

可持续发展评价指标体系研究综述

曹斌^{1,2}, 林剑艺^{1*}, 崔胜辉¹

(1.中国科学院城市环境与健康重点实验室,中国科学院城市环境研究所,福建 厦门 361021;

2.中国科学院研究生院,北京 100049)

摘要:可持续发展是当今世界关注的焦点问题之一。作为实施可持续发展战略重要工具的可持续发展评价指标体系是当前可持续性科学的研究热点。在阐明了可持续发展评价指标体系建立的一般过程与方法的基础上,综述了国内外可持续发展评价指标体系的研究现状,指出以下几个方面有望成为今后可持续发展评价指标体系研究的发展方向:可持续性科学内涵和外延的拓展研究;可持续发展评价指标体系的规范分析研究;减少人为主观因素对综合指数的影响研究;探讨评估综合指数可应用性、透明度和测度准确性的一般方法;可持续发展评价指标体系的应用研究。

关键词:可持续发展; 评价; 指标体系

中图分类号:X32;F205;F921 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1003-6504.2010.03.023 **文章编号:**1003-6504(2009)03-0099-07

Review on Assessment Index of Sustainable Development

CAO Bin^{1,2}, LIN Jian-yi^{1*}, CUI Sheng-hui¹

(1.Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China; 2.Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Sustainable development is one of hot issues in the world today. As an important tool for implementing sustainable development strategy, sustainable development index is the hot point of sustainability research. Based on analysis of general procedures and methodologies of establishment of sustainable development index, the status of assessment index of sustainable development at home and abroad were summarized. Key research frontiers of sustainable development index in near future were proposed including study of connotation and extension of sustainability science, formatting analysis of sustainable development index system, reducing impact of human factors on composite index, the methods in general for assessment of applicability, transparency and accuracy of composite index as well as application of assessment index of sustainable development.

Key words: sustainable development; assessment; index system

面对全球人口不断增长、生态环境持续恶化和资源迅速枯竭的矛盾,可持续发展已经成为人类走出困境的必由之路。可持续评价是可持续发展研究的重要内容,它的核心目的是为决策者提供一些从地方尺度到全球尺度的关于自然社会复合系统在短期和长期方面的运行信息,为管理决策提供支持^[1]。可持续发展评价指标体系及其指数在实践中正越来越多的被确认为一种有效的评价工具,同时也是政策制定和公共交流的有效工具^[2]。它在表征国家、企业在环境、经济、社会和技术进步的可持续程度方面会显得特别的有效,通过观察现象和突出趋势,可持续发展指标体系将错综复杂的系统信息简单化和定量化^[3]。总的来说,可持续发展评价指标体系研究已经趋于成熟,但目前

并没有文献对可持续发展评价指标体系建立的一般过程与方法进行系统的归纳总结,对于已有的可持续发展评价指数也缺乏全面的分类整理。本文通过综述可持续发展评价指标体系的研究进展,总结可持续发展评价指标体系建立的一般过程与方法,概述国内外可持续发展评价指标体系的研究现状,以期发现可持续发展评价中存在的问题,寻找新的研究方向,并为今后我国可持续发展评价研究提供借鉴。

1 可持续发展评价指标体系建立的一般过程与方法

1.1 可持续发展评价对象

可持续发展评价对象依据尺度大小不同可以分为全球尺度、国家尺度、区域尺度、地方尺度。可持续

收稿日期:2009-06-18;修回 2009-07-30

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-450);中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目

作者简介:曹斌(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为环境经济与环境管理,(手机)13616048572(电话)0592-6190655(电子信箱)bciao@iue.ac.cn;* 通讯作者,(电子信箱)jylin@iue.ac.cn。

发展评价对象依据自身属性不同可以分为社会、经济、环境、生态、科技和能源等方面^[4]。

1.2 可持续发展评价指标体系框架

当前可持续发展指标体系框架主要可以分为两大类:经济学框架和自然科学框架。经济学框架是建立在主流经济学理论基础之上的,它主张指标的货币综合价值核算^[5]。引入主流经济学理论来评价可持续发展进程的方法主要包括绿色 GDP 核算^[6]、自然资源损耗的货币价值核算、四资本模型以及界定强可持续性和弱可持续性^[7]等。在经济学框架下建立的指数有可持续经济福利指数、真实进步指数、真实储蓄指数以及世行的新国家财富指标体系^[8]。

自然科学领域的研究人员对于可持续发展指标体系也提出了很多框架。常用的建立方法有系统分解法、目标分解法和综合归纳法。经济合作与发展组织 1993 年提出来的压力-状态-响应(PSR)模型就是一个经典框架^[9]。PSR 框架随后被扩展为驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)框架,DPSIR 框架于 1999 年被欧洲环境署所采用。1997 年,联合国环境规划署和美国非政府组织提出了一个著名的社会、经济和环境三系统模型^[10]。联合国统计局依据《Agenda 21》创建了一个涵盖经济、气候、固体污染物和机构四个方面的指标框架^[11]。联合国可持续发展委员会为评价各国政府推进可持续发展目标进程建立了一个通用的可持续发展指标体系框架,这个框架由社会、经济、环境和制度四大系统组成^[12]。

