

# 基于中国主体功能区划的国家与省级点-轴结构解析

王亚飞<sup>1,2</sup>, 樊 杰<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

**摘要:** 中国主体功能区划作为国土空间开发保护的基础制度, 其空间结构是各级各类空间规划遵循的重要约束性指标以及主体功能区精准落地的关键参数。本文将面状功能区纳入点-轴系统结构, 探索主体功能区点-轴结构的科学内涵, 以中国主体功能区划为研究对象, 聚焦国家与省级层面, 着重从主体功能区点-轴结构的要素构成、功能区与点-轴结构的分异、以及功能区与点-轴结构的相互作用三个方面进行解析。研究表明: ① 中国主体功能区划这张图本身就蕴含着点-轴系统结构, 城市化地区是不同等级极核的集合, 极核的等级和空间分布决定了开发轴线; ② 点-轴地域开发系统、农业发展和生态安全地区呈现圈层式的结构特征, 随着距离轴线越远, 城市化类型比重越低、生态安全类型比重越高, 点-轴结构受粮食安全与生态安全保障需求的约束; ③ 无论是国家和省级层面, 联系最紧密的区域连线与开发轴线基本吻合, 不同层级等级较高的城市化功能主导区域之间的相互作用决定了主体功能区点-轴的拓扑结构, 这在自然约束较弱、人类活动相对强度的区域更为显著。本文的研究成果有助于科学认知主体功能区的科学内涵及有序化的空间组织规律, 为国土空间规划及功能区降尺度传导提供关键指标与参数, 也将为中国综合地理区划提供重要的参考。

**关键词:** 主体功能区划; 点-轴系统; 地域功能; 空间结构; 人口迁徙大数据; 空间解析

DOI: 10.11821/dlyj020181114

## 1 引言

早在1980年代, 陆大道先生首次提出了“点-轴系统”理论, 应用于中国西部大开发空间组织战略及“全国国土规划纲要”空间发展战略, 在中国不同尺度的国土空间开发与组织方面起到基础性作用, 在优化国土空间开发格局方面发挥着重要作用<sup>[1-3]</sup>。2010年年底, 国务院颁发《全国主体功能区规划》, 在点-轴系统理论的指导下, 提出“两横三纵”的中国城市化格局, 即以陆桥通道、沿长江通道为两条横轴, 以沿海、京哈京广、包昆通道为三条纵轴, 以轴线上城市群和节点城市为依托、其他城镇化地区为重要组成部分, 大中小城市和小城镇协调发展的空间格局。2012—2014年各省(市、区)陆续发布《主体功能区规划》, 明确了各省(市、区)国土开发与保护格局, 包括城市化格局、农业发展格局和生态安全格局<sup>[4]</sup>。其中, 点-轴结构是各省(市、区)城市化格局的主要组织形态。因此, 点-轴结构是国家与省级层面表征国土空间开发的基础结构。

点-轴系统理论阐释了以点和轴线空间形态为主体表达的空间结构演化过程及成因机

收稿日期: 2018-10-16; 修订日期: 2019-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(41630644); 中国科协高端科技创新智库青年项目(DXB-ZKQN-2017-048)

作者简介: 王亚飞(1988-), 男, 江苏赣榆人, 助理研究员, 主要从事地域功能与空间组织有序化研究。

E-mail: wangyafei@igsrr.ac.cn

通讯作者: 樊杰(1961-), 男, 陕西西安人, 研究员, 博士生导师, 主要从事经济地理学与区域综合研究。

E-mail: fanj@igsrr.ac.cn

理,刻画了社会经济空间组织发生和发展的客观规律。点-轴系统理论被广泛应用于区域与城市规划、旅游开发与规划、区域交通和产业带构建等不同空间尺度的实践领域<sup>[5-7]</sup>。点-轴系统中极核点的选取主要依据对极核的综合评估,如综合指数、区位熵、城市流强度等<sup>[6-8]</sup>;轴带的选取主要依托基于交通网的扩散模型、可达性、场强模型等,采用定量与定性相结合的方式综合确定<sup>[9,10]</sup>。其极核与轴线确定的过程也是对点-轴系统特征进行刻画的过程。从理论上来说,点-轴系统理论的实质是关于区域的“最佳结构与最佳发展”的理论,追求的是国土有序化开发指向下社会经济效益的最大化。尽管点-轴系统理论强调了自然地理基础及社会经济发展的差异,但对面状功能指向及其地域功能类型很少涉及,尤其是缺乏国土空间开发保护指向下的粮食生产与生态系统保护的综合分析。有序化的空间组织不仅指要满足区位论等空间结构理论指导下的人类不同生产生活活动的区位选择,也要顾及自然生态系统可持续的要求<sup>[11]</sup>。现实中点、线、面的空间形态是同时存在的,如果考虑将具有功能指向的面状区域纳入点轴-系统理论,形成功能区点-轴结构,本身就极具科学命题价值,在指导面向国土开发与保护双重指向下的国土空间规划工作也极具应用价值<sup>[12,13]</sup>。由于对功能区技术规程理解和执行的差异,各个省(市、区)划定功能区以及确定空间结构采用的指标构成要素以及关键的阈值往往很不一致,且各省(市、区)更多的是考虑自身的条件而较少考虑到省域之间的协调,导致从各个局地看各个省(市、区)的空间结构较为合理、但整体上看国土空间开发保护的结构可能是紊乱或破碎的。以基础的点-轴系统去解析各省(市、区)功能区的空间结构,可以作为衡量国土空间结构是否合理的重要依据。遗憾的是,截止目前还未发现相关的研究成果。

中国主体功能区划作为一张综合展现中国国土空间开发保护的前景图,其实质是由不同功能区按照一定法则有序组织,同时遵循着以点-轴系统为代表开发维度和以粮食生产、生态重要性、脆弱性为主导的保护维度的理论规律。本文以点-轴系统理论为出发,将面状功能区纳入点-轴系统结构,探索主体功能区点-轴结构的科学内涵,以中国主体功能区划一张图为基础,利用GIS空间分析与图形学等方法,识别国家、省级尺度的功能区点-轴结构要素,解析国家与省级尺度的轴线尺度效应,测度不同功能区距离极核、轴线的空间分异,以腾讯迁徙大数据现状联系为佐证衡量全国与省区功能区作用轴线,综合刻画国家与省级层面的主体功能区点-轴结构特征,探究点、轴线、面状功能区之间的作用关系,揭示主体功能区空间有序化的法则,为主体功能的空间降尺度传导与精准实现提供关键参数,同时也为长期尚未破解的中国综合地理区划提供重要的参考。

