



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105700383 B

(45)授权公告日 2018.05.29

(21)申请号 201610105051.X

(22)申请日 2016.02.26

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105700383 A

(43)申请公布日 2016.06.22

(73)专利权人 中冶焦耐自动化有限公司  
地址 116085 辽宁省大连市高新技术产业  
园区七贤岭高能街110号

(72)发明人 王常海 王晓东 何鸥 马兴翼  
李申明 张熠 金家影 刘超  
庞军 刘平岳

(74)专利代理机构 鞍山嘉讯科技专利事务所  
21224  
代理人 张群

(51)Int.Cl.

G05B 17/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 102543321 A,2012.07.04,  
CN 101781574 A,2010.07.21,  
CN 102322970 A,2012.01.18,  
CN 104976729 A,2015.10.14,  
CN 1472518 A,2004.02.04,  
CN 202189289 U,2012.04.11,  
US 2006163238 A1,2006.07.27,

审查员 朱艳华

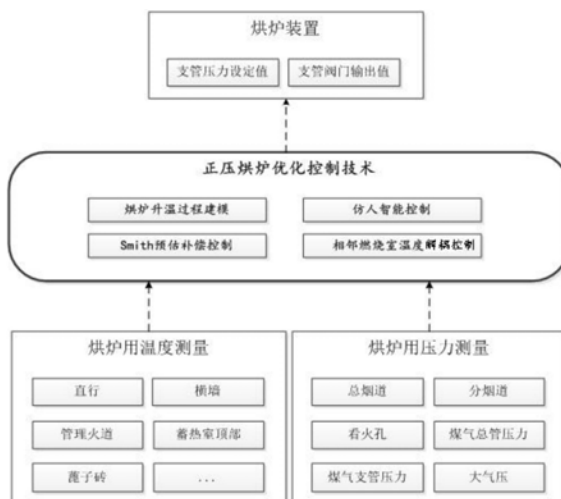
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种正压烘炉优化控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种正压烘炉优化控制方法,包括烘炉升温过程建模、Smith预估补偿控制、仿人智能控制和相邻燃烧室温度解耦控制;其中烘炉升温过程建模上对燃烧室温度、燃气支管压力、相邻燃烧室温度和分烟道吸力之间的关系进行分析,确定炉内温度变量和烘炉装置控制量之间函数关系;Smith预估补偿控制是通过预估计算,避免或减少温控系统的滞后影响;仿人智能控制是识别温度偏差的各种特征而做出相应的决策,计算烘炉装置控制量;相邻燃烧室温度解耦控制是根据相邻燃烧室温度变化,对烘炉装置控制量的动态修正,实现炉内温度均衡。本发明可以根据计划温度曲线实现正压烘炉升温过程的温度自动控制,提高升温过程中温度控制的精度。



1. 一种正压烘炉优化控制方法,其特征在于,根据预先给定的计划温度曲线,把烘炉温度作为系统输入,计算燃气所需要的烘炉压力或流量,把烘炉装置作为系统输出,在烘炉升温的全过程中对炉内温度进行自动控制;具体包括如下步骤:

1) 烘炉升温过程建模;采用机理建模和神经网络建模相结合的方法,对燃烧室温度、燃气支管压力、相邻燃烧室温度和分烟道吸力之间的关系进行分析,确定炉内温度变量和烘炉装置控制量之间函数关系;

2) Smith预估补偿控制;由烘炉装置控制量的变化预估和计算补偿温度,使滞后的炉内温度变化量提前反映到温度偏差量的计算上,以此来降低温控系统典型滞后特性的影响;

3) 仿人智能控制;在烘炉升温过程中,依靠炉内温度和设定目标温度之间的偏差以及偏差变化率的过去、现在和预测的将来数据信息,识别温度偏差的各种特征而做出相应的决策,计算烘炉装置控制量;

4) 相邻燃烧室温度解耦控制;根据烘炉过程中相邻燃烧室温度之间存在耦合情况,采用前置补偿矩阵解耦方法,在烘炉装置控制量上实现解耦,避免相邻燃烧室温度之间的相互扰动。

