

石油化工企业安全评价技术

钱 虎

张家港市泰格科技有限公司 江苏 苏州 215000

摘要：石油化工行业作为国民经济的支柱产业，具有高温、高压、易燃、易爆、有毒有害等显著特点，生产过程复杂且风险极高。安全评价技术是保障石油化工企业安全生产的关键手段，贯穿于项目规划、建设、运营等全生命周期。本文深入剖析石油化工企业安全评价技术的内涵、分类与重要意义，详细阐述危险与可操作性分析（HAZOP）、故障树分析（FTA）、事件树分析（ETA）、安全检查表法（SCL）等主流评价方法的原理、实施流程与应用实例，探讨当前安全评价面临的挑战，并提出针对性的改进策略，旨在为石油化工企业提升安全管理水平、防范事故发生提供全面、深入的理论支撑与实践指导。

关键词：石油化工企业；安全评价技术；风险防范；安全生产

引言：石油化工产业在能源供应、材料制造等诸多领域扮演着举足轻重的角色，为社会经济发展注入强劲动力。然而，其生产工艺复杂，涉及大量易燃易爆、有毒有害的化学品，且生产装置规模庞大、连续化作业程度高，一旦发生安全事故，后果不堪设想。从火灾、爆炸引发的人员伤亡、财产损失，到有毒物质泄漏对生态环境造成的长期破坏，以及由此引发的社会不稳定因素，都警示着石油化工企业安全生产的极端重要性。安全评价技术作为预防事故发生的前沿防线，通过对企业生产系统中的潜在危险因素进行系统识别、科学分析与量化评估，能够提前预警风险，为制定合理有效的安全对策提供依据。深入研究与精准应用安全评价技术，是石油化工企业实现安全发展、可持续发展的必由之路，对保障员工生命安全、维护企业经济效益与社会稳定具有深远意义。

1 石油化工企业安全评价技术概述

1.1 内涵与目的

石油化工企业安全评价技术是以系统工程、安全科学等理论为基础，综合运用多种方法，对石油化工生产系统的设计、施工、运行、维护等全过程进行危险有害因素辨识，分析事故发生的可能性及其后果严重程度，进而提出针对性的安全防范措施，实现风险控制的技术手段。其核心目的在于预先发现系统中的安全隐患，量化风险水平，为企业安全生产决策提供可靠依据，确保企业在可接受的风险范围内运行，保障人员、财产与环境安全。

1.2 分类与适用范围

依据评价阶段与侧重点不同，安全评价技术可大致分为三类：一是预评价，主要应用于项目建设前期规划

阶段。它基于可行性研究报告、工艺流程图等资料，运用预先危险性分析（PHA）等方法，识别项目潜在的危险因素，预测事故可能性与危害程度，为项目选址、工艺选型、平面布局等提供安全决策依据，避免先天性安全缺陷，从源头降低风险。例如，在新建炼油厂项目规划时，通过PHA分析原油蒸馏、催化裂化等工艺环节可能出现的高温超压、物料泄漏等危险，提前优化设计方案。二是验收评价，在项目竣工、试运行结束后开展。此时，依据设计文件、施工记录、试运行情况，采用安全检查表法等全面检查项目安全设施“三同时”落实情况，即安全设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用，确保项目达到安全生产条件。如某石化装置建成后，验收评价团队对照检查表逐项核查消防系统、紧急切断装置、通风设施等是否完备有效。三是现状评价，针对已投产运行的石油化工企业定期进行。它综合运用多种方法，如危险与可操作性分析（HAZOP）、故障树分析（FTA）等，对企业当前生产运行状态下的安全状况进行全面评估，查找新出现的安全隐患，评估风险变化，以便及时调整安全管理策略、更新安全技术措施，保障企业持续安全生产。像运行多年的老化工企业，每年进行现状评价，根据评价结果维修老化设备、优化操作流程^[1]。

2 石油化工企业常用安全评价技术方法

2.1 危险与可操作性分析（HAZOP）

HAZOP是一种基于团队合作、系统导向的定性安全评价方法。它以工艺流程图（PFD）和管道及仪表流程图（PID）为基础，将工艺过程分解为若干节点，由引导词（如“无”“过量”“反向”等）与工艺参数（如温度、压力、流量等）组成偏差，针对每个偏差，组织工

