

# Literature Review about Low-Carbon Energy and Reduce Carbon Emission from Energy Research\*

Manhong Shen, Xiaolong Su

Economics and Management School, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou  
Email: smhsmh@zstu.edu.cn, xiaolong1989@126.com

Received: Nov. 6<sup>th</sup>, 2012; revised: Dec. 16<sup>th</sup>, 2012; accepted: Dec. 25<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** Low-carbon energy's main feature is low energy consumption and low emissions, and its basic means include energy clean technology and greenhouse gas emission reduction technology, and its targets are reducing fossil fuel consumption and carbon dioxide emissions. There are close links between energy consumption and carbon emissions. The reason of China's high carbon dioxide emissions is fossil fuels-based energy production and consumption structure. Achieving carbon emission reductions can start from optimizing energy structure and improving energy efficiency.

**Keywords:** Low-Carbon Economy; Low-Carbon Energy; Energy Structure; Energy Efficiency; Literature Review

## 能源低碳化研究文献评述\*

沈满洪, 苏小龙

浙江理工大学经济管理学院, 杭州  
Email: smhsmh@zstu.edu.cn, xiaolong1989@126.com

收稿日期: 2012年11月6日; 修回日期: 2012年12月16日; 录用日期: 2012年12月25日

**摘要:** 低碳能源是以低能耗、低排放为主要特征, 以能源清洁技术、温室气体减排技术等为基本手段, 以减少化石燃料的消耗和二氧化碳排放为目标的能源生产和能源消费体系。能源消费量与碳排放存在紧密的联系, 我国以化石能源为主的能源生产与消费结构导致碳排放量过高。实现能源低碳化可以从优化能源结构和提高能源效率两方面入手。

**关键词:** 低碳经济; 低碳能源; 能源结构; 能源效率; 文献综述

### 1. 引言

化石燃料燃烧是目前大气中碳增加的首要原因。据有关资料显示, 每年使用化石燃料产生的碳排放约占大气中碳排放总量的 70%, 而世界能源需求的 80%~85%来源于化石燃料。然而, 在经济持续快速增长的情况下, 必须实现高碳能源向低碳能源的转型即

能源低碳化转型。为此, 必须两条腿走路: 一方面, 大力发展低碳能源, 优化能源结构; 另一方面, 大力提高能源效率, 减少能源消耗。就低碳能源及其能源结构、能源效率与碳减排之间的关系的研究文献进行文献综述, 显得十分迫切。

### 2. 低碳能源的内涵研究

#### 2.1. 低碳能源的定义

目前学界很少对低碳能源做出内涵界定。低碳经

\*基金项目: 本文得到教育部新世纪优秀人才支持计划(编号: NCE08-0487)和浙江省重点创新团队(文化创新类)——生态经济研究团队(编号: 20120303)资助。

济关注于能源领域，重点在减少温室气体排放量，强调经济发展与气候变化双赢<sup>[1]</sup>。但是，低碳能源不等于低碳经济，因此，要注意低碳能源与低碳经济的区别。国内对低碳经济研究较早的是庄贵阳。他认为提出低碳经济的实质是能源效率和清洁能源结构问题，核心是能源技术创新和制度创新，目标是减缓气候变化和促进人类可持续发展<sup>[2]</sup>。冯之浚等认为低碳经济是从高碳能源时代向低碳能源时代演化的一种经济发展模式<sup>[3]</sup>。以上学者把低碳经济聚焦于能源问题，而忽略了产业经济活动以及消费生活方式等方面的内容，具有片面性。但是对于低碳能源的内涵界定具有借鉴意义。

有学者从微观角度给出了低碳能源的定义，即一种含碳分子量少或无碳分子结构的能源<sup>[4,5]</sup>。该定义仅仅是以能源自身的含碳量作为界定标准，这样难免会造成减排体系的缺失，还可能引起某种误导。例如电能在其使用过程中是不产生二氧化碳的，应当作为“零碳”能源，但是火电是以碳基燃料燃烧等能量转换形式来获得电能的，其生产过程伴随着大量二氧化碳的排放。因此仅从能源本身界定高碳能源还是低碳能源具有片面性。从能源的使用过程来看，低碳能源通过清洁技术等低碳技术和先进的生产工艺所带来的高能源效率来实现二氧化碳的减排目的。从二氧化碳排放的结果来看，低碳能源的碳排放水平要低于高碳能源。针对电能、石油制品等二次能源，要将其从一次能源转变为二次能源的过程中所产生的碳排放计算到总的碳排放中，以此判断其是属于高碳能源还是低碳能源。

胡兆光认为低碳能源是采用能源使用管理的方法，通过市场机制、政策引导、行政手段及法规等途径，以产业调整、技术改造、产品升级等措施，调整能源使用方式，优化能源消费结构，提高能效，达到降低能源需求及节能减排的目的<sup>[6]</sup>。该定义总体上比较全面，但是存在的问题是夸大了发展低碳能源的目的。

