



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106382615 B

(45)授权公告日 2017.09.26

(21)申请号 201610729603.4

(22)申请日 2016.08.25

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106382615 A

(43)申请公布日 2017.02.08

(73)专利权人 西安西热控制技术有限公司

地址 710065 陕西省西安市雁翔路99号西  
二楼310室

(72)发明人 蔡宝玲 高海东 杨新民 薛建中

顾正萌 吴恒运 储墨 曹军

郑小刚 刘爱君 万松森 程国栋

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务

所 61215

代理人 何会侠

(51)Int.Cl.

F22B 35/00(2006.01)

F22G 5/04(2006.01)

G05B 23/02(2006.01)

审查员 李凯

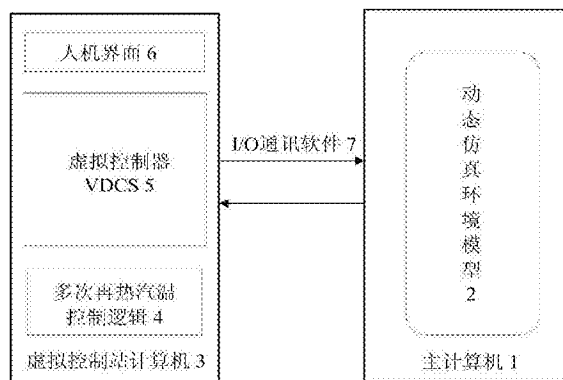
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统和方法

(57)摘要

一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统和方法,是在机组投入运行前通过超超临界机组多次再热汽温动态仿真环境,对再热汽温的控制逻辑包括烟气再循环、摆动燃烧器、烟气挡板进行验证和优化,以缩短实际机组启动调试时间;同时也解决投产后对实际机组进行优化调整试验时受运行条件限制的问题。所述系统包括主计算机、动态仿真环境模型、虚拟控制站计算机、多次再热汽温控制逻辑、虚拟控制器VDCS、人机界面和I/O通讯软件;而且通过引入煤粉细度、氧量和n次再热汽压、汽温修正设定值的方法,优化再热汽温控制逻辑,以实现超超临界机组多次再热汽温高品质控制,满足超超临界多次再热机组安全、稳定和高效运行的需要。



1. 一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统,其特征在於:包括主计算机(1)、I/O通讯软件(7)与主计算机(1)连接的虚拟控制站计算机(3),所述主计算机(1)内为动态仿真环境模型(2),虚拟控制站计算机(3)内为多次再热汽温控制逻辑(4)、虚拟控制器VDCS(5)和人机界面(6);I/O通讯软件(7)实现动态仿真环境模型(2)与虚拟控制站计算机(3)之间的实时数据通讯;所述主计算机(1)从虚拟控制站计算机(3)获得操作人员通过人机界面(6)下发的摆动燃烧器、烟气再循环、烟气挡板和喷水减温控制操作指令,并将计算结果反馈到虚拟控制站计算机(3),形成闭环控制,所述计算结果包括烟气再循环挡板开度、摆动燃烧器角度、烟气挡板开度和减温喷水流量、n次再热汽温和机组实时运行模拟参数。

2. 根据权利要求1所述的一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统,其特征在於:主计算机(1)以动态仿真环境模型(2)为核心,动态仿真环境模型(2)是全过程动态模拟的超超临界多次再热机组本体过程模型,实现对参照机组从冷态启动到满负荷工况、以及从满负荷工况到停止状态全过程实时动态模拟。

3. 根据权利要求1所述的一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统,其特征在於:所述动态仿真环境模型(2)采用大型流体网络算法,在满足质量守恒定律、能量守恒定律、动量守恒定律的前提下,确保基于物理机理的模型的完整性、准确性和实时性;真实地模拟实际机组的各个物理过程,包括机组运行过程中的能量转化过程以及工质在不同温度和压力下的物理特性。

4. 权利要求1所述的一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统的验证方法,其特征在於:所述多次再热汽温控制逻辑(4)下装到虚拟控制器VDCS(5)中,内容包括:烟气再循环挡板、摆动燃烧器、烟气挡板和喷水减温控制;具体步骤如下:

第1步:操作人员通过人机界面(6)设定超超临界再热机组总负荷;

第2步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过I/O通讯软件(7)获取动态仿真环境模型(2)煤粉细度、氧量测量信号;

第3步:多次再热汽温控制逻辑(4)根据煤粉细度、氧量计算修正系数 $C_1$ , $C_1 = (1 - 0.02 * (R_{90} - 18) / 18) * (3.35 * (O_2 - O_2^r))$ ,其中 $R_{90}$ 为煤粉细度, $O_2$ 为炉膛烟气含氧量, $O_2^r$ 代表机组额定工况烟气含氧量,当机组负荷 $\leq 300\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为5.56,机组负荷 $= 500\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为4.33,机组负荷 $= 750\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为3.2,机组负荷 $= 1000\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为2.74;而且对 $C_1$ 进行上下限值, $0.992 \leq C_1 \leq 1.008$ ;

