

化工生产流程中 HAZOP 安全评价技术应用及对行业经济发展影响

赵 培 (安徽祥源科技股份有限公司, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 随着化工行业的快速发展, 生产流程的安全性问题日益凸显。化工生产过程中涉及大量易燃、易爆、有毒有害物质, 如果发生安全事故, 将会威胁到人员生命财产安全。文章介绍 HAZOP 技术的基本原理和分析步骤, 详细探讨其在化工生产流程中的具体应用, 关注 HAZOP 评价技术的发展趋势, 强调其在提升化工行业生产安全水平、实现企业经济效益方面发挥的重要作用。本研究为化工企业提供实用的安全评价方法, 也为相关领域的研究人员提供参考和借鉴。

关键词: 化工生产; HAZOP; 安全评价; 技术应用; 经济发展

0 引言

HAZOP 安全评价技术, 即危险与可操作性分析, 对预防化工事故意义重大, 传统人工评价方式耗时耗力, 成本高昂。因此, HAZOP 安全评价技术通用性强、分析能力出色, 相比人工专家系统, 成本更低、资源消耗更少, 且分析结果更具系统性和条理性。随着工业发展, 现代化工企业业务越发复杂, 历史上曾发生多起严重事故, 如火灾、有毒物质泄漏等。为此, 我国出台《安全生产法》等相关法规, 保障化工安全生产。但复杂系统安全评价面临诸多难题, 传统人力评价难以处理海量数据, 易出现漏评, 讨论过程也存在不规范等问题。

1 HAZOP 安全评价技术基础

1.1 HAZOP 安全评价技术概述

HAZOP 安全评价技术, 全称为危险与可操作性分析技术, 是一种用于识别和评估化工等复杂系统潜在

危险的重要手段^[1]。该技术的核心在于通过系统地分析工艺过程中的各个环节, 识别出可能出现的偏差及其产生的原因、后果, 进而采取针对性措施预防事故发生。它基于引导词的方法, 对系统中的参数如流量、压力、温度等进行逐一审查。为精准划定分析范围、规避分析偏差, 可借助引导词来查找偏差, 具体引导词详见表 1。

HAZOP 评价通常由多学科专业人员组成的团队协作完成, 成员包括工艺工程师、安全专家、操作人员等, 不同专业背景的人员从各自角度提出见解, 共同保障分析的全面性与准确性。其评价过程包括确定分析节点、选择合适引导词、识别偏差、分析偏差原因与后果等关键步骤。通过这种严谨的分析流程, HAZOP 安全评价技术能有效发现潜在的安全隐患, 在化工、石油、天然气等行业广泛应用, 为保障生产系统的安全稳定运行。

表 1 HAZOP 的引导词与含义

引导词	含义
NONE(空白)	设计或操作要求的指标和事件完全不发生, 如无流量
MORE(过量)	与标准值相比, 数值偏大, 如温度、压力、流量等数值偏高
LESS(减量)	同标准值相比, 数值偏小, 如温度、压力、流量等数值偏低
AS WELL AS(以及)	在完成既定功率的同时, 伴随多余事件发生, 如物料在输送过程中发生组分及相关的变化
PART OF(部分)	只完成既定功能的一部分, 如组分的比例发生变化, 无某些组分
REVERSE(相反)	出现和设计要求完全相反的事或物, 如物体反向流动, 加热而不是冷却, 反应向相反的方向进行
OTHER THAN(异常)	出现和设计要求不相同的事或物, 如发生异常事件或状态、开停车、维修、改变操作方式

1.2 HAZOP 分析的步骤解析

HAZOP 分析步骤首先是明确分析问题，分析人员需深入了解待分析的问题，运用丰富、精准的语言描述问题^[2]。比如，描述流量时，用“流量过大”“流量过小”“部分流量受阻”等表述，让问题更加清晰、具体，为后续分析奠定坚实基础；接着要合理划分单元，依据工艺系统不同部分的特性差异，将整个系统划分为多个独立又相互关联的单元。每个单元都有其独特的运行状态和流程，像化工生产中的反应单元、输送单元等，通过清晰界定单元，便于更细致地剖析各部分潜在风险；随后进行关键词表定义，这一步需要根据行业经验、工艺特点制定关键词表，利用这些关键词逐一比对分析，精准找出工艺过程各环节可能出现的偏差；最后根据分析结果进行综合评估，全面考量自然条件、紧急状况处理能力、工艺条件等多方

面因素的偏差影响。例如，自然条件中的极端天气可能影响设备运行，紧急状况处理能力不足会导致事故后果扩大，工艺条件偏差可能引发产品质量问题或安全事故。通过对这些要素的深入分析，提出针对性的改进措施和预防建议^[3]。在实际工作中，HAZOP 的应用流程及各环节关系可参考图 1，其直观展示了整个分析过程，有助于提高分析效率和准确性。

