

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.09.018

环保陶球处理采油污水的应用研究

张磊, 顾婧

(中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257026)

摘要: 为解决稠油污水与含聚污水处理工艺中过滤器堵塞的问题,尝试利用可调制特性的环保陶球作为过滤介质代替传统滤料进行过滤研究。结果表明,环保陶球用于含油和含聚污水处理时过滤阻力小、节能、滤料不易板结。代替双层滤料进行稠油污水过滤,出水悬浮物含量平均为2.51 mg/L、含油量平均为0.18 mg/L;用连续砂过滤器和陶球滤料处理含聚污水,当不投加化学药剂时,出水悬浮物含量平均为24.5 mg/L、含油量平均为23.01 mg/L,再经过混凝、沉淀和压力过滤后,悬浮物含量低至2.69 mg/L、含油量低至0.95 mg/L。

关键词: 陶球滤料; 采油污水; 滤层堵塞; 滤料板结

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)09-0101-04

Application of Environment-friendly Ceramic Balls in Treatment of Oil Produced Sewage

ZHANG Lei, GU Jing

(Sinopec Petroleum Engineering Design Co. Ltd., Dongying 257026, China)

Abstract: In order to solve the problem of filter clogging in the treatment of heavy oil sewage and polymeric sewage, environment-friendly ceramic balls with adjustable characteristics were used as filter material instead of the traditional filter material for filtration. The environment-friendly ceramic ball had the advantages of low filter resistance, energy saving and not easy to be hardened when it was used in the treatment of heavy oil and polymeric sewage. After the heavy oil sewage was filtered through the environment-friendly ceramic balls, the effluent suspended solids and oil content were 2.51 mg/L and 0.18 mg/L, respectively. When the polymeric sewage was treated by the continuous sand filter and ceramic ball filters without adding chemical agents, the average suspended solids content of the effluent was 24.5 mg/L, and the average oil content was 23.01 mg/L. After coagulation, precipitation and pressure filtration, the effluent suspended solids and oil content were 2.69 mg/L and 0.95 mg/L, respectively.

Key words: ceramic ball filter material; oil produced sewage; filter clogging; filter material hardening

近年来,随着我国石油工业的发展,石油开采伴生污水(以下简称采出水)的产生量越来越大,仅胜利油田每天的采出水量就达到了 $83.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 之多^[1]。这些污水绝大部分要经过严格处理后回注地层或资源化利用,处理难度很大。其中,稠油热采

污水与含聚污水由于温度高、含油量高、污油黏度大、密度与水相当、乳化严重等特点,以及含有胶质、沥青质、降黏剂、破乳剂等化学药剂和聚合物而处理难度更大^[2],滤料容易出现污染及板结问题,常使过滤无法进行,使整个过滤工艺瘫痪。为此,笔者尝

试利用可调制特性的环保陶球作为过滤介质代替传统滤料进行过滤研究,旨在为解决稠油污水与含聚污水处理工艺中过滤器堵塞问题提供新方法。

1 试验材料与方法

1.1 新型环保陶球滤料

环保陶球滤料主要用于污水处理,其主要以油田废弃钻井泥浆为原料,经过严格的配比设计、成型、煅烧而制成,成型工艺流程如下:废弃泥浆→配料→球磨→成球→分级→干燥→烧制→包装。

环保陶球滤料制成品如图1所示。可以看出,环保陶球制作均匀,球度很高;电镜扫描照片显示陶球表面并不光滑,布满一些很微小的孔隙,因此陶球具有更大的比表面积。



a. 粒径为 1.2~1.6 mm 的产品 b. 陶球滤料表面电镜扫描照片

图1 环保陶球

Fig.1 Environment-friendly ceramic ball

环保陶球以及处理采出水常用石英砂和核桃壳滤料的主要性状见表1。可以看出,与石英砂相比,环保陶球密度小、孔隙率大、不均匀系数小、强度高、球度好。而且,在其配料设计时,加入特定的调配剂,可以调制陶球滤料的亲油性或亲水性。