## 2 理论探索

主体功能区点-轴结构的合理组织需求产生于国土空间的可持续开发与保护,探究极核、轴线、面状功能区之间的耦合机理应该回到主体功能区的本源——也就是可持续的地理格局<sup>[14,15]</sup>。地球表层同时存在着生态系统与社会经济系统两大系统,可持续的地理格局应同时满足自然生态系统服务功能的可持续供给以及社会经济空间组织的有序性。对于任一区域,都具有生态服务功能、人类生产、生活功能等多种功能属性,其本质区别在于生态系统的重要性、脆弱性的不同以及对人类生产生活方式的指向的不同<sup>[16]</sup>。主体功能区是指在全国层面同时满足人类可持续的利用需求以及自然生态系统可持续供给的过程中对县域单元的一种功能定位,这种功能定位是以下三个条件的综合判定结果<sup>[17]</sup>:① 满足点-轴系统有序化的开发方式;② 满足国家层面粮食可持续的供给;③ 满足生态系统服务功能可持续性供给的保护需求。可以说,在重视生态文明建设的历史阶段,条件②和条件③是新时期条件①点-轴系统的补充约束条件,其科学内涵在于从社会、经

济、生态等综合维度去阐释国土空间的有序组织,当三个条件存在冲突时,必将以系统的最优即综合效益的最大化作为判断的唯一标准。

因此,主体功能区点-轴结构的科学内涵包括(图1):从要素构成来看,主体功能区点-轴结构是极核、轴线、面状功能区有序化的集成表达,包括极核的最优等级体系、轴线的最优布局以及不同功能区的最佳组织。从要素之间作用关系来看,除了以往点-轴系统中极核与轴线的关系,还包括面状功能区内部之间及其与极核、轴线的关系,产生面状功能区距离极核、轴线的空间分异特征,由此衍生出距离极核或轴线一定范围内的最优开发与保护功能区比例关系。其中,既包括以点-轴地域开发系统为主导的开发类功能区(城市化地区)之间的相互作用,也存在点-轴地域开发系统与面状保护类区域(农业发展和生态安全地区)之间的相互作用。后者更多表现为保护类区域向点-轴地域开发系统区域提供农产品和生态产品以及劳动力的支撑等。在此基础上,从空间组织产生的效益角度可以说,主体功能区点-轴结构不同于以往以社会经济价值为取向的点-轴系统结构,而是在点-轴开发系统形成过程中顾及到更大系统的粮食与生态安全的条件下将面状保护类区域纳入的综合空间组织方式,以产生或影响的经济效益、社会效益以及生态效益的综合效益为衡量标准。可以说,中国主体功能区划追求的不仅是功能区的最优组织方案,同时也是生态文明建设新时代点-轴系统的最佳组织方案。由于主体功能区规划分为国家及省级两个尺度进行,主体功能区点-轴结构还存在国家-省级的尺度效应<sup>[17]</sup>。

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

(1) 研究数据采用中国主体功能区划方案,来源于2015年樊杰在《地理学报》70卷

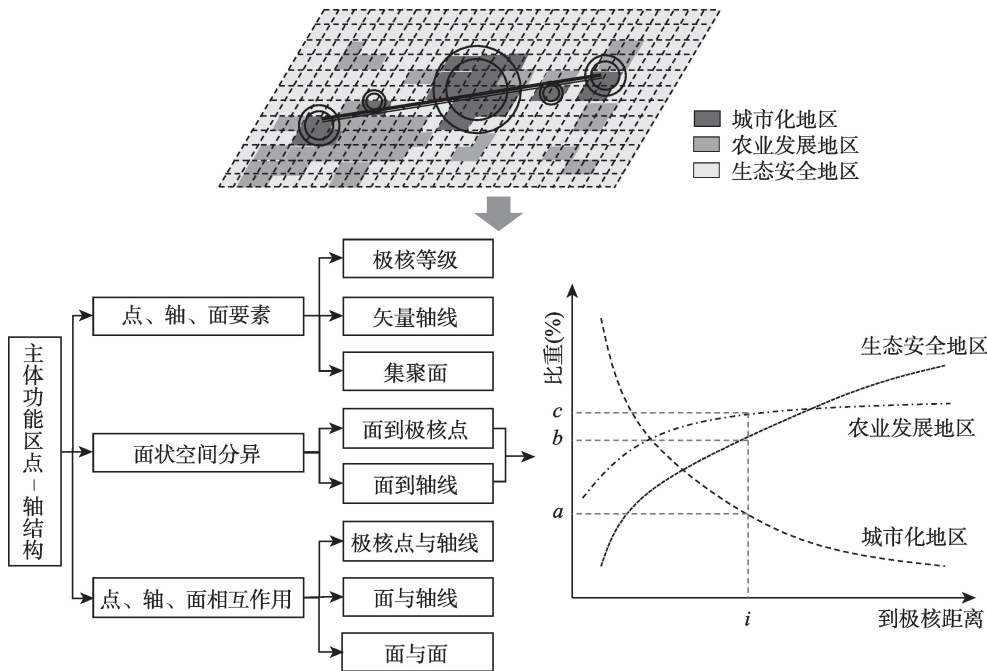


图1 主体功能区点-轴结构科学内涵的要点示意

Fig. 1 Key points of scientific connotation of the Pole-Axis structure of MOFZ

第2期发表的“中国主体功能区划方案”研究论文<sup>[18]</sup>。

(2) 人口与社会经济数据主要来源于2010年各省(市、区)统计年鉴。

### 3.2 研究方法

本文研究方法主要包括以下几个部分:① 主体功能区点-轴要素的识别;② 面状功能区距离极核、轴线空间分异测度;③ 极核、轴线及面状功能区相互作用测度。

(1) 主体功能区点-轴结构要素的识别方法。从主体功能区点-轴结构构成的要素类型来看,其要素识别包括极核等级评估和轴线的识别。考虑到中国城镇体系结构已趋于稳定,采用现状数据对极核等级进行评估。针对每一个城市化功能单元,选取城镇人口、城市化率、人口密度、GDP、人均GDP、第三产业及其比重、建设用地规模以及国土开发强度、城镇和农村的人均收入等指标,采用归一化之后的等权重综合得分方法。轴线的识别,主要依据省域单元内城市化地区的空间分布特征,拟合其城市化地区的误差椭圆,通过确定椭圆的中心 $(\bar{x}_k, \bar{y}_k)$ 、坐标轴的旋转参数 $\theta_k$ 、长短轴的长度,将长轴作为省域的一级轴线<sup>[12]</sup>。其关键公式为:

$$\begin{cases} \tan \theta_k = \frac{A_k + B_k}{C_k} \\ A_k = \sum_{j=1}^{n_k} (x_k(j) - \bar{x}_k)^2 - \sum_{j=1}^{n_k} (y_k(j) - \bar{y}_k)^2 \\ B_k = \sqrt{\left( \sum_{j=1}^{n_k} (x_k(j) - \bar{x}_k)^2 - \sum_{j=1}^{n_k} (y_k(j) - \bar{y}_k)^2 \right)^2 + 4 \left( \sum_{j=1}^{n_k} (x_k(j) - \bar{x}_k)(y_k(j) - \bar{y}_k) \right)^2} \\ C_k = 2 \sum_{j=1}^{n_k} (x_k(j) - \bar{x}_k)(y_k(j) - \bar{y}_k) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $x_k(j)$ 、 $y_k(j)$  分别表示第  $k$  个省域内第  $j$  个城市化功能单元的横、纵坐标。

$$\begin{cases} a_{\max} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_k} [(x_k(j) - \bar{x}_k) \cos \theta - (y_k(j) - \bar{y}_k) \sin \theta]^2}{n_k}} \\ b_{\max} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_k} [(x_k(j) - \bar{x}_k) \sin \theta - (y_k(j) - \bar{y}_k) \cos \theta]^2}{n_k}} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $a_{\max}$  和  $b_{\max}$  分别表示最大椭圆的  $x$  轴和  $y$  轴的轴长;  $n_k$  表示第  $k$  个省域内城市化地区总数。

(2) 面状功能区距离极核、轴线的空间分异测度。主体功能区点-轴结构是对点-轴地域开发系统与保护类功能区的有序组织,这种特征主要体现在不同功能区与距离极核、轴线的空间分异上。面状功能区与极核形成的核心-边缘结构,已在之前文章阐述<sup>[12]</sup>,本文着重解析面状功能区与轴线的空间关系。采用基于轴线的多重缓冲区分析,生成距离轴线的等间距缓冲区;将主体功能区划底图与缓冲区进行空间叠加,统计不同缓冲区内各类功能区的面积或承载的人口及其比重;测度功能区面积或人口比重随距离轴线的变化趋势,并用函数式进行拟合:

$$\begin{cases} y_{ij}(k) = f_i(P_{ij}(k), d_j) \\ p_{ij}(k) = x_{ij}(k) / \sum_{i=1}^m x_{ij}(k) \end{cases} \quad (3)$$



式中:  $x_{ij}(k)$  表示第  $k$  个省域内第  $i$  类功能区类型在第  $j$  个缓冲区内的面积或人口数量;  $p_{ij}(k)$  表示相应的面积或人口比重;  $d_j$  表示到轴线的距离;  $f_i$  表示相应比重的拟合函数;  $m$  表示功能区类型数量。

为了计算不同省域功能区比重距离轴线的变化关系, 采用改进 DTW 算法循环计算各省域之间的相似度, 并基于相似度划分省域主体功能区点-轴结构类型。其关键步骤是利用 DTW 将  $p_{ij}(k)$  和  $p_{ij}(k-1)$  对准, 需要定义一个距离矩阵  $D$ , 其元素为  $d(i, j) = (a_i - b_j)^2$ , 即:

$$D = \begin{bmatrix} d(a_1, b_m) & d(a_2, b_m) & \cdots & d(a_n, b_m) \\ d(a_1, b_{m-1}) & d(a_2, b_{m-1}) & \cdots & d(a_n, b_{m-1}) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d(a_1, b_1) & d(a_2, b_1) & \cdots & d(a_n, b_1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

在距离矩阵  $D$  中, 定义一组连续矩阵元素的集合  $q = q_1, q_2, \cdots, q_k$ , 称之为弯曲路径<sup>[19]</sup>。

(3) 功能区与点-轴结构相互作用测度。省级主体功能区规划提出的发展轴线均以地级市为基本节点, 而主体功能区本身是以区县级行政区为基础单元, 因此首先利用区位熵测度每个地级市的功能优势度:

$$Q_k = \left( f_{ik} / \sum_{i=1}^m f_{ik} \right) / \left( F_{ik} / \sum_{i=1}^m F_{ik} \right) \quad (5)$$

式中:  $Q_k$  为第  $k$  个地级市的区位熵,  $Q_k > 1$ , 则表明该市域由该种功能类型主导;  $f_{ik}$  为该市域内第  $i$  个功能类型的总面积;  $F_{ik}$  为该地级市所在的省域对应该功能类型的总面积;  $m$  为功能类型数量。

考虑到全国主体功能区规划颁布以来中国区域发展的整体格局已趋于稳定, 以地级市为基本单元的人口流动能够在一定程度上表征区域间的相互作用。在此基础上借助于腾讯迁徙大数据, 通过人群流动的热度表征区域间的相互作用强度。腾讯迁徙数据包括迁徙日期、迁入迁出地、迁徙人次、交通方式、迁徙距离等信息, 利用 python、java 等平台, 构建爬虫, 通过不同的访问请求代码得到不同返回值。将收集的数据导入 sqllite 数据库, 利用 sql 语句对各个城市的人口迁移数据进行统计, 并利用 pandas 将统计查询结果输出到 excel 中, 最后利用生成的人口统计文件中的坐标将其空间化, 构建迁入迁出人流网络。为了降低人口迁徙数据阶段性与变异性的影响, 本文利用 2015 年 365 天全年的腾讯迁徙数据, 通过数据清洗, 测算年度平均的综合交通迁徙数据, 能够表征全年相对稳定的人口迁徙特征。

