

煤焦油深加工工艺的创新路径与工业化应用价值研究

刘培勇 夏潍平 王玉辉（枣庄杰富意振兴化工有限公司，山东 枣庄 277000）

摘要：本文围绕煤焦油深加工工艺展开研究，分析其“预处理—分离—转化”的现状及分离提纯效率低、组分转化技术不成熟、能耗环保压力大、装备自动化程度低等瓶颈，从工艺优化、技术融合、装备升级、绿色化发展四个维度提出创新路径，并阐述创新工艺在提升产品附加值、降低能耗排放、增强产业竞争力、保障能源安全等方面的工业化应用价值。研究表明，多维度创新可突破技术局限，为煤化工产业高质量可持续发展提供支撑，助力煤炭资源高效转化与产业链升级。

关键词：煤焦油深；加工工艺；创新路径；工业化；应用价值

中图分类号：TQ523.6 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)034-0058-03

Research on the Innovative Path and Industrial Application Value of Deep Processing Technology of Coal Tar

Liu Peiyong, Xia Weiping, Wang Yuhui (Zaozhuang JFE Zhenxing Chemical Co., Ltd. Zaozhuang Shandong 277000, China)

Abstract: This paper focuses on the deep processing technology of coal tar, analyzes the current situation of its “pretreatment - separation - conversion”, as well as the bottlenecks such as low separation and purification efficiency, immature component conversion technology, high pressure on energy consumption and environmental protection, and low degree of equipment automation. It proposes innovative paths from four dimensions: process optimization, technology integration, equipment upgrading, and green development. And elaborate on the industrial application value of innovative processes in enhancing product added value, reducing energy consumption and emissions, strengthening industrial competitiveness, and ensuring energy security. Research shows that multi-dimensional innovation can break through technical limitations, provide support for the high-quality and sustainable development of the coal chemical industry, and facilitate the efficient conversion of coal resources and the upgrading of the industrial chain.

Key words: Deep coal tar; Processing technology; Innovation path; Industrialization; Application value

全球能源结构调整、资源高效利用的要求，促使煤化工产业向产业链延伸、价值提升方向发展。煤焦油是煤炭加工的副产品，含有大量的高价值有机化合物，具有巨大的深加工潜力。我国煤焦油深加工产业规模主要集中在煤炭富集区，大部分企业主要从事基础化工原料生产，产品结构单一，高附加值产品占比小，且存在分离、转化、能耗、装备等多方面技术难题，限制工业化应用广度和深度。在此背景下研究其创新路径和工业化应用价值，对突破技术瓶颈、推动煤化工产业精细化、高端化、绿色化转型、实现煤炭资源高效利用具有重要的理论和现实意义。

1 煤焦油深加工工艺的现状与技术瓶颈

1.1 煤焦油深加工工艺现状

目前煤焦油深加工工艺主要是围绕预处理、分离、转化这三个核心环节。预处理阶段以脱水、脱盐为主，采用静置沉降、离心分离、加热脱水等方式去除煤焦油中的水分和盐分，避免设备腐蚀和工艺干扰；分离阶段以蒸馏技术为核心，结合萃取、结晶、吸附等工艺实现煤焦油中轻油、酚油、萘油、洗油、蒽油等馏分的初步分离；转化阶段用加氢、氧化、聚合等化学

反应把分离得到的馏分转化成苯、甲苯、二甲苯、精萘、邻苯二甲酸酐、酚类衍生物等化工产品。从工业化应用的角度来说，我国煤焦油深加工产业已经形成一定规模，主要分布在山西、陕西、内蒙古等煤炭资源丰富的地区，但是大多数企业仍然以生产基础化工原料为主，产品结构比较单一，高附加值产品所占比例较低。

