

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.02.006

# 流域水环境模拟系统(DWR)及其应用模式

陈小龙, 陈 帅, 余 黎

(北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083)

**摘 要:** 流域水环境模拟系统(DigitalWater Simulation River, DWR)是基于DigitalWater模拟平台开发的可视化建模与地表水动态模拟管理工具,通过将GIS技术和流域水环境数值模拟技术深度融合,实现对河流、湖泊、水库和河口等地表水域从空间一维到三维水动力、热量交换、物质输送(包括盐度和示踪剂)、水质、水生态、泥沙和有毒物质等过程的模拟。该系统可有效支持用户开展地表水环境影响预测评价、估算水环境容量、评估建设项目污染源排放影响、确定水环境保护范围、计算生态补水流量等方面工作,为我国流域水环境综合管控提供本地化工具。从软件功能、特点与优势、应用模式三方面,对DWR系统进行了详细介绍。

**关键词:** 流域水环境模拟系统; DigitalWater模拟平台; 地表水环境

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)02-0038-04

## Introduction and Application Mode of DigitalWater Simulation River(DWR)

CHEN Xiao-long, CHEN Shuai, YU Li

(Beijing Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute Co. Ltd., Beijing 100083, China)

**Abstract:** DigitalWater Simulation River (DWR) is a management tool for visual modeling and surface water dynamic simulation based on DigitalWater simulation platform. Through the deep integration of GIS technology and numerical simulation technology of watershed water environment, the simulation of hydrodynamics from one-dimension to three-dimensional, heat exchange, mass transport (including salinity and tracer), water quality, water ecology, sediment and toxic in surface waters such as rivers, lakes, reservoirs and estuaries can be realized. This system can support users to effectively predict and evaluate the environmental impact of surface water, estimate the water environmental capacity, evaluate the emission impact of pollution source of construction projects, determine the scope of water environmental protection, and calculate ecological flow, etc. It provides a localized tool for the comprehensive management of watershed water environment in China. This paper provides a detailed introduction to the DWR system from three aspects: software function, system characteristics and advantages, and application modes.

**Key words:** DWR; DigitalWater simulation platform; surface water environment

近年来,数值模拟技术发展势头迅猛,已成为项目分析决策不可或缺的手段,在水环境领域扮演着重要角色<sup>[1-4]</sup>。生态环境部发布的新版《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ 2.3—2018)增加了

河流、湖库、入海河口及近岸海域的数值预测模型内容,对不同类型地表水体适用的数学模型进行详细区分,包括垂向分层明显的复杂水域要求使用三维模型,并从基础数据、初始条件、边界条件等方面

对模型应用提出要求,推荐使用数学模型预测地表水环境影响。因此,将地表水模型广泛应用在城市水系规划评估、城市水环境综合治理、流域环境影响评价、流域水资源管理等方面是行业技术发展的必然方向。

流域水环境模拟系统(DigitalWater Simulation River, DWR)是北京清控人居环境研究院有限公司自主研发的国内首款流域水环境数字化模拟系统,实现了国内流域水环境模拟工具商业化应用的突破。DWR使用国际先进的地表水环境模型,通过开发升级作为内嵌引擎,依托DigitalWater模拟平台提供数据前后处理功能,可提供全中文的软件界面和使用手册,符合国内工程技术人员的使用习惯,降低了软件使用门槛。DWR本身全面衔接《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则(试行)》,支持各类湖泊水系普查数据直接导入和批量修改,简化了基础数据前处理工作,提高了数据的共享及使用效率。同时DWR落实新版《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ 2.3—2018)对数学模型预测的使用要求,支持不同类型地表水体在不同维度和不同模块下的建模需求,简化初始条件、边界条件等方面的建模步骤,丰富模拟结果输出表达形式,可以为水功能区水质评价、建设项目范围内的水质污染、排污口位置论证等提供决策分析。

