



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113218986 A

(43) 申请公布日 2021.08.06

(21) 申请号 202110382079.9

(22) 申请日 2021.04.09

(71) 申请人 河南五建建设集团有限公司  
地址 450007 河南省郑州市中原区建设西路100号

(72) 发明人 孙宝珊 燕新丽 陈奎 宁帅羽  
李晓辉 何廷伟 宋召龙 任晓啸  
肖锋 孙孟捷 李奎 陈红闯  
王海丽 王强 车丽娜

(74) 专利代理机构 重庆市信立达专利代理事务  
所(普通合伙) 50230  
代理人 包晓静

(51) Int. Cl.  
G01N 25/00 (2006.01)  
G01N 25/72 (2006.01)

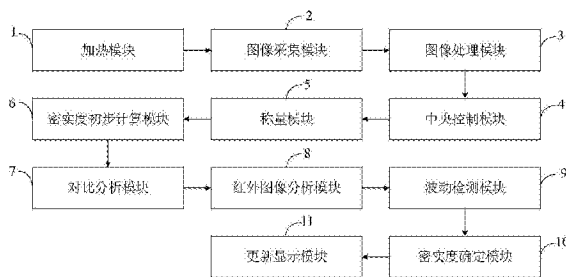
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统及方法

(57) 摘要

本发明属于工程质量检测技术领域,公开了一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统及方法,所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统包括:加热模块、图像采集模块、图像处理模块、中央控制模块、称量模块、密实度初步计算模块、对比分析模块、红外图像分析模块、波动检测模块、密实度确定模块以及更新显示模块。本发明将数值计算、红外分析、图像对比以及波动信号分析结合起来,能够有效弥补单一方法存在的缺陷以及使用受限的问题,有效提高检测的准确度,扩大应用范围。本发明通过对该混合波动信号的特征进行分析,从而判断孔道内部是否存在压浆缺陷;提高了对孔道内的压浆质量问题进行评价和判断的准确性,使对工况的质量检测更加可靠。



1. 一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统包括:

加热模块,与中央控制模块连接,用于通过加热器对预应力压浆施工区域进行加热处理;

图像采集模块,与中央控制模块连接,用于通过图像采集设备进行预应力压浆施工的相关图像采集;

图像处理模块,与中央控制模块连接,用于通过图像处理程序对采集的压浆施工的相关图像进行处理;

其中,所述对采集的压浆施工的图像进行处理,包括:

采用加权方法,通过权衡PM和TV模型得到能量函数,通过最小化能量函数降低噪声,能量泛函的表达式为:

$$E(u) = \iint_{\Omega} \left[ \phi |\nabla u| + \beta |\nabla u|^2 + \delta k^2 \ln \left( \frac{1}{g(|\nabla u|)} \right) + \lambda (u - u_0)^2 \right] dx dy ;$$

$$k = k_0 e^{-\Delta t (n-1)}, \quad g(|\nabla u|) = \frac{1}{1 + (|\nabla u|/L)^2} ;$$

其中,  $k_0$ 、 $L$ 是常数,  $\Delta t$ 是步长,  $N$ 为迭代次数,对应的参数表达式是:

$$\begin{cases} \phi = 2\mu \left( \mu - \frac{1}{2} \right) \\ \beta = -4\mu(\mu - 1) \\ \delta = 2 \left( \mu - \frac{1}{2} \right) (\mu - 1) \\ \mu = e^{\frac{1}{\sqrt{2} \Delta t}} \end{cases} ;$$

对应的欧拉方程为:

$$-\phi \nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) - \beta \nabla \cdot (\nabla u) - \delta \nabla \cdot (g(|\nabla u|) \nabla u) + 2\lambda (u - u_0) = 0 ;$$

根据梯度下降法,混合模型如下:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \phi \nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \beta \nabla \cdot (\nabla u) + \delta \nabla \cdot (g(|\nabla u|) \nabla u) - 2\lambda (u - u_0) ;$$

采用融合水平集曲率与梯度特征的各向异性图像平滑扩散模型进行滤波:

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t} = \text{div} \left( \left( 1 - \frac{2}{\pi} \arctan \left[ \frac{|\nabla I|^2 + |k|}{l} \right] \right) \nabla I \right) \\ I(t=0) = I_0 \end{cases} ;$$

其中,  $k$ 为水平集曲率,  $|k|$ 为水平集曲率的模值,  $\text{div}$ 为散度算子,  $\nabla$ 为梯度算子,  $I_0$ 为演化曲线内部图像,  $I$ 为  $I_0$ 与高斯核卷积得到,  $l$ 为梯度阈值;

中央控制模块,与加热模块、图像采集模块、图像处理模块、称量模块、密实度初步计算

模块、对比分析模块、红外图像分析模块、波动检测模块、密实度确定模块以及更新显示模块连接,用于通过单片机或控制器协调控制所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统各个模块的正常工作;

称量模块,与中央控制模块连接,用于通过称量设备称量压浆施工所需的浆料,利用压力传感器采集浆料流经的压力,同时用于利用流量计采集实际使用的浆料流量以及出浆口、排气口泄露的浆料量;

密实度初步计算模块,与中央控制模块连接,用于通过密实度初步计算程序基于采集的浆料质量、流量以及泄露浆料量及其他相关数据进行密实度计算,得到密实度初步计算结果,包括:

$$Q = [V_1 - (V_2 + V_3)] / V \times 100\%;$$

其中,Q表示压浆密实度,%; $V_1$ 表示进浆口的压浆量; $V_2$ 表示排气口的浆液的外泄量; $V_3$ 表示出浆口的浆液的外泄量;V表示预应力通道的压浆量;

对比分析模块,与中央控制模块连接,用于通过对比分析程序将采集的施工表面图像与数据库中存储的密实度缺陷标准图像进行对比,判断施工密实度;

红外图像分析模块,与中央控制模块连接,用于通过红外图像分析程序对处理后的红外图像进行分析判断压浆施工是否存在缺陷或密实度不同的状况,包括:

将红外图像谱进行灰度化处理得到灰度图像,并对灰度图像进行直方图变换提高灰度图像的对比度;

对所述灰度图像中灰度值处于相应范围内的像素点进行亮化处理,包括:

对所述灰度图像中的各像素点,根据公式计算其灰度值:

$$\text{Gray} = (G \times 77 + B \times 151 + R \times 28) / 255;$$

其中,gray表示像素点的灰度值,R为该像素点红色分量的亮度值,G为该像素点绿色分量的亮度值,B为该像素点蓝色分量的亮度值;

将处理后的图像按照阈值进行二值化处理,得到黑白图像;

对黑白图像进行滤波去除噪点,并查看红外图像中是否存在白色区域;

波动检测模块,与中央控制模块连接,用于通过波动检测设备基于波动信号进行压浆施工区域的密实度检测,包括:

在压浆施工区域内布置测线或测试面;

将波动信号拾取装置放置于所布置的测点上,并利用信号源发生装置激发入射波动信号;

波动信号拾取装置拾取反射波动信号和入射波动信号重组后的混合波动信号,并将所述混合波动信号传输至信号转化调理装置;

信号转化调理装置将混合波动信号由模拟信号转为数字信号,并进行调理;

对所拾取的混合波动信号进行特征分析,并通过分析出的特征判断孔道内部注浆状况,得到密实度波动信号检测结果;

密实度确定模块,与中央控制模块连接,用于基于密实度初步计算结果、对比分析结果、红外分析结果以及波动检测结果确定压浆密实度;

更新显示模块,与中央控制模块连接,用于通过显示器对采集的相关图像、数据以及压浆密实度检测结果的实时数据进行更新显示。

2. 如权利要求1所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,所述图像采集模块包括:

红外图像采集单元,用于利用红外图像采集设备采集加热后的施工处的红外图像;  
图像采集单元,用于利用摄像设备采集压浆施工地区的图像。

3. 如权利要求1所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,图像处理模块中,当曲率 $|\nabla I|^2+k$ 远大于1时,此时扩散相当于平滑滤波;

在图像的拐点、边缘、尖峰和角点处时,图像的一阶微分量和二阶微分量趋近为零, $|\nabla I|^2+k$ 趋近为零,扩散在边缘上几乎停止,保护边缘及纹理信息。

4. 如权利要求1所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,称量模块中,所述泄露浆料量包括排气口泄露浆料量和出浆口泄露浆料量。

5. 如权利要求1所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,红外图像分析模块中,根据公式计算每个像素点的各颜色分量的亮度值:

$$\text{Result}_1[i] = \text{Pic}[i] + \{(1 - \text{Pic}[i] / 255) \times \text{Temp}[i] \times K2 \times (255 - \text{Mask}[i]) / 255\};$$

其中, $K2$ 为预先设置的图层透明度系数,且 $0 \leq K2 \leq 1$ ;  $\text{Pic}[i]$ 表示原始图像的第*i*个像素, $\text{Temp}[i]$ 表示经过暗化处理后的第二临时图像的第*i*个像素, $\text{Mask}[i]$ 表示经过亮化处理后的第一临时图像的第*i*个像素; $\text{Result}_1$ 表示图层叠加后得到的图像, $\text{Result}_1[i]$ 表示该图像的第*i*个像素。

6. 如权利要求1所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,红外图像分析模块中,所述查看红外图像中是否存在白色区域,包括:

若存在,则确定白色区域的面积或数量是否超出预设阈值;若是,则判断施工存在缺陷,施工区域密实度未达到要求;否则,施工不具备缺陷。

7. 如权利要求1所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,波动检测模块中,所述测试面由多条测线拟合而成。

8. 如权利要求1所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,其特征在于,波动检测模块中,所述对所拾取的混合波动信号进行特征分析,并通过分析出的特征判断孔道内部注浆状况,包括:

接收经过调理后的混合波动信号,并对所述混合波动信号进行分析;根据分析后的混合波动信号的特征变化,判断孔道内部注浆状况。

9. 一种存储在计算机可读介质上的计算机程序产品,包括计算机可读程序,供于电子装置上执行时,提供用户输入接口以应用如权利要求1~8任意一项所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统。

10. 一种计算机可读存储介质,储存有指令,当所述指令在计算机上运行时,使得计算机应用如权利要求1~8任意一项所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统。

## 一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于工程质量检测技术领域,尤其涉及一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统及方法。

### 背景技术

[0002] 目前,预应力管道又称波纹管,其压浆密实性好坏对桥梁的耐久性具有重要影响,据统计,由于压浆不密实导致预应力管道内钢绞线锈蚀,预应力提前丧失,可造成建筑实际寿命缩短至设计寿命的十分之一。

[0003] 现在常用的检测方法有散射追踪法、两端法。散射追踪法是一种精细的检测方法,可以去掉由结构产生的散射异常,仅保留真正的注浆缺陷;其检测方式是通过在预应力管道侧面粘贴检波器,联合所有检波器的信号进行缺陷成像,一般可以粘贴16或32只检波器,分段追踪;该方法适用于所有的预应力桥梁包括现浇梁和预制梁,检测的预应力管道的长度没有限制。两端法是在波纹管两端粘贴检波器,一般是两只检波器,只能接受到达波纹管两端的缺陷信号;该方法仅适用于10米左右的预应力预制梁。不论是散射追踪法还是两端法,其均是通过设置检波器来进行缺陷成像,实际操作时,由于有些缺陷较小、检波器获取的图像精度不高、干扰严重等诸多因素,导致检测的准确度不高且耗费的成本高。因此,亟需一种新的用于预应力压浆施工后密实度的检测系统。

[0004] 通过上述分析,现有技术存在的问题及缺陷为:现有的检测方法检测结果不准确,成本高,且应用受限。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统及方法。

[0006] 本发明是这样实现的,一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统,所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统包括:

[0007] 加热模块,与中央控制模块连接,用于通过加热器对预应力压浆施工区域进行加热处理;

[0008] 图像采集模块,与中央控制模块连接,用于通过图像采集设备进行预应力压浆施工的相关图像采集;

[0009] 图像处理模块,与中央控制模块连接,用于通过图像处理程序对采集的压浆施工的相关图像进行处理;

[0010] 其中,所述对采集的压浆施工的图像进行处理,包括:

[0011] 采用加权方法,通过权衡PM和TV模型得到能量函数,通过最小化能量函数降低噪声,能量泛函的表达式为:

$$[0012] \quad g(u) = \iint_{\Omega} \left[ \phi |\nabla u| + \beta |\nabla u|^2 + \delta \cdot \ln \left( \frac{1}{g(|\nabla u|)} \right) + \lambda (u - u_0)^2 \right] dx dy ;$$

$$[0013] \quad k = k_0 e^{-\Delta t (n-1)}, \quad g(|\nabla u|) = \frac{1}{1 + (|\nabla u|/k)^2} ;$$

[0014] 其中,  $k_0$ 、 $L$ 是常数,  $\Delta t$ 是步长,  $N$ 为迭代次数, 对应的参数表达式是:

$$[0015] \quad \begin{cases} \phi = 2\mu \left( \mu - \frac{1}{2} \right) \\ \beta = -4\mu(\mu - 1) \\ \delta = 2 \left( \mu - \frac{1}{2} \right) (\mu - 1) \\ \mu = e^{-\frac{1}{\sqrt{2} \Delta t L}} \end{cases} ;$$

[0016] 对应的欧拉方程为:

$$[0017] \quad -\phi \nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) - \beta \nabla \cdot (\nabla u) - \delta \nabla \cdot (g(|\nabla u|) \nabla u) + 2\lambda (u - u_0) = 0 ;$$

[0018] 根据梯度下降流法, 混合模型如下:

$$[0019] \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \phi \nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \beta \nabla \cdot (\nabla u) + \delta \nabla \cdot (g(|\nabla u|) \nabla u) - 2\lambda (u - u_0) ;$$

[0020] 采用融合水平集曲率与梯度特征的各向异性图像平滑扩散模型进行滤波:

$$[0021] \quad \begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t} = \operatorname{div} \left( \left( 1 - \frac{2}{\pi} \arctan \left[ \frac{|\nabla I|^2 + |k|}{l} \right] \right) \cdot \nabla I \right) \\ I(t=0) = I_0 \end{cases} ;$$

[0022] 其中,  $k$ 为水平集曲率,  $|k|$ 为水平集曲率的模值,  $\operatorname{div}$ 为散度算子,  $\nabla$ 为梯度算子,  $I_0$ 为演化曲线内部图像,  $I$ 为  $I_0$ 与高斯核卷积得到,  $l$ 为梯度阈值;

[0023] 中央控制模块, 与加热模块、图像采集模块、图像处理模块、称量模块、密实度初步计算模块、对比分析模块、红外图像分析模块、波动检测模块、密实度确定模块以及更新显示模块连接, 用于通过单片机或控制器协调控制所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统各个模块的正常工作;

[0024] 称量模块, 与中央控制模块连接, 用于通过称量设备称量压浆施工所需的浆料, 利用压力传感器采集浆料流经的压力, 同时用于利用流量计采集实际使用的浆料流量以及出浆口、排气口泄露的浆料量;

[0025] 密实度初步计算模块, 与中央控制模块连接, 用于通过密实度初步计算程序基于采集的浆料质量、流量以及泄露浆料量及其他相关数据进行密实度计算, 得到密实度初步计算结果, 包括:

$$[0026] \quad Q = [V_1 - (V_2 + V_3)] / V \times 100\% ;$$

[0027] 其中,  $Q$ 表示压浆密实度, %;  $V_1$ 表示进浆口的压浆量;  $V_2$ 表示排气口的浆液的外泄量;  $V_3$ 表示出浆口的浆液的外泄量;  $V$ 表示预应力通道的压浆量;

[0028] 对比分析模块,与中央控制模块连接,用于通过对比分析程序将采集的施工表面图像与数据库中存储的密实度缺陷标准图像进行对比,判断施工密实度;

[0029] 红外图像分析模块,与中央控制模块连接,用于通过红外图像分析程序对处理后的红外图像进行分析判断压浆施工是否存在缺陷或密实度不同的状况,包括:

[0030] 将红外图像谱进行灰度化处理得到灰度图像,并对灰度图像进行直方图变换提高灰度图像的对比度;

[0031] 对所述灰度图像中灰度值处于相应范围内的像素点进行亮化处理,包括:

[0032] 对所述灰度图像中的各像素点,根据公式计算其灰度值:

[0033]  $Gray = (G \times 77 + B \times 151 + R \times 28) / 255$ ;

[0034] 其中,gray表示像素点的灰度值,R为该像素点红色分量的亮度值,G为该像素点绿色分量的亮度值,B为该像素点蓝色分量的亮度值;

[0035] 将处理后的图像按照阈值进行二值化处理,得到黑白图像;

[0036] 对黑白图像进行滤波去除噪点,并查看红外图像中是否存在白色区域;

[0037] 波动检测模块,与中央控制模块连接,用于通过波动检测设备基于波动信号进行压浆施工区域的密实度检测,包括:

[0038] 在压浆施工区域内布置测线或测试面;

[0039] 将波动信号拾取装置放置于所布置的测点上,并利用信号源发生装置激发入射波动信号;

[0040] 波动信号拾取装置拾取反射波动信号和入射波动信号重组后的混合波动信号,并将所述混合波动信号传输至信号转化调理装置;

[0041] 信号转化调理装置将混合波动信号由模拟信号转为数字信号,并进行调理;

[0042] 对所拾取的混合波动信号进行特征分析,并通过分析出的特征判断孔道内部注浆状况,得到密实度波动信号检测结果;

[0043] 密实度确定模块,与中央控制模块连接,用于基于密实度初步计算结果、对比分析结果、红外分析结果以及波动检测结果确定压浆密实度;

[0044] 更新显示模块,与中央控制模块连接,用于通过显示器对采集的相关图像、数据以及压浆密实度检测结果的实时数据进行更新显示。

[0045] 进一步,所述图像采集模块包括:

[0046] 红外图像采集单元,用于利用红外图像采集设备采集加热后的施工处的红外图像;

[0047] 图像采集单元,用于利用摄像设备采集压浆施工地区的图像。

[0048] 进一步,图像处理模块中,当曲率 $|\nabla I|^2 + |k|$ 远大于1时,此时扩散相当于平滑滤波;

[0049] 在图像的拐点、边缘、尖峰和角点处时,图像的一阶微分量和二阶微分量趋近为零, $|\nabla I|^2 + |k|$ 趋近为零,扩散在边缘上几乎停止,保护边缘及纹理信息。

