

# 京津冀城市群城市功能互动格局与治理策略

郑敏睿<sup>1</sup>, 郑新奇<sup>2,5</sup>, 李天乐<sup>2</sup>, 张路路<sup>3</sup>, 吕永强<sup>4</sup>

(1. 中国人民大学公共管理学院, 北京 100872; 2. 中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083;  
3. 河北经贸大学旅游学院, 石家庄 050061; 4. 山东建筑大学测绘地理信息学院, 济南 250101;  
5. 自然资源部国土空间大数据工程技术创新中心, 北京 100036)

**摘要:** 京津冀协同发展和北京市非首都功能疏解政策实施状况是当前学术界和政府关注的热点。城市功能的分布和互动格局是刻画城市群协同发展和治理策略成效的重要内容。本文在阐述城市群内城市功能之间互动原理基础上, 引入偏离—份额分析模型、改进土地生态位模型、扩展引力模型和GIS技术, 耦合构建了新的城市功能互动模型。以京津冀城市群为研究对象, 基于2010年、2016年、2019年3期POI大数据提取不同类别城市功能区, 从时空两个维度揭示京津冀城市群功能的互动格局特征, 分析协同发展和北京市非首都功能疏解政策实施状况, 并有针对性地提出了治理策略。结论显示: ① 2010—2019年间城市群建成区城市功能区总面积增加1.5倍, 其中混合功能区增长最快, 增加1.7倍; ② 北京市工业功能、商业功能正在稳步疏解, 但是居住功能、科教文化功能、公共服务功能仍在聚集与强化; ③ 廊坊市、唐山市、天津市、保定市等中部城市在非首都功能疏解中发挥了“二传手”作用, 成为功能互动的主要驱动城市; ④ 石家庄市吸纳的疏解功能主要来源于天津市和廊坊市, 具有接力特征; ⑤ 京津冀城市群城市功能疏解在治理策略上需要关注功能互动格局演化趋势来进行精准施策。上述结论表明本文构建的城市功能互动模型可以较好地揭示和解释京津冀城市群城市功能互动格局的变化特征。

**关键词:** 城市功能格局; 功能互动模型; 大数据; 京津冀城市群

DOI: 10.11821/dlxb202206006

## 1 引言

京津冀协同发展是习近平总书记亲自谋划、部署和推动的重大国家战略, 旨在从区域的经济活动分工和功能结构关系着手, 通过区域治理来协调区域发展面临的不均衡矛盾<sup>[1-2]</sup>, 实现优势互补, 将京津冀城市群打造成具有国际影响力的经济发展共同体和命运共同体<sup>[3]</sup>。城市群在协同发展过程中不仅是实体形态上的空间连片, 更重要的是通过相互吸引、集聚、辐射作用, 形成功能紧密联系的流动空间<sup>[4]</sup>, 通过增强经济领域的相互作用和联系<sup>[5]</sup>, 进而推动城市群在规划、交通、产业、城乡、市场、生态和环境方面的协同发展<sup>[6]</sup>。目前城市之间的竞争已经不再局限于单体城市的规模, 而是越来越取决于城市参与区域分工协作的地位以及在多尺度空间下的功能联系<sup>[7]</sup>。城市群的发展可以促进单体城市参与区域之间的互联互通, 实现区域协同发展<sup>[8]</sup>。城市群内功能格局是否清晰和互补, 功能之间是否实现良性互动, 日益成为研究者关注的热点<sup>[9]</sup>。因此, 研究城市功能互动格局

收稿日期: 2021-06-14; 修订日期: 2022-03-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(72033005); 中国人民大学科学研究基金项目(中央高校基本科研业务费专项基金资助项目)(22XNF010) [Foundation: Key Program of National Natural Science Foundation of China, No.72033005; Fundamental Research Funds for the Central Universities, and the Research Funds of Renmin University of China, No.22XNF010]

作者简介: 郑敏睿(1990-), 女, 博士, 讲师, 研究方向为大数据空间治理。E-mail: minruizheng@ruc.edu.cn

无疑是对城市群内城市协同发展和城市群的可持续发展具有重要的理论和实践意义。

京津冀城市群作为中国三大城市群之一,一直受到学者们高度关注,相关研究成果与日俱增。其中,关于城市功能的相关研究大致分为如下3类:①从京津冀城市群城市功能之间的分工和互补情况进行研究<sup>[10-11]</sup>,发现京津冀城市群尚未真正形成错位发展、功能互补、多中心协同的空间分工格局;②从城市功能体系的角度进行研究<sup>[12-13]</sup>,发现京津冀城市群各城市间的联合强度不断加大,但城市体系仍存在某一级节点城市的缺失,基本架构仍有待完善;③对京津冀城市功能发展的战略做定性讨论<sup>[14-15]</sup>,提出京津冀城市群应成为世界性的重要节点和大城市群之一,内部需要空间重组和整合,雄安新区建设对京津冀城市群功能变化将产生持久影响。

随着新技术发展和丰富的数据支撑,部分学者从大数据的角度对城市功能进行精细化研究<sup>[16]</sup>,如利用POI(Point of Interest)、手机信令等大数据进行城市空间功能特征的识别<sup>[17-18]</sup>。但现有研究主要是对单个城市功能的识别和分析<sup>[19-20]</sup>,对城市之间的互动研究还不足。在城市群协同发展的过程中,城市功能不仅受自身发展演化的影响,还受到周边城市的影响。目前从互动关系视角分析城市群城市功能之间的相互作用尚不多见。如何在城市功能识别基础上,深入揭示城市间功能互动作用成为城市群内城市协同发展需要解决的重要问题。

城市间功能的互动涉及到功能关联性、功能稳定性和变化趋势的测度。引力模型是评价和表征城市相互作用关系常用的模型之一<sup>[21-22]</sup>,主要表达空间的相互作用程度。然而,城市功能特征是变化发展的,城市群内部城市之间的功能在发展中存在迁移、转化、替换等复杂的关系,传统的引力模型以及部分修正后的引力模型无法全面客观的刻画城市之间的功能互动状态、作用方向及引力值的差异<sup>[23]</sup>。因此,对如何测度城市群城市功能迁移的时空效应,如何全面客观反映京津冀城市之间的互动关系,成为目前京津冀城市群城市功能研究的难点之一。

土地生态位模型是反映空间对象相互作用传导过程中的功能特征变化以及城市功能稳定性的常用模型<sup>[24]</sup>。城市功能特征在空间上体现为各种类型的城市功能区,即城市土地利用的不同类型,而土地生态位可以反映土地利用系统中各类型功能所占据的空间、具有的功能和所处地位<sup>[25]</sup>。土地生态位模型可以弥补现有引力模型无法测度功能迁移的不足,但该模型无法表征城市间功能互动变化时的漂移映射。

偏离一份额分析模型能较好表达功能互动变化时的漂移映射现象<sup>[26]</sup>,可以弥补土地生态位模型的不足。该模型中的份额—偏离分量以及结构偏离分量能够表达城市的某个功能在城市群中发展的稳定性,而竞争力偏离分量可以表达城市功能的变化趋势。尽管上述模型在一定程度上可以测度城市功能的某种变化特征,但不能全方位刻画城市群城市功能的时空互动特征。目前,尚未发现关于城市功能互动分析研究中提出完善的技术思路和成熟模型。因此,如何在城市功能识别基础上,深入揭示城市间功能互动格局便成为当下亟待解决的科学问题。

综上所述,为了揭示城市功能在京津冀城市群中的互动变化特征,需要对现有的模型进行综合集成。为此,本文在基于POI大数据城市功能识别的基础上,通过研究城市群城市功能互动原理,引入偏离一份额分析模型、改进土地生态位模型、扩展引力模型,设计模型的耦合机制,构建能表征城市功能互动格局的新模型,刻画城市功能互动格局的时空特征,进而针对功能互动格局存在的问题,提出推进京津冀城市协同发展的治理策略,为优化京津冀城市群城市功能和促进区域经济协调发展提供参考。

## 2 数据来源及处理

### 2.1 数据来源

本文以京津冀13个地级市为研究对象,包括北京、天津2个直辖市,河北省的张家口、承德、秦皇岛、唐山、沧州、衡水、廊坊、保定、石家庄、邢台、邯郸11个地级市。研究数据主要包括:① POI大数据,也称电子地图兴趣点数据。作为识别城市功能区常用的一类大数据<sup>[27]</sup>,其对每一个地名、建筑、住宅小区、公园、学校、医院、公司、商场等进行统计,信息丰富准确且更新及时。本文选择高德地图POI数据作为城市空间功能分类的基础数据,包含名称、类别、经纬度等信息。使用自编网络爬虫工具获取2010年(共1610384条)、2016年(共3826080条)、2019年(共4457550条)POI数据;② 统计年鉴数据,包括《北京市统计年鉴》《天津市统计年鉴》《河北省统计年鉴》,用于获取城市GDP等相关统计指标;③ 人口数据。为统计附着在指定类型空间功能的人口数量,采用WorldPop(www.worldpop.org)2010年、2016年、2019年的人口数据,其分辨率为100 m×100 m;④ 城市建成区范围数据,来自中国科学院资源环境科学与数据中心<sup>[28]</sup>,用于界定城市边界范围;⑤ 地图与遥感数据,来源与百度地图和Google Earth,用于功能类别验证。