2. 根据权利要求1所述的一种正压烘炉优化控制方法,其特征在于,所述烘炉温度包括管理火道温度、直行、横墙温度、抵抗墙温度、蓄热室顶部温度、蓖子砖温度、小烟道温度、分烟道温度、总烟道温度和大气温度。

3. 根据权利要求1所述的一种正压烘炉优化控制方法,其特征在于,所述烘炉压力包括看火孔压力、总烟道压力、分烟道压力、烘炉用煤气总管压力、烘炉用煤气支管压力和大气压。

4. 根据权利要求1所述的一种正压烘炉优化控制方法,其特征在于,所述烘炉装置控制量包括支管压力设定值和支管阀门开度,采用BP神经网络辨识方法,建立升温过程的增量式模型,用如下公式表示:

$$T=f(P, P_f, T_L, T_R)$$

式中:T——各个燃烧室温度;

P——通往各个炭化室的支管燃气管道压力;

$T_L, T_R$ ——相邻两个燃烧室的温度;

$P_f$ ——分烟道吸力;

f——描述各个参量之间关系的函数;

BP神经网络学习算法如下:

a) 加权系数初始化:用较小的随机数为BP神经网络的所有加权系数置初值,准备训练数据;

b) 提供训练集:给出顺序赋值的输入向量即烘炉装置控制量和期望输出向量即炉内温度变化量;

c) 计算隐含层、输出层的神经元输出;

d) 更新输出层的加权系数;

e) 更新隐含层的加权系数;

f) 输入样本 $k=k+1$ ,返回b),直到偏差达到事先设定的范围为止。

5. 根据权利要求1所述的一种正压烘炉优化控制方法,其特征在于,所述烘炉装置控制

量具体计算公式如下：

$$u = \begin{cases} K_p \left( e + k \sum_{i=1}^n e_i \right) & e \times \dot{e} > 0 \\ kK_p \sum_{i=1}^n e_i & e \times \dot{e} \leq 0 \end{cases}$$

式中：u——烘炉装置控制量；

$K_p$ ——比例系数；

k——积分系数；

e——当前的温度偏差；

$\dot{e}$ ——当前的温度偏差变化率；

$e_i$ ——前第i时刻的温度偏差。

6. 根据权利要求1所述的一种正压烘炉优化控制方法，其特征在于，所述Smith预估补偿控制，是预先估计炉内温度变化量在烘炉装置控制量作用下的动态特性，然后由补偿器计算补偿温度，使滞后的炉内温度变化量提前反映到温度偏差量的计算上，以此来减小超调量；补偿温度的具体计算公式如下：

$$T_r(k) = e^{-\gamma} T_r(k-1) + (1 - e^{-\gamma}) \times (u(k) - u(k-N))$$

式中：u(k)——k时刻的烘炉装置控制量；

$T_r(k)$ ——k时刻的温度补偿量；

$\gamma$ ——补偿系数，与滞后时间有关；

N——滞后步长。

7. 根据权利要求1所述的一种正压烘炉优化控制方法，其特征在于，所述相邻燃烧室温度解耦控制，是估计烘炉装置控制量对相邻燃烧室温度变化的相对增益，用相对增益对烘炉装置控制量进行修正；修正后的烘炉装置控制量和补偿因子的具体计算公式如下：

$$\tilde{u}_i = \sum_{j=-1}^1 \omega_{ij} u_{i+j}$$

$$\omega_{ij} = \frac{\partial T_i}{\partial u_{i+j}} \Big|_{u_i = \text{const}} / \frac{\partial T_{i+j}}{\partial u_i} \Big|_{T_i = \text{const}}, j = \{-1, 0, 1\}$$

