

# 再生水用于盐湖滩田生产的可行性研究

王磊

(南风集团技术中心, 山西 太原 044000)

**摘 要:**运城盐湖滩田生产工艺特殊, 一年之中, 春季淡水溶解盐类矿床, 经过夏季蒸发提浓、配兑, 冬季母液分离得到产品。盐湖地处运城盆地, 春季干旱少雨, 淡水资源不足, 严重制约滩田生产。城市污水进行深度处理达二级排放标准的再生水, 是解决水资源短缺的有效途径。从政策、技术、经济等方面进行分析, 再生水可作为滩田生产用水, 既保证了充足的水源供应, 又大幅度降低了生产成本, 可收到良好的社会效益和经济效益。

**关键词:**城市污水; 再生水

**中图分类号:** TV212      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008—858X(2009)04—0037—04

国外早在 1926 年就开展了再生水的回收利用, 我国真正将污水深度处理后回用于城市生活和工业生产则是近 20 年才发展起来的。对于缺水城市来说, 城市污水再生回用比开发新水源更为重要, 更具有现实意义。目前, 多数的再生水用于生活杂用、城市供热、景观环境、工业冷却、锅炉除尘等方面, 而用作盐湖生产工艺用水的未见报道。

## 1 运城盐湖滩田生产简介

运城盐湖位于运城盆地东南部, 东西长 27 km, 南北宽 3~5 km, 呈 NE—SW 向带状分布。盆地内水域面积 102 km<sup>2</sup>, 是一封闭的、具有广泛排水系统的硫酸盐湖泊<sup>[3]</sup>。

运城盐湖历史悠久, 食盐生产历史 4000 多年, 生产水硝 50 多年, 生产粗镁将近 20 年。现年产水硝 (1.8~2.0) × 10<sup>6</sup> t 粗镁 4 × 10<sup>4</sup> t 均为室外滩田作业, 季节性强, 量多面广, 一年为一个生产周期。

滩田生产时, 矿体经淡水溶解, 得到低浓度卤水 (15%~20%), 经与老滩母液 (上一年产

硝分离的母液) 配兑, 得到符合硫酸钠生产结晶的卤水, 经自然蒸发将卤水提高到需要浓度。随着冬季气温的下降, 卤水温度也随之降低, 十水硫酸钠从卤水中自然冷冻析出, 分离母液, 得到十水硫酸钠 (水硝)。产硝母液中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 含量高的可作为下年生产大田粗镁原料卤水。

盐湖主要由雨水及地表、地下径流补充。经过多年的循环生产以及近年来气候条件恶化, 干旱少雨, 地表水位下降, 盐湖已由天然内陆湖泊转变为人工湖泊, 若每年没有人工大量水的补充, 生产将无法进行。

从 20 世纪 80 年代开始, 在干旱缺水之年主要靠购买黄河水进行生产。近年来, 由于盐湖资源不平衡开发, 黄河上游来水减少, 滩田生产的质和量受到一定的影响, 生产成本也随之上升。

## 2 再生水情况简介

根据生产建设需要, 2006 年富斯特污水处理厂由政府投资 5.2 × 10<sup>7</sup> 元人民币建成运行,

日处理水量为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 收集的生活污水、工业废水和径流污水等进行二级深化处理, 使市区污水处理率达到 63%, 再生水指标达《城镇污水处理厂污染物排放标准》二级标准。

2.1 污水处理工艺流程

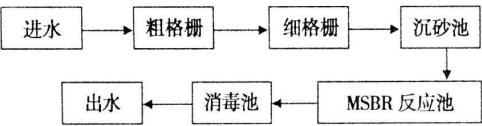


图 1 水处理工艺流程

Fig. 1 Water treatment technological process

污水自流进入格栅槽内, 经粗格栅除去大块的机械杂物后进入集水池, 经污水泵提升后, 细格栅去除水中较细小的杂物及纤维类物质, 经两道格栅截留后的污水, 进入沉砂池去除比重较大的无机颗粒 (如泥砂等), 沉砂后的污水自流进入 MSBR 反应池生化处理, 在 MSBR 池中通过厌氧反应和好氧微生物的吸附降解作用去除水中大部分有机物和悬浮物, 经紫外线消毒处理达标后自流排出。

