

浅谈碧口水电站强震动监测设施建设

吕 攀

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要] 本论文以碧口水电站为研究对象, 针对其地处欧亚地震带的高地震风险背景, 系统介绍了碧口水电站强震监测设施建设的必要性、技术方案、实施效果等。旨在应对碧口地区地震频发的安全挑战, 为大坝安全评估和应急响应提供科学依据, 也为类似水电工程的强震监测系统建设提供了重要参考。

[关键词] 水电站; 强震监测; 大坝安全; 应急响应

DOI: 10.33142/aem.v7i5.16763

中图分类号: P315

文献标识码: A

Brief Discussion on the Construction of Strong Vibration Monitoring Facilities for Bikou Hydropower Station

LYU Pan

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: This paper takes Bikou Hydropower Station as the research object, and systematically introduces the necessity, technical scheme, and implementation effect of the construction of strong earthquake monitoring facilities for Bikou Hydropower Station in response to its high seismic risk background in the Eurasian seismic zone, so as to address the safety challenges of frequent earthquakes in the Bikou area, providing scientific basis for dam safety assessment and emergency response, and also providing important reference for the construction of strong earthquake monitoring systems for similar hydropower projects.

Keywords: hydroelectric power station; strong earthquake monitoring; dam safety; emergency response

引言

碧口水电站地处欧亚地震带, 是全球第二大地震活动带, 地震活动频繁。历史上, 该地区多次受到中强地震影响, 其中 2008 年汶川 8.0 级地震带来的冲击尤为严重。此次地震致使碧口水电站三台机组与电网解列, 大坝出现显著位移变形, 部分水工建筑物严重受损, 电站遭受重大经济损失与安全威胁。这一惨痛教训深刻凸显了在碧口水电站建设强震监测系统的紧迫性与必要性, 构建科学完备的强震监测体系, 成为保障电站安全运行的关键举措。

1 概况

碧口水电站位于甘肃省陇南市文县碧口镇的白龙江干流, 是白龙江梯级开发中的第一座水电站, 总装机容量 33 万 kW, 于 1969 年开工建设, 1977 年三台机全部投产发电。水库正常蓄水位 704.00m, 设计洪水位 703.30m, 校核洪水位 708.80m, 为季调节水库, 设计总库容 5.21 亿 m^3 。碧口水电站工程规模为二等大(2)型, 大坝为壤土心墙土石坝, 坝壳由砂砾石、堆石、石渣、卵漂石和含泥砂砾石等填筑, 最大坝高 101.8m, 坝顶全长 297.36m。

碧口水电站原设计坝址地震基本烈度为 VI 度强, 大坝设防烈度为 7.5°。然而, 2008 年“5.12”汶川地震后, 经甘肃省地震安全性评定委员会严谨评审, 碧口坝址地震基本烈度调整为 VIII 度, 这一变化进一步加剧了电站面临的地震安全风险, 也对电站的抗震监测与防御提出了更高要求。

2 项目建设的必要性

从法律法规层面来看, 《中华人民共和国防震减灾法》第十九条, 《地震监测管理条例》第十四条、第十五条, 《水库地震监测管理办法》第九、十一、第十三条, 《甘肃省防震减灾条例》第十六条等相关规定, 均对水库强震动监测设施建设做出明确的要求。碧口水电站坝高超过一百米, 库容大于五亿立方米, 且处于地震带上存在较大风险, 依据法规, 建设专用地震监测台网是电站必须履行的责任与义务。

2023 年甘肃省地震局对碧口水电站进行地震行政检查, 明确要求碧口水电站开展强震动监测设施建设, 并及时将监测数据报送甘肃省地震局。

3 技术方案

3.1 系统构架

碧口水电站强震动监测系统由台站监测技术系统和数据接收与处理系统两大部分构成, 两大系统协同工作, 实现对地震震动信号的全面监测、高效传输与精准处理。

3.1.1 台站监测技术系统

台站技术系统涵盖监测系统、通信系统、室内供电系统、防雷系统、系统配套等五个子系统, 实现对地震震动信号的全面监测、高效传输与精准处理。

(1) 监测系统: 该系统核心设备包括加速度计、24 位 3 通道数据采集器及一体化加速度仪等专业仪器。地动速度通道采样率设定为 100sps, 地动加速度通道本地记录采样率达 200sps, 实时传输采样率为 100sps, 数据传输延时严格控

制在 0.5s 以内,能够快速、准确地捕捉地震震动信号。

(2) 通信系统:所有监测站统一采用无线 4G 方式进行数据传输,数据传输延时小于 150ms,可用率大于 99%,保障了监测数据的实时性与稳定性,确保在地震发生时能够及时将数据传输至数据处理中心。