式中： $\tilde{u}_i$ ——修正后第i号炭化室的烘炉装置控制量；

$u_i$ ——修正前第i号炭化室的烘炉装置控制量；

$T_i$ ——第i号燃烧室的炉温；

$\omega_{ij}$ ——第i号炭化室对其两侧i-1号和i+1号炭化室的相对增益；

$\frac{\partial T_i}{\partial u_{i+j}} \Big|_{u_i = \text{const}}$ ——烘炉装置控制量 $u_i$ ， $j \neq 0$ 不变时， $u_{i+j}$ 引起 $T_i$ 变化的程度；

$\frac{\partial T_{i+j}}{\partial u_i} \Big|_{T_i = \text{const}}$ ——炉内温度 $T_i$ ， $j \neq 0$ 不变时， $u_i$ 引起 $T_{i+j}$ 变化的程度。

## 一种正压烘炉优化控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及焦炉烘炉升温自动化控制领域领域,尤其涉及一种正压烘炉温度控制系统的建模和控制方法。

### 背景技术

[0002] 烘炉是焦炉投产前重要而复杂的工艺过程,烘炉质量的优劣对焦炉寿命有着至关重要的影响,需要严格按制定的烘炉标准曲线进行焦炉的升温管理。

[0003] 烘炉主要有正压烘炉和负压烘炉两种方式;与负压烘炉相比,正压烘炉可使炉内耐火材料受热更均匀,防止外部冷空气进入炉体,炉体在烘炉过程中也不易产生裂缝,可延长焦炉使用寿命,使焦炉投产后对外部环境的污染降低,是一种更节能、环保的烘炉方式。但是,正压烘炉需要在每个炭化室的机焦两侧各放置一套烘炉装置,炉内温度控制通过对所有烘炉装置的有效调整共同实现,炉内温度变化滞后和相邻燃烧室间温度耦合在正压烘炉温度控制表现的非常明显。因此,如何按照烘炉标准曲线对每套烘炉装置进行有效的自动控制,将是正压烘炉优化控制必须解决的问题。

### 发明内容

[0004] 本发明提供了一种正压烘炉优化控制方法,通过建立合理的正压烘炉升温控制框架和燃烧室温度的控制模型,制定能解决温度大滞后问题的控制策略,辅助操作人员对烘炉升温过程进行有效控制,保证烘炉全过程的实际升温曲线严格跟随烘炉标准曲线,从而确保烘炉质量。

[0005] 为了达到上述目的,本发明采用以下技术方案实现:

[0006] 一种正压烘炉优化控制方法,根据预先给定的计划温度曲线,把烘炉温度作为系统输入,计算燃气所需要的烘炉压力或流量,把烘炉装置作为系统输出,在烘炉升温的全过程中对炉内温度进行自动控制;具体包括如下步骤:

[0007] 1) 烘炉升温过程建模;采用机理建模和神经网络建模相结合的方法,对燃烧室温度、燃气支管压力、相邻燃烧室温度和分烟道吸力之间的关系进行分析,确定炉内温度变量和烘炉装置控制量之间函数关系;

[0008] 2) Smith预估补偿控制;由烘炉装置控制量的变化预估和计算补偿温度,使滞后的炉内温度变化量提前反映到温度偏差量的计算上,以此来降低温控系统典型滞后特性的影响;

[0009] 3) 仿人智能控制;在烘炉升温过程中,依靠炉内温度和设定目标温度之间的偏差以及偏差变化率的过去、现在和预测的将来数据信息,识别温度偏差的各种特征而做出相应的决策,计算烘炉装置控制量;

[0010] 4) 相邻燃烧室温度解耦控制;根据烘炉过程中相邻燃烧室温度之间存在耦合情况,采用前置补偿矩阵解耦方法,在烘炉装置控制量上实现解耦,避免相邻燃烧室温度之间的相互扰动。

[0011] 所述烘炉温度包括管理火道温度、直行、横墙温度、抵抗墙温度、蓄热室顶部温度、蓖子砖温度、小烟道温度、分烟道温度、总烟道温度和大气温度。

[0012] 所述烘炉压力包括看火孔压力、总烟道压力、分烟道压力、烘炉用煤气总管压力、烘炉用煤气支管压力和大气压。

[0013] 所述烘炉装置控制量包括支管压力设定值和支管阀门开度,采用BP神经网络辨识方法,建立升温过程的增量式模型,用如下公式表示:

