



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114645105 A

(43) 申请公布日 2022. 06. 21

(21) 申请号 202210398003.X

(22) 申请日 2022.04.12

(71) 申请人 攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司

地址 617000 四川省攀枝花市东区桃源街90号

(72) 发明人 饶家庭 郑魁 董晓森 谢洪恩

(74) 专利代理机构 成都虹桥专利事务所(普通合伙) 51124

专利代理师 敬川

(51) Int. Cl.

G21B 5/00 (2006.01)

G06N 3/04 (2006.01)

G06N 3/08 (2006.01)

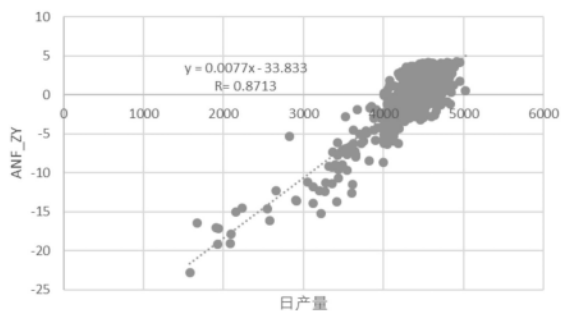
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法

(57) 摘要

本发明属于冶金技术领域,具体公开了一种能够快速评价钒钛矿高炉炉况稳定性,且评价吻合度较人工模型更为可靠的评价方法。该评价方法采用相关性矩阵和二元齐次方差,或者互信息熵值计算,对因变量参考值或PCA分析构建的因变量进行分析,并选择相关性较为显著的影响自变量因子作为评价模型输入,再采用PCA算法降维和权重计算,并将降维后的主成分作为评价输入参数,接着采用自适应模糊神经网络重新构建评价模型或组合模型,模型的整个构建过程简单、快捷,最后利用构建的模型能够对钒钛矿高炉的炉况稳定性进行快速评价,且与现有的人工模型评价方法相比,具有筛选参数、计算权重和阈值随样本增加而变更等优点,其评价吻合度更为可靠。



自适应模糊计算ANF_ZY与产量的关系

1. 钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,其特征在于,包括下列步骤:

步骤一,选取影响评价因子的主要参数,评价因子为钒钛矿冶炼产量、炉缸活跃性、焦比、铁水硅钛差和煤气流分布中的至少一种;

步骤二,判断步骤一选取的主要参数是否有因变量参考值;

若有因变量参考值,则先通过相关性矩阵和二元齐次方差分析,或者互信息熵值计算分析,再选择与评价因子相关性显著的操作参数作为模型输入 X_i ;

若没有因变量参考值,则先进行PCA分析,构建因变量,再进行相关性矩阵和二元齐次方差分析,或者互信息熵值计算分析,之后选择相关性显著的操作参数作为模型输入 X_i ;

步骤三,对步骤二选择的 X_i 进行PCA分析,计算满足特征参数累计贡献率大于85%的降维变量个数及其权重,并组合成炉况判定参数 Y_i ;

步骤四,采用自适应模糊神经网络对炉况判定参数 Y_i 进行学习与预报,形成钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型和模糊规则知识库;

步骤五,利用步骤四形成的钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型,对钒钛矿高炉的炉况稳定性进行评价。

2. 如权利要求1所述的钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,其特征在于:步骤一中,选取相关系数 $R \geq 0.7$ 的主要参数。

3. 如权利要求1所述的钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,其特征在于:步骤四中,炉况判定参数 Y_i 按四区间规则进行学习与预报,钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型的评价体系为:指数在1个西格玛波动以内评价为优,指数在1~2个西格玛波动评价为良,指数在2~3个西格玛内波动评价为中,指数大于3个西格玛波动评价为差。

4. 如权利要求1至3中任意一项所述的钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,其特征在于:

步骤一中,选取 m 个主要参数 $X_1 \sim X_m$, m 为大于1的整数;

若主要参数有因变量参考值,步骤二中,按公式 $Y_i = a_i \sum_{i=1}^m X_i + b_{ij} \sum_{i,j=1}^m X_i X_j$ 进行相关性分析和显著性检验,选择影响 Y_i 的显著性参数 $P < 0.05$ 的变量常数项 X_i 和 $X_i X_j$ 组合作为新的输入变量 X_{in} ;

步骤三中,对新的输入变量 X_{in} 进行PCA分析得到主成分个数 M ,并计算特征值 λ_i ($i = 1, \dots, M$),计算 M 个主成分 P_M 的相对权重, $\gamma_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^M \lambda_k}$,计算得到综合 $ZY = \sum_{i=1}^M r_k P_k$, a_i 表示回归

方程中的 X_i 系数, b_{ij} 表示回归方程中的 $X_i X_j$ 回归系数, $X_i X_j$ 表示自变量 X_i 和 X_j 两两相乘, γ_k 表示第 k 个特征值占特征累计值的比例, k 表示 M 个主成分中第 k 个主成分, P_k 表示第 k 个主成分对应的原始数据矩阵, ZY 表示对 M 个主成分按权重加权计算得到的综合评价值;

