

化工工程中化工生产工艺探讨

马云宝 展茂辉

浙江华大树脂有限公司 浙江 丽水 323000

摘要：化工生产工艺以化学反应为核心，涵盖原料预处理、反应控制、产物分离等环节。本文探讨了工艺在化工生产中的核心地位，分析了反应条件、设备匹配、工艺弹性等关键影响因素及优化方向，并阐述了绿色工艺设计、节能减排技术应用及循环经济模式探索等绿色化与可持续发展趋势。这些研究对提升化工生产效率、降低环境负荷、推动产业升级具有重要意义。

关键词：化工生产工艺；反应控制；设备匹配；绿色化；循环经济

引言：化工行业作为国民经济支柱产业，在推动经济发展中发挥关键作用。化工生产工艺作为化工生产的核心，是将实验室成果转化为实际产品的关键桥梁。它不仅决定产品质量与生产效能，还与资源利用、环境保护息息相关。深入探讨化工生产工艺，剖析其核心环节、影响因素及发展趋势，对提升化工行业竞争力、实现可持续发展具有重要意义。

1 化工生产工艺的核心地位与重要性

1.1 定义与范畴

化工生产工艺是以化学反应为基石构建的技术体系，贯穿原料预处理、反应过程精准调控、产物分离与精制等3个关键环节，最终实现目标产物从实验室到工业化的稳定生产。这一体系并非孤立存在，而是与化学工程、化学工业形成紧密的三角关系^[1]。化学工程为工艺开发提供理论框架，通过流体力学、传热传质等基础研究，指导反应器设计与操作参数优化；化学工业则作为工艺的实践场域，将实验室成果转化为规模化生产能力，同时反馈实际生产中的问题推动工艺迭代。三者相互渗透，工艺既是工程理论的具象化载体，也是工业升级的核心驱动力。

1.2 工艺在化工生产中的核心作用

工艺水平直接决定产品质量与生产效能。反应条件的细微波动可能引发产物结构差异，例如温度控制精度影响催化剂活性寿命，以某催化反应为例，温度偏差1摄氏度可能导致催化剂寿命缩短10小时，压力调节幅度改变反应平衡方向，这些因素共同决定产品纯度与收率。资源利用效率与环境保护亦与工艺设计深度绑定。高效的工艺路线可通过提高原子利用率减少原料浪费，优化

的分离技术能降低溶剂消耗，而废弃物资源化处理工艺则将生产末端转化为新的资源输入点。在技术创新层面，工艺突破往往成为行业变革的起点。连续流工艺替代传统间歇式生产可提升设备利用率，生物催化技术引入能突破高温高压反应限制，这些创新不仅降低能耗，更推动整个产业向绿色可持续方向演进。工艺的持续优化已成为化工行业应对资源约束、环境压力与市场竞争的核心策略。

2 化工生产工艺的核心环节与技术原理

2.1 原料预处理技术

在化工生产流程里，原料预处理是极为关键的首要步骤，为后续反应的顺利进行奠定基础。物理预处理方式多样，净化操作不可或缺。过滤是利用多孔介质将原料中的固体杂质截留，让液体或气体通过，从而实现固液或固气分离，有效去除原料中的颗粒状不纯物。吸附则是借助吸附剂对特定物质的吸附能力，将原料中的微量杂质吸附在吸附剂表面，提升原料的纯净度。提浓操作中，蒸馏依据混合物中各组分沸点的差异，通过加热使低沸点组分先汽化，再将蒸汽冷凝收集，实现组分的分离与提浓。萃取是利用溶质在两种互不相溶的溶剂中溶解度的不同，将溶质从一种溶剂转移到另一种溶剂中，达到提浓原料的目的^[2]。对于固体原料，粉碎操作能增加原料的表面积，使反应接触更充分，加快反应速率。化学预处理同样发挥着重要作用。改性处理通过氧化、还原等化学反应改变原料的化学结构和性质，使其更符合反应要求。例如，某些原料经过氧化改性后，活性增强，更易参与后续反应。活化处理常见于催化剂相关操作，将催化剂负载在合适的载体上，提高催化剂的分散度和稳定性，增强催化活性。原料预处理的目标明确，旨在满足反应对原料纯度、粒度、活性等方面的严格要求，进而提升反应效率，降低生产成本。

