

DOI: 10.5846/stxb201712312370

王朝,李伟峰,海霞,周伟奇,韩立建,钱雨果.京津冀城市群能源供需与城市化的关系模式探究.生态学报,2018,38(12): - .

Wang Z, Li W F, Hai X, Zhou W Q, Han L J, Qian Y G. Analysis on the relationships between energy supply and demand and urbanization in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): - .

京津冀城市群能源供需与城市化的关系模式探究

王 朝^{1,2}, 李伟峰^{1,*}, 海 霞^{1,2}, 周伟奇¹, 韩立建¹, 钱雨果¹

1 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 城镇化发展加剧了城市对能源的消耗, 进而加剧了能源供需不平衡, 这种不平衡已经成为限制城镇化发展的重要因素。目前, 城市群作为我国城镇化发展的重要形式, 充分发挥城市群的协同效应以减缓能源供需矛盾, 对实现区域可持续发展具有重要意义。研究以京津冀城市群为例, 从地级市尺度系统地核算了 2001—2015 年能源供应和需求, 并采用 ward 聚类方法划分 3 种不同类型的能源供求特征, 并分析了每种类型的能源供需特征差异。同时, 以能源供需比值表示供需差异并进行了比较。在此基础上, 采用多指标综合分析方法进一步探讨了能源供需与城市化的关系模式。结果表明: (1) 京津冀城市群不同城市能源的供求特征及变化存在明显的时空差异。一方面, 从能源供给特征来看, 平均能源生产量较高的城市(天津市)能源产量由上升转变为平缓变化趋势, 而低产城市(石家庄市)呈不稳定的变化趋势, 两类城市平均能源产量相差 2497.66 万 t 标准煤; 另一方面, 从能源需求特征来看, 北京、天津市等能源高耗城市能源消费近年来趋于下降趋势, 而低耗型城市(沧州市)近年来呈波动变化, 二者平均差值为 4752.49 万 t 标准煤; (2) 基于能源供需比值, 京津冀城市群所有城市均表现为能源供不应求, 且不同城市能源供需缺口差异明显。其中, 天津市能源供给能力最强, 但其生产量却不及自身消费量的 40%, 而供给能力相对弱的城市保定市, 其能源需求几乎完全依赖外部能源供给; (3) 城市能源供需与城市化水平之间关系不完全一致。研究对能源供需模式与城市化模式不一致的城市, 划分了先进型和滞后型两种关系模式。对于先进型的城市, 主要有北京市、沧州市和廊坊市, 它们的城市化水平相对较高, 分析认为其能源开发利用相对集约; 而属于滞后型的城市, 包括唐山市、邯郸市和邢台市, 其城市化水平偏低, 分析认为这类城市能源开发利用效率低、发展方式相对粗放, 是城市群能源效率提升的重点。研究旨在为今后的城市群能源规划提供科学依据, 建议北京市等能源集约型城市带动唐山市等发展方式粗放、落后的城市, 以提高京津冀城市群整体的能源效率。

关键词: 供需矛盾; 供求关系; 地级市尺度; 协同效应

Analysis on the relationships between energy supply and demand and urbanization in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China

WANG Zhao^{1,2}, LI Weifeng^{1,*}, HAI Xia^{1,2}, ZHOU Weiqi¹, HAN Lijian¹, QIAN Yuguo¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Developing urbanization aggravates the consumption of energy and the imbalance between energy supply and demand, creating a feedback that restricts continued development. Urban agglomeration is an important form of urbanization in China. Facilitating the synergistic effects within urban agglomeration to alleviate the gap between energy supply and demand is of great significance to realizing regional sustainable development. By using the urban agglomeration of Beijing-

基金项目: 国家自然科学基金重大基金项目(41590841); 国家重点研发计划(2017YFC0505701); 中科院前沿项目(QYZDB-SSW-DQC034)

收稿日期: 2017-12-31; **修订日期:** 2018-05-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: li.wf@rcees.ac.cn

Tianjin-Hebei (Jing-Jin-Ji) as a case study, energy supply and demand for 2001—2015 were calculated systematically at the city level, and three types of energy supply and demand characteristics were identified by ward clustering method. The spatial and temporal differences of energy supply and demand in each type were then analyzed. And the relationship between supply and demand represented by the ratio was compared. The multi-index comprehensive analysis method was used to further explore the relationship between energy supply and demand and urbanization. The results are described as follows. (1) The energy supply and demand in different cities of the urban agglomeration had clear spatial and temporal variations. From the view of characteristics of energy supply, the average energy supply of high production cities (such as Tianjin) has transitioned from a rising to stationary trend, while the energy supply in low production cities (such as Shijiazhuang) is changing unstably, and the average supply differences of the two types of cities is 24, 976, 600 tons of standard coal. However, high consumption cities such as Beijing and Tianjin have shown decreasing trends in recent years, while low consumption cities (such as Cangzhou) have been variable in recent years, but the average difference between the consumption of the two types was 47, 524, 900 tons of standard coal. (2) Based on the ratio of the energy supply and demand, cities are all manifested as insufficient of energy supply, and there are clear differences between energy supply and demand of cities. Among the cities, Tianjin has the strongest self-sufficiency capacity of energy, but its production is lower than 40% of its own consumption, while Baoding, one of the cities with the weakest self-sufficiency, is almost entirely dependent on external energy supply. (3) The relationship between the balance of urban energy supply and demand and the level of urbanization is not consistent. To study the cities that are inconsistent with the modes of energy supply and demand and urbanization, advanced and lagging modes were classified. For the cities of advanced modes, mainly including Beijing, Cangzhou and Langfang cities, the urbanization level of these cities were relatively advanced. And it is analyzed that their energy development and utilization is relatively intensive. For the cities of lagging modes, including Tangshan City, Handan and Xingtai, were low in urbanization level. According to the analysis, these cities were in low efficiency of energy development and utilization, and of relatively extensive development mode, which are the key points for improving the energy efficiency of urban agglomeration. The purpose of this study is to provide a scientific basis for future urban agglomeration energy planning. It is suggested that Beijing and other energy intensive cities promote the cities with extensive and backward development such as Tangshan city, to improve the overall energy efficiency of the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration.

