

数值模拟中微厚透水物糙率处理方法探讨

胡 静, 魏清福, 曾婧扬

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434)

摘要:水利工程数值模拟计算中常需科学合理地概化实际工程中的透水物糙率,以反映透水物对水流的真实影响。对微厚透水物在流体数值模拟中的糙率处理方法进行了探讨,提出了一种新的糙率概化方法,即对原状透水物进行水槽试验,通过假定明渠长度将局部水头损失换算成沿程水头损失,再将换算数值应用于数模计算中。以东太湖吴江区第一水厂集中供水水源地的蓝藻隔离栏为例,通过具体工程实践介绍其使用方法,为不规则孔眼透水物以及使用过程中性质发生较大改变的透水物糙率率定提供了新的思路。

关键词:数值模拟;透水物;糙率;水头损失

中图法分类号: S157

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.17.010

1 研究背景

目前,确定透水物糙率常采用的方法有3种:经验公式法,同比例或变比例缩放物理模型试验测定法,以及在流体数值模拟中概化透水物糙率的糙率分摊法,上述3种方法均存在着各自的优点和不足。

经验公式法需要已知透水物的材质及孔眼尺寸,但在实际运用中,透水物的形状可能不规则,水流作用下其透水性能可能受外部因素影响发生较大改变,使得采用经验公式法存在较大误差;另外,各种新材料的发展也使得经验公式法的使用存在越来越多的困难^[1]。

同比例或变比例物理模型试验测定法较为成熟,但通常需要透水物具有较明确的尺寸和较规则的形状才能按照物理模型比尺要求缩放,以便于进行物理模型试验。不规则或者孔径非常小的透水物无法按照物理模型比尺要求进行缩放,难以通过物理模型试验确定糙率^[2-4]。

流体数值模拟中透水物糙率概化法是指对具有一定体积的透水物,在流体数值模拟中采用糙率分摊法进行概化,即把通过试验或者经验公式计算得到的透水物体糙率,按照其体积在流体数值模拟计算单元中

实际所占体积(三维模型)或者面积(二维模型)的比例进行分摊^[5-6]。但对于微厚任意孔眼状透水物来说,量化其在流体数值模拟计算单元中实际所占体积或者面积的比例较为困难,无法直接采用分摊法。而且透水物在水流的长期作用下,其孔眼形状、透水性能已发生了较大变化,也给数值模拟中的透水物糙率概化造成了一定的障碍。因此,探究一种能广泛应用于微厚透水物的糙率概化方法具有十分重要的意义。

2 糙率概化方法

2.1 方法简介

笔者提出的微厚透水物糙率概化方法是将原状透水物在物理模型中进行原状水槽试验,将局部的水头损失通过假定明渠长度换算成一定明渠长度上的沿程水头损失,使得换算的数值可以方便地在数值模拟中运用,主要包括以下步骤:①通过水槽试验,多组次测定原状透水物在不同入水深度和水流流速条件下产生的上下侧水头差;②建立微厚透水物在水中阻挡比例与等效糙率关系,假定明渠长度 l_1 ,将微厚透水物造成的局部水头损失换算为等长度明渠上的沿程水头损失,计算该段明渠上的等效糙率;③根据数值模型中概化透水物,将等效渠糙率换算成网格的糙率。

2.2 水槽试验

水槽试验的主要目的是为了测定一定水流条件下,水流通过原状滤网造成的水头差(见图 1)。实验中使用原状滤网可大大减小因模型缩放而造成的误差,试验具体步骤如下:① 将透水物固定在滤网区中深度 d_1 处;② 调节水槽流量,测量流速在 v_1, v_2, \dots, v_m 下,水流通过透水物产生的水头差 $p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1m}$;③ 将原状透水物固定在水槽深度为 d_2, d_3, \dots, d_n 处,重复上述步骤,记录每一深度时,不同流速通过透水物产生的水头差 $p_{21}, p_{22}, \dots, p_{2m}; p_{31}, p_{32}, \dots, p_{3m}; \dots; p_{n1}, p_{n2}, \dots, p_{nm}$ 。