[0014]  $T=f(P, P_f, T_L, T_R)$

[0015] 式中:T——各个燃烧室温度;

[0016] P——通往各个炭化室的支管燃气管道压力;

[0017]  $T_L, T_R$ ——相邻两个燃烧室的温度;

[0018]  $P_f$ ——分烟道吸力;

[0019] f——描述各个参量之间关系的函数;

[0020] BP神经网络学习算法如下:

[0021] a) 加权系数初始化:用较小的随机数为BP神经网络的所有加权系数置初值,准备训练数据;

[0022] b) 提供训练集:给出顺序赋值的输入向量即烘炉装置控制量和期望输出向量即炉内温度变化量;

[0023] c) 计算隐含层、输出层的神经元输出;

[0024] d) 更新输出层的加权系数;

[0025] e) 更新隐含层的加权系数;

[0026] f) 输入样本 $k=k+1$ ,返回b),直到偏差达到事先设定的范围为止。

[0027] 所述烘炉装置控制量具体计算公式如下:

$$[0028] \quad u = \begin{cases} K_p \left( e + k \sum_{i=1}^n e_i \right) & e \times \dot{e} > 0 \\ k K_p \sum_{i=1}^n e_i & e \times \dot{e} \leq 0 \end{cases}$$

[0029] 式中:u——烘炉装置控制量;

[0030]  $K_p$ ——比例系数;

[0031] k——积分系数;

[0032] e——当前的温度偏差;

[0033]  $\dot{e}$ ——当前的温度偏差变化率;

[0034]  $e_i$ ——前第i时刻的温度偏差。

[0035] 所述Smith预估补偿控制,是预先估计炉内温度变化量在烘炉装置控制量作用下的动态特性,然后由补偿器计算补偿温度,使滞后的炉内温度变化量提前反映到温度偏差量的计算上,以此来减小超调量;补偿温度的具体计算公式如下:

[0036]  $T_r(k) = e^{-\gamma} T_r(k-1) + (1-e^{-\gamma}) \times (u(k) - u(k-N))$

[0037] 式中:u(k)——k时刻的烘炉装置控制量;

[0038]  $T_r(k)$ ——k时刻的温度补偿量;

[0039]  $\gamma$ ——补偿系数,与滞后时间有关;

[0040] N——滞后步长。

[0041] 所述相邻燃烧室温度解耦控制,是估计烘炉装置控制量对相邻燃烧室温度变化的相对增益,用相对增益对烘炉装置控制量进行修正;修正后的烘炉装置控制量和补偿因子的具体计算公式如下:

$$[0042] \quad \tilde{u}_i = \sum_{j=-1}^1 \omega_{ij} u_{i+j}$$

$$[0043] \quad \omega_{ij} = \frac{\partial T_i}{\partial u_{i+j}} \Big|_{u_i=\text{const}} / \frac{\partial T_{i+j}}{\partial u_i} \Big|_{T_i=\text{const}}, j = \{-1,0,1\}$$

[0044] 式中: $\tilde{u}_i$ ——修正后第i号炭化室的烘炉装置控制量;

[0045]  $u_i$ ——修正前第i号炭化室的烘炉装置控制量;

[0046]  $T_i$ ——第i号燃烧室的炉温;

[0047]  $\omega_{ij}$ ——第i号炭化室对其两侧i-1号和i+1号炭化室的相对增益;

[0048]  $\frac{\partial T_i}{\partial u_{i+j}} \Big|_{u_i=\text{const}}$ ——烘炉装置控制量 $u_i$  ( $j \neq 0$ ) 不变时, $u_{i+j}$ 引起 $T_i$ 变化的程度;

[0049]  $\frac{\partial T_{i+j}}{\partial u_i} \Big|_{T_i=\text{const}}$ ——炉内温度 $T_i$  ( $j \neq 0$ ) 不变时, $u_i$ 引起 $T_{i+j}$ 变化的程度。

