

大沽河河道渗漏对洪水演进的影响研究

田守波, 郑西来, 林国庆, 武贵芝, 宋 帅

(中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要 在大沽河流域自然地理和地质条件调查的基础上, 建立沿程渗漏条件下的大沽河洪水演进一维河网模型, 采用 2003 年大沽河调水试验期间的实测数据进行参数率定, 并分析河道渗漏对洪水演进的影响作用。结果表明 渗漏系数的变化对行洪期间的河床渗漏量影响很大, 河床渗漏量与渗漏系数呈线性递增的关系。另外, 当渗漏系数由 $3.7 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 增加到 $18.5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 、 $37.0 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 、 $55.5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 时, 洪水锋面从起点(产芝水库)到达江家庄断面所需时间大约分别延迟 0.8 h、1.6 h、2.4 h。

关键词 大沽河 河道渗漏 洪水演进 水动力模型

中图分类号 TP338+.8 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)S1-0016-04

河道洪水演算就是分析研究洪水波在河道中的运动规律, 是水文预报的重要组成部分。河道洪水演算结果对防洪减灾和水资源的综合利用有着重要的现实意义^[1]。以往的洪水演算模型大多数都没有考虑河道渗漏对洪水演进的影响, 对于季节性河流来说, 还没有深入研究河道渗漏对洪水演进的影响。国内外学者主要是利用水文学模型和水量平衡相结合的方法研究河道洪水演算问题, 但往往精度不高。随着计算机技术、电子技术、GIS 和 RS 技术的发展, 出现了一系列基于实际的水文物理过程的分布式水文模型(如 TOPMODEL 模型、SWAT 模型和 MIKESHE 模型等), 使解决许多水文难题成为可能^[2]。其中, MIKESHE 和 MIKE11 的耦合应用是解决河流与地下水水力联系问题最有效的方法之一^[3]。国外已有一些相关的应用实例, 如 Thompson^[4] 采用 MIKESHE/MIKE11 耦合系统研究了英格兰西南部的低湿草原上的洪水与地下水的相互作用问题, 取得了良好的效果。

大沽河属于宽浅型沙质河床, 断面不规则, 河床渗透能力强, 河道经常处于干涸状态。除雨季在流域出现大的洪水外, 其他季节大沽河干流河道基本不过水, 大沽河的渗漏补给直接影响着行洪流量。本文考虑到大沽河流域地形及地下水水位等相关数据的局限性, 采用一种 MIKESHE/MIKE11 耦合系统的

简化方法, 即通过对 MIKE11 模型中渗漏系数的设置实现对行洪过程中的河床渗漏量的计算, 从而建立沿程渗漏条件下的大沽河洪水演进模型。笔者采用 2003 年大沽河调水试验期间的实测数据进行参数的率定, 并分析河床渗漏对洪水演进的影响作用。

1 研究区环境背景

大沽河是胶东半岛最大的河流, 是青岛的母亲河, 干流全长 179.9 km, 在青岛市内的面积为 4 850.7 km²。大沽河流域河网复杂, 除大沽河干流外, 流域内还有洙河、小沽河、五沽河、落药河、流浩河等支流(见图 1)。

大沽河属于季节性河流, 流域属大陆性季风气候, 具有春季干旱多风、夏季高温多雨、秋季干旱少雨的特点。据 1956~2000 年降水资料统计, 流域多年平均降水量为 675.6 mm, 年内降水主要集中在 6~9 月份, 占全年降水量的 72.9%。大沽河洪水来势凶猛、峰高量大、暴涨暴落, 洪水历时一般为 3~5 d。据统计, 流量超过 3 000 m³/s 的洪峰发生过 2 次, 超过 2 000 m³/s 的洪峰发生过 8 次, 超过 1 000 m³/s 的洪峰发生过 16 次。

研究区地下水主要贮存于第四系冲积-冲洪积层下部的砂和沙砾层中, 含水沙砾层的分布严格受大沽河古河谷形态的控制。河谷底部及边缘大部分

基金项目 青岛市水利科技资金资助项目(2006-002)