### 2.2 数据处理

为解决原始POI大数据存在冗余以及坐标偏移等问题,① 先将京津冀POI原始数据进行去重和剔除无意义的点,将火星坐标系转换为WGS84坐标系;② 对城市建成区范围内各类型POI数据进行裁剪,仅保留城市建成区范围内的各类POI点数据;③ 根据《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB50137-2011),将POI数据重分类。考虑到北京的核心功能,为了保证能较好的刻画城市功能特征,参考丁彦文等<sup>[29]</sup>提出的识别城市功能区的方法,使用250 m×250 m格网作为功能区划分的基本单元,将京津冀城市功能分成居住功能、商业功能、工业功能、公共服务功能、科教文化功能、生态功能以及混合功能,得到2010年、2016年、2019年京津冀城市功能区分类数据。

本文选用500 m×500 m样方对京津冀城市功能区分类数据进行精度测算。为保证样方在城市建成区均匀分布,综合考虑城市建成区形态以及面积差异,对不同城市采用不同取样方式,包括五点取样法(北京)、等距取样法(天津,承德、石家庄)和中心取样法(张家口、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸)。每期城市功能区分类数据选取23个500 m×500 m的正方形样方进行取样,每个样方包含4个250 m×250 m的地块,总共92个地块。将样方中的地块功能类型与百度地图中对应区域进行对比验证。针对城市边缘等一些地物变化较大的地方,采取百度地图和Google Earth相结合的方式对比验证。结果显示,2010年、2016年、2019年功能区分类数据总体精度分别为80.4%、82.1%、83.7%,可以满足本文对互动格局总体特征的分析<sup>[30]</sup>。

为进行政策实施前后的比较,本文将京津冀城市群的功能互动划分为两个阶段:第一阶段为非首都功能疏解政策启动前的发展阶段(2010—2016年);第二阶段为非首都功能疏解政策颁布后产生效果的阶段(2016—2019年)。

## 3 城市群城市功能互动模型构建

### 3.1 城市群城市功能互动原理

城市间的相互作用主要是通过城市之间的吸引力、辐射力和交换力来实现<sup>[31]</sup>。无论

一个城市的功能强弱与否，都会和其他城市发生相互影响。城市功能格局的形成受到城市自身自然演化和外界政策干预的双重影响，并会产生调整、弱化、强化、增生、新生和相互转化等一系列复杂过程。本文从空间功能的相互转化过程构建了空间功能相互影响机理图（图1）。从图1可以看出，城市功能互动包括了功能的疏解与弱化以及功能的集聚与强化。同时，城市功能自身也在进行着自然演化。因此，本文识别出的城市功能变化是城市功能互动与城市功能自然演化相互叠加综合形成的结果。

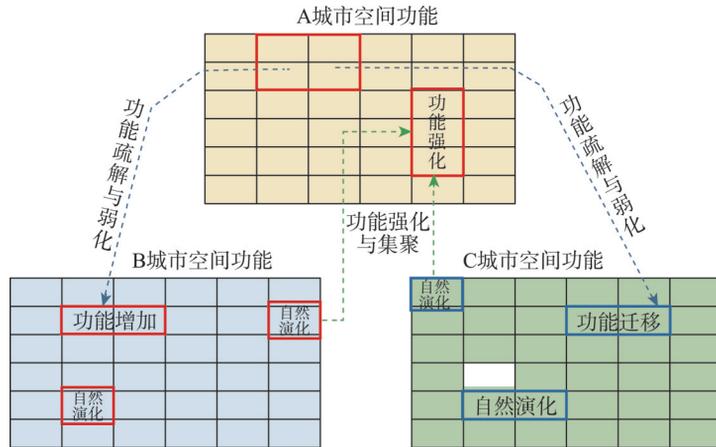


图1 以A为中心城市的城市群功能互动原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of spatio-temporal interactive principle of urban functional interaction in an urban agglomeration (A as the central city)

### 3.2 城市群城市功能互动耦合模型

**3.2.1 城市群城市功能互动耦合模型机制** 本文针对传统引力模型无法反映引力作用方向及引力值差异的问题，引入土地生态位模型来衡量城市功能地位的差异性。同时，由于还需要考虑空间对象相互作用传导过程中功能特征变化，进而引入偏离—份额分析模型来揭示城市功能稳定性以及变化特征。考虑到京津冀城市群中的城市发展程度不同，针对北京市非首都功能疏解的迫切需要，本文假设功能发展的稳定性不利于京津冀之间功能的互动，功能的变化有利于京津冀城市之间的功能互动。基于此假设，将前两个分量作为阻力参量加入到耦合模型，后一个分量作为动力参量加入耦合模型。图2展示了城市群城市功能互动耦合模型的耦合机制和过程。

功能互动模型的计算公式为：

$$C_{ij} = \left( \frac{1}{N_{ii} + P_{ii} + 1} \right) \times \exp\left( -\frac{d_{ij}}{Z_{ij}} \right) \times \left( D_{ii} + \frac{S_i}{S_{sum}} \times \frac{POP_i}{POP_{sum}} \right) \div (P_{ii} + N_{ii}) \quad (1)$$

式中： $C_{ij}$ 为*i*城市在*t*时期（基期年—末期年）对*j*城市功能迁移作用强度指数； $N_{ii}$ 、 $P_{ii}$ 、 $D_{ii}$ 为*i*城市指定功能类型在*t*时期（基期年—末期年）的份额偏离分量、结构偏离分量以及竞争力偏离分量； $d_{ij}$ 为*i*城市与*j*城市中心的欧式距离； $Z_{ij}$ 为基期年*i*城市与*j*城市对应功能的引力值； $S_i$ 为*i*城市基期年指定功能类型对应的面积； $S_{sum}$ 为基期年整个城市群各功能类型的总面积； $POP_i$ 为*i*城市基期年指定功能类型上所占有的人口数量； $POP_{sum}$ 为基期年整个城市群各功能类型上所占有的人口数量之和。

**3.2.2 改进土地生态位模型** 土地生态位模型可以反映土地利用系统中各类型功能所占据的空间和所处地位。在空间上则表征不同地域单元之间相互作用力大小<sup>[32]</sup>，生态位越

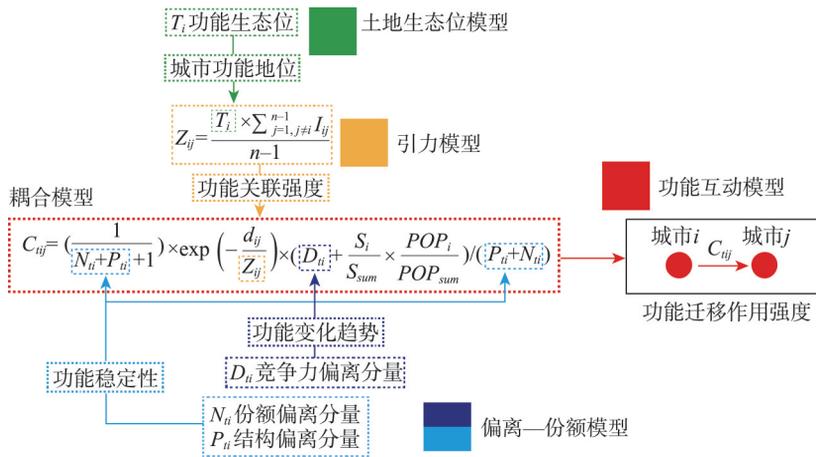


图2 城市群城市功能互动耦合模型

Fig. 2 The coupling model of urban functional interaction in an urban agglomeration

