

# 头屯河水库坝体渗透性评价

徐启强

652301xxxxxxxx0854

**摘要：**本文以头屯河水库大坝为研究对象，对头屯河水库大坝的渗流状况进行分析。结果表明，水坝体、坝基有渗漏变形被破坏等问题，为了确保水库大坝的安全运行，避免出现严重的沉降、渗透变形和失稳破坏等问题，以下对该水库大坝进行了渗透性评估，通过对水库的全面评估可以更好地指导未来的维护与加固工作。

**关键词：**渗流；渗漏；头屯河水库；评价

## Permeability evaluation of the dam body of Toutun river reservoir

Qiqiang Xu

652301xxxxxxxx0854

**Abstract:** This paper focuses on the study of the infiltration conditions of the Toutun River Reservoir dam. The results indicate that there are leakage and deformation issues in the dam body and foundation. In order to ensure the safe operation of the reservoir dam and prevent serious settlement, permeability deformation, and instability damage, a permeability assessment of the reservoir dam is conducted. A comprehensive evaluation of the reservoir will better guide future maintenance and reinforcement work.

**Keywords:** Seepage; Leakage; Toutun River Reservoir; Estimation

### 前言

渗透变形现象是由于建坝后河谷地段的地下水渗流量大幅提升，从而导致坝基松散沉积物和软弱岩体发生变形，这种现象在坝工建设中极具挑战性，甚至可能引发严重的溃坝灾害。目前，头屯河水库已经被纳入第二批全国病险水库的除险加固计划，它的大坝心墙由砾石和砂砾石组成，鉴于头屯河水库存在的安全隐患，本研究将对其坝体渗流量、坝基及坝壳渗流情况进行准确的估算与评估，以期给出可靠的建议。

### 一、工程概况

“两岸四地”河流的交汇处的头屯河水库是一座 III 级水库，这个水库的建筑物包括了拦河坝、排水涵洞、排水隧道、溢洪道、工业排水系统和排水枢纽。原本的库容为 2030 万  $m^3$ ，但多年来，水库内的淤积状况一直很糟糕，2012 年的除险加固，库容降至 1261 万  $m^3$  左右<sup>[1]</sup>。

#### 1. 地质条件

##### (1) 地形地貌

头屯河水库坐落在一个充满构造侵蚀的中、低山丘陵地带，海拔跨越 800m—1600m，坡度从 30° 至 40° 不等，而且相对高差也从 50m 至 100m 不等，但是由于某些地质条件的变化，坡度变得更加陡峭，甚至可以达到 50°-65°，而且相对高差也可以达到 200m。在这片水库库区，回水的长度大概有 3km，而且周边的山峰大部分都是圆顶或者平顶<sup>[2]</sup>。在坝址附近，河流从左边流过呈现出一个“V”字型，河床的宽度大概有 20m，两边的山峰比较陡峭，基岩裸露，景色非常美丽。

##### (2) 地质构造

位于博格达复背斜西南端和柴窝堡中—新生代山间盆地西北交界处的工程区，其周边 25km 范围内的主要断层

有妖魔山断层和西山断层 (F1)。(1) 妖魔山断裂：位于库坝区的南西部，全长 130km，呈现出 65°-70°SE  $\angle$  70°-84° 的断裂产状，具有明显的压扭特征，断层破碎带宽度可达 155m，具有极高的活跃度，可能会引发一次或多次的地震。(2) 西山断裂 (F1)：从大坝的上游 230m—320m 处穿越，一条活跃的压力断层沿着东西方向延伸，距离约 24km，最终与妖魔山的断层相接，交于四道岔的附近。这条断层的总长度约 40km，属于中等尺度，其倾斜方向为西北方，倾角介于 60°-85°。断裂带的活动特征表明，在水库的一侧，断裂的发生频率较高，而在其他地方，断裂的发生频率较低。西山断裂 (F1) 在坝址区产状为 70°NW  $\angle$  85°，断裂带宽约 13m，泥带厚约 0.63m 米，表面经过炭化处理，其中上部和南部的影响带宽度分别为 13m 和 10m，而且这两个区域的地层都属于侏罗纪上期的头屯河组，且两者的岩层都呈现出相同的倾斜方向<sup>[3]</sup>。

