



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106406099 A

(43)申请公布日 2017.02.15

(21)申请号 201611026952.6

(22)申请日 2016.11.22

(71)申请人 苏州中材建设有限公司

地址 215300 江苏省苏州市昆山市开发区  
前进东路586号苏州中材大厦

(72)发明人 陈攻 郭正平 贺希

(74)专利代理机构 昆山四方专利事务所 32212

代理人 盛建德 李娜

(51)Int.Cl.

G05B 13/04(2006.01)

C04B 7/38(2006.01)

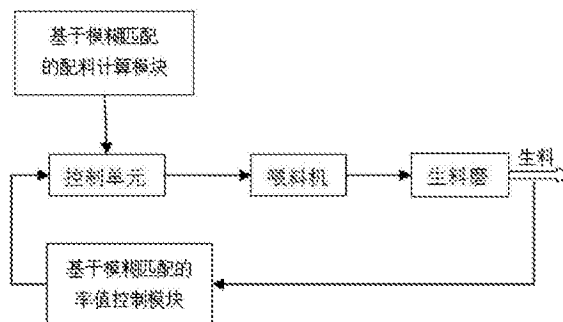
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

## (54)发明名称

基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统及方法

## (57)摘要

一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统,包括基于模糊匹配的配料计算模块和基于模糊匹配的率值控制模块。基于模糊匹配的配料计算模块通过取样过程对原料按多点采样方式抽取若干样本,检测确定各样本化学组分,然后由生料配料规则库根据多规则模糊匹配方法计算每一个样本的综合物料配比,最后再由均化过程根据所有样本的综合物料配比计算原料配比。基于模糊匹配的率值控制模块通过对生料取样,由元素分析仪检测出磨生料样本中各种氧化物的含量,从而计算出磨生料率值,得到出磨生料率值与期望率值的偏差,然后利用配比调整规则库,通过多规则模糊匹配方法计算得到修正配比。本发明消除了原料成分波动、原料水分波动对物料配比的影响。



1. 一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统,包括基于模糊匹配的配料计算模块和基于模糊匹配的率值控制模块,其特征是:

所述基于模糊匹配的配料计算模块,通过取样过程对原料按多点采样方式抽取若干样本,检测确定各样本化学组分,然后由生料配料规则库根据多规则模糊匹配方法计算每一个样本的综合物料配比,最后再由均化过程根据所有样本的综合物料配比计算原料配比;

所述基于模糊匹配的率值控制模块,通过对生料取样,由元素分析仪检测出磨生料样本中各种氧化物的含量,从而计算出磨生料率值,得到出磨生料率值与期望率值的偏差,然后利用配比调整规则库,通过多规则模糊匹配方法计算得到修正配比。

2. 根据权利要求1所述的基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统,其特征是:还包括控制单元,所述原料配比和修正配比均发送到控制单元,控制单元依据原料配比和修正配比控制喂料机下料。

3. 一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料方法,其特征是:包括如下步骤:

步骤1:采用多点采样方式对原始物料进行采样,检测各个样本的化学成分,即各个样本的氧化物含量,这些氧化物含量组成一个向量,描述样本的化学组成,称为一个水泥原料样本;

步骤2:将水泥原料样本与生料配料规则库中的每一条模糊规则进行模糊匹配,得到水泥原料样本与每一个模糊规则的匹配度,依照所有模糊规则及所述水泥原料样本与每一个模糊规则的匹配度计算样本的综合物料配比;

步骤3:在均化过程中,对每个样本的综合物料配比进行加权求和,得到原料配比;

步骤4:将原料配比发送到控制单元,控制单元依据原料配比控制喂料机下料;

步骤5:对出磨生料进行取样,将生料样本送入元素分析仪;

步骤6:所述元素分析仪检测出磨生料样本中各种氧化物的含量;

步骤7:计算出磨率值与期望率值的偏差;

步骤8:将率值偏差与配比调整规则库中的每一条模糊规则进行匹配,得到率值偏差与每一条模糊规则的匹配度,依照所有模糊规则及所述率值偏差与每一条模糊规则的匹配度计算修正配比;及

步骤9:将修正配比发送到控制单元,控制单元依据原料配比和修正配比控制喂料机下料。

4. 根据权利要求3所述的基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料方法,其特征是:所述步骤2中,生料配料规则库根据模糊匹配方法计算样本的综合物料配比,包括如下步骤:

步骤21:计算水泥原料样本与生料配料规则库中每一条模糊规则的匹配度,并对得到的各规则匹配度进行归一化;

步骤22:将归一化后匹配度作为该规则的权重;及

步骤23:按每个规则的权重,对各个物料配比进行加权求和,即为该样本的综合物料配比。

5. 根据权利要求3所述的基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料方法,其特征是:所述步骤8中,配比调整规则库通过模糊匹配方法计算修正配比,包括如下步骤:

步骤81:计算率值偏差与配比调整规则库中每一条模糊规则的匹配度,并对得到的各规则匹配度进行归一化;

步骤82:将归一化后匹配度作为该规则的权重;及

步骤83:按每个规则的权重,对各个配比修正量进行加权求和,即为修正配比。

6. 根据权利要求3所述的基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料方法,其特征是:所述步骤1之前还包括生料配料规则库的建立,包括如下步骤:

第一步:收集水泥生产生料配料数据,形成训练数据集;

第二步:模糊化所有属性;

第三步:在类别属性上,将相似的配比归为同一类,即用相似的若干个配比的均值代替这些配比;

