

# 沥青混凝土心墙堆石坝阵列式位移计安装探讨

唐茂刚<sup>1</sup>, 董阳<sup>2</sup>, 王麒麟<sup>2</sup>

(1. 华电金沙江上游水电开发有限公司苏洼龙分公司, 四川 成都 610041;

2. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650033)

**摘要:**因常规监测手段的局限性,只能监测沥青混凝土心墙与周边细过渡料在竖直向的变形,而其水平向位移却无法观测,沥青混凝土心墙变形采用阵列式位移计监测,在国内应用并不多,沥青混凝土心墙变形监测安装的阵列式位移计须保证回填料与周边细过渡料强度相接近使其与心墙接触良好,确保其能正常、准确地反映心墙变形。

**关键词:**阵列式位移计;沥青混凝土心墙;监测

**中图分类号:**TV431+.5;TV641.4+1;TH822

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2022)02-0055-04

## Discussion on Installation of Array Displacement Meter for Asphalt Concrete Core Rockfill Dam

TANG Maogang<sup>1</sup>, DONG Yang<sup>2</sup>, WANG Qiling<sup>2</sup>

(1. Suwalong Branch of Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041; 2. Kunming Engineering Co., LTD, Kunming, Yunnan, 650033)

**Abstract:** Due to the limitations of conventional monitoring means, only the vertical displacement between the asphalt concrete core wall and surrounding fine transition material can be monitored, and observation of its horizontal displacement is not available. Deformation monitoring of the asphalt concrete core through array displacement meter is not widely used in China. Array displacement meter is required to be installed in a manner that the back-filling material is of the same strength as the surrounding fine transition material and is in close contact with the core wall, so as to ensure that core wall deformation can be normally and accurately reflected.

**Key words:** array displacement meter; asphalt concrete core wall; monitoring

## 1 概述

国内堆石坝采用水平固定式测斜仪预埋安装进行坝体沉降变形已有多起工程实例<sup>[1]</sup>,因常规监测手段的局限性,只能监测沥青混凝土心墙与周边细过渡料在竖直向的变形,而其水平向位移却无法观测。考虑到苏洼龙坝址河谷较为开阔,覆盖层深厚,坝基置于覆盖层上,坝高超过 100 m,且库区容积较大<sup>[2]</sup>,相应对沥青混凝土心墙产生的压力就大,因此,对沥青混凝土心墙进行水平向监测是一项主要的监测项目<sup>[3]</sup>。

利用阵列式位移计监测沥青混凝土心墙变形的实例应用不多,安装埋设无成熟的经验,需作进一步的实践探索,以便更好地发挥仪器的正常功能。

在综合考虑监测要求后,选定采用安装阵列式位移计进行多维度变形监测系统方案,作为心

墙在水平向的监测手段。具体在主监测断面(坝 0+268.00 m)和辅助监测断面(坝 0+368.00 m)的心墙下游侧 30 cm 处均设置 1 套阵列式位移计,底端位于廊道顶部混凝土内,埋设位移计观测初始值。共设置 2 套阵列式位移计,总长 208 m。由一系列角度传感器首尾相连组成串行阵列,安放于测斜管中,每套 208 个传感器间隔 0.5 m。

## 2 阵列式位移计安装的影响因素

在阵列式位移计安装过程中,仪器厂家的选择和仪器的保护是成功的关键<sup>[4]</sup>,针对问题必须制定相应的应对措施。

### 2.1 阵列式位移计选择

采用 SAA 阵列式位移计,SAA 是 ShapeAccelArray 的缩写,它是一种可以被放置在一个钻孔或嵌入结构内的变形监测传感器,由三段连续轴、微电子机械系统(MEMS)加速度计<sup>[5]</sup>组成。SAA 部件、术语对照见图 1。每段轴有一个已知的长度,一般为 30 cm、50 cm。

