



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109141541 A

(43)申请公布日 2019.01.04

(21)申请号 201810750479.9

(22)申请日 2018.07.10

(71)申请人 中北大学

地址 030051 山西省太原市学院路3号

(72)发明人 史元浩 崔方舒 温杰 庞晓琼

贾建芳 曾建潮

(74)专利代理机构 北京世誉鑫诚专利代理事务  
所(普通合伙) 11368

代理人 魏秀枝

(51)Int.Cl.

G01F 1/00(2006.01)

G01F 15/00(2006.01)

G01F 15/02(2006.01)

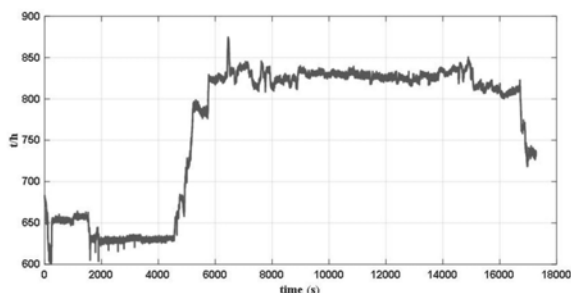
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

### (54)发明名称

一种燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法

### (57)摘要

本发明公开了一种燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法,选取固定的采样时间后从锅炉集散控制系统DCS中的工程师站来实时获取相关的锅炉运行数据;建立工质物性参数库用于水和水蒸气焓值的在线计算;根据锅炉设计图纸设置锅炉涉及到的过热器系统的设计参数;对采集到的锅炉的运行参数进行坏点处理和数据平滑处理;建立基于质量和能量平衡的锅炉回热系统工质质量和能量平衡方程;根据温度压力变化下工质和金属受热面的蓄热变化修正步骤四所述的能量平衡方程;从测点得到再热器系统各个测点的温度、压力、流量;工质温度、压力、流量相关数据;结合校正后的质量和能量平衡方程联立求得一级和二级抽气的抽气量,最终得到校正后的再热器工质流量。



1. 一种燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、选取固定的采样时间,通过OPC通讯协议从锅炉集散控制系统DCS中的工程师站来实时获取相关的锅炉运行数据;

步骤二、基于水和水蒸气热力性质的IAPWS-IF97公式,将其向量化建立工质物性参数库用于水和水蒸气焓值的在线计算;根据锅炉设计图纸设置锅炉涉及到的过热器系统的设计参数,主要包括受热面金属型号、换热管内外径、截面积;

步骤三、对采集到的锅炉的运行参数进行坏点处理和数据平滑处理,从而得到处理后的锅炉再热器系统相关运行参数的实时数据库;

步骤四、建立基于质量和能量平衡的锅炉回热系统工质质量和能量平衡方程,根据能量和质量平衡原理,流经1#高压加热器和2#高压加热器的给水的吸热量分别为1级抽气和2级抽气的放热量,质量和能量平衡方程分别表示为:

$$m_{fw}(h_{out1}-h_{in1})=m_{e1}(h_{s1}-h_{h1})$$

$$m_{fw}(h_{out2}-h_{in2})=m_{e2}(h_{s2}-h_{h2})+m_{e1}(h_{h1}-h_{h2}),$$

其中, $h_{out1}$ 和 $h_{out2}$ 分别为1#高压加热器和2#高压加热器出口的给水焓值,kJ;

$h_{in1}$ 和 $h_{in2}$ 分别为1#高压加热器和2#号高压加热器入口的给水焓值,kJ;

$h_{s1}$ 和 $h_{h1}$ 分别为1#高压加热器入口的蒸汽焓值和疏水焓值,kJ;

$h_{s2}$ 和 $h_{h2}$ 分别为2#高压加热器入口的蒸汽焓值和疏水焓值,kJ;

$m_{fw}$ 、 $m_{e1}$ 和 $m_{e2}$ 分别为锅炉系统的给水流量,一级抽气的蒸汽流量以及二级抽气的蒸汽流量,t/h;

步骤五、根据温度压力变化下工质和金属受热面的蓄热变化修正步骤四所述的能量平衡方程:校正后的质量和能量平衡方程如下:

$$m_{fw}(h_{out1}-h_{in1})+D Q_{h1}=m_{e1}(h_{s1}-h_{h1})+D Q_{e1}$$

$$m_{fw}(h_{out2}-h_{in2})+D Q_{h2}=m_{e2}(h_{s2}-h_{h2})+D Q_{e1}+m_{e1}(h_{h1}-h_{h2})+D Q_{e1},$$

