

DOI: 10.5846/stxb201809111956

王朝,李伟峰,韩立建.京津冀城市群能源协同发展背景下能源生产结构变化探究.生态学报,2019,39(4): - .

Wang Z, Li W F, Han J L. Study on the change in energy production structure under the energy coordinated development strategy of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4): - .

京津冀城市群能源协同发展背景下能源生产结构变化探究

王 朝^{1,2}, 李伟峰^{1,*}, 韩立建¹

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

2 中国科学院大学,北京 100049

摘要:能源作为城市生产与生活中不可替代的资源类型,在城市化发展过程具有至关重要的作用。工业革命时代的结束,信息时代的开始,标志着以化石燃料为主要原料的发展方式发生转变,能源生产结构随着化石燃料比重下降而优化。城市群成为当前城市化的主体形态,其发展战略对区域能源结构具有重要影响。以京津冀城市群为例,从地级市尺度核算了 2001—2015 年不同城市能源生产结构的特征及其变化,并分析了城市群能源协同发展战略对不同城市能源生产结构的影响。主要结论包括:(1)2001—2015 年京津冀各城市能源生产结构整体上趋于优化,但能源生产化石燃料占主导地位的本质特点没有改变。例如,河北的邯郸和邢台市增加了一次电力生产,但原煤生产仍占比 90% 以上。(2)研究根据能源生产的主导类型,可将京津冀城市划分为两类,即原煤主导型与原油主导型城市。其中,原煤主导型城市能源生产结构的调整明显优于原油主导型城市,例如,北京、石家庄、张家口与承德等原煤主导型城市的煤炭生产比重显著下降,而天津与沧州市等原油主导型城市的原油生产无明显下降趋势。(3)京津冀能源协同发展战略的实施有助于推进能源生产结构的优化,但对不同城市的影响不同,其中,对北京和河北承德市能源生产结构优化最显著,2001—2015 年原煤生产比例下降了近 40%,与协同发展战略的“基本无煤矿”目标方向一致,而对邯郸市、邢台市影响不明显。京津冀城市群能源生产结构调整仍具有较大潜力,对于原煤生产比例最高的城市(邯郸和邢台市),需要加快城市的能源生产转型,增加清洁能源产出,改善能源生产单一的结构特点;对于原煤生产产量较高的城市(唐山市),需要根据资源禀赋情况逐步调整原煤产量,进一步集约地区煤矿,同时鼓励发展煤炭洗选业,提高煤炭清洁生产技术;对于具有“无煤矿化”目标的高煤产城市(承德市和张家口市),需加快淘汰落后产能,同时依托京津冀能源协同发展战略,充分利用自身自然风力优势和区位优势,大力发展新能源。

关键词:资源约束;结构优化;协同发展;能源转型

Study on the change in energy production structure under the energy coordinated development strategy of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China

ZHAO WANG^{1,2}, WEI FENG LI^{1,*}, LI JIAN HAN¹

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: As an indispensable resource in urban producing and living activities, energy has played a major role in supporting the development of urbanization. With the end of the industrial revolution and the beginning of the information age, the mode of using fossil fuels as the main raw materials for development began to change, so the energy production structure was optimized with a decreasing proportion of fossil fuels. Urban agglomeration has become the main form on

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC0505701)

收稿日期:2018-09-11; 修订日期:2018-12-26

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

urbanization, and its development strategy has an important impact on regional energy structure adjustment. Taking Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration (Jing-Jin-Ji) as an example, the characteristics of and changes in the energy production structures of Jing-Jin-Ji at the municipal level from 2001 to 2015 were calculated, and the influences of synergistic development strategies on the energy production structures of cities were analyzed. The main conclusions are as follows: (1) The overall energy production structure of Jing-Jin-Ji cities was optimized from 2001 to 2015, but the characteristics of fossil fuels essentially did not changed. For example, primary power has been added in the energy production in Handan and Xingtai City of Hebei Province, but raw coal production still accounted for more than 90% in both cities. (2) According to the prevailing types of energy production, Jing-Jin-Ji cities could be divided into two types, coal-dominated cities and oil-dominated cities. The adjustment of the energy production structure in coal-dominated cities was obviously more effective than the oil-dominated. For example, the proportion of coal production had dropped significantly in coal-dominated cities such as Beijing, Shijiazhuang, Zhangjiakou and Chengde, whereas the crude oil production in Tianjin and Cangzhou had no obvious downward trend. (3) The implementation of the Jing-Jin-Ji energy coordinated-development strategy was proved to be effective for the optimization of the energy production structure, but the impact was different in different cities. Among them, the energy structure optimization was the most significant for Beijing and Chengde City of Hebei Province, whose proportion of raw coal production decreased by nearly 40% in 2001—2015, and it was consistent with the development goal of "basically no coal mine" of the coordinated development strategy. However, the impact on Handan and Xingtai was not obvious. The adjustment of the energy production structure still has great potential to improve in Jing-Jin-Ji. For the cities with the highest proportion of raw coal production (Handan and Xingtai), which are also traditional resource cities with backward energy production structure, it is necessary to accelerate the transformation to enhance the cleanliness and enrich the diversity of energy production. For cities with high production of raw coal (Tangshan City), it would be wise to adjust their raw coal production gradually according to their resource endowment situation, intensify the coal mines distribution, and encourage the coal washing industry and clean coal production technology. For high production cities with the goal of no coal mining (Chengde and Zhangjiakou), further efforts are needed in eliminating backward production capacity, employing their own wind resource advantages and location advantages, and extending new energy vigorously based on Jing-Jin-Ji energy co-development strategy.

