



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119293512 A

(43) 申请公布日 2025. 01. 10

(21) 申请号 202411820618.2

G06F 18/10 (2023.01)

(22) 申请日 2024.12.11

G06F 18/20 (2023.01)

(71) 申请人 常熟理工学院

G06N 3/0442 (2023.01)

地址 215500 江苏省苏州市常熟市南三环路99号

G06N 3/08 (2023.01)

G06T 5/90 (2024.01)

G06V 10/44 (2022.01)

G06T 7/62 (2017.01)

(72) 发明人 范云虎 郑雷 唐文韬 杨袁昊
徐正亚 杨泽均 颜诗其 薛贺
关集俱 高超

(74) 专利代理机构 北京万新知识产权代理有限公司 16195

专利代理师 周家乐

(51) Int. Cl.

G06F 18/214 (2023.01)

G01N 3/40 (2006.01)

G01D 21/02 (2006.01)

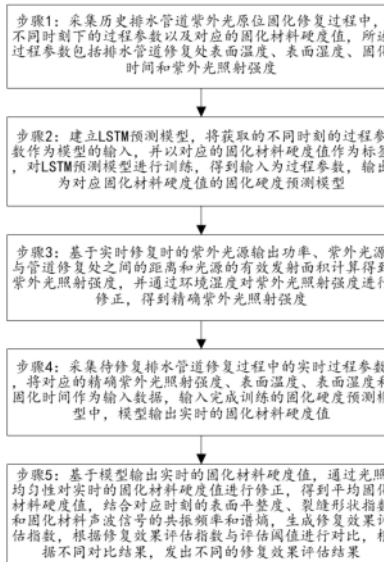
权利要求书4页 说明书11页 附图1页

(54) 发明名称

基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,本发明涉及修复效果评估技术领域。包括:采集历史参数,包括表面温度、表面湿度、固化时间和紫外光照射强度,以及对应的固化材料硬度值,作为预测模型的输入进行训练,建立固化硬度预测模型。获取修复过程中的紫外光照射强度,结合环境湿度进行修正。采集实时过程参数,输入模型,输出实时的固化材料硬度值。根据光照均匀性对硬度值进行修正后,结合表面平整度、裂缝形状指数及声波信号的参数生成修复效果评估指数。通过与评估阈值对比,输出不同的修复效果评估结果。该方法实现了对排水管道固化修复效果的智能化实时监控与评估,提升了修复质量与效率。



1.一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,其特征在于,具体步骤包括:

采集历史排水管道紫外光原位固化修复过程中,不同时刻下的过程参数以及对应的固化材料硬度值,所述过程参数包括排水管道修复处表面温度、表面湿度、固化时间和紫外光照射强度;

建立LSTM预测模型,将获取的不同时刻的过程参数作为模型的输入,并以对应的固化材料硬度值作为标签,对LSTM预测模型进行训练,得到输入为过程参数,输出为对应固化材料硬度值的固化硬度预测模型;

基于实时修复时的紫外光源输出功率、紫外光源与管道修复处之间的距离和光源的有效发射面积计算得到紫外光照射强度,并通过环境湿度对紫外光照射强度进行修正,得到精确紫外光照射强度;

采集待修复排水管道修复过程中的实时过程参数,将对应的精确紫外光照射强度、表面温度、表面湿度和固化时间作为输入数据,输入完成训练的固化硬度预测模型中,模型输出实时的固化材料硬度值;

基于模型输出实时的固化材料硬度值,通过光照均匀性对实时的固化材料硬度值进行修正,得到平均固化材料硬度值,结合对应时刻的表面平整度、裂缝形状指数和固化材料声波信号的共振频率和谱熵,生成修复效果评估指数,根据修复效果评估指数与评估阈值进行对比,根据不同对比结果,发出不同的修复效果评估结果。

2.根据权利要求1所述的一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,其特征在于:以LSTM长短期记忆网络模型为基底建立预测模型,选取激活函数和优化算法,其中选择Tanh函数作为激活函数,选择Adam作为LSTM模型的优化算法;Tanh函数其公式为:

$$f(u) = \frac{e^u - e^{-u}}{e^u + e^{-u}};$$

式中, $f(u)$ 表示Tanh函数,自变量 u 表示神经元的输入加权和,即神经元接收到的来自上一层的输入经过加权求和后的结果;

同时设定LSTM模型的超参数,所述LSTM模型的超参数包括:网络层数、迭代次数、学习率、批量数大小、训练次数、批处理数量和隐藏层神经元个数;

其中网络层数设置为四层网络结构,迭代次数设定为200,学习率设置为0.001,批量数大小设为64,训练次数设为500,批处理数量设为256,隐藏层神经元个数为32。

3.根据权利要求1所述的一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,其特征在于:基于实时修复时的紫外光源输出功率、紫外光源与管道修复处之间的距离和光源的有效发射面积计算得到紫外光照射强度所依据的公式为:

$$I = P * \frac{A}{d^2};$$

式中, I 为紫外光照射强度, P 为紫外光源输出功率, A 为光源的有效发射面积, d 为紫外光源与管道修复处之间的最短距离;

