



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106622620 A

(43)申请公布日 2017. 05. 10

(21)申请号 201610853981.3

(22)申请日 2016.09.27

(71)申请人 华北电力大学(保定)

地址 071003 河北省保定市北市区北华永大街619号

(72)发明人 魏乐 苑召雄 秦腾腾

(74)专利代理机构 石家庄冀科专利商标事务所有限公司 13108

代理人 李羨民 高锡明

(51) Int. Cl.

B02C 25/00(2006.01)

G06F 17/50(2006.01)

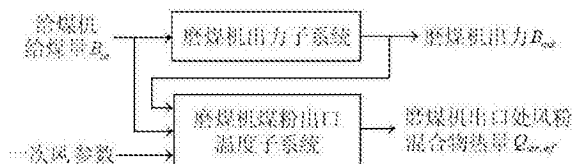
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法

(57)摘要

一种基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法,所述方法在中速磨煤机模型中设置两个子系统,分别为磨煤机出力子系统和磨煤机煤粉出口温度子系统,其中,磨煤机出力子系统的输入为给煤机给煤量,输出为磨煤机出力;磨煤机煤粉出口温度子系统的输入为一次风参数、磨煤机出力和给煤机给煤量,输出为磨煤机出口处风粉混合物热量。本发明应用系统动力学原理,从物质和能量平衡的角度出发对中速磨煤机进行建模。该方法可以为中速磨煤机的分析与控制提供简单实用、合理可靠的模型,从而为电厂锅炉的安全、稳定、经济运行提供了保障。



1. 一种基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法,其特征是,所述方法在中速磨煤机模型中设置两个子系统,分别为磨煤机出力子系统和磨煤机煤粉出口温度子系统,其中,磨煤机出力子系统的输入为给煤机给煤量,输出为磨煤机出力;磨煤机煤粉出口温度子系统的输入为一次风参数、磨煤机出力和给煤机给煤量,输出为磨煤机出口处风粉混合物热量。

2. 根据权利要求1所述的基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法,其特征是,所述中速磨煤机模型中各输出变量按如下方法获得:

a. 磨煤机出力 B_{out} 为:

$$B_{out} = k \times f_H \times f_R \times f_W \times f_A \times M_m$$

式中 k 为出力系数;根据磨煤机的设计数据确定; f_H 表示可磨性系数对磨出力影响修正系数; f_R 表示煤粉细度对磨出力影响修正系数; f_W 表示原煤水分对磨出力影响修正系数; f_A 表示原煤灰分对磨出力影响修正系数; M_m 表示磨煤机存煤量, t 时刻的磨煤机存煤量 $M_m(t)$ 由下式计算:

$$M_m(t) = M_m(t-1) + (B_{in} - B_{out}) \times k_1 \times D_T,$$

式中 $M_m(t-1)$ 表示 $t-1$ 时刻磨煤机存煤量; B_{in} 表示给煤机给煤量; k_1 为第一单位转换因子; D_T 为仿真步长;

b. 磨煤机出口处风粉混合物热量 $Q_{air,mf}$ 由下式计算:

$$Q_{OUT} = Q_{air,mf} + Q_{evp} + Q_f + Q_{le},$$

式中 Q_{evp} 表示煤粉水分蒸发消耗的热量; Q_f 表示燃料消耗的热量; Q_{le} 表示密封风带走的热量; Q_{OUT} 表示带出和散失的热量,根据下式进行计算:

$$Q = Q(t-1) + (Q_{IN} - Q_{OUT}) \times D_T$$

$$Q_{IN} = Q_M + Q_{air} + Q_{mac},$$

$$Q_M = k_2 \times B_{in} \times C_{coal} \times T_{coal}$$

$$Q_{air} = W_{air,in} \times C_{air,in} \times T_{air,in},$$

式中, Q 表示磨煤机内总热量; $Q(t-1)$ 表示上一时刻磨煤机内总热量; Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量; Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量; Q_M 表示原煤带入的热量; Q_{air} 表示一次风带入的热量; Q_{mac} 是磨煤机工作时产生的热量; k_2 是第二单位转换因子; C_{coal} 表示原煤比热容; T_{coal} 表示原煤温度; $W_{air,in}$ 表示一次风流量; $C_{air,in}$ 表示一次风比热容; $T_{air,in}$ 表示一次风入口温度。