## 4 研究结果

### 4.1 主体功能区点-轴结构要素分析

极核综合评估结果表明, 不同等级极核呈现出显著的空间集聚与空间分异特征, 得分较高的极核集中出现在沿海轴线上, 尤其是沿海轴线与长江、京广轴线的交汇处, 也就是京津冀、长三角、珠三角城市群地区 (图2)。可以说, 等级较高的极核发展成网络分布的高级形态, 成为城市群面状分布的重要基础。极核综合得分并未与国家级优化、省级优化、国家级重点、省级重点的国家整体开发序列的排序保持一致, 原因在于省域中心性在其中发挥重要作用。以中心城市以及周边城市作为城市群的主体形态, 始终是国家 and 各省区空间发展的优先战略选择。对于大多数中西部省份来说, 只存在一个较高等级的极核, 等级相对较高的极核与国家开发轴线具有较好的吻合性。

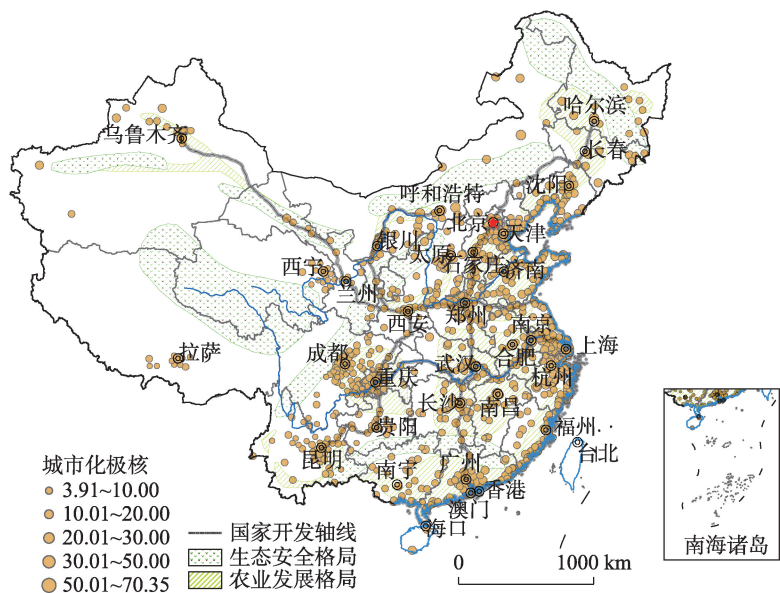


图2 国家主体功能区点-轴结构要素

Fig. 2 The elements of national point-axis of major function zones

注：此图根据国家测绘地理信息局标准底图(审图号：GS(2016)1569号)绘制而成，底图无修改。

通过极核的分布特征识别省域开发的面积、人口和经济加权主轴，可以发现全国3/4的轴线属于纵向轴线，角度位于45~135°，以沿海和中部省份为主（图3）。西部省份开发轴线由于受地形的约束较大，往往沿着大山脉的走向布局，以横轴为主。全国多数省

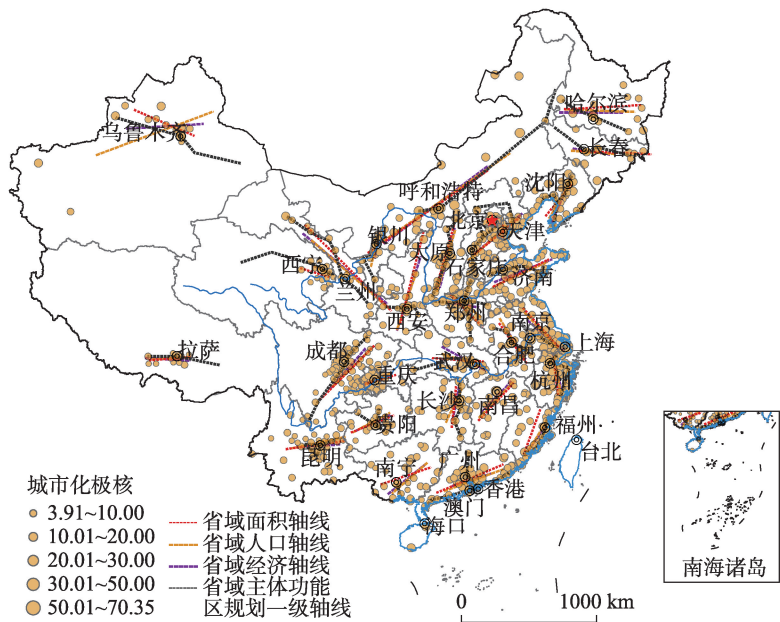


图3 省级主体功能区点-轴结构要素

Fig. 3 The elements of provincial point-axis of major function zones

注：此图根据国家测绘地理信息局标准底图(审图号：GS(2016)1569号)绘制而成，底图无修改。

域功能区面积、人口和经济加权轴线基本吻合, 将近85%的省份三者轴线方向差异在 $5^{\circ}$ 以内。将功能区识别的轴线与省级主体功能区规划轴线进行吻合分析, 可以发现, 西部地区识别轴线的吻合程度整体优于中部和沿海地区, 而沿海地区人口轴线更接近于规划轴线, 不吻合的特征线主要受次级轴线的影 响, 包括新疆、黑龙江、贵州、河南等省份。从不同功能区的空间分布来看, 城市化地区集聚在省级轴线上, 毗邻农业发展地区, 而生态安全地区往往位于边缘区域。可以说, 主体功能区点-轴地域系统开发过程中, 考虑了农产品供给的便利性以及生态安全地区的屏障功能。

将提取的省级轴线与国家级轴线方向进行吻合分析可知: 纵向轴线的吻合程度远远高于横向轴线, 吻合程度最高的依次是包昆通道、沿海、京哈京广, 其中, 包昆通道吻合度达100%; 内陆地区, 尤其是西部地区, 轴线的吻合程度要优于沿海地区, 吻合程度高于80%, 而沿海地区仅为37%。吻合度最差的省份包括黑龙江、吉林等省份, 凸显国家和省级层面面对整体与局部效益最优的博弈。由于长期以来南北向的联系一直是中国主要的联系, 例如, “北煤南运” “南粮北调” 等, 且中国地形呈由沿海向内陆的阶梯状分布, 所以垂直于海岸带的通道难以打造, 而南北向的通道建设则具有比较好的自然条件。由于内陆地区往往受地形约束较为明显, 城市化地区往往沿着山前地带分布, 而东部地区往往交通更加密集, 可供选择的轴线较多。

