

蒙陆斌, 史水平, 张忠利. 龙滩水电站大坝强震动观测台网系统[J]. 华南地震, 2015, 35(1): 67-73. [MENG Lubin, SHI Shuiping, ZHANG Zhongli. Introduction of Longtan Hydropower Dam Strong Motion Observation Network[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(1): 67-73.]

龙滩水电站大坝强震动观测台网系统

蒙陆斌, 史水平, 张忠利

(四川省地震局, 成都 610041)

摘要: 对红水河上游龙滩水电站大坝所安装的强震动监测台网技术系统进行了详细阐述, 内容包括场地的工程概况、台网布局、仪器性能指标及技术系统、数据的采集分析等情况, 为其他大坝强震监测台网设计作参考。

关键词: 龙滩水库; 强震动监测; 仪器设备; 数据传输与处理

中图分类号: P315.392 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 01-0067-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.01.011

Introduction of Longtan Hydropower Dam Strong Motion Observation Network

MENG Lubin, SHI Shuiping, ZHANG Zhongli

(Earthquake Administration of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

Abstract: This paper introduced Longtan hydropower dam strong motion monitoring network technology system in the Red river upstream in detail, including the project overview, network layout, equipment performance and technical systems, data collection and analysis, etc. It also provides reference for other dam earthquake monitoring network design.

Keywords: Longtan Reservoir; Strong motion observation; Equipment; Data transfer and manipulation

0 前言

龙滩水电站位于珠江干流红水河上游的广西天峨县境内, 是国家西部大开发、西电东送的标志性工程, 是一座典型高坝大库容水库, 是红水河梯级开发中的骨干工程, 是我国第二大的特大

型水电工程, 按正常蓄水位 400 m 设计。工程于 2001 年开工建设, 并于 2006 年下闸蓄水发电, 主要以发电为主, 兼有防洪、航运等综合效益。

根据国家有关水库大坝等重大建设工程应当设置强震动监测设施规定, 龙滩水电开发有限公司委托中南勘测设计研究院设计龙滩大坝强震动

收稿日期: 2014-05-27

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目“龙滩水库诱发地震活动特征分析与中强地震预测”(桂科攻 0993001-3)、
“广西凌云与凤山交界特殊震群研究”(桂科攻 2011D40049)、
“龙滩库区水库地震时空演化特征及跟踪预测研究”(12426001-3)联合资助

作者简介: 蒙陆斌 (1974-), 男, 工程师, 主要从事地震监测预报工作。

E-mail: MT116@163.com.

台网，该台网共布设了 13 台(套)强震动观测仪器。其目的为获取更多水库地震地震峰值加速度的定量数据资料，以及监测天然地震及水库诱发地震对拱坝的影响程度和大坝在地震作用下的反应特征，快速做出大坝地震安全报警评估，同时，也为坝址的输入地震动和坝体的地震反应信息资料提供科学依据，这是验证大坝抗震安全性能的评价重要步骤及方法之一^[1]。

1 台网布局

对大型水库大坝的强震动观测是我们认识水库大坝的地震动特征和各类工程结构地震反应特性的主要手段。因此，通过对龙滩水电大坝强震监测台网在结构的典型部位上科学合理布设，准确捕捉地震发生时的数据资料和信息，科学评估大坝的安全监测、预警和抗震设计安全性能。

龙滩水电站大坝所处红水河谷断面呈“V”字形，左右两岸基本对称，坝体与两岸山体间作用力基本均衡，边坡较为稳定。2004 年，大坝的强

震动台网依据国内有关强震观测台阵的建台及文献资料，并结合龙滩水电站大坝的地质构造、地理位置等因素，在坝体内选择不同坝段(最高挡水坝段、最高溢流坝段、机坝段)及不同高程 (379 m、342 m、270 m、222 m)共布设 9 台强震动观测记录仪构成大坝强震动监测台阵，在大坝下游约 2 倍坝高距离的左右两岸自由场地分别各布设了 1 台强震动记录仪，并于 2005 年进行设备安装及试运行。由于龙滩水库自 2006 年下闸蓄水以后，库区地震活动频次和强度明显增强，并发生多次显著性地震事件，根据龙滩水电开发有限公司对强震动台网监控及技术系统升级的需要，广西地震局于 2009 年 5 月在靠近大坝上游附近的向阳镇及坡结乡新增了 2 个自由场强震动台站。因此，龙滩水库总共布设了 13 台套 39 个分量的强震动观测仪器，以获得其地震运动相位与振型和其动力放大倍数，为大坝的输入地震动和坝体的地震反应信息资料提供更多更好的科学依据。各龙滩水电站地震监测点分布示意图及大坝坝体内强震动监测点分布如图 1、图 2。