## 1 DWR 功能介绍

### 1.1 基本功能

#### ① 地图操作

DWR提供了一系列地图上的操作工具,包括添加参考图层、前后视图、视图放大缩小、地图量算等。添加参考图层支持GIS、数据库、栅格、TIN等格式的外部数据源导入,用户可以将研究区域影像图、数字高程模型DEM、河湖水系边界等图层加载到软件界面,方便查看编辑。针对前后视图和视图放大缩小,允许用户更改地图显示窗口的范围,或者使用鼠标滑轮上下缩放地图显示窗口,提高操作效率。地图量算工具支持用户量算河湖水系几何特征,以及示踪剂、水质因子、有毒有害物质、溢油等的迁移轨迹。地表水体受入流影响较大,尤其是城区河湖水系沿线分布众多排放口,利用坐标定位工具,用户在输入点源坐标信息后可精准定位到相应网格位置。

#### ② 选择集操作

DWR提供多种网格选择工具,包括点选、框选、圈选、多边形等形式,能够满足多种方式入流和出流网格选择要求,同时提供放大到选择集工具,方便用户浏览选择网格,提高工作效率。

#### ③ 设施编辑

DWR提供河湖水系设施编辑功能,包括导入数据、编辑设施、撤销、重做等。调查收集的基础建模数据(如excel数据、CAD数据、GIS数据和数据库文件)经过处理后,可以批量导入软件生成模型数据库,对于按照《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则(试行)》要求制作的基础建模数据,可以直接批量导入软件生成模型数据库,提高建模效率。基础建模数据导入DWR后,可以对河湖水系边界网格的属性信息(编号、长度、面积、高程、水位、水深、糙率等)和权属信息(填报时间、填报单位、数据来源、管理单位等)进行编辑修改和更新保存,以保证数据的准确性。对于无法通过外部数据导入生成河湖水系边界网格信息的,可通过DWR提供的添加、删除、编辑等功能进行手动处理基础建模数据,并进行保存和导出。

#### ④ 设施查询

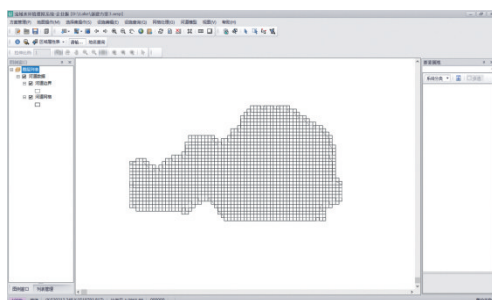
DWR设施查询包括地图查询、快捷查询和属性表查询三种方式,在地图查询工具中用户可以直接定位网格空间位置,了解和查看河湖水系设施属性信息和权属信息。使用快捷查询工具,用户通过设置查询网格的属性信息、逻辑运算符、关键词的方式查询符合条件的网格;属性表查询方式支持设施边界查询和设施网格查询2种类型,用户可以在属性表上进行排序、修改等工作。

### 1.2 模拟功能

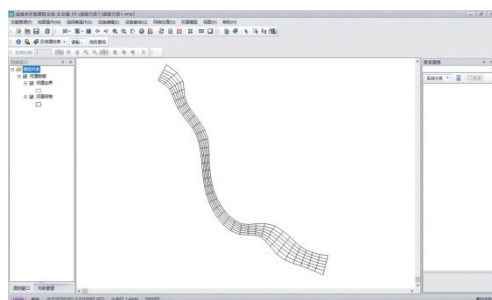
#### ① 网格处理

流域水环境模拟中河湖水系网格制作是建模基础也是核心部件,良好的网格质量决定着模型运行状态、计算精度、计算效率等。网格处理提供一系列网格处理工具,包括网格化、导入Delft网格、网格预处理等。网格化是DWR提供的专业网格生成工具,支持规则网格化(如矩形网格化)和正交曲线网格化两种网格生成形式,满足河湖水系不同类型水体对网格的需求,如图1所示。根据水体范围、研究目的、计算效率等方面的要求,合理设置研究范围内规则网格和正交曲线网格的行数及列数或者

