

区域能源-经济-环境系统耦合协调演化特征

——以宁波市为例

曹成龙¹, 殷艺桐¹, 林刚^{2*}, 黄诗棋¹, 高明¹

1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘要 人类社会可持续发展的关键是实现能源、经济和环境3个系统之间的协调发展,对3者之间协调状况的定量分析,是本领域的核心问题之一。宁波市经济发展迅速,已成为中国“万亿俱乐部”的新成员,以宁波市为例,建立了能源-经济-环境(3E)系统的指标体系,分析了宁波市及其各个县市区的能源、经济和环境系统的发展水平,并通过耦合协调度算法计算了3个系统之间的耦合协调性。结果表明宁波市经济发展过程中3个系统的耦合协调性呈不断增加的趋势,整体处于一种良好的、可持续的发展状态。

关键词 宁波市;能源-经济-环境;耦合协调度

“如何实现可持续发展”是当今世界重点关注的焦点问题。其核心是如何处理好能源、经济与环境之间的关系,实现3者的协调发展。当前中国的能源发展、经济增长与环境保护之间的矛盾突出,协调3者关系、实现可持续发展是当前必须高度重视和尽快解决的问题。

能源为经济发展提供动力,推动经济的发展,

并且影响着经济发展的规模和速度^[1]。能源是经济发展的物质基础,在所有的社会生产中都要投入能源要素,没有能源的投入就不能形成现实的生产力^[2]。而如今中国处在一个经济高速发展的时期,经济发展对能源的巨大需求量与能源稀缺性之间的矛盾突出。然而在能源的开发利用过程中,会产生大量环境污染物,对环境造成巨大的危害。能源

收稿日期:2019-12-10;修回日期:2020-03-30

基金项目:教育部人文社会科学研究一般项目(20YJCZH087);国家自然科学基金项目(41971250);资源与环境信息系统国家重点实验室开放基金项目(2019);中央高校基本科研业务费专项(2019QD01)

作者简介:曹成龙,硕士研究生,研究方向为水资源与生态环境,电子信箱:cclcumtb@163.com;林刚(通信作者),讲师,研究方向为能源与资源代谢,电子信箱:ling@reis.ac.cn

引用格式:曹成龙,殷艺桐,林刚,等. 区域能源-经济-环境系统耦合协调演化特征——以宁波市为例[J]. 科技导报, 2020, 38(11): 70-77;
doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.11.008

开发影响环境的质量,保护环境就要求能源结构进行转变。能源的使用是产生环境问题的根源,而对于环境的保护也是影响能源政策的关键。环境约束对于可持续能源战略和能源开发利用的技术提出了更高的要求,环境保护将成为能源发展必须考虑的因素。因此,能源、经济和环境3者之间相辅相成,相互制约,存在辩证统一的关系。只有3者和谐互动、协调发展,才能真正实现区域的可持续发展目标。

宁波市作为世界第四大港口城市,是中国极其重要的海洋贸易枢纽,其中宁波市舟山港货物吞吐量截至2017年已经连续9年位居世界第一。2000年以来,宁波的经济迅速发展,并且在2018年实现地区生产总值10745.5亿元,突破1万亿元大关,成为中国“万亿俱乐部”的新成员。宁波经济发展的同时,需要能源和水资源的支撑,同时会带来大量的污染物排放。为使宁波进一步实现可持续发展,必须要解决协调好能源、水、环境之间的发展关系。本研究以宁波市为例,构建定量分析方法,对其能源、经济以及环境发展的协调性进行评价。

1 区域能源-经济-环境系统耦合协调度分析方法

国外学者对能源、经济和环境问题研究较早,建立了能源-经济-环境(energy-economic-environment, 3E)系统发展指标体系。Lenzen等^[3]对澳大利亚能源系统、经济系统和环境系统之间的关系进行了研究;Carla等^[4]通过建立多目标优化模型分析3E系统和社会福利的关系;Guan等^[5]运用系统动力学建立3E系统的模型并对其进行了深入分析;Terry等^[6]建立了墨西哥3E系统的模型,为减少碳排放提出了建议;Ariovaldo等^[7]通过建立混合输入输出多目标模型,对巴西的3E系统进行了综合评价。国内学者根据中国的国情,为实现中国经济社会的可持续发展,开展了一系列关于能源、经济、环境系统的研究,目前,对3E系统的研究主要集中在对各子系统之间相互关系及整个系统协调性方面。赵涛等^[8]对能源-经济-环境系统的协调度评价模型进

