



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113051521 A

(43) 申请公布日 2021.06.29

(21) 申请号 202110301695.7

G06N 3/12 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.22

G01N 27/83 (2006.01)

H03H 17/02 (2006.01)

(71) 申请人 国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司

地址 214000 江苏省无锡市梁溪区梁溪路12号

申请人 清华大学

(72) 发明人 缪立恒 黄松岭 汪海 潘峰

(74) 专利代理机构 北京智绘未来专利代理事务所(普通合伙) 11689

代理人 张红莲 王萍

(51) Int. Cl.

G06F 17/15 (2006.01)

G06F 16/215 (2019.01)

G06F 16/2458 (2019.01)

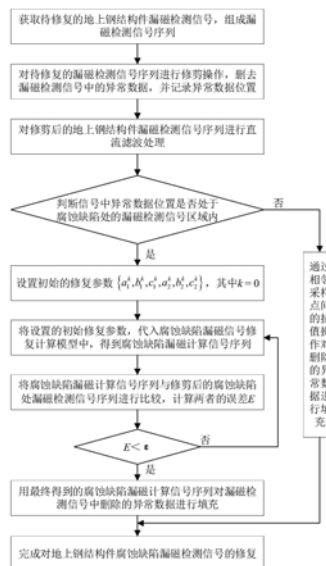
权利要求书3页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法及系统

(57) 摘要

地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法及系统,通过对地上钢结构件漏磁检测信号进行修剪、直流滤波,并对异常数据位置的判断等操作处理,基于优选的sinc函数构建腐蚀缺陷漏磁检测信号修复计算模型,通过迭代更新修复参数,最终实现对地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复。该修复系统包括信号采集模块、信号修剪模块、直流滤波模块、信号区域识别模块、信号计算模块、信号修复模块。通过修复地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号中的异常数据,为腐蚀缺陷漏磁检测信号的反演量化及地上钢结构件的安全评估等提供数据支撑,无需事先准确训练样本,操作简单、计算速度快、信号修复效果好。



1. 地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:

所述方法的具体步骤如下:

步骤1,采集地上钢结构件的漏磁检测信号,组成钢结构件的漏磁检测信号序列;

步骤2,对钢结构件的漏磁检测信号序列进行修剪操作,包括:记录钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置并删除异常数据、漏磁检测信号序列中的正常数据位置保持不变;

步骤3,对钢结构件的修剪后漏磁检测信号序列进行直流滤波处理,得到钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列;

步骤4,分析钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内:若不处于该区域内,则对异常数据位置采用相邻的滤波后漏磁检测信号数据的插值结果进行填充,以完成地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复;若处于该区域内,则提取腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列进入步骤5;

步骤5,设置初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$;

其中,

上标k表示迭代次数,对于初始修复参数,定义 $k=0$;

a_1^k 和 a_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一幅值修复系数和第二幅值修复系数,

b_1^k 和 b_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一频率修复系数和第二频率修复系数,

c_1^k 和 c_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一相位修复系数和第二相位修复系数;

步骤6,构建腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型,并将初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$ 代入腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中,得到腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列;

腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中,腐蚀缺陷处的漏磁计算信号 $B_{cal}^k(x)$ 满足如下关系式:

$$B_{cal}^k(x) = \left(a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x + c_1^k) + a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x - c_1^k) \right) + \left(a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x + c_2^k) + a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x - c_2^k) \right)$$

式中,

x表示漏磁检测信号中各数据采样点的序列号,

$B_{cal}^k(x)$ 表示第k次迭代时,第x个数据采样点的漏磁计算信号,

$\text{sinc}(\cdot)$ 表示sinc函数;

步骤7,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差,若误差大于等于设定的阈值,则迭代次数 $k = k + 1$,修复参数更新为 $\{a_1^{k+1}, b_1^{k+1}, c_1^{k+1}, a_2^{k+1}, b_2^{k+1}, c_2^{k+1}\}$,并返回步骤5;若误差小于设定的阈值,则进入步骤8;

步骤8,对钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置,采用步骤7得到的腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列中的数据进行填充,实现地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的

修复。

2. 根据权利要求1所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:所述异常数据至少是如下一种数据:

- (1) 超过设定的异常阈值的数据;
- (2) 超过磁传感器采集量程的数据;
- (3) 噪声干扰数据;

所述正常数据不是上述任意一种数据;

若干个异常数据组成异常数据集 A_{abnormal} ,若干个正常数据组成正常数据集 A_{normal} 。

3. 根据权利要求2所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:所述异常阈值的取值范围的上限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的400%,异常阈值的取值范围的下限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的250%。

4. 根据权利要求1所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:步骤3中具体如下:

步骤3.1,计算钢结构件的修剪后漏磁检测信号序列中所有数据的平均值;

步骤3.2,钢结构件的漏磁修剪后信号序列中所有数据均减去步骤3.1得到的平均值,实现直流滤波处理,得到钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列。

5. 根据权利要求4所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:所述钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列中,滤波后的漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$ 满足如下关系式:

$$\bar{B}(x) = B(x) - \sum_{i=1}^N B(i) / N$$

式中,

$B(x)$ 表示漏磁检测信号序列中第 x 个数据采样点的正常数据,

N 为正常数据集 A_{normal} 中所有数据的总数量,

$B(i)$ 表示漏磁检测信号序列中第 i 个数据采样点的正常数据,且集合 $\{B(1), B(2), \dots, B(N-1), B(N)\} = A_{\text{normal}}$ 。

6. 根据权利要求1所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:在步骤4中,分析钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内的判断条件是:

对异常数据位置向前或向后的 m 个数据位置内的信号进行分析,其中 m 是正整数,是否存在满足如下关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$:

$$B_{TL_defct} \leq \bar{B}(x) \leq B_{TH_defct}$$

式中,

B_{TL_defct} 和 B_{TH_defct} 分别为设定的腐蚀缺陷漏磁检测信号阈值范围的下限值和上限值;

如果存在满足上述关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$,则判断该异常数据位置处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内,反之则判断该异常数据位置不处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内。

7. 根据权利要求1所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:
在步骤7中,腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差计算,是以腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列为基准,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列的误差。

8. 根据权利要求1所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,其特征在于:
在步骤7中,迭代次数 $k=k+1$,按如下关系式更新修复参数:

$$a_1^{k+1}=a_1^k+\Delta a_1^k, \quad b_1^{k+1}=b_1^k+\Delta b_1^k, \quad c_1^{k+1}=c_1^k+\Delta c_1^k$$

$$a_2^{k+1}=a_2^k+\Delta a_2^k, \quad b_2^{k+1}=b_2^k+\Delta b_2^k, \quad c_2^{k+1}=c_2^k+\Delta c_2^k$$

式中,

$\Delta a_1^k, \Delta b_1^k, \Delta c_1^k, \Delta a_2^k, \Delta b_2^k, \Delta c_2^k$ 分别是 $a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k$ 的修正因子。

9. 基于权利要求1至8所述的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复系统,其特征在于:地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复系统包括:信号采集模块、信号修剪模块、直流滤波模块、信号区域识别模块、信号计算模块、信号修复模块;

信号采集模块,用于采集地上钢结构件的漏磁检测信号;

信号修剪模块,用于对钢结构件的漏磁检测信号进行修剪操作;

直流滤波模块,用于对钢结构件的修剪后漏磁检测信号进行直流滤波;

信号区域识别模块,用于识别直流滤波模块输出的钢结构件的滤波后漏磁检测信号中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内;

