

文章编号: 1009-3850(2007)04-0074-06

大渡河金川水电站外围抚边河断层活动性研究

刘维亮^{1,2}, 杨振法³, 谷 曼⁴, 吴德超⁴, 王道永⁴

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011; 4. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 抚边河断裂距大渡河干流大型水利工程金川水电站仅35km, 因其近期较强的地震活动性成为电站区域稳定性评价的重要考虑因素。研究从地球物理、地震、地质、地貌等方面分析了断层存在的证据和活动性, 首次发现断层切割第四系的直接证据。分析了断层活动性对大坝建设的影响。

关键词: 金川水电站; 抚边河断裂; 地震; 断层活动性

中图分类号: P542.3 文献标识码: A

拟建的大渡河金川水电站是大渡河干流梯级水电站的控制性工程, 总装机容量800MW, 是西电东输的重要水利工程。水电站位于四川省金川县的大渡河峡谷中。大地构造上属于川-青断块内部的小金弧形构造西翼(图1)。川-青断块新构造运动整体表现为与相邻断块之间的差异性抬升, 断块内部完整、稳定^[1]。然而, 1989~1991年在距坝址仅约35km的NE方向连续发生三次5.0级、6.5级、5.0级中强度地震(表1)。据四川省地震局研究认为这3次地震的发震构造均为1:20万区域地质图上未标明的抚边河断裂^[2]。因为抚边河断裂距坝址近, 三次地震强度高、间隔小、距今时间短, 且抚边河断层以前未被发现, 因此, 抚边河断裂活动性研究对大坝设计和安

全运行的重要性就不言而喻。

1 证据

抚边河断裂区多为第四系覆盖, 地表断层直观证据并不明显, 1:20万区域地质图未表明抚边河断裂的存在。综合前人研究成果^[2~5]和本次专题研究认为抚边河断裂的存在主要有以下证据:

重力异常和航磁异常图上均可以看到马尔康—理县一带存在一个NW向扭曲和转折(图2), 反映了地下深部物质的构造变异和物质的不均一性。这正好和抚边河河谷延伸相一致。表明存在一条有一定深部影响的断裂。

从宏观地质构造上观察: 靠近河谷两侧的土层

表 1 抚边河断裂 3 次较强的地震活动(据四川省地震局, 1997 编制)

Table 1 Major seismic activities along the Fubian River fault

时间	震中位置	震级	震中烈度	主压应力轴	断层活动方式
1989.3	黑虎碛	5.0	VI	280°∠7°	左行平移
1989.9	梭罗寨	6.5	VIII	299°∠14°	左行平移
1991.2	两河口	5.0	V	289°∠8°	左行平移

收稿日期: 2006-06-30; 修改日期: 2006-11-04

第一作者简介: 刘维亮, 1976年生, 构造地质学专业, 硕士, 现在中科院广州地球化学研究所攻读博士学位。
资助项目: 四川省构造重点学科建设项目SZD0408, 国土资源部危机矿山接替项目200623017联合资助。

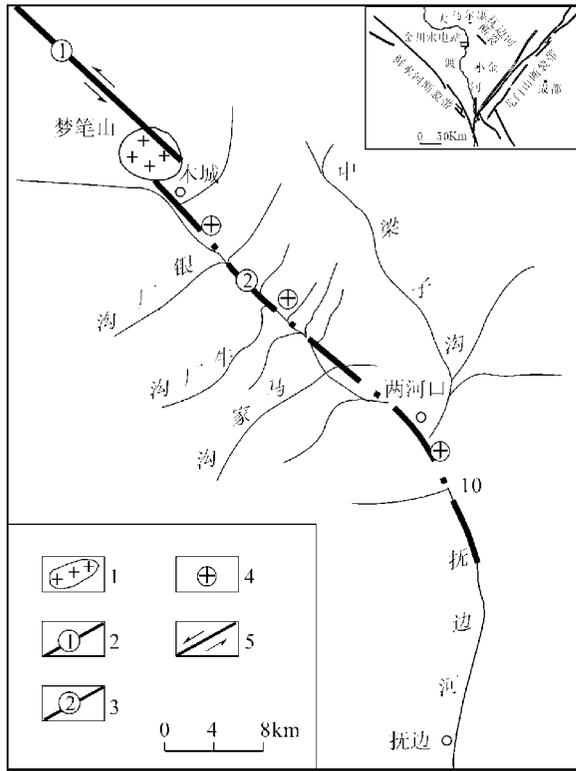


图1 抚边河断裂新构造运动图

1. 挤压带; 2. 松岗断裂; 3. 抚边河断裂; 4. 地震震中; 5. 断层运动方向

Fig.1 Sketch to show the neotectonism of the Fubian River fault

1= compressional belt; 2= Songgang fault; 3= Fubian River fault; 4= epicenter; 5= direction of fault activity

