(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106679559 B
(45)授权公告日 2022.05.20

(21)申请号 201710089701.0

(22)申请日 2017.02.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106679559 A

(43)申请公布日 2017.05.17

(73)专利权人 水利部南京水利水文自动化研究所
地址 210012 江苏省南京市雨花区铁心桥街95号
专利权人 山西省汾河二库管理局

(72)发明人 方卫华 周永红 范连志 那巍 芦绮玲 张鲁晋 孟振刚 李海梅 王婧

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224
专利代理师 董建林

(51)Int.Cl.
G01B 7/16(2006.01)
G01S 19/42(2010.01)

(56)对比文件
CN 1560558 A,2005.01.05
CN 205910341 U,2017.01.25
CN 203744915 U,2014.07.30
CN 103512546 A,2014.01.15
CN 104180759 A,2014.12.03
CN 106225689 A,2016.12.14
CN 101577043 A,2009.11.11
JP 2012058136 A,2012.03.22
CN 105606152 A,2016.05.25
WO 2011016857 A2,2011.02.10
王举等.基于三维激光扫描技术的土石坝变形监测方法研究.《岩土工程学报》.2014,(第12期),
王永全等.尾矿坝位移在线监测技术及其发展方向.《有色金属(矿山部分)》.2011,(第05期),

审查员 石隽菲

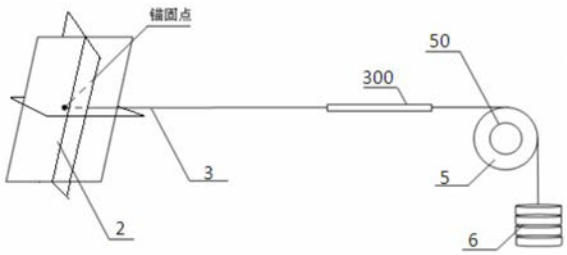
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种超高土石坝内部三维变形实测装置及方法

(57)摘要

本发明公开一种超高土石坝内部三维变形实测装置及方法,在坝体内部需要监测的部位埋设多棱不锈钢板,在不锈钢板中心锚固矢量线体;线体下游监测设施安装在嵌入坝体下游面内的楔形组合式观测房内;屋顶设置GNSS接收天线,底板四角安装双轴倾斜仪,获取观测房整体6维变位;组合式观测房墙体上游墙壁预留用于引入矢量线体的宽缝,线体通过观测房内固设的定滑轮以及挂重砝码张紧;线体角度由线体方位测量装置测量;线体轴向伸长由定滑轮上同轴旋转电位器式位移计测量并考虑线体轴向分布温度修正。通过传感器测值结合三级坐标转换获得坝体内部三维位移。本发明测量精度高、稳定性好、可靠性高。



CN 106679559 B

1.一种超高土石坝内部三维变形实测装置，其特征在于：坝体(1)内部需要监测的部位埋设多棱不锈钢板(2)作为测点代表，在不锈钢板(2)中心锚固矢量线体(3)；下游坝体(10)与下游坝面平整一致嵌入有呈楔形的观测房，观测房包括底板(40)、墙体(41)、屋顶(42)，墙体(41)上游墙壁预留用于引入矢量线体(3)的宽缝(410)，以适应坝体各部位相对变形；线体通过观测房内固设的定滑轮(5)以及在其末端悬挂的挂重砝码(6)张紧，所述底板(40)上预埋有带刻度滑轨(7)、套设在线体上的线体方位测量装置(30)沿带刻度滑轨(7)可滑动，屋顶(42)上设有GNSS天线(9)，底板(40)四角还安装有双轴倾斜仪(8)以配合GNSS天线(9)获取观测房变形；所述定滑轮(5)上同轴设有旋转电位器式位移计(50)；

其中，垂直于坝轴线的墙体(41)上安装有用于修正线体轴向热变形的温度计以及与观测房内测量仪器通信连接的数据自动采集装置、数传装置；

所述线体方位测量装置(30)包括套设在线体上的轻质套管(300)、与轻质套管(300)固定为一体的万向节(301)、竖直连接万向节(301)且沿带刻度滑轨(7)可滑动的杆式位移计(302)、固定在万向节(301)上的双轴倾斜仪(8)；

所述带刻度滑轨(7)上设有空心圆柱滑槽(70)，所述杆式位移计(302)通过圆柱滑杆(71)在空心圆柱滑槽(70)内可滑动。

2.根据权利要求1所述的一种超高土石坝内部三维变形实测装置，其特征在于：所述宽缝(410)设为适应坝体变形便于矢量线体(3)通过的弹性可调节孔洞。

3.根据权利要求1所述的一种超高土石坝内部三维变形实测装置，其特征在于：所述定滑轮(5)固定在观测房的底板(40)上。

4.根据权利要求1所述的一种超高土石坝内部三维变形实测装置，其特征在于：所述观测房由左侧面立墙斜体与右侧面立墙斜体拼合而成，观测房与下游坝体(10)平齐留有房门；其中，底板(40)、墙体(41)、屋顶(42)均采用预制结构。

