

水库诱发地震和我国近年水库地震监测综述(二)

杨晓源

(四川省地震局水库地震研究所, 四川 成都 610041)

(续 2000 年第 2 期)

4 二滩水库地震监测预测研究概况

4.1 开展二滩水库地震监测预测的必要性

兴建于雅砻江下游的二滩水库坝高 240 m, 库容量 58 亿 m^3 , 是典型的高山峡谷型水库。水库大坝高度为亚洲第一, 世界第三。虽其大坝和库首区位于稳定性相对较高的共和断块中部, 但蓄水后共和断块边缘有数条地震活动性较高的断裂将被水库淹没。据四川省地震局提供的“二滩烈度复核报告”认为: 二滩水库的淹没区中有 3 个库段均有活动断裂穿越, 可能诱发中强以上地震(见图 1)。距大坝更近的头滩断裂、缸鱼断裂和大石头断裂规模虽不大, 其本底地震活动性亦很低。但这些断裂均穿越深水库区而过, 就目前水库诱发地震的研究水平还不敢确保其上不发生强度较低的诱发地震。更何况世界上已有多例少震弱震区的小断层(长不足 5 km)因建水库而诱发了 2.5 级以上有感地震的实例。因此, 建立二滩水库诱发地震监测预测系统是确保二滩水电站的施工和运行免受震灾影响的关键措施之一。二滩水电开发公司十分重视水库诱发地震的监测预测, 以减轻可能发生的地震灾害对工程施工和电站运行的影响。公司将建立“二滩

水库诱发地震监测预测系统”列入电站的前期工程程序例之一, 在主体工程开工前就开始实施。水科院和四川省地震局共同承担了此项任务, 其中四川省地震局分工承担的二滩遥测地震台网技术系统的设计并建设该台网, 负责为水科院承担的水库诱发地震预测任务提供原始观测资料。

4.2 二滩台网的规模

二滩遥测地震台网由一个台网中心、两个汇集中继站、8 个高倍率遥测子台和一个低倍率子台组成。高倍率遥测子台分两个层次布局, 其中有 6 个高倍率遥测子台比较均匀展布在大坝附近, 形成了一个平均台距仅 12 km 的重点监视区, 将最具威胁的头滩断裂、西番田和大石头断裂包入网内。另两个子台设于离大坝较远的、可能发生 6.0 级地震的南坝潜在震源区附近。二滩台网是一个监测能力较高的密集型台网, 对库坝区至头滩断裂一带的地震定位能力优于业主要求的 $M_L 0.5$ 级, 且有较高的定位精度(见图 2)。

