



流域生态补偿机制与 库区水污染防治

蒋丹璐 著

LIUYU SHENGTAI BUCHANG
JIZHI YU KUQU SHUIWURAN
FANGZHI



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

国家社会科学基金青年项目“基于价值理论的生态产品购买制度
构建及应用研究”（15CJY014）成果



流域生态补偿机制与 库区水污染防治

蒋丹璐 著

图书在版编目(CIP)数据

流域生态补偿机制与库区水污染防治/蒋丹璐著. —武汉: 武汉大学出版社, 2017. 7

ISBN 978-7-307-19450-2

I. 流… II. 蒋… III. ①流域—生态环境—补偿机制—研究—中国 ②三峡水利工程—水污染防治—研究 IV. ①X321.2 ②X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 163014 号

责任编辑: 胡 艳

责任校对: 汪欣怡

整体设计: 马 佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 虎彩印艺股份有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 10.25 字数: 414 千字 插页: 1

版次: 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-19450-2 定价: 30.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

近年来，我国经济一直呈现稳定快速增长的趋势，但是如此高速的经济发展是以牺牲生态环境，高能耗、高污染为代价的。因此在经济快速增长的过程中，我国生态环境问题日益突出，原有的经济增长模式已经逐渐显示出其弊端，生态和环境问题也日益突出，成为阻碍经济和社会发展的瓶颈问题。

一、长江流域与三峡库区水污染现状

长江流域在我国占有重要的经济地位和战略地位，流域拥有森林、淡水、矿产等资源优势和良好的社会基础，沿江分布着诸如武汉、上海等众多国内大中型城市，以及长江三角洲经济体，经济总量大、增长速度快，它的健康发展直接影响到整个国民经济的变化状况。但是随着其发展速度的加快，整个长江流域的生态问题也日渐凸显，流域经济的发展又受到生态环境问题的制约，使得长江中上游地区的生态环境建设迫在眉睫。

然而，长江中上游地区的生态环境建设却始终是低效的，究其原因主要有生态环境建设的外部性和市场驱动等经济学因素，同时也有区域之间存在各种矛盾的社会因素。

1. 长江干流水质

2004 年全国政协与中国发展研究院联合组成“保护长江万里行”考

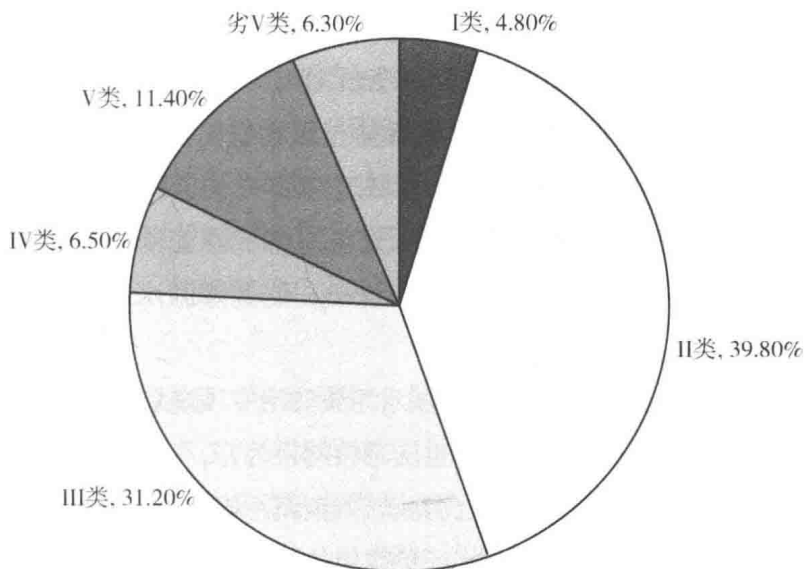
察团,根据当年考察数据,长江流域废污水年排放量达 256 亿吨,已超过 20 世纪 80 年代的 1 倍以上,这些废污水 80%以上未经处理直接排往长江。1995 年全水文年长江流域 I 类水质河长 2564km,占全流域的 25.8%;V 类水质河长 297km,占全流域的 3%;劣 V 类水质河长为 0。到 2004 年,长江流域 I 类水质河长 473km,占全流域的 1.2%;V 类水质河长 2325km,占全流域的 5.9%;劣 V 类水质河长达到 4454km,占全流域的 11.3%。

