

# 化工过程安全与风险评估方法研究

樊 柯

开普工程技术有限公司 河南 郑州 450100

**摘要:** 本文旨在深入探讨化工过程安全与风险评估的方法论,通过系统性地分析定性风险评估与定量风险评估两大类方法,为化工行业的安全生产提供理论依据和实践指导。文章首先概述了化工过程安全的重要性,随后详细阐述了定性风险评估方法(如HAZOP、WIA、FMEA)和定量风险评估方法(如LOPA、QRA)的具体应用与优势,最后总结了风险评估在化工过程安全管理中的关键作用与未来发展趋势。

**关键词:** 化工;安全与风险;定性评估;定量评估

## 引言

化工行业作为国民经济的重要支柱,其生产过程涉及大量易燃、易爆、有毒有害物质,使得化工过程安全成为不可忽视的重要环节。近年来,随着化工生产规模的扩大和工艺的复杂化,化工事故频发,给人民生命财产和环境带来了巨大损失。因此,加强化工过程安全与风险评估,对于预防和控制化工事故、保障生产安全具有重要意义。本文旨在系统性地探讨化工过程安全与风险评估的方法论,为化工行业的安全生产提供理论依据和实践指导,以期降低化工事故的发生率,保障人民生命财产安全和环境的可持续发展。

## 1 化工过程安全与风险评估的必要性

### 1.1 化工过程安全的重要性

化工过程,作为现代工业体系中不可或缺的一环,其安全性的高低直接关联到员工的生命安全、企业的经济效益乃至整个社会的稳定。化工生产过程中,由于原料、中间产物及最终产品往往具有易燃、易爆、有毒或腐蚀性等特性,因此潜在着诸如化学品泄漏、爆炸、火灾等多种危险源。这些危险源一旦失控,不仅会对生产人员构成直接的生命威胁,还可能对周边环境造成长期的、难以逆转的损害<sup>[1]</sup>。正因如此,加强化工过程的安全管理,预防事故的发生,减少人员和财产的损失,就显得尤为重要。

### 1.2 风险评估在化工过程安全管理中的位置

在化工过程的安全管理中,风险评估占据着举足轻重的地位。它是整个安全管理流程的基础环节,通过一系列科学的方法和手段,系统地识别生产过程中潜在的危险源,评估这些危险源可能引发的风险等级,并据此制定出相应的控制措施。风险评估不仅为化工过程的安全运行提供了科学的决策依据,还有助于企业合理配置资源,优先处理高风险区域,从而提高整体的安全管理

水平。因此,深入探讨和研究风险评估方法,对于提升化工过程的安全性具有深远的意义。

## 2 化工过程定性风险评估方法

### 2.1 Hazard and Operability Analysis (HAZOP)

HAZOP,即危险与可操作性分析,是一种广泛应用于化工过程安全评估的定性风险评估方法。其核心在于通过组织一个由多学科专家组成的团队,对化工工艺进行深入、细致的系统性审查。这种方法不仅关注工艺的正常操作条件,更侧重于探索在偏离正常操作条件时可能发生的潜在危险。在HAZOP分析中,专家团队会针对工艺中的每一个关键操作节点,即所谓的“分析节点”,进行详细的讨论。他们通过提出一系列引导词(如“更多”、“更少”、“反向”、“无”等),来模拟可能的操作偏离情况。对于每一种偏离,团队都会深入分析其可能的原因、后果以及现有的安全措施是否足够。HAZOP分析的优点在于其系统性和结构性。通过引导词的使用,能够确保对工艺中所有可能的偏离情况都进行考察,从而避免遗漏。同时,由于分析是基于专家团队的集体智慧,因此能够充分利用各领域专家的知识和经验,提高分析的准确性和全面性。在HAZOP分析的过程中,团队不仅会识别出潜在的危险源,还会对这些危险源进行初步的风险评估,确定其可能导致的后果严重程度。基于这些评估结果,团队会提出相应的控制措施建议,以消除或降低潜在的风险。这些控制措施可能包括修改工艺设计、增加安全设备、加强人员培训等。

### 2.2 What-If Analysis (WIA)

WIA,即假设性分析,是一种灵活且富有创意的化工过程定性风险评估方法。该方法的核心在于通过提出一系列假设性问题,来探索在特定条件下可能发生的故事及其潜在后果。这些问题通常以“如果……会怎样?”的形式出现,旨在引导分析者深入思考各种可能