4.3 二滩台网的技术系统

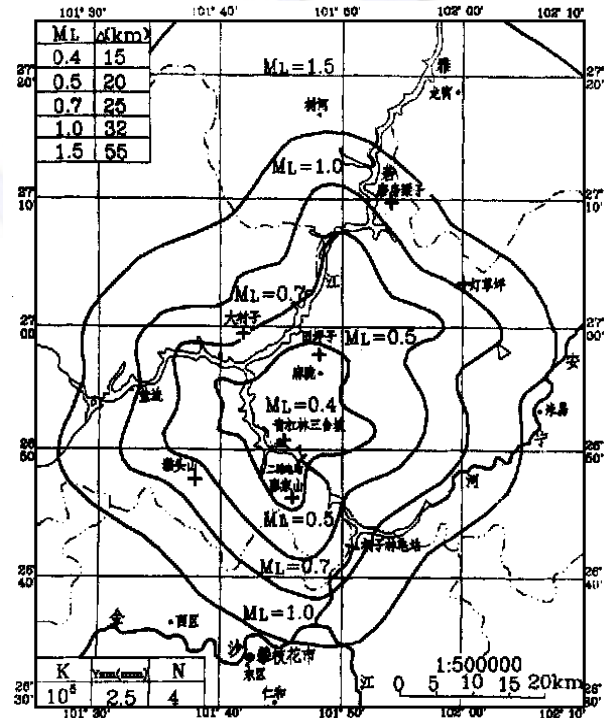


图 1 二滩水库遥测地震台网的微震监测能力图

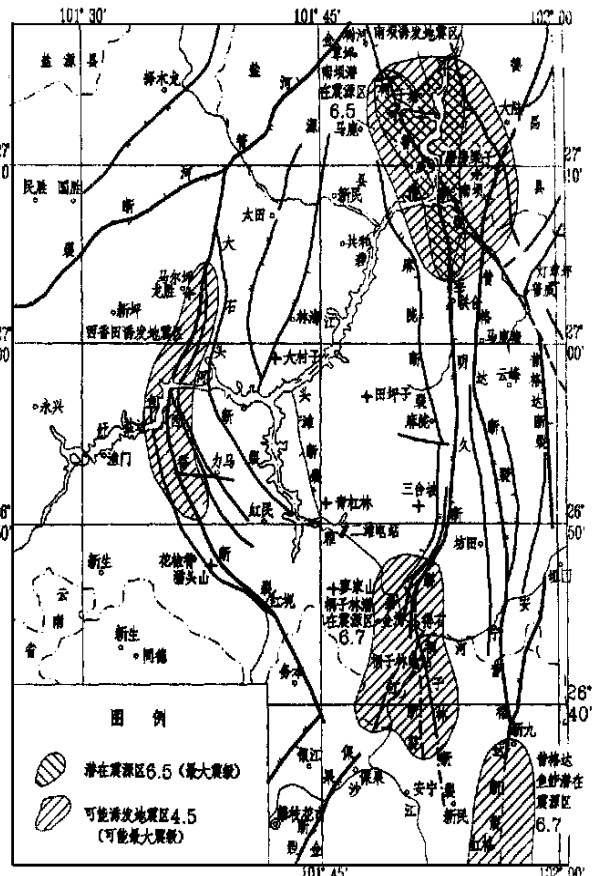


图 2 二滩地区主要断裂及潜在震源和可能诱发地震区图

二滩台网用的技术系统是我局参考了国外水库地震监测实践,组织力量为水库诱发地震遥测而专门研制生产的。它针对水库诱发地震震源浅、高频频谱丰富、波列持续时间短等特点,将观测系统响应频带的高端从观测天然地震惯用的 20 Hz 提高至 40 Hz。由于特殊设计的幅频特性,该观测系统对 60~80 Hz 频谱的振动亦有一定的响应能力。为配合观测频谱的扩展,我局专为水库诱发地震观测引进研制的水库地震数据采集和处理软件,其采样率高达 200 次/s。监测系统的以上特点,形成了有别于天然构造地震监测用的“水库地震监测系统”。这套技术系统研制成功后,经大桥水库遥测地震台网的改进完善,成为我国水库地震监测中使用最广泛的技术系统。即前面所述的第三代水库地震监测系统。

二滩台网于 1992 年 2 月 10 日至 5 月 10 日按国家地震局颁发的规范完成了考核运行。二滩水电开发公司于 1992 年 5 月 15 日至 22 日组织专家对其进行了验收。

二滩公司聘请了水利水电部门和地震部门的著名国内专家组成的验收组,对我局承担的台网设计和建设给予了高度评价。专家评审认为,在技术上达到我国模拟地震台网的领先水平。

4.4 二滩水库诱发地震观测与研究

二滩台网从 1991 年 7 月建成投入试运行到 1998 年 5 月下旬蓄水,共有近 7 年监测二滩库区本底地震活动的时间。蓄水前有 7 年时间连续稳定地观测库区的本底地震活动,在水库建设史上是极少有的。有不少水库都是在蓄水发生地震后才在惊慌中开始地震监测。无疑,二滩的水库地震监测可以为水库地震预测研究提供更多完整的资料。二滩台网建成后,除了向预测研究人员提供原始观测图纸和数字化地震事件记录外,还按时提交旬报、月报、地震观测报告和进行大震速报。