行了研究;曹瑞瑞等^[9]对上海市能源-经济-环境系统的协调性进行了研究;刘耀彬等^[10]研究了中国城市化与生态环境之间的耦合协调性;刘雅琴等^[11]等研究了能源、经济和环境协调发展对中国能源结构的影响,并且进行了多目标的优化;陈定然等^[12]运用能源-经济-环境协调度模型对中国区域经济进行了评价;李元栋等^[13]对矿区3E系统的协调度进行研究,为矿区发展产业共生模式提出了建议。

1.1 能源-经济-环境系统发展评价体系的构建

本研究基于科学性、系统性、合理性、针对性、全面性的原则,根据宁波市的情况,从总量指标、结构指标、质量指标3个方面综合考虑^[14],选取了能够反映宁波市能源经济环境特点的24个指标(表1)评价宁波市的3E系统。

能源方面包括能源生产总量、能源消费总量、

表1 能源-经济-环境系统评价指标

系统	指标	单位
能源	L_1 能源生产总量	万t标准煤
	L_2 能源消费总量	万t标准煤
	L_3 能源消费比上一年的增长率	%
	L_4 电力消费弹性系数	%
	L_5 能源消费弹性系数	%
	L_6 电力消费总量	亿kW·h
	L_7 能源加工转换损失量	万t标准煤
	L_8 人均能源消费量	万t标准煤/人
经济	Y_1 地区生产总值指数	—
	Y_2 工业生产生产总值指数	—
	Y_3 居民消费水平	元/人
	Y_4 政府消费	亿元
	Y_5 第三产业贡献率	%
	Y_6 固定资产总投资	亿元
	Y_7 地区生产总值最终消费率	%
	Y_8 人均地区生产总值指数	—
环境	K_1 废水排放总量	万t
	K_2 二氧化硫排放量	万t
	K_3 烟粉尘排放量	万t
	K_4 工业固体废物综合利用率	%
	K_5 城市建成区绿化覆盖率	%
	K_6 废水处理量	万t
	K_7 人均公园绿地面积	m ² /人
	K_8 节能环保财政投入	亿元

能源消费比上一年的增长率、电力消费弹性系数、能源消费弹性系数、电力消费总量、能源加工转换损失量、人均生活能源消费量8个指标。

经济方面包括地区生产总值指数、工业生产总产值指数、居民消费水平、政府消费、第三产业贡献率、固定资产总投资、地区生产总值最终消费率、人均地区生产总值指数8个指标。

环境方面包括废水排放总量、二氧化硫排放量、烟粉尘排放量、工业固体废物综合利用率、城市建成区绿化覆盖率、废水处理量、人均公园绿地面积、节能环保财政投入8个指标。

选用主成分分析方法,对宁波市3E系统各子系统的发展水平进行评价。主成分分析是一种降低自变量维数的统计方法,通过正交变换将一组可能存在相关性的变量转换为一组线性不相关的变量,转换后的主要变量即为主成分。在进行主成分分析时,首先对指标数据进行标准化。采集 p 维随机向量 $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_p)^T$, n 个样品 $\mathbf{x}_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})^T$, $i=1, 2, \dots, n$ 。构造样本矩阵,运用式(1)、(2)对样本矩阵进行标准化变换得到标准矩阵 $\mathbf{Z}$

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (1)$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}, S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1} \quad (2)$$

运用式(3)、(4)求标准矩阵 $\mathbf{Z}$ 的相关系数矩阵

$$\mathbf{R} = [r_{ij}]_p \quad \mathbf{R} = \frac{\mathbf{Z}^T \mathbf{Z}}{n-1} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n z_{ij} \cdot z_{ij}}{n-1}, i, j = 1, 2, \dots, p \quad (4)$$