1.3 可持续发展指标的选取

可持续发展指标体系的指标选取目前存在两个鲜明不同方法可以区分^[13]:

(1)至上而下的方法,由专家和学者界定研究框架和可持续发展指标集,决策者和公众再根据当地实际情况进行修改。

(2)至下而上的方法,由决策者和公众界定研究框架和可持续发展指标集,再向相关专家和学者进行咨询并进行修改。

为了规范可持续发展指标的选取过程,提出了一系列的指标选取原则。全球可持续发展研究院(IISD)在《可持续发展评估:实践中的原则》一书中提出了指导可持续发展评价的 10 条 Bellagio 原则^[14]。Anderson 1991 年提出了指标选取的 7 个原则:指标的易得性、易理解性、可测度、显著性、可获得性、可比性和指标通用性^[15]。我国学者也提出了自己的看法。叶文虎等研究了可持续发展指标体系的概念,提出了指标体系建立的框架体系^[16]。中国科学院赵景柱在 1991 年提出可持续发展评价指标体系的建立的 7 个原则:

科学性、可行性、独立性、完备性、简洁性、层次性、稳定性^[17]。此外,刘传祥^[18],毛汉英^[19]和刘求实^[20]等学者也都提出了自己的见解。

1.4 可持续发展指标的计算

可持续发展评价指标体系的计算包含三部分内容:指标标准化;指标赋权重;指标合成。

指标标准化指对不同量纲的指标进行无量纲化处理,使得不同量纲的指标可以进行比较分析和计算。

给指标赋权重是可持续发展指标体系计算的核心内容。权重赋予机制是否科学合理直接决定着综合指数的准确性和可应用性。权重是一个针对指标的概念,它是指单项指标在整体评价中的相对重要程度。当前主流的权重赋予方法有专家咨询法、平均赋权法、主成分分析法、层次分析法(AHP)和因子分析法等。专家咨询法指在初步提出评价指标的基础上,征询有关专家的意见,对指标进行调整^[21]。实践证明专家咨询法是一种简单易行、应用方便的方法,其缺点是人为主观因素影响较大。主成分分析法是一种数学多元统计分析方法,它是依据指标贡献率的大小来确定指标权重的,因而也是在实践中应用较多、效果较好的方法,其缺点是需要大量的样本数据支持。层次分析法(AHP)是美国运筹学家萨迪(Saaty)20 世纪 70 年代中期提出的一种定性、定量相结合的,系统化、层次化的分析方法^[22]。在可持续发展评价指标体系的计算中,层次分析法是使用频率最高的方法。

指标合成也是可持续发展指标体系计算必不可少的一部分。常用的指标合成方法有总和、加权总和、算术平均、加权算术平均、几何平均、主成分分析法和回归分析等。

1.5 综合指数的检验

任何一个综合指数在构建起来以后都需要做相关的科学性和有用性检验。数据质量、框架指标选取的科学性和指标权重赋予的合理性是影响综合指数测度准确性的关键因子。数据质量指数据来源、数据的选用、数据完整性、数据可信度、数据缺失、数据缺失的弥补方法等内容^[23]。为了能够准确灵敏的测度评价对象,综合指数建立起来以后需要在实践中接受检验,并不断的进行校正和改进。可持续发展评价指标体系建立的一般过程与方法归纳总结如图 1 所示。