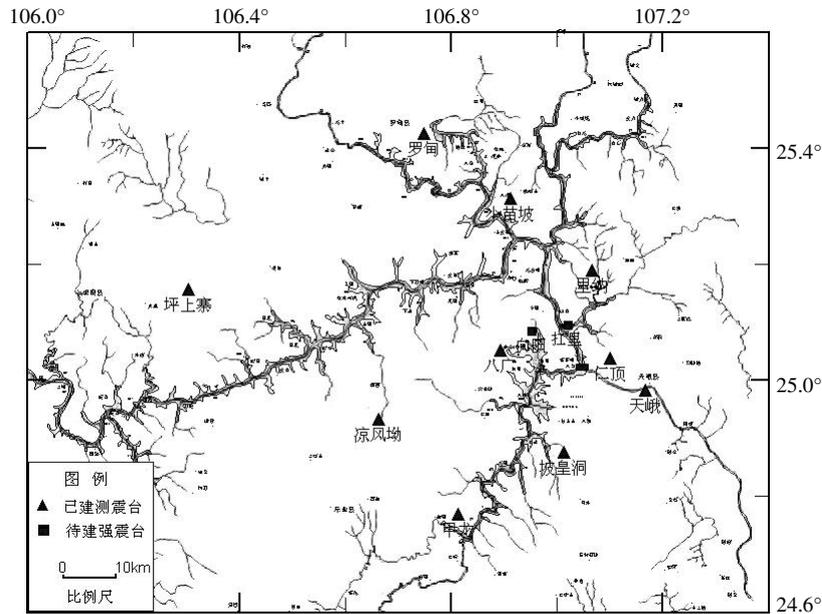


图 1 龙滩地震监测台网分布示意图

Fig.1 Schematic diagram of distribution of seismic monitoring station around Longtan reservoir

2 台网设备及技术系统

龙滩水库强震动观测是利用强震动传感器、强震动记录器来测量和记录地震现象和效应，即记录大坝地震运动过程和结构地震反应过程，为水库大坝的地震动研究，防治减轻地震灾害提供可靠的基础资料。经过了进一步的技术升级和改造，目前，龙滩水库强震动台网已建成了高效的

运行管理模式，包括信息管理自动化，利用数字化、自动化技术，具备远程通讯、远程报警、支持网络化管理的先进观测系统，更好地服务于防震减灾、企业的安全生产及工程效益。

2.1 设备情况

龙滩水库强震动台网所布设的 13 台(套)强震动观测仪器(其中有 4 台布设于大坝附近自由场

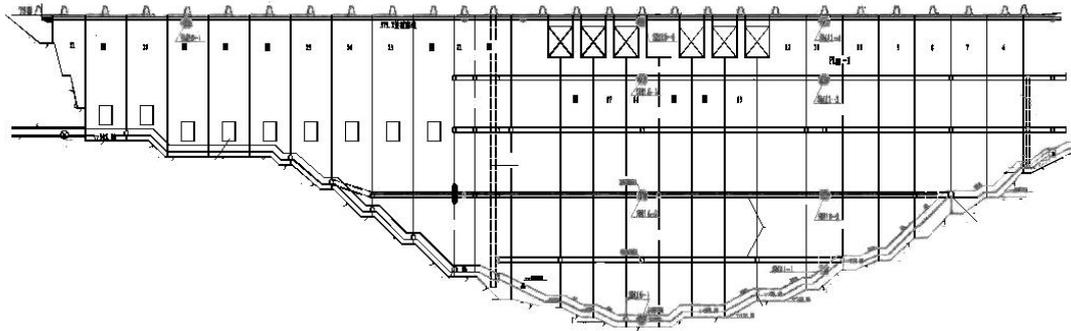


图 2 龙滩大坝坝体内强震动台网分布示意图

Fig.2 Distribution map of strong motion network in the Longtan dam

地、9 台套是布设在坝体内不同坝段及不同高程), 各个强震动监测点的仪器设备主要包括: 一是三分项力平衡式加速度计 SLJ-100 型(其中向阳及扛里台为 BBVS-2 型), 其采用力平衡反馈技术将三轴向振动加速度信号真实的转换成电压信号并输出, 以实现对各种低频、超低频振动的测量; 二是地震数据采集器 GDQJ-II 型(其中向阳及扛里台为 EDAS-24IP), 该设备可远程遥控速报与烈度

