

惠州抽水蓄能电站水库渗漏条件分析

丁耿龙¹, 叶合欣²

(1. 广东省水利电力勘测设计研究院, 广东 广州 510170; 2. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610)

摘要 在对惠州抽水蓄能电站库区工程地质条件进行详细调查的基础上, 采用现场试坑注水和钻孔注水、压水试验等方法了解岩土体的透水性。分析表明上下、水库均存在库水外渗条件, 且上水库渗漏问题比较突出。库水外渗主要沿通往库外的断裂构造与强风化带连通形成的渗漏通道渗漏。建议采取截渗墙结合帷幕灌浆作垂直防渗体为主的防渗措施, 同时充分利用坡积土和全风化带作为水平防渗铺盖以减少防渗处理工作量。

关键词 水库渗漏 渗透系数 透水率 防渗措施 惠州抽水蓄能电站

中图分类号 :TV223.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2006)01-0050-04

Leakage condition analysis for reservoir of Huizhou Pumped Storage Power Station//DING Geng-long¹, YE He-xin²
(1. Guangdong Provincial Investigation, Design, and Research Institute of Water Conservancy and Electric Power, Guangzhou 510170, China; 2. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, China)

Abstract :Based on a thorough investigation of the engineering geological condition for the reservoir region of the Huizhou Pumped Storage Power Station, the in-situ trial pit water injection test, boring water injection test, and water pressure test were performed to study the permeability of rock and soil mass. The result shows that the leakage from the upper and lower reservoirs might occur, and that water leakage from the upper reservoir is more serious. Water leakage from the reservoirs mainly follows the passage, which is formed by connection of the fracture structure outward extending with the strongly weathered zone. It is suggested that the impervious wall combined with curtain grouting should be taken as the main vertical impervious body for seepage control, and that the full use of slope wash and fully weathered zone as horizontal impervious blanket should be taken to reduce work load for seepage control.

Key words :reservoir leakage; permeability coefficient; rate of permeability; measure for seepage control; Huizhou Pumped Storage Power Station

惠州抽水蓄能电站为一大型蓄能水利水电工程, 位于广东省惠州市博罗县城郊。电站枢纽工程由范家田上水库、礞头下水库、输水系统、地下厂房系统、开关站及场内公路组成, 设计总装机容量 2400 MW。上水库正常蓄水位 762 m, 死水位 740 m, 总库容 3 171 万 m³, 有效库容 2 739.6 万 m³; 下水库正常蓄水位 231 m, 死水位 205 m, 总库容 3 190.5 万 m³, 有效库容 2 766.6 万 m³。电站库区断裂构造发育, 库周发育有单薄分水岭及多处低矮垭口, 尤以上水库为甚。水库渗漏问题是电站主要工程地质问题之一, 通过对库区工程地质条件的详细调查, 在查明库区工程地质条件的基础上, 采用现场试坑注水和钻孔注水、压水试验了解岩土体的透水性, 从而对水库渗漏工程地质边界条件进行分析, 并估算库水渗漏量和提出防渗处理措施建议。

1 库区工程地质条件

1.1 水库渗漏的基本条件

库水向库外渗漏的工程地质条件有^[1] :①在地

形地貌上存在低于水库正常蓄水位的邻谷或洼地, 且地表分水岭比较单薄; ②库底和库周存在透水性岩层; ③库区存在通向邻谷或洼地的透水带(如胶结差的断层破碎带和裂隙密集带)或岩溶通道, 与透水性岩层连通起来形成库水外渗的渗漏通道; ④地表分水岭地区无地下分水岭或地下分水岭低于正常蓄水位较多。

