

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2014.03.014

规划环评中海湾水环境容量的计算方法

陈益明

(福建省环境科学研究院环境工程重点实验室, 福建 福州 350013)

摘要: 为进一步提高规划环评中海湾水环境容量预测结果的合理性和准确性, 基于潮流数学模型和物质输运数学模型, 通过试算法, 提出了一种基于混合区概念的计算海湾水环境容量的新方法。结果表明, 通过新方法预测的海湾环境容量符合国家规范要求, 能充分考虑排污口附近最大允许混合面积、海湾生态敏感区分布状况、多排污口同时排放下的叠加影响等因素。该方法被运用于福建省湄洲湾规划环评的环境容量测算, 分析了海湾湾口、湾中和湾内不同动力环境下差异化的水污染承载能力。认为考虑最大混合允许范围的环境容量预测方法可优化海湾排污口的布置, 促进海湾经济规划发展的合理布局。

关键词: 海湾; 环境容量; 混合区; 海洋功能区划; 数学模型

中图分类号: X321 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2014)03-0070-06

A method for calculation of environmental capacity of bay water during planning environmental impact assessment

CHEN Yiming

(Key Laboratory of Environmental Engineering, Fujian Provincial Academy of Environmental Science, Fuzhou 350013, China)

Abstract: Reasonability and accuracy are the major concerns when predicting the environmental capacity of bay water during planning environmental impact assessment. To further improve these two aspects, we present a new calculation mode with the concept of a mixing zone using the trial method based on mathematical models of tidal flow and solute transport. Research results show that the environmental capacity predicted by the new method meets the requirements of the national code, and it fully considers the factors such as the maximum allowable mixing area near the sewage outfall, the distribution of ecologically sensitive areas in the bay, and the accumulated effects of simultaneous drainage from multiple sewage outfalls. The new method was used to calculate the environmental capacity of Meizhou Bay, in Fujian Province, during its planning environmental impact assessment, in order to analyze the pollutant carrying capacity of different parts of the water body with different dynamic environments at the bay mouth, and in the middle and inner bay. This new calculation mode can optimize the layout of sewage outfalls and coordinate the layout of economic development along coastal areas.

Key words: bay; water environmental capacity; mixing zone; ocean functional regionalization; mathematical model

海湾水环境容量是在人类健康与海湾生态环境不受影响的前提下, 海湾水体所能容纳的污染物最大负荷量。海湾水环境容量是海湾地区经济发展规

模的重要依据, 同时也是新建项目环境可行性的主要支撑。

一般而言, 近岸海域水体的环境容量是通过海

域物理自净和生化降解作用得到的。但是,由于海岸线和污染物排口位置的限制,水体实际上可分配环境容量是指在一定规划设计条件下,能够容纳的可控污染物的总量,它是污染物总量控制和负荷分配的直接依据^[1-2]。

河流的水环境容量大小主要受制于上游枯水流量^[3],然而影响海湾水环境容量的要素很多,概括起来主要有以下4个方面:①水域特性,体现在海湾的地形地貌特征,决定海湾的纳潮量和水交换率;②污染物质的生化特性,由于降解、生物等作用,同一海湾不同污染物具有各自不同的环境容量,但考虑到污染物之间的化学作用,往往提高某种污染物的环境容量可能会降低另一种污染物的环境容量;③水环境功能区划,通常水质要求高的水域,如生态敏感区,水环境容量小;水质要求低的水域,水环境容量相对较大。④排污方式和排污口的水深决定了水体初始稀释度,进而影响了污染物的扩散程度。

1 环境容量常用计算方法

目前常用的海湾环境容量计算方法可分为均匀混合法^[4]、浓度场分担率法^[5]。其中均匀混合法将海湾作为一个浓度均匀的箱体模型,污染物进入水体后立刻混合均匀,对污染物环境容量的预测主要取决于海湾水体交换率、纳潮量等指标;浓度场分担率法通过建立水动力模型和水质模型,分别求出各个点源的响应系数场和分担率场,再结合当地水质目标及现状本底浓度情况推求入海污染物的环境容量。也有学者曾利用卫星影响估算海湾环境容量^[6],但这类方法依赖于环境检测数据量及准确性,实用性不强。近年来也出现了总量最优化法^[7],依据当地社会、经济发展规划,制定海湾最大环境容量,但该方法需要点源排放量与目标海域浓度场的关系是线形的,且假定了海湾污染物的浓度场分布趋于稳定状态,因此不适于氮、磷等非保守性物质,经常出现某些排污口被优化掉的情况,即某些排污口的允许排污量人为界定为零,与客观实际不符^[8]。笔者仅就常用的均匀混合法、浓度场分担率法做简单介绍,并指出存在的不足。

