

Application and Performance Evaluation of Green Solvents in Petroleum Product Refining

Heng Zhou Qihui Zhang Zhangsen Chen Liwen Huang Zhen Qin

Zhejiang Fangyuan Testing Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

With increasingly strict environmental protection regulations and the in-depth popularization of the green development concept, the petroleum product refining industry is facing the transformation pressure of high pollution, high toxicity and difficult recycling of traditional solvents. Green solvents, with their advantages of being environmentally friendly, safe and efficient, and highly sustainable, have gradually become a research hotspot and application trend in this field. This article systematically expounds the current application status of green solvents in the refining of petroleum products, covering core links such as desulfurization, denitrification, demetalization, dewaxing, and the improvement of refined oil products. It focuses on analyzing the structural characteristics and action mechanisms of typical green solvents such as ionic liquids, supercritical fluids, deep eumelt solvents, and bio-solvents. From the dimensions of solubility, separation efficiency, cycle stability, environmental impact and economic cost, a comprehensive performance evaluation system for green solvents is constructed to explore the adaptability and application limitations of different green solvents in various petroleum product refining scenarios, providing theoretical references and technical support for the green transformation of the petroleum product refining industry.

Keywords

Green solvent; Petroleum products; Refined application; Performance evaluation

绿色溶剂在石油产品精制中的应用及性能评价

周恒 章奇辉 陈樟森 黄梨文 秦臻

浙江方圆检测集团股份有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

随着环保法规日益严格与绿色发展理念的深入普及,石油产品精制行业面临着传统溶剂高污染、高毒性、难回收的转型压力,绿色溶剂以其环境友好、安全高效、可持续性强的优势,逐渐成为该领域的研究热点与应用趋势。本文系统阐述绿色溶剂在石油产品精制中的应用现状,涵盖脱硫、脱氮、脱金属、脱蜡及精制油品改质等核心环节,重点分析离子液体、超临界流体、深共熔溶剂、生物溶剂等典型绿色溶剂的结构特性与作用机理。从溶解性能、分离效率、循环稳定性、环境影响及经济成本等维度,构建绿色溶剂的综合性能评价体系,探讨不同绿色溶剂在各类石油产品精制场景中的适配性与应用局限,为石油产品精制行业的绿色转型提供理论参考与技术支持。

关键词

绿色溶剂; 石油产品; 精制应用; 性能评价

1 引言

石油产品作为全球能源供应与工业制造的关键物质,其提纯流程直接影响产品品质与使用可靠性。传统石油精制方法普遍采用酸碱溶剂、有机溶剂等常规介质,尽管能够达到脱硫、脱氮、去除杂质等目的,然而存在挥发性高、毒性大、不易回收、环境污染恶劣等明显问题,不仅增加了生态环境的负担,而且受到日益严苛的环保法规的限制。绿色溶剂作为传统有害溶剂的绝佳替代选择,具有低毒质、低挥发度、可降解性、高循环利用比率等特质,顺应现代工业绿色发展的

的核心要求。本文重点探讨绿色溶剂在石油产品精制当中的应用状况与性能评判,推动石油精制行业实现环保与效益的同步发展。

2 绿色溶剂的分类及特性

2.1 离子液体

离子液体作为室温熔融盐,由有机阳离子与无机或有机阴离子组成,具备蒸气压极低、热稳定性高、溶解能力强、结构可设计等独特特性。其阳离子大多为咪唑类、吡啶类、季铵盐类物质,阴离子包含卤素离子、四氟硼酸根、六氟磷酸根等,经由对阴阳离子的结构与配比进行调控,可精确调节离子液体的溶解性、极性、酸度等物理化学属性,实现对石油中硫化物、氮化物、金属杂质等目标物质的选择性溶

