

液氨泄漏事故树分析及风险预测

杜喜臣 蔡敏琦

(兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要 对液氨泄漏的原因进行了系统的归类, 依此绘制了液氨泄漏事故树。分析得出, 管理问题的基本事件结构重要度均要大于设备故障的基本事件, 对各基本事件提出了相应的防范措施。最后以甘肃某化肥厂液氨储罐为例, 对事故树中管道破裂致液氨泄漏产生的危害范围进行了预测。

关键词 泄漏 环境风险评价 事故树分析 风险管理

中图分类号 X820.4 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2008)10-1430-03

Ammonia leakage fault tree analysis and risk forecast

Du Xichen Cai Minqi

(College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Abstract The reasons of ammonia leakage were classified systemically, the fault tree was depicted subsequently. Through analysis, the basic event structure ponderance of management problem was more important than the equipment fault, then the corresponding prevention measures were advanced. Finally, the ammonia tank of a fertilizer plant in Gansu was taken as an example, and the harmful scope which was induced by pipe break was forecasted.

Key words leakage; ERA; FTA; risk management

氨是重要的化工原料, 常用于石油冶炼、化肥制造、合成纤维、制革、医药等制造业中。为了贮存和运输的方便, 通常采用常温高压或低温加压的方式将氨液化^[1]。在氨的生产、运输、贮存中, 如遇管道、阀门、储罐等损坏使液氨发生泄漏, 极易发生爆炸和人员中毒事故, 对环境造成严重危害。

据不完全统计^[2], 建国以来我国化工系统发生的51起重(特)大典型泄漏事故中, 液氨泄漏发生次数居首位, 为8次; 死亡人数与受伤人数均居第3位, 分别为42人和259人。无论从事故发生次数还是伤亡人数来看, 均应该对液氨泄漏事故引起足够的重视。

泄漏事故的发生是难以预料的, 但通过对事故发生的原因事件进行分析, 并对泄漏后造成的后果进行模拟预测, 采取相应的防范及应急措施, 就可以降低泄漏事故的发生概率及产生的危害, 这正是环境风险评价要达到的目的之一。本文用事故树方法对贮存过程中液氨泄漏风险进行了源项分析, 提出了降低事故发生概率的措施, 以甘肃某化肥厂液氨储罐为例, 对其泄漏影响范围进行了预测, 为风险的管理提供了参考依据。

1 液氨泄漏事故树分析

通过对大量的资料统计分析, 发现贮存过程中液氨泄漏事故的发生的根源在于管理上的缺陷。当贮存设备出现故障, 而同时管理又出现问题, 那么泄漏事故发生的概率就会很大。下面用事故树法对贮存过程中液氨泄漏事故进行分析, 找出液氨泄漏发生的基本事件, 进而有针对性的提出措施加以预防, 达到降低事故发生概率的目的。

1.1 事故树的绘制

以液氨泄漏作为顶上事件绘制事故树, 如图1所示。

1.2 基本事件结构重要度分析

1.2.1 求最小割集或径集

根据图1各事件的逻辑关系, 得出液氨泄漏事故树的结构函数如下:

$$T = [X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_9 + X_{10}(X_{13} + X_{14})] \cdot X_1(X_6 + X_7 + X_8 + X_{11} + X_{12})$$

