

China Environmental Hydraulics 2002

# 中国环境水力学

# 2002

黄真理 李锦秀 主编  
廖文根 罗以生



水利水电出版社  
www.waterppp.com.cn

# 中国环境水力学 2002

China Environmental Hydraulics 2002

黄真理 李锦秀 主编  
廖文根 罗以生



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

### 图书在版编目 (CIP) 数据

中国环境水力学 2002/黄真理等主编. - 北京: 中国水利水电出版社, 2002

ISBN 7-5084-1225-7

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 (2002) 第 074534 号

书 名	中国环境水力学 2002
作 者	黄真理 李锦秀 廖文根 罗以生 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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机) 68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
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	787×1092 毫米 16 开本 22 印张 522 千字
版 次	2002 年 10 月第一版 2002 年 10 月第一次印刷
印 数	0001—2600 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换  
版权所有·侵权必究

# 前 言

中国水利学会水力学专业委员会环境水力学学组自 1989 年 4 月成立以来，先后组织召开了四届全国环境水力学学术讨论会，为促进学科的发展起到了很好的推动作用。其中，1999 年 5 月由原学组组长、原武汉水利电力大学李炜教授主编了《环境水力学进展》，总结了在老一辈学者领导下中国环境水力学研究取得的成果。2000 年 9 月在四川成都召开第四届全国环境水力学学术会议。在这次会议上，根据学组发展的需要和中国水利学会水力学专业委员会（简称专委会）的要求，对环境水力学学组进行调整和扩充，成立了以 45 岁以下年轻学者为主体的、新的环境水力学学组。

环境水力学学组是专委会成立的第一个学组，一直得到专委会领导和前辈科学家们的关心、支持和帮助。新学组成立后，一是利用现代信息网络技术，建立了环境水力学学组网站，希望为学组单位和成员提供一个交流信息的平台。二是促进多学科交叉。学组成员既包括了传统的环境水力学的领域，也有生态学、鱼类学等方面的学者，体现了环境水力学发展需要多学科交叉的良好态势，拓宽了环境水力学的研究领域。三是积极吸收工程设计单位和全国各大流域机构的水环境、水资源保护部门的学者参加，以实现学术研究机构与流域管理机构和水资源管理部门以及政府主管部门之间的良性互动和相互交流，促进环境水力学这一应用性很强的学科走出“象牙塔”，为工程建设和国民经济主战场服务。

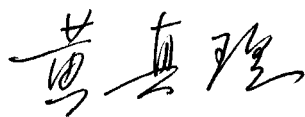
从学组成立至今，环境水力学在中国已走过了十多个年头。作为较早接触“环境水力学”这门课程的研究生，回想起来，那时候开设“环境水力学”课程和招收这个学科方向硕士生和博士生的学校和科研院所很少。我曾在《科技导报》1992 年第 8 期发表“我国环境水力学研究的现状和展望”一文，总结了环境水力学发展的三条主线：一是射流混合机理的研究；二是异重流和分层流的研究；三是自然环境中污染物扩散、输移和衰减的研究。而今天，环境水力学的研究队伍日益扩大，参加全国和国际环境水力学会议的学者中，年轻人越来越多，发展的势头越来越好。这无疑得益于国内外从政府到公众的环境保护意识的提高和环境保护投入的加

大。在研究领域上，从射流混合机理、异重流和分层流、污染物扩散、输移和衰减等传统的研究领域，扩展到水灾害、水生态及其生物圈的动力学行为，水—泥沙—污染物相互作用、自然水环境的恢复机理等众多新领域。传统手段与现代计算机技术和量测技术结合，给环境水力学的学科发展带来了前所未有的机遇和挑战。1993年我到国务院三峡工程建设委员会办公室工作，参加三峡工程的生态环境保护，我感到水利工程对生态方面的影响是不容忽视而又需要研究解决的问题，因此，多年来一直在大力倡导生态水力学（eco-hydraulics）研究，如水体中各种生物如鱼类等的生态习性与水流的相互关系，生物和生态系统与水流的相互作用，生态用水问题和水的生态功能（如景观），水体中动植物生存环境适宜性问题，流域生态学等等。

第五届全国环境水力学学术会议共收到论文 103 篇，本文集收录了 50 篇，分水环境数值模拟与应用、水环境机理试验与评价方法、水污染综合防治和三峡库区富营养化研究四个专题。这些论文大部分出自近年来活跃于国内外的年轻学者。其中，来自流域管理机构和水资源管理部门的论文数量较以往历次会议都多，还有些来自在校的硕士、博士生，尽管这些论文在论文写作、学术水平上可能参差不齐，但我相信，这对推动环境水力学在工程和管理上的应用以及培养新人都是十分重要和有益的。

