(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 116642458 B
(45)授权公告日 2023.10.27

(21)申请号 202310913561.X

(22)申请日 2023.07.25

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116642458 A

(43)申请公布日 2023.08.25

(73)专利权人 江河安澜工程咨询有限公司
地址 450000 河南省郑州市金水区金水路109号
专利权人 黄河水利水电开发集团有限公司
北京中弘泰科科技有限公司

(72)发明人 马啸 魏立巍 李毅男 魏勇 胡全舟 胡凯 胡靖宇 曹存相 吕佳凝

(74)专利代理机构 北京云嘉湃富知识产权代理有限公司 11678
专利代理师 汝涛

(51)Int.Cl.
G01C 5/00(2006.01)
G01B 21/02(2006.01)
G01B 21/32(2006.01)

(56)对比文件
CN 215064469 U,2021.12.07
CN 216206257 U,2022.04.05
CN 115759378 A,2023.03.07
CN 111442713 A,2020.07.24
CN 114837160 A,2022.08.02
CN 115290044 A,2022.11.04
WO 2022001104 A1,2022.01.06

审查员 史敏峰

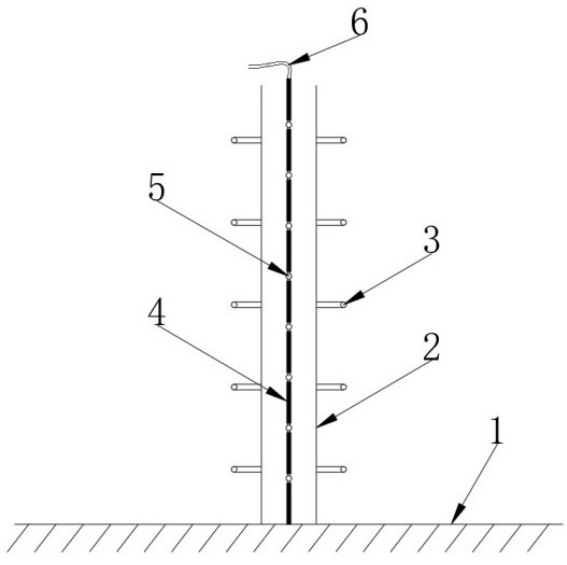
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统及方法，涉及坝体监测技术领域，包括坝体，所述坝体上开设有若干个测斜孔，所述测斜孔外部等距离安装有若干个感应磁环，所述测斜孔内部采用铰接级联方式连接若干节等长的刚性测量单元，使得每个刚性测量单元能够监测相同的范围，所述刚性测量单元之间通过柔性万向节连接，使得刚性测量单元能够跟随坝体做同步变化，并采用总线连接通信，所述刚性测量单元通过传输线缆进行供电以及将监测数据传输至监控中心，通过监控中心对坝体整体做数字化分析，解决了大坝坝体全深度水平位移和沉降的同孔自动化监测难题，可以实现实时自动化监测，大大简化测量流程，避免了人工操作误差。



CN 116642458 B

1.一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

S1、在坝体上等距离开设若干个测斜孔(2),并在测斜孔(2)外部等距离均匀布设感应磁环(3),将刚性测量单元(4)安装在测斜孔(2)内,并将安装在同一个测斜孔(2)中的刚性测量单元(4)一端固定,作为空间原点;

在S1中,刚性测量单元(4)之间通过柔性万向节(5)连接,任意一个柔性万向节(5)在空间的坐标值为(Sx_i, Sy_i, Sz_i);

S2、利用三轴位移传感器监测坝体的水平位移,计算坝体在X轴和Y轴上的位移量;

在S2中,三轴位移传感器监测到在X轴和Y轴的倾角为A_x和A_y,三轴位移传感器的长度为L,根据下列公式分别计算坝体在X轴和Y轴方向上的位移量:

$$S_x = L * Sin(A_x);$$

$$S_y = L * sin(A_y);$$

其中,S_x表示坝体在X轴上的位移量,S_y表示坝体在Y轴上的位移量;

S3、利用磁敏开关阵列监测感应磁环的位置,计算坝体在Z轴上的沉降量;

在S3中,利用电压抓取单元抓取磁敏开关的电压V,恒流源的电流为I_s,则总电阻为$R_{总} = \frac{V}{I_s}$;

磁敏开关的偏置电阻为R,则根据下列公式计算坝体在Z轴上的沉降量:

$$S_z = \frac{R_{总}}{R} * k;$$

其中,S_z表示坝体在Z轴上的沉降量,k表示磁敏开关的安装间隔;

S4、利用数据记录单元对S2和S3的计算数值进行记录,并建立坝体形变的数字孪生模型,标注形变量;

在S4中,包括以下步骤:

S401、建立坝体的数字孪生三维模型;

S402、突出显示刚性测量单元(4)在数字孪生三维模型上的位置;

S403、将S2和S3的计算数据标注在数字孪生三维模型上对应的刚性测量单元(4)位置处;

