

厦门西海域、同安湾入海污染负荷估算研究

潘灿民, 张珞平, 黄金良, 崔江瑞

(厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 主要利用采用 GIS 经验排污系数法和经验模型法, 对厦门湾的西海域和同安湾两个海域的陆源、海上水产养殖和大气输入源的入海污染负荷进行估算, 得出这两个海域的 COD_{Mn} 、总氮 (TN) 和总磷 (TP) 年入海污染通量和入海污染负荷。估算结果显示, 厦门湾的入海污染负荷主要来自于陆源污染源, 所占比例在 75.2% 以上, 大气沉降污染源次之, 所占的比例平均为 1.2% ~ 18.4%, 而海上水产养殖带来的污染负荷所占的比例最小, 平均不超过 1%。

关键词: 入海污染负荷; 估算方法; 厦门湾

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2011)01-0090-06

Estimation of marine pollution load in West Sea and Tong'an Bay in Xiamen

PAN Canmin, ZHANG Luoping, HUANG Jiliang, CUI Jiangrui

(Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract In this paper, the estimation methods of GIS, the experimental coefficient of sewage disposal and estimation model were mainly used to estimate the marine pollutants loads in West Sea and Tong'an Bay in Xiamen, including the pollution sources from the land-based, atmospheric deposition and aquaculture, and the annual pollutant fluxes of COD_{Mn} , TN, TP in every sea area. The estimation results of pollutant fluxes and marine pollution loads of main pollutants (COD_{Mn} , TN, TP) in every sea area were given. The result showed that the land-based pollution loads were the largest percentage of marine loads in every sea area over 75.2%. The pollution source from the atmospheric deposition was the second proportion of 1.2% ~ 18.4%. The pollutant from the aquaculture was the smallest proportion, less than 1%.

Key words marine pollution loads; methods of estimation; Xiamen Bay

近年来随着沿海经济地区的迅速发展、城市化进程的加快、海上开发活动的加强, 海洋污染问题已经日益突出。Enel 和 Fejes^[1]估算得出每年排入波罗的海的 N 总量达到 140 9 万 t, 河流、点源和非点源占到 69%, 而大气沉降占到 2%。Funge^[2]对精养虾池中的物质平衡的研究, 发现在养殖过只有 10% 的 N 和 7% 的 P 被吸收, 其他都以各种形式进入环境。Nikno 等^[3]指出: 经由大气进入大西洋西海岸的 N 量约占其入海总量的 10% ~ 50%。我国 2002 年的《渤海碧海行动》^[4]估算出 1998 年 N 和 P 入渤海通量为 21.2 万 t 和 1.71 t, COD 入海总量为 162.3 万 t。可见, 随着人类社会的发展, 海洋污染问题不断凸显, 海洋环境管理面临着严峻的挑战。而如何精确科学的估算海湾的入

海污染负荷, 已成为海洋环境容量研究和海湾环境规划管理的前提和科学依据。本文构建厦门湾入海污染物估算方法, 并结合厦门海洋渔业局、厦门市统计年鉴以及其他监测资料和论文资料, 估算厦门西海、同安湾的总氮 (TN)、总磷 (TP)、 COD_{Mn} 等主要指标的入海污染负荷, 为厦门湾环境容量研究和入海污染总量控制提供依据。

1 估算方法与数据资料

首先, 运用 GIS 软件—ARCGIS 软件, 结合厦门湾区域数学高程模型 (DEM), 进行水文模拟分析, 将环厦门湾陆域划分成 27 汇水区, 将同安湾、西海域划分成 5 个分海区, 如图 1 所示。

收稿日期: 2009-06-22 修订日期: 2009-09-11

基金项目: 我国近岸典型海域环境质量评价和环境容量研究 (908-02-02-03)

