

重度污染反渗透清洗前后的经济性分析

宋景颇 汤福涛

[摘要] 反渗透系统遭受污染的情况下，反渗透整体效率下降；特别是遭受重度污染时，反渗透技术作为一种除盐的方式，其运行及使用的经济性将受到严重的制约。本文主要介绍了反渗透膜重度污染对反渗透膜元件寿命的危害、系统运行成本的增加、原材料及资料的浪费等等，并在离线清洗前后对系统进行经济性分析。

[关键词] 反渗透的重度污染；经济性分析

反渗透系统的污染通常是指系统进水中所含的悬浮物、胶体、有机物、微生物及其它颗粒对 RO 膜产生的表面附着、沉积污染或者水中的化学离子成分在膜表面因浓差极化等因素导致的离子积大于溶度积后的化学垢类生成等现象。

1 反渗透系统污染程度的界定

反渗透系统污染程度的界定通常通过其运行参数的变化程度进行判断，通常情况下满足以下任何一个条件的即可被认为是轻度污染：

- (1) 在正常的给水压力下，标准化后的产水量较正常值下降 10—15%；
- (2) 为维持正常的产水量，经温度校正后的给水压力增加 10—15%；
- (3) 产水水质降低 10—15%（进水电导不变时，产水电导增加 10—15%）；
- (4) 系统各段之间压力降明显增加。

随着反渗透膜元件污染程度的加深，系统运行参数继续恶化，已经严重影响到水处理系统的安全生产，这种情况下的反渗透膜元件污染一般称为重度污染，其满足以下任何一个条件：

- (1) 在正常的给水压力下，标准化后的产水量较正常值下降超过 30%；
- (2) 为维持正常的产水量，经温度校正后的给水压力增加超过 3kgf/cm²；
- (3) 系统单段压差降较系统初期投运时增加 2kgf/cm² 以上；
- (4) 被污染的膜元件重量超过正常数值 3kg 以上；

重度污染往往是重度物理污染和重度化学污染的叠加，某些情况下，二者同时伴生。

2 反渗透重度污染的危害

反渗透系统遭受到轻度污染后，系统运行所受到的影响还不十分明显，对生产的危害也不是很大，此时应采取在线清洗（特殊污染应立即采取离线清洗措施才能解决）对污染物进行清除。如若不然，随着反渗透系统发展到重度污染的情况，会带来以下的危害：

2.1 反渗透膜元件寿命缩短

重度污染发生时，有以下几个因素会导致反渗透膜元件寿命的严重缩短，系统换膜成本增加：

- (1) 反渗透膜元件遭受污染严重，污染物复杂，膜元件重量增加过大，虽然可以通过离线清洗解决，但因成本过高，清洗价值不大，使得膜元件提前报废；
- (2) 系统压差过大或进口压力过高，使得单支膜元件所承受压力降过高，其外部玻璃钢（FRP）保护层破裂，内部膜片因失去保护被撕裂、脱盐层破裂；（俗称“爆膜”）
- (3) 反渗透在遭受重度污染后，因清洗措施不当，造成膜元件脱盐率下降，使用寿命缩短；
- (4) 反渗透系统进水中所含颗粒物、氧化性物质等使得反渗透系统一段膜元件被机械划伤或氧化降解；

2.2 反渗透系统回收率下降，水耗增加

为了保证反渗透装置二段后几支膜元件浓水侧有足够的浓水流量以产生紊流、携带其表面的杂质离开系统，所有的反渗透厂商对膜元件浓水侧的流量都有一个最低流量限制。

因此对于设计合理的反渗透装置，其浓水量也应是一个比较合理的数值，无论发生什么情况，浓水流量都应保持不变。在此种情况下，产水量的降低及即意味着系统回收率的下降，对于重度污染的系统来讲，30%产水量的下降，意味着回收率将低于66%，水耗增加将超过14%。

2.3 水处理药剂的严重浪费

在反渗透系统回收率降低的情况下,预处理系统中加药量(絮凝剂、助凝剂、反渗透阻垢剂等)也只能严格按照反渗透进水量的大小进行调整,而和回收率的变化毫无关系。这样,在发生重度污染时,大于14%的水资源浪费同时也意味着大于14%的水处理药剂费用的增加。

2.4 制水电耗明显增加

反渗透是利用浓水侧与产水侧的压力差克服渗透压、管道及膜元件阻力获得产品水的。随着系统污染程度的增加,制造同样的产水产品量需要越来越高的进水压力,也就需要反渗透之前的高压泵提供越来越多的动力。对于重度污染的膜元件,进水压力增加3kgf/cm²,就意味着较正常情况下需要增加超过26%的电能。

2.5 反渗透装置寿命的大幅度降低

反渗透重度污染发生后,过高的进水压力使得高压泵、反渗透压力容器及相关阀门所承受的压力都接近极限,这样势必会降低以上部件的使用寿命。同时,重度污染发生时,频繁的在线清洗也成为日常工作之一,强酸、强碱、高温的清洗环境会降低不锈钢管道、橡胶密封的强度,最终导致管道、密封泄漏,使用寿命大幅度降低。

3 反渗透膜元件离线清洗的标准

作为反渗透膜元件清洗的一种新手段,离线清洗在克服重度污染方面越来越发挥着其独特的优势,经过离线清洗后的反渗透系统应能达到以下标准:

$$Q \geq 0.98 \times Q_0$$

$$T \geq T_0$$

$$P \leq P_0 + 0.5 \times a$$

式中Q为清洗后系统的产水量, Q₀为系统刚投运时的系统产水量; T为清洗后系统的脱盐率, T₀为系统清洗前的系统脱盐率; P为清洗后系统的进水压力(单位是BAR), P₀为系统刚投运时的系统进口压力; a表示运行年数。

4 案例分析

某集团公司热电厂2×60吨/小时反渗透系统,由于原水水质的突变,使得反渗透系统进水严重恶化,膜元件遭受到严重污染,系统运行参数急剧恶化,反渗透装置运行的经济性的不到体现,运行成本严重增加。经离线清洗及对预处理进行调整并调试后,运行状况得到很大改观,系统运行经济性和设备寿命也得到

相当大的提高。清洗前后的运行参数分别见表 1、表 2:

表 1 清洗前的运行参数

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 /%
#1RO	1.80	36	92.1	20	64
#2RO	1.81	32	91.6	20	61.5

注: 2004 年 5 月份监测

表 2 清洗后的运行参数

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 /%
#1RO	1.18	60	97.2	20	75
#2RO	1.21	60	96.8	20	75

从以上数据看出,清洗后该二套反渗透装置的运行参数基本恢复到其额定水平,产品水水质也得到很大改观,反渗透系统清洗前后每百吨反渗透产品水所消耗成本平均计算如下:

表 3 反渗透清洗前后经济性分析

项目	电耗/kwh	水耗/吨	絮凝剂/kg	RO 阻垢剂/kg
清洗前	140	158	1.28	0.474
清洗后	55	133	1.06	0.4
清洗后节省	85	25	0.22	0.074

按照此两套反渗透装置每年供水 720,000 吨产品水,当地电价 0.6 元/kwh,水价 1.5 元/吨,絮凝剂价格 8 元/kg,RO 阻垢剂价位 52 元/kg 计算,重度污染



的反渗透膜元件经过离线清洗后直接节约运行成本约:

百吨水节约运行成本: $85 \times 0.6 + 25 \times 1.5 + 0.22 \times 8 + 0.074 \times 52 = 94.1$ 元

合计: $720000 \div 100 \times 94.1 = \underline{677,520}$ 元

5 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。