引文格式：王莎,傅冬辰,贺玉德. 基于改进空间引力模型的京津冀城市群引力格局研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(11): 37-41. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2025.11.008

# 基于改进空间引力模型的京津冀城市群引力格局研究

王　莎[1]，傅冬辰[1]，贺玉德[2,3*]
（1. 河北经贸大学 会计学院，河北 石家庄 050061；2. 河北地质大学 管理学院，河北 石家庄 050031；
3. 河北省科协智库地学旅游与乡村振兴研究基地，河北 石家庄 050031）

**摘　要：**加强城市联系是促进城市群协同发展的基础，根据城市联系结构合理划分城市布局可以充分发挥城市群的功能。以京津冀城市群为研究对象，引入矢量因素改进经典空间引力模型，为划分城市群经济联系格局提供依据；并根据格局划分结果，针对不同城市团分别提出规划建议。研究结果表明，京津冀城市群内部经济联系差异明显、相互联系不对等、联系结构类型单一；唐山和廊坊是京津冀城市群中重要的经济发展区域，石家庄是具有双向引力作用的重要节点城市；京津冀城市群宜划分为京—保—承—张、津—唐—廊—沧—秦、石—邯—邢—衡3类小城市团发展模式。

**关键词：**空间引力模型；京津冀城市群；城市联系格局
**中图分类号：**TU982　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）11-0037-05

# Research on Gravitational Pattern of the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration Based on the Improved Spatial Gravity Model

WANG Sha[1], FU Dongchen[1], HE Yude[2,3]
(1. School of Accounting, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China;
2. School of Management, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China;
3. Research Base for Geotourism and Rural Revitalization of the Hebei Association for Science and Technology Think Tank, Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** Strengthening urban connections is the basis for promoting the coordinated development of urban agglomerations. The rational division of urban layout based on the structure of urban connections can give full play to the functions of urban agglomerations. Taking the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration as the research object, we improved the classical spatial gravity model by introducing vector factors to provide a basis for dividing the pattern of urban economic connections, and put forward planning suggestions for different urban clusters according to the results of pattern division. Research results show that the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration shows some characteristics, such as obvious differences in economic connections, unequal interconnections, and single type of connection structure. Tangshan and Langfang are important economic development areas in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, and Shijiazhuang is an important node city with bidirectional gravity force. The Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration should be divided into three types of small urban clusters.

**Key words:** spatial gravity model, the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, urban connection pattern

在全球化和新信息技术推动下，“流空间”取代“地点空间”，“门户城市”被重新塑造[1]，城市群成为各国区域经济发展的新策源地[2]。特别是在疫情冲击下，建设城市群可提升国际地位和话语权[3]。城市群是城市功能影响范围超过行政边界、区域协作加强产生的新聚居形式，以经济引力为纽带，要素自由流动促成劳动地域分工格局[4]，能弱化交易成本，实现区域经济协同发展[5]。城市相互作用研究的常用方法为引力模型和城市流模型，因数据获取问题，引力模型成为城市关系研究的替代者[6]。学者们运用空间引力模型从多个角度对城市联系进行研究[7]。随着经济全球化发展，城市经济联系研究向着更大范围和更深层面延伸，研究的问题逐渐复杂，经典引力模型暴露出的短板引发学者思考，为适应研究问题的复杂性和差异性，学界不断对城市质量[8-9]、城市间距离[10-12]和K值[13-14]进行修正和完善；但传统引力模型未充分考虑

项目来源：河北省高等学校人文社会科学研究资助项目（SQ2024096）；河北省科协智库地学旅游与乡村振兴研究基地资助项目（DLXZ2409）。
第一作者简介：王莎（1985—），博士，讲师，研究方向为生态经济、区域经济发展，E-mail：wangsha8607@sina.com。
通信作者：贺玉德（1983—），博士，副教授，研究方向为生态经济、区域经济发展，E-mail：heyude@hgu.edu.cn。