这次会议在重庆召开，由长江上游水环境监测中心具体承办，在此表示感谢。

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）



2002 年 9 月

# 目 录

## 前 言

### 水环境数值模拟与应用

三峡水库水环境容量研究 .....	黄真理	李锦秀	李崇明	(3)
日本谷中湖水流及水质特性分区模拟分析 .....	陈永灿	黄光伟	玉井信行	韩菲 (15)
横流中平面垂直负浮力排放的数值模拟 .....	杨中华	槐文信		(22)
江苏海州湾近海水域允许纳污量计算研究 .....	华祖林	刘晓东	王童远	路学军 (30)
南水北调东线调水期南四湖流场的数值模拟 .....	武周虎	姜雅萍		(39)
丁坝群河段三维流场数值模拟 .....	李冰冻	李志勤	李克锋	(45)
沙颍河水质模型研制与应用 .....	谭炳卿	张国义	朱春龙	(51)
长江江苏段水质达标分析 .....	逢勇	赵棣华	姚琪	冉庭兵 (58)
泄洪隧洞龙落尾段水流模拟与体型优化研究 .....	李玲	陈永灿	李旭东	(65)
结合起始段的射流过程研究 .....	李剑超	褚君达		(73)
Dobbins—Camp 水质模型的修正 .....	罗英明	程香菊	罗麟	(78)
堤防工程防渗墙对地下水环境影响的初步研究 .....	张家发	杨金忠	黄爽	伍靖伟 (83)
唐山平原区地下水水质模拟研究 .....	罗阳	郭斌	张韶季	(91)
水文预报模型在长江上游的应用研究 .....	王晓凤	张世明	汪志碧	罗以生 (97)
曹娥江绍兴排污工程水环境模拟 .....	朱军政	韩曾萃	潘存鸿	胡国建 (107)
青岛市唐岛湾拦海坝工程对海域水环境的影响评估 .....	徐运海	林繁茂	许尚杰	张立华 付廷伟 (114)
GIS 技术在成都水系水质模拟中的应用 .....	黄文典	何进朝	李志勤	(118)
复杂水网水量模型应用界面开发 .....	骆辉煌	彭静	禹雪中	(125)

### 水环境机理试验与评价方法

横流中湍射流流场的试验和数值模拟方法 .....	姜国强	李炜	张晓元	(133)
--------------------------	-----	----	-----	-------

## 取代苯甲酸在自然江水中的生物降解动力学研究

- ..... 程香菊 罗英明 赵文谦 罗麟 (141)
- 表面驻波作用下紊动射流特性试验研究 ..... 陈兴伟 C.T.Hsu (145)
- 氨氮生化降解速率初探 ..... 兰峰 吕平毓 罗筱延 (151)
- 三峡库区泥沙与主要污染物关系的初步实验 ..... 张士君 王娅 吕平毓 罗以生 (155)
- 关于水体复氧的几点认识 ..... 李然 李嘉 李克锋 罗麟 (159)
- 水污染生化反应动力特性及耗氧系数计算方法探讨 ..... 马巍 雒文生 (164)
- 水信息学与环境水力学 ..... 罗麟 傅晓英 (168)
- 环境影响风险分析方法探讨 ..... 李锦秀 禹雪中 彭静 (175)
- 生态水力学浅议 ..... 张亚 高学平 (182)
- 长江口盐水入侵时空变化规律 ..... 罗小峰 陈志昌 (187)
- 汞在河流中的迁移规律探讨 ..... 梁修慧 周云 吕平毓 (195)
- 三峡库区河段水质灰关联评价 ..... 王渺林 罗筱延 王娅 (199)
- 典型火电厂取水流道内水力特性及滤网堵塞率问题的试验研究  
..... 李振海 魏淑琴 (203)

