



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114854929 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 05

(21) 申请号 202210493643.9

(22) 申请日 2022.05.07

(71) 申请人 北京科技大学

地址 100083 北京市海淀区学院路30号

(72) 发明人 董凯 董建锋 朱荣 魏光升

刘福海 冯超 姜娟娟 夏韬

张庆南 杨华鹏 赵鸿琛

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限

责任公司 11237

专利代理师 张仲波

(51) Int. Cl.

G21C 5/35 (2006.01)

G01D 21/02 (2006.01)

G01N 33/205 (2019.01)

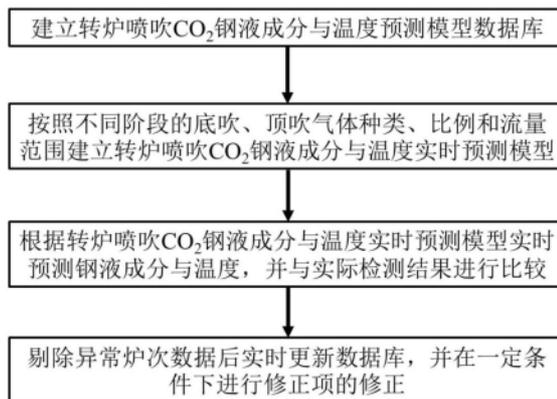
权利要求书4页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测的方法

(57) 摘要

一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,包括建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度预测模型数据库;建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时预测模型,按照不同时间段的底吹、顶吹气体种类、比例和流量进行类别划分,使用不同子模型对各类别进行实时预测;根据转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测模型实时预测钢液成分与温度;剔除异常炉次数据后实时更新数据库,并在一定条件下进行修正项的修正。本发明对转炉喷吹CO<sub>2</sub>冶炼过程的钢液成分与温度实时动态预测,解决了原有转炉喷吹O<sub>2</sub>模型的不适用造成的冶炼周期延长、终点成分预测不准确、转炉终点过氧化和原材料的浪费,缩短了冶炼时间,降低了生产成本,避免了转炉喷吹CO<sub>2</sub>的黑箱与经验操作,提高了终点命中率。



1. 一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征在于,考虑了转炉喷吹CO<sub>2</sub>在不同吹炼时间段反应特性与冶金任务的不同造成的CO<sub>2</sub>喷吹工艺的变化,将各个时间段的CO<sub>2</sub>喷吹工艺分类,使用对应分类的包含平衡计算项与修正项的预测模型,实现对转炉喷吹CO<sub>2</sub>过程钢液成分与温度的实时动态预测。

2. 根据权利要求1所述的一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度预测模型数据库;

步骤1.1:获取转炉冶炼中从铁水入炉到钢水出炉之间整个过程的历史数据与应用该模型剔除后的实时数据;

步骤1.1.1:获取各个钢种转炉终点出钢目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量;

步骤1.1.2:获取各个钢种冶炼过程中铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、出钢成分、出钢温度和出钢重量;

步骤1.1.3:获取各种辅料成分、辅料温度和各个钢种冶炼过程中各种辅料加入重量与加入时刻;

步骤1.1.4:获取各个时刻底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度与底吹气体总量;

步骤1.1.5:获取各个时刻顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度与顶吹气体总量;

步骤1.1.6:获取各个时刻炉内液面高度与氧枪高度;

步骤1.1.7:获取各个时刻炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例;

步骤1.1.8:获取各炉次吹炼时间与冶炼时间;

步骤1.2:将获取的各个炉次的数据按照目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量的组合进行分类处理;

步骤1.2.1:转炉终点出钢基准目标碳元素含量、硅元素含量、锰元素含量、磷元素含量和硫元素含量分别记为mC0、mSi0、mMn0、mP0和mS0;

步骤1.2.2:若  $(1+xa) mC0 \leq \text{目标碳元素含量} < (1+(x+1) a) mC0$ , 该钢种目标碳元素含量记为  $mC(x+1)$ ; 若  $(1-(x+1) a) mC0 \leq \text{目标碳元素含量} < (1-xa) mC0$ , 该钢种目标碳元素含量记为  $mC-(x+1)$ ;

步骤1.2.3:若  $(1+xb) mSi0 \leq \text{目标硅元素含量} < (1+(x+1) b) mSi0$ , 该钢种目标硅元素含量记为  $mSi(x+1)$ ; 若  $(1-(x+1) b) mSi0 \leq \text{目标硅元素含量} < (1-xb) mSi0$ , 该钢种目标硅元素含量记为  $mSi-(x+1)$ ;

步骤1.2.4:若  $(1+xc) mMn0 \leq \text{目标锰元素含量} < (1+(x+1) c) mMn0$ , 该钢种目标锰元素含量记为  $mMn(x+1)$ ; 若  $(1-(x+1) c) mMn0 \leq \text{目标锰元素含量} < (1-xc) mMn0$ , 该钢种目标锰元素含量记为  $mMn-(x+1)$ ;

步骤1.2.5:若  $(1+xd) mP0 \leq \text{目标磷元素含量} < (1+(x+1) d) mP0$ , 该钢种目标磷元素含量记为  $mP(x+1)$ ; 若  $(1-(x+1) d) mP0 \leq \text{目标磷元素含量} < (1-xd) mP0$ , 该钢种目标磷元素含量记为  $mP-(x+1)$ ;

步骤1.2.6:若  $(1+xe) mS0 \leq \text{目标硫元素含量} < (1+(x+1) e) mS0$ , 该钢种目标硫元素含量

记为 $mS(x+1)$ ;若 $(1-(x+1)e)mS_0 \leq \text{目标硫元素含量} < (1-xe)mS_0$ ,该钢种目标硫元素含量记为 $mS-(x+1)$ ;

$x$ 为非负整数; $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 和 $e$ 为正数;

步骤1.2.7:将各个钢种目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量按照步骤1.2.1~步骤1.2.6进行记录,钢种目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量记符相同的归为一类;

步骤2:建立转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分与温度实时预测模型;

步骤2.1:建立转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分实时预测模型;

步骤2.1.1:将转炉吹炼时期按时间分为 $n$ 个时间段,记为 $N_1 \sim N_n$ ,每个时间段可不相等; $n$ 为正整数;

步骤2.1.2:将每个时间段按底吹气体种类、底吹气体比例范围、底吹气体流量范围、顶吹气体种类、顶吹气体比例范围和顶吹气体流量范围进行分类,类别分别记为 $C_i$ ,并调用步骤1.2中的数据进行匹配;

$i$ 为正整数;

步骤2.1.3:依据物料平衡,转炉预测实时碳元素含量 $rtC = \text{转炉收入碳元素含量项} - \text{转炉支出碳元素含量项} + \text{修正碳元素含量项}$ ,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;

步骤2.1.4:依据物料平衡,转炉预测实时硅元素含量 $rtSi = \text{转炉收入硅元素含量项} - \text{转炉支出硅元素含量项} + \text{修正硅元素含量项}$ ,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;

