

基于一维河网数学模型的某水厂可供水量计算分析研究

邱颂曦, 谭超

(广东省水利水电科学研究院, 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510635)

摘要: 通过建立珠江三角洲一维潮流数学模型, 计算位于珠江三角洲河网区某水厂取水河段的来水量, 并对计算结果进行合理性分析, 在此基础上计算了水厂取水河段的可供水量。研究成果可为复杂河网区可供水量计算分析提供参考。

关键词: 珠江三角洲网河区; 一维潮流数学模型; 来水量; 可供水量

中图分类号: TV131.4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0112(2014)06-0018-03

某水厂位于珠江三角洲网河区, 其取水水源为西江干流下游太平沙河段, 最大日取水规模为 22.46 万 m³/d (取水流量为 2.60 m³/s,)。由于工程位于珠江三角洲区域, 河网纵横交错, 取水河段不仅受上游径流影响, 而且受潮流影响也较大, 传统水文计算方法较难精确计算复杂河网区水道的来水量^[1], 一维河网模型通过给定上下游边界条件, 可计算三角洲每个断面的水位、流速、流量参数, 模型计算效率高、精度高, 已在三角洲涉河建设项目设计咨询中广泛应用, 成为了珠江三角洲河网区水文水力计算的有力工具。本文通过建立珠江三角洲一维潮流数学模型, 计算水厂取水河段的来水量, 并对计算结果进行合理性分析, 在此基础上计算出水厂取水河段的可供水量。研究成果可为复杂河网可供水量计算分析提供参考。

1 计算方法及模型构建

1.1 计算方法

一维潮流数学模型采用圣维南方程组, 即连续方程:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q}{B} \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left(gA - \frac{BQ^2}{A^2} \right) \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_z - \frac{gQ|Q|}{Ac^2R} \quad (2)$$

式中 z 为断面平均水位; Q 为断面平均流量; A 为过水断面面积; B 为主槽河宽; q 为旁侧入流流量; R 为水力半径; c 为谢才 (Chezy) 系数; x 、 t 为位置和时间坐标。

模型采用三级联解方式, 采用四点加权线性隐格

式求解一维潮流数学模型^[2]。

1.2 模型范围、断面剖分及验证

1) 模型范围及地形

水厂取水口位于西江干流下游河道, 网河区水流变化情况复杂, 流向不定, 其水动力特征既受上游下泄径流的控制, 也受下游潮汐的影响, 还受周边河道水文条件的制约, 因此模拟范围的确定需充分考虑上述条件的作用。水动力模拟的上边界取在高要 (西江)、石角 (北江)、四会 (绥江)、老鸦岗 (流溪河)、石咀 (潭江)、东江三角洲出口控制站点 (大盛、麻涌、漳澎、泗盛围) 水文 (位) 站, 下边界取至八大口门出口处潮位站, 模拟范围包括上、下边界内的西北江干流及三角洲网河区的主要水道, 并考虑节点的调蓄作用。模拟范围内网河区的河道地形根据 1999 年测量的 1/5 000 河道地形图读取得到。工程位置及模型范围见图 1 所示。

2) 断面剖分

模型共概化 296 条河道、1 836 个断面、188 个节点, 平均断面间距为 500 m, 其中在工程所在太平沙附近河段进行断面加密, 工程附近水域平均断面间距仅为 50 m, 通过工程段断面加密处理, 确保工程段的模型计算精度。

3) 模型率定验证

采用 2001 年 2 月 7 日 ~ 10 日的西北江三角洲同步水文测验资料对经参数率定的模型进行验证。模型计算控制站潮位值与实测值之间的误差小于 0.10 m, 流量误差小于 10%, 计算潮位、流量过程线与实测过程线吻合程度良好, 相位基本一致, 模型计算成果的误差符合有关技术规程规定的精度要求^[3]。

