

四川冕宁大桥水库区水文地质与 工程地质条件研究

王云基

(四川省地震局, 四川 成都 610041)

摘要: 分析了四川冕宁大桥水库坝区和库区的水文地质和工程地质条件. 由于库区内断裂比较发育, 因此, 水库蓄水后, 库水将会下渗, 易于发生诱发地震. 由于大坝和库区位于安宁河断裂中段, 因此应注意该段发生诱发地震的可能性. 库坝区边坡较稳定, 但是近库坝区局部边坡有失稳的可能性, 虽然不致于影响水库的正常运行, 但是也应引起重视.

主题词: 四川; 水文地质; 工程地质; 诱震条件; 大桥水库

中图分类号: P343. 3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000—0844(2000)03—0267—06

0 前言

四川冕宁大桥水库位于安宁河地震带上, 是国内唯一处于强震多发地区和地震高烈度区的大 II 型水库. 它的修建是国内众多学者和专家关注和争论的问题. 1999 年冕宁大桥水库已下闸蓄水, 但至今仍引起很多专家的关注. 本文拟通过对冕宁大桥水库坝区的水文地质与工程地质条件的分析研究, 提出大桥水库蓄水后诱发地震的可能性, 为对该水库诱发地震的监测和研究提供参考.

1 区域水文地质概况

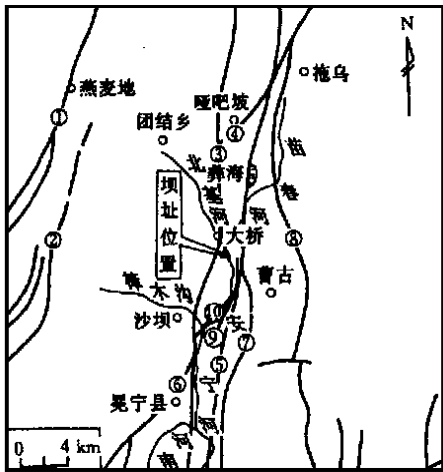
冕宁大桥水库位于安宁河上游的冕宁县大桥乡, 坝址距北荃河与苗春河汇合处 1 200 m (东经 $102^{\circ}11'30''$, 北纬 $28^{\circ}41'30''$).

整个库坝区位于大桥盆地内. 库区内有北荃河、苗春河和安宁河 3 条河流. 库区地下水较丰富, 大桥盆地边缘还发育有暗河及泉水. 水质以低矿化度重碳酸盐水(重碳酸钙镁型)为主, 多处还有热水出露. 库区内断裂发育, 多显示压性和压扭性, 见图 1. 大规模的断裂带含水良好, 断裂一侧或二侧充水.

库区地貌严格受川滇 NS 向构造带控制, 山川水系与构造线方向近乎一致, 多呈 NS 向展布^[1]. 大桥山间盆地属侵蚀堆积地形, 底部比较平坦, 长约 20 km, 宽约 5 km, 堆积物厚度为 80 m. 盆地高程为 1 900~2 500 m, 四周高程为 2 500~4 000 m. 盆地内发育二级阶地. 一级阶地保存比较完好, 具二元结构, 阶地面宽 200~500 m. 二级阶地分为冰碛冰水堆积及洪积 2 类,

收稿日期: 2000-01-04

作者简介: 王云基(1944—), 男(汉族), 四川冕宁人, 高级工程师, 主要从事科技管理、地震监测预报、地震地下流体、水文地质研究.



① 锦屏山断裂; ② 金河断裂;
③ 安宁河西支断裂; ④ 野鸡洞断裂;
⑤ 安宁河东支断裂; ⑥ 南河断裂;
⑦ 沙地口断裂; ⑧ 拖乌-姑塘沟断裂;
⑨ 比子依达断裂; ⑩ 盐津沟断裂

图 1 大桥水库坝区及外围地质构造
Fig. 1 Geologic structure in dam area of Daqiao reservoir and its surroundings.

