

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.030

百口泉联合站污水处理工艺优化及应用

李平原¹, 梁立宝², 颜亨兵¹, 张丽², 安国强², 卜魁勇¹, 李冬菊¹

(1. 新疆科力新技术发展股份有限公司, 新疆 克拉玛依 834000; 2. 新疆油田公司百口泉采油厂, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要: 新疆百口泉联合站稀油污水系统存在回收水水质差、水中 Fe^{2+} 浓度高、出水不稳定、过滤器运行效果差等问题。针对污水系统存在的问题,将回收水进行预处理后再回掺至系统进水,对系统进水增加预氧化处理,同时将电解盐杀菌投加位置由过滤器后端调整至过滤器前端。工艺优化后现场应用结果表明,回收水经预处理后悬浮物、含油量控制在 150 mg/L 以下,系统进水水质稳定;系统进水经投加 20 mg/L 氧化剂处理,污水 Fe^{2+} 平均值由 22 mg/L 降至 5 mg/L;电解盐杀菌投加位置调整后,解决了过滤器滤料板结和堵塞问题,同时消除了铁离子对过滤器出水水质的影响。系统优化后整体运行更平稳,注水水质可持续达标。

关键词: 稀油污水系统; 工艺优化; 电解盐杀菌; 预氧化处理; 过滤器

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0164-05

Optimization and Application of Wastewater Treatment Process in Baikouquan United Station

LI Ping-yuan¹, LIANG Li-bao², YAN Heng-bing¹, ZHANG Li², AN Guo-qiang², BU Kui-yong¹, LI Dong-ju¹

(1. Xinjiang Keli New Technology Development Co. Ltd., Karamay 834000, China; 2. Xinjiang Oilfield Company Baikouquan Oil Production Plant, Karamay 834000, China)

Abstract: There are some problems in the light oil-containing wastewater treatment system of Baikouquan united station, such as poor quality of recycled water, high concentration of Fe^{2+} , unstable effluent, and poor operation efficiency of the filter. To tackle these problems, the recycled water is pre-treated and then mixed into the system influent, which is also pre-oxidized. Additionally, the injection point of the electrolytic salt sterilization was moved from the outlet to the inlet of the filter. After process optimization, results indicate that the suspended solids and oil content of the recycled water could be controlled below 150 mg/L after pretreatment and system influent quality is stable. After adding 20 mg/L of oxidant to the system influent, the average value of Fe^{2+} could be reduced from 22 mg/L to 5 mg/L. The injection point relocation of the electrolytic salt sterilization solves the issues of filtering material hardening and plugging, and also eliminates the effect of Fe^{2+} on the quality of water from the outlet of filter. Due to system optimization, the overall wastewater treatment remains more stable and the water quality can meet the injection water standard continuously.

Key words: light oil-containing wastewater system; process optimization; electrolytic salt sterilization; pre-oxidation treatment; filter

百口泉采油厂稀油污水处理系统始建于 1997 年,原工艺采用“老三套”处理方式(混凝+沉降+过滤),系统存在的问题有:①来水缺少调储设备,调节、缓冲、除油能力差,导致来水水量、水质波动大;②混凝反应动力为重力除油罐与混凝罐的液位差,流速低且不稳定,因此混凝强度不足、混凝效果差;③药剂投加依赖人为调控,水量、水质波动导致药剂投加浓度不稳定;④形成的絮状污泥状态差,系统排污难以控制;⑤采用非氧化性杀菌剂,细菌易产生抗药性,导致细菌超标;⑥设备陈旧、腐蚀老化严重,维护工作量大,管理难度大,综合成本高^[1]。为改善处理效果,新系统于 2012 年完成建设,设计最大处理规模为 8 000 m³/d,处理后的净化水用于油田回注。新系统主要处理工艺为调节除油+强化混凝+沉降+过滤+电解盐杀菌,增加来水除油和调节能力,增加反应提升泵并优化混凝反应器,同时采用自动加药控制系统实现精准加药,在原工艺基础上克服了水质波动大、运行不稳定、混凝效果差等问题,优化了管理水平低等诸多细节^[2-3],处理效果得到明显改善。

在系统长期运行过程中发现:回收水悬浮物和含油量常常超过 10 000 mg/L,导致在絮凝净化过程中出水水质波动大;系统来水 Fe²⁺ 达到 22 mg/L,导致净化水不稳定,水质恶化严重;过滤器过滤压力较高,每台过滤器过滤水量降低 10 m³/h 左右,过滤效果下降,最终导致外输注水不能稳定达标。

