

化工安全中危险化学品储罐区泄漏防控技术与应急处置方案研究

林春霞 鲁红霞*

摘要: 针对化工安全中危险化学品储罐区泄漏风险,对危险化学品储罐区泄漏防控技术和应急处置方案进行了研究,主要研究内容包括:对危险化学品储罐区漏点位置进行了辨识,分析了储罐泄漏的主要原因,并对其危害进行评估;从储罐设计、选材、密封与监测等方面提出了泄漏防控技术;从泄漏检测与报警系统、防爆与通风技术等方面提出了漏点的应急处置方案;通过典型案例分析,总结出危险化学品储罐区泄漏事故的主要原因,并从应急预案编制原则、流程及内容等方面提出了应急处置方案;通过对国内外储罐区泄漏事故的案例分析,总结出了预防和控制漏点事故的经验。

关键词: 化工安全;危险化学品;防控技术;应急处置

引言

近年来,我国化工安全生产形势严峻,造成重大人员伤亡和经济损失的危化品事故频发,如2019年发生的山东鲁南化工“3·19”爆炸事故和浙江镇海石化“11·23”火灾事故等。同时,化工安全生产事故的发生也暴露出危险化学品储存过程中存在的诸多问题,如泄漏、着火、爆炸等事故频发。为了有效预防危险化学品储罐区泄漏事故发生,本文从风险辨识与防控技术、漏点应急处置方案、典型案例分析及经验总结等方面对化工安全中危险化学品储罐区泄漏风险进行了研究,以期对危险化学品储罐区泄漏事故应急处置提供参考。

一、危险化学品储罐区泄漏风险分析

(一) 储罐区危险化学品种类及性质

危险化学品具有易燃易爆、有毒有害、腐蚀等特性,其主要包括:第一类:毒性化学品,该类化学品具有一定的毒性,是引发火灾爆炸的主要因素;第二类:易燃易爆类化学品,该类化学品具有较高的危险性,其爆炸极限较宽,一旦发生泄漏可能会引发火灾、爆炸等危险;第三类:腐蚀类化学品,该类化学品在使用时会对人体皮肤、眼睛等造成刺激和伤害,甚至导致人体中毒死亡;

第四类:爆炸类化学品,该类化学品具有一定的爆炸性,一旦发生泄漏可能会对周边设施造成破坏。储罐区危险化学品种类及性质复杂多样,如遇水或潮湿易分解、受热易燃烧或爆炸等^[1]。

(二) 储罐区泄漏的主要原因分析

(1) 由于储存的危险化学品种类繁多,性质各异,在生产、储存过程中,可能会发生相变化、分解反应等情况,从而导致其化学成分或物理性质的改变。

(2) 由于化工企业所使用的储罐都是长期、高负荷地运行,长期、反复地受到各类有害因素的影响和腐蚀,罐壁及其焊缝容易产生裂纹和变形等现象,进而造成罐壁与焊缝发生泄漏。

(3) 由于化工企业内部作业人员操作不规范,在作业过程中出现违规操作的情况。

(4) 由于企业对罐区的管理不够重视,对储罐泄漏问题不及时采取补救措施。

(5) 由于管理不当、操作不当或自然灾害等原因导致储罐发生泄漏。

(三) 泄漏事故的危害评估与风险识别

对于化工危险化学品储罐漏的危害评估与风险识别,主要包括以下几个方面:

(1) 危害程度分析,采用危害分析和后果分析相结合的方法,根据相关数据资料对危险化学品储罐区进行危害评估,对危险化学品储罐区存在的安全风险进行辨识。

(2) 风险评价与辨识,根据有关数据资料对危险化学品储罐区存在的安全风险进行风险评价和辨识,以确定泄漏事故发生的可能性和后果严重程度。

(3) 泄漏风险预测与控制,根据危险化学品储罐区

作者简介:

1. 林春霞(1991.03-),女,汉,四川乐山,硕士研究生,工程师、注册安全工程师,研究方向:化工安全技术、化工企业安全管理;

2. 鲁红霞(1987.01-),女,汉,四川自贡,本科,中级注册安全工程师,研究方向:企业安全管理、应急管理(为本文通讯作者)。

发生泄漏事故的可能性和后果严重程度，提出预防和控制泄漏事故的对策措施和管理建议。

(4) 制定应急预案。

二、危险化学品储罐区泄漏防控技术

(一) 储罐设计与选材技术

储罐设计与选材技术是保证危险化学品储罐区安全的基础。为了防止储罐的腐蚀和渗漏，储罐的设计应满足强度、刚度、稳定性等要求，以防止储罐产生裂缝；为了防止罐壁过热和火灾，在储罐设计时，应采用具有隔热性能的材料，如涂敷一定厚度的沥青等。此外，为了减少罐壁渗漏，在设计时应考虑合理的安装和操作方法。此外，还应考虑材料选择、焊接工艺和设备管理等因素。在储罐选材方面，应优先选择高强度钢板和优质碳素钢。当储罐设计使用年限为20年以上时，应注意选用优质的合金钢或不锈钢。