第四步:依据模糊决策树算法在模糊化后的训练数据集上建立决策树模型,一棵模糊决策树转化为包含若干模糊推理规则的专家系统;及

第五步:在上述专家系统中加入由该领域专家根据自身经验直接给出的模糊推理规则,形成最终的生料配料规则库。

7. 根据权利要求3所述的基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料方法,其特征是:所述步骤1之前还包括配比调整规则库的建立,包括如下步骤:

第一步:收集调整配比数据,形成训练数据集;

第二步:模糊化所有属性;

第三步:在类别属性上,将相似的配比归为同一类,即用相似的若干个配比修正量的均值代替这些配比修正量;

第四步:依据模糊决策树算法在模糊化后的训练数据集上建立决策树模型,一棵模糊决策树转化为包含若干模糊推理规则的专家系统;及

第五步:在上述专家系统中加入由该领域专家根据自身经验直接给出的模糊推理规则,形成最终的配比调整规则库。

## 基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及工业自动化和数据挖掘领域,尤其是一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统及方法。

### 背景技术

[0002] 水泥生产中的生料配料是将石灰石、铁粉、粘土、煤粉以及矿石渣等多种原料按照一定的比例进行混合。生料生产中的配料过程对水泥的煅烧、熟料的质量、原料及燃料的消耗都有着重要的影响。国内水泥厂在控制工艺上主要采用率值控制方法。在水泥厂一般都配备有生料率值自动控制系统,但是自动计算进行配料秤的反馈控制的功能,大多没有投用,而是继续由人工控制。生料配料计算的方法很多,例如,建立数学模型反推配比方法,利用专家系统进行配比方法等,这些方法的实质都是试图找出 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{CaO}$ 在生料中所占百分含量的最佳值。由于原料的成分波动、原料的水分波动、原料成分不能与专家系统中的规则完全匹配等原因,由上这些方法得到的配比结果率值往往与期望率值有偏差,有时这种偏差甚至超出了可允许的范围,难以保证水泥质量稳定。在实际生产中,往往需要根据人工经验对配比结果加以调整,使得生料配比过分依赖人工经验。

### 发明内容

[0003] 为了克服上述缺陷,本发明提供一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统及方法,所述基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统及方法能够克服由于原料的成分波动、原料的水分波动、原料成分不能与专家系统中的规则完全匹配等原因造成的出磨生料率值与期望率值偏差较大的问题。

[0004] 本发明为了解决其技术问题所采用的技术方案一是:一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统,包括基于模糊匹配的配料计算模块和基于模糊匹配的率值控制模块,所述基于模糊匹配的配料计算模块,通过取样过程对原料按多点采样方式抽取若干样本,检测确定各样本化学组分,然后由生料配料规则库根据多规则模糊匹配方法计算每一个样本的综合物料配比,最后再由均化过程根据所有样本的综合物料配比计算原料配比;所述基于模糊匹配的率值控制模块,通过对生料取样,由元素分析仪检测出磨生料样本中各种氧化物的含量,从而计算出磨生料率值,得到出磨生料率值与期望率值的偏差,然后利用配比调整规则库,通过多规则模糊匹配方法计算得到修正配比。

[0005] 作为本发明技术方案一的进一步改进,还包括控制单元,所述原料配比和修正配比均发送到控制单元,控制单元依据原料配比和修正配比控制喂料机下料。

[0006] 本发明为了解决其技术问题所采用的技术方案二是:一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料方法,其特征是:包括如下步骤:步骤1:采用多点采样方式对原始物料进行采样,检测各个样本的化学成分,即各个样本的氧化物含量,这些氧化物含量组成一个向量,描述样本的化学组成,称为一个水泥原料样本;步骤2:将水泥原料样本与生料配料规则库中的每一条模糊规则进行模糊匹配,得到水泥原料样本与每一个模糊规则的匹配度,依照

所有模糊规则及所述水泥原料样本与每一个模糊规则的匹配度计算样本的综合物料配比；步骤3：在均化过程中，对每个样本的综合物料配比进行加权求和，得到原料配比；步骤4：将原料配比发送到控制单元，控制单元依据原料配比控制喂料机下料；步骤5：对出磨生料进行取样，将生料样本送入元素分析仪；步骤6：所述元素分析仪检测出磨生料样本中各种氧化物的含量；步骤7：计算出磨率值与期望率值的偏差；步骤8：将率值偏差与配比调整规则库中的每一条模糊规则进行匹配，得到率值偏差与每一条模糊规则的匹配度，依照所有模糊规则及所述率值偏差与每一条模糊规则的匹配度计算修正配比；及步骤9：将修正配比发送到控制单元，控制单元依据原料配比和修正配比控制喂料机下料。

[0007] 作为本发明技术方案二的进一步改进，所述步骤2中，生料配料规则库根据模糊匹配方法计算样本的综合物料配比，包括如下步骤：步骤21：计算水泥原料样本与生料配料规则库中每一条模糊规则的匹配度，并对得到的各规则匹配度进行归一化；步骤22：将归一化后匹配度作为该规则的权重；及步骤23：按每个规则的权重，对各个物料配比进行加权求和，即为该样本的综合物料配比。

[0008] 作为本发明技术方案二的进一步改进，所述步骤8中，配比调整规则库通过模糊匹配方法计算修正配比，包括如下步骤：步骤81：计算率值偏差与配比调整规则库中每一条模糊规则的匹配度，并对得到的各规则匹配度进行归一化；步骤82：将归一化后匹配度作为该规则的权重；及步骤83：按每个规则的权重，对各个配比修正量进行加权求和，即为修正配比。

