



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102252646 B

(45) 授权公告日 2013. 04. 24

(21) 申请号 201110095163. 9

CN 101629799 A, 2010. 01. 20,

(22) 申请日 2011. 04. 15

CN 202024754 U, 2011. 11. 02,

(73) 专利权人 中国水利水电科学研究院  
地址 100038 北京市海淀区复兴路甲一号中  
国水科院 D 座(结构研) 446 室

审查员 胡跃澜

(72) 发明人 张国新 李炳奇 刘毅 卢正超  
冯帆

(74) 专利代理机构 北京中北知识产权代理有限  
公司 11253

代理人 冯梦洪

(51) Int. Cl.

G01B 21/32 (2006. 01)

G08C 17/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1940473 A, 2007. 04. 04,

CN 1901418 A, 2007. 01. 24,

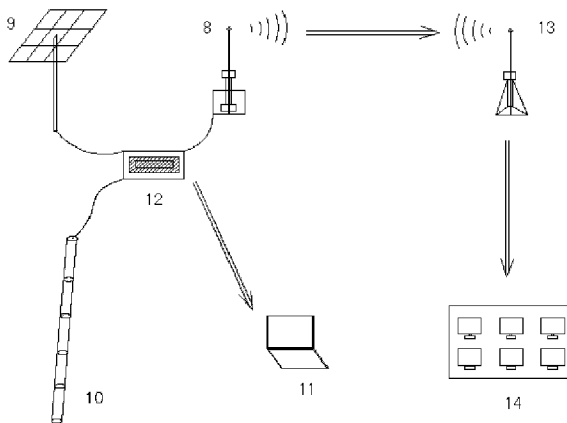
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

大坝与边坡三维连续变形监测系统

(57) 摘要

本发明公开了一种连续测量、测量范围大、自动化、成本较低的大坝与边坡三维连续变形监测系统,其包括测量装置、信号采集和传输装置、远程接收分析装置。测量装置包括多个测量单元,每个测量单元包含固定于外壳内部的微型加速度计或微型倾角计,以及线缆;信号采集和传输装置包含数据采集器和无线电发射器;远程接收分析装置包含信号接收器和数据计算服务器;数据采集器将从测量装置采集的数据直接通过笔记本电脑周期性地下载和浏览,或者通过无线电发射器发送经信号接收器传送到数据计算服务器。



1. 大坝与边坡三维连续变形监测系统,包括:测量装置、信号采集和传输装置、远程接收分析装置,其特征在于:测量装置包括多个测量单元(4),每个测量单元(4)包含固定于外壳内部的微型加速度计(2)或微型倾角计,以及线缆(3);信号采集和传输装置包含数据采集器(12)和无线电发射器(8);远程接收分析装置包含信号接收器(13)和数据计算服务器(14);数据采集器(12)将从测量装置采集的数据直接通过笔记本电脑(11)周期性地下载和浏览,或者通过无线电发射器(8)发送经信号接收器(13)传送到数据计算服务器(14)。

2. 根据权利要求1所述的大坝与边坡三维连续变形监测系统,其特征在于:所述外壳是高强度刚性管状结构(1)。

3. 根据权利要求2所述的大坝与边坡三维连续变形监测系统,其特征在于:多个测量单元(4)串联,测量单元两两通过球形万向节(5)连接,每个测量单元的一端接阳节球形万向节,另一端接阴节球形万向节,阳节球形万向节的端部设有用于线缆(3)的电源线和信号线通过的孔。

4. 根据权利要求3所述的大坝与边坡三维连续变形监测系统,其特征在于:微型加速度计(2)或微型倾角计位于高强度刚性管状结构(1)内部。

5. 根据权利要求4所述的大坝与边坡三维连续变形监测系统,其特征在于:微型加速度计(2)或微型倾角计位于高强度刚性管状结构(1)的中心。

6. 根据权利要求4或5所述的大坝与边坡三维连续变形监测系统,其特征在于:球形万向节(5)的最大转角与高强度刚性管状结构(1)的轴线偏离 $30^{\circ}$ 。

