

文章编号: 0559-9350 (2004) 01-0090-05

水质模型与地理信息系统的集成研究

张行南¹, 耿庆斋¹, 逢勇²

(1. 河海大学 水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 水质模型是水体污染物迁移转化模拟的主要工具, 在水环境保护、水污染防治等领域得到了广泛的应用。本文在地理信息系统平台上, 利用其强大的空间数据分析能力, 研制了水质模拟软件系统。系统包括了水质模型输入数据的处理, 实时模型计算, 及模拟结果的可视化输出。该系统缩短了模型建模周期, 提高了模型运行的效率。系统界面及模拟结果的表达美观, 操作方便。该系统在江苏省水环境容量信息管理系统的应用中取得了较好效果。

关键词: 水质模型; 地理信息系统; 有限元; Active X 控件

中图分类号: XS22; TP75

文献标识码: A

中国面临着 3 个严重的水问题: 水体污染、水资源短缺、洪涝灾害。尤其是水体污染导致了水环境质量的急剧下降, 因此水体污染是一个亟待解决的问题。水质模型是研究和解决水体污染的一种常用方式, 自从 1925 年, 由美国的 Streeter 和 Phelps 导出 S-P 模型以来, 水质模型在水环境模拟中扮演着非常重要的角色, 且应用越来越广泛, 为水质管理部门提供了决策依据。水质模型的模拟对象是水域, 具有空间分布特征。故模型输入数据处理和模拟结果的表达是重要的组成部分。为了提高水质模型的预测、模拟能力及易用性, 出现了水质模型与地理信息系统 (GIS) 技术集成的趋势^[1]。

目前, GIS 已广泛用于资源管理、环境监测、环境评价、灾害评估、区域环境规划等众多领域, 已成为国内外环境管理的有效决策支持工具。随着 20 世纪 90 年代兴起的控件技术的发展, 利用组件式 GIS 和可视化开发语言 VC++、VB、Delphi 等可以开发专业应用系统^[2]。本文以江苏省水环境容量研究为例, 探讨 GIS 在水质模型中的应用。

1 水质模型

1.1 水质模型简介 水质模型是污染物在水环境中变化规律及其影响因素之间相互关系的数学描述^[3]。自从 S-P 模型诞生以来, 相继出现了 Thomas、Dobbins-Camp、O'Connor、Neckat、SIMUCEV、Qual、WASP、Basins、SMS 等模型。这些模型从根本上讲, 都是应用对流扩散方程, 在此基础上进行各种修正, 在解法上多采用有限差分法或有限元法。

1.2 水质模型应用中存在的问题 水质模型在基础研究和应用研究两个方面都获得了很大发展, 尤其是 70 年代中期以后, 提出了多变量的综合性水质模型, 它们采用一系列微分方程, 更为细致地描述污染物在水体中的迁移和转化。但应用中还存在以下几个问题: (1) 模型前期工作量大, 模型建设周期长; (2) 水质模型参数众多, 结构复杂, 模型检验和参数灵敏度分析工作量大; (3) 受主观因素影响, 人为误差较大; (4) 后期模拟结果表达形式和效果不够清晰和直观。

1.3 水质模型的建立 本文分别对一维水质模型和二维非稳态水质模型在 GIS 平台上的集成进行了

收稿日期: 2003-04-24

作者简介: 张行南 (1960-), 男, 江苏人, 教授, 博士, 主要从事水文水资源地理信息系统和遥感方面的研究。

研究。一维水质模型是水质模型中相对简单的一种，适用于河流流速 v 较小的小型河道，岸边排放的污染物能在较短的时间内达到对岸，且能与河流均匀混合。其微分方程式如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = - KC \quad (1)$$

方程 (1) 的解为

$$C = \frac{Q_P C_P + Q_E C_E}{Q_P + Q_E} \exp \frac{-KX}{86400U} \quad (2)$$

式中： C 为排污口下游污染物浓度 (mg/L)； X 为输移距离 (m)； U 为河流平均流速 (m/s)； K 为污染物综合衰减系数 (1/d)； Q_P 、 C_P 为上游来水设计水量与水质浓度 (m^3/s , mg/L)； Q_E 、 C_E 为排污口废水排放量与污染物排放浓度 (m^3/s , mg/L)。

