

中国城市知识创新职能空间分异及其影响因素

于英杰^{1,2}, 吕拉昌^{1,3}

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200062;
3. 北京城市创新与发展研究中心, 北京 100048)

摘要: 知识创新是城市创新职能的重要组成部分和现代城市发展的重要基础。本文结合知识创新的多学科研究内容, 从城市地理学城市职能的视角, 构建了城市知识创新职能的测度框架并分析其空间格局及影响因素。结论如下: ① 城市知识创新职能是以内在知识存量和外在实践条件为基础, 以满足人类新时代生存和发展需求, 在知识创造、知识传播及知识应用过程中所承担的任务和所起的作用, 测度维度包括职能规模、职能强度、职能尺度和职能活力; ② 中国城市知识创新职能发展水平不均衡, 知识创新职能突出的城市主要集中在东部沿海及中西部少数发达地区, 形成以京津、长三角、珠三角、陕成渝和中部武汉合肥为四顶点和中心的菱形知识创新结构, 根据 Jenks 自然断点法划分为国家级、区域级、地区级和知识创新发展型城市; ③ 城市知识创新职能空间分异特征同时受人文环境、自然环境各因素共同影响, 其中经济环境、对外开放环境和文化环境与其他因子交互解释力最强, 是影响城市知识创新职能发展的主导因素。未来中国应全方位提升城市的知识创新职能, 充分考虑城市自身知识经济发展的现状及特点, 制定适合城市知识经济发展的政策与措施, 强化人文社会因素在城市知识创新职能建设中的主导地位。

关键词: 知识创新职能; 职能规模; 职能强度; 职能活力; 职能尺度; 影响因素

DOI: 10.11821/dlxb202302004

1 引言

城市职能是城市在一定地域内的经济、社会发展中所发挥的作用和承担的分工, 是城市对城市本身以外的区域在经济、政治、文化等方面所起的作用^[1]。随着时代变迁, 城市职能已从生产制造职能、管理协调职能转向创新职能^[2]。城市作为知识创新资源密集和知识转移交流的中心, 以知识为重要战略资源形成的创新职能在国家或区域经济发展中承担重要任务^[3-5]。知识创新是经济增长的原动力, 也是推动区域发展的基本动力^[6-7], 知识创新职能作为城市创新职能的重要组成部分和发展基础, 不仅承担着知识创新的任务还影响着城市其他创新职能的发展。因此, 探讨中国城市知识创新职能的空间分异、分析影响城市知识创新职能发展的区域差异因素, 对精准打造知识创新城市、制定中国城市知识创新发展战略有重要的参考价值。

近些年来, 知识创新成为经济学、管理学、地理学等学科研究的热点领域, 其中经济学、管理学集中在对知识创新内涵的理解^[8], 从知识创造、知识传播和知识应用等方面

收稿日期: 2022-08-15; 修订日期: 2023-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971201) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41971201]

作者简介: 于英杰(1996-), 女, 山东威海人, 博士生, 研究方向为科技创新与区域发展。E-mail: 3309138577@qq.com

通讯作者: 吕拉昌(1963-), 男, 陕西宝鸡人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为城市地理、创新地理与区域发展。

E-mail: lachanglu@163.com

评价区域知识创新能力^[9-11], 地理学侧重从创新环境等方面分析区域知识创新水平的差异性及影响因素^[12-14]、基于专利合作探究城市群知识创新的空间结构^[15]、借用专利分析城市创新能力的空间格局和影响因素^[16]。学者们虽然对城市知识创新空间格局研究取得了一些进展, 但多以专利进行测度, 根据经济学和管理学对知识创新的理解, 城市知识创新是一个从知识创造、知识传播到知识应用的复杂过程, 专利只是知识创造的产物且并非所有专利都能转化为经济价值, 不足以全面刻画城市知识创新职能及空间格局特征。

随着国家创新驱动战略的实施, 各城市集聚多样化人才等创新资源, 较多的创新合作伙伴、面对面的交流机会以及高度的工作流动性促进知识传递和创新产生, 创新也成为城市最为主要的职能并引起城市空间体系的重构^[2, 17]。学者也以各行业的论文和专利分别测度北京市不同行业的创新职能指数和专门化指数^[18], 基于基本职能和非基本职能, 采用区位商等方法, 对北京和上海的科技创新职能进行比较研究^[19]; 利用城市创新流强度分析广东省城市创新职能^[20]。知识创新职能是城市创新职能的重要组成部分和形成基础^[21-22], 学者从知识的丰富度、知识获取和知识产出构建出7项指标, 基于层次分析法赋予权重得出城市知识创新职能得分^[22], 由于考虑的维度仍然较少且测度方法未准确按照城市职能的测度方法进行计算, 也难以精确反映城市的知识创新职能。

城市职能形成和发展的因素也随着城市人类活动发生了重大的变化。在城市形成初期, 地形、气候、水文、土壤、资源、生态环境等自然因素和人口因素是影响城市职能形成的基础^[23-24]。随着社会不断进步, 城市也在逐渐适应社会生产力变革而承担不同的职能, 人文因素对职能的影响力明显增强, 技术、交通、信息化、全球化、政府等人文环境成为城市职能演变的重要因素^[1, 25], 尤其是信息技术通过影响城市的经济、社会、文化、管理体制、基础设施等方面直接或间接地影响城市职能^[26]。虽然有学者提出城市职能演变主要受城市自身内在性因素和外来驱动性因素多个要素综合影响^[27-28], 但缺少对现代城市职能的相关实证分析, 少数学者对城市管理职能、研发职能、知识密集型职能专业化水平的因素进行定量分析^[23, 29], 但指标选取不全面, 且目前还未涉及城市知识创新职能的因素分析。在创新时代背景下, 需要更进一步研究影响城市知识创新职能的因素, 有利于培育城市创新职能的发展。

综上所述, 知识创新职能已成为城市创新职能形成和发展的重要基础, 但还没有系统的分析和测度知识创新职能。本文基于中国182个地级及以上城市, 结合管理学和经济学的知识创新和地理学的城市职能研究成果, 构建了城市知识创新职能的研究框架, 建立一套城市知识创新职能的测度方法, 采用空间自相关分析方法探讨中国城市知识创新职能的空间格局, 并使用地理探测器分析影响城市知识创新职能空间差异化的因素, 为中国知识创新型城市建设及优化国家创新发展格局提供参考, 也丰富城市职能和知识创新的理论研究。

2 城市知识创新职能及测度框架

美国学者 Amidon 首次提出知识创新的概念, 认为知识创新是以国家经济正常运转和企业健康发展为目标, 创造、演化、交换和应用新思想并使其转变成市场化的产品和服务^[30]。Drucker 认为知识创新是赋予知识资源以新的创造财富能力的行为^[31], 国内学者认为狭义的知识创新是指基础研究的创新, 广义的知识创新指新知识的创造、传播和应用与实践并开发出新产品实现其经济价值的全过程^[32-33], 这些过程不是线性关系, 而是链环过程和反馈模式, 每个阶段都离不开其他阶段的参与^[34]。城市是人口的集中地, 也是知

识的主要生产、传播与应用之地,其知识创新主要通过3种形式实现:①通过研究和发展(R&D)活动进行知识创新,人才、企业和科研机构是城市知识创新至关重要的主体^[35-36];②创新主体在知识的生产、传播、交换和应用过程中发生的知识创新^[37-38];③企业将新知识引入经济用途促进知识转化^[39]。根据城市职能和知识创新的涵义,本文认为城市知识创新职能是以内在知识存量和外在实践条件为基础,以满足人类新时代生存和发展需求而在知识创造、知识传播及知识应用过程中所承担的任务和所起的作用。内在的知识存量包括城市自身的知识规模和通过外部实践条件不断创造的新知识^[40],外在实践条件涉及各类创新主体的创造能力、吸收传播能力、应用能力以及城市为其提供的创新环境^[41]。

对城市职能的测度,周一星系统提出“城市职能三要素”包括专业化部门、职能规模和职能强度^[42],张复明等认为专业化部门对单个城市来说是某一行业与其他行业比较中的地位标识,若某部门的专业化水平越高,则职能强度就越大,因此专业化部门无法与职能强度并列^[43]。城市经济活动的影响具有空间性,为城市以外地区服务的职能为基本职能,为城市本身地区服务的职能为非基本职能,因此城市职能也具有职能尺度特征^[43-44]。本文从不同侧面综合衡量城市知识创新职能,职能规模是知识创新的基础,表现在城市知识量的积累,职能强度是知识创新专业化水平的测度,职能尺度是城市知识创新在空间上的影响力,职能活力是城市在知识创新过程中表现的积极性和行动力。

职能规模:职能规模是城市职能的量态特征,不同职能组分的职能规模测度标准不同^[43]。知识创新职能规模主要取决于城市知识储备量,知识分为显性知识和隐性知识,论文和专利属于编码知识可反映城市的显性知识存量。隐性知识源于经验体验,倾向于高度本地化,空间距离在隐性知识传播过程中起着重要作用^[45]。溢出效应认为地理邻近更有利于面对面的非正式交流,当知识密集型的地理事物越集中分布越有利于隐性知识的产生^[46],知识密集型服务业在知识创新的传播过程中至关重要,且知识密集型服务业比知识密集型制造业需要和产生更多的隐性知识^[47-48]。

职能强度:指职能地域的中心地所保持的中心职能的强度,随着距中心地逐渐变远中心性逐渐减弱。城市知识创新专业化水平越高,知识创新职能强度就越高。国内外学者多使用区位商或专业化指数来分析职能强度,取得了较好的效果^[28, 49]。由于各城市的人口密度和经济发展水平各不相同,仅以知识密集型产业的就业人数或产值来衡量城市知识创新职能强度存在一定偏差性,对于城市的部分知识产业来说,市场或劳动力的吸引力略大于知识或技术的吸引力,因此也可按人口平均的产值即集中系数来衡量知识创新职能强度^[50]。

