

# 悬浮污泥过滤工艺在油田污水 深度处理中的应用

张逢玉<sup>1,2</sup>, 吕 阳<sup>1</sup>, 姜 蔚<sup>3</sup>, 闫 波<sup>1</sup>, 张 雷<sup>1</sup>, 姜安玺<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 大庆石油学院, 黑龙江 大庆 163316;  
3. 哈尔滨理工大学建筑设计研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:** 对大庆油田石英砂过滤器结构进行改造, 并应用悬浮污泥过滤技术对油田污水进行了深度处理, 试验取得了良好的处理效果。改造后的石英砂过滤器在进水悬浮物质量浓度为 40~63 mg/L 时, 出水悬浮物质量浓度小于 10 mg/L, 平均去除率为 81.8%, 比改造前提高了 33.3%; 在进水油质量浓度为 79~119 mg/L 时, 出水油质量浓度小于 10 mg/L, 平均去除率为 92.9%, 比改造前提高了 21.2%。通过悬浮污泥过滤工艺处理后, 出水悬浮物质量浓度小于 2 mg/L, 出水油质量浓度小于 3 mg/L, 滤出水悬浮物去除率达到 96.4%, 油去除率达到 97.0%, 水质均达到油田回注水标准。

**关键词:** 油田污水; 石英砂过滤器; 悬浮污泥过滤工艺

中图分类号: TQ028.53

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2007)08-0055-04

## Application of suspended sludge filtration in treating oil field wastewater

ZHANG Feng-yu<sup>1,2</sup>, LU Yang<sup>1</sup>, JIANG Wei<sup>3</sup>, YAN Bo<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, JIANG An-xi<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. Daqing Petroleum Institute, Daqing 163316, China;

3. Architectural Design and Research Institute, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** With the structural modification of quartz sand filter in Daqing oil field, and using the suspended sludge filtration in treating oilfield wastewater, the good experimental results are obtained. When the SS mass concentration of inlet water is 40-63 mg/L, the outlet mass concentration of SS after quartz sand filter is about 10 mg/L, and the averaged removal rate is 81.8%, which increases by 33.3% as compared with that before modification. When the oil mass concentration of inlet water is 79-119 mg/L, the outlet mass concentration of oil is lower than 10 mg/L, the averaged removal rate is 92.9%, which increases by 21.2% as compared with that before modification. The SS and oil content in the filtered water is less than 2 mg/L and 3 mg/L respectively, the removal rate of SS can reach 96.4%; oil, 97.0%. The effluent water quality can reach the standard for reuse of oil field wastewater.

**Key words:** oilfield wastewater; quartz sand filter; suspended sludge filtration

随着油田聚驱及三元复合驱采油技术的推广, 传统的直接过滤法已无法实现水质达标要求。如何提高油田污水过滤效果成为国内外专家研究的热点。目前对于过滤技术的研究主要集中在滤料的选择、过滤器的改造和工艺的改进这 3 个方面。

我国油田污水过滤器普遍采用的是核桃壳和石英砂过滤器<sup>[1]</sup>。大庆油田某污水处理站很早便开始使用石英砂滤料过滤装置, 初期运转效果良好, 但随着污水水质的恶化, 在实际应用中出现了污水过滤效能不稳定、反冲洗憋压、跑料等问题。悬浮污泥过滤技术是当前油田污水深度处理工艺的研究热点。悬浮污泥过滤工艺是指在含有油、悬浮固体和聚合

物的油田污水中加入一定量的絮凝剂, 在短时间内它能与污水中的聚合物形成絮凝体, 絮凝体在过滤过程中沉积于滤料层上部形成悬浮污泥层, 悬浮污泥层被当作小空隙滤料, 用以截留污水中的小油珠和细小悬浮固体, 从而达到对油田污水深度处理的目的。

