



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102323794 A

(43) 申请公布日 2012. 01. 18

(21) 申请号 201110121205. 1

(22) 申请日 2011. 05. 11

(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 吕志民 张学军 宗胜悦 张恺
张向伟

(74) 专利代理机构 北京东方汇众知识产权代理
事务所(普通合伙) 11296

代理人 刘淑芬

(51) Int. Cl.

G05B 19/418(2006. 01)

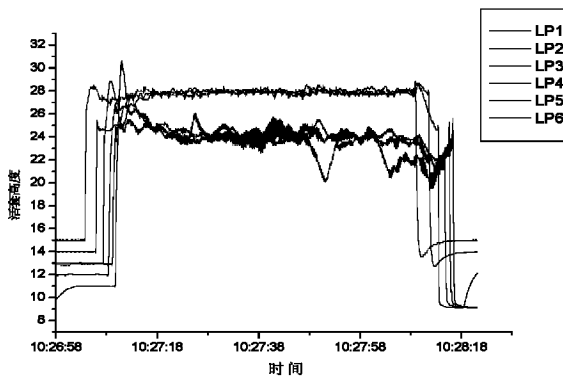
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种热连轧工艺过程采集数据同步化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种应用于热连轧工艺过程高维时序数据同步化方法,针对从热连轧制造过程等时间采样获得不同机架间各变量存在滞后、时变等现象,增加了质量缺陷成因分析或控制系统调试、优化分析的难度,利用热轧过程不变量关系,建时空变换关系,将等时采样的高维数据转换为空间上同步的等体积采样数据,建立高维数据在带钢上空间同步对应关系。时空转换过程中首先消去等体积采样中待定系数,然后利用时空变换关系进行等体积采样,等体积采集过程中非对齐点通过插值方法进行采样值估算。以某热连轧过程为实例,验证了这种方法的有效性,并表明同步化后的数据有助某些类型产品质量缺陷成因分析。



1. 一种热连轧工艺过程采集数据同步化方法,其特征在于步骤如下:

步骤一、采集机架的轧制力、工作辊角速度、辊缝值测量值参数;

步骤二、将采集过程获得的机架轧制力、角速度、辊缝值,并以轧机工作辊半径为待定系数,代入弹跳方程计算轧制过程中通过各机架的带钢体积;并利用精轧过程体积不变原理,消去等体积采样过程中的待定系数;

步骤三、按等体积采样设定各机架体积采样步长,利用时空转换关系对各机架按时间采样数据进行等体积采样,在时空转换过程中对于非对齐点通过插值估算采样值;

步骤四、根据质量监控仪表与精轧机末机架间位置,消去末机架体积不变量中待定系数;利用轧制过程中末机架与监控仪表间带钢等速关系进行时空转换;

步骤五、转换完成后,原始数据的时变时滞性得以消除,得到空间上采样同步的空间数据。

2. 如权利要求1所述的一种热连轧工艺过程采集数据同步化方法,其特征是所述的轧机弹跳方程是计算轧制过程中通过各机架的带钢体积

$$V_i = R_i \int_{\delta_i}^{\delta_i+h_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \omega_{it} dt$$

R_i 代表机架 i 的工作辊半径,为未知量,

S_{it} 为机架 i 辊缝测量值,

F_{it} 为机架 i 轧制力测量力,

K_i 为机架 i 刚度系数。

3. 如权利要求1所述的一种热连轧工艺过程采集数据同步化方法,其特征是所述的轧

制过程体积不变原理是 $V_1 = V_2 = \dots = V_7$, 即 $R_1 \int_{\delta_1}^{\delta_1+h_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \omega_{1t} dt = \dots = R_7 \int_{\delta_7}^{\delta_7+h_7} (S_{7t} + \frac{F_{7t}}{K_7}) \omega_{7t} dt$

, 消去等体积采样过程中的待定系数, 令 $R_1 = 1$, 则 $R_i = \int_{\delta_1}^{\delta_1+h_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \omega_{1t} dt$

$/ \int_{\delta_i}^{\delta_i+h_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \omega_{it} dt$; 然后,按等体积采样设定各机架体积采样步长

$$H_i = \int_{\delta_i}^{\delta_i+h_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \omega_{it} dt \cdot [\int_{\delta_i}^{\delta_i+h_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \omega_{it} dt / \int_{\delta_1}^{\delta_1+h_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \omega_{1t} dt] / n$$

其中: n 为采样点数

定义 $k(t_i) = \int_{\delta_i}^{\delta_i+h_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \omega_{it} dt \cdot [\int_{\delta_i}^{\delta_i+h_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \omega_{it} dt / \int_{\delta_1}^{\delta_1+h_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \omega_{1t} dt]$

针对机架 i 变量 \tilde{c}_{it} 进行时空转换过程如下:

(1) 设定空间步长 H_i , 令 $s_j = 0, j = 0, \tilde{c}_{i0} = \tilde{c}_{i0}, l = 1, m = [h_i - b_i] / \delta$

(2) 令 $j = j + 1$;

如果 $j < n$, 则 $s_j = s_{j-1} + H_i$; 否则转步骤 5)

(3) 如果 $l < m$, 计算 $k(t_i)$, $k(t_{i+1})$; 否则, 则转步骤 5)

(4) 如果 $k(t_i) < s_j < k(t_{i+1})$, $\bar{c}_{ij}^l = \bar{c}_{ij} + \frac{\bar{c}_{i(i+1)} - \bar{c}_{i(i-1)}}{k(t_{i+1}) - k(t_i)} \times (s_j - k(t_i))$, 令 $l = l + 1$, 返回步骤

2) ; 否则, 令 $l = l + 1$, 返回步骤 3)

(5) 如果 $s_j - k(t_i) > H_i / 2$, $\bar{c}_{ij}^l = \bar{c}_{ij} + \frac{\bar{c}_{ii} - \bar{c}_{i(i-1)}}{k(t_i) - k(t_{i-1})} \times (s_j - k(t_i))$; 机架 i 各变量时空

转结束 ; 根据质量监控仪表与精轧机末机架间位置, 消去末机架体积不变量中待定系数

$$R_7 = \frac{L}{\int_{t_7}^{t_n} \omega_{7t} dt}$$

质量监控点带钢体积变化 $k(t_i) = \int_{t_7}^{t_i} R_7 \cdot \omega_{7t} \cdot B_{qt} dt$, 其中 B_{qt} 为监控仪表输出厚度值 ; 采

用如下定义过程实现质量监控阶段时空转换 :

(1) 设定空间步长 $H_q = V_7 / n$, 令 $s_j = 0$, $j = 0$, $\bar{c}_{q0}^l = \bar{c}_{q0}$, $l = 1$

(2) 令 $j = j + 1$, 如果 $j < n$, 则 $s_j = s_{j-1} + H_q$; 否则转步骤 5 ;

(3) 如果 $t_i \leq t_{q7}$, 计算 $k(t_i)$, $k(t_{i+1})$; 否则, 则转步骤 5 ;

(4) 如果 $k(t_i) < s_j < k(t_{i+1})$, $\bar{c}_{qj}^l = \bar{c}_{qj} + \frac{\bar{c}_{q(i+1)} - \bar{c}_{q(i-1)}}{k(t_{i+1}) - k(t_i)} \times (s_j - k(t_i))$, 令 $l = l + 1$, 返回步骤

2) ; 否则, 令 $l = l + 1$, 返回步骤 3 ;

(5) 令 $\Delta = \frac{m-l}{n-j}$, $j_q = j$, $j = j + 1$

如果 $j < n$, $k(j) = \text{int}[(j - j_q) \cdot \Delta]$, 则

$\bar{c}_{qj}^l = \bar{c}_{q(k(j))} + [\bar{c}_{q(k(j)+1)} - \bar{c}_{q(k(j))}] \times [(j - j_q) \cdot \Delta - k(j) \cdot \Delta]$; 质量监控阶段时空转结束 ; 转换

完成后, 原始数据的时变、时滞性得以消除, 得到带钢体积上采样同步的空间数据。

一种热连轧工艺过程采集数据同步化方法

技术领域

[0001] 本发明属于冶金流程产品质量分析技术,主要用于热连轧产品制造过程产品质量缺陷分析预处理。

背景技术

[0002] 多阶段时变复杂时滞系统是流程工业中常见的系统,如热连轧过程、冷连轧过程等。在这些复杂系统中,一般为了进行控制系统调试或质量改进分析,多采用等时采样方法记录轧制过程各种控制变量、工艺变量、以及产品质量参数等。由于轧制过程的多阶段性,以及质量观察数据的滞后等特征,使得采集记录的高维时序型数据具有如下特点:

- 1) 同一机架的控制变量对应于产品的同一位置;
- 2) 同时采集自于不同机架设备的控制变量或工艺变量,对应于带钢产品不同位置;
- 3) 由于质量监控阶段的滞后性,采集记录的产品质量参数与各机架控制变量、工艺参数不是点与点对关系;
- 4) 由于轧制过程存在升速与降速等原因,不同机架间数据点之间不是固定时滞影响关系;

上述等特点增加了热连轧等一类多阶段时变复杂时滞系统调试分析或质量分析难度。当发生质量缺陷时,难于定量建立控制过程工艺变量与质量缺陷的对应关系,使得许多对同步系统有效的分析方法难以应用。针对在这类系统分析,迫切需要解决多阶段时变复杂时滞系统的高维时序变量同步化方法。