若主要参数没有因变量参考值,步骤二和步骤三中,通过PCA分析构建 ZY 后,重复步骤一,并更新 ZY ;

步骤四,采用自适应模糊神经网络对数据集 (X_{in}, ZY_i) 进行自适应模糊神经网络学习。

5. 如权利要求4所述的钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,其特征在于:评价因子为钒钛矿冶炼产量;

步骤四中,形成的钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型为T-S模型,并形成有钒钛矿高炉产

量的影响因子及结果因子,作为单独模型可组合的输入与输出。

钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法

技术领域

[0001] 本发明属于冶金技术领域,具体涉及一种钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法。

背景技术

[0002] 钒钛矿高炉冶炼由于入炉 TiO_2 负荷高,炉渣中 TiO_2 含量高,炉料高熔点相多,炉渣粘度高且熔化性温度高, TiO_2 过还原受温度影响大等特点,高炉参数控制范围窄,高炉上部气流及炉缸工作状态受参数变化,易出现大的波动,为了及时判定高炉操作参数对煤气流、炉缸工作状态的影响,需要对大量样本数据进行分析及建立评价模型。目前已有有人工筛选参数、设定权重和阈值的评价模型,但该模型具有较大的局限性,不仅构建模型的过程复杂,而且存在评价不及时、评价吻合度不够可靠的问题。

发明内容

[0003] 本发明要解决的技术问题是提供一种能够快速评价钒钛矿高炉炉况稳定性,且评价吻合度较人工模型更为可靠的方法。

[0004] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,包括下列步骤:

[0005] 步骤一,选取影响评价因子的主要参数,评价因子为钒钛矿冶炼产量、炉缸活性、焦比、铁水硅钛差和煤气流分布中的至少一种;

[0006] 步骤二,判断步骤一选取的主要参数是否有因变量参考值;

[0007] 若有因变量参考值,则先通过相关性矩阵和二元齐次方差分析,或者互信息熵值计算分析,再选择与评价因子相关性显著的操作参数作为模型输入 X_i ;

[0008] 若没有因变量参考值,则先进行PCA分析,构建因变量,再进行相关性矩阵和二元齐次方差分析,或者互信息熵值计算分析,之后选择相关性显著的操作参数作为模型输入 X_i ;

[0009] 步骤三,对步骤二选择的 X_i 进行PCA分析,计算满足特征参数累计贡献率大于85%的降维变量个数及其权重,并组合成炉况判定参数 Y_i ;

[0010] 步骤四,采用自适应模糊神经网络对炉况判定参数 Y_i 进行学习及预报,形成钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型和模糊规则知识库;

[0011] 步骤五,利用步骤四形成的钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型,对钒钛矿高炉的炉况稳定性进行评价。

[0012] 进一步的是,步骤一中,选取相关系数 $R \geq 0.7$ 的主要参数。

[0013] 进一步的是,步骤四中,炉况判定参数 Y_i 按四区间规则进行学习及预报,钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型的评价体系为:指数在1个西格玛波动以内评价为优,指数在1~2个西格玛波动评价为良,指数在2~3个西格玛内波动评价为中,指数大于3个西格玛波动评价为差。

[0014] 进一步的是,步骤一中,选取 m 个主要参数 $X_1 \sim X_m$, m 为大于1的整数;

[0015] 若主要参数有因变量参考值,步骤二中,按公式 $Y_i = a_i \sum_i^m X_i + b_{ij} \sum_{i,j}^m X_i X_j$ 进行相关性分析和显著性检验,选择影响 Y_i 的显著性参数 $P < 0.05$ 的变量常数项 X_i 和 $X_i X_j$ 组合作为新的输入变量 X_{in} ;

[0016] 步骤三中,对新的输入变量 X_{in} 进行PCA分析得到主成分个数 M ,并计算特征值 λ_i ($i = 1, \dots, M$),计算 M 个主成分 P_M 的相对权重, $\gamma_k = \frac{\lambda_k}{\sum_1^M \lambda_k}$, 计算得到综合 $ZY = \sum_1^M r_k P_k$, a_i 表示回归方程中的 X_i 系数, b_{ij} 表示回归方程中的 $X_i X_j$ 回归系数, $X_i X_j$ 表示自变量 X_i 和 X_j 两两相乘, γ_k 表示第 k 个特征值占特征累计值的比例, k 表示 M 个主成分中第 k 个主成分, P_k 表示第 k 个主成分对应的原始数据矩阵, ZY 表示对 M 个主成分按权重加权计算得到的综合评价值;

[0017] 若主要参数没有因变量参考值,步骤二和步骤三中,通过PCA分析构建 ZY 后,重复步骤一,并更新 ZY ;

[0018] 步骤四,采用自适应模糊神经网络对数据集 (X_{in}, ZY_i) 进行自适应模糊神经网络学习。

[0019] 进一步的是,评价因子为钒钛矿冶炼产量;

[0020] 步骤四中,形成的钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型为T-S模型,并形成有钒钛矿高炉产量的影响因子及结果因子,作为单独模型可组合的输入与输出。

