

邢永强 冯进城 窦明 著

QYU SHENGTAI HUANJING CHENGZAI NENGLI LILUN YU SHIJIAN

区域生态环境 承载能力理论与实践



地质出版社

内 容 提 要

区域生态环境承载能力的研究,是一个复杂巨系统的协调发展问题,涉及社会、经济、生态、环境与资源等多方面的知识。本书在总结过去研究工作的基础上,阐述了区域生态环境承载力研究的相关理论方法和应用实例;以系统论及可持续发展理论为基础,综合运用多目标规划理论、现代控制理论、环境科学理论,建立了区域生态环境承载力研究体系;以优化技术、计算机模拟技术和不确定性数学方法为工具,研究了可操作的生态环境承载力多目标分析模型和综合评价方法。该理论研究为当今社会经济协调发展和生态环境保护工作提供了一种科学的研究思路和研究方法。

本书可供环境科学、环境工程、水文地质与水资源、农田水利、地理科学、生态学等领域的科研、教学和管理工作者参考,也可供该领域高等院校的本科生、研究生参考,还可为关心生态环境问题的广大读者借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

区域生态环境承载力理论与实践/邢永强,冯进城,
窦明著. —北京:地质出版社,2007.6
ISBN 978-7-116-05223-9

I. 区… II. ①邢…②冯…③窦… III. 区域环境:生态
环境-承载力-研究 IV. X321

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第068484号

责任编辑:李莉
责任校对:李玫
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083
电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324573(编辑室)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zbs@gph.com.cn
传 真:(010) 82310759
印 刷:北京地大彩印厂
开 本:787 mm × 1092 mm¹/₁₆
印 张:12.25
字 数:300千字
印 数:1—1000册
版 次:2007年6月北京第1版·第1次印刷
定 价:30.00元
书 号:ISBN 978-7-116-05223-9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)



邢永强

男，汉族，1975年10月出生，山东临淄人，高级工程师，1995年7月毕业于山东建材学院地质专业，2005年6月获天津大学硕士学位。研究方向包括水资源优化配置与可持续利用、地质环境治理设计、生态环境调查评价、地质灾害危险性评估以及岩土工程勘察等。在《中国水土保持》、《人民黄河》、《地域研究与开发》、《河南科学》、《山东理工大学学报》、《中国地质灾害与防治学报》、《隧道建设》等刊物上发表论文42篇。完成各类项目90余项，其中大型项目12项，主要包括齐鲁石油化工公司改扩建工程水资源论证、德州至商丘高速公路（河南段）地质灾害危险性评估、平煤集团四矿矸石山环境治理可行性研究、河南许昌至安徽亳州高速公路岩土工程勘察等，获部、厅级荣誉18项，河南省自然科学优秀学术论文奖励2项。

E-mail: zbxq@sina.com



冯进城

男，汉族，1963年10月出生，河南获嘉人，中国地质大学博士研究生，高级工程师，1985年7月毕业于长春地质学院地质专业。主要从事矿产资源经济评价、地质遗迹保护、地质灾害评估、矿山环境治理研究等工作。参加工作以来共完成各类报告160余份，共获部、厅级荣誉20余项。出版有《河南省石炭纪和早二叠世早期地层及古生物》、《河南能源工业问题研究》、《地质公园导游必读》、《河南奇山秀水》等专著。

E-mail: fengjincheng@371.net



窦明

男，汉族，1975年11月出生，山东张店人，副教授，2003年6月毕业于武汉大学获博士学位。研究方向包括水环境数值模拟、水资源优化配置、水资源保护等。在《水科学进展》、《水利学报》、《水利水电技术》等刊物上发表论文20余篇，参与撰写了21世纪高等学校教材《水资源规划与管理》。主持和参加科研项目10余项，其中省部级项目7项。