1.2 上水库库区工程地质条件

上水库位于东江支流小金河上游的象头山上, 库内现有已建成的范家田水库和东洞水库。库盆主要由两条近南北向(北垭和东洞)和一条北西向(西洞)的大冲沟及其汇合段组成, 库周地表水、地下水向库盆汇集后往库盆南侧唯一的出口小金河流往库外, 主坝址位于库盆出口下游侧的“V”字形峡谷段。库周植被发育, 山坡坡度 20°~25°, 局部 30°~40°。库周东侧、北侧山顶高程 810.00~940.00 m, 西侧山顶高程 800.00~880.00 m, 山体完整雄厚, 南侧主坝

作者简介: 丁耿龙(1974—), 男, 广东汕头人, 工程师, 从事工程地质及岩土工程研究。E-mail :sundgl@21cn.com

址附近山顶高程 780.00 ~ 820.00 m, 往下游方向地形迅速降低。库内冲沟和低矮垭口发育, 主坝址左坝头与一山顶高程 775.00 ~ 790.00 m、长约 400 m 的近南北向条形山连接, 为单薄分水岭, 分水岭东侧发育一沟底高程 720.00 ~ 740.00 m 的南北向冲沟, 主坝址左岸上游(东洞水库库尾)有一垭口, 高程 775.34 m, 北西侧库尾(西洞)有一垭口, 高程 751.41 m, 为副坝四位置, 主坝址右岸发育有 6 处垭口, 其中 3 处垭口高程分别为 758.58 m, 737.36 m, 751.07 m, 为副坝一、副坝二、副坝三位置; 另 3 处垭口高程分别为 764.66 m, 763.50 m, 766.20 m, 为垭口一、垭口二、垭口三位置。

上水库库盆及库周山体地层岩性主要为混合岩及燕山四期中细粒花岗岩, 其中分布有后期呈脉状陡倾角侵入的石英脉、煌斑岩脉、闪长(玢)岩脉等。库盆和冲沟底分布有洪冲积层厚 2 ~ 5 m, 库周山坡上覆坡积层厚 0.2 ~ 2.5 m。

上水库库区断层以陡倾角小断层为主, 延伸不长, 多数分布于库内, 少数延伸出库外。断层按走向可分为 NE, NW, 近 SN 和近 EW 向 4 组, 其中 NE, NW 向组最发育。断层带主要为构造角砾岩、硅化岩、碎裂岩夹石英脉, 少数为糜棱岩、断层泥等, 胶结一般较好, 部分较差。

上水库库区地下水类型有赋存于坡积层、全风化带和洪冲积层中的孔隙性潜水, 及赋存于强风化带、弱风化带和微风化带中的基岩裂隙水。

1.3 下水库库区工程地质条件

下水库位于东江支流礞头河(溶溪沥水)上游, 库盆由上礞和下礞两个山间盆地组成, 两盆地由一条‘S’形冲沟连成一体, 上礞和下礞盆地均各由一条北西向和一条北东向大冲沟组成, 库周冲沟水呈树枝状汇入库盆内形成礞头河, 由上礞流往下礞, 在下礞盆地南侧峡谷处流出库盆, 注入礞头小水库。礞头河为库盆内唯一通往库外的河谷, 主坝址位于礞头小水库库尾的峡谷段。库周植被发育, 山坡坡度 15° ~ 30°。西侧—北侧和南东侧山顶高程 300.00 ~ 500.00 m, 东侧—北东侧山顶高程 500.00 ~ 800.00 m, 山体完整雄厚。南侧主坝址附近山顶高程 235.00 ~ 300.00 m。主坝址左坝头东侧有一垭口, 高程 210.57 m, 为副坝位置。副坝左坝肩山头东侧有另一垭口, 高程 240.50 m。

下水库库盆及库周山体地层岩性主要为燕山四期中细粒花岗岩, 局部为中粗粒花岗岩, 其次为混合岩, 其中分布有后期呈脉状陡倾角侵入的石英脉、闪长(玢)岩脉、煌斑岩脉、辉绿岩脉、石英斑岩脉等。库盆和冲沟底分布有洪冲积层厚 2 ~ 6 m, 库周山坡上覆坡积层厚 2 ~ 10 m。

