制药厂反渗透系统的工艺及系统运行

吴红星[1], 张勇进[1], 孙会莹[1], 栾兆坤[2]
(1.多元水环保技术产业(中国)有限公司,北京 1026003; 2.中国科学院生态环境研究中心,北京 100084)

摘 要:本文介绍了江苏某制药厂两级反渗透纯水系统在调试和其后的运行过程中出现的问题以及处理措施。

关键词:反渗透;制药纯水;调试
中图分类号:TQ028.8 文献标识码:B 文章编号:1000-3770(2007)01-085-03

江苏某制药厂进行水处理系统改造,原有水处理系统工艺为一级反渗透+离子交换,产量为 10m³/h,现改造成两级反渗透工艺,产水量 20m³/h,利用 PLC 和触摸屏构成 DCS 全自动控制系统。原水为自备井井水,出水水质指标以 2000 版《中国药典》为检测标准。

1 原水水质与工艺流程

1.1 原水水质

原水来自用户自备深井,为老井,井深 100m,水量充沛。水质见表 1。

地下水一般基本没有悬浮物,污染指数 SDI 值小,浊度低,硬度较大。从表 1 来看,该井水水质的浊度和色度都较大,所以预处理措施不能简化。

1.2 工艺流程

1.3 流程说明

1.3.1 预处理

原水进入原水箱,经过原水泵提升入石英砂过滤器,去除水中的悬浮颗粒物、胶体等。虽然原水为井水,但浊度达到 1.0NTU,故而在设计上石英砂多介质过滤器没有省略。在运行控制上要求每天反洗一次,反洗流量为 54 m³/h。

采用果壳活性炭进行吸附处理,去除水中的色度、有机污染物、余氯等。

活性炭过滤罐后的 SDI 值为 2.6。在石英砂过滤罐入水管路上有絮凝剂的加药装置,在初期运行 SDI 值为 2.6 时,絮凝剂没有添加。

经砂滤、炭滤后的出水再进入保安过滤器进一步去除水中的细小颗粒物,以保护反渗透膜免受损伤,在保安过滤器前设投加阻垢剂装置,用于减缓钙、镁离子在膜表面结垢,增加膜的寿命,阻垢剂选用 Argo 公司的反渗透膜专用井水阻垢剂 MDC220,

表 1 某制药厂原水水质
Table 1 Raw water quality of a pharmaceutical factory

色度(度)	浊度(NTU)	pH	总硬度(mg/L)	氨氮(mg/L)	耗氧量(mg/L)	亚硝酸盐(mg/L)	硝酸盐氮(mg/L)	硫酸盐(mg/L)
5	1	7.62	278	0.02	0.53	0.011	5.4	33.2
氯化物(mg/L)	氟化物(mg/L)	氰化物(mg/L)	挥发酚类(mg/L)	铁(mg/L)	锰(mg/L)	细菌总数(CFU/mL)	总大肠杆菌(CFU/100mL)	粪大肠杆菌(CFU/100mL)
40	0.65	<0.002	<0.002	<0.3	<0.1	9	未检出	未检出

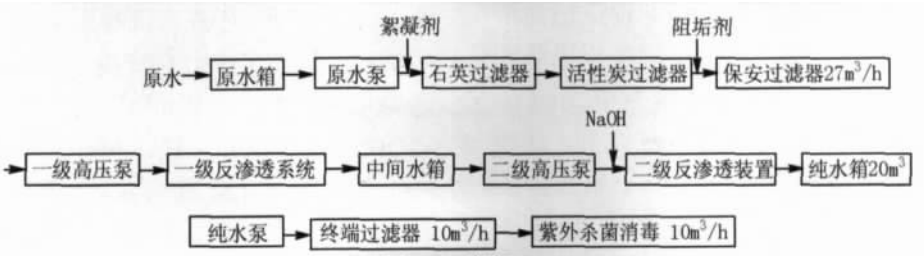

图 1 工艺流程
Fig.1 Technological process

收稿日期:2005-12-1195
作者简介:吴红星(1973-),工程师,硕士研究生,研究方向为纯水处理;联系电话:13141346406;E-mail:wuhoxi1@sina.com。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过药剂的专用软件计算，在LSI值为2.9左右时，阻垢剂的添加量为4.31mg/L，实际运行就按照这个量一直添加。

1.3.2 反渗透系统

预处理后水的浊度、SDI值、余氯含量均符合反渗透进水的要求，再经高压泵增压后进入两级反渗透装置，彻底去除水中的各种离子、有机污染物、细菌、病毒等微生物。为保证反渗透出水水质符合要求，以及两级反渗透膜的脱盐率，在两级反渗透中间设pH调节系统。反渗透出水进入纯水箱。整个反渗透系统配套进水高压泵、压力容器以及相应的仪器、仪表、阀门、机架、管道及管件等若干，配备化学清洗装置。

