

液化石油气储罐销爆过程安全风险事故树分析

张建华,郭 进

(武汉理工大学资源与环境工程学院,武汉 430070)

摘 要: 采用事故树分析法,建立了以发生火灾或爆炸事故为顶上事件的事故树,从分析事故发生因果关系中的顶上事件开始,直到基本事件,由果到因、自上而下地分析了某化工厂液化石油气储罐销爆过程中的危险因素。通过对液化石油气储罐销爆处理过程中潜在危险因素的系统分析,得到了事故树的各阶最小割集,确定了液化石油气储罐销爆过程中的主要危险源,提出了相应的安全预防措施,保证了该化工厂液化石油气储罐销爆过程中的安全。

关键词: 液化石油气; 销爆; 事故树; 安全评价; 爆炸事故

中图分类号: TU 224 .11 文献标志码: A 文章编号: 1671-4431(2005)07-0109-03

Fault Tree Analysis of Potential Safety Risk in Explosion
Elimination Processing of LPG Tanks

ZHANG Jian-hua, GUO Jin

(School of Resource and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The underlying dangerous factors in the explosion elimination processing of LPG(liquified petroleum gas) tanks in a chemical plant in Xiangfan city, Hubei province, were systematically analyzed from the top tree event to the bottom tree event, and from the results to the causes by a fault tree taking a fire or explosion accident for the top . The minimum cut-set of the fault tree was obtained, the major dangerous factors in the explosion elimination processing of LPG tanks were realized, and the corresponding prevention measures to ensure the safety of the explosion elimination processing were suggested .

Key words: liquified petroleum gas; explosion elimination; fault tree; safety evaluation; explosion accident

湖北襄樊某化工厂因企业破产需对 3 个 50 m³ 卧式液化石油气储罐进行销爆处理。液化石油气属于易燃易爆物质,一旦泄漏,极易与周围空气混合形成具有爆炸性的混合物,如遇明火就会引起火灾或爆炸,其产生的爆炸冲击波及爆炸火球热辐射破坏强度和范围极大,极易导致次生灾害。国内外曾发生多起液化石油气火灾或爆炸事故^[1]。如 1998 年 3 月 5 日西安市液化石油气站曾发生过火灾事故^[2],造成 12 人死亡,32 人受伤,直接经济损失达 400 多万元。

液化石油气(LPG)主要成分^[3]是丙烷、丁烷、丙烯和丁烯,均为易燃易爆气体。液化石油气与空气混合气的着火能量很低,为 0 .06 ~ 0 .26 mJ。在常温常压下液化石油气极易挥发^[4],遇空气后体积迅速扩大 250 ~ 350 倍,气态液化石油气微毒,高浓度时有麻痹作用。为了系统分析液化石油气罐在销爆处理过程中可能存在的潜在危险因素,建立了以发生火灾或爆炸事故为顶上事件的事故树,笔者运用事故树分析法对销爆过程中可能发生的火灾或爆炸事故进行安全评价,预先分析和判断设备和工人操作中可能发生的危险及可能导致燃烧爆炸灾害的条件。其目的是采取相应的管理手段和安全防范措施,最大限度地消除危险和限制事故的严重程度,把事故可能造成的人身安全和财产的损害减少到最低限度。

1 事故树的建立

事故树分析程序按其目的和要求的精度不同而不同,一般采用以下分析程序:1)确定分析系统,即确定系统所包括的内容及其边界范围;2)熟悉分析系统,熟悉系统的整个情况,包括系统性能、运行情况、操作步骤及各种重要参数;3)调查系统发生事故的可能性,在收集过去事故实例和事故统计的基础上,估计系统可能发生的事故;4)估计事故的危险等级,确定事故树的顶上事件;5)调查与顶上事件有关的所有事件,这些原因事件包括:设备的元件故障,原材料、半成品、工具等的缺陷;生产管理,指挥、操作上的失误和错误;以及影响顶上事件发生的环境因素;6)绘制事故树图,按照演绎分析的原则,从顶上事件起,逐级分析各自的直接原因事件,根据彼此间的逻辑关系,用逻辑门的连接方法,上一层事件是下一层事件的必然结果,下一层事件是上一层事件的充分条件;7)事故树的定性分析,主要内容有:计算事故树的最小割集或最小径集;计算基本事件的结构重要度;分析各事故类型的危险性,确定防范措施;8)事故树的定量分析,主要内容有:确定引起事故发生的各基本事件的发生概率;计算事故树顶上事件的概率;计算基本事件的概率重要度和临界重要度;9)安全评价,根据顶上事件可能发生的事故概率及系统严重度确定系统损失率,评价系统的危险性,找出降低顶上事件事故概率的最佳方式。

事故树评价最突出的优点是可以评价出事故发生的概率和找出事故的直接原因事件,并可以分析出事故的潜在原因事件。由于事故的直接原因事件概率不易统计,所以目前一般不作事故概率计算,但可以进行定性分析,找出事故原因事件,这是十分重要的。