收稿日期: 2014-03-21; 修回日期: 2014-04-21

作者简介: 邱颂曦 (1982), 女, 工程师, 主要从事水工建筑、水文及水资源研究。

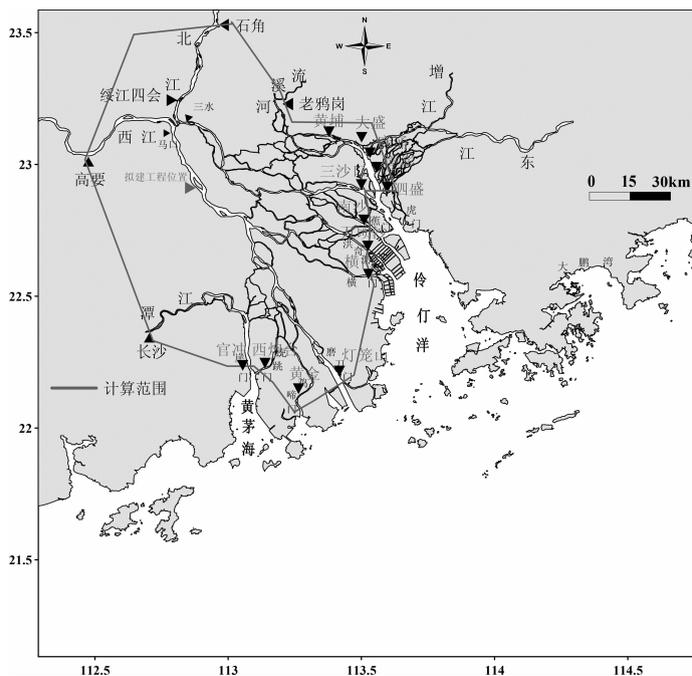


图1 工程位置及模型范围示意

1.3 模型计算边界

1) 上下游边界条件

模型计算上、下边界的类型不同,上边界为95%保证率的年最枯日流量,需经频率计算得到;下游边界采用“01.2”枯水期实测典型潮位过程。

对于上游边界,高要水文站、石角水文站有完整的流量系列资料,采用1957—2009年共53年的流量资料,以P-III适线法进行枯水频率计算,得到高要水文站、石角水文站95%保证率年最枯日流量;下游采用“2001.2”枯水实测同步水文观测资料。老鸦岗站和石咀站对计算结果影响较小,简化为恒定入流;由于四会站、老鸦岗站和石咀站无长系列流量资料,其设计枯水流量采用流域产汇流计算方法以及流域内用水量调查得到的枯水期平均流量。

2) 旁侧出流

模型计算旁侧出流分为2部分:一是思贤滘以上计算区域,根据《广东省江河流域规划修编》确定2015规划水平年西北江沿途各城市的取水规模。根据《广东省水资源公报》(2005—2011年),广东省农业耗水率为50.2%,生活耗水率为32.0%,工业耗水率为21.0%。因此,本次考虑工业用水归槽量按照工业取水量的79.0%(耗水率21.0%)计算,生活用水归槽量按照生活取水量的68.0%(耗水率32.0%)计算,农业用水归槽量按照农业取水量的49.8%(耗水率50.2%)计算,从而得到计算区间河道外耗水量。二是思贤滘以下西北江三角洲区域计算区域,模型计算主要考虑

各主要取水用水户的取水作为旁侧出流。

2 来水量计算分析

2.1 取水断面来水量计算结果分析

运用一维潮流数学模型,就上述模拟设计控制条件(外边界)及影响条件(内边界)而形成的模拟方案,对水厂设计最大取水规模为22.46万 m^3/d 下取水河段的水文过程进行模拟计算,并将计算范围内的取水户取水流量作为旁侧出流,在此基础上进行水厂取水河段的水量计算,得到西江干流太平沙右汊取水断面设计枯水水流模拟结果,如表1所示,95%保证率年最枯日流量条件下现状水平年取水断面落潮平均流量和涨潮平均流量分别为1530 m^3/s 、1366 m^3/s ,净泄量为164 m^3/s ;规划水平年取水断面落潮平均流量和涨潮平均流量分别为1505 m^3/s 、1349 m^3/s ,净泄量为156 m^3/s ;95%保证率年最枯日流量条件下取水口断面最低水位约为-0.86m。

河道内水量较丰富,以22.46万 m^3/d (2.60 m^3/s)的最大规模取水时,设计取水流量占落、涨潮平均流量的比例分别为0.17%、0.19%;此外,在按水厂取水规模取水后,取水断面的流量、水位过程的变化幅度均不大,其中水位仅有毫米量级的变化。

表1 水厂取水断面设计枯水水流模拟结果

流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)		水位/m	
落潮平均	涨潮平均	平均	最低
1530	1366	0.27	-0.88

