



China Environmental Hydraulics 2004

中国环境水力学

2004

黄真理 廖文根 主编
陈永灿 李锦秀



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国环境水力学

2004

China Environmental Hydraulics 2004

黄真理 廖文根 主编
陈永灿 李锦秀



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

中国环境水力学 .2004/黄真理等主编 .—北京: 中国水利水电出版社, 2004

ISBN 7-5084-2418-2

I. 中 ... II. 黄 ... III. 环境水力学—文集
IV. X52-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 107418 号

书 名	中国环境水力学 2004
作 者	黄真理 廖文根 陈永灿 李锦秀 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 23.5 印张 557 千字
版 次	2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500 册
定 价	59.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

金秋十月是北京最美的季节。第六届全国环境水力学学术会议在金秋时节的北京举行，这是我们全国环境水力学同行们进行学术交流的盛会。

中国水利学会水力学专业委员会环境水力学学组在 2000 年换届后，一直得到水力学专业委员会领导和学组成员单位的大力支持和帮助，学组的前辈科学家们作为顾问给予了很多指导。经过专委会领导的批准，学组独立开展学术交流活动。学组换届后，学组成员、学科内容得到了充实和扩大。不仅包括传统意义的环境水力学专业人员，也广泛接纳了生态学、鱼类学、遥感信息学等多方面的学者，他们分别来自于科研院校、管理机构和基层单位等的全国 25 个单位（全国环境水力学学组组成成员见附录），这充分反映了环境水力学学组既注重多学科的交叉与融合又强调理论与实践密切的结合，使得学组工作蓬勃发展。改组后的学组更加注意学术活动的多样化和规范化，在短短的 5 年内，通过多种形式开展了一系列学术交流工作，取得了一定成效和影响。

(1) 主办好每两年一次的全国环境水力学学术会议，及时了解学科发展态势和方向，增进相关单位的技术交流与合作。2000 年和 2002 年，学组分别在成都和重庆组织召开了第四届和第五届全国环境水力学学术会议，会议论文不仅数量逐次增加，而且在深度和广度都有重大拓展。同时，学组自筹资金，正式出版了会议论文集，最大限度地扩大了学组影响力。

(2) 充分利用现代网络技术，于 2001 年初创办了水环境论坛（论坛网址为：www.weforum.com.cn），并由学组挂靠单位中国水利水电科学研究院水环境研究所负责网站的维护和建设，为学组成员提供了日常交流的平台。

(3) 组织学组成员单位积极参加国家重大科研项目 and 开展咨询活动，取得明显成效。如学组有针对性地进行学术交流活动，探讨解决三峡库区富营养化、生态环境监测等复杂问题的技术方法。组织申请了“三峡水库水污染控制研究”多项重大科研任务和国家自然科学基金重大项目。

(4) 开展学科前沿发展趋势及学科理论的分析与总结，初步构思了学

组今后若干年的发展方向。

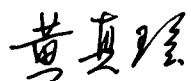
这次会议的论文集共收录论文 54 篇，包括水环境数值模拟与应用（15 篇）、水环境机理试验与评价方法（14 篇）、水生态恢复与水污染防治（16 篇）和综述（9 篇）四个专题。

从本次论文内容的分布来看，传统意义上的环境水力学学科范围仍然是主流，水环境灾害、水生态及生物圈的动力学行为、水—泥沙—污染物的相互作用以及天然水环境的生态修复等专题也逐渐成为环境水力学新的学科发展方向。环境水力学学科理论和相关技术已为我国编制水环境保护规划、制定水环境保护对策，以及解决大型工程建设中生态环境相关问题等提供了重要的技术支撑。

按照惯例，会议由环境水力学学组主办，学组单位轮流承办。感谢中国水利水电科学研究院水环境研究所和清华大学水利系承办这次会议，他们为会议的筹备、论文征集和出版等付出了辛勤的汗水。

