

生态上海建设的理论与实践

生态承载力复合模型 系统与应用

王开运 等著

科学出版社

北京

内 容 提 要

本书重点论述了生态承载力的概念、内涵、进展和研究方法。在可持续发展理论的指导下,开发了区域复合生态系统承载力模型。并针对上海市崇明岛生态建设的战略需求,应用承载力复合模型对崇明2006, 2020年期间的社会 and 经济发展以及资源供需进行了模拟预测,对崇明生态岛建设的发展模式以及人口、经济、产业、资源和环境优化方案进行了探讨。

本书可供各级政府有关管理人员以及从事社会、经济、生态学等大专院校师生及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态承载力复合模型系统与应用/王开运等著. —北京:科学出版社, 2007

(生态上海建设的理论与实践)

ISBN 978-7-03-018957-8

I 1 生… II 1 王… III 1 可持续发展—研究—上海市
IV 1 X22

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第067191号

责任编辑:李瑾 谭宏宇 / 责任校对:连秉亮
责任印制:刘学 / 封面设计:一明

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>

南京展望文化发展有限公司排版

常熟华通印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2007年6月第一次印刷 印张:18½ 插页0

印数:1—25 000 字数:424 000

定价:58.00元

《生态承载力复合模型系统与应用》编委会

主 编 王开运

副主编 邹春静 张桂莲 陆 鸣

编 委	王开运	华东师范大学
	邹春静	华东师范大学
	张桂莲	华东师范大学
	陆 鸣	上海市南汇区人民政府
	郑广宏	同济大学
	巩晋楠	华东师范大学
	陈乐天	华东师范大学
	张 超	华东师范大学
	马永亮	华东师范大学
	孔正红	华东师范大学
	郑丽波	华东师范大学
	李 恺	华东师范大学
	任文伟	复旦大学

前 言

承载力的概念最早来自于生态学。1921年, Park 和 Burgess 在人类生态学领域中首次应用了生态承载力的概念,即在某一特定环境条件下(主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的组合),某种个体存在数量的最高极限。20世纪60、70年代,随着自然资源耗竭和环境恶化等全球性问题的日益加重,引起资源承载力,如水、土地和关键矿产等、环境承载力及相关命题研究的广泛开展,其中尤以罗马俱乐部 Meadows 等人所著的《增长的极限》为杰出代表,强调资源的限制作用。80年代后期,随着可持续发展概念和思想的提出,承载力的研究从单资源研究发展到更宏观的复合巨系统综合性研究,强调资源各要素间的网络、动态变化关系以及系统的整体效应,从“自然-经济-社会”复合巨系统层面探讨资源和环境承载同人口、经济发展相协调的问题。它的概念与单资源要素承载力概念相比内容更丰富、全面,更接近人类社会系统特点,但也更加复杂而难于表述。尽管目前关于生态系统承载力的定义描述还不完全统一,但对其广义内涵的理解还是比较清楚的,也即,强调特定生态系统所提供的资源和环境对人类社会系统良性发展的支持能力,涵盖资源与环境子系统的相容、持续承载和时空变化,而且应该更多的考虑到人类价值的选择、社会目标和人类与环境之间的相互影响。与其他能力一样,它可以发展,也可以衰退,取决于人类的资源利用方式。一定生态承载力基础上,可以承载的人口和经济总量是可变的,取决于人口与产业的空间分布、土地利用格局以及产业结构与技术水平。因此,生态承载力决定着一个区域经济社会发展的速度和规模,而生态承载力的不断提高是实现可持续发展的必要条件。如果在一定社会福利和经济技术水平条件下,区域的人口和经济规模超出其生态系统所能承载的范围,将会导致生态环境的恶化和资源的枯竭,严重时会引起经济社会的畸形发展甚至倒退。因此,也可以说生态承载力是联系人类活动与自然生态系统的纽带和中介,反映了人类活动与生态系统功能结构间的协调程度,决定着一个区域经济社会发展的速度和规模。正因为如此,目前生态系统承载力研究在人口、自然资源管理及生态环境规划等领域获得了广泛的应用,成为可持续发展的支撑理论。

生态承载力研究内容涉及对目标系统动态、互作和反馈等过程的定量描述,预测、指标体系建立、承载力状态评价、多目标决策优化等一体化的综合过程。而生态承载力预测研究不同于对某区域的历史或现状承载力分析和评估,它必须以研究区“社会-经济-自然”复合生态系统为对象,以区域持续发展为目标,既要考虑研究区现状,又要纳入规划目标、定位、政策和可利用的区域和科技发展潜势等。因此,承载力预测研究是一个典型的半结构化的多层次和多目标的群决策问题,其过程更加复杂和具有不确定性。目前在研究方法方面总体来说尚处于探索阶段,成为制约承载力理论具体应用的主要原因。

近年来,在国家科技部“十一五”科技支撑重大项目课题“崇明岛生态系统修复关键技术开发及应用研究(2006BAC01A14)”,上海市科学技术委员会崇明生态岛建设重大专项“崇明岛生态承载力与生态安全预警系统研究(05DZ12007)”,国家自然科学基金“区域生

态承载力动态模拟与分析(30670315)”,中法国际合作项目“滨岸多功能型防护林体系构建和持续管护技术研究(063907040)”等项目资助下,针对区域“自然-经济-社会”复合系统承载力模型开发和上海市崇明生态岛建设的应用需求,我们在承载力理论和应用方面进行了深入的工作。其关注点是:①“自然-经济-社会”复合系统模型开发;②从区域经济发展和环境管理的角度,研究生态承载力动态变化和未来发展趋势的预测;③指标值的时空分布以及指标间的互动和反馈过程;④区域生态承载力的合理状态的范围、动态和多目标的界定;⑤承载力多目标优化策略与人口、经济规模,产业布局,土地利用布局等耦合关系;⑥多源数据的采集、分析以及空间决策支持系统等技术支撑作用;⑦承载力阈值范围与生态系统的健康和生态安全的关系;⑧基于承载力区域生态建设控制指标和准则建立。

本书作为上述研究工作的部分总结,共分6章,前3章内容主要涉及承载力的理论发展、内涵和研究方法以及生态承载力复合模型系统的开发,后3章集中在承载力复合模型在崇明生态岛建设的预测应用。内容包括国内外岛(区)类似成功发展模式对比,区域资源分析,崇明生态建设目标的发展模式设计,崇明重要资源的承载力,环境容量以及适宜的人口和经济支撑能力评价,区域生态承载力相适应的产业结构、人口规模和布局方案,以及生态岛建设分阶段的控制指标和指导准则等。本书可供各级政府有关管理人员,社会、经济、生态学等大专院校师生及科研人员参考。

在研究项目的实施和本书的编写和出版过程中,得到了上海市科学技术委员会,崇明县有关局、委、处、室以及各乡镇等单位领导和工作人员的热心支持,以及来自华东师范大学、复旦大学、上海交通大学、上海师范大学等单位近百余名研究人员和研究生的贡献,在此一并致谢!

王开运

2007年4月于上海

本书得到以下项目联合资助:

1. 国家科技部“十一五”科技支撑重大项目课题“崇明岛生态系统修复关键技术开发及应用研究(No.2006BAC01A14)”
2. 上海市科学技术委员会崇明生态岛建设重大专项“崇明岛生态承载力与生态安全预警系统研究(No.05DZ12007)”
3. 国家自然科学基金面上项目“区域生态承载力动态模拟与分析(No.30670315)”
4. 中法国际合作项目“滨岸多功能型防护林体系构建和持续管护技术研究(No.063907040)”
5. 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室(No.04DZ05909)
6. 上海市科学技术委员会崇明生态创新研究基地(No.05DZ22328)
7. 中国博士后科学基金(No.20060400636, No.20060400173)

目 录

第一章 生态承载力的发展与挑战	1
第一节 生态承载力概念的产生与发展	1
一、承载力概念的起源	1
二、承载力概念的发展	3
三、生态承载力概念的产生	6
第二节 生态承载力的研究对象与挑战	10
一、生态承载力研究对象及内涵	10
二、生态承载力研究的重要意义与面临的挑战	14
第二章 承载力研究方法	16
第一节 承载力的研究方法	16
一、种群数量的Logistic 法	16
二、资源供需平衡法	17
三、指标体系法	22
四、系统模型法	36
第二节 生态承载力研究方法的适用性分析	43
一、种群数量的Logistic 法	43
二、资源供需平衡法	44
三、指标体系法	44
四、系统模型法	45
第三节 生态承载力研究方法的发展趋势	46
第三章 生态承载力复合模型系统	48
第一节 复合模型系统概述	48
一、复合模型系统的构建思路	48
二、复合模型系统的组成和功能	48
第二节 过程动态模型	51
一、过程动态模型的构建方法	51
二、过程动态模型的构建和模型描述	57
三、参数设定	78
四、重要变量的关系	80
第三节 状态空间评价模型	111
一、状态空间法基本原理	111

二、状态空间评价指标体系	113
三、生态承载状况的判定	127
第四节 空间决策模型	128
一、空间决策模型的选择	128
二、情景分析法和目标规划模型在复合模型系统中的实现	130
第五节 数据库系统	132
一、数据库系统概述	132
二、数据库设计及其功能	133
第六节 复合模型系统的实现	137
一、SDSS 概述及系统结构	138
二、三库系统的实现	141
三、系统辅助设计	147
第四章 崇明岛区生态承载力历史年评价	151
第一节 研究区背景	151
一、调查资料	151
二、地理概况	151
三、自然资源特征	155
四、社会经济状况	165
五、环境特征	172
第二节 评价指标体系	177
一、指标及权重的确定	177
二、理想参比值的确定	179
第三节 崇明岛区历史年生态承载状况分析	180
一、崇明岛区生态承载状况分析	180
二、崇明岛区各功能区生态承载状况分析	187
第四节 崇明岛区生态承载力现状小结	191
第五章 崇明岛区生态承载状况动态预测及评价	192
第一节 生态承载力预测情景设计	192
一、情景设计的构思	192
二、崇明岛区面临的发展机遇	193
三、生态岛的功能定位	200
四、生态岛功能分区	202
五、崇明岛区规划目标	206
六、国内外发展模式分析	209
七、“环境Kuznets 曲线”分析	221
八、崇明岛区未来可选发展方案设计	224