第4步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过I/O通讯软件(7)获取动态仿真环境模型(2)1...n次再热汽压、温度测量信号;

第5步:多次再热汽温控制逻辑(4)根据1...n次再热压力、温度计算修正系数 $C_2$ ;先计算对应温度和压力的焓值 $h_n = f(P_n, T_n)$ , $C_2 = k_3 ((h_1 - h_1^r) + (h_2 - h_2^r) + \dots + (h_n - h_n^r))$ ,对二次再热机组 $n=2$ ,其中P为压力,T为温度,h为焓值;系数 $k_3$ 取值范围500~510;而且对 $C_2$ 进行上下限值, $0.988 \leq C_2 \leq 1.012$ ;

第6步:多次再热汽温控制逻辑(4)计算再热汽温初始设定值X, $X = C_1 * C_2 * f(x)$ ,其中f(x)根据机组总负荷确定,即当机组总负荷 $< 400\text{MW}$ 时为 $480^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 和 $< 600\text{MW}$ 时为 $545^\circ\text{C}$ 时,当机组总负荷 $\geq 600\text{MW}$ 为 $623^\circ\text{C}$ ;

第7步:多次再热汽温控制逻辑(4)对再热汽温初始设定值X进行高低限值计算,得到再

热汽温动态设定值 $T_s$ ,其中上限值 $\max(x)$ :当机组总负荷 $<400\text{MW}$ 时为 $520^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 为 $628^\circ\text{C}$ ;下限值 $\min(x)$ :当机组总负荷 $<400\text{MW}$ 时为 $460^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 和 $<600\text{MW}$ 时为 $525^\circ\text{C}$ 时,当机组总负荷 $\geq 600\text{MW}$ 为 $603^\circ\text{C}$ , $\min(x) \leq T_s \leq \max(x)$ ;

第8步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过I/O通讯软件(7)获取动态仿真环境模型(2)1...n次再热汽温测量值;

第9步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过对n个再热汽温测量值 $T_1 \sim T_n$ 的平均计算得到再热汽温测量值T;

第10步:多次再热汽温控制逻辑(4)计算再热汽温动态设定值 $T_s$ 和再热汽温测量值T的偏差;

第11步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过PID调节器比例、积分、微分计算,输出烟气再循环开度信号;

第12步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过I/O通讯软件(7)获取动态仿真环境模型(2)汽水分离器压力测量信号;

第13步:多次再热汽温控制逻辑(4)设定烟气再循环挡板开度为锅炉主燃料跳闸信号发生时对应的烟气再循环挡板开度定值;

第14步:多次再热汽温控制逻辑(4)设定再循环风机停止时烟气再循环挡板为0%开度;

第15步:多次再热汽温控制逻辑(4)输出烟气再循环挡板开度指令,达到调整烟气再循环量目的;

第16步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过PID调节器比例、积分、微分计算,计算燃烧器摆角位置;

第17步:多次再热汽温控制逻辑(4)设定燃烧器摆角位置为锅炉主燃料跳闸信号发生时汽水分离器压力对应的定值;

第18步:多次再热汽温控制逻辑(4)输出燃烧器摆角位置指令,从而达到调整炉膛火焰中心位置的目的;

第19步:多次再热汽温控制逻辑4分别计算n次再热汽温测量值 $T_1 \sim T_n$ 与再热汽温动态设定值 $T_s$ 的偏差;

第20步:多次再热汽温控制逻辑(4)计算n次再热汽温偏差的平均值;

第21步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过PID调节器比例、积分、微分计算烟气挡板开度;

第22步:当锅炉主燃料跳闸信号发生时,多次再热汽温控制逻辑(4)设定烟气挡板开度为50%,即保持在中间位置;

第23步:多次再热汽温控制逻辑(4)通过分配函数计算得到1~n级低温再热器烟气挡板开度指令;

第24步:由动态仿真环境模型(2)根据烟气再循环挡板开度指令计算再循环烟气流;

第25步:由动态仿真环境模型(2)根据燃烧器摆角位置计算炉膛火焰中心位置;

第26步:由动态仿真环境模型(2)根据1~n级再热器烟气挡板开度计算通过1~n级低温再热器烟气流;

第27步:由动态仿真环境模型(2)计算1~n次再热汽温。

5. 根据权利要求4所述的验证方法,其特征在于:在多次再热汽温控制逻辑(4)中增加了煤粉细度、烟气含氧量、以及n次再热汽压和汽温因素对多次再热汽温动态设定值的修正,以此全面反映影响再热汽温的各种因素,实现再热汽温的高品质控制;不仅适用超超临界二次再热机组再热汽温控制策略验证和优化,而且适用更多级再热的超超临界机组再热汽温控制策略验证和优化。