1.1 均匀混合法

潮汐的涨落过程促进了海湾水体与外海的交换。由于湾外水体水质优于湾内水体,涨潮时外海水涌入海湾稀释含污水体,落潮时,湾内含污水体则随落潮流排入外海,经过1个潮周湾内水体的污染物浓度得以稀释。由海湾潮汐作用造成的环境容量可以通过零维水质预测模型^[9]来估算:

$$V \frac{\partial \rho_B}{\partial t} = \beta Q_F \rho_0 - \gamma Q_E \rho_B + D \quad (1)$$

式中: V 为湾内水的平均体积, m^3 ; ρ_B 为湾内污染物的平均质量浓度, mg/L ; ρ_0 为外海污染物的平均质量浓度, mg/L ; Q_F 为涨潮期流入湾内的水量, m^3/s ; Q_E 为落潮期流出湾内的水量, m^3/s ; D 为1个潮周期内所有污染源向湾内的排放总量, g/s ; β 为进入湾内的外海水量与涨潮水量的比值,也称之为湾外水体对湾内水体的交换率; γ 为流出的湾内水量与落潮水量之比,也称之为湾内水体对湾外水体的交换率。

海湾内、外的海水交换率(β 和 γ)一般以盐度为指标物质,通过取湾内、湾外及湾口的同步观测资料,可根据如下公式计算^[10]:

$$\gamma = \frac{\gamma_F [1 - \alpha(1 - \gamma_E)]}{\gamma_E + \gamma_F - \gamma_E \gamma_F} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\gamma_E [1 - \alpha(1 - \gamma_F)]}{\gamma_E + \gamma_F - \gamma_E \gamma_F} \quad (3)$$

式中: γ_E 为涨潮期流入水体总量中进入湾内的浓度为 ρ_0 的外海水体所占比例,其中, $\gamma_E = (\rho_F - \rho_E) / (\rho_0 - \rho_E)$; γ_F 为落潮期流出海湾水体中流出湾外的质量浓度为 ρ_B 的内湾水体所占比例,其中, $\gamma_F = (\rho_F - \rho_E) / (\rho_F - \rho_B)$; $\alpha = Q_F / Q_E$; ρ_E 为落潮时流出海湾水体的平均质量浓度, mg/L ; ρ_F 为涨潮时流入海湾水体的平均质量浓度, mg/L 。

通过近似简化并推导可得出,当湾内平均质量浓度由 ρ_B 达到水质标准中限制值 ρ_S 时,则湾内1个潮周期的环境容量为

$$D = (\rho_S - \rho_B) \gamma Q_E - \beta Q_F \rho_0 \quad (4)$$

1.2 浓度场分担率法

基于水质模型模拟的结果和浓度场的迭加原理,根据海湾沿岸功能区划的要求,以水质控制目标作为约束条件,计算出海湾各排污口水污染物的最大允许排污量,以此作为海湾可以利用的环境容量。一般可以采用沿深度平均的二维对流扩散数学模型(AAD)^[11],模型中引入了高精度TVD数值格式,提高了模型的模拟精度且确保了物质的守恒性。水质模型控制方程可表述为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} &= \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left(H D_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + \\ &\frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left(H D_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + S - K \rho \end{aligned} \quad (5)$$

式中: ρ 为污染物沿垂线平均的质量浓度, g/m^3 ; u 、 v 分别为 x 和 y 方向的垂线平均流速, m/s ; H 为实际水深, m ; D_x 、 D_y 分别为 x 和 y 方向的扩散系数, m^2/s ; K 为污染物降解率, $1/s$; S 为污染源强度, $g/(m^3 \cdot s)$ 。