7. 根据权利要求6所述的大坝与边坡三维连续变形监测系统,其特征在于:高强度刚性管状结构(1)的外部设有防水防腐蚀的弹性保护套管(6)。

## 大坝与边坡三维连续变形监测系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种三维连续变形监测系统,可用于测量水工建筑物的表面和内部变形以及边坡不同深度的滑动变形。

### 背景技术

[0002] 水工建筑物的变形监测是安全管理的一项重要手段。目前监测边坡和水工建筑物的倾斜变形一般采用测斜仪等。这些斜度测量装置一般采用单点测量,测量范围有限,难以自动化,造价很高。泥石流、边坡失稳是目前常见的地质灾害。如果能够在其发生之前监测到,就会预先采取措施,从而将损失降到最低。

### 发明内容

[0003] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提供一种连续测量、测量范围大、自动化、成本较低的大坝与边坡三维连续变形监测系统。

[0004] 本发明的技术解决方案是:这种大坝与边坡三维连续变形监测系统包括测量装置、信号采集和传输装置和远程接收分析装置,测量装置包括多个测量单元,每个测量单元包含固定于外壳内部的微型加速度计或微型倾角计,以及线缆;信号采集和传输装置包含数据采集器和无线电发射器;远程接收分析装置包含信号接收器和数据计算服务器;数据采集器将从测量装置采集的数据直接通过笔记本电脑周期性下载和浏览,或者通过无线电发射器发送经信号接收器传送到数据计算服务器。

[0005] 由于采用多个测量单元测量多个位置的倾斜角度,所以能够实现连续测量,测量范围大,由于测量单元使用微型加速度计(或微型倾角计),能够感知外壳的倾角并将其转换为数字信号,通过信号采集和传输装置实现信号周期性读取和存储,并经无线电发射器通过远程接收分析装置接收并储存发射的数据信号,并且在数据计算服务器的显示屏上形成各个测量单元三维位移变化与时间关系的图形显示,这就实现了自动化。另外,这种监测系统较设置多个单点的监测仪或测斜仪来说,成本较低。

### 附图说明

[0006] 图 1 示出了根据本发明的测量单元的结构示意图;

[0007] 图 2 示出了根据本发明的测量装置的结构示意图;

[0008] 图 3 示出了根据本发明的测量单元的横截面示意图;

[0009] 图 4 示出了根据本发明的大坝与边坡三维连续变形监测系统的结构示意图;

[0010] 图 5 示出了一段测量单元的位移计算示意图;

[0011] 图 6a 和 6b 示出了本发明应用于重力坝的变形分析示意图;

[0012] 图 7 示出了本发明应用于拱坝的变形分析示意图;

[0013] 图 8a 和 8b 示出了本发明应用于面板堆石坝的变形分析示意图;

[0014] 图 9 示出了本发明应用于边坡破坏的分析示意图。

## 具体实施方式

[0015] 如图 1、2 所示,这种监测系统的测量装置 10 包括多个测量单元 4,每个测量单元 4 包含固定于外壳内的微型加速度计 2(或微型倾角计),以及线缆 3。当然,也可以只包括一个测量单元 4。推荐使用的基于 MEMS 的微型加速度计(基于 MEMS 微型加速度计的倾角计),能够感知外壳的倾角并将其转换为数字信号,通过数据采集器 12 实现信号周期性读取和存储,线缆包括 2 根信号线和 2 根电源线(如图 3 所示)。MEMS(Micro ElectroMechanical System),其实就是在一个硅基板上集成了机械和电子元器件的微小机构,通过对电子部分使用半导体工艺和机械部分使用微机械工艺或者增加新的结构层来制作 MEMS 产品。MEMS 主要包括微型机构、微型传感器、微型执行器和相应的处理电路等几部分,它是融合多种微细加工技术,并应用现代信息技术的最新成果的基础上发展起来的高科技前沿学科。MEMS 技术的发展开辟了一个全新的技术领域和产业,采用 MEMS 技术制作的微传感器、微执行器、微型构件、微机械光学器件、真空微电子器件、电力电子器件等在航空航天、汽车、生物医学、环境监控、军事以及其它很多领域都有着十分广阔的应用前景。本发明中推荐使用的基于 MEMS 的微型加速度计(或倾角计)只是其中任意一个非常小的应用分支。

[0016] 优选地,所述外壳是高强度刚性管状结构 1。

[0017] 优选地,多个测量单元 4 串联,测量单元两两通过球形万向节 5 连接,每个测量单元的一端接阳节球形万向节,另一端接阴节球形万向节,阳节球形万向节的端部设有用于线缆 3 的电源线和信号线通过的孔。

