

山东省循环经济建设生态效率测度

王玉梅, 丁俊新, 魏兴华 (鲁东大学地理与规划学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 构建山东省循环经济建设生态效率评价指标体系,对山东省的生态效率进行测度,并探讨经济发展与环境压力的脱钩/复钩关系。结果表明,2000—2010年,山东省GDP呈快速增长趋势,年均增长率达13.08%,各自然输入要素中用水总量、SO₂和COD排放量呈下降趋势。各类自然输入要素的生态效率总体呈逐步提高趋势,其中COD排放、SO₂排放和用水总量的生态效率年均增长率分别达18.59%、14.85%和14.13%,这3个指标处于强脱钩状态,其他指标均处于弱脱钩状态。总体而言,经济增长与环境保护的矛盾有所缓解,但能源的大量投入导致碳排放压力仍较大。

关键词: 循环经济; 区域生态效率; 脱钩; 复钩; 山东省

中图分类号: X24; X196 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2013)04-0460-06

Measurement of Eco-Efficiency of the Construction of Circular Economy in Shandong Province. WANG Yu-mei, DING Jun-xin, WEI Xing-hua (College of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract: Eco-efficiency is considered to be an effective tool of implementing the target of sustainable development and estimating developmental level of circular economy at different scales. Based on researches on regional eco-efficiency indices at home and abroad, an eco-efficiency evaluation index system was established for the construction of circular economy in Shandong Province, and used to evaluate the eco-efficiency of the province. Further more, re-coupling and/or decoupling of economic development with environmental pressure was discussed. Results show that though GDP in Shandong was rising rapidly with an annual growth rate reaching 13.08%, a declining trend with total water consumption and discharge of SO₂ and COD was observed during the period of 2000–2010. The eco-efficiencies of the various natural input factors, as a whole, were steadily increasing, especially with discharge of COD, emission of SO₂ and water consumption, of which the annual eco-efficiency growth rate reached 18.59%, 14.85% and 14.13%, respectively. All the three indices were in a strong decoupling state, while the rest remained in a weak decoupling state. Generally speaking, the contradiction between economic growth and environmental protection has been somewhat dulled, but the pressure of the large volumes of energy input leading to higher carbon emission is still very high.

Key words: circular economy; regional eco-efficiency; decoupling; re-coupling; Shandong Province

循环经济以提高生态效率和废物的“减量化、再利用、再循环”为核心理念^[1],是实现社会、经济与环境各领域可持续发展的重要途径,而生态效率被认为是当前循环经济发展的合适测度^[2]。生态效率不但能表征所研究对象的环境影响,而且可评价其经济价值^[3]。因而,作为兼顾经济效率与环境效益双赢目标的“交叉效率”,生态效率在促进与评价区域循环经济建设中将发挥重要作用,成为在不同层次上落实可持续发展目标和度量循环经济发展水平的有效工具^[4-5]。生态效率的概念和方法在实践中得到了广泛应用,目前其应用主要在企业、行业和区域等层次上开展^[3]。区域层面的生态效率研究需要综合考虑全球、区域和局地的资源和环境影响,故该层面的生态效率研究是一个难点^[6]。近年,为提高区域竞争能力,区域生态效率也已成

为关注重点^[7]。

改革开放以来,山东省经济长期保持10%以上的年均增长速度,社会经济快速发展所造成的资源短缺和环境问题日益突出。笔者立足山东省循环经济建设长期发展战略目标,对2000—2010年山东省发展循环经济的生态效率进行测度,探讨经济发展与环境压力的脱钩/复钩关系,以期对山东省经济发展破解资源环境的约束瓶颈,制定合理的经济与环境政策,为实现可持续发展目标提供参考建议。

1 研究方法

1.1 区域生态效率的概念与内涵

1992年世界可持续发展工商理事会(WBCSD)

收稿日期: 2013-01-04

基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2012DL07)