大，地域空间单元吸引人流、物流的能力越强。为表征城市功能在城市群中的地位，对土地生态位模型中的变量进行改进，改进后的计算公式为：

$$T_k = \frac{SQ_k + A_k PQ_k}{\sum_{k=1}^n (SQ_k + A_k PQ_k)} \quad (2)$$

式中： $T_k$ 为不同空间功能类型 $k$ 的生态位； $SQ_k$ 、 $PQ_k$ 为不同空间功能类型 $k$ 的态和势； $A_k$ 为量纲转换系数（量纲转换系数为0.05）<sup>[33]</sup>。

$$SQ_k = \frac{P}{RP_k}, \quad PQ_k = \frac{Y}{RP_k} \quad (3)$$

式中： $P$ 为城市第二产业和第三产业产值总和； $Y$ 为城市第二产业、第三产业产值总和的增量； $RP_k$ 为附着在第 $k$ 类功能类型上的人口数量。

**3.2.3 扩展引力模型** 传统引力模型中的关键指标包括两地间的距离、质量和互补性<sup>[34]</sup>。为了表达功能的相互作用，本文将传统引力模型进行扩展，其计算公式为：

$$Z_{ij} = \frac{T_k \times \sum_{j=1, j \neq i}^{n-1} I_{ij}}{n-1} \quad (4)$$

式中： $Z_{ij}$ 表示加入土地生态位之后的城市 $i$ 对城市 $j$ 指定功能的引力值，用于表示指定功能类型的城市间引力强度； $T_k$ 为指定功能类型指定城市的功能生态位； $i$ 、 $j$ 为用于计算的城市； $n$ 为城市群城市总数。其中 $i$ 、 $j$ 城市间的引力值 $I_{ij}$ 计算公式为：

$$I_{ij} = \sum_{k=1}^n \left( |W_{ik} - W_{jk}| \right) \frac{P_i P_j}{(d_{ij})^2} \quad (5)$$

式中： $W_{ik}$ 、 $W_{jk}$ 分别为 $i$ 城市、 $j$ 城市 $k$ 功能面积占城市群所有功能的总面积之比； $n$ 为城市功能类型的种类数； $P_i$ 、 $P_j$ 分别为 $i$ 城市、 $j$ 城市第二、第三产业产值总和； $d_{ij}$ 为城市中心之间的欧氏距离。 $W_{ik}$ 计算公式如下：

$$W_{ik} = \frac{G_{ik} - G_i \left( \frac{G_k}{G} \right)}{\sum_{i=1}^n \left[ G_{ik} - G_i \left( \frac{G_k}{G} \right) \right]} \quad (6)$$

式中:  $G_{ik}$  为  $i$  城市  $k$  功能区的占地面积;  $G_i$  为  $i$  城市总功能区面积;  $G_k$  为城市群  $k$  功能区面积;  $G$  为城市群所有功能区面积。

**3.2.4 引入偏离—份额分析模型** 偏离—份额分析模型可将某一区域的经济增长分解为转移和分享两部分, 以此来说明区域经济发展和衰退的原因, 以及确定区域未来产业调整的方向以及经济发展的规划。由于该模型没有考虑区域之间的空间交互作用, 一些学者通过加入空间因素对其进行拓展, 提出了偏离—份额分析空间模型<sup>[35]</sup>。但这些模型仅能表征单一时刻静态的空间功能相互作用。为了刻画城市功能互动的动态变化特征, 本文对偏离—份额模型进行了改进。

(1) 城市功能基期—末期的竞争力偏离分量  $D_k$  为:

$$D_k = e_{k,0}(r_k - R_k) = e_{k,0} \times \frac{(e_{k,t} - e_{k,0})/e_{k,0}}{(E_{k,t} - E_{k,0})/E_{k,0}} \quad (7)$$

式中:  $e_{k,0}$  代表城市基期  $k$  功能的面积;  $r_k$  为城市  $k$  功能类型的面积基期至末期的变化率;  $R_k$  为整个京津冀  $k$  功能类型在基期至末期的变化率;  $e_{k,t}$  为城市末期  $k$  功能类型的面积;  $E_{k,t}$  为城市群总体在末期  $k$  功能类型的面积;  $E_{k,0}$  代表城市群总体在基期  $k$  功能类型的面积。

(2) 城市功能基期—末期的份额偏离分量  $N_k$  计算公式为:

$$N_k = e'_k R_k = \frac{e_0 E_{k,0} / E_0}{(E_{k,t} - E_{k,0}) / E_{k,0}} \quad (8)$$

式中:  $e'_k$  为整个城市群  $k$  功能类型的面积所占份额对城市所有功能类型面积之和进行标准化后的结果;  $e_0$  为城市所有功能类型的面积之和;  $E_{k,0}$  为基期城市群所有城市  $k$  功能的面积之和;  $E_0$  为城市群所有城市所有功能的面积之和。

(3) 城市功能基期—末期的结构偏离分量  $P_k$  的计算公式为:

$$P_k = (e_{k,0} - e'_k) R_k \quad (9)$$

### 3.3 模型集成计算

本文使用 ArcGIS Pro 2.5 进行空间数据的加工处理与计算分析。各种模型计算通过 ArcGIS Pro 2.5 自带的 Arcpy 站点包进行二次开发, 即基于 Python3.6.9 编写脚本, 在 Pandas 扩展包的支持下, 研制了功能互动模型的计算以及模型参数的传递工具, 实现对京津冀 13 个城市功能区空间数据的处理、计算以及统计。

## 4 京津冀城市功能空间互动格局分析

### 4.1 京津冀城市群城市功能总体特征

2010—2019 年期间, 京津冀城市建成区功能稳定快速增长, 面积由 2010 年的 2259 km<sup>2</sup> 增长到 2019 年的 3382.75 km<sup>2</sup>, 增加近 1.5 倍 (图 3a)。其中, 北京、天津与石家庄三市功能总面积占京津冀城市群的 70% 以上。北京城市建成区在城市群建成区中的占比有所下降, 其他城市建成区的增长速度要快于北京。分析单一功能和混合功能变化情况 (图 3b、3c) 发现, 城市群内城市单一功能的面积由 1145.93 km<sup>2</sup> 增长到 1889.75 km<sup>2</sup>, 混合功能由 676.19 km<sup>2</sup> 增长到 1136.31 km<sup>2</sup>。京津冀内部 13 个城市建成区的单一功能区、混合功能区均出现了不同程度的增长, 相关研究<sup>[36]</sup>也得到了类似的结果; 同时, 单一功能面积均大于混合功能区, 且在城市建成区中占据优势地位。

### 4.2 京津冀城市功能互动格局特征

**4.2.1 工业与商业功能稳步向京外疏解** 北京市在 2010—2016 年间对其他城市的工业迁移作用强度均小于 0 (图 4a), 表明在非首都功能疏解政策实施之前, 北京市的工业功能

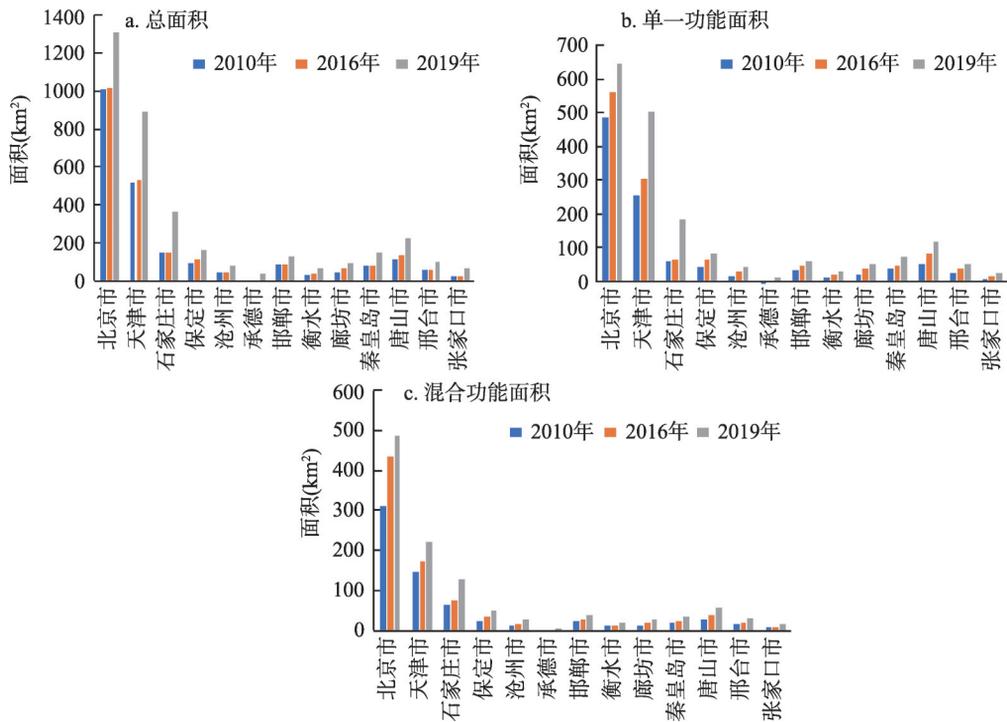


图3 2010年、2016年和2019年京津冀城市功能面积的变化

Fig. 3 Changes of urban functional zones in the Beijing-Tianjin-Hebei region over different periods

已经开始向京津冀城市群的其他城市迁移。城市群中的大部分城市也都在吸引从北京市迁移出来的工业功能，从而对北京市的工业功能产生了疏解作用。相比其他城市，承德市对北京市迁移出来的工业功能有着很强的吸引力，而石家庄市和邢台市在该期间向北京市迁移了部分工业功能。