## 水污染综合防治

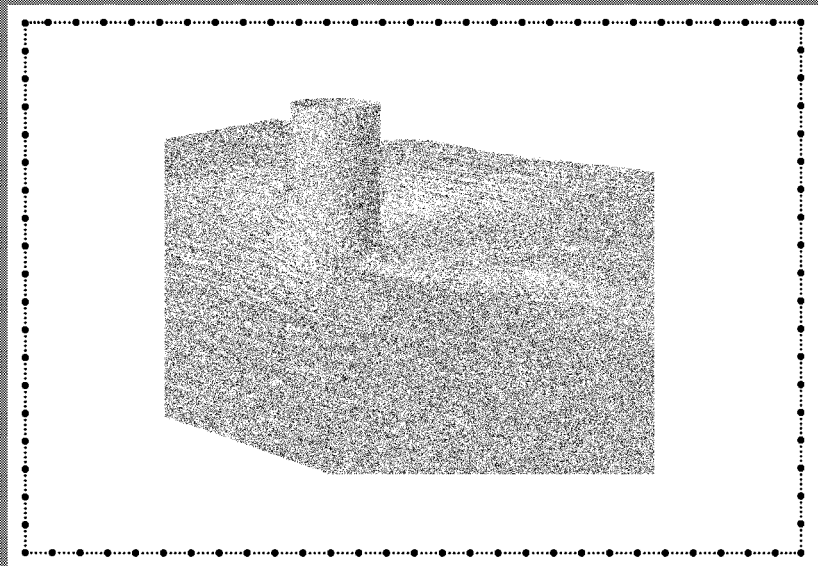
- 珠江河口资源开发的水环境影响分析 ..... 彭静 廖文根 张世奇 (213)
- 珠江片水资源问题及保护对策和措施 ..... 罗承平 李学灵 吴亚蒂 (222)
- 长江水污染事故的分析及处理对策 ..... 汪达 汪明娜 (230)
- 湿地资源的保护与可持续发展 ..... 庄春义 (237)
- 浅析运用望虞河水利枢纽调水改善水环境 ..... 贾锁宝 钮锋敏 (243)
- 岷江中游和沱江水环境现状分析及防治措施 ..... 马运革 杨云云 (248)
- 湘江长株潭江段重金属污染总量控制研究 ..... 李强 李广源 (252)
- 松花江重点江段沿江饮用水井有毒有机污染防治研究 ..... 刘巍 宿华 (258)
- 水资源保护规划的内涵 ..... 曲宝安 王宏 谢琳娜 (261)
- 松辽流域国际界河水环境质量分析 ..... 谢琳娜 陈清林 曲宝安 金世光 (270)
- 关中地区水污染及水资源保护对策研究 ..... 訾香梅 (274)

河流污染物时段通量估算方法分析 .....	富国 雷坤 邢怡 (280)
以时均对流通量估计河流污染物时段通量的误差判断 .....	富国 雷坤 郑丙辉 (287)

### 三峡库区富营养化研究

三峡水库水体富营养化的潜势分析 .....	叶闽 洪一平 彭盛华 杨国胜 (297)
三峡库区富营养化预测方法探讨 .....	李锦秀 廖文根 (303)
三峡水库消落带富营养化污染演化分析与生态治理 .....	刘信安 王里奥 (310)
长江三峡水体中氮、磷的分布特点及赋存形态研究 .....	臧小平 邱波 曾金凤 (317)
乌江“黑潮”现象原因及影响分析 .....	李崇明 张晟 龚宇 张勇 (322)
三峡水库支流香溪河富营养化预测及防治对策研究 .....	王祥三 李大美 李重荣 (328)
对三峡库区及其上游水污染防治规划实施的建议 .....	沈晓鲤 (334)
生态水力学原理及在富营养化控制中的应用 .....	李大美 (339)

# 水环境数值模拟与应用



# 三峡水库水环境容量研究

黄真理<sup>1</sup> 李锦秀<sup>2</sup> 李崇明<sup>3</sup>

(1. 国务院三峡工程建设委员会办公室 2. 中国水利水电科学研究院  
水环境研究所 3. 重庆市环境科学研究院)

**摘 要** 根据三峡库区水功能区划和水质保护目标,利用建立的三峡水库一维水流水质数学模型、库区排污口混合区平面二维和水平分层的三维紊流数学模型,计算三峡水库建成前后总体一维和岸边二维水环境容量及其沿江分配,通过对多种代表性设计方案条件下水环境容量计算结果分析,本文推荐三峡水库水污染控制可采用的管理水环境容量。同时,为了探讨三峡工程对库区水质的影响,本文又拟定了几种理想化的环境容量计算方案,研究建库前后三峡库区水体对污染物的稀释自净能力,以便全面掌握三峡水库水环境容量变化特征。

**关键词** 三峡水库 水环境容量 管理水环境容量 稀释自净能力

## 1 概述

环境容量是环境科学的一个基本理论问题,也是环境管理中的一个重要的实际应用问题。在实践中,环境容量是环境目标管理的基本依据,是环境规划的主要约束条件,也是污染物总量控制的关键技术支持<sup>[1]</sup>。《辞海》中对环境容量的定义为<sup>[2]</sup>:自然环境或环境组成要素对污染物质的承受量或负荷量。定义十分简单,从概念上可以理解为维持天然环境系统自然状况条件下,所能容纳的污染物质量,反映了水体对污染物的稀释与自净能力,称为自然水环境容量。其大小与水体自然属性(水文条件、河道特征等)和污染物特性(包括各类污染物质在水体中的输移转化规律)有关。由于自然水体的水文条件、河道特性都是随时间和空间的变化而变化的,因而,自然水环境容量是一个随时间和空间变化的动态变量。从环境管理、监测与监督的角度出发,人们在进行实际水环境容量计算和使用过程中,通常对原有水环境容量定义进行修正:指水体在设计水文条件和规定的环境目标下所能容纳的最大污染量,从而可以直接为水环境管理服务,通常将此类水环境容量定义为管理水环境容量<sup>[1,3]</sup>。

