

MIKE 11 模型在南通平原河网模拟中的应用

周旭, 黄莉, 王苏胜

(南通市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 南通 226006)

摘要: 基于丹麦水利研究所开发的 MIKE 11 构建南通平原河网模型, 分别利用模型中的 NAM 模型和 HD 模型对各流域进行产汇流以及河网的水动力过程进行模拟。采用了实测水文站资料对模型进行了率定、验证, 并利用验证后的模型对 20 年一遇降雨下南通河网排水情况进行模拟。该模型可以为南通地区的排涝以及引水工程提供重要参考和指导意义。

关键词: 南通平原河网; 水动力模型; MIKE 11

中图分类号: TV212.5+ **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 01-0052-04

MIKE 11 是目前世界上应用较为广泛的商业软件, 具有计算稳定、精度高、可靠性强等特点, 能方便灵活地模拟复杂河网水流、模拟闸门水泵等各类水工建筑物的运营调度, 尤其适合应用于水工建筑物多、控制调度复杂的情况。MIKE 11 主要适用于河口、河流、灌溉渠道以及其他水体的模拟一维水动力、水质和泥沙运输。目前, MIKE 11 系列软件在国内很多水利水电工程中成功应用, 包括长江流域、松花江流域、黄河流域等。

南通地处副热带北缘, 受高空西风环流和太平洋副热带高压两种大气环流的影响和控制, 降水量在年际之间变化大, 年内又集中在汛期, 容易出现突发性的、灾害性的暴雨洪水及干旱。特定的地理位置和气候特点使南通市成为局部洪水频繁、区域性洪水常见、流域洪水易发、洪涝旱灾害兼有的地区。目前, 各种模型在规划、设计、科研中已经逐渐得到较为广泛的应用, 并已成为趋势。然而此前, 南通平原河网地区还没有一个可靠的河网数学模型, 所以建立一个可靠的南通平原河网模型可以为南通地区排涝以及引水工程规划和设计提供重要的参考依据。

1 模型建立

1.1 模型简介

MIKE 11 NAM 模型是一个集中型概念模型, 可以模拟坡面流、壤中流和基流及土壤含水率变化。从上世纪六十年代起, NAM 被广泛应用到世界各地不同气象水文条件的流域, 是一个经过大量工程实践验证的模型工具。

MIKE 11 水动力计算模型是基于垂向积分的物质和动量守恒方程, 即一维非恒定流 Saint-Venant 方程组来模拟河流或河口的水流状态。

$$\begin{cases} B_s \frac{\partial I}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial I}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \end{cases}$$

式中: x, t 分别为表示空间坐标 (m) 和时间坐标 (s); Q, h 分别为断面流量 (m^3/s) 和水位 (m); A, R 分别为断面过流面积 (m^2) 和水力半径 (m); B_s 为水面河宽 (m); q 为单位河长的旁侧入流流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$); C 为谢才系数; g 为重力加速度 (m/s^2); α 为垂向速度分布系数。

方程组利用 Abbott-Ionescu 六点隐式有限差分格式求解, 该格式在每一个网格点不同时计算水位和流量, 而是按顺序交替计算水位或流量, 分别称为 h 点和 Q 点如图 1 所示。Abbott-Ionescu 格式具有稳定性好、计算精度高的特点。离散后的线形方程组用追赶法求解。

