

引用格式:冯冬,李健.京津冀区域城市二氧化碳排放效率及减排潜力研究[J].资源科学,2017,39(5):978-986. [Feng D, Li J. Research of the carbon dioxide emission efficiency and reduction potential of cities in the Beijing- Tianjin- Hebei Region[J]. Resources Science, 2017, 39(5): 978-986.] DOI: 10.18402/resci.2017.05.17

京津冀区域城市二氧化碳排放效率及减排潜力研究

冯冬¹, 李健^{1,2}

(1. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072;

2. 天津理工大学循环经济与企业可持续发展研究中心, 天津 300384)

摘要:在京津冀协同发展战略深入推进的背景下,本文选择京津冀区域的13个城市为研究对象,重点分析各城市的二氧化碳排放效率及减排潜力,以期通过城市间协同减排完成碳排放达峰目标提供借鉴。首先,采用考虑非期望产出的SBM模型对京津冀13个城市2005-2014年的二氧化碳排放效率进行测算;然后,通过运用基于公平性和效率性原则的减排潜力指数,对各城市的减排潜力进行了定量分析并将其划分为“较公平高效型”、“较公平低效型”、“欠公平高效型”和“欠公平低效型”四种类型。结果表明,研究期内京津冀城市整体碳排放效率出现下降的趋势,只有北京、秦皇岛两个城市排放效率相对有效;各城市减排潜力指数虽然存在差异但也表现为相对稳定的态势,其中北京减排潜力最低而唐山减排潜力最高。各城市应根据城市类型划分结果,明确未来减排工作重点,严格控制二氧化碳排放量,实现二氧化碳减排和经济增长协调发展。

关键词:京津冀城市;二氧化碳;排放效率;减排潜力

DOI: 10.18402/resci.2017.05.17

1 引言

尽早实现以二氧化碳为主的温室气体排放达峰是中国积极应对全球气候变化和坚持走绿色低碳循环发展道路所面临的重大问题。2014年APEC会议期间,中美两国共同发布了《中美气候变化联合声明》^[1],习近平主席宣布中国计划2030年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰。然而,中国要尽早实现碳排放达峰也面临着巨大挑战,包括经济、能源和技术上的协同和权衡^[2]。如何在新常态背景下通过低碳发展带动经济平稳增长并探索出一条符合中国国情的新型工业化和城镇化发展道路是考虑碳排放达峰的首要前提。

当前中国经济处于工业化中后期快速推进城市化的重要发展阶段,该阶段的发展特征决定了中国二氧化碳排放量将伴随着经济发展而高速增加^[3]。

中国70%的二氧化碳排放来自城市^[4],因此,国家制定的低碳发展方针及碳排放达峰目标能否实现很大程度上取决于城市的排放效率及减排潜力,将这两者进行统筹考虑,有着其重要的理论和实际意义。同时,加强城市生态文明建设,实现城市经济绿色、循环、低碳发展关键在于提高城市二氧化碳排放效率以及合理评估其减排潜力。伴随着《京津冀协同发展规划纲要》的落地实施,统筹以北京、天津、石家庄、承德、张家口、秦皇岛、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸为主体的京津冀城市经济社会和生态环境科学协调发展已上升为国家战略。在此背景下,本文将重点分析京津冀城市的二氧化碳排放效率及减排潜力,以期在京津冀协同发展过程中制定更为合理有效的减排政策及为通过城市间协同减排完成碳排放达峰目标提供借鉴。

收稿日期:2016-10-20; 修订日期:2017-02-13

基金项目:教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目(15JZD021);国家社会科学基金项目(15BGL211);天津市高等学校创新团队培养计划资助(TD12-5013)。

作者简介:冯冬,男,河南新乡人,博士生,研究方向为低碳经济与区域经济, E-mail: fengdong@tju.edu.cn

通讯作者:李健, E-mail: lijian631219@163.com

2017年5月

2 文献综述

碳排放问题一直以来都是区域经济社会发展过程中关注的焦点,也是国内外学术界研究的热点。早期的学者在系统分析碳排放与经济发展关系^[5-8]的基础上,探索了区域碳减排机制及原则^[9,10],为碳减排问题研究奠定了基础。