举世瞩目的三峡工程即将蓄水,从水库水质保护目标和管理需求出发,预测三峡库区最大允许纳污量即水环境容量,已成为三峡水库水污染控制、水环境管理与规划过程中迫切需要解决的关键性问题。但是,由于三峡水库建成后水环境容量受污染物特性、水流水质复杂运动规律、水体功能区划等多种因素影响,至今为止,尚未对三峡工程建成前后库

区水环境容量展开深入的研究<sup>[4,5]</sup>。本文以三峡水库已经开展的一系列水环境保护研究工作为基础,根据库区水体水功能区划和水质保护目标,拟定水环境容量计算设计方案,研究三峡水库水环境容量及其沿江分配,为有效控制水体污染,促使三峡库区水环境与社会经济的协调发展提供科学合理的依据。

## 2 三峡库区水环境状况

(1) 库区江段污染源现状。1998年,库区各类污染源进入长江的SS 2532.6万t, COD<sub>Cr</sub> 81.9万t, BOD<sub>5</sub> 15.1万t, NH<sub>3</sub>-N 1.6万t, TN 13.9万t, TP 0.9万t, Oil 462t,  $\Phi$ -OH(酚) 112t, TCu 3.5t, TCr 3.8t。调查研究表明:影响三峡库区江段水质的主要因素依次为干支流入库水质状况、三个重点城市(重庆主城区、涪陵区和万州区)排污负荷量。这些主要因素的污染控制,对库区水质改善起关键作用<sup>[7]</sup>。

现状调查资料显示,三峡库区污染源主要是城市生活污染源、工业污染源和农田径流。由于库区江段的社会经济在空间上形成以重庆主城区、涪陵区、万州区以及沿江县城为中心的密集型发展态势,因而也形成了以沿江城镇为中心的污染源集中排放区域。1998年库区江段工业及城市污水主要污染物COD<sub>Cr</sub>的年排放量为16.69万t,其中重庆主城区排污量约占库区江段排污总量的65%,涪陵区和万州区分别占排污总量的10%和6.4%,只有18.6%的污染源来自库区江段的其余城镇。库区江段主要污染物为COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N等<sup>[7]</sup>。

(2) 库区江段水质状况。由于三峡库区上游江段来水量大,库区污染物排放总量相对而言不大,因而江段总体水质良好,多年常规水质监测资料统计结果显示,库区江段主要水质指标的断面平均浓度一般低于地表水Ⅱ类标准浓度,仅在排污集中的重庆主城区、涪陵区和万州区的个别断面水质综合评价出现Ⅲ类。但是,由于三峡库区污染源排放比较集中,在一些大的城市排污口附近,已经出现几十米到几公里不等的岸边污染带,局部区域水质污染严重,出现了超Ⅳ类、甚至超Ⅴ类的水体,主要污染指标为COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N等。

由此可见,尽管三峡库区总体水质良好,但是局部区域水质不容乐观。

(3) 三峡库区水污染治理状况。1997~1999年国家计划委员会主持编制了《长江上游水污染整治规划》,规划范围从重庆市巫山县到四川省宜宾市的长江干流以及嘉陵江、沱江、乌江等主要支流下游地区,规划总面积为12.47万km<sup>2</sup>。规划的重点地区是重庆主城区、万州区、涪陵区、泸州、宜宾、自贡、内江等城市。规划到2010年,长江上游干流出川断面和三峡库区总体水质基本达到国家地面水环境质量Ⅱ类水域标准,长江干流城市江段和主要支流水质满足国家地面水环境质量Ⅲ类水域标准;城市生活污水和工业废水COD<sub>Cr</sub>允许排放量,重庆市控制在38万t以内,四川省规划区控制在23.6万t以内。规划提出了城市生活污水和入江固体废弃物的整治方案,以及工业废水的治理措施,包括建设城市污水处理厂49座,处理规模337.5万t/d,削减COD<sub>Cr</sub> 36.3万t/a,投资117.63亿元;建设城市垃圾处理厂39座,处理规模约1.14万t/d,投资约17.3亿元,削减COD<sub>Cr</sub> 17万t/a。