根据环境湿度对紫外光照射强度进行修正,得到精确紫外光照射强度,其中计算精确紫外光照射强度所依据的公式为:

$$I' = I * e^{-\beta * H_s};$$

式中, I' 为精确紫外光照射强度, β 为湿度衰减系数,用于描述湿度对紫外线强度的衰减影响, H_s 为实时环境湿度,其中湿度衰减系数 β 大于0。

4. 根据权利要求1所述的一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,其特征在于:基于模型输出实时的固化材料硬度值,通过光照均匀性对实时的固化材料硬度值进行修正,得到平均固化材料硬度值,其中计算平均固化材料硬度值所依据的公式为:

$$E_{avg}(t) = E_{for}(t) * U;$$

其中, $E_{avg}(t)$ 为t时刻的平均固化材料硬度值, $E_{for}(t)$ 为模型输出实时的固化材料硬度值, U 为光照均匀性,其中光照均匀性 U 计算所依据的公式为:

$$U = \frac{I'_{min}}{I'_{max}};$$

式中, I'_{min} 和 I'_{max} 分别表示精确紫外光照射强度的最小值和最大值,其中精确紫外光照射强度的最小值和最大值 I'_{min} 和 I'_{max} 通过光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角计算,具体所依据的公式分别为:

$$I'_{min} = \min(I' * \sin \theta);$$

$$I'_{max} = \max(I' * \sin \theta);$$

式中, θ 为光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角。

5. 根据权利要求4所述的一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,其特征在于:计算对应时刻的表面平整度所依据的逻辑为:获取对应时刻时裂缝底部与管道表面的高度绝对差值,基于高度差计算管道表面平整度,所依据的公式为:

$$Ra(t) = \frac{1}{L(t)} * \int_0^{L(t)} |Z_t(x)| dx;$$

式中, $Ra(t)$ 为t时刻的管道表面平整度, $L(t)$ 为t时刻时的裂缝长度, $|Z_t(x)|$ 表示t时刻裂缝第x处与管道表面的高度绝对差值,x表示裂缝处点的位置索引。

6. 根据权利要求1所述的一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,其特征在于:所述裂缝形状指数的获取方法为:实时采集修复过程中,修复裂缝的图像信息,对采集的裂缝图像进行图像增强预处理,基于增强后的裂缝图像,通过Canny算法进行裂缝轮廓提取,得到裂缝实时的轮廓特征信息,根据裂缝实时的轮廓特征信息计算裂缝的几何特征,所述裂缝的几何特征包括裂缝的面积和裂缝的周长,根据裂缝的面积和裂缝周长计算裂缝形状指数,其中计算裂缝形状指数具体所依据的公式为:

$$C_P(t) = \frac{B(t)}{Q(t)^2};$$

式中, $C_P(t)$ 为t时刻的裂缝形状指数, $B(t)$ 为t时刻裂缝的面积, $Q(t)$ 为t时刻的裂缝周长,其中裂缝的面积 $B(t)$ 和裂缝周长 $Q(t)$ 通过裂缝像素的数量进行计算,具体所依据的公式为:

$$B(t) = N_{pi}(t) * S_{pi};$$

$$Q(t) = M_{pi}(t) * S_{ed};$$

式中, $N_{pi}(t)$ 和 $M_{pi}(t)$ 分别表示 t 时刻裂缝区域内的像素数和裂缝轮廓边缘像素的数量, S_{pi} 表示像素的实际面积, S_{ed} 表示边缘像素的长度。

7. 根据权利要求1所述的一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法, 其特征在于: 所述固化材料声波信号的共振频率和谱熵具体的获取逻辑为: 确定发出的声波信号的频率最大值, 基于该频率最大值确定采样频率, 其中采样频率确定所依据的具体公式为:

$$f_s = \delta * f_{max};$$

式中, f_s 为采样频率, f_{max} 为发出的声波信号中频率最大值, 其中 $\delta \geq 2$ 且 δ 为正整数;

通过对固化材料发出声波信号, 利用传感器获取固化材料传递的声波信号, 对固化材料的声波信号进行快速傅里叶变换, 将时域信号转换为频域信号, 得到信号的频谱 $S(f)$, 基于频谱 $S(f)$ 计算功率谱密度, 具体所依据的公式为:

$$P(f) = \frac{|S(f)|^2}{\sum_0^{f_{max}} |S(f)|^2};$$

式中, $P(f)$ 为频率 f 处的功率谱密度, $|S(f)|$ 表示频谱的幅度;

基于功率谱密度识别共振频率, 具体所依据的公式为:

$$f_r = \arg \max_{f \in (0, f_{max})} P(f);$$

式中, f_r 为共振频率, $\arg \max$ 表示使得函数达到最大值的自变量, 即为使得功率谱密度 $P(f)$ 达到最大值的频率;

基于功率谱密度计算固化材料声波信号的谱熵所依据的具体公式为:

$$H = - \sum_{f \in (0, f_{max})} P(f) \log P(f);$$

式中, H 为固化材料声波信号的谱熵。

8. 根据权利要求7所述的一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法, 其特征在于: 基于平均固化材料硬度值, 结合对应时刻的表面平整度、裂缝形状指数和固化材料声波信号的共振频率和谱熵, 生成修复效果评估指数, 其中生成修复效果评估指数所依据的具体公式为:

$$REI(t) = \frac{E_{avg}(t)^\alpha + \sqrt{Ra(t)} + f_r^\varepsilon}{\ln\{1 + C_P(t)\} * (e^H + 1)};$$

式中, REI 为修复效果评估指数, $E_{avg}(t)$ 为 t 时刻的平均固化材料硬度值, $Ra(t)$ 为 t 时刻的管道表面平整度, $C_P(t)$ 为 t 时刻的裂缝形状指数, α 和 ε 分别为平均固化材料硬度值和共振频率的权重指数, 其中, $\alpha > \varepsilon$ 且 α 和 ε 均大于0;

根据修复效果评估指数与评估阈值进行对比, 根据不同对比结果, 得出不同的修复效果评估结果所依据的逻辑为:

当 $0 < REI \leq 0.5 * yz$ 时,判断管道修复处于初期阶段,发出修复效果为弱的评估结果,继续进行修复工作;

当 $0.5 * yz < REI \leq 0.8 * yz$ 时,判断管道修复处于过程状态,发出修复效果为中的评估结果,继续对管道裂缝进行修补完善工作;

当 $REI > 0.8 * yz$ 时,判断管道修复处于结束状态,发出修复效果为优的评估结果,结束修复工作;

式中, yz 为评估阈值。

基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法

技术领域

[0001] 本发明涉及修复效果评估技术领域,具体为一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法。

