

# 基于 EFDC 模型的水质在线模拟系统

王亦斌<sup>1</sup>, 孙 涛<sup>1</sup>, 徐希涛<sup>2\*</sup>

(1. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210019;  
2. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211000)

**摘要:**详细阐述了 EFDC 的模型原理和模型的数据结构,总结了模型的建模过程,提出了 EFDC 模型与 GIS 软件的集成的基本思路,基于 B/S 架构设计并实现了 EFDC 模型的水质在线模拟展示系统,将水质实时扩散过程以空间可视化的形式展示给用户,为水污染管理提供辅助决策。

**关键词:**水质模型; EFDC; GIS; 集成框架

**中图分类号:** TU991.21      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839(2020)10-0041-04

## Research on water quality online simulation system based on EFDC model

WANG Yibin<sup>1</sup>, SUN Tao<sup>1</sup>, XU Xitao<sup>2\*</sup>

(1. The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project Jiangsu Water Source Co., Ltd., Nanjing 210019, China; 2. NARI Group Corporation / State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211000, China)

**Abstract:** The model principle and data structure of EFDC was elaborated in detail, the modeling process of the model was summarized, and the basic idea of integration of EFDC model and GIS software was proposed. The water quality online simulation display system of EFDC model was designed and implemented based on B/S architecture, which displayed the real-time diffusion process of water quality to users in the form of spatial visualization, providing auxiliary decision-making for water pollution management.

**Key words:** water quality model; EFDC; GIS; integration framework

水是人类生存发展不可或缺的重要资源,随着社会经济的不断发展,水污染情况日渐严重,传统的先污染后治理方法,需要耗费大量人力物力财力,且见效周期长,因此,通过水质模型准确估算出入河入湖污染物通量,控制污染物总量对水环境生态保护具有重要意义。国内外学者对 MIKE<sup>[1]</sup>、EFDC<sup>[2-3]</sup>、Delft3D<sup>[4]</sup> 和 WASP<sup>[5-6]</sup> 等水质模型做了大量应用研究,EFDC 模型由于具有功能强大、模拟结果可靠、源代码开放等特点,被广泛应用<sup>[7]</sup>。然而 EFDC 模型本身不具备空间可视化功能,目前常用

的方法也仅是将模型结果在 GIS 桌面软件中通过 SDK 控件达到可视化效果<sup>[8]</sup>,无法实时在线浏览污染物空间扩散结果。本文基于 B/S 架构,将 EFDC 模型与 GIS 集成耦合,改进可视化效果,实现在线实时污染物扩散模拟,对河湖水质预警分析具有一定现实意义。

## 1 EFDC 模型原理

### 1.1 模型介绍

EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)模型

收稿日期:2020-04-04

**作者简介:**王亦斌(1970—),女,高级工程师,主要从事南水北调建设管理和调度运行技术研究工作。E-mail:821983828@qq.com

**通讯作者:**徐希涛(1986—),男,高级工程师,硕士,主要从事信息化系统集成开发技术研究工作。E-mail:379096046@qq.com

最初是由弗吉尼亚海洋研究所的 John M. Hamrick 博士开发的,是一个多功能地表水模拟系统,能够应用于河流、湖泊、河口、沿海地区和湿地等水体的一维、二维和三维空间过程模拟。在美国环保署的支持下,EFDC 模型已经成功应用于欧美国家的 100 多个研究区域,在我国也被应用于多个河流湖泊<sup>[9-12]</sup>。

为了尽可能贴合实际地形,直观地表现水动力空间变化,模型的 3D 控制方程在水平方向采用传统的笛卡尔直角坐标或曲线正交坐标,垂直方向采用  $\sigma$  地形坐标。EFDC 模型的计算方程基于质量守恒定律、能量守恒定律和动能守恒定律,包含水动力模块、水质模块、泥沙模块和重金属模块等,其中水动力模块是 EFDC 模型的基础,采用 CH3D 水力学原理<sup>[13]</sup>,负责求解水深、水压和 3 个方向的速度。EFDC 的水质模块,适用于计算水文、盐度等水质参数的变化,水动力计算结果为水质模型提供水动力驱动,EFDC 模型中可以计算 22 种水质参数<sup>[14]</sup>。

## 1.2 模型数据结构

EFDC 模型的数据结构包括 3 个部分:主控文件、输入文件和输出文件。

### (1) 主控文件

主控文件 `efdc.inp` 描述了模型功能要求的运行控制参数、输出控制以及物理信息,是模型内部记录文件,提供了模型模拟仿真的模版。主控文件按照不同的类别区分不同的输入参数,主要包含以下信息:1)模型运行的控制开关,用于控制相关功能是否激活(如示踪剂、维数);2)源数据的规模(如负荷节点的数量、气象站的数量);3)输出的水质参数和步长;4)定于输出水质单元的数量和位置。主控文件也是其中一个输入文件。