基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种从物质和能量平衡的角度出发对中速磨煤机进行建模的方法,属于发电技术领域。

背景技术

[0002] 经济的高速发展促进了电力的飞速发展,我国富煤、贫油、少气以及水利电站受自然条件限制的能源结构状况,决定了煤炭仍然是我国依靠的主要能源。随着国内电力工业的迅猛发展,中速磨煤机的应用范围不断扩大并已经成为火电厂的主要制粉设备,其运行状况对电厂锅炉运行的稳定性和经济性有着直接的影响。中速磨煤机属于大延迟和大惯性对象,对其热工过程的合理控制是保证设备安全和经济运行的主要技术措施,而自动控制系统设计成功与否,与被控对象数学模型的合理性有很大关系。已有的中速磨煤机建模方法所存在的问题主要有以下两个方面:

[0003] 一、忽略对中速磨煤机系统机理的分析,片面强调运行数据的作用,借助神经网络等工具,通过逼近、拟合的方式得到输入/输出间的复杂映射,进而模拟机组的运行。采用这种方法构建的模型结构复杂、调试困难,模型中各变量的物理意义不明确。

[0004] 二、过于看重模型的精确度,希望将系统内部、外部的各种影响因素通通考虑进去,机械地扩充模型的规模,认为越复杂的模型精度越高。这种建模方法不仅不能保证模型的质量,还会在一定程度上降低模型的实用性和适用性。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对现有技术之弊端,提供一种基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法,以提高中速磨煤机模型的构建质量,保证电厂锅炉运行的稳定性和经济性。

[0006] 本发明所述问题是以下述技术方案解决的:

[0007] 一种基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法,所述方法在中速磨煤机模型中设置两个子系统,分别为磨煤机出力子系统和磨煤机煤粉出口温度子系统,其中,磨煤机出力子系统的输入为给煤机给煤量,输出为磨煤机出力;磨煤机煤粉出口温度子系统的输入为一次风参数、磨煤机出力和给煤机给煤量,输出为磨煤机出口处风粉混合物热量。

[0008] 上述基于系统动力学的中速磨煤机模型构建方法,所述中速磨煤机模型中各输出变量按如下方法获得:

[0009] a. 磨煤机出力 B_{out} 为:

$$[0010] \quad B_{out} = k \times f_H \times f_R \times f_W \times f_A \times M_m,$$

[0011] 式中 k 为出力系数;根据磨煤机的设计数据确定; f_H 表示可磨性系数对磨出力影响修正系数; f_R 表示煤粉细度对磨出力影响修正系数; f_W 表示原煤水分对磨出力影响修正系数; f_A 表示原煤灰分对磨出力影响修正系数; M_m 表示磨煤机存煤量, t 时刻的磨煤机存煤量 $M_m(t)$ 由下式计算:

$$[0012] \quad M_m(t) = M_m(t-1) + (B_{in} - B_{out}) \times k_1 \times D_T,$$

[0013] 式中, $M_m(t-1)$ 表示 $t-1$ 时刻磨煤机存煤量; B_{in} 表示给煤机给煤量; k_1 为第一单位转换因子; D_T 为仿真步长;

[0014] b. 磨煤机出口处风粉混合物热量 $Q_{air,mf}$ 由下式计算:

$$[0015] \quad Q_{air,mf} = Q_{mf} + Q_{out,air}$$

[0016] 式中 Q_{mf} 表示磨煤机出口处煤粉热量, $Q_{out,air}$ 表示磨煤机出口风热量, 根据下式进行计算:

$$[0017] \quad Q_{mf} = k_3 \times B_{out} \times c_{mf} \times T_{out}$$

$$[0018] \quad Q_{out,air} = W_{air,out} \times c_{air,out} \times T_{out}$$

[0019] c. 磨煤机出口温度 T_{out} 由下式进行计算:

$$[0020] \quad T_{out} = Q / (c_{mf} \times M_{mf} + c_{air,in} \times M_{air})$$

