

# 京津冀城市群低碳经济联系强度分形特征分析

张雪花<sup>1,†</sup> 许文博<sup>1</sup> 张宝安<sup>2</sup> 胡玉莹<sup>1</sup>

1. 天津工业大学环境经济研究所, 天津 300387; 2. 河北环境工程学院, 秦皇岛 006112;

† E-mail: xuehua671231@163.com

**摘要** 应用分形理论与方法, 从低碳经济视角分析京津冀城市群特征, 考量京津冀一体化进程的发展现状。首先, 建立“全碳排”核算模型, 测算京津冀城市群中单个城市在社会经济发展过程中的资源消耗与污染排放。然后, 以单位 CO<sub>2</sub> 排放人口支撑、GDP 产出和道路面积承载为主要因素, 建立低碳经济联系强度引力模型和分维值测度模型, 计算 2006—2016 年分别以北京和天津作为辐射中心源的低碳经济联系强度, 并采用源强叠加原理计算“京—津”双中心源辐射的叠加效应, 进而分析比较单源辐射与双源辐射叠加的差异。再后, 选取代表性年份进行基于 ArcGIS 的低碳经济联系强度空间分析, 旨在找出单源辐射联系强度空间分布的差异对双源辐射叠加分维值的影响规律。最后, 以雄安新区作为第 3 个辐射中心源, 计算并分析三源辐射叠加的情况。分维值计算和分析结果显示: 2006—2016 年京津冀城市群双源叠加的低碳经济联系强度分维值呈倒 U 型分布, 峰值出现在 2012 年, 说明 2012 年京、津双源对城市群内其他城市的低碳经济联合辐射效果最佳; 2007 和 2014 两个年份, 分别以北京和天津作为中心源的低碳经济联系强度分维值差异较大, 导致双源叠加后的分维值出现倒挂现象, 即双源叠加后的分维值低于单源辐射能力较强源, 说明双源联合辐射效果较差。基于 ArcGIS 的低碳经济联系强度空间分析结果显示: 2012 年“京—津”双中心源辐射的低碳经济联系强度源叠加结果呈现合理的空间分布——梯度有序且圈层分明, 是分维值达峰的主要原因。雄安新区作为第 3 个中心源加入后, 京津冀城市群低碳经济联系强度分维值明显提高。

**关键词** 低碳经济联系强度; 分维值; 京津冀城市群

## Analysis of Fractal Characteristics of Low Carbon Economic Connectivity in Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration

ZHANG Xuehua<sup>1,†</sup>, XU Wenbo<sup>1</sup>, ZHANG Baoan<sup>2</sup>, HU Yuying<sup>1</sup>

1. Institute of Environmental Economics, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387; 2. Hebei Institute of Environmental Engineering, Qinhuangdao 006112; † E-mail: xuehua671231@163.com

**Abstract** Fractal theory and method is applied to analyze the characteristics of low carbon economy connectivity of Jing-Jin-Ji urban agglomeration. Firstly, a “full carbon emission” accounting model is established to calculate the resource consumption and pollution emissions of a single city in Jing-Jin-Ji urban agglomeration in the process of social and economic development. Secondly, the low carbon economic connectivity gravity model and the fractal dimension measurement model are set up to calculate and evaluate the low carbon economic connectivity which centered on Beijing and Tianjin in 2006–2016. There are three main factors in the connectivity gravity model: the population support, GDP output and the road bear of every unit CO<sub>2</sub> emission. Furthermore, in order to compare and analyze the difference between the single-point radiation source and the double-point source radiation, the superposition effect of the “Jing-Jin” twin-city radiation is calculated according the principle of source superposition. Thirdly, in order to find out the law of the influence of the spatial distribution of single-point radiation connection intensity on the fractal dimension of the source superposition, the representative years are selected to carry out spatial analysis of low carbon economic connectivity based on the tool of ArcGIS. Finally,

Xiong'an New Area is treated as the the third radiation center point to calculate and analyze the three-point source radiation superposition. The fractal dimension calculation and analysis results show that in 2006—2016, the low carbon economic connectivity of the Jing-Jin-Ji urban agglomeration have an inverted U-shaped distribution and the peak appears in 2012, which reflect that Beijing and Tianjin had the best combination of low-carbon economy radiation in the urban agglomeration in 2012. The differences of the fractal dimension of low-carbon economic connectivity are very large between Beijing as the central radiation source and Tianjin as the central radiation source in 2007 and 2014, and the inversion of the fractal dimension appears after the dual source superposition, that is the fractal dimension after superposition is lower than the one with higher radiation capacity in a single source, which means that the twin-city linkage is in low effect. The spatial analysis results of low carbon economic connectivity based on ArcGIS show that in 2012, the results of the “Jing-Jin” twin-city radiation low-carbon economic connectivity source superposition shows a reasonable spatial distribution—gradient order and distinct layers, which is the main reason for the peak value of fractal dimension. When Xiong'an New Area is added as the third central radiation source, the fractal dimension of the low carbon economic connectivity of the Jing-Jin-Ji urban agglomeration can be significantly improved.

