

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2008.04.019

克孜尔水库 F₂ 活动断层变形监测资料初步分析

张士辰¹, 张宏科², 王昭升¹, 龙智飞¹, 周克发¹

(1. 水利部大坝安全管理中心, 江苏 南京 210029; 2. 新疆克孜尔水库管理局, 新疆 拜城 842313)

摘要 克孜尔水库建在 F₂ 大活动断层上, 为确定 F₂ 断层对大坝安全的影响, 根据已有观测资料, 对 F₂ 断层活动规律及其变形对大坝安全的影响进行了分析。指出: F₂ 断层从水库开始蓄水至今经历了正常蠕变、异常蠕变及蠕变恢复 3 个活动阶段; F₂ 断层两侧基线长度在逐年缩短, 断层呈挤密趋势变化, 该趋势有利于大坝安全; F₂ 断层两侧高差在逐年增大, 但变化幅度很小, 不足以导致大坝的严重变形。

关键词 克孜尔水库; F₂ 断层; 水平位移; 相对高差; 变形监测

中图分类号: P542⁺.3 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2008)04-0068-03

Preliminary analysis of deformation characteristics of fault F₂ in Kizil Reservoir based on observed data//ZHANG Shi-chen¹, ZHANG Hong-ke², WANG Zhao-sheng¹, LONG Zhi-fei¹, ZHOU Ke-fa¹(1. Dam Safety and Management Department, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 2. Management Bureau of Kizil Reservoir, Baicheng 842313, China)

Abstract: The Kizil Reservoir is located in the fault F₂ district. To study the influence of fault F₂ on the safety of the reservoir, the activities and deformation of the fault F₂ are analyzed on the basis of existing observation data. The activities of the fault F₂ can be divided into three phases from the beginning of storage in the reservoir until now: the normal creep phase, the abnormal creep phase and the creep recovery phase. It is concluded that the length of the baselines on both sides are decreasing year by year, the fault has a compressed tendency that is beneficial to the dam safety, and the comparative height difference on both sides of fault F₂ is increasing year by year, but the change is too small to lead to a serious deformation of the dam.

Key words: Kizil Reservoir; fault F₂; horizontal displacement; comparative height difference; deformation monitoring

克孜尔水库位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区拜城县境内, 控制流域面积 1.7 万 km², 总库容 6.78 亿 m³, 是一座以灌溉、防洪为主, 兼有水力发电等综合性的大(1)型水利工程。水库位于地震多发区, 工程地质条件复杂, 特别是在活动断层上筑坝在国内尚属首例。

克孜尔水库于 1985 年 10 月始建, 1991 年 8 月完建并投入运行, 正常蓄水位 1 149.60 m, 设计(洪水频率 P=0.1%)洪水位 1 151.15 m, 校核(P=0.01%)洪水位 1 154.29 m。枢纽工程由拦河主坝、副坝、副坝二道坝、溢洪道、泄洪排砂涵洞、发电引水涵洞和坝后电站组成, F₂ 断层在主、副坝之间通过, 副坝位于 F₂ 断层的下盘。主坝为黏土心墙砂砾石坝, 坝顶高程为 1 154.60 m, 最大坝高为 44.00 m, 副坝坝型同主坝, 坝顶高程为 1 154.00 m, 最大坝高为 32.60 m, 在右坝肩 F₂ 断层带处, 一般坝高为 14.00 m。

在水库运行期间最典型的工况包括: ①1999 年 7 月 19 日遇 50 年一遇洪水; ②2002 年 7 月 23 ~

28 日遇 100 年一遇洪水, 库水位约为 1 148.00 m; ③1999 年 3 月 15 日距坝址 18 km 处发生 5.7 级大地震, 当时库水位约为 1 144.10 m; ④2005 年 9 月 23 ~ 26 日遭遇系列地震, 最大震级为 4.9 级。目前, 主体工程运行情况尚属正常, 尽管 F₂ 断层带渗漏呈现向下游发展趋势, 但尚未发现其存在明显变形迹象。

1 库区断层工程地质条件

在整个库区, 主要断层有 F₁ 断层和 F₂ 断层^[1]。

1.1 F₁ 断层

F₁ 断层在距离主坝右坝肩以南约 1.5 km 处通过, 出露高程在 1 660.00 m 附近。F₁ 断层产状为 NE65°SE/30°, 断距大于 1 000 m, 东西长约 80 km, 断层破碎带断约 30 m, 挤压密实, 未胶结。水库坝区地质剖面见图 1。