(3) 室内供电系统:每个监测点均配备由 UPS 不间断电源与蓄电池组成的后备电源。其中,UPS 不间断电源容量不小于 1KVA,配备两节 60AH (12V) 蓄电池组,输出电压为 DC12V,输出功率 120W,为监测设备在突发停电等异常情况下持续运行提供电力保障。

(4) 防雷系统:防雷系统主要由供电系统防雷和信号系统防雷两部分组成。一体化监测系统借助建造观测墩预埋的接地体作为仪器接地装置,室内观测系统则共用观测室已有接地体。同时,在天馈线室内接入端加装信号避雷器,有效防护雷电对监测设备和数据传输的干扰与破坏。

(5) 系统配套:配套系统包含机柜、台站标识标牌、室外仪器防护罩等设施,通过对系统进行标识与防护,增强设备的安全性及辨识度,便于日常管理与维护。

3.1.2 数据接收与处理系统

通过部署汇集节点路由器,将所有强震动监测站信号同步传输至碧口水电站大坝安全监测中心和甘肃省地震局信息中心。该系统由波形交换管理分系统、监控与运维系统、数据处理系统等三个分系统组成。

(1) 波形交换管理分系统:主要负责汇集各监测站的实时波形流,实现连续波形数据与事件波形数据的高效存储、规范归档和便捷点播服务,为后续数据分析与研究提供丰富的数据资源。

(2) 监控与运维分系统:涵盖台站监测系统运行监控、通信网络系统监控两个模块,能够对监测台站的运行状态、监测参数、设备运行情况进行全面监控与审核,实

时监测数据处理和网络通信过程,及时发现并解决系统运行中出现的问題,保障系统稳定高效运行。

(3) 数据处理分系统:在发生较强地震事件后,该系统能够迅速计算出每个监测点的地震动参数与仪器烈度值,生成地震动参数与烈度分布图,并进行深入地谱分析,为地震灾害评估和应急决策提供科学准确的数据支持。

3.2 测点布置

依据碧口水库坝高、坝体结构特点以及现有的形变等其他监测项目观测室分布情况,遵循“共享、精准”原则,在碧口水电站大坝坝体的五个不同高度层位精心布置了总共 6 处强震动监测点。

(1) 自由场 SM01 测点:在坝顶右岸灌浆平洞内设置测点,作为自由场观测点(场地效应台阵)。该位置为完整坚硬基岩结构,日常振动干扰小,且具备良好的供电和通讯布设条件,完全符合在大坝周围 1 公里范围内选择无振动干扰基岩表面布设强震监测点的规范要求,主要用于评估大坝自由场地的强震动情况,为分析大坝在地震中的响应提供基础数据。

(2) 结构反应台阵 SM02 测点:在坝顶左岸交通洞内 10m 处布设测点,此测点用于评估结构体顶部的强震动响应放大效应。该位置能够有效捕捉坝顶部位在地震中的震动变化情况,对于研究坝顶结构的抗震性能具有重要意义。

(3) 结构反应台阵 SM03-SM06 测点:分别在大坝坝后十米 7 号观测房、▽691 高程 5 号观测房、▽670 高程 3 号观测房和▽650 高程坝体中部等关键位置设置监测点,用于评估坝体不同高程部位的强震动响应情况,通过对这些不同高程测点数据的分析,能够全面了解坝体在地震中的震动特性,为分析坝顶区域震动情况提供丰富的数据支持,详见图 1、表 1。

