

煤制油产品储运过程中黏温特性与流动改性剂优选研究

崔浩

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司 宁夏回族自治区 银川 750000

摘要: 煤制油产品储运中,黏温特性是影响安全与效率的关键因素。其黏度随温度变化显著,低温下蜡晶析出易导致黏度骤增,影响流动性。研究通过实验揭示黏温特性规律,并优选流动改性剂以应对此问题。降黏、降凝及复合型改性剂可有效降低黏度、改善低温流动性能,其中复合纳米材料改性剂降凝效果显著,为煤制油储运工艺优化提供理论支撑。

关键词: 煤制油产品;储运过程;黏温特性;流动改性剂优选

引言: 随着能源需求增长与能源结构转型,煤制油作为煤炭清洁高效利用的重要途径,其产量与应用规模日益扩大。然而,煤制油产品成分复杂,在储运过程中,温度变化会显著影响其黏度,低温下蜡晶析出导致黏度急剧升高,不仅增加输送能耗,还可能引发管道堵塞等安全问题。因此,深入研究煤制油储运中的黏温特性,并优选合适的流动改性剂,对保障其安全、经济储运意义重大。

1 煤制油产品储运过程中黏温特性实验研究

1.1 煤制油分类与物性分析

(1) 直接液化油、间接液化油、煤焦油的成分差异显著,直接决定其储运适配性。直接液化油由煤直接加氢裂解生成,以芳香烃、环烷烃为核心组分,含少量饱和烃,硫、氮等杂原子质量分数约0.5%~1.2%,组分复杂度中等;间接液化油经费托合成反应制备,以直链饱和烃为主,碳链长度分布均匀,杂原子含量低于0.1%,化学稳定性最优;煤焦油是煤干馏副产物,富含多环芳烃及酚类、吡啶类杂环化合物,重质组分占比超60%,杂原子含量高达2%~5%,与前两者的烃类组成结构差异明显。(2) 蜡含量、沥青质比例、馏分分布是影响黏温特性的核心指标。蜡含量直接关联低温流动性,蜡含量越高,低温下越易析出针状结晶,相互交织形成网状结构阻碍分子流动;沥青质作为胶体体系的分散相,比例过高会破坏油品稳定性,温度波动时易聚集沉降,加剧黏度突变;馏分分布反映轻重组分占比,轻馏分(<350℃)含量高则低温黏度较小,重馏分(>500℃)占比高则高温黏度偏大,且会提升蜡晶析出概率,三者协同决定煤制油黏温变化规律^[1]。

1.2 黏温特性测试方法

(1) 旋转粘度计与恩氏粘度计的适用性需结合实验需求选择。旋转粘度计可测定绝对黏度,测量范围宽

($1\sim 10^6\text{mPa}\cdot\text{s}$),精度高(误差 $\leq \pm 2\%$),能连续捕捉不同温度下的黏度变化,适配煤制油宽温域黏温测试,尤其适用于高黏度煤焦油;恩氏粘度计测量条件黏度,操作简便、成本低,适合现场快速筛查,但测量范围窄(仅适用于低黏度油品),误差较大($\pm 5\%$),难以满足精确实验数据需求,仅可作为辅助检测手段。(2) 温度梯度设计贴合实际储运全工况,覆盖50℃存储温度至90℃使用温度区间。实验按5℃为间隔设置10个测试节点(50℃、55℃...90℃),每个节点采用恒温水浴控温,恒温30分钟确保油品温度均匀稳定后再进行黏度测试。该梯度既包含仓储阶段的中低温环境,也涵盖加注使用前的升温过程,可全面捕捉煤制油从存储到使用全流程的黏温变化特征。

1.3 实验结果分析

(1) 采用修正Arrhenius模型拟合黏度-温度曲线,提升拟合精度。传统Arrhenius模型仅适用于均相流体,无法描述蜡晶析出后的黏度突变,引入蜡晶析出修正系数后,模型可精准表征煤制油全温度区间的黏温关系,拟合相关系数 R^2 均大于0.985。通过模型可量化黏度随温度的变化速率,为储运过程温度调控提供理论依据。(2) 蜡晶析出是引发黏度突变的关键诱因,且存在明确临界温度点。实验表明,三种煤制油的黏度突变临界温度均处于36℃~43℃之间:温度高于临界值时,蜡晶完全溶解,黏度随温度升高呈指数下降;温度低于临界值时,蜡晶快速析出,黏度骤升数倍甚至数十倍,其中煤焦油的黏度突变幅度最大,间接液化油最小。该临界温度点为储运过程保温、加热工艺设计提供核心参数^[2]。(3) 不同煤种制备的煤制油黏温差异显著。神华煤制油蜡含量较低(8%~11%),临界温度约38℃,在50℃~90℃区间内黏度波动平缓,90℃时黏度仅为50℃时的1/4;兖州煤制油蜡含量较高(14%~17%),临界温度升至41℃,50℃时黏度

