化工生产过程中副产物回收工艺工程化应用与技术改进

冯 杰[1] 张德荣[1] 庄鹏程[2]
1.江苏优士化学有限公司，江苏 扬州 211400
2.辽宁优创植物保护有限公司，辽宁 葫芦岛 125003

[摘要]当前我省化工产业整体规模庞大、产业链配套成熟完备，但生产过程中产生的废盐、废液、废渣、副产酸碱等副产物总量庞大。行业传统的处置处理模式不仅会造成大量可利用资源浪费，还存在处理能耗高、环保管控压力大、污染隐患突出等诸多问题。因此，文章立足区域化工产业绿色低碳升级、“无废园区”创建的核心发展需求，系统梳理了化工各类副产物的产生、排放特征，以及当前各类回收工艺的实际工程应用现状。并结合国家及地方行业环保、低碳循环相关政策要求，针对性提出多项优化提升路径，包括工艺耦合联用、生产智能化改造、核心处理设备迭代升级等方案，推动化工行业减污降碳、资源循环利用、绿色智能化转型升级，以供参考。

[关键词]化工生产；副产物回收；工艺工程化；技术改进；资源循环
DOI：10.33142/ect.v4i9.20482 中图分类号：TQ54 文献标识码：A

Engineering Application and Technological Improvement of By-product Recovery Process in Chemical Production

FENG Jie[1], ZHANG Derong[1], ZHUANG Pengcheng[2]
1. Jiangsu Youshi Chemical Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 211400, China
2. Liaoning Youchuang Plant Protection Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125003, China

Abstract: Currently, the overall scale of the chemical industry in our province is huge, and the supporting industrial chain is mature and complete. However, the total amount of by-products such as waste salt, waste liquid, waste residue, and by-products such as acid and alkali generated during the production process is huge. The traditional disposal mode in the industry not only causes a large amount of waste of available resources, but also has many problems such as high energy consumption, high environmental control pressure, and prominent pollution hazards. Therefore, the article focuses on the core development needs of green and low-carbon upgrading of the regional chemical industry and the creation of "waste free parks". It systematically sorts out the generation and emission characteristics of various by-products in the chemical industry, as well as the current practical engineering application status of various recycling processes. In combination with national and local policies related to environmental protection and low-carbon recycling, multiple optimization and improvement paths have been proposed, including process coupling and integration, intelligent production transformation, and iterative upgrading of core processing equipment, to promote pollution reduction and carbon reduction, resource recycling, and green intelligent transformation and upgrading in the chemical industry for reference.

Keywords: chemical production; by-product recovery; process engineering; technical improvement; resource recycling

引言

随着国家“双碳”目标推进、固体废物环保管控标准持续收紧，化工行业过去高耗能、高排放、粗放式的生产模式已经不再适用，转型升级迫在眉睫[1]。化工生产过程中，会持续产生副产盐酸、废盐、有机废液、化工废渣等各类副产物和废弃物，这类物料成分复杂、污染物含量高，处理不当会带来极大的环境安全风险。江苏化工产业园区集中、产能集中，各类化工副产物产生量大且品类集中。目前行业普遍采用的焚烧、填埋、简易中和等传统处置方式，不仅会造成大量可利用资源白白流失，还容易引发二次污染问题[2]。同时，全省化工副产物高附加值资源化利用水平整体偏低，尤其是精细化工废盐的处置、资源化利用短板突出，成为制约全省化工产业绿色低碳转型的核心瓶颈。针对当前化工副产物回收处理工艺普遍存在的能耗

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

偏高、回收产品纯度不达标、技术难以规模化落地应用等行业痛点，提出可落地、可实操的技术优化方案，有效提升化工副产物资源综合利用率，降低废弃物处置成本、减少生产全过程碳排放，逐步实现源头减量、生产过程资源化利用的绿色发展新模式[3]。

1 化工产业副产物产出与处置现状

1.1 化工副产物主要类型及产出特征

化工产业涵盖精细、农药、基础原料及新材料化工，工艺复杂、副产物种类多，主要可分为四大类，产出特征详见表 1。

江苏化工副产物主要有三方面特点：一是大多集中在化工园区内，产量规模大，但同类副产物重复产出的情况比较突出；二是各类废液、废渣回收再利用的空间很大；三是普通副产物的回收技术和模式已经比较成熟，可精细化工产生的特殊副产物，缺少成熟的处理技术。

