

开放经济环境下长三角地区

能源-环境-经济系统协调度评价

陈丹临¹

【摘要】：长三角地区是中国重要的经济发展区，也是经济开放程度较高的地区之一。在开放经济环境下，长三角地区的能源-经济-环境(3E)系统能否实现协调发展是评判地区经济发展健康程度的重要指标。文章采用层次分析法测算了长三角地区在开放环境下的3E系统协调度水平，发现长三角地区3E系统协调度水平总体呈波动上升趋势，协调度平均水平从2012年的0.57提升至2017年的0.6，达到初级协调等级；其中，安徽省3E系统协调度水平最高，其次是上海市，而浙江省和江苏省协调度水平相对较低。提高长三角地区3E系统协调度，要加快产业结构优化升级，构建以现代农业、现代服务业和先进制造业为核心的产业体系；加大清洁能源使用比重，依靠科技进步和创新，提高能源使用效率；减少污染物排放，提倡绿色生产，加大环境污染防治力度。

【关键词】：开放经济 层次分析法 3E 系统协调度

【中图分类号】：F205 **【文献标识码】：**A **【文章编号】：**1009-2382(2020)12-0074-06

一、引言

能源是关系国家经济和国防安全的重要战略物资，是社会经济发展、现代文明的重要物质基础。经济增长依靠能源的支持，而过度消耗能源带来环境破坏又会限制经济发展。长江三角洲地区(以下简称长三角地区)是中国第一大经济区，也是全球范围内重要的先进制造业基地，随着长三角一体化发展上升为国家战略，其能源消耗、经济发展等方面的带动、示范作用更甚。2019年长三角地区经济总量达到237252.84亿元，占全国经济总量的23.94%，其中工业增加值为96474.56亿元，占经济总量的比重约为40.66%。2018年¹全年能源消耗水平为77787.61万吨标准煤，占全国能源消耗的16%，故长三角地区能源、经济、环境系统的发展协调程度在全国范围内具有一定的代表意义。

基于能源在经济发展中所发挥的基础性作用，以及发展过程中可能会对环境造成的影响，提高能源利用率，确保能源、经济、环境系统(3E系统)的和谐发展是长三角地区乃至全国需要重视的关键问题。改革开放的经验告诉我们，开放经济有利于国家经济的飞速发展，十九大报告提出的新发展理念“创新、协调、绿色、开放、共享”也证明我国将继续坚持开放经济路线，积极与世界互动，实现经济的平稳、持续增长。长三角地区作为我国开放经济程度较高的地区，其3E系统协调度水平更能说明开放经济环境对3E系统协调度的影响，通过分析开放经济环境下长三角地区3E系统协调度水平，对提高开放地区3E系统协调度有重要的理论和实践意义，对了解全国3E系统协调情况具有导向价值。

二、文献述评

经济的快速发展带来能源消耗的迅速增长，学术界也注意到这一变化带来的影响，如马恒运等(2010)认为中国能源消费增长快且增加基数大，国内以煤炭为主的能源结构造成运输压力大、利用效率低、消耗强度大，未来中国能源经济发展要转变经济增长方式、提高能源效率，用市场经济手段引导能源消费行为。随着能源、环境受重视程度的提高，不少学者开始对能源-经济-环

¹作者简介：陈丹临，江苏省社会科学院经济研究所助理研究员(南京210004)。

境(3E)系统进行研究。学者们对我国3E系统的研究经历了从探索系统协调度评价方法、构建评价体系,到测算地区3E系统协调度值的变化等阶段。

早期学者们致力于研究方法的探索,这些研究涉及对3E系统评价体系的构建,以及不同的统计测算方式,如主成分分析、熵权法、层次分析法等,这些方法最主要的区别在于对指标权重的计算方式不同。权重代表对应指标在整个评价体系中的重要性,由于我国不同地区对能源的消耗、环境的保护程度都不同,因而学者们在对不同地区进行3E系统协调度评价时侧重点也不同。如王俊岭等(2012)结合前人研究经验以及河北省发展现状,构建了3E系统协调度评价指标体系,在以往学者的评价系统基础上考虑到河北省能源与经济发展较高的关联度,对能源、经济、环境三个系统指标作了调整,重点考虑与能源相关的各系统的相关指标,且对最终协调度等级作了重新调整,简化至7个等级,增强了评价体系的实用性。随后,王俊岭等(2012)利用该评价体系测算河北省2005—2009年3E系统和谐度,得出河北省3E系统处于初级和谐等级的结论,而造成河北省整体协调度不高的主要原因是经济系统发展速度较慢。但该文仅考虑河北省域的经济发展情况,并未考虑开放经济环境因素。

