

三峡库区 水质与水生态环境分区评价

刘广龙 著



科学出版社

三峡库区水质与 水生态环境分区评价

刘广龙 著

科学出版社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

三峡水库的修建和运行在带来巨大经济效益的同时,也对库区水质和水生态安全产生了重大影响。随着三峡水库进入 175 m 稳定运行期后,其库区水质和水生态安全产生了新的变化。本书通过对三峡水库 175 m 稳定运行期后干流水质监测数据的获取及分析,采用模糊综合评价等多种方法分析库区干流的水质;采用国际先进的 Deflt 3D 模型对库区支流的水文和水质进行模拟;基于 DPSIR 模型,对库区不同分区如库首、库腹和库尾及不同角度如农业面源污染、城镇化等进行水生态安全评价。以期相关工作能对三峡库区进一步的科学管理提供依据。

本书可供三峡库区水环境相关的科技工作者、管理者及高等学校相关专业的师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

三峡库区水质与水生态环境分区评价/刘广龙著. —北京:科学出版社, 2017.11

ISBN 978-7-03-055508-3

I. ①三… II. ①刘… III. ①三峡水利工程-水库环境-水环境质量评价
②三峡水利工程-水库环境-环境生态评价 IV. ①X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 280814 号

责任编辑:杨光华 郑佩佩/责任校对:谌 莉

责任印制:彭 超/封面设计:苏 波

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16

2017 年 11 月第 一 版 印张:10 3/4

2017 年 11 月第一次印刷 字数:255 000

定价:50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

生态安全是当今社会最为关注的安全问题之一。生态安全问题的产生是由生态系统在时间和空间的变化引起的。生态系统的变化及其测定、生态系统的安全及其评价、生态安全的阈值及其确定无疑是资源环境研究领域最受关注的内容,它们也构成了生态安全的核心内容。

三峡水库是长江上游巨型水库群中最大和最关键的一座水库,直接关系到长江中下游地区的社会稳定、经济发展、生态安全、环境保护,因此三峡水库的水生态安全保障需求分析涉及区域广、服务人口众多、影响的行业多、牵涉的物理-生态过程复杂,是一个复杂的集中反映人类-自然二元复合系统特点的系统工程。为探明人类活动对三峡库区水生生态系统的生态效应的响应情况,本书从认识库区水质情况入手,对库区水体单元进行划分。在此基础上,针对三峡库区不同水体单元,建立大型水库水环境安全的评价技术体系,评估三峡库区水环境安全状态,诊断库区水环境问题及成因,识别关键影响因子,丰富大型水库蓄水运用期水环境问题及成因的认识,深入了解三峡库区经济社会发展、土地利用、水库蓄水运用方式等与库区水环境和水生态之间的胁迫-响应关系;对三峡库区蓄水运用期的水环境问题的发展趋势进行分析和评价,研究水污染防治的重点和主要手段。

本书共分为5章,第1章主要讲述三峡库区概况;第2章主要采用多种方法对三峡库区干流的水质问题进行诊断;第3章主要采用Delft 3D模型对三峡库区典型支流的水文水质进行模拟;第4章基于DPSIR模型对三峡库区和干流不同水体单元及库区典型支流的水生态安全进行评价;第5章对研究的成果进行总结并对今后的工作进行展望。

本书是国家水体污染控制与治理科技重大专项“不同水位运行下水环境问题诊断及生态安全保障研究”(2012ZX07104-001)项目第五课题“三峡库区水生态风险阈值及其安全保障方案研究”的研究成果,其中大部分内容是未以论文发表的成果。

结合本书的研究特点和要求,项目负责人朱端卫教授对本书的结构和内容进行了总体规划 and 设计,并对具体内容提出了要求。余明星对全书进行统稿,对各个章节的部分内容进行补充和修订。唐汉萌和成帅对本书的词句进行校正。本书的编辑也为本书的最后出版倾注了大量的心血。我们希望本书能为深刻认知和研究三峡库区的生态安全打下基础,也为三峡库区相关政策的实施提供参考。

刘广龙

2017年8月31日于武汉

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 三峡库区概况	1
1.1.1 自然概况	1
1.1.2 社会经济概况	5
1.1.3 面源污染来源分析	6
1.1.4 城镇化现状	7
1.2 水质评价	7
1.2.1 国内外研究动态	7
1.2.2 主要方法	9
1.2.3 方法比较	13
1.3 水生态安全评价	14
1.3.1 指标体系	14
1.3.2 技术方法	15
1.3.3 水生态安全指数预测	17
第 2 章 三峡库区干流水质诊断方法	19
2.1 主成分分析法原理与运算	19
2.1.1 主成分分析法概述	19
2.1.2 主成分分析法在水质评价中的应用	20
2.1.3 175 m 蓄水位运行后干流水质时空特征	22
2.1.4 不同水位条件下主成分分析法分析水质空间变化	34
2.2 聚类分析	41
2.2.1 聚类分析法概述	41
2.2.2 2012 年三峡库区干流断面聚类分析	42
2.2.3 不同水质指标下三峡库区干流断面聚类分析	43
2.3 逐步判别分析法	45
2.3.1 Bayes 判别分析法	45
2.3.2 三峡库区水质评价	46
2.3.3 小结	49
2.4 基于分层遗传算法的投影寻踪模型	50
2.4.1 水质评价指标	50
2.4.2 建立投影寻踪模型的步骤	50
2.4.3 加速分层遗传算法优化模型	51

