

# 春风原油常减压装置扩能改造及脱钙脱酸技术创新应用 经济性研究

胡炳星 张 健 (新疆佳宇恒能源科技有限公司, 新疆 胡杨河 834034)

**摘要:** 针对春风原油高酸高钙特性及原有 30 万 t/年常减压装置问题, 开展扩能改造与脱钙脱酸研究。装置扩能至 50 万 t/年, 筛得高效复配脱钙剂与脱酸溶剂, 减底油中  $< 500^{\circ}\text{C}$  馏分  $\leq 7\%$ , 年增产值超 3000 万元、利税超 1000 万元, 经济效益取得了显著增长, 也为同类原油加工提供技术支撑。

**关键词:** 春风原油; 常减压装置; 扩能改造; 脱钙脱酸; 技术创新; 经济效益

**中图分类号:** TE624 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 035-0066-03

## Economic Study on Capacity Expansion and Renovation of Chunfeng Crude Oil Atmospheric and Vacuum Distillation Unit and Innovative Application of Decalcification and Deacidification Technology

Hu Bingxing, Zhang Jian(Xinjiang Jiayuheng Energy Technology Co., Ltd. Huyanghe Xinjiang Province 834034,China)

**Abstract:** In response to the high acidity and high calcium characteristics of Chunfeng crude oil and the problems of the original 300000 tons/year atmospheric and vacuum distillation unit, capacity expansion renovation and decalcification and deacidification research are carried out. The capacity of the device has been expanded to 500000 tons per year, and efficient compound decalcifying agents and deacidification solvents have been screened, reducing the fraction in the bottom oil below  $500^{\circ}\text{C}$  by  $\leq 7\%$ . The annual production increase value exceeds 30 million yuan, and the profit and tax exceed 10 million yuan, the economic benefits have achieved remarkable growth, providing technical support for the processing of similar crude oils.

**Keywords:** Chunfeng crude oil; Atmospheric and vacuum distillation equipment; Capacity expansion and renovation; Decalcification and deacidification; technological innovation; Economic benefits

春风原油作为典型的环烷基稠油, 具有高酸值、高钙含量的特点, 在常减压蒸馏过程中易导致设备腐蚀、钙质沉积结垢, 严重影响装置长周期稳定运行。新疆佳宇恒能源科技有限公司原有 30 万 t/a 原油预处理装置, 设计目标为生产沥青产品, 与荆门石化代加工所需产品的馏分要求和质量标准存在差异, 且加工负荷已无法满足市场需求。

随着炼化行业对加工效率和产品质量要求的不断提升, 需通过技术改造与创新, 解决春风原油加工过程中的核心问题。本研究聚焦常减压装置扩能改造与脱钙脱酸技术优化, 一方面通过设备升级、流程优化实现装置处理量提升与分馏精度改善; 另一方面通过筛选高效脱钙剂、探究脱钙机理, 结合离子液体脱酸技术, 构建协同处理工艺, 为春风原油的高效清洁加工提供解决方案, 同时为企业培养专业技术团队, 助力行业高质量发展。

### 1 实验部分

#### 1.1 原料性质

本研究以春风油田产出的环烷基稠油为研究对

象, 其核心性质如下: 钙含量 2349ppm, 酸值较高, 属于典型的高酸高钙原油。该原油在加工过程中, 环烷酸易引发设备腐蚀, 钙质易形成沉积结垢, 给装置稳定运行带来挑战。

#### 1.2 装置扩能改造方案设计

##### 1.2.1 改造目标

①处理量提升: 将原有 30 万 t/a (进料量 37.5t/h, 年操作 8000h) 扩能至 50 万 t/a (进料量 62.5t/h, 年操作 8000h), 操作弹性保持在 60%~105%;

