

曝气技术对水质稳定性差的油田采出水影响试验

刘鹏飞¹ 严忠¹ 宫兆波¹ 斯绍雄¹ 吐逊阿依·吐拉洪¹ 李莉¹

摘要：目前困扰油田污水处理站比较普遍的问题是油田污水中还原性离子和高含油系统的回掺水使污水净化效果变差，引起絮体上浮，影响沉降效果，造成污水处理系统不能长期稳定地运行。针对上述问题，开展了曝气预处理工艺试验研究。通过室内动态研究发现：以气水比1.25：1的条件下曝气，曝气出口污水含油量可由原来的80 mg/L降到16 mg/L；净化水中硫离子与二价铁离子浓度均可降到0.1 mg/L以下；净化水中悬浮物浓度从47 mg/L降到5.5 mg/L以下。

关键词：油田污水；曝气预处理；还原性离子；含油污水

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.11.013

Study on the Influence of Aeration Technology on Bad Stability Oilfield Produced Water

Liu Peng Fei, Yan Zhong, Gong Zhaobo, Si Shaoxiong, Tursinay · turahun, Li Li

Abstract: At present, oilfield sewage reduction ions and high oil system re-mixing water make the sewage purification effect becomes worse, which causes flocs floating and influence the effect of sedimentation, and the sewage treatment system cannot operated stably with a long term. In view of the above problems, this paper has carried out the experiment research of the aeration pretreatment process. By indoor dynamic study we found that: at the gas-water ratio of 1.25 : 1, under exposed gas, the oil content of aeration export sewage can be reduced from 80 mg/L down to 16 mg/L. In purified water the concentration of the sulfide and divalent iron ion can be reduced to less than 0.1 mg/L. In purification water the concentration of the suspended solids can be decreased from 47 mg/L to 5.5 mg/L or less.

Key words: oil field wastewater; aeration pretreatment; reducing ion; oily wastewater

随着新疆油田开发难度的不断加大，油田优质注水是油田实现长期稳产高产的基础，也是提高油田采收率的有效途径。油田开发进入中后期，无论是新建站还是运行多年的“老站”均出现注水水质不能长期稳定达标现象，主要原因多为污水系统来液不稳定造成的。经室内研究分析认为，水的自结垢趋势、水中含有还原性金属离子，以及外来作业废水进入系统是影响水质稳定性的主要因素之一^[1-2]。

1 水质稳定性影响因素

新疆油田地层水水型分为CaCl₂、MgCl₂和NaHCO₃型，主要为NaHCO₃型。其特点是矿化度较低，约在2 000~25 000 mg/L之间，常含有HCO₃⁻

和CO₃²⁻离子。污水中各种离子都会对水质产生影响，高价铁(Fe³⁺)以化合物形式存在，构成悬浮物；低价铁(Fe²⁺)以溶解状态存在，可与H₂S生成难溶的FeS，使水变黑；水中含铁量的增加导致水腐蚀加剧^[3-5]。

新疆油田部分区块含油污水中含有易氧化的还原性离子且存在较严重的碳酸盐自结垢趋势，这些因素的存在，将导致外输水在回注过程中易氧化生成难溶于水的新生态的氧化产物和碳酸盐垢产物，这些产物的形成往往导致水中悬浮物含量超标。

如何预防上述现象的发生，研究认为，通过强化预处理工艺技术的应用，可从源头上对水质的稳定性进行改善。但是，油田上多采用投加预处理药剂的方式提高水质的稳定性，且对设备造成二次伤

¹中国石油新疆油田公司实验检测研究院

害的研究较少。从清洁生产出发,针对油田稳定性差的含油污水,新疆油田首次将曝气预处理工艺技术引入到现有的净水处理工艺中。试验结果表明,该项技术在水质稳定性的改善方面取得了良好的效果。目前新疆油田污水处理工艺流程见图1。

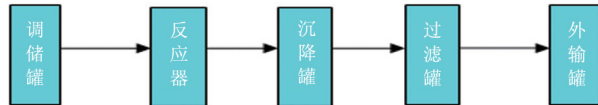


图1 油田污水处理站流程简图

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

(1) 试剂。聚合铝盐溶液 (PAC): 有效成分 AlCl_3 , 含量为 40%; 聚丙烯酰胺溶液 (PAM): 相对

分子质量为 500 万, 含量为 0.5%, 实验所用其他试剂均为分析纯。

(2) 仪器。Zetasizer Nano Z 电位仪, 英国 Malvern 公司生产; Mastersizer 2000 粒度仪, 英国 Malvern 公司生产。

2.2 技术指标的测定方法

二价铁、总铁、硫含量及平均腐蚀速率测定方法分别采用行业标准《碎屑岩油藏注水指标及分析方法 (SY/T 5329—2012 5.10)》中规定的测铁管法、测流管比色法、挂片法。

