

· 承载能力与中国可持续发展研究丛书 ·

承载能力理论与 测度方法研究

吕光明 何 强 著

 中国人民大学出版社

· 承载能力与中国可持续发

承载能力理论与 测度方法研究

吕光明 何 强 著

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

承载能力理论与测度方法研究/吕光明,何强著. —北京:中国人民大学出版社,2011.12
(承载能力与中国可持续发展研究丛书)
ISBN 978-7-300-15036-9

I. ①承… II. ①吕… ②何… III. ①环境承载力-关系-经济可持续发展-研究-中国
IV. ①F124.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 268048 号

承载能力与中国可持续发展研究丛书

承载能力理论与测度方法研究

吕光明 何 强 著

Chengzai Nengli Lilun yu Cedu Fangfa Yanjiu

出版发行	中国人民大学出版社	
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码 100080
电 话	010-62511242 (总编室)	010-62511398 (质管部)
	010-82501766 (邮购部)	010-62514148 (门市部)
	010-62515195 (发行公司)	010-62515275 (盗版举报)
网 址	http://www.crup.com.cn http://www.ttrnet.com (人大教研网)	
经 销	新华书店	
印 刷	北京鑫丰华彩印有限公司	
规 格	170 mm×228 mm 16 开本	版 次 2011 年 12 月第 1 版
印 张	10.5 插页 1	印 次 2011 年 12 月第 1 次印刷
字 数	180 000	定 价 29.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

前 言



可持续发展是当今世界最受瞩目的重大问题，也是当今人类追求的共同目标。作为一种与可持续发展思想相吻合的理念，承载能力不但同样可以应用于几乎所有尺度的人类与环境相互关系的可持续性问题，而且还有后者所不具备的额外优势——传递可计算性和精确性的意蕴。因此，研究探索承载能力理论与测度方法是进一步深化可持续性度量和评价研究的核心途径之一。

基于此，20 世纪中叶以来，人类生态领域中各种类型的承载能力研究受到世界各国的广泛关注。近年来，在教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“我国资源、环境、人口与经济承载能力研究”（批准号为：06JZD0020）、北京市哲学社会科学规划项目“北京市资源、环境、人口与经济承载能力研究”（批准号为：06AaJG024）等项目的资助下，我们在国内外相关研究的基础上对承载能力理论与测度方法进行了较为系统的研究和探索，主要包括承载能力的理论研究、承载能力的方法研究和城市生态系统专题研究三个部分。

本书正是对这些研究和探索进行系统梳理后的成果。从内容上看，本书首先在对承载能力研究的演进过程及其与可持续发展之间的关系进行梳理的基础上，对目前承载能力研究所面临的困境与挑战进行多层面的探讨与剖析。然后，借助 PREE（人口（population）、资源（resource）、经济（economy）、环境（environment））系统理论构筑了一个全新的承载能力系统互动理论框架，分析了生态系统综合承载能力的细化分解关系与调控原理。再后，从单因素和综合因素两个

层面对承载能力的测度方法进行归纳、探讨。最后，以城市这一典型的人工生态系统为应用对象，探讨了城市综合承载能力的理论分析框架、测度方法与调控原理。本书力图通过理论和方法两个层面、生态系统和城市两个层次对承载能力问题的系统研究，提高对承载能力与可持续发展的认识水平和研究层次，增加承载能力度量与可持续发展评价的可操作性。

从章节安排上看，本书分为4部分，共包括7章内容，具体划分如下：第1部分为绪论部分，即第1章；第2部分为承载能力的理论研究部分，由第2、3、4章构成；第3部分为承载能力的方法研究部分，由第5、6章构成；第4部分为城市生态系统专题研究部分，即第7章。第1、2、3、4章由吕光明副教授独立完成，第5、6、7章由何强博士和吕光明副教授共同完成。

在本书的编写和出版过程中，我们得到了项目首席专家、教育部长江学者特聘教授邱东教授的悉心指导和鼎力支持，得到了中央财经大学科研处、北京师范大学国民核算研究院、国家统计局统计科学研究所相关领导和老师的大力帮助与鼓励；同时，我们也参考了众多专家、学者的相关论文和著作。在此一并表示感谢。