2001 年由国家环境保护总局主持编制了《三峡库区及其上游水污染防治规划（2001~2010 年）》，规划范围包括三峡库区和重庆主城区 20 个区县市（包括湖北省 4 个县、重庆市 15 个区、县、市和主城区）、三峡库区影响区 42 个区县市（包括湖北 4 个区、县、市、重庆市 15 个区、县、市、四川 20 个区、县、贵州 3 个市、县）、三峡库区上游地区 38 个地市的 214 个区县（包括云南 7 个地州市、贵州 7 个地市、四川 21 个地市、重庆 3 个县）。规划总面积为 79 万  $\text{km}^2$ 。规划分两期：到 2005 年，三峡库区及其上游主要控制断面水质达到国家地表水环境质量 III 类标准；到 2010 年，三峡库区及其上游主要控制断面水质达到国家地表水环境质量 II 类标准。规划总投资为 392.2 亿元，其中城镇污水处理厂项目投资 216.5 亿元、城镇生活垃圾处理场投资 77.5 亿元、工业污染源治理投资 24.8 亿元、生态保护工程投资 44.7 亿元、基础能力建设投资 7 亿元、船舶污染治理 14.7 亿元。

《三峡库区及其上游水污染防治规划》与《长江上游水污染整治规划》相比，除规划范围扩大以外，还对库区的部分工程项目加快了进度。规划存在的主要问题之一是污染物控制或削减方案与水质保护目标之间没有输入响应定量关系，缺乏总量控制的技术支撑。因此，通过规划无法说清，建设了这么多的污水处理设施后，是否能达到水质保护目标。另外，即使从行政管理角度提出了污染物总量（如  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ）控制指标，但没有把总量分配到江段或污染源上。因此，按照目前的总量控制理论<sup>[6]</sup>，规划在水环境容量问题上科学依据不够充分，更没有考虑建库后水环境容量的变化问题。

国家十分重视三峡工程的生态与环境保护工作。目前，国家和地方投入巨资，正在按照规划全面展开三峡库区水污染的治理工程，争取在 2003 年 6 月三峡工程初期蓄水发电时发挥效益。

### 3 三峡库区管理水环境容量确定依据

管理水环境容量是指水体在一定的规划设计条件下的最大允许纳污量，其大小随规划设计目标的变化而变化，反映了特定水体水质保护目标与污染物排放量之间的动态输入响应关系。因此，为了计算管理水环境容量，首先必须确定水环境容量计算的规划设计条件，包括水功能区划和水质保护目标、设计水文条件、排污口位置、控制污染物指标和上游来水水质状况等条件。

本文以 1998 年专题调查的库区污染源和水质状况代表三峡水库现状水质，2010 年设定为水质规划设计年。由于三峡水库库容随着入流水文条件、水库运行水位的变化而变化，本文将三峡整个库区江段及其延伸段作为研究对象体，包括长江干流和嘉陵江和乌江（汇入流量占支流总流量 90% 的两条重要支流），深入研究三峡水库建成前后，库区范围水流结构变化特点以及库区水质变化趋势。其中干流研究范围从重庆上游的朱沱—三斗坪，全长为 730km，嘉陵江从北碚至入库汇流口，全长约为 60km，乌江从武隆至入库汇流口，全长约为 68km。用库区干流朱沱断面、嘉陵江北碚断面和乌江的武隆断面作为三峡水库上游入库控制断面。

### 3.1 三峡库区水质保护目标

(1) 功能区水质达标。三峡水库集工农业供水、生活用水、航运、景观等多种功能。分析三峡水库现状水质状况以及水体主要功能需求和社会经济发展程度，经国家批准的《长江三峡水利枢纽环境影响报告书》中明确要求：水库建成以后总体水质应满足Ⅱ类水标准。考虑到城市经济发展需求，在三个重点城市江段（重庆主城区、涪陵区和万州区）允许存在一定水域的Ⅲ类水体。三峡水库不同江段主要功能和功能区水质保护目标见表1。根据三峡库区水质和污染物排放状况，污染物控制性指标确定为  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$ 。其中总体水质是指断面平均浓度的评价结果<sup>①</sup>，以此作为三峡库区宏观水质保护目标。

表 1 三峡库区江段功能区划和水质保护目标

区域	河名	河 段	水 域 功 能	水质类别	河段长 ( km )
重庆 主城区	长江	江津段	工业用水、航运	Ⅱ	30.1
	长江	市区上游段	饮用水源、工业用水、航运	Ⅱ	20.7
	长江	市区下游段	工业用水、航运、景观	Ⅲ	17.0
	嘉陵江	北碚段	饮用水源、工业用水、航运	Ⅱ	39.0
	嘉陵江	嘉陵江出口段	饮用水源、工业用水、航运	Ⅲ	12.0
	长江	长寿段	工农业用水、航运	Ⅱ	92.8
涪陵区	长江	涪陵上游段	饮用水源、工业用水、航运	Ⅱ	10.9
	长江	涪陵下游段	工业用水、航运	Ⅲ	10.5
	乌江	武隆段	饮用水源、工农业用水	Ⅱ	68.5
	乌江	乌江出口段	工业用水	Ⅲ	2.0
	长江	丰都段	饮用水源、工农业用水、航运、景观	Ⅱ	43.5
万州区	长江	忠县段	饮用水源、工农业用水、航运、景观	Ⅱ	58.7
	长江	沱口段	饮用水源、工业用水、航运	Ⅱ	89.0
	长江	晒网坝段	工业用水、航运	Ⅲ	8.0
	长江	云阳段	饮用水源、工农业用水、航运、景观	Ⅱ	47.0
巫山区	长江	奉节段	饮用水源、工农业用水、航运、景观	Ⅱ	61.5
	长江	巫山段	饮用水源、工农业用水、航运、景观	Ⅱ	37.9
湖北 库区	长江	巴东段	饮用水源、工农业用水、航运、景观	Ⅱ	51.8
	长江	坝址段	饮用水源、工农业用水、航运、景观	Ⅱ	72.5

