

微生物法处理三元复合驱采出水试验

张广福¹

摘要：三元复合驱油作为三次采油提高采收率技术，已进入工业化推广阶段。由于三元复合驱采出水中含有大量的聚丙烯酰胺（PAM）、表面活性剂和碱，使采出水的黏度增大，污水中油珠粒径变小，污水乳化严重，采用常规处理工艺很难使三元复合驱采出水得到有效处理，并达到回注水水质控制指标要求。为此，在杏十联三元复合驱采出水站，采用处理规模为5 m³/h试验装置进行三元复合驱采出水微生物生化处理现场试验。试验结果表明，微生物生化处理技术除油效果显著，试验装置生化段和过滤段的出水含油浓度分别小于50和20 mg/L，达到《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法（SY/T 5329—1994）》的回注水水质控制指标要求，提高了三元复合驱采出水的处理效果。

关键词：三元复合驱采出水；微生物生化处理；高级氧化处理；水质

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.7.009

Microbiological Method Study on ASP Flooding Produced Water Test

Zhang Guangfu

Abstract: ASP flooding as EOR enhanced oil recovery technology, has entered the stage of industrialization promotion. Due to the ASP produced water contains a large number of polyacrylamide (PAM), a surfactant and alkali, so that sewage viscosity become larger, smaller size of oil in sewage water beads, emulsification sewage serious. Conventional treatment process is difficult to ASP flooding produced water effectively reaches back to the water treatment and water quality control index requirements. To do this in the Xing 10 United ASP flooding produced water station, using the treatment capacity of 5m³/h test device, the actual ASP flooding produced water microbial biochemical treatment field trials. The results showed that microbial biochemical treatment technology degreasing effect significantly, the oil content of the effluent biochemical test equipment segment and the filter segments are less than 50 and 20 mg/L, to achieve with the “clastic rock reservoir water injection water quality recommended indexes and analysis method (SY/T5329-1994)” to require control indications of injected water quality, improve the ASP flooding produced water treatment effect.

Key words: ASP flooding produced water; microbial biochemical treatment; advanced oxidation treatment; water quality

为保证原油稳产，杏北油田先后进行了多个区块的三元复合驱工业化开发。随着三元复合驱开发规模的不断扩大，深度水（含油浓度≤5 mg/L，悬浮物浓度≤5 mg/L，粒径中值≤2 μm）的需求量不断增加，而杏北油田目前的三元复合驱采出水处理工艺无法直接将三元复合驱采出水处理为深度水质进行回注。另一方面，普通注水（普通注水指标含油浓度≤20 mg/L，悬浮物浓度≤20 mg/L，粒径中

值≤5 μm）需求量逐年递减，三元复合驱采出水处理后存在过剩问题^[1]。油田当前普遍采用的处理工艺出现了设备处理能力降低、沉降时间过长、出水水质达标困难等现象。而目前油田三元复合驱采出水处理主要有曝气沉降+高效油水分离+两级过滤和曝气沉降+气浮沉降+两级过滤两种工艺。无论采用何种处理工艺，在三元复合驱采出水见剂高峰期，采出水中含有大量的聚丙烯酰胺（PAM）、

¹大庆油田第四采油厂第二油矿

表面活性剂和碱,会使污水的黏度增大,污水中油珠粒径变小,污水乳化严重;尤其是在碱性环境下,采出水中含有大量粒径低于 $1\ \mu\text{m}$ 无定形硅胶体,其处理难度远远大于聚合物驱采出水,而且常规的水处理药剂无法适应三元复合驱采出水pH值高达9.5以上的碱性环境,所以采用常规处理工艺很难使三元复合驱采出水得到有效处理。

因此,寻找一种经济的方法,将三元复合驱采出水高效、快捷地处理为深度污水,具有重要的现实意义。

1 三元复合驱采出水处理现状

杏北油田杏十联三元复合驱采出水污水站采用曝气沉降+高效油水分离+两级过滤工艺,沉降时间为 $8\ \text{h}$ ^[2]。为了提升三元复合驱采出水处理效果,将三元复合驱采出水与水驱污水混合处理。

从三元采出水、混掺污水含剂情况对比结果可以得出,混掺后,污水含剂浓度有所降低,但仍保持在较高的水平。在见剂高峰期,三元复合驱采出水站处理混掺污水,水质不能达标,滤后水含油浓度最高时达到了 $198\ \text{mg/L}$ (指标要求 $\leq 20\ \text{mg/L}$),滤后水悬浮物浓度最高时达到了 $82\ \text{mg/L}$ (指标要求 $\leq 20\ \text{mg/L}$),可见目前的处理工艺很难适应三元驱油剂含量高的采出水处理,无法收到满意的处理效果。