信号计算模块,包括腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算单元和修复参数单元;修复参数单元是修复参数的迭代更新模型,通过设置初始值、引入修正因子,采用迭代计算实现修复参数的更新;漏磁检测信号修复计算单元是漏磁检测信号的修复计算模型,基于sinc函数代入更新后的修复参数计算得到漏磁计算信号;

信号修复模块,对不处于腐蚀缺陷处漏磁检测信号区域内的异常数据位置,采用相邻的滤波后漏磁检测信号数据的插值结果进行填充以实现漏磁检测信号的修复;对处于腐蚀缺陷处漏磁检测信号区域内的异常数据位置,采用腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列中的数据进行填充以实现漏磁检测信号的修复。

地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于无损检测信号处理领域,更具体地,涉及地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法及系统。

背景技术

[0002] 漏磁检测是一种常用的无损检测技术,具有检测速度快、对检测环境要求低、反演精度高等优点,目前已经广泛应用在地上钢结构件的腐蚀缺陷检测和安全状态评估中。基于漏磁检测信号进行腐蚀缺陷反演和地上钢结构件的安全评估要求检测得到的漏磁信号是完整的,然后在漏磁检测过程中,由于传感器异常、信号超量程或检测干扰噪声等原因,可能检测到部分异常数据从而导致漏磁信号的不完整。尤其是当异常数据处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域中时,将对腐蚀缺陷的反演量化等造成严重的影响,甚至导致评估失效。因此,对地上钢结构检测腐蚀缺陷漏磁检测信号进行必要的修复十分重要。

[0003] 在现有的相关技术中,发明专利201610958282.5“一种基于压缩感知的FBG信号自适应修复方法”,基于压缩感知技术,采用改进的稀疏度自适应正交匹配跟踪算法对光纤传感系统的信号进行修复;发明专利200910140488.7“语音信号修复方法和装置”,将信号分段与自身长度相同的汉宁窗进行乘积后再叠加,从而覆盖丢失区域,实现对语音信号的修复。然而上述方法是针对非漏磁信号的处理修复,不同类型的信号由于其信号特性不同,无法直接借鉴应用。发明专利201911002802.5“一种基于GAN的管道漏磁检测数据缺失的重构方法”,采用生成对抗网络构建生成器模型和鉴别器模型进行训练,从而实现了对管道漏磁检测缺失数据的重构,然而生成对抗网络技术需要事先准备缺陷样本对模型进行训练,且训练难度大、计算非常复杂,存在模式坍塌、无法收敛等训练风险。

发明内容

[0004] 为解决现有技术中存在的不足,本发明的目的在于,提供一种地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法及系统,通过对地上钢结构件漏磁检测信号进行修剪、直流滤波,并对异常数据位置的判断等操作处理,基于优选的sinc函数构建腐蚀缺陷漏磁检测信号修复计算模型,通过迭代更新修复参数,最终实现对地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复。该方法不需要事先准确训练样本,具有操作简单、计算速度快、信号修复效果好等优点。

[0005] 本发明采用如下的技术方案。

[0006] 地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法,具体步骤如下:

[0007] 步骤1,采集地上钢结构件的漏磁检测信号,组成钢结构件的漏磁检测信号序列;

[0008] 步骤2,对钢结构件的漏磁检测信号序列进行修剪操作,包括:记录钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置并删除异常数据、漏磁检测信号序列中的正常数据位置保持不变;

[0009] 步骤3,对钢结构件的修剪后漏磁检测信号序列进行直流滤波处理,得到钢结构件

的滤波后漏磁检测信号序列；

[0010] 步骤4,分析钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内:若不处于该区域内,则对异常数据位置采用相邻的滤波后漏磁检测信号数据的插值结果进行填充,以完成地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复;若处于该区域内,则提取腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列进入步骤5;

[0011] 步骤5,设置初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$;

[0012] 其中,

[0013] 上标k表示迭代次数,

[0014] 对于初始修复参数,定义k=0;

[0015] a_1^k 和 a_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一幅值修复系数和第二幅值修复系数,

[0016] b_1^k 和 b_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一频率修复系数和第二频率修复系数,

[0017] c_1^k 和 c_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一相位修复系数和第二相位修复系数;

[0018] 步骤6,构建腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型,并将初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$ 代入腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中,得到腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列;

[0019] 腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中,腐蚀缺陷处的漏磁计算信号 $B_{cal}^k(x)$ 满足如下关系式:

$$[0020] \quad B_{cal}^k(x) = \left(a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x + c_1^k) + a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x - c_1^k) \right) \\ + \left(a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x + c_2^k) + a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x - c_2^k) \right)$$

[0021] 式中,

[0022] x表示漏磁检测信号中各数据采样点的序列号,

[0023] $B_{cal}^k(x)$ 表示第k次迭代时,第x个数据采样点的漏磁计算信号,

[0024] $\text{sinc}(\cdot)$ 表示sinc函数;

[0025] 步骤7,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差,若误差大于等于设定的阈值,则迭代次数 $k = k + 1$,修复参数更新为 $\{a_1^{k+1}, b_1^{k+1}, c_1^{k+1}, a_2^{k+1}, b_2^{k+1}, c_2^{k+1}\}$,并返回步骤5;若误差小于设定的阈值,则进入步骤8;

[0026] 步骤8,对钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置,采用步骤7得到的腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列中的数据进行填充,实现地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复。

[0027] 优选地,

[0028] 在步骤2中,异常数据至少是如下一种数据:

[0029] (1) 超过设定的异常阈值的数据；

[0030] (2) 超过磁传感器采集量程的数据；

[0031] (3) 噪声干扰数据；

[0032] 其中,异常阈值的取值范围的上限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的400%,异常阈值的取值范围的下限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的250%；

[0033] 正常数据不是上述任意一种数据；

[0034] 若干个异常数据组成异常数据集 A_{abnormal} ,若干个正常数据组成正常数据集 A_{normal} 。

[0035] 优选地,

[0036] 步骤3中具体如下:

[0037] 步骤3.1,计算钢构件的修剪后漏磁检测信号序列中所有数据的平均值;

[0038] 步骤3.2,钢构件的漏磁修剪后信号序列中所有数据均减去步骤3.1得到的平均值,实现直流滤波处理,得到钢构件的滤波后漏磁检测信号序列。

[0039] 在步骤3.2中,钢构件的滤波后漏磁检测信号序列中,滤波后的漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$ 满足如下关系式:

$$[0040] \quad \bar{B}(x) = B(x) - \frac{\sum_{i=1}^N B(i)}{N}$$

[0041] 式中,

[0042] $B(x)$ 表示漏磁检测信号序列中第 x 个数据采样点的正常数据,

[0043] N 为正常数据集 A_{normal} 中所有数据的总数量,

[0044] $B(i)$ 表示漏磁检测信号序列中第 i 个数据采样点的正常数据,且集合 $\{B(1), B(2), \dots, B(N-1), B(N)\} = A_{\text{normal}}$ 。

[0045] 优选地,

[0046] 在步骤4中,分析钢构件的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内的判断条件是:

[0047] 对异常数据位置向前或向后的 m 个数据位置内的信号进行分析,其中 m 是正整数,是否存在满足如下关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$:

$$[0048] \quad B_{TL_defct} \leq \bar{B}(x) \leq B_{TH_defct}$$

[0049] 式中,

[0050] B_{TL_defct} 和 B_{TH_defct} 分别为设定的腐蚀缺陷漏磁检测信号阈值范围的下限值和上限值;

[0051] 如果存在满足上述关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$,则判断该异常数据位置处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内,反之则判断该异常数据位置不处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内。

[0052] 优选地,

[0053] 在步骤7中,腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差计算,是以腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列为基准,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列的误差。