5.根据权利要求4所述的一种超高土石坝内部三维变形实测装置，其特征在于：屋顶(42)预留GNSS天线(9)安装基座；底板(40)四角预留双轴倾斜仪(8)安装基座。

6.一种超高土石坝内部三维变形实测方法，其特征在于，采用权利要求1～5任一项所述的一种超高土石坝内部三维变形实测装置，所述方法包括如下步骤：

①利用坝端稳定基点和观测房顶GNSS测点，采用迭代滤波获取观测房的三个正交方向的移动；稳定基点当有稳定岩石时可直接选用，当不存在稳定基岩时采用倒垂线和双金属标进行修正，两者修正采用自动测量，数据直接代入GNSS迭代系统软件中进行迭代；

②利用观测房底板(40)四角安装的双轴倾斜仪(8)采用算术平均获取观测房的三个正交方向的转角α,β,γ；

③假设观测房为刚体，利用①和②得到观测房二级坐标系统相对一级大坝整体坐标系平动和转动参数；

④将万向节中心设定为三级坐标系原点，利用形变后圆柱滑杆(71)最终到达的滑轨端点绝对坐标、滑轨上刻度以及万向节(301)下部杆式位移计(302)，从而获取观测房内三级坐标相对二级坐标的三个平动参数；

⑤结合万向节(301)上双轴倾斜仪(8)获取线体在球坐标系中由于坝体变形导致的角度(Φ,θ)变化，利用旋转电位器式位移计(50)和温度计修正获取球坐标上一维r径向变化；其中，球坐标系中r为矢径长度即测点发生变形的空间位移长度，Φ为r与o-x-y平面的夹

角，θ为矢径在o-x-y平面上投影与x轴的夹角；利用上述三维坐标获取坝内测点在三级坐标轴中的三维变形（Δr，ΔΦ，Δθ）；

⑥所述三级坐标采用双重坐标，直角坐标与极坐标保持原点在同一点，利用球坐标系和直角坐标系之间的关系，将（Δr，ΔΦ，Δθ）转化成三维笛卡尔坐标系变形分量（Δx，Δy，Δz）；其中，x，y，z代表球坐标对应三维坐标系中的相应分量；

球坐标与直角坐标系之间的转换关系为：

$r^2=z^2+x^2+y^2$

$$\begin{cases} x = r\cos\Phi\cos\theta \\ y = r\cos\Phi\sin\theta \\ z = r\sin\Phi \end{cases}$$

（r，Φ，θ）由三级球坐标系对应的双轴倾斜仪以及修正r测值获得；

⑦利用④获得三级直角坐标相对二级坐标之间的关系，结合③通过坐标转换将三级三维笛卡尔坐标系变形分量（Δx，Δy，Δz）转化为一级坐标系下的三维分量（ΔX，ΔY，ΔZ）；该三维分量分别对应坝体内部上下游方向、左右岸方向和垂直地面方向的位移；

其中，三维笛卡尔坐标系的转换公式如下：

$$\Delta X=\left[\left(\frac{\alpha}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta x+\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\beta}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\gamma}{\theta}\sin\theta\right]\Delta y+\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\beta}{\theta}\sin\theta\right]\Delta z+p_x$$

$$\Delta Y=\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\beta}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\gamma}{\theta}\sin\theta\right]\Delta x+\left[\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta y+\left[\frac{\beta}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\alpha}{\theta}\sin\theta\right]\Delta z+p_y$$

$$\Delta Z=\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\beta}{\theta}\sin\theta\right]\Delta x+\left[\frac{\beta}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\alpha}{\theta}\sin\theta\right]\Delta y+\left[\left(\frac{\gamma}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta z+p_z$$

其中α，β，γ为观测房三个正交方向的旋转角，$\theta=\sqrt{\alpha^2+\beta^2+\gamma^2}$，px，py，pz为平移分量。

一种超高土石坝内部三维变形实测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于水电工程技术领域，具体涉及一种超高土石坝内部三维变形实测装置及方法。

背景技术

[0002] 超高土石坝在施工期、初蓄期和运行初期的内部变形比较大，特别是沉降变形，现有内部变形监测方法将垂直位移和水平位移分开监测，分别采用水管式沉降仪器和引张线式水平位移计进行监测，忽略了水平位移和垂直位移之间的耦合，而直接将引张线水平位移计轴线方向的伸缩作为测点上下游方向水平位移，近似误差大，尤其是针对超高土石坝的内部大变形。实际上，测点沉降变形将导致埋设在坝体内部引张线式水平位移计线体方向发生改变，不可能一直水平固定指向下游方向。随着300米级超高土石坝的不断出现，本领域技术人员有必要提供一种水平位移和垂直位移耦合的实测方法。

