

# 润滑油加氢装置相关指标关联性及经济性分析

王彩萍 (中海油惠州石化有限公司, 广东 惠州 516086)

**摘要:** 受益于汽车工业和润滑油生产技术的发展, 以异构脱蜡为代表的润滑油加氢生产技术近年来得以迅速发展。而在工业生产中, 润滑油加氢装置往往面临着进料性质、产品品质和分析化验及生产操作等各方面的难题, 而如何利用相关指标的关联性来克服前述难题并利用各相关指标间的关联性来直接或间接地判断出其他指标的相关情况, 且一定程度上提升企业经济效益, 成为本文研究的重点。

**关键词:** 润滑油加氢装置; 异构脱蜡; 指标关联性; 研究; 经济效益分析

**中图分类号:** TE624      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2025) 013-0053-03

## Correlation and Economic Analysis of Indicators Related to Lubricant Hydrogenation Units

Wang Caiping (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

**Abstract:** Benefiting from advancements in the automotive industry and lubricant production technology, lubricant hydrogenation production technologies, particularly isomerization dewaxing, have rapidly developed in recent years. However, in industrial production, lubricant hydrogenation units often face challenges related to feedstock properties, product quality, analytical testing, and operational processes. This study focuses on leveraging the correlations among relevant indicators to address these challenges, enabling direct or indirect assessment of other indicators, thereby enhancing the economic efficiency of enterprises.

**Keywords:** Lubricant hydrogenation unit; Isomerization dewaxing; Indicator correlation; Research; Economic benefit analysis

本章主要介绍了润滑油及其主要生产方法——溶剂脱蜡和催化脱蜡及异构脱蜡, 并分析对比了其特点; 同时, 简要介绍了某石化公司润滑油加氢装置的基本情况; 最后, 阐明了润滑油加氢装置的相关指标关联性研究的意义: 可以实现对装置的预判、预调或快调, 并科学地制定生产方案及提高装置运行水平, 从而确保效益最大化。

### 1 某石化公司润滑油加氢装置简介

某石化公司润滑油加氢装置引进美国雪弗龙的异构脱蜡技术、工艺包及催化剂, 装置处理能力为 40 万吨/年, 是目前国内单套处理能力最大的润滑油加氢装置, 其年开工小时数为 8400 小时, 操作弹性为设计处理量的 60 ~ 115%, 加工原料为上游 400 万吨/年高压加氢裂化装置所产的未转化尾油 (以下简称 UCO)。该装置主要由原料、反应、分离、分馏、公用工程和辅助系统等部分组成, 主要产品为 60N、100N、150N、220N 润滑油和液压油及变压器油等主产品, 此外, 还副产 1# 轻质白油、2# 轻质白油、3# 轻质白油等。

该装置的简要工艺描述如下: UCO 自原料油罐区来, 先后经自动反冲洗过滤器过滤、换热器换热及进料泵升压后与氢气在高温高压的环境下混合, 并在贵金属催化剂的参与下, 主要发生异构化和加氢精制反

应, 将油品中高倾点的正构烷烃转化为低倾点的异构烷烃, 并保证较高的润滑油收率和产品的粘度指数; 然后通过加氢精制改善润滑油的氧化安定性、光安定性及色度等。经过异构脱蜡和加氢精制的油品经过高、低压分离器分离后, 进入分馏系统, 切割分离出各牌号的润滑油和白油等产品。

### 2 润滑油加氢装置相关指标关联性的研究

#### 2.1 润滑油的理想馏分收率的计算及关联性研究

因润滑油的原料性质、生产方案、应用领域等的不同, 产品牌号较多且因产品标准尚未统一或规范, 即便是同种牌号的产品, 其性质或控制指标也会有所差异。而该差异或缺乏统一的基准直接影响了对润滑油收率等的计算或评定及比较, 于是, 依据润滑油的性质特点及定义等, 约定将馏程 >370℃ 以上的润滑油组分视为其理想馏分, 该馏分收率即可直接决定润滑油产品的收率, 又可直接或间接地表征或评价原料的优劣、生产工艺的先进性、装置的实际运行水平及效益情况、催化剂装填方案和生产方案及工艺参数的合理、科学性等。而通过大量的试验研究及工业运行数据分析, 该收率可依据原料或产品性质等其他关联指标预判或计算出来, 标准过程如下: ①由化验分析数据, 绘制润滑油产品的模拟蒸馏曲线。②由模拟蒸馏曲线读出 >370℃ 润滑油产品的质量百分数。③依据

