

京津唐城市生态系统能值比较

宋豫秦¹, 曹明兰^{1,*}, 张力小²

(1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要:运用能值(emergy)分析方法,以京津冀地区的北京、天津、唐山为研究对象,建立了复合生态系统与可持续发展的能值指标,对3个城市1991~2005年自然环境与社会经济可持续发展状况进行了比较分析。研究结果表明:1991~2005年期间,由于北京、天津的本地资源能值对经济发展的驱动力不足,城市发展对外部输入能值的依赖程度越来越高;北京、天津、唐山社会子系统的能值指标均呈上升趋势,城市居民生活水平和经济发展水平不断提高;北京经济子系统的各项指标均优于天津和唐山,但环境子系统和能值可持续指标体现出,北京的环境压力最大、可持续发展能力低于天津和唐山。在此分析基础上,对北京、天津、唐山的可持续发展提出了几点建议,为制定城市发展策略和产业调整提供科学依据。

关键词:城市生态系统;能值分析;可持续发展

文章编号:1000-0933(2009)11-5882-09 中图分类号:X171.1 文献标识码:A

Emergy-based comparative analysis of urban ecosystem in Beijing, Tianjin and Tangshan

SONG Yu-Qin¹, CAO Ming-Lan^{1,*}, ZHANG Li-Xiao²

¹ College of Environmental Sciences and Engineering, Beijing University, Beijing 100871, China

² School of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5882 ~ 5890.

Abstract: Employing the emergy analytical method and taking Beijing, Tianjin and Tangshan of the “Beijing-Tianjin-Hebei” region as the research objects, this paper establishes the emergy indexes of complex ecosystem and sustainable development, and conducts the comparative analysis of natural environments and socioeconomic sustainable development in these three cities from the year 1991 to 2005. The results show that, from 1991 to 2005, since local resources emergy in Beijing and Tianjin has provided insufficient driving forces to regional economic development, urban development of these two cities has seen increasing independence on external resources; the emergy indexes of social subsystem in these three cities are on the rise, indicating the steadily improved both living standards for urban residents and economic development levels; and the indexes of economic development level in Beijing are superior to those of Tianjin and Tangshan, but the emergy indexes of environment subsystem and sustainable development suggest that Beijing has the heaviest environmental pressure among these three cities, and its sustainable development capacities are lower than those of Tianjin and Tangshan. Based on this analysis of the three cities, several proposals concerning the sustainable development of Beijing, Tianjin and Tangshan are put forward to provide scientific grounds for formulation of urban development strategies and industrial restructuring.

Key Words: urban ecosystem; emergy analysis; sustainable development

基金项目:中国工程院重大咨询资助项目(2006-X-07);国家自然科学基金资助项目(40901293)

收稿日期:2008-07-26; 修订日期:2008-12-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nm_cml@163.com

城市生态系统是一个以人为中心的自然、经济与社会的复合人工生态系统^[1]。美国著名系统生态学家 Odum 论述了城市是一个非自养生态系统,脱离为其提供能量、食物、原料和排放废弃物的偏远地域之间的稳定联系,将不能维系其自组织体系^[2],并在 20 世纪 80 年代,创造性的提出能值理论和分析方法。能值分析以能值为基准,整合分析系统的能值流、货币流、人口流、信息流,得出的一系列反映系统结构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能力与决策^[3]。能值分析方法通过能值转换率,即形成每单位某种能量或物质、信息所需的太阳能值,对各种生态流价值进行统一的单位转换评价,实现了不同能量等级上不同质能量的统一度量,解决了环境子系统与经济子系统转换度量生态流难题^[4]。本文从社会-经济-环境子系统的角度出发,利用能值分析方法对京津冀地区的三大中心城市北京、天津、唐山的能值来源、社会系统、经济发展、环境状况等方面进行对比分析,揭示城市经济发展与综合效益之间关系,为制定城市及地区发展策略提供科学依据。

1 研究区概况

北京是北方最大的城市。全国交通干线汇集于此,交通四通发达。2005 年北京常住人口 1538 万人,完成 GDP6814.5 亿元,能源总消耗达到 5500 万 t 标准煤,居民恩格尔系数已经降低到 31.8%。

天津是我国北方最大的港口城市,也是我国功能最齐全的港口之一,形成以港口为中心的海陆空一体化立体交通网络。2005 年天津市总人口 1043 万人,完成 GDP3663.86 亿元,人均 GDP4328 美元,城市居民人均可支配收入 12639 元。

唐山矿产资源品种多、储量大,是我国重要煤炭产地。交通便捷,现代化沿海城市交通网络体系初具规模,滩涂和浅海开发潜力很大。2005 年唐山市 714.5 万人,完成 GDP2027 亿元,城镇居民人均可支配收入达到 10488 元。

2 系统能值分析

参考采用陆宏芳^[5]提出的城市复合生态系统能值整合分析指标体系,从社会子系统-经济子系统-自然子系统等复合生态系统角度出发,选取了能够反映城市生态环境与社会经济关系的一系列指标体系,对三个子系统进行统一定量分析,进而综合评价系统可持续发展状况。