Key Words: resource constraints; structural optimization; coordinated development; energy transformation

能源是维持城市发展的重要因素,也是推进城市发展的基础保障^[1]。随着我国城市化水平的快速提高,能源问题已经成为我国城市化面临的四大挑战(能源问题、固体废弃物处理、城市发展检测系统和信息交流)之首位^[2],城市化地区的能源供需矛盾日益突出,能源对城市的限制作用加剧^[3]。一方面,能源总量供不应求,限制了社会、经济的进一步发展;另一方面,大量的化石燃料消费加剧了环境问题,如雾霾污染、城市热岛、酸雨及土壤重金属污染等,严重限制了城市可持续发展^[4]。

针对城市发展与能源的相互胁迫作用,系统、深入地认识城市发展对能源生产与消费结构的影响特征与机制,有助于缓解或解决城市能源问题。能源生产作为城市赖以发展的基础,其结构对城市的可持续发展至关重要。我国能源生产长期以煤炭为主,占比能源总储量的 70% 以上^[5]。尽管目前我国区域能源生产结构趋于优化,但从全国尺度上,煤炭占主导地位的特点没有从根本上改变,生产结构优化需求迫切^[6-7]。煤炭为首的化石燃料由于具有不可再生和高污染排放的特点,其生产所占比重的减少,有助于降低城市对其依赖造成的能源限制,同时也有助于减少消耗排放造成的环境污染,是缓解能源胁迫作用的重要路径^[8-10]。从世界范围来看,可再生能源的开发已成为发达城市化地区能源发展进程的必然趋势^[11-12],如荷兰等国家重视并大力发展风力发电等清洁能源生产^[13]。为此,我国政府加大对能源生产结构调整并提出相应优化政策,如“十三五规划”中将能源结构优化放在了重要地位,提倡大力发展新能源。

京津冀作为我国最重要的城市群之一,也是快速城市化加剧能源胁迫问题的集中区域^[14],而在城市群协同发展战略要求下,能源生产结构优化需求同样迫切。一方面,要想实现城市群的协同发展,很大程度上依赖于不同种类能源供给的支撑作用;另一方面,如果能源的开发利用模式不合理,将对城市群的发展造成限制作用^[15-20]。为此,2017年11月京津冀三地发改委发布了《京津冀能源协同发展行动计划(2017—2020年)》,提出了包括强化能源战略协同、设施协同、治理协同、绿色发展协同、管理协同、创新协同、市场协同及政策协同的“八大协同”战略,其中,针对绿色发展协同发展提出的重要目标为实施清洁能源替代,推进可再生能源发展。具体来讲,如2020年北京基本实现平原地区“无煤化”、打造张家口可再生能源示范区等。为强化能源协同战略的实施,2018年河北省印发《河北省煤炭工业发展“十三五”规划》提出控制煤炭生产,淘汰落后产能,即到2020年全省煤炭产量控制在5000万吨左右,同时推动张家口、承德、秦皇岛及保定市加快成为“基本无煤矿市”。在能源储量固定的条件下,城市可根据自身的开发利用技术水平、发展目标需求,适度调整能源生产。基于京津冀能源协同发展战略目标,从城市群一体化角度出发协同城市群规划能源生产布局,将有利于城市群可持续发展。

目前,关于省及直辖市尺度展开的能源问题的研究较多,主要针对能源结构变化分析、能源结构的影响因素、能源结构优化及其效应三方面,例如,陈海龙等对新疆能源生产结构演进的分析^[21],张珺婷等探究上海市城镇化发展对能源生产结构的影响^[22],何立华等以山东省为例探究能源结构优化对低碳的贡献潜力^[23],而在城市能源禀赋差异条件下,地级市尺度对城市群协同发展分析更具意义,却少有研究展开。对此,本研究以京津冀城市群为研究对象,开展了基于地级市尺度的能源生产结构特征与变化的核算;分析2001—2015年快速城市化阶段,京津冀城市群能源生产结构的变化特征及规律,并结合城市群能源协同发展战略目标,分析探讨了京津冀城市群能源生产结构亟待解决的问题及进一步的优化重点。

