

东庄水利枢纽工程地质灾害研究及实施方案

晁靖昀

陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 陕西西安 710011

摘 要: 针对东庄水利枢纽工程蓄水初期及运行中因河(库)水位抬升、波动、地下水位雍高及地下水渗流、岩土体及结构面弱化等产生水库塌岸、滑坡、水库渗漏、诱发地震和产生地下水环境地质等问题,围绕潜在致灾体基本地质条件、诱发因素、致灾环境、发展变化趋势、工程影响等开展系统监测分析研究,得出相应实施方案,从而确保东庄水利枢纽工程在蓄水初期及运行过程中能够有效地预防和应对各种地质灾害,保障工程的安全稳定运行,同时最大限度地减少对周边环境的影响。

关键词: 东庄水利枢纽;地质灾害;工程监测

引言

东庄水利库区两岸广布黄土,区域性老龙山断裂从近坝库段通过,库区地质环境尤其是库碳酸盐岩库段水文地质条件复杂,存在塌岸、滑坡、水库渗漏及诱发水库地震等问题。^[1]东庄水库前期地质勘察工作艰辛而漫长,开展了大量的地质勘察与试验测试工作,明确了工程地质与水文地质环境条件,客观评价了水库区库岸稳定、岩溶渗漏、蓄水可能引起的地下水环境及水库诱发地震等问题,形成了库坝区渗控工程体系,促进了工程的立项与建设。因此,在工程建设、蓄水初期需持续对上述问题进行系统深入研究,实施全面的监测分析,一方面检验前期地质条件,另一方面及时识别潜在地质风险隐患,科学评价地质灾害威胁,使地质灾害带来的损失在最大程度上得到降低或消除。

一、水库区主要工程地质问题

水库区库水位附近岩质岸坡约占库岸线总长70%,岸坡整体稳定性较好,仅局部存在小范围崩塌,对水库及周边环境基本无影响;土质岸坡约占库岸线总长30%,天然条件下稳定性较好,水库蓄水后库水位附近土质岸坡主要存在塌岸、滑坡、岩溶渗漏、地震等问题。

1. 塌岸

水库区较大范围塌岸主要分布在左岸的程家川电站、公刘墓、宋家梁、及右岸的焦家河、前沟、李家河(庄

头河)和三河村附近。其中,公刘墓塌岸影响到陕西省重点保护文物—公刘墓,程家川电站、焦家河、公刘墓、前沟、李家河等塌岸段影响到房屋、农田(或果园)和林地,体积较大,须进行塌岸监测。

2. 滑坡

水库区分布30个滑坡,以土质滑坡体为主,自然状态下稳定性较好。水库蓄水后,17个位于库水位以上,3个淹没于正常蓄水位以下,10个在水库蓄水后在正常高水位时处于涉水状态,具体见表1。处于库水位以上的17个滑坡,不受库水影响,仍保持稳定状态。其中3个滑坡在正常蓄水位以下,距坝址较远,周边无居民点等重要保护对象,对工程及周边环境影响轻微。

3. 岩溶渗漏

东庄水库为峡谷河道型水库,老龙山断裂以上为砂页岩库段,以下为碳酸盐岩库段。其中,砂页岩库段不存在水库渗漏问题;碳酸盐岩库段,发育岩溶河谷型岩溶形迹主要为溶孔和溶隙,未发现连通岩溶管道系统,目前地下水位低,形成一条悬托河,存在蓄水后水库渗水的问题。^[2]

