



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103760191 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 30

(21) 申请号 201410059955. 4

(22) 申请日 2014. 02. 24

(71) 申请人 烟台龙源电力技术股份有限公司
地址 264006 山东省烟台市烟台经济技术开发区衡山路9号

(72) 发明人 赵超 石书雨 隋海涛 任旻
王海鹏 吕霞

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038
代理人 刘剑波

(51) Int. Cl.
G01N 25/20 (2006. 01)

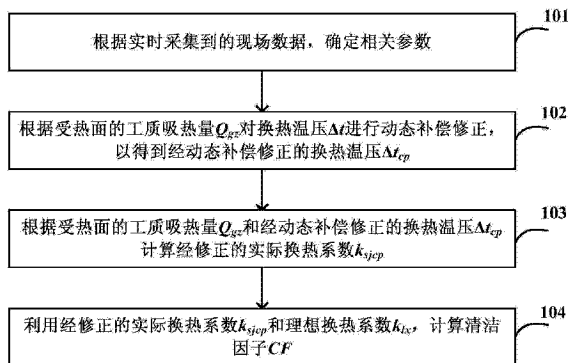
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

基于动态补偿的清洁因子检测方法和装置

(57) 摘要

本发明公开一种基于动态补偿的清洁因子检测方法和装置。其中在基于动态补偿的清洁因子检测方法中,根据实时采集到的现场数据,确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{lx} ,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ,利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子CF。通过对换热温压进行动态补偿修正,从而使在变工况过程中烟气侧与工质侧动态响应特性趋于一致,有效抑制了清洁因子计算结果在变工况下的异常趋势,同时缓解了计算曲线的波动,在全工况下加强了计算精度与适应性。



1. 一种基于动态补偿的清洁因子检测方法,其特征在于,包括:

根据实时采集到的现场数据,确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{lx} ,其中换热温压 Δt 与受热面进出口烟气平均温度 T_{gpi} 和受热面进出口工质平均温度 T_{qpi} 相关联;

根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ;

根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ;

利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,

根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 的步骤包括:

利用公式

$$\Delta t_{cp} = F_1(\Delta t, Q_{gz})$$

得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ,其中 F_1 为第一滤波函数,用于保留换热温压 Δt 的低频特性,同时保留工质吸热量 Q_{gz} 的高频动态特性。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,

根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 的步骤包括:

利用公式

$$k_{sjcp} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t_{cp}}$$

计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ,其中参数 B 为计算燃料消耗量,H 为受热面的换热面积。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,

换热温压 Δt 为:

$$\Delta t = T_{gpi} - T_{qpi}$$

5. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的方法,其特征在于,

理想换热系数 k_{lx} 为

$$k_{lx} = \frac{1}{\alpha_d + \alpha_f}$$

其中 α_d 为对流换热系数, α_f 为辐射换热系数。

6. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的方法,其特征在于,

利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF 的步骤包括:

利用公式

$$k_{lxcp} = k_{lx} + F_2(k_{sj} - k_{lx})$$

得到经修正的理想换热系数 k_{lxcp} ,其中 F_2 为第二滤波函数,用于抑制实际换热系数 k_{sj} 和理想换热系数 k_{lx} 之间的误差,其中实际换热系数 k_{sj} 为

$$k_{sj} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t}$$

其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积;

利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和经修正的理想换热系数 k_{lxcp} 计算清洁因子 CF。

7. 一种基于动态补偿的清洁因子检测装置, 其特征在于, 包括检测单元、参数计算单元、温压修正单元、实际换热系数修正单元和清洁因子确定单元, 其中:

检测单元, 用于实时采集现场数据;

参数计算单元, 用于根据实时采集到的现场数据, 确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{lx} , 其中换热温压 Δt 与受热面进出口烟气平均温度 T_{gpi} 和受热面进出口工质平均温度 T_{qpi} 相关联;

温压修正单元, 用于根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正, 以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ;

实际换热系数修正单元, 用于根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ;

清洁因子确定单元, 用于利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF。

8. 根据权利要求 7 所述的装置, 其特征在于,

温压修正单元具体利用公式

$$\Delta t_{cp} = F_1(\Delta t, Q_{gz})$$

得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} , 其中 F_1 为第一滤波函数, 用于保留换热温压 Δt 的低频特性, 同时保留工质吸热量 Q_{gz} 的高频动态特性。

9. 根据权利要求 7 所述的装置, 其特征在于,

实际换热系数修正单元具体利用公式

$$k_{sjcp} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t_{cp}}$$

计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} , 其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积。