收稿日期: 2015-12-18

作者简介: 周旭 (1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事水利规划设计工作。

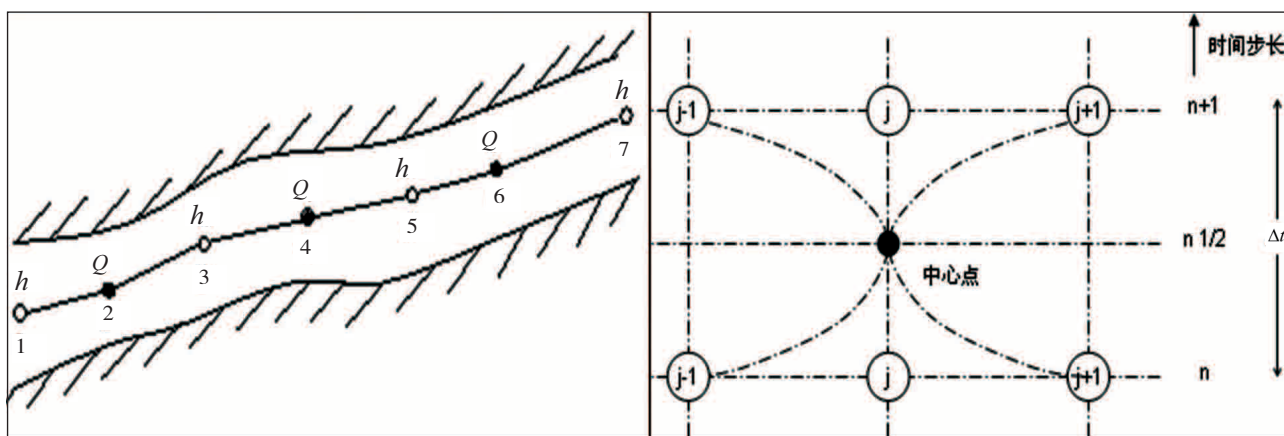


图 1 Abbott 格式水位点、流量点交替布置图

基于 MIKE 11 NAM、HD 模块构建水文、水动力模型, 对各流域进行产汇流过程的模拟。其中建立 MIKE 11 NAM 模型模拟流域内的降雨径流模型, 建立 MIKE 11 HD 河道水动力模型模拟河网的水动力过程。在 HD 模型设置中将 NAM 模型得到的径流结果通过设置耦合链接汇入相应支流河道。

1.2 水文及水动力模型

(1) 水文模型

在 NAM 模型中将南通市除里下河圩区之外的平原河网结合水文站和雨量分布划分为 14 个子流域, 划分情况 NAM 模型子流域划分电子图详见本刊网站。建立 NAM 降雨径流模型, 模拟支流子流域的降雨径流过程。根据所取得实测数据情况, 2013 年有较为完整的水文数据, 因此建立了 2013 年 5 月至 9 月的 14 个子流域的降雨径流模型。

模型计算得到的径流结果通过在 MIKE 11 支流水动力学模型中设置 RLink 汇入相应支流河道, 采用全动力波法进行河道汇流演算。

(2) 水动力模型

南通市河网纵横, 为便于计算, 本次水动力模型将区域内河道进行概化, 把大量对水动力计算影响不大的小河道进行简化处理, 具体做法: 南通市一级、二级河道采用实测断面数据, 四级以下河道按照断面面积概化合并到相邻的三级河道上, 从而保证概化后的河道输水能力与河网实际输水能力基本一致。根据所收集到的数据资料, 概化如图 2 所示的河网, 共计 1400 多条主要河道参与水动力演算。

(3) 率定与验证

由于模拟区域为平原河网, 各子流域之间河

道相通, 对于每个子流域不存在唯一出口, 无法对 NAM 模型直接率定, 因此采取 NAM 模型与水动力模型耦合后结果进行对比分析, 通过区域内排水总量进行 NAM 模型校正。将区域内主要排水口门运行记录中场次排水量总和与 NAM 模型计算各流域排水量之和进行比较, 反复修改 NAM 模型相关参数, 并适当调整水动力模型中的糙率, 直到 NAM 模型计算水量与实测总量相当, 且水动力模型计算水位过程与实测过程接近为止。



图 2 河网概化图

① 模型率定

排水量分析: 2013 年 6 月 25 日 - 6 月 29 日单场次实测排水量 73646 万 m^3 , NAM 模型计算值为 77739 万 m^3 , 实测值与计算值基本相当, 误差 5.3%。

水位变化过程分析: 将水动力模型计算得到的河网内水位值, 与实测水位站海安(通)、丁埭和石港水位站实测水位值进行对比, 结果如图 3~图 5。

从图 4~图 6 中可以看出, 模型计算结果的

峰值、趋势与实测值相比吻合较好, 石港峰值以及洪峰过后存在一些差距。经分析, 实测条件下水工建筑物的调度过程主要是人为决策, 对水位的控制有一定的经验性和不确定性, 这与模拟过程的调度存在一定的差异, 对模型的结果也有影响。其次, 6 月农作物耕作灌溉所造成的取水及回水过程也可能对模型中的水位存在局部影响。

