

· 争鸣与探索 ·

净水厂氯气泄漏的环境风险分析

邓文英¹, 丁训静²

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学环境水利研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:以丹阳净水厂为例,选取大气非正常排放模式,预测了液氯钢瓶阀门泄漏及爆炸对周围环境和保护目标的影响,并模拟了钢瓶爆裂事故的后果,计算出事故发生时的初始警戒区半径,提出了相应的氯气泄漏防范措施。

关键词:环境风险分析;氯气泄漏;风险预测模式;净水厂

中图分类号: X820.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-2009(2008)04-0054-03

Analysis on Environmental Risk of Liquid Chlorine Leakage in Water Plant

DENG Wen-ying¹, DING Xun-jing²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;

2. Hehai University Environmental Water Conservation Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: Taking Dan Yang water plant as an example, the environment influences of liquid chlorine leakage and explosion and protected objects were forecasted. Selecting the atmospheric abnormal discharge model, the consequence of steel bottle explosion was simulated, and initialized radius of cautionary district was calculated when explosion accidents happened. The precautionary measures relating to liquid chlorine leakage were presented.

Key words: Environmental risk analysis; Liquid chlorine leakage; Risk prediction model; Water plant

氯气应用面广、量大,由其产生的事故频繁。据不完全统计,2003年—2005年,我国共发生液氯泄漏事故 29 起^[1-2],由氯气造成人员伤亡事故的数量和损失触目惊心。现以丹阳净水厂为例,对厂内加氯间液氯钢瓶泄漏和爆炸事故进行环境风险分析。

结合加氯间加氯装置运行特点,根据加氯站工艺过程环境风险因素分析,其环境风险评价的事故源项可确定为:氯气投加过程中,液氯钢瓶阀门损坏,造成氯气泄漏。由于外部原因造成钢瓶压力过高,发生爆炸。根据风险事故类型,确定事故源强,见表 1。

1 项目背景及加氯间概况

江苏省丹阳市利用世界银行贷款,新建一座规模为 20 万 m³/d 的净水厂。在拟建净水厂构筑物中设计加氯间 1 座,面积约 500 m²,消毒剂采用液氯,处理水量 20 万 m³/d,位于水厂的西侧。为了及时发现并排除漏氯事故,在加氯间设置氯气中和装置一套,漏氯时报警仪报警,立即启动中和装置进行事故处理,以减轻对环境的影响。

2 加氯间环境风险分析

2.1 风险事故源项确定

表 1 风险事故的源强确定 kg

事故类型	泄漏量	蒸发量	吸收量	最后蒸发量
钢瓶泄漏	500	87.6	78.84	8.76
钢瓶爆炸	1 000	174.6	157.14	17.46

液氯钢瓶泄漏事故:液氯钢瓶阀门损坏等原因,导致氯气泄漏外溢事故,液氯钢瓶安全阀喉径即气相导管内径为 4 mm,按泄漏 10 min 考虑,在

收稿日期:2007-10-13;修订日期:2008-01-25

作者简介:邓文英(1983—),女,江苏常州人,硕士,从事环境评价与管理及水动力数学模型研究。

20 min 内处理完毕,氯气泄漏最大质量为 500 kg, 排放流量 0.83 kg/s。液氯钢瓶爆炸事故:氯气钢瓶按 1 000 kg 充装量计,按泄漏 3 min 考虑,氯气最大排放质量为 1 000 kg,排放流量 5.56 kg/s。发生氯气泄漏事故时,氯气中和装置进行事故处理吸收 90%,仅有 10% 的泄漏量作为氯气污染源强从加氯间扩散到大气中。

2.2 环境敏感点识别

根据项目环境风险事故类型,结合加氯站周围环境特点及风险事故源强,确定该项目风险事故重点保护目标为净水厂厂界外 500 m 范围内的敏感点。

2.3 液氯钢瓶泄漏、爆炸事故风险预测

2.3.1 风险预测模式

对于瞬时或短时间事故,当泄漏源排放速率不变,大气稳定度为 D 时,液氯泄漏事故排放预测模式选用《环境影响评价技术导则》(HJ/T 2.3-93) 中推荐的非正常排放模式(有风情况):

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{u \cdot y \cdot z} \exp[-(\frac{y^2}{2 \cdot z} - \frac{H_e^2}{z})] \cdot G_1$$

$$\text{当 } t > T \text{ 时: } G_1 = \phi(\frac{Ut-x}{\sigma_x}) + \phi(\frac{-x}{\sigma_x}) - 1$$

$$\text{当 } t < T \text{ 时: } G_1 = \phi(\frac{Ut-x}{\sigma_x}) - \phi(\frac{Ut-UT-x}{\sigma_x})$$

