

东江下游及三角洲水质环境流量分析计算

李杰 广州市珠江水利科学研究院, 510611.

水质环境流量是满足水利规划、城市规划设计、管理中有关的环境用水要求的指标水量；是环境规划的主要约束条件，也是污染物总量控制的关键技术支持。通过对东江下游及东江三角洲水质环境容量的计算，旨在为保护东江水质提供依据，同时探求水质环境流量的计算方法。

1、概况

东江下游主要是博罗站至石龙水文站河段，东江三角洲以石龙为顶点，由南或西南的支流走向组成辐射状网河区，河网密度为 0.6 km/km^2 ，属珠江三角洲中河网密度最大的区域。东江下游及东江三角洲为平原感潮河网区，在潮流顶托作用下，河网中上部受污水体易形成污水团，在河道中来回漂荡，不能及时得到稀释和净化，并会随潮扩散到其它河道，甚至整个河网区。东江下游及东江三角洲排污量大，用水量大，水质污染严重，东江三角洲水环境亟待改善，东江下游及东江三角洲河道形势和排污口分布见图 1。

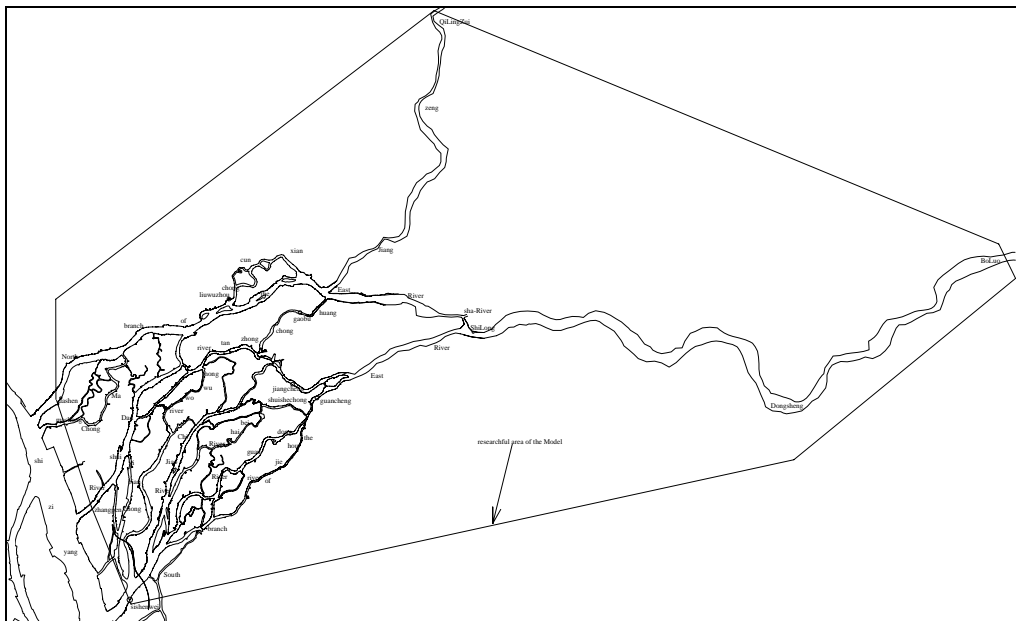


图 1 东江下游及东江三角洲河道形势及排污口分布示意图

2、水环境现状及评价

2.1 控制断面水质现状及评价

2004 年石马河污水引入东引运河后，有关部门对东江下游及东江三角洲控制断面进行了 3 次水质监测，根据监测结果和《国家地表水环境质量标准》(GB3838-2002)，采用单因子指数法进行评价，评价因子有 COD_{Cr} 、氨氮、DO、 BOD_5 ，评价结果为：东深断面 3 次均为 III 类水质；石龙 1 次 III 类水质，2 次 IV 类水质；刘屋洲 2 次 IV 类水质，1 次 V 类水质；高

埗 1 次IV类水质，2 次V类水质；江城 3 次V类水质；莞城 3 次V类水质。东江干流东深以上河段基本能达到III类水质，东江三角洲河段全年基本在V类甚至劣V类水质，水质状况最差出现在高潮时段。