综上所述，低碳能源是以经济社会与生态环境的永续发展理念为指导，以低能耗、低排放为主要特征，以能源清洁技术、温室气体减排技术等为基本手段，以减少化石燃料的消耗和二氧化碳等温室气体排放为目标的能源生产和能源消费体系。发展低碳能源的实质是建设清洁能源结构和提高能源利用效率。清洁

能源结构就是发展绿色能源体系，实现能源结构多元化发展。提高能源利用效率就是以技术进步为主要手段实现用较少的能源提供同样的能源服务。

## 2.2. 低碳能源与高碳能源的区别

高碳能源与低碳能源是相对的两个概念。有学者从能源的含碳量角度对高碳能源和低碳能源进行区分，但结果并不一致。鲍健强把煤炭、石油、天然气等化石能源称为高碳能源，而把水能、核能等非化石能源称为低碳能源<sup>[7]</sup>。而张玉卓则认为高碳能源主要是指煤炭，而低碳能源是指石油和天然气<sup>[8]</sup>。以上学者认为低碳能源和高碳能源的区别在于单位热值所含碳的数量的高低，他们的共同缺陷在于忽视了通过技术进步和能源效率的提高同样可以实现碳含量高的能源在使用过程中低碳排放的目的。另外，即使像电能之类的“零碳”二次能源，在其生产过程中也不可避免地会产生大量的二氧化碳，不能因为其本身不含碳而归类为低碳能源。可见，他们对高碳能源和低碳能源的分类标准存在片面性。不同能源形式的单位热值所含碳的数量的高低固然重要，但是更重要的是能源使用的过程以及由此带来的碳排放的高低。

可以通过高碳能源与低碳能源在一些主要指标上的对比来区分两者的不同特点。高碳能源与低碳能源是相对而言的，热值相同的不同能源形式所排放的二氧化碳是不同的。例如在煤炭、石油、天然气三种化石能源中，煤炭的碳密度最高，因此相对于石油和天然气来说，煤炭属于高碳能源品。从能源品角度来看，低碳能源主要是以低碳能源为主的能源消费结构，其碳排放系数相对来说要低，而高碳能源则相反。在产出相同的条件下，使用高碳能源所产生的二氧化碳排放量要高于低碳能源。由于技术水平的高低，使得高碳能源和低碳能源的能源效率存在差异，表现在进行同样的生产活动下，前者的能源强度和单位产品能耗要高于后者。从能源系统效率看，前者要低于后者。

## 2.3. 低碳能源的基本特征

陈柳钦认为作为一种清洁能源，低碳能源突出减少 CO<sub>2</sub> 对全球性的排放污染，同时也兼顾对社会污染排放的减少。它的基本特征是：可再生，可持续应用；

高效且环境适应性好；尽可能实现规模化产业应用<sup>[4]</sup>。该学者对低碳能源特征的概括具有片面性，例如核能在使用过程中不会产生碳排放，是一种清洁能源，但是它不具有可再生性。因此可再生不是低碳能源具有的基本特征。此外核能的使用不当会对周围环境造成灾难性的影响，所以不能将低碳能源在使用过程中产生的二氧化碳少等同于环境适应性好。

我国处于高碳能源时代是因为我国是典型的以煤为主的化石能源消费结构以及能源利用技术落后、能源利用率低、能源消耗和 CO<sub>2</sub> 排放总量巨大<sup>[9]</sup>。从高碳能源向低碳能源转变的过程中往往表现出单位能源的碳含量的相对下降；生产同样产品或者提供同质的服务所排放的二氧化碳的相对减少；能源的开采、能源的中间使用环节和能源终端利用效率相对提高。

综上所述，低碳能源的基本特征主要表现在以下三个方面：第一，能源结构清洁化。在提供相同热量的前提下，煤炭所排放的二氧化碳要远远高于石油、天然气等化石燃料和核能、太阳能等新能源。因此如果要实现经济发展与二氧化碳排放“脱钩”，必须调整能源结构，使其朝着清洁化方向发展。第二，能源使用高效化。一方面要提高能源经济效率，即单位产出的能源消耗量的降低以及由此带来的二氧化碳排放的减少；另一方面要提高能源技术效率，即从能源开采到能源的终端使用，通过生产工艺的改进减少能源使用过程中的浪费及由此造成的二氧化碳的增加。第三，能源技术低碳化。一方面要开发和运用能效技术，使得生产单位产品或提供同质服务所需的能源投入减少了；另一方面要使用可再生能源技术和清洁能源技术，以调整能源结构，使得碳排放系数低的能源品代替碳排放系数高的能源品。

### 3. 能源碳排放状况研究

能源碳排放状况研究是实现能源低碳化的基础。有学者对能源消耗与碳排放的关系进行了定量研究。Ugur Soytaş et al. 采用 VAR 模型研究美国的能源消耗、GDP 与碳排放量之间的因果关系。结果表明碳排放量的格兰杰成因不是 GDP 增长，而是能源消耗<sup>[10]</sup>。后来对土耳其的实证研究中也得到了类似的结论<sup>[11]</sup>。Zhang et al. 以 1960~2007 为研究区段，对中国的能源

