

石门子水库近坝区渗漏与防渗分析

王恩志¹, 王慧明¹, 李 昂¹, 石 梅²

(1 清华大学水利水电工程系, 北京 100084; 2 石门子水库管理处, 新疆玛纳斯县 832200)

摘 要: 塔西河是天山北麓发育的诸多条河流之一, 成为该流域居民生活和工农业的重要水源。60-70年代, 为解决用水问题, 在塔西河下游建造了平原水库, 但对中上游用水和防洪问题却未能得到解决, 特别是水库渗漏所带来的大面积盐碱化已严重影响了当地的生态环境。因此建造山区调节水库势在必行, 石门子水库即为正在修建的塔西河上游第一梯级的水利枢纽工程, 其坝高和库容都远远大于平原水库。为此, 对石门子水库近坝区的水库渗漏问题进行了多种可能状况下的三维渗流计算分析, 并据此为库岸防渗方案的设计提供了依据。

关键词: 地下水; 渗漏; 防渗; 数值分析

中图分类号: P512.32

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2001)04-0079-04

Analysis on Seepage and Anti-seepage Method of the Areas Near Shimenzi Reservoir

WANG En-zhi¹, WANG Huiming¹, LIANG¹, SHIMEI²

(1 Department of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China,

2 Administrative Section of Shimenzi Reservoir, Manasi County 832200, Xinjiang, China)

Abstract: The Taxi River, originated from the north foot of Tianshan mountain, is the main water source of people's living, industry, and agriculture in the river basin. In 1960s to 1970s, the plain reservoir in the lower reaches of the Taxi River was built in order to ease the tension of water use, but it couldn't solve the problems of water use in middle and upper reaches of the river, and flood prevention, especially the salinization of soil in large area, which has severely affected the local environment. Therefore, to build a regulating reservoir in mountain area is very important. Shimenzi Reservoir being built is the water conservancy project of the first stage in the upper reaches of the Taxi River, its dam is higher and its capacity is larger compared with the plain reservoir. Finally three-dimensional computation and analysis of seepage flow under various conditions in this area is carried out, which provide a scientific basis for designing anti-seepage plan.

Key words: underground water; seepage; anti-seepage; numerical analysis

1 引言

新疆地域辽阔, 气候干旱少雨, 水资源的时空分布极不均匀。三大山脉(昆仑山、天山、阿尔泰山)造就了新疆南北地理地貌格局, 也影响了南北疆气候和人文的分布, 同时也为固体水资源(雪和冰川)提

供了储存场所。东西走向的天山横贯新疆的中部, 其雪山和冰川为天山南北麓的河流提供了源源不断的水源, 维系着天山南北的居民、农牧业和工业的用水, 其水量的丰枯严重的影响着这一地区的发展潜力和发展方式。因此, 修建贮水、引水、调水工程, 合理调配水资源的时空分布, 一直是这些地区进行经

* 收稿日期: 2001-08-25

作者简介: 王恩志, 男, (1958-), 博士, 副教授, 主要从事裂隙渗流和岩基工程方面的教学与研究。

济建设和社会发展的最为核心的工作之一。

天山北麓发育多条大的河流,这对干旱和半干旱的北麓广大地区则是极为宝贵的重要水源,有时甚至是惟一的水源。受水资源空间分布的制约,天山北麓的城市、农村、游牧民部落,无不沿着山前和盆地的交接区域的河流两岸分布,形成了天山北麓的经济带。天山北麓的这些河流又都是季节性河流,在出山口后,河水逐渐渗入地下,使下游河道干枯,仅在洪水季节河水可延续到沙漠的边缘。渗入地下的河水通过地下径流进入准葛尔盆地。由于河谷及两岸砂砾石颗粒大,渗透性强,使地下水位埋藏深,取水困难。由于河道的坡降很大,在洪水季节,洪水在出山口后呈漫流向下游和两岸冲刷,使道路、桥梁、民房和农田又会受到严重破坏。河流的这些特点给工农业用水和防洪都带来了严重困难。塔西河就是其中的一条河流,该河位于新疆玛纳斯县境内,东与呼图壁河相邻,西与玛纳斯河比邻。为解决工农业用水问题,自60~70年代,在塔西河下游建造了平原水库,坝高不足20m。水库修建后,对下游和周边的农业灌溉曾起到重要作用,但所带来的后果仍然是中上游用水和防洪问题未能解决,特别是水库渗漏所带来的大面积盐碱化已严重影响了当地的生态环境。为此,从90年代开始,制定了在中上游河段修建调节型水库的计划,以弥补平原水库的缺陷,并逐渐取代平原水库的作用。