背景技术

[0002] 在城市基础设施中,排水管道的维护和修复至关重要。随着城市化进程的加快,排水管道面临的压力不断增加,管道老化、腐蚀以及外界环境的影响导致了管道的损坏情况频繁发生。传统的管道修复方法,如开挖和更换,通常耗时长、成本高,并且对周围环境造成很大影响。因此,开发出一种高效、经济且对环境影响较小的管道修复技术显得尤为重要。近年来,基于紫外光固化技术的原位修复方法逐渐受到关注。这种方法通过紫外光固化材料在管道内部进行修复,能够在不破坏周围环境的情况下快速恢复管道的功能。

[0003] 然而,尽管紫外光固化技术具有很多优点,但在实际应用中仍然存在一些技术问题。首先,固化过程中的环境因素(如温度、湿度等)和修复参数(如固化时间、紫外光强度等)对固化材料的最终硬度有着显著影响。准确地控制和评估这些参数对于确保修复效果至关重要。其次,传统的固化材料硬度评估方法往往依赖于人工取样和实验室测试,导致评估结果滞后且不够精确,难以实时反映修复过程中的变化。因此,缺乏一种既能实时监测修复过程参数,又能及时评估固化效果的有效方法。

[0004] 为了解决上述技术问题,基于机器学习的实时评估方法应运而生。通过采集历史修复过程中的过程参数,包括表面温度、湿度、固化时间和紫外光照射强度,并结合固化材料的硬度值,可以为机器学习模型提供丰富的数据基础。长短期记忆网络(LSTM)作为一种适合处理时序数据的深度学习模型,能够有效捕捉历史数据中的非线性关系,为固化材料硬度的预测提供支持。此外,通过实时监测紫外光照射强度、环境湿度等因素,能够提高固化过程的精确性,进一步提升修复效果的评估精度。

[0005] 现有技术中的,公开号为CN116386789A公开了用于埋地管道紫外光原位固化修复质量实时监控的方法,具体步骤为:首先采集UV-CIPP材料现场原位固化数据,构建数据集;然后建立考虑多因素影响下用于UV-CIPP材料力学性能预测的遗传算法优化支持向量机模型,简称GA-SVM模型,通过数据集对GA-SVM模型进行训练与验证,得到最优GA-SVM模型;其次根据施工设计要求的UV-CIPP材料力学参数以及最优GA-SVM模型,预测出最佳固化参数和固化温度;最后将预测出的最佳固化参数和固化温度输入埋地管道紫外光原位固化修复台车综合控制系统,开始管道修复施工;在修复过程中,利用最优GA-SVM模型对埋地管道紫外光原位固化修复质量实时监控。但此方案中,在建立GA-SVM模型时,可能无法将所有影响力学性能的因素都纳入模型考量。比如,土壤的类型、管道的老化程度、周围环境的化学性质等因素,可能在实际修复中对结果产生显著影响,但在模型中未充分体现。同时GA-SVM的评估模型可能过于依赖单一的力学性能指标,而忽视其他可能影响修复效果的因素,施工现场的环境条件(如温度、湿度、光照等)可能在较短时间内发生变化。如果模型未能适应这

些动态变化,可能会导致预测结果不准确。因此仅凭一套评估模型可能使得评估系统的实时性、有效性降低。

[0006] 在所述背景技术部分公开的上述信息仅用于加强对本公开的背景的理解,因此它可以包括不构成对本领域普通技术人员已知的现有技术的信息。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,以解决上述背景技术中提出的问题。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,具体步骤包括:

采集历史排水管道紫外光原位固化修复过程中,不同时刻下的过程参数以及对应的固化材料硬度值,所述过程参数包括排水管道修复处表面温度、表面湿度、固化时间和紫外光照射强度;

建立LSTM预测模型,将获取的不同时刻的过程参数作为模型的输入,并以对应的固化材料硬度值作为标签,对LSTM预测模型进行训练,得到输入为过程参数,输出为对应固化材料硬度值的固化硬度预测模型;

基于实时修复时的紫外光源输出功率、紫外光源与管道修复处之间的距离和光源的有效发射面积计算得到紫外光照射强度,并通过环境湿度对紫外光照射强度进行修正,得到精确紫外光照射强度;

采集待修复排水管道修复过程中的实时过程参数,将对应的精确紫外光照射强度、表面温度、表面湿度和固化时间作为输入数据,输入完成训练的固化硬度预测模型中,模型输出实时的固化材料硬度值;

基于模型输出实时的固化材料硬度值,通过光照均匀性对实时的固化材料硬度值进行修正,得到平均固化材料硬度值,结合对应时刻的表面平整度、裂缝形状指数和固化材料声波信号的共振频率和谱熵,生成修复效果评估指数,根据修复效果评估指数与评估阈值进行对比,根据不同对比结果,发出不同的修复效果评估结果。

[0009] 进一步地,以LSTM长短期记忆网络模型为基底建立预测模型,选取激活函数和优化算法,其中选择Tanh函数作为激活函数,选择Adam作为LSTM模型的优化算法;Tanh函数其公式为:

$$f(u) = \frac{e^u - e^{-u}}{e^u + e^{-u}};$$

式中, $f(u)$ 表示Tanh函数,自变量 u 表示神经元的输入加权和,即神经元接收到的来自上一层的输入经过加权求和后的结果;

同时设定LSTM模型的超参数,所述LSTM模型的超参数包括:网络层数、迭代次数、学习率、批量数大小、训练次数、批处理数量和隐藏层神经元个数;

其中网络层数设置为四层网络结构,迭代次数设定为200,学习率设置为0.001,批量数大小设为64,训练次数设为500,批处理数量设为256,隐藏层神经元个数为32。

[0010] 进一步地,基于实时修复时的紫外光源输出功率、紫外光源与管道修复处之间的

距离和光源的有效发射面积计算得到紫外光照射强度所依据的公式为：

$$I = P * \frac{A}{d^2};$$

式中, I 为紫外光照射强度, P 为紫外光源输出功率, A 为光源的有效发射面积, d 为紫外光源与管道修复处之间的最短距离;