表 1 稀油污水处理系统关键环节的水质指标

Tab. 1 Water quality indexes of key links in light oil wastewater treatment system

检测项目	油区来水	回收水	调储罐进水	调储罐出水	混凝沉降罐出水	过滤器出水	电解杀菌后	设计产水指标
二价铁/(mg·L ⁻¹)	12~25	16~50	16~32	16~32	12~30	10~20	0	
总铁/(mg·L ⁻¹)	12~25	16~50	16~32	16~32	12~30	10~20	3~10	
悬浮物/(mg·L ⁻¹)	50~300	2×10 ³ ~5×10 ⁴	10 ² ~10 ⁴	10 ² ~10 ³	10~25	3~7	15~30	≤3
油/(mg·L ⁻¹)	80~500	2×10 ³ ~5×10 ⁴	10 ² ~10 ⁴	10 ² ~10 ³	3~5	2~5	2~5	≤10
硫酸盐还原菌/(个·mL ⁻¹)			2.5×10 ³			1.3×10 ³	1.3	≤25
腐生菌/(个·mL ⁻¹)			6×10 ³			1.3×10 ²	0	≤10 ³
铁细菌/(个·mL ⁻¹)			6×10 ³			6×10 ²	0	≤10 ³

由表 1 可以看出,百口泉联合站稀油污水系统的油区来水相对稳定,但回收水水质波动较大,导致调储罐出水也存在较大波动。调储罐出水悬浮物、含油量、细菌含量超标,经过混凝净化、过滤处理后出水水质较好,经过电解盐氧化杀菌后细菌合格,但因水中 Fe²⁺ 浓度高,悬浮物指标恶化严重。

针对处理工艺存在的问题,对回收水进行絮凝气浮预处理,对原污水进行预氧化处理,并将电解盐杀菌投加位置调整至过滤器前端。工艺调整后,系统运行平稳,出水水质持续达标。

1 处理工艺及其存在的问题

1.1 处理工艺及水质

百口泉稀油污水系统设计最大处理规模为 8 000 m³/d,现处理量约 5 500 m³/d。设有 1 套(3 台)电解盐杀菌装置,最大有效氯产量为 9 kg/h,净化水经电解盐杀菌后进入注水系统用于回注。稀油污水处理系统工艺流程如图 1 所示。

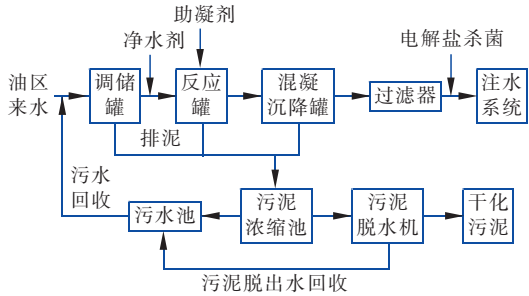


图 1 百口泉稀油污水处理系统工艺流程

Fig. 1 Flow chart of light oil-containing wastewater treatment system of the Baikouquan united station

参照《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》(SY/T 5329—2012),对百口泉联合站稀油污水处理系统进行了全工序的关键水质指标检测,结果见表 1。

1.2 存在的问题

1.2.1 回收水工艺冲击

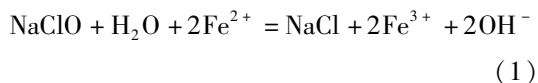
回收水水质差,影响净化效果。回收水为污泥浓缩池上清液与污泥脱水单元的分离出水。回收水水质较差时,悬浮物及含油量可达到 10 000 mg/L 以上。该污水回收至稀油污水处理前端时,导致系

统来水水质出现较大波动,严重影响污水系统运行效果。在运行过程中需要根据水质情况,频繁调整净水药剂投加浓度和处理单元排泥频次,以保障后端出水水质,运行管理难度较大。

由于稀油污水中掺入部分压裂返排液,其成分复杂,含有瓜胶、聚丙烯酰胺等有机物和化学助剂^[4]。在污水净化处理过程中,部分污染物被絮凝去除,随污泥排入污泥浓缩池。污泥中原油和有机成分较高,形成的絮团密度较轻,易在浓缩池中悬浮于上部水层,难以通过沉降方式去除。因此,在污水回收过程中,处于悬浮状态的大量絮团被回收至污水系统前端,导致污水水质恶化,影响絮凝净化效果。