单个规则网格宽度和高度等信息,以生成一定数量的网格。为拓宽网格来源途径,DWR支持Delft 3D格式网格的直接导入、编辑、修改、保存、赋值等操作,以加强不同水环境软件的连通性,满足不同用户的使用习惯。河湖水系网格生成后,可以使用编辑工具对网格进行编辑和修改,包括调整网格形状、大小、位置等信息,直到满意为止。DWR提供网格预处理工具,可以对网格水位、水下地形、糙率等信息批量赋值,如GIS、excel、DEM等类型数据经过处理后,软件将直接读取相关信息,采取插值的方式对网格进行批量赋值或者指定为常数。



a. 矩形网格



b. 正交曲线网格

图1 DWR 网格类型

Fig.1 Grid type of DWR

## ② 流域水环境模拟

流域水环境模拟前需要进行相关条件设置,包括:入流、出流网格设置,流量、水位条件设置,背景浓度、水温、盐度等设置。同时用户需要在模拟情景中选择软件提供的水动力、热量交换、物质输送(包括盐度和示踪剂)、水质、水生态、泥沙等模块,在弹出的需要设置的参数信息引导下一步完成模型构建,降低使用门槛。流域水环境模拟结果包括:水动力(水位、水深、流量、 $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$ 、流向、水温、盐度、示踪剂);水质(COD、氮、磷、溶解氧等水质因子);泥沙(黏性、非黏性泥沙);水生态(藻类、水生植物)等,并将模拟结果以结果表、曲线图、专题图、

结果统计表的形式输出。

## 2 DWR 特点与优势

DWR作为国内一款自主开发的流域水环境模拟软件,在吸收消化国外先进软件技术基础上,紧跟国内流域水环境管理体系的发展,逐渐形成自己的软件特点,包括多源数据集成与管理、流域设施查询与分析、快速网格化、网格参数批量设置、灵活设置出入流边界、自动分配流量权重、动态模拟与结果可视化表达等。与国外同类软件相比,DWR在技术先进性、通用性、实用性、本地化服务能力等方面具有自己的优势,如表1所示。

表1 不同软件对比分析

Tab.1 Comparative analysis of different softwares

项目	MIKE	InfoWorks	DWR
流域水环境模拟能力	优秀,需精细化数据和复杂建模过程	较好	好,简化建模过程
技术先进性	好,开发积累时间长	好,开发积累时间长	较好,对接国内相关技术导则
通用性	好,可与自己的其他商业软件耦合	好,可与自己的其他商业软件耦合	优秀,可与普查数据信息化平台对接
模型实用性	好,国内外案例较多	好,国内外案例较多	好,符合国内工程师使用习惯
本地化服务能力	好	好	优秀
采购成本	高	高	一般

## 3 DWR 应用模式

水环境模拟系统主要应用于地表水污染及容量核算、流量水位水动力状况、风险预警与评估和科学决策支持等方面。

### ① 核算水环境容量

通过对模型的合理概化,核算农业和雨水面源污染、工矿企业和城镇生活污水点源污染、合流制溢流污染、畜禽养殖和水产养殖污染等入河(湖)水体污染负荷下水环境容量变化,计算污染负荷与入河(湖)水体水环境质量之间的安全余量,从接纳水体进水量、污染负荷、纳污总量等方面模拟研究,给出合理化治理意见。

### ② 评估河湖水系状况

河湖水系的运行状态关系着流域水环境管理体系的正常运行,使用模拟工具在准确评估城市水系统运营现状、系统改造效果、未来规划方案落地性和科学性方面发挥着不可替代的作用。例如,受



极端降雨事件影响,某浅水湖泊接收上游倾泄洪水,自下游河道排出,湖泊水位及流量变化见图2。

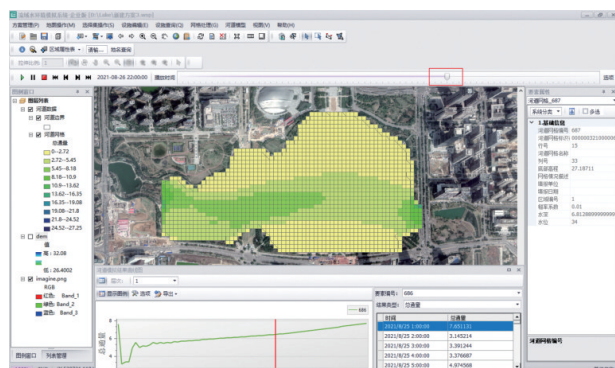


图2 DWR水动力模拟效果

Fig.2 Hydrodynamic simulation effect of DWR

### ③ 水环境风险预警

DWR能够实现各类水环境功能区、近岸海域功能区、饮用水水源保护区的水环境风险预测与预警系统业务化运行,对可能形成的水质超标风险、洪涝风险、有毒物质泄漏等突发水质事件做好早期防范,形成流域/区域的水质、水量和水环境风险的动态响应机制。