消费量、碳排放量与经济增长之间的格兰杰因果分析及方向进行研究。实证结果显示能源消耗量对碳排放量存在单向的格兰杰成因，而碳排放量和能源消耗量都不是经济增长的格兰杰成因。从而认为中国政府可以实现碳减排和经济增长的脱钩<sup>[12]</sup>。Xue et al. 对 1980~2008 年中国的能源消费与碳排放进行协整分析，结果显示当一次能源消费量变动 1%，碳排放量将变动 0.965%<sup>[13]</sup>。而 Ramakrishnan Ramanathan 采用 DEA 方法分析能源消费与碳排放量之间的联系。在 DEA 分析效率指标的构建中，将 GDP 和碳排放量作为产出，非化石能源消耗作为投入。基于 DEA 分析的技术预测得到了碳排放量和能源消耗量存在紧密的联系。定量分析结果表明，化石能源消耗是 CO<sub>2</sub> 排放的主要来源，降低能源消费增长速度能够一定程度上减少 CO<sub>2</sub> 的排放<sup>[14]</sup>。

我国的能源消费以化石能源为主。其中，煤炭与石油、天然气等燃料相比，单位热量燃煤引起的 CO<sub>2</sub> 排放比使用石油、天然气分别高出约 36% 和 61%。而我国的煤炭消费比重大，因此造成能源消费中 CO<sub>2</sub> 的排放强度也相对较高。目前全国 85% 的 CO<sub>2</sub> 是由燃煤排放的<sup>[8]</sup>。而非化石能源相对于化石能源来说，碳含量比较低或不含碳。如生物燃料，燃烧释放的碳相当于植物生长的碳量<sup>[15]</sup>。基于此，陈柳钦提出了发展低碳能源的实现途径：大力发展分布式能源系统；尽最大可能促进生物质能源的有效利用；全方位推进核能、风能和太阳能的安全利用等<sup>[4]</sup>。但是考虑到我国以煤炭为主的能源消费结构在短期内难以改变的事实，刘炯天提出了针对煤炭能源的低碳化发展，即在开发与利用过程中减少温室气体排放、提高煤炭资源利用效率，从而实现低能耗、高能效和低碳排放。并给出了以“绿色”为特征的资源保护性开采等八项具体措施<sup>[16]</sup>。

根据上述文献可知，能源消费量是影响碳排放的重要因素。化石能源相对于非化石能源的碳含量要高，而不同形式的化石能源的碳含量又不同。我国以化石能源为主的能源消费方式导致碳排放量过高。能源碳排放状况分析有利于了解能源与碳排放之间的关系，从而为促进低碳能源的发展奠定基础。

### 4. 能源结构与碳排放研究

能源结构与二氧化碳的排放存在密切的联系。优

化能源结构是能源低碳化的核心内容。根据世界银行发展报告,发达国家能源构成以油、气为主,水、核等非化石能源也占了较大份额,而中国的能源构成以煤炭为主,不仅其利用效率低于石油和天然气,而且其碳含量也使得中国单位能源消费的碳排放比 OECD 国家高出 20%。从现有文献来看,针对能源结构与二氧化碳排放之间的关系的研究主要通过因素分解方法来进行的。刘红光等借助 LMDI 分解法,将工业燃烧能源导致的碳排放量分解为 6 个因素,即能源消费总量、能源消费结构、技术因素、中间投入量、产业结构以及工业总量,分析了中国 1992 年到 2005 年工业燃烧能源导致碳排放的影响因素,结果显示能源结构总体没有达到很大的改善是碳排放迅速增加的根本原因<sup>[17]</sup>。朱勤等对 1980 年到 2007 年中国的碳排放进行因素分解,结果表明能源结构效应为-0.77%,而经济产出是碳排放快速增长的主要动因<sup>[18]</sup>。也有学者以碳排放为约束条件,对能源结构的变化进行了预测。陈文颖等通过建立中国 MARKAL-MACRO 模型研究中国未来能源发展与碳排放的基准方案以及碳减排对中国能源系统的可能影响进行研究,结果表明如果从 2030 年开始减排,减排率为 10%到 46%时,最终能源消费量将由于燃料结构的优化和能源服务需求的减少而减少,一次能源在高减排率下,煤的比重将大大下降<sup>[19]</sup>。林伯强在考虑节能以及二氧化碳对能源结构的影响和约束的基础上对最优一次能源结构及宏观经济影响展开研究。不管是能源结构对中国碳排放变动的贡献度的研究还是在碳排放约束条件下能源结构的变化研究,结果都显示能源结构与碳排放存在密切的联系,而且能源结构优化有助于碳减排<sup>[20]</sup>。