两个城市间的引力不对称性[15]。鉴于此，本文以区域发展差异较大的京津冀城市群为研究对象，首先构建基于城市综合质量特征、体现城市引力不对称性、反映距离和货币时间价值交通成本的改进空间引力模型，对京津冀城市群城市之间经济联系进行度量；然后根据城市引力现状和经济联系结构特征，将京津冀城市群划分为京—保—承—张、津—唐—廊—沧—秦、石—邯—邢—衡3类小城市团发展模式，并提出针对性建议，以提升区域整体竞争力，可为城市引力测算和区域城市间经济协同发展规划提供参考。

## 1 模型构建与指标选择

### 1.1 模型构建

引力模型是从牛顿万有引力公式衍生出来的，基本思想是两个物体的质量决定了它们之间引力强度，并与距离成反比关系。本文在经典引力模型的基础上进行3点改进：

1）采用城市综合质量指数表征两个城市间的质量。首先剔除属性和单位差异对指标产生的影响，利用极值法对数据进行标准化处理，即 $y_i=(x_i-\min x_i)/(\max x_i-\min x_i)$；然后利用客观赋权法变异系数对指标进行赋权，即 $C_j=\sigma_j/x_j$，$C_j$、$\sigma_j$、$x_j$ 分别为评价指标 $j$ 的变异系数、标准差和均值，其客观权重为 $\omega_j=C_j/\sum_{j=1}^{n}C_j$；最后对 $\boldsymbol{Y}$ 矩阵进行加权处理，得到 $\boldsymbol{Z}=(Z_{ij})_{n\times m}$，继而通过公式 $Z_i=\sum_{j=1}^{m}Z_{ij}$ 求出每个城市的综合质量指数 $MI$。

2）引入矢量因素改进关联权重调节参数。由于经典引力模型未充分考虑两个城市的异质性，会得出引力值相等的结论，但现实中城市由于产业分工不同，有可能得出不同的引力值，因此本文参考钱春雷等[16]的做法，将既表征大小又表征方向的矢量因素引入经典引力模型，使计算得到的城市经济引力既具有量化值又具有方向性。相对引力常量的计算公式为 $K=G\left|(\vec{e}+S_{ij})\right|(i\neq j)$，$G=1$ 为量纲转换系数，$\vec{e}$ 为单位矢量，$\|$ 为求模运算符，$S_{ij}$ 为调节系数。

3）考虑城市间交通往来的货币成本和时间成本，综合计算引力模型中的距离指标。距离指标的计算公式为 $D=\sum_{m=0}^{n}(\lambda_{ij}C_{ij}T_{ij-m})$，$C_{ij}$、$T_{ij-m}$ 分别为城市 $i$、$j$ 之间第 $m$ 种出行方式的交通成本和时间成本，$\lambda_{ij}$ 为对应权重。

代入上述指标，则城市间经济吸引力值为 $F_{ij}=G\left|(\vec{e}+S_{ij})\right|\times\omega_i y_i\times\omega_j y_j/\sum_{m=0}^{n}(\lambda_{ij}C_{ij}T_{ij-m})$。

