

# 九龙江污染物入海通量初步估算\*

王卫平<sup>1</sup>, 洪华生<sup>1</sup>, 张玉珍<sup>2</sup>, 曹文志<sup>1</sup>

(1. 近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005; 2. 福建省环境科学研究院, 福建 福州 350013)

**摘要:** 河流污染物入海通量的研究是研究海水污染的内容之一。本文对目前常用的河流污染物通量估算方法进行了分析, 根据九龙江的水文水质监测数据, 选择高锰酸钾指数与  $\text{NH}_3\text{-N}$  作为代表性水质监测项目, 利用各种估算公式进行污染物入海通量估算, 对估算结果进行比较发现部分公式适用性较好。估算结果表明, 2003 年九龙江污染物入海通量  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  大约为 21 000 t/a,  $\text{NH}_3\text{-N}$  大约为 2 500 t/a。根据与其他研究结果的对比, 探讨了河流污染物入海通量估算的特点, 对不足之处作了说明。

**关键词:** 污染物入海通量; 计算公式; 九龙江

**中图分类号:** X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6336(2006)02-0045-03

## Preliminary estimate for the contaminations fluxes from Jiulong River to the sea

WANG Wei-ping<sup>1</sup>, HONG Hua-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Yu-zhen<sup>2</sup>, CAO Wen-zhi<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Environmental Science Research Institute of Fujian Province, Fuzhou 350013, China)

**Abstract:** Study of the contaminations fluxes from river to the sea is part of the research of marine pollution. The popular calculation formulas of contaminations fluxes in river were analyzed. According to the flow and water quality monitoring data in Jiulong River,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  and  $\text{NH}_3\text{-N}$  fluxes were calculated by the different formulas. The calculation results show that some formulas are effective. In 2003, the  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  fluxes from Jiulong river to the sea was about 21 000 t/a, and the  $\text{NH}_3\text{-N}$  fluxes was about 2 500 t/a. Comparing with other's research results, the characteristics of the contaminations fluxes from river to the sea were discussed, and some deficiencies were also brought forward.

**Key words:** contaminations fluxes; calculation formula; Jiulong River

河口海岸区的海水污染问题是陆地和海洋相互作用的研究内容之一,也是全球环境变化研究的重点问题,入海河流的水质状况和污染物输送通量已成为一个研究热点<sup>[1,2]</sup>。我国是一个河流水系相对发达的国家,但是我国在海陆相互作用方面的研究还很少,仅在少数河流进行了相关的研究<sup>[3]</sup>。

关于河流污染物通量的估算研究,尽管有许多种估算方法可用来进行估算,但由于不同估算方法计算出来的污染物年通量值相差悬殊,应该非常谨慎地选定估算方法<sup>[4]</sup>。河流污染物入海

通量通常以年为时段进行估算,与断面瞬间通量相比,估算时段通量的估算误差相对较为困难,时段的跨度越大,时段通量波动变化的方式也就越复杂,而用有限的瞬间实测数据进行估算误差也就越大。通量估算的实测误差来源包括:测流误差、水质采样误差、水质分析误差、断面离散采样的代表性不强、采样频率带来的误差等<sup>[5]</sup>。估算流域河流污染物入海年时段通量,其误差主要由两点引起:点源与非点源差异引起的水质监测数据代表性不强;水文水质数据不同步引起的时均离散误差。针对这些存在的问题,Webb 等人采

\* 收稿日期:2006-02-15,修订日期:2006-03-21

基金项目:福建省青年科技人才创新项目(2005J065)

作者简介:王卫平(1979-),男,山东莒南人,博士研究生,研究方向为环境管理。

用分时段通量和、时段平均浓度与时段水量之积两类估算方法构造了 5 种时段通量的计算公式,国内也有学者应用这些方法进行河流污染物通量估算<sup>[4~6]</sup>。本文根据九龙江下游的水质水文监测数据,针对九龙江流域水污染的特点,采用上述合适的计算方法,进行九龙江污染物入海通量的初步估算。

## 1 九龙江入海通量监测数据分析

### 1.1 九龙江概况

九龙江位于福建省南部,是福建省仅次于闽江的第二大河流,由北溪和西溪两大支流构成,以北溪为主流。其中北溪流域面积 9 803 km<sup>2</sup>,干流河长 285 km,西溪流域面积 3 964 km<sup>2</sup>,干流河长 172 km,两溪在龙海市境内长洲附近汇合流入厦门附近海域。九龙江流经福建省龙岩和漳州境内 8 个市县区,工业点源污染影响较大,同时农业非点源污染问题突出。九龙江河口和厦门附近海域的海水水质以及富营养化等问题受九龙江来水水质的影响较大。上世纪末,由于流域经济快速发展、人口急剧膨胀、城镇化进程加快等原因,流域水污染问题严重,从 1999 年开始,福建省实施了“九龙江流域水污染与生态破坏综合整治方案”,目前已经遏制了水污染问题的进一步恶化。