1.2 区域副产物处置与资源化现状分析

目前，江苏省各化工园区的固体废物综合利用率基本都能达到 90%以上，但行业在副产物高附加值资源化利用方面，依旧存在明显短板和提升空间。

副产酸碱的处置利用层面，省内农药、基础化工企业基本完成副产盐酸的循环回收，草甘膦相关项目资源化实施成效显著。有机废液处置方面，省内新材料化工园区已配套建设哌啶、苯系残液专项回收装置，高浓度有机废液可实现 100%回收回用，资源化利用率处于较高水平。稀酸碱废液存在浓度不稳定、提纯成本高的难点，目前超过 30%的稀酸碱废液仅经过简单中和处理，造成化工资源浪费。不过市面上大多数中小化工企业，依旧普遍采用焚烧方式处置有机废液，不仅造成大量资源损耗，还容易产生污染问题，同时企业的处置成本也居高不下。废盐、废渣的处置环节，目前已成熟应用热化学处理、MVR 结晶等主流工艺技术，部分投产项目运行稳定[4]。但针对成分复杂的混合废盐、复合废渣，行业提纯净化技术水平有限，处理后的产品无法达到工业一级标准，只能用于低端场景的回收复用，整体资源化的经济效益较差。

1.3 现有回收工艺工程化应用现存问题

当前江苏化工副产物资源化利用工作，主要存在以下突出的现实问题。

第一，化工产业占比高，生产产生的副产物成分杂乱、各类杂质含量多，依靠传统单一的回收工艺，无法彻底脱除微量有机杂质，导致回收提纯后的产品纯度不达标，无法重新投入生产线循环使用。同时，适配不同副产物的差异化回收工艺没有广泛推广，通用设备针对性不强，整体回收作业的稳定性较差。

第二，目前行业主流的 MVR 蒸发、热解、精馏等回收工艺能耗基数较高，且部分生产流程换热效果不佳，产生的余热没有得到充分回收利用，能源浪费问题突出，严重阻碍了资源化技术的规模化推广和应用。

第三，省内大量中小化工企业生产设备老旧落后，自动化操控水平低，主要依靠人工调节设备工况，容易造成生产参数波动，直接导致回收产品质量不稳定。此外，资源化处置装备缺少标准化模块化设计，设备安装、运维耗时久，整体工程落地和投产效率偏低。

第四，目前多数企业都是自建装置单独处置副产物，单套处置设备运行负荷低、单位处置成本高。园区统一收集、集中处置的协同运作体系尚未完全搭建完成，资源利用效率难以提升。

2 主流副产物回收核心工艺及工程化应用分析

2.1 副产酸碱回收工艺

化工行业产生量最多的副产物是副产酸碱，目前行业普遍用的处理路线是：过滤去除杂质→精馏提纯→调配浓度→回收再利用。稀酸碱废液先通过精密过滤把固体杂质去掉，再采用梯度精馏进一步脱除杂质，浓缩调整浓度后，重新送回生产线使用。工艺技术成熟、运行稳定，已经在省内不少大型企业广泛应用，代表性项目每年能回收复用副产盐酸超 16 万吨。但是该工艺不适合浓度低、杂质含量高的酸碱废液处理，而且提纯过程耗电耗热多，使用的场景比较受限。

表 1 化工副产物主要类型及产出特征

副产物类型	主要成分	产出行业	核心特点	传统处置方式
化工废盐	氯化钠、硫酸钠、混合有机盐	精细化工、农药、医药中间体	有机物掺杂、纯度低、危废属性强、产量集中	填埋、高温焚烧、委托处置
有机废液	哌啶、苯系物、醇类、酯类残液	新材料、精细合成化工	有价组分含量高、易挥发、污染性强	焚烧、稀释排放、简单萃取
副产酸碱	稀盐酸、稀硫酸、碱性废液	基础化工、农药化工	产量大、浓度波动大、腐蚀性强	中和处理、直接排放、低价回用
工艺废渣	苯酐渣、碳酸钙滤渣、催化剂废渣	高分子材料、化纤、催化化工	固体杂质多、有价组分分散、处置繁琐	堆放、填埋、粗放提炼