第二节 不同方案生态承载状况评估与风险分析·····	226
一、不同方案生态承载状况评估·····	226
二、风险分析·····	227
三、优化方案的确定·····	228
第三节 优化方案下生态承载力预测分析·····	229
一、崇明岛区生态承载状况预测·····	229
二、崇明岛区生态系统资源供需状态预测·····	236
三、崇明岛区各功能区承载状况预测·····	242
四、崇明岛区各功能区资源供需预测·····	255
第六章 崇明生态岛建设的指标准则·····	258
第一节 崇明岛区生态建设的指标准则·····	259
一、指标准则的特点·····	259
二、指标准则分析·····	260
第二节 崇明岛区各功能区生态建设的指标准则·····	268
一、崇明岛区各功能区人口分布状况·····	268
二、崇明岛区各功能区经济状况·····	270
三、崇明岛区各功能区环境质量控制状况·····	270
第七章 结论与建议·····	273
一、结论·····	273
二、策略和建议·····	274
三、展望·····	275
参考文献·····	277
附录 过程动态模型中变量命名规则·····	284
一、变量命名原则·····	284
二、变量命名方法·····	284

第一章 生态承载力的发展与挑战

第一节 生态承载力概念的产生与发展

人类繁衍、发展的历史,是一部人同整个自然生态系统之间相互作用、共同发展、不断进化的历史。从几百万年前人类诞生至今,人类同自然间作用的方式、强度、范围已发生了极大变化。远古时期生产力的低下使人类只能被动地适应自然,人类活动受到自然的极大局限;农业得到发展时,人类开始用自身的力量改造自然,在农业文明时期以获取食物为目的,开始了开垦草原、砍伐森林的活动;18世纪末,Malthus 关注到人口增长中的障碍,对人口增长导致食物短缺进行了描述,此后,牧场管理中也开始出现草场承载力的概念。进入工业革命以后,人们抛弃了“天人合一”的传统思想,“征服自然”的观念一度盛行,人类社会进入了一个对自然掠夺、挥霍和破坏的时代。在大量消耗资源的基础上生产力得到了很大发展,人口剧增,产生了更大的物质需求;生产工具的进步又为进一步征服和掠夺提供了条件,自然生态系统的负荷急剧增大。人类恶性掠夺首先造成了地区环境和资源的恶化和枯竭,愈发频繁的环境事故和灾害使人们把注意力转向了环境和资源的承载力研究。

同时,森林面积锐减、生物多样性丧失、水土流失和沙漠化、全球变暖不断加剧,生态系统退化向全球范围发展速度惊人。人们不得不开始从整个生态系统的角度考虑问题:1968年4月,由当时知名科学家、经济学家、社会学家约30人成立了“罗马俱乐部”,1972年3月,出版了著名的《增长的极限》,明确提出不断增长的人口必然会遭遇资源环境的“瓶颈”。同一时期世界自然保护同盟(IUCN)、联合国环境规划署(UNEP)、世界野生生物基金会(WWF)首先使用了“可持续发展”这一词组,以避免掠夺式发展的可怕后果,于是生态承载力的研究被推上前台。至此,承载力已经历了长达200余年的思考、争辩、修正与创造,形成了全新的生态承载力理论;概念也得到了极大的发展和扩充,研究目的由种群研究延伸到社会决策,承载的本质由绝对上限走向相对平衡,研究的对象由单一逐渐复杂,概念核心由物资供需的现象描述转向系统自持的机制研究,承载力的理念由静态容纳深化到系统的可持续发展。

这是一个漫长的认知过程。在生态承载力的演化与发展中,其概念和内涵不仅随着目标对象的发展而深化,也受到方法手段不足的制约;不同时代承载力概念各有特色,体现着承载力的传承与发展。深入剖析承载力产生和演进的历史过程,“什么是生态承载力”也许会有更为具体深刻的解答。

一、承载力概念的起源

承载力的理念最早可溯至18世纪末的人类统计学领域。在更早的生态学研究里,研

究者采用指数增长方程描述种群增长动态,它表现在资源空间无限的条件下,种群数量动态将随着时间发展呈指数形增长(Mollus, 1999)(图1-1)。许多给予充分环境条件的种群研究都证实了指数增长的存在,如Leverich和Leven(1979)对*Phlox*种群的回归研究,以及Nicholson著名的大苍蝇种群笼箱实验。这些仅反映了种群自身的正反馈,实际情况中,资源往往不可能无限,因此种群的扩张很快就会达到生态系统容忍的上限,因此指数增长只能在种群增长初期的较短时段内观察到。

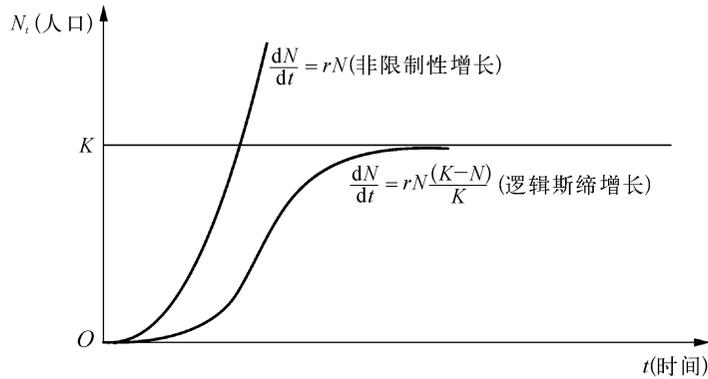


图1-1 指数增长和逻辑斯谛种群增长曲线

Malthus及其前辈在研究人口变化时同样认为这种理论并不可取。1798年,他出版《人口原理》一书,其中资源有限并影响人口增长的理论对之后达尔文进化论、自然选择理论和最初的人类统计学都产生了广泛深远的影响。该理论主要包括以下三个假设:①食物是人类生存的必需品且是人口增长的唯一限制因子;②Malthus人口理论的重要组成部分,即人口呈几何级数形式增长;③食物生产增长是线性的,与人口的几何增长相比,食物短缺将成必然。Malthus从最简单的角度考虑了人类需求、物质供应并对其相互关系进行了猜想。基于这三个假设解释他在英格兰观察到的食物匮乏与生活贫困现象,并预测存在永久的食物短缺。但是,Malthus理论只考虑食物作为限制因子,采取了18世纪博物学家机械的自然观,将人和其他物种放在同一个水平上,看作是上帝赋予了固定和独立配置特性的原子组分,通过机械的配置适应环境。1838年,比利时数学教授Verhulst把Malthus的基本理论以数学方程的形式描述出来,在对当时的法国、比利时、沙俄与英国艾塞克斯郡进行人口调查后,得出了时间-人口的逻辑斯谛(Logistic)方程(图1-1)。因子 K 代表了一定资源空间下承载人口的最大值,称为负载量或承载量,也是承载力概念最原初的数学表达形式。

从Verhulst的逻辑斯谛方程可以看出,Malthus理论存在很大的缺陷,如未考虑迁移的影响,将系统假设为封闭的,而且容纳能力和人口增长率不随时间变化,环境被假定为能提供稳定的资源等,因此该理论仅能被短期数据所证实(程国栋,2002)。但是,将资源环境对人口增长的约束用环境容纳能力表示,从而使人类意识到资源和环境的限制作用,奠定了承载力概念的基石,之后所有承载力的概念都可认为是对 K 在定义上的修正和扩充。

1921年, Park 和 Burgess 在人类生态学领域中首次使用了承载力的概念, 并将其定义为在某一特定环境条件下(主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的组合), 某种个体存在数量的最高极限。这个时期承载力多以“容纳能力”的形式表述, 即对某一具体的研究区域, 在不削弱其未来支持给定种群的条件, 当前的资源和环境状况所能支持的最大种群数量, 也就是最简单的承载体和承载对象的关系(杨志峰、隋心, 2005)。此时承载力概念最鲜明的特点在于它代表了一种最大的极限容纳量, 是一种绝对数量的概念, 没有机制的探讨, 研究对象的范畴也极其有限。“最大容量”作为承载力的定义应用了近130年之久, 但是, 人们在研究种群动态时发现, 最大绝对容纳量往往无法实现, 因为种群在到达稳定的最大值之前便会因过度损害资源而难以为继, 因此在理论最大值之前, 很可能存在另一种更具实际意义的承载“上限”。

1922年, Hawden 和 Palmer 在研究阿拉斯加驯鹿种群时发现, 在种群数量增长并超过某一限度之后, 会有一个急速下降阶段, 并将最终趋于稳定。根据种群增长的逻辑斯谛曲线, 他们针对草场生态系统提出了新的承载力的生态学概念, 即承载力是草场上可以支持的不会损害草场的牲畜的数量。Hawden 和 Palmer 的定义是一个很大进步, 它提出了动物种群和环境状态间相互作用的概念, 将注意力从最大种群平衡($dN/dt = 0, r = 0$)转移到环境质量平衡范围上来, 由绝对数量承载力转向了相对平衡数量, 在承载力的定义中突出了承载体的作用。十几年后, Leopold (1941) 也给出了相似的解释, 即容纳能力是区域生态系统能够支撑的最大种群密度变化的范围。不过, 由于生态系统本身的复杂性, 生物与环境以及种群间的交流与多重稳定过程属于非线性关系, 并且受外部环境干扰影响, 生物组分的相互作用以其多元稳态都处于非线性动态变化中, 种群阈值随环境变量的时空变化而改变, 因此自然生物种群的动态性在当时还难以解释, 只提供了静态的概念。但“平衡数量”和“环境平衡范围”理论为承载力选择了新的概念立足点, 也与后来可持续发展理论有着原则上的类似, 成为这一时期承载力理论的一大创新。早期承载力概念一般限于生态领域, 直到20世纪60, 70年代, 以应用于人类社会和状态评估的多种单要素承载力概念的出现为标志, 承载力理论出现了第二次大的发展。