下水库库区断层以陡倾角小断层为主, 延伸不长, 多数分布于库内, 少数延伸出库外。断层按走向可分为 NW, NE, NNE, 近 SN 和 NNW 向 5 组, 以 NW 向组最发育。断层带主要为碎裂岩、硅化岩、硅化构造角砾岩、糜棱岩等, 硅质和铁质胶结一般较好, 部分较差。

下水库库区地下水类型有赋存于坡积层、全风化带和洪冲积层中的孔隙性潜水, 及赋存于强风化带下部、弱风化带中上部的基岩裂隙水。

2 水库渗漏条件分析

2.1 上水库渗漏条件分析

上水库库周东侧、北侧和西侧山体完整雄厚, 地表有 10 处泉眼出露, 高程 764.00 ~ 790.00 m, 均高于正常蓄水位, 地下水补给库水, 不会发生库水外渗。南西侧地形低矮, 主副坝址、单薄分水岭及各低矮垭口山顶地下水位一个水文年长期观测结果在 737.98 ~ 758.06 m 之间, 均低于正常蓄水位, 存在库水外渗条件。

主坝址全风化带左岸厚 2 ~ 15 m, 右岸厚 1 ~ 6 m, 强风化带厚 7 ~ 23 m, 河床为弱风化岩。地下水位长期观测结果左岸钻孔 ZK1001 为 738.42 ~ 739.58 m, 右岸钻孔 ZK1004 为 737.98 ~ 738.30 m, 低于正常蓄水位, 蓄水后库水补给地下水。全风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.52 \sim 1.91) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性, 上部以中等透水性为主, 中下部以弱透水性为主, 具有一定的防渗作用。强风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.64 \sim 11.30) \times 10^{-4}$ cm/s, 钻孔压水试验透水率为 2.7 ~ 7.8 Lu, 具弱至中等透水性, 为相对透水层。弱风化带钻孔压水试验透水率为 0.5 ~ 5.0 Lu, 具弱至微透水性, 为相对隔水层。主坝址通往库外的断层有 F₄, F₈, F₁₆₈ 及 F₃₁₁, 其中 F₁₆₈ 于钻孔 PSK03 及 ZK1004 中有揭露, 钻进时有回水消失现象, 说明该断层带透水性较好。断层带具中等透水性, 与强风化带连通形成通往库外的渗漏通道。

副坝一、副坝二、副坝三及副坝四地形上为垭口地带, 地下水位长期观测结果如下: 副坝一左岸 ZK1015 为 739.58 ~ 739.88 m, 右岸 ZK1017 为 736.29 ~ 740.58 m, 副坝二左岸 ZK1020 为 736.10 ~ 739.90 m, 右岸 ZK1024 为 743.36 ~ 746.76 m, 副坝三左岸 ZK1027 为 740.26 ~ 744.76 m, 右岸 ZK1031 为 746.66 ~ 752.97 m, 副坝四左岸 ZK1034 为 753.20 ~ 757.29 m, 右岸 ZK1038 为 755.15 ~ 760.02 m, 地表及地下分水岭均低于正常蓄水位。副坝一至副坝四坡积土及全风化带较厚, 分别为 10 ~ 27 m, 18 ~ 37.5 m, 18 ~ 30 m 和 20 m 左右, 强风化带厚度变化较大, 分别为 10 ~

