

# Study on the safety design and risk assessment of chemical plant

Hangjian Zhang

Dubang Xingda (Wuxi) Single Silk Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214183, China

## Abstract

The safety design and risk assessment of chemical equipment are the important links to ensure the smooth progress of chemical production. This study is a comprehensive study on safety design and risk assessment, and the practical evaluation model is proposed and established. First of all, for all kinds of chemical devices, the possible safety risks are classified and sorted out, and the key units for safety strategy design are identified. Secondly, a risk assessment model based on scientific quantification is proposed to comprehensively evaluate various risk factors through multi-dimensional and multi-angle quantitative analysis. Finally, according to the evaluation results, the safety design scheme and risk prevention measures are formulated to manage and control risks more effectively. This study will help the continuous operation of chemical equipment in a safe environment, reduce the risk of safety accidents in chemical production, improve equipment efficiency and reduce economic losses.

## Keywords

chemical plant; safety design; risk assessment; quantitative assessment model and risk prevention measures

## 化工装置安全设计与风险评估研究

张航健

杜邦兴达(无锡)单丝有限公司, 中国·江苏 无锡 214183

## 摘要

化工装置的安全设计和风险评估是保障化工生产顺利进行的重要环节。本研究针对化工装置进行了全面深入的安全设计与风险评估研究, 提出并建立了具有实用价值的评估模型。首先, 针对各类化工装置, 对其可能存在的安全风险进行分类和整理, 确定了需要进行安全策略设计的关键单元。其次, 提出了基于科学量化的风险评估模型, 通过多维度和多角度的定量分析, 对各类风险因素进行全面评估。最后, 依据评估结果, 针对性研究制定了安全设计方案与风险防范措施, 以更有效地管理和控制风险。此研究将有助于化工装置在安全的环境下持续运行, 降低化工生产中的安全事故发生风险, 提高设备效率, 减少经济损失。

## 关键词

化工装置; 安全设计; 风险评估; 量化评估模型; 风险防范措施

## 1 引言

化工装置的安全难题一直是化工领域关注的焦点, 其涵盖的问题既有技术性, 也有管理性。人为失误及设备故障是化工领域事故出现的主要原因, 设计的合理性、设备运行的安全性决定了化工装置是否能经受住各种风险的考验。对于化工装置的安全设计与风险评估, 急需展开深入研究。

## 2 化工装置安全风险现状及挑战

### 2.1 化工装置安全事故的类型和影响

化工装置安全事故具有多样性, 其类型主要包括火灾爆炸事故、有毒有害物质泄漏事故、设备失效事故以及操作失误引发的事故等。这些事故的发生通常伴随着严重的经济损失、环境污染以及人员伤亡。火灾爆炸事故是化工行业中

常见且破坏性最强的事故类型, 往往导致连锁反应, 造成大面积设施损坏和物资损失。危险化学品的泄漏不仅对作业人员的安全构成威胁, 还可能造成周边环境的长期污染。设备失效事故则常因长期运行和维护不当导致, 可能引发整个工艺流程的中断, 导致企业生产效率降低。操作失误引发的事故则普遍涉及人为因素, 往往具有不可预测性和复杂性。上述事故的社会影响显著, 包括对公众安全感的冲击和对区域经济的负面影响。化工装置的安全事故类型及其重大影响强调了加强安全设计和风险管理的必要性, 以降低潜在危害并增强系统的稳定性。

### 2.2 化工装置安全设计与防范的挑战

化工装置安全设计与防范面临多重挑战, 包括复杂多样的工艺环境、安全风险因素的动态变化、设备老化与维护不足, 以及人员操作不当等, 需针对风险特性制定科学的防控策略以确保安全运行。

【作者简介】张航健(1992-), 男, 满族, 中国吉林松原人, 本科, 工程师, 从事安全工程研究。

## 3 化工装置的安全风险分类和识别

### 3.1 化工装置的主要安全风险类型

化工装置的主要安全风险类型可分为多种,涉及生产、操作及环境等多个领域。在生产过程中,化学反应的不稳定性及物料泄漏是重要的风险源,可能导致爆炸或火灾等严重事故。操作过程中,由于设备老化或人为操作失误,常引发系统故障,对生产安全构成潜在威胁。环境因素如高温高压以及腐蚀性物质的影响,会加速设备的磨损,导致设备性能下降,从而增加事故发生率。化工装置的控制系統若出现故障或失灵,可能导致整个生产过程失控,进而引发重大安全事故<sup>[2]</sup>。随之而来的连锁反应,可能造成更大范围的人员伤亡和经济损失。