S404、提取被标注计算数据的刚性测量单元(4)所对应柔性万向节(5)的空间坐标,得到空间坐标的集合$P = \{(Sx_1, Sy_1, Sz_1), (Sx_2, Sy_2, Sz_2), (Sx_3, Sy_3, Sz_3), \ldots, (Sx_n, Sy_n, Sz_n)\}$,对应的位移量和沉降量组成集合$Q = \{q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n\}$,其中,n表示有n个柔性万向节(5)对应的刚性测量单元(4)被标注了计算数据;

S5、根据数字孪生模型,利用整体分析单元对坝体整体进行分析,精准定位坝体形变位置;

在S5中,根据坝体在X轴、Y轴和Z轴上的位移量和沉降量,将集合Q拆分为三个集合Q_x、Q_y和Q_z,三个集合所对应的坐标集合分别为P_x,P_y和P_z;

建立平面直角坐标系，X轴分别为P_x，P_y和P_z的X轴坐标值、Y轴坐标值和Z轴坐标值，Y轴分别为Q_x、Q_y和Q_z对应的X轴位移量、Y轴位移量和Z轴沉降量；

提取平面直角坐标中的最高点，三个坐标点分别对应的X轴的坐标值为Sx_a、Sy_b和Sz_c；

在数字孪生三维模型中分别建立Sx_a、Sy_b和Sz_c所对应的面，三个面会在数字孪生三维模型中框定出一定区域，该区域为坝体形变区域；

确定形变区域后需要对分析结果进行核实，包括以下步骤：S501、提取坐标值Sx_a、Sy_b和Sz_c的中点位置，组成坐标值$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})$；

S502、计算坐标值(Sx_a,Sy_b,Sz_c)与坐标值$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})$之间的距离$L_S$；

S503、当$L_S \geq \Delta L$时，判定对于形变区域的分析结果有误；当$L_S < \Delta L$时，判定分析结果正确，其中，ΔL表示设定的距离阈值。

2.一种实现权利要求1所述的大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测方法的监测系统，其特征在于，包括坝体，所述坝体上开设有若干个测斜孔(2)，所述测斜孔(2)外部等距离安装有若干个感应磁环(3)，所述测斜孔(2)内部采用铰接级联方式连接若干节等长的刚性测量单元(4)，所述刚性测量单元(4)之间通过柔性万向节(5)连接，并采用总线连接通信，所述刚性测量单元(4)通过传输线缆(6)进行供电以及将监测数据传输至监控中心，通过监控中心对坝体整体做数字化分析，确定坝体形变的位置区域。

3.根据权利要求2所述的监测系统，其特征在于：所述刚性测量单元(4)内部集成有微处理器、三轴位移传感器、恒流源和磁敏开关阵列；通过三轴位移传感器测量测斜孔(2)内各个深度的水平位移，通过磁敏开关阵列获取感应磁环(3)位置，配合恒流源通过微处理器计算坝体的沉降量。

4.根据权利要求3所述的监测系统，其特征在于：所述微处理器包括水平位移计算单元、电压抓取单元和沉降量计算单元；

所述水平位移计算单元用于根据三轴位移传感器的监测数据计算坝体在X轴和Y轴方向上的位移量；所述电压抓取单元用于抓取磁敏开关所产生的电压值；所述沉降量计算单元根据电压抓取单元所抓取的电压值进行坝体沉降量的计算，微处理器分析后的数据通过传输线缆(6)传输至监控中心。

5.根据权利要求4所述的监测系统，其特征在于：所述监控中心包括数据记录单元、数字孪生单元和整体分析单元；

所述数据记录单元用于记录通过传输线缆(6)传输的坝体水平位移量和沉降量；所述数字孪生单元用于建立坝体的数字孪生三维模型，并根据传输的数据绘制坝体的形变曲线和标注形变量；所述整体分析单元用于对坝体的整体监测情况进行分析，确定坝体的形变发生位置。

一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及坝体监测技术领域，具体是一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统及方法。

背景技术

[0002] 水坝，是拦截江河渠道水流以抬高水位或调节流量的挡水建筑物；可形成水库，抬高水位、调节径流、集中水头，用于防洪、供水、灌溉、水力发电、改善航运等；调整河势、保护岸床的河道整治建筑物也称坝；

[0003] 大坝的运营期内，需要时刻监测蓄水对坝体压力导致的横向位移，以及随时间推移由坝体重力导致的坝体的沉降纵向位移，以往的手段是利用分别利用滑动测斜仪和电子沉降仪分别进行人工测量，存在诸多缺缺点：1.监测密度低，不具实时性，与其他自动监测要素关联性不强；2.数据准确度受限于测量人员水平；3.需要人工用不同仪器进行分别测量，无法实现同孔自动化采集；

[0004] 所以，人们急需一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统及方法来解决上述技术问题。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统及方法，以解决现有技术中提出的问题。