[0050] 进一步,称量模块中,所述泄露浆料量包括排气口泄露浆料量和出浆口泄露浆料量。

[0051] 进一步,红外图像分析模块中,根据公式计算每个像素点的各颜色分量的亮度值:

[0052]  $Result\ 1[i] = Pic[i] + \{(1 - Pic[i] / 255) \times Temp[i] \times K2 \times (255 - Mask[i]) / 255\}$ ;

[0053] 其中,  $K_2$ 为预先设置的图层透明度系数,且 $0 \leq K_2 \leq 1$ ;  $Pic[i]$ 表示原始图像的第*i*个像素,  $Temp[i]$ 表示经过暗化处理后的第二临时图像的第*i*个像素,  $Mask[i]$ 表示经过亮化处理后的第一临时图像的第*i*个像素;  $Result_1$ 表示图层叠加后得到的图像,  $Result1[i]$ 表示该图像的第*i*个像素。

[0054] 进一步, 红外图像分析模块中, 所述查看红外图像中是否存在白色区域, 包括:

[0055] 若存在, 则确定白色区域的面积或数量是否超出预设阈值; 若是, 则判断施工存在缺陷, 施工区域密实度未达到要求; 否则, 施工不具备缺陷。

[0056] 进一步, 波动检测模块中, 所述测试面由多条测线拟合而成。

[0057] 进一步, 波动检测模块中, 所述对所拾取的混合波动信号进行特征分析, 并通过分析出的特征判断孔道内部注浆状况, 包括:

[0058] 接收经过调理后的混合波动信号, 并对所述混合波动信号进行分析; 根据分析后的混合波动信号的特征变化, 判断孔道内部注浆状况。

[0059] 本发明的另一目的在于提供一种存储在计算机可读介质上的计算机程序产品, 包括计算机可读程序, 供于电子装置上执行时, 提供用户输入接口以应用所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统。

[0060] 本发明的另一目的在于提供一种计算机可读存储介质, 储存有指令, 当所述指令在计算机上运行时, 使得计算机应用所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统。

[0061] 结合上述的所有技术方案, 本发明所具备的优点及积极效果为: 本发明提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测系统, 将数值计算、红外分析、图像对比以及波动信号分析结合起来, 能够有效弥补单一方法存在的缺陷以及使用受限的问题, 有效提高检测的准确度, 扩大应用范围。本发明通过对该混合波动信号的特征进行分析, 从而判断孔道内部是否存在压浆缺陷; 提高了对孔道内的压浆质量问题进行评价和判断的准确性, 使对工况的质量检测更加可靠。

[0062] 同时, 本发明通过设置加热模块, 对待检测的预应力管道及其周边的区域进行快速加热, 形成较大温差, 可使用低精度的摄像单元就能获取到差异较大的红外图像谱, 此时对红外图像谱中热斑的提取就很方便且很准确, 热斑可以直接反应出预应力管道压浆密实度是否合格。本发明采用信号源发生装置, 入射波在传播过程中遇到孔道不密实现象时, 波动信号会出现反射, 并与入射波动信号重组并持续传播, 通过分析重组后的混合波动信号的特征差异判断预应力管道内部压浆质量问题。

## 附图说明

[0063] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案, 下面将对本申请实施例中所需要使用的附图做简单的介绍, 显而易见地, 下面所描述的附图仅仅是本申请的一些实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0064] 图1是本发明实施例提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测系统结构示意图;

[0065] 图中: 1、加热模块; 2、图像采集模块; 3、图像处理模块; 4、中央控制模块; 5、称量模块; 6、密实度初步计算模块; 7、对比分析模块; 8、红外图像分析模块; 9、波动检测模块; 10、



密实度确定模块;11、更新显示模块。

[0066] 图2是本发明实施例提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测方法流程图。

[0067] 图3是本发明实施例提供的通过图像处理模块利用图像处理程序对采集的压浆施工的相关图像进行处理的方法流程图。

[0068] 图4是本发明实施例提供的通过红外图像分析模块利用红外图像分析程序对处理后的红外图像进行分析判断压浆施工是否存在缺陷或密实度不同的状况的方法流程图。

[0069] 图5是本发明实施例提供的通过波动检测模块利用波动检测设备基于波动信号进行压浆施工区域的密实度检测的方法流程图。

### 具体实施方式

[0070] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0071] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种用于预应力压浆施工后密实度的检测系统及方法,下面结合附图对本发明作详细的描述。

[0072] 如图1所示,本发明实施例提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测系统包括:加热模块1、图像采集模块2、图像处理模块3、中央控制模块4、称量模块5、密实度初步计算模块6、对比分析模块7、红外图像分析模块8、波动检测模块9、密实度确定模块10以及更新显示模块11。

[0073] 加热模块1,与中央控制模块4连接,用于通过加热器对预应力压浆施工区域进行加热处理;

[0074] 图像采集模块2,与中央控制模块4连接,用于通过图像采集设备进行预应力压浆施工的相关图像采集;

[0075] 图像处理模块3,与中央控制模块4连接,用于通过图像处理程序对采集的压浆施工的相关图像进行处理;

[0076] 中央控制模块4,与加热模块1、图像采集模块2、图像处理模块3、称量模块5、密实度初步计算模块6、对比分析模块7、红外图像分析模块8、波动检测模块9、密实度确定模块10以及更新显示模块11连接,用于通过单片机或控制器协调控制所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统各个模块的正常工作;

[0077] 称量模块5,与中央控制模块4连接,用于通过称量设备称量压浆施工所需的浆料,利用压力传感器采集浆料流经的压力,同时用于利用流量计采集实际使用的浆料流量以及出浆口、排气口泄露的浆料量;

[0078] 密实度初步计算模块6,与中央控制模块4连接,用于通过密实度初步计算程序基于采集的浆料质量、流量以及泄露浆料量及其他相关数据进行密实度计算,得到密实度初步计算结果;

[0079] 对比分析模块7,与中央控制模块4连接,用于通过对比分析程序将采集的施工表面图像与数据库中存储的密实度缺陷标准图像进行对比,判断施工密实度;

[0080] 红外图像分析模块8,与中央控制模块4连接,用于通过红外图像分析程序对处理后的红外图像进行分析判断压浆施工是否存在缺陷或密实度不同的状况;

