

高效嗜油菌处理长庆油田采出水试用性研究*

王宸¹ 张倩倩² 邢旭辉¹

(1. 北京国环建邦环保科技有限公司; 2. 北京中科尚环境科技有限公司)

摘要 文章研究应用高效嗜油菌处理长庆油田采出水的可行性及对 COD、石油类的去除效果。介绍了 SBR 试验装置概况、试验原理及方法, 分析了 SBR 工艺处理模拟废水的运行效果, 及未加入填料载体条件下、加入填料载体条件下 SBR 工艺处理油田采出水的运行效果, 简要分析了所采用高效嗜油菌特性。结果表明: 加入高效嗜油菌, SBR 工艺处理长庆油田采出水效果较好, 石油类去除率均值达到 98.2%, COD 去除率均值达到 95.0%; 当进水石油类浓度高于 450 mg/L 的情况下, 石油类去除率降低, SBR 反应器运行状况不稳定。

关键词 高效嗜油菌; 油田采出水; SBR; COD; 石油类; 去除率

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2017.03.005

文章编号: 1005-3158(2017)03-0015-04

0 引言

近年来, 我国部分油田进入了对外围低渗透及特低渗透油区进行连续开发时期, 注水驱采、混合驱采和三次聚合驱采技术被快速推广应用。注水驱油开采时加入了大量的表面活性剂, 导致采出水不仅含有大量的石油类、机械杂质, 还含有胶体状悬浮物等。含油污水量大、成分复杂、含油量高, 含油污水水质因工艺水平和地层情况的不同存在较大差异, 给含油污水处理带来了很大的挑战^[1-5]。此外, 采出水的高矿化度很容易造成输水设备、管道的腐蚀、堵塞。清华大学筛选获得了原油降解能力达到 96.2% 的高效好氧嗜油菌群, 嗜油菌具有不需要添加营养剂、能够适应采出水温度变化、抗高矿化度冲击、细菌活性恢复能力强等优点^[6]。生化处理法应用于污水处理领域目前研究较为活跃^[7], 本文通过分析在高效嗜油菌作用下 SBR 工艺对模拟废水和长庆油田采出水的处理效果, 研究高效嗜油菌对油田采出水的处理效果。

1 试验材料

1.1 试验用水

试验所用进水分为人工配制的模拟废水和长庆油田采出水原水。人工配制的模拟废水配方主要组成为 NH_4Cl (0.02 g/L)、 K_2HPO_4 、 NaCl (2 g/L)、 NaHCO_3 (4 g/L)、 Na_2CO_3 (1 g/L)、 MgSO_4 (0.2 g/L)、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.05 g/L)、无水 CaCl_2 (0.05 g/L)、葡萄糖 (0.1 g)、石油类 (50~300 mg/L)、pH 值 (7.5~

8.5)。采出水为长庆油田某联合站采出水, 石油类浓度为 100~600 mg/L。

1.2 试验药品及接种污泥

试验所用药品包括浓硫酸、硫酸银、氯化钠、葡萄糖、盐酸、乙醇、氢氧化钠、氯化铵、重铬酸钾、硝酸钠、氯化钙等。

反应器启动时 SBR 反应器中接种的污泥取自西北大学长期使用石油废水驯化的活性污泥。反应器中污泥浓度 3 000~3 500 mg/L。

1.3 SBR 试验装置

SBR 工艺污水处理的核心装置是 SBR 反应器 (序批式间歇反应器), 试验过程中建立两套 SBR 装置, 装置结构一致, 其中一套装置 (即为 A 装置) 研究分析对模拟废水的运行效果以及在不加入悬浮填料的条件下对油田采出水的处理效果; 另一套装置 (即为 B 装置) 研究分析在加入悬浮填料的条件下对油田采出水的处理效果。装置主体均为有机玻璃制成, 总体积均为 6.3 m³, 有效体积 5.0 m³。SBR 反应器中所使用的填料均为聚乙烯半软性悬浮填料。两套装置均 24 h 连续运行, 其中每天曝气 (好氧) 19 h 50 min, 沉降 (厌氧) 3 h 50 min, 进水、出水时间均为 10 min。SBR 试验装置工艺流程见图 1。