Key Words: supply and demand gap; energy supply and demand relationship; city level scale; synergy effect

能源是人类赖以生存和发展的自然资源,是国家国民经济运行和社会发展的战略资源。在城市生态学中,能源则是城市作为社会-经济-自然复合生态系统的重要组成部分,是城市内部生产、生活活动的动力来源,关系着城市命脉,被称为城市的血液^[1-2]。城市对能源的高度依赖性也决定了能源在城市化进程中的重要地位。我国进入 21 世纪以来,随着城市化进程的推进,城市对能源的需求急剧增加,而能源供应能力远不及需求的增长速度,能源供需矛盾日益凸显^[3-4]。同时,能源过量的消费给城市带来碳排放、空气污染等一系列生态环境问题。

目前,城市群成为我国重要的城镇化发展形式^[5],组团式的城市连接形式为同一区域内的城市间创造了更多交流与合作机会,同时也对各个城市提出了新的挑战^[6]。我国已经发展了珠三角、长三角、京津冀等大城市群。在众多城市群中,京津冀城市群的发展备受关注。而在京津冀一体化背景下,京津冀距离成长为世界级城市群的目标仍然有很大的差距^[7],特别是在能源方面。京津冀城市各自制定能源规划,缺少统筹协调,体现了目前城市群存在着的“大而散”、“大而不强”的问题^[8-9]。2017 年 11 月份,京津冀能源协同发展策略——“八大协同”的提出,城市间由分散转变为协作的关系,有助于充分发挥城市群的“协同效应”^[10-11]。而要实现这一点,还需要对京津冀的能源供需及其与城市化的关系有充分的认识。

国际上,针对能源供需与城市化主要展开了以下 3 类研究:一是城市化发展对能源的影响,城市化进程的推进增加了对能源的需求量,而达到一定城市化水平则有利于改善能源消费结构^[12-14]。如 Elena Lasarte Navamuel 等^[15]研究表明城市扩张增加城市能源电力需求,Jing-Li Fan 等^[16]研究表明城市化进程有助于改善居民能源消费结构,Jun Liu 等^[17]和 Kenta T^[18]等研究表明产业聚集效应可有助于提高能源效率;Quan N^[19]等和 Zhou S 等^[20]则均研究了城市化效应的区域差异,结果表明对于低收入水平的区域,城市化将加剧能源和碳排放强度,而对于高收入水平的区域,城市化将减少能源和碳排放强度。二是能源供需对城市化的影响,Shen L^[21]研究指出能源供应对城市化影响重大,长期资源短缺限制城市化发展。三是能源与城市化的双向作用关系,Shahbaz M 等^[22-23]采用协整分析和 Granger 因果检验对能源消费与城市化的关系进行了评价,证明了二者从长期上看存在相互作用关系。

我国也在不同尺度系统展开了能源供需的相关研究:国家尺度上,李艳梅^[24]围绕城市化进程中的能源需求及保障展开研究,徐安^[25]的研究围绕城市化与能源消费关系展开,张新春^[26]等围绕外部能源利用与我国区域能源供需平衡展开研究,刘金朋^[27]围绕能源供需格局展开研究等;区域尺度上,有单独围绕煤炭资源展开的供需研究,也有能源总体供应的研究,常昊等^[28]针对四川省煤炭资源的供需平衡展开研究,姬春旭等^[29]围绕河北省煤炭资源供需展开,金波等^[30]围绕北京市能源供应保障展开研究。然而针对城市群尺度的研究还比较少,且目前研究大多仅在省级尺度展开,对能源供应的关注也不足,如 Yan Zhang 等^[31]的研究对京津冀 3 个区域 2002—2007 年各部门的间接能耗进行了估计。为真正实现城市群的“协同效应”以突出城市群的竞争优势,研究更要求着眼于城市群地级市系统角度。

本研究通过刻画京津冀各地级市城市化进程中能源供需时空差异特征,进而与多指标综合评价刻画的城市化水平展开关系探究,对认清当前能源与城市化发展动态具有参考意义,为下一步城市群内能源协作规划及政策制定提供科学依据,推动城市群协同效应的发挥,进而减缓区域能源供需矛盾问题。

1 研究区概况

京津冀城市群包括北京、天津两个直辖市和河北省内 11 个地级市,研究定位于地级市尺度的分析,研究对象确立为 13 个市。2015 年,京津冀城市群能源生产总量占全国能源生产量的 3.89%,能源消费总量却占到了全国消费量的 11.07%。因而,相比全国平均水平,京津冀城市群总体能源生产不足而消费偏高。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 能源供需指标及其测度

能源供需包括能源供应与需求,通常认为,能源供应量包括能源的生产量和进口量,能源的需求量包括能源的国内需求和出口量^[32]。从能源保障安全的角度,能源的供应与需求首先立足于本地生产和消费的能源^[32]。根据京津冀目前的能源生产情况,优先考虑本地生产满足能源需求,再考虑外部能源对城市群内需求的补给^[32]。此外,研究认为目前京津冀的能源消费满足了城市化发展需求才取得了现有的城市化成果。因此,本研究中涉及的地级市能源供应量和需求量定义为本地能源生产量和消费量,“能源供需”特指能源的供应量与需求量。

