

生态·环境与生态工程丛书

生态经济系统能值分析

蓝盛芳 钦 佩 陆宏芳 编著



A0973084

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生态经济系统能值分析/蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳编著.
北京: 化学工业出版社, 2002.5
(生态·环境与生态工程丛书)
ISBN 7-5025-3835-6

I. 生… II. ①蓝…②钦…③陆… III. 生态经
济-研究 IV. F062.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 033087 号

生态·环境与生态工程丛书
生态经济系统能值分析
蓝盛芳 钦 佩 陆宏芳 编著

责任编辑: 李惠宁
责任校对: 李 林
封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
环境科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010)64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京管庄永胜印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 850×1168 毫米 1/32 印张 14 字数 372 千字
2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-3835-6/X·205
定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

世界面临经济繁荣和环境可持续发展的严峻问题。本书论述和衡量地球环境及其作用过程对人类社会经济的贡献。应用能值(emergy, 拼写带字母“m”)为共同基准来评价环境及人的作用, 有助于采取正确的发展政策, 达到最大限度的可持续发展及真正财富的合理分配。能值为分析评价环境、资源、人类劳务、信息以及发展方式的选择提供了一种新的衡量标准。

世界经济从基于乡村可更新资源的缓慢发展的经济转变为依赖石化燃料而迅猛增长的经济。三百年来的经济增长导致了激烈竞争和战争。当今世界大量消耗石化燃料, 尤其在不断拓展的城市里燃料高度集中消耗特别厉害。此外, 金融风暴此起彼伏。

然而, 石化燃料驱动经济的时代不是长久的。资源地质学预言, 随着石化燃料净产出的减少, 全球燃料供应必将很快锐减。如果经济增长存在减缓的可能, 则竞争会减弱, 经济多元化和合作则会增强。现在信息为世界各地的人们所共享。为了享有电视、互联网及和平的意愿, 人们需要电力。人们需要懂得如何有效生产。

世界上不同地方的人们有各自的文化背景, 他们懂得人类社会建立在自然资源基础之上, 人类环境需要相互依存。但是, 大城市里很多人从事技术和信息工作却对环境基础缺乏了解。他们忘记了只有自然资源财富充裕时经济才能繁荣。要转变他们的观念似乎相当困难。

中国文化或许会牢记人与自然和谐的生活方式。中国平缓地从农业经济转变为城市化技术经济, 然后再返回低集约化经济。本书对发展抉择进行了有益的评估。

这本能值分析专著由三部分构成。第一部分介绍概念和原理; 第二部分为能值分析方法论; 第三部分为研究实践, 提供中国自然

科学基金资助的能值研究项目的具体案例及展望。中国学者在能值研究上开展了长期的工作，并与我和我的同事有着长期的合作。本书有助于评估环境与经济发展，具有重要的意义。

Howard T. Odum

2002 年 2 月

于美国佛罗里达大学

Foreword

The world faces serious problems sustaining a prosperous economy and environment. This book explains and measures the contributions of earth processes to the economy of society. By expressing the work of environment and the work of people on a common basis as emergy (spelled with an “m”), policies can be chosen to maximize the sustainable production and distribution of real wealth. Emergy provides a new measures for evaluating environment, resources, human services, information, and alternatives for development.

In the last century everywhere on earth society changed from a relaxed economy based on rural renewable resources to an economy growing frantically on fossil fuels. Three centuries of growth caused competition and wars. The fossil fuels are now being used in a great pulse concentrated in expanding cities. The surge includes a frenzy of circulating money.

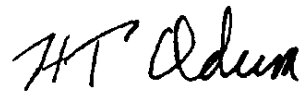
However the fossil fuel pulse is temporary. Resource geologists predict a decrease soon as the net yield of mining of global fuel supplies decreases. When less growth is possible, competition is less and diversity and cooperation can increase. Information is now shared by people of the world. They will need to preserve electric power for television, internet, and continued sharing of peaceful ideals. They will need to learn how to chose what is productive.