作者简介 田守波(1982—), 男, 山东鄄城人, 硕士研究生, 研究方向为水资源利用与保护。E-mail: tianshoubo@163.com

通讯作者 郑西来, 教授。E-mail: zhixilai@ouc.edu.cn

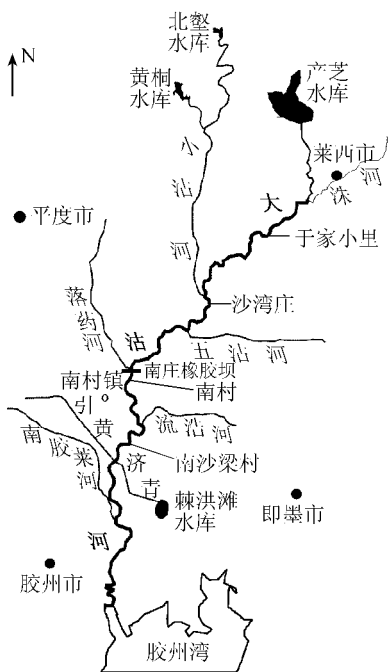


图1 大沽河流域河网分布

均为白垩系王氏组黏土岩和粉砂岩所铺垫和圈闭,成为良好的隔水底板和边界,有利于地下水的积聚。水力性质基本上为潜水。第四系冲积-冲洪积层多为双层结构。上部以粘质砂土为主,砂质黏土次之,局部地段为黏土。上覆土层厚度一般为2~5 m。土层之下为不同粒径的砂及砂砾石,厚度一般4~8 m。

2 数学模型的建立与离散化

本文主要对大沽河干流的洪水演进过程进行模拟,故河网图形文件中只有大沽河干流,而把各个支流作为点源流量边界来处理。模拟河段起点为产芝水库,终点为南庄橡胶坝外侧,总长度为102.7 km。因此,可以概化为一维的洪水演进。

2.1 基本控制方程组

天然河道中洪水波的运动属于不稳定流,可用连续方程和运动方程(圣维南方程组)来描述。在有旁侧入流、河槽入渗的情况下,其方程可以表示为^[5]:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial L} + \frac{\partial Q_r}{\partial L} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial L} = \frac{Q^2}{k^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial L} \quad (2)$$

式中: A 为过水断面面积; t 为时间; Q 为总流量; Q_s 为水平流量; Q_r 为入渗量; q 为旁侧入流; H 为水位; L 为距离; k 为流量模数; g 为重力加速度; V 为断面平均流速。

式(1)为有沿程渗漏情况下的一维明渠非恒定流连续方程,其实质为明渠中过水断面随时间的变化等于水平流量与入渗流量沿程变化之和。对于式

(2),有沿程渗漏损失的情况下,理应增加入渗水流形成的阻力项,但因入渗流速相对断面水平上的流速要小的多,故可以忽略不计。

2.2 边界条件

把河网起点产芝水库定为上边界,输入流量时间序列文件。把河网终点南庄橡胶坝外侧定为下边界,输入水位时间序列文件。把大沽河各支流作为点源流量边界来处理,把它们放在河网的对应位置上,输入各支流的流量时间序列文件。

2.3 数学模型的离散化

利用 Abbott 六点隐式格式离散上述控制方程组,该离散格式在每一个网格节点并不同时计算水位和流量,而是按顺序交替计算水位和流量,分别称为 H 点和 Q 点。该格式为无条件稳定,可以在相当大的 Courant 数下保持计算稳定,也可以取较长的时间步长以节省计算时间^[6]。

