

数据分析法确定漳山闸闸基渗透压力

沈建霞 万乾山 朱庆华

(江苏省水利勘测设计研究院, 江苏扬州 225009)

【摘要】 闸基渗透压力是影响水闸闸室稳定的关键性因素。当水闸同时受到上下游水位差、基底承压水头、粘性土地基扬压力滞后等多重因素作用时, 闸基渗透压力的估算就变得比较困难。通过对漳山闸闸基历年实测渗透压力数据进行统计分析, 初步揭示其基底渗透压力的变化规律, 为该闸闸室稳定性分析提供依据。

【关键词】 回归分析法; 闸基渗透压力; 承压水; 闸室稳定

【中图分类号】 TU 46

Data Analysis of the Seepage Pressure on Zhangshan Sluice

Shen Jianxia Wan Qianshan Zhu Qinghua

(Jiangsu Survey and Design Institute of Water Conservancy, Jiangsu Yangzhou 225009 Chiana)

【Abstract】 The seepage pressure on the base of the sluice is a very important force, which influences the stability of the sluice tremendously. When the sluice is influenced by many factors such as the water head upstream, the water head of the aquifer and the seepage lagging of clay foundation, it is very difficult to estimate the value of the seepage pressure on the sluice bottom. A series of data on Zhangshan sluice are analyzed to find the changing rules and the influential factors of the seepage pressure, which laies the base for the stability calculation.

【Key Words】 regression analysis; seepage pressure; aquifer; stability

1 概述

漳山闸位于江苏省宿迁市漳山村西 1.1 公里处, 其上游为骆马湖水库, 下游为新沂河, 是沂、沭、泗洪水经骆马湖入海的主要泄洪口门。该闸 1959 年 10 月开工建设, 1961 年 4 月建成, 为 I 级水工建

筑物, 总长 428.97 m, 共计 36 孔, 单孔净宽 10 m, 两孔一联布置, 共计 18 块底板。闸室底板底高程 13.5 m, 闸基持力层为坚硬粉质粘土, 下卧层为砾质中砂。漳山闸闸基土层分布见表 1。

表 1 漳山闸土层分布表

| 层号 | 土 分 类 | 层 底 高 程/m | 标准贯入击数 N/击 | 湿 密 度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ | 含 水 量 $w/\%$ | 粘 粒 含 量/ $\%$ | 力 学 指 标 | | 渗 透 系 数 $k/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ |
|----|-------|-------------|------------|--|--------------|---------------|------------------|------------------------|--|
| | | | | | | | c_q/kPa | $\varphi_q/(\text{°})$ | |
| 1 | 粉质粘土 | 22.0~11.5 | 5 | 1.92×10^3 | 29.10 | 33 | 31 | 12 | 6.9×10^{-10} |
| 2 | 粉质粘土 | 0.0~-0.80 | 28 | 2.03×10^3 | 24.70 | 41 | 94 | 20 | 1.5×10^{-10} |
| 3 | 中 壤 土 | -1.75~-2.25 | 34 | 2.02×10^3 | 24.10 | 16 | 27 | 23 | |
| 4 | 砾质中砂 | -7.80 | 122 | 2.03×10^3 | 20.20 | | 2 | 30 | 5.8×10^{-6} |
| 5 | 粘 土 | -14.50 | 26 | 2.01×10^3 | 24.50 | 3.6 | | | |
| 6 | 砾质中砂 | -25.0 | 80 | 2.03×10^3 | 19.50 | | | | |

漳山闸闸基防渗系统布置见图 1(图中高程单位:m, 尺寸单位为:cm), 上游侧设一 22 m 长的钢筋砼防渗铺盖, 闸身底板长 20 m。

漳山闸建闸以来, 通过对闸基扬压力的长期观

测, 发现实测数据与理论计算值偏大较多。在某些时段闸基某些测压管水位甚至高于闸上游水位, 存在着“渗流异常”问题, 影响到水闸安全, 也给闸基扬压力计算及闸室抗滑稳定分析带来较大困难。