以 F1 断裂为界，下盘为水库库区，它的周边地貌特征表现为 NEE 向的紧密褶皱，从库头至库尾，西山断裂 (F1)、头屯河背斜、F2 断层以及硫磺沟向斜，构造线方向与水库库盆斜交；上盘为西山背斜的北翼，表现为一高角度单斜构造，偶尔也会发生一些坍塌的情况，水库的核心建筑物就位于这一独特的岩体上。此外，头屯河的左岸和右岸的陡坡都存在 F3 压性断层和 F4 扭性断层，前者位于左坝肩 160m，后者位于右坝肩 200m。坝肩基岩中还存在着两组不同的节理结构。①组走向 NEE 倾向的 NW 倾角便可能在 70°-90° 之间；②组走向 340°-355° 倾向的 NE 或 SW 倾角可能在 67°-83° 之间。在这种情况下，两岸的节理特别明显，特别是 NEE 向的 2 组，它们在泥质岩层中形成了一条长度较短的节理密集带，并由次生矿物填补，呈现出网格状的分布，其中右岸的发育程度要高于左岸<sup>[4]</sup>。

##### (3) 水文地质

库区的基岩裂隙水还是砂砾石层孔隙水都是由降水和河水的影响形成的，其中，基岩裂隙水的水化学成分是  $\text{SO}_4\text{C}_1\text{-k+Na}$ ，其盐度介于  $1.9\text{g/L}-8.6\text{g/L}$  之间，而且其出露点的海拔通常比库水位更高，因此，该水库的上游黄铁矿储量可靠。在砂卵石层中，孔隙水的化学成分是  $\text{HCO}_3\text{-Ca}_2+$  型水，它的水质与河水非常接近，而且具有  $0.36\text{g/L}$  的矿化度，因此不会对混凝土造成任何损害。头屯河水库的大坝由砾岩黏土心墙组成，其中在高程  $975.0$  处的设钺台，而坝面则由浆砌卵石框格组成。从上到下，下游坡度分别为  $1:2.25$ 、 $1:2.5$ 、 $1:2.75$ ，其中， $983.0$ 、 $973.0$ 、 $963.0$  和  $953.0\text{m}$  处均设置了宽度达  $1.5\text{m}$  的钺台，以及由砾质黏土组成的大坝心墙，其顶部海拔达到  $993.0\text{m}$ 。在  $960.0\text{m}$  的海拔范围内，上游的斜坡比例为  $1:1.0$ ，而  $960.0 \sim 954.0\text{m}$  的斜坡比例则是  $1:4$ 。而在下游，斜坡比例则是  $1:1.0$ ，因此，这就需要我们采用贴坡铺盖的技术，以便将坝体的上下游完美地连接起来<sup>[5]</sup>。

### 二、坝体渗流量估算

通过对材料的物理和化学特性的研究，我们发现坝体的心墙是由砾石和黏土组成的，它们具有很好的透水能力。当水库的水位达到  $986.0$  高程时，大约会有  $948.0\text{m}$  的渗流，流量介于  $2.5 \sim 4.7\text{L/s}$  之间，没有明显的浑浊现象；在当今的河床中，放水涵洞的入口宽度大约是  $20\text{m}$ ，其左岸是一座山体，而右岸则是一片 III 级阶地，山体的顶部海拔在  $670 \sim 672\text{m}$  之间，而且在坝体的后面并不存在渗漏的情况，在坝后建立了一个排水体，这样，消力池的西侧就形成了一个集中的渗漏点，从而对水体的流动起到了有效的控制作用。根据测量结果，当将渗水量乘上  $1.5$  的系数时，渗水量约为  $4.7\text{L/s} \times 1.5 = 7.05\text{L/s}$ 。此外，渗水的原因可能是由于基岩强风化层没有得到妥善处理，导致水从强风化层（中等透水层）渗入坝后；在基岩中，裂缝水会从较为透水的风化层流出，并在涵洞和坝体之间的接触点处进一步流入坝后。

