

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20222401

基于功能价值法的河流生态系统服务价值优化综合评估

蔡晨茵¹, 赵立科², 徐 慧¹, 高雨慧¹, 谭梦圆¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018)

摘要: 为充分体现河流生态系统形成和维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用,在分析河流生态系统服务功能后,优化了固碳等功能的计算,基于功能价值法,提出了一套涵盖功能较全面、计算较科学合理的河流生态系统服务价值(ESV)评估方法,并利用该方法研究了溧阳市南河ESV。结果表明,溧阳市南河2019年总ESV为 12.42×10^8 元,调节、支持、供给、文化功能价值分别占76.5%、12.2%、11.1%、0.2%,为自然资源资产核算和生态补偿标准提供了参考。

关键词: 河流生态系统; 功能价值法; 服务功能; 经济价值; 南河

中图分类号: TV213.4; F062.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)09-0044-04

1 引言

党的二十大报告提到中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化,随着经济发展和人口增长,人们对生态系统服务功能(ES)的需求与日俱增,定量评价生态系统服务功能价值(ESV)有利于资源可持续利用^[1,2]。与陆地ESV相比,目前对淡水ESV的研究稍显不足,文献[3,4]分类评估了河流ESV,但选取ES时不够全面,沿用旧方法计算河流固碳等功能价值,不利于认识河流生态系统的多元功能价值。用当量因子法对河流ESV进行评估与时空演变分析结果针对性稍差。为充分体现河流生态系统形成和维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用,在分析河流ES及评估方法后,优化了固碳等的计算。功能价值法聚焦研究区功能,计算结果针对性强,较真实可靠。为此,本文基于功能价值法提出了一套涵盖功能较全面、计算较科学合理的河流ESV评估方法,并利用该方法研究了溧阳市南河ESV,核验了其可行性和合理性,为自然资源资产核算和生态补偿标准提供了参考。

2 研究方法

评估河道ESV采用功能价值法,即基于水文

学、生态学等基本原理,先定量计算各功能的功能量,再通过市场价值法、替代工程法等经济学方法确定功能量价格,进而计算各功能的价值量。选用Costanza和MEA的分类方法,将河流ES分为供给、调节、文化、支持4大类^[3,4],结合河流生态系统的功能、属性和用途,再细化为较全面的16项指标(表1)。具体河道计算时可根据实际情况删减合理缺项的指标。

结合对水体碳沉积量的研究成果,优化已有固碳功能的计算,水生生态系统中不仅有各类植物通过光合作用固定大气中的CO₂,同时水体沉积物中的土壤、动植物残体、工农业废水等含有碳元素。故本文的固碳量由水体浮游植物固碳量^[4]和碳的沉积量^[5]组成。休闲娱乐、生物多样性维护功能结合了单位面积价值法、市场价值法和意愿支付法优化了评估方法。其他指标计算方法参考文献[3,4]。

本文数据来源于《2020年溧阳市统计年鉴》、胥河定埠桥站历年平均流量统计表(2010~2019年)、《2019年常州市水资源公报》等。评估基准年为2019年。

3 实例研究

江苏省溧阳市是太湖流域上游重要水源地,

收稿日期: 2022-11-14, 修回日期: 2022-12-07

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021043)

作者简介: 蔡晨茵(1998-),女,硕士研究生,研究方向为城市水环境, E-mail: cccy09@qq.com

通讯作者: 徐慧(1969-),女,博士、副教授、硕导,研究方向为河湖生态保护及景观规划, E-mail: njxh@hhu.edu.cn

表 1 河流 ESV 评价指标体系与计算方法
Tab. 1 Evaluation index system and calculation method of river ESV