根据环境湿度对紫外光照射强度进行修正,得到精确紫外光照射强度,其中计算精确紫外光照射强度所依据的公式为:

$$I' = I * e^{-\beta * H_s};$$

式中, I' 为精确紫外光照射强度, β 为湿度衰减系数,用于描述湿度对紫外线强度的衰减影响, H_s 为实时环境湿度,其中湿度衰减系数 β 大于0。

[0011] 进一步地,基于模型输出实时的固化材料硬度值,通过光照均匀性对实时的固化材料硬度值进行修正,得到平均固化材料硬度值,其中计算平均固化材料硬度值所依据的公式为:

$$E_{avg}(t) = E_{for}(t) * U;$$

其中, $E_{avg}(t)$ 为 t 时刻的平均固化材料硬度值, $E_{for}(t)$ 为模型输出实时的固化材料硬度值, U 为光照均匀性,其中光照均匀性 U 计算所依据的公式为:

$$U = \frac{I'_{min}}{I'_{max}};$$

式中, I'_{min} 和 I'_{max} 分别表示精确紫外光照射强度的最小值和最大值,其中精确紫外光照射强度的最小值和最大值 I'_{min} 和 I'_{max} 通过光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角计算,具体所依据的公式分别为:

$$I'_{min} = \min(I' * \sin \theta);$$

$$I'_{max} = \max(I' * \sin \theta);$$

式中, θ 为光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角。

[0012] 进一步地,计算对应时刻的表面平整度所依据的逻辑为:

计算对应时刻的表面平整度所依据的逻辑为:获取对应时刻时裂缝底部与管道表面的高度绝对差值,基于高度差计算管道表面平整度,所依据的公式为:

$$Ra(t) = \frac{1}{L(t)} * \int_0^{L(t)} |Z_t(x)| dx;$$

式中, $Ra(t)$ 为 t 时刻的管道表面平整度, $L(t)$ 为 t 时刻时的裂缝长度, $|Z_t(x)|$ 表示 t 时刻裂缝第 x 处与管道表面的高度绝对差值, x 表示裂缝处点的位置索引。

[0013] 进一步地,所述裂缝形状指数的获取方法为:实时采集修复过程中,修复裂缝的图像信息,对采集的裂缝图像进行图像增强预处理,基于增强后的裂缝图像,通过Canny算法进行裂缝轮廓提取,得到裂缝实时的轮廓特征信息,根据裂缝实时的轮廓特征信息计算裂缝的几何特征,所述裂缝的几何特征包括裂缝的面积和裂缝的周长,根据裂缝的面积和裂缝周长计算裂缝形状指数,其中计算裂缝形状指数具体所依据的公式为:

$$C_P(t) = \frac{B(t)}{Q(t)^2};$$

式中, $C_P(t)$ 为 t 时刻的裂缝形状指数, $B(t)$ 为 t 时刻裂缝的面积, $Q(t)$ 为 t 时刻的裂缝周长, 其中裂缝的面积 $B(t)$ 和裂缝周长 $Q(t)$ 通过裂缝像素的数量进行计算, 具体所依据的公式为:

$$B(t) = N_{pi}(t) * S_{pi};$$

$$Q(t) = M_{pi}(t) * S_{ed};$$

式中, $N_{pi}(t)$ 和 $M_{pi}(t)$ 分别表示 t 时刻裂缝区域内的像素数和裂缝轮廓边缘像素的数量, S_{pi} 表示每个像素的实际面积, S_{ed} 表示每个边缘像素的长度。

[0014] 进一步地, 所述固化材料声波信号的共振频率和谱熵具体的获取逻辑为: 确定发出的声波信号的频率最大值, 基于该频率最大值确定采样频率, 其中采样频率确定所依据的具体公式为:

$$f_s \geq \delta * f_{\max};$$

式中, f_s 为采样频率, $f_{\max}$ 为发出的声波信号中频率最大值, 其中 $\delta \geq 2$ 且 δ 为正整数;

通过对固化材料发出声波信号, 利用传感器获取固化材料传递的声波信号, 对固化材料的声波信号进行快速傅里叶变换, 将时域信号转换为频域信号, 得到信号的频谱 $S(f)$, 基于频谱 $S(f)$ 计算功率谱密度, 具体所依据的公式为:

$$P(f) = \frac{|S(f)|^2}{\sum_0^{f_{\max}} |S(f)|^2};$$

式中, $P(f)$ 为频率 f 处的功率谱密度, $|S(f)|$ 表示频谱的幅度;

基于功率谱密度识别共振频率, 具体所依据的公式为:

$$f_r = \arg \max_{f \in (0, f_{\max})} P(f);$$

式中, f_r 为共振频率, $\arg \max$ 表示使得函数达到最大值的自变量, 即为使得功率谱密度 $P(f)$ 达到最大值的频率;

基于功率谱密度计算固化材料声波信号的谱熵所依据的具体公式为:

$$H = - \sum_{f \in (0, f_{\max})} P(f) \log P(f);$$

式中, H 为固化材料声波信号的谱熵。

[0015] 进一步地, 基于平均固化材料硬度值, 结合对应时刻的表面平整度、裂缝形状指数和固化材料声波信号的共振频率和谱熵, 生成修复效果评估指数, 其中生成修复效果评估指数所依据的具体公式为:

$$REI = \frac{E_{avg}(t)^\alpha + \sqrt{Ra(t)} + f_r^\varepsilon}{\ln\{1 + C_P(t)\} * (e^H + 1)};$$

式中, REI 为修复效果评估指数, $E_{avg}(t)$ 为 t 时刻的平均固化材料硬度值, $Ra(t)$ 为

t时刻的管道表面平整度, $C_P(t)$ 为t时刻的裂缝形状指数, α 和 ε 分别为平均固化材料硬度值和共振频率的权重指数, 其中, $\alpha > \varepsilon$ 且 α 和 ε 均大于0;

