

每根轧辊操作侧/传动侧各装1个耐高温、抗油污接触式传感器；支撑辊增设冗余传感器，避免单点故障；通过防爆线缆连接AI平台，采样频率1次/秒。

·三级预警逻辑：

i. 一级预警（70℃）：推送提示至中控室，提醒检查润滑状态；

ii. 二级预警（80℃）：触发声光报警，联动排雾风机加强通风；

iii. 三级预警（90℃）：启动消防装置预备，10秒内温度未降则自动联动灭火系统。

#### 4.1.2 AI智能监控系统：实现火灾异常精准识别

数据融合：整合三类数据构建三维监测模型：

传感数据：红外、烟感、全辊系温度传感器实时数据；

视频数据：机架、液压站、油库安装高清防爆摄像头，基于深度学习的火焰/烟雾识别准确率 $\geq 95\%$ ；

工艺数据：接入轧机PLC系统，获取轧制速度、液压压力等参数，异常时提升监控灵敏度。

预警分级：异常预警（温度偏高）、火情预警（确认烟雾）、火灾告警（火势蔓延）；

多端推送：信息1秒内推送至中控大屏（声光+弹窗）、操作员手机（短信+APP）、安全管理平台，含火情位置、异常参数及处置建议。

#### 4.1.3 智能联动处置：消防装置自动启动

细水雾联动：机架区域“红外 $\geq 80^\circ\text{C}$ +烟感报警+无明火”或“轴承 $\geq 90^\circ\text{C}$ +油雾集聚”，自动开启喷头并关闭乳化液喷射；

CO<sub>2</sub>联动：液压站“双报警+明火”或油库“火焰探测报警”，自动开启对应防护区选择阀，喷射浓度 $\geq 34\%$ ，同时关闭液压泵与通风机；

水炮联动：AI识别火势蔓延或灭火系统失效时，自动启动水炮并通过视频定位调整喷射角度。

应急保障：保留中控室与现场手动启动按钮，系统故障时推送预警提示检修。

### 4.2 管理机制强化：堵住制度漏洞，实现源头防控

#### 4.2.1 动火作业分级管控

执行“三不动火”原则：使用防火毯、接火斗隔离焊渣，作业后清理并留守观察30分钟；

建立动火作业电子审批系统，杜绝“先作业后审批”。

#### 4.2.2 全周期点检维护

日巡：轴承温度、管路泄漏；

周检：清理油污、检查防火门（确保常闭）；

月修：测试细水雾/CO<sub>2</sub>系统，点检消火栓（压力、接

头）、灭火器（外观、有效期）；

#### 4.2.3 全员化培训演练

·培训内容：火灾成因、消防设施操作、案例复盘；

·演练要求：每月覆盖所有班组及夜间场景，模拟全流程，单独评价个人技能。

### 4.3 应急协同升级：提升处置效率，降低事故损失

#### 4.3.1 应急联动机制

消防控制系统与企业ERP系统联动，火灾时自动推送预警至操作工、安全员、专职消防队；打通地方消防通道，共享管道沟布局等现场图纸；

确保排雾风机联锁可靠，火灾时立即停机；地下油库防火门安装闭门器，自动关闭阻断蔓延。

#### 4.3.2 应急物资保障

操作室配置足量自给式空气呼吸器与消防过滤式自救呼吸器，定期清洁；地下油库增设应急照明与疏散指示；

储备CO<sub>2</sub>药剂、细水雾喷头，与供应商签订应急充装协议，确保火灾后快速恢复生产。

## 5 结论

冷轧轧机火灾成因涉及物质、设备、人为、管理多维度，传统防控方案存在监测盲区、响应延迟、智能度低等局限。通过构建“智能技术—管理机制—应急协同”闭环防控体系，可实现三大提升：

1. 监测更全面：全辊系温度传感消除轴承预警盲区，AI监控覆盖机架、液压站、油库全区域；

2. 处置更高效：消防系统自动联动，响应时间从3-5分钟缩短至10秒内，抓住初期灭火窗口；

3. 管理更精准：电子审批、智能台账、全员演练实现风险源头管控，事故复盘推动持续改进。

该体系适配冷轧轧机高负荷、高风险的工艺特性，符合“预防为主、防消结合”的安全理念，可为钢铁企业提供可落地的技术路径，推动防控从“事后处置”向“事前预防”转变，保障设备安全与生产稳定。未来需结合企业轧机吨位、场地布局定制方案，持续跟踪智能传感与AI算法进展，进一步提升防控体系的可靠性与适应性。

### 参考文献

- [1] 中国钢铁工业协会安全环保部. 中国钢铁工业火灾事故年度报告(2010-2020) [R]. 北京: 中国钢铁工业协会, 2021: 45-52.
- [2] 李建军, 王志强, 张莉. 工业液压系统油雾爆燃机理及防控研究 [J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(6): 56-61.
- [3] 赵红梅, 刘建国, 陈明. 轧制润滑油热稳定性及热分解特性实验研究 [J]. 润滑与密封, 2019, 44(3): 89-94.