二维非稳态水质模型可用于河流（如长江）、湖泊的水质预测、混合带计算等。其基本方程表达式如下：

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(uHC)}{\partial x} + \frac{\partial(vHC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} E_x H \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} E_y H \frac{\partial C}{\partial y} + SH \quad (3)$$

式中： C 为浓度值 (mg/L)； H 为平均水深 (m)； u 、 v 分别为 x 向和 y 向的水流速度 (m/s)； E_x 、 E_y 分别为 x 向和 y 向的紊动扩散系数； S 为污染物的源汇。

2 基于 GIS 平台的数据处理

2.1 基础数据的采集 在建模之前，首先进行基础数据的采集，建立 GIS 数据库。GIS 数据包括空间特征数据和属性特征数据两部分^[4]，其中空间特征数据包括地形图和污染源、水质监测站、水功能区等专题图，负责研究区内的空间坐标数据的管理；属性特征数据主要包括污染物汇总数据、水质监测数据、水环境标准数据、水功能区数据等，负责所对应空间位置的属性数据的管理。

2.2 一维河流的概化 为了便于一维水质模型的离散和数值计算以及模型计算结果的可视化显示，需要对计算河流进行概化。首先确定步长，步长的选取需根据河流的形状、排污口的数量、精度要求以及计算速度来确定，经多次测试认为步长取 50~100m 可满足要求。步长确定后，沿河流方向把河流概化成连续的若干小分段，并且每段赋一个编号，便于以后与模型计算结果建立一一对应关系。

2.3 二维水域的网格化 对于大河流（如长江）和湖泊水库等大水体，必须将所研究区域网格化，本文利用有限元方法进行网格划分，将研究区域生成具有矢量结构及拓扑关系的多边形图。有限元网格划分时综合考虑了网格点布置均匀、每个单元各对边长度尽可能相等、单元尽可能接近平行四边形。图 1 为长江江苏某段研究区域形成的四边形网格。

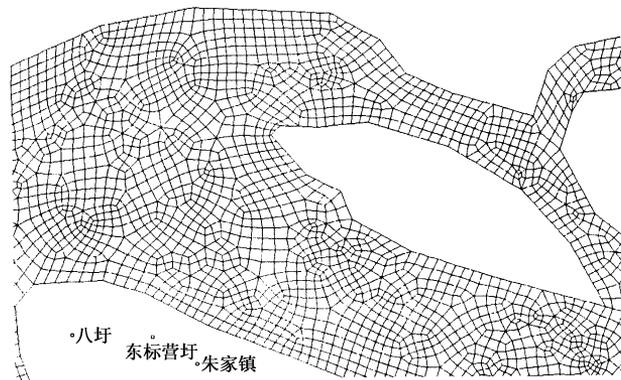


图 1 长江某段具有拓扑关系的四边形网格

3 水质模型模拟结果显示

3.1 基于 GIS 的实现方法 GIS 是一项以计算机为基础的新兴技术，根据地理空间数据的不同类型，

有 3 种空间数据模型可以描述现实世界，即基于对象（要素）的模型、网络模型以及场模型^[4]。水质模型可以被看作为场模型，GIS 应用于水质模型之中，以其所特有的空间数据分析和图形输出功能，使水质模型的应用达到以前难以实现的效果。

3.2 模拟结果的可视化表示 应用一维水质模型，输入河流平均流速、上游来水水质浓度、污染物排放浓度、衰减系数等参数值，模拟计算出下游河段各分段的浓度值，并通过编号把浓度值赋予各分段，根据污染物浓度值的大小以颜色的深浅显示（浓度越高颜色越深），以江苏省苏北某供水河流为例（如图 2）。



图 2 江苏省苏北某供水河流 COD 浓度变化

在江苏省水环境容量研究中，对于水力条件复杂多变、排污范围大的水体（如长江、太湖、洪泽湖等），采用二维非稳态水质模型。水质模型使用有限元法求解，但是可能会出现数字弥散和波动现象，本文采用特征有限元法，有效地解决了求解对流为主的溶质运移方程时无法克服的浓度值出现负值和数值波动问题，从而提高了数值预报的精度。模拟计算结果所得出的浓度场属于栅格数据，将其矢量化后得到按深浅颜色填充的浓度场分布图，如图 3 所示。