2 国内外可持续发展评价指标体系研究现状

2.1 国外可持续发展评价指标体系研究现状

从 1992 年联合国召开环境与发展大会以来,可持续发展战略在世界各国得到确立。各个国家、国际组织以及学者从不同角度、不同尺度和不同国情出发,

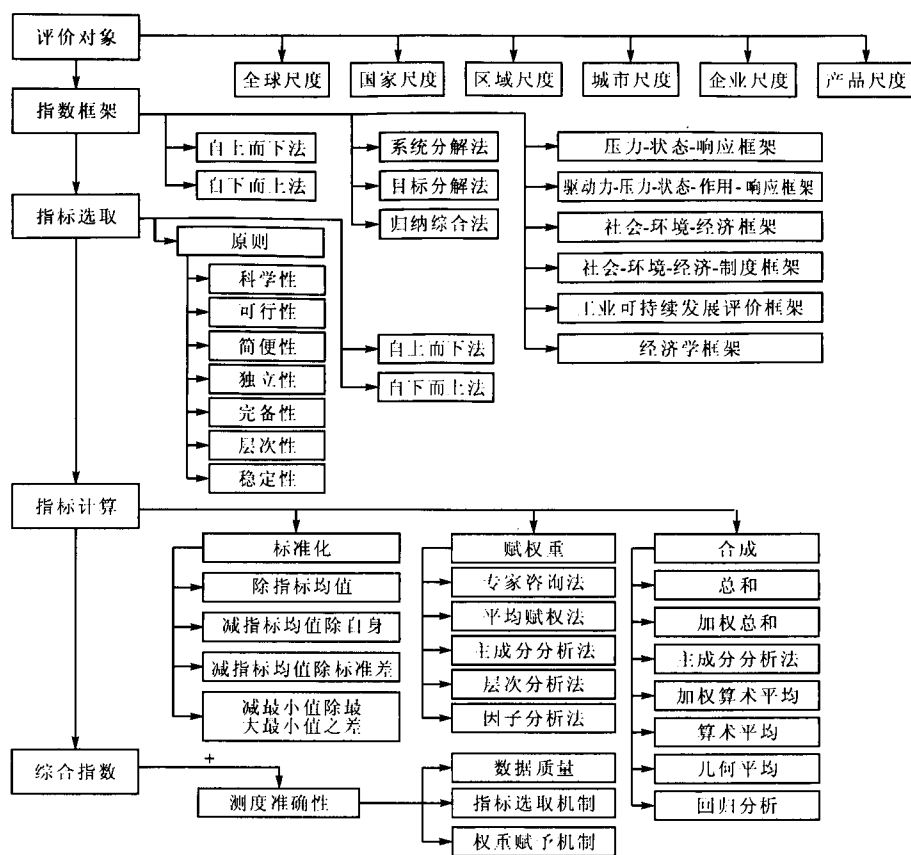


图1 可持续发展评价指标体系建立的一般过程与方法

Fig.1 General procedures and methodologies of building assessment index of sustainable development

相继开展了可持续发展评价指标体系的研究,提出了各种类型的指数。联合国可持续发展委员会^[23]、联合国环境规划署^[24]、联合国统计局^[11]、环境问题科学委员会^[25]、世界银行^[26]、欧盟委员会^[27]、美国^[28]和英国^[29]等组织和国家建立的可持续发展评价指标体系就是其中的杰出代表。从可持续发展评价指数的发展历程来看,大体可以分为以下三个阶段:

(1)20 世纪 70~80 年代,萌芽期。这一时期的指数主要是基于经济学理论建立起来的,如 Nordhaus 和 Tobin1973 建立的经济福利测度指数^[30],Estes1974 年建立的社会进步指数^[31],Morris1979 年建立的物质生活质量指数^[32],Daly 等 1989 年建立的可持续经济福利指数^[33]等。

(2)20 世纪 90 年代,发展期。在这个时期可持续发展评价指数如雨后春笋般出现,各国组织学者纷纷从不同角度和尺度构建了各自的可持续发展评价指数,如联合国开发计划署 1990 年建立的人类发展指数^[34],世界银行 1995 年提出的新国家财富指标^[26],Cobb 等 1995 年建立的真实发展指数^[35],世界自然保护联盟和国际发展研究中心 1995 年建立的可持续性晴雨表^[36],Wackernagel 等 1996 年建立的著名的生态足迹^[37],道琼斯公司和 SAM 集团 1999 年共同建立了一个很有

影响力的道琼斯企业可持续发展指数组^[38],欧盟委员会 1999 年建立的环境压力指数^[27]和国际可持续发展工商理事会 1999 年建立的生态效率指数^[39]等。

(3)21 世纪初期,成熟期。此时可持续发展评价指标体系研究已经趋于成熟,在这一时期建立的指数更多的是注重环境、发展、经济和社会的某一个领域,研究的对象也更为具体,如联合国 2000 年在《千年宣言》中提出了千年发展目标^[40],国际可持续发展研究院 2001 年建立的一个在国际上颇具影响的可持续评价仪表盘^[41],世界经济论坛 2002 年建立的环境可持续发展指数^[42]和环境表现指数^[43],南太平洋地球科学委员会 2005 年建立的环境脆弱性指数^[44]以及 Kerk 和 Manuel 在 2008 年建立的可持续社会指数^[45]等。

尽管当前可持续发展评价指数很多,但是这些指数因为测度的准确性、权重赋予的科学性和指标选择的合理性等问题并没有得到广泛应用。但有一些指数如 HDI、生态足迹、ISEW、GPI 和道琼斯企业可持续发展指数等在研究人员的努力下已经在一些国家和地区得到了广泛应用。为了对国外已有的这些指数有一个全面的了解,本文遴选出了一些指数,按照研究尺度不同对这些指数进行分类,分类结果如图2所示。

