

化工工艺风险识别与安全评价

贾程 张年华 任喆祥

内蒙古大全新能源有限公司 内蒙古 包头 014010

摘要: 化工行业作为国民经济的重要支撑,其生产过程涉及众多危险化学品与复杂工艺,安全问题关乎社会稳定与经济发展。本文剖析化工工艺复杂性、危险性和连续性的特点,系统阐述故障树分析、事件树分析等风险识别方法,以及定性、定量、综合安全评价方法。探讨原材料、设备设施、工艺流程和人为因素等风险因素,明确其对化工生产安全的威胁。综合运用多元风险识别与评价手段,能够精准评估化工工艺安全状态,为企业制定风险防控策略提供科学依据,对降低化工事故发生率、保障生产安全具有重要的实践价值。

关键词: 化工工艺; 风险识别方法; 安全评价方法

引言: 近年来,化工事故频发,暴露出风险识别与安全评价环节的薄弱之处。在此背景下,深入研究化工工艺风险识别与安全评价方法,具有迫切的现实需求。本文旨在通过梳理各类风险识别与评价方法,分析潜在风险因素,为化工企业构建科学有效的安全管理体系提供理论参考,助力化工行业实现安全、可持续发展。

1 化工工艺的特点

化工工艺具有显著的复杂性、危险性和连续性等特点,具体如下: (1) 复杂性。从工艺流程来看,化工生产往往包含多个连续的单元操作和化学反应步骤,各环节之间相互关联、相互影响。如在大型石油化工企业中,从原油的常减压蒸馏开始,到后续的催化裂化、催化重整、加氢精制等一系列工艺过程,涉及众多设备和复杂的操作条件,任何一个环节出现问题都可能影响整个生产系统的稳定运行。(2) 危险性较高。由于化工生产过程中涉及大量易燃、易爆、有毒、有害的化学物质,且许多反应需要在高温、高压、强腐蚀等极端条件下进行,使得事故发生的可能性增大。氢气是一种易燃易爆气体,在化工生产中常用于加氢反应,若氢气泄漏并与空气混合形成可燃混合气,遇到火源极易引发爆炸事故。一些有毒化学物质如氯气、硫化氢等,一旦泄漏会对人员和环境造成严重危害。(3) 具有高度的连续性。为了提高生产效率和经济效益,化工生产通常采用连续化作业模式,生产装置一旦启动,往往需要长时间不间断运行。这种连续性要求对设备的可靠性、操作人员的技能和责任心都有较高要求^[1]。一旦生产过程中断,不仅会导致产品质量下降、生产效率降低,还可能引发安全事故。在合成氨生产中,若因设备故障导致生产中断,可能会使系统压力失衡,引发设备损坏甚至爆炸等严重后果。

2 化工工艺风险识别方法

2.1 故障树分析法

故障树分析法是一种从结果到原因的演绎推理分析方法,通过构建逻辑树状图,将系统不希望发生的故障事件作为顶事件,逐步分析导致该事件发生的直接原因、间接原因,直至找出最基本的原因事件(底事件)。其核心原理基于布尔逻辑,利用“与”“或”等逻辑门符号,将各个事件之间的因果关系进行量化和可视化表达。在化工工艺风险识别中应用FTA,一般分为以下步骤: (1) 确定顶事件,这需要对化工系统进行全面分析,选取可能造成严重后果的事故,如化工装置爆炸、有毒气体泄漏等; (2) 构建故障树,通过收集设备运行数据、工艺流程信息以及历史事故资料,分析导致顶事件发生的各种直接原因,并以此为基础,逐步向下推导,直至找到最底层的基本事件; (3) 对故障树进行定性分析,通过最小割集法找出所有可能导致顶事件发生的基本事件组合,这些组合代表了系统的潜在风险路径; (4) 进行定量分析,在已知各基本事件发生概率的情况下,计算顶事件发生的概率,评估风险等级。

2.2 事件树分析法

事件树分析法是一种广泛应用于安全工程领域的系统性分析方法,它遵循从原因到结果的归纳推理逻辑,以初始事件为分析起点,通过模拟事件发展的动态过程,揭示不同事件路径及其可能导致的后果。该方法基于系统中各事件之间的因果逻辑关系,运用树状分支结构直观呈现事故发展的多路径可能性,为风险评估与决策提供了科学依据。在化工工艺风险识别领域,事件树分析法的实施流程具有以下明确步骤: (1) 需精准识别初始事件,通常聚焦于可能触发事故的异常状况,如管道破裂、设备故障、人为误操作等关键风险点; (2) 基

