

一氧化碳储罐泄漏事故的数值模拟

米立华,刘何清*,鲁义,刘梦红,陈芬,朱凯颖

(湖南科技大学 资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:一氧化碳储罐一旦发生泄漏,造成的危害很严重.利用 ALOHA 软件对一氧化碳储罐泄露引发的重大灾害进行模拟.结果表明:(1)蒸汽云爆炸及产生的冲击波危害中,根据一氧化碳浓度进行了3级划分,第一警戒区内一氧化碳浓度高于 7.5×10^{-11} mg/L,冲击波压力高于 55 160 Pa,泄漏半径为 20 m;第二警戒区内浓度为 $1.25 \times 10^{-11} \sim 7.5 \times 10^{-11}$ mg/L,压力为 24 133~55 160 Pa,泄漏半径为 40 m;第三警戒区为 $0.5 \times 10^{-11} \sim 1.25 \times 10^{-11}$ mg/L,压力为 6 895~24 133 Pa,泄漏半径为 100 m;(2)对毒害事故进行了等级划分,一级致毒区距泄漏点下风向 420~600 m,一氧化碳浓度高于 200 mg/L;二级致毒区距泄漏点下风向 380~420 m,一氧化碳浓度高于 350 mg/L;三级致毒区为泄漏点下风向 380 m 内,一氧化碳浓度高于 500 mg/L;(3)对泄漏点下风向约 183 m 处(敏感点)的一氧化碳浓度进行了研究,分析表明,该点室内一氧化碳浓度短时间内骤增至 1 600 mg/L,随后呈阶梯状下降,约 35 min 时趋于平稳浓度 350 mg/L.模拟结果可为该一氧化碳储罐系统风险评估、事故救援提供理论依据.

关键词:危化品;一氧化碳储罐泄露;ALOHA;事故模拟

中图分类号:X932 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2018)04-0051-05

Numerical Simulation of Leakage Accident of Carbon Monoxide Tank

Mi Lihua, Liu Heqing, Lu Yi, Liu Menghong, Chen Fen, Zhu Kaiying

(School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The damage caused by carbon monoxide tank leakage is very serious. This paper uses the ALOHA software to simulate the major disasters caused by carbon monoxide tank leakage. Results show that: (1) in the explosion of steam cloud and the damage caused by shock wave, carbon monoxide concentration is divided into three grades. The carbon monoxide concentration in the first alert area is higher than 7.5×10^{-11} mg/L, and the shock wave pressure is higher than 55 160 Pa, which is a circle 20 m from the leakage point. The concentration of the second alert area is $1.215 \times 10^{-11} \sim 7.5 \times 10^{-11}$ mg/L, and the pressure is 24 133~55 160 Pa, 40 m from the leak point. The third alarm area is $0.5 \times 10^{-11} \sim 1.25 \times 10^{-11}$ mg/L, and the pressure is 6 895~24 133 Pa, 100 m above the circle from the leakage point. (2) the toxic accidents are classified into classes. The primary toxic zone is 420~600 m from the wind direction under the leakage point, and the carbon monoxide concentration is higher than 200 mg/L. The secondary toxic zone is 380~420 m from the wind direction under the leakage point, and the carbon monoxide concentration is higher than 350 mg/L. The three-stage toxic zone is within 380 m of the wind direction under the leakage point, and the carbon monoxide concentration is higher than 500 mg/L. (3) the wind at a distance of 183 m under the leak of carbon monoxide concentrations are studied. Results show that the indoor carbon monoxide concentration at this point increases rapidly to 1 600 mg/L in a short time(sensitive spot), and then decreases in a step-wise manner. The concentration tends to be stable to 350 mg/L at about 35 min. The

收稿日期:2018-08-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51474105)

*通信作者,E-mail: hqliu8222638@163.com

simulation results can provide theoretical basis for risk assessment and accident rescue of the carbon monoxide tank system.

