

区域产业与生态文明

QūYù Chǎnyè Yǔ Shēng Mí WénMíng

# 生态效率理念、方法及其在 区域尺度的应用

尹科◎著

ShengTai XiaoLv LiNian, FangFa JiQi Zai QuYu ChiDu De YingYong



经济科学出版社  
Economic Science Press

区域产业与生态文明

# 生态效率理念、方法 及其在区域尺度的应用

尹科 著

经济科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生态效率理念、方法及其在区域尺度的应用/尹科著.  
—北京:经济科学出版社,2015.6  
(区域产业与生态文明)  
ISBN 978-7-5141-5889-2

I. ①生… II. ①尹… III. ①区域生态环境-研究-  
中国 IV. ①X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 152463 号

责任编辑:王长延  
责任校对:王雷茜  
责任印制:邱天



生态效率理念、方法及其在区域尺度的应用

尹科著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址:北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编:100142

总编部电话:010-88191217 发行部电话:010-88191522

网址:www.esp.com.cn

电子邮件:esp@esp.com.cn

天猫网店:经济科学出版社旗舰店

网址:http://jjkxcbs.tmall.com

北京密兴印刷厂印装

710×1000 16开 15.25印张 220000字

2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

ISBN 978-7-5141-5889-2 定价:58.00元

(图书出现印装问题,本社负责调换。电话:010-88191502)

(版权所有 侵权必究 举报电话:010-88191586)

电子邮箱:dbts@esp.com.cn)

# 前 言

从 20 世纪 70 年代开始，可持续发展的思想逐渐形成。产业生态、生态效率、生态设计、X 倍数革命等，都是产业可持续发展的理论基础。目前，虽然可持续发展已经成为一个广泛接受的目标，但是其本身并没有提供确定的方法迈向可持续。当前学术界有成百上千的指标被用于衡量可持续发展水平，尽管这些指标面临着各种各样的问题，例如数据质量、比较性、主观性等，但是学术界依然认为：一系列合理并且定义完善的指标是达到可持续目标的唯一方法。在这些指标当中，生态效率被认为是一种朝着可持续迈进的合理途径。

“效率”本质是衡量系统产出与投入的比值，而生态效率 (eco-efficiency) 的词根“eco”则表示“经济 (economic)”和“生态 (ecological)”两个维度。尽管各研究人员、组织，根据各自的研究目标，对生态效率有不同的定义，但是目前被广泛接受的框架为：生态效率 = 经济 / 生态负荷。根据马世俊、王如松提出的复合生态系统理论，系统都包含社会、经济、自然三个维度。因此，本研究结合复合生态系统理论，以及生态效率的概念，建立了不同区域尺度复合生态效率的核算框架及其指标体系，并结合现有的数据可获得途径，对具有不同特点的复合生态系统进行了生态效率的测度研究。

首先，本研究对中国区域产业系统的能源生态效率进行了核

算。由于现有的生态效率研究，绝大多数只关注系统终端的产出与投入的关系，而将系统内部当作黑箱处理，没有考虑产业系统内部复杂的连锁反馈关系。本研究利用区域间投入产出模型(MRIO)，并根据国内国外产业部门趋同的假设，对模型的国内国外部分进行了修正，在此基础上提出了直接能源生态效率、间接能源生态效率指标体系及其核算方法。研究结果表明，通过间接能源生态效率的核算，能够准确定位及核算区域间能源及环境影响的转移量，并根据能源生态效率的高低，判定区域之间的友好关系，为宏观决策提供新的判定依据。

其次，本研究对不同城市产业系统的生态效率进行了对比研究。针对城市这类有着多投入、多产出特点的复合生态系统，要将不同量纲的指标转化为经济与生态负荷两个维度，难以避免主观权重的赋值问题。本研究利用数据包络分析(DEA)方法，将环境排放作为系统非期望输出考虑的基础上，构建了生态效率评估模型以及用于城市间生态效率序分析的超效率模型。通过对中国省会城市的案例分析表明，中国省会城市中50%以上城市是生态有效的，生态无效率的城市主要集中在经济欠发达的西南及西北区域；而通过排序分析，海口、福州、北京分列前三位，银川、兰州、贵阳分列后三位；进一步考察模型的投入产出变量，发现现有的城市群还有很大的减量和减排空间。