二、承载力概念的发展

20世纪30, 60年代晚期, 人类在领略第二次工业革命成果的同时, 也意识到了一系列危机。由于人口膨胀和经济发展, 人类对自然环境的破坏日益加大, 土地退化、环境污染、一系列环境公害事件(诸如1943年洛杉矶光化学烟雾事件, 1952年伦敦烟雾事件, 1953年日本水俣事件等)的发生引起了人们对生态系统功能和状况日益广泛的关注。人类学家和生物学家开始将承载力的概念发展并应用到人类生态学中, 于是这一时期针对资源或环境的单要素承载力研究逐渐兴起。人们试图通过对某些关键资源的供需情况以及对敏感环境因子的纳污状况进行分析, 以确定人类活动的强度和方式是否合理, 于是具体应用中承载力的概念与意义也发生了相应变化。尽管在“承载”的含义上同Hawden的观点差异不大, 但研究对象和应用角度的转变标志着承载力内涵从实证型转向了规范型。

（一）单资源承载力

资源承载力的研究是揭示资源的合理配置、实现资源可持续利用而又偏重定量分析的方法之一。资源承载力是承载力概念和理论在资源科学领域的具体应用,其概念在20世纪80年代初被联合国教科文组织(UNESCO)定义为:“一个国家或地区的资源承载力是指在可以预见的期间内,利用本地能源及其自然资源和智力、技术等条件,在保证符合其社会文化准则的物质生活水平条件下,该国家或地区能持续供养的人口数量。”在具体实践中,土地资源、旅游资源、水资源和矿产资源都被纳入了承载力的研究中,从而形成了各自的概念和内涵。

11 土地资源承载力

随着全球人口不断增加,人均耕地面积日趋减少,人类面临粮食危机,土地资源承载力的概念在这样的背景下孕育而生。20世纪60、70年代,承载力的概念从生物学与人类统计学领域发展至人类生态学与应用生态学中,用于分析研究人类个体与环境、人类社会与环境的相互作用,及人类对外部环境的需求。在评价土地资源状况的工作中,提出了土地资源承载力的概念。同Hawden等的草场载畜量相比,土地资源承载力本质上并无太大区别。FAO(1977)将每公顷土地的农业产出所能承载的人口数量作为土地承载力的内涵,并进行了农产品热量、蛋白质和食物结构的换算。在这一概念下,美国的William(1949)、Conklin(1957)、Cameir(1960)及Brush(1975)等人分别对非洲、热带雨林农业、刀耕火种与轮作方式的土地资源承载力进行了研究。20世纪80年代,中国也开始了类似的研究和应用,但概念上无大的发展。刘季芸等(1994)以广东省2000年主要农作物产量及耕地面积、人口的预测为基础,以略低于日本80年代初的消费水平作为食物结构标准,求出最大人口承载量,杨晓鹏(1992)、李月辉等(2003)也在土地资源承载力研究领域作了许多研究工作。

与土地资源承载力类似的矿产资源承载力,主要是指在可以预见的时期内,保障正常社会文化准则的物质条件下,矿产资源以直接或间接方式持续供养的人口数量。同土地承载力相比,其主要局限于经济发展的角度,具有刚性、不可再生的特点,这使矿产资源承载力研究更注重时间性、选择性和种类平衡等(徐强,1996)。

21 旅游资源承载力

从1841年Cock组织第一次包价旅游至今,旅游业已经成为世界经济的重要组成部分。但是,旅游业的成功和“无烟工业”的思想掩盖了其对社会环境和自然环境的破坏,也使得旅游资源承载力的研究滞后于旅游学其他分支。一个旅游区所能容纳的游客人数并非没有限度的,游人的过度密集会引发许多环境、经济问题和社会矛盾,因此存在容量上的极限值和最适值。

为了详述区域旅游发展容量规模,并建立解决热点旅游区的环境承载力与游客数量之间矛盾的理论基础,1963年Lapage首先引入旅游容量概念(刘晓冰、保继刚,1996),但是没

有提出明确的定义。同期,Butler 和Kundson 在游憩娱乐领域内认识到,物质体系(指游乐设施、旅游基础设施)的自然承受能力是游客容纳量大小的决定因素。20 世纪70 年代生态环境问题的日益突出,旅游容量理论逐渐得到重视和发展。Wall 和Wright(1977)认为旅游容纳量就是指一个地区没有受到不可接受的破坏水平时所能维持的旅游水平,Inskip 指出旅游容量包括了接待能力和环境承受能力。O Reilly 则更为深刻地认识到,旅游容量还需要从当地居民的角度考虑,包括环境容量、经济容量和社会容量(Pearce,1983)。

目前对旅游容量仍没有一个统一的认识,“环境容量”以及“空间容量”的概念在研究中占据了主要地位。崔凤军、刘家明(1998)在旅游容量的基础上提出了旅游承载力(TEBC)的概念,是在某一旅游地环境的现存状态和结构组合不发生对当代人和未来人有害变化的前提下,在当地居民心理承受范围之内,在一定时期内旅游地所能承受的旅游活动强度。他们同时提出了由游客密度指数、旅游经济指数以及土地利用强度指数构成的旅游承载力指数(TBCI)及算法,来反映地区在社会文化、经济环境和生态环境三方面对旅游业的支持能力。基于简化TBCI 公式,他们以岛屿旅游区为对象进行了简单的实例分析。另外,李庆龙(2004)等也提出了类似的旅游承载力的概念。

31 水资源承载力

水资源承载力是承载力概念与水资源领域的自然结合,但与土地承载力相比,它在国外的专门研究较少,常常仅是在可持续发展问题中得到泛泛的讨论,国外往往使用可持续利用水量、水资源的生态限度或水资源自然系统的极限、水资源紧缺程度指标等来表述类似的含义,且一般直接指天然水资源数量的开发利用极限。因此,国外水资源承载力相关研究多将其纳入可持续发展理论中,如Rijsberman(2000)用水资源承载力作为城市水资源安全保障的衡量标准,Joardor 从供水角度对城市水资源承载力进行相关研究,并将其纳入城市发展规划中,美国URS 公司对佛罗里达Keys 流域的承载能力进行了研究,内容包括承载力的概念、研究方法和模型量化手段等方面。但总体而言,国外较少单独研究水资源系统对社会经济的承载能力,相关理论和实证研究亦不多见。

我国则对水资源承载力较为重视。从20 世纪80 年代末期由施雅风等(1992)首次提出后,在全国范围内得到了广泛的关注,尤其是近几年,水资源承载力从概念和内涵、特性和影响因素、研究理论和方法,都得到快速的发展,成为近几年国内水资源领域的研究热点。各种水资源承载力的定义大致可分为三类:第一类首先表现为可供养人口,20 世纪80 年代FAO 和UNESCO 定义为:“在未来不同的时间尺度上,一定生产条件下,在保证正常的社会文化准则的物质生活水平下,一定区域(自身水资源量)用直接方式表现的资源所能持续供养的人口数量”;其次为王浩(2004)对水资源承载力的定义,“某一具体的区域和发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性发展为前提,在水资源合理配置和高效利用的条件下,区域社会经济发展的最大人口容量。”该类定义是国内较早提出的水资源承载力定义。第二类定义了水资源可利用量,如许有鹏(1993)、傅湘(1999)等认为水资源承载力是“在一定的技术经济水平和社会生产条件下,水资源可最大供给给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力”,强调了水资源所能供给的量,属于水资源开发容量论或水资源开发规模论,强调

在最大可开发容量下水资源可以自然循环和更新。第三类定义从水-生态-社会经济复杂系统出发,侧重的是区域水资源所能支撑的综合指标,包括人口、经济和环境三方面因素。该类定义较多,如贾嵘(1998)提出的“水资源承载力是指在一个区域或流域的范围内,在具体的发展阶段和发展规模条件下,当地水资源对该地区经济发展和维护良好的生态环境的最大支撑能力”;另外还有冯尚友(2000)、夏军(2002)、陈洋波(2004)和谢高地(2005)等学者的观点。

(二) 环境承载力

环境承载力概念的出现与土地资源承载力的出现类似,在人类面临资源短缺的危机同时,人类对环境的破坏也日渐显现。一方面,区域内环境对污染物的容纳超过环境自净的极限,使资源利用效率降低,而以增加数量的方式对资源的破坏式采集又造成区域环境自净能力进一步下降的恶性循环。另一方面,人类活动对局部环境负面影响过大,造成了一系列公害事件。在这种条件下,有必要对以下两个方面进行研究:① 某区域内对各种污染物的容纳能力大小;② 某区域内人类在不破坏自然环境的前提下可进行的最大限度开发活动。这两方面成为环境承载力概念表述的核心。