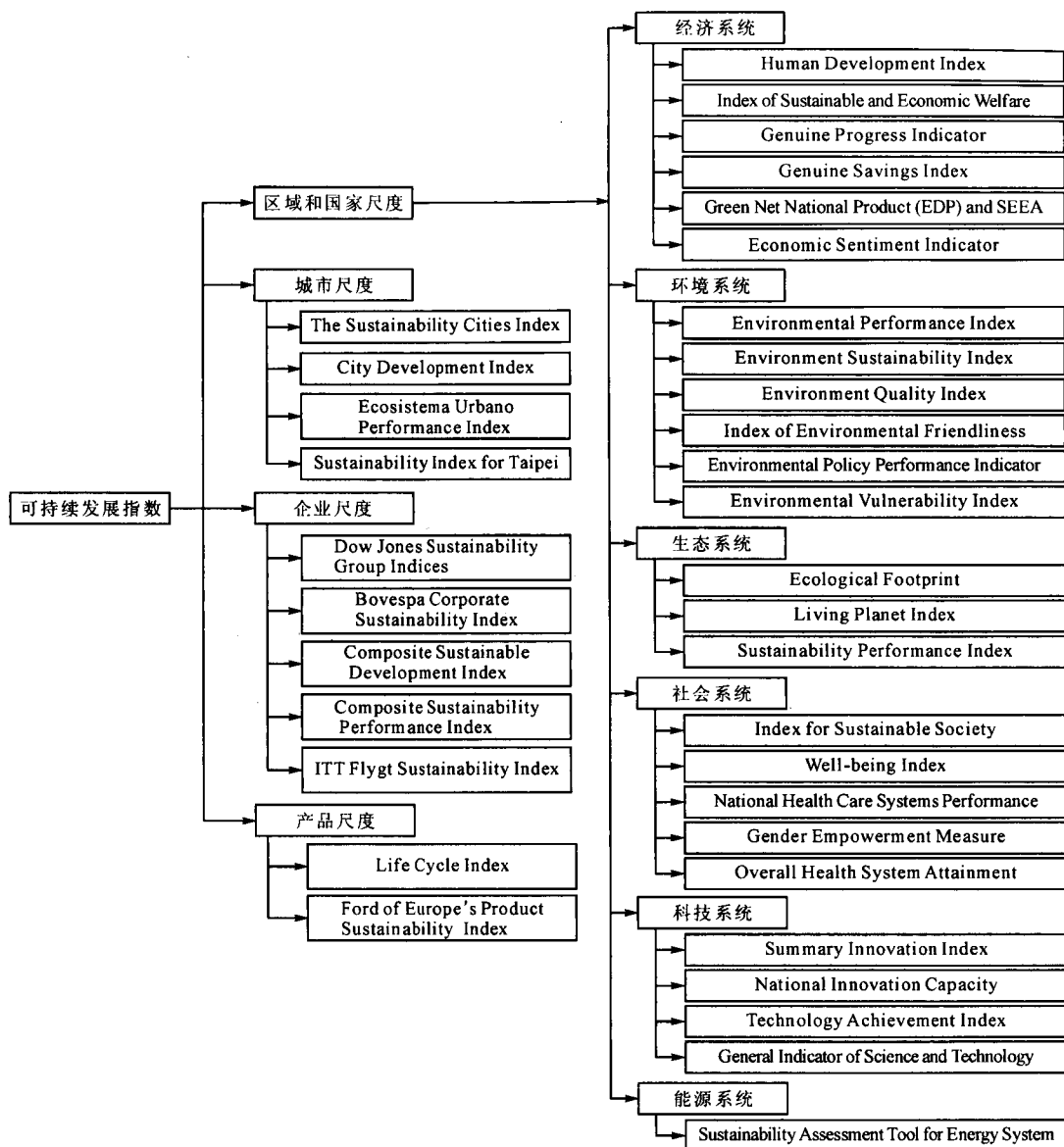


图2 国外可持续发展评价指数分类图

Fig.2 Classification chart of foreign assessment indexes of sustainable development

2.2 国内可持续发展评价指标体系研究现状

20 世纪 90 年代以来中国可持续发展评价研究得到了巨大的发展,大量而有益的实证研究工作从不同尺度和角度来展开,并出现了很多有较大影响力的可持续发展指标体系。跟国外相比,我国的可持续发展评价指标体系研究主要集中在国家、区域和城市尺度上,而对于企业和产品尺度的研究相对较少。在区域和国家尺度上,主要采用了系统分解法来构建指标体系框架,将区域或国家可持续发展系统分为社会、经济、环境和制度等子系统;在城市尺度上,我国是世界上较早开展城市可持续发展评价指标体系研究的国家,并取得了显著的成果。下面将简要介绍一下这些研究成果。

(1)国家尺度的可持续发展评价指标体系。中国科学院可持续发展研究组在 1999 年的《中国可持续发展战略报告》中提出了中国可持续发展指标体系,

该指标体系分为 5 个等级,共采用 45 个指数,涵盖 208 个指标^[46]。此外,国家统计局统计科学研究所和中国 21 世纪议程管理中心课题组^[47]、国家计委国土开发与地区经济研究所^[48]和国家统计局统计科学研究所^[49]都提出了各自的国家可持续发展指标体系。

(2)区域尺度的可持续发展评价指标体系。中国科学院、国家计委地理研究所的毛汉英 1996 年提出了山东省可持续发展指标体系。该指标体系包含 4 个子系统,总共选用 90 个指标^[19]。此外,刘求实等探讨了区域可持续发展指标体系建立的指导原则和方法^[20]、张学文等对黑龙江省区域可持续发展的能力和发展水平进行了综合性评价^[50]、赵多等建立了由 40 个指标组成的浙江省生态环境可持续发展评价指标体系^[51]、乔家君等利用改进的层次分析法评估了河南省的可持续发展能力^[52]。

