

辽宁省能源效率与产业结构的空间特征及耦合关系

关 伟^{1,2}, 许淑婷¹

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029;
2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029)

摘要: 本文评价与分析了辽宁省14个地级市能源效率的空间等级与结构特征, 分别从DEA能源综合技术效率、单位GDP能耗及融合二者的能源利用效率三方面来进行研究。在对各地级市产业结构高级度、合理度、集中度测度与分析的基础上, 采用耦合度评价模型总结了辽宁省能源效率与产业结构的耦合特征。研究结果表明: ① 辽宁省各地级市能源效率差异显著, 沈阳、大连、鞍山、锦州属于高能效地区, 低能效高能耗地区集中在辽西北地区与抚顺、本溪等重工业城市; ② 能源综合技术效率、单位GDP能耗、能源利用效率的高能效区域分别呈现“ π 型”、“二字型”、“工字型”的空间结构特征; 趋势分布面上, 能源利用效率自东向西呈现先上升后下降的趋势, 自北向南呈现先下降后上升的趋势; 经济发展的双核结构特征等因素对能源效率空间格局的形成有重要影响; ③ 产业结构高级化发展水平高的地区集中在辽东南沿海城市, 产业结构合理度的空间分布呈现以沈阳、大连为两极的“工字型”特征, 产业结构集中度高的城市主要分布在辽中南城市群; ④ 全省能源效率与产业结构整体耦合度较低, 沈阳大连两极高度耦合, 产业结构高级度与能源效率的耦合度相对较高。

关键词: 能源效率; 产业结构; 空间特征; 耦合; 辽宁

DOI: 10.11821/dlxb201404008

1 引言

随着能源供需矛盾的日益突出, 节能降耗、提高能源效率成为实现经济与能源协调发展的主要途径。经济发展对能源依赖性不断增强的同时也直接影响着能源效率的提高。能源效率的内涵在于所消耗的能源量对于维持和促进整个经济、社会与环境系统可持续发展的贡献量。Patterson指出能源效率本身是一个一般化的术语, 可以有多种数量上的指标来测算^[1]。魏一鸣、廖华将能源效率评价指标分为能源宏观效率、实物效率、物理效率等7种测量指标^[2]。能源效率的计算又分为单要素能源效率和全要素能源效率两种方法^[3]。相对于单要素能源效率而言, 全要素下的能源效率能更好地反映能源与经济之间的相互作用关系, 现已被众学者和研究机构普遍采用^[4-12]。对全要素能源效率的计算方法主要有使用非参数估计的DEA数据包络分析与使用参数估计的SFA随机前沿函数分析。与随机前沿函数分析相比, 数据包络分析方法无需设定具体的函数形式且使用范围较广, 近年来见于文献的全要素能源效率分析大多采用数据包络分析方法。综合考虑劳动力、资本、技术以及其他要素对能源的替代作用, 本文首先采用DEA方法对辽宁省14个地级市的能源效率进行测度与分析。DEA能源效率测度的是各要素之间的技术效率, 虽存在诸多优势, 但没能突出能源在投入要素中的重要地位, 也不能对要素禀赋相近地区进行有效评价。为解

收稿日期: 2013-06-27; 修订日期: 2014-02-29

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAH31B06); 辽宁省教育厅科学技术研究项目(L2013411) [Foundation: The National Key Technology R&D Program, No.2008BAH31B06; Science and Technology Research Program Supported by the Education Department of Liaoning Province, No.L2013411]

作者简介: 关伟(1959-), 男, 辽宁岫岩人, 教授, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110003977M), 研究方向为区域经济与产业规划。E-mail: lsgw2000@sina.com

决上述问题,本研究把DEA能源综合技术效率与单位GDP能耗的比值作为新的能源效率评价指标,进一步分析辽宁省能源效率的空间特征及其与产业结构的耦合关系。

区域空间结构是指各经济活动在区域内的空间分布状态及空间组合形式^[13]。经济发展的空间结构是指经济客体在空间中的位置关系、集聚程度及各经济客体之间发生相互作用的方向和强度^[14],是自然、市场和政府3种配置力量空间耦合的结果^[15]。区域产业结构是指区域经济中各类产业之间的内在联系,产业结构的重要功能在于通过自身的转变来实现资源的有效配置,从而能够从有限的资源中获得最大的经济效益^[16]。近年来,学术界对能源效率与产业结构关系的研究主要集中于计量分析^[17-18],较少从空间角度来探索其分布结构与相关关系。本研究依托产业结构高级化指数、偏差度指数、集中化指数对辽宁省各地级市的产业结构空间特征进行分析,在此基础上讨论能源效率与产业结构的空间耦合关系。“十二五”时期是辽宁老工业基地全面振兴的关键时期,也是经济结构转型的关键时期。认清能源效率与产业结构的空间分布特征及其耦合关系,将有助于促进辽宁省各区域之间协调稳定发展,也将对辽宁省制定能源消耗规划、经济发展战略、产业调整政策产生重大意义。

2 辽宁省能源效率空间特征

2.1 研究方法与数据处理

对全要素能源效率的测度采用DEA数据包络分析方法,它是以相对效率概念为基础发展起来的一种非参数统计方法,通过对一组具有多输入和多输出的决策单元,构造非参数的包络生产前沿面来比较决策单元间的相对效率^[19-20]。DEA方法可计算多个决策单元的技术效率与配置效率。技术效率测度决策单元投入最小化和产出最大化的能力,配置效率测度在给定投入要素的相对价格下,决策单元对各要素的最优组合能力。由于配置效率涉及价格,所以一般不考虑配置效率,而把技术效率作为决策单元的综合效率。在规模报酬可变的情况下,综合技术效率又分解为纯技术效率和规模效率。纯技术效率反映的是生产单位在规模一定时投入要素的生产效率,而规模效率反映的是实际规模与最优生产规模的差距^[21]。用DEA方法完成对全要素能源效率的评价之后,为突出能源消费在能源效率中的重要地位,将能源综合技术效率与单位GDP能耗融合成一个新的能源利用效率指标进行分析。同时,在对辽宁省能源效率空间特征分析时,采用ArcGIS趋势面地统计分析方法。空间趋势反映的是空间物体在空间区域上变化的主体特征,主要揭示空间物体的总体规律,而忽视局部的变异。趋势面分析是根据空间抽样数据,拟合一个数学曲面,用该曲面来反映空间分布特征,特别是在东西与南北两个方向的变化情况^[22]。