作者简介: 潘灿民 (1982-), 男, 福建省泉州市人, 硕士研究生, 主要研究方向: 环境规划与评价

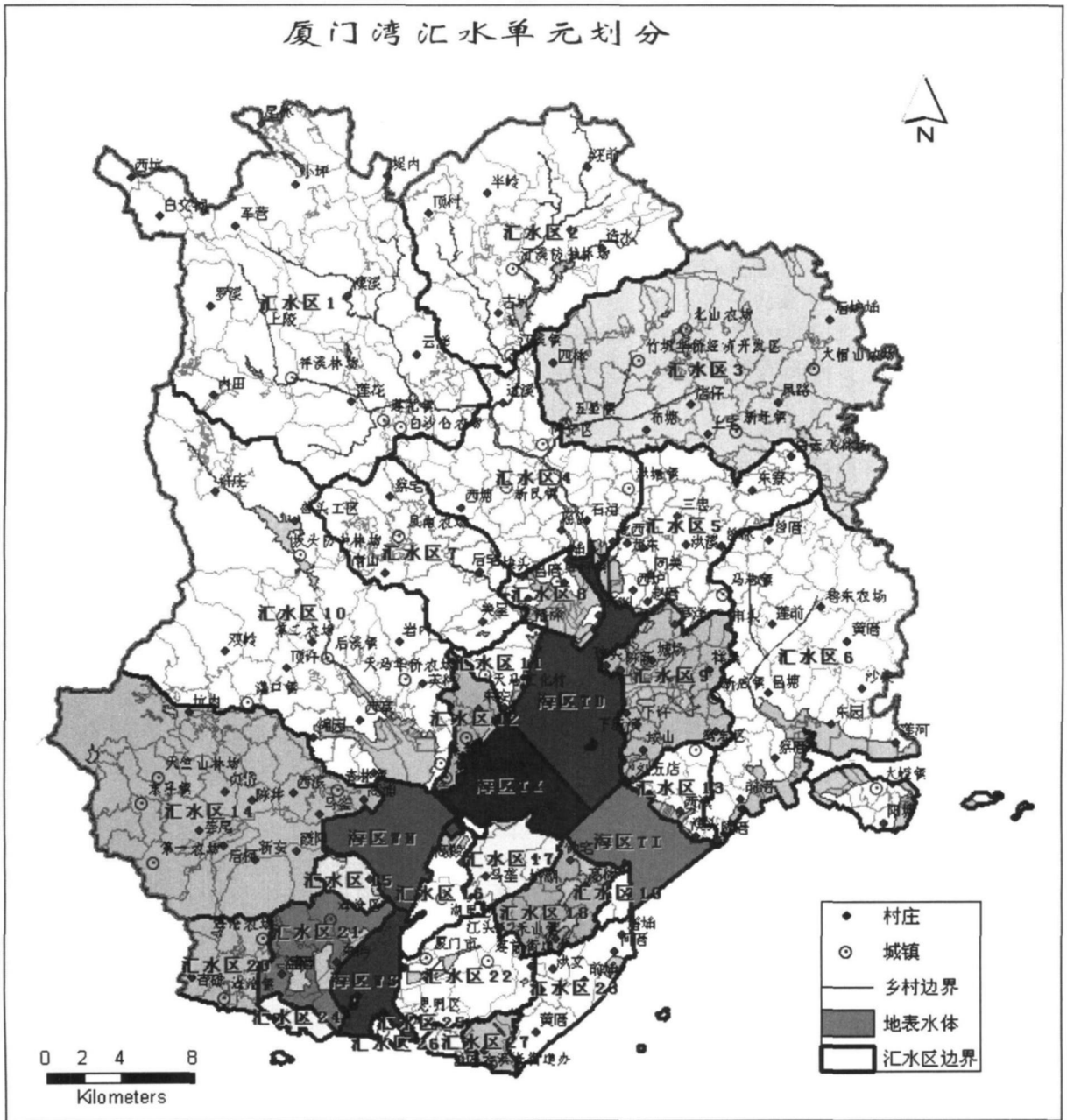


图 1 厦门西海域、同安湾陆域与海域单元划分

Fig 1 Division units of West Sea and Tong'an Bay in Xiamen

在资料收集的基础上, 利用厦门同安湾、西海域入海排污口监测数据估算统计 5 个分海区的污染物通量, 并分别计算出污水处理厂的入海排污口污染物通量 (代表点源) 和污水处理厂除外的入海排污口污染物通量 (代表非点源)。同时, 根据各汇水区、各海区的实际情况, 采用 GIS 经验排污数法和经验模型 (SCS-CN, USLE 和氮磷流失经验方程) [15-26] 估算出厦门同安湾、西海域各海区来陆源污染通量, 包括: 化肥施用、畜禽养殖、生活污染和水土流失等污染物通量。

