



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114609901 A

(43) 申请公布日 2022. 06. 10

(21) 申请号 202210511240.2

(22) 申请日 2022.05.12

(71) 申请人 浙江浩普环保工程有限公司

地址 310000 浙江省杭州市西湖区文三路  
199号创业大厦3楼302室

(72) 发明人 李钦武 郑政杰 练海军 蒋善行  
周春于 蒋文博

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569  
专利代理师 韩雪梅

(51) Int. Cl.

G05B 11/42 (2006.01)

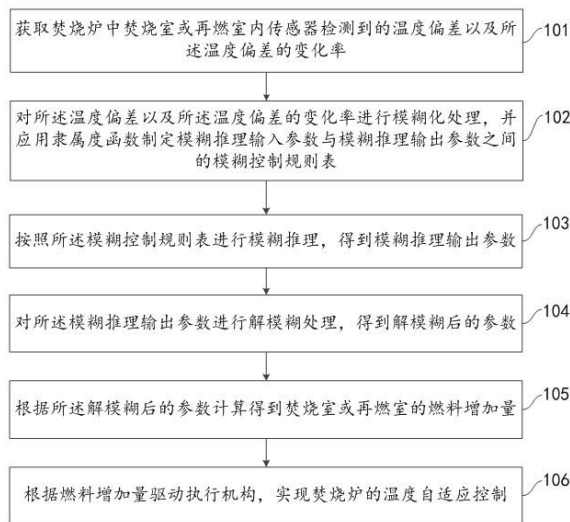
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法及系统,属于固废干化焚烧温度控制领域。方法包括:获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率;对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理,并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表;按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到模糊推理输出参数;对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数;根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;根据所述燃料增加量驱动执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。采用本发明方法能够提高炉温控制的时效性以及自适应性。



1. 一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法,其特征在于,包括:

获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率;将k时刻的温度偏差e表示为 $e(k)$ , $e(k)=T_{k+1}-T_k$ ,表示k时刻到k+1时刻的温度变化量; $T_{k+1}$ 和 $T_k$ 分别表示k时刻和k+1时刻焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度;

对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理,并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表;

按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数;

所述按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数,具体包括:

按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,采用公式 $V_k=(E(k) \times E_C(k)) \cdot R$ 得到所述模糊推理输出参数;其中 $V_k$ 为模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 构成的模糊向量, $V_k=[K_p, K_i, K_d]$ ;  $E(k)$ 和 $E_C(k)$ 为模糊推理输入参数; $R$ 为所述模糊控制规则表中的模糊控制关系;

对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数;

所述对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数,具体包括:

将所述模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 分别乘以比例因子 $k_{up}$ 、 $k_{ui}$ 、 $k_{ud}$ ,得到解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ;

根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;

根据所述燃料增加量驱动执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量,具体包括:

根据所述解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ,采用公式 $u(k)=k_p(k)[e(k)-e(k-1)]+k_i(k)[e(k)]+k_d(k)[e(k)-2e(k-1)+e(k-2)]$ 计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;其中 $u(k)$ 表示k时刻的燃料增加量; $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$ 和 $k_d(k)$ 分别为k时刻的比例系数、积分系数和微分系数; $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 分别表示k时刻、k-1时刻、k-2时刻的温度偏差。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据所述燃料增加量驱动执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制,具体包括:

将所述焚烧室的燃料增加量和所述再燃室的燃料增加量求和得到总燃料增加量;

根据所述总燃料增加量驱动所述执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

4. 一种焚烧炉模糊自适应温度控制系统,其特征在于,包括:

温差采集模块,用于获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率;将k时刻的温度偏差e表示为 $e(k)$ , $e(k)=T_{k+1}-T_k$ ,表示k时刻到k+1时刻的温度变化量; $T_{k+1}$ 和 $T_k$ 分别表示k时刻和k+1时刻焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度;

模糊处理模块,用于对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理,并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表;

模糊推理模块,用于按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数;

所述模糊推理模块具体包括:

模糊推理单元,用于按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,采用公式 $V_k=(E(k) \times E_C(k)) \cdot R$ 得到所述模糊推理输出参数;其中 $V_k$ 为模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 构成的模糊向

量,  $V_k = [K_p, K_i, K_d]$ ;  $E(k)$  和  $E_c(k)$  为模糊推理输入参数;  $R$  为所述模糊控制规则表中的模糊控制关系;