塔西河中上游既为天山北麓的近山前地带,分布有大面积的中生代和新生代的碎屑岩类,其建坝的地质条件较差,侏罗系和白垩系的弱胶结碎屑岩类,其力学强度低,且遇水后极易软化,使强度降低达50%。而且这一地区还广泛分布有第四系冲洪积砂砾石松散层,水库的渗漏不仅会造成水量的损失,并使下游低洼地带会产生盐碱化,更为严重的是影响砂砾石层的稳定,这是因为在干旱条件下的砂砾石层的自然坡角都很大,甚至是陡峭的边坡,但在有水渗入时,就可能会产生滑塌失稳。岩层在有库水渗入的作用下,极大的削弱了岩石的强度,同样存在着失稳问题。这些问题又会对大坝和下游的安全带来严重的影响。因此,在中上游建坝,掌握渗漏的规律、做好防渗措施是一项关键的问题。为此,本文对塔西河上游正建的石门子水库进行了多种情况下的渗漏分析,为防渗系统的布设提供依据。

2 石门子水库工程概况

石门子水库工程位于新疆自治区昌吉州玛纳斯

县西南塔西河上游,为塔西河梯级开发的第一梯级工程,以灌溉为主,兼顾防洪和发电,是一个综合利用的中型水利枢纽工程。其主要建筑物由主河道的碾压混凝土薄拱坝、古河槽的黏土心墙副坝、左岸的导流兼引水发电隧洞、左岸下游的电站厂房及主坝坝顶溢洪道、坝身排水孔等组成。河谷高程1320m,大坝建基面位于1285m高程。水库的设计正常蓄水位高程1390m,校核洪水位1392.5m高程,地震设计烈度8°;总库容5010万m³。最大坝高109m,装机容量64MW。坝址位于中低山区,两岸山体海拔在1412~1637m,主河谷呈“U”型,谷底宽77m,谷顶宽95m,谷坡75~80°;两岸地形陡峭,形成“石门”峡谷,为良好的坝址地形。主河谷内沉积的砂砾石层厚度达30m。在主河谷的左侧有一条古河槽,古河槽内堆积了巨厚层的砂砾石,其基岩面在1340m高程。

坝址区基岩为侏罗系上统喀拉扎组(J_{3h1})层状弱胶结砾岩,两岸有数条断层切割,两岸主要发育IV级阶地,阶面高程1412~1430m,属基座阶地,谷底有河漫滩分布。主河道右岸山体雄厚,岸坡陡峭,基岩裸露,相对高度109~199m。主河道左岸受古河槽的切割,形成一鱼脊状单薄基岩山体,上窄下宽。古河槽底宽70m,顶宽110m,古河槽内充填第四系冲积砂卵砾石层。古河槽的左岸山体宽厚,上游库区段基岩裸露,岩坡陡峭,坝轴线及其下游为大面积的砂砾石层分布区,砂砾石的天然坡角多在50°以上,天然含水量极低。由于近地表砂砾石多为干燥状态,则形成了陡峭的砂砾石边坡。