2 微生物法处理三元复合驱采出水

微生物法处理三元复合驱采出水就是利用微生物可以分解氧化有机物的功能,采取一定的人工措施创造有利于微生物生长、繁殖的环境,使微生物大量增殖,以提高其分解氧化有机物效率的一种污水处理方法^[3],作用原理主要包括活性破乳、生物降解和表面吸附。

2.1 活性破乳

高效破乳微生物能够通过自身的生长代谢活动产生高效生物破乳剂,此类破乳剂能够有效取代乳化油表层的表活剂,从而降低乳化油的界面强度。破乳剂携带的正电荷能够中和乳化油表面的负电荷,降低乳化油滴间的电荷斥力。这些作用均可有效降低乳化油的稳定性,有利于乳化油珠聚集合并为大油滴。此外,微生物菌体自身的架桥作用也强化了乳化油的聚并效果^[4]。乳化油聚并为大油滴后,易与水相分离,从而可回收污水中的大部分原油,降低污水中的油含量。

2.2 生物降解

微生物的降解作用主要体现在两个方面:①高

效原油降解菌能够通过一系列生长代谢活动,将污水中的残余原油分解为无污染的 CO_2 和 H_2O ,与水相分离,进一步降低污水中的含油量;②包括原油降解菌在内的微生物均可分解、利用污水中的有机悬浮物,并将其作为生长繁殖的营养物质,从而降低污水中的悬浮物含量。

2.3 表面吸附

微生物菌体体积微小,具有巨大的比表面积和表面能量,能够高效吸附污水中的细小颗粒物质。三元复合驱采出水中的小粒径悬浮物,尤其是无定形硅胶体被微生物吸附后,会形成体积较大的絮状体。此类絮状体由于体积较大(直径 $1\sim 5\ \text{mm}$),具有良好的过滤性能。

在适宜的条件下,微生物通过分解有机物作为营养,实现自身繁殖,净化水质,对环境没有二次污染。

3 微生物菌种的优选

为了使筛选的菌种更有针对性,对杏十联来水进行了水质检测。

用污水处理中常用的BOD与COD比值评价污水的可生化性,BOD/COD大于0.15,即认为污水具有可生化性,可以采用生物法处理。污水原水水质分析结果为,BOD/COD=0.16,其中BOD= $352\ \text{mL}^{-1}$,COD= $2\ 178\ \text{mL}^{-1}$ ^[5]。污水原水适合微生物生长,具有实施生化处理的可行性。

根据水质检测结果,污水原水含聚浓度达到了 $491.3\ \text{mg/L}$,pH值为10.01,属于高含聚、强碱性污水(pH=8为弱碱污水),因此试验所选微生物应适合高含聚污水,且能够适应强碱环境。

本次试验所使用的菌种主要为格兰氏阴性杆菌,能够适应高矿化度含油污水,矿化度在 $120\ 000\ \text{mg/L}$ 以内有极强的生命力,符合试验要求。该菌种可直接适用油田的污水指标范围如下:含油及其他有机污染物浓度(乳化油及溶解性油污) $<1\ 000\ \text{mg/L}$;悬浮物(含有机物)浓度 $<350\ \text{mg/L}$;含聚浓度 $<1\ 200\ \text{mg/L}$;黏度 $<20\ \text{mPa}\cdot\text{s}$;硫化物 $<200\ \text{mg/L}$;COD $<10\ 000\ \text{mg/L}$;表活剂 $\leq 150\ \text{mg/L}$;pH=6~11;生存温度 $<45\ ^\circ\text{C}$;工作温度 $20\sim 40\ ^\circ\text{C}$ (最佳)。

4 现场试验

4.1 处理工艺

本试验污水原水来自杏十联游离水岗放水出口,试验主要工艺^[6]如图1所示。

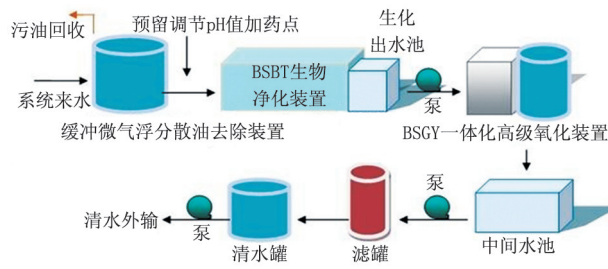


图1 微生物法处理试验装置工艺流程示意图

来水进入缓冲微气浮分散油去除装置，回收来水中的大量分散态污油，并均衡来水的水质和水量；分散油去除装置出水自流至生物净化系统，依靠系统中专性菌剂对有机物的高效分解作用以及系统内生物载体的吸附过滤特性，分解去除水中的油及有机悬浮物，并使水中悬浮物由微小形态转化为大块的脱落菌膜；出水自流入生化出水池之后，由泵提升进入等离子体氧化装置进行氧化降黏处理；高级氧化出水自流进入中间水池，之后经增压泵增压至滤罐进行过滤，去除水中残留的油及悬浮物，