由于式(5)可近似看成线性的,满足迭加原理,所以若干个污染源共同作用下所形成的平衡浓度场可以视为各个污染源单独影响浓度场的线性叠加,即设 ρ_i 为第 i 个污染源 S_i 单独影响下的平衡浓度场,则在 n 个污染源同时存在时所形成的浓度场 ρ 应为

$$\rho(x, y) = \sum_{i=1}^n \rho_i(x, y) \quad (6)$$

同时,某一源强所形成的浓度场可视为由若干个单位源强作用的线性叠加结果,即为如下关系式

$$\rho_i(x, y) = R_i(x, y) S_i \quad (7)$$

式中: R_i 即为单位源强值时(即 $S_i=1$)所形成的影响浓度场,可以通过水质模型计算得到。将 R_i 定义为响应系数,它表征了海区内水质对某个点源的响应关系。设水质标准中的限制值为 ρ_s ,则各排污口的排放强度 S_i 的约束条件为

$$\sum_{i=1}^n R_i(x, y) S_i < \rho_s \quad (8)$$

假设海湾各排污口的排放量占总排放量的百分比已知,为 $\lambda_i(i=1,2,\dots,n)$,对应于湾内任一点 (x,y) ,要求满足浓度总量小于 ρ_s ,则计算出可排放总量 M 为

$$M(x, y) = \frac{\rho_s}{\sum_{i=1}^n R_i(x, y) \lambda_i} \quad (9)$$

针对海湾内每个海域,选取一系列特征点,根据式(9)计算出的 $M(x,y)$ 得到一系列的环境容量,再由小到大排序,取最小值则为海湾最大允许排放总量,并根据百分比 λ_i 确定各排放口的排放量。

1.3 现有方法的不足

均匀混合法(方法一)在估算时把海湾假设成1个整体与湾外部水体在一个潮周期内充分交换的结果,由此可能会导致过高估计环境容量^[12]。此外,海区不同位置的动力差异,水体交换并不是整体简单的进退,而是有先后,甚至有些地方小海湾可能出现滞留现象,交换周期延长,交换能力也相对较差,不适于排污。这类方法不能区分海湾内不同区域的功能要求,只适用于面积不大的海湾环境容量计算。

浓度场分担率法(方法二)基于水动力模型,能够更合理地考虑海湾不同区域的水动力特征,但在实施过程中,要求湾内每一个海域水质均达标,这种研究方法过于保守,导致最终确定的排放总量偏低。同时在实际操作中,需要实现事先定义各排污口排放比例,不能结合当地的发展规划在各污染源之间进行更加合理的调配。

针对上述两类常用方法的不足,本文在方法二的基础上做出了改进,考虑海湾不同区位功能区划

的要求,提出了新的计算模式。

2 改进方法

2.1 排污口选择原则

应满足近岸海域环境功能区划、海洋功能区划的要求;要求排污混合区范围不影响周边保护区、养殖区等海洋生态敏感区;根据《全国水环境容量核定技术指南》^[13]的规定,排污混合区范围 s 应控制在 3 km^2 以内,所以混合区是指在排污口周边指定的一个区域内,使污染物进行初始稀释,在此区域内可以超过水质标准;还应满足 GB 18486—2001《污水海洋处置工程污染控制标准》^[14]中的相关要求,包括水深条件等因素,有利于提高污染物排放后的初始稀释度。

2.2 环境容量的计算流程

考虑海湾内多排污口情况,首先确定单一排污口的最大允许排污量,具体计算步骤为:①设定初始的排放总量作为源项考虑,并代入高精度的水质模型^[11]进行模拟;②待模型计算稳定后,在排污口附近会形成混合区,选择典型污染物,叠加现状本底浓度,绘制混合区浓度包络线图;③基于混合区水质控制标准 ρ_s ,计算对应该指标的包络线面积,若面积不小于 3 km^2 ,则返回到步骤①,降低排放总量;④分析污染物扩散对周边环境的影响,若周边存在敏感区,且水质标准要求为二类水指标,则对应二类水指标的浓度包络线范围不能与敏感区和特定功能区出现重合,如不满足则返回步骤①,进一步降低排放总量;⑤反复调试,当基于浓度 ρ_s 的包络线面积符合标准要求,同时也未影响到海域功能区划中环境敏感区,则满足要求。同时绘制出各排污口附近最大允许混合区范围。⑥对比 GB 18486—2001《污水海洋处置工程污染控制标准》^[14]中的相关要求,对排放量进行最终核定。