步骤2.1.5:依据物料平衡,转炉预测实时锰元素含量 $rtMn = \text{转炉收入锰元素含量项} - \text{转炉支出锰元素含量项} + \text{修正锰元素含量项}$ ,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;

步骤2.1.6:依据物料平衡,转炉预测实时磷元素含量 $rtP = \text{转炉收入磷元素含量项} - \text{转炉支出磷元素含量项} + \text{修正磷元素含量项}$ ,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;

步骤2.1.7:依据物料平衡,转炉预测实时硫元素含量 $rtS = \text{转炉收入硫元素含量项} - \text{转炉支出硫元素含量项} + \text{修正硫元素含量项}$ ,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;

修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项和修正硫元素含量项均为在步骤2.1.2分类后各类别 $C_i$ 对铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项进行的物料平衡计算中的修正项,启用模型后的初始修正项为内嵌初始修正项在予以模型待赋值项赋值后,根据建立的数据库进行自动拟合得到的;

步骤2.2:建立转炉喷吹 $CO_2$ 钢液温度实时预测模型;

步骤2.2.1:依据能量平衡,转炉预测实时钢液温度 $rtT = \text{转炉收入能量项} - \text{转炉支出能量项} + \text{修正能量项}$ ,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;

修正能量项为在步骤2.1.2分类后各类别 $C_i$ 对铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项进行的能量平衡计算中的修正项,启用模型后的初始修正项为内嵌初始修正项在予以模型待赋值项赋值后,根据建立的数据库进行自动拟合得到的;

步骤3:根据转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分与温度实时预测模型进行转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分与温度实时预测,并与实际检测数据结果进行比较;

步骤3.1:获取该钢种转炉终点出钢目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含

量、目标磷元素含量和目标硫元素含量,并进行数据库的自动匹配;

步骤3.2:采集当前冶炼炉次各个时刻加入的铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、辅料成分、辅料温度、辅料加入重量,以及底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度、顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度、炉内液面高度、氧枪高度、炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例数据信息,作为N1时间段的输入项;

步骤3.3:在步骤3.1选择的数据库中根据步骤2.1.2的分类自动选择该阶段对应的修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项、修正硫元素含量项和修正能量项,进行转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时预测;

步骤3.4:将N1时间段结束的预测实时碳元素含量、预测实时硅元素含量、预测实时锰元素含量、预测实时磷元素含量、预测实时硫元素含量和预测实时钢液温度,以及各个时刻加入的铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、辅料成分、辅料温度、辅料加入重量,和底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度、顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度、炉内液面高度、氧枪高度、炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例数据信息,作为N2时间段的输入项;

步骤3.5:在步骤3.1选择的数据库中根据步骤2.1.2的分类自动选择该阶段对应的修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项、修正硫元素含量项和修正能量项,进行N2时间段转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时预测;

步骤3.6:将步骤3.4~3.5中的N<sub>y</sub>变换成N(y+1),然后重复进行,直至(y+1)=n;

其中 $1 \leq y \leq n-1$ 的整数;

步骤3.7:将预测模型实时预测得到的rtC、rtSi、rtMn、rtP、rtS和rtT与实际检测数据得到的rC、rSi、rMn、rP、rS和rT进行比较,并记录;

步骤4:剔除异常炉次数据后实时更新数据库,并在一定条件下进行修正项的修正;

步骤4.1:剔除 $[(1+M\%) \times \text{平均吹炼时间} \leq \text{吹炼时间}] \cup [(1+M\%) \times \text{平均冶炼时间} \leq \text{冶炼时间}]$ 的异常炉次,并将其他炉次数据实时导入数据库;

步骤4.2:每隔Z炉选取各个数据库中最近L炉的数据进行修正项的修正,L满足步骤2.1.2中各类别C<sub>i</sub>匹配的数据组 $\geq 1$ ;

步骤4.3:当连续F炉预测值与实际检测值差值的绝对值大于各钢液成分与温度最大允许误差值,即 $|rtC-rC| \geq \text{MaxC}$ 或 $|rtSi-rSi| \geq \text{MaxSi}$ 或 $|rtMn-rMn| \geq \text{MaxMn}$ 或 $|rtP-rP| \geq \text{MaxP}$ 或 $|rtS-rS| \geq \text{MaxP}$ 或 $|rtT-rT| \geq \text{MaxT}$ 时,立即进行修正项的修正,并更改L与1。

3. 根据权利要求2所述的一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征在于,步骤1.1.2所述铁水成分包括铁水碳元素含量、铁水硅元素含量、铁水锰元素含量、铁水磷元素含量和铁水硫元素含量;

废钢成分包括废钢碳元素含量、废钢硅元素含量、废钢锰元素含量、废钢磷元素含量和废钢硫元素含量;

出钢成分包括出钢碳元素含量、出钢硅元素含量、出钢锰元素含量、出钢磷元素含量和出钢硫元素含量。

4. 根据权利要求2所述的一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征在于,步骤1.1.3所述辅料成分包括辅料碳元素含量、辅料硅元素含量、辅料锰元素含量、辅

料磷元素含量和辅料硫元素含量；

辅料包括烧结矿、活性石灰、生石灰、轻烧白云石、烧结白云山、硅铁、萤石、焦炭、锰铁和补热剂。

5. 根据权利要求2所述的一种转炉喷吹 $\text{CO}_2$ 钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征 在于,步骤1.1.4底吹气体包括 $\text{N}_2$ 、Ar和 $\text{CO}_2$ ;步骤1.1.5所述顶吹气体包括 $\text{O}_2$ 和 $\text{CO}_2$ 。

6. 根据权利要求2所述的一种转炉喷吹 $\text{CO}_2$ 钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征 在于,步骤1.1.7所述炉气成分包括 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 和 $\text{N}_2$ 。

7. 根据权利要求2所述的一种转炉喷吹 $\text{CO}_2$ 钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征 在于,步骤3和3.7所述的实际检测数据与步骤4.3所述的实际检测值均指剔除异常炉次后 吹炼后期下副枪、吹炼结束钢液终点样品检测和冶炼过程中取样检测得到的钢液成分与温 度数据。

## 一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于转炉炼钢钢液成分与温度预测技术领域,具体涉及一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法。

### 背景技术

[0002] 转炉炼钢是钢铁生产中最重要的一环,转炉炼钢过程脱磷、脱碳及熔池升温任务主要依赖于供氧完成。随着冶炼节奏的加快、供氧强度亦不断提高,易引起脱磷不稳定、烟尘量过大、钢液过氧化严重等问题。基于此,一些研究者开始在转炉炼钢中通过顶吹与底吹混入一定比例的CO<sub>2</sub>作为稀释与弱氧化剂,并顺利完成了炼钢任务。为了达到更好的冶炼效果,需要结合不同吹炼时间段CO<sub>2</sub>的反应特性与转炉冶金任务,针对性地制定CO<sub>2</sub>喷吹工艺。转炉冶炼过程按时间顺序主要完成化渣、脱硅、脱锰、脱磷、脱碳等任务,由于CO<sub>2</sub>在转炉冶炼中相比于氧气主要表现为吸热效应,为了更好地调控熔池温度,完成对应时间段的冶金任务,一般将整个吹炼时间划分为几个时间段,在不同时间段内调控喷吹CO<sub>2</sub>的流量与比例。目前国内已有部分钢厂转炉喷吹CO<sub>2</sub>,并使用分段式控制CO<sub>2</sub>的流量与比例,取得了良好的冶金效果。