流量计, 读出或计算原料和润滑油实际质量和 / 或收率, 并结合  $>370^{\circ}\text{C}$  润滑油产品的质量百分数, 计算  $>370^{\circ}\text{C}$  润滑油产品的质量。④将计算出的  $>370^{\circ}\text{C}$  润滑油产品的质量比上原料质量, 即得出  $>370^{\circ}\text{C}$  的润滑油收率即润滑油的理想馏分收率。

## 2.2 原料中蜡含量与润滑油收率的关联性研究

经研究发现, 在其他指标相同的前提下, 蜡含量越高, 所需的反应温度越高, 裂化或裂解成润滑油的非理想组分的可能性越大。经小试、中试及润滑油加氢装置标定等多组研究数据及经验表明, 一般而言, 采用 CLG 的 IDW/HDF 催化剂时, 有三个重要指标影响润滑油的收率: 原料含蜡量、原料馏程、原料粘度。上述三个因素对 IDW/HDF 的主产品收率产生叠加影响, 而其中又以蜡含量对收率的影响最为复杂或关键, 于是我们重点考虑原料中的蜡含量对润滑油收率的影响。

损失加上原料中本已  $< 370^{\circ}\text{C}$  的质量百分数及因粘度而导致的损失, 即为需扣除的润滑油的非理想组分的数值。仍以性能测试暨标定中实际数据为例, 原料中  $< 370^{\circ}\text{C}$  的质量百分数 24.2wt %、因蜡含量所致损失为 8.5wt %、而原料粘度较为理想且无损失, 经该法计算,  $>370^{\circ}\text{C}$  的润滑油收率即润滑油的理想馏分收率为 67.3wt %, 与“2.1 计算润滑油的理想馏分收率”中的 69.6wt % 间的差值为 2.3wt %, 在可接受范围内, 说明两种方法均可以作为估算  $>370^{\circ}\text{C}$  润滑油组分收率的方法。

## 2.3 倾点与反应温度的关联性研究

倾点是润滑油产品的重要指标之一, 倾点与异构化反应温度之间存在着密切的关联关系, 其关系是加氢异构化装置应用最多的参数间的关系之一, 也是制定和调整产品方案的一种重要手段。大量的研究和实践证明, 装置满负荷生产时, 异构脱蜡 150N 润滑油产品倾点与异构化反应温度近似呈线性关系, 150N 润滑油的倾点随反应温度的升高而降低。

装置满负荷生产时, 反应温度每升高  $1.25^{\circ}\text{C}$ , 倾点约降低  $1^{\circ}\text{C}$ 。在实际生产过程中, 压力一定的条件下, 可根据产品倾点变化, 适当改变进料加热炉出口温度, 以调节 IDW 反应器入口温度, 并通过改变注入床层间的急冷氢量, 控制各床层温度, 使 IDW 反应温度既能满足产品倾点要求, 又不富余, 实现节能优产; 此外, 为了保护催化剂以确保其在合适活性下的寿命最长, 一般遵循催化剂各床层出口等温的操作原则。

以上阐述的是进料负荷为 100% 的情况下, 倾点与温度的联动关系, 当进料负荷改变时, 两者间的关系会略有不同, 如以 75% 进料负荷为例, 原料负荷变化时, 反应温度也随 150N 的倾点降低而升高, 且近