在充分考虑各研究成果对投入产出指标的选择后,选取地区生产总值代表产出,全社会固定资产投资额、年末从业人数和全社会能源消费总量分别代表资本、劳动力与能源投入来进行DEA能源效率测度。对于资本存量的计算,大多数学者采用“永续盘存法”与张军等的研究成果^[23]来进行估计。本文由于较难获得辽宁省各地级市资本存量值,选用全社会固定资产投资额来代表资本。选择基于输出导向的生产规模报酬可变模型,对辽宁省各地级市DEA能源综合技术效率进行评价与分析。文中各评价数据均为各地级市2009-2011年均值,所有数据来源于《辽宁统计年鉴》(2010-2012年)、《2012辽宁年鉴》与《中国能源统计年鉴2012》。对数据的计算与分析主要应用了软件Deap2.1、Mapinfo7.0与ArcGIS9.3。

2.2 能源综合技术效率的空间分布

从DEA能源综合技术效率测度结果看,沈阳、大连、鞍山、本溪、锦州5市均为DEA有效,这5市构成了全省能源效率的前沿面,属于辽宁省高能效地区。阜新、朝阳、

营口、铁岭四市能源综合技术效率值都在0.750以下，远远低于全省0.846的平均水平，属于相对低能效地区。丹东、辽阳、盘锦、葫芦岛、抚顺为相对中能效地区。能源综合技术效率又分为纯技术效率与规模效率。纯技术效率是制度和管理水平带来的效率，而规模效率是指在制度和管理水平一定的前提下，现有规模与最优规模之间的差距。沈阳、大连、鞍山、本溪、锦州五市均为纯技术效率与规模效率DEA有效地区。其他九市从纯技术效率看，阜新和辽阳是纯技术有效而非规模有效，说明这两个城市按照现在的产出计算，其投入不可能再减少，各投入要素基本得到了充分利用；丹东、盘锦、葫芦岛3市虽没有实现纯技术效率有效，但已接近或超过均值，属于纯技术效率中能效地区；铁岭、抚顺、朝阳、营口则远远低于均值水平，属于纯技术效率低能效地区。从能源规模效率看，九市均为非规模有效，即这些地区存在能源等投入冗余或经济产出不足的情况，即使增加部分投入，当前的产出水平也不会改变，该种情况最典型的是葫芦岛与阜新两市。

从空间上看，辽宁省能源综合技术效率整体上形成以锦州—沈阳—本溪—鞍山—大连为高能效率区域的“π型”结构特征。低能源综合技术效率地区主要集中在辽西北地区的铁岭、阜新与朝阳。辽宁沿海经济带各市能源综合技术效率发展极不平衡，从图1a中可以看出，大连、锦州、盘锦与丹东、葫芦岛、营口分属能源综合技术效率的5个不同区域等级，沈阳经济区也存在同样特征。趋势分布图中拟合曲面反映的空间分布规律为：自东向西呈现先上升后下降的趋势，高点集中在中部，东部地区高于西部地区；自北向南主要以上升趋势为主，高点集中在中南部地区(图2a)。

2.3 能源消耗强度的空间分布

能源消耗强度是评价能源利用效率最常用的经济指标，是指一个国家或地区、部门或行业，一定时期内单位产出消耗的能源量。各地区由于经济基础、产业结构、技术水平等因素的不同，能源消耗强度也存在显著的区域差异。能源消耗强度通常指单位GDP所消耗的能源量，即单位GDP能耗，而单位GDP能耗的倒数又被称作能源生产率或能源宏观