**Key words** low carbon economic connectivity; fractal dimension; Jing-Jin-Ji urban agglomeration

绿色发展已成为中国特色社会主义新时代的主旋律,其本质是实现资源环境与社会经济的协调与共赢。城市群作为绿色发展的重要组成部分,科学地研判其现状及发展趋势可以为绿色发展提供决策依据。京津冀是我国重要的城市群之一,也是经济梯度差与资源环境梯度差逆向并存的典型城市群,以京津冀为对象进行城市群发展的合理性分析,具有代表性和示范性。自20世纪70年代起,相关部门和地区就开始京津冀区域一体化的研究和促进工作<sup>[1]</sup>;2014年,我国政府正式提出京津冀协同发展的整体构思,其核心是京津冀三地作为一个整体协同发展,以疏解非首都核心功能、解决北京“大城市病”为首要任务。2016年,《“十三五”时期京津冀国民经济和社会发展规划》印发实施,这是我国第一个跨地区的五年规划,“生态环境质量明显改善,生产方式和生活方式绿色,低碳水平上升”成为规划的主要目标之一。由此看来,关于城市群之间联系强度的研究不能仅局限于经济联系,还需要将低碳因素纳入其中。

目前,对以中心城市为辐射中心的城市群内部经济联系强度及其分布合理性的研究已较成熟。中心—外围理论<sup>[2]</sup>、增长极理论<sup>[3]</sup>、梯度转移理论<sup>[4]</sup>和层次增长极网络发展理论<sup>[5]</sup>等都已应用于这一领域,牛顿万有引力模型和分形理论<sup>[6]</sup>也应用于城市间联系强度和分维值的测度,用来研究区域发展的主导模式和空间分布格局<sup>[7]</sup>。已有成果大多以一个城市为辐射中心源<sup>[8]</sup>,也有少量关于两个或多个中心源联合辐射(即多个高梯度城市分别做为中心源的联合辐射情况)的研究,这类研究一般采用简单的加

法进行多源辐射叠加<sup>[9]</sup>。目前,应用引力模型研究城市群内经济联系强度涉及的因素主要有人口、GDP和城市间距离等<sup>[10-11]</sup>,有学者尝试将绿地面积<sup>[12]</sup>、人均水资源<sup>[13]</sup>和其他环境要素也纳入其中,并以调节系数的形式列入模型,但由于生态环境要素较多,作用程度又难以确定,因此这类研究或将调节系数视为1(忽略调节系数的作用),或采用均权法处理<sup>[14]</sup>。上述处理方式均不能客观地体现节能减排的低碳水平对城市群内部的联系及辐射的影响。

碳是自然界中广泛存在的支撑人类发展的基本元素,将其作为归一化指标容易理解。在日益严峻的气候变化形势下,碳减排已成为一种重要的国际责任,CO<sub>2</sub>排放空间也成为一种最稀缺的资源。出于上述考虑,本文以CO<sub>2</sub>排放量作为环境污染排放的归一化单位<sup>[15]</sup>,将其视为城市活动的负产出,并以单位碳排放的人口支撑、经济产出和道路面积的形式,将环境污染排放情况纳入城市间经济联系强度模型的主要计量因素。为了有别于传统的经济联系强度,我们将加入这项因素的测度方式称为低碳经济联系强度。

2010年之后,关于京津冀城市群低碳经济的研究开始兴起,如低碳经济建设的行政隔离途径研究<sup>[16]</sup>、产业集群<sup>[17]</sup>、产业链模式发展研究<sup>[18]</sup>、低碳经济发展的动力学分析<sup>[19]</sup>和评价研究<sup>[20]</sup>等。总体而言,目前的研究多偏重于理论探讨,量化与实证研究较少,从绿色低碳视角开展城市群经济联系强度合理性分析的研究鲜见报道。鉴于此,本文以京津冀地区为研究对象,开展城市群低碳经济联系

强度及分布合理性的研究。

## 1 模型构建

### 1.1 “全碳排”核算模型构建

#### 1.1.1 能值分析与账户构建

能值分析理论及方法由 Odum<sup>[21]</sup>提出。一种流动或贮存的能量中包含的另一类别能量的数量,被称为该能量的能值。由于太阳能是所有形式能量的来源,因此以太阳能值作为基准衡量单位<sup>[21]</sup>。任何资源和环境形成所需的直接和间接应用的太阳能量之和就是其所具有的太阳能值,单位为太阳能焦耳(sej)<sup>[22]</sup>。也就是说,产品生产过程中所耗用的其他种类物质的能量越多,该产品单位质量所对应的能值量就越高。

能值是能量统一化标度后的一种形式。能量转化定律指出,任何能量在做功或存储过程中均有消散流失的现象,也就是部分能量会转化为热能而消散,从而失去潜在的做功能力。这部分流失的能量排放到环境中就产生环境污染,消纳或降解这部分污染物需要进一步消耗能量排碳,这就是潜在碳耗用<sup>[23]</sup>。

基于以上分析,本文将能源消耗直接碳排放和废弃物排放潜在碳耗用纳入“全碳排”核算账户,把不同种类的环境污染物进行归一化处理,都折算为CO<sub>2</sub>排放量,以此表征环境污染对城市群绿色低碳发展及其联系强度的影响。本文将CO<sub>2</sub>排放账户划分为直接CO<sub>2</sub>排放和潜在CO<sub>2</sub>排放两个子账户,综合考虑不同子项对“全碳排”的贡献及数据的可获取性,又将两个子账户划分为如图1所示的若干个亚子账户。

