

分区达标控制法求解海域环境容量

李适宇 李耀初 陈炳禄 吴群河

(中山大学环境科学研究所, 广州 510275 E-mail: eeslsy@zsu.edu.cn)

摘要 提出可考虑二维扩散的分区达标控制法用于求解海域环境容量. 引进贡献度系数将二维容量问题定义为线性规划问题, 使各类水功能区在达到所对应的环境标准的前提下各排污口污染物允许排放量之和最大, 并给出了用二维扩散模型计算贡献度系数的方法. 将分区达标控制法应用于汕头市海域环境容量研究, 表明该方法求出的结果是准确和合理的.

关键词 环境容量, 分区达标控制法, 海域水质管理, 线性规划.

A New Approach to Determining Environmental Capacity of Coastal Waters

Li Shiyu Li Yaochu Chen Binglu Wu Qunhe

(Institute of Environmental Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China E-mail: eeslsy@zsu.edu.cn)

Abstract A programming model is proposed for the optimal allocation of pollutant loads for coastal and estuary water quality management, taking account of the effects of tidal current and two dimensional diffusion. The model is stated as the maximization of total discharged pollutant loads, subject to the satisfaction of environmental standards imposed on the seawater quality of check points which are set along the boundary of water bodies of different utility functions. The model is linear and is solved by Simplex method. Coefficients reflecting the contribution of pollution of each effluent to water quality check points are calculated by numerical simulation with 2-D hydrodynamic and diffusion models. The programming model is applied to the water environmental management planning for Shantou City, Guangdong, China, to determine the allowable discharge loads of pollutants to the Yongjiang River estuary.

Keywords environmental capacity, coastal water quality management, linear programming.

河流环境容量一般是一维问题, 其水流和污染物迁移转化规律可用一维模式来描述^[1~3]. 笔者曾提出混合率的概念, 将二维模型与容量优化分配模型相结合, 解决了非感潮河流二维容量计算问题^[4~6]. 而河流的容量计算方法不适用于海域. 另外, 当排污口数目较多时, 用传统的试算法^[7]求解海域环境容量的工作量非常大, 而且得到的解不是最优解. 本文提出了分区达标控制法给出最优解, 并结合汕头市海域环境规划给出应用实例.

1 问题设定

1.1 线性规划问题

根据定义, 环境容量问题可表述为: 在选定

的一组水质控制点的污染物浓度不超过其各自对应的环境标准的前提下, 使各排污口的污染负荷排放量之和最大, 即:

$$\text{目标函数} \quad \max L = \sum_{j=1}^n x_j \quad (1)$$

$$\text{约束条件} \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + c_{bi} \leq \bar{c}_i \quad (i = 1, \cdots, m) \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, \cdots, n) \quad (3)$$

式中, i 为水质控制点编号; m 为水质控制点数目; j 为排污口编号; n 为排污口数目; x 为负荷量; L 为总负荷量; a_{ij} 为第 j 个排污口的单位负

荷量对第*i*个水质控制点的污染贡献度系数;*c_b*为水质控制点的污染背景浓度;*c*为水质控制点处的环境标准值.

式(2)左边实际上是控制点处的浓度. 由于水质扩散模型是线性的, 浓度有可迭加性, 所以用线性迭加的方法来求某一点的浓度是可行的.

因此, 求解海域环境容量问题归结到求解由式(1)~(3)所表达的线性规划问题.

1.2 分区达标控制

根据《海水水质标准》(GB3097-82), 水质分为3类. 为了控制各水功能区的水质达到其对应的环境标准, 对水质控制点的选取须满足以下要求:

(1) 在采用海水水质标准第三类的区域内(如排污口及稀释混合区)设3类水质控制点, 即这些点的污染物浓度不得超过第三类海水水质标准. 这样做会出现一个超过第三类海水标准的区域, 但其范围可通过控制点的选取来加以限制.

(2) 在采用第三类与第二类海水水质标准的2种水域的交界线上设二类水质控制点, 使这些点的浓度不得超过第二类海水水质标准.

(3) 在采用第二类与第一类海水水质标准的2种水域的交界线上设一类水质控制点, 使这些点的浓度不得超过第一类海水水质标准.

以上分区达标控制和水质控制点选取的方法如图1所示. 由于水流与污染物运动的连续性, 只要选取一定间隔的水质控制点, 就能保证各类水域分别达标.

