

化工企业埋地罐区安全风险评估与管理策略研究

张未来 (广西安生安全技术有限公司, 广西 南宁 530000)

摘要: 本文深入研究了化工企业埋地罐区的安全风险, 以环氧乙烷埋地罐区事故后果模拟分析为基础, 提出了相应的管理策略。通过详细描述事故后果模拟的参数设定、危险源信息和模拟计算结果, 强调了储罐整体破裂导致 BLEVE 灾害的可能性, 并着重评估了其对周边区域的影响。对应急响应与事故应对策略的讨论进一步凸显了在事故发生后的关键措施。论文还强调了风险管理的原则与方法, 以及多米诺效应的分析, 为化工企业提供了在埋地罐区安全管理中的有力支持。通过科学的模拟分析, 本研究为企业制定切实可行的安全管理策略提供了有益的参考, 以最大程度减小事故风险, 确保生产过程的安全稳定运行。

关键词: 化工企业; 埋地液化罐区; 环氧乙烷; 安全风险; 事故后果模拟; 应急响应; 多米诺效应; 风险管理

在当今化工行业的快速发展和不断升级的技术环境下, 化工企业埋地罐区的安全管理成为关注的焦点之一。随着化工产品的多样性和生产规模的扩大, 埋地罐区涉及的化学品种类和储存量也在不断增加, 从而增加了事故发生的概率与后果的严重性。本研究旨在深入探讨化工企业埋地罐区的安全风险, 并以环氧乙烷埋地罐区为研究对象, 进行事故后果模拟分析。通过对事故后果的科学评估, 旨在为化工企业提供可行的安全风险管理策略, 降低事故发生的概率, 减轻事故带来的损失。

1 化工企业埋地罐区安全风险评估

1.1 安全风险评估的基本概念

化工企业埋地罐区的安全风险评估是一项综合性的工程, 旨在全面了解埋地罐区潜在的有害因素, 科学评估可能的风险水平, 为制定有效的安全管理策略提供依据。安全风险评估的基本概念包括对罐区内各种化学品的理化特性、储存量和操作条件进行全面、系统的调查。此外, 还需考虑罐区的地理位置、气象条件、人员密集度等外部因素, 以综合分析可能引发事故的概率和后果。在进行安全风险评估时, 首先需采用系统性的方法, 如 HAZOP (危险与可操作性分析) 等, 对罐区内各类化学品进行全面分析。通过了解化学品的燃爆性、毒害性、腐蚀性等性质, 能够科学地评估其对罐区安全的潜在威胁^[1]。同时, 考虑到事故的发生并非孤立事件, 而是受多种因素综合作用的结果, 必须综合考虑各种可能的事故路径和连锁反应。随着技术的不断发展, 现代安全风险评估中越来越多地应用了定量分析方法。例如, 通过使用专业的模拟软件, 可以对罐区事故发生后的影响进行数字化模拟,

得出不同情景下可能的影响范围和程度。通过数据分析, 我们能够更准确地预测事故后果, 为事故后的应急处理提供更有针对性的建议。

安全风险评估还应考虑到人为因素和管理因素。在评估中加入人员培训水平、应急响应计划的完善程度等管理因素, 有助于全面评估罐区的整体安全状况。综上所述, 化工企业埋地罐区安全风险评估不仅是对罐区内化学品的简单分析, 更需要综合运用系统性和先进技术手段, 以确保评估的全面性和准确性, 为企业的安全管理提供科学依据。

1.2 评估方法与指标体系

在化工企业埋地罐区的安全风险评估中, 选择合适的评估方法和建立科学的指标体系至关重要。评估方法的选择应充分考虑罐区的特殊性质, 以确保评估的全面性和可操作性。目前, 常用的评估方法包括定性分析和定量分析两种。定性分析主要通过 SCA (安全检查表方法)、HAZOP 等系统性方法, 对罐区进行系统的、逐项的分析。这种方法能够全面考虑各种潜在的有害因素, 发现可能存在的事故隐患。然而, 由于其主要依赖专业人员的经验和主观判断, 其结果可能受到人为因素的影响, 因此在实际应用中需要谨慎使用。相对而言, 定量分析采用数学模型和模拟软件, 通过数值计算和模拟来预测事故的后果。这种方法更加客观、准确, 能够提供更具体的数据支持。例如, 采用 FLACS (Fire, Loss, and Consequence Simulation) 软件进行火灾模拟, 采用 CASST-QRA (重大危险源区域定量风险评价软件) 进行事故后果模拟, 可以定量分析罐区事故后可能产生的火灾、爆炸影响范围和程度。这样的数据可以为安全管理提供更具体、有针