10. 根据权利要求 7 所述的装置, 其特征在于,

换热温压 Δt 为:

$$\Delta t = T_{gpi} - T_{qpi}$$

11. 根据权利要求 7-10 中任一项所述的装置, 其特征在于,

理想换热系数 k_{lx} 为

$$k_{lx} = \frac{1}{\alpha_d + \alpha_f}$$

其中 α_d 为对流换热系数, α_f 为辐射换热系数。

12. 根据权利要求 7-10 中任一项所述的装置, 其特征在于,

清洁因子确定单元具体包括理想换热系数修正模块和清洁因子计算模块, 其中: 理想换热系数修正模块, 用于利用公式

$$k_{1xcp} = k_{1x} + F_2 (k_{sj} - k_{1x})$$

得到经修正的理想换热系数 k_{1xcp} , 其中 F_2 为第二滤波函数, 用于抑制实际换热系数 k_{sj} 和理想换热系数 k_{1x} 之间的误差, 其中实际换热系数 k_{sj} 为

$$k_{sj} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t}$$

其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积;

清洁因子计算模块, 用于利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和经修正的理想换热系数 k_{1xcp} 计算清洁因子 CF 。

基于动态补偿的清洁因子检测方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及大型燃煤锅炉受热面污染在线监测技术领域,特别涉及一种基于动态补偿的清洁因子检测方法和装置。

背景技术

[0002] 目前,我国电厂普遍采用定时沿烟气流程对锅炉受热面进行吹灰的运行方式。这种方式具有盲目性等各种问题:一方面过吹会造成受热面因热应力和磨损而损坏,缩短了受热面的寿命。另一方面吹灰不足会造成锅炉排烟温度升高,影响运行的经济性,某些受热面的严重结渣甚至会引发锅炉掉渣事故,严重威胁锅炉运行的安全性。目前已有锅炉智能吹灰系统针对上述问题作了相应优化,能够对锅炉不同部位根据积灰结渣情况给出合理的吹灰控制策略,这其中受热面污染监测技术是整个系统的执行基础,因为只有在确定污染位置评估污染程度的前提下才能更好的制定吹灰策略。因此建立受热面污染监测是实现智能吹灰控制的基础。

[0003] 现有污染监测技术手段主要有两种,第一种监测手段为硬件测量,即直接使用热流密度测量设备或温度测量设备对已知或可能发生结渣积灰的区域进行热量信号测量,通过比对基准工况下的测量信号强度判断测量点污染程度;第二种监测手段则是最大限度利用电厂 DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统) 已有测点信号,一般在不增加额外特殊测量设备的前提下,通过计算方法得到受热面污染状况。

[0004] 其中在第二种监测手段中,基于受热面热量交换的总量平衡原理,根据受热面放热介质(烟气)与主要吸热介质(蒸汽、水)的状态参数计算所谓“实际”与“理想”传热系数。实际换热系数表征受热面在真实换热条件下实际的换热效率,理想换热系数则表征一种虚拟的受热面换热效率,该效率指假定受热面无积灰情况下,在与实际换热系数计算过程相同的换热条件下理论上所能达到的换热效率。

[0005] 实际与理想换热系数之比可表示受热面实际换热能力与理想状况的差距,定义该值为受热面清洁因子 CF,计算公式为:

$$[0006] \quad CF = k_{sj} / k_{lx}$$

[0007] 其中 k_{sj} 为实际传热系数, k_{lx} 为理想传热系数。结合受热面设计时的预期灰污状况,清洁因子的大小变化即可表示受热的污染程度。

[0008] 无论是反推烟温的计算方法还是换热系数计算方法,都有其特定的边界调节和满足条件,这些计算公式都是在稳态传热状况下进行推导的。因此严格来说,清洁因子计算值只能适用于稳态传热状况,所以这种受热面污染量化方式在机组工况稳定的情况下能够清晰指示灰污增长与减弱趋势,污染监测精度与效果都很好。在一些准稳态工况下,如负荷缓慢升降或小幅度波动的情况下也尚能够起到污染指示作用。但当机组快速升降负荷,或入炉煤质,磨煤机投运方式发生变化造成相关参数波动时则很容易出现计算结果波动增大和趋势失真的状况,这些工况下所计算的清洁因子就不能准确反应受热面的真实污染状况。

[0009] 现今我国的国情是机组大多都接受 AGC (Automatic Generation Control, 自动发

电控制)调频指令,负荷频繁升降甚至大幅波动已成常态化,大多数情况下的边界条件都不满足稳态传热的要求。负荷跟随过程中,汽压、汽温、烟温以及入炉煤量等参数都会产生较大波动。从应用角度,如在这种非稳态工况下不能持续有效的对受热面进行污染监测,则其工程适用性势必大打折扣。现有技术条件下的污染量化计算方式虽然方法较为简单有效,但必然大大减少了监测指标的适用工况,同时降低了监测效果的可信程度。因此,有必要研发能够同时适用于稳态与非稳态工况下的全工况污染在线技术,拓宽受热面污染在线监测的工况适用度,增强监测效果,真正实现全工况下的连续在线污染状态监测。

