

## Model analysis of liquid ammonia tank accident consequence and thinking of technical transformation

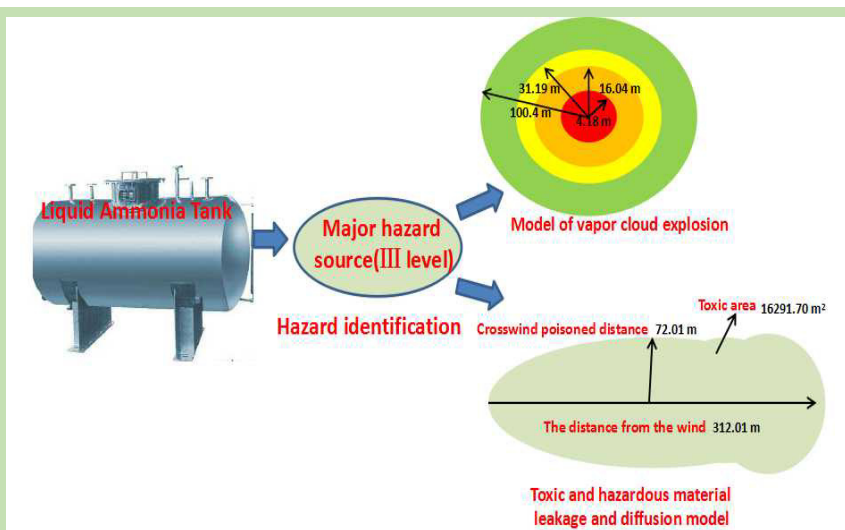
Dong PAN

Chemical Branch, Jinduicheng Molybdenum Co., Ltd., Weinan, Shaanxi 714000, China

**Abstract:** The safety evaluation method of major hazardous source for hazardous chemicals is adopted. Through quantitative calculation, it is judged and determined that the liquid ammonia tank area belongs to the third-class major hazardous source. According to the typical accident consequences caused by leakage of liquid ammonia storage tank. A vapor cloud explosion model was established to calculate that the death radius of the vapor cloud explosion might be 4.18 m,

the serious injury radius was 16.04 m, the minor injury radius was 31.19 m and the safety protection distance was 100.4 m. Then, through the establishment of the leakage diffusion model of toxic and hazardous substances, combining with the weather conditions to simulate the leakage diffusion scene. The quantitative analysis and calculation were conducted. And the conclusion was drawn that the distance from downwind poisoning was 312.01 m, the upwind poisoning was 72.01 m, and the area of the poisoning area was 16291.70 m<sup>2</sup>. On the other hand, in order to improve the essential safety level of liquid ammonia storage tank, combining with the latest safety standard and standard requirements of major hazardous source storage tank of hazardous chemicals. This paper puts forward the idea of technical transformation of liquid ammonia storage tank. Specific measures about the liquid ammonia storage tank include installation of external liquid level gauge, thermometer and pressure transmitter, adding automatic valve in gas and liquid two-phase pipeline, setting up high and low level liquid level alarm interlock device and toxic gas alarm instrument, adding automatic control start emergency spray absorption system, adding video monitoring to the storage tank area, improving measures such as weather vane, eye washer and electrostatic discharge device on the liquid ammonia storage tank etc. All of the technical transformation about the liquid ammonia storage tank was completed.

**Key words:** liquid ammonia tank; risk assessment; technical transformation



收稿: 2018-04-10, 修回: 2018-09-08, 网络发表: 2018-09-29, Received: 2018-04-10, Revised: 2018-09-08, Published online: 2018-09-29  
作者简介: 潘东(1987-), 男, 陕西省渭南市人, 硕士研究生, 注册安全工程师, E-mail: 179085246@qq.com.

**引用格式:** 潘东. 液氨储罐事故后果模型分析及技术改造思路. 过程工程学报, 2018, 18(增刊 1): 67-71.

Pan D. Model analysis of liquid ammonia tank accident consequence and thinking of technical transformation (in Chinese). Chin. J. Process Eng., 2018, 18(S1): 67-71, DOI: 10.12034/j.issn.1009-606X.20180131.

