

基于 RMA2 的流场数值模拟——以小清河为例

焦瑾玲¹,王 昊²,靳宏昌²,李永顺²,陈 鹏¹

(1. 山东省水业发展研究院,山东 济南 250013; 2. 山东省南水北调工程建设管理局,山东 济南 250013)

摘要 :RMA2 模型在二维浅水运动模拟中具有强大的前后处理功能。以山东省小清河入海口处 9.2 km 河段为研究对象,分别对 5 年一遇(流量 1 100 m³/s)和 20 年一遇洪水(流量 2 000 m³/s)主河槽及滩地行洪(流速、水深、水面高程)过程进行数值模拟,提取不同设计条件下主河槽与河滩地围坝内多断面水面线数据,进行不同位置、围坝建闸方案的对比。结果表明 5 年一遇洪水,主河槽可满足行洪要求,无需建过水闸;20 年一遇洪水,为保证行洪通畅,需侧向建闸使滩地洪水汇入主槽,降低围坝内外水面高程差,在距入海口 400 m 处侧向建 100 m 宽涵闸,可有效保证滩地与主河槽水面高程差控制在 7 cm 左右。

关键词 流场 数值模拟 RMA2 前处理 后处理

中图分类号 :TV853 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2009)S1-0034-03

SMS(Surface-Water Modeling System)水动力学软件是由美国 Brigham 大学环境模型研究实验室开发的,可用于地表水模型的前后处理及分析。该软件包含二三维有限元模型、有限差分模型及一维静水模型^[1]。该软件目前已得到广泛使用,鲁海燕等^[2]利用 RMA2 对杭州湾潮流进行模拟,喻良等^[3-4]对城市内河及闽江福州段进行水污染控制研究,取得了良好效果。

研究区域位于山东省寿光羊口镇,在小清河下游拟建一大桥,桥下游左岸滩地较宽,规划利用部分滩地进行开发,要求项目无阻水障碍物,但由于临近入海口,受潮水影响较大,所以需要对防潮坝围开发面积规模进行论证。

1 研究区域及研究方法

1.1 研究区域概况

小清河干流下游由于流域内地势平坦,河道比降较缓,受其影响,洪水涨落比较缓慢。小清河干流自羊口境内汇入莱州湾,干流自石村以下属感潮河段,受潮汐变化影响洪水消退时间较长,洪水过程一般为矮胖型,变化较为平缓。小清河河口段河道治理标准,采用 5 年一遇除涝标准挖槽,20 年一遇防洪标准筑堤。5 年一遇标准除涝设计流量为 1 100 m³/s,入海口处水位为 2.00 m。20 年一遇防洪

流量为 2 000 m³/s,入海口处水位为 2.68 m。

1.2 研究方法

采用 RMA2 模块对研究区域进行二维水流数值模拟,论证防潮坝围开发面积规模,真实反映小清河主槽、滩地的输水流动分布。

RMA2 模块是一个以有限元为基本求解方法的二维沿水深平均的水动力数值计算模型,它主要用来计算平面二维亚临界及自由表面流场的水位、水深及平面流速等。RMA2 模块作为流场计算模块,其上下边界条件分别由流量及水位控制,在网格的剖分、组合等前处理功能,以及计算数据处理、提取、结果可视化等后处理功能方面具有强大的优势。

2 模型处理及数值模拟

2.1 网格剖分及边界处理

一个好的模型首先需要好的地形网格,网格的生成及处理是 SMS 软件前处理的关键。SMS 软件大多数模块都使用有限元法,其网格单元可以是无结构网格。研究区域分主河道和滩地两个糙率区,根据分区分别生成网格。主河形状规则采用四边形网格,其余采用三角形、四边形结合网格。网格划分情况见图 1。将高程点数据导入网格并插值,生成地形网格文件。

边界的处理主要是指研究区防潮坝的处理,本

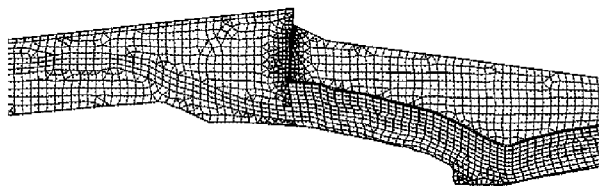


图1 研究区域网格示意图

文将防潮坝处的高程点采用插值法进行处理,即假设该处没有防潮坝。在此基础上,在防潮坝位置进行人工干预阻水处理。

2.2 边界条件及计算参数确定

2.2.1 边界条件

RMA2 模块在计算过程中上下游边界条件主要由流量及水位控制,本次计算边界条件分2种情况:

①5年一遇除涝设计流量 $1100\text{ m}^3/\text{s}$,下游要求水位 2.00 m ;②20年一遇防洪设计流量 $2000\text{ m}^3/\text{s}$,下游要求水位 2.68 m 。