Keywords: hazardous chemicals; carbon monoxide tank leakage; ALOHA; accident simulation

随着中国工业的飞速发展,化工企业制造、储存和运输着越来越多的有害化学物质,在人口增加和需求增加的情况下,这些化学品储罐的意外释放风险变得越来越大,因此,化学泄漏的预防和模拟已成为环境保护和工艺安全领域中最重要课题之一^[1,2].其中,软件模拟法因其独特的优越性越来越多的应用于实践和研究中.ALOHA 软件是由美国环保署(EPA)化学制品突发事件预备办公室(CEPPO)和美国国家海洋大气管理局(NOAA)共同开发^[3],该软件在模拟危化品泄露方面具有重要的指导意义.因此,国内外许多的研究者开始用 ALOHA 软件进行模拟分析.E.Y.Sanchez 等^[4,5]利用 ALOHA 软件对液氨泄露的有毒威胁区域进行模拟和整合,提出了相应的预防对策措施.N.S.Anjana 等^[6,7]基于 ALOHA 来预测氨泄露的毒性影响距离,并结合 GIS 数据库制定了相应的应急救援预案.Bahareh Inanloo 等^[8,9]结合 ALOHA 与 ArcGIS 对储油罐车泄露进行模拟,模拟结果对危化品运输行业具有一定的指导意义.SHAO Hui 等^[10,11]对天然气发电有限公司的燃气泄漏进行了定量风险计算和 ALOHA 模拟,所得的结果为天然气管道规划、天然气发电厂的建设和城镇的空间位置提供了依据和决策.相艳景等^[12,13]利用 ALOHA 软件模拟分析了环氧乙烷储罐泄漏事故,将 ALOHA 应用于事故后果模拟和应急对策编制.闫洁洁等^[14,15]运用 ALOHA 软件模拟和公式计算对液氨泄漏进行定性定量评估.结果表明,ALOHA 软件在预测毒物泄漏的危害区域和敏感点毒物浓度方面具有较好的精度.葛安然等^[16,17]采用 ALOHA 软件对甲醇储罐泄漏扩散范围影响因素的敏感性进行分析,得出了各影响因素的重要程度.田水承,邵辉,焦姣,朱云峰等^[18-21]分别利用 ALOHA 软件对氯乙烯、苯、液氨及环氧乙烷的泄漏事故进行模拟,并根据模拟结果划分了 3 级危险区域,对企业厂区规划和事故应急救援决策有着重要的现实指导意义.

目前,国内外研究中,许多学者利用 ALOHA 软件对储罐泄露进行模拟分析,模拟结果对现场的安全工作起到了一定的指导作用,但对一氧化碳储罐泄露事故后果模拟的研究还很少,因此笔者基于 ALOHA 软件对一氧化碳储罐泄露所引发的蒸气云爆炸、冲击波超压、中毒危害的影响范围进行了模拟研究,并界定了 3 种危害一氧化碳的浓度范围,同时对敏感点进行了模拟分析,所得到的研究结果对于指导该储罐单元的安全工作具有一定的实际意义.

1 ALOHA 参数设置

湖南某燃气公司的露天一氧化碳储罐位于东经 113°0',北纬 27°20',形状为球罐,球罐体积为 400 m³,储罐区内的平均气温为 25 °C,平均风速为 2.5 m/s,风向为东南风(ESE),地面粗糙度为城镇或森林,大气稳定度 C,相对湿度 50%,具体的参数设置如图 1.

2 ALOHA 模拟

2.1 一氧化碳储罐蒸气云爆炸的影响范围模拟

ALOHA 在模拟煤气储罐泄漏时,可以通过模拟软件计算出泄漏的一氧化碳在空气中的浓度,是否在爆炸极限范围内,来判断其发生爆炸事故的可能性,如图 2 所示.

由图 2 可知,第 1 警戒线内区域一氧化碳气体浓度高于 7.5×10^{-11} mg/L (1 ppm \approx 1 mg/L),一旦遇到火星或明火必然发生火灾爆炸事故;第 2 警戒线内区域约占面积 20 m \times 115 m,范围超出一氧化碳储罐区,泄露气体浓度高于 1.25×10^{-11} mg/L,此区域属潜在爆炸事故危险区;第 3 警戒线内向东最远达到 115 m 处,一氧化碳浓度较低,相比之下发生爆炸事故的可能性较小.

危险化学气体泄漏后,一旦发生蒸汽云爆炸事故,最大的危害为冲击波超压造成的危害,冲击波产生的强大气流,会对其所触及的物质具有强烈的破坏作用.鉴于其巨大的危害性,本文利用 ALOHA 对蒸汽云