2.1 数据来源

本文数据来源见文献^{①~⑩},太阳能辐射数据参考文献^[6]的数据、热流数据采用参考文献^[7]的数据。运用 Odum 研究得到的计算方法,通过能量转换系数^[8]对能值转换率进行统一调整后,对北京、天津和唐山 3 个城市的各种能值数据进行了计算分析。城市的货币能值转换率是由城市系统的年能值利用总量除以该城市当年国民生产总值得到。本文仅出 2004 年 3 个城市的基础资源能值评估表(表 1~表 3)。

2.2 城市生态系统主要能值指标计算

指标表达式中,R 为可更新资源、N 为不可更新资源、G 为进口货物、F 为进口燃料、S 为进口服务、E 为出口货物和服务能值、U 为总能值用量、W 废弃物能值^[16]。为避免重复计算,可更新资源的能值只取其中最大

①《中国统计年鉴(2006~1992)》

②《中国环境年鉴(2006~1992)》

③《北京市统计年鉴(2006~1992)》

④《天津市统计年鉴(2006~1992)》

⑤《唐山市统计年鉴(2006~1992)》

⑥《对外经济贸易和国际旅游统计(2006~1992)》

⑦《中国区域经济统计年鉴(2006~1992)》

⑧《河北农村统计年鉴(2006~1992)》等

⑨《北京市水土流失监测公报(2003)》

⑩《北京市水资源公报(2006)》

表 1 2004 年北京市基础资源能值评估表

Table 1 Emergy evaluation of resource basis for Beijing area in 2004

编号 Note	项目 Item	原始数据 Row data	能值转换率 Solar transformity (sej/unit)	太阳能值 Solar emergy (sej)	能值货币价值 Em \$ values (US \$)	能值转换率的依据 Reference of Transformity
可再生资源	太阳能 Sunlight (J)	7.02×10^{19}	1	7.02×10^{19}	1.14×10^7	[9]
Renewable sources	风能 Wind, kinetic (J)	4.87×10^{16}	2.45×10^3	1.19×10^{20}	1.94×10^7	[9]
	雨水势能 Rain, geopotential (J)	1.91×10^{15}	4.70×10^4	8.96×10^{19}	1.46×10^7	[9]
	雨水化学能 Rain, chemical (J)	3.92×10^{16}	3.05×10^4	1.19×10^{21}	1.95×10^8	[9]
	地球循环能 Earth cycle (J)	1.81×10^{16}	5.80×10^4	1.05×10^{21}	1.71×10^8	[10]
	河流 Stream flow(J)	4.05×10^{15}	3.05×10^4	1.24×10^{20}	2.01×10^7	[9]
	水利发电 Hydroelectricity (J)	2.16×10^{14}	2.77×10^5	5.98×10^{19}	9.75×10^6	[11]
本地可更新产品	农产品 Agriculture Production (J)	1.65×10^{16}	1.98×10^5	3.27×10^{21}	5.33×10^8	[12]
Indigenous Renewable Energy	畜牧产品 Livestock Production (J)	1.13×10^{16}	3.42×10^5	3.88×10^{21}	6.32×10^8	[12]
	渔产品 Fisheries Production (J)	3.14×10^{14}	5.04×10^6	1.58×10^{21}	2.58×10^8	[12]
本地不可再生资源	燃料 Fuels (J)	2.66×10^{17}	3.98×10^4	1.06×10^{22}	1.73×10^9	[11]
Non-renewable sources from within Beijing	土壤流失 Soil losses (g)	1.58×10^{12}	1.71×10^9	2.70×10^{21}	4.40×10^8	[13]
	石灰石 Limestone (g)	1.35×10^{13}	1.68×10^9	2.27×10^{22}	3.70×10^9	[14]
	砂石 Sand and gravel (g)	3.00×10^{13}	1.68×10^9	5.04×10^{22}	8.21×10^9	[12]
	铁矿 Iron ore (g)	1.78×10^{13}	1.44×10^9	2.55×10^{22}	4.16×10^9	[11]
输入资源	商品物资 Goods (US \$)	4.41×10^{10}	6.44×10^{12}	1.08×10^{23}	1.76×10^{10}	[15]
Imports and outside sources	服务 Services (US \$)	5.91×10^9	5.72×10^{12}	3.38×10^{22}	5.51×10^9	[15]
	燃料 Fuels (J)	1.11×10^{18}	5.65×10^4	6.25×10^{22}	1.02×10^{10}	[11]
输出资源	商品物资 Goods (US \$)	3.75×10^{10}	6.44×10^{12}	1.21×10^{23}	1.97×10^{10}	[15]
Exports	服务 Services (US \$)	3.17×10^9	5.72×10^{12}	1.81×10^{22}	2.96×10^9	[15]
资源消耗	水资源 Water use (J)	1.71×10^{16}	3.05×10^4	5.21×10^{20}	8.48×10^7	[9]
Resource consumed	燃料 Fuels (J)	1.30×10^{18}	4.74×10^4	6.16×10^{22}	1.00×10^{10}	[11]
	电力 Electricity (J)	1.84×10^{17}	1.59×10^5	2.92×10^{22}	4.76×10^9	[11]
废弃物	固体废弃物 Solid waste (J)	5.79×10^{16}	1.80×10^6	1.04×10^{23}	1.70×10^{10}	[13]
Waste produced	废水 Waste water (J)	7.27×10^{15}	6.66×10^5	4.84×10^{21}	7.88×10^8	[13]
货币流 Dollar flow	GDP (US \$)	5.17×10^{10}	6.14×10^{12}	3.18×10^{23}	5.17×10^{10}	

