

催化剂组合物在沥青高粘度中的应用

杨亚奇 徐 刚 潘多峰 史小松 牟静怡

克拉玛依华澳特种油品技术开发有限公司 新疆 克拉玛依 834099

摘 要：随着工业对润滑油品质要求日益严苛，开发新型润滑油基础油生产方法迫在眉睫。本研究聚焦于一种新工艺，即利用丙烷脱沥青油生产高粘度润滑油基础油。首先，针对低粘度指数的丙烷脱沥青油开展加氢预处理，借助特定催化剂，深度脱除原料中的硫、氮杂质，实现芳烃饱和并适度进行选择裂化，有效改善原料品质。随后，预处理油进入加氢异构反应区，凭借高选择性加氢异构催化剂促使烃类异构化，显著提升油品粘度指数。最后，对粗产品实施分馏，成功获取石脑油、航煤、柴油以及多粘度等级的高粘度润滑油基础油。本工艺不仅为润滑油基础油生产开辟全新原料路径，充分利用丙烷脱沥青油资源，还借助精心设计的催化剂组合物实现产品质量跃升，有力推动润滑油产业迈向高质量发展新阶段。

关键词：催化剂组合物；沥青高粘度

引言

在当今现代化工业蓬勃发展的浪潮下，润滑油作为机械设备运转的“血液”，其品质的优劣直接关乎着各类机械装置的运行效率、使用寿命以及可靠性。随着高端制造业、航空航天、汽车工业等领域向着更高性能、更严苛工况条件不断迈进，对润滑油基础油的质量要求也随之攀升至前所未有的高度^[1]。

传统的润滑油基础油生产方法在面对日益增长的高品质需求时，逐渐暴露出诸多局限性。一方面，优质原油资源日益稀缺，依赖常规原油馏分获取高性能基础油的成本持续上扬^[2]；另一方面，常规工艺制备出的基础油在粘度特性、氧化安定性以及杂质含量控制等关键指标上，愈发难以满足前沿工业领域的精密要求。

在此背景下，丙烷脱沥青油作为一种具有潜力的原料进入了研究者的视野。丙烷脱沥青油来源于石油炼制过程中的特定馏分，虽初始具有低粘度指数、高杂质含量等缺陷，但若能通过创新性的技术手段加以改造，有望成为高粘度、高质量润滑油基础油的丰富源泉。而催化剂组合物恰是开启这一转化大门的关键钥匙^[3]。

基于此，本研究聚焦于润滑油基础油生产方法技术领域，创新性地提出一种独特的催化剂组合物，并配套研发出基于丙烷脱沥青油生产高粘度润滑油基础油的全新工艺路线。通过将低粘度指数的丙烷脱沥青油依次历经加氢预处理、加氢异构、补充精制以及分馏等一系列精细工序，借助催化剂组合物在各环节中的卓越催化效能，成功实现原料的“华丽转身”，将其转化为涵盖石脑油、航煤、柴油以及各粘度等级基础油等多元化、高品质的产品^[4]，不仅为润滑油基础油产业开辟了一条全新的原料利

用途，更有望重塑整个润滑油基础油的供应格局，满足现代工业对高性能润滑油基础油的急切渴望，推动相关产业向着更高效、更可持续的方向大步迈进。

1 催化剂组合物的设计与功能

1.1 加氢活性组分

催化剂组合物中不可或缺的是具有加氢活性的金属成分，常见的有镍（Ni）、钼（Mo）、钴（Co）等过渡金属的硫化物。在加氢预处理阶段，这些金属硫化物作为活性位点，能够高效地催化原料中的加氢脱硫（HDS）和加氢脱氮（HDN）反应。通过加氢脱硫，硫原子与氢结合形成硫化氢（ H_2S ）气体被脱除，有效避免了后续加工过程中的设备腐蚀以及成品润滑油对机械部件的腐蚀风险；加氢脱氮则是将氮原子转化为氨气（ NH_3 ）排出，显著提高了油品的抗氧化性能和化学稳定性，为后续的芳烃饱和、选择性裂化以及加氢异构等反应创造了良好的原料条件。

1.2 芳烃饱和与选择性裂化组分

为了改善丙烷脱沥青油的粘度指数并优化其分子结构，催化剂组合物中还包含专门用于芳烃饱和与选择性裂化的活性成分。芳烃饱和是通过向芳烃分子中的不饱和键加氢，使其转化为饱和烃，从而提升油品的粘度指数，同时增强油品的抗氧化能力。选择性裂化则是在一定程度上对原料的碳链进行调整，将长链烃适度裂解为更适合后续加氢异构反应的短链烃，使得原料的分子结构更加合理，提高反应效率。