[0050] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0051] 1) 本发明所述方法自动化程度高,控制效果明显,工作稳定可靠,能保证对正压烘炉过程中实际升温曲线的有效控制;

[0052] 2) 对烘炉过程中温度控制存在的滞后和耦合问题均给出了相应的解决方案,可保证炉内温度平稳有序变化,对正压烘炉过程安全运行实施有效管理。

## 附图说明

[0053] 图1是本发明一种正压烘炉优化控制方法的控制系统组成框图。

[0054] 图2为本发明一种正压烘炉优化控制方法的控制流程图

## 具体实施方式

[0055] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明:

[0056] 如图1和图2所示,一种正压烘炉优化控制方法,根据预先给定的计划温度曲线,把烘炉温度作为系统输入,计算燃气所需要的烘炉压力或流量,把烘炉装置作为系统输出,在烘炉升温的全过程中对炉内温度进行自动控制;具体包括如下步骤:

[0057] 1) 烘炉升温过程建模;采用机理建模和神经网络建模相结合的方法,对燃烧室温度、燃气支管压力、相邻燃烧室温度和分烟道吸力之间的关系进行分析,确定炉内温度变量和烘炉装置控制量之间函数关系;

[0058] 2) Smith预估补偿控制;由烘炉装置控制量的变化预估和计算补偿温度,使滞后的炉内温度变化量提前反映到温度偏差量的计算上,以此来降低温控系统典型滞后特性的影响;

[0059] 3) 仿人智能控制;在烘炉升温过程中,依靠炉内温度和设定目标温度之间的偏差以及偏差变化率的过去、现在和预测的将来数据信息,识别温度偏差的各种特征而做出相应的决策,计算烘炉装置控制量;

[0060] 4) 相邻燃烧室温度解耦控制;根据烘炉过程中相邻燃烧室温度之间存在耦合情

况,采用前置补偿矩阵解耦方法,在烘炉装置控制量上实现解耦,避免相邻燃烧室温度之间的相互扰动。

[0061] 所述烘炉温度包括管理火道温度、直行、横墙温度、抵抗墙温度、蓄热室顶部温度、蓖子砖温度、小烟道温度、分烟道温度、总烟道温度和大气温度。

[0062] 所述烘炉压力包括看火孔压力、总烟道压力、分烟道压力、烘炉用煤气总管压力、烘炉用煤气支管压力和大气压。

[0063] 所述烘炉装置控制量包括支管压力设定值和支管阀门开度,采用BP神经网络辨识方法,建立升温过程的增量式模型,用如下公式表示:

[0064]  $T=f(P, P_f, T_L, T_R)$

[0065] 式中:T——各个燃烧室温度;

[0066] P——通往各个炭化室的支管燃气管道压力;

[0067]  $T_L, T_R$ ——相邻两个燃烧室的温度;

[0068]  $P_f$ ——分烟道吸力;

[0069] f——描述各个参量之间关系的函数;

[0070] BP神经网络学习算法如下:

[0071] a) 加权系数初始化:用较小的随机数为BP神经网络的所有加权系数置初值,准备训练数据;

[0072] b) 提供训练集:给出顺序赋值的输入向量即烘炉装置控制量和期望输出向量即炉内温度变化量;

[0073] c) 计算隐含层、输出层的神经元输出;

[0074] d) 更新输出层的加权系数;

[0075] e) 更新隐含层的加权系数;

[0076] f) 输入样本 $k=k+1$ ,返回b),直到偏差达到事先设定的范围为止。

[0077] 所述烘炉装置控制量具体计算公式如下:

$$[0078] \quad u = \begin{cases} K_p \left( e + k \sum_{i=1}^n e_i \right) & e \times \dot{e} > 0 \\ k K_p \sum_{i=1}^n e_i & e \times \dot{e} \leq 0 \end{cases}$$

[0079] 式中:u——烘炉装置控制量;

[0080]  $K_p$ ——比例系数;

[0081] k——积分系数;

[0082] e——当前的温度偏差;

[0083]  $\dot{e}$ ——当前的温度偏差变化率;