解样本相关矩阵 $\mathbf{R}$ 的特征方程得到 p 个特征根,根据式(5)确定主成分 m 的个数

$$\frac{\sum_{j=1}^m \lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \geq 0.85 \quad (5)$$

对每个 λ_j , $j=1, 2, 3, \dots, m$,解方程组 $\mathbf{R}\mathbf{b}=\lambda_j$,得单位特征向量 $\mathbf{b}_j$ 。

将标准化的指标变量转换成主成分,

$$U_{ij} = z_i^T \mathbf{b}_j, j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

式中, U_1 为第一主成分, U_2 为第二主成分, U_p 为第 p 主成分。

对 m 个主成分进行加权求和,得到最后的评价值,权数是指每一个主成分的方差贡献率。本研究把得到的评价值作为每一个系统的发展水平进行评价。

1.2 能源-经济-环境系统耦合协调度分析方法

由于能源、经济和环境系统之间是相互制约、相互影响、相互依存的,3者之间具有很强的联系,不能仅通过简单的加权平均来求得整个3E系统的协调度,因此要建立一个耦合协调度的模型对3E系统发展的耦合协调性进行评价。

借鉴物理学中的容量耦合概念及容量耦合系数模型,推广得到多个系统互相作用的耦合度模型为^[15]

$$O = 2 \left\{ \frac{c_1 c_2 \dots c_n}{\prod (c_i + c_j)} \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

式中, c_1, c_2, c_n, c_i, c_j 为各个子系统的发展水平。

据此能源、经济和环境系统的耦合度模型可以表示为

$$O = 2 \left\{ \frac{N(L)J(Y)H(K)}{[N(L)+J(Y)][N(L)+H(K)][J(Y)+H(K)]} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

式中, $N(L)$ 、 $J(Y)$ 、 $H(K)$ 分别代表能源、经济和环境系统的发展水平。

耦合度的取值在0~1,数值越接近0说明耦合度越差,数值越接近1说明耦合度越好。当 $0 < O \leq 0.3$ 时,系统处于低耦合阶段; $0.3 < O \leq 0.5$ 时,系统处于拮抗耦合阶段; $0.5 < O \leq 0.8$ 时,系统处于良性耦合阶段; $0.8 < O \leq 1$ 时,系统处于高耦合阶段。

耦合度仅能反应3E系统各个子系统之间耦合作用的强度,不能反映出3E系统的整体发展水平和各个子系统之间的协调发展程度,为了能够更准确真实地体现3E系统的发展水平,需要进一步构建能源、经济和环境系统之间的耦合协调度模型。令3E系统的耦合协调度为 D ,根据3E系统的耦合度构建的耦合协调度模型为^[14]

$$T = aN(L) + bJ(Y) + cH(K) \quad (9)$$

$$D = \sqrt{O \times T} \quad (10)$$

式中, T 为 3E 系统发展水平的评价系数, a 、 b 、 c 分别为能源、经济和环境系统在 3E 系统的发展中的重要程度, 因为 3 个系统占有同等重要的地位, 所以 a 、 b 、 c 均定为 1/3。

耦合协调度的取值一般在 0~1, 其评价标准如表 2 所示。

表 2 3E 系统耦合协调度评价标准

协调度 D	协调等级	协调度 D	协调等级
$0.0 \leq D < 0.1$	极度失调	$0.5 \leq D < 0.6$	勉强协调
$0.1 \leq D < 0.2$	严重失调	$0.6 \leq D < 0.7$	初级协调
$0.2 \leq D < 0.3$	中度失调	$0.7 \leq D < 0.8$	中级协调
$0.3 \leq D < 0.4$	轻度失调	$0.8 \leq D < 0.9$	良好协调
$0.4 \leq D < 0.5$	濒临失调	$0.9 \leq D < 1.0$	优质协调

