

褚孝远, 韩 进, 杜 瑶, 等. 雅砻江流域下游梯级水库地震台网监测能力验证[J]. 华南地震, 2015, 35(1): 57–61. [CHU Xiaoyuan, HAN Jin, DU Yao, et al. Seismic Network Monitoring Capability of the Cascade Reservoir Stations at Yalongjiang River Basin Downstream[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(1): 57–61.]

雅砻江流域下游梯级水库地震台网监测能力验证

褚孝远, 韩 进, 杜 瑶, 景 晟

(四川省地震局, 成都 610041)

摘要: 雅砻江流域是中国第三大水电基地, 位于强震区, 水库地震监测工作十分重要。基于近震震级公式和古登堡-里克特震级频度关系式, 分别求取雅砻江下游梯级电站水库诱发地震监测台网的理论监测能力和根据实际记录地震进行监测能力验证。结果表明: 在重点监视区理论监测能力达到了 M_L 0.5 级的要求, 实际观测验证表明, 重点监视区其实际最小完整性震级为 M_L 0.5 级, 达到了雅砻江流域下游梯级水库诱发地震监测台网设计目标。

关键词: 梯级电站水库; 诱发地震监测; 理论监测能力; 实际监测能力验证

中图分类号: P315.61 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 01-0057-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.01.009

Seismic Network Monitoring Capability of the Cascade Reservoir Stations at Yalongjiang River Basin Downstream

CHU Xiaoyuan, HAN Jin, DU Yao, JING Sheng

(Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract: It is very important to monitor reservoir induced earthquake for the cascade hydropower stations at the Yalongjiang river basin, which is the third largest hydropower zone of China, and locates in meizoseismal area. Based on the local earthquake magnitude formula and Gutenberg Richter magnitude frequency relationship equation, the paper calculates the theoretical monitoring capability of the reservoir induced earthquake monitoring system and validates the actual monitoring capability by the earthquake records. The results show that the theoretical monitoring capability is in compliance with the M_L 0.5 requirements in the key monitoring areas; the practical minimum complete magnitudes is M_L 0.5, which is validated by the actual records. The system fulfils the design objectives of the reservoir induced earthquake monitoring system for the cascade hydropower stations at the Yalongjiang river basin.

Keywords: Cascade scheme hydropower station reservoir; Monitoring of reservoir induced earthquake; Theoretical monitoring capability; Validation of practical monitoring capability

收稿日期: 2014-01-10

基金项目: 雅砻江流域中下游水库诱发地震监测项目 (EHDCA-201005)

作者简介: 褚孝远 (1956-), 男, 工程师, 现主要从事地震监测与研究工作。

通信作者: 韩 进 (1958-), 男, 高级工程师, 现主要从事地震观测技术工作。

E-mail: jinh028@sina.com.

0 引言

雅砻江流域下游梯级水库包含锦屏一级、锦屏二级、官地、二滩和桐子林 5 级。其中, 锦屏一级、二滩两大水库是雅砻江上的控制性水库, 官地、锦屏二级、桐子林水库与两大控制性水库联合运行, 提高了水库运行的质量。5 级水库总库容达 144 亿 m^3 , 设计装机容量高达 1 430 万千瓦, 约占流域规划总发电量的 50%。

雅砻江流域下游梯级水库诱发地震监测系统由 38 个野外测震台、7 个中转汇集站及 1 个流域水库诱发地震监测中心组成, 技术系统是由固定地震台站子系统、地震数据汇集中继子系统和地震数据收集处理子系统三个主要部份组成。固定地震台站系统通过有线或无线方式将数字信号从台站传送到地震数据汇集中继系统或直接传送到台网记录中心; 汇集中继子系统则是将接收到的台站数据进行汇集, 通过有线传输方式将数据传回记录中心; 地震数据收集处理子系统主要完成数据收集、检查、存储、交换与处理等功能, 它与地震数据收集处理子系统之间通过直接或经地震数据汇集中继子系统实现通信。雅砻江流域下游梯级水库诱发地震监测系统多数地震台站采用有线或卫星传输方式直接将数据传回记录中心, 仅有少数地震台站采用无线超短波中继方式进行数据传输。