## 超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统及方法

### 技术领域：

[0001] 本发明属于电站超超临界机组自动控制技术领域，具体涉及一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统及方法。

### 背景技术

[0002] 我国“富煤、贫油、少气”的资源特点，决定了燃煤发电在我国能源结构中的主要地位。面对我国经济高速发展，电力需求和环境保护的巨大压力对我国节能减排提出了新的要求，而提高火电厂的发电效率，减少发电煤耗，超超临界二次再热技术的应用将从源头上降低烟气污染物和二氧化碳排放的最有效手段；而且随着二次再热技术的发展成熟，也可能出现三次再热技术。然而超超临界二次再热机组汽水流程增长、锅炉对流受热面级数增加、布置更加复杂，机组的动静态响应特性发生较大变化，同时再热汽温超600℃已接近金属材料允许温度上限，再热汽温控制裕量减少，而且超超临界机组二次再热汽温的控制方法较一次再热机组变化较大。由于系统复杂，机、炉各控制回路如风、煤、给水、汽温及负荷控制之间存在很强的非线性耦合关系，而且再热汽温的变化影响因素较多。为确保超超临界二次再热机组的顺利投产和安全可靠运行，在实际机组调试、运行前，对依据理论分析和工程经验设计的二次再热汽温控制策略进行验证和优化，为实际机组建设提供参考数据和指导具有非常重要的意义，迫切需要研究一种有效和可靠的方法。

[0003] 国内对超超临界一次中间再热机组控制策略研究，在机组投产前多停留在对部分控制回路和相关热力系统进行机理性建模和分析层面，往往假设和简化条件较多，局限在仅能提供趋势性指导。在机组投产后多采用对实际机组进行优化调整试验分析方法，但受到机组运行条件限制而不能随意、随时在大负荷范围进行试验，迄今还没有在机组建设初期针对实际工程应用的超超临界机组二次再热汽温控制策略验证系统及方法的研究。

### 发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术存在的问题，本发明的目的在于提供一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统及方法，在机组投入运行前通过超超临界机组多次再热汽温动态仿真环境，对超超临界机组多次再热汽温的控制逻辑（包括摆动燃烧器、烟气再循环、烟气挡板和喷水减温控制）进行验证和优化，为超超临界机组多次再热机组的调试和运行提供基础数据和指导，实现缩短机组调试时间、有效控制超超临界机组多次再热汽温在允许范围内，保证超超临界机组安全、经济和稳定运行的目的。

[0005] 为了实现上述目的，本发明采用以下技术方案：

[0006] 一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统，包括主计算机1、I/O通讯软件7与主计算机1连接的虚拟控制站计算机3，所述主计算机1内为动态仿真环境模型2，虚拟控制站计算机3内为多次再热汽温控制逻辑4、虚拟控制器VDCS 5和人机界面6；I/O通讯软件7实现动态仿真环境模型2与虚拟控制站计算机3之间的实时数据通讯；所述主计算机1从虚拟控制站计算机3获得操作人员通过人机界面6下发的摆动燃烧器、烟气再循环、烟气挡

板和喷水减温控制操作指令,并将计算结果包括:烟气再循环挡板开度、摆动燃烧器角度、烟气挡板开度和减温喷水流量、n次再热汽温和机组实时运行模拟参数反馈到虚拟控制站计算机3,形成闭环控制。

[0007] 主计算机1以动态仿真环境模型2为核心,动态仿真环境模型2是全过程动态模拟的超超临界多次再热机组本体过程模型,实现对参照机组从冷态启动到满负荷工况、以及从满负荷工况到停止状态全过程实时动态模拟。

[0008] 所述动态仿真环境模型2采用大型流体网络算法,在满足质量守恒定律、能量守恒定律、动量守恒定律的前提下,确保基于物理机理的模型的完整性、准确性和实时性;真实地模拟实际机组的各个物理过程,包括机组运行过程中的能量转化过程以及工质在不同温度和压力下的物理特性。

[0009] 上述所述的一种超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统的验证方法,所述多次再热汽温控制逻辑4下装到虚拟控制器VDCS 5中,内容包括:烟气再循环挡板、摆动燃烧器、烟气挡板和喷水减温控制;具体步骤如下:

[0010] 第1步:操作人员通过人机界面6设定超超临界再热机组总负荷;

[0011] 第2步:多次再热汽温控制逻辑4通过通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2煤粉细度、氧量测量信号;