2 宁波市能源-经济-环境系统耦合协调度特征分析

2.1 宁波市能源-经济-环境系统发展水平

根据表 1 选取的 24 个指标, 首先将统计数据进行处理 0~1 标准化处理, 然后运用 spss 软件对每个系统的数据进行主成分分析, 得出每个系统的主成分表达式。以宁波市能源系统为例, 得到能源系统的 3 个主成分表达式:

$$F_1 = -0.253L_1 + 0.783L_2 + 0.97L_3 - 0.133L_4 + 0.385L_5 + 0.971L_6 + 0.291L_7 + 0.927L_8$$

$$F_2 = 0.945L_1 - 0.296L_2 + 0.094L_3 + 0.946L_4 + 0.752L_5 - 0.062L_6 + 0.508L_7 + 0.14L_8$$

$$F_3 = 0.153L_1 + 0.504L_2 - 0.195L_3 + 0.144L_4 + 0.445L_5 + 0.193L_6 - 0.777L_7 - 0.302L_8$$

根据每个表达式特征值在主成分中的贡献率以及累计贡献率, 求出能源系统的主成分综合模型:

$$F = 0.241L_1 + 0.353L_2 + 0.465L_3 + 0.297L_4 + 0.526L_5 + 0.476L_6 + 0.192L_7 + 0.443L_8$$

通过同样的方法求出宁波市及其各个县市区每个系统的主成分综合模型, 分析其能源、经济和环境的发展水平。

通过 spss 软件得到宁波市各个系统的主成分综合模型, 令能源系统的发展水平为 $N(L)$, 经济系统发展水平为 $J(Y)$, 环境系统发展水平为 $H(K)$, 可以得出:

$$N(L) = 0.241L_1 + 0.353L_2 + 0.465L_3 + 0.297L_4 + 0.526L_5 + 0.476L_6 + 0.192L_7 + 0.443L_8$$

$$J(Y) = 0.329Y_1 + 0.324Y_2 + 0.346Y_3 + 0.198Y_4 + 0.174Y_5 + 0.319Y_6 + 0.194Y_7 + 0.331Y_8$$

$$H(K) = 0.296K_1 + 0.355K_2 + 0.292K_3 + 0.372K_4 + 0.398K_5 + 0.394K_6 + 0.343K_7 + 0.362K_8$$

将标准化后的数据分别代入能源、经济和环境系统的主成分模型中, 得到能源、经济以及环境系统的发展水平折线图(图 1)。

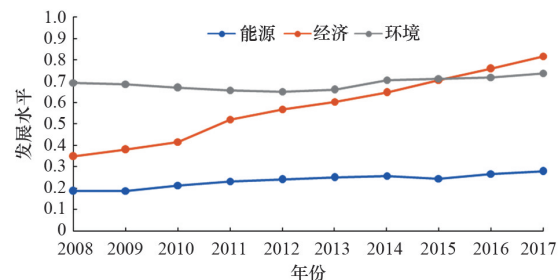


图 1 宁波市 3E 系统发展水平图

由图 1 可以看出, 宁波市 3 个子系统的时序变化呈现出不同的特征: 宁波市的能源系统发展水平一直处于比较平缓的状态, 没有较大的起伏, 缓慢地上升; 而经济系统的发展水平一直处于快速增长的状态; 宁波市环境系统的发展水平在 2008 年到 2013 年处于一个缓慢的下降阶段, 随着中国对生态环境重视的不断提高, 2013 年以后, 宁波市环境系统的发展水平出现缓慢的上升。

对宁波市各县市区的 3E 系统发展水平的评价, 本文分不同系统进行分析。对于能源系统, 利用各个县市区能源系统的主成分分析模型得到它们发展水平变化曲线(图 2)。

根据图 2 可以看出, 宁波市各县市区能源系统的发展水平总体上都处于波动上升的状态, 只有象山县能源系统的发展水平比较低且以缓慢的速度在逐渐下降, 另外奉化市能源系统的发展水平波动起伏较大, 尤其是在 2015 年到 2016 年之间出现大幅度的提升。