还有一些学者采用主成分分析法计算3E系统协调度,如范中启等(2006)计算得出我国1990—2002年间3E系统协调度处于基本协调等级,但期间经历了先降后升的U型变化趋势,造成这种变化趋势的主要原因是我国在90年代中期经济发展以牺牲环境为代价,故系统协调等级逐年下降,1995年后提倡可持续发展、转变经济增长方式,随之3E系统协调度有所上升。曾鸣、王亚娟(2013)对我国1996—2010年3E系统协调水平进行测算后发现,我国3E系统协调度等级较低,能源—经济系统和能源—环境系统均处于轻度不协调状态,经济—环境系统处于严重不协调状态。周燕妃等(2018)、汪振双等(2015)采用熵权法确定3E系统评价指标的权重,前者测算的是我国各省2016年的3E系统协调度,得出结论整体未达到良好协调水平;而后者仅对山东省2005—2010年水泥行业3E系统协调度水平进行测算,发现其水泥行业3E系统协调度虽逐年上升,但也还处于轻度失调等级。逯进等(2016)测算了中国1995—2014年省域3E系统耦合协调水平,结果表明中国各省经济和环境耦合指数呈持续上升趋势,但3E系统整体耦合度水平较低,且区域差异明显,东部地区耦合度要高于西部地区。于洋等(2018)将我国划分为六个区域,分别计算不同区域的经济、能源、环境、科技四元系统耦合水平,整体上东部地区四元系统协调度处于一般协调等级,西部地区为濒临失调等级,六个区域的协调度水平差异在不断减小,区域之间趋于和谐发展。这些研究表明,我国3E系统协调度有着较为明显的区域差异,但在考虑了科技因素后,整体协调度水平的区域差异有所减小。

在研究方法趋于稳定后,更多的学者开始对中国不同区域3E系统进行研究,在对区域进行3E系统协调度测算的过程中,逐渐有学者开始关注开放经济环境带来的影响。根据汪克亮等(2013)对中国2000—2010年能源经济效率和能源环境绩效的测算结果可知,我国能源经济效率较低,且影响因素分析结果表明外资利用水平对能源经济效率和能源环境绩效有显著影响,这也从侧面印证了开放经济因素是分析能源—经济—环境系统不可缺少的指标因素。李新颖(2018)利用江苏省2006—2016年数据,测算其3E系统耦合协调度水平,结果显示江苏省3E系统协调度从极度失调阶段上升至初级协调阶段,但该文所构建的评价指标体系中,对经济系统的评价侧重于地区生产、消费水平,并未涉及对外贸易等开放经济指标。林玲(2019)通过充分对比贵州开放型经济试验区与上海自贸区的异同,对贵州内陆开放型经济试验区的发展提出对策建议的核心要义便是提高开放度,尽管该文并未涉及3E系统协调发展问题,但从其对策导向可以看出,不论是国家之间,还是省域之间,开放经济是现代经济社会发展的必经之路。在开放经济发展的背景下,若要经济发展有活力,传统能源消费模式、环境保护方式必然无法满足开放经济的要求,这就要求我们在分析3E系统协调度时,应充分考虑开放经济背景,更加全面地分析国家或地区的能源经济系统协调度水平。

三、长三角地区3E系统协调度评价

1.3E系统评价指标体系的建立

在建立能源—环境—经济协调发展评价体系时,首先需要建立一个能反映能源、环境和经济各自发展水平的特征指标,而能源、环境与经济通常被认为是一个复杂的非线性系统,用简单的单一指标很难完整反映出各自的特征,因此,在实际的评价中,基本都是通过建立存在一定内在联系的指标体系来表示,这些指标按照一定的结构层次组合在一起。通过参考王俊岭等(2012)的指标体

系,结合长三角三省一市统计年鉴所披露的数据,在保证统计口径一致的前提下,我们设计了如表 1 所示的指标体系。评价指标体系中的基础数据来源于各省市统计年鉴和国家统计局公布的数据。