较陡, 地层产状变化较大, 小断层、挤压带、褶皱较发育; 而远离河谷地层则逐渐平缓, 变形微弱。因此, 推测沿河谷有断裂存在。

从地貌上来看, 沿抚边河发育的Ⅱ级阶地均存在着明显的西高东低不对称性, 且由北向南幅度有逐渐加大的趋势。银厂沟处为5m, 牛厂沟处为7m, 两河口处为10m。显然这种不对称是由断裂的新活动性引起的。从抚边河两侧的冲沟形态及第四系堆积来看, 也反映河谷两侧运动的差异。西岸的冲沟规模较大, 水量也较大, 沟口第四纪冲积物发育; 东岸的冲沟规模较小, 水量也较小, 沟口第四纪冲积物不发育。上述两方面的特征均显示抚边河河谷两侧地壳运动的差异性。西岸抬升较东岸快, 反映沿抚边河河谷存在着一条第四纪活动断裂。

地震证据是抚边河断层存在的最直接证据。根据抚边河地区1989~1991年三次地震综合等烈度线图(图3)可以看出各次地震的震中形成极好的线性

排列, 形成的等烈度线均呈NW方向的长椭圆状, 高烈度区与震中位置, 以及椭圆长轴沿抚边河谷分布。据此也可以认为沿抚边河谷有一条第四纪活动断层分布。

根据卫片资料在松岗断裂的SE方向相距不远可以看到一条NNW向线性构造, 色调与周围山体有明显不同, 与松岗断裂大体平行基本上沿抚边河谷分布, 就是抚边河断裂的影像特征。

2 基本特征和第四纪活动证据

综合地球物理、地质、地貌和遥感解释可以认为抚边河断裂是一条第四纪隐伏断裂。其大致沿抚边河河谷展布。总体走向 $N40^{\circ}-50^{\circ}W$, 倾向NE。北端始于梦笔山南坡的木城北西侧, 沿抚边河河谷向SE经两河口延伸, 与松岗断裂呈较大角度的右阶羽列, 长度约40km(图1)。抚边河断裂主要由数条次级断裂近于平行展布组成的宽约数十米的断裂带, 单条破碎带规模很小由几十厘米到2~3m不等。抚边河断裂的第四纪活动证据前人(龚宇, 1995; 何玉林, 1997; 周荣军, 1999)的主要依据是抚边河河谷两侧错断地貌所形成的差异。抚边河河谷植被发育, 掩盖严重, 地质观察困难。

但本次野外考察还是首次发现抚边河断裂第四系的明显错移现象。图4A见于抚边河SW向支流银厂沟内, Ⅱ级阶地上的河流沉积物内出现了地堑式断层组合, 定向明显的层状砾石层在剖面上产生了明显的垂直断距, 可达0.5m, 并在错动面附近形成牵引。图4B也见于银厂沟内, 西距上点约200m, 西康群基岩由东向西冲盖于第四系松散沉积物之上, 可见断距约2m。基岩与第四系之间有明显的滑动面, 并存在黑黄色断层泥, 厚度约2cm, 是可靠的活动断层证据。

对抚边河断裂44个断层泥样品中石英表面溶蚀形态进行扫描电镜观察并进行年龄分析^[9]。其中浅度侵蚀的贝壳状石英占17.9%, 次贝壳状占14.3%(图5); 鳞片、苔藓等较深度侵蚀的石英颗粒占21.4%; 钟乳、虫蛀等石英颗粒占35.7%; 窝穴、珊瑚等深度侵蚀的石英颗粒占10.7%, 上述特征说明断层活动性较复杂。强烈活动时期可以追溯到上新世一早更新世, 中晚更新世活动明显, 贝壳状石英含量较高, 说明在全新世尚有一定活动性。对断层泥中石英颗粒进行电子磁旋共振(ESR)测年, 结果为9.3万年。这与断裂切割阶地及诱发地震的特征相

