

# 城市能源效率测度方法与评价研究

李治<sup>1</sup>, 郭菊娥<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055;

2. 西安交通大学 管理学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 如何测量城市能源效率已经成为低碳城市研究中亟待解决的难题, 这其中又在城市能源效率划分和数据空间范围界定等领域存在颇多争议。基于城市能源研究的分析框架, 文章将城市能源效率测度划分为广义和狭义两个层面, 结合国内外研究结果, 分别对国内外所使用的能源效率指标、能源消费数据获取方法进行对比评价, 从理论和实际应用两方面探讨了不同测度方法的适用范围及其在城市能源效率分析中的优势和局限, 并指出如何增强国外相关研究方法的适用性以及明确相关研究结论的政策边界范围。

**关键词:** 能源效率; 测度方法; 评价; 城市

**中图分类号:** F222; F062.2   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1671-4407(2015)09-023-05

## Urban Energy Efficiency Measurement: Methods and Evaluations

LI Zhi<sup>1</sup>, GUO Ju'e<sup>2</sup>

(1. School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi 710055, China;

2. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi 710049, China)

**Abstract:** How to measure urban energy efficiency becomes a pressing problem to research of low carbon city, there are considerable controversies about how to divide urban energy efficiency and how to define the space range. Based on the research results at home and abroad, the paper summarizes energy efficiency indicators and available energy consumption data respectively, and shows that each method has its own advantages and disadvantages. It suggests the way to enhance the applicability of foreign research methods and clears the range of policy boundary.

**Key words:** energy efficiency; measurement method; evaluation; city

作为人类社会经济活动的中心, 城市既是能源消耗的集中地区又具有强大的资源调动力和影响力, 所以城市也是发展低碳经济的关键平台, 具有“低碳领导力”的地位。根据国际能源署(IEA)统计, 我国大城市的能源消耗占全球的75%, 温室气体排放量占世界的80%, 城市已经成为我国节能减排、应对气候变化的主战场。近些年随着城市在节能减排中的地位不断上升, 尤其是在缺乏国际性协议和严格的国家政策的情况下, 城市政府可以提供更接近碳排放源头和气候变化影响的政治和行政空间。随着城市能源领域相关研究和实践活动开始进入国内外研究者的视角并不断升温, 国际社会和组织正在努力建立国际公约并开发相应的测度工具, 期望可以列出全球或国家(地区)所有城市温室气体排放清单并加以排序, 以期能够帮助城市决策者建立一个可持续能源使用方法的平台。

提高能源效率具有“开源”和“节流”的双重作用, 它可以在未来缓解已经凸显的国家或地区能源供需矛盾和降低碳排放等问题, 所以一直是大多数国家非常重视的能源政策之一。目前城市能源效率测度研究现状和当前实际需要出现了一定偏差, 一方面, 目前各国能源效率相关政策及研究大多设定在国家、区域或某个行业的总量目标上<sup>[1]</sup>。另一方面, 城市常常会先于国家采取措施来减少温室气体排放<sup>[2]</sup>, 所以目前这种研究现状已经很难和当前实际需要相适应。对于一个成功的节能减排政策而言, 国际能源署(IEA)认为非常必要且还没有完全解决的任务是提供充足的能源效率指标, 另外, 使用不合适的数据或对某些数据的缺乏也会提供有偏的信息以及制定错误的政策<sup>[3]</sup>。近些年能源效率相关理论的进展推动了各种更加完善的能源效率指标的出现, 而各种数据的采集与整理就成为制约是否

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“西部民生诉求下的碳减排实现途径及扶持政策研究”(71173169); 中国博士后科学基金“西部城市群碳减排约束条件及减排机理研究”(2013M532067); 陕西省自然科学基金基础研究计划面上项目“碳减排约束条件下的关中城市群减排影响因素及实现途径研究”(2015JM7371); 西安市社科基金“西安市碳减排路径及扶持政策研究”(14J224); 浙江省自然科学基金青年项目“浙江省新型城市化与产业转型升级协同发展的机理研究”(LQ13G030017); 西安建筑科技大学青年科技基金项目“关中-天水城市群碳减排约束条件及减排机理研究”(DA08112); 西安建筑科技大学人才科技基金项目“基于区域视角的文化创意产业发展机理及评价研究”(DB08047)