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,整体位于我国华北地区,属于能源禀赋较高的区域。国务院发布的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》中列入的资源型城市(以本地区矿产、森林等自然资源开采、加工为主导产业的城市类型)中包括京津冀的唐山、张家口、石家庄、邢台和邯郸5个地级市。从城市群区域尺度来看,2001—2015年间,能源生产总量呈增长趋势,一次能源种类趋于丰富,包括煤炭、石油、天然气及水力、风力、生物质、垃圾发电等一次电力生产。从地级市尺度来看,城市群能源储量情况空间分异明显。其中,煤炭资源主要集中在河北省的开滦、蔚县、宣化下花园、峰峰、井陉与邢台六大矿区,分布于北部的唐山、张家口和南部的石家庄、邢台和邯郸等5个城市;油气资源主要分布在东部沿海,包括大港油田、华北油田和冀东油田,横跨天津、沧州、唐山、秦皇岛市;风力发电站主要分布在北部的张家口、承德市。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

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。

对于河北省地级市能源生产量数据,由于其不可获得性,研究采用估算方法量化能源生产结构。由各城市的规模以上主要工业产品产量情况,估算各城市的原煤、原油、天然气及一次电力的生产量数据。其中,一次电力生产以发电量与火力发电量差值估算。在生产结构比例的核算上,为统一化能源热值单位,根据《中国能源统计年鉴》提供的能源热值换算系数,将能源生产实物量转化为标准量(标准煤)。研究以占比50%以上的能源类型作为主导类型,表征能源生产结构。该换算方法数据准确性以河北省省级尺度数据验证且平均

误差低于 1%, 误差主要由未考虑在本核算范围内的规模以下工业能源生产造成的。

对于未纳入统计的相关数据, 一种情况是根据城市当年原煤采掘业产值为零, 记煤炭产出为零, 如秦皇岛市 2010—2015 年、保定市 2010—2012 年产量数据。而对其他非零数据, 主要通过以下两种方法推得: 一是根据历年能源生产行业产值与产量的比例关系推算, 如石家庄和承德市 2013—2015 年原煤生产数据的估算; 二是通过尺度推绎由河北省产量与各地级市总产量的等价关系推算, 如沧州市 2002—2010 年原油生产数据由此方法推得。

2.2 数据来源

本研究以 2001—2015 年为例, 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)、河北省各地级市统计年鉴及统计公报(2002—2016)。

3 研究结果与分析

京津冀城市群能源生产量主要呈缓慢上升趋势(图 1)。在 2001—2015 年间, 京津冀城市群原煤、原油两类化石能源生产占比最大(图 2), 天然气比重较小, 非化石燃料占比最小且均未达到 15% 的低碳城市能源生产结构标准线^[24]。根据主要生产能源类型, 可将城市群划分为以原煤与原油生产主导的两类城市。廊坊和衡水市在研究期内无能源生产而不予以考虑。因此, 原煤生产型城市有 9 个: 北京、石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、保定、张家口和承德市; 原油生产型城市有 2 个: 天津和沧州市。

