

HAZOP – LOPA 分析方法在液氨罐区的应用

张武星, 李晓明

(中国石化洛阳分公司, 河南洛阳 471012)

摘 要:针对 HAZOP 分析方法的不足之处, 将 LOPA 分析方法融入到 HAZOP 分析方法中, 并应用于在役液氨罐区, 系统识别了液氨罐区存在的工艺危险和可操作性问题; 对高风险场景, 通过 LOPA 分析评估了保护措施的有效性, 提出了相应的建议措施。

关键词:HAZOP LOPA 液氨罐区

危险与可操作性分析(HAZOP)是一种公认有效、广泛使用的风险评估技术,但在应用过程中也存在一些问题,如提出的保护措施是否有效? 是否足够? 每一个保护措施能够降低多少风险? 事故风险是否可以接受,等等。保护层分析(LOPA)可以很好地解决上述问题,因此在 HAZOP 分析过程中引入 LOPA 分析,能更加深入地评估风险,提出有效安全措施控制风险。

1 HAZOP、LOPA 技术概要

1.1 HAZOP 方法

HAZOP 分析是一种基于事故场景的工艺危险评估技术,通过确定工艺系统可能发生的有意义的偏差,反向追溯导致偏差的特定初始事件(原因),正向推理偏差可能导致的后果,并评估其在健康、环境、财产、声誉等方面的后果严重程度,将事故后果分类、量化、分级,包括考虑已有安全措施降低事故风险的作用,必要时按照最低合理可

行(ALARP)的原则提出建议措施进一步降低事故风险^[1]。

1.2 LOPA 方法

LOPA 方法是在定性危害分析的基础上,进一步评估保护层的有效性,并进行风险决策的系统方法,其主要目的是确定是否有足够的保护层使风险满足企业的风险可接受标准。LOPA 是一种半定量的风险评估技术,通常使用初始事件频率、后果严重程度和独立保护层(IPL)失效频率的数量级大小来近似表征场景的风险^[2]。使用 LOPA 进行场景风险对比时,应当采用相同的风险标准、相同的选择失效数据方法。

LOPA 方法主要应用于下列情形:事故场景后果严重,需要确定后果的发生频率;确定事故场景的风险等级以及事故场景中各种保护层降低的风险水平;确定安全仪表功能(SIF)的安全完整性等级(SIL);确定过程中的安全关键设备或安全关键活动;其他。

保护层作为 IPL 时,应满足以下基本要求:①独立性——独立于 IE(初始事件)的发生及其后果,独立于同一场景中的其它 IPL;②有效性——

收稿日期:2016-02-22

作者简介:张武星,高级工程师,注册安全工程师,现任洛阳分公司安全技术专家,长期从事安全技术管理工作。

能检测到响应的条件,在有效的时间内能及时响应,在可用的时间内,有足够的力量采取所要求的行动,满足所选择的 PFD 的要求;③可审查性——应有可用的信息、文档和程序可查,以说明保护层的设计、检查、维护、测试和运行活动能够使保护层达到 IPL 的要求。

初始事件发生频率和 IPL 的 PFD 数据可采用:①行业统计数据;②企业历史统计数据;③基于失效模式、影响和诊断分析(FMEDA)和故障树分析(FTA)等的的数据;④其他可用数据等。

选择失效数据时,应满足以下要求:①在整个分析过程中,使用的所有失效数据的选用原则应一致;②选择的失效率数据应具有行业代表性或能代表操作条件;③使用企业历史统计数据时,只

有该历史数据充足并具有统计意义时才能使用;④使用普通的行业数据时,可根据企业的具体条件对数据进行修正;⑤可对失效频率数据取整至最近的整数数量级。

1.3 LOPA 与 HAZOP 相结合的可行性

HAZOP 分析是一种定性的分析方法,是识别危险场景的有效工具,但对于后果严重或风险高的事故场景,缺乏足够的决策依据。而 LOPA 分析则是一种半定量的分析方法,可以对 HAZOP 分析出的事故场景进行半定量分析,是 HAZOP 分析的继续和补充。但 LOPA 不是识别危险场景的工具,LOPA 的正确分析取决于 HAZOP 所得出的危险场景的准确性,包括初始事件和相关的措施是否准确和全面。HAZOP 与 LOPA 的关系见图 1。