# 液氨储罐事故后果模型分析及技术改造思路

潘 东

金堆城铝业股份有限公司化学分公司, 陕西 渭南 714000

**摘 要:** 采用危险化学品重大危险源安全评价方法, 通过定量计算判断并确定液氨罐区属于三级重大危险源。根据液氨储罐泄漏可能造成的典型事故后果, 建立蒸气云爆炸模型, 计算的蒸气云爆炸可能造成的死亡半径为 4.18 m、重伤半径为 16.04 m、轻伤半径为 31.19 m 及安全防护距离为 100.4 m。通过建立有毒有害物质泄漏扩散模型, 结合气象条件模拟泄漏扩散场景, 进行定量分析计算, 得出下风向中毒距离为 312.01 m、横风向中毒距离为 72.01 m 及中毒区域面积为 16291.70 m<sup>2</sup>。出于提升液氨储罐本质安全水平的考虑, 结合最新的危险化学品重大危险源储罐安全标准和规范的要求, 对液氨储罐提出技术改造思路, 具体措施包括加装外贴式液位计、温度计和压力变送器; 气、液两相管道增加自控阀, 设置高低位液位报警连锁装置及有毒气体报警仪; 增设自控启动应急喷雾吸收系统; 储罐区增加视频监控; 完善风向标、洗眼器及静电释放器等, 并完成了技术改造工作。

**关键词:** 液氨储罐; 风险评估; 技术改造

**中图分类号:** TQ113.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-606X(2018)S1-0067-05

## 1 前 言

液氨, 又名无水氨, 是一种应用广泛的基础化工原料<sup>[1]</sup>。液氨具有强烈刺激性气味, 具有一定危害性<sup>[2]</sup>, 通常储存于低温常压储罐或常温高压储罐内。由于液氨的特殊物理化学特性, 国内外发生了多起安全事故<sup>[3]</sup>。2013年6月, 吉林省德惠市发生一起液氨泄漏爆炸事故, 引发特大火灾, 造成 121 人死亡, 76 人受伤, 直接经济损失 1.82 亿元。同年 8 月, 上海市翁牌冷藏实业有限公司又发生一起液氨泄漏重大生产安全事故, 导致 15 人死亡, 25 人受伤, 直接经济损失约 2 510 万元。为深刻汲取事故教训, 国务院安委会印发了《关于深入开展涉氨制冷企业液氨使用专项治理的通知》。液氨的储存和安全使用不容轻视, 有必要通过各种措施, 避免事故的发生或降低事故发生概率及控制事故后果的影响。

国内许多学者对化工园区液氨储罐进行了风险研究, 孙天舒<sup>[4]</sup>对液氨储罐泄漏事故进行环境风险评价, 为风险防范提供参考依据。曾小红<sup>[5]</sup>基于危险化学品泄漏事故特点与风险评估含义, 建立了危化品泄漏事故风险评估模型。莫秀忠等<sup>[6]</sup>利用高斯烟团模型, 运用 MATLAB 软件对瞬时泄漏扩散进行数值模拟。乔鹏<sup>[7]</sup>以化工行业储罐自动化系统改造为例, 介绍了化工行业储罐自动化改造的实现方式, 并对改造完成后系统对安全生产的重要性进行了阐述。余国燕<sup>[8]</sup>结合化工储罐自动化监控系统的改造技术实例, 探讨了储罐自动化监控系统的导波雷达物位计、PLC、组态软件等设置与设计方法, 实现了罐区的自动化管理, 该设计思路与方法对同行人员有很好的指导和借鉴意义。

针对液氨泄漏事故发生后情形, 本工作以某企业

液氨罐区为例, 通过重大危险源评价分级方法, 对泄漏后果进行定量计算。利用蒸气云爆炸模型和有毒有害物质泄漏扩散模型, 结合当地气象条件, 计算得出危险区域和泄漏扩散区域, 为企业应急管理和人员疏散提供基础数据。基于危险化学品重大危险源安全管理的要求, 提出技术改造的具体思路并完成技术改造, 完善了企业液氨罐区的安全技术措施并提高了安全管理水平, 具有重要的现实意义。

