

水资源调度对感潮河段盐度影响的模拟分析

陈融旭^a, 韩龙喜^{a,b}, 颜芬芬^a

(河海大学 a. 环境学院; b. 浅水湖泊重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 水库运行后, 由于其兴利调节作用, 使下游河道的径流量发生改变, 从而对感潮河段的盐度造成影响。因此, 在结合相关地质及水文资料基础上, 建立感潮河网一维水流—盐度耦合模型, 对浙江某大型水库运行后, 下游感潮河段的盐度变化进行研究。研究表明, 水库运行后, 盐水入侵的基本性质不会发生本质性的变化, 水库的调节作用在一定时段和程度上对盐水入侵起到有利影响。

关键词: 水资源调度; 盐度; 感潮河段; 水流—盐度耦合模型

中图分类号: TV697.11

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0218-04

Simulation and analysis of influence of water resources schedule on tidal river salinity

CHEN Rongxu^a, HAN Longxi^{a,b}, YAN Fenfen^a

(a. College of Environment; b. Key Laboratory of Shallow Lakes of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The operation of reservoir will change the downstream runoff and affect the salinity of tidal river because of the effect of profiting regulation. Based on combining the geological with hydrological data, the paper established one-dimensional flow-salinity coupling model so as to study the salinity's variation in downstream section after the operation of a large reservoir in Zhejiang Province. The result showed that after the operation of reservoir, the essence of saltwater intrusion will not change utterly. The reservoir regulation could have beneficial effect on the reduction of saltwater intrusion.

Key words: water resources schedule; salinity; tidal river section; flow—salinity coupled model

感潮河段是河流与海洋的过渡段, 受潮汐和径流的共同作用, 水流运动复杂, 流向多变, 流态不稳定, 河道水流呈较为复杂的往复流状态。由于两种水流共同作用, 加上河口区本身的一些地理特性, 使感潮河段的水文情势较河流和海洋复杂, 并具有独自的特点^[1]。水库等水利工程的径流调节作用改变径流的年内分配, 使感潮河段的水文水动力特性发生变化, 从而引起感潮河段的盐度变化。国内关于感潮河段盐度变化的研究多以传统实测、宏观分析为主^[2], 模型模拟方法较少。因此, 本文采用数值模拟方法, 建立感潮河段的水动力—盐度耦合模型, 对南岸水库运行前后典型丰、平、枯水年楠溪江感潮河段盐度变化进行研究分析, 为后续生态影响分析提供参考。

1 感潮河网一维水流—盐度耦合模型

(1) 水流模型控制方程。一维河流水动力模型基于一维非恒定流方程, 理论基础为建立在质量和

动量守恒基础上的 Saint—Venant 方程组, 包括水流连续方程和运动方程:

①连续方程:

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

②动量方程

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{Q \mid Q \mid}{K^2} = 0 \quad (2)$$

式中: Q 为河流断面径流量, m^3/s ; x 为沿水流方向的距离, m ; t 为时间, s ; A 为过水断面面积, m^2 ; Z 为水位, m ; q 为单位河段长度的旁侧入流量(包括均匀旁侧入量和集中旁侧入量), m^2/s ; α 为动量校正系数; K 为流量模数; g 为重力加速度, m^2/s 。

(2) 盐度模型控制方程。盐度在水体中的变化可用一维对流—扩散方程表示:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + M \quad (3)$$

式中: t 为时间坐标, s ; x 为沿水流方向距离, m ; C

为含盐度, ppt; Q 为河流断面径流量, m^3/s ; D 为河道纵向扩散系数, m^2/s ; A 为河道横断面面积, m^2 ; K 为盐度降解常数, $1/\text{d}$; M 为源/汇项。

(3) 水流—盐度模型求解方法。采用 Preissmann 四点隐式差分格式^[3-4], 并以时段初的水力要素代替时段平均值, 对基本方程与两类连接条件进行离散, 对水动力方程进行求解, 达到稳定后取计算结果作为水流初始场, 进而采用 Preissmann 四点隐式差分格式对盐度模型进行求解, 得到盐度初始场后对水流、盐度进行耦合计算。

