

太湖流域与水相关的 生态环境承载力研究

朱永华 韩青 戴晶晶 吕海深 等 著



科学出版社

太湖流域与水相关的生态 环境承载力研究

朱永华 韩 青 戴晶晶 吕海深 等 著

“十三五”国家重点研发计划项目（2016 YFA0601504）

本书获 国家自然科学基金重点项目（41830752）

资助出版

国家自然科学基金面上项目（41571015）



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以丰水且水质型缺水地区为研究对象,从系统论的角度进行流域(区域)与水相关的生态环境承载力的理论方法研究,然后以太湖流域的长兴县为例进行应用研究。主要内容包括:①建立太湖流域与水相关的生态环境承载力的理论,包括与水相关的生态环境承载力概念的界定、计量指标体系的确定、计量模型的构建。②在长兴县的应用研究,包括长兴县与水相关的生态环境问题及其成因分析、承载力量化指标体系的确定、承载状态试评价、承载力的预估调控研究及预警机制研究。

本书是一部理论联系实际、方法与实例相结合的著作,具有显著的创新性。本书可供水资源和生态环境保护部门及林业部门的管理人员参考,也可作为高等院校水文学与水资源、环境学及生态学专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

太湖流域与水相关的生态环境承载力研究 / 朱永华等著. —北京:科学出版社, 2020.2

ISBN 978-7-03-063772-7

I. ①太… II. ①朱… III. ①太湖-流域-区域水环境-环境承载力-研究 IV. ①X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 283053 号

责任编辑:杨帅英 赵 晶 / 责任校对:何艳萍

责任印制:吴兆东 / 封面设计:图阅社

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2020 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2020 年 2 月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:277 000

定价:159.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《太湖流域与水相关的生态环境承载力研究》

编写委员会

组 长：朱永华

副组长：韩 青 戴晶晶 吕海深

成 员：尚钊仪 李昊洋 崔晨韵 苟琪琪

前 言

解决与水相关的生态环境承载力问题是生态水文学、环境科学以及经济学的交叉学科研究的内容。对流域生态环境承载力的研究是解决流域生态环境问题和实现流域可持续发展的共同要求。进入 21 世纪, 全球“可持续发展”的核心理念是社会经济要发展、生态环境要保护。社会经济发展不能以牺牲生态环境为代价, 可持续发展应是以生态环境为本、与生态环境共生与协调的发展。

太湖流域是我国社会经济最发达的地区之一, 随着人口规模不断增加和社会经济迅速发展, 流域水资源-水生态-水环境负荷不断加剧, 抵御洪涝等水灾害的能力下降。流域本地水资源量不足, 需要大量引调长江水, 水污染严重, 水环境恶化, 水生态问题日益严重, 与水相关的生态环境承载力与社会经济压力的矛盾日益突出, 其制约流域社会经济和自然生态环境的可持续发展。要解决太湖流域当前面临的与水相关的生态环境(水资源-水生态-水环境)问题, 实现可持续发展, 就需要开展太湖流域与水相关的生态环境承载力研究。明确太湖流域及流域内各区域与水相关的生态环境承载力基线, 并将其纳入各地社会经济发展战略, 是从源头引导经济发展、水资源、与水相关的生态环境协调共处的有效措施。

与水相关的生态环境承载力的研究目标是研究生态环境系统(由水资源、与水相关的环境指标等关键生态环境要素相互作用构成)对社会经济系统可持续发展的承载能力。对研究区进行水资源-生态环境-社会经济系统分析, 确定研究区现状承载状态和未来若干年内研究区在不同生态环境建设和社会经济发展情景下的生态环境承载力。

太湖流域与水相关的生态环境承载能力的研究, 将为识别丰水且水质型缺水流域不同区域水环境及水生态问题的成因和性质、提出协调人与生态环境关系的

对策、实施流域生态环境恢复规划、建设水生态文明提供重要依据。它是丰水且水质型缺水流域生态环境恢复水资源保障规划一个最为关键的问题与核心。

本书的创新点和突破点如下。

(1) 建立太湖流域水土资源-生态环境-社会经济互动模型。①不仅考虑农业、工业、生活和生态用水,而且考虑农业部门及工业部门内部各分部门的用水。②在建立水生态指标-水量关系模型时,不但要考虑原自然环境中的水能否作为生态用水使用,还要考虑原自然环境中生态用水的水质,在原自然环境生态用水不足的情况下补充的这部分水才是湿润地区的生态用水量。