[0012] 第3步:多次再热汽温控制逻辑4根据煤粉细度、氧量计算修正系数 $C_1$ , $C_1 = (1 - 0.02 * (R_{90} - 18) / 18) * (3.35 * (O_2 - O_2^r))$ ,其中 $R_{90}$ 为煤粉细度, $O_2$ 为炉膛烟气含氧量, $O_2^r$ 代表机组额定工况烟气含氧量,当机组负荷 $\leq 300\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为5.56,机组负荷 $= 500\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为4.33,机组负荷 $= 750\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为3.2,机组负荷 $= 1000\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为2.74;而且对 $C_1$ 进行上下限值, $0.992 \leq C_1 \leq 1.008$ ;

[0013] 第4步:多次再热汽温控制逻辑4通过通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2的1...n次再热汽压、温度测量信号;

[0014] 第5步:多次再热汽温控制逻辑4根据1...n次再热压力、温度计算修正系数 $C_2$ ;先计算对应温度和压力的焓值 $h_n = f(P_n, T_n)$ , $C_2 = k_3 ((h_1 - h_1^r) + (h_2 - h_2^r) + \dots + (h_n - h_n^r))$ ,对二次再热机组 $n=2$ ,其中P为压力,T为温度,h为焓值;系数 $k_3$ 取值范围500~510;而且对 $C_2$ 进行上下限值, $0.988 \leq C_2 \leq 1.012$ ;

[0015] 第6步:多次再热汽温控制逻辑4计算再热汽温初始设定值X, $X = C_1 * C_2 * f(x)$ ,其中 $f(x)$ 根据机组总负荷确定,即当机组总负荷 $< 400\text{MW}$ 时为 $480^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 和 $< 600\text{MW}$ 时为 $545^\circ\text{C}$ 时,当机组总负荷 $\geq 600\text{MW}$ 为 $623^\circ\text{C}$ ;

[0016] 第7步:多次再热汽温控制逻辑4对再热汽温初始设定值X进行高低限值计算,得到再热汽温动态设定值 $T_s$ ,其中上限值 $\max(x)$ :当机组总负荷 $< 400\text{MW}$ 时为 $520^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 为 $628^\circ\text{C}$ ;下限值 $\min(x)$ :当机组总负荷 $< 400\text{MW}$ 时为 $460^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 和 $< 600\text{MW}$ 时为 $525^\circ\text{C}$ 时,当机组总负荷 $\geq 600\text{MW}$ 为 $603^\circ\text{C}$ , $\min(x) \leq T_s \leq \max(x)$ ;

[0017] 第8步:多次再热汽温控制逻辑4通过通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2的1...n次再热汽温测量值 $T_1 \sim T_n$ ;

[0018] 第9步:多次再热汽温控制逻辑4通过对n个再热汽温测量值 $T_1 \sim T_n$ 的平均计算得到再热汽温测量值T;

[0019] 第10步:多次再热汽温控制逻辑4计算再热汽温动态设定值 $T_s$ 和再热汽温测量值T

的偏差；

[0020] 第11步：多次再热汽温控制逻辑4通过PID调节器比例、积分、微分计算，输出烟气再循环开度信号；

[0021] 第12步：多次再热汽温控制逻辑4通过通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2汽水分离器压力测量信号；

[0022] 第13步：多次再热汽温控制逻辑4设定烟气再循环挡板开度为锅炉主燃料跳闸信号发生时对应的烟气再循环挡板开度定值；

[0023] 第14步：多次再热汽温控制逻辑4设定再循环风机停止时烟气再循环挡板为0%开度；

[0024] 第15步：多次再热汽温控制逻辑4输出烟气再循环挡板开度指令，达到调整烟气再循环量目的；

[0025] 第16步：多次再热汽温控制逻辑4通过PID调节器比例、积分、微分计算，计算燃烧器摆角位置；

[0026] 第17步：多次再热汽温控制逻辑4设定燃烧器摆角位置为锅炉主燃料跳闸信号发生时汽水分离器压力对应的定值；

[0027] 第18步：多次再热汽温控制逻辑4输出燃烧器摆角位置指令，从而达到调整炉膛火焰中心位置的目的；

[0028] 第19步：多次再热汽温控制逻辑4分别计算n次再热汽温测量值 $T_1 \sim T_n$ 与再热汽温动态设定值 $T_s$ 的偏差；

[0029] 第20步：多次再热汽温控制逻辑4计算n次再热汽温偏差的平均值；

[0030] 第21步：多次再热汽温控制逻辑4通过PID调节器比例、积分、微分计算烟气挡板开度；

[0031] 第22步：当锅炉主燃料跳闸信号发生时，多次再热汽温控制逻辑4设定烟气挡板开度为50%，即保持在中间位置；

[0032] 第23步：多次再热汽温控制逻辑4通过分配函数计算得到1~n级低温再热器烟气挡板开度指令；

[0033] 第24步：由动态仿真环境模型2根据烟气再循环挡板开度指令计算再循环烟气量；

[0034] 第25步：由动态仿真环境模型2根据燃烧器摆角位置计算炉膛火焰中心位置；

[0035] 第26步：由动态仿真环境模型2根据1~n级再热器烟气挡板开度计算通过1~n级低温再热器烟气量；

[0036] 第27步：由动态仿真环境模型2计算1~n次再热汽温。

[0037] 上述方法在多次再热汽温控制逻辑4中增加了煤粉细度、烟气含氧量、以及n次再热汽压和汽温因素对多次再热汽温动态设定值的修正，以此全面反映影响再热汽温的各种因素，实现再热汽温的高品质控制；不仅适用超超临界二次再热机组再热汽温控制策略验证和优化，而且适用更多级再热的超超临界机组再热汽温控制策略验证和优化。