1.2.2 悬浮物超标

污水中铁离子浓度高,水质恶化严重。来水 Fe^{2+} 浓度为16~32 mg/L,平均浓度为22 mg/L,浓度较高,且处理系统中无除铁措施,使得过滤器出水 Fe^{2+} 浓度仍较高。过滤器出水在回注前使用电解盐杀菌效果好,但净化水中的 Fe^{2+} 易被次氯酸钠氧化成为 Fe^{3+} ,使水质恶化。化学反应式如下:



水中的 Fe^{2+} 被氧化后形成 Fe^{3+} , Fe^{3+} 易在中性偏碱溶液中产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 红褐色沉淀,具有很强的吸附性,并具有絮凝作用,将使水中产生大量絮状沉淀物,使水质严重恶化,进而将堵塞注水管网及原油储层空隙通道,降低储层渗透率,增加注水压力,降低原油采收率,给原油开采带来严重危害^[5]。

1.2.3 过滤器堵塞

过滤器过滤效果降低,过水量下降。过滤器共6台,其中5台运行,1台备用,并联运行。在过滤器中滤料更换初期,进水压力约0.4 MPa,单台过滤水量40~45 m^3/h ,过滤水头损失约0.1~0.15 MPa。运行2~3个月后,过滤压力逐渐升高至0.6 MPa,过滤水头损失增加至0.25~0.3 MPa。单台过滤器平均过滤水量下降约10 m^3/h ,备用过滤器需要投运才能满足总处理水量要求。因运行工况变差,过滤器反洗周期由投运初期的8 h调整为5 h,反洗频率增加,反洗后运行压力上升较快,反洗效果较差。拆开过滤器观察滤料,可见滤料出现严重板结现象,并有黏性胶状物附着。

分析原因:过滤器中填充的过滤材料为石英砂和金刚砂,滤料直径为0.5~2 mm,过滤材料拥有较大比表面积,为污水中的细菌提供了良好的附着面和滋生场所。同时污水中的少量石油类及增产措施中的化学有机物(如少量压裂返排液中的胍胶、有机聚合物等),为细菌提供了丰富的营养,导致过滤器中细菌大量滋生,形成菌胶团。同时,有机高分子也可能发生聚并,形成胶状物附着于滤料表面。菌胶团、代谢物和有机胶状物等使过滤器内局部黏度增加,导致滤料结块,从而使过滤水通量下降,过滤压力升高,过滤压差增加。板结的滤料使部分过滤区域不能有效过水,从而使过滤器产生大量“死水区”,导致过滤效果变差,反洗效果降低,过滤出水水质常出现波动。

2 工艺优化

2.1 增加回收水预处理工艺

针对回收水水质波动大的问题,将回收水进行预处理,使回收水达到一定指标后回收进入调储罐处理,保证系统来水的稳定。回收水主要为污泥浓缩池中上层水,含有大量原油及有机污染物,常规沉降方法去除较困难。因此,在回收水处增加预处理工艺,采用絮凝+气浮工艺进行处理。具体流程:污水池出水进入气浮机,在入口处投加絮凝剂,絮团携带气泡上浮形成浮渣,浮渣通过气浮机上部刮渣装置排放至污泥浓缩池,气浮机中、下部较清水层回收至污水系统调储罐进口,进入污水系统进行再处理。该工艺保证回收水悬浮物、石油类均低于150 mg/L,极大减轻了对整个污水处理系统的影响。

2.2 增加预氧化处理

系统来水含有大量 Fe^{2+} ,严重影响后端水质的稳定性。因此,在系统絮凝净化处理前,将污水通过预氧化去除大部分 Fe^{2+} ,使其转化为 Fe^{3+} 。由于含油污水中的油珠及悬浮物颗粒表面带有负电荷^[6],在混凝剂和絮凝剂的净水作用下得到快速净化,而 Fe^{3+} 本身就具有絮凝净水作用,可起到协同净化作用,因此投加氧化剂,将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} ,再通过混凝剂和絮凝剂的净水作用,污水将得到更深层次的净化^[7]。另外,预氧化剂还可以降解部分高分子有机物,降低污水的稳定性,增强净化效果。同时减少了后端过滤器电解盐杀菌剂的用量,减轻了过滤大量 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 絮凝物的过滤负担,有效保障了后端的处理效果。