在非首都功能疏解政策实施之后（2016—2019年），北京市继续向其他城市迁移工业功能（图4b）。除了邢台市，其他城市也在积极地吸引被迁移出来的工业功能。其中张家口市、廊坊市、沧州市和石家庄市吸引工业功能迁移的作用强度显著增加。京津冀其他城市对北京市非首都功能疏解政策的响应程度不尽相同，但相比疏解政策实施之前，大部分城市都在积极地吸引被迁移出来的工业功能。由此可知，疏解政策的出台对工业功能的疏解起到了积极的推动作用。

在商业功能方面，2010—2016年间，北京市向其他城市迁移商业功能的同时，其他城市也在向北京市迁移商业功能（图4c），其中唐山市、石家庄市和天津市在积极吸引北京市迁移出来的商业功能。2016—2019年间，随着北京市非首都功能疏解政策的实施，京津冀南部城市普遍承接从北京市迁移出来的商业功能，对北京市的商业功能疏解产生了积极影响，其中石家庄市、张家口市以及衡水市吸引北京市商业功能迁移的强度显著增加（图4d）。

**4.2.2 科教、居住、公共服务功能互动明显** 2010—2016年间科教文化功能表现为从北京市向其他城市迁移，其中张家口市、唐山市、保定市、邯郸市和衡水市均在积极吸引被迁移出来的科教文化功能（图5a）。但2016—2019年间整个互动格局发生了较大变动，即大部分城市的科教文化功能在向北京市集聚（图5b），这与习近平在2014年时提出的坚持和强化4个首都核心功能（政治中心、文化中心、国际交往中心、科技创新中心）

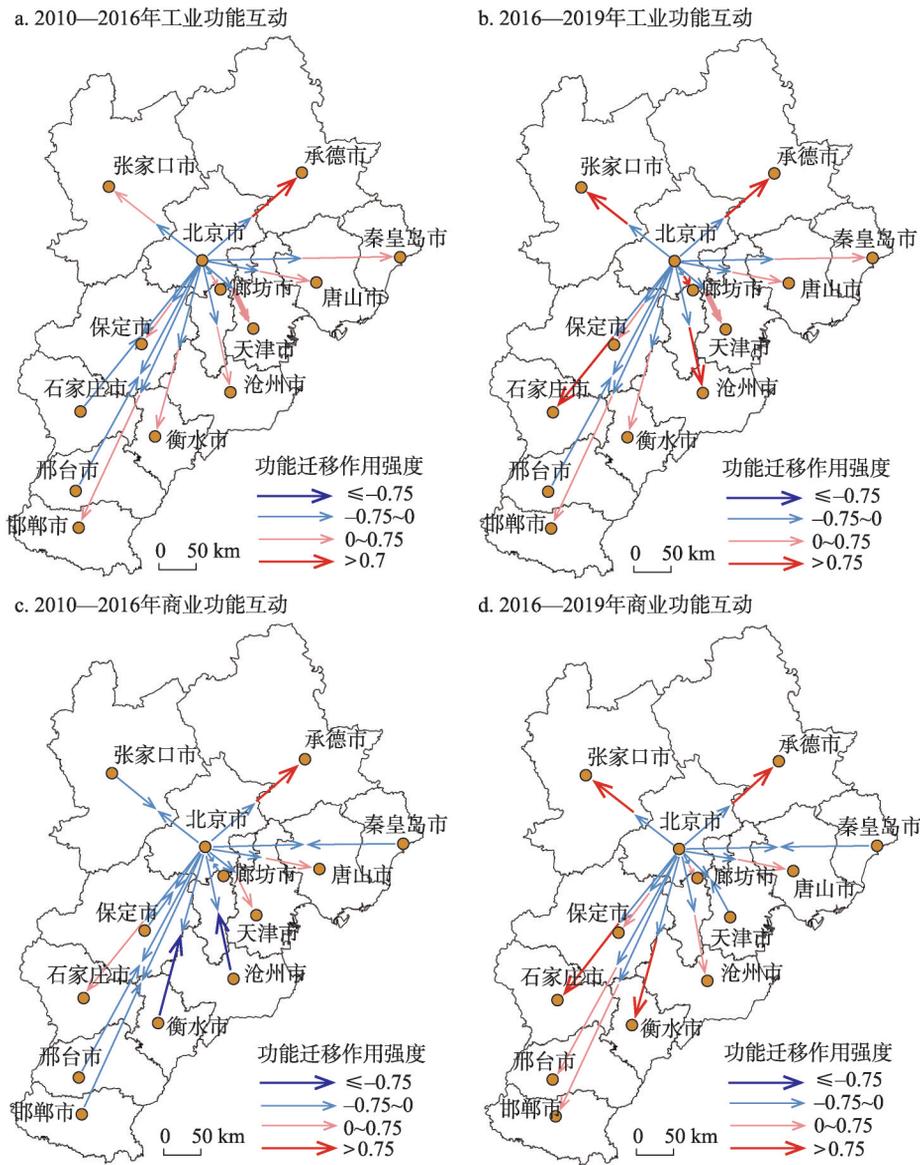


图4 2010—2019年北京市与津冀城市工业和商业功能互动

Fig. 4 Maps of interactive patterns of industrial and commercial functional zones between Beijing and other cities

相符。其中秦皇岛市、唐山市、天津市、廊坊市、保定市、邢台市和邯郸市科教文化功能在向北京市迁移，而张家口市、承德市、沧州市、衡水市和石家庄市则是积极地吸引来自北京的科教文化功能。

2010—2016年北京市公共服务功能的迁移模式为向外迁移（图5c），承德市、秦皇岛市、张家口市、廊坊市和天津市表现出积极地吸引从北京市迁移出来的公共服务功能。2016—2019年北京市公共服务功能的迁移模式变为向内吸引（图5d）。2010—2016年津冀其他城市积极地向北京市迁移公共服务功能，但在2016—2019年迁移模式由向外迁移变为向内吸引，其中，保定市、唐山市、邢台市、邯郸市和沧州市在向北京市迁移公共服务功能，而承德市则一直表现为积极地吸引来自北京市的公共服务功能。

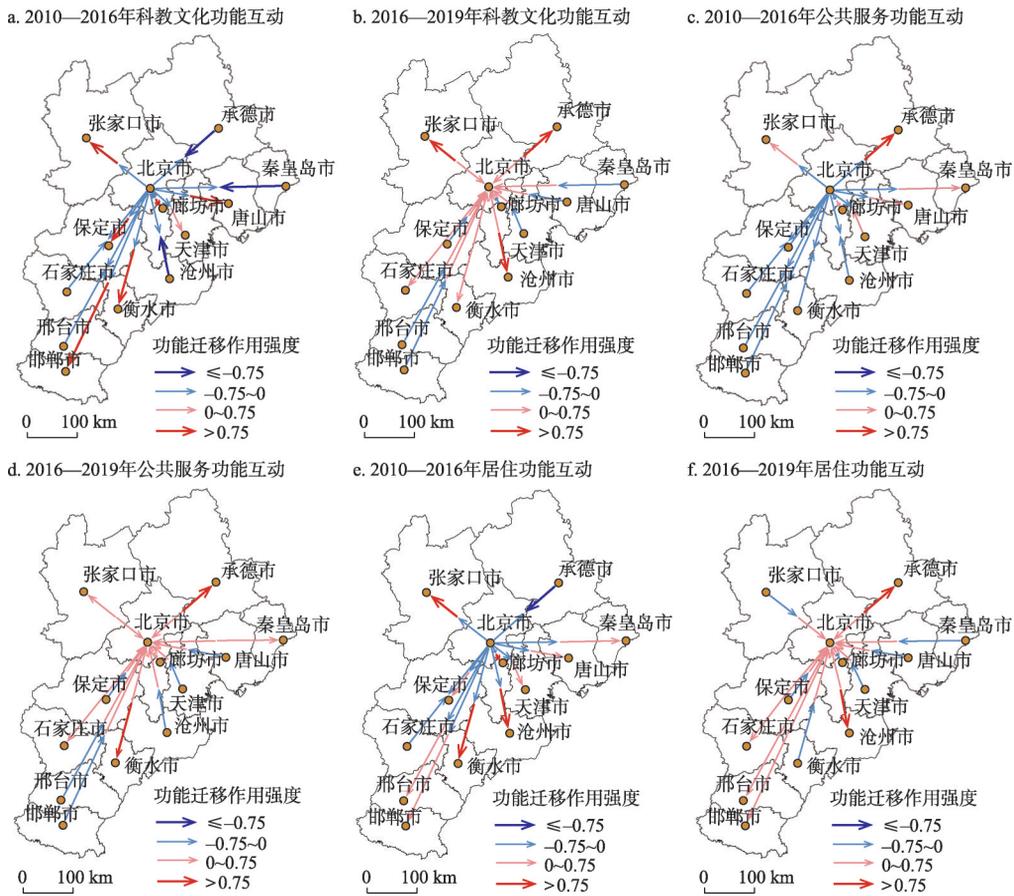


图5 2010—2019年北京与津冀城市科教文化、公共服务和居住功能互动格局

Fig. 5 Maps of interactive patterns of science, education and culture, public services and residential functional zones between Beijing and other cities in 2010-2019