发明内容

[0010] 本发明实施例提供一种基于动态补偿的清洁因子检测方法和装置,通过对换热温压进行动态补偿修正,从而使在变工况过程中烟气侧与工质侧动态响应特性趋于一致,有效抑制了清洁因子计算结果在变工况下的异常趋势,在全工况下加强了计算精度与适应性。

[0011] 根据本发明的一个方面,提供一种基于动态补偿的清洁因子检测方法,包括:

[0012] 根据实时采集到的现场数据,确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{lx} ,其中换热温压 Δt 与受热面进出口烟气平均温度 T_{gpi} 和受热面进出口工质平均温度 T_{qpi} 相关联;

[0013] 根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ;

[0014] 根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ;

[0015] 利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF。

[0016] 在一个实施例中,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 的步骤包括:

[0017] 利用公式

$$[0018] \quad \Delta t_{cp} = F_1(\Delta t, Q_{gz})$$

[0019] 得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ,其中 F_1 为第一滤波函数,用于保留换热温压 Δt 的低频特性,同时保留工质吸热量 Q_{gz} 的高频动态特性。

[0020] 在一个实施例中,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 的步骤包括:

[0021] 利用公式

$$[0022] \quad k_{sjcp} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t_{cp}}$$

[0023] 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ,其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积。

[0024] 在一个实施例中,换热温压 Δt 为:

$$[0025] \quad \Delta t = T_{gpi} - T_{qpi}$$

[0026] 在一个实施例中,理想换热系数 k_{lx} 为

$$[0027] \quad k_{lx} = \frac{1}{\alpha_d + \alpha_f}$$

[0028] 其中 α_d 为对流换热系数, α_f 为辐射换热系数。

[0029] 在一个实施例中,利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF 的步骤包括:

[0030] 利用公式

$$[0031] \quad k_{lxcp} = k_{lx} + F_2 (k_{sj} - k_{lx})$$

[0032] 得到经修正的理想换热系数 k_{lxcp} , 其中 F_2 为第二滤波函数, 用于抑制实际换热系数 k_{sj} 和理想换热系数 k_{lx} 之间的误差, 其中实际换热系数 k_{sj} 为

$$[0033] \quad k_{sj} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t}$$

[0034] 其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积;

[0035] 利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和经修正的理想换热系数 k_{lxcp} 计算清洁因子 CF。

[0036] 根据本发明的另一方面,提供一种基于动态补偿的清洁因子检测装置,其特征在于,包括检测单元、参数计算单元、温压修正单元、实际换热系数修正单元和清洁因子确定单元,其中:

[0037] 检测单元,用于实时采集现场数据;

[0038] 参数计算单元,用于根据实时采集到的现场数据,确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{lx} , 其中换热温压 Δt 与受热面进出口烟气平均温度 T_{gpi} 和受热面进出口工质平均温度 T_{qpi} 相关联;

[0039] 温压修正单元,用于根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ;

[0040] 实际换热系数修正单元,用于根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ;

[0041] 清洁因子确定单元,用于利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF。

[0042] 在一个实施例中,温压修正单元具体利用公式

$$[0043] \quad \Delta t_{cp} = F_1 (\Delta t, Q_{gz})$$

[0044] 得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} , 其中 F_1 为第一滤波函数,用于保留换热温压 Δt 的低频特性,同时保留工质吸热量 Q_{gz} 的高频动态特性。

[0045] 在一个实施例中,实际换热系数修正单元具体利用公式

$$[0046] \quad k_{sjcp} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t_{cp}}$$

[0047] 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} , 其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积。

[0048] 在一个实施例中,换热温压 Δt 为:

$$[0049] \quad \Delta t = T_{gpi} - T_{qpi}$$

[0050] 在一个实施例中,理想换热系数 k_{lx} 为

$$[0051] \quad k_{lx} = \frac{1}{\alpha_d + \alpha_f}$$

[0052] 其中 α_d 为对流换热系数, α_f 为辐射换热系数。

[0053] 在一个实施例中, 清洁因子确定单元具体包括理想换热系数修正模块和清洁因子计算模块, 其中:

[0054] 理想换热系数修正模块, 用于利用公式

$$[0055] \quad k_{lxcp} = k_{lx} + F_2 (k_{sj} - k_{lx})$$

[0056] 得到经修正的理想换热系数 k_{lxcp} , 其中 F_2 为第二滤波函数, 用于抑制实际换热系数 k_{sj} 和理想换热系数 k_{lx} 之间的误差, 其中实际换热系数 k_{sj} 为

$$[0057] \quad k_{sj} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t}$$

[0058] 其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积;