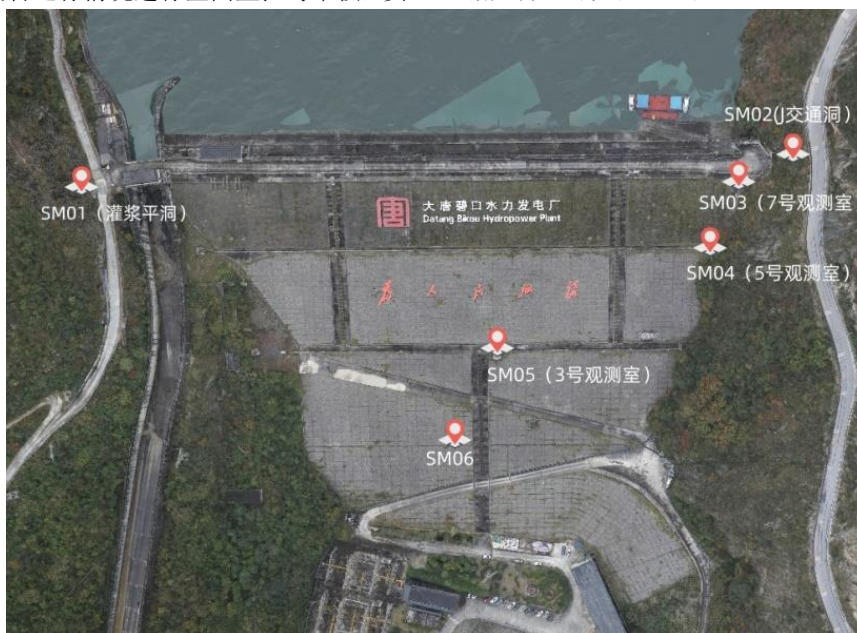


图 1 碧口水电站强震动监测点平面布置示意图

表 1 碧口水电站强震动监测点信息统计表

测点编号	布设位置	测点功能
SM01	坝顶右岸灌浆平洞内	自由场参考
SM02	坝顶左岸交通洞内	坝顶结构反应台阵
SM03-SM06	691m~650m 高程范围内	坝体不同高程结构反应台阵

4 系统实施与运行

4.1 安装调试

在确定各测点具体位置后,严格按照技术规范进行设备安装。首先将加速度传感器底座精准固定在监测点点位上,确保底座平面与监测方向垂直对齐,控制偏差不超过 $\pm 0.5^\circ$,以保证监测数据的准确性。各测点信号线缆采用穿管防护方式,有效减少外界干扰,同时对线缆结构部位进行防水和防尘防护处理,并做好清晰标识,便于后续维护与管理。设备安装完毕后,接入接地系统,确保设备接地电阻小于 4Ω ,提高设备的安全性及稳定性。

设备安装完成后,开展全面的检测调试工作。通过对设备进行通电检测、传感器校准、同步性测试等操作,确保各测点设备硬件运行正常。在确认硬件设备无异常后,对每个测点的路由器网络、服务端和监测参数进行细致配置。系统运行稳定后,对数据采集进行严格验证,检查波形是否完整、零漂是否在标准范围之内,最后检验数据传输至碧口水电站大坝安全监测中心和甘肃省地震局信息中心的延迟和丢包率是否满足规范要求,确保整个监测系统能够稳定、准确地运行。

4.2 典型地震记录

2025 年 1 月 20 日,四川阿坝州红原县发生 4.9 级地震,震源深度 8km,碧口水电站监测地震烈度均为 1.0° ,最大 PGA 为 $0.002g$ 。2025 年 4 月 28 日,四川青川县发生 4.1 级地震,震源深度 14km,碧口水电扎监测地震烈度最大为 1.6° ,最大 PGA 为 $0.04g$ 。系统对这两次地震的监测分析与省地震局附近测点测

值基本一致,充分证明碧口水电站强震动监测系统能够有效捕捉地震动信号,为大坝安全评估和应急响应提供可靠的科学依据。

5 效益分析

碧口水电站强震动监测系统的建成,带来了显著的效益。在应急响应方面,系统实现了对强震信号的高效识别,能够快速对强震动数据进行分析,并及时推送结果。这一成果为大坝震后应急处置提供了及时、准确的科学依据,使得相关部门能够迅速、有针对性地开展防垮坝应急处置措施,最大程度保障下游人民群众的生命和财产安全,有效减少地震灾害对下游造成的经济损失,同时避免引发不必要的社会恐慌,维护社会稳定。

6 结语

碧口水电站强震监测系统的成功实施,显著提升了电站的抗震安全管理水平,对于保障大坝及下游人民群众生命财产安全、提升抗震减灾应急处置能力具有不可替代的重要意义。该系统的建设经验与技术方案,为类似水电站强震监测项目提供了极具价值的参考范例。

展望未来,随着科技的飞速发展,人工智能技术在数据分析领域展现出巨大潜力。后续可将人工智能技术与强震动监测系统深度融合,进一步优化数据分析效率,提升监测精度与可靠性,使强震动监测系统更好地服务于水电站抗震管理工作,为水电站的安全稳定运行提供更坚实的技术保障。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国防震减灾法[Z].2008 年修订版.
 - [2]地震监测管理条例[Z].国务院令 第 409 号,2004 年.
 - [3]水库地震监测管理办法[Z].中国地震局,2011 年.
 - [4]甘肃省防震减灾条例[Z].甘肃省人大常委会,2022 年.
- 作者简介:吕攀(1984.10—),毕业院校:武汉大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂,职务:副主任,职称级别:高级工程师。