

精细化工企业储罐安全工程的火灾爆炸风险评估

王相元 王像明 秦新凯 吴文超 (胜华新能源科技(东营)有限公司, 山东 东营 257053)

摘要: 文章探讨了精细化工企业储罐安全工程的火灾爆炸风险评估, 重点分析了储罐设计参数、储存物性质和环境因素等关键因素。通过基于概率论和统计学的评估模型构建, 以及基于物理模拟和计算机模拟的评估方法, 对储罐火灾爆炸风险进行定量分析, 为企业提供了科学有效的安全管理策略。

关键词: 化工储罐; 安全工程; 火灾爆炸; 风险评估

0 引言

精细化工企业中, 储罐作为重要的储存设施, 承载着大量的化工原料和产品, 但同时也存在着火灾爆炸等安全风险。因此, 进行储罐安全工程的火灾爆炸风险评估至关重要。文章旨在探讨储罐火灾爆炸风险评估的关键因素, 并介绍基于概率论和统计学、基于物理模拟和计算机模拟的评估模型构建方法, 为企业的安全生产提供科学支持。

1 精细化工企业储罐安全工程火灾爆炸风险评估的重要性

精细化工企业储罐承载着大量的化工原料和产品, 一旦发生火灾爆炸事故, 将会对企业及周边环境造成巨大的损失。因此, 进行火灾爆炸风险评估显得尤为重要。通过对储罐安全工程进行火灾爆炸风险评估, 可以及时发现潜在的安全风险和隐患, 采取有效的措施加以控制和管理, 从而保障生产过程中的安全稳定。火灾爆炸不仅会对企业的生产造成损失, 还会威胁到员工的生命安全。通过评估储罐安全工程的火灾爆炸风险, 可以制定出相应的安全操作规程和应急预案, 提高员工的安全意识, 减少人员伤亡事故的发生。一旦储罐发生火灾爆炸, 不仅会造成企业经济损失, 还可能导致周边环境的污染。通过火灾爆炸风险评估, 可以降低火灾爆炸事故发生的概率, 从而减少环境污染的可能性。

对于精细化工企业来说, 遵守相关的法律法规是企业生存和发展的基本前提。许多国家和地区都规定了对于储罐安全工程的火灾爆炸风险评估要求。企业必须进行相应的评估工作, 以确保符合法律法规的要求, 避免因违规而遭受处罚。一家安全生产的企业往往能够获得更多的信任和认可, 对储罐安全工程进行火灾爆炸风险评估, 企业可以展示出对于安全生产的高度重视, 提升企业的社会形象和声誉, 为企业的长远发展打下良好的基础。

2 储罐安全工程火灾爆炸风险评估的常用方法

2.1 定性评估方法

HAZOP 分析 (危害及操作可行性分析): HAZOP 是一种系统的、系统化的、基于专家的定性分析方法。通过对系统进行细致的分解, 识别可能的危险源和潜在的操作失误, 评估其可能造成的影响, 提出相应的控制措施。

风险矩阵法: 将可能导致储罐火灾爆炸的危险因素和可能的后果制成表格, 根据专家判断或历史数据, 对各种可能性进行分类, 以矩阵形式展示, 评估风险等级, 并制定相应的应对措施。

故障树分析 (FTA): 通过对储罐安全系统的各种可能故障进行分析, 建立故障树, 识别潜在的火灾爆炸发生路径, 评估各种故障事件发生的可能性和影响, 并提出相应的控制措施。

2.2 定量评估方法

失效模式与影响分析 (FMEA): 通过对储罐安全系统的各个部件和子系统进行失效模式分析, 评估各种失效模式的可能性和影响, 计算风险指标如风险优先度数 (RPN), 并据此制定相应的改进措施。

事件树分析 (ETA): 建立事件树模型, 将火灾爆炸事件的发生和发展过程进行逻辑上的描述, 评估各种事件发生的概率和可能的后果, 并根据分析结果制定相应的应对策略。

可靠性分析 (RA): 通过对储罐安全系统的可靠性进行定量分析, 评估系统故障发生的概率和对系统功能的影响程度, 计算系统的可靠性指标, 如平均无故障时间 (MTBF) 和平均维修时间 (MTTR), 以及系统的可用性等。

3 储罐火灾爆炸风险评估模型建立

3.1 储罐火灾爆炸风险评估的基本模型构建

在进行储罐火灾爆炸风险评估之前, 首先需要确定评估的范围和目标。评估范围包括哪些储罐、涉及

到的化学品、评估的时间周期等；评估目标包括确定可能的火灾爆炸风险源、分析可能的后果、评估风险等级等。收集与评估相关的必要数据是评估模型构建的基础，这些数据包括储罐的设计参数、操作参数、存储物质的性质和特性、环境因素、设备状态等。同时，还需要收集历史事故数据、安全生产规程和标准、相关法律法规等信息。通过对储罐系统的分析，识别可能导致火灾爆炸的危险源，包括但不限于化学品泄漏、静电积聚、设备失效、操作失误等。对于每个潜在的危险源，需要评估其可能性和影响程度。