[0006] 为实现上述目的，本发明提供如下技术方案：一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统，包括坝体，所述坝体上开设有若干个测斜孔，所述测斜孔外部等距离安装有若干个感应磁环，所述测斜孔内部采用铰接级联方式连接若干节等长的刚性测量单元，所述刚性测量单元之间通过柔性万向节连接，并采用总线连接通信，所述刚性测量单元通过传输线缆进行供电以及将监测数据传输至监控中心，通过监控中心对坝体整体做数字化分析，确定坝体形变的位置区域。

[0007] 根据上述技术方案，所述刚性测量单元内部集成有微处理器、三轴位移传感器、恒流源和磁敏开关阵列；通过三轴位移传感器测量测斜孔内各个深度的水平位移，通过磁敏开关阵列获取感应磁环位置，配合恒流源通过微处理器计算坝体的沉降量。

[0008] 根据上述技术方案，所述微处理器包括水平位移计算单元、电压抓取单元和沉降量计算单元；

[0009] 所述水平位移计算单元用于根据三轴位移传感器的监测数据计算坝体在X轴和Y轴方向上的位移量；所述电压抓取单元用于抓取磁敏开关所产生的电压值；所述沉降量计算单元根据电压抓取单元所抓取的电压值进行坝体沉降量的计算，微处理器分析后的数据通过传输线缆传输至监控中心。

[0010] 根据上述技术方案，所述监控中心包括数据记录单元、数字孪生单元和整体分析单元；

[0011] 所述数据记录单元用于记录通过传输线缆传输的坝体水平位移量和沉降量;所述数字孪生单元用于建立坝体的数字孪生三维模型,并根据传输的数据绘制坝体的形变曲线和标注形变量;所述整体分析单元用于对坝体的整体监测情况进行分析,确定坝体的形变发生位置。

[0012] 一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测方法,该方法包括以下步骤:

[0013] S1、在坝体上等距离开设若干个测斜孔,并在测斜孔外部等距离均匀布设感应磁环,将刚性测量单元安装在测斜孔内,并将安装在同一个测斜孔中的刚性测量单元一端固定,作为空间原点;

[0014] S2、利用三轴位移传感器监测坝体的水平位移,计算坝体在X轴和Y轴上的位移量;

[0015] S3、利用磁敏开关阵列监测感应磁环的位置,计算坝体在Z轴上的沉降量;

[0016] S4、利用数据记录单元对S2和S3的计算数值进行记录,并建立坝体形变的数字孪生模型,标注形变量;

[0017] S5、根据数字孪生模型,利用整体分析单元对坝体整体进行分析,精准定位坝体形变位置。

[0018] 根据上述技术方案,在S1中,刚性测量单元之间通过柔性万向节连接,任意一个柔性万向节在空间的坐标值为(Sx_i, Sy_i, Sz_i)。

[0019] 根据上述技术方案,在S2中,三轴位移传感器监测到在X轴和Y轴的倾角为A_x和A_y,三轴位移传感器的长度为L,根据下列公式分别计算坝体在X轴和Y轴方向上的位移量:

[0020] $$S_x = L * Sin(A_x);$$

[0021] $$S_y = L * sin(A_y);$$

[0022] 其中,S_x表示坝体在X轴上的位移量,S_y表示坝体在Y轴上的位移量。

[0023] 根据上述技术方案,在S3中,利用电压抓取单元抓取磁敏开关的电压V,恒流源的电流为I_s,则总电阻为$R_{总} = \frac{V}{I_s}$;

[0024] 磁敏开关的偏置电阻为R,则根据下列公式计算坝体在Z轴上的沉降量:$S_z = \frac{R_{总}}{R} * k$;

[0025] 其中,S_z表示坝体在Z轴上的沉降量,k表示磁敏开关的安装间隔。

[0026] 根据上述技术方案,在S4中,包括以下步骤:

[0027] S401、建立坝体的数字孪生三维模型;

[0028] S402、突出显示刚性测量单元在数字孪生三维模型上的位置;

[0029] S403、将S2和S3的计算数据标注在数字孪生三维模型上对应的刚性测量单元位置处;

[0030] S404、提取被标注计算数据的刚性测量单元所对应柔性万向节的空间坐标,得到空间坐标的集合$P = \{(Sx_1, Sy_1, Sz_1), (Sx_2, Sy_2, Sz_2), (Sx_3, Sy_3, Sz_3), \ldots, (Sx_n, Sy_n, Sz_n)\}$,对应的位移量和沉降量组成集合$Q = \{q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n\}$,其中,n表示有n个柔性万向节对应的刚性测量单元被标注了计算数据。

[0031] 根据上述技术方案，在S5中，根据坝体在X轴、Y轴和Z轴上的位移量和沉降量，将集合Q拆分为三个集合Q_x、Q_y和Q_z，三个集合所对应的坐标集合分别为P_x，P_y和P_z；

[0032] 建立平面直角坐标系，X轴分别为P_x，P_y和P_z的X轴坐标值、Y轴坐标值和Z轴坐标值，Y轴分别为Q_x、Q_y和Q_z对应的X轴位移量、Y轴位移量和Z轴沉降量；