2.2 排污口污染现状

东江下游及东江三角洲的主要排污情况见表 1，从排污总量上说，东莞水道最大，东江北干流第二，厚街水道第三；从排污密度上说（指每公里河长排污总量），东莞水道最大，平均每公里河长污水量为 2092.98 万m³/a；其次是厚街水道，平均每公里河长污水量为 781.77 万m³/a；再次之是东江北干流，平均每公里河长污水量为 330.43 万m³/a。另外，中堂水道、东江南支流的排污密度也较大。西福河、沙河作为上游地区排污水道，其污水主要排入东江北干流，其排污总量对东江北干流及三角洲水环境有一定的影响。

表 1 东江下游及东江三角洲河道主要排污情况调查表

| 河段 | 污水总量(万m ³ /a) | COD(t/a) | 氨氮(t/a) |
|-------|--------------------------|----------|---------|
| 增江 | 2309 | 2237.2 | 169.4 |
| 西福河 | 3282 | 3611.9 | 160.3 |
| 沙河 | 7 | 16.3 | 1.7 |
| 东江干流 | 1010 | 1556.7 | 166.9 |
| 东江南支流 | 2194 | 1814.7 | 311.2 |
| 东江北干流 | 10583 | 56364.5 | 1704.0 |
| 东莞水道 | 26581 | 55985.6 | 4200.4 |
| 厚街水道 | 9373 | 27451.6 | 1551.4 |
| 中堂水道 | 5280 | 7499.9 | 367 |
| 麻涌水道 | 2868 | 1405.2 | 154.2 |
| 洪屋涡 | 903 | 1255.2 | 31.0 |
| 倒运海水道 | 1203 | 2489.6 | 59.5 |

3、水质环境容量计算

3.1 水质模型的选择

采用丹麦 DHI 公司的 Mike11 水质模型计算水质环境容量。Mike11 水质模型描述一维非恒定流是基于垂向积分的物质和动量守恒方程，即圣维南方程组，方程离散利用 Abbott 六点隐式格式，离散后的线性方程组用追赶法求解。

MIKE11 中描述物质在水体中对流扩散的一维方程为：

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_2q$$

式中：C是浓度，D是离散系数，A是断面面积，K是线性衰减系数，C₂是源/汇浓度，q是横向入流，x是空间坐标，t是时间坐标。对流扩散方程采用中心和空间的隐式差分格式。

水质过程与对流扩散过程耦合计算的过程如下：

- ①由对流扩散模块计算第 $n+1$ 时间步的某一水质组分的浓度 $C_{n+1,AD}$ ；
- ②计算由对流扩散引起的浓度梯度 $LC_{n+1,AD}=(C_{n+1,AD}-C_{n,AD})L_t$ ；
- ③由水质模块计算第 $n+1$ 时间步的该水质组分的浓度 $C_{n+1,WQ}$ ；
- ④计算由水质过程引起的浓度梯度 $LC_{n+1,WQ}=C_{n+1,WQ}-C_{n,WQ}/L_t$ ；
- ⑤计算总的浓度梯度 $LC_{n+1,WQ}=LC_{n+1,WQ}+LC_{n+1,AD}$ ；
- ⑥对步骤⑤的计算结果采用 5 阶龙格—库塔方法进行积分求解，即可得到该时间步的物质浓度。

3.2 水质模型研究范围

MIKE11 模型研究主要包括东江三角洲，上边界取在博罗、麒麟咀，下边界取在大盛、麻涌、漳澎和泗盛围，见图 1。模型共模拟 34 条河段，模拟河长 42.5km，共布设 545 个断面。

3.3 水质参数的率定

水质模型主要需要确定的参数是COD降解系数、BOD降解系数、氨氮降解系数。水质模型的率定是利用 1996 年和 1997 年枯季和洪季东江流域的实测BOD、COD、氨氮数据进行。根据率定结果COD降解系数取 $0.1d^{-1}$ ，氨BOD降解系数取 $0.15d^{-1}$ ，氨氮降解系数取 $0.15d^{-1}$ 。

