

陆浑水库坝基断层破碎带渗透稳定性评价

晏鄂川^{1,2} 唐辉明¹ 杨裕云¹ 王亮清¹

(1. 中国地质大学工程学院, 武汉 430074; 2. 成都理工学院, 成都 610059)

摘要: 陆浑水库位于河南省洛阳市嵩县境内. 为了论证大坝在水库投入正常高水位(319.5 m, 327.5 m, 331.8 m)运行时的安全, 经过对30余年的水位观测资料的整理和分析, 在厘定水文地质模型的定性分析基础上, 运用现代数理统计原理, 成功地解决了困扰水库正常运行的坝基渗流问题, 获得了关于坝基渗透稳定状况及其变化趋势的认识. 结果表明: 目前大坝的运行状况是正常的; 水库在缓慢蓄水过程中, 截水槽的薄弱部位可以得到渗透加固, 截水槽中的填土与岩石结合面的抗渗比降可达45以上; 上游铺盖与截水槽结合下游排水的防渗体系有效地控制了坝基渗流. 同时, 预测了高水位时坝基渗流是稳定的, 水库完全可以投入高水位运行. 这为病险水库的论证提供了一个案例.

关键词: 水文地质模型; 防渗体系; 水力坡降; 坝基断层破碎带; 渗透稳定性; 陆浑水库.

中图分类号: P641

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)01-0088-05

作者简介: 晏鄂川, 男, 讲师, 1969年生, 1998年毕业于成都理工学院, 获博士学位, 目前为中国地质大学地质工程专业博士后研究人员.

0 引言

陆浑水库大坝为砂砾石坝壳构成的粘土斜墙坝, 上游坝坡1:3.25~1:3.5, 下游坝坡1:2.45~1:2.7, 全长710 m, 坝高55 m, 总库容13.16×10⁸ m³^[1]. 土石坝工程于1959年开始兴建, 1965年8月基本建成. 斜墙和大坝本身的施工质量是良好的. 自建成以来, 由于存在洪水标准偏低、西坝肩渗漏及坝基渗透稳定问题^[2], 始终未按设计水位正常运用, 被列为重点病险库之一.

为了评价坝基渗透稳定现状, 黄河水利委员会于20世纪50、60年代在坝区作了大量的工程地质勘察, 提供了较丰富的基础地质资料. 陆浑水库管理处, 自1966年起进行了地下水位观测工作, 积累了30多年系统观测资料. 同时, 1990年水利水电科学研究院和1997年水利部大坝安全管理中心等均做了不少的研究工作^[3~5], 为陆浑水库安全运行做出了贡献. 为了尽早发挥陆浑水库正常蓄水的效益, 我们承担了陆浑水库坝基渗透稳定问题的系统研究. 本文即为该成果的部分内容.

1 坝基及其防渗措施的特点

大坝基岩以安山玢岩和玄武岩为主, 除在左右两岸边坡局部出露外, 大部分被中、晚更新世和全新世冲积物所覆盖. 其中河床段基岩顶板高程268 m, 上覆第四系沉积层, 平均厚约10 m, 河床中部较厚, 两侧至岸边较薄, 其顶板高程277.5~279.0 m. 据截水槽开挖和坝后钻探资料, 该层颗粒组成比较复杂, 存在明显的不均一性. 从总体上看, 该层以颗粒较粗的卵石、砾石为主, 其细粒充填物以中、粗砂为主, 且其含砂率多小于30%. 从剖面上看, 由上至下粗粒组(卵、砾)由细变粗, 细粒充填物砂粒组含量有所减少, 大致以深6~7 m为界可分为两层: 上部以砂砾石为主, 夹砂层透镜体; 下部以卵石为主, 卵石直径20 cm左右, 含砂量较少. 从平面上看, 经常有水流的河槽部位颗粒较粗, 河槽之间的心滩部位有砂层甚至淤泥沉积, 在河床近岸, 由于坡积、洪积物的参与, 卵、砾石中粉粘粒含量增加, 有时形成含碎块石的粘性土, 其厚达1 m左右.