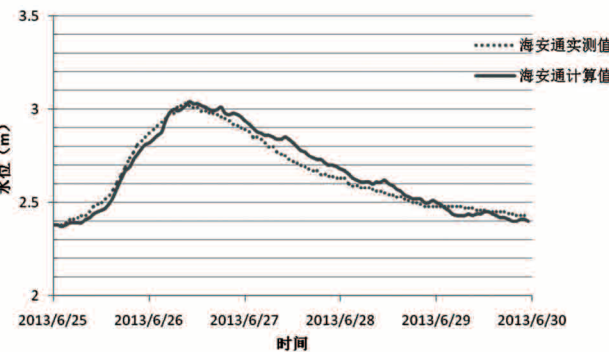


图 3 海安通计算水位值与实测水位值对比

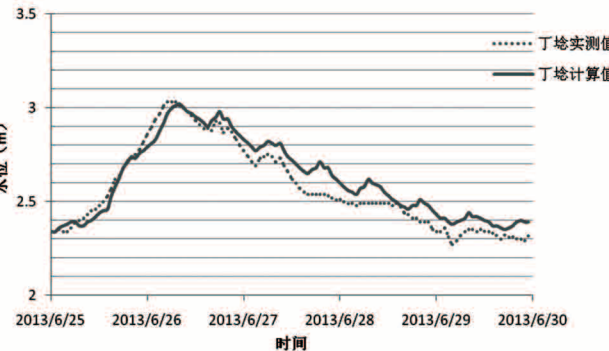


图 4 丁埭计算水位值与实测水位值对比

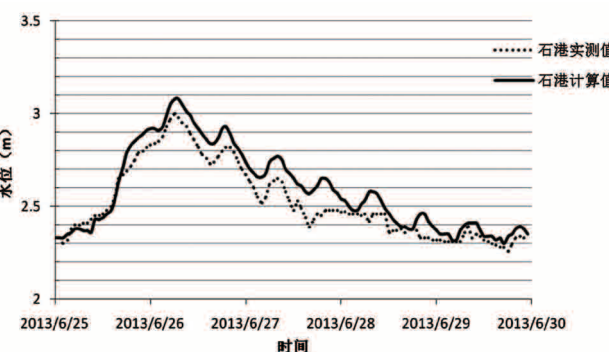


图 5 石港计算水位值与实测水位值对比

②模型验证

排水量验证: 将率定后的参数用于 2014 年 7~9 月的三场降雨, 用以验证模型, 区域排水量对比见表 1。对比三场降雨计算结果, 总排水量分别差 5.9%、6.2% 和 5.9%, 计算值排水量略多一点, 总体差别不大。

表 1 排水量验证对比

时间	实测值	计算值	差别
7.4-7.8	37442	39670	5.90%
8.7-8.11	38313	40688	6.20%
8.31-9.4	51441	54483	5.90%