4. 地震

综合考虑地层岩性、发震构造、岩溶发育、岩体渗透性、地下水位等因素,东庄水利枢纽有中小水库诱发地震的可能。预计发生水库诱发地震的最大震级不大于里氏5.2级。

二、水库区地质灾害研究总体实施方案

主要实施方案包括库坝区岩溶地下水动态监测研究、水库地震监测研究和水库区地质环境及地质灾害监测研

作者简介: 晁靖昀(1993—),男,工程师,本科学历,主要从事水利工程施工方面的研究工作。

表1 东庄水库区滑坡特征表

编号	位置	距坝址距离 (km)	前缘高程 (m)	前缘高程 (m)	类型	顺河宽 (m)	横河长 (m)	平均厚 (m)	方量 (万 m ³)	蓄水后涉水情况
H01	断泾西南	93.2	845	925	推移式	242	350	4.7	39.8	库水位以上
H02	断泾西南	93	870	950	推移式	185	483	3.3	29.5	库水位以上
H03	断泾西南	92.8	850	950	推移式	463	415	3.6	69.2	库水位以上
H04	常湾东	91.8	850	935	牵引式	466	120	3.3	18.5	库水位以上
H05	康宁家西	91.3	850	900	推移式	283	106	2.9	8.7	库水位以上
H06	贺家东北	88.6	794	860	推移式	500	200	13	130	涉水
H07	焦家河南	79.4	770	850	推移式	230	180	10	35.5	涉水
H08	老户西北	78.5	775	885	牵引式	153	210	3.2	10.3	涉水
H09	菜园子东	86.1	845	950	推移式	452	956	8.4	363	库水位以上
H10	土陵西北	62.9	825	900	推移式	227	625	3.6	51.1	库水位以上
H11	陵滩西南	61.1	850	900	牵引式	140	125	4.4	7.7	库水位以上
H12	下东邑东	54.6	865	920	牵引式	430	135	2.7	15.7	库水位以上
H13	冯家北	49.2	770	895	推移式	700	500	20	460	涉水
H14	南庄南	39.3	775	850	牵引式	100	210	4.2	8.8	涉水
H15	后沟	35.2	805	900	推移式	238	315	6.8	51	库水位以上
H16	栗家坡西	33	780	865	牵引式	198	195	4	15	涉水
H17	李家河	30.8	675	755	推移式	500	320	7.8	126.2	淹没
H18	庄头河	27.9	750	850	牵引式	351	163	2.3	13.2	涉水
H19	同家河	25.8	800	850	推移式	133	126	4.2	7	库水位以上
H20	后洼	20.1	650	740	牵引式	310	350	5.8	62.9	淹没
H21	李梅庄西	14.7	700	750	牵引式	120	325	3.3	12.9	淹没
H22	李梅庄西	14.5	800	875	牵引式	240	210	5.5	27.7	库水位以上
H23	李梅庄西	14.3	775	850	牵引式	165	260	3.5	15	涉水
H24	西马庄	10.4	875	950	牵引式	126	160	2.6	5.2	库水位以上
H25	咀子上	10.2	865	905	牵引式	60	100	2.3	1.4	库水位以上
H26	咀子沟	10.2	720	820	推移式	200	190	8	27	涉水
H27	通神沟	7.3	830	875	推移式	280	370	4.7	48.7	库水位以上
H28	泊峰林场	5.6	785	825	牵引式	140	160	3	6.5	涉水
H29	建坪沟	4.6	810	890	牵引式	240	450	2.2	23.8	库水位以上
H30	宋家梁	4.6	805	825	牵引式	115	190	2.3	5	库水位以上

究三个方面，三者相辅相承，有机结合。

1. 库坝区岩溶地下水动态监测研究实施方案

针对蓄水后库水位抬升和地下水位雍高、库水波动等产生水库渗漏、诱发地震及地下水环境地质等问题，在库坝区岩溶库段及周边布置地下水动态监测网，实时采集和获取各监测点水位、水温及敏感点水质等基本信息，为水库渗漏分析、地下水环境演变及渗控补强分析

提供基础数据。^[3]

(1) 充分利用已有的前期勘探钻孔和监测数据

东庄水库前期勘察时，在库坝区水文地质单元及周边布置有大量的勘探孔和地下水长期观测孔，这些孔的地层和地下水位信息对于分析水库渗漏非常宝贵。后续库坝区防渗帷幕前后设置众多渗压计，可充分收集这些渗压计的监测数据，与即将布置的监测孔协调同步监测。

（2）在关键部位的布置必要的观测孔

在主要水文地质边界和帷幕线附近，新增观测点，完善地下水监测网，以便分析防渗帷幕的工作效果，同时监测分析宽大溶隙、溶腔的渗漏情况；在老龙山断裂等部位，监测地下水动态变化，分析断裂构造活动与地下水活动相关关系。

（3）利用现代化地下水自动监测设备

传统的地下水监测设备简陋，监测成果的系统性和可靠性较差。考虑地下水动态监测网点多，又较散，现代化地下水动态监测采用自动化程度高、可靠性强的先进仪器设备，实现全过程自动化信息采集、存储、传输及分析处理等流程，提高地下水监测工作效率和分析的准确性。

（4）开发地下水监测预警平台

开发远程地下水监测信息平台，接入整个东庄水利枢纽工程信息化综合平台，各监测点的监测数据实时传输至远程地下水监测预警平台。地下水监测预警平台实现观测井信息、用户及权限、数据采集仪器、数据传输装置、水位及温度等采集数据的管理、查询、检索，生成监测信息数据系列报表及相关监测曲线，并实现监测数据可视化。

2. 水库地震监测研究

（1）突出重点兼顾一般

地震台网监测的重点是可能诱发水库地震的部位，针对东庄水利枢纽工程来说，库首碳酸盐岩库段属水库诱发地震可能性较大的库段，近坝区域性老龙山断裂和山前活动断裂是水库影响区内重要区域和可能诱发地震的断裂构造，上述库段和断裂构造构成了东庄水库诱发地震监测的重点区，以外的水库影响区为一般监测区。重点监测区和一般监测区，监测精度不同，其监控能力分别满足相应监测精度的要求。^[4]

（2）测震、地壳形变与地下水渗流综合监测

测震以监测地震活动和地震效应为主，地壳形变和地下水渗流监测是水库地震的重要手段，也是监测发震条件的基础性内容，用以监测水库影响区表层或深部物理化学特征和化学场演变。针对东庄水利枢纽工程，属地震监测甲级工作，增加地壳形变和地下水渗流监测内容，有助于进一步分析监测到的地震活动与水库蓄水的相关关系。