E-mail: douming@zzu.edu.cn

区域生态环境承载能力理论与实践

编辑委员会

主 编 邢永强 冯进城 窦 明

编 委 李保贤 乔国超 郭新华 庞继群

秦 正 张红亮 郭文秀 方士军

马旭东 章 煜 朱世刚 吴 梅

杨皓宇 李 光 许 剑

序

构建和谐社会包括人与自然、人与人以及人的自身和谐，但人与自然的和谐是构建和谐社会的基础。从人类生产与生活良性循环的角度出发，必须确立生态价值观，必须对自然资源的价值、生态系统的价值加以研究，建立新的评价标准和价值体系，这样才能使有限的资源达到永续利用，以保持生态平衡。中国目前的经济增长方式所付出的资源、环境代价是巨大的，是中国的自然环境所难以承受的。目前，中国的经济水平、技术水平、人民群众生活水平还比较低，亟待提高，若按目前的经济增长方式继续发展下去，势必引发严重的资源、环境危机。当前这个时期是中国转变经济发展模式的关键时期，解决好环境和资源的价值问题，是我们必须直接面对的重大课题，其中“生态环境承载能力”已成为可持续发展研究的一个基础理论和应用方向。

区域生态环境承载能力的研究是个新生事物，是一个复杂巨系统的协调发展问题，涉及社会、经济、生态、环境与资源等多方面的知识，我今天在万方数据网的数字化期刊数据库中检索“生态环境承载能力”，仅检索到4篇相关科研论文。目前有关生态环境承载能力的概念、理论与方法正在发展，它也是国际资源与环境可持续发展研究的前沿课题。

《区域生态环境承载能力理论与实践》是一部系统介绍生态环境承载能力方面研究的学术专著，阐述了区域生态环境承载能力研究的相关理论方法和应用实例，建立了区域生态环境承载能力研究体系，研究了可操作的生态环境承载能力多目标分析模型和综合评价方法。该理论研究为当今社会经济协调发展和生态环境保护工作提供了一种科学的研究思路和研究方法。

《国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议》明确提出：“各地区要根据资源、环境承载能力和发展潜力，按照优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发的不同要求，明确不同区域的功能定位，逐步形成各具特色的区域发展格局。”该书的及时出版具有深远的前瞻意义，更具有重要的现实意义和理论意义。

本书付梓之前，有幸得先阅读的机会，深受启迪，愿为之序。

水文地质环境地质专家

钟法祚

2007年3月28日

前 言

进入 21 世纪，在“可持续发展”理念的指导下，现代社会经济的发展已经从过去以牺牲生态环境为代价去追求经济效益的发展，逐步转变到以生态环境为本、与生态环境共生的协调发展上来，其中“生态环境承载能力”成为可持续发展研究的一个基础理论和应用方向。

生态环境承载能力是指在人类活动和气候变化综合影响作用下，区域水、土等各种生态环境要素共同作用的支撑能力。它是与水循环为纽带的区域社会经济-自然资源-生态环境复杂巨系统的高层次度量。由此可见，区域生态环境承载能力的研究，是一个复杂的大系统协调发展问题，涉及社会、经济、生态、环境与资源多个领域的知识。

区域生态环境承载能力研究的是个新生事物，目前关于生态环境承载能力的概念、理论与方法正在不断发展和完善，它也是国际资源与环境可持续发展研究的前沿课题。作为区域生态建设和环境规划工作中的重要研究内容之一，本书力图通过回答以下几个问题来构架起生态环境承载能力理论研究的主体：①什么是生态环境承载能力？②支撑生态环境承载能力研究的基础理论有哪些？③如何计算和度量一个区域（或流域）的生态环境承载能力？④如何将区域生态环境承载能力研究与社会经济发展模式和生态环境保护对策有效地结合起来？

全书共分三部分，包括十章内容，各章主要按照生态环境承载能力的理论基础由浅入深进行编排。第一、四、七章由邢永强编写，第五、六、八章由冯进城编写，第二、九、十章由窦明编写，第三章由窦明、邢永强编写。全书最后由邢永强、窦明统稿。