解模糊模块, 用于对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理, 得到解模糊后的参数;

所述解模糊模块具体包括:

解模糊单元, 用于将所述模糊推理输出参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  分别乘以比例因子  $k_{up}$ 、 $k_{ui}$ 、 $k_{ud}$ , 得到解模糊后的参数  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ;

数字控制器, 用于根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;

执行机构驱动模块, 用于根据所述燃料增加量驱动执行机构, 实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

5. 根据权利要求4所述的系统, 其特征在于, 所述数字控制器具体包括:

数字控制器单元, 用于根据所述解模糊后的参数  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ , 采用公式  $u(k) = k_p(k) [e(k) - e(k-1)] + k_i(k) [e(k)] + k_d(k) [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$  计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量; 其中  $u(k)$  表示  $k$  时刻的燃料增加量;  $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$  和  $k_d(k)$  分别为  $k$  时刻的比例系数、积分系数和微分系数;  $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$  分别表示  $k$  时刻、 $k-1$  时刻、 $k-2$  时刻的温度偏差。

6. 根据权利要求5所述的系统, 其特征在于, 所述执行机构驱动模块具体包括:

总燃料增加量计算单元, 用于将所述焚烧室的燃料增加量和所述再燃室的燃料增加量求和得到总燃料增加量;

执行机构驱动单元, 用于根据所述总燃料增加量驱动所述执行机构, 实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

## 一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及固废干化焚烧温度控制技术领域,特别是涉及一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法及系统。

### 背景技术

[0002] 焚烧炉温度控制是固废干化焚烧的重要环节,焚烧温度只有控制在一定范围内才能完全燃烧,其性能直接影响固废焚烧的速度和效率。由于焚烧系统影响因素很多,且温度变化是一个非线性、大滞后的,因此给温度控制带来了难题。目前,焚烧温度控制系统基本上以经典的PID控制为主,传统的PID温度调节系统具有调节时间长、响应时间慢等缺点,在实际的应用过程中效果并不理想。因此,需要探索一种快捷高效的炉温控制方法,使温度控制系统具有良好的自适应性,最终实现焚烧炉处理的无害化、资源化、减量化。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法及系统,以提高炉温控制的时效性以及自适应性。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法,包括:

获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率;

对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理,并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表;

按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数;

对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数;

根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;

根据所述燃料增加量驱动执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0005] 可选地,所述按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数,具体包括:

按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,采用公式 $V_k = (E(k) \times E_c(k)) \cdot R$ 得到所述模糊推理输出参数;其中 $V_k$ 为模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 构成的模糊向量, $V_k = [K_p, K_i, K_d]$ ;  $E(k)$ 和 $E_c(k)$ 为模糊推理输入参数; $R$ 为所述模糊控制规则表中的模糊控制关系。

[0006] 可选地,所述对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数,具体包括:

将所述模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 分别乘以比例因子 $k_{up}$ 、 $k_{ui}$ 、 $k_{ud}$ ,得到解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 。

[0007] 可选地,所述根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量,具体包括:

根据所述解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ，采用公式 $u(k) = k_p(k) [e(k) - e(k-1)] + k_i(k) [e(k)] + k_d(k) [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$ 计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量；其中 $u(k)$ 表示 $k$ 时刻的燃料增加量； $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$ 和 $k_d(k)$ 分别为 $k$ 时刻的比例系数、积分系数和微分系数； $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 分别表示 $k$ 时刻、 $k-1$ 时刻、 $k-2$ 时刻的温度偏差。

[0008] 可选地，所述根据所述燃料增加量驱动执行机构，实现所述焚烧炉的温度自适应控制，具体包括：

将所述焚烧室的燃料增加量和所述再燃室的燃料增加量求和得到总燃料增加量；根据所述总燃料增加量驱动所述执行机构，实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0009] 一种焚烧炉模糊自适应温度控制系统，包括：

温差采集模块，用于获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率；

模糊处理模块，用于对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理，并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表；

模糊推理模块，用于按照所述模糊控制规则表进行模糊推理，得到所述模糊推理输出参数；

解模糊模块，用于对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理，得到解模糊后的参数；

数字控制器，用于根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量；

执行机构驱动模块，用于根据所述燃料增加量驱动执行机构，实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0010] 可选地，所述模糊推理模块具体包括：

