

漳卫新河河口最小生态需水量研究

彭 涛^{1,2}, 陈晓宏³, 王高旭¹

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 3. 中山大学 水资源与环境研究系, 广东 广州 510275)

摘要: 由于水资源过度开发利用, 海河流域诸多河口入海径流量大幅减小, 导致河口生态严重退化. 选择盐度为河口栖息地关键环境因子, 利用河口潮流和盐度数学模型模拟栖息地盐度与入海径流量的关系, 以 20 世纪 70 年代塘沽海洋站年平均最大盐度值为控制标准, 计算得到该标准下的河口最小生态需水量. 结果表明, 漳卫新河河口年最小生态需水量为 3.19 亿 m^3 . 20 世纪 80 年代以来, 漳卫新河河口多年平均入海径流量为 1.55 亿 m^3 , 约 84% 年份无法保证河口最小生态需水量. 计算结果可为流域生态调度和河口生态系统修复提供参考.

关 键 词: 最小生态需水量; 数值模拟; 盐度; 漳卫新河河口

中图分类号: X143; TV213

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2013)03-0008-07

海河流域包括海河、滦河和徒骇马颊河 3 大水系, 10 条骨干河流, 是我国水资源开发利用程度最高和水资源最为紧缺的地区. 自北向南, 主要有滦河口、沙河口、陡河口、永定新河口、海河口、独流减河口、子牙新河口、北排河口、南排河口、漳卫新河口、马颊河口及徒骇河口等 12 个主要河口. 近年来经济的快速发展和水资源的过度开发, 导致流域生态用水严重不足, 使得河口生态与环境的负面效应日益凸显, 其中漳卫新河河口表现尤为突出. 因此, 研究河口最小生态需水量, 对流域水资源优化配置和生态调度, 改善和恢复河口生态系统功能具有重要的现实意义.

由于河口生态系统的特殊性和重要性, 河口生态需水已成为国内外学者的研究热点^[1]. 20 世纪 70 年代以来, 国外在淡水入流对河口生态系统物理、化学和生物过程的影响方面进行了大量研究, 并提出了许多河口生态需水评估方法. 研究表明, 淡水入流变化对河口营养生物特别是较高营养级生物分布及初级生产力有重要影响^[2-3]. A. D. Jassby 等^[4]发现 San Francisco 海湾淡水入流与河口盐度梯度存在很强的相关性, 认为盐度可以作为河口栖息地重要指标. 河口生态需水计算主要通过历史资料分析建立淡水入流与河口关键环境因子或指示物种的相关关系, 由此确定一定生态保护目标下淡水入流量. P. H. Doering 等^[5]根据河口沉水植物的盐度耐受范围计算了佛罗里达州 Caloosahatchee 河口最小和最大的入海径流量. D. Buzan 等^[6]则通过分析河口历年淡水入流量、盐度和牡蛎产量相关关系确定淡水入流量.

我国对河口生态需水的相关研究始于 20 世纪 90 年代后期, 主要是针对黄河断流对河口及邻近海域生态与环境负面影响的研究^[7]. 随着三峡工程、南水北调工程的相继启动, 重大水利工程影响下河口环境与生态安全逐渐成为研究热点^[8]. 目前, 国内河口生态需水计算方法主要有生态功能设定法^[9-11]、相关分析法^[12-13]、生境模拟法^[14-17]等. 生态功能设定法是以维持河口生态健康为目标, 满足河口冲淤平衡、盐度平衡、滨海湿地等生态系统基本功能所需的人海淡水量. 该方法概念清晰, 应用较广泛, 但也存在交叉重复计算

收稿日期: 2012-09-05

基金项目: 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金项目(2011491711); 湖北省自然科学基金项目(2012FFB03802); 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室(长沙理工大学)开放基金项目(2013SS01); 三峡大学人才科研启动基金项目(KJ2010B029)

作者简介: 彭 涛(1973-), 男, 湖南保靖人, 讲师, 博士, 主要从事水文水资源及生态水文研究.