[0018] 优选地,微型加速度计 2 或微型倾角计位于高强度刚性管状结构 1 内部,更优选地推荐使用的 MEMS 微型加速度计 2(或微型倾角计)位于刚性管状结构 1 的中心,由于采用的是高强度刚性管状结构 1,即可以认为其不能变形,传感器放在刚性管状结构的中心,即可精确的测得刚性管状结构在两个正交方向上的倾角;同时可以避免内部的微型加速度计(或倾角计)2 受到干扰或破坏,如果放到球形万向结 5 里,当两个杆件在此处连接转动时,很容易干扰传感器的测量精度。

[0019] 优选地,考虑电源线和信号线的保护,球形万向节 5 的最大转角是与高强度刚性管状结构 1 的轴线偏离  $30^{\circ}$ 。

[0020] 优选地,如图 3 所示,在高强度刚性管状结构 1 的外部设有防水防腐蚀的弹性保护套管 6。另外,线缆 3 和防水防腐蚀的弹性保护套管 6 之间填充有柔性高分子材料 7。

[0021] 图 4 示出了根据本发明的大坝与边坡三维连续变形监测系统的结构示意图。通过本发明的测量装置 10 的 MEMS 微型加速度计 2(或微型倾角计)就能够感知外壳的倾角并将其转换为数字信号,通过数据采集器 12 实现数字信号的周期性读取和存储,可以直接通过笔记本电脑 11 周期性的下载和浏览数据,也可以通过无线电发射器 8 将数字信号发送到数据计算服务器 14,利用信号接收器 13 接收并储存发射的数据信号,经过服务器计算机相应软件的计算分析后,能够在显示屏上形成各个测量单元三维位移变化与时间关系的图形显示。信号数据采集器 12 的供电可以用太阳能电池 9、公共发电、或大容量蓄电池。测量装置 10 由数据采集器 12 通过电源线供电。

[0022] 下面说明采用本发明的测量单元测量位移的原理:

[0023] ①单段测量单元的位移计算:

[0024] 取一段测量单元如图 3, 假设原来 AB 轴为垂直的, 以杆件 AB 为 Z 轴建立空间直角坐标系, 定义平面 XAY 中, 以 X 轴正方向为 N, Y 轴正方向为 E。设 A 点为位移“0”点, 在经历时间  $\Delta t$  后, 实测杆件的倾角变化为  $\Delta \theta_N$  和  $\Delta \theta_E$ , 其中:  $B'$  为 B 端变化后的位置,  $B_1$  为  $B'$  在平面 XAZ 上的投影,  $B_2$  为  $B'$  在平面 YAZ 内的投影,  $B_3$  为  $B'$  在平面  $B_1B' B_2$  与 AB 轴的交点;  $\Delta \theta_N$  为沿南北方向的夹角变化 ( $\angle BAB_1$ ),  $\Delta \theta_E$  为沿东西方向的夹角变化 ( $\angle BAB_2$ ); 在 XAZ 平面中,  $B_1B_3$  为 B 端沿南北方向上的位移, 记为  $\Delta B_N$ ; 在 YAZ 平面中,  $B_2B_3$  为 B 端沿东西方向的位移, 记为  $\Delta B_E$ ,  $BB_3$  为 B 端变化到  $B'$  后, 垂直高度上的位移, 记为  $\Delta B_H$ , 以上三个方向上的位移可用下面的公式来求得:

[0025]

$$\Delta B_N = \frac{l}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta \theta_N) + \tan^2(\Delta \theta_E)}} \cdot \tan(\Delta \theta_N) \quad (1)$$

[0026]

$$\Delta B_E = \frac{l}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta \theta_N) + \tan^2(\Delta \theta_E)}} \cdot \tan(\Delta \theta_E) \quad (2)$$

[0027]

$$\Delta B_H = l \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta \theta_N) + \tan^2(\Delta \theta_E)}} \right] \quad (3)$$

[0028]  $l$  为测量单元的杆长

[0029] ②连续多段测量单元的位移计算:

[0030] 假定整个测线有  $N$  个测量单元组成, 第  $i$  个单元的端点分别为  $i_A$ 、 $i_B$ , 倾角变化为  $\Delta \theta_{iN}$ 、 $\Delta \theta_{iE}$ , A 端的位移为  $\Delta_{iAN}$ 、 $\Delta_{iAE}$  和  $\Delta_{iAH}$ , 则 B 点的位移为:

[0031]

$$\Delta_{iBN} = \Delta_{iAN} + \frac{l}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta \theta_N) + \tan^2(\Delta \theta_E)}} \cdot \tan(\Delta \theta_N) \quad (4)$$

[0032]

$$\Delta_{iBE} = \Delta_{iAE} + \frac{l}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta \theta_N) + \tan^2(\Delta \theta_E)}} \cdot \tan(\Delta \theta_E) \quad (5)$$

[0033]

$$\Delta_{iBH} = \Delta_{iAH} + l \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta \theta_N) + \tan^2(\Delta \theta_E)}} \right] \quad (6)$$

[0034] ③沿测线的累积位移:

$$[0035] \quad \Delta_{0N} = 0 \quad (7)$$

$$[0036] \quad \Delta_{0E} = 0 \quad (8)$$

$$[0037] \quad \Delta_{0H} = 0 \quad (9)$$

[0038]

$$\Delta_{iBN} = \sum_{j=0}^{i-1} \Delta_{jBN} + \frac{l_i}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta\theta_N) + \tan^2(\Delta\theta_E)}} \cdot \tan(\Delta\theta_N) \quad (i = 0, 1, 2 \dots N) \quad (10)$$

[0039]

$$\Delta_{iBE} = \sum_{j=0}^{i-1} \Delta_{jBE} + \frac{l_i}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta\theta_N) + \tan^2(\Delta\theta_E)}} \cdot \tan(\Delta\theta_E) \quad (i = 0, 1, 2 \dots N) \quad (11)$$

[0040]

$$\Delta_{iBH} = \sum_{j=0}^{i-1} \Delta_{jBH} + l_i \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2(\Delta\theta_N) + \tan^2(\Delta\theta_E)}} \right] \quad (i = 0, 1, 2 \dots N) \quad (12)$$

[0041] 现在给出几个本发明的应用实施例。

[0042] 应用实施例 1

[0043] 如图 6a, 一个重力坝 15, 其上游受水压作用, 变形如图所示, 在大坝的上游面预埋测量装置, 可以实时监测重力坝蓄水过程受水压作用的变形, A 端位移变形忽略不计, 假定坝顶测量单元的 B 端变位到 B' 端, 则所有测量单元节点处的位移均可以计算得到, 其位移可参照公式 (10) ~ (12) 计算。

[0044] 如图 6b, 重力坝 15, 在施工期浇筑混凝土时, 在其坝体底部预埋测量装置, 可以实时监测重力坝施工期和运行期的变位, 可以测得大坝由于自重或者其它原因导致的基岩变形或沉降, 所有测量单元节点处的位移 (包括末节测量单元 C 端变位到 C' 端) 均可以计算得到, 其位移可以参照公 (10) ~ (12) 计算。

[0045] 应用实施例 2

[0046] 如图 7, 一个拱坝 16, 大坝施工期在其上游或者下游的表面安装测量装置, 可以实时监测拱坝施工期和运行期的变位情况, 假定坝顶上游面的 A 端变位到 A' 端, 坝顶下游面的 B 端变位到 B' 端, 所有测量单元处的位移均可以计算得到, 其位移可以参照公 (10) ~ (12) 计算。其位移可以参照公 (10) ~ (12) 计算。

[0047] 应用实施例 3

[0048] 如图 8a, 一个面板堆石坝 17, 其中 18 为混凝土面板, 大坝施工浇筑期间, 在混凝土面板下面的垫层中预埋测量装置 (尽量紧贴面板), 可以实时监测面板在施工期和运行期的变位情况, 所有测量单元处的位移 (包括末节测量单元 B 端变位到 B' 端) 均可以计算得到, 其位移可以参照公 (10) ~ (12) 计算。

[0049] 如图 8b, 大坝施工浇筑期间, 在面板堆石坝的堆石区, 预埋测量装置, 可以实时监测大坝堆石区内部在施工期和运行期的变位情况, 所有测量单元处的位移 (包括末节测量单元 D 端变位到 D' 端) 均可以计算得到, 其位移可以参照公 (10) ~ (12) 计算。

[0050] 应用实施例 4

[0051] 如图 9, 一个的边坡 19, 边坡的破坏变形如图所示, 在里面预埋测量装置, 便可以实时监测边坡变形, 对边坡的破坏起到预警作用, 所有测量单元处的位移便均可以计算得到 (包括末节测量单元 A 端变位到 A' 端), 其位移可以参照公式 (10) ~ (12) 计算。

