

DOI: 10.11779/CJGE2022S2031

北疆干旱区平原水库大坝渗流稳定分析研究

阿布都沙拉木·托尔逊¹, 再娜甫·依米提², 马立平¹

(1. 新疆额尔齐斯河投资开发(集团)有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆财经大学, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 针对北疆干旱地区某平原水库的渗流隐患问题, 依据水库大坝多年渗流资料对其进行系统分析, 在此基础上, 就坝体与地基渗流量、出逸比降等方面进行了复核, 进一步明确了该水库的渗透稳定性。

关键词: 平原水库; 渗流; 渗流监测; 渗流计算; CPT

中图分类号: TV223.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2022)S2-0143-04

作者简介: 阿布都沙拉木·托尔逊(1976—), 男, 高级工程师, 主要从事水利工程建设与工程管理。E-mail: 2987300057@qq.com。

Seepage stability of plain reservoir dam in arid areas of northern Xinjiang

Abdu Shalamu Torson¹, Zai Na fu yimiti², MA Li-ping¹

(1. Xinjiang Erzise River Investment and Development (Group) Co., Ltd., Urumqi 830000, China; 2. Xinjiang University of Finance & Economics, Urumqi 830000, China)

Abstract: The hidden seepage problem of a plain reservoir in the arid area of northern Xinjiang is systematically analyzed according to the seepage data of the reservoir dam for many years. On this basis, the seepage flow of the dam body and foundation and the escape ratio drop are checked, and further the seepage stability of the reservoir is determined.

Key words: plain reservoir; leakage; seepage monitoring; seepage calculation; CPT

0 引言

北疆干旱地区某平原水库位于天山北缘山前冲积下部细土平原区。水库经四面筑坝围成, 主要构筑物包括大坝、放水(兼放空)涵洞、入库建筑物等, 总库容 2.81 亿 m³, 属大(2)型水库。自工程投入运行以来, 有力支撑了北疆地区的工、农业用水。然而, 受不良地质和恶劣环境影响, 水库运行存在风险隐患。影响因素主要体现在: 大坝基础为深覆盖层软基, 主要为第四系全新统洪积低液限粉土和低液限黏土, 局部夹薄层的透镜体粉细砂层; 库区地处新疆内陆干旱地区, 蒸发量大, 地下水含盐量高, 对普通水泥具有结晶类硫酸盐强侵蚀性; 地区冬季气温极低, 极端最低气温可达-40℃。软基蠕变、反复冻融、盐害等问题长期威胁着水库运行安全。

渗流破坏是水库大坝的主要破坏形式之一, 也是最值得关注的破坏类型^[1-4]。平原水库一旦发生渗流破坏, 后果不堪设想。目前来看, 库水位变化、坝体反复冻融等原因对坝体内渗流性状产生影响。鉴于此, 有必要根据工程地质勘察、渗流监测、安全检测等资料, 结合渗流计算对大坝渗流进行安全评价, 进一步掌握坝体渗流规律, 指导运管实际工作。

1 渗流监测与分析

为解决坝体渗流排水问题, 本工程在坝后设置了排水系统, 包括纵向和横向排水。纵向排水设置成明沟排水, 在距下游坝坡脚 66~88 m, 环绕中坝、东坝、西坝平行坝轴线布置, 总长 10.5 km。横向排水垂直坝轴线设置, 即每 70 m 设一道, 其余坝段每 100 m 一道, 环绕中坝、东坝、西坝垂直坝轴线布置, 横向排水首端接下游坝坡脚的排水棱体, 末端接纵向排水沟。沟底铺设 40 cm 反滤料及 20 cm 砂砾料。

根据前期工作安排, 此水库渗流监测项目包括: 渗透压力观测(自动化安全监测项目)、坝体渗透水位观测、围坝下游地下水位、坝后排水沟渗流观测。

1.1 渗流观测布设情况

(1) 坝基、坝体观测仪器布设

大坝共布设 11 个观测断面, 共计 125 只 GKD 型钢弦式孔隙水压力计, 布设情况如图 1 所示。其中, 东坝设 2 个观测断面, 西坝设一个观测断面, 上述 3 个断面的仪器主要用来观测东、西副坝坝体及坝基软弱夹层处孔隙水压力消散情况; 中坝两个圆弧段各设一个观测断面, 这两个断面的仪器主要用来观测圆弧