笔者通过对大庆油田某污水处理站原有石英砂过滤器进行改造, 并结合悬浮污泥过滤工艺对大庆油田污水进行实际处理, 试验取得了最佳工艺参数和良好的处理效果。

## 1 石英砂过滤器的结构改造

石英砂过滤器属浅床过滤器, 依靠滤料和在滤

料床层上部形成的滤饼层来截留污水中的悬浮物和胶体。大庆油田早期在水驱污水的处理中,石英砂过滤器的效果很明显,但随着聚合物驱油技术的推广,石英砂在处理聚驱污水或含聚合物污水时,出现了滤料清洗不干净、跑料、出水水质不合格等问题。造成这种现象的原因是水中残留的聚合物在滤床上层形成黏附于滤料上的胶冻状滤饼,在正常反冲洗条件下,不能有效地将胶冻状滤饼破碎并冲洗出去。为将这种胶冻状滤饼冲洗出去,需加大反冲洗强度,而增大反冲洗强度容易造成滤料膨化率升高而出现跑料现象,使后续过滤效果变差,出水水质不达标。

经过长期考察和研究,借鉴搅拌桨式核桃壳过滤器的反冲洗技术,笔者采用耐磨搅拌齿对石英砂过滤器进行改造。改造的最主要部分是在原过滤器基础上增设搅拌系统,如此可实现在较低膨化率下,利用上部搅拌桨增加滤料之间的摩擦,破坏滤料的板结层,使滤料上的油污及悬浮物与滤料剥离。它对即使在低温下形成的板结层的破坏力也很强,克服了低温下石英砂过滤器反冲洗难的问题。安装了集油器来收集过滤器顶端的油。对布水系统也进行了改造,其目的是使装置布水更加均匀,有利于反冲洗出水,对于反冲洗水量大时,用变频调节反冲洗水

量来提高反冲洗速度,这样一来,不需要很大的反冲洗强度,即可将滤料清洗干净,来提高滤后水水质。

## 2 石英砂过滤器改造后运行参数的优化

为了能够充分发挥石英砂过滤器的潜力,进一步改善反冲洗效果,对改造后的过滤器反冲洗工艺参数进行了优化。滤料膨化率 $\leq 160\%$ ;反洗压力 $\leq 0.20$  MPa;反洗强度控制在 $15 \sim 17$  L/(s·m<sup>2</sup>);反冲洗瞬时流量为 $680 \sim 700$  m<sup>3</sup>/h;反冲洗时间为 $16$  min;反冲洗周期 $\geq 24$  h。经过现场测试,发现在试验参数范围内反冲洗效果良好,滤料再生效果好,为过滤提供了可靠保证。

### 2.1 石英砂过滤器反冲洗效果

为了进一步研究改造后石英砂过滤器的过滤效果,进行了现场试验。正式运转后对反冲洗压力、水量进行了测试,并对改造前后的参数变化进行对比,试验结果如图 1 所示。从图中可以看出,改造后滤罐反冲洗压力稳定,基本维持在 $0.17 \sim 0.20$  MPa,水流量保持在 $680 \sim 700$  m<sup>3</sup>/h。相比改造前反冲洗压力 $0.27 \sim 0.39$  MPa 有了很大改善,可降低能耗。改造前出现的反冲洗随着压力升高流量急剧降低的问题得到有效解决,同时也解决了跑滤料的问题。

(上接第 54 页)

从表 5 可知,硫在脱硫剂的表面与内部均有吸附,硫在脱硫剂的表面和近表层的吸附量明显高于脱硫剂内部。

## 3 SQ105 精脱硫过程与水解-精脱硫过程对比

有试验成本核算可知 SQ105 一步精脱硫成为水解(串精脱)脱硫的 $1/2$ 。将侧线试验脱硫工艺与当前的脱硫工艺数据进行了对比,结果见表 6。

表 6 脱硫工艺的效益对比

项目	水解(串精脱)脱硫	SQ105 一步精脱硫
COS 转化率/%	85~95	可达 100
功能	单一水解	H <sub>2</sub> S、COS 同时精脱除
耐氧性	小于 0.5%	O <sub>2</sub> 体积分数可达 1%
工艺流程	精脱硫—水解—精脱硫	一步法
操作温度/℃	低—高一低 <sup>①</sup>	35~70
能耗	高	低

