

超标概率场在污水海洋处置工程浓度场分析中的应用

张健君 杨 宁 刘劲松

(深圳市市政工程设计院, 深圳 518028 E-mail: szszlion @ szptt. public. cn. cn)

摘要 以深圳市宝安污水海洋处置工程为背景, 针对目前国内外进行排放口近区研究存在的问题, 提出了一套解决这些问题的方法. 建立了一套详细的采用超标概率场、侵袭频率场分析时域法的计算结果的方法. 通过输入排放口丰、枯水期大、小潮的监测数据, 计算得出了这4种状况下, 排放污水产生的超标概率场和侵袭频率场, 并得出了相应的结论.

关键词 概率法, 时域法, 侵袭频率场, 超标概率场.

Application of Exceedance Probability Field in Concentration Field Analysis of Wastewater Marine Disposal Engineering

Zhang Jianjun Yang Ning Liu Jinsong

(Shenzhen Municipal Engineering Design Institute, Shenzhen 518028 E-mail: szszlion @ szptt. public. cn. cn)

Abstract In accordance with Bao'an wastewater marine disposal engineering, this paper focuses on the questions analysis existing in the near-field research in the world. The idea of probability was introduced and a detail analytical method was established: exceedance probability field and visiting frequency field were used to analyze the results of time domain method in probabilistic analysis. Survey data in spring, neap tide in wet and dry season were put into mathematical modeling. The exceedance probability field, visiting frequency field under the four conditions and the relative conclusions were obtained.

Keywords probabilistic analysis, time domain method, visiting frequency field, exceedance probability field.

在污水海洋处置工程中, 对输入数学模型进行模拟计算的数据和模拟计算所得到的结果, 不同的学者采用了不同的方法进行处理. 污水经由扩散器排入纳污水域后, 由于纳污水域各种参数的不断变化, 污水所获得的稀释度和污水的流向将是一个随机变量, 是不断变化的. 基于这种思想, 最近几年, 许多学者将概率的思想引入了污水海洋处置工程的近区模拟计算的结果分析. 目前, 常采用的概率分析方法主要有3种: 即时域法、Monte Carlo法和一级不确定性分析法. 这些概率方法被逐步用于分析计算污水排入海洋后的初始稀释度、混合区面积以

及排放的污水对排污口附近敏感功能区的侵袭状态. 笔者根据国内外的现有资料, 以深圳市宝安污水海洋处置工程为背景, 建立了一套详细的采用超标概率场和侵袭频率场分析时域法计算结果的方法.

1 超标概率场

排污口附近的污水浓度在时间和空间上持续变化, 主要是因为使污染羽流扩散迁移的环境流速的不停变化. 给出一系列模型参数的值,

包括海流的流速、流向、环境水体的水深和密度、出流污水流速和密度等等,使用选定的数学模型就能模拟计算出排放口附近的出流污水的浓度场.如果能获得某一时间序列的模型参数并连续输入数学模型进行计算,就能获得一系列的浓度场.这种方法被称之为时域法.

经过连续模拟计算所获得的浓度值,本文用超标概率场和侵袭频率场的方式来表示.

假定纳污海域的某一点,通过模拟计算得到的该点的浓度序列,是在某一段的时间段内,所有可能的浓度值的代表样本.则超标概率 $EP(c_s)$ 可定义为:

$$EP(c_s) = \frac{\bar{c} > c_s \text{ 累积的所有时间}}{\text{总的模拟时间}} = \frac{\sum \delta t_j}{T} \quad (1)$$

式中, $\bar{c}$ 为某一点的平均浓度(在某一平均时间段 T_a 内); c_s 为某一指定的浓度值; δt_j 为平均浓度大于 c_s 的时间段; T 为总的模拟计算时间(也即时间域的长度).

如果某一污染物的纳污水体水质标准 c_{wqs} 设为 c_s ,那么 $EP(c_{wqs})$ 就代表纳污海域某点超出水质标准的概率.