功能类型	功能指标	功能量	计算方法	公式	参数含义
供给功能	供水	第一、二、三产业用水量	市场价值法	$V_{p1} = \sum (A_m P_m)$	V_{p1} 为供水价值; A_m 为第 m 产业用水量; P_m 为第 m 产业用水的市场价格
	物质生产	水产品生产量		$V_{p2} = \sum (A_n P_n)$	V_{p2} 为物质生产价值; A_n 为第 n 种水产品的生产量; P_n 为第 n 种水产品的单价
	航运	客运、货运通航量		$V_{p3} = \sum (Q_i P_i)$	V_{p3} 为航运价值; Q_i 为第 i 种运输方式的航运量; P_i 为第 i 种运输方式的价格
	水力发电	水力发电量		$V_{p4} = \sum (Q_k P_k)$	V_{p4} 为水力发电价值; Q_k 为水力发电总量; P_k 为水力发电的电价
调节功能	行洪排涝	汛期行洪量	影子价值法	$V_{r1} = QP$	V_{r1} 为防洪价值; Q 为汛期行洪量; P 为单位体积河道防洪建设成本, 用水库建设成本替代
	输沙	输沙量	替代工程法	$V_{r2} = Q_1 P_1$	V_{r2} 为输沙价值; Q_1 为年均输沙量; P_1 为人工清淤费
	造陆	造陆面积	机会成本法	$V_{r3} = \frac{M}{WT_x} P_x$	V_{r3} 为造陆价值; M 为泥沙量; W 为土壤平均容重; T_x 为表土平均厚度; P_x 为单位面积收益
	水质净化	入河污染物排放量	替代工程法	$V_{r4} = \sum (M_a P_a)$	V_{r4} 为水质净化价值; M_a 为河道截留的第 a 种污染物含量; P_a 为第 a 种污染物单位处理成本
	产负离子	负离子含量		$V_{r5} = Q_2 A P_2$	V_{r5} 为增加负离子的价值; Q_2 为单位体积负离子个数; A 为河道影响体积; P_2 为负离子单价
	吸收粉尘	吸收粉尘量		$V_{r6} = Q_3 P_3$	V_{r6} 为吸收粉尘的价值; Q_3 为吸收粉尘量; P_3 为工业粉尘处理成本
	固碳	固定 C 量		$V_{r7} = (Q_4 + W_1) P_4$	V_{r7} 为固碳价值; Q_4 为浮游植物年固定碳量; W_1 为水生态系统内沉积的碳量; P_4 为单位造林成本价和国际碳税均值
	释氧	释放 O ₂ 量		$V_{r8} = Q_5 P_5$	V_{r8} 为释氧价值; Q_5 为浮游植物年释放的 O ₂ 量; P_5 为造林成本价和工业制氧价的均值
气候调节	水面蒸发量和吸收热量		$V_{r9} = ESP_6 + RP_7$	V_{r9} 为气候调节价值; E 为蒸发量; S 为水域面积; P_6 为单位增湿价格; R 为水面吸收的热量; P_7 为单位降温价格	
文化功能	休闲娱乐	提供休闲娱乐乐水系面积	单位面积价值法、市场价值法	$V_{c1} = Q_6 P_8$ 或 $V_{c1} = \sum T_i$	V_{c1} 为休闲娱乐价值; Q_6 为水域面积; P_8 为单位水域面积的休闲娱乐价值; T_i 为第 i 个依托河流建立的景点的直接旅游收入
	科研教育	提供科研教育水系面积	单位面积价值法	$V_{c2} = Q_7 P_9$	V_{c2} 为文化科研价值; Q_7 为水域面积; P_9 为单位面积水域的平均文化科研价值
支持功能	生物多样性维护	提供栖息地水系面积、国家保护生物物种类	单位面积价值法、支付意愿法	$V_{s1} = Q_8 P_{10} + \sum (A_b P_b)$	V_{s1} 为生物多样性的价值; Q_8 为提供生境的水域面积; P_{10} 为提供生境的单位面积价值; A_b 为第 b 级保护动物的物种种数; P_b 为第 b 级保护动物的保护价格

全境河流属太湖流域南溪水系。芜太运河属长三角高等级航道网,水运价值显著,其在溧阳境内段为南河。南河西起胥河河口,东入南溪河,全长 40.65 km。南河是宜溧山区洪水汇流和沿线城镇圩区排涝的重要通道。

3.1 供给功能

南河全段为通航河道,船舶行驶对水体扰动大,无水产品供给功能,故南河物质生产功能价值为零。南河位于平原河网区,地势落差小,现未建水电站,故水力发电功能价值为零。

3.1.1 供水功能

(1)功能量。南河水功能区为工业、农业用水区。①农业。2019 年湖西区水稻、麦类、棉花、油菜籽灌溉用水定额分别为 40、4、4、5.33 m³/hm²。查统计年鉴得南河沿岸各镇种植各作物的面积,得南河沿岸农业用水量为 1.224 × 10⁸ m³。由于南河沿线各镇的灌溉用水不仅来源

于南河,故据当地经验,折减后南河供给第一产业水量为 1.021 × 10⁷ m³。②工业。南河现已登记的取水口设计年总取水量 8.5 × 10⁴ t,均为混凝土公司取水,为工业用水。