#### 4.2 功能区与点-轴结构的空 间分异特征

通过研究不同功能区距离国家 “两横三纵” 轴线的变化关系可知 (图4), 距离轴线越远城市化地区比重越低、生态安全地区比重越高是功能区点-轴结构的普遍规律; 以城市化地区、农业发展地区和生态安全地区三者比例关系表达的全国 “两横三纵” 存在这

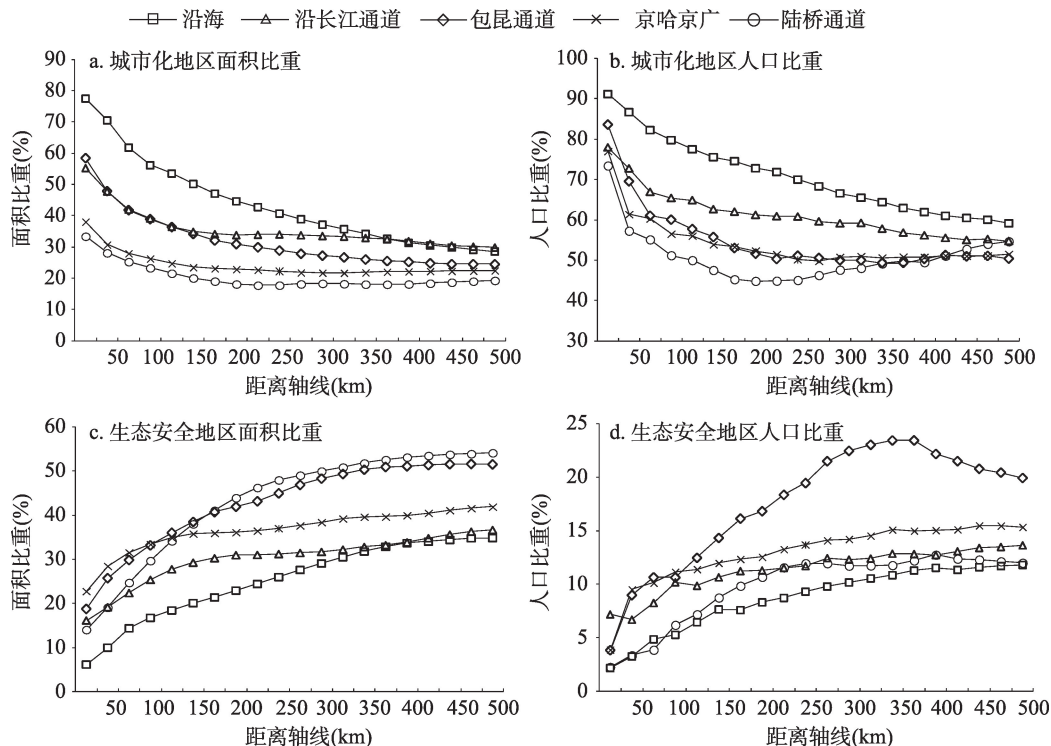


图4 城市化和生态安全地区距离两横三纵的面积与人口比重变化特征

Fig. 4 Characteristics of variation of the area and population proportion of the urbanization and ecological security areas from the "Two-Horizontal Three-Vertical Directions"

样的等级关系：沿海、沿长江通道、包昆通道、京哈京广、陆桥通道等级依次递减，沿海轴线集聚的城市化地区数量最高，轴线的辐射能力最强，几乎是其他轴线的2倍；而其他轴线之间的差异并不显著。功能区点-轴结构还存在这样的特征：轴线等级越高，距离轴线的初始度量距离内城市化比重越高、生态安全比重越低，且相同距离内城市化比重减少的越快。

进一步研究功能区比重距离各省域一级轴线的空间分异，结果如图5所示。显然，随着距离轴线距离的增加，城市化地区比重呈下降趋势、生态安全地区比重呈上升趋势，是所有省域的共同特征。但下降或上升的速率有显著差异，对于大多数东部沿海省份而言，120 km 是其城市化地区比重快速下降的转折点。通过改进的DTW算法对各省域之间曲线的相似性分析可知，部分省份显示出较强的相似性，如西藏和青海、云南和贵州、浙江福建和广东、陕西和甘肃、湖北和河南、湖南和安徽等，这种相似性表现为自然背景以及社会发展阶段共同作用的一致性。基于DTW值对全国省域进行分类，划分为5类区域：类型1为青藏高原地区，在生态不可侵占性的主导下，城市化比重随距离轴线急剧下降，而生态安全比重快速上升；类型2除了河南省以外均为沿海省份，在高度集聚于海岸带的社会经济组织及粮食安全保障需求的主导下，城市化比重在较高比重处均匀下降，相应农业发展地区比重不断提升；类型3包括黑龙江、吉林、内蒙古等三个东北部省区，依赖于其工业城市的建设与发展，点-轴系统开发已经步入成熟阶段，在生态安全与粮食安全保障的共同需求下，城市化地区分布均匀且曲线呈下降趋势最为平缓，斜率仅为类型1的1/4。类型4包括云贵川渝西南四省市以及新疆等地，国家与省级规划轴线较为吻合，是生态系统保护、社会经济组织以及区域相互作用的综合作用结果，城市化比重与斜率仅为类型1的1/2；类型5以中部省份为主，沿长江通道与京哈京广轴线、包昆通道与陆桥通道相交及延伸的若干省份，在社会经济组织及区域相互作用