2.4.4	水质评价及结果分析	51
2.4.5	小结	53
2.5	距离评判理论和支持向量机的水环境质量评价	54
2.5.1	基本理论	54
2.5.2	基于距离评判理论构建水环境质量评价指标体系	56
2.5.3	三峡库区水环境质量评价模型的构建	57
2.5.4	小结	58
第3章	三峡库区不同水位条件下水质变化特征	59
3.1	Delft3D 模型概述	59
3.1.1	Delft3D 模型介绍	59
3.1.2	Delft3D 模型结构模块	59
3.1.3	Delft3D 模型部分模块介绍	59
3.1.4	基本原理	61
3.2	香溪河流域水质变化特征	62
3.2.1	香溪河研究区域概况	62
3.2.2	Delft3D 模型构建和水动力模拟	63
3.2.3	水动力分析	70
3.2.4	香溪河水质模拟	75
3.2.5	小结	82
3.3	大宁河研究区水质变化特征	82
3.3.1	研究区域概况与数据来源	82
3.3.2	Delft3D 网格创建与水动力模拟	83
3.3.3	结果与讨论	85
3.3.4	小结	93
第4章	三峡库区水生态安全评价	94
4.1	基本术语	94
4.1.1	水生态安全	94
4.1.2	生态风险	94
4.1.3	水生态安全评价	94
4.1.4	水生态安全评价的指标体系	94
4.1.5	水生态安全评价的方法	94
4.2	技术路线和思路	94
4.3	概念模型	95
4.3.1	DPSIR 模型的发展历史	95
4.3.2	DPSIR 模型的原理、结构	96
4.4	评估指标体系构建	96
4.4.1	指标选取原则	97
4.4.2	评价指标	97

4.5 数据预处理和标准化	105
4.6 权重的确定	106
4.7 生态安全度等级划分	106
4.8 评估过程	107
4.9 三峡库区水生态安全评价——基于 DPSIR 框架分析	108
4.9.1 研究地域	108
4.9.2 研究背景	108
4.9.3 数据来源	109
4.9.4 评价指标	109
4.9.5 评价指标标准值	109
4.9.6 评价指标权重	110
4.9.7 三峡库区干流水生态安全评价结果与分析	112
4.9.8 三峡库区典型支流——小江水生态安全评价结果与分析	122
4.9.9 三峡库区典型支流——香溪河水生态安全评价结果与分析	125
4.9.10 三峡库区典型支流——大宁河水生态安全评价结果与分析	128
4.9.11 农业面源视角下三峡库区水生态安全评价——基于 DPSIR 分析	131
第 5 章 三峡库区水生态安全调控对策	143
5.1 三峡库区水环境问题诊断	143
5.1.1 三峡库区干流水环境问题诊断	143
5.1.2 三峡库区典型支流水环境问题诊断	144
5.2 三峡库区水生态安全问题解析	144
5.3 三峡库区生态产业发展及水污染防治对策	146
5.3.1 产业发展模式	146
5.3.2 农业——多种模式的生态高效农业	147
5.3.3 渔业——保护、改善	148
5.3.4 畜牧业——利用库区资源综合发展	149
参考文献	150

第 1 章 绪 论

1.1 三峡库区概况

1.1.1 自然概况

1. 地理位置与流域水系

三峡库区位于湖北省西部和重庆市中东部,地跨东经 $105^{\circ}44'$ ~ $111^{\circ}39'$,北纬 $28^{\circ}32'$ ~ $31^{\circ}44'$,所辖地域分为三峡库区和重庆主城区,共涉及 20 个区县,包括湖北省的巴东县、秭归县、兴山县和夷陵区 4 个区县,重庆市的江津区、渝北区、巴南区、长寿区、涪陵区、武隆区、丰都县、石柱土家族自治县、忠县、万州区、开州区、云阳县、奉节县、巫山县、巫溪县 15 个区县(市)和主城区(包括渝中区、大渡口区、江北区、沙坪坝区、九龙坡区、南岸区、北碚区 7 区)。总幅员面积为 $55\,742\text{ km}^2$,其中水域面积为 $1\,862\text{ km}^2$,占总面积的 3.34%;总库容 $393\times 10^8\text{ m}^3$;水库全长 660 km,平均宽度 1.1 km,平均水深 90 m。三峡库区江河纵横,水系发达,分属长江干流、嘉陵江、乌江、汉江和洞庭湖等水系。当三峡水库处于 175 m 正常水位时,长江干流的河面宽度一般为 700~1 700 m,干流平均宽度约 1 100 m,其中大部分库区河段水面宽度不超过 1 000 m,仅万州区到丰都县之间约 150 km 库段的水面宽度超过 1 300 m。库区干流河段水流平均深度约 70 m,在坝前达到最大水深,约为 170 m。水库建成后,由于回水顶托的作用,造成三峡库区内 171 条支流洄水长度达到 1 km,16 条支流洄水长度达到 20 km。