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.2 有机废液回收工艺

对于含有哌啶、苯系物、醇酯类的精细化工有机废液，目前行业里主流做法是先做吸附预处理，再通过精馏分离，最后精制提纯；还有一部分项目会采用临氧裂解耦合回收技术。该工艺可分离提纯废液内有价组分并回用于生产，在污染物减量和资源回收方面效果很明显。但这套方案有明显短板：设备造价偏高，中小微企业很难承担；而且运行时对各项操作参数把控要求很高，如果管控不到位，降低产品纯度。

2.3 化工废盐回收工艺

化工废盐是本区域处置难度最大的危废副产物，现阶段主要有两条主流处理技术路线：一是热化学无害化+盐资源循环利用工艺。二是吸附预处理+MVR 蒸发结晶工艺。热化学工艺可处理组分复杂的混合废盐，无害化效果彻底，但设备投入与运行能耗偏高；MVR 工艺适用于成分单一的废盐，能耗适中，产出盐品质量稳定[5]。省内头部企业已落地规模化生产线，能够依据废盐实际工况定制处置方案，处置所得盐产品可供应氯碱、纯碱行业，实现高价值资源化再利用。

2.4 工艺废渣回收工艺

针对苯酐渣、碳酸钙滤渣、催化剂废渣等固废副产物，主流采用“破碎筛分+精细化提炼+再生复用”工艺。经破碎除杂、萃取及高温提炼回收有价组分，提纯物料回产，残渣无害化处置。省内应用该工艺的单厂年减固废 1400 吨以上，废渣资源化利用率提升超 80%。

3 针对性技术改进方案与工程化优化设计

3.1 多工艺耦合优化

搭建“预处理+核心回收+深度精制”三级联动的多工艺耦合处理体系。为攻克高杂质有机废液处理难题，创新集成特种吸附、减压精馏、树脂精制组合工艺。体系先借助特种吸附去除废液中大部分悬浮杂质与大分子杂质，再经由减压精馏将有机组分和杂质初步分离，最后采用树脂精制深度提纯，达成废液高效资源化回收目标。

针对成分复杂的混合废盐，首先通过吸附预处理工序过滤、吸附废盐中的有机杂质和重金属杂质，降低原料杂质负荷；再采用 MVR 低温结晶技术，在低温环境下完成盐分结晶分离，避免高温造成的盐分分解、杂质二次混入；最后通过热化学净化工艺深度去除残留微量杂质。经过整套工序处理后的成品工业盐，品质稳定达标。

针对酸碱废液精馏提纯过程中易出现工况波动、提纯不稳定的问题，在传统处理工艺基础上新增梯度过滤模块和余热预热模块。梯度过滤可分层拦截不同粒径、不同类型的杂质；余热预热模块可充分回收利用系统余热对废液进行预处理升温，保障成品品质均匀可控。

3.2 系统节能优化

现有工艺存在能耗较高、运行收益不理想的问题，从设备改造、流程调整、余热回收三个方面开展节能升级工作，用减压低温精馏工艺替换原有的高温精馏，调整 MVR 换热布局并换成换热效率更高的设备，配套建设余热管网，做到能量分级回收使用；同时通过正交试验确定最合适的核心运行参数。经工程核算，改造后整套系统的单位处理能耗能够降低 15%～22%，可以减少物料回收的成本，提高项目的经济效益。

3.3 智能化成套装备升级

针对现有设备老化、自动化程度不高、运行容易出故障等难题，对回收类装备开展模块化、智能化、成套化改造升级。同步配套智能监测管控系统，实时采集设备运行数据，能够自动调整运行参数、提前预警故障并开展数据统计分析，减少人工操作带来的产品质量不稳定问题；新增自动上料、排渣、清洗功能模块，整套设备可以不间断自主运行。这套模块集成方案集成度高、占用场地少、项目落地周期短，各类化工企业都能适配使用。改造完成后，产品合格率可以达到 99.5%以上，设备故障发生率降低 60%，设备长时间稳定运转的能力提升。

