

大型热电站锅炉中低含盐量补给水处理方案选择

游晓宏

(江苏省电力设计院, 江苏 南京 211100)

摘要:对以中低含盐量为水源的大型全离子交换、超滤(UF)+反渗透(RO)+一级除盐+混床、UF+一、二级RO+混床和UF+一、二级RO+电除盐(EDI)4种锅炉补给水处理方案进行了技术经济分析。结果表明,以中低含盐量为水源的大型锅炉补给水处理系统推荐采用技术性能优、投资和运行费用适中的UF+极低压RO+一级除盐+混床处理方案,当原水含盐量超过270 mg/L时,则应选择技术和经济性能均优的UF+RO+一级除盐+混床处理方案。

关键词:锅炉补给水;超滤;反渗透;电除盐

中图分类号:TM621.8

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)04-0073-04

对存在外供热、供水等要求的火电厂,锅炉补给水处理系统规模往往较为庞大,在整个电厂建设的投资比例提高,因此,选择一个技术经济合理的水处理方案颇受投资、设计、运行方关注。

为大幅减少酸碱费用、保证运行的经济性,对于含盐量高于500 mg/L水源,大型水处理应用投资较高的反渗透(RO)处理技术^[1]在业内已达成共识。但对于200 mg/L左右的中低含盐量水源,水处理是采用全离子交换还是RO处理方案,常常意见相左,甚至争议较大。此外,RO后级系统又有全离子交换、两级RO+混床、两级RO+电除盐(EDI)等诸多可选子方案,各子方案的技术经济性差别较大,常常也是问题讨论的焦点。文中结合具体工程设计实践,在深化方案设计和全面分析技术特性、一次性投资及酸碱药品消耗、电耗、人工成本等运行费用的基础上,力图优化选择中低含盐量水源的大型电站补给水处理方案。

1 锅炉补给水处理方案

某供热电厂建设2×600 MW超临界直流炉燃煤发电供热机组,热负荷600 t/h,考虑水汽循环等损失,设计锅炉补给水处理系统出力695 t/h,锅炉补给水采用经混凝澄清处理、含盐量约185 mg/L的长江水,污染较轻,水源是典型的中低含盐量水。

常规设计锅炉补给水处理考虑采用活性炭过滤+一级离子交换除盐+混床处理方案(简称方案一),其工艺流程及主要设备参数如图1所示。

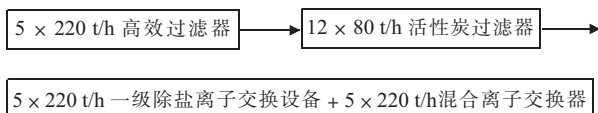


图1 方案一工艺流程及主要设备参数

RO预脱盐处理具有大幅降低再生频度、减少再生酸碱应用和废水排放量、显著提高运行操作自动化水平及提高和稳定出水品质等突出优点^[2],因此可考虑RO处理方案。但对于大型系统,RO脱盐前预处理系统如采用传统的高效过滤+活性炭过滤,设备数量多,系统庞大复杂,占地面积大。如采用高度集成化的超滤(UF)膜组件,不仅出水水质高,且大大简化系统,大幅减少布置占地^[3]。因此,RO预脱盐处理前宜采用UF处理。综上所述,锅炉补给水处理可考虑UF+RO+一级离子交换除盐+混床处理方案(方案二)。

出于节能考虑,常规RO水处理装置在设计使用条件下,RO本体初始运行最大进水压力宜小于1.5 MPa^[4],但对大型水处理系统,如能进一步降低RO运行操作压力,可取得非常显著的节能效果。事实上,对99.7%高脱盐率低压复合膜RO后的全离子交换系统,即使应用在原水含盐量高达700 mg/L场所,运行周期也较长,一般超过2个月才再生一次,为避免树脂压实结块,常常中途强制再生。针对水源含盐量中偏低水质特点,设计采用99%的稍低脱盐率极低压复合膜,虽然膜的投资因此约增加12%,但运行压力可由常规的0.9~1.2 MPa降至0.45~0.6 MPa,其应用既保证后级除盐系统合理运行周期,又大大节约能耗。方案二的工艺流程及主要设备参数如图2所示。