从商业角度提出的生态效率定义得到广泛认可和接受,即“在提供有价格竞争优势的产品和服务以满足人的基本需求和提升生活质量的同时,在全生命周期内逐步减少产品的环境影响和资源的消耗强度,使之至少达到与估算的地球承载力相一致的水平,简单说来,就是影响最小化,价值最大化”^[8]。世界经济合作和发展组织(OECD)对生态效率的定义为:生态效率表示生态资源用于满足人类需要的效率^[9]。欧盟环境署(EEA)则从更为宏观的层次将生态效率定义为:以最少的自然投入创造更多的福利,并认为生态效率可用于衡量资源使用、污染排放与经济脱钩程度^[10]。从生态效率的定义可以看出,提高生态效率的主要目标是减少资源的消耗及对自然环境的有害影响,同时增加产品或服务价值。

参考生态效率的核心思想,笔者将区域生态效率定义为:在某一区域,以尽量少的资源消耗和废

物排放创造更多的价值,区域生态效率可作为度量和评价一个地区在某段时间内循环经济发展水平(或区域可持续发展水平)的重要指标。区域生态效率计算方法采用价值-影响比值法,即区域经济发展的价值总量与所付出的资源和环境代价的比值。

1.2 区域生态效率评价指标体系

从各机构给出的生态效率定义可以看出,其主要关注的是可持续发展中的经济与环境两个方面。因此,在构建区域生态效率指标体系时,也主要以经济与环境指标为主,暂未考虑社会指标。参考诸大建等^[11]对我国生态效率评价指标的研究成果,并考虑到山东省当前经济与环境统计资料的可得性,构建山东省生态效率评价指标体系(表1)。其中,经济指标采用常用的地区国内生产总值(GDP不变价),环境指标的选取则主要参考德国环境经济账户中的自然输入要素指标^[11]。

表1 山东省生态效率评价指标体系

Table 1 Eco-efficiency evaluation index system for Shandong

自然输入要素类别及其选取参数	生态效率指标及其公式
资源来源	
土地使用:城市建设用地	城市建设用地产出率=GDP/城市建设用地面积
能源消耗:初级能源消耗量	能耗产出率=GDP/能源消耗量
水消耗:用水总量	水产出率=GDP/用水总量
原材料消耗:国内开采的工业原料、建筑材料、金属矿物和生物质	原材料消耗产出率=GDP/原材料消耗量
废弃物和污染物的排放	
温室气体排放:CO ₂ 当量	CO ₂ 排放产出率=GDP/CO ₂ 排放量
酸性气体排放:SO ₂ 当量	SO ₂ 排放产出率=GDP/SO ₂ 排放量
废水排放:工业废水和生活污水	废水排放产出率=GDP/废水排放量
水体富营养化物质:COD排放量	COD排放产出率=GDP/COD排放量
固体废弃物:工业固体废物产生量	固体废物产出率=GDP/工业固体废物产生量

1.3 数据来源

数据主要来自2000—2010年的《山东省统计年鉴》^[12],部分数据来自《山东工业统计年鉴》^[13]、《中国工业经济统计年鉴》^[14]和《中国能源统计年鉴》^[15]。由于统计资料的局限性,个别指标选取其代表性因子替代,其中温室气体排放选取CO₂表示,酸性气体排放选取SO₂表示,水体富营养化物质选取COD表示。

1.4 计算方法

该研究只考虑了化石能源的CO₂排放量,目前山东省尚无权威部门的公布数据,因此需要通过能源消耗量来估算。目前,各国在测算CO₂等温室气体的排放量时广泛采用的方法与排放因子为世界经济合作和发展组织/政府间气候变化委员会

(OECD/IPCC)的研究结果。中国气候变化国别研究组在跟踪OECD/IPCC国家温室气体排放清单的编制方法,以及分析和评价这些方法的科学依据及其适用性的基础上,提出了一套既与OECD/IPCC推荐的方法相一致,又适用于中国实际情况的温室气体排放计算方法^[16]^[45]。笔者参考中国气候变化国别研究组估算中国CO₂排放量的计算公式,综合估算山东省能源消耗的CO₂排放量,其计算公式为

$$M_{CO_2} = 44/12 \times \sum_{i=1}^n E_i \times C_{K,i} \times C_{O,i} \quad (1)$$

