



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106906352 A

(43)申请公布日 2017. 06. 30

(21)申请号 201710202379.8

(22)申请日 2017.03.30

(71)申请人 重庆赛迪热工环保工程技术有限公司

地址 401122 重庆市渝北区北部新区赛迪路1号

(72)发明人 朱伟素 董斌 罗建枫 郭英

(74)专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有限公司 11275

代理人 杨柳岸

(51)Int.Cl.

G21D 9/70(2006.01)

G21D 1/34(2006.01)

G21D 11/00(2006.01)

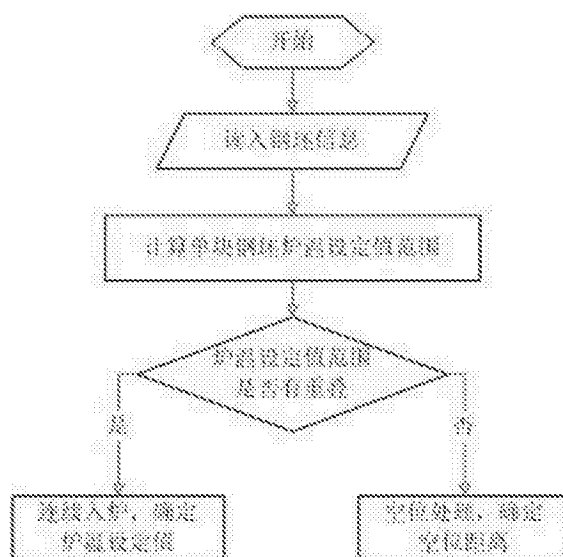
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法

(57)摘要

本发明公开了一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法,该方法包括以下步骤:S1:根据钢坯信息计算单块钢坯加热时所需的炉温设定值范围;S2:判断两块要混装钢坯的炉温设定值范围是否有重叠,从而确定是否可以连续入炉;S3:若两块钢坯的炉温设定值范围有重叠,可以连续混装入炉,并确定加热炉各控制段炉温设定值;S4:若两块钢坯的炉温设定值范围无重叠,则需空位处理,并确定空位距离。本发明可以减少加热炉混装时钢坯的氧化烧损,提高钢坯加热质量,降低加热炉能耗。



1. 一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1:根据钢坯信息计算单块钢坯加热时所需的炉温设定值范围;

S2:判断两块要混装的钢坯的炉温设定值范围是否有重叠,从而确定是否可以连续入炉;

S3:若钢坯的炉温设定值范围有重叠,选取重叠区域上限为炉温初设值,计算在该炉温下两块钢坯的升温情况,若两块钢坯在该炉温下都能满足其加热要求,则该炉温即为两块钢坯混装时的炉温设定值;如果不能同时满足两块钢坯的加热要求,则降低炉温,再计算新炉温下两块钢坯的升温情况;通过反复修正炉温,直到都满足两块钢坯的加热要求时,即为混装时的炉温设定值;当炉温降低到两块钢坯炉温设定值重叠区域的下限,仍无法满足两块钢坯的加热要求时,进入步骤S4;

S4:若钢坯的炉温设定值范围无重叠,则需空位处理,并确定空位距离。

2. 根据权利要求1所述的一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法,其特征在于:步骤S1中,所述钢坯信息包括钢坯规格、加热时间、钢种、入炉温度、出炉目标温度。

3. 根据权利要求2所述的种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法,其特征在于:步骤S1中包括以下子步骤:

S11:用一元三次函数描述钢坯升温曲线,根据工艺要求确定定解条件,求解方程组获得一组钢坯表面的升温曲线,

钢坯升温曲线描述为: $T(\tau) = a\tau^3 + b\tau^2 + c\tau + d$

式中, T 为钢坯温度, τ 为钢坯入炉时间, a 、 b 、 c 、 d 为待求系数;

