

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 6 月 20 日 (20.06.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/114401 A1

(51) 国际专利分类号:
F23N 1/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/110345

(22) 国际申请日: 2018 年 10 月 16 日 (16.10.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201711314531.8 2017 年 12 月 12 日 (12.12.2017) CN

(71) 申请人: 浙江工业大学(ZHEJIANG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市下城区潮王路18号, Zhejiang 310012 (CN)。

(72) 发明人: 何德峰(HE, Defeng); 中国浙江省杭州市下城区潮王路18号, Zhejiang 310012 (CN)。

宋秀兰(SONG, Xiulan); 中国浙江省杭州市下城区潮王路18号, Zhejiang 310012 (CN)。俞立(YU, Li); 中国浙江省杭州市下城区潮王路18号, Zhejiang 310012 (CN)。

(74) 代理人: 杭州千克知识产权代理有限公司(HANGZHOU KG IP LAW FIRM); 中国浙江省湖州市长岛公园43号楼, Zhejiang 313000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) **Title:** STEAM PRESSURE POLE-PLACEMENT ADJUSTMENT METHOD OF STRAW BURNING CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER

(54) 发明名称: 一种秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法

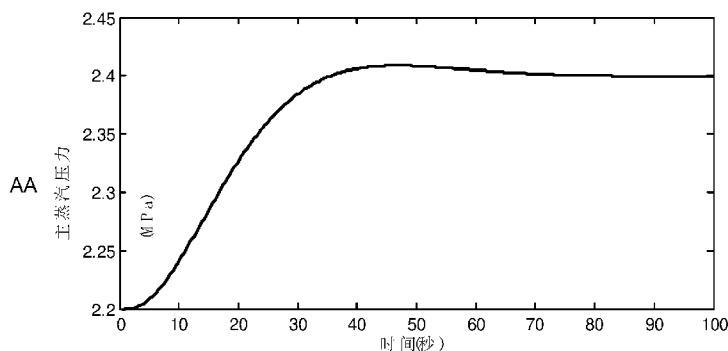


图 1 BB

AA Time (second)
BB Main steam pressure

(57) **Abstract:** Provided is an adjustment method for steam pressure pole-placement of a straw burning circulating fluidized bed boiler. The method calculates a steady state target value of an intermediate variable and a steady state target value of a straw burning amount according to a target value of the steam pressure, establishes a continuous time dynamic model of equivalent steam pressure and straw burning, further designs a steam pressure automatic adjustment controller for the straw burning circulating fluidized bed boiler, so as to achieve the automatic adjustment of the steam pressure of the straw burning circulating fluidized bed boiler for the target value. The method is easy to achieve the adjustment of steam pressure pole-placement of the straw burning circulating fluidized bed boiler.

(57) **摘要:** 一种秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法。该方法根据蒸汽压力目标值计算中间变量稳态目标值和秸秆燃烧量稳态目标值, 建立一个等价的蒸汽压力与秸秆燃烧量连续时间动态模型, 进而设计一个秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力自动调节控制器, 实现秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力对目标值的自动调节。该方法易于实现秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节。

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法

技术领域

本发明属于秸秆燃烧循环流化床锅炉自动控制领域，涉及一种秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法。

