

重交沥青装置塔顶切水回注电脱盐工艺的技术标定 与经济效益分析

李 超 (中海石油中捷石化有限公司, 河北 黄骅 061108)

摘要: 本文探讨了将初馏塔、常压塔及减压塔塔顶切水回注至电脱盐系统的技术改造方案。通过对某 350 万 t/a 重交沥青装置的流程改造与标定分析, 验证了该技术的可行性。结果表明, 塔顶切水 (pH6.5-7.0) 的弱酸性特性与电脱盐注水所需的酸性环境相契合, 有利于脱钙剂效能的发挥。改造后, 电脱盐切水的主要指标 (COD、硫化物、石油类含量等) 均满足排放要求, 虽氨氮含量偶有波动, 但处于下游污水装置可接受范围使汽提水单耗由 0.09 降至 0.01, 预计年节约成本约 52.56 万元。

关键词: 重交沥青装置; 塔顶切水; 电脱盐; 技术改造; 经济效益

中图分类号: TE624 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0043-03

Technical Calibration and Economic Analysis of the Electrostatic Desalting Process for Top Condensate Return in the Heavy Oil Distillation Unit

Li Chao (CNOOC Zhongjie Petrochemical Co., Ltd., Huanghua Hebei 061108, China)

Abstract: This article discusses the technical renovation plan of injecting water from the top of the primary distillation tower, atmospheric tower, and vacuum tower back into the electric desalination system. The feasibility of this technology was verified through the process transformation and calibration analysis of a 3.5 million tons/year heavy asphalt plant. The results indicate that the weak acidic characteristics of the tower top cutting water (pH 6.5-7.0) are consistent with the acidic environment required for electric desalination water injection, which is conducive to the effectiveness of the decalcifying agent. After the transformation, the main indicators of electric desalination and water cutting (COD, sulfide, petroleum content, etc.) all meet the discharge requirements. Although the ammonia nitrogen content fluctuates occasionally, it is within the acceptable range of downstream sewage equipment, reducing the unit consumption of stripping water from 0.09 to 0.01, and it is expected to save about 525600 yuan in annual costs.

Keywords: heavy asphalt plant; Cutting water at the top of the tower; Electric desalination; Technological transformation; economic benefits

淡水总量不足和分布不平衡导致我国存在严重的水资源问题, 缺水已成为制约中国发展的一个重要障碍。根据国际海水淡化协会公布的数据, 苦咸水定义为总溶解固体(TDS)浓度为 1000 ~ 10000mg/L 的盐度。在炼油工业中, 重交沥青装置在加工劣质重质原油时, 其初馏塔、常压塔和减压塔 (简称“三项”) 会产生一定量的含硫污水。传统处理工艺是将这些塔顶切水与压缩机切液一并送至污水罐, 再经泵送至高负荷的汽提装置进行处理, 脱除 H₂S、NH₃ 等杂质后回用。此流程存在两个显著问题: 一是汽提装置运行能耗高、成本大; 二是塔顶切水中含有的硅等杂质组分在汽提后的富胺液中累积, 易导致下游硫磺回收装置的一级冷却器堵塞, 引发非计划停工, 造成经济损失。

为破解这一难题, 实现资源的梯级利用和降本增效, 本文研究提出并实施了一项技术改造: 将水质相对洁净、呈弱酸性的塔顶切水直接回注至本装置的电脱盐系统, 替代部分新鲜汽提注水。本文旨在通过对该 350 万 t/a 装置改造前后的系统标定, 全面评估该

技术的工艺可行性、环保合规性及经济效益。

1 项目概况与改造方案

1.1 原工艺流程及深度剖析

在实施技术改造前, 该 350 万 t/a 重交沥青装置的含硫污水处理遵循典型的传统模式。装置“三项”产生的切水总量平均约为 5t/h, 这些切水首先与压缩机产生的少量切液进行混合, 共同进入装置上设置的集中含硫污水缓冲罐进行暂存。随后, 通过专用的含硫污水输送泵, 将混合污水全部外送至全厂共用的溶剂再生 (汽提) 装置进行处理。与此同时, 本装置电脱盐系统正常运行时所需的工艺注水总量约为 15t/h, 这部分水源完全依赖于汽提装置产出的合格净化水。

这种“产生-集中-外送-处理-回用”的线性模式存在明显的系统性问题。首先, 它将所有塔顶污水的处理压力完全转移给了汽提装置, 使得该中心处理单元长期处于高负荷甚至满负荷运行状态, 不仅能耗居高不下, 也限制了其处理能力的弹性与应对原料波动的适应性。其次, 如前所述, 塔顶切水中特定的

杂质组分，尤其是各种形态的硅化合物，在通过汽提单元时并未被有效脱除，反而可能在系统内循环富集，为下游硫磺回收装置的稳定运行埋下了严重隐患，曾多次因冷却器硅垢堵塞导致非计划停工，造成不小的经济损失。因此，探索一条能够实现污水分质处理、就近回用、从源头上消除风险的新路径显得尤为迫切。