## 2 液氨储罐现状

### 2.1 当地气象条件

该企业地理位置属温带半干旱大陆性季风气候区, 主导风向为东北风, 大气稳定度为 B, 平均风速为 2.0 m/s, 气压为 101 kPa, 环境大气密度为 1.293 kg/m<sup>3</sup>。

### 2.2 液氨罐区基本情况

液氨罐区位于该企业西南角, 占地约 100 m<sup>2</sup>, 内设卧式常温储罐 2 台, 容积分别为 60 和 63 m<sup>3</sup>, 目前均经过质量技术监督部门审查合格, 并进行了使用登记。

## 3 重大危险源辨识

### 3.1 重大危险源辨识

依据《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2009) 规定标准, 对企业液氨罐区进行风险辨识, 标准如下:

$$\sum_{i=1}^N \frac{q_i}{Q_i} \geq 1, \quad (1)$$

式中,  $q_i$  为单元中危险化学品  $i$  的实际存量,  $Q_i$  为单元中危险化学品  $i$  的临界量,  $N$  为单元中物质的种类数。

$q/Q = (60+63) \times 0.6/10 = 73.8/10 = 7.38 > 1$ , 该企业的液氨储罐区构成重大危险源。

3.2 重大危险源分级

$$R = \alpha \left( \beta_1 \frac{q_1}{Q_1} + \beta_2 \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \beta_n \frac{q_n}{Q_n} \right), \quad (2)$$

式中， $q_1, q_2, \dots, q_n$  为每种危险化学品实际存在(在线)量(t),  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  为各危险化学品的临界量(t),  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  为各危险化学品相的校正系数， $\alpha$ 为该危险化学品重大危险源厂区外暴露人员的校正系数(表 1)<sup>[9]</sup>.

表 1 校正系数 $\alpha$ <sup>[9]</sup>

Table 1 Calibration coefficient $\alpha$ <sup>[9]</sup>	
Number of people exposed outside of the factory	$\alpha$
Above 100	2.0
50~99	1.5
30~49	1.2
1~29	1.0
0	0.5

表 2 校正系数 $\beta$

Table 2 Calibration coefficient $\beta$				
Hazardous chemicals category	Toxic gas	Explosives	Flammable gas	Other dangerous chemical
Calibration coefficient, $\beta$	See Table 3	2	1.5	1

Note: The category of dangerous chemicals in accordance with the classification of dangerous goods in the nomenclature standards.

表 3 常见毒性气体校正系数  $\beta$  取值

Table 3 Common toxic gas calibration coefficient $\beta$					
Toxic gas	CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	Cl <sub>2</sub>
Calibration coefficient, $\beta$	2	2	2	2	4

表 4 危险化学品重大危险源级别和  $R$  的对应关系

Table 4 Correspondence between major hazard sources classes of hazardous chemicals and $R$	
Major hazard sources class of hazardous chemical	$R$
Level 1	$R \geq 100$
Level 2	$100 > R \geq 50$
Level 3	$50 > R \geq 10$
Level 4	$R < 10$

该企业液氨储罐区边界外 500 m 范围内可能暴露人员数为 100 人以上， $\alpha=2$ ，氨属于有毒气体， $\beta=2$ .  $R=2 \times (2 \times 73.8/10)=29.52$ ，按表 4 可将该液氨罐区定为三级重大危险源.

4 事故后果模拟

4.1 事故模拟背景

利用南京安元科技有限公司开发的定量分析计算软件模拟单个液氨储罐发生小孔泄漏时的蒸气云爆炸及有毒有害物质泄漏扩散造成的事故及其影响范围，其泄漏量按单个储罐总储量的 1%进行计算，如发生事故的场景区及参数发生变化，计算结果也将发生变化.