注:①操作温度“低—高一低”指第一精脱操作温度较低( $< 40^\circ\text{C}$ ),水解塔操作温度较高( $90 \sim 150^\circ\text{C}$ ),第二精脱操作温度较低( $< 40^\circ\text{C}$ )。

## 4 结语

(1)侧线试验表明,所开发的 SQ105 脱硫剂能有效地脱除 CO<sub>2</sub> 气中 H<sub>2</sub>S、COS,且脱硫精度高,性能优于主反应气中水解-脱硫剂性能,具有使用温度低( $35 \sim 70^\circ\text{C}$ ),脱硫工艺简单,无需后续的精脱 H<sub>2</sub>S 的手段和降温措施,并且硫容高。

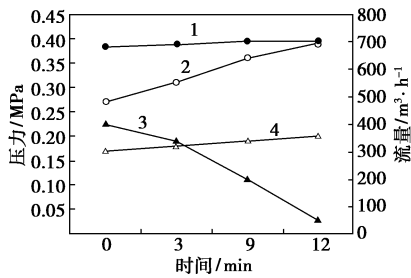
(2)可以用于较高浓度 COS 的原料气精脱硫,亦可用于 H<sub>2</sub>S 和 COS 的同时脱除。

(3)开发的 SQ105 精脱硫剂能满足工业生产装置长周期稳定运行的要求,运行费用比现在使用的工艺低。

(4)脱硫剂在生产、使用和处理过程中由于无有机溶剂、其他有机物及有害物质的引进,反应产物主要为单质硫,对环境无害,符合环保要求。

## 参考文献

- [1] 李新学,刘迎新,魏雄辉.巯基硫脱除技术[J].现代化工,2004,24(8):19-22.
- [2] 周广林,房德仁,尹长学,等.QTS-01 常温氧化锌脱硫剂[J].大氮肥,1994,17(4):309-311. ■



1—改造后反冲洗水量;2—改造前反冲洗压力;  
3—改造前反冲洗水量;4—改造后反冲洗压力

图1 改造前后反冲洗压力和流量变化图

对于石英砂这样的重质滤料,足够的水量是反洗的重要因素。改造后反冲水流量为 680 ~ 700 m<sup>3</sup>/h,保证了滤料的冲洗。同时搅拌又强化了滤料脱附所需的脱附力。黏附在滤料表层的油污和悬浮物得到了彻底的清洗,图2显示了滤料的清洗效果,图2(a)所示为改造前反冲洗后滤料表面效果,图2(b)为改造后反冲洗后滤料表面效果。改造后反洗后滤料较之改造前的滤料干净,且彼此分散。

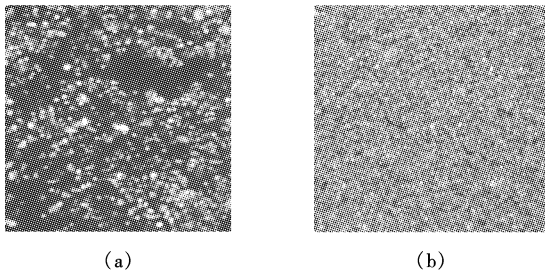
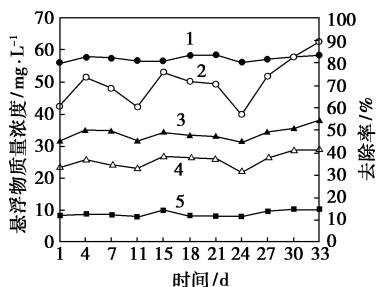


图2 改造前后滤料反冲洗效果对比

### 2.2 石英砂过滤器处理油田污水效果

2005年10月对大庆某污水处理站石英砂过滤器中的4#罐进行了改造,改造前后悬浮物处理效果如图3所示。



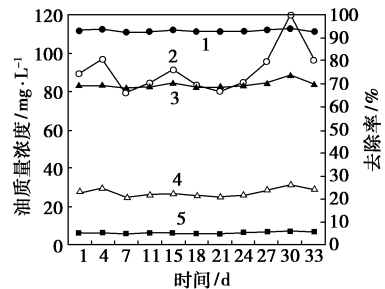
1—改造后去除率;2—进水悬浮物含量;3—改造前去除率;  
4—改造前悬浮物含量;5—改造后悬浮物含量