(1) 能源系统指标。能源系统指标的选取主要从能源总量、能源结构和能源效率三个方面考虑。总量指标选取了一次能源生产量、能源消费总量两个指标,以此反映长三角地区能源的总量水平和消耗状况。能源结构指标选取水资源消费增速和煤炭资源、石油资源、天然气资源各自所占比重。效率指标选取能源消费弹性系数,反映长三角地区能源消耗与经济增速间的关系;单位 GDP 能耗和单位工业增加值能耗反映 2012-2017 年长三角地区的能耗情况。

表 1 长三角地区能源-环境-经济协调发展评价指标体系

目标层 A	准则层 B	领域层 C	指标层 D	方向
能源-环境-经济(3E)系统协调度	能源系统协调度 B ₁	总量指标 C ₁	一次能源生产量 D _{a1}	+
			能源消费总量 D _{a2}	-
		结构指标 C ₂	水消费增速 D _{a3}	+
			煤炭消费比重 D _{a4}	-
			石油消费比重 D _{a5}	+
			天然气消费比重 D _{a6}	+
		效率指标 C ₃	能源消费弹性系数 D _{a7}	-
			单位 GDP 能耗 D _{a8}	-
			单位工业增加值能耗 D _{a9}	-
	经济系统协调度 B ₂	经济规模指标 C ₄	人均 GDP D _{b1}	+
			固定资产总投资 D _{b2}	+
			社会消费品零售总额 D _{b3}	+
			进出口贸易总额 D _{b4}	+
		经济发展指标 C ₅	GDP 增长率 D _{b5}	+
			工业产值增长率 D _{b6}	+
			居民收入增长率 D _{b7}	+
			进出口贸易增长率 D _{b8}	+
			R&D 投入增长率 D _{b9}	+
	环境系统协调度 B ₃	排放总量指标 C ₆	废气排放总量 D _{c1}	-
			废水排放总量 D _{c2}	-
			固体废弃物排放总量 D _{c3}	-

	环境污染指标 C_7	二氧化硫排放总量 D_{c4}	-
		烟尘排放总量 D_{c5}	-
		COD 排放量 D_{c6}	-
	环保指标 C_8	工业固体废物综合利用率 D_{c7}	+
		环境污染治理投资总额增长率 D_{c8}	+
		环境污染治理投资占 GDP 的比重 D_{c9}	+

(2) 经济系统指标。经济系统指标从经济规模和经济发展两个维度进行选取。经济规模采用人均 GDP、固定资产总投资、社会消费品零售总额和进出口贸易总额指标衡量,他们分别反映社会经济的生产、投资、消费和对外贸易四个方面;经济发展采用 GDP 增长率、工业产值增长率、居民收入增长率、进出口贸易增长率和 R&D 投入增长率指标,这些指标反映经济总量的增长情况,与总量指标相呼应。

(3) 环境系统指标。环境系统指标从排放强度、环境污染程度和环保事业建设三方面考虑,排放强度包括废水、废气、固体废弃物排放总量;环境污染程度包括大气污染和水污染,采用二氧化硫排放总量、烟尘排放量、COD 排放总量和工业固体废物综合利用率指标衡量,环保事业建设采用环境污染治理投资总额增长率和环境污染治理投资占 GDP 比重两个指标衡量。

2. 评价方法及模型构建

评价长三角地区能源-环境-经济的协调发展程度分两个步骤:一是分别测算出能源系统、经济系统和环境系统的协调发展程度;二是在三个子系统协调发展程度的基础上,测算出整体的协调发展程度。由于 3E 系统评价指标较多,涉及多个层次,本研究采用层次分析法。

层次分析法通过构造出一个层次分析的结构模型,把复杂问题条理化、层次化。在模型中,评价系统协调度这一问题被分解为各个组成元素,通过两两比较的方式确定各个因素相对重要性;这些元素又按属性分成若干组,形成不同层次。同一层次的元素作为准则对下一层的某些元素起支配作用,同时它又受上面层次元素的支配。在长三角地区 3E 系统的模型中,准则层分别为能源、经济、环境这三个系统发展水平,领域层则是三个系统所支配的下一层元素,指标层则为每个领域内涉及到的具体评价指标(见表 1)。