北京、天津市作为直辖市,其历年能源生产量和消费量数据可以通过《中国能源统计年鉴》中能源平衡表(标准量)直接获得,而河北省各地级市能源生产、消费总量数据无法直接获得,因此研究在基于理论和文献调研的基础上,估算地级市相关数据。

(1) 能源生产量的估算:

能源生产量根据《中国能源统计年鉴》解释,指一定时期内该地区一次能源生产量的总和,包括原煤、原油、天然气、水电、核能及其他动力能发电量,不包括低热值燃料生产量、生物质能、太阳能等的利用和由一次

能源加工转换而成的二次能源生产量。

为了综合反映能源生产总量情况,研究采用我国现行的实物量转换为标准量的标准煤单位进行换算。各地级市的能源生产量,以主要工业产品产量中的一次能源,即原煤、原油、天然气、水电、风电的生产量由实物量换算为标准量后求和获得,并以河北省省级尺度数据验证,误差范围不超过 1%,研究认为所采用的能源生产量换算方法具有一定的科学性^[33]。

(2)能源消费量的估算:

能源消费量指一定时期内该地区物质生产部门、非物质生产部门和生活消费的各种能源的总和,包括原煤和原油及其制品、天然气、电力,不包括低热值燃料、生物质能和太阳能等的利用。

基于河北省各地级市生活消费的数据和能源平衡表的不可获得性,研究采用各地级市单位 GDP 能耗乘当年 GDP 估算当年能源消费量^[34]。对于缺少数据的年份,通过其他年份的工业综合能源消费量占比推算能源消费量数据。

2.1.2 城市化水平综合指标体系及其测度

研究针对京津冀整体城市化水平特点,本着指标选择的科学性原则,区别不同指标的影响差异,从人口、社会、土地和经济 4 个方面综合测度京津冀城市群的城镇化水平,并利用熵权法为每个指标赋权重^[35],如表 1 所示。

表 1 京津冀城市群城镇化水平评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of urbanization level of Jing-Jin-Ji region

目标层 Goal level	指标层 Index level	权重 Weight	指标方向 Direction
人口城镇化 Population urbanization	城镇人口比例/%	0.37	+
	城镇人口数量/(10 ⁴ 人)	0.63	+
社会城镇化 Society urbanization	全社会消费品零售总额/(10 ⁸ 元)	0.32	+
	教育支出/(10 ⁴ 元)	0.2	+
	城镇居民人均消费支出/(元/人)	0.48	+
土地城镇化 Land urbanization	建设用地面积(km ²)	0.49	+
	人均建设用地面积/(km ² /人)	0.51	+
经济城镇化 Economic urbanization	二产比例/%	0.38	+
	三产比例/%	0.42	+
	人均 GDP/(元/人)	0.2	+
	人口城镇化	0.26	+
综合城镇化 Comprehensive urbanization	社会城镇化	0.23	+
	土地城镇化	0.27	+
	经济城镇化	0.24	+

2.1.3 统计方法

(1)能源供需特征分析方法——ward 系统聚类法

研究对城市群内部城市按能源供应量、需求量进行聚类分析,选用 ward 系统聚类分析方法。Ward 法是一种可用于区域划分的聚类方法^[36-37],以欧式距离的平方作为两个类别之间的距离,强调同类城市的内部差异小,而不同类之间的差异大。研究通过对京津冀地级市重新分类,归纳总结不同类型城市的能源供需特征。

Ward 系统聚类算法的基本原理为以欧式距离作为两类之间的距离,先将集合中每个样本自成一类,再进行类别合并时,计算类重心间方差,将离差平方和增加的幅度最小的两类首先合并,再依次将所有类别逐级合并。

(2)能源供需与城市化分析方法——z-score 标准化方法

研究在城市群能源供需模式和城市化模式的总结上采用 z-score 标准化方法^[38],具体公式表示为:

$$z(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - \overline{X_{ij}}}{S(X_{ij})} = \frac{X_{ij} - \overline{X_{ij}}}{\sqrt{\frac{(X_{ij} - \overline{X_{ij}})^2}{n}}}$$

(1)

式中, $Z(X_{ij})$ 为变量 X_{ij} 标准化后的值; X_{ij} 为第 i 年的第 j 个变量的值; $\bar{X}_j$ 为第 j 个变量的算术平均值; $S(X_{ij})$ 为样本标准差; n 为样本容量^[38]。 $Z(X_{ij})$ 量代表着原始分数和母体平均值之间的距离, 是以标准差为单位计算。在原始分数高于平均值时, Z 为正数, 反之则为负数。

2.2 数据来源

本研究以 2001—2015 年快速城市化阶段为例, 分析京津冀城市群各地级市能源供给、需求与城市化的关系模式。研究涉及数据来源于《中国能源统计年鉴》(2002—2016)、《河北省经济统计年鉴》(2002—2016)、京津冀地区各地级市统计年鉴(2002—2016)。

3 研究结果与分析

3.1 京津冀城市群能源供需特征识别

对 2001—2015 年间的京津冀城市群各地级市能源生产量和消费量数据, 利用 SPSS 17.0 软件, 根据数值高低水平进行 ward 系统聚类分析分 3 类, 分别为能源高产型城市、能源中产型城市、能源低产型城市, 能源高耗型城市、能源中耗型城市、能源低耗型城市, 分析结果如下:

3.1.1 城市群能源供应特征

(1) 高产型城市: 天津、唐山、邯郸

如图 1 所示, 天津市 2001—2015 年平均能源生产量为 3550.45 万 t 标准煤, 为京津冀城市群能源生产量最高的城市, 整体处于上升的变化趋势, 2010 年取得局部产量的峰值; 唐山市平均能源生产量为 2532.43 万 t 标准煤, 其能源生产量在 2008—2011 年呈明显上升趋势, 到 2012 年产量则回落并逐渐趋于平稳, 其中在 2011 年达到最高值; 邯郸市生产量整体趋于平稳变化, 局部略有上升并在 2005、2010 年出现两个峰值。综合来讲, 高产型城市整体平均能源生产量约 2544.13 万 t 标准煤, 呈现总体上升、近年来趋于平稳的趋势。

(2) 中产型城市: 北京、沧州、邢台、张家口

如图 2 所示, 北京市能源生产量先在 2001—2006 年经历了一个先上升后下降的变化, 2006 年后呈较缓慢回升的趋势, 年平均能源生产量约为 552.38 万 t 标准煤, 其中在 2004 年产量达到最大值; 沧州市能源生产量变化呈平稳上升趋势; 邢台市能源生产量整体趋于波动变化, 局部呈现明显的上升或下降变化, 其中以 2003—2004 年上升变化最为明显; 张家口市能源生产量呈显著上升趋势, 但在 2009 年及 2013 年有较大幅度跌落。综上所述, 中产型城市平均能源生产量约 731.32 万 t 标准煤, 整体呈现趋于上升的变化趋势。

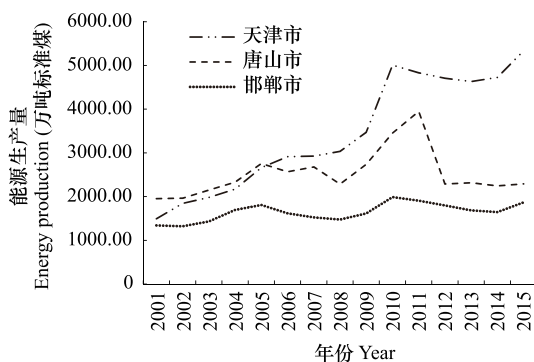


图 1 京津冀能源高产型城市生产量变化

Fig.1 The production change of high-production city in Jing-Jin-Ji region

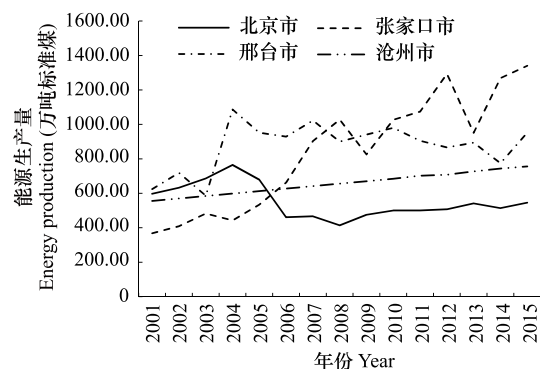


图 2 京津冀能源中产型城市生产量变化

Fig.2 The production change of moderate-production city in Jing-Jin-Ji region

(3) 低产型城市: 石家庄、秦皇岛、保定、承德、廊坊、衡水

如图 3 所示, 承德市能源生产量变化波动较大, 在 2003—2007 年维持在较高水平, 后呈下降趋势到 2011

年跌落至产量最低点;石家庄市能源生产整体产量不高且局部变化剧烈,个别年份呈明显上升趋势,如 2004 年、2009 年为两个年际变化的波峰;秦皇岛市能源生产总量趋于平稳,个别年份表现为低谷,如 2009 年产量走低;保定市能源生产总量整体在京津冀城市群处于低水平,变化较平稳;廊坊市、衡水市在此期间无能源生产达到统计要求规模。总体上,能源低产型城市能源生产量平均约 46.47 万 t 标准煤,整体生产不稳定,变化的波动性较大。

3.1.2 城市群能源消费量特征

京津冀城市群各地级市的能源消费量总体均处于上升趋势,但在总消费量水平和局部年际变化趋势上存在差异,分析结果如下:

(1) 高耗型城市:北京、天津、唐山

如图 4 所示的 3 个城市,即京津唐地区是城市群的高能耗区域,其中北京市能源消费量增速最低,变化相对平稳;而天津市能源消费量在 2010 年以前低于北京市,但其增速明显高于北京市,并于 2010 年后超过北京市能源消费量,保持快速增长到 2014 年后增速放缓;相比之下,唐山市能源消费量偏高,变化波动较大而不稳定,以 2006—2009 年增速最快,2013 年后呈现下降趋势。综合以上,高耗型城市平均消费量约 6055.54 万 t 标准煤,整体呈上升趋势,近年来趋于平稳变化。