呈零星分布, 阶地面倾向主干河流, 坡度 $3^{\circ} \sim 7^{\circ}$, 保存完好.

水库坝区的岩性可分为 6 大类^①, 即侵入岩与玄武岩、喷出岩、粉砂岩和砂岩、砂卵石砾石以及含砾砂质粘土. 侵入岩、玄武岩、砂岩和砂卵石砾石层渗水性好, 喷出岩、粉砂岩和含砾砂质粘土岩渗水较差.

库坝区及其周围分布有晋宁、海西、印支和燕山期侵入岩, 岩体节理裂隙发育, 且有区域性大断裂通过.

大桥水库区主要有 2 类地下水, 即松散层中的孔隙潜水和基岩裂隙水. 松散层中的孔隙潜水主要埋藏于第四纪冲积、坡洪积、崩坡积及冰水与冰碛等松散堆积层孔隙中, 受大气降水补给. 基岩裂隙水分布在河床基岩风化裂隙及构造裂隙中, 含水量及渗水性随裂隙发育情况而变化. 根据库坝段钻孔资料, 库区地下水位低于正常水位 31~56 m. 同时, 在大桥头可见发育于断裂下盘的泉点, 说明坝区可能存在有与深部地下水联系的通道.

大桥盆地覆盖层为全新统(Q_4)砂砾卵石层, 其地下水属于松散岩层中的孔隙水. 含水层及覆盖层厚度受地貌控制, 如在河漫滩、一级阶地及现代洪积扇堆积区它们的厚度较大.

2 地下水渗透、径流与排泄特征

在库区范围内水的渗透情况实际上受构造和岩石的结构控制, 但以构造控制作用最为明显. 库区的水主要沿着断裂破碎带、断裂二侧和断裂交汇处裂隙甚为发育的部位渗透. 断裂对深部热水的控制也十分突出, 表明断裂是水渗透的最主要的通道.

库坝区地下水除大桥山间盆地及裂隙孔隙补给水外, 一般以降雨补给为主. 库区内泉、暗河流量变化决定于降雨量大小和降雨持续时间长短. 表 1 给出了不同类型岩性的降雨渗入系数^②.

表 1 不同岩性的降雨渗入系数 a 值

计算区	松散岩类	碎屑岩裂隙	碳酸岩裂隙溶洞水区		基岩裂隙水区	
	孔隙水区	孔隙水区	岩溶强烈发育	岩溶弱发育	水量丰富	水量中等
a 值	0.15	0.12	0.30	0.18	0.15	0.10

碳酸岩区基岩裸露, 洼地、漏斗、落水洞相对较发育, 是岩溶水的主要补给区. 坡度较陡的谷坡地区降雨渗入补给条件较差. 谷底地区的岩溶水与地表水存在互补关系, 地表水直接渗入补给或通过落水洞、溶洞等直接灌入补给. 在盆地和宽阔谷地还得到上覆孔隙水的补给, 或与其呈互补关系.

库坝区属于中等降雨补给区, 多年平均降雨量为 830.3~1 093.6 mm, 枯水季节月平均降雨量为 5~20 cm, 降雨天数较多, 平均降雨可达 290 余天.

水库地区地下迳流短, 最长的暗河也不超过 8 km. 基岩地区地下迳流分布一般仅限于谷

① 四川省地震局. 四川省冕宁大桥水库工程区地震基本烈度复核及地震危险性分析报告. 1990.

坡处, 呈狭窄条状分布, 与补给区及排泄区之间无明显界线. 松散岩类地区的孔隙水平行河流或斜向河流自上游向下游运移, 地下迳流长度为 1~2.5 km. 绝大多数岩溶泉无较明显的迳流通道, 岩溶水的迳流方向受岩性、岩性组合、构造和地貌等因素制约.