模糊推理单元，用于按照所述模糊控制规则表进行模糊推理，采用公式 $V_k = (E(k) \times E_c(k)) \cdot R$ 得到所述模糊推理输出参数；其中 $V_k$ 为模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 构成的模糊向量， $V_k = [K_p, K_i, K_d]$ ； $E(k)$ 和 $E_c(k)$ 为模糊推理输入参数； $R$ 为所述模糊控制规则表中的模糊控制关系。

[0011] 可选地，所述解模糊模块具体包括：

解模糊单元，用于将所述模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 分别乘以比例因子 $k_{up}$ 、 $k_{ui}$ 、 $k_{ud}$ ，得到解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 。

[0012] 可选地，所述数字控制器具体包括：

数字控制器单元，用于根据所述解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ，采用公式 $u(k) = k_p(k) [e(k) - e(k-1)] + k_i(k) [e(k)] + k_d(k) [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$ 计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量；其中 $u(k)$ 表示 $k$ 时刻的燃料增加量； $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$ 和 $k_d(k)$ 分别为 $k$ 时刻的比例系数、积分系数和微分系数； $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 分别表示 $k$ 时刻、 $k-1$ 时刻、 $k-2$ 时刻的温度偏差。

[0013] 可选地，所述执行机构驱动模块具体包括：

总燃料增加量计算单元，用于将所述焚烧室的燃料增加量和所述再燃室的燃料增加量求和得到总燃料增加量；

执行机构驱动单元,用于根据所述总燃料增加量驱动所述执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0014] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

本发明提供了一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法及系统,所述方法包括:获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率;对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理,并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表;按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数;对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数;根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;根据所述燃料增加量驱动执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。采用本发明方法能够提高炉温控制的时效性以及自适应性。

## 附图说明

[0015] 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。

[0016] 图1为本发明一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法的流程图;

图2为本发明一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法的原理示意图;

图3为本发明实施例提供的参数 $E$ 、 $E_c$ 、 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 的隶属度曲线图;

图4为本发明实施例提供的焚烧炉模糊自适应温度控制过程示意图。

## 具体实施方式

[0017] 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。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做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。

[0018] 本发明的目的是提供一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法及系统,以提高炉温控制的时效性以及自适应性。

[0019] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0020] 图1为本发明一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法的流程图,图2为本发明一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法的原理示意图。参见图1,本发明一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法包括:

步骤101:获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率。

[0021] 本发明模糊自适应控制阶段设计了一个双输入/三输出的模糊化自适应模型,其输入为温度偏差 $e$ 和温度偏差的变化率 $e_c$ ,输出为经过在线调整的比例、积分、微分系数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ,数字控制器的输出为燃料增加量 $u$ 。具体地,将 $k$ 时刻的温度偏差 $e$ 表示为 $e(k)$ , $e(k) =$

$T_{k+1} - T_k$ , 表示k时刻到k+1时刻的温度变化量,  $T_{k+1}$  和  $T_k$  分别表示k时刻和k+1时刻焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度。将k时刻温度偏差的变化率ec表示为  $ec(k)$ ,  $ec(k) = de(k)/dt$ 。

[0022] 步骤102: 对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理, 并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表。

[0023] 本发明研究的模糊化参数包括模糊化自适应模型的输入参数(即温度偏差e、温度偏差的变化率ec)和输出参数(即比例、积分、微分系数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ )。对以上模糊化参数进行模糊化处理, 通过实际对象及操作者的实践经验总结, 得到参数的论域、量化等级范围、模糊子集。设温度偏差e、温度偏差的变化率ec、比例系数 $k_p$ 、积分系数 $k_i$ 、微分系数 $k_d$ 的基本论域分别为:  $[-e_{max}, e_{max}]$ 、 $[-ec_{max}, ec_{max}]$ 、 $[-k_{pmax}, k_{pmax}]$ 、 $[-k_{imax}, k_{imax}]$ 、 $[-k_{dmax}, k_{dmax}]$ , 预设的模糊子集均记为{负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}, 语言值均记为: [NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB], 量化等级均为[-5, +5]。 $e_{max}$ 、 $ec_{max}$ 、 $k_{pmax}$ 、 $k_{imax}$ 、 $k_{dmax}$  分别表示模糊化参数e、ec、 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 的最大值。