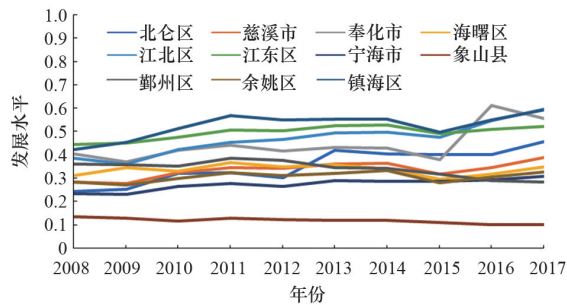


图2 宁波市各县市区能源系统发展水平折线图

利用主成分分析模型得到宁波市各县市区经济系统发展水平如图3所示。

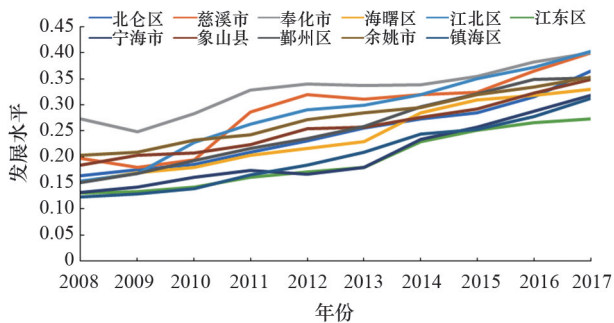


图3 宁波市各县市区经济系统发展水平折线图

由图3可以看出,宁波市各县市区经济系统发展水平虽然会有小幅的波动状况,但总体上处于一种快速上升的状态。其中,慈溪市2010年到2011年经济系统的发展水平上升速度最快,奉化

市经济系统发展水平在2008年到2009年之间出现小幅度下降,但是2009年以后又恢复了上升的趋势,且一直处于较高的经济发展水平。

同样利用主成分分析模型得到宁波市各县市区环境系统的发展水平如图4所示。

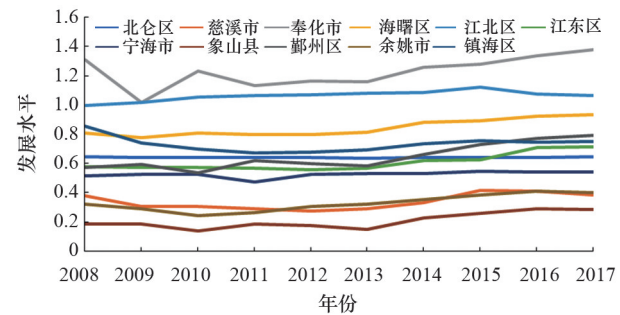


图4 宁波市各县市区环境系统发展水平折线图

由图4可以看出,宁波市各县市区环境系统的发展水平大部分处于比较稳定的状态,起伏不大,但是奉化市环境系统的发展水平在2008年到2011年之间处于较大的波动起伏状态,2011年后又恢复稳定并且逐渐上升。奉化市和江北区的环境系统一直处于比较高的发展水平,而象山县、余姚市以及慈溪市环境系统则处于比较低的发展水平。

2.2 宁波市能源-经济-环境系统耦合协调度

通过主成分分析法得到宁波市及其县市区3E系统每一个子系统的发展水平,将其代入式(7)、(8)、(9)和(10),得到宁波市及其各个县市区的3E系统的耦合协调度,结果如表3所示。

