

化工工艺设计中的安全风险及控制探究

魏鑫 杨智星 梁振荣

内蒙古大全新能源有限公司 内蒙古 包头 014010

摘要: 化工工艺设计作为化工生产核心环节, 潜藏多重安全风险, 源于化工生产固有危险性、设计人员素养、规范执行力度及外部环境变化等。风险主要体现于物料、设备、操作及工艺设计等方面。为防控风险, 需加强物料安全管理、优化设备设计与选型、规范操作流程与人员管理、完善工艺设计方案, 以保障化工生产安全稳定。

关键词: 化工工艺设计; 安全风险; 控制探究

引言: 化工工艺设计作为化工生产的核心环节, 其安全性至关重要。然而, 从原料选择到生产控制方案制定, 各环节潜藏着诸如物料固有危险性、设计人员专业素养不足、设计规范执行不力及外部环境变化等多重安全风险。深入剖析这些风险, 并探寻有效的防控策略, 是保障化工生产安全稳定、推动化工行业可持续发展的关键所在。

1 化工工艺设计安全风险概述

化工工艺设计作为化工生产的核心环节, 涵盖了从原料选择到生产控制方案制定等一系列关键步骤, 每一个环节都如同精密仪器中的关键齿轮, 紧密相连且潜藏着安全风险。这些风险不仅源于化工生产本身所具有的固有危险性, 还受到设计人员专业素养、设计规范执行力度以及外部环境变化等多重因素的影响。深入剖析化工工艺设计的安全风险, 并探寻有效的防控策略, 对于保障化工生产的安全与稳定至关重要。(1) 化工生产本身的固有危险性是其安全风险的重要源头。化工原料大多具有易燃、易爆、有毒、有害等特性, 在储存、运输和加工过程中, 一旦操作不当或设备出现故障, 极易引发火灾、爆炸、中毒等严重事故。例如, 一些有机溶剂具有较低的闪点, 在高温或明火环境下极易燃烧; 某些剧毒化学品若发生泄漏, 会对周边环境和人员造成毁灭性的危害。此外, 化工生产过程中的高温、高压、强腐蚀等极端条件, 也对设备和工艺提出了极高的要求, 增加了安全风险的发生概率。(2) 设计人员的专业素养直接影响着化工工艺设计的安全性。一个优秀的设计人员需要具备扎实的化学工程知识、丰富的实践经验和敏锐的风险意识。然而, 在实际工作中, 部分设计人员可能由于专业知识不足、经验欠缺或对安全规范理解不深, 导致在设计过程中出现失误。例如, 在设备选型时, 未能充分考虑物料的特性和工艺要求, 选择了不合适的设备, 从而埋下了安全隐患。(3) 设计规范的执行力度也

是影响化工工艺设计安全的关键因素。国家和行业制定了一系列严格的化工设计规范, 旨在确保化工生产的安全和环保。然而, 在实际设计过程中, 一些设计单位或个人为了追求经济利益或缩短设计周期, 往往忽视设计规范的执行, 擅自降低安全标准。这种行为不仅违反了法律法规, 也给化工生产带来了极大的安全风险。(4) 外部环境的变化同样不容忽视。自然灾害、政策法规的调整、市场需求的变化等都可能对化工工艺设计的安全性产生影响。例如, 地震、洪水等自然灾害可能破坏化工生产设施, 导致安全事故的发生; 政策法规的调整可能要求化工企业对生产工艺进行改造升级, 若改造过程中未能充分考虑安全因素, 也可能引发新的安全风险^[1]。

2 化工工艺设计中的主要安全风险分析

2.1 物料风险

化工生产中使用的物料具有显著的危险特性, 其中易燃易爆和有毒有害是最为突出的两类风险。易燃物料, 如氢气、乙炔等, 具有极低的燃点和较高的燃烧热值。在特定的温度、压力及浓度条件下, 它们与空气混合可形成可燃混合气。一旦遭遇火源, 哪怕是微小的静电火花、设备摩擦产生的火星, 都可能瞬间引发剧烈的燃烧反应, 甚至爆炸。这种爆炸的破坏力极大, 会对周围的设备、建筑造成严重损毁, 同时威胁到人员的生命安全。例如, 在一些氢气储存和使用场所, 如果通风不良, 氢气积聚达到一定浓度, 遇到火源就可能引发爆炸事故。(1) 有毒物料, 像氯气、硫化氢等, 其毒性极强。当这些物料发生泄漏时, 会通过呼吸道、皮肤接触等多种途径迅速进入人体。氯气具有强烈的刺激性, 吸入后会对人体的呼吸道黏膜造成严重损伤, 引发咳嗽、呼吸困难等症状, 严重时会导致窒息死亡。硫化氢则会影响人体的神经系统, 使中毒者出现头晕、头痛、意识模糊等症状, 长期接触还可能引发更严重的健康问题, 如神经系统病变等。(2) 除了物料本身的危险性, 物料