在 6 年多的运行中,二滩台网已观测到发生在未来库区的 3 次天然小震群。一次是 1992 年 11 至 12 月期间发生的力马地震序列。该小震群的主震震级为 $M_L 3.2$ 级,震源深度仅 2.1 km。小震群发生于距大坝约 10 km 左右的西番田和大石头断层上。该震群因位于灵敏度高而密集的二滩台网内,故记录资料完整,定位精度高。对该小震群的深入研究,有助于我们推断蓄水后西番田和大石头断裂的表现。二滩台网记录到库区的另一次小震群是 1996 年 3 月发生于库中段田湾和金河一带的小震群,其主震震级为 $M_L 4.0$ 级。该地震的发生,足以促使我们关注库中段蓄水后的动向。

5 大桥水库地震台网概况

5.1 大桥水库台网的规模和监测能力

大桥水库位于安宁河上游冕宁县境内,大桥水库坝高 93 m,总库容 6.56 亿 m^3 ,装机容量 8.2 万 kW,是一个以灌溉、城市工业和生活供水为主兼有发电防洪等综合功能的骨干水利工程。大桥水库规模虽不大,但因地处历史强震多发的安宁河断裂带,这里是我国地震预报部门近年多次圈定的重点危险区。加之活动性高的安宁河西支断裂还穿越库区而过,预测研究认为有诱发 5.0 级水库地震的可能,故亦规划有地震监测预测系统为其服务。大桥工程指挥部要求将所有

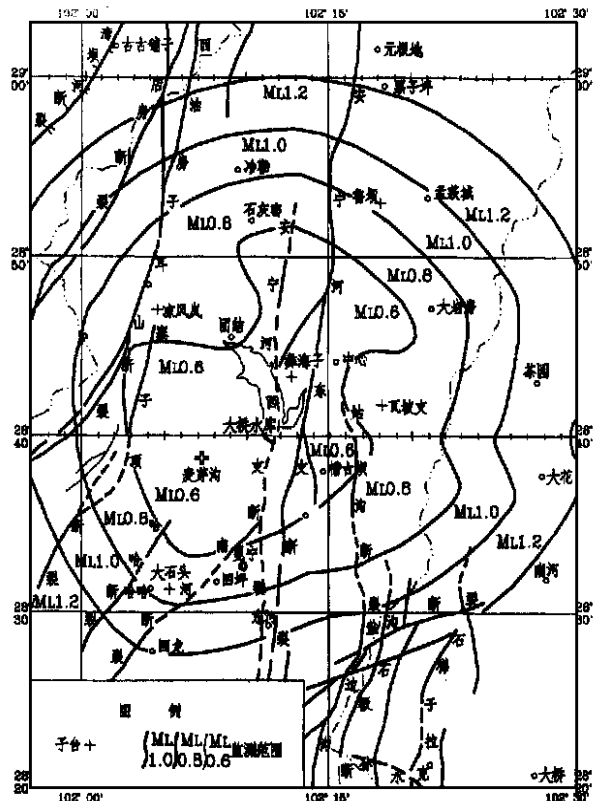


图 3 大桥遥测地震台网微震监测能力图

子台的遥测信号送至 100 km 外的西昌集中记录和分析处理。

大桥遥测地震台网由 6 个子台和 3 个汇集中继站组成,其中 1 个子台与中继站重合为低倍率台,外围 5 个高倍率子台的平均台距为 25 km,其台基可用放大倍率为 5 万倍左右,个别子台高达 20 万倍。该台网建成后,实际监测能力为 $M_L 0.8$ 级,可以达到设计部门和业主提出的 $M_L 1.0$ 的要求。

