

火电厂反渗透及预处理系统的优化设计

王爱玲

(山东电力工程咨询院, 济南市, 250013)

[摘要] 华能白杨河电厂锅炉补给水水源的水质较差, 拟采用反渗透系统和双层叠加卧式预处理过滤装置。反渗透系统由低压复合膜、高压泵、反渗透阻垢剂注入系统、清洗系统等组成。目前, 该电厂反渗透及预处理的水处理设备已经调试完毕, 投入运行。运行情况表明: 预处理过滤器出水水质满足设计要求, 反渗透系统回收率可达 85%, 脱盐率可达 98%, 出力达 120t/h。

[关键词] 反渗透 预处理 优化设计

中图分类号: TK223.5⁺¹ 文献标识码: B 文章编号: 1000-7229(2006)05-0034-04

华能白杨河电厂本期工程新建 2 X 135 MW 超高压、一次中间再热、一级调整抽汽、抽凝式汽轮机 配 2 X 465 t/h 超高压、自然循环流化床汽包炉。过热器出口蒸汽参数为 137 MPa, 535 。

1 锅炉补给水处理工艺及设备选择

1.1 锅炉补给水的水源及水质

该电厂锅炉补给水处理系统用水水源为神头的地下水, 地下水源水的水质如下: pH 为 7.35; CO_2 为 39.6 mmol/L; $\text{P}_{\text{碱度}}$ 为 4.45 mmol/L; 全硬、暂硬和永硬分别为 9.00、4.45、4.55 mmol/L; Ca^{2+} 为 6.60 mmol/L; Mg^{2+} 为 2.40 mmol/L; 全固形物为 607.60 mg/L; 耗氧量 0.64 mg/L; SiO_2 11.60 mg/L; R_2O_3 为 2.0 mg/L; Cl^- 为 25.0 mg/L; NO_3^- 为 19.0 mg/L; SO_4^{2-} 为 213.65 mg/L; PO_4^{3-} 为 0; OH^- 为 0; CO_3^{2-} 为 0; HCO_3^- 为 271.45 mg/L。井水和循环水的水质详见表 1。

表 1 井水和循环水的水质

水的种类	mg/L								
	全固型物	溶解固型物	悬浮物	全硅	活性硅	非活性硅	锶	钡	铁
12 号深井水	516.4	516.0	0.4	9.90	9.90	0	0.189	0.067	/
13 号深井水	580.4	580.0	0.4	11.10	11.00	0.10	0.125	0.032	/
循环水	2176.0	2160.0	16.0	32.88	32.71	0.17	0.555	0.039	0.122

注: 表中水质差的数据。菌落总数: 12 号井 560; 13 号井 1900; 循环水 4800。

1.2 锅炉补给水处理工艺系统及设备

锅炉补给水处理工艺系统为: 生水 → 氯化、直流接触混凝 → 叠加卧式双滤料过滤器 → 叠加卧式活性炭过滤器 → 反渗透(R/O)装置 → 逆流再生阳离子交换器 →

逆流再生阴离子交换器 混合离子交换器 除盐水箱 主厂房。系统出力为 300 t/h。

主要设备参数参见表 2。

表 2 锅炉补给水处理的主要设备布置及综合参数

设备名称	数量/台		综合参数
	新安装	预留	
叠加卧式双介质过滤器	1	0	每格出力：Q = 65m ³ /h，共 2x4 格。
叠加卧式活性炭过滤器	1	0	每格出力：Q = 65m ³ /h，共 2x4 格。
反渗透装置	2	1	Q = 100m ³ /h，反渗透：DOW BW30-400，共 102 根，压力容器：11x6 排列，FRP 共 17 根。
无顶压逆流再生阳离子交换器	2	1	2800mm，滤层高：H=1000mm，运行周期：87.2h，运行流速 24.36m/h。
无顶压逆流再生阴离子交换器	2	1	2800mm，滤层高：H=1500mm，运行周期：95h，运行流速 24.4m/h。
混合离子交换器	2	1	2200mm，滤层高：H _阳 =500mm，H _阴 =1000mm，运行周期：50.6h，运行流速 39.5m/h。

2 反渗透及预处理方案与设备

由于反渗透工艺不需酸、碱再生、操作简单等优点，并随着反渗透膜与配套设施价格降低，使反渗透工艺在电厂水处理中得到越来越广泛的应用。反渗透工艺有耗水量高、预处理设备庞大、占地面积大等缺点。在华能白杨河电厂 2X135 MW 扩建工程中，针对其水质特，做了 2 点优化：(1)将反渗透装置水回收率提高到 85%；(2)预处理设备采用叠加卧式过滤器。大大提高了反渗透设备的使用性能。