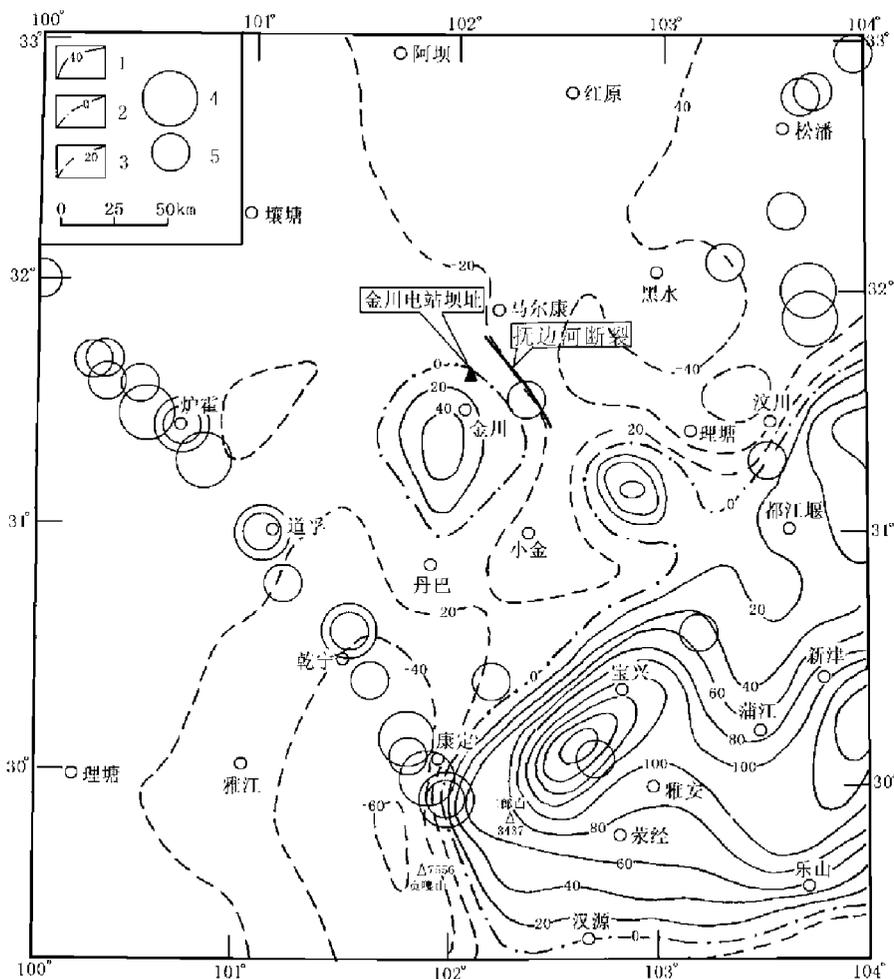


图2 区域航磁 ΔT 化极上延20km异常平面图与 $M_s \geq 6.0$ 级地震震中分布图(据国家地震局, 2005)

1. 正磁极异常等值线(单位: nT); 2. 零值线; 3. 负磁异常等值线; 4. $M_s = 7.0 \sim 7.95$, $M_s = 6.0 \sim 6.9$

Fig. 2 Diagram showing regional aeromagnetic anomalies and distribution of epicenters ($M_s \geq 6.0$)

1. Isoline for the positive magnetic anomaly (in nT); 2. zero iseline; 3. Isoline for the negative magnetic anomaly; 4. $M_s = 7.0 \sim 7.95$, $M_s = 6.0 \sim 6.9$

一致。

3 动力学和运动学特征

抚边河断裂位于川-青块体内部的小金弧形构造西翼,这类弧顶向南的弧形构造在受到区域NW向压应力作用时,其西翼断裂容易产生左旋剪切滑动。在地貌上抚边河断裂的北西段与NW向的松岗断裂呈较大尺度的右阶羽列,在羽列区形成梦笔山隆起;断裂南东段向南发生了大约 10° 的走向弯曲,在弯曲段形成了狭长型两河口第四纪盆地。从错断水系上也可以看出抚边河断裂呈左旋走滑特征(周荣军, 1999)。断裂两盘西升东降也可以认为断裂在左旋走滑同时有一定的倾滑分量的宏观证据。野外观察抚边河断裂的次级断面,倾向NE倾角 $50^\circ \sim 85^\circ$