第一部分内容包括第一章至第三章，介绍了有关生态环境承载能力研究的基本概念和研究框架体系。

第一章为绪论，是对全书的铺垫，主要介绍关于生态环境方面

的一些基础知识。首先介绍了生态系统的概念、结构特征以及环境功能；其次，介绍了环境的定义，环境问题是如何产生和划分阶段的，以及环境科学的发展阶段、研究对象和研究内容；在介绍了有关生态和环境两方面的知识后，又阐述了生态环境一词起源、争议和内涵；最后探讨了影响和制约生态环境系统发展的主要影响因素，以及社会、经济、资源、环境之间的相互协调关系。

第二章主要是对生态环境承载能力的概念及研究方法进行讨论。首先，探讨了承载力与承载能力两者之间的区别，根据承载能力的主体和客体，对生态环境承载能力进行分类，阐述了生态环境承载能力的概念、内涵、特性以及影响因素；其次，介绍了生态环境承载能力研究的指导思想，即可持续发展思想的概念、由来和内涵，并指明可持续发展与生态环境承载能力两者之间的关系；最后，综述了生态环境承载能力的四种常用研究方法：背景分析法、综合评价法、系统动力学法和多目标分析法。

第三章介绍了生态环境承载能力研究的框架体系。首先，介绍了生态环境承载能力的研究对象，即社会经济-自然资源-生态环境复杂巨系统，讨论了巨系统运作的驱动机制，以及各子系统的内部规律和外部约束；其次，介绍了生态环境承载能力的研究总体思路、研究方法上的创新以及需要慎重对待的几个关键问题；最后，介绍了生态环境承载能力研究所用到的基础理论和数学模型。

第二部分内容包括第四章至第九章，介绍了生态环境承载能力研究所涉及的某一方面基础理论和数学方法。

第四章介绍了社会经济发展及环境预测方面的理论知识。首先，介绍了预测方法的分类原则和常用的几种预测方法；其次，介绍了有关社会经济预测方面的各类指标，并介绍了几种有特色的人口预测模型和经济增长预测模型；最后，叙述了环境预测的基本内容，以及几种水体污染负荷预测模型。

第五章阐述了关于水环境数值模拟方面的基础理论。首先，描述了污染物在水体中的迁移与扩散、吸附与解吸、沉淀与再悬浮等物理、化学、生物过程；其次，介绍了水质迁移转化基本方程，并重点阐述了三种水质模型，即 BOD-DO 模型、综合水质模型和重金属模型；最后，介绍了计算水环境容量的数学方法，以及实施水

环境容量分配的原则和方法。

第六章介绍了区域水循环理论。首先，简要介绍了自然界水循环过程的机理、特点和意义；然后介绍了天然状况下的水资源转化过程，以及人类活动和城市化过程对水资源转化过程的影响；最后从水循环机理出发，介绍了地表水资源量、地下水资源量以及水资源总量的计算方法。

第七章针对生态环境承载能力研究的一个重要约束条件——生态环境需水量进行了阐述。首先，叙述了国内外有关生态环境需水方面的研究进展，并对生态环境需水及其相关概念进行了界定；其次，介绍了有关生态环境需水的几类常规量化方法；第三，提出区域生态环境需水量整体估算的研究思路，将需水量划分为河道内和河道外两部分，并介绍了各自的计算方法；最后，提出了基于水循环过程的生态环境需水量量化新思路。

第八章介绍了生态环境质量评价方面的理论知识。首先，介绍了生态环境质量评价的内涵和分类，国内外生态环境评价领域的研究进展，对难点问题进行了分析总结；阐述了环境评价的内容，介绍了有关大气质量、水质质量和土壤质量方面的评价方法；最后，阐述了生态环境质量评价中筛选评价指标的原则和方法、制定评价标准的要求和依据，并介绍了几种综合评价方法的建模原理和步骤。

第九章在结合第四章至第八章所讨论的理论、方法、模型基础上，阐述了生态环境承载能力研究的两个核心模型——多目标情景分析模型和综合评价模型的建模原理和方法。首先，介绍了多目标情景分析法的研究思路和研究步骤；其次，介绍了多目标分析模型目标函数、约束条件的确定方式和求解方法；最后，介绍了几种生态环境承载能力综合评价方法以及反映承载能力大小的综合指标。