环境水力学学组组长

国务院三峡办水库管理司副司长（博士、研究员）



2004 年 8 月于北京

目 录

前 言

水环境数值模拟与应用

三峡水库蓄水后一维水流水质数学模型验证·····	李锦秀 黄真理 吕平毓 等 (3)
明渠弯道水流及污染物输移特性研究·····	申满斌 陈永灿 (10)
香溪河二维随机水质预测模型及其应用·····	王祥三 陈小江 (17)
南水北调东线调水期东平湖流场的数值模拟·····	武周虎 (24)
南水北调梁济运河段水流及排污混合区的数值模拟·····	付莎莎 武周虎 (29)
挖砂对珠江水系水情及环境影响分析·····	韩龙喜 计红 陆永军 等 (34)
玉环电厂循环冷却水温排放数值模拟·····	朱军政 (42)
广州大学城杂用水水厂水源地咸潮影响分析·····	闻平 倪培桐 (50)
无螺灌溉技术中两种形体压力水槽流场特性的数值模拟与对比分析 ·····	付小莉 李大美 (56)
河网下游洪水环境地区组成规律分析及计算·····	蔡振华 王祥三 (63)
珠江三角洲局部河道洪水位壅高原因定量分析·····	彭静 彭期冬 (69)
航道整治的一维水力计算·····	黄辉 李克锋 (76)
电站非恒定流数学模型研究·····	刘丽娟 李嘉 (84)
河道污染源控制方程的神经网络解法·····	曹永强 (90)
模糊神经网络在地表水有机污染物浓度预测中的应用·····	崔宝侠 姚晓颖 (94)

水环境机理试验与评价方法

横流中热水负浮力射流的试验研究·····	槐文信 杨中华 向波 (101)
二维后向台阶流的实验研究·····	齐鄂荣 李炜 黄明海 等 (109)
旋转磨料射流特性分析及新型喷嘴设计·····	刘昭伟 胡鹤鸣 陈永灿 等 (118)
溢流坝人工加糙对城市河流复氧能力的研究·····	程香菊 罗麟 赵文谦 等 (125)
长江三峡库区泥沙对总磷的吸附试验·····	吕平毓 王晓青 张士君 等 (132)

三峡水库 135m 蓄水前后重庆段水文水质变化特征

- 吕平毓 周云 张士君 等 (138)
- 沱江污染事故中氨氮指标监测结果..... 张士君 吕平毓 周云 等 (145)
- 城市河流中几种复氧方法的经济分析比较 单浩音 罗英明 罗麟 (151)
- 概率神经网络水质评价模型研究..... 郑敬云 陈永灿 陈燕 等 (157)
- 张峰水库水环境问题的预测研究..... 李振海 赵蓉 祝秋梅 等 (164)
- 汉阳地区城市面源污染特性及污染负荷预测模型研究
- 叶闯 杨国胜 张万顺 等 (171)
- 金沙江干流梯级开发环境影响初步研究 罗小勇 陈蕾 李斐 (178)
- 基于 GIS 的区域水环境分析系统 沙红良 禹雪中 孙以三 (184)
- 河道水面线计算可视化软件开发..... 陈明千 李然 李克锋 等 (191)

水生态恢复与水污染防治

- 淮河流域未来情景 刘树坤 王兴勇 (201)
- 城市河流生态系统健康评价初探 杨志峰 赵彦伟 (208)
- 挡水建筑物对河流生态环境的影响及其对策 白音包力皋 角哲也 郭军 (216)
- 湖泊富营养化的生态流场特性 李大美 金国裕 (221)
- 白洋淀湿地生态系统的退化及其保护研究..... 李建国 李贵宝 王殿武 等 (227)
- 芦苇床废水处理生态系统的特征和原理 周玉华 武周虎 (234)
- 天津湿地演变过程及原因探讨 周潮洪 常守权 (239)
- 三峡水库渔业养殖发展浅析
- 兼论长寿湖渔业养殖污染..... 李崇明 黄真理 常剑波 等 (244)
- 桃花岛城市新建区非点源特征及其污染控制对策..... 彭盛华 叶闯 韩小波 等 (250)
- 海河流域蓄滞洪区洪水资源化的水环境风险 马巍 彭静 骆辉煌 (256)
- 开封市河流水环境容量研究 赵庆良 赵秉栋 (264)
- 湖南省地下水环境现状与保护措施 李强 周召梅 (270)
- 沧州市水环境恶化的成因及恢复措施..... 李瑞森 郭庆宏 傅学功 等 (275)
- 我国城市黑臭河道治理措施探讨 张修庆 刘军 (284)
- 我国河湖污染综合治理刍议 冯忠民 (292)
- 水环境容量资源在水污染控制中的最适度利用 孙书洪 (297)