[0021] 式中 Q 表示磨煤机内总热量; c_{mf} 表示煤粉的比热容; M_{mf} 表示磨煤机中煤粉的质量; $c_{air,in}$ 为一次风比热容; M_{air} 为磨煤机中一次风量, 根据下式进行计算:

$$[0022] \quad Q = Q(t-1) + (Q_{IN} - Q_{OUT}) \times D_T$$

$$[0023] \quad Q_{OUT} = Q_{air,mf} + Q_{evp} + Q_f + Q_{le},$$

$$[0024] \quad Q_{IN} = Q_M + Q_{air} + Q_{mac}$$

$$[0025] \quad Q_M = k_2 \times B_{in} \times c_{coal} \times T_{coal}$$

$$[0026] \quad Q_{air} = W_{air,in} \times c_{air,in} \times T_{air,in}$$

[0027] 式中 Q_{evp} 表示煤粉水分蒸发消耗的热量, 根据实际情况, 直接赋值; Q_f 表示加热燃料消耗的热量, 根据实际情况, 直接赋值; Q_{le} 表示密封风带走的热量, 根据实际情况, 直接赋值; Q_{OUT} 表示带出和散失的热量。 Q 表示磨煤机内总热量; $Q(t-1)$ 表示上一时刻磨煤机内总热量; Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量; Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量; Q_M 表示原煤带入的热量; Q_{air} 表示一次风带入的热量; Q_{mac} 是磨煤机工作时产生的热量; k_2 是第二单位转换因子; c_{coal} 表示原煤比热容; T_{coal} 表示原煤温度; $W_{air,in}$ 表示一次风流量; $c_{air,in}$ 表示一次风比热容; $T_{air,in}$ 表示一次风入口温度。

[0028] 本发明应用系统动力学原理, 从物质和能量平衡的角度出发对中速磨煤机进行建模。该方法可以为中速磨煤机的分析与控制提供简单实用、合理可靠的模型, 从而为电厂锅炉的安全、稳定、经济运行提供了保障。

附图说明

[0029] 图1为基于系统动力学的中速磨煤机模型的结构示意图;

[0030] 图2为本发明的建模流程图;

[0031] 图3为中速磨煤机系统因果回路图;

[0032] 图4为中速磨煤机系统存量流量图;

[0033] 图5、图6以及图7为本发明模型的模拟效果图。

[0034] 文中各符号表示为: $M_m(t)$ 表示磨煤机存煤量, t ; $M_m(t-1)$ 表示上一时刻磨煤机存煤量, t ; B_{in} 表示给煤机给煤量, t/h ; B_{out} 表示磨煤机出力, t/h ; k_1 为第一单位转换因子, h/s ; D_T 为仿真步长, s ; Q 表示磨煤机内总热量, kJ ; $Q(t-1)$ 表示上一时刻磨煤机内总热量, kJ ; Q_{OUT} 表示带出和散失的热量, Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量; B_{out} 表示磨煤机出力, t/h ; k 为出力系数, 根据磨煤机的设计数据确定; f_H 表示可磨性系数对磨出力影响修正系数; f_R 表示煤粉细度对