膜组件和压力容器是整个反渗透装置的核心部件，膜组件采用的是美国海德能公司的ESPA2超低压复合膜和LFC2耐污染膜。根据海德能反渗透的设计导则，按照ESPA2和LFC2膜的水通量，综合考虑最大和最小给水流量，考虑水温因素，结合设计经验，计算出一级膜为ESPA2-8040,24只，二级膜为LFC2-8040，18只。一级膜采用6芯膜壳4根，采用2∶1∶1两段的排列方式进水；二级膜采用6芯膜壳3根，采用2∶1两段的排列方式进水。一级反渗透的浓水全部排放，二级反渗透的浓水全部回流到保安过滤器的入水口。

1.3.3 消毒系统

采用紫外线杀菌消毒，然后经终端过滤器0.22μm滤芯过滤后供给蒸馏水机等工艺用水。

1.3.4 自控系统

本系统为全自动控制系统，自动快冲洗，利用PLC监测各水箱液位、活性炭罐后的SDI值、一级和二级反渗透出水电导率，监测原水、一级净水、二级纯水、一级浓水、二级浓水的流量，监测二级纯水的pH值，监测各泵、阀的工作状态，面板有触摸屏可以修改工艺参数和调整运行状态。

2 系统的调试

在调试过程中，开始按照NaOH的理论添加量40mg/L添加时，发现二级产水的电导率很难降到2μS/cm以下，实际当添加的NaOH量为46.2mg/L，二级出水的电导率稳定在为1.81μS/cm左右，比较接近于2μS/cm的警戒电导率值。由于原水中的HCO_3^-可很好被去除，游离的CO_2则基本都能透过反渗透膜而保持不变。根据$H^+ + HCO_3^- = H_2CO_3 = CO_2 + H_2O$，$OH^-$增加时，反应向左进行，在pH>8.2的系统中，游离的CO_2全部转化成HCO_3^-而通过二级膜被去除，使二级的产水电导率达到最低值，NaOH的添加量很大的原因是因为一级反渗透出水的pH较低，为5.6，需较大的NaOH投入量才能使pH升高到8.3左右，从表2中的数据也可看出，当一级的产水的pH升高到8.3左右，二级的产水电导率达到最低值1.79μS/cm。

表2 NaOH添加量与出水电导率的关系

Table 2 Relationship between NaOH dosage and effluent conductivity

NaOH添加量(mg/L)	一级电导率(μS/cm)	一级出水pH	二级电导率(μS/cm)
0	12	5.6	6.3
15.3	9.7	6.5	5.38
24.0	9.3	6.9	4.7
32.5	8.9	7.3	3.6
46.2	8.0	8.3	1.79
55.5	7.9	8.7	3.14

3 系统运行

由于该制药厂运行记录很全，自控系统中也能自动存贮大量的历史记录，所以对故障的分析判断提供了很好的帮助。

3.1 系统运行一个月左右出现的问题

3.1.1 发现的问题

系统运行一个月左右，发现一级的电导率急剧上升，一级浓水流量计中可见大量白色固体垢，经化验主要成份为碳酸钙无机盐成份。将一级膜取出称重。通过膜的重量数据(表3)可看出，膜正常状态下湿润态为16.3kg，而最后的一根膜的重量达到了初始重量的2.1倍，且越靠出水侧的膜结垢越严重。膜的表面、膜壳和一级浓水管道中也有大量的白色固体垢，最后一根膜壳的浓水出口处的垢厚达8mm。

经对原水水质重新化验，没有发现原水水质的明显变化。二级进水的pH升高后，二级浓水的pH值也随之升高，而二级浓水全部回流到保安过滤器前，汇合经过预处理系统的原水经一级高压泵进入一级膜，自控系统对一级膜入水水质的pH值没有监测。由于一级膜进水pH升高，导致$Ca^{2+} + 2OH^- + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$，$Mg^{2+} + 2OH^- + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$，直接导致LSI的增大，一级膜结垢，并随着运行时间的延长、浓水水流的不畅而结垢速度不断加

表3 膜的重量

Table 3 Membrane weight

膜位置	最后1支	倒数第2支	倒数第3支	倒数第4支	倒数第5支	倒数第6支	倒数第7支	倒数第8支
重量(kg)	34.18	33.06	29.04	19.92	19.1	20.38	17.8	17.1

