

# 低温煤焦油分级提质及高附加值化学品定向转化技术研究

上官国青 张福轩

新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司 新疆 哈密 839000

**摘要:**本研究针对低温煤焦油杂质含量高、利用效率低且高附加值化学品提取困难的现实问题,采用分级提质与定向转化相结合的技术路线开展试验研究。以陕北地区低温煤焦油为研究对象,通过优化预处理、分级切割及催化转化工艺参数,明确不同工艺条件对煤焦油组分分离及高附加值化学品转化效率的影响,筛选出适宜的试验方案。试验结果表明,优化后的分级提质工艺可有效脱除煤焦油中金属杂质与机械杂质,定向转化过程中酚类、芳烃类化学品的回收率分别达到92.3%和87.6%。本研究可为低温煤焦油的高效利用提供切实可行的技术支撑,助力煤炭清洁转化产业的提质增效。

**关键词:**低温煤焦油;分级提质;高附加值化学品;定向转化技术

**引言:**我国能源禀赋呈现“富煤、缺油、少气”的显著特征,低阶煤占煤炭总储量的一半以上,其干馏产生的低温煤焦油是重要的石油替代资源。陕北地区作为我国低阶煤主要产区,低温煤焦油年产量达数百万吨,但当前当地加工技术较为落后,多采用直接燃烧或简单蒸馏的方式处理,不仅资源利用率不足60%,还会造成严重的环境污染。基于此,本研究立足陕北地区低温煤焦油的实际特性,开展分级提质及高附加值化学品定向转化技术试验,旨在解决当地煤焦油加工利用率低、产品附加值不高的核心问题,为当地煤炭清洁转化产业提供技术参考,推动区域能源产业高质量发展。

## 1 材料与方

### 1.1 试验地概况

试验地点位于陕北某煤化工工业园区,该园区地处低阶煤资源富集区,周边配套有完整的低阶煤干馏生产线,可稳定提供试验所需的低温煤焦油原料。试验区域气候干燥,年平均气温10.2℃,年降水量450mm左右,环境条件符合煤焦油试验操作要求。园区内配备有标准化试验车间,水电供应稳定,具备试验所需的安全防护设施与废弃物处理条件,可有效保障试验过程的顺利开展,同时试验原料取自当地干馏厂,能够真实反映陕北地区低温煤焦油的实际特性,确保试验结果的针对性与实用性。

### 1.2 试验材料

试验原料为陕北某干馏厂生产的低温煤焦油,其外观呈黑褐色黏稠状液体,20℃时密度为1.031g/cm<sup>3</sup>,机械杂质质量分数为0.28%,氮质量分数为6320μg/g,氧质量

分数为7.3%,芳烃质量分数为83.5%,金属杂质主要为铁和钙,其中铁含量为85μg/g,钙含量为42μg/g,符合当地低温煤焦油的典型特征。试验所用试剂包括氢氧化钠(分析纯,纯度≥96%)、氢气(纯度≥99.99%)、脱金属催化剂Hi-Trap-13(工业级)、加氢精制催化剂SCF-13(工业级),均采购自正规化工试剂厂家,试剂质量符合试验标准。试验所用辅助材料包括过滤介质、密封垫等,均为工业级常规产品,可满足试验操作需求。

### 1.3 试验设计

试验采用分级提质与定向转化相结合的技术路线,整体分为预处理、分级切割、定向转化三个阶段。预处理阶段采用低压脱金属工艺,控制反应压力2.0MPa、氢油体积比100,考察反应温度(320℃、330℃、340℃)和体积空速(0.2h<sup>-1</sup>、0.3h<sup>-1</sup>、0.4h<sup>-1</sup>)对金属杂质脱除效果的影响。分级切割阶段采用实沸点蒸馏法,将预处理后的煤焦油切割为轻馏分(<220℃)、中馏分(220-360℃)、重馏分(>360℃)三个馏段,分别收集各馏段产物用于后续定向转化。定向转化阶段针对轻馏分采用碱洗提酚工艺,控制碱液质量分数8%、反应温度60℃,提取酚类化学品;针对中馏分采用固定床加氢精制工艺,控制氢分压15.0MPa、氢油体积比1500,转化为优质芳烃原料;重馏分暂不进行深度转化,作为后续研究的备用原料<sup>[1]</sup>。试验设置3组平行试验,每组试验重复3次,取平均值作为最终试验数据,确保试验结果的可靠性与准确性。