对性的建议。在建立指标体系方面,首先需要确定一套科学的、全面的评估指标,以客观地反映罐区的安全状况。包括但不限于事故概率、事故后果、应急响应能力等方面的指标。例如,可以采用 Risk Matrix (风险矩阵) 来综合考虑事故发生概率、事故严重程度和事故后果的关系,以便更好地确定风险的优先级。指标的选择应充分结合罐区的实际情况,确保能够全面评估罐区的安全风险水平。化工企业埋地罐区安全风险评估中的评估方法与指标体系的选择至关重要。通过定性和定量分析的结合,以及科学合理的指标体系建立,可以更全面、准确地评估罐区的安全状况,为企业提供更科学依据,降低事故风险。

1.3 环氧乙烷埋地罐区的安全风险评估

在进行埋地罐区的安全风险评估时,特别关注所储存介质的理化特性至关重要。在此背景下,本研究专注于环氧乙烷埋地罐区的安全风险评估。环氧乙烷作为一种广泛应用于化工生产的有机化合物,列入国家《重点监管的危险化学品名录》之中,其易燃易爆(闪点 -29°C , 易燃气体, 类别 1)、有毒有害(急性毒性-吸入, 类别 3)和腐蚀性(皮肤腐蚀/刺激, 类别 2; 严重眼损伤/眼刺激, 类别 2)等特性使得其在储存和运输过程中具有较高的风险。

根据以往的事故数据分析,环氧乙烷的火灾事故往往具有较大的燃烧面积和高温度,极大地增加了事故后果的严重性。这也意味着在安全风险评估中,需要充分考虑环氧乙烷的燃爆特性,采用先进的火灾模拟工具来预测事故可能引发的火灾影响。环氧乙烷的毒害性和腐蚀性也是评估中必须考虑的关键因素。其高度刺激性的性质使得在事故发生后,可能引起人员中毒或受到化学灼伤的风险。通过定量分析,可以模拟环氧乙烷事故后可能产生的毒气扩散范围,为应急响应提供有针对性的建议。同时,必须考虑环氧乙烷对罐区设施和设备的腐蚀影响,以维护罐区的长期稳定运行。针对环氧乙烷的安全风险评估,综合考虑其火灾、爆炸、毒害和腐蚀等多方面的特性,建立科学合理的指标体系。包括事故发生概率、事故影响后果、应急响应能力等指标,以全面评估环氧乙烷埋地罐区的安全风险水平。通过对环氧乙烷的深入研究,我们可以更好地了解其在罐区中的潜在危险,为化工企业的安全管理提供科学支持,减少事故风险。

2 埋地储罐事故后果模拟分析

事故后果模拟分析评价法运用了数学模型,定量描述一个可能发生的重大事故对周边范围内的设施、

人员以及环境造成危害的严重程度。火灾、爆炸、中毒等重大工业事故的危险有害程度运用(按理想情况建立)数学模型来分析评价,有的可能与实际情况有较大出入,但对事故后果评价来说是可参考的。

本次研究以某环氧乙烷埋地储罐为对象,采用中国安全生产科学研究院研发的《CASST-QRA 重大危险源区域定量风险评价软件》,对典型事故类型进行模拟计算。

2.1 模拟参数

2.1.1 泄漏模式

查阅历史统计数据,并兼顾事故分析的完整性,本次模拟计算将泄漏分为四种模式:①小孔泄漏: $\phi 5\text{mm}$;②中孔泄漏: $\phi 25\text{mm}$;③大孔泄漏: $\phi 100\text{mm}$;④整体破裂: $> 150\text{mm}$ 。

2.1.2 气象信息

在对近几年气象统计资料分析的基础上,确定本次研究所在区域风玫瑰图中的风向、风频、平均风速和主要大气稳定度等气象条件信息。

2.1.3 危险源信息

本次研究埋地液化环氧乙烷罐组基本信息见表 1。

表 1 埋地液化环氧乙烷罐组基本信息表

装置名称	储存介质	相关参数	数量	固有危险程度
埋地液化环氧乙烷罐组	环氧乙烷	双层, 42m^3 , 工作温度: 常温, 工作压力: 0.3MPa	1 个	火灾爆炸, 燃烧热量 1306.1kJ/mol

2.2 模拟计算结果

表 2 埋地液化环氧乙烷罐组事故后果分析汇总表

危险源	泄漏模式	灾害模式	死亡半径(m)	重伤半径(m)	轻伤半径(m)	多米诺半径(m)
环氧乙烷储罐	容器整体破裂	BLEVE	76	95	240	76
环氧乙烷储罐	容器大孔泄漏	云爆	35	63	104	49
环氧乙烷储罐	容器中孔泄漏	池火	15	19	29	/
环氧乙烷储罐	容器大孔泄漏	池火	15	19	29	/
环氧乙烷储罐	容器整体破裂	池火	15	19	29	/
环氧乙烷储罐	容器中孔泄漏	云爆	14	24	41	19
环氧乙烷储罐	容器物理爆炸	物理爆炸	12	21	36	17

运用中国安全生产科学研究院开发的 CASST-QRA 软件 V2.0 进行风险计算,选取容器整体破裂、容器大孔泄漏、容器物理爆炸等事故情景模拟。计算数据主要来源于现场勘查及收集的资料,事故后果

