



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106052891 B

(45)授权公告日 2018.09.25

(21)申请号 201610614916.5

(22)申请日 2016.07.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106052891 A

(43)申请公布日 2016.10.26

(73)专利权人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 丁红兵 王刚 王超

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 程毓英

(51)Int.Cl.

G01K 7/02(2006.01)

审查员 乐小琴

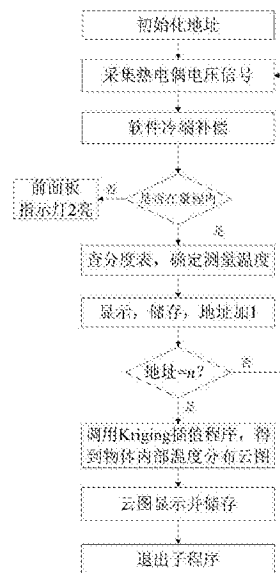
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

管壁内部动态温度分布实时监测方法

(57)摘要

本发明涉及一种管壁内部动态温度分布实时监测方法,包括:采集各个监测点的温度;计算监测点之间实验温度变差函数;选择球状变差函数模型,对实验变差函数进行拟合,得到理论变差函数;将采样平面划分网格,每个网格的中心点为预测点;计算预测点邻域内监测点之间的理论变差函数值以及各监测点与预测点之间的理论变差函数值;求解Kriging方程组,得到Kriging加权系数;计算预测点的Kriging插值温度;得到采样平面的温度分布云图。本发明能够以相对较低的成本实现结构简单、精度较高的管壁内部温度分布采集。



1. 一种管壁内部动态温度分布实时监测方法, 所采用的温度传感器阵列包括多个热电偶探头, 将热电偶探头植入管壁, 热电偶探头所处的管壁平面称为“采样平面”, 同时, 装置配有冷端温度传感器, 置于热电偶冷端, 用于测量热电偶冷端温度, 各个热电偶探头以及冷端温度传感器采集的温度信号被送入计算机, 所述的监测方法, 包括以下步骤:

(1) 在一个采样平面内共设有 n 个温度监测点 (x_i, y_i) , $i=1, 2, \dots, n$, 监测点的温度为 $T(x_i, y_i)$, 设 i 点和 j 点两个监测点之间的距离为 h_{ij} , $j=1, 2, \dots, n$;

(2) 计算监测点之间实验温度变差函数 $\gamma^*(h_{ij})$:

$$\gamma^*(h_{ij}) = \frac{1}{2} \text{Var} [T(x_i, y_i) - T(x_j, y_j)]$$

(3) 选择球状变差函数模型, 对实验变差函数进行拟合, 得到理论变差函数 $\gamma(h_{ij})$:

$$\gamma(h_{ij}) = C \cdot \text{Sph} \left(\frac{h_{ij}}{a} \right) = \begin{cases} 0, & h_{ij} < 0 \\ C \cdot \left[\frac{3}{2} \frac{h_{ij}}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h_{ij}}{a} \right)^3 \right], & h_{ij} \leq a \\ C, & h_{ij} > a \end{cases}$$

其中 C 为基台值, a 为变程;

(4) 将采样平面划分为 m 个网格, 每个网格的中心点为预测点;

(5) 计算预测点 (x_0, y_0) 邻域内监测点之间的理论变差函数值 $\gamma(h_{ij})$ 以及各监测点与预测点之间的理论变差函数值 $\gamma(h_{0j})$, 分别简记为 γ_{ij} 以及 γ_{0j} ;

(6) 求解Kriging方程组, 得到Kriging加权系数 λ_i , $i=1, 2, \dots, n$;

$$[\lambda] = [M] [K]^{-1}$$

其中

$$[\lambda] = \begin{Bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{Bmatrix}, [M] = \begin{Bmatrix} C - \gamma_{01} \\ \vdots \\ C - \gamma_{0n} \\ 1 \end{Bmatrix}, [K] = \begin{Bmatrix} C - \gamma_{11} & \cdots & C - \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C - \gamma_{n1} & \cdots & C - \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{Bmatrix}$$

其中, μ 为拉格朗日数乘数;

(7) 计算预测点 (x_0, y_0) 的Kriging插值温度 $T^*(x_0, y_0)$:

$$T^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i T(x_i, y_i)$$

(8) 重复步骤(5)至步骤(7), 直到遍历采样平面所有预测点, 从而得到采样平面的温度分布云图。

管壁内部动态温度分布实时监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种管壁内部动态温度分布实时监测方法。本发明可应用于管道壁面内部温度分布测量领域。