再次，本研究将系统生态服务价值同生态效率进行了融合，建立了国内生产总值同生态服务叠加后的城市生态效率时间序列核算框架。以常州为案例，对其25年(1986~2011年)的生态效率进行了分析，研究结果表明：以1986年为研究基期，25年来常州生态效率整体提升了26.90倍，按照贡献率来看，环境效率占主导作用；资源效率分析表明，能源效率增幅微小，且

2011年出现了大幅回落，表明能源问题是影响常州可持续发展的关键。

最后，本研究比较分析了国家级经济技术开发区及其所在城市之间的复合生态效率，探讨两者之间的互动关系，并提出了基于生态服务功能的土地共轭生态管理策略。本研究最大的特点在于，能够为区域产业可持续发展提供方法支持，并结合现有的数据搜集系统，进行全面合理的生态效率分析，研究结果将为区域产业可持续发展提供理论依据，并为制定政策建议作支持。

作者

2015年6月

# 目 录

第 1 章 研究背景 .....	1
1.1 经济发展引发环境危机 .....	1
1.2 生态文明倒逼产业转型 .....	3
1.3 生态管理模式引发生态效率思考 .....	4
第 2 章 生态效率研究进展 .....	10
2.1 生态效率定义 .....	10
2.2 生态效率核算框架 .....	12
2.3 生态效率的应用研究 .....	18
第 3 章 生态效率主要研究方法 .....	27
3.1 物质流方法 .....	27
3.2 生态足迹方法 .....	36
3.3 投入产出方法 .....	44
3.4 生态服务价值方法 .....	52
3.5 数据包络方法 .....	53
3.6 生命周期方法 .....	54
3.7 能值分析方法 .....	54
3.8 小结 .....	55

<b>第4章 中国区域间直接、间接能源生态效率分析</b> .....	58
4.1 能源强度、能源效率、能源生态效率的辨析 .....	59
4.2 能源生态效率核算框架 .....	61
4.3 能源生态效率指标体系 .....	67
4.4 数据的搜集与整理 .....	69
4.5 区域及行业能源效率 .....	70
4.6 区域及行业能源生态效率 .....	87
4.7 小结 .....	104
<b>第5章 城市生态效率评估</b> .....	106
5.1 模型和方法 .....	108
5.2 生态效率模型的选取——以中国环保模范城市为例 .....	118
5.3 中国省会城市产业系统的生态效率评价研究 .....	123
<b>第6章 基于生态服务的时间序列生态效率探讨</b> .....	136
6.1 关于产出的修正 .....	136
6.2 研究方法 .....	137
6.3 常州市1986~2011年数据搜集 .....	142
6.4 结果分析与解释 .....	153
6.5 小结 .....	158
<b>第7章 园区、城市间生态效率对比分析与土地管理</b> .....	161
7.1 产业园区概况 .....	161
7.2 园区与城市的生态效率对比分析——以我国高新产业 技术园为例 .....	163
7.3 园区的空间拓展模式及其土地利用变化 .....	168
7.4 基于土地生态服务功能的土地共轭管理 .....	173



7.5 小结 .....	180
第 8 章 结论与展望 .....	182
附录	
附录 A .....	184
附录 B .....	196
附录 C .....	199
参考文献 .....	204

# 第 1 章

## 研究背景

### 1.1 经济发展引发环境危机

改革开放以来，我国的经济建设取得举世瞩目的伟大成就。2014 年，我国经济总量超过了 63 万亿元人民币，跃居世界第二位。我国在享受经济发展福利的同时，也造成了严重的环境危机。

改革开放至 2012 年，全国废水排放量逐年增加，总量增长 93%，工业废水排放量下降 10%，生活污水排放量增长了四倍；2012 年 COD 排放总量 2423.7 万吨，氨氮排放量 253.6 万吨；除去农业源和集中式污染治理设施的排放量，COD 排放量比 1997 年降低了 28%，氨氮排放量比 2001 年增长了 37%。

大气方面：2011 年  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  排放总量分别为 2217.9 万吨、2404.3 万吨，位居世界第一，烟粉尘排放量为 1278.8 万吨，均远远超出环境承载能力。与 1985 年相比  $\text{SO}_2$  排放量增加了约 1 倍，人为源 VOCs 排放量增长 3.7 倍，人为源大气汞排放占全球总排放量的 1/3；近三十年我国煤炭消费量增长了 4 倍，大气中 90% 的  $\text{SO}_2$ 、67% 的  $\text{NO}_x$ 、70% 的烟尘、70% 的  $\text{CO}_2$  都来自于燃煤。

