

环北部湾经济区近岸海域环境容量研究*

龙颖贤^{1,2}, 陈 隽¹, 韩保新³

1. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655;
2. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275;
3. 环境保护部华南环境保护督查中心, 广东 广州 510655)

摘 要: 基于无结构网格的 MIKE 3D 模型, 建立了北部湾三维潮流水质数学模型, 计算北部湾近岸海域 24 个主要排污口 COD、无机氮和石油类的环境容量, 并通过对比区域规划排污量, 得出各排污区环境容量的可利用水平。计算结果表明, 环北部湾近岸海域主要排污区 COD、无机氮和石油类等总海洋环境容量分别为 221 267.1、23 058 和 5 297.2 t/a, 洋浦、茂名博贺等排污区由于海域开阔, 水动力扩建条件好, 海洋环境容量相对较大。对比各水平年的区域规划排污量, 纳污海域以无机氮超载最为严重。其中, 规划近期(2015年)25%排污区出现容量超载, 规划远期(2020年)33%排污区出现超载。

关键词: 北部湾; 海洋环境容量; 数学模型; 排污区

中图分类号: X26 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2014)01-0083-06

Research on Marine Environmental Capacity in the Beibu Gulf Economic Zone

LONG Yingxian^{1,2}, CHEN Jun¹, HAN Baoxin³

1. South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou 510655, China;
2. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
3. South China Environmental Protection Supervision Center, MEP, Guangzhou 510655, China)

Abstract: Based on the unstructured grid MIKE 3D model with the finite volume method, the 3D tidal and water quality numerical model was used to simulate the marine environmental capacity of COD, DIN and oil in the main discharge areas in the Beibu Gulf Economic Zone, China. Compared with the potential future discharges of these three types of pollutants according to the planning scenario around the Gulf, the available level of marine capacity was also discussed. The results indicated that environmental capacity of COD, DIN and oil in the Gulf were 221 267.1, 23 058 and 5 297.2 t/a, respectively. Due to the good hydrodynamic diffusing condition, the marine environmental capacities of discharge areas in Yangpu and Bohe were relatively large. The environmental capacity of DIN was seriously overloaded, which led to 25% and 33% of the discharge areas overloaded in 2015 and 2020, respectively.

Key words: Beibu Gulf; marine environmental capacity; numerical model; discharge area

北部湾经济区地处南海北部的北部湾沿海和琼州海峡至湛江沿海地区, 是我国西部大开发地区唯一的沿海区域。环北部湾经济区近岸毗邻我国第二大海湾——北部湾和雷州半岛东岸雷州湾、湛江湾

海域, 海洋资源丰富。然而, 随着国家一系列发展规划和意见的出台, 北部湾经济区的开放和快速发展可能对海洋环境造成的风险隐忧进一步加大。北部湾的生态环境质量好坏, 将直接关系到我国华南

* 收稿日期: 2013-06-03

基金项目: 环境保护部重大财政专项资助项目(20090413)

作者简介: 龙颖贤(1981年生), 女; 研究方向: 水污染和环境管理研究; E-mail: longyingxian@scies.org

沿海的中长期生态安全格局和环境质量演变趋势,并对南中国海地区毗邻国家的生态环境演变趋势产生重要影响。

目前,北部湾的研究大多集中在潮流数值模拟或是生态环境调查方面^[1-6],局部海域环境容量研究尚有少量研究成果,但针对环北部湾经济区近岸海域各主要排污区环境容量的研究却鲜有报道。何碧娟等^[7]用数值模拟法计算了铁山港海域 COD 环境容量,郭森等^[8]用多元线性迭加法计算钦州湾 2 个规划排污口 COD、无机氮和石油类的最大允许排放量,但现有研究局限于单个海湾,没有反映多个排污区联合作用下对水质影响的叠加效应,为此环境容量计算结果往往偏大。本文计算了北部湾近岸海域主要排污区 COD、无机氮等污染物的海洋环境容量,以期为区域发展战略的制定提供参考,同时也填补了该海域环境容量研究的空白。

1 研究方法

海洋环境容量是指海域在特定环境目标下可容纳的污染物质的量,其大小与海域特征(水文条件蕴涵的自然功能)、水质目标(与人类使用功能有关)、污染物特性(对功能的影响因子,包括种类及时空分布)等有关。以环境基准值作为环境目标的控制指标所得的是自然环境容量,以环境标准值作为环境目标的控制指标所得的是管理环境容量。

