

节水与回用

## 超滤/电渗析法处理驱采污水与回用

王北福<sup>1</sup>, 于水利<sup>1</sup>, 聂立宏<sup>2</sup>, 镇祥华<sup>1</sup>, 梁春圃<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. 大庆油田有限  
责任公司 第五采油厂, 黑龙江 大庆 163513)

**摘要:** 为将油田驱采出水经处理后回用作聚合物配制用水, 开展了超滤与电渗析联用处理含聚合物污水的试验研究。结果表明, 管式超滤膜能有效去除水中的原油、悬浮物和聚合物等杂质, 保证了电渗析装置的平稳运行, 而电渗析是一种经济有效的降矿化度技术; 处理出水能够达到和清水一样的配液效果, 从而可以代替清水用于现场配制聚合物溶液。

**关键词:** 驱采污水; 超滤; 电渗析; 回用

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2005)10-0093-03

### Ultrafiltration/Electrodialysis Process for Treatment and Reuse of Polymer-flooding Sewage

WANG Bei-fu<sup>1</sup>, YU Shui-li<sup>1</sup>, NIE Li-hong<sup>2</sup>, ZHEN Xiang-hua<sup>1</sup>, LIANG Chun-pu<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology,  
Harbin 150090, China; 2. No. 5 Oil Production Factory, Daqing Oilfield Limited  
Company, Daqing 163513, China)

**Abstract:** In order to have the polymer-flooding wastewater treated and reused for preparation of polymer, the experimental study was conducted on the combined ultrafiltration/electrodialysis process for treatment of polymer-containing wastewater. The result shows that tubular ultrafiltration membrane is able to remove crude oil, suspended substances, and polymer from the wastewater and ensures the reliable operation of electrodialysis device. Electrodialysis is a cost-effective technology for demineralization; the treated effluent has the same effectiveness as the fresh water for preparation of polymer solution, so that it can be used for field preparation of polymer solution in place of fresh water.

**Key words:** polymer-flooding sewage; ultrafiltration; electrodialysis; reuse

#### 1 试验装置及方法

##### 1.1 试验装置

超滤膜为5-HFP-276-PVI型管式超滤膜, 共4根, 两两串联后再并联, 单根管长为152.4 cm, 直径为2.54 cm, 有效面积为0.10 m<sup>2</sup>, 其材质为PVDF, 截留分子质量为120 ku, 经处理后使其表面带负电荷, 因而具有抗油污染的性能。

电渗析所用离子交换膜为3361和3362型异相

阴阳离子交换膜, 共60对, 按两极4段安装, 膜的有效面积为770 cm<sup>2</sup>, 阳膜面电阻 < 12 Ω · cm<sup>2</sup>, 阴膜面电阻 < 15 Ω · cm<sup>2</sup>, 阴阳极都为钛涂钌电极。

##### 1.2 工艺流程

试验地点为大庆采油二厂聚南八污水站(采用自然沉降、混凝、两次压力过滤工艺), 其出水先进入超滤膜进行预处理, 然后进入电渗析装置。调节电渗析的电压分别为5、10、15、20、25、30 V, 固定浓

水和极水流量均为 50 L/h, 调节淡水流量为 100、150、200、250、300 L/h 进行脱盐试验。具体工艺流程见图 1。



图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of experimental process

1.3 试验材料及检测方法

油: 荧光光度法; 聚合物: 分光光度法; 悬浮物: 质量法; 阳离子分析采用原子吸收法; 阴离子分析采用滴定法。

试验所用聚合物为部分水解聚丙烯酰胺 (HPAM), 其分子质量为  $1.2 \times 10^7$  u, 水解度为 25% ~ 30%; 所配制聚合物溶液的粘度及抗剪切性用粘度计测定。

1.4 原水水质

污水站出水水质见表 1。

表 1 原水水质

Tab. 1 Raw water quality  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
数值	1 329.62	34.07	17.02	797.85	187.32
项目	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	总矿化度	悬浮物	油
数值	1 952.64	60.02	4 378.54	15.8	15.5