[0003] 由于此前转炉不喷吹CO<sub>2</sub>,原有的钢液成分与温度预测模型均未考虑并无法预测喷吹CO<sub>2</sub>带来的输入碳原子、氧原子造成的物料平衡与反应的吸热效应造成的能量平衡的变化,在加入补热剂时往往因为无从参考造成补热剂浪费;此外由于原有模型未考虑到喷吹CO<sub>2</sub>带入的氧原子,使用CO<sub>2</sub>代替部分O<sub>2</sub>后,模型认为降低了O<sub>2</sub>流量,预测的吹炼时间增加,转炉终点过氧化严重,冶炼时间延长;并且转炉喷吹CO<sub>2</sub>工艺在不同吹炼阶段所使用的工艺参数不同,造成原有的预测模型预测命中率明显下降,转炉喷吹CO<sub>2</sub>时取得的冶金效果不稳定。

[0004] 若能对转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测,有根据地设定与调整CO<sub>2</sub>在钢液中的喷吹参数,在不同时期使用不同的CO<sub>2</sub>比例、流量,针对性地完成转炉冶炼任务,并增强搅拌、控制终点过氧化、减少烟尘产生量,准确地预测钢液实时成分与温度,可以将CO<sub>2</sub>在转炉中的作用发挥的更加出色,有助于提高炼钢厂的生产效率。

### 发明内容

[0005] 针对以上问题,本发明提出一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,考虑了转炉喷吹CO<sub>2</sub>在不同吹炼时间段反应特性与冶金任务的不同造成的CO<sub>2</sub>喷吹工艺的变化,并将各个时间段的CO<sub>2</sub>喷吹工艺分类,建立了对应分类预测子模型。

[0006] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,其整体实现方式是:考虑了转炉喷吹CO<sub>2</sub>在不同吹炼时间段反应特性与冶金任务的不同造成的CO<sub>2</sub>喷吹工艺的变化,将各个时间段的CO<sub>2</sub>喷吹工艺分类,使用对应分类的包含平衡计算项与修正项的预测模型,实现对转炉喷吹CO<sub>2</sub>过程钢液成分与温度的实时动态预测。

- [0008] 如上所述转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,具体包括以下步骤:
- [0009] 步骤1:建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度预测模型数据库;
- [0010] 步骤1.1:获取转炉冶炼中从铁水入炉到钢水出炉之间整个过程的历史数据与应用该模型剔除后的实时数据;
- [0011] 步骤1.1.1:获取各个钢种转炉终点出钢目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量;
- [0012] 步骤1.1.2:获取各个钢种冶炼过程中铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、出钢成分、出钢温度和出钢重量;
- [0013] 步骤1.1.3:获取各种辅料成分、辅料温度和各个钢种冶炼过程中各种辅料加入重量与加入时刻;
- [0014] 步骤1.1.4:获取各个时刻底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度与底吹气体总量;
- [0015] 步骤1.1.5:获取各个时刻顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度与顶吹气体总量;
- [0016] 步骤1.1.6:获取各个时刻炉内液面高度与氧枪高度;
- [0017] 步骤1.1.7:获取各个时刻炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例;
- [0018] 步骤1.1.8:获取各炉次吹炼时间与冶炼时间。
- [0019] 步骤1.2:将获取的各个炉次的数据按照目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量的组合进行分类处理;
- [0020] 步骤1.2.1:转炉终点出钢基准目标碳元素含量、硅元素含量、锰元素含量、磷元素含量和硫元素含量分别记为mC<sub>0</sub>、mSi<sub>0</sub>、mMn<sub>0</sub>、mP<sub>0</sub>和mS<sub>0</sub>;
- [0021] 步骤1.2.2:若  $(1+xa)mC_0 \leq \text{目标碳元素含量} < (1+(x+1)a)mC_0$ , 该钢种目标碳元素含量记为mC<sub>(x+1)</sub>; 若  $(1-(x+1)a)mC_0 \leq \text{目标碳元素含量} < (1-xa)mC_0$ , 该钢种目标碳元素含量记为mC<sub>-(x+1)</sub>。
- [0022] 步骤1.2.3:若  $(1+xb)mSi_0 \leq \text{目标硅元素含量} < (1+(x+1)b)mSi_0$ , 该钢种目标硅元素含量记为mSi<sub>(x+1)</sub>; 若  $(1-(x+1)b)mSi_0 \leq \text{目标硅元素含量} < (1-xb)mSi_0$ , 该钢种目标硅元素含量记为mSi<sub>-(x+1)</sub>。
- [0023] 步骤1.2.4:若  $(1+xc)mMn_0 \leq \text{目标锰元素含量} < (1+(x+1)c)mMn_0$ , 该钢种目标锰元素含量记为mMn<sub>(x+1)</sub>; 若  $(1-(x+1)c)mMn_0 \leq \text{目标锰元素含量} < (1-xc)mMn_0$ , 该钢种目标锰元素含量记为mMn<sub>-(x+1)</sub>。
- [0024] 步骤1.2.5:若  $(1+xd)mP_0 \leq \text{目标磷元素含量} < (1+(x+1)d)mP_0$ , 该钢种目标磷元素含量记为mP<sub>(x+1)</sub>; 若  $(1-(x+1)d)mP_0 \leq \text{目标磷元素含量} < (1-xd)mP_0$ , 该钢种目标磷元素含量记为mP<sub>-(x+1)</sub>。
- [0025] 步骤1.2.6:若  $(1+xe)mS_0 \leq \text{目标硫元素含量} < (1+(x+1)e)mS_0$ , 该钢种目标硫元素含量记为mS<sub>(x+1)</sub>; 若  $(1-(x+1)e)mS_0 \leq \text{目标硫元素含量} < (1-xe)mS_0$ , 该钢种目标硫元素含量记为mS<sub>-(x+1)</sub>;
- [0026] x为非负整数;a、b、c、d和e为正数。
- [0027] 步骤1.2.7:将各个钢种目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量按照步骤1.2.1~步骤1.2.6进行记录,钢种目标碳元素含

量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量等记符相同的归为一类。

[0028] 步骤2:建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时预测模型;

[0029] 步骤2.1:建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分实时预测模型;

[0030] 步骤2.1.1:将转炉吹炼时期按时间分为n个时间段,记为N1~Nn,每个时间段可不相等;n为正整数。

[0031] 步骤2.1.2:将每个时间段按底吹气体种类、底吹气体比例范围、底吹气体流量范围、顶吹气体种类、顶吹气体比例范围和顶吹气体流量范围进行分类,类别分别记为Ci,并调用步骤1.2中的数据进行匹配;