在库坝区内, 地貌以 F₁ 断层为界, 上盘为一陡峭断层崖, 自由后退迹象不明显; 下盘逆断层一侧发育着大量正在活动的塌滑体(即倾倒体)。

置于 F_{2-1} 断层下盘, 沉降标埋设至基岩以下。

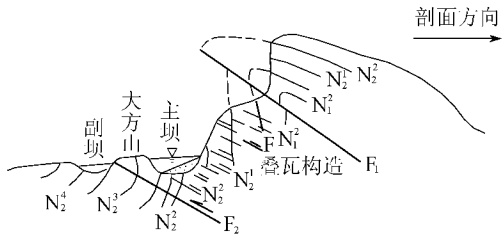


图1 坝区地质剖面示意图

1.2 F_2 断层

F_2 断层在主、副坝之间的大方山处通过, 副坝位于 F_2 断层的下盘, 副坝右坝肩 1+168~1+288 段为 F_2 断层穿越地带, 大方山为 F_2 断层上盘上升所致。 F_2 断层由 3 个断层组成, 其中 F_{2-1} 断层为主断层, 该断层断开长约 10 km, 断距为 44 m, 垂直断距约 17 m, 出露高程在建基面上的 1 152.50 m 处, 断层带宽 2~4 m; 在主断层 F_{2-1} 下盘还有 2 条与其平行的伴生小断层 F_{2-2} 和 F_{2-3} , F_{2-2} 和 F_{2-3} 断层面上有 1~3 mm 的断层泥, 断层带宽度为 70~110 m(水平向), 高程为 1 131.50~1 153.00 m。 F_2 断层带内裂隙发育, 密集处 30 条/m, 其间还观测到 3 条层面滑动, 卵砾石已被错断; F_2 断层带表层岩体为弱胶结的软岩, 加之断层的风化、破坏, 故很破碎。 右坝肩 1+168~1+288 段为 F_2 断层穿越地带, 该坝段表面平整无沉降、无裂缝。 图 2 为 F_2 断层地质细化剖面。 断面光滑密实, 破碎物未胶结, 断层两端逐渐转为挠曲。

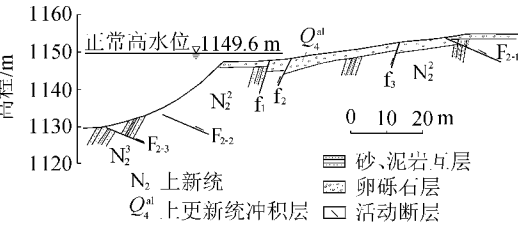


图2 F_2 断层地质细化剖面示意图

2 F_2 断层变形监测设施

F_2 断层变形监测设施包括^[21]: ①第一形变观测站。建于 1970 年, 跨 F_2 断层, 采用自动观测与人工观测比对监测, 其监测布置见图 3。 ②第二形变观测站。建于 1992 年, 有 F_{2-1} , F_{2-2} , F_{2-3} 3 个断层通过, 其监测点布置见图 4。 ③深层沉降标 S_1 和 S_2 用于监测 F_{2-1} 断层上、下盘的错动情况, S_1 设置于 F_{2-1} 断层上盘, S_2 设

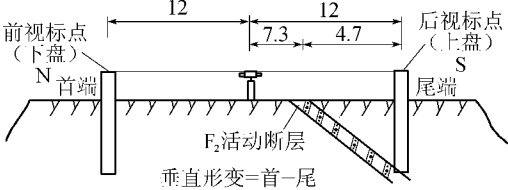


图3 第一形变观测站垂直、水平观测布置(单位:m)

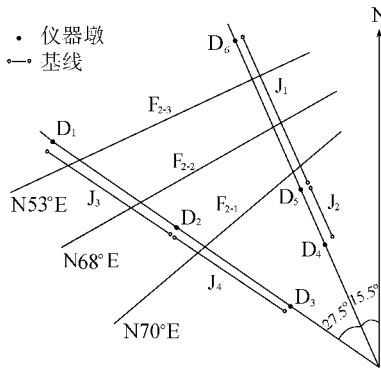


图4 第二形变观测站观测布置

3 F_2 断层变形分析

3.1 第一形变观测站观测资料分析

以人工观测资料为研究对象, 监测项目有基线水平位移和相对高差。 基线水平位移数据系列 1979 年 6 月至 2007 年, 其过程线如图 5 所示; 相对高差数据系列 1972 年 1 月至 2007 年, 其过程线如图 6 所示^[31]。