2 试验原理及方法

2.1 试验原理

通过时间控制使 SBR 反应器实现调节池、反应

* 基金项目: 国家自然科学基金 (51401165)、陕西省自然科学基金 (2014JM2-2018) 支持研究项目。

王宸, 2015 年毕业于清华大学环境学院环境工程专业, 硕士, 现在北京国环建邦环保科技有限公司从事环境影响评价及污水处理工作。通信地址: 北京市朝阳区小营路 15 号中乐大厦 6 层, 100101

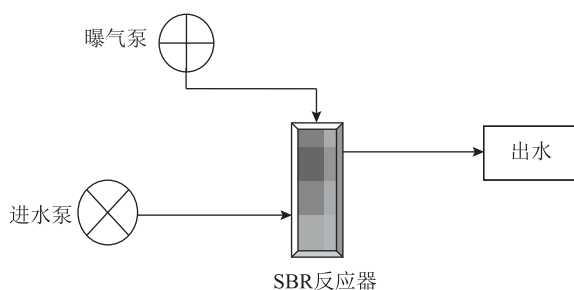


图1 SBR试验装置工艺流程

池(好氧、缺氧和厌氧)、二沉池等各阶段的工作目的,逐步降解有机污染物(氧化、消化、脱氮),并实现上清液分流。SBR工艺整个运行周期在一个反应器内依次进行,反应器内设有曝气装置。

2.2 试验方法

在A装置反应器中投入含有高效嗜油菌的活性污泥,以模拟废水为处理对象,研究SBR工艺对模拟废水的处理效果;试验过程中对比投入填料载体与未投入填料载体情况下的差异。A装置反应器以油田采出水原水为处理对象,研究SBR工艺在不加入填料载体条件下的运行效果。

A装置反应器在25~27℃条件下运行115 d,第1日~第72日研究在人工配制试验废水条件下的运行状况,其中第1日~第25日研究加入填料载体条件下反应器的运行效果;第26日~第72日研究未加入填料载体条件下反应器的运行效果。第73日~第115日,改用长庆油田采出水为对象,研究未加入填料载体条件下反应器的运行效果。

在B装置反应器中投入含有高效嗜油菌的活性污泥,在25~27℃条件下运行68 d,以长庆油田采出水原水为对象,研究SBR工艺加入填料载体条件下对油田采出水的运行效果。

两套装置运行过程中接种污泥均为西北大学驯化活性污泥。

3 试验结果与分析

3.1 SBR工艺处理模拟废水的运行效果

对模拟废水的运行效果研究共进行了72 d,根据试验条件的变化,A装置反应器对模拟废水运行效果特征主要分为两个阶段:反应器加入填料载体条件下运行阶段(又分为启动和稳定运行)、反应器未加入填料载体条件下反应器运行阶段。从第13日开始SBR反应器运行基本稳定,表示加入填料载体条件下反应器启动成功。

应用SBR工艺处理模拟废水各主要污染物石油

类、COD控制指标运行效果分别见图2、图3。

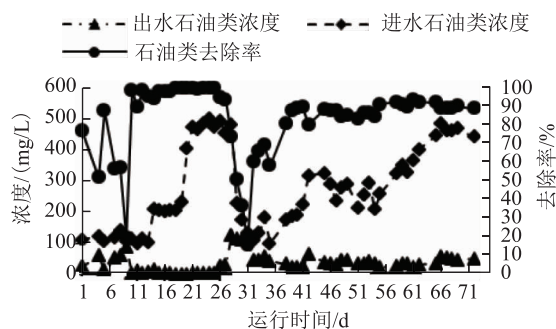


图2 SBR工艺处理模拟废水(石油类)运行效果

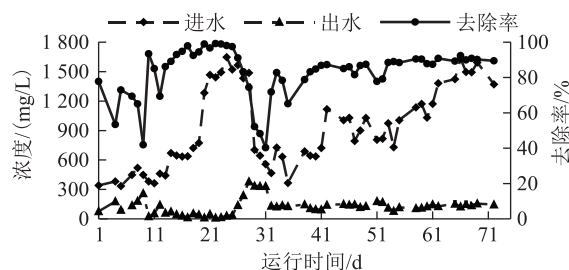


图3 SBR工艺处理模拟废水(COD)运行效果

由图2、图3可见,反应器刚开始启动后,进水石油类浓度保持在100 mg/L左右、COD浓度保持在400 mg/L左右,出水石油类、COD浓度在启动阶段略高,在第9日出现最高值,分别为86.5、190 mg/L,去除率分别为16.9%、57.6%;直到第13日,出水石油类浓度降为5.2 mg/L,去除率为95.0%;出水COD浓度61 mg/L,去除率86.2%,去除率和出水浓度基本处于稳定状态,表明反应器启动成功。