1974年,Bishop在《环境管理中的承载力》一书中指出“环境承载力表明在维持一个可以接受的生活水平前提下,一个区域所能永久承载的人类活动的强烈程度。”Schneider强调,环境承载力是“自然或人造系统在不会遭到严重退化的前提下,对人口增长的容纳能力”,因此可以认为是Hawden理论应用在环境领域的拷贝,只不过承载的主体和客体改成了环境和人口,但在概念中明确了主客体之间的关系既包括发展性的正向因子,又存在起限制效果的负向效应。同一时期,“罗马俱乐部”的卓越工作在其著名的《增长的极限》一书中也得到了充分反映。

国内学者叶文虎、唐剑武(1998)将环境承载力定义为:“某一时期,某种环境状态下,某一区域环境对人类社会经济活动支持能力的阈值”。所谓某种环境状态是指“环境系统的结构不向明显不利于人类生存方向转变”(毛汉英、余丹林,2005),同样从主客体两方面体现了“平衡范围”的概念。但是,研究者对资环或环境因子的关注仅体现了承载体的作用,缺乏对人类活动的细致研究和对生态系统的整体考虑。针对生态要素的承载力研究加强了人们对关键生态问题的理解和判断能力,但在承载的概念上却难免片面,得出的结论难以体现发展动态的特征,缺乏整体性的指导意义。很快,随着可持续发展理论的诞生与应用,生态承载力的提出使承载力研究上升到一个新的高度。

三、生态承载力概念的产生

(一) 可持续发展理论的重大影响

20世纪70年代,联合国在斯德哥尔摩召开了第一届以“人类与环境”为主题的世界大

会,人们很快意识到对单资源和环境的关注并不足以解决当时社会发展所遇到的危机。人们从系统生态学以及全球地化循环的角度认识到人类活动从不同尺度直接或间接影响和改变着整个自然生态系统,人类的需求也体现在资源、环境、社会各个方面,因子之间彼此联结、相互影响,将其人为分割并不妥当,而且“如何行动”的问题不断困扰着各个国家的发展。

1983年,以“环境与发展”为主题的第三届世界环境大会,开始把环境与发展联系起来,号召各国在工业化高速发展的过程中保护支撑人类发展的环境。挪威首相布伦特兰夫人1987年在主持联合国世界环境与发展委员会(WCED)时发表长篇报告《我们共同的未来》,其中阐述了可持续发展是“满足当代人需求,又不损害子孙后代满足其需求能力的发展”(WCED,1987),对规范的可持续发展模式进行了理性设计,并对生态环境与人类发展之间的关系作出了深刻反思。这一定义在1992年6月召开于里约热内卢的“联合国环境与发展大会”上得到了一致认可,并提出了“可持续发展战略”,包括生态可持续性、社会可持续性、文化可持续性,超越了单纯的生态环境和人类社会的概念,达到一个相互协调和共同发展的高度,体现了其公平性、持续性与共同性的原则(刘哲培,1996)。1993年,联合国第五届世界环保大会发表了“持续与可持续发展第五届行动环保计划”。这次大会使人们更深刻地认识到环境与人类世代发展的关系,并第一次提出了环境与可持续发展的问题(沈进建,2006)。

如何实现可持续发展?怎样的政策和发展模式才能满足可持续发展的要求?从承载力的角度来看,可持续发展要求在包括人类社会在内的地区、国家乃至全球生态系统中,人类的发展需求要同承载力的提升保持相对一致,同时保证适当的承载潜力空间,是一个协调同步的优化发展过程。可以说,“可承载”是“可持续”的基础和表现形式。IUCN、UNEP、WWF在1991年的《保护地球》中对承载力描述为:“地球或任何一个生态系统所能承受的最大限度的影响就是其承载力,人类对这种承载力可以借助于技术而增大,但往往是以减少生物多样性和生态功能作为代价的,然而在任何情况下,也不可能将其无限的增大。”而Daily和Ehrlich(1992)认为,限制人口增长的主要因素不是人口数量本身,而是人类对生态系统造成的压力,其影响因子包括了体制配置、人类价值、传统、经济和消费模式、分配以及基础设施等。Daily和Ehrlich(1992)强调:“可持续的过程是能够维持而不会产生中断、削弱或者丧失重要品质的过程。可持续性是人处于或低于任何承载力水平的必要和充分条件。”

可持续发展理论为承载力带来了全新的视角,促使人们对承载力的含义和要素作出更全面深刻的思考:

(1)“承载”的含义

以往“承载”的概念仅指生态系统对承载对象的容纳,因此承载力以某种最大容量或平衡容量加以定义,将二者关系视为简单的对立和单纯的供需平衡。可持续理论的公平性、持续性与共同性原则要求“承载”不仅实现满足承载体存在和发展的需求,更将承载作用的主客体统一于一个大的区域生态系统,把系统的稳定与可持续协调发展、正向演化和功能提升视为“承载”最重要的内涵,而多时相、多角度的可“承载”,是实现可持续的基础。

(2)承载力的构成要素

可持续理论下以区域生态系统的健康发展作为承载的标准,必然使承载力的构成成

分极大丰富,由单一承载体和承载对象组成的简单系统发展到“自然-经济-社会”复合系统,承载对象不能再限于单一的人口增长,而需要包括人口、经济活动、社会组织、科技进步等多方面有机结合的社会发展过程;承载体需要相应的扩展,包含的要素需要体现着系统的供给和自持两方面的作用。而在承载体和承载对象内部、承载体和承载对象之间错综复杂的关系网,则是承载力概念实现的基础。

(二) 基于可持续理论的生态承载力

11 可持续的生态承载力概念

可持续理论的进入,极大地丰富了承载力的内涵,以区域“自然-经济-社会”复合生态系统的协调发展为目标的转变,使承载力研究同可持续发展紧密结合。一方面人们把可持续的概念应用于早先对资源或环境因素的承载力研究,形成了可持续资源和环境承载力的概念;另一方面以区域为对象的可持续生态承载力的概念逐渐兴起,为可持续研究提供评判基础。二者并无本质的区别,但组织尺度不同,后者站在区域可持续发展的高度。

高吉喜(2001)认为,“生态承载力是指生态系统的自我维持、自我调节能力,资源与环境子系统的相容能力及其可维持的社会经济活动强度和具有一定生活水平的人口数量。”此概念以人类社会为核心,以生态系统的过程机制为支撑骨架,以可持续为认知标准,强调特定生态系统所提供的资源和环境对人类社会系统良性发展的支持能力,涵盖资源与生态环境的相容、持续承载和时空变化,而且应该更多地考虑到人类价值的选择、社会目标和反馈影响。同时,这种能力可以发展,亦会衰退,主要取决于人类能动作用的方式是否符合可持续发展的理念和生态系统自组织过程的客观规律。

加入尺度的限定,突出复合系统的功能与交互作用,本研究认为:生态承载力指不同尺度区域在一定时期内,在确保资源合理开发利用和生态环境良性循环,以及区域间保持一定物质交流规模的条件下,区域生态系统能够承载的人口社会规模及其相应的经济方式和总量的能力。它有如下特点:

(1) 客观性

客观性是生态系统的固有特点之一,主要表现在生态系统的自我调节能力与弹性限度,或是资源的供给与环境容量这一方面为抵抗外力干扰破坏提供基础,也为生态系统向更高层次发育奠定基础。

(2) 多尺度

尺度的概念包括时间和空间两个方面:① 生态承载力有明确的空间尺度。不同空间尺度的对象,系统结构和生态过程不同,其生态承载力也截然不同;② 可持续理论赋予生态承载力显著的多时相特征,而人类需求强度和资源环境均可随时间变化,使生态承载力呈现出明显的动态特征。

(3) 自相关性

区域是一个开放系统。某一区域生态承载力的提高可能带动周边地区同步发展,体

现为正相关;若发展以牺牲周边区域的资源与环境为代价,则体现出负相关性。

21 生态健康、生态安全与生态承载力

可以看出,生态承载力概念已经完全融入了可持续发展理论,成为研究可持续发展的落脚点,体现着同一问题的不同层面。可持续发展理论的出现,带来了生态健康、生态安全等概念的转变与发展,承载力概念则成为其发展的基础。一方面它们的侧重各有不同,另一方面承载力代表了系统作用的机制和基本形式,是由内而外的。生态健康与生态安全从系统的外在特征出发,判断系统所处的状况,是由外而内的。

生态系统健康概念的提出最早可以追溯到20世纪40年代,当时著名的生态学家Leopold (1941)提出了土地健康(land health)的概念,Costanza (1992)提出了生态健康的代表性观点:一个健康的生态系统是稳定的和可持续的,在时间上能够维持它的组织结构和自治,也能够维持对胁迫的恢复力。可以认为生态系统健康是可持续的表现,它着重解决生态系统完整性维护、人类可持续发展、退化生态系统恢复与重建等问题;在产生背景、研究内容上同承载力极为相似,不过生态健康把视角定格在承载体上,而承载力关注着整个复合系统的功能和状况。

生态安全研究由生态风险分析发展而来,实质是寻求可接受的风险水平。广义的概念包括人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态,包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全,组成一个复合人工生态安全系统。狭义的生态安全是指自然和半自然生态系统的安全,即生态系统完整性和健康的整体水平反映。某种程度上,生态安全具有先验性(肖笃宁,2002),针对生态脆弱区为主,人类活动的能动性通过生态安全保障体系来反映,而在概念中体现不多。

生态安全强调格局与过程安全,已渗入不同区域尺度的多方面研究中,也包括当前如洪涝灾害、沙尘暴等大多数灾害问题。区域生态安全的分析主要包括关键生态系统的完整性和稳定性,生态系统健康与服务功能的可持续性,主要生态过程的连续性等。

与生态系统健康相比,生态安全更注重生态系统的功能状况,多从“人”的角度出发,而生态健康则多从“物”的角度研究。总体上,生态健康、生态安全与承载力反映了区域复合系统可持续发展的不同方面,其目标类似而出发点不同。显然承载力的概念不仅是可持续研究的基础,也可以从本质上解释生态健康和生态安全方面的问题,并在“人”、“物”的综合关系的分析上更胜一筹。