松散岩类孔隙水(库坝区)无明显溢出带或排泄地带, 地下水大部以面状渗流形式向河谷或溪沟排出. 在大桥盆地边缘发育有暗河和泉水. 松散岩类中的泉水流量一般较稳定(山洪补给的泉除外), 库坝区则不很稳定, 不稳定系数为 0.357~0.58.

3 库坝区工程稳定性评价

库坝区的岩石分类及分布情况见表 2. 以碎石粘土为主的松散-半胶结岩类分布于山间盆地边缘, 由第四系洪积层、冰水、冰碛层及第四系昔格达组(Q_{1x})地层组成. 岩性为碎石、砾卵石混杂粘土、泥砾及粉砂岩、砂质粘土岩及砂砾岩等. 洪积、冰水堆积和冰碛层厚度一般为 10~20 m, 最厚达 150 m. 昔格达组厚度为 30~200 m, 其结构松散, 呈半胶结状态, 强度较低. 该类岩石含水量为 14.6~2.76%, 湿密度为 2.03~2.10, 孔隙率为 26.6%. 昔格达组砂岩及砂质粘土岩抗压强度为 4.44~21.0 kg/cm²(表 3)^[2].

表 2 库坝区及其周围岩石类型及分布

工程地质岩类及岩组		地层代号	分布地区	主要岩性	地貌单元
松散岩类	砂砾卵石为主的松散岩组	Q_h^a	荣经、雅安、九襄、汉源	粘质砂土、砾石、卵石等	侵蚀堆积地形
	碎石粘土为主的松散-半胶结岩组	Q_p^d, Q_{1x}	大桥、新民、泸定等山间盆地	碎石、砾卵石、混杂粘土、泥砾及粉砂岩、砂质粘土岩、砂砾岩等	
半坚硬	泥岩、页岩、砂岩互层的半坚硬岩组	$K_{1-2}, J_{1-3}, T_{3hg}, T_{3sj}, T_{1q}, T_{1f}, P_{2x}$	测区东部	泥岩、页岩、粉砂岩、砂岩、砂砾岩夹泥灰岩、局部夹石膏等	侵蚀构造地形
坚硬岩类	板岩夹变质砂岩半坚硬-坚硬岩组	$Z_{hg}, Z_{1f}, P_{2d}, Z_{1g}, Z_{1f}, C_{1-3}, S_1, Q_1$ 及部分 P_{1-2}	主要分布在测区西部, 测区东部分布面积很小	板岩、砂岩、石灰岩、干枚岩夹大理岩、玄武岩等	侵蚀地形、剥蚀构造地形及冰蚀地形
坚硬岩类	岩浆岩坚硬岩组	侵入岩及 P_{2f}, Z_{ak}, Z_{as}	测区中部为主, 其余零星分布	花岗岩、石英闪长岩、辉长岩、流纹岩、安山岩、玄武岩等	侵蚀地形及冰蚀地形
	碳酸岩及碳酸岩夹碎屑岩坚硬岩组	$T_{2ls}, T_{2y}, T_{2f}, T_{1f}, P_{1m+q+1}, C_{1-3}, Z_{hd}$ 西部地区部分 P_1	测区东部及东南部	石灰岩、白云岩及大理岩夹砂页岩	溶蚀构造地形

表 3 冕宁大桥电站附近松散岩类物理性质试验结果

地层代号	土的分类	含水量 ω (%)	密度		孔隙率 n (%)	颗粒级配(%)				不均匀系数 η
			湿 γ	干 γ_d		漂砾 800~200 /mm	卵石 200~20 /mm	砾石 20~2 /mm	粉砂 2~0.05 /mm	
Q_p^d	含砾粗中砂混杂粘土	—	—	—	26.6	—	—	19	81	50.0
Q_{1x}	半胶结砂质粘土岩	21.5	2.03	—	—	抗压强度: 4.441~21.0 kg/cm ²				—
Q_{1x}	半胶结砂岩	6	2.10	—	—					—