不等,这和四川省地震局的震源解释有较好的一致性^[2]。关于抚边河断裂的走滑速率龚宇(1995)计算为 0.31mm/a ,周荣军计算水平滑动速率为 $0.85 \sim 1.7\text{mm/a}$ 之间,最佳估计值为 $(1.3 \pm 0.1)\text{mm/a}$,走滑分量与倾滑分量之比为 $5:1 \sim 8:1$ 之间。本次研究中根据断层ESR测年得到的活动时间(9.3万年)和相应2m的水平断距和0.5m的垂直断距计算水平滑动速率为 0.215mm/a ,垂直运动速率 0.054mm/a 。参照前两者研究结果,可以认为抚边河断裂呈现较低的运动速率。

从宏观上抚边河断裂不同地段应力状态、活动性质具有明显差异性。表现在①断裂北西段(木城以北),特别是断裂端部由于抚边河及松岗断裂的左旋走滑运动而形成挤压区,造成地形强烈隆起,区内

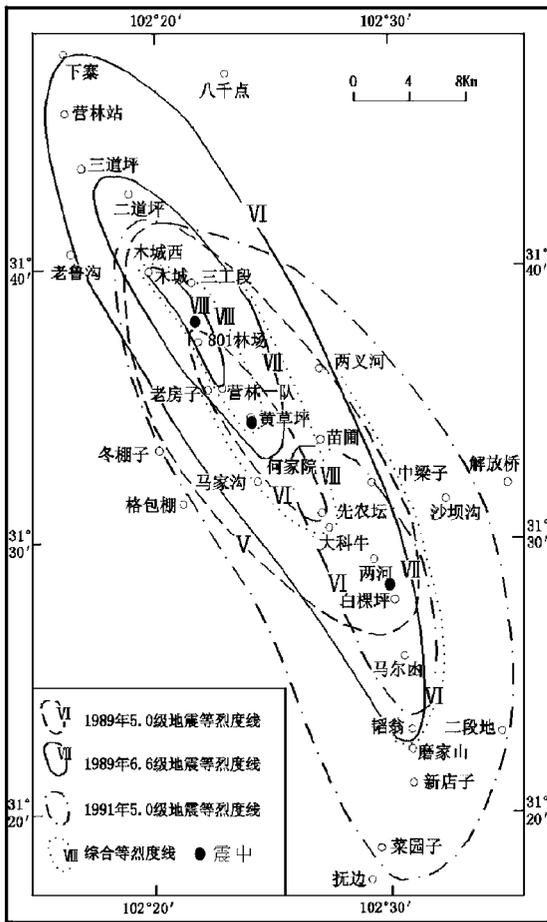


图3 抚边河地区1989~1991年三次地震综合等烈度线图

Fig. 3 Synthesized curves of equal intensity for the earthquakes in the Fubian River region in 1989-1991

梦笔山主峰海拔高度在4000m以上; ②断裂中段(木城-马家沟), 震源机制解释表明该段现代活动以走滑运动为主, 野外观察断面也发现明显的左旋擦痕; ③断裂南东段(两河口以南), 在两河口附近断裂沿走向发生了10°以上的弯曲, 这样断裂的左旋走滑作用便在其弯曲处产生局部拉张, 受正断层的断陷作用而形成狭长型第四纪盆地。也可以认为断裂北西端主要表现为挤压运动, 中段以左旋走滑为主, 而南东段则因断层走向变化而产生局部沉降运动。

4 断裂对大坝安全性的讨论

抚边河断裂因其延伸长度有限, 而且不通过坝区, 所以对金川水电站大坝安全性的影响主要是其地震活动。抚边河断裂所在的川-青块体喜马拉雅期以来保持着较高应力水平, 它和西部川-滇块体以鲜水河断裂为界, 东部的四川块体以龙门山断裂带为界。川-滇块体的侧向滑移积累的应力主要通过鲜水河断裂的左旋走滑来释放, 东部边界的应力通过龙门山断裂带的茂汶-汶川断裂带的活动来释放。川-青块体内部的构造运动则表现为稳定的整体间歇性隆升, 抬升幅度从3500~1500m不等, 抬升速率为(5.5~9.5) mm/a(刘本培等, 1994), 在块体内部主要形成多级夷平面和河流阶地地貌特征^[1,7-9]。川-青断块内部断裂活动微弱, 其内部积累的应力不可能很高而且积累释放一次能量的周期也相当长。1989年的两次地震和1991年的5.0级余震可以认为其代表了一次应力释放过程的结束。龚宇(1995)将