[0054] 在步骤7中,迭代次数 $k=k+1$,按如下关系式更新修复参数:

$$[0055] \quad a_1^{k+1}=a_1^k+\Delta a_1^k, \quad b_1^{k+1}=b_1^k+\Delta b_1^k, \quad c_1^{k+1}=c_1^k+\Delta c_1^k$$

$$[0056] \quad a_2^{k+1}=a_2^k+\Delta a_2^k, \quad b_2^{k+1}=b_2^k+\Delta b_2^k, \quad c_2^{k+1}=c_2^k+\Delta c_2^k$$

[0057] 式中,

[0058] $\Delta a_1^k, \Delta b_1^k, \Delta c_1^k, \Delta a_2^k, \Delta b_2^k, \Delta c_2^k$ 分别是 $a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k$ 的修正因子。

[0059] 地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复系统包括:信号采集模块、信号修剪模块、直流滤波模块、信号区域识别模块、信号计算模块、信号修复模块;

[0060] 信号采集模块,用于采集地上钢结构件的漏磁检测信号;

[0061] 信号修剪模块,用于对钢结构件的漏磁检测信号进行修剪操作;

[0062] 直流滤波模块,用于对钢结构件的修剪后漏磁检测信号进行直流滤波;

[0063] 信号区域识别模块,用于识别直流滤波模块输出的钢结构件的滤波后漏磁检测信号中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内;

[0064] 信号计算模块,包括腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算单元和修复参数单元;修复参数单元是修复参数的迭代更新模型,通过设置初始值、引入修正因子,采用迭代计算实现修复参数的更新;漏磁检测信号修复计算单元是漏磁检测信号的修复计算模型,基于sinc函数代入更新后的修复参数计算得到漏磁计算信号;

[0065] 信号修复模块,对不处于腐蚀缺陷处漏磁检测信号区域内的异常数据位置,采用相邻的滤波后漏磁检测信号数据的插值结果进行填充以实现漏磁检测信号的修复;对处于腐蚀缺陷处漏磁检测信号区域内的异常数据位置,采用腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列中的数据进行填充以实现漏磁检测信号的修复。

[0066] 本发明的有益效果在于,与现有技术相比,在对地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复时,无需事先准确训练样本,具有操作简单、计算速度快、信号修复效果好等优点。

附图说明

[0067] 图1是本发明的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法的流程图;

[0068] 图2是本发明实施例1中的腐蚀缺陷处的漏磁检测信号的波形图;

[0069] 图3是本发明实施例1中的修剪后的腐蚀缺陷处的漏磁检测信号的波形图;

[0070] 图4是本发明实施例1中的腐蚀缺陷漏磁计算信号与修剪后的腐蚀缺陷处漏磁检测信号的波形对比图;

[0071] 图5是本发明实施例1中的经修复得到的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的波形图;

[0072] 图6是本发明实施例2中待修复的非腐蚀缺陷处的第1组漏磁检测信号的波形图;

[0073] 图7是本发明实施例2中待修复的腐蚀缺陷处的第2组漏磁检测信号的波形图;

[0074] 图8是本发明实施例2中修复后的第1组漏磁检测信号的波形图;

[0075] 图9是本发明实施例2中修复后的第2组漏磁检测信号的波形图;

[0076] 图10是本发明的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复系统的框架图。

具体实施方式

[0077] 下面结合附图对本申请作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,而不能以此来限制本申请的保护范围。

[0078] 实施例1。图1是本发明的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法的流程图,该方法包括以下步骤:

[0079] 步骤1,采集地上钢结构件的漏磁检测信号,组成钢结构件的漏磁检测信号序列。

[0080] 具体地,

[0081] 在步骤1中,采集地上钢结构件的漏磁检测信号时,对各检测通道中的漏磁检测信号进行分析判断,任意检测通道中的漏磁检测信号至少具备如下一种特征时,则认为该检测通道中的漏磁检测信号为地上钢结构件的漏磁检测信号,从而组成漏磁检测信号序列,漏磁检测信号的特征包括:

[0082] (1) 漏磁检测信号中存在超过设定的异常阈值的数据;本优选实施例中,异常阈值的取值范围的上限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的400%,异常阈值的取值范围的下限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的250%;

[0083] (2) 漏磁检测信号中存在超过磁传感器采集量程的数据;

[0084] (3) 漏磁检测信号中存在噪声干扰数据。

[0085] 本优选实施例中,在地上钢结构件的漏磁检测工作中,共采集了1组地上钢结构件的漏磁检测信号序列,该信号序列的波形如图2所示,从图2中可以看出该漏磁检测信号序列中包含异常数据。

[0086] 步骤2,对钢结构件的漏磁检测信号序列进行修剪操作,包括:记录钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置并删除异常数据、漏磁检测信号序列中的正常数据位置保持不变。

[0087] 具体地,

[0088] 在步骤2中,钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据至少是如下一种数据:

[0089] (1) 超过设定的异常阈值的数据;

[0090] (2) 超过磁传感器采集量程的数据;

[0091] (3) 噪声干扰数据。

[0092] 正常数据不是上述任意一种数据。

[0093] 若干个异常数据组成异常数据集 A_{abnormal} ,若干个正常数据组成正常数据集 A_{normal} 。

[0094] 钢结构件的漏磁检测信号数据集 A 即为异常数据集 A_{abnormal} 和正常数据集 A_{normal} 的并集,且异常数据集 A_{abnormal} 和正常数据集 A_{normal} 的交集为空集,满足如下关系式:

[0095] $A_{\text{abnormal}} \cup A_{\text{normal}} = A, A_{\text{abnormal}} \cap A_{\text{normal}} = \emptyset$ 。

[0096] 本优选实施例中,对图2中的地上钢结构件的漏磁检测信号序列进行修剪,得到如图3所示的地上钢结构件的漏磁修剪后信号序列的波形,从图3中可以看出异常数据被删除、异常数据和正常数据的初始位置均保持不变。

[0097] 步骤3,对钢结构件的修剪后漏磁检测信号序列进行直流滤波处理,得到钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列。

[0098] 具体地,

[0099] 步骤3中具体如下:

[0100] 步骤3.1,计算钢结构的修剪后漏磁检测信号序列中所有数据的平均值;本优选实施例中该平均值为34.2Gs。

[0101] 步骤3.2,钢结构的漏磁修剪后信号序列中所有数据均减去步骤3.1得到的平均值,实现直流滤波处理,得到钢结构的漏磁滤波后信号序列。

[0102] 在步骤3.2中,钢结构的滤波后漏磁检测信号序列中,滤波后的漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$ 满足如下关系式:

$$[0103] \quad \bar{B}(x) = B(x) - \sum_{i=1}^N B(i) / N$$

[0104] 式中,

[0105] $B(x)$ 表示漏磁检测信号序列中第 x 个数据采样点的正常数据,

[0106] N 为正常数据集 A_{normal} 中所有数据的总数量,

[0107] $B(i)$ 表示漏磁检测信号序列中第 i 个数据采样点的正常数据,且集合 $\{B(1), B(2), \dots, B(N-1), B(N)\} = A_{normal}$ 。

[0108] 步骤4,分析钢结构的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内:若不处于该区域内,则对异常数据位置采用相邻的滤波后漏磁检测信号数据的插值结果进行填充,以完成地上钢结构腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复;若处于该区域内,则提取腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列进入步骤5;

[0109] 具体地,

[0110] 在步骤4中,分析钢结构的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内的判断条件是:

[0111] 对异常数据位置向前或向后的 m 个数据位置内的信号进行分析,其中 m 是正整数,是否存在满足如下关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$:

$$[0112] \quad B_{TL_defct} \leq \bar{B}(x) \leq B_{TH_defct}$$

[0113] 式中,

[0114] B_{TL_defct} 和 B_{TH_defct} 分别为设定的腐蚀缺陷漏磁检测信号阈值范围的下限值和上限值,本优选实施例中, $m=5$,设定 $B_{TL_defct} = 20Gs$ 、 $B_{TH_defct} = 100Gs$ 。

[0115] 如果存在满足上述关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$,则判断该异常数据位置处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内,反之则判断该异常数据位置不处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内。

[0116] 本优选实施例中,经步骤4后发现,图2中的腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列中存在一段处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内的异常数据,因此,提取腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列进入步骤5。

[0117] 步骤5,设置初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$;

[0118] 其中,

[0119] 上标 k 表示迭代次数,

[0120] 对于初始修复参数,定义 $k=0$;

[0121] a_1^k 和 a_2^k 分别表示第 k 次迭代时sinc函数的第一幅值修复系数和第二幅值修复系

数,

[0122] b_1^k 和 b_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一频率修复系数和第二频率修复系数,

[0123] c_1^k 和 c_2^k 分别表示第k次迭代时sinc函数的第一相位修复系数和第二相位修复系数。

[0124] 步骤6,构建腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型,并将初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$ 代入腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中,得到腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列;

[0125] 腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中,腐蚀缺陷处的漏磁计算信号 $B_{cal}^k(x)$ 满足如下关系式:

$$[0126] \quad B_{cal}^k(x) = \left(a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x + c_1^k) + a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x - c_1^k) \right) \\ + \left(a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x + c_2^k) + a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x - c_2^k) \right)$$

[0127] 式中,

[0128] x表示漏磁检测信号中各数据采样点的序列号,

[0129] $B_{cal}^k(x)$ 表示第k次迭代时,第x个数据采样点的漏磁计算信号,

[0130] $\text{sinc}(\cdot)$ 表示sinc函数;

[0131] 通过数据处理发现sinc函数的波形与腐蚀缺陷漏磁检测信号波形的最为相似;

[0132] 本优选实施例中,将设置的初始修复参数 $\{a_1^0, b_1^0, c_1^0, a_2^0, b_2^0, c_2^0\} = \{1, 1, 0, 0.5, 2, 0\}$,代入腐蚀缺陷漏磁检测信号修复计算模型中,得到腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列。

[0133] 步骤7,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差,若误差大于等于设定的阈值,则迭代次数 $k = k + 1$,修复参数更新为 $\{a_1^{k+1}, b_1^{k+1}, c_1^{k+1}, a_2^{k+1}, b_2^{k+1}, c_2^{k+1}\}$,并返回步骤5;若误差小于设定的阈值,则进入步骤8;

[0134] 具体地,

[0135] 在步骤7中,腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差计算,是以腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列为基准,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列的误差。

[0136] 值得注意的是,所属领域的技术人员可以任意选择计算误差的类型,包括但不限于平均绝对误差、平均相对误差或相对均方根误差等;本发明优选实施例采用平均相对误差是非限制性的较优选择,该平均相对误差满足如下关系式:

$$[0137] \quad E_{MRE} = \frac{\sum |B_{cal}^k(x) - \bar{B}(x)|}{\sum \bar{B}(x)}$$

[0138] 式中,

[0139] E_{MRE} 表示平均相对误差,

[0140] Σ^* 表示所有与正常数据集 A_{normal} 中数据采样点对应的数据运算结果之和。

[0141] 本优选实施例中,若 $E_{\text{MRE}} \geq 0.1$,则迭代次数 $k=k+1$,并按如下关系式更新修复参数:

$$[0142] \quad a_1^{k+1}=a_1^k+\Delta a_1^k, \quad b_1^{k+1}=b_1^k+\Delta b_1^k, \quad c_1^{k+1}=c_1^k+\Delta c_1^k$$

$$[0143] \quad a_2^{k+1}=a_2^k+\Delta a_2^k, \quad b_2^{k+1}=b_2^k+\Delta b_2^k, \quad c_2^{k+1}=c_2^k+\Delta c_2^k$$

[0144] 式中,

[0145] $\Delta a_1^k, \Delta b_1^k, \Delta c_1^k, \Delta a_2^k, \Delta b_2^k, \Delta c_2^k$ 分别是 $a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k$ 的修正因子。本优选实施例中,修正因子根据平均相对误差采用梯度下降法计算得到。

[0146] 值得注意的是,所属领域的技术人员可以任意选择修复参数的更新算法,包括但不限于梯度下降法、牛顿法、共轭梯度法或遗传算法等;本发明优选实施例采用梯度下降法是非限制性的较优选择。

[0147] 修复参数更新完成后返回步骤5。

[0148] 若 $E_{\text{MRE}} < 0.1$,则进入步骤8。

[0149] 图4是步骤7得到的腐蚀缺陷处漏磁计算信号与腐蚀缺陷处修剪后漏磁检测信号的对比图,其中虚线表示漏磁计算信号,实线表示修剪后漏磁检测信号;其中虚线框内部分为腐蚀缺陷处用于对比的信号区域。

[0150] 步骤8,对钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置,采用步骤7得到的腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列中的数据进行填充,实现地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复。本优选实施例中,经修复得到的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号如图5所示。

[0151] 从本优选实施例中可以看出,采用该方法可以有效地对地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号中的异常数据进行修复,从而为腐蚀缺陷漏磁检测信号的反演量化及地上钢结构件的安全评估等提供有效数据。

[0152] 实施例2。图1是本发明的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复方法的流程图,该方法包括以下步骤:

[0153] 步骤1,采集地上钢结构件的漏磁检测信号,组成钢结构件的漏磁检测信号序列。

[0154] 具体地,

[0155] 在步骤1中,采集地上钢结构件的漏磁检测信号时,对各检测通道中的漏磁检测信号进行分析判断,任意检测通道中的漏磁检测信号至少具备如下一种特征时,则认为该检测通道中的漏磁检测信号为地上钢结构件的漏磁检测信号,从而组成漏磁检测信号序列,漏磁检测信号的特征包括:

[0156] (1) 漏磁检测信号中存在超过设定的异常阈值的数据;本优选实施例中,异常阈值的取值范围的上限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的400%,异常阈值的取值范围的下限值是漏磁检测信号序列中所有数据的平均值的250%;

[0157] (2) 漏磁检测信号中存在超过磁传感器采集量程的数据;

[0158] (3) 漏磁检测信号中存在噪声干扰数据。

[0159] 本优选实施例中,在地上钢结构件的漏磁检测工作中,共采集了2组地上钢结构件的漏磁检测信号序列,其中第1组地上钢结构件的漏磁检测信号序列的波形如图6所示,第2

组待修复的地上钢结构件的漏磁检测信号序列的波形如图7所示,从图6和图7中可以看出2组漏磁检测信号序列中均包含异常数据。

[0160] 步骤2,对钢结构件的漏磁检测信号序列进行修剪操作,包括:记录钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置并删除异常数据、漏磁检测信号序列中的正常数据位置保持不变。

[0161] 具体地,

[0162] 在步骤2中,钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据至少是如下一种数据:

[0163] (1) 超过设定的异常阈值的数据;

[0164] (2) 超过磁传感器采集量程的数据;

[0165] (3) 噪声干扰数据。

[0166] 正常数据不是上述任意一种数据。

[0167] 若干个异常数据组成异常数据集 A_{abnormal} ,若干个正常数据组成正常数据集 A_{normal} 。

[0168] 钢结构件的漏磁检测信号数据集 A 即为异常数据集 A_{abnormal} 和正常数据集 A_{normal} 的并集,且异常数据集 A_{abnormal} 和正常数据集 A_{normal} 的交集为空集,满足如下关系式:

[0169] $A_{\text{abnormal}} \cup A_{\text{normal}} = A, A_{\text{abnormal}} \cap A_{\text{normal}} = \emptyset$ 。

[0170] 步骤3,对钢结构件的修剪后漏磁检测信号序列进行直流滤波处理,得到钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列。

[0171] 具体地,

[0172] 步骤3中具体如下:

[0173] 步骤3.1,计算钢结构件的修剪后漏磁检测信号序列中所有数据的平均值;本优选实施例中2组漏磁检测信号序列的平均值分别为36.4Gs和37.8Gs。

[0174] 步骤3.2,钢结构件的漏磁修剪后信号序列中所有数据均减去步骤3.1得到的平均值,实现直流滤波处理,得到钢结构件的漏磁滤波后信号序列。

[0175] 在步骤3.2中,钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列中,滤波后的漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$ 满足如下关系式:

$$[0176] \quad \bar{B}(x) = B(x) - \sum_{i=1}^N B(i) / N$$

[0177] 式中,

[0178] $B(x)$ 表示漏磁检测信号序列中第 x 个数据采样点的正常数据,

[0179] N 为正常数据集 A_{normal} 中所有数据的总数量,

[0180] $B(i)$ 表示漏磁检测信号序列中第 i 个数据采样点的正常数据,且集合 $\{B(1), B(2), \dots, B(N-1), B(N)\} = A_{\text{normal}}$ 。

[0181] 步骤4,分析钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内:若不处于该区域内,则对异常数据位置采用相邻的滤波后漏磁检测信号数据的插值结果进行填充,以完成地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复;若处于该区域内,则提取腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列进入步骤5;

[0182] 具体地,

[0183] 在步骤4中,分析钢结构件的滤波后漏磁检测信号序列中异常数据位置是否处于

腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内的判断条件是：

[0184] 对异常数据位置向前或向后的 m 个数据位置内的信号进行分析，其中 m 是正整数，是否存在满足如下关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$ ：

$$[0185] \quad B_{TL_defct} \leq \bar{B}(x) \leq B_{TH_defct}$$

[0186] 式中，

[0187] B_{TL_defct} 和 B_{TH_defct} 分别为设定的腐蚀缺陷漏磁检测信号阈值范围的下限值和上限值，本优选实施例中， $m=6$ ，设定 $B_{TL_defct}=20Gs$ 、 $B_{TH_defct}=100Gs$ 。

[0188] 如果存在满足上述关系式的滤波后漏磁检测信号 $\bar{B}(x)$ ，则判断该异常数据位置处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内，反之则判断该异常数据位置不处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内。

[0189] 本优选实施例中，经步骤4后发现，第1组腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列中仅存在一段不处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内的异常数据，因此，采用该异常数据位置处的向前或向后的5个漏磁检测数据进行插值操作，并将插值结果对异常数据位置进行填充。经填充后，第1组钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号经修复后的波形如图8所示。

[0190] 值得注意的是，所属领域的技术人员可以任意选择插值操作算法，插值操作算法可以是但不限制于三次样条插值、多项式插值、牛顿插值、线性插值等方法；本发明优选实施例采用牛顿插值法是非限制性的较优选择。

[0191] 本优选实施例中，经步骤4后发现，图7中的腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列中仅存在一段处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内的异常数据，因此，提取腐蚀缺陷处的漏磁检测信号序列进入步骤5。

[0192] 步骤5，设置初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$ ；

[0193] 其中，

[0194] 上标 k 表示迭代次数，

[0195] 对于初始修复参数，定义 $k=0$ ；

[0196] a_1^k 和 a_2^k 分别表示第 k 次迭代时sinc函数的第一幅值修复系数和第二幅值修复系数，

[0197] b_1^k 和 b_2^k 分别表示第 k 次迭代时sinc函数的第一频率修复系数和第二频率修复系数，

[0198] c_1^k 和 c_2^k 分别表示第 k 次迭代时sinc函数的第一相位修复系数和第二相位修复系数。

[0199] 步骤6，构建腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型，并将初始修复参数 $\{a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k\}$ 代入腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中，得到腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列；

[0200] 腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算模型中，腐蚀缺陷处的漏磁计算信号 $B_{cal}^k(x)$ 满足如下关系式：

$$[0201] \quad B_{cal}^k(x) = \left(a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x + c_1^k) + a_1^k \cdot \text{sinc}(b_1^k \cdot x - c_1^k) \right) \\ + \left(a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x + c_2^k) + a_2^k \cdot \text{sinc}(b_2^k \cdot x - c_2^k) \right)$$

[0202] 式中,

[0203] x表示漏磁检测信号中各数据采样点的序列号,

[0204] $B_{cal}^k(x)$ 表示第k次迭代时,第x个数据采样点的漏磁计算信号,

[0205] $\text{sinc}(\cdot)$ 表示sinc函数;

[0206] 通过数据处理发现sinc函数的波形与腐蚀缺陷漏磁检测信号波形的最为相似;

[0207] 本优选实施例中,将设置的初始修复参数 $\{a_1^0, b_1^0, c_1^0, a_2^0, b_2^0, c_2^0\} = \{1, 1, 1, 1, 1, 1\}$,代入腐蚀缺陷漏磁信号计算模型中,得到腐蚀缺陷漏磁计算信号序列。

[0208] 步骤7,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差,若误差大于等于设定的阈值,则迭代次数 $k = k + 1$,修复参数更新为 $\{a_1^{k+1}, b_1^{k+1}, c_1^{k+1}, a_2^{k+1}, b_2^{k+1}, c_2^{k+1}\}$,并返回步骤5;若误差小于设定的阈值,则进入步骤8;

[0209] 具体地,

[0210] 在步骤7中,腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列与腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列的误差计算,是以腐蚀缺陷处的修剪后漏磁检测信号序列为基准,计算腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列的误差。

[0211] 值得注意的是,所属领域的技术人员可以任意选择计算误差的类型,包括但不限于平均绝对误差、平均相对误差或相对均方根误差等;本发明优选实施例采用相对均方根误差是非限制性的较优选择,本优选实施例采用相对均方根误差,满足如下关系式:

$$[0212] \quad E_{RRMSE} = \frac{\sqrt{\sum (B_{cal}^k(x) - \bar{B}(x))^2}}{\sqrt{\sum (\bar{B}(x))^2}}$$

[0213] 式中,

[0214] E_{RRMSE} 表示相对均方根误差,

[0215] Σ^* 表示所有与正常数据集 A_{normal} 中数据采样点对应的数据运算结果之和。

[0216] 本优选实施例中,若 $E_{RRMSE} \geq 0.2$,则迭代次数 $k = k + 1$,并按如下关系式更新修复参数:

$$[0217] \quad a_1^{k+1} = a_1^k + \Delta a_1^k, \quad b_1^{k+1} = b_1^k + \Delta b_1^k, \quad c_1^{k+1} = c_1^k + \Delta c_1^k$$

$$[0218] \quad a_2^{k+1} = a_2^k + \Delta a_2^k, \quad b_2^{k+1} = b_2^k + \Delta b_2^k, \quad c_2^{k+1} = c_2^k + \Delta c_2^k$$

[0219] 式中,

[0220] $\Delta a_1^k, \Delta b_1^k, \Delta c_1^k, \Delta a_2^k, \Delta b_2^k, \Delta c_2^k$ 分别是 $a_1^k, b_1^k, c_1^k, a_2^k, b_2^k, c_2^k$ 的修正因子。本优选实施例中,修正因子根据相对均方根误差采用遗传算法计算得到。