坝段坝基坝体的渗流状态；在涵洞两侧各设3个观测断面，主要用来观测涵洞两侧坝基、坝体的渗流情况。上述断面除东坝5只孔隙水压力计外，其他10个断面各布置12只孔隙水压力计。

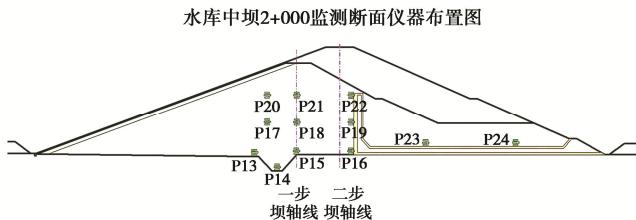


图1 监测仪器布置图

Fig. 1 Layout of monitoring instruments

(2) 涵洞观测仪器布设

涵洞沿线渗透压力观测，是在沿涵洞轴线的重点结构缝布设观测断面，以监测沿涵洞轴线的渗流情况。沿涵洞轴线共设置6个观测断面，每个断面布置6只孔隙水压力计（涵洞上、下、左、右、左上角、右上角各布置一只）。共计36只孔隙水压力计。目前实现自动化监测，每日进行两次监测。

1.2 渗流监测结果分析

(1) 坝体渗流情况

2014年至2021年监测结果如图2所示。从图2中可以看出，坝体各断面渗流基本稳定，随着库水位的变化而变化，与库水位呈正相关，变化有一定的滞后时间。靠近上游的测压计水头滞后时间为5~10 d，而靠近坝轴线的测压计滞后时间较长，为10~30 d。但都是随着库水位变化，符合坝体渗流规律。埋设在竖向排水棱体下游干燥区的测压计，水头在一个很小固定范围内上下波动，说明坝体内排水体通畅。此外，靠近上游的测压管水位随库水位变化，并有一定的滞后时间，滞后时间约半个月左右；而坝轴线附近和下游测压管水位基本稳定。

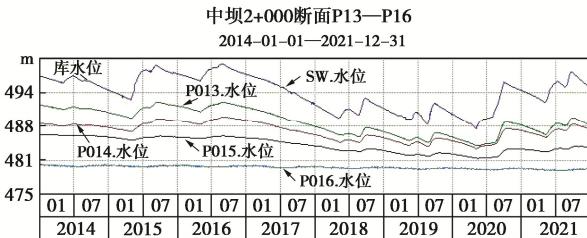


图2 坝体渗流监测结果

Fig. 2 Monitoring results of seepage of dam body

(2) 坝后地下水位监测结果

坝后地下水位情况如图3所示。水库运行16 a，中坝2+000断面坝后地下水测井水位已经趋于稳定，水位变化主要受水库蓄水影响。整体看离水库最近的

地下水测井水位最高，离水库越远，地下水位越低，说明坝后地下渗流已经趋于稳定。

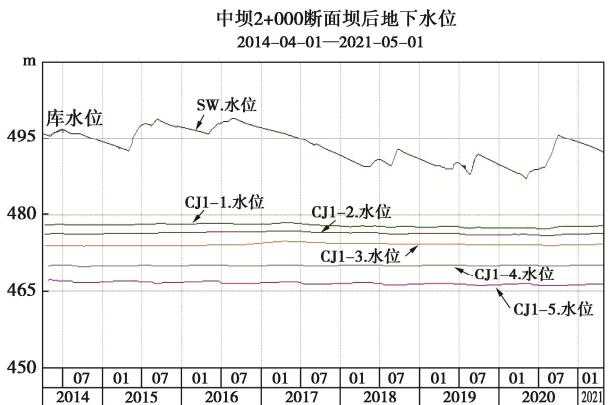


图3 坝后地下水位监测结果

Fig. 3 Monitoring results of groundwater level behind dam

(3) 坝后渗流

坝后渗流监测结果如图4所示。坝后渗流与库水位关系密切，水库高水位运行时，坝后渗流值相应较大，水库低水位运行时，坝后渗流值相应较小。且库水位稳定时，坝后渗流测值稳定，说明坝后渗流场基本稳定。