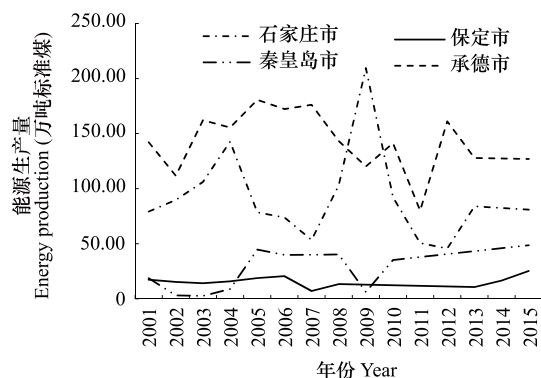


图 3 京津冀能源低产型城市产量变化

Fig.3 The production change of low-production city in Jing-Jin-Ji region

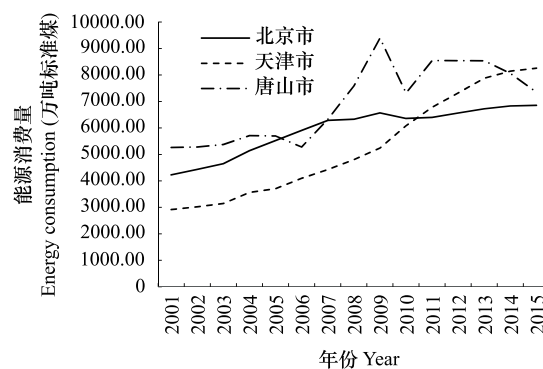


图 4 京津冀能源高耗型城市消费量变化

Fig.4 The consumption change of high-consumption city in Jing-Jin-Ji region

(2) 中耗型城市:石家庄、邯郸

如图 5 所示,石家庄市和邯郸市能源消费量相近,且变化趋势相似,消费量在前期均保持稳步增长趋势,在 2010 年后呈现出消费量增速放缓或逐渐下降的趋势。中耗型城市平均消费量约 3729.3 万 t 标准煤,变化趋势与高耗型城市类似,呈现先增加后稳定、再减少的变化趋势。

(3) 低耗型城市:沧州、邢台、秦皇岛、保定、张家口、承德、廊坊、衡水

如图 6 所示,沧州、邢台、秦皇岛、保定、张家口、承德、廊坊、衡水市的能源消费量增长特征相近,即前期呈明显的上升趋势,其中沧州市、保定市、廊坊市和衡水市均在 2011—2013 年间显著增长,2013 年后能源消费量呈增长放缓或下降趋势,与河北省 2013 年后能源消费量趋与平稳的变化趋势一致;而张家口市在 2010 年后消费量明显下降。低耗型城市能源消费量平均约为 1305.05 万 t 标准煤,整体呈增长的趋势,前期稳定增长而后变化不稳定。

3.1.3 城市群能源供需对比

综合城市群能源供应量、需求量及其变化特征分析,表明城市群高、中、低水平城市的能源供应量与需求量显著不平衡,分别对应不同水平的供不应求。高耗型城市平均能源消费高出高产型城市的平均能源生产 3511.41 万 t 标准煤,中耗型城市能源消费比能源中产型城市能源生产高出 2997.98 万 t 标准煤,低耗型城市

能源消费量高于低产型城市能源生产量 1258.58 万 t 标准煤。

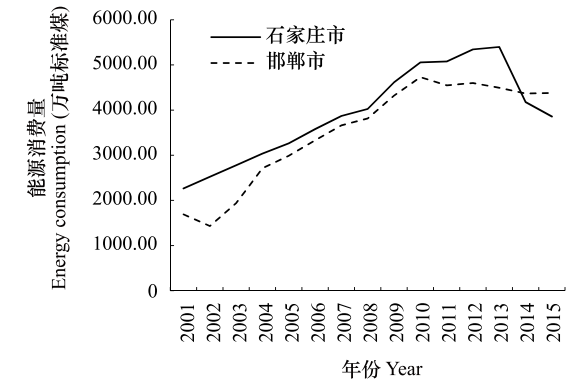


图 5 京津冀能源中耗型城市消费量变化
Fig.5 The consumption change of moderate-consumption city in Jing-Jin-Ji region

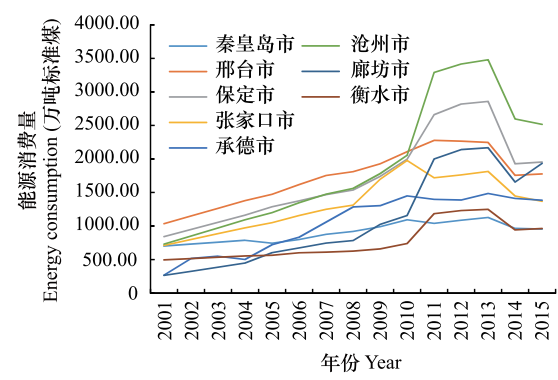


图 6 京津冀能源低耗型城市消费量变化
Fig.6 The consumption change of low-consumption city in Jing-Jin-Ji region

以能源供需比值表示城市供需差异,也反映了能源供给满足城市自身需求的能力,取平均值后排序如图 7 所示。可以看出各个城市均表现为供不应求,以天津市能源自身供给能力为最高,其生产量却不到自身消费量的 40%;同时,城市间供需比存在差异,以保定、廊坊、衡水市能源自给能力为最弱,均不足 2%。在这样的能源供需水平差异大、分布不均的背景下,城市能源供需对其城市化产生的效应也不同。

3.2 京津冀城市群能源供需与城市化水平的关系模式

3.2.1 京津冀城市群能源供需模式

在分析各城市能源供需现状的基础上,研究面向京津冀城市群对象,更强调的是城市在城市群内的相对水平。因此,在对各城市能源生产量和消费量采用 z—score 标准化方法处理数据,取标准化后数据的正负号对数据水平进行划分^[35]。根据数据正负号对应落在正态分布曲线的左右两侧的情况,以正号表示相对高的数值水平,以负号表示相对低的数值水平,结果如表 2 所示。研究定义能源生产、消费量标准化后符号全取正为“高供需型”,以正负号均存在为“中供需型”,以全取负为“低供需型”,以此表示各城市能源供需模式。