2. 地形、地貌特征

三峡库区内地形复杂,跨越川鄂中低山峡谷和川东平行岭谷低山丘陵区,北靠大巴山麓,南依云贵高原北麓,处于大巴山断褶带、川东褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带三大构造单元的交汇处。奉节以东属川东鄂西山地,奉节以西属川东平行岭谷低山丘陵区,高差悬殊,山高坡陡,河谷深切。三峡库区地处中国第二级阶梯的东缘,东西部海拔高程一般为 500~900 m,中部海拔高程一般为 1 000~2 500 m,主要地貌类型有中山、低山、丘陵、台地、平坝。山地占库区总面积的 74.0%,丘陵占 21.7%,河谷平原占库区总面积的 4.3%。

3. 气候特征

三峡库区地处中亚热带北部地区,属于亚热带季风湿润气候。主要气候特征为日照充足、气候温暖、雨量充沛、湿度较大、温湿凉热、云雾多、无霜期长、四季分明。年平均气温在 $15\sim 19^{\circ}\text{C}$,无霜期达 300~340 d。由于三峡库区山高谷深、高差较大,年平均气温高于长江中下游同纬度地区 2°C 左右。从 2001 年开始,已连续 12 年气温偏高。近年来,三峡库区年平均气温一直呈现着上升的趋势,这与西南地区年平均气温的变化趋势基本一

致。年均降水量高达 1 000~1 300 mm,降水量主要集中在 6~9 月,占年降水量的 50%~65%,多年年均径流量 $401.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,6~10 月径流量占年径流总量的 74.8%~81.7%。海拔 500 m 以下的地区年平均气温 10°C 以上年积温为 5 000~6 000 $^\circ\text{C}$ (国家环境保护总局,2007)。

三峡库区主要气候灾害有暴雨洪涝、低温阴雨、高温、干旱和大雾等,其中暴雨洪涝的危害居库区气象灾害之首,每年 4~11 月均会发生洪涝灾害,其中 6 月与 7 月发生次数几乎占总次数一半。

4. 土地与植被特征

三峡库区成土母质复杂,发育的土壤类型多样,一共有 7 个土类 16 个亚类。主要土壤类型有黄壤、黄棕壤、紫色土、水稻土、石灰土等。紫色土占土地总面积的 47.8%,此种土松软易耕、富含磷钾元素,是三峡库区重要的柑橘产地;石灰土占 34.1%,大面积分布在低山丘;黄壤、黄棕壤占 16.3%,分布于河谷盆地和丘陵地区,土壤自然肥力较高,是库区的基本地带性土壤。三峡库区已发现的矿产达 75 种,已探明储量的有 39 种,是中国矿产资源比较丰富的地区。据《三峡工程生态和环境监测公报》,2008 年库区可利用土地 8 640 万亩^①,其中农业用地 2 170 万亩,林业用地 3 486 万亩,其他用地 2 984 万亩,分别占库区可利用土地的 25%、40% 和 35%。在 2 170 万亩农业用地中,耕地 1 789 万亩,占 82.4% (图 1.1),多分布在长江干支流两岸,大部分是坡耕地和梯田。

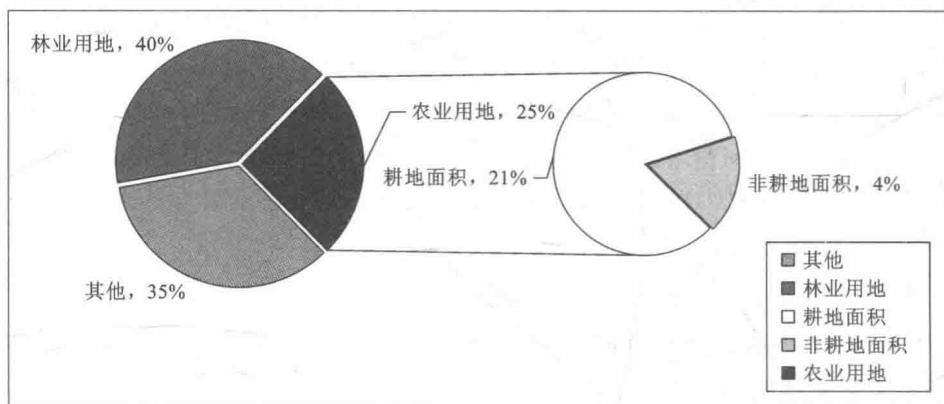


图 1.1 三峡库区土地利用面积比例图

三峡库区为亚热带季风气候,以栲、楠为主的常绿阔叶林是三峡库区的地带性植被。由于本区域未曾遭受第四纪冰川的侵袭,植物资源极为丰富,三峡库区已知的高等植物 (苔藓除外) 有 182 科 885 属 2 859 种,其中包括 26 亚种、14 变型,总数约为全国植物总数的 10.28%,种子植物总数的 9.85% (王汉元,2006)。三峡库区内在海拔 1 000 m 以下的地区,除残存小面积的未受人为强烈干扰的群落外,几乎无法找到能反映原来生态群落结构面貌的植被类型。原始的自然植被,只有在较高海拔的地段才能见到。在三峡库区,现