[0033] 提取平面直角坐标中的最高点，三个坐标点分别对应的X轴的坐标值为Sx_a、Sy_b和Sz_c；

[0034] 在数字孪生三维模型中分别建立Sx_a、Sy_b和Sz_c所对应的面，三个面会在数字孪生三维模型中框定出一定区域，该区域为坝体形变区域；

[0035] 确定形变区域后需要对分析结果进行核实，包括以下步骤：

[0036] S501、提取坐标值Sx_a、Sy_b和Sz_c的中点位置，组成坐标值$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})$；

[0037] S502、计算坐标值(Sx_a,Sy_b,Sz_c)与坐标值$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})$之间的距离$L_S$；

[0038] S503、当$L_S \geq \Delta L$时，判定对于形变区域的分析结果有误；

[0039] 当$L_S < \Delta L$时，判定分析结果正确，其中，ΔL表示设定的距离阈值。

[0040] 通过上述技术方案，因为在坝体发生形变时，肯定不单单是坝体的某一个点发生了形变，而是由于某一点受力不均或者受力过大，导致一片区域发生形变，因此，在对坝体的监测数据中，形变数据会集中向一个区域，而这个区域的中心点即形变的中心点，使得可以精准的定位形变发生的区域，以便于及时的作出精准的加固和修复工作。

[0041] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：

[0042] 通过监控中心对坝体整体做数字化分析，解决了大坝坝体全深度水平位移和沉降的同孔自动化监测难题，可以实现实时自动化监测，大大简化测量流程，避免了人工操作误差；

[0043] 同时，通过对监测数据的分析，可以进一步的确定和分析坝体形变的具体发生区域，便于工作人员及时的对坝体作出检修和维护的工作，再者，对数据分析的结果进行核实，可以避免数据分析出错影响坝体安全，可以进一步的确定坝体的形变发生位置和形变发生区域，保证坝体安全。

附图说明

[0044] 图1为本发明一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统的监测结构示意图；

[0045] 图2为本发明一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测方法的步骤流程示意图；

[0046] 图3为本发明一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测方法的测量电路图；

[0047] 图中标号：1、基岩；2、测斜孔；3、感应磁环；4、刚性测量单元；5、柔性万向节；6、传输线缆。

实施方式

[0048] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0049] 实施例一：如图1所示，本发明提供以下技术方案，

[0050] 一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测系统，包括坝体，所述坝体上开设有若干个测斜孔2，所述测斜孔2底部为坝体的基岩1，所述测斜孔2外部等距离安装有若干个感应磁环3，所述测斜孔2内部采用铰接级联方式连接若干节等长的刚性测量单元4，使得每个刚性测量单元4能够监测相同的范围，所述刚性测量单元4之间通过柔性万向节5连接，使得刚性测量单元4能够跟随坝体做同步变化，并采用总线连接通信，所述刚性测量单元4通过传输线缆6进行供电以及将监测数据传输至监控中心，通过监控中心对坝体整体做数字化分析，确定坝体形变的位置区域，解决了大坝坝体全深度水平位移和沉降的同孔自动化监测难题，可以实现实时自动化监测，大大简化测量流程，避免了人工操作误差。

[0051] 所述刚性测量单元4内部集成有微处理器、三轴位移传感器、恒流源和磁敏开关阵列；通过三轴位移传感器测量测斜孔2内各个深度的水平位移，通过磁敏开关阵列获取感应磁环3位置，配合恒流源通过微处理器计算坝体的沉降量；所述刚性测量单元4内部固定有电路板，所述电路板P面等间距均匀分布若干个磁敏开关，感应到感应磁环的磁力会闭合对应位置的磁敏开关，形成电流回路，通过采集信号端的电压来计算感应磁环位置；所述电路板S面设置有微处理器、ADC测量单元和三轴位移传感器；电路板接口为4芯线缆，分别为2芯供电，2芯信号总线，4芯线缆使得所有刚性测量单元内的电路板级联起来，实现数据总线传输。

[0052] 此种结构对刚性测量单元4的数量没有限制；每100个刚性测量单元组成一个485总线网络，当刚性测量单元4的数量超过100个后，使用485中继器即可完成不同总线网络之间的通信，实现了对挂载数量的无限扩展。

[0053] 所述微处理器包括水平位移计算单元、电压抓取单元和沉降量计算单元；

[0054] 所述水平位移计算单元用于根据三轴位移传感器的监测数据计算坝体在X轴和Y轴方向上的位移量；所述电压抓取单元用于抓取磁敏开关所产生的电压值，以便于配合恒流源计算坝体沉降量；所述沉降量计算单元根据电压抓取单元所抓取的电压值进行坝体沉降量的计算，微处理器分析后的数据通过传输线缆6传输至监控中心。

