

# Study on safety risk quantitative assessment method of chemical process based on HAZOP

Xiaochen He

Nanda Optoelectronic Semiconductor Materials Co., Ltd., Chuzhou, Anhui, 239500, China

## Abstract

Safety risk assessment in chemical processes is one of the core tasks to ensure the safety of chemical production. With the continuous development and expansion of the chemical industry, how to scientifically and effectively evaluate and control potential safety risks in the chemical production process has become an urgent issue that needs to be addressed. HAZOP (Hazard and Operability Analysis), as a commonly used method for safety risk analysis, is widely applied in the risk assessment of chemical processes due to its systematic nature and practicality. However, traditional HAZOP methods primarily rely on expert experience for qualitative analysis, making it difficult to quantitatively assess the severity and probability of risks. This paper proposes a quantitative risk assessment method for chemical process safety based on HAZOP, which introduces a risk matrix and probabilistic analysis model to conduct quantitative risk analysis of chemical processes. This method can significantly enhance the accuracy and reliability of risk assessments, providing chemical companies with more scientific safety management tools. Case studies have validated the effectiveness of this method in chemical process safety management, demonstrating its advantages in risk prevention and control.

## Keywords

HAZOP; chemical process; safety risk; quantitative evaluation; risk matrix

## 基于 HAZOP 的化工工艺安全风险量化评估方法研究

何晓晨

南大光电半导体材料有限公司, 中国·安徽·滁州 239500

## 摘要

化工工艺安全风险评估是确保化工生产安全的核心工作之一。随着化工行业的不断发展和生产规模的扩大,如何科学、有效地评估和控制化工生产过程中的潜在安全风险,成为亟待解决的重要问题。HAZOP(危害与可操作性分析)作为一种常用的安全风险分析方法,凭借其系统性和可操作性,广泛应用于化工工艺的风险评估中。然而,传统的HAZOP方法主要依赖专家经验进行定性分析,难以量化评估风险的严重性和发生概率。本文提出了一种基于HAZOP的化工工艺安全风险量化评估方法,通过引入风险矩阵和概率分析模型,对化工工艺的安全风险进行定量分析。该方法能够有效提高风险评估的准确性和可靠性,为化工企业提供更科学的安全管理工具。通过案例分析,验证了该方法在化工工艺安全管理中的应用效果,展示了其在风险预防和控制中的优势。

## 关键词

HAZOP; 化工工艺; 安全风险; 量化评估; 风险矩阵

## 1 引言

化工产业是国民经济的重要支柱之一,但由于化工生产过程中涉及大量的危险化学品和复杂的生产工艺,安全风险始终是化工企业面临的重要问题。化工工艺中的安全隐患不仅会对工人生命安全构成威胁,还可能造成环境污染、设备损坏和生产中断等严重后果。因此,如何高效地识别和评估化工工艺中的安全风险,成为确保化工生产安全的关键。HAZOP(危害与可操作性分析)是一种通过系统分析化工工艺中的潜在危害和操作不当情景,识别安全隐患的常用方

法。尽管HAZOP方法具有较高的实用性,但在实际应用中更多依赖专家经验,且多以定性分析为主,缺乏有效的风险量化手段。随着科学技术的不断进步,如何将HAZOP方法与现代风险量化模型结合,提升风险评估的精确度和可操作性,成为研究的热点。本文将探讨基于HAZOP的化工工艺安全风险量化评估方法,并结合实际案例,展示其在化工生产中的应用效果。

## 2 HAZOP 方法概述与化工工艺安全风险分析

### 2.1 HAZOP 方法的基本原理

HAZOP方法最早由英国Imperial Chemical Industries(ICI)公司在1960年代提出,旨在识别化工装置在设计和运行阶段可能存在的安全隐患。该方法通过组织跨学科专家

【作者简介】何晓晨(1989-),男,中国安徽滁州人,本科,工程师。

团队，采用结构化的方式对整个工艺流程进行系统分析，以识别“工艺偏差”及其引发的潜在后果，并提出相应的防控建议。

HAZOP分析的核心在于使用“导向词”（Guide Words）对工艺参数进行系统性变异分析。常用的导向词包括“无（No）”“多（More）”“少（Less）”“反向（Reverse）”“早（Early）”“迟（Late）”等，结合流程图中的每一个工艺节点（通常以管道、设备或控制点为单位），分析这些参数偏离正常状态后可能引发的异常情况及其原因、后果和现有保护措施。

