



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109883474 A

(43)申请公布日 2019.06.14

(21)申请号 201910130959.X

(22)申请日 2019.02.20

(71)申请人 吉林建筑大学

地址 130000 吉林省长春市新城大街5088号

(72)发明人 张立辉 王庆纲 王锐 韩成浩
魏立明 杜丽英 岳俊华 王旭
李春良 郭秀娟

(74)专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理
事务所(普通合伙) 11369

代理人 姜美洋

(51)Int.Cl.

G01D 21/02(2006.01)

权利要求书3页 说明书9页

(54)发明名称

基于现场监测的建筑物健康监测系统及监测方法

(57)摘要

本发明公开了基于现场监测的建筑物健康监测系统,包括:孔隙水压力传感器,其埋设于建筑物土地内,用于测量建筑物土体内的渗透水压力;应变式压力传感器,其设置在建筑物中铺设的管道内,测量管道内流体的压力和气体的压力;压力盒,其埋设于建筑物土体内,对土体的内应力进行测量,也能对建筑物结构之间的接触应力进行测量;温度传感器,其用于监视建筑物的环境温度;湿度传感器,其用于监视建筑物的环境湿度。本发明提供了基于现场监测的建筑物健康监测系统,能够实时对建筑物进行监控,能及时发现建筑物的结构上的问题。

1. 基于现场监测的建筑物健康监测系统,其特征在于,包括:
 孔隙水压力传感器,其埋设于建筑物土地内,用于测量建筑物土体内的渗透水压力;
 应变式压力传感器,其设置在建筑物中铺设的管道内,测量管道内流体的压力和气体的压力;
 压力盒,其埋设于建筑物土体内,对土体的内应力进行测量,也能对建筑物结构之间的接触应力进行测量;
 温度传感器,其用于监视建筑物的环境温度;
 湿度传感器,其用于监视建筑物的环境湿度。
2. 根据权利要求1所述的基于现场监测的建筑物健康监测系统,其特征在于,还包括:
 模数转换器,其与所述孔隙水压力传感器、所述应变式压力传感器、所述压力盒、所述温度传感器和所述湿度传感器连接,将电信号转换为数字信号并发送出去;
 校正模块,其连接所述模数转换器,将所述数字信号进行校正后发出;
 服务器,其接收所述校正模块的信号,并进行处理分析;
 报警器,其与所述服务器连接,发出报警;
 显示器,其与所述服务器连接,用于显示风险状态。
3. 根据权利要求2所述的基于现场监测的建筑物健康监测系统,其特征在于,
 所述孔隙水压力计为振弦式渗压计或硅压式扬压力计;
 所述压力盒为钢弦式压力盒或油腔压力盒。
4. 根据权利要求2所述的基于现场监测的建筑物健康监测系统,其特征在于,
 所述报警器为嗡鸣报警器、语音报警器或光闪报警器。
5. 基于现场监测的建筑物健康监测方法,其特征在于,包括:
 步骤一、采集待监测建筑物的健康数据,根据所述待监测建筑物的健康数据获取待监测建筑物的健康评估系数 γ ,当 $\gamma \geq \gamma_t$,对所述待监测建筑物进行健康评估;其中, γ_t 为临界健康评估系数;
 步骤二、采集待监测建筑物土体内的渗透水压力、土体的内应力、管道内流体的压力、管道内气体的压力、结构之间的接触应力,根据所述待监测建筑物土体内的渗透水压力、土体的内应力、管道内流体的压力、管道内气体的压力、结构之间的接触应力对健康评估系数进行处理得到健康评估指数 τ ,当 $\tau \geq \tau_t$ 时,对待监测建筑物进行健康状态判断;其中, τ_t 为临界健康评估指数;
 步骤三、根据所述土体内的渗透水压力、所述土体的内应力、所述管道内流体的压力、所述管道内气体的压力、所述结构之间的接触应力和所述健康评估指数进行待监测建筑物进行健康状态判断,对建筑物健康状态进行监控。
6. 根据权利要求5所述的基于现场监测的建筑物健康监测方法,其特征在于,在所述步骤一中,所述健康评估系数 γ 计算方法为:

$$\gamma = \frac{\kappa HS \sqrt{\bar{T} \cdot \bar{E}}}{(S + S')(H + h) \sqrt{\delta_1 \bar{T} \cdot \bar{E} + \delta_2 T \cdot E}}$$