背景技术

我国农村在收获季节农田废弃秸秆的露天燃烧是 PM2.5 的重要来源，严格控制秸秆的燃烧是降低 PM2.5 浓度的重要手段。实际上秸秆是一种高效、可利用的可再生清洁燃料，替代煤炭、石油和天然气等燃料产生电力，可以减少人类对矿物能源的依赖，保护国家能源资源，减轻能源消费给环境造成的污染。目前欧美国家建设了成熟的秸秆类农业废弃物燃烧发电厂，证明秸秆直燃发电、供热具有显著的能源效益和环境效益，而且回收废弃秸秆增加了农民收入，从经济上保证农民不再乱烧秸秆。不同于煤等矿物质燃料，由于不同品种和产地的秸秆，其固定碳、挥发份、水分、灰分等成分比例不同，加上回收时预处理手段和当地气候的影响，造成了秸秆燃料品质的差异很大。考虑到循环流化床锅炉对燃料品质的适应性较好，因此循环流化床秸秆直接燃烧技术近几年在我国发展十分迅速。在循环流化床秸秆燃烧过程中，流化床锅炉蒸汽压力的变化表示锅炉的蒸汽产量和负荷的耗汽量不相适应，这时必须相应地调节秸秆燃料的供应量，以改变流化床锅炉的蒸汽产量。在秸秆燃烧发电、供热单元机组中，流化床锅炉燃烧蒸汽压力控制与汽机负荷控制是相互关联的，锅炉的蒸汽压力控制系统的任务就是及时调整锅炉燃料量，使锅炉的蒸汽量输出与汽轮机对外界负荷需求而需要的能量输入相适应，其标志是流化床锅炉燃烧蒸汽压力的稳定。通过对现有秸秆直接燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节方法的文献的检索发现，目前秸秆直燃循环流化床锅炉蒸汽压力调节方法主要有：基于常规 PID 技术的蒸汽压力调节方法、基于模糊控制技术的蒸汽压力调节方法和基于神经网络控制技术的蒸汽压力调节方法，但蒸汽压力的常规 PID 调节方法由于控制器参数是离线确定，不会随秸秆燃料品质变化而改变，因此不能很好的稳定由于秸秆燃料品质大造成的蒸汽压力波动；同样由于秸秆燃料品质的差异大，需要采用大量的模糊度函数，使得环流化床锅炉

蒸汽压力调节方法的计算量较大；而基于神经网络控制技术的秸秆直燃循环流化床锅炉蒸汽压力调节方法则需要大量的工业数据样本用于离线训练秸秆直燃过程模型参数，以保证得到较为准确的蒸汽压力与秸秆燃料量之间的动态关系，这些秸秆直燃循环流化床锅炉蒸汽压力调节方法对于秸秆燃料频繁波动的品质的蒸汽调节效果的收敛速度缓慢，理解抽象，而且应用过程复杂。因为秸秆燃料品质的频繁波动以及用户需求的周期变化，但循环流化床锅炉蒸汽压力调节的实时性、快速性和准确性要求高，因此，尽管秸秆直燃循环流化床锅炉蒸汽压力调节方法研究取得了一些成果，但近年来相关学者对于这个具有挑战性的难题仍然进行了大量地研究和探讨，以满足秸秆直燃发电、供热过程对高品质的循环流化床秸秆直接燃烧控制技术的迫切需要。

发明内容

为了克服现有秸秆直接燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节方法的理解抽象、在线计算复杂和应用过程复杂的不足，本发明提供一种理解直观、设计简单、易于实现的秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：

一种秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法，所述方法包括如下步骤：

1)、考虑秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力与秸秆燃料量的动态模型，参见式 (1)：

$$\begin{cases} \ddot{x}(t) = -\frac{x(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{(T_1 + T_2 + \tau)\dot{x}(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)\ddot{x}(t)}{T_1 T_2 \tau} + M(t) \\ P(t) = \frac{K}{T_1 T_2 \tau} x(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中， t 表示时间变量；“ $\cdot$ ”、“ $\ddot{}$ ”和“ $\dots$ ”分别表示对应变量的二阶导数、三阶导数和三阶导数； P 表示循环流化床锅炉蒸汽压力变量，MPa； M 表示用于燃烧的秸秆燃料量，t/h； x 是中间变量；常数 K 表示循环流化床锅炉蒸汽压力的稳态增益；常数 T_1 、 T_2 和 τ 分别表示循环流化床锅炉汽包压力时间常数、蒸汽压力时间常数和时滞，s；