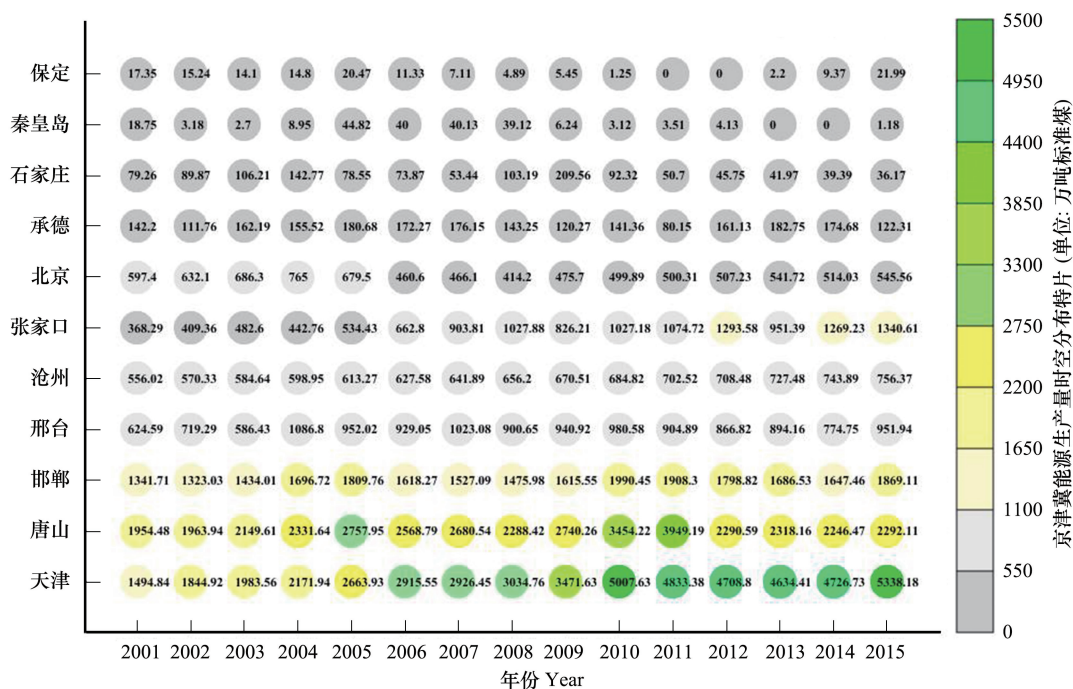


图 1 京津冀能源生产量变化

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

3.1 京津冀原煤生产型城市生产结构变化及分析

原煤生产型城市平均原煤生产量排序如图 3 所示, 其中的千万吨级产煤城市包括唐山、邯郸、邢台和张家口市^[25]。由于能源生产量变化可引起生产结构波动, 按产量顺序对城市原煤生产及其比例分析如下:

原煤生产量上, 城市群整体主要呈先增加后减少的趋势, 主要在 2010 年前后达到最高产量, 后趋于平稳或下降(图 4)。分城市来看, 煤炭生产变化趋势主要分为 3 类: 1. 显著减少, 比如北京市、秦皇岛市; 2. 平稳变化, 比如石家庄、邯郸和承德市; 3. 波动变化, 比如唐山、邢台、张家口和保定市。

煤炭生产呈大幅度减少趋势的城市, 北京市, 其原煤产量居于城市群中间水平, 在 2001—2005 年间保持

较高的水平,尤其是在 2004 年达千万吨以上。2006 年煤炭产量下降后,又呈追回趋势,直到 2010 年后表现出明显的变化,即 2010 年北京完成关闭小煤矿任务后,原煤生产规模得到了有效控制,产量显著下降^[26-27]。秦皇岛市则是城市群原煤生产能力最弱的城市之一,年均产量为 12.08 万 t,低于河北省煤矿保留产能最低要求,属于加快“基本无煤矿”化转变的城市,其原煤产量在 2008 年后显著减少,2009 年后无规模以上煤炭生产。

煤炭产量变化较平稳的城市,邯郸市,其原煤生产能力较强,年均原煤产量超过 2000 万 t,在 2010 年达到最高值 2786.58 万 t。其中,在 2008 年,分析由于北京奥运会期间受到影响,邯郸市原煤生产产量走低。承德

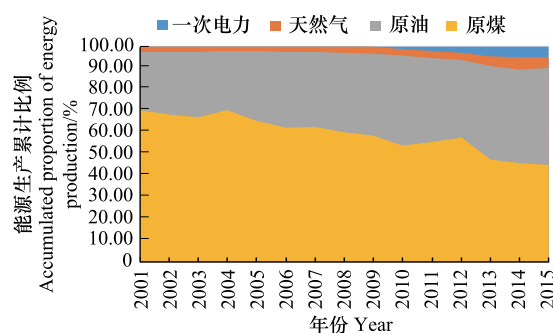


图2 京津冀能源生产结构变化

Fig.2 The change of structure of energy production in Jing-Jin-Ji region

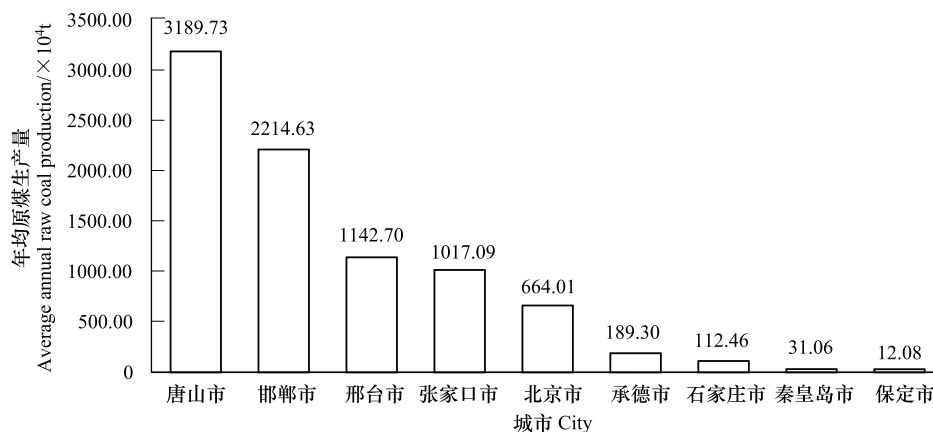


图3 京津冀原煤生产城市年均原煤产量

Fig.3 The average annual production of raw coal in coal producing cities in Jing-Jin-Ji region