People who have their cultural roots in the earth understand how society is based on natural resources. They understand the necessary symbiosis of humanity and environment. But many peo-

ple in the great cities of the world process technology and information without understanding its environmental basis. They don't remember that their economy is prosperous when the real wealth from nature is abundant. Transition for them may be difficult.

Perhaps the culture of China will remember its ways of living in harmony with the earth and make a smooth transition from the agrarian economy to urban technological society and then back to a lower concentration again. This book makes a start on useful evaluation of alternatives.

As a monograph on emergy analysis, this book is composed of three parts. Part 1 introduces the concepts and principles for emergy synthesis, Part 2 contains methodology of emergy analysis, and part 3 provides some practices of emergy research projects supported by the National Science Foundation of China. Chinese scholars have worked on emergy research and collaborated with me and my colleagues for a long time. This book will be helpful and significant for evaluating environment and economic development.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "HT Adum". The signature is fluid and cursive, with the first letters of the first and last names being capitalized and prominent.

University of Florida, Gainesville, USA

February, 2002

前 言

随着人口迅速增长和经济不断发展，人类对地球的影响空前加大，在人口、资源、环境与经济发展关系上出现了一系列的尖锐矛盾。如何正确分析和处理人与自然、环境与经济的关系，实现可持续发展，是人类面临的严峻问题。为此，长期以来人们一直在寻求一种可以衡量和分析自然环境与人类经济关系的共同尺度。经济系统流通的货币是一种衡量人在经济活动中的作用和贡献的工具，其流动不经过自然，并不衡量自然的作用和贡献。能量流动、转化过程经过自然和人类社会经济，可用于表达和了解生命与环境、人与自然的关系。然而，不同类别的能量存在质与价值的根本差异，不可加减和比较，至于自然环境资源与经济的本质关系，用一般能量单位更无从衡量和表达。近 20 年，国际上发展出能值 (emergy) 新概念、理论和分析方法，为衡量和表达环境资源和经济提供了共同的度量标准。

自然资源、经济产品或劳务形成所需直接和间接投入的另一种有效能总量称为其具有的能值。单位能量 (物质) 的能值称为该能量的能值转换率。能值相当的市场货币值，称为能值-货币价值 (emdollar value, 即 $Em\$$)。各种能量均源于太阳能，故常以太阳能焦耳 (solar emjoules, 缩写 sej) 为基准度量各种能量 (物质) 的能值。各种形式的能量转换为同一标准的能值后均可加以比较分析；自然资源、商品或劳务等都可用能值衡量其真实价值。自然界和人类创造的财富均包含能值，都具有价值。所以，能值是真实财富的度量标准，是客观价值的一种表达。

能值为环境、资源、人类劳务、信息和发展决策的分析评价提供了新尺度。生态经济系统的能值分析是以能值为共同基准，综合分析评价系统的能物流、货币流、人口流、信息流，得出一系列反

映系统结构和功能特征与生态经济效益的能值指标，评价系统的可持续发展性能及决策。

能值理论和分析方法是由著名生态学家、克莱福奖得主、“系统生态学之父” H. T. Odum 为首创立的。他从 20 世纪 50 年代开始生态系统能量分析研究；70 年代发展出独创性系统生态学理论方法；80—90 年代发展出能值分析理论方法。半个世纪来，他在多个领域开展的研究旨在探索能量、物质、信息对系统发展变化的共同作用机理。其学术思想重视人类社会与环境的相互作用关系，强调人与自然的和谐。Odum 在其独创性的系统生态学、系统能量学、生态工程学、生态经济学研究中发展出的能值理论方法，是其学术思想发展的重要成果。从能量、体现能（embodied energy）发展到能值，从生态系统理论发展到能量系统理论，从能量分析发展到能值分析，在理论和方法上都是一个重大飞跃。能值理论和方法的形成、发展过程，反映在 Odum 的一系列著作中，尤其是《能量、功率与社会》（1971）、《人与自然的能量基础》（1976，1981）、《系统生态学》（1983，1994）、能值专著《环境价值计量：能值与环境决定要素》（1996）等代表作。