居住功能在2010—2016年期间，除了部分城市（承德市和石家庄市）在向北京市迁移该功能以外，其余城市都在积极地吸引从北京市迁移出来的居住功能（图5e）。在2016—2019年期间，北京市的居住功能由之前的向外迁移转变为向内吸引，同时其他城市也在积极地吸引被迁移出来的居住功能（图5f）。其中，承德市从较强的迁移居住功能转变为较强的吸引；张家口市和衡水市由较强的吸引居住功能变为迁移该功能。沧州市在非首都功能疏解政策实施前后都展示出积极吸引从北京市迁移出来的居住功能。

可见，2010—2016年期间，在京津冀城市群中有近一半的城市与北京市呈现科教文化和公共服务功能双向的互动作用（图5），即北京市在向这些城市迁移相关功能的同时，这些城市也在向北京市迁移该功能。而居住功能在该期间内呈现出北京市向外迁移，京津冀其他城市向内吸引的互动特征。在非首都功能疏解政策实施之后，除了科教文化功能开始向北京市聚集外，公共服务和居住功能呈现出吸引和迁移共存的局面。

**4.2.3 城市间功能互动存在差异性** 根据城市功能迁移作用强度，对各时期各城市吸引力较强的功能类型进行统计（表1、表2）。从表1可以看出，2010—2016年期间，张家口市在吸引力较强的功能种类数量上最多，其对类型多样化的发展需求最为迫切。公共服务类型对其他城市吸引力较强的主要有张家口市、秦皇岛市、承德市和廊坊市。这4个

表1 2010—2016不同城市吸引力较强的功能统计表

Tab. 1 Statistics of strong attractiveness functions in different cities of the Beijing-Tianjin-Hebei region in 2010-2016

城市	对其他城市对应功能吸引力较强的功能				
张家口市	工业	公共服务	混合	居住	科教文化
廊坊市	工业	公共服务	科教文化		
衡水市	工业	科教文化	商业		
承德市	公共服务	混合	商业		
沧州市	工业	居住			
天津市	科教文化	生态			
唐山市	科教文化				
邯郸市	科教文化				
秦皇岛市	公共服务				

表2 2016—2019年不同城市吸引力较强的功能统计

Tab. 2 Statistics of strong attractiveness functions in different cities of the Beijing-Tianjin-Hebei region in 2016-2019

城市	对其他城市对应功能吸引力较强的功能					
承德市	工业	公共服务	居住	科教文化	混合	商业
石家庄市	工业	公共服务	居住	科教文化	生态	商业
张家口市	工业	公共服务	科教文化	生态	商业	
沧州市	工业	居住	科教文化	混合		
唐山市	商业	生态				
邢台市	居住	生态				
衡水市	公共服务					
秦皇岛市	生态					
邯郸市	生态					

城市主要集中在北京市周边。表明在此期间，北京市周边的城市吸引公共服务功能迁移的作用较强。从表2可以看出，在2016—2019年期间，承德市、石家庄市在吸引力较强的功能种类数量上最多，说明其对功能类型多样化的发展需求较为迫切。通过对各个功能吸引力较强的城市数量进行统计，得到各功能类型吸引力较强的城市数量（图6）。

从图6可知，与2010—2016年相比，2016—2019年的商业功能、生态功能、居住功能中吸引力较强的城市数量均有所增长，科教文化功能则有所下降，混合功能、工业功能、公共服务功能则基本持平。这些特征反映了城市间的功能互动（承接、迁移、转化、替换等）是一个复杂的过程。在非首都功能疏解政策实施后，各城市既要政策进

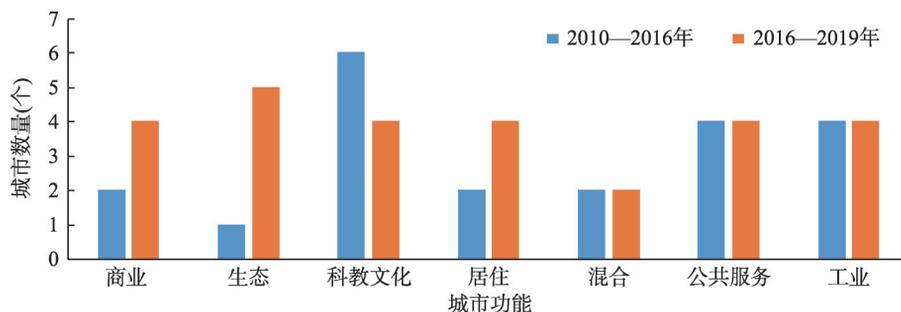


图6 2010—2019年京津冀城市群不同功能拥有吸引力较强的城市数量

Fig. 6 The number of cities with strong attractive functions in the Beijing-Tianjin-Hebei region in 2010-2019

行快速响应，又要考虑城市自身的可持续发展。比如张家口市由于冬季奥林匹克运动会的举办要强化科教文化、商业、居住等功能，从而促使其具有很强的功能互动性。

### 4.3 京外城市之间的功能互动格局特征

**4.3.1 经济发展的城市功能互动明显** 分析京外城市之间的功能互动特征，互动强度排名前3的城市（廊坊市、天津市、唐山市）主要位于京津冀城市群的中部（图7）。2010—2016年期间，唐山—廊坊—天津一带向周围城市吸引迁移出来的工业功能和商业功能。2016—2019年期间，唐山—廊坊—天津一带则表现为向其他城市迁移这些功能。这几个城市在京津冀城市群中属于经济发展较好的城市，说明在非首都功能疏解政策开始之前，这些城市因为其经济相对发达而呈现出功能的强化与集聚。在非首都功能疏解政策实施后，它们开始向京津冀其他城市迁移各类功能，说明这些城市在非首都功能疏解的过程中发挥了“二传手”的作用，即一方面在积极承接非首都功能（如工业功能）的疏解，另一方面也在带动京津冀其他城市的功能互动。

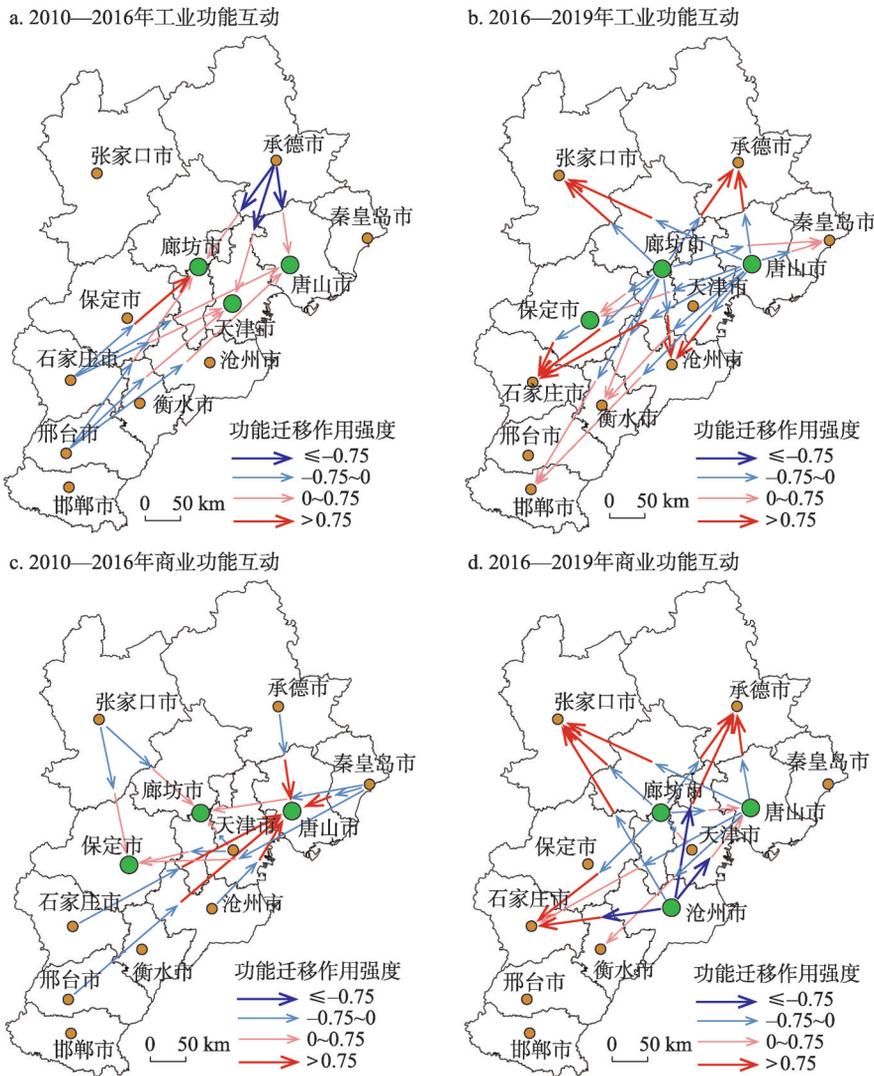


图7 2010—2019年京外城市工业和商业功能互动格局

Fig. 7 Maps of interactive patterns of industrial and commercial functional zones among cities except Beijing