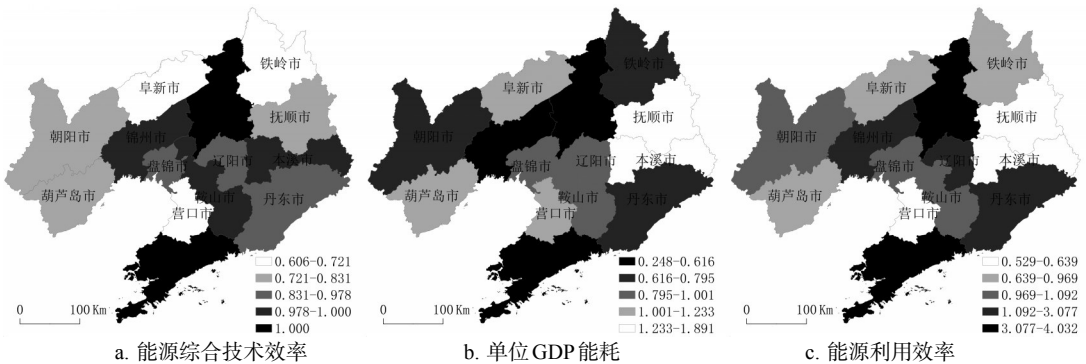


图1 辽宁省各地级市能源效率等级分布图

Fig. 1 Grade distribution of energy efficiency in Liaoning Province

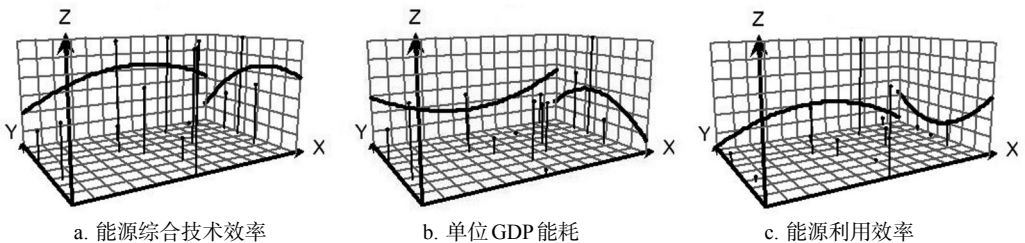


图2 辽宁省各地级市能源效率趋势分布图

Fig. 2 Trend distribution of energy efficiency in Liaoning Province

效率。能源消耗强度的大小受地区生产总值与能源消费总量的共同影响。因此,辽宁省能源消耗强度的空间分布受经济发展空间结构与能源消费空间结构的双重影响。

能源消耗强度越高意味着能源效率越低,图1b中深色区域为低能耗强度地区,即为高效地区。直观上看,辽宁省能源消耗强度形成了以朝阳—锦州—沈阳—铁岭—大连—丹东为低能耗高效区域的“二字型”结构特征。这些地区大体可分为三种类型:第一类为辽宁省两大经济增长极之沈阳与大连,第二类为以轻工业为主且第三产业发展突出的丹东与锦州,第三类为第一产业比重较大且为粮食主产区的铁岭与朝阳。高能耗低能效地区集中在抚顺、本溪两大重工业基地以及能源消费量巨大的营口市。营口市的能耗状况,反映出在导致能源消费的因素中,经济规模的重要性。从趋势分布图中看出,单位GDP能耗自东向西呈现先下降后上升的趋势,低点位于中部,东部地区高于西部地区;自北向南呈现先上升后下降的趋势,高点集中在中部地区,北部地区高于南部地区(图2b)。而从全国来看,辽宁省整体上的能源结构单一,多样化供给能力较弱,煤炭类能源消耗量约占总能源消耗量的76%,远远高于全国的平均水平。辽宁省除了积极调整省内各地区能耗强度的不均衡发展外,还要逐渐缩小与其他省份能耗强度的差距。

2.4 能源利用效率的空间分布

能源利用效率是一个专业术语,本没有一个清晰的数量标准来衡量。一般来说,能源利用效率指能源投入与有效产出的比率。本文构造的能源利用效率指标为DEA能源综合技术效率与单位GDP能耗的比值,即DEA能源综合技术效率与能源生产率的乘积。该指标使得对各市能源效率的评价更有区分度,又是结合了技术因素与能耗强度的能效评价。能源利用效率的区域空间特征也将是能源综合技术效率与能源生产率二者空间分布的融合。

由图1c可以看出,辽宁省能源利用效率的空间分布与能源综合技术效率、单位GDP能耗的空间分布存在明显差异,与“ π 型”、“二字型”不同,形成了以锦州—沈阳—辽阳—丹东—大连为高效区域的“工字型”结构特征。不难看出,工字型结构是 π 型结构与二字型结构的叠合。受辽宁省经济发展的双核结构特征影响,形成了以大连、沈阳为“工字”左下右上的两极分布格局,同时又是以“沈大线”为“工字”中轴的分布特征。

能源利用效率趋势分布图2c中,趋势线自东向西呈现先上升后下降的趋势,自北向南呈现先下降后上升的趋势,东部地区略微高于西部地区,南部地区显著高于北部地区。此空间变化趋势同单位GDP能耗的空间变化趋势整体上相反,即与能源宏观效率的变化趋势相似,而同能源综合技术效率在东西方向一致而南北方向相反。这一方面说明对于本文构造的能源利用指标,能源消耗强度对其影响作用较大,而能源综合技术效率可作为能源消耗强度倒数的系数形式存在;另一方面,三类能源效率的空间分布差异主要体现在南北方向,说明能源效率在南北方向上的不均衡性更加突出。在能源利用效率趋势分布图中,等效率区的空间分布存在明显的方向性,在东北—西南方向上呈现不规则的带状分布,这与辽宁省主要交通干线呈东北—西南走向有极大的相关性。整体上看,辽宁省能源效率的空间结构以点轴模式为主,以大连为中心的东南城市群能源效率相对较高。

2.5 能源利用效率差异成因

辽宁省的区域自然基础条件,是能源利用效率空间特征形成的基本原因。辽宁省地形可分为东部山地丘陵区、中部平原区和西部山地丘陵区。中部地区资源丰富、交通发达、区位条件优越,能源效率的高点便集中在中部平原区。辽西地区干旱贫瘠等条件严重制约其经济效率与能源效率的提高。

以沈阳、大连为增长极的经济发展格局,是能源利用效率空间特征形成的根本原因。沈阳市作为省会城市,地处辽宁省腹地,拥有雄厚的装备制造业基础与科技实力,与周围城市的产业结构互补性强、关联度高。大连市是国家振兴东北老工业基地的龙头城市,又

是国家级战略辽宁沿海经济带开发开放的核心城市，凭借其显著的地缘优势与产业优势，是辽宁省承接国际产业转移、实现产业结构优化升级的先行地区。两市以其雄厚的经济基础与超强的经济地位成为能源利用效率空间格局的两极。

以资源为导向的产业布局，是能源利用效率空间特征形成的历史原因。抚顺市是国家重要的能源、原材料工业基地，又是中国北方最大的石油化工城市且拥有东北最大的发电厂—辽宁发电厂；而本溪市是中国主要的钢铁生产基地。这两大城市经济发展均以高耗能产业为主，单位GDP能耗较高，这也是其他东北老工业城市所共同面临的难题。

国家战略的实施与推进，是能源利用效率空间特征形成的政策原因。辽宁省正处于“辽宁沿海经济带”与“沈阳经济区新型工业化综合配套改革试验区”两大国家战略发展的机遇期，随着沈阳经济区一体化进程的加快、沿海点线面的全面开发、大连中心城市辐射功能的增强，锦州与丹东成为两大活力城市。与此相应，两市的能源利用效率也处于较高水平，这将为发展成辽宁省新经济增长极奠定基础。