实际上,在同一海域各个排放源位置确定,并在一定的水质目标约束下计算污染物的最大允许排放总量及其在各排放源之间的分配(尽管结果不是唯一的)是有实际管理意义的,其结构反应了各个排污口的累积影响和叠加影响,即海域排污口污染物最大允许排放量。因此,本研究采用模型试算法以确保排污区邻近环境功能区和环境敏感目标水质达标为控制原则,在海域现状排污情况下计算环北部湾经济区近岸海域各排污区剩余的最大允许排污量。考虑排污冲击负荷及不可预见性,排污区海域环境容量按 80% 控制使用,本文定义其为“可利用环境容量”。若计算得出的可利用环境容量小于实际污染物排海总量,则表明海域已无剩余环境容量,海区出现超载,必须采取措施削减入海排放量。研究框架如图 1 所示。

2 北部湾潮流水质模型

采用 MIKE3 HD 水动力模块和 MIKE3 AD 水质模块建立三维海流-水质模型,模拟区域为 107°6' E - 112° E, 17° N - 21°42.9' N, 模拟海域面积约

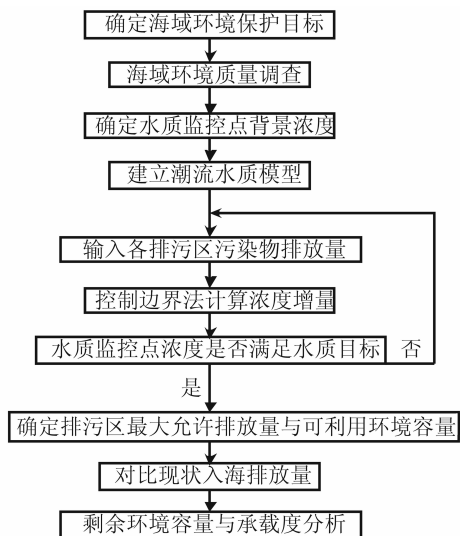


图 1 研究框架

Fig. 1 Research framework

129 万 km²。

计算采用无结构的三角形网格(见图 2),网格个数共 26 740 个,网格节点 15 685 个,网格边长为 100 ~ 3 000 m,其中近岸海域特别是纳污海域局部加密至 100 m,网格边长不超过 100 m。计算时间步长为 0.01 ~ 60 s。垂向分为 5 层,层次按照 0.0H ~ 0.1H、0.1H ~ 0.3H、0.3H ~ 0.5H、0.5H ~ 0.8H、0.8H ~ 1.0H 进行划分。模拟时段选取具冬季代表性且有实测潮流资料的时段作特征期,即 2005 年 1 月 21 日 - 2 月 28 日。为能够较充分反映连续大小潮期海流对污染物的长期输运扩散的累积影响,冬季特征期潮流模拟时间长度取 39 d,浓度计算实际时间取其中后段稳定的一个太阴月输出值。温度、盐度及潮位开边界由南海(大

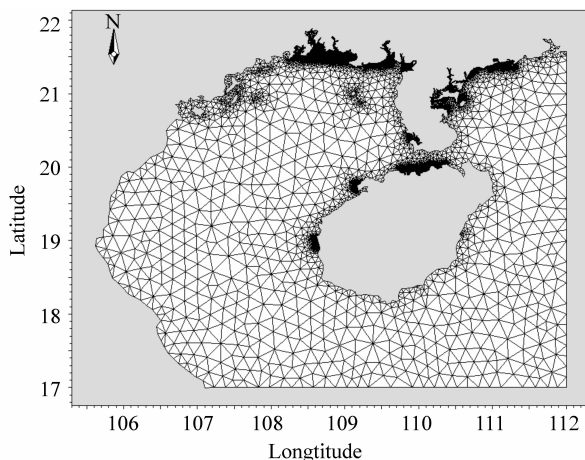


图 2 计算区域平面布置图

Fig. 2 Location of computational area

区) 海洋模型 ECOM – sed 模式输出的动力和热力计算结果提供。对于沿岸主要入海河流考虑多年平均径流量 (表 1)。

表 1 主要入海河流多年平均流量

Table 1 Average annual flow of related rivers

河流	流量/(m ³ · s ⁻¹)	河流	流量/(m ³ · s ⁻¹)
南渡江	188.37	南流江	233.01
北门河	12.87	钦江	64.37
罗带河	12.62	大风江	58.98
昌化江	125.79	防城江	32.66
文澜江	16.46	北仑河	0.36
鉴江	256.28	茅岭江	48.99
袂花江	76.2	西门江	1.36
城月河	7.19	七星江	1.49
九洲江	88.47	三合口江	0.51
南康江	4.57	铁山河	2.35
望楼河	2.41	白沙河	16.24
红河	2 578.01	马江	52.6