计算参数为 UVCE 爆炸气云质量 360 kg，UVCE 爆炸当量系数 0.04，UVCE 燃料燃烧热 18570.17 kJ/kg，LEAKS 泄漏类型为模拟液体泄漏，LEAKS 扩散模型为模拟瞬时泄漏，LEAKS 泄漏物质特性为模拟有毒且不燃，LEAKS 液柱高度 2.5 m，LEAKS 存储温度 298.5 K，LEAKS 常压沸点 239.5 K，LEAKS 容器压力 2160 kPa，LEAKS 裂口面积 0.0025 m<sup>2</sup>，LEAKS 泄漏系数 0.65，LEAKS 定压比热 4.71 kJ/(kg·K)，LEAKS 液体汽化热 1336.97 kJ/kg，不采用 HV 和 CP 计算，LEAKS 物质泄漏总量 360 kg，LEAKS 泄漏源高度 1.3 m，LEAKS 泄

漏时间 60 s，LEAKS 中毒浓度 30 mg/m<sup>3</sup>，LEAKS 扩散时间 120 s.

4.2 事故模拟结果

4.2.1 蒸气云爆炸模拟

氨气属于可燃气体，氨气和空气混合物的爆炸极限为 15.7%~27.4%，泄漏的氨处于受限空间条件与空气混合形成爆炸性混合物遇明火、高热能会发生蒸气云爆炸. 蒸气云爆炸是由气体或易挥发液体燃料大量快速泄漏，与周围空气混合形成预混云，在某一有限空间遇点火而导致的爆炸<sup>[10]</sup>.

模拟蒸气云爆炸事故后果<sup>[11]</sup>，模拟数据为死亡半径 4.18 m，死亡人数 1，重伤半径 16.04 m，重伤人数 2，轻伤半径 31.19 m，轻伤人数 5，外部安全防护距离 100.4 m.

4.2.2 有毒有害物质泄漏扩散(Leaks 模型)

泄漏扩散模型主要用于对有毒有害物质发生泄漏后果进行定量评价，可以得到其在一定环境条件下的扩散影响范围<sup>[11]</sup>. 扩散事故后果模拟为下风向中毒距离 312.01 m，横风向中毒距离 72.01 m，中毒区域面积 16291.70 m<sup>2</sup>，中毒区形成时间 120 s，下风向中毒影响最远距离 1115 m，下风向中毒影响最远距离形成所需时间 557.5 s.

## 5 技术改造思路

通过以上事故后果模型模拟,可见液氨罐区是该企业危化品管理的重点环节,保证其安全运行是企业安全生产的重中之重。由于该企业建厂较早,根据《危险化学品重大危险源罐区现场安全监控装备设置规范》(AQ3036-2010)及《陕西省安全生产监督管理局关于危险化学品重大危险源罐区储罐设置高低液位监测报警及连锁控制系统的通知》[陕安监函(2015)92号]等规范要求,应对构成重大危险源的储罐内介质的液位、温度、压力及罐区内可燃/有毒气体浓度及音视频信号和其它危险因素等进行监测预警<sup>[16]</sup>,该企业不满足以上规定要求。通过查阅相关资料<sup>[13-17]</sup>,结合该企业液氨罐区现状提出了以下技术改造思路。

### 5.1 加装外贴式液位计、温度计和压力变送器

外贴式液位、温度计是《危险化学品重大危险源罐区现场安全监控装备设置规范》(AQ3036-2010)中关于老罐改造的强制性条款,不仅避免了储罐扩孔带来的改造工期延长,同时还减少了罐区动火作业及罐体焊缝。改造后可将液位、压力和温度等现场参数远传至DCS中控室,便于随时掌握罐内介质参数和进行调节控制。若出现个别压力异常的情况,则安全阀启跳,可有效防止储罐超压。同时安全阀出口处应设置导气管,并接入事故池,对安全阀起跳后排出的气体进行吸收处理。保留原磁翻板式液位计,防止外贴式液位计失灵。