### 1.2 水文水质监测数据

九龙江北溪和西溪下游分别设有浦南和郑店水文监测站,其径流量可近似代表九龙江的入海水量。获取的可使用水文数据包括近 10 a(1995~2004 年)的逐日流量数据,可满足各种计算要求。九龙江北溪和西溪靠近下游入海口处分别设有江东桥和水头两个水质监测省控断面,水质监测数据始于 1996 年,代表性的水质监测数据有高锰酸钾指数(COD<sub>Mn</sub>)、NH<sub>3</sub>-N 等,但 NH<sub>3</sub>-N 仅从 2000 年开始监测。从 1996~2001 年,每年仅有代表丰、平、枯 3 个水期的水质监测数据,其后每逢单月进行水质监测,即每年有 6 个水质监测数据。由此可见,九龙江污染物入海通量估算的主要问题是水质监测数据的不完善,因此选择合适的通量计算方法显得尤为重要。

## 2 通量计算方法分析

根据九龙江的水文水质监测数据,分别采用目前流行的河流污染物通量 5 种估算方法<sup>[4~6]</sup>计算其入海污染物的通量。河流入海污染物通量估

算一般是指以年为时段的通量估算,河流污染物通量估算的方法并不确定,通常都会存在一定的误差。5 种估算方法及其应用特点分析见公式(1)~(5)所示。各公式中符号含义:W 为估算时间段的污染物通量;K 为不同估算时间段的转换系数;n 为估算时间段内的采样次数;c<sub>i</sub> 为样品 i 的浓度值。

$$W = K \frac{c_i^n}{i=1} \frac{Q_i}{i=1} \quad (1)$$

公式(1)中通量采用瞬时浓度 c<sub>i</sub> 的平均值与瞬时流量 Q<sub>i</sub> 的平均值的乘积进行通量计算,该方法忽略径流量时均变化的影响;

$$W = K \left[ \frac{c_i}{i=1} \right] \bar{Q} \quad (2)$$

公式(2)中通量采用瞬时浓度 c<sub>i</sub> 的平均值与时段平均流量  $\bar{Q}$  的乘积进行通量计算,该方法突出径流量时均变化的影响;

$$W = K \frac{c_i Q_i}{i=1} \quad (3)$$

公式(3)中通量采用求瞬时浓度 c<sub>i</sub> 与瞬时流量 Q<sub>i</sub> 乘积的平均值进行通量计算,该方法忽略径流量时均变化的影响,但突出了点源污染;

$$W = K \frac{c_i}{i=1} \bar{Q} \quad (4)$$

公式(4)中通量采用瞬时浓度 c<sub>i</sub> 与代表时段平均流量  $\bar{Q}$  乘积的平均值进行通量计算,该方法突出径流量时均变化的影响,同时也突出了非点源污染;

$$W = K \frac{c_i Q_i}{i=1} \frac{Q_i}{i=1} \quad (5)$$

公式(5)中通量采用时段通量平均浓度与时段平均流量  $\bar{Q}$  的乘积进行通量计算,该方法突出总径流量时均变化的影响,同时也突出了非点源污染。

## 3 九龙江污染物入海量估算与讨论

选择水质监测数据较多的 2003 年对上述 5 种污染物通量的计算结果进行比较,水质数据选择我国目前水污染物总量控制中常用的 COD<sub>Mn</sub> 与 NH<sub>3</sub>-N。2003 年九龙江下游入海口处省控断面的水质逢单月进行监测,监测数据对应的监测时间与水文流量见表 1 所示。

根据公式 1 对九龙江入海污染物年通量进行估算,由表 1 中采样日的水文水质监测数据代表

瞬时流量和瞬时浓度,取平均值的乘积计算,结果如表 2 所示。

表 1 2003 年九龙江下游水文水质监测数据

Tab. 1 Water quality and flow of the downstream of Jiulong River in 2003

采样 时间	$c / \text{mg L}^{-1}$				日均径流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	
	江东桥(北溪)		水头(西溪)		浦南 (北溪)	郑店 (西溪)
	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N		
01-10	1.74	0.36	3.32	0.46	171	78.8
03-05	1.9	0.25	3.5	0.48	102	64.4
05-07	1.8	0.18	4.87	0.52	178	71.4
07-09	1.9	0.22	3.84	0.57	167	85.4
09-02	1.83	0.08	2.88	0.36	171	124
11-02	2.22	0.19	3.62	0.51	79.2	41.3