[0038] 和现有技术相比较，本发明具有如下有益效果：

[0039] 620℃等级超超临界二次再热燃煤发电机组在国际上尚属试验性机组，机组正常运行时金属材料的极限温度与设计温度间的裕度较小，探索适合于超超临界二次再热机组的控制策略，能够将一、二次再热汽温控制在合理范围内，为超超临界二次再热机组稳定、

安全和高效运行提供可靠的参考数据和技术指导。通过本发明：

[0040] ①建造接近实际工程的超超临界多次再热机组运行仿真环境，提供一种超超临界多次再热汽温控制策略验证系统和方法。

[0041] ②验证烟气再循环、燃烧器摆角、烟气分配挡板开度对多次再热汽温的影响规律，验证其控制组态逻辑设计的合理性并进行优化，为实际工程应用提供参考和预测。

[0042] ③为超超临界多次再热机组在启动、正常运行、事故工况时的总体控制策略设计及运行提供基础数据。

## 附图说明

[0043] 图1为验证系统结构图。

[0044] 图2为二次再热汽水流程简图。

[0045] 图3为多次再热汽温控制逻辑框图。

[0046] 具体实施

[0047] 下面结合附图对本发明作更详细的说明。

[0048] 如图1所示，为超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统结构图，包括主计算机1、动态仿真环境模型2、虚拟控制站计算机3、多次再热汽温控制逻辑4、虚拟控制器VDCS 5、人机界面6和I/O通讯软件7。I/O通讯软件7通过I/O map映射机制实现主计算机1与虚拟控制站计算机3之间的实时数据通讯。所述主计算机1从虚拟控制站计算机3获得操作人员通过人机界面下发的摆动燃烧器、烟气再循环、烟气挡板和喷水减温控制操作指令；并将主计算机1计算结果，包括：摆动燃烧器角度、烟气再循环挡板开度、烟气挡板开度和喷水减温流量、n次再热汽温（对二次再热机组 $n=2$ ）和机组实时运行模拟参数反馈到虚拟控制站计算机3，形成闭环控制回路。

[0049] 动态仿真环境模型2是全过程动态模拟的超超临界二次再热机组本体过程模型，实现参照机组从上水、通风、点火、升温、升压、暖机、并网、升负荷全过程实时动态模拟。动态仿真环境模型2为大型流体网络算法，在满足质量守恒定律、能量守恒定律、动量守恒定律的前提下，确保基于物理机理的模型的完整性、准确性和实时性。真实地模拟实际机组的各个物理过程，包括机组运行过程中的能量转化过程以及工质在不同温度和压力下的物理特性。

[0050] 通过对机组DCS组态工程文件翻译得到虚拟控制站计算机3软件（此时机组DCS组态完成，但还未开始现场调试），包括人机界面2和虚拟控制器VDCS 5，VDCS 5软件模拟实际机组DCS系统中DPU控制逻辑的运算过程并输出运算结果。

[0051] 上述多次再热汽温控制逻辑4下装到虚拟控制器VDCS 5中，内容包括：摆动燃烧器、烟气再循环、烟气挡板和喷水减温控制；此外通过锅炉运行参数的调整，诸如煤粉细度、运行氧量、燃烧器组合、OFA投运方式等手段也可实现一定的再热蒸汽温度调节作用，本发明在多次再热汽温控制逻辑4中增加了煤粉细度、运行氧量、以及n次再热蒸气压力和温度因素对多次再热汽温动态设定值的修正。如图3所示，具体计算步骤如下：

[0052] 第1步：操作人员通过人机界面6设定超超临界再热机组总负荷；

[0053] 第2步：多次再热汽温控制逻辑4通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2煤粉细度、氧量测量信号；



[0054] 第3步:多次再热汽温控制逻辑4根据煤粉细度、氧量计算修正系数 $C_1$ ,  $C_1 = (1 - 0.02 * (R_{90} - 18) / 18) * (3.35 * (O_2 - O_2^r))$ , 其中 $R_{90}$ 为煤粉细度, $O_2$ 为炉膛烟气含氧量, $O_2^r$ 代表机组额定工况烟气含氧量,当机组负荷 $\leq 300\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为5.56,机组负荷 $= 500\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为4.33,机组负荷 $= 750\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为3.2,机组负荷 $= 1000\text{MW}$ 时 $O_2^r$ 为2.74;而且对 $C_1$ 进行上下限值, $0.992 \leq C_1 \leq 1.008$ ;