背景技术

[0002] 温度是最重要的过程参数之一，监测管道表面及内部温度的动态分布将有助于深入了解管道的传热等特性。目前，已有的管道表面温度分布研究主要是利用红外原理实现对管道表面温度的测量，实时性较好，技术也较为成熟。而对于管壁内部温度分布目前大多采用植入温度传感器的方式，这种方式成本较低，有着广泛的应用，但是也存在一些问题。

[0003] 采用植入温度传感器对管壁内部温度分布进行监测，一般使用热电偶或者热电阻。其中热电阻测量精度较高，但热电阻的响应时间一般较热电偶长，在有实时性要求的场合不能满足要求；同时，现有的多路温度信号采集方式并不能保证每路信号的一致性，因此得到的温度分布不够准确；同时，上位机只能监测采样点的温度，并不能实时全面地反映管壁内部的温度分布，具有一定局限性。

发明内容

[0004] 为解决上述问题，本发明提供一种管壁内部动态温度分布实时监测方法，以相对较低的成本实现结构简单、精度较高的管壁内部温度分布采集。为达到上述目的，本发明采用了以下技术方案：

[0005] 一种管壁内部动态温度分布实时监测方法，所采用的温度传感器阵列包括多个热电偶探头，将热电偶探头植入管壁，热电偶探头所处的管壁平面称为“采样平面”，同时，装置配有冷端温度传感器，置于热电偶冷端，用于测量热电偶冷端温度，各个热电偶探头以及冷端温度传感器采集的温度信号被送入计算机，所述的监测方法，包括以下步骤：

[0006] (1) 在一个采样平面内共设有 n 个温度监测点 (x_i, y_i) ， $i=1, 2, \dots, n$ ，监测点的温度为 $T(x_i, y_i)$ ，设 i 点和 j 点两个监测点之间的距离为 h_{ij} ， $j=1, 2, \dots, n$ ；

[0007] (2) 计算监测点之间实验温度变差函数 $\gamma^*(h_{ij})$ ：

$$[0008] \quad \gamma^*(h_{ij}) = \frac{1}{2} \text{Var} [T(x_i, y_i) - T(x_j, y_j)]$$

[0009] (3) 选择球状变差函数模型，对实验变差函数进行拟合，得到理论变差函数 $\gamma(h_{ij})$ ：

$$[0010] \quad \gamma(h_{ij}) = C \cdot \text{Sph} \left(\frac{h_{ij}}{a} \right) = \begin{cases} 0, & h_{ij} < 0 \\ C \cdot \left[\frac{3}{2} \frac{h_{ij}}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h_{ij}}{a} \right)^3 \right], & h_{ij} \leq a \\ C, & h_{ij} > a \end{cases}$$

[0011] 其中 C 为基台值， a 为变程；

[0012] (4) 将采样平面划分为m个网格,每个网格的中心点为预测点;

[0013] (5) 计算预测点 (x_0, y_0) 邻域内监测点之间的理论变差函数值 $\gamma(h_{ij})$ 以及各监测点与预测点之间的理论变差函数值 $\gamma(h_{0j})$, 分别简记为 γ_{ij} 以及 γ_{0j} ;

[0014] (6) 求解Kriging方程组,得到Kriging加权系数 $\lambda_i, i=1, 2, \dots, n$;

[0015] $[\lambda] = [M][K]^{-1}$

[0016] 其中

$$[\lambda] = \begin{Bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{Bmatrix}, [M] = \begin{Bmatrix} C - \gamma_{01} \\ \vdots \\ C - \gamma_{0n} \\ 1 \end{Bmatrix}, [K] = \begin{Bmatrix} C - \gamma_{11} & \cdots & C - \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C - \gamma_{n1} & \cdots & C - \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{Bmatrix}$$

[0018] 其中, μ 为拉格朗日数乘数, λ_i 为待定系数;

[0019] (7) 计算预测点 (x_0, y_0) 的Kriging插值温度 $T^*(x_0, y_0)$:

$$T^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i T(x_i, y_i)$$

[0021] (8) 重复步骤(5)至步骤(7),直到遍历采样平面所有预测点。从而得到采样平面的温度分布云图。

[0022] 本发明在上述基础上具有的积极效果是:

[0023] 1) 本发明提供的管壁内部动态温度分布实时监测方法能够精确测量管壁动态温度,具有较好的一致性;利用Kriging插值算法能够实时显示温度分布云图,使监测过程更加直观便捷,满足高精度、多区域的远程温度分布监测;

[0024] 2) 本发明提供的管壁内部动态温度分布实时监测方法实现了硬件采集系统与计算机终端的高度融合,降低了硬件的复杂度,降低了成本,减少了系统研发周期;

[0025] 3) 本发明提供的管壁内部动态温度分布实时监测方法利用LabVIEW图形化界面编程,具备数据储存以及温度报警等功能,为操作者记录数据和维护数据提供了方便。能够广泛应用于管道壁面及其他物体内部温度分布测量领域。

附图说明

[0026] 图1为本发明实施例的管壁内部动态温度分布实时测量装置的示意图。

[0027] 图2为本发明实施例的管壁内部动态温度分布实时测量装置信号调理模块的结构图。

[0028] 图3为本发明实施例的管壁内部动态温度分布实时监测方法的程序流程图。

[0029] 图4为本发明实施例的管壁内部动态温度分布实时监测方法的热电势信号处理子程序流程图。

[0030] 图5为本发明实施例的管壁内部动态温度分布实时监测方法的Kriging插值算法流程图。

具体实施方式

[0031] 下面结合附图和实施例,对本发明作进一步描述。

[0032] 如图1所示为本实施例涉及的管壁内部动态温度分布实时测量装置示意图,包括

嵌入式温度传感器阵列1、信号选择模块2、信号调理模块3和多通道数据采集与控制模块4以及计算机5。嵌入式温度传感器阵列1用于测量管壁温度数据,经过信号选择模块2、信号调理模块3和多通道数据采集与控制模块4传输给计算机5,通过计算机5的上位机LabVIEW程序进行温度信号处理,实时显示出当前管壁内部温度分布云图,实现管壁动态温度分布实时监测。

[0033] 嵌入式温度传感器阵列1由多个热电偶阵列6以及一个外挂的高精度冷端温度传感器7组成。热电偶阵列6按照一定距离分布于管壁内部,并通过支架固定,其分布的平面称为采样平面。热电势信号通过热电偶专用延长线与信号选择模块2输入端相连。热电偶冷端温度使用高精度冷端温度传感器7进行测量,冷端温度信号在信号调理模块3内的放大电路10进行放大处理,随后输入计算机5,利用软件对热电势进行冷端补偿。

[0034] 多个热电势信号与信号选择模块2输入端相连,信号选择模块2的主体为数据选择器8,数据选择器8的使能端输入计算机5中程序控制的地址,该地址以一定频率切换,选择相应地址的热电势信号作为信号选择模块2的输出。信号选择模块2使所有热电偶信号复用同一调理电路,增强了信号一致性,使分布测量精度大大提高。

[0035] 相应地址端口的热电势信号从信号选择模块2输出后进入信号调理模块3中的放大滤波电路9,如图2所示。信号放大电路包括两级放大电路,一级放大电路采用差分放大电路12,二级放大电路采用同相比例放大电路13。信号滤波电路14采用巴特沃斯二阶低通滤波器来滤去高频的干扰信号和工频信号。同时,高精度温度传感器7测量的热电偶冷端温度也经过同相比例放大电路15,后经数据采集卡输入计算机。

[0036] 高速数据采集卡通过USB接口与计算机5连接,可将信号调理模块3输出的模拟量转换为计算机5可以识别的数字量,并且将计算机5输出的数字量控制信号输出到信号选择模块2,实现软硬件互联。

[0037] 计算机5使用LabVIEW编程,可实现信号采集、信号处理、实时显示及储存以及报警等功能。系统主程序流程图如图3所示,首先需要采集冷端温度和环境温度,接着对热电势信号进行处理,将热电势电压信号转化为温度信号并进行软件冷端补偿,得到监测点温度数据之后,利用Kriging插值算法对采样平面内的温度进行插值计算,并将结果云图实时显示在上位机界面,热电势信号处理子程序流程图如图4所示。其中,Kriging插值算法流程图如图5所示,包括以下步骤:

[0038] (1) 在一个采样平面内共设有 n 个温度监测点,每个温度监测点二维坐标为 (x_i, y_i) , $i=1, 2, \dots, n$,每个监测点的温度为 $T(x_i, y_i)$,则任意两个监测点之间的距离 h_{ij} 为:

$$[0039] \quad h_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

[0040] 其中, $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, n$ 。

[0041] (2) 计算各距离下的实验温度变差函数 $\gamma^*(h_{ij})$,其定义为两点处的温度值之差的方差的一半:

$$[0042] \quad \gamma^*(h_{ij}) = \frac{1}{2} \text{Var} [T(x_i, y_i) - T(x_j, y_j)]$$

[0043] (3) 选择球状变差函数模型,对实验变差函数进行拟合,得到理论变差函数 $\gamma(h_{ij})$,球状变差函数的形式为:

$$[0044] \quad \gamma(h_{ij}) = C \cdot Sph\left(\frac{h_{ij}}{a}\right) = \begin{cases} 0, & h_{ij} < 0 \\ C \cdot \left[\frac{3}{2} \frac{h_{ij}}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h_{ij}}{a}\right)^3 \right], & h_{ij} \leq a \\ C, & h_{ij} > a \end{cases}$$

[0045] 其中C为基台值,a为变程。经程序测试,该球状变差函数模型对本实施例中的管壁温度分布的预测具有良好的效果。在其他实施例中,亦可根据实际情况选用其他变差函数理论模型,如高斯模型、三角模型等。

[0046] (4) 将采样平面划分为m个网格,每个网格的中心点为预测点。

[0047] (5) 计算预测点 (x_0, y_0) 邻域内监测点之间的理论变差函数值 $\gamma(h_{ij})$ 以及各监测点与预测点之间的理论变差函数值 $\gamma(h_{0j})$,分别简记为 γ_{ij} 以及 γ_{0j} 。

[0048] (6) 求解Kriging方程组,得到Kriging加权系数 $\lambda_i, i=1, 2, \dots, n$ 。

$$[0049] \quad [\lambda] = [M] [K]^{-1}$$

[0050] 其中

$$[0051] \quad [\lambda] = \begin{Bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{Bmatrix}, [M] = \begin{Bmatrix} C - \gamma_{01} \\ \vdots \\ C - \gamma_{0n} \\ 1 \end{Bmatrix}, [K] = \begin{Bmatrix} C - \gamma_{11} & \cdots & C - \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C - \gamma_{n1} & \cdots & C - \gamma_{nm} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{Bmatrix}$$

[0052] 其中, μ 叫做拉格朗日数乘数,其数值可以通过Kriging方程组求得。

[0053] (7) 计算预测点 (x_0, y_0) 的Kriging插值温度 $T^*(x_0, y_0)$:

$$[0054] \quad T^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i T(x_i, y_i)$$

[0055] (8) 重复步骤(5)至步骤(7),直到遍历采样平面所有预测点。从而得到采样平面的温度分布云图。

[0056] 上面结合附图对本发明进行了示例性描述,显然以上所述仅为本发明的较佳实施例,本发明的具体实现并不受上述方式的限制,凡在本发明的精神和原则之内所做的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