[0055] 所述监控中心包括数据记录单元、数字孪生单元和整体分析单元；

[0056] 所述数据记录单元用于记录通过传输线缆6传输的坝体水平位移量和沉降量；所述数字孪生单元用于建立坝体的数字孪生三维模型，并根据传输的数据绘制坝体的形变曲线和标注形变量，目的是为了方便后期根据监测的整个坝体的形变数据精准的分析坝体的形变区域；所述整体分析单元用于对坝体的整体监测情况进行分析，确定坝体的形变发生位置，以便于更加精准的对坝体作出加固和检修工作。

[0057] 通过上述技术方案，实现了对坝体全方位的形变监测，同时，统计整个坝体的监测数据，整体分析，使得可以精准的确定坝体的形变发生区域，因为在进行坝体形变监测时，往往多个刚性监测单元4都能够监测到形变数据，就无法确定具体的形变发生位置，所以，

通过上述技术方案,可以为工作人员提供更加直观的坝体形变情况。

[0058] 实施例二:如图2所示,一种大坝分层沉降和水平位移同孔自动监测方法,该方法包括以下步骤:

[0059] S1、在坝体上等距离开设若干个测斜孔2,并在测斜孔2外部等距离均匀布设感应磁环3,将刚性测量单元4安装在测斜孔2内,并将安装在同一个测斜孔2中的刚性测量单元4一端固定,作为空间原点;

[0060] 刚性测量单元4之间通过柔性万向节5连接,任意一个柔性万向节5在空间的坐标值为(Sx_i, Sy_i, Sz_i)。

[0061] S2、利用三轴位移传感器监测坝体的水平位移,计算坝体在X轴和Y轴上的位移量;

[0062] 三轴位移传感器监测到在X轴和Y轴的倾角为A_x和A_y,三轴位移传感器的长度为L,根据下列公式分别计算坝体在X轴和Y轴方向上的位移量:$S_x = L * Sin(A_x)$;$S_y = L * \sin(A_y)$;

[0063] 其中,S_x表示坝体在X轴上的位移量,S_y表示坝体在Y轴上的位移量。

[0064] 由于蓄水压力的作用,会导致坝体水平方向的分层位移,而全向位移计会随着坝体的变形方向发生弯曲,因此电路板上的三轴位移传感器会感应到全向位移计的弯曲,通过角度的变化以及三角函数数学公式,即可计算出双向水平位移Sx与Sy。

[0065] S3、利用磁敏开关阵列监测感应磁环的位置,计算坝体在Z轴上的沉降量;

[0066] 利用电压抓取单元抓取磁敏开关的电压V,恒流源的电流为I_s,则总电阻为$R_{总} = \frac{V}{I_s}$;

[0067] 磁敏开关的偏置电阻为R,则根据下列公式计算坝体在Z轴上的沉降量:$S_z = \frac{R_{总}}{R} * k$;

[0068] 其中,S_z表示坝体在Z轴上的沉降量,k表示磁敏开关的安装间隔。

[0069] 恒流源Is从single线输入,当遇到某一个或多个磁敏开关闭合时,由于偏置电阻R的阻值远远大于磁敏开关闭合时的阻值,因此电流会以最短回路(离电流源最近的一个已闭合的磁敏电阻)流入到GND线上,从而实现了电流环的整个通路;

[0070] 恒流源Is流经的电阻R的数量决定了恒流源Is上的电压值Vs,因此通过测量Vs便能计算出哪一个磁敏开关闭合,从而确定了感应磁环所在位置;

[0071] 当所有的磁敏开关均处于断开状态时,由于恒流源Is未形成回路,因此Vs值将会是一个理论上的无穷大值,通过ADC采集到的Vs值将会是满量程的值,通过设定阈值,便能够识别出感应磁环已经脱离有效监测范围。

[0072] S4、利用数据记录单元对S2和S3的计算数值进行记录,并建立坝体形变的数字孪生模型,标注形变量;

[0073] 包括以下步骤:

[0074] S401、建立坝体的数字孪生三维模型;

[0075] S402、突出显示刚性测量单元4在数字孪生三维模型上的位置;

[0076] S403、将S2和S3的计算数据标注在数字孪生三维模型上对应的刚性测量单元4位置处；

[0077] S404、提取被标注计算数据的刚性测量单元4所对应柔性万向节5的空间坐标，得到空间坐标的集合$P=\{(Sx_1,Sy_1,Sz_1),(Sx_2,Sy_2,Sz_2),(Sx_3,Sy_3,Sz_3),\ldots,(Sx_n,Sy_n,Sz_n)\}$，对应的位移量和沉降量组成集合$Q=\{q_1,q_2,q_3,\ldots,q_n\}$，其中，n表示有n个柔性万向节5对应的刚性测量单元4被标注了计算数据。

[0078] S5、根据数字孪生模型，利用整体分析单元对坝体整体进行分析，精准定位坝体形变位置。

[0079] 根据坝体在X轴、Y轴和Z轴上的位移量和沉降量，将集合Q拆分为三个集合Q_x、Q_y和Q_z，三个集合所对应的坐标集合分别为P_x，P_y和P_z；

[0080] 建立平面直角坐标系，X轴分别为P_x，P_y和P_z的X轴坐标值、Y轴坐标值和Z轴坐标值，Y轴分别为Q_x、Q_y和Q_z对应的X轴位移量、Y轴位移量和Z轴沉降量；