在实验室对氧化剂进行了筛选评价,并结合污水腐蚀率条件,筛选出一种预氧化剂。在投加浓度为 20 mg/L 时,来水 Fe^{2+} 由 25 mg/L 降至 5 mg/L,平均腐蚀速率由 0.019 mm/a 升至 0.022 mm/a,腐蚀速率略有升高,但远低于指标规定值(0.076 mm/a),可满足生产应用。

2.3 电解盐杀菌投加位置优化

针对 Fe^{3+} 对注水水质的影响及过滤器中细菌滋生两个问题,将电解盐杀菌投加位置调整至过滤器前端。电解盐产生的次氯酸钠具有较强的氧化性^[8],可将待处理污水中剩余的部分 Fe^{2+} 氧化产生沉淀物,沉淀物被过滤器拦截而去除。电解盐产生的次氯酸钠可有效杀灭过滤器中的细菌,从而避免了过滤器滤层中细菌滋生,保障了滤料不板结,过滤器不堵塞,同时改善了过滤压力高、过水量降低等问题。

通过模拟电解盐有效氯浓度杀菌实验,表明有效氯浓度为 20 mg/L 时,杀菌后污水细菌指标全部合格。现场工艺中电解盐杀菌装置为 3 台,每台有效氯产量为 3 kg/h,但由于长期使用,电解设备产氯量下降,平均每台产氯量约为 2.2 kg/h。在过滤水

量为 4 800 m³/d 时,合计有效氯投加浓度可达 33 mg/L。根据生产情况,3 台电解盐杀菌装置投用 2 台,1 台备用,有效氯浓度为 22 mg/L,满足污水生产杀菌需求。

2.4 优化后的系统工艺

污水处理系统优化后工艺流程见图 2。

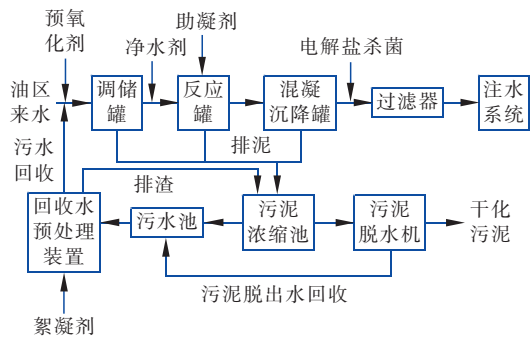


图 2 系统优化后的处理流程

Fig. 2 Flow chart of wastewater treatment process after optimization

3 应用效果及分析

经工艺优化后,预氧化剂投加量为 20 mg/L,电解盐有效氯浓度约 22 mg/L,水质检测结果见表 2。

表 2 处理工艺优化后水质

Tab. 2 Water quality after optimization of treatment process

检测项目	油区来水	回收水	调储罐进水	调储罐出水	混凝沉降罐出水	过滤器出水	设计指标
二价铁/(mg·L ⁻¹)	12~25	16~40	16~32	2~6	2~5	0	
总铁/(mg·L ⁻¹)	12~25	16~40	16~32	2~7	2~5	0~0.2	
悬浮物/(mg·L ⁻¹)	50~300	50~144	68~210	48~152	8~20	2~4	≤3
油/(mg·L ⁻¹)	80~500	13~68	54~318	27~59	1~2	1~2	≤10
硫酸盐还原菌/(个·mL ⁻¹)			6×10 ³			0	≤25
腐生菌/(个·mL ⁻¹)			6×10 ³			0	≤10 ³
铁细菌/(个·mL ⁻¹)			2.5×10 ⁴			0	≤10 ³

① 回收水预处理水量约 600 m³/d,经预处理后悬浮物、油均控制在 150 mg/L 以下。经初步沉降分离后,调储罐出水悬浮物 < 150 mg/L、含油 < 60 mg/L,混凝后出水悬浮物 < 20 mg/L,系统运行稳定,净水药剂可平稳投加,无需频繁调节投加浓度。

② 来水端投加预氧化剂后,水中 Fe^{2+} 浓度降至 2~6 mg/L,平均值为 4 mg/L,既保证了污水腐蚀速率处于较低水平,同时经电解盐杀菌氧化并过滤后,出水总铁浓度很低,不会引起水质恶化。

③ 调整电解盐杀菌剂投加位置至过滤器前端后,过滤器出水 Fe^{2+} 浓度未检出, Fe^{3+} 浓度平均值为 0.1 mg/L,过滤出水悬浮物可持续控制在 4 mg/L