表 2 2004 年天津市基础资源能值评估表

Table 2 Emergy evaluation of resource basis for Tianjin area in 2004

编号 Note	项目 Item	原始数据 Row data	能值转换率 Solar transformity (sej/unit)	太阳能值 Solar emergy (sej)	能值货币价值 Em \$ values (US \$)	能值转换率的依据 Reference of Transformity
可再生资源	太阳能 Sunlight (J)	3.78×10^{19}	1	3.78×10^{19}	2.87×10^6	[9]
Renewable sources	风能 Wind, kinetic (J)	9.20×10^{16}	2.45×10^3	2.25×10^{20}	1.71×10^7	[9]
	雨水势能 Rain, geopotential (J)	2.67×10^{13}	4.70×10^4	1.25×10^{18}	9.52×10^4	[9]
	雨水化学能 Rain, chemical (J)	2.93×10^{16}	3.05×10^4	8.94×10^{20}	6.78×10^7	[9]
	地球循环能 Earth cycle (J)	2.33×10^{16}	5.80×10^4	1.35×10^{21}	1.03×10^8	[10]
	河流 Stream flow(J)	4.84×10^{15}	3.05×10^4	1.48×10^{20}	1.12×10^7	[9]
	水利发电 Hydroelectricity (J)	7.20×10^{13}	2.77×10^5	1.99×10^{19}	1.51×10^6	[11]
本地可更新产品	农产品 Agriculture Production (J)	2.69×10^{16}	1.98×10^5	5.33×10^{21}	4.05×10^8	[12]
Indigenous Renewable Energy	畜牧产品 Livestock Production (J)	1.03×10^{16}	3.42×10^5	3.53×10^{21}	2.68×10^8	[12]
	渔产品 Fisheries Production (J)	1.46×10^{15}	5.04×10^6	7.34×10^{21}	5.57×10^8	[12]
本地不可再生资源	燃料 Fuels (J)	5.53×10^{17}	6.50×10^4	3.60×10^{22}	2.73×10^9	[11]
Non-renewable sources from within Tianjin	土壤流失 Soil losses (g)	3.70×10^{12}	1.71×10^9	6.33×10^{21}	4.80×10^8	[13]
	石灰石 Limestone (g)	6.25×10^{12}	1.68×10^9	1.05×10^{22}	7.96×10^8	[14]
	砂石 Sand and gravel (g)	1.56×10^{13}	1.68×10^9	2.62×10^{22}	1.99×10^9	[12]

续表						
编号 Note	项目 Item	原始数据 Row data	能值转换率 Solar transformity (sej/unit)	太阳能值 Solar emergy (sej)	能值货币价值 Em \$ values (US \$)	能值转换率的依据 Reference of Transformity
输入资源 Imports and outside sources	铁矿 Iron ore (g)	1.56×10^{14}	1.44×10^9	2.24×10^{23}	1.70×10^{10}	[11]
	商品物资 Goods (US \$)	4.89×10^{10}	1.75×10^{13}	1.35×10^{23}	1.02×10^{10}	[15]
	服务 Services (US \$)	3.01×10^9	6.31×10^{12}	1.90×10^{22}	1.44×10^9	[15]
输出资源 Exports	燃料 Fuels (J)	9.60×10^{17}	3.84×10^4	3.69×10^{22}	2.80×10^9	[11]
	商品物资 Goods (US \$)	8.89×10^9	1.75×10^{13}	4.68×10^{22}	3.55×10^9	[15]
资源消耗 Resource consumed	服务 Services (US \$)	4.13×10^8	6.31×10^{12}	2.60×10^{21}	1.98×10^8	[15]
	水资源 Water use (J)	1.08×10^{16}	3.05×10^4	3.31×10^{20}	2.51×10^7	[9]
	燃料 Fuels (J)	1.51×10^{18}	4.79×10^4	5.22×10^{22}	3.96×10^9	[11]
废弃物 Waste produced	电力 Electricity (J)	1.26×10^{17}	1.59×10^5	2.01×10^{22}	1.52×10^9	[11]
	固体废弃物 Solid waste (J)	3.66×10^{16}	1.80×10^6	6.60×10^{22}	5.00×10^9	[13]
	废水 Waste water (J)	3.61×10^{15}	6.66×10^5	2.40×10^{21}	1.82×10^8	[13]
货币流 Dollar flow	GDP (US \$)	3.76×10^{10}	1.32×10^{13}	4.95×10^{23}	3.76×10^{10}	-