式中, κ 为校正系数, H 为待监测建筑物高度, h 为待监测建筑物地基深度, S 为待监测建筑物的实际年龄, S' 为待监测建筑物的有效年龄, \bar{T} 为待监测建筑物的年平均环境温度, \bar{E}

为待监测建筑物的年平均环境湿度, T 为待监测建筑物的环境温度, E 为待监测建筑物的环境湿度, δ_1 为第一校正系数, δ_2 为第二校正系数。

7. 根据权利要求6所述的基于现场监测的建筑物健康监测方法, 其特征在于, κ 取值为1.02~1.05, γ_t 取值为0.15。

8. 根据权利要求7所述的基于现场监测的建筑物健康监测方法, 其特征在于, 所述健康评估指数 τ

$$\tau = \frac{2.56 \left(\frac{P_1}{P_g} \right)^2 + \ln(P_o^2 + 2P_o) + e}{\ln(N_i^2 + N_c^2) + e^{\frac{N_i}{N_c}} + 1}$$

式中, P_o 为土体内的渗透水压力, N_i 为土体的内应力, P_1 为管道内流体的压力, P_g 为管道内气体的压力, N_c 为结构之间的接触应力, e 为自然对数的底数。

9. 根据权利要求8所述的基于现场监测的建筑物健康监测方法, 其特征在于, 在所述步骤三中, 通过建立BP神经网络模型对待监测建筑物进行健康状态判断, 包括如下步骤:

步骤1、按照采样周期, 采集待监视建筑物的土体内的渗透水压力 P_o 、待监视建筑物中铺设的管道内流体的压力 P_1 和气体的压力 P_g 、待监视建筑物的土体的内应力 N_i 和建筑物结构之间的接触应力 N_c , 确定待监测建筑物的健康评估指数 τ ;

步骤2、依次将上述参数进行规格化, 确定三层BP神经网络的输入层神经元向量 $x = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$, 其中, x_1 为土体内的渗透水压力系数, x_2 为管道内流体的压力系数, x_3 为管道内气体的压力系数, x_4 为土体的内应力系数, x_5 为结构之间的接触应力系数, x_6 为健康评估指数系数;

步骤3、所述输入层向量映射到隐层, 所述隐层向量 $y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, m 为隐层节点个数;

步骤4、得到输出层神经元向量 $o = \{o_1, o_2, o_3\}$; 其中, o_1 为设定的第一级健康等级, o_2 为设定的第二级健康等级, o_3 为设定的第三级健康等级, 所述输出层神经元值为

$$o_k = s(i, k) = \begin{cases} 0 & i \neq k \\ 1 & i = k \end{cases}, k \text{ 为输出层神经元序列号, } k = \{1, 2, 3\}, i \text{ 为设定的第 } i \text{ 个健康等级, } i = \{1, 2, 3\}, \text{ 当 } o_k \text{ 为 } 1 \text{ 时, 此时, 待监测建筑物处于 } o_k \text{ 对应的健康等级;}$$

步骤5、服务器根据输出的健康等级判断, 显示器显示风险状态; 其中, 所述第一级健康等级为安全状态, 对待监测建筑物无需做出保护措施, 所述第二级健康等级为危险状态, 对待监测建筑物做出检控预警, 采取保护措施, 所述第三级健康等级为高危状态, 对待监测建筑物做出紧急预警和保护措施。

10. 根据权利要求9所述的基于现场监测的建筑物健康监测方法, 其特征在于, 所述步骤一中, 校正模块对传感器采集的数据进行校正得到输出的数据, 对于孔隙水压力传感器采集待监视建筑物的土体内的渗透水压力, 其第一校正因子满足:

$$\xi_1 = 1.21 \pm ae^{-\sqrt{\frac{P'_0 - \bar{P}_0}{P'_0}}}$$

P_0' 为孔隙水压力传感器采集的土体内的实时渗透水压力, \bar{P}_0 为当地土体内的平均渗透水压力, a 为孔隙水压力传感器的修正系数;

通过应变式压力传感器采集待监视建筑物中铺设的管道内流体的压力和气体的压力的第二校正因子满足:

$$\xi_2 = 1.01 \pm be^{-\sqrt{\frac{P_i' - \bar{P}_i}{P_i'}}}$$

P_i' 为应变式压力传感器采集的管道内流体的实时压力, \bar{P}_i 为当地建筑物管道内流体平均压力, b 为应变式压力传感器的修正系数;

