

# 产业发展的资源环境效率研究进展

许 旭<sup>1,2</sup>, 金凤君<sup>1</sup>, 刘 鹤<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:**产业发展的资源环境效率研究对于建设资源节约和环境友好型社会, 实现“效率国土”具有重要意义。本文总结了该领域研究在理论、方法和实践等方面取得的最新进展, 指出了当前研究的薄弱环节和空白领域, 并展望了未来的研究方向。研究认为, 目前资源环境效率问题已经引起足够关注。对资源环境的内涵、指标体系、计算方法、应用实践层面进行了系统分析; 已经从产业结构变动、产业布局、产业集群等多角度对产业发展与资源环境的关系及作用机理进行探讨, 初步探讨了资源环境效率的影响因素, 尚未从资源环境效率的角度揭示产业发展与资源环境的关系及作用规律; 研究方法上, 以多指标综合评价法、数据包络分析法、火用、能值、生态足迹、物质流等生态热力学方法为主的定量分析方法开始应用于资源环境效率的评价之中。未来应加强系统的理论研究, 加强对资源环境效率的机制的分析, 在计算方法上需进一步的探索和改进。

**关 键 词:**产业发展; 资源环境效率; 研究进展

## 1 引言

产业发展是将产业作为一个有机的整体, 探讨在工业化为主的经济发展中, 产业内部各企业之间相互作用关系的规律、产业本身的发展规律、产业与产业之间互动联系的规律以及产业在空间区域中的分布规律等<sup>[1]</sup>。产业发展是经济社会发展的深层动力, 一方面通过产业组织的变化、产业规模的扩大、技术的进步、效益的提高完善单个产业的进化, 另一方面通过产业类型、产业结构、产业关联、产业布局的优化升级实现产业总体的演进, 从而推动整个区域经济的发展 and 成熟。因此, 产业发展一直是学者们关注的热点研究领域。近年来, 随着我国工业化进程的推进, 生产力水平不断提高, 环境资源的供给和废物接受能力逐渐下降, 生态环境和自然资源成为了经济发展重要的内生变量和刚性约束条件。工业化进程加速推进对资源环境的客观需求, 与资源环境承载能力不足的严峻现实之间的矛盾, 使得减少资源消耗和环境负荷, 提高资源环境效率成为全社会必须关注的重大问题。

## 2 产业发展与资源环境关系研究的主要领域

### 2.1 产业结构与资源环境关系研究

产业结构是一个“资源配置器”, 同时也是资源环境的消耗和污染物产业的质和量的“控制体”<sup>[2]</sup>。产业结构对污染物种类、规模以及形成原因存在直接或间接影响<sup>[3]</sup>。其组合类型和强度在很大程度上决定了经济效益、资源利用效率和对环境的胁迫<sup>[4]</sup>。

学者普遍认为产业结构是影响环境污染的重要变量, 并对此进行了大量研究。目前国内有关产业结构与资源环境问题的研究分为两类: 一类是探讨产业结构演变的资源环境效应。这一类研究成果丰富, 涉及范围广泛。如徐颂从产业集中度、产业规模发展、企业素质、产业组织等方面分析珠江三角洲产业结构调整对生态环境的影响机理<sup>[5]</sup>; 崔凤军等提出由经济效益、资源环境产出率 and 环境资源度三因子组成的评价指标体系和矩阵转换评价方法, 对本溪市产业结构的生态影响进行评价<sup>[4]</sup>。王海建利用投入产出技术给出经济结构变动对环境污染物排放的影响分析模型<sup>[6]</sup>。刘文新等以鞍山

收稿日期: 2010-04; 修订日期: 2010-07.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40635026)。

作者简介: 许旭(1984-), 女, 河南南阳人, 博士研究生, 研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: xux.08b@igsrr.ac.cn

市为例,利用典型相关分析方法探讨资源型城市产业结构和环境质量的相互作用,发现以冶金工业为主导的产业结构使区域多种污染物排放量较高<sup>[7]</sup>。彭建等依据不同产业发展对生态环境影响的定性分析,构建不同产业类型的生态环境影响系数和区域产业结构的总体生态环境影响指数,以丽江为例,证实了重工业等高污染产业比例的下降对生态环境产生了明显的正效应<sup>[8]</sup>。周景博认为三次产业的环境影响程度存在较大差别。第二产业环境影响最大,并且因第二产业内部各行业资源使用种类、工艺流程、以及资源密集度不同,环境影响差异很大<sup>[9]</sup>。赵海霞等认为工业结构与布局是现阶段影响环境污染的重要变量,经济活动、工业结构重型化调整、产业布局是导致环境污染排放增加的主要因素<sup>[10]</sup>。赵雪雁分析甘肃省产业发展轨迹及不同产业发展的生态环境影响,利用不同产业生态环境影响指数计算年以来该省产业转型的生态环境效应。计算表明,产业转型轨迹及其引起的生态环境效应轨迹在变化趋势上存在一致性,呈明显波浪形,产业转型对生态环境影响滞后于产业转型<sup>[11]</sup>。