作者简介: 李治(1979~), 男, 陕西兴平人, 讲师, 研究方向为公共管理与低碳经济; 郭菊娥(1961~), 女, 陕西西安人, 教授, 研究方向为资源环境管理。

能够合理测度能源效率的关键因素之一。今天世界各国仍然在不同程度上缺少详细的城市能源消费信息,比如在一些发达国家仍缺乏关于城市能源消费和温室气体排放的中央政府报告,在发展中国家更是难以完全做到追踪城市及各部门能源消费量和消费成本等信息,所以城市政府仍不能有效地进行城市能源规划以及完成可持续的城市能源消费测量和记录<sup>[4~6]</sup>。我国同样也存在着与城市相关的能源信息及数据不完整或者缺失现象,另外,我国当前在城市能源效率内涵分类和数据边界范围上尚存在诸多问题,这也经常造成城市能源和社会经济数据口径无法统一,难以完成数据收集和积累,这都给城市能源效率测度工作带来巨大困难,使得多年来我国城市能源效率测度问题的研究还停留在现状描述、意义探讨和对国外经验的学习。

城市能源效率测度研究的不足已经严重制约我国城市可持续发展,甚至可能误导城市未来发展方向,因此澄清该领域研究中的一些误区和错误观点,可以为不同层面的城市能源效率研究以及政府决策奠定理论基础。本文首先探讨城市能源效率划分方式和数据边界范围的界定,然后对国内外城市能源效率测度指标的选取以及能源消费数据的获取进行对比评价,最后指出如何增强国外相关研究方法的适用性以及明确相关研究结论的政策边界范围。

## 1 城市能源效率划分和空间范围界定

目前城市能源效率测度研究相对滞后,主要是存在着两个核心问题。其一是城市能源效率测度如何划分,其二则是城市空间边界范围如何界定。对于第一个问题,Hiroaki Suzuki等人认为为了能够更为平衡地对城市间能源消费进行对比,同时不会显著造成对城市间不同部门能源消费的曲解观点,认为可以分为工业部门和生活部门各自单独分析<sup>[7]</sup>。在国务院发展研究中心课题组的共同努力下,周宏春等人认为城市能源消费是城市所有消费能源的简称,有广义和狭义之分,前者是指城市所消耗的所有能源,包括工业用能(实际上工业用能仍然是不同规模城市的主要能耗),狭义的城市能源是指居民生活消耗的能源,包括衣食住行、炊事燃具以及建筑物的采暖制冷等所消耗的能源<sup>[8]</sup>。基于以上分析,为了更清晰地对城市能源效率测算进行辨析,本文也选择从城市能源效率和城市居民能源效率两个维度来进行分析,一方面,城市作为一个完整的区域单元,它表现出一个类似于地区和省域相似的特征;另一方面,它又是通过使用多种能源类型以及不同部门和终端用户使用模式所体现出来的。