综 述

- 人工湿地在我国的研究与应用现状 马井泉 周怀东 (303)

海河流域河道与湿地水生态环境修复与管理之关键	廖文根 彭静 刘树坤	(310)
城市降雨径流污染分析及控制管理研究进展	王孟 叶闽	(316)
简论三峡库区移民开发与资源可持续利用	梁福庆 郑根保 张平	(323)
水生植物修复水体的研究综述	刘来胜 周怀东 魏庆勇 等	(331)
遥感技术在环境水力学中的应用	黄小雪 罗麟	(338)
湖泊流场数值模拟研究进展及发展方向	宋杰红 周孝德 谭立新 等	(345)
泥沙吸附重金属污染物的主要影响因子研究进展	张继生 王平义	(351)
Water Quality Modeling: Official Standard Models		
.....	Junshan Su Wengen Liao	(357)
附录 全国环境水力学学组组成成员		(365)

水环境数值模拟与应用

三峡水库蓄水后一维水流水质 数学模型验证

李锦秀¹ 黄真理² 吕平毓³ 禹雪中¹

(1. 中国水利水电科学研究院水环境所 2. 国务院三峡工程建设委员会
办公室水库管理司 3. 长江上游水环境监测中心)

摘 要 数学模型日益成为人们用来进行水环境决策的重要技术工具, 因而, 数学模型能否反映实际模拟对象的水环境演变规律至关重要。三峡水库已经正式蓄水至 135m 水位, 为建库前建立的一系列水环境数学模型提供了很好的原型验证资料。作者利用三峡水库蓄水后库区江段水流水质等实测资料, 对水库建成前开发的一维水流水质模型进行了验证计算。结果表明, 建立的一维水流水质数学模型具有较高的模拟精度, 能够较好地反映水库蓄水后的水流水质演变规律。

关键词 三峡水库 数学模型 蓄水 验证

1 前言

三峡工程举世瞩目, 其中建库以后库区生态环境问题一直成为人们关注的焦点。为了及早评估水库蓄水以后三峡库区总体水流水质和水环境容量的演变趋势, 进而为有效保护库区水环境提供科学依据, 作者在三峡水库蓄水前, 利用库区江段水流水质和污染源等水环境监测资料以及对建库后水流水质可能演变规律进行分析判断, 研究建立了三峡水库一维水流水质数学模型^[1,2], 并利用数学模型对三峡水库建成以后库区水流水质和水环境容量变化规律进行了较为系统的模拟预测^[3,4]。随着 2003 年 6 月三峡水库正式蓄水, 坝前水位维持在 138m 左右, 比建库前抬高了约 70m, 蓄水后库区水环境特点与建库前相比已经发生了显著变化, 建库前建立的数学模型能否反映水库蓄水以后的自然变化特点, 成为模型开发者、模型应用部门十分关心的问题。为此, 作者利用水库蓄水以后水流水质监测资料, 进行了一维水流水质数学模型验证计算。

2 三峡水库一维水流水质数学模型简介

(1) 模拟范围。考虑到三峡水库库容随上游来水条件、水库运行水位的变化而变化, 三峡水库一维水流水质数学模型开发时, 将三峡整个库区江段及其延伸段作为对象体, 研究范围包括了长江干流和汇入流量占支流总流量 90% 的两条重要支流嘉陵江和乌江。其