3 参数确定与率定

3.1 参数确定

笔者采用大沽河采砂报告中的河道实测剖面资料,将180多个剖面近2000个详细数据做成 excel 格式直接导入 MIKE11 的断面文件中,并把河道的左、右岸和最低点分别用数字1、3和2标记出来。根据这些初始断面数据 MIKE11 模型会自动计算出各水力参数(如不同水深时的过水断面面积、水面宽度、水力半径等),然后再应用于洪水演进的模拟计算中。模型中需要设置的参数主要是河床的糙率系数和渗漏系数,而其他参数都采用经验值。

a. 糙率系数。考虑到大沽河不同河段的河道水力要素、断面几何尺寸和形状、河床特征及组成等方面的差异,大沽河干流以沙湾庄为界分为上、下游两段,分别确定各自的糙率系数,糙率系数值介于0.3至0.42之间。

b. 渗漏系数。为了研究大沽河河道的渗漏规律,分别在大沽河上游和下游选择代表性的场地(于家小里和南沙梁村),进行现场渗漏试验,试验持续时间为3~4 h。试验结果表明,两场地的入渗过程初期,入渗通量比较大,历时约1 h之后,入渗通量趋于稳定。于家小里和南沙梁村两试验场的稳定入渗通量分别为 $24.19 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m}^2)$ 和 $19.87 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m}^2)$ 。假设洪水历时3~5 d,非饱和入渗量只占总渗漏量的2%左右,则可直接用稳定入渗通量来计算行洪期间的河道渗漏量。

3.2 参数率定

MIKE11 模型的计算时间步长设为1 min,结果的储存时间步长设为1 h。模型中需要率定的主要

参数为河床的糙率系数和渗漏系数。笔者选择2003年4月22日10时至2003年5月10日21时大沽河调水试验期间水位和流量的实测数据进行参数的率定。

因为2003年调水期间大沽河大部分河段处于干涸状态,杂草丛生,加上因采砂而造成河床高低不平等原因,所以河床糙率系数率定值比经验值偏大,糙率系数的率定结果见表1。参照野外渗漏试验结果及2003年调水试验期间河道渗漏量的实测数据,对大沽河河床渗漏系数进行率定,率定结果见表2。

表1 大沽河糙率系数的率定结果

工况	河段上界/m	河段下界/m	糙率系数 n
1	0	45 000	0.038
2	45 000	102 700	0.041

表2 大沽河渗漏系数的率定结果

工况	河段上界/m	河段下界/m	渗漏系数/ s^{-1}
1	0	45 000	4.8×10^{-7}
2	45 000	61 700	4.1×10^{-7}
3	61 700	102 700	3.8×10^{-7}

3.3 拟合程度分析

分别在大沽河上游、下游选择具有代表性的沙湾庄和南村两个断面,对比分析水位、流量的模拟值与实测值的拟合程度。两个断面的水位率定结果分别见图2,流量率定结果分别见图3。

由以上率定结果可知,沙湾庄、南村两段面的水位模拟值与实测值吻合比较好,水位相对误差在10%以内,平均相对误差小于5%;两段面的流量模

拟值与实测值吻合也比较好,流量相对误差在15%以内,平均相对误差小于10%。说明该模型较好地反映了大沽河洪水演进的真实情况,模型有较好的实用价值,可为大沽河流域的防洪减灾和水资源的综合利用提供科学依据。

