

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.02.20

地基合成孔径雷达在大坝安全监测中的应用

姜春生, 汪 剑, 何玉童

(上海华测导航技术股份有限公司, 上海 201702)

摘要: 水电站边坡安全监测方法, 目前以北斗监测、全站仪监测、人工监测等方法为主。本次上海华测公司运用地基 InSAR 系统, 对水电站边坡进行了监测和实验, 拓宽了该技术在水电站库区边坡监测中的应用, 同时对类似形变监测系统的建设具有借鉴意义。地基 InSAR 系统由雷达主机、数据处理单元、能量供应单元和线性滑轨等组成, 是一套主动采集、自动化处理的系统。其监测精度能够达到 0.1 mm, 作业距离 4 km, 在水库和大坝监测上有非常大的应用价值。

关键词: InSAR; 大坝监测; 边坡监测; 合成孔径雷达

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)02-0146-04

Application of ground synthetic aperture radar in dam safety monitoring

JIANG Chunsheng, WANG Jian, HE Yutong

(CHC navigation technology limited by share Ltd, Shanghai, 201702, China)

Abstract: The Beidou System (BDS), total station solution, manual monitoring, etc. are the main techniques for hydropower station slope deformation monitoring. In this project, ground-based InSAR (GB-InSAR) technology has been used by Shanghai Huace Navigation technology Ltd for hydropower station slope deformation monitoring. This successful case gave a good references of GB-InSAR technology in hydropower station slope deformation monitoring applications. The GB-InSAR system consists of ground radar as the mainframe, computer control unit, power supply and linear slide etc., is an active acquisition, automatic processing system. The monitoring accuracy can reach 0.1 mm, working distance is 4 km, and this technology could be bring a great value to in the reservoir deformation monitoring and dam deformation monitoring.

Keywords: InSAR; dam monitoring; slope monitoring; synthetic aperture radar

0 地基合成孔径雷达系统概述

地基合成孔径雷达 (Ground-based Synthetic Aperture Radar) 干涉测量技术是近十多年间发展起来的地面主动微波遥感形变探测技术。合成孔径雷达系统采用地基重轨干涉 SAR 技术实现高精度形变测量, 通过高精度位移台带动雷达往复运动实现合成孔径成像, 再通过对同名点不同时相图像进行相位干涉处理提取出相位变化信息, 实现边坡表面微小形变的高精度测

量, 可用于山体滑坡、大坝坝体、重大建筑设施的变形监测、预警、稳定性评估、结构测试、挠度监测等^[1]。具有全天时、全天候、高精度和时空连续测量的技术优势^[2]。

系统由雷达处理单元、线性扫描装置、操作及分析软件、高分辨率干涉雷达、天线、电源供应系统、UPS、电缆及其他辅助件组成完整可工作系统。使用数据记录单元内安装的现场采集分析和数据后处理软件, 可以现场对被测目标进行监测, 并可以对雷达数据进行实时处理、分析、解释, 并得出位移形变结果^[3] (图 1)。

收稿日期: 2016-11-29; 修订日期: 2016-12-29

基金项目: 上海市科委项目 (16530730700)。

第一作者: 姜春生 (1980-) 男, 山东烟台人, 学士, 资源环境与城乡规划管理专业, 主要从事监测变形方面工作。E-mail: chunsheng_jiang@huace.cn

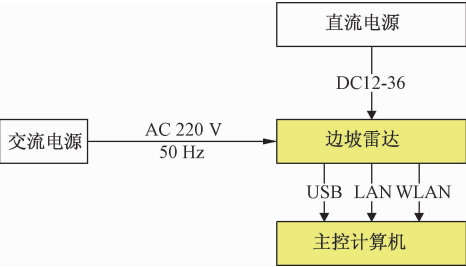


图 1 数据流程图

Fig.1 Data flow diagram

本项目应用当前较为先进的 GB-SAR 系统 LKR-05-KU-S100 进行,(图 2)。



图 2 设备安装图

Fig.2 Installation diagram

1 地基合成孔径雷达系统参数

雷达系统功能有:(1)可进行远距离遥测,无须在目标区域安装反射器,无须靠近或进入目标物;(2)可连续工作时间大于 100 d;(3)能够实现在相同或不同时间间隔内测量同一表面;(4)在天线波束覆盖区域内同时监测(一般有几千平方米),并可以得到动态位移图;(5)可监测出目标物的振动信息,精确测出 0 ~ 50 Hz 的振动频率,能够测出目标物的 1 ~ 4 阶振动频率;(6)直接、实时监测,通过解析单个像素的信息,能够得到局部的位移量,实现全目标 24 h 连续监测,可遥控测量,无须操作人员现场守候;(7)具有数据采集时间短,设备耗电量小等特点(表 1、表 2)。