[0009] 作为本发明技术方案二的进一步改进，所述步骤1之前还包括生料配料规则库的建立，包括如下步骤：收集水泥生产生料配料数据，形成训练数据集；模糊化所有属性；在类别属性上，将相似的配比归为同一类，即用相似的若干个配比的均值代替这些配比；依据模糊决策树算法在模糊化后的训练数据集上建立决策树模型，一棵模糊决策树转化为包含若干模糊推理规则的专家系统；在上述专家系统中加入由该领域专家根据自身经验直接给出的模糊推理规则，形成最终的生料配料规则库。

[0010] 作为本发明技术方案二的进一步改进，所述步骤1之前还包括配比调整规则库的建立，包括如下步骤：收集调整配比数据，形成训练数据集；模糊化所有属性；在类别属性上，将相似的配比归为同一类，即用相似的若干个配比修正量的均值代替这些配比修正量；依据模糊决策树算法在模糊化后的训练数据集上建立决策树模型，一棵模糊决策树转化为包含若干模糊推理规则的专家系统；在上述专家系统中加入由该领域专家根据自身经验直接给出的模糊推理规则，形成最终的配比调整规则库。

[0011] 本发明的有益效果是：1. 对原料进行多点采样，并通过均化模块对多样本的综合物料配比进行平均得到整批原料的物料配比，利于消除原料成分波动、原料水分波动对物料配比的影响；2. 在计算样本综合物料配比时，采用样本与所有规则模糊匹配的方式，综合考虑了样本与所有规则的关系，避免了原料成分不能完全与某单一规则匹配的问题；3. 利用模糊匹配规则库中所有规则的方法，可以避免过多人工经验、背景知识的参与，提高了水泥生料配料和修正配料的客观性和可靠性。

## 附图说明

[0012] 图1为本发明基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统的结构图。

- [0013] 图2为本发明基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统的功能模块图。
- [0014] 图3为本发明生料配料规则库建立时涉及的三角形隶属函数示意图。
- [0015] 图4为本发明配比调整规则库建立时涉及的三角形隶属函数示意图。
- [0016] 图5为本发明基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统及方法中涉及的给定样本综合物料配比计算流程图。
- [0017] 图6为本发明基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统及方法中涉及的原料配比计算流程图。

### 具体实施方式

[0018] 本发明有关于一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统,包括基于模糊匹配的配料计算模块和基于模糊匹配的率值控制模块。所述基于模糊匹配的配料计算模块,通过取样过程对原料按多点采样方式抽取若干样本,检测确定各样本化学组分,然后由生料配料规则库根据多规则模糊匹配方法计算每一个样本的综合物料配比,最后再由均化过程根据所有样本的综合物料配比计算原料配比。所述基于模糊匹配的率值控制模块,通过对生料取样,由元素分析仪检测出磨生料样本中各种氧化物的含量,从而计算出磨生料率值,得到出磨生料率值与期望率值的偏差,然后利用配比调整规则库,通过多规则模糊匹配方法计算得到修正配比。

[0019] 本发明基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统,还包括控制单元,所述原料配比和修正配比均发送到控制单元,控制单元依据原料配比和修正配比控制喂料机下料。

[0020] 本发明基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料系统,采用多点采样、均化样本物料配比方法、样本与所有规则模糊匹配的方式尽可能的减小率值偏差。

[0021] 本发明还有关于一种基于模糊匹配和率值反馈的水泥配料方法,包括如下步骤:

[0022] 步骤1:采用多点采样方式对原始物料进行采样,检测各个样本的化学成分,即各个样本的氧化物含量,这些氧化物含量组成一个向量,描述样本的化学组成,称为一个水泥原料样本;

[0023] 步骤2:将水泥原料样本与生料配料规则库中的每一条模糊规则进行模糊匹配,得到水泥原料样本与每一个模糊规则的匹配度,依照所有模糊规则及水泥原料样本与每一个规则的匹配度计算样本的综合物料配比;

[0024] 步骤3:在均化过程,对每个样本的综合物料配比进行加权求和,得到原料配比;

[0025] 步骤4:将原料配比发送到控制单元,控制单元依据原料配比控制喂料机下料;

[0026] 步骤5:对出磨生料进行取样,将生料样本送入元素分析仪;

[0027] 步骤6:所述元素分析仪检测出磨生料样本中各种氧化物的含量;

[0028] 步骤7:计算出磨率值与期望率值的偏差;

[0029] 步骤8:将率值偏差与配比调整规则库中的每一条模糊规则进行匹配,得到率值偏差与每一条模糊规则的匹配度,依照所有模糊规则及所述率值偏差与每一条模糊规则的匹配度计算修正配比;及

[0030] 步骤9:将修正配比发送到控制单元,控制单元依据原料配比和修正配比控制喂料机下料。

[0031] 所述步骤2中,生料配料规则库根据模糊匹配方法计算样本的综合物料配比,包括

如下步骤:

[0032] 步骤21:计算水泥原料样本与生料配料规则库中每一条模糊规则的匹配度,并对得到的各规则匹配度进行归一化;

[0033] 步骤22:将归一化后匹配度作为该规则的权重;及

[0034] 步骤23:按每个规则的权重,对各个物料配比进行加权求和,即为该样本的综合物料配比。

[0035] 所述步骤8中,配比调整规则库通过模糊匹配方法计算修正配比,包括如下步骤:

[0036] 步骤81:计算率值偏差与配比调整规则库中每一条模糊规则的匹配度,并对得到的各规则匹配度进行归一化;