E-mail: pengtao306@163.com

问题^[18]. 相关分析法是通过分析河口生物种群分布与温度、盐度、营养物质等环境要素的相关关系计算河口生态需水量. 该法操作简便, 数据获取相对容易, 但计算精度不高. 栖息地模拟法是以河口栖息地数值模拟为基础, 通过分析栖息地关键环境因子与入海径流量的响应关系, 确定一定生态保护目标下的河口生态需水量. 该方法具有较明确的生态学意义, 为水分-生态耦合作用机理复杂的河口生态需水研究提供了新的思路和途径. 因此, 本文选取盐度作为河口鱼类栖息地关键环境因子, 通过潮流和盐度模型模拟不同来水条件下的河口盐度空间变化, 由此计算维持河口鱼类栖息地盐度需求的最小生态需水量.

1 研究区域

漳卫新河前身为四女寺减河, 是历代开挖扩建而成的人工河道, 也是海河流域南系的漳河、卫河泄洪、排涝的主要入海通道, 全长 257 km. 漳卫新河河口位于我国渤海湾西南部 (图 1), 介于 $38^{\circ}04' \sim 38^{\circ}20' \text{ N}$, $117^{\circ}35' \sim 117^{\circ}57' \text{ E}$ 之间. 漳卫新河河口段为辛集挡潮蓄水闸至入海河口, 地跨山东省无棣县和河北省海兴县, 全长 37.6 km. 河口左岸有黄骅港, 右岸有滨州港经济园区.

漳卫新河河口地区为冲积海积平原, 形成开阔平坦的沿海滩涂, 历史上曾是渤海湾重要的洄游鱼类产卵、育幼和索饵场所. 河口地处半湿润、半干旱季风气候区, 多年平均降水量为 558 mm, 其中汛期 (6—9 月) 约占全年降水量的 80%, 多年平均气温 12.4°C , 年平均蒸发量 2 100 ~ 2 300 mm. 漳卫新河河口属于不规则的半日潮地带, 多年平均潮差为 2.3 m, 最大潮差为 3.6 m. 根据 1956—2010 年统计资料, 辛集闸多年平均入海水量为 4.6 亿 m^3 , 入海径流量年际变化十分悬殊, 其中 20 世纪 80 年代以后有 11 年无径流入海. 漳卫南运河流域人均水资源量为 240 m^3 , 属于极度资源型缺水地区. 由于水资源短缺及过度开发利用, 入海水量大幅减少, 导致河口泥沙淤积严重、天然湿地萎缩、海水倒灌以及近海生物资源多样性衰减等一系列严重问题, 潜藏着令人堪忧的河口生态危机.

本文分析所用辛集闸 1956—2010 年入海径流量资料、2003 年同步实测水位和流量资料以及 1999 年河道地形资料, 由海河水利委员会漳卫南运河管理局提供.

2 研究方法

2.1 主要理论依据

研究方法的依据是限制因子原理^[19], 该原理是 Shelford 耐受性定律和 Liebig 最小因子定律的合称. 耐受性定律是指每一种生物对不同生态因子都存在一个介于最大限度和最小限度的耐受性范围, 当生态因子超过上下限, 就会使生物退化甚至死亡. 最小因子定律是指低于某种生物需要的最少量的任何特定因子, 是决定生物生存和繁殖的关键性因子. 对于河口生态系统, 盐度、径流、水温、潮流、底质、营养盐等都是其重要的生态因子, 其中盐度又是河口及近岸海域最敏感的生态因子, 对生物特别是洄游性鱼类的生长发育具有深刻的影响. 所以, 选择盐度作为河口水生态系统的关键环境因子, 利用生物对盐度的耐受性范围作为控制条件来计算河口最小生态需水量.