表 2 根据公式(1)的通量计算结果

Tab. 2 The fluxes calculation results according to formula 1

九龙江	$c / \text{mg L}^{-1}$		瞬时流量平均值		$f / \text{t a}^{-1}$	
	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	$/ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	
北溪	1.90	0.21	144.7	8670.2	958.3	
西溪	3.67	0.48	77.55	8975.4	1173.9	

根据公式(2)对九龙江污染物入海年通量进行估算,由表 1 中采样的水质监测数据代表瞬时流量,取平均值与 2003 年全年平均流量的乘积进行计算,结果如表 3 所示。

表 3 根据公式(2)的通量计算结果

Tab. 3 The fluxes calculation results according to formula 2

九龙江	$c / \text{mg L}^{-1}$		年均流量		$f / \text{t a}^{-1}$	
	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	$/ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	
北溪	1.90	0.21	175.1	10491.7	1159.6	
西溪	3.67	0.48	90.7	10497.4	1373.0	

根据公式(3)对九龙江入海污染物年通量进行估算,由表 1 中采样日的水文水质监测数据代表瞬时流量和瞬时浓度,取乘积的平均值计算结果如下:北溪 COD<sub>Mn</sub>入海通量为 8 503.1 t/a, NH<sub>3</sub>-N 为 970.1 t/a;西溪 COD<sub>Mn</sub>入海通量为 8 773.8 t/a, NH<sub>3</sub>-N 为 1 149.3 t/a。

根据公式 4 对九龙江入海污染物年通量进行估算,由表 1 中采样日的水质监测数据代表水质瞬时浓度,把采样日所在月份与下月两个月作为该瞬时浓度的代表时段。根据九龙江流域降水情况统计,丰水期为 5~8 月份,平水期为 2~4 月和 9 月份,枯水期为 10 月至次年 1 月份。上述代表时段划分不会把水量差异较大月份划分在一起,基本合理。代表时段平均流量如表 4 所示。

取瞬时浓度与代表时段平均水量乘积计算,计算结果如下:北溪 COD<sub>Mn</sub>入海通量为 10 249.0 t/a, NH<sub>3</sub>-N 为 1 155.3 t/a;西溪 COD<sub>Mn</sub>入海通量

为 10 979.7 t/a, NH<sub>3</sub>-N 为 1 401.2 t/a。

表 4 代表时段平均流量

Tab. 4 The average flow of different periods

时段	时段平均流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	
	浦南(北溪)	郑店(西溪)
1~2 月	121.0	56.0
3~4 月	208.6	89.6
5~6 月	327.2	153.4
7~8 月	193.3	117.5
9~10 月	136.3	88.2
11~12 月	61.9	37.9

根据公式 5 对九龙江入海污染物年通量进行估算,由表 1 中采样日的水文水质监测数据计算时段通量平均浓度,与 2003 年全年平均流量的乘积进行计算,结果如下:北溪 COD<sub>Mn</sub>入海通量为 10 289.5 t/a, NH<sub>3</sub>-N 为 1 173.9 t/a;西溪的 COD<sub>Mn</sub>入海通量为 10 261.6 t/a, NH<sub>3</sub>-N 则为 1 344.2 t/a。

各种方法计算的九龙江入海污染物通量结果列于表 5。

表 5 九龙江入海污染物通量

Tab. 5 Contaminations fluxes from Jiulong River to the sea

项目	$f / \text{t a}^{-1}$				
	公式(1)	公式(2)	公式(3)	公式(4)	公式(5)
COD <sub>Mn</sub>	17 645.6	20 989.1	17 276.9	21 228.7	20 551.1
NH <sub>3</sub> -N	2 132.2	2 532.6	2 119.4	2 556.5	2 518.1

由表 5 可以看出,采用不同计算方法计算的九龙江污染物入海通量数值有所差别,但总体而言不存在数量级上巨大差异,因此计算结果是可信的。由于九龙江流域是一个典型的农业流域,农业非点源污染情况突出,非点源污染的一个显著特点是污染物产生量与径流量的大小有关。因此,突出径流量时均变化和非点源污染影响的公式(2)、公式(4)和公式(5)的计算结果较为可信。相比而言,公式(1)与公式(3)的计算结果明显偏小,这反映了计算方法本身对于九龙江流域污染物入海通量的不适用性。综上所述,2003 年九龙江入海通量的估算结果为, COD<sub>Mn</sub> 大约为 21 000 t/a, NH<sub>3</sub>-N 大约为 2 500 t/a。孙敬慧 1997 年对九龙江入海通量的研究结果为, COD<sub>Mn</sub> 36 058 t/a, NH<sub>3</sub>-N 为 3 466 t/a<sup>[7]</sup>。该研究结果由以下公式计算得出:  $Q = c \cdot q \cdot 100$ , 式中:  $Q$  为入海通量(t/a),  $c$  为入海口浓度(mg/L),  $q$  为年径流量( $108 \cdot \text{m}^3/\text{a}$ )。对比本文的计算方法而言,其水质取值是 1991~1993 年的河口断