**4.3.2 南部与中部城市的功能互动不强** 2016—2019年期间,位于京津冀城市群北部地区的张家口市与承德市,主要吸引位于城市群中部城市迁移出来的工业功能和商业功能(图7)。而位于南部的邢台市和邯郸市与中部城市的功能互动性不强。石家庄市作为京津冀城市群中相对发达的城市,在吸引从北京市迁移出来的工业功能和商业功能上,强度整体上弱于城市群中部城市;但是,石家庄市则从廊坊和天津等市吸引工业和商业功能。2010—2016年间京津冀南部城市的功能在向京津冀中部的城市集聚,2016—2019年间石家庄市和衡水市开始从京津冀中部的城市吸引工业功能和商业功能。但是,对于南部的邯郸市和邢台市而言,这种作用不甚明显。

## 5 城市群城市功能互动结果讨论

### 5.1 城市群城市互动耦合模型的适用性

城市功能格局表现为城市的空间布局、空间形式和空间规模等<sup>[37]</sup>。围绕这些内容,学者们开展了大量研究。现有研究仅对单个城市功能<sup>[38]</sup>或者单一时期城市群的功能<sup>[39]</sup>进行研究,对于城市群内部城市功能的时空变化特征的探究不足。针对这个问题,学者们以指标选择、尺度确定和聚类刻画空间格局的特征<sup>[40]</sup>,并借助核密度聚类、标准差椭圆、格网分析、空间自相关分析、基尼系数等多角度分析功能格局分布特征<sup>[41-42]</sup>。由于城市功能不仅受自身发展的影响,也是一种城市之间时空相互影响及动态演变的过程。由于缺乏公认的城市群城市功能时空互动格局分析的成熟模型,本文从问题出发,研究了城市功能互动格局原理,针对原理寻找适合的方法。从上述计算结果可以看出,本文提出的耦合模型不仅可以对城市群功能格局变化总体特征进行分析,也可以对选择性的主题进行分析;既可以分析城市间功能的总体互动,又可以分析单个功能在不同城市间的时空变化特征。城市群城市互动耦合模型在进行城市群甚至区域城市间的功能互动格局分析中具有明显优势和普适性。

### 5.2 城市群城市互动格局总体特征

京津冀城市群的城市功能区总体规模在增加,其中混合功能区的增长最快也最多。单一的功能扩展不仅占用更多土地,而且加剧了城市交通压力,造成社区品质的降低。城市混合功能的发展是顺应了新时期城市集约化、智能化发展的需要<sup>[43-44]</sup>。

对政策的响应程度导致了城市间功能互动格局的差异。张家口市和承德市在2016—2019年期间对大部分功能的吸引力也显著增强。这与张家口市需要及时跟进2022年冬奥会相关配套设施建设有关。承德市因为毗邻北京、天津两座直辖市,为其争取京津共建共享支持提供了便利,并且相关部门也在强化“点对点”精准对接,增加央企、京津企业合作项目。这些举措在一定程度上推进了其非首都功能疏解政策的响应。

京津冀城市群城市互动以疏解非首都功能为主,京外城市以吸纳非首都核心功能和强化现有功能并存的变化格局。2010—2019年间,在京津冀城市群中有近一半的城市与北京市呈现双向的互动作用。这些特征反映了城市功能互动是一个复杂的过程,既有对政策的快速响应,也有城市自身发展演化和强化,从而促使城市功能的互动。基于大数据对城市功能互动时空格局特征进行分析,可以为优化城区或区域发展提供治理建议。

### 5.3 城市群城市互动格局局部特征

城市群中相对经济发达的城市(主要位于城市群中部地区)对非首都功能疏解政策落实效果较好,它们充当了“二传手”的作用。这种空间互动关系也得到了已有研究成果的验证<sup>[45-46]</sup>。唐山—廊坊—天津表现为前期从周围城市吸引工业、商业功能,后期则表

现为向其他城市迁移这些功能。位于京津冀南部的石家庄市、邯郸市和邢台市因为距离北京和天津较远,城市功能互动程度不高,已有研究成果验证了该结论<sup>[47]</sup>。这些结果一定程度上表明京津冀城市群对非首都功能的疏解存在空间门槛,门槛距离约为150 km,即位于距离北京约150 km范围内的城市吸纳疏解功能强,而超出这个范围会出现接力疏解现象。关于这个问题仍有待进一步深入探讨和验证,但这些在距离门槛外的城市想要更好地参与京津冀协同发展需要新思路新方向。

## 6 京津冀城市功能互动治理策略

京津冀城市群城市功能互动的驱动力及造成空间差异的原因较为复杂。总体上在自然禀赋和行政管辖的背景下,叠加了各种长效或临时性的政策干预。非首都功能疏解政策的确定性与承接功能落地的不确定性共存。城市自身功能演化与城市间功能互动共存。研究表明,京津冀城市群的功能区仍然处在发展演变中,尚未真正形成较为稳定的功能互补、协同发展的空间格局。京津冀城市群亟需基于不同城市的功能定位,进一步优化产业分工格局<sup>[48]</sup>。

为完善京津冀城市功能调控策略,本文提出如下建议:① 政策分层施治。研究发现京津冀城市功能总体和局部特征存在差异。同时在空间上具有一定的门槛现象。因此,在进行功能互动政策编制中,需要充分考虑这种总体政策与局部协同政策的配套。这种配套不能完全通过行政辖区来编制,而要编制跨区域的协同政策。② 优化南部城市功能互动调控政策。由于南部城市功能互动受到“二传手”城市的明显影响,如何通过“二传手”城市的功能互动成为治理策略的重点。石家庄市作为京津冀城市群的中心城市之一,需要进一步加强承接北京市各类非首都功能,带动京津冀西部以及南部的城市发展。③ 关注城市混合功能发展。城市混合功能的快速发展成为高质量发展的一个新特征。功能混合需要进行合理的引导和优化。同时,还要关注城市功能向边缘区扩展的趋势,通过调控用地布局进行优化功能互动。

## 7 结论与展望

针对目前用于刻画城市群城市间功能互动的模型相对较少的问题,本文基于POI大数据,集成改进引力模型、土地生态位模型、偏离一份额分析模型和GIS技术,构建了新的城市功能互动耦合模型,旨在揭示以北京非首都功能疏解为核心的京津冀城市群城市功能协同发展特征,进而评估非首都功能疏解政策实施效果以及提出京津冀协同发展的治理策略。

本文得出以下结论:① 2010—2019年间城市群内建成区城市功能区总面积增加1.5倍,其中混合功能区增加了1.7倍,反映未来城市或将出现更多混合功能区。② 北京市工业功能、商业功能正在稳步疏解,居住功能、科教文化功能、公共服务功能仍在聚集与强化。③ 经济相对发达的城市在京津冀城市群功能互动中发挥了关键作用。这些城市对北京市功能的承接效应较好,并且对周围城市功能的辐射作用也较强,在京津冀协同发展中扮演了“二传手”的角色。④ 京津冀南部的城市需要进一步加强与中部城市的功能互动。由于功能互动可能存在空间门槛,石家庄市吸纳疏解功能主要来源于天津和廊坊,具有接力特征。⑤ 在治理策略上需要关注功能互动格局演化趋势来进行精准施策;

加强中部与南部城市的功能互动,尽可能发挥京津冀协同带来的积极效应,推进京津冀城市群高质量发展。

城市群城市功能互动格局研究对于城市高质量政策编制具有支撑价值。下一步的研究建议从下面几个方面开展:①更加精细的功能类别划分;②开展不同尺度的比较研究;③围绕时空变化进行模拟预测研究;④优化现有模型并进行工具研发。