发明内容

[0003] 针对上述现有技术中的不足，本发明提供了一种测量精度高、稳定性好、可靠性高的超高土石坝内部三维变形实测装置及方法。

[0004] 为实现上述目的之一提供一种超高土石坝内部三维变形实测装置，本发明采用了以下技术方案：

[0005] 一种超高土石坝内部三维变形实测装置，坝体内部需要监测的部位埋设多棱不锈钢板作为测点代表，在不锈钢板中心锚固矢量线体即不锈钢材质的矢量线体；下游坝体嵌入有与下游坝面平整一致呈楔形的观测房，观测房包括底板、墙体、屋顶，墙体上游墙壁预留用于引入矢量线体的宽缝，以适应坝体各部位相对变形；线体通过观测房内固设的定滑轮以及在其末端悬挂的挂重砝码张紧，所述底板上预埋有带刻度滑轨、套设在线体上的线体方位测量装置沿带刻度滑轨可滑动，屋顶上设有GNSS天线，底板四角还安装有双轴倾斜仪以配合GNSS天线获取观测房变形；所述定滑轮上同轴设有旋转电位器式位移计；

[0006] 其中，垂直于坝轴线的墙体上还安装有用于修正线体轴向热变形的温度计和用于观测房内测量仪器(如温度计、旋转电位器式位移计、双轴倾斜仪等)的数据自动采集装置以及与上级计算机双向通讯的数传装置。在温度修正过程中通过上级计算机内事先建立的坝体温度场有限元模型，通过数据自动采集与数传装置采集的温度计测值作为动态边界条件，计算温度沿线体保护管的分布，从而实现线体长度的分布式修正。

[0007] 优选的，线体方位测量装置包括套设在线体上的轻质套管、与轻质套管固定为一体的万向节、竖直连接万向节且沿带刻度滑轨可滑动的杆式位移计、固定在万向节上的双轴倾斜仪；所述定滑轮上同轴设有旋转电位器式位移计。

[0008] 进一步的，所述带刻度滑轨上设有空心圆柱滑槽，所述杆式位移计通过圆柱滑杆在空心圆柱滑槽内可滑动。

[0009] 优选的，所述定滑轮固定在观测房的底板上。

[0010] 优选的，所述宽缝设为能使线体适应坝内变形，有效克服观测房相对移动对矢量线体造成束缚的弹性可调节孔洞。

[0011] 优选的，所述观测房由左侧面立墙斜体与右侧面立墙斜体拼合而成，观测房下游与坝体平齐留有房门；其中，底板、墙体、屋顶均采用预制结构。

[0012] 进一步的，所述屋顶预留GNSS天线安装基座；底板四角预留双轴倾斜仪安装基座。

[0013] 本发明的目的之二是提供一种基于上述装置的超高土石坝内部三维变形实测方法，包括如下步骤：

[0014] ①利用坝端稳定基点和观测房顶GNSS测点，采用迭代滤波获取观测房的三个正交方向的移动；稳定基点当有稳定岩石时可直接选用，当不存在稳定基岩时采用倒垂线和双金属标进行修正，两者修正采用自动测量，数据直接代入GNSS迭代系统软件中进行迭代；

[0015] ②利用观测房底板四角安装的双轴倾斜仪采用算术平均获取观测房的三个正交方向的转角α，β，γ；

[0016] ③假设观测房为刚体，利用①和②得到观测房二级坐标系统相对一级大坝整体坐标系平动和转动参数；

[0017] ④将万向节中心设定为三级坐标系原点，利用形变后圆柱滑杆(71)最终到达的滑轨端点绝对坐标、滑轨上刻度以及万向节(301)下部杆式位移计(302)，从而获取观测房内三级坐标相对二级坐标的三个平动参数px，py，pz；

[0018] ⑤结合万向节(301)上双轴倾斜仪(8)获取线体在球坐标系中由于坝体变形导致的角度(Φ，θ)变化，利用旋转电位器式位移计(50)和温度计修正获取球坐标上一维r径向变化；其中，球坐标系中r为矢径长度即测点发生变形的空间位移长度，Φ为r与o-x-y平面的夹角，θ为矢径在o-x-y平面上投影与x轴的夹角；利用上述三维坐标获取坝内测点在三级坐标轴中的三维变形(Δr，ΔΦ，Δθ)；

[0019] ⑥所述三级坐标采用双重坐标，直角坐标与极坐标保持原点在同一点，利用球坐标系和直角坐标系之间的关系，将(Δr，ΔΦ，Δθ)转化成三维笛卡尔坐标系变形分量(Δx，Δy，Δz)；其中，x，y，z代表球坐标对应三维坐标系中的相应分量；

[0020] 球坐标与直角坐标系之间的转换关系为：

[0021] $r^2=z^2+x^2+y^2$

[0022]
$$\begin{cases} x = r\cos\Phi\cos\theta \\ y = r\cos\Phi\sin\theta \\ z = r\sin\Phi \end{cases}$$

[0023] (r，Φ，θ)由三级球坐标系对应的双轴倾斜仪以及修正r测值获得；

[0024] ⑦利用④获得三级直角坐标相对二级坐标之间的关系，结合③通过坐标转换将三级三维笛卡尔坐标系变形分量(Δx，Δy，Δz)转化为一级坐标系下的三维分量(ΔX，ΔY，ΔZ)；该三维分量分别对应坝体内部上下游方向、左右岸方向和垂直地面方向的位移；