表1 环保陶球与传统滤料性状

Tab.1 Characteristic of environment-friendly ceramic ball and traditional filter materials

项 目	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔隙 率/%	不均 匀系 数 K_{80}	磨 损 率/%	压 碎 强 度/MPa	盐 酸 可 溶 率/%	球 度 系 数
环保陶球	1.98	45	1.1	<0.5	25.36	0.45	0.9~0.95
石英砂	2.45	42	1.6	<0.6	12.32	0.63	0.75~0.8
核桃壳	1.25	48	1.6	<1.0	15.43	2.00	

1.2 环保陶球用于稠油污水处理

某采油厂4号注水站,每天接收经过混凝、沉淀与粗过滤后的稠油污水 500 m^3 ,其悬浮物含量为 $5 \sim 22 \text{ mg/L}$ 、含油量为 $3.5 \sim 16 \text{ mg/L}$,通过多介质过滤与精细过滤后注入地层。由于来水水质不稳定,含油量及悬浮物含量偏高,多介质过滤器内石英砂经常板结,过滤效果极差,导致后边精细过滤器经常堵塞,工艺运行极不顺畅。为提高多介质过滤器出水水质、解决精细过滤器堵塞问题,尝试将4号注水站的双层滤料更换为环保陶球滤料,滤罐直径为 1.0 m ,设计滤速为 14 m/h ,滤料装填厚度为 1.4 m ,环保陶球粒径为 $0.8 \sim 1.2 \text{ mm}$,反冲洗采用气洗、气水联合洗和水洗流程,反冲洗周期为 24 h 。

水样取自生产工艺,悬浮物以 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤后采用称重法检测,含油量采用 CCl_4 萃取-红外分光光度法检测。

1.3 环保陶球用于含聚污水处理

某采油厂含聚污水的聚合物含量为 $50 \sim 70 \text{ mg/L}$ 、含油量为 $50 \sim 247 \text{ mg/L}$,原处理工艺为“二次沉淀除油+压力过滤”,由于滤层堵塞与滤料板结现象严重,过滤设施不能正常运转,出水含油量与悬浮物含量超标严重。在进行研究前,拟提出的改造

工艺为:“沉淀+气浮+生化+混凝沉淀+过滤”或“沉淀+气浮+高级氧化+混凝沉淀+过滤”,流程复杂,设施设备多。本研究根据新型陶球滤料的特点,设计了含聚污水的简洁处理工艺,工艺流程见图2,并在该污水站进行了中试。

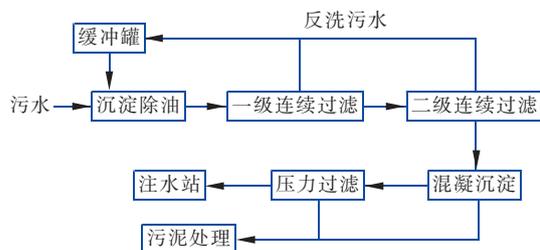


图2 含聚污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of polymeric sewage treatment process

连续砂滤器的工作包括过滤和滤料清洗两个相对独立而又同时进行的过程,为了适应油田含聚、含油污水处理的需要,在小型设备试验运行的基础上,进行了大型工业设备的研制。研究小组用环保陶球代替石英砂,自行制作了连续陶球过滤器。利用环保陶球可以定制粒径、亲油疏水、表面吸附性好等特点,高效去除聚合物、油类及部分悬浮物,保障后续沉淀、过滤工艺正常运转。中试装置处理能力为 0.5

m^3/h ,第一级连续过滤的陶球粒径为 $0.8 \sim 1.2 \text{ mm}$ 、有效厚度为 1.8 m 、设计滤速为 6 m/h ,第二级连续过滤的陶球粒径为 $0.6 \sim 0.8 \text{ mm}$ 、有效厚度为 1.8 m 、设计滤速为 5 m/h ,冲洗陶球回流量为过滤水量的 10% ;压力过滤器陶球粒径为 $0.8 \sim 1.2 \text{ mm}$ 、有效厚度为 1.0 m 、设计滤速为 8 m/h 。