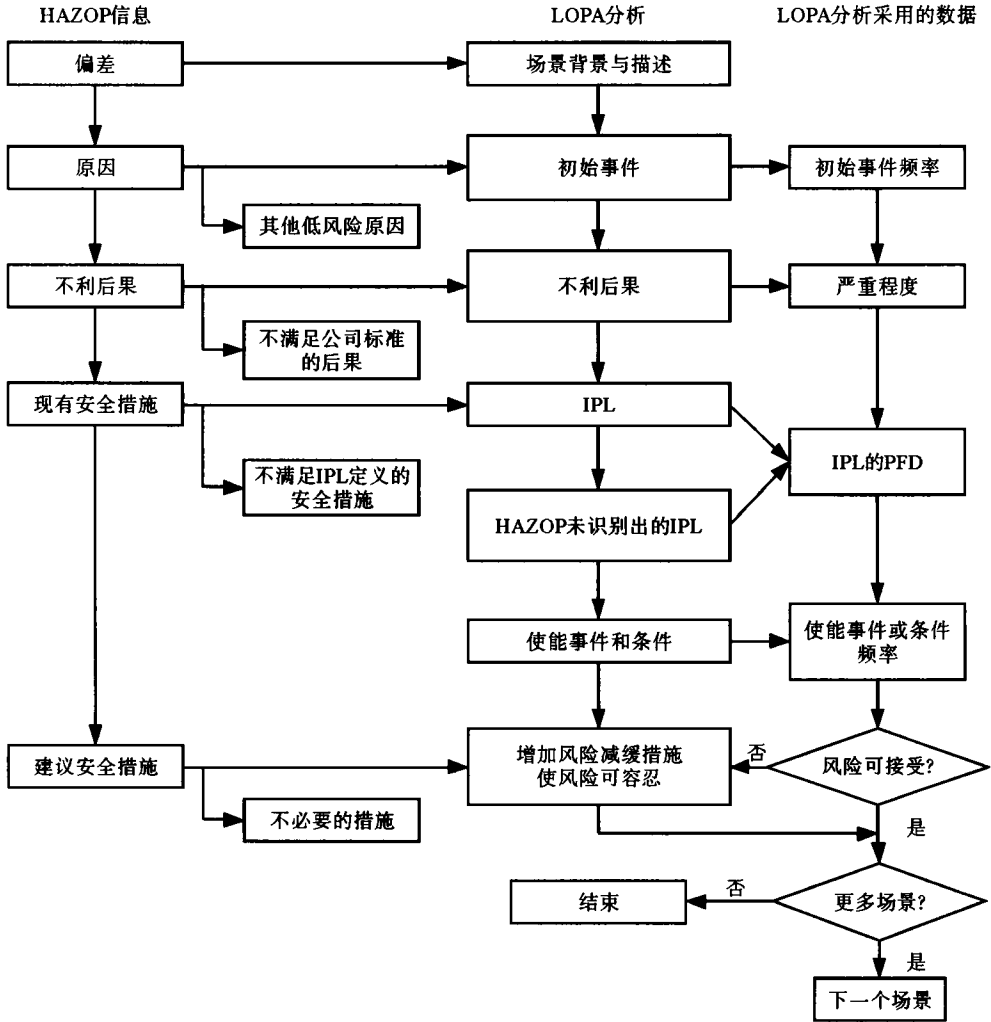


图 1 HAZOP 与 LOPA 的关系

2 HAZOP - LOPA 技术在液氨罐区的应用

2.1 液氨罐区简介

某石化公司液氨罐区,主要包括 2 台 50 m³ 液

氨球罐、1 台 400 m³ 液氨球罐、2 台液氨输送泵、2 台液氨蒸发器、1 台氨气缓冲罐、1 台氨压缩机、1 台氨液分离器、1 台氨气吸收罐及烟囱、1 台氨水

回炼泵。主要作用是接收和储存硫黄回收装置输送的液氨,另外分别向热电站脱硫脱硝装置输送液氨气化后的氨气、供汽车槽车充装液氨。液氨或氨气一旦泄漏或失控,容易发生中毒窒息、火灾爆炸等事故。液氨罐区已构成三级重大危险源。

2.2 风险矩阵

HAZOP - LOPA 分析中采用中国石化 Q/SH0560 - 2013《HSE 风险矩阵标准》进行风险等级评估。风险矩阵中后果分为人员伤害、财产损失、环境影响和声誉影响 4 类,每类后果按照其严重性从低到高依次分为 A、B、C、D、E 共 5 个等级。风险矩阵后果发生的可能性采用定性和半定量 2 种分级形式,按照事故发生频率从低到高依次分为 1、2、3、4、5、6 共 6 个等级。风险分为严重高风险、高风险、中风险和低风险 4 个等级,其中高风险和严重高风险是不可接受的风险,中风险是允许的风险,低风险是可接受的风险。