^① 1 亩 = 666.67 m^2 。

在广泛分布的是柏木林、马尾松林以及它们的幼林,还有各种灌木丛、农田和草地。库区东北部和东南部山地残留的原始性植被,正支撑着这些支流河源的生态功能,整个三峡库区的森林覆盖率为 27.3%(重庆市环保局,2002)。在 2010 年,三峡库区森林面积 250.86 万公顷,森林覆盖率 43.50%。其中,重庆库区森林面积 171.49 万公顷,森林覆盖率 37.03%,湖北库区森林面积 79.37 万公顷,森林覆盖率 69.89%(中华人民共和国环境保护部,2010)。农、林、土特产资源丰富,据统计,经济植物超过 2 000 种,其中药用植物 1 000 多种,中药材、柑橘、茶叶、榨菜等在国内外享有盛名。目前三峡库区多数区县农业仍以传统种植业为主。

5. 水系与水资源开发利用

三峡库区水系庞大、河流纵横:除嘉陵江、乌江及长江干流河系外,有流域面积大于等于 100 km² 的支流 152 条,其中重庆境内 121 条、湖北境内 31 条;流域面积大于等于 1 000 km² 的支流 19 条,其中重庆境内 16 条、湖北境内 3 条。三峡库区主要支流见表 1.1。嘉陵江、乌江是库区最大的两条支流,其他典型支流有香溪河、大宁河、梅溪河、汤溪河、磨刀溪、小江、龙河、龙溪河、御临河等。

表 1.1 三峡库区主要一级支流统计表

序号	河流名称	所属地区	流域面积/km ²	库区境内长度/km	年均流量/(m ³ /s)	汇入长江位置
1	綦江	江津区	4 394.4	153.0	122.0	顺江
2	大溪河	九龙坡区	195.6	35.8	2.3	铜罐驿
3	一品河	巴南区	363.9	45.7	5.7	鱼洞
4	花溪河		271.8	57.0	3.6	李家沱
5	五步河		858.2	80.8	12.4	木洞
6	嘉陵江	渝中区	157 900.0	153.8	2 120.0	朝天门
7	朝阳河	江北区	135.1	30.4	1.6	唐家沱
8	长塘河	南岸区	131.2	34.6	1.8	双河
9	御临河	渝北区	908.0	58.4	50.7	洛渍新华
10	桃花溪	长寿区	363.8	65.1	4.8	长寿河街
11	龙溪河		3 248.0	218.0	54.0	羊角堡
12	黎香溪	涪陵区	850.6	13.6	13.6	蔺是
13	乌江		87 920.0	65.0	1 650.0	麻柳咀
14	渠溪河	丰都县	923.4	93.0	14.8	渠溪
15	碧溪河		196.5	45.8	2.2	百汇
16	龙河		2 810.0	114.0	58.0	乌阳
17	池溪河		90.6	20.6	1.3	池溪
18	东溪河	忠县	139.9	32.1	2.3	三台
19	黄金河		958.0	71.2	14.3	红星
20	汝溪河		720.0	11.9	11.9	石宝镇

续表

编号	河流名称	所属地区	流域面积/km ²	库区境内长度/km	年均流量/(m ³ /s)	汇入长江位置
21	壤渡河	万州区	269.0	37.8	4.8	壤渡
22	芡溪河		228.6	30.6	4.4	万州城区
23	小江	云阳县	5 172.5	117.5	116.0	双江
24	汤溪河		1 810.0	108.0	56.2	云阳
25	磨刀溪		3 197.0	170.0	60.3	兴阳
26	长滩河		1 767.0	93.6	27.6	故陵
27	梅溪河	奉节县	1 972.0	112.8	32.4	奉节
28	草塘河		394.8	31.2	8.0	白帝城
29	大溪河	巫山县	158.9	85.7	30.2	大溪
30	大宁河		4 200.0	142.7	98.0	巫山
31	官渡河		315.0	31.9	6.2	青石
32	抱龙河		325.0	22.3	6.6	埠头
33	神龙溪	巴东县	350.0	60.0	20.0	官渡口
34	青干河	秭归县	523.0	54.0	19.6	沙溪镇
35	童庄河		248.0	36.6	6.4	邓家坝
36	叱溪河		193.7	52.4	8.3	归州
37	香溪河		3 095.0	110.1	47.4	香溪
38	九畹溪		514.0	42.1	17.5	九畹溪
39	茅坪溪		113.0	24.0	2.5	茅坪

嘉陵江发源于陕西省秦岭南麓,流经陕西、甘肃、四川三省,在合川古楼进入重庆市,入境水量 $275.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,在重庆渝中区朝天门处汇入长江。流域面积 $15.79 \times 10^4 \text{ km}^2$,全长1 120 km,河口多年平均流量 $2\,120 \text{ m}^3/\text{s}$,在重庆市境内的河长 153.8 km,流域面积 $9\,262 \text{ km}^2$,落差 43.1 m。

乌江发源于贵州省咸宁县的乌蒙山麓,沿酉阳边界流过,经彭水、武隆,在涪陵城东注入长江,流域面积 $87\,920 \text{ km}^2$,河流全长 1 020 km,河口多年平均流量 $1\,650 \text{ m}^3/\text{s}$,重庆入境水量 $396.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,境内河长 235 km,流域面积 $2.85 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