第13日,将聚乙烯半轻质悬浮填料加入反应器中,并将进水石油类浓度从100 mg/L逐渐增加到500 mg/L、COD浓度从400 mg/L逐渐增加到1600 mg/L。出水石油类、COD浓度一直保持在较低水平,且石油类、COD去除率较稳定。直到第25日出水石油类浓度基本在0.8~5.2 mg/L、去除率在93.7%~99.8%,出水石油类浓度平均值为3.9 mg/L、石油类降解率均值为97.8%;出水COD浓度在5.3~73 mg/L、去除率在89.1%~99.6%,COD浓度均值51.3 mg/L,降解率均值为95.2%。

在第25日将悬浮载体取出,在第26日~第28日,进水的石油类浓度仍然保持500 mg/L左右,但出水石油类浓度逐渐从26.9 mg/L增加到126.8 mg/L,石油类降解率也从94.5%降到50.6%。随后的3 d,进水石油类浓度虽然从227 mg/L降至132.8 mg/L,但是出水石油类浓度仍然居高不下,平均为

111.3 mg/L, 平均石油类降解率为 34.4%。在第 26 日~第 28 日, 保持进水 COD 浓度在 1 500 mg/L 左右, 但出水 COD 浓度逐渐从 39.0 mg/L 增加到 380.3 mg/L, 去除率也从 91.1% 降到 74.4%。随后的 3 d, 进水 COD 浓度降至 556.8 mg/L, 但是出水 COD 浓度仍然居高不下, 平均值为 333.5 mg/L, 平均去除率仅为 46.2%。

第 33 日重新接种污泥, 反应器逐渐恢复正常。从第 33 日~第 72 日, 进水石油类浓度在 100~482 mg/L 波动, 平均值为 299.1 mg/L。出水石油类浓度在 20.9~63.1 mg/L 波动, 平均值为 37.9 mg/L, 出水浓度较高。SBR 工艺对石油类的去除率保持在 58.2%~93.4%, 平均值为 85.5%, 比加入载体条件下去除率均值降低 12.2%、出水石油类浓度均值增加 34.1 mg/L。

进水 COD 浓度在 365~1 630 mg/L 波动, 出水浓度在 80~179 mg/L 波动, 去除率保持在 65.2%~92.4%, 出水 COD 浓度均值 132 mg/L, 去除率均值达到 85.5%。比加入载体条件下去除率均值降低 9.7%、出水 COD 浓度均值增加 60.7 mg/L。

以上试验结果表明:

①应用高效嗜油菌的 SBR 工艺对模拟废水的处理效果较好。

②SBR 工艺在不加载体的情况下对模拟废水也有一定的降解性能。但是当进水石油类浓度达到 450 mg/L 以上时, 出水中的石油类、COD 含量升高, 去除率也有所下降。

③加入悬浮填料载体能够提高 SBR 反应器的运行效果, 并且对保障反应器高效稳定运行起到了重要作用。加入载体条件下石油类去除率均值提高 12.2%、出水石油类浓度均值为 3.9 mg/L; COD 去除率均值提高 9.7%、出水 COD 浓度均值为 51.3 mg/L。

3.2 SBR 工艺处理油田采出水的运行效果

3.2.1 未加入填料载体条件下

A 装置反应器在未加入填料载体的条件下进行采出水处理试验, 运行 43 d, 石油类、COD 处理效果分别见图 4、图 5。

由图 4、图 5 可以看出, A 装置反应器运行效果稳定, 与反应器已经运行较长时间、污泥驯化程度较高有关。进水石油类浓度在 170~418 mg/L 波动, 平均值为 261.8 mg/L, 出水石油类浓度在 19.8~41.7 mg/L 波动, 波动幅度较大, 平均值为 31.8 mg/L。SBR 工艺对石油类的去除率保持在 79.0%~92.1%, 均值 87.3%。进水 COD 浓度在 528~1 259