发明内容

[0003] 本发明针对热连轧生产过程高维时序型工艺参数与质量数据分析而提出的。本发明利用热轧过程不变量关系,通过时空变换关系,将采集自不同机架和最终质量参数测量点的高维等时采集时序型数据同步化为等空间采样高维时序数据后,有效消除了热连轧过程多阶段、时变、滞后等因素影响,为质量缺陷成因分析创造了良好条件。采用本发明后,利用常规的数据分析方法,即能准确找到缺陷成因。同步化的高维工艺数据和质量数据清晰建立相互对应关系,也便于分析人员直观分析控制系统对产品质量影响。本发明应用简单,适用于热连轧工艺过程,或其他常见的多阶段制造过程。

[0004] 本发明通过以下技术方案实现的:本发明针对从热连轧制造过程按时间采样采集获得的精轧机组入口、机组控制过程参数与控制变量(如轧制力、辊缝、轧制速度、活套角度等),以及质量监控仪表采集的工艺质量参数(如终轧温度、出口厚度、出口宽度等等),这些变量间存在滞后、时变等影响,增加质量缺陷成因分析的难度或控制系统调试、优化分析的难度。本发明利用精轧轧制过程体积不变原理,进行时空转换,实现针对带钢分段等体积的数据采样,将采集自不同机架、机架入口、质量监测等工艺参数、质量参数等同步对应。同步对应后高维时序清晰表示控制变量与质量变量之间对应关系,便于质量分析。

[0005] 在同步化处理过程中应用的时空转换原理为:对于一个时变过程而言,设

被测变量 $y = g(t)$ ，在时间 $T = (t_0, t_1, t_2, \dots, t_n)$ 所对应的采样结果 $Y = (y_0, y_1, y_2, \dots, y_n)$ ，对应被加工对象空间上的采样点为 $S = (s_0, s_1, s_2, \dots, s_n)$ 。如果有一种变换关系 $S' = p(S) = (s'_0, s'_1, s'_2, \dots, s'_n)$ ，使得 S' 为等空间采样，得到对应的一组采样结果 $Y' = (y'_0, y'_1, y'_2, \dots, y'_n)$ ，将这种变换关系 p 称为时空转换关系。

[0006] 本发明方法包括如下步骤：

步骤一、采集机架的轧制力、工作辊角速度、辊缝值测量值参数；

步骤二、将采集过程获得的机架轧制力、角速度、辊缝值，并以轧机工作辊半径为待定系数，代入弹跳方程计算轧制过程中通过各机架的带钢体积；并利用精轧过程体积不变原理，消去等体积采样过程中的待定系数。

[0007] 步骤三、按等体积采样设定各机架体积采样步长，利用时空转换关系对各机架按时间采样数据进行等体积采样；在时空转换过程中对于非对齐点通过插值估算采样值。

[0008] 步骤四、根据质量监控仪表与精轧机末机架间位置，消去末机架体积不变量中待定系数；利用轧制过程中末机架与监控仪表间带钢等速关系进行时空转换；

步骤五、转换完成后，原始数据的时变时滞性得以消除，得到空间上采样同步的空间数据。

[0009] 本发明的另一个技术方案是根据轧机弹跳方程是计算轧制过程中通过各机架的

$$\text{带钢体积 } V_i = R_i \int_{\delta_i}^{\delta_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \cdot \omega_{it} dt$$

R_i 代表机架 i 的工作辊半径，为未知量，

S_{it} 为机架 i 辊缝测量值，

F_{it} 为机架 i 轧制力测量力，

K_i 为机架 i 刚度系数。

[0010] 本发明的另一个技术方案是通过上述的轧机弹跳方程计算的轧制过程体积不

变，即 $V_1 = V_2 = \dots = V_7$ ，也即 $R_1 \int_{\delta_1}^{\delta_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \cdot \omega_{1t} dt = \dots = R_7 \int_{\delta_7}^{\delta_7} (S_{7t} + \frac{F_{7t}}{K_7}) \cdot \omega_{7t} dt$ ，这样可利用

体积不变原理消去等体积采样过程中的待定系数。令 $R_1 = 1$ ，则 $R_i = \int_{\delta_1}^{\delta_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \cdot \omega_{1t} dt$

$$/ \int_{\delta_i}^{\delta_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \cdot \omega_{it} dt ;$$

然后，按等体积采样时可设定各机架体积采样步长

$$H_i = \int_{\delta_i}^{\delta_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \cdot \omega_{it} dt \cdot [\int_{\delta_i}^{\delta_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \cdot \omega_{it} dt / \int_{\delta_1}^{\delta_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \cdot \omega_{1t} dt] / n$$