2 结果与讨论

2.1 超滤效果

超滤几乎可去除所有的原油和悬浮物及绝大部分的聚合物(见表 2), 其出水水质满足电渗析的进水水质要求。

表 2 超滤的除污效果

Tab. 2 Effect of removing pollutants by UF

项目	原油/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	悬浮物/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	聚合物/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	粒径中值/ $\mu\text{m}$	矿化度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
出水	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 50$	未检出	4 371.68

2.2 电渗析降低矿化度的效果

2.2.1 电压和淡水产量对处理效果的影响

不同电压和淡水流量下, 电渗析降低矿化度的效果(用脱盐率表示)如图 2 所示。

由图 2 可知, 当淡水产量固定时, 脱盐率随电压的提高而逐渐增加, 最高脱盐率可达 95% 以上; 在相同的电压下, 产量越大则脱盐率越低; 如要达到相同的脱盐率, 则产量大时所需电压高。

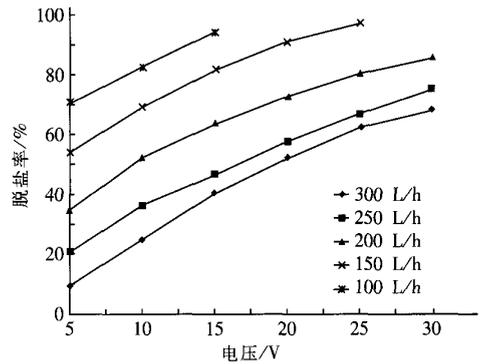


图 2 电压和淡水产量对脱盐率的影响

Fig. 2 Influence of voltages and flows on desalting rate

综上所述, 电渗析可有效降低含聚合物污水的矿化度, 并且可通过调整电压或淡水产量来获得不同矿化度的出水。

2.2.2 回用作配液用水时的脱盐率要求

利用电渗析出水配制 1 000  $\text{mg/L}$  的聚合物溶液, 测定其粘度并与用清水配制的作比较, 结果见表 3。

表 3 聚合物溶液粘度的比较

Tab. 3 Comparison of viscosities of polymer solutions

水样	电导率/ $(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$	总矿化度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	脱盐率/ %	聚合物溶液粘度 $(\text{mPa} \cdot \text{s})$
清水	557	388.47		40.5
污水	5 961	4 378.54	0	18.7
水样 1	950	847.56	80	52.4
水样 2	740	767.16	82	66.2
水样 3	560	449.64	89	74.6
水样 4	350	314.36	92	>100

由表 3 可知, 用含聚合物污水配制的聚合物溶液的粘度不到清水的一半, 而用脱盐率为 80% 水样配制的聚合物溶液粘度已大于用清水配制的聚合物溶液粘度, 因此在现场试验时, 将含聚合物污水矿化度降低到 848  $\text{mg/L}$  (相应的电导率为 950  $\mu\text{S/cm}$ ) 作为控制指标值。由于电导率的测定比较容易, 所以以电导率作为控制指标。

2.2.3 淡水产量和能耗的关系

结果表明, 在淡水产量为 200 L/h 时能耗最低 [只有 0.65  $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ ], 因此选定淡水产量为 200 L/h。

由于浓水流量为 50 L/h, 而极水可以循环回用作电渗析进水, 所以淡水的产率为 80%。含聚合物污水达到 80% 脱盐率时直流变压器及进水泵的能

耗为 $0.15 (\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ ,所以电渗析部分的能耗为 $0.8 (\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ 。

### 2.3 配液的性能评价

#### 2.3.1 粘度

试验结果表明,在相同的聚合物浓度下,低矿化度处理出水的配液粘度大于清水,而清水的配液粘度又远大于含聚合物污水的配液粘度,即含聚合物污水经处理后其配液性能大大提高;当达到同一粘度时,由低矿化度处理出水配制的聚合物溶液浓度最低,清水次之,含聚合物污水的最大。所以在满足现场驱油的配液粘度时,采用低矿化度处理出水配制可节省聚合物用量。