(下转第 57 页)

### 3 结 论

沿岸排污口区水体中  $\text{NH}_3\text{-N}$  的浓度随着时间和空间的变化有较大的差异。模型提供了一简单有效的工具,可以对污染物的行为进行模拟和预测,为海岸水质规划和管理提供科学依据。

本文用水质模型模拟了  $\text{NH}_3\text{-N}$  在大连湾水体中的行为。由空间分布的模拟结果可知,在大连湾,氨氮浓度主要集中在排污口附近区域,灵敏度分析显示,在排污口区水体的扩散能力对  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度的影响较大。由季节变化图可知,在湾顶部的排污口区  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度显示明显的季节变化趋势。在湾中部和朝海边界的湾口区  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度较低,变化平缓。

由模拟结果可知,可通过增加其对流扩散能力或将排污口迁移到扩散能力强的位置可大大降低其污染。由此认为,对污染负荷排放量和排放位置进行合理的分配和管理,对大连湾海岸区域水质污染防治起到很重要的作用。

(上接第 47 页)

面监测平均浓度,流量取值是多年平均流量总量,并未区分九龙江北溪和西溪,这可能是造成估算结果明显比本文估算结果偏大的原因。另外由于 2003 年是九龙江流域的典型枯水年份,入海径流量减少造成的污染物入海通量估算与降水正常年份也存在偏差,特别是对于九龙江这样一个农业非点源污染突出的流域可能造成估算结果偏低。

### 4 结 语

污染物入海通量估算涉及时空方面的问题,是一个动态的变化过程,不同时段的估算结果可能差别较大,具体研究需要因地制宜选择估算方法。目前常用的 5 种河流断面污染物通量估算公式,针对监测数据的时均离散和污染源类型各有其适用性。应用于九龙江入海污染物通量估算,发现突出径流量时均变化和非点源污染影响的估算公式估算结果较为合理。根据九龙江入海径流量与水质估算的污染物入海通量结果可以用来代

### 参考文献:

- [1] Hydraulics Research Ltd., Hydraulic and Water Quality Studies in Victoria Harbour, Calibration of Seasonal Water Movement and Water Quality Models, Model Report Part II, Volume 4, Report No. EX1690 [R]: Hongkong: Hydraulics Research Ltd., 1988.
- [2] H R Wallingford. Strategic Sewage Disposal Scheme, Hong Kong, Seasonal Water Movement Model, Training and User Manual. Report No. EX 2609 [R]. Hong Kong: H R Wallingford, 1988.
- [3] DANIEL L T, HANK N M. Spatial and temporal hydrodynamic and water quality modeling analysis of a large reservoir on the South Carolina (USA) coastal plain [J]. Ecological Modelling 1999, 114: 137-173
- [4] GEOFFREY S S, HAMILTON D P. Prediction of water quality in lakes and reservoirs; Part II-Model calibration, sensitivity analysis and application [J]. Ecological Modeling, 1997 96: 111-1123
- [5] JAMES R T, BIERMAN J V J. A preliminary modeling analysis of water quality in lake Okeechobee, Florida: calibration results [J]. Wat Res, 1995, (29): 12, 2755-2766.

表流域输出的污染物通量,为从流域环境管理角度遏制陆源污染物对海洋的污染提供决策依据。

### 参考文献:

- [1] ZHOU J L, FILEMAN T W, HOUSE W A, *et al.* Fluxes of organic contaminants from the river catchment into, through and out of the Humber Estuary, UK [J]. Marine Pollution bulletin, 1998, 37(3-7): 330-342.
- [2] GRIMVALL A, STALNACKE P, TONDESKI A. Time scales of nutrient loss, from land to sea - a European perspective [J]. Ecological Engineering, 2000, 14(4): 363-371.
- [3] 段水旺, 章 申, 陈喜保, 等. 长江下游氮、磷含量变化及其输送量的估计 [J]. 环境科学, 2000, 21(1): 53-56.
- [4] 王 晖. 淮河干流水质断面污染物年通量估算 [J]. 水资源保护, 2004, (6): 37-39.
- [5] 富 国. 河流污染物通量估算方法分析 (I) ——时段通量估算方法比较分析 [J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 1-4.
- [6] WEBB B W, PHILLIPS J M, WALLING D E, *et al.* Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS(R) programme [J]. The Science of the Total Environment, 1997, 194-195: 379-389.
- [7] 孙敬慧. 我省主要河流入海通量估算 [J]. 福建环境, 1997, 14(1): 17-18.