2005 年长江干流从青海省的长江源沱沱河至长江口共 6372km 的评价河长中,年度评价水质符合或优于 III 类水质标准的河长为 4833km,占评价河长的 75.8%;劣于 III 类水质标准的河长为 1539km,占评价河长的 24.2%,其中 IV 类水质河长 411km,占 6.5%,V 类水质河长 729km,占 11.4%,劣 V 类水质河长 399km,占 6.3%。总体来看,长江干流大部分江段水质符合或优于 III 类水质标准。其中,年度水质符合或优于 II 类水质标准的江段主要集中在上游通天河直门达以上;符合 III 类水质标准的江段主要集中在长江中下游段,即奉节至入海口;水质较差的江段主要出现在上游的攀枝花、宜宾、泸州。朱沱、重庆和清溪场,其水质通常为 V 类~劣 V 类,主要是粪大肠菌群超标。

2. 三峡库区水质

三峡水库具有巨大的防洪、发电、航运、供水等综合效益,生态功能极其关键,在我国国民经济发展中具有重要战略地位。三峡库区及其上游区的生态环境问题将成为影响和制约库区乃至长江流域实现可持续发展的一个重要因素。

2001 年 11 月,国务院批复实施《三峡库区及其上游水污染防治规划(2001—2010 年)》(以下简称《规划》)。《规划》提出,“三峡库区及其上游区范围包括四川宜宾到湖北宜昌的长江干流江段,并汇集了上游区四川、云南、贵州三省岷沱江、金沙江、嘉陵江、乌江几大流域来水,总面积 79 万平方公里,属于我国西部地区,整体上经济欠发达。三峡库区及其上游区人口 1.54 亿,其中农业人口超过 60%。国内生产



2005 年长江流域水质评价河长各类别比例图

总值约 5300 亿元，人均国民生产总值仅 3441 元/人，远远低于全国平均水平。耕地面积 1060 万公顷，人均耕地面积 0.66 亩，仅为全国平均水平的 57%”。《规划》将三峡库区水环境保护的范围认定为三峡库区和重庆主城区（以下统称库区）、三峡库区影响区、三峡库区上游地区，本书重点关注的地域范围为三峡库区和重庆主城区。三峡库区主要库区共 20 个区县，包括湖北省的巴东县、秭归县、兴山县和宜昌县 4 个县，重庆市的江津市、渝北区、巴南区、长寿县、涪陵区、武隆县、丰都县、石柱县、忠县、万州区、开县、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）。

《规划》实施以来，库区及其上游的水污染防治工作取得了明显的成效。“十一五”期间，三峡库区及其上游流域水环境质量稳中趋好。2005 年，流域境内省控以上监测断面中满足 I ~ II 类水质比例达到 41.07%，IV ~ V 水质的断面占 38.75%；2009 年，流域境内省控以上

监测断面中满足Ⅰ~Ⅱ类水质比例达到44.68%，Ⅳ~Ⅴ水质的断面占26.62%。2009年水环境质量与2005年同期相比，86个断面显著改善，占监测断面的22.87%；34个断面有所恶化，占监测断面的9.04%。其中，库区干流水体高锰酸盐指数和氨氮两项主要指标总体保持在Ⅱ类以上水平。2009年，流域境内有关5省(市)考核断面共13个，其中，水质与目标相比有所改善的考核断面6个；达到目标的考核断面7个，水质达标率达到100%。但是库区水环境保护仍然存在许多问题。

据2014年环境保护部重点流域水污染防治专项规划考核结果通报，三峡库区及其上游贵州、四川、重庆考核结果为好，三峡库区及其上游湖北省考核结果为差。三峡及上游流域重金属污染、农药残留、垃圾填埋场等重污染场地等历史遗留水污染隐患依然存在，化工产业、矿山开采业等水污染高风险行业布局仍在调整，环境风险评估—预警—管理体系尚未形成，潜在的新污染不断出现，水环境风险不确定性增强，环境风险防范的压力增大。这些风险来源主要包括：①产能落后及高耗重污染企业；②对流域环境与生态具有影响的特征污染源；③水源地和珍稀生物栖息地等敏感水域内的风险源。

