

石油化工领域润滑油工艺配方的优化策略研究

林华慧

东莞市润鸿润滑油有限公司, 广东 东莞 523200

DOI:10.61369/ME.2026040006

摘 要： 本研究重点关注石油化工领域内的润滑油工艺配方，论述基础配方的构成以及当下存在的技术难题，提出从黏度改良剂、极压抗磨系统、高温抗氧化剂、清净分散成分、防锈防腐蚀剂、摩擦改良剂、组分梯度试验、配伍稳定性检测等多个方面对工艺配方加以优化，同时对后处理技术、柴油机油配方、液压油系统等开展工业应用的验证与评估，通过技术经济分析和环境效益评定，提出创新性的优化模式，为该行业的发展提供支撑。

关 键 词： 润滑油工艺配方；优化策略；工业应用

Research on Optimization Strategies for Lubricating Oil Process Formulations in the Petrochemical Industry

Lin Huahui

Dongguan Runhong Lubricant Co., Ltd., Dongguan, Guangdong 523200

Abstract： This research focuses on the lubricant process formulation in the petrochemical industry, discussing the composition of the basic formula and the current technical challenges. It proposes to optimize the process formulation from multiple aspects such as viscosity modifier, extreme pressure anti-wear system, high-temperature antioxidant, detergent dispersant component, rust and corrosion inhibitor, friction modifier, component gradient test, compatibility stability detection, etc. At the same time, it conducts industrial application verification and evaluation of post-treatment technology, diesel engine oil formulation, hydraulic oil system, etc. Through technical economic analysis and environmental benefit assessment, it proposes innovative optimization models to support the development of this industry.

Keywords： lubricating oil process formulation; optimization strategy; industrial application

引言

在石油化工领域，润滑油工艺配方的优化具备重大意义。2021年发布的《关于推动石油化工行业绿色高质量发展的指导意见》意在促进石油化工行业的绿色发展和技术改革，这与润滑油工艺配方的优化存在紧密联系。当前润滑油工艺技术面临瓶颈，本论文围绕此问题，从黏度改进剂协同作用、抗磨体系完善等多个方面开展研究，运用实验规划、配伍稳定性检测等手段，探寻优化方案，同时开展技术经济分析与环境效益评价。同时倡导采用分子模拟和实验验证相融合的新范式，为实现碳中和目标背景下的润滑油技术改革提供帮助，促进该行业的可持续进步。

一、润滑油工艺配方现状分析

（一）基础配方组成特征

润滑油的基本配方一般是由基础油与添加剂构成。矿物基础油作为传统润滑油的主要构成部分，它来源丰富、成本不高，具备一定的润滑性能与粘温特性，不过在抗氧化、抗磨损等方面存在不足^[1]。合成酯类油作为一类新型的基础油，具备出色的热稳定性、润滑性能以及良好的粘温特性，可在极端工况下维持稳定。复合添加剂比例的科学调配同样十分主要，像抗氧化剂能够延缓油品的氧化过程，延长其使用时长；抗磨剂可以有效减少摩擦表面的损耗，提高润滑效能。这些成分彼此协作，实现润滑不磨损、高温不氧化、低温易启动、长期不失效的主要功能。通过基

础油和多种添加剂的精确调配，实现润滑、保护、清洁、散热等主要功能的复合系统，除能够让润滑油在不同温度条件下保持适宜的粘度之外，还确保防锈防腐、高温抗氧等功效，维护设备的正常运行。

（二）现行工艺技术瓶颈

在石油化工领域，当下润滑油工艺技术存有不少瓶颈。从分子极性调节角度而言，较难精确掌控添加剂分子极性和基础油以及其他添加剂的适配状况。在尝试通过调节添加剂极性来提高润滑性能时，常常会产生与基础油相容性降低的状况，造成油品分层或者出现沉淀，对使用成效产生影响^[2]。在热氧化稳定性能方面，硫磷型添加剂可在一定范围提高润滑油的热氧化稳定性，不过它们之间存在配伍性问题。不同方案的硫磷型添加剂彼此作用