### (2) 输入文件

EFDC 模型的输入文件为 `***.inp` 格式,模型的输入文件可以分为 5 类,分别是:1)水平网格规范文件,如 `cell.inp`、`dxdy.inp`;2)全局数据和运行控制文件,有 `efdc.inp`、`show.inp`;3)初始化和重启文件,如 `restart.inp`、`salt.inp`;4)物理过程规范文件,如 `moddxdy.inp`;5)时间序列和边界条件文件,如 `tser.inp`、`sser.inp`。

### (3) 输出文件

EFDC 模型的输出文件为 `***.out` 格式,模型输出文件可以分为 5 类:分别是:1)诊断输出文件;2)重启和传输文件;3)时间序列、点样本和最小二乘谐波分析输出文件;4)二维图形和可视化文件;5)三维图形和可视化文件。

## 1.3 建模过程

EFDC 水质建模的主要流程如下:

(1)划分计算网格,对研究区水域进行矩形网格或正交网格划分,矩形网格适用于面积较大或者形状规则的水域,如大型湖泊,形状复杂或岸线不规则的水域则适合划分为正交网格,如蜿蜒的河流。

(2)生成网格规范文件,网格规范文件是根据划分的网格结果,对网格内数据赋值,建立模拟区域,其中 0 代表不跟水域接壤的陆地,1234 分别代表东北、东南、西南、西北 4 个方向存在水土交接的区域,5 代表水域,9 代表陆地与水域的边界。

(3)生成主控文件,主控文件是模型运行的主要控制文件,可以配置模拟的起止时间、步长、模拟参数等。

(4)准备输入文件,包括流量数据、气象数据、水位数据、高程数据、站点数据等初始条件和边界条件数据。

(5)模型建模与求解,是根据模型输入的网格文件、主控文件、初始条件和边界条件数据,进行水动力和水质要素的时空过程模拟。

(6)水动力-水质模型参数率定与验证,通过反复对比模型模拟值与实测值,来修改模型参数,尽可能提高模拟结果的精度。

## 2 EFDC 模型集成框架

### 2.1 集成方式

EFDC 模型由于其先进性和可靠性被广泛使用,但是模型对其输入数据具有很高的格式要求,需要花费大量的时间对模型的输入数据进行处理,以保证模型的顺利运行。此外,模型的输出文件为非结构化的二进制文件,无法满足可视化需求。GIS 在数据管理、查询检索、空间分析以及空间可视化等功能表现非凡。借助 GIS 的技术,建立基于 GIS 的水质模型,是 GIS 解决水质模拟问题的关键所在。

行业应用模型与 GIS 的集成方式主要有以下 3 种方式:1)嵌入式耦合,是指模型作为一段 GIS 脚本或者通过 GIS 图形进行界面运行;2)松散耦合,是指模型作为独立的软件与 GIS 在不同的硬件环境下进行运算;3)紧密耦合,是指模型与 GIS 共同读写相同的文件,不需要文件转换。

EFDC 模型采用 FORTRAN 语言开发的开源软件,其核心代码相对复杂,很难将其简化为 GIS 脚本,松散耦合的方式则需分别运行模型计算软件和 GIS 程序。因此,实现 EFDC 模型输出文件的 GIS

可视化是集成的关键。本文基于紧密耦合的方式编程实现模型输入数据界面化、输出结果 GIS 可视化以实现 EFDC 模型与 GIS 的完全集成。

2.2 集成框架

当下流行的 B/S 架构实现了服务端与客户端的分离,且 WebGIS 具有易于集成、跨平台、操作简单等优势<sup>[15]</sup>,本文将 EFDC 模型的模型输入、模型处理和模型结果展示 3 个部分集成到以 WebGIS 平台,构建完整的水质在线模拟系统。集成框架如图 1 所示。开发 HTML 页面作为模型输入和参数设

经纬度、空间网格划分结果以及预先制作好的水质模型。用户通过地图上指定污染发生的具体地址,系统自动判断所在河湖,选择输入的模型。

参数设置:用户所需设置的参数主要包括污染事件的名称、时间、污染物总量、衰减速率等。根据污染事件的时间以及污染物所在的河湖可以生成模型所需的时间序列数据,污染物总、衰减系数等参数是为了模拟污染物的时间过程。