[0025] 三维笛卡尔坐标系转换公式如下：

[0026]
$$\Delta X=\left[\left(\frac{\alpha}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta x+\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\beta}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\gamma}{\theta}\sin\theta\right]\Delta y+\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\beta}{\theta}\sin\theta\right]\Delta z+p_x$$

[0027] $$\Delta Y=\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\beta}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\gamma}{\theta}\sin\theta\right]\Delta x+\left[\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta y+\left[\frac{\beta}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\alpha}{\theta}\sin\theta\right]\Delta z+p_y$$

[0028] $$\Delta Z=\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\beta}{\theta}\sin\theta\right]\Delta x+\left[\frac{\beta}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\alpha}{\theta}\sin\theta\right]\Delta y+\left[\left(\frac{\gamma}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta z+p_z$$

[0029] 其中，α，β，γ为观测房三个正交方向的旋转角，$\theta=\sqrt{\alpha^2+\beta^2+\gamma^2}$，px，py，pz为平移分量即④中的平动参数。

[0030] 与现有技术相比，本发明的有益效果在于：

[0031] 1)、本发明采用三级坐标系统，实现坝体内部位移的准确描述与修正：

[0032] 其一，现有引张线水平位移计只测量轴线伸长缩短，不考虑线体空间角度变化、温度修正并始终认为线体一直垂直坝轴线指向坝体下游，也不进行温度修正，本发明既测量线体空间角度的变化，也测量线体的伸长缩短，并在温度修正过程中通过上级计算机内事先建立的坝体温度场有限元模型，通过数据自动采集与数传装置采集的温度计测值作为动态边界条件，计算温度沿线体保护管的分布，从而实现线体长度的分布式修正；

[0033] 其二，现有引张线水平位移计实际上只能获得线体轴向方向内外部相对变形，不能准确获得大坝上下游方向水平位移，更不能获得坝轴线方向的水平变形和沉降，本发明通过考虑线体空间角度修正，不仅能获得大坝上下游方向水平位移，还能获得坝轴线方向的水平变形和竖直方向上的沉降；

[0034] 其三，现有引张线水平位移计采用光学三角形网或视准线法进行修正，由于三角形网或视准测量建立时间长、投入时间晚，使得施工期或初蓄期大部分大坝变形过程均未被及时监测到，本发明结合观测房，部分结构预制，施工期也可迅速安装，能够尽早获得变形测值修正。

[0035] 2)、本发明中采用的新型观测房采用整体预制呈楔形埋入式结构和预埋组件，实现施工期的快速投入使用，全面尽早实现对内部变形的测量和测值修正，不影响坝体下游面整体美观，具体的：

[0036] 其一，现有内部沉降变形修正是后期采用光学水准方法进行沉降修正，由于水准测量需要建立水准网，设网时间长、投入时间晚、内外业时间长，使得施工期或初蓄期大部分大坝内部变形过程都没有监测到。本发明采用的观测房，部分结构预制，施工期可以迅速安装，能尽早获得沉降测值修正；

[0037] 其二，本发明观测房，底板、墙体和屋顶采用预制结构，预留钢筋连接和水泥灌注空间；底板上预留定滑轮支撑件、用于固定线体方位测量装置的带刻度滑轨，垂直坝轴线的墙体预埋温度计及数据自动采集与数传装置，平行于坝轴线上游墙体预留引入线体的宽缝，屋顶预留GNSS天线安装基座，底板四角预留安装水平梁式高精度双轴倾斜仪基座，方便施工期迅速安装投入使用；建成后的观测房带GNSS进行观测房屋顶水平、垂直位移监测，房底四角安装双轴倾斜仪，采用平均方法获得观测房三个正交方向的旋转角。观测房内预埋带刻度轨道，保证万向节能够在垂直线体方向上同步跟踪线体自由滑动。

[0038] 其三，观测房内安装温度计，给数值模拟提供边界条件，获取坝内部温度变化影响深度，从而修正线体轴向热变形。

[0039] 其四，观测房内固定定滑轮，用于测量时候张紧线体；平常情况降低挂重，减少线

体长期受拉导致的徐变。

[0040] 3)、本发明中采用的新型观测房通过GNSS、底板四角的双轴倾斜仪获取观测房移动和变位，通过固定在万向节上的双轴倾斜仪获取线体方向，实现精准测量坝体内部变形。考虑坝体变形导致线体方位发生变化，本发明观测房还采用弹性可调节孔洞，能有效克服线体受观测房束缚导致线体弯折的问题。