根据修复效果评估指数与评估阈值进行对比, 根据不同对比结果, 得出不同的修复效果评估结果所依据的逻辑为:

当 $0 < REI \leq 0.5 * yz$ 时, 判断管道修复处于初期阶段, 发出修复效果为弱的评估结果, 继续进行修复工作;

当 $0.5 * yz < REI \leq 0.8 * yz$ 时, 判断管道修复处于过程状态, 发出修复效果为中的评估结果, 继续对管道裂缝进行修补完善工作;

当 $REI > 0.8 * yz$ 时, 判断管道修复处于结束状态, 发出修复效果为优的评估结果, 结束修复工作;

式中, yz 为评估阈值。

[0016] 与现有技术相比, 本发明的有益效果是:

首先, 采用LSTM(长短期记忆网络)模型, 能够动态处理时间序列数据, 并实时分析固化过程中紫外光照射强度、环境湿度和温度等多种参数。这种动态监测能力使得能够及时获取固化材料的实时硬度预测, 提高了修复效果的可靠性和一致性, 其次通过实时计算紫外光照射强度, 并根据环境湿度进行修正使得修复过程中能够动态监测和优化紫外光照射条件, 确保所预测的硬度值更为准确。不仅增强了动态监测能力, 提高了实际修复过程中紫外光照射强度的模拟效果, 实时数据分析和紫外线强度修正能够根据当前环境条件和修复效果, 做出更为科学的决策。最后该方案不仅关注固化材料硬度, 还结合了表面平整度、裂缝形状指数、声波信号等多维度指标, 生成综合的修复效果评估指数, 通过综合多种评估指标, 能够提供更全面的修复效果评估, 使得修复效果的评估更全面、更具科学性。

附图说明

[0017] 图1为本发明整体方法流程示意图。

具体实施方式

[0018] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白, 以下结合具体实施例, 对本发明进一步详细说明。

[0019] 需要说明的是, 除非另外定义, 本发明使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本发明中使用的“第一”“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性, 而只是用来区分不同的组成部分。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同, 而不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接, 而是可以包括电性的连接, 不管是直接的还是间接的。“上”“下”“左”“右”等仅用于表示相对位置关系, 当被描述对象的绝对位置改变后, 则该相对位置关系也可能相应地改变。

[0020] 实施例:

请参阅图1, 本发明提供一种技术方案:

一种基于机器学习的排水管道紫外光原位固化修复效果实时评估方法,具体步骤包括:

步骤1:采集历史排水管道紫外光原位固化修复过程中,不同时刻下的过程参数以及对应的固化材料硬度值,所述过程参数包括排水管道修复处表面温度、表面湿度、固化时间和紫外光照射强度。

[0021] 表面温度对化学反应的速率有直接影响。在较高温度下,固化反应通常会加速,从而可能提高材料的硬度。温度变化也可能影响固化材料的物理性质,如韧性和脆性,因此监测温度可以帮助预测固化后的材料性能。

[0022] 表面湿度会影响固化材料的水分含量,进而影响固化过程。有时候,过高的湿度可能导致固化不完全,造成材料内部缺陷,降低硬度。湿度的变化可能对固化剂的化学反应机制产生影响,尤其是某些固化剂对水分敏感。因此,采集湿度数据可以预测固化效果。

[0023] 固化时间是影响固化材料硬度的重要因素之一。一般而言,固化时间越长,材料内部的交联程度越高,从而硬度也会增加。通过记录不同时间点的硬度值,可以建立固化时间和硬度之间的关系。

[0024] 紫外光的强度直接影响固化材料的光聚合反应速率。高强度的紫外光通常能加快固化速度,促使材料更快达到所需的硬度。紫外光照射强度的不均匀性可能导致固化材料在不同区域的性能差异,因此监测照射强度可以帮助预测固化材料硬度值。

[0025] 步骤2:建立LSTM预测模型,将获取的不同时刻的过程参数作为模型的输入,并以对应的固化材料硬度值作为标签,对LSTM预测模型进行训练,得到输入为过程参数,输出为对应固化材料硬度值的固化硬度预测模型。

[0026] LSTM专门设计用于处理和预测时间序列数据。由于排水管道紫外光固化修复过程中的各项参数(如温度、湿度、紫外光照射强度等)随时间变化而变化,因此LSTM能够有效捕捉这些参数之间的时序关系和动态交互。这种能力使得LSTM在处理与时间相关的输入数据时表现出色。传统的递归神经网络(RNN)在处理较长序列时面临“梯度消失”和“梯度爆炸”问题,导致模型难以学习长期依赖关系。LSTM通过引入门控机制(输入门、遗忘门和输出门),能够有效管理信息流,保持和忘记过去的信息,从而避免了长依赖性问题的。这使得LSTM能更好地理解并预测固化过程中的复杂时间依赖关系。

[0027] 以LSTM长短期记忆网络模型为基底建立预测模型,选取激活函数和优化算法,其中选择Tanh函数作为激活函数,选择Adam作为LSTM模型的优化算法;Tanh函数其公式为:

$$f(u) = \frac{e^u - e^{-u}}{e^u + e^{-u}};$$

式中, $f(u)$ 表示Tanh函数,自变量 u 表示神经元的输入加权和,即神经元接收到的来自上一层的输入经过加权求和后的结果;

同时设定LSTM模型的超参数,所述LSTM模型的超参数包括:网络层数、迭代次数、学习率、批量数大小、训练次数、批处理数量和隐藏层神经元个数;

其中网络层数设置为四层网络结构,迭代次数设定为200,学习率设置为0.001,批量数大小设为64,训练次数设为500,批处理数量设为256,隐藏层神经元个数为32。

[0028] 步骤3:基于实时修复时的紫外光源输出功率、紫外光源与管道修复处之间的距离和光源的有效发射面积计算得到紫外光照射强度,并通过环境湿度对紫外光照射强度进行