2)、根据秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节的目标值为 P_r ，定义中间变量的稳态目标值 x_r ，参见式 (2)：

$$x_r = T_1 T_2 \tau P_r / K \quad (2)$$

3)、定义循环流化床锅炉秸秆燃料量的稳态目标值 M_r ，参见式(3)：

$$M_r = P_r / K \quad (3)$$

4)、结合式(2)和式(3)，定义符号 $z=x-x_r$ 和 $v=M-M_r$ ，代入式(1)，整理得到一个等价的秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力动态模型，参见式(4)：

$$\begin{cases} \ddot{z}(t) = -\frac{z(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{(T_1 + T_2 + \tau)\dot{z}(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)\ddot{z}(t)}{T_1 T_2 \tau} + v(t) \\ P(t) = \frac{K}{T_1 T_2 \tau} z(t) + P_r \end{cases} \quad (4)$$

5)、给定系统(4)的一组期望闭环极点 $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ ，参见式(5)：

$$\lambda_1 = a + ja, \quad \lambda_2 = a - ja, \quad \lambda_3 = 5\sqrt{2}a \quad (5)$$

其中， j 表示虚数符号， $a>0$ 表示期望闭环极点的特征参数；

6)、定义循环流化床锅炉在 t 时刻秸秆燃烧量的一个自动调节控制器，参见式(6)：

$$M(t) = -G[x(t) - x_r, \dot{x}(t), \ddot{x}(t)]^T + M_r \quad (6)$$

其中，符号“ T ”表示向量的转置；行向量 $G=[g_1, g_2, g_3]$ 可由式(7)计算确定

$$\begin{aligned} g_1 &= -10\sqrt{2}a^3 - 1/T_1 T_2 \tau, \\ g_2 &= (2 + 10\sqrt{2})a^2 - (T_1 + T_2 + \tau)/T_1 T_2 \tau, \\ g_3 &= -(2 + 5\sqrt{2})a - ((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)/T_1 T_2 \tau, \end{aligned} \quad (7)$$

7)、在线测量循环流化床锅炉蒸汽压力的实际值，根据式(6)实时计算循环流化床锅炉的秸秆燃烧量，循环流化床锅炉燃烧自动调节控制系统根据秸秆燃烧量的计算结果实时调整进入气缸内的秸秆燃烧量，如此周而复始，实现秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力对目标值 P_r 的自动调节。

本发明的技术构思为：针对秸秆燃烧循环流化床锅炉的实际蒸汽压力偏离最佳目标值的问题，建立秸秆燃烧循环流化床锅炉的蒸汽压力与秸秆燃烧量的连续

时间动态模型，根据蒸汽压力目标值计算中间变量稳态目标值和秸秆燃烧量稳态目标值，进而建立一个等价的蒸汽压力与秸秆燃烧量连续时间动态模型，设计一个秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力自动调节控制器，实现秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力对目标值的自动调节。

本发明主要执行部分在循环流化床锅炉控制计算机上运行实施。本方法应用过程可以大致分为 3 个阶段：

1、参数设置，包括模型参数和调节控制器参数：在模型导入界面中，输入模型式（1）中常数 K 、 T_1 、 T_2 和 τ 的值；在调节控制器参数设置界面中，输入蒸汽压力目标值 P_r 和期望闭环极点特征参数 a ；输入参数确认后，由控制计算机将设置数据送入计算机存储单元RAM中保存。

2、离线调试：点击组态界面中的“调试”按钮，控制系统进入调节控制器调试阶段，以循环流化床锅炉蒸汽压力变化 1 个单位作为测试量，调整组态界面中的期望闭环极点特征参数 a ，观察循环流化床锅炉蒸汽压力和秸秆燃烧量的控制效果，由此确定一个能良好实现循环流化床锅炉蒸汽压力调节的闭环极点特征参数；参数 a 的取值规则： a 为正实数；参数 a 的调整规则：增大 a 的值将缩短循环流化床锅炉蒸汽压力响应的调整时间，但增大秸秆燃烧量；相反，减小 a 的值将平缓循环流化床锅炉蒸汽压力和秸秆燃烧量，但延长循环流化床锅炉蒸汽压力响应的调整时间，因此，实际调试参数 a 时，应权衡循环流化床锅炉蒸汽压力响应的超调量、调整时间、阻尼效应和秸秆燃烧量之间的综合性能。

