

全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用

刘学军

(广州恒运集团公司, 广东 广州 510730)

[摘要] 广州恒运电厂将原有出力为 200 t/h 的传统离子交换水处理系统改造为出力为 320 t/h 的全膜法水处理系统, 实际应用表明: (1) 全膜法水处理工艺占地小, 320 t/h 的全膜法水处理系统与传统离子交换水处理系统相比, 减少占地约 3000 m²; (2) 海水倒灌期间仍可正常运行, 全年节约自来水用量达 150 万 t; (3) 工艺简单, 容易实现自动控制; (4) 产水品质高; (5) 无废酸碱排放, 有利环保。

[关键词] 电厂; 锅炉补给水; 全膜法水处理; 超滤; 反渗透; 电去离子 EDI

[中图分类号] 621.8

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-3364(2006)12-0052-04

广州恒运电厂原有 3 台 50 MW 和 2 台 210 MW 供热发电机组, 后扩建 2 台 300 MW 供热发电机组。原水处理车间采用传统离子交换水处理工艺, 设计出力为 200 t/h。扩建后出力需 320 t/h (含供热用除盐水)。若仍采用原水处理工艺, 需要扩建 1 个占地 2 000 m² 的离子交换水处理车间和 1 个占地 1 000 m² 的预处理系统, 但并无场地可建。后经调研分析, 将离子交换水处理工艺改为全膜法水处理工艺, 可满足扩建需求, 取消离子交换水处理工艺再生用的酸碱系统, 腾出的场地可用于布置预处理系统。

1 原有水处理系统

原有水处理车间工艺流程: 预处理系统来水 → 活性炭过滤器 → 阳离子交换器 → 除碳器 → 阴离子交换器 → 混合离子交换器 → 除盐水箱 → 主厂房。预处理系统水源为珠江水 (表 1)。在海水倒灌期间 (每年 11 月至次年 5 月) 采用自来水制除盐水。扩建后水处理系统出力计算结果见表 2。此外, 脱硫系统、除灰系统及热机系统用一级反渗透处理后的淡水为 113 t/h。

表 1 水源水质分析结果

项目	无海水倒灌	有海水倒灌
外观	浅黄微浑	浅黄微浑
pH	6.73	6.38
电导率/(25℃)/μs·cm ⁻¹	372	900
浊度/FTU	3.33	24.89
钠/mmol·L ⁻¹	0.36	53.7
钾/mmol·L ⁻¹	5.16×10 ⁻²	7.67
溶解固形物/mg·L ⁻¹	83.5	8 763.5
全固形物/mg·L ⁻¹	287.0	8 716.4
悬浮固体/mg·L ⁻¹	203.5	47.1
灼烧减重/mg·L ⁻¹	53.0	1 737.2
全碱度/mmol·L ⁻¹	0.5	2.1
全硅/mmol·L ⁻¹	0.273	0.103
活性硅/mmol·L ⁻¹	0.232	0.100
胶体硅/mmol·L ⁻¹	0.041	0.003
铁/mmol·L ⁻¹	2.54×10 ⁻⁴	1.9×10 ⁻³
铜/mmol·L ⁻¹	2.77×10 ⁻⁴	0.18×10 ⁻³
铝/mmol·L ⁻¹	1.67×10 ⁻²	1.71×10 ⁻³
钙离子/mmol·L ⁻¹	0.5	3.52
镁离子/mmol·L ⁻¹	0.21	11.68
氯根/mmol·L ⁻¹	0.577 5	124.8
硫酸根/mmol·L ⁻¹	0.446	5.95
硝酸根/mmol·L ⁻¹	5.24×10 ⁻³	0.2×10 ⁻³
亚硝酸根/mmol·L ⁻¹	2.43×10 ⁻²	0.04
化学耗氧量/mg·L ⁻¹	13.22	119.61
全硬度/mmol·L ⁻¹	0.71	15.2
碳酸盐硬度/mmol·L ⁻¹	0.50	2.1
非碳酸盐硬度/mmol·L ⁻¹	0.21	13.1
游离二氧化碳/mmol·L ⁻¹	1.6×10 ⁻²	0.054
磷酸根/mmol·L ⁻¹	2.46×10 ⁻²	3.16×10 ⁻³
重碳酸根/mmol·L ⁻¹		2.1