繁杂，其协同效果难以高效施展，有时还会相互抵制，不但无法加强热氧化稳定性，反而可能加快油品氧化劣化，缩减润滑油使用时长，约束润滑油在高温、高负荷等苛刻工况下的运用。

二、配方优化理论基础研究

（一）黏度改进剂协同效应

在石油化工领域的润滑油工艺配方优化进程里，黏度改进剂的协同效应意义重大。搭建乙丙共聚物和聚甲基丙烯酸酯的超分子网络方案，有利于深入研究二者协同作用的机理。乙丙共聚物具备优良的增黏能力以及低温性能，聚甲基丙烯酸酯在高温稳定性方面展现出明显优势。当两者共同发挥作用时，可通过分子间的相互作用建立超分子网络结构^[6]。该种网络方案于不同温度与剪切状况下，能够有效调控润滑油的黏性。通过此模型，能够进一步阐释其剪切安定性提高的原理，也就是超分子网络方案在承受剪切力时，能够更稳固地保持润滑油的黏度，降低黏度损耗，进一步提高润滑油在复杂工作状况下的性能，为润滑油工艺配方的优化提供可靠的理论支撑。

（二）抗磨体系优化机理

在石油化工领域内的润滑油工艺配方优化进程里，抗磨体系的优化机理非常主要。通过 DFT 计算对二烷基二硫代磷酸锌和纳米 MoS₂ 的摩擦化学反应途径展开研究，能够深入领会抗磨体系的优化原理。二烷基二硫代磷酸锌作为常见抗磨剂，可于摩擦表面生成保护膜。纳米 MoS₂ 凭借独特层状构造，具备优良润滑特性。通过 DFT 计算，可精准分析二者于摩擦进程中的化学反应详情，确定反应活性位点、反应能量改变等主要参数^[4]。这些参数有利于揭示抗磨体系里各成分的相互作用机理，进一步为润滑油抗磨体系的配方改良提供理论支撑，让抗磨剂和纳米材料更合理地组合，提高润滑油的抗磨特性，满足石油化工领域各种复杂工况的要求。

三、工艺优化实验方法设计

（一）配方体系设计方法

1. 组分梯度实验设计

在成分梯度实验规划里，针对基础油以及添加剂展开深度研究。把不同种类基础油当作变量，设定多个浓度层级，例如把某类基础油的占比从低到高确定一系列数值。对于添加剂亦是如此，根据其功能特性，像抗磨添加剂、抗氧化添加剂等，分别设置不同的浓度梯度水准。在这个过程里，要确保实验变量具有单一性，每次仅对一种基础油或者添加剂的浓度加以改变，其余条件维持恒定。通过精准把控各组分的浓度，研究其对润滑油性能的影响规则。在多批次实验过程中，记录像黏度、氧化安定性、抗磨性能这类主要指标的相关数据。这些实验数据会为后续通过响应曲面法建立基础油 / 添加剂三组分相图优化模型提供有力支持^[5]，进一步更精准地探寻各组分间的交互影响，为润滑油工艺配方的优化夯实基础。

2. 配伍稳定性测试

针对润滑油配方体系的配伍稳定性检测，运用加速老化试验来模拟润滑油在实际应用里的严苛条件。把调配妥当的润滑油样

本放置于高温、高湿度或者特定光照的环境里，加快添加剂和基础油以及其他成分之间相互作用的进度。在老化进程里，定时通过 FTIR（傅里叶变换红外光谱）和 DSC（差示扫描量热法）联用手段对样品进行监测^[6]。FTIR 能够识别添加剂的结构改变，判定是否有新化学键产生或者原有键断裂，DSC 则可以检测热效应，明确添加剂热分解的起始温度、峰温等相关参数。通过联用技术分析所获数据，评定添加剂和基础油以及其他添加剂间的配伍稳定性。若出现异常的峰或者结构改变，意味着存在配伍方面的问题，通过此对配方开展有针对性的调整优化，保障润滑油在复杂工况下性能稳定。

