

研究报告

长江三峡工程诱发地震监测研究

胡兴娥¹, 秦小军²

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 湖北地震局, 武汉 430071)

[摘要] 随着长江三峡水库蓄水及蓄水量的变化, 必将引起库坝地区局部介质受力状态、介质物理性质和区域应力场等的变化, 从而可能诱发水库地震。为有效监测库区地壳变形、构造断裂的活动趋势、库盘沉降及水库诱发地震活动, 在库坝区建立水库诱发地震监测系统是必要的。文章简要介绍了长江三峡水库诱发地震监测系统的建设情况。

[关键词] 三峡工程; 地震; 监测

[中图分类号] P315.7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)11-0071-04

1 前言

长江三峡工程是举世瞩目的特大型水利枢纽工程, 其最大坝顶高程为 185 m, 总库容 $393 \times 10^8 \text{ m}^3$, 装机容量为 18 200 MW。工程建成后, 不仅能提供巨大的电力资源, 还具有防洪、改善航运和调节干流水量等多种效能, 是一个高效益综合水利枢纽工程。

在长江三峡地区进行的长期大量研究表明, 工程坝区及外围的地壳是稳定的, 但该地区仍有一定的地震活动构造背景^[1]。三峡库坝区地处扬子准地台, 水库区的岩性可分成三种类型, 即花岗岩、灰岩和碎屑岩。大坝座落在花岗岩岩块上, 峡谷区主要为灰岩, 库区的中上游河床主要是碎屑岩。区内有北东—北北东, 北北西和北西、北西西向三组较大的区域性断裂展布在坝址所在的黄陵背斜周缘及外围地区。现代形变监测研究结果表明, 这些断裂的平均垂直位移速率 $< 1 \text{ mm/a}$, 水平扭动速率平均 $< 0.1 \text{ mm/a}$ 。但是, 这些断裂对本地区中等强度以上的地震仍然起着明显的控制作用。考虑到建坝蓄水后水压荷载剧增, 库水沿断层渗透, 可能

引起断层走滑位移和变形, 继而诱发地震活动。为此, 中国长江三峡工程开发总公司在三峡库区建成了由数字遥测地震台网、地壳形变监测网络和地下水动态观测井网构成的长江三峡工程诱发地震监测系统, 并开展了相关的水库诱发地震科学研究。

2 长江三峡地区地质构造背景

长江三峡地区在大地构造上属秦淮弧形构造西南侧, 跨越两个大地构造单元^[2]。以青峰断裂为界, 北为秦岭褶皱系, 南属扬子准地台。扬子准地台又分为上扬子台坪和两湖断坳两个二级构造单元, 还可进一步划分为三级、四级构造单元。三峡断褶区按地表构造形式, 大体可划分为黄陵块体、神农架块体、鄂中断块区、江汉断块和鄂西南褶皱带五部。

三峡工程区主要活动断裂大致可分为三组方向的断裂: 即北北东向断裂, 走向 $NE 20^\circ \sim 30^\circ$, 如新华断裂, 建始断裂等, 长数十至百余公里; 北北西向断裂, 走向 $NW 10^\circ \sim 30^\circ$, 如仙女山断裂, 远安断裂等, 长近百公里; 北西西向断裂, 走向 $NW 60^\circ$ 左右, 如天阳坪断裂, 雾渡河断裂, 长数十公

[收稿日期] 2003-03-20

[作者简介] 胡兴娥 (1965-), 女, 湖北公安县人, 博士, 天津大学高级工程师

里。上述一些主要断裂自中生代燕山运动形成以来,长期控制着区域地质发展与现今地壳运动。自20世纪50年代以来,围绕该区域地质稳定性问题,进行了多学科的新构造运动综合研究,认为值得注意的是仙女山断层以及和它方向相同的断层是否仍有活动的可能性。

3 数字遥测地震台网

3.1 建设数字遥测地震台网的必要性

长期的水利水电建设史表明,高坝大型水库建成后可能影响库区及其周围地区的地震活动性,甚至有可能诱发中强以上的破坏性地震。对许多水库诱发地震,虽然其强度较低,不一定对水库工程设施造成破坏,但它极有可能直接影响库区周边社会的稳定和引起下游地区居民的恐慌,进而影响相关工程的正常建设和安全营运,造成间接损失^[3]。我国从新丰江水库建设开始,在新建大型水利枢纽和水电工程,如丹江口、龙羊峡、二滩、隔河岩、小浪底、水口、李家峡和天生桥等工程时,均建设有专门的地震监测预测系统为其服务。

已有的研究表明,三峡工程坝区及其外围地壳是稳定的,但该地区仍存在一定的地震活动背景,不仅存在着地震潜在震源区(如仙女山潜在震源区和兴山—巴东潜在震源区),而且水库蓄水后有可能诱发中强以上地震。为了有效地对潜在震源区和诱发地震区的地震活动性进行监视,进而作出科学、正确的震情趋势判断,建设专门为三峡工程服务的水库诱发地震监测系统是十分必要的。