以“沈大线”为中轴的交通干线布局及其东北—西南走向，是能源利用效率空间特征形成的重要原因。此外，还有诸多其他因素影响辽宁省能源利用效率空间特征的形成。营口市作为东北地区最近的出海通道，是环渤海经济圈重要的港口城市，又是交通物流枢纽中心，对能源超强的需求与消费直接阻碍了能源效率的提高，而使其成为低能效地区。随着经济的发展和人民生活水平的不断提高，居民消费也进入了新的结构升级阶段，消费作为推动经济发展动力的同时也成为影响能源消费结构的重要因素。能源利用效率较高的地区又是辽宁省居民消费结构较高的地区。

3 辽宁省产业结构空间特征

3.1 产业结构高级度的空间分布

产业结构高级化是指产业结构从低度水准向高度水准发展的动态过程，是产业结构重心由第一产业向第二产业和第三产业逐次转移的过程。利用三次产业比重向量与对应坐标轴的夹角会随着产业比例的变化而变化来构造产业结构高级化指数^[24]。 $IH = \theta_1 + \theta_2$ ，其中 θ_1 用于度量第二三产业相对第一产业转移的效应， θ_2 用于度量第二产业向第三产业转移的效应。 θ_1 与 θ_2 值越大表明转移水平越高，相应 IH 值越大表明产业结构高级化的水平就越高。 $\theta_1 = \pi - \mu_1 - \mu_2$ ， μ_1 、 μ_2 为向量 (x_1, x_2, x_3) 与向量 $(0, 1, 0)$ 、 $(0, 0, 1)$ 的夹角， x_1 、 x_2 、 x_3 分别为第一二三产业增加值占GDP的比重。 $\theta_2 = \pi/2 - \sigma_1$ ， σ_1 为向量 (x_2, x_3) 与向量 $(0, 1)$ 的夹角。计算二维和三维夹角的公式为：

$$\theta = \arccos \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i x_{i,0})}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^n x_{i,0}^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right] \tag{1}$$

根据 IH 指数，对辽宁省14个地级市的产业结构高级化程度进行评价。结果显示：在2009年到2011年的3年间，沈阳、大连、鞍山、抚顺、本溪、辽阳6市的产业结构高级化度基本没有变化；营口、盘锦、铁岭、葫芦岛的产业结构高级化度在持续增长；丹东、锦州、阜新、朝阳呈V型变动。为了能较合理比较各地级市当前的产业结构高级化水平，以3年均值来进行分析，下文产业结构合理度与集中度也同样为基于3年均值的分析。

从按高一中一低发展水平划分的地域类型来看，沈阳、大连、鞍山、丹东、葫芦岛属于产业结构高级化高度发展地区，锦州、营口、阜新、抚顺属于产业结构高级化中度发展地区，本溪、辽阳、朝阳、铁岭、盘锦属于产业结构高级化低度发展地区。辽宁省的产业

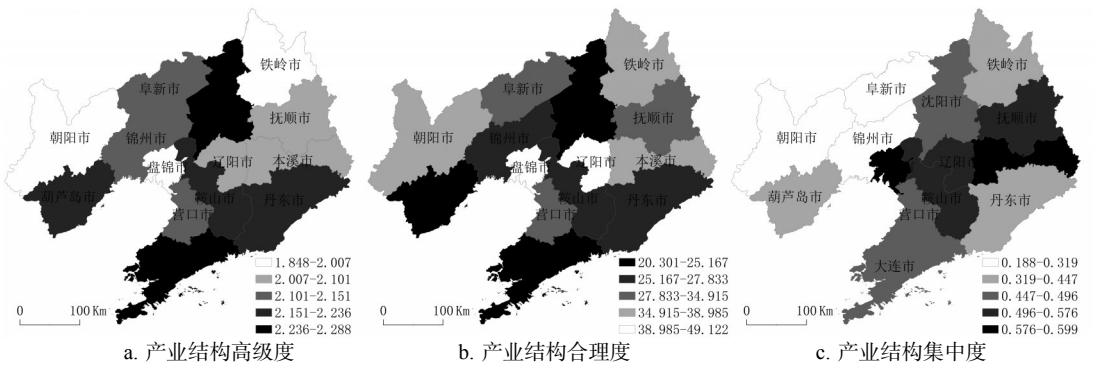


图3 辽宁省产业结构空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of industrial structure in Liaoning Province

结构一直是以第二产业为主，而第二产业中重工业和基础产业所占比重较大，与东南沿海省份相比，整体的产业结构高级度较低。空间上，沈阳—大连两极格局显著。产业结构高级化高度发展地区主要集中在辽东南沿海城市，这些地区优势产业较多，高新技术产业、滨海旅游业等现代服务业发展水平较高（图3a）。

3.2 产业结构合理度的空间分布

产业结构合理化是产业结构高级化的基础。产业结构合理化是指遵循再生产过程对比例性的要求，追求产业规模适度、增长速度均衡的过程，也是产业间协调能力不断加强、关联水平不断提高的过程。目前有众多对产业结构合理化的比较方法和测定指标，本文选取基于“国际基准”的判断标准，该方法是以钱纳里等人倡导的标准产业结构为依据，来判断经济发展不同阶段上的产业结构是否达到了合理化。依托产业结构偏差度指标对产业结构合理化进行评价，采用三次产业分类法进行分析， x_i 分别为各年第一二三产业增加值占GDP的比重。以全球人均GDP所对应的产业结构为参照系作为标准产业结构，按汇率法测算辽宁省的标准产业结构。根据2010年世界银行《世界发展报告》中人均GDP和产业结构变化的标准及现有学者对辽宁省标准产业结构的研究成果^[25]，将 $X^* = (8.32, 34.74, 56.94)$ 作为标准向量对辽宁省各地区的产业结构偏差度进行测算。偏差指数P为：