收稿日期: 2006-06-20

作者简介: 刘学军(1968-), 男, 湖南临武人, 本科, 学士学位, 工程师, 从事电厂水处理技术工作。

表2 扩建后水处理系统出力计算结果

项目	耗水量/ $t \cdot h^{-1}$
现有机组(2×210 MW+3×50 MW)	50
扩建机组(2×300 MW)	80
全厂供热	160
水处理系统自用水	30
合计	320

2 全膜法水处理改造

2.1 改造设计参数

全膜法水处理包括超滤、反渗透及电去离子(EDI)等工艺。改造完成后,因无废酸碱排放,可减少废水排放对环境的污染。另外,全膜法水处理系统按珠江水水质设计,允许水源最高含盐量为9 500 mg/L,全年均可使用珠江水制水,因此每年可减少购自水量150万t以上。

考虑到水质可能进一步恶化及海水倒灌现象日趋严重,系统按最差水质指标进行设计,允许水源最高含盐量为9 500 mg/L。

珠江水经混凝沉淀、过滤预处理后进入清水池,水池的水经清水泵升压进入全膜法水处理系统,工艺流程如下:清水池→清水泵→自清洗过滤器→超滤装置→超滤水箱→反渗透增压泵→保安过滤器→一级高压泵→一级反渗透装置→除二氧化碳器→中间水池→二级高压泵→二级反渗透装置→二级反渗透产品水箱→EDI给水泵→EDI保安过滤器→EDI装置→除盐水箱→除盐水泵→发电机组。

根据表1提供的进水水质,通过全膜法水处理系统一级反渗透、二级反渗透处理后的出水水质指标见表3。

表3 反渗透装置出水水质指标^①

项目	无海水倒灌			有海水倒灌		
	原水/ $mg \cdot L^{-1}$	一级反渗出水/ $mg \cdot L^{-1}$	二级反渗出水/ $mg \cdot L^{-1}$	原水/ $mg \cdot L^{-1}$	一级反渗出水/ $mg \cdot L^{-1}$	二级反渗出水/ $mg \cdot L^{-1}$
Ca ²⁺	20.04	0.14	0	141.08	2.18	0.02
Mg ²⁺	5.1	0.04	0	283.88	4.39	0.04
Na ⁺	12.64	0.21	0.08	2 312.79	62.05	1.8
K ⁺	2.02	0.04	0	299.88	9.26	0.17
NH ₄ ⁺	0	0	0	0	0	0
Sr ²⁺	0	0	0	0	0	0
Ba ²⁺	0	0	0	0	0	0
Fe ²⁺	0	0	0	5.31	0.08	0
Mn ²⁺	0	0	0	0	0	0
CO ₃ ²⁻	0	0	0	0	0	0.01
HCO ₃ ⁻	30.51	0.87	0.25	128.12	5.35	2.65
SO ₄ ²⁻	42.84	0.26	0	571.56	8.68	0.08
Cl ⁻	20.47	0.21	0	4 424.16	111.61	1.49
NO ₃ ⁻	3.22	0.09	0	1.24	0.09	0
F ⁻	0	0	0	0	0	0
SiO ₂	14.15	0.18	0	6.28	0.16	0
CO ₂	10.61	10.31	0.22	101.59	101.14	2.67
总溶解固形物	135.47	1.59	0.22	8 109.11	201.12	4.91
pH值	6.7	5.17	6.31	6.38	5	6.28