### ④ 分析决策支持

规范合理的流域水环境模型可以支持流域管理体系决策部署,从水环境领域的多方面提供解决方案,包括流域水环境风险控制方案、水体达标方案、工程措施方案、入河(湖)排污口布局优化方案、生态修复方案等。例如,某浅水湖泊现状为地表Ⅳ类水,考虑生态修复方案,从上游某处引水模拟研究补水流量对湖泊COD的改善情况,结果见图3。

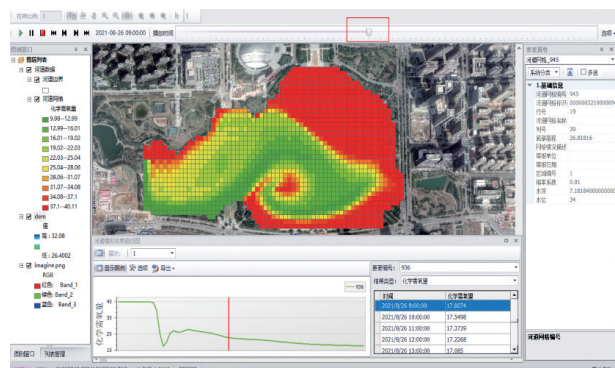


图3 DWR水质模拟效果

Fig.3 Water quality simulation effect of DWR

## 4 结语

DWR是在总结我国流域水环境治理经验基础

上,以国际先进流域水环境模型为计算引擎并修改完善而开发的一款模拟软件。该软件使用北京清控人居环境研究院自主开发的DigitalWater模拟平台提供数据前后处理功能,实现流域水环境动态模拟与可视化表达。该模拟系统基于多源数据集成显示、海量数据编辑修改、高效的数据分析管理、专业的水环境模型、稳定的平台架构、规范的数据表达等关键技术,能为流域水环境综合管理提供科学合理的解决方案,推动我国流域水环境治理向着系统化、科学化、精细化发展。

## 参考文献:

- [1] 赖锡军. 流域水环境过程综合模拟研究进展[J]. 地理科学进展, 2019, 38(8): 1123-1135.  
LAI Xijun. A review of integrated water quality modeling for a watershed [J]. Progress in Geography, 2019, 38(8): 1123-1135 (in Chinese).
- [2] 陈小龙, 赵冬泉, 盛政, 等. DigitalWater在城市排水防涝规划中的应用[J]. 中国给水排水, 2015, 31(21): 105-108.  
CHEN Xiaolong, ZHAO Dongquan, SHENG Zheng, et al. Application of DigitalWater simulation system in urban flood control planning [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(21): 105-108 (in Chinese).
- [3] 陈小龙, 赵思东, 赵冬泉, 等. 城市排水管网模拟系统介绍[J]. 中国给水排水, 2015, 31(1): 104-108.  
CHEN Xiaolong, ZHAO Sidong, ZHAO Dongquan, et al. Introduction of DigitalWater simulation system [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(1): 104-108 (in Chinese).
- [4] 陈小龙, 陆露, 盛政, 等. 城市排水防涝地表二维模拟评估方法研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(23): 116-119.  
CHEN Xiaolong, LU Lu, SHENG Zheng, et al. Study on 2D simulation of urban drainage and waterlogging prevention [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(23): 116-119 (in Chinese).

作者简介:陈小龙(1988-),男,安徽合肥人,硕士,高级工程师,主要从事城市内涝、海绵城市、水环境治理和智慧水务领域的设计研究工作。

E-mail: cxl@bjenv.com

收稿日期:2021-09-03

修回日期:2021-12-10

(编辑:丁彩娟)