表3 2008—2017年宁波市3E系统耦合协调度变化

年份	宁波市	北仑区	慈溪市	奉化市	海曙区	江北区	江东区	宁海市	象山县	鄞州区	余姚市	镇海区
2008年	0.607	0.558	0.527	0.754	0.600	0.648	0.576	0.513	0.390	0.550	0.515	0.613
2009年	0.615	0.567	0.500	0.700	0.613	0.654	0.579	0.519	0.397	0.564	0.504	0.614
2010年	0.632	0.590	0.518	0.751	0.620	0.704	0.590	0.540	0.385	0.573	0.506	0.617
2011年	0.632	0.603	0.554	0.759	0.639	0.726	0.606	0.538	0.413	0.606	0.524	0.640
2012年	0.673	0.605	0.557	0.760	0.640	0.742	0.609	0.542	0.418	0.610	0.544	0.649
2013年	0.685	0.645	0.565	0.763	0.651	0.752	0.620	0.557	0.413	0.624	0.554	0.664
2014年	0.705	0.648	0.581	0.776	0.678	0.761	0.655	0.578	0.450	0.656	0.571	0.687
2015年	0.711	0.652	0.591	0.771	0.675	0.771	0.657	0.590	0.458	0.667	0.571	0.683
2016年	0.730	0.663	0.609	0.840	0.689	0.788	0.682	0.602	0.483	0.685	0.589	0.702
2017年	0.748	0.693	0.624	0.840	0.706	0.806	0.689	0.615	0.491	0.691	0.598	0.725

结合表2和表3对宁波市及其各个县市区的3E系统的耦合协调度进行分析可以得出如下结论。

1) 根据表3得到宁波市3E系统耦合协调度变化的柱状图(图5)。

由图5可以看出宁波市3E系统总体上处于缓

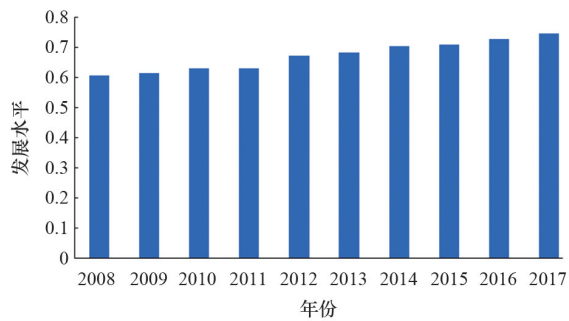


图5 宁波市3E系统耦合协调度变化柱状图

慢上升的趋势,且耦合协调性比较高,在2008年到2014年之间处于初级协调的程度,2014年以后进入中级协调的程度,并且还处于稳定上升的状态。表明宁波市目前已经具有比较成熟的发展模式,基本能够协调好能源、经济和环境之间的关系。

2) 图6所示2008年以及2017年宁波市3E系统耦合协调度等级的空间分布情况。

由图6可以看出,宁波市各县市区在2008年到2017年之间3E系统的耦合协调度都取得了一定的进步,其中勉强协调的县市区都发展为初级协调等级,中级协调的县市区都发展为良好协调等级,初级协调等级的县市区一部分发展为中级协调等级,有一部分甚至发展为良好协调等级。耦合协调性较差的象山县也由轻度失调的等级发展为濒临失调的等级。