### 1.2 指标选择

城市发展由人口、资金、技术、信息、网络、基础设施等多种因素共同决定，因此综合指标能更精确地评价城市的综合实力、发展前景及其与周边城市的关系。本文在借鉴中国统计学会城市统计专业分会课题组和国家统计局城市司研制的中国地级以上城市综合实力评价指标体系的基础上，结合京津冀地域特点，构建了城市经济、居民生活、社会发展、环境质量和基础设施5个维度31个指标的城市综合质量指数评价体系。由于京津冀城市群中并非所有城市间都有高速铁路和普通铁路，有些城市之间甚至没有汽车通勤，因此本文对高速铁路、普通铁路和高速公路进行划分，构建综合的城市距离指标。城市经济维度包括GDP、第二产业占比、第三产业占比、实际外商投资、进出口总额、公共财政收入、全社会固定资产投资额、社会消费品零售总额、规模以上工业总产值等指标；居民生活维度包括年末人口总数、在岗职工工资总额、移动电话数、互联网用户总数、万人卫生机构床数、人均可支配收入等指标；社会发展维度包括医生人数、教育支出占财政支出比重、科技支出占财政支出比重、保险参保人数、邮电业务总量等指标；环境质量维度包括建成区绿化覆盖率、人均绿地面积、一般工业固体废物综合利用率、生活垃圾无害化处理率、污水处理厂集中处理率等指标；基础设施维度包括城市建设用地占市区面积比重、城市维护建设资金支出、全社会用电量、城市道路面积、居民生活用水量、每万人拥有公共汽车和电车数量等指标。城市距离指标包括高速铁路（城际铁路、高铁、动车交通时间与交通成本）、普通铁路（铁路交通时间与交通成本）、高速公路（高速公路交通时间与交通成本）。

## 2 实证分析

### 2.1 京津冀城市群发展概况

京津冀城市群规划范围包括北京、天津以及河北的11个地级市；连接渤海和太岳，土地面积达21.6万 km²，占全国国土面积的2.25%；截至2022年底常住人口约为11 247.2万人，占全国人口总数的8.09%；地区生产总值达到80 580.5亿元，占全国总量的10%。在2024年的政府工作报告中京津冀城市群被列为中长期投资目标，放在我国重点支持的区域发展第一层次的首位。京津冀城市群应借助京津冀协同国家战略的东风，大力完善自身发展，构建以重要城市为支点，以战略性功能区平台为载体，以交通干线、生态廊道为纽带的网络型空间格局。

### 2.2 城市经济联系计算结果

本文采用的数据来源于《中国城市统计年鉴》

（2023年版），北京、天津、河北各市2022年国民经济和社会发展统计公报以及生态环境统计公报。城市综合质量计算结果见图1，可以看出，北京和天津处于京津冀城市群的领跑位置；石家庄和唐山的区域经济综合质量较高，经济发展状况较好，对于强化北京核心城市作用、优化整体城市群发展具有重要意义。将城市间的距离成本代入改进的城市引力模型中，计算得到城市经济联系结果和结构。由表1和图2可以发现京津冀城市群城市经济联系现状和存在的问题：