①二级反渗透前加碱调节,pH值为8.0

由表3可见,二级反渗出水水质完全可满足EDI进水要求(见2.2.3),经EDI处理后,水质可达到表4的要求。

表4 EDI设计出水水质(最终除盐水质要求)

项目	数值
二氧化硅/ $\mu g \cdot L^{-1}$	≤ 20
电导率(25℃)/ $\mu S \cdot cm^{-1}$	≤ 0.20

全膜法水处理系统最终设计出力(EDI的出力)为320 m³/h。此外,一级反渗透装置还要多制100 m³/h的水,用于脱硫、除灰、辅机系统冷却等。在非海水倒灌期间,一级反渗出水经脱碳后,可满足EDI进水要求,EDI出水水质可满足系统要求;在海水倒灌期间,由于来水含盐量较高,一级反渗出水含盐量高达200 mg/L以上,EDI系统无法承受如此高的含盐量,需投入二级反渗透系统。两种情况下的运行方式不完

技术交流

全相同,因此各级水处理装置的处理水量也不完全相同。两种情况下的水量平衡见图1和图2(图中数字的单位为t/h)。所设计的全膜法水处理工艺无论海水倒灌与否均能达到设计出水水质和出力。全膜法水处理系统主要设备技术参数见表5。

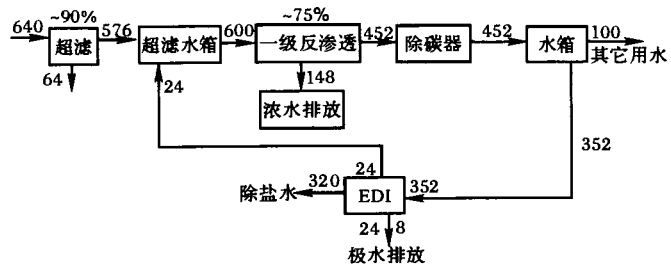


图1 无海水倒灌时全膜法水处理系统水量平衡示意

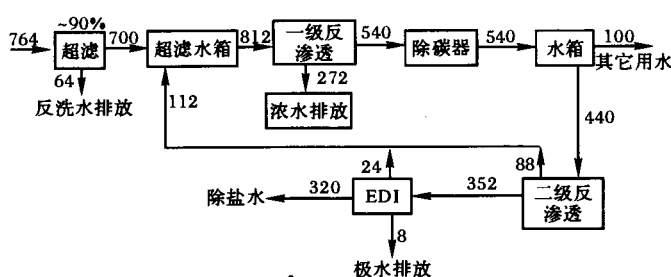


图2 有海水倒灌时全膜法水处理系统水量平衡示意

表5 全膜法水处理系统主要设备技术参数

设备名称	设备规格	数量
清水泵	Q=200 m ³ /h, H=0.45 MPa	4台
自清洗过滤器	3SK5-CS Q=190 m ³ /h	4套
超滤装置	Q=190 m ³ /h	4套
超滤水箱	V=200 m ³ , d6 516 mm	2台
反渗透增压泵	Q=170 m ³ /h, H=0.5 MPa	4台
	Q=135 m ³ /h, H=0.45 MPa	1台
保安过滤器	Q=170 m ³ /h	4台
	Q=135 m ³ /h	1台
一级高压泵	Q=170 m ³ /h, H=1.8 MPa	4台
	Q=135 m ³ /h, H=1.8 MPa	1台
一级反渗透系统	Q=110 m ³ /h	5套
除二氧化碳器	d2 500 mm, Q=270 m ³ /h	3套
中间水池	V=50 m ³	3套
二级高压泵	Q=220 m ³ /h, H=1.5 MPa	2台
二级反渗透装置	Q=176 m ³ /h	2套
二级反渗透产品水箱	V=200 m ³ , d6 516 mm	1台
EDI给水泵	Q=90 m ³ /h, H=0.4 MPa	4台
EDI保安过滤器	Q=90 m ³ /h	4台
EDI装置	Q=80 m ³ /h	4台
除盐水箱	V=800 m ³	3台
除盐水泵	Q=100 m ³ /h, H=0.8 MPa	4台