[0084]  $e_i$ ——前第i时刻的温度偏差。

[0085] 所述Smith预估补偿控制,是预先估计炉内温度变化量在烘炉装置控制量作用下的动态特性,然后由补偿器计算补偿温度,使滞后的炉内温度变化量提前反映到温度偏差量的计算上,以此来减小超调量;补偿温度的具体计算公式如下:

[0086]  $T_r(k) = e^{-\gamma} T_r(k-1) + (1-e^{-\gamma}) \times (u(k) - u(k-N))$

[0087] 式中:u(k)——k时刻的烘炉装置控制量;

[0088]  $T_r(k)$ ——k时刻的温度补偿量;

[0089]  $\gamma$ ——补偿系数,与滞后时间有关;

[0090]  $N$ ——滞后步长。

[0091] 所述相邻燃烧室温度解耦控制,是估计烘炉装置控制量对相邻燃烧室温度变化的相对增益,用相对增益对烘炉装置控制量进行修正;修正后的烘炉装置控制量和补偿因子的具体计算公式如下:

$$[0092] \quad \tilde{u}_i = \sum_{j=-1}^1 \omega_{ij} u_{i+j}$$

$$[0093] \quad \omega_{ij} = \frac{\partial T_i}{\partial u_{i+j}} \Big|_{u_i=\text{const}} / \frac{\partial T_{i+j}}{\partial u_i} \Big|_{T_i=\text{const}}, j = \{-1,0,1\}$$

[0094] 式中: $\tilde{u}_i$ ——修正后第*i*号炭化室的烘炉装置控制量;

[0095]  $u_i$ ——修正前第*i*号炭化室的烘炉装置控制量;

[0096]  $T_i$ ——第*i*号燃烧室的炉温;

[0097]  $\omega_{ij}$ ——第*i*号炭化室对其两侧*i-1*号和*i+1*号炭化室的相对增益;

[0098]  $\frac{\partial T_i}{\partial u_{i+j}} \Big|_{u_i=\text{const}}$ ——烘炉装置控制量 $u_i$  ( $j \neq 0$ ) 不变时, $u_{i+j}$ 引起 $T_i$ 变化的程度;

[0099]  $\frac{\partial T_{i+j}}{\partial u_i} \Big|_{T_i=\text{const}}$ ——炉内温度 $T_i$  ( $j \neq 0$ ) 不变时, $u_i$ 引起 $T_{i+j}$ 变化的程度。

[0100] 本发明的基本原理是,首先对烘炉升温过程建模并分析影响炉内温度变化的因素,其次通过Smith预估对当前燃烧室温度进行补偿后计算温度偏差值,最后用烘炉升温过程模型、仿人智能控制和解耦控制相结合方法根据温度偏差值计算烘炉装置的控制量。其中仿人智能控制,将模仿控制专家的结构和行为功能,建立控制器的知识模型,通过控制器自身的智能行为去应对对象及环境的各种变化。特别地,在烘炉升温过程模型的使用过程中,仿人智能控制将作为主要的调节手段,根据系统当前的炉内温度偏差以及偏差变化率确定不同的控制模式,