给出了在不同泄漏模式下的对应的灾害模式。同时在 BLEVE、云爆及物理爆炸等灾害模式下,对危险设施之间的多米诺效应进行模拟计算,具体结果见表 2。

2.3 结果分析

由模拟计算结果可以看出,液化环氧乙烷储罐及其附属管道或阀门发生泄漏时,随着泄漏的口径增大,其事故的后果及影响范围也随之加大。环氧乙烷储罐容器整体破裂时发生 BLEVE 灾害情景的事故后果最为严重,死亡半径为 76m,重伤半径为 95m,轻伤半径为 240m,在最恶劣的情况下,爆炸波及的范围主要是公司厂区内、厂外道路及相邻企业,可造成爆炸半径内人员严重伤亡,并可能引发邻近储罐二次爆炸。环氧乙烷储罐容器整体破裂时发生 BLEVE 事故后果影响范围较大,通过采用自动控制系统(设置温度变送器、压力变送器、液位变送器,其测量的温度信号输入到 PLC 的通讯模块,通过 PLC 进行数据处理后,输出对应的温度信号去工控机液晶显示器上报警,设置高、高高两级报警),同时设置烟感、温感和有毒气体检测装置,一旦超标,控制室即发出声、光报警,便于及时处理。现场检测仪表和控制阀门的选型和安装均严格控制质量,采取相应的防爆、防雷、防水、防腐等措施,确保生产安全,加强安全管理等措施,减小泄漏时间,避免 BLEVE 事故的发生。

3 安全风险管理策略

3.1 风险管理的原则与方法

在化工企业埋地罐区的安全风险管理中,制定有效的策略是确保工艺安全的核心。首先,风险管理需遵循一系列基本原则,包括综合性、系统性和透明性。这意味着在管理过程中,需全面考虑罐区内储存介质的风险,系统性地应用各项风险管理方法,并确保决策过程的透明度,使得相关人员能够清晰了解风险状况。在风险管理方法方面,常采用 Risk Matrix(风险矩阵)、AHP(层次分析法)等工具。通过建立风险矩阵,可以将不同风险的可能性和后果量化,帮助企业确定优先处理的风险。层次分析则可通过层层递进的方式,对罐区的各层次进行深入分析,确保风险管理的全面性。此外,还可以运用 BowTie(蝴蝶结)分析方法,将可能的事故路径清晰呈现,有助于制定相应的应对策略。在实际应用中,数据支持是风险管理的关键。通过采用先进的模拟软件,如 PHAST(Process Hazard Analysis Software Tool)等,对事故的可能性和后果进行精确评估,有助于更科学地确定风险管理的

优先方向。同时,建立健全的培训计划,提高员工的安全意识和应急响应能力,也是风险管理不可忽视的方面。在制定安全风险管理策略时,充分考虑到罐区的实际情况,综合运用不同方法,确保管理的科学性和实用性。通过这些策略的有效实施,化工企业可以最大程度地降低埋地罐区的安全风险,确保生产过程的安全可靠性。

3.2 应急响应与事故应对策略

应急响应与事故应对策略是化工企业埋地罐区安全管理中至关重要的一环。在事故发生后的迅速响应和有效处置,直接关系到事故后果的严重性和损失的程度。首先,建立完善的应急响应流程是保障罐区安全的关键步骤。应急响应流程应详细包括事故发生时的报警/接警、响应级别判定、应急救援、应急资源调配等方面。通过合理的组织和培训,提高员工的现场处置和应急响应能力,确保在事故发生时能够科学、迅速、有序地进行应急处置。在应对事故的具体策略中,针对不同类型的事故需按照 GB/T 29639-2020《生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则》的要求制定相应的应急预案。以火灾为例,应用先进的火灾动态模拟软件 FDS(Fire Dynamics Simulator)进行火灾影响范围的数字化模拟,有助于准确评估火灾的可能影响,为应急响应提供科学依据。此外,合理设置灭火系统、事故隔离装置,采用防火与防爆安全装置,能够有效降低事故的扩散和后果。

4 结语

本论文通过深入研究化工企业埋地罐区的安全风险,模拟计算出在不同泄漏模式下对应灾害的死亡半径、重伤半径、轻伤半径及多米诺半径,储罐整体破裂导致 BLEVE 灾害情景的事故后果,突出了化工企业要加强危险化学品储罐安全管理的重要性。总体而言,本研究通过科学的模拟分析,为企业制定切实可行的安全管理策略提供了参考,新时期的化工企业应从实际出发,针对不同的安全风险制定并落实安全管理策略,以最大程度减小事故风险,更好的稳定社会,保护人民生命财产安全。

参考文献:

- [1] 时丕宏. 化工企业储罐区风险评价及安全管理对策的研究 [D]. 大连: 大连交通大学, 2019.

作者简介:

张未来(1986-),男,汉族,广州市人,中级工程师,学士学位,主要从事化工安全生产、安全评价工作。