爆炸的冲击波影响进行模拟,得到如图3所示的结果。

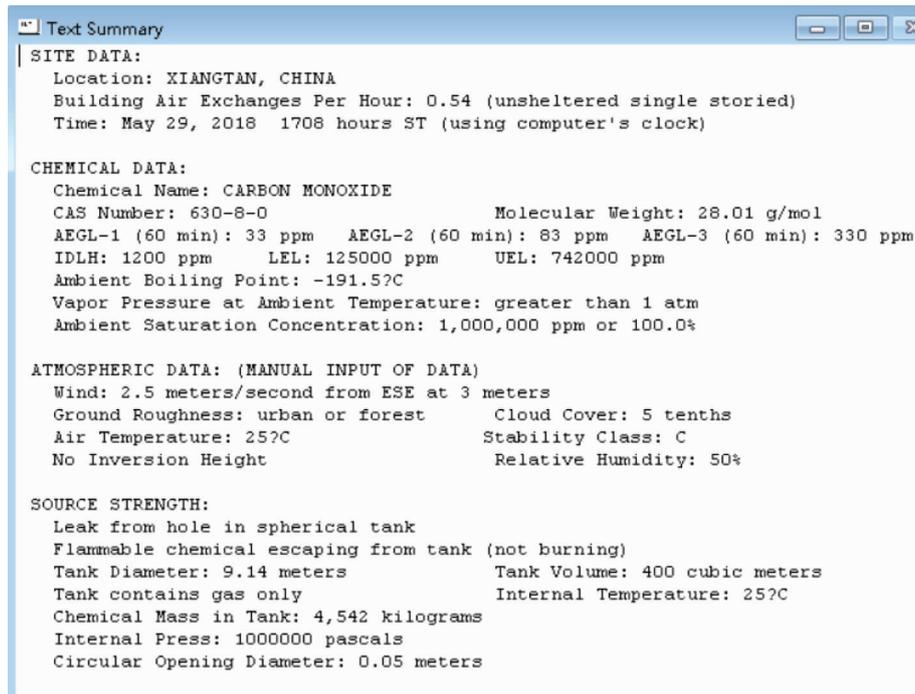


图1 ALOHA 模拟参数设置

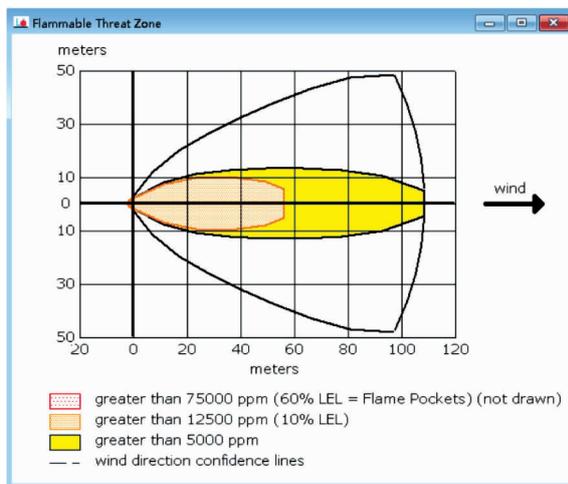


图2 蒸汽云爆炸事故影响范围

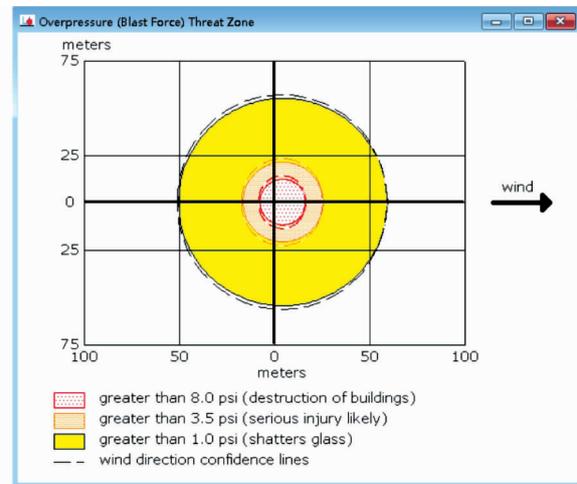


图3 蒸汽云爆炸冲击波影响范围

由图3模拟结果可知:

1)第1警戒线半径约为20 m的圆形区域覆盖罐区内同规格一氧化碳储罐,此区域内超压冲击波超过55 160 Pa(1 psi=6.895 kPa),范围内的城市建筑物有明显破坏,伤害非常大。

2)第2警戒线半径大概为40 m圆形区域覆盖罐区相邻一氧化碳储罐及输送管线等,无固定的人员上岗作业,区域内超压冲击波达到24 133 Pa以上,此级别超压冲击波可能造成人体的严重伤害,同时也有可能由于建筑破坏对人造成物体打击等危险。

3)第3警戒线半径约110 m区域覆盖面积较大,影响范围很广,这一范围内超压冲击波达到6 895 Pa以上,会引起玻璃晃动等影响,因而可能会造成区域内人员恐慌而发生不安全事件。

2.2 一氧化碳储罐泄露中毒事故模拟

在未遇到明火的情况下对一氧化碳泄漏所造成的毒害区域进行模拟,ALOHA 引用美国 EPRG(应急

响应计划指南)提供的三级数据进行毒害危险区域的划分.当泄露孔径为5 cm时,对有毒蒸汽云扩散范围进行模拟分析(如图4);当离泄露储罐约200 yards(约为183 m)处有材料放置房间,对一级致毒区坐标为(200,0)处的敏感点一氧化碳浓度进行模拟分析(如图5).