悬浮物与含油量的检测方法与稠油污水水样的相同,悬浮物粒径由IBR颗粒物计数仪测定。

2 结果与讨论

2.1 环保陶球用于稠油污水处理的效果

实际运行结果表明,更换滤料后,同等过滤水量的情况下,滤床压力由原来的 250 kPa 降为 100 kPa ,运行1年后,过滤压力基本稳定在 $100 \sim 150 \text{ kPa}$,在保障水质良好的前提下,取得了良好的节能效果,消除了滤料板结现象,使精细过滤装置恢复正常运转。分析认为:由于陶球滤料球度高、不均匀系数小、孔隙率大,根据Carman-Kozony公式,水流通过滤层的水头损失与孔隙率的立方以及球度系数的平方均成反比^[3],因此水头损失减少,节能效果明显。此外,由于滤料球度系数高、反冲洗效果好、滤料不易板结,使得过滤器取得稳定且良好的除油、除悬浮物效果,出水含油量和悬浮物含量分别由换料前的 $5.2, 9.54 \text{ mg/L}$ 降至 $0.23, 2.5 \text{ mg/L}$,确保了后续精细过滤器滤芯不堵塞。图3为更换陶球后过

表2 陶球滤料处理含聚污水时进出水的主要指标平均值

Tab.2 Influent and effluent quality when treating polymeric sewage by ceramic ball

进水			连续过滤器出水		最终出水		
含油量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	悬浮物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	粒径中值/ μm	含油量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	悬浮物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	含油量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	悬浮物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	粒径中值/ μm
131.3	26.28	7.2	23.01	24.5	0.95	2.69	1.1

由表2可知,利用该中试装置处理含聚污水,其出水含油量达到《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》(SY/T 5329—2012)第一级标准、出水悬浮物含量达到第三级标准、悬浮物粒径中值达到第二级标准。尤其值得注意的是,在不投加任何药剂的条件下,两级连续陶球过滤对油类的去除率达到了 82.5% ,由于未投加化学药剂,该部分原油完全可以回流入初级沉淀罐进行回收。分析认为,这是由于陶球滤料的高比表面积与其亲油疏水性,使微小油珠不断在陶球表面聚集,实现了粗粒化,进而被冲洗陶球水洗脱。由于连续过滤器属于移动床,过滤精度受限,再加上水中聚合物的乳化作用,连续过

滤器连续运行10 d的进出水水质。

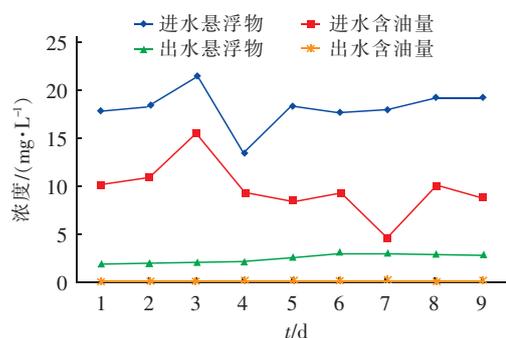


图3 更换滤料后过滤器的进出水水质

Fig.3 Influent and effluent quality after changing filter material

由图3可知,尽管进水水质经常波动,但过滤器出水水质稳定,出水悬浮物含量平均为 2.51 mg/L 、含油量平均为 0.18 mg/L 。分析认为:陶球滤料亲油吸附性好,且球度高、不易板结、反冲洗效果好,所以除油、除悬浮物效果明显改善。该装置已稳定运行4年,彻底解决了工艺堵塞、半瘫痪运行的问题。