# Research on HAZOP Analysis and Risk Control in Chemical Processes

Qingjun Wang

Yunnan Dacheng Safety Technology Service Co., Ltd. No. 650118, Kunming, Yunnan, China

## Abstract

With the continuous development of the chemical industry, safety issues have increasingly become a key focus in production processes. HAZOP (Hazard and Operability Study) is a systematic risk assessment tool that is widely used in safety management of chemical processes. HAZOP analysis helps to identify potential hazards by conducting detailed risk identification and evaluation of each link in the chemical process, proposing effective control measures, thereby reducing the occurrence and severity of accidents. This paper mainly explores the application of HAZOP analysis in chemical processes, analyzes its basic concepts, implementation process, and its importance in risk control. Through the case analysis of several typical chemical processes, the paper discusses the effectiveness and limitations of HAZOP analysis in practical applications and proposes ideas to further optimize the HAZOP analysis method by integrating modern technological approaches. The research shows that the application of HAZOP analysis in the chemical industry can significantly enhance process safety and provide effective risk prevention and control measures for chemical enterprises.

## Keywords

HAZOP analysis; chemical processes; risk control; safety management; risk assessment

# 化工过程 HAZOP 分析与风险控制研究

王清君

云南大成安全技术服务有限公司, 中国·云南昆明 650118

## 摘要

随着化工行业的不断发展,安全问题日益成为生产过程中的重点关注领域。HAZOP(危害与可操作性分析)作为一种系统的风险评估工具,广泛应用于化工过程的安全管理中。HAZOP分析通过对化工过程的各个环节进行详细的风险识别和评估,帮助识别潜在的危险源,提出有效的控制措施,从而减少事故的发生和危害的程度。本文主要探讨了HAZOP分析在化工过程中的应用,分析了其基本概念、实施流程及其在风险控制中的重要性。通过对多个典型化工过程的案例分析,探讨了HAZOP分析在实际应用中的效果与局限性,并提出了结合现代技术手段进一步优化HAZOP分析方法的思路。研究表明,HAZOP分析在化工行业中的应用能够显著提升过程安全性,为化工企业提供了有效的风险防控手段。

## 关键词

HAZOP分析; 化工过程; 风险控制; 安全管理; 风险评估

## 1 引言

化工行业作为高风险行业,生产过程中涉及大量的化学反应与物料流动,潜在的危险因素无处不在。随着化工生产规模的扩大和技术的进步,安全管理面临的挑战也日益增大。在这种背景下,HAZOP(危害与可操作性分析)作为一种有效的风险评估工具,逐渐被广泛应用于化工过程的安全管理中。HAZOP分析的核心在于通过系统地分析化工过程中的每一个环节,识别潜在的危害源和操作失误,进而采取相应的控制措施以避免或减少事故的发生。与传统的安全管理方法相比,HAZOP分析具有较强的系统性和针对性,

能够为化工企业提供科学、有效的安全保障。在现代化工生产中,HAZOP分析不仅是提高安全生产水平的有效工具,也是保障人员生命安全和环境保护的重要手段。因此,本文旨在探讨HAZOP分析在化工过程中的应用和发展,分析其在风险控制中的作用及优化方向。

## 2 化工过程 HAZOP 分析的基本概念

### 2.1 HAZOP 分析的定义与背景

HAZOP分析(危害与可操作性分析)是一种系统的风险评估工具,旨在识别化工过程中的潜在危险及其可能对人员、环境和设备造成的影响。该分析方法起源于20世纪60年代初,最初由英国的石油公司为石油化工行业开发。随着化工行业的不断发展和安全要求的提高,HAZOP分析逐渐被广泛应用于各类化工过程及设施的安全管理中。它通过分

【作者简介】王清君(1988-),男,中国云南楚雄人,本科,工程师,从事安全工程、化学工程与工艺研究。

析化工过程中的各个环节和操作步骤,评估每一环节可能存在的异常情况,并识别潜在的危害,从而提出相应的预防和控制措施。HAZOP分析不仅有助于防止事故的发生,还可以为化工企业的安全管理提供科学依据,降低事故发生的概率,保护人员安全,减少环境污染。

## 2.2 HAZOP 分析方法的基本原理

HAZOP分析基于一种系统的审查方法,通过对工艺流程图(P&ID)等工程图纸的详细分析,识别可能的偏差及其引发的潜在危害。分析过程中,团队成员根据特定的“指导词”如“更多的”、“更少的”、“无”等,逐一检查每个过程步骤中的操作偏差。这些偏差可能导致设备损坏、人员伤害或环境污染等不良后果。HAZOP分析不仅注重个别步骤的安全性,还强调每个环节间的相互关系,确保风险识别的全面性和系统性。分析团队依据具体的工艺参数,结合经验和专业知识,对每一环节的潜在问题进行评估,并采取相应的控制措施,如改变操作程序、增加安全设备等,以最大限度地降低风险。