其中, 锦屏一、二级和官地水库为新建水库地震监测系统, 二滩水库为对原水库地震模拟监测系统的数字化改造, 桐子林水库是在结合并共享二滩地震监测系统的基础上新建。本文通过台基噪声水平计算和震级频度对数分布法两种方式对梯级水电站地震监测系统进行了监测能力验证。

1 监测能力验证方法

近年来, 随着水库数字地震监测台网的不断建设, 台网监测能力的估算和验证也是其中的重要内容。监测能力的估算和验证目前主要有通过台基噪声水平、台站布局、仪器系统技术指标的估算法和引用古登堡-里克特地震震级频度分布验证法^①、紫坪铺水利枢纽水库诱发地震监测预测系

统总体技术设计、瀑布沟水库诱发地震监测预测系统总体设计报告、武都水利枢纽工程水库数字遥测地震台网布局设计^②。水库诱发地震监测台网地震监测能力评估^③都通过相关工作成果对上述方法进行了叙述和应用。

2 水库诱发地震重点监视区的确定和监测能力要求

2.1 锦屏一、二级重点监视区

2.1.1 锦屏一级重点监视区

根据《雅砻江锦屏水电站水库诱发地震监测系统工程技术设计报告》^①成果, 给出了雅砻江锦屏一级水电站库区可能发生诱发地震区为: 坝前库段; 岩脚-下落府-盖地库段; 卧罗河库段。在水库诱发地震监测台网的设计中, 上述 3 段确定为重点监视区。

2.1.2 锦屏二级重点监视区

按照《雅砻江锦屏水电站水库诱发地震监测系统工程技术设计报告》^②的成果, 在水库诱发地震监测台网的设计中, 从该水电站位于青藏地震区的鲜水河-滇东地震带, 该带地震活动强烈, 频度高、强度大这一特点, 以及一级和二级电站间有一系列规模宏大洞群实际的情况, 把整个洞群和坝区均设置成重点监视区。

2.2 官地重点监视区

按照《官地水电站地震监测台网布设优化及技术设计报告》^③的成果, 官地水库为高山峡谷型, 库长 58 km, 库盆主要为碎屑岩、玄武岩及灰岩, 产状总体近 SN 向倾 W, 倾角 70°~80°, 其中可溶岩分布面积约占 60%。在巴折、周家坪一带有区域性小高山、周家坪断裂通过。诱发水库地震主要距坝址 3~49 km 中的 6 个地段。因此, 在地震监测系统的设计中, 把库坝区至周家坪库段, 确定为重点监视区。

2.3 二滩和桐子林重点监视区

2.3.1 二滩重点监视区

按照《二滩水电站地震监测台网数字化改造总体设计报告》^③的成果, 二滩水库地震台网由于

① 四川赛思特科技有限责任公司. 雅砻江锦屏水电站水库诱发地震监测系统工程技术设计报告, 2009.

② 四川赛思特科技有限责任公司. 官地水电站地震监测台网布设优化及技术设计报告, 2009.

③ 四川赛思特科技有限责任公司. 二滩水电站地震监测台网数字化改造总体设计报告, 2009.

是在原台网基础上的改造,其决定监测能力的台址和布局就已经确定,即以库坝区为重点监视区。

2.3.2 桐子林重点监视区

按照《二滩水电站地震监测台网数字化改造总体设计报告》的成果,将桐子林水库诱发地震重点监视区与二滩重点监视区相结合,形成互补,在设计中,桐子林水库整个库区被设计为重点监视区。

2.4 监测能力要求

遵循《水利水电工程区域构造稳定性勘察技术规程》(DL/T5335-2006)、《水利水电工程地质观测规程》(SL245-1999)、《中国数字地震台网技术规程》等^[4-8]有关行业规程规范和《雅砻江流域中下游水库诱发地震监测系统设计报告》要求,水库诱发地震监测系统重点监视区内,可定位震级下限为 $M_L \geq 0.5$ 级。

为了保证在重点监视区内的监测能力,在锦屏重点监视区内增设的台站不但可以加强对锦屏断裂和坝址附近区域的监测,同时还扩展了坝下的下限监测能力。在官地重点监视区内可共享锦屏监测台网的6个台站,共同构成对官地水电站重点监视区有监测能力贡献的官地地震监测台网。