2.2 污水处理结果

表 1 再生水出水监测结果

Table 1 Detection result of effluent reclaimed water

| 检测项目                       | 出水    | 单位   | 二级标准限值          |
|----------------------------|-------|------|-----------------|
| pH 值                       | 7.86  |      | 6~9             |
| 化学需氧量 (COD <sub>cr</sub> ) | 48    | mg/L | 100             |
| 生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> )  | 15.5  | mg/L | 30              |
| 悬浮物 (SS)                   | 47    | mg/L | 30              |
| 阴离子表面活性剂                   | 0.176 | mg/L | 2               |
| 石油类                        | 0.02  | mg/L | 5               |
| 氨氮                         | 23.8  | mg/L | 25              |
| 总磷                         | 0.23  | mg/L | 3               |
| 粪大肠菌群                      | 1023  | 个/L  | 10 <sup>4</sup> |
| 色度                         | 5     | 倍    | 40              |
| 铅                          | 0.031 | mg/L | 0.1             |

再生水出水数据来自环境监测站对污水处理厂 2008 年第 4 季度监督性监测结果 (表 1)。可以看出, 污水经过处理后, 出水指标除 SS 超标和氨氮接近标准值, 其它各项远低于标准值。

3 再生水用于盐湖滩田生产的可行性分析

3.1 政策可行性分析

2000 年, 我国以“十五”纲要为标志, 再生水回用被正式写入文件, 发展“污水处理回用”以实现“水资源的可持续利用”。由建设部、国家环保总局、科学技术部联合发布《城市污水处理及污染防治技术政策》, 提倡各类规模的污水处理设施按照经济合理和卫生安全的原则, 实行污水再生利用, 发展再生水在农业灌溉、绿地浇灌、城市杂用、生态恢复和工业冷却等方面的利用。

按照《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》和《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》要求, 到 2010 年, 全国设市城市的污水处理率不低于 70%; 缺水城市再生水利用率达到 20% 以上, 新增城市中水回用量  $3.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。“十一五”期间新增城市污水日处理能力  $4.5 \times 10^7 \text{ t}$  再生水日利用能力  $6.8 \times 10^6 \text{ t}$ 。

可以看出, 国家正鼓励甚至强制性要求城市污水处理及再生水回用。

3.2 技术可行性分析

1) 水质对比分析结果 (南风集团技术中心分析室提供)。通过表 2 重要指标的对比, 再生水水质与卤水相当, 在色度及悬浮物方面则有明显优势, 这是由于卤水经过多年的母液分离、蒸发、配兑、沉积, 卤水中有机质含量较高, 粘度较大, 导致色度及悬浮物量大。

表 2 卤水与再生水质量比较

Table 2 Quality comparison between brine and reclaimed water

| 检测项目     | 滩田卤水  | 再生水   | 计量单位 |
|----------|-------|-------|------|
| 氨氮       | 40.8  | 23.8  | mg/L |
| 总磷       | 1.3   | 0.23  | mg/L |
| 阴离子表面活性剂 | 0.30  | 0.176 | mg/L |
| 砷        | 0.014 | 0.014 | mg/L |
| 悬浮物 (SS) | 80    | 47    | mg/L |
| 色度       | 20    | 5     | 倍    |
| 铁        | 0.03  | 0.174 | mg/L |
| 锰        | 未检出   | 0.069 | mg/L |
| 总镍       | 2.30  | 0.038 | mg/L |
| 总铜       | 0.63  | 未检出   | mg/L |
| 总锌       | 0.58  | 0.037 | mg/L |
| 铅        | 0.01  | 未检出   | mg/L |
| 总镉       | 0.05  | 未检出   | mg/L |