当前学者关于碳排放问题的研究主要集中在以下两个方面:一是以减排政策、减排成本和减排目标为研究主体,深层次地探究如何更为合理地制定排放政策和目标保证经济社会的稳定持续发展,如高杨等采用管制最优规划模型表明实施碳排放权交易可以使社会经济成本实现最优效率^[11]。Shinkuma的研究也表明在长期过程中非对称信息情况下排放权交易要优于税收政策^[12]。杨翱等通过建立动态随机一般均衡模型实证表明碳排放强度政策较其他政策更能促进经济的平稳增长^[13]。二是从区域、产业、企业等层面上研究了碳排放强度^[14]、碳排放配额^[15,16]、碳排放效率^[17]、减排潜力^[18]等问题并深入探讨如何在保证经济发展同时有效减少碳排放。在关于碳排放效率和减排潜力的研究中,王群伟等以中国工业省区为例,分析其碳排放绩效和减排潜力并指出研究期内总体绩效偏低且存在退化趋势,年均减少碳排放且增加经济产出的潜力在30%左右^[19]。王娟等将二氧化碳排放作为非期望产出评价了中国工业行业的能源与环境综合效率,结果表明工业行业能源环境效率存在改善空间,能源结构、技术创新和市场竞争能力对其有显著影响^[20]。华坚等运用三阶段DEA对中国区域二氧化碳排放绩效进行了评价,结果发现中国区域间碳排放绩效发展显著不平衡,与经济发展格局存在差异^[21]。孙爱军等利用包含非期望产出的Malmquist-Luenberger模型对中国出口贸易的碳排放效率进行了测度,研究发现省域出口贸易碳排放效率呈现增长态势,但在空间上呈现不均衡特征^[22]。

综上所述,关于碳排放问题方面的研究已取得丰硕成果,研究思路也较为丰富,为后续研究奠定了坚实的理论基础,但上述研究尤其是关于碳排放效率与减排潜力方面的研究多是从区域或是产业层面入手,研究视角较为单一,忽略了城市作为碳排放主体的减排问题。同时,已有的关于城市碳排

放的研究^[23-25]则更侧重于城市碳排放的评估方法、核算边界界定、排放情景分析等方面,鲜有涉及城市碳排放效率及减排潜力的分析评价。鉴于此,本文在已有研究的基础上,结合京津冀协同发展这一宏观背景,选取京津冀地区13个城市为研究对象,分析其排放效率及减排潜力,以期能为区域城市间协同减排及早日完成碳排放达峰提供依据。

3 研究方法与数据来源

3.1 二氧化碳排放效率测算方法

二氧化碳排放效率的定义从经济视角可划分为单要素碳排放效率和全要素碳排放效率两种。单要素碳排放效率可定义为碳生产率或单位能源消费的碳排放量,这种单要素效率仅考虑了生产总价值或是能源消费量与碳排放之间的比例关系,而忽略了实际生产过程中多要素联合投入时要素之间的替代性。因此,碳排放效率定义应该综合纳入到能源消费、经济发展与碳排放等三个框架之内,这样的评价结果才具有全面性和合理性。根据Tone提出的关于解决投入产出存在松弛性问题和存在非期望产出时的效率测度问题的方法(Slack-based Measure, SBM)^[26],选取京津冀地区的每个城市作为一个决策单元,每个决策单元均有投入、期望产出和非期望产出(二氧化碳排放量)三种投入产出向量,其元素可分别表示为 $x \in R^m$ 、 $y^g \in R^{s_1}$ 和 $y^b \in R^{s_2}$,定义矩阵 X 、 Y^g 、 Y^b 如下:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$$

$$Y^g = [y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$$

$$Y^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$$

式中 $X > 0$, $Y^g > 0$, $Y^b > 0$ 。那么生产可能性集合则可定义为:

$$P = \{(x, y^g, y^b) | x \geq \lambda X, y^g \leq \lambda Y^g, y^b \geq \lambda Y^b, \lambda \geq 0\} \quad (1)$$

式中 λ 为权重向量,需要指出的是,若生产技术为可变规模报酬,则需要增加 $\lambda l = 1$ 的约束条件,其中 l 为元素全为1的向量,否则为不变规模报酬。在定义了生产可能性集合的基础上,考虑非期望产出的SBM模型为:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \quad (2)$$

$$s.t. \begin{cases} x_0 = \lambda X + s^- \\ y_0^g = \lambda Y^g - s^g \\ y_0^b = \lambda Y^b + s^b \\ s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

式中 s 为投入产出的松弛量; λ 为权重向量; ρ^* 为目标函数, 是关于 s^- 、 s^g 、 s^b 严格递减的, 并且 $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。对一个特定的决策单元, 当且仅当 $\rho^* = 1$, 即 $s^- = 0$, $s^g = 0$, $s^b = 0$ 时是有效率的, 若 $\rho^* < 1$ 则说明决策单元是无效率的, 在投入产出方面存在改进的必要性。

3.2 二氧化碳减排潜力指数

二氧化碳减排潜力指的是在综合考虑地区经济发展和实际二氧化碳排放量的基础上, 可以最大程度上减少二氧化碳排放的能力。借鉴 Wei 等的研究^[27], 本文运用同时考虑公平性原则和效率性原则的碳减排潜力指数 (ACI) 来反映减排潜力, 其值越大则表明减排潜力越大, 表达式为:

$$ACI_{i,t} = \omega \times Equity_{i,t} + (1 - \omega) \times Efficiency_{i,t} \quad (3)$$