通过应变式压力传感器采集待监视建筑物中铺设的管道内气体的压力的第三校正因子满足:

$$\xi_3 = 1.01 \pm be^{-\left(\sqrt{\frac{P_g' - \bar{P}_g}{P_g'}} + 0.001\right)}$$

P_g' 为应变式压力传感器采集的管道内气体的实时压力, \bar{P}_g 为当地建筑物管道内气体平均压力。

基于现场监测的建筑物健康监测系统及监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及建筑物检测领域,尤其涉及基于现场监测的建筑物健康监测系统及监测方法。

背景技术

[0002] 由于我国人口原因,高层以及超高层建筑是建筑的主流趋势。出于超高层建筑的稳定性和安全性的考虑,更需要建筑物的健康监测与管理。城市建筑越来越密集,越来越高,是城市发展的趋势。由于自然地质等不可控制的灾难或者在人为修砌过程中,建筑易出现断裂、移位、倾斜等灾难。该灾难是不可预见的,会给人们带来不可估量的生命财产损失。故对建筑物的健康状况的监测是十分重要的事情。

[0003] 随着中国不断向前发展,有越来越多的建筑物进入到老龄和需要维护的时期,这些建筑物的安全性备受关注。同时,可利用的土地面积越来越少,人们对建筑物要的要求也越来越高,使建筑物的工程结构越来越复杂,对其进行有效的结构健康监测十分有必要。

[0004] 随着科学技术的不断发展,各种智能建筑会不断增加。当人们要求建筑上的各种智能设施有更多的增加的同时,也对使用的便利性的要求也越来越高。

发明内容

[0005] 本发明为解决目前的技术不足之处,提供了基于现场监测的建筑物健康监测系统,能够实时对建筑物进行监控,能及时发现建筑物的结构上的问题。

[0006] 本发明的另一目的是提供基于现场监测的建筑物健康监测系统及监测方法,对可能产生的安全隐患进行预测,及早对建筑物进行维护。

[0007] 本发明提供的技术方案为:基于现场监测的建筑物健康监测系统,包括:

[0008] 孔隙水压力传感器,其埋设于建筑物土地内,用于测量建筑物土体内的渗透水压力;

[0009] 应变式压力传感器,其设置在建筑物中铺设的管道内,测量管道内流体的压力和气体的压力;

[0010] 压力盒,其埋设于建筑物土体内,对土体的内应力进行测量,也能对建筑物结构之间的接触应力进行测量;

[0011] 温度传感器,其用于监视建筑物的环境温度;

[0012] 湿度传感器,其用于监视建筑物的环境湿度。

[0013] 优选的是,还包括:

[0014] 模数转换器,其与所述孔隙水压力传感器、所述应变式压力传感器、所述压力盒、所述温度传感器和所述湿度传感器连接,将电信号转换为数字信号并发送出去;

[0015] 校正模块,其连接所述模数转换器,将所述数字信号进行校正后发出;

[0016] 服务器,其接收所述校正模块的信号,并进行处理分析;

- [0017] 报警器,其与所述服务器连接,发出报警;
- [0018] 显示器,其与所述服务器连接,用于显示风险状态。
- [0019] 优选的是,
- [0020] 所述孔隙水压力计为振弦式渗压计或硅压式扬压力计;
- [0021] 所述压力盒为钢弦式压力盒或油腔压力盒。
- [0022] 优选的是,
- [0023] 所述报警器为喻鸣报警器、语音报警器或光闪报警器。
- [0024] 基于现场监测的建筑物健康监测方法,包括:
- [0025] 步骤一、采集待监测建筑物的健康数据,根据所述待监测建筑物的健康数据获取待监测建筑物的健康评估系数 γ ,当 $\gamma \geq \gamma_t$,对所述待监测建筑物进行健康评估;其中, γ_t 为临界健康评估系数;
- [0026] 步骤二、采集待监测建筑物土体内的渗透水压力、土体的内应力、管道内流体的压力、管道内气体的压力、结构之间的接触应力,根据所述待监测建筑物土体内的渗透水压力、土体的内应力、管道内流体的压力、管道内气体的压力、结构之间的接触应力对健康评估系数进行处理得到健康评估指数 τ ,当 $\tau \geq \tau_t$ 时,对待监测建筑物进行健康状态判断;其中, τ_t 为临界健康评估指数;
- [0027] 步骤三、根据所述土体内的渗透水压力、所述土体的内应力、所述管道内流体的压力、所述管道内气体的压力、所述结构之间的接触应力和所述健康评估指数进行待监测建筑物进行健康状态判断,对建筑物健康状态进行监控。
- [0028] 优选的是,在所述步骤一中,所述健康评估系数 γ 计算方法为:

$$[0029] \quad \gamma = \frac{\kappa HS \sqrt{\bar{T} \cdot \bar{E}}}{(S + S')(H + h) \sqrt{\delta_1 \bar{T} \cdot \bar{E} + \delta_2 T \cdot E}}$$