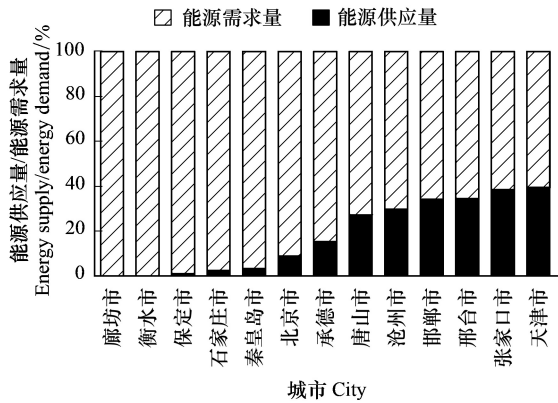


图 7 京津冀能源供应比需求变化
Fig.7 The change of the ratio of energy supply to demand in Jing-Jin-Ji region

表 2 京津冀城市群能源供需模式

Table 2 Modes of Energy supply and demand in Jing-Jin-Ji region							
供需模式 Energy supply and demand mode	城市 city	能源供应量 Energy supply	能源需求量 Energy demand	供需模式 Energy supply and demand mode	城市 city	能源供应量 Energy supply	能源需求量 Energy demand
高供需型 High supply and demand mode	天津市	+	+	低供需型 Low supply and demand mode	秦皇岛市	—	—
	唐山市	+	+		保定市	—	—
	邯郸市	+	+		张家口市	—	—
中供需型 Moderate supply and demand mode	北京市	—	+		承德市	—	—
	石家庄市	—	+		沧州市	—	—
	邢台市	+	—		廊坊市	—	—
					衡水市	—	—

注:数据来源于 2001—2015 年京津冀城市群各地级市能源供需量均值

就供需模式现实意义而言,能源“高供需型”城市占据城市群的能源高生产量、高消费量,如天津市、唐山市能源产量丰富且都是以重工业为主的城市^[39];能源“中供需型”城市表示城市能源生产量与消费量高低混合,供需量处于中间状态,如北京市能源生产量低而消费量偏高;能源“低供需型”城市表示能源低生产低消费的城市,如廊坊和衡水市几乎完全依赖外部供给能源以满足需求,同时能源消费量也偏低。

3.2.2 京津冀城市群城市化模式

基于城镇化综合指标体系,数据分析方法同以上能源供需模式,指标数据通过 Z-score 标准化方法处理,以正、负号划分高、低水平表示各城市的相对城市化水平。各城市分析结果如表 3 所示,以符号全部取正为“高水平型”、以正负均存在为“中水平型”、以全取负为“低水平型”,以此划分三种城市化模式。其中,“高水平型”城市表示其城市化水平较高,代表城市有北京、天津市,两城市作为京津冀城市群的发展中心,经济、社会、人口、土地城市化水平都处于城市群顶层^[40];“中水平型”城市城市化水平发展不均衡,如邯郸市在经济城市化上的水平较高,而社会、人口、土地方面的城市化水平发展还有所欠缺^[41-43];“低水平型”城市各方面城市化均处于群内落后水平。

表 3 京津冀城市群城市化模式
Table 3 Modes of urbanization level in Jing-Jin-Ji region

城市化模式 Urbanization mode	城市 City	经济城市化水平 Economic urbanization level	社会城市化水平 Social Urbanization level	人口城市化水平 Population urbanization level	土地城市化水平 Land urbanization level	综合城市化水平 Comprehensive urbanization level
高水平型	北京市	+	+	+	+	+
High-level mode	天津市	+	+	+	+	+
中水平型	唐山市	+	+	—	+	+
Moderate-level mode	石家庄市	+	—	+	—	—
	邯郸市	+	—	—	—	—
	沧州市	+	—	—	—	—
	廊坊市	+	+	—	—	—
低水平型	衡水市	—	—	—	—	—
Low-level mode	邢台市	—	—	—	—	—
	保定市	—	—	—	—	—
	张家口市	—	—	—	—	—
	承德市	—	—	—	—	—
	秦皇岛市	—	—	—	—	—

注:数据来源于 2001—2015 年京津冀城市群各地级市城市化指标体系数据均值

3.2.3 京津冀城市群能源供需与城市化的关系模式

随着城市化水平的提升,往往认为一个城市的能源生产量随着其技术水平的提高而提高,能源消费量随着其发展需求的升高而升高,即城市能源的高供应、需求与其城市化的高水平一致。基于前面对两大类模式的总结,对每个城市相应的能源供需模式与城市化模式比较,来分析一个城市所属的两种模式是否一致。结果如表 4 所示,可以看出京津冀各城市所属的能源供需模式与城市化模式不完全一致:对于高供需型城市,其中天津市的城市化模式属于高水平型,与其能源的高供需模式一致,但唐山、邯郸市属于中水平型模式而不一致;对于中供需型城市,只有石家庄市属于中水平型城市化模式,与其能源供需模式一致,而北京市和邢台市分别属于高水平型、低水平型城市化模式,与其能源供需模式不一致;对于低供需型模式的的城市,秦皇岛市、保定市、张家口市、承德市、衡水市的城市化模式与能源供需模式一致,但沧州市和廊坊市属于中水平型城市化模式,与其能源供需模式不一致。

对于能源供需模式与城市化模式关系不一致的城市,两种模式有相对的高低之分。其中,城市化模式相对高的城市,说明城市能源的开发利用效率较高,发展达到了相对领先的城市化水平,本研究将这一类城市总

结为属于“先进型”关系模式,主要包括北京市、沧州市和廊坊市;能源供需模式相对高的城市,其城市化水平相对滞后,分析认为城市的发展方式相对粗放、落后,能源开发利用效率偏低,将此类城市的关系模式总结为“滞后型”关系模式,包括唐山市、邯郸市和邢台市。将其他城市定义为“一致型”关系模式的城市。不同城市的能源供需量对其城市化产生了不同的效应,二者的关系反映了城市能源开发利用效率的高低。为提高京津冀城市群整体的能源开发利用效率,滞后型城市需要重点提升。