根据钢坯入炉温度、出炉温度等可以获得以下方程组和约束条件:

$$\begin{cases} T(0) = d = T_0 \\ T(\tau_s) = a\tau_s^3 + b\tau_s^2 + c\tau_s + d = T_{aim} \\ T'(\tau) = 3a\tau^2 + 2b\tau + c = 0 \end{cases}$$

式中, T_0 为钢坯入炉温度, T_{aim} 为钢坯目标温度, τ_s 为钢坯加热时间,

求解上述方程组,可以获得一组钢坯升温曲线,为钢坯表面点升温曲线;

S12:划分网格,求解钢坯一维厚度方向的差分方程,根据钢坯表面升温曲线获得钢坯内部温度分布,钢坯一维隐式差分方程为:

$$\begin{cases} T_1^{k+1} = T_1^k + 2Fo_{1,2}(T_2^k - T_1^k + q_b \frac{\Delta y}{\lambda_{1,2}}) \\ T_i^{k+1} = T_i^k + Fo_{i,i+1}(T_{i+1}^k - T_i^k) - Fo_{i,i-1}(T_i^k - T_{i-1}^k) \\ T_N^{k+1} = T_N^k + 2Fo_{N,N-1}(T_{N-1}^k - T_N^k + q_u \frac{\Delta y}{\lambda_{N,N-1}}) \end{cases}$$

式中, q_u 为钢坯上表面热流密度, q_b 为钢坯下表面热流密度, Fo 为傅立叶数, λ 为钢坯导热系数, $\Delta\tau$ 为时间步长, Δy 为空间步长; k 表示时间节点, T^k 和 T^{k+1} 分别表示 k 时刻和 $k+1$ 时刻钢坯的温度;

S13:根据钢坯表面的升温曲线,通过边界点差分方程,反算出每一条升温曲线对应的炉温曲线,钢坯边界节点差分方程为:

$$\sigma \varepsilon [(T_f^k)^4 - (T_s^k)^4] = \lambda \frac{T_s^k - T_{s-1}^k}{\Delta y} + \rho C_p \frac{\Delta y}{2} \frac{T_s^{k+1} - T_s^k}{\Delta \tau}$$

式中, σ 为玻尔兹曼常数, ε 为综合传热系数, T_f 为炉温, T_s 为钢坯温度, λ 为钢坯导热系数, $\Delta \tau$ 为时间步长, Δy 为空间步长, ρ 为钢坯密度, C_p 为钢坯比热;

S14: 选取最高和最低两条炉温曲线作为该钢坯的炉温设定值范围;

步骤S3中, 计算初选炉温下钢坯的升温过程, 采用以下方法:

求解钢坯一维非稳态导热方程, 获得厚度方向温度分布, 钢坯加热过程导热方程为:

$$\rho C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] \right]$$

初始条件: $\tau=0, t(0, y) = t_0(y)$

边界条件: $y=0, \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} = q_d$

$y=H, \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} = q_u$

式中, ρ 为钢坯密度, C_p 为钢坯比热, λ 为钢坯导热系数, $t_0(y)$ 为钢坯初始温度, q_u 为钢坯上表面热流密度, q_b 为钢坯下表面热流密度, H 为钢坯厚度,

计算获得钢坯加热过程温度场后, 根据以下两点判断钢坯是否满足加热要求: 一是达到目标温度, 二是断面温差在要求范围内。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法, 其特征在于: 空位距离按下式来确定:

$$X = \max [L(i)]$$

式中, X 为空位距离, $L(i)$ 为加热炉各段长度。

一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法

技术领域

[0001] 本发明属于加热炉优化控制领域,具体涉及一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法。

背景技术

[0002] 加热炉是轧钢生产的重要设备,其加热钢坯的质量直接制约着成品质量;同时,加热炉也是轧钢生产的主要耗能设备,其能耗约占整个轧钢工序的70%。加热炉生产的钢坯包括多个钢种、多种规格,钢坯的入炉温度也不尽相同,因此,加热炉生产时钢坯混装比较严重。混装时,加热炉生产要满足所有钢坯的加热要求,同时要尽量减少氧化烧损。因此,在混装较多时,往往依靠人工手动调节炉温。但人工调节存在差异性大、烧损严重、产品质量欠佳、能耗高等问题。