(2)价值量。溧阳市工业水价 3.96 元/t,农业水价 0.1 元/m³。故南河供水价值为 1.357 × 10⁶ 元。

3.1.2 航运功能

(1)功能量。南河现状河口集镇至丹金溧漕河为三级航道,丹金溧漕河至宜溧界为五级航道。据溧阳统计年鉴,南河近 10 年年均通航量近 3 000 × 10⁴ t。

(2)价值量。单位航运价格 2006 年为 0.08 元/(t · km),用居民消费价格指数算得 2019 为 0.112 元/(t · km)。故航运价值为 1.366 × 10⁸ 元。

3.2 调节功能

3.2.1 行洪排涝功能

(1)功能量。南河是区域洪涝的主要排泄通

道。①据常州水资源公报,南河年径流量为 $1.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。汛期径流量约占全年径流量 70%,即南河汛期径流量为 $1.24 \times 10^8 \text{ m}^3$,扣除河道原有径流量即为河道汛期行洪量。南河正常水位 3.3 m,最高水位 6.84 m,故汛期河道行洪量约为 $6.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。②据定埠桥站对南河上游胥河历年月平均流量的监测结果,2010~2019 年南河汛期(5~9 月)月平均流量为 $8.522 \text{ m}^3/\text{s}$,非汛期(10 月~次年 4 月)月平均流量为 $4.158 \text{ m}^3/\text{s}$,由两者之差估算汛期行洪量为 $5.77 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。两种方法得南河汛期行洪量均值为 $6.084 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

(2)价值量。2008 年国家林业局发布的单位水库库容修建价格为 6.11 元/ m^3 ,据居民消费价格指数推算 2019 年为 8 元/ m^3 。故南河的防洪排涝价值为 4.867×10^8 元。

3.2.2 输沙造陆功能

(1)输沙。①功能量。溧阳市属低山丘陵区,森林植被较好,水土流失不明显,河流泥沙较少。据溧阳市中田舍河水保监测站资料,南河泥沙含量约为 $1.5 \times 10^{-4} \text{ t}/\text{m}^3$,年输沙量为 $2.655 \times 10^4 \text{ t}$ 。②价值量。南方人工清淤价为 4.7 元/ t ,故南河输沙价值为 1.248×10^5 元。

(2)造陆。①功能量。溧阳河流会定期清淤,淤泥堆场处理相当于人工造陆。南河年造陆泥沙量为 $2.655 \times 10^4 \text{ t}$,土壤平均重度为 $1.28 \text{ t}/\text{m}^3$,表土平均厚度为 0.5 m,得南河年均造陆面积为 $4.148 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。②价值量。2019 年溧阳市总面积 $1.535 \times 10^9 \text{ m}^2$,GDP 为 $1.010.54 \times 10^8$ 元,则单位土地面积 GDP 为 65.833 元/ m^2 ,得南河造陆价值 2.731×10^6 元。

3.2.3 净化功能

(1)水质净化。南河水功能区 COD 纳污容量为 $1.882 \times 10^6 \text{ kg}/\text{a}$,处理成本为 4.39 元/ kg 。氨氮纳污容量为 $1.2 \times 10^5 \text{ kg}/\text{a}$,处理成本为 1.88 元/ kg 。故南河水水质净化最大潜力价值为 8.488×10^6 元。据溧阳市 2017 年入河排污口调查,入南河污染排放量为 COD $6.18 \times 10^4 \text{ kg}$,氨氮 $2 \times 10^3 \text{ kg}$,得南河当前水质净化价值为 2.751×10^5 元,已使用最大潜力价值的 3.241%。

(2)空气净化。①产生负离子。功能量方面,据 Lenard 效应,当水滴碰撞后变成雾状,从水的表面分离出的水分子带负电荷。溧阳市获 2019 年“中国天然氧吧”称号,年均负氧离子含量 3 299 个/ cm^3 。南河是溧阳市重要生态廊道与航道,流量大,流速快,促进了负离子浓度的增加。南河水面积 2.91 $\times 10^{10} \text{ cm}^2$,按河流上方 10 cm 范

围计^[6],得南河产生负离子 9.6×10^{14} 个。价值量方面,每生成 1 010 个负离子需 2.08 元^[4,6],得南河产生负离子的价值为 1.997×10^5 元。②吸收粉尘。功能量方面,溧阳市 2020 年降尘量 45.6 t/km^2 ,故南河年吸收总降尘量 132.696 t 。价值量方面,工业粉尘处理成本 150 元/ t ,故南河吸收粉尘的价值为 1.990×10^4 元。