3.2 数字遥测地震台网的构成

3.2.1 地震台技术系统 三峡数字遥测地震台网是一个规模宏大的水库诱发地震监测台网。它拥有总数达34个4种不同类型的地震台。4种类别的地震台用途各异,它们是:24个高增益遥测子台(包括16 bit遥测子台20个,24 bit遥测子台4个)、2个非遥测的中强震台和8个非遥测的流动台。如图1。

3.2.2 中继站技术系统 三峡数字遥测地震台网信息传输系统采用单元无线组网,设黄牛岩、大金坪及金子山三个汇集中继站,采用了大容量数据汇集技术、多制式数据无线遥测技术及多频段无线传输技术,具有高性能和高可靠性的特点。

3.2.3 台网中心技术系统 台网中心的功能主要是负责接收、收集和处理各遥测地震台,通过遥测

信道传送的地震数据以及人工取回的中强震台站的地震数据。台网中心工作人员利用这些数据进行地震速报、编辑地震目录和提供地震数据服务。

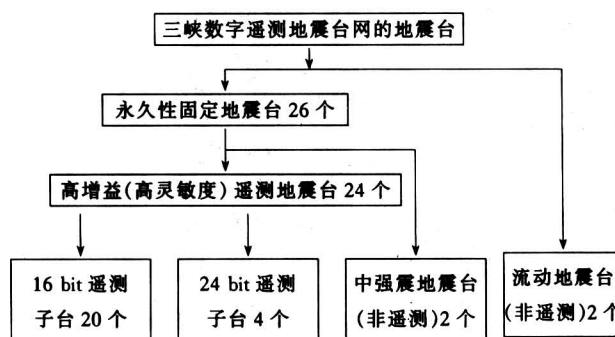


图1 三峡台网所属的地震台分类图

Fig.1 The stations classification diagram of the Three Gorges monitoring stations network

台网中心技术系统主要由遥测地震数据接收、数据收集和实时处理、网络通信和电源等部分组成。数据处理部分是为完成数字地震台网的波形数据收集、处理、保存和数据服务。网络通信部分具有为完成台网内部的数据交换、台网与数据传输等的功能。电源部分则保证台网中心所有设备的安全可靠用电。

3.3 数字遥测地震台网监测能力

3.3.1 微震监测能力

I类重点监视区:可定位震级下限优于 M_L 2.5级,震中定位精度可达1 km,震源深度测定精度可达2 km。

II类重点监视区:可定位震级下限应达到 M_L 2.5级,震中定位精度可达2 km,震源深度测定精度不小于2 km。

III类重点监视区:库中段的小震监测能力为 M_L 2.5级。

3.3.2 强震监测能力 完整记录中强地震波形能力,重点监视区内发生的 M_s 5.0级地震,台网至少有4个子台能记录到完整的地震波形;中强地震参数测定三峡库区内发生 M_s 5.0级地震的基本参数。

3.3.3 大震速报能力 重点监视区地震速报能力:固定台网可以在15 min内处理完重点监视区内发生的级以上地震数据并速报地震基本参数。库中段中强地震速报能力:固定台网可以在20 min内处理完库中段级以上地震参数并速报地震基本参数。

4 三峡工程库坝区地壳形变监测网络的布设

4.1 监测网络布设标准

三峡水库于 2003 年第 3 季度开始蓄水, 蓄水位将达 135 m。为了较全面地研究蓄水前后库坝区的地壳形变和应变的变化, 必须在水库蓄水前获得自然状态下应力和应变的背景资料, 蓄水后监测工程施工与运行过程中库坝区的区域形变应变场的动态变化, 同时定期或连续监测重点部位的地壳形变和主要活动断裂的运动与形变。因此, 按照突出重点监测目标, 以点、线、面相结合的布设原则, 综合全球定位系统 (GPS) 观测技术、精密激光测距、峒体形变观测技术、精密重力和精密水准测量等技术, 建成了—个高精度、高时空分辨率的区域性地壳形变监测网络。

4.2 地壳形变监测网络构成

1) 以 3 个固定 GPS 站连续观测和 21 个定期流动观测的 GPS 站组成的区域水平形变测量。3 个连续观测站最小直线间距约 80 km, 最大直线距离大于 400 km。其中, 武汉站也是“中国地壳运动观测网络”中 25 个基准站之一, 流动站中的宜昌站亦是全国网络中的基本站, 全站 24 个观测站覆盖了库首区约 3 000 km² 地域。

2) 以精密水准测量为主要手段, 在原有水准测线基础上扩展成为 800 km 增强型水准环线, 构成区域垂直形变监测网络, 控制库首区约 10 000 km² 地域。