修正,得到精确紫外光照射强度。

[0029] 基于实时修复时的紫外光源输出功率、紫外光源与管道修复处之间的距离和光源的有效发射面积计算得到紫外光照射强度所依据的公式为:

$$I = P * \frac{A}{d^2};$$

式中, I 为紫外光照射强度, P 为紫外光源输出功率, A 为光源的有效发射面积, d 为紫外光源与管道修复处之间的最短距离;

根据环境湿度对紫外光照射强度进行修正,得到精确紫外光照射强度,其中计算精确紫外光照射强度所依据的公式为:

$$I' = I * e^{-\beta * H_s};$$

式中, I' 为精确紫外光照射强度, β 为湿度衰减系数,用于描述湿度对紫外线强度的衰减影响, H_s 为实时环境湿度,其中湿度衰减系数 β 大于0。

[0030] 水蒸气的存在也会影响紫外线的透过率,实时环境湿度表示空气中水蒸气的实际含量与最大含量的比例,以百分比表示。湿度的变化会直接影响到 $e^{-\beta * H_s}$ 的变化,从而影响紫外线的传播。

[0031] 湿度衰减系数 β 该系数专门用于描述湿度对紫外线强度的影响。用于量化湿度对紫外线(UV)强度的影响。随着环境湿度的增加,水蒸气会吸收更多的紫外线,从而导致紫外线强度的衰减。湿度越高,水蒸气对紫外线的吸收效应越明显,水蒸气在紫外线波长范围内具有吸收能力,尤其在短波紫外线(UV-C)和部分中波紫外线(UV-B)区域。湿度越高,水蒸气的浓度越大,从而增加了对紫外线的吸收和散射,导致紫外线强度的显著衰减。湿度衰减系数 β 的具体获取方式为:在控制湿度的环境中,设置紫外光源,并使用光强度计测量不同湿度条件下的光强度。在不同的相对湿度(例如0%、25%、50%、75%、100%)下,记录紫外线强度和无湿度条件下的紫外线强度,基于紫外线强度和无湿度条件下的紫外线强度数据,进行数据拟合,得到湿度衰减系数。

[0032] 步骤4:采集待修复排水管道修复过程中的实时过程参数,将对应的精确紫外光照射强度、表面温度、表面湿度和固化时间作为输入数据,输入完成训练的固化硬度预测模型中,模型输出实时的固化材料硬度值;

实时过程参数包括精确紫外光照射强度、表面温度、表面湿度和固化时间,其中表面温度和表面湿度具体可以通过以下方式获取:表面温度可以通过多种方法和仪器进行测量,红外测温仪是一种非接触式测量工具,可以快速测量物体表面的温度。其工作原理是通过探测物体发出的红外辐射来估算温度。热敏电阻(RTD)也是一种常见的温度传感器,具有高精度和稳定性。准确度高,适合长期监测。

[0033] 表面湿度的测量一般可以使用:湿度传感器可以直接测量空气中的相对湿度,但也可以用于测量物体表面的湿度,尤其是在固化过程中的水分监测。电容式湿度传感器通过测量电容的变化来判断湿度,通常具有较高的精度和响应速度。适合快速变化的环境。

[0034] 步骤5:基于模型输出实时的固化材料硬度值,通过光照均匀性对实时的固化材料硬度值进行修正,得到平均固化材料硬度值,结合对应时刻的表面平整度、裂缝形状指数和固化材料声波信号的共振频率和谱熵,生成修复效果评估指数,根据修复效果评估指数与

评估阈值进行对比,根据不同对比结果,发出不同的修复效果评估结果。

[0035] 基于模型输出实时的固化材料硬度值,通过光照均匀性对实时的固化材料硬度值进行修正,得到平均固化材料硬度值,其中计算平均固化材料硬度值所依据的公式为:

$$E_{\text{avg}}(t) = E_{\text{for}}(t) * U;$$

其中, $E_{\text{avg}}(t)$ 为t时刻的平均固化材料硬度值, $E_{\text{for}}(t)$ 为模型输出实时的固化材料硬度值, U 为光照均匀性,值越接近1表示光照越均匀,其中光照均匀性 U 计算所依据的公式为:

$$U = \frac{I'_{\min}}{I'_{\max}};$$

式中, $I'_{\min}$ 和 $I'_{\max}$ 分别表示精确紫外光照射强度的最小值和最大值,其中精确紫外光照射强度的最小值和最大值 $I'_{\min}$ 和 $I'_{\max}$ 通过光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角计算,具体所依据的公式分别为:

$$I'_{\min} = \min(I' * \sin \theta);$$

$$I'_{\max} = \max(I' * \sin \theta);$$

式中, θ 为光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角。当光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角为90度时,紫外光照射强度最大,即正向对准管道裂缝处,由于排水管道一般为圆形,越偏离光源正向入射方向,其光源入射方向与管道裂缝不同切面间的夹角越小,故通过 $\sin \theta$ 来描述不在光源正向对准处管道裂缝所受到的紫外光照射强度,通过公式找出最大和最小精确紫外光照射强度。

[0036] 计算对应时刻的表面平整度所依据的逻辑为:获取对应时刻时裂缝底部与管道表面的高度绝对差值,基于高度差计算管道表面平整度,所依据的公式为:

$$Ra(t) = \frac{1}{L(t)} * \int_0^{L(t)} |Z_t(x)| dx;$$

式中, $Ra(t)$ 为t时刻的管道表面平整度, $L(t)$ 为t时刻时的裂缝长度, $|Z_t(x)|$ 表示t时刻裂缝第x处与管道表面的高度绝对差值,x表示裂缝处点的位置索引。