本研究以深圳市污水海洋处置工程为例,选取的监测海况数据时间为1996年丰、枯水期,所选用的浓度值为采用监测的时间序列中各模型参数代入模型计算所得到的浓度值.

如果将围绕排污口的面积划分为许多小网络,则可求出每一个网格点的 $EP(c_{wqs})$ 值,然后将 $EP(c_{wqs})$ 值相等的每个网格点连接起来,这样所得到的等值线称之为超标频率等值线,所得图形称之为超标频率场.

当超标频率场边缘的超标频率值满足所要求的污水浓度超标频率时,超标频率场的面积也可定义为混合区面积.这时的混合区面积取决于 $EP(c_{wqs})$ 等值线的形状,显然,其形状可能不是圆形.

2 侵袭频率场

将排污口附近的面积按1节所描述的方法,划分为许多小网格面积,将侵袭频率的概念定

义为:在排污口附近的某个网格点上,出流污水中某污染物的浓度超过某一特定值(一般指应满足的水质标准浓度 c_s) 的频率.要确定侵袭频率,必须确定排污口附近污水中不同污染物的浓度.要确定侵袭频率场,必须确定排污口附近污水中不同污染物浓度场.

排放污水对排污口附近某个网格点的侵袭频率,用下式表示:

$$VF(x, y) = \frac{\sum \Delta t_j}{T_s} \quad (2)$$

式中, $VF(x, y)$ 为网格上某点的侵袭频率; T_s 为可以描述污染羽流生存期的模拟时间;

$\sum \Delta t_j$ 为网格上某点的浓度值超过某一指定浓度 c_s 的累积时间.

从(2)式可知,为了求得侵袭频率,必须模拟计算出某一时间段 T_s 内,污水中污染物的浓度场.在每一个时间瞬间 $0 \leq t_j \leq T_s$, 浓度值采用选用的数学模型模拟计算得出,这样,可以得到在这个时间瞬间,所有网格点上的浓度值.根据侵袭频率的概念,如果点 (x, y) 的浓度值超过了 c_s ,就记录下这点 Δt_j 的值,否则就不记录这点.

侵袭频率场的计算与1节描述的计算超标概率场的方法特别近似.当知道了排污口附近污水中污染物的超标概率场,从超标概率等值线即可求出污染物对某处的侵袭频率.其实质就是本研究定义的排污口附近某处被污染物侵袭了一次之意,从这种意义上说,超标概率场和侵袭频率场从本质上是相同的.但是,当侵袭频率没有按本研究所采用的定义方法时,超标概率场和侵袭频率场就不一定相同了.在进行侵袭频率场的计算时,时间段 T_s 的选取十分重要.

3 时域法计算污水侵袭频率场的步骤

如图1所示,将排污口附近 $2000\text{m} \times 2000\text{m}$ 的面积划分为 $40\text{m} \times 40\text{m}$ 的网格.

图中定义了固定的 X 、 Y 坐标系统,其中 X 轴指向东方, Y 轴指向北方.同时针对水面的羽

流定义了运动的 $x、y$ 当地坐标系. 系统的转换关系为:

$$x = X \cos\alpha + Y \sin\alpha - S_b - x' \tag{3}$$

$$y = Y \cos\alpha - X \sin\alpha \tag{4}$$

其中, α 为环境流体流速与固定坐标 X 轴的夹角.