3、在线运行：点击组态界面“运行”按钮，启动循环流化床锅炉燃烧控制计算机的CPU读取循环流化床锅炉蒸汽压力模型参数、蒸汽压力目标值和最佳闭环极点特征参数，并执行“循环流化床锅炉蒸汽压力调节控制程序”，通过在线测量循环流化床锅炉蒸汽压力的实际值，实时计算循环流化床锅炉的秸秆燃烧量，循环流化床锅炉燃烧自动调节控制系统根据秸秆燃烧量的计算结果实时调整进入气

缸内的秸秆燃烧量，如此周而复始，实现秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力对目标值 P_r 的自动调节。

本发明的有益效果主要表现在：1、秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节方法仅有一个设计参数，设计简单、容易理解、在线实施简便、实用性强；2、秸秆燃烧循环流化床锅炉的蒸汽压力在偏离目标值时能实现秸秆燃烧量的自动调节控制，从而可以适用更复杂多样的燃烧工况，满足秸秆燃烧循环流化床锅炉对快速负荷耗汽量需求的拱给，提高秸秆燃烧循环流化床锅炉燃烧系统运行的控制水平。

附图说明

图 1 为秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力实时曲线。

图 2 为循环流化床锅炉秸秆燃烧量实时曲线。

具体实施方式

下面结合附图对本发明作进一步描述。

参照图 1 和图 2，一种秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法，所述方法包括如下步骤：

1)、考虑秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力与秸秆燃料量的动态模型，参见式 (1)：

$$\begin{cases} \ddot{x}(t) = -\frac{x(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{(T_1 + T_2 + \tau)\dot{x}(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)\ddot{x}(t)}{T_1 T_2 \tau} + M(t) \\ P(t) = \frac{K}{T_1 T_2 \tau} x(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中， t 表示时间变量；“.”、“..”和“...”分别表示对应变量的一阶导数、二阶导数和三阶导数； P 表示循环流化床锅炉蒸汽压力变量，MPa； M 表示用于燃烧的秸秆燃料量，t/h； x 是中间变量；常数 K 表示循环流化床锅炉蒸汽压力的稳态增益；常数 T_1 、 T_2 和 τ 分别表示循环流化床锅炉汽包压力时间常数、蒸汽压力时间常数和时滞，s；

2)、根据秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节的目标值为 P_r ，定义中间变量的稳态目标值 x_r ，参见式 (2)：

$$x_r = T_1 T_2 \tau P_r / K \quad (2)$$

3)、定义循环流化床锅炉秸秆燃料量的稳态目标值 M_r ，参见式(3)：

$$M_r = P_r / K \quad (3)$$

4)、结合式(2)和式(3)，定义符号 $z=x-x_r$ 和 $v=M-M_r$ ，代入式(1)，整理得到一个等价的秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力动态模型，参见式(4)：

$$\begin{cases} \ddot{z}(t) = -\frac{z(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{(T_1 + T_2 + \tau)\dot{z}(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)\ddot{z}(t)}{T_1 T_2 \tau} + v(t) \\ P(t) = \frac{K}{T_1 T_2 \tau} z(t) + P_r \end{cases} \quad (4)$$

5)、给定系统(4)的一组期望闭环极点 $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ ，参见式(5)：

$$\lambda_1 = a + ja, \quad \lambda_2 = a - ja, \quad \lambda_3 = 5\sqrt{2}a \quad (5)$$

其中， j 表示虚数符号， $a>0$ 表示期望闭环极点的特征参数；

6)、定义循环流化床锅炉在 t 时刻秸秆燃烧量的一个自动调节控制器，参见式(6)：

$$M(t) = -G[x(t) - x_r, \dot{x}(t), \ddot{x}(t)]^T + M_r \quad (6)$$

其中，符号“T”表示向量的转置；行向量 $G=[g_1, g_2, g_3]$ 可由式(7)计算确定

$$\begin{aligned} g_1 &= -10\sqrt{2}a^3 - 1/T_1 T_2 \tau, \\ g_2 &= (2 + 10\sqrt{2})a^2 - (T_1 + T_2 + \tau)/T_1 T_2 \tau, \\ g_3 &= -(2 + 5\sqrt{2})a - ((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)/T_1 T_2 \tau, \end{aligned} \quad (7)$$