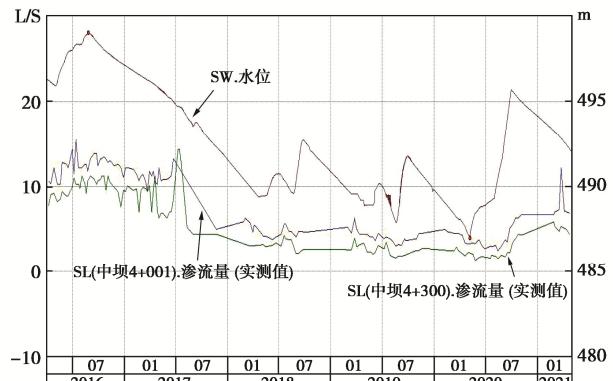


图4 坝后渗流监测结果

Fig. 4 Monitoring results of seepage flow behind dam

2 渗流计算复核

进一步地，复核坝体浸润线及其下游逸出点的位置，分析坝体渗流稳定、复核坝体与地基渗流量、坝坡出逸点的渗透比降，判断该处的渗透稳定性。

(1) 计算内容

根据《碾压式土石坝设计规范：SL274—2001》关于大坝浸润线、等势线、等压线及坝体、坝基渗透比降及渗流量的计算要求，本次综合水库近年运行表现及最新地勘成果，计算断面的选择应有一定代表性，同时处于较危险位置，遵循上述原则，选取典型断面进行此次渗流计算分析。大坝横断面如图5所示。

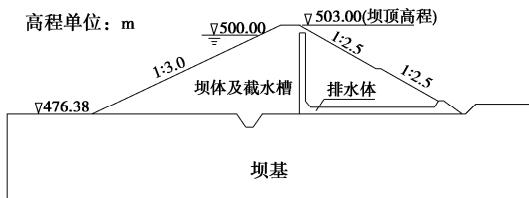


图 5 大坝横断面示意图

Fig. 5 Schematic section of dam

(2) 计算参数

水库大坝筑坝土颗粒级配情况及土料物理力学试验成果见表 1、表 2^[5]。采用北京理正软件设计研究院开发的《渗流分析软件》计算。根据试验成果, 结合经验类比, 工程土层物理力学指标采用地质建议值, 坝壳料、坝基渗透系数采用地质试验值, 根据《水库竣工验收报告》中排水体相关系数给出建议值, 渗透系数及允许渗透比降详见表 3, 4。

表 1 筑坝土颗粒级配表

Table 1 Grading table of dam soil

料场	粒组含量/%		取样 深度 mm	岩性 名称	备注
	>0.075 mm	0.075~ 0.005 mm			
A 土料场	20.5	61.8	17.7	1~5 CL	试验组数 N=60

表 2 筑坝土料物理力学试验成果

Table 2 Physical and mechanical test results of dam-building soil materials

位 置	取样 深度/m	天然状态下		土粒 相对 质量	液限 /%	塑限 /%	塑性 指数	组数
		含水 率/%	干密度 /(g·cm ⁻³)					
A 料 场	1.0~5.0	9.9	1.45	2.72	24.4	13.9	10.5	156

表 3 工程土层物理力学指标地质建议值

Table 3 Recommended geological values of physical and mechanical indexes of engineering soil layers

部 位	土体	土体厚 度/m	渗透系数 /(cm·s ⁻¹)	允许渗 透比降
坝体及 截水槽	低液限黏土	—	4.5×10^{-6}	0.9
坝基	低液限黏土及 低液限粉土	28	6.7×10^{-6}	0.45
排水体	砂砾石	2.5	2.0×10^{-3}	0.1

(3) 计算结果

坝体断面中坝、东坝和西坝处渗流量和出逸点渗透比降见表 5, 坝体的浸润线、水头等势线和水压力分布见图 6。从计算结果看: 坝体下游坝坡坡脚排水体最大破坏比降为 0.07, 小于允许的破坏比降 0.1; 坝基最大破坏比降为 0.11, 小于允许的破坏比降 0.45; 出逸点渗透比降均小于允许渗透比降, 即大坝坝体不

会发生渗透破坏。坝基渗透比降也均小于坝基允许比降, 即坝基不会发生渗透破坏。

表 4 典型断面渗透系数

Table 4 Seepage coefficients of typical cross-sections

部位	材料	渗透系数 $K/(cm \cdot s^{-1})$
东坝	坝体及截水槽	4.5×10^{-6}
	排水体	2.0×10^{-3}
	坝基	6.7×10^{-6}
中坝	坝体及截水槽	4.5×10^{-6}
	排水体	2.0×10^{-3}
	坝基	6.7×10^{-6}
西坝	坝体及截水槽	4.5×10^{-6}
	排水体	2.0×10^{-3}
	坝基	6.7×10^{-6}