职能尺度:城市知识创新活动的影响具有空间性,随着地理距离的增加影响力逐渐减弱。在空间影响上包括:①为城市本身以外的其他地区提供知识生产及创新服务的活动;②为城市自身所提供知识生产及与创新服务相关的活动^[45]。城市知识创新的影响力主要通过两种方式实现,一种是通过论文和专利进行知识扩散,根据中心地理论思想在职能上体现于中心性程度^[19],当中心地的商品和服务有剩余,而中心地周围区域不足时,中心地商品和服务的剩余部分就用于补充周围区域的不足部分^[51],另一种是通过产业进行知识转移。本文主要针对这两种知识传播方式进行知识创新职能尺度测算。

职能活力:学者将城市活力定义为城市对其自身功能、经济社会等不同资源与发展要素的支持程度,在一定程度上体现城市发展的能力和潜力^[52]。城市知识创新职能活力是该类职能对城市知识创新活动的支持程度及推动其持续健康发展的潜力,在知识创新的整个过程中表现为知识创造的活力、知识更新的速度以及知识应用的水平,三者共同决定知识创新的活力。知识创造的活力是城市对知识发现、知识学习和知识创造的支持

程度，提供必要的人力、财力和物力支持会激发其创造的活力^[53]。有活力的重要标准之一是城市的知识不断更新变化，知识更新速度是城市内部知识创新主体对原有知识的吸收、转移和加工后创造出新知识的速度^[54]。知识创新的最终实现形式是知识转化成产品并投放市场获得相应利润，知识应用能力越高越能促进知识转化，知识密集型产业产值是知识应用的重要体现^[55]。据上所述，建立城市知识创新职能与测度的理论分析框架（图1）。

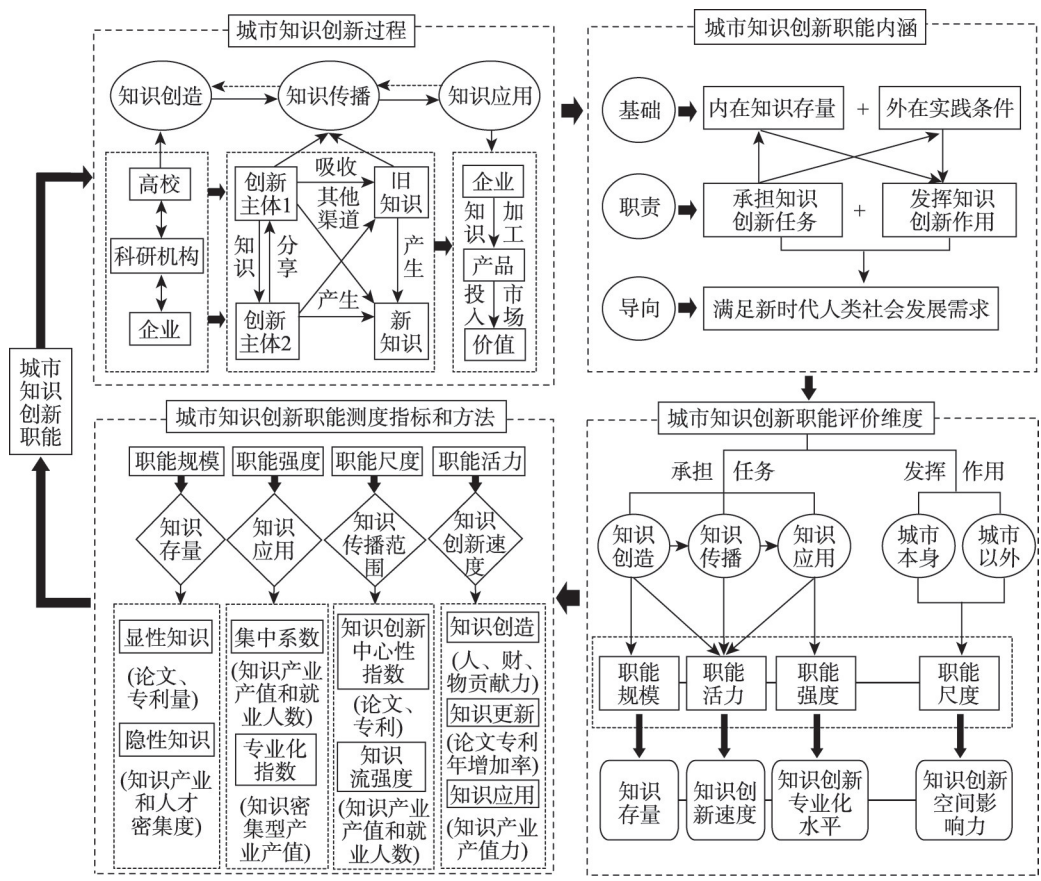


图1 城市知识创新职能及测度框架

Fig. 1 Urban knowledge innovation function and measurement framework

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

由于中国部分城市缺乏相关统计数据，因此本文只选取182个地级及以上城市为研究区域，其中包括一线、新一线、二线城市全部（49个），三线城市55个，四线城市53个，五线城市25个^[56]。其中东部、中部、西部分别有87个、66个、29个。根据2020年国家创新型城市创新能力评价报告的前72名城市，样本城市包括64个^[57]。样本城市大部分是中国经济发展水平较高和人口规模较大的城市，小部分是经济发展水平较低的城市。多类型、多层次、多区域的样本城市，基本可反映中国整体的知识创新职能水平、层阶与空间格局。

本文选取2015—2019年的5年数据的平均值综合分析城市知识创新职能及影响因素，其中知识密集型服务业细分行业的产值数据，由于大部分城市缺少2018年和2019年数据，因此只选取2015—2017年3年数据的平均值来衡量各城市的知识密集型服务业产值状况。论文发表数据来源于中国知网（CNKI），专利申请授权数据来源于国家专利信息服务平台，知识密集型服务业企业数据来自企查查，PM_{2.5}数据来源华盛顿大学圣路易斯分校网站（<https://sites.wustl.edu/acag/datasets/surface-pm2-5/>），根据Global/Regional Estimates（V5.GL.02）计算出国内各城市PM_{2.5}数据（单位：μg/m³），其他数据均来源于中国各城市统计年鉴和《中国城市统计年鉴》。根据经济合作与发展组织（OECD）、中国国家统计局和相关学者关于知识密集型产业的定义和分类^[58-59]，以《国民经济行业分类（GB/T4754-2017）》为标准，共选取13类行业表征知识密集型产业，借鉴前人测度的知识密集度结果，利用AHP层次分析法计算知识密集型产业各类行业的权重系数^[60]（表1）。

表1 知识密集型产业的行业范围及权重系数
Tab. 1 Industrial scope and weight coefficient of knowledge intensive industry

知识密集型制造业	权重系数	知识密集型服务业	权重系数
C26 化学原料及化学品制造业	0.031	I 信息传输、软件和信息技术服务业	0.122
C27 医药制造业	0.015	J 金融业	0.192
C34 通用设备制造业	0.031	L 租赁和商务服务业	0.045
C35 专用设备制造业	0.032	M 科学研究和技术服务业	0.312
C36 汽车制造业	0.049		
C37 铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业	0.049		
C38 电气机械和器材制造业	0.037		
C39 计算机、通信和其他电子设备制造业	0.073		
C40 仪器仪表制造业	0.009		

3.2 研究方法

3.2.1 城市知识创新职能的测度方法

（1）职能规模的评价方法。本文采用某城市的“论文发表数”和“专利申请数”与样本城市论文和专利平均数的比值来衡量该城市的显性知识存量（X₁），通过知识密集型服务业企业数与城市建成区（不包括居住区）面积的比值表示知识密集型服务业的密集度，用某城市的知识密集型服务业就业人数乘以知识密集型服务业密集度与样本城市该指标平均值的比值表示城市隐性知识存量（X₂）。知识存量（X）计算公式为：

$$X_1 = \frac{m_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i}, \quad X_2 = \frac{m_j}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_j}, \quad m_j = P_j \times \frac{E_j}{S_j}$$
$$X = X_1 + X_2$$

(1)

式中：X₁为*i*地区显性知识存量；*n*为样本城市的个数；*m_i*为*i*地区论文发表数和专利申请数；X₂为*i*地区隐性知识存量；*m_j*为*i*地区知识密集型服务业就业人数与知识密集型服务业企业密集度的乘积，*P_j*为知识密集型服务业就业人数，*E_j*为*i*地区知识密集型服务业企业数；*S_j*为*i*城市建成区面积（不包括居住区面积）；*X*为*i*城市知识总存量，即知识创新职能规模。

（2）职能强度的评价方法：

$$CC_{ij} = \frac{Q_{ij}}{P_i} \bigg/ \frac{Q_j}{P}$$

(2)

式中: CC_{ij} 为 i 城市 j 产业的集中系数; j 为知识密集型产业; Q_{ij} 为 i 城市 j 产业的产值; P_i 为 i 地区的人口; Q_j 为样本城市 j 产业总产值; P 为样本城市总人口数。如果系数大于 1, 说明该产业比较集中。

$$R_{ij} = \frac{m_{ij}}{m} \bigg/ \frac{M_{ij}}{M} \quad (3)$$

式中: R_{ij} 为 i 城市 j 产业的专业化指数; j 为知识密集型产业; m_{ij} 为 i 城市 j 产业的产值; m 为 i 城市所有产业总产值; M_{ij} 为样本城市 j 产业总产值; M 为样本城市所有产业总产值。专业化指数大于 1, 则认为该产业是地区的专业化部门。