我国的能源现状不容乐观,无论在存储量、分布、生产结构或消费结构方面都存在着各种矛盾,这迫使我们优化能源结构<sup>[21]</sup>。目前对能源结构优化存在以下两种观点:一是改变以煤为主的能源结构。林琳认为发展低碳经济,创建低碳能源体,我国必须改变以煤为主的能源结构,大力发展各种新能源<sup>[22]</sup>。持这种观点的还有王顺庆<sup>[23]</sup>、周德群<sup>[24]</sup>等。二是以煤为主的基础上发展多元化能源结构。林伯强等认为,基于资源禀赋的特点及能源安全的需要,未来中国一次能源结构仍将以煤为主,但排放限制造成的转变会使得整体经济对煤炭的依赖度下降,改变能源结构意味着降低

二氧化碳排放<sup>[20]</sup>。王丽敏<sup>[25]</sup>、刘卫东<sup>[26]</sup>等学者也认为以煤为主发展能源多元化战略,发展替代能源,实现传统能源之间、传统能源与新能源之间的替代是实现我国低碳能源发展的有效途径。在这两种观点中,前者着眼于改变,后者侧重于改善,两者都是现实和发展的基础上做出优化,但从实际情况来看,改善现行的能源结构是一种更为合理和良好的途径<sup>[21,27]</sup>。

目前针对能源结构优化的研究主要体现在以下两方面:

一是能源价格对能源结构的作用及能源品之间的替代研究。国内对此类问题开展的研究较少,多见于国外。Cho et al.使用 1981~1997 年的季度数据,采用双阶段超对数成本函数对韩国的要素间替代关系与能源间替代关系做了联合估计,考虑了要素间替代与能源间替代的反馈效应,发现电力、煤炭和石油的自价格弹性皆为负;其中煤炭的自价格弹性最大,石油最小。动态调整模型显示煤炭与石油之间是可替代的;煤炭与电力之间、石油与电力之间是互补的<sup>[28]</sup>。Pindyck 的跨国研究发现,所有样本国家中煤炭最具弹性,而电力弹性最小;煤炭、石油和电力相互之间是可替代的<sup>[29]</sup>。Andrikopoulos et al.也发现加拿大的一些行业里,煤炭、石油和电力多数情况下是相互可替代的<sup>[30]</sup>。Söderholm 研究西欧发电部门由价格所引发的化石燃料之间的替代效应。石油和天然气之间存在短期替代效应<sup>[31]</sup>。

二是能源结构的预测研究。Huang Yophy et al.分析了台湾的能源需求与供给情况,采用 LEAP 模型分析了从 2008 年到 2030 年台湾的能源需求结构变化、能源转换变化以及 CO<sub>2</sub> 排放变化<sup>[32]</sup>。Wang et al.在分析中国能源情况以及各种能源政策的基础上,预测了中国 2010 年到 2030 年三种情景模式下的能源消费结构<sup>[33]</sup>。国内相关研究起步较晚,陈文颖等假定未来中国的 SO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放量控制在一定水平下,采用 MARKAL 模型预测终端能源消费构成、一次能源消费构成、装机容量构成和发电量构成的变动方向,在此基础上提出相应的排放控制对策<sup>[34]</sup>。管卫华等建立中国能源消费结构变化动力模型,对中国能源消费结构进行模拟和预测<sup>[35]</sup>。

综上所述,目前绝大多数的文献是通过实证分析考察能源结构与碳排放之间的关系,主要研究方法包括因素分解法和碳排放约束条件下的能源结构预测

法。因素分解法是基于历史数据进行分析的,其结果显示能源结构对于碳减排的贡献小,主要原因在于我国以煤炭为主的能源消费结构没有发生改变。能源结构预测法是在碳约束的条件下预测未来的能源结构变化,其结果显示在能源结构得到优化的前提下,碳减排的效果是相当可观的。对比两种研究方法所得到的结论,能源结构优化能够很大程度上促进我国碳减排。对于能源结构优化的研究,国内多数是定性研究,从实践层面上给出相应的对策建议;国外则多从实证角度进行研究,有较多文献是分析不同能源结构之间的替代关系。这种差别存在的主要原因在于我国资源禀赋决定了短期内没有能源能够替代煤炭成为基础能源。