[0037] 步骤82:将归一化后匹配度作为该规则的权重;及

[0038] 步骤83:按每个规则的权重,对各个配比修正量进行加权求和,即为修正配比。

[0039] 所述步骤1之前还包括生料配料规则库的建立,包括如下步骤:

[0040] 第一步:收集水泥生产生料配料数据,形成训练数据集;

[0041] 由于水泥品种的变化,原料化学组份变化,所以水泥生产企业在生产过程中积累了大量的生料配料数据。对这样的数据进行收集,将各原料化学组分及对应的物料配比合并为一个向量。这些向量如表1所示,将表1所示的这些向量称为训练数据集,表1中每一行称之为一个训练数据,每一列称之为一个属性,而最后一列为类别属性,其值为各原料配比。 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 表示收集到的n条生料配料数据,即n个训练数据,形成一个训练数据集。 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 表示原料的m个属性。实际应用中,训练数据集的大小,即收集到的训练样本的个数n取决于用户;而原料属性数目取决于所使用的原料类型,一般情况下,若水泥生产线采用四组分生料配料,即使用石灰石、粘土、铁粉及其它原料,如果考虑每种原料均包含CaO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>四种氧化物,则原料共有16个属性。

[0042] 表1生料配料训练数据集

[0043]

	石灰石				粘土				铁粉				...	其它	配比 y	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>				A <sub>m</sub>
	C	S	A	F	C	S	A	F	C	S	A	F				...
x <sub>1</sub>	x <sub>1,1</sub>	x <sub>1,2</sub>	x <sub>1,3</sub>	x <sub>1,4</sub>	x <sub>1,5</sub>	x <sub>1,6</sub>	x <sub>1,7</sub>	x <sub>1,8</sub>	x <sub>1,9</sub>	x <sub>1,10</sub>	x <sub>1,11</sub>	x <sub>1,12</sub>	...	x <sub>1,m</sub>	y <sub>1</sub>	
x <sub>2</sub>	x <sub>2,1</sub>	x <sub>2,2</sub>	x <sub>2,3</sub>	x <sub>2,4</sub>	x <sub>2,5</sub>	x <sub>2,6</sub>	x <sub>2,7</sub>	x <sub>2,8</sub>	x <sub>2,9</sub>	x <sub>2,10</sub>	x <sub>2,11</sub>	x <sub>2,12</sub>	...	x <sub>2,m</sub>	y <sub>2</sub>	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

[0044]

x <sub>n</sub>	x <sub>n,1</sub>	x <sub>n,2</sub>	x <sub>n,3</sub>	x <sub>n,4</sub>	x <sub>n,5</sub>	x <sub>n,6</sub>	x <sub>n,7</sub>	x <sub>n,8</sub>	x <sub>n,9</sub>	x <sub>n,10</sub>	x <sub>n,11</sub>	x <sub>n,12</sub>	...	x <sub>n,m</sub>	y <sub>n</sub>
----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-----	------------------	----------------

[0045] 注:表中的C代表含CaO的量,S代表含SiO<sub>2</sub>的量,A代表含Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的量,F代表含Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的量

[0046] 第二步:模糊化所有属性;

[0047] 由于所有属性都为连续属性,所以要对其分别进行模糊化处理。在每个连续属性

上取三个模糊集合,其语义分别为“大”、“中”、“小”,每个模糊集合的隶属函数均取为三角形隶属函数。所取的三角形隶属函数如图3所示。

[0048] 第三步:在类别属性上,将相似的配比归为同一类,即用相似的若干个配比的均值代替这些配比;

[0049] 第四步:依据模糊决策树算法在模糊化后的训练数据集上建立决策树模型,一棵模糊决策树转化为包含若干模糊推理规则的专家系统;

[0050] 将从根节点到叶子节点的每一个路径转化为一个模糊推理规则,其前件为此路径上出现的模糊集之交集,其后件为对应叶子节点的类别标签,即对应的物料配比。一个模糊推理规则形如:

[0051] 如果 $x_{k,1}$ 为 $A'_1$ ;且 $\dots$ ;且 $x_{k,j}$ 为 $A'_j$ ,则 $y_k$ 为配比 $k$ 。

[0052] 其中, $A'_j$ 表示特征 $j$ 上的某个模糊集,配比 $k$ 为某种配比。

模糊决策树算法(*Samples, Attributes*)

**注释: *Samples* 为所有训练数据; *Attributes* 为所有特征形成的集合**

用所有训练数据创建树的根节点 *Root*;

If 当前节点中 *Samples* 都属于同一类或者 *Attributes* 为空

    标记此节点为叶子节点;

    返回此单节点树 *Root*;

Else

    对每一个特征,用三个模糊集合“大”,“中”,“小”对当前节点进行划分;计算所有特征对当前节点划分时的信息增益;

[0053]     选择具有最大信息增益的特征为分裂特征,记为 *Best-Attribute*;

    按照 *Best-Attribute* 的三个模糊集合“大”、“中”、“小”,在当前节点下增加三个子节点;

    For 每一个子节点

        从 *Samples* 中选择那些在当前子结点对应的模糊集合上具有最大隶属度的训练数据,记为 *Samples\_sub*,作为此节点包含的训练数据;

        创建子树:模糊决策树算法(*Samples\_sub, Attributes-{Best\_Attribute}*)

    end

end

[0054] 第五步:在上述专家系统中加入由该领域专家根据自身经验直接给出的模糊推理规则,形成最终的生料配料规则库。

[0055] 所述步骤1之前还包括配比调整规则库的建立,包括如下步骤:

[0056] 第一步:收集调整配比数据,形成训练数据集;