另一类研究集中于分析资源与环境约束下的产业结构调整及主导产业选择。如晏晓林等建立了以多目标规划和系统分解协调优化为主体的系统双向耦合优化方法来研究区域工业结构与环境质量的关系<sup>[12]</sup>。张晓东等从资源供需平衡和环境容量入手,根据经济效益、资源效率和环境承载力三者的相互关系建立模型,初步分析了资源环境对怀柔产业结构的影响<sup>[13]</sup>。陈楷根等从资源和环境出发,建立产业结构综合相对势评价模型,评价福建工业内部各行业的综合相对势<sup>[14]</sup>。于法稳等用灰色关联分析方法研究重庆市主导产业对环境质量的影响程度、对资源的依赖状态,认为二氧化硫、工业粉尘和固体废物与工业各行业关联较大,行业对物资原材料的需求较大<sup>[15]</sup>。孙晓鸣等基于灰色关联分析和层次分析法,研究工业各行业的生态经济效益,并给出南京工业各行业的发展序列<sup>[16]</sup>。此类研究逐步由定性分析向定量与定性结合的方向发展。目前主要的方法有线性规划法、投入产出法、灰色系统分析法、系统动力学分析法、一般均衡法、GHG-2模型法等。

总体来看,已有研究以特定区域的实证研究为主,机理分析尚未展开;研究尺度以省、市行政单元

为主,分析对象有一定的局限性;采用数学模型进行分析,但多数研究方法相似,鲜有创新,且成功的研究结果较少,主要区别就是研究地区不同。对资源环境约束下产业结构如何调整优化问题研究较少,多数为定性阐述,深度不够,缺乏系统性分析。

## 2.2 产业布局与资源环境的相互作用研究

产业布局是产业与生态环境相互作用的连接点。产业在空间的转移和集聚会引起资源空间配置效率及环境污染空间扩散和转移,从而导致区域环境污染结构的转变,对区域生态环境的可持续发展具有重要影响。

目前有关产业布局与资源环境关系的研究侧重于基于资源、环境承载力的产业布局适宜性研究、产业布局的环境影响与评价两个方面。王云等利用区域环境承载力理论对城市工业布局进行探讨,提出工业布局合理度概念,并将其应用于北海市的城市环境规划之中,对其工业布局现状进行评价<sup>[17]</sup>。陈燕探讨环境承载力分析在嵩明县环境保护工业布局规划中的应用<sup>[18]</sup>。赵美鑫等采用灰色关联分析法分别对工业部门的能源消耗、工业布局与环境质量进行分析,认为哈尔滨市煤炭和焦炭“三废”排放量的影响最大,应转变能源消费结构、构建合理城市空间布局结构,以改善环境质量<sup>[19]</sup>。

产业的集中与分散也对资源环境产生影响。多数学者认为,城市密集区空气质量的变化与该地区产业的规模化集聚有很强的相关性<sup>[20]</sup>。高度密集的产业集聚地区由于对资源和能源需求增势强劲,频繁出现能源全面短缺、土地资源强约束、水质性缺水等突出问题<sup>[21]</sup>。同时,人口、资本的过度集聚必然导致土地成本增加、生态环境恶化、交通拥挤等外部不经济现象<sup>[22]</sup>。蔺雪琴等在总结部分学者的观点后,提出产业集聚是造成城市群地区水资源短缺、土地占用、大气污染、生物多样性减少等一系列生态环境问题的主要原因之一<sup>[23]</sup>。但也有学者提出了不同的观点,认为城市生态环境的恶化并不是产业集聚本身造成的,而是由粗放型的生产方式等原因造成的,如果采取严格的环境管制,产业的集聚能够减轻污染天堂的效应<sup>[24-25]</sup>。

总体来看,该部分研究较少,已有研究多为定性描述,而综合考虑布局因素对产业发展资源环境效率影响的研究也较少,缺少定量的分析。

### 3 产业发展的资源环境效率的研究

#### 3.1 资源环境效率的概念及内涵

可持续发展倡导的资源节约和效率提高的思想,直接架构了资源环境效率的理论核心。资源环境效率将可持续发展目标融入到区域、产业和企业的发展规划中,成为发展循环经济、建立节约型社会的有效途径。最早对资源环境效率问题的研究可以追溯到20世纪90年代初,如1990年Schaltegger等首次提出eco-efficiency(译作生态效率)概念,指增加的价值与增加的环境影响的比值<sup>[26]</sup>。该概念被广泛接受是通过世界可持续发展工商联合会(WBCSD)在1992年出版的著作《改变航向:一个关于发展与环境的全球商业观点》。该书将生态效率定义为:“生态效率必须提供有价格竞争优势的、满足人类需求和保证生活质量的产品或服务,同时能逐步降低产品或服务生命周期中的生态影响和资源的消耗强度,其降低程度要与估算的地球承载力相一致”<sup>[27]</sup>。随后相关研究机构对该概念进行一系列的定义和研究,由于对资源环境概念范畴的定义不同,出现了诸如资源环境效率、生态效率、环境效率、资源生产率、生态经济效率等提法<sup>[28-32]</sup>。生态有耦合关系、系统知识与和谐状态3种内涵,是包括人在内的生物与环境之间关系的系统科学,表示了生命与环境关系之间的整体、协同、循环的组织 and 秩序,内涵广泛,已有的研究虽然多用“生态效率”一词,但基本反映都是资源环境消耗与经济产出的比值关系,大大缩小了生态的内涵。我国学者在90年代末期引入资源环境效率的概念,由于涉及环境的综合评价存在标准不一和实际数据获取困难等问题,目前已有的研究仍停留在定性研究为主,在介绍引进国外先进概念和理论方法的基础上,初步形成了一些适合中国国情的理论和方法。主要集中在生态效率概念的解释、生态效率与循环经济关系、基于生态效率的循环经济评价指标体系的建立以及循环经济模式的提出等方面<sup>[33-40]</sup>。