于事件发展逻辑构建树状模型,将安全防护措施、操作人员响应等影响因素纳入分析框架,系统展开事件路径的分支演变;(3)对每个分支路径进行深度解析,量化评估其发生概率与潜在后果;(4)依据分析结果制定针对性风险控制策略,优先聚焦高概率、高后果分支,通过优化工艺设计、强化人员培训、完善应急预案等措施,实现风险的系统性管控。

2.3 故障模式与效应分析法

故障模式与效应分析法是一种系统性的风险识别方法,它通过对系统各组成部分的潜在故障模式进行分析,评估故障发生后对系统功能、安全以及运行的影响,并根据影响程度确定风险优先级,提出相应的改进措施。FMEA强调在产品或系统设计阶段就开始应用,以预防故障的发生,提高系统的可靠性和安全性。在化工工艺风险识别中应用FMEA,主要步骤包括:(1)确定分析对象,可将化工工艺系统分解为设备、管道、仪表等子系统或部件;(2)识别潜在的故障模式,通过查阅资料、专家经验以及历史数据,分析各部件可能出现的故障形式,如管道腐蚀、阀门泄漏、泵体故障等;(3)评估故障影响,从功能、安全、环境等方面分析每种故障模式对整个化工系统的影响程度;接着,确定风险优先级,通常采用风险优先数(RPN)进行评估,RPN等于故障发生的可能性、故障影响的严重程度和故障检测难度的乘积,RPN值越高,风险优先级越高;(4)针对高风险的故障模式,制定相应的改进措施,如改进设计、加强维护、增加监测设备等。

2.4 危害和可操作性分析

危害和可操作性分析是一种基于引导词的系统性分析方法,通过对化工工艺过程中的工艺参数(如温度、压力、流量、液位等)进行偏离分析,识别可能存在的危害和操作性问题。HAZOP结合工艺流程图 and 操作规程,对工艺过程的各个节点进行详细分析。HAZOP的实施步骤主要包括:(1)确定分析节点,将化工工艺流程划分为若干个具有独立功能的节点;(2)选择引导词,如“无”“过量”“反向”“伴随”等,针对每个节点的工艺参数,使用引导词提出假设性的偏离情况;(3)分析偏离的原因、后果及现有安全措施的有效性,通过团队讨论,找出导致偏离的可能原因,评估偏离可能造成的危害和影响,并检查现有安全措施能否有效控制风险;(4)根据分析结果,提出改进建议,对于风险较高的偏离情况,制定针对性的控制措施,如修改工艺参数、增加安全联锁装置、完善操作规程等^[2]。危害和可操作性分析能够全面审视工艺流程潜在风险,为化工安全生产

筑牢防线,保障化工生产过程稳定、高效、安全运行。

3 化工工艺风险因素

3.1 原材料与产品的危险性

化工生产中,大量原材料和产品具有易燃、易爆、有毒、腐蚀等危险特性。氢气、乙炔等气体属于高度易燃物质,与空气混合能形成爆炸性混合物,遇明火、高热能引发燃烧爆炸;苯、氯气等化学品具有毒性,人体吸入或接触后,会对神经系统、呼吸系统等造成严重损害;浓硫酸、浓硝酸等强腐蚀性物质,会对设备和人体组织造成不可逆的破坏。在储存和运输过程中,若包装破损、密封不严,或未按照危险化学品管理规范操作,就可能导致泄漏,引发火灾、中毒等事故。

3.2 设备设施的风险

化工设备设施长期处于高温、高压、强腐蚀等恶劣工况下运行,容易出现老化、磨损、腐蚀等问题。反应釜、压力容器若未定期检测和维护,可能因材质疲劳、焊缝开裂导致介质泄漏;管道因腐蚀穿孔,会造成有毒有害或易燃易爆物料外泄;泵、压缩机等转动设备因机械故障,可能引发异常振动、过热,甚至产生火花,从而引发爆炸。

3.3 工艺流程的风险

化工工艺流程复杂,涉及多个反应步骤和操作单元,一旦控制不当,就会引发风险。在聚合反应中,若反应温度、压力失控,反应速率过快,可能导致反应釜超压爆炸;在蒸馏过程中,若进料量、回流量调节不当,会影响分离效果,甚至造成液泛、冲塔等事故。工艺流程中的物料输送环节也存在风险,如管道堵塞、阀门误操作,可能导致物料积聚、压力升高,引发泄漏或爆炸。

3.4 人为因素的风险

操作人员安全意识淡薄、违规操作,如未按操作规程启动设备、随意更改工艺参数,是导致事故发生的常见原因^[3]。未对进入受限空间作业的设备进行充分通风和气体检测,操作人员盲目进入,可能造成窒息或中毒;在动火作业中,未严格执行动火审批制度,未采取有效的防火措施,容易引发火灾爆炸事故。