4 河床道渗漏对洪水演进的影响分析

选取具有代表性的河段(产芝水库-江家庄),保持模型中其他参数不变,渗漏系数对河床渗漏量和洪水演进时间的影响计算结果见图4和图5。

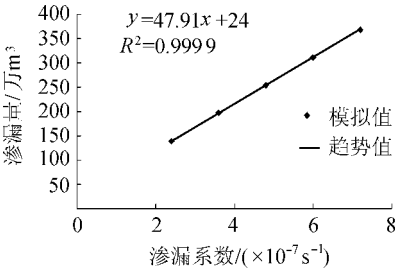


图4 产芝水库-江家庄河段河床渗漏量与渗漏系数的关系

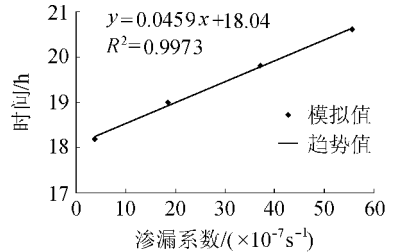


图5 到达江家庄断面所需时间与渗漏系数的关系

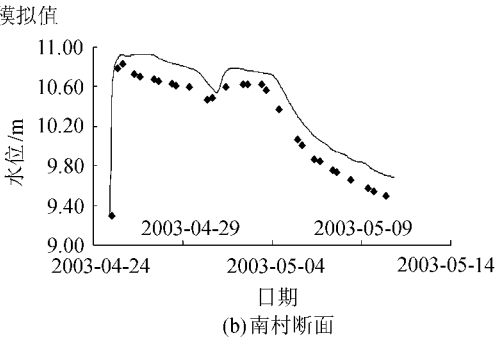
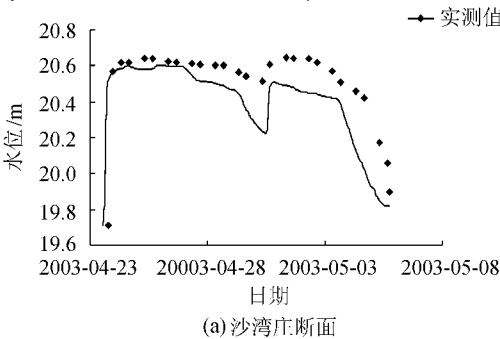


图2 沙湾庄断面和南村断面的水位模拟值与实测值曲线

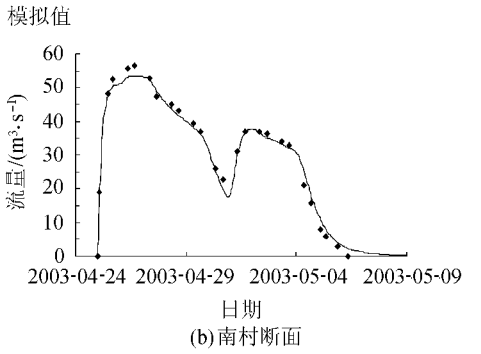
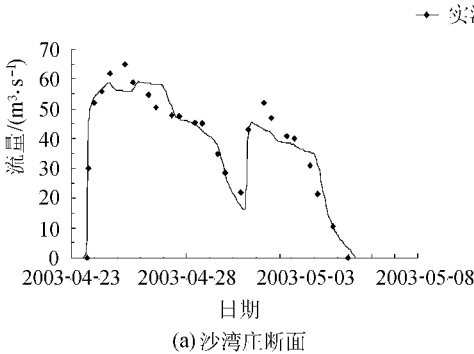


图3 沙湾庄断面和南村断面的流量模拟值与实测值曲线

由以上结果可知,渗漏系数的变化对行洪期间的河床渗漏量影响很大,河床渗漏量随着渗漏系数呈线性递增的关系。另外,当渗漏系数由 $3.7 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ 增加到 18.5×10^{-7} 、 37.0×10^{-7} 、 $55.5 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ 时,洪水锋面从起点(产芝水库)到达江家庄断面所需时间大约延迟 0.8 h、1.6 h、2.4 h。造成此现象的原因是洪水演进中随着渗漏量不断增加,水位、流量及流速都不断减小。

5 结 论

在大沽河野外渗漏试验的基础上,建立了沿程渗漏条件下的大沽河洪水演进模型,并分析了河床渗漏对洪水演进的影响作用,得到的主要结论如下:

a. 沙湾庄和南村两断面的水位、流量模拟值与实测值吻合较好,平均相对误差分别是小于 10% 和 5% 左右,说明该模型能够较好地模拟和分析大沽河的洪水演进的真实情况。

b. 渗漏系数的变化对行洪期间的河床渗漏量影响很大,河床渗漏量与渗漏系数呈线性递增的关

系。另外,当渗漏系数由 $3.7 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ 增加到 $18.5 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ 、 $37.0 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ 、 $55.5 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ 时,洪水锋面从起点(产芝水库)到达江家庄断面所需时间大约延迟 0.8 h、1.6 h、2.4 h。

参考文献:

[1] 汪恕诚. 加强科技创新促进水利现代化[J]. 水利水电科技, 2001, 32(1): 1-4.