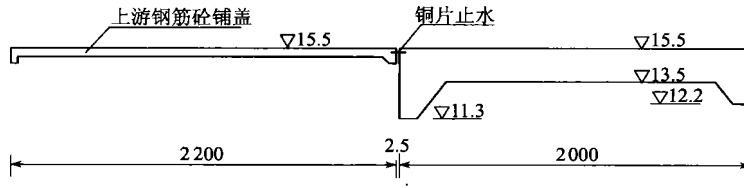


图1 漳山闸基底防渗系统布置图

2 历次分析方法及结论

漳山闸闸基渗透压力“异常”，虽经多次研究，但对其成因仍然没有统一、明确的说法。基底渗透压力的采用值也不相同。现就该闸的历次分析方法分述如下：

1) 该闸原设计闸基渗透压力采用直线比例法计算，闸室底板1、2、3点处的渗透压力系数分别为0.57、0.42及0.05。各点间渗透压力按直线变化。上下游测压管处的渗透压力由直线内插分别为0.541和0.239(见图2)。

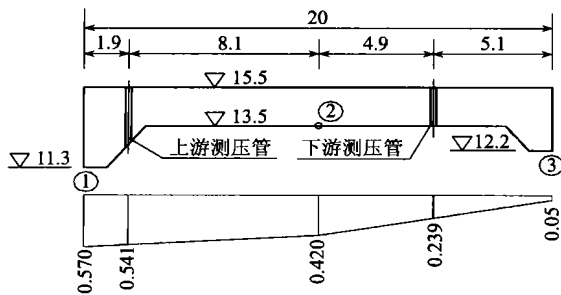


图2 闸基渗透压力系统设计值(单位:m)

2) 1988年漳山闸加固设计，渗透压力计算仍采用直线展开法。针对闸室底板下扬压力较大的情况，取上游铺盖与闸室底板之间止水有效和失效两种情况的结果均值进行计算，未考虑承压水头的影响。上游及下游侧(1及3点)基底渗透压力系数分别为0.777和0。实测资料表明，计算基底总扬压力比实测值小。

3) 由于基底扬压力一直异常，严重威胁闸室稳定，1998年有关单位又对闸基渗流“异常”及影响作了再次分析，在该报告中，底板渗透压力计算采用改进阻力系数法^[1]，先不考虑承压水头的影响，计算正常的理论渗透压力值，然后计入测压管水位异常的渗透压力增加值。具体做法是：“按照7#底板测压管水位与理论值偏差较大情况，计算(实测渗压值-理论渗压值)/理论渗压值。设计工况取上、下游测压管该比值的平均值，校核工况取上游测压管该比值最大值、下游测压管该比值的平均值，作为底板渗透压力的增加值，对闸身稳定进行计算”。该法设计工况上游及下游侧(1及3点)基底渗透系数分别为

0.786和0.431，校核工况时上下游基底渗透系数分别为1.127和0.431。

3 数据分析法

对于闸基渗透压力的计算，黄志伦、吴剑敏曾提出粘性土地基上扬压力(包括渗透压力及浮托力)的取值问题^[2,3]，但对于本闸，闸基渗透压力受上下游水位、承压水及地基土等多种因素综合影响，上下游水位常处于变化之中，闸基渗流为非恒定流，并且缺少承压水头时空变化资料，现有测压管水位与传统理论分析结果偏差较大，工程设计中难以进行理论分析确定。

回归分析法是数理统计中的常用方法，是处理有一定联系的多变量间相关关系的有力工具。它不仅可以利用概率统计对样本进行分析，提供变量间的数学表达式(即经验公式)，而且可以判定所建立经验公式的有效性，利用所得到的经验公式去预测、控制^[4]。

现根据漳山闸1995至2002年水位及测压管实测资料，剔除异常(上游测压管水位明显低于下游测压管水位)及行洪期(此时下游水位较高，对水闸抗滑稳定核算是偏于安全的)数据，得到漳山闸上游水位及基底渗透压力关系的248组样本数据。

3.1 上游测压管渗透压力回归分析

由于非行洪期漳山闸下游水位基本不变，因此可以建立基底渗透压力和上游水位之间的一元关系。现以12#底板为例，建立实测渗透压力与上游水位之间的散点图见图3。由图3可见：图中的点虽然散乱，但大体分布在某条直线的周围，也就是说，上下游水位同基底渗透压力之间大致成线性正比关系。即满足 $y = a + bx$ ， a 及 b 为待定的回归系数。由于 y 与 x 之间不具备函数关系，因此此处的 y 并非实际值。