能值理论与分析方法是一种新的环境-经济价值论和系统分析方法，涉及的学科面很广，不仅涉及系统生态学、生态系统生态学、能量学、资源学、环境学、系统学、地球科学等自然科学，同时涉及经济学、社会学、未来学等人文学科。能值被认为是联结生态学和经济学桥梁，具有重大科学意义和实践意义。在理论上，能值分析为生态经济系统开辟了定量分析研究的新方法，提供了衡量和比较各种生态流的共同尺度和综合分析方法，丰富了生态经济学定量研究方法。在实际意义上，应用能值可衡量分析自然环境资源与经济活动的价值以及它们之间的关系，有助于调整生态环境与经济发展，对自然资源的科学评价和合理利用、经济发展方针的制定及实施可持续发展战略均具有重要意义。

本书由三部分组成。第一部分阐述概念与原理，包括能量系统论、环境与经济价值论、能量与能值分析、各种价值论等概念、观

点。第二部分为方法论，介绍生态经济系统、环境资源、能源、经济发展、信息与劳务的能值分析方法论。第三部分为研究实践，介绍我国能值分析研究部分工作，以及国际进展。

H. T. Odum 教授对本书给予了大力支持和帮助，提供了许多新资料，并为本书作序。十多年前笔者在佛罗里达大学师从 Odum 教授开展能值研究，长期以来得到他的支持和合作。他一直关注我国的能值研究工作，亲自指导和参与我国能值研究项目，在此，谨向他深表谢忱。同时，向本书引用的有关资料的作者顺表谢意。

本书的能值研究工作得到国家自然科学基金三个项目的资助(30170147, 30070146, 39270142)，深为感谢。本书的出版得到化学工业出版社的大力支持，在此致以衷心的感谢。并感谢张宏达、孙儒泳、蒋有绪、厌雄飞、王伯荪、宋永昌、闻大中、蔡晓明、郑师章、王如松、彭少麟等教授和台湾友人黄书礼、童翔新教授对我国能值研究工作的支持。

本书第一至第五章、第七至第八章、第十一至第十四章、第十七至第十八章、第二十一章和附录由蓝盛芳、陆宏芳执笔；第九章、第十五章、第十九章由钦佩、陆宏芳执笔；第十六章由钦佩、陈飞鹏执笔，第二十章由陈飞鹏执笔；第六章、第十章由李寒娥执笔。全书由蓝盛芳编撰、定稿，陆宏芳参加并承担全书的绘图和文字录入工作。

华南农业大学和南京大学的研究生赵新锋、陈洁、肖莉、粟娟、朱洪光、刘金娥、周虹霞等同学，以及俞新华、谢民同志为本书作了贡献；已毕业研究生刘新茂、张耀辉、韩青海、隋春花、李谋召、叶正、沈善瑞、张晟途、万树文等为能值研究做出了成绩，在此一并致谢。

任何新的学术理论、方法和研究途径的提出，都由不完善开始的，需要不断加以修正、完善和发展，能值理论、方法亦然。笔者水平有限，书中存在缺点和错误，敬请各位专家和读者指正。

蓝盛芳

2002 年 2 月于广州

目 录

第一篇 概念与原理

第一章 概论	1
一、引言	1
二、能值分析基本概念和原理	3
三、基本方法	7
四、能值分析的意义	12
五、中国生态经济系统能值分析评价	23
第二章 能量分析与能值分析	27
一、能值理论和分析方法的起源与发展	27
二、能量分析与能值分析	34
三、能值和能量的实质及关系	37
四、自然资源财富生产与能值	41
五、能值转换率与能值功率	42
第三章 能值与能量等级	45
一、生态系统的能量与最大功率原则	45
二、生态系统的能量流动	48
三、能量等级与能量链	50
四、能量转换链与能值转换率	52
第四章 能值转换率	62
一、能质与能值转换率	62
二、生态效率与能值转换率	63
三、能量系统的太阳能值转换率	64
四、能值转换率的计算方法	69
五、常用太阳能值转换率	75
第五章 能值指标体系	77
一、H. T. Odum 的基本能值指标	78