3.4 构建园区协同回收体系

充分发挥江苏化工园区产业集聚优势，搭建统一协同回收体系，实现废料统一收运、集中处理、分质回收、资源共用，改变各企业自行处置废弃物的零散模式。由园区主导建设资源化处置中心，集中收集辖区内各类化工副产物，按类别开展专业处理。配套建立化工副产物信息共享平台，实时同步供需数据，精准对接上下游需求，化解单个企业副产物产量有限、难以资源化利用的问题。依托规模化运营削减处理成本，提升设备利用率与资源回收水平，形成园区内部资源循环闭环。

3.5 工艺运维标准化优化

对照江苏省环保管控相关要求，针对不同类型副产物制定统一的回收工艺标准、设备运维要求和质量检测规则，把预处理流程、现场操作、验收标准以及三废处理的各项指标全部明确下来。同时落实定期检修、耗材更换和整套设备日常维护的常态化管理，及时预防管路、设备结垢和杂质堆积问题，保证整套回收系统稳定高效运转，产出产品符合质量标准，各类污染物排放满足合规要求。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

4 工程应用效益分析

江苏典型化工副产物回收技改项目已实现成熟规模化落地应用。单套大型装置年可资源化回收酸碱介质、有机原料、工业盐、有价固废等各类物料超万吨，能够有效替代企业外购原辅材料。项目依托生产工艺优化与智能装备升级，提升资源回收效能，综合回收率提升 10%～18%，回收产品纯度及高值化循环利用水平同步改善。本次立足生产前端实现三废减量，削减副产物填埋、焚烧及外排体量，有效防范废盐、有机废液不规范处置造成的水土环境风险。单套装置每年可减少近万吨有机危废、数千万立方废气及数千吨碳排放，配合余热回收等节能改造，减污降碳成效显著，高度适配区域无废园区建设要求。经济效益同样突出，单个项目年均节省原料采购、危废处置等费用数百万元，投资回收期仅 2～3 年；依托园区协同处置模式，整体单位处置成本可降低 30%以上，核心经济指标见表 2。

表 2　工艺改进前后核心经济指标对比

指标项目	改进前工艺	改进后工艺	优化效果
资源综合回收率	72%～80%	90%～95%	提升 10%以上
单位处置能耗	基准值	降低 15%～22%	能耗大幅下降
产品合格率	88%～92%	≥99.5%	质量稳定性提升
单位运行成本	基准值	降低 25%～30%	经济性提升

5 结论

针对当前化工副产物处理过程中存在的突出问题，针对性制定了五大改进方案，分别为多工艺耦合优化、设备节能改造、智能装备升级、园区协同回收、标准化运维管理，能够有效提升化工副产物的综合回收利用率和成品合格率，同时降低生产能耗、日常运行成本，大幅减少污染物排放与碳排放量，助力化工产业实现减污、降碳、提质、增效的发展目标，也为全国化工行业绿色低碳、循环高质量发展提供了可落地、可复制的工程参考。

[参考文献]

[1]杨发财.低碳背景下化工生产工艺绿色化改造策略及实践经济效益[J].中国化工贸易,2026,18(24):73-75.
[2]周元,钟洋,蹇旭声.本质安全视角下氟化工工艺安全控制与参数优化经济性[J].中国化工贸易,2026,18(24):76-78.
[3]巴音.绿色化工技术在化工生产中的应用与发展趋势[J].中国化工贸易,2026,18(23):20-23.
[4]吴洪爱,刘春迪.化工企业硫酸副产物资源综合利用关键技术研究及经济性分析[J].中国化工贸易,2026,18(23):45-47.
[5]姚京裕,张福荣,牛飞飞,等.化工副产品质量管理水平提升路径研究与应用[J].中国标准化,2026(11):262-265.

作者简介：冯杰（1989—），男，江苏人，汉族，本科，中级工程师，就职于江苏优士化学有限公司，从事精细化工、农药化工的工艺研发、工程项目设计施工、生产经营管理等工作；张德荣（1979—），男，江苏人，汉族，本科，中级工程师，就职于江苏优士化学有限公司，从事精细化工、农药化工的设备管理、工程项目安装施工、生产经营管理等工作；庄鹏程（1990—），男，江苏人，汉族，本科，中级工程师，就职于辽宁优创植物保护有限公司，从事精细化工、农药化工的设备管理、工程项目设计施工、生产经营管理等工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.