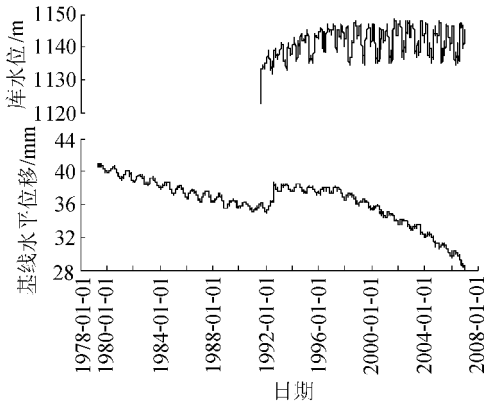


图5 F_2 断层上、下盘间基线水平位移过程线

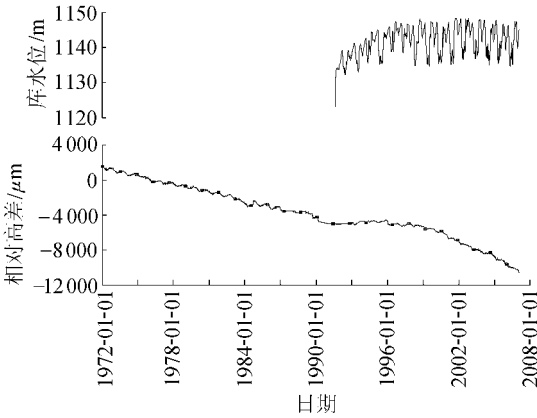


图6 F_2 断层上、下盘间相对高差监测过程线

综合分析第一形变观测站的基线水平位移、相对高差监测过程线, 可将 F_2 断层的变化分为 3 个阶段, 分别以开始截流蓄水(1990 年 2 月)、蓄水至一定时间(1997 年 6 月, 该时刻为图 5、图 6 中向下变化的转折点)为分界点。 3 个阶段分别为: F_2 断层正

常蠕变活动阶段、 F_2 断层异常蠕变活动阶段和 F_2 断层正常蠕变恢复阶段。

a. F_2 断层正常蠕变活动阶段。1972 年 1 月至 1990 年 2 月为 F_2 断层(蓄水前)正常蠕变活动阶段,期间基线水平位移呈缩短趋势,变化速率为 0.4752 mm/a ;相对高差先于 1976 年中旬减小至 $0\text{ }\mu\text{m}$,后反向增大,变化速率为 0.3225 mm/a 。

b. F_2 断层异常蠕变活动阶段。1990 年 2 月至 1997 年 6 月为 F_2 断层异常蠕变活动阶段,期间基线水平位移与相对高差变化不显著,过程线呈基本水平状态。

c. F_2 断层正常蠕变恢复阶段。1997 年 6 月至 2007 年为 F_2 断层正常蠕变恢复阶段,期间基线水平位移恢复至呈缩短趋势,变化速率为 0.9100 mm/a ;相对高差继续呈增大趋势,变化速率为 0.5080 mm/a 。

对以上现象作如下解释: F_2 断层在水库蓄水前以蠕变为主,表现为水平与垂直方向断层错动变化很小,但始终处于活动状态;当 1990 年 2 月水库开始截流蓄水后,受库水压力作用,断层内孔隙水压力和外荷载作用增加,断层活动性受到阻碍,此时断层基本无水平、垂直变化;1990 年 2 月至 1997 年 6 月期间,库水位作用于断层上约 7 a , F_2 断层内地应力积累强度超过库内水对断层的作用,此时 F_2 断层又会逐渐按其特定活动方式继续活动。

由图 5、图 6 可知,前述 4 种典型工况下,第一形变观测站的基线水平位移和相对高差无明显变化,即典型工况对其影响较小。

3.2 第二形变观测站观测资料分析

以自动化监测资料为研究对象,监测项目有基线水平位移和相对高差,基线水平位移数据系列 1992 年 1 月至 2007 年,其过程线如图 7 所示^[3];相对高差数据系列 1998 年 11 月至 2007 年,其过程线如图 8 所示。

