

争鸣与探索

深圳市政污水排海工程排污混合区范围的确定

吴 航¹,王泽良²,黄 剑¹,赵 云²

(1. 深圳市环境保护监测站,广东 深圳 518001;2. 中国水利水电科学研究院,北京 100044)

摘要:应用全场数学模型模拟了深圳排海的市政污水中悬浮物、化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐及大肠菌群 5 个污染因子在海域大潮和小潮时对海域面积的影响。指出在不同水文条件和 23 m³/d 排放量下,不同质量浓度的活性磷酸盐和大肠菌群超过 Ⅲ类海水水质标准的影响面积在大潮时分别为 0.04 km² 和 7.72 km²,小潮时分别大于 0.08 km² 和 6.16 km²;无机氮由于海水本底值较高,使得这一指标在全海域内超过 Ⅲ类海水水质标准;而化学需氧量和总悬浮物质量浓度符合 Ⅲ类海水水质标准。通过将现场监测资料用数模计算,提出排海污水混合区面积为 1.5 km²。同时还引用部分国外的计算公式,对几种混合区允许范围进行了估算。

关键词:全场数学模型;市政污水;排海工程;排污混合区;深圳市

中图分类号:X505 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-2009(2002)06-0037-04

Determination of Pollutant Discharge Region's Area on Municipal Waste water Release to Sea Project of Shenzhen

WU Hang¹, WANG Ze-liang², HUANG Jian¹, ZHAO Yun²

(1. Shenzhen Environmental Monitoring Station, Shenzhen, Guangdong 518001, China;

2. Chinese Irrigation and Waterpower Science Institute, Beijing 100044, China)

Abstract: Mathematic model was used to simulate the impact of total suspended substance, COD, inorganic nitrogen, active phosphate and coliform group bacteria in Shenzhen's municipal wastewater released to sea when in spring tide and in low tide. Under difference hydrographic condition and emission currency of 23 m³/d, when concentration of active phosphate and coliform group bacteria were beyond Ⅲ, their influence area to sea were 0.04 km² and 7.72 km² when in spring tide, and were more than 0.08 km² and 6.16 km² when in low tide. For inorganic nitrogen, because the background value of sea water was high, so it is beyond Ⅲ sea water. For COD and total suspended substance, there had no effect. After computing using site monitoring data, the wastewater discharge region area was 1.5 km².

Key words: Site mathematical model; Municipal wastewater; Release to Sea Project; Pollution discharge area; Shenzhen

深圳市政污水排海工程通过截流污管,将福田区、南山区及沿途的市政污水输送至污水处理厂,经一级处理后用海底扩散器排放,排出的高浓度废水与海水快速混合、降解。但近年市政污水排放量逐年增大,1999 年日平均排污量为 13 万 m³/d,2000 年日均达 23 万 m³/d,近期预计排污量达到 30 万 m³/d 以上,而远期排污量将达到 75 万 m³/d。

由于污水排海对海域水环境的影响日益加重,为此深圳市环境保护监测站从 1999 年开始,多次对深圳市政污水排海进行水质监测,并将现场监测资料用数模计算,确立排污混合区范围,对评价市政污水排海给海域水环境造成的影响提供了科学依据。

1 理论计算

应用王泽良^[1]的全场数学模型计算数值。全场数学模型从流场各点不均匀的当地湍流输运系数出发,利用近代湍流模型封闭并求解雷诺时均方程组。全场数学模型采取模拟方式,模拟并了解悬浮物(SS)、化学需氧量(COD)、无机氮、活性磷酸盐及大肠菌群 5 个污染因子在海域大潮和小潮时对海域面积的影响。

1.1 全场数学模型

$$\text{连续方程: } \frac{\partial}{\partial t} (H) + \frac{\partial}{\partial x_i} (H \bar{V}_i) = 0 \quad (1)$$