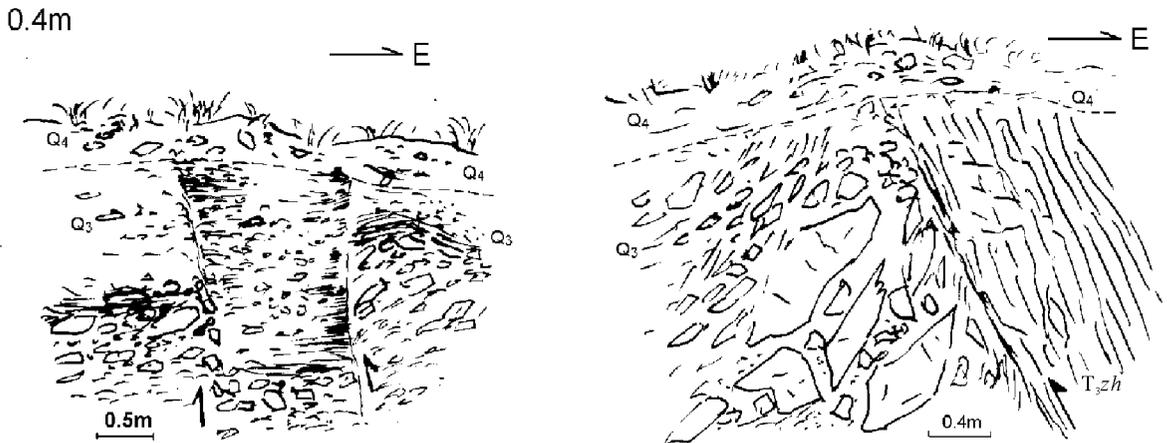


图4 抚边河银厂沟II级阶地断层素描图

Fig. 4 Sketches of the faults within the II-grade terraces in Yinchanggou, Fubian River region

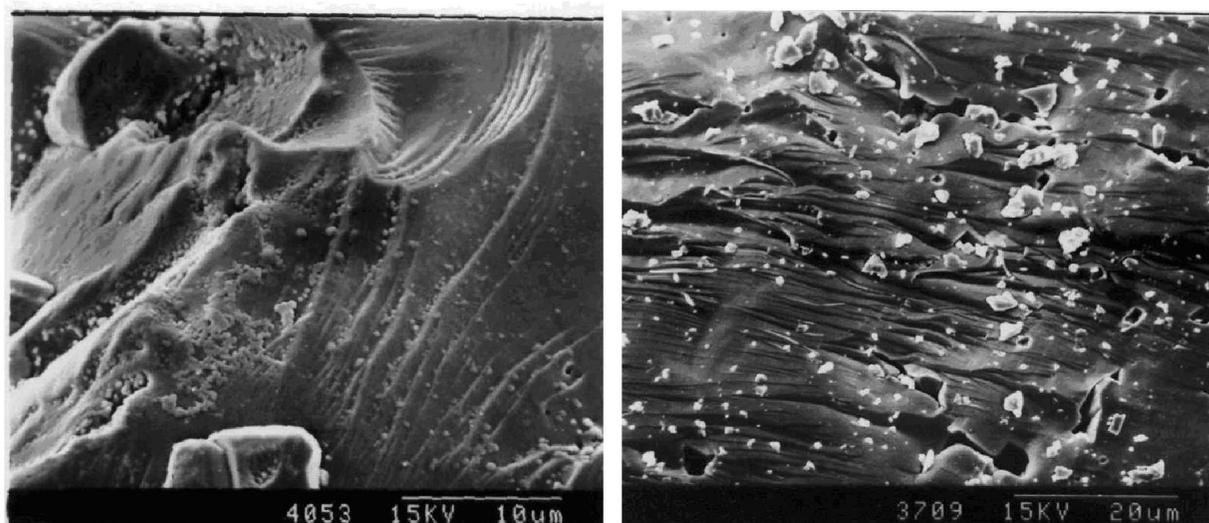


图5 抚边河断裂断层泥石英溶蚀形貌(左为贝壳状,右为贝壳状)

Fig. 5 Shapes of quartz dissolution in the fault clay from the Fubian River fault (left: conchiform; right: subconchiform)