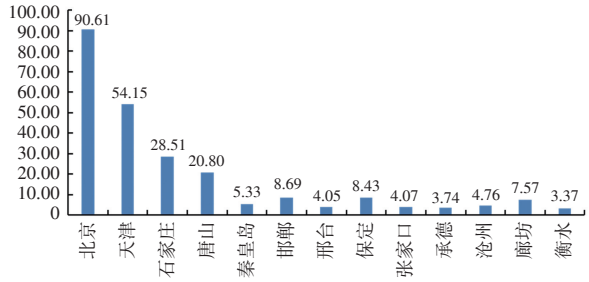



图1　2022年京津冀城市群城市综合质量

表1　京津冀城市群城市经济联系结果

| | 北京 | 天津 | 石家庄 | 唐山 | 秦皇岛 | 邯郸 | 邢台 | 保定 | 张家口 | 承德 | 沧州 | 廊坊 | 衡水 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 北京 | – | 293.48 | 21.21 | 44.29 | 3.02 | 3.65 | 1.70 | 18.86 | 5.10 | 3.21 | 6.43 | 66.01 | 3.29 |
| 天津 | 78.92 | – | 6.42 | 30.49 | 2.95 | 1.55 | 0.82 | 6.97 | 1.11 | 0.79 | 11.15 | 33.43 | 1.73 |
| 石家庄 | 4.36 | 2.37 | – | 1.38 | 0.29 | 3.76 | 6.98 | 4.51 | 0.32 | 0.15 | 0.79 | 0.55 | 3.63 |
| 唐山 | 6.34 | 8.82 | 1.01 | – | 2.48 | 0.32 | 0.17 | 1.14 | 0.32 | 0.45 | 1.05 | 2.76 | 0.37 |
| 秦皇岛 | 0.01 | 0.26 | 0.19 | 1.39 | – | 0.11 | 0.05 | 0.16 | 0.04 | 0.02 | 0.12 | 0.18 | 0.06 |
| 邯郸 | 0.12 | 0.21 | 2.47 | 0.18 | 0.03 | – | 4.84 | 0.48 | 0.07 | 0.04 | 0.16 | 0.13 | 0.27 |
| 邢台 | 0.02 | 0.06 | 4.52 | 0.10 | 0.02 | 1.34 | – | 0.43 | 0.04 | 0.02 | 0.08 | 0.09 | 0.16 |
| 保定 | 0.59 | 0.92 | 2.97 | 0.65 | 0.05 | 0.16 | 0.12 | – | 0.23 | 0.09 | 0.33 | 0.91 | 0.30 |
| 张家口 | 0.05 | 0.08 | 0.21 | 0.17 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.06 | – | 0.04 | 0.04 | 0.15 | 0.03 |
| 承德 | 0.04 | 0.05 | 0.10 | 0.24 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | – | 0.04 | 0.09 | 0.02 |
| 沧州 | 0.02 | 0.89 | 0.51 | 0.58 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | – | 0.96 | 0.24 |
| 廊坊 | 1.64 | 4.18 | 0.38 | 1.68 | 0.09 | 0.06 | 0.04 | 0.39 | 0.04 | 0.02 | 0.26 | – | 0.10 |
| 衡水 | 0.06 | 0.10 | 2.33 | 0.20 | 0.02 | 0.07 | 0.05 | 0.08 | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | – |

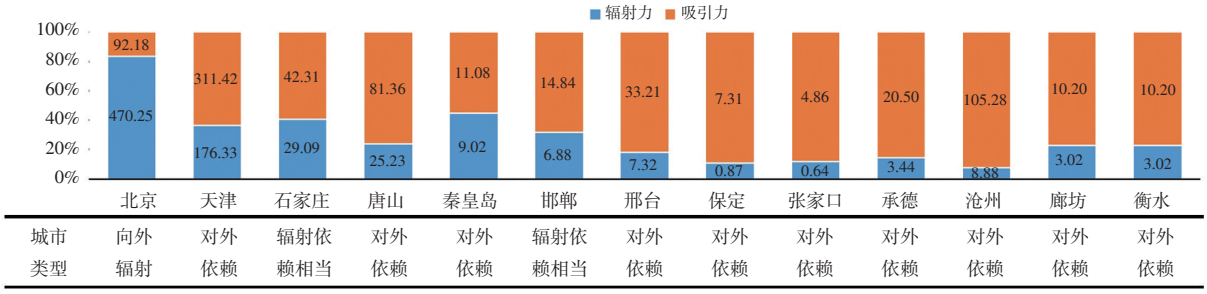



图2　京津冀城市群城市经济联系结构与类型

1）京津冀城市群城市之间经济联系差异显著。城市向外辐射能力参差不齐，北京和天津的向外辐射能力较强，石家庄和唐山次之，其余城市较弱。北京和天津的引力值之和占整个城市群总量的86.95%；石家庄和唐山的引力值之和占总量的7.30%。城市向外辐射度不均衡，仅对某个或某几个城市引力作用较大。石家庄对北京、天津、唐山、邯郸、邢台、保定和衡水的引力强度较大，引力较分散和均衡；北京和天津虽然向外辐射较强，但引力高度集中于彼此、廊坊和唐山；其余城市的引力作用多集中于某个城市。