(3)城市可持续发展评价指标体系。华中科技大学卢武强研究了城市可持续发展系统及组成要素,分析了建立城市可持续发展指标体系的可行性和必要性,并以武汉市为例确立了城市可持续发展的评价方法及所要达到的目标^[53]。此外,曹凤中等对可持续发展城市指标体系进行了探讨^[54]、张坤民等实证分析了真实储蓄可作为衡量国家和城市环境可持续发展程度的系统化指标^[55]、金建君等建立了海岸带可持续发展的概念并提出其评价指标体系和资源型城市可持续发展评价指标体系^[56]。

3 讨论与展望

随着可持续发展研究进入一个崭新的阶段,可持续科学在21世纪初被提出来,Kieffer等认为可持续性科学是指将关于地球的科学(如地质学、生态学、气候学、海洋学)和关于人类相互关系的人文社会科学进行交叉、综合和应用,以评估、减轻和最小化人类对地球系统的影响,并最终帮助人类更好的管理我们的地球家园的一门学科^[57]。Kates等^[1]认为可持续性科学有七个核心问题需要研究,其中有两个是关于可持续发展评价的:(1)怎样才能使当前的环境和社会经济状况的评估监测体系能为实现可持续性转变提供更有用的指导?(2)怎样才能使今天相对较为独立的各种研究计划、监测、评价和决策支持活动被更好地综合到适应性管理和社会学习系统中?因此,建立可持续发展评价指标体系来评价个人、组织和社会活动的可持续性水平对于推进可持续发展进程意义重大,是可持续科学研究的重要核心问题,是实施可持续发展战略、制定可持续发展计划、监测可持续发展进程以及科学决策和有效管理的依据。

可持续发展评价虽然已经有成熟的理论和方法体系,但仍存在一些有待解决的问题。当前可持续发展评价指数之所以很少被政策制定者所采纳应用,一个很重要的原因在于它受人为主观因素影响太大。尽管学者们都宣称在指标框架和指标集的选取、指标标准化、指标权重赋予和综合指数合成的过程中会尽可能的避免主观价值判断和文化因素的影响,但综合指数依然或多或少的承载了人们的固有价值观念和主观情感。

可持续发展是一个涵盖经济、社会、环境和制度的复杂系统,评估可持续发展应该综合全面的考虑其中的每一个重要方面,并尽可能的刻画出系统的动态变化特征,综合指数如果被错误构建,那么它将会发出误导性的政策信息。因此模型的选择、指标集的选取、权重的确定和数据遗漏值的修补等都应该一丝不

苟。同时,进行相关的敏感性分析和不确定性分析可以帮助表征综合指数的可应用性和透明性。

总结前人的研究成果,在今后的可持续发展评价指标体系研究中,应重点考虑以下几个方面:

(1)进一步拓展可持续性科学的内涵和外延,更全面综合的把握自然与社会的动态相互作用关系,深刻理解环境与发展之间的辩证依存关系,以期明晰可持续发展的目标愿景状态。

(2)大量的可持续发展评价指数在可持续发展评价的实证研究工作被建立起来,其中有很多指数的建立方法以及过程很不科学,亟待加强可持续发展评价指标体系的规范分析研究工作。

(3)结合对综合指数进行不确定性和敏感性分析,探讨如何在指数框架确立、指标集选取、指标标准化、指标权重赋予和综合指数合成方法的选择等问题上尽可能的减少人为主观因素的影响。

(4)从数据质量、指标选取和删除机制、权重赋予机制等角度,探讨评估综合指数可应用性、透明度和测度的准确性的一般方法。

(5)努力将可持续发展评价指标体系研究应用到社会经济生活当中,在实践和应用中不断的调整改善可持续发展评价指数。

[参考文献]

- [1] Kates R, Clark W C, Corell R, et al. Sustainability science [J]. Science, 2001, 292(4): 641-642.
- [2] Singh R K, Murty H R, Gupta S K, et al. An overview of sustainability assessment methodologies[J]. Ecological Indicators, 2009, 9: 189-212.
- [3] Warhurst. Sustainability Indicators and Sustainability Performance Management. Report to the Project: Mining, Minerals and Sustainable Development[R]. 2002.
- [4] 谢洪礼. 关于可持续发展指标体系的述评(一)[J]. 统计研究, 1998, 15(6): 54-58.
Xie Hong-li. Review of sustainable development indicators (1)[J]. Statistical Research, 1998, 15(6): 54-58. (in Chinese)
- [5] 侯元兆. 我国的绿色GDP核算研究:未来的方向和策略[J]. 世界林业研究, 2006, 19(6): 1-5.
Hou Yuan-zhao. A study on green GDP accounting in China: future development and strategy[J]. World Forestry Research, 2006, 19(6): 1-5. (in Chinese)
- [6] 修瑞雪, 吴钢, 曾晓安, 等. 绿色GDP核算指标的研究进展[J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1107-1113.
Xiu Rui-xue, Wu Gang, Zeng Xiao-an, et al. Research advances in assessment of green GDP indicator[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(7): 1107-1113. (in Chinese)
- [7] 孙陶生, 王晋斌. 论可持续发展的经济学与生态学整合路