[0003] 目前,国内就钢坯混装时的炉温设定方法提出了一些专利申请:专利CN201010144781.3提出了一种优化控制大型步进梁式加热炉板坯加热制度的模型,它优化了不同钢种钢坯的入炉顺序,并模拟了10块不同钢坯混装入炉情况下的加热过程。该方法重点研究不同钢种加热制度,提出优化的入炉顺序,但未涉及不同规格钢坯和冷热坯混装的问题。专利CN201510264736.4提出了一种冷热钢坯混装的加热炉炉温设定方法,该方法通过检测的入炉钢坯温度和钢坯在炉内位置,计算某一段内所有钢坯的入炉温度均值和出炉温度均值,共同补偿炉温设定值。该方法仅是对炉温设定值进行补偿,而且仅考虑了冷热钢坯的混装,未涉及其他混装情况。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明的目的在于针对不同钢种、不同规格、不同入炉温度的钢坯混装情况提供一种加热方法。

[0005] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0006] 一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法,包括以下步骤:

[0007] S1:根据钢坯信息计算单块钢坯加热时所需的炉温设定值范围;

[0008] S2:判断两块要混装的钢坯的炉温设定值范围是否有重叠,从而确定是否可以连续入炉;

[0009] S3:若钢坯的炉温设定值范围有重叠,选取重叠区域上限为炉温初设值,计算在该炉温下两块钢坯的升温情况,若两块钢坯在该炉温下都能满足其加热要求,则该炉温即为两块钢坯混装时的炉温设定值;如果不能同时满足两块钢坯的加热要求,则降低炉温,再计算新炉温下两块钢坯的升温情况;通过反复修正炉温,直到都满足两块钢坯的加热要求时,即为混装时的炉温设定值;当炉温降低到两块钢坯炉温设定值重叠区域的下限,仍无法满足两块钢坯的加热要求时,进入步骤S4;

[0010] S4:若钢坯的炉温设定值范围无重叠,则需空位处理,并确定空位距离。

[0011] 步骤S1中,所述钢坯信息包括钢坯规格、加热时间、钢种、入炉温度、出炉目标温

度。

[0012] 步骤S1中包括以下子步骤:

[0013] S11:用一元三次函数描述钢坯升温曲线,根据工艺要求确定定解条件,求解方程组获得一组钢坯表面的升温曲线,

[0014] 钢坯升温曲线描述为: $T(\tau) = a\tau^3 + b\tau^2 + c\tau + d$

[0015] 式中, T 为钢坯温度, τ 为钢坯入炉时间, a 、 b 、 c 、 d 为待求系数;

[0016] 根据钢坯入炉温度、出炉温度等可以获得以下方程组和约束条件:

$$[0017] \begin{cases} T(0) = d = T_0 \\ T(\tau_s) = a\tau_s^3 + b\tau_s^2 + c\tau_s + d = T_{aim} \\ T'(\tau) = 3a\tau^2 + 2b\tau + c = 0 \end{cases}$$

[0018] 式中, T_0 为钢坯入炉温度, T_{aim} 为钢坯目标温度, τ_s 为钢坯加热时间,

[0019] 求解上述方程组,可以获得一组钢坯升温曲线,为钢坯表面点升温曲线;

[0020] S12:划分网格,求解钢坯一维厚度方向的差分方程,根据钢坯表面升温曲线获得钢坯内部温度分布,钢坯一维隐式差分方程为:

$$[0021] \begin{cases} T_1^{k+1} = T_1^k + 2Fo_{1,2}(T_2^k - T_1^k + q_b \frac{\Delta y}{\lambda_{1,2}}) \\ T_i^{k+1} = T_i^k + Fo_{i,i+1}(T_{i+1}^k - T_i^k) - Fo_{i,i-1}(T_i^k - T_{i-1}^k) \\ T_N^{k+1} = T_N^k + 2Fo_{N,N-1}(T_{N-1}^k - T_N^k + q_u \frac{\Delta y}{\lambda_{N,N-1}}) \end{cases}$$