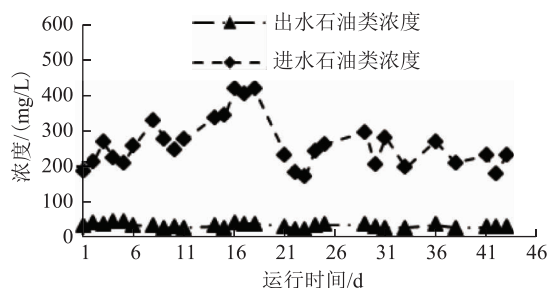


图4 未加填料时 SBR 工艺
处理采出水(石油类)运行效果

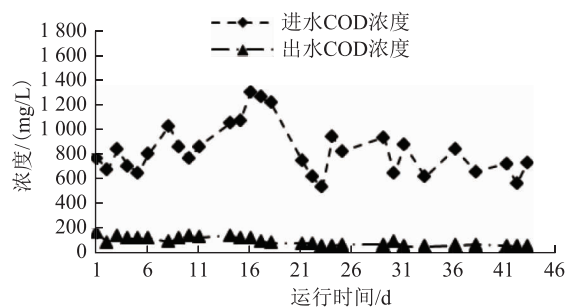


图5 未加填料时 SBR 工艺
处理采出水(COD)运行效果

mg/L 波动, 平均值为 824 mg/L; 出水 COD 浓度在 44.0~133.5 mg/L 波动, 平均值为 83.9 mg/L。SBR 工艺对 COD 的去除率保持在 79.5%~93.9%, 平均值达到 83.6%。

以上试验表明, 在不加填料载体的条件下应用高效嗜油菌的 SBR 工艺对石油采出水有很好的降解效果。但运行效果稳定性较差, 出水污染物浓度和去除率波动幅度均较大, 可能增加工程操作过程的复杂性和不确定性。

3.2.2 加入填料载体条件下

为进一步研究悬浮载体在 SBR 工艺中的作用, 在 B 装置 SBR 反应器内加入悬浮填料载体, 考察其加入对 SBR 工艺运行效果的影响。SBR 反应器运行了 68 d, 对 COD、石油类去除效果进行分析, 结果见图 6、图 7。

由图 6、图 7 可以看出, 从 B 装置反应器运行第 19 日开始, 出水污染物浓度、去除率均比较稳定, 表明

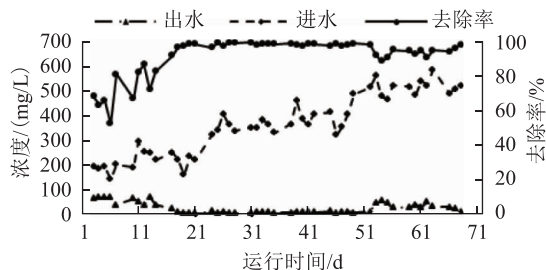


图6 加入填料载体条件下
SBR 工艺(石油类)运行效果

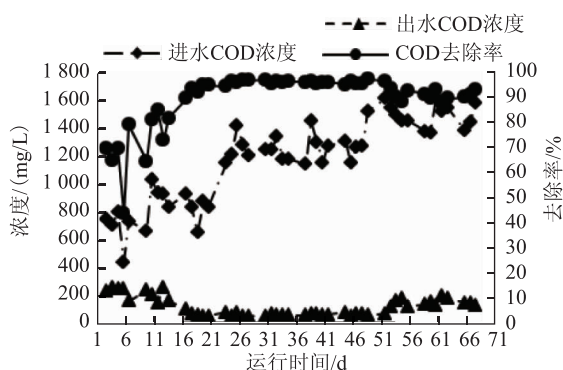


图7 加入填料载体条件下SBR工艺(COD)运行效果

B装置反应器启动成功。从第19日~第52日,进水石油类浓度在160~515 mg/L波动,平均值为359 mg/L。出水石油类浓度在2.51~11.0 mg/L波动,平均值为6.4 mg/L,SBR工艺对石油类的去除率保持在96.6%~99.3%,平均值达到98.2%,比未加入填料载体条件下提高10.9%。进水COD浓度在641~1 612 mg/L波动,平均值为1 223 mg/L,出水COD浓度在47~75 mg/L波动,平均值为60 mg/L,COD去除率保持在91.4%~96.2%,平均值达到95.0%,比未加入填料载体条件下提高11.4%。