2.3 来液性质

实验用水来自新疆油田某处理站调储罐来液, 测试依据为《油田水分析方法 (SY/T 5523—2006)》, 来液性质见表1。

表1 样品性质分析

样品	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Mg^{2+} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Ca^{2+} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Cl^- ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SO_4^{2-} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	CO_3^{2-} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	HCO_3^- ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值	矿化度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
来液	2 698.72	38.38	298.39	4 153.61	41.10	0.00	1 059.30	7.31	8 289.50
样品	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	粒径分布/ μm	含油量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ZETA/ mV	水型	硫化物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总硬度	总铁/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	二价铁/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
来液	66	25.462	140	-8.15	Na_2SO_4	0	48.61	3	3

2.4 曝气预处理工艺

在原有旋流污水处理工艺的基础上添加曝气预处理后的工艺流程简图见图2, 按工艺运行图组装后动态试验装置见图3。其主要设备及运行参数如下: 调储罐 1 000 L, 曝气池 60 L, 沉降罐 120 L, 过滤为两级过滤, 曝气量为 $0 \sim 1.4 \text{ m}^3/\text{h}$, 水处理量为 $0 \sim 250 \text{ L/h}$, PAC 加药量浓度 200 mg/L , PAM 加药量浓度 8 mg/L 。

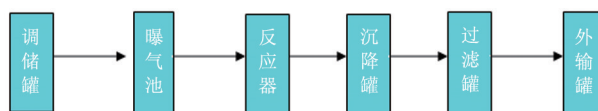


图2 曝气工艺流程简图



图3 曝气动态试验装置

3 结果与讨论

3.1 对净化水铁离子的去除效果

通过调节不同的气水比考察曝气量对铁离子的去除效果, 其结果如图4所示。

从图4可以看出, 曝气对铁离子的去除效果明

显。在气水比为 $1.25 : 1$, 曝气时间为半小时的情况下, 铁离子的含量已经降到 1 mg/L 以下。

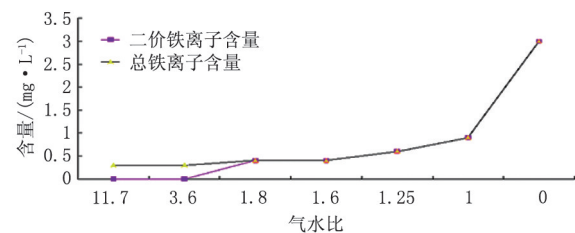


图4 不同气水比对除铁效果的影响

在井区的增产措施中酸化措施以及酸化措施后的返排液并不能 100% 完全返排, 因此会有部分酸液伴随着油井正常生产的采出液进入系统进而和钢铁管线进行反应而产生大量的二价铁离子, 而铁离子又会对系统后端的水质稳定产生很大的影响。因此, 首先考察铁离子对曝气系统的冲击效果。在调储罐投加大量的硫酸亚铁 (经测试测定二价铁和总铁均大于 10 mg/L); 然后进行曝气实验, 其结果如表2所示。

从表2可以看出, 经过曝气以后在曝气点以及反应出口二价铁离子、总铁含量均下降明显, 通过调节水量, 在气水比为 $1.25 : 1$ 时过滤出口的二价铁离子和总铁含量已经小于 0.1 mg/L , 因此可知, 曝气对高含铁污水具有良好的除铁效果。

3.2 对硫离子的去除效果

由于来液中二价硫离子含量为 0, 为考察硫离

子对曝气系统的冲击，在调储罐投加硫化钠以增大来液中硫离子的含量，然后通过调节不同的气水比来考察曝气量对硫离子的去除效果，其结果如表3所示。

表2 曝气对铁离子的去除效果

次数	取样点	来水量/ (L·h ⁻¹)	曝气量/ (m ³ ·h ⁻¹)	曝气比	Fe ²⁺ 含量/ (mg·L ⁻¹)	总铁/ (mg·L ⁻¹)
1	曝气点	250	0.25	1	>10	>10
	过滤出				2	5
2	曝气点	200	0.25	1.25	4	>10
	过滤出				0	0.1
3	曝气点	150	0.25	1.6	1	>10
	过滤出				0	0.1

表3 曝气对硫离子的去除效果

次数	取样点	来水量/ (L·h ⁻¹)	曝气量/ (m ³ ·h ⁻¹)	曝气比	含硫量/ (mg·L ⁻¹)
1	曝气点	250	0.25	1	2
	过滤出				0.1
2	曝气点	120	1.4	11.7	0
	过滤出				0
3	曝气点	120	0	0	10
	过滤出				3