23.6 m, 0.5 ~ 30 m, 0.5 ~ 16 m 和 0.4 ~ 13.4 m。副坝一至副坝四坡积土及全风化带试坑注水试验渗透系数为 $(6.44 \sim 13.56) \times 10^{-4}$ cm/s, 钻孔注水试验渗透系数为 $(0.20 \sim 89.60) \times 10^{-4}$ cm/s, 反映上部以中等透水性为主, 中下部以弱透水性为主, 具有一定的防渗作用。强风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.14 \sim 10.30) \times 10^{-4}$ cm/s, 钻孔压水试验透水率为 2.2 ~ 7.9 Lu, 具弱至中等透水性, 为相对透水层。弱风化带钻孔压水试验透水率为 0.7 ~ 7.2 Lu, 具弱至微透水性, 为相对隔水层。副坝一通往库外的断层有 F_4 , F_{154} 及 F_{157} ; 副坝二通往库外的断层有 F_5 , F_{50} 及 F_{291} ; 副坝三通往库外的断层有 F_1 , F_{151} 及 F_{168} ; 副坝四通往库外的断层有 F_{160} , F_{167} 及 F_{296} 。断层带的透水性和强风化带相近, 具中等透水性, 与强风化带连通形成通往库外的渗漏通道。

主坝址左岸单薄分水岭在正常蓄水位地表分水岭宽 50 ~ 100 m, 坡积层及全风化带厚 10.7 ~ 23 m, 强风化带厚 7 ~ 12 m。坡积层及全风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.10 \sim 2.70) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性; 强风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.95 \sim 4.40) \times 10^{-4}$ cm/s, 钻孔压水试验透水率为 2.1 ~ 2.4 Lu, 具弱至中等透水性; 弱风化带钻孔压水试验透水率为 0.7 ~ 2.7 Lu, 具弱至微透水性。山顶地下水位长期观测结果 ZK1042 为 748.45 ~ 749.99 m, ZK1044 为 756.20 ~ 757.60 m; 蓄水后库水补给地下水, 存在库水外渗条件。

主坝址左岸坝口(东洞水库库尾)鞍部地下水位长期观测结果 ZK1046 为 758.06 ~ 759.64 m, 略低于正常蓄水位。由于水库蓄水后地下水位相应壅高, 且坡积层和全风化带较厚, 钻孔注水试验渗透系数为 $(0.16 \sim 6.10) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性, 有一定的防渗作用, 该处库水不外渗或局部渗量很小, 因此暂不进行防渗处理, 根据地下水位长期观测结果再制定针对性处理措施。

主坝址右岸坝口地下水位长期观测结果如下: 坝口一 ZK1049 为 745.80 ~ 751.06 m, 坝口二 ZK1052 为 748.96 ~ 753.85 m; 坝口一及坝口二坡积层及全风化带试坑注水试验渗透系数为 $(5.84 \sim 6.08) \times 10^{-4}$ cm/s, 钻孔注水试验渗透系数为 $(0.21 \sim 9.90) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性; 强风化带钻孔注水试验渗透系数为 1.90×10^{-4} cm/s, 钻孔压水试验透水率为 2.3 ~ 2.4 Lu, 具弱至中等透水性。坝口三可研阶段未作勘探工作, 技施阶段进行补充勘探, 鞍部地下水位观测结果 ZK1064 为 753.37 m; 坡积层及全风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.35 \sim 3.38) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性; 强风化带钻孔注水试验渗透系数

为 0.74×10^{-4} cm/s, 钻孔压水试验透水率为 0.4 ~ 1.5 Lu, 具弱至中等透水性。3 个坝口地下水位均低于正常蓄水位, 蓄水后库水补给地下水, 存在库水外渗条件。

2.2 下水库渗漏条件分析

下水库库周东侧、北侧和西侧山体完整雄厚, 泉水出露高程高于正常蓄水位, 地下水补给库水, 不会发生库水外渗。南侧地形低矮, 主副坝址及低矮坝口山顶地下水位一个水文年长期观测结果在 206.71 ~ 230.21 m 之间, 均低于正常蓄水位, 存在库水外渗条件。