二、其他常用的能值评价指标	87
三、系统可持续发展的能值综合指标	91
第六章 地球系统主要能值及其计算	96
一、地球系统主要能值及其太阳能值功率概算	96
二、地球系统各圈层相互作用的能值及其计算	101
三、地球系统各圈层物质循环的能值及其计算	114
第七章 环境生产与经济能值	129
一、自然资源和生态系统服务	130
二、货币循环与经济系统	131
三、能值的货币价值评估	133
四、环境与经济互作界面	136
五、经济对环境生产的反馈	139
六、环境经济生产系统案例分析	140
第八章 能值-价值方法与其他价值衡量方法的比较	146
一、价值衡量方法概论	147
二、能量价值论	153
三、能值评价法	155
四、对能值计算方法的异议	164

第二篇 方 法 论

第九章 能值分析的基本步骤和方法	167
一、能值分析步骤	167
二、能量系统图和能值综合图的绘制	169
三、能值分析表的编制	172
四、能值与能值指标计算	174
第十章 环境资源能值评估	176
一、面积-时间评估法及不同能量特性的资源能值评估	176
二、水资源能值评估	177
三、生态系统能值评估	178
四、自然公园能值评估	185
五、采矿与矿物能值评估	186
六、可再生资源与受污染资源的能值评估	191
七、积累效应与风险能值评估	193

第十一章 国家和地区能值分析	197
一、国家能量系统图解	198
二、各类能值分析评估表和能值计算	200
三、国家环境资源与经济概况的能值综合	213
四、货币流和能值/货币比率	214
五、国家的能值结构及其指标	215
六、人均能值量	219
第十二章 国际交流的能值评估	221
一、国际交流与货币转换	221
二、国际交流的能值评估	222
三、国际交流中能值与货币的关系	225
四、国际贸易的能值收益和平衡	226
五、国际交流的能值平衡	230
第十三章 能源开发利用评价	234
一、燃料	234
二、电能及其类型	244
三、能量转化和储备途径	257
第十四章 信息和劳务的能值评估	260
一、信息的概念和一般特征	260
二、信息与能值	262
三、信息的能值评估	265
四、人类劳务和文化教育评估	271
五、能值和信息储存单元	279
第十五章 不同发展模式的能值评价	282
一、能值匹配概念	283
二、能值投入价值	286
三、不同发展模式的评价	287
第十六章 能值动态模型	296
一、波动模型的有关理论	296
二、能值转换率的变化	301
三、能值评估的动态模拟	303
四、环境和社会的可更新-不可更新模型	308
五、农业系统评价模型	309

六、灯光及国家的波动	311
------------------	-----

第三篇 研究实践

第十七章 地区资源环境和经济发展的能值分析评价	313
一、海南省资源环境和经济发展的能值分析及其与台湾省的 比较研究	313
二、西藏生态经济系统的能值分析	325
第十八章 城市复合生态系统能值分析	334
一、能值流和指标体系	334
二、社会、经济、自然子系统分析	338
三、能值综合评估	344
四、广州与香港能值分析比较	348
五、城市发展展望和策略探讨	349
第十九章 海涂湿地自然保护区的能值分析	351
一、米埔自然保护区的生态功能	351
二、盐城自然保护区两种典型人工湿地的能值分析	356
第二十章 农业生态系统能值分析	366
一、农业生态系统的组成和特点	366
二、研究方法和步骤	367
三、三水市农业生态系统的能值分析	368
四、广东省种植业系统能值分析	374
五、海南省农业能值分析	377
六、中国农业生态系统能值分析	383
第二十一章 国际能值研究与应用展望	387
一、国际能值研究	387
二、国家或地区的能值分析	391
三、可持续的系统设计	393
四、环境政策和管理	394
五、发展计划与政策的能值评估	396
六、历史的能值分析评价	396
七、前景展望	397
附录 I 能值分析术语	398
附录 II 能量系统符号语言及其用法	401