磨出力影响修正系数; f_w 表示原煤水分对磨出力影响修正系数; f_A 表示原煤灰分对磨出力影响修正系数; Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量, kJ/s ; Q_M 表示原煤带入的热量, kJ/s ; Q_{air} 表示一次风带入的热量, kJ/s ; Q_{mac} 是磨煤机工作时产生的热量, kJ/s ; Q_{OUT} 表示带出和散失的热量, $Q_{air, mf}$ 表示磨煤机出口处风粉混合物热量, Q_{evp} 表示煤粉水分蒸发消耗的热量, Q_f 表示燃料消耗的热量, Q_{1e} 表示密封风带走的热量, 上述变量的单位均为: kJ/s ; Q_M 表示原煤带入的热量, kJ/s ; k_2 是第二单位转换因子, $k_2 = 1000, 1000\text{kg/t}$; c_{coal} 表示原煤比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; T_{coal} 表示原煤温度, $^\circ\text{C}$; Q_{air} 表示一次风带入的热量, kJ/s ; $W_{air, in}$ 表示一次风流量, kg/s ; $c_{air, in}$ 表示一次风比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; $T_{air, in}$ 表示一次风入口温度, $^\circ\text{C}$; Q_{mf} 表示磨煤机出口处煤粉热量, k_3 为第三单位转换因子, $k_3 = \frac{1000}{3600} = \frac{5}{18}$, $\text{t} \cdot \text{h}/(\text{kg} \cdot \text{s})$; c_{mf} 为煤粉比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; T_{OUT} 为磨煤机出口温度, $^\circ\text{C}$; $Q_{out, air}$ 表示磨煤机出口风热量, kJ/s ; $W_{air, out}$ 表示磨煤机出口风流量, kg/s ; $c_{air, out}$ 表示出口风比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; $Q_{air, mf}$ 表示磨煤机出口处风粉混合物热量, kJ/s ; T_{OUT} 表示磨煤机出口温度, $^\circ\text{C}$; M_{mf} 表示磨煤机中煤粉的质量, 单位为 kg ; M_{air} 表示磨煤机中一次风量, 单位为 kg 。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明作进一步详述。

[0036] 请参考图1, 本发明包括磨煤机出力子系统和磨煤机煤粉出口温度子系统。磨煤机出力子系统用来研究给煤量以及煤质对磨煤机出力的影响。磨煤机煤粉出口温度子系统用来研究给煤量, 煤质以及一次风对磨煤机煤粉出口温度的影响。

[0037] 请参考图2, 本发明的工作流程如下:

[0038] 1. 确定模型的主要变量

[0039] 模型中的变量有存量变量, 流量变量和辅助变量。为了简化模型参数, 对那些随时间变化不甚显著的参数亦近似地取为常数。

[0040] 存量变量为: 磨煤机存煤量、磨煤机内储存热量。

[0041] 流量变量为: 给煤机给煤量、磨煤机出力、磨煤机输入的热量、带出和消耗的热量。

[0042] 辅助变量为: 原煤水分对磨出力影响修正系数、煤粉细度对磨出力影响修正系数、原煤水分对磨出力影响修正系数、原煤灰分对磨出力影响修正系数、原煤带入的热量、原煤比热容、原煤温度、一次风带入的热量、一次风流量、一次风比热容、一次风入口温度、磨煤机工作时产生的热量、磨煤机出口处煤粉热量、磨煤机出口温度、磨煤机出口风热量、磨煤机出口风流量、出口风比热容、磨煤机出口处风粉混合物热量、带出和散失的热量、煤粉水分蒸发消耗的热量、燃料消耗的热量、密封风带走的热量、磨煤机出口温度、磨煤机中煤粉的质量、磨煤机中一次风量、原煤比热容、煤粉比热容、磨煤机工作时产生的热量、煤粉水分蒸发消耗的热量、第一单位转换因子, 第二单位转换因子。

[0043] 根据输入变量调整的情况下, 所观测的变量随时间的变化趋势, 分析输入变量对磨煤机出力和磨煤机煤粉出口温度的影响。

[0044] 2. 确定模型主要变量的函数式

[0045] 系统动力学解决问题, 在定性分析的基础上, 最终要建立定量分析的存量流量图仿真模型, 前面的概念模型和逻辑模型的定性分析为建立系统动力学定量模型打下了基