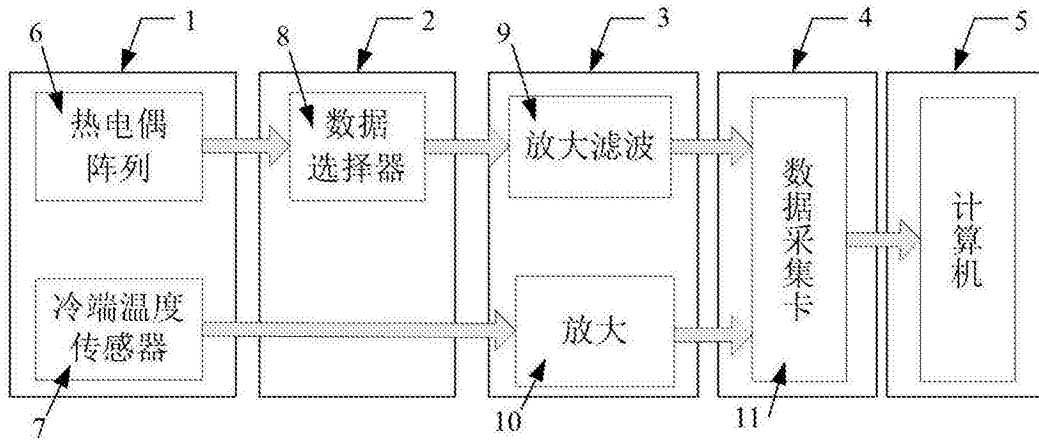


图1

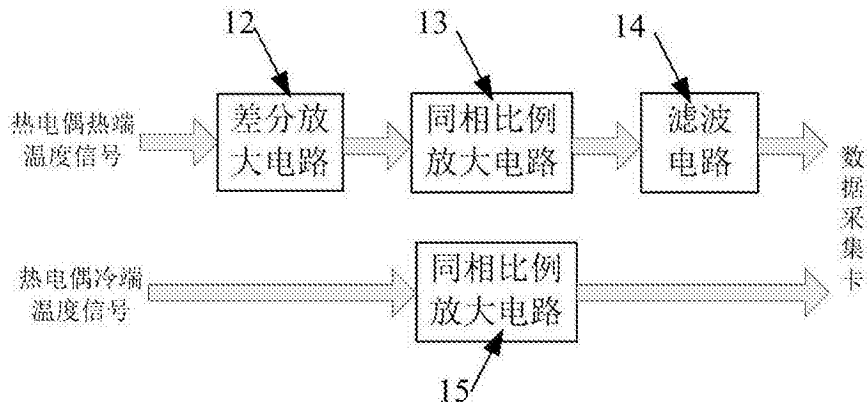


图2

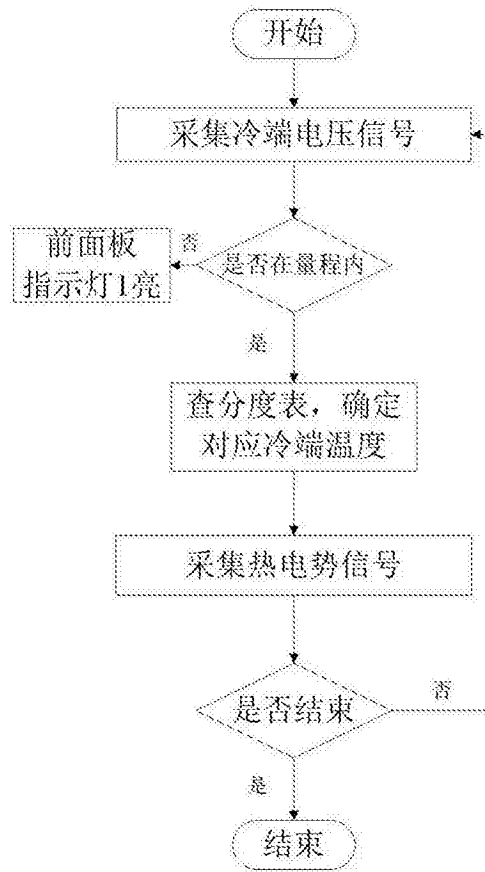