[0030] 式中, κ 为校正系数, H 为待监测建筑物高度, h 为待监测建筑物地基深度, S 为待监测建筑物的实际年龄, S' 为待监测建筑物的有效年龄, \bar{T} 为待监测建筑物的年平均环境温度, \bar{E} 为待监测建筑物的年平均环境湿度, T 为待监测建筑物的环境温度, E 为待监测建筑物的环境湿度, δ_1 为第一校正系数, δ_2 为第二校正系数。

[0031] 优选的是, κ 取值为1.02~1.05, γ_t 取值为0.15。

[0032] 优选的是,所述健康评估指数 τ

$$[0033] \quad \tau = \frac{2.56 \left(\frac{P_l}{P_g} \right)^2 + \ln(P_o^2 + 2P_o) + e}{\ln(N_i^2 + N_c^2) + e^{\frac{N_i}{N_c} + 1}}$$

[0034] 式中, P_o 为土体内的渗透水压力, N_i 为土体的内应力, P_l 为管道内流体的压力, P_g 为管道内气体的压力, N_c 为结构之间的接触应力, e 为自然对数的底数。

[0035] 优选的是,在所述步骤三中,通过建立BP神经网络模型对待监测建筑物进行健康状态判断,包括如下步骤:

[0036] 步骤1、按照采样周期,采集待监视建筑物的土体内的渗透水压力 P_o 、待监视建筑

物中铺设的管道内流体的压力 P_1 和气体的压力 P_g 、待监视建筑物 的土体的内应力 N_i 和建筑物结构之间的接触应力 N_c ，确定待监测建筑物的健康评估指数 τ ；

[0037] 步骤2、依次将上述参数进行规格化，确定三层BP神经网络的输入层神经元向量 $x = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$ ，其中， x_1 为土体内的渗透水压力系数， x_2 为管道内流体的压力系数， x_3 为管道内气体的压力系数， x_4 为土体的内应力系数， x_5 为结构之间的接触应力系数， x_6 为健康评估指数系数；

[0038] 步骤3、所述输入层向量映射到隐层，所述隐层向量 $y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ ， m 为隐层节点个数；

[0039] 步骤4、得到输出层神经元向量 $o = \{o_1, o_2, o_3\}$ ；其中， o_1 为设定的第一级健康等级， o_2 为设定的第二级健康等级， o_3 为设定的第三级健康等级，所述输出层神经元值为

$$o_k = s(i, k) = \begin{cases} 0 & i \neq k \\ 1 & i = k \end{cases}, k \text{ 为输出层神经元序列号, } k = \{1, 2, 3\}, i \text{ 为设定的第 } i \text{ 个健康等级, } i = \{1, 2, 3\}, \text{ 当 } o_k \text{ 为 } 1 \text{ 时, 此时, 待监测建筑物处于 } o_k \text{ 对应的健康等级;}$$

[0040] 步骤5、服务器根据输出的健康等级判断，显示器显示风险状态；其中，所述第一级健康等级为安全状态，对待监测建筑物无需做出保护措施，所述第二级健康等级为危险状态，对待监测建筑物做出检控预警，采取保护措施，所述第三级健康等级为高危状态，对待监测建筑物做出紧急预警和保护措施。