础。

[0046] 存量变量函数式:

$$[0047] \quad M_m(t) = M_m(t-1) + (B_{in} - B_{out}) \times k_1 \times D_T,$$

[0048] 上式中 $M_m(t)$ 表示磨煤机存煤量,t; $M_m(t-1)$ 表示上一时刻磨煤机存煤量,t; B_{in} 表示给煤机给煤量,t/h; B_{out} 表示磨煤机出力,t/h; k_1 为第一单位转换因子,h/s; D_T 为仿真步长,s。

$$[0049] \quad Q = Q(t-1) + (Q_{IN} - Q_{OUT}) \times D_T,$$

[0050] 上式中 Q 表示磨煤机内总热量,kJ; $Q(t-1)$ 表示上一时刻磨煤机内总热量,kJ, Q_{OUT} 表示带出和散失的热量, Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量。

[0051] 流量变量函数式:

$$[0052] \quad B_{out} = k \times f_H \times f_R \times f_W \times f_A \times M_m,$$

[0053] 上式中 B_{out} 表示磨煤机出力,t/h; k 为出力系数,根据磨煤机的设计数据确定; f_H 表示可磨性系数对磨出力影响修正系数; f_R 表示煤粉细度对磨出力影响修正系数; f_W 表示原煤水分对磨出力影响修正系数; f_A 表示原煤灰分对磨出力影响修正系数。

$$[0054] \quad Q_{IN} = Q_M + Q_{air} + Q_{mac},$$

[0055] 上式中 Q_{IN} 表示磨煤机输入的热量,kJ/s; Q_M 表示原煤带入的热量,kJ/s; Q_{air} 表示一次风带入的热量,kJ/s; Q_{mac} 是磨煤机工作时产生的热量,kJ/s。

$$[0056] \quad Q_{OUT} = Q_{air,mf} + Q_{evp} + Q_f + Q_{le},$$

[0057] 上式中 Q_{OUT} 表示带出和散失的热量, $Q_{air,mf}$ 表示磨煤机出口处风粉混合物热量, Q_{evp} 表示煤粉水分蒸发消耗的热量, Q_f 表示燃料消耗的热量, Q_{le} 表示密封风带走的热量,上述变量的单位均为:kJ/s。

[0058] 3. 确定辅助变量的函数式,得到中速磨煤机系统的系统动力学模型。

[0059] 主要函数式:

[0060] 可磨性系数(HGI)对磨出力影响修正系数的计算公式为:

$$[0061] \quad f_H = \left(\frac{HGI}{50} \right)^{0.57},$$

[0062] 煤粉细度(R_{90})对磨出力影响修正系数的计算公式为:

$$[0063] \quad f_R = \left(\frac{R_{90}}{20} \right)^{0.29},$$

[0064] 原煤水分(M_t)对磨出力影响修正系数的计算公式为:

$$[0065] \quad f_W = 1.0 + (10 - M_t) \times 0.0114$$

[0066] 原煤灰分(A_{ar})对磨出力影响修正系数的计算公式为:

$$[0067] \quad f_A = 1.0 + (20 - A_{ar}) \times 0.005,$$

[0068] 当 $A_{ar} \leq 20\%$ 时, $f_A = 1$ 。

$$[0069] \quad Q_M = k_2 \times B_{in} \times C_{coal} \times T_{coal},$$

[0070] 上式中 Q_M 表示原煤带入的热量,kJ/s; k_2 是第二单位转换因子, $k_2 = 1000, 1000\text{kg}/\text{t}$; C_{coal} 表示原煤比热容,kJ/(kg·°C); T_{coal} 表示原煤温度,°C。

$$[0071] \quad Q_{air} = W_{air,in} \times C_{air,in} \times T_{air,in}$$

[0072] 上式中 Q_{air} 表示一次风带入的热量, kJ/s ; $W_{air, in}$ 表示一次风流量, kg/s ; $C_{air, in}$ 表示一次风比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; $T_{air, in}$ 表示一次风入口温度, $^\circ\text{C}$ 。