3.2.4 气体调节

(1)固碳。①功能量。浮游植物光合作用固碳量方面,据光合作用反应式,植物每生产 1 g 干物质会固定 1.63 gCO_2 ,释放 1.2 gO_2 ^[6]。取中型浮游植物日释氧量均值 2 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})\text{O}_2$ 。溧阳市年均无霜期 222 d,得南河浮游植物初级生产量 $1.077 \times 10^9 \text{ g}$,总固定 CO_2 量 $1.755 \times 10^9 \text{ g}$,折合 $4.786 \times 10^8 \text{ g C}$, O_2 释放量 $1.292 \times 10^9 \text{ g}$ 。水体沉积物固碳量方面,南河下游最终入太湖,太湖沉积物固碳速率为 16.82 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})\text{C}$ ^[5]。故南河沉积物的年固碳量为 $4.895 \times 10^7 \text{ g C}$ 。南河浮游植物与水体沉积年共固定 C 量 $5.276 \times 10^8 \text{ g}$ 。②价值量。C 的单位固定价值采用国际碳税标准和造林成本均值 7.7×10^{-4} 元/ g ^[6],故南河固碳价值为 4.062×10^5 元。(2)释氧。 O_2 的单位释放价值取工业制氧价格和造林成本均值 3.765×10^{-4} 元/ g ^[6],南河释氧价值为 4.864×10^5 元。

3.2.5 气候调节

(1)功能量。①增湿。溧阳市多年平均(1960~2015 年)水面蒸发量为 0.895 m,则南河年水面蒸发量为 $2.604 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。②降温。取水温在 100 $^\circ\text{C}$ 、1 标准大气压下的汽化热 $2.26 \times 10^9 \text{ J}/\text{m}^3$ 计算,则南河水面蒸发吸收总热量为 $5.876 \times 10^{15} \text{ J}$ 。

(2)价值量。①河流增湿价值用减少的加湿器使用的价值替代。家用加湿器功率 32 W,将 1 m^3 水汽化耗电 125 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ^[3],常州市电价第一档 0.528 元/ $(\text{kW} \cdot \text{h})$,故南河增湿价值为 1.717×10^8 元。②河流降温价值用减少空调使用的价值替代,据 2010 年能效国家标准,空调能效比取 3.0。故南河降温价值为 2.874×10^8 元。南河气候调节价值为 4.591×10^8 元。

3.3 文化功能

(1)休闲娱乐。南河部分城区段建了沿河亲水公园,水体单位休闲娱乐价值为 0.602 元/ m^2 ^[7]。故南河休闲娱乐价值为 1.751×10^6 元。

(2)文化科研。我国水域平均文化科研价值为 0.320 元/ m^2 ^[8],得南河文化科研价值为 9.311×10^5 元。

3.4 支持功能

支持功能主要为维护生物多样性。

(1)功能量。①南河属溧阳市一级水系生态廊道,提供水系栖息地 $2.91 \times 10^6 \text{ m}^2$ 。②据《溧阳生物多样性保护规划(2015~2030)》,南河属“其他河塘湿地”,分布有河麂、鸳鸯、虎纹蛙、白尾鹇等,其中河麂、鸳鸯、虎纹蛙为国家Ⅱ级保护动物。

(2)价值量。①据 Costanza 等的成果^[1],推求 2019 年湿地提供栖息地的年效益为 0.546 元/m^2 ,得南河提供栖息地价值 $1.6 \times 10^6 \text{ 元}$ 。②国家Ⅱ级保护物种价值为 $0.5 \times 10^8 \text{ 元}$,故南河保护珍稀水生动物价值 $1.5 \times 10^8 \text{ 元}$ 。南河生物多样性维护价值 $1.516 \times 10^8 \text{ 元}$ 。

4 结果与讨论

(1)南河 2019 年总 ESV 为 $1.242 \times 10^9 \text{ 元}$,其中调节功能价值最高,占 76.5%,是由于南河是区域洪涝主要排泄通道。文化功能价值最低,占 0.2%,表明南河休闲娱乐方面开发程度低;支持功能和供给功能价值相近,分居第二、三,占比分别为 12.2%、11.1%,是由于南河为保护物种栖息地和湖西区重要航道。各项 ES 功能量及价值汇总见表 2。