式中 i 为城市; t 为时间; ω 为权重; $Equity_{i,t}$ 为城市 i 在时期 t 的减排公平性指数, 由等权重的人均二氧化碳排放量 PC 和人均生产总值 PP 共同决定, 表示的是排放平等主义、减排的支付能力等, 即 $Equity = \frac{1}{2} \times PC + \frac{1}{2} \times PP$; $Efficiency_{i,t}$ 为减排效率性指数, 由等权重的二氧化碳排放强度 CI 和二氧化碳排放影子价格 p_b 决定, 表示的是减少二氧化碳排放所需要付出的经济代价, 即 $Efficiency = \frac{1}{2} \times CI + \frac{1}{2} \times p_b$ 。上述指标在代入公式计算前均通过 Min-Max 标准化方法, 即 $Z^* = \frac{z_i - \min z}{\max z - \min z}$ 进行标准化处理, 而二氧化碳排放影子价格则进行逆向处理。

其中, 二氧化碳排放强度表示的是单位生产总值的二氧化碳排放量; 而二氧化碳排放影子价格则是用来衡量二氧化碳排放对于期望产出的效应, 定义为在某一特定产出条件下, 单位碳排放变化所导致的区域总产值变化量, 从而使得区域总产值的变化与区域碳排放量变化所引起的经济成本之间相互联系起来。模型 (2) 的对偶模型可以表示为:

$$\max u^g y_0^g - vx_0 - u^b y_0^b$$

$$s.t. \begin{cases} u^g Y^g - vX - u^b Y^b \leq 0 \\ v \geq \frac{1}{m} [1/x_0] \\ u^g \geq \frac{1 + u^g y_0^g - vx_0 - u^b y_0^b}{s} [1/y_0^g] \\ u^b \geq \frac{1 + u^g y_0^g - vx_0 - u^b y_0^b}{s} [1/y_0^b] \end{cases} \quad (4)$$

式中 v 、 u^g 、 u^b 为公式 (2) 的对偶变量, 分别表示投入、期望产出和非期望产出的虚拟价格, 则二氧化碳排放的影子价格可以表示为:

$$p^b = p^g \times \frac{u^b}{u^g} \quad (5)$$

式中 p^b 则为二氧化碳排放的影子价格, 也就是宏观经济意义上的边际减排成本; p^g 为期望产出的价格, 本文中选用地区总产值作为标准化价格。

3.3 数据来源

本文以京津冀 13 个城市为研究对象, 研究时间跨度选择为 2005-2014 年 10 年期间。根据上述的研究方法, 在进行二氧化碳排放效率计算时, 选取京津冀各城市的资本存量、劳动力以及能源消费为投入要素, 各城市生产总值与二氧化碳排放量作为期望产出和非期望产出指标; 在计算减排潜力指数时, 则是选取人均二氧化碳排放量、人均生产总值、二氧化碳排放强度、二氧化碳排放影子价格四项指标。所选用的各项指标的基础数据均来源于历年《中国城市统计年鉴》^[28]、《中国能源统计年鉴》^[29]、《中国环境年鉴》^[30] 和京津冀三地统计年鉴及河北各城市统计年鉴、统计公报等资料^[31-33], 并进行了适当处理。

(1) 资本存量 (亿元)。由于统计年鉴并没有明确给出各个城市资本存量的数据, 因此参考当前研究中使用较多的“永续盘存法”^[34] 对其进行估算。

(2) 劳动力投入 (万人)。以京津冀各城市的从业人数计算。

(3) 能源消费 (万 t 标准煤)。采用各个城市的能源消费量来表示。

(4) 期望产出 (亿元)。选取各个城市的历年生产总值来表示。

(5) 非期望产出 (万 t)。选用各个城市的二氧化碳排放量表示, 鉴于当前尚未有关于城市层面的

2017年5月

二氧化碳排放的统计数据,本文应用《2006年IPCC国家温室气体清单指南》^[35]基于能源表观消费量计算的简化二氧化碳排放估算方法进行估算。其计算公式为:

$$E_{CO_2} = \sum_i (E_i \times V_i \times F_i \times O_i) \times \frac{44}{12} \quad (6)$$

式中 E_{CO_2} 为能源消费产生的二氧化碳排放总量(万t); E_i 为第 i 种能源的表观消费量,单位统一折算(万t标准煤); V_i 为第 i 种能源的低位热值(kJ/kg(m^3)); F_i 为第 i 种能源的碳排放因子(kgC/GJ); O_i 为第 i 种能源的氧化率;44/12表示将碳原子质量转换为二氧化碳分子质量的转换系数。考虑数据可得性,本文主要选取了煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、天然气等9种能源进行计算。其中,各种能源的相关系数主要来源于《2006年IPCC国家温室气体排放清单指南》^[35]所公布的数据。