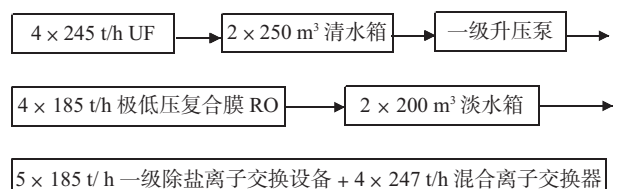


图2 方案二工艺流程及主要设备参数

为简化系统,进一步提高运行操作的自动化水平,混床前一级离子交换除盐系统可用二级RO代替,形成UF+一级、二级RO+混床处理方案(简称方案三),其工艺流程及主要设备参数如图3所示。

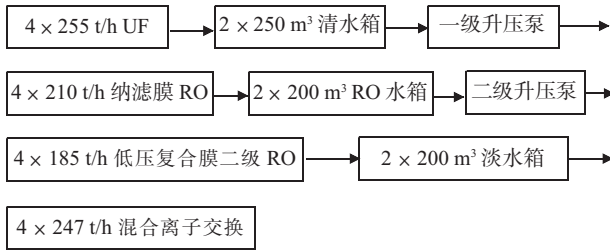


图3 方案三工艺流程及主要设备参数

床型离子交换处理具有运行中断、使用酸碱和排放废液的缺点,近年来,EDI处理成为水处理应用新技术。以EDI工艺应用为核心的UF+RO+EDI全膜处理技术具有运行自动连续、产水品质高、安装运行维护简便等优点,由于设备均为紧凑模块化装置,系统布置占地面积和空间体积小,特别是EDI技术以电再生方法来生产高纯水,避免了酸碱使用和废液排放,为一种新型的清洁生产工艺,具有显著的环境效益^[5]。因此,可考虑UF+一级RO+二

级RO+电EDI处理方案(简称方案四),其工艺流程及主要设备参数如图4所示。

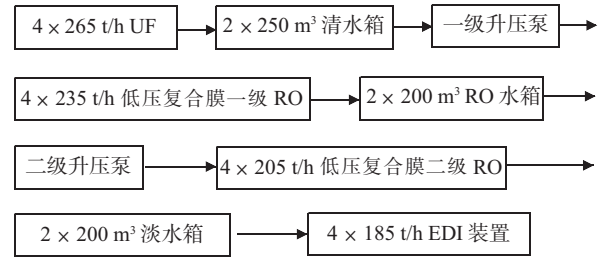


图4 方案四工艺流程及主要设备参数

2 方案技术经济比较

2.1 技术性比较

4种方案的技术性比较如表1所示。

综合各项技术性能,特别是考虑系统复杂程度、酸碱消耗、自动化程度、环境效益、安全保障等性能,方案的技术性评价由高到低依次为:方案二>方案三>方案四>方案一。

2.2 经济性比较

根据方案设计,计算4种方案各项投资和运行费用,具体详如表2所示。

表1 4种方案技术性比较

序号	项目	方案一	方案二	方案三	方案四
1	出水品质	受进水水质波动等影响,出水品质较差,不稳定	好,稳定	好,稳定	高,稳定
2	系统复杂程度	设备阀门多,管道布置密集,系统复杂	设备阀门较多,管道布置较密集,系统较复杂	大部分设备采用模块化结构,管道阀门较少,系统简单	全部设备采用模块化结构、管道阀门少,系统简洁明快
3	厂房占地面积/m ²	1 683,较小	1 530,最小	1 530,最小	1 710,最大
4	厂房体积/m ³	13 357,最大	9 547,较小	8 602,最小	9 243,较小
5	运行自动化程度 操作维护量大小	单体设备及控制点多,再生操作频繁,自动化程度较低,操作维护量大	单体设备及控制点多,但再生操作少,自动化程度较高,操作维护量较小	单体设备及控制点少,再生操作少,自动化程度高,操作维护量小	单体设备及控制点少,无再生操作,自动化程度最高,操作维护量最小
6	故障维修率	系统复杂,维修率高	系统复杂,但基本连续稳定运行,维修率低	系统简单,运行连续稳定,维修率低	系统简单,运行连续稳定,维修率低
7	年酸耗量/(t·a ⁻¹)	2 050	25	24	~0
	年碱耗量/(t·a ⁻¹)	1 510 耗量巨大	131 耗量小	59 耗量小	~0 基本无消耗
8	酸碱再生废液排放量/(万t·a ⁻¹)	23 再生频繁,排废量大	1 再生量小,排废量极小	0.5 再生量小,排废量极小	~0 无需酸碱再生,清洁生产工艺
9	施工安装量	系统复杂,安装量大,安装周期长	系统较复杂,安装量较大,安装周期较长	系统简单,安装量小,安装周期短	系统简洁,安装量最小,安装周期最短
10	供水安全保障性	技术成熟,供水安全保障性较高	技术先进,应用成熟,安全保障性高	技术先进,应用较为成熟,但RO故障会导致系统短期内难以满出力运行,安全保障较低	技术先进,但缺乏推广应用经验,一旦EDI膜块发生不可逆转性故障系统陷入瘫痪,安全保障低