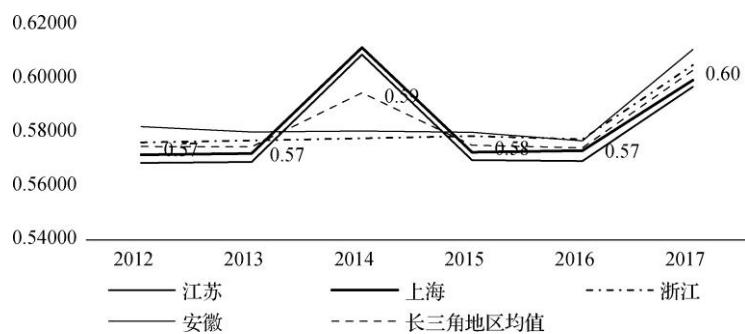


图 1 2012-2017 年长三角地区 3E 系统协调度变化趋势

(1) 计算指标权重。在递阶层次结构中, 设上一层元素 C 为准则, 所支配的下一层元素为 u_1, u_2, \dots, u_n , 其对于准则 C 相对重要性即权重。数据的获得均来源于各省市统计年鉴, 根据表 1 所列长三角地区 3E 系统协调度评价指标, 得到实证分析的原始指标数值。

首先通过两两比较法构建判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$, 其中 a_{ij} 就是元素 u_i 和 u_j 相对于 C 的重要性的比例标度, 且矩阵的一致性比例 CR 值小于 0.1, 这表示递阶层次结构的所有判断具有整体满意的一致性。

$$\omega_i = \frac{\prod_{j=1}^n a_{ij}^+}{\sum_{k=1}^n \prod_{j=1}^n a_{kj}^+}, i=1, 2, \dots, n,$$

其次, 根据判断矩阵, 采用几何平均法计算权重向量, 即 权重的向量形式为: $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 。

计算出能源子系统各指标的权重矩阵为:

$$\omega_1 = (0.042, 0.14, 0.041, 0.054, 0.032, 0.041, 0.147, 0.22, 0.282)^T,$$

经济子系统各指标的权重矩阵为:

$$\omega_2 = (0.418, 0.04, 0.05, 0.034, 0.214, 0.074, 0.055, 0.055, 0.059)^T,$$

环境子系统各指标的权重矩阵为:

$$\omega_3 = (0.103, 0.16, 0.14, 0.092, 0.08, 0.114, 0.093, 0.117, 0.101)^T.$$

(2) 指标值标准化。原始指标数据由于量纲不一致, 在进行综合评价前, 为了消除变量之间在数量级上及量纲上的不同而产生的影响, 需要对原始数据进行标准化处理。对于正向指标数据的标准化, 采用如下公式进行运算: $Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$, 其中 Z_i 为 X_i 某一年的指标标准化值。

对于逆向指标, 运用公式: $Z_i = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}}$, 经过标准化处理的值即为对应年份、对应指标的标准化值, 所有标准化值都处于 $[0, 1]$ 区间内。

(3) 协调度评价模型。根据前文计算出的指标权重和各个系统标准化处理后的得分, 确定各省市 3E 系统的综合评价值, 具体根据模型 $E = (\mu_1 \cdots \mu_n)^T \times (\omega_1 \cdots \omega_n)$ 计算出长三角地区能源、经济、环境各子系统的协调度得分, 进而计算区域整体的协调度得分, 得分越高表示协调度水平越高。3E 系统协调度评级标准如表 2 所示。

3. 长三角地区 3E 系统协调度评价结果分析

长三角地区 3E 系统协调度的变化趋势如图 1 所示, 可以看出长三角地区 3E 系统协调度水平总体呈波动上升趋势, 协调度平均水平从 2012 年的 0.57 提升至 2017 年的 0.6, 达到初级协调等级, 各省市 3E 系统协调度水平按得分高低排序为安徽 > 上海 > 浙江 > 江苏。从图 1 可以明显看出 2014 年上海和江苏的协调度水平有较大幅度波动, 造成这一现象的原因是该年度上海和江苏环境污染治理投资总额增长率变动幅度较大, 进而使得环境系统协调度有较大提升, 影响了总体协调度水平。

整体上长三角地区能源系统协调度水平要略高于经济系统和环境系统, 能源系统协调度平均水平为 0.7, 达到中度协调等级, 这主要是由于各省市加强能源消费控制, 不断调整能源消费结构, 煤炭消费占比逐年缓慢下降, 清洁能源消费不断增加, 从而提高了长三角地区能源系统协调度水平。环境系统协调度略高于经济系统协调度, 平均水平为 0.55, 处于勉强协调等级, 六年间协调度水平有小幅度提升, 其原因在于各省市对环境污染的治理力度和能力都在不断提升。经济系统协调度水平在三个系统中相对较低, 平均水平为 0.47, 处于濒临失调等级, 造成经济系统协调度水平较低的原因在于长三角地区多以第二产业为主, 仅上海第三产业较为发达, 浙江、江苏的第二产业较为发达, 安徽省第一产业占比较其他省市较高, 但整体也是第二产业占主导地位。这种以第二产业为主的产业结构, 不可避免地会出现产业发展对能源依赖度高的结果, 在考虑开放经济环境后, 该地区不断增长的出口贸易额多来自第二产业, 这就使得长三角地区产业发展陷入高能耗-高产出-高经济增长的恶性循环, 加之代表科技创新的 R&D 投入增长幅度有限, 共同造成了长三角地区经济系统整体协调度不高。