[0024] 语言变量论域上的模糊子集由其论域上的隶属度函数来描述, 在此, 设图2中参数E、 $E_c$ 、 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 的语言变量的隶属函数采用三角形隶属函数, 如隶属曲线图3所示。其中E、 $E_c$ 称为模糊推理输入参数, 由温度偏差e和温度偏差的变化率ec经模糊处理得到。 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 称为模糊推理输出参数, 分别对应比例、积分、微分系数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 。

[0025] 模糊控制规则是操作员通过学习、试验及长期的经验积累而逐渐形成的, 存在于操作员头脑里的一种技术集合。本发明利用模糊集合论和语言变量, 将语言归纳的控制策略变成数值运算, 方便用计算机进行控制。具体地, 应用隶属度函数得出针对 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 三个参数分别制定的模糊控制规则表, 如下表1-3所示。再按照模糊控制规则表中的模糊控制规则进行模糊推理, 可以实现  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 参数的自适应在线整定。

[0026] 表1  $K_p$ 模糊控制规则表

E/ $E_c$	$K_p$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	ZO	ZO
NM	NM	NM	NM	NM	ZO	PS	PS
NS	NM	NM	NM	NM	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZO	PM	PM	PM	PM
PM	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB	PB
PB	ZO	ZO	PB	PB	PB	PB	PB

表2  $K_i$ 模糊控制规则表



E/Ec	K <sub>i</sub>						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NB	NM	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NB	PM	ZO
NS	NB	NM	NS	NM	NB	PM	ZO
ZO	NM	NM	NS	NS	NS	PS	PM
PS	NM	NS	ZO	ZO	ZO	PS	PM
PM	ZO	ZO	PS	PS	PS	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PB	PB	PB	PB

表3 K<sub>d</sub>模糊控制规则表

E/Ec	K <sub>d</sub>						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	ZO	PS	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PB	PS	PM
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PM	PB

步骤103:按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数。

[0027] 以模糊推理输出参数K<sub>p</sub>、K<sub>i</sub>、K<sub>d</sub>建立模糊向量V<sub>k</sub>,表示为V<sub>k</sub>=[K<sub>p</sub>,K<sub>i</sub>,K<sub>d</sub>],则V<sub>k</sub>=(E(k) × E<sub>c</sub>(k)) · R,建立K<sub>p</sub>、K<sub>i</sub>、K<sub>d</sub>和E、E<sub>c</sub>之间的关系。

[0028] 其中R表示总的模糊关系,对于每一条模糊控制规则:If E is A and E<sub>c</sub> is B then K<sub>p</sub>、K<sub>i</sub>、K<sub>d</sub> is C来说,定义其上的模糊关系(即模糊控制规则)R<sub>i</sub>=(A × B)<sup>Ti</sup> × C,i=1, 2,.....L;Ti表示第i次转置。则总的模糊关系为:R=R<sub>1</sub> ∪ R<sub>2</sub> ∪ ... ∪ R<sub>L</sub>,L为模糊总控制规则数。

[0029] 因此,所述步骤103按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数,具体包括:

按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,采用公式V<sub>k</sub>=(E(k) × E<sub>c</sub>(k)) · R得到所述模糊推理输出参数;其中V<sub>k</sub>为模糊推理输出参数K<sub>p</sub>、K<sub>i</sub>、K<sub>d</sub>构成的模糊向量,V<sub>k</sub>=[K<sub>p</sub>,K<sub>i</sub>,K<sub>d</sub>];E(k)和E<sub>c</sub>(k)为模糊推理输入参数;R为所述模糊控制规则表中的模糊控制关系。

[0030] 步骤104:对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数。

[0031] 将V<sub>k</sub>判决所得的结果分别乘以比例因子k<sub>up</sub>、k<sub>ui</sub>、k<sub>ud</sub>,则得到解模糊后的参数k<sub>p</sub>、k<sub>i</sub>、



$k_d$ 。其中：

$$k_p(k) = K_p(k) * k_{up};$$

$$k_i(k) = K_i(k) * k_{ui};$$

$$k_d(k) = K_d(k) * k_{ud};$$

$$k_{up} = K_{pmax} / 5;$$

$$k_{ui} = K_{imax} / 5;$$

$$k_{ud} = K_{dmax} / 5。$$

[0032]  $K_p(k)$ 、 $K_i(k)$ 、 $K_d(k)$  分别为模糊推理输出参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  在  $k$  时刻的值； $K_{pmax}$ 、 $K_{imax}$ 、 $K_{dmax}$  分别为  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  的最大值； $k_{up}$ 、 $k_{ui}$ 、 $k_{ud}$  分别为  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  对应的 PID 比例因子。

