



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103758160 B

(45) 授权公告日 2015.06.24

(21) 申请号 201410009547.8

审查员 罗斌瑞

(22) 申请日 2014.01.09

(73) 专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市珞瑜路 1037 号

(72) 发明人 丁烈云 周诚 骆汉宾 郭谱

陈磊

(74) 专利代理机构 武汉天力专利事务所 42208

代理人 吴晓颖

(51) Int. Cl.

E02D 33/00(2006.01)

(56) 对比文件

CN 201946080 U, 2011.08.24, 全文.

CN 102392462 A, 2012.03.28, 全文.

US 2002040953 A1, 2002.04.11, 全文.

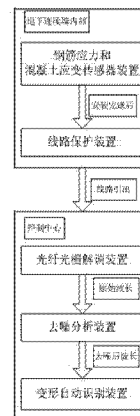
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置及其工作方法

(57) 摘要

本发明属于基坑工程领域,提供一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置及其工作方法,该监测装置包括光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器、光纤光栅解调装置、去噪分析装置、变形自动识别装置。本发明监测装置及其工作方法,能够对地下连续墙的水平变形进行实时跟踪监测,自动收集变形数据并加以分析,保证监测的实时性、连续性、有效性和可靠性,并提高地下连续墙水平变形监测数据的处理效率和信息共享程度,确保基坑变形在可控范围之内,降低深基坑的施工风险,同时能为类似的基坑工程提供借鉴和参考。



1. 一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置,其特征在於:包括光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器、光纤光栅解调装置、去噪分析装置、变形自动识别装置;

光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器,用于进行钢筋应力或混凝土应变的实时测量;并串联至光纤光栅解调装置;

光纤光栅解调装置,用于存储和输出实时测量得到的光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器中心波长数据;

去噪分析装置,按照小波去噪的方法,对光纤光栅解调装置输出的光纤光栅传感器中心波长数据去伪降噪;

变形自动识别装置,按照有限元计算方法,对去噪分析装置输出的降噪后的数据进行结构变形计算与分析,将实时获得的地下连续墙结构应力状态转变为墙体变形数据和变形曲线,并与设置的安全预警值进行对比分析;

所述光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器的输出端与光纤光栅解调装置相连,光纤光栅解调装置与去噪分析装置相连,去噪分析装置的输出端与变形自动识别装置相连。

2. 一种如权利要求 1 所述的超深地下连续墙变形自动实时监测装置的工作方法,其特征在於该方法包括以下步骤:

(1) 在超深地下连续墙中,按照传感器安装方法,在钢筋笼主筋上安装光纤光栅钢筋应力传感器和光纤光栅混凝土应变传感器,以进行钢筋应力或混凝土应变的实时测量;

(2) 光纤光栅钢筋应力传感器和光纤光栅混凝土应变传感器安装完成后,按照传感器编组方法,进行传感器的通道编组设计,并与光纤光栅解调装置连接,光纤光栅解调装置存储和输出实时测量得到的光纤光栅传感器中心波长数据;

(3) 在完成所述的中心波长数据存储和输出后,按照小波去噪的方法,利用去噪分析装置对中心波长数据去伪降噪;

(4) 将降噪后的数据输入到变形自动识别装置,变形自动识别装置按照有限元计算方法,进行结构变形计算与分析,将实时获得的地下连续墙结构应力状态转变为墙体变形数据和变形曲线,并与设置的安全预警值进行对比分析。

3. 根据权利要求 2 所述的超深地下连续墙变形自动实时监测装置的工作方法,其特征在於步骤(1)中所述的传感器安装方法流程如下:

第一步,每隔一定深度,即 4-8 米、同一标高,在超深地下连续墙钢筋笼背土侧和向土侧的主筋上对称安装一对光纤光栅钢筋应力传感器,在钢筋笼内部中间安装一个光纤光栅混凝土应变传感器;第二步,记录所有传感器的位置和编号;

第三步,将传感器用铠装光缆串联成一个回路并固定线路;

第四步,使用铝箔、硅胶保护光纤接头,将回路沿钢筋笼内侧引出,利用线路保护装置进行保护。

4. 根据权利要求 2 所述的超深地下连续墙变形自动实时监测装置的工作方法,其特征在於步骤(2)所述的传感器编组方法步骤为:

第一步,在安装传感器之前,测量出每个传感器的中心波长;

第二步,将中心波长相近但不相等的传感器分为不同的组别,使得每组传感器的中心

波长都在光纤光栅解调装置不同的扫描区间内；

第三步,按组别对每个传感器编号,并将每组传感器安装在指定位置；

第四步,每组的传感器安装完成后,将该组所有的传感器串联成一个回路,形成一个通道,分别把每个通道连接到光纤光栅解调装置的接口上进行调试。

5. 根据权利要求 2 所述的超深地下连续墙变形自动实时监测装置的工作方法,其特征在于步骤(3)所述的小波去噪方法的步骤为：

第一步,选择正交小波 Daubechies 作为小波基函数,即 db (N) 小波基,其中取 N=8,分解层次为 4,对信号小波分解；

第二步,选择 Mallat 快速算法,进行数据卷积及隔点采样,进行高频系数阈值量化处理;选择软阈值处理方式,使用 wden 去噪函数对每一级的小波系数进行阈值量化处理；

第三步,根据阈值量化以后的高频系数和低频系数进行小波逆变换,使用重构算法重构去噪以后的信号,去除随机误差,以进行中心波长的计算。

6. 根据权利要求 2 所述的超深地下连续墙变形自动实时监测装置的工作方法,其特征在于步骤(4)所述的有限元计算方法的步骤为：

第一步,选取结构模型为理想弹塑性模型,土体采用八节点等参单元,破坏准则采用 Drucker-Prager 准则；

第二步,确定几何尺寸、土体参数、混凝土的初始状态,并计算出主要力学参数；

第三步,确定模型的位移和边界条件,边界水平和竖直方向初始位移都设定为 0,计算开挖的主要影响区域,取水平计算范围为 4 倍开挖深度,竖向计算范围为 3 倍开挖深度；

第四步,合理划分单元网格,靠近开挖区域划分的网格密一些,远离开挖区域划分的网格疏一些；

第五步,模拟开挖,进行结构变形计算与分析。

一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置及其工作方法

技术领域

[0001] 本发明属于基坑工程领域,具体涉及一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置及其工作方法。

背景技术

[0002] 由于城市建设和经济发展的要求,城市中心地带土地资源的稀缺,使得基坑工程有着向“深、大、紧、近、难”发展的趋势,即基坑越来越深,跨度越来越大,施工工期越来越紧,离周围既有建筑越来越近,施工控制越来越难的特点。深基坑施工安全的影响因素众多,如高承压水、淤泥质软土、岩溶、溶洞等不良地质,不同地区的深基坑工程施工方法和安全控制措施存在很大的差异,是一项系统风险高的岩土工程。如何保证深基坑的施工安全,提高深基坑结构和岩土环境的稳定性日益得到工程界的高度重视。

[0003] 深基坑的施工安全和稳定性主要是通过控制深基坑施工过程中的变形来实现。深基坑变形包含围护结构变形、基坑底部隆起、基坑周围地表及建筑物沉降等。其中,对于超深超大基坑围护结构体系中的地下连续墙水平变形对深基坑隆起和地表沉降都会产生很大影响,不仅使墙外侧土体移动引起地表沉降,而且使墙外侧塑性区扩大,增加了墙外土体向坑内的移动和相应的坑底隆起。由此可见,控制好超深超大基坑围护结构体系中的地下连续墙水平变形对确保深基坑安全发挥着重要的作用。

[0004] 超深超大基坑围护结构体系中的地下连续墙水平变形控制的基础是进行水平变形监测。地下连续墙水平变形监测技术在基坑工程领域内已有所发展,现行监测方法仍大多采用测斜仪进行人工测量,目前超深超大基坑地下连续墙采用测斜仪进行水平变形监测面临一些问题,如测斜管在埋设过程中经常被破坏,或由于测斜管局部变形过大,导致测斜探头难以下放,或者偶然下放后却难以上提,不但导致监测点失效,而且直接致使测斜探头报废,造成数据缺失,难以保证监测的准确性;对于深度较大的基坑,使用测斜仪监测效率不高,现有监测频率(开挖阶段 1-2 次/天)难以满足工程安全控制对监测信息量的需求;另外,对于超深超大基坑,获取深部地下连续墙的变形数据往往非常困难,通常超过 40 米以上深度的地下连续墙测斜数据可靠性大幅度降低。更为重要的是,目前人工测斜数据的处理和分析需要人工分析和处理,造成了监测信息的传递共享不及时,给深基坑的施工安全控制造成了信息盲区,而由这些缺陷引发的基坑工程安全事故也普遍存在。