1.1 陆源污染源强估算

本研究估算的陆源污染源强包括: 河流输入源、排污

口输入源、畜禽养殖源、工业和生活污染源强、农业化肥污染源强和水土流失污染源强等。

入海排污口和河流入海通量的计算: 采用收集的主要污染物的浓度监测数据和入海水流径流量直接算得。

生活污染源的计算采用综合用水法: 根据厦门的实际特殊情况, 城镇人均综合用水量采用 800 L/(d·人), 按 80% 进入污水管道计; 农村人均综合用水量采用 700 L/(d·人), 也按照 80% 进入污水道计算。根据厦门市污水处理厂多年的水质监测情况采用经验浓度系数, 即 COD_C 取 350 mg/L, TP 取 4 mg/L, TN 取 60 mg/L。

畜禽养殖污染采用排污系数法进行估算: 将排放系

数乘以调查得到的各汇水区的养殖畜禽数,即可计算出畜禽污染物产生总量。排污系数主要参考表 1^[13 27-29]。

农业化肥非点源污染源强的估算:其中氮肥平均折纯率以 30% 计,磷肥折纯率以 20% 计,N 和 P 的流失率分别取 20% 和 5%^[14]。

水土流失带来的非点源污染:本研究是在人口、畜禽养殖、化肥施用等社会经济调查评价的基础上,采用 GIS 径流曲线方法 (SCS-CN)、通用土壤流失方程 (USLE)、污染物流失方程计算水土流失带来的各个汇水区颗粒态氮磷、可溶态氮磷和 COD 的污染强度^[13 14 16],将各汇水区的可溶态氮磷与颗粒态氮磷相加,即可获得各汇水区由于降雨径流流失带入水体的 TN、TP 负荷非点源污染负荷。

表 1 各畜禽污染物排放系数^[13 27-29]

污染源	排放系数 /kg (a·只) ⁻¹		
	COD _{Cr}	TN	TP
牛	76.91	29.08	7.23
羊	4.4	4.23	1.43
猪	3.78	0.94	0.16
家禽	0.233	0.138	0.026
兔		1.07	

在分别计算排污口、河流的入海通量以及陆源的各个主要污染源的源强后,通过各海区、各汇水区各种非点源源强的计算结果与基于入海排污口监测数据的结果的对比分析,验证非点源污染负荷计算结果,同时计算获取非点源主要污染指标 COD、TN、TP 的衰减系数。并以此污染物衰减系数来统计计算各个海区非点源污染的入海通量。

1.2 海域污染源的估算

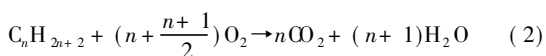
根据《中华人民共和国海域使用管理法》《厦门市海域使用管理规定》《厦门市海域功能区划》和厦门船舶管理等相关规定,厦门湾大小船只的生活污染废水不准在湾内排放,因此海域的主要污染源是水产养殖。水产养殖污染的计算,采用以下公式^[31]:

$$W = T_i \times K \times \alpha \quad (1)$$

式中: T_i 表示总的投饵量; K 表示 N、P、C 在饲料中的百分率; α 表示饲料进入水体的百分率。

根据文献资料^[13 31, 32],鱼类养殖的饵料进入水体的百分率 α 取 51%,虾、蟹养殖取 16%;根据五种常用饵料的实测结果^[31],饵料中的含量分别为: C 33.2% ~ 64.7%, 平均为 44.4%; P 0.7% ~ 1.4%, 平均为 1.04%。根据厦门大学环科中心实验数据^[31]:海马牌对虾配合饵料的含量为: N 6.83%, P 1.09%; 因此确定 N、P、C 在饲料中的百分率取值为: $K_N = 7%$, $K_P = 1.04%$, $K_C = 44.4%$ 。

由公式:



可见,1个 C 原子(原子量 12)相当于 3 个氧原子(原子量 48),所以由 C 的量 $\times 48/12 = COD_{Cr}$ 的量。

对于自然养殖的贝类入海污染负荷的计算,主要考虑其排泄物的入海污染。根据文献 [1],每吨贝类排泄物参考值为 N 为 0.0017 t, P 为 0.00026 t, 根据 Redfield 比值, C:N:P = 106:16:1 即质量比为 C:N:P = (106 \times 12):(16 \times 14):(1 \times 31) = 41:7:1 由此估算每吨贝类排泄物中 C 含量为 0.0107 t。