[0032] i为正整数。

[0033] 步骤2.1.3:依据物料平衡,转炉预测实时碳元素含量 $r_{tC}$ =转炉收入碳元素含量项-转炉支出碳元素含量项+修正碳元素含量项,并与各类别Ci匹配,建立子模型。

[0034] 步骤2.1.4:依据物料平衡,转炉预测实时硅元素含量 $r_{tSi}$ =转炉收入硅元素含量项-转炉支出硅元素含量项+修正硅元素含量项,并与各类别Ci匹配,建立子模型。

[0035] 步骤2.1.5:依据物料平衡,转炉预测实时锰元素含量 $r_{tMn}$ =转炉收入锰元素含量项-转炉支出锰元素含量项+修正锰元素含量项,并与各类别Ci匹配,建立子模型。

[0036] 步骤2.1.6:依据物料平衡,转炉预测实时磷元素含量 $r_{tP}$ =转炉收入磷元素含量项-转炉支出磷元素含量项+修正磷元素含量项,并与各类别Ci匹配,建立子模型。

[0037] 步骤2.1.7:依据物料平衡,转炉预测实时硫元素含量 $r_{tS}$ =转炉收入硫元素含量项-转炉支出硫元素含量项+修正硫元素含量项,并与各类别Ci匹配,建立子模型;

[0038] 修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项和修正硫元素含量项均为在步骤2.1.2分类后各类别Ci对铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项进行的物料平衡计算中的修正项,启用模型后的初始修正项为内嵌初始修正项在予以模型待赋值项赋值后,根据建立的数据库进行自动拟合得到的。

[0039] 步骤2.2:建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液温度实时预测模型;

[0040] 步骤2.2.1:依据能量平衡,转炉预测实时钢液温度 $r_{tT}$ =转炉收入能量项-转炉支出能量项+修正能量项,并与各类别Ci匹配,建立子模型;

[0041] 修正能量项为在步骤2.1.2分类后各类别Ci对铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项进行的能量平衡计算中的修正项,启用模型后的初始修正项为内嵌初始修正项在予以模型待赋值项赋值后,根据建立的数据库进行自动拟合得到的。

[0042] 步骤3:根据转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时预测模型进行转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时预测,并与实际检测数据结果进行比较;

[0043] 步骤3.1:获取该钢种转炉终点出钢目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量,并进行数据库的自动匹配;。

[0044] 步骤3.2:采集当前冶炼炉次各个时刻加入的铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、辅料成分、辅料温度、辅料加入重量,以及底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度、顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流

量、顶吹气体温度、炉内液面高度、氧枪高度、炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例等数据信息,作为N1时间段的输入项。

[0045] 步骤3.3:在步骤3.1选择的数据库中根据步骤2.1.2的分类自动选择该阶段对应的修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项、修正硫元素含量项和修正能量项,进行转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时预测。

[0046] 步骤3.4:将N1时间段结束的预测实时碳元素含量、预测实时硅元素含量、预测实时锰元素含量、预测实时磷元素含量、预测实时硫元素含量和预测实时钢液温度,以及各个时刻加入的铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、辅料成分、辅料温度、辅料加入重量,和底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度、顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度、炉内液面高度、氧枪高度、炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例等数据信息,作为N2时间段的输入项。

[0047] 步骤3.5:在步骤3.1选择的数据库中根据步骤2.1.2的分类自动选择该阶段对应的修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项、修正硫元素含量项和修正能量项,进行N2时间段转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时预测。

[0048] 步骤3.6:将步骤3.4~3.5中的N<sub>y</sub>转换成N(y+1),然后重复进行,直至(y+1)=n;

[0049] 其中 $1 \leq y \leq n-1$ 的整数;

[0050] 步骤3.7:将预测模型实时预测得到的rtC、rtSi、rtMn、rtP、rtS和rtT与实际检测数据得到的rC、rSi、rMn、rP、rS和rT进行比较,并记录。

[0051] 步骤4:剔除异常炉次数据后实时更新数据库,并在一定条件下进行修正项的修正;

[0052] 步骤4.1:剔除 $[(1+M\%) \times \text{平均吹炼时间} \leq \text{吹炼时间}] \cup [(1+M\%) \times \text{平均冶炼时间} \leq \text{冶炼时间}]$ 的异常炉次,并将其他炉次数据实时导入数据库;

[0053] 步骤4.2:每隔Z炉选取各个数据库中最近L炉的数据进行修正项的修正,L满足步骤2.1.2中各类别C<sub>i</sub>匹配的数据组 $\geq 1$ ;

[0054] 步骤4.3:当连续F炉预测值与实际检测值差值的绝对值大于各钢液成分与温度最大允许误差值,即 $|rtC-rC| \geq \text{MaxC}$ 或 $|rtSi-rSi| \geq \text{MaxSi}$ 或 $|rtMn-rMn| \geq \text{MaxMn}$ 或 $|rtP-rP| \geq \text{MaxP}$ 或 $|rtS-rS| \geq \text{MaxP}$ 或 $|rtT-rT| \geq \text{MaxT}$ 时,立即进行修正项的修正,并更改L与1。

[0055] 进一步地,步骤1.1.2所述铁水成分包括铁水碳元素含量、铁水硅元素含量、铁水锰元素含量、铁水磷元素含量和铁水硫元素含量;

[0056] 废钢成分包括废钢碳元素含量、废钢硅元素含量、废钢锰元素含量、废钢磷元素含量和废钢硫元素含量;

[0057] 出钢成分包括出钢碳元素含量、出钢硅元素含量、出钢锰元素含量、出钢磷元素含量和出钢硫元素含量。

[0058] 进一步地,步骤1.1.3所述辅料成分包括辅料碳元素含量、辅料硅元素含量、辅料锰元素含量、辅料磷元素含量和辅料硫元素含量;

[0059] 辅料包括烧结矿、活性石灰、生石灰、轻烧白云石、烧结白云山、硅铁、萤石、焦炭、锰铁和补热剂。

[0060] 进一步地,步骤1.1.4底吹气体包括N<sub>2</sub>、Ar和CO<sub>2</sub>;步骤1.1.5所述顶吹气体包括O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>。

[0061] 6. 根据权利要求2所述的一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,其特征在于,步骤1.1.7所述炉气成分包括CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>。

[0062] 进一步地,步骤3和3.7所述的实际检测数据与步骤4.3所述的实际检测值均指剔除异常炉次后吹炼后期下副枪、吹炼结束钢液终点样品检测和冶炼过程中取样检测得到的钢液成分与温度数据。

[0063] 本发明方法建立的预测模型中包含平衡计算项与修正项,相比于只使用历史数据进行拟合的方法,减小了因拟合误差过大,造成的终点命中率过低的可能性。平衡计算项中考虑了CO<sub>2</sub>的反应特性造成的物料与能量平衡的变化,并使用可自动修正的修正项综合多种信息对计算进行修正,实现对转炉喷吹CO<sub>2</sub>过程钢液成分与温度的实时动态预测,解决了原有转炉喷吹O<sub>2</sub>模型的不适用造成的冶炼时间延长、终点成分预测不准确、转炉终点过氧化和原材料的浪费的问题。