表 2 南河 ES 功能量与价值量汇总

Tab. 2 Summary of Nanhe ES function and value

评价项目	评价指标	水生态服务功能		服务功能价值/ 10^6 元		
		功能量指标	功能量	小计	合计	总计
供给功能	供水	农业用水量/ 10^7 m^3	1.02	1.02	137.96	1242.32
	航运	工业用水量/ 10^4 t	8.50	0.34		
调节功能	行洪排涝	货运通航量/ 10^7 t	3.00	136.60		
	输沙造陆	汛期行洪量/ 10^7 m^3	6.08	486.72	950.09	
文化功能	休闲娱乐	输沙量/ 10^4 t	2.66	0.12		
	文化科研	造陆面积/ 10^4 m^2	4.15	2.73		
支持功能	生物多样性维护	入河 COD 排放量/t	61.80	0.27		
	性维护	入河氨氮排放量/t	2.00	0.00		
调节功能	水质净化	负氧离子含量/ $10^9 \text{ (pcs} \cdot \text{m}^{-3})$	3.30	0.20		
	空气调节	吸收粉尘量/t	132.70	0.02		
气候调节	固定 C 量/t	释放 O_2 量/ 10^3 t	527.59	0.41		
	气候调节	水面蒸发量/ 10^6 m^3	1.29	0.49		
文化功能	休闲娱乐	蒸发吸收热量/ 10^{15} J	2.60	171.70		
	文化科研	休闲娱乐水系面积/ 10^6 m^2	5.88	287.43		
支持功能	生物多样性维护	文化科研水系面积/ 10^6 m^2	2.91	1.75	2.68	
	性维护	栖息地水系面积/ 10^6 m^2	2.91	0.93		
支持功能	生物多样性维护	国家二级保护物种种数	2.91	1.59	151.59	
支持功能	生物多样性维护	国家二级保护物种种数	3	150.00		

(2)南河 ES 价值排序为行洪排涝>气候调节>生物多样性维护>航运>输沙造陆>休闲娱乐>供水>文化科研>气体调节>水质净化>空气净化。行洪排涝价值最高,是首要功能。固碳价值不高,可强化水生态系统修复,提升末端固碳能力。ES 间存在权衡协同关系,其影响区域生态

保护与经济发展,应制定科学合理的政策来避免消极的权衡关系、促进积极的协同关系。既要突出核心功能的发挥,又要保证各功能间平衡协调发展。

(3)2019 年南河 ESV 占溧阳市 GDP 的 1.23%,单位面积 ESV 比单位面积 GDP 高 361 元,生态效益高于经济价值。将南河 ESV 划分为直接和间接利用价值,前者包括供水、航运、休闲娱乐、文化科研价值,占比 11.32%。后者包括行洪排涝、输沙造陆、水质净化、空气净化、气体调节、气候调节、生物多样性维护价值,占比 88.68%。南河间接利用价值是直接利用价值的 7.83 倍,若仅强调 ES 的直接使用价值而破坏生态环境,ESV 将严重损失。故在管理开发水生态系统时,应统筹各项 ES,使区域经济、资源和环境协调发展。

5 结论

a. 本文研究了河流各项 ES 及其评估方法,基于功能价值法,提出一套河流 ESV 优化综合评估方法,可沿用到其他河流生态系统。

b. 优化了对固碳量等功能的估算,本文的固碳量由水体浮游植物固碳量和沉积物固碳量组成。

c. 溧阳市南河 2019 年总 ESV 为 $12.42 \times 10^8 \text{ 元}$,调节功能价值>支持功能价值>供给功能价值>文化功能价值。

参考文献:

- [1] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报, 2003(4): 443-452.
- [2] 黄丹姿, 周惟, 徐慧. 浙江省大塘港流域水利工程建设的水生态系统服务效应[J]. 水电能源科学, 2022, 40(1): 68-72.
- [3] 梁鸿, 潘晓峰, 余欣繁, 等. 深圳市水生态系统服务功能价值评估[J]. 自然资源学报, 2016, 31(9): 1474-1487.
- [4] 杨文杰, 赵越, 赵康平, 等. 流域水生态系统服务价值评估研究——以黄山市新安江为例[J]. 中国环境管理, 2018, 10(4): 100-106.
- [5] 段晓男, 王效科, 逯非, 等. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报, 2008(2): 463-469.
- [6] 咎欣, 张玉玲, 贾晓宇, 等. 永定河上游流域水生态系统服务价值评估[J]. 自然资源学报, 2020, 35(6): 1326-1337.
- [7] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁. 河流生态系统的休闲娱乐功能及其价值评估[J]. 资源科学, 2001(5): 77-81.
- [8] 闫人华, 高俊峰, 黄琪, 等. 太湖流域圩区水生态系统服务功能价值[J]. 生态学报, 2015, 35(15): 5197-5206.

