

化工生产过程中火灾与爆炸风险的防控技术研究

张晓丽

山西焦化集团有限公司安全管理部 山西 临汾 041606

摘要: 化工生产中存在易燃易爆化学品及高温高压工艺操作, 易引发火灾与爆炸风险。通过故障树分析、安全检查表、HAZOP技术等进行风险识别, 并采取本质安全设计、自动控制系统、抑制点火源等工艺控制措施。同时, 选用与维护防火防爆设备, 设计与管理安全泄压装置, 构建消防设施与应急救援系统, 确保化工生产安全稳定运行。

关键词: 化工生产; 火灾与爆炸风险; 防控技术; 风险识别

引言: 化工生产过程中, 易燃易爆化学品及高温高压工艺操作带来显著的火灾与爆炸风险。为确保生产安全, 必须深入识别并控制这些风险。本文综述了易燃易爆化学品的分类与危险等级, 探讨了典型工艺操作中的风险点, 并介绍了火灾与爆炸风险识别技术及防控工艺控制技术。旨在为化工企业提供科学的安全生产管理指导, 保障生产稳定运行。

1 化工生产火灾与爆炸风险概述

1.1 易燃易爆化学品的分类与危险等级

化工生产中的物质种类繁多, 其中易燃易爆化学品是引发火灾与爆炸事故的主要源头。根据国家标准, 易燃易爆化学品通常分为以下几类: (1) 爆炸品: 这类物品具有易于燃烧和爆炸的特性, 如点火器材、起爆器材、炸药及爆炸性药品等。它们对热、撞击、摩擦等外部刺激极为敏感, 一旦发生爆炸, 其破坏力极大。(2) 易燃气体和液化气体: 这类气体在特定条件下(如加压或降温)会变成液态, 如氢气、甲烷、乙烯等。它们极易燃烧和爆炸, 一旦泄漏, 遇到明火或静电火花即可引发火灾或爆炸。(3) 易燃液体: 如酒精、汽油等, 这类液体易燃易爆, 燃烧速度快, 且蒸气易与空气形成爆炸性混合物。在化工生产中, 它们的储存、运输和使用都需格外小心。(4) 易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品: 这类物品如火柴、白磷等, 在常温下即可自燃或在潮湿环境下燃烧, 具有极高的火灾危险性。(5) 氧化剂和有机过氧化物: 这类物品具有强烈的氧化性, 能引发或加剧其他物质的燃烧。在化工生产中, 它们通常用于氧化、漂白等过程, 但必须严格控制其储存和使用条件。此外, 根据危险等级, 易燃易爆化学品还可分为重大危险源和一般危险源。重大危险源一旦发生事故, 其后果往往极为严重, 甚至可能引发灾难性后果。

1.2 典型工艺操作中的火灾与爆炸风险点

化工生产过程中, 涉及众多高温高压的工艺操作,

这些操作环节往往也是火灾与爆炸风险的高发区。(1) 高温高压反应: 许多化工生产反应需要在高温高压条件下进行, 如氨氧化制硝酸、甲苯氧化制苯甲酸等。这些反应过程中, 如果温度控制不当或物料配比失调, 极易引发爆炸。此外, 反应釜等设备的材质、结构和密封性也是影响反应安全的重要因素。(2) 蒸馏操作: 蒸馏是化工生产中常见的分离操作, 但蒸馏过程中也存在火灾与爆炸风险。例如, 蒸馏易燃易爆液体时, 如果加热过快、温度过高或冷却系统失效, 都可能导致蒸气压力升高而引发爆炸。此外, 蒸馏设备的材质、密封性和防爆措施也是确保蒸馏安全的关键。(3) 萃取操作: 萃取是化工生产中用于分离和提纯物质的重要方法。然而, 萃取过程中使用的有机溶剂往往易燃易爆, 且萃取设备(如萃取塔、萃取槽等)的密封性和防爆措施也需格外注意。如果操作不当或设备存在缺陷, 都可能引发火灾或爆炸。除了上述工艺操作外, 化工生产中还涉及众多其他操作环节, 如干燥、过滤、结晶等。这些环节同样存在火灾与爆炸风险, 需要采取相应的安全措施进行防范^[1]。

2 火灾与爆炸风险识别技术

2.1 基于故障树分析(FTA)的风险识别

故障树分析是一种逻辑分析方法, 它通过构建故障树模型, 系统地分析导致顶事件(如火灾、爆炸等)发生的各基本事件及其逻辑关系。故障树以顶事件为根节点, 通过逻辑门(如与门、或门)连接各基本事件, 形成树状结构。(1) 在化工生产火灾与爆炸事故的故障树模型中, 顶事件可以是“化工生产区域发生火灾与爆炸”。接下来, 需要分析导致这一顶事件发生的所有可能原因, 如设备故障、操作失误、物料泄漏等, 并将这些原因作为基本事件列入故障树。(2) 构建故障树时, 需要明确各基本事件之间的逻辑关系。例如, 如果某个设备的故障是导致火灾的直接原因, 而该设备的故障又可能由于维护不当或老化等因素引起, 那么这些因素就