以下,且细菌指标符合注水水质要求。跟踪期间过滤总水量为 4 600~5 200 m³/d,过滤器 5 台运行,1 台备用,平均每台过滤水量约 40 m³/h。各组过滤器交替反洗,反洗周期为 8 h。过滤器进水运行压力稳定在 0.35~0.40 MPa,反洗后投运初期过滤水头损失约 0.1 MPa,在临近反洗时,过滤水头损失约 0.15 MPa。与工艺优化前相比,优化后过滤器反洗周期延长,过滤工况相对稳定。

4 结论

① 回收水增加气浮预处理工艺后,回收水水质得到明显改善,降低了来水水质波动,为处理系统稳定运行提供了保障。

② 来水端增加预氧化处理,降低了 Fe^{2+} 对水质的影响,提升了污水的净水效果,减轻了电解盐杀菌剂的消耗负荷。

③ 将电解盐杀菌投加位置调整后,在保证产水细菌合格的前提下,解决了细菌、有机物造成的滤料板结和堵塞问题,过滤器运行效果明显改善。同时,避免了水中的 Fe^{2+} 在过滤器后端被氧化而引起的水质恶化问题,保证了注水持续稳定达标。

参考文献:

- [1] 付蕾,蔡新峰,洪波,等. 新疆油田采出水处理运行现状分析及改进建议[J]. 中国给水排水,2013,29(8): 29-33.
FU Lei, CAI Xinfeng, HONG Bo, *et al.* Operation and improvement of produced water treatment system in Xinjiang Oilfield[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(8): 29-33 (in Chinese).
- [2] 付蕾,杨萍萍,刘建超,等. 新疆油田百联站稀油废水处理系统改造评价[J]. 中国给水排水,2013,29(18): 134-137.
FU Lei, YANG Pingping, LIU Jianchao, *et al.* Evaluation of reconstruction of diluted oil-containing wastewater treatment system at Xinjiang Oilfield Bailian Station[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(18): 134-137 (in Chinese).
- [3] 杨萍萍,梅俊,王乙福,等. 新疆油田采出水处理稳定达标回注技术的研究与应用[J]. 中国给水排水,2014,30(10): 24-27.
YANG Pingping, MEI Jun, WANG Yifu, *et al.* Research and application of oilfield produced water treatment technology for reinjection in Xinjiang Oilfield[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(10): 24-27 (in Chinese).
- [4] 吴俊奇,吴文熙,颜懿柔,等. 压裂返排液处理现状及难点研究[J]. 水处理技术,2018,44(8): 12-16.
WU Junqi, WU Wenxi, YAN Yirou, *et al.* Research on the treatment status and difficulties of fracturing flowback water[J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(8): 12-16 (in Chinese).
- [5] 张国荣. 注水水质对油田开发效果影响研究[J]. 石油天然气学报,2008,30(5): 149-151.
ZHANG Guorong. The influence of injected water quality on the effect of waterflooding effectiveness[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(5): 149-151 (in Chinese).
- [6] 韩洪军. 含油废水 ζ -电位的测试与应用[J]. 中国给水排水,1996,12(3): 36-37.
HAN Hongjun. Test and application of ζ -potential in oilfield wastewater [J]. China Water & Wastewater, 1996, 12(3): 36-37 (in Chinese).
- [7] 蔡爱斌,黄强,张平修,等. 预氧化技术在油田污水处理中的应用[J]. 石油化工腐蚀与防护,2007,24(1): 45-47.
CAI Aibin, HUANG Qiang, ZHANG Pingxiu, *et al.* Research on application of pre-oxidation technology in oil field waste water treatment[J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2007, 24(1): 45-47 (in Chinese).
- [8] 何鑫,金华,胡志远,等. 电解盐水杀菌技术在油田污水处理中的应用研究[J]. 石油工程建设,2008,34(6): 4-6.
HE Xin, JIN Hua, HU Zhiyuan, *et al.* Applied research on electrolytic brine sterilization technique in oilfield sewage treatment[J]. Petroleum Engineering Construction, 2008, 34(6): 4-6 (in Chinese).

作者简介:李平原(1986-),男,陕西汉中,大学本科,工程师,主要从事污水处理技术研究。

E-mail: 574633416@qq.com

收稿日期:2020-06-02

修回日期:2020-06-21

(编辑:衣春敏)