5.2 大桥水库台网进一步改进完善了第三代水库地震监测技术系统

我所在大桥水库台网的施工设计中,吸取了二滩台网建设和运行中的成功经验,根据专家们的意见又对技术系统作了多项重要改进,使其观测项目更齐备,组网能力更强,功能更完善,整体技术指标更高。后来设计建设的小浪底、龙羊峡、三峡前期和李家峡等均全套引用了大桥台网的研究改进成果。因此可以认为大桥台网与二滩台网的设计和建成投测共同成为我国水库地震监测技术进步历程中的第三个里程碑。

1996 年 7 月,大桥水库台网通过四川省科委组织的鉴定。鉴定委员会认为“本台网的整套技术系统功能齐全,技术水平先进,各类设备的运行可靠率高。这一新型的无线模拟遥测地震台网,不仅在同类型台网技术系统中处于国内领先水平,并已达到国际先进水平,是一项重大科技成果。”

5.3 大桥水库台网的运行维护和预测研究

大桥水库台网建成后,除了以旬报和月报的形式定期向业主报送水库所在地区地震活动情况外,还将根据工程进展的要求和地震活动每季报送一次“大桥水库地震研究报告”。若震情紧张,我局还将派出流动台强化监测和派遣预测预报专家赴现场追踪震情,及时提出预测预报意见,与业主和工程部门共商地震对策。若有破坏性地震发生,我局除采取上

述措施外,还将派考察组奔赴震区参与预测预报工作,评估震灾损失等。

6 黄河小浪底水库遥测地震台网概况

6.1 开展小浪底水库地震监测预测的必要性

黄河小浪底水利枢纽是我国正在兴建的特大型国家级重点水利工程。它的大坝位于河南省孟津县和济源市。小浪底水库对下游的防洪、防凌、减淤及水资源长期综合利用等具有重大战略意义。

小浪底水利枢纽设计坝高 154 m、库容 126.5 亿 m^3 、装机容量 180 万 kW,是一个典型的高坝大库。小浪底水库位于华北断块南部,所在区内地震地质背景复杂,有孕育中强地震的地质条件,且有多条活动断裂将被水库淹没。专题研究报告表明,小浪底水库有可能诱发震级上限为 5.6 级地震。因此,小浪底水库亦建有专门的遥测地震台网为其服务。

6.2 小浪底台网规模及监测能力

小浪底遥测地震台网由一个台网中心、一个中继站、8 个高倍率子台和一个低倍率子台组成。小浪底台网与二滩台网的规模相同,中心部位的微震监测能力亦为 $M_L 0.5$ 级。小浪底台网于 1995 年初批准上马,当年 11 月即建成投入试测,工期不到一年,是我国水库台网史上建设工期最短的台网。小浪底台网的迅速建成也标志着水库地震模拟遥测网的设计建设步入了规范化、正规化和工程化的行列。

6.3 专家对小浪底台网的评价

小浪底台网于 1996 年 7 月通过业主的验收和科技管理部门的鉴定。评审意见认为:小浪底水库遥测地震台网的技术成果达到了水库地震监测台网的国际先进水平。

7 黄河上游水库的诱发地震监测

7.1 龙羊峡水库地震监测

装机容量为 128 万 kW 的龙羊峡电厂是 80 年代中期建成发电的大型水电站,坝高 178 m、总库容达 274 亿 m^3 的龙羊峡水库是黄河的龙头水库。电站建设之初,已建设了一个规模为 4 个子台的遥测台网(第二代)为其服务。此后,电厂又多次投资对其进行技术改造扩展了观测频段,加强了库坝区的监测能力,提高了观测质量和数据处理速度。