3) 在与水准环线基本重合的测线上进行精密重力测量, 构成区域重力监测网。

4) 以精密激光测距和精密短水准测线构成定期复测的跨断层三维形变监测网, 主要布设在仙女山断层、天阳坪断层、九湾溪断层、水田坝断层等处。

5) 以峒体形变观测为主要手段的工程重点部位的连续变形监测。

6) 以精密水准测量和精密测距构成在库首区跨长江的库盆沉降和谷宽变化监测。布设 3 条测线, 每条测线距离均在 25 km 左右。

4.3 网络监测能力

1) 固定 GPS 站间基线长度变化率测定精度优于 ± 2 mm; 全天候连续观测采样率为每 30 s 一次。流动 GPS 站基线测定精度优于 ± 5 mm, 每年复测

一次, 每次连续观测 96 h, 采样率为每 30 s 一次。

2) 区域水准测量精度为每公里 $M_{\Delta} \leq \pm 0.5$ mm (国家—等水准精度要求)。在蓄水前和蓄水位至 135 m、156 m 时各复测—次。

3) 区域相对重力段差测量精度优于 $\pm 15 \mu\text{gal}$, 与区域水准测量同步进行, 并在其间加密测量。

4) 三维网激光测距精度优于 $\pm (1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6})$, 每两年复测—次。

5) 跨断层短水准测量精度为每公里 $M_{\Delta} \leq \pm 0.25$ mm。

6) 峒体连续变形观测相对精度优于 10^{-8} , 跨断层连续位移测量精度优于 ± 0.1 mm, 倾斜测量精度优于 $0.01^{\circ}/\text{s}$ 。

7) 库盆沉降监测的精密水准测量精度为每公里 $M_{\Delta} \leq \pm 0.45$ mm。库盆谷宽变化测量精度优于 $\pm (0.2 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6})$ 。

5 地下水动态观测井网

地下水动态对地壳应力应变有很多的响应能力, 并可有效地监视应力场的变化与断裂活动。研究表明, 水库诱发地震的发震因素中, 库水荷载、下渗水的孔隙水压力作用和水对岩石的物理化学作用是极为重要的。因此, 监测库水位变化, 尤其是监测库坝区与库岸区的地下水动态变化, 对于监测水库诱发地震的孕育、发生及震后趋势的判定有着特别重要的意义。

建设地下水动态观测井网既可以—直接监视库水位变化对工程区地下水动态的影响, 分析研究作为诱发水库地震的重要因素的孔隙水压力渗流场的变化, 又可以通过对地下水动态场时空演化特征的研究, 分析研究地壳应力场及断裂活动状况, 并对水库诱发地震发生的危险性作出判断和预测。为此, 在三峡库区建设了由周坪、茅坪、高湾溪、丁家坪、韩家湾、大河口、屈家湾和郭家坝等 8 口井组成的地下水动态观测井网。

6 水库诱发地震研究

有针对性地研究了国内外及三峡邻区有代表性的水库震例诱震环境因素, 包括诱震库区的地形地貌、地层岩性、断裂裂隙及库域形态、库容水深、蓄水过程等。围绕水库诱发地震问题, 对工程外围区域和库首区诱震地质环境, 着重研究了重点监视区诱震的水文地质条件和构造地质环境条件。根据

三峡地区地震活动的区域性特征以及水库诱发地震的特点,结合近年来常用的天然构造地震预测成果,同时考虑到三峡工程及其诱发地震监测系统的实际情况,分别从测震学,地壳形变、地下水动态等3个方面探讨了三峡工程水库地震的预测技术,包括观测异常的论证、识别、提取及预测地震三要素的模型、判据、方法等。鉴于工程区可能出现的水库地震活动特点及三峡水库诱发地震监测系统运行后提供的测震、地形变、地下水等实时观测资料,研制了长江三峡工程诱发地震综合预测技术方案。依据这套水库地震的短、临跟踪及预测方案,

在蓄水后可通过中小水库地震活动情况和前兆观测数据变化等分析,综合判断诱发地震活动趋势,及时制定系统的、可快速操作的预测与决策意见,从而提高长江三峡工程水库诱发地震的预测效能。

参考文献

- [1] 高士钧. 长江三峡地区地壳应力场与地震[M]. 北京:地震出版社,1992
- [2] 李安然,曾心传,严尊国. 峡东工程地震[M]. 北京:地震出版社,1996
- [3] 王广福,周公威. 现代地震台网观测技术[M]. 北京:中国科学技术出版社,1986

Research on Reservoir-induced Earthquake Monitoring in Three Gorges Area

Hu Xinge¹, Qin Xiaojun²

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Hubei Seismological Bureau, Wuhan 430071, China)

[Abstract] A high dam with 185 meter above sea level will be built for the Three Gorges reservoir, which will accommodate water of 39.3 billion cubic meters in maximum and its impoundment will reach up to 175 meters in height. The local stress status, medium propriety and regional stress field in and around the reservoir will vary with the impounding and water fluctuation in the reservoir which will probably induce seismicity. In order to detect crustal deformation, tectonic fault displacement, sink of reservoir basin in the area and reservoir-induced seismicity, a monitoring system is set up. The paper introduces the study on monitoring in Three Gorges, of the Yangtze River.

[Key words] Three Gorges Project; earthquake; monitoring