[0081] 波动检测模块9,与中央控制模块4连接,用于通过波动检测设备基于波动信号进行压浆施工区域的密实度检测,

[0082] 密实度确定模块10,与中央控制模块4连接,用于基于密实度初步计算结果、对比分析结果、红外分析结果以及波动检测结果确定压浆密实度;

[0083] 更新显示模块11,与中央控制模块4连接,用于通过显示器对采集的相关图像、数据以及压浆密实度检测结果的实时数据进行更新显示。

[0084] 本发明实施例提供的图像采集模块2包括:

[0085] 红外图像采集单元2-1,用于利用红外图像采集设备采集加热后的施工处的红外图像;

[0086] 图像采集单元2-2,用于利用摄像设备采集压浆施工地区的图像。

[0087] 如图2所示,本发明实施例提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测方法包括以下步骤:

[0088] S101,通过加热模块利用加热器对预应力压浆施工区域进行加热处理;通过图像采集模块利用图像采集设备进行预应力压浆施工的相关图像采集;

[0089] S102,通过图像处理模块利用图像处理程序对采集的压浆施工的相关图像进行处理;通过中央控制模块利用单片机或控制器协调控制所述用于预应力压浆施工后密实度的检测系统各个模块的正常工作;

[0090] S103,通过称量模块利用称量设备称量压浆施工所需的浆料,利用压力传感器采集浆料流经的压力,同时用于利用流量计采集实际使用的浆料流量以及出浆口、排气口泄露的浆料量;

[0091] S104,通过密实度初步计算模块利用密实度初步计算程序基于采集的浆料质量、流量以及泄露浆料量及其他相关数据进行密实度计算,得到密实度初步计算结果;

[0092] S105,通过对比分析模块利用对比分析程序将采集的施工表面图像与数据库中存储的密实度缺陷标准图像进行对比,判断施工密实度;

[0093] S106,通过红外图像分析模块利用红外图像分析程序对处理后的红外图像进行分析判断压浆施工是否存在缺陷或密实度不同的状况;

[0094] S107,通过波动检测模块利用波动检测设备基于波动信号进行压浆施工区域的密实度检测;

[0095] S108,通过密实度确定模块基于密实度初步计算结果、对比分析结果、红外分析结果以及波动检测结果确定压浆密实度;

[0096] S109,通过更新显示模块利用显示器对采集的相关图像、数据以及压浆密实度检测结果的实时数据进行更新显示。

[0097] 本发明实施例提供的泄露浆料量包括排气口泄露浆料量以及出浆口泄露浆料量,所述基于采集的浆料质量、流量以及泄露浆料量及其他相关数据进行密实度计算,得到密实度初步计算结果,包括:

[0098]  $Q = [V_1 - (V_2 + V_3)] / V \times 100\%$ ;

[0099] 其中,Q表示压浆密实度%; $V_1$ 表示进浆口的压浆量; $V_2$ 表示排气口的浆液的外泄量; $V_3$ 表示出浆口的浆液的外泄量;V表示预应力通道的压浆量。

[0100] 下面结合具体实施例对本发明作进一步描述。

[0101] 实施例1

[0102] 本发明实施例提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测方法如图2所示,作为优选实施例,如图3所示,本发明实施例提供的通过图像处理模块利用图像处理程序对采集的压浆施工的相关图像进行处理的方法包括:

[0103] S201,采用加权方法,通过权衡PM和TV模型得到能量函数;

[0104] S202,通过最小化能量函数降低噪声;

[0105] S203,采用融合水平集曲率与梯度特征的各向异性图像平滑扩散模型进行滤波处理。

[0106] 本发明实施例提供的通过权衡PM和TV模型得到能量函数,通过最小化能量函数降低噪声,能量泛函的表达式为:

$$[0107] \quad E(u) = \iint_{\Omega} \left[ \phi |\nabla u| + \beta |\nabla u|^2 + \alpha x^2 \cdot \ln \left( \frac{1}{g(|\nabla u|)} \right) + \lambda (u - u_0)^2 \right] dx dy ;$$

$$[0108] \quad k = k_0 e^{-\Delta t (n-1)}, \quad g(|\nabla u|) = \frac{1}{1 + (|\nabla u|/k)^2} ;$$

[0109] 其中,  $k_0$ 、 $L$ 是常数,  $\Delta t$ 是步长,  $N$ 为迭代次数,对应的参数表达式是:

$$[0110] \quad \begin{cases} \phi = 2\mu \left( \mu - \frac{1}{2} \right) \\ \beta = -4\mu(\mu - 1) \\ \delta = 2 \left( \mu - \frac{1}{2} \right) (\mu - 1) \\ \mu = e^{\frac{-1}{\sqrt{2} \Delta t L}} \end{cases} ;$$

[0111] 对应的欧拉方程为:

$$[0112] \quad -\phi \nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) - \beta \nabla \cdot (\nabla u) - \delta \nabla \cdot (g(|\nabla u|) \nabla u) + 2\lambda (u - u_0) = 0 ;$$

[0113] 根据梯度下降流法,混合模型如下:

$$[0114] \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \phi \nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \beta \nabla \cdot (\nabla u) + \delta \nabla \cdot (g(|\nabla u|) \nabla u) - 2\lambda (u - u_0) .$$

[0115] 本发明实施例提供的采用融合水平集曲率与梯度特征的各向异性图像平滑扩散模型进行滤波处理,包括:

$$[0116] \quad \begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t} = \operatorname{div} \left( \left( 1 - \frac{2}{\pi} \arctan \left[ \frac{|\nabla I| + |k|}{l} \right] \right) \cdot \nabla I \right) \\ I(t=0) = I_0 \end{cases} ;$$

[0117] 其中,  $k$ 为水平集曲率,  $|k|$ 为水平集曲率的模值,  $\operatorname{div}$ 为散度算子,  $\nabla$ 为梯度算子,  $I_0$ 为演化曲线内部图像,  $I$ 为  $I_0$ 与高斯核卷积得到,  $l$ 为梯度阈值。

[0118] 本发明实施例提供的通过图像处理模块利用图像处理程序对采集的压浆施工的相关图像进行处理的方法,还包括:

[0119] 当曲率 $|\nabla I|^2+|k|$ 远大于1时,此时扩散相当于平滑滤波;

[0120] 在图像的拐点、边缘、尖峰和角点处时,图像的一阶微分量和二阶微分量趋近为零, $|\nabla I|^2+|k|$ 趋近为零,扩散在边缘上几乎停止,保护边缘及纹理信息。

[0121] 实施例2

[0122] 本发明实施例提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测方法如图2所示,作为优选实施例,如图4所示,本发明实施例提供的通过红外图像分析模块利用红外图像分析程序对处理后的红外图像进行分析判断压浆施工是否存在缺陷或密实度不同的状况包括:

[0123] S301,将红外图像谱进行灰度化处理得到灰度图像,并对灰度图像进行直方图变换提高灰度图像的对比度;

[0124] S302,对所述灰度图像中灰度值处于相应范围内的像素点进行亮化处理;

[0125] S303,将处理后的图像按照阈值进行二值化处理,得到黑白图像;

[0126] S304,对黑白图像进行滤波去除噪点,查看红外图像中是否存在白色区域。

[0127] 本发明实施例提供的对所述灰度图像中灰度值处于相应范围内的像素点进行亮化处理,包括:

[0128] 对所述灰度图像中的各像素点,根据公式计算其灰度值:

[0129]  $Gray = (G \times 77 + B \times 151 + R \times 28) / 255$ ;

[0130] 其中,gray表示像素点的灰度值,R为该像素点红色分量的亮度值,G为该像素点绿色分量的亮度值,B为该像素点蓝色分量的亮度值。

[0131] 本发明实施例提供的根据公式计算每个像素点的各颜色分量的亮度值:

[0132]  $Result1[i] = Pic[i] + \{(1 - Pic[i] / 255) \times Temp[i] \times K2 \times (255 - Mask[i]) / 255\}$ ;

[0133] 其中,K2为预先设置的图层透明度系数,且 $0 \leq K2 \leq 1$ ;Pic[i]表示原始图像的第i个像素,Temp[i]表示经过暗化处理后的第二临时图像的第i个像素,Mask[i]表示经过亮化处理后的第一临时图像的第i个像素;Result1表示图层叠加后得到的图像,Result1[i]表示该图像的第i个像素。

[0134] 本发明实施例提供的查看红外图像中是否存在白色区域,包括:

[0135] 若存在,则确定白色区域的面积或数量是否超出预设阈值;若是,则判断施工存在缺陷,施工区域密实度未达到要求;否则,施工不具备缺陷。

[0136] 实施例3

[0137] 本发明实施例提供的用于预应力压浆施工后密实度的检测方法如图2所示,作为优选实施例,如图5所示,本发明实施例提供的通过波动检测模块利用波动检测设备基于波动信号进行压浆施工区域的密实度检测的方法的方法包括:

[0138] S401,在压浆施工区域内布置测线或测试面;其中,所述测试面由多条测线拟合而成;

[0139] S402,将波动信号拾取装置放置于所布置的测点上,并利用信号源发生装置激发入射波动信号;

[0140] S403,波动信号拾取装置拾取反射波动信号和入射波动信号重组后的混合波动信号,并将所述混合波动信号传输至信号转化调理装置;

[0141] S404,信号转化调理装置将混合波动信号由模拟信号转为数字信号,并进行调理;

[0142] S405,对所拾取的混合波动信号进行特征分析,并通过分析出的特征判断孔道内

部注浆状况,得到密实度波动信号检测结果。

[0143] 本发明实施例提供的对所拾取的混合波动信号进行特征分析,并通过分析出的特征判断孔道内部注浆状况,包括:

[0144] 接收经过调理后的混合波动信号,并对所述混合波动信号进行分析;根据分析后的混合波动信号的特征变化,判断孔道内部注浆状况。

[0145] 在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上;术语“上”、“下”、“左”、“右”、“内”、“外”、“前端”、“后端”、“头部”、“尾部”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0146] 在上述实施例中,可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用全部或部分地以计算机程序产品的形式实现,所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载或执行所述计算机程序指令时,全部或部分地产生按照本发明实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中,或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输,例如,所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线(例如同轴电缆、光纤、数字用户线(DSL)或无线(例如红外、无线、微波等)方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输)。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质, (例如,软盘、硬盘、磁带)、光介质(例如,DVD)、或者半导体介质(例如固态硬盘Solid State Disk(SSD))等。