河流及沿岸直接排污口在各层的流量按照海水层厚度比例均匀设置, 深海排放点的流量全部简化设置在 0.5H ~ 0.8H 层。

模拟时段各海洋站实测与模拟潮位对比情况表明 (图 3, 图 4), 计算与实测的绝对平均误差小于 0.18 m, 模拟值与实测值总体拟合程度较好。

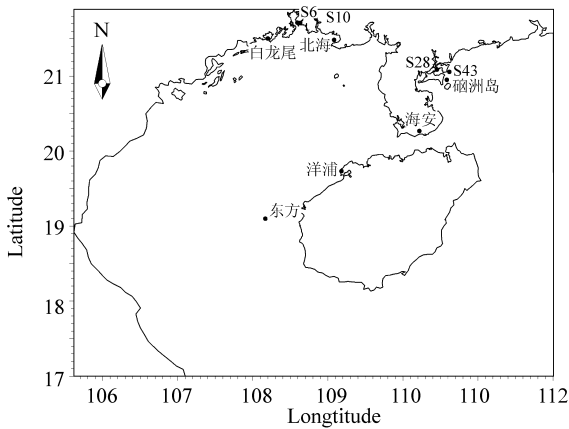


图 3 潮流潮位观测点位置图

Fig. 3 Location of tidal flow and tidal level observation stations

钦州湾海域、湛江海域海流验证结果 (图 5) 表明: 各潮流站模拟的流速变化趋势、流向以及转流过程与实测结果基本保持一致, 基本能否反映出海域的海流状况。

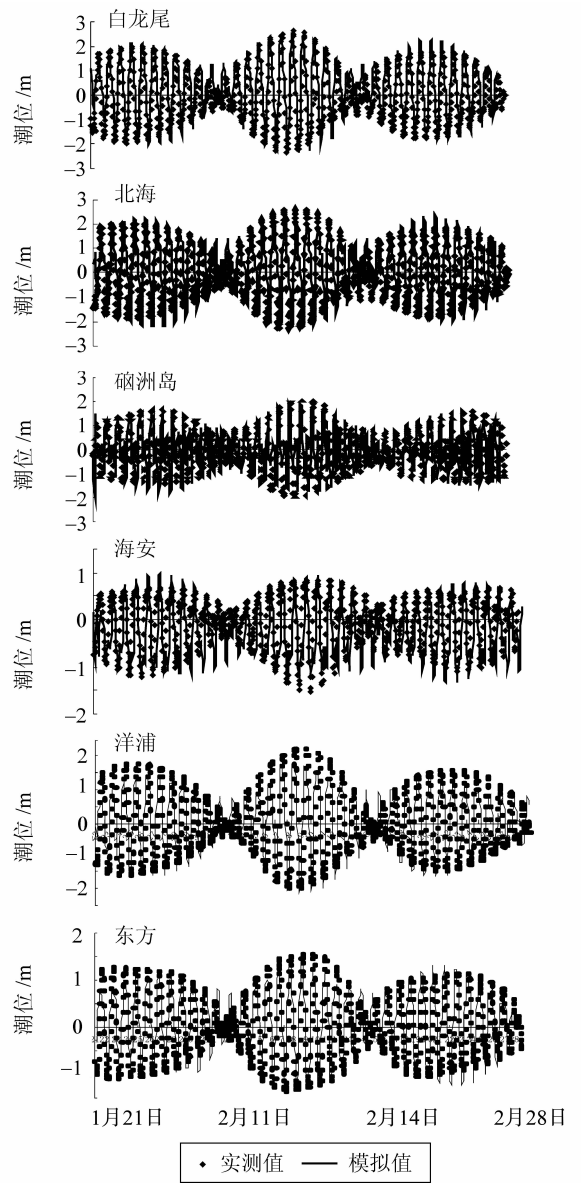


图 4 潮位观测与计算结果对比

Fig. 4 Comparison of tidal level between observation and calculation

模拟海域涨潮流是从海南岛南部流入北部湾, 部分沿岸潮西北流去。广西沿岸总体流向为 NE 向, 受地形影响局部流向与深槽走向一致, 湛江海域流向总体为 WNW。落潮流则是外海水从海区东北部流入, 从海区东南部流出, 广西沿岸总体流向为 SW。整个海区潮流流速以琼州海峡最强, 海南岛西岸次之, 这与以往的研究成果一致^[9-10]。