似呈线性关系。进料负荷 75% 时, 反应温度每提高  $0.95^{\circ}\text{C}$ , 倾点降低  $1^{\circ}\text{C}$ 。

## 2.4 紫外吸光系数与总芳烃含量的关联性研究

经研究发现, 总芳烃含量对产品储存稳定性和色度等指标或性能方面存在着重大的影响。一般来说, 稳定性与总芳烃含量成正比关系, 而润滑油色度一般也正比于多环芳烃含量。但是, 总芳烃含量在小于 1% 时, 较难或不便通过化验分析的方法直接测出。经大量的化验数据分析和整理及论证, 发现总芳烃含量与紫外吸光系数有一非线性的对应关系: 一定吸光系数范围内, 总芳烃含量可利用其在波长为 226nm 处的紫外吸光系数乘以其对应的影响因子的方式计算出。吸光系数与总芳烃含量间的关系具体见图 1:

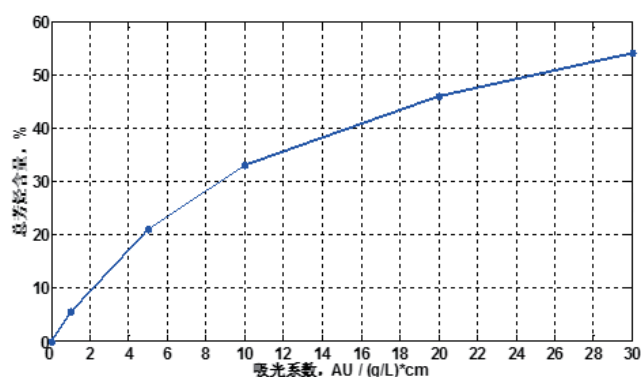


图 1 紫外吸光系数与总芳烃含量关系

如某样品在 226nm 处的紫外吸光系数为 0.50775, 对应图中的关系, 可以计算或读出总芳烃含量为  $(0.50775 \times 5.5 = ) 2.8\%$ , 而该值与分析化验值吻合的很好。

通过吸光系数与总芳烃含量的关系可以快捷的判断出原料和产品中的总芳烃含量并相对量化、直观地表征出润滑油的稳定性和原料的优劣及其他方面的性能指标, 而该指标在原料加工方案的制定、工艺调整 (催化剂装填方案和反应器各床层温度控制) 和产品的销售及应用开发等方面均存有重大意义。

## 2.5 50% 沸点与 $100^{\circ}\text{C}$ 时粘度间的关联性研究

经大量数据和实验论证, 对于同一类型的油料, 其中沸点即 50% 沸点与  $100^{\circ}\text{C}$  时粘度间存有一定的关联性并近似呈现直线关系, 且主要表现在中沸点越高、 $100^{\circ}\text{C}$  时粘度越大。

对于同一类型油, 若知道中沸点便可推算出来其  $100^{\circ}\text{C}$  时粘度值的大小, 进而可以判断其所属牌号; 反之, 若已拟定切割出什么牌号的油, 如生产 5cst 的润滑油即 150N 润滑油, 便可知其对应的中沸点大小及大概的馏程范围、切割温度等相关信息, 如此可以快捷、有效地指导生产操作。



## 2.6 其他性质指标间的关联性研究

润滑油加氢装置原料和产品及工艺参数等相关指标间均存有大量的关联性,如闪点与馏程、蒸发损失与馏程、氢油比与氧化安定性、常减压塔温度和压力与产品馏程等,可通过试验和累积实际生产数据以建立数据库的方式,并利用软件和其他科学研究方法对其加以归类和分析、整理。而有效利用这些关联性,可制定出科学的生产方案并有效的指导生产及弥补化验的不足、可优化操作和分析项目及频次、可提高装置运行水平以确保企业效益最大化。

## 3 经济效益分析

本文建立的润滑油加氢装置指标关联模型,通过精准揭示参数间的作用规律,从生产优化视角实现多维度经济效益提升。

首先,原料蜡含量与理想馏分收率的定量关系(蜡含量每降低3%可提升收率1.8%),指导企业优先采购低蜡原料以降低裂解损耗,提升基础油产率;例如某批次原料蜡含量降低后,实际收率比历史均值提高2%,直接增加高价值产品产出。

其次,基于反应温度与倾点的线性关联(温度降低1℃引发倾点上升约2℃的规律),装置操作团队通过优化温度波动范围,减少因过度提温造成的氢气消耗冗余及燃料气浪费,结合能耗核算确认年降本潜力达数百万量级。