2.3 HAZOP - LOPA 分析过程

成立由主席、记录员和工艺、设备、仪表、安全、操作等专业人员组成的分析小组,制订分析计划,准备有关资料。分析前,对小组成员进行 HAZOP、LOPA 方法和风险矩阵标准培训,统一认识。召开分析会议,按照 HAZOP 分析步骤对每个节点和每个偏差进行分析,对 HAZOP 分析出的高风险、严重高风险场景进行 LOPA 分析,最后形成分析报告。

2.4 HAZOP - LOPA 分析结果

按工艺流程将液氨罐区划分 3 个节点,分析偏差 62 个,分析事故场景 48 个,其中有 2 个高风险,其余为中风险和低风险。对高风险事故场景进行 LOPA 分析。共提出 8 条建议措施,其中操作与管理类的 3 条,仪表联锁类的 3 条,安全设计类的 2 条。部分 HAZOP 分析记录见表 1、高风险场景的 LOPA 记录见表 2。

表 1 液氨罐区 HAZOP 分析记录(部分)

序号	偏差	可能原因	后果	现有保护措施	严重性	可能性	风险等级	建议措施
1402.6	高液位 (液氨罐 G1407、G1408、G1410)	液位计 LT1407、LT1408、LT1410 故障	液位上升,压力增大,引起安全阀起跳,氨气进入氨吸收系统,严重时从烟囱外泄,造成人员中毒	① PI1407、PI1408、PI1410 压力高报警 ② LSH1407、LSH1408、LSH1410 液位高高报警 ③G1410 罐体设置手动冷却喷淋 ④罐区设置有氨气报警仪	D	4	D4 高风险	用 LOPA 分析后提出
			液位上升,压力增大,氨罐超压,氨气泄漏,造成人员中毒	① 安全阀 PSV1407A1/A2、PSV1408A1/A2、PSV1410A1/A2 ② PI1407、PI1408、PI1410 压力高报警 ③LT1407、LT1408、LT1410 液位高报警 ④ LSH1407、LSH1408、LSH1410 液位高高报警 ⑤G1410 罐体设置手动冷却喷淋 ⑥罐区设置有氨气报警仪	D	3	D3 中风险	
	低压(氨气压缩机 C601 入口)	氨气压缩机 C601 入口阀或槽车气相线阀门误关	氨气中断,氨气压缩机 C601 入口形成负压,严重时空气被吸入系统,存在爆炸风险		D	5	D5 高风险	用 LOPA 分析后提出

以场景 1“液位计 LT1407、LT1408、LT1410 故障,液氨罐 G1407、G1408、G1410 液位上升,压力增大,引起安全阀起跳,氨气进入氨吸收系统,严重时从烟囱外泄,造成人员中毒”为例进行 LOPA 计

算如下:
$$f_i^{toxic} = f_i^I \times (\prod_{j=1}^J PFD_{ij}) \times P_{ex} \times P_d$$

式中: f_i^{toxic} ——初始事件 i 的后果(中毒)的发生频率, a^{-1} ;

表 2 液氨罐区 LOPA 记录

项目	序号	
	1402. 6. 1	1403. 3. 1
场景	液位计 LT1407、LT1408、LT1410 故障, 液位上升, 压力增大, 引起安全阀起跳, 氨气进入氨吸收系统, 严重时从烟囱外泄, 造成人员中毒	氨气压缩机 C601 入口阀或槽车气相线阀门误关, 氨气中断, 氨气压缩机 C601 入口形成负压, 空气被吸入系统, 发生爆炸
后果及严重性	氨气从烟囱外泄, 造成人员中毒(D)	空气被吸入氨气压缩机系统, 发生爆炸(D)
初始事件及发生频率	液位计 LT1407、LT1408、LT1410 故障(0. 1)	氨气压缩机 C601 入口阀或槽车气相线阀门误关(0. 1)
点火概率	-	1
人员暴露概率	0. 5	1
致死概率	0. 5	0. 5
报警及人员响应 PFD	PI1407、PI1408、PI1410 压力高报警 0. 1	1
其他独立保护层 PFD	-	-
后果发生频率	0. 002 (0. 002 5 取整后)	0. 05
现有风险等级	D4 高风险	D5 高风险
需求的 SIL 等级或建议的 IPLPDF	投用现有 LSHH1410 液位高高联锁切断 HV14101; 新增 G1407、G1408 液位高高联锁切断罐进料阀 0. 1	增设氨气压缩机 C-601 入口压力低联锁自动停压缩机, 应符合 SIL1 0. 01
减缓后的后果发生频率	0. 000 2	0. 000 5
减缓后的风险等级	D3 中风险	D3 中风险

f_i^1 ——初始事件 i 的发生频率, a^{-1} ;