市和石家庄市能源生产量变化相对更平稳,分别在 2004 年和 2009 年取得最大产量,整体产量偏低并呈稳定下降趋势,符合城市群淘汰落后产能的需求。

其他城市煤炭产量则呈波动变化,其中,唐山市原煤生产能力最高,产量变化呈先增加后减少趋势,转折点 2011 年产量高达 5111.94 万 t。其次,邢台和张家口市原煤产量较高,在 2007—2013 年时间段,原煤产量均在 1100 万 t 以上,同样呈先增加后减少趋势,但在 2013 年后表现出不同走向:邢台市原煤产量保持在较高水平;张家口市从 2013 年起,确立发展新能源示范基地,风力发电替代优势凸显,原煤产量显著下降^[28-29]。保定市原煤生产能力较弱,其年均产量不足 30 万吨标煤且生产不稳定,前期产量呈减少趋势,到 2013 年后又恢复增长,但仍处于低产水平。

综上,各市原煤生产逐渐得到有效控制,但离减煤目标仍有一定距离。河北省整体原煤产量到 2015 年仍在 7600 万吨以上,距离 2020 年控煤目标仍有 1600 万吨左右差距。对于具有“基本无煤矿”目标的城市,秦皇岛和保定市产煤量很低而距离目标最近,北京市和承德市次之且下降显著,张家口市减煤工作距目标差距最大。

原煤生产比例上,城市群整体主要呈减少趋势,主要在 2010 年前后变化最显著(图 5)。分城市煤炭生产占比主要表现出的趋势则为:1.持续减少,比如北京市、承德市,石家庄市、张家口市;2.平稳变化,比如邢台、邯郸市;3.波动变化,比如唐山、秦皇岛和保定市。

煤炭生产占比持续减少的城市,北京市和承德市,整体煤炭生产占比下降近 40%,2010 年后下降最显著,

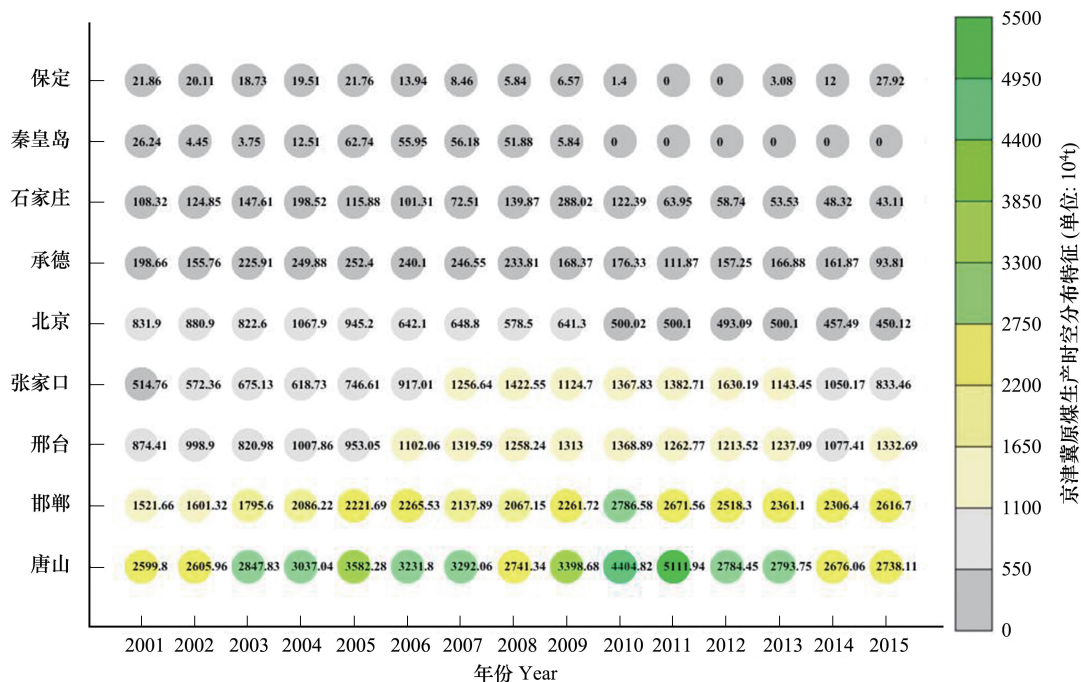


图 4 2001—2015 年京津冀原煤生产型城市原煤生产量时空分布

Fig.4 Spatial and temporal distribution of raw coal production in coal producing cities of Jing-jin-ji in 2001—2015 years

其次为石家庄市和张家口市,以 2013 年后下降最显著。分析原因,承德市和张家口市位于城市群的西北部,具有自然风力优势,同时,与中心北京市相邻而受辐射影响,有助于加快能源产业转型,张家口市更是依托 2019 年冬季奥运会的举办,新能源发展迅速;北京市作为城市群中心城市,致力于疏解非首都功能,初期原煤在能源生产中占主要地位,到 2013 年积极推行煤改气政策,天然气投入生产且产量逐年增加,到 2015 年占比能源生产超过 40%,年均增长率达 9.48%;而石家庄在 2014 年提出打造城市群副中心的目标,也致力于推进清洁能源的推广与发展,原煤生产比例年减低 5% 左右,能源生产结构趋于优化。