[0059] 清洁因子计算模块, 用于利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和经修正的理想换热系数 k_{lxcp} 计算清洁因子 CF 。

[0060] 本发明通过根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正, 以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} , 根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} , 利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF 。通过对换热温压进行动态补偿修正, 从而使在变工况过程中烟气侧与工质侧动态响应特性趋于一致, 有效抑制了清洁因子计算结果在变工况下的异常趋势, 同时缓解了计算曲线的波动, 在全工况下加强了计算精度与适应性。

附图说明

[0061] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案, 下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍, 显而易见地, 下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动性的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0062] 图 1 为本发明基于动态补偿的清洁因子检测方法一个实施例的示意图。

[0063] 图 2 为本发明基于动态补偿的清洁因子检测方法另一实施例的示意图。

[0064] 图 3 为本发明基于动态补偿的清洁因子检测装置一个实施例的示意图。

[0065] 图 4 为本发明基于动态补偿的清洁因子检测装置另一实施例的示意图。

具体实施方式

[0066] 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例。以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的, 决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都属于本发明保护的范围。

[0067] 除非另外具体说明, 否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。

[0068] 同时,应当明白,为了便于描述,附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。

[0069] 对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论,但在适当情况下,所述技术、方法和设备应当被视为授权说明书的一部分。

[0070] 在这里示出和讨论的所有示例中,任何具体值应被解释为仅仅是示例性的,而不是作为限制。因此,示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。

[0071] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

[0072] 图1为本发明基于动态补偿的清洁因子检测方法一个实施例的示意图。如图1所示,本实施例的方法步骤如下:

[0073] 步骤101,根据实时采集到的现场数据,确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{1x} ,其中换热温压 Δt 与受热面进出口烟气平均温度 T_{gpi} 和受热面进出口工质平均温度 T_{qpi} 相关联。

[0074] 优选的,换热温压 Δt 为:

$$[0075] \quad \Delta t = T_{gpi} - T_{qpi}。$$

[0076] 步骤102,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 。

[0077] 优选的,可利用公式

$$[0078] \quad \Delta t_{cp} = F_1(\Delta t, Q_{gz})$$

[0079] 得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ,其中 F_1 为第一滤波函数,用于保留换热温压 Δt 的低频特性,同时保留工质吸热量 Q_{gz} 的高频动态特性。

[0080] 在一个实施例中,可具体利用公式

$$[0081] \quad \Delta t_{cp} = \Delta t \frac{1}{(1+T_v s)^2} + K \cdot Q_{gz} \left(1 - \frac{1}{(1+T_v s)^2}\right)$$

[0082] 计算换热温压 Δt_{cp} ,其中 K 为调整系数, T_v 为滤波时间, s 为拉氏变换的复变量。其中上式右边第一项,对原受热面温压进行二阶滤波,保留数据曲线的低频特性,第二项则将工质侧吸热量的高频动态特性保留,并通过调整系数改变信号强度,两者叠加得到动态补偿修正后的换热温压。对于锅炉机组而言,由于炉型、煤质甚至协调调整参数不同,其工质侧与烟气侧响应速度差异也会有所不同,通过调整合适的滤波时间,即可针对具体机组给出相应合适的补偿程度。

[0083] 步骤103,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 。

[0084] 优选的,利用公式

$$[0085] \quad k_{sjcp} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t_{cp}}$$

[0086] 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} ,其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积。

[0087] 步骤104,利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{1x} 计算清洁因子 CF 。

[0088] 也就是, $CF=k_{s,jcp}/k_{lx}$ 。

[0089] 基于本发明上述实施例提供的基于动态补偿的清洁因子检测方法,通过根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} ,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 $k_{s,jcp}$,利用经修正的实际换热系数 $k_{s,jcp}$ 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF 。通过对换热温压进行动态补偿修正,从而使在变工况过程中烟气侧与工质侧动态响应特性趋于一致,有效抑制了清洁因子计算结果在变工况下的异常趋势,同时缓解了计算曲线的波动,在全工况下加强了计算精度与适应性。

[0090] 这里需要说明的是,实际换热系数的计算需要受热面进出口烟气与工质温度已知,但由于测量困难,通常锅炉只在尾部烟道烟温低于 500°C 以下的部位安装有热电偶测量烟气温度,但受热面工质侧一般都会有温度和压力测点,因此对于所处更高烟温下的受热面进出口烟气温度的确定,采用依据受热面工质吸热量反推的方法。工质吸热量大致可由下式计算得到:

$$[0091] \quad Q_{gz} = \frac{D}{B}(i'' - i')$$

[0092] 式中: D 为流经受热面的蒸汽(水)的总流量(kg/s); i'' 、 i' 为受热面出、入口处蒸汽(水)的焓(kJ/kg),根据出、入口处工质的测量温度和计算压力得到; B_{cal} 为计算燃料消耗量(kg/s)。