[0005] 综上所述,针对超深超大基坑施工安全控制中地下连续墙水平变形监测存在的问题,有必要采用新的方法和装置对地下连续墙的水平变形进行实时跟踪监测,自动收集变形数据并加以分析,保证监测的实时性、连续性、有效性和可靠性,并提高地下连续墙水平变形监测数据的处理效率和信息共享程度,确保基坑变形在可控范围之内,降低深基坑的施工风险,同时能为类似的基坑工程提供借鉴和参考。

发明内容

[0006] 本发明针对现有技术的不足,提供一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置及

其工作方法,能够对地下连续墙的水平变形进行实时跟踪监测,自动收集变形数据并加以分析,保证监测的实时性、连续性、有效性和可靠性,并提高地下连续墙水平变形监测数据的处理效率和信息共享程度,确保基坑变形在可控范围之内,降低深基坑的施工风险,同时能为类似的基坑工程提供借鉴和参考。

[0007] 本发明所述的一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置,包括光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器、光纤光栅解调装置、去噪分析装置、变形自动识别装置;

[0008] 光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器,用于进行钢筋应力或混凝土应变的实时测量;并串联至光纤光栅解调装置;

[0009] 光纤光栅解调装置,用于存储和输出实时测量得到的光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器中心波长数据;

[0010] 去噪分析装置,按照小波去噪的方法,对光纤光栅解调装置输出的光纤光栅传感器中心波长数据去伪降噪;

[0011] 变形自动识别装置,按照有限元计算方法,对去噪分析装置输出的降噪后的数据进行结构变形计算与分析,将实时获得的地下连续墙结构应力状态转变为墙体变形数据和变形曲线,并与设置的安全预警值进行对比分析;

[0012] 所述光纤光栅钢筋应力传感器、光纤光栅混凝土应变传感器的输出端与光纤光栅解调装置相连,光纤光栅解调装置与去噪分析装置相连,去噪分析装置的输出端与变形自动识别装置相连。

[0013] 本发明还提供一种超深地下连续墙变形自动实时监测装置的工作方法,该方法包括以下步骤:

[0014] (1) 在超深地下连续墙中,按照传感器安装方法,在钢筋笼主筋上安装光纤光栅钢筋应力传感器和光纤光栅混凝土应变传感器,以进行钢筋应力或混凝土应变的实时测量;

[0015] (2) 光纤光栅钢筋应力传感器和光纤光栅混凝土应变传感器安装完成后,按照传感器编组方法,进行传感器的通道编组设计,并与光纤光栅解调装置连接,光纤光栅解调装置存储和输出实时测量得到的光纤光栅传感器中心波长数据;

[0016] (3) 在完成所述的中心波长数据存储和输出后,按照小波去噪的方法,利用去噪分析装置对中心波长数据去伪降噪;

[0017] (4) 将降噪后的数据输入到变形自动识别装置,变形自动识别装置按照有限元计算方法,进行结构变形计算与分析,将实时获得的地下连续墙结构应力状态转变为墙体变形数据和变形曲线,并与设置的安全预警值进行对比分析。

[0018] 在上述方法中,步骤(1)中所述的传感器安装方法流程如下:

[0019] 第一步,每隔一定深度,根据监测要求,深度范围为4-8米,同一标高,在超深地下连续墙钢筋笼背土侧和向土侧的主筋上对称安装一对光纤光栅钢筋应力传感器,在钢筋笼内部中间安装一个光纤光栅混凝土应变传感器;

[0020] 第二步,记录所有传感器的位置和编号;

[0021] 第三步,将传感器用铠装光缆串联成一个回路并固定线路;

[0022] 第四步,使用铝箔、硅胶保护光纤接头,将回路沿钢筋笼内侧引出,利用线路保护装置进行保护。

[0023] 在上述方法中,步骤(2)所述的传感器编组方法步骤为:

[0024] 第一步,在安装传感器之前,测量出每个传感器的中心波长;

[0025] 第二步,将中心波长相近但不相等的传感器分为不同的组别,使得每组传感器的中心波长都在光纤光栅解调装置不同的扫描区内;

[0026] 第三步,按组别对每个传感器编号,并将每组传感器安装在指定位置;

[0027] 第四步,每组的传感器安装完成后,将该组所有的传感器串联成一个回路,形成一个通道,分别把每个通道连接到光纤光栅解调装置的接口上进行调试。

[0028] 在上述方法中,步骤(3)所述的小波去噪方法的步骤为:

[0029] 第一步,选择正交小波 Daubechies 作为小波基函数,即 db (N) 小波基,其中取 N=8,分解层次为 4,对信号小波分解;

[0030] 第二步,选择 Mallat 快速算法,进行数据卷积及隔点采样,进行高频系数阈值量化处理;选择软阈值处理方式,使用 wden 去噪函数对每一级的小波系数进行阈值量化处理;

[0031] 第三步,根据阈值量化以后的高频系数和低频系数进行小波逆变换,使用重构算法重构去噪以后的信号,去除随机误差,以进行中心波长的计算。

[0032] 在上述方法中,步骤(4)所述的有限元计算方法的步骤为:

[0033] 第一步,选取结构模型为理想弹塑性模型,土体采用八节点等参单元,破坏准则采用 Drucker-Prager 准则;

[0034] 第二步,确定几何尺寸、土体参数、混凝土的初始状态,并计算出主要力学参数;

[0035] 第三步,确定模型的位移和边界条件,边界水平和竖直方向初始位移都设定为 0,计算开挖的主要影响区域,取水平计算范围为 4 倍开挖深度,竖向计算范围为 3 倍开挖深度;

[0036] 第四步,合理划分单元网格,靠近开挖区域划分的网格密一些,远离开挖区域划分的网格疏一些;

[0037] 第五步,模拟开挖,进行结构变形计算与分析。

[0038] 本发明超深地下连续墙变形自动实时监测装置及其工作方法的优点在于,采用传感器对地下连续墙的受力情况进行实时监测,大幅提高了监测频率,使得后期的基坑开挖步骤与开挖参数得到优化调整,及时发现可能存在的安全隐患,实现实时预警。

附图说明

[0039] 图 1 为本发明超深地下连续墙变形自动实时监测装置及其工作方法示意图。

[0040] 图 2 为本发明实施例之传感器剖面布置图。

[0041] 图 3 为本发明实施例之去噪技术原理图。

[0042] 图 4 为本发明实施例之小波分解过程示意图。

具体实施方式

[0043] 下面结合附图及具体实施例对本发明作进一步的说明。

[0044] 本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,参考图 1,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0045] 实施例：以某地区地铁风井的超深地下连续墙变形监测为例，参见图 1，具体应用按以下步骤进行：

[0046] 工程概况：地面标高为 26.27m 左右，外包尺寸 11.4×27.7m(含围护墙厚)，基坑开挖深度 47.987m，围护结构采用 1.5m 厚地下连续墙，墙深约 70 m。风井内设十一道加强框架梁和内衬墙，与连续墙采用叠合墙构造型式，加强框架梁和内衬墙采用逆作法施工，连续墙、加强框架梁及内衬墙均为永久结构，连续墙在基坑开挖阶段与运营阶段和主体结构共同承受全部荷载。场区内覆盖层主要为第四系冲洪积相地层，基岩为志留系坟头组沉积岩，岩性为泥岩，岩质较软。

[0047] 步骤一：考虑到地下连续墙的矩形形式，对称选取其中的四幅墙作为监测对象。

[0048] 光纤光栅传感器的布置方式为从地下连续墙的顶部开始，每隔 5 米在超深地下连续墙钢筋笼背土侧和向土侧的主筋上对称安装一对光纤光栅钢筋应力传感器，在钢筋笼内部中间安装一个光纤光栅混凝土应变传感器；一幅钢筋笼中钢筋应力传感器计 14 组共 28 个，混凝土应变传感器共计 14 个，传感器安装剖面布置示意图参见图 2。