附录Ⅲ 能量计算公式	404
附录Ⅳ 能值转换率计算	411
推荐阅读著作	419
参考文献	420

第一篇 概念与原理

第一章 概 论

本章以中国生态经济系统能值分析为例，概论当代系统生态学、生态系统能量学和生态经济学最新发展出来的能值分析基本概念原理、方法和应用意义。

能值 (emergy) 分析理论和方法是美国著名生态学家、系统能量分析先驱 H. T. Odum 为首于 20 世纪 80 年代创立的。应用能值这一新的科学概念和度量标准及其转换单位——能值转换率 (transformity)，可将生态经济系统内流动和储存的各种不同类别的能量和物质转换为同一标准的能值，进行定量分析研究。该理论和方法，对生态经济系统结构功能的定量分析研究、自然资源的评估利用、国家经济方针政策的制定、国际经济关系的协调、人与自然的和谐共存，以及具体生产活动过程等，提供具有指导意义的科学依据，具现实而长远的意义。

一、引 言

人类借以生存的生物圈可视为由许多互相联系和作用的成分组成的地球系统 (global system)，其中包括土地、海洋、矿藏、动植物资源和人类社会，等等。人类经济体系的运转，有赖于自然系统提供物质与能量；生产与消费所产生的废弃物，亦有赖于自然界的自净能力加以同化。即使在高度人为化的区域，如工业、农业和住宅区，亦需自然界持续地提供能量与物质，人类社会经济系统才能持续运转。人类在致力于经济与工业发展而忽视自然界对人类社会的功能后，又出现了过分强调自然界作用的主张，导致人们认为

经济发展与资源环境保护互相对立。这种冲突见解之所以产生，主要是对自然资源的评价方式不同。经济学家能将自然资源加以币值化来衡量其价值，但这能真实反映出自然资源对整个生态系统或人类经济的作用吗？生态学家能详尽地解释生物物种对生态系统的重要性，但这如何被用来制定有关资源管理的公共政策呢（Odum, 1988）？

地球系统的各种成分及其作用，甚至人类社会信息，均涉及能量的流动、转换与储存。因此，能量系一衡量自然界和人类社会各种作用的指示剂，可用以表达与了解人与自然的关系。

一个多世纪以来，人们应用能量为共同尺度，对世界有限的资源与各种能量系统进行不断的研究。然而，传统的能量分析方法长期以来只在同类别的能量（如机械动力能）分析研究上才取得成效。不同类别的能量具有不同来源，存在质与价值的根本差异，例如煤燃烧产生的 1J 能量与电所发出的 1J 能量不可作简单的比较，因为它们的来源和价值存在极大的差异。不同类别能量的这种“不可比”特性，常使能量分析陷于困境。

至于环境资源与经济的本质关系，用一般能量单位更无从衡量与表达。人们已习惯用市场经济价值来衡量环境资源、商品和劳务，用人造的货币代表财富，“我们社会的病态错误在于应用市场经济价值来衡量资源、环境和信息。”“由于国际市场价格业已决定国际贸易的公平和国际借贷利率的合适，致使少数发达国家从落后国家的资源中获得多倍的价值利润，并造成发达国家的极大浪费。”（Odum, 1990）。

从系统生态学和生态经济学发展出来的新的科学概念和度量尺度——能值，给我们提供了衡量自然资源对经济发展真实贡献的标准。环境资源、商品、劳务和科技等，都可用能值来衡量其真正价值；不同类别与各种形式的能量经转换为同一标准的能值后，均可加以比较研究。运用能值分析理论和方法，把生态环境系统与人类社会经济系统有机地联系和统一起来，定量分析自然与人类经济活动的真实价值，有助于调整生态环境与经济的关系；对自然资