[0221] 值得注意的是,所属领域的技术人员可以任意选择修复参数的更新算法,包括但不限于梯度下降法、牛顿法、共轭梯度法或遗传算法等;本发明优选实施例采用遗传算法是

非限制性的较优选择。

[0222] 修复参数更新完成后返回步骤5。

[0223] 若 $E_{\text{RRMSE}} < 0.2$, 则进入步骤8。

[0224] 步骤8, 对钢结构件的漏磁检测信号序列中的异常数据位置, 采用步骤7得到的腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列中的数据进行填充, 实现地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号的修复。本优选实施例中, 经修复得到的地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号如图9所示。

[0225] 从本优选实施例中可以看出, 采用该方法不仅可以有效地对地上钢结构件中处于腐蚀缺陷漏磁检测信号区域内的漏磁检测信号序列中的异常数据进行修复, 也能有效地对, 地上钢结构件中不处于腐蚀缺陷漏磁检测信号区域内的漏磁检测信号序列中的异常数据进行修复, 从而为腐蚀缺陷漏磁检测信号的反演量化及地上钢结构件的安全评估等提供有效数据。

[0226] 地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复系统, 如图10所示, 系统包括: 信号采集模块、信号修剪模块、直流滤波模块、信号区域识别模块、信号计算模块、信号修复模块。

[0227] 信号采集模块, 用于采集地上钢结构件的漏磁检测信号。

[0228] 信号修剪模块, 用于对钢结构件的漏磁检测信号进行修剪操作。

[0229] 直流滤波模块, 用于对钢结构件的修剪后漏磁检测信号进行直流滤波。

[0230] 信号区域识别模块, 用于识别直流滤波模块输出的钢结构件的滤波后漏磁检测信号中异常数据位置是否处于腐蚀缺陷处的漏磁检测信号区域内。

[0231] 信号计算模块, 包括腐蚀缺陷处的漏磁检测信号修复计算单元和修复参数单元; 修复参数单元是修复参数的迭代更新模型, 通过设置初始值、引入修正因子, 采用迭代计算实现修复参数的更新; 漏磁检测信号修复计算单元是漏磁检测信号的修复计算模型, 基于sinc函数代入更新后的修复参数计算得到漏磁计算信号。

[0232] 信号修复模块, 对不处于腐蚀缺陷处漏磁检测信号区域内的异常数据位置, 采用相邻的滤波后漏磁检测信号数据的插值结果进行填充以实现漏磁检测信号的修复; 对处于腐蚀缺陷处漏磁检测信号区域内的异常数据位置, 采用腐蚀缺陷处的漏磁计算信号序列中的数据进行填充以实现漏磁检测信号的修复。

[0233] 本发明的有益效果在于, 与现有技术相比, 在对地上钢结构件腐蚀缺陷漏磁检测信号修复时, 无需事先准确训练样本, 具有操作简单、计算速度快、信号修复效果好等优点。

[0234] 本发明申请人结合说明书附图对本发明的实施示例做了详细的说明与描述, 但是本领域技术人员应该理解, 以上实施示例仅为本发明的优选实施方案, 详尽的说明只是为了帮助读者更好地理解本发明精神, 而并非对本发明保护范围的限制, 相反, 任何基于本发明的发明精神所作的任何改进或修饰都应当落在本发明的保护范围之内。