2.2 来水量计算合理性分析

为验证一维潮流数学模型计算的合理性,拟采用分流比计算与数模计算2种方法计算出马口断面年最枯日平均净泄量,并对结果进行对比分析。

1) 分流比计算

马口、三水站分流比计算采用珠江水利委员会2000—2001年珠江三角洲河道同步水文测验成果,计算得到马口分流比为75.55%,三水分流比为24.45%。

根据1959—2004年马口、三水的实测流量资料分析,“马+三”分流比各控制站年最枯日平均净泄量成果具体见表2。

表2 分流比各控制站年最枯日平均流量成果

河道断面	设计值/($m^3 \cdot s^{-1}$)			
	90%	95%	97%	99%
“马+三”	749	635	561	444
西江干流(马口)	566	480	424	335

2) 一维潮流模型计算与分流比计算成果对比

分流比计算成果显示,在 $P=95\%$ 年最枯日来水条件下,马口站径泄量约为 $480\text{ m}^3/\text{s}$,一维潮流数学模型计算可得出马口站 95% 年最枯日净泄量为 $398\text{ m}^3/\text{s}$ 。可见,2种方法计算结果相近,分流比计算结果偏大。因此采用计算净泄量偏小的一维潮流数学模型计算结果是偏于安全的。

3 可供水量分析计算

水厂取水断面可供水量应为取水断面流量扣除河道生态环境需水量。

1) 河道生态环境需水量预测

本文分析采用 Tennant 法^[4]计算河道生态环境需水量,考虑到建设项目取水口所在河段枯水期受潮水影响的特点,枯水期实测流量小,但涨潮量同样可以满足生态流量所需,所以选择 10% 作为河道生态环境需水量的计算标准。由来水量计算结果可知,取水河道西江干流下游河段多年平均流量约为 $7\,290\text{ m}^3/\text{s}$,则枯水期维持河道生态环境需水的流量为 $729\text{ m}^3/\text{s}$ 。

2) 可供水量分析计算

根据来水量计算结果,扣除河道生态环境需水量以后,得到 95% 保证率年最枯日流量条件下现状水平年取水断面落潮平均流量和涨潮平均流量对应的可供水量分别为 $801\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $637\text{ m}^3/\text{s}$;规划水平年(2011年)取水断面落潮平均流量和涨潮平均流量对应

的可供水量分别为 $776\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $620\text{ m}^3/\text{s}$ 。

4 结论

本文采用一维网河潮流数学模型,计算得到珠江三角洲河网区某水厂最大取水规模为 $22.46\text{ 万 m}^3/\text{d}$,占取水断面 95% 保证率年最枯日来水条件下落潮平均流量和涨潮平均流量对应可供水量的比例分别约为 0.32% 和 0.41% 。从本项目取水量占取水河段可供水量的比重来看, 95% 保证率年最枯日来水条件下,取水量占取水河段可供水量比例均较小。因此水厂取水水量是有保障的。

本研究可对复杂网河区可供水量推求方法进行了较好的应用和拓展,对珠三角网河区建设项目水资源论证中可供水量计算分析有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 张子贤. 珠江三角洲河网区水位特征空间变异性研究[J]. 人民长江, 2002(7): 36-42.
- [2] 张二骏, 张东生, 李挺. 河网非恒定流的三级联合解法[J]. 华东水利学院学报, 1982(1): 36-42.
- [3] 黄东, 黄本胜, 郑国栋, 等. 西、北江下游及其三角洲网河河道设计洪潮水面线计算[J]. 广东水利水电, 2002(2): 08-12.
- [4] 宋兰兰, 陆桂华, 刘凌. 水文指数法确定河流生态需水[J]. 水利学报, 2006(11): 18-22.

(本文责任编辑 王瑞兰)

Calculation and Analysis of Water Supply of a Waterworks Based on One-dimensional Numerical Model of River Network

QIU Songxi, TAN Chao

(Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower,
Guangdong Provincial Key Laboratory of Hydrodynamics Research, Guangzhou 510635, China)

Abstract: By one-Dimension numerical mode of tidal current, inflow of river reach with intake works of a waterworks located in the Pearl River Delta river network area is calculated, and the rationality of the calculation results is analyzed. And then, water supply in river reach with intake works of the waterworks. Research findings could provide reference for calculation and analysis of water supply in complex river network area.

Key words: river network area in the Pearl River Delta; one-dimensional mathematical model of tidal current; inflow; water supply