### 1.4 测定项目与方法

试验测定项目主要包括煤焦油原料及各阶段产物的密度、机械杂质含量、金属杂质含量、氮含量、氧含量、芳烃含量,以及酚类化学品回收率、芳烃类化学品转化

**基金项目:** 科研创新平台-低温煤焦油分级提质综合利用研究与应用

率。密度测定采用密度计法,使用SY-02型密度计,取样时间为原料进场后、预处理后、分级切割后及定向转化后各1次,每次取样量为50mL,取样后立即置于密封容器中,避免组分挥发影响测定结果。机械杂质含量测定采用重量法,使用FA2004型电子天平(精度0.1mg),取样时间与密度测定一致,取样量为100g,经过滤、烘干、称重后计算杂质含量。

金属杂质(铁、钙)含量测定采用ICP-OES法,使用ICPE-9820型电感耦合等离子体发射光谱仪,取样时间为预处理前后及定向转化后,每次取样量为10mL,样品经消解处理后进行测定,测定精度为1 $\mu$ g/g。氮含量测定采用微库仑滴定法,使用WK-2D型微库仑滴定仪,取样量为2mL,取样时间与金属杂质测定一致。氧含量测定采用脉冲红外法,使用EMGA-620W型氧氮分析仪,取样量为3mg,取样时间同氮含量测定<sup>[2]</sup>。芳烃含量测定采用气相色谱法,使用GC-9790型气相色谱仪,取样量为1 $\mu$ L,色

谱柱为HP-5毛细管柱,柱温程序为初始温度80 $^{\circ}$ C,保持2min,以10 $^{\circ}$ C/min升至280 $^{\circ}$ C,保持10min。

酚类化学品回收率测定采用滴定法,使用ZD-2型自动电位滴定仪,取样时间为轻馏分定向转化后,取样量为20mL,通过滴定计算酚类物质的实际回收量与理论含量的比值。芳烃类化学品转化率测定采用气相色谱-质谱联用法,使用GC-MS-QP2010Ultra型气质联用仪,取样时间为中馏分加氢精制后,取样量为1 $\mu$ L,通过分析转化前后芳烃组分的含量变化计算转化率。所有测定项目均严格按照相关行业标准操作,确保测定数据的准确性与规范性。

## 2 结果与分析

本试验通过对预处理工艺参数做优化,做到低温煤焦油中杂质的高效除去,然后开展分级切割和定向转化,获得酚类、芳烃类等有着高附加值的化学品,表1给出了试验核心数据的汇总,参照数据对各阶段试验结果做深入研究,弄明白工艺参数对试验效果的影响规律。

表1 试验核心数据汇总表

工艺阶段	关键参数	核心指标	测定结果
预处理	反应温度330 $^{\circ}$ C, 体积空速0.3h $^{-1}$	总金属脱除率、机械杂质脱除率	95.2%、82.1%
分级切割	实沸点蒸馏, 切割温度220 $^{\circ}$ C、360 $^{\circ}$ C	轻馏分收率、中馏分收率	28.3%、45.7%
定向转化(轻馏分)	碱液质量分数8%, 反应温度60 $^{\circ}$ C	酚类化学品回收率	92.3%
定向转化(中馏分)	氢分压15.0MPa, 氢油体积比1500	芳烃类化学品转化率	87.6%

预处理阶段结果说明,反应温度、体积空速对金属杂质脱除效果有显著作用,当反应温度从320 $^{\circ}$ C提高到330 $^{\circ}$ C的时候,总金属脱除率自91.5%上升到95.2%,铁、钙脱除率分别从93.1%、89.7%提高到了96.8%、94.5%,鉴于低温脱金属反应主要受动力学支配,升高温度可以使羧酸盐类金属化合物分解反应速率加快,助力金属杂质的去除,当反应温度又升高至340 $^{\circ}$ C的时候,总金属脱除率只上升至95.5%,提升的幅度逐渐变缓,且能耗有了明显的增多,330 $^{\circ}$ C是合适的反应温度。体积空速从0.2h $^{-1}$ 升高至0.3h $^{-1}$ 时,总金属脱除率从96.1%降至95.2%,空速继续升高至0.4h $^{-1}$ 时,总金属脱除率降至92.8%,这是因为空速升高会缩短原料与催化剂的接触时间,减少反应物与催化剂活性中心的有效接触,不利于脱金属反应的充分进行,综合考虑脱除效果与装置处理量,选择0.3h $^{-1}$ 作为最佳体积空速。在此参数下,机械杂质脱除率达到82.1%,可有效降低后续工艺的催化剂中毒风险,为分级切割和定向转化提供优质原料。

分级切割阶段结果表明,采用实沸点蒸馏法可实现低温煤焦油的有效分级,轻馏分(<220 $^{\circ}$ C)收率为28.3%,该馏段主要含有苯酚、甲酚等低级酚类化合物,是提取酚