通讯作者：展茂辉，1979年03月02日出生，2003年毕业于东华理工学院，现就职于浙江华大树脂有限公司。主要从事企业生产技术工作

2.2 化学反应控制技术

化学反应控制是化工生产工艺的核心环节。反应类型丰富多样,氧化、还原、聚合、催化等反应在化工生产中广泛应用。不同反应对温度、压力、催化剂等条件要求各异。例如,氧化反应通常需要一定温度和氧气参与,合适的温度能加快反应速率,而压力的变化可能影响反应的平衡和选择性。催化剂的选择更是关键,它能降低反应的活化能,提高反应速率和选择性。反应动力学与热力学平衡的把握至关重要。通过调整原料在反应器中的停留时间,可以控制反应进行的程度,使反应更充分。合理调整原料配比,能在保证较高转化率的同时,提高目标产物的选择性,实现转化率与选择性的平衡。反应器设计方面,连续式反应器适用于大规模、连续稳定的生产,具有生产效率高、产品质量稳定等优点,但对原料和操作条件要求较为严格。间歇式反应器则适合小批量、多品种的生产,操作灵活,但生产效率相对较低。

2.3 产物分离与精制技术

产物分离与精制是化工生产获得合格产品的关键步骤。分离方法众多,蒸馏利用混合物中各组分沸点不同进行分离,适用于沸点相差较大的液体混合物,某石油分馏工艺通过蒸馏,可将原油分离成10多种不同沸点范围的产物。结晶是通过降低温度或蒸发溶剂等方法,使溶质从溶液中析出,实现固液分离,某盐类结晶工艺通过控制降温速率,可得到粒度均匀的晶体产品,晶体平均粒径为500微米。吸附利用吸附剂对不同物质的吸附能力差异进行分离,常用于去除微量杂质,某气体净化工艺通过分子筛吸附,可将杂质含量从100ppm降至1ppm。膜分离借助膜的选择透过性,实现不同组分的分离,具有能耗低、操作简便等优点,某海水淡化膜分离工艺,产水通量可达20升/平方米·小时。精制的目标是去除副产物、未反应原料及杂质,提升产品纯度与稳定性,满足不同领域对产品质量的要求。

3 化工生产工艺的关键影响因素与优化方向

3.1 反应条件优化

反应条件是决定工艺效能的核心要素。温度变化会同时改变反应速率常数与平衡常数,高温虽能加速反应却可能引发副反应链式增长,低温虽有利于热力学平衡但需延长反应时间补偿动力学不足,因此需通过实验确定兼顾效率与选择性的温度窗口,在某酯化反应中,温度控制在120℃时,反应速率和选择性达到较优平衡^[3]。压力调控对气相反应尤为关键,增大压力可提高反应物浓度,推动体积减小的反应正向进行,在某合成氨反应

中,压力控制在20MPa,反应平衡常数增大,反应正向进行程度提高;但过高的压力对设备密封与耐压性能提出更高要求,增加安全风险与能耗,当压力超过25MPa时,设备密封成本增加50万元。催化剂作为反应的“加速器”,其活性组分、载体结构及制备方法直接影响反应路径选择,新型纳米催化剂通过增大比表面积暴露更多活性位点,可显著提升反应效率,而双功能催化剂的设计则能实现串联反应的一步完成,减少中间产物分离步骤。原料配比需平衡转化率与经济性,过量投入某一原料虽能提高目标产物收率,但未反应原料的回收与纯化会增加运营成本,停留时间的控制同样需避免过度反应导致的副产物积累,通过响应面法等实验设计可快速确定最优操作区间。

3.2 设备与工艺匹配性

设备选型需与反应特性深度适配。气相反应宜选用管式反应器,其长径比设计可延长气体停留时间,确保充分反应,管式反应器长径比一般在50-100之间;液相均相反应适合釜式反应器,搅拌桨型与转速的优化能强化混合效果,釜式反应器搅拌转速一般在100-500转/分钟;气固相催化反应则需流化床反应器,通过气体流速调节固体催化剂的流化状态,提升传质效率,流化床反应器气体流速一般在0.1-1米/秒。分离设备的效率直接影响产品纯度,精馏塔的塔板数增加可提高理论分离级数,但过高会导致压降增大与能耗上升,一般精馏塔塔板数在20-50块之间;膜分离技术的核心在于膜材料的选择,聚合物膜成本低但耐温性差,无机膜耐腐蚀却存在脆性问题,需根据分离体系特性权衡,聚合物膜使用温度一般在100摄氏度以下,无机膜使用温度可达300摄氏度以上。设备材质需与反应介质兼容,强酸环境需采用哈氏合金或衬氟材料,哈氏合金可耐受10摩尔/升以下的强酸,高温氧化性介质则需陶瓷或钛材,陶瓷材料可耐受1000摄氏度以上的高温,材质选择不当会导致设备腐蚀泄漏,引发安全事故与生产中断,设备腐蚀实验一般需进行30-60天的连续测试。