[0022] 式中, q_u 为钢坯上表面热流密度, q_b 为钢坯下表面热流密度, Fo 为傅立叶数, λ 为钢坯导热系数, $\Delta\tau$ 为时间步长, Δy 为空间步长;

[0023] S13:根据钢坯表面的升温曲线,通过边界点差分方程,反算出每一条升温曲线对应的炉温曲线,钢坯边界节点差分方程为:

$$[0024] \sigma\varepsilon[(T_f^k)^4 - (T_s^k)^4] = \lambda \frac{T_s^k - T_{s-1}^k}{\Delta y} + \rho C_p \frac{\Delta y}{2} \frac{T_s^{k+1} - T_s^k}{\Delta \tau}$$

[0025] 式中, σ 为玻尔兹曼常数, ε 为综合传热系数, T_f 为炉温, T_s 为钢坯温度, λ 为钢坯导热系数, $\Delta\tau$ 为时间步长, Δy 为空间步长, ρ 为钢坯密度, C_p 为钢坯比热;

[0026] S14:选取最高和最低两条炉温曲线作为该钢坯的炉温设定值范围;

[0027] 步骤S3中,计算初选炉温下钢坯的升温过程,采用以下方法:

[0028] 求解钢坯一维非稳态导热方程,获得厚度方向温度分布,钢坯加热过程导热方程为:

$$[0029] \rho C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] \right]$$

[0030] 初始条件: $\tau = 0, t(0, y) = t_0(y)$

[0031] 边界条件: $y = 0, \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} = q_d$

$$[0032] \quad y = H, \quad \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} = q_u$$

[0033] 式中, ρ 为钢坯密度, C_p 为钢坯比热, λ 为钢坯导热系数, $t_0(y)$ 为钢坯初始温度, q_u 为钢坯上表面热流密度, q_b 为钢坯下表面热流密度, H 为钢坯厚度,

[0034] 计算获得钢坯加热过程温度场后, 根据以下两点判断钢坯是否满足加热要求: 一是达到目标温度, 二是断面温差在要求范围内。

[0035] 步骤S4中, 空位距离按下式来确定:

$$[0036] \quad X = \max [L(i)]$$

[0037] 式中, X 为空位距离, $L(i)$ 为加热炉各段长度。

[0038] 本发明的有益效果在于: 本发明提出了一种钢坯混装时的加热方法, 有利于提高钢坯的加热质量, 减少氧化烧损。在确定炉温设定值时, 选取满足钢坯加热要求的上限炉温, 有利于提高加热炉产能, 降低能耗。

[0039] 该方法抛开了不同钢种、不同规格、不同入炉温度混装的复杂分类, 从钢坯的升温特性出发, 适用于加热炉所有混装情况, 应用面广。

附图说明

[0040] 为了使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚, 本发明提供如下附图进行说明:

[0041] 图1为本发明的总流程图;

[0042] 图2为单块钢坯炉温设定值范围计算流程图;

[0043] 图3为混装加热方法流程图。

具体实施方式

[0044] 下面将结合附图, 对本发明的优选实施例进行详细的描述。

[0045] 本实例中选取的加热炉有效长度为57.4m, 炉膛内宽10m, 共设置热回收段、预热段、一加热段、二加热段、均热段五个段, 各段长度 $L(i)$ 见下表。

[0046] 表1加热炉各段尺寸

[0047]

段名	热回收段	预热段	一加热段	二加热段	均热段
长度/m	14.8	9.3	10.5	11.8	11.0

[0048] 本实施例一种轧钢加热炉钢坯混装时的加热方法, 包括以下步骤:

[0049] S1: 根据钢坯信息计算单块钢坯加热时所需的炉温设定值范围; 所述钢坯信息包括钢坯规格、加热时间、钢种、入炉温度、出炉目标温度。

[0050] 表2钢坯信息表

[0051]