表 4 京津冀城市群能源供需与城市化关系模式
Table 4 Interactions between energy supply and demand modes and urbanization modes in Jing-Jin-Ji region

能源供需模式/城市化模式 Energy supply and demand mode/ urbanization mode	高水平型模式 High-level mode	中水平型模式 Moderate-level mode	低水平型模式 Low-level mode
高供需型模式 High supply and demand mode	天津市(一致型)	唐山市、邯郸市(滞后型)	——
中供需型模式 Moderate supply and demand mode	北京市(先进型)	石家庄市(一致型)	滞后型;邢台市(落后型)
低供需型模式 Low supply and demand mode	——	沧州市、廊坊市(先进型)	秦皇岛市、保定市、张家口市、承德市、衡水市(一致型)

4 结论与讨论

城市发展过程中,往往认为能源供需随城市化水平提升而持续增长,而实际变化趋势并非如此。在城市群发展趋势下,不同的城市能源供需量对城市化产生的效应不同。本研究对京津冀各地级市能源生产量、消费量估算后,通过 ward 聚类分析划分高、中、低三类水平特征,分析表明每种类型对应的变化趋势并不是持续增加,同时存在波动变化或平缓变化的特征^[44-45]。三类水平下的供应与需求的变化特征不相匹配、均值大小不相匹配,反映了京津冀时间上和空间上能源供需间的差异。针对京津冀供应不足、需求过高的能源供需特点,以供应与需求量的比值表征能源供需间差异,也反映了城市本地能源生产满足需求的能力。在此基础上,通过多指标综合分析方法,建立能源供需总量水平与城市化水平的关系模式,即根据能源供需总量水平与城市化水平的相对比较,划分了一致型、先进型和滞后型的关系模式。研究通过分析得到以下结论:

(1) 京津冀城市群不同城市能源的供求特征及变化存在明显的时空差异。一方面,从能源供给特征来看,平均能源生产量较高的城市(天津市)能源产量由上升转变为平缓变化趋势,而低产城市(石家庄市)呈不稳定的变化趋势,两类城市平均能源产量相差 2497.66 万 t 标准煤;另一方面,从能源需求特征来看,北京、天津市等能源高耗城市能源消费近年来趋于下降趋势,而低耗型城市(沧州市)近年来呈波动变化,二者平均差值为 4752.49 万 t 标准煤。

(2) 基于能源供需比值,京津冀城市群所有城市的供需关系均表现为供不应求,且不同城市能源供需缺口差异明显。其中,天津市能源供给能力最强,但其生产量却不及自身消费的 40%,而供给能力相对弱的城市保定市,其能源需求几乎完全依赖外部能源供给。

(3) 城市能源供需与城市化水平之间关系不相一致。研究对能源供需模式与城市化模式不一致的城市,划分了先进型和滞后型关系模式。对于先进型的城市,主要有北京市、沧州市和廊坊市,城市化水平相对领先,分析认为其能源开发利用相对集约;而属于滞后型的城市,主要包括唐山市、邯郸市和邢台市,城市化水平偏低,分析认为城市能源开发利用效率低、发展方式相对粗放,是城市群能源效率提升的重点。

根据研究结果,在能源调配上,建议能源供需量水平差异显著的两类城市之间加强能源互补合作;在区域规划上,建议促进能源供需与城市化为先进型关系的城市带动滞后型关系的城市,即北京、沧州和廊坊市带动唐山、邯郸、邢台市向能源集约型发展方式迈进,提高后者的能源开发利用效率,从而有助于推动群内优势互补,充分发挥城市群的协同效应。

研究旨在识别京津冀能源供需特征和探究能源供需与城市化水平的互动关系,为未来京津冀地级市城市

能源规划合作提供可靠依据。但研究也存在一些问题,如由于能源供需数据不可直接获得,估算能耗以单位 GDP 能耗乘 GDP 的方法不够精准,估算出的数据与真实情况具有一定差异。此外,在城市间能源规划合作的建议上,具体方案实施过程中,不能只考虑能源单一要素,还需要综合其他方面要素的考量,如水资源、矿产资源等自然资源的城市间协作关系,为城市群发展提供科学系统的理论指导。

参考文献 (References):