[0041] 4)综上所述，本发明的观测房充分考虑施工期变形对测值的影响，采用三级坐标系统和新型传感技术，全面考虑坝体复杂变形对内部变形实测装置的影响，实现全面修正和提取更多变形信息；通过观测房预制结构和预埋组件，实现观测房施工期的快速安装，使得内部变形实测装置尽早有效投入使用。本发明不仅可准确获得内部变形各个位移分量，而且还可以与水管式沉降仪相互校核，避免出现当前引张线水平位移计线体与保护管接触拐弯等影响测量的情况，还可以获得坝体内部三个正交方向的变形。

附图说明

[0042] 图1为本发明的内部变形测量装置示意图(部分结构未画出)。

[0043] 图2为本发明一级大坝整体坐标系。

[0044] 图3a为本发明观测房二级坐标系统。

[0045] 图3b为本发明观测房结构及双轴倾斜仪安装示意图。

[0046] 图4a为三级双重坐标系统物理框架图。

[0047] 图4b为三级双重坐标系统物理底座及轨道俯视图。

[0048] 图4c为三级双重坐标系统物理底座及轨道立示图(垂直线体方向)。

[0049] 图5为三级双重坐标系统相互关系示意图(直角坐标与极坐标原点重合)。

[0050] 图中标注符号的含义如下：

[0051] 1-坝体 2-不锈钢板 3-矢量线体 30-线体方位测量装置

[0052] 300-轻质套管 301-万向节 302-杆式位移计

[0053] 40-底板 41-墙体 410-宽缝

[0054] 42-屋顶 5-定滑轮 50-旋转电位器式位移计 6-挂重砝码

[0055] 7-带刻度滑轨 70-空心圆柱滑槽 71-圆柱滑杆

[0056] 8-双轴倾斜仪 9-GNSS天线。

具体实施方式

[0057] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。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发明的保护范围。

[0058] 一种超高土石坝内部三维变形实测装置

[0059] 如图1、2所示，所述坝体1内部埋设不锈钢板2作为测点代表，在不锈钢板2中心锚固矢量线体3，矢量线体3相较于现有技术中的引张线体只作为基准、不同时测量方位和长度有所不同，它同时获取线体方位和长度；下游坝体10埋设有呈楔形的观测房，如图3a、图3b所示，观测房由左侧面立墙斜体与右侧面立墙斜体拼合而成，观测房下游与坝下游面平齐留有房门(观测房整体嵌入坝体1，抗震等级高，避免在地震时候房子先毁了而不能观测

关键数据；并且还可以预制组装，观测房下游与坝面下游平齐，留有房门不影响坝面下游通视)，具体的所述观测房包括底板40、墙体41、屋顶42，墙体41，上游墙壁面预留用于引入线体的宽缝410；线体通过观测房内固设的定滑轮5在其末端悬挂有挂重砝码6(同样在观测房内)，所述底板40上预埋有带刻度滑轨7、套设在线体上的线体方位测量装置30沿带刻度滑轨7可滑动，屋顶42上设有GNSS天线9，底板40四角还安装双轴倾斜仪8以配合GNSS天线9获取观测房变形，两者综合获取观测房相互正交方向上的三维平动和三维转动共6维变位。

[0060] 如图4a所示，所述线体方位测量装置30包括套设在线体上的轻质套管300(确保套管与线体同一空间方位)、与轻质套管300固定为一体的万向节301、竖直连接万向节301且沿带刻度滑轨7可滑动的杆式位移计302、固定在万向节301上的双轴倾斜仪8；所述定滑轮5上同轴设有旋转电位器式位移计50，线体轴线方向的伸缩由定滑轮5上同轴的高精度旋转电位器式位移计50测量；

[0061] 另外，垂直于坝轴线的墙体41上还安装有用于修正线体轴向热变形的温度计和用于观测房内测量仪器(如温度计、旋转电位器式位移计、双轴倾斜仪等)的数据自动采集装置以及与上级计算机双向通讯的数传装置(图中未画出)。

[0062] 具体的，如图4b、图4c所示，所述带刻度滑轨7上设有空心圆柱滑槽70，所述杆式位移计302通过圆柱滑杆71在空心圆柱滑槽70内可滑动。

[0063] 所述观测房内部安装有温度计，采用数值模拟方法获得温度变化的影响深度，并采用温度计测值修正影响深度的线体热膨胀或冷收缩量，用于准确的获得由于内部变形导致的不锈钢板线体轴线方向的变形。

[0064] 所述定滑轮5固定在观测房的底板40上，用于测量时候张紧线体，在平常情况下可降低挂重，减少线体长期受拉导致的徐变，增加其使用寿命。

[0065] 所述观测房上游墙壁面的宽缝410设为适应坝体变形的弹性可调节孔洞，能够有效克服线体受观测房束缚而导致的线体弯折问题。

[0066] 所述观测房由左侧面立墙斜体与右侧面立墙斜体拼合而成，观测房下游与坝体1平齐留有房门；其中，底板40、墙体41、屋顶42均采用预制结构。所述垂直于坝轴线的墙体41预埋温度计和数据采集及传输设备；屋顶42预留GNSS天线9安装基座；底板40四角预留双轴倾斜仪8安装基座。