[0021] 本发明的有益效果是:该评价方法采用相关性矩阵和二元齐次方差,或者互信息熵值计算,对因变量参考值或PCA分析构建的因变量进行分析,并选择相关性较为显著的影响自变量因子作为评价模型输入,再采用PCA算法降维和权重计算,并将降维后的主成分作为评价输入参数,接着采用自适应模糊神经网络重新构建评价模型或组合模型,模型的整个构建过程简单、快捷,最后利用构建的模型能够对钒钛矿高炉的炉况稳定性进行快速评价,且与现有的人工模型评价方法相比,具有筛选参数、计算权重和阈值随样本增加而变更等优点,其评价吻合度更为可靠,利于指导生产。

[0022] 图1是本发明实施例1的PCA分析结果图;

[0023] 图2是本发明实施例1的自适应模糊计算ANF_ZY与钒钛矿冶炼产量的对应关系图。

附图说明

[0022] 图1是本发明实施例1的PCA分析结果图;

[0023] 图2是本发明实施例1的自适应模糊计算ANF_ZY与钒钛矿冶炼产量的对应关系图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的说明。

[0025] 钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,包括下列步骤:

[0026] 步骤一,选取影响评价因子的主要参数,评价因子为钒钛矿冶炼产量、炉缸活性、焦比、铁水硅钛差和煤气流分布中的至少一种;影响钒钛矿冶炼产量的主要参数一般包括料速、批重、焦炭负荷、风量、风压、顶压、富氧率和标准风速,影响炉缸活跃性的主要参数一般包括风口回旋区占比、冶炼期、富氧率、鼓风动能、实际风速、 T_f 和炉热指数;选取主要参数时一般选择相关系数 $R \geq 0.7$ 的主要参数;

[0027] 步骤二,判断步骤一选取的主要参数是否有因变量参考值;

[0028] 若有因变量参考值,则先通过相关性矩阵和二元齐次方差分析,或者互信息熵值计算分析,再选择与评价因子相关性显著的操作参数作为模型输入 X_i ;

[0029] 若没有因变量参考值,则先进行PCA分析,构建因变量,再进行相关性矩阵和二元齐次方差分析,或者互信息熵值计算分析,之后选择相关性显著的操作参数作为模型输入 X_i ;

[0030] 步骤三,对步骤二选择的 X_i 进行PCA分析,计算满足特征参数累计贡献率大于85%的降维变量个数及其权重,并组合成炉况判定参数 Y_i ;

[0031] 步骤四,采用自适应模糊神经网络对炉况判定参数 Y_i 进行学习与预报,形成钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型和模糊规则知识库;该步骤中一般采用西格玛作为评价规则,优选的,炉况判定参数 Y_i 按四区间规则进行学习及预报,钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型的评价体系为:指数在1个西格玛波动以内评价为优,指数在1~2个西格玛波动评价为良,指数在2~3个西格玛内波动评价为中,指数大于3个西格玛波动评价为差;

[0032] 步骤五,利用步骤四形成的钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型,对钒钛矿高炉的炉况稳定性进行评价。

[0033] 作为本发明的一种优选方案,该钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,步骤一中,选取 m 个主要参数 $X_1 \sim X_m$, m 为大于1的整数;

[0034] 若主要参数有因变量参考值,步骤二中,按公式 $Y_i = a_i \sum_i^m X_i + b_{ij} \sum_{i,j}^m X_i X_j$ 进行相关性分析和显著性检验,选择影响 Y_i 的显著性参数 $P < 0.05$ 的变量常数项 X_i 和 $X_i X_j$ 组合作为新的输入变量 X_{in} ;

[0035] 步骤三中,对新的输入变量 X_{in} 进行PCA分析得到主成分个数 M ,并计算特征值 λ_i ($i = 1, \dots, M$),计算 M 个主成分 P_M 的相对权重, $\gamma_k = \frac{\lambda_k}{\sum_1^M \lambda_k}$,计算得到综合 $ZY = \sum_1^M r_k P_k$, a_i 表示回

归方程中的 X_i 系数, b_{ij} 表示回归方程中的 $X_i X_j$ 回归系数, $X_i X_j$ 表示自变量 X_i 和 X_j 两两相乘,即交互影响; γ_k 表示第 k 个特征值占特征累计值的比例, k 表示 M 个主成分中第 k 个主成分, P_k 表示第 k 个主成分对应的原始数据矩阵, ZY 表示对 M 个主成分按权重加权计算得到的综合评价值;

[0036] 若主要参数没有因变量参考值,步骤二和步骤三中,通过PCA分析构建 ZY 后,重复步骤一,并更新 ZY ;

[0037] 步骤四,采用自适应模糊神经网络对数据集 (X_{in}, ZY_i) 进行自适应模糊神经网络学习。

[0038] 具体的,评价因子为钒钛矿冶炼产量;