1.3 大气输入污染负荷的估算

海域大气输入主要分成干沉降和湿沉降两个部分来进行估算。

根据陈能汪等人^[33 34]的研究结果,取 TN 的干沉降为 4.99 kg/(hm²·a),湿沉降的雨水 TN 的年平均浓度 2.92 mg/L,计算 TN 的干、湿沉降入海通量。TP 入海污染负荷的估算,根据商少凌等^[35]研究结果,采用干式通量为 0.038 g/(m²·a),湿式通量为 0.057 g/(m²·a),计算厦门海域 TP 的大气输入量。而由于缺少 COD_{Cr} 相关监测资料,采用由溶解有机碳 (DOC) 转化成 COD 来估算。根据厦门大学海洋楼观测点 2008 年全年接收雨水的监测资料,2008 年雨水 DOC 含量加权平均浓度为 0.89 mg/L。

同样根据公式 $C_n H_{2n+2} + (n + \frac{n+1}{2}) O_2 \rightarrow n CO_2 + (n+1) H_2O$,把 C 的量转化成 COD_{Cr} 的量。COD 干沉降的计算是直接建立在湿沉降的基础上,通过干湿沉降公式转化求得的。

2 结果与讨论

通过验证,计算得出陆源污染源各个主要污染物的入海削减率分别为: COD_{Cr} 为 19.25%, TN 44.52%, TP 54.45%。据此,再根据陆源污染各污染物的污染源强,可进一步计算得出各个主要污染物实际的入海通量。根据陆源、海源、大气输入源入海通量的计算结果,可以统计厦门同安湾、西海域的 COD、TN 和 TP 污染通量组成,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,各个海区的入海通量中各种主要入海污染物大部分以非点源输入为主。其中, COD_{Mn} 除了海区 WS (非点源占 33.99%) 外,其余海区的主要来源构成都来自于非点源污染,占均在 63% 以上; TN 除了 TD 海区 (非点源占 38.89%) 外,非点源占均在 59% 以上; TP 除了 TD 海区 (非点源占 49.01%) 外,非点源占均在 61% 以上;由此可见,非点源应该成为厦门同安湾和西海域入海污染总量控制的主要因素。进一步统计各个海区的入海污染负荷量,结果如表 3 所示。

由表 3 可见,厦门同安湾、西海域中各海区的污染负荷中,各个海区平均污染负荷 COD_{Mn} 为 185.85 t/(km²·a), TN 为 69.94 t/(km²·a), TP 为 6.39 t/(km²·a)。通过比较可知,各个分海区的污染负荷差别很大。就 COD_{Mn} 的入海污染负荷而言,入海污染负荷量最大的海区 WS 的 COD_{Mn} 入海污染负荷量,达到了 475.01 t/(km²·a)。

a), 是负荷量最小的海区 WS 的十倍之多; TN 入海污染负荷量最大的海区 TD 为最小海区 TX 的 7 倍之多; TP 负荷量最大的海区 TD 入海污染负荷为负荷量最小海区 TX 的负荷量近 14 倍。

通过对表 2 表 3 的比较分析可知, 由于海域面积大小不同原因, 使得各个海区入海污染负荷的计算结果与入海通量的计算结果存在一定差异。如海区 WS 的

COD_{Mn} 入海总通量所占的比例与海区 TD 差不多, 但是由于海域面积远远比海区 TD 小, 因此占总的入海污染负荷占的比例比海区 TD 高出很多。而海区 WN 的 COD_{Mn} 入海通量虽不大, 但是由于面积小, 使得它与入海污染通量很大的海区 TD 占总的入海污染负荷比例差不多。为了进一步统计不同污染源对各个海区入海污染负荷贡献, 作表 4 进行说明。