[0067] 一种超高土石坝内部三维变形实测方法

[0068] 包括如下步骤：

[0069] ①利用坝端稳定基点和观测房顶GNSS测点，采用迭代滤波获取观测房的三个正交方向的移动；稳定基点当有稳定岩石时可直接选用，当不存在稳定基岩时采用倒垂线和双金属标进行修正，两者修正采用自动测量，数据直接代入GNSS迭代系统软件中进行迭代；

[0070] ②利用观测房底板(40)四角安装的双轴倾斜仪(8)采用算术平均获取观测房的三个正交方向的转角α,β,γ；

[0071] ③假设观测房为刚体，利用①和②得到观测房二级坐标系统相对一级大坝整体坐标系平动和转动参数；

[0072] ④将万向节中心设定为该三级坐标系原点，利用形变后圆柱滑杆(71)最终到达的滑轨端点绝对坐标、滑轨上刻度以及万向节(301)下部杆式位移计(302)，从而获取观测房内三级坐标相对二级坐标的三个平动参数；

[0073] ⑤结合万向节(301)上双轴倾斜仪(8)获取线体在球坐标系中由于坝体变形导致的角度(Φ,θ)变化,利用旋转电位器式位移计(50)和温度计修正获取球坐标上一维r径向变化;其中,球坐标系中r为矢径长度即测点发生变形的空间位移长度,Φ为r与o-x-y平面的夹角,θ为矢径在o-x-y平面上投影与x轴的夹角;利用上述三维坐标获取坝内测点在三级坐标轴中的三维变形(Δr,ΔΦ,Δθ);

[0074] ⑥所述三级坐标采用双重坐标,直角坐标与极坐标保持原点在同一点,利用球坐标系和直角坐标系之间的关系,将(Δr,ΔΦ,Δθ)转化成三维笛卡尔坐标系变形分量(Δx,Δy,Δz);其中,x,y,z代表球坐标对应三维坐标系中的相应分量;

[0075] 如图5所示,球坐标与直角坐标系之间的转换关系为:

[0076] $r^2=z^2+x^2+y^2$

[0077] $$\begin{cases} x = r\cos\Phi\cos\theta \\ y = r\cos\Phi\sin\theta \\ z = r\sin\Phi \end{cases}$$

[0078] (r,Φ,θ)由三级球坐标系对应的双轴倾斜仪以及修正r测值获得;

[0079] ⑦利用④获得三级直角坐标相对二级坐标之间的关系,结合③通过坐标转换将三级三维笛卡尔坐标系变形分量(Δx,Δy,Δz)转化为一级坐标系下的三维分量(ΔX,ΔY,ΔZ);该三维分量分别对应坝体内部上下游方向、左右岸方向和垂直地面方向的位移;

[0080] 三维笛卡尔坐标系转换公式如下:

[0081] $$\Delta X=\left[\left(\frac{\alpha}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta x+\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\beta}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\gamma}{\theta}\sin\theta\right]\Delta y+\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\beta}{\theta}\sin\theta\right]\Delta z+p_x$$

[0082] $$\Delta Y=\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\beta}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\gamma}{\theta}\sin\theta\right]\Delta x+\left[\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta y+\left[\frac{\beta}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\alpha}{\theta}\sin\theta\right]\Delta z+p_y$$

[0083] $$\Delta Z=\left[\frac{\alpha}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)+\frac{\beta}{\theta}\sin\theta\right]\Delta x+\left[\frac{\beta}{\theta}\frac{\gamma}{\theta}(1-\cos\theta)-\frac{\alpha}{\theta}\sin\theta\right]\Delta y+\left[\left(\frac{\gamma}{\theta}\right)^2(1-\cos\theta)+\cos\theta\right]\Delta z+p_z$$

[0084] 其中,α,β,γ为观测房三个正交方向的旋转角,$\theta=\sqrt{\alpha^2+\beta^2+\gamma^2}$,px,py,pz为平移分量即④中的三个平动参数。

[0085] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和变形,这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