(2) 建立与水相关的生态环境承载状态计量模型、承载力的预估调控模型及其可视化软件操作平台。定量确定研究流域(区域)现状承载状态及未来若干年内研究区在不同生态环境建设和社会经济发展情景下的生态环境承载力及其相应的调控对策。可视化平台的建设使得决策者制定决策更加便捷。

(3) 可视化平台结合敏感性分析可识别研究流域(区域)与水相关的生态环境承载力的主控因子及其生态阈值,再结合实际,可及时准确地给出可持续发展的调控对策。

经过两年多的艰苦努力,本书的撰写工作完成了。本书是课题组集体智慧的结晶。课题组成员在河海大学朱永华教授和水利部太湖流域管理局水利发展研究中心韩青主任、戴晶晶高级工程师的领导下,凭着对科学研究的执着与追求,以及对中国南方降水总量丰富但水质型缺水地区的生态环境危机的忧虑和责任心,克服重重困难,完成了本书的撰写工作。

本书旨在引起中国不同层面及不同领域对丰水且水质型缺水地区与水相关的生态环境承载力的关注,同时,提高该研究领域的发展水平。本书主要面向政府管理的决策者,水资源和生态环境保护部门及林业部门的管理人员,水文与水资源学、环境学及生态学专业的科研人员及研究生等,以及对该领域感兴趣的人士。

本书分为上篇和下篇。上篇包括第1~4章,下篇包括第5~8章。上篇着重

理论,系统介绍该领域国内外研究进展,紧紧围绕太湖流域与水相关的生态环境问题及其成因阐述了太湖流域与水相关的生态环境承载力的理论与方法;下篇以太湖流域湖州市长兴县为研究对象,在对研究区与水相关的生态环境问题及其成因分析的基础上,开展长兴县与水相关的生态环境承载状态现状评价和承载力预估调控研究,然后在此基础上开展承载力预警机制研究。在长兴县预警机制研究中给出了太湖流域与水相关的生态环境承载力未来研究的相关建议。

本书在写作过程中得到了水利部太湖流域管理局吴浩云副局长的关心和支持,他提出了许多中肯和建设性的意见;在项目进行过程中广泛听取了众多专家、学者和管理人员的宝贵建议;河海大学庞任宏、肖然帮助查阅及整理资料;崔晨韵负责可视化平台的建设;苟琪琪负责排版。长兴县水利局的张文斌和蔡良琪,水利部太湖流域管理局水利发展研究中心的陈华鑫、彭焱梅、周宏伟、曹菊萍、陈凤玉、彭欢、张亚洲、陆沈钧、曹翔都给予了支持。在此致谢。当然,本书的顺利出版,也离不开河海大学水文水资源学院及水利部太湖流域管理局水利发展研究中心领导们的支持。

由于时间及对该前沿领域研究认识有限,书中可能存在一些不足和疏漏之处,敬请各界人士批评指正!同时期待相关研究领域的同仁加入我们的行列,共同商榷这一全新的研究课题。

作 者

2018年6月

目 录

前言

上篇 理 论 篇

第 1 章 与水相关的生态环境承载力的研究进展及适于太湖流域的研究方法	3
1.1 研究进展	3
1.2 研究方法	7
1.2.1 常规趋势法	7
1.2.2 综合评价分析法	8
1.2.3 系统动力学法	10
1.2.4 平衡指数法	11
1.2.5 多目标优化法	12
1.2.6 多目标优化互动法	12
1.3 适于太湖流域的研究方法	13
参考文献	14
第 2 章 太湖流域自然概况及水资源-生态环境-社会经济特征分析	18
2.1 自然概况	18
2.2 社会经济发展特征	20
2.2.1 时间变化	21
2.2.2 空间差异性	23
2.3 水资源特征	24
2.3.1 流域水资源特征	24
2.3.2 区域水资源特征	31
2.4 水环境特征	37
2.4.1 流域水环境特征	37
2.4.2 区域水环境特征	40
2.5 水生态特征	42
2.5.1 蓝藻	42