[0033] 因此，所述步骤 104 对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理，得到解模糊后的参数，具体包括：

将所述模糊推理输出参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  分别乘以比例因子  $k_{up}$ 、 $k_{ui}$ 、 $k_{ud}$ ，得到解模糊后的参数  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 。

[0034] 步骤 105：根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量。

[0035] 焚烧室或再燃室燃料控制增加量的算式为：

$$u(k) = k_p(k) [e(k) - e(k-1)] + k_i(k) [e(k)] + k_d(k) [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

其中， $u(k)$  表示  $k$  时刻燃料增加量； $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$  和  $k_d(k)$  分别表示  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$  在  $k$  时刻的值，即  $k$  时刻的比例系数、积分系数和微分系数； $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$  分别表示  $k$  时刻、 $k-1$  时刻、 $k-2$  时刻的温度变化量，即温度偏差。

[0036]  $k_p$ 、 $k_i$  和  $k_d$  不是常数，而是随  $e(k)$ 、 $ec(k)$  的值变化而变化的模糊数。最后，由数字控制器计算得到燃料增加量  $u(k)$ ，去驱动执行机构，因此能够实现实时自适应控制。

[0037] 因此，所述步骤 105 根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量，具体包括：

根据所述解模糊后的参数  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ，采用公式  $u(k) = k_p(k) [e(k) - e(k-1)] + k_i(k) [e(k)] + k_d(k) [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$  计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量；其中  $u(k)$  表示  $k$  时刻的燃料增加量； $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$  和  $k_d(k)$  分别为  $k$  时刻的比例系数、积分系数和微分系数； $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$  分别表示  $k$  时刻、 $k-1$  时刻、 $k-2$  时刻的温度偏差。

[0038] 步骤 106：根据所述燃料增加量驱动执行机构，实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0039] 本发明通过建立模糊化自适应模型，确定模糊化参数，包括输入参数温度偏差  $e$  和温度偏差的变化率  $ec$ ，输出参数为经过在线调整的比例、积分、微分系数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ ，数字控制器的输出为燃料增加量  $u$  等参数；建立模糊论域、量化等级范围、模糊子集；以三角形隶属函数对模糊变量进行控制，从而得出模糊控制规则；经过解模糊得到比例、积分、微分系数  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ，从而得到控制量， $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$  随  $e(k)$ 、 $ec(k)$  的值变化而做出调整，保证焚烧室温度控制系统的时效性以及自适应性。将焚烧区进入再燃室的温度偏差  $e$ 、温度偏差的变化率  $ec$  等参数进行模糊化处理，建立再燃室的模糊自适应温度控制系统，得到再燃室燃料控制的增加量。再燃室模糊温度参数来源于燃烧室出口的温度参数，模糊自适应过程与焚烧室一样。将焚烧室和再燃室二者的燃料控制增加量反馈至总增加量，从而实现焚烧炉的模糊自适应温度控制，如图 4 所示。

[0040] 因此,所述步骤106根据所述燃料增加量驱动执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制,具体包括:

将所述焚烧室的燃料增加量和所述再燃室的燃料增加量求和得到总燃料增加量;根据所述总燃料增加量驱动所述执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0041] 当然,本发明提出的一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法,不仅仅适用焚烧炉,还可应用于类似焚烧系统的模糊自适应温度控制,能够提高温度控制的时效性以及自适应性。

[0042] 基于本发明提供的方法,本发明还提供一种焚烧炉模糊自适应温度控制系统,所述系统包括:

温差采集模块,用于获取焚烧炉中焚烧室或再燃室内传感器检测到的温度偏差以及所述温度偏差的变化率;

模糊处理模块,用于对所述温度偏差以及所述温度偏差的变化率进行模糊化处理,并应用隶属度函数制定模糊推理输入参数与模糊推理输出参数之间的模糊控制规则表;

模糊推理模块,用于按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,得到所述模糊推理输出参数;

解模糊模块,用于对所述模糊推理输出参数进行解模糊处理,得到解模糊后的参数;

数字控制器,用于根据所述解模糊后的参数计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;

执行机构驱动模块,用于根据所述燃料增加量驱动执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0043] 其中,所述模糊推理模块具体包括:

模糊推理单元,用于按照所述模糊控制规则表进行模糊推理,采用公式 $V_k = (E(k) \times E_c(k)) \cdot R$ 得到所述模糊推理输出参数;其中 $V_k$ 为模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 构成的模糊向量, $V_k = [K_p, K_i, K_d]$ ;  $E(k)$ 和 $E_c(k)$ 为模糊推理输入参数; $R$ 为所述模糊控制规则表中的模糊控制关系。

[0044] 所述解模糊模块具体包括:

解模糊单元,用于将所述模糊推理输出参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 分别乘以比例因子 $k_{up}$ 、 $k_{ui}$ 、 $k_{ud}$ ,得到解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 。

[0045] 所述数字控制器具体包括:

数字控制器单元,用于根据所述解模糊后的参数 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ,采用公式 $u(k) = k_p(k) [e(k) - e(k-1)] + k_i(k) [e(k)] + k_d(k) [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$ 计算得到所述焚烧室或再燃室的燃料增加量;其中 $u(k)$ 表示 $k$ 时刻的燃料增加量; $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$ 和 $k_d(k)$ 分别为 $k$ 时刻的比例系数、积分系数和微分系数; $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 分别表示 $k$ 时刻、 $k-1$ 时刻、 $k-2$ 时刻的温度偏差。

[0046] 所述执行机构驱动模块具体包括:

总燃料增加量计算单元,用于将所述焚烧室的燃料增加量和所述再燃室的燃料增加量求和得到总燃料增加量;

执行机构驱动单元,用于根据所述总燃料增加量驱动所述执行机构,实现所述焚烧炉的温度自适应控制。

[0047] 本发明提供了一种焚烧炉模糊自适应温度控制方法采用模糊自适应控制来调节温度,该方法具有稳定性好、响应效率高的优势。且本发明的模糊自适应温度控制系统能够克服系统的干扰,筛减系统误差,提高系统的鲁棒性。所述方法及系统中,比例、积分和微分系数 $k_p(k)$ 、 $k_i(k)$ 、 $k_d(k)$ 随 $e(k)$ 、 $ec(k)$ 的值变化而做出调整,使温度控制系统适应性更强,更加稳定。

[0048] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0049] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