此外,紫外吸光系数与总芳烃含量的快速换算方法,将离线芳烃分析周期缩短至原时间的25%,帮助生产单元更快调整分馏塔参数,减少中间样积压及不合格品风险。针对催化剂运行周期,指标关联性成果通过预判失活节点,成功将单批次催化剂寿命延长10%以上,既避免过早更换的资源浪费,又减少因性能衰退导致的产品质量波动成本。

综合而言,研究成果的应用在原料利用率提升、能耗管控、检测效率优化及催化剂利用率强化四个核心环节形成协同降本效应,系统性支撑装置综合效益持续优化。

## 4 结论

本文通过试验和累积实际生产数据的方式,并利用软件和其他科学研究方法归类和分析、整理了原料和产品及工艺参数等加氢润滑油装置相关指标间存在大量的关联性。利用各相关指标间的关联性可直接或间接地判断出其他指标的相关情况,从而优化生产操作、提升企业经济效益。本文通过润滑油加氢装置相关指标关联性研究得到的主要结论如下:

①通过一系列的关联性研究,探索出了一种简便、快捷地计算出润滑油理想组分收率的方法,同时,又

通过对原料关联指标的研究,发现根据原料中的蜡含量也可帮助快速预测出该收率,而该收率可帮助评价润滑油装置运行优劣;例如,依据原料中的蜡含量,可在相应的关联图中查找或预测出其将裂解至370℃以下的收率,进而快速预测出润滑油(的理想组分)的收率。②通过对原料关联指标的研究,发现原料性质的变化和运行周期的长短都会影响产品收率,而原料中的S、N含量对催化剂的活性和产品的倾点及收率影响也极大。同时,还探索了进料负荷及反应温度对150N倾点的定量关系,即装置满负荷生产时,反应温度每升高1.25℃,倾点约降低1℃;装置负荷为75%时,反应温度每提高0.95℃,倾点降低1℃。③探讨了一种计算蒸馏曲线的方法,该法可迅速判断不同比例、不同性质的油品混合后将得到的调和油品的馏程,并推断出其他相关性质,从而为调和方案的制定和优化提供依据。④研究了紫外吸光系数与总芳烃含量的定量关系和润滑油的色度或赛波特颜色与稠环芳烃含量的关联性,稠环芳烃含量越多、颜色越深;同时,还阐明了油品50%沸点与100℃时粘度间的定量关系,进而可以判断其所属牌号,反之亦然。

利用上述关联性研究结果,可制定出科学的生产方案、并有效地指导生产技改方案的确定,又可弥补化验的不足、优化操作和分析项目及频次,从而提高装置运行水平,使企业效益最大化。

## 参考文献:

- [1] 王玉章,杨文中,龙军.从润滑油标准看我国润滑油生产现状[J].炼油技术与工程,2006,36(06):1-6.
- [2] 祖德光.润滑油生产技术的新进展[J].石油炼制与化工,2004,34(02):1-5.
- [3] 王玉章,祖德光,王子军.加氢法生产API II和III类润滑油[J].润滑油,2005,20(2):15-20.
- [4] 姚春雷,刘平,全辉,廖士纲,童广明.加氢裂化尾油生产食品级白油技术[J].当代化工,2007,36(4):143-146.
- [5] 李训,丰铭.润滑油加氢装置用能的分析与优化[J].化学工业与工程技术,2017(05):38-39.
- [6] 陈晓梅,孙柏军,闫军.润滑油高压加氢装置运行情况分析及应对措施[J].化工技术与开发,2016,45(12):4-5.
- [7] 谷云格,徐亚明.润滑油加氢装置节能增效措施浅谈[C]//2017年中国石油炼制科技大会;中国石油学会,2017.
- [8] 于姣洋.润滑油加氢装置的工艺设计和优化[D].北京:北京化工大学,2015.
- [9] 马怀春.润滑油加氢处理装置模拟与节能研究[D].青岛:青岛科技大学,2012.