## 5. 能源效率与碳排放研究

提高能源效率是能源低碳化的又一核心内容。绝大多数关于能源效率与碳排放之间的关系的研究是实证层面的。Shrestha 和 Timilsina 运用迪氏指数分解法对包括中国在内的亚洲 12 个国家的电力行业的 CO<sub>2</sub> 强度变化的研究,研究表明在 1980~1990 年期间影响中国电力行业的碳强度的主要因素是燃料强度的变化<sup>[36]</sup>。Ang et al. 采用因素分解法对中国工业部门的 CO<sub>2</sub> 排放进行研究,该研究的因素分解涉及工业部门的 4 种燃料和 8 个行业,结论表明:在 1985~1990 年间,工业部门能源强度变化对 CO<sub>2</sub> 排放起到了较大的抑制作用<sup>[37]</sup>。Liu et al. 把对工业部门 CO<sub>2</sub> 排放的研究扩大到了 36 个行业,结果显示,1998~2005 年期间影响工业部门的 CO<sub>2</sub> 排放变动的最重要因素是工业经济发展和工业终端能源消费强度<sup>[38]</sup>。陈彦玲等采用迪氏因素分解法分析中国的人均碳排放的变动原因,结果发现人均碳排放的增长主要是高速增长引起的,而能源消费结构和产业结构的改善和能源效率水平的提高可以在很大程度上降低由经济增长带来的碳排放<sup>[39]</sup>。宋杰鲲建立了二氧化碳排放量与经济增长、人口、产业结构和技术等影响因素的计量模型,结果表明能源强度的上升会导致碳排放量的增长<sup>[40]</sup>。综上文献研究,结果显示能源效率的提高对碳减排具有一定的促进作用的。

当前针对能源效率的研究主要从时序和截面两个角度进行:一是时序波动分析。蒋金荷分析了

1980~2000 年我国物理能源效率、单位产值能耗、单位产品能耗,并通过 1990~2000 年我国不同产业的能源经济效率指标比较,分析我国经济结构调整与产值能耗的关系,并提出了相关的节能减排的建议<sup>[41]</sup>。史丹等则通过计量模型分析,验证我国从 1978~2000 年的能源消费变动以及能源强度变动是与产业结构变动相关的<sup>[42]</sup>。二是截面差异分析。具体又可以分为省际能源效率差异分析和国际能源效率差异分析两个角度。在省际能源效率差异分析方面,史丹认为中国能源效率较高的省市集中在东南沿海地区,能源效率最低的地区在内陆省区。提高能源效率需要改变目前地区自我平衡的能源配置方式,使能源流向效率高的地区<sup>[43]</sup>。史丹等采用方差分解法对中国能源效率地区差异进行研究,结果表明东部地区的能源效率存在显著收敛趋势,而中西部能源效率内部差异呈现波动性变化<sup>[44]</sup>。齐绍洲等则通过计量模型进行实证估计,研究了西部地区和东部地区的能源强度的收敛速度与人均 GDP 的收敛速度的关系<sup>[45]</sup>。在国际能源效率差异分析方面,使用不同的能耗指标或不同的方法计算 GDP 能耗,所得出的结果具有较大的差异。以对中国的能源效率研究为例:按购买力平价(PPP)计算的单位 GDP 能耗可能偏低,2000 年中国仅比日本高 20%,比 OECD 国家的平均值甚至低 8%。但按照汇率计算的 GDP 能耗可能被高估,2000 年我国产值能耗为日本的 9.7 倍,世界平均水平的 3.4 倍,1990 年则分别为 19 倍和 5.7 倍<sup>[41]</sup>。如果采用物理能源效率指标进行比较,2002 年中国能源效率为 33%,比国际先进水平(日本)低 10%左右,如果利用单位产品能耗指标进行比较,2000 年 8 个行业的产品能耗指标平均比国际先进水平高 47%<sup>[46]</sup>。

一般认为能源效率在时序上的波动和截面上的差异主要受以下因素影响:

第一,结构变动。结构变动对能源效率的影响,目前有两种截然相反的观点。一种观点认为结构变动对能源效率的作用是正向的。结构变动对能源效率的影响最初反映在“结构红利假说”中<sup>[47]</sup>。由于不同部门生产效率和速度存在差别,当能源要素从低生产率或者生产率增长较慢的部门向生产率或者生产率增长较快的部门转移时,就会促进经济体总的能源效率提高<sup>[48]</sup>。由于各产业能源消耗密度的不同,大力发展

第三产业有利于降低国家整体能源强度,这已经被先进工业化国家所证实。因此国内学者往往将大力发展第三产业作为降低能源强度的一条重要途径<sup>[41,49]</sup>。但是有学者认为依靠第三产业降低能耗必然是经济发展到一定程度从而第三产业成为主导产业时才能真正发挥作用<sup>[50]</sup>,因此目前我国节能降耗的重点应是调整工业和内部结构<sup>[51]</sup>。也有观点认为影响能源效率的主要因素可能是第二产业尤其是工业的生产技术水平,而不是第二产业比重<sup>[40]</sup>。另一种观点认为结构变动对能源效率的作用是不明显的,甚至是反向的。李国璋等对中国能源强度变动进行区域因素分解,发现区域产业结构变换和区域产出结构表示的区域结构变动因素对能源强度变动的作用不明显<sup>[49]</sup>。吴巧生等通过研究表明部门结构的调整对降低能源消耗强度的作用是负的<sup>[52]</sup>。大部分学者采用了因素分解的方法进行此类研究。之所以产生上述差别,原因在于不同学者对目标样本进行分解时采用的行业划分层次不同。Fisher-Vanden 对比了 6 种不同产业层次的因素分解,结果显示,分解层次越是增加,结构变动对能源强度变动的贡献就越大<sup>[53]</sup>。李峻等指出因素分解模型中用来表征技术性效率份额的指标其实是一个综合性指标,是包括结构性因素的,该模型本身就存在解释变量太少的缺点<sup>[54]</sup>。