[2] 傅春. 流域水文模型综述[J]. 江西科学, 2008, 26(4): 588-592.

[3] Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE11: A modeling system for rivers and channels reference manual[R]. DHI, 2007.

[4] THOMPSON J R. Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling stem to a lowland wet grassland in southeast England[J]. Journal of Hydrology, 2004, 293: 151-179.

[5] 齐春英, 刘克岩. 沿程渗漏河道的洪水流量演算模型[J]. 水文, 1997(6): 27-30.

[6] 徐祖信, 卢士强. 平原感潮河网水动力模型研究[J]. 水动力学研究与进展, 2003, 18(2): 187-191.

(收稿日期 2009-02-23 编辑 徐娟)

(上接第 15 页)采,造成的损毁植被面积和尾渣排放数量,估计将超过上述矿点造成的水土流失量。因而,人为活动因素是当前水土流失的主要因素。

3.3 邢台市水土流失的危害分析^[1]

a. 破坏土壤资源,蚕食农田,威胁人类的生存条件。土壤是人类赖以生存的物质基础,是环境的基本要素,是农业生产的最基本资源。年复一年的水土流失,使有限的土地资源遭到严重的破坏,地形破碎,土层变薄,地表物质沙化或石化,特别是土石山区,土层流失致使基岩裸露,荒山秃岭无法耕种。例如 1996 年暴雨,仅邢台县山丘区就冲毁耕地 4 660 hm²。

b. 消减地力,加剧干旱发展。水土流失使坡耕地成为跑水、跑土、跑肥的“三跑田”,致使土地日益瘠薄,土壤理化性恶化,透水性、持水力下降,加剧了干旱的发展,使农业生产低而不稳。按照邢台市土壤侵蚀强度以及相应的侵蚀模数计算,每年泥沙损失总量为 660 万 t。每吨泥沙中一般含有氮肥 1.2 kg,磷肥 1.5 kg,钾肥 20 kg,则每年流失的肥料约 15 万 t。

c. 泥沙淤积河床、水库,加剧洪涝灾害。水土流失使大量泥沙下泄,淤积下游河道,降低行洪能力。

4 水土流失治理方法

由以上分析可以看出,综合治理水土流失,应当遵循客观规律,根据不同的土壤质地和植被条件采用不同的治理办法,做到科学、有效治理。

a. 把农业技术和水土保持工作一起抓。在以水力侵蚀为主的农田中,采用小地形、增加植物覆盖、地面覆盖和增加抗蚀能力等方法,达到保水、保土、保肥、改良土壤、提高农业产量的目的。

b. 加强防护林地建设。防护林具有保持水土、防风固沙、涵养水源、调节气候、减少污染、改善生态环境等功能。因此,必须大力实施封山育林,调整经济林和生态林的种植比例。

c. 建设水土保持工程。以小流域为单元,从分水岭到坡脚,从沟头到沟口,根据不同的水土流失部位,采用不同的工程设施,构成一个完整的工程防护体系。

d. 加大水土保持执法力度。应当重点对开矿、采石、修路等生产建设项目进行整顿和监管。使妨碍水土保持工作的项目在开工之前就制定水土保持方案,从源头上消除水土保持隐患。

参考文献:

[1] 乔光建. 区域水资源保护探索与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

[2] 张金香, 孙吉定, 郝铁山. 太行山片麻岩区主要坡地类型水土保持观测分析[J]. 河北水利科技, 1996(2): 10-14.

[3] 张广军, 赵晓光. 水土流失及荒漠化监测与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

[4] 李广智. 水土流失测验与调查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

(收稿日期 2009-01-14 编辑 徐娟)