4 计算结果及分析

4.1 二氧化碳排放效率分析

根据上述的考虑非期望产出的SBM模型,运用DEA Solver 5.0软件对京津冀13个城市2005-2014年的二氧化碳排放效率进行测算,其具体计算结果如表1所示。

表1结果显示,京津冀13个城市中只有北京和秦皇岛的碳排放效率均值为1,这表明这两个城市

的碳排放效率处于生产前沿面上,能够合理控制二氧化碳排放水平来带动经济发展,而其他城市的平均排放效率则未能达到生产前沿。除了排名前两位的北京、秦皇岛外,从其他城市的排放效率平均值来看,天津、承德、衡水三个城市的排放效率均在0.8左右,排放效率水平较高但也还有提升空间;张家口、唐山、廊坊、沧州四个城市的排放效率水平较为一般,均值在0.6左右;而排名后四位的保定、邢台、石家庄、邯郸四个城市的排放效率值相对较低,均未超过0.5。由此可见,京津冀各城市的二氧化碳碳排放效率水平差异较为明显,排放效率水平较高的城市表现为地区经济发展水平较为发达,如北京、天津,或是地区工业化程度较低,如秦皇岛、承德和衡水;而排放效率水平较低的城市则是在工业化和城镇化进程中通过较多的二氧化碳排放来带动经济的发展,在未来发展过程中如何有效提升碳排放效率来带动经济增长是这些城市所面临的重要问题。

从京津冀城市2005-2014年的碳排放效率均值变动情况来看,呈现出了波动式下降的趋势,从2005年的0.722下降为2014年的0.644。这主要是河北省的大部分城市的碳排放效率下降所导致,河北省大部分城市的碳排放效率呈现出下降趋势的原因在于与北京、天津相比,这些城市的经济发展水平较慢、城镇化程度较低,这些城市在新型工业

表1 2005-2014年京津冀各城市二氧化碳排放效率

Table 1 Carbon dioxide emission efficiency of each city from 2005 to 2014

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	均值
北京	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
天津	1	0.738	0.672	0.660	0.624	0.610	1	1	1	1	0.830
石家庄	0.456	0.455	0.434	0.416	0.407	0.393	0.403	0.393	0.367	0.379	0.410
承德	1	1	0.824	0.781	0.774	0.747	0.755	0.744	0.699	0.640	0.796
张家口	0.755	0.738	0.714	0.657	0.621	0.583	0.593	0.585	0.566	0.581	0.639
秦皇岛	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
唐山	1	1	1	0.525	0.476	0.470	1	0.559	0.450	0.436	0.692
廊坊	0.637	0.625	0.585	0.565	0.562	0.632	0.627	0.619	0.584	0.606	0.604
保定	0.496	0.522	0.520	0.492	0.480	0.458	0.463	0.452	0.430	0.459	0.477
沧州	0.483	0.816	0.557	0.520	0.510	0.491	0.502	0.479	0.443	0.457	0.526
衡水	0.615	0.705	1	1	1	1	1	1	0.782	1	0.910
邢台	0.471	0.484	0.463	0.457	0.455	0.451	0.486	0.482	0.453	0.462	0.466
邯郸	0.474	0.485	0.447	0.414	0.397	0.382	0.393	0.381	0.350	0.348	0.407
均值	0.722	0.736	0.709	0.653	0.639	0.632	0.709	0.699	0.625	0.644	

化和城镇化发展过程中依靠的仍是高投入、高消耗、高排放的经济发展模式,因此导致这一时期京津冀城市的整体碳排放效率出现下降的趋势。环境库兹涅茨曲线^[36,37]表明,在经济发展过程中,环境质量会随着经济增长而下降,但当经济水平发展到一定程度后环境质量会随着经济增长而提升。在“十一五”、“十二五”时期,中国正处于大力推进工业化和城镇化过程中,京津冀城市碳排放效率出现下降也印证了这一论断。虽然,当前这一阶段是不可避免的,但是,碳减排问题更是不容忽视,在京津冀协同发展过程中如何通过经济增长来带动碳排放效率的改善是京津冀各城市的重要任务。因此,在明确碳排放效率的基础上分析碳减排潜力至关重要。

4.2 二氧化碳减排潜力分析

根据上述的二氧化碳减排潜力指数模型,等权重地考虑公平性原则和效率性原则,即将公式(3)的权重取值为0.5,对京津冀2005-2014年各城市的减排潜力进行了计算,其具体结果如表2所示。

从表2的结果中可以看出,2005-2014年间,京津冀各城市二氧化碳减排潜力水平虽然存在差异但也表现为相对稳定的态势,除了北京、衡水、邢台略有下降外,其他城市则呈现出振荡式增长趋势。从10年间的均值来看,减排潜力指数最低的北京为0.256,保定的减排潜力指数的均值为0.372也相对较低,这两个城市的减排空间相对较小,而减排潜