2.2 膜的选择

2.2.1 超滤膜组件

超滤膜采用 INGE 公司生产的 Dizzer 膜件(中空纤维超滤膜组件),其平均截断分子量为 150 000,每个组件包含 1 800 根 Multibore 多孔毛细管纤维(图 3),毛细管内径为 0.8 mm,其中含有 7 根纤维(图 4)。该纤维成分为聚醚砜,可防止有机污垢生成。所选超滤膜组件具有通量大的特点。

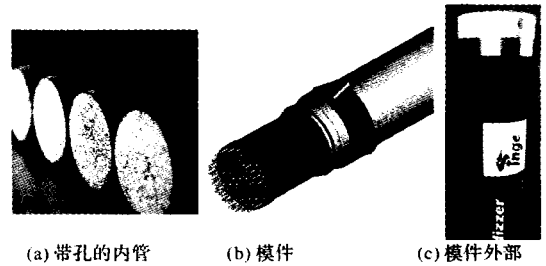


图3 Dizzer 5000 膜件

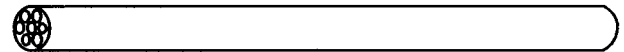


图4 Multibore 多孔毛细管纤维结构示意图

2.2.2 反渗透膜

反渗透膜采用美国 KOCH 公司生产的 TFC8832 HR-575M 型芳香聚酰胺膜,脱盐率大于 99.5%,直径为 d 203.2 mm,长度为 1 524 mm。膜壳长为 6 000 mm,共装 4 只 TFC8832HR-575M 型膜。这种膜具有以下特点:(1) 脱盐率高;(2) 抗污染性强;(3) 因膜较长,可以减少膜件数目,增加膜的有效面积;(4) 膜流道宽,膜件压差低。

2.2.3 EDI 膜

EDI 采用 Canpure 公司生产的 CanpureTM-3600 膜组件,图 5 表示 EDI 的工作过程。在图 5 中,离子交换膜用竖线表示。A 表示阴离子交换膜,只允许阴离子透过;C 表示阳离子交换膜,只允许阳离子透过。离子交换膜不允许水穿过,可把淡水和浓水隔开。在每对阴阳离子交换膜之间充填混合离子交换树脂,即形成了 1 个 EDI 单元,称之为淡水室。将一定数量的 EDI 单元罗列在一起,使阴离子交换膜和阳离子交换膜交替排列,并使用网状物将每个 EDI 单元隔开,2 个 EDI 单元间的空间被称为浓水室。在 EDI 组件的高电压作用下,水会电解产生大量的 H⁺ 和 OH⁻,其对离子交换树脂有连续再生的作用。