其中： n 为采样点数

$$\text{定义 } k(t_i) = \int_{b_i}^{t_i} (S_{ii} + \frac{F_{ii}}{K_i}) \omega_{ii} dt \cdot \left[\int_{b_i}^{t_i} (S_{ii} + \frac{F_{ii}}{K_i}) \omega_{ii} dt / \int_{b_i}^{t_i} (S_{ii} + \frac{F_{ii}}{K_i}) \omega_{ii} dt \right]$$

针对机架 i 变量 \bar{c}_{ii} 进行时空转换过程如下:

(1) 设定空间步长 H_i , 令 $s_j = 0, j = 0, \bar{c}_{i0} = \bar{c}_{i0}, l = 1, m = [h_i - b_i] / \delta$

(2) 令 $j = j + 1$ 。如果 $j < n$, 则 $s_j = s_{j-1} + H_i$; 否则转步骤 5)

(3) 如果 $l < m$, 计算 $k(t_l), k(t_{l+1})$; 否则, 则转步骤 5)

(4) 如果 $k(t_l) < s_j < k(t_{l+1}), \bar{c}_{ii}' = \bar{c}_{ii} + \frac{\bar{c}_{ii(l+1)} - \bar{c}_{ii(l)}}{k(t_{l+1}) - k(t_l)} \times (s_j - k(t_l))$, 令 $l = l + 1$, 返回步骤

2); 否则, 令 $l = l + 1$, 返回步骤 3)

(5) 如果 $s_j - k(t_l) > H_i / 2, \bar{c}_{ii}' = \bar{c}_{ii} + \frac{\bar{c}_{ii} - \bar{c}_{ii(l-1)}}{k(t_l) - k(t_{l-1})} \times (s_j - k(t_l))$; 机架 i 各变量时空

转结束; 根据质量监控仪表与精轧机末机架间位置, 消去末机架体积不变量中待定系数

$$R_7 = \frac{L}{\int_{t_i}^{t_{i+1}} \omega_{7i} dt}$$

质量监控点带钢体积变化 $k(t_i) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} R_7 \omega_{7i} B_{qi} dt$, 其中 B_{qi} 为监控仪表输出厚度值; 采

用如下定义过程实现质量监控阶段时空转换:

(1) 设定空间步长 $H_q = V_7 / n$, 令 $s_j = 0, j = 0, \bar{c}_{q0} = \bar{c}_{q0}, l = 1$

(2) 令 $j = j + 1$, 如果 $j < n$, 则 $s_j = s_{j-1} + H_q$; 否则转步骤 5);

(3) 如果 $t_i \leq t_{k7}$, 计算 $k(t_l), k(t_{l+1})$; 否则, 则转步骤 5);

(4) 如果 $k(t_l) < s_j < k(t_{l+1}), \bar{c}_{qi}' = \bar{c}_{qi} + \frac{\bar{c}_{qi(l+1)} - \bar{c}_{qi(l)}}{k(t_{l+1}) - k(t_l)} \times (s_j - k(t_l))$, 令 $l = l + 1$, 返回步骤

2); 否则, 令 $l = l + 1$, 返回步骤 3);

(5) 令 $\Delta = \frac{m - l}{n - j}, j_q = j, j = j + 1$

如果 $j < n, k(j) = \text{int}[(j - j_q) \cdot \Delta]$, 则

$\bar{c}_{qi}' = \bar{c}_{qi(k(j))} + [\bar{c}_{qi(k(j)+1)} - \bar{c}_{qi(k(j))}] \times [(j - j_q) \cdot \Delta - k(j) \cdot \Delta]$; 质量监控阶段时空转结束; 转换

完成后, 原始数据的时变、时滞性得以消除, 得到带钢体积上采样同步的空间数据。

[0011] 采用本发明针对热连轧过程进行时空同步化转换时, 通过不变量关系消除了轧辊半径对时空转换的影响, 只需知道设备一些固定参数后, 即可直接利用从控制系统采集的数据实现时空转换, 适用性广, 便于应用; 经过时空转换的高维时序, 实现了针对带钢同点

的采样,建立了控制变量与质量变量对应关系,消除了多变量间时滞、时变等影响。同步化后的高维时序间趋势性关系及变化对应关系可以直接在序列中反映出来,有助于时序分析;另外同步化的高维时序相互之间变化影响关系能够直接反映控制变量与质量变量间对应关系,针对某些质量缺陷成因分析时,可以直接利用简单分析方法进行分析,简化了数据挖掘的分析操作。因此本发明在热连轧质量分析中,以较高精度同步从控制系统采集的高维时序,更明显突出了因果对应关系,且适合于其他应用场合、应用方便。