通过逻辑门与设备故障事件相连,形成更深层次的故障树分支。(3)通过定性与定量分析,可以确定故障树中的关键风险因素。定性分析主要是识别导致顶事件发生的所有可能路径,即故障模式。定量分析则是通过计算各基本事件的发生概率,以及它们对顶事件发生概率的贡献度,来评估各风险因素的重要性。这样,就可以有针对性地制定风险控制措施,降低火灾与爆炸事故的发生概率。

2.2 安全检查表(SCL)法在风险识别中的应用

安全检查表是一种系统化的检查工具,它依据相关法律法规、行业标准以及企业内部的规章制度,编制出针对化工生产设施、操作流程等的全面检查项目与标准。(1)编制安全检查表时,需要充分考虑化工生产的特殊性,如易燃易爆物质的储存与使用、高温高压设备的操作与维护等。检查表应涵盖所有可能引发火灾与爆炸风险的环节,包括设备状态、操作规范、安全防护措施等。(2)使用安全检查表进行风险识别时,需要对化工生产设施、操作流程等进行全面、细致的检查。检查人员应对照检查表上的项目与标准,逐一排查可能存在的隐患。例如,检查设备是否定期维护、操作是否符合规程、安全防护设施是否完好等。(3)常见的检查项目包括设备泄漏情况、电气线路老化程度、消防设施配备与完好性、操作人员培训与资质等。通过安全检查表的全面检查,可以及时发现并纠正潜在的安全隐患,有效降低火灾与爆炸风险。

2.3 危险与可操作性分析(HAZOP)技术

HAZOP技术是一种基于工艺参数偏离正常范围的分析方法,它通过系统地审查化工工艺过程中的每个参数(如温度、压力、流量等),识别出参数偏离时可能引发的火灾与爆炸风险。HAZOP分析流程通常包括以下几个步骤:(1)确定分析范围和目标,明确需要分析的工艺过程或设备;然后,组建分析小组,包括工艺专家、安全专家等;(2)选择引导词(如“过多”、“过少”、“反向”等),用于引导分析过程中的思维方向;(3)对每个工艺参数进行逐一分析,识别出参数偏离时可能导致的后果和原因;最后,提出风险控制措施和建议。以具体化工工艺为例,假设某个化工反应过程中需要控制反应釜的温度。如果温度过高,可能导致反应物分解产生易燃气体,进而引发火灾或爆炸。通过HAZOP分析,可以识别出这一风险,并提出相应的风险控制措施,如安装温度报警装置、设置紧急冷却系统等。HAZOP技术在识别复杂工艺风险方面具有显著优势。它能够系统地分析工艺过程中的每个参数,识别出

潜在的风险点,并提出针对性的风险控制措施。这对于确保化工生产的安全稳定运行具有重要意义^[2]。

3 火灾与爆炸防控工艺控制技术

3.1 本质安全设计

本质安全设计是一种预防性的安全理念,它旨在通过设计本身来消除或最大限度地减少生产过程中的危险因素,从而降低火灾与爆炸风险。这一理念贯穿于化工生产的各个环节,包括工艺路线选择、设备选型以及操作条件优化等。(1)在工艺路线选择上,本质安全设计强调采用低危险性、高稳定性的反应路径。例如,优先选择那些不易产生易燃易爆中间产物或副产品的反应路线,或者通过改变反应条件(如温度、压力)来降低反应的剧烈程度。这样的设计能够从根本上减少火灾与爆炸的风险。(2)设备选型方面,本质安全设计注重选择具有高强度、耐腐蚀、耐高温或低温等特性的设备。同时,设备的设计还应考虑其易于操作、维护和检修,以确保在生产过程中能够及时发现并处理潜在的安全隐患。例如,在易燃易爆环境中,选择防爆型的电气设备、管道和阀门等,可以有效防止因设备故障而引发的火灾与爆炸事故。(3)操作条件优化也是本质安全设计的重要组成部分。通过精确控制反应温度、压力、流量等工艺参数,可以确保反应在安全的范围内进行。此外,还可以采用先进的传热技术和搅拌技术,以提高反应的均匀性和稳定性,进一步降低火灾与爆炸的风险。(4)成功应用本质安全设计的案例不胜枚举。例如,在某化工企业的生产过程中,通过优化工艺路线和设备选型,以及严格控制操作条件,成功地将火灾与爆炸风险降低到了最低水平。该企业的生产过程一直保持稳定,未发生过任何重大安全事故。