二、依靠“流域生态补偿”是否能解决跨界水污染问题

由于生态环境的外部性和缺乏市场驱动等经济学原因，使得单纯依靠环保监管和行政措施解决流域跨界水污染的问题几乎是不可能完成的。虽然政府加强了对敏感流域的监管和治理，但是生态保护的建设始终是低效的。在流域中，水的流动性造成了上游污染向下游的转移。正是由于流域水环境恶化和水资源的短缺，使流域上下游跨界污染问题不断发生，面对难以调和的跨界污染问题，流域生态补偿成为解决这一纠纷的重要途径，也是我国生态补偿重点实践领域。

实施生态补偿是指通过对损害(或保护)资源环境行为进行收费或

征税(或补偿),提高其行为的成本(或收益),从而激励损害(或保护)行为的主体减少(或增加)因其行为带来的外部不经济性(或外部经济性),来达到保护资源的目的。生态补偿原则是谁受益、谁补偿,谁破坏、谁恢复,谁污染、谁治理,即以市场和经济手段调节相结合,达到污染者付费,保护者得到补偿的目标。生态补偿机制是一种有效解决环境保护与经济发展矛盾的途径,也是协调区域利益关系、实现不同地域和谐发展的途径,能够促进生态和环境保护,促进地域间、群体间公平协调发展。

2007年8月24日,国家环保总局下达环发[2007]130号文件《关于开展生态补偿试点工作的指导意见》,指出当前开展生态补偿的重要意义以及开展生态补偿工作的指导思想方针。文件中明确提出建立和完善生态补偿机制,有利于推动环境保护工作实现从以行政手段为主向综合运用法律、经济、技术和行政手段的转变,有利于推进资源的可持续利用,加快环境友好型社会建设,实现不同地区、不同利益群体的和谐发展。《国务院2007年工作要点》(国发[2007]8号)将“加快建立生态环境补偿机制”列为抓好节能减排工作的重要任务。国家《节能减排综合性工作方案》(国发[2007]15号)也明确要求改进和完善资源开发生态补偿机制,开展跨流域生态补偿试点工作。

由于生态补偿涉及复杂的利益关系调整,因此在探索建立生态补偿标准体系,以及生态补偿的资金来源、补偿渠道、补偿方式和保障体系的基础上,才能全面建立生态补偿机制。

三、本书的写作目的及主要内容

本书写作目的在于:根据三峡库区的生态环境特点和水污染现状,分情况探讨三峡库区水污染治理的相关问题。从对跨流域生态补偿惩罚系数取得进行上下游间的博弈分析;运用博弈论针对库区水污染中的面源污染设计农户生态补偿思路,实现生态补偿构建上思路的创新;针对

库区水污染中的点源污染问题,运用微分对策方法对污染控制过程中企业与政府间的博弈进行分析,研究如何平衡地方经济发展与生态保护的矛盾;用期权博弈理论,考虑投资的不确定性、柔性以及投资时机,对企业环保技术升级项目进行研究;在以上数理分析的基础上,提出相应的政策建议。

全书以制度经济学、环境经济学理论为指导,在分析三峡库区及其上游流域水污染危害及其主要成因的基础上,力图从不同角度围绕水污染成因,阐述三峡库区及其上游水污染防治的机制设计问题。通过分析水污染治理的目标,从跨流域生态补偿机制设计、上游地区农业面源污染控制、上游地区点源污染控制三个角度进行较为全面的三峡库区污染管理控制研究,并给出三峡库区水污染治理的政策和建议。

全书分为三个部分,共9章。第一部分为本书写作背景,阐述生态补偿机制的理论基础,本书使用的分析工具包括博弈论、动态最优化、微分对策、实物期权等。该部分包括第1章至第3章。