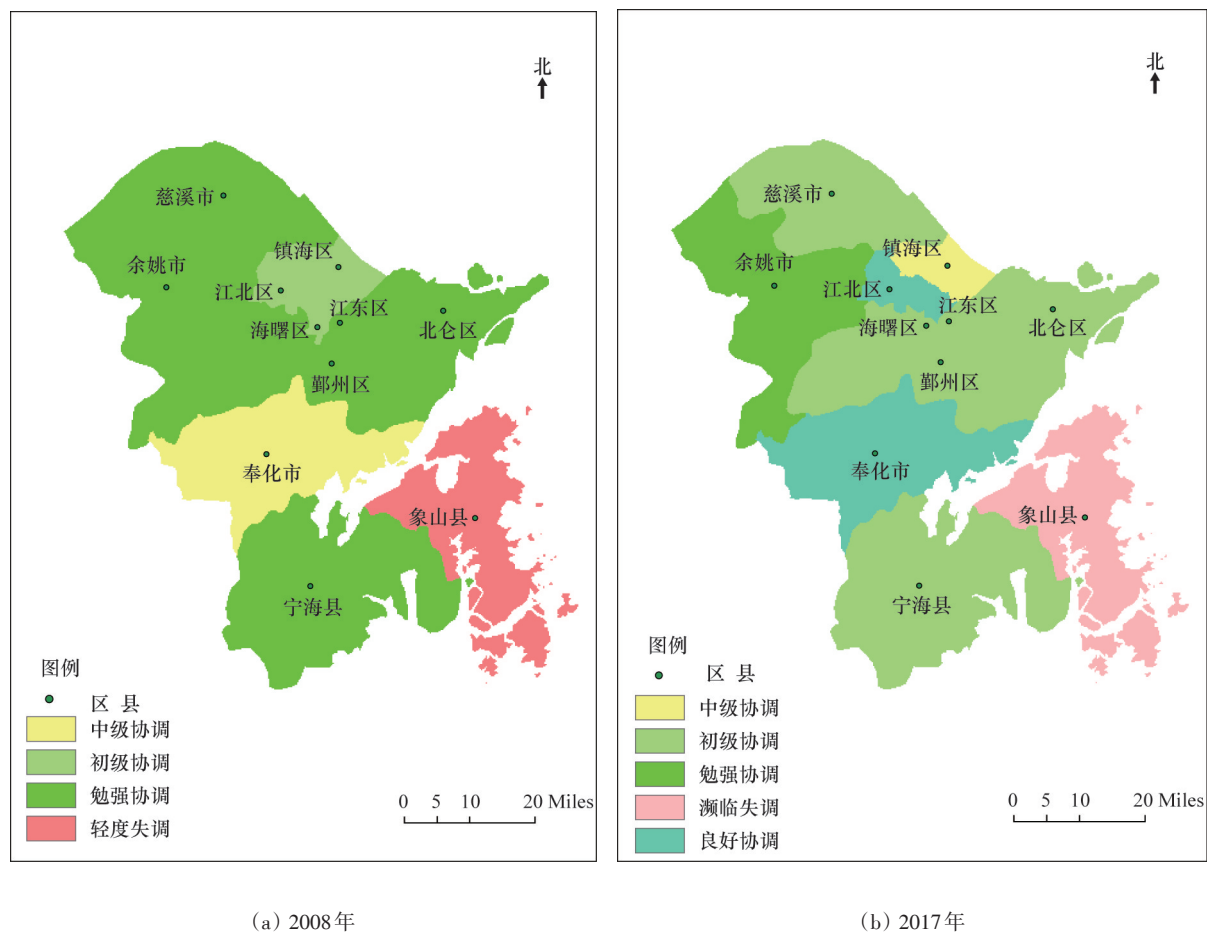


图6 宁波市3E系统耦合协调度等级分布

3) 结合图6和表3可以看出,虽然宁波市3E系统整体上耦合协调度比较高,但是其发展存在不平衡的现象,如象山县的3E系统耦合协调性较差,其能源系统发展水平较低,且环境系统的发展水平波动较大,造成了3个系统之间耦合协调性较差。而奉化市和江北区3E系统的耦合协调度发展水平比较高,结合图2、图3和图4可以看出,各区县的能源和经济系统都处于比较稳定的上升状态,且环境系统都处于比较高的发展水平,3个系统之间处于一种和谐发展的关系。

3 结论

通过选取宁波市及其各个县市区2008年到2017年能源、经济和环境系统的相关指标的数据,对宁波市3E系统的发展水平和耦合协调度进行了分析,得出如下结论。

1) 宁波市在2008年到2017年经济发展水平增长迅速,而且在经济增长的同时,其环境系统也一直处在比较高的发展水平,符合可持续发展的理念,3E系统的协调程度也越来越高,具有比较成熟的社会发展模式。但总体来说能源系统的发展水平相对较低,属于能源滞后型社会,这严重阻碍了宁波市3E系统的协调发展。政府要制定相关的措施,促进宁波市能源系统的发展,使宁波市从能源滞后型社会转变为能源、经济和环境友好型社会。

2) 宁波市大部分县市区的经济发展模式也都符合可持续发展的理念,能源、经济和环境系统基本能够协调发展,但是象山县3E系统的发展并不能符合可持续发展的理念,各个子系统之间的协调性较差,政府需要加强对象山县的支持和帮助,同时应该加强各个县市区之间的交流,共同探寻合适的发展模式和发展路线,促进各个县市区3E系统更协调的发展。