## 参考文献(References)

- [1] Wang Wei, Gong Shumin, Li Muyun, et al. Fine identification and governance of functional areas of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration supported by big data. *Beijing Planning Review*, 2020(5): 67-72. [王伟, 巩淑敏, 李牧耘, 等. 大数据支持下京津冀城市群功能区精细识别与治理. *北京规划建设*, 2020(5): 67-72.]
- [2] Liu Hao, Ma Lin, Li Guoping. Spatial-temporal evolution pattern of unbalanced economic development in Beijing-Tianjin-Hebei region since the 1990s. *Geographical Research*, 2016, 35(3): 471-481. [刘浩, 马琳, 李国平. 1990s以来京津冀地区经济发展失衡格局的时空演化. *地理研究*, 2016, 35(3): 471-481.]
- [3] Fang Chuanglin, Wang Zhenbo, Ma Haitao. The theoretical cognition of the development law of China's urban agglomeration and academic contribution. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 651-665. [方创琳, 王振波, 马海涛. 中国城市群形成发育规律的理论认知与地理学贡献. *地理学报*, 2018, 73(4): 651-665.]
- [4] Li Peng, Yan Jingjing, Leng Bingrong. The development degree evaluation of urban network based on functional connection: An empirical analysis of Beijing, Shanghai, Guangzhou and Chongqing metropolitan areas. *Urban and Rural Planning*, 2021(S1): 155-164. [李鹏, 闫晶晶, 冷炳荣. 基于功能联系的城市网络发育水平综合评价: 对北京、上海、广州与重庆等都市圈的实证分析. *城乡规划*, 2021(S1): 155-164.]
- [5] Wei Lihua. Influence of urban agglomeration economic cooperation on regional coordinated development: Based on comparison between Beijing-Tianjin-Hebei and Shanghai-Jiangsu-Zhejiang. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(4): 575-579. [魏丽华. 论城市群经济联系对区域协同发展的影响: 基于京津冀与沪苏浙的比较. *地理科学*, 2018, 38(4): 575-579.]
- [6] Fang Chuanglin. Theoretical foundation and patterns of coordinated development of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Progress in Geography*, 2017, 36(1): 15-24. [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.]
- [7] Chen Wei, Xiu Chunliang. A rethinking of the theoretical connotation of megaregion in the new era. *Progress in Geography*, 2021, 40(5): 848-857. [陈伟, 修春亮. 新时期城市群理论内涵的再认知. *地理科学进展*, 2021, 40(5): 848-857.]
- [8] Yao Shimou, Chen Zhenguang, Ye Gaobin, et al. The rethinking of definitions of urban agglomeration in China. *Urban Insight*, 2015(1): 73-82. [姚士谋, 陈振光, 叶高斌, 等. 中国城市群基本概念的再认知. *城市观察*, 2015(1): 73-82.]
- [9] Fan Hengshan, Xiao Jincheng, Fang Chuanglin, et al. Urban agglomeration development: New characteristics, new ideas and new directions. *Regional Economic Review*, 2017(5): 1-25. [范恒山, 肖金成, 方创琳, 等. 城市群发展: 新特点新思路新方向. *区域经济评论*, 2017(5): 1-25.]
- [10] Shi Zheng. Study on urban functional division and complementarity under the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei region [D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2016. [石郑. 京津冀协同发展下的城市功能分工与互补性研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2016.]
- [11] Hou Jie, Zhang Meiqing. Study on the influence of functional division of urban agglomerations on regional coordinated development: Taking Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration as an example. *Economist*, 2020(6): 77-86. [侯杰, 张梅青. 城市群功能分工对区域协调发展的影响研究: 以京津冀城市群为例. *经济学家*, 2020(6): 77-86.]
- [12] Fang Chuanglin, Liang Longwu, Wang Zhenbo. Quantitative simulation and verification of upgrade law of sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Scientia Sinica Terrae*, 2020, 50(1): 104-121. [方创琳, 梁龙武, 王振波. 京津冀城市群可持续爬升规律的定量模拟及验证. *中国科学: 地球科学*, 2020, 50(1): 104-121.]
- [13] Zhao Jinli, Zhang Lulu, Song Jinping. Spatial structure of urban system and its evolution in Jing-Jin-Ji urban agglomeration. *Areal Research and Development*, 2018, 37(2): 9-13, 24. [赵金丽, 张璐璐, 宋金平. 京津冀城市群城市体系空间结构及其演变特征. *地域研究与开发*, 2018, 37(2): 9-13, 24.]
- [14] Lu Dadao. Function orientation and coordinating development of subregions within the Jing-Jin-Ji urban agglomeration. *Progress in Geography*, 2015, 34(3): 265-270. [陆大道. 京津冀城市群功能定位及协同发展. *地理科学进展*, 2015, 34(3): 265-270.]

- [15] Han Ze. The impact of Xiong'an new area on the evolution of the spatiotemporal pattern of landuse in Beijing [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020. [韩赅. 雄安新区建设对北京市土地利用时空格局演变的影响[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.]
- [16] Yao Yao. Study on the functional structure of Lanzhou city based on multi-source data [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020. [姚尧. 基于多源数据的兰州主城区功能结构研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.]
- [17] Dou Wangsheng, Wang Chengxin, Xue Mingyue, et al. Identification and evaluation of urban functional land based on POI data: A case study of five districts in Jinan. *World Regional Studies*, 2020, 29(4): 804-813. [窦旺胜, 王成新, 薛明月, 等. 基于POI数据的城市用地功能识别与评价研究: 以济南市内五区为例. *世界地理研究*, 2020, 29(4): 804-813.]
- [18] Zhao Pengjun, Hu Haoyu, Hai Xiaodong, et al. Identifying metropolitan edge in city clusters region using mobile phone data: A case study of Jing-Jin-Ji. *Urban Development Studies*, 2019, 26(9): 69-79, 2. [赵鹏军, 胡昊宇, 海晓东, 等. 基于手机信令数据的城市群地区都市圈空间范围多维识别: 以京津冀为例. *城市发展研究*, 2019, 26(9): 69-79, 2.]
- [19] Xue Bing, Zhao Bingyu, Xiao Xiao, et al. A POI data-based study on urban functional areas of the resources-based city: A case study of Benxi, Liaoning. *Human Geography*, 2020, 35(4): 81-90. [薛冰, 赵冰玉, 肖晓, 等. 基于POI大数据的资源型城市功能区识别方法与实证: 以辽宁省本溪市为例. *人文地理*, 2020, 35(4): 81-90.]
- [20] Yan Shicheng, Wang Jingli, Li Chengming, et al. Urban functional area division considering POI and land use data. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2021, 38(2): 181-186. [鄢士程, 王井利, 李成名, 等. 顾及POI与土地利用数据的城市功能区划分. *测绘科学技术学报*, 2021, 38(2): 181-186.]
- [21] Ding Liang, Niu Xinyi, Song Xiaodong. Validating gravity model in multi-centre city: A study based on individual mobile trajectory. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(2): 268-285. [丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 基于个体移动轨迹的多中心城市引力模型验证. *地理学报*, 2020, 75(2): 268-285.]
- [22] Ye Qingqing, Zhang Decai, Cao Junjun. Correlation analysis of urban spatial structure based on modified gravity mapping model: A case study of Hubei Province. *Urban Development Studies*, 2021, 28(5): 24-28. [叶青青, 张德恺, 曹隽隽. 基于修正引力图谱分析的城市空间关联结构分析: 以湖北省为例. *城市发展研究*, 2021, 28(5): 24-28.]
- [23] Feng Ying, Hou Mengyang, Yao Shunbo. Structural characteristics and formation mechanism of spatial correlation network of grain production in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2380-2395. [冯颖, 侯孟阳, 姚顺波. 中国粮食生产空间关联网络的结构特征及其形成机制. *地理学报*, 2020, 75(11): 2380-2395.]
- [24] Zhang Xia, Ge Xiangdong, Pu Lijie, et al. A study on the economic niche of land use theory and mechanisms of cropland conservation. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6): 677-683. [张侠, 葛向东, 濮励杰, 等. 土地利用的经济生态位分析和耕地保护机制研究. *自然资源学报*, 2002, 17(6): 677-683.]
- [25] Ni Jiupai, Wei Chaofu, Xie Deti. General niche of land use and its regulating mechanisms. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(S1): 113-115. [倪九派, 魏朝富, 谢德体. 土地利用的生态位及调控机制的研究. *农业工程学报*, 2005, 21(S1): 113-115.]
- [26] Wu Jiyong, Zhao Xicang. Application of the spatial shift-share analysis. *Statistical Research*, 2009, 26(4): 73-79. [吴继英, 赵喜仓. 偏离-份额分析法空间模型及其应用. *统计研究*, 2009, 26(4): 73-79.]
- [27] Zhang Jingqi, Shi Wenbao, Xiu Chunliang. Urban research using points of interest data in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(1): 140-148. [张景奇, 史文宝, 修春亮. POI数据在中国城市研究中的应用. *地理科学*, 2021, 41(1): 140-148.]
- [28] Resource and Environment Science and Data Center. Remote sensing monitoring data of land use in China. 2014. <http://www.resdc.cn/Default.aspx>. [资源环境科学与数据中心. 中国土地利用现状遥感监测数据. 2014. <http://www.resdc.cn/Default.aspx>]
- [29] Ding Yanwen, Xu Hanwei, Wang Chenghao. Research on urban functional area recognition integrating OSM road network and POI data. *Geography and Geo-Information Science*, 2020, 36(4): 57-63. [丁彦文, 许捍卫, 汪成昊. 融合OSM路网与POI数据的城市功能区识别研究. *地理与地理信息科学*, 2020, 36(4): 57-63.]
- [30] Gao Ziwei, Sun Weiwei, Cheng Penggen, et al. Identify urban functional zones using multi feature latent semantic fused information of high-spatial resolution remote sensing image and POI data. *Remote Sensing Technology and Application*, 2021, 36(3): 618-626. [高子为, 孙伟伟, 程朋根, 等. 融合高分辨率遥感影像和POI数据的多特征潜在语义信息用于识别城市功能区. *遥感技术与应用*, 2021, 36(3): 618-626.]
- [31] Xue Jingli. Research on measurement method of urban spatial interaction based on GIS and SEM [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012. [薛景丽. 基于GIS和SEM的城市空间相互作用测度方法研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.]