的异常情况。在WIA分析中，分析者会针对化工过程中的各个环节和要素，提出各种假设性场景。这些场景可能涉及原料的变化、操作条件的波动、设备的故障等。对于每一个假设性场景，分析者都会详细评估其可能引发的事故类型、事故后果的严重程度以及事故发生的概率。WIA分析的优点在于其广泛性和深入性。通过提出各种假设性问题，能够覆盖到化工过程中许多不易被察觉的潜在危险因素<sup>[2]</sup>。同时，由于分析过程需要深入分析事故的后果和可能的影响，因此有助于识别出关键的应急响应需求，为制定有效的预防措施提供重要依据。此外，WIA分析还能够促进团队成员之间的沟通和协作。在分析过程中，不同领域的专家可以共同讨论和评估各种假设性场景，从而增进对化工过程的理解，提高团队的整体风险意识。

### 2.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA，即失效模式与影响分析，是一种针对设备和操作过程的定性风险评估方法。该方法的核心在于通过系统地识别每个设备和操作节点的潜在失效模式，评估这些失效模式对化工过程安全性的影响，以及失效发生的概率和后果的严重性。在FMEA分析中，分析者会首先确定需要分析的设备和操作节点，并针对每个节点，详细列出所有可能的失效模式。这些失效模式可能包括设备损坏、操作失误、信号传输错误等。接着，分析者会评估每种失效模式对化工过程的影响，包括可能导致事故类型、事故后果的严重程度以及事故发生的概率。为了更准确地评估失效模式的影响，FMEA分析通常采用风险优先数(RPN)作为评估指标。RPN综合考虑了失效模式的严重性、发生概率和检测难度，通过计算得出一个数值，用于表示该失效模式的风险水平。根据RPN的大小，企业可以优先处理高风险失效模式，制定相应的预防措施和应急响应计划。FMEA分析的优点在于其系统性和全面性。通过针对每个设备和操作节点的详细分析，能够确保不遗漏任何潜在的失效模式。同时，由于分析过程考虑了失效模式的严重性、发生概率和检测难度，因此能够更准确地评估风险水平，为制定有效的预防措施提供重要依据。

## 3 化工过程定量风险评估方法

### 3.1 Layer of Protection Analysis (LOPA)

LOPA，即保护层分析，是一种用于化工过程定量风险评估的重要工具。该方法的核心在于通过评估现有安全措施(即保护层)的有效性，来确定是否需要增加额外的保护层以进一步降低风险。在LOPA分析中，首先需要识别化工过程中的潜在危险事件，并确定这些

事件可能导致的后果。接着，分析者会评估每个危险事件发生的概率，以及现有安全措施(如安全阀、紧急切断装置、自动控制系统等)在防止或减轻事故后果方面的有效性。这通常涉及到对安全措施的失效概率进行量化评估。除了考虑安全措施的失效概率外，LOPA分析还会综合考虑安全壁厚(即安全措施能够承受的压力或温度等参数的极限值)和潜在影响距离(即事故后果可能波及的范围)等量化指标。这些指标有助于更全面地评估化工过程的风险水平。通过LOPA分析，企业可以清晰地了解现有安全措施在降低风险方面的效果，以及是否需要增加额外的保护层来进一步提高安全性。这种方法能够为企业提供科学的决策依据，帮助企业在有限的资源下实现最优的安全配置。

### 3.2 Quantitative Risk Assessment (QRA)

QRA，即定量风险评估，是一种深入且全面的化工过程风险评估方法。其核心在于通过综合考虑各种可能的事故情景及其发生的概率，以及这些事故可能带来的人员伤亡、环境破坏等后果，来评估化工过程的整体风险水平。在进行QRA分析时，首先需要识别化工过程中所有可能的事故情景，这包括原料泄漏、设备故障、操作失误等各种潜在的危险事件。接着，分析者会利用统计学方法和历史数据，评估每种事故情景发生的概率。这一步骤通常需要对大量的数据进行收集和分析，以确保评估结果的准确性。除了评估事故发生的概率外，QRA还会详细分析每种事故情景可能带来的人员伤亡和环境破坏等后果。这包括评估事故的潜在影响范围、影响程度以及可能持续的时间等。通过这些分析，企业可以更全面地了解事故可能带来的各种后果，从而制定更为精确的风险控制措施<sup>[3]</sup>。QRA分析的优点在于其全面性和精确性。通过综合考虑各种可能的事故情景和后果，QRA能够为企业提供更科学的风险量化依据。这有助于企业更准确地了解自身的风险水平，从而制定更为有效的风险控制措施。同时，QRA还可以帮助企业优化资源配置，将有限的资源投入到最关键的风险控制领域，实现风险的最大降低。