原煤生产比例呈平稳变化的城市,邢台市和邯郸市,在城市群中原煤生产占比最高,均接近 100%,能源生产结构单一。分析原因,二者位于城市群煤炭储量具优势的南部区域,单一原料生产相关工业行业占比较大^[30],原煤产量高且比重过高,在城市群能源生产转型中需要重点关注。

其他原煤型城市原煤生产占比则呈波动变化,包括唐山、秦皇岛和保定市。其中,唐山市能源禀赋最高,生产种类最丰富,但其原煤仍占据过高比例,均在 85% 以上。在 2008 年,唐山市原煤生产占比 85.57%,煤炭产量回升至 2011 年占比高达到 92.48%,此后呈现下降趋势。分析原因,2008 年,唐山市煤炭生产受奥运会影响而减少,而后逐渐恢复并增长。直到 2012 年,“十二五”期间产业政策导向重点推动唐山市从资源型向创新型城市转型,部分采矿区关闭并实现了绿色转型,如南部的开滦唐山矿采煤沉降地改造成南湖公园,成功举办了 2016 年唐山世界园艺博览会。由此,2012 年后唐山原煤生产占比下降。对于保定市和秦皇岛市,前者在 2003—2010 年间,原煤生产比例明显下降,后呈波动变化;后者原煤生产占比在 2009 年显著下降。两城市能源生产结构主要由于原煤低产而易使结构波动较大^[31]。

综上分析,原煤生产型城市煤炭产量水平不同,受不同的政策等影响驱动,能源生产结构及变化存在差异。对于煤炭高禀赋城市,邯郸和邢台市,能源生产结构中煤炭占比过高,结构调整难度也相对较高,发挥作用的政策导向较少;对于煤炭中等产量水平的城市,张家口和承德市,主要受新能源发展政策驱动,借助良好的风力发电优势和城市群区位优势,有效改善了能源生产结构,而北京市和石家庄市,受城市群中心功能疏解政策驱动,煤炭生产减少,新能源生产比例相应提高,从而显著优化能源生产结构;对于煤炭低产城市,保定和秦皇岛市,年均产量均不足 30 万吨标煤,属于落后产能城市,其能源生产结构不稳定,主要受淘汰落后产能政

策影响。由此分析认为,城市群能源协同发展通过针对性政策驱动路径有助于能源生产结构的优化。

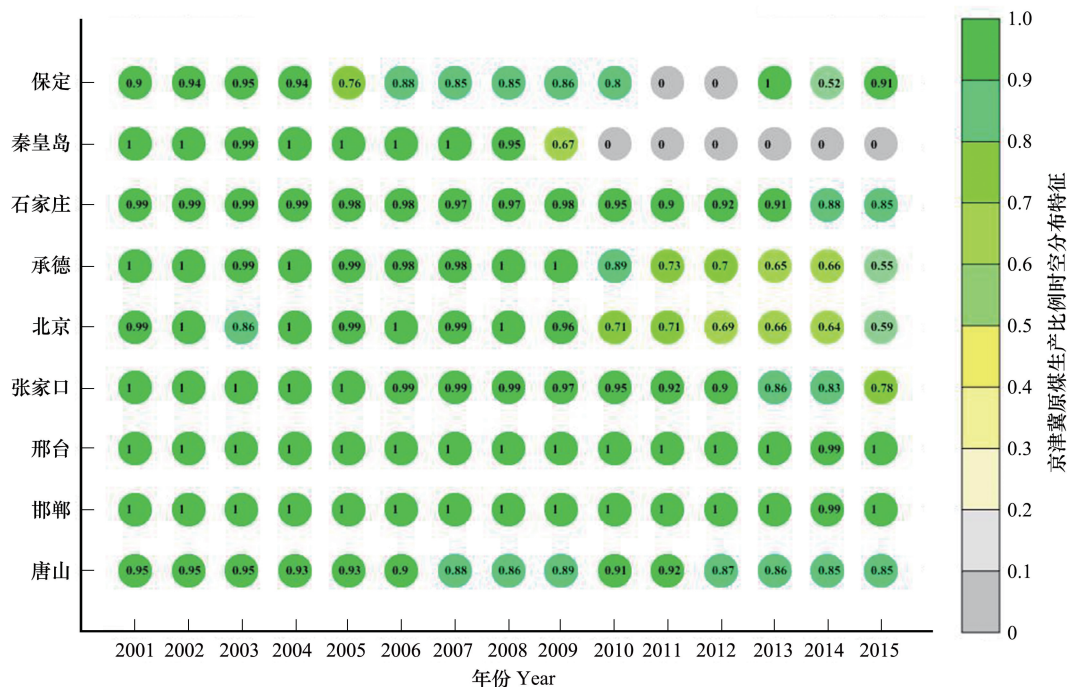


图5 2001—2015年京津冀原煤生产型城市原煤生产占比时空分布

Fig.5 Spatial and temporal distribution of proportion of raw coal production in coal producing cities of Jing-jin-ji in 2001—2015 years