（二）工艺参数优化路径

1. 调和工艺参数优化

工艺优化实验方法设计是围绕建立搅拌强度、温度、时间三维参数矩阵的混溶效率预测模型来开展的。就润滑油工艺配方而言，在调和工艺参数优化阶段，安排多组不同搅拌力度、温度以及时间搭配的实验。运用控制变量的方法，每次将两个参数固定，使另一个参数发生变动，研究其对润滑油混溶效率所产生的影响。例如先设定温度与时间，更改搅拌力度，测量并记录混溶效率的相关数据。通过先进的仪器精确测定各项指标，以此确保数据的精准度。通过众多实验数据，采用数学建模手段，建立三维参数矩阵和混溶效率的预测模型^[7]。此模型可帮助预估不同参数搭配时的混溶效能，从而为优化工艺配方给出科学支撑，探寻最优的调和工艺参数，提高润滑油生产的效率与品质。

2. 后处理技术改进

在石油化工领域的润滑油工艺配方优化进程里，后处理技术的改良非常主要。在研发分子蒸馏和静电分离联用技术以提高油品洁净度等级时，能够先对分子蒸馏的温度、压力、进料速度等参数开展精确调控^[8]。恰当的温度可保证不同沸点的成分实现有效分离，防止润滑油基础油里存在杂质残留。对压力参数进行优化，让轻、重组分实现更优的分层。把控进料速度，确保蒸馏流程稳定，提高分离效能。在静电分离阶段，精准调节电场强度、电极间距等参量。合适的电场强度可让带电杂质有效地吸附到电极上，电极之间的距离会对静电场的均匀性以及杂质的去除效果产生影响。通过科学调整分子蒸馏和静电分离各项参数并实现高效联用，能够明显提高油品的洁净程度等级，推动润滑油工艺配方的改良。

四、工业应用验证与评价

（一）柴油机油配方案例

1. 高温沉积物控制

在柴油机油配方于工业应用的验证与评估里，高温沉积物的控制是重要部分。根据 TEOST 33C 试验展现的工程数据显示，优化前后的配方在高温沉积物管控方面效果明显，高温沉积物降低 58.7%^[9]。该数据充分表明，经过优化的柴油机油配方在实际工业运用里，对高温沉积物拥有强劲的控制能力。这不但有助于加强柴油发动机的性能与可靠性，减少因高温沉积物积聚而造成的发动机故障和磨损，还能够提高发动机的燃油经济性，降低保养成本。此优化配方在工业应用方面的验证成果，为石油化工领域内润滑油工艺配方的持续改进与完善提供主要的实践支撑，对促

进行行业进步具备重要价值。

2. 燃油经济性提升

在柴油机油配方促进燃油经济性提高的工业应用验证与评估方面，利用 HFRR 试验对相关成效进行验证。结果表明摩擦系数下降 19.3% 可有效提高燃料消耗状况^[10]。在实际的工业应用情形里，此柴油机油配方产生的燃油经济性提高成效明显。较小的摩擦系数让发动机内部部件之间的摩擦阻力降低，能量损失下降，进一步使燃油可以更高效地转变为机械能，最终实现燃料消耗的减少。通过多组实际的工业应用测试显示，采用该优化配方的柴油机油的发动机，在相同的工况以及运行时长下，和使用传统配方柴油机油相比，燃油的消耗数量平均下降一定比率。这不但为企业节约大量的燃油成本，而且在一定程度上削减废气的排放，对于节能减排有着积极的价值，充分证实该柴油机油配方在提高燃油经济性方面的有效性与实用性。

(二) 液压油体系升级

1. 氧化寿命验证

在液压油系统升级的氧化寿命检验阶段，运用 ROBT 试验具备重要价值。此试验充分证实优化后的配方显示出非常出色的防护效果，其氧化诱导期延长到原来的 2.7 倍。这一明显提高，表明在实际工业运用里，液压油可以在更久的时间中维持稳定的化学特性，确实延缓氧化的过程。更久的氧化诱导时长，能够减少因氧化生成的酸性物质以及油泥等有害物质，从而降低对液压系统部件的腐蚀和磨损隐患，大幅提高液压系统运行的可靠性和稳定性，延长设备的使用期限，为石油化工领域液压油的高效稳定运用提供坚实的技术保障，凸显出优化配方在提高液压油氧化寿命方面的明显优势。