有关的地震加速度峰值、持续时间、卓越频率、地震反应谱等参数, 并给出参考烈度; 三是数据传输终端 ET-300 IP Data Terminal 是基于 GPRS/CDMA、ADSL 及专线等数据传输业务的一种数据终端, 主要针对强震动观测的应用, 系统集成了网络通信协议, 为用户屏蔽了建立链路、数据打包等网络通信细节; 还有供电电源组成。各台(点)系统设备连接情况如图 3 所示。

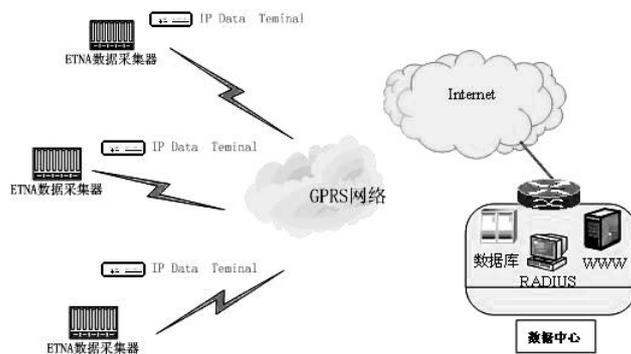


图 3 ET-300 IP Data Terminal 数据传输系统原理图

Fig.3 Schematic of data transmission system of ET-300 IP Data Terminal

2.2 台网系统集成

龙滩水电站大坝强震动观测台网的日常管理和维护采用“无人值守, 远程无线通讯、互连网”的实时、准实时方式。各台站(点)的传输终端准实时地接收数据采集器的数据, 通过通信运营商的 GPRS、CDMA 或 ADSL 网络接入 Internet, 将数据传回到台网记录中心的服务器, 服务器以 C/S 和 B/S 的方式提供数据服务和后台处理。工作人员使用强震动台网远程监控管理软件实时、自动检查各强震动各监测点的设备运行状态及参数设置情况, 实现强震动台网实时远程监控及自动传输的

目标。

2.3 数据管理与平台简介

通过 IP 地址登录强震动台网数据管理与共享平台, 台网各监测点的名称、事件文件、终端状态、烈度文件、参数文件及设备型号等基本情况即可清楚展现, 点击相应台站事件所在列对应的台站名, 即可以查看该台的事件文件, 点击文件名可以下载; 点击相应参数文件所在列对应的台站参数文件, 即可以查看该台的仪器当前的工作状态。点击文件名可以下载参数文件, 检查当前仪器的工作状态。各事件均由 IP 终端自动检测并

且自动传输到台网记录中心的服务器，不需要人工收数据，实现快速传输强震事件、地震参数、仪器参数等目标，为地震烈度速报和大震预警系统、震害快速评估打下良好基础。

3 数据分析与处理

当龙滩水电站大坝附近发生强震时，各监测点的仪器设备触发并开始采集记录数据，通过无线网络实时传输到中心服务器中，通过专用分析软件对采集到的强震动数据进行常规分析，及时寻求评价工程场地遭受的实际地震烈度和大坝地震反应情况，为快速进行大坝安全报警提供重要依据。分析的主要内容为：地震发生的时间(年、月、日、时、分、秒)，各通道记录的最大加速度值、记录长度和持续时间，地震的主震周期，大坝的动力放大系数，同时进行各种谱分析，更好的构造地震或水库诱发地震对大坝的影响程度和大坝在地震作用下的反应特征。

地震运动最大加速度值按下式求得：

最大加速度=最大电压值/(前放系数×仪器灵敏度)

最大电压值就是强震动加速计记录到的最大电压值；前放系数一般取 1，加速度计灵敏度为±1.25V/g。到得地面运动最大加速度值后，对照中国地震烈度表查出场地实际遭受的地震烈度。当知道坝体的最大加速度值时，除以地面运动最大加速度值，即可求出大坝动力放大系数。