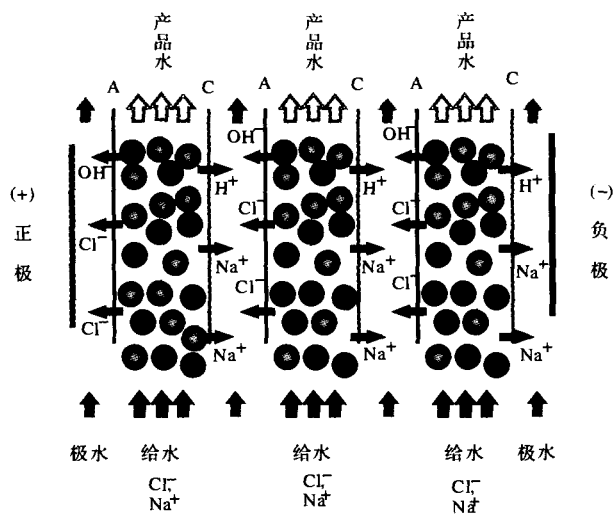


图5 EDI除盐过程示意

EDI 模块具有如下特点: (1) 出水品质高, 可生产出电阻率高达 $(10 \sim 18.2) \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 的纯水; (2) 离子交换膜容量高, 选择性强; (3) 低电压, 低能耗, 电流效率高; (4) 进水条件要求高: TEA (总可交换阴离子, 以 CaCO_3 计) $< 25 \text{mg/L}$, pH 值控制在 $6.0 \sim 9.0$ 范围内, 硬度 (以 CaCO_3 计) $< 1.0 \text{mg/L}$; (5) 需采用浓水循环来提高 EDI 的导电性能和防止膜结垢。

EDI 运行中要严格控制电流、电压、流量等参数。为了保证内部泄漏不影响纯水水质, 产品水出口压力应当比浓水和极水出口压力高 $(0.03 \sim 0.07) \text{MPa}$, 这样使内部泄漏只稀释浓水, 离子不会泄漏到纯水中。另外, 极水包含危险气体 H_2 , 应及时排出室外, 防止氢气聚集爆炸。

EDI 处理系统处于全膜法水处理系统的末端, 是保证出力和水质的关键。

2.3 废水排放

全膜法水处理工艺无酸碱再生, 因此没有废酸碱排放。然而, 所排浓水含盐量在 20000mg/L 以上, 不能直接排放。将其与循环冷却水排水混合后一起排放, 不会污染水域。即 2 台 300MW 机组循环水排量为 82944t/h , 而浓水排放总量为 440t/h , 两股水混合后水中含盐量约为 110mg/L , 可满足排放要求。

2.4 改造方案实施步骤

为确保现有机组运行, 在进行全膜法系统安装时先在水处理车间外检修场地 (面积约 250m^2) 上建 1 个临时水处理车间, 安装 1 套临时水处理系统, 设计出

力为 160t/h , 工艺流程为: 2 套超滤 \rightarrow 2 套一级反渗透 \rightarrow 2 套 EDI。临时水处理系统调试和投运安排在非海水倒灌期间, 水源仍采用自来水, 运行时间约 4 个月。

室内 2 套全膜法水处理系统正常运行后, 临时系统退出运行, 将设备拆除后, 移至水处理车间。将重新安装的 2 套装置调试成功后, 整个全膜法水处理改造工程结束。4 套全膜法水处理装置采用并联方式运行。

3 全膜法水处理系统运行结果

广州恒运热电厂的全膜法水处理改造工程于 2006 年 3 月 15 日完成 168h 的连续试运行, 实际出力达到设计出力 320t/h , 出水水质达到设计值, 运行结果见表 6。由表 6 可见, 全膜法水处理系统出水水质 (EDI 产水水质) 优于设计值。全膜法水处理系统运行成本见表 7。

表6 全膜法水处理 168 h 连续试运行出水水质 (EDI 产水水质)

时间	二氧化硅/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	电导率 ($25 \text{ }^\circ\text{C}$)/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
3月15日	14.06	0.09
3月16日	12.49	0.12
3月17日	13.35	0.08
3月18日	11.36	0.09
3月19日	12.27	0.09
3月20日	13.82	0.08
3月21日	11.85	0.06

表7 全膜法水处理系统运行成本

项目	金额	备注
药品	34	
电费	286	
人工	30	
自来水费	0	
组件更换	197	
折旧	296	设备按 10 年折旧
合计	843	
产水成本/ $\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$	2.73	年运行时间按 7000h

传统离子交换水处理工艺产水成本为 2.87元/t , 比全膜法水处理工艺产水成本稍高, 主要原因在于传统离子交换水处理系统在海水倒灌期间因珠江水含盐量高不能正常运行, 需改用自来水做水源制水, 每年需支付自来水费 300 万元以上。全膜法水处理系统初始投资比较大, 但其中一部分可由节约的自来水费抵消, 因此, 与传统离子交换水处理工艺相比, 其在经济上是可行的。