[0037] $|Z_t(x)|$ 表示t时刻裂缝第x处与管道表面的高度绝对差值,其具体获取方式可使用表面粗糙度仪(如轮廓仪、激光扫描仪等)进行测量。

[0038] 所述裂缝形状指数的获取方法为:实时采集修复过程中,修复裂缝的图像信息,对采集的裂缝图像进行图像增强预处理,基于增强后的裂缝图像,通过Canny算法进行裂缝轮廓提取,得到裂缝实时的轮廓特征信息,根据裂缝实时的轮廓特征信息计算裂缝的几何特征,所述裂缝的几何特征包括裂缝的面积和裂缝的周长,根据裂缝的面积和裂缝周长计算裂缝形状指数,其中计算裂缝形状指数具体所依据的公式为:

$$C_P(t) = \frac{B(t)}{Q(t)^2};$$

式中, $C_P(t)$ 为t时刻的裂缝形状指数, $B(t)$ 为t时刻裂缝的面积, $Q(t)$ 为t时刻的裂缝周长,其中裂缝的面积 $B(t)$ 和裂缝周长 $Q(t)$ 通过裂缝像素的数量进行计算,具体所依据

的公式为:

$$B(t) = N_{pi}(t) * S_{pi};$$

$$Q(t) = M_{pi}(t) * S_{ed};$$

式中, $N_{pi}(t)$ 和 $M_{pi}(t)$ 分别表示t时刻裂缝区域内的像素数和裂缝轮廓边缘像素的数量, S_{pi} 表示每个像素的实际面积, S_{ed} 表示每个边缘像素的长度,其中每个像素的实际面积和像素的长度均一致。

[0039] 所述固化材料声波信号的共振频率和谱熵具体的获取逻辑为:确定发出的声波信号的频率最大值,基于该频率最大值确定采样频率,其中采样频率确定所依据的具体公式为:

$$f_s \geq \delta * f_{max};$$

式中, f_s 为采样频率, f_{max} 为发出的声波信号中频率最大值,其中 $\delta \geq 2$ 且 δ 为正整数;

通过对固化材料发出声波信号,利用传感器获取固化材料传递的声波信号,对固化材料的声波信号进行快速傅里叶变换,将时域信号转换为频域信号,得到信号的频谱 $S(f)$,通过分析频谱,找到幅度谱中的最大值对应的频率,即为声波信号中频率最大值 f_{max} 。基于频谱 $S(f)$ 计算功率谱密度,具体所依据的公式为:

$$P(f) = \frac{|S(f)|^2}{\sum_0^{f_{max}} |S(f)|^2};$$

式中, $P(f)$ 为频率f处的功率谱密度, $|S(f)|$ 表示频谱的幅度;

基于功率谱密度识别共振频率,具体所依据的公式为:

$$f_r = \arg \max_{f \in (0, f_{max})} P(f);$$

式中, f_r 为共振频率, $\arg \max$ 表示使得函数达到最大值的自变量,即为使得功率谱密度 $P(f)$ 达到最大值的频率;

基于功率谱密度计算固化材料声波信号的谱熵所依据的具体公式为:

$$H = - \sum_{f \in (0, f_{max})} P(f) \log P(f);$$

式中, H 为固化材料声波信号的谱熵。

[0040] 基于平均固化材料硬度值,结合对应时刻的表面平整度、裂缝形状指数和固化材料声波信号的共振频率和谱熵,生成修复效果评估指数,其中生成修复效果评估指数所依据的具体公式为:

$$REI = \frac{E_{avg}(t)^\alpha + \sqrt{Ra(t)} + f_r^\epsilon}{\ln\{1 + C_P(t)\} * (e^H + 1)};$$

式中, REI 为修复效果评估指数, $E_{avg}(t)$ 为t时刻的平均固化材料硬度值, $Ra(t)$ 为t时刻的管道表面平整度, $C_P(t)$ 为t时刻的裂缝形状指数, α 和 ϵ 分别为平均固化材料硬度值和共振频率的权重指数。

[0041] 其中,较高的硬度通常意味着材料强度较高,能够更好地承受外部压力。因此,硬度 $E_{avg}(t)$ 越大,表示修复结果越好,而修复效果评估指数 REI 越大,表示修复效果越好,因此平均固化材料硬度值与修复效果评估指数 REI 为正相关关系。且指数函数能够体现固化强度对修复效果的渐进增强影响。例如,当 $E_{avg}(t)$ 达到一定数值后,其对修复效果的贡献会显著增加,而低于该数值时,其贡献可能相对较小。

[0042] 管道表面平整度 $Ra(t)$,表面平整度影响材料的接触和附着能力。较好的平整度意味着更好的修复效果,因此表面平整度与对修复效果评估指数 REI 为正相关关系。对于表面平整度,平方根变换可以减小其对模型的影响,尤其是在平整度值较高时。同时,这种变换能够提高模型对较小平整度值的敏感性,反映出即使是微小的改进也能对整体修复效果产生重要影响。

[0043] 裂缝形状指数 $C_P(t)$,裂缝形状指数影响裂缝的传播特性和修复的难度。通常来说,较低的裂缝形状指数意味着裂缝更容易修复,同时随着修复的进行,裂缝的面积和周长不断减小,裂缝越小表示修复结果越好,因此裂缝形状指数与对修复效果评估指数 REI 为负相关关系。自然对数变换 $\ln\{1 + C_P(t)\}$,这种变换可以减弱极端值(特别是高裂缝形状指数值)对模型的影响,并使得数据更为集中,便于模型捕捉一般趋势。此外,裂缝形状通常呈现出指数增长的特征,因此使用对数变换能够更好地处理这种增长特性。

[0044] 在固化过程中,声波信号会出现特定的共振频率,这一频率与材料的物理特性密切相关。完全固化后的材料通常表现出更高的共振频率,因为材料的弹性模量增加,因此共振频率与修复效果评估指数 REI 为正相关关系。

[0045] 主频是声波信号频谱中能量最高的频率,通常代表材料的主要振动特性,在固化后的材料中,主频会因材料的均匀性和整体刚度增加而发生变化,表现为更高的主频和能量集中性,通过谱熵来描述主频的集中性,谱熵用于量化信号的复杂性和集中性,谱熵越低,表明频率成分越集中,因此谱熵修复效果评估指数 REI 为负相关关系。谱熵是对信号复杂度的一种度量,通常较高的谱熵值表示信号的复杂性增加。通过指数衰减形式,可以将高复杂性映射到低值,这样做可以使得谱熵对修复效果的影响更加平滑,同时也能强调低复杂度的情况对修复效果的积极影响。