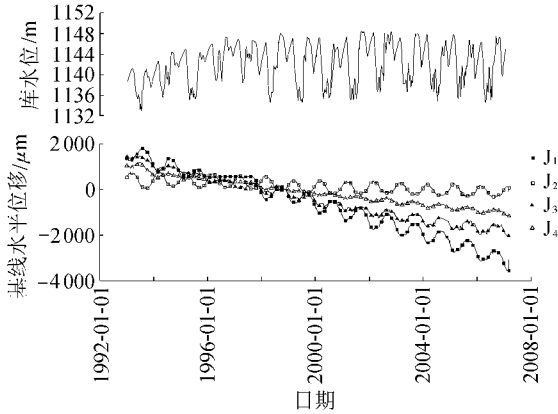


图 7 第二形变观测站基线水平位移过程线

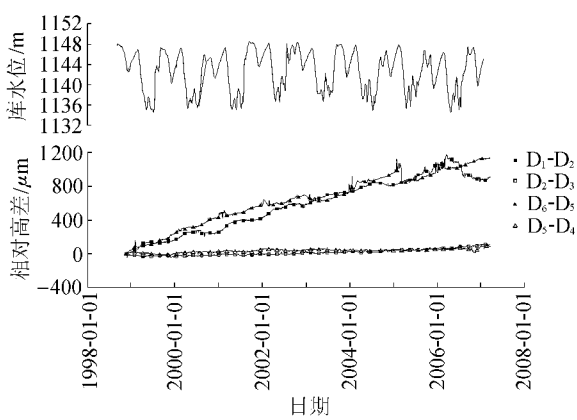


图 8 第二形变观测站相对高差过程线

3.2.1 基线水平位移过程线分析

基线 J_2 在趋势上基本无变化,该基线处于 F_{2-1} 断层上盘,未跨越断层,无水平位移是合理的;基线 J_4 跨越 F_{2-1} 断层,测点位于该断层上、下盘,有缩短的变化趋势,但变化幅度较小;基线 J_3 跨越 F_{2-2} 和 F_{2-3} 2 个断层,测点分别位于 F_{2-2} 断层上盘和 F_{2-3} 断层下盘,有缩短的变化趋势,且基线 J_3 的长度变化幅度大于 F_{2-1} 断层的水平位移,说明 F_{2-2} 和 F_{2-3} 断层的水平向变化较 F_{2-1} 断层更为显著;基线 J_1 跨越 $F_{2-1} \sim F_{2-3}$ 3 个断层,该基线的水平位移均大于其他基线的水平位移,这无疑是合理的。

3.2.2 相对高差过程线分析

D_2-D_3 监测 F_{2-1} 断层两侧的相对高差, D_5-D_4 不跨越断层,监测 F_{2-1} 上盘两测点之间的相对高差, D_2-D_3 和 D_5-D_4 过程线保持水平状态,表明 F_{2-1} 两侧上、下盘基本无相对高差。 D_1-D_2 监测 F_{2-2} 上盘与 F_{2-3} 下盘之间相对高差,过程线呈逐年上升趋势,变化速率以 0.1492 mm/a 保持基本不变; D_6-D_5 监测 F_{2-1} 上盘与 F_{2-3} 下盘之间相对高差,过程线呈逐年上升趋势,变化速率以 0.1309 mm/a 保持基本不变; D_1-D_2 和 D_6-D_5 变化速率基本相同,图 8 中显示 D_1-D_2 与 D_6-D_5 过程线基本重合,这与 D_2-D_3 测值无变化相吻合,说明 F_{2-1} 断层两侧高差基本无变化。

由图 7、图 8 可知,前述 4 种典型工况下,第二形变观测站的基线水平位移和相对高差无明显变化,即典型工况对其影响较小。

3.3 深层沉降标 S_1 S_2 观测资料分析

经分析 S_1 和 S_2 2 个测点在 1993 ~ 2006 年间有沉降变化趋势, S_1 下降了约 1.35 cm , S_2 下降了约 1.78 cm ,即 F_{2-1} 下盘的 S_2 下降更多,相对沉降差下降了约 4 mm ,该值与第一形变观测站在该时段内的相对高差变化量相当,这是因深层沉降标位置与第一形变观测站位置临近,断层变形情况类似所致。 S_1 , S_2 过程线如图 9 所示。

(下转第 84 页)

200 名代表参加了本届论坛。

随着人口数量的增加和科技水平的提高,产生了一系列的环境变化问题,如水资源短缺、水灾害频发、水环境恶化、大气中温室气体增加、臭氧层破坏、土地荒漠化等。近两年,我国环境特别是水环境问题日益突出,关注水、了解水、爱护水、利用水已成为社会热点话题之一。本届论坛强调了环境变化与水资源安全问题,并分“水文模拟与预报”、“水环境理论与分析”、“水资源、水安全与水文化”、“应用实践与技术方法”4个专题进行学术交流。