[0052] 以上所述, 仅是本发明的较佳实施例, 并非对本发明作任何形式上的限制, 凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰, 均仍属本发明

技术方案的保护范围。

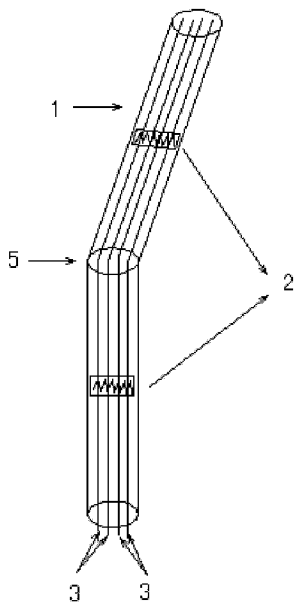


图 1

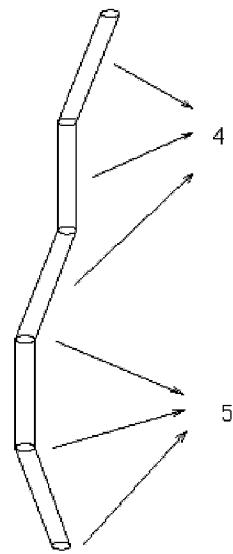


图 2

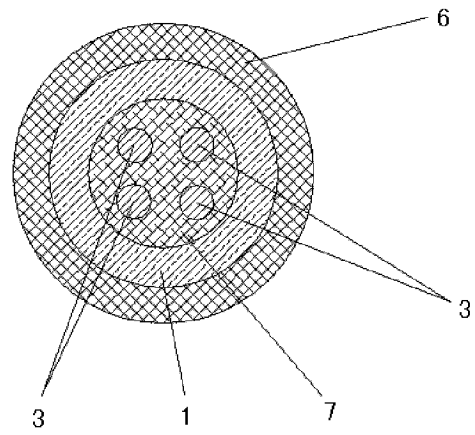


图 3

