

反渗透系统采用软化与阻垢方式经济性比较

郑州开元 宋景颇 深圳双菱 汤福涛

[摘要] 反渗透装置在运行过程中，进水中的难溶盐类物质在膜元件内不断被浓缩且超过其溶解度极限时，它们就会在反渗透膜膜面上发生结垢。为了防止结垢造成反渗透膜元件的损坏，国内通常采用的方法是软化和添加反渗透专用阻垢剂等。本文主要介绍了反渗透系统为了防止结垢而分别采用软化处理及添加反渗透专用阻垢剂所带来的经济性、环保性及操作管理等方面的不同，以供同业者参考。

[关键词] 软化除盐；反渗透专用阻垢剂；经济性

如果反渗透水处理系统采用 50%回收率操作时，其浓水中的盐浓度就会增加到进水浓度的两倍，回收率越高，产生结垢的风险性就越大。目前出于水源短缺或对环境影响的考虑，提高回收率（通常为 75%）或设置反渗透浓水回收系统成为一种习惯性做法，在这种情况下，采取精心设计、考虑周全的结垢控制措施和防止微溶性盐类超过其溶解度而引发沉淀与结垢尤为重要。

理论上能够应用于防止反渗透膜面上发生无机盐结垢的措施有：加酸、加阻垢剂、强酸阳树脂软化、弱酸阳树脂脱碱度、石灰软化、预防性清洗和调整操作参数等措施，而随着技术的发展和实际运行工作的检验，目前常用的措施主要是添加反渗透专用阻垢剂和强酸阳树脂软化两种方式。

1 添加反渗透专用阻垢剂

阻垢剂可以用于控制碳酸盐垢、硫酸盐垢以及氟化钙垢等，通常有三类阻垢剂：六偏磷酸钠（SHMP）、聚合有机磷酸盐和多聚丙烯酸盐。

相对聚合有机阻垢剂而言，六偏磷酸钠价廉但不太稳定且用量大，它能少量的吸附于微晶体的表面，阻止结垢晶体的进一步生长和沉淀。但须使用食品级六偏磷酸钠，还应防止SHMP在计量箱中发生水解，一旦水解，不仅会降低阻垢效率，同时也有产生磷酸钙沉淀、在计量箱内发生微生物污染的危险。因此，目前极少

使用SHMP，有机磷酸盐效果更好也更稳定，同时也适应于防止不溶性的铝和铁的结垢，通过分散作用还可以减少SiO₂结垢的形成。

目前，多聚丙烯酸盐虽然也有一定的用量，但是多聚丙烯酸盐遇到阳离子聚电解质或多价阳离子时，可能会发生沉淀反应，例如铝或铁，所产生的胶状反应物，非常难以从膜面上除去。

因此，目前能够安全有效的使用于反渗透装置的反渗透专用阻垢剂主要是以有机磷酸盐为主的药剂，经过多年的发展，国产的阻垢剂已经占领了国内市场的一半左右，并逐渐形成了企业标准，但国家标准还暂时没有颁布。

2 强酸阳树脂软化

可以使用Na⁺离子置换和除去水中结垢阳离子如Ca²⁺、Ba²⁺和Sr²⁺。交换饱和后的离子交换树脂用NaCl再生，这一过程称为原水软化处理。在这种处理过程中，进水pH不会改变。因此，不需要采取脱气操作，但原水中的溶解气体CO₂能透过膜进入产品侧，引起电导率的增加，操作者仍可以在软化的后的水中加入一定量的NaOH(直到pH8.2)以便将水中残留CO₂转化成重碳酸根，重碳酸根能够被膜所脱除，使反渗透产水电导率降低，一般膜元件的脱盐率在中性pH范围内较高。

这一过程的主要特点是相当高的NaCl消耗，存在环境问题，也不经济，目前已经有越来越多的反渗透水处理系统放弃了软化技术而采用添加反渗透阻垢剂的手段来降低成本，较少环境污染，提高水资源利用率等。