2.5.2	浮游生物	43
2.5.3	原生动物	49
2.5.4	底栖动物	50
2.5.5	环节动物	51
2.5.6	高等水生植物	53
2.5.7	鱼类	54
2.5.8	水系连通性	55
参考文献		56
第3章	太湖流域与水相关的生态环境问题及其成因分析	57
3.1	水环境问题及其成因分析	57
3.1.1	水环境问题	57
3.1.2	水环境问题成因分析	58
3.2	水生态问题及其成因分析	60
3.2.1	水生态问题	60
3.2.2	水生态问题成因分析	60
参考文献		61
第4章	太湖流域与水相关的生态环境承载力的理论及量化模型	63
4.1	概念与内涵	63
4.1.1	概念	63
4.1.2	内涵	64
4.2	量化指标体系	65
4.3	量化模型	68
4.3.1	承载状态的计量模型——承载状态综合测度模型	68
4.3.2	水土资源-生态环境-社会经济互动模型	69
4.3.3	承载力的预估调控模型	74
4.3.4	承载状态变量的标量化——隶属度法	76
参考文献		78

下篇 应用篇

第5章	长兴县与水相关的生态环境问题及其成因分析	81
5.1	长兴县概况	81
5.1.1	社会经济概况	81
5.1.2	自然状况	82

5.1.3	水资源分区	82
5.2	水资源及社会经济发展状况分析	83
5.2.1	水资源及其开发利用状况分析	83
5.2.2	社会经济发展状况分析	87
5.3	主要与水相关的生态环境问题及原因	89
5.3.1	与水相关的生态环境问题	90
5.3.2	与水相关的生态环境问题成因	95
	参考文献	96
第 6 章	长兴县与水相关的生态环境承载状态试评价	97
6.1	与水相关的生态环境承载状态的计量方案	97
6.1.1	计量模型	97
6.1.2	计量指标的界定	97
6.1.3	计量指标在综合测度中的权重的确定	101
6.1.4	计量指标的标量化	102
6.1.5	数据来源	113
6.2	2014 年与水相关的生态环境承载状态系统分析	114
6.2.1	水资源余缺水平分析	114
6.2.2	与水相关的环境质量分析	115
6.2.3	社会经济水平分析	119
6.3	2014 年与水相关的生态环境承载状态计算	121
6.3.1	模型输入数据	121
6.3.2	MATLAB 编程	123
6.3.3	计算结果	123
6.4	2014 年与水相关的生态环境承载状态计算结果分析	127
	参考文献	130
第 7 章	长兴县与水相关的生态环境承载力的预估调控研究	132
7.1	长兴县生态需水量的确定	132
7.1.1	丰水且水质型缺水地区生态需水量的研究进展	132
7.1.2	长兴县最小和最适生态需水量的确定	139
7.1.3	长兴县现状生态补水量的确定	150
7.2	研究方案	151
7.2.1	长兴县关联互动模型	151
7.2.2	长兴县优化互动模型	156
7.2.3	优化互动模型中各变量的解释	158

7.3 长兴县与水相关的生态环境承载力的情景方案设计	161
7.3.1 长兴县的社会经济发展方案	161
7.3.2 计算情景设计	161
7.3.3 长兴县生态承载力计算输入参数	163
7.4 与水相关的生态环境承载规模预估结果及分析	165
7.4.1 水资源配置保持现状不变(良好配置)的计算结果分析	166
7.4.2 水资源优化配置情景下的计算结果分析	170
7.4.3 提出长兴县与水相关的生态环境承载力优化的对策建议	175
参考文献	179
第8章 长兴县与水相关的生态环境承载力预警机制研究	183
8.1 基于敏感性分析确定承载力约束下的关键指标及其预警阈值	183
8.1.1 敏感性分析的方法	183
8.1.2 四水配置对承载规模的敏感性分析	185
8.1.3 状态变量对承载状态测度值的敏感性分析	188
8.1.4 小结	198
8.2 长兴县与水相关的生态环境承载状态评价和承载规模预估调控平台的建立	198
8.2.1 与水相关的承载状态评价系统可视化平台的建立	199
8.2.2 与水相关的承载规模预估调控平台的建立	200
8.3 长兴县水资源-与水相关的生态环境质量和社会经济水平发展和谐的调控策略	204
8.4 长兴县与水相关的生态环境承载力预警平台建设	205
8.5 小结与展望	207
参考文献	208