第二,技术进步。在经济发展的过程中,新技术、新工艺、新设备的采用,在相同产出下可以节约能源投入或者相同投入下可以扩张产出<sup>[55]</sup>。齐志新等分析了我国 1980 到 2003 年宏观能源强度以及 1993 年到 2003 年工业部门能源强度下降的原因,发现技术进步是我国能源效率提高的决定因素<sup>[56]</sup>。持这种观点的还有 Sinton 和 Levine<sup>[57]</sup>, Lin 和 Polenske<sup>[58]</sup>等。但是由于回报效应的存在,技术进步促进经济的快速增长又对能源产生新的需求,部分地抵消了所节约的能源<sup>[59]</sup>。

第三,能源价格。Birol 和 Keppler 指出影响能源效率的主要途径有能源的相对价格变化和引进新技术,两者存在反馈效应<sup>[60]</sup>。他们从理论上阐明了能源相对价格变化影响能源强度的传导机制,分为两种:要素间相对价格变化对现行技术的选择机制;能源价格变化对新技术的诱导机制。Cornillie 和 Fankhauser 关于中东欧与前苏联一些转型经济国家的比较研究发现,能源价格上涨和企业重组是提高能源利用效率

的主要动力<sup>[61]</sup>。Fisher-Vanden et al.关于中国大中型工业企业的研究发现能源强度降低 54.4%归功于能源价格调整的结果<sup>[55]</sup>。

第四,经济制度。近年来对中国及其他国家的研究发现,经济制度在转型国家对能源效率的影响比较大,这主要是因为良好的制度创新及灵敏的市场信号有助于企业微观效率的改进,进而促进能源效率的提高<sup>[62]</sup>。Fisher-Vanden et al.认为中国的企业改革,包括逐步明确产权和权力下放,对企业层面的能源效率的提高有一定的影响<sup>[55]</sup>。魏楚等研究表明继续深化国有经济改革、降低国有经济比重也是提高能源效率的有效手段,如果国有职工就业比重减少 1%,其对能源效率的改善作用与产业结构调整的效果接近,为 0.15%到 0.16%之间<sup>[63]</sup>。

从现有的关于能源效率的研究文献来看,大多数是从能源经济效率角度进行研究的,而鲜有文献考察能源的经济效益以及环境效益。能源在消费过程中,在创造经济效益的同时也给生态带来了负面的影响。只有在能源经济效率的基础上减去其带来的负面效益,才能真正评价能源效率,在此基础上的相关研究才更有参考价值。此外,对能源效率的影响因素的分析尽管涉及了大量不同的变量,但对于哪些是最根本的影响因素仍缺乏深入的分析。如何从理论或者从微观模型而非从直觉上推导出最本质的影响因素是解决“解释变量满天飞”的根本途径,同时也是对影响因素进行实证分析的基础。

## 6. 综述评

综上所述,目前学界对于低碳能源概念的界定缺乏系统的论证,且有与低碳经济概念混淆的现象。两者既有区别又存在联系。低碳能源的范围要小于低碳经济,后者除了包括能源这部分外,还包括产业经济活动以及消费生活方式等方面的内容。当然两者也存在目标一致性的特点,即都追求能源使用过程中减少碳排放的目标。如何鉴别两者的关系,在此基础上给出低碳能源的定义,对于低碳能源领域深入的研究和发展具有重要的意义。此外,对于低碳能源和高碳能源,特别需要建立指标体系加以界定和识别,这对于确定能源发展的方向以及相应的政策制定可以提供依据。该指标体系不能仅停留在能源消费层面上,必

须充分考虑能源生产、能源加工转换、能源运输以及能源消费等各个环节，且指标体系的建立不能仅从理论角度出发，要充分考虑到数据可得性以及实际可操作性。

为了达到降低碳排放的目的，从能源本身来讲需要减少能源的消耗量，或者是提高能源自身的品质以及使用效率，即能源结构的改善和能源效率的提高。目前国内外对于能源与碳排放之间的研究也比较多，国外更偏向于实证研究而国内则从理论层面给出对策建议，但是他们的结论是一致的，能源消耗量与碳排放存在紧密的联系，且通常是正向关系。

在能源消耗量一定的前提下，改善能源结构以及提高能源效率同样能够达到碳减排的目的，国内外有大量文献对以上的结论进行了验证。目前针对能源结构优化的研究，国内多定性研究，国外则多实证研究，这种差别的主要原因在于我国的资源禀赋决定了短期没有能源能够替代煤炭成为基础能源。对于影响能源效率的因素，主要包括结构变动、技术进步、能源价格、经济制度等。其不足在于未能将能源的经济效益及环境效益纳入考虑范围，且存在“解释变量满天飞”的问题。