2.2.2 计算参数的确定

①糙率。研究区域分为2个糙率区:主河道糙率 $n_1 = 0.0225$,滩地糙率 $n_2 = 0.035$ 。②水平涡粘系数。模型中水平涡粘系数 E 根据各单元的平均速度和水流方向上单元长度自动赋值并实时调整。③动边界参数。模型中干湿边界的设置参数有:检验节点处干湿状态变化的重复检验次数、节点干水深、节点湿水深。

3 结果分析

SMS 能方便地展示计算结果,结果数据的提取并不局限于网格节点,可提取模型范围内任意一点的计算数据。另外,该软件能进行流场动态演示、断面流量计算、不同方案比较等。在实测数据与计算数据的比较中,软件可直观地显示验证情况,验证结果的优劣一目了然。

研究目的是为了确定不同情况下防潮坝上下游开闸大小及防潮坝的侧面涵闸情况,通过对不同情况不同方案的模拟比较,确定最优方案。

3.1 左岸滩地闭合情况

该情况是指左岸防潮坝内不过水情况。对2种边界情况进行模拟:①上游流量 $1100\text{ m}^3/\text{s}$,下游水位 2.00 m ;②上游流量 $2000\text{ m}^3/\text{s}$,下游水位 2.68 m 。经计算其上下游水位见图2、图3。

由图2、图3可见,流量为 $1100\text{ m}^3/\text{s}$ 情况下水位高程分布基本满足要求,无需建过水闸;流量为 $2000\text{ m}^3/\text{s}$ 情况下上游水位过高,不满足要求,需建过水闸。

3.2 左岸滩地在不影响防洪情况下上、下建过水建筑物情况

该情况是指在防潮坝上、下建闸情况,对流量为

$2000\text{ m}^3/\text{s}$ 的情况进行滩地过水模拟计算。初步设定2种过水方案,通过方案比较,确定较优方案。方案一:上下均开口 200 m ;方案二:上开 200 m ,下开 300 m 。其上下游水位分别见图4、图5。

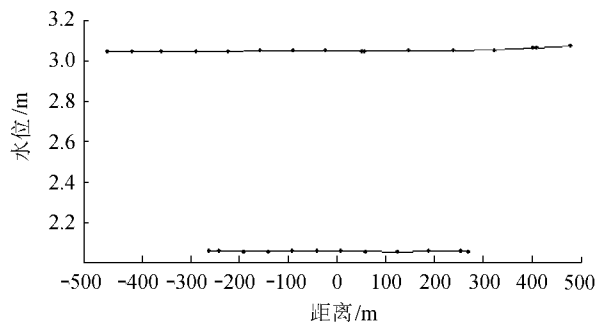


图2 $1100\text{ m}^3/\text{s}$ 流量上下游水面线分布曲线

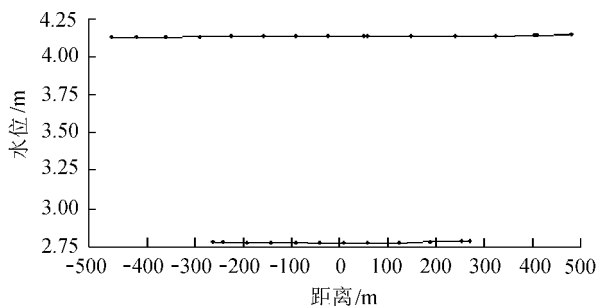


图3 $2000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量上下游水面线分布曲线

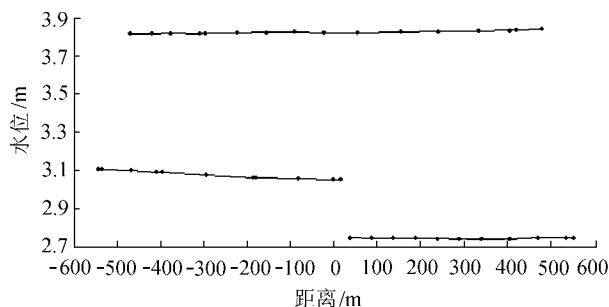


图4 方案1上下游水面线分布曲线

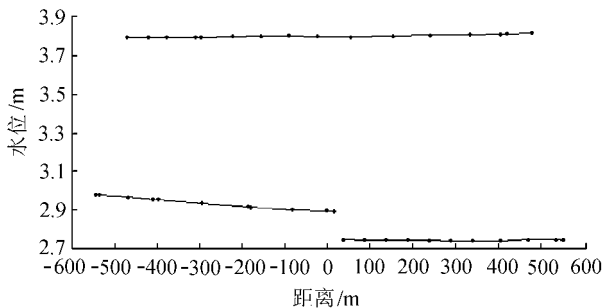


图5 方案2上下游水面线分布曲线

对图4、图5分析比较,上游水位相差不大,基本满足要求,下游坝内滩地与坝外主河道水位差图4明显大于图5,可见方案二优于方案一。

方案二的坝内滩地与坝外主河道水位差约为 20 cm ,比较大,需在中间建一过水建筑物,以减小水位差。

3.3 左岸滩地在不影响防洪情况下建侧过水建筑物情况

在方案二基础上,在主河道与滩地之间建涵闸。通过对方案二各断面坝内、坝外水位的计算,初步确定涵闸位置及尺寸。选择3个典型断面:①断面Ⅰ-Ⅰ距入海口约3 km;②断面Ⅱ-Ⅱ距入海口约1.7 km;③断面Ⅲ-Ⅲ距入海口约400 m。