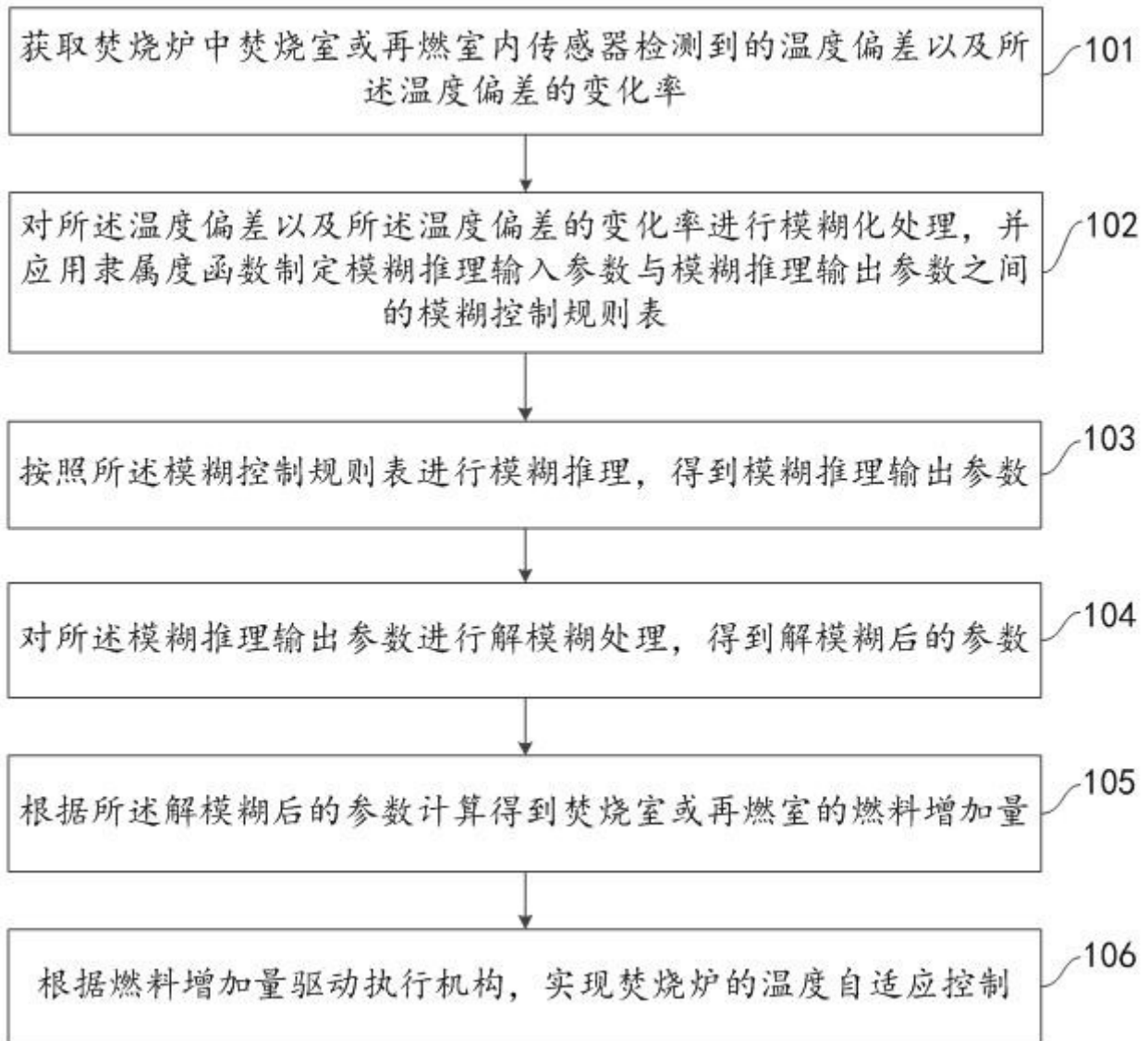


图1

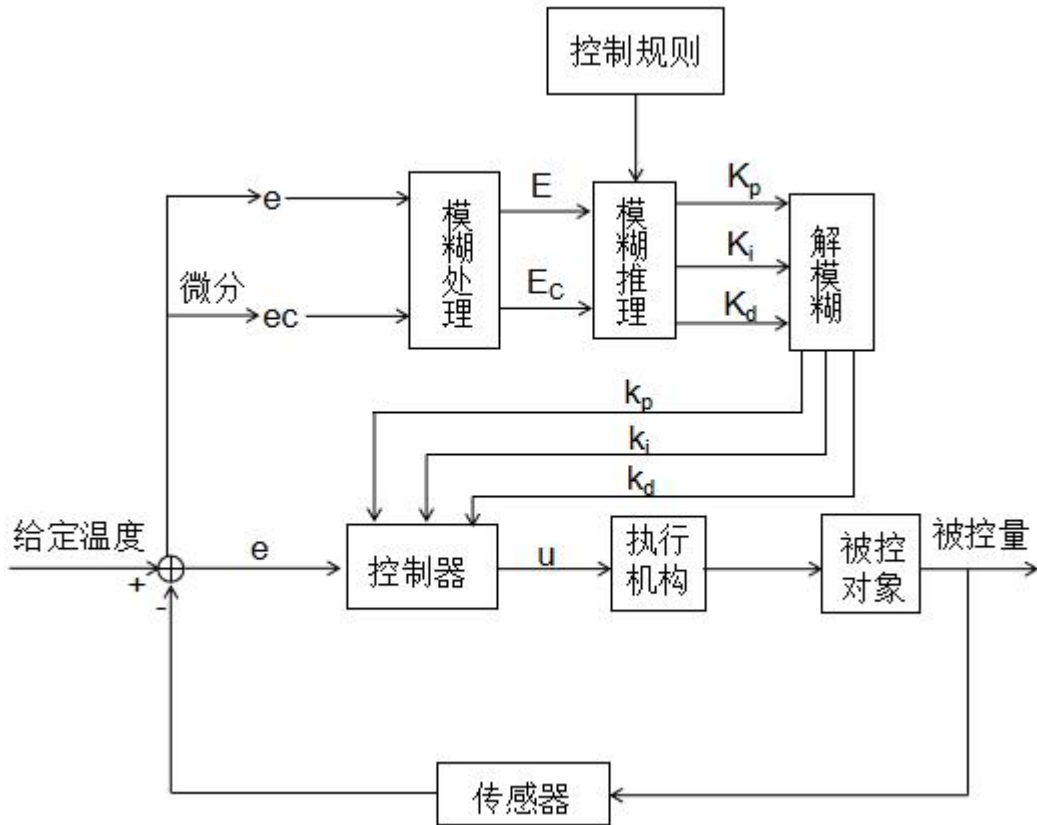


图2