[0039] 步骤四中,形成的钒钛矿高炉炉况稳定性评价模型为T-S模型,并形成有钒钛矿高炉产量的影响因子及结果因子,作为单独模型可组合的输入与输出。

[0040] 实施例1

[0041] 某次利用本发明提供的钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,建立评价模型,对钒钛矿高炉炉况稳定性进行评价,过程如下:

[0042] 本次采用的评价因子为钒钛矿冶炼产量,钒钛矿冶炼产量一般指日产量;

[0043] (1) 根据相关性系数矩阵 (或者互信息熵值计算, 用来判定非线性相关), 选择相关系数 $R > 0.7$ 的参数作为评价产量好坏的输入, 具体见下表1;

[0044] 表1: 影响钒钛矿冶炼产量的主要参数

[0045]

| | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| Y | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 |
| 日产量 | 料速 | 批重 | 焦炭负荷 | 风量 |
| X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | |
| 风压 | 顶压 | 富氧率 | 标准风速 | |

[0046] (2) 对Y作 $X_1 \sim X_9$ 的二次齐次方差分析, 选择显著性参数 $P < 0.05$ 数据一次项、二次项作为模型的最终输入:

[0047] -----方差分析表-----

| 方差来源 | 自由度 | 平方和 | 均方 | F 值 | p 值 |
|------|-----------|-----------|---------|----------|--------|
| 回归 | 44.0000 | 866.3549 | 19.6899 | 140.8471 | 0.0000 |
| 残差 | 956.0000 | 133.6451 | 0.1398 | | |
| 总计 | 1000.0000 | 1000.0000 | | | |

[0048] ;

| | | | |
|------------------------|---------|--------------------|--------|
| 均方根误差 (Root MSE) | 0.3739 | 判定系数 (R-Square) | 0.8664 |
| 因变量均值 (Dependent Mean) | -0.0000 | 调整的判定系数 (Adj R-Sq) | 0.8602 |

[0049] -----参数估计-----

[0050]

| 变量 | 估计值 | 标准误差 | t 值 | p 值 |
|-------|---------|--------|---------|--------|
| 常数项 | 0.0581 | 0.0297 | 1.9562 | 0.0507 |
| X1 | 0.5256 | 0.0587 | 8.9595 | 0.0000 |
| X2 | 0.3236 | 0.0393 | 8.2362 | 0.0000 |
| X3 | 0.0129 | 0.0321 | 0.4035 | 0.6867 |
| X4 | -0.1266 | 0.1716 | -0.7379 | 0.4608 |
| X5 | -0.1131 | 0.0985 | -1.1487 | 0.2510 |
| X6 | 0.1498 | 0.1222 | 1.2263 | 0.2204 |
| X7 | 0.0046 | 0.0303 | 0.1515 | 0.8796 |
| X8 | 0.0339 | 0.0820 | 0.4135 | 0.6793 |
| X1*X2 | 0.0359 | 0.1255 | 0.2864 | 0.7746 |
| X1*X3 | -0.2930 | 0.1038 | -2.8212 | 0.0049 |
| X1*X4 | 1.2924 | 0.2942 | 4.3928 | 0.0000 |
| X1*X5 | -0.5345 | 0.3308 | -1.6156 | 0.1065 |
| X1*X6 | -0.2634 | 0.3795 | -0.6940 | 0.4879 |
| X1*X7 | 0.1839 | 0.0923 | 1.9913 | 0.0467 |
| X1*X8 | -0.1589 | 0.1141 | -1.3924 | 0.1641 |
| X2*X3 | -0.1941 | 0.0823 | -2.3594 | 0.0185 |
| X2*X4 | -0.0051 | 0.2040 | -0.0248 | 0.9802 |
| X2*X5 | -0.4234 | 0.1841 | -2.2996 | 0.0217 |
| X2*X6 | 0.6345 | 0.2160 | 2.9372 | 0.0034 |
| X2*X7 | 0.0205 | 0.0560 | 0.3656 | 0.7147 |
| X2*X8 | -0.2142 | 0.0980 | -2.1850 | 0.0291 |
| X3*X4 | 0.5132 | 0.2425 | 2.1163 | 0.0346 |
| X3*X5 | 0.0479 | 0.1709 | 0.2803 | 0.7793 |
| X3*X6 | -0.2712 | 0.2145 | -1.2639 | 0.2066 |
| X3*X7 | 0.1359 | 0.0498 | 2.7268 | 0.0065 |
| X3*X8 | -0.0276 | 0.1164 | -0.2368 | 0.8129 |
| X4*X5 | 1.1854 | 0.7006 | 1.6920 | 0.0910 |
| X4*X6 | -0.3686 | 0.8093 | -0.4554 | 0.6489 |
| X4*X7 | -0.4866 | 0.1757 | -2.7698 | 0.0057 |
| X4*X8 | -0.0739 | 0.1709 | -0.4325 | 0.6655 |