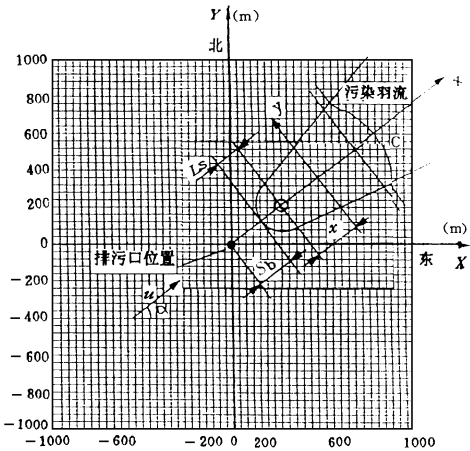


图1 排放口附近网格划分及坐标转换

具体的模拟过程可概括为:

- (1) 在选取的某一时间段 t 内, 针对开始的时间 $t = t_0$ 时, 从得到的模拟计算所需参数的时间序列中选取对应的参数: 如环境水流流速、流向、水深、温度、盐度分层情况等;
- (2) 将步骤1所选取的参数输入选定的数学模型进行模拟计算, 求出在 $t = t_0$ 时刻, 在动坐标系 $x、y$ 中, 排污口附近各网格点的污水中不同污染物的浓度值;
- (3) 利用(3)、(4) 2式坐标换算, 求出在 $t = t_0$ 时刻, 在固定的 $X、Y$ 坐标系统中, 排污口附近各网格点的污水中不同污染物的浓度值;
- (4) 将排污口附近各网格点的污水中不同污染物的浓度值, 与选取的纳污海域不同污染物的水质标准值 $CQWS$ 相比较, 记录在 $t = t_0$ 时, 网格点的浓度值是否超过水质标准.
- (5) 在 $t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 时刻, 分别时刻重复上述步骤1至步骤4的计算过程. 根据整个模拟时间段内的数据, 利用(1) 式进行计算, 既可得到在所选取的时间段内, 排污口附近每个网格点上的不同污染物的超标概率值 $EP(cs)$;

(6) 将排污口附近不同污染物的超标概率值 $EP(cs)$ 相同的网格点用光滑的曲线连接起来, 并尽可能使最外面的超标概率等值曲线所包围的面积达最大值. 这时所得到的图形就是超标概率等值线图 and 超标概率浓度场. 当确定了满足水质标准的超标概率值后, 该超标概率值的等值线所包围的面积就是采用概率的方法所计算的混合区面积.

4 计算结果

将深圳市宝安污水排海工程纳污海域的海流资料进行分析整理, 得到图2— 图5的海流流速、流向资料. 分为枯水期大、小潮, 丰水期大、小潮等4种情况. 得到图6—图9的计算结果.

