

文章编号: 1006-6616 (2008) 02-0135-06

喀什河水电站工程区构造稳定性研究

王成虎¹, 张彦山¹, 熊玉珍¹, 孔德虎²

(1. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085; 2. 中油长城钻探集团公司, 北京 100101)

摘要: 本文对某大型水电枢纽工程场址的构造稳定性条件进行了研究, 详细分析了区域地质构造背景、断层活动性、构造应力场特征以及地震活动性等问题。分析可知候选水电站坝址处于地壳构造活跃区内的一个相对稳定的地块, 断层活动性较弱, 区域构造地质作用相对较弱, 完全可以通过工程措施予以控制, 适宜于开展水利枢纽工程的建设。

关键词: 喀什河断裂; 水电枢纽工程; 构造稳定性; 断层活动性

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

0 引言

该水电站位于天山山脉内的伊犁喀什河吉林台峡谷段的中部, 距尼勒克县城(东)约 32km, 为全河梯级开发规划中的第 10 个梯级电站。它是天山山脉中一个良好的水利工程场址, 要解决区内缺水和能源问题, 修建该电站势在必行。但是它所处的区域现代地壳构造运动仍十分活跃, 因此对工程场址的稳定性问题必须做出确切的评价。文章通过分析该地区的区域地质构造背景、断层活动性、历史地震活动特征, 以及工程区构造应力场特征等问题, 确认吉林台断块为一较好的“安全岛”, 适宜于该水电站的建设。

1 地形地貌

候选库坝址位于喀什河盆地内, 喀什河盆地东西长 160km、宽 15~25km, 北为博罗霍洛山, 海拔 4000m, 南为阿吾拉勒山, 海拔 2500m 以上, 东有依连哈比尔尕山, 海拔 5000m 以上, 西为伊犁盆地, 海拔 650m。喀什河自东向西纵贯喀什河盆地, 沿喀什河有多处峡谷地形, 候选坝址所在的吉林台峡谷, 为其中具有良好水利地质条件的峡谷之一。吉林台峡谷, 长 12km, 河谷狭窄, 呈“V”型, 吉林台峡谷上游为河漫滩型河谷, 河谷宽阔, 有良好的水库地形, 峡谷下游进入阶地发育, 河谷宽阔的盆地中心, 地形地貌条件适宜于水利枢纽建设。

收稿日期: 2006-10-31

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项项目, No ZDJ2007-5; 国家自然科学基金青年基金项目, No. 40704018.

作者简介: 王成虎, 博士, 1978 年 3 月生, 陕西省定边县人, 主要从事工程地质稳定性评价, 计算机技术在工程地质中的应用及地应力等方面的研究。

2 区域地质背景

本区出露的地层岩性主要有：石炭系阿吾拉勒第二亚组中酸性熔岩及火山碎屑岩，岩性为凝灰岩、凝灰角砾岩、凝灰砂岩；侏罗系喀什河组湖沼相含煤地层，岩性为砂岩、砾岩夹炭质页岩和煤层；志留系上统，岩性为凝灰质钙质粉砂岩、石英砂岩、泥岩；志留系中统，岩性为片理化泥质粉砂岩、硅钙质粉砂泥岩夹砂岩；新近系上新统内陆湖相碎屑岩，岩性为砂岩、砾岩、泥岩；超浅层侵入的安山岩、安山玢岩和第四系全新统冲洪积砂砾石、坡积碎石土、风积黄土等。库坝区在地质构造部位上处于天山纬向构造带西部的喀什河凹陷中部，其南北由一系列东西向褶皱断裂构成，在水电站以东 50km，北西向构造发育，以博罗霍洛超岩石圈断裂为主体，规模很大，它与东西向构造带斜接；候选坝区西 30km 见有北北东向构造带，以尼勒克河断裂为主体，规模相对较小，与东西向构造截接。

3 构造活动性分析

3.1 区域地质构造的演化

候选坝址区所在地是天山山脉中现代的断块隆起区，它经历了多期次地壳构造运动和长期的地质演化历史。其中晚古生代末期的海西构造运动最为激烈^[1-2]，它使天山地槽迥返，并伴随着大量的岩浆活动和区域变质作用，到喜马拉雅运动阶段，由于印度板块向北强烈地推挤，古老断裂构造复活，并以断块的隆起和下陷表现出来，形成一些断块山地（如吉林台断块）和断陷盆地（如喀什河凹陷和巩乃斯凹陷）等。从本区的区域地球物理场看，其布格应力异常等值线基本上呈近东西向展布，与区域地质构造方向有较好的吻合，特别是其梯级带正好就是区内区域性断裂带的所在地。