[0051]

| | | | | |
|-------|---------|--------|---------|--------|
| X5*X6 | 1.3413 | 0.6189 | 2.1672 | 0.0305 |
| X5*X7 | 0.4884 | 0.1717 | 2.8444 | 0.0045 |
| X5*X8 | -0.0669 | 0.2722 | -0.2457 | 0.8060 |
| X6*X7 | -0.4953 | 0.2049 | -2.4179 | 0.0158 |
| X6*X8 | 0.2919 | 0.2514 | 1.1609 | 0.2460 |
| X7*X8 | 0.1845 | 0.0916 | 2.0148 | 0.0442 |
| X1*X1 | -0.1221 | 0.1199 | -1.0186 | 0.3086 |
| X2*X2 | 0.0609 | 0.0412 | 1.4768 | 0.1401 |
| X3*X3 | 0.0066 | 0.0489 | 0.1360 | 0.8919 |
| X4*X4 | -1.0843 | 0.3374 | -3.2137 | 0.0014 |
| X5*X5 | -0.8766 | 0.3523 | -2.4884 | 0.0130 |
| X6*X6 | -0.5430 | 0.3645 | -1.4897 | 0.1366 |
| X7*X7 | -0.0267 | 0.0327 | -0.8157 | 0.4149 |
| X8*X8 | 0.0165 | 0.0261 | 0.6339 | 0.5263 |

[0052] 得到 $P < 0.05$ 的变量为 $X_1 \sim X_8, X_1 * X_3, X_1 * X_4, X_1 * X_7, X_2 * X_3, X_2 * X_5, X_2 * X_6, X_2 * X_8, X_3 * X_7, X_4 * X_7, X_5 * X_7, X_6 * X_7, X_7 * X_8, X_4 * X_4, X_5 * X_5$ 共计22个输入参数。对这22个参数进行PCA分析,用过程参数来评价结果参数。 X_i 是根据样本数据的相关性计算,系统自动选择二次齐次式的组合方式。

[0053] 把上述组合参数作为输入,对其PCA分析结果如图1所示;

[0054] 计算得到 γ_k 分别为80.9786、12.6587、6.3627, $ZY = 80.978 * M_1 + 12.6587 * M_2 +$

$6.3627 * M_3$ 主成分 $M_1 = \sum_1^{22} \alpha_i \frac{x_i - u_i}{\sigma_i}$, 其中 u_i 为样本 x_i 的均值, σ_i 样本 x_i 的均值的标准偏差, α_i

主成分 X_i 在 M_i 的载荷矩阵,图1中右侧已列出,图1中左侧为原始数据。

[0055]

| M1 | M2 | M3 | 自适应模糊计算ZY部分输出 |
|---------|---------|---------|---------------|
| -1.2854 | -2.2665 | -1.9685 | -1.4530 |
| -1.0408 | -2.1416 | -1.6172 | -1.2169 |
| -0.3704 | -1.6104 | -1.1141 | -0.5746 |
| -1.4750 | -1.7842 | -0.9618 | -1.4815 |
| -1.0993 | -1.4964 | -1.4563 | -1.1723 |
| -0.4884 | -1.4143 | -1.6844 | -0.6818 |
| -0.4248 | -1.4789 | -1.5046 | -0.6269 |
| -0.5090 | -1.6179 | -1.5882 | -0.7180 |

[0056] 对 $M_i (i = 3)$ 及ZY构成的样本进行按4个高斯隶属函数进行自适应模糊学习,得到 ZY_1 的学习模型与产量预报;由此得到日产量的降维影响因子 M_i 和对应的ZY (ANF_ZY),如图2所示。将 ZY_1 作为输出,对数据集 (X_{in}, ZY_i) 进行自适应模糊神经网络学习(T-S模型)后,对钒钛矿高炉炉况稳定性进行评价。

[0057] 评估高炉稳定性通过过程参数与结果参数的相关性进行预测评估,从综合评估值与最终结果(产量指标)的相关性来看,实例1的评估吻合度较直接多项式回归的相关性略高。

[0058] 实施例2

[0059] 某次利用本发明提供的钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,建立评价模型,对钒钛矿高炉炉况稳定性进行评价,过程如下:

[0060] 本次采用的评价因子为炉缸活跃状态;

[0061] 由于对于炉缸活跃性好坏评价没有明确的指导值,先进行PCA主成分分析,形成组合ZY₂,再以ZY₂作为因变量,与自变量进行相关性分析或互信息分析(非线性),将显著性P值<0.05的相关参数一并纳入,并进行二次齐次分析,形成组合输入指标来表征,具体见下表2。并将组合后的PCA结果作为新的ZY₂。

[0062] 表2:影响炉缸活跃性的主要参数

[0063]

| | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Y | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ |
| ZY ₂ | 风口回旋区占比 | 冶炼期 | 富氧率 | 鼓风动能 |
| X ₅ | X ₆ | X ₇ | [Ti] | [S] |
| 实际风速 | Tf | 炉热指数 | | |

[0064] 根据多元齐次方差分析,得到影响ZY₂及其降维参数M_{2i};

[0065] -----方差分析表-----

| 方差来源 | 自由度 | 平方和 | 均方 | F 值 | p 值 |
|------|-----------|-----------|---------|---------|--------|
| 回归 | 54.0000 | 1106.7888 | 20.4961 | 41.5025 | 0.0000 |
| 残差 | 2080.0000 | 1027.2112 | 0.4939 | | |
| 总计 | 2134.0000 | 2134.0000 | | | |