图3 改造前后悬浮物去除效果变化图

由图3可知,改造前出水悬浮物质量浓度为 22 ~ 29 mg/L,平均质量浓度是 25.6 mg/L,去除率为

45.0% ~ 54.0%,平均去除率是 48.5%。改造后出水悬浮物质量浓度为 8 ~ 10 mg/L,平均质量浓度为 9 mg/L,去除率为 80.0% ~ 83.0%,平均去除率为 81.8%。比改造前提高了 33.3%。可见在保持原有滤速 12 m/h 的前提下,出水悬浮物含量明显降低,当进水悬浮物质量浓度为 40 ~ 63 mg/L 时,出水悬浮物质量浓度小于 10 mg/L。

改造前后出水油含量变化见图4。



1—改造后去除率;2—进水油含量;3—未改造前去除率;  
4—改造前出水油含量;5—改造后出水油含量

图4 改造前后油去除效果变化图

从图4中可见,出水油含量也明显降低。改造前出水油质量浓度是 25.0 ~ 31.0 mg/L,平均值为 27.4 mg/L,平均去除率为 69.7%。改造后出水油质量浓度为 6.0 ~ 7.0 mg/L,平均值为 6.4 mg/L,平均去除率为 92.9%,平均去除率与改造前相比提高了 23.2%。当进水油质量浓度为 79 ~ 119 mg/L 时,出水油质量浓度小于 10 mg/L。

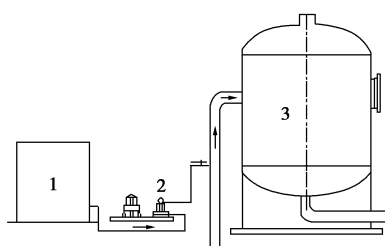
### 3 微絮凝石英砂过滤工艺处理效果

虽然对于石英砂过滤器改造后出水悬浮物和油的去除效果有了明显的改善。进水悬浮物质量浓度为 40 ~ 63 mg/L 时,出水悬浮物质量浓度平均值 < 10 mg/L;进水油质量浓度为 79 ~ 119 mg/L 时,出水油质量浓度平均值 < 10 mg/L,但仍然达不到油田污水深度处理的标准。分析原因主要在于随着油田聚驱和三元复合驱采油技术的推广,采油废水中聚合物急剧增加,引起水质发生变化,污水黏度增加,污水中油珠粒径和悬浮固体粒径都变小<sup>[2]</sup>。且聚合物多以水解聚丙烯酰胺(HPAM)的形式存在,HPAM 分子中既含有一COO<sup>-</sup>,又含有一CONH<sub>2</sub><sup>+</sup>,是一种亲水性阴离子高分子表面活性剂,能够与阳离子型絮凝剂结合<sup>[3]</sup>,从而减少絮凝剂与水中油和悬浮物结合的活性位点<sup>[4]</sup>。致使在絮凝沉降工艺段加入的絮凝剂未能有效地同乳化油和悬浮固体形成大絮体。虽然这种絮体也能将一部分细小的悬浮固体黏附沉

降出来,但仍有大量的细小悬浮固体进入过滤工艺段。

过滤工艺段的石英砂过滤器只能将约 80% 的悬浮固体截留下来,约 20% 的粒径在  $1\ \mu\text{m}$  以下的悬浮固体是不能被石英砂过滤器截流下来的,导致出水悬浮固体含量不达标。

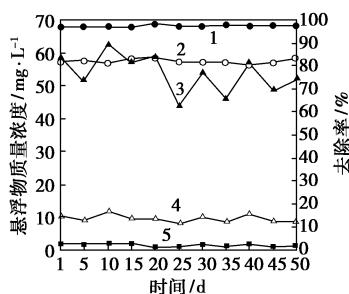
悬浮污泥过滤工艺是絮凝与过滤相结合形成的新单元处理技术,其流程为:通过在过滤器进水管道上投加少量阳离子絮凝剂,利用石油废水中的水解聚丙烯酰胺与阳离子絮凝剂形成相对较大的絮凝体,絮凝体经过筛管进入罐体,碰到滤料后,被截留在滤层上方,在滤料表层形成悬浮污泥层,污泥颗粒之间孔隙较石英砂滤料颗粒之间的孔隙要小,同时也相对增厚了滤料层,使过滤效果远高于单纯石英砂过滤,过滤后水的含油和悬浮固体含量均有明显的降低,达到了深度处理的目的<sup>[5]</sup>。试验工艺流程见图 5。