3 海洋环境容量计算

3.1 排污口概化

根据近岸海域环境功能区划、海洋功能区划

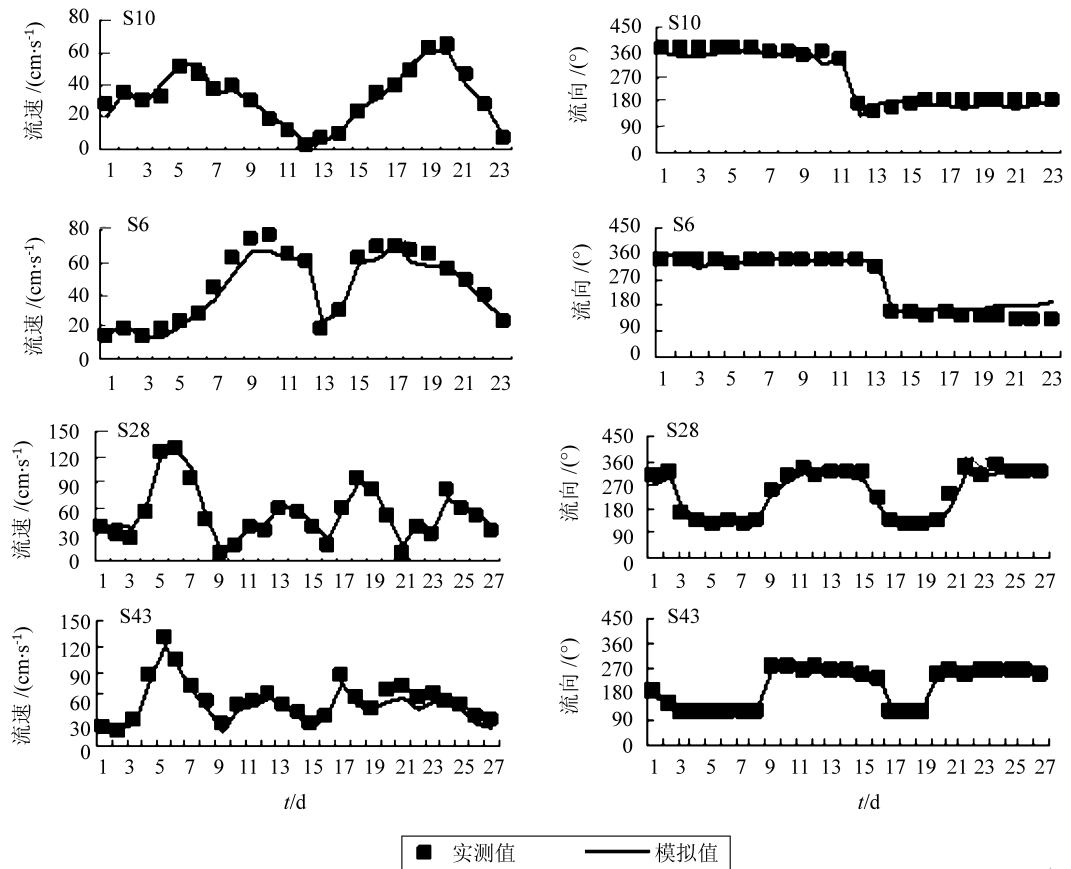


图 5 潮流观测与计算结果对比

Fig. 5 Comparison of tidal flow between observation and calculation

以等, 识别环北部湾经济区近岸海域的水质目标如图 6。根据北部湾沿海产业布局规划, 近岸海域规划设置 23 个排污区, 概化排污口 24 个 (图 6 和表 2)。海洋环境容量计算所考虑的污染因子主要为 COD、无机氮和石油类。