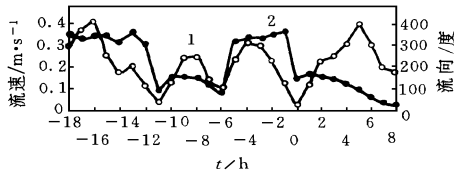


图2 枯水期大潮时排放口处潮流流速和流向
1. 流速 2. 流向

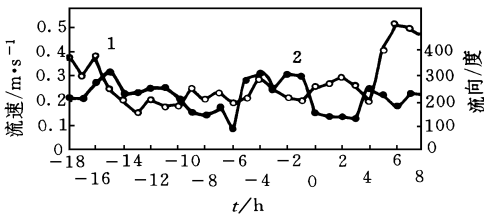


图3 丰水期大潮时排放口处潮流流速和流向
1. 流速 2. 流向

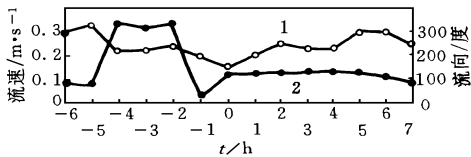


图4 枯水期小潮时排放口处潮流流速和流向
1. 流速 2. 流向

5 结果分析与讨论

从图6可见, 枯水期大潮时, 频率值大于

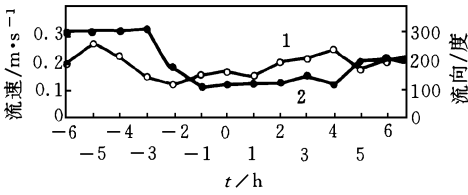


图5 丰水期小潮时排放口处潮流流速和流向
1. 流速 2. 流向

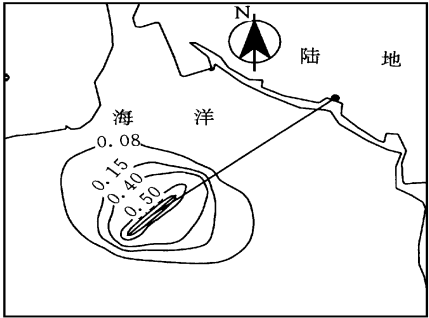


图9 丰水期小潮时的超标概率场及侵袭频率场

面积只有约 0.6km^2 , 频率值大于8%的超标频率曲线和侵袭频率曲线所包围的面积约 2.5km^2 , 频率值大于4%的超标频率曲线和侵袭频率曲线所包围的面积约 4.0km^2 , 最边沿的曲线上, 超标频率值和侵袭频率值只达0.5%; 从其形状来看, 曲线的长轴方向与出现频率较高的流速方向相一致.

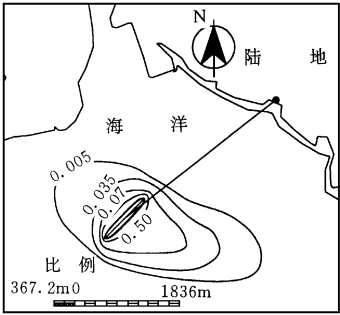


图6 枯水期大潮时的超标概率场及侵袭频率场

从图7可见, 枯水期小潮时, 由于不同的流速, 与枯水期大潮相同频率值曲线所包围的面积略小于枯水期大潮曲线所包围的面积; 由于流速方向的不同, 曲线的形状大小不同, 曲线伸展的方向基本与出现频率较高的流速方向相一致.

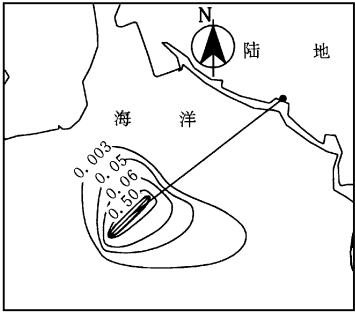


图7 枯水期小潮时的超标概率场及侵袭频率场

从图8可见, 丰水期大潮时, 由于环境水体的分层和密度的降低, 与枯水期相同频率值曲线所包围的面积远远大于枯水期时曲线所包围的面积, 曲线伸展的方向也基本与出现频率较高的流速方向相一致.

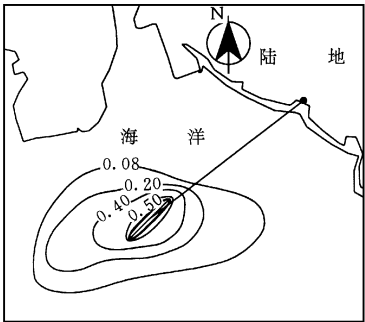


图8 丰水期大潮时的超标概率场及侵袭频率场

从图9可见, 丰水期小潮时与大潮时一样, 由于环境水体的分层和密度的降低, 与枯水期相同频率值曲线所包围的面积远远大于枯水期时曲线所包围的面积, 曲线伸展的方向也基本与出现频率较高的流速方向相一致.

从上述结果分析可以看出, 在枯水期时, 较小侵袭频率值曲线(也即超标概率值曲线)所包围的面积也较小; 在丰水期时, 较小侵袭频率值曲线(也即超标概率值曲线)所包围的面积较大, 远远超过 4.0km^2 .

50%的超标频率曲线和侵袭频率曲线所包围的

在本时域法进行分析的过程中, 由于数据

有限,仅考虑了纳污海域流速、流向的时间序列,建议在以后的分析中,同时考虑污水中污染物浓度随时间的变化序列和纳污海域其它参数随时间的变化序列,以更加准确地得到排放入纳污海域中的污染物随时间的变化序列.