对于第二个问题,20世纪50年代末的一项调查显示,当时国际上采用的“城市”定义多达30个以上,由于在不同国家或区域之间的对比使得每个国家城市空间范围内的

社会经济数据清单变得非常敏感<sup>[9]</sup>,一个合理并全面的全球或地区内城市空间边界的确定就显得非常重要。近年来国际能源署(IEA)对全球以及几大区域的城市能源消费量的测算采用的是联合国对城市的定义和边界界定,也就是采用每个国家的城市人口来定义城市的范围。虽然联合国为每个国家公布了城市和农村人口的统计数据,但是这些数字不能够反映一个标准的国际化城市空间边界,这是因为联合国的主要兴趣在于对城市和农村人口规模的识别,而不是定义不同城市区域的地理边界。唯一国际化的城市空间地理边界数据集是全球农村城市测绘项目( GRUMP )的“城市范围”,但是这种范围的空间地理边界不能和很多国家或地区的“城市”定义相匹配,所以也无法与相关社会经济数据配合使用,使得这种空间地理数据还较难以应用于实证研究。当前不同国家对本国城市的范围都有着不同的理解,同时很多国家也都要求“根据自己国家的需要”建立自己对城市的定义。以上看出,我国相关研究必须根据自己的实际情况给出城市边界范围的界定,一方面,目前我国采用的城市定义为行政地域边界,虽然还无法成为与世界接轨的城市概念和城市统计口径<sup>[10]</sup>,但在此基础上建立的“全市”和“市辖区”相关统计数据口径和范围仍然可以继续使用,尤其“市辖区”能真实反映城市的经济活动且行政边界相对稳定。另一方面,在不触动当前行政地域层次的前提下,为了准确划分城乡和统计城镇人口,在我国建立起城市的实体地域概念和相应的统计标准,可以尽快与国际城市定义相接轨,从而使我国城市能源效率研究能够尽快融入国际社会并开展国家及地区间比较分析。

## 2 广义城市能源效率测度

宏观视角下城市能源效率也就是地区层面的能源效率问题,它是按行政建制设立的完整地域单元,它与省域一样作为行政区域概念没有本质区别,因此可以延续地区能源效率研究的相关方法和结论。

### 2.1 城市能源效率测度方法

一般来说,区域层面的城市能源效率是指用较少的能源生产同样数量的服务或者有用的产出,问题是如何准确地定义有用的产出和能源投入。根据能效指标考察生产要素的多寡可以粗分为单要素能源效率和全要素能源效率,前者又包括能源生产率和能源消费强度两类指标(两者互为倒数),而后者来源于微观经济学上的全要素生产理论,需要使用不同的统计分析方法来确定效率前沿。目前单要素能源效率指标常被定义为一个经济体的有效产出和能源投入的比值。尽管单要素能效指标存在各种问题,但目前仍然是非常流行的能源效率指标,主要原因是该指标非常简单,容易被政策制定者理解和使用。即使今天在很多国

际组织如国际能源署(IEA)和世界银行的刊物中仍然广泛使用,而国内很多政府机构也广泛采用该指标,比如国家统计局和国家发改委联合公布的历年各省市单位GDP能耗指标公报等。

单要素能效指标虽然在计算上较为方便可行,但对于如何界定“能源投入”和“有效产出”,比如对能源投入的衡量包括如何加总不同质的能源、加总的方法(按热量还是价值法加总)以及如何界定真实的能源投入等问题,看法各不相同,所以对于上述基于单要素生产率框架的传统指标是否度量了“效率”值得推敲。由于单要素能效指标存在以上种种缺陷,Hu Jinli 和 Wang Shihchuan<sup>[11]</sup>基于全要素生产率框架定义了全要素能源效率指标,弥补了传统指标仅考虑能源单一要素的缺陷,社会生产的各投入要素在一定程度上可以相互替代,而决定最终产出的并非是能源或人力等某一个生产要素,而是各种生产要素的组合。目前全要素能源效率可以使用不同的统计分析方法来确定效率前沿,近年来见于文献的全要素能源效率测度方法多为数据包络分析法(DEA)或者随机前沿生产函数法(SFA)。由于SFA需要考虑投入和产出的生产函数形态,受到人为主观因素的影响,所以在能源效率领域应用还不算多,而DEA模型中投入产出变量的权重由数学规划模型根据数据产生,不受人为主观因素的影响,而且该方法简单实用,近年来国内更多学者利用该方法对全要素能源效率进行研究。但DEA方法是一种极值方法,它在对效率前沿进行估计时容易受到样本数据质量的影响,目前国内城市能源消费数据不完整或缺失严重,数据误差较大,因此如果使用基于DEA方法得到的研究结果需要更为严格的检验。