[0093] 根据热平衡方程中,烟气放出的热量与受热工质吸收的热量相等原则,当已知受热面出口烟温,求解受热面的入口烟温 θ' 的计算方法为:

[0094]

$$I' = \frac{Q_{gz}}{\phi} + I'' - \Delta\alpha I_y^0$$

[0095] 式中: I'' 、 I' 、 I_y^0 为分别为受热面出、入口处烟气焓和理论漏风量的焓(kJ/kg), ϕ 为保热系数; $\Delta\alpha$ 为漏风系数;求出 I' 后,可由烟气焓温关系得到受热面的入口烟温 θ' ($^{\circ}\text{C}$),利用上述方法即可一级一级反推各个受热面进出口烟温。

[0096] 在受热面进出口烟温反推完成,且进出口工质温度测量可靠的前提下,即可求得受热面的实际换热系数,其计算公式为:

$$[0097] \quad k_{sj} = \frac{BQ_{gz}}{H \cdot \Delta t}$$

[0098] 式中, H 为受热面换热面积(m^2), Δt 为换热温压($^{\circ}\text{C}$)。

[0099] 对于理想换热系数,可由传热过程中各个环节的换热热阻得到,一般锅炉受热面的传热热阻通常包括,烟气换热热阻、工质换热热阻、灰污层换热热阻、管壁金属换热热阻。理想换热系数可假设受热面无污染状况下的理论换热效率,这样首先即忽略了灰污层换热热阻。其次对于锅炉换热环境和金属选材而言,工质与管壁金属换热热阻也极小,通常在计算中可以忽略。因此,在理想状况下只需考虑烟气侧换热热阻即可。

[0100] 烟气侧换热热阻计算上主要考虑烟气对流换热与辐射换热。在受热面烟气状态参数已知且受热面结构参数不变的情况下这两种换热系数都能够计算得到。其中对流换热系

数计算方法为,

$$[0101] \quad \alpha_d = f(\text{Re}, \text{Pr}, d, T)$$

[0102] 式中, Re 为雷诺数、Pr 为普朗特数, d 为受热面管子外径(m)、T 为烟气定性温度(°C)。对流换热系数的计算公式为经典管排冲刷换热准则式推导而来,形式上为上述参数的函数,根据受热面管子排列方式不同,其系数选取略有差异。

[0103] 辐射换热系数计算公式为,

$$[0104] \quad \alpha_f = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\alpha_3 + 1}{2} a T^3 \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^4}{1 - \frac{T_3}{T}}$$

$$[0105] \quad T_3 = t + \frac{B}{\alpha_2 H} Q_{gz} \times 10^3 + 273$$

[0106] 式中, α_3 为辐射受热面污染壁面的黑度,对锅炉受热面取 0.8 定值; α 为温度为烟气流的黑度; T_3 为管子灰污沉积层的温度(K); t 为管内介质的平均温度(°C)。其中,烟气黑度计算公式可通过锅炉热力计算标准的线算图得到。

[0107] 这样受热面的理想换热系数可表示为

$$[0108] \quad k_{lx} = \frac{1}{\alpha_d + \alpha_f}$$

[0109] 其中 α_d 为对流换热系数, α_f 为辐射换热系数。

[0110] 图 2 为本发明基于动态补偿的清洁因子检测方法另一实施例的示意图。与图 1 所示实施例相比,在图 2 所示实施例中,进一步对理想换热系数进行修正。

[0111] 步骤 201,根据实时采集到的现场数据,确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{lx} ,其中换热温压 Δt 与受热面进出口烟气平均温度 T_{gpi} 和受热面进出口工质平均温度 T_{qpi} 相关联。

[0112] 步骤 202,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正,以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 。

[0113] 步骤 203,根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 。

[0114] 步骤 204,利用公式

$$[0115] \quad k_{lxcp} = k_{lx} + F_2(k_{sj} - k_{lx})$$

[0116] 得到经修正的理想换热系数 k_{lxcp} ,其中 F_2 为第二滤波函数,用于抑制实际换热系数 k_{sj} 和理想换热系数 k_{lx} 之间的误差。