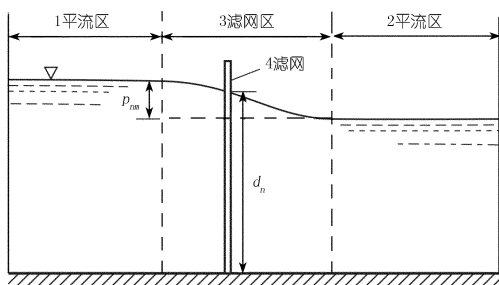


图 1 水槽结构示意图

2.3 建立透水物的阻水比例 - 等效糙率曲线

将实验所得的流速与水头损失数据建立流速 - 局部水头损失的相关关系,然后通过假定一个明渠长度,将局部水头损失换算成特定明渠长度上的沿程水头损失,并计算该段明渠长度上的等效糙率,主要计算步骤如下。

(1) 假定明渠长度为 l_1 , 滤网导致的局部水头损失为 ΔH , 将透水物造成的局部水头损失换算为等长度明渠上的沿程水头损失,可基于谢才公式和曼宁公式推求相应的等效曼宁糙率系数^[1,7]。

$$n = \frac{R^{2/3} J^{1/2}}{v} = \frac{\left(\frac{w}{\chi}\right)^{2/3} \left(\frac{\Delta H}{l_1}\right)^{1/2}}{Q} H \quad (1)$$

式中, R 为水力半径; J 为水力坡度; v 为流速; Q 为单宽流量; H 为下游断面水深; w 为过水断面面积; χ 为湿周。

(2) 将等效糙率与阻水比例进行数值拟合,建立透水物的阻水比例 - 等效糙率曲线。

2.4 数值模型中概化透水物

将水槽试验结果应用于数值模型中,主要步骤如下。

(1) 建立数学模型,划分网格,网格长度为 l_2 。

(2) 根据网格长度 l_2 与假定明渠长度 l_1 的比值,将计算所得等效糙率换算成网格糙率

$$n_2 = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{1/2} n_1 \quad (2)$$

式中, n_1 为假定明渠长度的等效糙率; n_2 为网格长度 l_2 的等效糙率。

(3) 进行数值模拟计算。

3 实例应用

为了防止蓝藻对水源地取水产生影响,在东太湖吴江区第一水厂取水口一级保护区范围内建立了一圈围栏,围栏由水泥桩及钢丝网组成(见图 2)。每逢蓝藻生长季节,在围栏上加挂防蓝藻滤网,由于蓝藻通常漂浮在水面上,滤网挂放深度为水下 50 cm(见图 3),滤网长期浸泡在水中,部分网眼已被泥沙堵没,阻水性能也随之发生改变,无法通过经验公式来推算其阻水性能。由于滤网的阻水特性关系到取水口能否顺利取水,因此,滤网的糙率测定十分关键。



图 2 围栏工程示意



图 3 防蓝藻滤网

为精确计算滤网的糙率,进行了水槽试验,如图 1 所示。制作滤网和框架时(见图 3),在周边抹上硅胶进行密封防渗处理,然后用钢夹将滤网固定在水槽上,使之保持直立,调节水槽流量,控制通过滤网的流速。

通过多组试验,测量不同流速水流通过原状滤网产生的水头差,然后根据实验数据建立流量与水头差的相关关系,如图 4 所示。

假定明渠长度 l_1 为 100 m,将水流通过滤网产生的局部水头损失转化为明渠的沿程水头损失,通过公式换算成糙率,可以绘制各阻水比例下的等效曼宁糙率系数的关系曲线,如图 5 所示。

根据工程的实际需求建立数学模型,将滤网概化在一定长度的网格上,假设网格长度为 l_2 ,根据网格的长度 l_2 与假定明渠长度 l_1 的比值,根据式(2)可将物理模型计算所得的糙率换算到任意网格中,然后进行模型计算。

