

精细化工生产工艺特点及安全注意事项探究

李彬宏

广东 佛山 528012

DOI:10.61369/ME.2025100003

摘要：精细化工具有高附加值等特征，介绍其产品、行业特点及趋势。涵盖生产环节、合成反应问题、单元操作精细化要求、研发到生产过程差异、设备适应性验证等内容，还强调安全相关要点，包括风险分析与控制、人员操作安全及应急演练等。

关键词：精细化工；生产工艺；安全

Study on The Characteristics and Safety Precautions of Fine Chemical Production Process

Li Binhong

Foshan, Guangdong 528012

Abstract : Fine chemicals are characterized by high added value and other features. This article introduces the products, industry characteristics, and trends of fine chemicals. It covers production processes, issues in synthesis reactions, the need for precision in unit operations, differences between R&D and production processes, and equipment adaptability verification. Additionally, it emphasizes safety-related aspects, including risk analysis and control, personnel operation safety, and emergency drills.

Keywords : fine chemical industry; production process; safety

引言

精细化工作为技术密集型产业，具有高附加值等特点。近年来，随着环保政策（如2020年发布的《关于进一步加强工业企业环境保护工作的指导意见》）的推进，行业呈现出新型催化剂开发及清洁生产技术的发展趋势。其涵盖从原料预处理到产品精制等多环节，多步合成反应存在中间体不稳定等复杂问题。同时，生产工艺的单元操作精细化要求涉及多个关键方面，从研发到生产存在放大效应等差异，且设备适应性验证、过程危险性分析、风险控制策略等至关重要。这些都需要深入研究以实现精细化工行业的可持续发展。

一、精细化工生产概述

（一）行业特征与发展趋势

精细化工具有高附加值、技术密集型等特征。其产品因技术含量高、应用领域特殊，往往具有较高的经济价值。同时，该行业对技术研发依赖度高，涉及多学科交叉领域，从新型催化剂开发到生产工艺优化，都需要大量的技术投入。随着社会对环保和可持续发展的关注度不断提高，精细化工行业呈现出新型催化剂开发及清洁生产技术的发展趋势。新型催化剂的研发有助于提高反应效率、降低生产成本以及减少污染物排放。清洁生产技术的应用则能更好地满足环保要求，提升企业的社会责任感和市场竞争力。工艺升级对于精细化工行业至关重要，它是行业适应市场需求和环保要求，实现可持续发展的关键路径^[1]。

（二）生产流程框架解析

精细化工生产涵盖从原料预处理、多步合成到产品精制等环节。以医药中间体和电子化学品为例，原料预处理是关键起始步

骤，旨在确保原料符合后续合成要求，可能涉及提纯、干燥等操作^[2]。多步合成过程复杂且精细，每一步都需严格控制反应条件，如温度、压力、催化剂用量等，以保证产品质量和收率。这一过程中，各步反应相互关联，前一步的产物作为下一步的原料，体现了工艺流程的连续性。产品精制则是对合成产物进行进一步提纯和加工，去除杂质，使其达到所需的纯度和质量标准，满足不同领域的应用需求。

二、生产工艺特性分析

（一）多元化合工艺复杂性

精细化学品结构特殊，其多步合成反应涉及诸多复杂问题。中间体的不稳定性是一大挑战，这要求在工艺设计中精确控制反应条件，如温度、压力和反应时间等，以防止中间体分解或发生副反应，影响最终产品质量^[3]。同时，中间体的异构化倾向增加了工艺的复杂性，不同的异构体可能具有不同的化学性质和反应

活性，需要深入了解反应机理，选择合适的催化剂和反应路径，确保合成朝着预期的方向进行，得到目标产物的正确异构体结构。这些因素都使得精细化工的多元化合工艺在设计和操作上需要更高的技术要求和精准控制。

（二）单元操作精细化要求

精细化工生产工艺的单元操作精细化要求涉及多个关键方面。微反应器应用能实现高效的化学反应，其精确的流体控制和高效的传热传质特性，可精确调控反应条件，提高反应选择性和收率^[4]。精准温控体系对于维持反应的稳定性和产品质量至关重要，通过先进的温度传感器和控制系统，能将温度控制在极小的误差范围内。超临界分离技术利用超临界流体的特殊性质，实现高效的物质分离，其操作参数如压力、温度等需精准控制，以确保分离效果。这些离散化生产单元间耦合运作时，对各工艺参数的精准控制要求极高，任何微小的偏差都可能影响产品质量和生产安全。