收稿日期: 2008-02-25; 修订日期: 2008-04-06

作者简介: 杜喜臣(1981~), 男, 硕士研究生, 研究方向为水污染治理及环境影响评价。

E-mail: duduchen0721@yahoo.com.cn

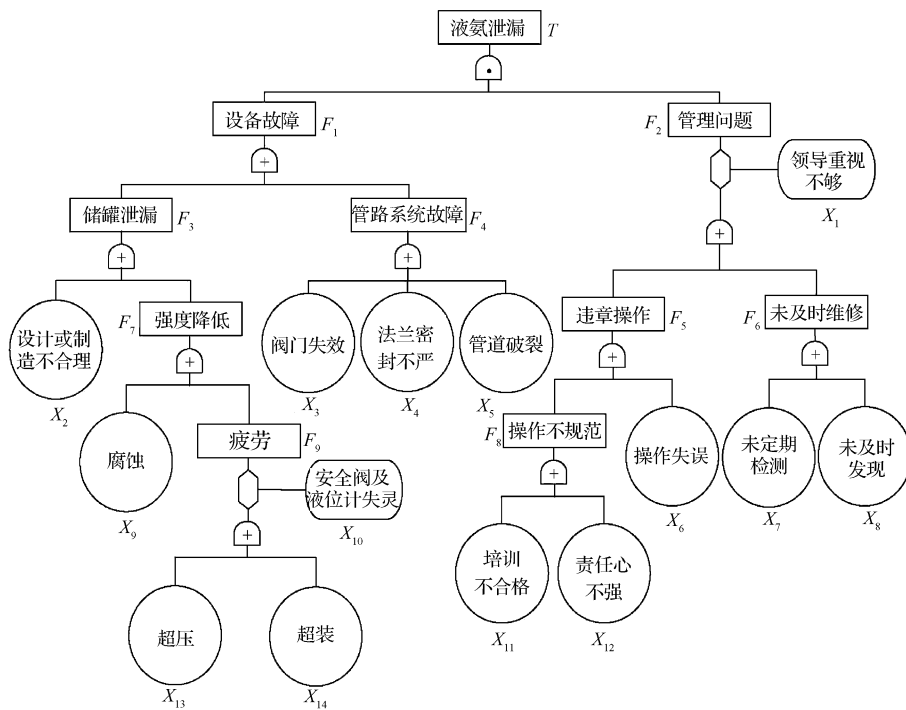


图 1 液氨泄漏事故树

Fig. 1 Fault tree of ammonia leakage

对事故树结构函数进行运算,得到 28 个最小割集和 4 个最小径集,4 个最小径集为:

$$P_1 = \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_9, X_{10}\}$$

$$P_2 = \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_9, X_{13}, X_{14}\}$$

$$P_3 = \{X_1\}$$

$$P_4 = \{X_6, X_7, X_8, X_{11}, X_{12}\}$$

1.2.2 求基本事件结构重要度

由于最小径集的数目比最小割集少,故利用最小径集对液氨泄漏事故树的基本事件结构重要度进行分析^[3]。根据下式^[3]计算基本事件结构重要度系数:

$$\Phi(j) = \sum_{k=1}^K (2^{n_r-1})^{-1}$$

式中:

$\Phi(j)$ ——基本事件 j 的结构重要度系数;

n_r ——第 r 个包含基本事件 j 的最小割集或最小径集的容量;

K ——包含基本事件 j 的最小割集或最小径集的个数。

经计算,液氨泄漏事故各基本事件结构重要度系数如表 1 所示。

表 1 液氨泄漏各基本事件结构重要度系数

Table 1 Basic event structure ponderance coefficient of ammonia leakage

基本事件	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
$\Phi(j)$	1	$3/2^6$	$3/2^6$	$3/2^6$	$3/2^6$	$1/2^4$	$1/2^4$	$1/2^4$	$3/2^6$	$1/2^5$	$1/2^4$	$1/2^4$	$1/2^6$	$1/2^6$

根据表 1,排出液氨泄漏事故各基本事件的结构重要度总顺序为:

$$\begin{aligned} \Phi(X_1) &> \Phi(X_6) = \Phi(X_7) = \Phi(X_8) = \Phi(X_{11}) \\ &= \Phi(X_{12}) > \Phi(X_2) = \Phi(X_3) = \Phi(X_4) = \Phi(X_5) \\ &= \Phi(X_9) > \Phi(X_{10}) > \Phi(X_{13}) = \Phi(X_{14}) \end{aligned}$$

1.3 泄漏事故的防范措施

由以上分析可以看出,在贮存过程中,只有在设备出现故障及管理出现问题事件同时发生时,液氨

泄漏事故才会发生。因此,预防液氨泄漏事故要从两大方面入手。

(1)加大管理力度。总体来看,管理问题中各基本事件的结构重要度系数均大于设备故障系数,因此首先要在管理上来预防事故的发生。

领导在管理中担当着最为重要的角色,因此,领导首先必须对液氨泄漏风险有着清晰的认识,进而才能对风险的管理采取有效措施;制定完善的安全

管理制度,安全责任落实到个人;加强对操作人员的岗位培训,提高员工的技能水平及责任心,从而减少因操作失误发生事故的几率;定期对设备进行检查、维修,发现问题及时解决。