表 2 厦门同安湾、西安湾主要污染物入海通量

Tab 2 Pollution fluxes into West Sea and Tong'an Bay, Xiamen

海区	污染源	COD _{Mn}		TN		TP	
		通量 / t·a ⁻¹	百分比 / (%)	通量 / t·a ⁻¹	百分比 / (%)	通量 / t·a ⁻¹	百分比 / (%)
TD	河流输入	2896.0	34.95	3307.2	61.11	330.7	50.99
	非点源	5389.0	65.05	2105.1	38.89	317.8	49.01
	小计	8285.0		5412.3		648.5	
TX	点源	122.0	9.75	102.7	21.88	11	38.33
	非点源	1129.2	90.25	366.7	78.12	17.7	61.67
	小计	1251.2		469.4		28.7	
TI	点源						
	非点源	3071.8	100.00	1005.1	100.00	66.6	100.00
	小计	3071.8		1005.1		66.6	
WS	点源	6255.5	66.01	682.1	40.82	28.9	34.90
	非点源	3220.9	33.99	988.8	59.18	53.9	65.10
	小计	9476.4		1670.9		82.8	
WN	点源	377.0	7.78	200.2	12.71	9.5	9.55
	非点源	4467.0	92.22	1375.3	87.29	90.0	90.45
	小计	4844.0		1575.5		99.5	
	总计	26928.4		10133.2		926.1	

备注: (1) 非点源污染包括陆源的畜禽养殖、生活污染、化肥施用、水土流失、大气输入源和水产养殖等来源。(2) 统计中大致按照 COD_{Cr} 和 COD_{Mn} 的比值按 2.5:1 计, 把 COD_{Cr} 换算成 COD_{Mn}。

表 3 厦门同安湾、西安湾各分海区污染负荷统计

Tab 3 Marine pollution loads in each sea areas in West Sea and Tong'an Bay, Xiamen

海区	污染源	COD _{Mn}		TN		TP	
		负荷量 / t·(km ² ·a) ⁻¹	百分比 / (%)	负荷量 / t·(km ² ·a) ⁻¹	百分比 / (%)	负荷量 / t·(km ² ·a) ⁻¹	百分比 / (%)
TD	河流输入	62.40	34.95	71.26	61.11	7.13	50.99
	非点源	116.12	65.05	45.36	38.89	6.85	49.01
	平均	178.52		116.62		13.97	
TX	点源	4.44	9.75	3.74	21.88	0.40	38.33
	非点源	41.11	90.25	13.35	78.12	0.64	61.67
	平均	45.55		17.09		1.04	
TI	点源	0	0		0		0
	非点源	120.46	100.00	39.42	100.00	2.61	100.00
	平均	120.46		39.42		2.61	
WN	点源	13.48	7.78	7.16	12.71	0.34	9.55
	非点源	159.76	92.22	49.19	87.29	3.22	90.45
	平均	173.25		56.35		3.56	
WS	点源	313.56	66.01	34.19	40.82	1.45	34.90
	非点源	161.45	33.99	49.56	59.18	2.70	65.10
	平均	475.01		83.75		4.15	
	总均	185.85		69.94		6.39	

从表 4 可知, 厦门西海域、同安湾的 COD_{Mn} 的陆源污染、海域污染源和大气输入源的平均入海污染负荷分别为 181.12 t/(km²·a)、1.76 t/(km²·a) 和 2.2 t/(km²·a); TN 的陆源污染、海域污染源和大气输入源的平均入

海污染负荷分别为 65.9 t/(km²·a)、0.18 t/(km²·a) 和 3.17 t/(km²·a); TP 的陆源污染、海域污染源和大气输入源的入海污染负荷分别为 5.2 t/(km²·a)、0.03 t/(km²·a) 和 1.18 t/(km²·a)。陆源污染是厦门西海域、

同安湾的各种入海污染物的入海污染负荷主要来源, 贡献的比率达到了 75.2% 以上; 大气污染源所占的比例为第二, 其中 COD_{Mn} 所占的比例平均为 1.2%, TN 为 4.6%, TP