中干流研究范围从重庆上游的朱沱至坝前三斗坪,全长约 730km;嘉陵江从北碚至入库汇流口,全长约 60km;乌江从武隆至入库汇流口,全长约 68km。

(2) 模拟指标。

水流模型:水位、流量、断面平均流速。

水质模型:DO、BOD₅、COD_{Mn}、NH₃-N、NO₂-N、NO₃-N、TP、TN 等水质指标。

(3) 模型特点。考虑到三峡水库蓄水以后,库区水流条件将发生很大变化,在进行一维水流水质模型开发研制时,重点考虑了水流条件变化对库区水流水质运动规律的影响。首先通过选择一维非恒定水流水质运动方程,模拟库区水流水质动态变化;其次,对影响水流水质演变规律的关键性模型参数如河道糙率^[4]、污染物纵向离散系数^[5]、污染物生化降解系数^[6]等分别建立了与水流条件相关的预测公式,以求更好地反映蓄水后水流条件显著的动态变化对水流水质演变规律的影响,提高数学模型对三峡水库蓄水后水流水质预测能力。

(4) 建库前模型验证结果。采用 1997 年 8 月(丰水期)和 1998 年 3 月(枯水期)库区两次长河段水流水质及污染源同步观测资料,对一维水流水质数学模型进行了模型验证计算,结果表明,模型对建库前天然河流情况具有较高的模拟精度,流量最大误差 4.2%,主要水质指标模拟浓度误差控制在 50%,其中 DO、BOD₅、COD_{Mn}、TP 指标模拟浓度误差控制在 30%以内、NH₃-N 指标模拟误差在 17%~47%。

3 蓄水后一维水流水质数学模型验证

一维水流水质模型中,水流模型验证计算所需资料包括上游入库断面给定流量资料、下游出库断面给定水位,水质模型验证计算则需要水流计算结果、上游入库断面水质浓度、库区江段内入库污染负荷量。

由于水库蓄水后库区水流、水质、污染源监测分别由不同单位承担,监测资料并不同步和完整,难以用于对库区各断面同时进行包括完整参数的水流水质验证计算。因此,在进行模型验证计算时,通过对观测资料的整理分析,对一维水流和水质模型分别利用蓄水期间和蓄水后的资料进行验证,验证水文参数包括水位、流量;水质参数为 COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP。

3.1 水流数学模型验证

2003 年 5 月下旬三峡水库开始蓄水过程中,库区水面坡降、流动状态等水力要素动态变化过程明显,是用来检验水流模型稳定性、可靠性的典型时段,故采用此期间的实测水文资料对一维非恒定水流模型进行了验证。验证时段为 2003 年 5 月 23 日 8 时~2003 年 6 月 12 日 8 时。此期间,寸滩、清溪场、沱口、奉节、三斗坪同时进行了水位监测,寸滩、清溪场、沱口同时进行了流量监测。监测断面布置见图 1。

水流模型验证计算的范围为朱沱—三斗坪,区间考虑嘉陵江和武隆汇入。将朱沱、北碚和武隆作为模型计算上游边界条件,给定流量过程,三斗坪作为模型计算下游边界条件,给定水位过程。模型糙率仍然采用原模型中综合糙率的处理方法,将阻力分为床面阻力和局部阻力进行处理。模型计算的断面水位动态变化过程见图 2、流量动态过程见图