### 三、坝基渗透性评价

经过深入研究，我们发现钻孔岩性 RQD 处于  $70\% \sim 90\%$  之间，甚至可能达到  $100\%$ 。通过压水实验我们发现：在桩号  $0+000$  处， $972.67\text{m}$  到  $931\text{m}$  的高度范围内，基岩岩体是弱透水的<sup>[1]</sup>。其中， $936\text{m}$  到  $972\text{m}$  的高度范围内，岩体透水率介于  $5 \sim 9.59\text{Lu}$  之间，而  $936\text{m}$  到  $936\text{m}$  的高度范围内，岩石的透水率低于  $5\text{Lu}$ ，仅为  $2.8\text{Lu}$ 。在桩号  $0+200$  处，基岩顶板高程  $966.07\text{m}$  到  $931\text{m}$  中，岩体为中等透水层，透水率介于  $11.8 \sim 32.91\text{Lu}$  之间；而当高程低于  $931\text{m}$  时，就会形成一个较薄的透水层，从  $926\text{m}$  至  $931\text{m}$  范围内透水率处于  $5.0 \sim 7.67\text{Lu}$  之间，但当高程低于  $926\text{m}$  时，透水率会降至  $5\text{Lu}$ ，甚至只有  $4.04\text{Lu}$ 。在桩号  $0+265$  处的基岩顶板的高度处于  $943.80\text{m}$  到  $910\text{m}$  之间，而岩体的透水性范围从  $9.7$  到  $30.15\text{Lu}$  不等，若超出这一范围，就可以认定为一个较薄的透水层。在桩号  $0+370$  段， $982.01\text{m}$  到  $924\text{m}$  的高度范围内，基岩岩体的透水性较好，其透水率介于  $10.95 \sim 35.03\text{Lu}$  之间； $919\text{m}$  到  $924\text{m}$  的高度范围内，岩体的透水性较差，其透水性介于  $5.0 \sim 6.46\text{Lu}$  之间， $919\text{m}$  的高度以下，岩体的透水性则较低，仅有  $4.34\text{Lu}$ 。经过详细的分

析我们发现，坝基的基岩表面的透水性较好，其厚度在  $32 \sim 35\text{m}$  之间，而在  $0+370$  段，其厚度最高达到  $58\text{m}$ 。因此，我们建议在坝基和坝肩的中等透水性和弱透水性的岩体中，采取帷幕灌浆的方法来提高其透水性。

### 四、坝壳砂砾石渗透变

水库的大坝心墙由砾石组成，并且在某些地方会混入砂砾石。根据过去的研究和实验，我们可以得出这样的结论：当砂砾石层粒度超过  $5\text{mm}$ ，且其质量百分比达到  $70\%$  时，就可以认定它没有液化。根据头屯河水库坝体坝壳的测试结果，砂砾石的质量百分比达到  $70.9\%$ ，而且其中的颗粒尺寸超过  $5\text{mm}$ ，因此可以断定该砂砾石是一种不液化土。

经过研究，砂砾石颗粒的分布曲线表明，管涌土的细粒含量  $P_c \geq 35\%$ ，而过渡型砂砾石的细粒含量则必须  $P_c \geq 35\%$ ，而流土的细粒含量则必须  $P_c < 25\%$ ，为了确定这三种砂砾石的细粒含量，我们采用了以下公式： $d_r = 3.55$

根据查颗分曲线发现， $P_c = 27\%$ ， $25\% \leq P_c < 35\%$ 。按照水利水电工程地质勘察规范，坝壳砂砾石的最大水力比应当在  $0.25 \sim 0.4$  之间，因此，可以断定，坝壳砂砾石的渗透损伤是一种渐进性的。