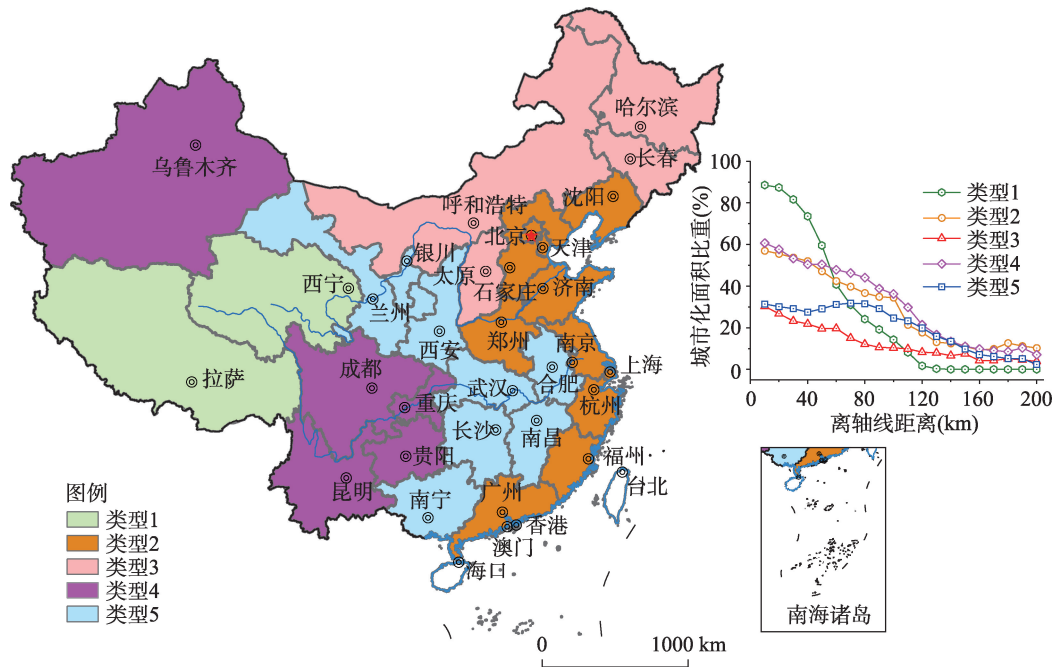


Fig. 5 Provincial type of change in the proportion of major function zones along the axis

注：此图根据国家测绘地理信息局标准底图(审图号：GS(2016)1569号)绘制而成，底图无修改。



主导下,城市化比重在 120 km 以内几乎呈平稳态势,在粮食安全保障的需求下城市化比重处于较低水平。

4.3 功能区与点-轴结构的相互作用

以地级市单元为基础进行区位熵分析可知,城市化主导的地级市单元面积不足全国 1/3,主要贯穿于全国两横三纵的轴线上,以沿海轴线、包昆通道、京哈京广、陆桥通道最为显著,沿长江通道较弱,且整体来看,纵向分布的连续性高于横向轴线,这与开发轴线的总体布局是吻合的。从腾讯迁徙大数据的结构网络可以看出(图6),城市化主导的地级市之间呈现出人口流入流出双向格局,而农业发展地区、生态安全主导区域向点-轴地域开发系统流入较为显著。联系强度最为紧密的是由北京、上海、广(东)深(圳)和成渝为顶点、以武汉为中心的构成的菱形区域。顶点区域正是国家级优化开发区的主要区域,也是极核综合评分最高、最为密集的区域。显然,这个菱形区域是“两横三纵”辐射扩展的叠加区域,也是类型2、类型4和类型5的主要区域。几乎所有的次一级联系强度的节点均位于整个菱形区域,且较为集中分布在“两横三纵”的轴线上。也就是说,城市化地区主导的区域,往往也是空间联系较为紧密的区域,其不同等级串珠状的相互作用构成了国家“两横三纵”的重要基础。

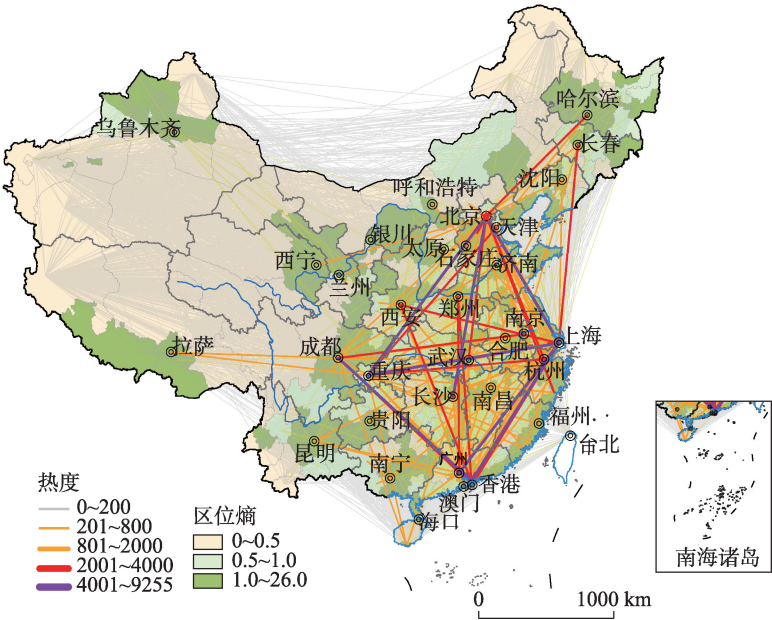


图6 腾讯迁徙大数据表征的全国区域联系与国家规划轴线关系

Fig. 6 Relationship of national regional linkage and national planning axis for the big data representation of the Tencent migration

注: 此图根据国家测绘地理信息局标准底图(审图号: GS(2016)1569号)绘制而成,底图无修改。

进一步分析比较各省域内部大数据表征的功能区相互作用与省级规划一级轴线的关系,如图7所示。结果表明:

- (1) 省域之间区域联系的强度差异较大,不仅体现出东中西三大地带的差异,也体现出与国家级轴线一致性的差异,往往较为吻合的省份空间联系的整体强度越为显著。
- (2) 几乎所有省域内部城市间联系等级最高的轴线,对应等级最高的极核,与省域功能区规划一级轴线极为吻合,不吻合的省份包括黑龙江和吉林省,排名前5和前10的

