

## 化工生产中的风险识别与防控研究

唐 珊

江西省化学工业设计院, 江西 南昌 330001

**[摘要]**化工生产具有高温高压、易燃易爆、有毒有害等特点, 风险识别与防控是预防事故、保障安全生产的核心环节。在梳理化工生产风险相关理论的基础上, 系统分析设备设施与工艺过程两类主要风险的特征, 构建涵盖风险源辨识、评估、预警及动态更新的风险识别体系, 并从设备运行、工艺操作、人员培训及应急处置四个方面提出防控措施优化路径。系统化的风险识别与精准化的防控措施相结合, 能够有效提升化工生产的安全管理水平, 降低事故发生率。

**[关键词]**化工生产; 风险识别; 风险防控

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20029

中图分类号: TQ086

文献标识码: A

## Research on Risk Identification and Prevention in Chemical Production

TANG Shan

Jiangxi Chemical Industry Design Institute, Nanchang, Jiangxi, 330001, China

**Abstract:** Chemical production has the characteristics of high temperature and high pressure, flammability and explosiveness, toxicity and harm. Risk identification and prevention are the core links to prevent accidents and ensure safe production. On the basis of sorting out the relevant theories of chemical production risks, this paper systematically analyzes the characteristics of the two main risks of equipment and facilities and process, constructs a risk identification system that covers risk source identification, assessment, warning, and dynamic updates, and proposes optimization paths for prevention and control measures from four aspects: equipment operation, process operation, personnel training, and emergency response. The combination of systematic risk identification and precise prevention and control measures can effectively improve the safety management level of chemical production and reduce the incidence of accidents.

**Keywords:** chemical production; risk identification; risk prevention and control

### 引言

化工产业是国民经济的支柱产业, 化工生产的反应过程复杂, 温度压力高, 大量使用危险化学品, 安全问题一直存在。化工生产过程由于涉及复杂的物质转化和能量传递, 生产原料、中间产物以及最终产品中超过 70% 具有易燃、易爆、腐蚀性或者毒性等危险特性, 如果在储存、运输、使用过程中缺少相应的管控措施, 就很容易造成安全事故的发生。由于化工生产过程工艺复杂、操作条件严格, 且经常有高温高压、有毒有害物质存在, 因此该行业属于工业领域安全风险较高的一类。近些年来, 国内、外化工安全事故接连发生, 给人们的生命安全和财产安全带来了极大的危害。因此, 对化工生产中各种风险源进行系统的识别, 并对其风险等级和演化趋势进行科学的评价, 建立多层次、立体化的防控体系, 已经成为学术界和工程界共同研究的核心问题。

### 1 化工生产风险识别与防控相关理论概述

化工生产风险识别与防控的理论基础主要是安全系统工程、风险管理理论和事故致因理论。安全系统工程把系统分析的方法应用到安全生产领域, 从整体的角度来识别生产系统中各个要素之间相互作用的关系。风险管理理论给化工风险识别赋予了从风险源辨识、风险评价到风险控制的全部逻辑链条, 其关键之处在于依靠系统化的办法找出可能存在的危险源, 评判风险程度, 并且制定相应的措施把风险控制在可接受范围之内。

事故致因理论给认识化工事故发生机理赋予了关键视角。化工生产过程中的事故成因机理比较复杂, 所以风险识别不能只停留在单个故障上, 应该发展成系统的、动态的风险分析方式。在此背景下, 重大危险源辨识理论成为化工风险管理的重要内容之一, 重大危险源是指长期或者临时从事危险物质的生产、搬运、使用或者储存, 且数

量达到或者超过临界值的场所和设施。HSE 管理体系就是健康、安全、环境一体化管理的一种先进的管理模式,它把机构设置、职责划分、管理方法、流程设计、资源配置等有机地结合在一起,形成一个动态的、不断完善的过程。上述理论有机地结合在一起就形成了本文的理论框架基础。