根据基底构造、区域地质构造的展布（如图 1）和运动方式等，不难看出，本区在漫长的地质历史时期，特别是新生代以来，在印度板块向北的强烈推挤和欧亚板块的共同作用下，其主要构造线方向为近东西向，断裂带将本区的地壳切割成大小不一的一些块体，在地壳应力的持续作用下，表现出以断块为单位的强烈差异升降，形成现今的断块山地和断陷盆地。同时出现 NW、NNE 向两组共轭（X）型断裂。NW 向构造带规模巨大斜穿整个纬向构造带，把 EW 向断裂错断或改造，其生成时间晚于纬向构造，它们不属于纬向构造体系。

3.2 区域稳定性

候选库坝区处于北天山东西向构造带西部喀什河断陷盆地中部的吉林台断块上，东西向断裂以工程区北边的寨口阔拉断裂（喀什河凹陷盆地北界）为主干，其南侧有 F1、F2 等次一级断层。北西向和北东向断裂规模较小，它们横切了东西向断裂，受上述三组断裂的控制，本区主要表现为断块结构，在平面上呈现出东西成条、条中分块的构造格局（见图 1），位于吉林台峡谷中的坝址区地形地貌特征，表现尤为明显。

候选库坝区处于东西向构造体系内的吉林台断块内，由上述各构造体系的分布范围及复合关系看，库坝区距新构造活动较强的三个构造体系复合部位较远，库坝区一系列的 EW 向断裂构造主要受纬向构造的应力场控制，基本可排除 NW、NNE 向构造应力场的作用和干扰。据震源机制解主应力方向^[3]，纬向与 NW 向复合处主压应力为 NE—SW 向，在 NNE 构造带处主压应力为 NW—SE 向，纬向构造带内为 SN 向，因此考虑吉林台断块的稳定性，主

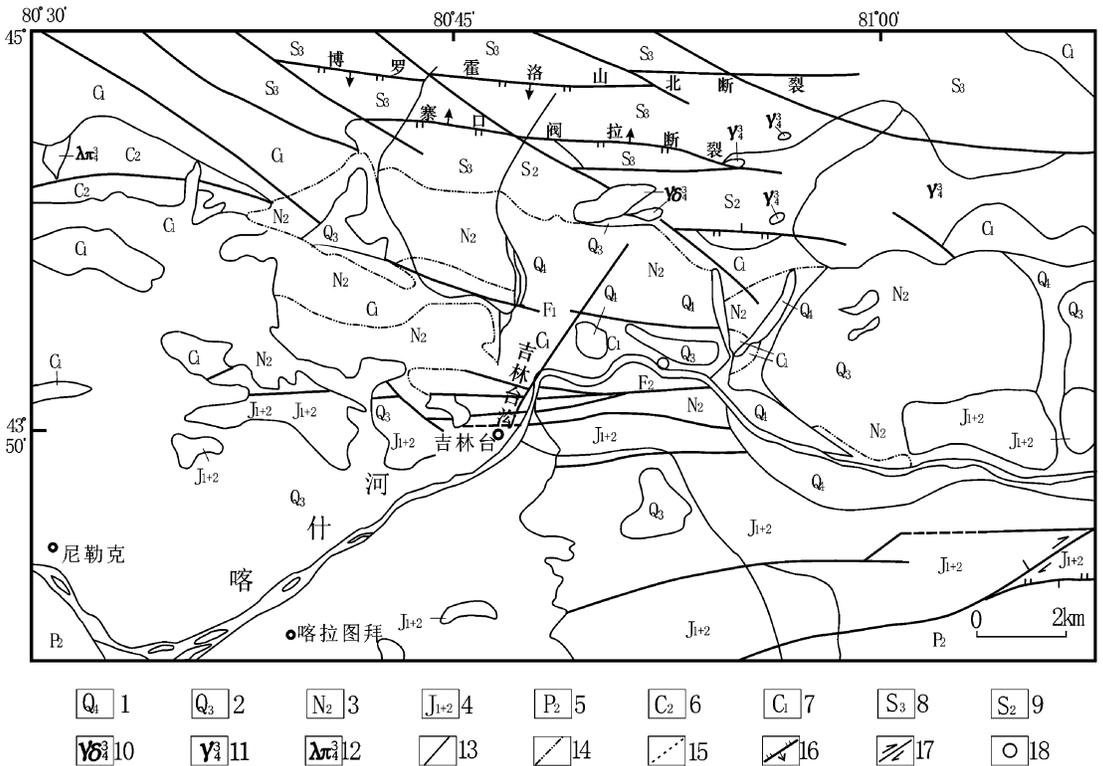


图 1 候选坝址地区区域地质简图 (据文献 [1], 略有修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the candidate dam site (modified from reference [1])