3.2 京津冀原油生产型城市生产结构变化及分析

城市群中仅天津市和沧州市原油生产在能源生产中占主导,两城市均为城市群东部沿海城市,具有油气资源优势,年均原油产量分别为 2275.66 万 t 和 291.49 万 t。天津市能源生产主要包括原油、天然气,少量一次电力生产,油气主要来自大港油田^[32],沧州市油气资源则产自华北油田。

原油产量上,天津市整体呈上升趋势,其中,2009年前呈逐年上升趋势,到2010年显著上升,后以较平稳变化趋势保持在3000万t以上产量(图6)。相比之下,沧州市原油生产量远低于天津市,产量变化更平稳,2001—2010年呈缓慢上升趋势,2010年后趋于平稳而变化不明显。由此,城市群原油生产主要呈上升趋势,油气资源尚处于开发阶段。

原油生产比例上,天津市原油生产占比均在90%以上,平均占比94.42%。总体上,天津市原油产量比例很高且基本保持稳定,能源生产结构变化不大。沧州市原油生产比例则呈平稳增长趋势,从70%左右上升到90%以上,由落后于天津市到与天津市持平。综上,城市群原油生产比例变化相对稳定且无下降趋势,结构优化不明显,认为相关能源政策影响较小。

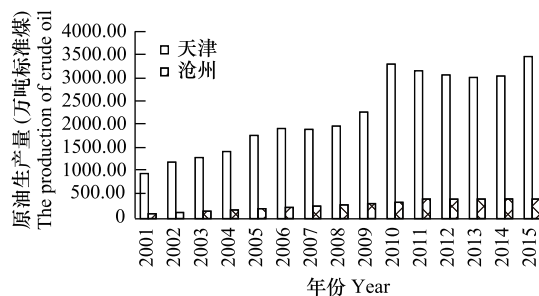


图6 2001—2015年京津冀原油生产型城市原油生产量

Fig.6 Crude oil production in crude oil producing cities of Jing-jin-ji in 2001—2015 years

4 结论与讨论

研究根据统计数据核算了京津冀城市群2001—2015年地级市各类型能源生产数据,根据城市群化石燃料占主导地位的特点,划分了分别以原煤和原油生产为主的两类不同能源生产结构的城市,同时,结合京津冀

能源协同发展战略目标,分析了能源生产结构特征与变化趋势。研究主要得到以下结论:

(1)2001—2015 年,京津冀城市群整体能源种类趋于多样化,且不同城市的能源生产结构特征与变化存在明显差异,因此,要深入认识京津冀能源结构与城市化的相互作用,需要从地级市或更精细尺度开展能源问题的深入分析与探讨。

(2)京津冀其所辖 13 个城市,依然以原煤或原油化石燃料生产为主,可以分为原煤和原油型两类城市,2001—2015 年,原煤生产主导城市结构优化显著,多数城市原煤生产占比下降、一次电力生产占比增加;原油生产主导城市结构变动较少,二者变化趋势不同。

(3)京津冀能源协同发展战略的实施有助于推进能源生产结构的优化,但对不同城市的影响不同,其中,对北京和河北承德市能源结构优化最显著,原煤生产比例下降近 40%,与其“基本无煤矿”目标方向一致,而对邯郸市、邢台市影响不明显。京津冀城市群能源生产结构调整仍具有较大潜力,对于原煤生产比例最高的城市,邯郸市和邢台市,需要加快能源结构落后的传统资源城市的能源转型,增加清洁能源产出,改善能源生产单一的结构特点;对于原煤生产产量较高的城市,唐山市,由于短期内原煤生产占主导的现状不会改变,不能盲目转变能源生产结构,需要根据资源禀赋情况逐步调整原煤产量,进一步集约地区煤矿,鼓励发展煤炭洗选业,提高煤炭清洁生产技术;对于“无煤矿化”目标的城市(张家口、承德、秦皇岛及保定市),承德市和张家口市,需要进一步控制煤矿生产,逐步减少产煤量,同时充分利用自身自然风力优势和区位优势,依托京津冀能源协同发展战略,大力发展新能源,而秦皇岛市和保定市,原煤产量已处于较低水平,需要进一步压缩产煤量,同时注意推动废弃矿区的合理处置,如发展风电、光伏等新型产业转型,或像唐山等城市在原矿区改建地质公园。

参考文献 (References):