单一排放口环境容量预测计算流程见图1。

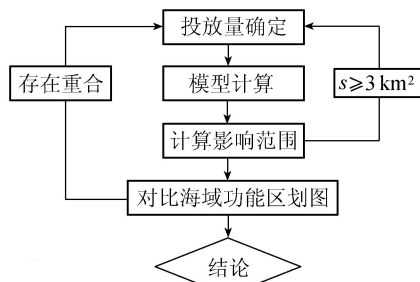


图1 计算流程图

其次,依据各单独排污口预测的环境容量,拟定初步的海湾总排污量,若各排污口距离较远,相互之间的叠加影响可忽略不计,则可以采用直接线性相

加的方式确定总环境容量,如一个排污口在湾内,另一个排污口在湾外。而当排污口之间距离较近时,则需要考虑排污口之间的污染物浓度叠加影响。针对排污口相互影响的情况,需要对排污量进行协调,减少排污需求较少区域的环境容量,降低其对周边其他排污口的影响。

最后,复核环境容量合理性,将各排污口拟定的排污量作为源项代入水质模型,绘制全海湾基于浓度控制指标 ρ_s 的包围图,确保每个排污口附近的混合区范围被限制于单一排污口最大允许混合区范围内。

3 应用实例

3.1 实例介绍

湄洲湾位于福建中部沿海(东经 $119^{\circ}2'$,北纬 $25^{\circ}6'$),北邻兴化湾,南邻泉州湾,湾口有湄洲岛作为屏障,是福建沿海天然优良港湾之一。湾内三面被大陆环抱,东、北和西北部分属莆田市秀屿区、城厢区和仙游县,西、南部分属泉州市泉港区和惠安县。

湄洲湾海岸线长 186.57 km,属于隐蔽性和稳定性较好的港湾,湾内具有潮差大和水深大的特征。剑屿口门以内海湾总面积达 444.60 km²,其中滩涂面积为 160.80 km²(以潮滩为主,局部为海滩),水域面积为 283.8 km²。湾内大部分水深均在 10 m 以上,并从湾内北侧、东西两侧向中心航道、南侧和湾口逐渐变深。最大水深达 52 m。湾内岛屿层层阻挡,口内有盘屿、大竹岛、小竹岛、大生岛,湾内又有横屿和砾屿形成两道天然屏障。湄洲湾周边无大河溪注入,仅在西北角有一条枫亭小溪注入,中西部有一条林辋溪注入。湄洲湾为多口门的海湾,从东北部文甲口经采屿、大竹到西南部后屿等共有 4 个较大口门,其宽度共达 9.5 km,口门附近无拦门沙发育。湾口朝向东南,海岸线曲折,主要由基岩海岸组成,局部出现淤积质,砂质和红树林海岸。首先基于潮流数值模型(ELCIRC)^[15],模型基于非结构网格,充分贴合复杂的地形边界,模拟全湾水动力运动过程,涨、落急时刻流场见图 2、图 3。结合流场图可分析出海湾的流态特征,海湾内涨潮流呈偏北向,落潮流为偏南向,海湾中部流速较大,浅滩海域潮流动力较弱,合适的排污口应位于水动力较强的水域,这样有利于污染物的稀释和输运。水动力模型的建立,为排污口布置提供初步的参考依据。

3.2 预测结果与讨论

根据排污口选择原则,并结合环湄洲湾区域发展规划(图 4),湄洲湾内拟定了 6 个排污口,分别为位于湾顶的枫亭、太湖,湾中的秀屿、峰尾和东吴,以及湾口的斗尾,排放方式为连续排。各排污口位置见