其中 $D Q_{h1}$ 为1#高压加热器金属受热面的蓄热变化量, $D Q_{h2}$ 为2#高压加热器金属受热面的蓄热变化量, $D Q_{e1}$ 为一级抽气的工质蓄热变化量, $D Q_{e2}$ 为二级抽气的工质蓄热变化量;

工况平稳时,金属受热面和工质工况平稳,其温度、压力基本不变,则 $D Q_{h1}$ 、 $D Q_{h2}$ 、 $D Q_{e1}$ 和 $D Q_{e2}$ 为0;

工况波动时,

$$D Q_{h1}=C_{jm_{h1}} \frac{dq_{h1}}{dt}$$

$$D Q_{h2}=C_{jm_{h2}} \frac{dq_{h2}}{dt}$$

$$D Q_{e1}=C_{qm_{e1}} \frac{dq_{e1}}{dt}$$

$$D Q_{e2}=C_{qm_{e2}} \frac{dq_{e2}}{dt},$$

式中 $C_j$ 、 $C_q$ 分别为金属受热面和管内工质的平均比热容,kJ/(kgg℃);

$m_{h1}$ 、 $m_{h2}$ 分别为1#和2#高压加热器管壁金属质量,kg; $m_{e1}$ 、 $m_{e2}$ 1级和2级抽气的工质的质量,kg;

$\theta_{h1}$ 、 $\theta_{h2}$ 分别为1#和2#高压加热器管壁温度,℃; $\theta_{e1}$ 、 $\theta_{e2}$ 分别为1级和2级抽气的蒸汽温度,℃;

$\tau$ 为时间;

步骤六、从测点得到再热器系统各个测点的温度、压力、流量;工质温度、压力、流量相

关数据;结合步骤5中的校正后的质量和能量平衡方程联立求得一级和二级抽气的抽气量:

$$m_{e1} = \frac{m_{fw}(h_{out1} - h_{in1}) + D Q_{h1} - D Q_{e1}}{h_{s1} - h_{h1}}$$

$$m_{e2} = \frac{m_{fw}(h_{out2} - h_{in2}) - m_{e1}(h_{h1} - h_{h2}) + D Q_{h2} - D Q_{e2}}{h_{s2} - h_{h2}},$$

其中,  $h_{in1} = h_{out2}$ ;

由此,最终得到校正后的再热器工质流量为:

$m_z = m_s - m_{e1} - m_{e2}$ , 式中:  $m_z$  和  $m_s$  分别表示再热蒸汽流量和主蒸汽流量。

2. 根据权利要求1所述的燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法,其特征在于:所述步骤一中采样时间为30秒。

3. 根据权利要求1所述的燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法,其特征在于:所述步骤三中,所述的坏点处理是通过绝对均值法来判断坏点,并对其进行剔除的,具体为:

对零均值数据序列  $x_0(t)$  求出其数据样本的绝对值均值  $\overline{|x_i|}$ ,再乘以系数  $k$  来确定  $W$  值,当

$|x_i| \geq W$  时,即认为  $x_i$  是数据序列中的坏点,予以剔除,  $W$  用公式表示为:  $W = k \left( \frac{1}{n} \sum |x_i| \right) = k \overline{|x_i|}$ , 其

中:  $k$  为经验取值系数;

数据中的坏点剔除后,用绝对均值替代,即:

$$|x_i| = \frac{1}{n} \sum |x_i|;$$

所述的数据平滑处理是通过数据加权滤波的方法实现的,具体为:

$\hat{y}_m = 0.05y_{m-2} + 0.10y_{m-1} + 0.7y_m + 0.10y_{m+1} + 0.05y_{m+2}$ , 其中:  $\hat{y}_m$  为滤波后的结果;  $y_m$  为  $m$  时刻的实际测量值。

## 一种燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力和信息处理技术领域,特别是一种燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法。

### 背景技术

[0002] 我国的电力供应以燃煤发电为主,而且这种状况在预期的很长一段时间内不会发生改变。因此,在节能减排愈发受到重视的今天,如何在保证安全生产的基础上挖掘燃煤电站的节能减排的潜力是需要解决的问题。锅炉是燃煤发电企业的三大核心设备之一,也是整个电站节能减排的重点对象。对燃煤发电过程进行优化控制是实现节能减排的重要手段之一,而实现这一目标需要首先对燃煤发电过程进行实时而准确的监测。随着我国自动化水平的提高和集散控制系统(Distributed Control System,DCS)的普及,我国燃煤发电企业生产过程的过程数据的实时测量得到了很大程度的保证。但随着控制和优化需求的提高,对燃煤电站生产过程的实时准确监测提出了更高的要求。