(二) 密封与检测技术

针对储罐泄漏问题，需对泄漏的位置进行密封，通常采用两种方法进行：一是对储罐顶部进行密封；二是对罐壁进行密封。由于危险化学品储罐区的泄漏情况比较复杂，而且在发生泄漏的过程中会产生大量的有毒有害气体，所以，需要对泄漏的位置进行严格的密封^[2]。目前，在我国大部分企业所使用的主要密封方式是氮气置换法和负压法，但是在实际操作过程中往往会受到多种因素的影响。因此，在使用密封方式进行泄漏检测时需要采取一定的措施，确保其安全性和有效性。目前，针对危险化学品储罐泄漏问题所采用的主要检测技术有：密封法、气相色谱法、质谱分析法和红外光谱法。

(三) 泄漏检测与报警系统

泄漏检测与报警系统是一种比较成熟的控制装置，在很多化工企业中得到了广泛应用。泄漏检测与报警系统可以对储罐内的气体、液体、固体进行实时监测，当泄漏达到一定程度时，泄漏报警装置会自动报警，工作人员可以及时采取相应措施。在储罐中安装泄漏检测与报警系统，可以有效避免危险化学品的扩散，降低安全事故的发生率。但是，泄漏检测与报警系统也存在一些问题，比如对于气体、液体的泄漏情况很难进行准确检测；在储罐区安装泄漏检测与报警系统需要较高的成本，如果储罐发生泄漏会导致很大的经济损失；对储罐进行定期检修和维护也需要一定的费用。

(四) 防爆与通风技术

对危险化学品储罐区进行防静电接地和静电释放，是消除或减少危险化学品储罐区静电积累的重要方法。

其中，静电释放装置主要包括静电喷雾器、静电吸附式空气呼吸器等。静电吸附式空气呼吸器主要是在储罐上安装一个带有吸附材料的金属框架，框架底部设置一个导电层，当产生静电时，框架会吸附在金属表面上并使其带电，当电荷积累到一定程度时，框架会在金属表面形成一个导电层，从而达到消除或减少静电积累的目的。此外，储罐区的防爆通风系统也是消除或减少危险化学品储罐产生静电积聚的有效措施之一。常见的防爆通风系统有自然通风系统、机械通风系统和机械排风系统等。

三、危险化学品储罐区应急处置方案

(一) 应急预案编制原则与流程

危险化学品储罐区应急预案编制应当坚持科学、实用、可操作性原则，与储罐区安全风险评估结果相结合，与储罐区应急资源和能力相匹配。危险化学品储罐区应急预案编制工作一般由储罐区经营单位负责，预案编制单位应当与应急救援组织保持联系，按照规定时间和内容进行报告。根据储罐区风险评估结果，针对危险化学品存储和使用过程中存在的安全风险制定风险管控措施，并针对火灾、爆炸、泄漏等灾害事故制定应急救援措施^[3]。同时，确定人员疏散和救援方式，明确人员撤离路线及方式。

(二) 泄漏事故应急响应机制

(1) 对危险化学品储罐区发生的事故，若漏点位置与储罐安全距离较远，且泄漏物具有可燃性，应立即启动应急预案。当现场人员发现泄漏时，应立即采取相应措施（如关闭阀门、切断电源等），防止泄漏物扩大。

(2) 对现场人员进行疏散，确保附近区域的人员安全撤离至安全区域。

(3) 对泄漏物进行处理。对于有毒有害的危险化学品，应立即采取应急措施（如中和、解毒等）将其移至安全区域。

(4) 对泄漏点附近区域的环境进行监测。

(三) 人员疏散与救援方案

(1) 泄漏初期：当发生泄漏时，应立即关闭泄漏点的阀门，并迅速降低泄漏点附近的可燃气体浓度，使之不能达到爆炸极限。

(2) 泄漏持续期：在泄漏持续过程中，应尽可能采取相应的防护措施。对于在非泄放通道上的人员，应尽量避免进入泄漏区域，若无法避免，则应尽快撤离。

(3) 泄漏结束期：当泄漏结束时，应尽快关闭阀门，使介质全部进入泄放管中。在泄出过程中，若有人员被困，则应尽快开展救援工作。

(4) 应急疏散与救援: 在化工企业进行事故应急救援时, 应制定合理的疏散与救援方案。对于爆炸、火灾等紧急情况下的事故, 要及时进行处理。

(四) 泄漏物质的控制与处置技术

在化工安全中, 危险化学品储罐区的泄漏物质控制与处置技术主要包括泄漏的控制与处置技术、泄漏应急处理技术等, 其中, 泄漏控制与处置技术主要包括消除源、隔离和撤离、封闭隔离区域等。泄漏源的控制与处置技术主要是针对储罐本身的特点来采取的, 其中包括消除源、隔离和疏散、封闭隔离区域等。其中, 消除源主要是指在危险化学品储罐区发生泄漏后, 对储罐内的液体、气体进行清除, 从而使危险化学品储罐区恢复到正常状态。在消除源之后, 则要对泄漏物质进行合理的控制和处置, 避免其造成次生危害或者是危险化学品储罐出现更严重的损坏。