#### 3.2 不同层面的资源环境效率研究进展

目前,国外关于生态效率的研究主要集中在“产品、企业、行业、区域”4个层面。生态效率的概念最初应用于企业层面,后来逐步向更微观和宏观层面的应用深入,由于研究对象层次的差别和研究目的的不同,计算与评价方法也各有差异。例如运输行

业特别关注能源消耗和大气污染,食品加工业则关注水资源消耗和废水排放。Morales等采用生态效率函数对墨西哥石化企业不同生产流程通过实施清洁生产产生的经济和生态效益进行分析,该函数以原材料使用量、产量及残余物的量作为变量<sup>[41]</sup>;Breedveld等就瓷砖行业在生产过程中会造成大气污染的问题为例,用生态效率识别不同生产技术环境绩效的优劣<sup>[42]</sup>。Charmondusit等采用WBCSD提供的指标分别对石油和石油化工行业的中下游企业的物质—生态效率、能源—生态效率、水资源—生态效率、排放污染物—生态效率进行计算,分析生态效率变化趋势<sup>[43]</sup>。

以区域或国家为研究对象的资源环境效率实践不多,目前尚无普遍认可的办法。区域竞争力的提高,生态效率是一个核心问题<sup>[44]</sup>。学者们在区域资源环境效率的计算方法上展开了探索。2002-2004年,芬兰在Kymenlaakso工业区进行了生态效率的项目研究,第一次提出在区域生态效率的评价指标中,必须引入社会方面的指标,通过对区域经济、环境和社会三方面综合考虑,对该工业区2000年的生态效率进行定量分析,进而对芬兰其他地区生态效率评价提供了准则<sup>[45]</sup>。Seppala等着重研究了与区域生态环境效率相关的环境和经济指标,环境影响指标的提出建立在区域的生命周期评价分析基础上,其中包括:压力指标(二氧化碳等温室气体的排放),影响类型指标(如天气变化中二氧化碳的等价物)和总体影响指标(将各种影响清单结果合并为一个数值);经济指标一般包括GDP、附加值<sup>[46]</sup>。Michwitz等对该项目中社会指标的建立进行分析,包括安全、教育、人口等,但社会发展指标仅作参考,不参与环境指标、经济指标的综合<sup>[47]</sup>。

但也有学者认为生态效率的概念来自于产业界,没有包括区域可持续发展可持续性所需要的社会发展指标,相反,比较适合的是对区域的产业系统的可持续性评价<sup>[39]</sup>。王震等借用生命周期分析的相关研究成果,构建了区域工业生态效率的指标体系、计算步骤和方法,经过分析,认为工业生态效率指标及测算可比较全面和真实的反应某个区域在经济、环境、社会等方面各种政策的实施效果<sup>[48]</sup>。

综上所述,企业的资源环境效率在研究中侧重行为动机和战略视角,有较深厚的理论基础和实践经验;而行业的资源环境效率的评价具有一般性,可以从系统角度比较不同企业间的产品、工艺流



程、生产技术上的优劣,对行业的可持续发展提供指导;多产业、区域的资源环境效率研究较少,目前仍处于理论实践探索阶段。

### 3.3 资源环境效率的影响因素研究

目前相关文献主要集中在水、土地、能源等单个资源要素的效率分析<sup>[49-52]</sup>以及纯技术效率影响因素的研究上<sup>[53-55]</sup>(单一资源的研究及技术效率和全要素生产率涉及学科多、领域广,研究类型丰富,本文中不做详细介绍),而对综合的资源环境效率考察较少。

在已有的研究中,学者们普遍认为经济运行因素、制度因素、地区和区域因素对资源环境效率存在影响<sup>[56-57]</sup>。如朱远峰运用回归模型分析产业结构对环境约束下技术效率的影响;程丹润从产业规模、产业结构、技术、贸易国际化程度、资本国际化程度、政策规制等方面考虑解释变量,运用Tobit回归模型来考察各解释变量与中国区域环境效率的关系。结果显示:经济规模、对外开放程度、市场化程度以及人口密度与环境效率均呈现显著正相关关系,工业比重上升和排污费收入的提高对环境效率改善有负面影响。但产业结构对环境效率的影响比较复杂,工业产值只是产业结构的一个方面,具体的产业结构调整对环境效率的作用效果需另选指标研究。此外,产业集群的形成对提高资源环境效率,促进循环经济发展有积极地推动作用,产业集群的生态效率较集群前可以增加30%~40%,处于不同发育阶段的产业集群的资源环境效率存在差异<sup>[58-59]</sup>。