坝基地质构造比较复杂, 存在规模巨大的顺河断层. 截水槽开挖后, 对基坑卸荷松动及风化岩体, 以及断层破碎带均未作帷幕灌浆处理; 截水槽回填

表 1 断层带物理性质
Table 1 Physical properties of fault in the dam foundation

名称	粒级含量/%						不均匀 系数	含水量/%	湿容重/ (g·cm ⁻³)
	漂砾级 >200 mm	卵石级 200~20 mm	砾石级 20~2 mm	砂粒级 2~0.05 mm	粉粒级 0.05~0.005 mm	粘粒级 <0.005 mm			
F ₅ 断层泥				59.4	22.0	18.6	66.0	10.3	22.5
F ₅ 碎屑岩		8.0	36.0	41.0	11.6	3.4	29.5	4.0	21.6
F ₂ ,F ₃ 碎块岩	9.4	21.5	39.6	23.4	5.4	0.4	83.3		
F ₂ ,F ₃ 碎屑岩		17.2	48.8	22.8	9.4	0.8	250.0		

时在泉水较大的部位局部填土干密度仅为 1.40~1.55 t/m³,未达设计 1.70 t/m³ 的要求;局部截水槽底宽仅有 6~7 m,亦未达原设计 8 m 的要求. 由于上述隐患,人们心存的主要疑虑是坝基渗透变形,以及由此危及大坝安全的问题. 因此,几十年来多数时间库水位多在 315 m 以下,最高仅为 318.57 m (1996 年 11 月 20 日),亦未达正常设计水位 319.5 m 的要求,一直未能正常发挥以其防洪为主的综合利用效益.

陆浑大坝坝基渗流控制系统由截水槽、粘土斜墙、上游铺盖和下游滤水坝址、反滤层构成. 截水槽下游面设置两级反滤层:第一层为 $D_{60}=0.25\sim0.50$ mm 的中砂,第二层为 $D_{50}=1.3\sim2.0$ mm 的砾质粗砂,第二层反滤层与河床砂卵石之间用回填砂砾石的方法相连接. 经过水库运行,天然淤积铺盖已经形成(厚 8~12 m),并与人工铺盖相衔接.

2 坝基断裂带特征

2.1 工程地质特征

坝址区断层多为陡倾角正断层,破碎带的物质组成多为岩块、碎屑及泥质,挤压紧密,但多数未胶结,用锤轻击即碎. 较大断层一般两侧或一侧有影响带,较小断层则无影响带. F₅ 断层带(图 1)位于桩号 0+640~0+680 之间,其破碎带的物质组成不一,在桩号 0+660~0+680 之间,以碎屑、岩粉和断层泥为主. 碎屑物为玻基、半玻基,成压碎的糜棱岩状、碎粒碎粉状结构,原生矿物大多蚀变为次生矿物,风化破碎严重,泥质胶结,挤压紧密. 靠近下盘(即 0+680 处)有条带状断层泥分布,其中夹有少量碎屑物质,粘性大,且很密实,因受地下水长期浸润比较软腻,有的呈稠糊状. 桩号 0+640~0+660 之间,以岩石碎块为主,碎屑次之,含泥量显著减少,碎块直径一般 2~5 cm,愈靠近上盘,岩块愈大,含泥量愈少.

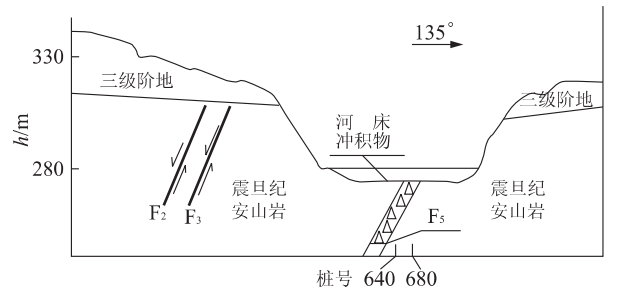


图 1 坝基断层带剖面
Fig. 1 Section sketch of fault in dam foundation

F₅ 断层破碎带的物理性质见表 1.

2.2 水文地质特征

坝基基岩裂隙水主要赋存于断层破碎带内,水库蓄水前主要为大气降水补给,蓄水后为库水渗流补给. 采用野外试坑注水,钻空注水、抽水、压水,管涌及室内试验等方法掌握了断层破碎带的透水性状(表 2). 据水利水电规范和《工程地质手册》^[6]可知,断层破碎带均为弱透水或中等透水岩层.