(3) 职能尺度的评价方法。胡晓辉等借鉴克里斯塔勒的中心地理论思想测度城市科技创新活动的对外服务影响力, 以此来确定城市科技活动的中心性程度与等级^[50]。本文采用专利授权量和论文发表量表示知识创新活动的产出情况进行知识创新中心性指数的计算, 以此来确定城市知识创新活动的中心性程度与等级, 公式为^[19, 50]:

$$Y_i = [X_i - \text{mean}(X)] / \sigma, \quad \text{mean}(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [X_i - \text{mean}(X)]^2} \quad (4)$$

式中: X_i 为 i 城市的专利授权量和论文发表量; $\text{mean}(X)$ 为样本城市的专利授权量和论文发表量的平均值; σ 为标准差; Y_i 代表 i 城知识创新活动的中心性指数, 若值大于 1, 说明具备一定的全国地位, 值越大, 说明城市知识创新的对外服务能力越强。

城市知识流强度是指一城市在区域城市体系中向其他城市输出的知识流量, 它表征的是该城市对外知识服务能力的强弱^[61]。本文以知识密集型产业的就业人数和产值来衡量知识流强度大小, 公式为:

$$F = N_{ij} \times E_{ij} \quad (5)$$

式中: F 为城市知识流强度; N_{ij} 为城市知识功能效益, 即一城市单位外向服务功能量所产生的实际影响; E_{ij} 为城市外向知识服务功能量。

借助区位商的原理, 可以计算出城市的知识密集型产业部门从业人员的基本部分, 即城市的外向知识服务功能量。设 i 城市 j 部门从业人员的区位商为 R_{ij} :

$$R_{ij} = \frac{m_{ij}}{m} \bigg/ \frac{M_{ij}}{M} \quad (6)$$

式中: j 为知识密集型产业; m_{ij} 为 i 城市 j 产业的就业人数; m 为 i 城市所有产业就业总人数; M_{ij} 为样本城市 j 产业总就业人数; M 为样本城市所有产业总就业人数。区位商 $R_{ij} > 1$, 则认为 i 城市 j 部门存在外向服务功能, 因为 i 城市的总从业人员中分配给 j 部门的比例超过全国的分配比例, 该部门可为城市以外区域提供服务^[62]。

E_{ij} 表示 i 城市 j 部门的外向服务功能量, 它可定义为 j 部门从业人员中的基本活动部分, 即 i 城市 j 部门中具有对外服务能力的人数。当 $R_{ij} > 1$ 时, 则有:

$$E_{ij} = G_{ij} - G_i(G_j/G) = G_{ij}(1 - 1/R_{ij}) \quad (7)$$

式中: G_{ij} 为 i 城市 j 部门从业人员数量; G_i 为 i 城市从业人员数量; G_j 为样本城市 j 部门从业人员数量; G 为样本城市总从业人员数量。

N_{ij} 表示 i 城市 j 部门的外向服务功能效率, 这里用 i 城市 j 部门从业人员的人均 GDP 来表征, 则有:

$$N_{ij} = GDP_{ij} / G_{ij} \quad (8)$$

式中: GDP_{ij} 表示 i 城市 j 部门的国内生产总值。

F_i 为 i 城市全部具有对外知识创新能力产业部门的知识流强度, 则有:

$$F_i = \sum_{j=1}^n N_{ij} E_{ij} \tag{9}$$

(4) 职能活力的评价方法。知识创造活力离不开人、财、物的支持，R&D人员数、在校大学生和教师数是知识创造的重要主体，科研财政支出额和R&D经费内部支出额是支撑科学研究的主要经费来源^[54]，信息技术促使企业以更高的效率和更低的成本来获取更多的知识等创新资源，选择互联网宽带接入端口表示知识创新的物力支持^[55]。公式为：

$$O = \frac{f_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ij}} + \frac{p_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}} + \frac{h_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{ij}} \tag{10}$$

式中： O 为知识创造能力指数； n 为样本城市数量； f_{ij} 为*i*城研究与试验发展（R&D）人员数、在校大学生和教师数； p_{ij} 为*i*城科研财政支出额和研究与试验发展（R&D）经费内部支出额； h_{ij} 为*i*城互联网宽带接入端口数。

新知识往往以论文和专利形式产生，因此选取论文和专利每年增加量来衡量知识更新速率。公式为：

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_{i+1} - x_i)m}{X_{i+1} - X_i} \tag{11}$$

式中： V 为知识更新速率值； x_i 为该城市最近第*i*年的论文发表量和专利产出量； X_i 为样本城市最近第*i*年论文总发表量和专利总产出量； m 为样本城市数量； n 为年数。 $V=1$ ，表示该城市知识更新速度等于样本城市平均更新速度； $V>1$ ，表示该城市知识更新速度超过样本城市平均更新速度； $V<1$ ，表示该城市知识更新速度低于样本城市平均更新速度。

本文从两个路径综合衡量城市的知识应用能力，一是从城市路径考虑本城市与其他城市的比值，分析本城市的知识应用能力在全国的地位如何，二是从行业路径考虑本城市知识密集型产业产值与其他所有产业产值的比值，分析本城市的知识应用能力在城市内部的地位如何。公式为：

$$G_1 = \frac{g_i}{g}, \quad G_2 = \frac{p_i}{p}, \quad G = G_1 + G_2 \tag{12}$$

式中： G 为知识应用能力指数； g_i 为*i*市的知识密集型产业产值； g 为该城市该产业总产值； G_1 为该城市该产业与所有样本城市该产业产值的比值； p_i 为*i*市知识密集型产业产值； p 为该城市所有产业总产值； G_2 为该城市知识产业与城市内所有产业总产值的比值。

借用熵值法计算出上述8种方法的权重系数（表2），按照线性加权综合方法求得各基本层（八大方法）的得分，以基本层得分为基础，计算出各基本层对于目标层（职能

表2 城市知识创新职能评价指标权重赋值
Tab. 2 Evaluation index weight assignment of urban knowledge innovation function

目标层	权重	基本层	权重
职能规模	0.237	显性知识存量(X_1)	0.637
		隐性知识存量(X_2)	0.363
职能强度	0.247	知识密集型产业集中系数(CC_{ij})	0.562
		知识创新职能专业化指数(R_{ij})	0.438
职能尺度	0.265	知识创新中心性指数(Y_i)	0.582
		知识流强度(F)	0.418
职能活力	0.251	知识创造能力指数(O)	0.304
		知识更新速率值(V)	0.349
		知识应用能力指数(G)	0.348

规模、职能活力、职能强度和职能尺度)的权重系数,得到目标层的得分,最后得到每个城市知识创新职能的综合得分。

$$S_i = \sum_{j=1}^m W_j \times Z_{ij} \quad (13)$$

式中: S_i 表示城市 i 的知识创新职能总分时, Z_{ij} 是通过线性加权算出的目标层指标得分, W_j 表示目标层指标权重;而 S_i 为某一基本层指标分值时, Z_{ij} 是基本层数据,此时 W_j 为各类职能测度方法相对于所属基本层的权重; m 为指标数量。

3.2.2 空间自相关

空间自相关分析是研究空间单元观测值是否与其相邻单元的观测值存在相关性的一种分析方法,是空间单元观测值聚集程度的一种度量^[63]。全局空间自相关分析能够描述城市知识创新职能的整体空间分布状态及其显著性,常用 Moran's I 来进行衡量,其取值为 $[-1, 1]$, 大于 0 表示各城市间存在空间正相关,值越大,空间单元间的联系越紧密,小于 0 表示整体分布呈负相关,绝对值越大,空间差异性越大,等于 0 表示不存在空间自相关性,观测对象在空间上随机分布。为进一步识别异常值,采用局部空间自相关(LISA)度量每个空间单元之间的关联程度,识别各城市与其他城市知识创新的空间溢出特征。

3.2.3 地理探测器 地理探测器模型是探测空间分异性以及揭示其背后驱动因子的一种统计学方法,其中因子探测可较好地表达同一区域内的相似性、不同区域之间的差异性,交互作用探测可以识别不同影响因子之间的交互作用^[64]。城市职能的形成和演进是由多因素共同影响下的结果,故该方法适用于本文探测城市知识创新职能差异化发展的影响因素。因子探测器可以检测各潜在影响因子是否是城市知识创新职能发展的影响因素,用 q 值度量。交互作用探测器通过与单一因子的 q 值进行比较来说明交互作用的强弱及类型(表 3)。 q 值计算公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{m=1}^n N_m \sigma_m^2}{N \sigma^2} \quad (14)$$

式中: q 为各影响因素对城市知识创新职能的解释力大小探测指标; $m = 1, 2, \dots, n$; n 为变量 Y 或因子 X 的分层,即分类或分区; N_m 和 N 为层 m 和所有样本城市数量;按照自然断点将各自变量自大到小分为 7 类,转化为类型变量。 σ_m^2 和 σ^2 为 m 层和所有样本城市 Y 值的离散方差。 q 的取值范围为 $[0, 1]$, q 值越大,说明该影响因素对城市知识创新职能的解释力越强。

表 3 地理探测器交互作用类型及判别依据

Tab. 3 Interaction types and discrimination basis of geographic detectors

交互作用类型	判别依据
双因子增强	$q(X_1 \cap X_2) > \text{Max}[q(X_1), q(X_2)]$
非线性增强	$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$
非线性减弱	$q(X_1 \cap X_2) < \text{Min}[q(X_1), q(X_2)]$
单因子非线性减弱	$\text{Min}[q(X_1), q(X_2)] < q(X_1 \cap X_2) < \text{Max}[q(X_1), q(X_2)]$
独立	$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$