(2)降低设备故障发生率。在设计及制造液氨储罐阶段,必须选择有资质的设计及制造单位,严把质量关;优选耐腐蚀材料,做好防腐工作;安全阀及液位计要经常检修,避免因超压、超装引起储罐疲劳;液氨管路系统(管道、阀门、法兰等)在高压下工作,易出现腐蚀、破损等,因此,要经常对其进行检修,强度不够时要及时更换。

2 液氨泄漏预测分析

以甘肃某化肥厂的液氨储罐为例,采用 Risksystem 软件,以短时间容许接触浓度(30 mg/m^3)^[4]及接触 30 min 对人体造成重度危害的浓度(1750 mg/m^3)^[5]为指标,对液氨泄漏影响的范围进行分析。

2.1 初始条件和基本假设

2.1.1 储罐的工艺条件

该厂液氨储罐的工艺参数如下:容积 106 m^3 , 温度 20°C , 压力 2.3 MPa , 储量 $48\,000 \text{ kg}$, 储罐类型为卧式。

2.1.2 泄漏条件假设

假定液氨储罐管道破裂,破裂口为直径 30 mm 的圆形孔,应急能力为 20 min,泄漏的液氨全部蒸发。

2.1.3 泄漏速率估算

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2004)中推荐的液体泄漏模式及假定条件,计算出液氨泄漏事故发生后的泄漏速率为 5.68 kg/s 。

2.2 危害范围预测

2.2.1 气象条件的选择

根据当地多年气象资料统计结果,该地区年静风率较大,全年以稳定状态为主。当风速较小、大气条件稳定时,产生的危害后果更为严重^[6]。故选取静风和小风,大气稳定度为 F 作为泄漏预测的天气条件。

2.2.2 预测分析

根据假定的事故状态和选定的气象条件,采用多烟团模式分析液氨泄漏 20 min,预测时段为 30 min 液氨危害浓度出现的最远距离,得到的结果见表 2。

由表 2 及厂区状况可以得出,液氨泄漏后,在大气条件稳定时,重度危害浓度最远达到了近 200 m ,

表 2 稳定度为 F 时,危害浓度的最远距离

Table 2 Longest distance of harmful concentration in F stabilization

危害浓度 (mg/m^3)	风速 0.3 m/s 时 的距离 (m)	风速 1.4 m/s 时 的距离 (m)
30	416.1	1106
1750	58.9	175.7

主要出现在厂区内;车间短时间容许接触浓度最远达到了近 1.2 km 。一旦泄漏事故发生,可将这 2 个值作为安全警戒及紧急疏散距离的参考值。

3 结 论

本文引入了事故树法对贮存过程中的液氨泄漏风险进行了源项分析,找出了事故发生的基本事件,并对这些事件进行了结构重要度分析。结果发现,管理问题中基本事件的结构重要度均要大于设备故障。因此,在对事故树的各基本事件提出相应的防范措施时,对管理问题的基本事件提出了较高的要求。

以甘肃某化肥厂为例,对液氨泄漏事故树中设备管道破裂致泄漏事故发生的后果进行了模拟预测,计算出了短间接接触容许浓度及对人体产生重度危害浓度出现的最大距离,为应急措施的制定提供了参考依据。

思想上的疏忽是一切事故发生的根源,预防是防止事故发生的根本措施。风险的管理要从这两方面入手,广泛开展安全生产宣传教育,从领导到操作岗位工人,牢固树立起安全生产观念,从根源上降低液氨泄漏的风险。

(致谢:感谢陈强老师在论文写作中提供的帮助。)

参 考 文 献

- [1] 潘旭海,蒋军成.基于模拟计算的液氨储罐泄漏潜在危险性分析.石油化工高等学校学报,2006,19(1):64~67
- [2] 潘旭海,蒋军成.重(特)大泄漏事故统计分析 & 事故模式研究.化学工业与工程,2002,18(3):248~252
- [3] 宇德明.易燃·易爆·有毒危险品储运过程定量风险评价.北京:中国铁道出版社,2000.199~200
- [4] 吴爱香,张瑞芳.液氨球罐泄漏事故后果分析与评价.安全,2005,(5):16~17
- [5] 赵淑岚,封琳敏.液氨储罐泄漏污染的定量预测.中华劳动卫生职业病杂志,2002,20(3):203~205
- [6] 饶国宁,陈网桦,胡毅亭,等.液氨泄漏事故危险性的定量分析研究.安全与环境学报,2004,(4):165~167