## 4 产业发展的资源环境效率研究方法

目前,多指标综合分析法、数据包络分析法、物质流、能值、生态足迹等方法广泛应用于区域、城市以及行业部门资源环境效率上,为产业这一中观尺度经济载体的水、土、能源、原材料等的效率以及污染排放效率提供了重要的研究手段。

### 4.1 多指标综合分析法

指标评价法在资源环境效率的评价中很常见。资源环境效率的计算通常涉及3类指标:经济、资源和环境的指标。周国梅介绍了OECD国家生态效率的概念,论述了工业生态效率的指标体系

一般包括三个方面:能源强度指标、原材料强度指标和污染物排放指标,并借鉴生态效率的指标体系初步建立了循环经济的评价指标体系<sup>[60]</sup>。Hu等采用税后利润作为经济绩效指标、能源消耗、水资源消耗、原材料消耗、二氧化碳排放量和废物产生量作为环境指标,对台湾长华沿海工业园区进行生态效率的评价<sup>[58]</sup>。也有学者根据污染物标准的不同,将生态效率指标分为基于工业废水的生态效率指标、基于工业废气的生态效率指标,该指标基于我国三废排放数据,比较符合我国的实际情况,指标获取也较容易<sup>[61]</sup>。

本类方法的优点是指标的可解释性强,既能充分反映具体问题,又能进行综合评价,但最大的问题赋权重时受到主观因素影响太多,影响评价的客观性。但该方法在分析产业资源环境效率问题上仍不失为一种较好的方法,应用较多。

### 4.2 数据包络分析法

数据包络分析是在“相对效率评价”的概念基础上,根据多指标投入和产出数据,运用运筹学的相关理论和模型评价同类决策单元的效率相对有效性的一种系统分析方法<sup>[62]</sup>。该方法将其经济指标和环境指标分为输入和输出2类,若输出中含有污染物,则需要将其最小化,此时的输出成为非期望输出(Undesirable Output),非期望输出的问题一般通过函数变化和模型修正来解决。该方法多用于比较同一行业的企业在某一时间点上的相对效率或某行业不同年份的纵向比较评价<sup>[63-64]</sup>。DEA是采用统计学方法自动赋权,可以有效减少环境指标赋权方法的主观性影响。能够在不脱离评价目的前提下调整输入输出指标体系,多次求解,通过对比不同结果,可以观察到哪些指标对DMU有效性有显著影响,这在复杂系统评价研究中有特别的意义。但DEA模型要求评价单元的数量应是指标数量的2倍以上,使所设计的环境影响种类受到数量限制。近年也有部分学者尝试将其应用在区域或产业系统资源环境效率的评价中<sup>[31,65-66]</sup>。如周景博通过将区域发展中对不同类型资本的依赖作为投入,将经济社会和环境效益作为产出,评价区域环境效率。李静将环境因素考虑进经济效率,对传统DEA进行修正,采用非期望产出的SBM模型,分析了我国区域环境效率差异及演进规律。

上述研究是基于截面数据展开的。为了分析

比较产业或经济在不同时间或地区的绩效,有的学者采用DEA window分析<sup>[67-69]</sup>、Malmquist-DEA<sup>[70-71]</sup>等方法对信息量大、估计效率高的面板数据进行分析,意在获得更多的信息和更高的估计效率,使DEA对相对绩效的测评具有了更高水平的意义。

4.3生态热力学途径的方法

生态系统由生命系统和环境在特定时空相互作用而形成,其特征是系统内部及系统与环境之间存在能量流动、物质循环和信息转换。生态热力学方法(火用、能值、物质流、生态足迹等)成为研究生产过程中系统的资源环境效率的有效方法。

热力学对火用的定义为:一定形式的能量或一定状态的物质经过完全可逆的变化过程后,达到与环境完全平衡的状态,在这个过程中该能量或物质所能做的最大功<sup>[72]</sup>。它是对能量物质达到热力平衡状态的潜在做功能力的量度。火用不守恒,自初级生产者通过光合作用固定能量起,到能量利用与传递的终端止,整个过程火用逐级损失。根据其这一特性,有学者通过计算火用值来评价工业过程以及生态系统资源利用效率及生产效率<sup>[73-76]</sup>。

能值分析是以能值作为标准,将系统中不同类别、不同等级的能量流转为统一标准进行评价的方法。它通过对物质流、能量流等的综合衡量,进而对系统进行有效设计,使系统达到最大经济效益、社会效益和生态效益。因此被一些学者逐渐用于资源环境效率的评价。张妍等采用能值分析方法,构建城市物质代谢生态效率,从代谢流量及其效率两个方面核算了北京市资源环境及经济发展的代谢状况。经过分析,认为提高城市物质代谢生态效率的根本途径是经济效率、资源效率、环境效率协同发展,以及逐步建立废物资源化的循环链条<sup>[77]</sup>。