1—加药罐;2—加药泵;3—石英砂滤罐

图 5 悬浮污泥过滤工艺

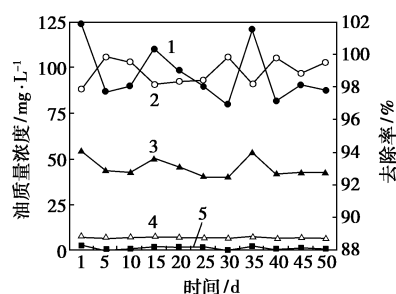
该研究中所用絮凝剂为 FX2 阳离子型絮凝剂,根据课题组成员前期试验所得结果,在投加质量浓度为  $3\ \text{mg/L}$  条件下,对已改造的 4# 罐上应用悬浮污泥过滤工艺,并对处理效果进行了监测,其结果见图 6 和图 7。



1—加药去除率;2—未加药去除率;3—进水悬浮物含量;  
4—未加药悬浮物含量;5—加药后悬浮物含量

图 6 悬浮污泥过滤对废水中悬浮物去除效果

由图 6 可见,在进水悬浮物质量浓度为  $46\sim 63\ \text{mg/L}$  的条件下,加药后出水悬浮物平均质量浓度在

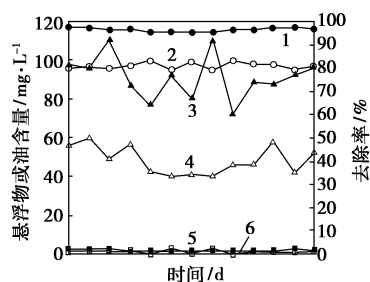


1—进水油含量;2—加药去除率;3—未加药去除率;  
4—未加药含油量;5—加药后含油量

图 7 悬浮污泥过滤对废水中油去除效果

$2\ \text{mg/L}$  以下,平均去除率达到了  $97.3\%$ 。图 7 显示了加药后油的去除效果,在进水油质量浓度为  $80\sim 124\ \text{mg/L}$  的条件下,加药后出水油质量浓度平均值在  $3\ \text{mg/L}$  以下,平均去除率达到了  $98.9\%$ 。出水悬浮物和油浓度完全达到了油田低渗透油层回注水标准。

4# 石英砂过滤器的试验结果表明了悬浮污泥过滤工艺的有效性。待 4# 石英砂过滤器连续运行 2 个月后,开始对污水处理站全部 12 个过滤罐进行结构改造和悬浮污泥过滤工艺应用,系统于 2006 年 6 月开始运行,在保持原有滤速  $12\ \text{m/h}$  的前提下,对整站系统总出水的悬浮物和油含量进行了监测,结果如图 8 所示。



1—悬浮物去除率;2—油去除率;3—进水油含量;4—进水悬浮物含量;5—出水悬浮物含量;6—出水油含量

图 8 悬浮污泥过滤工艺总悬浮物和油去除效果

由图 8 可知,当进水悬浮物质量浓度为  $40\sim 60\ \text{mg/L}$  时,改造后滤出水悬浮物质量浓度小于  $2\ \text{mg/L}$ ,去除率达到  $96.4\%$ ;当进水油质量浓度为  $80\sim 110\ \text{mg/L}$  时,改造后滤出水油质量浓度小于  $3\ \text{mg/L}$ ,去除率达到  $97.0\%$ 。整站外输水水质已经达到油田回注水的标准。目前该站所有改造的过滤器都在正常运转之中,悬浮污泥过滤工艺的应用取得了良好的效果。

(下转第 66 页)