[0073] 磨煤机出力子系统的输出磨煤机出力 B_{out} 是磨煤机煤粉出口温度子系统的输入, 该流量变量将两个子系统联系起来, 根据磨煤机出来 B_{out} 可以得到磨煤机出口处煤粉热量:

$$[0074] \quad Q_{mf} = k_3 \times B_{out} \times C_{mf} \times T_{OUT}$$

[0075] 上式中 Q_{mf} 表示磨煤机出口处煤粉热量, k_3 为第三单位转换因子, $k_3 = \frac{1000}{3600} = \frac{5}{18}$, $\text{t} \cdot \text{h}/(\text{kg} \cdot \text{s})$; C_{mf} 为煤粉比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; T_{OUT} 为磨煤机出口温度, $^\circ\text{C}$ 。

$$[0076] \quad Q_{out, air} = W_{air, out} \times C_{air, out} \times T_{OUT}$$

[0077] 上式中 $Q_{out, air}$ 表示磨煤机出口风热量, kJ/s ; $W_{air, out}$ 表示磨煤机出口风流量, kg/s ; $C_{air, out}$ 表示出口风比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

$$[0078] \quad Q_{air, mf} = Q_{mf} + Q_{out, air}$$

[0079] 上式中 $Q_{air, mf}$ 表示磨煤机出口处风粉混合物热量, kJ/s 。

$$[0080] \quad T_{OUT} = Q / (C_{mf} \times M_{mf} + C_{air, in} \times M_{air})$$

[0081] 上式为磨煤机出口温度计算公式, T_{OUT} 表示磨煤机出口温度, $^\circ\text{C}$; M_{mf} 表示磨煤机中煤粉的质量, kg ; M_{air} 表示磨煤机中一次风量, kg 。

[0082] 4. 对中速磨煤机的系统动力学模型进行调试。

[0083] 运用Vensim PLE软件运行模型系统, 在Vensim PLE仿真平台设置变量并定义变量方程, 对系统模型进行仿真调试。

[0084] 图3和图4分别为中速磨煤机系统因果回路图和中速磨煤机系统存量流量图, 该图描述并分析了中速磨煤机系统中各变量之间的因果关系, 有利于我们深层次的研究系统。存量流量图定量地描述了系统各变量直接的关系, 该存量流量图即为中速磨煤机的模型。

[0085] 图5, 图6以及图7为本发明模型的模拟效果图。该磨煤机工作时磨制的煤的哈氏可磨性系数(HGI)为74, 灰分(A_{ar})为12.02%, 水分(M_t)为15.9%, 实验过程中假定磨出口煤粉细度(R_{90})维持23%。根据前面的计算公式, 可得: $f_H = 1.25$, $f_R = 1.04$, $f_W = 0.933$, $f_A = 1$ 。假定磨未受到磨损, 磨入口风压及出口压力(炉膛压力)维持不变。下面所有的试验都是从同一工况点开始的, 该起始工况下, 磨出口温度近似为 86°C , 入口风温为 298°C , 磨出力及给煤量都为 34.92t/h , 一次风流量为 16.78kg/s 。在磨煤机的稳定工况下, 系统其它条件不变的情况下, 给煤量从初始的 34.92t/h 增加到 39.52t/h 时, 磨煤机出力和磨煤机出口温度的变化趋势如图5、图6所示。系统其它条件不变的情况下, 入口风温从初始的 298°C 升高至 305°C 时, 磨出口温度的变化趋势如图7所示。

[0086] 上述所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明。凡在本发明的核心技术之内, 所做的任何等同修改、替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