4 中国城市知识创新职能测度与空间特征

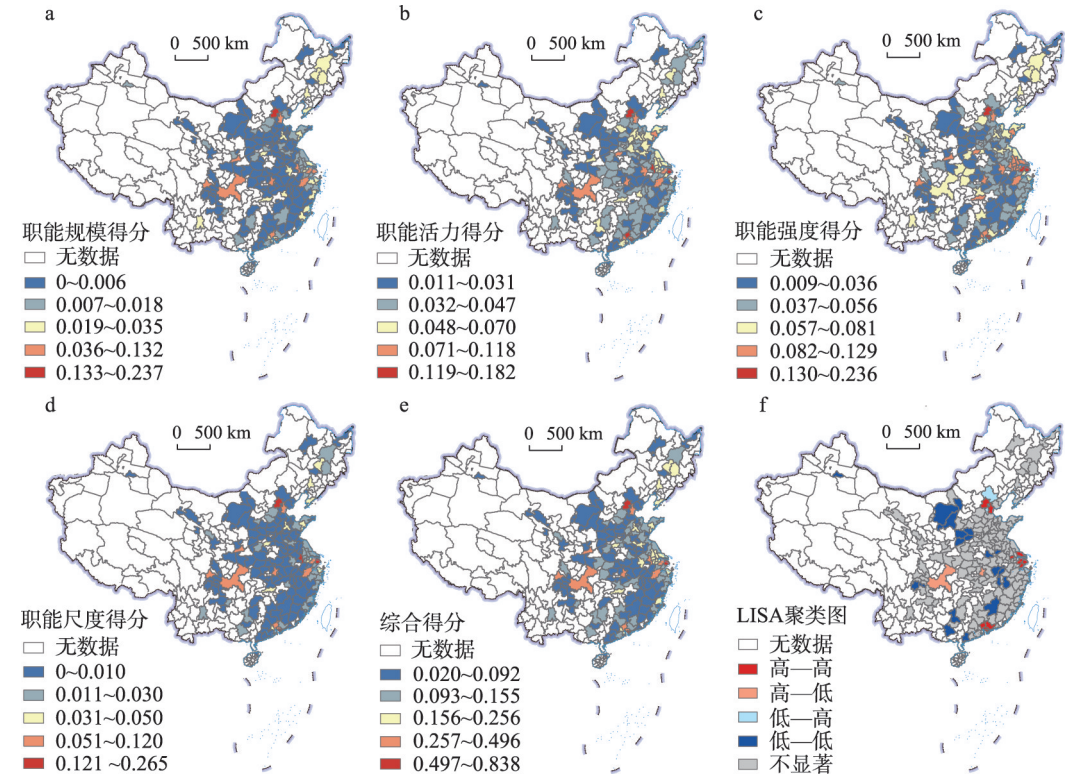
4.1 知识创新职能规模

中国城市知识创新职能规模分值相差较大,各城市的知识拥有量分布不均,知识存量高度集中于少数发达城市,空间上主要集中在东部沿海的京津、长三角、珠三角和中

西部少数发达地区，形成以北京、上海为核心，深圳、广州、成都、南京、杭州、天津、苏州、重庆、武汉、西安、郑州、长沙和宁波为次核心的发展格局（表4、图2）。北京的知识存量远高于全国其他城市，高于样本平均分（0.012）的城市多为省会中心城市或次中心城市，大部分城市的隐性知识存量低于显性知识存量，且隐性知识存量的差距要大于显性知识存量。

表4 前10名城市知识创新职能各指标得分及综合得分

Tab. 4 Scores of indexes and comprehensive scores of knowledge innovation functions in the top 10 cities														
城市	显性知识存量	隐性知识存量	产业集聚系数	专业化指数	知识创新中心指数	知识流强度	知识创造	知识更新	知识应用	职能规模得分	职能强度得分	职能活力得分	职能尺度得分	综合得分
北京	28.435	47.707	6.683	1.750	7.710	11734818	24.222	8.097	1.645	0.237	0.187	0.265	0.150	0.838
深圳	13.986	11.874	11.753	1.588	2.934	10444050	14.173	25.153	2.162	0.095	0.236	0.164	0.182	0.678
上海	18.152	19.773	4.969	1.425	4.640	7730270	21.297	11.214	2.068	0.132	0.145	0.170	0.160	0.607
南京	12.057	3.200	3.521	1.295	3.034	9791998	10.222	5.807	3.653	0.069	0.119	0.159	0.148	0.496
广州	14.092	11.472	4.239	1.316	3.393	2909989	15.207	18.936	1.460	0.095	0.129	0.101	0.149	0.475
苏州	9.520	2.674	4.443	1.393	1.906	7820685	9.841	2.227	2.229	0.055	0.137	0.120	0.101	0.412
东莞	5.462	0.319	6.662	1.180	0.767	5386130	5.845	10.816	2.400	0.029	0.149	0.075	0.118	0.372
天津	9.903	2.665	3.028	1.289	2.231	2492951	12.402	4.008	0.676	0.057	0.113	0.076	0.076	0.321
成都	10.956	12.456	1.595	1.254	2.572	467761	13.064	0.535	1.275	0.080	0.094	0.063	0.082	0.319
杭州	9.008	5.328	3.319	1.269	1.902	1638348	9.771	2.432	1.307	0.057	0.115	0.061	0.078	0.312



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2016)2936号的标准地图制作，底图边界无修改。

图2 中国城市知识创新职能的空间分布格局

Fig. 2 Spatial distribution pattern of urban knowledge innovation function

4.2 知识创新职能强度

中国城市知识创新职能强度样本平均值(0.051)高于职能规模、职能活力和职能尺度,在空间分布上具有大集中、小分散的空间特征(表4、图2)。东部地区高值区呈现出以京津、长三角和珠三角地区为核心的三足鼎立局面,其中珠三角城市群为高密度核心区,京津和长三角地区为次密度核心区。中西部地区高值区分布较为分散,但武汉、成都等发达城市尤为突出,其他地区的知识创新职能强度较低。虽然最高值和较高值区域在空间分布范围上较职能规模、职能活力和职能尺度无明显扩大范围,但中西部地区的最低值区域面积显著缩小。

4.3 知识创新职能尺度

中国城市知识创新职能尺度高值区域和低值区域在空间分布上两极分化严重,城市之间对外知识创新服务能力差距显著(表4、图2)。高值区呈现出明显的点状分布,其中东部的京津、长三角和珠三角为三个核密度最高的点团,中西部的成都、重庆、西安、武汉为次核心地区,是城市在超越腹地尺度范围所承担的高度专业化知识创新分工。低值区在中西部地区呈现出明显的面状分布特征,是城市维持自身正常运转和满足知识创新发展的基本需要。以论文和专利测度的知识创新中心性指数和以产业测度的知识流强度结果差距较大,中国绝大部分城市是依附产业形式对外产生知识创新服务。

4.4 知识创新职能活力

中国知识创新职能活力较高的城市主要分布在东部沿海的京津、长三角和珠三角地区及沿江分布的中西部少数发达城市,形成以深圳、广州、北京、上海和武汉为大三角形的活力格局,具有大集中、小分散的空间特征(表4、图2)。整体活力重心偏向秦岭淮河以南,深圳、广州、上海和北京(0.119~0.182)属于全国知识创新职能高活力的城市,武汉、南京、东莞、青岛、天津、郑州、重庆、佛山、成都、苏州、杭州和合肥(0.071~0.118)属于知识创新职能较高活力的城市,高于样本平均值(0.043)的城市共有71个,中国城市的知识基础虽然较为薄弱但知识创新的整体积极性较高。

总体来看,中国知识创新职能综合得分较高的城市主要集中在东部沿海地区和中西部的少数省会中心城市,其中京津、长三角和珠三角地区是高值分集聚地,在空间上形成以京津、长三角、珠三角、陕成渝和中部武汉合肥为四顶点和中心的菱形结构,构成中国稳固的五大知识圈。为进一步判断城市知识创新职能的空间分布特征,基于全局Moran's I 分析城市知识创新职能的空间集聚特征。结果显示全局Moran's I 为0.212,且 Z 值为4.205, P 值为0.005即通过显著性检验,具有统计学意义,表明中国城市知识创新职能在地理空间上的总体分布并不是随机分散的,而是呈现出显著的空间聚集特征。基于邻接关系权重矩阵下形成的局部空间自相关(LISA)特征,主要表现为高一高与低—低集聚特征,京津及长三角、珠三角地区高一高集聚的态势较为明显,重庆与邻近城市之间呈现出显著的高—低集聚的空间格局,中部少数城市呈现出低—低集聚的空间格局。

根据Jenks自然断点法将全部样本城市划分4个等级,城市知识创新职能等级自下而上逐渐增高。北京、深圳、上海无论从知识创新职能的规模、活力、强度还是尺度都处于中国的前列,可划分为国家级知识创新中心城市。南京、广州、苏州等19个城市分值虽低于第一等级的城市,但其自身具备一定的知识创新基础和优势条件,能够对周边区域产生一定影响力,可归为区域级知识创新中心城市。排在第三等级的包括沈阳、常州、珠海等34个城市,知识创新职能综合得分较低,但均在平均分0.122分以上,对地区仅有一定的知识创新影响力,可定义为地区知识创新中心城市。对于排在第四等级的城市,知识创新能力均低于平均水平,这些城市一般依赖于全国或区域知识创新中心的