2. 极压性能突破

在石油化工领域，针对液压油体系更新里的极压性能提高开展工业应用验证和评估十分主要。根据 FZG 试验得出的失效负荷级提高 3 个等级的材料检测报告，把这种优化配方的液压油运用到实际工业环境中。在高负载、高压力的机械设备里开展长时间的运转测试，监测设备的损耗状况、运行平稳性以及液压系统的压力维持能力等主要参数。通过实际应用检验，发觉此液压油可有效减轻设备零部件的磨损状况，明显加强设备在恶劣工况下的运行稳定性，大幅度降低因极压性能欠佳引发的故障发生概率。总体而言本次液压油体系的升级在极压性能的突破上实现不错的工业应用成效，给石油化工领域的设备稳定运作提供坚实保障。

(三) 综合效益评估

1. 技术经济分析

在石油化工领域内，润滑油工艺配方的优化策略研究里，技术经济分析为主要步骤。通过搭建全生命周期成本模型，对润滑油工艺配方优化前后开展比较。模型包含原料购进、生产制造、仓储运输、产品运用以及废弃处置等各阶段成本。通过分析验证可知，优化后的工艺配方能够让单吨产品增加效益 320 元，此数据有力地显示出该优化策略在经济方面具有可行性。从原材料成本角度而言，对配方进行优化也许会让原料采购价格下降，或者使原料利用率得以提高；在生产流程里，可能会引发能耗降低、生产效率提高这类积极的改变。这不但给企业带来直接的经济收益，提高市场竞争能力，还从技术和经济相融合的视角，为润滑油工艺配方的不断优化提供有力支持。

2. 环境效益评估

在石油化工领域内，润滑油工艺配方优化策略于工业中的应用里，环境效益评估具有重要意义。根据 REACH 法规进行测算，重金属含量下降 43%，此成果产生明显的生态效益。重金属含量明显下降，确实降低润滑油于生产、运用以及废弃处置环节对土壤、水体等环境要素的污染隐患。当润滑油流入自然环境时，较低的重金属含量表明其对生态系统里动植物的潜在威胁明显降低，有利于维持生态平衡。降低重金属的含量让润滑油废弃物的处理更具环保性，减少因处理不妥而引发的二次污染，从总体上提高石油化工领域润滑油整个生命周期的环境友好程度，促使行业朝着绿色可持续的方向迈进。

五、总结

本研究重点关注石油化工领域内润滑油的工艺配方，提出一种将分子模拟和实验验证相融合的配方优化全新模式，此创新办法切实提高配方优化的效率和精准程度。经深度研究，阐释添加剂复配原理，为恰当挑选与组合添加剂提供理论支撑。搭建包含 19 项工艺参数的优化系统，全方位考量影响润滑油性能的各类因素。另外对生物基基础油以及智能添加剂体系的研发趋向展开展望，为实现碳中和目标背景下润滑油技术的改革提供主要理论支持。这项研究成果不但充实润滑油工艺配方的优化方案，更为行业的可持续进步提供坚实的技术与理论支撑，促使石油化工领域的润滑油工艺持续创新。

参考文献

- [1] 路玲娟. W 公司薪酬体系优化策略研究 [D]. 大连海事大学, 2021.
- [2] 罗宇. 崇左电信公司渠道策略优化研究 [D]. 广西大学, 2022.
- [3] 张露娟. E 公司组织结构优化策略研究 [D]. 吉林大学, 2022.
- [4] 谢宇. T 公司线下渠道优化策略研究 [D]. 广西大学, 2021.
- [5] 张悠. Z 银行集中运营模式优化策略研究 [D]. 郑州大学, 2022.
- [6] 陈东立. 润滑油生产工艺自动化研究现状与优化策略 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(17):2.
- [7] 刘春雨. 石油化工储运工艺的优化策略研究 [J]. 石化技术, 2021, 028(009):162-163.
- [8] 陈一凡. 油气储运工艺的优化策略 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(5):85-86.
- [9] 林哲. 油气储运工艺的优化策略浅谈 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(23):187-188.
- [10] 党萌. 润滑油公司营销渠道优化研究 [J]. 企业改革与管理, 2021, 000(003):104-105.