第1章 与水相关的生态环境承载力的研究

发展及适于太湖流域的研究方法

1.1 研究进展



上篇 理 论 篇



我国人口承载力的概念于1990年得以确立,以不同承载力的承载能力开

第1章 与水相关的生态环境承载力的研究 进展及适于太湖流域的研究方法

1.1 研究进展

承载力 (carrying capacity) 一词源自物理力学中的一个物理量, 指物体在不产生任何破坏时所能承受的最大负荷。关于生态承载力概念的起源可以追溯到马尔萨斯时代 (朱永华等, 2005a, 2005b; Zhu et al., 2010)。随着人口增长、技术水平提高, 在社会经济活动过度开发利用现有资源的同时, 排污而不治污或者长期治理污染的程度跟不上污染排放的程度, 结果引起环境污染、土地退化、水资源短缺和人口膨胀等现象且这些现象日益加剧。承载力一词不再单纯地只属于生态学领域 (Retzer and Reudenbach, 2005; Downsa et al., 2008)。

在我国, 与水相关的生态环境承载力起源于水资源承载力, 并且与水资源承载力不同, 其发展过程及特点如图 1.1 所示。关于水资源承载力的研究始于 20 世纪 80 年代后期, 其中以新疆水资源软科学课题研究组 (1989) 对新疆水资源承载能力的研究为代表。同时差不多相同的时间, 土地承载力研究开始在国内兴起, 其中最有影响的是《中国土地资源生产能力及人口承载量研究》(封志明, 1994)。

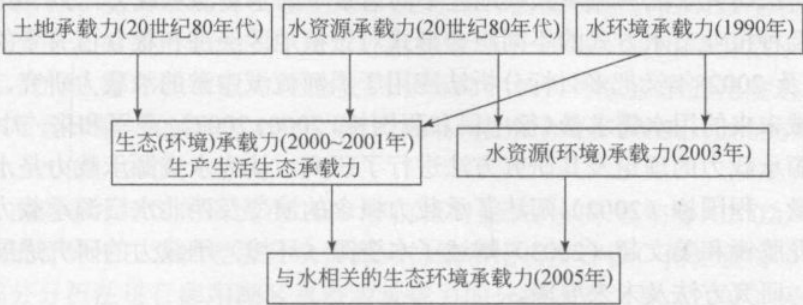


图 1.1 我国与水相关的生态环境承载力的起源示意图

我国水环境承载力的概念于 1990 年后得以提出, 以郭怀成等对我国新经济区

发区水环境承载力的研究为代表(王淑华, 1996)。后来在环境科学方向又独立发展了水环境承载力这一研究方向, 其量化方法与水资源承载力大致相同, 研究重点是区域水环境纳污能力以及水环境可承载的人类活动的阈值和如何改善区域环境水污染(朱永华等, 2011)。当土地(资源)承载力、水资源承载力、水环境承载力的研究趋于成熟时, 综合因素的承载力研究得以发展。例如, 2000~2001年开始出现的生态(环境)承载力、生产生活生态承载力, 均是比土地(资源)承载力、水资源承载力、水环境承载力更综合的承载力, 是综合因素构成的系统产生的承载力, 更接近更符合实情。到2003年我国开始出现水资源(环境)承载力的研究(龙腾锐和姜文超, 2003)。2005年, 朱永华等(2005a, 2005b)以海河流域为研究对象开始了与水相关的生态环境承载力理论及应用研究。