此外,物质流和生态足迹等方法也被一些学者用于度量资源环境效率<sup>[78-79]</sup>。物质流分析是对物质的投入和产出进行量化分析,建立物质投入和产出账户,以衡量经济社会活动的物质投入、产出和物质的利用效率。如吴小庆等根据生态效率理论,运用物质流分析帐户,建立以单位物质质量的产值为度量的区域生态效率评价指标,对江苏省进行区域直接生态效率、区域总生态效率和整体生态效率三个层面的分析。廉鑫借用衡量可持续发展的方法——生态足迹法,以辽宁省为对象,建立包含技术

进步、政府政策、居民消费、产业结构在内的资源效率模型。

5 结论与讨论

综上所述,国内外学者对产业发展的资源环境效率问题进行了一定的理论总结、方法探索和实证研究,有了一定的研究基础。但仍存在一些薄弱环节,未来需加强研究。

(1) 理论研究欠缺。目前已有的研究对资源环境效率的概念、内涵及评价等领域研究较多,应用层面较多,但对资源环境效率的理论体系涉及较少,缺乏完整系统的理论基础。多产业、区域的资源环境效率研究较少,目前仍处于理论实践探索阶段。未来在产业和区域层面资源环境效率研究中,综合多种尺度上的资源环境效率的计算是重点关注的内容,既能全面考虑产业的影响,又具有较大的可行性。

(2) 资源环境效率的机制探索欠缺。从图1中可以看出,一方面,以资源环境效率为研究对象,目前的研究主要集中在对其概念及内涵的解释、评价指标体系的建立、对企业或单个行业资源环境效率演进的刻画以及资源环境效率与循环经济的关系等方面,充分肯定了资源环境效率在反应经济增长与环境压力之间分离关系中的作用;另一方面,产业发展与资源环境关系的研究有许多的途径和方式。如众多学者在产业发展阶段、产业规模、产业结构、产业布局等方面对资源环境的作用机理和效应方面展开诸多研究,在讨论区域经济发展与环境污染关系时,众多学者采用污染总量为变量,在环

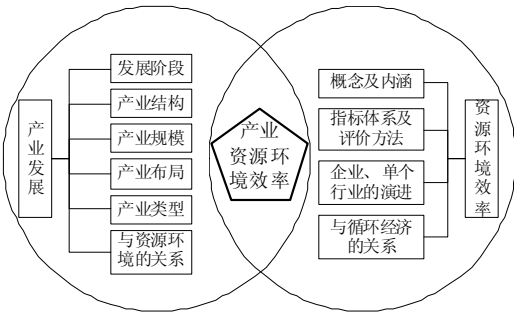


图1 产业发展的资源环境效率研究领域简图

Fig.1 The diagram of the research fields of resource and environment efficiency of industrial development

境库兹涅茨曲线的实证研究和成因解释上做了大量的工作<sup>[80-81]</sup>。但是资源环境效率作为建立经济与资源环境关系的最直接途径,目前对于资源环境效率在经济增长、物质减量以及改善环境压力中的作用机理和相互关系方面尚未涉及。如产业发展的资源环境效率与经济发展阶段、产业的规模、结构、布局究竟是何种关系,是否受这些因素的影响,作用方式怎样;产业的资源环境效率与人均GDP是否存在与EKC形状相似的曲线关系?国外少数专家解释了环境效率与人均GDP的关系是否存在EKC曲线<sup>[82-85]</sup>,国内个别学者初步尝试以污染强度为纵坐标描述二者关系<sup>[86-88]</sup>,国内尚无人以资源环境效率为纵坐标展开其与人均GDP关系的研究与验证。总体上说资源环境效率的机理探索十分欠缺和薄弱,是未来需要大力研究的领域。

(3) 资源环境效率的计算方法有待于进一步深化。计算资源环境效率所采用的指标与其评价尺度和评价目的有密切的关系。资源环境效率最初应用于企业,企业在选择经济指标时,往往采用与其利润最为相关的增加值、销售额等财务指标,在选择计算方法时,往往采用简单直观的价值-影响比值方法。但产业以及区域资源环境的评价则是为了整个产业系统能够实现经济效率和环境效益,需要全面衡量产品或服务在整个生命周期中的价值,因此计算方法上应该采用较复杂的模型;其次,DEA方法因其客观性强成为应用的热点,但不同的DEA计算模型得出的结果差别很大,如何改进和选择DEA模型需进一步研究。同时,一般的DEA方法需要面板数据才能考查资源环境效率的变动,由于环境影响的时间效应,生产技术的变动性,时间序列的DEA模型应得到充分应用,并且针对面板数据的各种DEA模型方法应展开进一步的适用性验证。