表 2 4 种方案经济性比较数据 万元

序号	项目	方案一	方案二	方案三	方案四
1	设备及设备性材料及安装费	1 767	3 459	3 784	4 809
2	管材及安装费	724	573	410	352
3	控制系统投资	450	350	300	250
4	建构筑物投资	764	601	539	551
5	Σ总投资	3 705	4 983	5 033	5 947
6	年电费	63	114	175	229
7	年再生酸碱费	269	21	7	0
8	年混凝剂、阻垢剂、杀菌剂、还原剂等其他药品费	7	114	127	139
9	每年废水处理排放费	46	2	1	~0
10	年维修费	54	38	30	24
11	年树脂、活性炭更换费	46	23	2	0
12	年膜更换费	0	224	294	492
13	年人工费	90	60	60	60
14	Σ年总运行费用	575	596	696	944
15	方案动态年费用	954	1 106	1 211	1 552

注:(1)年运行按 5 500 h 计,各方案运行费用按满足正常 695 t/h 供水量核算,各方案系统进水含盐量水平为 185 mg/L。(2)所采用的价格为 2009 年价格水平。

由表 2 可看出,在原水含盐量约 200 mg/L 时,各方案投资费用:方案四 >> 方案三~方案二 >> 方案一;各方案运行费用:方案四 >> 方案三 > 方案二~方案一。

考虑资金的时间价值,根据各方案年费用大小,185 mg/L 含盐量水平下,各方案的经济性评价由高低依次为:方案一 > 方案二 > 方案三 >> 方案四。

3 原水含盐量对方案经济性影响的定量分析

在上述方案经济性定量分析基础上,可建立各费用与含盐量关系的数学关系式,进而解决原水含盐量对方案经济性影响的问题。

在一定含盐量范围内,原水含盐量对各方案的经济性影响主要体现在:原水含盐量越高,方案一的酸碱费因此上升,树脂一次性投资和年树脂更换费用有所上升;原水含盐量越高,渗透压上升,RO 运行电耗上升,但 RO 运行压力主要取决于膜元件本身的动力压力和水力损失,一定含盐量范围内,水的渗透压仅是运行压力中很微小的一部分,故方案二、三、四的一级 RO 由于进水含盐量升高所引起的运

行电耗上升忽略不计;当含盐量高于 350 mg/L 时,为保证后级系统运行,膜的选择由极低压复合膜改为低压复合膜,膜的投资下降。

根据上述分析,以表 2 经济比选数据为基准值,拟定原水含盐量 C 对系统一次性投资 I 和静态运行费用 Z 关系式分别如下:

$$I = (I_0 - I_{R0}) \times (C/C_0)k + I_{R0} \times C/C_0 + I_M \quad (1)$$

式中: I 为某含盐量水平下的静态一次性投资,万元; I_0 为基准含盐量水平下的静态一次性投资,万元; I_{R0} 为基准树脂投资,万元; C 为原水含盐量,mg/L; C_0 为基准含盐量,mg/L; k 为除树脂投资外,与含盐量相关投资倍增指数,方案一取 0.2,其他方案取 0; I_M 为因含盐量变化导致膜型选择而引起的投资调整量,万元。

$$Z = Z_M + (Z_{AC} + Z_{WW}) \times (C/C_0) + I \times (I - \eta_1) \times \eta_2 \quad (2)$$

式中: Z 为某含盐量水平下的静态运行费,万元/年; Z_M 为基准含盐量水平下的除再生酸碱费、废水处理排放费、维修费以外的静态运行费,万元/年; Z_{AC} 为基准含盐量水平下的再生酸碱费,万元/年; Z_{WW} 为基准含盐量水平下的废水处理排放费,万元/年; I 为某含盐量水平下固定资产的静态一次性投资,万元; η_1 为膜、树脂等设备性材料一次性投资占总静态一次性投资比率,方案一取 8%,方案二取 25%,方案三取 40%,方案四取 60%; η_2 为固定设备年维修费率,取 2.5%。