表 1 雷达参数表

Table 1 SAR parameter list

雷达控制单元	信号频段	Ku
	信号类型	SFCW
	孔径类型	合成孔径
天线	增益	18dBi
	极化方式	VV
	主瓣-3dB 角宽	75°H/90°V
分辨率	空间分辨率	0.3
	方位向分辨率	4.0 mrad
	最大监测距离	4 000 m
变形监测灵敏度/mm		0.1

表 2 系统参数表

Table 2 System parameter list

型号	LKR-05-KU-S100
工作频段	Ku 波段
分辨率	距离:0.3 m 方位:4 mrad(可定制)
监测距离	10 ~ 4 000 m
监测精度	0.1 mm
工作环境	- 25 ~ 60 ℃
软件	实时处理,全中文软件界面,开放的软件数据接口。
可定制性	可扩展多源数据融合、高程测量等模式。
滑坡预报	针对不同类型边坡,研究建立预报模型,实现更准确地滑坡预警。

2 大华桥电站边坡监测

设备安装点位于大华桥水电站沧江桥滑坡区域,测点距边坡水平距离约 500 m,光学影像图及雷达强度影像见图 3。

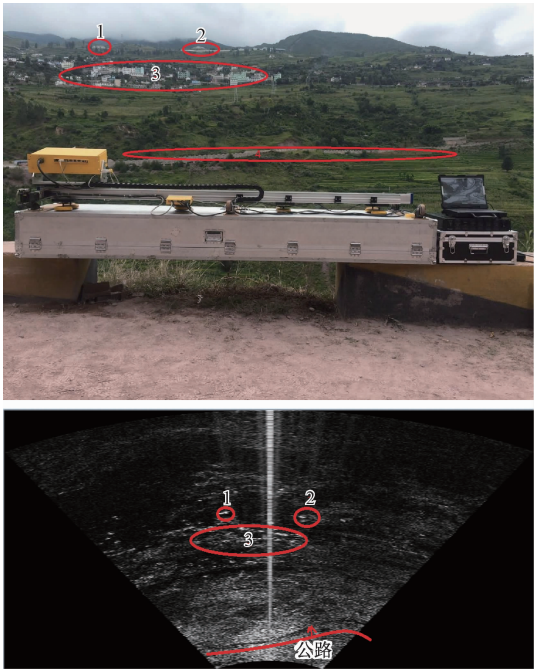


图 3 大华桥水电站边坡光学照片及雷达强度影像图

Fig.3 Optical and radar intensity images of dahuaqiao hydropower station

通过对图像特征进行分析,可以得到以下结论:(1)雷达图像中边坡坡面雷达回波较强;(2)作业区域中建筑物雷达回波较强;(3)作业区域中的公路雷达回波较强。

通过对雷达图像的分析可见,被监测区域的边坡表面、建筑、公路等重点监测对象在雷达图像中均具有显著特征,雷达回波较强且很稳定。

图 4 给出了监测过程中不同时刻边坡表面的累积形变量监测结果,图 5 提取出了累计变形监测结果并在 matlab 中显示出来,从监测结果中可以看到从监测初期开始,监测区域中的不同位置表现出来的位移变

化情况,具体表现为:(1)由于时间原因,所监测边坡坡面整体无较大位移;(2)选取其中 5 个点进行定量分析,可以看出边坡坡面大体稳定,最大位移量没有超过 2 mm。