## 2.2 城市能源消费量的测度方法

随着城市能源消费及相关问题的重要性提上日程,针对缺乏世界范围内的城市能源消费数据,国际能源署(IEA)首次提出全球城市能源消费量估算模型,他对全球范围内不同城市能源消费量数据估算进行了大胆尝试并且为其他不同国家(或地区)城市能源消费量的计算方法提供借鉴。但是该模型在估算城市能源消费数据的实用性上被证明是有限的,在实际应用中,该模型必须和具体国家或地区的所能获取的更为详细数据相结合,从而适度调整而计算获得该国家或地区城市能源消费量,比如Parshall等人<sup>[12]</sup>对美国城市能源和环境问题研究中使用的空间边界范围进行对比分析,然后结合空间数据和GIS技术详细描述了美国城市范围内的能源消费和温室气体排放的空间格局变化。而基于中国城市能源消费强度等于所在省域能源消费强度的研究假设,Dhakal<sup>[13]</sup>结合该模型和我国已经公开的相关省级及城市统计数据,首次完整的估算了我国661个城市(地级市+县级市)的能源消费量数据并对35个特大

城市能源消费描述分析,结果发现我国城市存在低能耗高增长以及高能耗低增长的两种不同发展路径。

目前国内也开始对我国城市能源消费量进行估算,梁竞、张力小<sup>[14]</sup>测度了我国30个省会城市的能源消费量,他们把城市市辖区生产能源消耗和生活能源消耗(未包括交通用能)之和作为城市能源消费总量,这种做法有可能低估城市能源消费总量,而且这种数据在更为宽泛的地级市还难以获取。李治、李国平<sup>[15]</sup>使用我国地级市电力、燃气和液化石油气消费量的统计数据,结合省级能源消费数据来获得历年各省所在城市的能源消费折算系数,然后再计算出地级市能源消费量。

从上文可以看出,对于如何在我国运用国际能源署(IEA)开发的能源消费模型,由于国外城市空间边界定义和数据来源的差异,所以结合国际类似方法在我国的实际应用还需要慎重。而对于国内城市能源消费量的一些估算方法中,每种方法都有不同的前提假设和设定对象,所以在测度我国城市能源消费量必须结合其实际需要以及可能的数据来源而选择使用,同时对可能出现的偏差要有一定的修正和解释能力。

## 3 狭义城市能源效率测度

狭义城市能源效率主要指的是城市居民能源效率问题。虽然在实践中人们从不同角度对城市居民能源效率进行阐释,但一般都遵循“能源服务”这个非常重要的概念,它的涵义是指能源的使用并不是它自身的终结而是为满足人们需要提供服务的一种投入。因此能源效率水平应以提供的服务来衡量,而不是用消耗能源的多少来表示。由于产出不是一种具体的量,而是一种对服务的度量,所以它更类似于技术上的能源效率指标,它指的是由于生活方式的改变、节能技术的进步等而使得特定能源消费的减少。当前城市居民主要能源服务包括居住用电、居住用气和室内供暖,能源服务是需要不同住房条件、电器设备等来完成的,所以对于每种终端能源的单独分析将显得非常重要,因为在一种终端能源上的效率提高都意味着一种长期服务需求的结构变化,它更容易让我们识别和解释家庭能源消费模式驱动力的改变。