- 径——从弱可持续发展到强可持续发展的必然选择[J]. 经济经纬, 2001, 18(5): 13-15.
- Sun Tao-sheng, Wang Jin-bin. On the integration between ecology and economics based on sustainable development[J]. Economic Survey, 2001, 18(5):13-15. (in Chinese)
- [8] 谢洪礼. 关于可持续发展指标体系的述评(二)——国外可持续发展指标体系研究的简要介绍[J]. 统计研究, 1999, 16(1): 59-64.
- Xie Hong-li. Review of sustainable development indicators (2)—Brief introduction of foreign sustainable development indicators [J]. Statistical Research, 1999, 16(1): 59-64. (in Chinese)
- [9] 杨凌, 元方, 李国平. 可持续发展指标体系综述[J]. 决策参考, 2007, (5): 56-59.
- Yang Ling, Yuan Fang, Li Guo-ping. Review of sustainable development indicators[J]. Decision Reference, 2007, (5):56-59.(in Chinese)
- [10] Global Reporting Initiative (GRI). The Global Reporting Initiative—Sustainability Reporting Guidelines[M]. Boston, 2006.
- [11] 刘培哲. 可持续发展理论与中国 21 世纪议程 [M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- Liu Pei-zhe. Sustainable Development Theory and China's Agenda 21[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2001. (in Chinese)
- [12] Commission on Sustainable Development. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies [M]. New York, 2001.
- [13] Bell S, Morse S. Experiences with sustainability indicators and stakeholder participation: a case study relating to a blue plan project in Malta[J]. Sustainable Development, 2004, (12): 1-14.
- [14] International Institute for Sustainable Development. Assessing Sustainable Development: Principles in Practice [M]. UN, 1997.
- [15] Anderson V. Alternative Economic Indicators[M]. London: Rutledge, 1991.
- [16] 叶文虎, 栾胜基. 论可持续发展的衡量与指标体系[J]. 世界环境, 1996, 14(1): 7-10.
- Ye Wen-hu, Luan Sheng-ji. The exposition of measure and indicators of sustainable development[J]. World Environment, 1996, 14(1):7-10. (in Chinese)
- [17] 赵景柱. 持续发展的理论分析(续)[J]. 生态经济, 1991, 7(2): 6-10.
- Zhao Jing-zhu. Theoretical analysis of sustainable development[J]. Ecological Economics, 1991, 7(2):6-10. (in Chinese)
- [18] 刘传祥, 承继成, 李琦. 可持续发展的基本理论分析[J]. 中国人口、资源与环境, 1996, 6(2): 3-7.
- Liu Chuan-xiang, Cheng Ji-cheng, Li Qi. Basic theoretic analysis of sustainable development[J]. China Population, Resources and Environment, 1996, 6(2):6-10. (in Chinese)
- [19] 毛汉英. 山东省可持续发展指标体系初步研究 [J]. 地理研究, 1996, 15(4): 16-23.
- Mao Han-ying. The research about an indicator system of sustainable development in Shandong Province[J]. Geographical Research, 1996, 15(4):16-23. (in Chinese)
- [20] 刘求实, 沈红. 区域可持续发展指标体系与评价方法研究 [J]. 中国人口、资源与环境, 1997, 7(4): 60-64.
- Liu Qiu-shi, Shen Hong. Study on index system and assessment method for regional sustainable development [J]. China Population, Resources and Environment, 1997, 7(4): 60-64. (in Chinese)
- [21] 曹利军, 王华东. 可持续发展评价指标体系建立原理与方法研究[J]. 环境科学学报, 1998, 18(5): 526-532.
- Cao Li-jun, Wang Hua-dong. A study on the principle and method of installation of sustainable development assessment index[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1998, 18(5): 526-532. (in Chinese)
- [22] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [23] United Nations Commission on Sustainable Development. Indicators of Sustainable Development Framework & Methodologies[M]. New York, 1996.
- [24] Global Initiative Reporting. The Global Reporting Initiative—An Overview[M]. Boston, 2002.
- [25] 朱启贵. 国内外可持续发展指标体系评论 [J]. 合肥联合大学学报, 2000, 10(1): 11-23.
- Zhu Qi-gui. Review of the domestic and overseas system of indicators for sustainable development[J]. Journal of Hefei Union University, 2000, 10(1): 11-23. (in Chinese)
- [26] 王海燕. 论世界银行衡量可持续发展的最新指标体系[J]. 中国人口、资源与环境, 1996, 6(1): 39-43.
- Wang Hai-yan. The latest index system to measure sustainable development[J]. China Population, Resources and Environment, 1996, 6(1): 39-43. (in Chinese)
- [27] European Commission. Euro Stat. Towards Environmental Pressure Indicators for the EU[M]. EU, 1999.
- [28] 曹凤中. 美国的可持续发展指标[J]. 环境科学动态, 1996, 2: 5-8.
- Cao Feng-zhong. American sustainable development indicators[J]. Environmental Science Trends, 1996, 2: 5-8. (in Chinese)
- [29] Department of the Environment of United Kingdom. Indicators of Sustainable Development for the United Kingdom [M]. London: HMSO, 1994.
- [30] Nordhaus W D, Tobin J. Is Growth Obsolete? The Measurement of Economic and Social Performance[M]. London: Cambridge University Press, 1973.