#### 1.1.2 基于能值的“全碳排”核算

按照图1构建的账户,进行“全碳排”核算。其中,能源消耗产生的直接CO<sub>2</sub>排放量(简称直接碳排放)采用传统的能量消耗碳排放折算系数法<sup>[24]</sup>,

其他污染物排放所产生的潜在CO<sub>2</sub>排放量(即潜在的CO<sub>2</sub>环境容量的占用,简称潜在碳耗用)通过能值转换及其与CO<sub>2</sub>排放的对应关系进行折算。计算公式如下:

$$\begin{aligned} T_{\text{CO}_2} &= T_{\text{CO}_{2e}} + T_{\text{CO}_{2w}} \\ &= \sum_{k=1}^3 \text{CO}_{2ek} + \sum_{n=1}^4 \text{CO}_{2wn} \\ &= \sum_{k=1}^3 (V_k \cdot \lambda_k) + \sum_{n=1}^4 \frac{P_n \cdot \alpha \cdot \beta}{\gamma} \cdot \frac{0.8856}{3600000}, \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $T_{\text{CO}_2}$  为某一城市的全部的CO<sub>2</sub>排放量,简称“全碳排”;  $T_{\text{CO}_{2e}}$  表示能源消耗直接碳排放,  $T_{\text{CO}_{2w}}$  表示废弃物排放潜在碳耗用;  $k$  表示产生直接碳排放的能源消耗(全社会用电、人工煤气消耗或液化石油气消耗);  $\text{CO}_{2ek}$  表示第  $k$  类消耗的直接CO<sub>2</sub>排放量;  $n$  表示产生潜在碳耗用的污染物质(废水、二氧化硫和固体废弃物及生活垃圾);  $\text{CO}_{2wn}$  表示第  $n$  类污染物的潜在的CO<sub>2</sub>排放量;  $V_k$  表示第  $k$  类能源消耗的原始数值;  $\lambda_k$  表示第  $k$  类能源消耗的CO<sub>2</sub>排放系数;  $P_n$  表示第  $n$  类污染物的原始数据;  $\alpha$  表示能量折算系数;  $\beta$  表示能值转换率;  $\gamma$  表示电能的能值转化率 ( $1.05 \times 10^5$  sej/J),  $1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J}$ , 每千瓦时供电排放  $0.8856 \text{ kgCO}_2$ <sup>[25]</sup>。

### 1.2 低碳经济联系强度模型

以引力模型为基础,将传统经济联系强度模型与“全碳排”模型相结合,构建低碳经济联系强度模型如下:

$$R_{ij} = \frac{\sqrt[3]{\frac{P_i}{T_{\text{CO}_{2i}}} \cdot \frac{G_i}{T_{\text{CO}_{2i}}} \cdot \frac{S_i}{T_{\text{CO}_{2i}}}}}{D_{ij}} \cdot \frac{\sqrt[3]{\frac{P_j}{T_{\text{CO}_{2j}}} \cdot \frac{G_j}{T_{\text{CO}_{2j}}} \cdot \frac{S_j}{T_{\text{CO}_{2j}}}}}{D_{ij}} \cdot M_1 \cdot M_2 \cdot M_3, \quad (2)$$

式中,  $i$  和  $j$  分别代表中心城市和受辐射城市;  $R_{ij}$  为

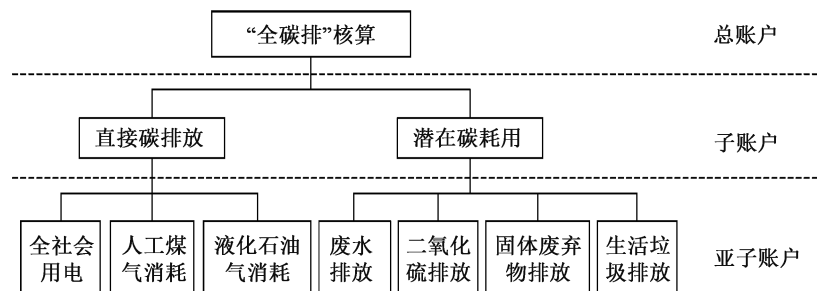


图1 全碳排核算账户

Fig. 1 Analysis of the full carbon emission account units

受辐射城市 $j$ 所接受的中心城市 $i$ 的低碳经济联系强度; $P_i$ 和 $P_j$ 分别为 $i$ 和 $j$ 城市的人口规模; $G_i$ 和 $G_j$ 分别为 $i$ 和 $j$ 城市的地区生产总值(GDP); $S_i$ 和 $S_j$ 分别为 $i$ 和 $j$ 城市的道路面积; $T_{CO_2i}$ 和 $T_{CO_2j}$ 分别为 $i$ 和 $j$ 城市的年 $CO_2$ 排放量; $D_{ij}$ 为 $i$ 和 $j$ 城市之间的交通距离; $M_1$ 为人力资源调节系数,受城市就业率、人口年龄结构、知识结构、自然增长率和城镇化水平等因素的影响; $M_2$ 为经济资源调节系数,受城市的人均GDP、经济密度和人均固定资产投资等因素的影响; $M_3$ 为自然资源调节系数,受每平方公里人口数、人均水资源拥有量和人均供水量等因素的影响。