表 2 断层破碎带的渗透系数
Table 2 Permeability coefficient of fault

名称	测定次数/次	变化范围	均值	建议值	透水性分级
F ₅ 破碎带	8	0.000 76~0.078	0.042	0.05	弱透水
F ₂ ,F ₃ 破碎带	14	0.022 6~4.01	0.76	0.92	中等透水
F ₂ ,F ₃ 影响带	28	0.000 54~2.19	0.24	0.49	中等透水

2.3 抗渗强度

黄委会曾在陆浑水库坝后、西坝头和溢洪道等处,对断层破碎带作过现场原位渗透变形试验. 其中于 1962 年在坝后 F₅ 断层延伸部位,打了 5 个钻孔(孔距 1.5~2.0 m),选择 3 个钻孔分别在断层破碎带、上盘影响带和下盘影响带进行试验^[7]. 在 3 组试验中共作了 9 个试段,取得了 7 个试验成果(表 3).

由表 3 可知,在试验段的断层破碎带和影响带的透水性很小,抗渗强度较大. 试验中因岩层抬起或

表 3 坝基断层现场钻孔渗透变形试验成果

Table 3 Test results of seepage deformation of bore in the dam foundation

试验位置	渗透系数/ ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)	变形比降	破坏比降	备注
断层带	0.005 0	>15. 80	>15. 80	因地层抬升
断层带	0.000 8	>23. 80	>23. 80	未确定出真
断层带	0.060 0	>23. 40	>23. 40	正的破坏比降
断层带	0.004 0	>29. 10	>31. 7 0	
断层及下盘影响带	0.003 0	>18. 80	>29. 80	
断层及上盘影响带	0.002 0	4. 52	>21. 80	未再加大水头试验
断层及上盘影响带	0.004 0	30. 20	42. 90	在断层带中破坏

据黄河水利委员会勘测设计院.

其他原因,不能继续提高试验水头,大部分试段没有达到破坏.在断层破碎带的 4 个组段的试验中,各试验段最大的水力比降分别为 15. 8,23. 8,23. 4,31. 7 时都未破坏.此外,在西坝头对 F_2 、 F_3 断层破碎带所作的现场渗透变形试验,当试验最大水力比降达 30 时,也未发生破坏现象.断层下盘影响带的试验中,试验最大水力比降达 29. 8 时亦未发生破坏现象;断层上盘影响带的试验中,破坏比降为 42. 9. 为安全计,评价断层渗透变形可能性时,破碎带的破坏比降可采用 30;影响带的破坏比降可采用 40.

3 断层破碎带渗透稳定性评价

3.1 宏观稳定性评价

30 余年的观测资料分析表明,坝基断层管水位与库水位之间多年一直保持稳定的关系.对管水位相关因素采用了逐步回归分析方法中的显著性检验水平值来判别排序,其结果是,与测压管水位相关性最显著的是库水位,其次是海漫水位或降雨量,最后是东、西坝肩(头)渗流量.因此,库水位是长期的控

制性因素,海漫水位和降水是起叠加影响作用的因素.同时,坝基测压管水位均能与其各相关因素间建立一定的回归方程,这可用于管水位的分析和预测(当然,预测值有一定的置信区间及保证率).

无论是相对低库水位或高库水位,自 1975 年以来,断层管水位均是逐年下降的,并且,在相对高水位时,以坝基中部管水位下降速率为最大.这表明在高库水位时的管水位与低库水位时的值相当,绝大多数均低于 277. 0 m(仅在水库蓄水初期有少数超过 277. 0 m).这在一定程度上反映了各测压管相应地段透水介质的水文工程地质特性的差异性,同时也反映了大坝防渗体系如截水槽和铺盖以及粘土斜墙在水库缓慢蓄水的运行过程中,已产生了渗透固结和压密固结作用.这说明了大坝防渗体系的抗渗性能已有所提高.预测在未来高库水位条件下,坝基测压管水位也不会骤然升高,仍在原河滩地面高程 278. 0 m 以下.同时,坝面长期监测结果也未发现异常现象.由此表明,大坝在 318. 57 m 的水位下运行的实际表现是良好的,断层带宏观上不存在大的渗透变形问题.

3.2 渗透变形评价

为了评价截水槽下游断层破碎带的渗透变形状况,对 1975 至 1998 年期间共 10 余年的观测资料进行了断层带的水力坡降统计计算^[8~10](图 2),结果表明,水库运行至今,断层破碎带的水力坡降最大值为 0. 008 947,特别是 1989 年之后,其水力坡降值均小于 0. 006,即随着水库运行时间的推移,断层破碎带的水力坡降极值有所下降.这与断层破碎带的破坏比降 30 相比,几乎无产生渗透变形的水动力条件.因此,坝基断层破碎带的渗透稳定性较好.