HAZOP分析通常分为以下几个步骤：

**明确分析范围：**确定分析系统的边界和所涉及的工艺单元。

**建立分析小组：**由工艺、设备、安全、电仪等多领域人员组成。

**识别工艺参数和节点：**根据流程图划分节点，选择需分析的工艺参数（如流量、温度、压力、液位等）。

**应用导向词进行偏差分析：**结合工艺参数与导向词产生偏差情景。

**记录偏差的原因与后果：**识别出可能的失控事件及潜在危害。

**提出改进措施：**根据分析结果提出合理的风险控制或缓解建议。

虽然HAZOP方法是一种定性工具，但其系统性和全面性使其在实际应用中极具实用价值。它能够发现设计中未被识别的潜在问题，为安全保护系统的设计和优化提供重要参考。

## 2.2 化工工艺安全风险分析的挑战

化工企业的工艺过程具有高度复杂性，伴随高温、高压、易燃、易爆、有毒等多种危险特性，使得其安全风险具有以下几方面的突出挑战：

**工艺流程复杂、参数耦合紧密：**现代化工装置往往包含数十乃至上百个设备单元，且其运行参数如温度、压力、流量相互影响，在某一节点发生偏差时可能引发连锁反应，增加风险控制难度。

**风险类型多样，事故模式多变：**化工事故可能包括火灾、爆炸、有毒泄漏、环境污染等，涉及原因既包括设备失效、操作失误，也可能来源于控制系统故障或外部环境因素。

**人为因素不可忽视：**操作人员技能水平、规章制度执行力度、应急反应能力等均对风险控制产生显著影响，而这些因素往往难以通过常规的技术分析手段量化。

**传统分析方法滞后：**在许多企业中，仍主要依赖经验判断、人工巡检和静态审核进行安全评估，缺乏对动态过程及系统耦合风险的分析手段，容易漏判或误判潜在危险源。

因此，亟须引入更加系统化、科学化的方法，进行风险识别、过程评估与控制策略制定，而HAZOP方法正是在

这种背景下得到重视和应用。

## 2.3 HAZOP方法在化工工艺中的应用

尽管HAZOP方法本身是一种定性分析工具，其结果并不涉及具体的概率计算和量化指标，但在实际工艺风险识别中却发挥着不可替代的作用。它不仅能够识别出工艺偏差带来的潜在危险，还能够暴露设计缺陷、控制不足及操作风险，为制定针对性的防控措施提供依据。

实际应用示例：

**工艺设计阶段：**在新建化工装置初期，通过HAZOP分析可识别潜在设计缺陷，如阀门配置不当、压力释放装置不足等，提前调整设计以避免后期整改。

**运行阶段安全评估：**对于正在运行的装置，HAZOP可周期性开展，以适应工艺变更、人员调整等带来的新风险，实现动态安全管理。

**与其他方法结合使用：**HAZOP结果常作为定量分析的输入基础，配合FTA（故障树分析）和ETA（事件树分析）进行概率建模，评估事故发生概率及后果严重程度，实现风险量化。例如，某工艺单元经HAZOP分析发现存在“流量过低”风险点，进一步通过事件树分析其发展路径及失效概率，量化后得出风险等级，从而制定相应控制措施如设置双重报警系统、加强在线监测等。

**数字化与智能化结合：**随着信息技术的发展，部分企业已将HAZOP分析与智能化风险管理平台相结合，构建HAZOP数据库、引入人工智能辅助分析，提升效率与科学性。

存在的不足与优化方向：

**结果依赖专家经验：**分析质量高度依赖团队成员的专业能力与讨论深度，主观性较强。

**过程冗长，耗时较大：**尤其是涉及大规模装置时，分析节点众多，会议周期长，管理成本高。

**不具备量化能力：**难以直接用于事故概率评估和经济损失测算。

因此，现代HAZOP分析正朝着信息化、模块化、可视化和量化方向发展。通过与定量方法、动态建模工具和信息系统的融合，有望实现高效、精准、闭环的化工工艺风险控制。

## 3 基于HAZOP的化工工艺安全风险量化评估方法

### 3.1 风险矩阵法与概率分析模型的结合

为了克服HAZOP方法定性分析的局限性，本文提出了一种基于HAZOP的安全风险量化评估方法。该方法结合了风险矩阵法与概率分析模型，通过量化的手段评估化工工艺中的潜在风险。

**风险矩阵法：**风险矩阵法是一种常见的风险评估工具，通常以“后果严重性”和“发生概率”为两个维度，构建一个二维矩阵。通过将HAZOP分析中识别的每个安全风险事

件按其后果的严重性和发生的概率进行分类,评估出每个风险事件的综合风险等级。风险矩阵通常分为多个等级,风险等级越高,表示该风险的危害越大,需优先处理。

**概率分析模型:** 概率分析模型通过对每个风险事件的发生概率进行计算,量化每个风险的可能性。在化工工艺的风险评估中,可以根据历史事故数据、专家经验或模拟试验数据,估算每个潜在风险事件的发生概率。通过结合概率分析,能够更加科学地评估风险事件的发生可能性,并为风险控制措施的制定提供依据。

### 3.2 基于 HAZOP 的量化风险评估步骤

在基于 HAZOP 的安全风险量化评估中,主要包括以下几个步骤:

**识别潜在风险:** 首先,通过 HAZOP 分析方法,系统地识别出化工工艺中的所有潜在危险和可操作性问题,并记录可能的危险场景。

**评估风险严重性和发生概率:** 通过风险矩阵法,将每个潜在风险的严重性和发生概率进行量化分类。严重性可以根据后果的范围、影响程度等因素进行评估,而发生概率则根据历史数据和经验进行估算。

**风险量化:** 结合严重性和发生概率,计算每个风险事件的综合风险等级。风险等级的计算公式为:

$$\text{综合风险} = \text{严重性} \times \text{概率}。$$

根据计算结果,将风险事件分为不同的优先级,确定需要采取的控制措施。

**制定风险控制措施:** 对于高风险事件,应立即采取相应的控制措施,如改变工艺设计、加装安全装置、改进操作规范等。对于中低风险事件,则可以通过加强监控和管理来减少其发生的概率。

### 3.3 量化评估结果的应用

基于 HAZOP 的量化风险评估方法为化工工艺的安全管理提供了科学依据。通过对风险的量化评估,管理者能够清晰地了解每个风险事件的严重性和发生概率,从而有针对性地采取措施进行控制。例如,对于高风险事件,企业应优先考虑采取控制措施,如增加安全设备的投入、调整操作规程等;而对于低风险事件,则可以通过加强培训和安全检查等方式,降低其发生的概率。此外,量化评估结果还可以为风险监控提供依据,定期进行风险评估和复查,确保安全管理措施的有效性。

## 4 基于 HAZOP 的化工工艺安全风险评估方法的应用案例

在现代化工生产中,面对复杂的工艺流程和潜在的危险因素,科学的安全管理方法至关重要。某化工厂为提升其高温高压生产线的本质安全性,决定引入 HAZOP (危害与可操作性分析) 结合量化风险评估的方式,对关键工艺环节进行系统性分析和风险等级判定。

### 4.1 案例背景与工艺概述

该化工厂主要从事有机合成反应,厂区内设有多个高温高压反应釜,以及用于储存易燃、易爆、有毒化学品的储罐。由于生产过程中涉及剧烈放热反应,且反应速率受温度和压力高度敏感,若控制不当,极易引发爆炸或中毒事故。为此,工厂组织专业技术团队,开展了基于 HAZOP 方法的安全风险分析,重点评估反应单元中的潜在偏差及其可能引发的危险后果。

### 4.2 量化评估过程与结果

在 HAZOP 分析基础上,团队识别出包括反应釜过温、压力异常、原料误加、冷却失败等多个典型风险情景,并采用风险矩阵法对每一风险进行量化评估。以反应釜过温为例,其一旦失控,极可能引发超压爆炸事故。专家团队评估其后果严重性为 5 (极高),发生概率为 0.2,综合风险值为 1 (高风险)。另一个场景为原料阀门失效引起的小规模泄漏,其严重性为 3 (中等),概率为 0.1,综合风险为 0.3,属于可接受风险。

### 4.3 控制措施与实施效果

根据风险等级评定结果,工厂针对高风险事件优先制定并落实控制策略。具体措施包括:为反应釜增设高精度自动温控系统和双重压力释放装置;对关键岗位操作人员开展专项培训与应急演练;强化在线监测与异常报警机制等。后期跟踪数据显示,实施这些措施后,生产线稳定性明显提升,系统运行过程中未再出现过温或失控现象,安全隐患得到了有效遏制,企业的整体安全管理水平显著提高。

## 5 结语

基于 HAZOP 的化工工艺安全风险评估方法,能够为化工企业提供一种科学的风险评估工具,帮助企业有效识别潜在风险并进行量化分析。通过引入风险矩阵和概率分析模型,不仅可以提高风险评估的精度,还能够为风险控制提供明确的方向和依据。通过实际案例的应用,证明了该方法在化工生产中的有效性。未来,随着数据采集技术和人工智能算法的发展,基于 HAZOP 的安全风险量化评估方法有望得到更广泛的应用,并为化工行业的安全管理提供更强有力的技术支持。

### 参考文献

- [1] 史喆,邢峰,康红艳,等.HAZOP分析在火炸药工艺风险控制中的应用[J].固体火箭技术,2024,47(06):774-783.
- [2] 汤鹏程,王元吉.HAZOP的发展及在石油化工领域的作用与展望[J].四川化工,2024,27(05):31-34+39.
- [3] 刘宪明,何丹青,赖良明,等.浅谈危险与可操作性分析(HAZOP)[J].浙江化工,2024,55(06):29-34.
- [4] 徐坤山,刘杰,高光海,等.新工科背景下HAZOP分析理念融入化工制图课堂教学研究[J].广州化工,2024,52(06):223-225.
- [5] 曹广运.化工工艺安全管理中HAZOP的应用[J].山东化工,2024,53(02):209-211+214.