2.2 盐度控制标准

渤海作为我国的内海, 素有“天然鱼仓”之称. 渤海沿岸诸多河口及邻近海域为黄、渤海多种重要经济鱼虾类的产卵场和索饵场. 20 世纪 80 年代以来, 黄河、海河、辽河等入海径流量显著减少, 河口区盐度显著升高, 加之陆源污染大量排放和过度捕捞, 渤海鱼类资源锐减. 河口是众多洄游性鱼类重要的栖息地和产卵场, 盐度剧烈变化将对鱼类繁殖产卵和仔鱼成活极为不利. 考虑到 20 世纪 70 年代海河流域入海水量和渤海湾

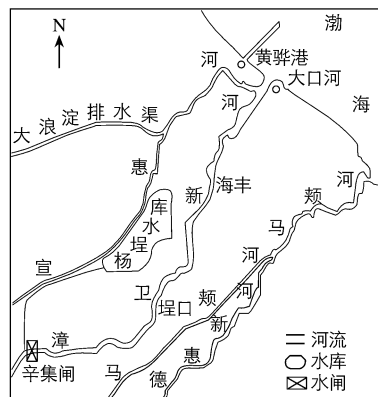


图1 漳卫新河河口形势图

Fig. 1 Zhangweixin River estuary (ZRE)

海表盐度变化较小(图2),河口及近岸海域生态状况相对稳定,因此选取渤海湾塘沽海洋站该时期年平均最大海表盐度值28.97‰作为河口最小生态需水量的盐度控制标准.塘沽站距离漳卫新河河口仅25 km,因此其观测资料在一定程度上能较好反映研究区域的海表盐度状况.

2.3 河口一维潮流和盐度数学模型

由于河口地区咸淡水交汇,径潮流作用以及水文与生态过程都十分复杂.利用数值模拟技术,建立河口地区潮流和盐度数学模型,是研究不同来水条件下河口盐度时空分布及其生态需水变化规律的重要方法.

2.3.1 控制方程

(1)水动力模型 明渠中的非恒定水流运动用圣维南方程组来描述,基本方程形式如下.

$$\text{连续方程:} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\text{动量方程:} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + g \frac{n^2 Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

式中: Q 为断面流量; Z 为水位; A 为过水面积; R 为水力半径; x 为沿程距离; t 为时间; β 为动量修正系数; g 为重力加速度; n 为河道糙率.

$$\text{(2)盐度模型} \quad \frac{\partial (AS)}{\partial t} + \frac{\partial (QS)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + S_c - S_m = 0 \quad (3)$$

式中: S 为盐度; E_x 为纵向分散系数; S_c 为盐度衰减项, $S_c = k_d AS$, k_d 为盐度衰减因子; S_m 表示外部的源或汇项.

对一维水动力模型基本方程组采用四点偏心 Preissmann 隐式差分格式进行离散,采用三级联合法求解.一维盐度模型采用隐式差分迎风格式将其离散,方程的求解方法见文献[20].

2.3.2 计算条件与模型验证 模拟区域为漳卫新河河口辛集闸以下到大口河长约37.6 km的区域,共设置36个实测断面.数学模型上边界为辛集闸下流量过程,下边界为大口河潮位过程.河道糙率利用河道实测资料推求,取0.025.

选取漳卫新河河口典型断面的潮位、流量实测资料验证建立的数学模型,实测数据的验证时段为2003年9月12日至21日.水动力模块在文献[21]中已进行了相应验证,各测站潮位与流量计算值和实测值较吻合.由于缺乏同步实测资料,没有对盐度模块进行验证,但水平方向河口盐度沿程变化较好地反映了实际盐度场的分布,显示本模型具有进行河口一维数值模拟的能力.

3 结果与讨论

3.1 模拟计算结果

根据漳卫新河河口历史来水情况,将辛集闸下平均流量 $5 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$ 作为上边界来水情景进行模拟,利用建立的河口潮流和盐度数学模型计算不同来水情况下的河口各控制断面的盐度值,模拟河口盐度与入海径流量的相关关系(表1).计算结果表明,河口各断面含盐度均随上游径流量的增加而明显减小.同时,这也说明了增加入海径流量是改善河口盐度状况的主要途径之一.