[0003] 为提高热效率,我国目前大部分燃煤电站锅炉都采用再热器系统。再热器一是可以降低水蒸气的湿度,有利于保护汽轮机叶片;二是可以整个机组的相对内效率和绝对内效率。流过再热器的工质流量与主蒸汽流量是设计好的,但由于实际生产工况的复杂性,很多时候并不能严格符合设计比例,而要对再热器系统的换热效率等关键指标进行在线计算需要较为准确的过热器工质流量数据。

[0004] 但在我国很多燃煤电站过热器内部没有预先设计和预留工质流量计测点,这就导致了无法直接测量获过热器内部的工质流量数据。如若采用实现设计的比例通过主蒸汽流量来直接获取过热器工质流量则不够准确,对于一些对精度要求较高的控制和优化方法则无法达到要求。

[0005] 经对现有文献检索发现,中国专利申请号ZL201410025222.9提出了一种“火电机组中低压缸入口热再热蒸汽质量流量实时计量方法”,该方法通过建立再热通道结构参数数据库以及相关数据,建立了再热通道工质质量衡算模型,可以实时监测中低压缸入口的热再热蒸汽质量流量。然而该方法并未考虑到再热器通道中各级加热器疏水、回热系统等热交换通道的温度压力变化导致的管道和工质蓄热变化,这样会使得计算结果存在一定的误差,对于精度要求较高的实时控制或优化有一定的局限性。

[0006] 杨冬等人提出的“锅炉过热器与再热器流量分配的非线性数学模型及壁温计算方法”根据各并联管进出口压降之间的关系,建立了锅炉过热器、再热器流量分配的非线性数学模型。该模型所使用的经验参数较少,具有较高的计算精度。但该方法着重与过热器和再热器流量的分配问题,并未考虑到再热器回热系统抽气等因素对工质流量产生的影响,对于更高的精度要求具有一定的局限性。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是要解决现有技术中存在的不足,提供一种燃煤电站锅炉再热器工

质流量在线校正方法,实时测量和校正燃煤电站锅炉再热器的工质流量,不用额外添加测量设备,能够为涉及再热器工质流量的锅炉控制和优化奠定基础。

[0008] 为达到上述目的,本发明是按照以下技术方案实施的:

[0009] 一种燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤一、选取固定的采样时间,通过OPC通讯协议从锅炉集散控制系统DCS中的工程师站来实时获取相关的锅炉运行数据;

[0011] 步骤二、基于水和水蒸气热力性质的IAPWS-IF97公式,将其向量化建立工质物性参数库用于水和水蒸气焓值的在线计算;根据锅炉设计图纸设置锅炉涉及到的过热器系统的设计参数,主要包括受热面金属型号、换热管内外径、截面积;

[0012] 步骤三、对采集到的锅炉的运行参数进行坏点处理和数据平滑处理,从而得到处理后的锅炉再热器系统相关运行参数的实时数据库;

[0013] 步骤四、建立基于质量和能量平衡的锅炉回热系统工质质量和能量平衡方程,根据能量和质量平衡原理,流经1#高压加热器和2#高压加热器的给水的吸热量分别为1级抽气和2级抽气的放热量,质量和能量平衡方程分别表示为:

$$[0014] \quad m_{fw}(h_{out1}-h_{in1})=m_{e1}(h_{s1}-h_{h1})$$

$$[0015] \quad m_{fw}(h_{out2}-h_{in2})=m_{e2}(h_{s2}-h_{h2})+m_{e1}(h_{h1}-h_{h2}),$$

[0016] 其中, $h_{out1}$ 和 $h_{out2}$ 分别为1#高压加热器和2#高压加热器出口的给水焓值,kJ;

[0017]  $h_{in1}$ 和 $h_{in2}$ 分别为1#高压加热器和2#号高压加热器入口的给水焓值,kJ;

[0018]  $h_{s1}$ 和 $h_{h1}$ 分别为1#高压加热器入口的蒸汽焓值和疏水焓值,kJ;

[0019]  $h_{s2}$ 和 $h_{h2}$ 分别为2#高压加热器入口的蒸汽焓值和疏水焓值,kJ;