在以单个城市为中心的单源经济联系强度测算基础上,依据压力叠加原理,采用源叠加公式<sup>[26]</sup>进行双源(两个中心城市)或三源(3个中心城市)低碳经济联系强度叠加,计算公式如下:

$$R_j = 10 \cdot \lg(10^{0.1R_{1j}} + 10^{0.1R_{2j}} + 10^{0.1R_{3j}}), \quad (3)$$

式中, $R_j$ 表示受辐射城市 $j$ 接受双源或三源辐射叠加后的低碳经济联系强度, $R_{1j}$ 、 $R_{2j}$ 和 $R_{3j}$ 分别表示不同的中心城市 $i_1$ 、 $i_2$ 和 $i_3$ 对同一个受辐射城市 $j$ 的低碳经济联系强度辐射(双源叠加时, $R_{3j}$ 不计入)。

### 1.3 分维值测度模型构建

京津冀城市群的自然经济系统特征和当前的城镇发展水平,使其内部城市间的低碳经济联系强度主要表现为高梯度城市(中心城市)对周围低梯度城市的梯度推移,其等级分布的公式可表示为

$$K \propto R_k^{-D}, \quad (4)$$

式中, $K$ 为区域内城市数目, $R$ 为城市间低碳经济联系强度, $D$ 为分维数,对式(4)两边取对数,整理后可得

$$\ln R_k = A - \frac{1}{D} \ln k, \quad (5)$$

式中, $k$ 为市(县)低碳经济联系强度排位序列数, $A$ 为待定常数。

当 $D=1$ 时,城市群分布为约束型位序-规模分布,表示城市群内各城市接受中心城市的辐射量绝对平均,不存在梯度圈层,因而不能形成城市群内部能量(低碳经济联系强度)由高至低的阶次性传递和辐射,辐射效率并非最佳;当 $D>1$ 时,城市群内

中心城市失去高梯度优势,不利于其带动城市群整体向前发展; $D<1$ 时,经济联系强度分布存在差异。由以上分析可知,最佳分维分布出现在 $D<1$ 时。李后强等<sup>[27]</sup>利用黄金分割原理和斐波纳奇序列,推导出可以用黄金分割作为网络体系分布合理的判断。故本文采用黄金分割点0.618作为合理分维值判定点,即当 $D=0.618$ 时,城市群呈最优低碳经济联系, $D$ 值距离0.618过大或过小都不利于城市群的整体发展。

## 2 分维值计算与计算结果的空间分析

### 2.1 基本数据来源

本研究采用的数据来自2007—2017年《中国统计年鉴》和相关城市的统计年鉴、《中国能源统计年鉴》和相关城市的能源统计年鉴以及《中国环境统计年鉴》,部分数据来源于同花顺iFind金融数据终端(<http://www.51ifind.com/>)。本文数据采集涵盖《京津冀协同规划纲要》<sup>①</sup>中提出的世界级城市群中的一核(北京市)、双城(北京市和天津市)、区域性中心城市(河北省的石家庄市、唐山市、保定市和邯郸市)和节点城市(张家口市、承德市、廊坊市、秦皇岛市、沧州市、邢台市和衡水市)。

### 2.2 分维值计算与结果分析

首先,利用式(1)分别计算京津冀城市群内每一个城市2006—2016每年的 $CO_2$ 排放量,即年“全碳排”。然后,分别以北京和天津作为辐射中心,根据式(2)测算高梯度城市对低梯度城市的低碳经济联系强度,继而依据式(3)进行双源联合辐射测度。最后,利用式(5)分别计算以北京作为辐射中心的2006—2016城市群低碳经济联系强度分维值、以天津作为辐射中心的城市群低碳经济联系强度分维值以及“京-津”双源联合辐射(双源叠加)的城市群低碳经济联系强度分维值,结果如图2所示。

由图2可知,2006—2016年,除个别年份外,“京-津”双源辐射叠加的低碳经济联系强度分维值普遍高于仅以单城(北京或天津)作为辐射中心的分维值,说明与单城作为辐射中心相比,“京-津”双城联动的辐射效果更佳。此外,双源辐射叠加后的低碳经济联系强度分维值呈倒U型分布,峰值出现在2012年,说明2012年“京-津”双源联合的低碳经济辐射效果最佳。