地震记录长度和持续时间均由地震加速度时程曲线图上求得。持续时间的长短对建筑物结构的破坏起重要作用。

3.1 地震事件记录

龙滩强震动台网经数字改造后于 2010 年 9 月 18 日及 10 月 07 日分别记录到两个地震事件，其原始波形图、谱分析及初步分析处理的峰值加速度表如下：

(1) 2010 年 9 月 18 日 18 时 07 分广西天峨与贵州交界 M_L 4.3 级地震记录(图 4~7)。

由反应谱分析图可见，此次 M_L 4.3 级地震地震波对大多数固有周期为 0.5~1 s 的建筑物产生较大的地震作用，继而在中长周期段有较好的稳定性。

(2) 2010 年 10 月 07 日 03 时 45 分广西天峨与贵州交界 M_L 2.8 级地震记录(图 8~11)。

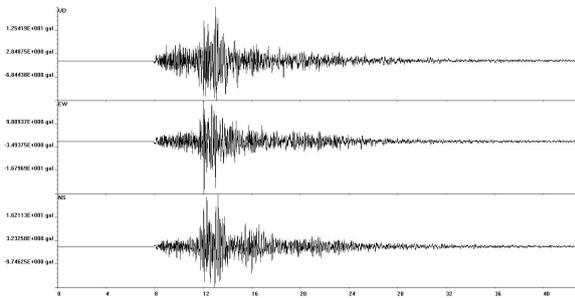


图 4 向阳台 M_L 4.3 级地震原始波形图

Fig.4 Original waveforms of M_L 4.3 earthquake recorded by Xiangyang station

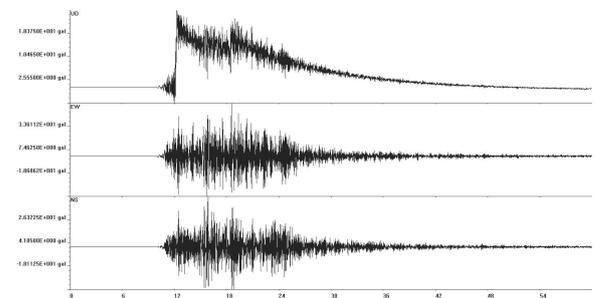


图 5 扛里台 M_L 4.3 级地震原始波形图

Fig.5 Original waveforms of M_L 4.3 earthquake recorded by Gangli station

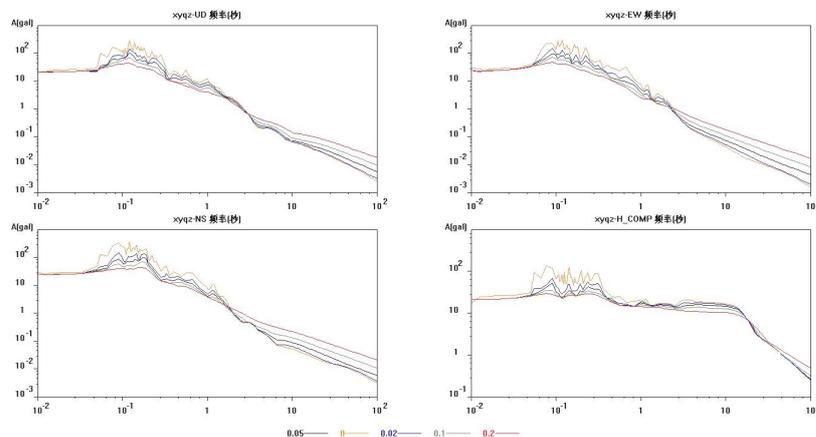


图 6 向阳台 M_L 4.3 级地震反应谱

Fig.6 Response spectrum analysis of M_L 4.3 earthquake recorded by Xiangyang station