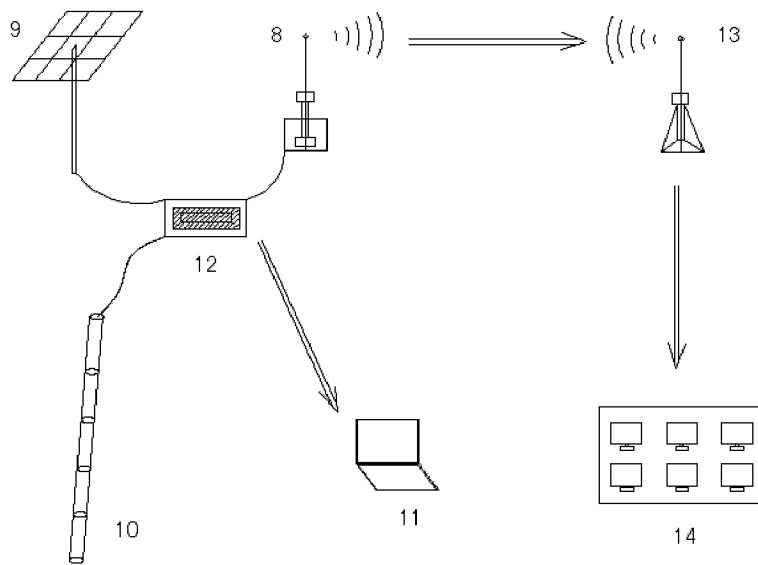


图 4



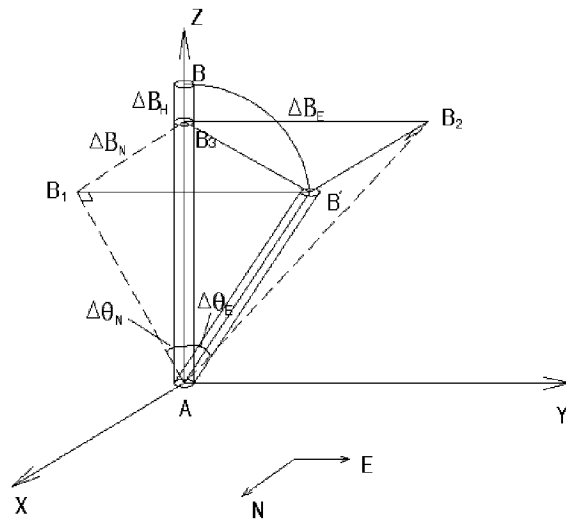


图 5

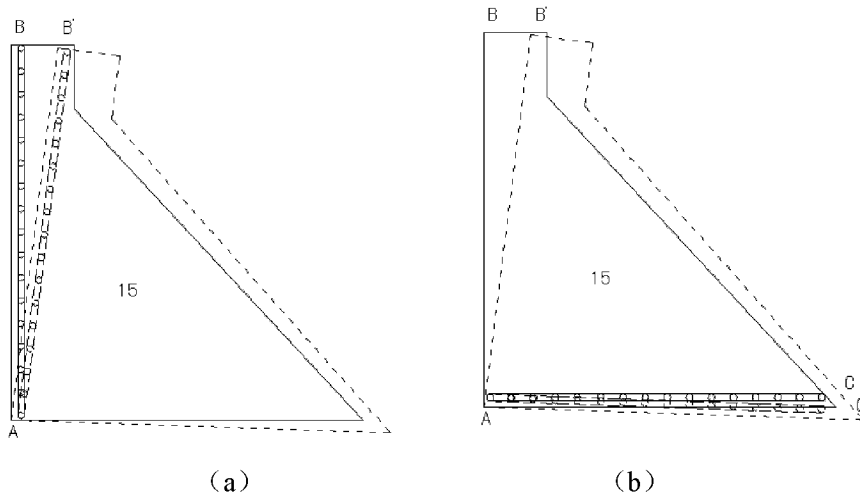


图 6

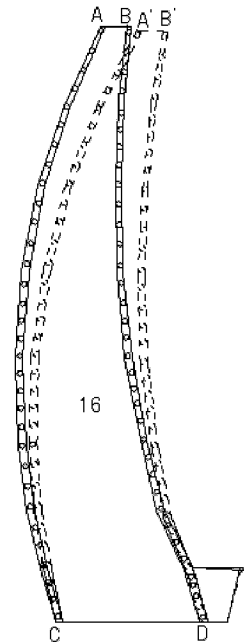


图 7

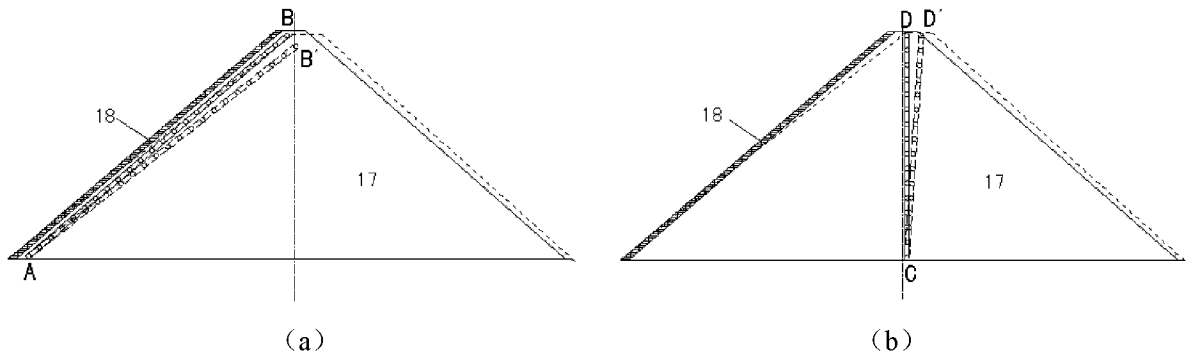


图 8

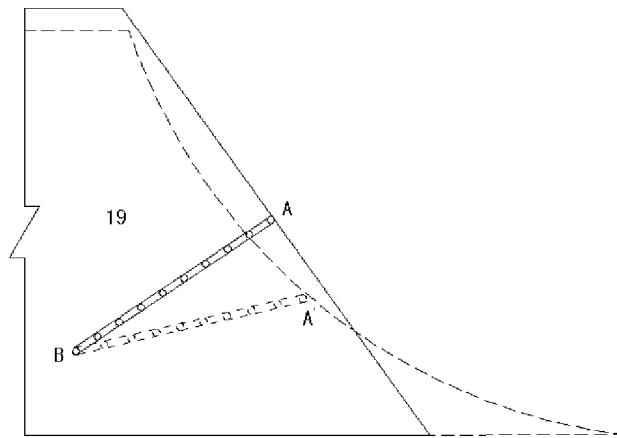


图 9