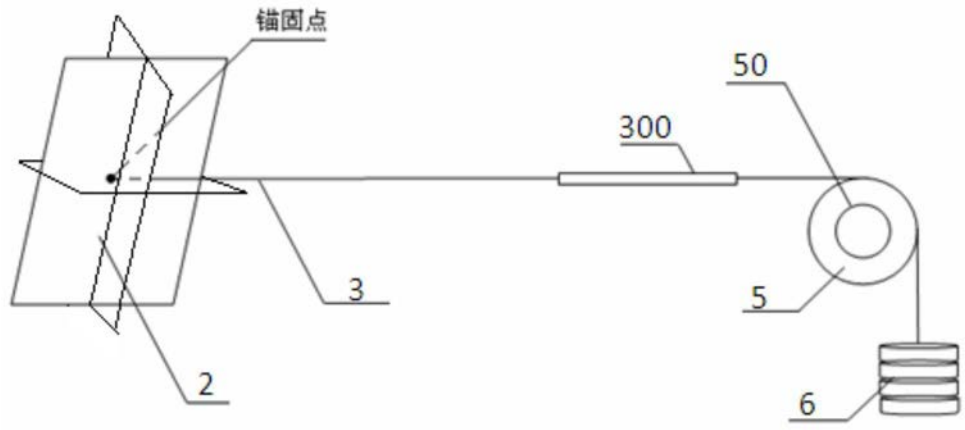


图1

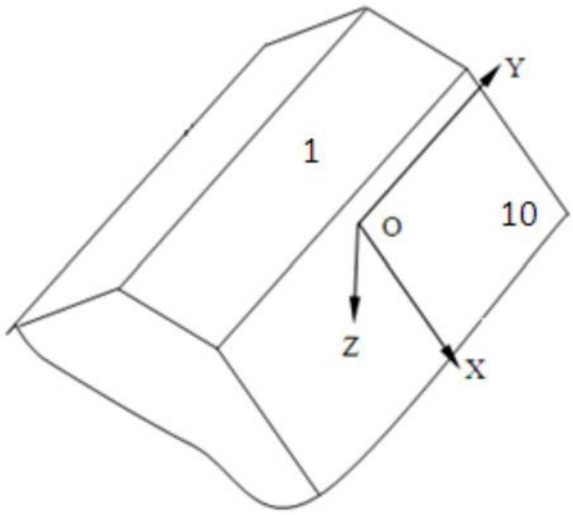


图2

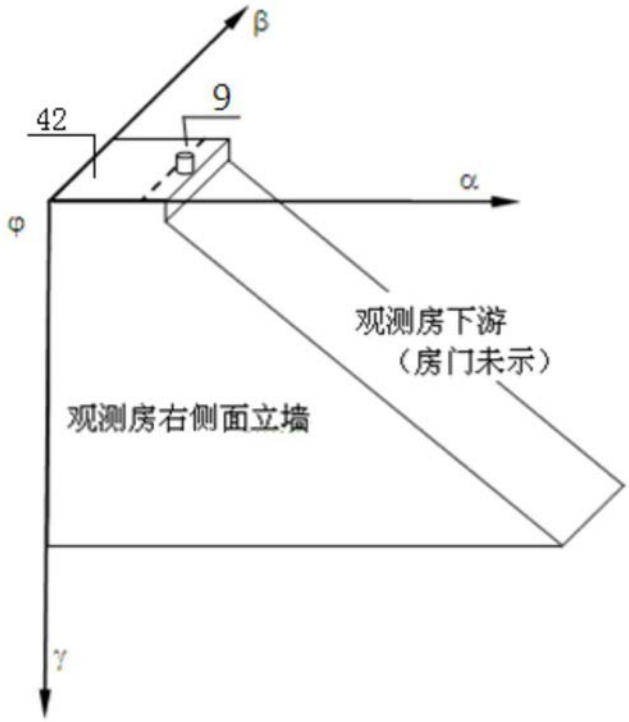

β
9
42
α
φ
观测房下游
（房门未示）
观测房右侧面立墙
γ

图3a

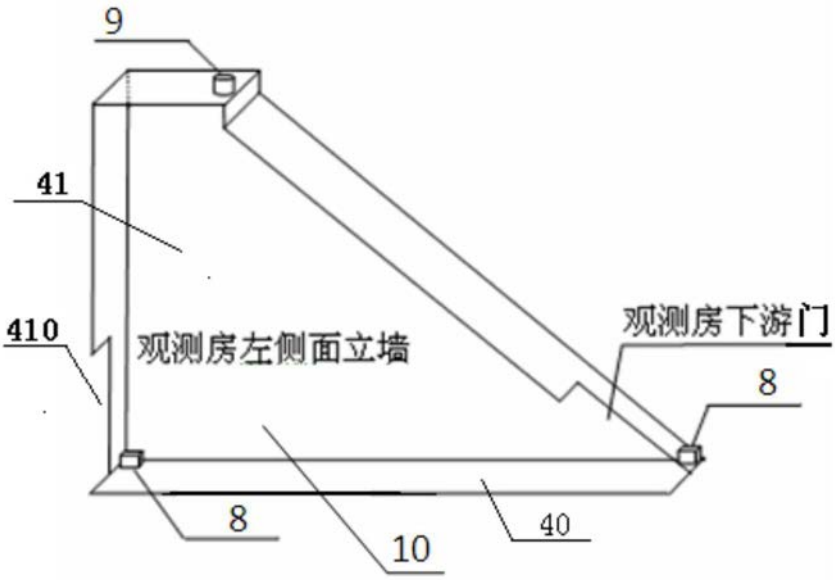

9
41