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_i - x_i^*)^2}$$

(2)

P 越大表示产业结构偏差度越大，该地区产业结构与标准结构的距离越大，即产业结构合理化程度越低；反之， P 越小产业结构合理化程度越高。辽宁省各地级市产业结构偏差指数的计算结果显示：各地区产业结构合理度的空间特征与产业结构高级度的空间特征较相似。沈阳、葫芦岛、大连、鞍山、锦州属于产业结构合理化高度发展地区，丹东、阜新、营口、抚顺、朝阳属于产业结构合理化中度发展地区，铁岭、本溪、辽阳、盘锦属于产业结构合理化低度发展地区。辽宁省产业结构合理度的空间分布结构形成了与能源利用效率同样的“工字型”特征，沈阳、大连、葫芦岛为产业结构合理化发展的示范地区，盘锦、辽阳为产业结构合理化发展的落后地区。产业结构不仅代表了各地区的经济发展状态，也呈现了相应的资源环境基础。第一产业主要建立在水、土地两大资源要素之上，第二产业则主要依赖矿产和能源两大资源要素的开发，第三产业则是包括环境和人类智力在内的其他要素。合理的产业结构代表着对资源的合理开发利用，各地区产业结构合理度的差异在一定程度上也体现了对能源资源的合理利用程度（图3b）。

3.3 产业结构集中度的空间分布

产业布局是资源在空间配置的一种重要方式，由于自然资源等要素的地区分布差异而导致区域产业布局的差异。同时，经济发展的不平衡性又促进了产业集聚、产业结构趋同

等现象的产生。一个国家或地区内不同区域之间产业发展是不平衡的，产业之间各经济产出的差距较大，说明产业结构空间集中度越高。集中化指数，是对地理要素的空间集中程度或经济要素专门化程度作比较的数量指标，反映某经济活动在空间上的集中程度，可用来分析一定时期内各地区产业发展的集中程度及其变动。集中化指数公式为： $I = (A-R)/(M-R)$ 。其中，A 为各城市的 3 大产业累积百分比合计数；M 为假定的各城市 3 大产业全部集中时的累计百分比合计数；R 为假定的各城市 3 大产业全部均匀分布时的累计百分比合计数。集中化指数数值范围在 0~1 之间，该指数为 1 代表各产业绝对集中，为 0 代表各产业均匀分布。集中化程度指数的数值越大表明产业分布越集中。

从各地级市产业结构集中化指数计算结果看，产业结构集中化程度高的城市主要集中在辽中南城市群，这表明辽中南城市群各市的产业结构具有较大的同构性，产业地域分工不明显，这将阻碍城市群综合竞争力的提高。集中度最高的是盘锦和本溪 2 市。抚顺、鞍山这些煤炭、钢铁重工业城市产业集中度也相对较高。3 年间变动较明显的是丹东、锦州与朝阳 3 市，其产业结构集中化程度也较低，说明这些地区内部存在导致产业结构多样化的动力因素。从图 3c 明显看出，产业结构集中化程度低的城市主要集中在辽西北地区，这些地区的传统农业比重较大，经济水平低，形成了辽宁省经济落后的集聚区域^[26-27]。

4 辽宁省能源效率与产业结构空间耦合分析

4.1 耦合度评价模型

耦合度是对系统之间相互影响、相互作用程度的有效度量。产业发展对能源资源产生胁迫作用，能源资源对产业结构产生约束作用，二者相互影响、相互作用，构成彼此耦合的交互体。系统间的耦合程度可以通过变量间的离散程度来衡量，而变异系数又是衡量离散程度的重要指标，选用以变异系数为基础的耦合度模型能较有效地对两系统的耦合关系进行分析。耦合度模型为 C，C 越大则系统间的耦合程度越高。

$$C = \left\{ \frac{E(x)S_i(y)}{\left[\frac{E(x) + S_i(y)}{2} \right]^2} \right\}^k \tag{3}$$

$E(x)$ 和 $S_i(y)$ 代表能源效率与产业结构综合指数， $E(x)$ 为 2.4 中能源利用效率值， $S_i(y)$ 分别为产业结构高级度、合理度、集中度指数值。 k 为区别系数，取值区间在 2~5 之间，为了加强区分度，本文 k 取 4。为划分能源效率与产业结构耦合的空间类型，以耦合度 C 为横轴，以 R 纵轴。R 是权系数设为 0.6 与 0.4 的耦合协调度指数， $R = \sqrt{C \times (0.6E(x) + 0.4S_i(y))}$ 。在对耦合度计算之前，采用 min-max 标准化方法对数据作标准化处理。C 与 R 值介于 0~1 之间，采用中值分段法对耦合度进行分段^[28]（表 1）。

表 1 耦合度与耦合协调度阶段参照标准

Tab. 1 The reference standard of coupling & coordinating stage

耦合度	耦合阶段	耦合协调度	协调耦合阶段	综合耦合阶段
$0 < C \leq 0.3$	分离阶段	$0 < R \leq 0.3$	低协调耦合阶段	低协调分离阶段
$0.3 < C \leq 0.5$	拮抗阶段	$0.3 < R \leq 0.5$	中协调耦合阶段	中协调拮抗阶段
$0.5 < C \leq 0.8$	磨合阶段	$0.5 < R \leq 0.8$	高协调耦合阶段	高协调磨合阶段
$0.8 < C \leq 1$	耦合阶段	$0.8 < R \leq 1$	极协调耦合阶段	极协调耦合阶段

4.2 辽宁省能源效率与产业结构空间耦合特征分析

辽宁省各地区能源效率与产业结构的耦合情况如图 4 所示，图中 a、b、c 分别为能源效率与产业结构高级度、合理度、集中度的空间耦合分布图，图中无显示的地级市为耦合