1.2 技术改造方案详述

本次技术改造的核心思路是打破传统流程，实现塔顶切水的“短路”回用。具体实施方案如下：

流程改动：在现有的含硫污水外送调节阀出口短接管线上，加装一条旁通管。该管线把一部分塔顶切水（按照水平衡和工艺需要，设计回注量约为 7.5t/h）直接引到电脱盐注水罐的注水管道系统中。回注点设在电脱盐注水调节阀后留出的接口处，保证水流稳定可控。

混合方式：回注的塔顶切水（约 7.5t/h）和等量的新鲜净化水（约 7.5t/h）在注入点前按 1:1 比例充分混合，然后一起进入电脱盐罐。此种设计一方面利用了塔顶切水具有弱酸性的特点，另一方面用稀释来降低危险发生的概率，保证注水性质比较稳定。

安全冗余：安全冗余是为了保证装置的绝对安全，在出现塔顶切水水质恶化等异常情况时，原有的塔顶切水全部外送至汽提装置的流程管线和阀门都予以保留，并设置为可以快速切换的应急退守方案。一旦检测出回用水水质达不到要求，就可以马上切换回原来的处理方式。

投资和周期：本项目所需固定资产投资很低，主要是管道、阀门、法兰等材料费大约 1000 元人民币，相应的焊接、安装等施工费大约为 1000 元人民币，总投资额为 2000 元。由于改动范围较小，不会影响主体装置正常运行，在整个改造工程实施周期内紧锣密鼓、高效率推进，只用了两天的时间就完成了。

1.3 技术可行性深入分析

该回用方案的可行性建立在严谨的理论分析与前

期评估基础上，主要依据有以下两点：

水质兼容性：对塔顶切水做了全面的水质分析（主要指标见表 1）。根据数据可知，该污水处理厂的核心污染物浓度，如石油类、COD、硫化物等，都远远小于国家规定污水排放标准的下限。尤其是塔顶切水自然形成弱酸性（pH 值一般为 6.5 到 7.0），正好满足电脱盐工艺前经常需要加酸性脱钙剂创造合适环境的需求。从理论上讲，弱酸性的回用水有利于促进脱钙反应的发生，可能会对提高电脱盐的效果起到积极的作用。

工艺匹配性：电脱盐罐本身就是设计得很好的油水分离和净化装置，它利用高压电场破乳、加热、沉降等原理，可以有效地分离原油中所含有的盐分、水和固体杂质。当含有少量油分、杂质的塔顶切水回注入电脱盐过程中，“二次净化”作用于电脱盐过程，进一步除去带入的污染物，使最后从电脱盐罐底部排出的切水（高浓度污水）符合环保排放标准或者后续处理单元的进水条件。说明电脱盐系统有接纳和处理该种回用水的能力。

表 1 塔顶切水与电脱盐切水混合水质分析

项目	高浓度污水排放指标	电脱盐切水样	塔顶水与电脱盐切水 1:1 混合
pH 值	6 ~ 9	7	7
石油类 mg/L	≤ 350	28.11	106.7
COD	≤ 5000	-	2425
硫化物	≤ 9	0.31	0.3
氨氮	≤ 40 (外送 ≤ 80)	54.4	61.9

2 标定结果与讨论

该项目于 2025 年 9 月 15 日全部建成，随后投入使用。为了保证评价的客观性、准确性，项目组对系统投运前后电脱盐单元排出的切水（即最后外排高浓度污水）的主要水质指标做了近一个月的连续跟踪监测和对比分析。主要监测数据汇总见表 2。

表 2 改造前后电脱盐切水水质数据对比

改造前后	采样日期	样品名称	COD,mg/L (≤ 5000)	硫化物,mg/L (≤ 9)	pH 值 (6 ~ 9)	氨氮含量,mg/L (≤ 40 (外送 ≤ 80))	石油类,mg/L (≤ 350)
改造前	2025/9/2	电脱盐切水	-	0.19	7	67.3	16.3
改造前	2025/9/5	电脱盐切水	-	-	7	-	26.9
改造前	2025/9/9	电脱盐切水	-	0.31	7	54.4	28.11
改造前	2025/9/12	电脱盐切水	-	-	7	-	16.6
改造后	2025/9/16	电脱盐切水	-	0.3	7	28.9	19.7
改造后	2025/9/19	电脱盐切水	-	-	7	-	14.25
改造后	2025/9/19	电脱盐切水	1376	0.25	7.5	67.7	14.25
改造后	2025/9/23	电脱盐切水	-	0.57	7	78.3	20.8
改造后	2025/9/26	电脱盐切水	1394	-	7	-	15.7
改造后	2025/9/30	电脱盐切水	-	0.55	7	66.7	30.7

2.1 环保合规性与水质影响分析

对表2中的监测数据进行对比分析,可以得出以下结论:

COD:改造之后监测得到的COD值最高为1394mg/L,远远低于5000mg/L的排放标准限值,说明回用塔顶切水并没有给电脱盐系统带来过多的有机污染负荷,系统降解或者分离有机物的能力足够。

