

# 化工装置中 HAZOP 技术的应用及经济效益分析

陈少军（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 洋浦 578101）

**摘要：**在现代化工生产过程中安全生产与效益始终是企业关注的两大核心问题。HAZOP 作为一种系统化、结构化的分析方法，在化工装置的设计、运行及改造中发挥着至关重要的作用。HAZOP 技术可以引导参会人员系统地识别工艺过程中的偏差，并分析这些偏差可能导致的后果，从而提出相应的预防措施。在化工装置中应用 HAZOP 技术能够显著提升装置的安全性能，减少潜在的事故风险，有效地帮助企业在设计阶段发现并解决潜在的安全隐患，避免后期因事故导致的停产和经济损失。本文分析了 HAZOP 技术在化工装置中的应用原理及相关流程。通过对 HAZOP 技术在识别化工装置潜在危险、优化操作流程等方面的深入分析，揭示了其对提升化工装置安全性和可靠性的重要作用。同时，从减少事故损失、提高生产效率、降低维护成本等角度对该技术应用所带来的经济效益进行了全面评估。以此，为化工企业在安全管理与经济决策方面提供理论支持，推动化工行业的可持续发展。

**关键词：**化工装置；HAZOP 技术；经济效益

## 0 引言

在化工行业中，确保装置的安全性和可靠性至关重要。随着技术的发展，危险与可操作性分析(HAZOP)作为一种系统性的安全评估方法，被广泛应用于化工装置的设计、运行和维护阶段。HAZOP 技术通过对化工装置的工艺流程图和操作规程进行详细审查，识别潜在的危险和操作问题，有助于预防事故的发生，减少非计划停车，提高整体生产效率，促进企业经济发展。

## 1 化工装置的特点与风险

化工装置是化工生产过程中的核心部分，要求企业在设计、建造、运行和管理化工装置时，必须充分考虑各种因素，以确保装置的安全、稳定、高效运行。化工装置通常由多个单元操作组成，每个单元操作都有其特定的功能和操作条件，需要不同的设备和工艺参数，每种设备都有独特的设计和操作要求，需要进行专门的维护和管理。化工装置处理的物质种类繁多，有的物质具有一定的腐蚀性、毒性、易燃易爆的特点。许多化工反应需要在高温、高压、高流速下进行，以加快反应速率、维持或者高传热的效率，要求设备具备良好的耐压性能，需要严格的压力控制和安全防护措施。此外，化工装置的自动化程度、安全环保、高能量储存与释放、长周期稳定运行、物料处理与运输、技术更新快、资本密集型产业、法规监管这些方面要求都非常高。化工装置的风险主要来源于其处理的大量易燃易爆、有毒有害的危险物质，以及复杂的工艺过程和设备运行条件。在化工生产过程中一旦发

生事故，可能造成严重的人员伤亡、财产损失和环境污染。因此，对化工装置进行全面、系统的风险评估至关重要。

## 2 HAZOP 技术概述

### 2.1 HAZOP 技术简介

HAZOP 即危险与可操作性分析，是一种基于引导词的、系统的、确定性的风险分析方法。广泛应用于化工装置的工艺危险分析方法，重要识别和评估潜在的危险、操作失误以及导致事故的因素。该技术通过一系列特定的引导词，对化工装置的工艺过程和操作程序等进行全面的分析。在运用引导词和对节点进行分析的过程中，识别出与设计意图的偏差。一旦识别出偏差，就要分析产生这种偏差的可能原因，以及偏差可能导致的后果。其核心思想是通过团队讨论，充分发挥各专业人员的知识和经验，对工艺系统进行全面审查<sup>[1]</sup>。

### 2.2 HAZOP 技术的重要性

①安全性与前瞻性。HAZOP 技术采用引导词和工艺参数相结合的方式，系统地对化工装置的各个部分进行分析。这种全面性能够涵盖装置从工艺设计到操作流程的各个环节，避免了传统风险识别方法可能存在的遗漏。同时，在化工装置的设计阶段就可以运用 HAZOP 技术分析设计方案中潜在的危险和可操作性问题，提前发现可能导致事故的隐患，大大降低了企业的成本和风险。

②安全重要保障。HAZOP 技术有助于识别化工装置中可能导致重大事故的危险场景，提高整个装置的

安全性。许多国家和地区都有严格的化工行业安全法规和标准, HAZOP 技术的应用有助于企业满足法规要求。

③操作优化过程。相关工作人员通过 HAZOP 分析, 可以发现化工装置在操作过程中的不便之处和潜在的操作失误点。如在一个复杂的化工分离塔系统中, HAZOP 分析可能会指出某些操作步骤过于繁琐或者容易混淆, 这会导致操作人员出错。基于此, 企业可以对操作流程进行简化和优化, 如重新设计操作界面、调整操作顺序等, 从而提高操作人员的工作效率, 减少因操作失误而导致的生产中断和安全事故。同时, 在 HAZOP 技术分析出化工装置中各个工艺参数之间的相互影响关系。当某个参数发生偏差时可以预测这种偏差对整个生产过程的影响程度。企业可以根据分析结果采取相应的控制措施, 从而减少生产过程中的波动, 提高产品质量的稳定性。