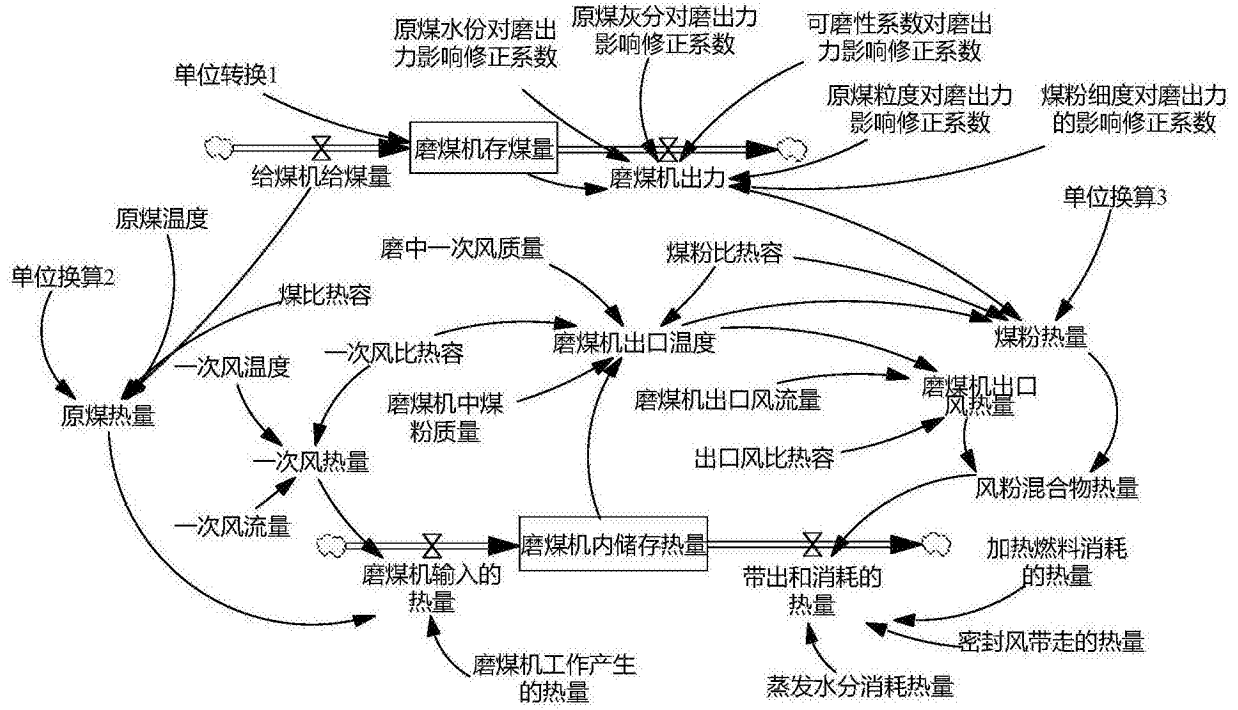


图4

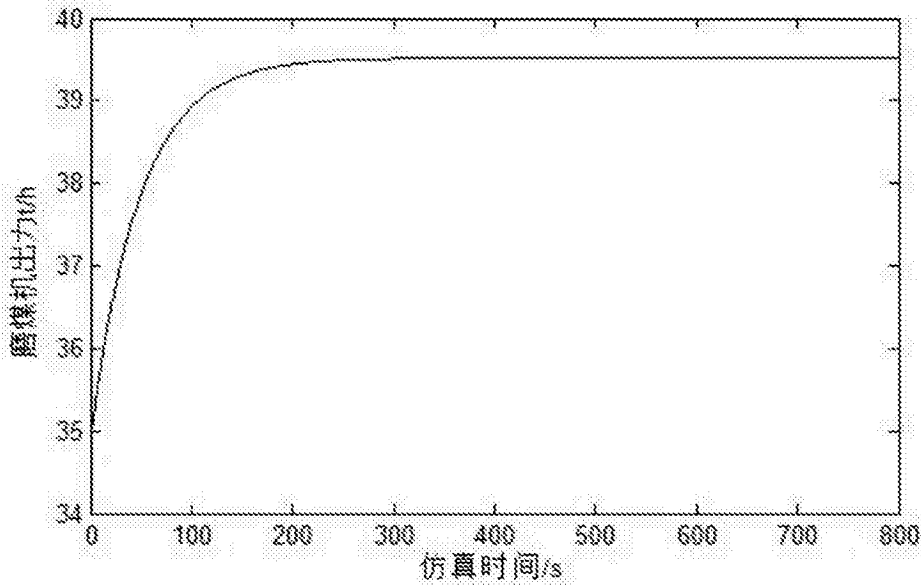


图5