【作者简介】周恒(1997—),男,中国浙江衢州人,本科,助理工程师,从事汽柴油检测研究。

解与分离。离子液体具有卓越的化学稳定性,难以挥发散失,能够借助萃取、蒸馏等手段回收再利用,循环利用的性能颇为出色,可切实减少溶剂消耗与环境排放。

2.2 超临界流体

超临界流体是温度连同压力均高于临界值的流体,兼备气体的高扩散特性与液体的高溶解本领,常用的包含超临界二氧化碳、超临界水等。超临界二氧化碳具备临界温度与压力适宜、化学特性稳定、无臭无毒、不易起火爆炸、对环境友善等特性,其溶解能力可经由调节温度和压力来灵活调整,在石油产品精制工作里便于达成溶剂与目标组分的分离回收。超临界水具备极为强大的溶解能力与反应活性,可于高温高压的环境中达成硫化物、氯化物的氧化分解,而且不必额外添加催化剂,反应完成后通过降温减压就可与油品分离,不存在二次污染。

2.3 深共熔溶剂

深共熔溶剂由氢键供体与氢键受体按特定摩尔比混合而成,具有制备简易、成本不高、生物亲和性好、可降解等优点。其成分大多是天然化合物,对环境的友好程度十分突出。深共熔溶剂借助氢键效应构建起稳定的共熔体系,具有与离子液体相仿的溶解特性与结构可调控性,可有效溶解石油中的极性杂质及金属络合物。深共熔溶剂的制备过程不需要复杂的提纯步骤,经济成本比离子液体低很多,更有助于进行工业化的推广与应用。

2.4 生物溶剂

生物溶剂是借助天然生物质提取或经生物发酵而制得的溶剂,像乙醇、乙酸乙酯、生物柴油衍生溶剂这类,具有可再生、可降解、低毒且低挥发等属性。这类溶剂出自生物质资源,符合可持续发展的理念,其分子结构里含有的羟基、羧基等官能基团,可与石油中的极性杂质产生氢键或其他相互作用,达成选择性分离。生物溶剂的显著优点是具备良好的环境相容性,使用过后可自然消解,不会引发长期的环境危害,并且原材料来源多样,可降低对化石资源的依赖,然而部分生物溶剂存在溶解性能欠佳、沸点不高、稳定性欠佳等状况,制约了其直接应用。

3 绿色溶剂在石油产品精制中的应用

3.1 脱硫精制

绿色溶剂脱硫主要借助物理萃取或者化学反应两种途径实现。离子液体依靠对硫化物(特别是噻吩类、苯并噻吩类等难以脱除的硫化物)的高度选择性溶解本领,在汽油、柴油脱硫工作里表现出出色性能,借助调整离子液体的阴阳离子结构,可达成对不同硫化物的靶向分离,脱硫效率明显强于传统溶剂。超临界二氧化碳脱硫凭借其高扩散特性与溶解可调控性,在恰当的温度压力情形下,可迅速渗透到油品当中溶解硫化物,而且溶剂与油品分离简便,不存在溶剂残留。深共熔溶剂依靠氢键供体与受体的协同效应,提升对硫

化物的吸附及溶解能力,其脱硫流程平稳,不用高温高压的环境,能耗较低。如乙醇、丙二醇等生物溶剂凭借极性作用使极性硫化物溶解,虽说脱硫效率相对欠佳,不过其环境友好特性十分明显,适合用于低硫油品的深度精制或辅助脱硫工艺。

3.2 脱氮精制

绿色溶剂脱氮主要凭借酸碱相互作用、氢键作用抑或络合作用完成目标组分的分离。离子液体可借助设计带有酸性或碱性的阳离子结构,和氮化物构建稳定的离子对或者络合物,达成高效脱氮,尤其是在脱除非碱性氮化物方面效果显著优于传统工艺。深共熔溶剂中的氢键供体(如多元醇、羧酸等)可跟氮化物中的氮原子形成氢键,提高对氮化物的溶解本领,达成选择性脱氮。超临界流体脱氮将萃取与轻度氧化作用相结合,当处于超临界状态时,溶剂不仅能够溶解氮化物,而且能在有氧化剂的情况下把部分氮化物氧化成易溶于溶剂的氧化物,进而提高脱氮效率。绿色溶剂脱氮工艺具备条件缓和、无二次污染、不干扰油品其他性能等长优势,顺应现代精制工艺的发展要求。