3.2 水质监控点设定

参照分区达标控制法^[11]的研究思路, 根据广西、广东和海南的近岸海域环境功能区划, 为保证水质分区达标控制, 设置 2 类水质控制点。其中, 在排污区附近不同功能区水质分界线处设置功能区水质控制点 46 个, 在排污区外围海域敏感区 (如海洋保护区、养殖区、风景区等) 设置敏感区水质控制点 95 个, 并按高功能区水质目标控制。例如, 在二类、一类水质功能区分界线处设置水质监控点, 按一类水质控制; 在四类、三类和二类水质功能区分界线处, 按二类水质设立水质监控点。各水质监控点位置分布见图 7。

3.3 背景浓度

目前国内对背景浓度选取在方法上还不统一。一般而言, 背景浓度是指自然条件下海水中各种化

学组分在未受污染情况下的含量。鉴于部分排污区现状已有排污, 本文所研究的背景浓度是指按照污染源现状排污形成的排污区邻近海域的背景浓度, 而非所有点源都不排放时的背景浓度。

采用排污区可能影响海域范围内近 3 年各海水水质监测站的平均浓度最大值统一作为各排污区相应的功能区水质监控点背景浓度, 采用各敏感区所在海域水质监测监测站近 3 年的平均浓度最大值作为敏感区水质监控点背景浓度, 即: $C_{\max} = \text{Max}(C_1, C_2, \dots, C_n)$, 其中, C_1, C_2, \dots, C_n 为各排污区可能影响海域范围内的某监测点近 3 年的平均浓度。各功能区水质监控点背景浓度见表 2, 限于篇幅, 各敏感区水质监控点背景浓度在此省略。

3.4 海域环境容量计算

采用模型试算法模拟增值浓度叠加排污区海域背景浓度的方法计算环境容量。对全部主要排污区同时投放污染物, 计算浓度增值及其叠加影响, 并逐渐提高排污区的污染物排放量, 通过控制各水质控制点的浓度值, 确保排污区附近的功能区边界和外围海域高功能敏感区的水质目标小于近岸海域环

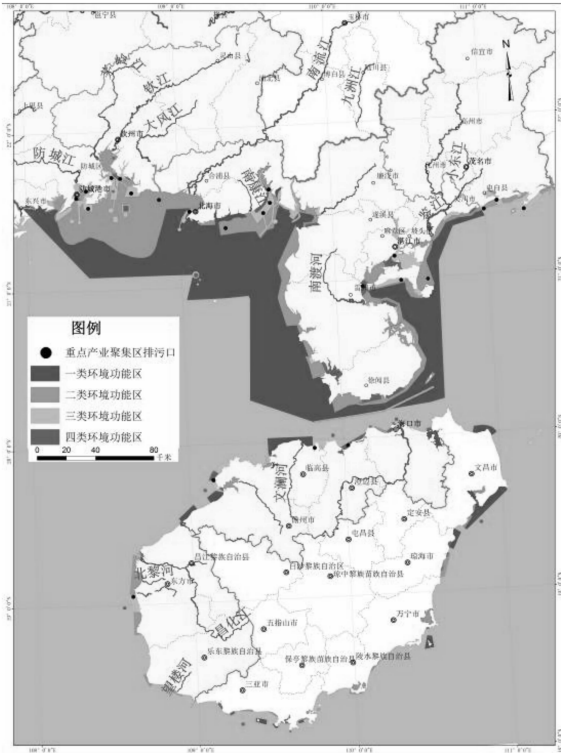


图 6 主要排污口位置图

Fig. 6 Locations of main discharge area

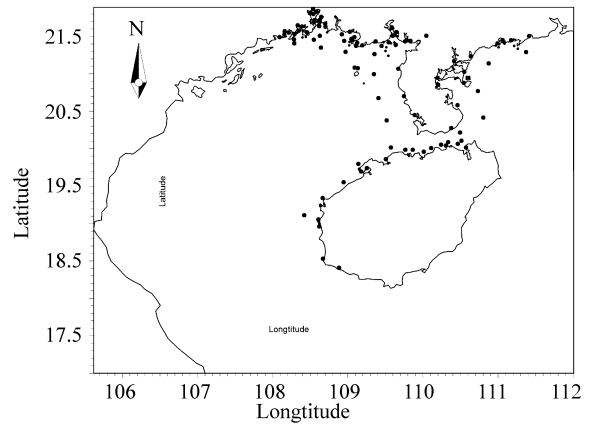


图 7 水质监控点分布图

Fig. 7 Locations of water quality monitoring

境功能区的水质目标值。水质控制点的浓度约束可简单概括为 $C_0 + \Delta C \leq C_s$ 。其中， C_0 为排污区各水质控制点的背景浓度， ΔC 为各污染源排污在水质控制点引起的浓度增量之和， C_s 为水质控制点处的环境标准值。对于出现临近排污区可能相互影响的情形，则首先保证主要排污区环境容量，其次