2 化工生产流程中 HAZOP 安全评价技术的深度剖析

2.1 人工主导型 HAZOP 安全评价技术解析

人工主导型 HAZOP 安全评价技术是 HAZOP 技术早期的主要应用模式。在这种模式下，专业的安全评价团队凭借丰富的经验、扎实的专业知识以及对化工生产流程的深入理解开展工作。团队成员通常包括工艺工程师、安全专家、操作人员等，他们各自从不同的专业角度出发，共同对生产流程进行细致的审查。团队依据生产工艺的特点和操作流程，将整个系统划分为若干个分析节点，这些节点包含了生产过程中的关键设备、管道、操作步骤等。针对每个分析节点，成员们使用预先设定的引导词，如“无”“过多”“过少”“伴随”等，结合工艺参数，提出一系列假设性的偏差问题，例如“如果流量过大，会对系统产生什么影响？”然后，通过集体讨论的方式，深入分析这些偏差产生的可能原因、可能导致的后果以及现有的安全措施是否能有效应对。人工主导型的优势在于灵活性高，能充分考虑到生产过程中各种复杂的人为因素、环境因素以及一些难以量化的潜在风险^[4]。但它也存在明显的不足，如评价过程耗时较长、成本较高，且结果容易受到评价人员主观因素的影响，不同的团队可能会得出不同的评价结果。

2.2 基于符号有向图的 HAZOP 安全评价技术探究

基于符号有向图（SDG）的 HAZOP 安全评价技术是随着计算机技术和信息技术的发展而兴起的一种创新方法。符号有向图是一种以图形化方式描述系统变量之间因果关系的工具，它通过节点表示系统中的变量，如设备状态、工艺参数等，用有向边表示变量之间的因果影响关系，边的方向表示影响的传递方向，边上的符号表示影响的性质（正或负）。在基于 SDG 的 HAZOP 安全评价中，先要建立反映化工生产流程的 SDG 模型，这需要对生产工艺进行深入分析，明确各个变量之间的相互作用关系。建立好模型后，利用计算机算法对模型进行遍历和分析，根据引导词搜索

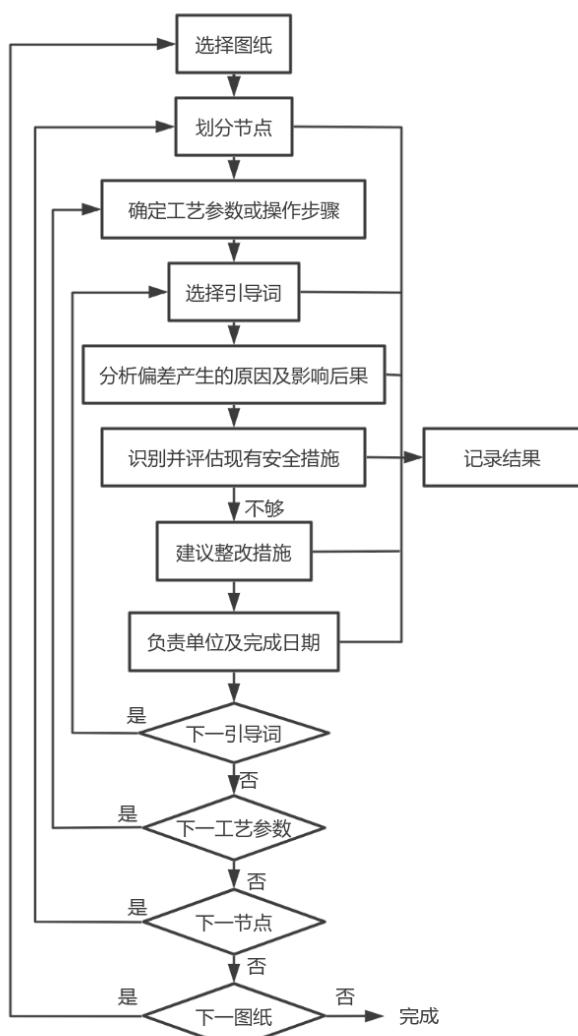


图 1 HAZOP 应用逻辑架构图

可能出现的偏差路径。当检测到偏差时,系统会沿着有向边追溯偏差产生的原因,并预测可能导致的后果。与人工主导型 HAZOP 相比,基于 SDG 的技术具有诸多优势。它能快速处理大量的数据和复杂的系统关系,提高评价效率,且分析结果具有较高的客观性和一致性^[5]。同时,通过图形化的展示方式,使评价结果更加直观易懂,便于技术人员和管理人员理解和决策。不过,该技术也面临一些挑战,比如建立精确的 SDG 模型需要对生产工艺有非常深入的了解,且模型的维护和更新需要投入一定的精力,以确保其与实际生产过程的一致性。