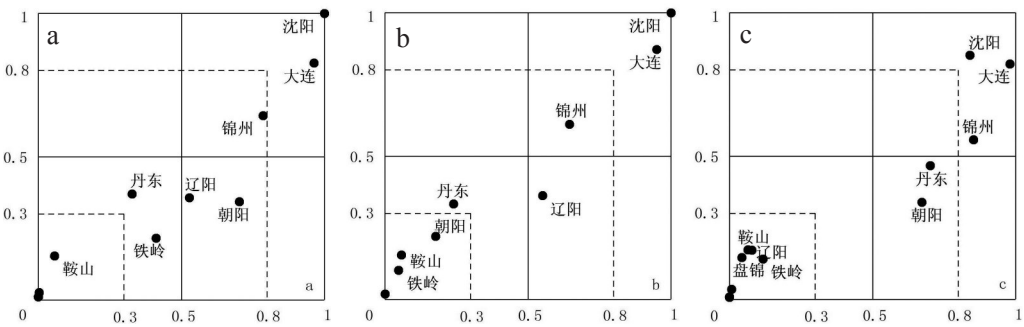


图4 辽宁省能源效率与产业结构的耦合分布
Fig. 4 Coupling distribution of energy efficiency and industrial structure in Liaoning Province

度趋近于零的城市。直观上看，三图中各地区的耦合分布有相似的结构特征，由于耦合度与耦合协调度的正相关关系，各市集中分布在一三象限。综合来看，辽宁省能源效率与产业结构空间耦合最显著的特征为沈阳—大连两极高度耦合格局，全省低耦合城市多，高耦合城市少。从各市来看，鞍山、抚顺、本溪、营口、阜新、盘锦、葫芦岛七市均处于低协调分离阶段，其能源效率与产业结构发展的相互关系模糊且不协调。鞍山市虽属低耦合度七市之一，但其耦合度明显高于其他六市，未来能源效率与经济协调发展的潜力巨大。不难看出，除沈阳、大连外，耦合度较高的城市为锦州、丹东、辽阳、朝阳。其中，锦州、丹东为能源效率与产业发展高水平上的耦合，辽阳、朝阳为低水平上的耦合。

具体而言，耦合度大于0.3的城市，在能源效率与产业结构高级化的耦合关系中，丹东处于中协调拮抗阶段，铁岭处于低协调拮抗阶段，辽阳、朝阳处于中协调磨合阶段，锦州处于高协调磨合阶段；在能源效率与产业结构合理化的耦合关系中，丹东处于中协调拮抗阶段，辽阳处于中协调磨合阶段，锦州处于高协调磨合阶段；在能源效率与产业结构集中化的耦合关系中，丹东、朝阳处于中协调磨合阶段，锦州处于高协调耦合阶段。

从整体上来看，图4a产业结构高级度与能源效率的耦合分布情况要明显优于其他二图，耦合点分布较均匀且高耦合点略多。另外，从各耦合点相对应的耦合值来看，产业结构高级度与能源效率的耦合度、协调耦合度的均值与中值也均高于合理度与集中度。这说明产业结构高级化与能源效率的提高关系密切，产业结构升级是影响能源效率提高、节能减排政策实施的关键环节^[29]，即以产业结构高级化目标的产业结构政策能更有效地推动能源效率的提高。这主要是由于不同行业的能源密度差异较大，冶金、化工、建筑等行业单位产值能耗约为3~4 t标准煤，是电子及通讯设备、精密仪器制造业单位产值能耗的50倍以上^[30]。辽宁省应积极推进各城市的产业融合与技术对接，通过产业结构升级来带动能源消费结构升级及能源效率的提高，真正实现区域之间能源效率与产业结构的协调发展。

5 结论与讨论

5.1 结论

从能源效率的区域差异和空间特征来看，各地区能源效率层级差异显著，空间分布结构大体形成。各地区不同的自然基础、经济基础、区位优势、历史背景、政策条件等是导致差异形成的主要因素，也是空间格局形成的内在动因。辽宁省经济发展的双核结构特征，对能源效率的空间差异及结构特征产生了深远影响。辽西北地区及抚顺、本溪等重工业城市是未来能源效率提高的关键地区。

从产业结构各方面的发展态势及水平来看，辽宁省各地级市产业结构高级化度与合理化度的空间结构相似，而集中化度相对二者差异较大，这充分证明了产业结构高级化与合

理化间存在着密切联系,也表现了产业结构集中化与二者相关性较低。产业结构发展水平较高的地区集中在辽东南沿海城市,而产业结构集中度较高的地区多为高能耗低能效地区。

从能源效率与产业结构的空间耦合关系来看,整体上各地区的耦合度较低,能源利用与产业经济未能保持协调发展,而空间上也处于不均衡态势。产业结构高级度与能源效率的耦合度相对较高,实现产业结构高级化是推动能源效率提高的重要途径。在能源效率与产业结构发展偏离的城市中,最具典型意义的是营口市,其过量的能源消费严重阻碍了能源效率的提高。

5.2 讨论

威廉姆逊 (Jeffery G. Williamson) 在 20 世纪 60 年代提出的倒 U 型理论,认为随着经济的增长,地区发展首先由均衡逐渐走向不均衡,之后由不均衡逐渐走向均衡。这在一定程度上可以解释,辽宁省能源效率与产业结构区域发展不均衡与不耦合的状况是经济发展中不可逾越的阶段。辽宁省经济社会的发展状况是中国经济建设历程的一个缩影,中国自改革开放以来实行的不均衡发展政策,不仅体现在中国东中西部显著的经济差异中,也体现在各省区域内部的发展中,而国企比重较大的辽宁省便是典型。

辽宁省能源效率与产业经济不协调发展的现状,其形成原因主要有以下几方面:辽宁省 3 大经济区未能依据比较优势形成区域间的合理分工,未能最大限度地实现优势互补与资源共享;各区域缺乏统一的发展规划,推进区域经济一体化的体制和机制尚不健全;能源利用粗放,产业结构趋同,各类经济发展要素尚未形成优势组合;中心城市对周边地区的带动和辐射作用不强,极化效应和扩散效应没有充分发挥作用。这些问题也是导致其他区域发展不协调状况的共性因素。