[0020]  $m_{fw}$ 、 $m_{e1}$ 和 $m_{e2}$ 分别为锅炉系统的给水流量,一级抽气的蒸汽流量以及二级抽气的蒸汽流量,t/h;

[0021] 步骤五、根据温度压力变化下工质和金属受热面的蓄热变化修正步骤四所述的能量平衡方程:校正后的质量和能量平衡方程如下:

$$[0022] \quad m_{fw}(h_{out1}-h_{in1})+DQ_{h1}=m_{e1}(h_{s1}-h_{h1})+DQ_{e1}$$

$$[0023] \quad m_{fw}(h_{out2}-h_{in2})+DQ_{h2}=m_{e2}(h_{s2}-h_{h2})+DQ_{e1}+m_{e1}(h_{h1}-h_{h2})+DQ_{e1},$$

[0024] 其中 $DQ_{h1}$ 为1#高压加热器金属受热面的蓄热变化量, $DQ_{h2}$ 为2#高压加热器金属受热面的蓄热变化量, $DQ_{e1}$ 为一级抽气的工质蓄热变化量, $DQ_{e2}$ 为二级抽气的工质蓄热变化量;

[0025] 工况平稳时,金属受热面和工质工况平稳,其温度、压力基本不变,则 $DQ_{h1}$ 、 $DQ_{h2}$ 、 $DQ_{e1}$ 和 $DQ_{e2}$ 为0;

[0026] 工况波动时,

$$[0027] \quad DQ_{h1}=C_{j,h1}\frac{dq_{h1}}{dt}$$

$$[0028] \quad DQ_{h2}=C_{j,h2}\frac{dq_{h2}}{dt}$$

$$[0029] \quad DQ_{e1}=C_{q,e1}\frac{dq_{e1}}{dt}$$

[0030]  $D Q_{e2} = C_j m_{e2} \frac{\int_0^{\tau} q_{e2}}{\tau}$ , 式中  $C_j$ 、 $C_q$  分别为金属受热面和管内工质的平均比热容,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $m_{h1}$ 、 $m_{h2}$  分别为1#和2#高压加热器管壁金属质量,  $\text{kg}$ ;  $m_{e1}$ 、 $m_{e2}$  1级和2级抽气的工质的质量,  $\text{kg}$ ;  $\theta_{h1}$ 、 $\theta_{h2}$  分别为1#和2#高压加热器管壁温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $\theta_{e1}$ 、 $\theta_{e2}$  分别为1级和2级抽气的蒸汽温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $\tau$  为时间;

[0031] 步骤六、从测点得到再热器系统各个测点的温度、压力、流量; 工质温度、压力、流量等相关数据; 结合步骤5中的校正后的质量和能量平衡方程联立求得一级和二级抽气的抽气量:

$$[0032] \quad m_{e1} = \frac{m_{fw} (h_{out1} - h_{in1}) + D Q_{h1} - D Q_{e1}}{h_{s1} - h_{h1}}$$

$$[0033] \quad m_{e2} = \frac{m_{fw} (h_{out2} - h_{in2}) - m_{e1} (h_{h1} - h_{h2}) + D Q_{h2} - D Q_{e2}}{h_{s2} - h_{h2}},$$

[0034] 其中,  $h_{in1} = h_{out2}$ ;

[0035] 由此, 最终得到校正后的再热器工质流量为:

[0036]  $m_z = m_s - m_{e1} - m_{e2}$ , 式中:  $m_z$  和  $m_s$  分别表示再热蒸汽流量和主蒸汽流量。

[0037] 作为本发明的优选方案, 所述步骤一中采样时间为30秒。

[0038] 进一步, 所述步骤三中, 所述的坏点处理是通过绝对均值法来判断坏点, 并对其进行处理剔除的, 具体为:

[0039] 对零均值数据序列  $x_0(t)$  求出其数据样本的绝对值均值  $\overline{|x_i|}$ , 再乘以系数  $k$  来确定  $W$  值, 当  $|x_i| \geq W$  时, 即认为  $x_i$  是数据序列中的坏点, 予以剔除,  $W$  用公式表示为:

$$W = k \left( \frac{1}{n} \sum |x_i| \right) = k \overline{|x_i|}, \text{ 其中: } k \text{ 为经验取值系数};$$