## 参考文献 (References)

- [1] 韩宝华, 李光. 论低碳经济与循环经济的异同及整合[J]. 云南社会科学, 2011, 2: 67-72.
- [2] 庄贵阳. 中国: 以低碳经济应对气候变化挑战[J]. 环境经济, 2007, 1: 69-71.
- [3] 冯之浚, 牛文元. 低碳经济与科学发展[J]. 中国软科学, 2009, 8: 13-19.
- [4] 陈柳钦. 低碳能源: 中国能源可持续发展的必由之路[J]. 中国市场, 2011, 644(33): 31-38.
- [5] 陈冠益, 邓娜, 吕学斌等. 中国低碳能源与环境污染控制研究现状[J]. 中国能源, 2010, 32(4): 9-14.
- [6] 胡兆光. 中国特色的低碳经济、能源、电力之路初探[J]. 中国能源, 2009, 31(11): 16-19.
- [7] 鲍健强, 王云峰, 张祥, 苗阳. 增强低碳能源价格市场竞争力政策选择研究[J]. 中国能源, 2011, 33(1): 17-21.
- [8] 张玉卓. 从高碳能源到低碳能源——煤炭清洁转化的前景[J]. 中国能源, 2008, 30(4): 20-22.
- [9] 陈建敏, 田鸿雁. 高碳能源背景下中国低碳经济发展之路[J]. 中国经贸导刊, 2011, 20: 50-52.
- [10] U. Soytaş, R. Sari and B. T. Ewing. Energy consumption, income, and carbon emission in the United State. *Ecological Economics*, 2007, 62(3-4): 482-489.
- [11] U. Soytaş, R. Sari. Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1667-1675.
- [12] X. P. Zhang, X. M. Cheng. Energy consumption, carbon emission, and economic growth in China. *Ecological Economics*, 2009, 68(10): 2706-2712.
- [13] L. M. Xue, Y. B. Hou, G. He, et al. Relationship between primary energy consumption and carbon dioxide emissions in China. *Energy Procedia*, 2011, 13: 4353-4360.
- [14] R. Ramanathan. A multi-factor efficiency perspective to the relationship among world GDP, energy consumption and carbon dioxide emissions. *Technological Forecasting & Social Change*, 2006, 73(5): 483-494.
- [15] 谢克昌. 高碳能源要低碳化利用[J]. 山西能源与节能, 2010, 4: 1-4.
- [16] 刘炯天. 关于我国煤炭能源低碳化发展的思考[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版), 2011, 3: 5-12.
- [17] 刘红光, 刘卫东. 中国工业燃烧能源导致碳排放的因素分解[J]. 地理科学进展, 2009, 28(2): 285-292.
- [18] 朱勤, 彭希哲, 陆志明等. 中国能源消费碳排放变化的因素分解与实证分析[J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2072-2079.
- [19] 陈文颖, 高鹏飞, 何建坤. 用 MARKAL-MACRO 模型研究碳减排对中国能源系统的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(3): 342-346.
- [20] 林伯强. 节能和碳排放约束下的中国结构战略调整[J]. 中国社会科学, 2010, 1: 58-71.
- [21] 邹璇. 能源结构优化与经济增长[J]. 经济问题探索, 2010, 7: 33-39.
- [22] 林琳. 基于低碳经济视角的中国能源结构分析[J]. 开发导报, 2010, 5: 46-50.
- [23] 王顺庆. 我国能源结构的不合理性及对策研究[J]. 生态经济, 2006, 11: 63-81.
- [24] 周德群. 中国能源的未来结构优化与多样化战略[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版), 2001, 1: 86-95.
- [25] 王丽敏. 中国能源消费结构与经济发展的实证分析[J]. 能源技术与管理, 2008, 1: 110-112.
- [26] 刘卫东, 张雷, 王礼茂等. 我国低碳经济发展框架初步研究[J]. 地理研究, 2010, 29(5): 778-788.
- [27] 庄贵阳. 中国经济低碳发展的途径与潜力分析[J]. 国际技术经济研究, 2005, 8(3): 8-12.
- [28] W. G. Cho, K. Nam and J. A. Pagan. Economic growth and interfactor/interfuel substitution in Korea. *Energy Economics*, 2004, 26(1): 31-50.
- [29] R. S. Pindyck. Interfuel substitution and industrial demand for energy: An international comparison. *Review of Economics and Statistics*, 1979, 61(2): 167-179.
- [30] A. A. Andrikopoulos, J. A. Brox and C. C. Paraskevopoulos. Interfuel and interfactor substitution in Ontario manufacturing, 1962-1982. *Applied Economics*, 1989, 21: 1667-1681.
- [31] P. Söderholm. Fuel choice in West European power generation since the 1960s. *OPEC Review*, 1998, 22(3): 201-232.
- [32] Y. Huang, et al. The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application. *Energy Policy*, 2010, 39(11): 6790-6803.
- [33] Y. Wang, et al. Recent development of energy supply and demand in China, and energy sector prospects through 2030. *Energy Policy*, 2010, 39(11): 6745-6759.
- [34] 陈文颖, 吴宗鑫. 未来中国的 SO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放控制对策[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42(10): 1320-1323.
- [35] 管卫华, 顾朝林, 林振山. 中国能源消费结构的变动规律研究[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 401-407.
- [36] R. M. Shrestha, G. R. Timilsina. Factors affecting CO<sub>2</sub> intensities of power sector in Asia: A division decomposition analysis. *Energy Economics*, 1996, 18(4): 283-293.
- [37] B. W. Ang, F. Q. Zhang and K. Choi. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, 1998, 23(6): 489-495.
- [38] L. Liu, Y. Fan, G. Wu, et al. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO<sub>2</sub> emissions from final fuel use: An empirical analysis. *Energy Policy*, 2007, 35(11): 5892-5900.
- [39] 陈彦玲, 王琛. 影响中国人均碳排放的因素分析[J]. 北京石油化工学院学报, 2009, 17(2): 54-58.
- [40] 宋杰鲲. 我国二氧化碳排放量的影响因素及减排对策分析[J].