7)、在线测量循环流化床锅炉蒸汽压力的实际值，根据式(6)实时计算循环流化床锅炉的秸秆燃烧量，循环流化床锅炉燃烧自动调节控制系统根据秸秆燃烧量的计算结果实时调整进入气缸内的秸秆燃烧量，如此周而复始，实现秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力对目标值 P_r 的自动调节。

本实施例为秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节过程，具体操作如下：

1、在参数设置界面中，输入秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节过程的常数 $K=7.9$ 、 $T_1=2.7$ 、 $T_2=92.8$ 和 $\tau=20$ ，再输入流化床锅炉蒸汽压力目标值 $P_r=2.4$ ；输入期望闭环极点特征参数 a ；

2、在组态界面上点击“调试”按钮进入调试界面，启动循环流化床锅炉燃烧控制计算机的CPU调用事先编制好的“控制器增益矩阵计算程序”求解控制器增益矩阵 G ，具体计算过程如下：

1) 根据给定的期望闭环极点特征参数 a ，利用公式(7)计算调节控制器增益行向量 G ；

2) 调节器增益行向量 G 得到秸秆燃烧量计算公式(6)，并以循环流化床锅炉蒸汽压力变化1个单位作为测试量，根据特征参数 a 的取值和调整规则，比较蒸汽压力输出结果和秸秆燃烧量计算结果，调试特征参数得到 $a=0.07$ ，计算调节器增益行向量 $G=[0.0047, 0.0560, 0.2038]$ ，并将计算结果保存到计算机存储单元中；

3、点击组态界面“运行”按钮，启动循环流化床锅炉燃烧控制计算机的CPU读取秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节过程模型参数、蒸汽压力目标设定值和调节器增益行向量，执行“秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力自动调节控制程序”，通过在线测量循环流化床锅炉的实际蒸汽压力，调节进入循环流化床锅炉内的秸秆燃烧量，实现秸秆燃烧循环流化床锅炉对蒸汽压力目标值 P_r 的自动调节控制。在下一个调节周期到达时，在线测量循环流化床锅炉的实际蒸汽压力，之后重复整个执行过程。如此周而复始，实现秸秆燃烧循环流化床锅炉对蒸汽压力目标值 P_r 的自动调节控制。

以上阐述的是本发明给出的一个实施例所表现出优良性能的秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力自动调节效果。需要指出，上述实施例用来解释说明本发明，而不是对本发明进行限制，在本发明的精神和权利要求的保护范围内，对本发明做出的任何修改，都落入本发明的保护范围。

1、一种秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力极点配置调节方法，其特征在于，所述方法包括如下步骤：

1)、考虑秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力与秸秆燃料量的动态模型，参见式 (1)：

$$\begin{cases} \ddot{x}(t) = -\frac{x(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{(T_1 + T_2 + \tau)\dot{x}(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)\ddot{x}(t)}{T_1 T_2 \tau} + M(t) \\ P(t) = \frac{K}{T_1 T_2 \tau} x(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中， t 表示时间变量；“ $\cdot$ ”、“ $\ddot{\cdot}$ ”和“ $\dots$ ”分别表示对应变量的一阶导数、二阶导数和三阶导数； P 表示循环流化床锅炉蒸汽压力变量，MPa； M 表示用于燃烧的秸秆燃料量，t/h； x 是中间变量；常数 K 表示循环流化床锅炉蒸汽压力的稳态增益；常数 T_1 、 T_2 和 τ 分别表示循环流化床锅炉汽包压力时间常数、蒸汽压力时间常数和时滞，s；