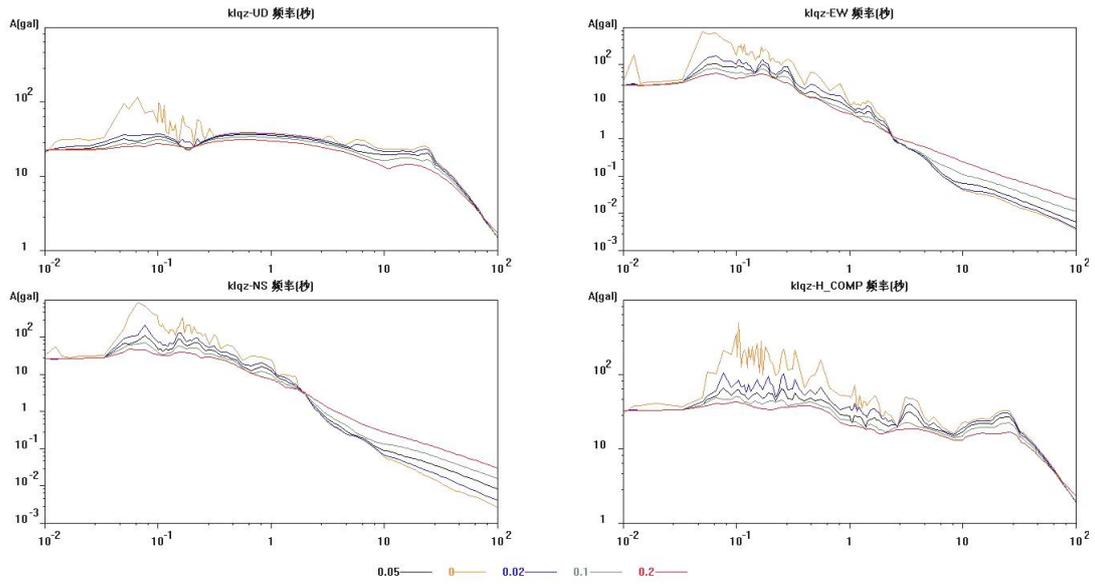


图 7 扛里台 M_L 4.3 级地震反应谱

Fig7 Response spectrum of M_L 4.3 earthquake recorded by Gangli station

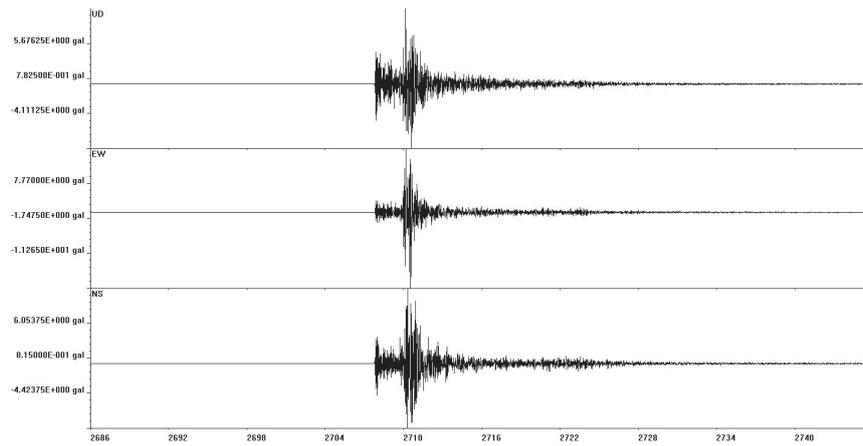


图 8 向阳台 M_L 2.8 级地震原始波形图

Fig.8 Original waveforms of M_L 2.8 earthquake recorded byXiangyang station

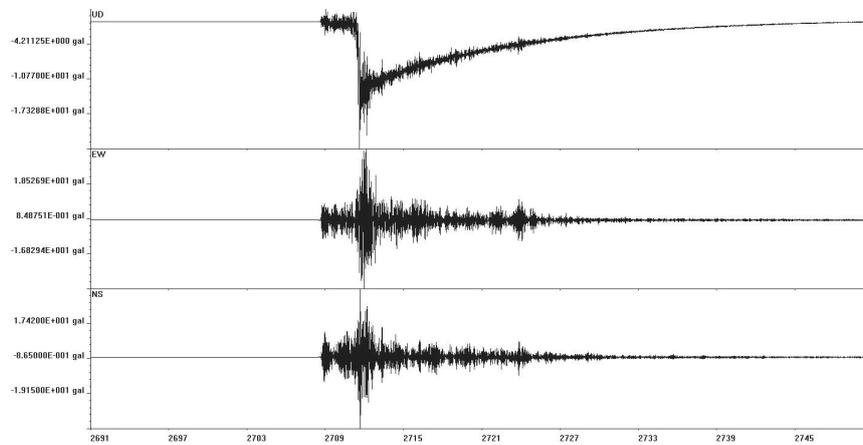


图 9 扛里台 M_L 2.8 级地震原始波形图

Fig.9 Original waveforms of M_L 2.8 earthquake recorded by Gangli station

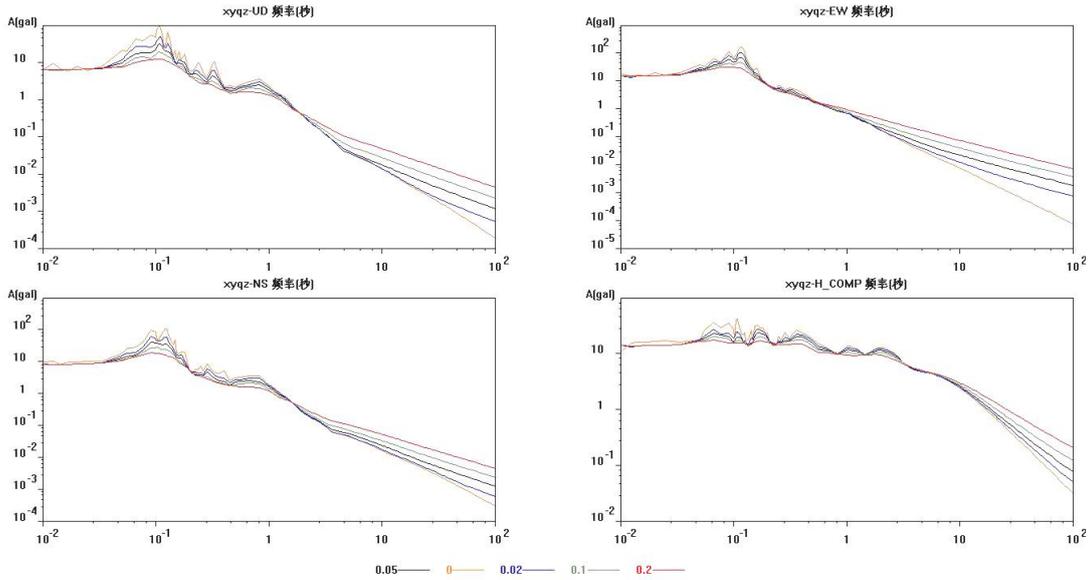


图 10 向阳台 M_L 2.8 级地震反应谱

Fig.10 Response spectrum of M_L 2.8 earthquake recorded by Xiangyang station

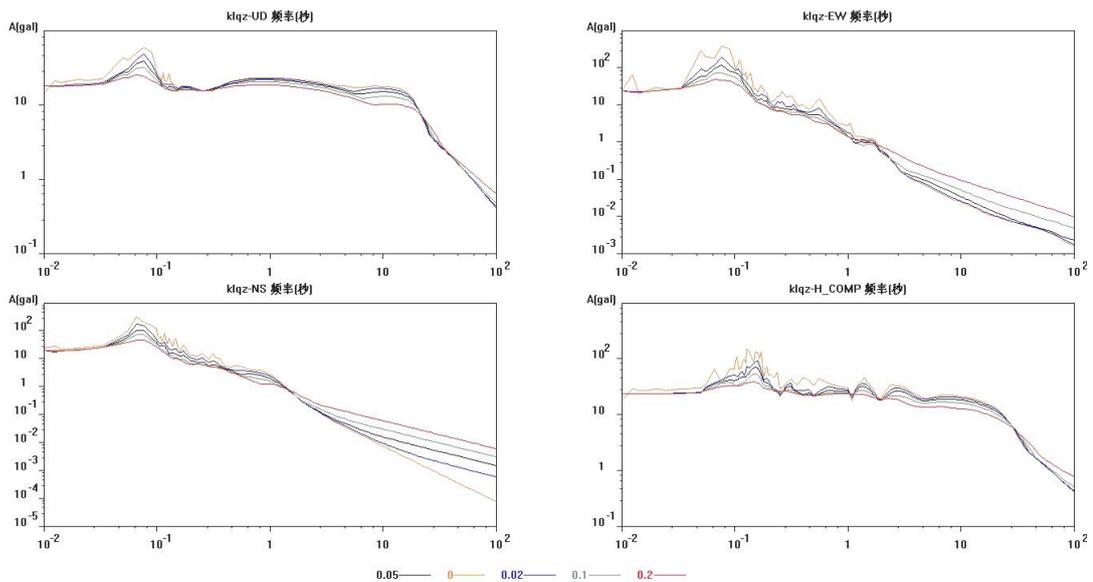


图 11 扛里台 M_L 2.8 级地震反应谱

Fig.11 Response spectrum of M_L 2.8 earthquake recorded by Gangli station

由反应谱分析图可见，此次 M_L 2.8 级地震波对大多数固有周期为 0.5~0.7 s 的建筑物产生较大的地震作用，继而在中长周期段有较好的稳定性。

