

# 化学工程与工艺中的过程安全评估与风险控制

吴斌星<sup>1</sup>, 滕杰<sup>2</sup>, 胡方川<sup>2</sup>

(1. 山东和兴建筑安装工程有限公司, 山东 滨州 256600;

2. 山东京博中聚新材料有限公司, 山东 滨州 256600)

**摘要** 随着化工产业发展速度不断加快, 化工项目的生产工艺日益复杂, 这在一定程度上加大了安全危险的识别及控制难度。对此, 设计人员需要根据工作经验总结化工工艺设计中的常见危险因素, 并做好危险识别、风险评估等工作。在此基础上, 本文指出需对工艺物料、工艺路线、化学反应装置等工艺进行优化设计, 切实提高化工生产的安全性, 在防范安全事故的同时, 为化工企业创造更高的经济效益。

**关键词** 化学工程; 过程安全评估; 风险控制

中图分类号: TQ0

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.025

## 0 引言

化学工程与工艺涉及复杂的生产流程, 存在诸多潜在风险, 为确保达到操作安全、降低事故概率和防止环境污染等目标, 需要周密的规划和精心的管理, 过程安全评估与风险控制是实现上述目标的关键手段, 通过全面分析生产环节、识别隐患源、量化风险水平以及制定应对政策可以从根本上提高安全性能、优化生产效率。

## 1 化工工艺安全设计中危险因素识别与控制概述

化工工艺安全设计是指企业在从事化工生产的过程中, 利用科学合理的手段和方法规范化工工艺流程、设备、操作方式等方面的程序, 以确保化工生产的安全性, 避免发生安全事故。从本质上讲, 化工工艺安全设计的本意在于保障生产活动的安全性, 避免工作人员受到影响而出现问题。因此, 化工行业可以针对自身经营的范围以及原料的物化性质、存放数量、危险等级等情况, 基于将特定原料加工转化成为产品的目标, 围绕一系列物理或是化学变化的过程设计技术路线, 结合管道工艺、化工反应装置、安全仪表等需求, 对现有的工艺进行优化。为了充分保障化工工艺生产的安全性, 企业应当对各种原材料、产品、设备进行安全监测和管理, 同时做好化工工艺的安全管控工作, 借此识别和规避危险因素, 最大限度地保障化工工艺的使用安全性<sup>[1]</sup>。从实际情况来看, 化工工艺安全设计中危险因素识别和控制工作开展的作用和价值主要有以下几个方面: 一是预防事故发生。化工工艺安全设计中危险因素识别和控制是预防安全事故发生的关键手段。化工企业通过对化工工艺流程和环节、材料和设备、操作程序执行规范性进行分析, 可以发现潜

藏的危险因素, 然后有针对性地进行控制, 从而起到预防安全事故的作用。二是最大限度地保障人员和环境的安全。化工企业需要利用安全规范的化工工艺处理带有安全风险的化学原材料, 还要注意生产环境和条件。无论哪一项出现问题都有可能引发安全事故, 对工作人员和生产环境造成负面影响<sup>[2]</sup>。化工企业通过评估和分析化工工艺存在的风险因素, 制定和执行保护措施, 可以有效降低安全事故发生的概率, 最大限度地保障人员和环境的安全性。三是提升生产工艺的可靠性。化工工艺安全设计中危险因素识别和控制工作不仅可以减少安全事故发生的概率, 也能够提升生产工艺的可靠性。化工企业树立起化工工艺安全设计危险因素识别和控制的观念之后, 就会有目的地选择更加安全的设备和工艺流程, 这在很大程度上可以避免材料和设备使用的过程中出现故障问题, 从而实现提升生产工艺可靠性和稳定性的目标。

## 2 过程安全评估方法

### 2.1 定性风险评估定性

风险评估是化学工程与工艺中评估安全风险初始步骤, 旨在通过非数值的方式识别和分类生产过程中的潜在危害源, 此方法依赖于专业知识和团队合作以确保全面考虑所有相关风险, 安全审查是一种基本的定性评估方法, 通过团队讨论和检查设施的设计、操作以及维护实践来识别可能导致事故的因素。而危害与可操作性研究 (HAZOP) 则通过更加详细和系统地设定假设的偏差, 如流量、压力、温度等参数的增减来分析可能的危害情况, 这种方法可帮助团队预测和评估可能的事故场景, 从而采取相应的预防措施, 定