2）京津冀城市群城市联系结构类型较单一。北京是唯一的经济引力辐射型城市，对外经济辐射程度达到80.39%，对其他城市具有极大的经济引力作用。石家庄和邯郸是向外辐射能力较大且对某些城市经济依赖也较大的复合型城市。具体来说，石家庄对北京和天津的依赖程度较高，同时对北京、邯郸、邢台、保定和衡水的辐射能力也较大；邯郸对北京和石家庄的依赖程度较高，同时对石家庄、邢台的辐射能力也较大。其余10个城市均为经济引力依赖型城市，天津、张家口、承德和保定主要依赖于北京；唐山、沧州和廊坊主要依赖于北京和天津；邯郸和衡水主要依赖于北京和石家庄；秦皇岛依赖于北京、天津和唐山；邢台主要依赖于石家庄和邯郸。

3）唐山和廊坊是京津冀城市群中重要的经济发展区域。北京对唐山和廊坊的经济引力仅次于天津，分别为66.01和44.29，占北京对外辐射总量的14.00%

和9.48%；同时唐山和廊坊对北京的引力分别为6.34和1.64，占两个城市对外辐射总量的25.00%和18.46%。天津对唐山和廊坊的经济引力分别为30.49和33.43，占天津对外辐射总量的17.29%和18.95%；同时唐山和廊坊对天津的引力分别为8.82和4.18，占两个城市对外辐射总量的34.95%和47.07%。由此可见，应将与核心城市双向经济引力都较强的城市作为重点发展对象，以提升两个城市的经济地位和城市职能，形成由京—津—唐—廊4个城市构成的核心腹地，有助于发挥北京和天津作为核心城市的向外辐射作用，扩大既有优势，同时有利于北京和天津大城市功能的疏解。

4）石家庄是京津冀城市群中重要的节点城市。北京、天津对石家庄的引力值分别为21.21、6.42。北京对邯郸、邢台和衡水的引力值分别为3.65、1.70和3.29，天津对邯郸、邢台和衡水的引力值分别为1.55、0.82和1.73；而石家庄对邯郸、邢台和衡水的引力值分别为3.76、6.98和3.63，大于北京和天津对上述城市的经济引力，说明石家庄不仅与北京和天津经济联系密切，可享受其经济辐射；而且对邯郸、邢台和衡水的经济引力作用很大，因此可将这种具有双向功能的城市作为京津冀城市群的重要节点城市，有助于进一步传导和扩散城市经济辐射能力、加强城市之间联系。

### 2.3 经济联系格局划分

经济联系格局是指城市群城市之间经济联系的空间结构。由改进的空间引力模型可知，若城市之间彼此的引力值相当，则说明这些城市的经济联系较紧密，采用成团发展的模式可以增加城市之间的联系，加强优势互补效应，提高城市群整体效益。基于此，本文将京津冀经济联系格局划分为：

1）京—保—承—张北部城市团。分析京津冀城市群经济联系的空间结构发现，张家口、承德、保定对北京的依赖程度分别为69.76%、66.00%、56.79%，说明其经济和产业发展主要依靠北京带动，因此宜与北京成团发展组成北部城市团。该城市团中北京是唯一向外辐射城市，应充分发挥核心城市功能，借助其丰厚的资源，实现对保定、承德、张家口的高端引领和辐射带动作用；保定作为连接城市群南部城市的交通枢纽，应尽快成长为副核心城市，扩大城市和人口规模；张家口应以冬奥会为重要契机，建成京津冀城市群连接我国东北部、西北部区域的交通枢纽，与北京多方融合，大力发展冰雪产业；承德作为城市群北方生态涵养区，应以绿色产业为主导，大力发展文化旅游和医疗康养产业。