[0066]

| | | | |
|-----------------------|--------|-------------------|--------|
| 均方根误差(Root MSE) | 0.7027 | 判定系数(R-Square) | 0.5186 |
| 因变量均值(Dependent Mean) | 0.0000 | 调整的判定系数(Adj R-Sq) | 0.5061 |

[0067] -----参数估计-----

[0068]

| 变量 | 估计值 | 标准误差 | t 值 | p 值 |
|-----|---------|--------|---------|--------|
| 常数项 | -0.0453 | 0.0323 | -1.4017 | 0.1612 |
| X1 | 0.1204 | 0.0502 | 2.3993 | 0.0165 |

[0069]

| | | | | |
|-------|---------|--------|----------|--------|
| X2 | -0.1607 | 0.0423 | -3.7948 | 0.0002 |
| X3 | 0.0186 | 0.0626 | 0.2974 | 0.7662 |
| X4 | 0.5260 | 0.0913 | 5.7623 | 0.0000 |
| X5 | -0.5118 | 0.1026 | -4.9906 | 0.0000 |
| X6 | -0.1231 | 0.0329 | -3.7459 | 0.0002 |
| X7 | -0.1810 | 0.1586 | -1.1410 | 0.2540 |
| X8 | -0.7821 | 0.0290 | -26.9762 | 0.0000 |
| X9 | -0.2261 | 0.0288 | -7.8440 | 0.0000 |
| X1*X2 | 0.1176 | 0.0761 | 1.5461 | 0.1222 |
| X1*X3 | 0.0145 | 0.0865 | 0.1677 | 0.8668 |
| X1*X4 | 0.2508 | 0.1387 | 1.8087 | 0.0706 |
| X1*X5 | -0.0675 | 0.1471 | -0.4585 | 0.6466 |
| X1*X6 | -0.0482 | 0.0531 | -0.9085 | 0.3637 |
| X1*X7 | -0.0076 | 0.0772 | -0.0980 | 0.9220 |
| X1*X8 | 0.1744 | 0.0618 | 2.8240 | 0.0048 |
| X1*X9 | 0.2415 | 0.0670 | 3.6061 | 0.0003 |
| X2*X3 | 0.2738 | 0.1020 | 2.6851 | 0.0073 |
| X2*X4 | 0.0327 | 0.0699 | 0.4679 | 0.6399 |
| X2*X5 | -0.0500 | 0.0908 | -0.5501 | 0.5823 |
| X2*X6 | -0.0161 | 0.0106 | -1.5116 | 0.1308 |
| X2*X7 | -1.1042 | 0.2725 | -4.0516 | 0.0001 |
| X2*X8 | 0.1312 | 0.0502 | 2.6142 | 0.0090 |
| X2*X9 | 0.1414 | 0.0494 | 2.8593 | 0.0043 |
| X3*X4 | 0.3571 | 0.1460 | 2.4463 | 0.0145 |
| X3*X5 | -0.4233 | 0.1712 | -2.4730 | 0.0135 |
| X3*X6 | 0.0870 | 0.0571 | 1.5238 | 0.1277 |
| X3*X7 | -0.7034 | 0.3046 | -2.3093 | 0.0210 |
| X3*X8 | 0.0617 | 0.0618 | 0.9989 | 0.3179 |
| X3*X9 | 0.0591 | 0.0608 | 0.9716 | 0.3314 |
| X4*X5 | 0.4813 | 0.2328 | 2.0673 | 0.0388 |
| X4*X6 | -0.1507 | 0.0786 | -1.9189 | 0.0551 |
| X4*X7 | -1.5153 | 0.3555 | -4.2624 | 0.0000 |
| X4*X8 | -0.0955 | 0.1127 | -0.8481 | 0.3965 |
| X4*X9 | -0.0244 | 0.1038 | -0.2350 | 0.8142 |

[0070]

| | | | | |
|-------|---------|--------|---------|--------|
| X5*X6 | 0.0704 | 0.0907 | 0.7758 | 0.4380 |
| X5*X7 | 1.5023 | 0.3933 | 3.8201 | 0.0001 |
| X5*X8 | -0.0322 | 0.1124 | -0.2861 | 0.7749 |
| X5*X9 | -0.0436 | 0.1063 | -0.4105 | 0.6815 |
| X6*X7 | 0.1286 | 0.0880 | 1.4617 | 0.1440 |
| X6*X8 | -0.1785 | 0.0501 | -3.5612 | 0.0004 |
| X6*X9 | -0.1808 | 0.0506 | -3.5754 | 0.0004 |
| X7*X8 | 0.0662 | 0.0867 | 0.7637 | 0.4451 |
| X7*X9 | 0.0356 | 0.0902 | 0.3953 | 0.6926 |
| X8*X9 | -0.2458 | 0.0440 | -5.5874 | 0.0000 |
| X1*X1 | -0.0306 | 0.0256 | -1.1966 | 0.2316 |
| X2*X2 | 0.0296 | 0.0114 | 2.5957 | 0.0095 |
| X3*X3 | 0.3055 | 0.0845 | 3.6157 | 0.0003 |
| X4*X4 | -0.2356 | 0.1197 | -1.9689 | 0.0491 |
| X5*X5 | -0.3398 | 0.1474 | -2.3059 | 0.0212 |
| X6*X6 | -0.0104 | 0.0027 | -3.9344 | 0.0001 |
| X7*X7 | -0.4016 | 0.2131 | -1.8844 | 0.0596 |
| X8*X8 | 0.0187 | 0.0196 | 0.9555 | 0.3395 |
| X9*X9 | -0.1389 | 0.0247 | -5.6203 | 0.0000 |