由式(1,2)计算出各原水含盐量水平下的静态一次性投资以及运行费用,结果如表 3、表 4 所示。

表 3 各含盐量水平下 4 种方案的静态一次性投资

含盐量 / (mg·L ⁻¹)	方案一 / 万元	方案二 / 万元	方案三 / 万元	方案四 / 万元
185	3 705	4 983	5 033	5 947
250	3 778	4 983	5 033	5 947
300	4 181	4 983	5 033	5 947
350	4 577	4 897	4 932	5 839
400	4 968	4 897	4 932	5 839
500	5 381	4 897	4 932	5 839

表 4 各含盐量水平下 4 种方案的静态运行费用

含盐量 / (mg·L ⁻¹)	方案一 / 万元	方案二 / 万元	方案三 / 万元	方案四 / 万元
185	575	596	696	944
250	655	596	696	944
300	717	596	696	944
350	779	612	720	964
400	841	612	720	964
500	965	612	720	964

由于考虑了一次性投资资金占用的时间价值,

采用动态年费用法可准确反映评价各含盐量水平下的各方案经济性。综合表3、表4的静态一次性投资和运行费用经济数据,以40年为方案寿命期,以10%为社会基准收益率,4种方案动态费用见表5。

表5 各含盐量水平下各方案的动态年费用

含盐量 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	方案一 /万元	方案二 /万元	方案三 /万元	方案四 /万元
185	954	1 106	1 211	1 552
250	1 042	1 106	1 211	1 552
300	1 145	1 106	1 211	1 552
350	1 247	1 112	1 224	1 561
400	1 349	1 112	1 224	1 561
500	1 515	1 112	1 224	1 561

根据表5可知,一定含盐量范围内,随着含盐量上升,方案一的经济性显著下降,而方案二、三、四经济性几乎不变。当原水含盐量上升至约270 mg/L 时,对大型水处理系统而言,方案二的经济性开始高于方案一,且经济性最好。

Make-up Water Treatment Scheme Selection for Thermal Power Plants with Water Source of Medium and Low Salt Content

YOU Xiao-hong

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211100, China)

Abstract: This thesis carries out detailed technical economical analysis on four make-up water treatment schemes for large-scale boiler with water source of medium and low salt content, namely “total demineralization system,” “ultrafiltration plus reverse osmosis plus primary demineralization system plus mix bed,” “ultrafiltration plus primary and secondary reverse osmosis plus mix bed” and “ultrafiltration plus primary and secondary reverse osmosis plus electrodeionization.” Based on the analysis, the author has come to the conclusion that large-scale boiler make-up water treatment system with water source of medium and low salt content shall select “ultrafiltration plus extra-low pressure reverse osmosis plus primary demineralization system plus mix bed” scheme because of its excellent technical capability and moderate investment and operating expense. If the salt content of raw water exceeds 270 mg/L , then “ultrafiltration plus reverse osmosis plus primary demineralization system plus mix bed” treatment scheme with superior technical and economic performance shall be chosen.

Key words: boiler make-up water treatment, ultrafiltration, reverse osmosis, electrodeionization, technical economical comparison

(上接第72页)

Technical Reconstruction of the Water-ring Vacuum Pump System in 300 MW Thermal Power Generating Unit

WU He-sheng, FAN Chao-guang

(Taicang Harbour Golden Cocord Electric Power Generation Co., Ltd., Taicang 215433, China)

Abstract: Based on the detailed introduction of the working principle, the whole process of the cavitation erosion which is the main reason for the decrease of the service life of the water-ring vacuum pump system is analyzed in the paper. Two kinds of reconstruction schemes for the cooling water in the coolers and the working fluid in the vacuum pump are proposed, and the methods abandoned in the paper are also discussed to make a comparison.

Key words: water-ring vacuum pump; working fluid; cooling water; thermal power generating unit; technical reconstruction

4 结束语

综合上述技术经济分析,对以中低含盐量为水源的大型锅炉补给水处理系统,宜推荐技术性能优、投资和运行费用适中的UF+极低压RO+一级除盐+混床处理方案;当原水含盐量超过270 mg/L 时,应选择不仅技术性能优,且经济性能亦优的UF超滤+RO+一级除盐+混床处理方案。

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] DL 5000—2000,火力发电厂设计技术规程[S].
- [3] 邵 钢. 膜法水处理技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [4] DL/T 951—2005,火电厂反渗透水处理装置验收导则[S].
- [5] 时 钧,袁 权,高从楷. 膜技术手册[M]. 北京:化学工业出版社,2001.

作者简介:

游晓宏(1967-),男,江苏海安人,高级工程师,从事电厂化学水处理设计工作。