主坝址全风化带厚 3.4 ~ 14.2 m, 强风化带厚 3 ~ 5 m。地下水位长期观测结果左坝头 PSK04 为 206.71 ~ 221.42 m, 右岸 PSK06 为 220.42 ~ 222.07 m, 均低于正常蓄水位, 蓄水后库水补给地下水。全风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.61 \sim 4.95) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性, 上部以中等透水性为主, 中下部以弱透水性为主; 强风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(0.41 \sim 15.00) \times 10^{-4}$ cm/s, 钻孔压水试验透水率为 2.5 ~ 10.0 Lu, 具弱至中等透水性; 弱风化带钻孔压水试验透水率为 0.3 ~ 9.7 Lu, 具弱至微透水性。主坝址通往库外的断层有 F_{136} , F_{137} , F_{217} , F_{255} , F_{256} 及 F_{257} , 断层带及岩脉钻孔压水试验透水率为 1.5 ~ 13.0 Lu, 透水性和强风化带相近, 具中等透水性, 与强风化带连通形成通往库外的渗漏通道。

副坝位于主坝址左坝头东侧坝口, 全风化带左岸厚 3 ~ 24 m, 右岸厚 5.4 ~ 12.6 m; 强风化带左岸厚 3 ~ 10 m, 右岸厚 2.5 ~ 3 m。全风化带钻孔注水试验渗透系数为 $(1.74 \sim 15.00) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性。 F_{258} 穿过坝口左侧山体通往库外, 断层带由构造角砾岩、碎裂岩组成, 于钻孔 ZK3022 有揭露, 钻孔注水试验渗透系数为 1.16×10^{-3} cm/s, 具中等透水性。地下水位长期观测结果左岸 ZK3021 为 220.17 ~ 223.76 m, 右岸 ZK3025 为 218.17 ~ 220.18 m, 均低于正常蓄水位, 蓄水后库水补给地下水, 存在库水外渗条件。

副坝左坝肩山头东侧坝口全风化带厚 20 ~ 25 m, 钻孔注水试验渗透系数为 $(0.81 \sim 1.45) \times 10^{-4}$ cm/s, 具弱至中等透水性; F_{75} 从坝口右侧山体通往库外, 断层带为压碎岩, 具中等透水性。鞍部地下水位长期观测结果 ZK3029 为 228.34 ~ 230.21 m, 略低于正常蓄水位, 蓄水后库水沿断裂带和强风化带外渗。

3 水库防渗处理措施建议

上、下水库库水外渗主要沿通往库外的断裂构造与强风化带连通形成的渗漏通道渗漏。上水库渗漏问题比较突出, 渗漏库段较多, 渗漏量按达西公式^[2]估算, 正常蓄水位天然状态下总渗漏量约为

3 520 m³/d, 下水库渗漏库段集中于主副坝段, 渗漏
量小, 处理措施较简单。水库防渗处理措施应根据
库周具体工程地质及水文地质条件, 针对库周不同
地段的渗漏特点确定。

a. 坡积土及全风化带具弱至中等透水性, 上部
部分为中等透水性, 中下部具弱透水性, 为相对隔水
层, 具有一定的防渗作用。因此, 应充分利用其作为
水平防渗铺盖, 以减少防渗处理措施。

b. 主副坝址宜采用截渗墙结合帷幕灌浆做垂
直防渗体, 垂直防渗体深度应深入弱透水性岩层中
透水率小于或等于 3 Lu 以下 5m, 主坝址上游侧还需
作水平防渗铺盖。

c. 低矮坝口和单薄分水岭可采用帷幕灌浆做
垂直防渗体处理, 并与相邻主副坝防渗体连成一体
或延伸至相邻地下分水岭高于正常蓄水位处。

d. 对于地下水位略低于正常蓄水位的低矮坝
口, 可设置地下水位长期观测孔进行观测, 暂不进行
防渗处理, 根据地下水位长期观测结果再采取针对
性处理措施。

e. 上、下水库库盆底地层岩性以花岗岩和混合
岩为主, 为非可溶性不透水岩石, 且不存在集中渗漏
管道, 因此无需对库盆底进行水平防渗处理。

(上接第 39 页)