建立储罐火灾爆炸风险评估模型是评估的核心，常用的模型包括定性评估模型和定量评估模型。定性评估模型主要是基于专家经验和分析，对火灾爆炸风险进行主观判断和定性描述；定量评估模型则依靠数据和数学模型，对火灾爆炸风险进行定量计算和分析。基于建立的评估模型，对识别的危险源进行风险评估，确定各个危险源的风险等级。

常用的方法包括风险矩阵法、风险优先度数（RPN）、事件发生概率等。根据评估结果，制定相应的控制措施和应对策略，包括技术控制、管理控制和应急预案等。控制措施的制定应综合考虑成本、效益和可行性。完成风险评估后，需要对评估结果进行监督和改进，定期对储罐系统进行检查和维护，及时更新评估模型，改进控制措施，以确保评估结果的准确性和可靠性。

3.2 基于概率论和统计学的风险评估模型

基于概率论和统计学的储罐火灾爆炸风险评估模型构建，是一种定量评估方法，通过对储罐系统各项参数和概率分布的分析，定量地评估火灾爆炸事件的可能性和影响程度。这种模型的构建基于概率分布和统计数据，能够更准确地评估火灾爆炸风险，为企业提供科学合理的安全管理策略。

确定要评估的储罐系统对象和评估范围，包括具体的储罐、存储的化学品、系统的运行参数等。同时，明确评估的目标和指标，例如确定火灾爆炸的概率、评估可能的损失程度等。收集与评估相关的数据和参数是模型构建的基础，包括储罐系统的设计参数、操作参数、存储物质的性质和特性、环境因素等。

此外，还需要收集历史事故数据、系统故障数据等统计信息。基于收集到的数据和参数，建立储罐火灾爆炸的概率模型，采用概率分布来描述各种参数的随机性变化，如储罐存储物质的温度、压力、液位等。

常用的概率分布包括正态分布、泊松分布、指数分布等。

事件树是描述火灾爆炸事件发生和发展过程的一种逻辑模型，根据储罐系统的特点和可能的火灾爆炸路径，建立事件树模型，包括各种事件节点、事件发生的概率、可能的后果等。通过事件树模型可以直观地展示火灾爆炸事件的发生概率和可能的影响。基于建立的概率模型和事件树模型，计算火灾爆炸事件发生的概率和可能的影响程度。常用的风险指标包括事件发生概率、人员伤亡概率、财产损失概率等。通过对这些指标的计算和分析，可以评估火灾爆炸事件的风险等级。

根据评估结果，制定相应的控制措施和应对策略，包括技术控制、管理控制和应急预案等。控制措施的制定应考虑到火灾爆炸事件的可能性和影响程度，以及控制成本、效益和可行性。完成风险评估后，需要对评估结果进行监督和改进。定期对储罐系统进行检查和维护，及时更新评估模型，改进控制措施，以确保评估结果的准确性和可靠性。

3.3 基于物理模拟和计算机模拟的风险评估模型

基于物理模拟和计算机模拟的储罐火灾爆炸风险评估模型是一种定量评估方法，通过模拟储罐火灾爆炸过程中的物理和化学行为，以及通过计算机仿真技术，对火灾爆炸事件的可能性和影响进行定量分析。这种模型的构建可以更直观地展现火灾爆炸过程，帮助企业准确评估火灾爆炸风险，采取有效的安全措施。

确定要模拟的储罐系统对象和评估范围，包括具体的储罐、存储的化学品、系统的运行参数等。同时，明确评估的目标和指标，例如确定火灾爆炸的概率、评估可能的损失程度等。收集与模拟相关的必要数据，包括储罐系统的设计参数、操作参数、存储物质的性质和特性等。此外，还需要收集实验数据和现场监测数据，用于验证模拟结果的准确性。基于物理模拟方法，可以通过实验室或现场实验，模拟储罐火灾爆炸过程中的物理和化学行为，如化学反应、燃烧传播、爆炸波传播等。

通过对实验结果的分析，建立火灾爆炸过程的物理模型，包括各种参数的变化规律和相互作用关系。基于计算机模拟方法，利用计算机仿真技术，建立储罐火灾爆炸的计算模型。常用的计算模型包括燃烧模型、热传导模型、流体力学模型等。通过数值计算，模拟火灾爆炸过程中各种物理参数的变化和相互作用