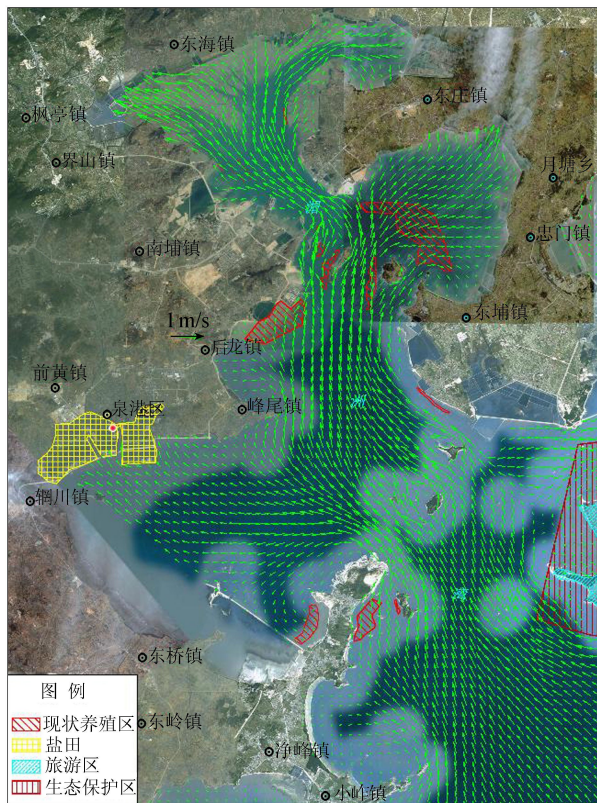


图 2 湄洲湾大潮期涨急时刻流场

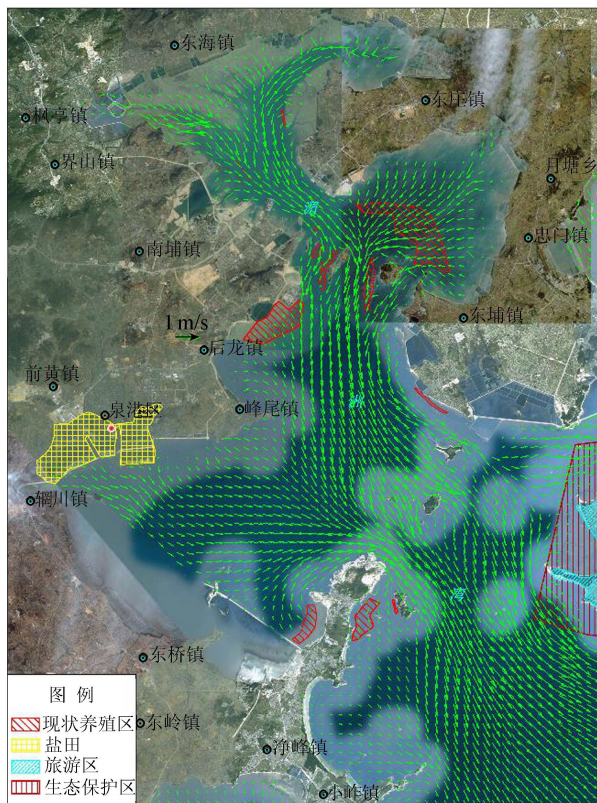


图 3 湄洲湾大潮期落急时刻流场

图 5,其水深情况见表 1,海湾水质本底情况见表 2。

首先基于污染物扩散模型,确定单一排污口的混合区范围。要求叠加现状本底浓度后,排污口污水排放后超二类水的面积不超过根据标准确定的范



图4 环涓州湾区域排水规划

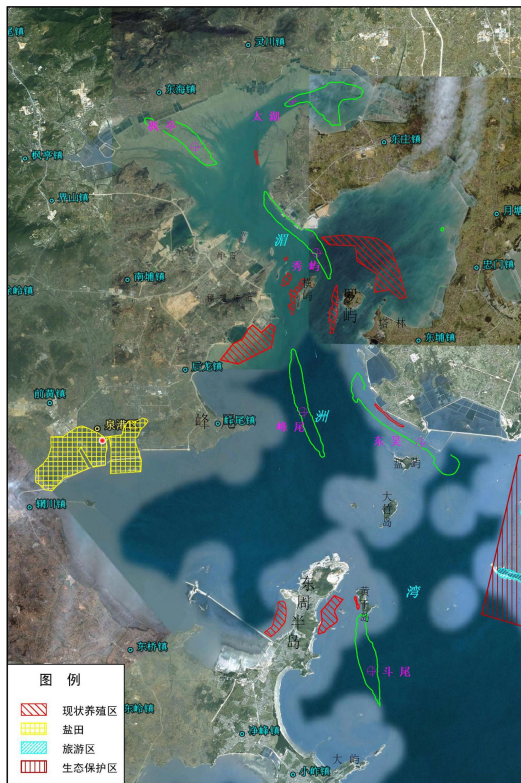


图5 涓州湾排污口分布及各排污口排污混合区范围

围,同时也不能影响周边敏感区。各排放口混合区范围见图5。不难发现,由于海湾动力空间分布差异,混合区包络线形态受潮流动力、水深条件的影响,本例中湾中和湾口海域整体呈现出长条状特征,与涨、落潮流路一致。通过反复试算,拟定出各单一