以“非农业人口占总人口比例”指标为例, 离散
化前熵值 $e_1 = 0.9584$, 离散化后熵值 $e_2 = 0.9599$, 熵
值增加(即信息量减少)了 0.16%。这证明了所采
用的离散化方法的有效性。

至于整个系统经约简后总的信息量损失的测度
问题, 还有待进一步的探讨。

参考文献:

[1] 甘筱青. 鄱阳湖区资源综合利用与社会可持续发展[J].
南昌大学学报 理科版, 2002, 26(4) 328-330.
[2] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出
版社, 1997 16-129.
[3] 刘清. Rough 集及 Rough 推理[M]. 北京: 科学出版社,
2001 1-75.
[4] 李金华. 中国可持续发展核算体系[M]. 北京: 社会科学
文献出版社, 2000 1-28 234-248.
[5] 朱启贵. 可持续发展评估[M]. 上海: 上海财经大学出版
社, 1999 1-48.
[6] 涂汉生, 何平, 赵联文. 应用统计[M]. 重庆: 西南交通大
学出版社, 1994 177-186.
[7] 高惠璇, 耿直, 李贵斌. SAS 系统 SAS/STAT 软件使用手册
[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997 630-658.

(收稿日期 2005-04-12 编辑 熊水斌)

4 结 语

抽水蓄能电站水库蓄水后库水反复循环使用,
为保证电站正常运行, 库区不允许库水发生永久性
渗漏, 因此对库区进行库水外渗条件的专题调查和
分析显得非常重要。惠州抽水蓄能电站上、下水库
库周以雄厚山体为主, 仅主副坝址、单薄分水岭及低
矮坝口地形低矮, 存在渗漏问题。库水外渗主要沿
通往库外的断裂构造与强风化带连通形成的渗漏通
道渗漏, 而库周坡积土及全风化带具相对隔水作用,
充分利用其作为水平防渗铺盖可以降低库水外渗
量, 减少防渗处理措施。对渗漏库段采用以垂直防渗
体为主的防渗措施, 主坝址上游侧结合水平防渗铺
盖是能够满足防渗要求的。总体上看, 惠州抽水蓄
能电站上、下水库库容大, 防渗处理工程量不太大,
是工程地质条件较好的天然库盆。

参考文献:

[1] 陆兆溱. 工程地质学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989:
246, 379.
[2] 王贵军, 刘国玉. 回龙抽水蓄能电站上库渗流计算及防
渗方案选择[J]. 小水电, 2003(6) 7-10.

(收稿日期 2004-10-09 编辑 熊水斌)

(上接第 45 页)

3 大型渠道衬砌设备在我国的发展趋势

a. 滚筒衬砌设备 逐渐向履带式滚筒衬砌设备
发展, 皮带布料机将被螺旋布料机代替, 衬砌机的衬
砌小车行走由链传动牵引改为自行机构。

b. 滑模式衬砌设备 振捣、输送布料部分的动
力采用电驱动, 行走、升降采用液压传动。这样可充
分降低设备的体积和重量, 使用起来更为灵活。

c. 无论是滑模衬砌设备还是滚筒衬砌设备均朝
着智能化和模块化方向发展。改变其装配形式可满足
不同坡长和坡度的渠道衬砌及平面混凝土的衬砌要求。

参考文献:

[1] 商青. 南水北调工程所需主要机械设备简介(二)[N]. 中
国水利报, 2003-4-24(5).
[2] 傅智. 水泥混凝土路面滑模施工技术[M]. 北京: 人民交
通出版社, 2000 24-28.
[3] 霍兵. 渠道机械化衬砌设备及应用前景[J]. 中国机电工
业, 2004(1) 31-32.
[4] 乔世珊, 胡胜利. 南水北调中线关键机械设备的探讨
[J]. 中国水利, 2002(9) 58-59.
[5] 聂生勇. 山东济平干渠积极进行机械化衬砌试验[N]. 中
国水利报, 2003-12-11(5).

(收稿日期 2004-11-29 编辑 熊水斌)