[0117] 理想换热系数的计算过程中也涉及烟气与工质参数,但由通常锅炉热力边界条件可知,工质通常处于极高温因而热阻很小,换热系数的计算主要有烟气放热能力决定。因此理想换热系数本身无需进行补偿。但其与实际换热系数之间也有相应特性的差异,同样需要进行补偿。理想换热系数的补偿过程中,将实际换热系数与理想换热系数间的误差看做一种低频干扰,即, $N(t) = k_{sj}(t) - k_{lx}(t)$ 。若想抑制这种干扰对低频段的影响,应在干扰前加入高通滤波器。选择简单易于工程实现的滤波器结构形式,有

$$[0118] \quad k_{lxc} (t) = k_{lx} (t) + \frac{Ts}{Ts+1} N(t)$$

[0119] 其中 s 为拉式变换的复变量, T 为惯性时间。

[0120] 步骤 205, 利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和经修正的理想换热系数 k_{lxc} 计算清洁因子 CF。

[0121] 即, $CF = k_{sjcp} / k_{lxc}$ 。

[0122] 图 3 为本发明基于动态补偿的清洁因子检测装置一个实施例的示意图。如图 3 所示, 该装置包括检测单元 301、参数计算单元 302、温压修正单元 303、实际换热系数修正单元 304 和清洁因子确定单元 305。其中:

[0123] 检测单元 301, 用于实时采集现场数据。

[0124] 参数计算单元 302, 用于根据实时采集到的现场数据, 确定受热面的工质吸热量 Q_{gz} 、换热温压 Δt 和理想换热系数 k_{lx} , 其中换热温压 Δt 与受热面进出口烟气平均温度 T_{gpi} 和受热面进出口工质平均温度 T_{qpi} 相关联。

[0125] 优选的, 换热温压 Δt 为:

$$[0126] \quad \Delta t = T_{gpi} - T_{qpi}$$

[0127] 温压修正单元 303, 用于根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正, 以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 。

[0128] 实际换热系数修正单元 304, 用于根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 。

[0129] 清洁因子确定单元 305, 用于利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF。

[0130] 基于本发明上述实施例提供的基于动态补偿的清洁因子检测方法, 通过根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 对换热温压 Δt 进行动态补偿修正, 以得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} , 根据受热面的工质吸热量 Q_{gz} 和经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} , 利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和理想换热系数 k_{lx} 计算清洁因子 CF。通过对换热温压进行动态补偿修正, 从而使在变工况过程中烟气侧与工质侧动态响应特性趋于一致, 有效抑制了清洁因子计算结果在变工况下的异常趋势, 同时缓解了计算曲线的波动, 在全工况下加强了计算精度与适应性。

[0131] 优选的, 温压修正单元 303 具体利用公式

$$[0132] \quad \Delta t_{cp} = F_1(\Delta t, Q_{gz})$$

[0133] 得到经动态补偿修正的换热温压 Δt_{cp} , 其中 F_1 为第一滤波函数, 用于保留换热温压 Δt 的低频特性, 同时保留工质吸热量 Q_{gz} 的高频动态特性。

[0134] 优选的, 实际换热系数修正单元 304 具体利用公式

$$[0135] \quad k_{sjcp} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t_{cp}}$$

[0136] 计算经修正的实际换热系数 k_{sjcp} , 其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积。

[0137] 优选的, 理想换热系数 k_{lx} 为

$$[0138] \quad k_{lx} = \frac{1}{\alpha_d + \alpha_f}$$

[0139] 其中 α_d 为对流换热系数, α_f 为辐射换热系数。

[0140] 其中对流换热系数 α_d 计算方法为:

$$[0141] \quad \alpha_d = f(\text{Re}, \text{Pr}, d, T)$$

[0142] 式中, Re 为雷诺数、Pr 为普朗特数, d 为受热面管子外径(m)、T 为烟气定性温度(°C)。对流换热系数的计算公式为经典管排冲刷换热准则式推导而来,形式上为上述参数的函数,根据受热面管子排列方式不同,其系数选取略有差异。

[0143] 辐射换热系数计算公式为,

$$[0144] \quad \alpha_f = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\alpha_3 + 1}{2} a T^3 \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^4}{1 - \frac{T_3}{T}}$$

$$[0145] \quad T_3 = t + \frac{B}{\alpha_2 H} Q_{gz} \times 10^3 + 273$$

[0146] 式中, α_3 为辐射受热面污染壁面的黑度,对锅炉受热面取 0.8 定值; α 为温度为烟气流的黑度; T_3 为管子灰污沉积层的温度(K); t 为管内介质的平均温度(°C)。其中,烟气黑度计算公式可通过锅炉热力计算标准的线算图得到。

[0147] 图 4 为本发明基于动态补偿的清洁因子检测装置另一个实施例的示意图。与图 3 所示实施例相比,在图 4 所示实施例中,清洁因子确定单元 305 还包括理想换热系数修正模块 401 和清洁因子计算模块 402。其中:

[0148] 理想换热系数修正模块 401,用于利用公式

$$[0149] \quad k_{lxcp} = k_{lx} + F_2(k_{sj} - k_{lx})$$

[0150] 得到经修正的理想换热系数 k_{lxcp} ,其中 F_2 为第二滤波函数,用于抑制实际换热系数 k_{sj} 和理想换热系数 k_{lx} 之间的误差,其中实际换热系数 k_{sj} 为

$$[0151] \quad k_{sj} = \frac{B \cdot Q_{gz}}{H \cdot \Delta t}$$

[0152] 其中参数 B 为计算燃料消耗量, H 为受热面的换热面积。

[0153] 清洁因子计算模块 402,用于利用经修正的实际换热系数 k_{sjcp} 和经修正的理想换热系数 k_{lxcp} 计算清洁因子 CF。

[0154] 本发明通过在稳态传热计算基础上对关键计算节点加以动态补偿,使得在非稳态工况下计算公式内的烟气与工质侧参数在动态响应特性上趋于一致,有效抑制了清洁因子计算结果在变工况下的异常趋势,同时减缓了计算曲线的波动。在 AGC 指令调动频繁、锅炉启停磨、快速甩负荷等工况大幅变动的情况下都能保持连续实时在线监测受热面污染状况。

[0155] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分步骤可以通过硬件来完成,也可以通过程序来指令相关的硬件完成,所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中,上述提到的存储介质可以是只读存储器,磁盘或光盘等。

[0156] 本发明的描述是为了示例和描述起见而给出的,而并不是无遗漏的或者将本发明限于所公开的形式。很多修改和变化对于本领域的普通技术人员而言是显然的。选择和描述实施例是为了更好说明本发明的原理和实际应用,并且使本领域的普通技术人员能够理解本发明从而设计适于特定用途的带有各种修改的各种实施例。