#### 参考文献

- [1] 臧旭恒,徐向艺,杨惠馨. 产业经济学. 北京: 经济科学出版社, 2007: 282-284.
- [2] 陈淮. 工业部门结构学导论. 北京: 中国人民大学出版社, 1990: 1-10.
- [3] 薛惠峰. 破解我国结构性污染的环境政策. 中国环境报, 2006-8-25.
- [4] 崔凤军, 杨永慎. 产业结构的城市生态环境的影响评价. 中国环境科学, 1998, 18(2): 166-169.
- [5] 徐颂. 珠江三角洲产业结构调整与生态环境关系. 环境保护, 1998(7): 32-33.
- [6] 王海建. 经济结构变动对环境污染物排放的影响分析. 中国人口·资源与环境, 1999, 9(3): 30-33.
- [7] 刘文新, 张平宇, 马延吉. 资源型城市产业结构演变的环境效应研究. 干旱区资源与环境, 2007, 21(2): 17-21.
- [8] 彭建, 王仰麟, 叶敏婷, 等. 区域产业结构变化及其生态环境效应: 以云南省丽江市为例. 地理学报, 2005, 60(5): 798-806.
- [9] 周景博. 北京市产业结构现状及其对环境的影响分析. 统计研究, 1999(8): 40-44.
- [10] 赵海霞, 曲福田, 诸培新. 环境污染影响因素的经济计量分析: 以江苏省为例. 环境保护, 2006(2): 57-61.
- [11] 赵雪雁. 甘肃省产业空间结构及其生态效应分析. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 17-21.
- [12] 晏晓林, 宁大同. 区域工业经济结构与环境质量的双向耦合优化. 环境科学学报, 1997, 17(1): 87-93.
- [13] 张晓东, 池天河. 基于区域资源环境容量的产业结构分析以北京怀柔县为例. 地理科学进展, 2000, 19(4): 367-370.
- [14] 陈楷根, 曾从盛, 陈加兵. 基于资源环境考虑的产业结构选择基准的探讨. 人文地理, 2003, 18(6): 73-76.
- [15] 于法稳, 刘永涛. 重庆市工业结构与环境资源灰色关联分析. 重庆师范学院学报: 自然科学版, 1998, 15(1): 19-23.
- [16] 孙晓鸣, 邓维, 唐二春, 等. 基于灰色关联分析和层次分析法的工业结构生态化调整: 以南京市为例. 四川环境, 2006, 25(1): 91-95.
- [17] 王云, 冉圣宏, 王华东. 区域环境承载力与工业布局研究. 环境保护科学, 1998, 24(4): 6-9.
- [18] 陈燕. 环境承载力分析方法在嵩明县工业布局规划中的应用. 云南环境科学, 1998, 17(4): 6-8.
- [19] 赵美鑫, 任佳. 哈尔滨工业布局对环境质量的影响研究. 边疆经济与文化, 2009(2): 4-6.
- [20] Frank A A M. de Leeuw, Moussiopoulos N, Sahm P, et al. Urban air quality in larger conurbations in the European Union. Environmental Modeling & Software, 2001, 16(4): 399-414.
- [21] 冯薇. 产业集聚与循环经济互动关系研究. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(4): 166-172.
- [22] 郑季良. 论产业集聚生态效应及其培育. 科技进步与对策, 2008, 25(4): 51-54.
- [23] 蔺雪琴, 方创琳. 城市群地区产业集聚的生态环境效应研究进展. 地理科学进展, 2008, 27(3): 110-118.