3 地质与地质构造条件

坝址区出露侏罗系中、上统,白垩系下统地层,为一套连续沉积的河湖相碎屑岩,产出状态以中厚层至块状为主。第四系广布,以冲积砂砾石层和黄土为主。侏罗系中统为薄层、极薄层夹中厚层砂岩,泥质砂岩与泥岩互层。侏罗系上统为弱胶结的棕红色砾岩和青灰色砾岩。白垩系下统为砂岩、砂质泥岩、粉砂岩。第四系为冲积砂砾石层、洪积黄土、洪积含土砂砾石层及崩积、坡积物。

坝址区处于塔西河向斜南翼,地层产状270°/NE<30°;主要发育一组NE向次级断层:F₃、F₄、F₅、f₆等,断层规模相对较小。F₃断层在古河槽右岸山脚处通过,产状25°/SE<70°;破碎带宽10~30cm,切穿左岸鱼脊状山体。F₄断层发育在坝址右岸,断层产状43°/SE<65°,破碎带宽30~80cm,主要由碎裂岩、糜棱岩及断层泥组成,具擦痕和阶步,压扭

性,地形上形成“V”型沟槽。 F_5 断层发育在古河槽右岸,向上游延至副坝左岸上游,向下游切穿鱼脊状山体,断层产状 $35^\circ\text{SE}<72^\circ$;破碎带宽1.5~2 m,主要由碎裂岩、糜棱岩组成,具擦痕,属压扭性。 f_6 断层贯穿主坝的右岸山体,呈南北走向,近于直立,由断层面和糜棱岩组成。坝址区发育一组NNE向张裂隙,延伸长20~50 m,切割较深,上部张开。此组裂隙的切割加之风化卸荷作用,在坝址两岸上游陡崖边坡处常形成不稳定岩体。

坝址区共发育4组裂隙,但新鲜岩石中裂隙不发育。在岩层中存在有两种类型的软弱夹层,一类是岩性软弱夹层,共7层,发育剪切错动面,泥化,属泥夹岩屑型,微渗水;另一类是泥化夹层,由薄层含砾,含砂泥岩经错动、泥化而成。在两坝肩岩体中共划出7条棕红色砾岩软弱夹层和四条泥化夹层(J_1 、 J_2 、 J_3 、 J_4)。

右岸岩体渗透性相对较弱,据ZK8号孔压水试验单位吸水率 $\omega < 0.15 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$,仅局部出现 $\omega = 0.68 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$,总体上属极弱透水岩体。左坝肩岩体渗透性大于右坝肩,据ZK9号孔压水试验,在1340 m高程以上单位吸水率为 $\omega = 11 \sim 38 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 。天然条件下,河床卵砾石层透水性较大,地下水为埋深0.5~2.0 m。岩体裂隙水一般水量很小,分布高程均高于河水位,即坝区基岩裂隙水补给河水。坝址区新鲜基岩均属微透水-极弱透水岩组,仅风化带、左岸山脊,断层及节理密集带达到中等透水。按介质特性,侏罗系、白垩系砂岩、泥岩,其节理裂隙发育,渗透介质为裂隙型;砾岩,其碎屑粒径较大,存在接触式胶结单层或团块,地下水沿隐裂隙和岩石内孔隙渗透,属裂隙孔隙型介质;断层透水性相对较强,是地下水集中渗水途径,属带状渗透介质。

左岸山体和砂砾石层渗透性大,是发生库水渗漏的主要部位。虽然右岸岩体本身的渗透性较低,但由于裂隙和断层的沟通,加之局部岩石胶结较差,岩体中仍有大量渗流发生。渗流的存在不仅产生水荷载,而更重要的是使岩石软化和产生渗漏,对大坝山体和砂砾石层的稳定影响严重。因此,左岸山体和砂砾石层,包括副坝,右岸山体中的裂隙和断层,是本项工程中防渗主要对象,尽量降低两岸岩体中的地下水位,保持山体处于较干燥的状态,这对增加岩体和砂砾石层的稳定性有利。