知识扩散，受周边区域知识创新活动的影响而进行创新，知识创新条件正在形成，可称之为知识创新发展型城市（表5）。“塔顶”城市的发展主要得益于创新要素投入和国家政策的强力支持，如直辖市、省会城市等，“塔身”城市主要依托知识密集型产业集群发展，如长三角城市群的嘉兴、徐州、扬州等，珠三角城市群中的珠海、中山和江门，京津冀城市群的石家庄、保定，共同构成相对稳定的金字塔形结构。

表5 中国182个城市知识创新职能等级类型
Tab. 5 Types of knowledge innovation functions in 182 cities in China

等级体系	特征描述	得分范围	城市
第一等级	国家知识创新中心城市(I)	[0.5, 1)	北京、深圳、上海
第二等级	区域知识创新中心城市(II)	[0.20, 0.50)	南京、广州、苏州、东莞、天津、成都、杭州、西安、武汉、重庆、郑州、佛山、长沙、青岛、无锡、合肥、长春、宁波、厦门
第三等级	地区知识创新中心城市(III)	[0.12, 0.20)	沈阳、常州、珠海、济南、大连、中山、扬州、泰州、南通、镇江、吉林、福州、徐州、潍坊、南昌、太原、嘉兴、哈尔滨、昆明、盐城、烟台、江门、石家庄、惠州、温州、威海、贵阳、襄阳、保定、东营、泉州、洛阳、南宁
第四等级	知识创新发展型城市(IV)	[0, 0.12)	宜昌、连云港、十堰、聊城、金华、邵阳、吉安、清远、绵阳、秦皇岛、滁州、邢台、河源、景德镇、赣州、台州、南阳、桂林、绍兴、淄博、德州、新乡、肇庆、濮阳、宁德、信阳、汕头、安庆、岳阳、湖州、汕尾、荆州、梅州、咸宁、柳州、兰州、孝感、上饶、郴州、丽水、西宁、淮安、济宁、安阳、云浮、乌鲁木齐、邢台、沧州、宿迁、漳州、衢州、滨州、宣城、马鞍山、菏泽、毕节、晋中、遂宁、三明、廊坊、眉山、安康、佳木斯、阜阳、运城、亳州、邯郸、南平、银川、临沂、黄冈、承德、衡水、开封、乐山、自贡、九江、阳江、泸州、齐齐哈尔、定西、荆门、龙岩、韶关、宜宾、安顺、呼和浩特、唐山、内江、泰安、临汾、资阳、海口、石嘴山、淮北、蚌埠、平顶山、长治、宿州、莆田、枣庄、咸阳、茂名、黄石、晋城、吕梁、铜陵、张掖、黄山、汉中、四平、商丘、淮南、盘锦、来宾、六安、抚州、三门峡、日照、铜川、鹰潭、随州、包头、池州、鄂尔多斯、新余、榆林、嘉峪关。

5 中国城市知识创新职能空间特征的影响因素分析

随着时代进步和社会发展，城市职能演变中的自然因素影响力逐渐弱于社会因素，城市经济水平、产业结构、政府政策、人口类别等成为城市职能演变主要影响因素^[23, 28]。知识创新时代，知识密集型劳动者和产业的区位选择或流动是城市知识创新职能形成和发展的关键因素。创新人才的成长环境和创新企业、高校的发展环境影响主体知识创造、知识更新、知识应用能力发挥进而影响城市知识创新职能的形成和发展^[65-66]。

城市舒适性通过吸引人才来此定居和就业间接推动城市创新发展，舒适性的城市环境包括自然和人文两大方面，高素质人才对城市自然环境的追求更体现在健康养生的生态环境，包括绿化环境和空气质量^[67]。在人文环境上，城市基础设施包括促进知识创造和知识传播的信息基础设施和交通基础设施是知识创新的必要条件；医疗环境和社会保障是城市为居民提供身体和心理层面的安全感，医疗环境包括城市的医院数量、医师质量及医院环境的舒适性，养老保险、医疗保险和失业保险是对创新人才的生活保障^[67]。政府政策和产业环境不仅影响劳动者的迁移和流动，同时也影响企业产业结构调整 and 产业集聚^[68]。区域文化中关于对冒险的精神、对机会的把握、对创新的追求等文化观念影响人的价值观和行为动机，动态上表现为人的创造力过程^[41, 69]。经济发展水平差异影响

各城市知识创新能力与知识流动，经济水平高的城市承受知识合作与知识创新交易成本的能力更强，本文选择人均地区生产总值、金融机构的各项存贷款余额表示城市对知识创新企业的资金支持。经济开放的城市通过嵌入全球生产网络参与国际分工，影响城市内部生产要素的流动和资源配置^[31]，交通和信息网络通达度高可以有效地降低知识流动的不确定性以及知识创新合作的交易成本^[70]，本文对外开放度选取外商直接投资表示城市对外经济开放水平，用公路和航空客运量表示城市对外联系度。借助熵值法计算出城市创新职能影响因素各指标的权重（表6），依据各权重系数计算出各城市各要素层的得分。

5.1 因子探测

本文将城市知识创新职能综合得分作为因变量，2015年到2019年各影响因子得分均值作为自变量，采用自然断点法对自变量进行分层，将数值量转化为类型量进行因子探测，得出各变量对城市知识创新职能的影响程度（表7）。以显著性检验 $p < 0.01$ 为条件， $q > 0.1$ 为判别影响程度显著的标准，则影响城市知识创新职能发展的主导因子为自然环境、文化环境、基础设施、医疗环境、社会保障、经济环境、产业环境、开放环境和政策环境，对应的 q 值分别为0.116、0.637、0.561、0.534、0.436、0.436、0.257、0.593和0.344。文化环境、对外开放度、基础设施环境和医疗环境相较其他主导因子是影响城市知识创新职能发展的重要因子，社会保障环境、经济环境和政策环境对城市知识创新职

表6 城市知识创新职能影响因素各指标的权重
Tab. 6 Weight of each index of influencing factors of urban knowledge innovation function

目标层	要素层	指标层	权重	功效性
城市知识 创新职能 影响因素	自然环境(NAT)	X_1 每万人所占绿地面积(hm^2)	0.411	正向指标
		X_2 $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.589	负向指标
	文化环境(CUL)	X_3 每万拥有公共图书馆藏书量(万册)	0.234	正向指标
		X_4 每万人拥有博物馆数(个)	0.263	正向指标
		X_5 中小学教师数(人)	0.289	正向指标
		X_6 普通高等学校数(个)	0.214	正向指标
	基础设施(INF)	X_7 每万人拥有公共汽(电)车营运车辆数(辆)	0.324	正向指标
		X_8 每万人拥有出租车营运车辆数(辆)	0.315	正向指标
		X_9 每万人接入互联网端口数(个)	0.361	正向指标
	医疗环境(MED)	X_{10} 医院数(个)	0.329	正向指标
		X_{11} 每万人拥有医院床位数(张)	0.340	正向指标
		X_{12} 每万人拥有执业(助理)医师数(人)	0.331	正向指标
	社会保障环境(SOC)	X_{13} 每万人参与城镇职工基本养老保险人数(人)	0.362	正向指标
		X_{14} 每万人参与城镇职工基本医疗保险人数(人)	0.338	正向指标
		X_{15} 每万人参与失业保险人数(人)	0.300	正向指标
	经济环境(ECO)	X_{16} 人均地区生产总值(元)	0.429	正向指标
		X_{17} 年末金融机构人民币各项存款余额(万元)	0.276	正向指标
		X_{18} 年末金融机构人民币各项贷款余额(万元)	0.295	正向指标
	产业环境(IND)	X_{19} 第三产业占地区生产总值的比重(%)	0.505	正向指标
		X_{20} 第三产业就业人数占地区总就业人数比重(%)	0.495	正向指标
	对外开放度(OPE)	X_{21} 外商直接投资金额(万美元)	0.347	正向指标
		X_{22} 公路客运量(万人)	0.478	正向指标
		X_{23} 民用航空客运量(万人)	0.175	正向指标
	政策环境(POL)	X_{24} 科技财政支出占总支出的比重(%)	1	正向指标

表7 因子探测器结果
Tab. 7 Factor detector results

影响因子	<i>NAT</i>	<i>CUL</i>	<i>INF</i>	<i>MED</i>	<i>SOC</i>	<i>ECO</i>	<i>IND</i>	<i>OPE</i>	<i>POL</i>
<i>q</i>	0.116	0.637	0.561	0.534	0.436	0.436	0.257	0.593	0.344
<i>p</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