式(1)中, M_{CO_2} 为能源消费导致的CO₂排放量,万t; E_i 为第*i*种能源的实物消耗量(以标准煤计),万t,因水电、核电和风电均不产生CO₂,故仅考虑煤炭、石油和天然气3种一次能源的消耗量; $C_{K,i}$ 为第*i*种能源的碳排放系数,其取值参照文献^[17]; $C_{O,i}$ 为第

i 种能源的碳氧化率,%,其取值参照文献[16]⁵⁸,是在对许多燃烧设备进行碳平衡分析计算的基础上得到的。各类能源的碳排放系数及碳氧化率见表2。

表2 各类能源的碳排放系数及碳氧化率

Table 2 Carbon dioxide emission factors and carbon oxidation rate of various types of energy sources

能源类型	碳排放系数	碳氧化率/%
煤炭	0.747 6	90
石油	0.582 5	98
天然气	0.443 5	99

原材料消耗量计算主要参考欧盟委员会公布的物质流核算方法^[18]。原材料消耗(即区域直接物质输入)主要考虑金属矿物、工业原料、建筑材料和生物质4大类。数据的覆盖范围和一些缺失数据的

处理如下:金属矿物包括铁、铜、铝、镍、铅、锌、钨、钼、锡、铋和汞这11种有色金属;工业原料仅考虑原盐的省内开采;建筑材料主要考虑水泥和砖,按 $25 \text{ t} \cdot (\text{万块})^{-1}$ 来估算砖质量^[19];生物质包括主要农作物、经济作物、林产品和林木、畜产品以及水产品,为避免重复计算,以农产品为主要饲料的畜产品和水产品未计入,故水产品不包括内陆养殖,畜产品不包括猪肉、禽肉、兔肉、奶类和禽蛋产量,按 $1.2 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ 估算林木质量^[19]。

2 结果与讨论

2.1 资料收集与数据统计

对原始数据进行统计和整理后,得到山东省生态效率评价的经济和自然输入要素数据(表3)。其中 CO_2 排放量和原材料消耗量无直接统计数据,通过估算获得。

表3 2000—2010年山东省生态效率评价的经济和自然输入要素

Table 3 GDP and Natural input factors cited for eco-efficiency evaluation of Shandong Province in 2000—2010

年份	GDP ¹⁾ / 亿元	城市建设用地/ km^2	用水量/ 亿 m^3	能耗总量 ²⁾ / 万t	原材料消耗/ 10^6 t	CO_2 排放量/ 万t	SO_2 排放量/ 万t	废水排放量/ 万t	COD排放量/ 万t	工业固体废物 产生量/万t
2000	8 337.47	1 540.79	244.09	12 513.21	233.00	29 841.29	180	229 000	99.86	5 407.25
2001	9 174.55	1 684.92	252.73	11 649.88	242.39	27 656.75	172	235 271	92.19	6 214.90
2002	10 250.72	1 893.70	244.73	13 121.91	254.64	31 452.29	169	230 709	85.94	6 558.50
2003	11 625.34	2 105.37	215.70	15 974.50	285.73	38 127.58	184	245 782	82.95	6 786.40
2004	13 404.02	2 369.58	211.30	19 606.14	324.04	46 539.62	182	264 014	77.89	7 922.10
2005	15 414.62	2 637.57	207.65	25 044.29	367.98	59 819.71	200	280 377	77.03	9 174.90
2006	17 680.57	2 848.46	222.24	28 158.48	418.97	67 247.22	196	302 637	75.81	11 010.70
2007	20 191.21	3 023.06	219.55	30 596.00	420.38	73 061.51	182	334 255	71.99	11 934.73
2008	22 614.16	3 191.50	219.89	32 116.22	417.46	76 361.28	169	358 910	67.86	12 988.41
2009	25 373.09	3 346.59	219.99	34 535.66	459.29	81 957.29	159	386 731	64.70	14 137.95
2010	28 493.98	3 526.37	222.50	36 357.25	485.14	86 089.55	154	436 371	62.05	16 038.48