附图说明

[0012] 图 1 是本发明一实施例中的热连轧精轧过程示意图。

[0013] 图 2 是本发明一实施例中从不同机架采集获得的部分观测变量曲线示意图。

[0014] 图 3 是本发明一实施例中从不同机架采集获得的部分观测变量同步化效果曲线示意图。

[0015] 图 4 是本发明一实施例中带钢拉窄现象同步化后效果曲线示意图。

具体实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明实施例作详细说明:本实施例在本发明技术方案为前提下实施,给出了详细的实施方式和具体操作过程,但本发明的保护范围不限于下述实施例。

[0017] 本实施例应用于某七机架热连轧精轧机组工艺数据采集系统同步化处理。如图 1 所示,共有七个机架,质量监控阶段距末机架 $L = 4.52m$,机架刚度系数为

	< 500	500 ~ 1000	1000 ~ 1500	> 1500
F1	435.8	569.7	634.6	692.8
F2	540.7	600.3	648.2	692.2
~
F7	442.2	542.8	610.7	647.2

[0018] 从 7 机架监控获得的高维控制过程变量和质量监控变量,由于制造过程的多阶段性、时变、时滞影响等,以轧制力观测变量为例,各变量时间变化趋势曲线如图 2 所示,等时采样间隔 $\delta = 2ms$ 。从图示 2 可以明显看出,采集自不同机架的数据之间存在滞后关系,另外由于轧制过程调速影响,不同机架间时滞并不是简单滞后。

[0019] 应用本发明进行多阶段高维时序同步化处理步骤为:

步骤一 从数据采集系统获取等时采样数据如式 (1) 的格式,数据中包含轧辊角速度测量值、轧制力测量值、辊缝测量值等必要数据信息。

$$[0020] \begin{pmatrix} \mathbf{0}_{b_1 l_1+1} & \mathbf{0}_{b_2 l_2+1} & \dots & \mathbf{0}_{b_k l_k+1} & \mathbf{0}_{b_{k+1} l_{k+1}+1} \\ \bar{c}_{11} & \bar{c}_{21} & \dots & \bar{c}_{k1} & \bar{q}_1 \\ \bar{c}_{12} & \bar{c}_{22} & \dots & \bar{c}_{k2} & \bar{q}_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \bar{c}_{1k} & \bar{c}_{2k} & \dots & \bar{c}_{kk} & \bar{q}_{l_{k+1}} \\ \mathbf{0}_{e_1 l_1+1} & \mathbf{0}_{e_2 l_2+1} & \dots & \mathbf{0}_{e_k l_k+1} & \mathbf{0}_{e_{k+1} l_{k+1}+1} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中： C_1, C_2, \dots, C_k 依次为精轧机组 k 个机架，每个阶段所监控的变量数量为 l_1, l_2, \dots, l_k 。对于某一个时刻 t，每一个控制阶段 C_i 监控的控制变量用向量 \bar{c}_i 标记， $\bar{c}_i = (v_i(t), a_{i,1}(t), a_{i,2}(t), \dots, a_{i,l_i}(t))$ ，其中 $a_{i,1}(t), a_{i,2}(t), \dots, a_{i,l_i}(t)$ 为第 i 个控制阶段的 l_i 个观察变量， $v_i(t)$ 为第 i 个控制阶段的实时速度。

[0021] 产品质量的监测是在生产流程的最后阶段 Q，共监测 l_{k+1} 个质量参数。质量监控变量标记为向量 $\bar{q}_i = (v_{k+1}(t), a_{q,1}(t), a_{q,2}(t), \dots, a_{q,l_{k+1}}(t))$ ，其中 $a_{q,1}(t), a_{q,2}(t), \dots, a_{q,l_{k+1}}(t)$ 为 l_{k+1} 个质量参数， $v_{k+1}(t)$ 为质量监控阶段产品速度。

[0022] 另外式 1) 描述数据形式满足关系：

$$\begin{aligned} & \forall 0 < i \leq k+1, \text{有 } b_i + h_i + e_i = s ; \\ & b_1 < b_2 < b_3 < \dots < b_k < b_{k+1} < s \text{ 且 } e_{k+1} < e_k < \dots < e_3 < e_2 < e_1 < s ; \\ & \forall 0 < i, j \leq k+1 \text{ 且 } i \neq j, \text{有 } h_i \neq h_j ; \end{aligned}$$

步骤二 根据每机架采集数据的有效长度进行轧制过程不变量计算，由轧制过程弹跳

方程可知精轧过程通过每个机架带钢体积为 $V_i = R_i \int_{\delta_i}^{h_i} (S_{it} + \frac{F_{it}}{K_i}) \cdot \omega_{it} dt$