[0071] 得到 $P < 0.05$ 的变量为 $X_1 \sim X_9, X_1 * X_8, X_1 * X_9, X_2 * X_3, X_2 * X_7, X_2 * X_8, X_2 * X_9, X_3 * X_4, X_3 * X_5, X_3 * X_7, X_4 * X_5, X_4 * X_7, X_5 * X_7, X_6 * X_8, X_6 * X_9, X_8 * X_9, X_2 * X_2, X_3 * X_3, X_4 * X_4, X_5 * X_5, X_6 * X_6, X_9 * X_9$ 共计30个输入参数。对这30个参数进行PCA分析,用过程参数来评价结果参数。 X_i 是根据样本数据的相关性计算,系统自动选择二次齐次式的组合方式。把上述组合参数作为输入,对其PCA分析结果如下,根据实施例1的分析方法,得到炉缸活跃性影响因子 $M2_i (i = 5)$ 及并更新 ZY_2 。将 ZY_2 作为输出,对数据集 (X_{in}, ZY_i) 进行自适应模糊神经网络学习(T-S模型)后,对钒钛矿高炉炉况稳定性进行评价。

[0072] 评估高炉稳定性通过过程参数与结果参数的相关性进行预测评估,从综合评估值与最终结果(产量指标)的相关性来看,实例2的评估吻合度较直接多项式回归的相关性略高。

[0073] 实施例3

[0074] 某次利用本发明提供的钒钛矿高炉炉况稳定性评价方法,建立评价模型,对钒钛矿高炉炉况稳定性进行评价,过程如下:

[0075] 本次采用的评价因子为煤气流分布;

[0076] 按实施例2相同的方法进行建模,通过PCA构建综合评价参数 ZY_3 ,并进行相关性分析或者互信息分析,选择显著性相关性较强参数,再次进行PCA分析,并输入 $M3 (i = 5)$,将上述实施例1和实施例2中的 $M1 (i = 3), M2 (i = 5), M3 (i = 5)$ 作为输入参数,将 ZY_1, ZY_2 和 ZY_3 作为输出,对数据集 (X_{in}, ZY_i) 进行自适应模糊神经网络学习(T-S模型),按六西格玛原理,形

成钒钛矿高炉炉况稳定性综合评价指数,并确定指数在1个西格玛以内波动为优,1~2个西格玛波动为良,2~3个西格玛内波动为中,大于3个西格玛内波动为差的评价体系,用以判定炉况的稳定性。