### 5.2 气、液两相管道增加自控阀,设置高低位液位报警连锁装置及有毒气体报警仪

液氨储罐正常使用时应确保液位正常,若液位超过允许上限则会导致罐体超压而发生危险。同时,采用动作灵敏,启动快的气动式自控阀门,紧急情况下关闭进料阀门可有效避免因液位过高(或过低)造成储罐压力异常。氨是一类同时具有可燃性和毒性的化工原料,根据《危险化学品重大危险源罐区现场安全监控装备设置规范》和《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范》中的规定,在有毒的可燃气体存放场所需设置毒性气体检测报警仪,信号远传至DSC中控室进行实时监控,保证生产安全运行。给液氨储罐区日常巡查人员配备了便携式氨气报警仪,用于日常快速检测。

### 5.3 增设自控启动应急喷雾吸收系统

液氨罐区增设事故远程水喷淋吸收系统,先加装应急水箱及增压泵以确保水源充足及压力稳定,同时将喷淋水引入事故池以确保不造成环境污染事故。喷雾水探头覆盖面积叠加,在储罐发生大量泄漏的情况下,可以用雾状水吸收泄漏的液氨以减少环境污染和避免周围

氨浓度升高,应急抢险处置争取更多时间,保障抢险作业人员安全。

### 5.4 储罐区增加视频监控

根据《危险化学品重大危险源罐区现场安全监控装备设置规范》的要求,罐区应设置音视频监控报警系统,监视突发的危险因素或初期的泄漏扩散或火灾报警等情况。摄像头的设置个数和位置应根据罐区现场的实际情况而定,既要覆盖全面,也要重点考虑危险性较大的区域。所以,该企业罐区在原有摄像头基础上又在罐区顶部新增4个,监控罐顶各阀门及罐区进出口。

### 5.5 完善风向标、洗眼器及静电释放器等装置

该企业罐区装有铁质风向标,由于该厂还使用硝酸等危化品,加上氨具有腐蚀性,所以建议新增布袋式风向标。按照洗眼器的设施规范,在罐区南北两侧各增加一套洗眼器。参照《山东省液氨储存与装卸安全技术规范(试行)》,为确保消除人体静电,在扶梯及罐区围堰的进口处设置了消除人体静电的静电释放器。

## 6 结论

通过对某企业正在使用的液氨储罐区进行重大危险源辨识和事故后果模拟,得到定量的安全评价结果,对照现行法律法规及标准规范,可以规范重大危险源液氨储罐的安全管理,得到以下结论:

(1) 经过重大危险源辨识,该企业液氨储罐构成三级重大危险源。该企业应按照国家法律法规对重大危险源的管理规定进行严格管理。

(2) 对液氨泄漏可能造成的典型事故,建模分析,分析结果更为直观地阐述了液氨泄漏事故造成的伤亡半径及影响区域。

(3) 该企业液氨罐区建成时间较久,基础设施薄弱。依靠安全设施的技术改造可提高储罐本身安全及应急处置能力,将各种可能发生的危害降低到最低程度。

### 参考文献

- [1] 王八月,叶启亮.合成氨弛放气中氨回收工艺的模拟计算[J].安徽化工,2008,(5):40-44.  
Wang B Y, Ye Q L. Simulation calculation of ammonia recovery process in release air of synthetic ammonia [J]. Anhui Chemical Industry, 2008, (5): 40-44.
- [2] 王家见,张弘,路荣博,等.液氨泄漏危害与安防防控分析[J].广州化工,2016,(5):232-234.  
Wang J J, Zhang H, Lu R B, et al. Analysis of ammonia leakage hazard and safety prevention and control [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2016, (5): 232-234.
- [3] 刘辉,张智超,付会龙.2011~2015年我国工作场所液氨事故统计分析研究[J].吉林建筑大学学报,2017,(4):36-40.  
Liu H, Zhang Z C, Fu H L. Statistical analysis of workplace ammonia accidents in China from 2011 to 2015 [J]. Journal of Jilin