改造后的龙羊峡水库遥测地震台网具有 1 个台网中心,1 个汇集中继站和 6 个无线遥测子台,仍采用模拟遥测技术,属第三代水库地震监测台网。龙羊峡台网除了配置常规的笔绘式可见记录外,还配有一套实时地震数据采集处理设备和人机交互处理设备,大大提高了地震数据处理速度和处理精度。改造后龙羊峡水库遥测台网质量达到了观测规范的要求,运行率亦大大提高。特别值得一提的是,刚刚改造完毕的龙羊峡台网在监测发生于库区的倒淌河 $M_L 4.8$ 级地震序列的过程中发挥了重要作用。该地震惊动了国务院,指派两部领导带队前往。龙羊峡台网为国家地震局和电力部的专家

完整及时提供了宝贵的第一手资料。

7.2 李家峡水库地震监测

最近开始蓄水发电的李家峡水电厂位于龙羊峡的下游。其装机容量 200 万 kW,坝高 165 m、总库容 16.5 亿 m^3 ,仍属高坝大库的水电设施。建设有 5 个子台的水库遥测地震台网为其提供第一手观测资料。该台网库坝区的微震监测能力为 $M_L 1.0$ 级。按设计文件,该台网仍属第三代水库地震监测台网,计划 1998 年 5 月完工。

8 长江三峡水库地震监测的最新进展

8.1 开展三峡水库地震监测预测的必要性

长江三峡水利枢纽工程是举世瞩目的特大型水利水电工程。其装机容量 1820 万 kW,坝高 175 m,总库容 393 亿 m^3 ,是我国装机容量最大、库容亦最大的在建水利水电工程。三峡水利枢纽建成后,不仅可以为华中华东电网提供巨大的电力资源,还具有防洪、改善航运和调节水流量等多种综合效能。三峡水库的库首区不仅有数个震级上限高达 $M_L 6.0$ 级以上的潜在震源区,且还有数个可能诱发中强地震的水库地震区。因此,对三峡这样的高坝巨库工程,亦设有相应的水库地震监测预测系统为其安全施工和安全营运服务。

8.2 三峡前期台网——过渡时期的监测台网

50 年代后期,有关部门就为工程上马作准备开始了长江三峡水库地区的地震监测。30 多年来,三峡地震监测一直采用人工值守台观测方式,直到 1996 年才开始用模拟遥测台网逐步取代人工值守台网。这就是所谓的三峡前期台网。

前期台网由长委负责于 1996 年底建成,规模为 6 个子台,后扩大为 7 个子台。该前期台网采用成熟的二滩——大桥水库地震监测模式,即模拟无线遥测技术,连续可见记录与触发式地震事件数字记录并行,实时处理和人机交互处理互补等。三峡前期台网仅布设于库坝区,其微震监测能力为 $M_L 1.0$ 级。

8.3 正在设计建设之中的三峡水库地震监测预测系统

三峡工程开工后,有关部门开始筹划水库监测预测问题,计划采用测震、形变、地下水三大手段开展三峡水库地震监测预测。数字遥测地震台网作为三大监测方法之首,是世界上规模最大的水库地震遥测台网,也是我国第一个采用无线数字遥测技术的水库地震监测网。三峡台网的设计规模为 1 个台网中心,3 个汇集中继站,24 个高增益子台(其中一个兼作中继),29 个观测台项。台网对重点监视区的监测能力高达 $M_L 0.5$ 级,计划 2001 年建成投测。三峡台网的设计建设将使我国的水库地震监测预报技术水平再上一个台阶,必将成为我国另一个具有里程碑意义的水库地震监测台网。

作者简介:

杨晓源(1942 年-),男,云南会泽人,四川省地震局水库地震研究所,所长,研究员,现从事水库诱发地震监测研究工作

紫坪铺水库工程建设开始招标

5 月 10 日,四川紫坪铺水利枢纽工程首次发售招标文件,将工程最先动工的导流隧洞 1 号施工支洞和一条长约 900 m 的场内施工公路面向全国进行招标,从而成为该工程

建设 6 年工期内最先开工的标志性工程。

据悉,导流隧洞 1 号施工支洞和场内公路将于 5 月 28 日在都江堰市正式开标。6 月 28 日工程正式开工兴建。