收稿日期:2002-06-27;修订日期:2002-09-11

作者简介:吴航(1964—),男,山东济南人,工程师,硕士,从事环境监测工作。

运动方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (H \bar{V}_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (H \bar{V}_i \bar{V}_j) = -gH \frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{s}{i} - \frac{b}{i} + H \bar{f}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} [H(\bar{\mu} + \mu_t) (\frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j})] \quad (2)$$

湍动能方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (H \bar{k}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (H \bar{V}_i \bar{k}) = \frac{\partial}{\partial x_i} [H(\frac{\mu_e}{k} + D_{ij,k}) \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_i}] + H(G_k^0 + G_{kv} - \bar{\epsilon}) \quad (3)$$

深度平均湍动扩散量方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (H \bar{\epsilon}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (H \bar{V}_i \bar{\epsilon}) = \frac{\partial}{\partial x_i} [H(\frac{\mu_e}{k} + D_{ij,c}) \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial x_i}] + H[\frac{\bar{\epsilon}}{k} (c_1 G_k^0 - c_2 \bar{\epsilon}) + G_v] \quad (4)$$

深度平均物质输移方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (H \bar{C}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (H \bar{V}_j \bar{C}) = \frac{\partial}{\partial x_j} [H(\frac{\mu}{c} + \mu_t + D_{ij,T}) \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j}] + H(\bar{S}_o + \bar{S}_d + \bar{S}_p) \quad (5)$$

其中:

$G_k^0 = \bar{\mu}_t (\frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_i}) \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j}$ ——系数 $\frac{g + C_z^2 K^2}{C_z^2 K^2}$;
 $G_{kv} = c_k \frac{\bar{U}^3}{H}$ K ——卡门常数;
 $G_v = c \frac{\bar{U}^4}{H^2}, \bar{U} = \sqrt{c_f (\bar{U}^2 + \bar{V}^2)}$ C_z ——谢才系数, $C_z = \frac{1}{n} \times H^{\frac{1}{6}}$,
 $c = 3.6 \frac{c_2}{c_f^{3/4}} \sqrt{c_\mu}, c_f = \frac{g}{C_z^2}, \mu_t = C_\mu \bar{k}^2$ \bar{S}_o ——源汇项;
 \bar{S}_d ——一级降解项;
 \bar{S}_p ——污染物沉降作用项。
 全场模型中通用常数如表 1。

式中:

- x, y ——垂直、水平坐标轴;
- t ——时间, s;
- $\frac{s}{i}$ ——垂直方向上的阻力, N;
- $\frac{b}{i}$ ——水平方向上的阻力, N;
- 水位, m;
- \bar{f} ——柯氏力, N;
- $D_{ij,c}$ ——计算参数;
- $D_{ij,k}$ ——计算参数;
- $D_{ij,T}$ ——计算参数;
- \bar{U}, \bar{V} ——相应 x, y 方向的水深平均流速, m/s;
- \bar{C} ——平均质量浓度, mg/L;
- $\bar{k}, \bar{\epsilon}$ ——水深平均的湍动能及湍动能耗散率;
- g ——重力加速度, m/s²;
- H ——水深, m;
- n ——曼宁系数为 0.015;
- μ ——运动粘性系数;
- 水密度, kg/cm³;

表 1 湍流模型通用常数

c_1	c_2	C_μ	k	c
1.44	1.92	0.09	1.0	0.9

初始条件:

在 $t = 0$ 时, 令全水域处于静止状态, 水位为常数, 即:

$$\bar{U}(x, y, t)_{t=0} = 0, \quad \bar{V}(x, y, t)_{t=0} = 0$$

$\bar{C} = C_0, C_0$ 为海域某污染物的本底质量浓度。

边界条件:

计算海域开边界给定水位边界条件。

$\bar{k}, \bar{\epsilon}, \bar{C}$ 在边界处通过经验公式给值。

固壁边界处采用无滑移边界条件, $\bar{k}, \bar{\epsilon}$ 采用固壁函数计算。

1.2 计算条件

该计算区域共存在 3 个开边界。全域数值计算网格点共计 17 516 个 (116 × 151), 采用正方形网格, 空间步长为 200 m × 200 m。参考稳定条件选取时间步长为 20 s。5 种污染因子的出流浓度、衰减系数和 类海水水质标准 (GB 3097 - 1997) 见表 2。



表 2 5 种污染因子的出流浓度、衰减系数和类海水水质标准

类别	出流浓度 / (mg L ⁻¹)	衰减系数 / d ⁻¹	海水水质标准 / (mg L ⁻¹)
SS	136		100
COD	36.6	0.04	4
活性磷酸盐	2.84	0.035	0.030
无机氮	27	0.01	0.40
大肠菌群	1 × 10 ⁸	24	10 000

大肠菌群单位 :L⁻¹; SS 按保守物质计算。

2 混合区范围的确定

2.1 主要污染因子的影响范围

在不同水文条件和 23 m³/d 排放量下,计算排海污水中 5 种污染因子的质量浓度。表 3 ~ 表 6 分别为排海污水中 5 种不同质量浓度的污染因子对海域面积影响的统计值;表 7 为不同体积分子数的大肠菌群对海域面积影响的统计值。

表 3 不同质量浓度化学需氧量对海域面积的影响

质量浓度 / (mg L ⁻¹)	1.25 ~ 1.3	1.30 ~ 1.35	1.35 ~ 1.45	1.45 ~ 2.50
小潮	53.68	16.08	3.44	0.28
大潮	18.20	1.16	0.16	0.12

注:排放浓度为 36.6 mg/L;背景浓度为 1.2 mg/L。

表 4 不同质量浓度无机氮对海域面积的影响

质量浓度 / (mg L ⁻¹)	1.02 ~ 1.05	1.05 ~ 1.10	1.10 ~ 1.15	1.15 ~ 2.03
小潮	60.68	48.68	5.76	0.56
大潮	50.56	8.64	0.16	0.12

注:排放浓度为 27.0 mg/L;背景浓度为 1.0 mg/L。

表 5 不同质量浓度活性磷酸盐对海域面积的影响

质量浓度 / (mg L ⁻¹)	0.010 ~ 0.015	0.015 ~ 0.030	0.030 ~ 0.040	0.040 ~ 0.110
小潮	8.36	0.96	0.04	0.04
大潮	0.16	0.08	0.04	0.00

注:排放浓度为 2.84 mg/L;背景密度为 1 × 10⁻⁵mg/L。

表 6 不同质量浓度总悬浮物对海域面积的影响

质量浓度 / (mg L ⁻¹)	20.40 ~ 20.50	20.50 ~ 20.60	20.60 ~ 21.00	21.00 ~ 24.60
小潮	6.92	2.20	1.04	0.20
大潮	0.08	0.16	0.04	0.08

注:排放浓度为 100 mg/L;背景浓度为 20.0 mg/L。

表 7 不同体积分子数的大肠菌群对海域面积的影响

体积分子数 n/L ⁻¹	2.0 × 10 ³ ~ 5.0 × 10 ³	5.0 × 10 ³ ~ 1.0 × 10 ⁴	1.0 × 10 ⁴ ~ 1.0 × 10 ⁵	1.0 × 10 ⁵ ~ 3.2 × 10 ⁶
小潮	6.28	3.40	5.64	0.52
大潮	9.44	4.96	7.28	0.44

注:排放大肠菌群的体积分子数为 1.0 × 10⁸ L⁻¹,大肠菌群的背景体积分子数为 20 L⁻¹。

由表 1 ~ 表 7 见,不同质量浓度的污染物和不同体积分子数的大肠菌群对海域面积的影响程度,在目前排放量情况下,化学需氧量和总悬浮物的质量浓度符合 类海水水质标准;活性磷酸盐在小潮

时超过 类海水水质标准的影响面积大于 0.08 km²,大潮时为 0.04 km²;无机氮由于海水本底值较高,使得这一指标在全海域内超过 类海水水质标准;大肠菌群超过 类海水水质标准的面积在小