- 1. 全新统; 2 上更新统; 3 上新统; 砂岩与砾岩互层; 4. 侏罗系中下统; 粉砂岩、泥岩、砾岩夹煤线; 5. 二叠系上统小山萨依组; 砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩; 6. 石炭系中统; 粗砂岩、砂砾岩、砂质页岩、凝灰岩夹石膏; 7. 石炭系下统; 中酸性火山碎屑岩、灰岩、砂岩、凝灰质熔岩、安山玢岩等; 8 志留系上统; 凝灰质钙质粉砂岩、石英砂岩、泥岩; 9 志留系中统; 片理化泥质粉砂岩、硅钙质粉砂泥岩夹砂岩; 10. 花岗岩闪长岩; 11. 石英斑岩; 12. 石英斑岩; 13. 地质界线; 14 不整合界线; 15. 实测、推测断层; 16. 实测、推测逆掩断层; 17. 实测、推测平移断层; 18 候选坝址点

要应考虑 SN 向主压应力对其作用, 在 F1、F2 南北两侧都有近期活动的、划分地质地貌单元的深大断裂带, 由于它们活动必然降低了中间规模较小断裂的应力强度, 而不易使 F1、F2 强烈活动。

从压性断裂的叠加最优滑动角考虑, 一般在历史地震活动区沿断面的最优滑动角 40° 左右, 或取近期已经活动较频繁的断层的倾向与主压应力的夹角为最优滑动角 $50^\circ \sim 57^\circ$ ^[3]。由此可见, 在 SN 向近水平主压力作用下^[3], 一系列近平行的 EW 向断裂接近最优滑动角的断层最易活动, F1、F2 产状分别为 $280^\circ \sim 285^\circ \angle 80^\circ \sim 90^\circ$ 、 $265^\circ \sim 275^\circ \angle 84^\circ$, 不易沿断面滑动。

被 F1、F2 所围限的吉林台断块, 中生代早期就已形成^[1,3], 其南面东边在上二叠世—中下侏罗世下降接受沉积地层厚 1300m, 在断块北面沉积了 N₂ 地层厚约 300m, 其间有一次较强的上升活动, 到中更新世以后就逐渐趋于稳定^[4-6], 在峡谷进口和 F2 通过峡谷出口处, 同级阶地 Q₂、Q₃ 分布高程无明显突变, 断块的活动幅度与区域上升幅度一致, F1、F2 通过的 Q₃ 地层未见被错断, 它们所围限的断块内 NE、NW 和 SN 向断层未发现有最新活动迹象, 说明断块目前趋于稳定状态。从断层活动年代测试^[7] 结果看, F1 断层泥 TL 年龄 19.6 ± 1.55

万年^[1]，电子自旋共振年龄为 15.39 ± 4.62 万年^[1]。F2 断层在吉林台峡谷进口及出口附近，两次通过喀什河，据探槽揭露，覆盖在断层上的 II 级阶地砾石层未受影响，阶地砾石层取¹⁴C 样，经测年为 3.2 万年^①，为 Q₃ 晚期堆积物。在 F2 断层带所取没有变形影响的石膏样品，采用电子自旋共振法测年为 3.72 ± 1.12 万年^{*}，可以肯定 F2 断层 3.7 万年以来没有活动过。从 F1 的测年可看出，吉林台断块的边界断裂 F1 与断块内的次级断层的活动性基本同步，它们最后一次强烈活动发生在中更新世晚期至末期。而 F2 作为吉林台断块的边界断层，吉林台断块顶部夷平面基本水平可以推论，F2 与 F1 及断块内的次级断层活动基本是同步的，即 F2 的主要活动期在上新世末，中更新世末以后就不再活动。F2 断层没有错断 II 级阶地砾石层，该断层的构造岩已固结成岩也可佐证 F2 的活动年代久远。按水电规范关于活断层的定义^[8] “①错断晚更新世以来地层的断层；②断裂带中的构造岩或被错动的脉体，经绝对年龄测定，最后一次错动年代距今 10~15 万年”，吉林台断块边界断层不是活断层。为判断工程区的稳定性，钟嘉猷等^[1] 设计了光弹性材料的力学模型实验。模拟实验结果认为：在已有的区域地质构造背景上，断续遭受 SN 向压力作用时，断裂运动将继续增加，而断裂运动速率与断裂初始活动时相比将逐渐减小，使地质体生成新的断裂系统是极其困难的，工程区不会产生新的断裂系统，而是作整体的相对抬升和相对下沉。该工程坝址的所在位置，刚好处位于中间剪应力值的分布区内，没有明显的应力集中现象，是一个相对稳定的区域。