[0147] 以上所述,仅为本发明较优的具体的实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

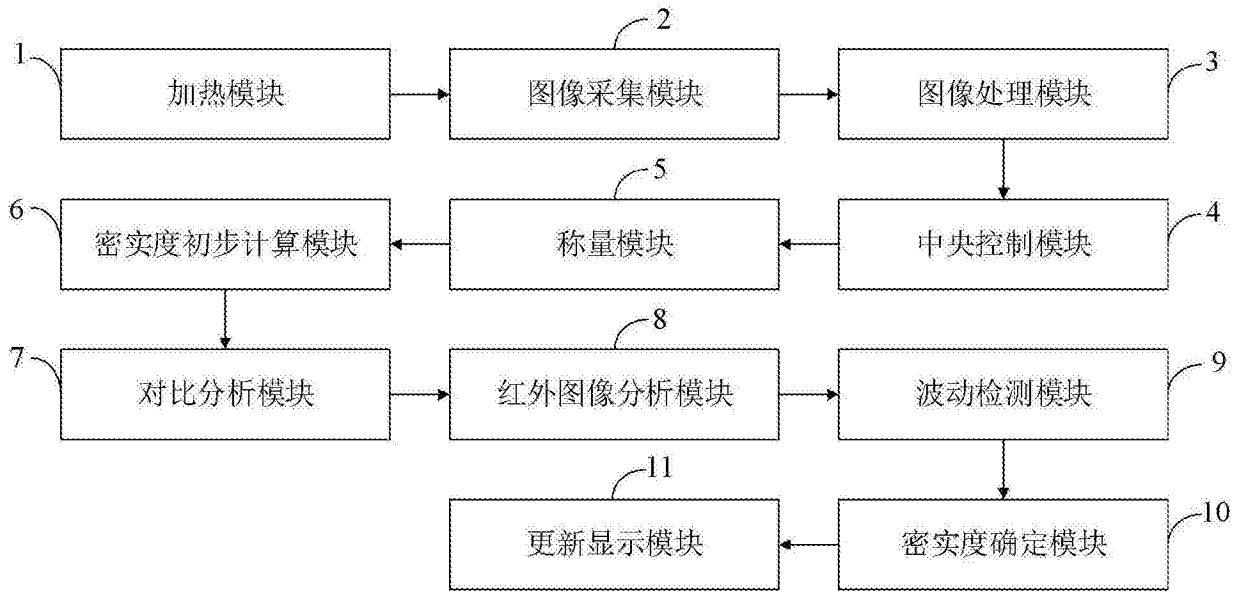


图1

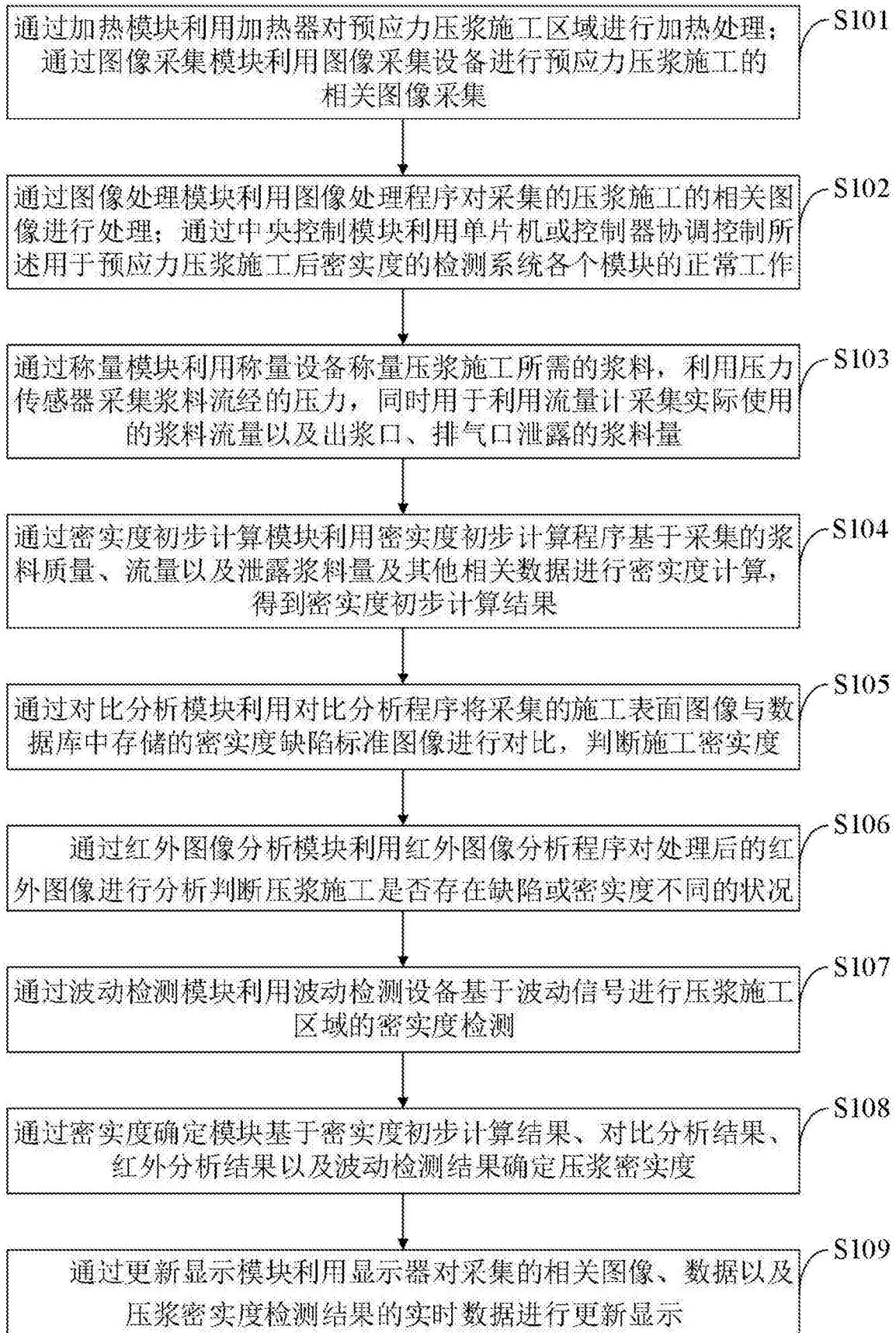