潮时达到 6.16 km², 而大潮时达到 7.72 km²。

2.2 几种混合区允许范围的估算^[1,2]

混合区允许范围目前还缺乏可以广泛应用的一般性的定量数据。混合区允许范围的确定, 涉及水环境的功能区划、水流条件、生物状况及排污条件等诸多复杂因素, 其中有不少还难以定量描述。因此, 混合区允许范围除了通过数值模拟计算, 确定污染因子的影响范围, 还要依据具体情况进行专门的研究才能确定。下面引用部分国外的计算公式作为初步设计的分析计算参考^[3,4]。

(1) Fetterolf 公式

$$M \leq 9.78 Q^{\frac{1}{3}}$$

式中: M ——离排放点任何方向混合区的距离, m;

Q ——污水排放量, m³/d。

表 8 为根据上式计算的 3 种排污混合区允许范围估算值方案。

表 8 Fetterolf 公式计算的排污混合区允许范围估算值

方案	排放量 $Q / (\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	混合区长度 l / m
1	23	599
2	35	689
3	75	889

(2) Mackenthum 公式

$$M \leq 0.991 Q^{\frac{1}{2}} \quad M < 1\,200 \text{ m}$$

表 9 为根据上式计算的 3 种排污混合区允许范围估算值方案。

表 9 Mackenthum 公式计算的排污混合区允许范围估算值

方案	排放量 $Q / (\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	混合区长度 l / m
1	23	475
2	35	586
3	75	858

(3) 新田公式

$$\log(y) = 1.226 \log(x) + 0.0855$$

式中: y ——污染物质量浓度需稀释 100 倍的混合区面积, km²;

x ——污水排放量, m³/d。

表 10 为根据上式计算的 3 种排污混合区允许范围估算值方案。

表 10 新田公式计算的排污混合区允许范围估算值

方案	排放量 $Q / (\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	混合区面积 A / km^2
1	23	4.6
2	35	7.6
3	75	19.4

(4) 供参考的技术数据

关于排污混合区的允许范围, 我国和国外一样, 至今还没有统一的标准, 因此, 提供参考的技术数据如下:

(1) 湖泊海湾内可存在不大于总面积为 1 km² ~ 3 km² 的混合区;

(2) 排往开敞海域和面积大于 600 km² 以及广阔河口的混合区允许范围 $A < 3 \text{ km}^2$; 排往面积小于 600 km² 海湾的混合区允许范围 $A < \frac{A_0}{200}$ (km²)。

式中: A_0 ——受纳水域面积, km²。

2.3 混合区范围的确定

排污混合区一般是指污水排放口附近不满足受纳水体功能所要求的水质标准的空间区域, 即环境管理中认可的污水排放口附近的允许超标区。实际上排污混合区可以认为是达到环境管理规定的稀释度所需要的空间。因此结合该海域特点, 参考数模计算结果, 提出该海域的排污混合区范围为 1.5 km²。需要说明的是, 由于混合区范围的确定要与海洋的功能区划相联系, 要确切规定混合区的范围还需对放流管附近海域的功能区划给出功能目标, 才可真正确定这一范围。

通过全场数学模型计算结果可知, 在目前排放量情况下, 化学需氧量和总悬浮物的质量浓度符合类海水水质标准; 无机氮、大肠菌群在给定的混合区范围内的质量浓度和体积分子数都超过类海水水质标准; 无机氮超标的原因是因为海域内无机氮的本底值很高造成的。

[参考文献]

[1] 王泽良. 近海水域火/核电工程水环境数学模型及管理信息系统应用研究[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2000.
 [2] 张永良, 李玉梁. 排污混合区分析计算指南[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
 [3] 张书农. 环境水力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988.
 [4] 清华大学水力教研组译. 内陆及近海水域的组合[M]. 北京: 水电出版社, 1987.