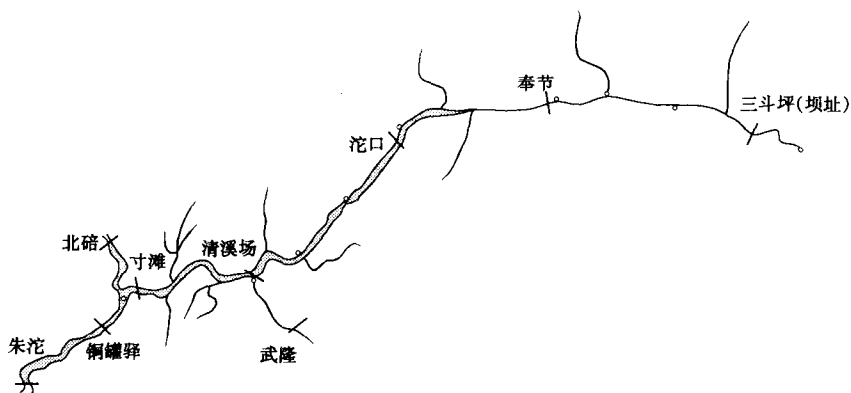


图 1 三峡库区水环境监测断面示意图

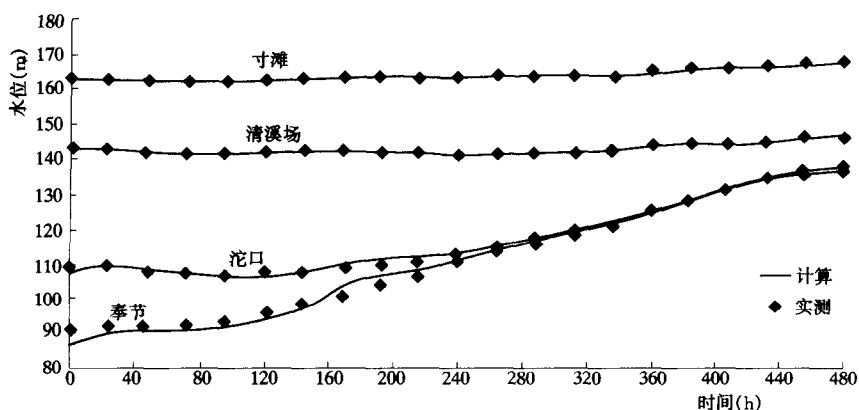


图 2 一维水流模型计算水位与实测值比较 (2003 年 5 月 23 日~2003 年 6 月 12 日)

3~图 5。验证的 480 小时时段内，三斗坪水位由 80m 抬高到 136m，水位抬高了 56m，水位变幅很大，验证计算得到沿程断面水位过程与实测值十分接近，流量相对误差小于 5%。表明建立的三峡库区一维水流模型能够较好地复演水库蓄水过程中水流动态变化过程。同时，由于蓄水过程中水库水动力条件的时空变化都比较明显，一维水流模型验证计算结果说明本模型具有良好的稳定性和适应性。

3.2 水质模型验证

2003 年 5 月下旬开始的 20 天蓄水过程中虽然也进行了水质监测，但没有相应的污染源监测资料。而且，蓄水过程中，库区水质受难以较准确估算的各种污染源的影响，如土壤和农田淹没释放污染物、库底清理遗留的固废浸出等，无法收集和监测到这些污染物释放过程的动态变化量，因此，蓄水期的水质监测资料难以用于水质模型验证。

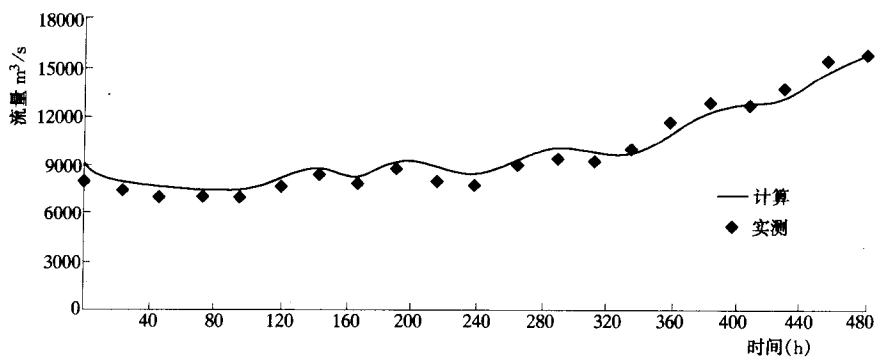


图 3 一维水流模型计算寸滩流量与实测值比较 (2003 年 5 月 23 日~2003 年 6 月 12 日)