### 3.2 化工装置的关键单元和设备

化工装置的关键单元和设备在安全风险评估中占据重要地位。关键单元通常包括反应器、分离器、储罐、输送管道及其附属设备。这些单元由于其复杂的工艺流程和操作条件,容易诱发事故。反应器作为化工生产的核心,承载着进行化学反应的任务,其运行状态对整个系统的安全至关重要。分离器用于分离产品或杂质,操作不当可能导致泄漏或意外反应。储罐作为物料储存的主要设施,一旦发生泄漏,可能引发严重的环境和安全问题。输送管道连接各关键单元,故障可能导致大面积停产和安全事故。对这些设备的风险识别和管理至关重要,以确保化工装置的整体安全运行。

### 3.3 化工装置的风险识别过程和结果

化工装置的风险识别过程包括关键单元的筛选、潜在风险源的识别以及风险影响的评估<sup>[3]</sup>。通过系统分析和数据收集技术,确定了易引发安全事故的设备及流程环节。结合历史事故案例与专家判断,应用危险与可操作性研究(HAZOP)、故障树分析(FTA)等方法,对可能的风险因素进行深入分析。在识别过程中,明确了不同风险源的作用机制和关联关系,形成了系统性的风险分布图。结果表明,高温高压作业、腐蚀性化学物质泄漏以及关键设备失效是主要风险因素,需重点关注并采取针对性防范措施。

## 4 基于科学量化的化工装置风险评估模型

### 4.1 多维度多角度的风险因素分析

多维度多角度的分析是进行化工装置风险评估的基础,旨在识别并量化多种风险因素对装置安全运行的影响。风险因素主要涵盖物质危险性、操作条件、设备可靠性、环境条件和人因影响等方面。在物质危险性方面,需要分析所涉及化工原料及中间体的物理化学性质,包括可燃性、毒性、爆炸性和反应活性等特征<sup>[4]</sup>。在操作条件方面,重点关注温度、压力、流量等工艺参数的变化范围及其对风险的诱发可能性。设备可靠性方面,需综合评估关键设备的故障模式、失效后果以及维护状况对系统整体安全性的作用。环境条件则强调外部因素如自然灾害、周边环境和场地条件的潜在影

响。人因分析深入研究操作人员的知识水平、行为模式和应急能力对安全事件发生的干预作用。通过多角度观察和多参数关联分析,能够为后续量化评估模型提供科学支撑。

### 4.2 化工装置风险的量化评估指标

化工装置风险的量化评估指标是建立科学量化评估模型的基础,其设计需充分体现风险的关键属性,包括可能性、严重性和暴露度等核心维度。可能性指标通过对设备故障率、工艺参数波动频率及失效历史数据的分析确定,用于表征风险事件发生的概率。严重性指标主要评估事故对人员、设备、环境及经济的潜在影响,结合泄漏量、毒性、易燃性等参数进行计算。暴露度指标则根据危险状态出现的时间长度及频率来量化。为提高评估的准确性,还应考虑设备老化程度、环境条件、操作习惯等外在因素,并通过加权方法整合各指标。上述指标体系为化工装置的全面风险评估提供了定量依据,可实现对风险的深入理解和科学管理。

### 4.3 量化评估模型的建立和参数选择

在化工装置风险评估模型的建立过程中,需选取精准的量化指标,以全面评估风险因素。模型构建应综合考虑设备的物理状态、操作条件和历史事故数据,采用数学和统计方法进行风险量化。参数选择应基于数据的可靠性和相关性,确保模型的准确性和可操作性。通过灵敏度分析优化模型参数,以提高评估结果的可信度,为安全设计提供指导。

## 5 化工装置安全设计方案与风险防范措施

### 5.1 安全设计方案的确定和优化

安全设计方案的确定和优化是化工装置安全管理中的关键环节。为有效降低风险并保障生产安全,需要在设计方案中融入先进的安全理念与技术。对装置进行全方位的风险评估,识别高风险单元和关键设备,确保设计方案的针对性和可操作性。通过使用多维度的风险分析工具,细致评估各类潜在风险的概率和影响,形成量化的风险地图,以指导设计方案的具体实施。综合考虑化工装置的复杂性和生产特点,结合最优工艺流程和防护措施,实施动态优化设计。在设计过程中,还需考虑技术的可升级性和适应性,以便在新技术和实践经验的影响下进行持续改进。只有在确保设计全面和有效的基础上,才能为装置的安全稳定运行提供有力保障,并提升其整体效率和经济效益。

### 5.2 风险防范措施的选择和实施

风险防范措施的选择和实施在化工装置的安全设计中至关重要,直接关系到装置的安全运行和事故预防。有效的风险防范措施需要综合考虑化工装置的具体特性、风险评估结果及外部环境因素。针对识别的风险类型,需制定针对性的防范策略,确保措施的科学性与实效性。风险消减技术、自动化控制系统和防护设备等技术手段在防范措施中应用广泛。实施过程中应依据合规标准和最佳实践,确保良好的设备管理和人员培训。信息监控和预警系统的建立,可实现