[0040] 数据中的坏点剔除后, 用绝对均值替代, 即:

$$[0041] \quad |x_i| = \frac{1}{n} \sum |x_i|;$$

[0042] 所述的数据平滑处理是通过数据加权滤波的方法实现的, 具体为:

[0043]  $\hat{y}_m = 0.05y_{m-2} + 0.10y_{m-1} + 0.7y_m + 0.10y_{m+1} + 0.05y_{m+2}$ , 其中:  $\hat{y}_m$  为滤波后的结果;  $y_m$  为  $m$  时刻的实际测量值。

[0044] 本发明在机组实际运行数据的基础上, 针对从进入锅炉回热系统的给水开始, 到回热系统到省煤器这一段的换热过程, 考虑过程中的各级抽气以及去冷凝器的工质流量, 采用动态的能量和质量平衡通过软测量的方法对再热器的工质流量进行在线校正; 在进行质量和能量衡算的基础上, 考虑到锅炉生产过程中负荷大范围变动引起的工况波动, 将该段生产过程中受热面金属和工质在不同工况下能量蓄积的变化加入进去进行校正, 提高软测量的准确性, 最终实现对再热器工质流量的在线实时软测量和校正。本发明的实时软测量和在线校正技术能够较好的克服现有测点不足、没有考虑工况波动的一些方法的不足, 能够较为精确的实现燃煤电站再热器系统工质流量的在线实时监测, 并且不需要安装额外的测量仪器, 具有较好的通用性和鲁棒性。适用于燃煤电站锅炉再热器系统特征参数的实时监测以及在此基础上的优化控制。

[0045] 与现有技术相比,本发明提出的一种燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法具有动态特性好,同时无需添加额外硬件的优点;对能量平衡方程进行了实时修正,考虑了工况波动的情形下,受热面金属和工质蓄热变化,提高了方法的动态精度。本发明的结果更有助于对锅炉再热器工况进行更好的评估为总体的节能减排优化控制提供支持。

## 附图说明

[0046] 图1为本发明实施对象燃煤电站锅炉回热系统流程示意图。

[0047] 图2为本发明实施对象燃煤电站锅炉经修正计算出的一级和二级抽气量图形。

[0048] 图3为本发明实施对象燃煤电站锅炉软测量校正得出的再热器流量图形。

## 具体实施方式

[0049] 下面结合具体实施例对本发明作进一步描述,在此发明的示意性实施例以及说明用来解释本发明,但并不作为对本发明的限定。

[0050] 首先需要对以下实施例进行说明:本实施例中的锅炉为HG-1025/17.3-WM18型,锅炉负荷300MW,锅炉采用亚临界、自然循环、一次中间再热、双拱单炉膛、“W”火焰燃烧方式、尾部双烟道、烟气挡板调温、平衡通风、固态排渣、露天布置、全钢架悬吊式汽包炉。

[0051] 考虑再热器、回热系统外部热流沿管长及圆周均匀分布;换热器管壁金属只考虑径向换热;管内工质不可压缩,且流动截面上参数均匀一致。

[0052] 本实施例的燃煤电站锅炉再热器工质流量在线校正方法,包括以下步骤:

[0053] 步骤一:该锅炉DCS控制系统自带OPC服务端,本发明实施例程序通过OPC客户端实时读取锅炉的运行数据,采样周期为30秒。

[0054] 主要的运行数据包括给水流量、主蒸汽流量。1#和2#高压加热器进出口工质温度、压力、流量等。

[0055] 步骤二:基于水和水蒸气热力性质的IAPWS-IF97公式,将其向量化建立工质物性参数库用于水和水蒸气焓值的在线计算;根据锅炉设计图纸设置锅炉涉及到的过热器系统的设计参数,主要包括受热面金属型号、换热管内外径、截面积等。

[0056] 实施例中所有水和水蒸气热力学计算均基于IAPWS-IF97公式,该公式为国际通用的水和水蒸气热力学计算公式,在此不再赘述。本例将其向量化在计算过程中可以实时调用来计算所需的工质焓值、密度等数据。

[0057] 实施对象锅炉额定工况参数如表1所示:

[0058]

名称	单位	数据
过热蒸汽流量	t/h	960
过热蒸汽出口压力	MPa	17.25
过热蒸汽出口温度	℃	540
再热蒸汽流量	t/h	785
再热蒸汽进口压力	MPa	3.7
再热蒸汽出口压力	MPa	3.5
再热蒸汽进口温度	℃	325
再热蒸汽出口	℃	353

[0059]