## 2 化工生产风险的主要类型及特征分析

### 2.1 设备设施风险识别

设备设施属于化工生产中的物质基础,其是否完整会直接影响到工艺的安全性。设备设施风险在反应器、储罐、管道、泵阀等各种设备上都有存在。反应釜风险识别要点有减速机噪声异常、机封缺油、垫圈泄漏、防静电接地线断开、安全阀未年检或泄漏、温度计和压力表超期未检定、重点反应釜没有双套温度压力显示记录报警、爆破片到期未更换、装料量超过规定限度等超负荷运转情况。贮槽和罐区也存在着很多风险点,液位计模糊或者损坏、静电接地线松动或者未连接、法兰垫片处泄漏、常压贮槽带压使用、危险品罐区围堰孔洞未封堵、防护堤封堵不严密、通向排水管的截止阀处于常开等不安全状态。管道系统中管道安装完毕后内部焊渣等异物未清理、视镜玻璃不清洁或者损坏、防静电接地线损坏、高温管道未保温、管道物料和流向标识不清等问题同样不能忽略。上述设备设施隐患常常彼此联系,一个设备出现故障,就会经由管道的联系把整个生产单元牵涉进去,从而造成连锁事故。

### 2.2 工艺过程风险识别

工艺过程风险是由于化学反应的本质特点和操作条件的极端性而产生的。化工、石油化工工艺过程危险因素识别要重点考虑以下情况,存在不稳定物质的工艺过程;放热的化学反应过程;含易燃物料并处在高温高压环境下运行的工艺过程;爆炸极限范围内的或者接近爆炸性混合物的工艺过程;产生尘雾爆炸性混合物的工艺过程;有剧毒高毒物料的工艺过程;储有压力能量大的工艺过程。化工工艺风险辨识分为定性和定量两种方式,其中危险和可操作性研究以及故障类型与影响分析是使用最多的方法,危险和可操作性研究是从工艺出发,利用系统的引导词分析来识别工艺偏差及其可能产生的结果。从工艺参数控制角度来讲,工艺过程参数很难得到严格的控制,并且可能会导致事故的发生,这些情形包括那些会使危险有害物质的防护状态遭到破坏或者损害的工艺、存在产生电气

火花或静电及其他明火作业的工艺、造成设备可靠性下降的工艺过程如低温高温振动、循环负荷疲劳影响等。

## 3 化工生产风险识别体系构建与实施要点

### 3.1 风险源辨识与分类管理

风险源辨识属于风险识别体系的基础部分,主要目的在于对化工生产过程中的全部危险源进行识别。按照危险源理论,化工企业的风险源可以分为第一类危险源(可能会意外释放的能量或者危险物质),也可以分为第二类危险源(造成约束能量或者危险物质措施失效的因素)。重大危险源的辨识有明确的量化标准,储罐区或者库区内某种危险物质的储存量达到或者超过其规定的临界值,或者存放多种危险物质且符合特定计算公式标准时,应当认定为重大危险源。该种量化标准使得企业可以对众多的风险点进行筛选,从而找到主要的监管对象,不会出现资源分散的情况。从实践角度来讲,辨识工作要经过全面初筛、重点核实、分类建档、定期复审这四个环节来保证风险源台账不遗漏、不死角。

分类管理属于提高风险识别效率的方法之一。不同的风险源所采取的管理方式也不同,能量型风险源(高压容器、高温反应器)主要是对能量隔离和泄放措施的可靠性进行管理,物质型风险源(易燃、有毒物料储存区)主要是对泄漏控制和浓度监测进行管理,失效型风险源(设备腐蚀、密封老化)主要是对检测频率和预警阈值进行设定<sup>[1]</sup>。化工企业应对重大危险源区域和高风险作业点设置明显的警示标志,引导作业人员严格按照安全规范操作,在维修、检修、吊装等作业现场设置警戒线、安全标志和辅助设施,创建起标准化的作业环境,对高危岗位进行明显的标注并设置警示标识,全面地告知潜在的危害信息。分类分级管理使企业把有限的安全资源用在最重要的地方,达到风险管理精准化的目的。