### 3.1 城市居民能源效率测度方法

从上面可以看出,居民生活能源消费起源于对能源服务的需求,居民通过使用各类电器并消费能源来“生产”这些服务,衡量居民生活能源效率的理论基础来自于家庭生产函数(home-production function)<sup>[16]</sup>,沿着该理论思路,Wirl<sup>[17]</sup>定义城市居民生活能源效率为一定数量特定产品服务 $s$ 和生产这些服务的能源消费数量 $e$ 的比值:

$$\varphi = \frac{s}{e} \quad (1)$$

由于居民生活能源效率的产出不是一种具体的量,而是一种服务,所以难以直接度量。

相关文献通常采用  $1/j$  (通常称为居住能源强度)来表示特定服务的能源效率变化趋势,比如 Haas<sup>[18]</sup> 采用  $1/j$  作为解释满足某种居住服务的能源消费变化指标。同时,分子  $s$  使用家庭人数或者居住面积来衡量能源服务的效果也存在争议,有学者认为每居住面积所消耗的热量( $\text{GJ}/\text{m}^2$ )可以作为最可靠的总量能效分析指标<sup>[19~20]</sup>,而考虑到人口是能源消耗的主要驱动者,人均消耗的热量( $\text{GJ}/\text{capita}$ )居民生活能源效率现状评价的一个有效指标<sup>[21~22]</sup>。近些年有学者认为采用居住能源强度( $1/j$ )主要的缺陷在于需要每种生产服务的独立能源强度数据,而这会产生大量额外的数据要求。这也意味着研究者需要更为广泛且详细的家庭生活能源消费信息,而这样的数据则通常又非常缺乏。为了在更为坚实的理论基础上同时又不需要对所需数据苛刻的要求, Grosche<sup>[23]</sup> 曾尝试采用 DEA 方法测算美国居民全要素能源效率,但此类方法目前推广有限。

### 3.2 城市居民能源消费量测度方法

目前国外一些发达国家都有较为详细的城市部门(比如居住部门、交通部门等)能源消费量的官方普查数据,比如美国家庭能源消费调查(RECS)、美国家庭交通能源消费调查(RTECS)、英国家庭支出调查(FES)等,这些微观数据大多免费提供,一般每隔两三年更新一次,这给国外相关的理论和实证研究开展提供了较好的数据基础。但尽管如此,现有数据存量仍然不能满足日益复杂的国外相关研究的开展,整体来看相关数据获取仍然比较困难,数据不完整和缺失情况依然存在,这也使得产生了大量使用不同估计方法的研究。

如果是基于对城市居民能源消费行为的观察,则需要大量的微观数据加以支持,尤其是需要每一种单独的终端能源的消费情况时,而这种先决条件一般很难完成。在最乐观条件下,即使每个居民知道他们所消耗的能源消费量,但是他们也很难评价自身特定行为的消费量。目前相关研究为了绕过这种问题,一般采用工程估计方法(engineering techniques)而不是依据可以观察到的消费者行为,这种估计主要的缺点是依据理论基础而不是依据对消费者行为的观察,但该方法可以确定居住能源消费的长期变化趋势及能源转型效果。另外,也有选择精确且昂贵的仪表测量,但是由于测量数据的巨大成本而使得仅仅能包含有限的观测值。另一种方法是使用调查数据并结合回归方法去抽取所需要的能效指标,但这种方法每次仅能考虑某一种能源(比如用于做饭的天然气或用于制冷的电器)。某些研究在进行城市间差异比较分析时由于居住能源消费数据的不完整或缺失而选择了多种渠道的数据来源,或者选择缩减数

据规模和仅对感兴趣地域内能源消费量的加权估计<sup>[24]</sup>,此类做法最大的问题在于他们创建该数据目录满足了自己经验分析的需要,但是由于缺乏统一且标准的数据库而使得其他研究者难以在该领域扩展和延伸。而且不同来源的能源数据,其统计口径、核算方法等存在一定差异,如果在使用时不加以注意,可能会导致不恰当的结论或者没有科学意义的争议。