性风险评估的有效性依赖于参与者的经验和专业知识以及他们对过程安全文化的承诺<sup>[3]</sup>。

## 2.2 定量风险评估

在定性风险评估的基础上，定量风险评估通过应用概率统计模型和事故后果模拟等手段，对事故发生的可能性及其潜在影响进行量化分析，这一步骤是过程安全管理中更为高级的分析，它要求具备较高的技术知识和专业软件工具。故障树分析（FTA）是一种常见的方法，通过构建事故发生的逻辑模型从而计算特定事件发生的概率。而事件树分析（ETA）则从一个初始事件出发。定量评估的结果通常用于决策支持，比如在设计安全系统、规划应急响应和优化操作流程时提供科学依据，这种方法通过将风险量化使得风险管理更加客观、系统和可比较，从而为制定有效的风险控制策略提供了可能。通过结合定性和定量风险评估方法，化学工程和工艺中的过程安全管理可以更全面地识别和控制潜在的安全风险，这不仅有助于预防事故的发生，还能提高整体的生产效率和可靠性，在实践中需要跨学科的合作以及对相关技术和法规的深入了解，确保过程安全评估的有效性和准确性。

## 3 化工工艺安全设计存在的危险因素

### 3.1 化工原料危险

化工工艺生产离不开原材料的施工，但化工原料普遍带有毒性或易燃爆特征的，若未能妥善处理，便可能引发泄漏或者爆炸等安全事故。例如：某些公司为了增快生产速度，提高自身经济效益，不重视化工原料监管，或未详细了解新材料的特性就投入使用，便可能引起安全事故。

### 3.2 反应装置危险

在化工生产中，施工的各项设备常在高温、高压状态下运行，这对设备自身性能、安全系数的要求较高，如化工公司一味追求经济收益，使设备超负荷运行，或未按标准定期检修设备，便会提高事故发生概率。此外，若是设备结构与性能都不能满足预期要求，一样会提高事故发生概率<sup>[4]</sup>。因此，在化工工艺设计过程中，需要对反应装置的设计、使用和维护予以高度重视，严格按照相关标准与规范进行设计和安装，并定期检查和维修，确保反应装置处于最佳状态，最大限度地保障其安全性和稳定性。

### 3.3 设备风险

设备风险是化工工艺安全设计中较为常见的风险因素类型。在化工生产中，不同的化学反应以及生产原料需要使用专门的反应装置和设备，特殊的工艺要

求以及生产流程对化工设备提出了一定的要求。在化工工艺安全设计中，相关人员需要把控化工设备与实际生产活动的适配性，结合具体的工艺流程和操作规范选择更加合适的设备类型，确认设备型号，确保设备的操作特点和生产能力可以满足化工生产的需求，与化学反应保持一致性和协同性。如相关人员未能妥善完成设备选型，导致设备性能与生产要求存在偏差，将会为化工生产埋下隐患。另外，设备的非正常使用、维修保养缺失等均会加剧设备风险。

### 3.4 人为因素操作

人员的培训水平、操作失误以及设备故障等都会引发安全事故。操作人员的安全意识和操作技能直接影响到生产过程的安全性，缺乏充分培训和经验的操作人员，会因误操作、疏忽大意或不遵守安全规程而导致事故发生。化工生产过程中的操作需要严格遵循流程和安全规范。一旦操作人员出现疏忽或失误，如未及时发现设备故障、未按要求调整反应条件，都会增加事故的发生概率。设备的老化、维护不当或设计缺陷也会成为事故的诱因，管道破裂、泵故障、阀门失灵等设备故障，会导致物料泄漏、火灾、爆炸等严重事故。

## 4 化工工艺安全设计中危险因素的解决对策

### 4.1 工艺物料的安全危险识别及控制

在化工生产中涉及的材料和产品多种多样，包括原料、半成品、副产品、中间产品等，这些材料和产品的形态不尽相同，如气态、液态、固态等。由于不同状态下的理化性质不尽相同，所以存在的安全危险也有差异。这就需要化工企业在化工工艺设计中，对工艺物料的安全危险进行精准识别，并采取有效措施控制。在具体实施中，首先，要对化工生产中使用的各种物料性质进行深入分析，包括物理状态、化学稳定性、易燃易爆性、有毒有害性等，这也是精准识别危险源的重要基础。其次，对工艺条件进行考量。也就是结合物料性质，分析其在不同温度、压力、流量等工艺条件下存在的安全隐患。尤其要关注反应速度加快、临界点等可能引发安全事故的条件变化。最后，结合以往生产经验和典型事故案例，对引发事故的原因进行分析，识别类似工艺条件下工艺物料可能存在的安全隐患，进而做到举一反三，防患于未然。想要从源头控制工艺物料的安全危险，就要优化工艺设计，也就是在化工工艺设计阶段对物料安全性进行综合考量，采用先进工艺技术尽可能降低危险物料的用量，并对反应条件进行优化，尽可能降低事故发生率。

同时,在化工工艺设计中,还要合理选择设备类型,保证符合安全标准,对于易泄漏、易爆炸等高风险部位,采取特殊防护措施<sup>[5]</sup>。与此同时,为了降低工艺物料在操作过程中的安全隐患,需要优化操作流程,加强操作者培训教育,保证其熟练掌握化工工艺操作流程,并严格执行。