表 2 3E 系统协调度评级标准

协调度标准	协调度等级	协调度标准	协调度等级
[0, 0.1)	极度失调	[0.5, 0.6)	勉强协调
[0.1, 0.2)	严重失调	[0.6, 0.7)	初级协调
[0.2, 0.3)	中度失调	[0.7, 0.8)	中度协调
[0.3, 0.4)	轻度失调	[0.8, 0.9)	良好协调
[0.4, 0.5)	濒临失调	[0.9, 1.0]	优质协调

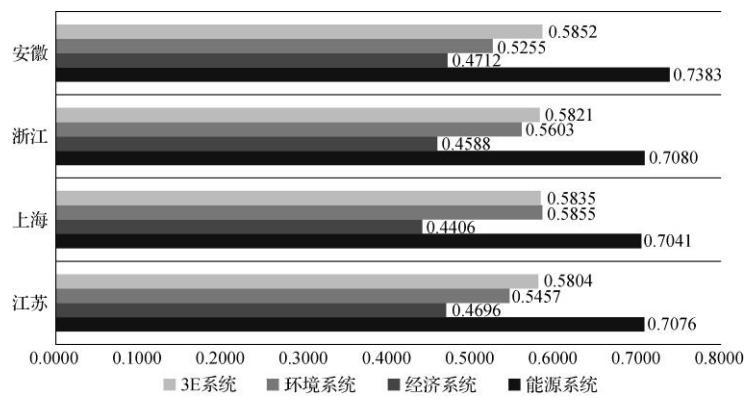


图 2 长三角地区 3E 系统协调度水平

各省市 3E 系统及子系统协调度水平如图 2 所示。长三角地区三省一市 3E 系统协调度均处于勉强协调等级, 说明在开放经济环境下, 长三角地区 3E 系统协调度仍有较大的提升空间。具体地看, 安徽省 3E 系统协调度水平最高, 主要原因在于安徽的能源消费总量最低, 而能源生产量却最大, 故能源系统协调度水平在四个省市中最高, 能源系统协调度的高得分提高了整体 3E 系统协调度水平。上海市在长三角地区协调度水平排列第二, 对整体协调度水平贡献最大的是环境系统得分, 上海市由于产业结构以第三产业为主, 工业污染物排放量较少, 且环境污染治理投资投入在四省市中最高, 从而拉高了上海市整体 3E 系统协调度水平。浙江省和江苏省 3E 系统协调度水平分别排列第三、第四, 这两个省份的相似之处在于环境系统和能源系统的协调度较低, 从而拉低了整体协调度水平。浙江省和江苏省产业结构均以第二产业为主, 能源消费量大, 能源生产量较低, 且多以煤炭消费为主, 环境污染

物排放量也较大,因而环境和能源系统的协调度较低。尽管浙江省和江苏省经济系统协调度处于中等水平,但两个省进出口贸易对经济系统协调度贡献较大,而出口产品又以工业制品为主,带来的环境污染又降低了环境系统协调度,这也是造成浙江和江苏3E系统协调度水平较低的原因。

四、提高3E系统协调度的对策建议

通过对长三角地区三省一市3E系统协调度的综合评价分析,可以看出2012—2017年间长三角地区整体3E系统协调度水平呈波动上升趋势,但协调度水平仍有进一步提升空间,各省市3E系统协调度水平均处于勉强协调等级,综合协调度评价得分存在微小差异。由于各省市产业结构、能源使用效率、经济开放程度等方面存在差异,使得各省市在能源、经济、环境各子系统的协调程度方面也有着不同的侧重点。结合造成各省市协调度差异的主要矛盾以及他们各自的发展现状,提出以下提高3E系统协调度的对策建议。