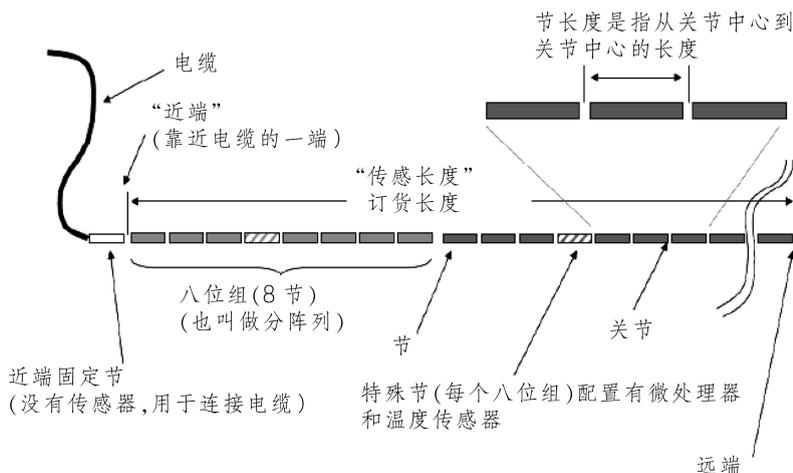


图1 SAA 部件、术语对照示意图

SAA 阵列式位移计使用一组密实的微电子机械系统加速度计阵列和经过验证的计算程序测量 2D、3D 变形。无优先轴,可自由弯曲,安装方式多样,可以竖直安装、水平安装或环形安装。所选择阵列位移计有以下优势:

(1) 温区补偿,数据稳定: SAA 阵列位移计采用 MEMS 微机电系统,通过高度集成完美地消除了轴系间的误差,采用温区补偿模型消除温飘,保证数据采集的稳定。

(2) 方向准确,精度可靠: 位移分辨率每节 (500 mm) 最高可达 0.005 mm。

(3) 扭转算法,偏量校正: SAA 阵列位移计,采用专业的扭转校正模型,对扭转引起的变形量进行修正。抗扭转校正功能,是在深部发生变形时,一般不会是一个方向受力,可能是多个方向受力的结果。在变形的过程中,有可能导致测斜管 [或阵列式位移计 (柔性测斜仪) 等监测传感器都

是安装在测斜管内] 发生上半部分、下半部分或者整体的扭转、旋转。如果发生这种情况,设备放在测斜管里面会随着测斜管的扭转而发生扭转,这样,角度就会发生变化,因传感器是根据角度来测算变形量,会使计算具有非常大的误差,结果极不准确。SAA 阵列位移计独特的抗扭转校正功能,可以把真实的变形量和扭旋引起的变形量剥离开来,分开计算,有效保障了深部位移测量的准确性。

(4) 在线传输,实时分析: 现场安装完成接通电源,即可实现云平台数据回传与分析。

(5) 二次开发,平台兼容。① 测量原理 (图 2)。通过检测各部分的重力场,可以计算出各段轴之间的弯曲角度  $\theta$ , 利用计算得到的弯曲角度和已知各段轴长度  $L$  (30 cm 或 50 cm), 每段 SAA 的变形  $\Delta x$  便可以完全确定出来, 即  $\Delta x = \theta \cdot L$ , 再对各段算术求和  $\sum \Delta x$ , 可得到距固定端点任意长度的变形量  $x$ 。② 数据采集方式。通过

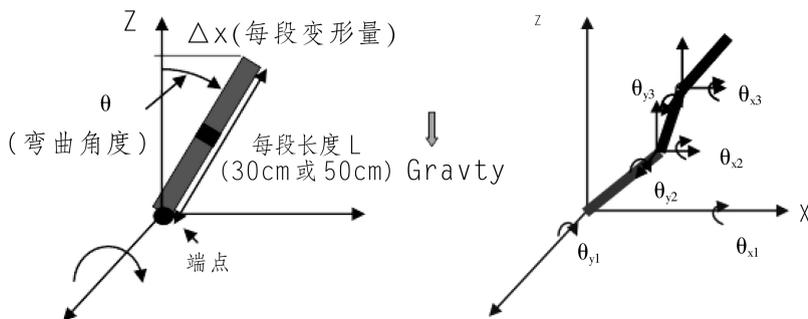


图2 测量原理示意图

SAAUSB 直接连接电脑 (图 3), 采集数据, 导入数据处理计算软件, 可直接取得成果, 后期可直接接入自动化监测系统。

## 2.2 仪器保护

阵列式位移计安装埋设于沥青混凝土心墙下游侧 30 cm 处, 而大坝心墙填筑施工工艺为: 先对

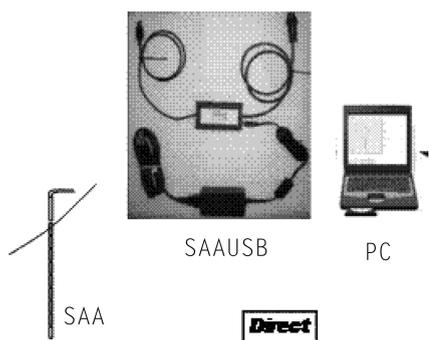


图 3 SAAUSB 直接连接电脑

心墙上下游两侧细过渡料进行铺填 40 cm, 然后使用摊铺机在心墙上进行沥青混凝土铺填 35 cm, 随后利用 3 t 振动碾进行 8 次碾压。因阵列式位移计为整套组装连接, 此过程涉及到碾压时对阵列式位移计的干扰。为保证阵列式位移计传感器完好, 采取了以下措施:

(1) 采取立式支架立于过渡料层旁约 2 m 处, 给 3t 振动碾留出富裕行进空间, 随着心墙及过渡料填筑逐层上升, 在每填筑二层(60 cm)将传感器(50 cm)接续一节, 支架抬升后未碾压区域使用打夯机进行压实, 确保阵列式位移计周边填筑料密实度达到设计值。

(2) 立式支架立于过渡料层水平段 2 m 槽坑, 采用高强度  $\varphi 150$  mm PPR 管进行保护, 防止阵列式位移计传感器在摊铺机铺料和振动碾压过程中被损坏。

### 3 阵列式位移计安装技术方案

#### 3.1 埋设准备

埋设前在空旷区域将阵列式位移计展开, 采用直径略大于传感器的 PVC 管每节 50 cm 与节点对应, 穿入传感器上, 然后重新绕盘, 运至安装部位。此项工作可为后期仪器埋设节省大量时间, 也是监测数据可靠性和有效性的保障。

#### 3.2 基准施工

##### 3.2.1 垂直钻孔

在监测剖面坝基廊道顶部混凝土基座垂直钻孔, 具体位置根据施工图纸确定, 钻孔位于心墙下游侧 30 cm 处, 孔径为  $\Phi 76$  mm, 有效孔深不小于 2.0 m。钻孔完成后, 采用钢盖板封闭孔口, 待沥青混凝土心墙底座填筑完成后进行现场温度试验, 根据试验结果确定是否采用隔热降温措施以保证在沥青摊铺时阵列式位移计埋设位置温度不

超过 75 °C。

##### 3.2.2 埋设阵列式位移计

试验完成后随土建施工安装埋设阵列式位移计, 打开钻孔孔口钢盖板, 在孔内注满水泥砂浆, 宜采用微膨胀水泥砂浆(可加速凝剂), 然后将阵列式位移计下入孔内 2 m, 固定在混凝土基座内, 将此段作为观测基准。

#### 3.3 安装埋设

(1) 待水泥砂浆凝固后, 保持阵列式位移计在竖直方向上平行于沥青混凝土心墙, 使阵列式位移计始终距离心墙下游面约 30 cm 处, 并特别注意对其进行保护。

(2) 下一层沥青混凝土心墙摊铺前, 在阵列式位移计所在断面过渡料垂直于心墙方向开挖沟槽, 沟槽深 25 cm、宽 25 cm, 长度超出摊铺机下游侧下料斗摊铺范围 1 m 以上, 确保阵列式位移计不受损伤。

(3) 当沥青混凝土心墙摊铺碾压 60 cm 后, 刨出阵列式位移计传感器, 使其在竖直方向上平行于沥青混凝土心墙上升 1 节(阵列式位移计每节长度 50 cm), 每节传感器位置必须穿套略微粗于传感器直径的 PVC 管(或其他管材), 并在管内回填细沙, 使传感器能紧贴管壁, 确保监测数据的可靠性和有效性。然后重复步骤(2)~(3), 随沥青混凝土心墙施工及坝体填筑逐层完成其安装埋设。

(4) 阵列式位移计在施工过程中需加强保护, 并派专人看守, 防止施工过程中损坏仪器。

#### 3.4 初步成果

安装完成后于 2020 年 4 月 15 日取得基准值; 以底部混凝土基座内部位作为 0 值, 监测成果表明, 在填筑施工期间沥青混凝土心墙水平顺河向变形不大, 大坝填筑完成(2020 年 5 月)最大变形仅在 2.3 mm, 一、二期蓄水(分别为 2021 年 1 月、2021 年 5 月)以后变形有所增加, 达到 15.68 mm, 随后库区水头基本稳定变形趋势减缓。截至目前, 最大变形为 18.23 mm, 位于三分之二坝高处, 当前变形趋势已明显趋小。心墙阵列式位移计(坝 0+268 m)监测成果见图 4。

### 4 结语

由于堆石坝变形是否超出设计标准是大坝安全运行的重要判断分析指标, 因常规监测手段有

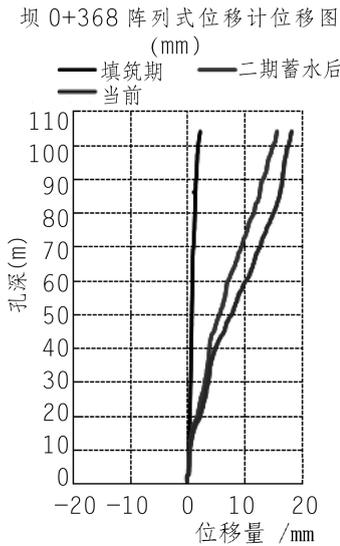


图4 心墙阵列式位移计(坝0+268m)监测成果图

较大局限性,监测沥青混凝土心墙与周边细过渡料常规手段大多是检测竖直向的变形,其水平向位移确实无法观测,而沥青混凝土心墙阵列式位移计较好地解决了水平向位移的检测难题。目前,在国内应用不多,主要原因是阵列式位移计在堆石坝填筑过程中受土建施工干扰极大,且必须与心墙