2)、根据秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力调节的目标值为 P_r ，定义中间变量的稳态目标值 x_r ，参见式 (2)：

$$x_r = T_1 T_2 \tau P_r / K \quad (2)$$

3)、定义循环流化床锅炉秸秆燃料量的稳态目标值 M_r ，参见式 (3)：

$$M_r = P_r / K \quad (3)$$

4)、结合式 (2) 和式 (3)，定义符号 $z=x-x_r$ 和 $v=M-M_r$ ，代入式 (1)，整理得到一个等价的秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力动态模型，参见式 (4)：

$$\begin{cases} \ddot{z}(t) = -\frac{z(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{(T_1 + T_2 + \tau)\dot{z}(t)}{T_1 T_2 \tau} - \frac{((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)\ddot{z}(t)}{T_1 T_2 \tau} + v(t) \\ P(t) = \frac{K}{T_1 T_2 \tau} z(t) + P_r \end{cases} \quad (4)$$

5)、给定系统 (4) 的一组期望闭环极点 $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ ，参见式 (5)：

$$\lambda_1 = a + ja, \quad \lambda_2 = a - ja, \quad \lambda_3 = 5\sqrt{2}a \quad (5)$$

其中， j 表示虚数符号， $a>0$ 表示期望闭环极点的特征参数；

6)、定义循环流化床锅炉在 t 时刻秸秆燃烧量的一个自动调节控制器，参见式 (6)：

$$M(t) = -G[x(t) - x_r \quad \dot{x}(t) \quad \ddot{x}(t)]^T + M_r \quad (6)$$

其中，符号“ T ”表示向量的转置；行向量 $G=[g_1, g_2, g_3]$ 可由式 (7) 计算确定

$$\begin{aligned} g_1 &= -10\sqrt{2}a^3 - 1/T_1 T_2 \tau, \\ g_2 &= (2 + 10\sqrt{2})a^2 - (T_1 + T_2 + \tau)/T_1 T_2 \tau, \\ g_3 &= -(2 + 5\sqrt{2})a - ((T_1 + T_2)\tau + T_1 T_2)/T_1 T_2 \tau, \end{aligned} \quad (7)$$

7)、在线测量循环流化床锅炉蒸汽压力的实际值，根据式 (6) 实时计算循环

流化床锅炉的秸秆燃烧量，循环流化床锅炉燃烧自动调节控制系统根据秸秆燃烧量的计算结果实时调整进入气缸内的秸秆燃烧量，如此周而复始，实现秸秆燃烧循环流化床锅炉蒸汽压力对目标值 P_r 的自动调节。