受能力和水平所限，书中错误、不足和疏漏在所难免，敬请各位专家、同仁批评指正。我们的联系邮箱为：lgmbnu@bnu.edu.cn, heqiang_1122@163.com。

吕光明 何强

2011年11月于北京

目 录



第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	2
1.2 研究意义	4
1.3 研究思路	6
1.4 结构安排	7
第 2 章 承载能力研究溯源	9
2.1 承载能力研究的演进与发展	10
2.2 承载能力与可持续发展之间的关系	23
第 3 章 承载能力研究面临的困境与挑战	35
3.1 承载能力研究面临的困境	36
3.2 承载能力研究面临的挑战	45
第 4 章 基于 PREE 系统论的承载能力理论分析框架重构	51
4.1 人类生态系统理论概论	52
4.2 承载能力 PREE 系统论	60
4.3 可持续承载能力的调控机理分析	69
第 5 章 单因素承载能力测度方法研究	77
5.1 资源承载能力的测度方法	78
5.2 环境承载能力的测度方法	98

5.3	经济承载能力的测度方法	101
5.4	可持续发展背景下单因素承载力测度方法的审视	111
第6章	承载力综合测度方法研究	113
6.1	基于能量和物质转移的综合测度方法	114
6.2	指标体系测度方法	122
6.3	面向复合层次结构指标的综合测度方法	130
6.4	系统性建模测度方法	133
6.5	承载力综合测度方法的改进方向	136
第7章	城市生态系统承载力理论与测度方法研究	139
7.1	城市生态系统承载能力的理论分析框架	140
7.2	城市生态系统承载能力的测度方法	149
7.3	基于承载能力的我国城乡统筹问题思考	151
	参考文献	154

第1章

绪 论



1.1 研究背景

长期以来,人类社会的发展机制一直囿于资源、环境、人口与经济四者之间的相互作用大小和方式,在各个发展阶段呈现出不同的特征。在远古时期和农业文明时期,人口数量有限,生产力比较落后,人们采集资源和影响自然的方式有限,资源、环境、人口与经济四者之间的矛盾还比较小。18 世纪工业文明兴起之后,人类经济活动对资源、环境的影响越来越大,工业“三废”污染问题日渐突出。到 20 世纪以后,全球性的人口骤增、资源短缺、环境污染、生态破坏等问题接踵而来,对人类的生存和发展构成了严重威胁,资源、环境、人口与经济四者之间的矛盾也变得更为突出。在对全球性的资源、环境、人口与经济危机和矛盾的担忧中,人类逐渐认识到必须走可持续发展的道路。目前,可持续发展已经成为全世界共同的发展理念。

资源、环境、人口与经济四者之间的矛盾是世界各国可持续发展战略实施中共同面临的问题,中国也不例外。改革开放 30 多年以来,中国经济发展在取得举世瞩目的成就的同时,人口基数庞大并仍在不断膨胀,自然资源大量耗减,生态环境总体上也在不断恶化。具体表现在:

第一,人口基数大,增长势头快,就业负担沉重。截至 2009 年底,我国人口已达到 13.35 亿,约占世界人口总数的 1/5。尽管在计划生育政策等因素的直接作用下,人口自然增长率由 1978 年的 12.0‰ 下降到 2009 年的 5.1‰,但由于人口基数庞大,增长势头仍然较快,近几年平均每年新增人口仍然在 700 万左右,每年需要安排就业的城市劳动力约 1 100 万。大量农村剩余劳动力转移方向有限,新增农业劳动力又超过非农产业劳动力的转移速度。2009 年度全国农民工总量为 22 978 万人,其中外出农民工数量为 14 533 万人,庞大进城务工的农民工是城市发展必须面对的严峻现实。^①

第二,经济结构存在诸多不合理之处,粗放式发展对生态的压力持续加大。我国总体经济发展速度较快,改革开放 30 多年 GDP 的平均增长速度为 9.92%,是世界上经济增长最快的国家之一,但区域差异较大,有相当一部分地区经济结

^① 参见国家统计局:《中华人民共和国 2009 年国民经济和社会发展统计公报》和《中国统计年鉴(2009)》;人力资源社会保障部:《2009 年度人力资源和社会保障事业发展统计公报》。