水位验证: 水位验证采用 2014 年的 7 月 4 日至 7 月 9 日的降雨, 内河实测水位与计算水位变化过程对比见图 6~ 图 8。

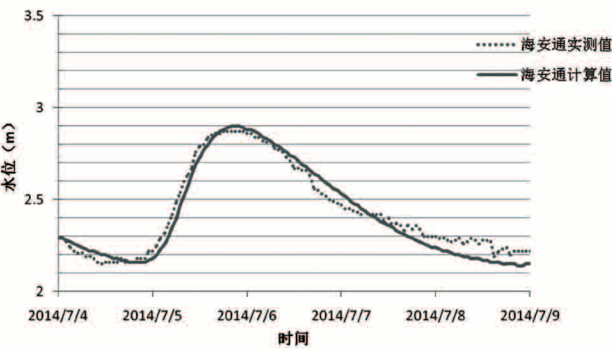


图 6 海安通计算水位值与实测水位值验证对比

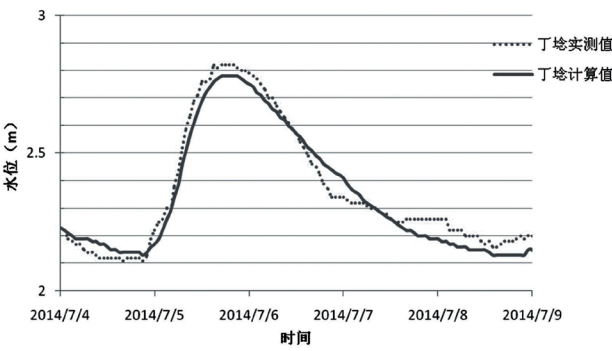


图 7 丁埭计算水位值与实测水位值验证对比

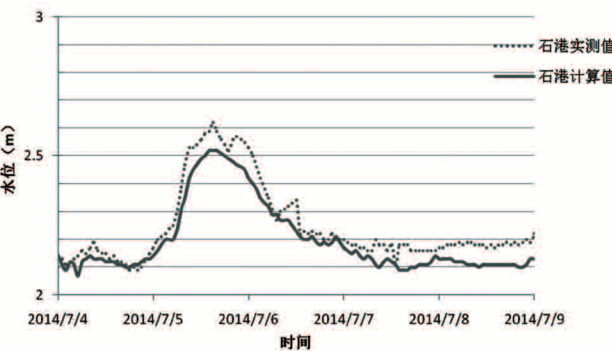


图 8 石港计算水位值与实测水位值验证对比

从对比模拟数据与实测数据, 洪峰的形成与削减过程基本保持一致, 峰值大体接近。通过水量与水位的对比分析, 模型用于该区域的排涝模拟计算有较高的准确性。

2 南通平原河网排涝现状

除涝目标: 除里下河圩区, 南通区域排涝达到 20 年一遇 3 日暴雨, 骨干河道水位不超过控制水位。

计算降雨边界条件采用 1991, 1993, 2001 以及 2010 年型的 20 年一遇设计 3 日最大降雨, 设计雨型的各站平均降雨量为 167.4 mm。4 个雨型对应 4 个不同的暴雨中心来分别考察各种分布雨型情况下的排水情况。各年型降雨分别对应关系为 1991 年型暴雨中心为九吕平原区, 1993 年暴雨中心为斗南垦区, 2001 年暴雨中心为通启平原区, 2010 年暴雨中心为高沙土区。

洪峰形成一般在雨后, 计算时段取降雨开始起共计 6 天。沿江、沿海的水位边界条件则采用 2

年一遇潮型。
各沿江沿海闸门则根据闸内闸外水位差进行控制, 即沿江和沿海落潮时, 潮位下降至与内河水位齐平时开闸; 沿江和沿海涨潮时, 潮位至接近内河水位时关闸。

在现状工况下, 通过模型计算, 分别得到 1991 年型(暴雨中心为九吕平原区)、1993 年型(暴雨中心为斗南垦区)、2001 年型(暴雨中心为通启平原区)、2010 年型(暴雨中心为高沙土区) 20 年一遇降雨条件下现状工况河网内各雨量站的最高水位值。对比各主要控制站点的最高水位与控制水位, 结果如表 2 所示, 计算结果数据均为国家 85 高程。

从表 2 中可知 1991 年型 20 年一遇降雨最高水位出现在青龙港站, 水位为 2.96 m, 1993 年型

表 2 现状各年型各雨量站最高水位

雨量站	1991年型 (m)	1993年型 (m)	2001年型 (m)	2010年型 (m)	外包(最高水位)(m)	控制水位 (m)	控制水位-最高 水位(m)
搬经站	2.71	3.13	2.34	3.09	3.13	4.0	0.87
焦港闸站	2.62	2.80	2.33	2.80	2.80	4.0	1.20
海安(通)站	2.73	3.31	2.35	3.16	3.31	3.4	0.09
丁堰站	2.71	3.34	2.40	3.09	3.34	3.3	-0.04
石港站	2.69	3.10	2.45	2.85	3.10	3.6	0.50
掘港站	2.65	3.15	2.46	2.78	3.15	3.5	0.35
苴镇站	2.54	3.08	2.38	2.71	3.08	3.6	0.52
小洋口闸站	2.58	3.06	2.34	2.87	3.06	3.0	-0.06
遥望港闸站	2.62	2.96	2.52	2.72	2.96	2.8	-0.16
货隆站	2.69	2.59	2.66	2.63	2.69	3.3	0.61
南通闸站	2.56	2.56	2.47	2.56	2.56	3.8	1.24
青龙港站	2.96	1.95	3.17	2.46	3.17	3.5	0.33
通启中片	2.51	1.67	3.11	2.26	3.11	3.0	-0.11
七门闸站	1.82	0.98	2.58	1.19	2.58	2.6	0.02
希士站	1.74	1.07	2.54	1.21	2.54	2.1	-0.44
如靖界河	2.14	1.40	1.49	1.77	2.14	2.7	0.56
四号港	2.11	1.40	1.47	1.75	2.11	2.4	0.29
周圩港	2.42	1.53	1.71	2.08	2.42	2.4	-0.02
小李港	2.39	1.67	1.80	2.16	2.39	3.5	1.11
三余低洼区	2.46	2.12	2.63	2.22	2.63	2.3	-0.33