[0049] 在进行传感器安装的同时，记录所有传感器的位置和编号，将传感器用铠装光缆串联成一个回路并固定线路，再使用铝箔，硅胶等保护光纤接头。

[0050] 最后将回路沿钢筋笼内侧引出，利用线路保护装置进行保护，以免线路在浇筑混凝土的过程中受损。

[0051] 步骤二：在安装传感器之前，测量出每个传感器的中心波长；将中心波长相近但不相等的传感器分为不同的组别，使得每组传感器的中心波长都在光纤光栅解调装置不同的扫描区间内；按组别对每个传感器编号，并将每组传感器安装在指定位置；将传感器串联成一个回路，形成一个通道，分别把每个通道连接到光纤光栅解调装置的接口上进行调试，部分传感器的编组信息如表 1 所示。

[0052] 表 1 传感器编组安装表

[0053]

序号	槽段编码	传感器类型	传感器编号	传感器中心波长(nm)	安装位置(m)	传感器位置距离	安装时间	通道编组
1	N1-1	BGK-FBG-4911	132818	1560	1	内侧	2013.03.21	1
2	N1-1	BGK-FBG-4911	132833	1556	5	内侧	2013.03.21	1
3	N1-1	BGK-FBG-4911	110950	1546	10	内侧	2013.03.18	1
4	N1-1	BGK-FBG-4911	111240	1528	15	内侧	2013.03.15	1
5	N1-1	BGK-FBG-4911	111003	1534	20	内侧	2013.03.15	1
6	N1-1	BGK-FBG-4911	132716	1540	25	内侧	2013.03.15	1
7	N1-1	BGK-FBG-4911	132717	1540	1	外侧	2013.03.21	2
8	N1-1	BGK-FBG-4911	132707	1544	5	外侧	2013.03.21	2
9	N1-1	BGK-FBG-4911	111239	1534	10	外侧	2013.03.18	2
10	N1-1	BGK-FBG-4911	132712	1554	15	外侧	2013.03.15	2
11	N1-1	BGK-FBG-4911	111238	1531	20	外侧	2013.03.15	2
12	N1-1	BGK-FBG-4911	132821	1558	25	外侧	2013.03.15	2

[0054] 注：表中内侧表示靠近基坑的一侧，外侧表示的是靠近挡土墙的一侧。安装位置中的数字表示传感器距离钢筋笼的顶端的距离。

[0055] 完成传感器的通道编组设计和编号记录后，将传感器与光纤光栅解调装置连接，进行光纤光栅解调装置的调试，调试完成后存储和输出实时测量得到的光纤光栅传感器中心波长数据。

[0056] 步骤三：在完成中心波长数据存储和输出后，按照小波去噪的方法，利用去噪分析装置对中心波长数据去伪降噪，其技术原理图参见图 3。中心波长数据的去伪降噪过程一般需要以下三个步骤：

[0057] ①监测数据的小波分解:根据相关经验,选择具有紧支性的正交小波 Daubechies 小波,即 db (N) 小波基,取 N=8,分解层次为 4。

[0058] ②高频系数进行阈值量化:采用多分辨分析的 Mallat 快速算法,其过程如下:

[0059]

$$cA_{j-1} = D(cA_j * H), cD_{j-1} = D(cD_j * H)$$

[0060] 上式中:

[0061] H 表示低通滤波器;

[0062] j 表示分解层数;

[0063] cA_j 表示尺度系数;

[0064] cD_j 表示小波系数;

[0065] D 表示二元下抽样。

[0066] 其分解过程就是正交小波基分别与低通滤波器和高通滤波器卷积及隔点采样。小波分解的过程参见图 4。

[0067] 选择软阈值处理方式,对第 1 到第 4 层的小波系数用 Matlab 软件中的 wden 阈值去噪函数对每一级的小波系数进行阈值量化处理。

[0068] ③一维信号的小波重构:分解和消噪后的第 4 层低频和高频系数使用重构算法重构信号,以进行中心波长的计算,并将去噪后的数据储存和输出。

[0069] 步骤四:将降噪后的数据输入到变形识别装置,利用拉力计算公式将波长转化成传感器的受力:

[0070]

$$F \text{ (kN)} = K \left((R_1 - R_0) - 2.3 (\lambda_{t1} - \lambda_{t0}) \right)$$

[0071] 上式中:

[0072] F 为钢筋计的受力变化值,单位 kN;

[0073] K 为钢筋计拉力系数,单位 kN/nm;

[0074] R_1 为应变光栅当前波长的值,单位 nm;

[0075] R_0 为应变光栅初始波长的值,单位 nm;

[0076] λ_{t1} 为温补光栅当前波长值,单位 nm;

[0077] λ_{t0} 为温补光栅初始波长值,单位 nm。

[0078] 利用应变计算公式,计算传感器由温度和温度变化引起的应变:

[0079]

$$\varepsilon = K (\lambda_1 - \lambda_0) - B (\lambda_{t1} - \lambda_{t0})$$

[0080] 上式中:

[0081] ε 为应变变量,单位 $\mu \varepsilon$;

[0082] K 为应变系数(取正值),单位 $\mu \varepsilon / \text{nm}$;

[0083] B 为温度修正系数(出厂时直接给定数值), $B=1000-2.3K$,单位 $\mu \varepsilon / \text{nm}$;

[0084] λ_1 为应变栅当前的波长值,单位 nm;

[0085] λ_0 为应变栅初始的波长值,单位 nm ;

[0086] λ_{t1} 为温补光栅当前波长值,单位 nm ;

[0087] λ_{t0} 为温补光栅初始波长值,单位 nm。

[0088] 将波长转化成应力和应变后,使用有限元计算方法,进行结构变形计算与分析,主要有以下步骤:

[0089] ①土体采用八节点等参单元,本构模型采用理想弹塑性模型,破坏准则依照 Drucker-Prager 准则,通过土体的粘聚力、内摩擦角确定。

[0090] ②根据工程实际情况并经过适当简化,取地下基坑计算深度为 48m,墙厚 1.5m,在开挖过程中共设有十一道加强框架梁和内衬墙,考虑到基坑的对称性,基本尺寸为 11.4×27.7m。混凝土的失效面准则采用 William-Wamke 五参数强度模型,其表达式为:

[0091]

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0$$

[0092] 上式中:

[0093] F 表示主应力的函数;

[0094] S 表示由 William-Wamke 五参数强度模型确定的失效面;

[0095] f_c 表示混凝土轴心抗压强度。

[0096] 再计算出地下连续墙的主要力学参数。地下连续墙外部的土体,根据朗肯土压力计算其主动土压力,墙体内部土体视为弹簧单元。对现场地质资料经过适当简化,将墙体深度范围内的土体视为四层,并得到土压力计算参数。

[0097] ③通过试算确定开挖的主要影响区域,取水平计算范围为 4 倍开挖深度,取 192m,竖向计算范围为 3 倍开挖深度,取 144m,并假设左右边界水平位移 0,最底边界水平和竖直方向位移都是 0。

[0098] ④确定求解区域后,对区域内的土体进行网格划分,由于在靠近开挖区域土体的应力比较集中,所以在这块区域划分的网格密集一些,水平方向各为 20 个单元,数值方向为 30 层,每层 4.8m。

[0099] ⑤模拟开挖,进行结构变形计算与分析。将实时获得的地下连续墙结构应力状态转变为墙体变形数据和变形曲线,并与设置的安全预警值和警戒值进行对比分析。当变形达到预警值时,发出安全警告,当变形达到警戒值时,应立即停止施工并启动应急预案。根据相关深基坑设计规范,采用的监测参数为墙顶位移,墙体最大位移和变化速度,如表 2 所示。

[0100] 表 2 位移预警值和警戒值

[0101]