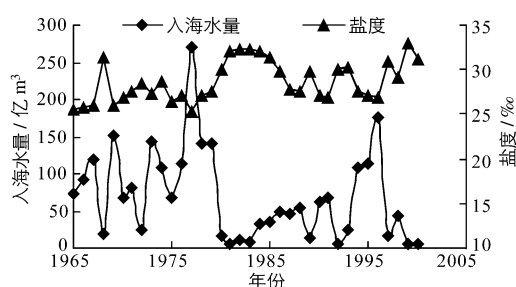


图2 海河流域入海水量和塘沽海洋站海表盐度变化

Fig. 2 Changes in freshwater inflows in Haihe River basin and sea surface salinity at Tanggu ocean station

表1 不同来水情况下的河口平均盐度沿程变化

Tab. 1 Average salinity changes under different discharge conditions along the ZRE					%o				
流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	辛集闸下	埕口	海丰	大口河	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	辛集闸下	埕口	海丰	大口河
5	1.60	6.23	16.30	29.43	60	1.60	1.59	2.80	24.88
10	1.60	3.17	12.62	29.02	70	1.60	1.59	2.44	23.80
20	1.60	1.87	8.14	28.15	80	1.60	1.60	2.19	22.94
30	1.60	1.66	5.67	27.27	90	1.60	1.60	2.01	22.25
40	1.60	1.60	4.23	26.43	100	1.60	1.60	1.88	21.60
50	1.60	1.59	3.35	25.63					

3.2 生态需水计算结果

选取海陆交汇的大口河作为控制断面,使得该断面平均盐度不突破盐度控制标准 28.97‰,并将此盐度值所对应的上游辛集闸下平均径流量作为河口最小生态流量.利用一元线性回归模型进行拟合,得到大口河断面平均盐度与入海径流量的函数关系为 $y = -0.084x + 29.82$,相关系数 R 为 0.99.根据上述回归方程,即可得到栖息地盐度控制目标下的漳卫新河河口最小生态流量为 $10.11 \text{ m}^3/\text{s}$,即年最小生态需水量 3.19 亿 m^3 (图3).由图3可见,1956—1979 年的 24 年中将近 60% 年份的入海径流量能够满足河口最小生态需水量,而 20 世纪 80 年代以后,受上游水库和拦河闸蓄水以及河道外大量取水等因素的影响,漳卫新河入海径流量锐减,将近 84% 的年份无法满足河口最小生态需水量,大量生态用水被挤占,多年平均生态缺水量为 1.64 亿 m^3 ,使得河口生态严重退化.

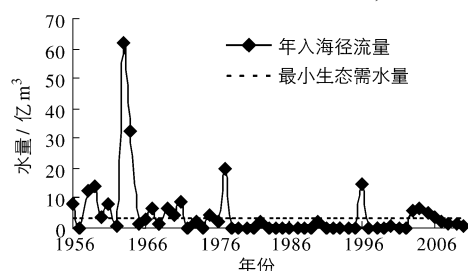


图3 漳卫新河河口年入海径流量与最小生态需水量

Fig. 3 Annual freshwater inflows and the minimum environmental flows in the ZRE

3.3 合理性分析

为了评价本文的计算结果是否符合实际情况,借鉴河道内生态需水计算中广泛使用的月(年)保证率设定法计算漳卫新河河口最小生态需水量^[22-23].计算公式为

$$Q_{\min} = \mu \bar{Q} \quad (4)$$

式中: $Q_{\min}$ 为河口最小生态需水量; $\bar{Q}$ 为某保证率下对应水文年的年平均入海径流量; μ 为权重,相当于调节系数,使某保证率下的年平均入海径流量尽可能接近河口最小生态需水量.

具体计算步骤为:(1)根据系列水文资料,对历年入海径流量进行排序;(2)根据河口生态环境状况选择适宜的保证率(75%和50%),然后分别计算不同年保证率所对应水文年的年平均入海径流量;(3)确定权重 μ .目前,权重主要采用专家评分法和根据生态系统健康等级估算两种方法.本文根据文献[23],将生态系统健康等级分为健康、基本健康、亚健康、不健康和病态等5个级别,相应的权重 μ 分别取0.945,0.975,1.000,1.005,1.013,由此确定权重 μ 与某保证率下对应水文年的河口生态系统健康等级的对应关系.