[0041] 优选的是，所述步骤一中，校正模块对传感器采集的数据进行校正得到输出的数据，对于孔隙水压力传感器采集待监视建筑物的土体内的渗透水压力，其第一校正因子满足：

$$[0042] \quad \xi_1 = 1.21 \pm ae^{-\sqrt{\frac{P'_0 - \bar{P}_0}{P'_0}}}$$

[0043] P'_0 为孔隙水压力传感器采集的土体内的实时渗透水压力， \bar{P}_0 为当地土体内的平均渗透水压力， a 为孔隙水压力传感器的修正系数；

[0044] 通过应变式压力传感器采集待监视建筑物中铺设的管道内流体的压力和气体的压力的第二校正因子满足：

$$[0045] \quad \xi_2 = 1.01 \pm be^{-\sqrt{\frac{P'_1 - \bar{P}_1}{P'_1} + 1}}$$

[0046] P'_1 为应变式压力传感器采集的管道内流体的实时压力， \bar{P}_1 为当地建筑物管道内流体平均压力， b 为应变式压力传感器的修正系数；

[0047] 通过应变式压力传感器采集待监视建筑物中铺设的管道内气体的压力的第三校正因子满足：

$$[0048] \quad \xi_3 = 1.01 \pm be^{-\left(\sqrt{\frac{P'_g - \bar{P}_g}{P'_g}} + 0.001\right)}$$

[0049] P'_g 为应变式压力传感器采集的管道内气体的实时压力， \bar{P}_g 为当地建筑物管道内

气体平均压力。

[0050] 本发明所述的有益效果:提供了基于现场监测的建筑物健康监测系统,能够实时对建筑物进行监控,能及时发现建筑物的结构上的问题,确保使用上的安全性,能够实现各种数据的统一监测,节省了成本,能够推广应用。提供基于现场监测的建筑物健康监测系统及监测方法,对可能产生的安全隐患进行预测,及早对建筑物进行维护,减少财产损失。

具体实施方式

[0051] 下面对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0052] 本发明的基于现场监测的建筑物健康监测系统,包括:孔隙水压力传感器埋设于建筑物土地内,用于测量建筑物土体内的渗透水压力;应变式压力传感器设置在建筑物中铺设的管道内,测量管道内流体的压力和气体的压力;压力盒埋设于建筑物土体内,对土体的内应力进行测量,也能对建筑物结构之间的接触应力进行测量;温度传感器用于监视建筑物的环境温度;湿度传感器用于监视建筑物的环境湿度。

[0053] 模数转换器与所述孔隙水压力传感器、所述应变式压力传感器、所述压力盒、所述温度传感器和所述湿度传感器连接,将电信号转换为数字信号并发送出去;校正模块连接所述模数转换器,将所述数字信号进行校正后发出;服务器接收所述校正模块的信号,并进行处理分析;报警器与所述服务器连接,发出报警;显示器与所述服务器连接,用于显示风险状态。

[0054] 所述孔隙水压力计为振弦式渗压计或硅压式扬压力计;所述压力盒为钢弦式压力盒或油腔压力盒。所述报警器为嗡鸣报警器、语音报警器或光闪报警器。

[0055] 本发明还提供了基于现场监测的建筑物健康监测系统,包括以下步骤:

[0056] 步骤一、采集待监测建筑物的健康数据,根据所述待监测建筑物的健康数据获取待监测建筑物的健康评估系数 γ ,当 $\gamma \geq \gamma_t$,对所述待监测建筑物进行健康评估;其中, γ_t 为临界健康评估系数;

[0057] 所述健康评估系数 γ 计算方法为:

$$[0058] \quad \gamma = \frac{\kappa HS \sqrt{\bar{T} \cdot \bar{E}}}{(S + S')(H + h) \sqrt{\delta_1 \bar{T} \cdot \bar{E} + \delta_2 T \cdot E}}$$

[0059] 式中, κ 为校正系数, H 为待监测建筑物高度, h 为待监测建筑物地基深度, S 为待监测建筑物的实际年龄, S' 为待监测建筑物的有效年龄, \bar{T} 为待监测建筑物的年平均环境温度, \bar{E} 为待监测建筑物的年平均环境湿度, T 为待监测建筑物的环境温度, E 为待监测建筑物的环境湿度, δ_1 为第一校正系数, δ_2 为第二校正系数。

[0060] κ 取值为1.02~1.05, γ_t 取值为0.15。

[0061] 步骤二、采集待监测建筑物土体内的渗透水压力、土体的内应力、管道内流体的压力、管道内气体的压力、结构之间的接触应力,根据所述待监测建筑物土体内的渗透水压力、土体的内应力、管道内流体的压力、管道内气体的压力、结构之间的接触应力对健康

评估系数进行处理得到健康评估指数 τ ，当 $\tau \geq \tau_t$ 时，对待监测建筑物进行健康状态判断；其中， τ_t 为临界健康评估指数；

[0062] 所述健康评估指数 τ

$$[0063] \quad \tau = \frac{2.56 \left(\frac{P_l}{P_g} \right)^2 + \ln(P_o^2 + 2P_o) + e}{\ln(N_i^2 + N_c^2) + e^{\frac{N_i}{N_c} + 1}}$$