- [1] 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): 1-9.
- [2] 姚丛笑. 我国能源生产结构优化研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2010.
- [3] Jiang, Z J, Lin B Q, et al. China's energy demand and its characteristics in the industrialization and urbanization process. *Energy Policy*, 2012, 49: 608-615.
- [4] 石莹,朱永彬,王铮. 成本最优与减排约束下中国能源结构演化路径. *管理科学学报*, 2015, 18(10): 26-37.
- [5] 王锋,冯根福. 优化能源结构对实现中国碳强度目标的贡献潜力评估. *中国工业经济*, 2011, (4): 127-137.
- [6] Decarolis J, Daly H, Dodds P, Keppo I, Li F, McDowall W, Pye S, Strachan N, Trutnvyte E, Usher W, Winning M, Yeh S, Zeyringer M. Formalizing best practice for energy system optimization modelling. *Applied Energy*, 2017, 194: 184-198.
- [7] Koroneos C, Zairis N, Charaklias P, Moussiopoulos N. Optimization of energy production system in the Dodecanese Islands. *Renewable Energy*, 2005, 30(2): 195-210.
- [8] Calvillo C F, Sánchez-Miralles A, Villar J. Energy management and planning in smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 55: 273-287.
- [9] Sadownik B, Jaccard M. Sustainable energy and urban form in China: the relevance of community energy management. *Energy Policy*, 2001, 29(1): 55-65.
- [10] Cumo F, Garcia D A, Calcagnini L, Cumo F, Rosa F, Sferra A S. Urban policies and sustainable energy management. *Sustainable Cities and Society*, 2012, 4(1): 29-34.
- [11] Cooke M T. Greater Philadelphia and Tianjin Economic Development Area EcoPartnership on urban clean energy infrastructure. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2015, 7(4): 041515.
- [12] Anbumozhi V, Han P. Tracking Clean Energy Progress in ASEAN Member States and Analysis of Implementation Deficits[D]. Ranti Amelia:

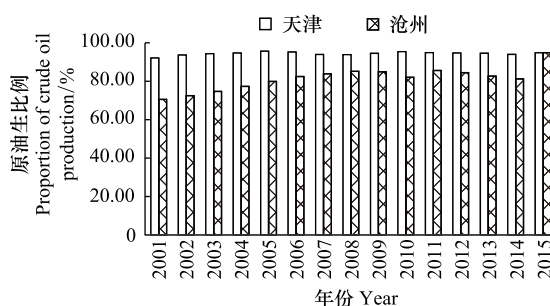


图 7 2001—2015 年京津冀原油生产城市原油产量占比

Fig. 7 The proportion of crude oil production in crude oil producing cities of Jing-jin-ji in 2001—2015 years

Working Papers, 2015.

- [13] van Leeuwen R P, de Wit J B, Smit G J M. Review of urban energy transition in the Netherlands and the role of smart energy management. *Energy Conversion and Management*, 2017, 150: 941-948.
- [14] 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.
- [15] 郝俊卿, 曹明明, 王雁林. 关中城市群产业集聚的空间演变及效应分析——以制造业为例. *人文地理*, 2013, 28(3): 96-100 129-129.
- [16] 王柳叶. 我国能源结构合理度测度研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014.
- [17] 乔鑫. 基于大数据的区域能源经济环境系统耦合模型研究及应用[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2017.
- [18] 许珊, 范德成, 王韶华, 张伟. 基于“能源-经济-环境模型”的能源结构合理度分析. *经济经纬*, 2012, (4): 131-135.
- [19] 赵柳榕. 能源结构的调整及能源战略的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2008.
- [20] 刘红梅, 王克强. 国际性大都市能源战略经验借鉴. *上海师范大学学报: 哲学社会科学版*, 2010, 39(1): 52-58.
- [21] 陈海龙. 新疆能源资源生产结构演进分析及展望. *鸡西大学学报*, 2015, 15(4): 50-51 54-54.
- [22] 张珺婷, 黄菊文, 朱昊辰, 李光明. 上海市城镇化发展对城市能源结构的影响. *上海节能*, 2017(1): 6-10.
- [23] 何立华, 杨盼, 蒙雁琳, 孔渊. 能源结构优化对低碳山东的贡献潜力. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(6): 89-97.
- [24] 范非. 低碳城市能源结构低碳化评价指标研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
- [25] 刘博, 王伟. 我国资源型城市的可持续发展研究. *现代商贸工业*, 2009, 21(3): 6-7.
- [26] 朱守先, 张雷. 北京市产业结构的节能潜力分析. *资源科学*, 2007, 29(6): 194-198.
- [27] 高新宇, 范伯元, 李彬. 北京新能源产业发展思路及政策探析. *中国能源*, 2009, 31(9): 25-26 18-18.
- [28] 黄方今, 雷平. 低碳经济语境中资源型城市发展困境与产业转型路径——以张家口市下花园区为例. *常州信息职业技术学院学报*, 2010, 9(1): 75-78.
- [29] 秦亚玲. 京津冀协同发展下张家口绿色产业发展研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2017.
- [30] 郝东恒, 王瑞科. 中等煤炭资源型城市的产业转型——以邢台市为例. *资源与产业*, 2012, 14(2): 3-7.
- [31] 李昌明, 赵殿玉, 张明. 秦皇岛市新能源开发现状及发展对策研究. *城市问题*, 2010, (4): 42-44 95-95.
- [32] 李金颖, 田俊丽, 张春莲. 天津市能源结构分析. *中国城市经济*, 2011, (21): 30-31.