从表3可以看出，在不曝气的情况下，过滤出水中含有大量的硫离子，会对后端水质的稳定产生影响。在曝气比为1的条件下过滤出口硫含量为0.1 mg/L。因此可以得出，曝气预处理技术对硫离子具有很好去除效果。

3.3 对水中含油去除效果

将调储罐来液通过不同的曝气量曝气，测定曝气池出口污水的含油量，其结果如表4所示。

表4 曝气量对水中含油的去除效果

气水比	含油量/(mg·L ⁻¹)
11.7 : 1	10
3.6 : 1	10.3
1.8 : 1	11.6
1.6 : 1	12.5
1.25 : 1	16.0
1 : 1	36.7
0 : 1	80.3

从表4可以看出，曝气可以有效减少污水中的含油量。其除油原理为曝气产生了大量细小气泡，由于气泡在水中具有亲油性会附着在水中分散的油滴上，进而增大油滴的浮力使油滴上浮以达到除油效果，减少因含油量过高而引起污水水质恶化。

3.4 对净化水悬浮物的影响

通过调节不同的气水比来考察曝气对过滤出水悬浮物的影响，其结果见表5、图5。

通过表5可以看出，在所有曝气实验条件下，过滤出水中悬浮物的含量都很稳定，基本在5 mg/L

以内，远远小于未曝气的出口悬浮物含量。其原因为曝气去除了水中还原性离子以及含油，降低了这些因素对污水净化以及对净化水的影响。

表5 曝气对悬浮物的影响

次数	取样点	来水量/ (L·h ⁻¹)	曝气量/ (m ³ ·h ⁻¹)	曝气比	悬浮物含量/ (mg·L ⁻¹)
1	曝气点	120	0	0	140
	过滤出				47
2	曝气点	120	1.4	11.7	143.5
	过滤出				1
3	曝气点	120	0.5	3.6	112
	过滤出				1.6
4	曝气点	120	0.25	1.8	146.5
	过滤出				4
5	曝气点	150	0.25	1.6	170
	过滤出				5.5
6	曝气点	200	0.25	1.25	131
	过滤出				3
7	曝气点	250	0.25	1	130
	过滤出				5.5

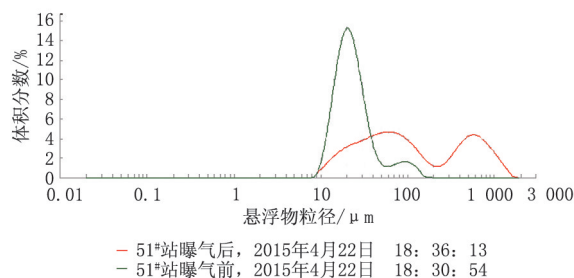


图5 曝气前后悬浮物的粒径变化

从图5可以看出，经过曝气以后悬浮物的粒径变大，使得悬浮物很难穿过滤料层，更易被滤料截留，进而保障出水水质。悬浮物粒径变大的原因是多方面的：曝气即可去除水中悬浮物附着的油滴，可使悬浮物相互之间电位降低更易聚并；曝气又会使水中二价铁离子被氧化生成氢氧化铁，其具有净水吸附效果。这两个原因均会使悬浮物粒径变大。

3.5 对污水的腐蚀速率的影响

因水中的溶解氧会对金属管材造成腐蚀，为检测曝气对腐蚀速率的影响，针对不同的曝气量来检测不同气量曝气后的污水溶解氧以及净化水的腐蚀率，其结果如表6所示。

从表6可以看出，在气水比在2 : 1以下时，曝气并没有使水中溶解氧大量增加，水的腐蚀速率也没有明显增高，当气水比大于4 : 1时腐蚀速率才明显上升，因此控制合适的气水比即可消除还原性离子以及含油，又不会引起设备腐蚀程度的增加。而且污水在气水比小于2 : 1的条件下曝气后，其腐蚀速率均小于《碎屑岩油藏注水水质指标及其分析方法(SY/T 5329—2012)》标准要求(平均腐蚀率小

于等于0.076 mm/a)。其原因是因为氧气在水中的溶解度较低,在水中的转移效率仅为20%左右,而转移的氧又很快会被水中的还原性离子以及细菌所消耗,因此适量的曝气并不会引起设备的腐蚀。