(3) 初步分析与处理。为了进一步分析这两次地震事件对坝址的影响，本文采用两种方法分别对坝址区地震动峰值加速度记录进行分析计算(表 1)。一是采用现有其它地区中小震地震动峰值衰减关系估计坝址区自由基岩地表峰值加速度；二是采用福建省地震局金星等提出的利用宽频带速度记录实时仿真加速度方

法，将坝址附近速度型地震仪记录转化为加速记录，确定坝址附近监测台站地表峰值加速度。依此估计坝址附近地表峰值加速度值。综合上述两种方法，分别估计出 M_L 4.3、 M_L 2.8 这两次地震在坝址区自由地表峰值加速度为 2 gal、0.8 gal 左右，从大坝的抗震设防能力评估分析属于安全范围。

由于大坝廊道内安装的强震动仪器设触发方式采用阈值触发，触发阈值均设置在 4~6 gal 左右，通过计算分析得出坝址区自由地表峰值加速度最大为 2 gal 左右，安装于大坝内各高程仪器均未获得地震加速度记录，说明仪器阈值设置的合

表 1 峰值加速度表

Table 1 Table of peak ground acceleration

时间	地点	震级	台站名称	台站代码	台址条件	记录峰值加速度			持时/sec	卓越频率/Hz	参考烈度
						UD/gal	EW/gal	NS/gal			
2010-09-18	广西天峨 贵州交界	M3.9	向阳台	XYQZ	土层	22.235	30.1	29.19	11.9	6.74	4
2010-09-18	广西天峨 贵州交界	M3.9	扛里台	KLQZ	土层	26.285	59.76	48.54	17.7	17.92	5
2010-10-07	广西天峨 贵州交界	M2.3	向阳台	XYQZ	土层	10.57	20.78	11.29	1.4	8.98	4
2010-10-07	广西天峨 贵州交界	M ₁ 2.3	扛里台	KLQZ	土层	23.88	36.20	37.43	12.8	13.28	5

理性。