力水平最高的唐山则达到了0.918,减排潜力巨大;其他城市的减排潜力指数均在0.500上下波动,天津、石家庄、廊坊、沧州、邯郸5个城市的均值大于0.500,这些城市存在较大的减排空间;而承德、张家口、秦皇岛、衡水、邢台5个城市的减排指数均值略低于0.500,这表明这些城市虽然在二氧化碳减排方面做出了努力,但仍然存在着一一定的减排空间。因此,在京津冀协同发展战略深入推进过程中,除了保证自身社会经济发展,减排潜力相对较高的城市也应承担相对较多的减排责任。

按照上述减排潜力指数计算过程,考虑京津冀城市二氧化碳减排的公平性和效率性原则,根据10年间各城市的公平性指数和效率性指数计算结果的平均值,将京津冀13个城市划分成四类:“较公平高效型”、“较公平低效型”、“欠公平高效型”和“欠公平低效型”,其具体分类结果如图1所示。

图1的分类结果表明,河北省的邢台、衡水、张家口、邯郸、承德、沧州、廊坊、秦皇岛等8个城市,都属于减排“欠公平高效型”城市,这些城市的减排公平指数偏低主要是因为人均生产总值偏低,发展相对落后,而效率指数较高则是因为其碳减排影子价格较低,即减少碳排放所付出的成本不高。唐山、石家庄属于减排“较公平高效型”城市,这两个城市无论从公平性还是效率性来说,都高于京津冀各城市的平均水平,这主要是由于这两个城市的人均碳排放量及碳排放强度较高所致。保定属于“欠公平

表2 2005-2014年京津冀各城市二氧化碳减排潜力指数

Table 2 Carbon dioxide reduction potential index of each city from 2005 to 2014

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	均值
北京	0.287	0.280	0.273	0.266	0.257	0.251	0.238	0.233	0.235	0.236	0.256
天津	0.595	0.528	0.515	0.506	0.509	0.550	0.630	0.620	0.627	0.623	0.570
石家庄	0.519	0.518	0.521	0.524	0.529	0.519	0.531	0.532	0.546	0.538	0.528
承德	0.366	0.374	0.442	0.467	0.458	0.466	0.492	0.494	0.507	0.564	0.463
张家口	0.417	0.433	0.444	0.463	0.467	0.482	0.494	0.506	0.519	0.523	0.475
秦皇岛	0.440	0.453	0.463	0.459	0.456	0.463	0.471	0.470	0.469	0.489	0.463
唐山	0.870	0.879	0.885	0.907	0.929	0.943	0.952	0.947	0.938	0.927	0.918
廊坊	0.479	0.489	0.500	0.507	0.508	0.505	0.518	0.525	0.534	0.535	0.510
保定	0.354	0.357	0.360	0.359	0.363	0.367	0.384	0.390	0.401	0.387	0.372
沧州	0.483	0.489	0.478	0.481	0.489	0.505	0.525	0.520	0.530	0.512	0.501
衡水	0.440	0.423	0.418	0.415	0.405	0.412	0.427	0.436	0.439	0.427	0.424
邢台	0.482	0.486	0.483	0.470	0.466	0.463	0.472	0.472	0.477	0.472	0.474
邯郸	0.507	0.528	0.535	0.539	0.536	0.537	0.549	0.553	0.557	0.555	0.540

2017年5月

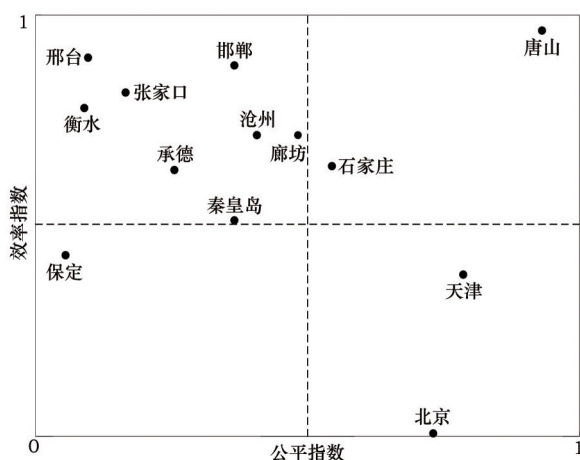


图1 基于公平指数和效率指数的京津冀城市分类结果

Figure 1 Category result of each city based on equity index and efficiency index

低效率”城市,相较于其他城市,保定具有相对较低的碳减排公平性指数及效率性指数。北京、天津则属于“较公平低效率”城市,这是因为相对于河北省的城市来说,北京、天津两个城市的人均生产总值较高,因此,其公平性指数相对较高,而另一方面,效率性指数偏低则是因为两地的碳排放强度较低,尤其北京市的二氧化碳排放影子价格较高,意味着其减排成本较大,即减少二氧化碳排放量所付出的经济代价较大,造成其减排潜力效率性指数偏低。