“中国水论坛”于2003年发起,得到了国内众多专家的大力支持,已成功举办了4届。通过举办论坛,展示水科学领域的最新研究成果,探讨水问题及其相关领域的基础理论、应用研究以及新技术应用等科学问题,为中国水问题的解决提供一定的思路、方法和措施,为国家水资源开发利用的宏观战略与水资源安全提供学术讨论的平台,并提出科学对策和建议。

4 中国水资源的发展与展望

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是生态与环境的控制性要素。面对经济发展、人口增加和全球气候变化,我国干旱缺水、洪涝灾害、水污染和水土流失等问题十分突出。处理好我国水资源问题,要大力推进节水防污型社会建设,强化水资源约束和水环境约束,完善有利于水资源节约和保护的政策法规体系,加快形成水资源可持续利用的体制、机制,通过对水资源的合理开发、高效利用、

综合治理、优化配置、全面节约、有效保护和科学管理,推动经济发展方式的转变和产业结构的优化升级,促进经济社会发展与水资源承载力和水环境承载力相协调,以水资源的可持续利用保障经济社会的可持续发展。

针对中国的水资源状况,当前要着力研究的几大问题是:①水资源演变规律的研究;②水生态环境问题;③水资源可持续利用问题;④农业水资源的高效利用;⑤加强水资源的监测、预报、调度工作。

针对面临的问题,以水资源的可持续利用支持我国社会经济可持续发展,中国的水资源发展战略重点是:①以建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业为目标的农业用水战略;②节水优先、治污为本、多渠道开源的城市水资源可持续利用战略;③人与洪水协调共处的防洪减灾战略;④解决北方水资源短缺的南水北调战略;⑤保证生态环境用水的水资源配置战略;⑥以源头控制为主的综合防治减灾战略;⑦以需水管理为基础的水资源供需平衡战略;⑧与生态环境建设相协调的西部地区水资源开发利用战略。

参考文献:

[1] Stockholm International Water Institute. 2007 Synthesis Report : World Water Week in Stockholm[C]//Stockholm :Stockholm International Water Institute 2007.
[2] HUBER H , WILDERER P A , PARIS S. International Symposium 2007 :Water supply and sanitation for all[C]// Berching ,Germany :The Quality Company-worldwide 2007.

(收稿日期 2007-12-17 编辑 方宇彤)

(上接第 70 页)

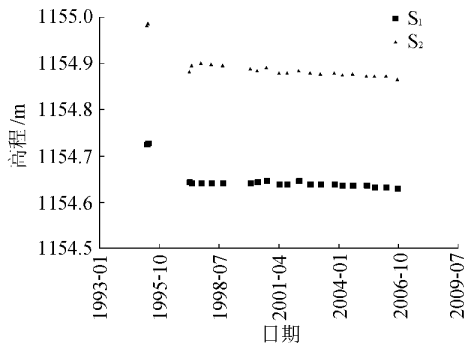


图9 深层沉降标 S₁ S₂ 过程线

4 结 论

a. 第一、第二形变观测站观测资料表明,断层两侧基线长度在逐年缩短,表明断层处于挤密变化趋势状态下,F₂断层的这种变化趋势更有利于水库安全运行,F₂断层两侧高差在逐年增大,但变化幅

度较小,不足以造成附近坝段的变形。深层沉降标测值所反映的F₂断层变形情况与第一、第二形变观测站的变形情况一致。

b. 4种典型工况对第一、第二形变观测站基线水平位移、相对高差变化无明显影响。

c. 现有运行条件下,F₂断层变形微小,不足以诱发大坝变形,但截至目前水库尚未经受设计范围内更大荷载的考验,故还应继续保持严密监测。

参考文献:

[1] 向新益,向容朝.新疆渭干河克孜尔水库3.15地震后加固工程勘察报告[R].乌鲁木齐:水利部新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院地质勘察研究所,1999.
[2] 张士辰.新疆维吾尔自治区克孜尔水库大坝变形观测资料分析报告[R].南京:南京水利科学研究院,2007.
[3] SL169—96,土石坝安全监测资料整编规程[S].

(收稿日期 2007-07-02 编辑 方宇彤)