库坝区内闪长岩、辉绿岩及花岗岩的抗压强度为 $1\,368\sim3\,394\text{ kg/cm}^2$ ，属坚硬岩石^[2]。但花岗岩风化强烈，其分布区内断裂及裂隙发育，岩石破碎，因此力学强度较低。

根据区域地震地质、地震活动特点，结合西南地区地壳稳定总貌，将该地区划分为稳定区（Ⅰ）、基本稳定区（Ⅱ）、次稳定区（Ⅲ）和不稳定区（Ⅳ）4 类。库坝区及其周围仅存在基本稳定区、次稳定区和不稳定区。大桥水库库坝区处于石棉—冕宁区，属次稳定区，见图 2。

库坝区裂隙发育，裂隙率平均为 $1.9\sim3.49\%$ ，最大为 12.7% ；裂隙频率平均为 $4.05\sim6.69\text{ 条/m}$ ，最高为 12 条/m 。区内历史上发生的多次大地震均伴随有山崩地裂，危害甚大，为本区的主要工程地质问题。调查了 21 处不良的工程地质现象，其中包括滑坡 8 处、崩塌 7 处和泥石流 6 次，这些现象的发生与岩性关系十分密切。滑坡主要发生在强烈风化的侵入岩和侏罗系红层区；崩塌主要发生于比较坚硬、裂隙发育的碎屑岩及碳酸岩区；泥石流主要发生于侵入岩区^①。此外还有紫马垮、野鸡洞和马尔堡子 3 处地震破裂带，发育有断崖、断塞塘等，断错水系达 $10\sim30\text{ m}$ ，平均水平滑动速率为 $1\sim3\text{ mm/a}$ 。

库区断裂构造比较发育，主要有近 NS 向的安宁河东、西支断裂、拖乌—姑驷沟断裂，NE 向的比子依达断裂、盐井沟断裂和野鸡洞断裂。此外还有一些出露于坝区，横切苗春河、付坝沟和安宁河的 NW 向断裂^①。

大桥地区岩石遭受破坏的程度比一般地区高，风化厚度大，残坡积地层发育，且一般比较疏松，导水性好，加之河谷深切，纵坡降大，岩土体稳定性差，每到雨季大量降雨渗入土体，常发生泥石流。据不完全统计，仅在 622 km^2 范围内就发生泥石流 3 处，崩塌一处，占全区泥石流总数的 30% 。

总之，库坝区主要工程地质问题为地震、滑坡、崩塌、泥石流和岩溶渗漏等，对工程建筑的危害甚大。

由于库坝区地形坡度多在 $40\sim50^\circ$ ，且有规模较大的安宁河断裂带通过，断裂二侧岩石破碎，冲沟发育，在地下水或强降雨等因素作用下，岩石饱水，抗剪强度降低，岩体失稳，易于产生滑坡。此外，分布于盆地边缘的昔格达组砂泥岩互层，呈半胶结状态。砂岩蓬松，泥岩软弱，遇水则软化，其抗压强度有所减弱。泥岩中水云母、蒙托石含量高，层理发育，内摩擦角仅 $3\sim6^\circ$ ，加之受挤压变形较强烈，故易于产生浅层滑坡。前一种滑坡主要分布在沈登旧巴—彭家店子，马尔堡子—深水沟等处，即沿野鸡洞断裂、沙他口断裂、安宁河东支断裂和比子依达断裂二侧发育，规模不大，一般为浅层圆弧形滑坡，滑体一般为 $(5\times100)\text{ m}^3\sim(300\times500)\text{ m}^3$ 。后一种类型的滑坡主要分布在阿伍拉吉和马尔堡子等处，规模亦较小。崩塌作用主要发育于坚硬岩石组成的陡崖及深切沟谷地段。这些地段由于地形较陡，坡度较大，坡体岩石受构造挤压或裂隙切割，完整