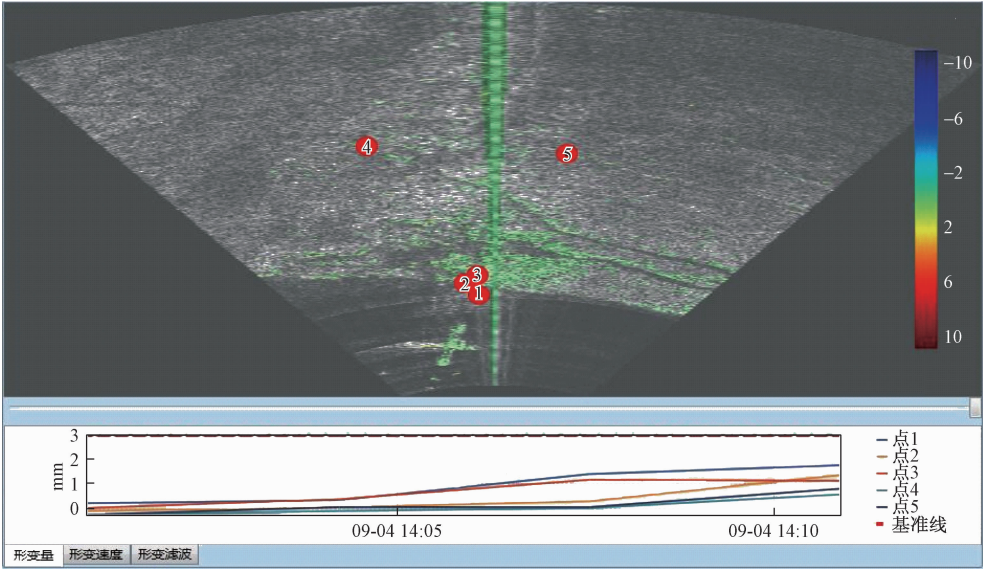


图 4 雷达变形分布图及变化过程线

Fig. 4 InSAR deformation distribution and variation process line

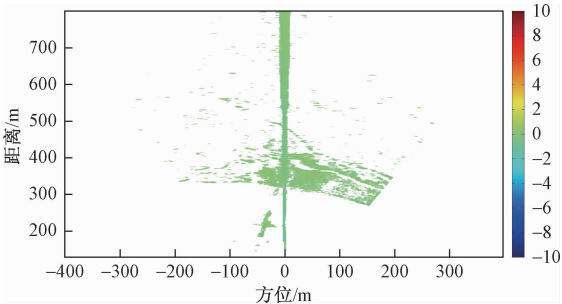


图 5 累计变形分布图

Fig. 5 Cumulative deformation map

3 小湾电站大坝监测

小湾水电站位于云南省大理州南涧县与临沧市凤庆县交界的澜沧江中游河段,距昆明公路里程为 455 km。系是澜沧江中下游水电规划“两库八级”中的第二级,上游为功果桥水电站,下游为漫湾水电站(图 6)。

边坡雷达的雷达图像和边坡光学照片对比如上所示,通过对图像特征进行分析,可以得到以下结论:(1)雷达图像中大坝坡面雷达回波较强,特征明显。(2)作业区域中的建筑物雷达回波较强,特征明显。

通过对雷达图像的分析可见,被监测区域的大坝

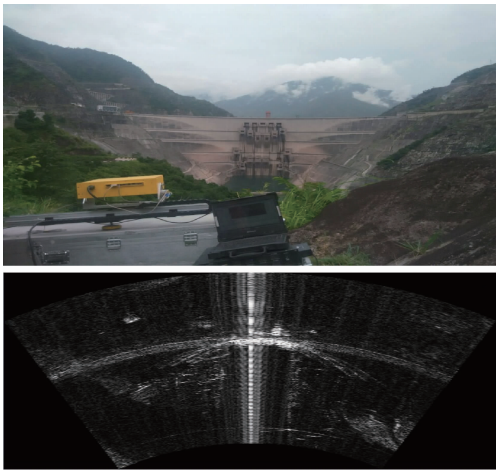


图 6 小湾水电站边坡光学照片及雷达强度影像图

Fig. 6 Optical and radar intensity images of xiaowan hydropower station

表面、建筑物等重点监测对象在雷达图像中均具有显著特征,雷达回波强,且特征稳定,对于雷达技术的使用不存在环境障碍。

图 7 给出了监测过程中不同时刻边坡表面的累积形变量监测结果,图 8 提取出了累计变形监测结果并在 matlab 中显示出来,从监测结果中可以看到从监测初期开始,监测区域中的不同位置表现出来的位移变