1)2000年不变价;2)以标准煤计。

2.2 山东省生态效率的变化趋势分析

以2000年各要素数据为基准,取值100,计算其他年份数据相对于2000年数据的比值再乘以100,作为各要素的绝对量,表示其他年份各要素相对于2000年的增长比例。2000—2010年山东省GDP及自然输入要素的绝对量变化趋势如图1所示。由图1可见,10a间山东省GDP呈稳定的快速增长趋势,年均增长率达13.08%,2010年较2000年增长241.8%。各种资源的消耗量和污染物排放量变化情况则各不相同。与2000年相比,2010年用水总量下降8.8%,酸性气体 SO_2 排放量下降14.4%,COD排放量下降37.9%。其他自然输入要素则呈现出不同程度的增长趋势,其中工业固体废物产生量、能源消耗和 CO_2 排放量增长幅度较大,分别增加196.6%、190.6%和188.5%。这表明随着

经济增长,山东省的高能源投入及与其相关联的高碳排放特征明显,而水资源短缺、 SO_2 排放和COD排放导致的环境压力得到了不同程度的减缓。

2000—2010年山东省各自然输入要素的生态效率(即每单位自然输入要素的不变价GDP)见表4。由表4可知,10a间所有自然输入要素的生态效率总体均呈提高趋势。其中,增幅最大的是COD排放产出率,年均增长率达18.59%,2010年其值是2000年的5.5倍;其次是 SO_2 排放产出率和用水产出率,年均增长率分别为14.85%和14.13%,2010年其值分别是2000年的3.99和3.75倍。以上3个要素的年均增长率均超过GDP,仅10a时间就实现了OECD^[20]于1998年提出的在15~20a内使生态效率提高4倍的目标。其他自然输入要素的生态效率虽然总体上也呈现出不同程度的增长趋势,但

增长幅度均小于 GDP。尤其是能耗产出率和 CO₂ 排放产出率,在 2001—2005 年间呈现负增长趋势,与 2000 年相比,2005 年分别降低 7.62% 和 7.77%。由此可见,研究期内山东省经济增长的动力部分来源于各种自然输入要素生态效率的提高,主要污染物造成的环境影响压力下降,经济增长与环境保护的矛盾有所缓解,循环经济有了一定程度的发展,但能源的大量投入依然是经济增长的重要驱动因素,与之相伴的碳排放压力依然较大。

将山东省“十五”(2000—2005 年)与“十一五”

(2005—2010 年)2 个“五年计划”期间 GDP 与自然输入要素生态效率的年均增长率进行比较,结果见表 5。由表 5 可知,山东省 GDP 增长率变化不大,2 个“五年计划”期间都保持了约 13% 的年均增长率;而城市建设用地、能耗、原材料消耗、CO₂ 排放和 SO₂ 排放的生态效率在 2005—2010 年均有较大幅度的提高,年均增长率分别提高 5.14、6.52、3.79、6.73 和 8.42 百分点,这说明“十一五”期间提倡循环经济理念、推广清洁生产技术、发展生态工业和生态农业、优化区域发展布局等措施有积极成效。

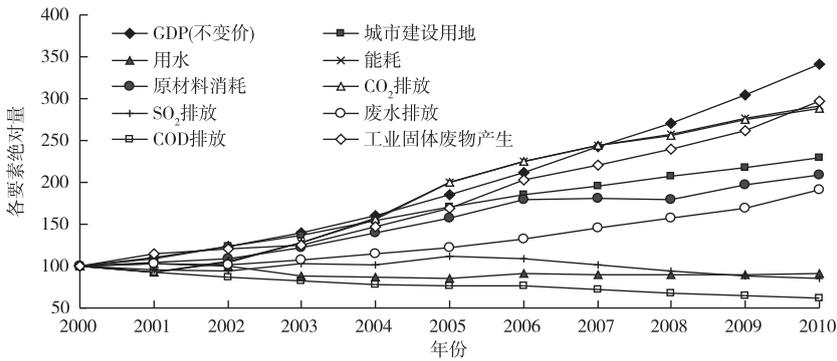


图 1 2000—2010 年山东省 GDP 和自然输入要素的绝对量变化趋势

Fig. 1 Trends of the variation of GDP and natural input factors in terms of absolute quantity in Shandong Province (2000–2010)

表 4 2000—2010 年山东省各自然输入要素的生态效率

Table 4 Eco-efficiencies of various natural input factors in Shandong Province (2000–2010)