- [31] Estes T. A Comprehensive corporate social reporting model [J]. Federal Accountant, 1974: 9-20.
- [32] Morris D. Measuring the Condition of the World's Poor: The Physical Quality of Life Index[M]. New York: Pergamon Press, 1979.
- [33] Daly H E, Cobb J B. For the Common Good: Redirecting the Economy towards the Community, the Environment and a Sustainable Future[M]. Boston: Beacon Press, 1989.
- [34] United Nations. Human Development Report[EB/OL]. <http://www.undp.org>, 1990.
- [35] Cobb G, Halstead C, Rowe T. The Genuine Progress Indicator: Summary of Data and Methodology[M]. San Francisco, CA: Redefining Progress, 1995.
- [36] IUCN, Strategies for Sustainability Programme, International Development Research Centre. An approach to assessing progress toward sustainability: tools and training series for institutions, field teams and collaborating agencies [R]. IUCN set of 8 booklets, 1997.
- [37] Wackernagel M, Rees W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [38] Dow Jones Corporation, SNOXX, SAM. The Dow Jones Sustainability Indexes[EB/OL]. <http://www.sustainability-index.com/>, 1999.
- [39] World Business Council for Sustainable Development. Eco-efficiency Indicators and Reporting: Report on the Status of the Project's Work in Progress and Guidelines for Pilot Application. Geneva, Switzerland, 1999.
- [40] United Nations. Millenium Development Goals[EB/OL]. <http://www.un.org/zh/>, 2000.
- [41] International Institute of Sustainable Development. The Consultative Group on Sustainable Development Indicators: The Dashboard of Sustainability [EB/OL]. <http://www.iisd.org/cgsdi/dashboard.asp>, 2001.
- [42] Yale Center for Environmental Law & Policy, Center for International Earth Science Information Network. 2005 Environmental Sustainability Index[EB/OL]. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/esi/>, 2005.
- [43] Yale Center for Environmental Law & Policy, Center for International Earth Science Information Network. 2008 Environment performance index [EB/OL]. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/epi/>, 2008.
- [44] South Pacific Applied Geosciences Commission, United Nations Environment Programme. Building Resilience in SIDS: The Environmental Vulnerability Index [EB/OL]. <http://www.vulnerabilityindex.net/index.htm>, 2005.
- [45] Kerka G V, Manuel A R. A comprehensive index for a sustainable society: The SSI—the Sustainable Society Index [J]. Ecological Economics, 2008, 66: 228-242.
- [46] 中国科学院可持续发展研究组. 1999 中国可持续发展战略报告[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- Study Group on Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences. 1999 Report on China's Sustainable Development Strategy[M]. Beijing: Science Press, 1999. (in Chinese)
- [47] 谢洪礼. 关于可持续发展指标体系的述评(三): 中国可持续发展指标体系研究情况简介[J]. 统计研究, 1999, 16(1): 61-64.
- Xie Hong-li. Review of sustainable development indicators: Brief introduction of China sustainable development indicators[J]. Statistical Research, 1999, 16(1): 61-64. (in Chinese)
- [48] 郝晓辉. 中国可持续发展指标体系探讨[J]. 科技导报, 1998, 16(11): 42-46.
- Hao Xiao-hui. Discussion on the index system of China's sustainable development[J]. Science & Technology Review, 1998, 16(11): 42-46. (in Chinese)
- [49] 罗守贵, 曾尊固. 可持续发展指标体系述评[J]. 人文地理, 1999, 14(4): 54-59.
- Luo Shou-gui, Zeng Zun-gu. Review of sustainable development index [J]. Human Geography, 1999, 14(4): 54-59. (in Chinese)
- [50] 张学文, 叶元煦. 黑龙江省区域可持续发展评价研究[J]. 区域经济, 2002, (5): 83-87.
- Zhang Xue-wen, Ye Yuan-xun. A study on the assessment of regional sustainable development in Heilongjiang Province[J]. Regional Economics, 2002, (5): 83-87. (in Chinese)
- [51] 赵多, 卢剑波, 阚怀. 浙江省生态环境可持续发展评价指标体系的建立[J]. 环境污染与防治, 2003, 25(6): 380-382.
- Zhao Duo, Lu Jian-bo, Kan Huai. To establish indicator system for evaluation on sustainable development of ecosystem and environment in Zhejiang Province[J]. Environmental Pollution & Control, 2003, 25(6): 380-382. (in Chinese)
- [52] 乔家君, 李小建. 河南省可持续发展指标体系构建及应用实例[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2005, 35(3): 44-48.
- Qiao Jia-jun, Li Xiao-jian. Foundation of index systems and application of the sustainable development in Henan Province[J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2005, 35(3): 44-48. (in Chinese)
- [53] 卢武强, 李家成, 黄爱莲. 城市可持续发展指标体系研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 1998, 32(2): 235-240.
- Lu Wu-qiang, Li Jia-cheng, Huang Ai-lian. Studies on urban sustainable development index system[J]. Journal of Central China Normal University (Nat Sci), 1998, 32(2): 235-240. (in Chinese)
- [54] 曹凤中, 国冬梅. 可持续发展城市判定指标体系[J]. 中国环境科学, 1998, 18(5): 463-467.
- Cao Feng-zhong, Guo Dong-mei. The determinant indicators of sustainable development cities[J]. China Environmental Science, 1998, 18(5): 463-467. (in Chinese)