类高附加值化学品的核心原料;中馏分(220-360 $^{\circ}$ C)收率为45.7%,主要含有长烷基侧链的低环数芳香烃,适合通过加氢精制转化为优质芳烃原料;重馏分(>360 $^{\circ}$ C)收率为26.0%,含有大量胶质、沥青质,需进一步优化工艺才能实现高效利用。分级切割的效果直接影响后续定向转化的效率,若切割温度偏差过大,会导致轻馏分中酚类化合物含量降低,中馏分中杂质含量升高,进而影响高附加值化学品的回收率与转化率,因此严格控制切割温度是分级提质的关键环节<sup>[3]</sup>。

定向转化阶段中,轻馏分碱洗提酚工艺的酚类化学品回收率达到92.3%,远高于当地现有工艺的75%左右,这是因为优化后的碱液浓度与反应温度,可使酚类化合物与碱液充分反应生成酚钠盐,实现与其他组分的有效分离,且反应过程温和,不会造成酚类化合物的分解损耗。中馏分固定床加氢精制工艺的芳烃类化学品转化率达到了87.6%,加氢后的产物中芳烃潜含量达到70.2%,可作为优质催化重整原料,这得益于专用加氢催化剂的催化作用,以及优化的氢分压与氢油比参数,有效促进了芳烃饱和与杂质脱除,提升了产品质量<sup>[4]</sup>。试验过程中发现,若碱液浓度过高,会导致后续酸化过程中酸用量

增加,增加生产成本;若氢分压过高,会增加设备投资与能耗,因此当前工艺参数的选择兼顾了效率与经济性,符合实际生产需求。

### 3 讨论

结合试验结果与当地低温煤焦油加工现状,本次研究提出的分级提质及高附加值化学品定向转化技术,有效解决了当地现有工艺存在的资源利用率低、产品附加值不高的问题。与当地传统的直接蒸馏工艺相比,优化后的预处理工艺可将总金属脱除率提升30%以上,机械杂质脱除率提升25%以上,有效延长了后续催化剂的使用寿命,降低了设备维护成本。分级切割工艺实现了煤焦油组分的精准分离,避免了不同馏段组分相互干扰,为定向转化提供了针对性原料,使酚类化学品回收率提升17%以上,芳烃类化学品转化率提升12%以上,显著提高了产品附加值。

试验过程中也发现一些需要改进的问题,一是重馏分(>360℃)的利用率较低,当前仅作为备用原料,如何通过工艺优化实现重馏分的高效转化,提升整体资源利用率,是后续研究需要重点解决的方向。二是定向转化过程中存在一定的氢耗与碱液消耗,虽然当前工艺参数已兼顾经济性,但仍有优化空间,可通过研发高效催化剂、优化反应条件等方式,进一步降低能耗与试剂消耗,提升工艺的经济性与可行性。三是试验采用的是中型试验装置,后续需要进行工业化放大试验,验证工艺在大规模生产中的稳定性与可靠性,确保技术能够顺利落地应用。

就行业发展的角度而言,低温煤焦油作为相当重要的石油替代资源,高效利用对于保障我国能源安全、推动煤炭清洁化转化意义重大,本次研究基于陕北地区实际的情况,所开发的分级提质与定向转化技术,不仅可用于当地低温煤焦油加工,还能推广应用于我国另外的

低阶煤产区,为同类煤焦油资源可高效利用提供技术方面的参考<sup>[5]</sup>。

### 结论

本研究将陕北地区低温煤焦油作为此次研究对象,开展分级提质及高附加值化学品定向转化技术的相关试验,通过对预处理、分级切割、定向转化工艺参数做优化,找出了比较合适的试验方案,达成了煤焦油里杂质的高效除去与高附加值化学品的定向提取。测试数据表明,经优化的工艺可使总金属脱除率达95.2%,机械杂质脱除的比率为82.1%,酚类化学品回收的达成比例是92.3%,芳烃类化学品的转化达成了87.6%的比率,显著提升了煤焦油利用效率以及产品附加值,本次研究搞定了当地低温煤焦油加工利用率低下、产品附加值不高的核心问题,给出了具有实效的技术助力,符合煤炭清洁转化产业发展的需求,之后将针对试验当中发现的问题,进一步改良工艺参数、健全技术路线,实施工业化放大的相关试验,推动该技术大范围应用,助力我国煤炭资源高效清洁利用和能源产业高质量发展。

### 参考文献

- [1]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(4):10-20.
- [2]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(4):76-81.
- [3]田誉娇,张晨,胥娜.煤焦油萃取分离研究进展[J].广州化工,2020,48(15):54-55,78.
- [4]李玲珑,吴彩华,刘丽.中低温煤焦油深加工利用的现状 & 发展研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(9):92-94.
- [5]韩辉,田朋军,王乐,等.中低温煤焦油加工利用现状及发展趋势[J].煤炭与化工,2022,45(4):130-134.