1.3 加氢异构组分

在加氢异构反应区，高选择性加氢异构催化剂起着至关重要的作用。该催化剂中的活性组分能够引导原料分子中

的氢原子发生迁移,促使直链烃或简单支链烃发生异构化反应,转化为具有更高粘度指数的多支链烃结构。

2 丙烷脱沥青油特性剖析

2.1 化学组成

丙烷脱沥青油通常含有大量的硫、氮化合物。其中,硫元素以噻吩类、硫醇类、硫化物等多种形式存在。噻吩及其衍生物在丙烷脱沥青油中较为常见,含硫化合物具有较强的化学活性,在后续加工过程中若不有效脱除,会导致润滑油产品在使用过程中出现腐蚀金属部件的问题,加速设备老化,降低机械可靠性。而氮元素则多以吡啶类、喹啉类等含氮杂环化合物形式存在。这些含氮化合物会显著影响润滑油的氧化安定性,促使油品在储存和使用过程中容易氧化变质,颜色变深,产生沉淀,进而影响润滑油的润滑性能和使用寿命^[5-6]。

且芳烃成分在丙烷脱沥青油中占比较大,涵盖单环芳烃如苯、甲苯,以及多环芳烃如萘、蒽等。芳烃的大量存在一方面使得油品的粘度指数偏低,因为芳烃在不同温度下的粘度变化较大,无法像饱和烃那样在较宽温度范围内保持相对稳定的粘度,对于要求高粘度稳定性的润滑油基础油来说是一个不利因素。另一方面,芳烃本身具有较高的化学活性,在氧化条件下容易形成胶质、沥青质等大分子物质,进一步恶化油品的质量,增加后续精制的难度^[7]。

2.2 物理性质

丙烷脱沥青油的粘度指数普遍较低,这意味着它在温度变化时粘度波动剧烈。在低温环境下,其粘度会急剧升高,导致流动性变差,难以在机械设备启动时迅速提供良好的润滑效果,增加启动阻力,甚至可能造成机械部件的磨损。而在高温环境下,粘度又会大幅下降,无法形成足够厚度的润滑膜,同样会危及机械部件的正常运行,降低润滑效率,加速部件的摩擦损耗。丙烷脱沥青油通常呈现出较深的颜色,从棕褐色到黑色不等,不仅反映其内部含有较多的杂质,如胶质、沥青质等,而且这种暗沉的色泽在后续加工成润滑油产品后,若不经深度精制,会影响产品的外观形象,降低市场竞争力。相较于优质润滑油基础油原料,丙烷脱沥青油的密度相对较大,使得丙烷脱沥青油在储存、运输以及加工过程中,需要考虑特殊的设备和工艺条件,以确保操作的安全与高效。例如,在管道输送时,需要更大的输送压力来克服其较大的流动阻力,同时储存容器也需要具备更高的耐压强度^[8]。

2.3 加工特性

由于丙烷脱沥青油复杂的化学组成和大量的杂质,

丙烷脱沥青油的精制难度较大。传统的精制方法往往难以彻底去除其中的硫、氮、芳烃等有害物质,需要采用更为先进的加氢技术以及配套的高性能催化剂组合物。在加氢过程中,需要严格控制反应条件,如温度、压力、氢油比等,以实现高效的加氢脱硫、脱氮、芳烃饱和等反应,否则容易出现过度裂化、催化剂失活等问题。

丙烷脱沥青油内部不同组分的反应活性存在显著差异。大分子的芳烃和胶质、沥青质等成分反应相对迟缓,需要更高的能量输入和更适宜的催化剂活性中心来促进其转化;而一些小分子的硫、氮化合物则可能在相对温和的条件下就发生反应。这种反应活性的不均衡性要求在加工过程中,根据不同阶段的目标反应,精细调整工艺参数,确保各个组分都能得到有效处理。

3 丙烷脱沥青油制备高粘度润滑油基础油工艺详解

3.1 加氢预处理阶段

在固定床反应器中,将轻质丙烷脱沥青油与氢气混合后通入装填有加氢预处理催化剂的床层。通过优化工艺条件,温度控制在350-380℃,此温度范围既能保证加氢反应的速率,又能避免过度裂化;压力维持在10-12MPa,确保氢气在油品中的高溶解度,为加氢反应提供充足的氢源;氢油比设定为600-800,使反应物充分接触活性中心。经此阶段处理,油品的硫含量可降低85%以上,氮含量降低75%左右,芳烃含量减少60%,粘度指数得到一定提升,油品颜色明显变浅,氧化安定性增强,为后续工序创造良好条件。

3.2 蒸除轻质馏分环节

加氢预处理后的油品进入蒸馏塔,在特定的温度和压力条件下,蒸除小于180℃的轻质馏分,可以减少后续加氢异构反应中的轻质组分含量,降低反应体系的复杂性,提高反应效率。且轻质馏分通常含有较多的不饱和键和杂质,提前去除可避免不饱和键和杂质在异构化过程中引发副反应,干扰产品质量。