3 HAZOP 评价技术应用对行业经济发展影响

3.1 化工生产过程安全控制系统应用强化生产稳定性

安全控制系统依托先进的传感器技术,能对温度、压力、流量等关乎生产安全与稳定的核心工艺参数进行全方位、实时不间断的监测。一旦这些参数偏离预先设定的安全阈值,系统便会迅速启动预警机制,以声光等多种形式发出警报,自动化控制技术自动执行一系列精准且高效的控制动作。例如,当检测到反应釜内温度过高时,系统会自动调节冷却介质的流量,降低反应温度;若压力异常升高,会及时打开泄压阀门,防止超压爆炸。

以中石化旗下某大型炼油厂为例,在未引入先进安全控制系统之前,每年因设备故障、操作失误等原因导致的非计划停车次数高达 10 余次,每次停车不仅造成大量在制品报废、原材料浪费,还需投入高额资金用于设备的检修维护。而在全面部署安全控制系统后,非计划停车次数锐减至每年 2-3 次。使得生产连续性得到极大保障,产品供应稳定,满足了市场需求,还通过减少物料损耗和设备维护成本,大幅提升了企业的经济效益。据统计,该炼油厂在引入安全控制系统后的第一年,生产成本降低了约 15%,生产效率提高了 20%,充分彰显了安全控制系统对化工生产稳定性关键强化作用,进而实现企业安全稳定生产与经济效益增长目标的结合统一。

3.2 HAZOP 评价技术应用对行业经济发展的重要作用

HAZOP 评价技术的核心在于通过组建多专业领域专家团队,运用引导词对化工工艺过程中的每一个设备、管道、操作步骤等节点展开深入细致的分析,精准识别出潜在的危险隐患以及可能影响正常操作的问题。从预防安全事故角度来看,在化工项目的规划设计阶段,提前运用该技术进行全面评估,能有效规避

后期可能出现的重大安全事故。

某新建精细化工项目,在设计初期通过 HAZOP 评价发现,原料储存区的物料输送管道在特定工况下可能因压力波动出现物料泄漏,一旦遇到明火极易引发爆炸。发现问题后,设计团队立即优化管道布局,增加压力缓冲装置和泄漏监测报警系统,成功消除了这一重大安全隐患。若这一隐患未被提前察觉,一旦发生事故,保守估计将造成直接经济损失数千万元,还可能导致企业面临长时间的停产整顿。从提升生产效率层面而言,在对工艺操作步骤和设备性能进行深度剖析过程中,它能找到工艺流程中不合理之处,如某些环节存在能源过度消耗、物料配比不合理等问题。企业依据评价结果针对性地改进工艺,优化设备运行参数,可有效减少能源消耗和物料浪费。某化工企业通过 HAZOP 评价对其生产流程进行优化后,单位产品能耗降低了 10%,原材料利用率提高了 8%,生产成本明显降低,产品价格在市场上更具竞争力,订单量大幅增长,有力地推动了企业乃至整个行业经济的健康、可持续发展。

4 结语

化工生产过程常伴随着诸多安全隐患,HAZOP 评价技术还将朝着智能化、集成化方向持续发展。智能化体现在进一步借助大数据、机器学习等技术,实现更精准的风险识别与预测;集成化则表现为与其他安全管理系统,如风险预警系统、应急管理系统等深度融合,形成一个完整、高效的安全管理体系,全方位保障企业生产安全和人员生命财产安全,为各行业的稳定发展筑牢安全防线。

参考文献:

- [1] 张进涛. 安全评价方法在化工企业安全现状评价中的应用 [J]. 化纤与纺织技术, 2024, 53(05):124-126.
- [2] 孔珊瑚. 浅析安全评价技术在化工企业生产中的应用 [J]. 山东化工, 2022, 51(12):170-171+181.
- [3] 高峰, 郭春丽. 化工生产过程 HAZOP 安全评价技术研究 [J]. 化工管理, 2021(21):70-71.
- [4] 古继国. 探究化工生产过程 HAZOP 安全评价技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(01):15-16.
- [5] 刘亚雄. HAZOP 安全评价技术在化工生产中的应用 [J]. 科技创新导报, 2016, 13(34):49+51.

作者简介:

赵培 (1985—), 男, 汉族, 安徽蚌埠人, 本科, 工程师, 研究方向: 安全评价。