5 结论及启示

5.1 主要结论

城市作为二氧化碳排放的主体,有效提升城市二氧化碳排放效率和科学评估城市减排潜力是实现中国经济低碳发展以及在2030年碳排放达峰目标的重要依据。本文选取京津冀13个城市作为研究对象,利用考虑非期望产出的SBM模型对京津冀13个城市2005-2014年的二氧化碳排放效率进行了测算,在此基础上,通过计算等权重考虑公平性与效率性原则的减排潜力指数分析了其减排潜力,综合以上两方面的结果,可以得到以下结论:

(1)研究期内,京津冀各城市二氧化碳排放效率差异明显,除了北京、秦皇岛2个城市的排放效率相对有效外,其他城市的排放效率均有待提高。从总体表现来看,京津冀城市总体二氧化碳排放效率有所下降,这主要是由于在快速推进工业化和城镇化进程中过度注重经济发展而忽略了二氧化碳的

有效排放。

(2)2005-2014年京津冀城市二氧化碳减排潜力呈现出相对平稳且略有增长的态势。从个体来看,北京、保定两个城市减排潜力指数较低,减排空间较小;唐山的减排潜力指数最高,减排空间巨大;其他城市的减排潜力均在0.5左右波动,存在一定的减排空间。

(3)同时考虑减排潜力的公平性和效率性原则,可以将京津冀区域13个城市分为四类:北京、天津属于“较公平低效率”城市;保定属于“欠公平低效率”城市;石家庄、唐山属于“较公平高效率”城市;邢台、衡水、张家口、邯郸、承德、沧州、廊坊、秦皇岛等城市则属于“欠公平高效率”城市。

(4)综合排放效率和减排潜力结果来看,京津冀13个城市中排放效率指数较低而减排潜力较高的城市,如石家庄、唐山、廊坊、沧州、邯郸等城市应当承担相对较多的减排责任;对于排放效率相对无效但减排潜力较低的城市,如承德、张家口、保定、衡水、邢台等城市在控制碳排放量的同时也须实现经济的发展。

5.2 政策启示

随着京津冀协同发展这一国家重大战略的深入推进,综合考虑京津冀城市二氧化碳排放效率及减排潜力不仅体现了中国政府提出的通过低碳发展带动经济平稳增长的发展方针,而且也能够为京津冀协同发展过程中各城市根据自身情况制定减排政策从而实现区域协同碳减排和可持续发展提供思路。

通过以上研究结论,得到如下政策启示:

(1)鉴于京津冀各城市的二氧化碳排放效率差异较大,在京津冀协同发展战略推进过程中,应实行差异化的减排政策,对于排放效率较高的城市,可以鼓励其大力发展低碳技术,未来重点发展新兴高技术产业;对于排放效率较低的城市,则应加快产业结构优化升级,对落后产能进行淘汰。

(2)根据基于减排潜力公平性和效率性原则的城市类型划分结果,各城市应明确未来减排工作重点,严格控制二氧化碳排放量,实现二氧化碳减排和经济增长协调发展。

(3)加速推进京津冀协同发展战略,按照京津

冀各城市的功能地位,加强各城市之间的减排合作,尽快建立区域减排责任分摊机制及减排补偿制度,通过区域协同发展完成碳排放达峰目标。

参考文献(References):