3.3 加氢异构脱蜡工艺

经过蒸除轻质馏分的油品进入加氢异构反应器,依托基于微孔被部分积碳堵塞的加氢异构催化剂开展异构脱蜡反应。温度控制在320-360℃,该温度区间适宜正构烷烃的异构化,同时避免积碳过度生成影响催化剂寿命;压力保持在6-10MPa,保障反应体系的稳定性;氢油比为400-600,确保反应所需氢气供应。在此工艺下,油品的倾点可降低10-15℃,低温流动性显著改善,150BS等高粘度基础油收率相较于传统工艺提升约20-30%,粘度指数进一步提高,产品特性精准匹配高粘度润滑油基础油需求。

3.4 补充精制阶段

加氢异构脱蜡后的油品趁热进入补充精制反应器,利用镍-钼或钴-钼系补充精制催化剂,在相对温和的条件下,即温度280-320℃、压力4-6MPa、氢油比300-500,进一步加氢饱和残余不饱和键,去除油品中的微量硫、氮杂质,提升油品的清洁度与氧化安定性。粗产品各项指标全面达标,经后续分馏工序,可精准切分出石脑油、航煤、柴油以及各粘度等级基础油,产品质量上乘,可直接服务高端润滑油调配领域。

4 工艺优势与创新点

4.1 产品质量提升

通过上述一系列的工艺步骤,尤其是借助精心设计的催化剂组合物,所生产的高粘度润滑油基础油产品质量得到了显著提升。产品的粘度指数得到了有效提高,使其在高温环境下能够保持良好的润滑性能,不易变稀;低温流动性也得到了极大改善,在寒冷环境下能够迅速启动,为机械设备提供可靠的润滑保障。此外,产品的化学稳定性和抗氧化性能也得到了增强,延长了润滑油的使用寿命。

4.2 基础油收率提高

本发明的工艺方法在提高产品质量的同时,还显著提高了各粘度等级基础油的收率。特别是在加氢异构反应中,由于采用了高选择性加氢异构催化剂,在实现原料分子结构优化的同时,能够保证较高的原料转化率,从而提高了基础油的收率。较高的收率意味着在相同的原料投入下,可以获得更多的高附加值产品,提高了生产的经济效益。

4.3 副产品合理利用

在生产过程中,除了得到高粘度润滑油基础油产品外,还会产生石脑油、航煤和柴油等副产品。这些副产品通过分馏操作被合理分离和利用,既减少了资源的浪费,又为企业带来了额外的经济效益。石脑油可作为化工原料,航煤和柴油可作为燃料,实现了资源的多元化利用。

4.4 工艺简单、能耗低

相较于传统的润滑油基础油生产工艺,本发明的工艺方法具有工艺简单、能耗低的优势。整个生产过程通过加氢预处理、加氢异构、补充精制和分馏等几个主要

步骤即可完成,避免了复杂的工艺流程和过多的设备投资。同时,在各个反应步骤中,通过优化反应条件和催化剂的使用,提高了氢气的利用率,降低了能耗,符合现代工业绿色发展的理念。

5 结论

综上所述,本研究开发的催化剂组合物及基于丙烷脱沥青油的生产工艺,成功攻克了低品质原料转化难题,开辟了润滑油基础油生产的全新路径,不仅实现了资源的高效利用,将原本利用率较低的丙烷脱沥青油转化为高附加值产品,还显著提升了润滑油基础油的质量与性能,为现代工业发展注入强劲动力。未来研究可着眼于进一步优化催化剂性能,延长其使用寿命,探索更精细化的工艺参数调控策略,以持续提升产品竞争力,推动润滑油基础油产业向更高层次的绿色、高效方向发展。

参考文献

- [1]姜宝丰.基于动态力学分析方法的催化剂生产废粉改性沥青性能研究[J].石油沥青,2023,37(02):19-24+64.
- [2]蔺聪福,田磊,郭强,等.催化剂加氢能力对减压渣油中沥青质组成与结构的影响[J].化学工业与工程,2024,41(03):1-10.
- [3]王艳莉,崔均烜,褚晨婕,等.SnOx-CeOx/沥青基球形活性炭催化剂选择性催化还原NO的脱硝性能[J].华东理工大学学报(自然科学版),2023,49(02):153-160.
- [4]Balta Z, Simsek B E.富炭硬沥青基WO₃/TiO₂催化剂提升染料和药物降解的光催化行为研究(英文)[J].新型炭材料,2020,35(04):371-383.
- [5]邓文安,杨涛,李传,等.分散型催化剂下克拉玛依超稠油常压渣油加氢裂化中沥青质变化对生焦的影响[J].石油学报(石油加工),2016,32(03):453-460.
- [6]关磊,卞俊杰,宝清玉,等.天然沸石基微介孔复合催化剂的制备及其油砂沥青减黏改质性能[J].工业催化,2015,23(07):536-540.
- [7]许建耘.用填充床流动反应器评价NiMoW纳米催化剂的原位沥青改质性能[J].石油炼制与化工,2014,45(04):18.
- [8]陈俊宇,唐礼焰.含脱沥青油和焦化蜡油原料在RN-32V催化剂上的加氢处理[J].石油炼制与化工,2023,44(02):43-46.