- 三峡库区年平均水资源总量 $401.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,具有防洪、发电、航运等综合效益。
- (1) 防洪。三峡工程位于湖北宜昌夷陵区三斗坪镇,在长江防洪体系中的战略地位和发挥的防洪作用极其重要。三峡水库正常蓄水位 175 m,防洪库容 $221.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,对上游突发洪水可起到有效控制的作用。三峡水库调控蓄水,使荆江河段防洪标准由成库前的“十年一遇”提高到“百年一遇”或类似于 1870 年的特大洪水,减轻对中下游武汉市等地的洪水威胁和因洪灾造成的损失。
- (2) 发电。三峡水电站,即长江三峡水利枢纽工程,与下游的葛洲坝水电站构成梯级电站。三峡电站安装 32 台 70 万 kW 水轮发电机组和 2 台 5 万 kW 水轮发电机组,总装机容量达 $2\,250 \text{ 万 kW}$,年均发电量超过 $1\,000 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,是世界上装机容量最大的水

电站。葛洲坝水电站位于湖北宜昌的长江三峡末端河段上,距长江三峡出口南津关下游 2.3 km。二江水电站安装 2 台 17 万 kW 和 5 台 12.5 万 kW 机组,大江水电站安装 14 台 12.5 万 kW 机组,总装机容量达 271.5 万 kW,年均发电量 $140 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

(3) 航运。由于三峡工程抬高了水位,可显著改善宜昌至重庆 660 km 的长江航道,万吨级船只可直达重庆港,河道单向年通过能力 $5\,000 \times 10^4 \text{ t}$,运输成本是原来的 63%~65%。经三峡水库调节上游来水,三峡大坝下游枯水季最少流量由成库前的 $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 提高到 $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,使三峡大坝下游枯水季的航运条件也得到了改善。

6. 主要的生态环境问题

(1) 三峡库区城镇污染主要源自工业化和城镇化过程中所排放的工业废水和生活污水。由于三峡库区主要是山区,经济欠发达,配套的污染防治设施和措施严重不到位,不能满足工业增长和城镇人口增长所带来的资源消耗和污水的排放,致使资源重复利用率低、污染排放量大,生态环境遭到破坏、水源遭到污染。据调查,2007 年三峡库区湖北段工业污水排放总量为 $1\,857 \times 10^4 \text{ t}$,其中 COD 负荷量为 611 t;城镇集中式生活污水排放总量为 $3\,474 \times 10^4 \text{ t}$,其中 COD 负荷量为 13 975 t。三峡库区点源 COD 负荷量为 14 586 t,占整个库区总 COD 负荷量的 26.4%。这些污染负荷部分或是较少经过处理后排放,并在雨水的冲刷作用下汇流进入三峡库区,对库区污染负荷总量造成影响。

(2) 三峡库区农村非点源污染分为以下四类,主要是农村生活污水、畜禽养殖废水、渔业养殖废水以及农药化肥施用的流失。农村生活污水基本上没有经过任何处理直接排放,会产生大量的污染负荷,经雨水的冲刷和地表径流的传输,最终汇流入三峡库区,对库区污染负荷总量造成影响。据分析,库区非点源污染 COD 负荷量为 40 584 t,占库区总 COD 负荷量的 73.6%。由以上分析可知,非点源污染几乎占库区污染负荷的 3/4,其中水土流失、畜禽养殖污染和农村生活废水的排放是库区富营养化污染的最主要的三个原因。

(3) 森林覆盖率低、资源消耗量大。三峡库区林种比较单一,多数为人工林,层次结构简单。由于三峡工程的兴建而淹没了大片土地,人均耕地面积进一步变少,而人口数量却是不断增加,人类活动强度也变得比以前要大,进一步增大资源环境的压力,垦荒开田和自然资源的掠夺开发愈演愈烈。

1.1.2 社会经济概况

2011 年,三峡库区户籍总人口 1 672.77 万人,比上年增长 0.7%。其中,农业人口 1 147.51 万人,比上年减少 5.3%;非农业人口 525.26 万人,比上年增长 17.3%。非农业人口占总人口的比重为 31.4%。

库区农业经济以种植业为主,其主要产品有水稻、小麦、榨菜、中药材、柑橘等。库区特殊的土壤、水质环境和气候适合榨菜生长,形成了以涪陵为中心主产区的榨菜种植业,其产品远销海外,十分著名。而三峡库区作为我国著名的柑橘生产地,宜昌等地的柑橘亦全国闻名。

三峡库区总体来说,社会发展水平依然比较落后,在国家和地方政府帮扶以及三峡建设所带来的经济发展契机下,经济发展较为迅速,人民生活条件有了较大的提高。据《三峡工

程生态与环境监测公报》所知,在 2011 年,整个三峡库区实现了 4 444.66 亿元的生产总值,较上年增长 16.8%。其中重庆库区生产总值达 4 000.01 亿元,同比增长 16.9%;湖北库区生产总值为 444.65 亿元,同比增长 16.0%。第一、二、三产业分别实现增加值 486.64 亿元、2 636.59 亿元和 1 321.48 亿元,分别比上年增长 5.3%、21.7%和 11.6%,其中工业增加值 2 009.63 亿元,同比增长 21.8%。第一、二、三产业增加值比例为 11.0:59.3:29.7。