图3

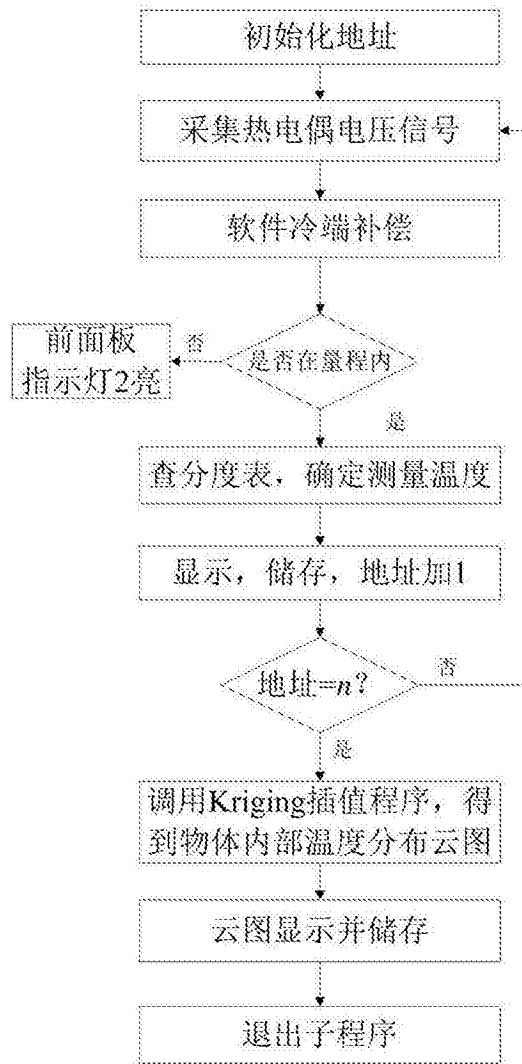


图4

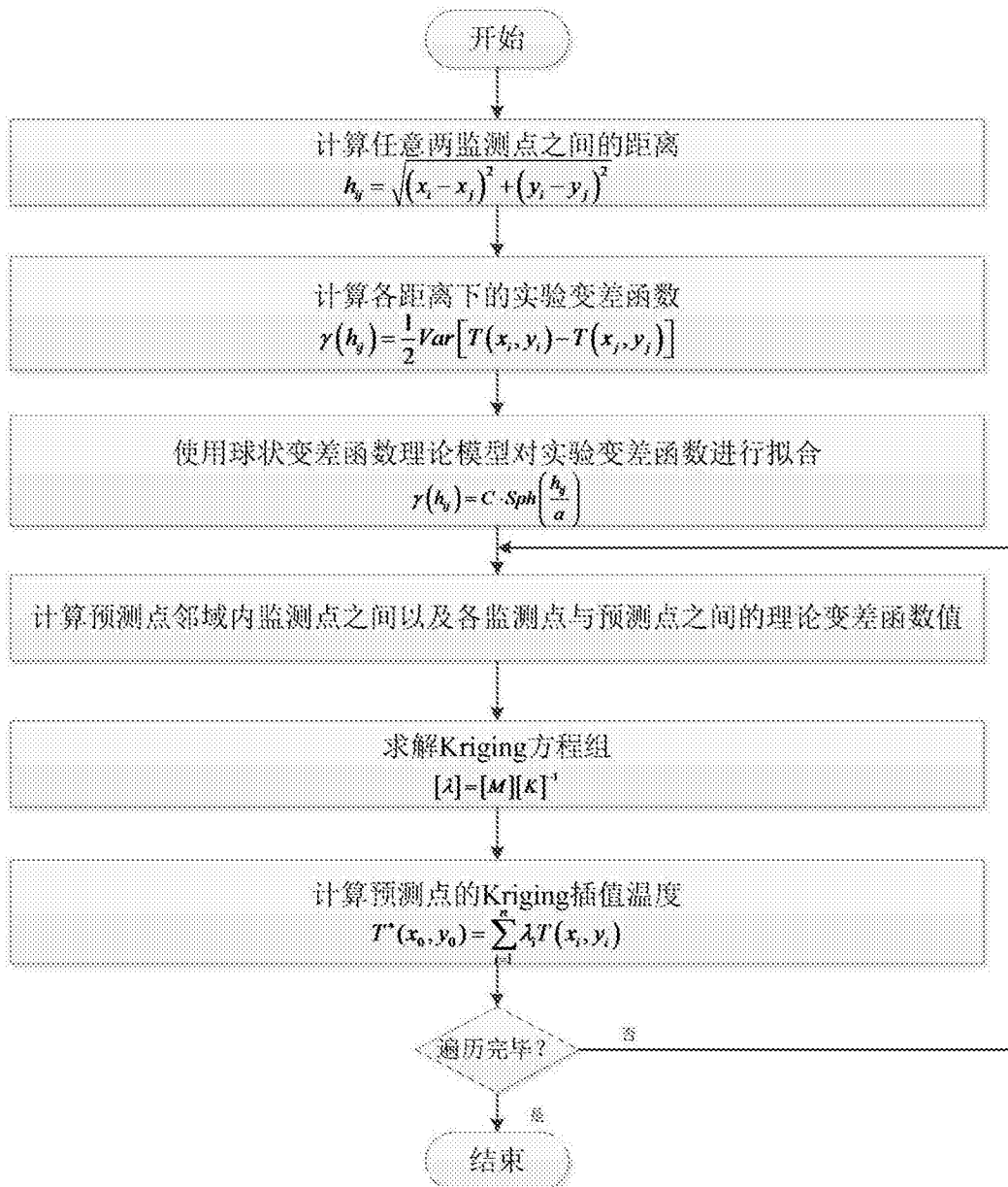


图5