10 529 万美元。2006 年国内纯苯进口数据来源主要见表 6。

表 6 2006 年国内纯苯主要进口来源

贸易国	进口数量/ 万 t	进口价格/ 万美元	出口数量/ 万 t	出口价格/ 万美元
阿尔及利亚	0	0	0.0087	0.0188
澳大利亚	0.0036	0.0231	0	0
巴基斯坦	0	0	0.3000	0.5241
朝鲜	0	0	13.9735	10.9329
德国	0	0	0.0008	0.0050
韩国	22361.9804	18199.4227	12139.9900	9936.2406
马来西亚	1190.4267	1147.5575	0.0087	0.0213
美国	0.0002	0.0187	956.4132	757.4797
日本	2572.5878	2136.6151	2382.2651	1913.1869
沙特阿拉伯	929.7046	651.9089	0	0
苏丹	0	0	0.0125	0.0298
中国台湾省	0	0	3481.5429	2643.8143
泰国	314.5786	255.0210	0	0
香港	591.8740	575.1724	0	0
新加坡	1491.2841	1273.6109	0	0
伊朗	0	0	0.0156	0.0647
印度	312.9713	292.9354	6.4000	24.9160
越南	0	0	1.8440	2.1205
扎伊尔	0	0	2.3500	0.5537

从表 6 可以看出,2006 年我国最大的纯苯供应国是韩国,其次是日本、新加坡和马来西亚,而其他

国家进口量极少,对我国市场基本没有影响。

2006 年我国纯苯进出口贸易方式见表 7。

从表 7 可以看出,2006 年我国“纯苯”的贸易方式共有 7 种,即保税仓库进出境货物、保税区仓储转口货物、边境小额贸易、进料加工贸易、来料加工装配贸易、一般贸易及其他,其中居主要地位的是一般贸易。

表 7 2006 年国内纯苯主要贸易方式

贸易方式	进口数量/ 万 t	进口价格/ 万美元	出口数量/ 万 t	出口价格/ 万美元
保税仓库进出境货物	2743.0654	20259.1150	9383.6040	70332.7930
保税区仓储转口货物	0	0	600.6978	4364.0830
边境小额贸易	0	0	1.5675	13.4700
进料加工贸易	303.2339	2215.0760	604.1643	5497.8940
来料加工装配贸易	0.3758	3.2410	3293.3757	23714.5290
其他	0.0036	0.2310	0	0
一般贸易	26718.7326	222845.1940	5101.7187	48976.3680

## 4 结论

在亚洲、北美和西欧这三大消费区之间,纯苯的贸易量目前还微乎其微,但其区域内的贸易还是活跃的,日本每年出口纯苯近 30 万 t,主要销往韩国,其次是中国台湾。面对中国大陆市场对纯苯的巨大需求,海外纯苯供应厂商势必加大和加快进入大陆市场的步伐,大陆纯苯行业将面临新的挑战。如何加大产业集中度,把企业做大做强,不断增强市场竞争力,是国内纯苯企业面临的严峻问题。■

(上接第 58 页)

## 4 结语

(1)通过在原有石英砂过滤器基础上增设搅拌系统进行工艺改造,可实现在较低膨化率条件下去除效率的大幅提高。

(2)在改造后的石英砂过滤器上应用悬浮污泥过滤工艺可有效地对油田污水进行深度处理,整站系统长期运行效果良好。滤出水悬浮物和油的含量均低于油田回注水标准,可直接作油田低渗透油层回注水使用。

## 参考文献

- [1] 王素芳,姚光源,李家俊,等.采油污水处理及回用研究[J].工业水处理,2006,26(3):71-73.
- [2] Logsdon G S, Testing direct filtration for the treatment of high-turbidity water[J]. AWWA, 1993, 85(12):39-45.
- [3] 史列军.聚合物驱采出液分析与利用研究[J].油田化学,1997,14(3):243-247.
- [4] 邓述波,周抚生,余刚,等.油田采出水的特性及处理技术[J].工业水处理,2000,20:10-12.
- [5] 王培凤,赵平健,刘芳.微絮凝直接过滤工艺处理低浊度原水试验研究[J].青岛理工大学学报,2005,26(6):96-98. ■