[0046] α 和 ε 分别为平均固化材料硬度值和共振频率的权重指数,其中,由于平均固化材料硬度值对修复结果的影响大于共振频率,故设置 $\alpha > \varepsilon$ 且 α 和 ε 均大于0;

根据修复效果评估指数与评估阈值进行对比,根据不同对比结果,得出不同的修复效果评估结果所依据的逻辑为:

当 $0 < REI \leq 0.5 * yz$ 时,判断管道修复处于初期阶段,发出修复效果为弱的评估结果,继续进行修复工作;

当 $0.5 * yz < REI \leq 0.8 * yz$ 时,判断管道修复处于过程状态,发出修复效果为中的评估结果,继续对管道裂缝进行修补完善工作;

当 $REI > 0.8 * yz$ 时,判断管道修复处于结束状态,发出修复效果为优的评估结果,结束修复工作;

式中, yz 为评估阈值。其中具体获取的公式为:

$$yz = yz' + yz' * (\Delta P);$$

式中, yz' 为根据专家经验预先设置的评估阈值, ΔP 为排水管道的压力损失,其中 ΔP 计算所依据的公式为:

$$\Delta P = |P_{in} - P_{out}|;$$

式中, P_{in} 和 P_{out} 分别为入口和出口的压力,较小的压损值通常表明修复效果良好。因此在修复过程中,评估阈值 yz 可根据排水管道的压力损失进行动态调整。

[0047] 上述公式均是去量纲取其数值计算,公式是由采集大量数据进行软件模拟得到最近真实情况的一个公式,公式中的预设参数由本领域的技术人员根据实际情况进行设置。

[0048] 上述实施例,可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或其他任意组合来实现。当使用软件实现时,上述实施例可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。本领域技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够通过电子硬件,或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方法来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。

[0049] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,既可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0050] 以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请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申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。

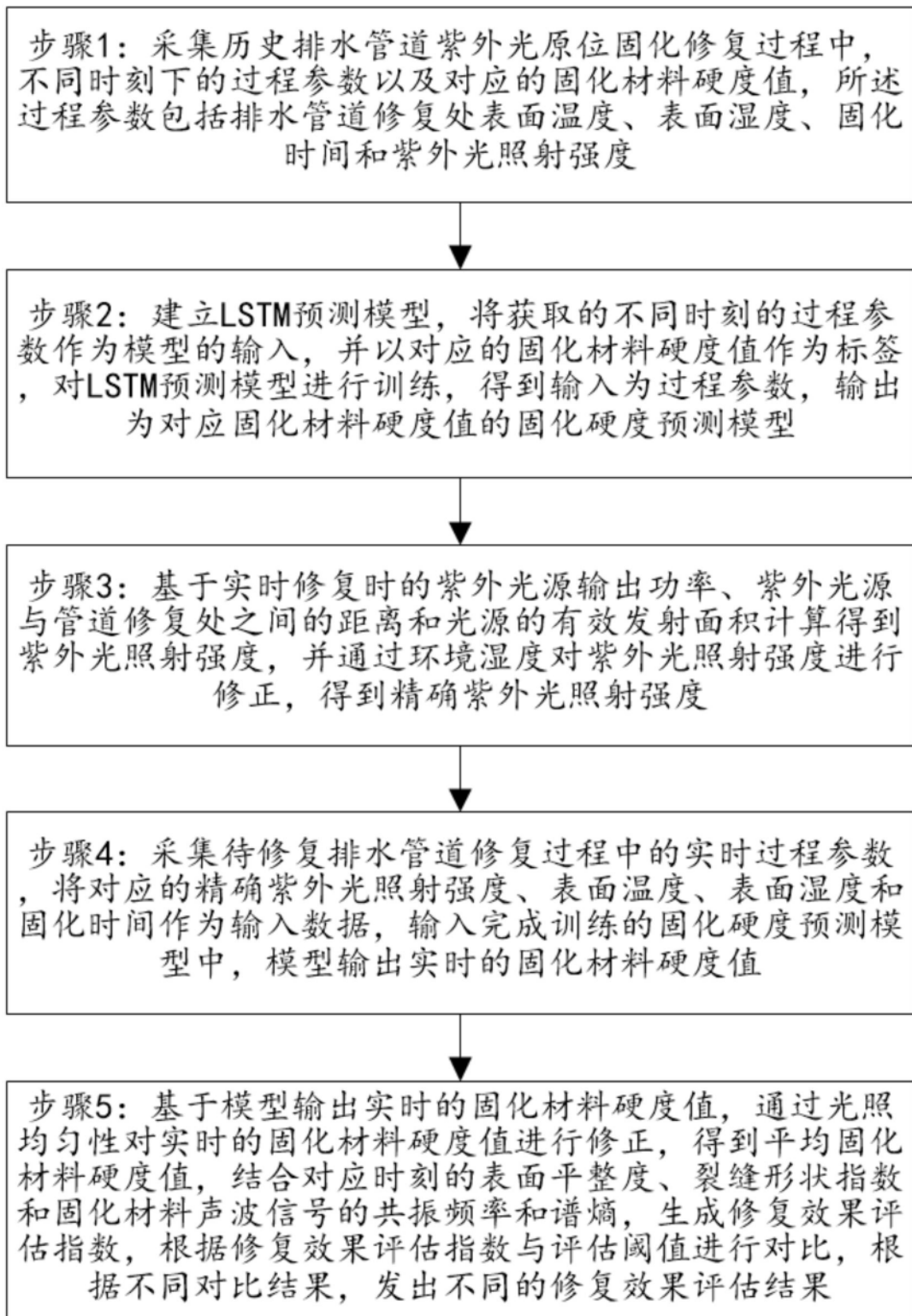


图1