表 3 2004 年唐山市基础资源能值评估表						
Table 3 Emergy evaluation of resource basis for Tangshan area in 2004						
编号 Note	项目 Item	原始数据 Row data	能值转换率 Solar transformity (sej/unit)	太阳能值 Solar emergy (sej)	能值货币价值 Em \$ values (US \$)	能值转换率的依据 Reference of Transformity
可再生资源 Renewable sources	太阳能 Sunlight (J)	6.04×10^{19}	1	6.04×10^{19}	7.04×10^6	[9]
	风能 Wind, kinetic (J)	2.05×10^{16}	2.45×10^3	5.01×10^{19}	5.84×10^6	[9]
	雨水势能 Rain, geopotential (J)	7.12×10^{14}	4.70×10^4	3.34×10^{19}	3.90×10^6	[9]
	雨水化学能 Rain, chemical (J)	4.26×10^{16}	3.05×10^4	1.30×10^{21}	1.51×10^8	[9]
	地球循环能 Earth cycle (J)	2.06×10^{16}	5.80×10^4	1.20×10^{21}	1.40×10^8	[10]
	河流 Stream flow (J)	7.22×10^{15}	3.05×10^4	2.20×10^{20}	2.57×10^7	[9]
本地可更新产品 Indigenous	水利发电 Hydroelectricity (J)	4.84×10^{14}	2.77×10^5	1.34×10^{20}	1.56×10^7	[11]
Renewable Energy	农产品 Agriculture Production (J)	4.43×10^{16}	1.98×10^5	8.76×10^{21}	1.02×10^9	[12]
	畜牧产品 Livestock Production (J)	8.91×10^{15}	3.42×10^5	3.05×10^{21}	3.55×10^8	[12]
	渔产品 Fisheries Production (J)	2.26×10^{15}	5.04×10^6	1.14×10^{22}	1.33×10^9	[12]
本地不可再生资源 Non-renewable sources from within Tangshan	燃料 Fuels (J)	9.31×10^{17}	4.09×10^4	3.81×10^{22}	4.44×10^9	[11]
	土壤流失 Soil losses (g)	2.88×10^{12}	1.71×10^9	4.93×10^{21}	5.74×10^8	[13]
	石灰石 Limestone (g)	3.37×10^{13}	1.68×10^9	5.67×10^{22}	6.60×10^9	[14]
	砂石 Sand and gravel (g)	3.51×10^{13}	1.68×10^9	5.90×10^{21}	6.88×10^8	[12]
输入资源 Imports and outside sources	铁矿 Iron ore (g)	4.01×10^{13}	1.44×10^9	5.76×10^{22}	6.72×10^9	[11]
	商品物资 Goods (US \$)	3.14×10^9	5.76×10^{12}	3.62×10^{21}	4.22×10^8	[15]
	服务 Services (US \$)	4.13×10^8	1.12×10^{12}	4.63×10^{20}	5.39×10^7	[15]
输出资源 Exports	燃料 Fuels (J)	4.13×10^8	5.00×10^4	2.07×10^{13}	2.41	[11]
	商品物资 Goods (US \$)	8.26×10^8	5.76×10^{12}	2.38×10^{21}	2.77×10^8	[15]
资源消耗 Resource consumed	服务 Services (US \$)	7.13×10^8	1.12×10^{12}	7.98×10^{20}	9.30×10^7	[15]
	水资源 Water use (J)	9.63×10^{17}	3.05×10^4	2.94×10^{22}	3.42×10^9	[9]
	燃料 Fuels (J)	1.35×10^{18}	4.01×10^4	5.40×10^{22}	6.29×10^9	[11]
废弃物 Waste produced	电力 Electricity (J)	1.07×10^{17}	1.59×10^5	1.71×10^{22}	1.99×10^9	[11]
	固体废弃物 Solid waste (J)	7.84×10^{16}	1.80×10^6	1.41×10^{23}	1.64×10^{10}	[13]
	废水 Waste water (J)	3.78×10^{15}	6.66×10^5	2.52×10^{21}	2.93×10^8	[13]
货币流 Dollar flow	GDP (US \$)	1.96×10^{10}	8.58×10^{12}	1.69×10^{23}	1.96×10^{10}	-

能值贡献,其他可更新资源包含在其中。系统总利用能值包括本地可更新资源、不可更新资源、输入能值 3 部分, $U = R + N + G + S + F$ 。不可更新资源由两部分组成, $N = N_0 + N_1$, N_0 为粗放使用的自然资源、 N_1 为集约使用的自然资源。在此仅列举 3 个城市的 4 个年度数据(表 4)。