选取“火灾或爆炸事故”作为顶上事件,认真分析在销爆过程中可能引起火灾或爆炸事故的因素^[5]之后,建立了事故树,目的在于寻找导致顶上事件发生最直接的、必要的和充分的原因。销爆过程中火灾或爆炸事故树图见图 1,事故树中各代码的含义见表 1。

表 1 事故树中各代码的含义

代码	含义	代码	含义
T	火灾或爆炸事故	X ₄	射频电(如手机等)
A	点火源	X ₅	惰性气体置换
B	LPG 泄漏	X ₆	水置换
C	静电	X ₇	水冲洗
D	LPG 储罐静电放电	X ₈	水蒸气冲洗
a	LPG 达到爆炸极限	X ₉	人体静电放电
X ₁	明火	X ₁₀	水冲洗过程水流太快
X ₂	撞击火花	X ₁₁	静电积累
X ₃	电火花	X ₁₂	接地不良

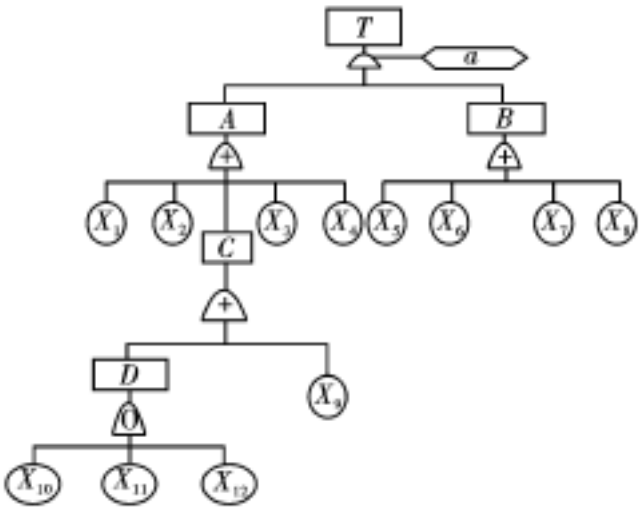


图1 销爆过程火灾或爆炸事故树图

2 事故树分析

2.1 结构函数式

$$T = \mathbf{Aba} = aX_1 X_5 + aX_1 X_6 + aX_1 X_7 + aX_1 X_8 + aX_2 X_5 + aX_2 X_6 + aX_2 X_7 + aX_2 X_8 + aX_3 X_5 + aX_3 X_6 + aX_3 X_7 + aX_3 X_8 + aX_4 X_5 + aX_4 X_6 + aX_4 X_7 + aX_4 X_8 + aX_9 X_5 + aX_9 X_6 + aX_9 X_7 + aX_9 X_8 + aX_{10} X_{11} X_{12} X_5 + aX_{10} X_{11} X_{12} X_6 + aX_{10} X_{11} X_{12} X_7 + aX_{10} X_{11} X_{12} X_8$$

2.2 最小割集

通过对事故树的分析,可以得到 24 个最小割集: $\mathbf{K}_1 = \{ a, X_1, X_5 \}$, $\mathbf{K}_2 = \{ a, X_1, X_6 \}$, $\mathbf{K}_3 = \{ a, X_1, X_7 \}$, $\mathbf{K}_4 = \{ a, X_1, X_8 \}$, $\mathbf{K}_5 = \{ a, X_2, X_5 \}$, $\mathbf{K}_6 = \{ a, X_2, X_6 \}$, $\mathbf{K}_7 = \{ a, X_2, X_7 \}$, $\mathbf{K}_8 = \{ a, X_2, X_8 \}$, $\mathbf{K}_9 = \{ a, X_3, X_5 \}$, $\mathbf{K}_{10} = \{ a, X_3, X_6 \}$, $\mathbf{K}_{11} = \{ a, X_3, X_7 \}$, $\mathbf{K}_{12} = \{ a, X_3, X_8 \}$, $\mathbf{K}_{13} = \{ a, X_4, X_5 \}$, $\mathbf{K}_{14} = \{ a, X_4, X_6 \}$, $\mathbf{K}_{15} = \{ a, X_4, X_7 \}$, $\mathbf{K}_{16} = \{ a, X_4, X_8 \}$, $\mathbf{K}_{17} = \{ a, X_9, X_5 \}$, $\mathbf{K}_{18} = \{ a, X_9, X_6 \}$, $\mathbf{K}_{19} = \{ a, X_9, X_7 \}$, $\mathbf{K}_{20} = \{ a, X_9, X_8 \}$, $\mathbf{K}_{21} = \{ a, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_5 \}$, $\mathbf{K}_{22} = \{ a, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_6 \}$, $\mathbf{K}_{23} = \{ a, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_7 \}$, $\mathbf{K}_{24} = \{ a, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_8 \}$ 。