第1章为三峡库区及其上游流域水污染现状和成因分析。首先从库区整体描述水污染现状,然后分析水污染的主要成因,阐明本书所研究问题的出发点。本章为本书的写作背景。

第2章为本书的理论基础。介绍生态补偿理论,阐述本书所使用的分析工具,包括博弈论、动态最优化、微分对策、实物期权等。

第二部分为本书主体部分。从三峡库区水污染的三个不同成因出发,利用不同的理论工具对水污染的防治进行机制设计的尝试。该部分包括第4章至第8章。

第4章为跨流域水污染生态补偿机制探讨。本章用博弈论的方法探讨跨区污染生态补偿机制设计,分析在既定补偿机制约束下,流域各地区可以根据本地支付函数建立优化模型,在改善整个流域的生态环境的前提下,通过调整自身的排污量及污染转移量实现本地区的经济效益最大化。

第5章结合直接补偿与小额贷款的库区生态补偿机制设计。本章针

对水污染中的一个主要方面——农业面源污染问题。本章针对库区污染比较严重的农业面源污染问题，设计针对农户的生态补偿机制。其目的是从遏制面源污染的源头，彻底改变土地等自然资源原有落后的利用方式，促进农业生产技术和农户生产生活水平的提高。笔者认为对农户建立结合农村小额贷款与直接补偿两种形式的生态补偿机制，能够在缓解环境污染问题的同时，促进农村金融发展。首先提出建立直接补偿与小额贷款相结合的生态补偿机制的现实原因和理论基础，描述了本文生态补偿机制的运作方式。然后通过博弈分析，得到参与生态补偿项目的农户履约的前提条件，以及设计生态补偿机制中补贴力度、惩罚机制的取值范围，并讨论了利息补贴资金来源的途径。

第6章为地区污染治理中政府最优决策研究。首先建立政府和企业的主从微分博弈模型，用极大值原理求解具有时间一致性的均衡解，即政府使整个地区的经济和环境综合效益在考察期内取得最大化的最优税率和污染削减计划，以促进经济与环境可持续发展。然后在不同参数假设下进行仿真，描述政府和企业的理性互动过程。

第7章为地区污染治理中政企合谋现象研究。本章在上一章基础上，考虑随机条件下，地方政府减排政策的工作原理。通过求解上游地方政府和企业间的主从博弈和合作博弈的纳什均衡，发现政企合谋现象博弈是一种纳什均衡。

第8章为环境政策对企业环保科技的激励作用研究。当流域上游地方政府受生态补偿机制约束时，会制定对应的环境政策，激励当地企业节能减排。本章将新环境政策视为企业面对的不确定环境，运用实物期权方法，研究企业同时选择最优投资时机和最优投资规模的决策问题。通过分析不同政策对企业投资决策的影响，对政府制定适度的补贴政策提出一定建议。

第6章至第7章是针对工业污水排放也就是点源污染管理问题进行研究。是在跨界水污染生态补偿机制的约束下，上游地区政府如何平衡本地的经济发展与污染排放的问题。从政府和企业间的互动博弈，研究政府如何有效的对点源污染进行控制的问题。第8章是对企业的投资决

策进行研究。同样是在跨界水污染生态补偿机制的传导作用下，面对政府政策的不确定性，企业如何做出投资决策，获取企业收益的最大化。

第三部分为结语部分。即第9章，在本书主体的研究基础上，针对三峡库区水污染防治工作提出相应的政策建议。

四、本书写作的思路

本书首先从环境经济学和制度经济学两个角度，对三峡库区及上游流域水污染现状进行分析，了解其基本特征和状况。在宏观环境治理政策的背景下，本书着眼于治理机制中的微观问题。一是跨行政区水污染纠纷中政府的博弈研究；二是针对面源污染进行某行政区政府对当地农户建立生态补偿机制的研究；三是政府之间企业的互动研究，也是政府环境政策策略研究。