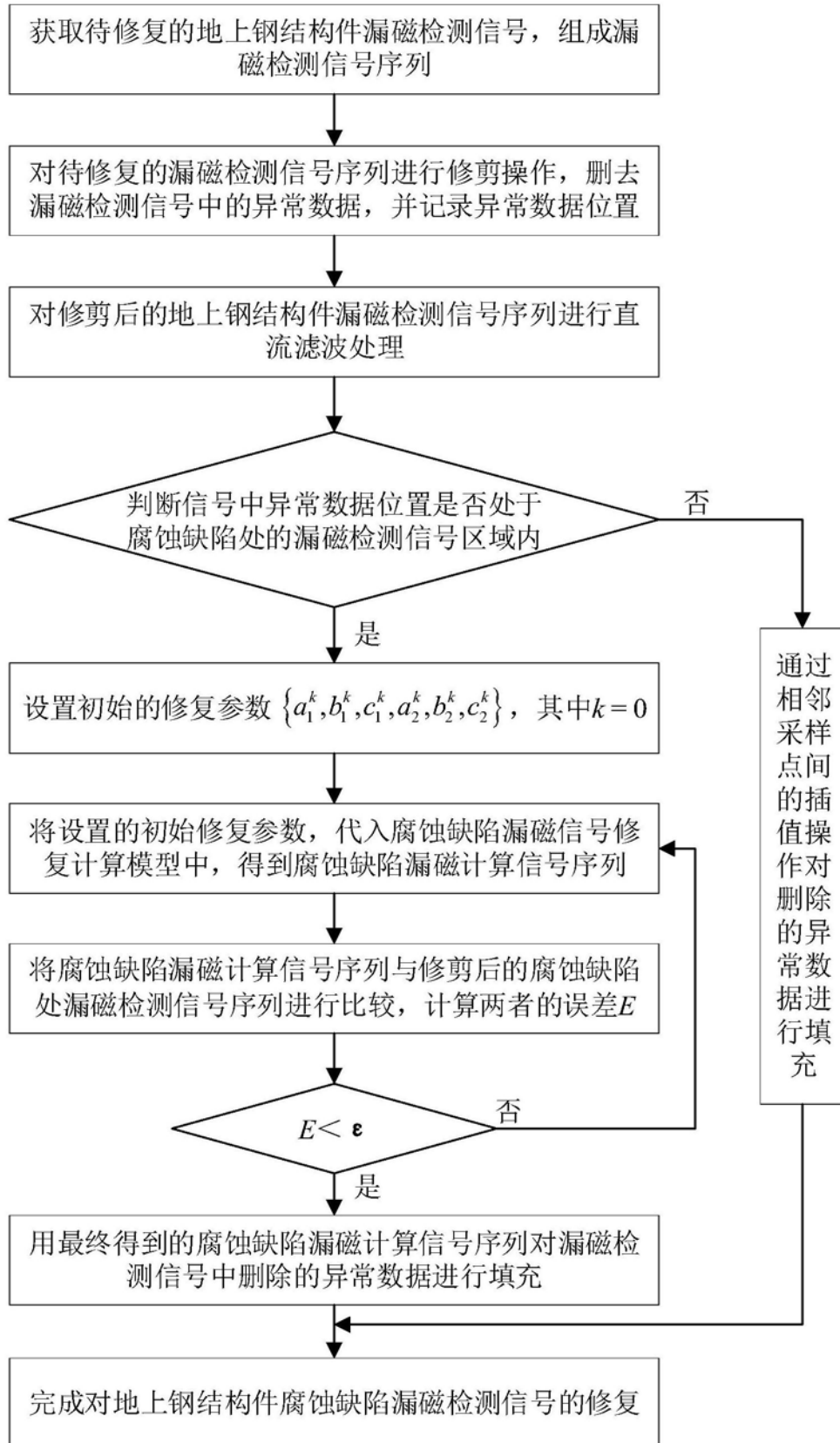


图1

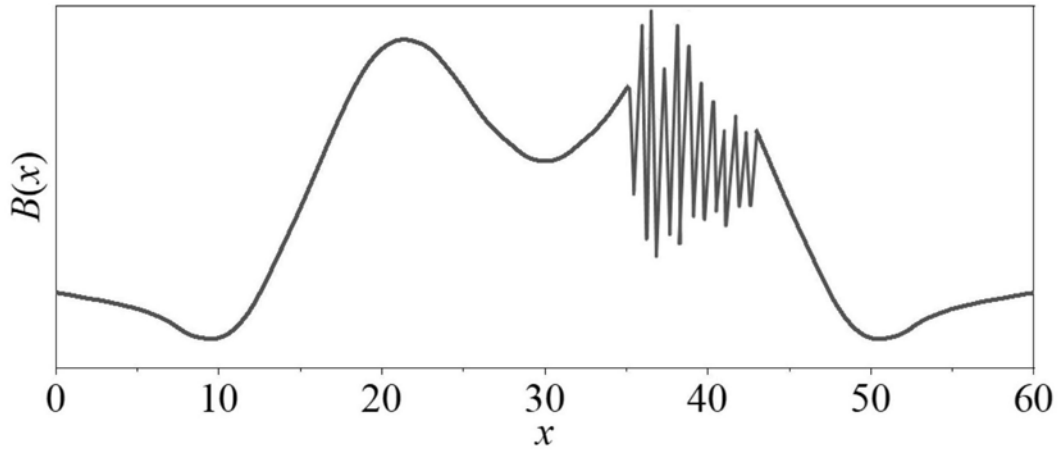


图2

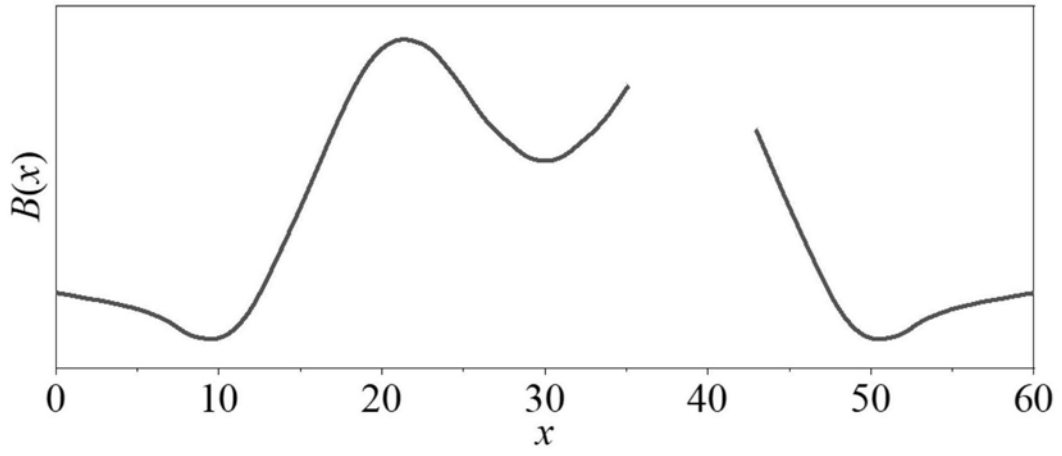


图3

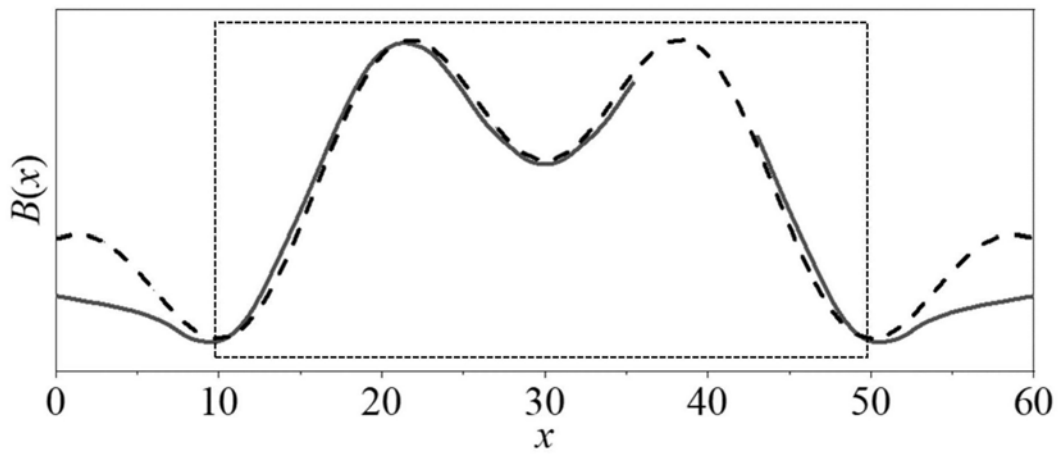


图4

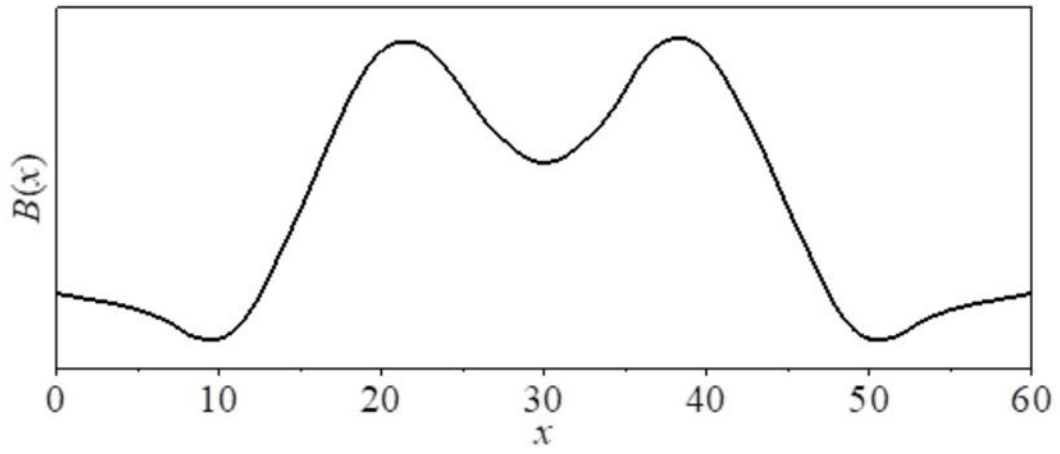


图5