第三部分内容是第十章，介绍了生态环境承载能力研究的一个应用实例。

第十章为石羊河流域生态环境承载能力研究。首先，介绍了石羊河流域的自然概况和社会经济概况，讨论了该流域水资源在开发利用过程中对生态环境的有利影响和不利影响，以及流域发展所面临的主要生态环境问题；其次，建立了石羊河流域水资源转化模

型，模拟出地表水与地下水之间的转化关系，并计算出石羊河流域的生态环境需水量大小；第三，建立了石羊河流域生态环境承载力多目标分析模型和综合评价模型，根据流域可持续发展情景方案，计算出在各种方案下的社会经济、生态环境目标值，并通过综合评价模型评价出不同方案的承载力状态；最后，根据以上研究成果，总结出提高石羊河流域生态环境承载力的对策和建议。

《区域生态环境承载力理论与实践》是一部系统介绍生态环境承载力研究的学术专著。本书的特点是：①多学科交叉，针对当前环境科学研究领域的热点问题，通过将生态学、环境科学、水资源学、社会经济学、系统工程理论、计算机模拟技术等多种学科知识的有机结合，综合研究生态环境承载力问题；②量化研究，在综合以往研究的基础上，提出生态环境承载力多目标分析模型和综合评价模型，定量评价区域承载力的大小，并应用于实际；③系统性介绍，本书从生态环境承载力的相关概念和基础知识介绍开始，接着提出承载力研究的框架体系和应用到的理论方法，在此基础上分别展开对相关知识点的详细介绍和说明，最后给出具体的实例来论证。

然而，由于生态环境承载力研究仍处于探讨阶段，社会经济系统与生态环境系统、自然资源系统之间的协调问题，以及复杂巨系统本身的复杂性，使得本书的研究内容、研究方法及研究成果可能还存在这样或那样的不足，这也给编撰本书增添了难度。再加上时间仓促，特别是作者水平所限，书中错误和缺点在所难免，欢迎广大读者不吝赐教。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金（50679075、50579052）、国家社会科学基金（06CJY016）、河南省杰出青年科学基金资助项目（0512002500）、河南省科技攻关计划项目（0624440043）、水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金（2005B016）的资助，以及其他横向研究课题的支撑，特此向支持和关心作者研究工作的所有单位和个人表示衷心的感谢！

作者

2007年5月

目 次

序

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 生态系统的内涵	(1)
一、生态系统的定义	(1)
二、生态系统的概念	(2)
三、生态系统的结构特征	(2)
四、生态系统的环境功能	(4)
第二节 环境和环境科学	(6)
一、环境的定义	(6)
二、环境问题的产生	(7)
三、环境科学	(9)
第三节 生态环境的诠释	(12)
一、生态环境一词的由来	(12)
二、关于生态环境含义的争议	(12)
三、生态环境的内涵	(14)
第四节 生态环境系统的外界影响	(14)
一、水资源对生态环境的重要作用	(14)
二、社会经济发展对生态环境的影响	(15)
三、社会、经济、资源、环境之间的协调关系	(17)
第二章 生态环境承载能力相关理论综述	(19)
第一节 生态环境承载能力概念界定	(19)
一、承载力与承载能力	(19)
二、生态环境承载能力的概念及内涵	(20)
三、生态环境承载能力的特性	(24)
四、生态环境承载能力的影响因素	(25)
第二节 生态环境承载能力研究指导思想	(26)
一、可持续发展的概念及由来	(26)
二、可持续发展的内涵	(28)
三、可持续发展与生态环境承载能力的关系	(28)
第三节 生态环境承载能力研究方法综述	(30)
一、背景分析法	(30)
二、综合评价法	(31)
三、系统动力学法	(32)