3.3 脱金属精制

绿色溶剂开展脱金属工作主要借助溶剂与金属杂质生成络合物或螯合物,达成金属组分的选择性分离。离子液体可凭借设计含有螯合官能团的阳离子或阴离子,跟金属离子形成稳固的络合物,进而把金属杂质从油品里去除,脱除金属效率高且不改变油品的烃类组成。深共熔溶剂中的氢键供体和受体可以协同开展作用,跟金属离子生成配位化合物,达成金属杂质的高效萃取。超临界流体可以在溶解金属络合物之时,凭借其强扩散性迅速达成传质过程,加快脱金属的速度。与传统脱金属工艺里运用的有毒螯合剂相比,绿色溶剂脱金属工艺具备环境友好、溶剂可回收再利用、金属杂质便于资源化等优势,给重金属的回收与无害化处理开辟了新途径。

3.4 脱蜡精制

绿色溶剂脱蜡借助有选择性地溶解油品里的油相成分,抑或变更蜡晶的生长形态与聚集态势,达成油蜡分离。超临界二氧化碳脱蜡凭借其其对油相的高溶解性能与对蜡质的低溶解性能,在恰当条件下可达成油蜡的高效分离,而且溶剂回收简便,能耗相较于传统溶剂脱蜡工艺大幅降低。离子液体可凭借调整极性与结构,有选择性地溶解油品里的液态烃,然而蜡质会以固体状态析出,达成脱蜡效果,与此同时离子液体的低蒸气压特性能够防止溶剂挥发所导致的损失与污染^[1]。深共熔溶剂脱蜡借助氢键作用打破蜡晶的规整架构,遏制蜡晶的生长与聚合,提升油品在低温环境下的流动性,其脱蜡进程和缓,不会对油品的其他性能造成负面作用。

3.5 油品改质

除了去除杂质,绿色溶剂还可应用于石油产品的优化过程,提高油品的燃烧效能、稳定性与使用保障性。在润滑

油提纯过程中,离子液体可对油品中的不理想组分(如多环芳烃、胶质等)进行选择性的溶解,留存优质基础油成分,同时提升润滑油的黏度指数与抗氧化特性。超临界流体可充当反应的介质,在催化加氢、异构化等改质反应进程里,加快反应速率与选择性,减小反应温度与压力,减少能源消耗和副产物的生成。深共熔溶剂可凭借调节体系的酸度,引发油品中的不饱和烃进行加氢饱和或异构化反应,增强油品的稳定性与燃烧性能。

4 绿色溶剂的性能评价体系

4.1 核心性能评价指标

4.1.1 溶解与分离性能

溶解和分离特性是绿色溶剂在石油精制应用方面的核心指标,直接关乎精制效果与产品质量。主要衡量参数包含目标组分(硫化物、氮化物、金属杂质等)的溶存度、分配系数数值、脱除百分比等。优质绿色溶剂需具有对目标杂质的强选择性溶解效能,在较少溶剂用量与温和工艺环境下实现高效分离,同时对油品里的有效成分不溶解或少量溶解,防止油品收率下降。分离速度同样是关键评价指标,迅速的传质与分离流程可提高工艺效率,减少生产能耗。