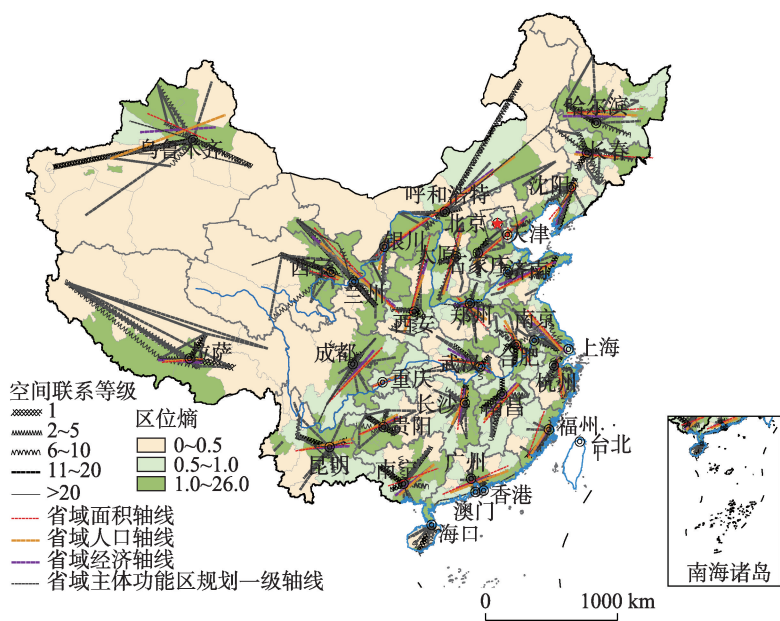


图7 腾讯迁徙大数据表征的省域联系等级与功能区轴线吻合程度

Fig. 7 Consistent degree of the provincial contact level and the axis of the major function zones for the big data representation of the Tencent migration

注：此图根据国家测绘地理信息局标准底图(审图号：GS(2016)1569号)绘制而成，底图无修改。

连线表现出广西省的吻合度最差，新疆、内蒙古和四川省次之。

(3) 相较于规划轴线，功能区提取的人口和经济加权轴线与空间联系等级轴线，类型2吻合程度相对较高，类型4和类型5程度较低，基本上是排名前列的联系的合成向量方向。可以说，在当前城市化格局相对稳定的情况下，开发轴线不应背离现有的区域联系，在自然约束较弱的省份，城市化地区的相互作用在轴线的选取中往往起决定性作用。

5 结论与讨论

本文以点-轴系统以及地域功能理论为基础，以可持续性地理格局为指引，探索主体功能区点-轴结构的科学内涵。以中国主体功能区划为数据基础，识别国家-省级主体功能区点-轴结构要素，测度不同功能区与点-轴结构的空分特征，并以腾讯迁徙大数据为依据，测度不同功能主导区域的相互作用强度，综合刻画国家-省级主体功能区点-轴结构特征。研究结果表明：

(1) 主体功能区划这张图本身就蕴含着点-轴系统结构，城市化地区是极核点的集合，省域中心性决定了开发轴线的布局；从功能区提取的面积、人口和经济加权轴线，与各省主体功能区规划的一级主轴基本吻合，沿海地区人口和GDP的主轴吻合程度要优于面积主轴，不吻合的轴线主要受次级轴线的影

(2) 主体功能区点-轴结构是极核、轴线与面状功能区的集成表达，极核等级决定轴线等级，沿轴线面状功能区分配的比例关系同样可以表征轴线的等级。主体功能区点-轴

结构特征表现为: 随着距离轴线越, 远城市化地区比重越低、生态安全地区越高是功能区点-轴结构的普遍规律; 以城市化地区、农业发展地区和生态安全地区三者比例关系表达的全国两横三纵存在这样的等级关系: 沿海、沿长江通道、包昆通道、京哈京广、陆桥通道等级依次递减, 沿海轴线集聚的城市化地区数量最高, 轴线的辐射能力最强, 几乎是其他轴线的2倍。点-轴结构还存在这样的特征: 轴线等级越高, 距离轴线的初始度量距离内城市化比重越高、生态安全比重越低, 且相同距离内城市化比重减少的越快。

(3) 功能主导的区域空间相互作用在主体功能区点-轴结构的形成过程中发挥重要作用。无论是国家和省级层面, 联系最紧密的区域连线始终与规划轴线重合, 不同功能区的相互作用决定了点-轴的拓扑结构, 这在自然约束较弱、人类活动相对强度的区域更为显著。可以说, 功能区点-轴结构是自然地理环境、人类社会活动空间组织以及不同区域之间相互作用的综合作用结果。其中, 自然地理环境发挥着基础性约束作用, 人类活动导致了主体功能区点-轴结构不断成熟, 不同功能相互作用决定了其拓扑结构。从地域功能视角来看, 由于主体功能区点-轴结构是以点-轴有序化的区域开发模式为基础, 本身就潜在着最佳的经济效益, 其发育过程中又充分顾及了粮食保障以及生态安全的需求, 追求或实现了整体系统综合效益的最大化。

然而, 本文也存在一些局限, 主要体现在未对结构的尺度效应和动态效应进行重点考虑。尺度效应体现在国家与省级尺度的轴线吻合性分析, 本文对吻合状况进行了定量刻画, 但吻合好坏与否取决于国家与省级两个利益主体的博弈, 涉及到整体最优与局部最优效益的协调问题, 以及由此带来的功能区调整, 均需要未来进一步的探索。动态效应体现在, 中国主体功能区划表达的是一张未来的远景图, 就主体功能区点-轴结构本身来说是最终的、静态的、理想的。就不同功能区承载的人口和经济等载体时, 其空间结构的特征是不不断变化的。由于人类社会系统的需求结构、主观认知和生产技术在不断发生变化, 相同地域被赋予的功能在不同发展阶段也可能是不同的。这些因素都在推动着主体功能区及其空间结构不断发生变化, 需要进一步的探索。此外, 本文在阐述极核、轴线、面状功能区之间的作用关系及耦合机理时, 对农业发展地区以及生态安全地区与极核以及轴线的互动关系相对薄弱, 未来需要借助于经济学以及生态学有关理论以及更多技术手段进行深入阐述。