[0064] 式中， P_o 为土体内的渗透水压力， N_i 为土体的内应力， P_l 为管道内流体的压力， P_g 为管道内气体的压力， N_c 为结构之间的接触应力， e 为自然对数的底数。

[0065] 步骤三、根据所述土体内的渗透水压力、所述土体的内应力、所述管道内流体的压力、所述管道内气体的压力、所述结构之间的接触应力和所述健康评估指数进行待监测建筑物进行健康状态判断，对建筑物健康状态进行监控。

[0066] 步骤三中，通过建立BP神经网络模型对待监测建筑物进行健康状态判断，包括如下步骤：

[0067] BP模型上各层次的神经元之间形成全互连连接，各层次内的神经元之间没有连接，输入层神经元的输出与输入相同，即 $o_i = x_i$ 。中间隐含层和输出层的神经元的操作特性为

$$[0068] \quad net_{pj} = \sum_i \omega_{ji} o_{pi}$$

$$[0069] \quad o_{pj} = f_j(net_{pj})$$

[0070] 其中 p 表示当前的输入样本， ω_{ji} 为从神经元 i 到神经元 j 的连接权值， o_{pi} 为神经元 j 的当前输入， o_{pj} 为其输出； f_j 为非线性可微非递减函数，一般取为S型函数，即 $f_j(x) = 1/(1+e^{-x})$ 。

[0071] 本发明采用的BP网络体系结构由三层组成，第一层为输入层，共 n 个节点，对应了表示设备工作状态的 n 个检测信号，这些信号参数由数据预处理模块给出；第二层为隐层，共 m 个节点，由网络的训练过程以自适应的方式确定；第三层为输出层，共 p 个节点，由系统实际需要输出的响应确定。

[0072] 该网络的数学模型为：

$$[0073] \quad \text{输入向量: } x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

$$[0074] \quad \text{中间层向量: } y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$$

$$[0075] \quad \text{输出向量: } o = (o_1, o_2, \dots, o_p)^T$$

[0076] 本发明中，输入层节点数为 $n=6$ ，输出层节点数为 $p=3$ ，隐藏层节点数 m 由下式估算得出： $m = \left[\sqrt{n \cdot (p+1)} + 1 \right] = 5$ 。

[0077] 输入层6个参数分别表示为： x_1 为土体内的渗透水压力系数， x_2 为管道内流体的压力系数， x_3 为管道内气体的压力系数， x_4 为土体的内应力系数， x_5 为结构之间的接触应力系数， x_6 为健康评估指数系数。

[0078] 由于传感器获取的数据属于不同的物理量，其量纲各不相同。因此，在数据输入

人工神经网络之前,需要将数据规格化为0-1之间的数。

[0079] 归一化的公式为 $x_j = \frac{X_j - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}}$, 其中, x_j 为输入层向量中的参数, X_j 分别为

测量参数 $P_o, P_1, P_g, V_b, N_i, N_c$, $j=1, 2, 3, 4, 5, 6$; X_{jmax} 和 X_{jmin} 分别为相应测量参数中的最大值和最小值。

[0080] 校正模块对传感器采集的数据进行校正得到输出的数据, 对于孔隙水压力传感器采集待监视建筑物的土体内的渗透水压力, 其第一校正因子满足:

$$[0081] \quad \xi_1 = 1.21 \pm ae^{-\sqrt{\frac{P'_0 - \bar{P}_0}{P'_0}}}$$

[0082] P'_0 为孔隙水压力传感器采集的土体内的实时渗透水压力, \bar{P}_0 为当地土体内的平均渗透水压力, a 为孔隙水压力传感器的修正系数; 则

$$[0083] \quad P_o = \xi_1 P'_0$$

[0084] 通过应变式压力传感器采集待监视建筑物中铺设的管道内流体的压力和气体的压力的第二校正因子满足:

$$[0085] \quad \xi_2 = 1.01 \pm be^{-\sqrt{\frac{P'_1 - \bar{P}_1}{P'_1} + 1}}$$

[0086] P'_1 为应变式压力传感器采集的管道内流体的实时压力, \bar{P}_1 为当地建筑物管道内流体平均压力, b 为应变式压力传感器的修正系数; 则

$$[0087] \quad P_1 = \xi_2 P'_1$$

[0088] 通过应变式压力传感器采集待监视建筑物中铺设的管道内气体的压力的第三校正因子满足:

$$[0089] \quad \xi_3 = 1.01 \pm be^{-\left(\sqrt{\frac{P'_g - \bar{P}_g}{P'_g} + 0.001}\right)}$$