口温度		
给水温度	℃	265

[0060] 设置锅炉换热面再热器系统及旁路系统的设计参数如表2所示。

[0061] 表2锅炉再热器及主要旁路系统主要参数



[0062]

名 称	单 位	数 值
省煤器管外 径	mm	58
省煤器管内 径	mm	51
管子布置	-	逆流
管子平均长 度	m	12.5
横向排数 (并联管数)	排	50
纵向排数	排	8
横向管距	mm	212
纵向管距	mm	70
壁管材质	-	SA210 C

[0063] 步骤三:对采集到的部分波动较大的数据进行坏点处理和数据平滑处理,将处理后的数据存入锅炉运行参数实时数据库。

[0064] 坏点处理是通过绝对均值法来判断坏点,并对其进行剔除的:

[0065] 对零均值数据序列 $x_0(t)$ 求出其数据样本的绝对值均值 $\overline{|x_i|}$ ,再乘以系数 $k$ 来确定 $W$ 值,当 $|x_i| \geq W$ 时,即认为 $x_i$ 是数据序列中的坏点,应该予以剔除。 $W$ 用公式表示为:

$$[0066] \quad W = k \left( \frac{1}{n} \sum |x_i| \right) = k \overline{|x_i|} \quad (15)$$

[0067] 其中: $k$ 为经验取值系数;

[0068] 数据中的坏点剔除后,可以用绝对均值替代,即:

$$[0069] \quad |x_i| = \frac{1}{n} \sum |x_i| \quad (16)$$

[0070] 数据平滑处理是通过数据加权滤波的方法实现的：

$$[0071] \quad \hat{y}_m = 0.05y_{m-2} + 0.10y_{m-1} + 0.7y_m + 0.10y_{m+1} + 0.05y_{m+2} \quad (17)$$

[0072] 其中： $\hat{y}_m$ 为滤波后的结果； $y_m$ 为m时刻的实际测量值。

[0073] 步骤四：建立基于质量和能量平衡的锅炉回热系统工质质量和能量平衡方程

[0074] 对于再热器系统，没有直接的测点测得再热器内部的蒸汽流量，而主蒸汽流量是有测点的，我们可以通过软测量方法求得再热器内部的蒸汽流量。

[0075] 主蒸汽回热系统原理如附图1所示，主蒸汽在进入高压缸后，做功膨胀的同时会经历一个二次抽汽的过程，所抽取的蒸汽分别会送到1#和2#高压加热器对给水进行加热，然后再逐级回流至除氧器。抽剩下来的蒸汽会送到再热器，进行进一步的加热，然后送至中压缸做功。

[0076] 根据能量和质量平衡原理，流经1#高压加热器和2#高压加热器的给水的吸热量分别为1级抽气和2级抽气的放热量，表示为：

$$[0077] \quad m_{fw}(h_{out1}-h_{in1}) = m_{e1}(h_{s1}-h_{h1}) \quad (18)$$

$$[0078] \quad m_{fw}(h_{out2}-h_{in2}) = m_{e2}(h_{s2}-h_{h2}) + m_{e1}(h_{h1}-h_{h2}) \quad (19)$$

[0079] 其中， $h_{out1}$ 和 $h_{out2}$ 分别为1#高压加热器和2#高压加热器出口的给水焓值，kJ；

[0080]  $h_{in1}$ 和 $h_{in2}$ 分别为1#高压加热器和2#高压加热器入口的给水焓值，kJ；

[0081]  $h_{s1}$ 和 $h_{h1}$ 分别为1#高压加热器入口的蒸汽焓值和疏水焓值，kJ；

[0082]  $h_{s2}$ 和 $h_{h2}$ 分别为2#高压加热器入口的蒸汽焓值和疏水焓值，kJ；

[0083]  $m_{fw}$ 、 $m_{e1}$ 和 $m_{e2}$ 分别为锅炉系统的给水流量，一级抽气的蒸汽流量以及二级抽气的蒸汽流量，t/h；

[0084] 步骤五：根据温度压力变化下工质和金属受热面的蓄热变化修正上述平衡方程。

[0085] 考虑到锅炉生产过程中负荷大范围变动的情况下金属受热面和工质的蓄热量变化，得到校正后的质量和能量平衡方程如下：

$$[0086] \quad m_{fw}(h_{out1}-h_{in1}) + DQ_{h1} = m_{e1}(h_{s1}-h_{h1}) + DQ_{e1} \quad (20)$$

$$[0087] \quad m_{fw}(h_{out2}-h_{in2}) + DQ_{h2} = m_{e2}(h_{s2}-h_{h2}) + DQ_{e1} + m_{e1}(h_{h1}-h_{h2}) + DQ_{e2} \quad (21)$$