墙顶位移 (mm)		墙体最大位移 (mm)		变化速度 (mm/d)	
预警值	警戒值	预警值	警戒值	预警值	警戒值
30	50	50	80	2	3

[0102] 本实施例的效果:通过安装在超深地下连续墙中的钢筋应力传感器和混凝土应变

传感器,对地下连续墙的应力应变的实时变化进行监测,实时判断超深地下连续墙的变形是否超过预警值,对可能出现的风险实时预警。

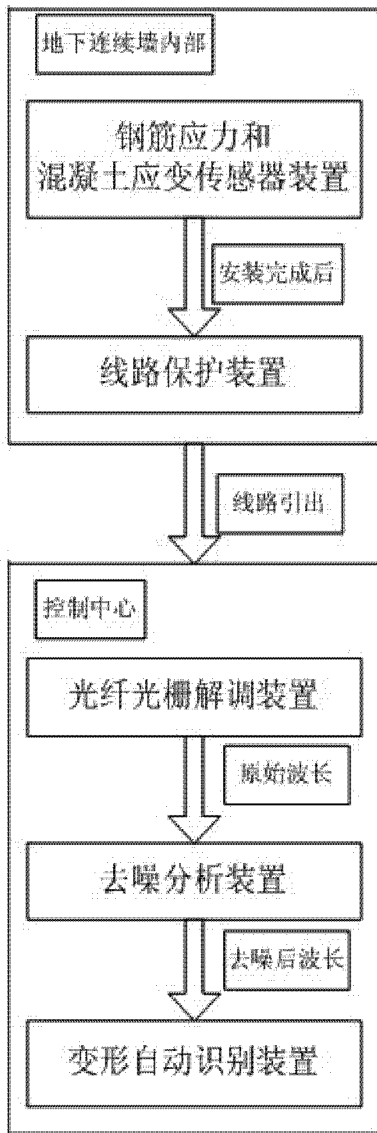


图 1

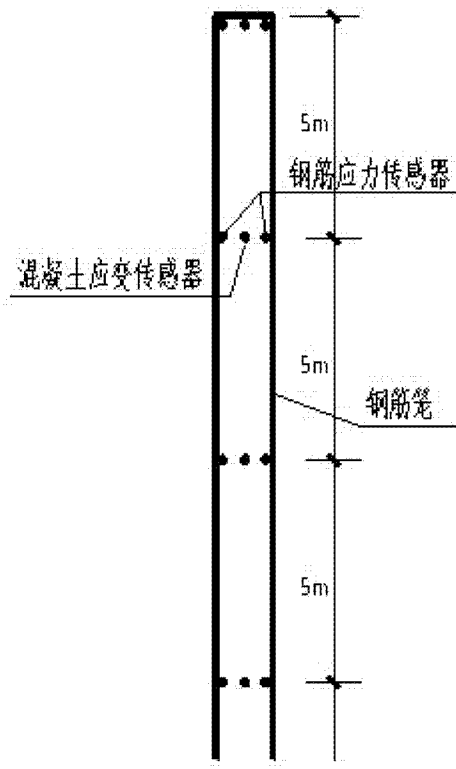


图 2

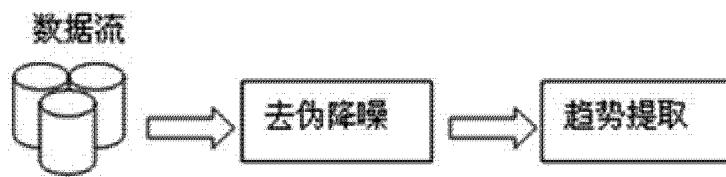


图 3

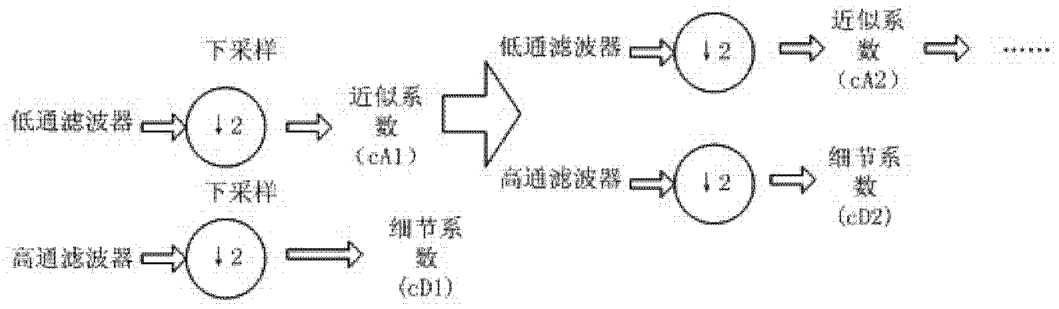


图 4