[0090] P'_g 为应变式压力传感器采集的管道内气体的实时压力, \bar{P}_g 为当地建筑物管道内气体平均压力; 则

$$[0091] \quad P_g = \xi_3 P'_g$$

[0092] 具体而言, 对于孔隙水压力传感器测量并校正后的土体内的渗透水压力 P_o , 进行规格化后, 得到土体内的渗透水压力系数 x_1 :

$$[0093] \quad x_1 = \frac{P_o - P_{o-min}}{P_{o-max} - P_{o-min}};$$

[0094] 其中, P_{o-max} 和 P_{o-min} 分别为土体内的渗透水最大压力和最小压力。

[0095] 同样的, 对于通过应变式压力传感器采集并校正后的待监视建筑物中铺设的管道内流体的压力 P_1 , 进行规格化后, 得到管道内流体的压力系数 x_2 :

$$[0096] \quad x_2 = \frac{P_1 - P_{l-min}}{P_{l-max} - P_{l-min}}$$

[0097] 其中, $P_{1-\max}$ 和 $P_{1-\min}$ 分别为管道内流体的最大压力和最小压力。

[0098] 同样的,对于通过应变式压力传感器采集并校正后的待监视建筑物中铺设的管道内气体的压力 P_g ,进行规格化后,得到管道内气体的压力系数 x_3 :

$$[0099] \quad x_3 = \frac{P_g - P_{g-\min}}{P_{g-\max} - P_{g-\min}}$$

[0100] 其中, $P_{g-\max}$ 和 $P_{g-\min}$ 分别为管道内气体的最大压力和最小压力。

[0101] 同样的,对于待监视建筑物的土体的内应力 N_i ,进行规格化后,得到土体的内应力系数 x_4 :

$$[0102] \quad x_4 = \frac{N_i - N_{i-\min}}{N_{i-\max} - N_{i-\min}}$$

[0103] 其中, $N_{i-\max}$ 和 $N_{i-\min}$ 分别为待监视建筑物的土体的最大内应力和最小内应力。

[0104] 同样的,对于待监视建筑物结构之间的接触应力 N_c ,进行规格化后,得到结构之间的接触应力系数 x_5 :

$$[0105] \quad x_5 = \frac{N_c - N_{c-\min}}{N_{c-\max} - N_{c-\min}}$$

[0106] 其中, $N_{c-\max}$ 和 $N_{c-\min}$ 分别为待监视建筑物结构之间的最大接触应力和最小接触应力。

[0107] 同样的,对于待监测建筑物的健康评估指数 τ ,进行规格化后,得到健康评估指数系数 x_6 :

$$[0108] \quad x_6 = \frac{\tau - \tau_{\min}}{\tau_{\max} - \tau_{\min}}$$

[0109] 其中, τ_{\max} 和 τ_{\min} 分别为待监测建筑物的最大健康评估指数和最小健康评估指数。

[0110] 输出3个参数分别为: o_1 为设定的第一级健康等级, o_2 为设定的第二级健康等级,

o_3 为设定的第三级健康等级。所述输出层神经元值为 $o_k = s(i,k) = \begin{cases} 0 & i \neq k \\ 1 & i = k \end{cases}$, k 为输出

层神经元序列号, $k = \{1, 2, 3\}$, i 为设定的第 i 个健康等级, $i = \{1, 2, 3\}$,当 o_k 为1时,此时,待监测建筑物处于 o_k 对应的健康等级;

[0111] 步骤2、进行BP神经网络的训练。

[0112] 建立好BP神经网络节点模型后,即可进行BP神经网络的训练。根据产品的历史经验数据获取训练的样本,并给定输入节点 i 和隐含层节点 j 之间的连接权值,隐层节点 j 和输出层节点 k 之间的连接权值。

[0113] (1) 训练方法

[0114] 各子网采用单独训练的方法;训练时,首先要提供一组训练样本,其中的每一个样本由输入样本和理想输出对组成,当网络的所有实际输出与其理想输出一致时,表明训练结束;否则,通过修正权值,使网络的理想输出与实际输出一致;各子网训练时的输出样本如表1所示。