[0055] 第4步:多次再热汽温控制逻辑4通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2的1...n次再热汽压、温度测量信号;

[0056] 第5步:多次再热汽温控制逻辑4根据1...n次再热压力、温度计算修正系数 $C_2$ ;先计算对应温度和压力的焓值 $h_n = f(P_n, T_n)$ ,  $C_2 = k_3((h_1 - h_1^r) + (h_2 - h_2^r) + \dots + (h_n - h_n^r))$ ,对二次再热机组 $n=2$ ,其中P为压力,T为温度,h为焓值;系数 $k_3$ 取值范围500~510;而且对 $C_2$ 进行上下限值, $0.988 \leq C_2 \leq 1.012$ ;

[0057] 第6步:多次再热汽温控制逻辑4计算再热汽温初始设定值X,  $X = C_1 * C_2 * f(x)$ ,其中f(x)根据机组总负荷确定,即当机组总负荷 $< 400\text{MW}$ 时为 $480^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 和 $< 600\text{MW}$ 时为 $545^\circ\text{C}$ 时,当机组总负荷 $\geq 600\text{MW}$ 为 $623^\circ\text{C}$ ;

[0058] 第7步:多次再热汽温控制逻辑4对再热汽温初始设定值X进行高低限值计算,得到再热汽温动态设定值 $T_s$ ,其中上限值 $\max(x)$ :当机组总负荷 $< 400\text{MW}$ 时为 $520^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 为 $628^\circ\text{C}$ ;下限值 $\min(x)$ :当机组总负荷 $< 400\text{MW}$ 时为 $460^\circ\text{C}$ ,当机组总负荷 $\geq 400\text{MW}$ 和 $< 600\text{MW}$ 时为 $525^\circ\text{C}$ 时,当机组总负荷 $\geq 600\text{MW}$ 为 $603^\circ\text{C}$ , $\min(x) \leq T_s \leq \max(x)$ ;

[0059] 第8步:多次再热汽温控制逻辑4通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2的1...n次再热汽温测量值;

[0060] 第9步:多次再热汽温控制逻辑4通过对n个再热汽温测量值 $T_1 \sim T_n$ 的平均计算得到再热汽温测量值T;

[0061] 第10步:多次再热汽温控制逻辑4计算再热汽温动态设定值 $T_s$ 和再热汽温测量值T的偏差;

[0062] 第11步:多次再热汽温控制逻辑4通过PID调节器比例、积分、微分计算,输出烟气再循环开度信号;

[0063] 第12步:多次再热汽温控制逻辑4通过I/O通讯软件7获取动态仿真环境模型2汽水分离器压力测量信号;

[0064] 第13步:多次再热汽温控制逻辑4设定烟气再循环挡板开度为锅炉主燃料跳闸信号发生时对应的烟气再循环挡板开度定值;

[0065] 第14步:多次再热汽温控制逻辑4设定再循环风机停止时烟气再循环挡板为0%开度;

[0066] 第15步:多次再热汽温控制逻辑4输出烟气再循环挡板开度指令,达到调整烟气再循环量目的;

[0067] 第16步:多次再热汽温控制逻辑4通过PID调节器比例、积分、微分计算,计算燃烧器摆角位置;

[0068] 第17步:多次再热汽温控制逻辑4设定燃烧器摆角位置为锅炉主燃料跳闸信号发生时汽水分离器压力对应的定值;