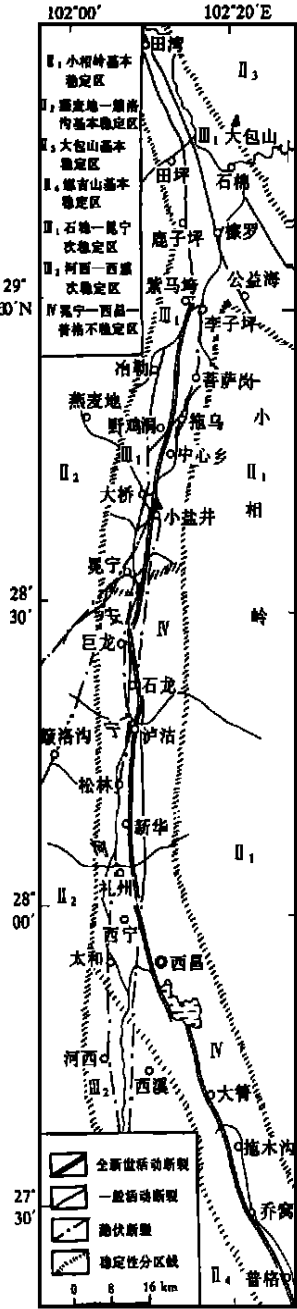


图 2 库坝区及外围地壳稳定性分析
Fig. 2 The divided areas for crustal stability of Daqiao reservoir and its surroundings.

性差,加之浅部为风化营力活跃带,因此岩石长期在自重及坡体裂隙中的孔隙水作用下,容易产生松弛,最终导致崩塌。库坝区大桥-安宁河段及付坝沟沟尾等处崩塌现象较为普遍,其它地段仅见有零星崩塌体。

从边坡稳定性方面看,无大的库岸再造问题,但近坝区库岸局部地段斜坡不稳定,水库蓄水后失稳的可能性是存在的,虽然规模小,但亦应引起重视。

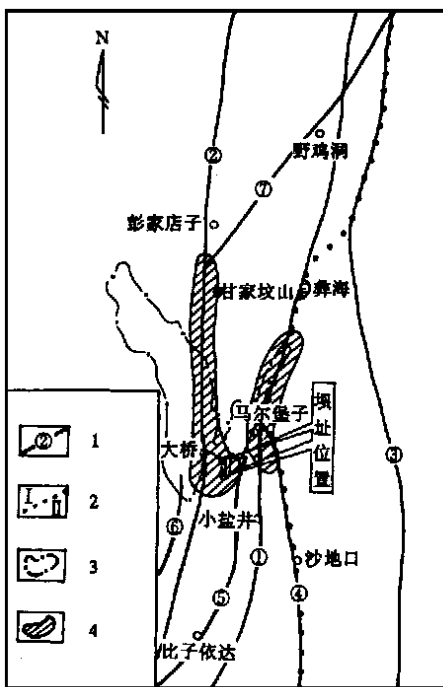
水库蓄水后,库中心底部岩体的沉降量为库边岩体沉降量的 5~7 倍,可能出现张应力,使库心和库岸产生差异运动,平行于岸边的节理或断裂面有可能重新被拉开,形成库水向下渗透的通道。

安宁河西支断裂被库水淹没段最长,而且其断层破碎带宽大,断面陡立,且倾向库区,极有利于库水的下渗;安宁河东支断裂新活动强烈,局部地段也将被库水淹没,其断层破碎带也很宽大,断面陡立,同样有利于库水的下渗,因而是库区发生诱发地震的2条重要断裂。其他断层均属岩体内部断层,规模较小,且未切割上覆的新地层,若发生诱发地震,其震级应小于安宁河东、西支断裂上的诱发地震的震级。