表 5 渗流计算结果

Table 5 Calculated results of seepage

计算内容	中坝	东坝	西坝
单位渗流量/(m ³ ·s ⁻¹ ·m ⁻¹)	1.4×10^{-6}	8.22×10^{-7}	7.64×10^{-7}
坝体下游出逸点比降	0.07	0.04	0.05
排水体允许比降	0.1	0.1	0.1
坝基出逸点比降	0.08	0.08	0.11
坝基允许比降	0.45	0.45	0.45

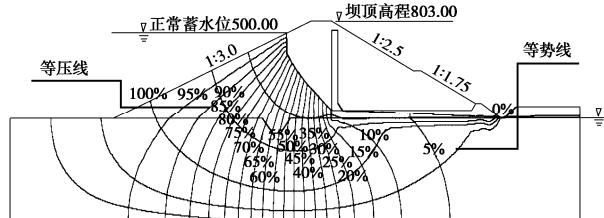


图 6 典型断面渗流有限元计算结果

Fig. 6 Results of finite element calculation of seepage of typical sections

根据水库监测资料, 2018 年水库渗流量为 23.90~39.35 m³/h, 大坝 2018 年年渗流量为 20.9 万 m³~34.5 万 m³。经本次渗流计算, 计算结果显示大坝年渗流总量为 52.22 万 m³, 占总库容的 0.19%, 水库渗流量较小, 大坝渗流稳定、正常。根据渗流安全计算结果, 结合国内外类似工程建设经验, 可以初步判断坝体发生渗透破坏的可能性较小。

3 结 论

本文围绕新疆北疆平原水库长期运行安全问题, 在渗流监测资料基础上, 通过渗流计算复核, 论证了该工程的渗流情况, 主要得到以下 4 点结论。

(1) 水库大坝为均质土坝, 采用坝体防渗, 坝体内设置竖式排水体, 底部用水平排水体将渗水引出坝外, 坝下游设置纵、横向排水沟。从工程实体的检测结果和实际渗流量来看, 水库大坝工程质量良好, 防

渗系统和反滤排水设施较完善,质量良好。

(2)根据水库渗流监测资料,所有坝体上游侧的渗压计监测得出,坝体各断面渗流基本稳定,随着库水位的变化而变化,与库水位成正相关,变化有一定滞后时间,基本符合坝体内部渗流水头逐渐减小的趋势,坝体排水通畅。

(3)大坝防渗土料以低液限粉土为主,土料具有对水分较敏感特性,运行期间应加强对大坝内部和外部的观测、监视,分析监测数据,为水库大坝正常运行提供可靠依据。

(4)大坝渗流压力变化规律基本正常,渗流量较小,浸润线出逸点基本与设计相符,坝体防渗土料满足设计和规范要求。

参考文献:

- [1] 李宏伟. 基于 ANSYS 的达坂某水库大坝渗流稳定分析研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2020, 3(2): 29 – 33. (LI Hong-wei. ANSYS-based analysis and research on the seepage stability of a reservoir dam in Daban Area[J]. Hydro Science and Cold Zone Engineering, 2020, 3(2): 29 – 33. (in Chinese))
- [2] 齐晓华. 基于有限元法的土石坝渗流及稳定分析研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012. (QI Xiao-hua. Research on Analyzing Dam Seepage and Stability Based on Finite Element Method[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012. (in Chinese))
- [3] 赵明辉, 彭清娥, 汤雷. 某土石坝渗流及稳定分析研究[J]. 西北水电, 2017(1): 30 – 34. (ZHAO Ming-hui, PENG Qing-e, TANG Lei. Analysis and study on seepage and stability of an earth-rock dam[J]. Northwest Hydropower, 2017(1): 30 – 34. (in Chinese))
- [4] 张献才, 张建伟. 某土石坝渗流稳定分析及安全评价[J]. 山西建筑, 2010, 36(11): 361 – 362. (ZHANG Xian-cai, ZHANG Jian-wei. Seepage stability analysis and safety evaluation on an earth-rock dam[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(11): 361 – 362. (in Chinese))
- [5] 杜进新, 杨晨, 潘旭勇. “500”水库筑坝防渗土的工程特性[J]. 水利建设与管理, 2006, 26(6): 34 – 36. (DU Jin-xin, YANG Chen, PAN Xu-yong. Engineering characteristics of impervious soil for “500” reservoir damming[J]. Water Conservancy Construction and Management, 2006, 26(6): 34 – 36. (in Chinese))

(编校: 明经平)