### 3.2 风险评估方法与等级划分

风险评估是联系风险辨识和风险控制的纽带,它的作用就是确定风险的等级并制定出相应的控制措施。危险度取值法是化工及石油化工工艺过程和储存系统安全评价的定量方法,该法规定单元危险度由物质、容量、温度、压力、操作 5 个项目来确定,危险度分别用 A=10 分、B=5 分、C=2 分、D=0 分赋值计分,由各分数之和确定危险等级,≥16 分是具有高度危险的单元,11~15 分为中度危险,≤10 分为低危险度单元。

表 1 某炼油厂主要单元危险度取值法评价结果

| 单元类型    | 物质 | 容量 | 温度 | 压力 | 操作 | 总分 | 危险等级 |
|---------|----|----|----|----|----|----|------|
| 催化裂化反应器 | 10 | 10 | 10 | 5  | 5  | 40 | 高度危险 |
| 常减压塔    | 5  | 10 | 10 | 2  | 2  | 29 | 高度危险 |
| 加氢精制反应器 | 10 | 5  | 5  | 10 | 5  | 35 | 高度危险 |
| 成品油罐区   | 5  | 10 | 0  | 0  | 2  | 17 | 高度危险 |
| 中间原料罐区  | 5  | 5  | 0  | 0  | 2  | 12 | 中度危险 |

危险度分值大于 14 的各个单元应该再做火灾爆炸危险指数评价,从而得到更加准确的风险评价结果。除了危险度取值法以外,HAZOP 分析、保护层分析、领结分析法等也对化工风险评价起着重要的作用。

### 3.3 风险监测预警机制建设

风险监测预警机制是把被动应对转变为主动防御的环节。动态事故预警技术对于事故预防、安全管理提升有着重要的意义,把动态预警系统融入进去之后,就可以把事故预防的重点由被动的应急管理转变为主动的风险监控和缓解,进而达成从静态安全管理到动态管理框架的转变<sup>[2]</sup>。根据风险熵的动态风险感知和预警模型,用多种信息融合的方式建立常规参数监测和风险态势感知相结合的双模协同预警系统,可以对目前的状态进行客观评价,并预测风险态势的变化趋势。在实际使用中需要保证工艺报警、安全报警指标阈值设置与工艺操作指标一致,避免由于工艺指标超出范围而没有报警、安全指标超出范围而不能联锁的情况发生;健全完善报警管理制度,系统出现工艺报警、安全报警的要逐个分析原因,严禁草率消警。智能监控技术的应用使预警能力得到加强,布设在厂区的传感器、监控等智能化设备可以及时采集到温度、压力、气体浓度等数据,然后利用算法对这些数据进行分析研判,在事故隐患还没有形成之前发出预警。

### 3.4 风险识别结果动态更新管理

风险识别不是一个一次性的工作,它是不断动态的。原料变更、工艺改变、设备改造等都会引起风险状况的变化,所以要创建起风险识别结果的动态更新机制。健全完善联锁管理制度,定期检查各种联锁的投用情况,严禁未经风险评价和批准就拆除联锁。动态更新管理要建立风险识别台账制度,确定定期复审周期,建立变更管理流程,任何工艺变更、设备改造都必须重新进行风险识别,把事故教训变成风险识别知识<sup>[3]</sup>。常态开展设备、管道、密封件完整性巡查,特别是对高温、高压、深冷设备密封是否失效或者泄漏进行检查;定期对易发生腐蚀、冲刷减薄的设备、管道部位进行检测,早发现、早处理风险隐患。

## 4 化工生产风险防控措施优化研究

### 4.1 设备运行安全防护措施

设备运行安全属于化工风险控制的第一道防线。设计阶段要遵循本质安全的思想,在管道安装完成后清理内部的焊渣等杂物,选择视筒材料时要考虑耐压、耐高温性能的要求,防止视筒破裂或者长时间带压使用。在维护管理上要创建设备全生命周期管理机制,就防静电接地线损坏、安全阀未年检、温度计压力表超期未检定、爆破片到期未更换等状况展开定时排查并加以整改。状态监测技术应用可以明显提高设备运行可靠性,重点反应釜必须设置双套温度、压力显示记录报警装置,存在爆炸危险的反应釜必须装设爆破片。