表1 涓州湾排污口位置及水深情况

排污口	位置	水深/m
枫亭	N25.245°, E118.933°	3.5
太湖	N25.272°, E118.987°	4.6
秀屿	N25.205°, E119.002°	14.7
峰尾	N25.125°, E118.994°	15.0
东吴	N25.105°, E119.064°	10.0
斗尾	N25.003°, E119.030°	10.3

表2 涓州湾海湾水质本底情况

排污口	mg/L		
	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{无机氮})$	$\rho(\text{石油类})$
枫亭	1.0	0.13	0.020
太湖	1.0	0.13	0.020
秀屿	0.8	0.11	0.015
峰尾	0.7	0.10	0.015
东吴	0.7	0.10	0.015
斗尾	0.6	0.09	0.015
全湾平均	0.7	0.10	0.015

排放口最大允许排放量,以供下一阶段多排污口排污量组合参考。

其次关于相邻排污口的叠加影响问题,需要考虑如何进行调剂或平衡,适当减小需求量小的排污口的容量,减少其排污对周边海域水质的影响,尽可能满足需求大的排污口需求。根据海湾发展规划,调整各排污口允许排污量,这就需要结合数学模型进行反复试算。

最后将针对各排污口拟定的排污量代入水质模型中,预测湾内最终的污染物浓度分布图,复核设计排污总量的合理性,确保每个排污口周边超二类水范围均不越过图中划定的影响范围。考虑单独排放和同时排放情况下,各排污口的环境容量列于表3。

表3 各排污口单独排放和同时排放情况下的环境容量预测

排污口	COD		无机氮		石油类		t/a
	单独排放	同时排放	单独排放	同时排放	单独排放	同时排放	
枫亭	4396	3956	191	172	11	10	
太湖	5090	4581	221	199	13	12	
秀屿	62528	29013	2719	1261	158	79	
峰尾	68427	46784	2975	2034	174	110	
东吴	39313	21760	1709	946	100	57	
斗尾	78414	47146	3409	2050	199	126	
合计	258168	153240	11224	6662	655	394	

从表3数据可以看出,基于考虑各排污口之间的叠加影响计算的海湾环境容量小于各排污口最大允许排污量之和(相差约40%左右)。因此,海湾环境容量的计算不能简单地对各排污口的排污量进行线性叠加。此外,值得注意的是,当相邻排污口距离较近时,则排污口最大混合区的范围和形态会发生改变,此时需要进行多次复核,以确保混合区外侧水质环境功能区水质标准。

研究表明,对于半封闭型海湾,存在多个排污口时,由于各排污口污染物排放时会彼此产生一定的叠加影响,因而当增加其中一个排污口排污量时,相应周边海域的污染物浓度也会增大,进而减少相邻排污口的排放容量;反之,相邻位置的排污口环境容量则可以提高。各排污口环境容量呈现出此消彼长的特点。因此,确定整个海湾的环境容量时需要根据当地不同区域的规划和社会发展目标做出必要的取舍和调整。

4 结 语

海湾内排污方式的选择既要符合海洋功能区划,与相邻功能区相协调,还要综合考虑各行政区或工业区的排污需求、水深等自然条件、经济技术上的可行性等因素。传统的均匀混合法和响应系数方法,会导致对海湾环境容量的高估或低估。针对上述不足,本文提出了一种基于混合区概念的、符合国家规范要求的海湾水环境容量计算模式。通过结合海湾当地发展规划确定海湾最大允许排污容量,并成功应用于湄洲湾发展规划环评的环境容量测算。研究成果可为我国沿海地区海湾水环境容量测算提供参考和借鉴。当然,本文提出的环境容量尚未考虑其他如生物吸收代谢、化学反应、悬浮颗粒物吸附沉降等自净作用而产生的环境容量,这在今后的研究中还将作进一步深入探讨。

参考文献:

[1] 张永良. 水环境容量基本概念的发展[J]. 环境科学研究, 1992, 5 (3): 59-61. (ZHANG Yongliang. The development of basic concept of water environmental capacity[J]. Research of Environmental Sciences, 1992, 5 (3): 59-61. (in Chinese))

[2] 崔江瑞, 张珞平. 厦门湾环境容量研究中污染物迁移转化模式的确定及应用[J]. 环境科学与管理, 2009, 34 (11): 10-14. (CUI Jiangrui, ZHANG Luoping. Determination and application of pollutant transfer and transformation model in the study of Xiamen Bay environmental capacity [J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(11): 10-14. (in Chinese))

[3] 雷振宇, 邓春光, 周勤, 等. 嘉陵江支流梁滩河水环境容量及总量控制规划[J]. 水资源保护, 2011, 27(6): 1-8. (LEI Zhenyu, DENG Chunguang, ZHOU Qin, et al. Water environmental capacity and total control planning for Liangtanhe tributary of Jialingjiang River [J]. Water Resources Protection, 2011, 27(6): 1-8. (in Chinese))

[4] 王修林, 邓宁宁, 李克强, 等. 渤海海域夏季石油烃污染状况及其环境容量估算[J]. 海洋环境科学, 2004, 23 (4): 14-18. (WANG Xiuling, DENG Ningning, Li Keqiang, et al. Petroleum pollution condition and

estimation of its environmental capacities summer in Bohai Bay[J]. Marine Environmental Science, 2004, 23(4): 14-18. (in Chinese))

[5] 余静, 孙英兰, 张越美, 等. 宁波-舟山海域入海污染物环境容量研究[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(1): 21-24. (YU Jing, SUN Yinglan, ZHANG Yuemei, et al. Environmental capacity assessment of pollutants in Ningbo-Zhoushan sea area[J]. Environment Pollution and Protection, 2006, 28(1): 21-24. (in Chinese))

[6] 饶开艳, 古秋森, 黎夏, 等. 伶仃洋 N, P 静态环境容量的研究[J]. 海洋科学, 1990 (3): 49-52. (RAO Kaiyan, GU Qiusen, LI Xia, et al. Static environmental capacity approach of N, P in Lingding and Estuary [J]. Marine Science, 1990 (3): 49-52. (in Chinese))

[7] 郭良波, 江文胜, 李凤岐, 等. 渤海 COD 与石油烃环境容量计算[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2007, 37(2): 310-316. (GUO Liangbo, JIANG Wensheng, LI Fengqi, et al. Environmental capacity calculation of COD and PHs in the Bohai Sea [J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37 (2): 310-316. (in Chinese))

[8] 孙佳佳, 李小虎, 宋桂云, 等. 海洋环境容量计算方法评价[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(增刊1): 183-186. (SUN Jiajia, LI Xiaohu, SONG Guiyun, et al. Assessment on the ocean environmental capacity calculation method [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010, 30(S1): 183-186. (in Chinese))

[9] 林辉, 张元标. 厦门西海域水质状况及其环境容量评估[J]. 台湾海峡, 2008, 27 (2): 214-220. (LIN Hui, ZHANG Yuanbiao. Variations of water quality and environmental capacity in Xiamen western waters [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2008, 27 (2): 214-220. (in Chinese))

[10] PARKER D S, NORRIS D P, NELSON A W. Tidal exchange at Golden Gate [J]. Journal of the Sanitary Engineering Division, 1972, 98(2): 305-323.

[11] KONG J, XIN P, SHEN C J, et al. A High-resolution method for the depth-integrated solute transport equation based on an unstructured mesh [J]. Environmental Modeling & Software, 2013, 40: 109-127.

[12] 袁国明, 何桂芳. 大亚湾水环境质量变化与环境容量评估[J]. 台湾海峡, 2012, 31 (4): 472-478. (YUAN Guoming, HE Guifang. Assessment of water environmental quality and environmental capacity of Daya Bay [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2012, 31 (4): 472-478. (in Chinese))

[13] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[R]. 北京: 中国环境规划院, 2003.

[14] GB 18486-2001 污水海洋处置工程污染控制标准[S].

[15] ZHANG, Y L, BAPTISTA A M, MYERS E P. A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. formulation and skill assessment [J]. Continental Shelf Research, 2004(24): 2187-2214.

(收稿日期: 2013 - 11 - 12 编辑: 高渭文)