采用时域法进行计算得到结果后,其评价标准也应是按概率思想确定的混合区边沿的规定超标概率频率值和侵袭频率值,建议在規定某处污水海洋处置工程的超标混合区面积时,也应同时规定超标混合区面积边沿处的超标频率值和侵袭频率值.

参 考 文 献

1 清华大学环境工程系. 废水排海工程规划与设计. 北京: 清华大学出版社, 1987: 1- 4

2 黄河宁. 污水排海工程导论. 大连: 大连理工大学出版社, 1990: 1- 5

3 张永良,李玉梁. 排污混合区分析计算指南. 北京: 海洋出版社, 1993: 1- 4

4 余常昭. 环境流体力学导论. 北京: 清华大学出版社, 1985: 10- 15

5 杨位钦,顾岚. 时间序列分析与动态数据建模. 北京: 北京

理工大学出版社, 1988: 2- 10

6 Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency. Dilution Models for Effluent Discharges (Third Edition). Washington DC: 1994: 65 - 95

7 Philip J W Roberts. Hydraulic Model Study for Boston Outfall. ASCE. Journal of Hydraulic Engineering, 1993, **119**(9): 219- 227

8 Jone R Proni, Hening Huang. Initial Dilution of Southeast Florida Ocean Outfalls. ASCE. Journal of Hydraulic Engineering, 1994, **120**(12): 408- 412

9 Hening Huang and Fajun Wang. Estimation of Visitation Frequency of Sea Outfall Plumes. Marine Pollution Bulletin, 1993, **26**(9): 507- 511

10 Joseph H W Lee and Albert Koenig. Probabilistic approach to initial dilution of ocean outfalls Discussion. Department of Civil & Structural Engineering, University of Hong Kong, 1996: 12- 26

11 Hening Huang et al. Probabilistic approach to initial dilution of ocean outfalls. water Environ. Res., 1994, **66**(3): 787- 793

12 Hening Huang et al. Probabilistic analysis of ocean outfall mixing zones. Journal of Environmental Engineering, 1996, **122**(5): 112- 131

(上接第46页)

参 考 文 献

1 傅家谟,盛国英. 环境有机地球化学初探. 地学前缘, 1996, **3**(1—2): 127—132

2 Shaw R W, Brill T B, Clifford A A et al. Supercritical water, A medium for chemistry, C & EN, 1991, **23**(12): 26_39

3 Helling R K and Tester J W. Oxidation of simple compounds and mixtures in supercritical water: Carbon monoxide, ammonia, and ethanol. Environmental Science & Technology, 1988, **22**: 1319_ 1324

4 Stoner Jr C E and Brill T B. Thermal decomposition of energetic materials 46: The formation of melamine like cyclic azines as a mechanism for ballistic modification of composite propellants by DCD, DAG, and DAF. Combustion and Flame, 1991, **83**: 302_ 308

5 Williams G R, Palopoli S F and Brill T B. Thermal decomposition of energetic materials 65: Conversion of insensitive explosives (NTO, ANTA) and related compounds to polymeric melon-like cyclic azine burn-rate suppressants. Combustion and Flame, 1994, **98**: 197_ 204

6 Stoner Jr C E, Haggerty B S et al. Thermal decomposition of energetic materials. 55: Metal complexes of Diaminoglyoxime as potential burn rate modifiers in composite propellants. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1992, **17**: 82_89

7 Grigull U, Staub J, Schiebener P. Steam Tables in SI-Units (3rd ed). New York: Springer-Verlag, 1990: 57

8 Kieke M L, Schoppelrei J W and Brill T B. Spectroscopy of hydrothermal reaction I: The CO₂-H₂O system and kinetics of urea decomposition in an FTIR spectroscopy flow reactor cell operable to 725 K and 335bar. J. Phys. Chem., 1996, **199**: 7463