- [22] Holloway R W. Forward osmosis for concentration of anaerobic digester centrate[J]. *Water Research*, 2007, 41(17): 4005–4014.
- [23] HTI. The Muddy Water Filter [EB/OL]. <http://www.htiwater.com/main.html>, 2008.
- [24] HTI. Hydration Products [EB/OL]. http://www.htiwater.com/hydration_products.html, 2008.
- [25] HTI. Technology Overview [EB/OL]. http://www.htiwater.com/hydration_technology_overview.html, 2008.
- [26] Wallace M, Cui Z, Hankins N. A thermodynamic benchmark for assessing an emergency drinking water device based on forward osmosis[J]. *Desalination*, 2008, 227(1–3):34–45.
- [27] Elimelech M, McGinnis R. Energy-efficient water purification made possible by Yale engineers [J]. *Membrane Technology*, 2009, (4):10–11.
- [28] McCutcheon J R, McGinnis R, Elimelech M. Desalination using a novel ammonia-carbon dioxide forward osmosis process: Evaluation of process performance[A]. in *AIChE Annual Meeting Conference Proceedings*[C]. 2005.
- [29] Loeb S. Osmotic power plants[J]. *Science*, 1974, 189:350.
- [30] Loeb S, Van Hessen F, Shahaf D. Production of energy from concentrated brines by pressure retarded osmosis. II. Experimental results and projected energy costs[J]. *Journal of Membrane Science*, 1976, 1(3):249–269.
- [31] Lee K L, Baker R W, Lonsdale H K. Membranes for power generation by pressure-retarded osmosis[J]. *Journal of Membrane Science*, 1981, 8(2):141–171.
- [32] Seppala A, Lampinen M J. Thermodynamic optimizing of pressure-retarded osmosis power generation systems[J]. *Journal of Membrane Science*, 1999, 161(1–2):115–138.
- [33] Loeb S. Large-scale power production by pressure-retarded osmosis, using river water and sea water passing through spiral modules[J]. *Desalination*, 2002, 143(2):115–122.
- [34] Aaberg R J. Osmotic power: A new and powerful renewable energy source[J]. *Refocus*, 2003, 4(6):48–50.
- [35] Jones A T, Finley W. Recent Developments in Salinity Gradient Power[A]. in *Oceans Conference Record (IEEE)*[C]. 2003.
- [36] Panyor L. Renewable energy from dilution of salt water with fresh water: pressure retarded osmosis[J]. *Desalination*, 2006, 199(1–3):408–410.
- [37] Gerstandt K. Membrane processes in energy supply for an osmotic power plant[J]. *Desalination*, 2008, 224(1–3):64–70.
- [38] Skilhagen S E, Dugstad J E, Aaberg R J. Osmotic power-power production based on the osmotic pressure difference between waters with varying salt gradients[J]. *Desalination*, 2008, 220(1–3):476–482.
- [39] McGinnis R L, McCutcheon J R, Elimelech M. A novel ammonia-carbon dioxide osmotic heat engine for power generation[J]. *Journal of Membrane Science*, 2007, 305(1–2):13–19.

(上接第 105 页)

- [55] 张坤民, 温宗国, 杜斌, 等. 中国城市环境可持续发展指标体系研究[J]. *生态经济*, 2000, 16(5):4–9.
Zhang Kun-min, Wen Zong-guo, Du Bin. Sustainable development index research of China city environment[J]. *Ecological Economics*, 2000, 16(5):4–9. (in Chinese)
- [56] 金建君, 恽才兴, 巩彩兰. 海岸带可持续发展及其指标体系研究——以辽宁省海岸带部分城市为例[J]. *海洋通报*, 2001, 20(1):61–67.
- Jin Jian-jun, Yun Cai-xing, Gong Cai-lan. Concept and index system of coastal zone sustainable development—a case study on part of the cities in Liaoning Province coastal zone[J]. *Marine Science Bulletin*, 2001, 20(1): 61–67. (in Chinese)
- [57] Kieffer S W, Barton P, Palmer A R, et al. Preservation of random megascale events on Mars and Earth: Influence on geologic history[J]. *The Geological Society of America*, 2009, 453: 77–86.