构不合理,粗放型的发展模式并没有得到根本性扭转,落后的生产方式仍占相当大的比重,科技水平对生产力的推进作用仍然有限。2008年我国单位GDP能源消耗是世界平均水平的2.65倍,是美国的3.9倍,是欧盟的4.32倍,是日本的8.2倍。吨钢可比能耗、火电供电煤耗、水泥综合能耗分别高出世界先进水平15%、20%和24%。2008年我国消耗了全世界36%的钢铁、16%的能源、52%的水泥,仅创造了全球7%的GDP。^①

第三,人均资源不足,部分重要资源短缺,外部依赖愈发明显。我国自然资源虽然总量丰富,但人均占有量却远远低于世界平均水平。水资源人均占有量只有世界人均占有量的1/4,森林资源人均占有量只有世界人均占有量的1/5。耕地面积只占世界耕地面积的7.1%,但人口却占世界人口的19.78%。矿产资源种类不全,有的虽储量不少,但品位低,开采难度大。大多数矿产资源人均占有量不到世界平均水平的一半。石油、天然气人均储量都不足世界平均水平的1/10;即使是比较丰富的煤炭资源,人均储量也不到世界平均水平的40%。人口和经济的高速增长,势必加快资源、能源的消耗速度,加剧资源、能源不足的矛盾。目前,我国石油、铁矿石、铝土矿、铜矿等重要能源资源消费对进口的依存度都超过了50%。

第四,生态环境脆弱,生态功能降低,环境问题日益严峻。我国幅员辽阔,自然条件复杂,地貌类型多样,气候差异显著。西北干旱,少雨多风;西南山高坡陡,土层浅薄,多暴雨;青藏高原寒冷,空气稀薄。恶劣多变的自然条件导致我国西部地区生态脆弱,生态承载力相对低下。即使是自然环境相对较好的中东部地区,与所承受的巨大大口压力相比,承载力仍相对不足。中国生境破碎化程度高,森林、草原、湿地等生态系统结构趋于简单或不合理,自我调节能力不断下降,生态系统调节气候、涵养水分、保持水土、防风固沙、调蓄洪水、净化空气、维持生物多样性等功能降低。据统计,1/5的城市空气污染严重,1/3的国土面积受到酸雨影响,全国水土流失面积365万平方公里,荒漠面积263.6万平方公里,90%以上的天然草场退化,生物多样性严重削减,沙尘暴侵袭,黄河断流,长江特大洪涝以及凶猛频繁的“云娜”、“韦帕”和厄尔尼诺现象等生态灾难,以前所未有的规模和强度影响环境,带来一系列恶果。^②

可持续发展是一种总体性战略,涉及资源、环境、人口与经济之间不同层面的诸多内容。在世界各国可持续发展实践中,资源、环境、人口与经济之间深层

① 参见李毅中:《加快产业结构调整 推进工业节能减排》,载《节能减排》,2009(7)。

② 参见刘助仁:《发展循环经济是建设生态文明的必然选择》,载《唯实》,2008(1)。

次矛盾的有效解决取决于系统、科学、定量地研究四者之间的关系。承载力作为衡量四者关系的科学指标,是人类可持续发展的测度与管理决策的重要依据(Young, 1998; Abernethy, 2001; 张林波, 2009)。可持续发展并不意味着不消耗资源和污染环境,不是使发展完全摆脱资源、环境的影响和依赖,而是将发展保持在资源、环境、人口与经济系统的承载限度内,又不能使发展处于停滞状态。正如塞尔(Sayre)所指出的,作为一种与可持续发展思想相吻合的理念,承载能力的概念不但同样可以应用于几乎所有尺度的人类与环境相互关系的可持续性问题的,而且还有后者所不具备的额外优势——传递可计算性和精确性的意蕴。^①

从马尔萨斯(Malthus) 1798年尝试提出土地资源承载能力的思想到如今的200多年时间里,承载力研究取得了众多成果,在可持续发展实践中也或多或少获得了成功,但由于种种因素的限制,承载力在概念、理论和方法上存在大量争论、疑惑与挑战,与可持续发展的任务要求相比,其研究思路 and 角度存在如下三大偏差:一是承载力评价的单项研究多,综合研究少,缺乏系统性。二是承载作用关系的单向研究多,双向研究少,缺乏互动性。三是承载力结果测度的数量研究多,质量研究少,缺乏可比性。为此,本书拟从理论和方法两个维度对承载力展开较为深入的探讨和分析。