为 18.4%; 而水产养殖带来的污染负荷为最小, COD_{Mn} 、TN 和 TP 所占的比例平均分别为 1.0%、0.3%、0.5% 之间。

表 4 各个海区不同污染源的入海污染负荷统计

Tab. 4 Different source of Marine Pollution Loads in every sea areas

海区	污染源	COD_{Mn}		TN		TP	
		负荷量 /	百分比 /	负荷量 /	百分比 /	负荷量 /	百分比 /
		$t \cdot (km^2 \cdot a)^{-1}$	(%)	$t \cdot (km^2 \cdot a)^{-1}$	(%)	$t \cdot (km^2 \cdot a)^{-1}$	(%)
TD	陆源	172.81	96.8	112.49	96.5	10.51	75.2
	海源	3.0	1.7	0.3	0.3	0.04	0.3
	大气输入	2.71	1.5	3.84	3.3	3.42	24.5
	小计	178.51	100	116.62	100	13.97	100
TX	陆源	40.8	89.6	13.05	76.4	0.92	87.8
	海源	2.04	4.5	0.2	1.2	0.03	3.1
	大气输入	2.7	5.9	3.84	22.5	0.09	9.1
	小计	45.55	100	17.09	100	1.04	100
TI	陆源	116.83	96.2	35.7	89.9	2.51	95.3
	海源	1.88	1.5	0.19	0.5	0.03	1.1
	大气输入	2.71	2.2	3.84	9.7	0.09	3.6
	小计	121.42	100	39.73	100	2.63	100
WN	陆源	171.13	98.8	55.78	95.8	3.49	98.1
	海源	0.4	0.2	0.04	0.1	0.01	0.2
	大气输入	1.72	1	2.44	4.2	0.06	1.7
	小计	173.25	100	58.25	100	3.56	100
WS	陆源	527.43	99.96	84.86	99.25	4.48	93.1
	海源	0.07	0.01	0.02	0.03	0.05	1.1
	大气输入	0.13	0.03	0.61	0.72	0.28	5.8
	小计	527.63	100	85.5	100	4.82	100
总计	陆源	181.13	97.9	65.9	95.2	5.2	81.1
	海源	1.76	1.0	0.18	0.3	0.03	0.5
	大气输入	2.2	1.2	3.17	4.6	1.18	18.4

3 结 论

(1) 厦门湾西海域、同安湾的 COD_{Mn} 、TN 和 TP 入海污染年通量分别达到了 26928.4 t、10133.2 t、926.1 t。各个海区不同污染物的非点源污染组成差异较大, 其中 COD_{Mn} 各个海区的非点源所占的比率在 65.05% ~ 92.22%, TN 各个海区非点源所占的比率在 38.89% ~ 87.29%, TP 各个海区 (除了 TI 海区外) 非点源所占的比率在 49.01% ~ 90.45%。

(2) 厦门同安湾、西海域海域中各海区的污染负荷中, 各个海区平均污染负荷 COD_{Mn} 为 185.85 t/($km^2 \cdot a$), TN 为 69.94 t/($km^2 \cdot a$), TP 为 6.39 t/($km^2 \cdot a$)。其中, 陆源污染是厦门西海域、同安湾的各种入海污染物的入海污染负荷主要来源, 贡献的比率达到了 75.2% 以上。大气污染源所占的比例为第二, 各种主要污染物所占的比例平均为 1.2% ~ 18.4%; 水产养殖带来的污染负荷为最小, 各种主要污染物所占的比例平均不超过 1.0%。

(3) 应该指出的是, 由于部分数据的缺少, 公式计算方法存在误差, 以及参照有关文献的参数取舍也相当粗略, 使得估算结果略显粗略, 因此, 本研究是在实际背景的基础上, 最大程度地保证估算的科学性, 而得出的较为

保守的估算结果。

参考文献:

- [1] ENELL M, FEJES J. Nitrogen Load to the Baltic Sea - present situation - acceptable future - load and suggested source reduction [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1995, 85: 877-882.
- [2] FUNGE-SMITH SMON J, BRIGGS MATTHEW R P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability [J]. Aquaculture, 1998, 164: 117-133.
- [3] NIXON SW, AMMEMRNA JW, ATKINSON L P, et al. The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean [J]. Biogeochemistry, 1997, 12: 75-83.
- [4] 国家环保总局, 国家海洋局, 交通部等联合编制. 渤海碧海行动计划 [Z]. 北京: 国家环保总局, 2001.
- [5] 福建省土壤普查办公室. 福建土壤 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1991.
- [6] 焦荔. USLE 模型及营养物流失方程在西湖非点源污染调查中的应用 [J]. 环境污染与防治, 1991, 13(6): 5-8.
- [7] 刘宝元, 张科利, 焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用 [J]. 自然资源学, 1999, 4(4): 345-349.
- [8] 阮伏水, 朱鹤健. 福建省花岗岩地区土壤侵蚀与治理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 90-91.
- [9] 史志华, 蔡崇法, 丁树文, 等. 基于 GIS 和 RUSLE 的小流域