现对该248组数据样本进行分析如下。

3.1.1 回归方程的建立

随机变量上游水位(设为 x)及上游测压管渗透压力(设为 y)的数学期望分别为：

$$E(x) = \frac{1}{248} \sum_{i=1}^{248} x_i = 21.56 \quad (1)$$

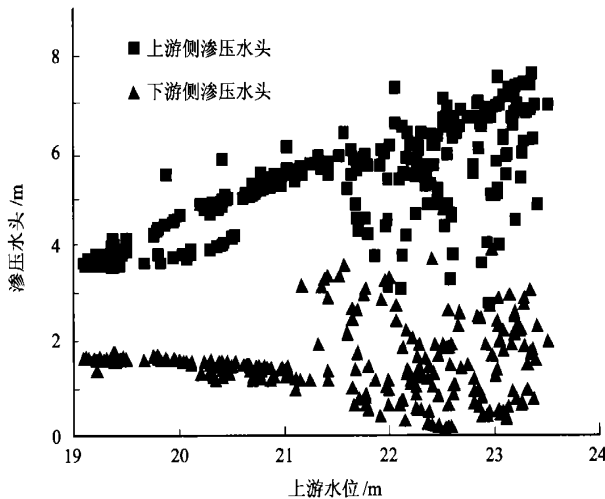


图3 1995—2000年上游水位及渗压水头关系图

$$E(y) = \frac{1}{248} \sum_{i=1}^{248} y_i = 5.33 \quad (2)$$

回归系数

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{248} [x_i - E(x)][y_i - E(y)]}{\sum_{i=1}^{248} [x_i - E(x)]} = 0.607 \quad (3)$$

$$a = E(y) - bE(x) = 5.33 - 0.607 \times 21.56$$

$$a = -7.767$$

$$\text{回归方程可以写为: } y = -7.767 + 0.607x \quad (4)$$

3.1.2 相关性检验

该方程残差平方和为:

$$Q = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 = \sum_{i=1}^{248} [y_i - (-7.767 + 0.607x_i)]^2 = 147.81 \quad (5)$$

回归平方和为:

$$U = b^2 \sum_{i=1}^n [x_i - E(x)]^2 =$$

$$b^2 \sum_{i=1}^{248} [x_i - 21.56]^2 = 151.88 \quad (6)$$

$$F = \frac{(n-2)U}{Q} = \frac{246 \times 151.88}{147.81} = 252.78 \quad (7)$$

需要指出的是,由于现行《水闸设计规范》仍采用单一安全系数法,本文难以给出一个同现行规范规定的安全系数相一致的概率。在概率论中,通常把概率 α 不超过 0.05 的事件当作“小概率事件”,小概率事件在一次观察中是可以认为基本上不发生的。而在工业生产和科学研究中,置信度通常采用 95%,因此,在本次数据分析时采用 95% 的置信

度(即概率 $\alpha=0.05$)是可以满足设计要求的。

由自由度分别为 1 及 236 的 F 分布表得临界值 $\lambda=3.84 < F=252.78$, 因此 x, y 之间存在线性相关关系。又由于 F 还大于当 $\alpha=0.10$ 时的临界值 $\lambda'=6.63$, 因此该直线回归是高度显著的。

3.1.3 预报及控制

现对上游水位为 $x_0=23.5$ (此为水闸稳定计算的控制工况)时的上游基底渗透压力进行预报及控制。

$$\text{预测值 } y_0 = a + b x_0 = -7.767 + 0.607 \times 23.5 = 6.50$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 = \frac{1}{(248-2)} \sum_{i=1}^{248} [y_i - (-7.767 + 0.607x_i)]^2 \quad (8)$$

$$\sigma^2 = 0.601$$

$$\sigma = 0.775$$

查 t 分布表得 $\lambda=2.014$ ($\alpha=0.05$)