- [1] 新华社. 中美气候变化联合声明[EB/OL]. (2014-11-13) [2015-12-16]. http://news.xinhuanet.com/energy/2014-11/13/c_127204771.htm. [Xinhua News Agency. US-China Joint Announcement on Climate Change [EB/OL]. (2014-11-13)[2015-12-16]. http://news.xinhuanet.com/energy/2014-11/13/c_127204771.htm.]
- [2] 柴麒麟, 徐华清. 基于 IAMC 模型的中国碳排放峰值目标实现路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(6): 37-46. [Chai Q M, Xu H Q. Modeling carbon emission peaking pathways in China based on integrated assessment model IAMC[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(6): 37-46.]
- [3] Liu Y S, Yan B, Zhou Y. Urbanization, economic growth, and carbon dioxide emissions in China: A panel co-integration and causality analysis[J]. *Journal of Geographical Science*, 2016, 26(2): 131-152.
- [4] 魏楚. 中国城市 CO₂ 边际减排成本及其影响因素[J]. 世界经济, 2014, 37(7): 115-141. [Wei C. China's urban carbon dioxide marginal abatement cost and its influencing factors[J]. *World Economics*, 2014, 37(7): 115-141.]
- [5] Ang B W. Is the energy intensity is a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change[J]. *Energy Policy*, 1999, 27(15): 943-946.
- [6] Yamaji K, Matsushashi R, Nagata Y, et al. A study on economic measures for CO₂ reduction in Japan[J]. *Energy Policy*, 1993, 21(2): 123-132.
- [7] Bustillos N, Segnini A. Energy efficiency, carbon emissions and economic development in Venezuela[J]. *Energy Policy*, 1991, 19(10): 946-952.
- [8] Jorgenson D, Wilcoxon P. Reducing US carbon emissions: An econometric general equilibrium assessment[J]. *Resource and Energy Economics*, 1993, 15(1): 7-25.
- [9] Bohm P, Larsen B. Fairness in a tradable permit treaty for carbon emission reductions in Europe and the former Soviet Union[J]. *Environmental and Resource Economics*, 1994, 4(3): 219-239.
- [10] Janssen M, Rotmans J. Allocation of fossil CO₂ emission rights quantifying cultural perspectives[J]. *Ecological Economics*, 1995, 13(1): 65-79.
- [11] 高杨, 李健. 考虑成本效率的碳减排政策工具最优选择[J]. 系统工程, 2014, 32(6): 119-125. [Gao Y, Li J. Optimal choice of carbon emissions reduction policy instruments considering cost effectiveness[J]. *Systems Engineering*, 2014, 32(6): 119-125.]
- [12] Shinkuma T, Sugeta H. Tax versus emissions trading scheme in the long run[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2015, 75: 12-24.
- [13] 杨翱, 刘纪显, 吴兴弈. 基于 DSGE 模型的碳减排目标和碳排放政策效应研究[J]. 资源科学, 2014, 36(7): 1452-1461. [Yang A, Liu J X, Wu X Y. Carbon reduction targets and effects of emissions policy based on DSGE modeling[J]. *Resources Science*, 2014, 36(7): 1452-1461.]
- [14] Brännlund R, Lundgren T, Marklund P. Carbon intensity in production and the effects of climate policy- evidence from Swedish industry[J]. *Energy Policy*, 2014, 67(2): 844-857.
- [15] Zhang Y J, Wang A D, Da Y B. Regional allocation of carbon emission quotas in China: Evidence from the Shapley value method[J]. *Energy Policy*, 2014, 74: 454-464.
- [16] 周德群, 王梅. 基于熵的区域碳排放总量企业间分配研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2015, 17(3): 16-22. [Zhou D Q, Wang M. Entropy- based carbon emission allowance allocation among enterprises in the region[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2015, 17(3): 16-22.]
- [17] 吴贤荣, 张俊飏, 田云. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究-基于 DEA-Malmquist 指数分解方法与 Tobit 模型运用[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 129-138. [Wu X R, Zhang J B, Tian Y. Provincial agricultural carbon emissions in China: Calculation, performance change and influencing factors [J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 129-138.]
- [18] Xiao H, Wei Q P, Wang H L. Marginal abatement cost and carbon reduction potential outlook of key energy efficiency technologies in China's building sector to 2030[J]. *Energy Policy*, 2014, 69: 92-105.
- [19] 王群伟, 周德群, 周鹏. 区域二氧化碳排放绩效及减排潜力研究-以我国主要工业省区为例[J]. 科学学研究, 2011, 29(6): 868-875. [Wang Q W, Zhou D Q, Zhou P. Regional carbon dioxide emission performance and its reduction potential based on environmental production technology: The case of main industrial provinces in China[J]. *Studies in Science of Science*, 2011, 29(6): 868-875.]
- [20] 王娟, 赵涛, 张啸虎. 2006-2012 年中国工业行业能源和环境综合效率及其影响因素[J]. 资源科学, 2016, 38(2): 311-320. [Wang J, Zhao T, Zhang X H. Energy and environmental unified efficiency of industrial sub-sectors and its influencing factors in China[J]. *Resources Science*, 2016, 38(2): 311-320.]
- [21] 华坚, 任俊, 徐敏. 基于三阶段 DEA 的中国区域二氧化碳排放绩效评价研究[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1447-1454. [Hua J, Ren J, Xu M. Evaluation of Chinese regional carbon dioxide