据图 2 所确定的高库水位条件下断层破碎带的水力坡降预测值(表 4).在万年一遇洪水位时,断层破碎带的水力坡降均值为 0. 002 032,极大值为 0. 006,这比断层破碎带的破坏比降30低很多.因此

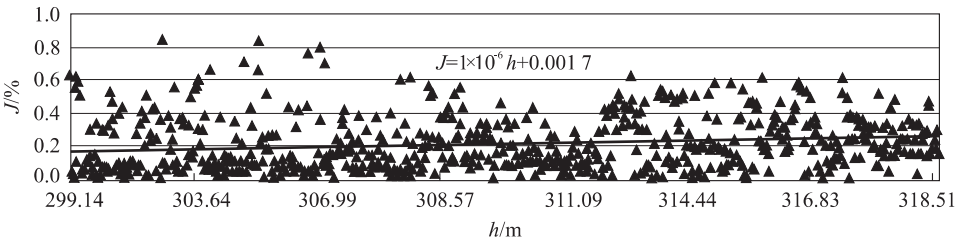


图 2 断层破碎带水力坡降统计关系曲线

Fig. 2 Statistics curve of hydraulic gradient of the fault

表 4 高库水位时断层破碎带水力坡降预测结果
Table 4 Results of hydraulic gradient of the fault at the high water-level

库水位/m	断层破碎带水力坡降	
	平均值	极大值
319.5	0.002 020	0.006
327.5	0.002 028	0.006
331.8	0.002 032	0.006

据观测资料统计预测.

在高库水位时,断层破碎带产生渗透变形而破坏的可能性较小.

4 结论

通过对陆浑水库坝基断层破碎带的工程地质资料和水位观测资料的分析、数理统计和数值模拟等综合研究,可得以下主要结论:

(1)陆浑水库坝基坝体由物理力学性质特别是透水性差异较大的各种岩土体组成.构成坝基主体的河床冲积物岩性、厚度和空间分布随地而异;基岩中断裂较发育,存在 6 条规模较大的顺河断层.整个坝基可概化为不均匀性比较显著,结构比较复杂的多层结构的水文地质模型.同时,自坝轴线以下,河床横断面(即坝基过水断面)不断加宽;坝基地下水动态变化受到库水位、坝后各种输水建筑物泄水和漏水、降水、两坝肩绕渗等各种不定因素的影响,因此,整个坝基渗流场具水文地质结构复杂的非稳定空间流特征.

(2)随着时间的推移,因水库淤积所形成的天然铺盖逐年加厚,同时,因渗透固结和自重固结作用,将使天然铺盖的密度逐年增大,其透水性逐渐变小,

抗渗强度和防渗效果逐渐提高.这说明了大坝防渗体系的抗渗性能已有所提高.预测在未来高库水位条件下,坝基断层测压管水位也不会骤然升高,仍在原河滩地面高程 278.0 m 以下.

(3)据统计预测和数值模拟成果,库水位 319.5 m,327.5 m 和 331.8 m 时,断层破碎带的最大水力比降均为 0.006,比断层带的抗渗比降小得多,从宏观上看断层带不会发生危及大坝安全的渗透变形.

参考文献:

[1] 吴喜定. 陆浑水库简介[J]. 人民黄河,1990,(5): 10~11.
[2] 宋然. 陆浑大坝坝基及东西坝头渗透稳定性分析[J]. 人民黄河,1990,(5): 17~19.
[3] 刘杰. 陆浑坝基运行现状安全评价[J]. 人民黄河,1990,(5): 21~24.
[4] 刘杰,缪良绢. 缓慢蓄水对大坝防渗体渗透加固作用的试验研究[J]. 人民黄河,1990,(5): 29~33.
[5] 朱建华,范振国,宋然. 陆浑水库天然淤积铺盖防渗性能分析[J]. 人民黄河,1990,(5): 33~35.
[6] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,1992. 923~930.
[7] 缪良绢,刘杰. 陆浑大坝截水槽接触渗透试验研究[J]. 人民黄河,1990,(5): 36~39.
[8] 毛昶熙主编. 渗流计算分析与控制[M]. 北京: 水力电力出版社,1990. 321~328.
[9] 杨裕云. 堤防工程地质病害与防治决策应注意的问题[A]. 见: 山的呼唤(张咸恭教授八十华诞暨从事地质工作六十年庆贺文集)[C]. 北京: 地震出版社,1999. 236~240.
[10] 陈葆仁,洪再吉. 地下水动态及其预测[M]. 北京: 科学出版社,1988. 210~228.