410
观测房左侧面立墙
观测房下游门
8
8
10
40

图3b

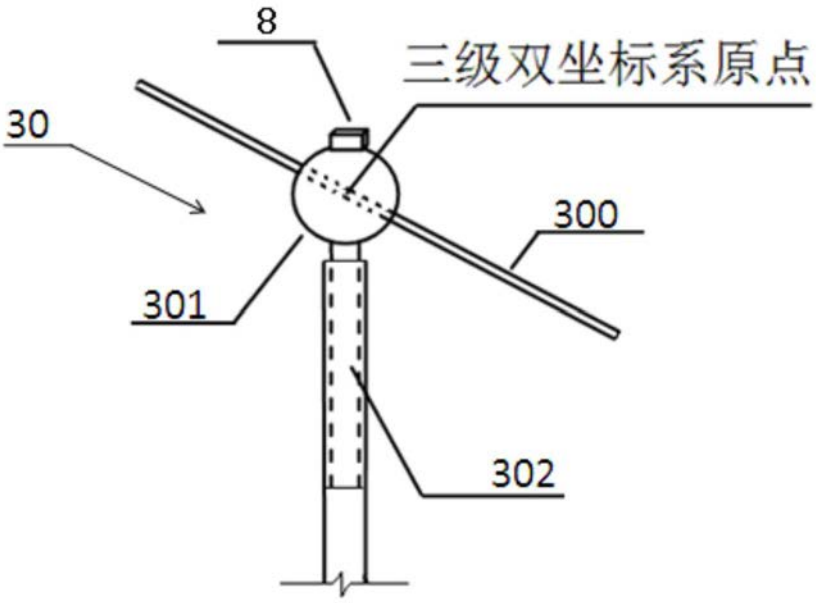


图4a

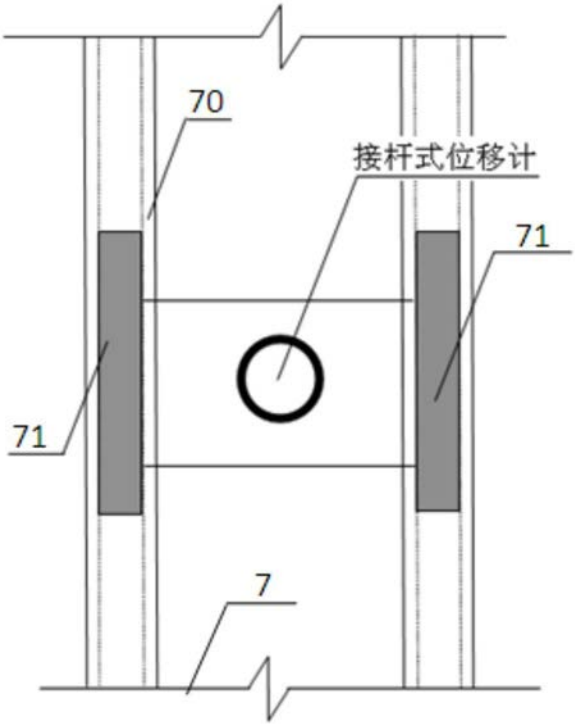


图4b

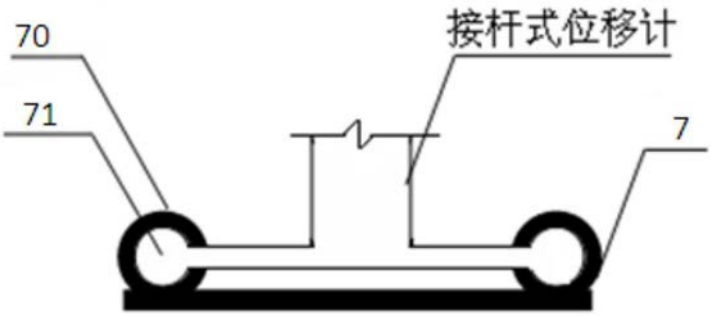


图4c

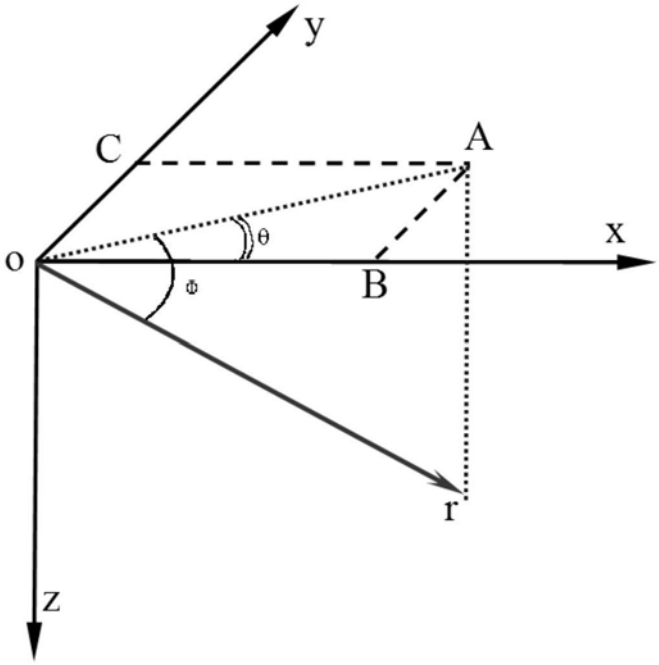


图5