[0057] 由于水泥原料化学组份波动、水分波动等原因,一般情况下,在率值控制系统中,调整配比是一个必不可少的过程,所以水泥生产企业在生产过程中积累了大量的调整配比数据。对这样的数据进行收集,将率值偏差向量及对应的配比修正量合并为一个向量。这些向量如表2所示,将表2所示的这些向量称为训练数据集,表2中每一行称之为一个训练数据,每一列称之为一个属性,而最后一列为类别属性,其值为配比修正量。 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 表示收集到的 $n$ 条调整配比数据,即 $n$ 个训练数据,形成一个训练数据集。 $A_1, A_2, A_3$ 表示率值偏差的3个属性, $A_1$ 代表石灰饱和系数偏差, $A_2$ 代表硅率偏差, $A_3$ 代表铝率偏差。实际应用中,训练数据集的大小,即收集到的训练样本的个数 $n$ 取决于用户。



[0058] 表2调整配比训练数据集

[0059]

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	配比修正量y
X <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	Y <sub>1</sub>
X <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	Y <sub>2</sub>
...	...	...	...	...
X <sub>n</sub>	X <sub>n1</sub>	X <sub>n2</sub>	X <sub>n3</sub>	Y <sub>n</sub>

[0060] 第二步:模糊化所有属性;

[0061] 由于所有属性都为连续属性,所以要对其分别进行模糊化处理。在每个连续属性上取三个模糊集合,其语义分别为“大”、“中”、“小”,每个模糊集合的隶属函数均取为三角形隶属函数。所取的三角形隶属函数如图4所示。

[0062] 第三步:在类别属性上,将相似的配比归为同一类,即用相似的若干个配比修正量的均值代替这些配比修正量;

[0063] 第四步:依据模糊决策树算法在模糊化后的训练数据集上建立决策树模型,一棵模糊决策树转化为包含若干模糊推理规则的专家系统;

[0064] 将从根节点到叶子节点的每一个路径转化为一个模糊推理规则,其前件为此路径上出现的模糊集之交集,其后件为对应叶子节点的类别标签,即对应的配比调整量。一个模糊推理规则形如:

[0065] 如果 $x_{k,1}$ 为 $A'_1$ ;且……;且 $x_{k,j}$ 为 $A'_j$ ,则 $y_k$ 为配比k。

[0066] 其中, $A'_j$ 表示特征j上的某个模糊集,配比k为某配比调整量。

[0067]

```

模糊决策树算法(Samples, Attributes)
注释: Samples 为所有训练数据; Attributes 为所有特征形成的集合
用所有训练数据创建树的根节点 Root;
If 当前节点中 Samples 都属于同一类或者 Attributes 为空
    标记此节点为叶子节点;
    返回此单节点树 Root;
Else
    对每一个特征,用三个模糊集合“大”,“中”,“小”对当前节点进行划分;计算所有特征对当前节点划分时的信息增益;
    选择具有最大信息增益的特征为分裂特征,记为 Best-Attribute;
    按照 Best-Attribute 的三个模糊集合“大”、“中”、“小”,在当前节点下增加三个子节点;
    For 每一个子节点
        从 Samples 中选择那些在当前子结点对应的模糊集合上具有最大隶属度的训练数据,记为 Samples_sub,作为此节点包含的训练数据;
        创建子树:模糊决策树算法(Samples_sub, Attributes-{Best Attribute})
    end
end
    
```

[0068] 第五步:在上述专家系统中加入由该领域专家根据自身经验直接给出的模糊推理规则,形成最终的配比调整规则库。

[0069] 在原料配比及率值控制的具体过程中:

[0070] 对原料进行多点采样:水泥厂在配生料以前都要对原料进行均化处理,但均化后的原料化学成分依然会出现波动,这是导致所配生料率值与期望率值出现偏差的主要原因之一。所以本发明在取样模块对各原料进行多点采样,以应对原料化学成分波动的情况,这里不妨设采集到了M个样本。然后,检测各个样本的化学组分,得到M个水泥原料样本。

[0071] 对每一个水泥原料样本,将该样与生料配料规则库中的每一个模糊推理规则(设共含有N个模糊推理规则)进行模糊匹配,得到N个匹配度。模糊匹配度的计算方式是:根据三角形隶属函数,通过计算样本向量在每个模糊推理规则前件,即原料化学组分特征空间上的模糊集合上的隶属度得到。该隶属度即为样本与模糊推理规则的匹配度。样本化学组分向量 $x_k$ 与N个模糊推理规则的匹配度分别记为 $\alpha_{k1}, \alpha_{k2}, \dots, \alpha_{kN}$ 。

[0072] 对上述匹配度进行归一化,归一化后的匹配度作为各个规则的权重,并对所有规则后件按权重进行求和,其结果作为该样本的综合物料配比 $Y_k$ 。

$$[0073] \quad \omega_{kj} = \alpha_{kj} / \sum_{j=1}^N \alpha_{kj} \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$[0074] \quad Y_k = \sum_{j=1}^N \omega_{kj} y_j$$

[0075] 在实际生产中,采用人工经验的方法或者采用单一模糊规则匹配的专家系统进行水泥生料配料,往往会出现所配生料率值偏离期望率值的情况,一个重要的原因就是因为在原料化学组分的不确定性,原料的化学组分都很难与某一个模糊推理规则或者人工经验完全匹配。所以在本发明中利用所有模糊推理规则的信息确定样本的综合物料配比,其实质就是尽量利用所有生料配比“知识”(模糊推理规则),尽可能准确的确定样本化学组分与物料配比之间的对应关系。样本的综合物料配比实质上是样本在所有模糊推理规则下的一个加权物料配比。