① <https://www.yicai.com/news/5350934.html>

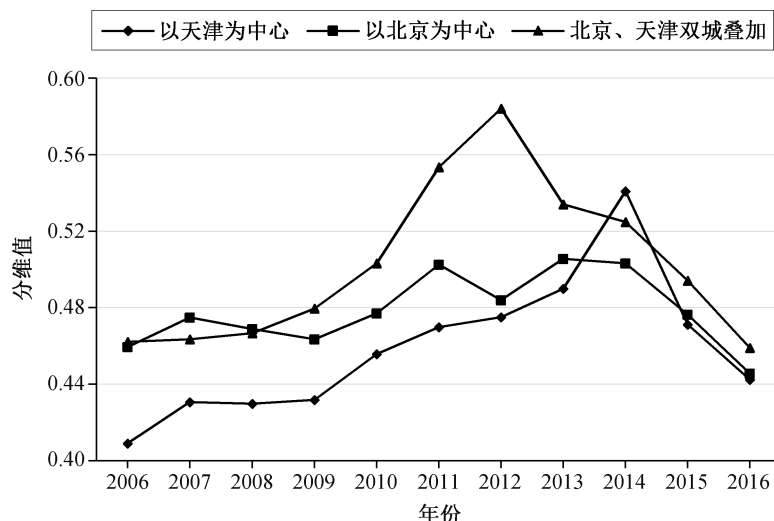


图2 2006—2016年京津冀城市群低碳经济联系强度分维值

Fig. 2 Fractal dimension of the Jing-Jin-Ji urban agglomeration in 2006–2016

除上述一般规律外,图2中还出现两类特殊情况。2013年以北京或天津作为辐射中心的低碳经济联系强度分维值都高于2012年,也高于2011年,按照“强+强=强”的传统逻辑,本应在2013年达峰值。但是,实际上“京-津”双源辐射叠加的低碳经济联系强度分维值排名是2012年最高,2011年次之,2013年最低,峰值年为2012年。此外,2007和2014两个年份也与一般规律不符,“京-津”双源辐射的低碳经济联系强度分维值低于单源辐射(2007年低于北京,2014年低于天津),出现倒挂现象。

### 2.3 低碳经济联系强度分布与分维值关系分析

利用 ArcGIS 技术,绘制上述两组特殊年份的低碳经济联系强度的空间分布图,分析低碳经济联系强度的空间分布对分维值的影响。

#### 2.3.1 2011—2013年京津冀城市群低碳经济联系强度空间分布分析

峰值年(2012年)及其左右两年以北京为辐射中心、以天津为辐射中心和“京-津”双源辐射叠加的低碳经济联系强度空间分布如图3所示。

1) 双辐射中心(北京和天津同时作为辐射中心)的低碳经济联系强度分析。

2012年的空间分布圈层明显,且联系强度由高至低的梯度分布较为有序。2013年空间分布圈层不够明显,空间梯度有序性也较差,出现大面积由第二梯度甚至第一梯度直接跳至第四梯度的情况。2011年的空间分布圈层以及梯度有序性都略好于2013年,没有出现由第一梯度直接跳至第四梯度

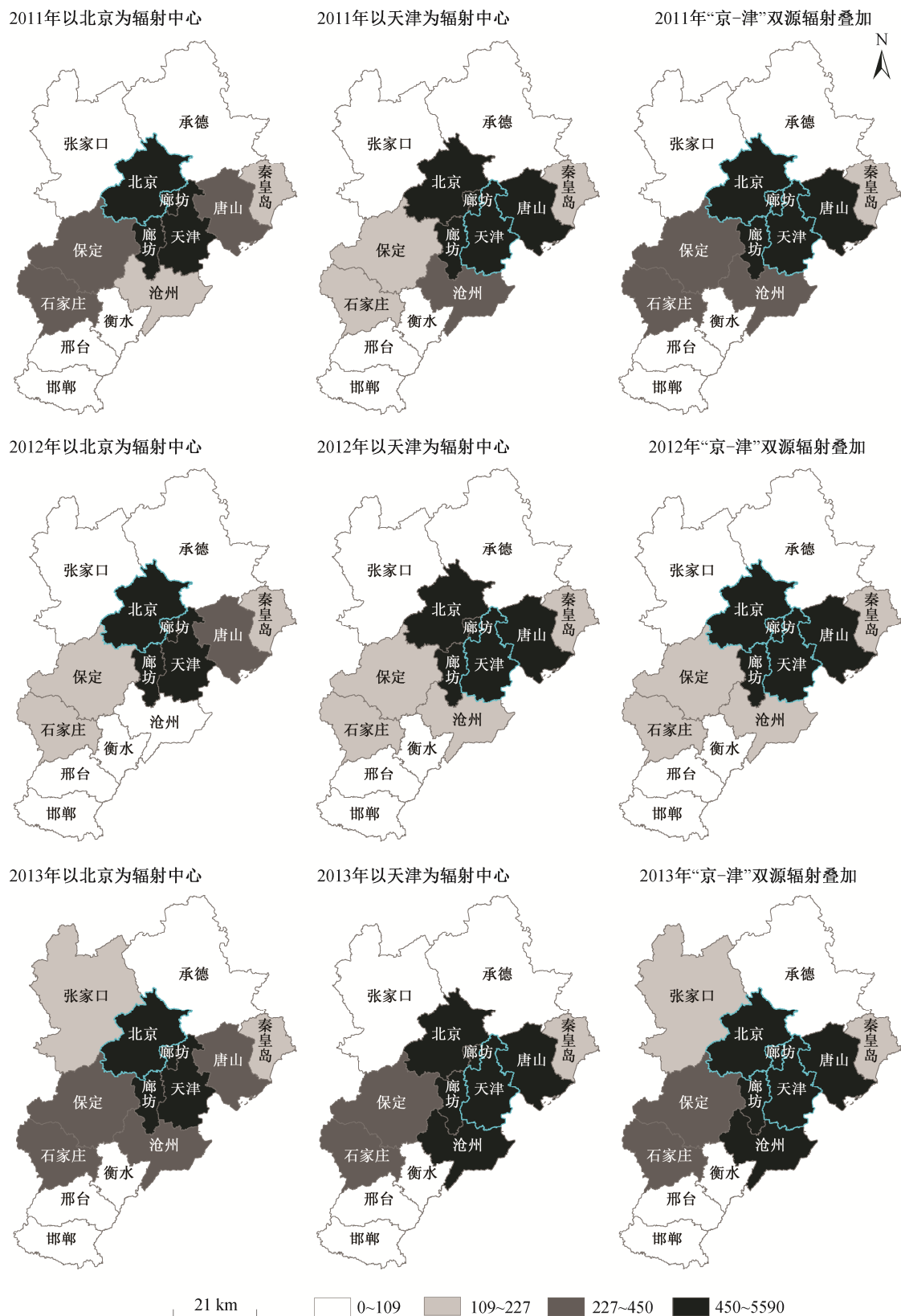
的情况。依据梯度理论,过高的梯度差会导致低梯度城市难以承接高梯度城市优势资源的扩散,因而不利于城市群整体向前发展。从这个视角看,对于本案例,梯度理论与分维值的解释具有一致性。