固废方面：1980 年以来我国固废产生量呈上升趋势，2011 年生活垃

### 生态效率理念、方法及其在区域尺度的应用

圾清运量、工业固废产生量与 1980 年比分别增长了 4.3 倍和 5.7 倍，2011 年工业危废产生量与 2000 年相比增长 67%；垃圾无害化处理率、综合利用率也在不断提升，但是仍处于较低水平。

污染物的过量排放，直接导致一系列的环境污染事故，造成环境风险，环境安全得不到保障（具体见表 1.1）。如松花江重大水污染事件、江苏盐城水污染事件、湖南湘江流域重金属污染事件等。

表 1.1 2000 ~ 2010 年中国环境污染与事故概况

年份	环境污染与破坏事故次数（次）					
	合计	水污染	大气污染	固体废物	噪声与振动危害	其他
2000	2411	1138	864	103	266	40
2001	1842	1096	576	39	80	51
2002	1921	1097	597	109	97	21
2003	1843	1042	654	56	50	41
2004	1441	753	569	47	36	36
2005	1406	693	538	48	63	64
2006	842	482	232	45	6	77
2007	462	178	134	58	7	85
2008	474	198	141	45		90
2009	418	116	130	55		117
2010	420	135	157	35	1	92

进入工业化后期的中国，经济的发展将面临更多挑战，其中最大的制约就是来自于资源与环境制约。环境保护研究院院长王金南在“中国环境保护 40 年论坛”中指出：我国虽然已经成为世界第一大经济体，但是我国所有污染物的总量排放也都是世界第一。如何在当代世界经济进程中，把握好中国的经济发展，就要处理好经济与资源环境的关系。

## 1.2 生态文明倒逼产业转型

环境危机因涉及范围的广泛性、危害程度的严重性、形成原因的复杂性、问题解决的迫切性，已日益引起人们的极大关注。在“更加注重生态文明建设”的今天，“生态文明”越来越受到人们的广泛关切，被提到了一个前所未有的高度。党的十八大报告在原“四位一体”社会建设总体战略基础上，创造性地把生态文明建设纳入社会建设范围内，从而形成了“五位一体”的社会建设整体战略，提出“把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程，努力建设美丽中国，实现中华民族永续发展。”

在生态文明理念的引领下，全国各地开展了大量的生态文明示范区创建工作。其主旨之一就是摒弃过去高能耗、高物耗、高排放的传统发展模式，探索一条绿色低碳的产业发展之路，建立资源节约型，环境友好型的社会。为此，党和政府提出了新的管理手段。诸如新环保法的实施、环保责任延伸制的提出、绿色 GDP 的考核体系的建立，都给地方产业发展带来了新的挑战。

因此，在生态文明视角下，我国的产业结构调整面临着加速工业化和保护生态环境的两难选择。产业结构优化升级是生态文明从价值理念探讨向经济社会建设领域拓展的突破口之一，是我国工业化进程中建设生态文明的关键切入点。加快建设生态文明的主要任务是，在人与自然和谐的前提下，大力推进产业结构优化升级，形成生态化的产业体系，使生态产业成为经济增长的主要源泉。促进生态文明建设的产业结构，必须实现产业生态化。

### 1.3 生态管理模式引发生态效率思考

建设生态文明需要环境管理体制的改革与创新，因为生态环境管理作为当代社会发展中的一个重要公共管理领域，是国家和各级政府公共管理职能有效发挥的重要领域，其管理水平的高低不仅关系着各项资源环境法律的有效实施，而且关系着能否在科学发展观引领下制定出符合生态文明建设要求的科学环境管理政策并使之得以有效落实，以满足生态文明建设对资源环境管理要求的重要问题。

当前，国内外环境管理的焦点正从浅层的环境问题（环境污染，资源枯竭，交通拥堵，健康下降）向深层的生态问题（生态安全，生态健康，生态代谢，生态规划和生态管理）过渡（王如松，2003）。管理模式也从以产品结构改进、工艺流程优化和废弃物循环为核心的物态管理及污染治理走向清洁生产、生态产业、生态园区和复合生态系统管理（张睿，2009）。