① “总体水质”是一个具有三峡特色的概念。由于三峡水库周围有重庆主城区、涪陵区、万州区等城镇，存在大量排污口，必然存在污染混合区，即允许一定范围内的污染存在。因此，提出了“总体水质”概念来反映三峡水库的总体环境容量。本文认为“总体水质”是以断面水质平均浓度来评价的水质状况，单位时间的断面负荷量/断面流量，总体水质对应于总体环境容量。

(2) 未来水质不能比现状差。三峡库区江段现状水质比较好, 主要污染物控制指标  $COD_{Mn}$  和  $NH_3-N$  的断面平均浓度基本上都低于 II 类水质标准浓度。为了预防水质恶化, 对三峡水库建成以后库区水质提出了更高的控制目标, 即三峡水库建成以后库区水质状况既要满足功能区确定的水质类别要求, 同时, 建库以后水质状况又不能比现状水质差, 其中现状水质以 1998 年为基准。

(3) 排污口混合区水质保护目标。由于三峡库区江段水面比较宽, 在一些大的排污口附近会出现大小不等的污染混合区, 库区江段水质现状监测结果表明, 岸边污染带比较显著, 局部水域污染严重。因此, 为了全面控制三峡库区水质状况, 在进行三峡水库一维总体水质控制的基础上, 严格控制三峡库区污染混合区范围。本文提出: 混合区水质控制标准确定为在不影响水域功能区应用条件下, 单个污染混合区的长度控制在 100m 以内, 宽度不得超过河道断面宽度的 1/10, 最大宽度不超过 100m, 而且, 江段混合区总长度控制在河段长度的 1/30 以内, 岸边污染物排放总量不得高于库区江段总体一维水环境容量。

### 3.2 库区江段管理水环境容量计算类型

为了全面有效地控制三峡库区水质污染, 对应的拟开展三峡库区总体一维管理水环境容量研究和局部江段岸边二维管理水环境容量研究, 以便为三峡库区水质保护目标的定量化管理提供依据。

### 3.3 管理水环境容量计算设计水文水质条件

(1) 设计水文条件。水流条件是决定水环境容量的最重要因素之一, 尤其是三峡库区水文条件年内和年际间变化很大。设计水文条件的确定, 反映了水质保护目标的安全系数。根据国内外水质规划计算规范, 结合三峡库区江段水文水质特性, 从偏于安全考虑, 采用 90% 保证率连续 7 天最小流量作为水环境容量计算的设计入库水文条件, 简称 7Q10。同时, 为了比较三峡水库建成前后库区环境容量变化, 三斗坪水位分别取为相应于 7Q10 设计流量下的天然河道水位为 65.8m (代表天然河道状况) 以及三峡水库建成以后的运行调度水位 168.6m 和三峡水库正常蓄水位 175m。

(2) 排污口位置分布。三峡水库建成以后, 大量城镇将要搬迁, 排污口位置初步按照库区城镇 1998 年现状位置和规划设计位置两种分布方案考虑, 以排污口现状排污量作为水环境容量计算的分配权重, 按照污染负荷等比例分配原则将库区水环境容量分配到各排污口。

(3) 上游入库水质状况。水质现状监测资料表明, 三峡库区上游入库水质都能满足功能区规定的 II 类水质标准, 而且主要水质指标  $COD_{Mn}$ 、 $NH_3-N$  的监测浓度均低于 II 类水质标准, 因此, 在进行库区水环境容量计算时, 上游入库水质按维持现状条件设计。

(4) 库区江段污染物排放总量控制目标。为了保护库区水体环境, 国家对三峡库区污染源提出的总量控制目标为<sup>①</sup>: 三峡库区 2010 年  $COD_{Cr}$  排放总量不超过 38 万 t/a。假定将 1998 年库区各江段现状排污量为基础进行库区总量分配, 按照等比例分配原则, 2010 年