2) 单辐射中心(北京和天津分别作为辐射中心)的低碳经济联系强度分析。

2012年北京和天津分别作为辐射中心的城市群低碳经济联系强度空间分布形态较为接近,在廊坊与沧州之间均出现越级。不同的是北京作为辐射中心的越级是由第一级到第四级,而天津作为辐射中心的越级是由第一级到第三级。二者的不同之处还在于唐山与秦皇岛之间,天津作为辐射中心的联系强度出现由第一级至第三级的越级,而北京为辐射中心的联系强度在此处依序排列。对照图2可知,2012年北京作为辐射中心和天津作为辐射中心的低碳经济联系强度分维值也非常接近。

与2012年相比,2013年北京和天津分别作为辐射中心的低碳经济联系强度空间分布的合理性都有所改进,但两个辐射中心分别形成的联系强度的空间分布差异较大:以北京作为辐射中心时,廊坊与沧州之间的越级情况有所改善;以天津作为辐射中心时,廊坊与沧州的联系强度处于同一等级,层次性消失,与此同时,沧州与衡水之间出现由第一级到第四级的大越级。对照图2可知,2013年天津作为辐射中心的低碳经济联系强度分维值低于北京作为辐射中心的分维值,差距大于2012年。

与2012和2013年相比,2011年以北京和天津



蓝线划定城市为辐射中心,其周边城市接受的低碳经济联系强度(即辐射强度)划分为4个等级,用不同灰度表示。下同

图 3 2011—2013 年京津冀城市群低碳经济联系强度空间分布

Fig. 3 Low carbon economic connectivity in the Jing-Jin-Ji urban agglomeration in 2011—2013

分别作为辐射中心的低碳经济联系强度的空间分布都出现严重的越级现象:以北京为辐射中心时,保定与张家口之间由第二级跳至第四级,廊坊和沧州之间由第一级跳至第三级;以天津为辐射中心时,廊坊和保定之间由第一级跳至第三级。但是,2011年的空间分布圈层性显著优于2013年,甚至以天津为辐射中心的空间圈层性优于2012年。对照图2可知,2011年天津作为辐射中心的低碳经济联系强度分维值低于北京作为辐射中心的分维值,差距大于2012年,也大于2013年。

### 2.3.2 2007和2014年京津冀城市群低碳经济联系强度空间分布分析

“京-津”双城辐射叠加后的分维值在2007和

2014年出现倒挂,我们对这两个年份的低碳经济联系强度进行空间分布分析,以北京作为辐射中心、天津作为辐射中心和“京-津”双城作为联合辐射中心的低碳经济联系强度分布如图4所示。

#### 1) 以单城作为辐射中心的比较。

由图4可知,2007和2014年,不同辐射中心的京津冀城市群低碳经济联系强度空间分布的差异很大。如果以圈层性明显和梯度有序作为良好的联系强度空间分布判定标准,以北京作为辐射中心的京津冀城市群低碳经济联系在2007年优于以天津作为辐射中心的情况,在2014年却劣于以天津作为辐射中心的情况。对照图2可知,以北京作为辐射中心的低碳经济联系强度分维值在2007年高于以天