3.4 水质模型验证

水质模型的验证主要采用 2001 年 2 月枯季和 2004 年东江三角洲 3 次水质监测资料进行。模型验证成果见图 2 和表 2。从图、表可见模型计算水质过程线与实测过程线基本吻合，计算成果与实测值相近，总体上模型计算成果可以反映东江三角洲的水环境状况。

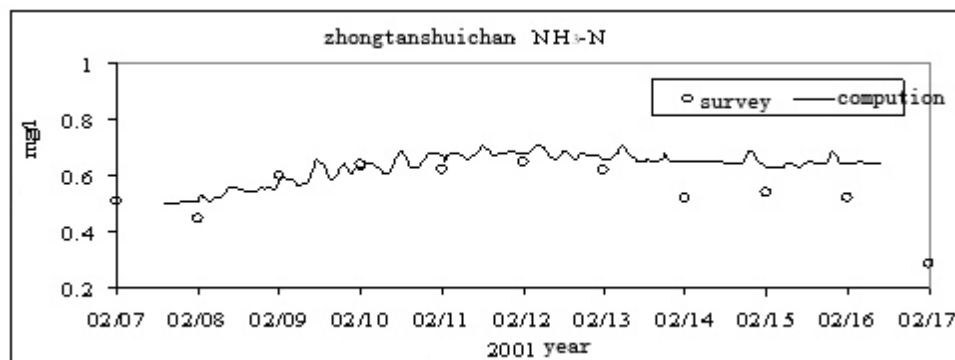


图 2 水质模型验证过程图

表 2 水质模型验证结果表

单位：mg / L

| 序号 | 断面 | DO | | BOD | | N | |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | 实测 | 计算值 | 实测 | 计算值 | 实测 | 计算值 |
| 1 | 东深 | 6.14 | 6.23 | 1.83 | 1.73 | 1.11 | 1.27 |
| 2 | 石龙 | 4.33 | 3.93 | 2.13 | 1.85 | 1.42 | 1.42 |
| 3 | 刘屋洲 | 4.07 | 3.85 | 3.74 | 3.52 | 1.69 | 1.52 |
| 4 | 高埗 | 3.15 | 3.32 | 3.9 | 3.85 | 2.1 | 2.35 |
| 5 | 江城 | 4.58 | 4.25 | 2.24 | 1.98 | 1.68 | 1.56 |
| 6 | 莞城 | 3.75 | 4.01 | 4.04 | 3.84 | 2.15 | 1.94 |

3.5 设计水文条件

对环境流量的分析，是假定在工程前博罗站的水质为Ⅲ类水，点源污染按现状排放，上边界博罗的不同流量级与下边界 2001 年 2 月 7 日~2001 年 2 月 16 日的枯季实测大潮位过程进行组合计算。统计博罗不同的流量下各断面的达标情况（指所有指标均等于或优于Ⅲ类水），断面达标的最小流量即为该断面达标所需博罗站的环境流量。本模型中不考虑面源污染量。

4、水环境容量计算分析

根据确定的计算模型和各种参数，计算出河段的水质环境流量，在东深、石龙、刘屋洲、高埗、江城、莞城等断面达到Ⅲ类水时，博罗站所需的水质环境流量分别为： $140\text{m}^3/\text{s}$ 、 $185\text{m}^3/\text{s}$ 、 $200\text{m}^3/\text{s}$ 、 $230\text{m}^3/\text{s}$ 、 $330\text{m}^3/\text{s}$ 、 $400\text{m}^3/\text{s}$ 。

博罗站供水保证率为 97% 的流量为 $233\text{m}^3/\text{s}$ ，在该流量下东江南支流大部分水厂的取水口达不到Ⅲ类水，由于东引运河的排污对南支流水环境影响剧烈，特别是对厚街水道及邻近水道的影响。因此要缓解东江三角洲目前日趋严峻的水资源形势，需对污染源的治理加大力度，才能将环境流量解放出来，提高东江三角洲枯水年份的可供水量。但是治污是个长期和复杂的过程，在短期内要解决当前的供水要求，需要通过一定的应急措施来缓解水污染带来的压力。