需要特别说明的是,在上述两个地震事件中,扛里台所记录的竖向加速度记录记录明显出现了异常,不能作为有效记录进行分析;向阳台所记录的三个向的加速度记录和扛里台两个水平向加速度记录与我国其它地区类似震级类似震中距上的记录具有明显偏大的现象,并且震中距较大的扛里台记录的峰值加速度比向阳台更大一些。出现这种情况的原因可能是加速度计技术故障或受局部地震构造、地形地貌环境所的影响,需进一步研究。

5 结束语

近年来,强震观测逐步扩展到城市地震动强度(烈度)速报、城市及重大工程强震预警、工程结构健康诊断领域,这些因素成为强震观测发展的巨大动力,使强震观测仪器研制、强震观测台网建设、强震观测和数据处理技术、理论研究等

不断深入的目标所在。目前,龙滩水电站大坝强震动观测台网系统采用现代无线网络技术建立实时的、持续的无线网络监控链路,提高强震观测设备管理、强震数据传输等相关工作的效率,实现强震动台网的实时监控与数据自动传输,为大坝地震安全报警及快速评估提供科学依据奠定坚实基础。由于大坝内较为潮湿,造成仪器故障率较高,建议进一步做好仪器防潮工作。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. SL203-97 水工建筑物抗震设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 苏克忠, 张力飞, 朱栗武, 等. 大坝强震安全监测[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1996.
- [3] 黄腾浪, 黄元敏, 黄定华, 等. 强震预报风险评估模型及应用研究[J]. 华南地震, 2013, 33 (3): 22-28.
- [5] 金星, 康兰池, 欧益萍. 福建地区中小地震地震动峰值衰减规律研究[J]. 地震学报, 2008, 30 (3): 279-291.