硫化物的浓度最高为0.55mg/L,远远小于9mg/L的标准要求,而且数值比较低,说明含硫污染物在电脱盐过程中得到有效的控制,没有硫化氢逸出或者积累的风险。

pH值始终保持在7.0到7.5之间,完全符合6-9的标准排放限值,并且处于中性偏微碱的范围之内,不会造成管道、设备腐蚀,说明混合注水pH的稳定性。

改造之后,电脱盐切水的COD(最高为1394mg/L)、硫化物(最高为0.61mg/L)、pH值(稳定在7~7.5)和石油类含量(最高为30.7mg/L)均能满足排放标准(≤ 5000 、 ≤ 9 、 $6 \sim 9$ 、 ≤ 350),说明回注工艺不会给末端排水水质带来影响。

石油类含量最高的样品为30.7mg/L,远低于350mg/L的严格标准,说明电脱盐罐的油水分离效率很高,回用水中所含微量油分已被很好地去除。

需关注波动项(氨氮)的分析与对策:改造之后,氨氮的含量有明显的波动,观测值在28.9mg/L到78.3mg/L之间。存在超标的现象。但是并未超过本厂下游污水处理装置对上游排放的要求上限值(80mg/L)。波动原因探究,主要是由于加工原油性质的不断变化所引起的。不同的批次、不同的产地的海洋劣质重质原油,氮含量及氮化物形态也不同,造成塔顶切水的氨氮初始浓度也会有所变化。虽然电脱盐过程中不能直接去除氨氮,但是混合稀释和系统缓冲的作用可以抑制波动。

风险评价与应对:虽然偶有超标,但是由于它的超标幅度较小(未超过下游装置的处理能力),并且下游污水厂配备了完善的生物脱氮等处理工艺,可以很好地消化由此波动带来的影响,所以从环境可接受、工程可控的角度来看,该氨氮波动属于在环境允许范围之内、工程控制之下。

为了更好地控制该风险,建议设置塔顶切水氨氮的日监测制度,定期取样检测,当预计浓度会继续偏高时,可以临时改变回注的比例或者暂时切换到原来的外送模式。

2.2 经济效益与运行优化分析

本次技术改造带来了极为显著的经济效益和运行优化效果:

负荷大幅度下降:改造以后,需要送到汽提装置进行深度处理的回用水量由原来的约13t/h降到约3t/h,降幅达约77%。因此汽提装置的蒸汽消耗、电力消耗、循环水消耗和可能涉及的化学药剂消耗都比上年同期大幅度减少。

单耗和成本节约:汽提水的单耗由原来的0.09kg降低到现在的0.01kg。用水处理成本为6元/t来计算,每天可以节省的费用为 $(13-3) \text{ t/h} \times 24 \text{ h} \times 6 \text{ 元/t} = 1440 \text{ 元}$,每年降本52.56万元。

3 结论

通过对该350万t/a重交沥青装置塔顶切水回注电脱盐项目的技术标定,可以得出以下结论:

①**技术可行:**把塔顶切水回用到电脱盐系统工艺上是完全可行的。电脱盐系统对于塔顶切水有较好的净化效果,保证最终的高浓度排水达标。

②**环保合规:**除氨氮受到原油性质的影响而偶尔波动之外,电脱盐切水的各项关键指标都保持在排放标准以内,不会给后面污水处理系统带来额外的负担。

③**效益明显:**该技术改造用极小的投资(2000元),达到每年超过52万元的直接成本节省,并且有效地提高了下游装置(汽提装置、硫磺装置)的运行稳定度,具有很高的投资回报率。

④**可推广性:**本次成功的实践给同类型重交沥青装置重油加工装置实现污水减排、降本增效提供了一条可靠的途径和实践依据,具有广泛的应用推广价值。

参考文献:

- [1] 苏铭. 庄二联伴生气站循环水系统脱盐技术工艺研究及装置研制[D]. 西安:西安石油大学,2023.
- [2] 朱佳诗. 基于表面偏析的渗透蒸发膜制备及脱盐过程强化[D]. 天津:天津大学,2023.
- [3] 廖鑫. 环戊烷水合物法淡化高含盐废水动力学强化及脱盐特性研究[D]. 重庆:重庆科技学院,2023.
- [4] 尉海燕. 电吸附脱盐工艺运行参数及影响因素研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2023.
- [5] 付俊洋. 飞灰脱盐处理工艺优化及其能耗分析[D]. 大庆:东北石油大学,2023.
- [6] 王腾. 回收氧化铝工业余热在热电厂脱盐水工艺中的应用[J]. 区域供热,2023,(01):47-52.
- [7] 李超. 脱盐水系统离子交换树脂污染原因剖析及应对[J]. 中氮肥,2024(03):63-65.
- [8] 张莺艳. 响应面法优化潼川毛霉型豆豉脱盐工艺及风味分析[J]. 中国调味品,2024,49(05):97-105.