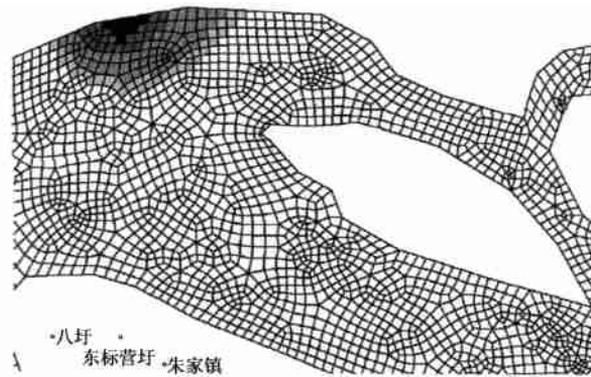


图 3 某河段 COD 扩散浓度分布场

3.3 模拟结果的查询 模拟水质浓度（栅格数据）除可利用上述的网格时空分布表示外，还可利用 GIS 中的栅格数据的代数和逻辑运算功能以及图层叠加功能，推求所关注的各个区域进行时间、空间（垂向和水平）方向的平均浓度值，并输入矢量图形相应数据库，GIS 系统将数据库与地图通过地物属性一一对应，生成具有属性数据的图形系统。这样就可以通过查询空间信息而调出其对应的属性信息，从而达到查询的目的。并判断其水质是否满足其功能区相应要求，从而对现有及将来的污染源进行监控，为决策者提供决策依据。

3.4 监测数据的显示 地理信息系统的图层显示与传统地图的明显区别之一就是它可以分层显示地图^[4]，把各层相互叠加就形成一幅完整的地图。在浓度场分布图中把水质监测站图层叠加上去，然后选择某水质站，可以绘制该站对应的监测数据的主要项目的时间序列变化图（见图 4）。

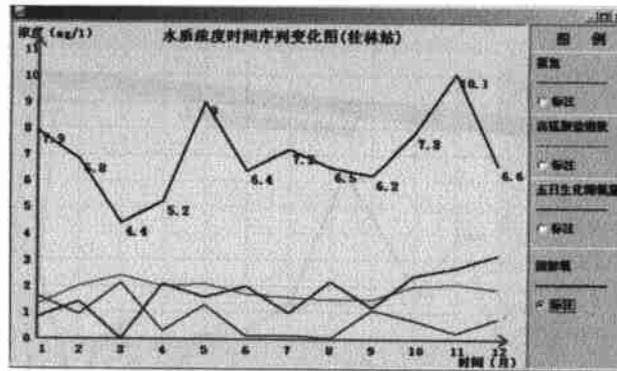


图 4 监测数据主要项目时间序列变化

4 信息管理系统集成

4.1 集成形式 地理信息系统集成可以分为 2 个层次，一个是地理信息之间相互关系的概念层次集成，侧重于地理信息的空间分析；另一个是不同数据和模型之间组织和管理的层次集成。本文所指的地理信息系统集成主要指后者意义上的集成。按照集成程度的不同一般可分为 3 种形式：独立集成、紧密耦合和完全集成^[5,6]。本文采用了紧密耦合的集成形式。紧密耦合需要一定的编程工作，不需要太多的软件开发工作，使用起来也比较方便，而且可以设计一个漂亮的用户界面。

4.2 系统设计目标 为了便于水环境相关部门快速、有效的处理和管理大量的水环境信息，进行水质影响评价，提供水环境管理决策依据，本文设计了江苏省水环境容量管理系统。本系统利用高级可视化开发语言 Visual Basic 及 ActiveX 控件 (MapObjects)，实现了水质模型与水环境容量信息管理系统的集成^[7]。

4.3 系统功能 本系统采用电子地图进行基础信息管理，进行水环境数据信息的查询检索、统计、分析评价以及分析结果的图表化处理与输出，水质趋势分析和水质模型运算结果在电子地图上的模拟显示。其功能模块包括数据信息集中管理和共享，方便快捷的空间查询、属性查询和条件查询，集成化的文档、图片、影像管理，浓度场、流场的模拟显示，丰富的输出与打印功能等。

4.4 系统的应用 以往的环境管理决策信息主要以手工收集、处理为主，即使使用计算机技术，也都是基于建立数据库的信息系统。本系统实现了空间数据管理和分析，通过分析信息的空间分布，实现对空间信息及其它信息的管理，使大量抽象、枯燥的数据变得生动、直观和易于理解。