2）津—唐—廊—沧—秦东部城市团。唐山、廊坊、沧州和秦皇岛对北京和天津经济高度依赖，且对天津的引力作用高于北京，彼此间联系紧密，空间上聚集于京津冀城市群东部沿海地区，因此宜将上述城市与天津组团发展形成东部城市团，既有利于加强4个城市间的经济联系，又有利于北京的辐射作用借助于天津进行扩散。该城市团中沿海城市居多，发展重点应放在优化配置区域港口资源，加强港城互动，促进临港开发区与城市的有机融合；天津对北京的经济粘度高达94.24%，因此需进一步强化京津联动，依托滨海新区，与北京共同发挥高端引领和辐射带动作用；唐山应作为该城市团的副中心城市重点发展，并依托曹妃甸区发展港口物流、精品钢铁等产业；廊坊应充分利用京津走廊的区位优势，发展与北京和天津关联度高的产业；沧州应依托渤海新区，主要发展临港型工业和偏重型加工制造业；秦皇岛依托北戴河新区，在发展传统优势产业的基础上，着力发展旅游业。

3）石—邯—邢—衡南部城市团。石家庄和邯郸为向外辐射和对外依赖对等型城市，衡水对外依赖北京和石家庄，邢台对外依赖石家庄和邯郸，且4个城市之间引力作用明显。上述城市组团发展形成的南部城市团，不仅有利于城市发展自身经济，而且有利于北京中心城市的辐射作用通过石家庄向南部扩散。石家庄作为南部中心城市，应当充分发挥城市群中节点城市的双向流通作用，积极承接北京和天津各项产业；邯郸应作为南部副中心城市发展，一方面利用其资源壮大传统优势产业，另一方面利用其文化特色和晋冀鲁豫4省交界处的区位优势，重点发展文化旅游产业和现代物流产业；邢台和衡水的城市综合质量较低，需加快现代产业发展步伐，围绕原有产业基础着力建设县域特色产业集群。

## 3 结 语

本文构建的基于城市综合质量特征、体现城市引力不对称性、反映距离和货币时间价值交通成本的改进空间引力模型，使计算得到的城市经济引力值具有方向性，能准确反映城市间不同引力值，更契合实际情形。结果表明：①京津冀城市群具有城市经济联系不对等的结构特征，北京表现为向外经济辐射特征，石家庄和邯郸表现为经济辐射和经济依赖对等型特征，其余城市则经济依赖大于经济辐射；②核心城市北京和天津虽然向外经济辐射能力强，但仅对唐山、廊坊等周边城市引力作用较大，而节点城市石家庄向外经济辐射更显均衡，相同引力强度辐射的城市范围更广。根据上述研究结果，本文提出以下建议：

1）破除行政壁垒，建立区域协调组织机构，完善覆盖全省的交通网络。结合城市组团辐射格局建立跨行政区划的区域协调组织机构，统筹资源共享、设施建设和产业布局问题。省际间推动相关城市积极参与沟通与合作，深化与其他城市群的交流。在现有高速公路交通格局的基础上，完善高速铁路建设，规划城际铁路和快速路，加快边缘城市交通体系建设，打通交通轴线，形成高铁通行网络。

2）核心城市坚持创新引领，扩大经济辐射半径。北京、天津和河北可共同建立技术转移平台、知识产权服务平台、科技金融服务平台等创新服务平台，为河北省城市的企业和科研人员提供一站式创新服务，促进创新成果的转化和应用；向河北省城市延伸产业链，建立产业技术创新联盟，共同开展技术研发、标准制定等工作，推动三地产业合作模式创新；制定政策鼓励北京、天津的创新人才向河北省城市流动，也鼓励河北省城市的人才到北京和天津学习和工作，提高自身素质后再回流，带动当地创新发展。

3）充分发挥节点城市和重要经济发展区的作用，促进城市组团协同联动。将唐山和廊坊作为重点发展对象，提升其经济地位和城市职能，唐山应加大对钢铁、煤炭等传统产业转型升级的力度，提高产业附加值，进一步完善城市基础设施建设，提高城市的综合承载能力；廊坊应凭借其优越的地理位置，积极承接北京和天津的产业转移和辐射，加强对电子信息、高端装备制造等产业的引进和培育，打造具有特色的产业集群，强化其作为京津走廊的交通枢纽和服务功能；石家庄作为节点城市应充分发挥其双向流通作用，积极承接北京和天津各项产业，并加强与周边城市的经济联系和合作，将优势产业和资源向周边城市扩散和辐射。