1.2 研究意义

可持续发展是当今世界最为关注的重大问题,也是人类追求的共同目标。如何解决资源、环境、人口与经济之间的深层次矛盾,以及如何寻求反映四者之间关系的承载能力的合理均衡范围,是各国可持续发展实践中亟待解决的重大问题。开展承载力理论和方法研究具有重要的学术价值和实践意义。

第一,开展承载力尤其是生态系统综合承载力研究可以为可持续发展理论的完善与成熟奠定基础,提高对可持续发展问题的认识水平与研究层次。可持续发展是一种哲学观,是关于自然界和人类社会发展的哲学观。可持续发展必须实现人口、资源、环境与经济发展之间的相互协调。但协调并不等于可持续,还

^① Sayre, N. F., Carrying Capacity: Genesis, History and Conceptual Flaws, Working Paper, 2007.

必须以承载能力为基础。这种承载能力决非资源、环境等单因素承载能力，而是一个复杂系统的综合承载能力。可持续发展的实质是生态系统的持续承载，即资源、环境、人口与经济系统的综合持续承载。可持续发展要求人类经济活动规模保持在生态承载能力的限度内，阻止一个区域承载能力下降则要求生态系统的发展是可持续的。可持续发展理论的完善需要承载能力尤其是生态系统综合承载能力理论的支持，承载能力理论应作为可持续发展的重要支撑理论之一。^① 本书拟在以往单一承载能力研究的基础上，借助 PREE^② 系统理论构筑一个全新的承载能力系统互动理论框架，分析生态系统综合承载能力的详细分解关系与调控原理，并特别拓展现有承载能力的研究范围，提出经济承载能力的理论，这应该是对承载能力理论研究的一个重要创新，可以提高对可持续发展的认识水平与研究层次。

第二，承载能力应用方法研究作为其理论研究的量化延伸和实证研究的基础，可以为可持续发展状态测度和战略实施提供方法论基础与依据。目前学界已经有大量的有关环境资源危机、生态破坏等方面的研究，它们对揭示问题的严重性、唤起人们的关注起到了积极作用。但是，由于它们不能很好地与政策实践相结合，难以考察和把握可持续发展实践的需求，因而也无法有效指导可持续发展的具体实践。这不仅严重浪费了可持续发展的研究资源，而且也不利于可持续发展战略的实施。可以说，目前可持续发展的理论供给远远不能满足实践需求，两者之间存在“缺口”。我们认为，缩小该缺口的关键在于加强可持续发展应用方法的研究，重视可持续发展的状态测度。作为一种与可持续发展思想相吻合的理念，承载能力不但同样可以应用于几乎所有尺度的人类与环境相互关系的可持续性问题，而且还有后者所不具备的额外优势——传递可计算性和精确性的意蕴。因此，探索承载能力测度方法是进一步深化可持续性度量和评价研究的核心途径之一。可持续发展要求人类经济活动规模保持在生态承载能力的限度内，阻止一个区域承载能力下降则要求生态系统的发展是可持续的。只有搞清楚生态系统的承载能力，才能确定合理的资源开发战略和环境管理战略，制定出实现可持续发展的有效模式和路径。

第三，承载能力理论和方法的深入研究，可以对我国实施科学发展观与建设

^① Carey, D. I., "Development Based on Carrying Capacity," *Global Environmental Change*, 1993 (3), pp. 140-148.