(4) 定解条件。

① 水动力方程定解条件。以南岸水库运行前后南岸水库坝址处典型丰、平、枯水年的流量为上游边界, 以同期下游水(潮)位作为下边界条件, 经一维水动力数学模拟后得到不同工况下评价区域各水力学参数变化情况。

初始流量: $Q = Q_0(x)$

初始水位: $H = H_0(x)$

式中: Q 为河流断面径流量, m^3/s ; H 为水(潮)位, m 。

② 盐度模型定解条件。

盐度初始条件为: $t = 0, C(x, t) = C(x, 0)$

边界条件为: 当 $x = 0$ 时, $C(x, t) = C(0, t)$; 当 $x = L$ 时, $C(x, t) = C(L, t)$ 。

式中: t 为时间坐标, s ; x, L 为沿水流方向距离, m ; C 为含盐度, ‰。

对于模型来说, 闭边界的特点是边界上不存在流量和物质的交换, 即 $Q = 0, \partial C / \partial x = 0$ 。

2 感潮河段盐度变化数值模拟研究

2.1 研究区域概况

楠溪江流域属浙南中山区, 流域面积 $2\,436\text{ km}^2$, 干流全长 142 km , 径流总量 28.6 亿 m^3 , 为瓯江下游最大支流。其主流大源溪发源于仙居、永嘉两县交界的括苍山脉南麓, 流经永嘉县的溪口、岩头、沙头、上塘至瓯北镇注入瓯江。在沙头以上为山溪性河道, 溪口以上 61 km 河道比降为 10.46‰ , 溪口至沙头 48 km , 河道比降为 1.12‰ 。沙头以下受瓯江河口潮汐影响, 为感潮河段。南岸水库工程坝址位于大源溪南岸村下游约 3 km 处, 集水面积 312 km^2 , 正常蓄水位 170 m , 相应库容 2.97 亿 m^3 , 调节库容 2.86 亿 m^3 , 电站装机容量 2.8 万 kW , 是一座具有防洪、供水、发电等综合效益的大(2)型水利工程。

采用相关地形地质及水文资料, 建立南岸水库—楠溪江河口一维水流—盐度耦合模型, 计算工程

运行前后南岸水库坝址处至楠溪江入瓯江口处共 81 km 河道的盐度变化。计算范围以南岸水库坝址处为起点, 以楠溪江入瓯江口处为终点, 包括楠溪江干流及大源溪、岩坦溪、鹅浦溪等楠溪江重要支流所组成的河网。

2.2 楠溪江感潮河段盐度变化分析

根据丰水年楠溪江干、支流来水情况, 建立丰水年一维水流—盐度耦合模型, 以工程运行前后南岸水库典型丰水年(1992)流量过程为流量边界条件, 以相应年份楠溪江河口逐时潮位过程为水位边界条件, 以楠溪江河口盐度实测值为初始盐度, 分析预测工程运行前后下游河道盐度的变化情况。南岸水库运行前后丰水年流量过程如图1所示。

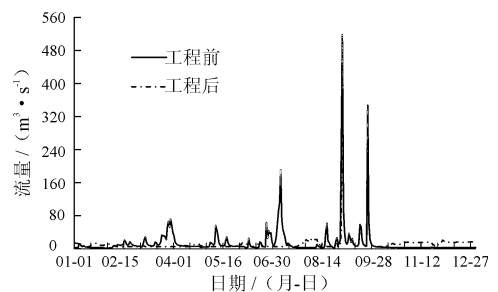


图1 丰水年南岸水库运行前后流量过程图(1992年)

由图1可以看出, 南岸水库运行后, 由于水库的调度, 枯水期10—1月份下泄流量增加, 4—9月份下泄流量减少, 7月份下泄流量减少值最大, 最大为 $186\text{ m}^3/\text{s}$ 。考虑盐水入侵在枯水期最严重, 选取距楠溪江入瓯江口处 6 km 的断面为代表断面, 选取枯水期代表月12月为典型月份, 对丰水年南岸水库运行前后盐度变化情况进行计算, 结果见图2。