4 地震活动性分析

拟建库坝区地震效应属工程区外围强震活动的波及区。据文献^[3~5,9~12]，1716 年以来，工程区外围发生的 11 个 6 级以上地震见表 1。对坝址影响最大的是 1812 年 3 月 8 日尼勒克蜂场 8 级地震，在坝址东约 50km，影响到坝址的烈度为 IX~X 度。1944 年新源东北 7 $\frac{1}{2}$ 级地震发生在坝址东南约 100km 处，影响到坝址的烈度为 VII 度。1716 年特克斯—昭苏 7 $\frac{1}{2}$ 级地震，在坝址西南约 130km，由于烈度等震线资料不详，按照新疆烈度衰减估计，影响到该区的烈度约 VI 度。其它地震对坝址的影响烈度均不超过 VII 度，由此可见，历史上地震对坝址影响最大的烈度小于 X 度。据文献 [5]，坝址区的烈度可以确定为 VII~VIII 度。

根据工程区的地质构造及断裂活动性分析，寨口阀拉断裂是本区的主要发震构造，主要发震区在寨口阀拉断裂与 NW 向和 NW 向断裂交汇处，尤其是前者考虑到 1812 年在寨口阀拉断裂上发生过 8 级地震，据资料 [3~5] 中利用古地震和断层长期平均滑动速率的研究结果，寨口阀拉断裂上 $7.0 \leq M$ 大震平均复发周期为 2700 年左右，故未来百年内在该断裂上发生 7 级或 7 级以上地震的可能性不大。但根据本区地震地质条件，在坝址区北西向或北东向断裂与寨口阀拉断裂交汇处不排除发生 6.5 级左右地震的可能性。附近区域发生的最大可能地震为 8 级，但由于潜在的 8 级地震发震断裂距离坝址区距离较远^[6]，且结合坝址的使用寿命 100 年和该区域 7 级以上大震的复发周期，该潜在震源区的发震构造不会影响坝址的稳定性。

①。F2 断层石膏样品、阶地¹⁴C 砾石样品均由新疆维吾尔自治区地震局测试。

表 1 北天山西部地区 $6.0 \leq M \leq 8.0$ 级地震一览表Table 1 Summary of earthquakes with $6.0 \leq M \leq 8.0$ in the west of the Northern Tianshan Mountains

发震时刻	震中位置		震级	震中烈度	影响电站区烈度	地震名称
	纬度 (N)	经度 (E)				
1716	43.2	81.0	7½	IX	VII	特克斯—昭苏
1766.2.9	44.7	82.9	6.0	VIII	< VI	精河
1786.6.19	44.0	80.8	6.0	VIII	< VI	精河
1812.3.8	43.7	83.5	8.0	XI	IX~X	尼勒克
1905.12.23	43.9	85.6	8.0	X	VI	玛纳斯西南
1939.2.23	44.0	84.0	6.0	VIII	< VI	新源东北
1944.3.10	44.0	84.0	7¼	IX	VII	新源东北
1955.4.24	44.2	83.6	6½	VIII	< VI	乌苏南
1958.12.21	44.5	80.9	6½	VIII	< VI	霍城
1962.8.20	44.3	81.7	6.4	VIII	< VI	赛里木湖南
1973.6.3	44.4	83.5	6.0	VII	< VI	托托南

表 2 中给出了坝址区 50 年超越概率 63%、10% 和 3% 的地震烈度和基岩峰值加速度, 并给出 50 年超越概率 5% 和 100 年超越概率 2% 的地震烈度和基岩峰值加速度, 以上结论与 1/400 万《中国地震动峰值加速度图》坝址基岩峰值加速度 $0.2g$ 基本吻合。因此, 认为水电站坝址区的地震基本烈度为 VIII 度, 基岩动峰值加速度为 $0.2g$ 。