2.2 环保陶球用于含聚污水处理的效果

中试工艺运行90 d,单级连续陶球过滤器水头损失 $< 25 \text{ kPa}$,压力滤罐的过滤水头损失为 $10 \sim 45 \text{ kPa}$,反冲洗采用气洗、气水联合洗和水洗流程,反冲洗周期为 24 h 。中试进出水主要指标均值见表2。

滤器对悬浮物的去除率不高。但经过后续混凝、沉淀后,再利用陶球滤料进行压力过滤,就可以实现对悬浮物的高效去除,压力过滤器没有发生滤层堵塞与滤料板结现象,从根本上解决了原来气浮处理后由于石英砂或核桃壳过滤装置堵塞不能正常运行的问题。连续陶球过滤器的核心装置为滤料气提与冲洗装置,制造并不复杂,与气浮装置比较,其设备简单、能耗低,而且可以模块化组装,管理方便。

3 结论

① 环保陶球滤料球度高、粒径均匀、孔隙率大、过滤阻力小,用于压力过滤器可以降低能耗。环保陶球滤料吸附性能好且易冲洗,用于污水站除油

效率高,反冲洗产生的污水量少、易处理。

② 连续陶球过滤器除油效果好,完全可替代传统气浮等除油工艺,减少设备用量,简化操作流程。利用连续陶球过滤器除油可以不投加化学药剂,产生的反冲洗污水可以回流至初级沉淀罐回收原油,经济效益好。

③ 连续陶球过滤工艺由于不投加混凝剂,对悬浮物的去除效果有限,可以后续投加混凝剂进行混凝、沉淀、过滤,提高悬浮物去除率。

参考文献:

- [1] 丁慧. 胜利油田污水回注处理及资源化利用新技术研究[J]. 油气田环境保护,2012,22(4):37-40.
Ding Hui. New technology research of waste water reinjection treatment and resource utilization in Shengli Oilfield [J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields,2012,22(4):37-40(in Chinese).
- [2] 战卫东. 稠油污水深度处理及回用技术[J]. 辽宁城乡环境科技,2003,23(2):33-34,38.
Zhan Weidong. Advanced treatment and reuse technology of heavy oil wastewater [J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology,2003,23(2):33-

34,38(in Chinese).

- [3] 严煦世,范瑾初. 给水工程[M]. 4版. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
Yan Xushi,Fan Jinchu. Water Supply Engineering[M]. 4th ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999(in Chinese).



作者简介:张磊(1973-),男,山东东营人,本科,高级工程师,主要从事油气田注水及水处理、给排水、消防工程的设计和科研工作。

E-mail: gujing.xer@163.com

收稿日期:2019-11-12

(上接第100页)

- [14] 楼朝刚,陈向昌. 复合式高效植物生态系统用于污水厂尾水处理[J]. 中国给水排水,2017,33(12):63-66.
Lou Chaogang, Chen Xiangchang. Advanced treatment of wastewater treatment plant effluent via composite effective plant ecosystem [J]. China Water & Wastewater,2017,33(12):63-66(in Chinese).
- [15] 王振,刘超翔,李鹏宇,等. 废砖块作为人工湿地填料的除磷能力研究[J]. 环境科学,2012,33(12):4373-4379.
Wang Zhen, Liu Chaoxiang, Li Pengyu, et al. Study on phosphorus removal ability of constructed wetlands fillers with broken bricks [J]. Environmental Science,2012,33(12):4373-4379(in Chinese).
- [16] 张国珍,尚兴宝,武福平,等. 废砖基质折流式垂直流人工湿地处理二级生化尾水[J]. 中国给水排水,2019,35(9):100-105.
Zhang Guozhen, Shang Xingbao, Wu Fuping, et al. Tail water purification efficiency of baffled vertical-flow

constructed wetland using broken bricks as substrate [J]. China Water & Wastewater,2019,35(9):100-105(in Chinese).



作者简介:杜曼曼(1995-),女,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为雨污水再生利用。

E-mail:2318117068@qq.com

收稿日期:2020-02-14