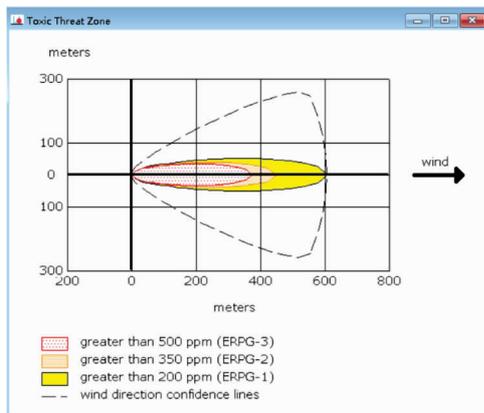


图4 泄露孔径为5 cm时的EPRG中毒范围

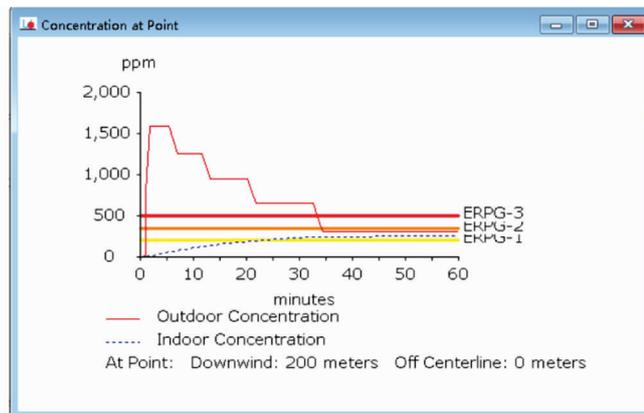


图5 183 m(材料放置房)处一氧化碳浓度

从图4中可以看出:

1) 泄漏点下风向380 m的范围内为3级致毒区(EPRG-3),该区域一氧化碳浓度可达到500 mg/L以上,无任何防护措施的人员若暴露在该区域内,短时间内就会产生严重的身体伤害,因此一旦发生泄漏,为防止人员中毒伤亡,应禁止人员在此停留.

2) 二级致毒区(EPRG-2)的边界为420 m,该区域内一氧化碳的浓度可达到350 mg/L以上,处于较危险水平,该区域内的人员应得到及时的疏散,并制定相应的进出管理机制.

3) 一级致毒区(EPRG-1)内一氧化碳的浓度可达200 mg/L,该区域的影响范围非常大,边界为600 m,应设置警戒线,阻止无关人员进入.

由图5的模拟结果可知:

1) 离储罐泄露点约183 m处一氧化碳的室外浓度在短时间内急剧上升,约6 min时达到最高值,约为1 600 mg/L,随后沿着梯度状缓慢下降至某一定值,35 min左右时趋于平稳,稳定时的浓度为350 mg/L.

2) 室内一氧化碳的浓度呈现缓慢上升的趋势,也在35 min左右趋于平稳浓度350 mg/L,随着时间的推移,室内室外的一氧化碳浓度最终都将趋于零.

3) 此区域的一氧化碳浓度处于人体不能接受的范围,因此当发生泄露时,应严格禁止人员进入该区域,尤其是在泄露后的35 min内,一氧化碳浓度还保持EPRG-2水平以上,处于较危险状态.

3 结论

1) 一氧化碳浓度对所产生的蒸汽云爆炸和爆炸造成的冲击波危害的警戒区域划分为3个等级.第一警戒区内一氧化碳浓度高于 7.5×10^{-11} mg/L,冲击波压力高于55 160 Pa,泄露半径为20 m;第二警戒区内一氧化碳浓度为 $1.25 \times 10^{-11} \sim 7.5 \times 10^{-11}$ mg/L,压力为24 133~55 160 Pa,泄露半径为40 m;第三警戒区一氧化碳浓度为 $0.5 \times 10^{-11} \sim 1.25 \times 10^{-11}$ mg/L,压力为6 895~24 133 Pa,泄露半径为100 m.同时得出爆炸事故所引发的后果最为严重,爆炸产生的冲击波对半径约55 m内的区域将会造成严重的影响.