运用实物期权以及期权博弈理论对生态资源资产定价以及分析各个利益主体之间的博弈关系，设计生态补偿机制。首先运用博弈论的方法研究政府联盟的建立和利益分配机制；然后根据期权博弈理论分析三峡库区上下游补偿主客体之间的博弈过程确定博弈模型，分析博弈双方由于需求不对称性导致的结果差异，并基于此改进上下游博弈双方的决策模型。运用微分博弈的方法研究政府与企业的互动，运用实物期权研究政府环境政策投资的最佳时机。

本书是国家社会科学基金青年项目“基于价值理论的生态产品购买制度构建及应用研究”(15CJY014)成果，受到重庆市社会科学规划项目2015WT13、重庆市教育委员会人文社会科学研究项目16SKGH196资助。本书的写作得到了重庆能源经济管理研究中心的支持，以及科研合作者胡伟清先生、白栋先生、游静女士的帮助，在此向他们表示感谢。

蒋丹璐

2017年6月

目 录

第 1 章 三峡库区及其上游流域水污染现状分析	1
1.1 三峡库区及其上游流域范围	1
1.2 三峡库区上游地区水污染现状	3
1.3 三峡库区上游地区水污染风险	4
1.4 本章小结	6
第 2 章 生态补偿	7
2.1 生态补偿概述	7
2.2 生态补偿的定义	10
2.3 生态补偿的组成要素	13
2.4 生态补偿机制	16
2.5 跨界水污染生态补偿	18
2.6 生态补偿机制设计的理论与实践研究	19
第 3 章 微分对策及相关分析工具理论基础	26
3.1 最优控制理论	26
3.2 微分对策理论	31
第 4 章 流域跨境污染生态补偿机制分析	34
4.1 流域跨境污染防治情况	34

4.2 研究模型的建立	36
4.3 补偿系数 K 的确定过程	40
4.4 算例	45
4.5 本章小结	47
第5章 农户生态补偿激励机制设计	48
5.1 农业面源污染现状	48
5.2 补偿机制设计	50
5.3 博弈模型	54
5.4 约束机制	58
5.5 几个结论	62
5.6 政策建议	64
5.7 本章小结	67
第6章 流域生态补偿约束下上游政府动态最优决策	68
6.1 模型的建立	70
6.2 博弈过程分析	74
6.3 参数经济含义分析	77
6.4 本章小结	85
第7章 流域污染治理中政企合谋现象研究	86
7.1 模型描述	87
7.2 博弈均衡	92
7.3 均衡结果的分析	97
7.4 经济意义	106
7.5 本章小结	107

第 8 章 流域生态补偿激励下新技术投资决策研究.....	109
8.1 模型描述	112
8.2 模型求解	113
8.3 数值模拟	117
8.4 本章小结	123
第 9 章 结语	126
附录 A 主从博弈均衡证明	130
附录 B 合作博弈均衡证明	134
附录 C 政府倒向微分方程	137
参考文献	141

第 1 章 三峡库区及其上游流域 水污染现状分析

1.1 三峡库区及其上游流域范围

三峡库区及其上游流域范围包括重庆市、湖北省、四川省、贵州省、云南省(直辖市)所辖 39 地市、315 个区县陆域与相关水域。规划区面积为 78.2 万平方公里,总人口 1.8 亿,地区生产总值 24985 万元,人均生产总值 1.4 万元,为全国人均 GDP 的 60%。三峡水库具有巨大的防洪、发电、航运、供水等综合效益,生态功能极其关键,在我国国民经济发展中具有重要战略地位。但是,随着西部开发而进行的新一轮经济转型、城乡发展,再加上沿江重污染行业的水污染问题十分突出,所以该区域水污染防治工作形势仍然严峻^①。

《三峡库区及其上游流域水污染防治“十二五”规划编制大纲》将水污染流域控制区划分为三峡库区(以下统称库区)、三峡库区影响区(以下简称影响区)、三峡库区上游地区(以下简称上游区)。库区、影响区、上游区分别为 5.9 万平方公里、5.7 万平方公里、66.6 万平方公里。共涉及库区 26 个区县,影响区 47 个区县,上游区 242 个区县,划

^① 参见《三峡库区及其上游流域水污染防治“十二五”规划编制大纲》(2010)。

分结果见表 1.1 与图 1.1。

表 1.1 三峡库区及上游水污染防治规划区面积分布
(单位：平方公里)