未来地震的强度上限定为7级,地震周期为2378年;周荣军(1999)将未来地震的强度上限定为7级,地震周期为1500年;国家地震局地壳应力研究所(2005)将未来地震的强度上限定为7级,地震周期为1000年。从断层的走滑速率来看,不同研究人员采用不同的方法得到的走滑速率为 $(1.3 \pm 0.1) \text{mm/a}$ 和 0.31mm/a ,本次研究计算为 0.215mm/a ,可以看出该断层滑动速率不高,根据李兴唐整理的我国活动断裂运动速率分级标准认为应属于B级活动断层较为合适^[10]。因此,认为断层未来发震的强度不可能太高,应低于大坝的设计抗震能力而且发震周期很长远远超出了大坝的百年安全运行时间。

从抚边河断层发震效果来看,其等烈度线呈NW向长椭圆状,其长轴/断轴比均在5:1左右,高烈度区的SW短轴方向宽度一般在15km左右,即两侧不超过10km,且烈度衰减梯度很大,因而推测对处于其SW方向35km以外的坝区不会带来很大影响。

从抚边河断裂和坝区断裂的关系来看,坝区断裂主要形成于燕山期,是褶皱发育过程中由于层间滑动形成的顺层断层。断层规模都很小,呈浅表生层次的脆性构造特征。从热释光测年和石英表面溶蚀形态扫描电镜观察来看晚更新世以来都没有发生过活动^[11],抚边河断裂1989~1991年的地震活动也

没有引起坝区断层的活动,所以分析今后其活动也不可能引起坝区断层的活动,因此,也不会对大坝的安全运行造成影响。

参考文献:

- [1] 唐荣昌,韩渭滨.四川活动断裂与地震[M].北京:地震出版社,1993.
- [2] 四川省地震局.1989年四川小金地震[M].成都:四川科技出版社,1993.
- [3] 周荣军,何玉林,马声浩,等.四川小金抚边河断裂的晚第四纪活动特征[J].地震研究,1999,22(4):376-381.
- [4] 龚宇,何玉林,伍先国.抚边河断裂新活动性的探讨[J].四川地震,1995,(4):31-36.
- [5] 何玉林,龚宇,伍先国.四川抚边河断裂的活动特征[J].地震地质,1997,19(1):31-35.
- [6] 杨振法,李日运.断层泥中石英碎砾溶蚀形貌的测年研究[J].地震研究,2006,29(2):188-192.
- [7] 刘宇平,陈智梁,唐文清,等.青藏高原东部及周边现时地壳运动[J].沉积与特提斯地质,2003,23(4):1-8.
- [8] 唐发伟,陈智梁,庞友直,等.青藏高原东部及邻区宽频地震观测初报[J].沉积与特提斯地质,2006,26(3):94-98.
- [9] 廖忠礼,廖光宇,楼雄英.四川锦屏山地区新构造运动及地质灾害[J].沉积与特提斯地质,2003,23(1):99-104.
- [10] 孙叶,谭成轩,李开善,等.区域地壳稳定性量化评价[M].北京:地质出版社,1998.
- [11] 吴德超.大渡河金川水电站区域地质构造特征研究[R].成都:成都理工大学,2005.

The Fubian River fault activity near the Jinchuan hydropower station, Dadu River, Sichuan

LIU Wei-liang^{1, 2}, YANG Zhen-fa³, GU Man⁴, WU De-chao⁴, WANG Dao-yong⁴

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, Henan, China; 4. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: It is only a 35-km distance from the Fubian River fault to the large-scale Jinchuan hydropower station, Dadu River, Sichuan. Thus the currently intense seismic activities should be considered as important factors in the evaluation of the stability of the hydropower station. The evidence and activity of the fault are examined on the basis of geophysics, seismology, geology and geomorphology. The fault has been found, for the first time, to dissect the Quaternary strata, however it has no harm to the safety of the hydropower station.

Key words: Jinchuan hydropower station; Fubian River fault; earthquake; fault activity

《沉积与特提斯地质》 2007 年征订启事

《沉积与特提斯地质》(原《岩相古地理》)系国土资源部主管、成都地质矿产研究所主办的地学学术期刊。

《沉积与特提斯地质》办刊 20 余年来,已形成了沉积学的专业特色和青藏高原的地域特色,集中反映最新的沉积学、区域地质调查、石油地质,以及其他基础地质、矿床地质、能源地质、环境地质等方面的研究成果和信息。

本刊为大 16 开本,112 页,彩色印刷,逢季末出版,国内外公开发行,定价 10 元,全年 40 元。

《沉积与特提斯地质》编辑部