表 2 主要排污口附近海域背景浓度及环境容量估算结果

Table 2 Water quality around sea area by outfall and results of the environmental capacity

排污区	排污口	功能区水质控制点背景浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			海水环境容量/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)		
		COD	DIN	OIL	COD	DIN	OIL
铁山港龙潭工业排污区	P1	1.8	0.25	0.05	1 145.4	84.0	31.3
铁山港工业区排污区	P2	1.4	0.22	0.05	10 144.6	134.3	50.2
	P3	1.4	0.22	0.05	11 620.5	879.8	217.8
	P4	0.8	0.18	0.03	7 397.3	1 146.1	228.5
大冠沙排污区	P5	1.4	0.18	0.03	8 564.7	1 366.3	274.4
红坎污水厂排污区	P6	1.8	0.20	0.03	2 075.4	182.5	73.0
大风江口工业排污区	P7	1.85	0.25	0.03	4 724.9	288.3	159.2
钦州市金鼓江排污区	P8	1.85	0.20	0.03	14 016.0	1 017.7	207.3
钦州市三墩排污区	P9	1.85	0.20	0.03	1 095.0	219.0	86.5
防城港企沙工业排污区	P10	1.1	0.15	0.03	26 790.1	2 206.6	248.2
防城港东湾市政排污区	P11	1.2	0.17	0.03	1 898.5	198.3	36.4
防城港市政综合排污区	P12	1.1	0.18	0.03	4 499.9	343.4	118.1
澄迈老城排污区	P13	0.7	0.22	0.03	8 277.4	646.6	243.4
临高开发区排污区	P14	1.6	0.10	0.03	1 582.0	305.4	51.8
洋浦经济开发区排污区	P15	1.2	0.13	0.038	40 574.5	5 424.9	536.4
东方工业区排污区	P16	0.6	0.05	0.028	6 308.0	788.4	262.8
昌化江口排污区	P17	1	0.05	0.04	4 000.0	500.0	200.0
澳内海排污区	P18	1.1	0.23	0.02	8 982.0	418.7	171.7
水东港排污区	P19	1.3	0.25	0.02	4 257.9	243.8	152.5
博贺港排污区	P20	1.2	0.20	0.02	20 592.0	4 016.7	1 046.0
湛江东海岛排污区	P21	0.99	0.15	0.03	13 669.0	868.2	372.3
湛江临港工业排污区	P22	2.2	0.34	0.13	7 948.0	631.2	270.0
东海岛南侧排污区	P23	1.57	0.15	0.03	6 040.0	602.4	140.1
遂溪通明海排污区	P24	2	0.20	0.03	5 064.0	545.4	119.3
总环境容量	—	—	—	—	221 267.1	23 058	5 297.2

保证实际排污的容量需求,再次优化出各分海区的最大环境容量^[12]。

北部湾近岸海域 24 个排污口 COD、无机氮和石油类的总环境容量分别为 221 267.1、23 058 和 5 297.2t/a (见表 2)。其中, COD 环境容量以洋浦排污区 (P15) 最大,防城港企沙排污区 (P10) 次之,分别占区域总环境容量的 18.3% 和 12.1%。无机氮环境容量也以洋浦排污区 (P15) 最大,茂名博贺港排污区 (P20) 次之,分别占区域总环境容量的 23.5% 和 17.4%。茂名博贺港排污区 (P20) 石油类环境容量最大,占区域总环境容量的 19.7%,洋浦排污区 (P15) 次之。