4 坝址区库水渗漏计算分析

根据岩体和砂砾石层的渗透结构特征,本次计

算采用裂隙-孔隙混合渗流模型^[1]进行坝址区库水渗漏的三维计算。所谓混合模型是指:对于裂隙岩体采用离散裂隙介质渗流模型,并将岩体中的断层和大裂隙作为主干裂隙网络^[2],将岩块中的小裂隙按统计特征进行分组,确定各项异性渗透参量^[3],采用等效连续介质模型^[4];对于河床和地表砂砾石层采用多孔连续介质渗流模型。两类介质系统之间通过水量交换建立水力联系,在将水量交换方程转化为两类介质的水头函数表示。最后形成由裂隙水头和孔隙水头为函数的混合数值方程,通过方程求解,得到各点的水头和水位值^[5]。

以坝体为中心取计算范围为: $X \times Y \times Z = 600 \text{ m} \times 450 \text{ m} \times 300 \text{ m}$,包括了主坝(拱坝)和副坝(土坝)、右坝肩、左坝肩、主河道、古河道、左岸山体。计算单元的划分主要考虑排水孔幕、断层、防渗帷幕、固结灌浆、黏土心墙、混凝土防渗墙、岩体渗透性分区、河床砂卵砾石层、左岸砂砾石层、以及坝体混凝土和砂砾料分区(见图1)。

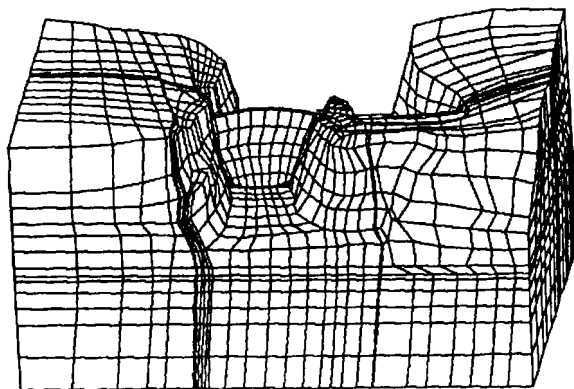


图1 石门子水库近坝区三维计算单元下游立视图

渗流分析的目的就是探讨不同条件下,包括防渗帷幕和排水的不同布置方案,渗流场的变化规律。本次分析主要考虑方案为:(1)无防渗帷幕和排水;(2)无防渗帷幕有排水;(3)有防渗帷幕无排水;(4)有防渗帷幕有排水,其分析结果如下(见图2)。

(1)无帷幕无排水:渗流场主要受岩体渗透性的影响,右坝肩岩体渗透性很小,从库岸渗透到坝轴线时,已消耗很大水头(约20 m),坝下游岸坡有地下水溢出,溢出带高约5~10 m。左坝肩岩体渗透性较大,左坝轴线上游岩体中水头消耗甚微,基本上接近全水头;过坝线后,受下游地形影响,水力坡降增大,但渗径短,坝下游岸坡溢出带位置较高(约35 m,远高于右岸的溢出带)。古河槽虽有副坝的黏土心墙及混凝土防渗墙作用,但通过副坝右侧山体(左坝肩)以及左侧山体绕渗,使副坝下游地下水位仍很高(1365~1370 m高程)。

于丰水期之基础流量应为 1.46 cm/s, 枯水期应为 0.61 cm/s。若按日流量延时曲线之 95% 为分析基础, 则查询历年最低日流量为 3.12 cm/s; 若按日流量延时曲线之最低标准 100% 为分析基础, 则推估之基础流量应至少为 1.87 cm/s。

依水理评估法分析结果, 最小生态基础流量应在 2.0~3.0 cm/s 之间, 如此河道水深为主要鱼种生存之最低限。有鉴于山区陡坡河道水理计算迄今于学术界仍未具定论, 计算成果仍需辅以现地实测成果予以验证。

参考文献:

- [1] Jowett, I G. Instream flow methods: A comparison of approach[J]. Regul. Rivers: Res. Mgmt. 1997, 13, 115~127.
- [2] Karim, K., M. E. Gubbels, & G. Goulter. Review of determination of instream flow requirements with special application to Australia[J]. Water Resources Bulletin, 1995, 31(6): 1063~1077.
- [3] Karr, J. R., P. R. Yant, & K. D. Fausch. Spatial and temporal variability of the index of biotic integrity in three mid-western streams[J]. Trans. Am. Fish. Soc., 1987, 116, 1~11.
- [4] Lorenz, C. M., G. M. Van Dijk, A. G. M. Van Hattum, & W. P. Cofino. Concepts in river ecology: Implications for indicator development[J]. Regul. Rivers: Res. Mgmt. 1997, 13, 501~516.
- [5] Montgomery, D. R. & J. M. Buffington. Channel-reach morphology in mountain drainage basins[J]. GSA Bulletin, 1997, 109(5): 596~611.
- [6] 吴富春, 李国升. 河川栖地模式 PHABSM 之水理计算敏感度分析[J]. 台湾水利, 1998, 46(2): 60~70.
- [7] 李载鸣. 台湾地区重要河川鱼道设计之研究[Z]. 文化大学土地资源学系, 1996.
- [8] 徐荣秀, 管立豪, 潘彦宏, 等. 森林溪流淡水鱼类保育工作资料汇整[Z]. 溪流环境保育研讨会讲义, 1997. 101~113.
- [9] 曾晴贤. 鲤鱼潭水库土林水力发电工程土林坝下游河道最小生态维护放水量检讨工作. 中兴工程顾问公司, 1995.
- [10] 谢国正, 吴素祯. 谁是最之赢家- 台湾鱼类 vs 水利工程师[J]. 中兴工程, 1995(45). 134~139.
- [11] 顾培森. 高山地区防砂坝与生态维护[C]. 第一届治山防洪研讨会论文集, 1995, 115~144.

(上接第 82 页)

用, 排水辅之。若使左坝肩下游岩体处于无水状态, 除要做好沿坝轴线的防渗帷幕和排水, 并使之与副坝防渗很好连接外, 还应防止副坝下游古河槽砂砾石层中地下水对左坝肩岩体的影响。

(3) 坝基排水起主导作用, 防渗帷幕作用较小。为有效降低坝基扬压力, 应做好排水。

(4) 因此, 基于上述分析结果, 防渗和排水系统布置如下:

a 右坝肩岩体内设置一道排水系统, 同时为防止断层和夹层的渗透, 布置一道灌浆帷幕, 并在断层

和夹层部位采用超细水泥灌浆。

b 坝基除布置排水系统外, 为使坝体与基岩能很好接触以及防止夹层渗漏, 仍然布置一道灌浆帷幕。

c 左坝肩 1340 m 高程以下因其渗透性低, 仍以排水系统为主, 并同设置一道灌浆帷幕以防止断层和夹层的渗漏。左坝肩 1340 m 高程以上因渗透性大, 设置两道灌浆帷幕, 并辅之一道排水系统。

d 副坝防渗靠黏土心墙和混凝土防渗墙, 防渗墙深入到下部基岩, 其右侧与主坝防渗帷幕相连接, 其左岸深入到基岩, 切断库水通过砂砾石层的渗漏。

参考文献:

- [1] Carrera J. J. and K. L. Lurdes. Mixed discrete-continuum models: a summary of experiences in test interpretation and model prediction[A]. Dynamics of Fluid in Fractured Rock[M], Editors: Boris Faybishenko, Paul A. Witherspoon and Sally M. Benson, Washington, D. C: American Geophysical Union 2000.
- [2] 王恩志, 王洪涛, 孙役. 双重裂隙系统渗流模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(4): 400~406.
- [3] 田开铭, 万力著. 各向异性裂隙介质渗透性的研究与评价[M]. 北京: 学苑出版社, 1989.
- [4] Pruess K., A mechanistic model for water seepage through thick unsaturated zones in fractured rocks of low matrix permeability[J]. Water Resour. Res. 1999, 35(4): 1039~1051.
- [5] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990a.
- [6] 李茂芳, 孙钊编. 大坝基础灌浆(第二版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987a.