#### 2.3.2 抗剪切性能

分别用清水、含聚合物污水和处理出水配制浓度为 $1\ 000 \text{ mg/L}$ 的聚合物溶液,然后测其粘度随剪切速率的变化。结果表明,由处理出水配制溶液的抗剪切性优于清水的,满足驱油要求;而直接用含聚合物污水配制溶液的抗剪切性能远低于清水,不能满足现场要求。

#### 2.3.3 处理前后离子组成的变化

试验结果表明,含聚合物污水经超滤预处理及电渗析脱盐后,其矿化度降低了约80%,配液的性能大大改善。尽管处理出水的矿化度仍远高于清水( $388.47 \text{ mg/L}$ ),但配液效果却好于清水。这是因为经处理后其 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量分别降至 $0.8 \text{ mg/L}$ 和 $0.3 \text{ mg/L}$ ,大大低于清水中的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量。根据王宝江的研究结果,在低矿化度的情况下, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 对聚合物粘度的影响占主要地位,而随着矿化度的增加则 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 对聚合物粘度的影响越来越小,在矿化度达到 $3\ 500 \text{ mg/L}$ 以上时,影响聚合物粘度的主要因素是矿化度总值,而不是 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量。含聚合物污水的矿化度高达 $4\ 467.60 \text{ mg/L}$ ,所以配液效果很差,而处理出水的矿化度值虽比清水的高,但 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量很低,所以配液粘度和抗剪切性能都优于清水。

### 3 经济评价

按 $300 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理规模进行经济评价。

#### ① 设备费

电渗析:27.24万元;超滤膜:40.86万元。设备折旧按10年计,则折旧费为 $0.63 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水。

#### ② 运行费用

制水电耗:电渗析为 $0.8 (\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ 淡水,超滤为 $0.93 (\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ 淡水,如电价以 $0.445 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计,则电费为 $0.77 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水。

药剂清洗费用:电渗析为 $0.021 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水,超滤为 $0.044 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水,总计为 $0.065 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水。

#### ③ 设备维护费

主要是膜更换费,其中离子交换膜按电渗析设备造价的8%计算,则维护费用为 $0.20 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水;超滤膜按主体设备造价的7%计算,则维护费用为 $0.26 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水。总维护费为 $0.46 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水。

综上所述,制水成本为 $1.93 \text{ 元}/\text{m}^3$ 淡水,低于购买清水的费用( $2.00 \text{ 元}/\text{m}^3$ ),同时减少了污水排放量。

### 4 结论

① 超滤和电渗析的组合使用可以把含聚合物污水处理为配液用水,其中超滤能有效去除含聚合物污水中的油、悬浮物和聚合物等,保证了电渗析的良好脱盐性能;电渗析能有效去除各种离子,改善了含聚合物污水的配液性能。

② 电渗析的运行参数:脱盐率为80%,出水电导率为 $950 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,淡水产率为80%,此时的能耗为 $0.8 (\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ 。

③ 处理出水的矿化度比清水高许多,但 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量显著低于清水,所以其配液粘度及抗剪切性能都超过了清水,可代替清水配制聚合物溶液进行驱油。

④ 生产低矿化度出水的成本为 $1.93 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,低于现场购买清水的费用。

⑤ 超滤部分的投资及运行、维护费较高,因而寻求一种既能满足电渗析进水水质要求又非常廉价的预处理设备,或者开发抗污染的离子交换膜,是降低处理成本的关键,也是进一步的研究方向。

### 参考文献:

- [1] 卢祥国,闫文华,王克亮,等. 聚合物驱产出水配制聚合物溶液的粘度损失及影响因素研究[J]. 油气采收率技术,1997,4(1):28-32.

电话:(0451)86075826

E-mail:wangbeifu1974@yahoo.com.cn

收稿日期:2005-05-11