之间的化学反应也存在巨大风险。化工生产中常常涉及多种物料的混合和反应,如果化学反应控制不当,可能会产生大量的热量或气体。例如,强氧化性物料与还原性物料混合时,会发生剧烈的氧化还原反应,释放出大量的能量。这种能量的瞬间释放会导致反应体系压力急剧升高,当压力超过设备的承受能力时,就会引发设备破裂、物料泄漏等事故,进而可能引发火灾、爆炸等更严重的后果^[2]。

2.2 设备风险

化工设备是化工生产的核心支撑,其设计、制造、安装与运行状况直接关系到生产安全。设备设计参数不匹配是一个常见的风险因素。以压力容器为例,如果其设计压力无法满足工艺操作压力要求,在高压环境下,容器就可能发生破裂。这种破裂不仅会导致物料泄漏,还可能引发爆炸等严重事故。例如,在一些高压反应釜中,如果设计压力不足,在反应过程中压力升高,就可能使反应釜破裂。(1)设备材质选择不当也会带来严重的安全隐患。在腐蚀性介质的作用下,如果设备材质不耐腐蚀,就会加速设备的腐蚀过程。随着腐蚀的加剧,设备的强度会逐渐降低,最终可能导致设备泄漏。例如,在一些酸碱储存设备中,如果选用了不耐酸碱腐蚀的材质,设备很快就会被腐蚀损坏,引发物料泄漏。(2)设备的密封性能差、安全附件缺失或失效也是不容忽视的风险。安全阀是设备的重要安全附件之一,当设备内压力超过设定值时,安全阀应自动开启,释放压力,以保证设备的安全。然而,如果安全阀不动作,就无法在异常工况下及时发挥保护作用,使设备故障演变为安全事故。压力表不准确则会导致操作人员无法准确了解设备内的压力情况,从而做出错误的操作决策。

2.3 操作风险

化工生产操作过程对规范性要求极高,任何违规操作都可能成为安全事故的导火索。操作人员专业知识匮乏,对化工工艺原理、物料特性、设备性能了解不足,在操作过程中就无法准确判断异常情况。例如,当设备出现异常声响或温度变化时,操作人员可能无法及时意识到这是设备故障的前兆,从而不能及时采取正确的应对措施。安全意识淡薄也是导致操作风险的重要原因。一些操作人员违反操作规程进行操作,如未按规定进行设备检修后的试车、随意更改工艺参数等。这些违规行为可能会使设备在不稳定的状态下运行,增加事故发生的概率。此外,操作人员的生理和心理状态也会影响操作安全性,疲劳作业、情绪波动等都可能导致注意力不集中,出现误操作,进而引发生产事故。

2.4 工艺设计风险

工艺设计方案的合理性直接关系到化工生产的安全性与稳定性。工艺流程复杂繁琐会增加物料泄漏的风险。过多的中间环节和物料转移过程意味着有更多的连接点和密封点,任何一个环节出现问题都可能导致物料泄漏。而且,复杂的工艺流程也会增加操作难度,使操作人员更容易出现失误。反应条件过于苛刻也是工艺设计中的一个重要风险。高温、高压、强腐蚀环境对设备和操作要求极高,稍有不慎就可能引发事故。同时,工艺设计对安全设施的规划不合理,如消防设施布局不当、应急疏散通道不畅通、安全防护距离不足等,在发生安全事故时,无法有效控制事故蔓延,保障人员安全撤离。此外,工艺设计缺乏对风险的前瞻性评估,未能充分考虑可能出现的异常工况和潜在风险,也是导致安全隐患的重要因素^[3]。

3 化工工艺设计安全风险控制策略

3.1 加强物料安全管理

在化工工艺设计阶段,应优先选择安全性高、危险性低的物料,遵循“本质安全”原则,从源头降低风险。对于无法避免使用的危险物料,需深入研究其理化性质、危险特性及反应规律,在工艺设计中制定针对性的安全措施。例如,对于易燃液体物料,采用密闭管道输送,设置氮封保护系统,防止物料挥发与空气混合形成可燃混合气;对于有毒物料,设计完善的泄漏检测与通风排毒系统,实时监测环境中有毒物质浓度,一旦发生泄漏,能及时将有毒气体排出,保障作业环境安全。同时,建立物料安全信息数据库,对物料的储存、运输、使用等环节进行全程信息化管理,确保物料安全可控。