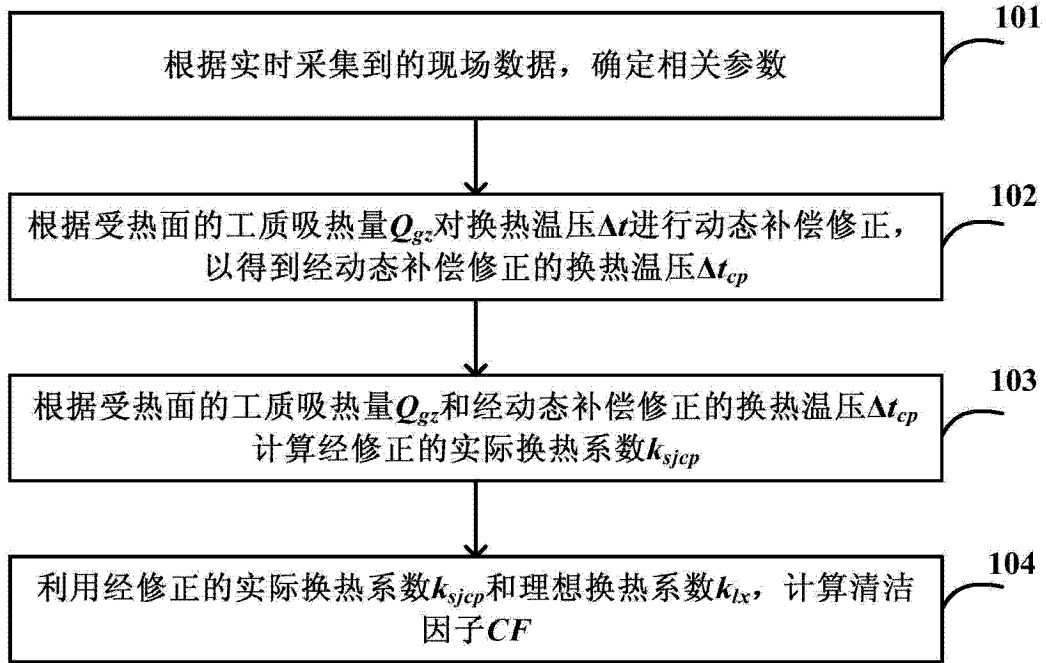


图 1

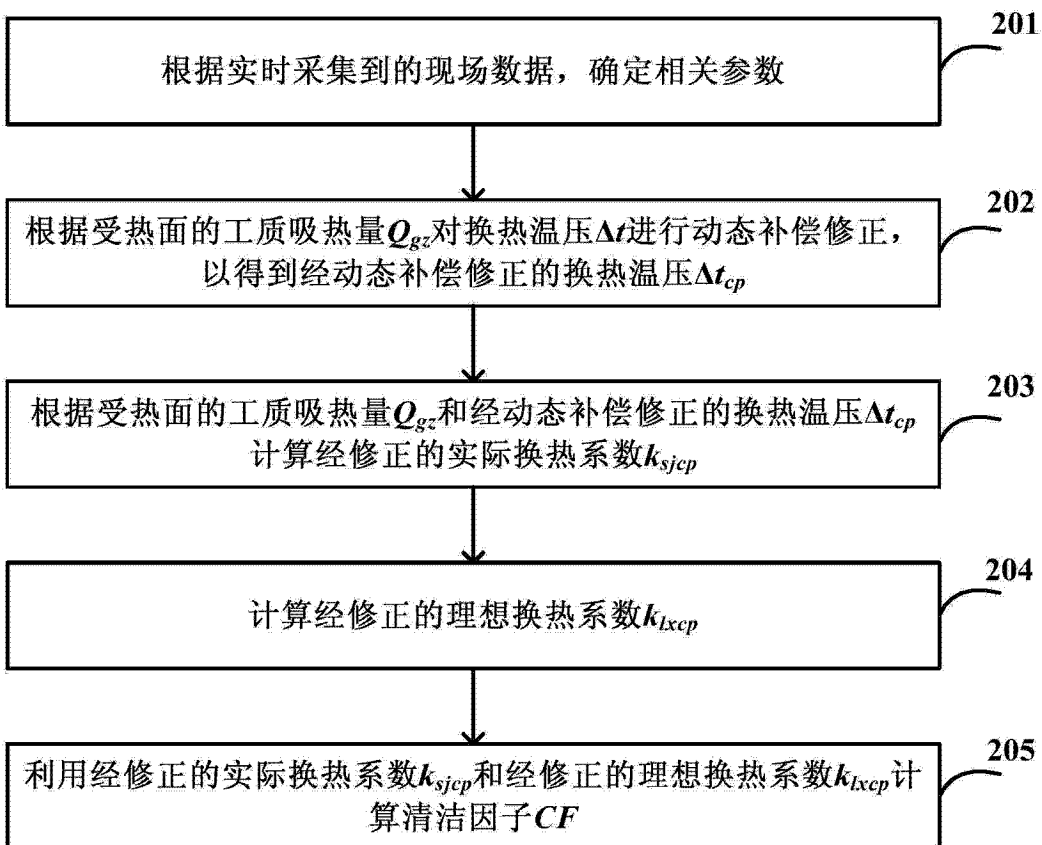


图 2

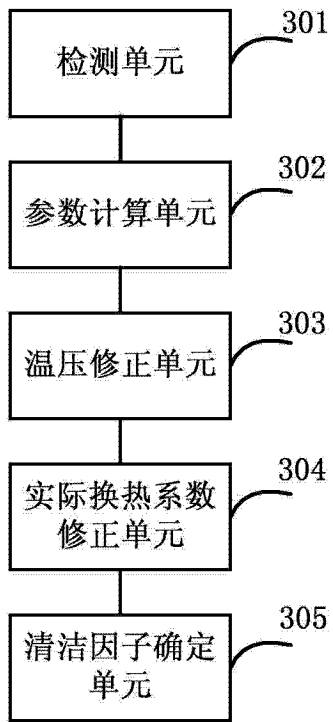


图 3

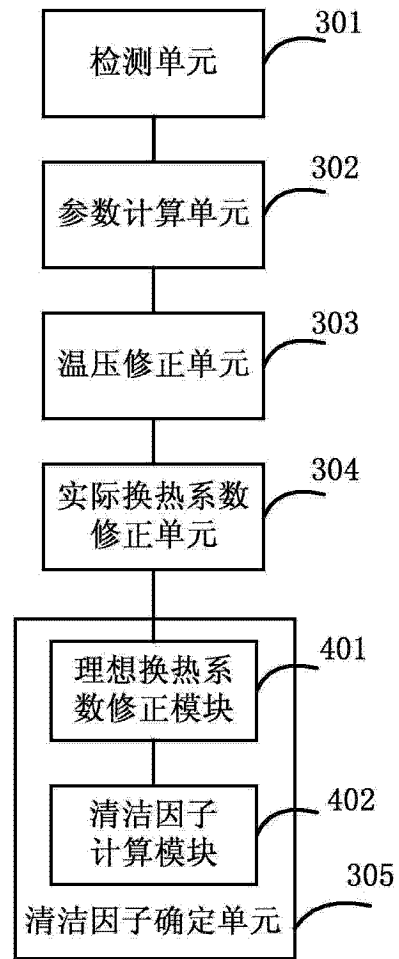


图 4