[0076] 计算原料配比:将所有M个样本的综合物料配比以相同的权重进行求和,得到原料配比Y。

$$[0077] \quad Y = \sum_{k=1}^M Y_k / M$$

[0078] 原料配比实质上是各个样本综合物料配比的平均,此方法的有益之处在于可以避免原料的化学组分或水分波动带来的所配生料率值偏离期望率值的问题。这种方法在一定程度上可以减小这种波动带来的影响。

[0079] 将原料配比发送到控制单元,控制单元首先依据原料配比控制喂料机下料,生料磨将粗粉原料磨为细粉生料,然后对出磨生料进行抽样,生料样本送入元素分析仪。元素分析仪可以在线快速检测出磨生料样本中CaO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等氧化物的含量,从而可以计算出生料样本的率值,并求得生料样本率值与期望率值的偏差,最后将率值偏差送入配比调整规则库。

[0080] 将率值偏差与调整专家系统中的每一条模糊推理规则进行匹配(这里设共含有L条模糊推理规则),得到率值偏差与每一条模糊规则的共计L个匹配度记为 $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_L$ 。模糊匹配度的计算方式是:根据三角形隶属函数,通过计算样本向量在每个模糊推理规则前件,即原料化学组分特征空间上的模糊集合上的隶属度得到。该隶属度即为样本与模糊推理规则的匹配度。对这L个匹配度进行归一化,归一化后的匹配度作为各个规则的权重,并对所有规则后件按权重进行求和,其结果作为修正配比O。

$$[0081] \quad \omega_j = \gamma_j / \sum_{j=1}^L \gamma_j \quad j = 1, 2, \dots, L$$