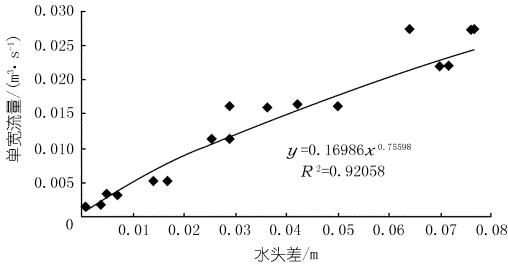


图 4 水头差与单宽流量的关系曲线

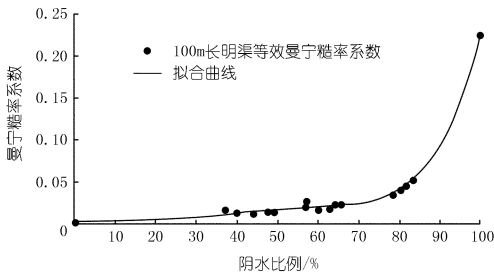


图 5 阻水比例与等效曼宁糙率系数的关系

4 方法效果

上述流体数值模拟中概化透水物糙率的方法主要有如下优点。

(1) 本文采用原状透水物进行物理试验,无需测量透水物孔径,减少了透水物在物理模型缩放过程中的误差,为不规则透水物以及使用过程中性质发生较大改变的透水物糙率率定提供了新的思路,在进行物

理试验时,可适用于难以精确测量滤网孔径及难以找到替代滤网的材料等各种工况。为解决无法通过公式直接推求糙率的问题,通过透水物阻水机制研究及水力学公式推导,使得水槽试验的结果能直接运用到二维水流数学模型中,并能较好地反映现状工况。

(2) 通过多组模型试验和数值处理手段,建立了透水物阻水比例与等效糙率关系式,使试验结果适用于任意阻水比例的透水物;同时,在阻水比例相同的情况下,通过公式推导,建立等效糙率与水深的关系式,使水槽试验结果适用于实际使用中的任意水深。

(3) 由于微厚透水物厚度较小,数模实际概化过程中,无法将其概化为具有一定糙率的区域,本文通过水力学理论推导,将部分断面阻水的局部水头损失概化成过网水头损失与绕流水头损失,并通过设定一个明渠长度,将局部水头损失换算成沿程水头损失,使水槽试验成果能够直接适用于二维水流模型中任意大小的网格。

参考文献:

[1] 李炜,徐孝平.水力学[M].武汉:武汉大学出版社,1999.
[2] 陈椿庭,姜国干,李桂芬.水工模型试验[M].北京:水利电力出版社,1985.
[3] 刘焕芳,周银军,宗全利,等.透水丁坝壅水高度探讨[J].人民长江,2008,39(5):37-39.
[4] 周银军,刘焕芳,冯源.桩柱透水丁坝的局部水头损失试验[J].武汉大学学报:工学版,2009,42(1):73-81.
[5] 赵云鹏,毕春伟,董国海,等.平面网衣周围流场的三维数值模拟[J].水动力学研究与进展,2011,A26(5):606-613.
[6] 孙运佳,童朝锋,邵宇阳,等.潮流数值模拟中透空式防波堤处理方法研究[J].水运工程,2014,(1):41-46.
[7] DL/T 5058-1996 水电站调压室设计规范[S].

(编辑:胡旭东)

Discussion on treatment method for roughness of slightly thick permeable object in numerical simulation

HU Jing, WEI Qingfu, ZENG Jingyang

(Shanghai Investigation, Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200434, China)

Abstract: In numerical simulation calculation of hydraulic engineering, some permeable objects should be generalized scientifically and reasonably, so as to reflect the true influence of permeable object on water flow. The generalization is always a difficult problem in numerical simulation. The treatment method for roughness of slightly thick permeable object was discussed and a new generalization method was put forward. The local head loss was converted into frictional head loss through the flume experiment, and the conversion value was applied to numerical calculation. In the case of algae-resisting fences in water source area of Wujiang No. 1 Waterworks, located in Eastern Taihu Lake, the method was introduced by practical application. A new idea is provided to calibrate the roughness of permeable object with irregular apertures or with hydraulic characteristics that are easy to change during applications.

Key words: numerical simulation; permeable object; roughness; water head loss