影响较大,但时间值是在控制所有条件不变的情况下,连续运行 5 次模型取得计算时间平均值,其对于模型计算效率判断有一定参考意义;如进行瞬态模型模拟,每一个时间步长均需对所有网格计算一遍,计算时间的差异将被放大。

局部上,各模型的每个指标大小关系与整体基本相同,但井处水位数值解与 h_0 接近程度 $USG2 > CGR > USG1 > NOR$ ($>$ 表示更接近), $USG2$ 模型对井处水位分布的刻画最为准确。

但 CGR 模型会加密经过关注地区的所有行和列,其对于多处分布的井需加密的情况适用性不强,模型范围内大多数网格均会被加密,网格数量巨大,计算量庞大,严重影响计算效率; USG 模型可以任意地、灵活地加密点、线和多边形区域,可进行多级加密,且不产生无关的加密网格,可有效提高计算效率。

4 结论

a. 对比解析解与 GMS 软件计算的数值解表

明,4 种模型整体上平均绝对误差均小于 0.1, R^2 均大于 0.98。

b. 相比未加密模型,结构化加密的模型拟合效果最好,但使用网格多,适用性差;非结构化加密的模型拟合效果稍逊,但适用性较好,使用网格少,局部水位分布刻画精确,是一种有效提高模拟效率和准确性的加密模型。

参考文献:

[1] 周念清,杨一流,江思珉. 非结构网格化方法求解地下水流数值模型[J]. 勘察科学技术, 2016(1): 14-17.

[2] ZHANG MENGLIN, HU LITANG, YAO LILI, et al. Numerical studies on the influences of the South-to-North Water Transfer Project on groundwater level changes in the Beijing Plain, China[J]. Hydrological processes, 2018,32(12): 1858-1873.

[3] 薛禹群,吴吉春. 地下水动力学[M]. 3 版. 北京:地质出版社, 2010.

[4] 闻德荪. 工程流体力学:水力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2010.

[5] 贺国平,张彤,赵月芬,等. GMS 数值建模方法研究综述[J]. 地下水, 2007,29(3): 32-35,38.

Comparison of Structured and Unstructured Finite Difference Simulation of Groundwater Flow

DING Wen-hua, ZHANG Yong-xiang, GUO Tong, JIA Rui-tao

(Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The selection of a suitable, efficient and accurate numerical model for groundwater flow is an important basis for numerical simulation work. The analytical solution of water level of seepage calculations of fully penetrating well in a phreatic aquifer was compared with the numerical solution of water level of structured conventional model, structured encrypted model and two unstructured encrypted models to analyze the degree of fit and error. The results show that the accuracy of the numerical simulation of all four models is quite good, and the average absolute error is less than 0.1, R^2 is greater than 0.98. Compared with the structured traditional model, the accuracy of the structured encryption model is the best, the unstructured 4-level encryption model is the second and the 3-level encryption model is the worst; The accuracy of the unstructured four-level encryption model is slightly worse than that of the structured encryption model, but the number of mesh is reduced by 90%. It is a highly applicable, efficient and accurate numerical model for groundwater flow, which improves the computational efficiency and makes up for the poor applicability of multi-point encryption of the structured encryption model.

Key words: numerical simulation; groundwater; unstructured model; fully penetrating well in a phreatic aquifer

(上接第 47 页)

Optimization and Comprehensive Evaluation of River Ecosystem Service Value Based on Functional Value Method

CAI Chen-yin¹, ZHAO Li-ke², XU Hui¹, GAO Yu-hui¹, TAN Meng-yuan¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

Abstract: In order to fully reflect the natural environmental conditions and effects formed and maintained by the river ecosystem, which is the basis of human life, after in-depth analysis of the river ecosystem service function, the calculation method of carbon fixation and other functions was optimized. Based on the functional value method, a scientific and reasonable river ecosystem service value (ESV) evaluation methods covering more comprehensive functions was proposed, and Nanhe River ESV in Liyang City was studied with an example. The total ESV of Nanhe River in 2019 is 1.242 billion yuan, with the value of regulation, support, supply and cultural functions accounting for 76.5%, 12.2%, 11.1% and 0.2% respectively, which can provide reference for natural resource asset accounting and ecological compensation standards.

Key words: river ecosystem; functional value method; service function; economic value; Nanhe River