A SYSTEMIC EVALUATION OF SEEPAGE STABILITY FOR FRACTURE ZONE IN LUHUN DAM FOUNDATION

Yan Echuan^{1,2} Tang Huiming¹ Yang Yuyun¹ Wang Liangqing¹
(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Luhun Reservoir lies in the middle reaches of Yi River, Songxian County, Luoyang City, Henan Province, China. The authors have analyzed the water-level observation references for the past over 30 years, and determined the qualitative analysis of the hydrogeological models. On this basis, this

paper presents, in line with the principle of modern mathematical statistics, a successful solution to the seepage in the dam foundation that has prevented the normal operation of the reservoir. This solution deepens our understanding of the seepage stability and its changing pattern for the dam foundation, in order to secure the normal operation of the dam when the reservoir reaches its normal high water levels (319.5 m, 327.5 m, 331.8 m). The research results show that the present operation of the dam is normal, that the weak parts of the cut-off trench can be consolidated during the slow storage of water in the reservoir, and that the seepage resistance rate at the interface between the soil fill and the rocks in the cut-off trench may reach over 45. The seepage-proof system consisting of the blanket in the upper reaches and the cut-off trench combined with the drainage in the lower reaches has effectively controlled the seepage in the dam foundation. At the same time, the seepage in the dam foundation when the water level is high is forecasted to be stable, so that the reservoir can be put to operation when the water level in the reservoir is high, providing an example of the proof of a defective and dangerous reservoir.

Key words: hydrogeological model; seepage-proof system; hydraulic gradient; fracture zone in dam foundation; seepage stability; Luhun reservoir.

中国地球物理学会第十六届年会在武汉召开

中国地球物理学会第十六届综合学术年会于 2000 年 10 月 21 日—24 日在武汉中国地质大学隆重举行。来自全国各地和海外的 683 名地球物理工作者参加了会议。大会展示了近年来我国地球物理科学研究中已取得的成果,探讨地球物理在我国资源、环境与可持续发展中的意义。

我国著名科学家、中国科学院院士刘光鼎、陈颢、周济、赵鹏大、殷鸿福、王水、刘振兴、汪集昉、马在田、马宗晋、许厚泽等院士出席了会议。湖北省副省长王少阶作了重要讲话,湖北省科协副主席栗陶生和中国地质大学(武汉)校长殷鸿福在会上作了热情洋溢的发言。这次会议由中国地球物理学会主办,中国地质大学和湖北省地球物理学会承办,得到长江工程地球物理勘测院、中石化股份公司、江汉石油学院、中国地质大学等单位 and 个人的赞助。

这次大会的主题是:“地球物理科学与社会可持续发展”。大会进行了三个大会报告,五个大会专题报告、青年科技工作者专题报告和题为“地球物理与西部开发”的讨论会。许厚泽院士作了题为“卫星测高技术在中国海洋地球物理环境监测中的应用”的报告;陈颢院士作了题为“地震学术和地震灾害”的报告;邓大量(美籍)教授作了题为“台湾地震研究和集集地震之科学成果”的报告;花田英夫博士作了“日本登月计划”的报告,徐义贤博士作了题为“工程

与环境地球物理研究与实践”的报告等,此外还有 7 位青年科技工作者分别作了专题报告,参加了 2000 年青年科技奖的评选。何展翔、陈小宏、杨惠根和黄春宝获得 2000 年度青年科技奖(傅承义奖)。第十六届学术年会优秀论文奖获得者是:李平、张健、陈涛和严又生。有关专题也评选了“第十六届学术年会学生优秀论文奖”,获奖者为刘丽峰。他们的报告得到代表们的欢迎。

会议期间举办了“2000 年地球物理年会地球物理工程环境设备展”,参展厂家有美国 OYO Geospace Engineering Inc.,北京 DNO 工程地球物理仪器公司,北京劳雷工业公司,国家地震局兰州地震研究所等 7 个仪器厂家和单位。

与会代表一致认为,此次会议的特点是:充分体现多学科交叉,为代表跨学科交流提供了重要机会;基础理论研究强调国际合作高起点,目标瞄准国际前沿,应用方面紧密结合国民经济建设主战场;青年学者在会议交流和组织方面极为活跃,他们的许多研究工作已走在前面,体现了地球物理事业后浪推前浪,后继有人。此外代表们还对学科发展、学会工作等提出了许多有益的建议。

物探系 张德玲供稿