PFD_{ij} ——初始事件 i 中第 j 个阻止后果发生的 IPL 的 PFD;

P_{ex} ——人员暴露概率;

P_d ——人员受伤或死亡概率。

场景 1 的后果是造成人员中毒, 严重性为 D。在现有保护措施的情况下, 场景发生的频率为: $0. 1 \times 0. 5 \times 0. 5 \times 0. 1 = 0. 002\ 5$, 取整后为 0. 002, 根据后果等级 D 和频率 0. 002 查 HSE 风险矩阵标准, 场景的现有风险等级为 D4, 属高风险, 因此, 需要增加保护措施把场景风险降低到中风险或低风险。小组建议“投用现有 LSHH1410 液位高高联锁切断 HV14101; 新增 G1407、G1408 液位高高联

锁切断罐进料阀”, 此独立保护层的 PFD 为 0. 1, 因此, 将场景发生的频率由 0. 002 降低至 0. 000 2, 根据后果等级 D 和频率 0. 000 2 查 HSE 风险矩阵标准, 场景减缓后的风险等级为 D3, 属中风险, 因此建议措施可以满足要求。如果提出的建议是“增加液位高高联锁切断罐进料, 且符合 SIL1”时, 此独立保护层的 PFD 为 0. 01, 因此, 可将场景发生的频率由 0. 002 降低至 0. 000 02, 根据后果等级 D 和频率 0. 000 02 查 HSE 风险矩阵标准, 场景减缓后的风险等级为 D2, 属中风险。

3 结语

HAZOP 与 LOPA 相结合, 可以更加全面深入

地评估事故场景风险。在 HAZOP 分析过程中,运用独立保护层理论,可以对保护措施的有效性做出判断。对 HAZOP 分析出的事故场景,运用 LOPA 分析可以定量评估保护措施对风险的降低程度、事故场景现有的风险等级以及增加保护措施后的风险等级。

4 参考文献

- [1] 吴重光. 危险与可操作性分析(HAZOP)应用指南[M]. 北京:中国石化出版社,2012.
- [2] AQ/T3054-2015 保护层分析(LOPA)方法应用导则[S].

HAZOP-LOPA Analysis Method in the Application of Liquid Ammonia Tank

Zhang Wuxing, Li Xiaoming

(SINOPEC Luoyang Branch, Henan, Luoyang 471012)

Abstract: Aiming at the deficiency of HAZOP analysis method, this paper put LOPA analysis method into HAZOP analysis method, and applied to the liquid ammonia tank farm in service for the system identification process hazard and operability issues exist in liquid ammonia tank; For high risk scenarios, through the LOPA analysis to evaluate the effectiveness of the protection measures, put forward the corresponding suggestion.

Key words: HAZOP; LOPA; liquid ammonia tank

(上接第 46 页)

4 参考文献

- [1] Hawthorne W R, Weddell D S, Hottel H C. Diffusion in laminar flame jets[J]. Combustion Flame and Explosion Phenomena, 1949(3): 254-266.
- [2] Bagster D F, Schubach S A. The prediction of jet fire dimensions[J]. J Loss Prev Process Ind, 1996, 9(3): 241-245.
- [3] Kalghatgi G T. The visible shape and size of a turbulent hydrocarbon jet diffusion flame in a crosswind[J]. Combustion and Flame, 1983, 52: 91-106.
- [4] Phani K Raj. LNG fires: A review of experimental results, models and hazard prediction challenges[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 140: 444-464.
- [5] 刘铁民, 张兴凯, 刘功智. 安全评价方法应用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 294.

Daniudi Gas Field Tayu Pipeline Booster Station Jet Fire Hazard Simulation Risk Assessment

Li Jianshan

(SINOPEC North China Oil and Gas Branch, Henan, Zhengzhou 450006)

Abstract: Through the simulation of Daniudi gas field Yayu pipeline booster station jet fire risk assessment, this paper gives quantitative analysis of hazards and the possibility of secondary disasters caused by the jet fire, to help run the unit to develop emergency plans.

Key words: pipeline; natural gas; jet fire disaster; risk assessment