年份	城市建设用地 地产出率/ (万元·hm ⁻²)	用水产出率/ (元·m ⁻³)	原材料消耗 耗产出率/ (元·t ⁻¹)	能耗产出率/ (元·t ⁻¹)	CO ₂ 排放 产出率/ (元·t ⁻¹)	SO ₂ 排放 产出率/ (万元·t ⁻¹)	废水排放 产出率/ (元·t ⁻¹)	COD 排放 产出率/ (万元·t ⁻¹)	固体废 物产出率/ (万元·t ⁻¹)
2000	541.12	34.16	2 447.30	6 662.93	2 793.94	46.32	364.08	83.49	1.54
2001	544.51	36.30	2 427.26	7 875.23	3 317.29	53.34	389.96	99.52	1.48
2002	541.31	41.89	2 484.48	7 811.91	3 259.13	60.66	444.31	119.28	1.56
2003	552.18	53.90	2 529.01	7 277.44	3 049.06	63.18	472.99	140.15	1.71
2004	565.67	63.44	2 691.79	6 836.64	2 880.13	73.65	507.70	172.09	1.69
2005	584.43	74.23	2 876.18	6 154.94	2 576.85	77.07	549.78	200.11	1.68
2006	620.71	79.56	3 008.08	6 278.95	2 629.19	90.21	584.22	233.22	1.61
2007	667.91	91.97	3 403.84	6 599.30	2 763.59	110.94	604.07	280.47	1.69
2008	708.57	102.84	3 848.50	7 041.35	2 961.47	133.81	630.08	333.25	1.74
2009	758.18	115.34	4 014.41	7 346.92	3 095.89	159.58	656.09	392.17	1.79
2010	808.03	128.06	4 253.21	7 837.22	3 309.81	185.03	652.98	459.21	1.78

表 5 2000—2010 年山东省 GDP 与自然输入要素生态效率的年均增长率

Table 5 Average annual growth rate of the ecological efficiency of natural input elements and GDP of Shandong Province (2000–2010)

年份	GDP	城市建设用地	用水	能耗	原材料消耗	CO ₂ 排放	SO ₂ 排放	废水排放	固体废物产生
2000—2010	13.08	4.09	14.13	1.64	5.68	1.71	14.85	6.02	1.46
2000—2005	13.08	1.55	16.79	-1.57	3.28	-1.60	10.72	8.59	1.76
2005—2010	13.07	6.69	11.52	4.95	8.14	5.13	19.14	3.50	1.16

2.3 基于生态效率的脱钩现象分析

脱钩是指在一定时期内经济活动增加而环境压力减少的情形^[21],而复钩则指在某些情况下环境压力下降一段时间后又再次上升的过程^[22]。根据著名的人类环境影响公式 IPAT 方程,邱寿丰^[21]分析了基于生态效率的环境压力与经济增长的脱钩情况。参考上述研究,如果用 ΔI 、 ΔG 和 ΔE 分别表

示环境压力(资源消耗或污染物排放量)、GDP 和生态效率的变化量,根据 3 者之间的相互关系,可对脱钩与复钩的 6 种类型进行定义,并可根据 GDP 年均增长率(g)和生态效率年均增长率(e)之间的关系判断脱钩和复钩的程度(表 6)。依据表 5~6 对山东省经济发展与环境压力间的脱钩/复钩现象进行分析,结果见表 7。

表 6 经济增长与环境压力脱钩/复钩的类型^[17]

Table 6 Types of decoupling/re-coupling between economic development and environmental pressure