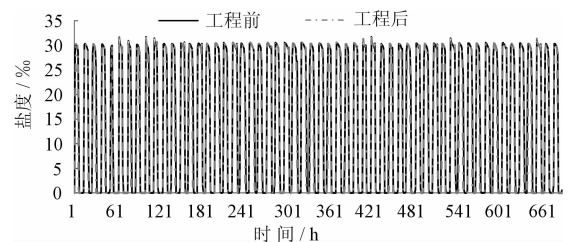


图2 丰水年南岸水库运行前后典型断面典型月盐度时间过程图

从预测结果可知, 盐度随潮汐的变化呈周期性变化, 水库运行前后枯水期盐度在涨憩情况下均达到 29‰ 以上, 落憩时盐度均在 0.20‰ 以下, 水库运行前盐水入侵峰到达的最大距离为距楠溪江入瓯江口处约 11 km 处, 水库运行后盐水入侵峰到达的最大距离为距楠溪江入瓯江口处约 9.5 km 处。水库运行后枯水期盐度有所降低, 幅度为 $1.0\text{‰} \sim 16\text{‰}$ 。

2.3 平水年盐度变化分析

根据平水年楠溪江干、支流来水情况,建立平水年一维水流-盐度耦合模型,以工程运行前后南岸水库典型平水年(1982 年)流量过程为流量边界条件,以相应年份楠溪江河口逐时潮位过程为水位边界条件,以楠溪江河口盐度实测值为初始盐度,分析预测工程运行前后下游河道盐度的变化情况。南岸水库运行前后平水年流量过程如图 3 所示。

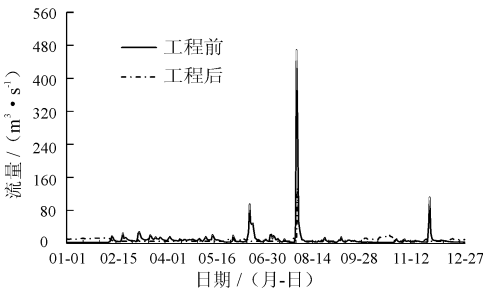


图3 平水年南岸水库运行前后流量过程图(1982 年)

由图 3 可以看出,南岸水库运行后,由于水库的调度,枯水期 10-1 月份下泄流量增加,4-9 月份下泄流量减少,7 月份下泄流量减少值最大,最大为 456 m³/s。考虑盐水入侵在枯水期最严重,选取距楠溪江入瓯江口处 6 km 的断面为代表断面,选取枯水期代表月 12 月为典型月份,对平水年南岸水库运行前后盐度变化情况进行计算,结果见图 4。

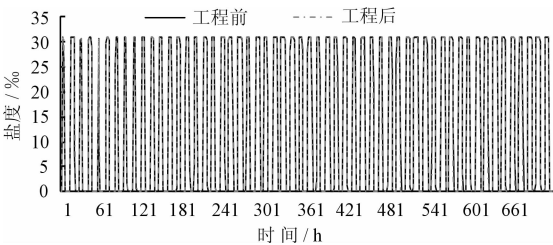


图4 平水年南岸水库运行前后典型断面典型月盐度时间过程图

从预测结果可知,盐度随潮汐的变化呈周期性变化,水库运行前后枯水期盐度在涨憩情况下均达到 30‰以上,落憩时盐度均在 0.20‰以下,水库运行前盐水入侵锋到达的最大距离为距楠溪江入瓯江口处约 10.5 km 处,水库运行后盐水入侵锋到达的最大距离为距楠溪江入瓯江口处约 9.2km 处。水库运行后枯水期盐度有所降低,幅度为 1.0‰~12‰。