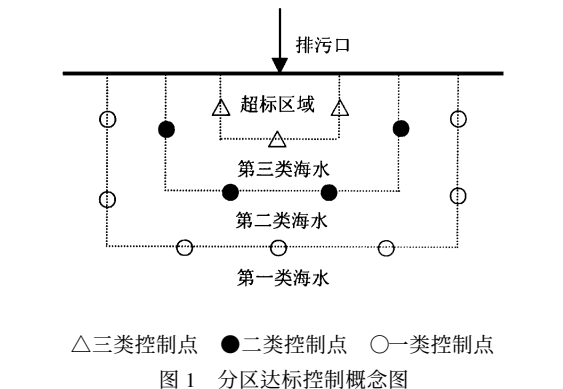


图1 分区达标控制概念图

1.3 贡献度系数

贡献度系数 a_{ij} ($i=1, \cdots, m; j=1, \cdots, n$) 的求解是以线性规划法求解环境容量的关键, 也是工作量最大的部分. 根据定义, 可假想在一个排污口给1个单位负荷量, 即 $x_j=1$, 而其它排污口无负荷量排出, 即 $x_k=0$ ($k=1, \cdots, n; k \neq j$), 然后用二维水质模型计算出在这种情况下浓度的分布, 确定出*m*个水质控制点的浓度值, 即为 a_{ij} ($i=1, \cdots, m$). 改变排污口, 重复以上步骤, 就可以求出每个排污口的 a_{ij} . 在以上所有计算中, 开边界上的浓度为0, 即不考虑背景浓度.

2 汕头市海域实例研究

汕头市在城市环境整治规划中, 根据污染源和水环境质量现状调查结果, 结合汕头市城市总体规划及社会经济发展与环境保护的需要, 对海域环境功能区进行了划分, 并作了排污口设置规划. 本文在此基础上, 运用前面提出的分区达标控制法求出其以COD_{Mn}为指标的水环境容量.

2.1 潮流与水质模拟

分别采用二维浅水潮波方程与二维移流扩散方程来模拟汕头市海域的流动场和浓度场. 采用显式差分法对方程进行离散化, 网格边长取100m. 实测数据验证结果表明, 模型较好地再现了汕头市海域的潮流与水质扩散状况.

2.2 排污口与水质控制点

原有排污口数量较多, 有不少排污口相距很近. 为简化计算和减少工作量, 将排污口进行合并, 概化为9个, 编号为E1~E9, 位置如图2所示.

根据功能区划分的结果, 选取了71个水质控制点(如图2), 其中三类水质控制点8个, 位于除E2排污口以外的各排污口所在网格; 二类水质控制点34个, 位于E2排污口及第三类与第二类海水区交界线上的网格; 一类水质控制点29个, 位于第二类与第一类海水区交界线上的网格. 应当指出, 由于差分网格较小(100m×100m), 所以对排污口的控制是比较严的, 不

允许出现第三类海水超标区域.

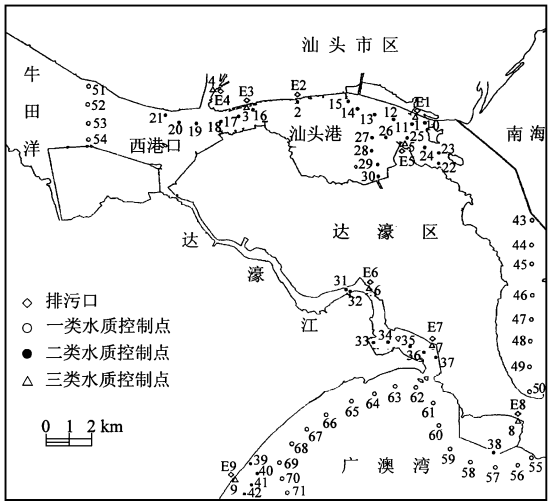


图2 汕头市海域水质控制点及排污口位置

2.3 贡献度系数与背景浓度

运用已验证的潮流与水质模型, 分别计算了9个排污口对71个水质控制点的贡献度系数, 部分结果列于表1. 由于汕头市海域出现不利水质的情况多为大潮期, 所以采用大潮期的潮汐与榕江枯水期流量作为潮流模拟的水文条件. 贡献度系数值为一个潮汐周期的平均值.

控制点处的背景浓度 c_b 是由于开边界上的浓度即计算领域外的污染物流入所引起的. 严格来说, c_b 值应在只有开边界浓度而领域内无负荷排出的条件下由水质模型计算得出, 每点的值是不相同的. 在本研究中, 为简化计算, 以牛田洋上游断面水质的实测值 1.8mg/L 作为汕头港及达濠江内控制点的背景浓度, 而以在汕头港外及广澳湾的实测值 1.0mg/L 作为这些海域的控制点的背景浓度. 从以往调查的经验来看, 这种选取是比较接近实际情况的. 部分控制点的背景浓度值列于表1中.

2.4 容量计算结果

根据以上的问题设定及各系数的计算结果和参数选定结果, 用单纯形法求解线性规划问题式(1)~(3), 得到总排放负荷量最大时的各排污口允许排放负荷量, 即环境容量. 计算结果如表2所示.