采用一维、二维水质模拟，计算全省各河流、湖泊的水环境容量，并可进行各种查询。为排污口位置的合理布置、排污量的控制、水质预测、污染治理和水资源利用提供管理和决策依据。该系统的应用，不仅提高了水环境监测信息的准确性和时效性，能够客观、准确、及时地反映水环境、水资源质量状况，而且使水资源保护与管理水平提高到了一个新的水平。

4.5 GIS 应用于水质模型中的优越性 水质模型与 GIS 耦合的优越性表现在以下几方面：(1) 利用数字化仪及 GIS 将研究区域数字化，并进行概化以及网格化，使得模型的前期工作大大减少，人为误差减小，精度提高；(2) 利用 GIS 的栅格矢量化功能可以生成高质量的填充颜色的浓度分布图；(3) GIS 的空间数据处理功能可以进行实时浓度、时间和空间的平均浓度的计算并显示、输出，查询模块可以对结果进行访问和查询。这样为决策部门进行区域污染监控、管理提供有效方便的科学手段；(4) 利用可视化开发语言开发的系统使得模型的结果更直观、明确；(5) 结合计算机技术实现了数据信息集中管理和共享。

5 结论

在 GIS 平台上建立水质模拟软件系统，将水质模型与 GIS 完全集成，大大提高了水质模型应用的

效率。应用可视化开发语言开发的系统具有友好的界面及人机交互的功能，真正成为大众一体化的工具。系统操作简便，降低了使用水质模型对专业知识的要求，便于水质模型的推广与应用。本文研制的软件系统在江苏省水环境容量信息管理系统的应用中，取得了较好的效果。

参 考 文 献：

- [1] 马蔚纯, 张超. 基于 GIS 的水质数值模拟 ——以上海市苏州河为例 [J]. 地理学报, 1998, 53 (S6): 66 - 75.
- [2] 张世强, 邹松兵, 刘勇. 基于 Mapobjects 的 GIS 应用开发浅析 [J]. 遥感技术与应用, 2000, 15 (3): 194 - 198.
- [3] 傅国伟, 程声通. 水污染控制规划 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [4] 邬伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统 ——原理、方法和应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 贾海峰, 等. GIS 与地表水水质模型 WASP5 的集成 [J]. 清华大学学报, 2001, 41 (8): 125 - 128.
- [6] 万洪涛, 等. 地理信息系统与水文模型集成研究述评 [J]. 水科学进展, 2001, 12 (4): 560 - 568.
- [7] 王伟长. 地理信息系统控件 (ActiveX) ——MapObjects 培训教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.

Integration research of water quality model with GIS

ZHANG Xing-nan, GENG Qing-zhai, PANG Yong

(Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the platform of GIS a software system for simulating water quality is developed. It possesses the functions of input data processing, real-time modeling calculation and visualized output of calculation result. The interface of this system is friendly and the display of the output is directly perceivable. The system is applied to the information management system of aquatic environment capacity of Jiangsu Province, China.

Key words: water quality model; GIS; finite element; ActiveX control

《官厅水库泥沙淤积与水沙调控》出版发行简讯

《官厅水库泥沙淤积与水沙调控》是一部关于官厅水库及其上游流域泥沙综合治理研究成果的专著，通过现场调研、实体模型试验、数学模型计算与动态显示、资料分析、理论探讨等研究手段，对官厅水库流域水沙配置与综合利用、水库泥沙淤积规律、下游河道防洪等问题进行了深入系统的研究，提出了官厅水库泥沙淤积问题的综合治理措施。全书共 8 章，内容包括：官厅水库流域概况、官厅水库上游流域水沙配置及综合利用、官厅水库泥沙淤积特征、流域水沙调控措施、疏浚整治方案的实体模型试验、数学模型计算、疏浚整治效果的监测、水库泥沙治理对下游河道防洪的影响等。该书资料翔实，内容丰富，理论与实际密切结合，可供从事多沙河流水库泥沙治理、水土流失、水沙资源配置与利用、防洪减灾研究方面的科技人员及高等院校有关专业的师生参考。

该书已由中国水利水电出版社于 2003 年 12 月出版发行，由胡春宏、王延贵、张世奇、张燕菁、吉祖稳等编著，全书近 40 万字，定价 45 元。有购书者请与中国水科院泥沙所王延贵联系。联系地址：北京市车公庄西路 20 号中国水利水电科学研究院泥沙研究所；邮编：100044；联系电话：010 - 68415522 - 6638。



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>