一级过滤出水达到“10、10、3”指标。

4.2 单体试验装置设计参数

在生物净化系统试验中，净化装置采用撬装式接触氧化池结构，添加BSEM高效生物菌种，在含有特种酶制剂的悬挂式生物载体上生成对苯类、酚类物质及杂环芳烃类有机物具有特效降解作用的联合生物菌群。生物菌群通过新陈代谢作用分解水中的油类等有机污染物，并以脱落菌膜形式悬浮于污水中，出水含油浓度可达到30 mg/L以下。一体化高级氧化处理装置和气体发生器在高频、高压作用下通过强电离放电而产生非平衡等离子活性气体，活性气体在装置反应塔内对污水中高稳定性的高分子有机物、油及有毒物质等进行开环、断链、降解，使水体黏度大大降低。气浮单元、生化单元和氧化单元工艺设计参数见表1。

石英砂过滤装置可过滤水中残留的油及悬浮物，保证出水达标，过滤单元工艺设计参数见表2。

表1 气浮单元、生化单元、氧化单元工艺设计参数

单元名称	处理量/ (m ³ ·h ⁻¹)	有效停留时间/ h	进水含油浓度/ (mg·L ⁻¹)	出水含油浓度/ (mg·L ⁻¹)	进水悬浮物浓度/ (mg·L ⁻¹)	出水悬浮物浓度/ (mg·L ⁻¹)
气浮单元	2	2.5	≤3 000	≤300	≤300	≤250
生化单元	50	14	≤300	≤25	≤300	≤250
氧化单元	50	-	≤25	≤15	≤50	≤20

表2 过滤单元工艺设计参数

运行流速/ (m ³ ·h ⁻¹)	反洗强度/ (L·s ⁻¹ ·m ⁻²)	反洗周期/ d	进水指标		出水指标		
			含油浓度/ (mg·L ⁻¹)	悬浮物浓度/ (mg·L ⁻¹)	含油浓度/ (mg·L ⁻¹)	悬浮物浓度/ (mg·L ⁻¹)	粒径中值/ μm
≤8	14~16	1~2	≤15	≤20	≤10	≤10	≤3

4.3 试验数据分析

4.3.1 菌群培养期及调试期

首先向生化单元中生化反应池内注入一罐原水，曝气24 h以增加原水中的含氧量；再投加微生物菌种，投菌后继续曝气一周，增大菌体附着在挂件填料上的概率。经过一周后，以5 d为一个周期进行流量递增调试，最初流量为0.5 m³/h，最终为2 m³/h。由于在这个阶段内只掌握菌群生长情况，不考虑水质因素，因此不进行水质化验，微生物挂膜运行条件控制参数见表3。

通过对水温、溶氧以及挂件上菌膜的颜色和密度就能够判断出菌体的适应情况和生长速度。

随着菌群培养期的结束，生化反应池已能够正常运行。这时进入设备调试期，在这个阶段内主要的试验内容是调整上下游的设备工艺性能，使之能够配合生化装置达到理想的处理效果和处理量。从

调试期间水质跟踪检测数据可以看出，生物净化单元已能够适应相应的负荷，处理效果达到预计水质要求，设备调试完成。

4.3.2 运行初期阶段

杏十联三元复合驱采出水站微生物深度处理试验于2014年7月26日正式投运，运行初期采用缓冲微气浮分散油去除装置+生物净化系统+一体化高级氧化处理装置+石英砂过滤装置处理工艺，处理量为44~48 m³/d。

从运行初期水质跟踪监测数据可以看出：该阶段来水含油浓度在1 761~2 810 mg/L之间，含油浓度较高；悬浮物浓度为67.5~176 mg/L，来水水质比较稳定。本阶段出水含油浓度在5.2~11.9 mg/L之间，可以达标（达标浓度≤10 mg/L）；悬浮物浓度为13~17.8 mg/L，不能满足要求（达标浓度≤10 mg/L）。