1.2 煤焦油深加工工艺的技术瓶颈

当前煤焦油深加工工艺在技术上存在诸多瓶颈，首先是分离提纯效率低，目前的分离工艺中，蒸馏技术由于煤焦油组分复杂、沸点接近等特点，很难达到高纯度分离。以萘油馏分为例，其萘的纯度一般只能达到95%左右，还需经过结晶或者吸附等工艺进一步提纯，工艺较为复杂，生产成本较高，而且煤焦油中含量较少但是价值较高的蒽、菲、咔唑等稠环芳烃，现有的分离技术很难做到高效提取，造成资源的浪费。其次是组分转化技术不成熟，煤焦油加氢技术虽然能将重质馏分转化为轻质燃料或者化工原料，但存在催化剂活性易受杂质影响、反应条件苛刻、氢耗量高等问题，而酚类化合物的选择性氧化技术还没有实现工业化突破，难以高效制备出高纯度的酚醛树脂、己内

酰胺等下游产品，从而制约了煤焦油组分的价值提升。能耗大、环保压力大，传统的煤焦油深加工工艺能耗高。蒸馏过程要消耗大量的蒸汽，每吨煤焦油加工的能耗为800–1000MJ，工艺过程中产生的含酚、氰等污染物的废水和含硫化氢、氨气等的废气处理难度大，部分企业存在环保处理设施不完善、污染物排放超标的状况，不符合目前绿色低碳发展的要求。最后是装备水平低、自动化程度低，国内大部分煤焦油深加工企业的核心设备仍需进口，自主研发设备在稳定性、可靠性、处理能力等方面存在差距，工艺自动化程度低，缺少对生产过程中的温度、压力、组分浓度等关键参数的实时监测和智能调节，造成产品质量波动大，生产效率不高。

2 煤焦油深加工工艺的创新路径

2.1 工艺优化，基于组分特性的精准分离工艺创新

根据煤焦油组分复杂的特点，以“精准分离、梯级利用”为方向，进行分离工艺的优化。一方面用分子蒸馏技术代替常规蒸馏，利用分子运动平均自由程的差别实现近沸点组分的高效分离，使萘的纯度提高到99.5%以上，降低能耗30%左右；另一方面，开发超临界萃取分离工艺，利用超临界流体的溶解能力随压力、温度变化的特性实现酚类、稠环芳烃等组分的选择性提取，提高分离效率和产品纯度，常用的超临界流体有二氧化碳^[1]。另外通过对煤焦油组分的精确分析，建立“组分—工艺—产品”的匹配模型，根据不同的煤焦油组分特点定制分离方案，实现资源梯级利用，例如把轻油馏分优先用来生产苯、甲苯、二甲苯，重质馏分用来生产针状焦、碳纤维等高端材料，提高整体工艺的经济性。

2.2 技术融合，跨领域技术的集成创新

促进煤焦油深加工工艺与其它领域技术的融合，冲破传统技术的束缚。一是将催化技术与分离技术相结合，开发出“原位催化—分离”一体化工艺，在蒸馏过程中加入专用催化剂，选择性加氢煤焦油中的不饱和烃，同时分离出轻质组分，缩短工艺流程，降低能耗；二是将材料技术与吸附工艺相结合，研制出高性能吸附材料，实现煤焦油中微量高价值组分的高效提取，吸附效率可提高40%以上，常用的高性能吸附材料有金属有机框架材料、多孔碳材料，这些材料具有高比表面积和选择性吸附特性，可以有针对性提取蒽、菲等组分；三是将信息技术与工艺控制相结合，创建煤焦油深加工工艺的数字孪生模型，根据实际生产数据，模拟物质流、能量流的变化，从而达到对工艺参数的智能调节，减少产品质量波动，提高生产效率。

2.3 装备升级，核心装备的自主化与大型化创新

对装备依赖进口、自动化程度低的，开展核心装备的自主研发和升级。一是研发大型化、高效化的蒸馏装备，采用新型塔板结构的蒸馏塔提高塔内传质效率，单塔处理能力从现有的10–20万t/a提高到30–50万t/a，降低塔内阻力和能耗，常用的新型塔板结构有导向浮阀塔板。二是开发耐高温、耐腐蚀的加氢反应器，使用新型合金材料提高反应器的耐蚀性和耐高温性，满足煤焦油加氢苛刻的反应条件，延长设备的使用寿命，常用的新型合金材料有哈氏合金、镍基合金。三是提高装备的自动化水平，在关键设备上集成传感器、智能控制系统，实现进料量、温度、压力等参数的实时监测和自动调节，并开发基于工业互联网的远程运维系统，实现装备故障的预警和诊断，提高装备运行的稳定性和可靠性^[2]。