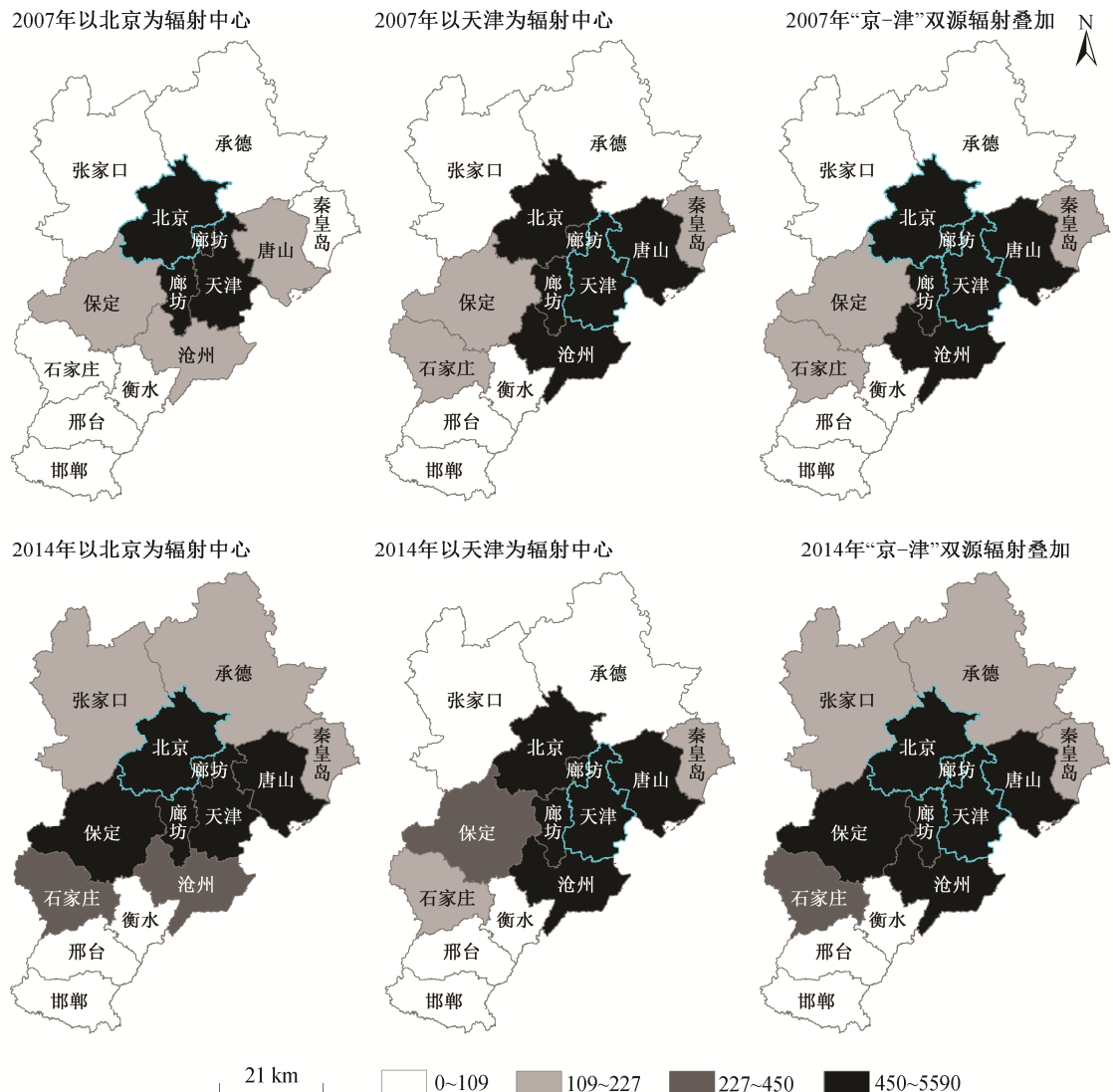


图4 2007和2014年京津冀城市群低碳联系强度分布情况

Fig. 4 Low carbon economic connectivity in the Jing-Jin-Ji urban agglomeration in 2007 and 2014



津作为辐射中心的分维值,在2014年低于以天津作为辐射中心的分维值。

## 2) 单城辐射与双源叠加辐射的比较。

由图4可知,“京-津”双源叠加的低碳经济联系强度空间分布在2007年与以天津作为辐射中心的情况相近,在2014年又与以北京为辐射中心的情况相近,即“京-津”双源叠加的低碳经济联系强度空间分布与辐射能力较低的单城辐射情况更接近。结合图2可知,2007和2014年,“京-津”双源辐射的低碳经济联系强度分维值介于两个单源单独辐射的分维值之间。

综合两组特殊年份的分析结果可知,当城市群存在双中心辐射时,两个中心城市分别对周围地区的辐射能力越接近,圈层越明显,越有利于双源叠加后城市群联系强度分维值的提升,也越有利于城市群的一体化及整体水平的提升。如果单城辐射所形成的联系强度分维值差异过大,较高辐射能力的中心城市将起主导作用,较低辐射能力中心城市的作用可能会被较高辐射能力的中心城市掩盖,甚至有时会形成对冲,进而影响双城联动效果和城市群的一体化发展。因此,在京津冀一体化协同发展的进程中,进一步挖掘天津优势,缩小天津与北京之间的差距,可以更好地发挥“京-津”双城联动的作用,带动京津冀城市群整体水平的提升。

## 3 讨论与结论

以“京-津”双城作为辐射中心,京津冀城市群低碳经济联系强度的分维值在2012年达到峰值(0.582,小于黄金分割点0.618)后一直处于下降趋势。无论是以目前常用的大于1作为向好的判据,还是以黄金分割点为最优判据<sup>[27]</sup>,分维值持续下降意味着城市群的发展出现瓶颈。