[0064] 本发明方法能够用于转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时动态预测,缩短了冶炼时间,降低了生产成本,为操作人员依实际情况进行操作的调整提供了有利的参考信息,避免了转炉喷吹CO<sub>2</sub>的黑箱与经验操作,提高了终点命中率。

#### 附图说明

[0065] 图1为本发明转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法具体实施方式流程图;

[0066] 图2为本发明根据转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法的具体实施方式的实时动态预测流程图;

[0067] 图3为采用本发明预测方法预测的碳元素含量预测命中率结果图;

[0068] 图4为采用本发明预测方法预测的锰元素含量预测命中率结果图;

[0069] 图5为采用本发明预测方法预测的磷元素含量预测命中率结果图;

[0070] 图6为采用本发明预测方法预测的硫元素含量预测命中率结果图;

[0071] 图7为采用本发明预测方法预测的温度预测命中率结果图。

#### 具体实施方式

[0072] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式,下面结合某厂300t转炉实施例,对本发明进一步地说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明,并不用于限定本发明。

[0073] 本发明的目的是对转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度进行实时动态预测,主要预测流程为:通过采集大量的历史数据信息建立数据库,并根据各个钢种终点要求碳元素含量、硅元素含量、锰元素含量、磷元素含量和硫元素含量与基准含量的差值进行分组,在启用模型并予以模型待赋值项赋值后,模型将根据各时间段项、底喷吹气体种类、比例范围和流量范围进行分类,然后内嵌初始修正项根据建立的数据库组与分类进行计算与拟合得到初始修正项。在冶炼开始时,模型自动获得所需数据,根据冶炼钢种目标元素含量要求与参数分类,调用对应数据库组中的修正项,进行动态预测,在某一阶段结束时,上一阶段的结束钢液成分、能量等信息作为模型下一阶段的计算收入与输入项,根据下一阶段参数分类调用对应的修正项,继续进行预测直至吹炼结束,并将预测得到的数据与检测得到的数据进行

比较与记录,在剔除异常炉次数据后,其他有效炉次数据在冶炼结束后导入数据库中。在满足一定条件后,模型将自动对修正项进行修正。

[0074] 如图1所示,本发明一种转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度实时动态预测方法,包括以下步骤:

[0075] 步骤1:建立转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度预测模型数据库;

[0076] 步骤1.1:获取转炉冶炼中从铁水入炉到钢水出炉之间整个过程的历史数据与应用该模型剔除后的实时数据;

[0077] 步骤1.1.1:获取各个钢种转炉终点出钢目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量;

[0078] 步骤1.1.2:获取各个钢种冶炼过程中铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、出钢成分、出钢温度和出钢重量;

[0079] 铁水成分包括铁水碳元素含量、铁水硅元素含量、铁水锰元素含量、铁水磷元素含量和铁水硫元素含量;

[0080] 废钢成分包括废钢碳元素含量、废钢硅元素含量、废钢锰元素含量、废钢磷元素含量和废钢硫元素含量;

[0081] 出钢成分包括出钢碳元素含量、出钢硅元素含量、出钢锰元素含量、出钢磷元素含量和出钢硫元素含量;

[0082] 步骤1.1.3:获取各种辅料成分、辅料温度和各个钢种冶炼过程中各种辅料加入重量与加入时刻;

[0083] 辅料成分包括辅料碳元素含量、辅料硅元素含量、辅料锰元素含量、辅料磷元素含量和辅料硫元素含量;

[0084] 辅料包括烧结矿、活性石灰、生石灰、轻烧白云石、烧结白云山、硅铁、萤石、焦炭、锰铁和补热剂;

[0085] 步骤1.1.4:获取各个时刻底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度与底吹气体总量;

[0086] 底吹气体包括N<sub>2</sub>、Ar和CO<sub>2</sub>;

[0087] 步骤1.1.5:获取各个时刻顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度与顶吹气体总量;

[0088] 顶吹气体包括O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>;

[0089] 步骤1.1.6:获取各个时刻炉内液面高度与氧枪高度;

[0090] 步骤1.1.7:获取各个时刻炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例;

[0091] 炉气成分包括CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>;

[0092] 步骤1.1.8:获取各炉次吹炼时间与冶炼时间;

[0093] 步骤1.2:将获取的各个炉次的数据按照目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量的组合进行分类处理;

[0094] 步骤1.2.1:转炉终点出钢基准目标碳元素含量、硅元素含量、锰元素含量、磷元素含量和硫元素含量分别记为mC<sub>0</sub>、mSi<sub>0</sub>、mMn<sub>0</sub>、mP<sub>0</sub>和mS<sub>0</sub>,在本实施例中mC<sub>0</sub>、mSi<sub>0</sub>、mMn<sub>0</sub>、mP<sub>0</sub>和mS<sub>0</sub>分别赋值0.04%、0.005%、0.045%、0.006%和0.006%;

[0095] 步骤1.2.2:若 $(1+xa)mC_0 \leq \text{目标碳元素含量} < (1+(x+1)a)mC_0$ ,该钢种目标碳元素

含量记为 $mC(x+1)$ ;若 $(1-(x+1)a)mC_0 \leq \text{目标碳元素含量} < (1-xa)mC_0$ ,该钢种目标碳元素含量记为 $mC^-(x+1)$ ,在本实施例中a赋值1;

[0096] 步骤1.2.3:若 $(1+xb)mSi_0 \leq \text{目标硅元素含量} < (1+(x+1)b)mSi_0$ ,该钢种目标硅元素含量记为 $mSi(x+1)$ ;若 $(1-(x+1)b)mSi_0 \leq \text{目标硅元素含量} < (1-xb)mSi_0$ ,该钢种目标硅元素含量记为 $mSi^-(x+1)$ ,在本实施例中b赋值1;

[0097] 步骤1.2.4:若 $(1+xc)mMn_0 \leq \text{目标锰元素含量} < (1+(x+1)c)mMn_0$ ,该钢种目标锰元素含量记为 $mMn(x+1)$ ;若 $(1-(x+1)c)mMn_0 \leq \text{目标锰元素含量} < (1-xc)mMn_0$ ,该钢种目标锰元素含量记为 $mMn^-(x+1)$ ,在本实施例中c赋值1;

[0098] 步骤1.2.5:若 $(1+xd)mP_0 \leq \text{目标磷元素含量} < (1+(x+1)d)mP_0$ ,该钢种目标磷元素含量记为 $mP(x+1)$ ;若 $(1-(x+1)d)mP_0 \leq \text{目标磷元素含量} < (1-xd)mP_0$ ,该钢种目标磷元素含量记为 $mP^-(x+1)$ ,在本实施例中d赋值0.5;

[0099] 步骤1.2.6:若 $(1+xe)mS_0 \leq \text{目标硫元素含量} < (1+(x+1)e)mS_0$ ,该钢种目标硫元素含量记为 $mS(x+1)$ ;若 $(1-(x+1)e)mS_0 \leq \text{目标硫元素含量} < (1-xe)mS_0$ ,该钢种目标硫元素含量记为 $mS^-(x+1)$ ,在本实施例中e赋值0.5;