3.2 模型处理

模型处理包括后台生成输入文件和执行 EFDC

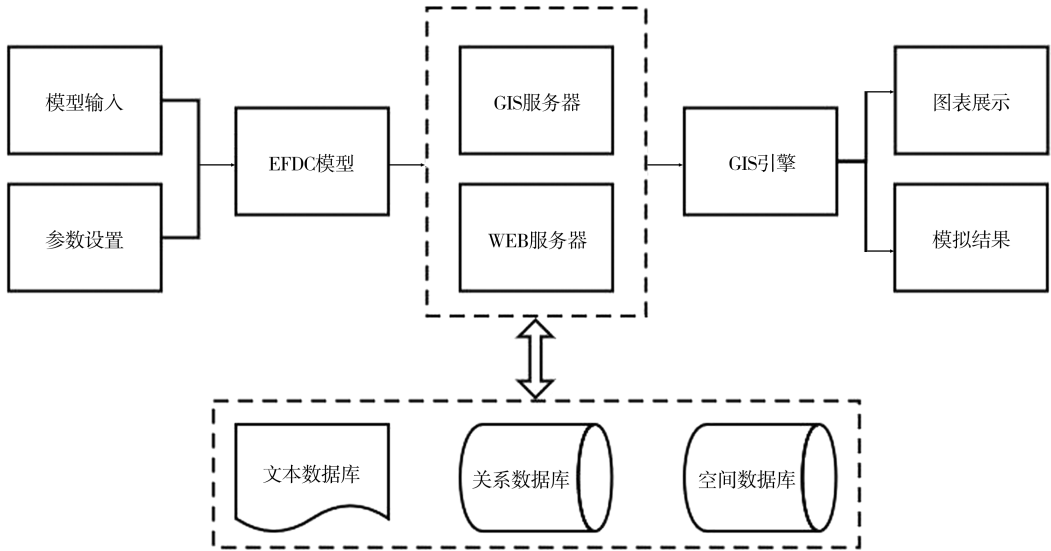


图 1 EFDC 模型与 GIS 集成框架

置的窗口,将模型所需的参数数据存储在文本数据库中。输入参数的修改也直接在浏览器页面中操作,服务端直接生成 .inp 文件。模型的运行通过后台代码调用 EFDC 模型的可执行程序 efdc.exe。模型计算后得到的 .out 结果也存储在文本数据库中。模拟结果的空间可视化通过地理处理服务(GP 服务)实现。

3 系统设计与实现

系统的功能流程体现了水质在线模拟的过程,主要包括模型输入与参数设置、模型处理和模型展示 3 个模块,系统模块流程如图 2 所示。

3.1 模型输入与参数设置

模型输入和参数设置都是由用户在浏览器页面上操作,提交给后台服务器,服务端根据客户端提交的数据完成模型选择和模型输入文件的制作。

模型输入:模型的输入是用户在网页上,选择发生污染事件的河湖,待选择的河湖为预先输入系统选项,输入的信息除了河湖名称,还包括具体的

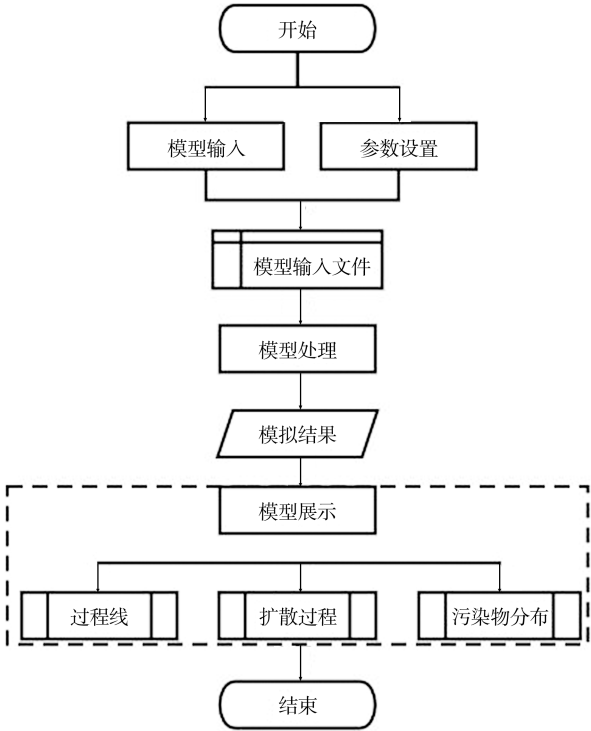


图 2 系统功能模块流程

模拟。

生成输入文件:模型模拟的前提是生成输入文件(\* \*.inp 文件),后台获取用户界面输入的参数后,编写 java 程序,将其转化成 EFDC 模型所需要的输入文件格式,供模型调用。本文开发了生成输入文件的 CreateEfdcInput. class 类,实现了 getAser(), getDser(), getSser(), getTser() 等接口来创建时间序列文件,开发了函数 getEfdcMain() 来生成主控文件。