②分馏精度优化: 满足荆门石化对各馏分油的馏程要求, 其中常一线 5% 馏程  $205\text{--}230^{\circ}\text{C}$ 、97% 馏程  $\leq 285^{\circ}\text{C}$ , 常二线 5% 馏程  $265\text{--}285^{\circ}\text{C}$ 、97% 馏程  $\leq 325^{\circ}\text{C}$ , 减一线 5% 馏程  $\geq 300^{\circ}\text{C}$ 、97% 馏程  $\leq 400^{\circ}\text{C}$ , 减二减三馏分重叠  $\leq 4\%$ , 减渣初馏点  $\geq 490^{\circ}\text{C}$ ;

③能耗降低: 优化换热网络, 提升能量利用效率, 降低装置综合能耗。

##### 1.2.2 关键改造内容

①设备升级: 常压塔径由  $\phi 1200$  变更为  $\phi 1600$ ,

增设常三线分馏段；更换减压塔内件为波纹管高通量填料，改造减四段塔内结构，将1层填料改为2层并增加降液管与内循环系统；更换常压炉与减压炉体，保留烟道等辅助设施；升级减压抽真空系统为两级蒸汽喷射泵；更换部分不满足负荷要求的换热器和机泵。

②管线扩径：闪蒸塔底部泵出口至常压炉管径由DN100改为DN150，常压塔顶部气相管线由DN200改为DN250，常压塔底至减压炉管径由DN100改为DN150，确保物料输送顺畅。

③系统扩容：校核并更换不满足工况的仪表流量计、调节阀，对DCS系统和配电系统进行扩容改造；改造装置框架，构2装置+13.5m平台向东扩两跨并增设+17.0m平台两跨，对原有结构进行加固处理。

④流程优化：为满足减一线初馏点要求，增设常三线采出300~370℃馏程段组分，降低减压塔顶部负荷；优化酸性水汽提装置，改变塔型并增大塔径，酸性气送至络合铁脱硫装置处理并副产石膏。

### 1.3 脱钙实验方案

#### 1.3.1 实验材料

选取二乙烯三胺（DETA）、乙二醇二乙醚二胺四乙酸（EGTA）、乙二胺四乙酸（EDTA）、草酸、柠檬酸五种单一脱钙剂，以及草酸与柠檬酸摩尔比1:1的复配脱钙剂。

#### 1.3.2 实验步骤

①电脱盐实验：称取50g原油置于100mL烧杯中，按剂油比0.04加入不同浓度（0ppm、200ppm、400ppm、600ppm、800ppm、1000ppm）的脱钙剂，编号1~6；将烧杯置于80℃水浴中，以600rpm转速加热30min后转移至电脱盐罐；通入0.4MPa氮气，升温至90℃后开启1200V高压电场，维持30min（电流<1A）；冷却至50℃以下排空氮气，继续冷却至30℃以下后取上层油样待测；

②钙含量测定：采用干灰分法结合ICP-AES测定。准确称取3.0g油样于50mL坩埚中，以3℃/min程序升温至560℃，灰化8h后冷却；用2%硝酸溶液消解灰分并定容至50mL，取10mL溶液进行ICP-AES测定。