2) 一氧化碳储罐泄露事故发生后的中毒事故等级划分为3级.一级致毒区距泄露点下风向420~600 m,一氧化碳浓度高于200 mg/L;二级致毒区距泄露点下风向380~420 m,一氧化碳浓度高于350 mg/L;三级致毒区为泄露点下风向380 m内,一氧化碳浓度高于500 mg/L,并得出了该事故影响范围最广,最远可达600 m处.

3) 距泄露点下风向约183 m处的室内一氧化碳浓度短时间达到最高浓度1 600 mg/L,随后呈阶梯状

下降,最后趋于平稳浓度 350 mg/L,可为该区域制定相应的安全措施提供一定的依据。

参考文献:

- [1] 陈晓勇,施式亮,任竞舟,等.2013~2014年我国道路危险化学品运输事故统计分析及对策[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2017,32(3):91-95.
- [2] 陈晓勇,施式亮,李润求,等.基于 FUZZY-AHP 的危化品仓储安全等级综合评价模型与应用[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2017,32(1):85-89.
- [3] Croce A, Grosshandler W L, Bukowski R W, et al. The international FORUM of fire research directors: A position paper on performance-based design for fire code applications[J]. Fire Safety Journal, 2008, 43: 234-236.
- [4] Sanchez E Y, Represa S, Mellado D, et al. Risk analysis of technological hazards: Simulation of scenarios and application of a local vulnerability index[J]. Journal of Hazardous Materials, 2018, 352: 101-110.
- [5] Lee R W, Kulesz J J. A risk-based sensor placement methodology[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 158(2): 417-429.
- [6] Anjana N S, Amarnath A, Nair M V H. Toxic hazards of ammonia release and population vulnerability assessment using geographical information system[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 210: 201-209.
- [7] Ramabrahmam B V, Sreenivasulu B, Mallikarjunan M M. Model on-site emergency plan. Case study: Toxic gas release from an ammonia storage terminal[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 1996, 9(4): 259-265.
- [8] Bahareh I, Berrin T. Explosion impacts during transport of hazardous cargo: GIS-based characterization of overpressure impacts and delineation of flammable zones for ammonia[J]. Journal of Environmental Management, 2015, 156(6): 1-9.
- [9] Bubbico R, Di Cave S, Mazzarotta B. Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a simplified approach[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2004, 17(6): 477-482.
- [10] Shao H, Duan G N. Risk quantitative calculation and ALOHA simulation on the leakage accident of natural gas power plant[J]. Procedia Engineering, 2012, 45(2): 352-359.
- [11] Xu Y B, Qian X M, Liu Z Y. Quantitative Risk Analysis on the Leakage of Compressed Natural Gas Pipeline[J]. China Safety Science Journal, 2018, 45: 146-149.
- [12] 相艳景,刘茂,张永强,等.ALOHA 软件模拟分析环氧乙烷储罐泄漏事故[J].中国公共安全,2008(s1):49-53.
- [13] 丁晓哗,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,2007,6(3):7-11.
- [14] 闫洁洁,向晓东,霍艳霞.典型液氯泄漏危害的 ALOHA 软件估算[J].化工环保,2015,35(1):69-73.
- [15] 闫洁洁.液氯槽罐车泄漏灾害量化研究[D].武汉:武汉科技大学,2015.
- [16] 葛安然,何中其.采用 ALOHA 软件对甲醇储罐泄漏扩散范围影响因素的敏感性分析[J].安全与环境工程,2017,24(6):155-161.
- [17] 刘琼,林运鑫.重大事故后果模拟分析在化工储罐区中的运用[J].消防技术与产品信息,2009(7):49-52.
- [18] 田水承,周可柔.基于 ALOHA 的氯乙烯储罐泄漏事故模拟研究[J].西安科技大学学报,2018,38(2):187-192.
- [19] 邵辉,候丽娟,段国宁.ALOHA 在苯泄漏事故中的模拟分析[J].常州大学学报(自然科学版),2012,24(3):48-52.
- [20] 焦姣,张静,姬亚芹,等.ALOHA 在突发性大气污染事故中的应用[J].安全与环境学报,2015,15(3):151-155.
- [21] 朱云峰,孙峰,金满平,等.基于 ALOHA 软件模拟环氧丙烷储罐泄漏事故[J].安全健康和环境,2017,17(8):5-9.