表 2 坝址区地震烈度和基岩峰值加速度结果 (据文献 [10], 有修改)

Table 2 Earthquake intensities and peak acceleration of bed rocks for the dam engineering area (modified from reference^[10])

超越概率	50 年				100 年
	63%	10%	5%	3%	2%
地震动值					
地震烈度 (度)	6.8	8.1	8.4	8.6	9.1
基岩峰值加速度 (Gal)	49.50	188.92	258.63	316.96	461.97

5 结论

水电站坝址区位于吉林台峡谷内, 这里是喀什河断裂带中的一个小断块, 也是该强震构造带中的一个地震空区^[3~4]。通过对断层活动性分析可知, 吉林台断块边界断层 F1、F2 中新世以来不再活动, 按照水利水电地质勘测规范给定的活动断层标准判断, 该断块两侧的断层不是活动断层, 而物理力学模拟试验也很好地验证了这一结论。坝址区周边古地震的发生情况和地震地质构造表明坝址区未来可能发生最大的地震震级为 6.5 级, 7.0 级以上大震的时空分布不会影响到该坝址的稳定性。利用地震危险性分析的标准程序及古地震时空分布特征分析得到水电站坝址区的地震基本烈度为 VIII 度, 基岩动峰值加速度为 $0.2g$ 。

参 考 文 献

- [1] 钟嘉猷, 史兰斌, 唐汉军, 李祖信, 等. 新疆喀什河吉林台水电站地区稳定性研究 [J]. 工程地质学报, 1994, 12 (2): 13~22.
- [2] Deng Qi-dong, et al. Paleoseismology of the Northern Piedmont of Tianshan Mountains, Northwestem China. JGR, 1996, 101 (29).
- [3] 冯先岳. 新疆古地震 [M]. 新疆科技卫生出版社, 乌鲁木齐, 1997. 9.
- [4] Feng Xian-yue. Active Fault in North Tianshan Region. Journal of Earthquake Prediction of Research, 1996, 5 (3).
- [5] 冯先岳, 栾超群, 李军, 等. 新疆吉林台水电站区域稳定性分析 [J], 内陆地震, 1988, 3: 244~252.
- [6] 尹光华, 蒋靖祥, 张勇. 新疆伊犁喀什河断裂带及其活动性研究 [J], 内陆地震, 2003, 6 (2): 109~116.
- [7] 孙洪艳, 李志祥, 田明中, 等. 第四纪测年研究新进展 [J], 地质力学学报, 2003, 12, 9 (4): 371~378.
- [8] 国家质量技术监督局, 中华人民共和国建设部. 水利水电工程地质勘测规范 (GB50287—99) [S]. 1999.
- [9] 柔洁. 吉林台电站场地地震活动性分析 [J], 内陆地震, 1989, 1: 34~41.
- [10] 姜慧, 杨章, 唐丽华, 等. 吉林台水电站坝址人造地震动研究 [J]. 内陆地震, 2000, 9, 14 (3): 229~233.
- [11] 新疆维吾尔自治区地震局编. 新疆维吾尔自治区地震资料汇编 [M]. 地震出版社, 北京, 1985. 9.
- [12] 刘德富. 新疆西部地区地震活动的自然节律 [J]. 地震, 1986, 6: 48~50.

TECTONIC STABILITY ANALYSIS OF THE KAX RIVER HYDROELECTRIC PROJECT AREA

WANG Cheng-hu¹, ZHANG Yan-shan¹, XIONG Yu-zhen¹, KONG De-hu²

(1. *Institute of Crustal Dynamics, China Seismological Bureau, Beijing 100085, China;*

2. *Great Wall Drilling & Exploration Co. Ltd., SinoPEC, Beijing 100101, China*)

Abstract: This paper has studied the tectonic stability of a dam site for a large-scale hydroelectric project, and analyzed the regional geological tectonic setting, activity of faults, historical earthquakes, tectonic stress fields of the project area. The analysis indicates that the dam site of the hydroelectric candidate project lies in a relatively stable block of the tectonically active region, where the fault movement is rather weak and so is the regional tectonic movement. Therefore, this site can be controlled by engineering measures and is suitable to the construction of the hydroelectric project.

Key words: Kax River fault; hydroelectric project; tectonic stability; activity of fault