- Jianzhu University, 2017, (4): 36–40.
- [4] 孙天舒. 危险化学品储罐突发性典型事故风险评价研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013: 17–51.  
Sun T S. Study on risk assessment of sudden and typical accident of hazardous chemical storage tanks [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013: 17–51.
- [5] 曾小红. 危险化学品泄漏事故风险评估模型及应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011: 27–52.  
Zeng X H. Risk assessment model and application of hazardous chemical leakage accident [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011: 27–52.
- [6] 莫秀忠, 吴欣甜, 谢飞, 等. 基于 MATLAB 的液氨瞬时泄漏模拟及应急措施研究 [J]. 南开大学学报(自然科学版), 2014, (4): 1–5.  
Mo X Z, Wu X T, Xie F, et al. MATLAB-based instantaneous ammonia leakage simulation and study of emergency measures [J]. Journal of Nankai University (Natural Science Edition), 2014, (4): 1–5.
- [7] 乔鹏. 化工行业储罐自动化改造的方法 [J]. 山西电子技术, 2013, (2): 13–15.  
Qiao P. Method of automatic transformation of storage tanks in chemical industry [J]. Shanxi Electronic Technology, 2013, (2): 13–15.
- [8] 余国燕. 试论化工储罐自动化改造技术实践 [J]. 中国高新技术企业, 2016, (9): 22–23.  
Yu G Y. On the technical practice of automatic transformation of chemical storage tanks [J]. China High-Tech Enterprises, 2016, (9): 22–23.
- [9] 顾朝晖, 姚元亨. 氮肥企业重大危险源辨识与危害后果定量分析 [J]. 化肥设计, 2009, (6): 23–27.  
Gu C H, Yao Y T. Identification of major hazard sources and quantitative analysis of hazard consequences in nitrogen fertilizer enterprises [J]. Chemical Fertilizer Design, 2009, (6): 23–27.
- [10] 潘东, 赵江平. 基于 MATLAB 的钼化工企业中液氨储罐泄漏扩散及爆炸危险区域研究 [J]. 中国钼业, 2017, 41(2): 27–30.  
Pan D, Zhao J P. Study on leakage diffusion and explosion danger area of liquid ammonia storage tank in molybdenum chemical industry based on MATLAB [J]. China Molybdenum, 2017, 41(2): 27–30.
- [11] 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, (4): 64–66.  
Sun H, Zhang S H, Wu M L. Risk analysis of ammonia leakage vapor cloud explosion [J]. Safety and Environmental Engineering, 2010, (4): 64–66.
- [12] 柳红卫, 黄沿波. 液氨泄漏风险评估和风险分级方法 [J]. 安全与环境工程, 2010, (1): 70–74.  
Liu H W, Huang Y B. Risk assessment and risk classification of liquid ammonia leakage [J]. Safety and Environmental Engineering, 2010, (1): 70–74.
- [13] 曹智萍, 刘志栋. 液氨罐区安全设施设计探究 [J]. 天津化工, 2015, (3): 43–44.  
Cao Z P, Liu Z D. Study on safety facilities design of liquid ammonia tank area [J]. Tianjin Chemical Industry, 2015, (3): 43–44.
- [14] 谭瀚茗, 于枫. 液氨罐区危险因素分析及工艺、自控安全设施设计 [J]. 辽宁化工, 2013, (5): 535–538.  
Tan H M, Yu F. Analysis of risk factors in liquid ammonia tank area and design of process and automatic control safety facilities [J]. Liaoning Chemical Industry, 2013, (5): 535–538.
- [15] 刘玮. 浅谈液氨储罐消防系统设计 [J]. 科技风, 2015, (6): 10–12.  
Liu W. Discussion on fire control system design of liquid ammonia storage tank [J]. Technology Wind, 2015, (6): 10–12.
- [16] 许金宝, 侯少雷, 杜学芸. 液氨储罐远程监控系统的设计 [J]. 电子设计工程, 2015, (12): 91–94.  
Xu J B, Hou S L, Du X Y. Design of remote monitoring system for liquid ammonia storage tank [J]. Electronic Design Engineering, 2015, (12): 91–94.
- [17] 娄海强, 衷卫声, 王文海, 等. 基于 ARM 和 Qt 的液氨罐区监控系统的设计 [J]. 自动化与仪表, 2015, (10): 53–56.  
Lou H Q, Zhong W S, Wang W H, et al. Design of control system for liquid ammonia tank area based on ARM and Qt [J]. Automation & Instrumentation, 2015, (10): 53–56.