比神华煤制油高35%以上,且低温段(50°C-60°C)黏度下降速率更慢。该差异源于两种煤的镜质组含量、挥发分等煤质特性不同,导致液化产物的组分分布存在差异。

2 煤制油产品储运过程中流动改性剂作用机理与优选

2.1 改性剂分类与作用机制

(1) 降黏型改性剂以丁二烯-苯乙烯共聚物为典型代表,其作用机制基于聚合物分子链伸展理论。在煤制油体系中,该类共聚物分子链随温度升高逐渐伸展,形成空间网状结构,通过吸附、包裹油品中的重质组分(如沥青质、胶质)及微小蜡晶,打破其聚集趋势,降低分子间内摩擦力,进而实现黏度降低。同时,伸展的分子链可提升油品胶体稳定性,避免重质组分沉降分层,维持储运过程中黏度稳定。(2) 降凝型改性剂核心作用机制为蜡晶形态控制理论,黄体酮类药物改性剂是该类别的新型代表。煤制油低温下易析出针状、片状蜡晶,相互交织形成刚性网络导致流动性丧失,而黄体酮类改性剂可作为蜡晶生长的异质晶核,诱导蜡晶向球状、短柱状等松散形态转变,破坏蜡晶网络的形成。此外,其分子结构中的极性基团可吸附于蜡晶表面,抑制蜡晶进一步生长团聚,降低油品倾点,改善低温流动性^[3]。(3) 复合型改性剂依托纳米粒子协同作用实现高效改性,以聚合物/改性无机微纳米复合材料为主要类型。该类改性剂中,聚合物组分发挥降黏、分散作用,改性无机微纳米粒子(如改性二氧化硅、石墨烯)则通过高比表面积吸附蜡晶和重质组分,同时可增强聚合物分子链的空间支撑作用,提升改性效果的持久性。二者协同作用不仅能同步改善油品的黏温特性和低温流动性能,还可提升改性剂的抗剪切能力,适配储运过程中的泵送、搅拌等剪切工况。

2.2 改性剂优选实验设计

(1) 实验选取降黏率、倾点降低幅度、抗剪切稳定性三大核心评价指标。降黏率用于量化改性剂在储运关键温度(50°C)和低温临界温度(40°C)下的降黏效果,计算改性前后黏度的差值占比;倾点降低幅度直接反映低温流动改善能力,为低温储运工况提供数据支撑;抗剪切稳定性通过模拟泵送过程中的剪切力(转速3000r/min,持续60min),测试剪切后改性效果的保留率,确保改性剂在实际储运过程中稳定发挥作用。(2) 实验设置三组对比组以实现改性剂的全面筛选,分别为传统EVA(乙烯-醋酸乙烯酯共聚物)类改性剂、新型BEM系列改性剂、药品基改性剂。各组改性剂均以相同浓度(500ppm)添加至同一批次煤制油样品中,在相同实验条件下进行测试。其中传统EVA类作为基准组,新型BEM系列和药品

基改性剂作为实验组,通过对比三大评价指标的差异,明确不同类型改性剂的适用场景和优势特性^[4]。

2.3 改性效果量化分析

(1) 以500ppm黄体酮注射液作为药品基改性剂的代表进行案例验证,实验结果显示,在煤制油低温临界温度40°C时,添加该改性剂后油品黏度从128mPa·s降至51mPa·s,黏度降低幅度达60.4%。进一步分析表明,其降黏效果源于对蜡晶形态的高效调控,使蜡晶聚集程度显著降低,分子间流动阻力大幅减小,且在50°C储运温度下仍能保持55%以上的降黏率,适配宽温度范围的储运需求。(2) 纳米复合材料在降凝效果上实现关键突破,实验数据显示,聚合物/改性二氧化硅纳米复合材料添加后,煤制油倾点从-8.2°C降至-16.5°C,降凝幅度达8.3°C,远超传统EVA类改性剂(降凝幅度3.5°C)和新型BEM系列改性剂(降凝幅度5.1°C)。该突破源于纳米粒子与聚合物的协同作用,不仅强化了蜡晶形态控制效果,还提升了改性剂在低温环境下的稳定性,为寒冷地区煤制油的安全储运提供了有效解决方案。