式中: T 为事故排放时间, s ; t 为预测时间, s

2.3.2 风险预测结果及分析

由预测可知,在小风情况下,发生钢瓶氯气泄漏事故时,超过居民区氯气 1 次最高允许质量浓度为 0.1 mg/m³ 的影响范围为下风向至 800 m;当发生氯气钢瓶爆炸时,影响范围为下风向至 1 280 m。

在静风状态下,发生氯气钢瓶泄漏事故时,超过居民区氯气 1 次最高允许质量浓度 0.1 mg/m³ 的影响范围为下风向至 410 m;当发生氯气钢瓶爆炸时,影响范围为下风向至 600 m。

液氯钢瓶在泄漏和爆炸时,500 m 范围内的保护目标处氯气质量浓度最大值见表 2。

表 2 液氯钢瓶泄漏、爆炸对保护目标的影响

序号	敏感点名称	敏感点至加氯间的距离	mg/m ³			
			氯气最大值(泄漏)		氯气最大值(爆炸)	
			小风	静风	小风	静风
1	农业银行宿舍居民区	拟建四水厂西侧 70 m	18.86	4.31	124.61	26.13
2	东边界居民区	拟建四水厂东侧 140 m	4.92	1.08	31.53	5.37
3	幸福小区	拟建四水厂北侧 170 m	3.35	0.72	20.96	3.38
4	荆林医院分院	拟建四水厂北侧 400 m	0.59	0.11	2.73	0.33

3 钢瓶爆炸事故后果模拟^[3]

钢瓶爆炸破裂的危害最为严重,容器内部储存的物料压力在极短时间降到大气压水平,物料将全部散逸,扩散半径可在短时间内达到最大。

该净水厂氯气用 1 000 kg 压力钢瓶充装,最大储量 1 000 kg,储存温度 25℃,工作压力为 1 MPa,氯气相对分子质量 M_r 为 71,常压下标准沸点 t_b 为 -34.5℃,液氯的比热容 C 为 0.96 × 10³ J/(kg · K),汽化热 q 为 289 kJ/kg。

吸入 5 min ~ 10 min 氯气的致死质量分数为 0.09%,吸入 0.5 h ~ 1 h 致死的氯气质量分数为 0.059%,吸入 0.5 h ~ 1 h 致重病的氯气质量分数为 0.001 8%。将钢瓶爆炸事故后果模拟分为致死和重病 2 种。

3.1 钢瓶爆炸事故致死后果模拟分析

设有毒液化氯质量为 m ,容器破裂前器内介质温度为 t ,液体介质比热容为 C 。当容器破裂时,器

内压力降至大气压,处于过热状态的液化气温度迅速降至标准沸点 t_b ,此时全部液体所放出的热量 Q 为:

$$Q = m \times C (t - t_b) = 1\,000 \times 0.96 \times [25 - (-34.5)] = 57\,120 \text{ kJ}$$

设这些热量全部用于容器内液体的蒸发,则其蒸发量 D 为:

$$D = Q/q = 57\,120/289 = 197.6 \text{ kg}$$

则在沸点下蒸发蒸气的体积 V_g 为:

$$V_g = 22.4 D/M_r \times [(273 + t_b)/273] = 54.5 \text{ m}^3$$

(1) 如果氯气在空气中的质量分数达到 0.09% 时,人吸入 5 min ~ 10 min 即致死,则体积为 V_g 的氯气可以产生致死的有毒空气体积 V 为:

$$V = V_g \times 100/0.09 = 60\,555 \text{ m}^3$$

假设这些有毒空气以半球形向地面扩散,则可求出该有毒气体扩散半径 R 为:

$$R = 1/3 [V_g/w / (0.5 \times 4/3)] = 30.7 \text{ m}$$

其中 R ——有毒气体的半径, m ; V_g ——有毒介质的蒸气体积, m^3 ; w ——有毒介质在空气中的危险质量分数, %。

由上述计算可知, 当泄漏 1 000 kg 液氯时, 可能发生吸入 5 min ~ 10 min 致死浓度的区域半径为 30.7 m。

(2) 如果氯气在空气中的质量分数达到 0.059% 时, 人吸入 0.5 h ~ 1 h 即致死, 利用上述公式计算可得: 当泄漏 1 000 kg 液氯时, 可能发生吸入 0.5 h ~ 1 h 致死浓度的区域半径为 35.3 m。