- [24] 王崇峰, 张吉鹏. 制造业产业集聚对生态城市建设影响的定量研究. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(4): 140-144.
- [25] Dao Z Z, Lai X Z. Pollution havens and industrial agglomeration. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2009, 58(2): 141-153.
- [26] Stefan Schaltegger, Andreas Sturm. *Ökologische Rationalität/Die Unternehmung* Nr4/90, 1990: 273-290.
- [27] Björn Stigson. Eco-efficiency: Creating more value with less impact. WBCSD, 2000: 5-36.
- [28] 王均奇. 科学发展观照耀生态中国. 济南: 山东大学出版社, 2008: 95-104.
- [29] 朱远. 让GDP变“大”的同时变“轻”: 中国提高资源生产率对策研究. 上海: 同济大学出版社, 2009: 16-22.
- [30] OECD. Eco-efficiency. Paris: Organization for economic co-operation and development, 1998: 7-11.
- [31] 周景博, 陈妍. 中国区域环境效率分析. 统计与决策, 2008(14): 44-46.
- [32] 廖红, 朱坦. 生态经济效率环境管理发展的关系探讨. 上海环境科学, 2002, 21(7): 448-451.
- [33] 汤慧兰, 小柳秀明. 工业生态系统及其建设. 中国环保产业, 2003(2): 14-16.
- [34] 戴玉才, 小柳秀明. 环境效率—发展循环经济路径之一. 环境科学动态, 2005(1): 20-21.
- [35] 诸大建, 朱远. 从生态效率的角度深入认识循环经济. 中国发展, 2005(1): 6-11.
- [36] 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. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 1-5.
- [37] 诸大建, 邱寿丰. 生态效率是循环经济的合理测度. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(5): 1-6.
- [38] 岳媛媛, 苏敬勤. 生态效率: 国外的实践与我国的对策. 科学研究, 2004, 22(2): 170-173.
- [39] 吕彬, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用. 生态学报, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [40] 杨永华. 内生增长理论下的循环经济研究. 中国石油大学学报: 社会科学版, 2007, 23(1): 21-24.
- [41] Morales M A, Herrero V M, Martinez S.A, et al. Cleaner Production and Methodological Proposal of Eco-efficiency Measurement in a Mexican Petrochemical Complex. *Water Science & Technology*. 2006, 153(11): 11-16.
- [42] Breedveld L, Timellini G, Casoni G, et al. Eco-efficiency of fabric filters in the Italian ceramic tile industry. *Journal of Cleaner Production*, 2007(15): 86-93.
- [43] Charmondusit K, Keartpakpraek K. Eco-efficiency evaluation of the petroleum and petrochemical group in the map Ta Phut industrial estate, Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(2): 241-252.
- [44] Hinterberger Fr, Bamberger K, Manstein Ch, et al. Eco-efficiency of regions: How to improve competitiveness and creat jobs by reducing environmental pressure. Government of Carinthia, Austrian Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water, Vienna: Sustainable Europe Research Institute(SERI), 2000-11-30.
- [45] Melanen M, Koskela S, Maenpaa I, et al. The Eco-efficiency of Regions-Case Kymenlaakso: ECOREG Project 2002-2004. *Management of Environmental Quality*. 2004, 15(1): 33-40.
- [46] Seppala J, Melanen M. How can the eco-efficiency of a region be measured and monitored. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 117-130.
- [47] Mickwitz P, M, Rosenstrom U, et al. Regional eco-efficiency indicators-a participatory approach. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(18): 1603-1611.
- [48] 王震, 石磊, 等. 区域工业生态效率的测算方法及应用. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 121-126.
- [49] 董利. 我国能源效率变化趋势的影响因素分析. 产业经济研究, 2008(1): 1-18.
- [50] 高振宇, 王益. 我国能源生产率的地区划分及影响因素分析. 数量经济技术经济研究, 2006, 23(9): 104-109.
- [51] 史丹. 中国能源效率的地区差异与节能潜力分析. 中国工业经济, 2006(10): 49-58.
- [52] 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): 50-61.
- [53] 何枫, 陈荣. 经济开放度对中国经济效率的影响: 基于跨省数据的实证分析. 数量经济技术经济研究, 2004, 21(3): 18-24.
- [54] 刘传哲, 王艳丽. 我国技术效率省际差异影响因素: 基于随机前沿技术的实证研究. 科技导报, 2006(12): 57-60.
- [55] 薛声家, 韩小花. 广东省经济发展效率影响因素分析. 科技管理研究, 2008, 28(2): 95-96.
- [56] 朱远峰. 产业结构对环境约束下技术效率的影响研究: 以浙江为例[D]. 浙江大学, 2007: 50-61.
- [57] 程丹润. 环境约束下的中国区域效率差异及影响因素研究[D]. 合肥工业大学, 2008: 32-42.
- [58] Hu A H, Shi S H, Hsu C W, et al. Eco-efficiency Evaluation of the Eco-industrial Cluster. *Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, 2005(12): 775-778.
- [59] 顾强. 提高产业集群生态效率促进循环经济发展. 中国科技投资, 2006(8): 36-38.