3 监测能力验证

雅砻江下游梯级水库地震监测台网监测能力的特点在于梯级。在台站布设时,不仅要考虑单个水库监测重点的需要,还要考虑上下游水库之间的监测台站的共享,满足梯级各水库监测重点的需要,以节省资源。因此,要验证梯级水库的监测能力,首先对各梯级水库重点监视区和监测能力要求叙述如下。

地震台网地震监测能力(可定位震级下限)取决于台网台站的台基噪声水平、台站布局、仪器系统技术指标以及地震衰减因子等因素。当仪器系统确定后,台网地震监测能力,主要由台站实际记录的台基噪声水平与台站布局决定。台网监测能力估算的主要方法有基于台基噪声水平的理论估算方法和基于古登堡-里克特地震震级频度对数线性分布曲线法。

3.1 地震监测系统的主要地震学指标

(1) 观测项目种类:三分向短周期微震速度观测;

(2) 观测频带; 2 S~40 Hz;

(3) 台基噪声的速度有效值(RMS),在短周期频段,低于 1×10^{-7} m/s;

(4) 分辨率: 2^{-23} ;

(5) 重点监视区内,可定位震级下限为 $M_L \geq 0.5$ 级。

3.2 台基噪声水平估算法

选取每个台站连续 48 h 地脉动波形数据,通过预处理,将干扰和地震事件剔除,再根据台站分布和台站环境地噪声值来实际计算台网监测能力。设当 S 波振幅大于台基干扰背景 2 倍时,可有效地识别地震事件。将至少有 4 个以上地震台监测到同一地震,确定为能定位地震^[2,9],作为观测系统能分辨的最低下限地动速度,划定台网对该震级地震的监测区域。应用近震震级 M_L 的计算公式。

$$M_L = \log A_u + R(\Delta) + S \quad (1)$$

式(1)中, A_u 为台站位置的体波最大位移,单位为微米; $R(\Delta)$ 为量规函数; S 为台基校正,这里令 $S=0$ 。

对于速度型地震观测, $A_u = \frac{TA_v}{2\pi}$ 近震震级 M_L 的计算公式为

$$M_L = \log \frac{TA_v}{2\pi} + R(\Delta) + S \quad (2)$$

式(2)中, A_v 为台站位置的体波最大速度值, T 为最大速度时的周期。

对于最大速度时的周期 T ^[2],取 0.2 s 为水库地震优势周期^[9]。这里设定 T 取 0.2 s。据此理论计算作图,得到雅砻江流域下游梯级水库诱发地震监测系统地震监测能力图。对照图表明,经理论计算,雅砻江流域下游梯级水库诱发地震监测系统监测能力要满足梯级水库的重点监视区需要。

3.3 震级频度对数分布法

雅砻江流域下游梯级水库诱发地震监测系统的重点监视区地震监测能力,是否达到可定位震级下限为 $M_L \geq 0.5$ 级的实际值,还可利用台网监测区域实际观测到的已定位地震,引用古登堡-里克特地震震级频度的对数服从线性分布来验证^[1]。

$$\log N = a - bM \quad (3)$$

式(3)中, N 为震级大于或等于 M 的地震累积频度, a 和 b 为常数。古登堡-里克特关系式,反映了某一区域地震震级与频度的关系。该关系式指出地震频度随震级的增加按指数规律减小,表明在自然界所发生地震中,小于某震级的地震事