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

剧，膜壳中所有的水接触表面也随着运行时间的推移,结垢的厚度不断增长。

3.1.2 处理措施

针对原水为井水,水中硬度达到 278mg/L 的情况,在一级反渗透系统添加了脱气塔处理工艺,取消原来的中间水箱; 将 NaOH 的添加量改为 1.0mg/L,仅用以提高二级出水的 pH 值;对剩余的反渗透膜进行了杀菌和药洗; 对添加了脱气塔后的自控系统也进行了更改。

稳定运行后，一级产水经脱气塔后电导率为 9μS/cm,二级产水电导率为 1.55μS/cm。

3.2 运行三个月后出现的问题

3.2.1 问 题

运行 3 个月后,又出现一级电导率超标的情况,同时二级出水硝酸盐有超标的情况。原水中有时含有大量肉眼可见物,或白色物质。

检测活性炭后的 SDI 值，发现由 2.6 增加到了 3.3。分析是预处理出现了问题，检测原水水质有变化,水的浊度升高,故砂滤罐的负荷变重。虽然膜要求 SDI 值小于 5,最好小于 4,但本系统发现当 SDI 大于 3.2 时,最终产水的水质虽然也达标,但不稳定。

3.2.2 处理措施

在砂滤罐的前面又添加了一个砂滤罐，经两次砂滤处理和一次活性炭处理后,检测 SDI 值恢复到 2.2。考虑到原水的不稳定,在第二级砂滤罐的入水处添加 ST 絮凝剂 0.3mg/L,随制水时添加。稳定后出水水质稳定,电导率稳定在 1.50μS/cm 左右。

3.3 运行一年后出现的问题

运行一年后二级膜前压力升高了 17.2%，二级出水化验出水硝酸盐超标。

分析应是微生物对膜造成的污染，用杀菌剂对一级反渗透膜和二级反渗透膜都进行了处理，同时药洗了膜,重新投入运行稳定后检测出水合格。膜前压力恢复到原始的 102.7%。

3.4 运行一年半后出现的问题

运行一年半后,一级出水正常,二级出水突然水质变差,具体表现在氯化物不合格,经检验发现细菌内霉素、氯化物、电导率、硝酸盐均不合格,后经逐个膜壳取样发现，二级高压泵一端的一根膜壳中出水严重超标。打开后发现二级反渗透的每个膜壳的最后一根膜的靠膜壳封头侧的一端都发生了不同程度的断裂,6 只膜中有 5 只出现断裂现象,有 3 只反渗透膜的端盖全掉了。

经分析，设备每天基本都是 24h 运行，长期高压、疲劳运行情况下可能导致膜壳与膜之间有间隙,膜在膜壳中有位移造成膜的物理损坏。

更换了出现封头断裂现象的膜后,产水电导率符合要求,但是硝酸盐超标。经杀菌处理后,产水合格。

3.5 运行两年后出现的问题

在运行两年后,二级出水氯化物超标,经检查二级膜入水侧膜壳中封头与膜的密封处出现问题。检查密封圈并无老化现象，经分析是二级高压泵的启动时冲击较大造成的。更换了相应的密封圈,同时将二级高压泵的控制改为软启动和软停止，并更改相应的电气控制。改造完后,系统稳定运行,出水合格。

4 结 语

良好的日常管理和完善的记录是反渗透系统有效运行的重要保证。当系统出现产水电导率升高时,必须对运行数据加以分析才能准确地找出原因,当总流量、给水压力、膜压力,氯浓度、回收率和预处理系统等的某一项或若干项发生变化时，都可能导致出水水质不合格。

新沂某制药厂的调试和运行过程中出现的问题、原因分析以及处理措施,对其它采用井水作为原水的二级反渗透工程的设计可以作为借鉴。

参考文献:

[1] 冯逸仙,杨世纯.反渗透水处理工程[M].北京:中国电力出版社,2000.

[2] 钱应璞.制药用水系统设计与实践[M].北京:化学工业出版社,2001.

[3] 许振良.膜法水处理技术[M].北京:化学工业出版社,2001.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS AND DESIGN OF RO SYSTEM IN A PHARMACEUTICAL PLANT

WU Hong-xing[1], ZHANG Yong-jin[1], SUN Hui-ying[1], LUAN Zhao-kun[2]

(1.Duoyuan Clean Water Technology Industrial (China) Co., Ltd., Beijing 102600, China;

2.Research Center for Eco-Environmental sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100084, China)

Abstract: In this paper is introduced the problems appeared in the course of debugging and operation of two-stage RO pure water system in a pharmaceutical plant in Jiangsu Province, and related measures taken.

Key words: reverse osmosis (RO); pharmaceutical wastewater; debugging

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net