三峡地跨重庆市和湖北省,库区内风景优美,旅游景点众多。河流两岸崇山峻岭,悬崖绝壁,风光奇绝,两岸陡峭连绵的山峰,一般高出江面 700~800 m。江面最狭处只有 100 m 左右。瞿塘峡、巫峡、西陵峡、宏伟的三峡工程、大宁河小三峡等都是风光绮丽的著名旅游景点。长江三峡是中国文化的一个重要发源地,历史文化名胜众多。如南津关孙夫人庙、云阳张飞庙、丰都鬼城、奉节白帝城等都是著名的名胜古迹。

1.1.3 面源污染来源分析

1. 农田化肥污染

三峡库区第一产业的快速发展与化肥的施用有很大关系,农业生产得越快,对化肥的需求也就越来越多,施用率也就越来越高,进而过多的化肥使用量使区域内的生态环境受到了严重的考验。并且库区各地的农民在施肥的过程中,对于施肥的时机、施肥量、施肥的方法掌握得不是很专业,造成了较低的化肥利用率。据相关研究,我国氮肥的利用率只有 30%~35%,磷肥利用率只有 10%~20%,钾肥利用率在 40%~50%,平均化肥利用率较发达国家低 10%~15%。由于不合理的施肥,很多的肥料残存在土壤中,在降雨等因素作用下而造成化肥流失,多余的氮磷肥便通过地表径流进入水体,或是通过下渗进入地下水,造成库区水体污染。

据对氮肥、磷肥的残留和流失的研究资料表明,作物对氮肥的利用率平均为 35%,氮肥在土壤中残留率平均为 30%,地面径流率为 9%,地下淋溶率为 0.54%。磷是引起水库富营养化的主要限制因子,磷肥在环境中主要是以 P_2O_5 的形式存在,根据磷的研究资料表明,作物对磷肥的利用率平均为 34%,磷肥在土壤中残留率平均为 13%,地面径流率为 5%,地下淋溶率为 0.75%。

2. 畜禽养殖污染

畜禽养殖的过程中会产生大量的畜禽粪便,这些畜禽粪如果加以利用便是资源,如果当成废弃物或是利用不合理那就是污染源。由于山区农民的环保意识薄弱,也没有专门的处理畜禽粪便的企业落户山区,产生的畜禽粪便也就没有经过专门的处理,只是用畜禽粪便、青草和土壤在一起堆肥,等腐熟了之后作为肥料,一旦遇到降雨,粪肥会被雨水冲刷而随地表径流进入库区,使得库区湖北段水体中氮磷等营养元素增加,有可能引起水体富营养化。

据调查,牲猪是库区湖北段主要的畜种,鸡是主要的禽种,大牲畜主要是牛。2007~2012 年,畜禽养殖的数量呈现出稳步的增长趋势。到 2012 年底,畜牧存栏量(以猪计)达 256.25 万头。

3. 生活污染

三峡库区城镇生活污水、农村生活污水处理效率低,污水处理设施配套不足,且很难

达到严格的排放标准;库区生活垃圾处理设施建设滞后于人口和经济增长,过量施用农药化肥,农作物秸秆、人畜粪尿、废弃农膜等农业废弃物未能进行无害化处理和资源化利用,导致三峡库区非点源污染日趋严重。随着三峡库区移民带来的快速城镇化,各项市政设施 and 环境保护措施的建设速度大大滞后于人口聚集的速度,城镇化过程正在对自然资源与自然环境产生巨大的影响。库区不少地方的生态环境受到严重破坏,长江上游的水生态安全面临严重挑战。随着大量移民迁建安置和库区蓄水,库区水环境容量降低,水质将进一步恶化,各类污染负荷已经成为影响和破坏三峡库区生态环境的重要因素。

1.1.4 城镇化现状

重庆三峡库区是重庆实施“大城市带大农村”战略的主要着力点之一,也是整个三峡库区经济的主体。库区百万移民历经 17 年已顺利实现搬迁,期间,1993~2003 年库区先后经历了一期移民、二期移民两个阶段,之后进入全面移民搬迁阶段,国家在库区实施了开发性移民。2010 年三峡四期移民扫尾工作全面完成,三峡工程实现了 175 m 试验性蓄水目标,这标志着三峡库区整体进入了“后三峡时期”。根据三峡库区经济发展的初步研究表明,库区在正式进入大规模移民搬迁以来,经济发展是比较迅速的,基础设施建设和经济发展条件也有明显改善。

2011 年全国城镇化水平是 51.27%,东中西分别为 61.0%、47%、43%,重庆库区城镇化水平为 50%,高于中西部城镇化水平。但由于自然、历史等原因,重庆三峡库区的城镇化水平还远落后于东部地区,且高水平城镇化地区集中在库区的都市圈,三峡库区与其他两个经济圈的经济发展水平差距日益拉大,库区内部区县之间城镇化的差距也在不断扩大。

1.2 水质评价

1.2.1 国内外研究动态

环境科学的研究对象,主要是指能够直接或间接影响人类社会生存和发展的各类自然与社会环境要素的总体(陈晓宏,2001)。环境科学所研究的自然环境之中,水环境是一个十分重要的组成部分,而水环境质量一般是指人类社会活动对水环境污染损害的程度(叶文虎,1994)。对水环境污染程度的评价就是水环境质量评价,简称水质评价,它是指针对不同的水体单元(河流、湖泊、水库、海洋等),通过选择不同的水质参数、水质标准和评价方法,将简单的水质参数转变成定性或者定量描述水质状况的信息。水质评价能确定水体单元水质级别,评定其污染的程度,弄清水体质量变化规律,从而为水环境功能区、水体污染的治理,以及水环境的规划与管理提供科学合理的依据。