3.2 钢瓶爆炸事故致重病后果模拟分析

如果氯气在空气中的质量分数达到 0.0018% 时, 人吸入 0.5 h ~ 1 h 即致重病, 利用上述公式计算可得: 当泄漏 1 000 kg 液氯时, 可能发生吸入 0.5 h ~ 1 h 致重病浓度的区域半径为 113 m。

上述扩散半径的计算是在氯气泄漏后呈近似半球状扩散的理想状态, 且没有考虑地形、建筑物、风向、风速、温度等的影响。在估算过程中考虑 1 000 kg 氯气钢瓶全部泄漏后的情况, 仅供氯气泄漏后事故处置参考。实际上, 氯气泄漏事故发生后, 有毒气体扩散范围、事故危险的程度不仅与钢瓶贮存量、损坏程度等有关, 并且受很多外部因素影响。

根据以上的估算, 在实际中可以将 113 m 作为发生上述氯气事故的初始警戒区的起点。消防队到达现场后, 根据风速、风向、地形及建筑物的状况, 通过有毒气体探测器测试, 再划出警戒区。根据设立警戒区的位置对警戒区内的人员疏散。

4 氯气泄漏事故防范措施

由于液氯泄漏、爆炸事故原因的多样性, 事故的预防和控制方法不仅要强调设计和技术的完善, 同时还应兼顾管理的重要性。

4.1 设计及技术

(1) 加氯站厂房和仓库应采用封闭式建筑, 设置机械引风设施和氯气处理装置, 加强通风排毒, 以防氯气聚集。设备布置要保证事故发生时人员能顺利地安全疏散和撤离。

(2) 严格划分加氯站生产危险区域。根据生产特点, 在安全、卫生的原则下进行平面布置。根据各加氯站的爆炸和火灾危险等级, 选用相应的防爆电器设备。

(3) 氯气使用过程中应严格按照《氯气安全规

程》(GB 11984 - 89) 的规定执行。加氯间应设置氯气自动监测报警系统, 以便操作人员能及时查找原因, 采取补救措施, 防止发生事故。

(4) 设置氯气中和装置, 溶液池内盛放 15% ~ 20% 体积分数的氢氧化钠, 容量为中和 1 000 kg 氯气所需。

4.2 管理措施

(1) 加强职工的安全教育和职业技术培训, 坚持特种操作工人 (如气瓶维修人员) 持证上岗, 增强职工防范事故和自救的能力。

(2) 严格加氯设备和氯气钢瓶的维护保养, 定期对加氯设备、区域可燃性气体报警仪、钢瓶超压报警仪、管道、仪表、阀门等进行检查和校验^[4]。

(3) 制定氯气泄漏的应急行动计划、应急预案和处理措施, 做到防患于未然, 尽量避免突发性环境污染事故的发生^[5-6]。

5 结论

对丹阳拟建净水厂液氯钢瓶泄漏、爆炸事故预测, 得出事故发生后对下风向保护目标的影响。对钢瓶爆裂事故进行了后果模拟, 计算出事故发生时的初始警戒区半径为 113 m。发生事故应根据实际情况而定, 将很多其他的因素考虑在内, 此估算结果可起参考作用。

城市输配水工程大多涉及氯气使用, 一旦发生氯气泄漏或钢瓶爆炸事故, 将会对周围环境产生重大影响, 甚至危及厂区员工及附近居民的生命。做好该类工程加氯工艺的环境风险分析与防范, 对避免或减少突发环境事件的发生, 最大程度地保障人民生命财产的安全具有重要的现实意义。

【参考文献】

- [1] 潘旭海, 蒋军成. 重 (特) 大泄漏事故统计分析 & 事故模式研究 [J]. 化学工业与工程, 2002, 19(3): 248 - 252
- [2] 汪彤, 赵明. 如何应对液氯运输发生的泄漏事故 [J]. 安全, 2005(2): 15 - 16
- [3] 臧业, 全丰, 郑洪梅. 液氯泄漏事故后果模拟分析 [J]. 高师理科学刊, 2007(1): 76
- [4] 朱宏, 纪志军. 供水工程净水工艺氯气泄漏的环境风险分析 [J]. 黑龙江水利科技, 2007, 35(3): 77 - 78
- [5] 钟善锦. 突发性环境污染事故的对策 [J]. 环境监测管理与技术, 2000, 12(6): 9 - 11.
- [6] 章昌顺, 郝永梅. 液氯生产过程风险分析及控制 [J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 2(3): 83 - 86