[0069] 第18步:多次再热汽温控制逻辑4输出燃烧器摆角位置指令,从而达到调整炉膛火

焰中心位置的目的；

[0070] 第19步：多次再热汽温控制逻辑4分别计算n次再热汽温测量值 $T_1 \sim T_n$ 与再热汽温动态设定值 $T_s$ 的偏差；

[0071] 第20步：多次再热汽温控制逻辑4计算n次再热汽温偏差的平均值；

[0072] 第21步：多次再热汽温控制逻辑4通过PID调节器比例、积分、微分计算烟气挡板开度；

[0073] 第22步：当锅炉主燃料跳闸信号发生时，多次再热汽温控制逻辑4设定烟气挡板开度为50%，即保持在中间位置；

[0074] 第23步：多次再热汽温控制逻辑4通过分配函数计算得到1~n级低温再热器烟气挡板开度指令；

[0075] 第24步：由动态仿真环境模型2根据烟气再循环挡板开度指令计算再循环烟气量；

[0076] 第25步：由动态仿真环境模型2根据燃烧器摆角位置计算炉膛火焰中心位置；

[0077] 第26步：由动态仿真环境模型2根据1~n级再热器烟气挡板开度计算通过1~n级低温再热器烟气量；

[0078] 第27步：由动态仿真环境模型2计算1~n次再热汽温。

#### 实施例：

[0079] 某超超临界二次再热机组锅炉为直流本生炉，两次中间再热。汽机采用超高/高/中压缸联合启动方式，主蒸汽为串联流程，即主蒸汽由超高压缸VHP进入→排汽至一级再热器→进入高压缸HP→高压缸HP排汽至二级再热器→进入中压缸IP→低压缸LP→凝汽器，机组汽水流程简图见图2。根据机组工艺过程设计超超临界二次再热机组再热汽温控制逻辑，通过超超临界机组多次再热汽温控制策略验证系统，进行机组启动、停止过程实时动态仿真试验，根据烟气再循环、燃烧器摆角和烟气挡板对一、二次再热汽温动态特性的不同影响分别整定各PID调节器参数，以此实现烟气再循环、燃烧器摆角和烟气挡板的闭环控制。通过烟气再循环、燃烧器摆角改变过热器和再热器之间的热量分配；通过烟气挡板调整通过一、二级低压再热器之间的烟气量，控制一、二次再热汽温偏差达到设定值。再热器喷水仅作为再热汽温事故状态时使用，正常运行时不使用，因此不作为验证的重点。在实际机组运行调试阶段前，通过该方法实现再热汽温控制逻辑的验证和优化，确保一、二次再热汽温控制逻辑既满足生产需要又能保证设备安全。