水质评价在时间梯度上可大致分为回顾评价、现状评价及其影响评价(环境保护部环境工程评估中心,2009)。其中,水质评价的基础是水质现状评价。水质现状评价可以了解过去人类活动对一个地区水环境质量各要素的影响后果,从而可以进一步追溯造成污染的原因,为水环境管理提供依据,也便于水环境污染防治措施的制定和实行。

水质评价建立在水质标准的基础之上,水环境法规和水环境标准是水质评价的依据(杨钢,2004)。环境法规和环境标准不仅仅是一个国家或地区的环境政策,也是一个国家和社会对水环境持续发展价值观的体现。依据我国环保部门的规定,针对不同的水体类型,水质评价标准不同(张蕾,2010)。我国目前已经颁布的水体水质标准有《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)、《地下水环境质量标准》(GB/T 14848—1993)、《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)、《海水水质标准》(GB 3097—1997)、《农田灌溉水质标准》(GB 5083—2005)、《国家渔业水质标准》(GB 11607—1989)等。不同水域或区段所体现的水体功能不同,因此,需要采用不同的水质指标和标准值对水体单元的水质进行评价。我国最新的《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)就将地表水的评价标准项目分为地表水环境质量标准基本项目、集中式生活饮用水地表水源地补充项目和集中式生活饮用水地表水源地特定项目三大类。

1. 水质评价国外研究进展

国外的水质评价是从20世纪初期开始逐渐发展起来的。随着工业的发展,尤其是自20世纪50年代出现震惊全世界的众多公害事件(日本熊本县水俣病事件、日本富山县骨痛病等)以来,人们越来越意识到,水环境的破坏会对人类生存和发展产生极大的危害。这对环境科学这一学科的发展起到了极大的推动作用,而环境科学领域中很重要的一个分支——环境质量评价也得到了长足的发展。

最初,对水质好坏的鉴定,只是简单地通过颜色、气味、混浊度等一系列感官性状来进行定性的评定。经过一定时期的发展,开始逐渐选用水化学指标以及生物指标,1902~1909年,德国柯克维兹和莫松等提出了生物学的水质评价分类方法;1909~1911年,英国根据河流水质情况,提出以化学指标对河流进行污染分类,这便可以在一定程度上对水质进行定量评价(陆雍森,1999)。

美国的水质评价工作开展较早,发展迅速。在1965年,Horton选用了8个水质参数对水环境进行评价,提出质量指数(quality index),这标志着水质评价的开始,该指数也被称为豪顿指数(Horton,1965)。之后,水质评价历经50多年的发展,水质评价的方法已有数十种。1970年,Brown等提出了水质现状评价的质量指数(water quality index),该指数被称为布朗水质指数(Brown et al.,1970)。1974年,Nemerow(1974)在其《河流污染的科学分析》一书中提出了另一种指数(即内梅罗河流水质指数)的计算,对美国纽约州的一些地面水的情况进行了指数计算。1974年,Walski(1974)提出了生态水质指数的概念。1977年,Ross根据生化需氧量、氨氮、悬浮物及溶解氧4项指标,对英国克鲁德河流域干流、支流的水质进行了评价,该指数被称为罗斯水质指数(Ross,1977)。

日本的环境质量评价最重要的一个特点就是将污染控制与评价工作紧密的相结合,先后提出多种控制方式、例如早期的浓度控制方式、以后的总量控制方式和按变化的排放量分配控制方式等。在政策上加大关注力度,十分重视。从1972年起,环境影响评价就一直作为一项重要的国策来实行,在环境质量评价内容上,除了评价对自然环境的影响之外,还需要评价对社会和经济带来的影响。

20世纪70年代开始,东欧国家和苏联开始了环境质量评价工作,苏联在莫斯科河、顿河、伏尔加河等河流建立了河流污染平衡模式。许多学者提出,生物学指标是评价时除

物理、化学指标之外很重要的指标。

到20世纪末,水环境问题变得越来越突出,并对人类的社会经济发展起到了很大的阻碍。因此,人类的社会经济活动和水环境之间的相互响应关系引起了国外水环境领域专家的重视。由此开始,宏观的水环境评价逐渐成为研究的重点和热点。一系列的国家和组织纷纷开始对水质环境标准进行调整,如美国环境保护局(United States Environmental Protection Agency)、日本,甚至世界卫生组织(World Health Organization)都将水质标准进行了大幅度的修改。水质评价由微观向宏观的转变,不单体现在世界各国和组织对水质标准的调整,研究对象的宏观化也是重要的表现。由单一的水质评价逐渐地转变为以某一个区域或流域为尺度的多个水环境影响因素的评价。评价的方法也由简单的单因子指数评价或者综合指数评价,扩展到了模糊综合评价法、灰色系统理论评价法、人工神经网络评价法、多元统计分析法(聚类分析、主成分分析、多元回归分析、判别分析等)等方法。

2. 水质评价国内研究进展

我国的水质评价大致可分为两种。第一种是针对不同的水体单元采用不同的环境标准进行的水质评价;另一种是针对同一水体单元不同发展阶段进行评价,如水质现状评价、水质动态评价、水环境污染评价等。