- [60] 周国梅, 彭昊, 曹凤中. 循环经济和工业生态效率指标体系. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 201-203.
- [61] 商华, 武春友. 基于生态效率的生态工业园评价方法研究. 大连理工大学学报: 社会科学版, 2007, 28 (2): 25-29.
- [62] Wei Q L. Data Envelopment Analysis. Beijing: Science Press, 2004: 59-60.
- [63] 姜孔桥, 马永红, 李滢, 等. 石化行业生态效率研究. 现代化工, 2009, 29(3): 80-84.
- [64] 曾珍香, 顾培亮, 张闽. DEA方法在可持续发展评价中的应用. 系统工程理论与实践, 2000(8): 114-118.
- [65] 李静, 程丹润. 中国区域环境效率差异及演进规律研究-基于非期望产出的SBM模型的分析. 工业技术经济, 2008, 27(11): 100-104.
- [66] Zhang B, Bi J. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach. Ecological Economics, 2008, 68(2): 306-316.
- [67] Asmild M, Paradi C V, Aggarwall V, et al. Combining DEA window analysis with the Malmquist Index approach in a study of the Canadian banking industry. Journal of Productivity Analysis, 2004, 21(1): 67-89.
- [68] Cooper W W, Seiford L M, Tone K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-solver Software, 2nd ed. New York: Springer Science + Business Media, 2007: 77-93.
- [69] Halkos G, Tzeremes N. Trade efficiency and economic development: Evidence from a cross country comparison. Journal of Applied Economics, 2008, 40(21): 2749-2764.
- [70] Mukherjee K, Ray S C, et al. Productivity growth in large US commercial banks: the initial post-deregulation experience. Journal of Banking and Finance, 2001, 25(5): 913-939.
- [71] Philippe B, Sergio P. Sulphur emissions and productivity growth in industrialized countries. Annals of Public Cooperative Economics, 2005, 76(2): 275-300.
- [72] Zheng H F. Exergy philosophy of natural resource. Journal of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition, 2003, 5(2): 37-39.
- [73] Szargut J, Ziebiak A, Stanek W. Depletion of the non-renewable natural exergy resources as a measure of the ecological cost. Energy Conversion and Management, 2002, 43(9): 1149-1163.
- [74] Ayres R U. Eco-thermodynamics: Economics and the second law. Ecological Economics, 1998, 26(2): 189-209.
- [75] Zhou J Z, Ma S J, Hinman G W. Ecological exergy analysis: a new method for ecological energetic research. Ecological Modelling, 1996, 84(1): 291-303.
- [76] 沈泉飞, 曹敏. 基于火用分析法的矿区工业生态链物质能量流动研究. 环境科学与管理, 2006, 31(9): 74-76.
- [77] 张妍, 杨志峰. 北京城市物质代谢的能值分析与生态效率评估. 环境科学学报, 2007, 27(11): 1892-1899.
- [78] 吴小庆, 王远, 刘宁同, 等. 基于物质流分析的江苏省区域生态效率评价. 长江流域资源与环境, 2009, 18(10): 890-895.
- [79] 廉鑫. 基于生态足迹的辽宁省资源效率研究[D]. 大连理工大学, 2006: 34-42.
- [80] Galeotti M, Lanza A, Pauli F. Reassessing the environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emissions: A robustness exercise. Ecological Economics, 2007, 61(1): 152-163.
- [81] 苏栓芳, 胡日东, 林三强. 环境质量与经济增长库兹涅茨关系空间计量分析. 地理研究, 2009, 28(2): 303-310.
- [82] Färe R, Grosskopf S, Zaim O. An Environmental Kuznets Curve for the OECD countries//Färe R, Grosskopf S. New Directions: Efficiency and Productivity. New York: Springer Science + Business Media, 2003: 79-90.
- [83] Taskin F, Zaim O. Searching for a Kuznets curve in environmental efficiency using Kernel estimations. Economics Letters, 2000, 68(2): 217-223.
- [84] Zaim O, Taskin F. A Kuznets curve in environmental efficiency: An application on OECD countries. Environmental and Resource Economics, 2000, 17(1): 21-36.
- [85] Huang Y, Barker T. The clean development mechanism and sustainable development: A panel data analysis. Discussion Paper series, 2008. Department of Land Economy, University of Cambridge, No 39, 2008.
- [86] 崔宁宁, 李升峰. 江苏省经济发展模式与污染排放趋势探究. 河南科学, 2005, 23(5): 761-764.
- [87] 王志华. 城市经济增长与环境污染负荷的耦合机制研究[D]. 清华大学, 2007.
- [88] 谭琦璐, 温宗国, 陈吉宁. 中国城市工业污染强度与经济增长耦合关系. 城市环境与城市生态, 2010, 23(1): 1-4.



## Research Progress on the Resource and Environment Efficiency of Industrial Development

XU Xu<sup>1,2</sup>, JIN Fengjun<sup>1</sup>, LIU He<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Resource and environment efficiency of industrial development plays an important role in building resource-saving and environment friendly society, as well as achieving "efficiency land" development model. The paper reviewed domestic and international research progress in theories, methods and practices in resource and environment efficiency of industrial development, pointed out the weak side of current study in this field and proposed the main research directions in the future. Studies show that problems about resource and environment efficiency of industrial development have received universal attention. Studies on the content, index system, calculation methods and application have been held extensively. The relationship and the mechanism between industrial development and resources and environment have been discussed based on industrial structure, industrial layout, and industrial cluster. Meanwhile, the influencing factors on the efficiency of resources and environment have also been preliminarily studied. However, there has been no research on the relationship between industrial development and resources and environment from the angle of resource and environment efficiency. Quantitative analysis methods, such as multi-index comprehensive evaluation, DEA, and eco-thermodynamics including energy analysis, exergy, ecological footprint and so on, have been applied to evaluate the resource and environment efficiency. At present, theoretical studies and applications are still insufficient, and the research system has not formed. In the future, the research on resource and environment efficiency of industrial development and its mechanism, should be enhanced. These topics, such as testing the existence of EKC relationship between resource and environment efficiency and per-capita income, and exploring whether and how the resource and environment efficiency is affected by development stage, industrial structure, industrial location, industrial style and other factors, should be paid enough attention. Meanwhile, the research approaches and technical methods should also be improved. The application of DEA models using panel data should be further verified.

**Key words:** industrial development; resource and environment efficiency; research progress

本文引用格式:

许旭, 金凤君, 刘鹤. 产业发展的资源环境效率研究进展. 地理科学进展, 2010, 29(12): 1509-1517.