由于锅炉补给水原水水质较差，若采用常规的过滤设施，水处理设备的占地面积将非常大。如采用常规的双介质过滤器和活性炭过滤器与 3 套出力为 100t/h 的反渗透设备配套，分别需要直径 3000mm 的双介质过滤器和活性炭过滤器各 8 台，加上反渗透和离子交换设备，水处理室主跨占地 78mx15m，厂房高度 10m。而该电厂厂区面积小，不允许水处理室占地面积太大。因此，采用了叠加卧式双滤料过滤器和叠加卧式活性炭过滤器各 1 台。该过滤器结构紧凑，占地面积少，使主跨占地减少为 54mx15m，厂房高度 10 m。

2.1 叠加卧式双滤料过滤器

过滤器是反渗透系统的重要预处理装置，本系统采用针对地下水水质特点的双滤料过滤器，滤除原水的细小颗粒、悬浮物、胶体等杂质，保证其出水 SDI(污染指数)不大于 4。其特性如下：

(1)具有独特的均匀布水方式，使过滤达到最大效果，能长期满足反渗透膜对污染指数 SDI 的要求。

(2)反洗装置带空气擦洗，能力强、时间短、水耗低。

(3)单台过滤器对地下水的运行周期可达 72 h 以上。

(4)采用进口双速水帽，专门用于反渗透预处理系统，填料选用优质滤料，以保证良好的过滤效果，且不会出现反洗乱层现象。

(5)叠加卧式双滤料过滤器分 2 层布置，每层 4 格。每格均可单独运行和反洗，当其中任一格过滤器的进、出口压差达到某定值或出水 SDI 大于 4 时，则退出进行反洗。同时，备用格双滤料过滤器投入运行。

2.2 叠加卧式活性炭过滤器

此设备去除水中低分子有机物、游离氯，减少水中异味、色度和臭味。作为反渗透系统的前处理装置，活性炭过滤器可防止反渗透膜表面的有机物污染，而不受其本身进水温度、pH 值和有机混合物的影响。其特性如下：

(1)具有独特的均匀布水方式，使过滤效果最好，能长期满足反渗透膜对有机物污染要求。

(2)带反洗装置，能力强、时间短、水耗低。

(3)采用专用于反渗透预处理系统的进口双速水帽，填充精选的均匀滤料，以保证良好过滤效果，且不会出现反洗乱层现象。

(4)叠加卧式活性炭过滤器分 2 层布置，每层 4 格。每格均可单独运行和反洗，通常运行 4~5 天反洗 1 次，同时，备用格双滤料过滤器投入运行。

2.3 预处理装置的加药设备

组合式预处理加混凝剂装置为系统投加适量的聚凝剂(PAC)，并将原水中的悬浮物、有机物、胶体等凝聚成大颗粒矾花，在双滤料过滤器的介质表面形成一层过滤膜，以便其在双滤料过滤器中被有效地去除。

由于系统进水为地下水，其中含有悬浮物、有机物和胶体。这些杂质往往带有同性电荷，它们相互排斥，难以自动聚集成大颗粒。PAC(聚合氯化铝)是长链的高分子聚合物，它具有压缩胶体双电层的作用，同时对异性电荷可起中和作用，而且每一个基团都可吸附水中分散的悬浮物、有机物、胶体等小颗粒杂质，使其凝聚成大颗粒矾花，以便通过双滤料过滤器将其除去。为了增加水中杂质颗粒被凝聚而被吸附的机会，应适当地进行搅动混合。本系统 PAC 的加入选择在双滤料过滤器的进水母管上，且随后装设静态管道混合器。

2.4 预处理设备的特点

设置的卧式过滤器具有结构紧凑、占地面积小、节省投资、便于自动化、运行维护方便等优点。

加药设备的应用，使卧式双介质过滤器能除去原水中的胶体和悬浮物，卧式活性炭过滤器能有效除去有机物和原水中添加的游离氯。以上预处理装置能满足反渗透设备对进水水质的要求。

3 反渗透装置的主要设备

反渗透成套装置包括保安过滤器进水阀始至反渗透淡水出口阀之间的所有设备、管道、阀门、附件及所需的监测控制仪表、信号变送器和就地控制盘，并包括一箱二泵式预处理混凝剂加药装置、反渗透阻垢剂注入系统、反渗透清洗系统、水冲洗系统、不锈钢管式药品混合器等辅助设施。另预留 1 x 100t/h 反渗透装置接口及位置，该套装置布置在 2 x 100 t/h 反渗透装置顶部。