### 五、结论

坝体的主要工程地质问题有：1) 左坝段附近处的上游坝面表面出现一条南北向的弧形裂缝，其宽度介于  $2 \sim 20\text{cm}$  之间，而长度则大约有  $70\text{m}$ 。2) 涵洞闸井周围的坝体出现了一条  $5 \sim 10\text{cm}$  的裂缝，其深度达到了  $30\text{cm}$ ，并且伴随着严重的沉陷现象。此外，涵洞下游消力池的西出现了侧渗流，而在  $986.00$  高度流量仅为  $2.5 \sim 4.7\text{L/s}$ ，没有出现浑浊现象。由于淤积物的堆积，涵洞出口的消力池的西侧的排水系统无法正常运行。4) 在桩号  $0+265$  处的地下水中的硫酸根离子浓度达到了  $2497.6\text{mg/L}$ ，而当初施工时，没有采用抗硫酸盐水泥，而是将心墙和截水槽的混凝土填充到了基岩表面。心墙的材料是由砾质黏土组成，其厚度介于  $10 \sim 49.21\text{m}$  之间，而上层则是由厚达  $2\text{m}$  的坝壳砂砾石构成。在坝体心墙上，填充的是由砾石和黏土组成的。它们的自然密度在  $\rho = 2.0 \sim 2.32\text{g/cm}^3$  之间，干密度在  $\rho_d = 1.83 \sim 2.08\text{g/cm}^3$  之间。

经过钻孔注水测试我们发现，这种土壤具有中等的压缩性和弱的透水性。测量结果表明，这种土壤的渗透系数为  $K = 9.86 \times 10^{-5} \sim 8.00 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 。根据室内测量结果，该土壤的最适宜的含水量在  $12.0\% \sim 12.7\%$  之间，而其最大的干密度则在  $1.85 \sim 1.95\text{g/cm}^3$  之间，因此，当前用于坝体心墙填筑的砾质黏土填料的压实程度在  $0.94 \sim 1.0$  之间。处于密实状态。

左坝段的上游地区发生了严重的滑坡，造成了表面的滑动裂缝。涵洞闸井周围的坝体也发生了沉陷，这很可能是因为坝体填筑的土料分布不均造成的。研究发现，坝壳砂砾石的湿密度为  $2.20 \sim 2.29\text{g/cm}^3$ ，干密度为  $2.15 \sim 2.18\text{g/cm}^3$ ，而且它们的抗剪强度也在  $40 \sim 50\text{kPa}$  之间，而且它们的内摩擦角也在  $39.0^\circ \sim 41.0^\circ$  之间，因此，为了确保坝体的安全性，必须采取有效的措施来防止滑坡的发生。

在坝体地下水中，坝基基岩裂隙水的水质极其糟糕，其矿物质浓度极高，达到  $8616\text{mg/L}$ ，pH 值甚至超过  $7.80$ ，

此外,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{mg}^{2+}$  等离子的含量更是惊人, 分别为2912.9mg/L、2497.6mg/L、243.0mg/L 水的腐蚀性。而钢筋混凝土结构的腐蚀程度可以达到中等水平, 这种材料的化学组成主要是  $\text{SO}_4$ 、 $\text{Cl}$ - $\text{K}$ + $\text{Na}$  型水。水库内库水水质良好。

建议使用具有良好耐久性的抗硫酸盐水泥或其它有效的防护材料, 并在坝基的基础上进行中等透水层的处理, 通常厚度在 32 ~ 35m 之间。如果在这些透水层中, 特别是那些透水率超过 5Lu 的岩石, 则需要进行帷幕灌浆, 以确保它们的稳固。经过深入的研究, 我们发现基岩与黏土心墙之间的接触非常牢固, 并且没有发现任何明显的冲刷损伤痕迹。

#### 参考文献:

[1] 袁志伟. 水利厅试验场灌区干管管线工程地质评价

[J]. 水利科技与经济, 2014(9): 85 - 86.

[2] 张智超. 头屯河流域洪水特性分析 [J]. 水利科技与经济, 2015(2): 92 - 94.

[3] 杨晟. 芹山水电站面板坝坝体变形特征及大坝渗漏 [J]. 水力发电, 2002(4): 59 - 61, 66.

[4] 关志诚. 面板坝的挤压破坏和渗漏处理 [J]. 水利规划与设计, 2012(2): 23 - 27.

[5] 马军. 固结灌浆技术在头屯河水库涵洞进口塔架地基加固中的应用 [J]. 水利科技与经济, 2012(4): 81 - 83.

[6] 李长瑞. 实例分析水库除险加固工程——以头屯河水库为例 [J]. 水利科技与经济, 2012(5): 81 - 82, 86.