[0100] x为非负整数;a、b、c、d和e为正数;

[0101] 步骤1.2.7:将各个钢种目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量按照步骤1.2.1~步骤1.2.6进行记录,钢种目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量记符相同的归为一类,如在本实施例中数据量较多的分组 $[mC_1, mSi_1, mMn_1, mP_1, mS_1]$ 和 $[mC_1, mSi_1, mMn_1, mP_2, mS_1]$ ,每个分组中含有大量数据的集合;

[0102] 步骤2:建立转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分与温度实时预测模型;

[0103] 步骤2.1:建立转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分实时预测模型;

[0104] 步骤2.1.1:将转炉吹炼时期按时间分为n个时间段,记为 $N_1 \sim N_n$ ,每个时间段可不相等,n为正整数;在本实施例中主要考虑到不同吹炼时间内需喷吹不同 $CO_2$ 比例与流量,取n为4,其中 $N_1$ :吹炼0~3min, $N_2$ :吹炼3~6min, $N_3$ :吹炼9min~TSC, $N_4$ :吹炼TSC~吹炼结束;

[0105] 步骤2.1.2:将每个时间段按底吹气体种类、底吹气体比例范围、底吹气体流量范围、顶吹气体种类、顶吹气体比例范围和顶吹气体流量范围进行分类,类别分别记为 $C_i$ ,并调用步骤1.2中的数据进行匹配,i为正整数;在本实施例中 $N_1 \sim N_3$ 时间段底吹气体均为 $CO_2$ ,且流量保持不变,在 $N_4$ 时间段底吹气体为Ar,且流量增加较大;在 $N_1 \sim N_3$ 时间段顶吹气体中总流量保持不变, $CO_2$ 比例由3.1%依次变化到7%和4.7%,在 $N_4$ 时间段顶吹气体总流量增加较大,顶吹 $CO_2$ 比例为7.5%;将各个时间段的顶底喷吹气体流量与比例进行组合,在 $N_1 \sim N_4$ 时间段对应的类别分别记为 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 和 $C_4$ ;

[0106] 步骤2.1.3:依据物料平衡,转炉预测实时碳元素含量 $rtC = \text{转炉收入碳元素含量项} - \text{转炉支出碳元素含量项} + \text{修正碳元素含量项}$ ,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;在本实施

例中修正碳元素含量项与吹炼时间t之间的函数关系式 $g_c(t) = \sum_j^J f_c(t_j)$ , $j=1, 2, \dots, J$ , $f_c(t_j)$

为铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项数据对物料平衡计算中的通过数据拟合得到的随时间变化的修正项子函数;

[0107] 步骤2.1.4:依据物料平衡,转炉预测实时硅元素含量 $rtSi = \text{转炉收入硅元素含量}$

项-转炉支出硅元素含量项+修正硅元素含量项,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;在本实施例中修正硅元素含量项与吹炼时间 $t$ 之间的函数关系式 $g_{Si}(t) = \sum_j^J f_{Si}(t_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, J$ ,  $f_{Si}$

( $t_j$ )为铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项数据对物料平衡计算中的通过数据拟合得到的随时间变化的修正项子函数;

[0108] 步骤2.1.5:依据物料平衡,转炉预测实时锰元素含量 $rtMn$ =转炉收入锰元素含量项-转炉支出锰元素含量项+修正锰元素含量项,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;在本实施例中修正锰元素含量项与吹炼时间 $t$ 之间的函数关系式 $g_{Mn}(t) = \sum_j^J f_{Mn}(t_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, J$ ,  $f_{Mn}$

( $t_j$ )为铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项数据对物料平衡计算中的通过数据拟合得到的随时间变化的修正项子函数;

[0109] 步骤2.1.6:依据物料平衡,转炉预测实时磷元素含量 $rtP$ =转炉收入磷元素含量项-转炉支出磷元素含量项+修正磷元素含量项,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;在本实施例中修正磷元素含量项与吹炼时间 $t$ 之间的函数关系式 $g_P(t) = \sum_j^J f_P(t_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, J$ ,  $f_P(t_j)$

为铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项数据对物料平衡计算中的通过数据拟合得到的随时间变化的修正项子函数;

[0110] 步骤2.1.7:依据物料平衡,转炉预测实时硫元素含量 $rtS$ =转炉收入硫元素含量项-转炉支出硫元素含量项+修正硫元素含量项,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;在本实施例中修正硫元素含量项与吹炼时间 $t$ 之间的函数关系式 $g_S(t) = \sum_j^J f_S(t_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, J$ ,  $f_S(t_j)$

为铁水、废钢、辅料、底吹气体、顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项数据对物料平衡计算中的通过数据拟合得到的随时间变化的修正项子函数;

[0111] 步骤2.2:建立转炉喷吹 $CO_2$ 钢液温度实时预测模型;

[0112] 步骤2.2.1:依据能量平衡,转炉预测实时钢液温度 $rtT$ =转炉收入能量项-转炉支出能量项+修正能量项,并与各类别 $C_i$ 匹配,建立子模型;在本实施例中修正能量项与吹炼时间 $t$ 之间的函数关系式 $g_T(t) = \sum_j^J f_T(t_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, J$ ,  $f_T(t_j)$ 为铁水、废钢、辅料、底吹气体、

顶吹气体、炉内液面高度、氧枪高度与其他项数据对能量平衡计算中的通过数据拟合得到的随时间变化的修正项子函数;

[0113] 步骤3:根据转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分与温度实时预测模型进行转炉喷吹 $CO_2$ 钢液成分与温度实时预测,并与实际检测数据结果进行比较,如图2所示;

[0114] 步骤3.1:获取该钢种转炉终点出钢目标碳元素含量、目标硅元素含量、目标锰元素含量、目标磷元素含量和目标硫元素含量,并进行数据库的自动匹配;

[0115] 步骤3.2:采集当前冶炼炉次各个时刻加入的铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、辅料成分、辅料温度、辅料加入重量,以及底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度、顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度、炉内液面高度、氧枪高度、炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例数据

信息,作为N1时间段的输入项;

[0116] 步骤3.3:在步骤3.1选择的数据库中根据步骤2.1.2的分类自动选择该阶段对应的修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项、修正硫元素含量项和修正能量项,进行转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时预测;

[0117] 步骤3.4:将N1时间段结束的预测实时碳元素含量、预测实时硅元素含量、预测实时锰元素含量、预测实时磷元素含量、预测实时硫元素含量和预测实时钢液温度,以及各个时刻加入的铁水成分、铁水温度、铁水重量、废钢成分、废钢温度、废钢加入重量、辅料成分、辅料温度、辅料加入重量,和底吹气体种类、底吹气体比例、底吹气体总流量、底吹气体温度、顶吹气体种类、顶吹气体比例、顶吹气体总流量、顶吹气体温度、炉内液面高度、氧枪高度、炉气流量、炉气温度和炉气中各成分比例数据信息,作为N2时间段的输入项;