4.1.2 稳定性与循环性能

绿色溶剂的稳定性和循环利用性能直接决定其工业化应用的可行性与经济投入。热稳定性应考察溶剂在精制工艺温度范围里是否产生分解、变质现象^[2];化学稳定性着重考察溶剂在与油品、催化剂等接触期间是否产生化学反应,维持结构与性能的稳定。循环性能涵盖溶剂的回收效能、再生方式的简易性以及循环使用后的性能降低程度。理想的绿色溶剂应当具备优良的循环再生特性,借助简易的蒸馏、萃取、过滤等手段就能达成回收,历经多次循环使用后依旧可维持较高的分离效率,减少溶剂消耗成本。

4.1.3 环境友好性

环境友好特性是绿色溶剂的核心特质,也是与传统溶剂相区别的关键优势。评价指标涵盖溶剂的毒性(急性毒性、慢性毒性)、生物可降解性、易挥发性、温室气体排放量等。具备低毒或无毒、易于发生生物降解反应且蒸气压较低特点的溶剂可减轻对操作人员健康的危害和对环境的污染。溶剂的原料源头同样要纳入评判,以可再生生物质为原材料的溶剂更贴合可持续发展思想,可减少化石资源的依靠。

4.1.4 经济成本

经济成本作为关键制约要素,影响着绿色溶剂的工业化推广进程,包含溶剂的制备成本、原料价格、回收成本、工艺改造费用等。虽然离子液体、超临界流体等新型绿色溶

剂性能十分优异,然而部分溶剂的制备流程繁杂、原材料价格高昂,使得成本始终维持在较高水平^[3];深共熔溶剂、生物溶剂具备原料获取便捷、制备简便的优势,成本方面竞争力更强。在进行性能评判时,要全面权衡溶剂的性价比,也就是单位投入成本下的精制成果与环境益处,而非只是追求低花费或高功效。

4.2 不同绿色溶剂的性能对比

超临界流体分离效能高、溶剂回收容易、对环境影响轻微,然而需配备高压设备,起始投资数额较大,故而更契合大规模连续化生产工艺。深共熔溶剂兼有离子液体卓越的溶解特性与不高的制备成本,具备良好的生物相容性且可降解,然而部分深共熔溶剂存在热稳定性欠佳、循环次数受限的问题,适用于中低温精制工艺以及对成本敏感的情形。生物溶剂具有环境友好、可再生以及毒性极低的优点,然而其溶解能力和稳定性相对欠佳,单独使用时精制效果有限,大多用作辅助溶剂或用于对精制要求较低的场景。在实际操作中,要依据石油产品种类、精制目的、工艺状况以及经济规划等要素,挑选恰当的绿色溶剂,或者借助复合溶剂体系、工艺改良等途径来弥补单一溶剂的缺陷,实现精制效能、环境效益与经济成本的平衡。

5 结语

绿色溶剂基于其环境友好、性能可灵活调整、可循环再利用等优势,在石油产品精制领域显现出巨大的应用前景,成为攻克传统精制工艺污染问题、助力行业绿色转变的关键技术途径。本文全面剖析了离子液体、超临界流体、深共熔溶剂、生物溶剂等典型绿色溶剂的结构特点与作用原理,归纳了其在脱硫、脱氮、脱金属、脱蜡及油品改质等核心环节的应用现状。提出了溶解分离性能、稳定性与循环性能、环境友好性、经济成本的综合性能评判体系,确定了不同绿色溶剂的适配情境与应用边界。伴随环保需求的持续增强与技术的稳步发展,绿色溶剂必定会在石油产品精制领域起到愈发关键的作用,助力达成能源利用与环境保护的协同共进。

参考文献

- [1] 何国忠,王克华,李军.快速溶剂萃取法同步萃取、分别测定土壤中半挥发性有机物和石油烃(C10-C40)[J].广州化学,2023,48(04):70-76.
- [2] 杨力,郭宇茜,刘可.加速溶剂萃取-气相色谱法测定固体废物中石油烃(C10~C40)的总量[J].理化检验-化学分册,2023,59(06):712-715.
- [3] 王丁,郭丹.离子液体在石油化工行业的应用[J].辽宁化工,2022,51(04):530-532.