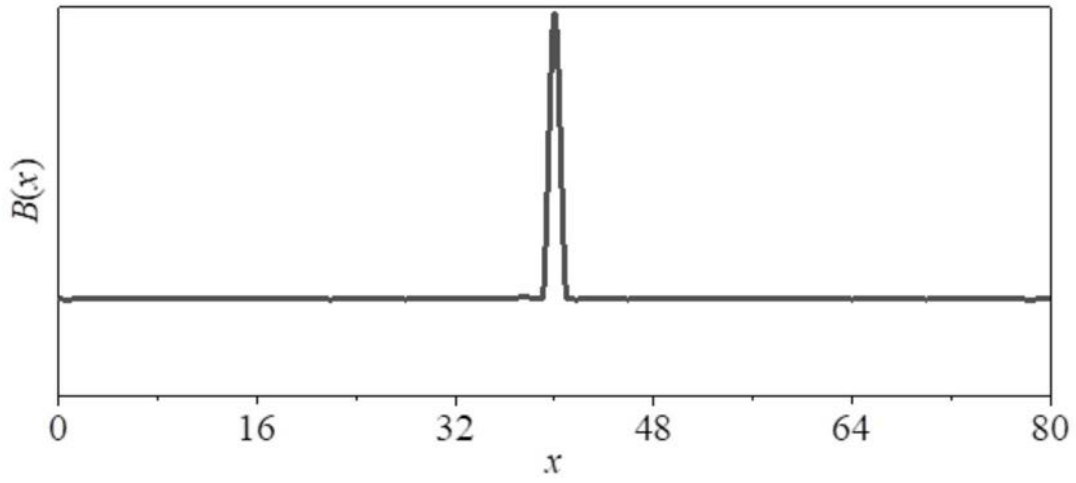


图6

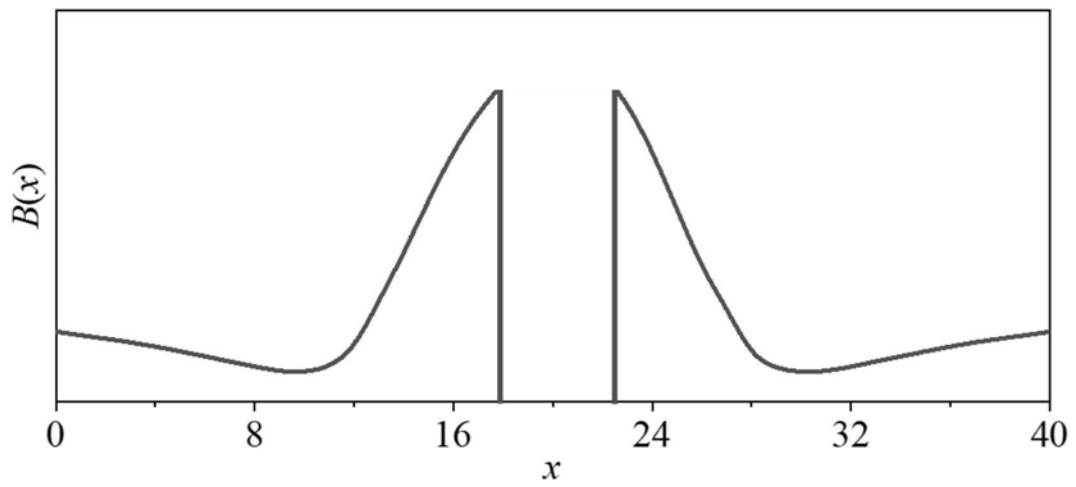


图7

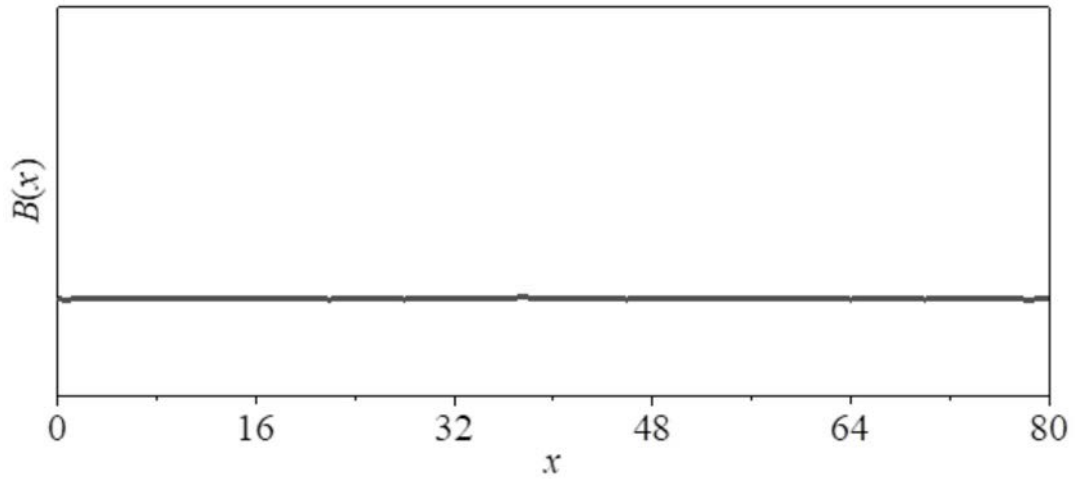


图8

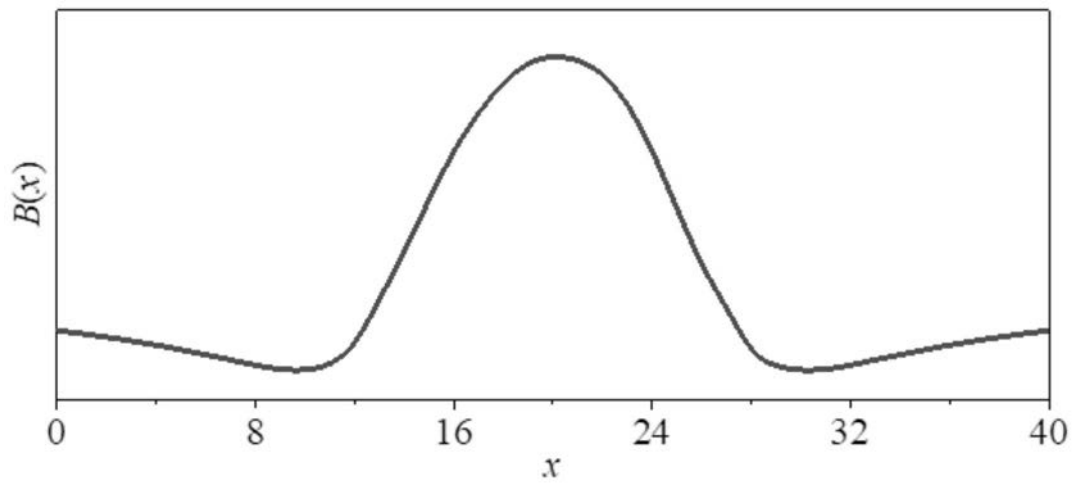


图9

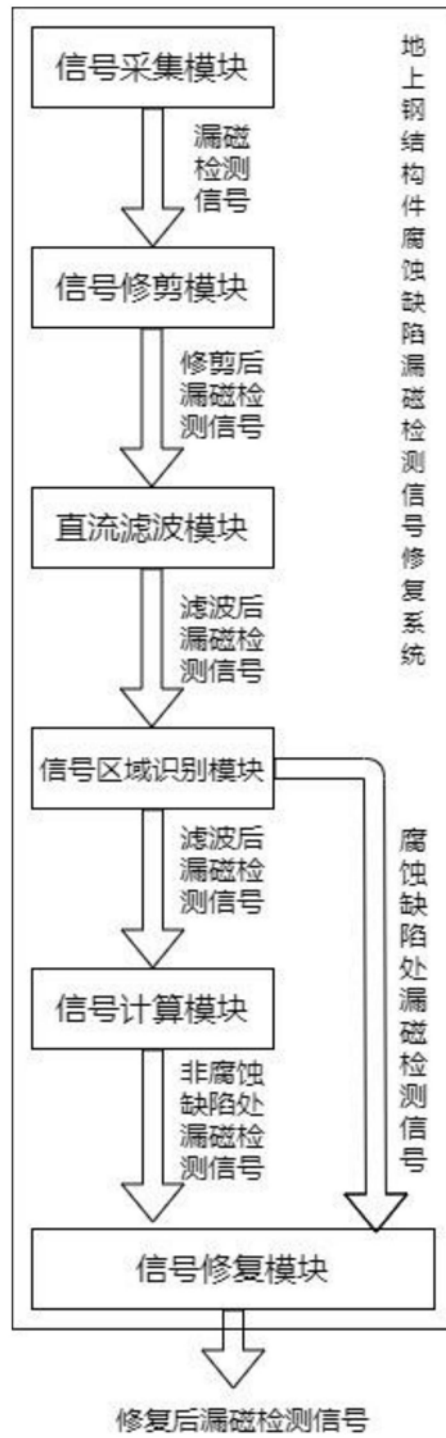


图10