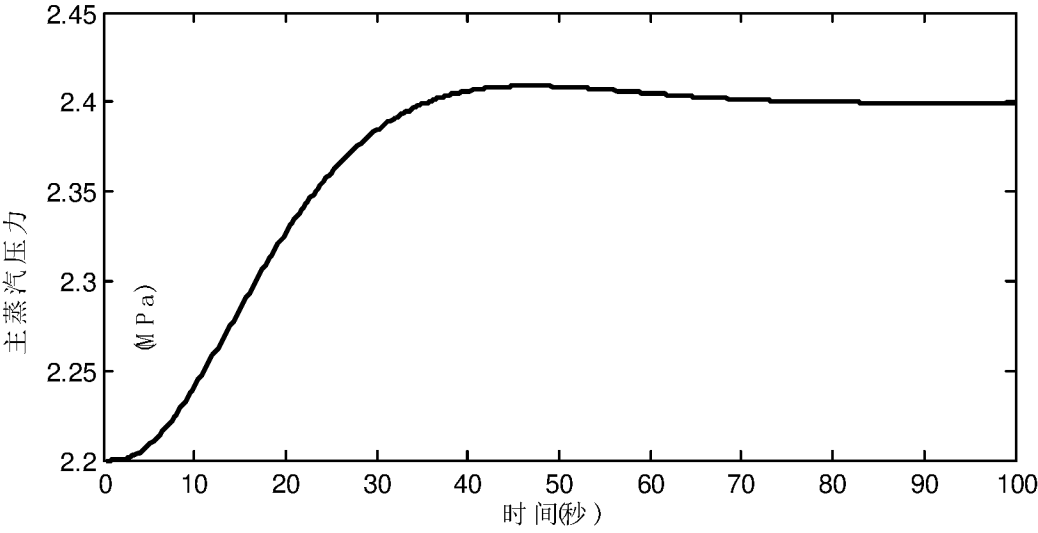


图 1

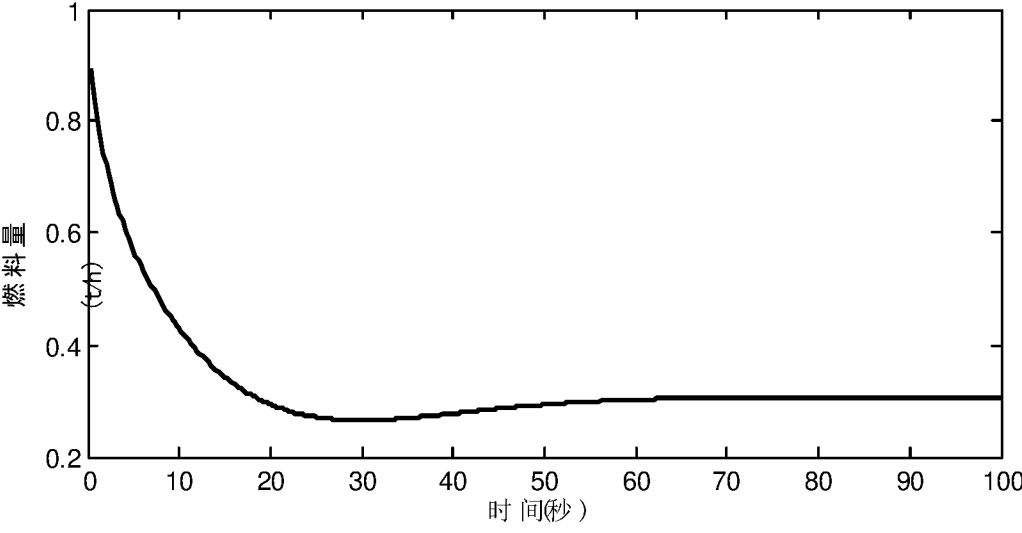


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/110345

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F23N 1/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F23N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNABS, CNTXT, VEN: 锅炉, 汽压, 蒸汽, 燃料, 进料, 控制, 监测, boiler, steam w pressure, fuel, feeding, control+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105240846 A (NANJING UNIVERSITY OF INFORMATION SCIENCE & TECHNOLOGY) 13 January 2016 (2016-01-13) description, paragraphs [0062]-[0198], and figure 11	1
A	CN 103439887 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF GUANGDONG POWER GRID CORPORATION) 11 December 2013 (2013-12-11) entire document	1
A	JP 5473298 B2 (JAPAN STEEL WORKS LTD. ET AL.) 16 April 2014 (2014-04-16) entire document	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 January 2019

Date of mailing of the international search report

11 January 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/110345

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	105240846	A	13 January 2016	CN	105240846	B	16 June 2017
CN	103439887	A	11 December 2013	CN	103439887	B	20 March 2018
JP	5473298	B2	16 April 2014	JP	2010115898	A	27 May 2010

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/110345

A. 主题的分类 F23N 1/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) F23N 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNKI, CNABS, CNTXT, VEN: 锅炉, 汽压, 蒸汽, 燃料, 进料, 控制, 监测, boiler, steam w pressure, fuel, feeding, control+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 105240846 A (南京信息工程大学) 2016年 1月 13日 (2016 - 01 - 13) 说明书第 [0062] - [0198] 段, 附图 11	1
A	CN 103439887 A (广东电网公司电力科学研究院) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 全文	1
A	JP 5473298 B2 (JAPAN STEEL WORKS LTD 等) 2014年 4月 16日 (2014 - 04 - 16) 全文	1
☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2019年 1月 4日		2019年 1月 11日
ISA/CN 的名称和邮寄地址		受权官员
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号 (86-10) 62019451		李倩 电话号码 62084188

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/110345

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	105240846	A	2016年 1月 13日	CN	105240846	B	2017年 6月 16日
CN	103439887	A	2013年 12月 11日	CN	103439887	B	2018年 3月 20日
JP	5473298	B2	2014年 4月 16日	JP	2010115898	A	2010年 5月 27日