执行 EFDC 模拟:EFDC 模型可执行程序的调用采用编程的方式实现。模型模拟结果会生成多个 \* \*.out 文件。

### 3.3 模型展示

模拟结果的展示是将 EFDC 模型的输出文件(\* \*.out)可视化的过程,本系统主要实现了在空间地图上展示水质过程线、扩散过程、污染物浓度分布等功能。

#### (1)水质过程线

过程线是指以时间为横坐标、污染物浓度为纵坐标,直接展示污染物浓度随时间的变化。在地图界面上选择水域网格,可以查看每个网格的各种污染物的过程线。

#### (2)扩散过程

污染物扩散过程是指在地图上用矢量箭头表示出每个水域网格内的污染物扩散速度和方向,箭头的大小代表不同的扩散速度,箭头的方向代表污染物的扩散方向,扩散方向分为东、西、南、北、东南、东北、西南、西北共 8 个方向。可以展示某一时刻的污染物扩散过程,也可以通过选择一个时间段,动态展示污染物随时间变化的扩散过程。

#### (3)污染物浓度分布

污染物浓度分布是指在地图上展示模拟范围内的污染物浓度空间分布情况。污染物的浓度分布不以水域网格为最小单元展示,而是应用 GIS 等值面算法,将网格分布的污染物浓度更加直观、细致的展示给用户。同样,可以展示某一时刻的污染物浓度分布,也可以展示一个时间段内污染物浓度的时空变化过程。

## 4 结 语

基于 B/S 架构的 EFDC 模型与 GIS 技术的集成,将 GIS 的强大的空间展示能力与 EFDC 模型的专业性相结合,以空间可视化的方式实时准确展示了模型模拟结果,为水质管理提供技术支撑。

采用完全集成的思想,由 EFDC 模型完成水质

专业模拟,由 GIS 担任空间管理可视化工作,降低了模型与 GIS 的耦合成本,为水质过程模型与 GIS 的集成研究提供了新的思路。

### 参考文献:

- [1] 黄琳煜, 聂秋月, 周全, 等. 基于 MIKE11 的白莲泾区域水量水质模型研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(8):21-24.
- [2] 刘夏明, 李俊清, 豆小敏, 等. EFDC 模型在河口水环境模拟中的应用及进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(增刊1):136-140.
- [3] ARIFIN R R, JAMES S C, DE ALWIS PITTS D A, et al. Simulating the thermal behavior in Lake Ontario using EFDC[J]. Journal of Great Lakes Research, 2016, 42(3): 511-523.
- [4] 黄庆超, 石巍方, 刘广龙, 等. 基于 Delft3D 的三峡水库不同工况下香溪河水动力水质模拟[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(2):33-39.
- [5] MOSES S A, JANAKI L, JOSEPH S, et al. Water quality prediction capabilities of WASP model for a tropical lake system[J]. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 2015, 20(4):285-299.
- [6] 朱文博, 王洪秀, 柳翠, 等. 河道曝气提升河流水质的 WASP 模型研究[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1326-1331.
- [7] 武万国. 基于 EFDC 模型的湘江下游河道水质数值模拟研究[D]. 长沙:长沙理工大学, 2018.
- [8] 刘豪泰, 廖卫红, 宋万祯, 等. EFDC 模型的 GIS 可视化研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(11):55-58.
- [9] 张文时. 基于 EFDC 模型的山地河流水动力水质模拟[D]. 重庆:重庆大学, 2014.
- [10] 何强, 李家杰, 黄莉. 基于 EFDC 和 WASP 耦合模型的长江——嘉陵江重庆主城段水质情景分析[C]//中国环境科学学会. 2014 中国环境科学学会学术年会议论文集. 成都:中国环境科学学会, 2014(8):1-9.
- [11] 苗晓雨. 基于 EFDC 的尹府水库水质数值模拟及预测[D]. 青岛:中国海洋大学, 2012.
- [12] 邢贞相, 张丽慧, 纪毅, 等. 基于 EFDC 模型五大连池水质模拟和富营养化评价研究[J]. 哈尔滨:东北农业大学学报, 2018, 49(5):88-98.
- [13] 陶亚. 基于 EFDC 模型的深圳湾水环境模拟与预测研究[D]. 北京:中央民族大学, 2010.
- [14] 梁识栋. 高维参数水质模型参数不确定性分析方法研究[D]. 北京:清华大学, 2016.
- [15] 冯文钊, 彭立芹, 张宏, 等. 基于 NET 平台和 Web Service 方式的 WebGIS 系统集成[J]. 计算机工程, 2004, 30(21):64-66.