3.3 工艺弹性与稳定性

工艺弹性体现为对操作参数波动的适应能力。温度波动容忍度需覆盖原料批次差异与季节性环境变化,通过在控制回路中设置合理的死区与积分时间,可避免因微小波动引发频繁调节,温度波动死区一般设置在1-2摄氏度之间。压力容器的设计压力应高于实际操作压力一定裕度,为突发工况提供安全缓冲,设计压力裕度一般在0.5-1个大气压。设备冗余设计是保障连续生产的关键,关键设备如反应器、压缩机采用并联布局,单台故

障时可快速切换至备用设备,减少非计划停机时间,一般关键设备冗余数量为1-2台。自动化控制系统的升级可显著提升工艺稳定性,分布式控制系统(DCS)通过现场总线实现设备级联控,程序逻辑控制器(PLC)则能完成快速开关量控制,二者结合可构建多层次控制架构,实现从流量、温度等基础参数到产品质量、能耗等综合指标的闭环优化。

4 化工生产工艺的绿色化与可持续发展趋势

4.1 绿色工艺设计原则

绿色工艺设计以资源高效利用与环境友好为核心导向。原子经济性理念强调通过优化反应路径,使原料分子中的原子尽可能全部转化为目标产物,减少无效副产物的生成。这一目标的实现依赖于对反应机理的深入解析,通过选择高选择性的催化剂或调整反应条件,可显著提升原子利用率^[4]。清洁生产原则推动原料体系革新,生物基原料凭借可再生性与低毒性优势,正逐步替代石油基原料在特定领域的应用,而水基溶剂替代有机溶剂的研发,则从源头减少了挥发性有机物的排放。废弃物最小化需通过工艺集成实现,将分离工序产生的低浓度溶液作为其他反应的原料,或将固体废弃物转化为吸附剂或建筑材料,形成资源循环利用网络。

4.2 节能减排技术应用

节能减排技术是降低工艺环境负荷的关键手段。能量回收系统通过换热网络优化,将反应余热转化为蒸汽或电力,实现能源梯级利用,热泵技术的引入进一步提升了低温热能的回收效率。低碳工艺开发聚焦于反应路径创新,电化学合成利用电子转移替代传统氧化还原剂,生物催化则借助酶的高效专一性,在温和条件下完成复杂转化,二者均大幅降低了反应能耗与废弃物产生。针对不可避免的碳排放,碳捕集与封存技术提供末端治理方案,化学吸收法通过胺类溶剂选择性吸附二氧化碳,膜分离技术则利用高分子膜的选择透过性实现气体分离,捕集后的二氧化碳可进一步转化为甲醇、碳酸酯等化学品,形成碳资源化利用链条。

4.3 循环经济模式探索

循环经济模式推动化工生产向系统化绿色转型,是化工行业可持续发展的必然路径。工业共生体系依托地

理空间集聚与产业深度耦合,搭建起企业间紧密的物质代谢网络。在这个网络中,企业间不再孤立,而是形成紧密协作关系。一家企业生产的副产物,不再是无用废弃物,而是经合理调配处理,成为另一家企业的优质原料。如此一来,物质高效流转,资源充分利用,逐步构建起“近零废弃”的产业生态。这种模式在化工园区建设中成效斐然,既显著降低企业生产成本,减少原料采购和废弃物处理的高额费用;又大幅削减废弃物排放,避免对周边环境的污染,实现资源最大化利用^[5]。与此同时,产品生命周期管理将绿色理念贯穿设计、生产、使用到回收的全流程。可降解材料的应用,有效减少产品废弃后对土壤、水体等生态环境的残留与污染;模块化设计便于产品拆解与部件再利用,提升产品可维修性与可升级性;化学回收技术的突破,让高分子材料重新进入生产循环,解决难以降解与回收的难题。数字化技术的融合更为循环经济注入新动能,推动化工行业向智能化绿色制造加速演进。

结束语

化工生产工艺的优化与绿色化转型是应对资源环境挑战、提升产业竞争力的关键路径。通过精准调控反应条件、强化设备与工艺匹配性、增强工艺弹性与稳定性,可显著提升生产效率与产品质量。同时,绿色工艺设计、节能减排技术应用及循环经济模式探索,为化工行业可持续发展提供了有力支撑。持续推动工艺创新与绿色升级,是实现化工行业高质量发展的必由之路。

参考文献

- [1] 庞丹丹,王玉栋.化工工程中化工生产工艺分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(5):1965-1966.
- [2] 张晶,卞进,鄢永利,等.基于化学工程中的化工生产工艺研究[J].内蒙古石油化工,2024,50(11):7-10,109.
- [3] 杨树盛.浅析化工工程中化工生产工艺[J].石油石化物资采购,2023(23):55-57.
- [4] 王栋栋,杨蕾,杨吉盼,等.化工工程中化工生产工艺分析[J].传奇故事,2024(6):24-26.
- [5] 夏虎,孙举兰.化工工程中的绿色生产工艺与可持续发展研究[J].华东纸业,2025,55(3):20-22.