2.4 枯水年盐度变化分析

根据枯水年楠溪江干、支流来水情况,建立枯水年一维水流-盐度耦合模型,以工程运行前后南岸水库典型枯水年(1971)流量过程为流量边界条件,

以相应年份楠溪江河口逐时潮位过程为水位边界条件,以楠溪江河口盐度实测值为初始盐度,分析预测工程运行前后下游河道盐度的变化情况。南岸水库运行前后枯水年流量过程如图 5 所示。

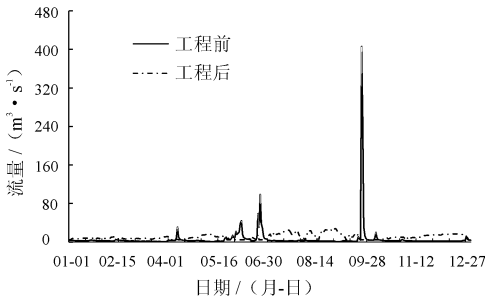


图5 枯水年南岸水库运行前后流量过程图(1971 年)

由图 5 可以看出,南岸水库运行后,由于水库的调度,枯水期 10-3 月份下泄流量增加,4-9 月份下泄流量有增有减,总量呈减少趋势,9 月份下泄流量减少值最大,最大为 401 m³/s。考虑盐水入侵在枯水期最严重,选取距楠溪江入瓯江口处 6 km 的断面为代表断面,选取枯水期代表月 12 月为典型月份,对丰水年南岸水库运行前后盐度变化情况进行计算,结果见图 6。

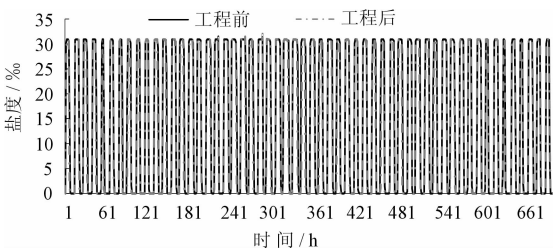


图6 枯水年南岸水库运行前后典型断面典型月盐度时间过程图

从预测结果可知,盐度随潮汐的变化呈周期性变化,水库运行前后枯水期盐度在涨憩情况下均达到 30‰以上,落憩时盐度均在 0.20‰以下,水库运行前盐水入侵锋到达的最大距离为距楠溪江入瓯江口处约 11.5 km 处,水库运行后盐水入侵锋到达的最大距离为距楠溪江入瓯江口处约 10.1 km 处。水库运行后枯水期盐度有所降低,幅度为 1.0‰~21‰。

3 结 语

研究结果表明,楠溪江感潮河段的盐度受上游下泄径流量影响较大,径流量越大,咸潮入侵的危害相对较小。南岸水库运行后,在丰、平、枯不同典型水文年枯水期,由于下泄流量的增加,感潮河段的盐度相对于天然情况有所减少。水库运行后,由于水

库的调节作用,枯水年枯水期某些时段下泄流量与天然情况相比增加最为显著,对感潮河段的高盐度的冲淡作用较丰、平水年更为明显。因此,南岸水库运行后,在一定程度上可以起到降低枯水期的咸潮入侵作用。在水库蓄水期,由于下泄流量的减少,水库的运行对楠溪江感潮河段咸潮入侵起到不利影响,但由于此时楠溪江流量相对较大,感潮河段盐度本底值较小,由水库蓄水引起的不利影响得到一定程度的削弱。

在水库实际运行中,可以考虑不影响水库其它功能的情况下适当提前蓄水,以减少蓄水期流量减少对咸潮入侵带来的不利影响。而在枯水期,南岸水库的运行对改善楠溪江感潮河段咸潮入侵的作用较为明显,可以在此基础上适当考虑改变调度运用方式,进一步扩大这方面的优势。例如可以在11月按照天然来水量放水,12月将本应在11月放出的水和12月本应放出的水集中在一起放出,从而进一步增大南岸水库在楠溪江最枯期抵御咸潮入侵的作用。

总之,在南岸水库的实际运行中,应加大与水利、环保等各部门的合作力度,根据楠溪江水情预报,结合下游用水需求及时拟定出可操作性较的实时调度方案,以达到既兼顾楠溪江下游地区的可持续发展同时又最大限度降低咸潮入侵危害的目的。