省级	小计	库区	影响区	上游区
重庆市	89917	46219	29976	13723
湖北省	18563	13272	5291	
四川省	465260		14815	450445
贵州省	90957		6714	84243
云南省	117246			117246
小计	781943	59490	56796	665657

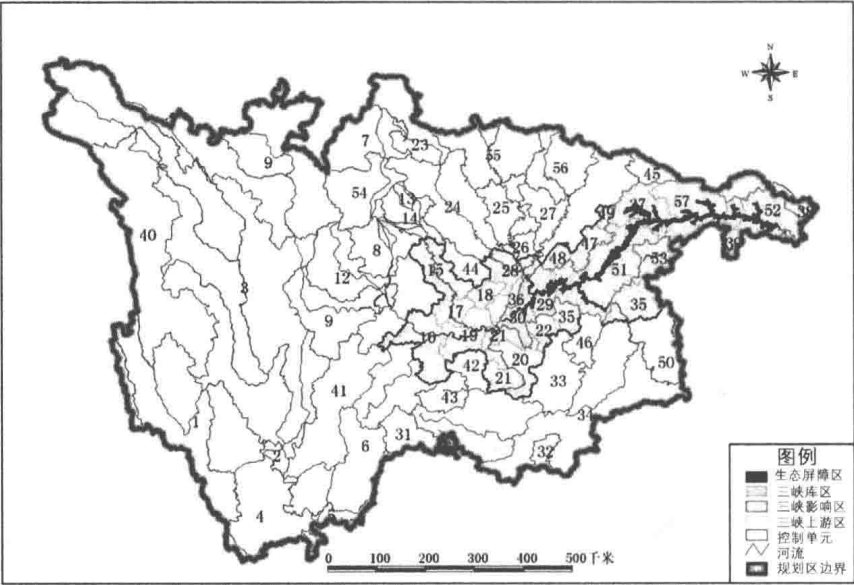


图 1.1 规划区分流域控制区划分示意图

从面积划分和地域分布来看，位于重庆市的重点控制片区在三峡库区的核心区域，该片区的环境状况对三峡库区水质安全有直接影响，所

以本书以重庆市的水污染控制问题作为研究的着眼点。作为老工业基地之一，重庆片区的工业基础较为厚实，污染排放强度较高。同时，按照成渝经济区发展规划，重庆提出“一圈两翼”的发展构想，必将促使工业快速发展，人口急剧集中，从而使得环境保护与经济矛盾的矛盾凸显。

1.2 三峡库区上游地区水污染现状

“十一五”期间，三峡库区及其上游流域水环境质量稳中趋好。2005年，流域境内省控以上监测断面中满足Ⅰ~Ⅱ类水质比例达到41.07%，满足Ⅳ~Ⅴ水质的断面占38.75%；2009年，流域境内省控以上监测断面中满足Ⅰ~Ⅱ类水质比例达到44.68%，满足Ⅳ~Ⅴ水质的断面占26.62%。2009年水环境质量与2005年同期相比，86个断面显著改善，占监测断面的22.87%；34个断面有所恶化，占监测断面的9.04%。其中，库区干流水体高锰酸盐指数和氨氮两项主要指标总体保持在Ⅱ类以上水平。

“十一五”期间，流域境内城市集中式饮用水源地(县级市以上)监测断面达标率达到92.80%；城镇集中式饮用水源地监测断面达标率达到96.03%。

“十一五”规划水质目标实现状况较好。截至2009年，库区水质以Ⅰ、Ⅱ类水为主，库区支流水质以Ⅱ类、Ⅲ类为主，长江出库断面以Ⅰ、Ⅱ类水为主；乌江、嘉陵江入长江干流水质现状稳定，达到Ⅱ类水质标准；金沙江水质达到Ⅱ类；赤水河入长江干流水质稳定达到Ⅱ类以上水质。2009年，流域境内有关5省(市)考核断面共13个，其中，水质与目标相比有所改善的考核断面6个，达到目标的考核断面7个，水质达标率达到100%。