四、多目标分析法	(33)
第三章 生态环境承载能力研究框架体系	(35)
第一节 生态环境承载能力的研究对象	(35)
一、社会经济-自然资源-生态环境复杂巨系统	(35)
二、复杂巨系统运作的驱动机制	(36)
三、各子系统的内部规律和外部约束	(38)
第二节 生态环境承载能力的研究思路	(39)
一、总体思路	(39)
二、研究方法	(39)
三、关键问题	(41)
第三节 生态环境承载能力研究的理论基础	(42)
一、研究理论基础	(42)
二、模型方法介绍	(45)
第四章 社会经济发展及环境预测	(48)
第一节 常用预测方法介绍	(48)
一、预测方法分类	(48)
二、常用预测方法简介	(49)
第二节 社会经济发展预测	(52)
一、社会经济指标	(52)
二、人口预测	(53)
三、经济增长预测	(57)
第三节 环境预测	(58)
一、环境预测基本内容	(58)
二、水体污染负荷预测模型	(59)
三、人工神经网络预测方法介绍	(60)
第五章 水环境数值模拟	(62)
第一节 污染物在水体中的物理化学过程	(62)
一、迁移与扩散	(62)
二、吸附与解吸	(63)
三、沉淀与再悬浮	(63)
四、降解与转化	(63)
五、微生物生化反应动力学	(64)
第二节 水质迁移转化过程的数值模拟	(65)
一、迁移转化基本方程	(65)
二、BOD-DO 模型	(68)
三、综合水质模型	(69)
四、重金属模型	(74)
第三节 水环境容量计算	(77)
一、水环境容量的计算	(77)
二、水环境容量的应用	(78)

三、水环境容量的分配	(79)
第六章 区域水循环理论	(81)
第一节 水循环过程与水量平衡	(81)
一、水循环过程简介	(81)
二、水循环的机理与特点	(82)
三、水循环的作用和意义	(82)
四、水量平衡原理	(83)
第二节 水资源转化过程	(84)
一、天然水资源转化过程	(84)
二、人类活动对水资源转化过程的影响	(85)
三、城市化对水循环过程的影响	(86)
第三节 水资源量的计算	(87)
一、地表水资源量计算	(87)
二、地下水资源量计算	(89)
三、水资源总量计算	(91)
第七章 生态环境需水理论	(94)
第一节 生态环境需水概念与内涵	(94)
一、国内外研究进展	(94)
二、生态环境需水的概念界定	(96)
三、生态环境需水研究的理论基础	(98)
第二节 主要研究方法介绍	(99)
一、标准流量设定法	(99)
二、水力定额法	(99)
三、栖息地法	(100)
四、水量平衡法	(101)
五、功能法	(101)
第三节 区域生态环境需水量整体估算	(104)
一、研究思路	(104)
二、河道内生态环境需水量估算方法	(104)
三、河道外生态环境需水量估算方法	(105)
第四节 基于水循环理论的新思路	(109)
一、基于水循环过程量化的整体思路	(109)
二、流域水循环过程的模拟	(110)
三、生态系统健康评价方法	(112)
第八章 生态环境质量评价	(113)
第一节 生态环境质量评价概述	(113)
一、生态环境质量评价的内涵	(113)
二、生态环境质量评价分类	(114)
第二节 国内外研究进展	(114)
一、国外研究进展	(114)

二、国内研究进展	(115)
三、难点分析	(116)
第三节 环境质量评价	(116)
一、环境质量评价内容	(116)
二、单一类型环境指标评价方法介绍	(117)
第四节 生态环境质量综合评价	(121)
一、评价指标体系的建立	(122)
二、评价标准的制定	(123)
三、评价方法介绍	(125)
第九章 生态环境承载能力计算与评价模型	(131)
第一节 多目标情景分析法	(131)
一、情景分析法	(131)
二、多目标情景分析法的研究思路	(132)
三、多目标情景分析研究步骤	(133)
第二节 生态环境承载能力多目标分析模型	(134)
一、目标函数的确定	(134)
二、约束条件的确定	(136)
三、模型的求解方法	(140)
第三节 生态环境承载能力综合评价研究	(140)
一、基于可承载隶属度的模糊综合评价方法	(140)
二、基于可持续发展测度的综合评价方法	(142)
三、基于承载压力度的综合评价方法	(144)
第十章 石羊河流域生态环境承载能力研究	(146)
第一节 石羊河流域概况	(146)
一、自然概况	(146)
二、社会经济概况	(148)
第二节 石羊河流域水资源评价	(149)
一、水资源数量	(149)
二、水资源质量	(150)
三、水资源变化趋势	(151)
四、水资源开发利用给生态环境带来的影响	(152)
第三节 石羊河流域生态环境问题调查	(154)
一、生态系统类型及现状	(154)
二、主要生态环境问题	(155)
第四节 石羊河流域水资源转化数值模拟	(157)
一、流域水资源重复利用模式	(158)
二、水资源转化模型的建立	(158)
三、水资源转化模型在石羊河的应用	(161)
第五节 石羊河流域生态环境需水量计算	(163)
一、河道外生态环境需水量估算	(163)