| SampLearn_PCA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|---------|--------|------|-----|-----|--------|----------|----|-------|---------|---------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 英, ; | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X1 | 标准化变量 | 主成分M1 | 主成分M2 | 主成分M3 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 8.5000 | 40.7029 | 4.1703 | 4005 | 351 | 189 | 1.7819 | 239.8491 | 35 | 1 | 80.9786 | 12.6587 | 6.3627 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 8.5000 | 41.0676 | 4.1877 | 4003 | 348 | 190 | 1.8393 | 239.7293 | 35 | X1 | 0.2149 | -0.0473 | -0.3465 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 8.4167 | 41.5000 | 4.2200 | 4009 | 348 | 190 | 2.0642 | 240.0886 | 35 | X2 | 0.1691 | -0.0912 | 0.5837 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 8.2083 | 41.3350 | 4.1809 | 3962 | 346 | 189 | 1.8916 | 237.2739 | 34 | X3 | 0.2096 | -0.0697 | 0.2132 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 8.3750 | 41 | 4.1818 | 3966 | 348 | 190 | 1.9992 | 237.5135 | 35 | X4 | 0.2136 | -0.2338 | -0.1689 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 8.6250 | 41.1304 | 4.1999 | 3992 | 347 | 189 | 2.0746 | 239.0705 | 36 | X5 | 0.2214 | -0.2048 | -0.1190 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 8.5000 | 41.2000 | 4.1998 | 4003 | 349 | 190 | 2.0847 | 239.7293 | 35 | X6 | 0.2252 | -0.1934 | -0.0685 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 8.5833 | 41.2000 | 4.2000 | 3997 | 348 | 190 | 2.0285 | 239.3700 | 36 | X7 | 0.2025 | 0.3313 | 0.0111 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 8.5833 | 41.2000 | 4.2000 | 4020 | 349 | 190 | 2.0775 | 240.7474 | 36 | X8 | 0.2054 | -0.1291 | -0.1153 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 8.6250 | 41.2000 | 4.2000 | 4020 | 350 | 190 | 2.0392 | 240.7474 | 36 | X1X3 | 0.2285 | -0.0427 | -0.1695 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 8.5417 | 41.2000 | 4.1937 | 4009 | 350 | 190 | 1.9752 | 240.0886 | 35 | X1X4 | 0.2229 | -0.1082 | -0.2762 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 8.6250 | 41.3043 | 4.2293 | 4008 | 350 | 190 | 2.1646 | 240.0287 | 36 | X1X7 | 0.2064 | 0.3146 | -0.0581 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 8.7083 | 41.5000 | 4.2299 | 4026 | 352 | 190 | 2.2425 | 241.1067 | 36 | X2X3 | 0.2013 | -0.0822 | 0.4397 | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 8.7083 | 41.6852 | 4.2299 | 4047 | 348 | 190 | 2.3744 | 242.3644 | 36 | X2X5 | 0.2256 | -0.1795 | 0.1338 | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 8.4167 | 41.9158 | 4.2237 | 3976 | 345 | 190 | 2.3184 | 238.1123 | 35 | X2X6 | 0.2263 | -0.1718 | 0.1369 | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 8.4583 | 42 | 4.2300 | 3991 | 349 | 190 | 2.3110 | 239.0107 | 35 | X2X8 | 0.2154 | -0.1229 | 0.2406 | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 8.5000 | 42 | 4.2300 | 4012 | 348 | 190 | 2.2421 | 240.2683 | 35 | X3X7 | 0.2060 | 0.3180 | 0.0289 | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 8.5417 | 42 | 4.1747 | 4000 | 350 | 190 | 2.2281 | 239.5496 | 35 | X4X7 | 0.2111 | 0.2952 | -0.0159 | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 8.5833 | 42 | 4.1654 | 4022 | 347 | 190 | 2.3813 | 240.8672 | 35 | X5X7 | 0.2120 | 0.2907 | -0.0119 | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 8.5417 | 42 | 4.1700 | 4023 | 349 | 190 | 2.3597 | 240.9271 | 35 | X6X7 | 0.2131 | 0.2851 | -0.0054 | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 8.4167 | 42.0248 | 4.1732 | 4007 | 349 | 189 | 2.3560 | 239.9689 | 35 | X7X8 | 0.2066 | 0.3155 | 1.5500e-04 | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 8.6250 | 42 | 4.1700 | 4033 | 350 | 190 | 2.3042 | 241.5259 | 35 | X4X4 | 0.2204 | -0.2087 | -0.1577 | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 8.5417 | 42 | 4.1700 | 4019 | 349 | 190 | 2.2815 | 240.6875 | 35 | X5X5 | 0.2251 | -0.1759 | -0.1026 | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 8.5833 | 42 | 4.1700 | 4028 | 351 | 190 | 2.1767 | 241.2265 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 8.1667 | 40.9490 | 4.1164 | 3904 | 347 | 186 | 1.7224 | 233.8005 | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 8.4167 | 40.5000 | 4.1000 | 3915 | 341 | 186 | 1.6372 | 234.4592 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | 8.1667 | 39.5255 | 3.9790 | 3752 | 313 | 163 | 1.2974 | 224.6976 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

主成分权重分析

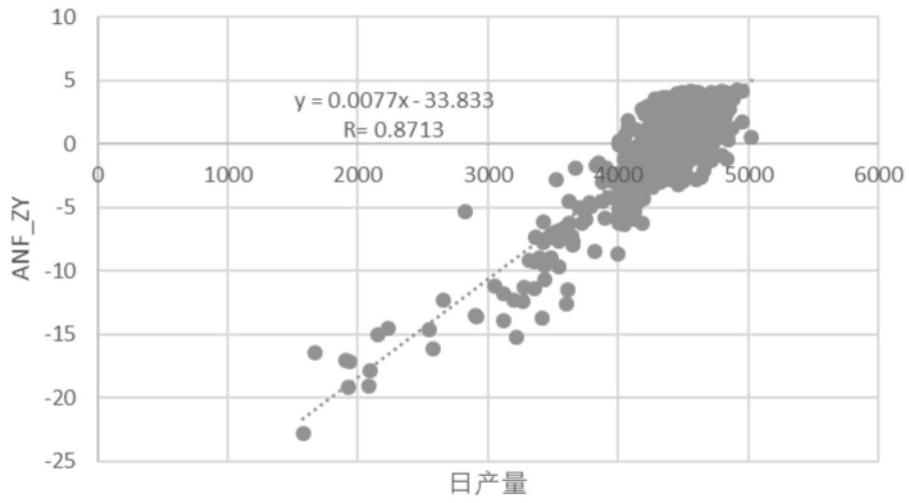
C均值模糊聚类分类

朴素贝叶斯分类器

神经网络分类

广义回归神经网络

图1



自适应模糊计算ANF_ZY与产量的关系

图2