故 y_0 的预测区间为:

$$y_0 \pm \lambda \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{[x_0 - E(x)]^2}{U}} = 6.5 \pm 2.014 \times 0.775 \times$$

$$\sqrt{1 + \frac{1}{248} + \frac{(23.5 - 21.56)^2}{151.88}} = 6.5 \pm 1.571$$

3.2 下游测压管渗透压力数据分析

经检验,下游测压管渗透压力与上游(或下游)水位之间无相关关系。通过对下游测压管渗透压力实测值的进一步研究后发现:当上游水位高于 21.5 m 时,下游侧实测渗透压力波动较大。对于该情况,我们取多组上游水头相同而实测渗透压力波动较大的数据点进行分析,发现实测渗透压力较大的点,前期均曾经发生过泄洪。渗透压力受上下游水头差、基底承压水头和粘性土地基扬压力滞后多重因素的影响,对于下游侧渗透压力,受粘性土地基

扬压力滞后因素的影响比较大,受上下游水位变动因素的影响相对较小,这很可能就是为什么我们回归分析时上游(或下游)水位与下游侧测压管实测渗透压力之间无相关关系的根本原因。

在每年的7、8月份的泄洪期,下游水位抬高,此时水闸基底的浮托力较大,泄洪期过后,下游基本无水,但由于粘性土地基渗流的滞后现象,下游基底的浮托力减小很少,因此也就表现为由当时的下游水位及实测的基底扬压力计算得到的基底渗透压力值较大。增大的部分其实并非实际的渗透压力,而是由浮托力的滞后引起的。经对数据进行进一步分析后发现,浮托力要经过2个月左右才能恢复到正常水平。因此泄洪期结束后的一段时间是水闸稳定核算的关键期(对应于图3下游测点中渗透压力的上限值),因此,在无其它实测资料的情况下,本次闸室稳定核算下游测压管渗透压力取实测值的外包线,是必要的也是安全的。

4 结论

通过对上游侧渗透压力取用渗透压力预测区间的上限值和下游侧渗透压力取用实测值的外包线,可以得到稳定核算时水闸底板测压管处的渗透压力,闸室底板两端渗透压力可以通过测压管水头连线延长确定。嶂山闸闸室两端渗透压力数据分析与历次分析结果比较见表2。

表2 嶂山闸闸室两端渗透压力系数分析比较表

| | 正常挡水工况 | | 校核洪水工况 | |
|-------------|--------|-------|--------|-------|
| | 上游侧 | 下游侧 | 上游侧 | 下游侧 |
| 原设计 | 0.570 | 0.05 | 0.57 | 0.05 |
| 1988年加固设计 | 0.777 | 0 | 0.777 | 0 |
| 1998年渗流分析报告 | 0.786 | 0.431 | 1.127 | 0.431 |
| 本文分析 | 0.973 | 0.162 | 0.910 | 0.125 |

5 结语

1)由于嶂山闸闸基渗流边界条件十分复杂,工程设计中进行理论分析比较困难,且闸基承压水头成因及变化规律因缺少实测资料,目前尚无定论。为了满足闸身稳定核算的需要,本文对1995至2002年闸上水位及测压管水头实测资料进行统计分析,确定闸基渗压力。上游侧渗透压力采用置信度95%的回归分析结果,下游侧渗透压力取用实测值的外包线,因此工程设计是安全的。本文方法对于类似工程地质条件已建节制闸闸基渗透压力确定具有一定的参考意义。

2)闸基下卧层存在承压水层,引起闸基渗透压力、扬压力增加;由于粘性土扬压力滞后现象,在泄洪期过后,基底浮托力较理论计算值增加较多。对闸室抗滑不利,必须引起设计者高度重视。

参考文献

- 1 张世儒,夏维城.水闸.北京:水力电力出版社,1987.135~141
- 2 黄志仑.关于地下建筑物的地下水扬力问题分析.岩土工程技术,2002(5):273~274
- 3 李广信,吴剑敏.浮力计算与粘土中的有效应力原理.岩土工程技术,2003(2):63~66
- 4 盛骤,谢式千,潘承毅.概率论与数理统计.北京:高等教育出版社,1990.264~279

收稿日期:2004-03-26