表 4 城市生态系统主要能值指标比较
Table 4 Mayor indices comparison based on energy evaluation

指标 Indices	表达式 Expression	北京 Beijing				天津 Tianjinb				唐山 Tangshan			
		1991	1995	2000	2005	1991	1995	2000	2005	1991	1995	2000	2005
能值来源能值自给率(%)	(R + N)/U	47.91	45.58	34.70	35.12	30.92	35.30	33.87	27.59	87.35	91.27	96.59	96.79
输入能值占总能值比(%)	(G + F + S)/U	52.09	54.42	63.30	64.88	69.08	64.70	66.13	72.41	12.65	8.73	3.41	3.21
社会子系统人均能值 使用量(×10 ¹⁵ sej/人)	U/population	11.04	11.02	13.20	24.50	10.30	11.30	13.60	30.90	10.21	12.96	17.00	25.90
能值密度(×10 ¹² sej/m ²)	U/Area	7.30	8.40	11.01	22.92	8.27	9.40	12.00	28.47	5.02	6.54	8.80	13.70
经济子系统能值货 币比率(×10 ¹² sej/ \$)	U/GDP	10.70	8.23	6.00	4.48	14.52	9.52	6.60	7.13	25.40	14.75	10.78	7.47
电力能值比(%)	Elect /U	8.25	9.27	12.25	8.62	7.97	9.64	9.98	7.05	6.6	7.62	7.10	11.05
能值交换率	(G + F + S)/E	1.96	2.94	1.75	1.45	8.33	2.85	3.85	3.85	6.67	5.88	1.61	1.49
能值投资率	(G + F + S + N)/R	59.54	89.32	170.07	343.86	68.19	77.65	99.39	237.18	42.75	53.57	98.53	144.12
环境子系统环境负荷率	(G + F + S + N1) /(R + N0)	24.70	31.50	46.90	98.20	11.90	13.60	17.70	39.10	9.45	12.46	18.50	28.80
环境承载力(×10 ⁴ 人)	R/(U/ population)	18.10	13.90	7.97	4.46	13.10	12.00	9.97	4.38	15.20	12.50	7.03	4.92
废弃物/可更新资源能值	W/R	23.40	69.38	90.52	126.12	34.87	44.09	39.33	66.27	102.48	115.76	152.55	112.79
系统可持续发展能值产出率	U/(G + F + S)	1.92	1.84	1.53	1.54	1.45	1.55	1.51	1.38	7.91	11.45	29.33	31.15
能值可持续指标 ESI	EYR/ELR	0.08	0.06	0.03	0.02	0.12	0.11	0.09	0.04	0.84	0.92	1.59	1.08
能值可持续发展指标 EISD	EYR × EER/ELR	0.16	0.18	0.05	0.03	1.00	0.31	0.35	0.15	5.60	5.41	2.56	1.61

能值来源 Source of energy; 能值自给率 self-supporting rate of energy; 输入能值占总能值比 Fraction of purchased energy used; 社会子系统 Social subsystem; 人均能值使用量 Energy used per person; 能值密度 Energy Density; 经济子系统 Economic subsystem; 能值货币比率 Energy money ratio; 电力能值比 fraction of energy used from electricity; 能值交换率 Energy exchange ratio(EER); 能值投资率 Energy investment Ratio; 环境子系统 Environment subsystem; 环境负荷率 Environment loading ratio(ELR); 环境承载力 Environmental carrying capacity; 废弃物/可更新资源能值 Waste renewable resource energy Ratio; 系统可持续发展 System sustainable development; 能值产出率 Energy yield ratio(EYR); 能值可持续发展指标 Energy sustainability index(ESI); 能值可持续发展指标 Energy indices for sustainable development(EISD)

3 能值指标分析及讨论

本文采用能值自给率、输入能值占总能值比、人均能值使用量、能值密度、能值货币比、能值投资率、环境负荷率、环境承载力及系统能值可持续发展等指标对 3 个城市发展状况进行对比分析。

3.1 能值来源

1991~2005 年间天津的能值自给率趋势平缓,唐山市的自足能力较强,内部资源量及开发程度较高,能值自给率保持在 90% 左右。相反,北京的能值自给率呈明显下降趋势,其城市生命支持系统对外界的不可更新资源和购买资源的依赖程度越来越大,这与城市系统的输入能值占总利用能值比指标趋势相吻合。北京和天津的城市发展对外界资源的依赖程度远远高出唐山。