(上接第54页)

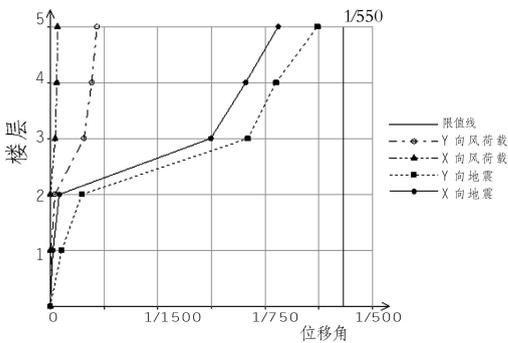


图13 结构最大层间位移角简图

分析软件 SETWE 研究强震区大跨度高框架建筑物结构设计。通过深入分析建筑物不利因素,合理优化结构体系,采用抗震墙—框架结构体系,保证了结构抗震的整体协调性。设计中,设置两道防震缝,给予主变开关楼框架结构主动分缝,改善结构抗震条件。同时,细化梁柱节点设计,平衡结构应力分布,满足节点关键区承载力要求。

通过平衡结构平面及竖向刚度,避免出现刚度突变及薄弱层,有效抑制结构扭转效应,保证了结构在地震荷载作用下的受力合理性。

周边填筑料一同牵引,经过苏洼龙水电站的实践证明,上述阵列式位移计埋设方法不仅保证与大坝填筑进度相结合,且极大减少了土建施工对现场长置仪器的破坏,确保阵列式位移计成功安装,并取得填筑期与蓄水期较为丰富的观测成果。

参考文献:

[1] 张玉龙,张绍春,李仕胜,等. 固定测斜仪在面板堆石坝中的应用实例[J]. 云南水力发电,2012,28(4):23-26.  
 [2] 沈嗣元,马能武,葛培清,等. 超高心墙堆石坝安全监测工程的创新技术探讨[J]. 人民长江,2010,41(20):5-11.  
 [3] 杨泽艳,周建平,王富强,等. 300 m 级高面板堆石坝安全性及关键技术研究综述[J]. 水力发电,2016,42(9):41-63.  
 [4] 王佃明. 滑坡监测仪器野外安装与保护方法[J]. 岩土钻掘工程,2013. 40(7):21-28.  
 [5] 韦玉超, SAA 测量技术及其在边坡监测中的应用研究[D]. 南京大学硕士学位论文,2015. 5.

作者简介:

唐茂刚(1974-),男,四川成都人,高级工程师,主要从事水利水电工程建设管理工作;  
 董阳(1976-),男,云南大理人,助理工程师,主要从事水电站工程安全监测研究及项目管理工作;  
 王麒麟(1992-),男,云南丽江人,技术员,主要从事水电站工程安全监测工作。

(责任编辑:卓政昌)

苏洼龙水电站主变开关楼通过结构抗震构造设计的深入研究,满足了建筑物强震下楼层侧向剪切刚度、楼层剪重比、层间位移角等要求,保证了结构在地震状况的协调性和稳定性。

参考文献:

[1] 张启灵,伍鹤皋,李端有. 水电站地面厂房抗震措施研究[J]. 水力发电学报,2012,31(5):184-190.  
 [2] 赵景. 水电站厂房抗震性能的设计与加固[J]. 黑龙江科技信息,2017,(5):236.  
 [3] 井向阳,石太军,撒文奇,等. 大跨度高排架抗震措施研究[J]. 人民长江,2015,45(2):92-95.  
 [4] 赵桂连,张清琼,唐碧华. 大型复杂启闭机排架结构的优化设计[J]. 水电站设计,2014,30(2):82-86.  
 [5] 水工建筑物抗震设计标准[S]. GB51247-2018.  
 [6] 建筑抗震设计规范(2016年版)[S]. GB50011-2010.  
 [7] 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. JGJ3-2010.

作者简介:

胡冰(1990-),男,山东聊城人,工程师,硕士,从事水工结构设计;  
 谭盛凛(1987-),男,江西九江人,高级工程师,硕士,从事水工结构设计;  
 阳运生(1963-),男,广西桂林人,正高级工程师,学士,从事水工结构设计。

(责任编辑:卓政昌)