1974年,关伯仁提出在各种污染物影响下评价水质污染状况的水质指数,这是我国第一个用于综合评价水污染状况的指数(关伯仁,1980)。我国的水质评价在发展的初期,仅限于小范围区域的现状评价,如北京西郊环境质量评价、官厅水库环境质量评价等。自20世纪70年代以来,我国开展了官厅水库、杭州西湖、昆明滇池、太湖、白洋淀、松花江、图们江、湘江、武昌东湖、东海海域等一系列水环境水质评价工作,取得水质评价研究成果的同时,积累了丰富的水质评价经验。1979年以后,我国进入改革开放时期,经济得到了长足迅猛的发展,但随之环境问题也凸显出来,尤其是水环境问题,已经成为制约我国经济可持续发展的重要因素。为了实现我国水资源的可持续利用,国家发展计划委员会联合水利部,共同对《全国水资源综合规划》实行了部署。作为《全国水资源综合规划》的重要组成部分,地表水水质调查与评价自1979年以来,已经开展了三次(彭文启等,2004)。1983年,《地面水环境质量标准》(GB 3838—1983)颁布,历经三次修改之后,在2002年,最新的《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)颁布。最新的水环境质量标准的颁布使得我国水质评价的技术标准更加规范准确,有利于水质评价学科领域的发展。目前,我国众多的高等院校均开设了环境评价课程,已经产生了很大一批环境评价领域的专家和学者,从理论和实践经验两方面来讲,无论是广度还是深度上都对环境评价的发展起到了很重要的作用。水质评价作为环境评价领域相当重要的一环,无疑也能得到很好的发展。

1.2.2 主要方法

1. 单因子评价法

单因子评价法是国标规定的水质评价方法。在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中有明文规定,地表水环境质量评价根据应实现的水域功能类别,选取相应类别标

准,进行单因子评价,评价结果应说明水质达标情况,超标的应说明超标项目和超标倍数。单因子评价方法是通过将实际水质监测各指标的数值与国家地表水环境质量标准相比较,从而判定水质类别;通过众多指标的依次比较,选择其中水质评价等级最低的类别作为该处断面或水域的最终评价水质等级。单因子评价能清晰简便地将水质指标实测值与环境质量标准进行比较,从而获得水质现状与环境标准之间的关系。在运用该方法时,可以获得单因子评价指数,用以评价某项水质指标相对于环境质量标准的参数的污染程度。

单因子评价法的基本原则是一票否决制,这是一种悲观的评价原则(艳卿,2004)。所有的水质指标中,只要有某一项指标超过标准值,所在水域的水质便会受到极大的损害,从而不能满足该处水域的使用功能(尹海龙,2008)。由于在单因子评价时没有将各个水质指标对环境的污染综合效应进行评估,也完全不考虑各个水质指标对水体功能破坏能力的差异性,每个指标的评价结果都是独立的,这样就会产生与实际情况不相符的结果。

单因子评价指数计算公式为

$$P_i = C_i / C_0 \quad (1.1)$$

式中: P_i 为单因子评价指数; C_i 为某一种水质指标的实测值; C_0 为某一种水质指标的评价标准。

对于 DO,其水质指数计算公式为

$$P_{DO} = \frac{|O_s - C_{DO}|}{O_s - S_{DO}} \quad (C_{DO} \geq S_{DO}) \quad (1.2)$$

$$P_{DO} = 10 - 9 \frac{C_{DO}}{S_{DO}} \quad (C_{DO} < S_{DO}) \quad (1.3)$$

式中: P_{DO} 为 DO 的单因子指数; O_s 为监测温度下饱和溶解氧浓度, m/L; C_{DO} 为实测的溶解氧浓度, m/L; S_{DO} 为溶解氧浓度的标准值, m/L。

对于 pH,其指数按下式计算:

$$P_{pH} = \frac{7.0 - pH_G}{7.0 - pH_{S_L}} \quad (pH_G \leq 7.0) \quad (1.4)$$

$$P_{pH} = \frac{pH_G - 7.0}{pH_{S_U} - 7.0} \quad (pH_G > 7.0) \quad (1.5)$$

式中: P_{pH} 为 pH 的标准指数; pH_G 为 pH 的现状监测结果; pH_{S_L} 为 pH 采用标准的下限值; pH_{S_U} 为 pH 采用标准的上限值。

单因子评价指数越大,就表示该水质指标对水环境的污染程度越重,反之越轻。

2. 水质综合指数评价法

水质综合指数评价法通过对各个水质监测项目的数据结果与评价标准进行对比分析,得到各个指标的污染指数,然后采用某一种或多种数学运算方法,将各个水质指标综合整理,得到水质综合指数,并用该指数作为水质评价的尺度,评估水质优劣。求得水质指数的数学运算方法有很多种,最主要的有代数叠加法、加权平均法、综合加权法、幂指数法、极值法等(薛巧英,2004)。常用的水质综合指数有豪顿(Hoorton)水质指数、布朗(Brown)水质指数、普拉特(Prati)水质指数、内梅罗(Nemerow)指数、罗斯(Ross)水质指数等。不同的水质综合指数各有特点,同时也都存在着不足。其中,如何确定各项指标的