三、研发与生产过程的差异比较

（一）研发过程特性分析

1. 小试阶段工艺优化

在精细化工研发的小试阶段，工艺优化涵盖多个关键方面。反应路径筛选是核心环节之一，通过对不同反应途径的理论分析和实验验证，确定最具可行性和高效性的路径^[5]。溶剂体系优化同样重要，需考虑溶剂对反应速率、选择性以及产物分离的影响，寻找最佳的溶剂组合以提高反应性能。催化剂活性评价也是关键步骤，通过精确的实验设计和分析，评估催化剂在特定反应条件下的活性、稳定性和选择性，为后续工艺改进提供依据。这些研究范式相互关联，共同构成了小试阶段工艺优化的整体框架，为精细化工研发奠定坚实基础。

2. 放大效应应对策略

在精细化工从研发到生产的过程中，研发多为小规模的实验，而生产则是大规模的制造，这中间存在显著的放大效应。从毫克级向吨级放大时，传质传热会产生巨大差异。对于传质传热差异的量化评估，需要综合考虑多种因素，如反应体系的物理化学性质、反应器的结构和操作条件等^[6]。通过建立合适的数学模型，可以对这些差异进行量化描述。在工程解决方案方面，可从反应器设计优化入手，例如改进搅拌装置以增强传质效果，合理设计换热系统来改善传热效率。同时，要对生产过程中的关键参数进行实时监测和控制，确保生产过程能够稳定地接近研发过程所期望的条件，从而实现高效、安全的生产。

（二）生产转化关键控制点

1. 工艺参数窗口调整

在精细化工中，研发与生产过程存在诸多差异。从工艺参数窗口调整看，研发阶段更注重探索物质反应的可能性及最佳条件，参数范围相对较窄且精确。而生产过程需考虑大规模、连续性及经济性等因素。在生产转化关键控制点上，基于经济性评估对反应时间、投料配比等参数的适应性调整至关重要。反应时间需在保证产品质量前提下，尽量缩短以提高生产效率。投料配比

要综合考虑原料成本、产品收率等，找到最佳经济平衡点。例如，在某些聚合反应中，适当增加引发剂用量可缩短反应时间，但会增加成本，需权衡^[7]。这些调整是实现高效、经济生产的关键。

2. 设备适应性验证

在精细化工中，设备适应性验证至关重要。材质耐腐蚀性直接影响设备使用寿命和产品质量。若材质不耐腐蚀，可能导致设备损坏，进而影响生产的连续性和产品的稳定性^[8]。密封性能测试同样关键，不良的密封可能导致物料泄漏，不仅造成浪费，还可能引发安全事故，危及生产环境和人员安全。这些设备验证要点与工艺稳定性紧密相关。只有确保设备材质耐腐蚀且密封性能良好，才能为稳定的生产工艺提供保障，实现从研发到生产的顺利转化，满足精细化工生产的高质量要求。

四、安全生产管理体系构建

（一）反应安全风险评估

1. 过程危险性分析

过程危险性分析在精细化工生产中至关重要。应用 HAZOP 方法可对热失控、副反应等风险源进行系统识别。通过对工艺参数的偏差分析，如温度、压力、流量等，确定可能导致的危险后果。例如，温度过高可能引发副反应，产生有害物质或导致反应失控。对工艺流程的各个节点进行详细考察，识别潜在的危险场景，包括物料混合顺序错误、设备故障等情况。这种分析有助于提前采取措施，如设置安全联锁装置、优化操作流程等，以降低事故发生的可能性，保障精细化工生产的安全稳定进行^[9]。

2. 风险控制策略

风险控制策略在精细化工生产中至关重要。对于反应安全风险评估所识别出的风险，需从多方面制定控制策略。一方面，基于本质安全设计理念改进工艺，从根源上降低风险。例如，优化反应条件、选用更安全的原材料等，以减少潜在的危险物质和能量释放。另一方面，重视应急冷却系统的冗余配置。确保在冷却系统出现故障时，冗余部分能够及时启动，维持反应温度在安全范围内，防止因温度失控引发的一系列安全事故。通过这些风险控制策略的综合实施，可有效提高精细化工生产的安全性，降低事故发生的可能性^[10]。