2.4 绿色化发展，低碳环保工艺的创新

以降碳、减污、扩绿、增长为目标，推进煤焦油深加工工艺的绿色化创新。一是开发低能耗工艺，采用热泵技术回收蒸馏过程中产生的余热，加热进料或者产生蒸汽，可降低工艺能耗25%~30%；采用电加热代替蒸汽加热，结合蓄热储能技术，减少化石能源消耗，降低碳排放。二是研发污染物协同处理技术，采用高级氧化技术处理含酚废水，COD去除率大于90%，回收利用酚类物质，常用的高级氧化技术有芬顿氧化、臭氧氧化；开发废气资源化处理工艺，将硫化氢转化成硫磺，氨气转化成氨水，使污染物减量化、资源化。三是推动循环经济模式，将煤焦油深加工过程中产生的废渣用于生产电极材料、防水卷材等产品，常见的废渣有煤焦油沥青；将废水处理达标后回用，构建资源—产品—废弃物—再生资源的循环体系，减少对环境的影响。

2.5 动态适配，多工艺耦合的柔性调节创新

根据煤焦油组分波动大的特点，以“柔性适配、动态调节”为原则，进行多工艺耦合的动态适配创新。利用在线组分检测技术实时监测煤焦油进料组分的变化，并联动调控分离、转化环节的工艺参数来达到多工艺的动态匹配。比如进料中酚类含量上升的时候，自动把超临界萃取工艺的压力参数提上去，再把蒸馏温度降下来，保证酚类提取率维持在92%以上；重质馏分占比增多的时候，自动改变加氢反应器的催化剂活性参数，适应重质组分转化的需求。同时建立工艺耦合调节模型，把分子蒸馏、吸附、加氢等多工艺单元的调节逻辑整合起来，使得各个单元可以互相配合，避免由于单一工艺调节导致的产品质量变化，提高对不同原料煤焦油的适应性，为煤焦油深加工提供柔性

化的生产解决方案^[3]。

3 煤焦油深加工创新工艺的工业化应用价值

3.1 提升产品附加值，优化煤化工产品结构

创新工艺的工业化应用可以大大提高煤焦油深加工产品的附加值，促使煤化工产品结构由基础型向高端型转化。以分子蒸馏和超临界萃取相结合的分离工艺，可以使煤焦油中的精萘纯度达到99.8%以上，产品的价格由普通的工业萘8000–10000元/t提高到30000–40000元/t；采用加氢技术和催化转化技术相结合的方式，可以将煤焦油重质馏分转化为高品质的柴油、航空煤油等清洁燃料，也可以转化为苯、甲苯、二甲苯等基础化工原料，还可以提取稠环芳烃生产针状焦、碳纤维等高端材料，碳纤维产品的市场价格达到10–20万元/t，远远高于传统化工产品的价值。另外创新工艺可提取煤焦油中微量高价值组分，咔唑可制染料、医药中间体，苊可制塑料增塑剂等，丰富产品种类，提高企业市场竞争力。

3.2 降低能耗与污染物排放，推动绿色低碳发展

绿色化创新工艺的工业化应用能够有效降低煤焦油深加工过程的能耗与污染物排放，符合国家“双碳”目标与绿色低碳发展要求。从能耗上看，采用热泵余热回收技术和电加热储能技术之后，每吨煤焦油的加工能耗由原来的800–1000MJ降到现在的500–600MJ，以年加工量100万t煤焦油的企业来说，每年可以节约标煤10–15万t；从污染物排放上看，高级氧化废水处理技术和废气资源化处理工艺的使用，使得含酚废水的COD排放浓度控制在50mg/L以下，硫化氢、氨气等废气排放浓度达到国家最新的排放标准，且实现了硫磺、氨水等资源的回收，每年可减少固废排放5–8万t^[4]。另外，循环经济模式的创建可以提升资源利用率，削减对原生资源的依靠，促使煤化工工业朝着低碳、环保、可持续的方向前进。