名称	钢种	钢坯厚度/mm	入炉温度/℃	出炉温度/℃	加热时间/min
钢坯1	Q345	220	20	1180	190
钢坯2	Q345	230	400	1180	190

[0052] 计算过程分为以下几步:

[0053] S11:用一元三次函数描述钢坯升温曲线,根据工艺要求确定定解条件,求解方程组获得一组钢坯表面的升温曲线,

[0054] 钢坯升温曲线描述为: $T(\tau) = a\tau^3 + b\tau^2 + c\tau + d$

[0055] 式中, T 为钢坯温度, τ 为钢坯入炉时间, a 、 b 、 c 、 d 为待求系数;

[0056] 根据钢坯入炉温度、出炉温度等可以获得以下方程组和约束条件:

$$[0057] \begin{cases} T(0) = d = T_0 \\ T(\tau_s) = a\tau_s^3 + b\tau_s^2 + c\tau_s + d = T_{aim} \\ T'(\tau) = 3a\tau^2 + 2b\tau + c = 0 \end{cases}$$

[0058] 式中, T_0 为钢坯入炉温度, T_{aim} 为钢坯目标温度, τ_s 为钢坯加热时间,

[0059] 求解上述方程组,可以获得一组钢坯升温曲线,为钢坯表面点升温曲线;

[0060] S12:划分网格,求解钢坯一维厚度方向的差分方程,根据钢坯表面升温曲线获得钢坯内部温度分布,钢坯一维隐式差分方程为:

$$[0061] \begin{cases} T_1^{k+1} = T_1^k + 2Fo_{1,2}(T_2^k - T_1^k + q_b \frac{\Delta y}{\lambda_{1,2}}) \\ T_i^{k+1} = T_i^k + Fo_{i,i+1}(T_{i+1}^k - T_i^k) - Fo_{i,i-1}(T_i^k - T_{i-1}^k) \\ T_N^{k+1} = T_N^k + 2Fo_{N,N-1}(T_{N-1}^k - T_N^k + q_u \frac{\Delta y}{\lambda_{N,N-1}}) \end{cases}$$

[0062] 式中, q_u 为钢坯上表面热流密度, q_b 为钢坯下表面热流密度, Fo 为傅立叶数, λ 为钢坯导热系数, $\Delta\tau$ 为时间步长, Δy 为空间步长; k 表示时间节点, T^k 和 T^{k+1} 分别表示 k 时刻和 $k+1$ 时刻钢坯的温度;

[0063] S13:根据钢坯表面的升温曲线,通过边界点差分方程,反算出每一条升温曲线对应的炉温曲线,钢坯边界节点差分方程为:

$$[0064] \sigma \varepsilon [(T_f^k)^4 - (T_s^k)^4] = \lambda \frac{T_s^k - T_{s-1}^k}{\Delta y} + \rho C_p \frac{\Delta y}{2} \frac{T_s^{k+1} - T_s^k}{\Delta \tau}$$

[0065] 式中, σ 为玻尔兹曼常数, ε 为综合传热系数, T_f 为炉温, T_s 为钢坯温度, λ 为钢坯导热系数, $\Delta\tau$ 为时间步长, Δy 为空间步长, ρ 为钢坯密度, C_p 为钢坯比热;

[0066] S14:选取最高和最低两条炉温曲线作为该钢坯的炉温设定值范围;

[0067] S2:判断两块要混装的钢坯的炉温设定值范围是否有重叠,从而确定是否可以连续入炉;

[0068] S3:若钢坯的炉温设定值范围有重叠,选取重叠区域上限为炉温初设值,计算在该炉温下两块钢坯的升温情况,若两块钢坯在该炉温下都能满足其加热要求,则该炉温即为两块钢坯混装时的炉温设定值;如果不能同时满足两块钢坯的加热要求,则降低炉温,再计算新炉温下两块钢坯的升温情况;通过反复修正炉温,直到都满足两块钢坯的加热要求时,即为混装时的炉温设定值;当炉温降低到两块钢坯炉温设定值重叠区域的下限,仍无法满足两块钢坯的加热要求时,进入步骤S4;计算初选炉温下钢坯的升温过程,采用以下方法:

[0069] 求解钢坯一维非稳态导热方程,获得厚度方向温度分布,钢坯加热过程导热方程

为:

$$[0070] \quad \rho C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] \right]$$

[0071] 初始条件: $\tau=0, t(0, y) = t_0(y)$

$$[0072] \quad \text{边界条件: } y=0, \quad \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} = q_d$$

$$[0073] \quad y=H, \quad \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} = q_u$$

[0074] 式中, ρ 为钢坯密度, C_p 为钢坯比热, λ 为钢坯导热系数, $t_0(y)$ 为钢坯初始温度, q_u 为钢坯上表面热流密度, q_b 为钢坯下表面热流密度, H 为钢坯厚度,

[0075] 计算获得钢坯加热过程温度场后, 根据以下两点判断钢坯是否满足加热要求: 一是达到目标温度, 二是断面温差在要求范围内。

[0076] S4: 若钢坯的炉温设定值范围无重叠, 则需空位处理, 并确定空位距离。

[0077] 空位距离按下式来确定:

$$[0078] \quad X = \max [L(i)]$$

[0079] 式中, X 为空位距离, $L(i)$ 为加热炉各段长度。

[0080] 最后说明的是, 以上优选实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制, 尽管通过上述优选实施例已经对本发明进行了详细的描述, 但本领域技术人员应当理解, 可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变, 而不偏离本发明权利要求书所限定的范围。