① 中华人民共和国国务院 [1999] 9 号文件《国务院关于长江上游水污染治理规划的批复》, 1999 年 1 月 25 日。

三峡库区沿江 COD<sub>Cr</sub>允许最大排放量见表 2。由于国务院文件中,只提出了 COD<sub>Cr</sub>排放总量控制目标,没有 NH<sub>3</sub>—N 的污染物总量控制目标。三峡库区点源污染负荷主要来自城市生活污水,其性质相对比较稳定,而且通常 NH<sub>3</sub>—N 与 COD<sub>Cr</sub>之间存在一定的比例关系。本文根据三峡库区 1998 年实测点源污染负荷中 NH<sub>3</sub>—N 与 COD<sub>Cr</sub>的比例以及沿程分布,按照 COD<sub>Cr</sub>排放总量控制目标对 NH<sub>3</sub>—N 进行同比例控制,折算出三峡库区沿江 2010 年 NH<sub>3</sub>—N 允许最大排放量见表 2。

表 2 三峡库区 2010 年污染物排放控制总量

江 段	COD <sub>Cr</sub> (万 t/a)	NH <sub>3</sub> —N (万 t/a)
重庆主城区江段	25.37	2.18
库区其他江段	12.63	0.78
合 计	38	2.96

综合以上多种影响因素,最后确定的三峡水库水环境容量计算方案见表 3。通过对一维总体环境容量进行多方案计算分析,提出三峡库区在实际运用中的总体一维水环境管理容量,在此基础上,计算库区岸边二维水环境容量。

表 3 三峡水库一维和二维管理水环境容量计算方案

水库状态	方案	设计流量	设计水位	排污口位置	水质保护目标	上游入库水质控制浓度		排污总量控制
						COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	NH <sub>3</sub> —N (mg/L)	
建库前	1	7Q10 设计流量	天然水位 65.8m	1998 年现状排污口位置	功能区划水质达标;建库后水质不能比建库前差;排污口混合区范围控制	朱沱: 2.1 武隆: 2.2 北碚: 1.5	朱沱: 0.34 武隆: 0.40 北碚: 0.16	库区各江段排污总量不超过表 2 的控制量
建库后	2	7Q10 设计流量	水库运行水位	1998 年现状排污口位置	功能区划水质达标;建库后水质不能比建库前差;排污口混合区范围控制			
	3		168.6m	按规划排污口位置计算				
	4	7Q10 设计流量	水库正常蓄水位	按现状排污口位置计算	功能区划水质达标;建库后水质不能比建库前差;排污口混合区范围控制			
5	175m		按规划排污口位置计算					

## 4 三峡库区管理水环境容量计算

### 4.1 一维总体管理水环境容量计算<sup>[8]</sup>

(1) 计算模型。针对三峡水库总体一维水流水质运动特点,开发研制一维非恒定水流水质数学模型,仿真模拟水库建成前后的水流水质运动规律。模型充分考虑了三峡水库建成前后水流条件巨大变化对库区水流水质运动特性的影响,水流水质主要模型参数建立了与水流条件相关的经验关系式,既提高了模型计算精度,又提高模型预测能力<sup>[9~14]</sup>。三峡库区丰水期和枯水期两个代表性时段长河段水流水质数值模拟结果<sup>[15]</sup>,验证一维水流

水质数学模型具有较高的模拟预测精度，可以作为三峡库区水环境容量计算的工具。

(2) 一维总体管理水环境容量计算。将 7Q10 设计流量作为三峡入库流量，三斗坪水位分别取自 65.8m、168.6m 和 175m，模拟计算库区水流状况，分别代表三峡水库建成前后的三种代表性水流状况。将水库上游三个入库断面控制浓度作为水库背景来水水质，设计排污口位置和现状排污量所占比例作为水环境容量分配权重，按照等比例原则计算三峡水库在设计水质保护目标下最大允许纳污量。利用一维水流水质数学模型计算得到不同方案下三峡水库一维总体水环境容量和沿江段的分配见表 4。

表 4 三峡水库建成前后一维总体水环境容量

区域	河流	河 段	COD <sub>Cr</sub> (万 t/a)					NH <sub>3</sub> -N (万 t/a)				
			现状排污口			规划排污口		现状排污口			规划排污口	
			65.8m	168.8m	175m	168.8m	175m	65.8m	168.8m	175m	168.8m	175m
重庆主城区	长江	江津段	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	长江	市区上游段	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	长江	市区下游段	1.20	1.20	1.50	3.57	4.85	0.09	0.18	0.20	0.31	0.37
	嘉陵江	北碚段	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
	嘉陵江	嘉陵江出口段	3.53	3.53	3.53	0.88	0.88	0.16	0.16	0.16	0.03	0.03
	长江	长寿段	1.40	2.79	3.17	2.79	3.17	0.05	0.11	0.11	0.11	0.11
涪陵区	长江	涪陵上游段	0.47	1.06	1.06	1.06	1.06	0.05	0.11	0.11	0.11	0.11
	长江	涪陵下游段	0.52	2.33	2.33	2.33	2.33	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	乌江	武隆段	0.07	0.15	0.15	0.15	0.15	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	长江	丰都段	0.28	0.63	0.63	0.63	0.63	0.01	0.02	0.10	0.10	0.10
万州区	长江	忠县段	0.24	0.55	0.55	0.55	0.55	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06
	长江	城区段	1.05	2.38	2.38	2.38	2.38	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
	长江	云阳段	0.11	0.26	0.26	0.26	0.26	0.09	0.20	0.20	0.20	0.20
巫山段	长江	奉节段	0.23	0.53	0.53	0.53	0.53	0.03	0.07	0.07	0.07	0.07
	长江	巫山段	0.16	0.35	0.35	0.35	0.35	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03
湖北库区	长江	巴东段	0.14	0.32	0.32	0.32	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	长江	坝址段	0.09	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
库区合计			16.19	22.47	23.15	22.20	23.85	1.10	1.57	1.67	1.66	1.72