[0088] 其中 $DQ_{h1}$ 为1#高压加热器金属受热面的蓄热变化量， $DQ_{h2}$ 为2#高压加热器金属受热面的蓄热变化量， $DQ_{e1}$ 为一级抽气的工质蓄热变化量， $DQ_{e2}$ 为二级抽气的工质蓄热变化量。

[0089] 工况平稳时，金属受热面和工质工况平稳，其温度、压力基本不变，则 $DQ_{h1}$ 、 $DQ_{h2}$ 、 $DQ_{e1}$ 和 $DQ_{e2}$ 为0。公式(20) (21) 等同于公式(18) (19)。

[0090] 工况波动时，

$$[0091] \quad DQ_{h1} = C_{mh1} \frac{\int q_{h1}}{\int t} \quad (22)$$

$$[0092] \quad DQ_{h2} = C_{mh2} \frac{\int q_{h2}}{\int t} \quad (23)$$

$$[0093] \quad DQ_{e1} = C_{qe1} \frac{\int q_{e1}}{\int t} \quad (24)$$

$$[0094] \quad D Q_{e2} = C_{q, m_{e2}} \frac{\int_0^{\tau} q_{e2} dt}{\tau} \quad (25)$$

[0095] 式中 $C_j$ 、 $C_q$ 分别为金属受热面和管内工质的平均比热容,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $m_{h1}$ 、 $m_{h2}$ 分别为1#和2#高压加热器管壁金属质量,  $\text{kg}$ ;  $m_{e1}$ 、 $m_{e2}$ 1级和2级抽气的工质的质量,  $\text{kg}$ ;  $\theta_{h1}$ 、 $\theta_{h2}$ 分别为1#和2#高压加热器管壁温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $\theta_{e1}$ 、 $\theta_{e2}$ 分别为1级和2级抽气的蒸汽温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $\tau$ 为时间。

[0096] 步骤六:从测点得到再热器系统各个测点的温度、压力、流量;工质温度、压力、流量等相关数据;结合步骤4和步骤5中的公式(20)和(21)联立求得一级和二级抽气的抽气量:

$$[0097] \quad m_{e1} = \frac{m_{fw} (h_{out1} - h_{in1}) + D Q_{h1} - D Q_{e1}}{h_{s1} - h_{h1}} \quad (26)$$

$$[0098] \quad m_{e2} = \frac{m_{fw} (h_{out2} - h_{in2}) - m_{e1} (h_{h1} - h_{h2}) + D Q_{h2} - D Q_{e2}}{h_{s2} - h_{h2}} \quad (27)$$

[0099] 其中,  $h_{in1} = h_{out2}$ 。

[0100] 由此,可以最终得到校正后的再热器工质流量为:

$$[0101] \quad m_z = m_s - m_{e1} - m_{e2} \quad (28)$$

[0102] 式中: $m_z$ 和 $m_s$ 分别表示再热蒸汽流量和主蒸汽流量。

[0103] 根据实施例锅炉的设计参数,采用上述方法对研究对象一天的实际数据计算得一级抽气和二级抽气的蒸汽流量结果如附图2所示。经软测量计算校正后的再热蒸汽流量如附图3所示。