- 农地水土保持规划研究 [J]. 农业工程学报, 2002 18(4): 172-175.
- [10] 施为光. 四川省清平水库流域非点源污染负荷计算 [J]. 重庆环境科学, 2000 22(2): 33-36
- [11] 王晓燕. 非点源污染定量研究的理论及方法 [J]. 首都师范大学学报(自), 1996 17(8): 91-95
- [12] 孙峰. 基于 GIS 的官厅水库流域非点源污染负荷计算研究 [D]. 北京: 北京师范大学, 2002
- [13] 厦门大学海洋与环境学院. 国家海洋局东海海洋环境监测中心. 宁波市象山港海洋环境容量及总量控制研究报告 [R]. 厦门: 厦门大学海洋与环境学院 & 国家海洋局东海海洋环境监测中心, 2003.
- [14] 游松财, 李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算—以江西省泰和县灌溪乡为例 [J]. 自然资源学报, 1999 14(1): 62-67.
- [15] 汪耀斌. 黄浦江上游沪、苏、浙边界地区污染源与水质调查分析 [J]. 水资源保护, 1998 4: 37-40
- [16] 黄金良, 洪华生, 张珞平, 等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究 [J]. 水土保持学报, 2004 18(5): 75-79
- [17] BOUGHTON W C. A review of the USDA SCS curve number method [J]. Australia Journal of Soil Research, 1989 27: 511-523
- [18] LU B Y, NEARING M A, RISSE L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes [J]. Transactions of the ASAE, 1994 37: 1835-1840.
- [19] LU B Y, NEARING M A, SHIP J et al Slope length effects on soil loss for steep slopes [J]. Soil Society of American Journal 2000 64: 1759-1763
- [20] MCCOOL D K, FOSTER G R, MUTCHLER C K, et al Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. Transactions of ASAE, 1989, 32: 1571-1576
- [21] RENARD K G. Revised Universal Soil Loss Equation [J]. Soil and Water Cons 1991, 46(1): 30-33.
- [22] U S A. Department of Agriculture Soil Conservation Service Hydrology. SCS National Engineering Handbook [Z]. Washington D C: Section 4 U S Gov Print Office, 1972 20-80
- [23] W ISCHMEIER W H. Rainfall erosion potential geographic and location differences of distribution [J]. Agricultural engineering 1962, 43 212-215
- [24] W ILLIAMS J R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor [A]. Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources [C]. Washington, D C ARS S-40 US Gov Print Office 1975 244-252
- [25] W ISCHMEIER W H. A soil erodibility nomograph for land and construction sites [J]. Journal of Soil and Water Conservation 1971, 26: 189-193.
- [26] W ISCHMEIER W H, SMITH D D. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning [R]. Washington D C: USDA, ARS 537, Agricultural Handbook 1978.
- [27] 张大弟. 上海市郊区非点源污染综合调查评价 [J]. 上海农业学报, 1997 13(1): 31-36
- [28] 黄秀珠, 叶长兴. 持续畜牧业的发展与环境保护 [J]. 福建畜牧兽医, 1998, 5 27-29.
- [29] 谢蓉. 上海市畜牧业污染控制与黄浦江上游水源保护 [J]. 农村生态环境, 1999, 15(1): 41-44
- [30] 厦门大学海洋与海岸带发展研究院. 福州市环境科学研究所. 罗源湾环境规划 [R]. 厦门: 厦门大学海岸带与海岸发展研究院, 2007
- [31] 黄秀清. 象山港海洋环境容量及污染物总量控制研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 2008 242-278
- [32] 厦门市海洋与渔业局. 厦门市海洋与渔业局 2007 年渔业年报 [R]. 厦门: 厦门市海洋渔业局, 2007
- [33] 陈能汪, 洪华生, 肖健, 等. 九龙江流域大气氮干沉降 [J]. 生态学报, 2006, 26 (8): 2602-2607
- [34] 陈能汪, 洪华生, 张珞平. 九龙江流域大气氮湿沉降研究 [J]. 环境科学, 2008 29(1): 38-46
- [35] 商少凌, 洪华生. 厦门海域大气气溶胶中磷的沉降通量 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1997 36(1): 106-109