从运行初期水质含剂情况跟踪监测数据可以看

表3 微生物挂膜运行条件控制参数

水温/ $^{\circ}\text{C}$	pH值	气水比	含油浓度	接种量	流量
25~40	6~11	4:1	挂膜阶段池内含油浓度不低于30 mg/L	微生物种液为生化池体积以内	以5 d为一个周期,由最初的0.5 m ³ /h逐渐调至2 m ³ /h

出:该阶段来水聚合物浓度在275~452 mg/L之间,高级氧化出水含聚浓度在312~465 mg/L之间,降聚效果不明显;来水黏度在10.1~41.2 mPa·s之间,高级氧化出水黏度在2.9~4.9 mPa·s之间,降黏效果明显;来水表面活性剂浓度在27~53.8 mg/L之间,高级氧化出水表面活性剂浓度在27~53.8 mg/L之间。

4.3.3 水质变化阶段

对水质变化情况进行描述,通过水质跟踪数据(表4)分析各节点对水质变化的适应性。

表4 来水变化阶段水质情况跟踪监测数据

时间	含油浓度/ (mg·L ⁻¹)	悬浮物浓度/ (mg·L ⁻¹)	粒径中值/ μm	备注
8月14日	4 596.1	152		气浮出水
	209.4	98		生化出水
	176.3	44		高级氧化出水
	21.2	26	3.7	过滤出水
8月16日	1 241.6	414		来水
	402.5	462		气浮出水
	91.9	295		生化出水
	97.5	202		高级氧化出水
8月23日	18.9	75	1.5	过滤出水
	1 638.2	332		来水
	361.8	396		气浮出水
	11.4	138		生化出水
8月26日	5.5	76		高级氧化出水
	4.4	18	4.2	过滤出水
	1 867.7	264		来水
	273.7	176		气浮出水
8月26日	6.5	122		生化出水
	3.2	45		高级氧化出水
	1.4	11	2.7	过滤出水

4.3.4 稳定运行阶段

由水质跟踪数据(表5)可以看出目前运行状况以及装置的运行效果。

表5 稳定运行阶段过滤出水情况跟踪监测数据

时间	含油浓度/(mg·L ⁻¹)	悬浮物浓度/(mg·L ⁻¹)	粒径中值/ μm
8月29日	1.2	16	3.8
8月30日	1.7	11	2.6
9月2日	0	12	2.6
9月6日	2.7	4	2.6
9月9日	2.1	30	2.6
9月10日	3.2	40	2.6

5 结语

(1)由现场试验结果可以看出,采用微生物法处理工艺处理混掺三元复合驱采出水除油效果显著,可提高处理后的出水水质,试验装置生化段和过滤段的出水含油浓度分别小于50和20 mg/L的指标要求,并达到《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法(SY/T 5329—1994)》的回注水水质控制指标要求,为杏北油田三元复合驱采出水处理提供了新的思路。

(2)除悬浮物效果差异较大。在前期试验中出水悬浮物浓度阶段性接近20 mg/L的指标,但在化学药剂用量提高后,生化段和过滤段出水悬浮物浓度远超50 g/L和20 mg/L的指标,分析认为是生化段跑菌严重和过滤段工艺不完善所致。

(3)生化反应池若工业化推广,需定期进行清淤,停产难度较大。池内曝气头采用橡胶塑料材质,橡胶易被污水腐蚀造成曝气头失灵,更换难度较大。

参考文献

- [1] 吴迪,孙福祥,孟祥春,等.大庆油田三元复合驱采出液的油水分离特性[J].精细化工,2001,18(3):159-161,169.
- [2] 沈萍,陈向东.微生物学[M].北京:高等教育出版社,2006:112-154.
- [3] 沈萍.工业废水气浮处理工艺设计[M].北京:高等教育出版社,2006:95-101.
- [4] 王文海.加压溶气气浮设备理论溶气量的计算[J].环境污染治理技术与设备,2002(5):55-63.
- [5] 刘俊新,李圭白.滤池气水反冲洗时排水浊度变化的数学模式[J].哈尔滨建筑工程学院学报,1989,22(4):60-67.
- [6] 张强.微生物污水处理工艺现场试验[J].油气田地面工程,2012,31(2):7-8.

作者简介

张广福:工程师,2000年毕业于大庆石油学院地质勘探专业,获学士学位,从事采油工作,0459-4198877,zhangguangfu@petrochina.com.cn,黑龙江省大庆油田第四采油厂第二油矿,163511。

收稿日期 2016-03-23

(栏目编辑 杨军)