在上述预处理系统正常运行的条件下，反渗透装置设计出力 $100\text{m}^3 / (\text{h}\cdot\text{套})$ ；出水水质为 1 年内系统脱盐率不小于 98%；3 年内系统脱盐率不小于 97%；水回收率 75%~85%。

系统内所有配套的管道、阀门、管件均采用 SS304 不锈钢，酸洗系统采用耐酸进口 PVC 材料。从反渗透系统的运行和操作安全出发，保安过滤器、高压泵、反渗透装置都呈一对一的串联设置，即 1 套反渗透配置 1 台保安过滤器和 2 台高压泵。

3.1 反渗透装置

反渗透装置是本系统中最主要的脱盐装置,该系统利用反渗透膜的特性来除去水中绝大部分可溶性盐分、胶体、有机物及微生物。经过预处理后合格的原水进入置于压力容器内的膜组件,水分子和极少量的小分子量有机物通过膜层,经收集管道集中后,通往产水管再注入反渗透水箱。反之,不能通过的经由收集管道集中后通往浓水排放管,排入原水箱或排出系统之外。系统的进水、产水和浓水管道上都装有一系列的控制阀门、监控仪表及程控操作系统,它们将保证设备能长期保质、保量的系统化运行。

根据工程要求和生产中便于调节水量的需要,本系统将反渗透系统设置成 3 套出力为 $100\text{m}^3/\text{h}$ 的反渗透装置,并联运行,运行时,通过后续的水箱水位,调节反渗透装置投运的套数。

反渗透膜元件采用低压复合膜,膜使用寿命不少于 5 年。选用美国 DOW 公司产品。本装置反渗透膜组件均采用世界上最先进的 TFC 型复合膜,单根膜脱盐率达 99.6%,根据需方提供的原水水质分析报告,经过反渗透膜专用计算软件计算,当设计反渗透装置的回收率为 75%~85%时,每套配置 102 根 BW30-400 的膜组件,每根膜组件有效膜面积为 37m^2 ,分别装在 17 根 FRP 压力容器内,成 11x6 排列。反渗透装置的运行压力不大于 1.5MPa。

3.2 高压泵

本系统每套反渗透装置设置 2 台出力为 $66.7\text{m}^3/\text{h}$,压力为 1.36MPa 的进口立式不锈钢高压泵,并联运行,为 1 套反渗透装置提供进水。该泵具有体积小,效率高,噪声低,维护量低,节省能量的特点。高压泵采用进口产品,材质为 316 不锈钢,出力及压力满足工艺系统的要求。

高压泵的作用是为反渗透本体装置提供足够的进水压力,保证反渗透膜的正常运行。根据反渗透本身的特性,需有一定的推动力去克服渗透压等阻力,才能保证达到设计的产水量。根据反渗透的配置,经计算,温度为 20℃ 时,提供的进水压力不小于 1.36MPa。

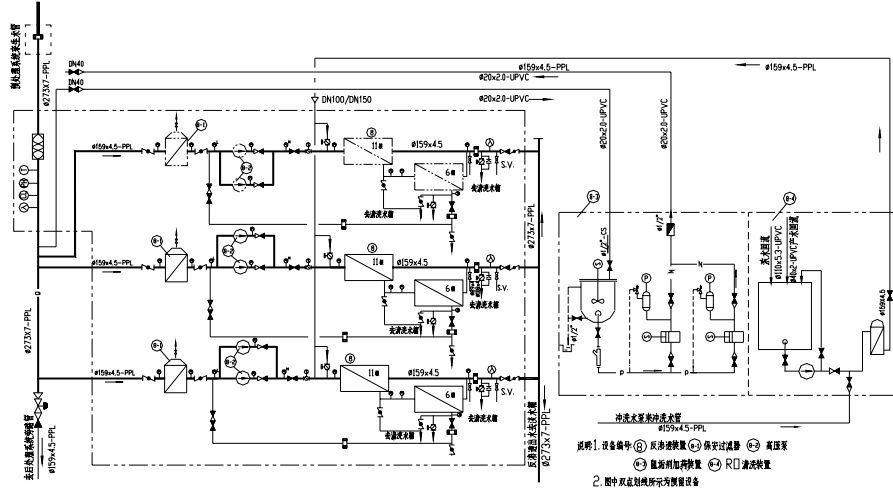
3.3 反渗透装置阻垢剂注入系统

设置 1 套组合式反渗透装置阻垢剂注入系统,系统为一箱二泵制。溶液箱采用 PE 材质,管路采用进口 PVC 材质,其容积满足系统正常运行时 1 天的药品耗量。加药泵为 1 台运行 1 台备用。成套装置中包括控制柜并留有输出、输入控制信号。阻垢剂加药装置是在预处理后的原水进入反渗透前,加入高效率的专用阻垢剂,以防止反渗透浓水侧结垢。