4 化工工艺安全评价方法

4.1 定性评价方法

定性评价方法主要依靠专家经验、专业知识和直观判断,对化工工艺的安全状况进行分析和评价,其重点在于识别潜在风险因素、判断风险性质及严重程度,不涉及具体数值计算,具体方法如下:(1)安全检查表法。它依据相关法规、标准和实践经验,将化工工艺系

统按照设备、流程、操作等方面分解成若干检查项目,编制成表格形式。检查人员对照表格内容逐一排查,判断是否存在安全隐患。在对化工储罐区进行评价时,检查表中会包含储罐的防火间距是否符合要求、防雷接地装置是否完好、消防设施是否齐全等项目。(2)专家评议法。通过组织相关领域的专家,以会议或函询的方式,对化工工艺的安全状况进行讨论和评估。专家们凭借自身经验和知识,分析工艺中存在的风险因素,并提出改进建议。在新型化工工艺研发阶段,邀请工艺、安全、设备等方面的专家对工艺流程设计进行评议,判断其潜在风险。(3)预先危险性分析法。它在化工工艺设计、建设或改造的初期阶段,对系统中存在的危险性类别、出现条件、可能造成的后果进行概略分析。通过识别潜在的危险因素,划分危险等级(一般分为灾难性、危险性、临界性、安全性四个等级),提出相应的防范措施。

4.2 定量评价方法

定量评价方法运用数学模型和计算,对化工工艺的风险进行量化评估,以具体数值表示风险程度,为安全决策提供更精确的数据支持,具体方法如下:(1)道化学火灾爆炸指数法。它以物质系数为基础,结合工艺条件、设备布置等因素,计算火灾爆炸危险指数,进而评估事故的可能财产损失和停产损失。(2)蒙德法。将工艺分为多个单元,分别计算各单元的物质系数、特殊物质危险值、工艺条件危险值等,进而得出火灾、爆炸、毒性危险指数和综合危险指数。在评价含有有毒物质的化工生产装置时,蒙德法能更准确地反映其风险状况。(3)概率风险评价法。通过建立数学模型,计算事故发生的概率和后果严重程度,以风险矩阵等形式展示风险水平。在评价化工管道泄漏风险时,通过统计历史数据和分析管道的腐蚀速率、压力等因素,计算管道泄漏的概率;再结合泄漏物质的毒性、易燃性等,评估泄漏可能造成的人员伤亡和环境影响,最终确定风险等级。该方法科学性较强,但需要大量准确的数据支持,实际应用难度较大。

4.3 综合评价方法

综合评价方法结合定性和定量评价的优点,弥补单

一方法的不足,更全面、客观地对化工工艺安全进行评价,具体方法如下:(1)层次分析法。将与化工工艺安全评价相关的因素分解成目标、准则、方案等层次,通过专家打分等方式确定各因素的权重,再进行定量计算和排序。在评价化工企业的安全管理水平时,将安全管理制度、人员培训、设备维护等因素作为准则层,通过两两比较确定各因素的相对重要性,计算权重,再结合各因素的实际评分,得出综合评价结果。(2)模糊综合评价法。针对化工工艺安全评价中存在的模糊性问题,运用模糊数学原理,将评价指标的模糊性进行量化处理。首先确定评价指标体系和评语集,然后通过专家打分或统计数据确定各指标的隶属度,结合权重计算综合隶属度,从而得出评价结果。(3)灰色关联分析法。通过计算各评价指标与理想指标之间的关联度,对化工工艺安全进行评价。它适用于数据量较少、信息不完全的情况,能够挖掘数据间的潜在关系^[4]。在评价新建设的化工装置安全性能时,由于缺乏历史数据,可采用灰色关联分析法,将装置的设计参数、设备选型等指标与行业内安全性能良好的装置进行关联分析,评估其安全水平。

结速语:本研究系统探讨了化工工艺风险识别与安全评价相关内容,明确了化工工艺特点、风险因素及适用的识别与评价方法。随着化工技术不断创新,新的风险挑战持续涌现。需进一步探索智能化、数字化技术在风险识别与安全评价中的深度应用,加强对新型化工工艺风险的研究,完善全生命周期安全管理体系,提升化工行业整体安全水平,推动化工产业朝着安全、绿色、高效的方向迈进。

参考文献

- [1]陆万杰.化工工艺风险识别与安全评价[J].华东纸业,2024,54(5):26-28.
- [2]朱振尧,朱红玉,朱亚光.化工工艺风险识别与安全评价[J].化工管理,2023(5):152-154.
- [3]张伟莉.化工工艺风险识别与安全评价[J].工程学研究与应用,2023,4(18):33-34.
- [4]牟利元.浅析化工工艺风险识别与安全评价[J].建筑工程技术与设计,2018(22):416-417.