

储罐风险评估中 HAZOP-LOPA 分析方法的应用

徐 枫 邢丹丹 (江苏鑫露化工新材料有限公司, 江苏 南通 226000)

摘 要: 在当前化工企业生产过程中, 不断提高生产安全性, 加强风险防范意识成为当下主要工作任务。尤其是对于化工企业的储罐装置来讲, 加强其风险评估能够有效对存在的风险进行识别, 提前做好相应的防范措施。目前在风险评估方法应用中, 常用的风险评估方法包括 HAZOP 以及 LOPA, 通过对该两种评估方法的联合应用, 能够有效识别和评估化工企业储罐中存在的风险。基于此本文结合具体工程案例, 对 HAZOP-LOPA 分析方法在储罐风险评估中的具体应用进行分析研究, 以期为相关人员提供参考。

关键词: 储罐; 风险评估; HAZOP-LOPA 分析方法

0 引言

储罐作为重要的工业设施, 在储存和处理各种液体和气体物质的过程中, 具有潜在的安全风险。因此, 对储罐的风险评估和管理至关重要。HAZOP 和 LOPA 是两种常用的风险评估方法, 目前在工业领域得到广泛应用。通过结合 HAZOP 和 LOPA 方法, 可以系统地识别储罐系统中的异常情况和潜在危害, 并评估现有的保护层是否足够以防止事故的发生。从而帮助工程师和决策者更好地理解和管理储罐的安全性, 能够更加全面性识别储罐潜在的偏离以及危害。

1 储罐风险评估概述

风险评估是一种系统性的方法, 用于识别、分析和评估潜在风险对特定系统、过程或活动可能造成的不利影响。其目标是确定风险的存在、程度和可能性, 以便采取适当的控制和管理措施来减少或消除风险, 并确保系统或活动的可靠性和安全性^[1]。

储罐风险评估的重要性在于确保储罐系统的安全运行和防范潜在的事故风险。储罐作为存储和运输危险化学品、燃料和其他液体物质的关键设施, 可能面临多种潜在的风险, 包括泄露、爆炸、火灾等。通过进行储罐风险评估, 首先, 识别和分析可能导致事故的偏离情况、操作错误或装置故障, 以便及早采取预防措施。其次, 评估可能事件的后果, 包括人员伤亡、环境污染以及财产损失等, 为决策提供依据。并且定量评估风险水平有助于确定必要的安全措施和保护层级, 并为资源配置提供指导。储罐风险评估还有助于建立有效的应急响应计划和事故管理策略, 提高工作人员的安全意识和培训水平。此外, 合规性方面的要求, 如法规和标准的遵守, 也使储罐风险评估成为必要的环节。由此可见, 储罐风险评估的重要性在于预防事故、保护人员和环境安全、减少财产损失, 并确

保储罐系统符合法规要求。作为一个有效的管理工具, 可以提高储罐系统的安全性和可靠性, 保障生产运营的持续性^[2]。

2 案例分析

以某化工企业为例, 该企业拟新建一台 $1 \times 10^4 \text{m}^3$ 的储罐设施, 要求该储存设施能够保持正确的压力水平, 表面温度为 50°C , 介质密度为 $886 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 为了确保对该储罐的运用安全, 需要在重视安全性的基础上, 对其采用联锁控制手段, 同时采用 HAZOP-LOPA 分析方法, 对其存在的安全隐患进行评估, 提前制定出合理的安全控制措施。该储罐工艺设置流程如图 1 所示:

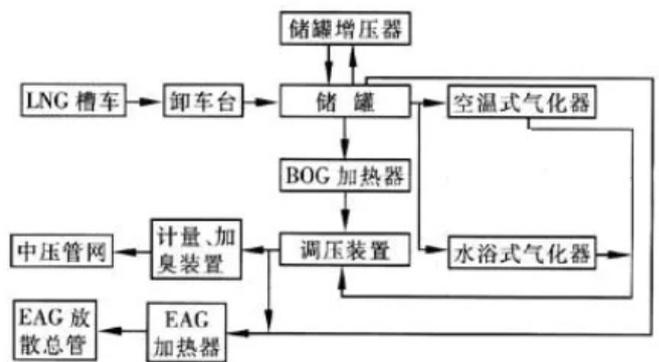


图 1 储罐工艺设置流程图

3 HAZOP 与 LOPA 的关系性分析

HAZOP 和 LOPA 是两种常用的风险评估方法, 它们在储罐风险评估中具有不同的特点和互补性。

HAZOP 是一种系统性的、定性的风险评估方法。它通过对系统的节点进行分析, 识别可能发生的偏离情况, 并评估其对系统安全的影响。HAZOP 强调对操作和工艺参数的变化进行细致的推敲, 以发现可能导致危害的因素。其优点在于可以帮助识别潜在的危