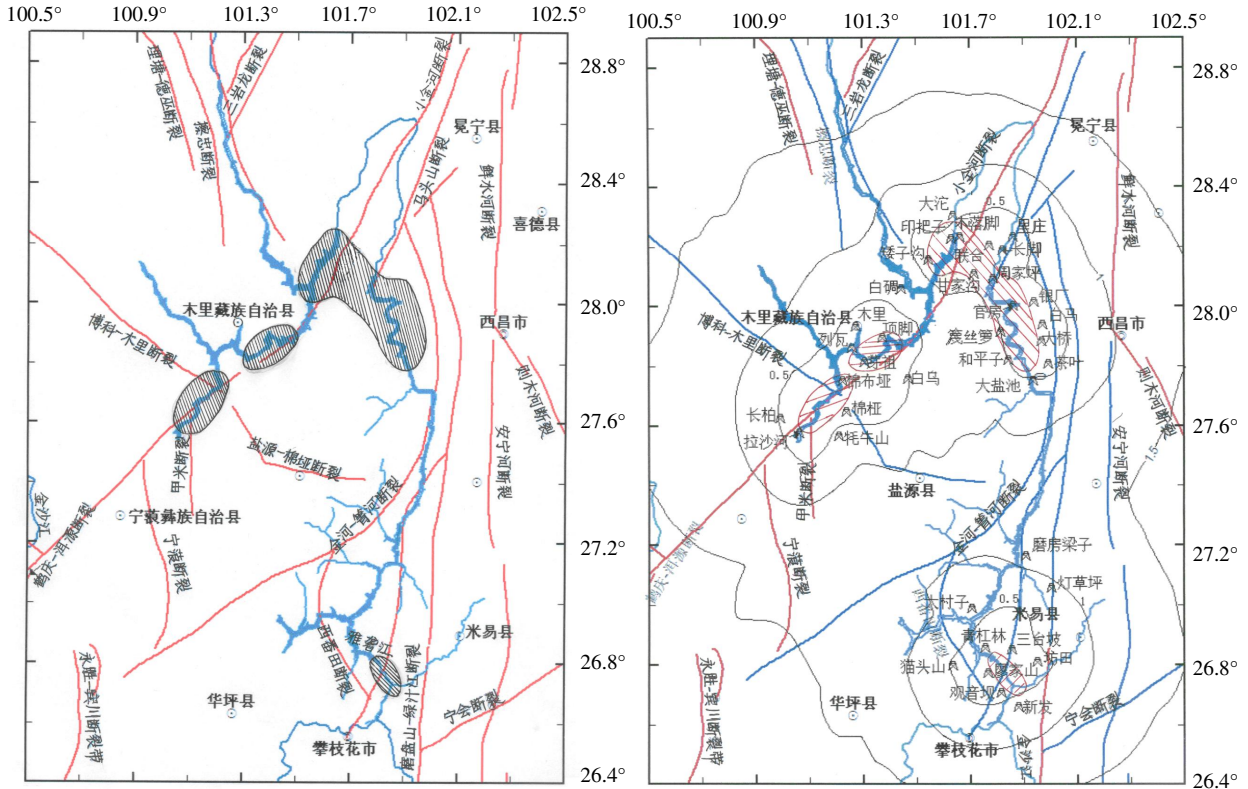


图 1 监测台网重点监测区示意及监测能力估算对比图

Fig.1 The schematic and comparison chart of estimated monitoring capability of key monitoring areas of monitoring network

件数的自然对数与震级呈线性关系,而在小震级端,由于观测能力的限制,会出现地震缺失现象,表现在震级频度关系上,地震震级频度对数曲线在小震级端会发现震级低于某个值时,实际观测记录的地震数目与拟合直线发生明显偏离,即实际观测记录的地震数目低于拟合直线应有的地震数目,这表明台网不能完全观测到该区域内低于此震级的小震而有所遗漏,此偏离点则定为台网可定位震级的下限。此拟合的前提是台网应有足够长的观测时间,以有足够多的震例进行拟合。一般而言,震例达数百个时,拟合较为准确。下面分别从锦屏、官地库区与二滩、桐子林库区两个监测区域,利用 2011 年 8 月 2 日至 2012 年 2 月 1 日期间,记录的地震分别进行古登堡-里克特地震震级频度曲线拟合验证。

在锦屏、官地水库监测区域(北纬 $27.4^{\circ} \sim 28.7^{\circ}$, 东经 $100.8^{\circ} \sim 102.2^{\circ}$),试运行与考核运行期间,记录到 0.1~4.0 级地震 229 次,拟合 $\log N-M$ 直线,得:

$$\log N = 2.6203 - 0.6432M \quad (4)$$

该直线用实线绘于图 2 中(图中数据为: $a=2.6203$, $b=0.6432$, $R=-0.9889$, 震级 M_L 范围

0.0~4.0),实线旁的小园点为实测统计值,可见当 ≥ 0.5 级时,实测值以直线为轴心分散在其两侧,而 $M_L < 0.5$ 级时,实测数明显低于拟合直线。不难验证 $M_L 0.5$ 级为拟合直线的符合较好的低震级点。