[0118] 步骤3.5:在步骤3.1选择的数据库中根据步骤2.1.2的分类自动选择该阶段对应的修正碳元素含量项、修正硅元素含量项、修正锰元素含量项、修正磷元素含量项、修正硫元素含量项和修正能量项,进行N2时间段转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时预测;

[0119] 步骤3.6:将步骤3.4~3.5中的N<sub>y</sub>变换成N(y+1),然后重复进行,直至N4时间段结束;

[0120] 步骤3.7:将预测模型实时预测得到的rtC、rtSi、rtMn、rtP、rtS和rtT与实际检测数据得到的rC、rSi、rMn、rP、rS和rT进行比较,并记录;

[0121] 步骤4:剔除异常炉次数据后实时更新数据库,并在一定条件下进行修正项的修正;

[0122] 步骤4.1:剔除[(1+M%)×平均吹炼时间≤吹炼时间]∪[(1+M%)×平均冶炼时间≤冶炼时间]的异常炉次,并将其他炉次数据实时导入数据库;本实施例中M赋值20;

[0123] 步骤4.2:每隔Z炉选取各个数据库中最近L炉的数据进行修正项的修正,L满足步骤2.1.2中各类别C<sub>i</sub>匹配的数据组≥1;本实施例中Z和L分别赋值10和100;

[0124] 步骤4.3:当连续F炉预测值与实际检测值差值的绝对值大于各钢液成分与温度最大允许误差值,即|rtC-rC|≥MaxC或|rtSi-rSi|≥MaxSi或|rtMn-rMn|≥MaxMn或|rtP-rP|≥MaxP或|rtS-rS|≥MaxP或|rtT-rT|≥MaxT时,立即进行修正项的修正,并更改L与1;本实施例中F赋值5,MaxC、MaxSi、MaxMn、MaxP、MaxS和MaxT分别赋值0.01%、0.003%、0.01%、0.002%、0.002%和7℃。

[0125] 所述的实际检测数据与实际检测值均指剔除异常炉次后吹炼后期下副枪、吹炼结束钢液终点样品检测和冶炼过程中取样检测得到的钢液成分与温度数据。

[0126] 基于某厂喷吹转炉CO<sub>2</sub>实际生产数据,多次重复本实施例的过程,最终,转炉终点钢液预测单一指标碳元素含量命中率(±0.01%)为94.32%、预测锰元素含量命中率(±0.01%)为91.35%、预测磷元素含量命中率(±0.002%)为92.93%、预测硫元素含量命中率(±0.002%)为90.57%、预测钢液温度在TS0的命中率(±7℃)为90.14%,见图3、4、5、6和7,由于该厂不对硅元素含量检测,因此无法获得预测硅元素含量命中率;预测碳元素含量与预测钢液温度双命中率为83.21%。证明了该方法能够用于转炉喷吹CO<sub>2</sub>钢液成分与温度的实时动态预测,缩短了冶炼时间,降低了生产成本,为操作人员依实际情况进行操作的调整提供了有利的参考信息,避免了转炉喷吹CO<sub>2</sub>的黑箱与经验操作,提高了终点命中率。