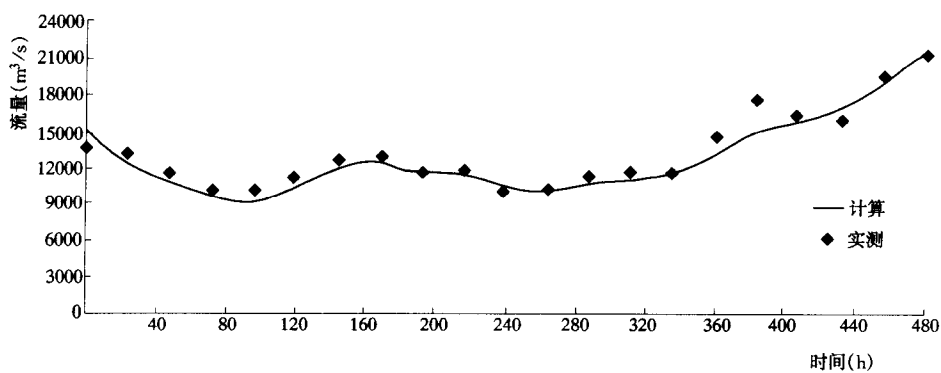


图 4 一维水流模型计算清溪场流量与实测值比较 (2003 年 5 月 23 日~2003 年 6 月 12 日)

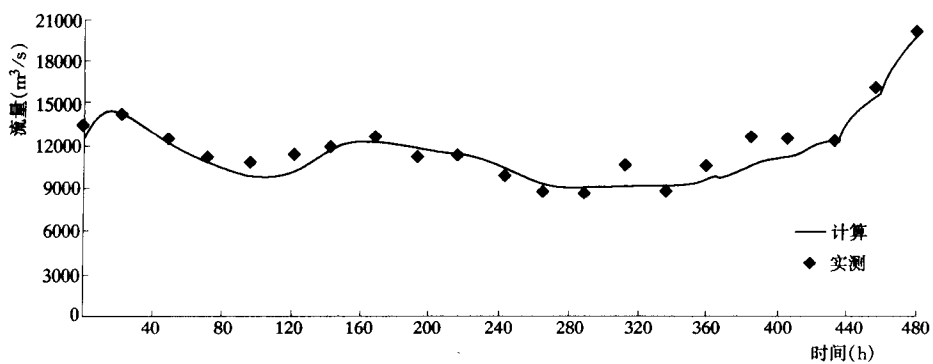


图 5 一维水流模型计算沱口流量与实测值比较 (2003 年 5 月 23 日~2003 年 6 月 12 日)

本文选择三峡库区水流水质和污染源实测资料相对比较齐全的枯水季节（即 2003 年 11 月~2004 年 2 月）进行水质模型验证。在该时段内，库区水流、水质比较稳定，因而可以看作稳定状态，朱沱平均流量为 $5433\text{m}^3/\text{s}$ ，奉节平均水位为 138.86m。利用模型计算枯水季节库区水位沿程分布见图 6。将计算得到的枯水季节平均流态作为库区水质验证计算的平均流态，利用水质模型计算得到枯水季节三峡库区 7 个验证断面四项水质指标断面平均浓度沿程变化与实测值比较结果分别见图 7~图 10。验证断面计算平均浓度与实测平均浓度见表 1。由图和表可见，主要水质指标模型计算误差均能控制在 50% 以内，不同水质指标由于污染来源不一致，模型计算误差也有一定差别，主要水质指标计算误差为 COD_{Mn} 小于 6%、 $\text{NH}_3\text{—N}$ 小于 47%、TN 小于 15.1%、TP 小于 25%。总体而言，建立的三峡库区水质模型具有较高的模拟精度，能够较好地反映三峡水库蓄水后库区水质变化规律。