4）其余城市结合自身优势，加快经济转型，提高综合竞争力。其余城市与中心城市之间经济联系较弱，未来应根据自身情况采取相应措施，加快经济转型进程，提升城市竞争力。邯郸作为南部副中心城市，应发展传统优势产业和文化旅游、现代物流产业；邢台、衡水应加快现代产业发展步伐，建设县域特色产业集群；张家口应发展冰雪产业；承德应发展文化旅游和医疗康养产业；沧州应发展临港型工业和偏重型加工制造业；秦皇岛应大力发展旅游业。

受时间和篇幅限制，本文仍存在一些不足之处：首先对于城市综合质量的评价未充分考虑新兴因素的影响，数字经济、创新生态环境、智慧城市建设等新兴要素可能对城市联系产生重要影响，但指标的收集和量化存在一定困难，未能体现在指标构建体系中；其次本文基于2022年的数据对京津冀城市群的空间联系和格局进行了静态描述和分析，而城市发展是一个动态过程，经济结构调整、政策变化、技术创新等因素都影响城市间的联系和发展定位，动态分析能更加全面地反映城市空间联系的真实演变过程。未来将完善引力模型和扩大研究的时间范围，从而更全面地分析区域经济引力的动态演变过程。

## 参考文献


[1] 宋建波,武春友.城市化与生态环境协调发展评价研究:以长江三角洲城市群为例[J].中国软科学,2010(2):78-87

[2] 顾朝林.转型发展与未来城市的思考[J].城市规划,2011,35(11):23-34

[3] 孙伟,闫东升,吴加伟.城市群范围界定方法研究:以长江三角洲城市群为例[J].地理研究,2018,37(10):1 957-1 970

[4] 刘玉亭,王勇,吴丽娟.城市群概念、形成机制及其未来研究方向评述[J].人文地理,2013,28(1):62-68

[5] 王明,郑念.城市群内部协同的圈层分化问题研究:基于"环长株潭城市群"的分析[J].中国科技论坛,2019(8):87-94

[6] 顾朝林,庞海峰.基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分[J].地理研究,2008,27(1):1-12

[7] 余晓敏,陈翠芳,祁玉杰,等.面向国土空间规划的城市引力模型研究[J].地理空间信息,2024,22(4):16-19

[8] Lowry I. Migration and Metropolitan Growth: Two Analytical Models[M]. San Francisco, CA: Chandler Pub. Co, 1966

[9] 郭源园,胡守庚,金贵.基于改进城市引力模型的湖南省经济区空间格局演变研究[J].经济地理,2012,32(12):67-72

[10] Isard W. Gravity and Spatial Interaction Models[C]//Isard W, Azis I, Drennan M. Methods of Interregional and Regional Analysis. Vermont, Ashgate Publishing Company,1998:243-279

[11] Hua C, Porell F. A Critical Review of the Development of the Gravity Model[J]. International Regional Science Review,1979,4(2):97-126

[12] 王莎,童磊,贺玉德.京津冀城市群经济联系的定量测度[J].技术经济,2019,38(10):74-81

[13] 李博雅.基于修正引力模型的山西省城市经济联系分析[J].经济问题,2018(7):116-122

[14] 相雪梅.省内城市间经济关联结构研究:基于引力模型中$K_{ij}$的修正[J].技术经济,2020,39(10):128-137

[15] 王磊,付建荣.基于产业分工的关天经济区城市间经济联系实证研究[J].经济经纬,2016,33(3):7-12

[16] 钱春蕾,叶菁,陆潮.基于改进城市引力模型的武汉城市圈引力格局划分研究[J].地理科学进展,2015,34(2):237-245