二、河道内生态环境需水量估算	(164)
第六节 石羊河流域生态环境承载力计算	(166)
一、多目标情景分析模型的建立与求解	(166)
二、生态环境承载力计算情景设计	(166)
三、生态环境承载力计算结果	(167)
第七节 石羊河流域生态环境承载力评价	(171)
一、评价模型的建立	(171)
二、评价结果及分析	(172)
第八节 提高石羊河流域生态环境承载力对策	(172)
参考文献	(176)

第一章 绪 论

自 19 世纪末以来，随着科技的进步和社会生产力的提高，人类创造了前所未有的财富，推进了整个社会文明的进步。然而，人类活动损害和改变了自然生态系统，使人类赖以生存的环境受到严重干扰，并引发了土地沙漠化、土壤盐碱化、草地退化、河湖水质恶化、生物多样性减少等一系列生态环境问题。因此，保护生态环境，实现对生态环境的科学管理和调控，是促进社会经济与环境协调发展、建设人与自然和谐的重要举措。本章将介绍关于生态环境方面的一些基础知识以及当前所面临的生态环境问题。

第一节 生态系统的内涵

1869 年，德国生物学家海克尔（E. Haeckel）在其所著的《普通生物形态学》一书中首次提出了生态学（ecology）的概念，其定义如下：生态学是研究生物有机体与其周围环境（包括生物环境和非生物环境）相互关系的一门学科。至今这个名词已经提出了 100 多年，尽管在此期间对生态学的理解和定义发生了一些变化，但总体来说，生态学是“研究生物系统与其生存环境之间相互作用的科学”。

一、生态系统的定义

说到生态环境，首先要提及生态系统。20 世纪 20 年代很多生物学家和哲学家主张将生命群体看作一个系统，用系统的观点进行研究。“系统”一词在古希腊时代就存在，是组合、整体和有序的意思，它与“混乱”是反义词，它意味着为实现某个目标而建立起来的秩序、组织、系列、体系、制度、方法等。由于系统具有广泛的涵义，因此不仅在产业领域里，甚至在政治、经济领域里也得到了使用。但是从工程观点来说，系统被解释为由若干个相互区别、而又相互联系和相互作用的元素所组成，且处在一定的环境中为实现同一目标而存在的有机整体。因此，系统包括两个部分：一个是系统本身；一个是系统所处的环境，系统环境就是系统工作的限制条件。而系统本身又由三个元素所构成，即输入、系统和输出。这样，系统在特定环境下对输入进行响应，就产生输出。把输入变为输出，这就是系统的功能，如图 1-1 所示。

系统本身又是它所隶属的一个更大系统的组成部分。也就是说，系统总是有总系统和分系统（子系统）之分，分系统是总系统的组成部分。总之，系统的概念是相对的，在某种场合下它是总系统，而在另一种场合下它可能又是分系统。

系统具有以下属性：

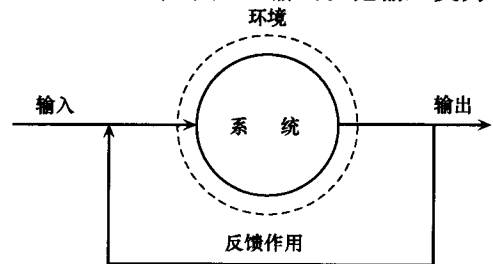


图 1-1 基本系统模型