具体而言, 我国与水相关的生态环境承载力研究进展经历了萌芽、发展及融合发展阶段, 20世纪80年代后期到1995年处于萌芽阶段, 水资源承载力的概念、理论和计算方法等都处于萌芽状态(李令跃和甘泓, 2000), 其研究不但不广泛, 而且采用的研究方法比较简单, 主要是利用趋势分析法, 其中最具代表性的是施雅风和曲耀光(1992)对乌鲁木齐河流域水资源承载力的研究, 该研究主要认为水资源承载力的计算可以解决水供需平衡和人们生活质量与水准的问题。

1995~2003年水资源承载力得到广泛研究, 进入大发展阶段, 研究方法呈现多样化, 主要有综合评价法、系统动力学法和多目标优化法。例如, 魏斌和张霞(1995)采用系统动态仿真模型预测了本溪市水资源系统的发展趋势, 分析随着经济活动的扩大, 水资源系统将会存在的矛盾, 以寻求最佳处理方案; 高彦春和刘昌明(1997)采用模糊综合评价法在对陕西关中地区的水资源承载力的研究中, 认为水资源承载力是水资源开发的最大容量; 傅湘和纪昌明(1999)利用主成分分析法对陕西关中地区的水资源承载力进行了综合评价; 徐中民(1999)利用多目标分析法研究了黑河流域张掖地区不同情景下的水资源承载力, 分析分水时间、分水量及种植业节水方式的不同组合形式对张掖地区经济和粮食占有量的影响, 2000年及2002年又把多目标分析法应用于黑河流域中游的承载力研究, 预测出黑河流域未来的用水需求量(徐中民和程国栋, 2000, 2002); 夏军和朱一中(2002)对水资源承载力的理论及其研究方法进行了研究, 认为水资源承载力是水资源安全的度量; 程国栋(2002)阐述了承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架; 龙腾锐和姜文超(2003)阐述了水资源(环境)承载力的研究进展, 包括其概念、研究方法及未来展望。

随着水资源承载力得以提出和研究, 水环境承载力的概念也于1990年后在我国得以提出。最初的研究中, 比较具有代表性的是郭怀成等(1994)对我国新经济开发区水环境承载力的研究, 以后便在环境科学方向又独立发展了水环境承载

力这一研究方向,不过其量化方法与水资源承载力的量化方法大抵相同,其研究重点是区域水环境纳污能力、该区域水环境可承载的人类活动的阈值以及如何改善区域环境水污染情况。2001年以来,汪恕诚(2001)多次对水环境承载力进行了论述,其采用单目标最优化方法,以最大的人口当量数为目标,以地区或流域内特殊用地(如森林用地、湿地等)的面积比和水环境质量等为约束条件,求解出最佳用地规划模式。汪恕诚(2001)所用的方法实际上是一种水污染控制系统规划方法。龙腾锐和姜文超(2003)在阐述了水资源承载力的研究进展的同时,也阐述了水环境承载力的研究进展,包括水环境承载力概念、特征、研究方法 & 未来展望。

2003年以后,关于承载力的研究进入融合发展阶段,考虑综合因素,强调可持续发展;与水相关的生态环境承载力出现,建立多目标优化互动模型,研究水(土地)资源和与水相关的生态环境要素组成的与水相关的生态环境系统对社会经济系统的支持能力。其具体是当土地(资源)承载力、水资源承载力、水环境承载力的研究趋于成熟时,逐渐开始对综合因素承载力进行研究。土地(资源)承载力是指一个地区在土地资源一定的情况下,在何种利用方案下,该地区最多可生产的农产品(粮食)数量以及最大可承载的人口数。水资源承载力是指一个地区在一定的技术条件下,最大可用水资源量有多少,这些可用水资源量在何种利用方案下,可承载最大的人口数。水环境承载力主要研究一个区域的环境纳污能力以及该区域环境容纳人类活动的阈值。生态(环境)承载力、生产生活生态承载力(唐剑武等,1997;郭秀锐等,2000;高吉喜,2001;张传国等,2002)都是比土地(资源)承载力、水资源承载力、水环境承载力更综合的承载力,它们指的是综合因素构成的系统产生的承载力,更符合实情。其中,最具代表性的定义是高吉喜(2001)所给出的:生态承载力是指生态系统的自我维持和自我调节能力、资源和环境子系统的供容能力、其可维系的社会经济活动强度和具有一定生活水平的人口数。朱永华、夏军、吕海深等于2005~2010年开展了缺水地区与水相关的生态环境承载力理论及应用研究,从人类生态学的角度进行区域或流域水资源承载力的研究(朱永华,2004;朱永华等,2005a,2005b,2011;Zhu et al.,2005,2009,2010)。