### 4.2 工艺操作风险防控措施

工艺操作风险防控的关键就是创建科学的操作规程和严格的参数控制体系。在役装置未经正规设计和依法审查,不得擅自改变主要技术、工艺路线、工艺配方、产品方案或者主要装置规模和功能布局。对存在放热化学反应过程、含有易燃物料并处于高温高压条件下工作的工艺过程等高危工艺,应该采取更严格地控制措施。物料管理上要按照设计评价的要求进行存放,储存易燃易爆等桶装物料的仓库必须保证通风、降温、防晒、防雷、防静电设施完好有效;高温易分解自聚的危化品要单独建账并严格执行低温储存措施。

### 4.3 人员安全管理与培训措施

人为失误是化工事故的常见原因,加强人员安全培训可以有效地降低人为失误的风险。健全安全教育制度属于提升化工企业安全管理水平的关键手段,要创建起科学的管理架构,明晰各级人员的安全责任,加强安全教育培训,包括新员工入职培训、定期复训和特种作业培训,保证作业人员具备必要的安全技能。在培训体系建设上应该建立公司工厂装置三级培训体系,公司级培训以管理层的统筹把控能力为主,工厂级培训以专业协同为主,装置级培训以一线实操需求为主。除此之外,加强个体防护教育,规范防护用品的使用方法,提高员工的安全意识和应急处理能力,通过定期开展班组安全活动,学习有关法规制度及

典型案例，全面推进安全管理目标的实现。

#### 4.4 应急处置与事故预防机制完善

应急处置属于风险防控的最后一道防线。应急安全管理中采用 PDCA 循环管理模式可以达到风险动态预测、精准防控的目的，消除隐患。应急管理体系建设应包含化工行业泄漏、火灾等危险因素所对应的防护措施规范制定与执行，管理贯穿于化工作业的全过程之中，并且要建立良好的应急预案，在发生事故的时候可以迅速地启动应急响应程序。应依靠管理机制全方位地识别出可能存在的危险源，制定包含事故预防、应急响应、监测评价、现场恢复等各方面内容的综合方案，并且定期开展实战演练，切实提高员工的应急处置能力；加强同周边企业以及政府部门的协作配合，不断改进企业的综合应急处理水平。必须严格执行作业安全风险分析、作业审批、检测分析、专人监护等防范措施，严格实行节假日及特殊时期动火作业升级管理。

#### 5 结语

化工生产风险识别和防控属于一项繁杂的系统工程，牵涉到物料、设备、工艺、人员、管理等诸多要素的相互影响。研究表明，化工风险防控正在发生由单点防控向系统防控、由经验决策向数据驱动、由被动响应向主动预警

的范式转变。从识别的角度来说，危险度取值法、HAZOP 分析等传统的识别方法还在被广泛使用，但是以风险熵为基础的动态预警模型、AI 智能监测等新技术正在扩大风险识别的深度和广度。从防控角度来讲，本质安全设计、过程控制改善、智能监测预警以及管理体系加强这四个层次相互配合，就形成了一个多层次立体化的防控体系。面向未来要推进识别方法的智能化，用大数据、人工智能等技术提高风险识别的准确性，加强防控策略的精准化，根据不同的工艺特点制定不同的防控方案，促进管理体系的系统化，形成闭环管理机制，给化工行业的可持续发展提供强有力的保障。

#### [参考文献]

- [1]李玉静,高建村,王薇,等.化工工艺安全风险辨识研究进展[J].北京石油化工学院学报,2022,30(2):52-58.
- [2]宋超.守护化工生命线:化企危险源精准管控与 HSE 体系升级路径研究[J].中国石油和化工,2025(5):73-75.
- [3]陈燕霞.化工工艺设备安全保障措施分析[J].石化技术,2024,31(6):58-60.

作者简介：唐珊（1995—），女，汉族，江西省赣州人，本科，任职于江西省化学工业设计院，研究方向为化学工程与工艺。