能的解释力较高, 自然环境相比其他因子对城市知识创新职能的影响较弱, 表明在创新时代, 人文社会因素对城市知识创新职能的影响占据主导地位。

5.2 交互探测

单因子分析能够探测出对城市知识创新职能空间差异具有显著影响的单因子及其影响方式, 交互作用探测器却可以通过识别不同因子间对城市知识创新职能发展的交互作用, 分析是否会增加或减弱对因变量的解释力, 或这些因子对城市知识创新职能的影响是否相互独立。结果表明(表8), 双因子交互作用对城市知识创新职能的解释力均比单因子作用强, 交互作用类型以双因子增强为主, 自然环境(*NAT*)多表现为非线性增强。这表明城市知识创新职能空间分异特征并非由单一因素或单类因素所控制, 而是同时受到人文环境各因素共同影响。其中经济环境(*ECO*)和对外开放环境(*OPE*)与其他因子交互作用的影响最强, 其次是文化环境(*CUL*)与其他因子交互作用也具有较大影响, 表明城市的经济基础、开放包容性和文化氛围对知识创新的贡献力最大, 是城市知识创新职能形成和发展的基础。对外开放环境(*OPE*)和经济环境(*ECO*)的交互解释力度最大为0.845, 其次是文化环境(*CUL*)、医疗环境(*MED*)、自然环境(*NAT*)和经济环境(*ECO*)的交互解释力度也较大分别为0.832、0.808、0.770, 自然环境(*NAT*)与产业环境(*IND*)交互作用时对城市知识创新职能影响解释力一般, 表明在知识创新时代, 自然环境只有与人文社会环境结合才能有效吸引人才移居和企业区位选择, 进而促进知识创新活动产生。社会保障(*SOC*)与对外开放环境(*OPE*)交互作用对城市知识创新职能的影响也较大为0.812, 政策环境(*POL*)与基础设施环境(*INF*)的交互作用远大于自身影响力, 解释力度为0.807, 表明政府政策制定要倾向于知识创新的物质条件才能极大推动城市知识创新发展。产业环境(*IND*)与文化环境(*CUL*)的非线性交互作用对城市知识创新职能的影响解释力达0.730, 也远大于自身单独的解释力(0.257), 说明产学研合作更有助于实现知识信息的创造、加工、传播和应用的有机整合, 共同进行知识的创新与转移等知识活动。

表8 交互作用探测结果解释
Tab. 8 Interaction detection results

	<i>NAT</i>	<i>CUL</i>	<i>INF</i>	<i>MED</i>	<i>SOC</i>	<i>ECO</i>	<i>IND</i>	<i>OPE</i>	<i>POL</i>
<i>NAT</i>	0.116								
<i>CUL</i>	0.768*	0.637							
<i>INF</i>	0.698*	0.750*	0.561						
<i>MED</i>	0.742*	0.747*	0.671*	0.534					
<i>SOC</i>	0.658*	0.800*	0.681*	0.659*	0.436				
<i>ECO</i>	0.770*	0.832*	0.762*	0.808*	0.730*	0.436			
<i>IND</i>	0.341*	0.730*	0.689*	0.695*	0.520*	0.708*	0.257		
<i>OPE</i>	0.706*	0.762*	0.798*	0.771*	0.812*	0.845*	0.700*	0.593	
<i>POL</i>	0.586*	0.798*	0.807*	0.737*	0.660*	0.749*	0.510*	0.743*	0.344

注: *表示非线性增强, +表示双因子增强。

6 结论与讨论

6.1 结论

知识创新职能是城市创新职能的重要组成部分和发展基础,本文结合经济学、管理学的知识创新研究,从城市地理学城市职能视角出发,建立了城市知识创新职能研究框架,从职能规模、职能强度、职能尺度和职能活力四大维度构建城市知识创新职能测度框架,对中国182个城市的知识创新职能进行实证分析,同时采用空间自相关分析方法探讨中国城市知识创新职能的空间格局,并借用地理探测器分析其影响因素,丰富了城市创新职能的研究内容和研究方法。结论如下:

(1) 城市知识创新职能是以内在知识存量 and 外在实践条件为基础,以满足人类新时代表生存和发展需求,在知识创造、知识传播及知识应用过程中所承担的任务和所起的作用。职能规模是知识创新的基础,表现在城市知识总量的多少,职能强度是知识创新专业化水平的测度,职能尺度是城市知识创新在空间上的影响力,职能活力是城市在知识创新过程中表现的积极性和行动力,这四大维度可综合反映城市的知识创新职能水平。

(2) 中国的城市知识创新职能水平发展不均衡,知识创新职能规模、职能强度、职能尺度和职能活力较高的主要分布在东部沿海及中西部少数发达地区,形成以京津、长三角、珠三角、陕成渝和中部武汉合肥为四顶点和中心的菱形知识创新结构,具有大集中、小分散的空间分布特点。根据 Jenks 自然断点法将全部样本城市划分4个等级,北京、深圳、上海为国家级知识创新中心城市,南京、广州等19个城市归为区域级知识创新中心城市,沈阳、常州等34个城市为地区知识创新中心城市,宜昌等126个城市知识创新条件正在形成,归为知识创新发展型城市。

(3) 影响城市知识创新职能发展的主导因子为自然环境、文化环境、基础设施、医疗环境、社会保障、经济环境、产业环境、开放环境和政策环境,其中人文社会因素对城市知识创新职能的影响占据主导地位,文化环境、对外开放环境、基础设施环境和医疗环境相较其他主导因子是影响城市知识创新职能发展的重要因子,自然环境相比其他因子对城市知识创新职能的影响较弱。双因子交互作用显示城市知识创新职能空间分异特征是同时受到人文环境各因素共同影响,其中经济环境和对外开放环境与其他因子交互作用的影响最强,其次是文化环境与其他因子交互作用也具有较大影响,而自然环境只有与人文社会环境结合才能有效吸引人才移居和企业区位选择,进而促进知识创新活动产生。

6.2 讨论

根据上述研究结论,在知识经济时代培育与发展城市的创新职能是城市获得竞争力的重要动力来源,主要的政策建议是:① 应全方位提升城市知识创新职能,不仅关注城市的知识规模,也要关注城市知识创新的强度、活力及对外影响力。城市要从人才和企业的成长和发展需求出发营造符合创新主体发展的知识创新环境,科学配置创新资源,激发创新主体的创造活力,在一些领域形成较强知识专业化及优势,强化知识的中心化指数,形成较强的知识辐射力。② 城市要根据知识经济发展的时代要求,充分考虑城市自身知识经济发展的现状及特点,制定适合本城市知识经济发展的政策与措施。国家级知识中心城市要努力成为全球、全国的知识创新策源地,建设全球科技创新中心,带动国家科技发展、影响全球科技发展。区域级的知识创新城市要在一些知识领域形成优势与影响力,推动产学研内部及内外部之间知识创新过程的紧密结合,通过合理布局产学研区位和政策激励,打造知识创新产业区;对于地区级的知识创新城市及知识创新发展

型城市,根据各地的市场需求和经济发展环境,建立不同创新主体主导的知识创新网络,努力建成知识输入“管道”及环境,促进地区知识吸收率的提升,充分发挥知识创新的溢出效应,既要加强对外创新联系的数量,也要重视对外创新合作的模式,将集群内部的本地扩散和城市之间的管道扩散相结合,构建城市间协同治理机制降低创新要素跨区域流动的地理距离限制和制度壁垒,拓宽知识创新职能尺度。在空间上应以京津、长三角、珠三角、陕成渝和中部武汉合肥五大知识创新圈为核心引领,带动周边地区知识创新中心城市协调发展。③要加强知识创新职能主导因素的建设与完善。强化人文社会因素在城市知识创新职能建设的主导地位,加强城市文化环境、对外开放环境、基础设施环境和医疗环境等建设,形成较好的企业与人才的宜居地,促进知识活动的产生。知识创新职能的理论研究和实践建设尚处于起步和探索阶段,对知识创新职能进行评价并建立科学、合理的评价指标体系更是当前乃至未来相当长一段时期内研究的热点、难点问题。在今后的研究中还需进一步修正城市知识创新职能评价体系,将不同职能类别如劳动密集型产业、自然资源密集型行业等同时纳入评价指标体系,加入职能结构维度全面分析城市知识创新职能。

参考文献(References)

- [1] Wang Jianjun, Xu Xueqiang. The review and preview of urban function evolution. *Human Geography*, 2004, 19(3): 12-16. [王建军, 许学强. 城市职能演变的回顾与展望. *人文地理*, 2004, 19(3): 12-16.]
- [2] Lyu Lachang, Li Yongjie, Liu Yihua. Urban innovation function and innovational spatial urban system. *Economic Geography*, 2009, 29(5): 710-713, 751. [吕拉昌, 李永洁, 刘毅华. 城市创新职能与创新城市空间体系. *经济地理*, 2009, 29(5): 710-713, 751.]
- [3] Pancholi S, Yigitcanlar T, Guaralda M. Urban knowledge and innovation spaces: Concepts, conditions and contexts. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 2014, 8(1): 15-38.
- [4] Carrillo F J, Yigitcanlar T, García B, et al. *Knowledge and the City: Concepts, Applications and Trends of Knowledge-Based Urban Development*. London: Routledge, 2014.
- [5] Yigitcanlar T, Bulu M. Dubaization of Istanbul: Insights from the knowledge-based urban development journey of an emerging local economy. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2015, 47(1): 89-107.
- [6] Zhang Yongqing. Knowledge economy and the new development of economic geography. *Economic Geography*, 1999, 19(6): 18-22. [张永庆. 知识经济与经济地理学的新发展. *经济地理*, 1999, 19(6): 18-22.]
- [7] Wang Yuming. Knowledge economy and regional geography innovation. *World Regional Studies*, 2001, 10(3): 8-14. [汪宇明. 知识经济与区域地理创新. *世界地理研究*, 2001, 10(3): 8-14.]
- [8] Yan Shuangsheng. On the connotations and their relationship of knowledge creation and knowledge innovation. *Studies in Science of Science*, 2010, 28(8): 1148-1152. [晏双生. 知识创造与知识创新的涵义及其关系论. *科学学研究*, 2010, 28(8): 1148-1152.]
- [9] Jiang Chunlin. Study on knowledge ability of university and measurement indicators. *Journal of Liaoning Technical University (Social Science Edition)*, 2007, 9(6): 612-614. [姜春林. 大学知识能力及其测度指标体系初探. *辽宁工程技术大学学报(社会科学版)*, 2007, 9(6): 612-614.]
- [10] Malerba F, McKelvey M. Knowledge intensive innovative entrepreneurship. *Foundations and Trends in Entrepreneurship*, 2019, 14(6): 555-681.
- [11] de Zubielqui G C, Lindsay N, Lindsay W, et al. Knowledge quality, innovation and firm performance: A study of knowledge transfer in SMEs. *Small Business Economics*, 2019, 53(1): 145-164.
- [12] Meng Xiaochen, Li Jieping. The research on knowledge innovation and regional economic disparities in China. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(4): 79-81, 96. [孟晓晨, 李捷萍. 中国区域知识创新能力与区域发展差异研究. *地理学与国土研究*, 2002, 18(4): 79-81, 96.]
- [13] Hu Shuhong, Du Debin, You Xiaojun, et al. Spatial-temporal evolution analysis on knowledge innovation performance of universities in China's "growth triangle regions". *Economic Geography*, 2014, 34(10): 15-22. [胡曙虹, 杜德斌, 游小珺, 等. 中国“成长三角”区域高校知识创新绩效的时空演化分析. *经济地理*, 2014, 34(10): 15-22.]
- [14] Bathelt H, Malmberg A, Maskell P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge

- creation. *Progress in Human Geography*, 2004, 28(1): 31-56.
- [15] Zhou Can, Zeng Gang, Cao Xianzhong. Chinese inter-city innovation networks structure and city innovation capability. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1297-1308. [周灿, 曾刚, 曹贤忠. 中国城市创新网络结构与创新能力研究. *地理研究*, 2017, 36(7): 1297-1308.]
- [16] He Shunhui, Du Debin, Jiao Meiqi, et al. Spatial-temporal characteristics of urban innovation capability and impact factors analysis in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(7): 1014-1022. [何舜辉, 杜德斌, 焦美琪, 等. 中国地级以上城市创新能力的时空格局演变及影响因素分析. *地理科学*, 2017, 37(7): 1014-1022.]
- [17] Lyu Lachang, Li Yong. A research on Chinese renovation urban system based on urban renovation function. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(2): 177-190. [吕拉昌, 李勇. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系. *地理学报*, 2010, 65(2): 177-190.]
- [18] Lyu Lachang, He Ai, Huang Ru. Beijing's urban innovational function based on knowledge output. *Geographical Research*, 2014, 33(10): 1817-1824. [吕拉昌, 何爱, 黄茹. 基于知识产出的北京城市创新职能. *地理研究*, 2014, 33(10): 1817-1824.]
- [19] Zhang Hong. Comparison of S&T innovative function development of Beijing and Shanghai [D]. Shanghai: East China Normal University, 2012. [张虹. 北京与上海科技创新功能发展对比研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.]
- [20] Hu Haipeng, Lyu Lachang, Huang Ru, et al. Urban innovation system and function in Guangdong Province in the perspective of flow of urban innovation. *Urban Development Studies*, 2015, 22(6): 71-76. [胡海鹏, 吕拉昌, 黄茹, 等. 基于创新流视角的广东省城市创新体系与职能. *城市发展研究*, 2015, 22(6): 71-76.]
- [21] Zeng Chunshui, Lin Mingshui, Zhan Dongsheng, et al. A review of research on the characteristics and formation mechanism of urban functions. *Progress in Geography*, 2021, 40(11): 1956-1969. [曾春水, 林明水, 湛东升, 等. 城市职能特征及其形成机理研究进展与展望. *地理科学进展*, 2021, 40(11): 1956-1969.]
- [22] Sun Li. Comparative study on development force in underdeveloped areas of Guangdong [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2013. [孙莉. 广州与深圳城市创新职能比较研究[D]. 广州: 广州大学, 2013.]
- [23] Liu Dexue, He Hui. Analysis on influencing factors of functional specialization in PRD city group. *Industrial Economic Review*, 2015, 6(5): 56-64. [刘德学, 何晖. 珠三角城市群内部职能专业化的影响因素分析. *产经评论*, 2015, 6(5): 56-64.]
- [24] Zeng Chunshui, Ke Wenqian, Wu Shidai, et al. The evolution mechanism of urban function in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Urban Development Studies*, 2020, 27(9): 72-81. [曾春水, 柯文前, 伍世代, 等. 京津冀城市群城市职能演变机理. *城市发展研究*, 2020, 27(9): 72-81.]
- [25] Yang Yongchun, Zhao Pengjun. The study on the functional classification of valley-cities in the western China. *Economic Geography*, 2000, 20(6): 61-64. [杨永春, 赵鹏军. 中国西部河谷型城市职能分类初探. *经济地理*, 2000, 20(6): 61-64.]
- [26] Yan Xiaopei, Zhou Suhong. The influence of information technology on urban functions. *City Planning Review*, 2003, 27(8): 15-18. [阎小培, 周素红. 信息技术对城市职能的影响: 兼论信息化下广州城市职能转变与城市发展政策应对. *城市规划*, 2003, 27(8): 15-18.]
- [27] Fang Yuanping, Peng Ting, Lu Lianxin, et al. Characteristics and influencing factors of urban function evolution in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 2019, 39(5): 647-660. [方远平, 彭婷, 陆莲芯, 等. 粤港澳大湾区城市职能演变特征与影响因素. *热带地理*, 2019, 39(5): 647-660.]
- [28] Hu Yiping, Meng Yiwei, Ding Zhiwei, et al. Study on the evolution and influencing factors of urban functional structure in Zhongyuan urban agglomeration. *Journal of Henan University (Natural Science)*, 2021, 51(4): 423-436. [胡益平, 孟怡伟, 丁志伟, 等. 中原城市群城市体系职能结构的演化与影响因素分析. *河南大学学报(自然科学版)*, 2021, 51(4): 423-436.]
- [29] Liu Weitao, He Hui, Lin Yaopeng, et al. Formation mechanism and influencing factors of the specialized division of labor in urban functions: An empirical test based on the urban agglomeration of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Journal of Commercial Economics*, 2020, 37(15): 145-149. [刘帷韬, 何晖, 林瑶鹏, 等. 城市职能专业化分工形成机制及影响因素: 基于粤港澳大湾区城市群的实证检验. *商业经济研究*, 2020, 37(15): 145-149.]
- [30] Amidon D M. *Innovation Strategy for the Knowledge Economy: The Ken Awakening*. Boston: Butterworth-Heinemann, 1997.
- [31] Drucker P. *Knowledge Management*. Yang Kaifeng, trans. Beijing: Renmin University of China Press, 1999: 16-32. [彼得·F·德鲁克. 知识管理. 杨开峰, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 1999: 16-32.]
- [32] He Jinsheng, Xiong Deyong, Liu Hongwei. Knowledge innovation based on knowledge fermentation. *Science of*

- Science and Management of S.&T., 2005, 26(2): 54-57, 129. [和金生, 熊德勇, 刘洪伟. 基于知识发酵的知识创新. 科学与科学技术管理, 2005, 26(2): 54-57, 129.]
- [33] Yan Shuangsheng. On the connotations and their relationship of knowledge creation and knowledge innovation. *Studies in Science of Science*, 2010, 28(8): 1148-1152. [晏双生. 知识创造与知识创新的涵义及其关系论. 科学学研究, 2010, 28(8): 1148-1152.]
- [34] Yan Xiaofeng. Knowledge renovation ability. *Journal of PLA Nanjing Institute of Politics*, 2000, 16(4): 31-36. [颜晓峰. 论知识创新的能力. 南京政治学院学报, 2000, 16(4): 31-36.]
- [35] Yigitcanlar T, Lönnqvist A. Benchmarking knowledge-based urban development performance: Results from the international comparison of Helsinki. *Cities*, 2013, 31: 357-369.
- [36] Zhu Meiguang. The measurement research of regional knowledge capability based on the method of entropy weight. *Journal of Capital University of Economics and Business*, 2007, 9(5): 58-60. [朱美光. 区域知识吸收能力测度研究. 首都经济贸易大学学报, 2007, 9(5): 58-60.]
- [37] Inkinen T, Suorsa K. Intermediaries in regional innovation systems: High-technology enterprise survey from Northern Finland. *European Planning Studies*, 2010, 18(2): 169-187.
- [38] Zhang X P, Gao S R. A study of the features and mechanism of knowledge innovation in university based on triple helix theory. *Management & Engineering*, 2011(3): 61-66.
- [39] Asheim B T, Coenen L. Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters. *Research Policy*, 2005, 34(8): 1173-1190.
- [40] Wang Bin. Research on the evolution of knowledge stock distribution in knowledge network: As the example of Henan Gongyi refractory knowledge network. *Journal of Technical Economics & Management*, 2019(7): 37-42. [王斌. 知识网络中知识存量分布演化过程研究: 以河南省巩义市耐火材料知识网络为例. 技术经济与管理研究, 2019(7): 37-42.]
- [41] Song Chunyan. Constructing the innovation environment of strategic emerging industry cluster in China based on the perspective of knowledge innovation theory A case study on Hunan province. *Scientific Management Research*, 2013, 31(5): 46-49. [宋春艳. 基于知识创新理论的我国战略性新兴产业集群创新环境构建研究: 以湖南省为例. 科学管理研究, 2013, 31(5): 46-49.]
- [42] Zhou Yixing, Bradshaw R. Classification of industrial functions in Chinese cities (including blind counties): Theories, methods and results. *Acta Geographica Sinica*, 1988, 43(4): 287-298. [周一星, R 布雷德肖. 中国城市(包括瞎县)的工业职能分类: 理论、方法和结果. 地理学报, 1988, 43(4): 287-298.]
- [43] Zhang Fuming, Guo Wenjong. Some theoretical thinkings on urban function system. *Economic Geography*, 1999, 19(3): 19-23. [张复明, 郭文炯. 城市职能体系的若干理论思考. 经济地理, 1999, 19(3): 19-23.]
- [44] Fan Fuzhuo. An analytical concept frame on urban function: Yangtze delta area as an example. *Shanghai Journal of Economics*, 2009, 21(9): 61-71. [樊福卓. 城市职能的概念性分析框架: 以长三角为例. 上海经济研究, 2009, 21(9): 61-71.]
- [45] Charlie K, Borje J, Kiyoshi K, et al. *Knowledge, Innovation and Space*. Cheltenham: Edward Elgar, 2014: 1-26. DOI: 10.4337/9781783475988.00006.
- [46] Asheim B, Hansen H K. Knowledge bases, talents, and contexts: On the usefulness of the creative class approach in Sweden. *Economic Geography*, 2009, 85(4): 425-442.
- [47] Muller E, Zenker A. Business services as actors of knowledge transformation: The role of KIBS in regional and national innovation systems. *Research Policy*, 2001, 30(9): 1501-1516.
- [48] Zhao J J, Bentlage M, Thierstein A. Residence, workplace and commute: Interrelated spatial choices of knowledge workers in the metropolitan region of Munich. *Journal of Transport Geography*, 2017, 62: 197-212.
- [49] Zhang Xiaotao, Yi Yunfeng, Wang Chun. The impact of foreign direct investment on the specialization of urban functions: An evidence based on the Pearl River Delta urban agglomeration. *Macroeconomics*, 2021(9): 86-98. [张晓涛, 易云锋, 王淳. 外商直接投资对城市职能专业化的影响: 基于珠三角城市群的证据. 宏观经济研究, 2021(9): 86-98.]
- [50] Hu Xiaohui, Du Debin. Function contents of S&T innovative city and its evaluation index system and criterion. *Economic Geography*, 2011, 31(10): 1625-1629, 1650. [胡晓辉, 杜德斌. 科技创新城市的功能内涵、评价体系及判定标准. 经济地理, 2011, 31(10): 1625-1629, 1650.]
- [51] Christaller W. *The Principle of the Southern German Heartland*. Chang Zhengwen, trans. Beijing: The Commercial Press, 1998. [克里斯塔勒. 德国南部中心地原理. 常正文, 译. 北京: 商务印书馆, 1998.]
- [52] Lei Yifan, Lu Chunyan, Su Ying, et al. Research on the coupling relationship between urban vitality and urban expansion based on multi-source night light data: A case study of urban agglomerations on the west bank of the Taiwan Straits. *Human Geography*, 2022, 37(2): 119-131. [雷依凡, 路春燕, 苏颖, 等. 基于多源夜间灯光数据的城市活力与城