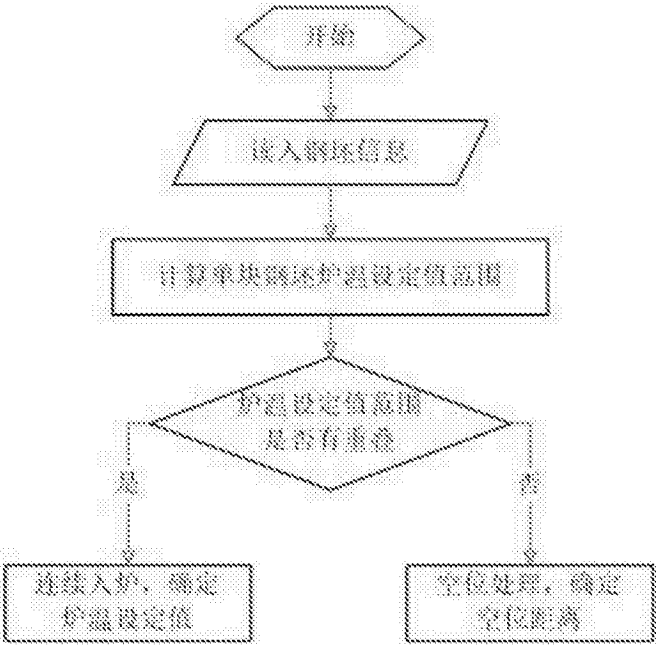


图1

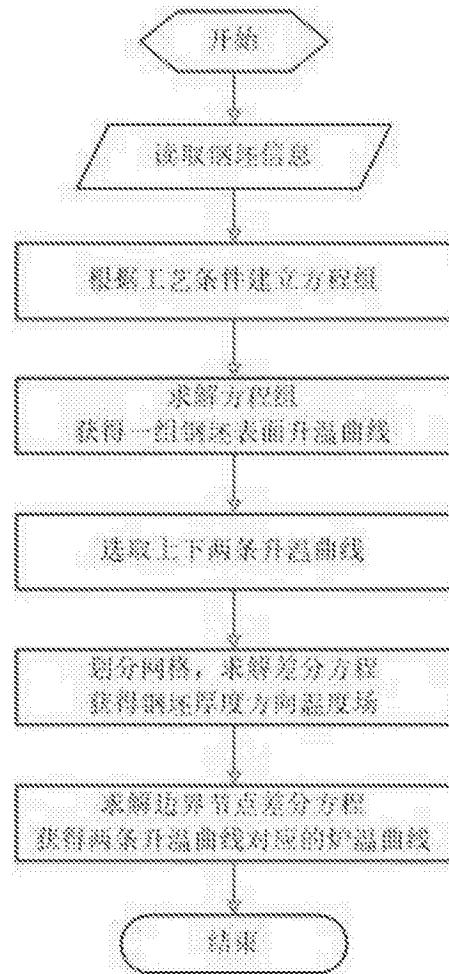


图2

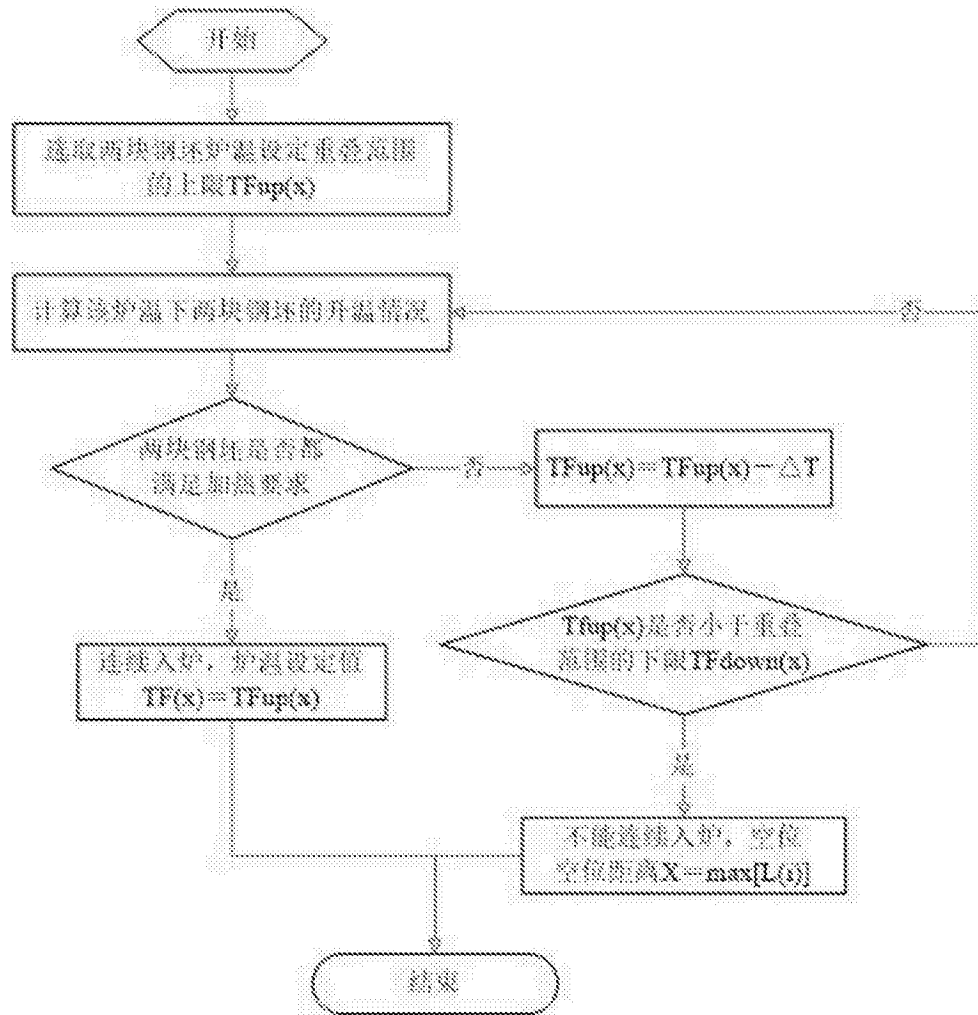


图3