31 可持续生态承载力的内涵

延续传统的承载力概念,生态承载力的内涵有两方面的内容:一是生态系统的自我维持和调节能力,表现为区域内资源与环境的可持续供给与容纳的支持力;二是区域内人类社会生产、生活活动(包括经济活动),既是施加于生态系统之上的压力,也为系统提供反馈和调节。

因此,生态承载力可以从三个子项进行阐述,即资源可持续供给、生态环境纳污和人类支持作用。它们不仅包括供容的作用,也包含着弹性的概念。

(1) 资源供给能力

资源,尤其是提供人类各种生存与生产活动的资源,是生态承载力的基础条件。早在承载力概念发展的初级阶段,人们就已经着手于资源承载力的研究,尤其是土地资源与水资源方面。但是这些成果未从生态系统总体效应来考虑,可能导致研究对象处于最大利用效率,而其他资源的利用却超出合理的范围,显然是不合理的。

沿用可持续资源承载力的概念,即保持生态系统总体不受影响的前提下,各种资源所能支持的社会经济活动与人口数量。其含义有以下几个方面:

1) 基于生态角度的资源承载力是一种适度开发下的承载力,而不是资源的最大供给能力。可以间接通过描述生态系统弹性限度的各项指标来判断资源的开发是否适度。

2) 资源供给能力的大小不仅取决于资源的多少,还取决于人类社会的发展程度。一方面可利用资源的范围逐渐变宽;另一方面不同的人类活动也有不同的资源需求,因此造成承载力的差异。

3) 资源供给既包括量,也需要质。如对于水资源来说,社会对水质需求提高可能导致承载力降低,在Daily 和 Ehrlich (1992) 的思想中可以找到类似的论述。

(2) 生态环境容纳能力

在人类以各种方式开发利用自然资源和经济活动的过程中,必然会导致自然环境的变化。各种废物排放于环境中,如果超过了环境自净能力,则生态系统的平衡将发生改变。因此,在一定的发展水平和系统平衡点的要求下,基于可持续的环境承载力,构成了生态承载力的约束条件。

环境承载力同样受这几方面影响:① 人类对环境标准的价值取向;② 生态环境不同因子对整体功能的影响;③ 人类活动对环境的正负反馈。

(3) 人类支持能力

人类在生态系统中扮演着双重角色:一方面是承载对象,对生态系统施加压力;另一方面通过反馈(包括政策、技术等)影响支持力。人类社会巨大的能动作用某种程度上引导着生态系统的发展,在可持续发展的前提下,人类对资源与环境的消耗、能动支持和调控,构成了人类支持能力,既受到承载体的功能和自身需求的限制,也表现了人类活动对生态过程的主动影响。

第二节 生态承载力的研究对象与挑战

一、生态承载力研究对象及内涵

(一) 生态承载力研究对象及其结构特征

生态承载力以包括人类社会在内的复合生态系统为研究对象。马世骏和王如松(1984)认为,这样一个复合生态系统是基于社会经济与自然地理的实体单元,是自然亚系

统、社会亚系统与经济亚系统构成的“自然-经济-社会”体系,三个亚系统及其组分通过物质、能量、信息等的交换,在时间和空间上,以人类的需求为动力,以可持续发展为目标,以科技为手段,以复合系统的生产和再生产为渠道,构成的一个开放的系统;亚系统及其组分之间的相互作用方式,决定了区域社会经济的发展特征(欧阳志云、王如松,2005)。

自然生态系统是复合生态系统的基础,由地理条件、气候条件、生物等自然环境以及人工环境组成,以区域作为自然生态单元,是一个区域生态景观的实质,组成了复合系统运行的物质库和能量库;区域社会系统以人为中心,包括区域人口的数量、质量及结构特征与区域性组织结构,组成区域人类生活环境条件,构筑起区域社会经济活动的中心,从而使区域成为具有人类社会经济特征的复合生态系统,区域经济亚系统有物质生产、信息生产、流通服务等职能部门组成,产业比例决定了区域经济系统的性质。

从承载体和承载对象的角度,自然亚系统在复合系统中向社会经济系统提供支持力,而社会和经济亚系统则向自然施加压力。OECD“压力-状态-响应”(P-S-R)模型框架中,将经济子系统和社会子系统的人口部分用于表征人类活动,其存在和发展的需求作为产生“压力”的来源;自然子系统根据人类活动的需求和容纳对象,具体为资源和环境两个方面,作为“状态”,反映自然系统的状况。区域社会系统中的区域组织结构作为产生“响应”的主体,调整和修饰“压力”和“状态”部分。毛汉英、余丹林(2001)在三维状态空间模型中将复合系统划分为人类活动、资源、环境,分别赋予一个维度来衡量“自然-经济-社会”复合体的承载状况。

综合而言,无论复合系统的结构如何划分,总能表现出这样的特征:① 从承载力研究的基本点出发,必然能够明显地体现压力和支持力作用;② 能够容易地区分压力和支持力作用的主体和客体;③ 便于准确表现压力和支持力的具体构成,同时易于对主客体之间相互作用的具体方式进行进一步分析。

(二) 复合生态系统的系统特征

系统是人类认知对象的划分,是指在一定边界范围内,由两个或两个以上相互联系和相互作用的组分组成的,具有某种特定功能并朝着某个特定目标运动发展的有机整体(高吉喜,2001)。对于一定区域范围,作为研究对象的复合生态系统是一个以“自然-经济-社会”复合体的形式存在和运作、多因素、多层次、内部关系错综复杂、系统内外交流频繁的复合的开放式巨系统,包含了人口、社会、经济、资源、环境多个子系统的多个层次和方面。系统各层次有机结合,功能相互匹配,作用相互关联,从而在定义的范围形成一个完整有序的有机整体(赵运林、邹冬生,2005)。对区域生态支持力和压力相互关系的研究是生态承载力研究的基本点,而研究思路 and 过程,需要了解和遵循复合系统的结构,逐层深入,全面考虑。作为一个系统,“自然-经济-社会”复合体系有如下特征:

11 结构有序性

系统结构的有序性表现在外部具有一定边界,内部具有鲜明的分层。

系统的边界,即系统存在于一定的尺度。广义的尺度是指研究某一物体或现象时所

采用的空间或时间单位,同时也指某一现象或过程在空间和时间上所涉及的范围和发生的频率(邬建国,2000)。因此,边界包括了时间上和空间上的概念,划定了研究对象存在和变化的范围。

系统的层次性,是指任何系统,向宏观方向可以逐层综合,向微观方向可以逐层分解。在统一的尺度上,系统与其上层系统和下层系统之间,以及统一层次各组成要素之间既存在相对独立、又存在紧密联系和相互作用的关系。因此,对系统的分析,首先要确定适合的尺度,既要考虑系统内部纵向的从属关系,也要比较同一层次上的横向要素,才能正确地理解系统的真实结构。

21 系统整体性

具有独立功能的系统结构要素及其相互关系根据逻辑统一性的要求,协调存在于系统整体之中。系统结构的整体性表现在系统各层面的组分之间存在着量比关系、空间关系和相互作用。

1) 量比关系,表现为对于一个具体的系统,同一层面各组分之间数量上存在相对稳定的比例关系,下级层面的组分对其上层组分也存在相应的比例,从而决定了上层组分的数量和性质。

2) 空间关系,表现在构成系统的多个组分在空间上有一定的位置排列关系,体现其各自的空间分布的质与量的特点。

3) 相互作用,表现在系统要素之间相互影响和反馈的作用过程,使得各个组分有机排列,结合成为紧密联系的整体,才能发挥整体的功能。系统中任一组分的变化,都将在系统整体结构的变动中得到表征。

系统的整体性决定了对于系统的研究,必须在整体目的和功能的基础上进行对具体组分的研究和计算,考虑组分之间的相互联系,不能忽视和割裂整体,无视部分之间的相互作用和相互联系。

31 功能整合性

系统功能的整合性,即指系统的整合效应,一个有机的系统整体将发挥区别于各组分质、量的功能,既是原有组分功能的集合,又包括组分之间相互作用产生的新功能。一方面有序性是功能整合的基础,由系统的结构决定;另一方面,受各层面组分的功能影响。

41 环境适应性

系统整体的环境适应性,是指系统存在和发展总要受到周围环境的影响。当在一个更大尺度下进行研究时,区域系统也将成为更大范围下的一个亚系统,与周围其他系统发生联系和作用,不但包括空间的概念,也包括时间的概念。巴甫洛夫认为:“适应是在复杂系统的各个要素彼此间的精确联系以及他们整个基团与四周环境的精确联系。”因此,在对于一个区域系统的研究中,不能忽视系统内外的交流联系,这将直接影响系统所处的状态性质和功能水平。

区域“自然-经济-社会”复合体的系统特征,说明了生态承载力研究必然要描述和回答区域复合生态系统内部和外部错综复杂的关系如何从量和度上影响生态承载力和承载状况,以及各个层面各种因子对于一个特定的复合系统,其作用效果如何相互平衡与制约。复合系统的系统特点,要求生态承载力的研究和计算必须要涵盖和考虑以下几方面内容:研究对象和“压力-支持力”对比研究要选择适当的尺度以及基于该尺度的计算方法;各个层次中因子之间的相互作用,以及对整个承载力贡献的质与量;系统同外界的交流对自身承载状况的作用和影响;最后,还应包括尺度推译。