第一,加快产业结构优化升级。

长三角地区经济系统协调度较能源、环境系统要偏低,而经济系统协调度与经济发展程度并不一定呈正比,从长三角地区三省一市协调度评价结果看,安徽省的经济系统协调度最高,然而该省经济总量并不是最大。经济协调度指标更侧重于评价一个地区产业之间的协调程度,安徽省经济系统协调度高主要是因为第一产业占比较其他省市要大,故提高了整体经济系统的协调度。由此也可以看出,要提高3E系统协调度,需要继续推进产业结构的优化升级,通过产业转型、升级,提高产业发展效率,促进产业间协调发展。在浙江和江苏省的产业升级过程中,应重视发展第三产业,优化出口产品结构,改变第二产业带动出口贸易的格局,逐步缩减、淘汰低效能制造业企业,从源头上减少环境污染。安徽省在现有产业格局的基础上,更要加快现代农业建设,提高农产品附加值,三省联合上海市共同构建以现代农业、现代服务业以及先进制造业为核心的产业体系,促进经济提质增效的同时,减少因产业结构不合理带来的能源消耗和环境污染排放,提高经济系统协调发展水平。

第二,加大清洁能源使用比重,提高能源使用效率。

尽管长三角地区能源系统协调度在三个系统中相对较高,但从能源系统指标数据中还是发现长三角地区存在以煤炭消费为主、能源使用效率低下等问题。长三角地区应依靠丰富的教育资源,推动形成产学研高度融合的产业发展模式,依靠科技进步和创新,降低煤炭、石油等能源的消耗,提高太阳能、风能等清洁能源的使用比重,实现以科技发展为中心带动经济、能源和环境系统的发展,提升能源使用效率,提高能源系统的协调发展程度。

第三,减少污染物排放,加大环境污染治理力度。

长三角地区三省一市由于产业结构的差异,各省市主要的环境污染排放物也不相同,整体上长三角地区环境系统协调度在三个系统中处于中间位置。提高环境系统协调度水平,应减少工业污染物的排放,提倡绿色生产,借助科技创新手段,减少对煤炭等能源的依赖程度,提高能源的综合利用效率;同时要继续加大环境污染治理力度,提高污染治理投资额在GDP中的比重,加强工业“三废”治理和综合利用,从而提高环境系统的协调程度。

参考文献:

- [1]. 马恒运、郭学先、唐华仓、刘旗、LesOxley:《中国的能源经济形势、机遇挑战和政策建议》,《中国人口·资源与环境》2010年第1期。
- [2]. 王俊岭、李耀炜、岳建芳:《河北省能源—经济—环境(3E)系统协调度评价指标体系构建研究》,《河北企业》2012年

第 7 期。

[3]. 王俊岭、赵瑞芬、王贤:《能源-经济-环境(3E)系统和谐度评价研究——以河北省为例》,《经济与管理》2012 年第 9 期。

[4]. 范中启、曹明:《能源—经济—环境系统可持续发展协调状态的测度与评价》,《预测》2006 年第 4 期。

[5]. 曾鸣、王亚娟:《基于主成分分析法的我国能源、经济、环境系统耦合协调度研究》,《华北电力大学学报(社会科学版)》2013 年第 3 期。

[6]. 汪克亮、杨力、杨宝臣、程云鹤:《能源经济效率、能源环境绩效与区域经济增长》,《管理科学》2013 年第 3 期。

[7]. 李新颖:《能源-经济-环境系统耦合协调度分析——以江苏省为例》,《现代商业》2018 年第 7 期。

[8]. 周燕妃、何刚、金兰、王雯雯:《经济发展与生态环境耦合协调发展研究》,《安徽理工大学学报(社会科学版)》2018 年第 2 期。

[9]. 于洋、陈才:《区域视角下中国经济-能源-环境-科技四元系统耦合水平演变特征及提升策略》,《经济问题探索》2018 年第 5 期。

[10]. 汪振双、赵宁、苏昊林:《能源-经济-环境耦合协调度研究——以山东省水泥行业为例》,《软科学》2015 年第 2 期。

[11]. 逯进、常虹、郭志仪:《中国省域能源、经济与环境耦合的演化机制研究》,《中国人口科学》2016 年第 3 期。

[12]. 林玲:《贵州内陆开放型经济试验区与上海自贸区比较研究》,《贵州商学院学报》2019 年第 4 期。

注释:

1 由于某些省份数据未披露,为保证统计口径一致,能源消耗水平仅统计 2018 年情况。