2017年5月

- emissions performance based on a three-stage DEA model[J]. *Resources Science*, 2013, 35(7): 1447-1454.]
- [22] 孙爱军, 房静涛, 王群伟. 2000-2012年中国出口贸易的碳排放效率时空演变[J]. *资源科学*, 2015, 37(6): 1230-1238. [Sun A J, Fang J T, Wang Q W. Dynamic distribution and evolution of carbon dioxide emission efficiency in China's export trade[J]. *Resources Science*, 2015, 37(6): 1230-1238.]
- [23] 李宇, 王喆, 王菲. 城市碳排放的评估方法-影响要素和过程研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(9): 1637-1648. [Li Y, Wang Z, Wang F. A review of assessment methods, influencing factors and process on urban carbon emissions[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(9): 1637-1648.]
- [24] 从建辉, 刘学敏, 赵雪如. 城市碳排放核算的边界界定及其测度方法[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(4): 19-26. [Cong J H, Liu X M, Zhao X R. Demarcation problems and corresponding measurement methods of the urban carbon accounting [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(4): 19-26.]
- [25] 朱婧, 刘学敏, 初钊鹏. 低碳城市能源需求与碳排放情景分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(7): 48-55. [Zhu J, Liu X M, Chu Z P. Scenario analysis on energy demand and CO₂ emission of low carbon city[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(7): 48-55.]
- [26] Tone K. A slacks- based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operation Research*, 2001, 130(3): 67-71.
- [27] Wei C, Ni J L, Du L M. Regional allocation of carbon dioxide abatement in China[J]. *China Economic Review*, 2012, 23(3): 552-565.
- [28] 国家统计局城市社会经济调查司. 2006-2015年中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007-2016. [National Bureau of Statistics of Urban Social Economic Survey. *China City Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2007-2016.]
- [29] 国家统计局工业交通统计司. 2006-2015年中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007-2016. [National Bureau of Statistics of Industrial Transportation. *China Energy Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2007-2016.]
- [30] 中国环境年鉴社. 2006-2015年中国环境年鉴[M]. 北京: 中国环境年鉴社, 2007-2016. [China Environmental Yearbook Press. *China Environmental Yearbook*[M]. Beijing: China Environmental Yearbook Press, 2007-2016.]
- [31] 北京统计信息网. 统计数据[EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. <http://www.bjstats.gov.cn/tjsj/>. [Beijing Statistical Information Net. Statistical Data [EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. <http://www.bjstats.gov.cn/tjsj/>.]
- [32] 天津市统计局. 天津市统计公报[EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. http://www.stats-tj.gov.cn/Category_58/Index.aspx. [Tianjin Bureau of Statistics. *Tianjin Statistical Communiqué* [EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. http://www.stats-tj.gov.cn/Category_58/Index.aspx.]
- [33] 河北省统计局. 统计数据[EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. <http://www.hetj.gov.cn/hetj/tjsj/>. [Hebei Provincial Bureau of Statistics. Statistical Data [EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. <http://www.hetj.gov.cn/hetj/tjsj/>.]
- [34] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952-2006年[J]. *数量经济技术经济研究*, 2008, (10): 17-31. [Shan H J. Reestimating the capital stock of China: 1952-2006[J]. *Quantitative and Technical Economics Research*, 2008, (10): 17-31.]
- [35] IPCC. 2006年IPCC国家温室气体清单指南[EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/index.html>. [IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [EB/OL]. (2015-12-16)[2016-10-20]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/index.html>.]
- [36] Kaika D, Zervas E. The environmental Kuznets curve theory-part A: Concept, causes and the CO₂ case[J]. *Energy Policy*, 2013, 62(5): 1392-1402.
- [37] Kaika D, Zervas E. The environmental Kuznets curve theory-part B: Critical issues[J]. *Energy Policy*, 2013, 62(9): 1403-1411.

Research of the carbon dioxide emission efficiency and reduction potential of cities in the Beijing–Tianjin–Hebei Region

FENG Dong¹, LI Jian^{1,2}

(1. College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Research Center for Circular Economy and Enterprise Sustainable Development, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: Scientifically measuring the carbon dioxide emission efficiency and reduction potential of Chinese cities is an important basis of hitting peak emissions as soon as possible. Under a background of promoting the Beijing-Tianjin-Hebei synergetic development strategy, we chose 13 cities in the Beijing-Tianjin-Hebei Region as the research object and focused on the carbon dioxide emission efficiency and reduction potential of each city, to provide a reference for peak emissions. We adopted the SBM model which considers undesirable outputs to calculate the carbon dioxide emission efficiency of the 13 cities from 2005 to 2014. We then applied the carbon reduction potential index based on the principles of fairness and efficiency to quantitatively analyze the reduction potential; we were able to divide the 13 cities into four types: ‘high equity and high efficiency’, ‘high equity and low efficiency’, ‘low equity and high efficiency’ and ‘low equity and low efficiency’. We found that the overall carbon emission efficiency of the Beijing-Tianjin-Hebei Region decreased during the research period and only Beijing’s and Qinhuangdao’s carbon emission efficiency are relatively effective. Although the carbon reduction potential indexes of each city are different, they are characterized by a relatively stable situation whereby the index of Beijing is the lowest and the index of Tangshan the highest. According to the category result of each city based on the equity index and efficiency index, these data confirm the key work of carbon emission reduction, strict control of carbon dioxide emissions, and coordinated development between carbon dioxide emissions and economic growth into the future.

Key words: cities of Beijing-Tianjin-Hebei; carbon dioxide; emission efficiency; reduction potential