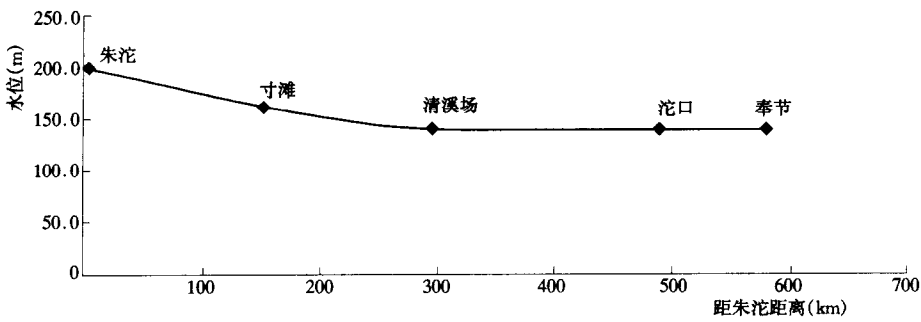


图 6 一维水流模型计算水面线与实测平均值比较（2003 年 11 月~2004 年 2 月平均）

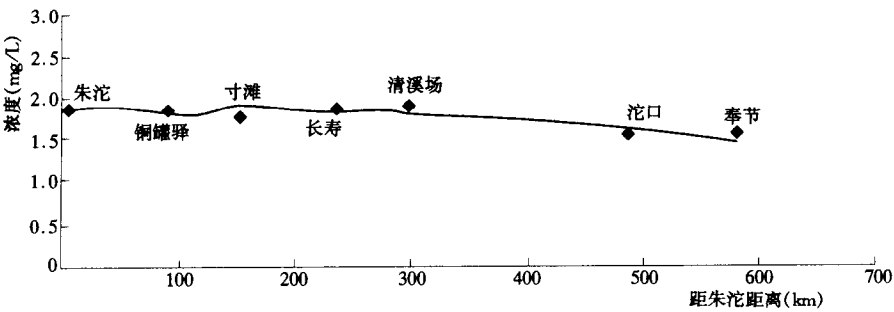


图 7 一维水质模型计算 COD_{Mn} 浓度与实测平均值比较（2003 年 11 月~2004 年 2 月平均）

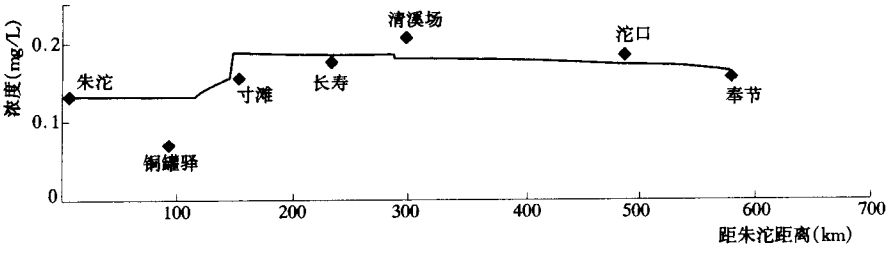


图 8 一维水质模型计算 $\text{NH}_3\text{—N}$ 浓度与实测平均值比较（2003 年 11 月~2004 年 2 月平均）

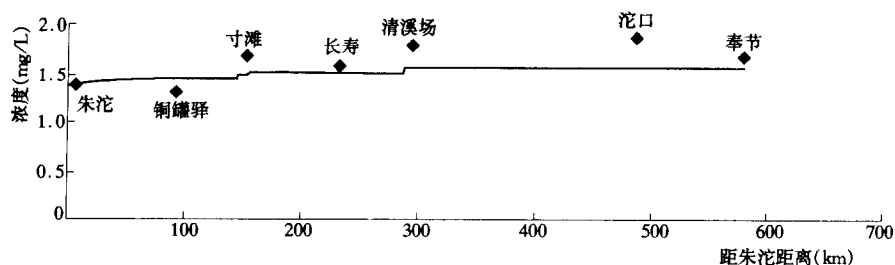


图 9 一维水质模型计算 TN 浓度与实测平均值比较 (2003 年 11 月~2004 年 2 月平均)

