

Accident Tree Analysis and Safety Countermeasures for Liquid Ammonia Leakage

Pengjun He

Safety and Environmental Protection Department, Hangzhou Iron & Steel Group Company, Hangzhou Zhejiang
Email: hopenjun@hzsteel.com

Received: Jul. 27th, 2018; accepted: Aug. 21st, 2018; published: Aug. 28th, 2018

Abstract

In this paper, a fault tree analysis method is used to analyze the liquid ammonia system of a company. Through the minimum cut set and the minimum path set analysis, the effective measures to prevent the leakage of liquid ammonia are put forward. The defects of the equipment, the emergency management and the failure of emergency operation are the main factors that lead to the leakage of liquid ammonia. The conclusion of the article has positive guiding significance for liquid ammonia enterprises to eliminate hidden dangers and achieve safety in production.

Keywords

Liquid Ammonia Leakage, Fault Tree Analysis, Safety Countermeasures

某公司液氨泄漏事故树分析及安全对策

何彭君

杭钢集团有限公司经济(安环)运行部, 浙江 杭州
Email: hopenjun@hzsteel.com

收稿日期: 2018年7月27日; 录用日期: 2018年8月21日; 发布日期: 2018年8月28日

摘 要

本文针对某公司的液氨系统采用事故树分析方法进行分析, 通过事故树最小割集、最小径集分析计算结果, 提出防止液氨泄漏事故的有效措施, 其设备缺陷, 应急管理 with 应急操作失误是导致液氨泄漏事故的主要因素。文章研究结论对液氨企业消除事故隐患, 实现安全生产具有积极的指导意义。

关键词

液氨泄漏, 事故树分析, 安全对策

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 基本情况及危险性分析

1) 基本情况

某公司液氨系统设备配有 31,000 L 碳钢卧式液氨大槽 2 只, 11,600 L 液氨计量槽 2 只, 8000 L 液氨中间槽 2 只, 11,700 L 氨基化釜 2 只, 以及锂法制冷压缩机、低温水, 单冷压缩机、焓化釜等设备。卧式液氨大槽位于车间南面, 如图 1 所示。

2) 危险性分析

由于液氨系统液氨的存储量较大, 设备的腐蚀和老化, 工艺自动化程度较低, 液氨系统区域范围内人员密度较大, 存在着大量的危险因素。

a) 液氨系统的存储量为 50 m³, 大大超过了《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2009)规定的临界量 10 T, 故此液氨系统属于重大危险源[1]。

b) 液氨系统的设备工艺管线老化, 腐蚀严重。两液氨大槽使用年限较长, 处于老年故障期, 设备和部分管道沿线腐蚀严重, 且缺乏行之有效的探伤等检测措施, 2005 年至今没有进行检测、检验。不能对设备总体情况做出充分的风险分析。

c) 工艺自动化程度较低。液氨系统缺少必要的自动切断装置, 自动联锁装置, 自动喷淋系统, 很多的阀门开关还需要人员到现场手动操作, 这使得液氨在发生泄漏时不能迅速做出应急响应。

d) 液氨系统周围人员密度较大, 缺乏液氨泄漏的应急救援演练和相配套应急防护用品等, 在液氨泄漏发生时会增加人员伤亡风险。

e) 现场部分设施不符合相关法规标准的要求, 如未在液氨大槽的安全阀入口处加装相应的切断阀; 液氨储罐四周应设置高度不小于 1.0 m 的不燃烧实体防火堤[2], 而现场的防火堤高度不够(只有 20 cm), 两液氨大槽的安全距离不够。



Figure 1. The large tank of liquid ammonia in outdoor
图 1. 室外液氨大槽

f) 液氨系统在运行过程中还存在火灾爆炸、中毒、冻伤、机械伤害、噪声、高处坠落、车辆伤害等事故的危險[3]。

2. 液氨泄漏事故树分析

最常见的液氨泄漏的情形是储罐罐壁泄漏及其管路系统泄漏，通过液氨泄漏事故树分析，寻求其安全对策。

1) 事故树绘制

根据对泄漏原因的分析，建立液氨泄漏事故树，如图 2 所示。

2) 布尔代数运算

$$\begin{aligned} T &= A1A2 = (A3 + A4)(X5 + X6) \\ &= (X1X2 + X3 + X4)(X5 + X6) \\ &= (X1 + X3 + X4)(X2 + X3 + X4)(X5 + X6) \\ &= X1X2X5 + X1X2X6 + X3X5 + X3X6 + X4X5 + X4X6 \end{aligned}$$

3) 最小割集，经计算得到 6 组最小割集

$$\begin{aligned} K1 &= \{X1, X2, X5\}; K2 = \{X1, X2, X6\}; K3 = \{X3, X5\}; \\ K4 &= \{X3, X6\}; K5 = \{X4, X5\}; K6 = \{X4, X6\}. \end{aligned}$$