艺、设备、仪表、安全等专业人员,运用头脑风暴法,分析可能导致偏差的原因、产生的后果以及现有安全措施的有效性,并提出改进建议。以乙烯生产装置为例,在对裂解炉进行HAZOP分析时,针对“反应温度过高”这一偏差,原因可能包括燃料气流量调节阀故障全开、裂解炉烧嘴结焦导致热传递异常等;后果是乙烯产品收率下降、炉管结焦加剧甚至烧穿引发火灾爆炸;现有安全措施如温度高高报警、联锁切断燃料气供应等,经分析若发现联锁响应时间过长,改进建议可为优化联锁逻辑、增加备用冷却系统,确保在异常时能迅速控制温度,防止事故扩大。

2.2 故障树分析(FTA)

FTA是一种演绎推理的定量分析方法,从事故结果(顶事件)出发,层层追溯事故发生的原因,通过逻辑门(与门、或门等)将各事件连接成倒立的树状图形。它首先确定顶事件,如化工储罐爆炸,然后分析导致顶事件发生的直接原因,如易燃液体泄漏、点火源存在,再进一步剖析这些原因的下一级原因,如储罐腐蚀穿孔、阀门密封失效导致泄漏,电气故障、明火作业产生点火源,直至找出基本事件(不能再分解的原因)。运用布尔代数等数学方法对故障树进行量化计算,可得到顶事件发生的概率,以及各基本事件对顶事件的重要度排序。在苯乙烯储罐区安全评价中,通过构建故障树计算储罐爆炸概率,发现储罐腐蚀防护失效是关键因素,基于此,企业可针对性加强储罐腐蚀监测、定期防腐维护,优先降低高重要度因素风险,提高储罐区安全性^[2]。

2.3 事件树分析(ETA)

ETA与FTA相反,是一种从初始事件出发,按时间顺序逐步分析事件发展可能导致的各种结果的归纳推理方法。初始事件通常为系统故障、人为失误或外界干扰等,如化工泵突然故障停机。以该事件为起点,考虑后续不同的安全防护系统响应情况(成功或失败),如备用泵能否自动启动、联锁装置是否正常工作,依次分析每种情况下产生的中间事件与最终后果,如备用泵启动成功则维持生产,若备用泵启动失败且联锁未切断物料,可能导致物料泄漏引发火灾爆炸。通过事件树分析,可清晰展示事故发展路径,计算不同后果发生的概率,为制定应急预案、优化安全防护系统提供依据。在某石化厂加氢装置紧急停车系统评价中,以反应器温度失控为初始事件,经ETA分析发现,若紧急冷却系统失效且泄压阀堵塞,将大概率引发严重爆炸事故,促使企业加强这两个关键安全系统的维护管理,提升应急处置能力。

2.4 安全检查表法(SCL)

SCL是一种基于经验、系统全面的定性评价方法。它将石油化工生产系统按设备设施、工艺过程、作业环境等分解为若干检查项目,针对每个项目,依据法规标准、行业规范、事故案例等,编制包含检查内容、检查标准、检查方法、合格判定准则等信息的检查表。评价人员对照检查表,通过现场观察、测量、查阅资料等方式逐一检查,标记不符合项并提出整改建议。在对石油化工企业的装卸区进行评价时,检查表涵盖鹤管密封性、静电接地电阻、防火堤完整性等内容,若检查发现某鹤管连接处密封垫片老化,判定为不合格,要求立即更换,确保装卸作业安全。该方法简单易行、覆盖面广,广泛应用于各类安全评价项目的初步筛查与日常安全检查。

3 石油化工企业安全评价技术应用面临的挑战

3.1 技术更新滞后

石油化工行业发展迅速,新工艺、新技术、新材料不断涌现,如页岩气开采、煤制油化工一体化、高性能聚烯烃新材料合成等。然而,与之相匹配的安全评价技术更新速度较慢,部分传统评价方法难以适应新型工艺复杂的反应机理、特殊的物料特性与全新的设备结构,无法精准识别潜在风险。例如,在微通道反应器应用于精细化工合成的项目中,传统基于大型反应釜的HAZOP分析方法难以有效剖析微通道内复杂的流体力学、传热传质变化引发的危险,导致评价结果存在偏差,给安全生产埋下隐患^[3]。

3.2 数据质量欠佳

安全评价依赖大量数据支撑,包括物质危险特性数据、设备可靠性数据、事故统计数据等。但目前石油化工企业数据收集、整理与共享存在诸多问题,一方面,企业内部数据分散于不同部门,缺乏统一的数据管理平台,数据格式不统一、准确性差,如设备运行记录填写随意,维修数据缺失关键信息;另一方面,行业内数据共享机制不完善,企业间出于竞争、保密等因素,不愿共享事故案例、工艺参数等敏感数据,使得安全评价可参考的数据样本有限,影响评价模型准确性与可靠性,难以真实反映行业整体风险水平。