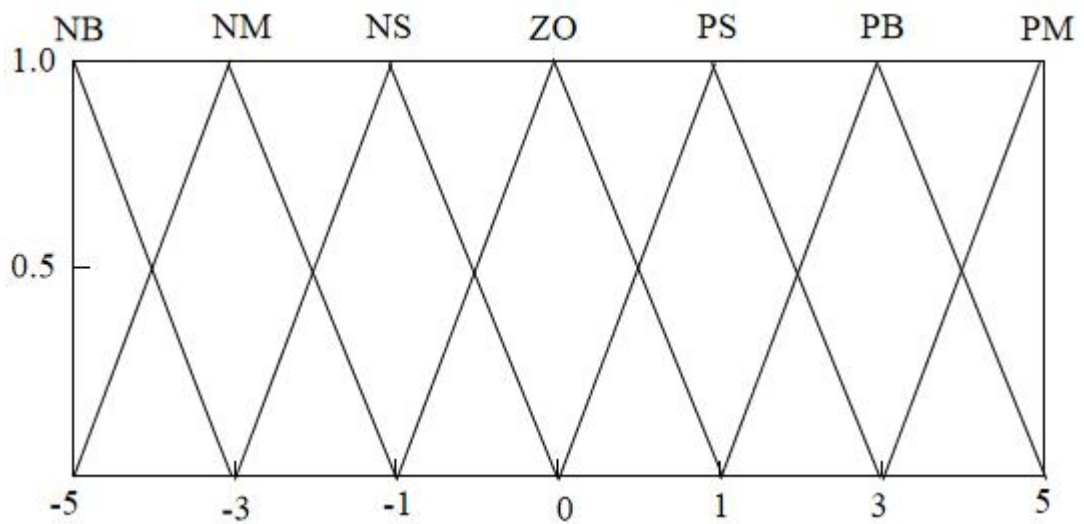


图3

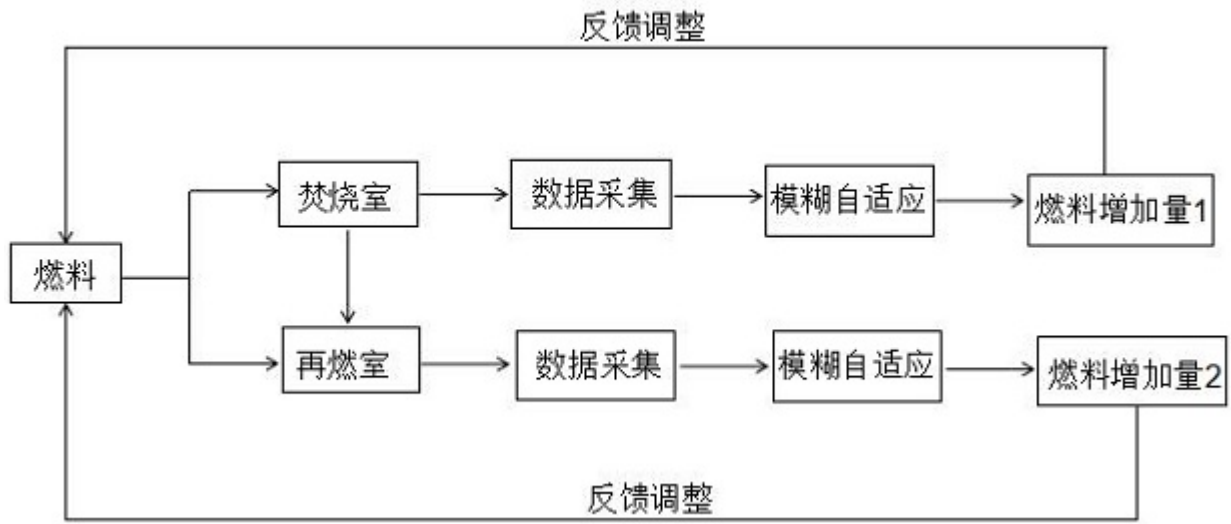


图4