- 价格理论与实践, 2010, 1: 37-38.
- [41] 蒋金荷. 提高能源效率与经济结构调整的策略分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2004, 10: 16-23.
- [42] 史丹. 产业结构变动对能源消费的影响[J]. 经济理论与经济管理, 2003, 8: 30-32.
- [43] 史丹. 中国能源效率的地区差异与节能潜力分析[J]. 中国工业经济, 2006, 10: 49-58.
- [44] 史丹, 吴利学, 傅晓霞. 中国能源效率地区差异及其成因研究[J]. 管理世界, 2008, 2: 35-43.
- [45] 齐绍洲, 罗威. 中国地区经济增长与能源消费强度差异分析[J]. 经济研究, 2007, 7: 74-81.
- [46] 王庆一. 中国的能源效率及国际比较[J]. 节能与环保, 2005, 6: 10-13.
- [47] A. Maddison, Growth and slowdown in advanced capitalist economies: Techniques of quantitative assessment. *Journal of Economic Literature*, 1987, 25(2): 649-698.
- [48] R. F. Garbaccio, M. S. Ho and D. W. Jorgenson. Why has the energy output ratio fallen in China? *Energy Journal*, 1999, 20(3): 63-92.
- [49] 李国璋, 王双. 中国能源强度变动的区域因素分解分析——基于LMDI分解方法[J]. 财经研究, 2008, 34(8): 52-62.
- [50] 张炎治. 中国能源强度的演变机理及情景模拟研究[D]. 中国矿业大学, 2009: 26-27.
- [51] 齐志新, 陈文颖, 吴宗鑫. 工业轻重结构变化对能源消费的影响[J]. 中国工业经济, 2007, 2: 35-42.
- [52] 吴巧生, 成金华. 中国能源消耗强度变动及因素分解: 1980-2004[J]. 经济理论与经济管理, 2006, 10: 34-40.
- [53] K. Fisher-Vanden, G. H. Jefferson, H. Liu and Q. Tao. What is driving China's decline in energy intensity. *Resource and Energy Economics*, 2004, 26(1): 77-97.
- [54] 李峻, 张晟, 邓仕杰. 能源效率研究综述[J]. 邵阳学院学报(社会科学版), 2010, 9(2): 33-37.
- [55] K. Fisher-Vanden, G. H. Jefferson, M. J. Ingkui, et al. Technology development and energy productivity in China. *Energy Economics*, 2006, 28(5-6): 690 - 705.
- [56] 齐志新, 陈文颖. 结构调整还是技术进步[J]? 上海经济研究, 2006, 6: 8-16.
- [57] J. E. Sinton, M. D. Levine. Changing energy intensity in Chinese industry. *Energy Policy*, 1994, 22(3): 239-255.
- [58] X. Lin, K. R. Polenske. Input-output anatomy of China's energy use changes in the 1980s. *Economic Systems Research*, 1995 7(1): 67-84.
- [59] J. D. Khazzoom. Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances. *The Energy Journal*, 1980, 1(4): 21-40.
- [60] F. Birol, J. H. Keppler. Price, technology development and the rebound effect. *Energy Policy*, 2000, 28(6-7): 457-469.
- [61] J. Cornillie, S. Fankhauser. The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*, 2004, 26(3): 283-295.
- [62] 魏楚, 沈满洪. 能源效率研究发展及趋势: 一个综述[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2009, 39(3): 55-63.
- [63] 魏楚, 沈满洪. 结构调整是否改善能源效率: 基于中国省级数据的研究[J]. 世界经济, 2008, 11: 77-85.