3.2 自动控制系统在风险防控中的应用

自动控制系统在化工生产中发挥着至关重要的作用。它能够实时监测工艺参数,如温度、压力、流量等,并根据预设的阈值进行自动报警和紧急停车。这一功能对于预防火灾与爆炸事故具有显著效果。(1)当工艺参数超出安全范围时,自动控制系统能够立即发出报警信号,提醒操作人员及时采取措施进行调整。如果情况危急,系统还可以自动启动紧急停车程序,切断反应物料的供应,停止设备的运行,从而有效防止事故的进一步扩大。(2)不同的自动控制系统在性能和特点上存在差异。例如,有些系统具有更高的精度和稳定性,能够更准确地监测和控制工艺参数;有些系统则具有更强的自适应性和智能化程度,能够根据生产过程中的变化自动调整控制策略。因此,在选择自动控制系统时,需

要根据具体的生产需求和工艺特点进行综合考虑。

3.3 抑制与消除点火源的工艺措施

化工生产中常见的点火源包括明火、电气火花、摩擦与撞击火花等。为了抑制和消除这些点火源,需要采取相应的工艺措施。(1)对于明火,应严格禁止在生产区域内使用明火作业,如焊接、切割等。如果必须进行明火作业,应事先办理动火证,并采取严格的防火措施。(2)电气火花是另一个重要的点火源。为了防止电气火花引发火灾与爆炸事故,应采用防爆型的电气设备,并确保其安装、使用和维护符合相关标准。此外,还可以采用静电接地、等电位连接等措施来消除静电火花。(3)摩擦与撞击火花也是不可忽视的点火源。为了减少这类火花的产生,应选用不易产生火花的材料制作工具和设备部件,并在操作过程中采取轻柔、缓慢的动作方式^[3]。

4 火灾与爆炸安全防护技术

4.1 防火防爆设备的选用与维护

在化工生产中,防火防爆设备的选用与维护至关重要。常见的防火防爆设备有防火墙、防爆门、阻火器和灭火器等。防火墙通过阻断火势蔓延,保护相邻区域安全,其选用要点在于耐火材料和结构设计。防爆门则能在设备内部压力骤增时迅速开启或破裂,释放压力,防止爆炸,适用于易燃易爆场所。阻火器利用金属网或多孔材料阻断火焰传播,适用于气体或蒸汽管道,防止火势沿管道蔓延。灭火器则是扑灭初期火灾的有效工具,需根据火灾类型选用,如干粉、二氧化碳等。这些设备需定期维护与检测,确保其处于良好状态。检查密封性、完好性,测试性能,及时更换损坏部件,以防患于未然。

4.2 安全泄压装置的设计与管理

安全泄压装置如安全阀、爆破片等,是防止设备超压引发火灾与爆炸事故的关键。安全阀的设计原则是确保在设备内部压力超过设定值时能够自动开启,释放压力。爆破片则是一种一次性泄压装置,当压力达到或

超过其承受极限时会破裂泄压。安全泄压装置的安装位置、调试过程和日常管理都需严格遵循相关标准和规范。安装时应确保其与设备的连接可靠,调试时应验证其泄压能力和密封性能。日常管理则涉及定期检查、维护和更换,确保其处于良好状态。

4.3 消防设施与应急救援系统

化工企业应配备完善的消防设施,包括消防水源、消防泵、消防喷淋系统等。这些设施应合理布局,确保在火灾发生时能够迅速有效地进行灭火。同时,企业还应构建应急救援系统,包括建立应急组织机构、制定应急预案并进行定期演练。应急组织机构应明确职责分工,确保在紧急情况下能够迅速响应。应急预案应针对可能发生的火灾与爆炸事故制定具体的应对措施和救援方案。通过定期演练,可以检验应急预案的可行性和有效性,提高企业的应急响应能力^[4]。

结束语

化工生产中的火灾与爆炸风险防控是一项系统工程,需要综合运用多种技术手段和管理措施。通过本质安全设计、自动控制系统以及抑制点火源的工艺措施,可以有效降低事故发生的可能性。同时,防火防爆设备的选用与维护、安全泄压装置的设计与管理以及消防设施与应急救援系统的构建,为化工生产提供了多重安全保障。企业应持续加强安全管理,不断提升火灾与爆炸风险的防控能力,确保生产过程的安全稳定。

参考文献

- [1]贺利飞,郝齐凤,折建梅.化工工艺设计中安全危险的识别与控制[J].山西化工,2023,43(8):194-196.
- [2]李明.化工生产过程中的安全风险识别与防控措施研究[J].化工安全与环境,2022(6):25-29.
- [3]张晓红,王刚.化工生产风险管理的现状与发展趋势[J].化工管理,2021(10):134-138.
- [4]陈静.论化工生产中安全风险识别与控制的重要性[J].中国安全生产科学技术,2020(3):78-82.