### 2.3 HAZOP 分析流程

在化工装置运行中可以系统地运用 HAZOP 技术进行分析, 从而在确保安全的同时提高经济效益, 减少事故损失、提高生产效率等都能带来直接或间接的经济收益 (HAZOP 分析流程如表 1 所示)。

## 3 HAZOP 技术在化工装置中的应用

### 3.1 节点划分

节点划分将化工装置按功能和操作流程划分成不同的节点, 可以使得分析工作更加系统和有条理。节点的划分通常根据化工装置的设计和操作特点, 将其分解为相对独立的操作单元, 如换热器、加热炉、蒸

馏塔等。每个节点都有明确的输入和输出, 以及特定的操作条件和工艺参数。在节点划分过程中, 需要考虑功能独立性, 确保每个节点具有相对独立的功能, 以便单独进行分析和评估; 操作连贯性, 节点的划分应反映实际的操作流程, 使得分析结果能更好地指导操作实践; 管理便利性, 合理的节点划分应便于管理和维护, 使得分析工作可以高效进行<sup>[2]</sup>。

### 3.2 偏差分析

在偏差分析阶段分析小组使用引导词对每个节点的工艺参数进行详细分析, 以识别可能导致危险的偏差。引导词是一些特定的词汇, 用于描述与设计意图的偏离, 如“无”“过量”“减量”“部分”“伴随”“相逆”“异常”等。通过将引导词与工艺参数 (如流量、温度、压力、液位等) 相结合, 可以形成具体的偏差描述, 如“无流量”“温度过高”“压力过低”等。分析小组针对每个偏差, 详细探讨其可能的原因和后果。偏差的原因可能包括设备故障、操作失误、控制失效、腐蚀侵蚀、机械碰撞等, 而后果则可能包括设备损害、爆炸、火灾、毒气释放、影响运转、违反许可、损失产量等。在分析过程中, 需要考虑不同偏差之间的相互影响和传播路径, 以全面评估风险。

### 3.3 风险等级分析

风险等级分析对识别出的偏差进行风险评估, 可以确定哪些偏差具有较高的风险, 从而有针对性地采取控制措施。风险评估通常使用风险矩阵方法, 将风险的严重性和可能性进行定性或定量分析, 并将风险划分为高、中、低三个等级。风险矩阵的构建可以从

表 1 HAZOP 分析流程

步骤	描述
确定分析目标与范围	明确要进行 HAZOP 分析的化工装置部分、操作条件等范围界定内容。
组建分析团队	团队成员包括工艺工程师、操作专家、安全工程师等。凭借自身专业知识为分析提供不同视角。
收集资料	工艺流程图: 详细展示装置的工艺流程、设备连接、物料流向等。 操作规程: 包括正常操作步骤、启动和停车程序等。 设备规格说明书: 了解设备的设计参数、性能等。
划分节点	将整个装置按功能或设备划分为不同节点。
确定偏差	针对每个节点, 根据引导词 (如“无”“过量”“过少”等) 和工艺参数 (如流量、温度、压力等) 确定可能出现的偏差。如对于流量参数, 偏差可能是“无流量”“流量过大”“流量过小”等。
分析原因	找出导致偏差产生的各种可能原因。如“无流量”可能是由于泵故障、管道堵塞、阀门关闭等原因造成。
评估后果	分析偏差产生后的后果, 包括对装置安全、环境、生产效率等方面的影响。如反应釜温度过高可能导致产品质量下降、设备损坏甚至发生爆炸危险。
提出建议	针对评估出的后果, 提出相应的防范或改进措施。如安装温度报警器、增加备用泵等。
记录与文档化	将整个 HAZOP 分析过程中的节点、偏差、原因、后果和建议措施等详细记录下来, 形成文档以便日后参考和审查。

严重性，评估偏差可能导致的最严重后果，包括人员伤害、财产损失、环境影响和声誉影响等；可能性，分析偏差发生的概率，考虑历史数据、类似装置的运行经验、专家判断等因素；风险等级，根据严重性和可能性的评估结果，确定风险的等级，为制定风险控制策略提供依据。