- 市扩张耦合关系研究:以海峡西岸城市群为例.人文地理,2022,37(2):119-131.]
- [53] Xie Yan. Formation mechanism and dynamic evaluation of regional knowledge innovation ability [D]. Kunming: Yunnan University of Finance and Economics, 2015. [谢岩.区域知识创新能力的形成机理及动态评价[D].昆明:云南财经大学,2015.]
- [54] Lyu Kewen, Li Xiaofei, Zhao Lichen. Evaluation and analysis on regional innovation capability in middle China. Regional Economic Review, 2017(2): 99-106. [吕可文,李晓飞,赵黎晨.中部六省区域创新能力的评价与分析.区域经济评论,2017(2):99-106.]
- [55] Han Botang, Lei Xiao, Xu Deyang. Measurement of regional knowledge absorptive capacity in China. Science & Technology and Economy, 2013, 26(2): 11-15. [韩伯棠,类骁,徐德英.中国区域知识吸收能力测度.科技与经济,2013,26(2):11-15.]
- [56] CBN New First-tier City Research Institute. New graded list of Chinese cities. 2019. <https://baike.baidu.com/item/>. [第一财经·新一线城市研究所.中国城市新分级名单.2019. <https://baike.baidu.com/item/>]
- [57] Institute of Scientific and Technological Information of China. National Innovation City Innovation Capacity Evaluation Report 2020. Beijing: Scientific and Technical Documentation Press, 2020. [中国科学技术信息研究所.国家创新型城市创新能力评价报告2020.北京:科学技术文献出版社,2020.]
- [58] Wu Zhongxian, Wang Jianbin. Knowledge Management: Strategy and Practice. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2003. [伍忠贤,王建彬.知识管理:策略与实务.北京:中国纺织出版社,2003.]
- [59] OECD. Science, Technology and Industry Scoreboard: Towards a Knowledge-based Economy. Paris: OECD, 2001.
- [60] Zhao Jian. Study on evolution and decision of technological innovation path in knowledge-intensive industries [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2013. [赵健.知识密集型产业技术创新路径演化与决策研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2013.]
- [61] Zeng Chunshui, Shen Yuming. A study of the functional features of China's urban service industries. Geographical Research, 2015, 34(9): 1685-1696. [曾春水,申玉铭.中国城市服务业职能特征研究.地理研究,2015,34(9):1685-1696.]
- [62] Zhu Yingming, Yu Nianwen. Urban flows in the HuNingHang urban compact district. Urban Planning Forum, 2002(1): 31-33, 44. [朱英明,于念文.沪宁杭城市密集区城市流研究.城市规划汇刊,2002(1):31-33,44.]
- [63] Wei Haitao, Liu Yan, Tian Zhihui, et al. Spatial distribution pattern and environmental impact of lung cancer in Henan. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(1): 245-258. [魏海涛,刘岩,田智慧,等.河南省肺癌空间分布格局及环境因素影响.地理学报,2022,77(1):245-258.]
- [64] Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134. [王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望.地理学报,2017,72(1):116-134.]
- [65] Zhang Shujing, Zhang Xiufeng. Impact of urban innovation environment on the performance of industry-university-research institute collaborative innovation. Forum on Science and Technology in China, 2018(4): 25-32. [张树静,张秀峰.城市创新环境对产学研合作创新的影响.中国科技论坛,2018(4):25-32.]
- [66] Ye Jinfu, Li Zhengfeng. Study on determinants of knowledge innovation capacity in industrial clusters. Studies in Science of Science, 2006, 24(4): 624-628. [叶金福,李正锋.产业集群内知识创新能力影响因素的实证分析.科学学研究,2006,24(4):624-628.]
- [67] Lyu Lachang, Yu Yingjie, Luan Hui. The relationship between urban amenity,difference and innovation ability in Beijing. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(1): 115-125. [吕拉昌,于英杰,栾惠.北京城市舒适性、差异性与创新能力的关系.地理科学,2022,42(1):115-125.]
- [68] Guo Xinxin. Research on the evaluation index system of talent innovation environment: Based on the empirical study in Chaoyang district of Beijing [D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2015. [郭鑫鑫.人才创新环境评价指标体系研究:基于北京市朝阳区的实证研究[D].北京:首都经济贸易大学,2015.]
- [69] Liu Yan, Ma Xiaoying, Liu Jian, et al. Cultural competence: Part I of the 5Cs framework for twenty-first century key competences. Journal of East China Normal University (Educational Sciences), 2020, 38(2): 29-44. [刘妍,马晓英,刘坚,等.文化理解与传承素养:21世纪核心素养5C模型之一.华东师范大学学报(教育科学版),2020,38(2):29-44.]
- [70] Liu Jia, Cai Panxin, Wang Fangfang. Network structure evolution and influencing factors of collaborative knowledge innovation in Guangdong- Hong Kong- Macao Greater Bay Area urban agglomeration. Journal of Technology Economics, 2020, 39(5): 68-78. [刘佳,蔡盼心,王方方.粤港澳大湾区城市群知识创新合作网络结构演化及影响因素研究.技术经济,2020,39(5):68-78.]

Spatial pattern of urban knowledge innovation function in China and its influencing factors

YU Yingjie^{1,2}, LYU Lachang^{1,3}

(1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

2. School of Urban & Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

3. Beijing Urban Innovation and Development Research Center, Beijing 100048, China)

Abstract: Knowledge innovation is an important part and development foundation of urban innovation functions. Combined with the multidisciplinary research content of knowledge innovation, this paper constructs a measurement framework for urban knowledge innovation function from the perspective of urban geography and analyzes its spatial pattern and influencing factors. The conclusions are as follows: (1) The urban knowledge innovation function is based on the internal knowledge stock and external practical conditions to meet the survival and development needs of the new era of mankind, the tasks and roles undertaken in the process of knowledge creation, knowledge dissemination and knowledge application, and the measurement dimensions include functional scale, functional strength, functional scope and functional vitality. (2) The level of development of knowledge innovation functions in Chinese cities is uneven, and the cities with outstanding knowledge innovation functions are mainly concentrated in the eastern coastal areas and a few developed areas in the central and western regions, forming a diamond-shaped knowledge innovation structure with Beijing-Tianjin, Yangtze River Delta, Pearl River Delta, Shaanxi-Chengdu-Chongqing, and Wuhan and Hefei in central China as vertices and centers, and divided into national, regional, regional and knowledge innovation development cities according to the natural breaks (Jenks). (3) In terms of influencing factors, the spatial differentiation characteristics of urban knowledge innovation functions are simultaneously affected by various factors of human environment and natural environment, among which the economic environment, the open environment and the cultural environment have the strongest interactive interpretation power on other factors, which is the leading factor affecting the development of urban knowledge innovation functions. In the future, China should take the initiative to enhance the knowledge innovation function of the city, fully consider the current situation and characteristics of the development of the city's own knowledge economy, formulate policies and measures suitable for the development of the city's knowledge economy, and strengthen the dominant position of human and social factors in the construction of urban knowledge innovation function.

Keywords: knowledge innovation function; functional scale; functional strength; functional vitality; functional scope; influencing factor