反渗透的工作过程是原水在膜的一侧从一端流向另一端,水分子透过膜表面,从原水侧到达另一侧,而无机盐离子就留在原来的一侧。随着原水的流程逐渐增长,水分子不断从原水中取走,留在原水中的含盐量逐步增大,即原水逐步得到浓缩,而最终成为浓水,从装置中排出。浓水受浓缩后各种离子浓度将成倍增加。自然水源中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 SiO_2 等倾向于产生结垢的离子浓度积一般都小于其平衡常数,所以不会有结垢出现。但经浓缩后,各种离子的浓度积都有可能大大超过平衡常数,因此会产生严重的结垢。

判断水结垢的标准是:(1)对于碳酸盐垢以朗格利尔(LSI)为基准;当 LSI 小于 0 时不结垢,LSI 大于 0 时结垢;(2)对于硫酸盐垢,是以饱和指数来确定的,水中阳、阴离子的浓度积与饱和平衡常数的比值即为饱和指数。当饱和指数小于 1 时不结垢,反之会结垢。本系统选用进口 SG860 型复合阻垢剂,它可提高水中难溶物质的饱和度,它具有以下功能:(1)抑制析出作用;(2)分散作用;(3)晶格扭曲作用;(4)络合作用。

采用该种阻垢剂后,具体阻垢能力表现如下:(1) LSI 可以由负值提高至 2.6;(2) BaSO_4 的饱和指数可达 160 倍;(3) SrSO_4 的饱和指数可达 12 倍;(4) CaF_2 的饱和指数可达 120 倍;



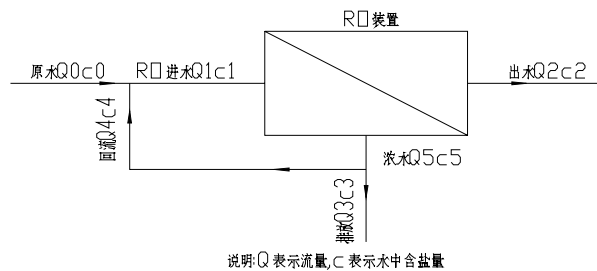
方案 1	基数	33.6	1.68	4.52	基数	基数	基数	基本相同
方案 2	+ 72	56.6	2.26	4.07	略高	+ 84.5	+ 360	基本相同
方案 1 比方案 2	少 72	少 23	多 0.58	少 0.45	不计	少 96.03	少 360	基本相同

4.2.2 反渗透运行费用

按反渗透出力 $3 \times 100 \text{ t/h}$ 、水回收率 85%、年运行 5500h 计算，反渗透装置每年节约用水 16.5 万 t，水价格以 2 元/t 计，每年节约运行费用 33 万元。

通过调试，该装置运行结果表明：反渗透及预处理系统及布置的优化设计是成功的，技术先进，合理，占地减少 360 m^2 ，节约投资 100 万元，年节水费约 22 万元，年节水约 11 万 m^3 ，该系统的社会、经济效益可观。

图 1 反渗透装置的系统连接和浓水回流管路



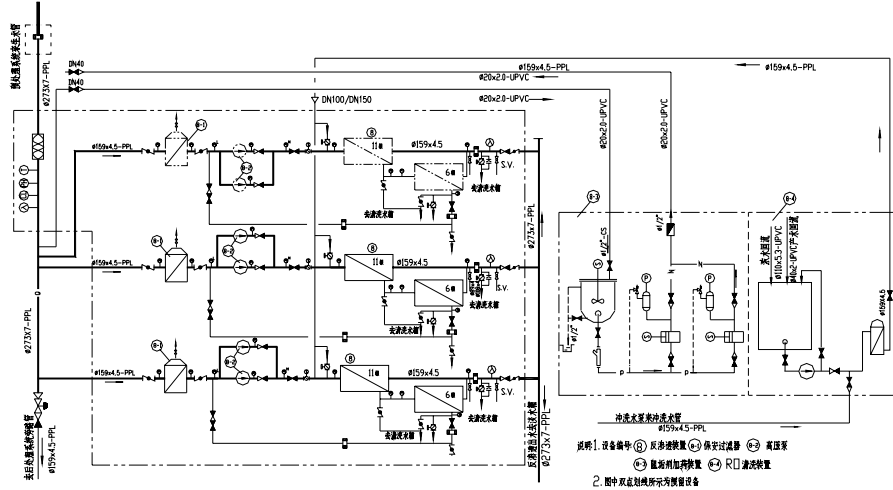


图 2 反渗透系统原理