^② PREE 是人口 (population)、资源 (resource)、经济 (economy) 和环境 (environment) 的英文简称。

和谐社会中的若干重大问题进行合理阐释,并探求较为理想的解决思路。党的十六大以来,以胡锦涛同志为总书记的党中央先后提出了树立和落实“以人为本,全面、协调、可持续”的科学发展观、构建社会主义和谐社会的重大战略思想,提出并确定了建设资源节约型、环境友好型社会的长期战略任务。承载能力是中国实现科学发展的重要根基,是中国衡量和谐发展的重要方面。只有搞清楚中国资源、环境、人口与经济系统的承载能力,才能确定合理的资源开发战略、环境管理战略、区域功能规划战略、城乡发展战略,进而统筹城乡发展、统筹区域发展、统筹经济社会发展、统筹人与自然和谐发展、统筹国内发展和对外开放,找出实现中国可持续发展的模式和路径。虽然目前中国的承载能力研究取得了一定的成绩,但研究多集中于资源与环境承载能力,缺乏对中国发展中若干重大问题的研究。本书拟在对承载能力理论和方法进行充分剖析与必要的改进研究的同时,对中国发展中的若干重大问题,如经济发展方式转变问题、区域功能规划问题、城乡统筹发展问题等进行合理的阐释,并探求较为理想的解决思路。

1.3 研究思路

本书按照“理论研究——方法研究——专题研究”的主线展开。首先在对承载能力研究的演进过程及其与可持续发展之间的关系进行系统梳理和剖析的基础上,对目前承载能力研究所面临的困境与挑战进行较为深入的探讨和解析。然后,在可持续发展背景下,借助 PREE 系统理论构筑了一个全新的承载能力系统互动理论框架,分析了生态系统综合承载能力的详细分解关系与调控原理。再后,从单因素和综合因素两个层面对承载能力的测度方法进行归纳、探讨。最后,以城市这一典型的人工生态系统为应用对象,探讨了城市综合承载能力的理论分析框架、测度方法与调控原理。

本书尽可能地结合中国发展中的若干重大问题,力图通过理论和方法两个层面,以及通过单因素、地球生态系统和城市生态系统三个尺度对承载能力问题的系统研究,提高对承载能力和可持续发展的认识水平与研究层次,增加承载能力度量与可持续发展评价的可操作性,并积极探求中国可持续发展问题的解决思路。

1.4 结构安排

全书分为4部分,共包括7章内容。第1部分为绪论部分,即第1章;第2部分为承载能力的理论研究部分,由第2、3、4章构成;第3部分为承载能力的方法研究部分,由第5、6章构成;第4部分为城市生态系统专题研究部分,即第7章。各章的具体内容安排如下:

第1章为绪论。本章阐述承载能力理论和方法研究的背景、意义、思路与结构安排,为后面的理论研究、方法研究和城市生态系统专题研究作铺垫。

第2章为承载能力研究溯源。本章首先阐释了承载能力从具体的力学概念逐步演变为抽象的生态学概念的四个阶段,即 Logistic 曲线恒定 K 值的提出、种群的动态平衡与承载能力、人类生态学领域的单因素承载能力、人类生态学领域的综合承载能力——生态承载能力,分析了每个阶段研究的概念内涵、学科应用领域与争论观点。然后在对可持续发展的背景与内涵进行论述的基础上,辩证地考察了承载能力与可持续发展之间的逻辑关系,指出两者在提出历程和本质上一脉相承、相辅相成,前者的研究深化在发展趋势上将成为后者的理论支柱和实现保障。

第3章为承载能力研究面临的困境与挑战。本章首先在第2章的基础上分析了承载能力研究所面临的两大困境,即客观存在性疑惑和可测算性疑惑。然后,以承载能力的深化研究是可持续发展的理论支柱和实现保障为审视目标,剖析了承载能力研究所面临的三大挑战:(1)对地球生态系统复杂性理论研究不够充分;(2)对人文社会因素的影响机制揭示不够深刻;(3)研究思路和研究角度存在较大偏差。最后,指出了未来承载能力研究的努力方向。

第4章为基于 PREE 系统论的承载能力理论分析框架重构。人类可持续发展问题的实质是人口、资源、经济和环境(PREE)问题。本章首先对人类生态 PREE 系统的结构、特征和作用机制等进行较为深入的解析。然后,在 PREE 系统框架下,通过可持续承载能力的一个综合承载能力和可持续资源承载能力、可持续环境承载能力、可持续经济承载能力三个子项承载能力表达人口、资源、经济和环境之间的联系,构筑了一个全新的承载能力系统理论分析框架。最后,探讨和分析了可持续承载能力的演化机制与调控机理、三个子项承载能力的阈值调控机制。