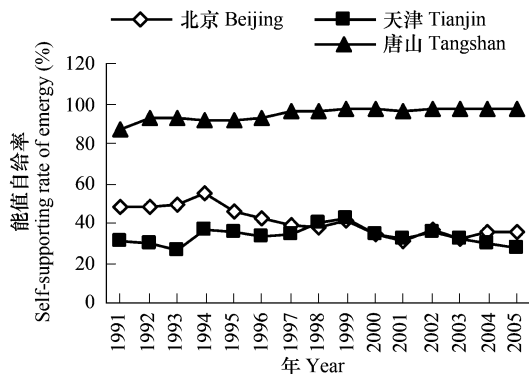


图1 能值自给率变化趋势

Fig. 1 Trend of Self-supporting rate of emergy

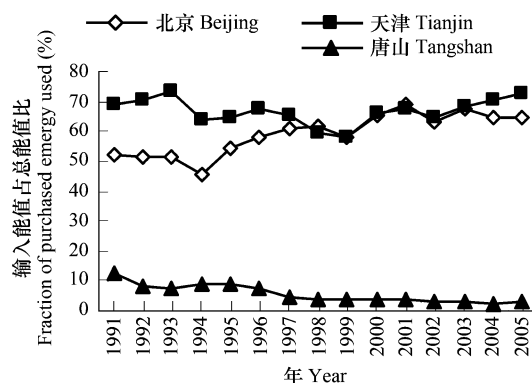


图2 输入能值占总能值比

Fig. 2 Fraction of purchased emergy used (%)

3.2 社会子系统

1991~2005 年,北京、天津、唐山 3 个城市的人均利用能值和能值密度指标均呈上升趋势,3 个城市的居民生活 and 经济发展水平不断提高。北京的总利用能值量远高于其他两个城市,但由于人口过多导致人均能值量与其他两个城市持平。3 个城市虽处于快速发展时期,但与发达国家相比仍有差距,3 个城市 2005 年人均利用能值量均低于美国 1983 年的 34×10^{15} sej/人水平^[17]。

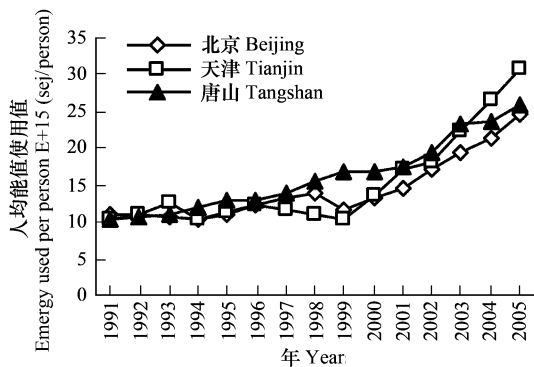


图3 人均能值使用量变化趋势

Fig. 3 Trend of Emergy used per person

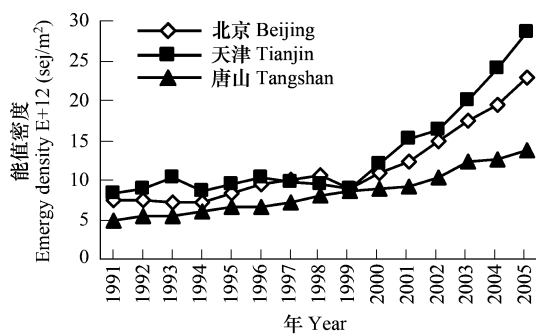


图4 能值密度变化趋势

Fig. 4 Trend of Emergy Density

3.3 经济子系统

1991~2005 年,北京、天津及唐山 3 个城市的能值货币比呈下降趋势,从宏观上反映出城市发展水平呈上升趋势,同时单位货币所能获得的自然生态价值也在减少。促进购买外部资源性能值,使城市对外开放度增加,这与能值交换率下降趋势的意义一致。3 个城市的能值投资率均呈上升趋势,其中北京最高、唐山最

低,表明北京市的经济发展水平最高,对本地资源的依赖程度最低,唐山的发展对本地资源的依赖程度最高。

3.4 环境子系统

1991~2005年间,北京、天津和唐山3个城市的环境负荷率逐年增加、环境承载力却呈下降趋势,表明城市自然生态服务功能逐年下降,城市发展使城市生态系统负荷呈上升趋势。其中,北京的环境负荷率最高,经济发展对环境的压力最大。对比3个城市的环境承载人口数和城市实际人口数,实际居住人口数已经大大超过城市环境承载容量。