$$[0082] \quad \mathbf{O} = \sum_{j=1}^L \omega_j \mathbf{y}_j$$

[0083] 将修正配比发送到控制单元,然后,控制单元依据原料配比和修正配比控制喂料机下料,形成闭环控制系统,从而达到率值稳定。

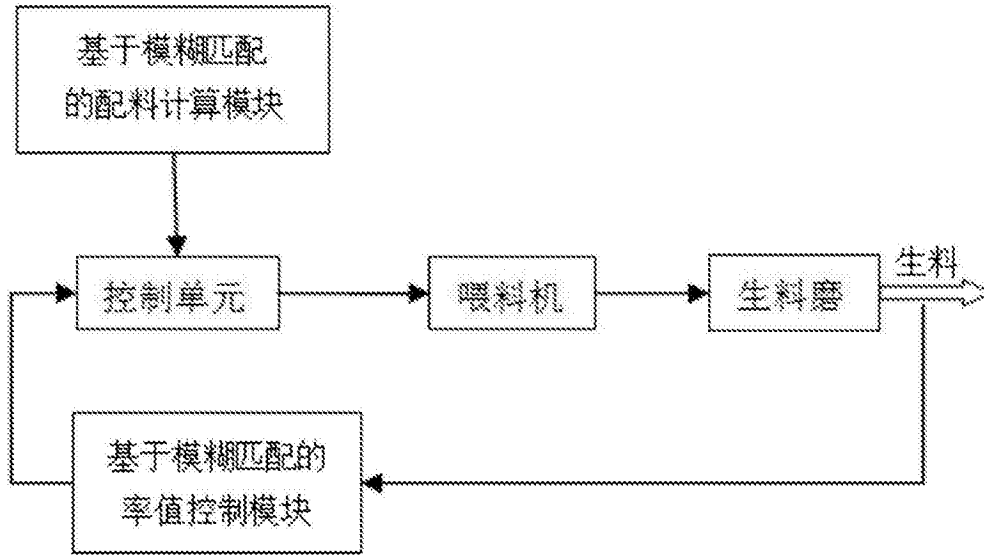


图1

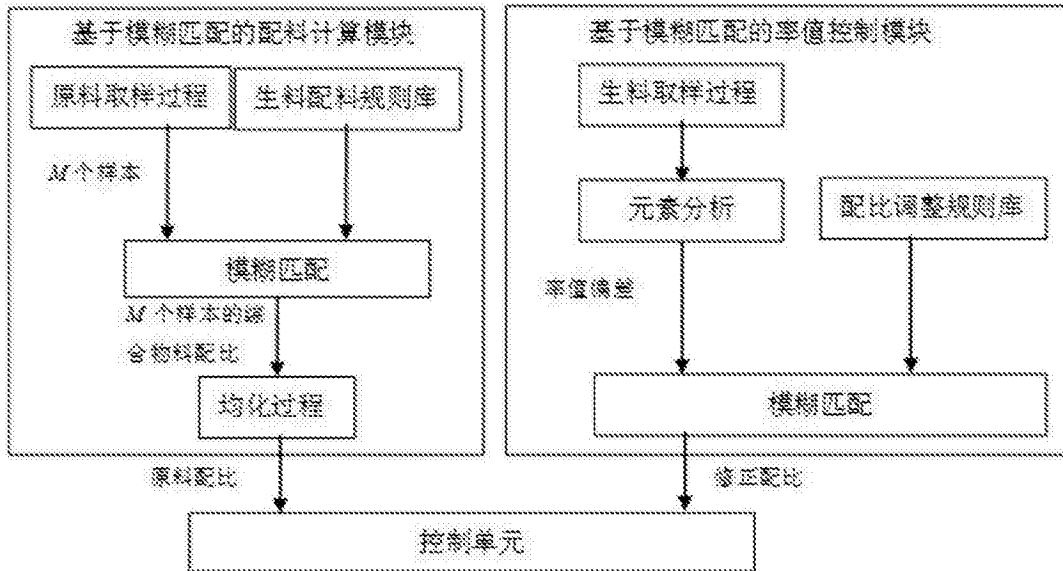