由于受众多闸坝调蓄和河道外取水等因素影响,20世纪80年代以来漳卫新河入海径流量完全受人为控制,无法反映天然情况下入海径流过程,因此采用1956—1979年入海径流量系列资料进行分析.根据上述计算步骤,计算得到75%和50%保证率对应的水文年分别为1962年和1960年.研究^[24]表明,20世纪70年代是海河流域水生态从良好转为恶化的转折点,与60年代相比,70年代漳卫新河入海径流量减少50.9%,河口生态问题逐渐显现.由于历史时期的河口生物资料缺失,对河口生态系统健康进行定量评价比较困难.因此这里将20世纪60年代初的河口生态系统健康状态概化为基本健康,即权重 μ 取0.975.利用式(4)可得75%和50%保证率下漳卫新河河口最小生态需水量分别为1.05和3.62亿 m^3 .与年保证率设定法相比,本文采用栖息地模拟法得出的最小生态需水量在年保证率设定法的计算结果范围内,但是年频率设定法基于不同的保证率进行生态需水量计算,其保证率的选择目前没有统一的标准,其合理性还存在争议.本文利

用栖息地关键环境因子与入海径流量的响应关系计算河口生态需水量,其计算结果更具有合理性和确定性.

3.4 讨 论

(1) 由于受地形、径流、潮流、波浪、泥沙、盐度等诸多因素影响,河口生态系统水分-生态过程变化以及耦合作用机理十分复杂,选择盐度为河口关键环境因子,通过河口潮流和盐度数值模拟,建立河口栖息地盐度与入海径流量的响应关系,是河口生态需水研究的重要途径.

(2) 漳卫新河河口河床形态较为规则,河宽较小,盐淡水之间存在较为强烈的混合,盐淡水分层不明显,采用一维数学模型进行河口数值计算模拟具有一定意义,但未考虑潮流、径流、波浪、风等多种动力作用的综合影响,难以动态反映河口盐度的空间变化规律.因此,将河口及近岸海域视作一个整体,构建一维与三维斜压耦合的潮流和盐度模型,利用 GIS 空间分析技术,研究洄游性鱼类栖息地空间分布与适宜盐度范围,建立不同情景下的流量与适宜栖息地面积关系曲线,将是河口盐度数值模拟以及生态需水计算的发展趋势.

(3) 目前,漳卫南运河流域水资源开发利用超过 100%,河道外用水量急剧增加,使得漳卫新河入海径流量明显减少.因此,近年来入海径流锐减使得漳卫新河河口生态破坏积重难返,河口生态修复将是一项长期、系统的工程,应该分阶段有步骤地实施.

4 结 语

以限制因子原理为理论依据,选择盐度为河口栖息地关键环境因子,建立了河口一维潮流和盐度数学模型,计算分析了不同来水情景下河口盐度沿程分布,利用漳卫新河辛集闸下入海径流与大口河平均盐度的回归关系,以 20 世纪 70 年代渤海湾塘沽站年平均最大盐度为控制条件,推求得到漳卫新河河口年最小生态需水量为 3.19 亿 m^3 . 与年保证率设定法相比,本文方法考虑了河口生态保护目标对入海径流量的响应关系,其计算结果更为合理和可靠.研究结果可为流域生态调度,改善和恢复河口生态系统功能提供技术参考.

然而,由于河口影响因素众多,动力过程相当复杂,今后还需要综合水文学、生态学、水动力学、地理学等多学科知识,利用数值模拟方法和 GIS 空间分析技术,将物理栖息地模拟与生物空间信息相结合,更好地反映河口关键环境因子对淡水输入的响应关系,使得河口生态需水的评估结果更具可靠性和实用性.

参 考 文 献:

- [1] 孙涛,徐静,刘方方,等. 河口生态需水研究进展[J]. 水科学进展, 2010, 21(2): 282-288. (SUN Tao, XU Jing, LIU Fang-fang, et al. Advances in the assessment of ecological water requirements in estuaries[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(2): 282-288. (in Chinese))
- [2] ARDISSONA P L, BOURGETB E. A study of the relationship between freshwater runoff and benthos abundance: A scale-oriented approach[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1997, 45: 535-545.
- [3] KIM H C, MONTAGNA P A. Implications of Colorado river (Texas, USA) freshwater inflow to benthic ecosystem dynamics: A modeling study[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 83(4): 491-504.
- [4] JASSBY A D, KIMMERER W J, MONISMITH S G, et al. Isohaline position as a habitat indicator for estuarine populations[J]. Ecological Applications, 1995, 5(1): 272-289.
- [5] DOERING P H, CHAMBERLAIN R H, HAUNERT D E. Using submerged aquatic vegetation to establish minimum and maximum freshwater inflows to the Caloosahatchee Estuary, Florida[J]. Estuaries, 2002, 25(6B): 1343-1354.
- [6] BUZAN D, LEE W, CULBERTSON J, et al. Positive relationship between freshwater inflow and oyster abundance in Galveston Bay, Texas[J]. Estuaries and Coasts, 2009, 32(1): 206-212.
- [7] 田家怡,王民. 黄河断流对三角洲附近海域生态环境影响的研究[J]. 海洋环境科学, 1997, 15(3): 59-65. (TIAN Jia-yi, WANG Min. Study on the affect of the drying up of the Yellow River on the ecological environment in the seawater near the delta[J]. Marine Environmental Science, 1997, 15(3): 59-65. (in Chinese))
- [8] 罗秉征,沈焕庭. 三峡工程与河口生态环境[M]. 北京: 科学出版社, 1994. (LUO Bing-zheng, SHEN Huan-ting. The Three Gorges Project and estuarine ecosystem environment[M]. Beijing: Chinese Science Press, 1994. (in Chinese))

- [9] 孙涛, 杨志峰. 河口生态环境需水量计算方法研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(5): 573-579. (SUN Tao, YANG Zhi-feng. Study on the methods for quantifying the environmental flow in estuaries[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(5): 573-579. (in Chinese))
- [10] 韩曾萃, 尤爱菊, 徐有成, 等. 强潮河口环境和生态需水及其计算方法[J]. 水利学报, 2006, 37(4): 395-402. (HAN Zeng-cui, YOU Ai-ju, XU You-cheng, et al. Calculation methods of environmental and ecological water demand for macro-tidal estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(4): 395-402. (in Chinese))
- [11] 刘晓燕, 连煜, 可素娟. 黄河河口生态需水分析[J]. 水利学报, 2009, 40(8): 956-961. (LIU Xiao-yan, LIAN Yu, KE Su-juan. Analysis on water demand for ecosystem protection in Yellow River Delta[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(8): 956-961. (in Chinese))
- [12] 郑建平, 王芳, 华祖林, 等. 海河河口生态需水量研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 518-521. (ZHENG Jian-ping, WANG Fang, HUA Zu-lin, et al. Research on ecological water requirement of Haihe River Estuary[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences Edition), 2005, 33(5): 518-521. (in Chinese))
- [13] 王明娜, 秦大庸, 尤嘉, 等. 天津河口鱼类洄游产卵期最小需水量研究[J]. 水利学报, 2010, 41(9): 1108-1113. (WANG Ming-na, QIN Da-yong, YOU Jia, et al. Minimum water requirement for migration fishes spawning in Tianjin Estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(9): 1108-1113. (in Chinese))
- [14] SUN Tao, YANG Zhi-feng, SHEN Zhen-yao, et al. Environmental flows for the Yangtze Estuary based on salinity objectives[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2009, 14(3): 959-971.
- [15] 王高旭, 李禔来, 陈敏建. 长江口生态流量研究[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 53-58. (WANG Gao-xu, LI Ti-lai, CHEN Min-jian. Analysis and calculation of ecological flow in Yangtze River Estuary[J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(3): 53-58. (in Chinese))
- [16] 彭涛, 陈晓宏, 王高旭, 等. 基于鱼类栖息地盐度需求的汛期河口生态需水研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2012, 44(1): 56-62. (PENG Tao, CHEN Xiao-hong, WANG Gao-xu, et al. Estuarine ecological water requirement for flood season based on the salinity demand of fishes habitat[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2012, 44(1): 56-62. (in Chinese))
- [17] 傅小城, 王芳, 王浩. 河口近岸海域生态需水研究: 漳卫新河河口生态需水分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 9(2): 96-103. (FU Xiao-cheng, WANG Fang, WANG Hao. Studies on ecological water requirement of Bohai estuaries and coastal areas: Ecological water requirement of the Zhangweixin River Estuary[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2011, 9(2): 96-103. (in Chinese))
- [18] 彭涛, 陈晓宏, 陈志和, 等. 河口生态需水理论与计算研究进展[J]. 水资源保护, 2010, 26(2): 77-82. (PENG Tao, CHEN Xiao-hong, CHEN Zhi-he, et al. Advance in research on the theory and calculation method of ecological water requirement in estuary[J]. Water Resources Protection, 2010, 26(2): 77-82. (in Chinese))
- [19] 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 等. 基础生态学[M]. 高等教育出版社, 2007. (NIU Cui-juan, LOU An-ru, SUN Ru-yong, et al. Foundation ecology[M]. Beijing: Chinese Higher Education Press, 2007. (in Chinese))
- [20] 黄胜, 卢启苗. 河口动力学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995. (HUANG Sheng, LU Qi-miao. Estuary dynamics[M]. Beijing: Chinese Water Conservancy and Power Press, 1995. (in Chinese))
- [21] 彭涛, 陈晓宏, 陈志和, 等. 维持河口冲淤平衡洪水流量阈值研究[J]. 泥沙研究, 2011(2): 9-14. (PENG Tao, CHEN Xiao-hong, CHEN Zhi-he, et al. Study of threshold flood discharge for balance of sediment transport in estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2011(2): 9-14. (in Chinese))
- [22] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量理论、方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003. (YANG Zhi-feng, CUI Bao-shan, LIU Jing-ling, et al. The theory, method and practice of ecological environment water demand[M]. Beijing: Chinese Science Press, 2003. (in Chinese))
- [23] 崔保山, 赵翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水量计算[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1788-1795. (CUI Bao-shan, ZHAO Xiang, YANG Zhi-feng. Eco-hydrology-based calculation of the minimum ecological water requirement for lakes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1788-1795. (in Chinese))
- [24] 杨艳霞. 对海河流域生态修复需水量问题的思考[J]. 海河水利, 2004(6): 21-24. (YANG Yan-xia. Thinking about the problems of water demand for ecological restoration in Haihe River Basin[J]. Water Conservancy of Haihe River Basin, 2004(6): 21-24. (in Chinese))