关于南方丰水地区的研究在2009年前相对偏少,如朱照宇等(2002)采用常规趋势法进行珠江三角洲经济区水资源可持续利用初步评价;何宗健等(2004)采用主成分分析法进行鄱阳湖区水资源承载力的分析;刘强等(2005)采用综合指数法进行汉江中下游水资源承载能力评价;戴洪刚等(2007)采用综合指标分析法进行喀斯特地区枯水资源承载力评价;周亚红等(2009)采用综合指标分析法开展绵阳市水资源承载力研究。2002~2009年研究方法可归结为两种,即常规

趋势法和综合指标评价分析法。2010~2015 年研究较多,方法也较多。何凌等(2010)采用常规趋势法开展重庆市水资源承载力分析;王维维等(2010)、陈慧等(2010)及孙毓蔓等(2010)均采用主成分分析法分别开展了湖北省和南京市水资源承载力研究;程莉和汪德燿(2010)采用系统动力学模型开展苏州市水资源承载力研究;丁爱中等(2010)采用粗糙集和集对分析法开展中国 31 个省级行政区的水资源承载力现状评价,结果表明,我国北方地区基本属于不可承载或准不可承载,南方地区基本属于可承载或良好可承载,在其研究中,既考虑水质,也考虑水生态,反映了水资源承载力的空间差异性;温天福和杨永生(2011)采用常规趋势法探讨了赣江袁河流域水资源承载力,并提出相应的发展建议;赵筱青等(2011)和张斌等(2011)均采用系统动力学模型分别开展了昆明市和深圳市的水资源承载力研究;许朗等(2011)采用主成分分析法开展了江苏省水资源承载力研究;彭忠福等(2011)采用遗传投影寻踪方法进行江西省水资源承载力评价研究;吴涛(2011)采用灰色关联度分析法与向量模法开展了徐州市水资源承载力量化评价与研究;卜楠楠等(2012)采用模糊综合评价法开展浙江省水资源承载力评价;王晓晓等(2012)采用可变模糊识别模型进行武汉市水资源承载能力评价;陆君等(2013)采用综合指标评价法开展黄山市太平湖流域水资源承载力分析;曾浩等(2013)采用动态因子分析法进行湖北汉江流域水资源承载力研究;钟世坚(2013)采用生活用水定额法开展珠海市水资源承载力与人口均衡发展分析;孙光等(2013)采用指数平衡法分析了广西西江流域水资源承载能力;陈威和周铨(2014)采用系统动力学模型和密切值法开展了武汉市水资源承载力评价应用研究;邹进等(2014)基于二元水循环理论采用综合评价法开展昆明市水资源承载力质量能综合评价,他认为,水资源承载力应该是“质”“量”“能”三者的统一,主要体现在生态用水的计算上,量指的是河道生态用水量,质即水质,用污径比表示,能指的是考虑发电用水对生态用水的影响,用发电用水率表示;顾自强等(2014)采用常规趋势法开展了汉江流域水资源承载力研究;马宇翔等(2015)采用综合指标评价分析法开展了成都市水资源承载力评价及差异分析;徐韬等(2015)采用多目标优化法进行南通市水资源供需平衡与承载力研究;任黎等(2015)采用模糊综合评价模型,以盐城市为例,开展了江苏沿海地区水资源承载力研究。2016 年及以后对南方丰水地区的相关研究有所减少。在关于南方丰水地区的研究中,许多研究都关注了水污染水环境问题(朱照宇等,2002;程莉和汪德燿,2010;丁爱中等,2010;王晓晓等,2012;邹进等,2014),所用方法多是综合评价分析法(王维维等,2010;孙毓蔓等,2010;彭忠福等,2011;王晓晓等,2012;曾浩等,2013;陈威和周铨,2014;任黎等,2015),其次是常规趋势法(何凌等,2010;温天福和杨永生,2011;顾自强等,2014)和系统动