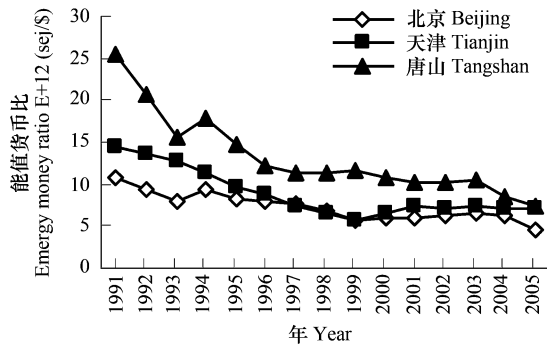


图5 能值货币比变化趋势

Fig. 5 Trend of Energy Density ratio

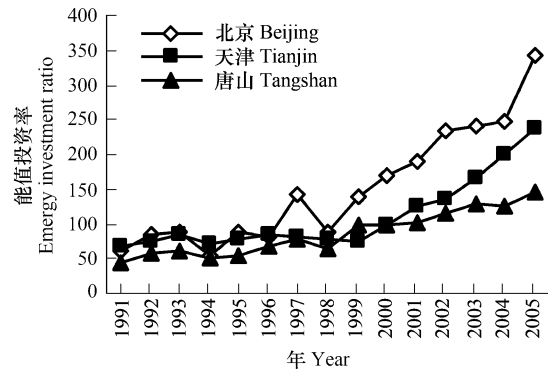


图6 能值投资率

Fig. 6 Emery investment Ratio

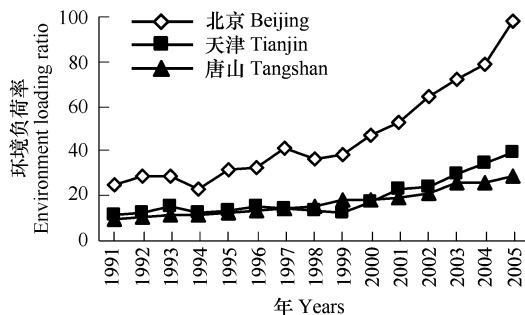


图7 环境负荷率变化趋势

Fig. 7 Trend of Environment loading ratio

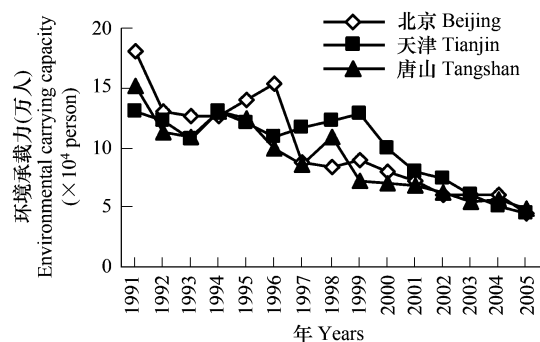


图8 环境承载力变化趋势

Fig. 8 Trend of Waste renewable resource emery Ratio

3.5 系统可持续发展

1998年Brown和Ulgiati提出了能值可持续指数(ESI)^[18],陆宏芳又提出能值可持续发展指数(EISD)来修正ESI指标来评价城市可持续发展程度^[19]。由表4可知,1991~2005年间,3个城市中唐山市的EISD值最高、北京的最低。说明唐山市提高单位社会经济效益的环境压力最小、系统可开发潜力大、系统可持续发展程度能力较强;而北京的城市系统可持续性较差。

4 结果与讨论

从能值分析结果可以看出,1991~2005年间北京、天津、唐山3个城市人均能值利用量、能值密度指标均呈上升趋势。尽管京津冀地区的北京、天津两个超大型城市发展速度较快,在世界范围内仍处于中等发达水平。但由于本地资源对经济发展的驱动力不足,超大型城市发展高度依赖外部输入资源。从经济子系统内的能值货币比和能值投资率两个指标看出,3个城市的能值货币比呈下降趋势、能值投资率则呈上升趋势,其中北京的能值货币比最低、能值投资率最高。该研究结果与黄书礼^[20]的“城市发展过程中,能值密度增加反映能量阶层的增加,从而使能值投资率增加,导致其能值自给率渐减”论述基本一致。虽然北京经济子系统的各项指标均优于天津和唐山,但从环境负荷率和能值可持续发展指标看出,北京的环境压力最大,城市系统可

持续发展能力低于天津和唐山市。

据此提出几点城市和地区发展建议:(1)从能值自给率和输入能值占总能值比看,北京和天津本地不可更新资源缺乏,对新型可更新资源的开发利用少,高度依赖输入化石能源,使城市本身所提供的资源比率相对减少,自给能力逐渐衰退。因此,应充分发挥高科技优势开发新型可更新能源,优化能源利用结构,增加城市的可持续能力。(2)从能值投资率看,低能值投资率较高能值投资率地区具有更多未开发利用的资源。唐山的本地资源丰富,其经济发展对本地资源的依赖度高于外部资源。虽然唐山优越的环境资源条件,但城市基础设施区位交通条件、税收、政策、人口综合素质方面还需优化和提高。(3)1991~2005年间3个城市的环境承载人口数呈下降趋势,城市环境承载的实际值大大超过自然环境所能承载的适宜人口数。要提高居民生活水平和实现城市可持续发展,必须合理利用环境资源和充分发挥人力资源优势,不仅要增加系统总利用能值量还需考虑控制城市人口增长问题。(4)1991~2005年间,随着北京的经济发展和人口增长,环境负荷率也直线上升,经济增长的部分被环境治理和生态补偿抵消。北京作为我国首都,具有广阔的市场资源、丰富的人文资源和智力资源。充分有效发挥这些优势,优先发展以电子信息、生物工程、新能源新材料等高新技术产业,不断强化提升高新技术研发引擎地位和辐射功能。将对环境压力较小的现代服务业作为具有后劲的优势产业来发展。(5)从能值密度看出,天津具有得天独厚的地理区位优势,对外来资本、技术和思想的吸纳能力较强,依托北京的政治、科技资源,同时利用唐山的钢铁、建材等优势产业,发挥天津的制造业和物流服务优势,成为唐山提供原材料和设备供应基地。(6)唐山对外输出能值较高,主要为货物和科技含量低的劳务。唐山的高新技术产业比重低,服务业发展缓慢,资源能源利用效率低。因此,唐山应借助北京的高新科技,以京津周边的广阔地域为市场,近期可大力发展钢铁、建材等优势产业来增强经济实力、改善城市基础建设、提高居民生活质量。