在进水石油类浓度高于450 mg/L的情况下(共23 d),SBR反应器运行状况逐渐不稳定,表现为去除率降低、出水污染物浓度升高,运行效果无明显规律。当进水石油类浓度在465~586 mg/L波动时,出水石油类浓度在5~55 mg/L大幅波动,均值达30 mg/L,去除率在88.6%~98.9%波动。

以上试验结果表明:

①高效嗜油菌应用于SBR工艺处理长庆油田采出水效果较好。

②加入悬浮填料载体能够提高SBR工艺对长庆油田采出水的处理效果,对保障反应器高效稳定运行起到了重要作用,这一点与自配试验用水试验结果一致。加入填料载体条件下石油类去除率平均值提高10.9%、COD去除率平均值提高11.4%。

③当进水石油类浓度在465~586 mg/L波动时,出水石油类浓度在5~55 mg/L大幅波动,均值达30 mg/L,去除率在88.6%~98.9%波动。

4 SBR工艺中高效嗜油菌分析

通过对SBR工艺在运行第105日的污泥进行基因组16S rDNA的高通量测序分析,可知污泥的微生物多样性较少,在genus的水平上,占比最大的前6种属分别为*Acinetobacter*、*Providencia*、*Citrobacter*、*Dysgonomonas*、*Enterobacter*和*Pseudomonas*,所

占比分别为48.5%、9.4%、9.0%、6.9%、5.7%和5.5%。其中*Acinetobacter*和*Pseudomonas*具有很好的石油烃降解性能。在其他几株菌的协同作用下,使得SBR工艺对含油污水具有良好的降解性能。

可见,西北大学的活性污泥中含有的高效嗜油菌在SBR反应器中能够得到驯化培养,适应长庆油田采出水矿化度高、含油量高的不利影响,对石油类去除效果显著。利用高效嗜油菌的这一特性,可以在采出水处理工程设计中应用生化处理工艺。

5 结论

应用西北大学的活性污泥中含有的高效嗜油菌在SBR反应器中能够得到驯化培养,适应长庆油田采出水矿化度高、含油量高的特性。

①SBR工艺加入高效嗜油菌处理长庆油田采出水效果较好,出水水质稳定、污染物浓度低、去油率高。应用高效嗜油菌的SBR工艺处理长庆油田采出水,在填料载体存在的条件下处理效果更好,出水石油类浓度均值为6.4 mg/L,石油类去除率均值达到98.2%,比未加入填料载体条件下提高10.9%。出水COD浓度均值为60 mg/L,COD去除率均值达到95.0%,比未加入填料载体条件下提高11.4%。

②在进水石油类浓度高于450 mg/L的情况下,SBR反应器运行状况逐渐不稳定,污染物去除率降低、出水浓度升高,当进水石油类浓度在465~586 mg/L波动时,出水石油类浓度在5~55 mg/L大幅波动,均值达30 mg/L,去除率在88.6%~98.9%波动。

参考文献

- [1] 赵广南,马晓薇,吴德东.油田含油污水处理方法对比研究[J].环境科学与管理,2014,39(2):126-128.
- [2] 于晓丽,李斌莲,李秀珍.油田采油废水的处理现状及发展前景[J].石油与天然气化工,2000,29(6):327-328.
- [3] 杨云霞,张晓健.我国油田采出水处理回注的现状和技术发展[J].给水排水,2014,26(7):32-36.
- [4] 赵伟峰,李成.油田含油污水处理现状与展望[J].工程技术(全文版),2016,29(8):201.
- [5] 仇帅.油田开发过程中油田水化学特征演化规律[D].青岛:中国石油大学(华东),2011:15.
- [6] 李金波,干里里,左剑恶.SBR反应器中好氧细菌对J55油套管钢在油田采出水中电化学腐蚀行为的影响[J].中国环境科学,2009,29(3):284-289.
- [7] 张勇,黄华.油田含油污水处理技术[J].石化技术,2011(1):79.

(收稿日期 2017-05-12)

(编辑 王薇)