险源和缺陷,并提供改进建议,提高系统的安全性和可操作性。LOPA 是一种半定量的风险评估方法,用于对已经识别出的危险事件进行更深入的定量分析。LOPA 通过确定各个保护层的效能来评估特定事件的频率和风险水平,从而判断系统的安全完整度是否满足要求。LOPA 适用于对风险较高的事件进行更精细的分析,并确定必要的保护措施。其优点在于提供了一种简化的方法来评估风险,减少了定量分析的复杂性^[3]。

HAZOP 和 LOPA 在储罐风险评估中具有互补性。HAZOP 能够识别出可能的偏离情况和潜在的危险源,为后续的分析提供了基础。而 LOPA 则可以对已识别出的危险事件进行定量评估,通过分析各个保护层的效能,确定系统的可靠性和安全完整度。两种方法的结合可以更全面地评估储罐系统的风险,帮助制定有效的风险控制策略。具体关系内容如图 2 所示:

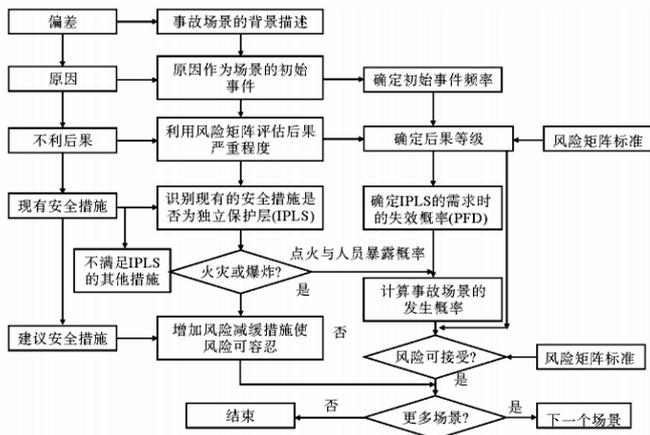


图 2 HAZOP 与 LOPA 信息关系图

4 HAZOP 分析方法在储罐风险评估中的应用

4.1 节点选择和功能描述

节点选择和功能描述是 HAZOP 分析中的关键步骤之一,用于确定系统或过程中需要进行分析的节点以及对每个节点进行功能描述。在储罐风险评估中,节点选择和功能描述的目的在于识别可能引发偏离情况的关键部位,并对其进行详细描述,以便后续的 HAZOP 分析^[4]。

节点选择是通过对储罐系统进行细致划分,将其分解为独立的功能单元或操作步骤。这些节点应该包括储罐本身、进料管道、出料管道、控制阀门、传感器等与储罐相关的关键组件。功能描述是对每个选定节点的当前操作状态和功能进行准确而详细的描述。

描述应该涵盖节点的物理特征、作用、条件、参数以及其他与节点功能相关的信息。例如,对于一个进料管道节点,功能描述可以包括管道直径、材质、流速、进料压力等参数。例如在对出料管道的流量进行计算的过程中,具体自己算内容如下所示:

$$Q=A*u$$

其中: Q 表示出料管道流量 (m³), A 表示出料管道截面积 (m²), u 表示流速 (V)。

通过节点选择和功能描述,HAZOP 分析团队能够全面了解储罐系统的结构和操作方式,并明确每个节点的关键功能。这为后续的 HAZOP 分析提供了基础,有助于识别系统中可能发生的偏离情况,并评估其潜在的危害和风险。

4.2 偏离情况识别

在 HAZOP-LOPA 分析方法中,对偏离情况识别是关键步骤之一,比如储罐中经常会出现液位过高或者过低的现象,需要对具体的原因进行分析,通常液位过高主要原因包括工艺参数偏离以及设备故障问题等,工艺参数偏离是对储罐系统中的关键工艺参数进行详细审查,如压力、温度、液位等。识别可能发生的参数偏离,例如过高、过低、突然变化等,这些偏离可能导致系统失控或发生事故。设备故障是检查储罐系统中各种设备的故障模式和故障频率。识别可能出现的设备故障,如泄漏、堵塞、操作失误等,这些故障可能导致危险物质泄露或系统运行异常。

液位过低现象原因包括操作认为错误以及环境因素变化,操作人为错误包括发生的操作失误,如操作步骤顺序错乱、不当操作、沟通不畅等,这些人为错误可能引发事故风险。环境因素变化如恶劣天气、极端温度、自然灾害等,这些因素可能对储罐系统的安全性产生影响。通过对这些偏离情况的细致分析和识别,可以全面评估储罐系统中的风险,并采取相应的措施进行预防和控制,以确保储罐系统的安全运行。详细内容如表 1 所示:

表 1 HAZOP 分析法中偏离情况识别表

详细偏差	原因	初始等级	现有风险等级
液位过高	工艺参数偏离 设备故障	D3, E4, C4, C5	D2, E2, C2, C3
液位过低	操作认为失误 环境变化	C5, C5, B5, B5	C3, C3, B3, B3