[0081] 提取平面直角坐标中的最高点，三个坐标点分别对应的X轴的坐标值为Sx_a、Sy_b和Sz_c；

[0082] 在数字孪生三维模型中分别建立Sx_a、Sy_b和Sz_c所对应的面，三个面会在数字孪生三维模型中框定出一定区域，该区域为坝体形变区域；

[0083] 确定形变区域后需要对分析结果进行核实，包括以下步骤：

[0084] S501、提取坐标值Sx_a、Sy_b和Sz_c的中点位置，组成坐标值$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})$；

[0085] S502、计算坐标值(Sx_a,Sy_b,Sz_c)与坐标值$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})$之间的距离$L_S$；

[0086] S503、当$L_S \geq \Delta L$时，判定对于形变区域的分析结果有误；

[0087] 当$L_S < \Delta L$时，判定分析结果正确，因为若分析的形变区域过大，那么可能是因为在分析的过程中坝体上不止一处发生了形变或位置。

[0088] 因为在坝体发生形变后，基本上都是由某一点的受力不均或者是受力过大导致的，所以一旦确定的形变区域过大，那么可能是分析的数据出现了问题或者是受力不均的点不止一处，那么就需要重新进行数据的处理和分析。

[0089] 通过上述技术方案，因为在坝体发生形变时，肯定不单单是坝体的某一个点发生了形变，而是由于某一点受力不均或者受力过大，导致一片区域发生形变，因此，在对坝体的监测数据中，形变数据会集中向一个区域，而这个区域的中心点即形变的中心点，使得可以精准的定位形变发生的区域，以便于及时的作出精准的加固和修复工作。

[0090] 实施例三：

[0091] 三轴位移传感器监测到在X轴和Y轴的倾角为$A_x=0.5^\circ$和$A_y=0.1^\circ$，三轴位移传感器的长度为L=1000mm，根据下列公式分别计算坝体在X轴和Y轴方向上的位移量：$S_x=L*Sin(A_x)$=8.7mm；$S_y=L*sin(A_y)$=1.7mm；

[0092] 其中，S_x=8.7㎜表示坝体在X轴上的位移量，S_y=1.7㎜表示坝体在Y轴上的位移量。

[0093] S3、利用磁敏开关阵列监测感应磁环的位置，计算坝体在Z轴上的沉降量；

[0094] 利用电压抓取单元抓取磁敏开关的电压V=0，恒流源的电流为I_s，则总电阻为$R_{总}=\frac{V}{I_s}$=0；

[0095] 磁敏开关的偏置电阻为R，则根据下列公式计算坝体在Z轴上的沉降量：$S_z=\frac{R_{总}}{R}*k$=0；

[0096] 其中，S_z=0表示坝体在Z轴上的沉降量，k表示磁敏开关的安装间隔。

[0097] S4、利用数据记录单元对S2和S3的计算数值进行记录，并建立坝体形变的数字孪生模型，标注形变量；

[0098] 包括以下步骤：

[0099] S401、建立坝体的数字孪生三维模型；

[0100] S402、突出显示刚性测量单元4在数字孪生三维模型上的位置；

[0101] S403、将S2和S3的计算数据标注在数字孪生三维模型上对应的刚性测量单元4位置处；

[0102] S404、提取被标注计算数据的刚性测量单元4所对应柔性万向节5的空间坐标，得到空间坐标的集合$P=\{(Sx_1,Sy_1,Sz_1),(Sx_2,Sy_2,Sz_2),(Sx_3,Sy_3,Sz_3),\ldots,(Sx_n,Sy_n,Sz_n)\}$，对应的位移量和沉降量组成集合$Q=\{q_1,q_2,q_3,\ldots,q_n\}$，其中，n表示有n个柔性万向节5对应的刚性测量单元4被标注了计算数据。

[0103] S5、根据数字孪生模型，利用整体分析单元对坝体整体进行分析，精准定位坝体形变位置。

[0104] 根据坝体在X轴、Y轴和Z轴上的位移量和沉降量，将集合Q拆分为三个集合Q_x、Q_y和Q_z，三个集合所对应的坐标集合分别为P_x，P_y和P_z；

[0105] 建立平面直角坐标系，X轴分别为P_x，P_y和P_z的X轴坐标值、Y轴坐标值和Z轴坐标值，Y轴分别为Q_x、Q_y和Q_z对应的X轴位移量、Y轴位移量和Z轴沉降量；

[0106] 提取平面直角坐标中的最高点，三个坐标点分别对应的X轴的坐标值为$Sx_a=32$、$Sy_b=12$和$Sz_c=0$；

[0107] 在数字孪生三维模型中分别建立Sx_a、Sy_b和Sz_c所对应的面，三个面会在数字孪生三维模型中框定出一定区域，该区域为坝体形变区域；

[0108] 确定形变区域后需要对分析结果进行核实，包括以下步骤：

[0109] S501、提取坐标值Sx_a、Sy_b和Sz_c的中点位置，组成坐标值$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})$=(16，6)；