其中：

$i \in [1, 7]$

R_i 代表机架 i 的工作辊半径，为未知量

S_{it} 为机架 i 辊缝测量值

F_{it} 为机架 i 轧制力测量力

K_i 为机架 i 刚度系数

根据精轧轧制过程体积不变原理，则有 $V_1 = V_2 = \dots = V_7$ 即 $R_1 \int_{\delta_1}^{h_1} (S_{1t} + \frac{F_{1t}}{K_1}) \cdot \omega_{1t} dt = \dots =$

$$R_7 \int_{\delta_7}^{h_7} (S_{7t} + \frac{F_{7t}}{K_7}) \cdot \omega_{7t} dt$$

由上式可以得出 $R_1 - R_7$ 之间比例关系。以 R_1 为基准,推算其它机架工作辊半径为 $R_i =$

$$R_1 \int_{\delta_1}^{h_1} (S_{1r} + \frac{F_{1r}}{K_1}) \cdot \omega_{1r} dt / \int_{\delta_1}^{h_1} (S_{ir} + \frac{F_{ir}}{K_i}) \cdot \omega_{ir} dt。$$

[0023] 令 $R_1 = 1$, 则 $R_i = \int_{\delta_1}^{h_1} (S_{1r} + \frac{F_{1r}}{K_1}) \cdot \omega_{1r} dt / \int_{\delta_1}^{h_1} (S_{ir} + \frac{F_{ir}}{K_i}) \cdot \omega_{ir} dt$, 消去了体积不变量关系中的待定系数。

[0024] 步骤三 针对不同机架 i 设定等空间采样步长分别为

$$H_i = \int_{\delta_i}^{h_i} (S_{ir} + \frac{F_{ir}}{K_i}) \cdot \omega_{ir} dt / [\int_{\delta_i}^{h_i} (S_{ir} + \frac{F_{ir}}{K_i}) \cdot \omega_{ir} dt / \int_{\delta_1}^{h_1} (S_{1r} + \frac{F_{1r}}{K_1}) \cdot \omega_{1r} dt] / n$$

其中 : n 为采样点数

$$\text{并定义 } k(t_i) = \int_{\delta_i}^{t_i} (S_{ir} + \frac{F_{ir}}{K_i}) \cdot \omega_{ir} dt / [\int_{\delta_i}^{h_i} (S_{ir} + \frac{F_{ir}}{K_i}) \cdot \omega_{ir} dt / \int_{\delta_1}^{h_1} (S_{1r} + \frac{F_{1r}}{K_1}) \cdot \omega_{1r} dt]$$

按时空转换方法针对机架 i 变量 \bar{c}_{ir} 进行时空转换,时空转换具体过程如下:

(1) 设定空间步长 H_i , 令 $s_j = 0, j = 0, \bar{c}_{i0}' = \bar{c}_{i0}, l = 1, m = [h_i - b_i] / \delta_i$

(2) 令 $j = j + 1$ 。如果 $j < n$, 则 $s_j = s_{j-1} + H_i$; 否则转步骤 5)

(3) 如果 $l < m$, 计算 $k(t_l), k(t_{l+1})$; 否则, 则转步骤 5)

(4) 如果 $k(t_l) < s_j < k(t_{l+1}), \bar{c}_{ir}' = \bar{c}_{ir} + \frac{\bar{c}_{i(l+1)} - \bar{c}_{i(l+1)}}{k(t_{l+1}) - k(t_l)} \times (s_j - k(t_l))$, 令 $l = l + 1$, 返回步骤

2); 否则, 令 $l = l + 1$, 返回步骤 3)

(5) 如果 $s_j - k(t_l) > H_i / 2, \bar{c}_{ir}' = \bar{c}_{ir} + \frac{\bar{c}_{ir} - \bar{c}_{i(l-1)}}{k(t_l) - k(t_{l-1})} \times (s_j - k(t_l))$; 时空转结束

步骤四 对质量监控阶段多维数据进行时空转换, 首先计算 F7 工作辊半径 $R_7 = \frac{L}{\int_{t_7}^{t_0} \omega_{7r} dt}$

, 然后计算带钢体积 $V_7 = R_7 \cdot \int_{t_7}^{h_7} (S_{7r} + \frac{F_{7r}}{K_7}) \cdot \omega_{7r} dt$

通过质量监控点带钢体积变化 $k(t_i) = \int_{t_0}^{t_i} R_7 \cdot \omega_{7r} \cdot B_{q_i} dt$, 其中 B_{q_i} 为监控仪表输出厚度值

质量监控阶段时空转换具体过程如下:

(1) 设定空间步长 $H_q = V_7 / n$, 令 $s_j = 0, j = 0, \bar{c}_{q0}' = \bar{c}_{q0}, l = 1$

(2) 令 $j = j + 1$ 。如果 $j < n$, 则 $s_j = s_{j-1} + H_q$; 否则转步骤 5)