References:

- [1] Ma S J, Wang R S. Social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984,4(1):1-9.
- [2] Lei K P, Chen F P, Wang Z S. The emergy synthesis sustainability analysis of city's environment and economy. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,26(2):339-448.
- [3] Lan S F, Qing P. The emergy analysis of ecological economy system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001,128-131.
- [4] Shen S R, Lu H F, Zhao X F, Lan S F. Some frontier points of emergy study. *Journal of Tropical Subtropical Botany*, 2004,12(2):268-272.
- [5] Lu H F, Lan S F, Yu X H, Chen L. Methodology of emergy synthesis for urban complex ecosystem. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2005,18(4):34-37.
- [6] Zhou J, Yan G, Wu Y Z. Analysis of solar radiation for Beijing China. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2005,26(5):712-716.
- [7] Hu S B, He L J, Wang J Y. Compilation of heat flow data in the China continental area (3rd edition). *Chinese Journal of Geophysics*, 44(5):611-626.
- [8] Edited by Transportation Energy Department of State Planning Commission and industry&transportation Department of National Bureau of Statistics of China. *Energy Conservation of China*. Beijing: China Electric Power Press, 1997. 99.
- [9] Odum HT, Brown MT, Brandt-Williams S. Handbook of emergy evaluation, Folio #1. Gainesville: University of Florida, 2000.
- [10] Odum HT. Handbook of emergy evaluation, Folio #2. Gainesville: University of Florida, 2000.
- [11] Odum HT. Environmental accounting: emergy and environmental decision making. New York: Wiley, 1996.
- [12] Cohen MJ, Brown MT, Shepherd KD. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 2006,114:249-269.
- [13] Huang S L, Chen C W. Theory of urban energetics and mechanisms of urban development. *Ecological Modelling*, 2005,189:49-71.
- [14] Brandt-Williams SL. Handbook of emergy evaluation, Folio #4. Gainesville: University of Florida, 2001.
- [15] Jiang M M, Chen G Q. Emergy analysis of Chinese society 1980-2005. Systems ecology reports, National Laboratory for Turbulence and Complex Systems, Peking University, 2007.
- [16] Zhang L X, Chen B, Yang Z F, Chen G Q, Jiang M M, Liu G Y. Comparison of urban ecosystems of typical mega cities in China using emergy synthesis. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009,14(12):2827-2836.
- [17] Li Z L, Chen F X, Li Z J. Emergy analysis of urban ecosystem in Beijing. *Urban Problems*, 2005,6:25-29

- [18] Sui C H, Lan S F. Emergy analysis of Guangzhou and Shanghai urban ecosystem. *Urban Environment & Ecology*, 2006, 19(4): 1—3
- [19] Lu H F, Ye Z, Zhao X F, Peng S L. A new emergy index for urban sustainable development. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(07): 1364—1368.
- [20] Huang S L. Emergy basis for urban ecological economic system. Taipei: Chanshi Press, 2004. 202—203.

参考文献:

- [1] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统理论. *生态学报*, 1984, 4(1): 1~9.
- [2] 李金平, 陈飞鹏, 王志石. 城市环境经济能值综合和可持续性分析. *生态学报*, 2006, 26(2): 339~448.
- [3] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析. *应用生态学报*, 2001, 128~131.
- [4] 沈善瑞, 陆宏芳, 赵新锋, 蓝盛芳. 能值研究的几个前沿命题. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12(2): 268~272.
- [5] 陆宏芳, 蓝盛芳, 俞新华, 陈烈. 城市复合生态系统能值整合分析研究方法. *城市环境与城市生态*, 2005, 18(4): 34~37.
- [6] 周晋, 晏刚, 吴业正. 北京地区的太阳辐射分析. *太阳能学报*, 2005, 26(5): 712~716.
- [7] 胡圣标, 何丽娟, 汪集旸. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版). *地球物理学报*, 2001, 44(5): 611~626.
- [8] 中国国家计划委员会交通能源司, 中国国家统计局工业交通司编. 中国节能. 北京: 中国电力出版社, 1998. 99.
- [18] 隋春化, 蓝盛芳. 广州与上海城市生态系统能值的分析比较. *城市环境与城市生态*, 2006, 19(4): 1~3
- [19] 陆宏芳, 叶正, 赵新锋, 彭少麟. 城市可持续发展能力的能值评价新指标. *生态学报*, 2003, 23(07): 1364~1368.
- [20] 黄书礼主编. 都市生态经济与能量. 台北: 詹氏书局, 2004. 202~203.