3.3 评价人员专业素养参差不齐

安全评价工作要求评价人员具备跨学科知识体系,涵盖化工工艺、机械工程、自动化控制、安全工程、数理统计等多领域。但现实中,部分评价人员专业背景单一,对复杂化工工艺理解不深,在运用HAZOP、FTA等方法时,无法深入分析工艺偏差背后的深层次原因,或在故障树构建中遗漏关键事件,导致评价结果片面。此外,

一些评价人员缺乏实践经验，对现场设备运行状况、实际操作流程了解不足，提出的安全措施脱离实际，难以有效落地实施，影响安全评价工作质量与效果。

4 石油化工企业安全评价技术的改进策略

4.1 融合新兴技术

积极引入大数据、人工智能、物联网等新兴技术助力安全评价技术革新。利用大数据技术收集、存储、分析海量石油化工数据，包括实时生产数据、历史事故数据、设备全生命周期数据等，通过数据挖掘算法发现隐藏在数据中的风险关联模式，为传统评价方法提供精准的数据支持，如基于大数据分析优化HAZOP分析中的偏差筛选与原因推断。借助人工智能算法，如深度学习神经网络，自动识别化工工艺流程图中的关键设备、物料流向，辅助构建故障树、事件树，提高分析效率与准确性；利用物联网技术实现设备设施实时状态监测，传感器采集温度、压力、振动等数据，远程传输至监控平台，一旦数据异常，自动触发预警，为安全评价提供动态实时信息，及时发现潜在故障隐患，实现安全评价从静态向动态转变^[4]。

4.2 构建高质量数据库

企业内部应建立统一的安全管理信息系统，整合生产、设备、安全、环保等部门数据，规范数据录入格式与标准，运用数据清洗、校验算法保证数据准确性，实现数据集中管理与共享。行业协会、科研机构应发挥牵头作用，搭建石油化工行业安全数据共享平台，制定数据共享规则，鼓励企业在脱敏处理后上传工艺参数、事故案例、设备失效数据等，平台对数据进行分类整理、分析挖掘，形成权威的行业安全数据库，为各类安全评价方法提供丰富、可靠的数据资源，推动行业整体安全评价水平提升。

4.3 加强人才培养

高校应优化安全工程等相关专业课程设置，增加石油化工工艺、先进自动化控制技术等跨学科课程，培养复合

型人才；企业与高校、专业培训机构联合开展在职培训，针对不同层次评价人员设计培训课程，新手侧重基础评价方法、法规标准学习，老手重点加强新兴技术应用、复杂案例分析培训；建立安全评价人员资格认证与继续教育制度，定期考核，要求评价人员持续学习新知识、新技能，确保其专业素养与行业发展同步；鼓励评价人员参与实际项目锻炼，深入石油化工现场，熟悉设备运行、操作流程，积累实践经验，提高解决实际问题能力，打造一支高素质、专业化的安全评价人才队伍，为精准、高效开展安全评价工作提供人力保障^[5]。

结论：石油化工企业安全评价技术作为保障安全生产的核心工具，涵盖多种方法且各有优劣，贯穿企业全生命周期，对预防事故、降低风险具有不可替代作用。当前，虽面临技术更新、数据质量、人才素养等挑战，但通过融合新兴技术、构建数据库、加强人才培养等改进策略，有望突破困境。未来，随着科技进步与行业发展，安全评价技术将持续创新优化，为石油化工企业筑牢安全防线，助力其在保障安全前提下实现高质量、可持续发展，为国民经济稳定增长贡献力量，同时守护生态环境与社会和谐稳定。

参考文献

- [1]李华, 王强. 石油化工企业安全评价技术方法及应用研究[J]. 化工安全与环境, 2024,37(23):12-16.
- [2]张敏, 刘勇. 基于大数据的石油化工企业安全评价技术创新探讨[J]. 石油化工技术与经济, 2024,30(04):22-26.
- [3]陈晨, 赵辉. 危险与可操作性分析在石油化工企业安全评价中的实践[J]. 化工自动化及仪表, 2024,51(07):735-740.
- [4]孙健, 马云飞, 李阳等. 石油化工企业智能化安全评价技术研究与展望[C]., 2024:435-440.
- [5]王雪, 张宇, 陈亮等. 基于风险矩阵的石油化工企业安全评价技术优化[C].2024:221-226.