用,如温度分布、压力变化、燃烧速率等。

基于建立的物理模型和计算机模型,模拟储罐火灾爆炸事件的发生和发展过程。根据实际情况和模拟目标,设定模拟参数和初始条件,进行模拟计算,得到火灾爆炸事件的各种物理参数和影响结果。对模拟结果进行评估和分析,包括火灾爆炸的可能性、影响程度、风险等级等。

通过与实际情况和历史数据的比对,验证模拟结果的准确性和可靠性。根据评估结果,制定相应的控制措施和应对策略,包括技术控制、管理控制和应急预案等。控制措施的制定应综合考虑模拟结果、成本、效益和可行性。完成模拟评估后,需要对模拟结果进行监督和改进。根据实际情况和反馈意见,及时调整模拟参数和模型,提高模拟结果的准确性和可靠性。

4 精细化工企业储罐安全工程的火灾爆炸风险预防措施

4.1 优化储罐设计

在精细化工企业中,储罐是存储和处理危险化学品的重要设施,其设计的合理性直接关系到火灾爆炸风险的预防。选择高质量、耐腐蚀、抗压强度高的材料,确保储罐的结构稳固、耐用,并能有效隔离储存物质与外界环境的影响。在设计储罐结构时,应考虑到可能发生的外力影响,采取加强支撑、增加防护层等措施,提高其抗压抗撞能力。同时,根据存储物质的性质和需求,合理确定储罐的容量,避免过大或过小造成的安全隐患。采用先进的密封技术和防火材料,确保储存物质不泄露,且能在火灾发生时有效阻挡火势蔓延,减少火灾爆炸风险。

4.2 设置完善的安全设施

为了进一步提高精细化工企业储罐的火灾爆炸风险预防能力,需要设置完善的安全设施,安装火灾监测与报警系统是预防储罐火灾爆炸的重要手段,该系统应包括烟雾、温度、气体浓度等监测装置,能及时发现火灾隐患并发出警报,以便采取及时有效的应急措施。配备火灾灭火系统是应对储罐火灾的重要保障,选择干粉、泡沫、CO₂等不同类型的灭火系统,并根据储罐的特点和环境条件进行合理配置,确保在火灾发生时能够迅速、有效地进行灭火,尽量减少损失。设置安全防护设施是保障储罐周围区域和人员安全的重要措施,包括围栏、安全警示标识、紧急疏散通道等设施,能够有效限制非授权人员的进入,并在紧急情况下提供安全撤离通道,减少人员伤亡风险。建立

完善的检查制度,定期对火灾监测与报警系统、灭火系统、安全防护设施等进行检查和测试,及时发现和处理存在的问题,确保其在火灾爆炸事件中的可靠性和有效性。

4.3 定期检查和维护

定期检查和维护是保障储罐安全运行的重要环节,也是预防火灾爆炸风险的关键,通过定期检查和维护,可以及时发现储罐及其相关设施存在的问题和隐患,及时采取修复和加固措施,确保其处于良好状态,降低火灾爆炸风险。精细化工企业应根据储罐的使用情况和环境特点,制定详细的定期检查计划和程序,明确检查内容、频次和责任部门,确保每个环节都能得到有效执行。定期检查应包括对储罐本身结构、防护设施、安全系统等方面的全面检查,检查内容包括但不限于:储罐是否出现腐蚀、漏液、裂纹等结构问题;防火、防爆设施是否完好;火灾监测与报警系统是否灵敏可靠等。一旦发现储罐或相关设施存在安全隐患,应立即采取相应的修复和加固措施,确保问题得到及时解决,防止其演变成更严重的安全事故。对每一次定期检查的结果进行详细记录,包括发现的问题、处理措施和效果等,同时对多次检查结果进行分析,发现问题的共性和规律,为今后的预防工作提供参考依据。

5 结束语

综合分析了储罐设计参数、储存物性质和环境因素等关键因素,文章提出了基于概率论和统计学、基于物理模拟和计算机模拟的储罐火灾爆炸风险评估方法。这些方法可以帮助企业更全面、准确地评估储罐火灾爆炸风险,制定相应的安全管理策略,从而提高企业的安全生产水平。

参考文献:

- [1] 王彦哲,周胜,王宇,等.中国核电和其他电力技术环境影响综合评价[J].清华大学学报:自然科学版,2021,61(4):377384.
- [2] 汤琪,王华才,梁政强.反应堆乏燃料棒的X射线数字成像检测工艺及其应用[J].无损检测,2020,42(10):1417.
- [3] 王鑫,刘菁,刘金平,等.模拟压力管力学性能试验样品制备技术研究[J].科技资讯,2018,16(17):8182,84.
- [4] 钱进,卞伟,郭丽娜,等.国产压水堆核电站40GW·d/tU乏燃料棒金相检验[J].原子能科学技术,2018,52(3):420426.