（3）微震与强震观测相结合

微震观测通过详细采集库区微震信息，为预报水库

地震提供依据。强震监测目的是记录场地的地震动和构造物的加速度反应，确定地震在库区不同区域的地震动参数，从而评价地震在不同区域的地震动反应情况和地震破坏程度。

（4）数据自动传输

水库影响区及周边基本实现了4G或5G移动网络覆盖，宜采用目前比较普及的4G无线网络作为数据传输的方式，考虑通信技术发展，预留或兼顾后续5G通信网络的兼容与升级。

3. 水库区地质环境及地质灾害监测预警研究

（1）水库区地质环境监测与灾害识别

第一，利用无人飞行器的正射和倾斜照相技术。定期对水库区进行航测，构建三维实景地质模型，积累基础影像数据资料；第二，采用高清航空遥感技术，收集遥感影像或对整个水库区开展高分辨率航测，获取航空遥感影像图；第三，实现人机交互可视化，展现水库环境特征，监视人类活动和灾害演变；第四，基于影像识别、微形变感知等地质灾害体识别技术，有效识别水库区塌岸、滑坡、崩塌、泥石流等潜在地质灾害隐患，确定灾害体的类型、分布特征、发育现状等。

（2）水库区地质灾害监测研究

第一，进行水库区塌岸预测，选择重点塌岸段进行监测，监控库岸再造进程，评价库岸稳定状况；第二，选择重点滑坡和崩塌体开展自动化监测；第三，重点地质灾害体安全监测与预警；第四，开发地质灾害体实时监控系统，实现地质灾害远程智能视景交互动态监控及预警。

三、地质灾害在线监测平台

1. 地质灾害监测预警平台

在数字地灾模式下，建立东庄水库区地质灾害监测预警平台。平台实现监测信息管理系统实现数据汇总、数据处理与分析，主机安装在具有网络系统的场所内，通过互联网对采集器传送来的数据进行分析、处理，对远端各种测量数据进行实时监测和记录，进行成果的输出。平台涵盖库周地质灾害孕育地质背景信息、地质灾害识别、智能分析评价、安全预警及综合防治等内容，将地质灾害相关信息全方位、多层次展现在监管人员与技术人员面前。

2. 实施库区环境地质监测及预警预报

对库区重要的滑坡塌滑、塌岸段布设监测设备进行实时监测，预警预报可能产生的地质灾害。根据监测的稳定状况和所处等级及时推送预警信息。如图1所示：

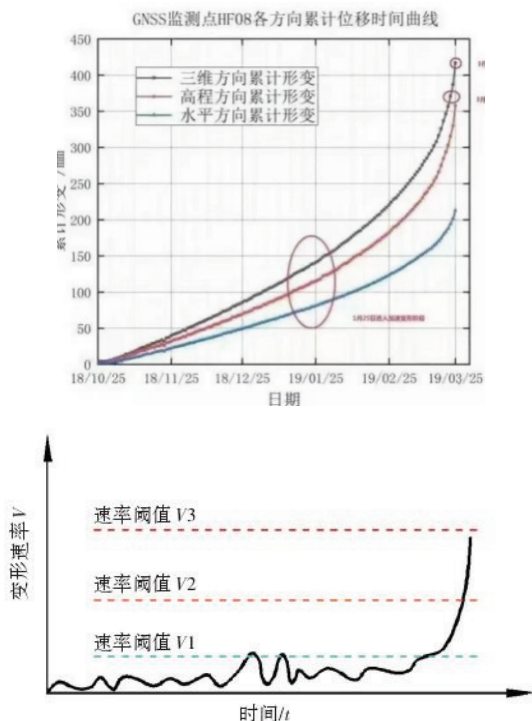


图1 东庄水库区地质灾害监测数据及预报

结论

东庄水利枢纽库周水库塌岸、滑坡和崩塌等地质灾

害预计从2025年水库蓄水开始影响加剧，灾害影响凸显。考虑到水库回水长，库区面积广，黄土岸坡占比高，水库区地质环境脆弱，崩塌、滑坡等地质环境变化多端，当前人类工程活动旺盛，对地质生态环境造成较大影响和损害，需尽早对库区地质环境进行宏观监测，系统掌握水库区蓄水前后地质环境演变过程，积累丰富的实景、遥感有情基础影像资料。一方面为智慧水利、数字孪生东庄积累影像资料和基础数据，另一方面早期识别潜在地质灾害，监测其发展变化过程，评价其工程影响，为蓄水期重点灾害监测预警提供依据。

参考文献

- [1] 李鹏峰. 东庄水库水环境数值模拟及水质评价研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- [2] 覃绍媛. 黑滩河水库多层复杂岩溶水系统及水库防渗研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
- [3] 张圃轩. 陕西关中平原地下水变化特征与监测考核研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [4] 郭伟, 赵翠萍. 金沙江下游白鹤滩水库蓄水后地震活动特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2022, 43(S1): 223-225.