(三) 复合生态系统的过程特征

复合生态系统要维持正常的发展演化,离不开物质和能量。物质和能量的变迁存在于生态系统的各个方面、各个尺度,而其在生物之间、生物与无机环境之间、自然系统与社会经济系统之间传递、转化的方式、尺度、条件和质量,构成了区域复合生态系统存在和发展的基础,其过程直接决定了整个系统运作及其各项功能。

因此,贯穿于整个区域复合系统能量和物质的流动与转化,构成了系统最基本的过程特征。

11 能量流动

能量流动是复合生态系统运行的基础和基本特征。所谓能量流动,是指在生态系统中,能量由非生物环境经过有机体,回到生物环境的一系列传递和转化的过程,在遵守能量守恒与转化定律的基础上,能流的途径交结成复杂网络(徐琳瑜等,2003)。

在一个区域中,能流的自然过程可以简单地表述为能量输入、能量在区域内的转换与散失、能量输出(图1-2A)。而区域作为一个开放式系统,还必须要考虑区域系统在更大尺度上与外界的能量交换。

人类活动赋予区域能量过程明显的人工特征。一方面人类改变和调整了流通渠道和量,通过种植业和管理扩大植物积累量和减少自然消耗,使能量向满足人类社会需求的方向转移;另一方面,大量辅助能如输入能源、化学物质、人力等,与自然能流混合,成为复杂的能流网络(图1-2B)。

21 物质循环

物质循环是能流过程的表现形式。区域复合生态系统的物质循环以自然物流过程为基础。农业、工业等人类活动不能改变其基本过程,但可影响和改变物质循环的途径和平衡。一方面,复合生态系统维持和发展的物质基础来自各项资源的输入,从而给资源系统造成压力;另一方面,复合生态系统输出的废弃物需要当地的环境系统来容纳,从而形成对环境系统的压力。基于物质循环的压力和支持作用即实现了系统生态承载力的基本关系,因此,物质循环是系统生态承载力得以实现的具体方式,是生态承载力研究的物质基础和直接实体对象。

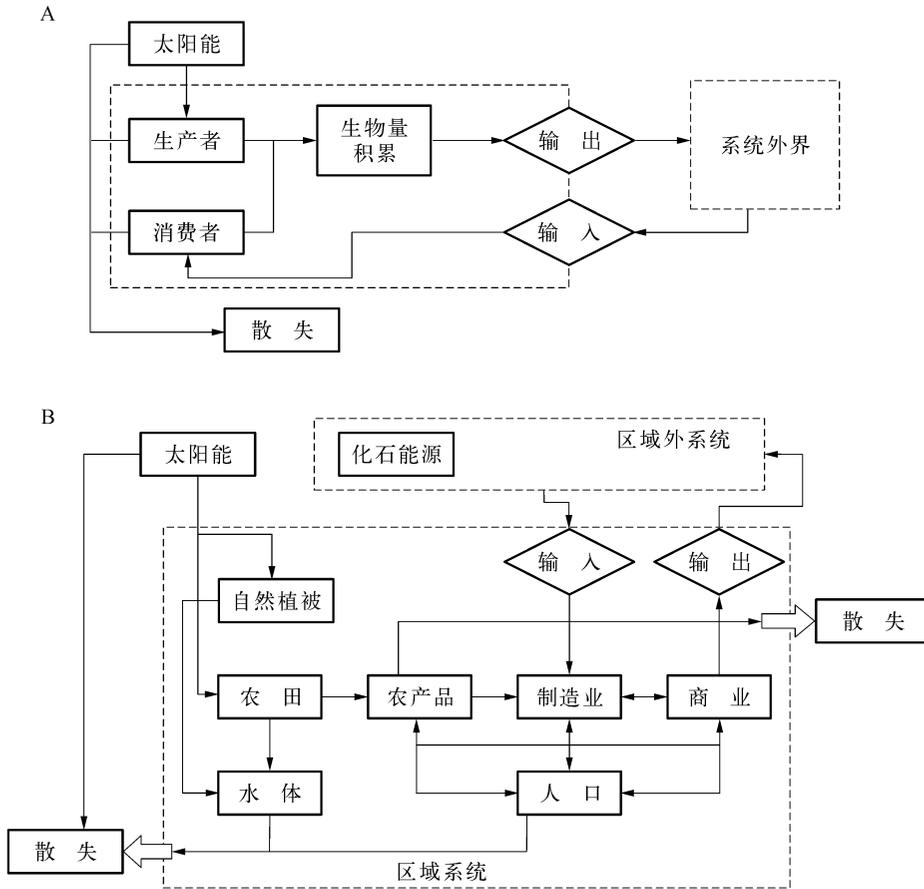


图1-2 区域复合生态系统的能流、物流(仿欧阳志云和王如松,2005)

二、生态承载力研究的重要意义与面临的挑战

(一) 生态承载力研究的意义

生态承载力研究的目的是为了实现人类与生态系统的和谐,并最终达到人类生态系统的可持续发展,因此,无论对于承载力理论,还是社会发展,生态承载力研究都具有极其重要的意义。

11 生态承载力研究促进了承载力与可持续理论的发展与融合

生态承载力研究不仅使承载力理论上升到一个新的高度,更为可持续发展理论应用于具体实践提供了理论基础和操作手段,实现了理论与实践的紧密联系。生态承载力的研究,使承载力理论跳出了单要素研究的局限,开辟了多要素协同与整体分析的新领域,它不再仅局限于系统内部单一的研究对象和角度,而从系统的观点出发,站在全局统筹的

高度,运用这一概念对整个生态系统的运行、发展和前景进行分析和判断。同时采用可持续发展中平衡、协调和稳定的观点,生态承载力的概念上升到可持续发展的水平,并用可持续的眼光和标准衡量“承载”的定义。不仅使承载力得到了里程碑式的发展,其已有的技术方法和实现手段更为可持续理论的应用铺路搭桥。总之,作为承载力基本要素的资源、环境与人类协调发展是可持续发展的基础,需要生态承载力理论的支持;同时,生态承载力研究是实现可持续发展的前提,为完善可持续发展理论奠定坚实的基础。

21 生态承载力研究为区域发展指明了正确的方向

生态承载力的视角包括了完整的区域生态系统,因此反映在对子系统与要素的承载力上则显得更为合理和精确,从而为发展提供有力的参考依据。一方面,生态承载力可以从可持续的角度对具体的环境或资源因子提出预警,使生态系统维持在一个健康的平衡状态;另一方面,生态承载力的多时相研究可以进一步对要素进行调整和配置,使承载力概念表现出强烈的主动性。

(二) 生态承载力研究面临的挑战

生态承载力具有巨大的理论意义和广泛的实用价值,其研究任务和研究内容面临诸多困难和挑战。

其一,理论上的难题与挑战主要表现在生态承载力的概念尽管先进,并且正在脱离承载力理论的局限性,但发展时期较短,还没有真正成熟。它能够涉及的范围、考虑问题的精度还较为不足,研究角度也需进一步调整。其中的关键问题,一方面便于借用已有的研究成果,目前的生态承载力定义中多将区域生态系统划分为资源、环境与人类社会三个子系统以方便研究,然而作为一个复合系统,它们之间的关联千丝万缕,很难达到设计中的相对独立,因此显得较为主观。另一方面尽管已经明确了研究的对象和方向,但许多问题只能从理论上定性讨论,尤其是系统中许多机制的不明使得当前的生态承载力的内涵更像一个发展框架,对研究对象、研究过程的认识还很模糊,承载力内部结构仍然不清楚,于是直接影响到生态承载力概念的应用。对生态承载力概念的继续发展和补充完善,是承载力研究中的一大挑战。

其二,技术手段、方法的不足和匮乏限制了生态承载力的应用,也束缚了生态承载力理论的进一步发展。生态承载力作为一种先进的、指导可持续发展应用于实践的理论,需要一套与其概念具有相同高度、可对区域复杂系统准确评价、分析、决策和动态化的研究方法。目前的研究方法还停留在单资源承载力或者因子效应简单复合的层面,使得研究对象主要局限于小区域和子系统,难以体现对象特征和可持续理念,已落后于承载力的任务需求(第二章对此将有详细叙述和比较)。其结果应用性不强,使生态承载力用于指导决策的深度和广度远远不够,而且大多数方法仅针对结果和现象,缺乏对机制和过程的深入探讨,也使承载力的概念和内涵难以进一步的明确和细化,因此开创更有效的、过程化的生态承载力研究方法,成为当前承载力研究最重大的挑战,直接影响到生态承载力的生命力和未来的发展。

第二章 承载力研究方法

第一节 承载力的研究方法

随着生态承载力描述的对象由简单到复杂,由外在现象到内部机制,研究方法相应地由单一到复合,由描述统计到数学建模,体现出多角度、系统化、机制化、多元化的特色。由于每个时代对生态承载力的认识不同,承载力的研究方法有着鲜明的时代特色和阶段性。

一、种群数量的Logistic 法

Malthus 人口理论代表了承载力的起源,而最初的研究方法便是基于 Malthus 理论的逻辑斯谛曲线方程,它以经验数据拟合回归为基础,通过描述性方程,针对单要素进行计算是其主要特点。到目前逻辑斯谛曲线已经历了许多研究和改进,但无疑是当时最经典且唯一的承载力研究方法,开创了承载力研究的时代。

在最初的指数增长模型 $\frac{dN}{dt} = rN$ (图1 -1)的基础上,1838 年,比利时数学教授 Verhulst 将 Malthus 理论表达为数学方程:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(\frac{K - N}{K} \right) \quad (2 -1)$$

其中, r 为增长率; N 为种群数量; t 为时间; K 为负载量或承载量。如果说马尔萨斯人口理论是承载力概念的源头,Logistic 曲线方程就是生态承载力研究方法的鼻祖。