(3) 计算结果分析。三峡水库建成以后，随着水位抬高，水流减缓，污染物在库区滞留时间的延长，污染物自净降解总量将比建库前增大，因而水库建成以后一维总体水环境容量较建库前略有增大。有关三峡水库建成前后水流水质运动规律变化趋势见参考文献 [14]。一维总体水环境容量不同计算方案结果显示，三斗坪水位在 175m 水位下的水环境容量比水位 168.6m 条件下的水环境容量略大一些，在现状排污口条件下计算得到的水环境容量与规划排污口条件下的计算水环境容量也有一些差别。从水质偏于安全和实际管理

应用角度出发, 本文建议将三峡库区运行水位 168.6m 和规划排污口条件下计算得到的水环境容量作为三峡水库建成以后的一维总体管理水环境容量值。三峡水库建成前后总体管理水环境容量分别为: 建库前  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  16.19 万 t/a 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  1.10 万 t/a, 建库后  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  22.20 万 t/a 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  1.66 万 t/a。

## 4.2 二维岸边水环境容量计算<sup>[16]</sup>

(1) 计算模型。以重庆主城区、涪陵区和万州区江段为重点, 针对三峡库区不同江段排污口和汇流口混合区特点, 分别开发研制平面二维  $k-\epsilon$  模型和水平分层的三维紊流模型<sup>[17~20]</sup>。平面二维  $k-\epsilon$  模型考虑非线性因素的影响<sup>[21~23]</sup>, 用于模拟计算水深比较浅的重庆江段排污口附近混合区范围。水平分层的三维紊流模型用于水库建成以后水深比较大的涪陵和万州段排污口附近混合区范围。模型在边界处理和参数选取上进行了深入研究, 能够模拟复杂边界、自由水面、岸边排放等大范围的混合区发展变化。大量实测资料验证结果表明<sup>[24~28]</sup>, 建立的两类数学模型均具有较高的模拟精度, 能够精细模拟预测排污口附近的复杂水流特点和污染混合区范围。

(2) 局部江段岸边二维水环境容量计算。岸边水环境容量是在单个排污口混合区计算的基础上进行的。通过选择三峡库区江段代表性排污口, 计算单个排污口的混合区范围, 根据混合区水质保护目标, 反推单个排污口最大允许污染负荷排放量。并利用式(1)计算得到整个江段岸边污染物最大允许排放量, 也即岸边管理水环境容量:

$$\frac{\text{江段岸边水环境容量}}{\text{江段控制长度}} = \frac{\sum \text{排污口最大允许排污污染负荷量}}{\sum \text{混合区长度}} \quad (1)$$

利用建立的混合区水流水质数学模型, 计算得到三峡库区重要江段岸边水环境容量见表 5。

表 5 三峡水库建成前后各江段岸边水环境容量

江 段	$\text{COD}_{\text{Cr}}$ (万 t/a)			$\text{NH}_3\text{-N}$ (万 t/a)		
	65.8m	168.6m	175m	65.8m	168.6m	175m
重庆主城区	17.6	8.7	5.2	0.1843	0.1107	0.0770
涪陵区	6.7	2.5	1.9	0.0476	0.0337	0.0263
万州区	2.4	1.2	1.2	0.0328	0.0250	0.0241

(3) 计算结果分析。库区江段混合区数值计算结果显示, 随着水库水位抬高, 水流紊动能力的减弱, 使污染物混合区掺混强度减弱, 水流水质断面分布不均匀性有所增大, 排污口附近混合区范围将发生明显变化, 混合区形状由天然河道的狭长型向宽短型发展, 而且, 在同样条件下, 水库建成以后混合区面积与建库前相比呈增大的趋势。因此, 在同样混合区水质控制目标下, 岸边水环境容量随库区水位抬高而呈减小的趋势。从水质偏于安全考虑, 建议将蓄水位 175m 方案下的岸边水环境容量作为建库后的岸边控制水环境容量。