#### 4.2 化学反应装置的安全性控制

反应装置的选型和操作不当容易引发安全事故。在反应装置的选择和操作方面,工程师需要对反应过程的各个阶段进行全面评估,包括反应物性能、反应条件、反应中可能发生的副反应等因素,以便制定出合理的操作方案。这样可以最大限度地保证反应装置的操作安全、可靠,避免设备损毁,防止发生意外事故。另外,设计者需要全面分析化学反应过程中的各种要素,并制定合理的安全保障计划,包括对反应装置的维护、保养、维修、检测、危险预警等方面的措施。在挑选设备型号与种类时,必须要分析设备与工艺之间的适配性、使用期间的安全性等,并结合工艺和产品特征选择合适的设备。在挑选反应装置时,需要根据化学反应的具体要求,充分考虑其适应性、安全性、经济性等因素,实现高质量、低成本的生产目标。

#### 4.3 重视设备维修保养

设备是支撑化工生产高效进行的重要因素,出现风险因素的可能性较高。相关人员在化工工艺安全设计中需要加强设备管理,关注设备的维修和养护情况,将化工生产设备的性能水平维持在最佳状态,延长设备的使用寿命,保证化工生产的质量。相关人员需要建立设备使用制度,禁止生产人员随意使用化工设备。确需使用的情况下,需要向管理人员说明情况,经过管理人员的同意和准许后使用设备,并严格按照设备的操作方法和使用规范开展化工生产。由于化工生产涉及多种类型的设备,应当落实专人专管制度,并进行相应的岗前培训,增强设备管理工作的科学性和专业性。化工设备在生产过程中产生了一定的老化和磨损,相关人员需要定期检查化工设备的基本情况,更换老化破损严重的零部件,维修出现问题的部位,避免小问题发展成严重的设备缺陷,使化工设备得以正常运行,保障化工生产的顺利进行<sup>[6]</sup>。

#### 4.4 注重防护安全问题,营造良好的化学反应环境

原料泄漏会引发严重的生产安全问题,从成因上来看,原料泄漏多是由于原料条件、环境因素以及人工操作因素等引发的安全风险问题。当原料泄漏之后,如果现场安全防护设施不完善,那么就会引发中毒、

火灾等一系列安全风险问题。为加强对上述安全风险的化解防范,设计人员必须重点关注防护安全问题。通过营造良好的化学反应环境,及时消除各种危险因素。常见安全防护设施主要以人身安全、呼吸及声音等防护设施为主。具体而言,化工企业生产现场需要严格要求化工生产人员配备防化服、防护面具、呼吸机、防护鞋等。同时,生产现场还需要配备质量达标的消防安全设施,如灭火器、气体检测器等。一旦发生突发事件,可利用上述仪器设备及时应对,最大限度地保护人员生命财产安全与环境安全。

#### 4.5 保障管道安全品质

化工生产管道安全管理十分关键,可避免发生泄漏问题,引发各类安全事故。因此,在化工工艺安全设计过程中,要综合考虑管道材质和使用性能,分析其是否符合化工物料的运输要求,并进行全方位的安全管控,保证化工物料运输的安全可靠性。在设计过程中,应强调管道材料的选择,关注其抗爆性、耐腐蚀性、耐火性等。同时,在设计管道转弯、接头位置的过程中,要重点进行危险防范,制定相应的措施,避免发生泄漏问题。此外,还要做好管道的定期检查,及时发现问题,立即更换,避免泄漏化学物质,保障管道安全品质。

### 5 结束语

过程安全评估与风险控制对化学工程与工艺至关重要,涉及定性定量风险评估、危害分析、事故预防、应急管理、工程控制以及管理体系建设等多方面内容,通过有效实施相关措施,可以最大限度地消除安全隐患、降低事故概率、提高生产效率、减少人员和环境损害,从而促进化学工程行业的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 王慧芳,崔晓静,白雪丽.基于“安全稳定”思路的有机化学教学:以化学工程与工艺专业为例[J].产业与科技论坛,2023,22(17):127-130.
- [2] 崔欣然.化学工程设计中存在的安全问题与解决策略[J].化学工程与装备,2023(06):268-269,230.
- [3] 刁丽华,王军伟.化学工程中化工生产工艺的分析[J].化工管理,2022(15):140-143.
- [4] 张壮.化学工程与工艺设备的安全性探讨[J].化工管理,2021(06):94-95.
- [5] 张咏刚.浅谈化工工程设计中存在的安全问题与解决措施[J].化工管理,2020(17):208-209.
- [6] 张有政.化工工程设计中影响安全问题的因素分析及解决对策[J].化工设计通讯,2020,46(03):213-214.