3.2 优化设备设计与选型

设备的设计与选型直接关系到化工生产的安全性和稳定性。在设备设计选型过程中,必须严格遵循相关标准规范,结合工艺操作条件,精确计算设备的各项参数,确保设备的设计压力、温度、材质等满足生产要求。(1)选用具备良好信誉和技术实力的设备供应商是保障设备质量的关键。加强设备制造过程的质量监督,对关键部件进行严格检验,杜绝因设备制造缺陷带来的安全隐患。在设备选型时,应充分考虑设备的可靠性、可维护性和安全性,优先选择技术先进、安全性能高的设备。(2)合理配置安全防护装置也是优化设备设计的重要环节。安全阀、爆破片、紧急切断阀、联锁控制系统等安全防护装置能够在设备出现异常工况时自动触发保护机制,防止事故发生。例如,安全阀可以在设备内压力超过设定值时自动开启,释放压力,保证设备的安

全；连锁控制系统则可以在检测到异常情况时自动停止设备运行，避免事故扩大。（3）定期对设备进行维护保养和安全检测是保障设备安全稳定运行的重要措施。通过定期维护保养，可以及时发现并处理设备存在的问题，延长设备使用寿命；安全检测则可以评估设备的运行状态，确保设备符合安全要求。

3.3 规范操作流程与人员管理

规范的操作流程和高素质的人员是化工生产安全的重要保障。制定详细、科学、可操作的操作规程，明确各岗位操作步骤、工艺参数控制范围、安全注意事项等内容，并确保操作人员熟知并严格执行。（1）加强对操作人员的培训教育是提高操作人员综合素质的关键。培训内容不仅包括专业知识和操作技能，还应涵盖安全法律法规、安全意识培养等方面。通过培训，使操作人员具备扎实的专业知识和熟练的操作技能，同时增强安全意识和责任感。（2）建立完善的人员考核制度，定期对操作人员进行技能考核和安全知识测试，考核合格者方可上岗作业。合理安排操作人员的工作时间和工作强度，关注操作人员的身心健康，避免因疲劳作业、情绪波动等因素影响操作安全。（3）加强生产过程中的变更管理也是规范操作流程的重要方面。对工艺参数调整、设备改造等变更进行严格的风险评估和审批，确保变更后的生产过程安全可靠^[4]。

3.4 完善工艺设计方案

在工艺设计过程中，运用系统工程的方法，综合考虑工艺的安全性、经济性和可行性，优化工艺流程，简化操作环节，减少危险作业步骤。（1）积极采用先进的工艺技术和自动化控制手段，提高生产过程的自动化水平，降低人为因素对生产安全的影响。例如，引入DCS（集散控制系统）和SIS（安全仪表系统），实现对生产过程的实时监控和自动控制。DCS可以对生产过程中的各种参数进行集中监控和管理，及时发现并处理工艺参

数异常；SIS则可以在检测到危险情况时自动采取安全措施，确保生产过程稳定运行。（2）合理规划厂区布局，严格按照相关标准规范确定各装置、设施之间的安全距离，确保消防通道、应急疏散通道畅通无阻。科学配置消防设施、应急救援设备和安全防护设施，提高企业应对突发安全事故的能力。（3）在工艺设计完成后，组织专业人员进行全面的安全评价，运用HAZOP（危险与可操作性分析）、LOPA（保护层分析）等方法，识别设计方案中存在的安全隐患，并进行整改完善，确保工艺设计方案安全可靠^[5]。

结束语

综上所述，化工工艺设计安全风险控制是保障化工生产安全稳定的关键环节。从物料管理、设备设计选型、操作流程与人员管理到工艺设计方案的完善，每一个环节都需严格把控，不容有失。面对化工生产固有的危险性、设计人员素养差异、规范执行力度不足以及外部环境变化等挑战，我们必须以高度的责任感和专业的技术能力，全面落实各项安全风险控制策略。只有这样，才能有效防范安全风险，确保化工生产在安全的前提下高效运行，为化工行业的可持续发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1]刘玉德.化工工艺安全设计中风险因素识别与控制[J].化学工程与装备,2024,(08):153-155+171.
- [2]胥学松.化工工艺设计中安全危险的识别与控制措施[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(22):46.
- [3]马鹏,刘振贵,王志勇,等.关于化工工艺设计中的安全问题及控制措施研究[J].山西化工,2024,44(02):208209.
- [4]李永红.化工工艺安全设计中风险因素识别与控制[J].化工管理,2022(2):154-156.
- [5]郭翠.化工工艺安全设计中风险因素识别与控制[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(1):23-25.