通过对3个断面处水面线的分析,初步决定在断面Ⅲ-Ⅲ处建宽100 m涵闸。建闸前后的水面线见图6、图7。

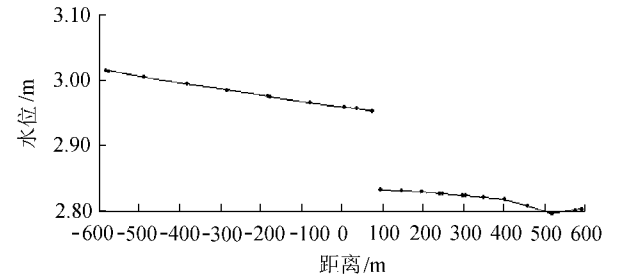


图6 建闸处上断面水面线分布

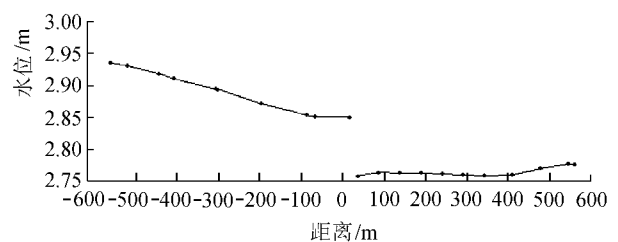


图7 建闸处下断面水面线分布

从图6、图7可见,建闸前水位差较大,水通过闸由滩地向主河道流,使水位差减小,到闸下游断面水位差明显下降,约7 cm左右。确定最终方案为:左岸滩地在不影响防洪情况下,上、下分别建200 m宽、300 m宽过水闸,侧面在距下游400 m处建100 m宽过水涵闸。其流场分布情况见图8。

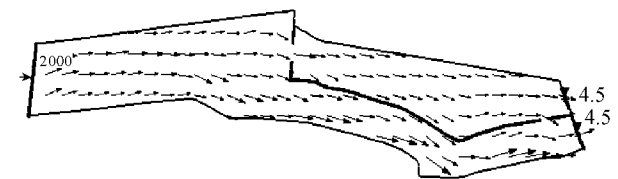


图8 最终方案流场分布

4 结 论

采用RMA2模型,以小清河下游段为例,分别对5年一遇及20年一遇洪水下的小清河主河槽及滩地水流进行数值模拟,提取不同设计条件下不同断面的水面高程计算数据,进行了不同位置、大小围坝建闸方案的对比,并确定最终方案。分析结果表明,5年一遇洪水,主河槽可满足要求,无需在围潮坝处建过水闸,20年一遇洪水,需在上下游分别建过水

闸及侧闸向涵闸,使滩地洪水汇入主槽,降低坝内外水面高差。在围潮坝上下分别建200 m、300 m过水闸,在距入海口400 m处建100 m涵闸,可有效保证滩地与主河槽水面高程差控制在7 cm左右。该软件使用方便,前后处理效果良好,计算精度、计算效果基本满足要求。

利用RMA2模型对寿光市羊口镇小清河下游段进行模拟计算时,由于缺乏现场实测资料,因此,没有进行模型的率定及验证,在今后的研究中需要进一步补充。

参考文献:

[1] 张明进, 张华庆. SMS水动力学软件[J]. 水道港口, 2006, 27(1): 57-59.
[2] 鲁海燕. SMS模型在杭州湾潮流模拟中的应用[J]. 浙江水利科技, 2003(3): 4-6.
[3] 喻良. 基于地表水环境模型系统SMS的城市内河水污染控制研究[D]. 福州: 福州大学, 2003: 25-27.
[4] 罗进洲. 基于SMS及RS的闽江福州段水污染控制研究[D]. 福州: 福州大学, 2004: 34-44.
[5] 施春香, 黄惠明. SMS软件中提高RMA2模块在闭边界计算方面的一些建议[J]. 吉林水利, 2005(8): 26-28.

(收稿日期: 2008-07-23 编辑: 徐娟)

《水资源保护》征订启事
全国中文核心期刊 中国科技核心期刊

《水资源保护》是河海大学和环境水利研究会主办的科学技术期刊,创刊于1985年,双月刊,96页,国内外公开发行,国内统一连续出版物号:CN32-1356/TV。现为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊和江苏省一级期刊。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究,应用技术,工程措施,综述述评,专题讲座,国外动态,书刊评介,科技简讯,水资源管理、评价、监测、优化配置,节水技术,水环境污染控制等方面的文章。近年来,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。

主要读者对象:全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理干部以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号:28-298,双月刊,8元/期,全年48元,每逢单月30日出版。可在全国各地邮局订阅,也可直接与编辑部联系。

编辑部地址:210098 南京市西康路1号
河海大学《水资源保护》编辑部
电话:(025)83786642 传真:(025)83786642
E-mail:zh@hhu.edu.cn