmospheric Administration. ALOHA: Area locations of hazardous atmospheres user's manual[M]. Washing-ton,2006;24-27.

[11] 杨玉胜. 基于大气扩散模型的危险化学品事故疏散模拟训练方法[J]. 武警学院学报,2009,25(2):51-53.
YANG Y S. The method of the evacuation simulation and training about hazardous chemical accidents based on gas dispersion software[J]. Journal of Armed Police Force, 2009,25(2):51-53.

[12] 沈阳. ALOHA 在放射性污染物的 Gaussian 扩散模型中的应用[J]. 中国安全生产科学技术,2012,8(8):147-152.
SHENG Y. ALOHA radioactive pollutants in the spread of the application of the Gaussian model[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2012,8(8):147-152.

[13] ELCOCK D,TOMASKO D,VEIL J. Risk assessment of non-hazardous oilfield waste disposal in salt caverns [C]//Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting. United States,1998;4-18.

[14] 缪国平. 液氨泄露的危险与应对措施探讨[J]. 江苏信息科技,2014(19):48-49.

[15] 周超,王志荣. 室外液氯泄漏条件下室内气体浓度影响因素的研究[J]. 中国安全生产科学技术,2010,6(4):28-32.
ZHOU C,WANG Z R. Study on the influencing factors of gas concentration indoor on the condition of liquified chlorine leaking outdoor[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2010,6(4):28-32.

[16] 吕坤诚. 运用 ALOHA 扩散软件及地理资讯系统 (GIS)探讨制造工厂的有害化学物质泄漏扩散的情况模拟[D]. 台中:中兴大学,2007.
LÜ K C. Using ALOHA diffusion software and geo-graphic information system (GIS) to study the diffusion of hazardous chemicals in the manufacturing plant[D]. Taichung: National Chung Hsing University,2007.

声 明

1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权,并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。

2、本刊文章版权所有,未经书面许可,不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部