上述问题存在的同时也为辽宁省未来的发展论证了方向,各市应在提高经济效率的同时注重各产业能耗的节约,推动产业发展模式从高能耗型向资源节约型转变。充分发挥沈阳、大连作为核心城市的经济辐射和带动作用,推动沿海经济带、沈阳经济区和辽西北地区真正实现良性互动、协调发展的局面。紧紧围绕使市场在资源配置中起决定性作用深化经济体制改革,将加快转变经济增长方式贯穿于区域经济社会发展的全过程和各领域。

参考文献 (References)

- [1] Wei Chu, Shen Manhong. Energy efficiency and energy productivity: A comparison based on the panel data by province. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2007, (9): 110-121. [魏楚, 沈满洪. 能源效率与能源生产率: 基于 DEA 方法的省际数据比较. *数量经济技术经济研究*, 2007, (9): 110-121.]
- [2] Wei Yiming, Liao Hua. Seven energy efficiency indicators and their measurement approaches. *China Soft Science*, 2010, (1): 128-137. [魏一鸣, 廖华. 能源效率的七类测度指标及其测度方法. *中国软科学*, 2010, (1): 128-137.]
- [3] Hu J L, Wang S C. Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [4] Wei Chu, Shen Manhong. Energy efficiency and its influencing factor: Based on the positive analysis of DEA. *Management World*, 2007, (8): 66-76. [魏楚, 沈满洪. 能源效率及其影响因素: 基于 DEA 的实证分析. *管理世界*, 2007, (8): 66-76.]
- [5] Zhao Yuan, Hao Lisha, Yang Zuying. Regional differentiation of energy efficiency and its causes in Jiangsu. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(8): 920-927. [赵媛, 郝丽莎, 杨足膺. 江苏省能源效率空间分异特征与成因分析. *地理学报*, 2010, 65(8): 920-927.]
- [6] Boyd G A, Pang J X. Estimating the link-age between energy efficiency and productivity. *Energy Policy*, 2000, 28(5): 289-296.
- [7] Li Shixiang, Cheng Jinhua. Analysis on the energy efficiency about main industrial provinces in China: 1990-2006. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2008, (10): 32-43. [李世祥, 陈金华. 中国主要工业省区能源效率分析: 1990-2006. *数量经济技术经济研究*, 2008, (10): 32-43.]
- [8] Liu Jiajun, Dong Suocheng, Li Yu. Spatial analysis on the contribution of industrial structure change to regional energy efficiency: A case study of 31 provinces in Mainland China. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(12): 1999-2010. [刘

- 佳俊,董锁成,李宇. 产业结构对区域能源效率贡献的空间分析:以中国大陆31省(市、自治区)为例. 自然资源学报, 2011, 26(12): 1999-2010.]
- [9] Wu Qi, Wu Chunyou. Research on evaluation model of energy efficiency based on DEA. Journal of Management Sciences, 2009, 22(1): 103-106. [吴琦, 武春友. 基于DEA的能源效率评价模型研究. 管理科学, 2009, 22(1): 103-106.]
- [10] Wei Chu, Shen Manhong. Current progresses and new trend of research on energy efficiency: A literature review. Journal of Zhejiang University: Humanities and Social Sciences, 2009, (3): 55-63. [魏楚, 沈满洪. 能源效率研究发展及趋势: 一个综述. 浙江大学学报: 人文社会科学版, 2009, (3): 55-63.]
- [11] Wang Qunwei, Zhou Dequn, Shen Xuan et al. The measurement and analysis of total factor energy efficiency in China. Management Review, 2010, 22(3): 37-43. [王群伟, 周德群, 沈璇 等. 我国全要素能源效率的测度与分析. 管理评论, 2010, 22(3): 37-43.]
- [12] Wu Hengyu, Hu Genhua, Qin Siyi et al. Empirical study of the BRICS' energy efficiency based on super-efficiency DEA model. Soft Science, 2012, 26(4): 7-12. [吴恒煜, 胡根华, 秦嗣毅 等. 基于超效率DEA模型的BRICS能源效率实证研究. 软科学, 2012, 26(4): 7-12.]
- [13] Li Xiaojian. Economic Geography. Beijing: Higher Education Press, 2006. [李小建. 经济地理学. 北京: 高等教育出版社, 2006.]
- [14] Lu Dadao. An analysis of spatial structure and optimal regional development. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(2): 127-134. [陆大道. 论区域的最佳结构与最佳发展. 地理学报, 2001, 56(2): 127-134.]
- [15] Wang Yang, Zhao Wanmin, Guo Yue. Measuring regional economical non-balanced status based on geo-info technology: A case study of Chongqing. China Soft Science, 2007, (9): 61-68. [汪洋, 赵万民, 郭跃. Geo-info模型下区域经济空间非均衡态量化测度: 重庆市实证研究. 中国软科学, 2007, (9): 61-68.]
- [16] Dang Yaoguo, Liu Sifeng, Wang Qingfeng et al. Theory and Practice of Regional Industrial Structure Optimization. Beijing: Science Press, 2011. [党耀国, 刘思峰, 王庆丰 等. 区域产业结构优化理论与实践. 北京: 科学出版社, 2011.]
- [17] Qu Xiao'e. An analysis on Chinese inter-provincial differences in energy efficiency and their determinations. Economic Theory and Business Management, 2009, (2): 46-52. [屈小娥. 中国省际能源效率差异及其影响因素分析. 经济理论与经济管理, 2009, (2): 46-52.]
- [18] He Canfei, Wang Junsong. Economic transition and energy intensity in China. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(4): 461-469. [贺灿飞, 王俊松. 经济转型与中国省区能源强度研究. 地理科学, 2009, 29(4): 461-469.]
- [19] Wei Quanling. Data envelopment analysis. Chinese Science Bulletin, 2000, 49(17): 1793-1808. [魏权龄. 数据包络分析. 科学通报, 2000, 49(17): 1793-1808.]
- [20] Wei Quanling. Date Envelopment Analysis Models for Estimating Relative Efficiency: DEA and Network DEA. Beijing: China Renmin University Press, 2012. [魏权龄. 评价相对有效性的数据包络分析模型: DEA和网络DEA. 北京: 中国人民大学出版社, 2012.]
- [21] Liang Liutao, Yang Jiantao. Analysis of the tourism efficiency and its decomposition based on DEA. Geographical Research, 2012, 31(8): 1422-1430. [梁流涛, 杨建涛. 中国旅游业技术效率及其分解的时空格局: 基于DEA模型的研究. 地理研究, 2012, 31(8): 1422-1430.]
- [22] Liu Fengchao, Yang Ling, Zhao Chenhao. The spatial structure analysis of the economic development in Liaoning province-the measurement on the GIS platform. Journal of Dalian University of Technology: Social Sciences, 2011, 32(3): 1-5. [刘凤朝, 杨玲, 赵宸浩. 辽宁省经济发展的空间结构分析: 基于GIS平台的测度. 大连理工大学学报: 社会科学版, 2011, 32(3): 1-5.]
- [23] Zhang Jun, Wu Guiying, Zhang Jipeng. The estimation of China's provincial capital stock: 1952-2000. Economic Research, 2004, (10): 35-44. [张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估计: 1952-2000. 经济研究, 2004, (10): 35-44.]
- [24] Zheng Shaozhi, Chen Zhihui. An empirical study on industry structure and economic growth-based on the analysis of China, Guangdong and Guangzhou. Industrial Economic Review, 2011, (5): 55-60. [郑少智, 陈志辉. 产业结构高级化与经济增长关系实证研究: 基于全国、广东省及广州市数据的对比分析. 产经评论, 2011, (5): 55-60.]
- [25] Li Xinzhan, Song Hemin, Zheng Xin. The rationalization analysis of industrial structure of Liaoning Province based on deviation degree model. Journal of Shenyang University of Technology, 2012, 31(2): 35-37. [李新战, 宋赫民, 郑欣. 辽宁省产业结构合理化分析. 沈阳理工大学学报, 2012, 31(2): 35-37.]
- [26] Guan Wei, Zhu Haifei. Temporal-spatial analysis of inter-country economic differences in Liaoning province based on ESDA. Geographical Research, 2011, 30(11): 2008-2016. [关伟, 朱海飞. 基于ESDA的辽宁省县际经济差异时空分析. 地理研究, 2011, 30(11): 2008-2016.]
- [27] Guan Wei, Guo Jiajing, Zhou Xintong. Evaluation on logistics industry development in the central cities of Northeast China based on principal component analysis. Journal of Liaoning Normal University: Natural Science Edition, 2012, 35(2): 252-258. [关伟, 郭佳婧, 周忻桐. 基于主成分分析的东北中心城市物流业发展水平测评. 辽宁师范大学学报:

自然科学版, 2012, 35(2): 252-258.]

- [28] Ma Li, Jin Fengjun, Liu Yi. Spatial pattern and industrial sector structure analysis on the coupling and coordinating degree of regional economic development and environment pollution in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1299-1307. [马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析. *地理学报*, 2012, 67(10): 1299-1307.]
- [29] Wang Qiang, Zheng Ying, Wu Shidai et al. Mechanism of energy efficiency response to industrial restructuring and energy consumption structure change. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 741-749. [王强, 郑颖, 伍世代 等. 能源效率对产业结构及能源消费结构演变的响应. *地理学报*, 2011, 66(6): 741-749.]
- [30] Zhang Xiaoping. Temporal-spatial characteristics of energy consumption in China and its determination since the 1990s. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(2): 38-41. [张晓平. 20 世纪 90 年代以来中国能源消费的时空格局及其影响因素. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(2): 38-41.]

Spatial patterns and coupling relations between energy efficiency and industrial structure in Liaoning Province

GUAN Wei^{1,2}, XU Shuting¹

(1. School of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;

2. Research Center for Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)

Abstract: Taking 14 prefecture-level cities in Liaoning Province as the source of samples in the study area, this paper first explored the spatial hierarchy and structural characteristics of energy efficiency from the following three aspects: comprehensive energy efficiency by means of DEA, energy consumption per unit of GDP, and the energy efficiency in combination of the former two indexes. After measuring and analyzing the degrees of advancement, rationality and concentration of industrial structure in each city, we generalized the coupling features between energy efficiency and industrial structure in Liaoning by using the coupling degree rating model. Some conclusions can be drawn as follows. (1) The 14 cities differ significantly in their energy efficiency, among which, four cities (Shenyang, Dalian, Anshan and Jinzhou) enjoy the highest energy efficiency, but the northwestern part and other heavy industry cities such as Fushun and Benxi belong to low efficiency and high consumption area. (2) In areas with higher efficiency, the spatial patterns of the comprehensive energy efficiency, the energy consumption for GDP per unit, and the energy utilization efficiency present patterns of 'π', 'II', and 'H', respectively. Geographically, from east to west and from north to south, the energy utilization efficiency shows different trend; the binuclear structure of economic development and other factors have a major effect on the formation of this kind of spatial pattern of energy efficiency. (3) The southeastern part of Liaoning enjoys higher degree of advancement of industrial structure. With Shenyang and Dalian holding two ends, the areas with higher degree of rationality of industrial structure presents an 'H'-shaped pattern. The urban agglomerations in the central and southern Liaoning enjoy higher degree of concentration of industrial structure. (4) The overall coupling degree between energy efficiency and industrial structure is low in the province, but at both ends of Shenyang and Dalian, the coupling degree between the advancement of industrial structure and energy efficiency is relatively high than that of other cities.

Key words: energy efficiency; industrial structure; spatial pattern; coupling; Liaoning