3.3 提升产业竞争力，推动区域经济发展

煤焦油深加工创新工艺的工业化应用能够提升我国煤化工产业的核心竞争力，打破国外技术垄断。核心装备自主研发及升级能降低企业对进口设备的依赖，设备采购成本下降30%到40%，设备交货时间缩短，工艺调整的灵活性提高；另外，创新工艺的应用可提高产品的质量和稳定性，使我国煤焦油深加工产品的质量达到国际先进水平，增强我国在国际市场的竞争力，推动产品的出口。从区域经济上来说，煤焦油深加工产业主要分布在煤炭资源丰富的地区，创新工艺的工业化应用可以拉长煤化工产业链，带动装备制造业、化工行业、材料工业等上下游产业的发展，创造大量的就业岗位，促进区域经济结构调整和经济增长。

3.4 保障能源安全，推动资源高效利用

我国是煤炭资源大国，煤炭在能源结构中占有重要位置，煤焦油是煤炭加工的副产品，煤焦油的高效利用对保障能源安全、实现煤炭资源高效转化有着重要的意义。创新工艺工业化应用可使煤焦油“由废变宝”，提升煤炭资源综合利用率，减少资源浪费；将煤焦油转化为高品质柴油、航空煤油等清洁燃料以及苯、甲苯、二甲苯等基础化工原料，可部分替代石油资源，降低我国对进口石油的依赖，缓解能源供应压力，为国家能源安全提供重要保障^[5]。另外，煤焦油深加工产业的发展可以促进煤炭产业由“燃料型”向“原料型”“材料型”转变，实现煤炭资源的多元化利用，提高能源供应的稳定性和安全性。

4 结论

煤焦油深加工工艺的创新与工业化应用是煤化工产业高质量可持续发展的关键。当前该工艺多方面的技术瓶颈，可通过工艺优化、技术融合、装备升级、绿色化发展的创新路径有效突破，实现煤焦油组分精准分离、高效转化与绿色利用。创新工艺能显著提升产品附加值、优化煤化工产品结构，还可降低能耗与污染物排放、推动绿色低碳发展，同时增强产业竞争力、保障能源安全、促进资源高效利用，为区域经济与国家能源战略提供支撑。未来需加强创新工艺研发与产业化推广，强化产学研合作，推动核心技术装备自主化，完善政策支持，助力煤炭清洁转化与产业链延伸。

参考文献：

- [1] 李玲珑, 吴彩华, 刘丽. 中低温煤焦油深加工利用的现状及发展研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(09):92–94.
- [2] 何艺, 郑洋, 徐杰, 等. 煤焦油产生、深加工及管理现状与建议[J]. 环境工程学报, 2024, 18(11):3130–3138.
- [3] 常秋连, 何国锋, 陈明波, 等. 煤焦油深加工技术分离提取高值化学品研究进展[J]. 煤质技术, 2023, 38(04):10–20.
- [4] 张志敏. 煤焦油深加工现状、新技术和发展方向[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(01):5–7+43.
- [5] 张金峰, 沈寒晰, 吴素芳, 等. 煤焦油深加工现状和发展方向[J]. 煤化工, 2020, 48(04):76–81.

作者简介：

刘培勇（1985.05—），男，汉族，山东潍坊人，大专，中级职称，研究方向：应用化工技术。

夏潍平（1976.12—），男，汉族，山东牟平人，在职研究生，中级职称，研究方向：应用化工技术。

王玉辉（1986.1—），男，汉族，山东潍坊人，本科，中级职称，研究方向：应用化工技术。