[0110] S502、计算坐标值(Sx_a,Sy_b,Sz_c)=(32,12)与坐标值

$(\frac{Sx_a}{2},\frac{Sy_b}{2},\frac{Sz_c}{2})=(162.5,62.5)$之间的距离$L_S=17.1m$；

[0111] $L_S \geq \Delta L$=10m，判定对于形变区域的分析结果有误。

[0112] 对于本领域技术人员而言，显然本发明不限于上述示范性实施例的细节，而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下，能够以其他的具体形式实现本发明。因此，无论从哪一点来看，均应将实施例看作是示范性的，而且是非限制性的，本发明的范围由所附权利要求而不是上述说明限定，因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。不应将权利要求中的任何附图标记视为限制所涉及的权利要求。

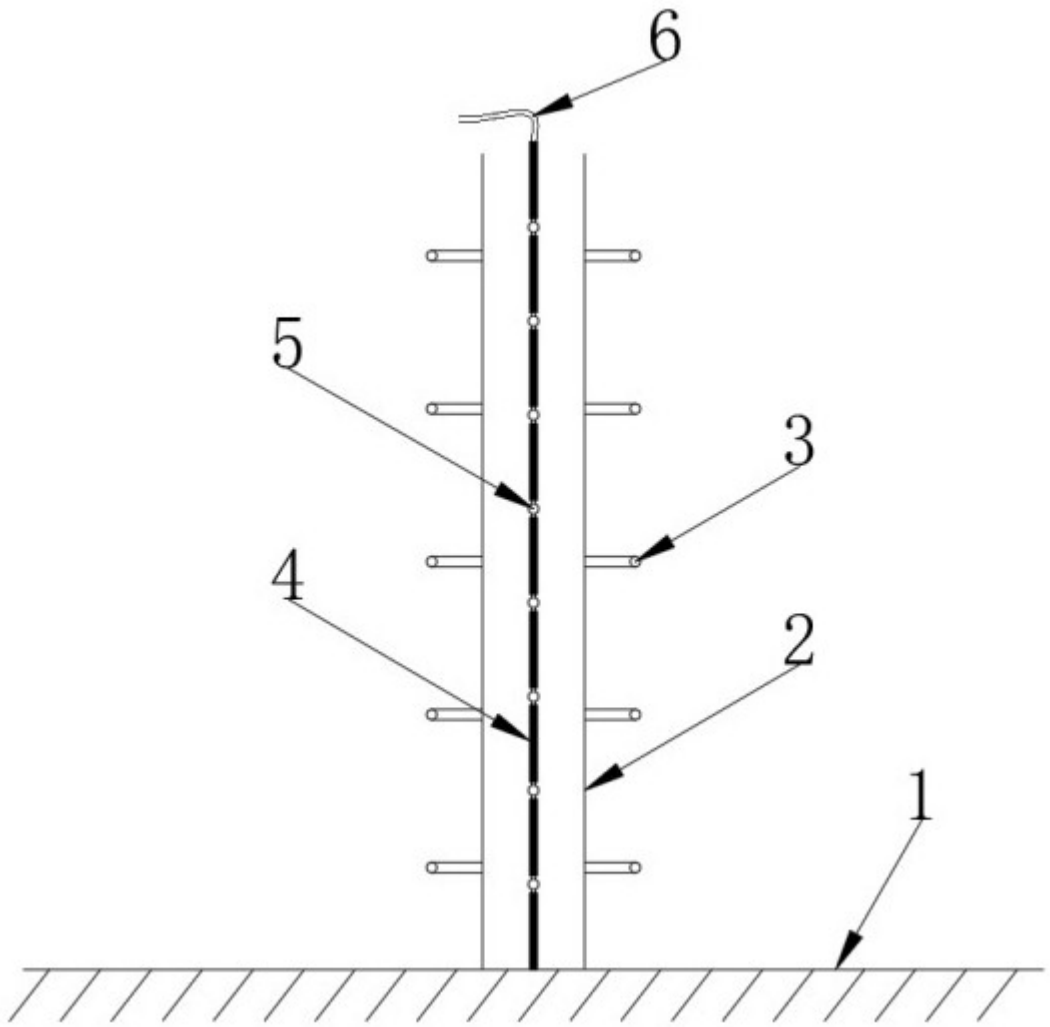


图 1

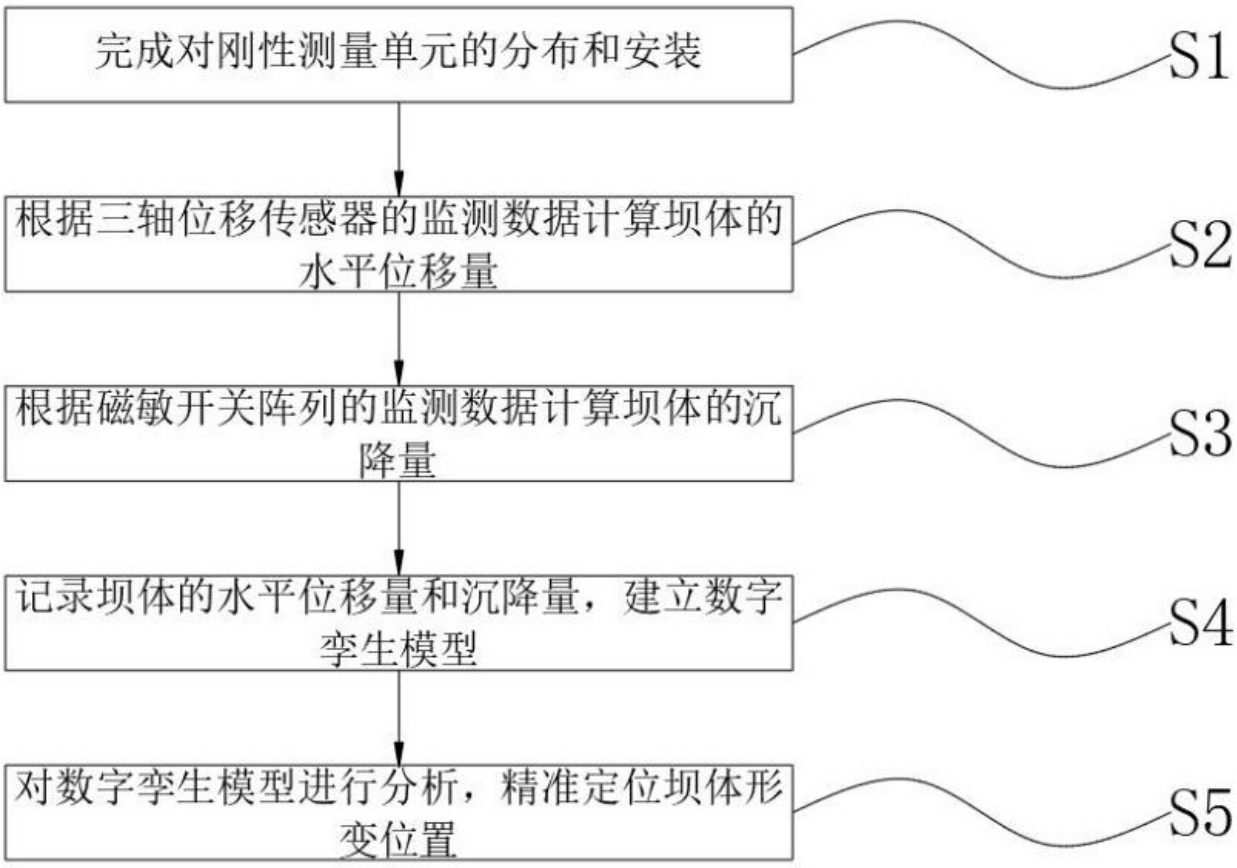

完成对刚性测量单元的分布和安装
S1
根据三轴位移传感器的监测数据计算坝体的水平位移量
S2
根据磁敏开关阵列的监测数据计算坝体的沉降量
S3
记录坝体的水平位移量和沉降量，建立数字孪生模型
S4
对数字孪生模型进行分析，精准定位坝体形变位置
S5

图 2

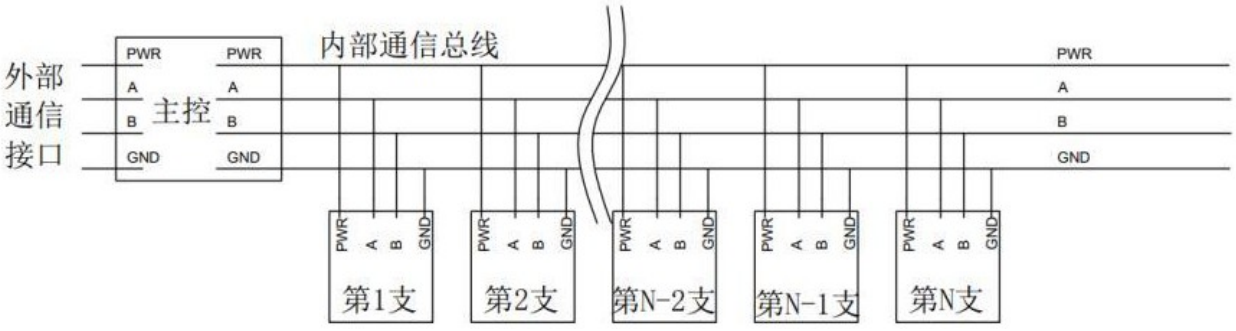

外部通信接口
PWR
A
B
GND
主控
PWR
A
B
GND
内部通信总线
PWR
A
B
GND
第1支
第2支
第N-2支
第N-1支
第N支

图 3