(上转第 22 页)

Line_Connection 表记录与节点的连接关系,这两张表分别在图形建模组态时被保存到数据库中。PipeLine 表记录管路随时间变化而改变的各参量。PipeLine_Position 表与 PipeLine_Connection 表为一对一关系,与 PipeLine 表为一对多关系。PipeLineID 为 3 个表之间的索引。

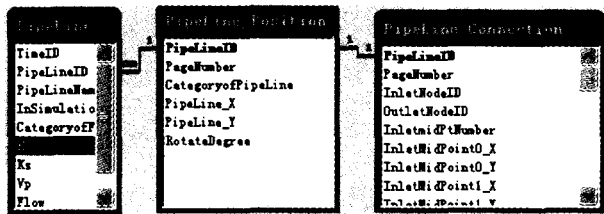


图 3 数据库表结构

2.3 软件计算的实现

在建模组态完成且初始化各节点或设备参数后,按下运行键,程序根据压力流量通道求解方法,列出矩阵方程,求解流体网络压力和流量,而后根据工质流向,按照焓温通道求解方法求出各节点的焓温。同时,可以实时监视参数变化(图 1)。监视参数类型是可选的,并且可通过动态趋势曲线的形式进行显示,以便参数调整。

3 结 语

针对当前流体网络计算中存在的不足,根据质量

守恒方程、动量守恒和能量守恒方程,建立了流体网络压力流量通道和焓温通道算法。所开发的流体网络图形建模软件可用于火电厂单相可压缩及不可压缩流体网络,其主要特点:

(1) 采用面向对象技术,应用 C#.NET 开发工具编程。软件可扩展性强,可重用性高。

(2) 压力流量通道考虑高度差的影响,具有更高的精度。

(3) 增加了焓温通道,可连续建立不同的设备模型,完善了流体网络建模软件通用性。

经过测试证明,图形建模软件所采用的算法稳定且高效,适用于火电厂仿真系统的开发和设备运行情况分析。

[参 考 文 献]

- [1] 吴靖. 适用于仿真培训系统的流体网络的动态实时仿真方法[J]. 热力发电,1999,(4).
- [2] 谢茂清,朱文,任挺进. 热工流体网络的自动建模算法[J]. 清华大学学报,1997,37(6).
- [3] 于荣生,高建强. 流体网络仿真模型及其自动生成软件[J]. 华北电力大学学报,1999,26(2).
- [4] 陈道轮,冷伟. 可压缩流体网络图形建模软件的开发[J]. 机电信息,2004,19.
- [5] 韩璞,李长青. 火电站仿真机原理及应用[M]. 天津科学技术出版社,1998.
- [6] 葛斌. 可压缩流体网络技术在电站仿真系统中的应用[J]. 动力工程 2002,22.(6).

(下接第 55 页)

4 结 论

(1) 全膜法水处理是一种先进的水处理技术,水源适用范围广,且工艺简单,容易实现自动控制。

(2) 全膜水处理系统占地面积小,将传统离子交换水处理工艺改造为全膜法水处理工艺,容易实现原址扩容,而且改造不会影响生产的连续性。

(3) 全膜水处理工艺不用酸碱再生树脂,因而无废酸碱排放。生成的浓水可与循环冷却水排水混合后

一起排放,不会污染水域环境。

(4) 对于沿海某些电厂,全膜水处理工艺运行成本低于传统离子交换,经济可行。应用全膜法水处理技术是水处理行业发展趋势。

[参 考 文 献]

- [1] 武汉凯迪水务有限公司. 广州恒运热电厂全膜法水处理系统设计说明书[Z].
- [2] 美国 KOCH 科氏滤膜系统产品使用说明书[Z].
- [3] INGE 公司超滤产品使用说明书[Z].
- [4] Canpure 公司 EDI 产品使用说明书[Z].