4) 最小径集，通过计算得到 3 组最小径集

$$P1 = \{X1, X3, X4\}; P2 = \{X2, X3, X4\}; P3 = \{X5, X6\}.$$

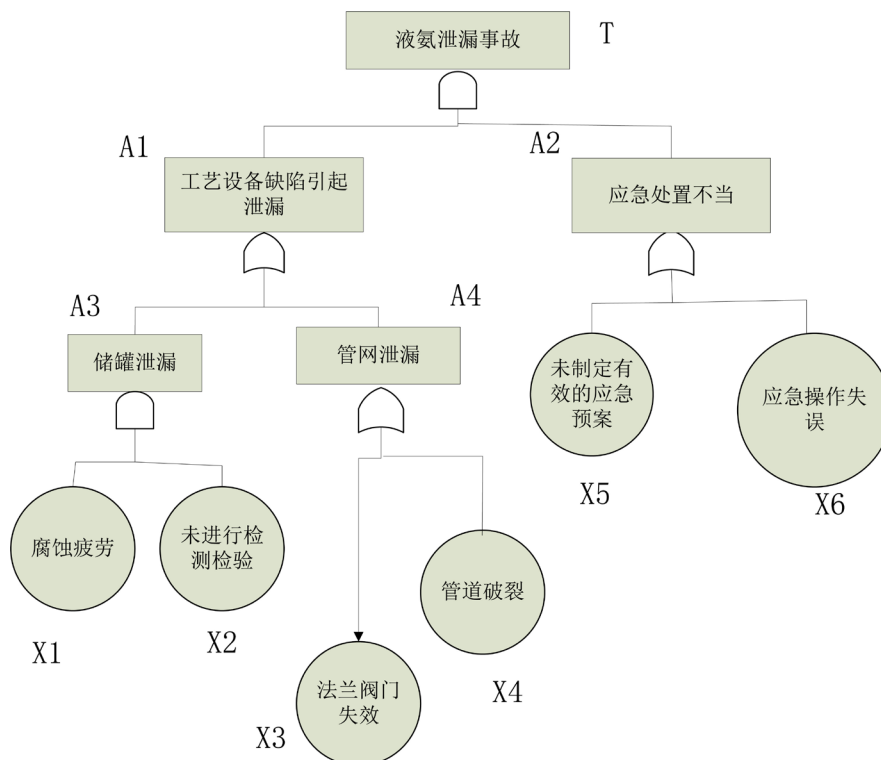


Figure 2. Accident tree of the liquid ammonia leakage
图 2. 液氨泄漏事故树

3. 分析结果与预防措施

1) 依据最小割集提出的对策措施

通过事故树的计算, 得到 4 组最小割集, 即液氨泄漏事故的发生有 4 种“可能途径”。由最小割集的定义可知, 当最小割集中的全部基本事件同时发生时, 顶上事件就会发生。例如若某组最小割集中的某一基本事件不发生, 则该割集就失去了造成事故发生的危险性。由于 X5 和 X6 在 6 组最小割集之中出现频率均为 50%, 比 X1, X2, X3, X4 出现的 33% 要高, 故首先考虑 X5 (应急预案) 和 X6 (现场应急处置), 以切断液氨泄漏后造成事故的可能路径, 因此, 可根据各个最小割集所具有的基本事件采取有效的预防措施[4]。

2) 依据最小径集提出的对策措施

最小径集表示系统的安全性, 一个最小径集对应一种预防顶上事件发生的方案。系统有多少个最小径集, 就有多少种预防顶上事件发生的方案。最小径集越多, 表明系统越安全。最小径集容量越小, 越容易控制其中基本事件的发生, 从而以较小的代价实现系统的安全。

事故树共有 3 组最小径集, 只要控制其中的任一最小径集组, 就可防止液氨泄漏事故的发生, 从所得的最小径集中可以看出, 要预防液氨泄漏造成事故的发生即只要控制 {X1, X3, X4}, {X2, X3, X4}, {X5, X6} 中的一组就可以防止事故发生[5]。

{X1, X3, X4} 表示要防止腐蚀疲劳, 防止法兰阀门失效和管道破裂; {X2, X3, X4} 表示要进行定期检测检验, 防止法兰阀门失效和管道破裂; {X5, X6} 表示要制定详细的应急预案, 并对作业人员进行应急演练与培训。企业可根据具体情况采取其中一种措施或多种措施, 保证液氨系统的安全。

另外, 如有可能, 应尽量减少液氨的储量, 使其不超过重大危险源储量的临界量; 若不可能减少储量, 需要对工艺进行自动化改造, 减少现场操作人员, 提升安全自动化水平, 按照标准要求设置不小于 1.0 m 的不燃烧实体防火堤。对于液氨运行系统的火灾爆炸、中毒、冻伤、机械伤害、噪声、高处坠落、车辆伤害等事故应有相应的预防措施[6]。

参考文献

- [1] 国家质检总局. GB18218-2009. 危险化学品重大危险源辨识[S]. 北京: 国家质检总局, 2009.
- [2] 赵铁锤. 化学品安全评价[EM]. 北京: 中国石化出版社, 2003.
- [3] 饶国宁, 陈网桦. 液氨泄漏事故危险性的定量分析研究[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(51): 165-167.
- [4] 张一先, 张隆. 管道煤气泄漏事故评估的不确定性[J]. 煤气与热力, 2000, 10(1): 9-13.
- [5] 袁昌明, 张晓冬, 章保东, 编著. 安全系统工程[M]. 北京: 中国计量出版社, 2006.
- [6] 魏东辉, 魏学臻. 液氨装卸过程事故分析[J]. 中国机械, 2015(7): 149-150.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-4677，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jsst@hanspub.org