表1 汕头市海域水质控制点环境标准、背景浓度及排污口污染贡献度系数 $\times 10^{-14}/\text{a} \cdot \text{L}^{-1}$

水质控制点			排 污 口								
编号	$\bar{c}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$c_b/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5	1.8	29	7	7	7	4	0	0	0	0
2	4	1.8	1	17	5	6	1	0	0	0	0
3	5	1.8	1	3	17	5	1	0	0	0	0
4	5	1.8	0	0	1	100	0	0	0	0	0
5	5	1.8	4	6	6	6	50	0	0	0	0
6	5	1.8	0	0	0	2	0	164	19	2	0
7	5	1.8	0	0	0	1	0	45	85	1	0
8	5	1.0	0	0	0	0	0	0	0	65	0
9	5	1.0	0	0	0	0	0	1	1	1	58
10	4	1.8	8	6	7	6	4	0	0	0	0

表2 汕头市海域水环境容量(COD_{Mn}) 计算结果/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$

排污口编号	排污口名	容量
E1	珠池	4353
E2	石炮台	6638
E3	广汕码头	16331
E4	西港口	3037
E5	煤码头	2931
E6	达濠镇	929
E7	广澳石化区	3165
E8	广澳码头	6154
E9	河浦工业区	6720

由容量计算结果可知, 排污口的允许排放负荷量主要是受到排污口所在网格水质控制点的环境标准制约, 因此未出现水环境功能区划中所划出的较大范围的三类海水稀释混合区. 西港口的允许排放量比汕头港北岸其它排污口的排放量小, 其原因是排污口所处的水动力条件较差, 污染物在西港口内不易被输送和扩散出去. 如果使西港口外形成一个如同功能区划所划定的稀释混合区, 那么西港口内的水质将大大超过三类海水环境标准.

图3所示是最大允许总排放负荷量条件下高潮和低潮时的浓度分布. 由图3可知, 虽然以一个潮周日平均为对象的容量计算结果可保证海域的平均浓度分布符合功能区划的要求, 但由于潮汐的变动, 一个潮汐中的部分时间仍有可能在局部地方出现超标现象. 在高潮时由于

潮水上溯,达濠镇的混合区上移了一小段距离,稍微超出指定范围.在低潮时,广澳石化区排污口附近混合区出现小范围(约 0.2km^2)超过三类海水标准现象;在珠池排放口,混合区移到拦沙堤以南的海域;在汕头港外的二类海水部分超出区划范围.应当指出,环境标准值本身是含有时间平均意义的,因而按潮汐平均求环境容量是合理的.只要在潮汐变动时的超标现象不严重,范围不大时,并不需另作处理.

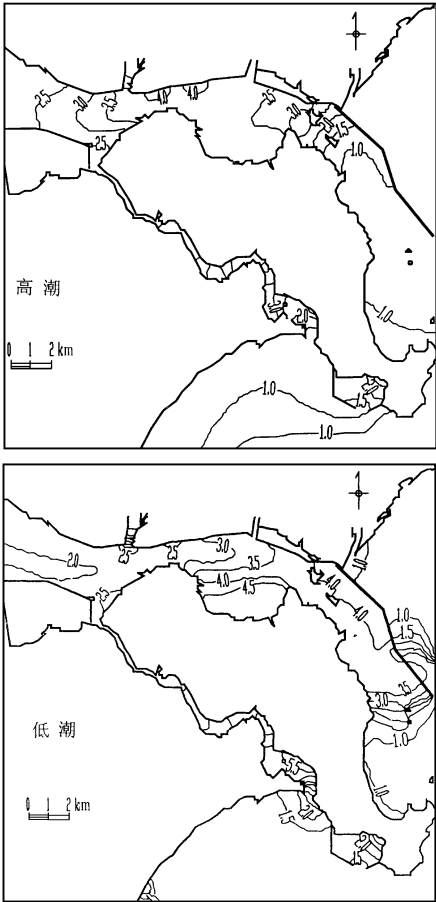


图3 允许总排放负荷量最大时的 COD_{Mn} 浓度分布

另一方面,如果要求解使水质在任何时刻都不超标的环境容量,这在技术上也是可以作得到的.在这种情况下,只要增加两组分别针对高潮和低潮这两种极端状况的水质约束条件式就可以达到目标.

3 结语

分区达标控制法来求解海域二维环境容量,是通过一组水质控制点精确标定各类水体的范围和水环境目标,运用二维潮流和水质扩散模型计算出各排污口对水质控制点的贡献度系数.将容量归结为求解线性规划问题,得出准确和合理的结果.本方法可应用于海域或感潮河流的二维环境容量的求解.汕头市海域环境容量求解实例研究表明,本方法得出的结果是合理和准确的.

参 考 文 献

- 1 Liebman J C and Lynn W R. The optimal allocation of stream dissolved oxygen. *Water Resources Research*, 1966, **2**(3): 581
- 2 Lohani B N and Thanh N C. Probabilistic water quality control policies. *Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, 1979, **104**(EE4): 713
- 3 Fujiwara O, Gnanendran S K and Ohgaki S. River quality management under stochastic streamflow. *Journal of the Environmental Engineering, ASCE*, 1986, **112**(2): 185
- 4 李适宇, 盛冈通. 考虑横向扩散和流量概率变化的取排水河流水质管理规划. 日本土木学会论文集, 1989, 第 405 号/ II -11: 235
- 5 Li S. A programming model for river quality management under transverse mixing. *Water Science and Technology*, 1992, **26**(7~8): 1823
- 6 李适宇. 累积流量模型在河流水质管理规划中的应用. *环境科学*, 1998, **19**(5): 96
- 7 陈新庚, 黄孝宜主编. 汕头经济特区环境保护规划研究. 北京: 海洋出版社, 1992. 45