第5章为单因素承载力测度方法研究。本章首先探讨、归纳和总结传统两大类因素承载能力的测度方法：(1) 针对土地资源承载力、水资源承载力、矿产资源承载力、森林资源承载力及相对资源承载力等资源承载能力的测度方法；(2) 针对环境承载能力的测度方法。然后，为了和第4章可持续经济承载力理论保持一致，本章还从经济福利和国民财富视角探讨了经济承载能力的测度方法。最后，在可持续发展背景下对单因素承载力测度方法进行审视性分析。

第6章为承载力综合测度方法研究。20世纪80年代以来，可持续发展理论研究的迅速发展逐步促使承载力理论和方法研究从单因素向综合因素转变，承载力综合测度方法应运而生。按照构造特征的不同，这些综合测度方法可以分为四大类：(1) 基于能量和物质转移的综合测度方法；(2) 指标体系测度方法；(3) 面向复合层次结构指标的综合测度方法；(4) 系统性建模测度方法。本章依次论述了承载力四大类综合测度方法的基本思想和基本原理，分析它们作为生态系统承载力综合测度方法的优越性和局限性，并探讨了它们的未来发展趋势和改进方向。

第7章为城市生态系统承载力理论与测度方法研究。城市生态系统是地球上最大、最典型的人工生态系统。世界城市土地面积虽然仅占全球陆地面积的2%，却居住着约50%的世界人口，而且大多数全球性和区域性人口、资源、环境问题都源于城市，这使得城市生态系统承载力研究具有非常重要的价值。本章首先构建城市生态系统承载能力的理论分析框架，然后以此为基础探讨城市生态系统承载能力的测度方法，最后结合生态系统综合承载力理论分析框架内容和城市生态系统承载力分析框架内容分析了我国的城乡统筹问题。

第 2 章

承载能力研究溯源



2.1 承载力研究的演进与发展

承载力又称承载力、承受能力, 英文为 carrying capacity 或 bearing capacity, 它原本是物理力学中的一个概念, 指物体在不产生任何破坏时所能承受的最大负荷, 具有力学中压强的量纲, 如 kg/cm^3 、 N/cm^3 。以常见的桩基承载力为例, 桩基主要承受竖向和水平载荷, 桩基承载力表现的是某种质地类型的桩基对其上层结构的支撑能力, 是合理安排建筑结构时需要考虑的一项重要指标。其大小可以通过野外的或室内的力学试验得到具体数据, 在某些情况下也可通过力学理论或经验公式计算。后来, 生物学、人口统计学、生态学等学科在发展过程中普遍借用承载能力的概念, 衍生出种群承载力、资源承载力、环境承载力、生态承载力等概念。^① 这些衍生概念都是没有力学量纲的抽象概念, 试图表达出某一条件下承载主体 (通常为资源、环境或生态系统) 对承载对象 (通常为人类或生物种群) 生长的支撑能力或对承载对象发展的限制程度。承载力从具体的力学概念演变到抽象的生态学概念^② 经历了一个十分漫长而复杂的过程, 这一过程大致可分为以下四个阶段。

2.1.1 第一阶段: Logistic 曲线恒定 K 值的提出

承载能力的概念由具体到抽象的演化最早可追溯到 18 世纪人口统计学和生物学中的人口或生物种群数量增长问题研究。当生物种群的生长不受空间、食物和其他有机体等资源与环境条件的限制时, 该物种的增长率为最大, 唯一的限制因子为物种自身的繁殖率与生长率, 此时的增长率为内禀自然增长率。此时种群增长曲线呈 J 形, 如图 2—1 所示, 其数学表达式为:

① 严格地说, 还包括心理学中的心理承受能力、管理学中的企业承载力等, 但这些概念影响有限, 且不是研究的主流, 这里不做分析。

② 有的研究者如邢永强等 (2007) 把承载能力的力学概念称为承载力 (bearing capacity), 而把承载能力 (carrying capacity) 仅理解为一个生态学概念, 认为承载力侧重于对具体实物的支撑和荷载, 而承载能力则偏重于对人类社会、生态系统等抽象系统的支持和包容。笔者认为, 无论是“力”, 还是“能力”, 都是“capacity”的对应词, 二者应该是完全等价、互为替换的。本研究为了保持一致性, 采用“承载能力”这一用法。