## 4 化工过程风险评估流程与方法选择

### 4.1 风险评估流程

化工过程的风险评估是一个系统且连续的过程，通常包括风险识别、风险评估、风险控制和风险监控四个关键步骤。在风险识别阶段，首要任务是确定化工过程中潜在的污染源和风险类型。这包括识别可能的危险物质、危险操作、设备故障以及外部环境因素等。通过现场勘查、资料审查、专家咨询等方式，全面收集和分析

相关信息,确保危险源的准确识别。风险评估阶段紧随其后,此阶段需采用定性和定量方法相结合的方式,对识别出的风险进行评估。定性方法如HAZOP、WIA等,用于探索潜在的危险因素和应急响应需求;定量方法如LOPA、QRA等,则提供精确的风险量化依据。通过综合评估,确定风险等级和优先级,为风险控制提供科学依据。风险控制阶段是基于风险评估结果,制定并实施针对性的控制措施。这包括改进工艺设计、加强设备管理、提高人员培训水平、完善应急响应计划等。通过实施这些措施,降低风险等级,提高化工过程的安全性<sup>[4]</sup>。最后,在风险监控阶段,需定期对化工过程进行监测和更新,确保风险控制措施的有效性。这包括定期复查风险评估结果、跟踪控制措施的实施效果、及时调整风险控制策略等。通过持续的风险监控,确保化工过程始终处于可控状态。

#### 4.2 方法选择原则

在化工过程风险评估中,选择合适的方法对于确保评估的准确性和有效性至关重要。方法的选择应基于化工过程的特性、评估目的、可用资源以及评估结果的精度要求等因素进行综合考虑。定性方法,如HAZOP、WIA和FMEA等,通常适用于初步筛查和快速评估。这些方法侧重于识别潜在的危险因素和失效模式,以及它们对化工过程安全性的影响。定性方法相对简单且易于实施,能够在较短时间内提供对风险的初步了解。然而,它们通常无法提供精确的风险量化数据,因此可能需要在后续阶段采用定量方法进行进一步评估。定量方法,如LOPA和QRA等,则适用于需要精确量化风险水平的场景。这些方法通过收集和分析大量的数据,能够提供更准确的风险评估结果。定量方法能够考虑多种因素的综合影响,包括失效概率、事故后果的严重性和潜

在影响范围等。然而,它们通常需要更多的资源和时间来实施,并且可能需要专业的知识和技能。在选择风险评估方法时,还可以考虑结合多种方法进行综合评估。例如,可以先使用定性方法进行初步筛查,识别出潜在的高风险区域或因素;然后,针对这些高风险区域或因素,采用定量方法进行更深入的分析 and 评估。这种综合评估方法能够提高评估的准确性和全面性,为制定有效的风险控制措施提供更可靠的依据。

#### 结语

化工过程安全与风险评估是保障化工企业安全生产的重要手段。本文综述了定性和定量风险评估方法的具体应用与优势,为化工行业的风险评估实践提供了理论支持。通过合理选择和应用风险评估方法,化工企业可以更有效地识别和控制潜在危险,降低事故发生率。未来,随着大数据、人工智能等技术的不断发展,化工过程安全与风险评估将向智能化、自动化方向发展。通过建立完善的风险评估体系和数据平台,实现风险的实时监测和预警,将进一步提升化工过程的安全管理水平。同时,绿色化工理念的推广也将促使风险评估更加注重环境影响和可持续发展因素。

#### 参考文献

- [1]沙帅,胡泽华,王浩,等.化工工艺安全风险评估与控制[J].化工管理,2024,(22):139-141.
- [2]衣佳琳,王海彦,张继国,等.HAZOP结合What-if方法在某延迟焦化装置除焦中的应用[J].中国安全生产科学技术,2021,17(10):147-151.
- [3]让淑领.基于CASST-QRA某化工企业重大危险源定量分析与评价研究[J].煤炭与化工,2021,44(06):153-155.
- [4]王力锋,张翔.过程控制和风险管理在化工安全评价中的重要性分析[J].天津化工,2024,38(04):79-81.