(上接第217页)

3 结 语

通过探地雷达法与钻芯法在某水工输水隧洞衬砌混凝土检测中的对比应用,可得出如下结论:

(1)探地雷达法检测水工输水隧洞衬砌混凝土厚度、内部缺陷、钢筋数量、钢筋分布及保护层厚度等参数,数据科学、准确、可信度高,满足工程建设质量控制的要求;

(2)探地雷达法对工作环境要求低,无损、快捷,在水工领域探测厚大物混凝土构件内部隐蔽物等方面优势明显;

(3)探地雷达法对隐蔽性缺陷定性检测技术成熟,对缺陷定量的深入研究有助于工程的后期处理。

参考文献:

[1] Sener J C, Smith R M, Garz M D, et al. Pavement thickness evaluation by GPR survey in idaho [C]// Structural Materials Technology III: An NDT Conference, USA: 1998:236 - 241.

参考文献:

[1] 伍成成. Mike11 在盘锦双台子河口感潮段的应用研究 [D]. 青岛:中国海洋大学,2011.

[2] 胥加仕,罗承平. 近年来珠江三角洲咸潮活动特点及重点研究领域探讨[J]. 人民珠江, 2005,26(2):21 - 23.

[3] 徐祖信,尹海龙. 平原感潮河网地区一维、二维水动力耦合模型研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑),2004, 19(6):744 - 752.

[4] 王运洪. 水库湖流多负荷数值模拟[J]. 广西科学,2001, 8(2):118 - 123.

[5] 宋志尧,茅丽华. 长江口盐水入侵研究[J]. 水资源保护, 2002,18(3):27 - 30.

[6] 刘杰斌,包芸,黄宇铭. 丰、枯水年磨刀门水道盐水上溯运动规律对比[J]. 力学学报,2010,42(6):1098 - 1103.

[7] 刘志敏. 珠江河口咸潮入侵机理及对策研究[D]. 广州:华南理工大学,2009.

[8] 孔亚珍,贺松林,丁平兴,等. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义[J]. 海洋学报,2004,26(4):9 - 18.

[9] 杨明远,任杰. 珠江三角洲径潮动力数值模拟与特征分析[J]. 海洋工程,2008,26(4):117 - 124.

[10] 谭超,邱静,黄本胜,等. 东江下游潮区界、潮流界、咸水界变化对人类活动的响应[J]. 广东水利水电,2010 (10):36 - 39.

[11] 陈进. 三峡水库抗旱调度问题的探讨[J]. 长江科学院院报,2010,27(5):19 - 23.

[2] 徐茂辉,赖恒,谢慧才. 探地雷达在混凝土板钢筋检测中的应用[J]. 无损检测,2004,26(1):30 - 33.

[3] 李军怀. 探地雷达在公路建设与维护中的应用[J]. 山西建筑,2007,33(35):322 - 323.

[4] 王亮,王绪本,李正文. 探地雷达在金沙遗址考古探测中的应用研究[J]. 物探与化探,2008,32(4):401 - 403.

[5] 董延朋,孔祥春,秦月涛. 地质雷达在水库防渗墙检测中的应用[J]. 地质装备,2005,6(4):26 - 28.

[6] 徐莹,徐宏武. 探地雷达和超声波法在混凝土结构检测中的应用[J]. 土木工程与管理学报,2012,29(1):97 - 101.

[7] 胡钢. 探地雷达在混凝土无损检测中的比对研究[J]. 土工基础,2013,27(6):122 - 125.

[8] 邓中俊,姚成林,贾永梅,等. 探地雷达在水工隧洞质量检测中的应用[J]. 水利水电技术,2008,39(10):108 - 112.

[9] 董延朋. 探地雷达在混凝土施工质量无损检测中的应用[J]. 物探与化探. 2006,30(5):468 - 470.

[10] 曾昭发,刘四新,王者江,等. 探地雷达方法原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2006.

[11] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社, 1994.