近年来我国也逐渐出现城市居住能源效率的实证研究,面对国内城市居住能源数据的缺乏,我国目前相关研究都基于自己的目而把研究范围限定在一定空间内,并从不同数据来源中寻找有价值的信息。目前基本可以分为三类,第一类以宏观统计数据为主<sup>[25~26]</sup>。从目前研究来看宏观数据仍然是我国城市居民能源消费的主要来源,除了在能源平衡表中存在分品种、分地域以及分部门的各类能源统计外,在具体的城市统计数据中包括城市生活用电、生活用气和采暖供暖三类消费量,这些已经基本构成了我国一个标准城市居民的主要能源消费来源,同时宏观数据能较好地和我其他社会经济指标,比如 GDP、就业率、价格指标以及住房条件结合使用,但此类数据不够精确,而且无法考虑到没有统计但实际消费的能源量。第二类为城市普查数据<sup>[27~28]</sup>。相比而言,城市普查数据更加全面且容易观察城市居民行为方式和消费习惯,但由于数据的标准化问题而使得普查数据是否能够合理的与宏观统计数据结合使用还存在不确定性。第三类为问卷调查数据<sup>[29~30]</sup>,此类数据收集过程中一般会有意识去界定住房结构、住房所有权、使用偏好以及人口特征和其他与能源消费相关的驱动因素,同时能够获取可靠的能源消费账单和居民可以选择的其他消费能源信息。此类数据要明显优于宏观统计数据,但也受限于获取难度和成本,被调查者的主观判断、调查期间季节气温因素以及所选择的样本代表性等问题。

## 4 小结

对于制定每一项城市能源经济及政策而言,都必须面临着各种挑战。目前城市能源效率测算方法已经比较成熟,相关的测度指标在不同领域展开并获得大量丰硕的成果。借鉴和对比分析该领域的研究方法和研究成果,并对其进行梳理和筛选,选择主流和较为全面的方法体系,结合我国城市实际情况,确定我国城市能源效率测算的方法体系,是我国城市能源效率研究的首要工作。

由于当前我国官方的城市数据采集的边界范围以及标准制定并不是完全服务于城市能源问题,从而使得依据相关研究结果而采取的能源政策所能达到的政策含义可能仅延伸到所设定的边界范围内,而其控制力实际可能仅包括

城市地理边界的一部分。与此同时,今天还面临着城市能源消费数据的相对“多”和“少”的问题。考虑当前数据的可获取性,基于城市能源消费测算模型,如何结合目前已经存在的各类我国城市社会经济数据来设定,以及如何充分利用可靠数据而提高最终研究结果的可行性和执行力也是必须克服的巨大障碍。一方面需要继续加强城市能源领域的理论研究工作,应该在研究中减少对繁重的数据与完善的理论依据的要求,选择适宜的评价工具和制定合适的评价要求来帮助城市政府在最佳能源实践行为中进行检验和对比,并且能够理解其中的成本收益含义。另一方面应该增强我国在城市能源统计方面的投入,除了增加必要的资金、人员和相关硬件配备外,严格筛选切实可行的能源统计与分析方法也十分必要,如此可为提高数据的真实性奠定坚实的基础。■

注:

城市空间上的地域概念包括实体地域、行政地域和功能地域,目前我国只有城市的行政地域概念。

该模型可具体参见[http://www.iea.org/weo/docs/weo2008/WEO\\_2008\\_Energy\\_Use\\_in\\_Cities\\_Modelling.pdf](http://www.iea.org/weo/docs/weo2008/WEO_2008_Energy_Use_in_Cities_Modelling.pdf)。

参考文献:

- [1]Keirstead J, Schulz N. London and beyond: Taking a closer look at urban energy policy [J]. Energy Policy, 2009 (9): 4870-4879.
- [2]世界银行. 2010年世界发展报告: 发展与气候变化[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [3]IEA. Promoting energy efficiency investments: case studies in the residential sector [M]. France: IEA publisher, 2008.
- [4]Sathaye J, Meyers S. Energy use in cities of the developing countries [J]. Annual review of energy, 1985 (1): 109-133.
- [5]Elias R, Victor D. Energy transitions in developing countries: A review of concepts and literature [R]. The Program on Energy and Sustainable Development, Stanford University, 2007.
- [6]World Energy Council. Energy efficiency policies around the world review and evaluation [M]. London: WEC publisher, 2009.
- [7]Hiroaki Suzuki A D, Sebastian Moffatt, Nanae Yabuki. Eco<sub>2</sub> cities-ecological cities as economic cities [M]. Washington DC: The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank 2009: 356.
- [8]周宏春. 我国城市能源与环境[J]. 经济研究参考, 2008 (25): 19~25.
- [9]Satterthwaite D. Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions [J]. Environment and Urbanization, 2008 (2): 539.
- [10]周一星. 城市研究的第一科学问题是基本概念的正确性[J]. 城市规划学刊, 2006 (1): 1~5.
- [11]Hu Jinli, Wang Shihchuan. Total-factor energy efficiency of regions in China [J]. Energy Policy, 2006 (17): 3206-3217.
- [12]Parshall L, Gurney K, Hammer S A, et al. Modeling energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions at the urban scale: Methodological challenges and insights from the United States [J]. Energy Policy, 2009 (9): 4765-4782.
- [13]Dhakal S. Urban energy use and carbon emissions from cities in China [J]. Energy Policy, 2009 (11): 4208-4219.
- [14]梁竞, 张力小. 中国省会城市能源消费的空间分布特征分析[J]. 资源科学, 2009 (12): 2086~2092.
- [15]李治, 李国平. 中国城市能源效率差异特征及影响因素分析[J]. 经济理论与经济管理, 2010 (7): 17~23.
- [16]Becker G. A theory of the allocation of time [J]. The Economic Journal, 1965 (299): 493-517.
- [17]Wirl F. The economics of conservation programs [M]. Kluwer Academic Pub, 1997.
- [18]Haas R. Energy efficiency indicators in the residential sector: What do we know and what has to be ensured? [J]. Energy Policy, 1997 (7): 789-802.
- [19]Haas R, Schipper L. Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements [J]. Energy Economics, 1998 (4): 421-442.
- [20]Li Jun. Towards a low-carbon future in China's building sector-A review of energy and climate models forecast [J]. Energy Policy, 2008 (5): 1736-1747.
- [21]Reddy B. Overcoming the energy efficiency gap in India's household sector [J]. Energy Policy, 2003 (11): 1117-1127.
- [22]Elias A A. Energy efficiency in New Zealand's residential sector: A systemic analysis [J]. Energy policy, 2008 (9): 3278-3285.
- [23]Grosche P. Measuring residential energy efficiency improvements with DEA [J]. Journal of Productivity Analysis, 2009 (2): 87-94.
- [24]Glaeser E L, Kahn M E. The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development [J]. Journal of Urban Economics, 2010 (3): 404-418.
- [25]苏涛永, 张建慧, 李金良, 等. 城市交通碳排放影响因素实证研究——来自京津沪渝面板数据的证据[J]. 工业工程与管理, 2011 (5): 134~138.
- [26]张馨, 牛叔文, 赵春升, 等. 中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究[J]. 中国软科学, 2011 (9): 65~75.
- [27]耿海青, 谷树忠, 国冬梅. 基于信息熵的城市居民家庭能源消费结构演变分析——以无锡市为例[J]. 自然资源学报, 2004 (2): 257~262.
- [28]Zheng Siqi, Wang Rui, Glaeser E L, et al. The greenness of China: household carbon dioxide emissions and urban development [J]. Journal of Economic Geography, 2011, 11(5): 1-32.
- [29]郭琪, 樊丽明. 城市家庭节能措施选择偏好的联合分析——对山东省济南市居民的抽样调查[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17 (3): 149~153.
- [30]张艳. 生活方式对开封城市家庭采暖碳排放的影响[J]. 地理科学进展, 2013, 32 (7): 1072~1081.

(责任编辑: 朱莉丽)