综上所述,在库区安宁河东支断裂和西支断裂与库水直接接触段及其邻区和坝址至大桥段具有发生诱发地震的构造条件、岩性条件和水文地质条件,见图 3。

4 结语

总之,大桥水库是唯一处于强震多发地区的大 II 型水库。大坝和库区位于稳定性相对较差的安宁河断裂中段,该段不仅具备发生中强以上破坏性地震的可能性,而且蓄水后东支断裂的局部将被库水淹没,具备发生诱发地震的条件。因此在水库蓄水后,应加强水库诱发地震的监测。



1 断裂及编号; 2 岩性分区分界线
(I 区主要为火成岩, II 区主要为沉积岩);
3 水库设计正常高水位围线;
4 可能产生水库诱发地震的危险地段
① 安宁河东支断裂; ② 安宁河西支断裂;
③ 拖乌 姑嬢沟断裂; ④ 沙他口断裂;
⑤ 比子依达断裂; ⑥ 北山关断裂;
⑦ 野鸡洞断裂

图3 大桥水库诱发地震可能
地段示意图

Fig. 3 A sketch map showing possible location for induced earthquake of Daqiao reservoir area.

参考文献

- [1] 中国人民解放军建字 730 部队. 中华人民共和国区域水文地质普查报告(冕宁幅)[Z]. 1978.
- [2] 中国人民解放军 00939 部队. 中华人民共和国区域水文地质普查报告(石棉、贡嘎幅)[Z]. 1980.
- [3] 四川省地质局. 中华人民共和国地质测量报告(冕宁幅、石棉幅)[Z]. 1967. 1974.
- [4] 唐荣昌, 韩渭宾. 四川活动断裂与地震[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [5] 国家地震局科技监测司. 水文地球化学地震前兆观测与预报[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [6] 黄培华, 金凤英, 丁宝田, 韩健. 地震地质学基础[M]. 北京: 地震出版社, 1982.
- [7] 王前信, 王孝信. 工程结构地震力理论[M]. 北京: 地震出版社, 1979.

A STUDY ON HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY SETTINGS OF THE AREA OF DAQIAO RESERVOIR, MIANNING, SICHUAN PROVINCE

WANG Yun-ji

(*Seismological Bureau of Sichuan Province, Chengdu 610041, China*)

Abstract: The hydrogeology and engineering geology settings of the area of Daqiao reservoir and its dam, Mianning, Sichuan province are analyzed. It is believed that after the store water, water of the reservoir may penetrate down due to a lot of faults in the areas, therefore, there is a very fair possibility of induced earthquake. The possible area for induced events is at the middle portion of the Anninghe fault. The hill-slopes around the reservoir are relatively stable, but the possible unstable situation of a few localities of hill-slopes near the reservoir exits, which have to be attached importance to although do not affect the function of the reservoir.

Key words: Sichuan; Hydrogeology; Engineering geology; Inducing earthquake condition; Daqiao reservoir

(上接 260 页)

AN ANALYSIS ON REFLECTING EARTHQUAKE ABILITY OF ZHUANGGU-25 WELL IN SHENGLI OIL FIELD

YANG Zhan-bao, ZHOU Bin, ZHANG Ying-kai, WU Chun-hua

(*Seismic Station, Shengli Petroleum Administrative Bureau, Dongying 257027, China*)

Abstract: Basic conditions of Zhuanggu-25 well in Shengli oil field are introduced. Change characteristics of oil output before earthquakes and reflecting earthquake ability of the well are analysed. The results show that oil output of the well suddenly rose with gush sometimes before earthquakes. The larger the magnitude, the larger the anomalous amplitude and the longer the lasting time of the anomalies. Various degrees of anomalous changes of oil output of the well appear before most $M_1 \geq 4$ and $M_1 \geq 5$ earthquakes in a range of 200 km and 500 km distant from the well respectively. Mechanism of reflecting earthquake of Zhuanggu-25 well is discussed in last.

Key words: Shandong; Reflecting earthquake ability; Earthquake precursor; Shengli oil field; Dynamic of oil well; Zhuanggu-25 well