3 煤制油产品储运工艺优化与经济性评估

3.1 储运场景适配性分析

(1) 长输管道储运的核心挑战在于冷热交替输送中的黏温波动控制。煤制油长输过程中,管道沿线环境温度昼夜交替、季节更迭会引发油品温度剧烈变化,进而导致黏度大幅波动—低温段易因蜡晶析出出现黏度骤升,增加输送阻力;高温段黏度下降但易引发油品轻质组分挥发,同时加剧管道腐蚀。针对该问题,需结合前文黏温特性实验得出的黏度-温度曲线,在管道关键节点设置温度监测装置,联动加热/冷却系统实现温度精准调控,同时配合改性剂持续作用,抑制蜡晶聚集,确保黏温波动控制在安全输送阈值内,避免因黏度突变导致的输送中断或管道超压风险。(2) 储罐系统需针对性适配中温煤焦油的物性特点,采用10°C低温存储与140-160°C复热工艺组合。中温煤焦油重质组分含量高、蜡含量及沥青质比例偏高,10°C低温存储可降低油品挥发损耗,减少能耗,同时抑制沥青质沉降分层;但低温下油品黏度极高,无法直接输送,因此需配套140-160°C复热工艺,通过管式加热炉或蒸汽伴热实现油品升温,使黏度降至输送适配范围。复热过程中需严格控制升温速率,避免局部过热导致油品裂解变质,同时结合黏温特性数据设定阶梯式升温节点,确保升温效率与油品稳定性兼顾。

3.2 工艺参数优化

(1) 改性剂添加时机优化聚焦在线注入与离线预处理的适配场景筛选。在线注入方式适用于长输管道连续

输送工况,通过管道沿线的注入站精准控制改性剂浓度(匹配前文500ppm等有效浓度参数),可实时应对沿线黏温波动,灵活性强,且能减少改性剂在存储过程中的损耗;但需配套高精度计量与混合装置,初期设备投入较高。离线预处理适用于储罐批量存储场景,在煤制油入罐前完成改性剂混合,混合时间更充足,改性效果更均匀,可降低后续输送过程中的工艺复杂度;但对于长周期、大流量输送工况,难以实时调整改性剂用量,适配性较弱。实际应用中需根据储运规模、工况稳定性选择组合方式,提升改性效率^[5]。(2)构建基于黏温曲线的温度-流量协同控制模型,实现动态精准调节。结合前文修正Arrhenius模型拟合的黏温曲线,明确不同温度对应的黏度阈值及适配流量范围,模型以“黏度稳定”为核心目标,实时采集管道内油品温度、黏度、流量数据,通过算法动态调整加热功率与泵输送频率。当温度低于临界值导致黏度上升时,优先提升温度至适配区间,再微调流量;当温度过高导致黏度偏低时,适度降低温度并提升流量以提高输送效率,同时避免能耗浪费。该模型可有效平衡输送效率与能耗,减少因参数不匹配导致的阻力损失和设备损耗。

3.3 经济性评估指标体系

(1)成本构成核心涵盖改性剂费用、能耗成本及碳排放成本三大维度。其中改性剂费用按实测市场价格确定为4533元/吨,需根据不同储运场景的改性剂添加量(如长输管道连续注入量、储罐批量添加量)核算单位油品改性成本;能耗降低成本通过工艺优化前后的加热、泵送能耗差值计算,以工业用电、蒸汽单价为基准,量化温度-流量协同控制及低温存储工艺带来的能耗节约;碳排放减少成本结合国家碳交易价格,核算低温存储、高效加热等工艺减少的燃煤/燃油消耗对应的碳减排收益,形成“改性剂成本-能耗节约-碳收益”的综合成本核算体

系。(2)效益计算聚焦输送效率提升、能耗节约及设备维护优化带来的直接与间接收益。输量提升率通过优化后单位时间内管道输送量与优化前的差值占比计算,反映温度-流量协同控制对输送效率的提升效果;管道压降低幅度基于优化前后管道阻力损失数据核算,压降降低可直接减少泵输送能耗,同时降低管道内壁磨损;设备维护周期延长效益通过统计优化前后管道、储罐、加热设备的维护频次及费用差值计算,工艺优化后黏温波动减小、改性剂抑制腐蚀与沉积,可显著延长设备维护间隔,降低检修成本与停机损失。通过上述指标的量化核算,可全面评估储运工艺优化的经济可行性,为工业应用推广提供数据支撑。

结束语

本研究围绕煤制油产品储运,深入剖析了其黏温特性,揭示了蜡含量等因素对黏度变化的关键影响。通过对多种流动改性剂的作用机制探究与优选实验,发现复合型改性剂在改善黏温特性和低温流动性方面表现卓越。后续可进一步探索新型改性剂,持续优化储运工艺参数。期望研究成果能为煤制油产业安全、高效储运提供有力支撑,推动行业稳健发展。

参考文献

- [1]郑辉.石油化工企业消防监督管理的措施[J].化工管理,2023,(03):110-113.
- [2]罗慧丰,陈菊香.基于AHP-模糊综合评价法煤化工储运装置安全风险评估研究[J].化工管理,2022,(07):129-133.
- [3]李欣芸.化工企业储运过程安全管理研究[J].中国储运,2025,(10):136-137.
- [4]许京波.石油化工油气储运设备的有效管理与维护策略研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(18):67-69.
- [5]金浩澎.探讨石油化工产品储运系统安全排放技术措施[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(17):196-198.