Logistic 方程首次涉及了时间尺度,作为一条时间(t)与人口(或种群)规模(N)之间的回归曲线,为短期数据所证实。1920 年 Pearl 和 Reed (1920) 根据美国人口普查数据,同样计算和说明了逻辑斯谛增长曲线1973 年,May (1973) 在 Logistic 方程中加入了时滞效应的影响,形成以下修正:

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \left[\frac{K - N(t - T)}{K} \right] \quad (2 -2)$$

Verhulst 之后近 200 年的时间里,逻辑斯谛方程一直被不断地修正(Pulliam & Haddad, 1994),但正如 Mcleod (1997) 所言,基于 Logistic 的承载力或许可用于资源有效利用条件下短期潜力的粗略分析,而对于多尺度、多因素、考虑干扰和过程效应等进一步要求,则确实难以胜任。但作为承载力的数学定义者和简单有效的描述性研究方法,直到现在,Logistic 方程仍广泛应用于种群和群落生态学,成就了生态学上的经典。

二、资源供需平衡法

Malthus 理论以及其后很长一段时间对它的研究和改良,使人们注意到两个基本事实,其一,承载力或者说资源环境系统承载的边界是客观存在的;其二,对承载力的动态评价,除了承载对象的变动,更要考虑承载媒体的作用。

研究方法从对象描述到机制描述的转变,标志着承载力研究进入了新的阶段。学者们开始着眼于载体在承载力中的作用,在解释机制方面进行了许多尝试,希望通过计算载体的功效来体现载体和承载对象之间对资源的供需对比,表现承载力的绝对大小。由于能量和物质的转移和转化构成了生态系统作用的具体过程,于是,一大类研究方法都试图将能量或者某一物质作为衡量系统承载功能的媒介,来完成承载力计算。但由于复杂生态系统运作过程中“黑箱”或者“灰箱”大量存在,针对资源供需平衡的计算往往只能关注少数主要因素,通过忽略详细过程简化计算方法。其中,包括了广为应用的生态足迹、能值分析,以及第一性生产力分析等方法。

(一) 生态足迹法

1992年Rees提出了生态足迹(ecological footprint)的概念,随后他和Wackemagel于1996年完善了具体的计算方法(William,1992;Wackemagel & William,1996)。生态足迹的计算基于以下两个基本事实:①人类可以确定自身消费的绝大多数资源及其所产生的废弃物的数量;②这些资源和废弃物流能转换成相应的生物生产面积(biologically productive area)。因此,任何已知人口(某个人、一个城市或一个国家)的生态足迹就是生产这些人口产生的废弃物所需要的生物生产总面积(包括陆地和水域)。它从具体的生物物理量角度研究自然资本消费的空间(蒋燕玲等,2006)。

生态足迹的概念中生态承载力可视为一个地区所能提供给人类的生态生产性土地的面积总和(Jorgenson et al,2004)。生态生产性土地是指具有生态生产能力的土地或水体,因此容易建立等价关系,从而方便计算自然资本的总量。生态生产性土地主要分为六类:化石能源地(fossil energy land)、可耕地(arable land)、牧草地(pasture)、森林(forest)、建成地(built-up areas)和水域(sea)。

生态承载力的评价通过生态足迹减去生态承载力得到的生态赤字或盈余来反映。生态承载力大于生态足迹时,产生生态盈余,表明人类对自然生态系统的压力处于本地区所提供的生态承载力范围内,生态系统是可持续的;而生态赤字的部分主要靠进口和枯竭自然资源获得。

生态足迹计算公式如下:

$$EF = N \cdot (ef) = N \cdot \sum y_j A_i = N \cdot \sum y_j \cdot \left(\frac{C_i}{P_i} \right) \quad (2-3)$$

式中,EF为总的生态足迹(hm²);N为人口数量;ef为人均生态足迹(hm²);y_j为均衡因

子(某生产性面积的均衡因子等于全球该生产性面积的平均生产力除以全球所有生产性土地面积的平均生态生产力); A_i 为生产第 i 种消费项目人均占有的实际生态生产性土地面积(hm^2); C_i 是第 i 项的人均年消费量,该值等于第 i 项的年消费总量(产出+ 进口- 出口)与总人口的比值; P_i 为相应的生态生产性土地生产第 i 项消费项目的年平均生产力。

生态承载力计算公式为:

$$EC = N \cdot (ec) = N \cdot \sum a_j \cdot y_i \cdot y_i \quad (2-4)$$

式中, EC 代表区域总生态承载力; N 为人口数量; ec 为人均生态承载力; a_j 为人均生态生产性土地面积; y_i 为产量因子, $y_i = Y_i / Y_{wi}$, Y_i 指某国家或地区的 i 类土地的平均生产力, Y_{wi} 指 i 类土地的全球平均生产力。

生态足迹自提出以来,以其简洁明了的定义和计算方式得到了从地区到世界不同尺度的应用。发展重定义组织在《Living Planet Report 2000》中计算了1996年世界上52个国家的生态足迹(Redefining Progress,1996),以此为基础,Jorgenson(2006)对1991,2001年间政治经济因素对多个国家生态足迹的影响进行了进一步数量分析;Fricker(1998)针对新西兰分别研究了其陆地和海洋的生态足迹和承载力,并同世界其他52个主要国家进行了对比分析。据Wackernagel等(1996)的计算,中国1993年的人均生态足迹需求为11.12 hm^2 ,而其人均生态承载力供给为0.18 hm^2 ,人均生态赤字为0.14 hm^2 。

生态足迹的概念1999年引入中国,随后在多个领域广泛应用。徐中民等(1999)计算了中国及部分省市的生态足迹,开展了生态足迹指标的实证应用;刘宇辉(2004)研究了1962,2001年中国历年生态足迹;李翔、许兆义(2005)不仅利用生态足迹法对珠海生态承载力现状做了评价,还结合线性回归预测了2002,2020年各指标的时间序列值来追踪各个时点的可持续程度,一定程度上弥补了生态足迹算法中指标静态性的缺陷。

(二) 能值分析

能量贯穿了区域系统运行的始终,各种生态系统和人类社会经济系统均可视为能量系统。通过能量的流动、转化和贮存,形成了系统的各个组分和相互之间的复杂作用形式。因此,使用能量来定量评价区域生态承载力可能是一种有效的工具。

能值理论由美国著名生态学家H. T. Odum 20世纪80年代后期建立。其定义为:一种流动或贮存的能量中所包含的另一种类别能量的数量,称为该能量的能值(energy);进而产品或劳务形成过程中直接和间接投入应用的一种有效能量(available energy),就是其所具有的能值(Odum,1996)。任何形式的能量均源于太阳能,故常以太阳能为基准来衡量各种能量的能值。

能值分析是以能值为基准,把生态系统或生态经济系统中不同种类、不可比较的能量转换成同一标准的能值来衡量和分析,从中评价其在系统中的作用和地位,综合分析系统中各种生态能(能物流、货币流、人口流和信息流),得出一系列能值综合指标(energy indices),定量分析系统的结构功能特征与生态经济效益(蓝盛芳、钦佩,2001)。

能值分析并非传统意义上的能量分析。生态系统的能量分析即是研究系统的能量流,用能量单位表示并加以比较和数量分析。但是由于不同的能量之间质和转化程度的差异常常无可比性,且在生态经济系统能量分析中通常忽略自然资源的投入,无法表示生态贡献。能值分析是为不同类型的能量比较提供统一的标准,分析结果得出的综合能值指标体系,既反映生态效益,亦体现经济效益,不仅可把自然生态系统与人类经济系统统一起来进行定量分析,亦可跟踪系统各种生态流,定量分析系统的结构功能特征与动态变化。

以分析对象而言,能值分析的方法包括可应用于大范围国家或地区生态经济系统的能值分析、资源与经济的能值分析、城市或农业生态经济系统能值分析以及小范围的具体生产系统(如农作物、工业品生产)能值分析等。

能值转换率(EER)是实现能值分析的基础。作为衡量能质和能级的尺度,它表现能量流动中的等级和功能强度,从而将不同类别能量或者物质转换为同一量度的能值单位(sej)(Odum,1983;陆宏芳等,2005)。另外在Odum的能值理论中,还包括能值产出率(EYR)、能值投资率(EIR)、能值交换率(EER)、能值扩大率(EAR)、能值自给率(ESR)、环境负载率(ELR)、可更新资源投入率(RIR)等。其中EYR用产出能值与系统购入性输入能值之比衡量系统产出效率;ELR通过不可更新能值用量与可更新能值用量之比,衡量系统过程的环境影响;EER为系统在对外交换中所获能值与换出能值的比,用以衡量系统的交换效益(陆宏芳等,2003)。

能值分析的基本步骤为:

- 1) 确定研究系统的边界和内容,绘制系统能量和能值图,表示能量流动过程;
- 2) 收集所需的各种资料和数据,整理分类;
- 3) 编制能值分析表;
- 4) 能值指标体系建立及分析;
- 5) 系统的发展评价和策略分析,并对系统的优化提出建议。

生态经济系统能值输入可分为来自自然的可更新环境资源(R ,如太阳能、风、雨水势能 and 化学能)和不可更新环境资源(N ,如土壤损失等);另外为源于社会系统的人工辅助能(F ,如化肥、燃油等)以及可更新有机能(T)。

早期的能值分析实质上并不能构成一种正式的、完全的承载力研究方法。尽管可计算得到多个能值指数,表征系统多方面的能流状况,但Odum并未提出针对系统的具体承载力分析指标和相应计算方法,因此只能对能流的各个方面分别论述,而整体承载力分析停留在定性的层面。