在二滩、桐子林水库监测区域(北纬 $26.5^{\circ} \sim 27.4^{\circ}$, 东经 $101.4^{\circ} \sim 102.2^{\circ}$),试运行与考核运行期间,记录 0.2 级~2.6 级地震 34 次,拟合 $\log N-M$ 直线,得:

$$\log N = 1.7837 - 0.5165M \quad (5)$$

该直线用实线绘于图 3 中(图中数据为: $a=1.7837$, $b=0.5165$, $R=-0.9332$, 震级 M 范围 0.0~2.6),实线旁的小原点为实测统计值,可见当 $M_L \geq 0.5$ 级时,实测值以直线为轴心分散在其两侧,而 $M_L < 0.5$ 级时,实测数明显低于拟合直线。不难验证 0.5 级为拟合直线的符合较好的低震级点。

4 结论

采用台网实际观测噪声计算和古登堡-里克特地震震级频度曲线拟合两种方法,对雅砻江流域下游梯级水库重点监测区的监测能力进行计算和验证,其结果是:

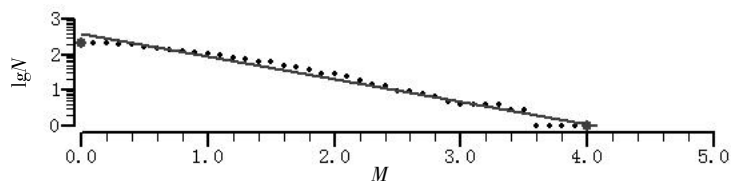


图 2 锦屏、官地水库监测区域 $\log N-M$ 图

Fig2 The $\log N-M$ diagrams for monitoring area at Jinping, Guandi hydropower station

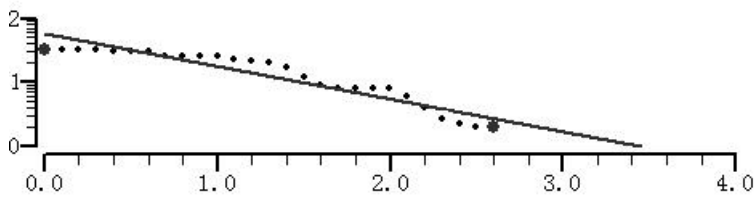


图 3 二滩、桐子林水库监测区域 $\log N-M$ 图

Fig3 The $\log N-M$ diagrams for Monitoring area at Ertan, Tongzilin hydropower station

地震监测系统在雅砻江流域下游梯级水库重点监测区域内,可定位地震震级下限达 M_L 0.5 级,达到系统总体设计要求。

理论计算表明:

地震监测系统对于 $M_L=1.0$ 级的监测能力基本覆盖雅砻江流域下游梯级水库主要水库区域。

地震监测系统对于 $M_L=1.5$ 级的监测能力覆盖雅砻江流域下游梯级水库全部水库区域。

参考文献:

[1] Gutenberg R, Richter C F.Frequency of earthquakes in California[J]. Bull Seism Soc Am, 1944, 34 (4): 185-188.
[2] 韩进, 谢蓉华. 武都水利枢纽工程水库数字遥测地震台网布局设计[J]. 地震地磁观测与研究, 2006, 27 (6): 33-37.

[3] 蔡明军, 叶建庆, 毛玉平. 景洪电站水库诱发地震监测台网地震监测能力评估[J]. 地震地磁观测与研究, 2010, 31 (3): 107-110.
[4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.DL/T5335-2006 水利水电工程区域构造稳定性勘察技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
[5] 中华人民共和国水利部. SL245-1999 水利水电工程地质观测规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
[6] 中国地震局. JSG-01 中国数字地震台网技术规程[S]. 北京: 地震出版社, 2005.
[8] 中国地震局.地震及前兆数字观测技术规范[M]. 北京:地震出版社, 2001.
[7] 国家地震局科技监测司. 地震观测技术[M]. 北京:地震出版社, 1995.
[9] 吴永权, 黄文辉, 苏柱金. 国家测震台网的实时数据传输与服务[J]. 华南地震, 2013, 33 (3): 77-84.