产业生态系统是一类以高强度能流、物流、信息流、资金流、人口流为特征，不断进行新陈代谢，具备生产、流通、消费、还原、调控等功能，经历着孕育、发展、繁荣、熟化、衰落、再兴等演化历程的社会—经济—自然复合生态系统，如图 1.1 所示（马世骏、王如松，1984；Rusong and Krause, 1996），由人（生产者、流通者、服务者、还原者和调控者）、资源（自然资源、加工资源、技术资源、金融资本和基础设施）与环境（生产环境、区域环境、市场环境、政策环境和社会环境）组成。这里的“生态”是产业和产业、产业和社会、产业和自然环境间的一种耦合关系；是一种竞生、共生、再生、自生的运行机制（王如松，2003；Ashton, 2008）。产业生态系统管理研究将推动可持续发展的宏观生态管理的学科建设，为解决国家、地区及部门产业—环境问题、转变经济增长方式、调整和优化经济结构、推进产业转型提供决策支持、科学依据和管

理方法。

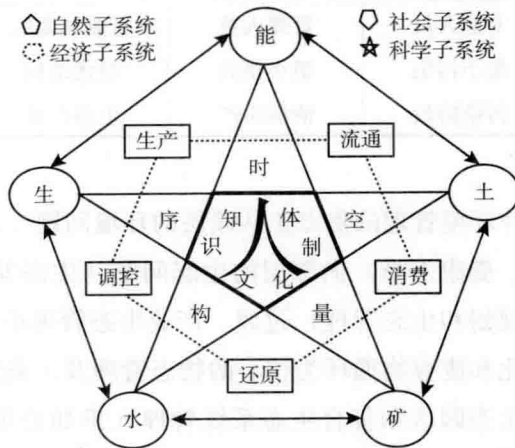


图 1.1 产业生态系统示意图

现代生态管理始于 20 世纪六七十年代以末端治理为特征的对环境污染和生态破坏的应急环境管理。70 年代末到 80 年代兴起的清洁生产促进环境污染管理向工艺流程管理过渡，通过对污染物最小排放的环境管理减轻环境的源头压力 (Peine, 1999)。90 年代末兴起的产业系统生态管理旨在动员全社会的力量优化系统功能，变企业产品价值导向为社会服务功能导向，化环境行为为企业、政府和民众的联合行为，将内部的技术、体制、文化与外部的资源、环境、政策融为一体，使资源得以高效利用，人与自然高度和谐、社会经济持续发展 (Korhonen, 2001; 王如松, 2003; 林云莲, 2006; 王晓婵, 2008; Ruth, 2009) (见表 1.2)。

表 1.2 产业生态管理的 4 个发展阶段

阶段	I	II	III	IV
响应性质	被动响应	接受现实	建设性	预防性
注意的焦点	末端治理	过程控制	产品及产业结构	系统功能

续表

阶段	I	II	III	IV
主要行动者	专业人员	管理人员	行业和地区	全社会
优化目标	最小污染	最小排放	最优结构	最适功能
生态对策	污染防治	清洁生产	生态产业	生态园区

当前，国内外环境管理的焦点正从浅层的环境问题（环境污染，资源耗竭，交通拥堵，健康下降）向深层的生态问题（生态安全，生态健康，生态代谢，生态规划和生态管理）过渡。产业生态管理正从以产品结构改进、工艺流程优化和废弃物循环为核心的物态管理及污染治理走向清洁生产、生态产业、生态园区和复合生态系统管理（王如松等，2006；张睿，钱省三，2009）。未来的生态产业就是要在维持生态资产正向积累的前提下为人类及其生命支持系统提供尽可能强的生态服务，包括高的生态效率、强的生态整合力、小的生态足迹、丰富的生态多样性和低的生态风险（王如松，2003；王如松等，2006）。

没有指标就没有管理，对于任何管理者以及决策者来说，指标的作用是显而易见的。对于产业生态系统来说，对于系统内关于社会、经济、环境的指标都需要进行比较彻底的监测，这就需要建立某些定性或者定量的指标，对所研究的产业系统进行时间以及空间的分析，从而推动整个产业系统的可持续发展。

在经济、社会以及自然领域，都已经有很多独立的指标，分别在上述维度中进行核算与分析。但是很多时候，指标并不总是局限在一个领域或者某个维度当中，而对于复杂系统的可持续评估，需要将各种复杂的不同维度的信息进行整合，以便决策者利用某种单一、整合指标进行辅助决策。从各个领域来看，今天各种指标是如此之多。因此，遇到的最大的问题，不是具体选择哪个指标，而是在哪个具体的时刻选择更为合适的指标。我们更需要的是一整套的指标框架，以便于我们进行监测、学习、决策和行动，并且对现有的或者即将提出的决策进行观察和分析。