3) 本文以宁波为案例,构建了宁波市3E系统的评价体系,结合主成分分析方法与耦合协调度算法对其进行了分析评价,不仅可以为宁波市的发展提供决策上的理论支持,还可以为其他城市发展战略的制定提供可以借鉴的方法和经验。

参考文献(References)

- [1] 殷晨洁. 世界经济和能源格局变化[J]. 中国外资, 2013(12): 144-145.
- [2] 孙巍. 谈能源管理与节能降耗[J]. 农机使用与维修, 2011(2): 116.
- [3] Lenzen M, Dey C J. Economic, energy and greenhouse emissions impacts of some consumer choice, technology and government outlay options[J]. Energy Economics, 2002, 24(4): 377-403.
- [4] Carla O, Carlos H A. A multiple objective model to deal with economy-energy-environment interactions[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 153(2): 370-385.
- [5] Guan D J, Gao W J, Su W C, et al. Modeling and dynamic assessment of urban economy-resource-environment system with a coupled system dynamics-geographic information system model[J]. Ecological Indicators, 2011, 11(5): 1333-1344.
- [6] Terry B, Annela A, Olivier D, et al. Integrated modelling of climate control and air pollution: Methodology and results from one-way coupling of an energy-environment-economy (E3MG) and atmospheric chemistry model (p-TOMCAT) in decarbonising scenarios for Mexico to 2050 [J]. Environmental Science and Policy, 2010, 13(8): 661-670.
- [7] Ariovaldo L C, Carlos H A, Fausto F, et al. A hybrid input-output multi-objective model to assess economic-energy-environment trade-offs in Brazil[J]. Energy, 2015, 82: 769-785.
- [8] 赵涛, 李炬煜. 能源-经济-环境(3E)系统协调度评价模型研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2008(2): 11-16.
- [9] 曹瑞瑞, 蒋震. 上海市能源-经济-环境(3E)系统协调发展的实证研究[J]. 统计与决策, 2015(12): 134-136.
- [10] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报, 2005(1): 105-112.
- [11] Liu Y Q, Zhang J C, Zhu Z S, et al. Impacts of the 3E (economy, energy and environment) coordinated development on energy mix in China: The multi-objective optimisation perspective[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2019(50): 56-64.
- [12] Chen D R, Liu Y. Evaluation model of energy-economy-environment(3E) system coordinating degree: Empirical analysis on China regionally[J]. IOP Conference Series:

- Earth and Environmental Science, 2019, 237(4): 1755–1315.
- [13] 李元栋, 李亚静. 矿区能源-经济-环境系统协调度研究[J]. 中国煤炭, 2019, 45(1): 38–43.
- [14] 李新颖. 能源-经济-环境系统耦合协调度分析——以江苏省为例[J]. 现代商业, 2018(7): 71–73.
- [15] 张福庆, 胡海胜. 区域产业生态化耦合度评价模型及其实证研究——以鄱阳湖生态经济区为例[J]. 江西社会科学, 2010(4): 219–224.

The coupling coordination characteristics of regional energy–economy–environment system ——A case study of Ningbo city

CAO Chenglong¹, YIN Yitong¹, LIN Gang^{2*}, HUANG Shiqi¹, GAO Ming¹

1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China
2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract The key of the sustainable development of human society is to realize the coordinated development among the energy system, the economic system and the environmental system. A quantitative analysis of their coordination is one of the core concerns in this field. With the rapid economic development, Ningbo becomes a new member of China's "trillion club". Taking Ningbo as an example, this paper establishes an index system of the energy–economy–environment (3E) system, analyzes the development level of the energy system, the economic system and the environment system in Ningbo and its counties, then calculates the coupling and coordination degree among the three systems with the algorithm for the coupling coordination degree. It is shown that the degree of the coupling and coordination of the three systems is increasing in the process of the economic development of Ningbo City, which is in a good and sustainable development state.

Keywords Ningbo city; energy–economic–environment; coupling coordination degree ●



(责任编辑 傅雪)