[0101] 利用本发明,可以根据计划温度曲线实现正压烘炉升温过程的温度自动控制,提高升温过程中温度控制的精度。

[0102] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。



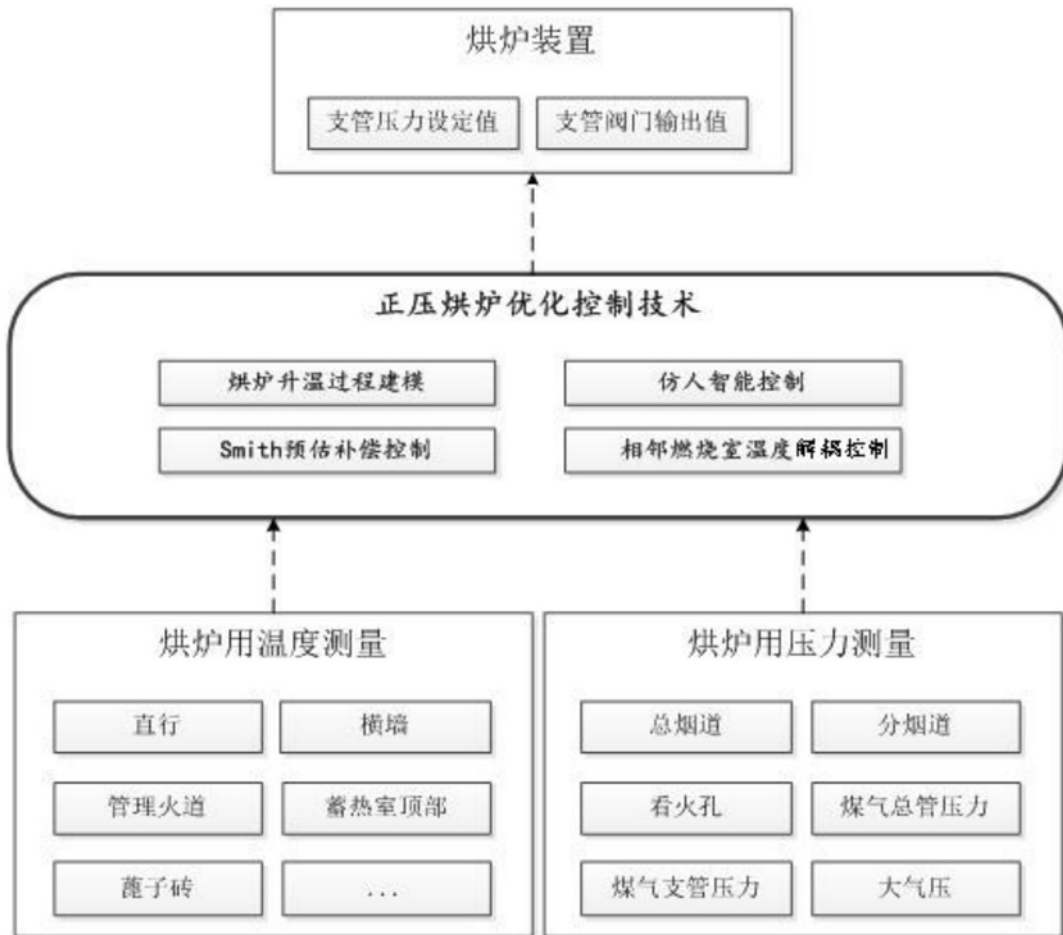


图1

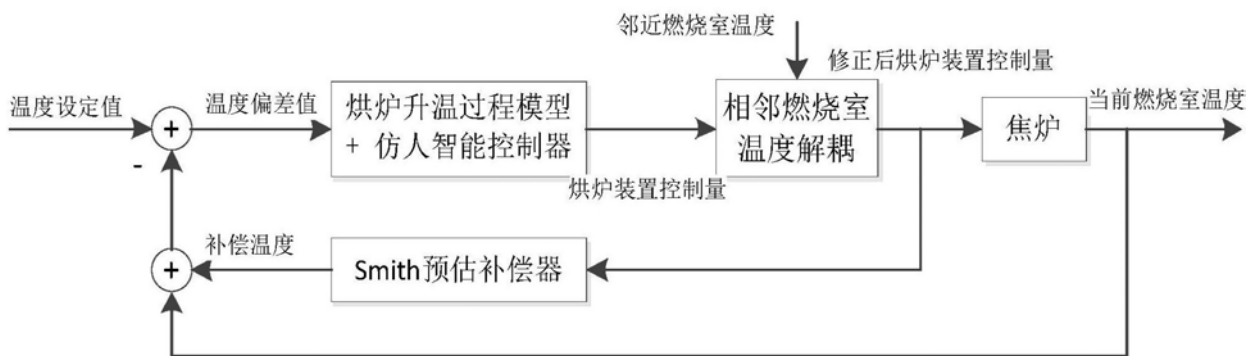


图2