脱钩/复钩类型	环境压力、经济增长与生态效率的关系	GDP 和生态效率年均增长率的关系
弱脱钩	$\Delta I > 0, \Delta G > 0, \Delta E > 0$, 即环境压力随经济增长而增加,生态效率也在增加	$0 < e < g$, e 与 g 间的差值越大,环境压力上升越快
强脱钩	$\Delta I < 0, \Delta G > 0, \Delta E > 0$, 即环境压力随经济增长而降低,生态效率不断提高	$0 < g < e$, 且 e 与 g 间的差值越大,环境压力下降越快
衰退性脱钩	$\Delta I < 0, \Delta G < 0, \Delta E > 0$, 即环境压力随经济降低而下降,但生态效率增加	$e > 0, g < 0$, 且 e 与 g 间的差值越大,环境压力下降越快
弱复钩	$\Delta I < 0, \Delta G < 0, \Delta E < 0$, 即环境压力随经济发展降低而下降,同时生态效率也在下降	$e < 0, g < 0$, 且 $ e < g $, 两者绝对值的差值越大,环境压力下降越快
强复钩	$\Delta I > 0, \Delta G < 0, \Delta E < 0$, 即环境压力随经济发展降低而增加,同时生态效率也在下降	$e < 0, g < 0$, 且 $ e > g $, 两者绝对值的差值越大,环境压力上升越快
扩张性复钩	$\Delta I > 0, \Delta G > 0, \Delta E < 0$, 即环境压力随经济增长而增加,同时生态效率也在下降	$e < 0, g > 0$, 且 $ e - g $ 越大,环境压力上升越快

ΔI 、 ΔG 和 ΔE 分别为环境压力(资源消耗或污染物排放量)、GDP 和生态效率的变化量; g 和 e 分别为 GDP 和生态效率的年均增长率。

表 7 山东省各自然输入要素的脱钩/复钩情况变化

Table 7 Status of decoupling/re-coupling of each natural input factor in Shandong Province

年份	城市建设用地	用水	能耗	原材料消耗	CO ₂ 排放	SO ₂ 排放	废水排放	COD 排放	固体废物产生
2000—2005	弱脱钩	强脱钩	扩张性复钩	弱脱钩	扩张性复钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩
2005—2010	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩
2000—2010	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩

由表 5 和表 7 可见,2000—2010 年间,山东省的经济总量变化量 $\Delta G > 0$,因此 10 a 间山东省各自然输入要素未出现弱复钩、强复钩和衰退性脱钩现象。发生强脱钩的指标包括用水总量、SO₂ 排放和 COD 排放,其中以 COD 排放的强脱钩现象最为明显,城市建设用地、原材料消耗、废水排放和固体废物产生这 4 个指标则一直处于弱脱钩状态。而从 2000—2005 和 2005—2010 年这 2 个时间段比较来看,用水在 2000—2005 年处于强脱钩状态,而 2005—2010 年则转变为弱脱钩状态,说明用水效率略有提高。能源消耗和 CO₂ 排放 2000—2005 年间处于扩张性复钩状态,表明这期间山东省的能耗产出率和 CO₂ 排放产出率在降低,同时环境压力明显增加;而 2005—2010 年,这 2 个指标的生态效率出现了较大幅度的提高,年均增长率分别比 2000—2005 年提高 6.52 和 6.73 百分点,处于弱脱钩状态。SO₂ 排放从 2000—2005 年的弱脱钩变为

2005—2010 年的强脱钩状态,且生态效率大幅提高,环境压力明显下降。一直处于强脱钩状态的仅有 COD 排放,2 个时期的生态效率年均增长率都在 18% 以上。

环境压力与经济增长实现脱钩是环境政策调整、产业结构调整及技术提高的共同效应。2005—2010 年间,能源和 CO₂ 排放实现弱脱钩、SO₂ 排放和 COD 排放实现强脱钩的原因与国家及山东省的节能减排政策密不可分。“十一五”期间山东省节能减排规划目标为万元 GDP 能耗降低 22%,SO₂ 和 COD 排放量分别降低 10%;与此同时,山东省加快了产业结构优化升级,高污染、高耗能产业的过快增长势头得到一定遏制。

各类自然输入要素环境压力与经济增长实现脱钩的另一个主要原因是经济增速放缓。2000—2005 年间,GDP 增速呈逐年上升趋势,2004 年最高,达 15.3%;2005—2010 年,GDP 增速出现放缓趋

势,后3 a基本保持在12%左右。已有研究表明,GDP增长越快,越不易实现环境压力与经济脱钩。因此,适当放慢经济增长速度,建立长效发展机制,更有利于区域社会-经济-环境可持续发展的实现。

综上所述,脱钩与复钩是生态效率动态变化的反映,生态效率的提高是经济增长与环境压力实现脱钩的充分必要条件,对于控制区域环境压力、推进经济增长具有至关重要的作用^[22]。