#### 1.3.3 脱钙效果评价指标

以钙去除率作为核心评价指标，计算公式为：

$$\text{去除率}(\%) = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100\%$$

其中， $C_0$ 为未处理原油中钙含量（2349ppm）， $C_1$ 为脱钙后油样中钙含量。同时观察电脱盐罐下水量，评估工艺稳定性。

#### 1.4 脱酸技术路线

采用新型氯化胆碱系深共晶溶剂（DES）进行脱酸处理，通过考察脱酸剂用量、反应温度、反应时间

等参数对脱酸率的影响，优化脱酸工艺条件，实现与脱钙过程的耦合协同。

## 2 结果与讨论

### 2.1 装置扩能改造效果

#### 2.1.1 处理量与产品分布

改造后装置处理量稳定达到50万t/a，各馏分油收率与馏程均满足设计要求，具体产品情况如下表1所示。

表1 具体产品情况

名称	质量流量 (KG/HR)	收率 (%)	初馏点 (°C)	5% 馏程 (°C)	95% 馏程 (°C)	终馏点 (°C)
常一线	2500	4.44	225.5	233.0	280.7	286.8
常二线	2500	4.44	253.2	268.4	321.2	327.2
常三线	3000	5.33	259.8	293.0	371.2	380.0
减一线	2900	5.156	291.1	308.4	389.5	400.0
减二线	7200	12.8	355.4	370.4	445.4	455.0
减三线	7500	13.33	392.8	415.8	487.1	492.0
减四线	2500	4.44	406.2	442.4	555.2	568.0
减渣	28150	50.04	480.8	505.0	740.3	750.4

由上表可知，各馏分油的初馏点、终馏点及馏程分布均符合荆门石化的质量要求，减二线与减三线馏分重叠度≤4%，分馏精度显著提升。减底油中小于500℃馏分由改造前的10%降至7%以下，达到考核指标要求。

#### 2.1.2 经济效益提升

改造后装置年加工能力提升至50万t，新增产值超3000万元/年，新增利税1000万元/年以上，大幅提升了企业的经济效益。同时，减压馏分油收率提高3%以上，扩大了高附加值BS光亮油的原料来源，为高端润滑油生产提供了支撑。

#### 2.1.3 能耗优化效果

通过优化换热网络，调整换热器顺序并增加换热面积，原料油换热终温由改造前的270℃提升至295℃，减少了加热炉负荷；将导热油取热后温位由120℃提高至150℃以上，满足了沥青和减四线伴热需求，降低了蒸汽消耗；真空系统采用两级喷射+机械抽真空方式，减少了蒸汽用量，装置综合能耗显著降低，符合绿色发展理念。

## 2.2 脱钙技术实验结果

### 2.2.1 单一脱钙剂脱钙效果

①二乙烯三胺（DETA）：DETA通过氮原子孤对电子与钙离子形成络合物实现脱钙。实验结果显示，随着脱钙剂用量增加，脱钙率逐步提升；在110~150℃范围内，脱钙率随温度升高而增加，150℃、1000ppm用量时脱钙率达到较高水平；

②乙二醇二乙醚二胺四乙酸（EGTA）：EGTA对

钙离子具有高选择性，能形成稳定六元环螯合物。其脱钙率随用量增加显著提升，在 800ppm 后增长趋于平缓；温度升高有利于提升脱钙率，但 140℃ 后增幅减小，可能与试剂稳定性有关；

③乙二胺四乙酸 (EDTA)：作为广谱螯合剂，EDTA 通过六个配位原子与钙离子形成稳定五元环螯合物。脱钙率随用量稳定上升，低用量时受螯合反应控制，增量明显，高用量时趋于平缓；适当升温可提高反应速率，130~140℃ 时脱钙效果最佳；

④草酸：草酸根离子与钙离子生成低溶解度的草酸钙沉淀。在化学计量比前，脱钙率随用量显著提升；温度升高可提高草酸溶解度和反应速率，促进沉淀聚沉，脱钙率随温度持续改善，150℃ 时效果最优；

⑤柠檬酸：柠檬酸兼具酸置换与络合作用，但络合物稳定性较弱。脱钙率随用量增加有所提升，但增幅低于 EGTA、EDTA 等强螯合剂，高温下效率略有下降。

### 2.2.2 复配脱钙剂脱钙效果

草酸与柠檬酸 1:1 复配后表现出协同效应，柠檬酸先分解有机钙并释放钙离子，草酸根离子迅速与之结合生成草酸钙沉淀。实验结果显示，复配脱钙剂的脱钙率显著高于单一脱钙剂，在 1000ppm 用量、150℃ 时脱钙率接近 70%；且在 110~150℃ 范围内保持较高脱钙效率，热稳定性和温度适应性更强，克服了单一柠檬酸高温效率下降的缺点。