对潜在风险的实时监控与早期预警。通过以上措施的全面实施，能有效增强化工装置的抗风险能力。

### 5.3 风险管理和控制的关键步骤

风险管理和控制的关键步骤是确保化工装置在安全设计中持续发挥作用的核心。应制定详细的风险管理计划，明确各个阶段的风险控制目标 and 责任。对于识别出的风险，应采用科学的量化评估方法进行优先级排序，确保资源合理配置。制定并实施针对特定风险的控制措施，确保其在操作中得到有效应用。实时监控和定期审查控制措施的效果是必要的，可以通过数据采集和分析及时调整策略。加强员工培训，提高其对风险的认识和应对能力，确保所有措施和计划有效落实。

## 6 化工装置安全设计与风险评估的应用与效果

### 6.1 化工装置安全设计与风险评估的应用领域

化工装置安全设计与风险评估的应用领域涵盖多个关键工业环节和领域，广泛应用于化工、石油、天然气、制药以及材料加工等行业。这些领域中，化工装置因涉及多种高温、高压、易燃、易爆、有毒等危险介质，其设计与运行需要严格的安全保障体系。在石油和天然气领域，通过风险评估模型对管道输送、储存装置进行安全分析，有助于提高设备可靠性并降低事故发生概率。在制药工业中，利用科学量化的风险评估对涉及反应釜和精馏装置的工序进行安全设计，可有效避免因操作失误或设备故障引发的安全问题。在材料加工和新工艺开发中，风险评估可用于识别潜在安全隐患，为新技术的工程化实施提供安全保障。该方法的广泛应用显著增强了化工装置的系统安全性，推动了工业生产的可持续发展。

### 6.2 安全设计与风险评估的经济效益分析

安全设计与风险评估的经济效益主要体现在事故防范、资源优化和生产效率提升等方面。通过全面的安全设计，可以有效降低化工装置运行中的事故发生率，减少因事故引发的人员伤亡、设备损毁及停工损失，从而节约巨额经济成本。基于科学量化的风险评估模型能够精确识别高风险因素，使得资源分配更加合理，有助于优化化工装置的管理和运行流程。安全设计和风险防范措施的实施提高了设备稳定性和使用寿命，减少了维护和更换成本，保障了化工企业的长期稳定收益。优化的安全策略还能够促进企业的绿色、可持续发展，提升市场竞争力与品牌公信力。

### 6.3 技术应用和持续改进的重要性

技术应用和持续改进在化工装置的安全设计与风险评估中至关重要。通过实施先进的技术应用，可以显著提高装置的安全性和运行效率，最大限度地减少事故发生的可能性。在安全评估实践中不断融入最新的技术进步，有助于及时识别和应对新兴风险。持续改进的过程确保了安全设计方案能够动态适应环境和技术的变化，保持其有效性和科学性。这种动态适应性对于实现长期的安全和经济效益至关重要。保证技术始终处于前沿位置，不仅提高了安全标准，也增强了企业的竞争优势。

## 7 结语

总结来看，本研究主要从三个方面阐述了化工装置的安全设计与风险评估：首先对各类化工装置的安全风险进行了彻底的分类和整理，并确定了需要进行安全策略设计的关键单元；其次开发了一种基于科学量化的风险评估模型，该模型通过多维度和多角度进行定量分析，全面评估了各类风险因素；最后，根据评估结果，定制了特定的安全设计方案和风险防范措施，以更好地管理和控制风险。通过这一研究，能够为化工装置在安全环境下的持续运行提供依据，降低化工生产中的安全事故发生风险，提高设备效率，并减少经济损失。然而，该研究的评估模型仍存在一些局限性。例如，模型可能没有考虑到所有可能的风险因素，或者一些风险因素可能被高估或低估。同时，安全设计方案和风险防范措施的实施效果还需要在实际生产中进行验证。未来的研究可以继续深化和扩展该研究，例如，可以进一步改进和完善风险评估模型，使其更加准确地预测潜在的风险；或者可以探索更多的安全设计策略和风险防范措施，以适应不断变化的生产环境。总的来说，本研究为化工装置的安全设计与风险评估提供了一种新的视角和方法，未来的研究可以在此基础上进一步发展和提升。

### 参考文献

- [1] 丁都林成杰.化工装置SIS系统功能安全评估体系的研究与应用[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(01):1-3.
- [2] 林琅.基于模糊综合评价法的石油化工装置安全风险评估研究[J].能源与环保,2021,43(07):100-104.
- [3] 韩凯.石油化工装置设计与安全[J].化工设计通讯,2020,46(05):84-84.
- [4] 陈硕胡苏.典型化工装置安全完整性评估验证[J].现代化工,2020,40(05):10-13.