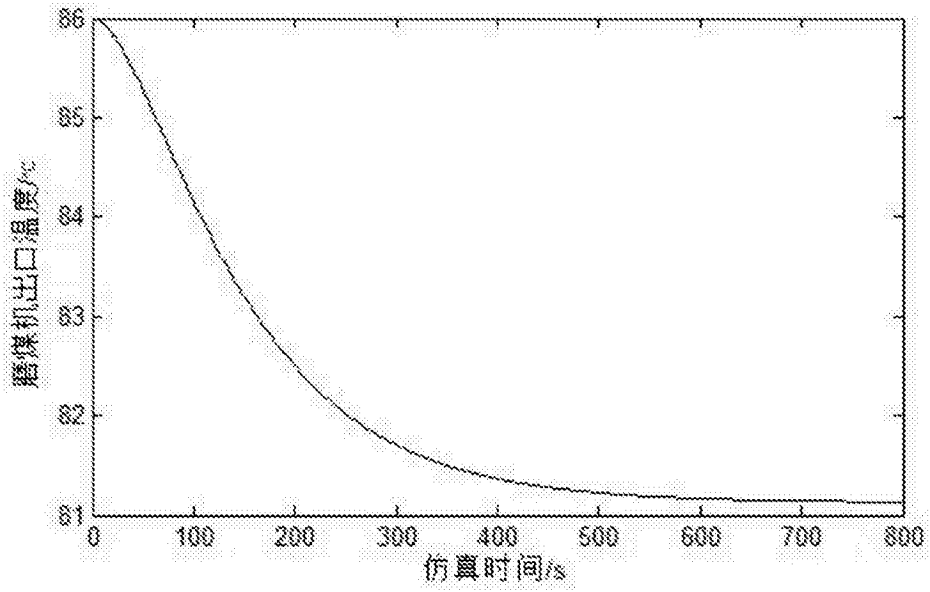


图6

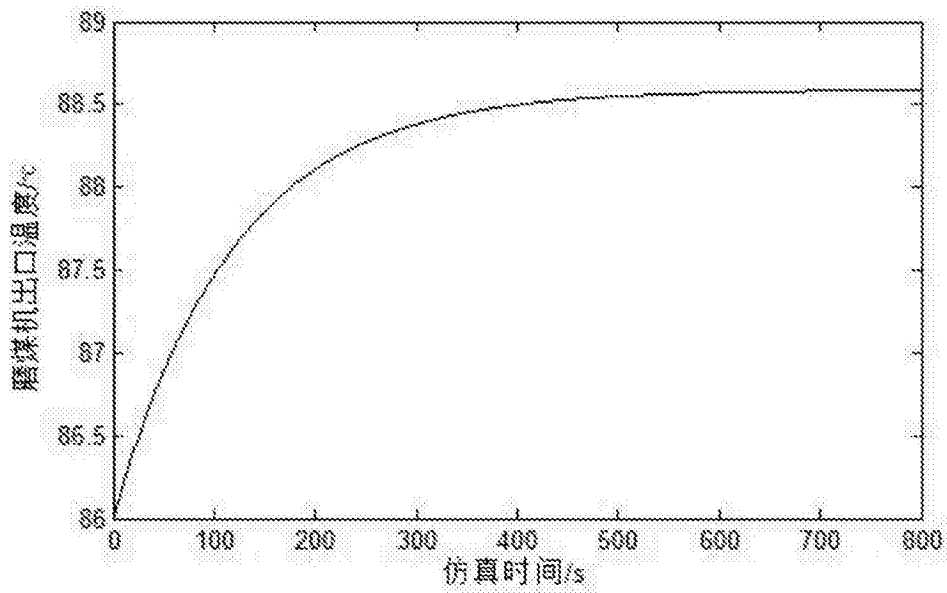


图7