对于指标框架来说,最重要的是提供一套广泛且尺度丰富的框架,并且能够为决策者所理解,并能被广大群众所接受,从而通过指标知道如何开展具体的行动,达到预期的目标。这套框架必须包括某些预警指标,通过这些指标能够马上确定所研究对象的某种变化,并且易于沟通和理解。整个指标框架体系必须包含一整套流程与体系,包括监测—评价—学习—决策—行动(Hák et al., 2007)。整套指标体系还必须包括模型以及方法,并且新的方法能够很好地融合进来,利用现有的数据搜集体系以及工具,减少花费和支出,确定风险,并且将各种其他的变化因素都能够很好地整合到一个系统当中。整套指标框架还应该能够很好地适用于未来,并且能够同政策以及其他的关于经济、社会和环境方面的指标联系起来。只有这样,这种指标才能真正在产业生态管理中得到应用和实践。

产业生态系统管理包括对产业生态资产、生态代谢、生态效率、生态足迹、生态服务和生态整合性的管理。

(1) 产业生态资产指产业生存、发展、进化所依赖的有形或无形的自然支持条件和环境耦合关系,它是产业生态系统赖以生存的基本条件(O'Connor, 1993; 王建民、王如松, 2001; 史培军等, 2005)。产业代谢具有正负两方面的生态效益和生态影响。生态代谢管理需要揭示产业活动中物质流、能量流的数量与质量规模,展示构成工业活动全部物质流动与储存,需要建立物质结算表,估算物质流动与储存的数量,描绘其行进的路线和复杂的动力学机制,同时也指出它们的物理、化学或生物富集形态。

(2) 产业生态效率这一概念于1992年由“世界可持续发展工商理事会”(WBCSD)提出,WBCSD认为,生态效率的实现,必须在提供具有竞争力价格的产品和服务、满足人们需求和提高生活品质的同时,在产品和服务的整个生命周期内逐步将其环境的影响及天然资源的消耗减少到地球承载能力的程度(Brady et al., 1999; Vogtländer et al., 2002; Ekins, 2005)。

(3) 产业生态足迹分析通过测定现今人类为了维持自身生存而利用



自然的量来评估人类对生态系统的影响 (Rees, 1992; 徐中民等, 2001)。生态足迹被定义为在现有技术条件下, 按空间面积计量的支持一个特定地区的经济和人口的物质、能源消费和废弃物处理所要求的土地和水等自然资本的数量。

(4) 产业生态服务是指为维持产业系统运行所需要的有形或无形的自然产品和环境公益, 是产业生态支持系统的一种产出和功效 (Costanza et al., 1992; Bolund and Hunhammar, 1999), 如合成生物质, 维持生物多样性, 涵养水分与稳定水文, 调节气候, 保护土壤与维持土壤肥力, 对环境污染的净化与缓冲, 促进元素循环, 维持城市大气的平衡与稳定等。产业生态系统管理的核心就是要处理好产业活动与自然生态系统间的服务关系: 一方面是区域生命支持系统为产业活动所提供的生态服务和对超越其承载能力的人类活动的生态响应, 另一方面则是人类产业活动对区域的环境胁迫和生态破坏, 以及正面的生态建设 (王如松等, 2004)。

(5) 产业生态整合是产业生态系统管理的核心理念和主要目标, 它是对生态系统结构受损和功能完整程度的一种度量。生态整合性有不同的尺度, 由英国生物化学家劳弗洛克 (James Lovelock) 提出的盖娅假说是地球生态整合性的代表理论, 主张地球是有生命的, 地球生态系统的运行和变化是通过组成它的生物体和非生物体成分之间的信息反馈而来的, 并且互相影响, 协同进化 (Lovelock, 1979)。生态整合包括结构整合、过程整合和功能整合。生态整合方法包括能值 (Emergy) 分析法; 生态控制论分析法 (eco-cybernetics) (Vester and Hesler, 1980); 生态结构分析法 (eco-risk assessment); 投入产出分析法、系统动力学、情景分析法 (Scenario) 等。

其中, 产业生态效率是目前产业生态研究中最为广泛应用的指标。生态效率将经济维度和环境维度整合分析, 试图通过定量的分析, 调节地球承载能力和人类环境的影响。但是难题是如何或者怎样用更少的资源生产更多的物品, 提供更多的服务的同时减少社会对环境的危害? 产业生态效率作为一门全新的经营管理哲学, 给工商界以及企业界提供了一个机