[0104] 本发明的技术方案不限于上述具体实施例的限制,凡是根据本发明的技术方案做出的技术变形,均落入本发明的保护范围之内。

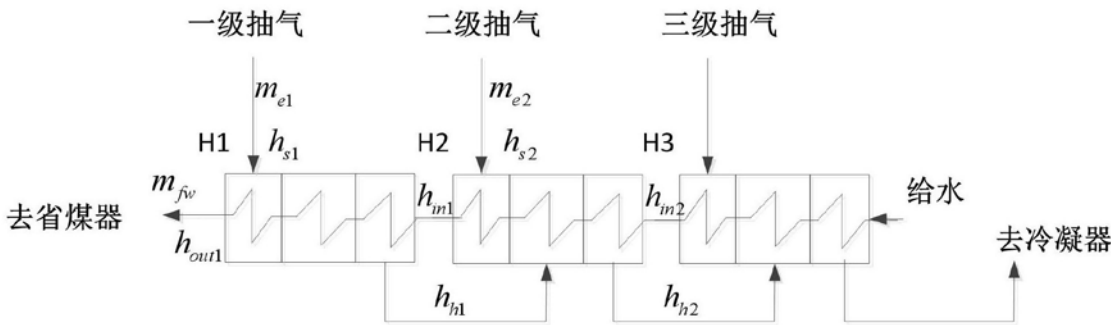


图1

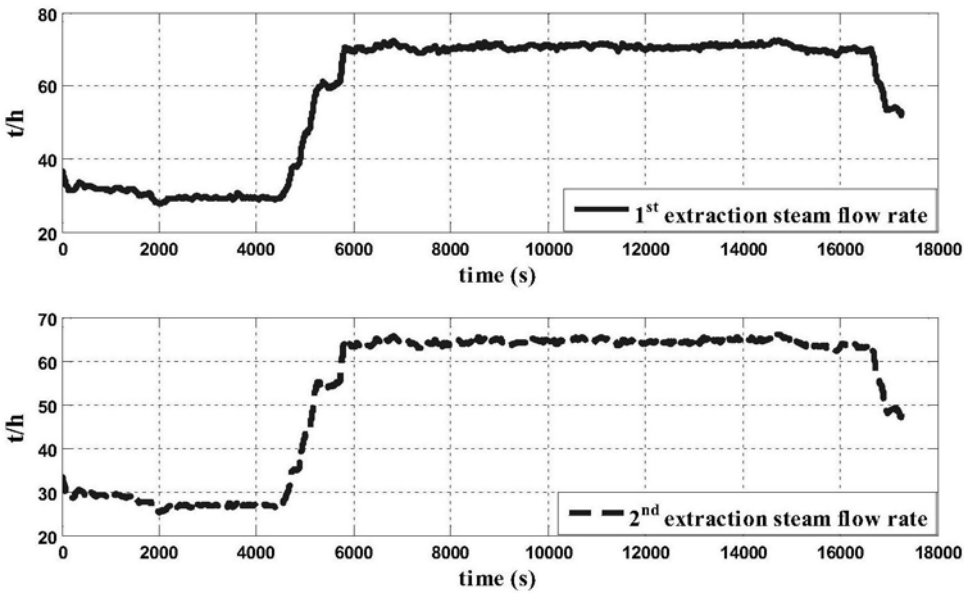


图2

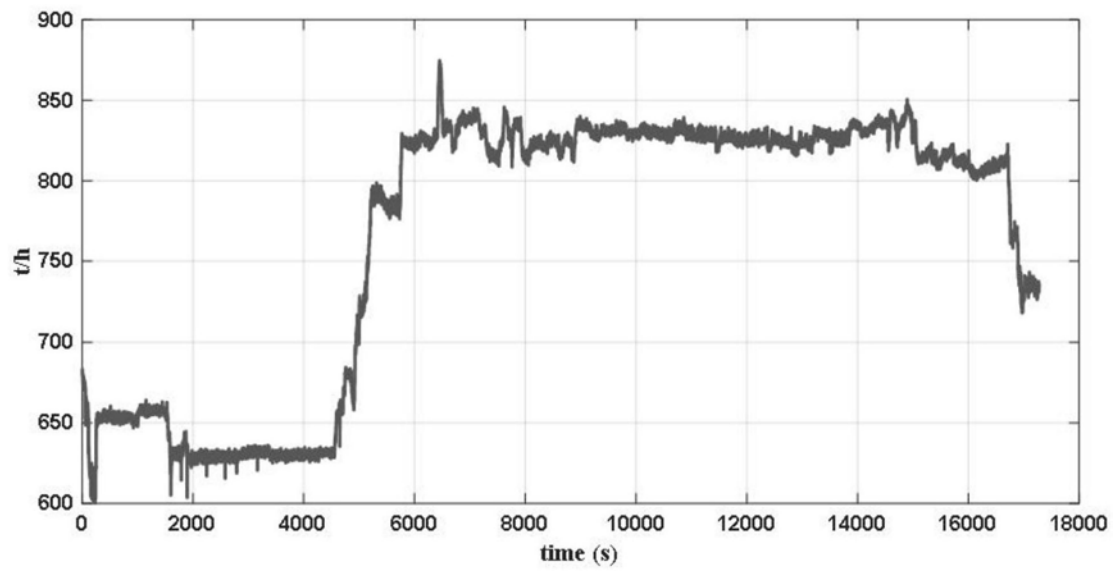


图3