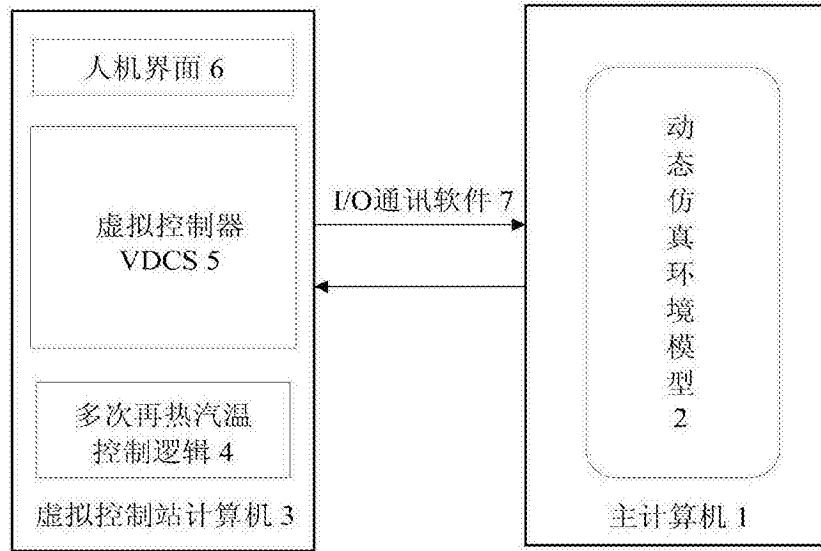


图1

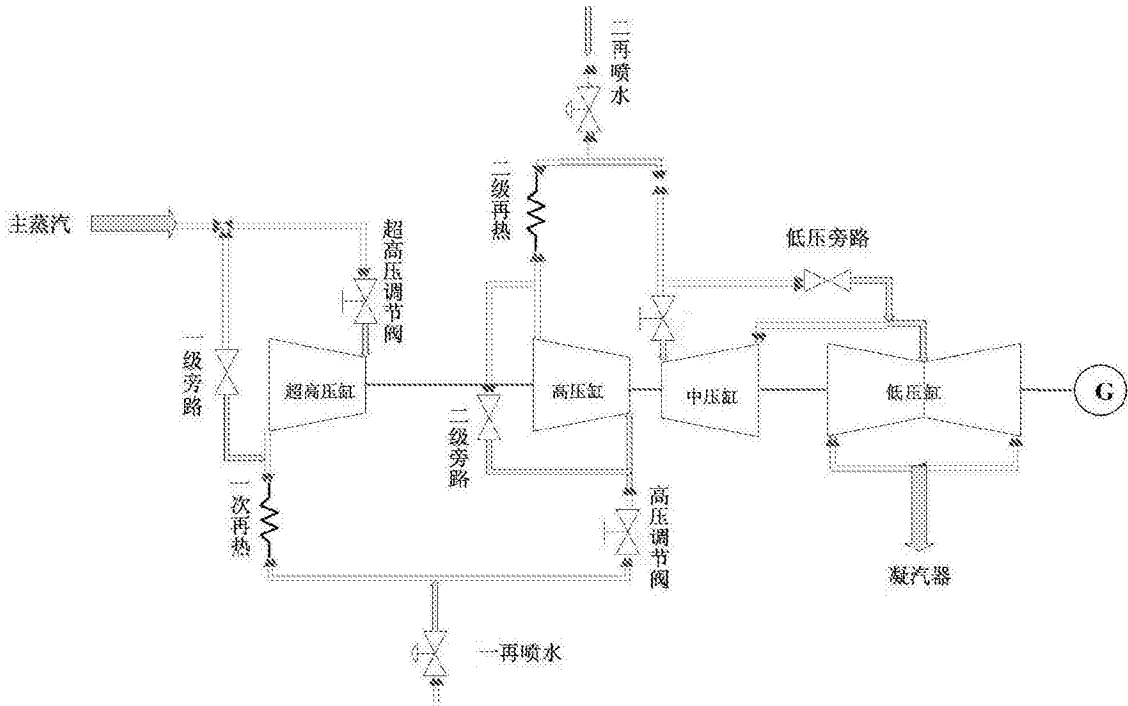


图2

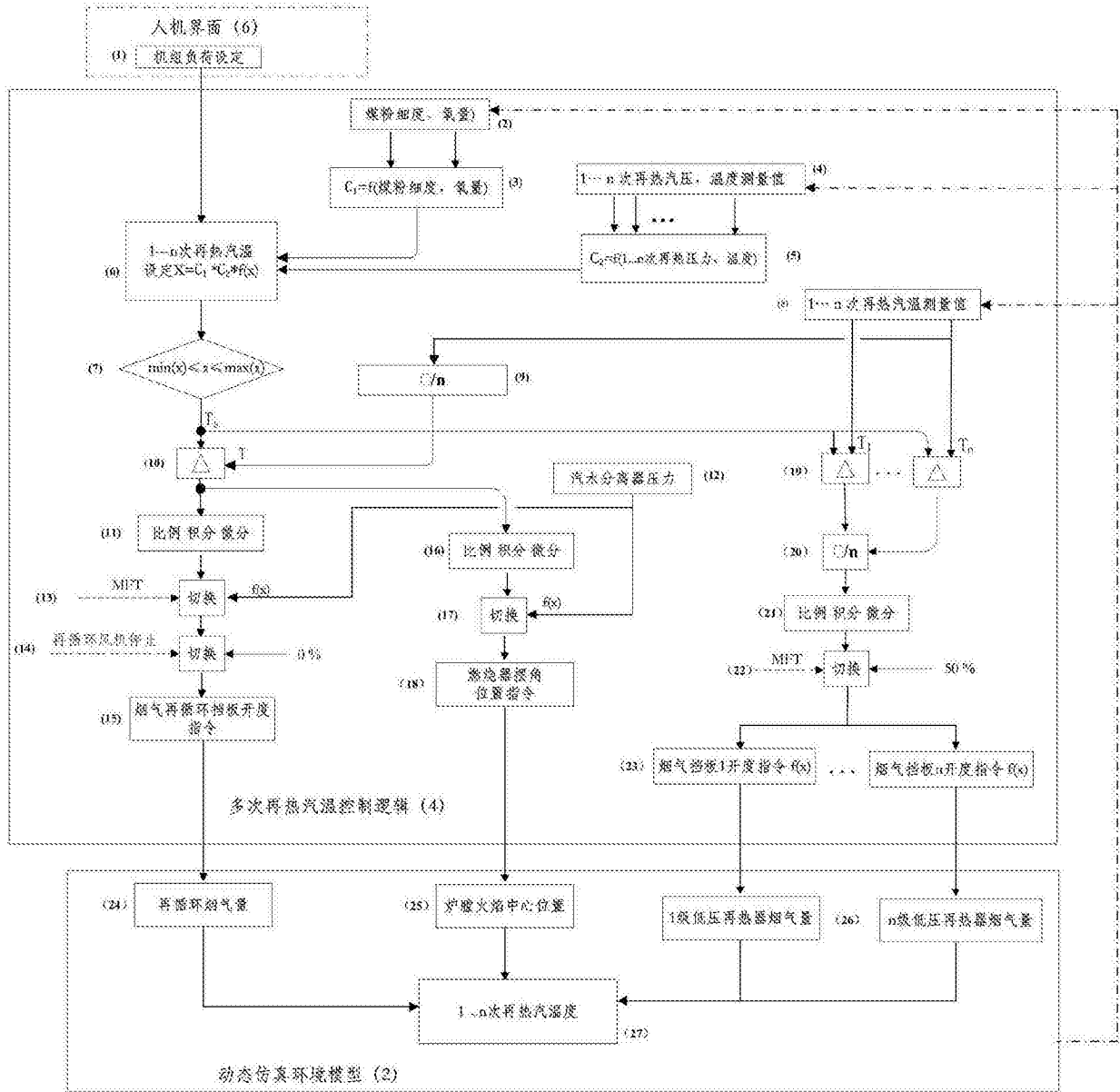


图3