(3) 如果 $t_i \leq t_{k_i}$, 计算 $k(t_i)$, $k(t_{i+1})$; 否则, 则转步骤 5)

(4) 如果 $k(t_i) < s_j < k(t_{i+1})$, $\bar{c}_{qj}^l = \bar{c}_{qj}^{l-1} + \frac{\bar{c}_{q(l+1)} - \bar{c}_{q(l+1)}}{k(t_{i+1}) - k(t_i)} \times (s_j - k(t_i))$, 令 $l = l + 1$, 返回步骤

2); 否则, 令 $l = l + 1$, 返回步骤 3)

(5) 令 $\Delta = \frac{m-l}{n-j}$, $j_q = j$, $j = j + 1$

如果 $j < n$, $k(j) = \text{int}[(j - j_q) \cdot \Delta]$, 则

$\bar{c}_{qj}^l = \bar{c}_{qk(j)} + [\bar{c}_{q[k(j)+1]} - \bar{c}_{qk(j)}] \times [(j - j_q) \cdot \Delta - k(j) \cdot \Delta]$; 时空转结束

步骤五 时空转换结束, 在带钢全长上形成等体积采样的多变量同步数据, 格式如下:

$$\left(\begin{array}{ccc|c} \bar{c}_{1s_1} & \bar{c}_{2s_1} & \cdots & \bar{c}_{ks_1} \\ \bar{c}_{1s_2} & \bar{c}_{2s_2} & \cdots & \bar{c}_{ks_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{c}_{1s_n} & \bar{c}_{2s_n} & \cdots & \bar{c}_{ks_n} \end{array} \right) \begin{array}{c} \bar{q}_{s_1} \\ \bar{q}_{s_2} \\ \vdots \\ \bar{q}_{s_n} \end{array}$$

其中: $\forall 0 < i \leq k$

同步化多变量数据间消除了热连轧过程中从带钢质量分析角度的多变量间时变、时滞等影响, 可以直观分析控制变量变化趋势与带钢质量变化之间影响关系, 也可以通过数据挖掘技术进行更深入的分析。附图 3 为不同机架活套高度同步后结果。附图 4 为针对某生产线拉窄分析结果, 可以明显看出活套变化与拉窄缺陷之间对应关系。