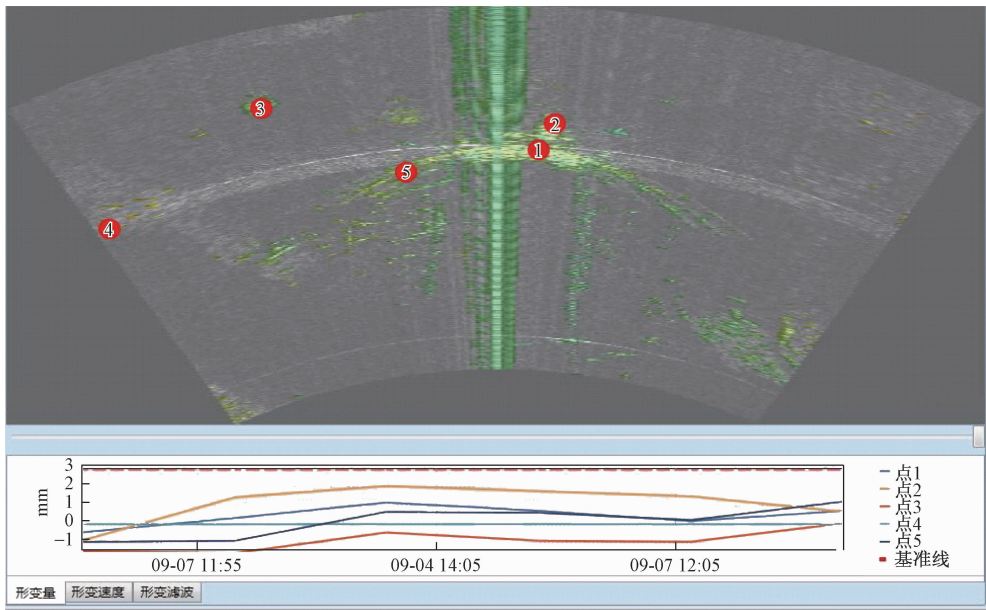


图 7 监测区域雷达变形分布图及测点变化过程线
Fig.7 InSAR deformation distribution and variation process line

化情况,具体表现为:

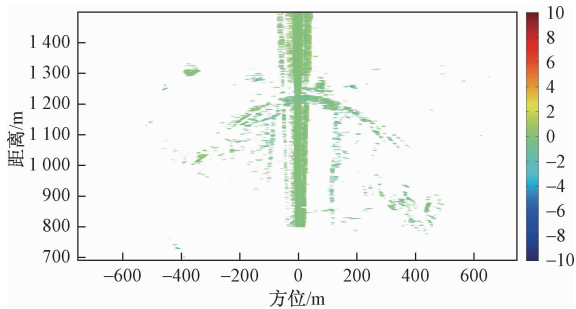


图 8 监测区域累计变形分布图
Fig.8 Cumulative deformation map

(1)所监测边坡坡面整体没有较大变化,在 0 附近上下波动;

(2)选取其中 5 个点进行定量分析,可以看出边坡坡面大体稳定,移量没有超过 2 mm。

4 结论

通过本次采用边坡雷达对云南边坡的长时间实地监测和监测结果分析,得出以下结论:

(1)地基合成孔径雷达技术具有高精度、测量面积大、距离远等优点,用于水电站的大坝和边坡监测是非常适用的。

(2)在使用过程中发现设备会受到植被的影响,所以如果在有植被覆盖的地区使用,要谨慎处理数据。

冬季多雪的地区,如果地表有雪的覆盖,也会对测量结果有影响。

(3)目前雷达设备的测量距离、测量面积、精度等方面已经满足水电站边坡监测的要求,但是它测量的是视线方向的变化量,如何转化为三维位移量,仍需要进一步研发。

参考文献:

[1] 余景波,刘国林,曹振坦. 差分干涉测量(D-InSAR)技术在矿区地面沉降监测中的应用[J]. 全球定位系统, 2010, 35(5):54-60.
SHE Jingbo, LIU Guolin, CAO Zhentan. D-InSAR technology application in mining subsidence monitoring[J]. GNSS World of China, 2010, 35(5):54-60.
[2] 孔祥元,梅是义. 控制测量学[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1996.
KONG Xiangyuan, MEI Shiyi. Geo-spatial information science [M]. Wuhan: Geomatics and Information Science of Wuhan University Press,1996.
[3] 金旭辉. 地基雷达在桥梁微变形监测中的应用研究[D]. 东南大学,2015.
JIN Xuhui. Ground-based radar application in bridge micro-deformation monitoring [D]. Southeast University, 2015.