本研究以雄安新区与北京市具有相同的质密度(人口密度和经济密度相同)为基本假设,计算“京-津-雄安”三源辐射的城市群低碳经济联系强度及其分维值。结果显示:加入雄安新区新的辐射源后,京津冀城市群的低碳经济联系强度分维值明显提高,由双源为中心的0.46升至三源为中心的0.48,增幅为4.3%。以上结果说明,雄安新区的建立可以使京津冀城市群低碳经济联系更加合理。

由京津冀城市群低碳经济联系强度及其分维值的测评与分析结果,得到如下结论。

## 1) 利用低碳经济联系强度分维值,可以更好地

从低碳与经济的双视角全面而客观地评价和研判城市群现状及其发展趋势的合理性。

2) 当城市群存在双中心辐射时,两个中心城市对周围地区的辐射影响力越接近,圈层越明显,就越有利于城市群联系强度分维值的整体提升。如果单城辐射形成的联系强度分维值差异过大,具有较高辐射能力的中心城市将起主导作用,具有较低辐射能力的中心城市的辐射作用会被掩盖,有时甚至形成对冲。

3) 雄安新区的建立能够促进京津冀城市群低碳经济联系强度分维值的提升,有利于补齐城市群的发展短板,破解城市群发展瓶颈,促进京津冀城市协同发展。

## 参考文献

- [1] 张可云,蔡之兵. 京津冀协同发展历程、制约因素及未来方向. 河北学刊, 2014, 34(6): 101-105
- [2] 王莹莹,童玉芬. 首都圈劳动力空间分布格局的形成机制——基于新经济地理学的解释. 人口与经济, 2017(1): 35-43
- [3] Tan Feifei, Lu Zhaohua. Current status and future choices of regional sectors-energy-related CO<sub>2</sub> emissions: the third economic growth pole of China. Applied Energy, 2015, 159: 237-251
- [4] 何筠,何洋,江章学. 我国地区间产业梯度转移的深层次影响因素研究——基于长江经济带的省际地区动态面板数据. 生态经济, 2018, 34(6): 117-121
- [5] 刘超,许月卿,刘焱序,等. 基于系统论的土地利用多功能分类及评价指标体系研究. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(1): 181-188
- [6] Gefen Y, Mandelbrot B B, Aharony A. Critical phenomena on fractal lattices. Physical Review Letters, 2016, 45(11): 855-858
- [7] 王海军,张彬,刘耀林,等. 基于重心-GTWR模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析. 地理学报, 2018, 73(6): 1076-1092
- [8] 孟德友,赵文亮. 基于时间距离的河南城市经济联系及其空间结构. 城市发展研究, 2011(6): 104-110
- [9] 王海江,苗长虹,乔旭宁. 黄河经济带中心城市服务能力的空间格局. 经济地理, 2017, 37(7): 33-39
- [10] 魏丽华. 我国三大城市群内部经济联系对比研究. 经济纵横, 2018(1): 45-54



- [11] 倪维秋, 廖茂林. 高速铁路对中国省会城市旅游经济联系的空间影响. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(3): 160–168
- [12] 芦佩. 京津冀城市群空间结构优化研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2017
- [13] 张雪花, 郭怀成, 张宏伟. 区域经济联系强度的分形特征分析及其在我国西部地区的应用. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(2): 245–250
- [14] 李泽宇, 董春, 张玉. 东北三省城市区域经济联系强度. 遥感信息, 2018, 33(2): 108–113
- [15] 张雪花, 李响, 叶文虎, 等. “全碳排”核算与碳绩效评价方法研究. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(4): 639–646
- [16] 刘爽爽, 王钧, 许晔, 等. 基于建筑能耗特征的城市建筑碳减排研究——以深圳市为例. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(1): 125–136
- [17] 张英华, 于君涛, 张建宇. 京津冀区域制造业碳排放的现状与对策研究. 天津师范大学学报(社会科学版), 2016, 5(1): 41–45
- [18] 原青青, 叶堂林. 我国三大城市群发展质量评价研究. 前线, 2018, 3(7): 35–37
- [19] 杨洋, 张倩倩. 碳减排绝对量约束目标下京津冀低碳经济发展路径分析. 软科学, 2015, 29(11): 105–109
- [20] 白璐, 赵增锋. 低碳经济发展评价指标体系构建及实证研究——以京津冀城市群为例. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 561–564
- [21] Odum H T. Self-organization, transformity and information. Science, 1988, 242: 1132–1139
- [22] Fang Delin, Chen Bin. Linkage analysis for water-carbon nexus in China. Applied Energy, 2018, 225: 682–695
- [23] 陈彬, 杨维思. 产业园区碳排放核算方法研究. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3): 1–10
- [24] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素. 地理学报, 2018, 73(3): 414–428
- [25] Odum H T, Odum E P. Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetok Atoll. Ecological Monographs, 1955, 25(3): 291–320
- [26] 李日富, 文光才. 采动影响稳定区煤层气资源量分源叠加评估模型. 煤炭科学技术, 2015, 43(10): 116–121
- [27] 李后强, 艾南山. 具有黄金分割特征和分形性质的市场网络. 经济地理, 1992(4): 1–5