3 结论

(1)2000—2010年,山东省GDP呈现稳定的快速增长趋势,年均增长率达13.08%。各自然输入要素中用水总量、SO₂和COD排放量呈下降趋势,其余要素则呈现增长趋势。所有自然输入要素的生态效率总体上均呈升高趋势,其中COD排放、SO₂排放和用水总量的生态效率年均增长率分别为18.59%、14.85%和14.13%,10 a间基本实现生态效率提高4倍的目标,经济增长与环境保护的矛盾有所缓解,但能源的大量投入依然是经济增长的重要驱动因素,与之相伴的碳排放压力较大。

(2)2000—2010年间,COD排放一直处于强脱钩状态,城市建设用地、原材料消耗、废水排放和固体废物产生则一直处于弱脱钩状态。就2000—2005和2005—2010年比较而言,用水总量由强脱钩转变为弱脱钩状态,能源消耗和CO₂排放由扩张性复钩转变为弱脱钩状态。环境压力与经济增长实现脱钩主要是环境政策调整、产业结构调整及技术提高的共同效应,而经济增速适当放缓也有利于脱钩的实现。

参考文献:

[1] PEAER D W, TURNER R K. Economies of Natural Resources and the Environment [M]. London: Harvester Wheatsheaf, 1990: 35-41.

[2] 诸大建,邱寿丰.生态效率是循环经济的合适测度[J].中国人口·资源与环境,2006,16(5):1-6.

[3] 吕彬,杨建新.生态效率方法研究进展与应用[J].生态学报,2006,26(11):3898-3906.

[4] MOLL S, GEE D. Making Sustainability Accountable Eco-Efficiency, Resource Productivity and Innovation [R]. Copenhagen: EEA, 1998: 1-37.

[5] SHONNARD D R, KICHERER A, SALING P. Industrial Applications Using BASF Eco-Efficiency Analysis: Perspectives on Green Engineering Principles [J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37(23): 5340-5348.

[6] 王震,石磊,刘晶茹.区域工业生态效率的测算方法及应用[J].中国人口·资源与环境,2008,18(6):121-126.

[7] 王妍,卢琦,褚建民.生态效率研究进展与展望[J].世界林业研究,2009,22(5):27-33.

[8] World Business Council for Sustainable Development. Measuring Eco-Efficiency: A Guide to Reporting Company Performance [R]. Geneva: WBCSD, 2000.

[9] OECD. Eco-Efficiency [R]. Geneva: OECD, 1998.

[10] European Environment Agency. Making Sustainability Accountable Eco-Efficiency, Resource Productivity and Innovation [R]. Copenhagen: EEA, 1999.

[11] 诸大建,邱寿丰.作为我国循环经济测度的生态效率指标及其实证研究[J].长江流域资源与环境,2008,17(1):1-5.

[12] 山东省统计局.山东省统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001-2011.

[13] 山东省统计局.山东工业统计年鉴[M].济南:山东省统计局印务中心,2002.

[14] 国家统计局工业交通统计司.中国工业经济统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002.

[15] 国家统计局工业交通统计司.中国能源统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002.

[16] 中国气候变化国别研究组.中国气候变化国别研究[M].北京:清华大学出版社,2000.

[17] 郭义强,郑景云,葛全胜.一次能源消费导致的二氧化碳排放量变化[J].地理研究,2010,29(6):1027-1036.

[18] 顾晓薇,王育.可持续发展的环境压力指标及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2005:57-58.

[19] 张音波,陈新庚,彭晓春,等.广东省环境经济系统的物质流分析[J].环境科学学报,2008,28(5):1021-1031.

[20] OECD. Eco-Efficiency [R]. Paris, France: OECD, 1998.

[21] 邱寿丰.循环经济规划的生态效率方法及应用:以上海为例[D].上海:同济大学,2007.

[22] 李名升,佟连军.基于能值和物质流的吉林省生态效率研究[J].生态学报,2009,29(11):6239-6247.

作者简介:王玉梅(1975—),女,蒙古族,内蒙古通辽人,副教授,博士,主要研究方向为区域环境规划与评价。E-mail: wangym508@163.com