图2

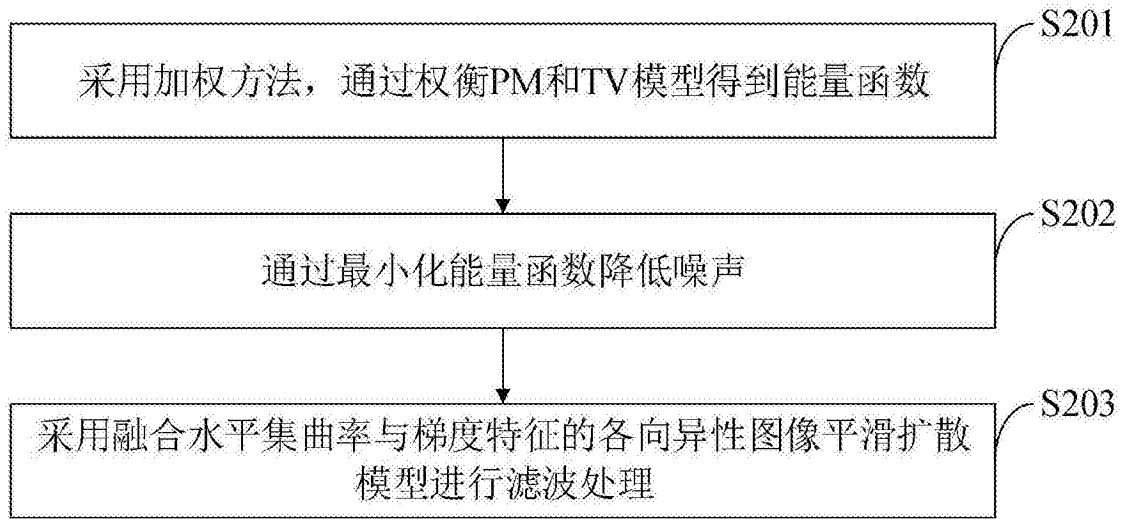


图3

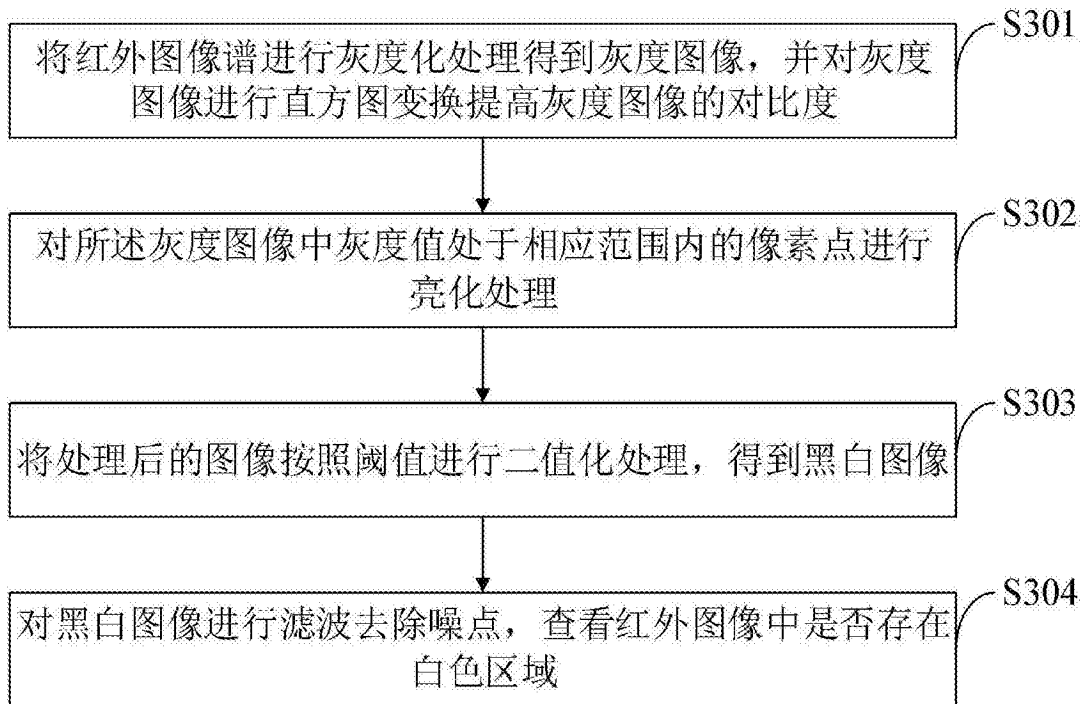


图4



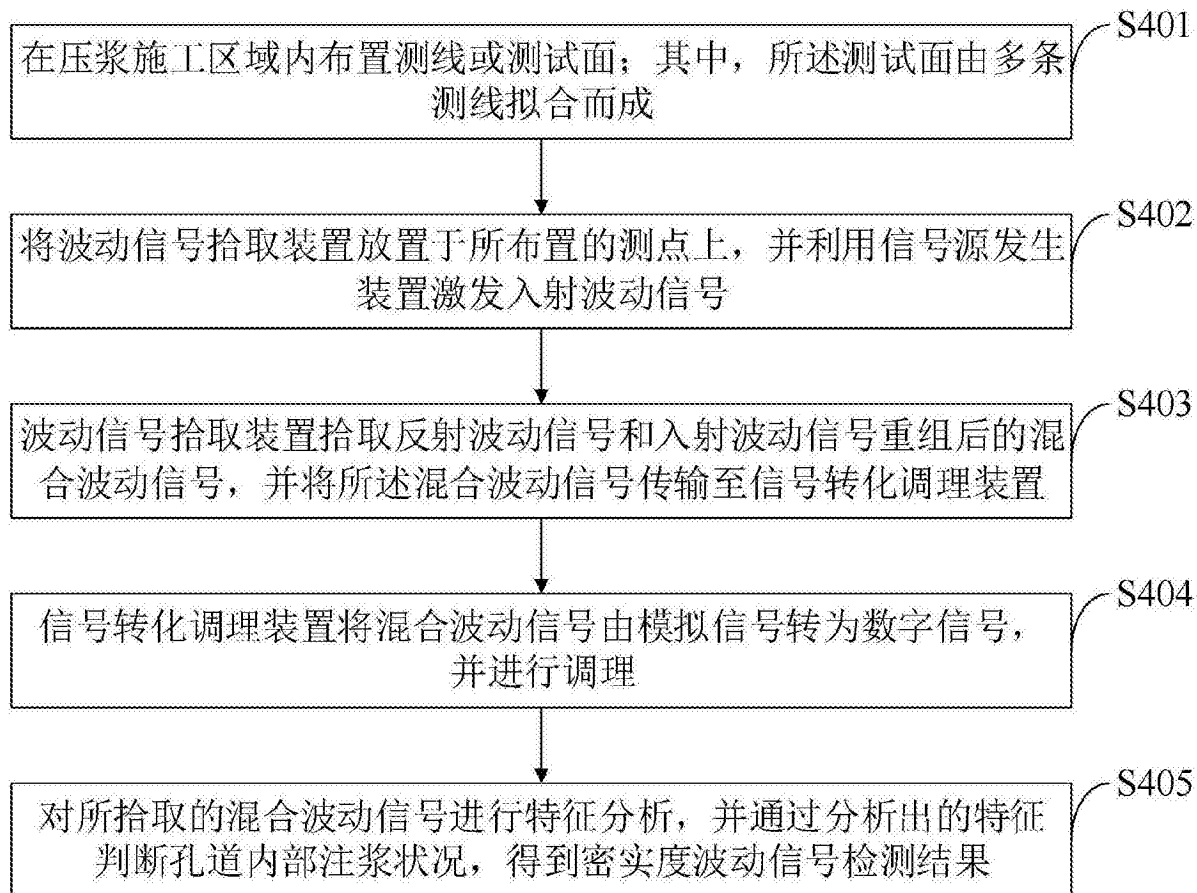


图5