图2

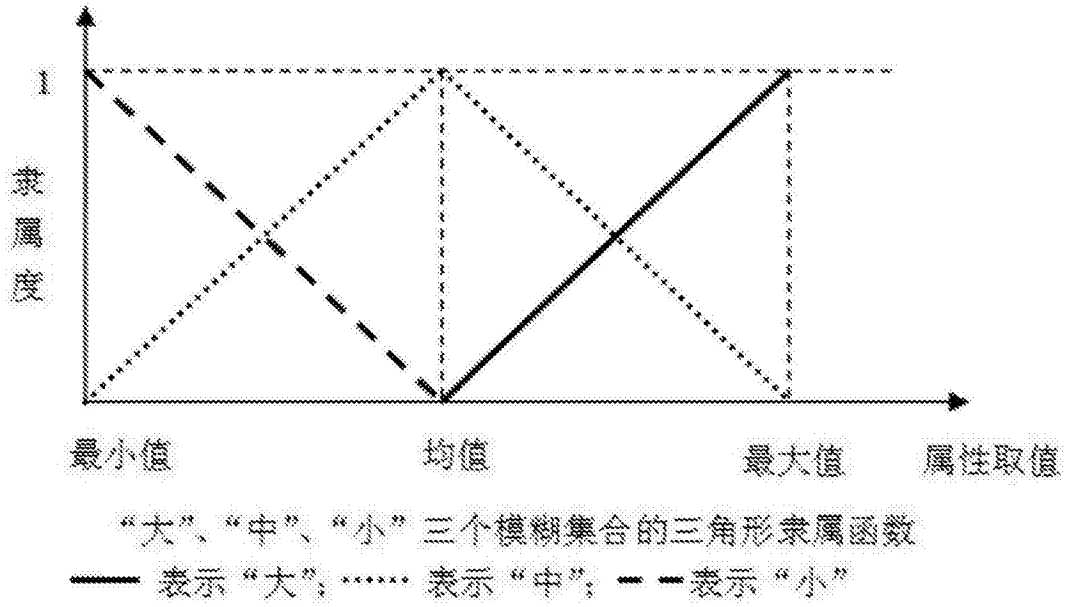


图3

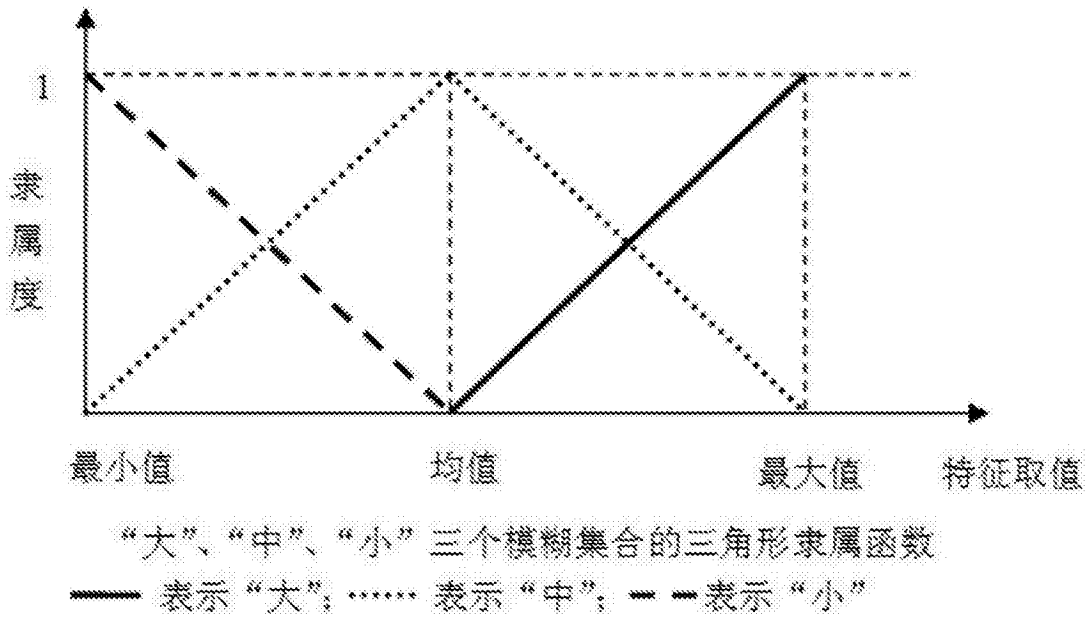


图4

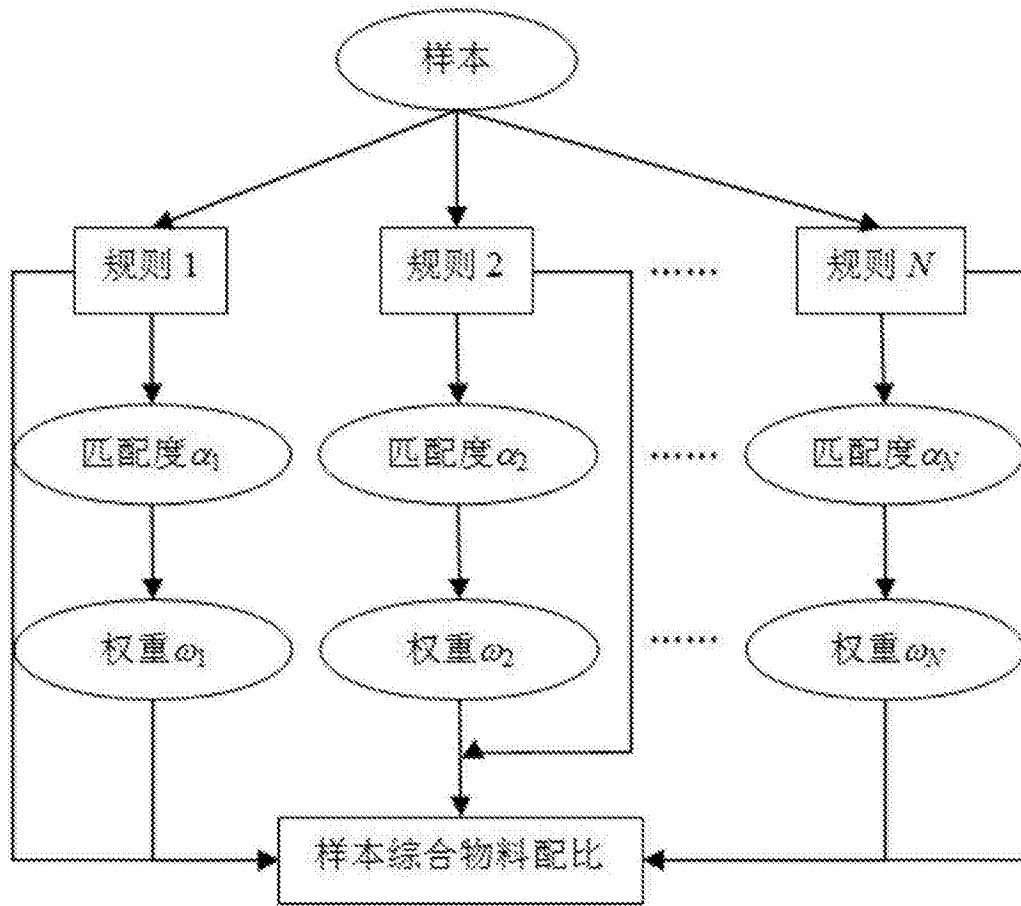


图5

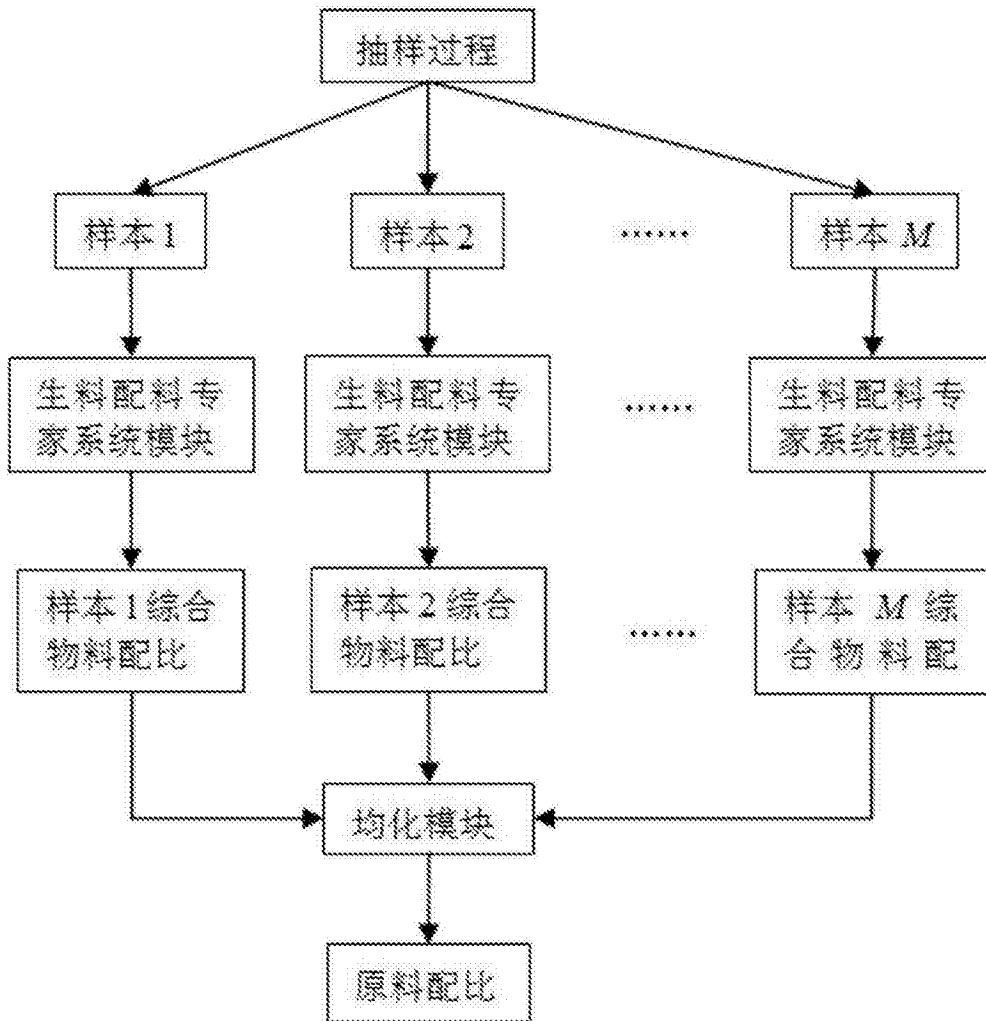


图6