四、典型案例分析

(一) 国内外储罐区泄漏事故案例分析

国外储罐泄漏事故多发, 其中美国储罐泄漏事故发生最为频繁。2014年6月21日, 美国南卡罗来纳州一处储存有剧毒氰化物的大型储罐发生泄漏, 氰化物泄漏量约为 $100\text{m}^3/\text{h}$, 造成2人死亡、4人受伤。此外, 国内储罐区泄漏事故也时有发生, 如: 2008年12月3日, 中石化长岭分公司氯碱二厂2号氯乙烯储罐发生泄漏; 2014年4月10日, 中国石化北京燕山分公司生产装置发生氯乙烯闪燃事故。

(二) 事故原因及防控经验总结

储罐区的主要泄漏部位是罐壁, 其次是罐顶、罐壁与法兰、阀门、管道、盖板等, 涉及的主要工艺参数为温度、压力和液位。从国内外典型的储罐泄漏事故案例分析来看, 储罐区主要泄漏部位的泄漏原因大致有以下几种: (1) 设计制造问题, 如焊缝缺陷、焊接变形等; (2) 施工问题, 如焊接工艺不符合要求、施工质量不良等; (3) 操作问题, 如操作失误等; (4) 环境影响, 如风、雨和雪等。针对以上因素, 建议从以下几个方面开展针对性防控: 一是提高设计制造的可靠性; 二是提高施工质量和作业人员素质; 三是强化罐区的风险管理。

(三) 应急处置方案的实施效果评价

为验证本研究提出的储罐区泄漏应急处置方案的有效性, 对某石化公司储罐区的泄漏事故进行了现场应急处置。在泄漏发生后, 应急处置组迅速启动应急预案, 通过分析泄漏物扩散范围, 确定了现场抢险救援和清理工作方案, 并采取了相应的抢险救援措施。经过一段时间的抢险, 最终在泄漏物扩散前将其控制在了可接受范

围内。事故应急处置结束后, 现场应急处置组对处置效果进行了评估。事故应急处置方案能够有效地控制危险化学品储罐区泄漏事故, 保障企业的安全生产和社会稳定。建议将本研究提出的储罐区泄漏应急处置方案应用于其他储罐区。

五、结论与展望

(一) 主要研究成果总结

针对危险化学品储罐区泄漏的特征, 提出了“点一线一面”相结合的储罐区泄漏防控技术体系。根据储罐区不同位置泄漏的特点, 提出了针对性的泄漏防控技术; 并针对储罐区泄漏事故类型, 提出了不同类型事故泄漏应急处置方案^[4]。

基于危险化学品储罐区泄漏防控技术体系, 结合储罐区企业应急管理实际需求, 提出了应急管理部门和企业的应急联动机制。

针对危险化学品储罐区泄漏事故的特点, 基于不同类型事故的特点, 提出了危险化学品储罐区泄漏事故的应急处置方案。提出了化学品储罐区泄漏事故应急处置总体流程。

(二) 未来研究方向

针对我国化工安全储罐数量多、分布广的现状, 以“一罐一策”为指导思想, 通过系统的风险辨识和风险评估, 建立储罐区泄漏监测预警及应急处置方案。由于目前化工安全储罐的泄漏事故属于偶发事故, 泄漏源、泄漏介质等难以确定, 导致漏点判断困难。因此, 还需通过多种方法和手段对储罐泄漏进行监测预警及应急处置。由于目前尚无系统的化工安全储罐区应急处置方案, 本文基于储罐泄漏事故特点, 建立了适用于化工安全储罐区的泄漏应急处置方案。今后, 可通过开展不同类型化工安全储罐区的应急处置方案研究, 为我国化工安全储罐区提供有力的技术支持。

参考文献

- [1] 赵军, 文蓬涛, 傅贵, 等. 危险化学品企业事故隐患管控屏障模型研究[J/OL]. 河南理工大学学报(自然科学版), 1-14[2025-12-24].
- [2] 吴昊东, 白永辉. 危险化学品企业安全风险及预防措施[J]. 化工管理, 2025, (02): 105-109.
- [3] 曹磊, 化工安全监测预警及技术交流平台关键技术开发. 河南省, 河南平煤神马东大化学有限公司, 2023-12-01.
- [4] 黄冬梅. 高职学生化工安全教育的途径探索[N]. 山西科技报, 2023-12-19 (B07).