## 2.3 HAZOP 分析的适用范围与应用领域

HAZOP分析的应用范围广泛,尤其适用于化工、石油化工、制药、电力等高风险行业。在化工过程中,涉及的化学反应、压力、温度等因素常常会导致不可预见的风险,HAZOP分析能够有效识别这些潜在的危险。在石油化工领域,HAZOP分析可以用于评估炼油、化肥、天然气处理等工艺过程的安全性,防止由于操作失误或设备故障引发的灾难性后果。此外,HAZOP分析在制药行业的应用也逐渐增多,用于评估药品生产中的安全风险。随着环境保护法规的日益严格,HAZOP分析在环保工程中的应用也日益增加,通过对环境影响的预测,帮助企业制定更加环保和可持续的生产方案。无论是在新建项目的设计阶段,还是现有设施的改造与优化中,HAZOP分析都是确保安全生产的重要工具。

## 3 HAZOP 分析在化工过程中的实施

### 3.1 HAZOP 分析的步骤与流程

HAZOP分析的实施过程通常包括五个主要步骤。首先,进行工艺流程的初步审查,识别出需要分析的工艺步骤和设备。其次,建立分析团队,并确定每个环节的具体任务和职责。团队成员通常包括工艺工程师、操作员、安全专家等。接着,对每一个工艺节点进行详细分析,运用指导词对可能的偏差进行深入挖掘,评估潜在的危险源。第四步是记录和汇总分析结果,形成HAZOP报告,报告中应详细列出识别出的危害及控制建议。最后,对报告中的风险进行评审,确认是否需要进一步的安全措施,并通过对实施情况的监控来确保其有效性。整个流程的核心在于团队成员之间的密切合作与有效沟通,以确保全面、系统地识别潜在的风险。

### 3.2 HAZOP 分析团队的组成与职责

HAZOP分析团队的组成至关重要。通常,团队成员包

括工艺工程师、操作员、设备专家、安全工程师、质量控制人员以及项目经理等。每位成员的职责各有侧重,但共同目标是识别和评估潜在的危险源。工艺工程师负责提供工艺设计、设备和流程的技术细节;操作员则提供实际操作经验,协助识别操作中的潜在问题;设备专家则关注设备的可靠性和维护要求;安全工程师则负责确保识别出的风险能够得到有效控制;质量控制人员则负责确保分析结果的可操作性和准确性。项目经理则协调各方工作,确保分析过程的顺利进行。良好的团队合作和信息共享是确保HAZOP分析成功的关键。

### 3.3 HAZOP 分析中的常见问题及应对策略

在HAZOP分析实施过程中,常见的问题包括团队成员经验不足、分析方法不充分以及时间和资源的限制等。针对团队成员经验不足的问题,可以通过加强成员培训、聘请外部专家或与其他公司合作,确保团队能够进行高质量的分析。在分析方法方面,若团队成员对某些工艺流程缺乏足够了解,可能导致潜在风险的遗漏。为解决这一问题,建议结合实际操作经验和先进的计算机辅助设计(CAD)工具,进一步提升分析的深度和广度。此外,HAZOP分析需要时间和精力投入,但在实际操作中,时间和资源往往有限。为克服这一问题,可以优化分析流程,缩短每个步骤的执行时间,确保高效利用每一项资源。

## 4 化工过程中的风险识别与评估方法

### 4.1 风险识别的基本方法

风险识别是风险管理过程中的第一步,目的是发现潜在的危险源,评估其对生产、环境及人员的可能影响。常用的风险识别方法包括故障树分析、事件树分析、危险和可操作性分析(HAZOP)、危害分析(HAZID)等。在化工过程中,故障树分析通过系统地分析事故发生的根本原因,帮助识别潜在的故障模式;事件树分析则用于分析特定事件发生后的各种可能后果。此外,HAZOP分析和HAZID方法则通过团队的合作和讨论,分析化学反应、物料流动和设备故障等可能导致事故的环节。风险识别不仅要关注设备和工艺的设计缺陷,还应考虑人为因素、操作错误等可能性。通过综合运用多种方法,能够全面、系统地识别风险,从而为后续的风险评估和控制奠定基础。

### 4.2 风险评估模型与技术

风险评估模型和技术是对已识别的风险进行定量或定性分析的工具。常见的风险评估方法包括概率风险评估(PRA)、定量风险分析(QRA)和模糊综合评判等。概率风险评估通过对潜在事故发生的概率和后果进行综合计算,得到风险的概率分布,为决策提供科学依据。定量风险分析则侧重于对事故后果的具体量化,结合风险矩阵对风险进行等级划分,帮助企业识别高风险环节。模糊综合评判方法则通过对不确定性因素的量化处理,为复杂的多因素系统