[0115] 表1网络训练用的输出样本

[0116]

风险等级		第一健康等级	第二健康等级	第三健康等级
输出 值	单元 1	1	0	0
	单元 2	0	1	0
	单元 3	0	0	1

[0117] (2) 训练算法

[0118] BP网络采用误差反向传播 (Backward Propagation) 算法进行训练,其步骤 可归纳如下:

[0119] 第一步:选定一结构合理的网络,设置所有节点阈值和连接权值的初值。

[0120] 第二步:对每个输入样本作如下计算:

[0121] (a) 前向计算:对1层的j单元

$$[0122] \quad v_j^{(l)}(n) = \sum_{i=0}^{n_l-1} \omega_{ji}^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n)$$

[0123] 式中, $v_j^{(l)}(n)$ 为第n次计算时1层的j单元信息加权和, $\omega_{ji}^{(l)}(n)$ 为1层的j单元 与前一层的单元i之间的连接权值, $y_i^{(l-1)}$ 为前一层(即l-1层,节点 数为 n_{l-1})的单元i送来的工作信号; $i=0$ 时,令 $y_0^{(l-1)}(n) = -1$, $\omega_{j0}^{(l)}(n) = \theta_j^{(l)}(n)$, $\theta_j^{(l)}(n)$ 为1层的j单元的阈值。

[0124] 若单元j的激活函数为sigmoid函数,则

$$[0125] \quad y_j^{(l)} = \frac{1}{1 + \exp(-v_j^{(l)}(n))}$$

[0126] 且

$$[0127] \quad \phi(v_j^{(l)}(n)) = \frac{\partial y_j^{(l)}(n)}{\partial v_j^{(l)}(n)} = \frac{\exp(-v_j^{(l)}(n))}{(1 + \exp(-v_j^{(l)}(n)))^2} = y_j^{(l)}(n)(1 - y_j^{(l)}(n))$$

[0128] 若神经元j属于第一隐层 ($l=1$), 则有

$$[0129] \quad y_j^{(0)}(n) = x_j(n);$$

[0130] 若神经元j属于输出层 ($l=L$), 则有

$$[0131] \quad y_j^{(L)}(n) = o_j(n), \text{ 且 } e_j(n) = x_j(n) - o_j(n);$$

[0132] (b) 反向计算误差:

[0133] 对于输出单元

$$[0134] \quad \delta_j^{(L)} = e_j^{(L)}(n) o_j(n) (1 - o_j(n));$$

[0135] 对隐单元

$$[0136] \quad \delta_j^{(l)} = y_j^{(l)}(n) (1 - y_j^{(l)}(n)) \sum_k \delta_k^{(l+1)}(n) \omega_{kj}^{(l+1)}(n);$$

[0137] (c) 修正权值:

[0138] $\omega_{jk}^{(l)}(n+1) = \omega_{jk}^{(l)}(n) + \eta \delta_j^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n)$, η 为学习速率。

[0139] 第三步:输入新的样本或新一周期样本,直到网络收敛,在训练时各周期中样本的输入顺序要重新随机排序。

[0140] BP算法采用梯度下降法求非线性函数极值,存在陷入局部极小以及收敛速度慢等问题。更为有效的一种算法是Levenberg-Marquardt优化算法,它使得网络学习时间更短,能有效地抑制网络陷于局部极小。其权值调整率选为

[0141] $\Delta \omega = (J^T J + \mu I)^{-1} J^T e$

[0142] 其中J为误差对权值微分的雅可比(Jacobian)矩阵,I为输入向量,e为误差向量,变量 μ 是一个自适应调整的标量,用来确定学习是根据牛顿法还是梯度法来完成。

[0143] 在系统设计时,系统模型是一个仅经过初始化了的网络,权值需要根据在使用过程中获得的数据样本进行学习调整,为此设计了系统的自学习功能。在指定了学习样本及数量的情况下,系统可以进行自学习,以不断完善网络性能。

[0144] 步骤3、服务器根据输出的健康等级判断,显示器显示风险状态;其中,所述第一级健康等级为安全状态,对待监测建筑物无需做出保护措施,所述第二级健康等级为危险状态,对待监测建筑物做出检控预警,采取保护措施,所述第三级健康等级为高危状态,对待监测建筑物做出紧急预警和保护措施。

[0145] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的实施例。