### 2.2.3 脱钙剂筛选结论

综合脱钙效率、工艺稳定性和经济性，草酸与柠檬酸复配脱钙剂表现最优，在用量 800~1000ppm、温度 130~140℃ 条件下，可实现 65% 以上的脱钙率，且无明显乳化或携带现象，适合工业化应用。

### 2.3 脱酸技术创新成果

新型氯化胆碱系深共晶溶剂 (DES) 对春风原油具有优异的脱酸性能，脱酸率高达 80% 以上。该溶剂通过氢键作用与环烷酸形成稳定复合物，实现酸值有效降低，且具有可回收性强、环境友好等特点。结合脱钙工艺构建的“离子液体脱酸-螯合复配脱钙”耦合体系，可同步解决原油高酸、高钙问题，减少设备腐蚀和钙质沉积结垢，为装置长周期稳定运行提供保障。

## 3 经济效益与社会效益分析

### 3.1 经济效益

①产能提升：装置处理量从 30 万 t/a 扩至 50 万 t/a，年新增加工量 20 万 t，新增产值超 3000 万元，新增利税 1000 万元以上；

②产品增值：减压馏分油收率提高 3%，高附加值 BS 光亮油原料供应增加，提升了产品结构档次，

进一步扩大利润空间；

③成本节约：优化换热网络和真空系统后，装置综合能耗降低，每年可节约蒸汽、电力等能源成本约 150 万元；脱钙脱酸技术减少设备腐蚀和结垢，降低检修成本和停车损失，延长设备使用寿命。

### 3.2 社会效益

①行业示范：为高酸高钙稠油的高效加工提供了可复制的技术方案，推动炼化行业技术升级，缓解我国高端润滑油供应短缺问题；

②绿色发展：通过节能优化和环保工艺改造，降低了污染物排放，符合“双碳”战略和可持续发展理念；

③人才支撑：培养了一批石油化工领域专业人才，强化了区域科技创新能力，为师市工业高质量发展提供人才保障。

## 4 结束语

本研究通过设备升级、管线扩径等措施，将常减压装置处理量从 30 万 t/a 提至 50 万 t/a，减底油中小于 500℃ 馏分降至 7% 以下，分馏精度达标。筛选出草酸与柠檬酸 1 : 1 复配脱钙剂 (脱钙率超 65%)，开发氯化胆碱系深共晶溶剂 (脱酸率超 80%)，解决原油高酸高钙问题，年新增产值超 3000 万元、利税超 1000 万元。未来将优化脱酸脱钙工艺，监测装置长周期运行，拓展溶剂应用，加强校企合作，推进技术攻关与产业化。

### 参考文献：

- [1] 张深. 常减压蒸馏装置的扩能改造 [J]. 炼油设计, 1999, 29(12): 29-31.
- [2] 涂连涛. 蒸馏装置减压深拔问题分析及对策 [J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(2): 19-23+30.
- [3] 龚传波, 单玉连, 吴永红等. 炼油厂蒸馏装置节能降耗措施研究 [J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(4): 25-28.
- [4] 郑雅楠. 炼油常减压装置特点及节能新技术探讨 [J]. 化工管理, 2020(02): 116-117.
- [5] 李志强. 原油蒸馏工艺与工程 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2010: 11-18, 78-85.
- [6] 秦娅, 孙振光, 王汉明, 等. 稠油炼制减压蒸馏装置的扩能改造 [J]. 化工进展, 2007, 26(10): 1497-1500.
- [7] 吴云鹏, 林涛. 5.5Mt·a<sup>-1</sup> 常减压装置的节能降耗措施 [J]. 甘肃科技, 2011(27).

### 基金项目：

新疆生产建设兵团第七师“胡杨英才”科技创新团队项目。

### 作者简介：

胡炳星 (1987-)，男，汉族，本科，研究方向：石油化工。