4.3 危害后果评估

评估危害后果时,需要考虑多个因素,如危害的严重程度、持续时间、扩散范围以及可能造成的影响。

通常会采用定性和定量方法相结合的方式,利用专业知识和经验进行判断和估计。定性评估可以提供对危害等级的初步判断,而定量评估则可以更准确地评估危害的概率和影响程度。危害后果评估的结果对于确定风险等级和制定相应的控制措施具有重要意义。通过对危害后果进行全面评估,可以帮助决策者更好地理解储罐系统的风险状况,并采取适当的风险管理策略,以减少潜在风险并保护人员、环境和财产的安全。例如在本次案例中,由于储罐进出料管线管嘴连接处出现泄露现象,通过HAZOP分析法对其危害后果进行了阐述。详细内容如表2所示:

表2 储罐危害后果评估表

详细偏差	原因	后果	初始等级	现有风险等级
管线管嘴连接处泄露	进出料管线损坏	泄露导致外界环境受到污染,并且增大火灾事故的发生	D3, D4, B3, B4	D3, D4, B3, BA

5 LOPA分析法在储罐风险评估中的应用

5.1 定量评估层次确定

在储罐风险评估中,确定定量评估层次是LOPA分析的关键步骤之一。定量评估层次的确定旨在将事故事件的可能性与其严重程度相结合,以确定适当的风险水平。

包括:①事件识别和分类:根据HAZOP分析方法识别可能导致事故的偏离,并对它们进行分类。常见的分类包括火灾、爆炸、毒性泄漏等;②风险概要评估:对各类事故事件进行初步的风险评估,例如使用经验数据或专家判断,对事件发生的频率进行估算。这可以帮助区分高风险和低风险事件;③考虑安全完整度:根据相关标准和要求,考虑防护措施效力以及系统的安全完整度。这包括设计、操作和维护方面的要素。

5.2 事件频率评估

事件频率评估是LOPA分析中的关键步骤,用于确定特定事件在单位时间内发生的概率。在储罐风险评估中,事件频率评估帮助了解可能发生的事故或失控情况的发生频率,从而评估其对系统安全性的影响程度。

在进行事件频率评估时,需要考虑以下几个方面:

①过程参数:分析过程中所涉及的各种操作参数,如温度、压力、流量等,以确定它们对事件频率的影响;②设备可靠性:评估关键设备(如传感器、阀门、泵等)的可靠性和失效概率,以预测可能导致事故的设备故障;③历史数据和统计信息:利用历史事故数据

和相关领域的统计分析结果,推断类似事件发生的概率。综合考虑以上因素,可以采用定性或半定量的方法来评估事件频率,例如使用事故树分析或基于经验的频率估计模型。评估结果将用于确定风险等级和制定相应的安全措施,以减少储罐系统的潜在风险。

5.3 安全完整度要求确定

在LOPA分析中,安全完整度要求是指为了防止事故发生或控制事故后果而需要满足的安全层面要求。确定安全完整度要求是LOPA分析的关键步骤之一,它帮助评估人员确定必要的安全防护层级和措施,以确保系统能够达到预期的安全性能。

确定安全完整度要求通常包括以下内容:①识别潜在事故事件:通过HAZOP等方法,识别可能导致事故的偏离情况。这些偏离情况可能包括过压、过温、泄漏等;②评估事故后果:对于每个识别出的潜在事故事件,评估其可能引起的事故后果,包括人员伤亡、环境污染、财产损失等;③确定需求安全完整度:根据事故后果评估,确定针对不同事故事件需要达到的安全完整度水平。这可以通过参考相关标准、规范和行业最佳实践来进行;④选择适当的安全层级和措施:基于需求安全完整度,选择适当的安全层级和措施,包括防护设备、安全系统、操作程序等。这些措施应能够有效地减轻或防止潜在事故的发生或后果。

6 结语

综上所述,通过对HAZOP与LOPA的联合使用,能够在最大程度上发挥两种分析方法的优点,在减少分析结果误差的基础上,能够在储罐设计及生产阶段中有效减少存在的安全隐患。为此需要进一步提高重视程度,在识别安全隐患的基础上,制定出更加准确的安全生产策略,确保化工企业的安全运行。

参考文献:

- [1] 伊廷强.基于LOPA分析方法的加氢工艺SIL等级确定研究[J].化工与医药工程,2023,44(01):1-4.
- [2] 刘阳昊,周六顺,高艳霞,葛春涛,管振强.HAZOP-LOPA分析方法在储罐风险评估中的应用[J].安全、健康和环境,2022,22(12):41-46.
- [3] 帅冰,刘瑶.LOPA分析中点火概率修正因子的取值基础方法研究[J].仪器仪表标准化与计量,2022(02):1-4+8.
- [4] 王淑祺,施琦皓,毕馨予,郑琰.基于HAZOP-LOPA分析方法的乙炔脱水工艺危险性分析[J].安全,2022,43(02):42-46.