2.3 结构重要度分析

根据以上结果,运用结构重要度近似判别式^[6]

$$I(i)=1-\prod_{i=1}^n\left(1-\frac{1}{2^{n_j-1}}\right)$$

可以计算出 12 个基本事件和 1 个条件事件的结构重要度系数。计算结果如下

$$\begin{aligned} I(a) &= 0.9976 & I(1) &= I(2) = I(3) = I(4) = I(9) = 0.6836 \\ I(5) &= I(6) = I(7) = I(8) = 0.7775 & I(10) &= I(11) = I(12) = 0.2275 \end{aligned}$$

因此

$$\begin{aligned} I(a) &> I(5) = I(6) = I(7) = I(8) > I(1) = I(2) = I(3) = \\ &I(4) = I(9) > I(10) = I(11) = I(12) \end{aligned}$$

2.4 评价结论

由计算结果可以看出, LPG 达到爆炸极限是销爆过程中发生火灾或爆炸事故的主要因素。条件事件 *a* (达到爆炸极限浓度) 结构重要度最大, 是燃爆事故发生的最重要条件, 因此, 在销爆的过程中必须采取必要的预防措施, 避免 LPG 达到爆炸极限。

3 事故预防措施

通过对 LPG 火灾或爆炸事故的分析与评价, 可以看出在液化石油气储罐销爆过程中存在很多危险因素。由于 LPG 的相对密度较大, 不易向上逸散, 如果发生泄漏, 会像水一样往低洼处流动, 并积存在低洼处不易被风吹散, 或沿地面任意飘逸, 液化气的爆炸下限小于 2%, 在爆炸范围内火焰传播速度可达每秒数千米, 这就增加了火灾危险性和破坏性。为确保销爆工作安全顺利进行, 根据事故树分析提出相应的安全预防措施。

- 1) 强化技术培训和管理工作 对进入现场操作的工人进行培训, 要求持证上岗, 确保进入现场的人员都必须做到: 懂原理、懂构造、懂性能、懂工艺流程, 会操作、会排除故障。销爆现场必须严格执行工房定员、定量制度。
- 2) 消除点火源^[7] 所有现场工作人员必须穿防静电工作服, 禁止穿钉鞋进入销爆现场; 禁止将通讯工具(如手机等) 带入现场。工作过程中要做到轻拿轻放, 严禁明火作业; 严禁敲打、锤击管线、设备。
- 3) 采取惰化防爆技术措施^[8] 用惰性气体置换储罐内 LPG 时, 要派 2~3 名责任心强, 有多年工作经验的工人操作, 其余人员撤到警戒线外。置换过程中要经常测量空气中 LPG 的浓度, 确保 LPG 浓度小于爆炸极限。用惰性气体置换后, 打开入孔, 将储罐内注满清水, 然后通入水蒸气加热清水, 浸泡 24 h。此时就会有一定量的 LPG 排到空气中, 这时如果遇到引火源, 就会发生火灾。所以要尽量减少负责其他工作的人员和人员走动。将储罐中的清水排出, 用高压水清洗储罐内壁时要限制水流速度, 以免形成空间电场, 当用洗枪冲洗储罐内壁时, 水流撞击在内壁铁板上, 水柱变成微小水滴飞散, 在这种情况下, 水滴是带静电的带电粒子, 分散在储罐内的空间中, 出现很强的空间电荷。储罐内的空间电位, 越靠近储罐越低, 而离储罐最远的中心处, 电位最高。洗涤用水被储罐内的有机物包住, 带电就更加严重。如果放电, 可能会引爆储罐内 LPG。
- 4) 采取意外事故预防和应急措施 在整个销爆过程中, 所有消防器材都必须到位, 并制订较周密细致的灭火方案。清理储罐时现场有消防车和救护车执勤, 消防员必须了解灭火预案。
- 5) 采取有效的安全警戒措施 在现场外划定危险范围, 派专人警戒, 禁止车辆和无关人员进入现场。

参考文献

[1] 许 强 液化石油气和天然气储运装备的现状与展望[J]. 煤气与热力, 2001, 21(6): 530~532 .
[2] 黄郑华 液化石油气火灾爆炸事故类型分析[J]. 油气储运, 2003, 22(8): 41~44 .
[3] 张建华 焦炉煤气在管道中的爆炸性及其火焰传播规律[J]. 武汉理工大学学报, 2001, 23(3): 26~29 .
[4] 张建华 易燃易爆气体管道抑爆系统的研究[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(2): 50~53 .
[5] 邢志祥 液化石油气储罐对火灾的热响应及消防设计[J]. 消防技术与产品信息, 2003, (7): 10~13 .
[6] 周 浩 液化石油气储罐火灾爆炸事故分析[J]. 交通环保, 2001, 22(3): 15~17 .
[7] 田玉敏 液化石油气储罐火灾的特点及消防对策[J]. 油气储运, 2000, 19(2): 56~59 .
[8] 冯长海 液化石油气蒸气爆炸事故的发生及其预防[J]. 煤气与热力, 2001, 13(1): 34~38 .