从环境容量空间分布来看,洋浦、茂名博贺等排污区近岸海域开阔,水动力及扩建条件好,环境容量相对较大。

3.5 剩余环境容量与承载度分析

考虑排污冲击负荷及不可预见性,排污区海域环境容量按 80% 控制使用,本研究定义其为“可利用环境容量”。

对照国家、省、地市等各层级发展规划及其带来的城市发展所产生的排污总量,纳污海域环境容量以无机氮超载最为严重。近期 (2015 年),水东港排污区 (P19)、湛江临港工业区排污区 (P22)、钦州市金鼓江排污区 (P7)、澳内海排污区 (P18)、大冠沙排污区 (P4) 和东海岛南侧排污区 (P23) 等 6 处排污区出现氨氮容量超载,氨氮超载度分别为 272.6%、163.2%、57.0%、51.7%、27.4% 和 6.3%; 远期 (2020 年),P19、P22、P7 和 P4 排污口所在的排污区氨氮超载度明显上升,分别增至 315.4%、186.5%、168.0% 和 156.4%; 且增加铁山港龙潭工业区排污区 (P1) 和东方工业区排污区 (P16) 等 2 处排污区海域环境容量也出现超载,超载度分别为 45.0% 和 24.9%。

由此可见,上述纳污海域的环境容量与产业发展的结构存在一定的地区不适宜性,建议对区域产业的发展规模和结构需进行调整。此外,澳内海排污区 (P18) 可考虑向外海深海排放,钦州湾金鼓江排污区 (P7) 考虑向湾外排放。再者,鉴于近岸排污口纳污海域环境容量受入海河流和直排入海综合排放口等影响明显,建议在未来发展中考虑规划实施区域入海河流和直排入海综合排放口的污染负荷削减。

4 结 论

本文利用 MIKE 模型建立了北部湾三维潮流水

质数学模型,并计算主要纳污海域的 COD、无机氮和石油类的海洋环境容量。通过对比区域各层级发展规划及其带来的城市发展所产生的排污总量,分析其与各纳污海域环境容量的相容性。

然而,本文计算的环境容量是在固定排污口数量和布局情况下的环境容量,且受环境功能区的限制,不能完全反应纳污海域的整体环境容量,可以理解为纳污海域当前排污布局状态下的纳污容量,即最大允许排污量。此外,本文研究过程中未能获取同步的海域及河流水动力和水环境条件,使环境容量研究结果可能存在一定的偏差,这有待进一步深化论证。通过海域环境容量计算,可为区域经济社会发展规模及其排海污水量的调控提供技术支持,同时作为一种方法探讨对于推动海域环境容量研究也具有参考价值。

参考文献:

- [1] 孙洪亮,黄卫民. 北部湾潮汐潮流的三维数值模拟[J]. 海洋学报, 2001,23(2):1-8.
- [2] 方国洪,曹德明,黄企洲. 南海潮汐潮流的数值模拟[J]. 海洋学报, 1994,16(4):1-12.
- [3] 孙洪亮,黄卫民,赵俊生. 北部湾潮致、风生和热盐余流的三维数值计算[J]. 海洋与湖沼, 2001,32(5):561-568.
- [4] 乐凤凤,宁修仁. 南海北部浮游植物生物量的研究特点及影响因素[J]. 海洋学研究, 2006,24(2):60-69.
- [5] 刘子琳,宁修仁,蔡昱明. 北部湾浮游植物粒径分级叶绿素 a 和初级生产力的分布特征[J]. 海洋学报, 1998,20(1):50-57.
- [6] 黄以琛,李炎,邵浩,等. 北部湾夏冬季海表温度、叶绿素和浊度的分布特征及调控因素[J]. 厦门大学学报:自然科学版, 2008,47(6):856-863.
- [7] 何碧娟,陈波,邱绍芳,等. 广西铁山港海域环境容量及排污口位置优选研究[J]. 广西科学, 2001,8(3):232-235.
- [8] 郭森,韩保新,杨静,等. 纳污海域水环境容量计算与总量分配方法研究[J]. 环境科学与技术, 2006,26(增刊):19-22.
- [9] 曹德明,方国洪. 北部湾潮汐和潮流的数值模拟[J]. 海洋与湖沼, 1990,21(2):105-113.
- [10] 夏华永,殷忠斌,郭芝兰,等. 北部湾三维潮流数值模拟[J]. 海洋学报, 1997,19(2):21-31.
- [11] 李适宇,李耀初,陈炳禄,等. 分区达标控制法求解海域环境容量[J]. 环境科学, 1999,20(4):96-99.
- [12] 韩保新,桑燕鸿,杨静,等. 北部湾经济区沿海重点产业发展战略环境影响评价研究[M]. 北京:中国环境出版社,2013.