表6 曝气对污水腐蚀速率的影响

取样点	来液量/ (L·h ⁻¹)	曝气量	气水比/ (m ³ ·m ⁻³)	停留时间/ min	溶解氧/ (mg·L ⁻¹)	腐蚀率/ (mm·a ⁻¹)
未曝气出口					-	0.029 3
过滤出口	120	0	0		2.49	0.034 4
曝气出口					6.79	0.108 8
过滤出口	120	1.4	11.7		4.79	0.148 3
曝气出口				60	6.28	0.096 9
过滤出口	120	0.5	4.2		3.64	0.043 5
曝气出口					4.19	0.042 2
过滤出口	120	0.25	2.0		3.8	0.038 6
曝气出口					4.22	0.042 1
过滤出口	150	0.25	1.6	48	3.46	0.038 9
曝气出口					4.12	0.042 2
过滤出口	200	0.25	1.25	36	1.89	0.038 7
曝气出口					3.78	0.040 8
过滤出口	250	0.25	1.0	29	1.66	0.037 4

3.6 爆炸极限的估算

在原油采出液脱出污水中含有可燃性的伴生气,若处理不当可能会发生爆炸,进而影响安全生产。在污水净化系统前段加装曝气装置会引入大量的空气,考察其是否会成为安全隐患。以伴生水中溶解度最大的甲烷为例,其在水中的溶解度随着温度的升高而降低,在25℃时,空气密度为1.29 g/L,甲烷溶解度为35 mg/L,在空气中的爆炸极限为3.6%~17%,实验所用最低曝气比例为1:1,甲烷在空气中的浓度为小于2.7%,小于爆炸极限(3.6%)。因此曝气预处理所产生的空气与伴生气

(上接第41页)标管存区内运行。在下游停止用气期间,维持 $5 \times 10^4 \sim 8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的瞬时供气流量,使J-T阀持续进行节流制冷,确保低温分离器处于正常工作温度内;在下游用气期间,确保瞬时供气流量大于 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,且平均供气流量小于 $19.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,根据外输管线管存量变化趋势,合理调整供气流量,管存量控制安全、可靠、高效。以此方式解决了天然气烃露点控制不稳定、环境对低温脱烃系统影响加剧、恢复供气耗时长、火炬放空量大等问题,可保持天然气连续脱烃生产,每年天然气减排量达到 $304 \times 10^4 \text{ m}^3$,实现节能增效。

参考文献

- [1] 郭景洲. 反凝析现象在降低外输天然气烃露点中的应用[J]. 油气地面工程, 2011, 30 (5): 49-50.

的混合物不存在爆炸条件。

4 结论

(1) 曝气预处理工艺可有效去除油田污水中还原性离子以及含油,以气水比1.25:1的条件下曝空气,曝气出口污水含油浓度可由原来的80 mg/L降到16 mg/L;净化水中硫离子与二价铁离子浓度均可降到0.1 mg/L以下;净化水中悬浮物浓度从47 mg/L降到5.5 mg/L以下。

(2) 控制合适的气水比即可除去还原性离子又不会引起设备腐蚀,也不会因曝气而造成安全隐患。

参考文献

- [1] 严忠, 庄术艺, 马晓峰, 等. 曝气脱硫技术在新疆油田含油污水处理中的应用[J]. 石油与天然气化工, 2013, 42 (5): 540-544.
- [2] 商莉, 李素芝. 中原油田污水中铁离子对注入水质的影响[J]. 内蒙古石油化工, 2012 (16): 39-40.
- [3] 严忠, 屈静, 胡君, 等. 新疆油田注水水质稳定控制技术[J]. 石油与天然气化工, 2014, 43 (6): 693-699.
- [4] 范韬. 油田污水水质稳定技术的研究[J]. 石油与天然气化工, 2011, 40 (2): 214-217.
- [5] 鄢建成. 油田废水除铁技术研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.

作者简介

刘鹏飞: 工程师, 硕士, 2012年毕业于西南石油大学应用化学专业, 研究方向为油田水处理, 0990-6879052, lpf1984@petrochina.com.cn, 新疆维吾尔自治区克拉玛依市准格尔路29号, 834000.

收稿日期 2016-01-08

(栏目编辑 张秀丽)

- [2] 王玮, 李明, 宫敬, 等. C₆组分对管输天然气相特性的影响[J]. 油气地面工程, 2011, 30 (2): 8-9.
- [3] 刘振方, 唐善华, 魏凯, 等. 天然气管道合理管存方法的应用[J]. 油气储运, 2009, 28 (9): 69-72.
- [4] 谢跃辉, 赵秀芳, 李朝臣. 长距离输气管道管存计算及应用[J]. 化学工程与装备, 2014 (9): 78-79.
- [5] 贾丽莉. 南山终端小流量下烃露点控制改造工艺报告[R]. 深圳: 上海利策科技股份有限公司-深圳分部, 2016: 14-15.

作者简介

陈焱彬: 工程师, 2005年毕业于中国石油大学(华东), 主要从事油气田生产管理工作, 0755-26671212-6729, janbin@163.com, 广东省深圳市南山区太子路22号金融中心17楼, 518067.

收稿日期 2016-03-11

(栏目编辑 张秀丽)