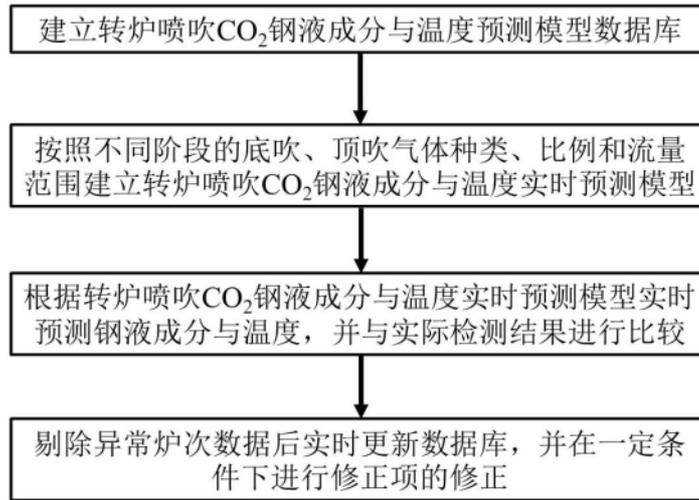


图1

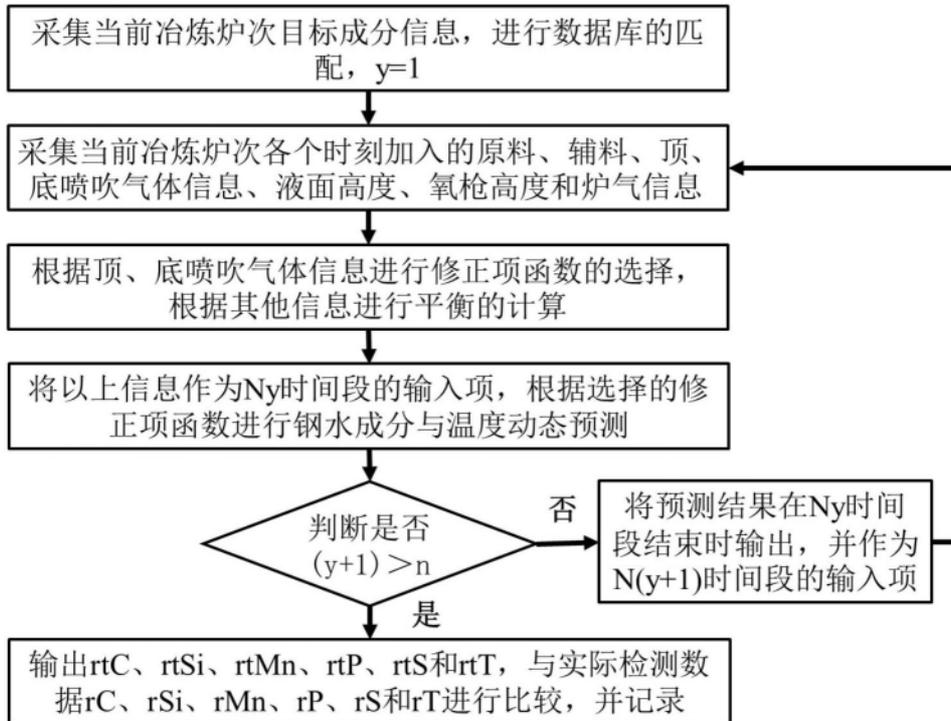


图2

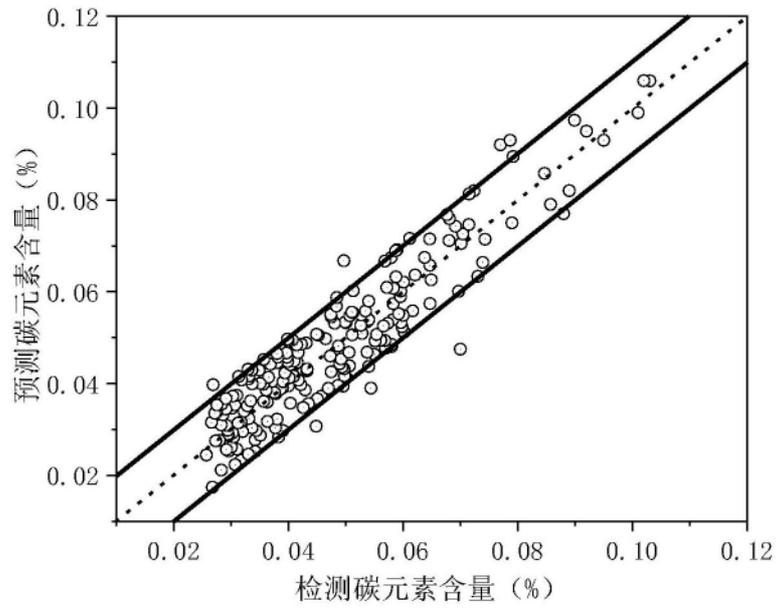


图3

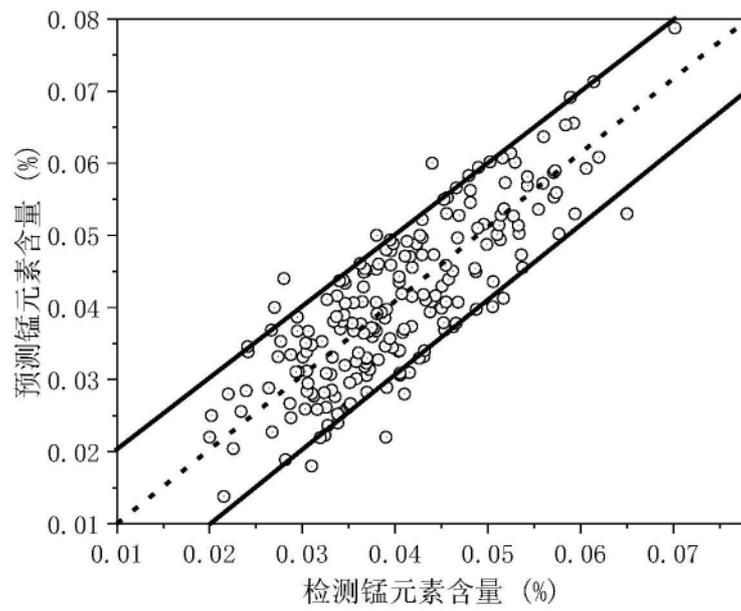


图4

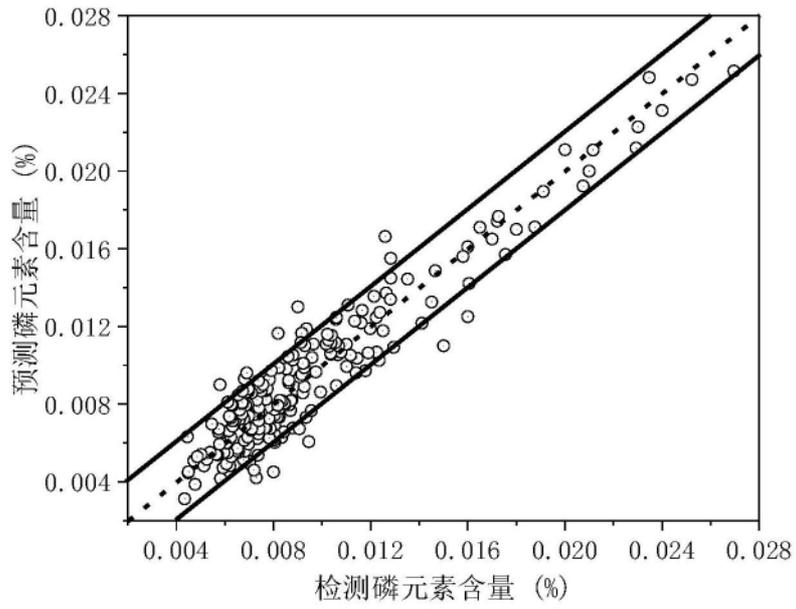


图5

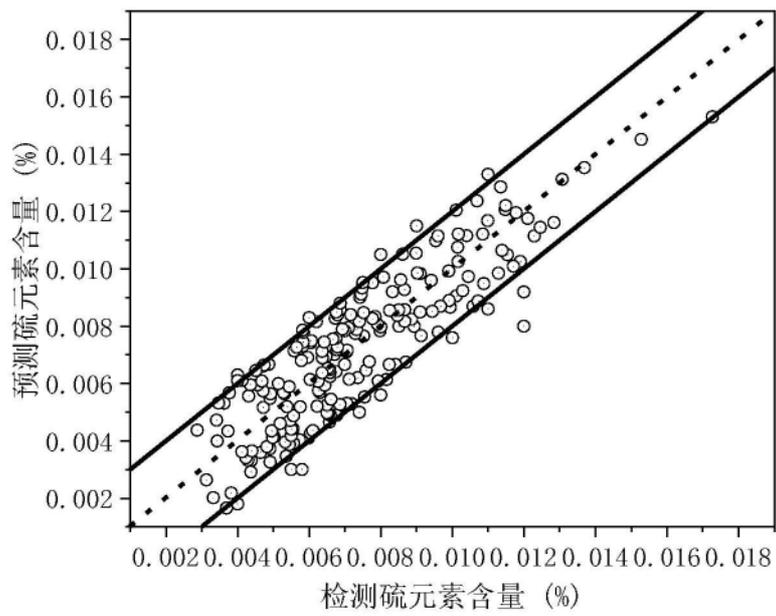


图6

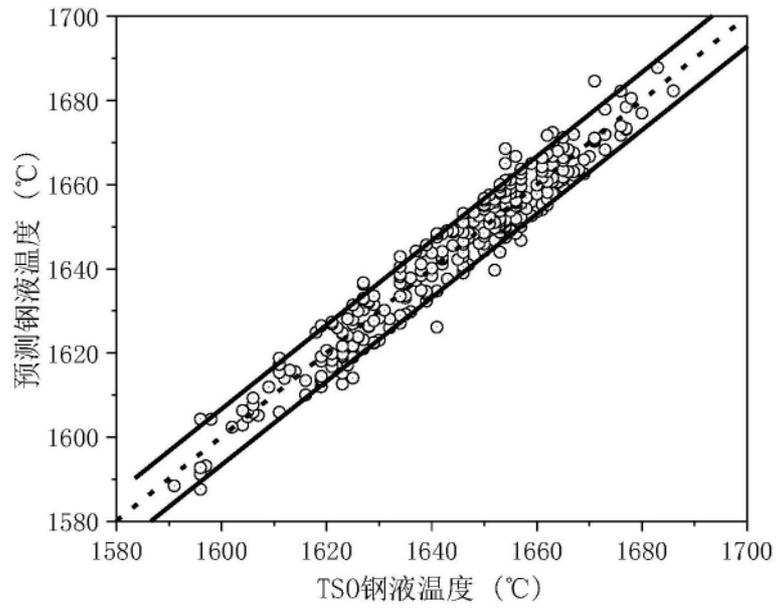


图7