3 案例分析

某啤酒集团公司郑州分厂纯水车间采用反渗透技术，其原水来自本地地下水（其中水质分析报表见表1）。1×20吨/小时反渗透系统在最初的设计过程中采用钠离子交换器来去除原水中的钙、镁、钡、锶硬度等杂质，并在反渗透装置前加入NaOH来调节系统进水pH值，其系统工艺流程如下：

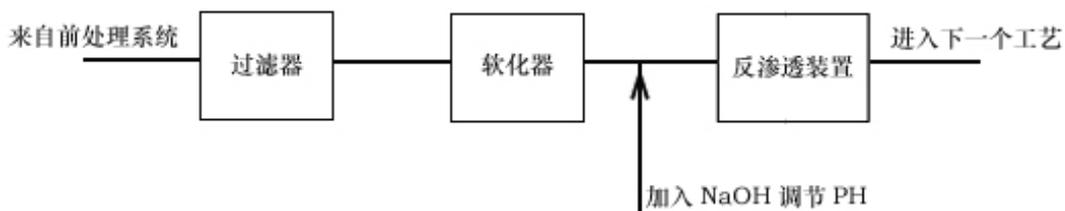




表 1 系统原水全水质分析报表

水样名称	清水	取样日期	2005. 8. 10
采样地点	委托检验	分析日期	2005. 8. 10-20
气温, °C		水样温度, °C	18
项目	分析值		
总 硬, mmol/l	6.60		
全铁 (Fe), mg/l	0.323		
钙离子 (Ca ²⁺), mg/l	72.14		
镁离子 (Mg ²⁺), mg/l	36.45		
氨离子 (NH ₄ ⁺), mg/l	<0.03		
钠离子 (Na ⁺), mg/l	95.88		
钾离子 (K ⁺), mg/l	23.33		
硫酸根 (SO ₄ ²⁻), mg/l	144.03		
碳酸氢根 (HCO ₃ ⁻) mg/l	262.39		
氯离子 (Cl ⁻), mg/l	116		
硝酸根 (NO ₃ ⁻) mg/l	15		
全硅 (SiO ₂), mg/l	5.5		
电导率, us/cm	690		
pH 值	7.76		
备注:			

后经过改造, 将反渗透于处理部分的软化器部分去除, 在原来 NaOH 加药部

分更改为添加反渗透专用阻垢剂 KY-150，如图：



系统运行方式进行更改后，经过一段实践的运行，系统表现稳定，各项参数运转正常。更换前后反渗透的参数如下：

表 2 运行参数

项目	进水压力 /MPa	产水量/ m ³ /h	脱盐率 /%	浓水量 / m ³ /h	回收率 /%
改造前	1. 21	20	98. 0	7	74
改造后	1. 20	20	98. 2	6. 8	74. 6

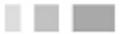
注：2005 年 10 月份监测

在添加反渗透专用阻垢剂后，我们也对反渗透水处理系统的运行经济性等方面也进行了详细地分析，主要经济指标如下：

表 3 主要耗材指标（元/月）

项目	工业盐	NaOH	反渗透专用阻垢剂 KY-150	合计
改造前	7800	600	无	8400
改造后	无	无	2750	2750
节省				5650

按照每台软化器每月再生、正洗、反洗等消耗 1000 吨水，当地水价 2.5 元



元/吨；软化器运行增加消耗的电量按每月 1000KWH，当地电价 0.6 元/KWH；在合计每月水处理系统耗材所节省的费用，那么每月**直接节约运行成本**约：

$$5560+1000 \times 2.5+1000 \times 0.6=8660 \text{ 元}$$

$$\text{合计每年节约成本约: } 8660 \times 12 = \underline{103,920 \text{ 元}}$$

4 结束语

以上案例分析中的经济性分析若将有可能节省的设备维护费用和膜元件更换费用计算在内，通过离线清洗并结合现有提供的“保运服务”等，经济效益将更加可观。

随着反渗透技术的日益普及应用，相关的技术服务的形式和内容也越来越丰富，设备的应用过程中不可避免地会有各种问题出现，但只要在多样的服务中选择合适的方式，就能够大幅度降低运行和维护成本。