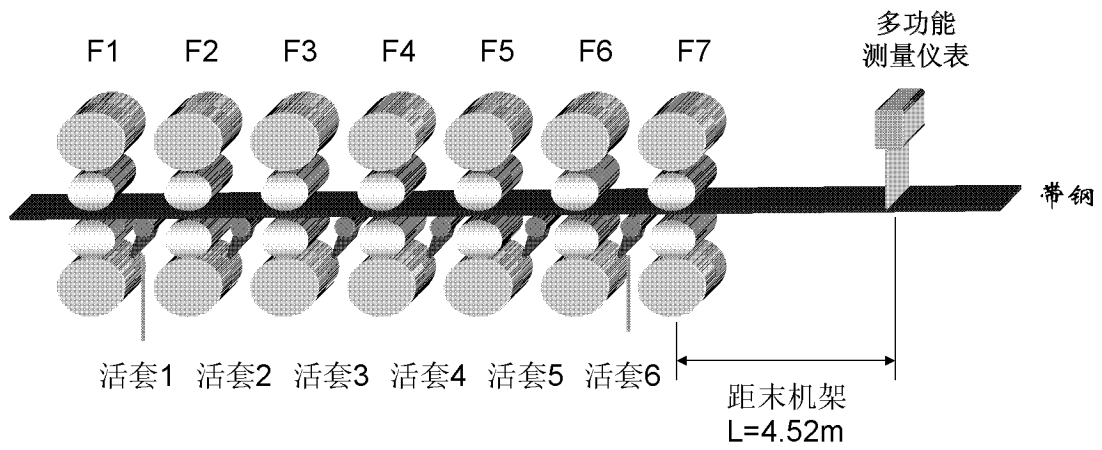


图 1

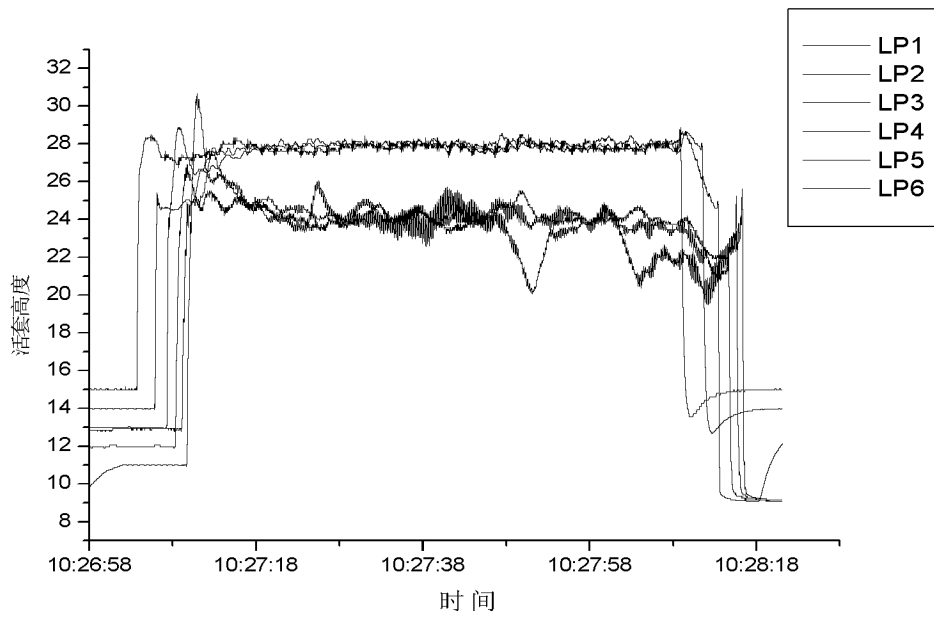


图 2

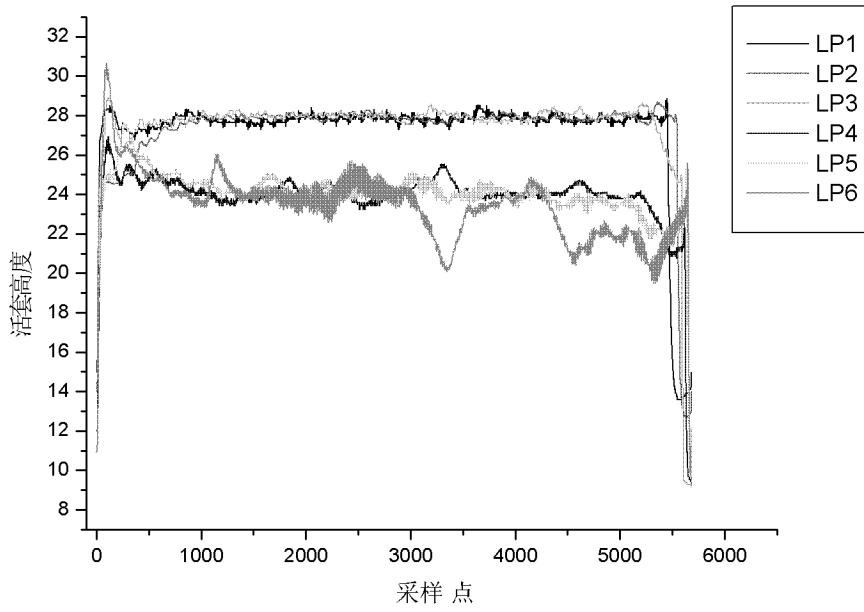


图 3

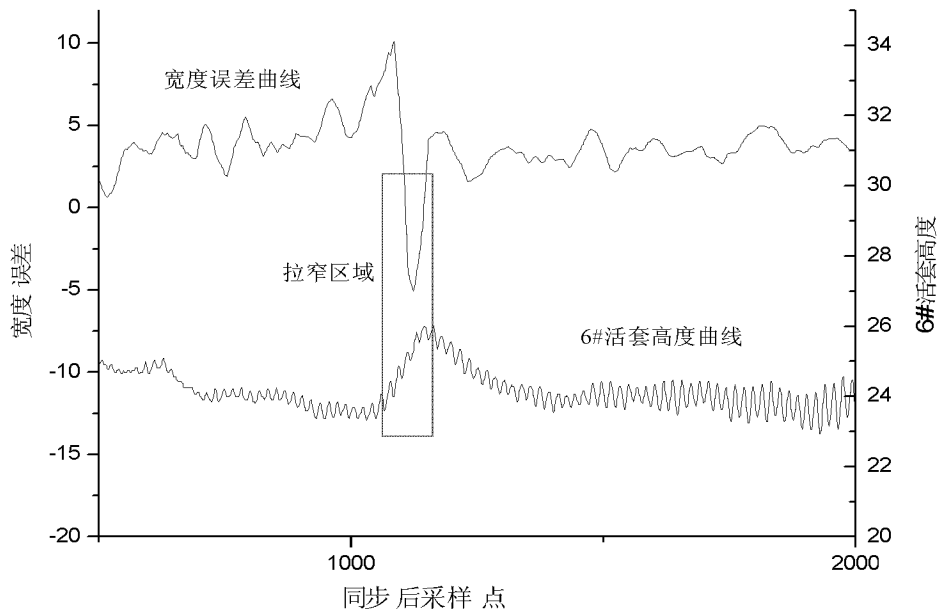


图 4