- [32] Yu Haiyang, Zhang Fei, Wang Juan, et al. Application of land economic ecological niche in landscape pattern analysis at county level: A case study of Jinghe County in Xinjiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3849-3857. [于海洋, 张飞, 王娟, 等. 土地经济生态位在县域景观格局分析中的应用: 以新疆精河县为例. *应用生态学报*, 2015, 26(12): 3849-3857.]
- [33] Nie Xiaoying, Shi Peiji, Lv Rui, et al. Ecological niche-based competition and cooperation relationship among county-level cities in Hexi Corridor. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(3): 841-851. [聂晓英, 石培基, 吕蕊, 等. 基于生态位理论的河西走廊县域城市竞合关系研究. *生态学报*, 2018, 38(3): 841-851.]
- [34] Hu Ying, Han Zenglin. A study on urban network structure of the urban agglomeration of central-southern Liaoning province based on an improved urban gravity model. *Geography and Geo-Information Science*, 2019, 35(5): 101-108. [胡盈, 韩增林. 基于改进引力模型的辽中南城市群网络结构研究. *地理与地理信息科学*, 2019, 35(5): 101-108.]
- [35] Nazara S, Hewings G J D. Spatial structure and taxonomy of decomposition in shift-share analysis. *Growth and Change*, 2004, 35(4): 476-490.
- [36] Yang H B, Fu M C, Wang L, et al. Mixed land use evaluation and its impact on housing prices in Beijing based on multi-source big data. *Land*, 2021, 10(10): 1103. DOI: 10.3390/land10101103.
- [37] Mao Jiangxing, Yan Xiaopei. Study on mutual mechanism between urban transport system and urban space pattern: A case study of Guangzhou. *City Planning Review*, 2005, 29(5): 45-49, 54. [毛蒋兴, 闫小培. 城市交通系统与城市空间格局互动影响研究: 以广州为例. *城市规划*, 2005, 29(5): 45-49, 54.]
- [38] Yang Zhenshan, Su Jinhua, Yang Hang, et al. Exploring urban functional areas based on multi-source data: A case study of Beijing. *Geographical Research*, 2021, 40(2): 477-494. [杨振山, 苏锦华, 杨航, 等. 基于多源数据的城市功能区精细化研究: 以北京为例. *地理研究*, 2021, 40(2): 477-494.]
- [39] Lin Xunyu, Hu Yuceming, Wang Guangxing, et al. Analysis of functional connection and spatial pattern of Pearl River Delta urban agglomeration based on multi-element factor flows. *World Regional Studies*, 2020, 29(3): 536-548. [林勋媛, 胡月明, 王广兴, 等. 基于多元要素流的珠三角城市群功能联系与空间格局分析. *世界地理研究*, 2020, 29(3): 536-548.]
- [40] Ju Hongrun. Method on describing the spatial pattern of land use and its application in China [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018. [鞠洪润. 土地利用空间格局刻画方法及其在中国的应用[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.]
- [41] Qu Shijin, Hu Shougeng, Li Quanfeng. Stages and spatial patterns of urban built-up land transition in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(7): 1539-1553. [瞿诗进, 胡守庚, 李全峰. 中国城市建设用地转型阶段及其空间格局. *地理学报*, 2020, 75(7): 1539-1553.]
- [42] Xie Yiyi, Zou Yan. Spatial pattern and variation characteristics of the production-living-ecological space in Beijing from 2000 to 2020. *Journal of Guilin University of Technology*, 2021. [谢译诣, 邹艳. 2000—2020年北京市“三生空间”格局变化特征分析. *桂林理工大学学报*, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1375.N.20210407.0920.002.html>.]
- [43] Li Miaoyi, Ma Yan, Sun Xiaoming, et al. Application of spatial and temporal entropy based on multi-source data for measuring the mix degree of urban functions. *City Planning Review*, 2018, 42(2): 97-103. [李苗裔, 马妍, 孙小明, 等. 基于多源数据时空熵的城市功能混合度识别评价. *城市规划*, 2018, 42(2): 97-103.]
- [44] Hu Xiaoming, Li Xiaolong, Wei Fang. A POI data-based study of the urban functional areas of Chongqing and their mix degree recognition. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2021, 43(1): 164-173. [胡晓鸣, 黎小龙, 蔚芳. 基于POI的城市功能区及其混合度识别研究: 以重庆市核心城区为例. *西南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(1): 164-173.]
- [45] Liu Jianzhao, Gao Suying. The research of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomerations' spatial connection based on urban relation intensity and urban flow. *Areal Research and Development*, 2013, 32(2): 57-61. [刘建朝, 高素英. 基于城市联系强度与城市流的京津冀城市群空间联系研究. *地域研究与开发*, 2013, 32(2): 57-61.]
- [46] Xu Yongbing, Luo Peng. Evaluation of the quality of economic development of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Journal of Hebei University (Philosophy and Social Science)*, 2020, 45(4): 85-98. [许永兵, 罗鹏. 京津冀城市群的经济质量评价. *河北大学学报(哲学社会科学版)*, 2020, 45(4): 85-98.]
- [47] Xin Hong, Bu Congzhe. Research on spatial pattern change of Beijing-Tianjin-Hebei services based on standard deviation ellipse analysis. *Journal of Hebei University of Economics and Business (Comprehensive Edition)*, 2018, 18(3): 69-74. [忻红, 卜丛哲. 基于标准差椭圆分析法的京津冀服务业空间格局变化研究. *河北经贸大学学报(综合版)*, 2018, 18(3): 69-74.]
- [48] Hou Jie, Zhang Meiqing. Study on the influence of functional division of urban agglomerations on regional coordinated development—taking Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration as an example. *Economist*, 2020(6): 77-86. [侯杰, 张梅青. 城市群功能分工对区域协调发展的影响研究: 以京津冀城市群为例. *经济学家*, 2020(6): 77-86.]

## Big-data driven functional interaction patterns and governance strategy for Beijing-Tianjin-Hebei region

ZHENG Minrui<sup>1</sup>, ZHENG Xinqi<sup>2,5</sup>, LI Tianle<sup>2</sup>, ZHANG Lulu<sup>3</sup>, LYU Yongqiang<sup>4</sup>

(1. School of Public Administration and Policy, Renmin University of China, Beijing 100872, China;

2. School of Information Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. School of Tourism, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China;

4. School of Surveying and Geo-Informatics, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China;

5. Technology Innovation Center for Territory Spatial Big-Data, MNR of China, Beijing 100036, China)

**Abstract:** The coordinated development of the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region and the implementation of the policy of relieving non-capital functions from Beijing are one of hot topics in current academia and the government. The distribution and interaction patterns of urban functions are an important aspect to depict the performance of the coordinated development and governance strategies of the BTH urban agglomeration. Based on the interaction principle of urban functional zones in the BTH region, we introduced the shift-share analysis model, revised land ecological niche model, and coupled a new interactive model by expanding the gravity model for urban functional interaction patterns, supported by GIS technique. We consider the POI as a commonly used big data to analyze urban problems and characteristics, this study takes the BTH urban agglomeration as the study area and uses three periods (2010, 2016, 2019) of POI datasets to identify urban functional zones. Then we apply the new interactive model to reveal the characteristics of the functional interaction patterns from space and time dimensions. Meanwhile, we analyze and evaluate the coordinated development and implementation of the policy of relieving non-capital functions from Beijing, and come up with some suggestions. Our findings are: (1) the total area of urban functional areas increased 1.5 times over the past decade, and the mixed functional areas are the fastest-growing urban functional zone (1.7 times). (2) The industrial and commercial functional zones of Beijing had been dispersing steadily, but the residential, scientific, educational and cultural, and public service functional zones were still aggregated. (3) Langfang, Tangshan, Tianjin, and Baoding, which are located in the center of BTH region, act as "middlemen" in the redistribution process of the relieving policy. They become main cities to drive functional interaction. (4) Shijiazhuang mainly received the functional zones from Tianjin and Langfang, which shows the relay characteristics. (5) The government's decision-making for redistribution of urban functional zones in the BTH region should consider the evolution trend of functional interaction patterns among cities so as to take targeted governance measures. Our findings indicate that the urban functional interactive model could better explain and reveal changing characteristics of the functional interaction patterns in the study region.

**Keywords:** urban functional pattern; functional interaction model; big data; Beijing-Tianjin-Hebei region