能值理论直到1997年才发展出可以实际应用的承载力评价指标(Brown & Ulgiati,1997)。Brown与Ulgiati首先提出能值可持续指标(energy sustainable index,ESI),定义为系统能值产出率与环境负载率之比,即 EYR/ELR ,填补了能值理论中能值综合评价指标的空缺(Brown & Ulgiati,1997)。其评判的标准为:

$ESI > 10$, 生态环境超出负荷;

$ESI < 1$, 区域负荷系统发展和谐,经济高度发达;

$10 > ESI > 1$, 区域处于发展中阶段,生态空间尚有剩余(陆宏芳等,2002;2003)。

计算中, 总能值 $U = R + N + F + T$; 能值产出率 $EYR = U / (F + T)$; 环境承载力 $ELR = (N + R + T) / R$; 可持续指标 $ESI = EYR / ELR$ 。

但是, EYR 并不能反映系统废弃物的实际价值和可持续的影响, 而 ELR 中亦无从反映。因此, ESI 实质上并没有考虑物、能、经济的耦合分析。

1992年, 巴西里约热内卢世界环境发展大会对可持续发展的定义, 在能值理论上要求系统能值产出率与其能值交换率的乘积 $EYR \times EER$ 要高, 而环境可持续则要求环境负载率 ELR 要低。因此, 陆宏芳、蓝盛芳等(2002)在 ESI 的基础上建立了评价系统可持续发展能力的能值指标 $EISD$, 并规定其数学表达式如下:

$$EISD = EYR \times \frac{EER}{ELR} \quad (2-5)$$

利用此式, 陆宏芳等对珠江三角洲基塘农业生态区进行了能值分析和边际效益计算。另外考虑系统排弃废物对环境的影响, 之后又对 ELR 进行了进一步拓展, 成为 EIR (陆宏芳等, 2003)。 $EIR = ELR + EWI$, EWI 为废弃物输出与可更新资源输入能值的比率。从而得到改进的 $EISD$, 并在中山市的能值分析中得到应用。另一文献亦称 $EISD$ 为 SDI (陆宏芳等, 2003), 其中 EIR 用 EI 代替, 而 EWI 采用了对多种污染的污染程度进行相对标准化求和的值取代, 因此可针对具体的环境影响因子做更细致的分析, 其数学表达式如下:

$$EI = ELR + \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - X_{i0}}{A_i} \right) \quad (2-6)$$

式中, X_i 表示第 i 种污染物对环境的污染等级, X_{i0} 为系统运行前其周围环境中 i 物质污染等级, A_i 为该污染物污染等级总数。应用改进后的方程, 对珠江三角洲基塘农业生态区进行了重新评价。相比而言 $EISD$ 主要反映了经济上的损益, 而 SDI 则反映了翘嘴鳊的引入在减轻环境污染上的重要意义。

能值分析方法的发展, 不仅使得能值理论真正应用于承载力分析中, 其以能量作为研究对象的优势, 也派生出一些其他的研究方法。1990年, 英国苏格兰资源利用研究所应用系统动力学理论, 建立了提高人口承载能力备选方案模型, 即 ECCO (enhancement of carrying capacity options) 模型。该模型在“一切都是能量”的假设前提下, 模拟不同发展策略下, 人口与资源环境承载力之间的弹性关系, 从而确定以长远发展为目标区域发展优选方案, 在一些国家应用取得了较好效果, 并得到联合国开发计划署的认可(王开运等, 2005)。

Zhao 等人(2005)将能值理论应用于传统生态足迹法中, 构建了改进式生态足迹方法, 亦称其为分室模型。在计算能值的基础上, 他将各个子项按照生态足迹中的计算项目进行了相应归类, 把能值通过转化率转换为土地面积。其主要方法是引入了能值密度的概念, 将生态足迹公式改写为:

$$EF = \sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{p_2} \quad (2-7)$$

式中, EF 为总的生态足迹, $a_i = \frac{c_i}{p_2}$, c_i 为第 i 种资源的单位面积能值 (se_j), p_2 为区域能值

密度($\text{sej}/\text{m}^2\text{a}$), 等于总能值除以区域面积, 从而实现能值同土地面积之间的转换。应用此法,Zhao 等对甘肃省生态足迹和承载力状况作了相应的计算和讨论, 体现了其实际应用方面的价值。

(三) 第一性生产力法

植物通过光合作用所产生的干物质中固定的太阳能是陆地生态系统中一切生命成分及其功能的基础。自然植被的净第一性生产力(NPP)指绿色植物在单位时间和单位面积上所能累积的有机干物质, 包括植物的枝、叶和根等生产量及植物枯落部分的数量, 反映了植物群落在自然环境条件下的生产能力(周广胜、张时新,1996)。在涉及干扰时, 也代表了自然体系的恢复能力。特定的生态区域内第一性生产力在一个中心位置上下波动, 而这个生产能力是可以测定的。同时, 与背景数据进行比较, 偏离中心位置的某一数据可视为生态承载力的阈值, 表征了承载力的强弱(石月珍、赵宏杰,2005)。

1975年Lieth等根据世界五大洲约50个点可靠的自然植被净第一性生产力的实测资料及与之相匹配的年均温和年降水资料, 用最小二乘法建立了植被净第一性生产力模型(Miami模型), 但其仅考虑了温度和降水, 后又改进为Thornthwaite Memorial模型(周广胜、张时新,1995)。由于对各种调控因子的侧重及对净第一性生产力调控机理解释的不同, 世界上产生了很多模拟第一性生产力的模型, 大致可分为三类: 气候统计模型、过程模型和光能利用率模型(Chikugo模型)(宋永昌,2001;李金海,2001)。国内应用较多的模型是采用周广胜和张新时的气候统计模型, 以植被表面的二氧化碳通量方程(相当于NPP)与水汽通量方程(相当于蒸发散)之比确定的植被对水的利用效率为基础, 根据水热平衡联系方程及植物的生理生态特点, 利用叶菲莫娃(1977)在国际生物学计划(IBP)取得的23组世界各地的植物净第一性生产力数据和相应的气候要素建立的自然植被净第一性生产力模型(Steaser,1990)。

$$NPP = RDI \cdot \frac{r \cdot Rn (r^2 + Rn^2 + r \cdot Rn)}{(r + Rn) \cdot (r^2 + Rn^2)} \cdot \exp(-\sqrt{9.87 + 6.25RDI}) \quad (2-8)$$

其中, $RDI = (0.69 + 0.237PER - 0.0031PER^2)^2$

$$BT = \sum_{i=1}^n t_i / 365 \quad \text{或} \quad BT = \sum_{i=1}^n T_i / 12$$

$$PER = PET / r = 58.93BT / r$$

式中, NPP 为自然植被净第一性生产力($\text{t} \cdot \text{DM} / \text{ha} \cdot \text{a}^{-1}$); RDI 为辐射干燥度; r 为年降水量(mm); Rn 为净辐射量(mm); PER 为可能蒸散率; PET 为可能蒸散量(mm); BT 为年平均生物温度($^{\circ}\text{C}$); t_i 为气温小于 30°C 、大于 0°C 的日均值; T_i 为气温小于 30°C 、大于 0°C 的月均值。

李金海(2001)将人类对自然系统干扰时, 自然系统随人为作用力的变化表述为图2-1。图中R点为承载力的限时时, D点是承载力最优值, 即可在干扰造成的波动中保持相对稳定的状态。他应用第一性生产力, 对河北省丰宁县生态承载力及其状况进行了计算

和评估,接坝山地区净第一性生产力为 $21\ 262\ 8\ t/hm^2 \cdot a$,处于高速荒漠化程度,承载状况不容乐观,而坝下平原区承载状况较好。

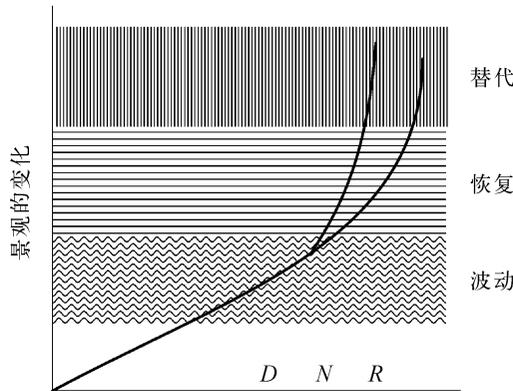


图2 -1 自然系统随人类干扰的变化

(四) 资源 差 量 法

王中根和夏军(1999)认为,区域生态环境承载力体现了一定时期、一定区间的生态环境系统,对区域社会经济发展和人类各种需求(生存需求、发展需求和享乐需求)在量(资源)与质(生态环境)方面的满足程度。因此,衡量区域生态环境承载力应从该地区现有的各种资源量(P_i)与当前发展模式下社会经济对各种资源的需求量(Q_i)之间的差量关系($P_i - Q_i$)/ Q_i ,以及该地区现有的生态环境质量($CBQN_i$)与当前人们所需求的生态环境质量($CBQI_i$)之间的差量关系($CBQN_i - CBQI_i$)/ $CBQI_i$ 入手。

王中根等构建了包括社会经济和生态环境两个子系统的指标体系,从资源支持能力与环境支持能力两方面应用这种差量度量评价方法对西北典型干旱区河流域进行了生态承载力评价分析和预测。计算表明,当地承载力将在2020年左右达到最低点,到2050年转向良性。罗朝辉等(2005)以土地出产粮食的能力作为衡量承载力的方法,可以认为是资源差量法的变形,但明显带有20世纪70年代用于土地资源承载力研究的早期指标体系法的特点,显得较为原始。

三、 指 标 体 系 法

(一) 早期的承载力指标体系

指标体系的实质是在实际应用中,对理论框架的信息具体化。广义言之,所有的承载力分析都必须基于一定的具体的数据结构也即指标框架。因此,指标体系为承载力计算的实现奠定了基础。