- [1] 张有生,任东明,肖新建,杨光,康晓文,田磊.当前能源供求形势及政策建议.宏观经济管理,2014(5):58-63.
- [2] 马世骏,王如松.社会-经济-自然复合生态系统.生态学报,1984,4(1):3-11.
- [3] Wang C, Fu LP. Impact analysis of urbanization for Chinese energy consumption based on panel data of Chinese provinces//Xu J, Hajiyev A, Nickel S, Gen M, eds. Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management. Singapore: Springer, 2017.
- [4] Jiang, Z J, Lin B Q. China's energy demand and its characteristics in the industrialization and urbanization process. Energy Policy, 2012, 49: 608-615.
- [5] 方创琳.中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向.地理学报,2014, 69(8):1130-1144.
- [6] 王佼.世界典型城市群内部协调发展机制研究及对京津冀协同发展机制建设的启示.北京:对外经济贸易大学,2016.
- [7] 方创琳.京津冀城市群协同发展的理论基础与规律性分析.地理科学进展,2017,36(1):15-24.
- [8] 李治,郭菊娥,李培.中国城市群“圈层”结构对能源强度影响实证.中国人口·资源与环境,2014, 24(11):26-32.
- [9] 陈耀,汪彬.大城市群协同发展障碍及实现机制研究.区域经济评论,2016(2):37-43.
- [10] Izhguzina N R. THE SYNERGISTIC EFFECT OF REGION'S LARGE URBAN AGGLOMERATIONS: RESEARCH METHODOLOGY. 2016, (5): 111-131.
- [11] Lu S B, Wang Z M, Bao H J, et al. Research on Synergistic Development of Urbanization and Energy Consumption, Energy Procedia, 2017, 105: 3673-3676.
- [12] Madlener R, Sunak Y. Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management?, Sustainable Cities and Society, 2011, 1(1): 45-53.
- [13] Yin M. Energy Development and Urbanization in China, Energy & Environment, 2015, 26(1/2):1-14.
- [14] Liu Y B. Exploring the relationship between urbanization and energy consumption in China using ARDL (autoregressive distributed lag) and FDM (factor decomposition model), Energy, 2009, 34(11): 1846-1854.
- [15] Navamuel E L, Morollón F R, Cuartas B M. Energy consumption and urban sprawl: Evidence for the Spanish case. Journal of Cleaner Production, 2018, 172:3479-3486.
- [16] Fan J L, Zhang Y J, Wang B. The impact of urbanization on residential energy consumption in China: An aggregated and disaggregated analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 75:220-233.
- [17] Liu J, Cheng Z H, Zhang H M. Does industrial agglomeration promote the increase of energy efficiency in China? Journal of Cleaner Production, 2017, 164:30-37.
- [18] Tanaka K, Managi S. Analysis of Energy Use Efficiency in Japanese Factories: The possibility of industry agglomeration effect for energy efficiency (Japanese). Discussion Papers. Research Institute of Economy, Trade and Industry, 2016.
- [19] Quan N, Kakinaka M, Kotani K. How does urbanization affect energy and CO2 emission intensities in Vietnam? Evidence from province-level data. Working Papers, SDES-2017-8. Kochi University of Technology, School of Economics and Management, 2017.
- [20] 周少甫,王亚南.中国工业化、城镇化对能源强度的影响——基于动态面板数据模型的研究.生态经济,2015, 31(2):75-79.
- [21] Shen L, Cheng S K, Gunson A J, Wan H. Urbanization, sustainability and the utilization of energy and mineral resources in China. Cities, 2005, 22(4):287-302.
- [22] Shahbaz M, Lean H H. Does financial development increase energy consumption? The role of industrialization and urbanization in Tunisia. Energy Policy, 2012, 40(1):473-479.
- [23] 谢利平.能源消费与城镇化、工业化.工业技术经济,2015,34(5):95-100.
- [24] 李艳梅.中国城市化进程中的能源需求及保障研究[D].北京:北京交通大学,2007.
- [25] 徐安.我国城市化与能源消费和碳排放的关系研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [26] 张新春.外部能源利用与我国区际能源供需平衡问题研究[D].成都:四川省社会科学院,2012.
- [27] 刘金朋.基于资源与环境约束的中国能源供需格局发展研究[D].北京:华北电力大学(北京),2013.
- [28] 常昊.四川省煤炭资源的供求平衡与可持续利用[D].成都:西南财经大学,2014.

- [29] 姬春旭.河北省煤炭资源供需与安全保障研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2008.
- [30] 金波.北京市能源供应安全保障体系初步研究[D].北京:北京工业大学,2015.
- [31] Zhang Y, Zheng H M, Yang Z F, Li Y X, Liu G Y, Su M R, Yin X N. Urban energy flow processes in the Beijing-Tianjin-Hebei (Jing-Jin-Ji) urban agglomeration: Combining multi-regional input-output tables with ecological network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 114: 243-256.
- [32] 张丽峰.中国能源供求预测模型及发展对策研究.北京:首都经济贸易大学,2006.
- [33] 何永贵,赵良芳.京津冀区域能源效率研究//第十一届中国软科学学术年会论文集(上).北京:中国软科学研究会,2015:6.
- [34] 白泉.国外单位 GDP 能耗演变历史及启示.中国能源,2006,28(12):10-14.
- [35] 杨坤矗,毕润成,孙然好,陈利顶.京津冀地区城市化发展时空差异特征.生态学报,2017,37(12):3998-4007.
- [36] 杨志恒.基于 Ward 法的区域空间聚类分析.中国人口·资源与环境,2010,20(S1):382-386.
- [37] 骆剑承,周成虎,梁怡,张讲社,黄叶芳.多尺度空间单元区域划分方法.地理学报,2002,57(2):167-173.
- [38] 赵丽娟,董小林,吴阳.基于 Z-Score 模型的环境污染与经济联合分析.应用化工,2017,46(9):1805-1809.
- [39] 周军,马晓丽.京津冀协同发展视角下低碳城市发展规划及路径.人民论坛,2015,(32):237-239.
- [40] 李琪琛.京津冀城市群协调发展研究[D].石家庄:河北师范大学,2012.
- [41] Liu Y B, Xie Y C. Asymmetric adjustment of the dynamic relationship between energy intensity and urbanization in China. *Energy Economics*, 2012, 36: 43-54.
- [42] 方创琳,周成虎,顾朝林,陈利顶,李双成.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径.地理学报,2016, 71(4):531-550.
- [43] 王莉娟,崔文静.京津冀城市群空间结构与协同发展模式研究.现代经济信息,2017,(2):455-456.
- [44] 侯邦安.我国能源供需形势的回顾与展望.能源基地建设,1995,(3):10-16.
- [45] 张生玲,林永生.北京市能源供求分析与对策.城市问题,2009,(9):91-95.