## 参考文献(References)

- [1] 陆大道. 论区域的最佳结构与最佳发展. 地理学报, 2001, 56(2): 127-135. [Lu Dadao. An analysis of spatial structure and optimal regional development. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(2): 127-135.]
- [2] 樊杰. “人地关系地域系统”是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石. 地理学报, 2018, 73(4): 597-607. [Fan Jie. "Territorial System of Human-environment Interaction": A theoretical cornerstone for comprehensive research on formation and evolution of the geographical pattern. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 597-607.]
- [3] 孙东琪, 刘卫东, 陈明星. 点-轴系统理论的提出与在我国实践中的应用. 经济地理, 2016, 36(3): 1-8. [Sun Dongqi, Liu Weidong, Chen Mingxing. Pole-axis system theory and its application in China's practice. Economic Geography, 2016, 36(3): 1-8.]
- [4] 国家发展和改革委员会. 全国及各地区主体功能区规划, 北京: 人民出版社, 2015. [National Development and Reform Commission. National and Regional Major Function Oriented Zoning. Beijing: People's Publishing House, 2015.]
- [5] 苏华, 冯亮. 丝绸之路经济带“点-轴带动”发展模式构想. 学术探索, 2016, (9): 86-92. [Su Hua, Feng Liang. The conception of “point-axis drive” development mode of the Silk-Road economic belt. Academic Exploration, 2016, (9): 86-92.]
- [6] 宋亮凯, 李悦铮, 徐凯. 基于点-轴理论的环渤海地区旅游空间结构研究. 世界地理研究, 2016, 25(03): 99-105. [Song Liangkai, Li Yuezheng, Xu Kai. Research on the tourism space structure of the Bohai Sea Ring Area based on the pole-axis theory. World Regional Studies, 2016, 25(3): 99-105.]
- [7] 秦志琴, 张平宇, 王国霞. 辽宁沿海城市带空间结构演变及优化. 经济地理, 2012, 32(10): 36-41. [Qin Zhiqin, Zhang Pingyu, Wang Guoxia. Evolution of spatial structure in the coastal urban belt in Liaoning. Economic Geography, 2012,

- 32(10): 36-41.]
- [ 8 ] 沈惊宏, 周葆华, 余兆旺. 泛长三角地区城市的空间结构演变. 地理研究, 2016, 35(3): 482-492. [Shen Jinghong, Zhou Baohua, Yu Zhaowang. Evolution of urban spatial structure in the Pan Yangtze River Delta. Geographical Research, 2016, 35(3): 482-492.]
- [ 9 ] 张莉, 陆玉麒. "点-轴系统"的空间分析方法研究: 以长江三角洲为例. 地理学报, 2010, 65(12): 1534-1547. [Zhang Li, Lu Yuqi. Studies on spatial analysis method of the "pole & axis system": A case study of the Yangtze River Delta. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(12): 1534-1547.]
- [10] 冯兴华, 钟业喜, 徐羽, 等. 长江经济带区域空间结构演化研究. 长江流域资源与环境, 2015, 24(10): 1711-1720. [Feng Xinghua, Zhong Yexi, Xu Yu, et al. Evolution of regional spatial structure in the economic belt of Yangtze River. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(10): 1711-1720.]
- [11] Fan Jie, Wang Qiang, Wang Yafei, et al. Assessment of coastal development policy based on simulating a sustainable land-use scenario for Liaoning coastal zone in China. Land Degradation & Development, 2018, 29(8): 2390-2402.
- [12] 王亚飞, 樊杰. 中国主体功能区核心-边缘结构解析. 地理学报, 2018, 74(4): 710-722. [Wang Yafei, Fan Jie. Analysis of the core-periphery structure of major function oriented zones in China. Acta Geographica Sinica, 2018, 74(4): 710-722.]
- [13] 樊杰, 周侃, 孙威等. 人文—经济地理学在生态文明建设中的学科价值与学术创新. 地理科学进展, 2013, 32(2): 147-160. [Fan Jie, Zhou Kan, Sun Wei et al. Scientific values and research innovations of human- economic geography in construction of ecological civilization. Progress in Geography, 2013, 32(2): 147-160.]
- [14] 樊杰. 人地系统可持续过程、格局的前沿探索. 地理学报, 2014, 69(8): 1060-1068. [Fan Jie. Frontier approach of the sustainable process and pattern of human-environment system. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(8): 1060-1068.]
- [15] 王亚飞, 郭锐, 樊杰. 中国城市化、农业发展、生态安全和自然岸线格局的空间解析, 中国科学院院刊, 2016, 31(1): 59-69. [Wang Yafei, Guo Rui, Fan Jie. Analysis on spatial development structure of pattern of urbanization, agricultural development, ecological security, and natural coastline in China. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(1): 59-69.]
- [16] 樊杰. 我国主体功能区划的科学基础. 地理学报, 2007, 62(4): 339-350. [Fan Jie. The scientific foundation of major function oriented zoning in China. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(4): 339-350.]
- [17] Fan Jie, Wang Yafei, Wang Chuansheng, et al. Reshaping the sustainable geographical pattern: A major function zoning model and its applications in China. Earths Future, 2019, 7(1): 25-42.
- [18] 樊杰. 中国主体功能区划方案. 地理学报, 2015, 70(2): 186-201. [Fan Jie. Draft of major function oriented zoning of China. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2): 186-201.]
- [19] Cheng Liang, Wang Yafei, Zhong Lishan, et al. Technical framework of feature extraction based on pixel-level SAR image time series. Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2015, 8(4): 1665-1681.



## Spatial analysis of national-provincial pole-axis structure based on major function zoning in China

WANG Yafei<sup>1,2</sup>, FAN Jie<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** As the basic system of national spatial development and protection in China, the spatial structure of the major function zoning in China is an important constrain index for various levels of spatial planning and the key parameters for the precise landing of the major function zoning. In this paper, the planar function zones are brought into the structure of the point-axis system, and the scientific connotation of the point-axis structure of the major function zones is explored. This study aims to explore the major function zoning of China at the national and provincial levels from three aspects: the elements of the point-axis structure of the major function zones, the spatial differentiation between the function zones and the point-axis structure and the interaction between the function zones and the point-axis structure. The results show that: (1) the map of major function zoning in China contains the point-axis system structure. The urbanization zones is a collection of polar cores of different grades and the development axis is determined by the level and spatial distribution of polar cores; (2) the point-axis region development system, the agricultural development and ecological security zones show the characteristic of layer structure, the farther away the axis is, the lower the proportion of urbanization zones is and the higher the proportion of ecological security zones is, and the point-axis structure is constrained by the demand of food security and ecological security; (3) whether at the national or provincial levels, the most closely connected regional linkages is basically consistent with the development axis, and the interaction between the dominant regions with higher level of urbanization function in different levels determines the topological structure of the point-axis of the major function zones, which is more obvious in the region with the weak natural constraints and the relatively strong human activities. The results of this paper are helpful to scientifically cognize the scientific connotation and spatial organization law of the major function zoning, and provide the key indexes and parameters for the spatial planning and downscaling landing of the major function zones and also provide an important reference for the comprehensive geographical regionalization of China.

**Keywords:** major function zoning; pole-axis system; territorial function; spatial structure; population migration big data; spatial analysis