（二）设备本质安全设计

1. 防泄漏安全保障

双机械密封结构可有效防止有毒物料泄漏。其设计应考虑密封面的材质选择，需具备良好的耐腐蚀性和耐磨性，以适应有毒物料的特殊性质。同时，密封结构的安装要严格按照规范操作，确保密封效果。在线泄漏检测系统对于有毒物料设备至关重要。它能够实时监测设备是否存在泄漏情况，一旦检测到泄漏，应立即发出警报。该系统的准确性和灵敏度需经过严格测试和验证，以保证其可靠性。在实际应用中，要定期对双机械密封结构和在线泄漏检测系统进行维护和检查，及时更换损坏的部件，确保整个防泄漏安全保障体系的正常运行，从而保障生产过程的安全性。

2. 防爆体系构建

在可燃性物质处理过程中，惰性气体保护系统至关重要。通过向系统中充入适量的惰性气体，如氮气等，可有效降低氧气浓度，防止可燃性物质与氧气形成可燃混合气，从而避免爆炸危险。同时，抗爆建筑结构也是防爆体系的关键组成部分。其设计应依据相关标准和规范，采用合理的结构形式和材料，确保在爆炸发生时能够承受爆炸冲击，减少对人员和设备的伤害。例如，采用加固的墙体、防爆门窗等措施。此外，对于设备的选型和安装也需考虑防爆要求，确保设备本身具备一定的防爆性能，如采用防爆电机、防爆仪表等，从多个方面构建完善的防爆体系，保障精细化生产的安全。

（三）人员操作安全规范

1. 标准操作规程 (SOP) 建设

为确保精细化生产人员操作安全，需构建完善的标准操作规程 (SOP)。应详细制定阀门切换顺序的标准操作流程，明确在不同生产阶段、不同工艺要求下阀门的正确切换方式，避免因操作失误引发安全事故。同时，针对异常工况处置制定标准化指导体系，对可能出现的温度异常、压力异常、物料泄漏等情况，规定详细的应对措施和操作步骤。这些 SOP 应具备可操作性和指导性，操作人员需严格按照标准执行，且要定期对 SOP 进行评估和更新，以适应生产工艺的改进和变化，确保在任何情况下都能保障生产安全。

2. 应急演练机制

安全生产管理体系构建需涵盖多方面。在人员操作安全规范

上，要制定详细的操作规程，明确各岗位人员的操作流程和职责，确保员工严格按照标准操作，避免因人为失误引发安全事故。同时，要加强对员工的安全培训，提高其安全意识和操作技能。

应急演练机制至关重要。应建立针对泄漏 / 火灾事故等的三级响应体系，明确不同级别事故的响应流程和责任分工。同时，开发仿真培训系统，模拟真实的事故场景，让员工在虚拟环境中进行应急演练，提高其应对突发事件的能力。通过定期开展应急演练，检验和完善应急预案，确保在实际事故发生时能够迅速、有效地进行应对，最大程度减少事故损失。

五、总结

精细化生产具有流程精密、安全风险耦合等特点。其生产工艺的复杂性要求我们深入理解这些规律。基于本质安全设计的工艺改进是关键方向，通过优化工艺，从源头上降低风险。同时，智能监测技术的融合发展不可或缺，它能实时监控生产过程，及时发现潜在安全隐患。此外，要重视研发阶段安全评估向生产环节的有效传导机制建设，确保安全理念和措施在整个生产过程中得以贯彻。只有综合考虑这些方面，才能提高精细化生产的安全性和可靠性，推动精细化行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 程雪玲. 三步法合成防水卷材专用 SBS 生产工艺探究 [D]. 中国石油大学 (北京), 2022.
- [2] 成贝. 黑稻蒸谷米的生产工艺及品质研究 [D]. 武汉轻工大学, 2023.
- [3] 尹浪. 多功能木质板材生产工艺控制研究及应用 [D]. 贵州大学, 2023.
- [4] 任洋洋. 鱼肉 - 鸡肉双蛋白鱼丝的生产工艺及品质控制 [D]. 华中农业大学, 2022.
- [5] 李宁. 鸭发酵饲料生产工艺的研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2021.
- [6] 唐建业, 张旭, 杨龙, 等. 精细化化工反应的工艺安全设计措施探讨 [J]. 化工设计, 2022, 32(5):3-5.
- [7] 周明宇. 论安全仪表系统在精细化化工中的应用 [J]. 中国科技投资, 2021(19):156, 160.
- [8] 张艳君. 精细化化工项目竣工环保自主验收注意事项 [J]. 广州化工, 2021, 49(11):99-100, 121.
- [9] 钱正球. 精细化化工安全生产事故原因及处理研究 [J]. 科学与信息化, 2021(25):178-180.
- [10] 赵健, 吉鹏飞, 白海斌. 精细化化工安全管理中存在的问题及对策 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(15):67-68.