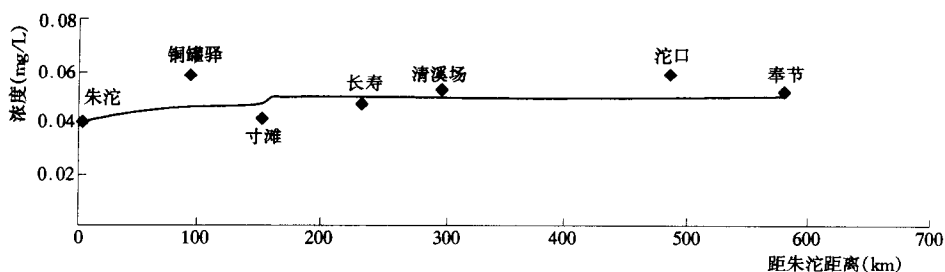


图 10 一维水质模型计算 TP 浓度与实测平均值比较 (2003 年 11 月~2004 年 2 月平均)

表 1 三峡库区一维水质模型计算水质浓度与实测浓度平均值比较

指标	内容	铜罐驿	寸滩	长寿	清溪场	沱口	奉节
COD _{Mn}	计算 (mg/L)	1.85	1.92	1.88	1.82	1.66	1.51
	实测 (mg/L)	1.90	1.81	1.89	1.95	1.59	1.60
	误差 (%)	2.70	5.73	0.53	7.14	4.22	5.96
NH ₃ -N	计算 (mg/L)	0.131	0.189	0.187	0.182	0.175	0.169
	实测 (mg/L)	0.070	0.158	0.179	0.210	0.190	0.160
	误差 (%)	46.56	16.40	4.28	15.38	8.57	5.33
TN	计算 (mg/L)	1.45	1.51	1.51	1.56	1.57	1.57
	实测 (mg/L)	1.33	1.69	1.57	1.80	1.90	1.71
	误差 (%)	8.00	12.17	3.91	15.09	21.13	9.04
TP	计算 (mg/L)	0.047	0.048	0.050	0.050	0.050	0.050
	实测 (mg/L)	0.058	0.042	0.048	0.053	0.060	0.053
	误差 (%)	24.73	11.76	5.18	7.07	20.00	5.37

4 结论

三峡水库 2003 年开始正式蓄水,与建库前相比,库区水环境条件已经发生了显著变化,为建库前建立的一系列水环境模型提供了很好的原型验证资料。作者对水库蓄水前开发的一维水流水质模型,利用蓄水后实测水流水质资料进行了模型验证计算。从目前已有的三峡水库 135 m 蓄水位验证结果表明,建立的三峡一维水流水质数学模型具有较高的模拟精度,能够较好地反映水库蓄水后的水流水质演变规律。同时,考虑到三峡水库正常蓄水位为 175m,较目前蓄水位还要抬高 40m,库区淹没范围将不断扩大,水流速度不断减缓,目前验证的数学模型尚有待得到更多实测资料的率定与验证,才能不断发展完善。

参 考 文 献

- 1 刘树坤等主编. 见:中国水力学 2000. 李锦秀,黄金池,廖文根等. 三峡库区污染物沿程变化规律模拟研究. 成都:四川大学出版社,2000
- 2 李锦秀,廖文根,黄真理. 三峡水库整体一维水质数学模拟研究. 水利学报,2002 (12), 7-17
- 3 黄真理等. 三峡水库水质预测和环境容量计算. 北京:中国水利水电出版社,2004
- 4 黄真理,李玉梁,李锦秀等. 三峡库区水环境容量研究. 水利学报,2004 (3), 7-14
- 5 李锦秀,黄真理,吕平毓. 三峡库区江段纵向离散系数研究. 水利学报,2000 (8), 84-87
- 6 李锦秀,廖文根. 水流条件巨大变化对有机污染物降解速率影响. 环境科学研究,2001 (6)