2)再生水引入对水硝生产的影响。盐湖滩田生产是利用太阳能蒸发水分和进行自然冷冻,以  $\text{Na}^+, \text{Mg}^{2+} // \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- \cdot \text{H}_2\text{O}$  四元体系相图为依据,根据硫酸钠溶解度于  $-20 \sim 20^\circ\text{C}$  范围内随着温度的变化而剧烈变化的关系将水硝结晶出来。水硝的纯度与卤水的过饱和度、结晶速度、卤水中其他的杂质含量有关。杂质可能包裹在结晶的内部,也可能存在于母液中。生产中应严格控制卤水的组成和浓度。

卤水经过调配到最佳浓度,在气温最低时进行固液分离,得到质量最佳水硝。水硝质量指标见表 3。

表 3 水硝质量标准

Table 3 Quality standard of  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

| 指标项目             | 一级   | 二级   | 三级   |
|------------------|------|------|------|
| 硫酸钠含量, % $\geq$  | 40.0 | 39.0 | 38.0 |
| 钙、镁总量, % $\leq$  | 0.20 | 0.40 | 0.60 |
| 水不溶物含量, % $\leq$ | 1.0  | 1.0  | 1.0  |

由于硫酸钠、钙、镁量是卤水的组成部分,这几项指标可以通过控制工艺条件来保证。水硝中的水不溶物主要来自液相中的悬浮物,控制其含量主要取决于水源。由表 2 可以看出,再生水的悬浮物低于卤水,与黄河水比较,具有明显的优势。

包裹于结晶内的杂质是影响水硝质量的另一因素,它直接影响下游产品元明粉、硫酸镁的质量。卤水因多年生产、母液循环,微量离子富集,卤水中除铁含量低、锰未检出外,其余离子

含量均高于再生水。近年来虽对元明粉及硫酸镁的质量并无影响,但母液中重金属离子的富集对水硝的生产有一定的威胁,应严格控制再生水的质量,超标水禁止排入盐湖。

按《城市污水再生利用工业用水水质标准》—工艺与产品用水标准,主要检测项目有 pH 值、悬浮物、色度、浊度、COD、BOD、氨氮、总磷、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群等,对卤水的质量有不同的影响。SS、色度、浊度通过水不溶物含量来影响水硝质量。水体中 COD、BOD 反映了水体中有机物污染的程度,由于它们在水体中分解而消耗大量的溶解氧,破坏水体中氧的平衡,使水质恶化。水体中氮、磷增加,水中浮游生物大量繁殖,出现富营养化状态,消耗大量的溶解氧,也使水体恶化。阴离子表面活性剂可造成水面产生不易消失的泡沫,消耗水中的溶解氧。高浓度卤水中会有少量特殊微生物生长,溶解氧的减少不会使水质恶化,因滩田生产为期 1 年,经过长时间的蒸发、配兑,水中的溶解氧会恢复平衡。再生水中的粪大肠菌群会因卤水浓度的升高逐渐消失。

3)对下游产品的影响。盐湖滩田生产的水硝及粗镁是生产元明粉及硫酸镁的原料。再生水的色度有黄河水、卤水无法比拟的优势,可以明显提高元明粉的白度。母液及卤水中的重金属离子富集,但对元明粉、硫酸镁的影响几乎没有,一年多的再生水使用也没有看出影响。

表 4 硫酸钠及硫酸镁质量

Table 4 Quality of sodium sulfate and magnesium sulfate

| 产品名称 | 检测项目  | 标准要求     | 检测时间 /a |      |      |      |      |
|------|-------|----------|---------|------|------|------|------|
|      |       |          | 2000    | 2004 | 2006 | 2008 | 2009 |
| 元明粉  | 铁 /%  | $<0.002$ | 合格      | 合格   | 合格   | 合格   | 合格   |
|      | 白度 /% | $>85$    | 92.6    | 92.5 | 92.1 | 93.5 | 94.0 |
| 硫酸镁  | 铅 /%  | 合格       | 合格      | 合格   | 合格   | 合格   | 合格   |