Minimum ecological water requirement for Zhangweixin River estuary

PENG Tao^{1,2}, CHEN Xiao-hong³, WANG Gao-xu¹

(1. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China*; 3. *Department of Water Resources and Environment, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510275, China*)

Abstract: Because of the excessive development and utilization of water resources, freshwater inflow to estuaries has sharply decreased in the Haihe River basin in recent years, thus causing serious ecosystem degeneration. The salinity is chosen as a key environmental factor of the estuarine habitat. The relationship between the salinity and runoff is simulated using 1D mathematical model that has coupled a hydrodynamic model with a salinity model. With the annual average maximum salinity value obtained from Tanggu station taken as the control standard in the 1970s, the minimum ecological water requirement is calculated for the Zhangweixin River estuary under conditions of the standard. The research results show that the minimum ecological water requirement for the Zhangweixin River estuary is 3.19 billion m³. The annual average freshwater inflow is 1.55 billion m³ since 1980s, and the minimum ecological water requirement cannot be satisfied by 84% of the years' annual freshwater inflow in the Zhangweixin River estuary. The calculated results can provide reference for the basin ecological regulation and estuarine ecosystem restoration. Considering that there are many factors such as topography, runoff, tide, wave, sediment and salinity affecting the ecological water requirement and more complex kinematic process in the estuarine environment, it is necessary for us to simulate and analyse the response of the key environmental factors to freshwater inflow by use of hydrology, ecology, hydrodynamics, and geography, and to combine numerical simulation with GIS spatial analysis methodology in the study of the ecological water requirement so as to make the assessment results of the ecological water requirement in estuaries more reliable and practical in the future researches.

Key words: the minnum envrionmental flows; numerical simulation; salinity; Zhangweixin River estuary