### 3.4 建议措施与跟踪

根据风险等级分析的结果，HAZOP 分析小组针对高风险和中风险问题提出具体的建议措施，可能包括改进工艺设计、增加安全设备、完善操作程序、加强人员培训等。在提出建议措施后，需要对措施的执行情况进行跟踪和评估，以确保措施的有效性和装置的持续安全运行<sup>[3]</sup>。每项建议措施都应明确责任人和时间节点，确保措施能够得到有效执行。对实施的建议措施进行效果评估，验证其是否真正降低了风险。同时还要详细记录建议措施的执行情况和效果评估结果，为日后的审查和改进提供依据。

## 4 HAZOP 技术应用的经济效益分析

### 4.1 减少事故损失

①直接经济损失。化工装置一旦发生事故，往往会造成巨大的直接经济损失，如设备损坏、物料泄漏、生产中断等。通过 HAZOP 技术提前识别并消除潜在危险，可有效避免或减少这些事故的发生。例如，某化工企业通过对一套生产装置进行 HAZOP 分析，发现并整改了一处可能导致爆炸的隐患。若该隐患未被及时发现并引发爆炸事故，预计将造成设备损坏维修费用 500 万元，物料损失 300 万元，生产中断造成的损失约 1000 万元。HAZOP 技术的应用避免了这一潜在的 1800 万元直接经济损失。

②间接经济损失。事故还可能带来间接经济损失，如环境污染治理费用、企业形象受损导致的市场份额下降、法律诉讼费用等。HAZOP 技术降低事故发生率，从而减少了这些间接经济损失。据了解，某化工企业因一次泄漏事故导致周边环境污染，虽未造成重大人员伤亡，但因环境污染治理和企业形象受损，损失了部分重要客户，市场份额下降约 10%。若提前应用 HAZOP 技术预防此类事故，可避免这部分间接经济损失。

### 4.2 提高生产效率

①减少非计划停车。通过 HAZOP 技术优化装置设计和操作流程，及时发现并解决潜在的可操作性问题，可减少因设备故障、工艺异常等原因导致的非计划停车次数。例如，某化工装置在应用 HAZOP 技术前，

每年因各种故障导致的非计划停车次数为 5 次，每次停车平均损失生产时间 3 天，每天的产值约为 50 万元。应用 HAZOP 技术后，非计划停车次数减少到每年 2 次，每年因减少非计划停车增加的产值约为 450 万元。

②优化工艺操作。HAZOP 分析提出的改进建议有助于优化工艺操作条件，提高产品质量和产量。在某化工企业通过 HAZOP 分析对反应釜的温度控制策略进行了优化，使产品的合格率从 90% 提高到 95%，产量也因反应效率的提升增加了 8%。

### 4.3 降低维护成本

①合理安排维护资源。HAZOP 技术指导下确定的维护重点和优化的维护策略，使维护资源得到更合理的分配，避免了不必要的维护工作，降低了维护成本。某化工企业在未应用 HAZOP 技术前，对所有设备采用统一的定期维护模式，每年维护费用为 800 万元。应用 HAZOP 技术后，根据分析结果对设备进行分类维护，重点设备加强维护，一般设备适当延长维护周期，维护费用降低到每年 600 万元，每年节约维护成本 200 万元。

②延长设备使用寿命。及时发现并解决设备潜在问题，可减少设备的磨损和损坏，延长设备使用寿命，降低设备更新成本。化工装置的关键设备通过 HAZOP 技术及时发现并处理了设备内部的局部腐蚀问题，避免了腐蚀进一步恶化导致设备报废<sup>[4]</sup>。

## 5 结论

综上所述，HAZOP 技术在化工装置的全生命周期中具有重要的应用价值，通过全面系统地识别潜在危险和可操作性问题，为化工装置的安全设计、安全操作和有效维护提供了有力支持。同时，HAZOP 技术在化工装置中的应用所带来的经济效益比较明显，不仅减少了事故损失，还提高了生产效率，降低了维护成本，提升了企业的安全管理能力和经济效益，进一步推动化工行业向安全、高效、绿色的可持续发展。

### 参考文献：

- [1] 周淑娟, 崔丽, 刘佳新. 浅析 HAZOP 在石油化工设计中的应用 [J]. 山东化工, 2024, 53(02):196-197+200.
- [2] 宣振. HAZOP 分析方法在化工领域的应用 [J]. 山西化工, 2023, 43(02):155-157.
- [3] 伊秀莉, 孔祥虎. 化工企业安全生产风险分级及管控措施分析 [J]. 当代化工研究, 2024(12):184-186.
- [4] 苏茂辉, 王策. 基于 HAZOP 分析在化工过程故障诊断过程中应用分析 [J]. 山西化工, 2023, 43(02):158-159+162.