从表 4 数据可以看出,再生水对水硝下游产品硫酸钠及硫酸镁的影响几乎没有。

4)对盐湖生态的影响。为保护盐湖生态,2001 年 5 月山西省政府正式批准建立运城湿地自然保护区,运城盐湖也属于湿地自然保护区。除滩田生产结晶池外,盐湖生长有大量的

浮游动植物,浮游动物有 3 大门类 18 个种属,浮游植物计 5 门 33 属<sup>[3]</sup>,它们是维持湿地系统的重要成分。再生水大量补给,对维持湿地有着重大意义,而湿地系统对再生水有进一步的净化作用。根据人工湿地的研究,其净化效果好,去除 NP 能力强,可以深度处理各项污染

物,大幅度降低污染物的浓度<sup>[2]</sup>。再生水进入盐湖后,自然流动过程本身也是再处理过程。经过这样处理的再生水用于滩田生产,可以提高产品的质量,且不影响下游产品。再生水的补充可以不受季节与气候的影响,不断扩大水域面积,保护盐湖生态环境,使再生水利用、滩田生产以及盐湖生态形成一个良性循环。

3.3 经济效益分析

污水处理厂年处理水量  $1.5 \times 10^7 \text{ m}^3$  左右,可全部用作盐湖滩田生产用水,每立方米再生水价格约为 0.50 元左右,引入的黄河水水价为 1 元,在用水量为  $1.5 \times 10^7 \text{ m}^3$  时,可节约成本  $7.5 \times 10^6$  元人民币。

黄河水由水库、渠道进入盐湖,水量利用率仅有 80%,再生水经由地下密封水道进入盐湖,水量无损失,可 100% 利用。

4 结论与建议

1)再生水用于盐湖滩田生产,在技术上是可行的。

2)再生水用于盐湖滩田生产,每年共可为水硝生产节约成本  $9.5 \times 10^6$  元。

3)用再生水生产的水硝及其下游产品,各项质量技术指标达标,水不溶物含量则优于黄河水。

4)再生水年处理量  $1.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,可全部用于滩田生产,使运城水资源进入良性循环。再生水为工业生产提供了新的非常经济的水源,减少新鲜自来水用量,还减少控制水体污染引起的治理费用。

5)应加强污水再生利用过程中的化学与生物安全保障技术,制订合理的指标体系和标准<sup>[1]</sup>,在保证污水处理设施良好运行的前提下,严格进行水质监控及产品质量监控。

参考文献:

[1] 蒋以元,唐运海,廖日红,等.城市第二水源再生利用技术进展[J].工业水处理,2008,28(2),5—8  
[2] 吴树彪,董仁杰.人工湿地污水处理应用与研究进展[J].工业水处理,2008,34(8),5—9  
[3] 孙培霞.运城盐湖资源及开发利用情况[J].盐湖研究,2007,15(2),38—40.

Feasibility Study for Salt Lake Field Production by Reclaimed Water

WANG Lei

(Technical Center of Nanfeng Chemical Industry Group Co Ltd Yuncheng 044000, China)

Abstract The field production process of Yuncheng salt lake was special in which the fresh water dissolved salts deposit in spring was concentrated by evaporation and exchanged in summer got product by mother-liquor isolation in winter. The salt lake is located in Yuncheng basin, it is very dry in spring, the restrict of fresh water affects the field production. The utilization of reclaimed water supplied by municipal wastewater treatment plant can improve the situation of water resources and meet China's environmental protection policy, not only reducing the cost of production, but also receiving good social and economic benefit.

Key words Municipal wastewater Reclaimed water