

长三角地区科技创新能力与城镇化 水平耦合关系研究

林兰¹ 王嘉伟¹ 曹贤忠² 郭艺²¹

(1. 上海社会科学院 城市与人口发展研究所, 上海 200020;

2. 华东师范大学 中国现代城市研究中心, 上海 200062)

【摘要】: 随着我国经济转向高质量发展阶段, 探究科技创新与城镇化之间的关系对于实现区域高质量发展具有重要意义。以长三角地区 41 个地级及以上城市为对象, 通过构建科技创新能力和城镇化水平评价指标体系, 采用变异系数、耦合协调度模型和莫兰指数模型等分析工具, 研究科技创新能力与城镇化水平耦合协调关系及其演变过程, 考察其中发挥关键耦合作用的子系统与要素。研究发现: (1) 长三角城镇化经历了以核心城市为发端、沿交通干线延伸, 最终泛均质化的演变过程; 科技创新进程滞后于城镇化进程, 但二者时空演变规律呈现出高度的过程拟合特征; (2) 科技创新与城镇化耦合协调发展的空间溢出效应随耦合协调发展水平提高而增强; 科技创新能力提升对两系统耦合协调发展更为关键; (3) 科技创新与城镇化耦合具有显著的阶段性特征, 且随时间推移呈现空间分异特点; 耦合重点随时间推移变动且更加聚焦, 社会发展程度是科技创新和城镇化耦合的关键。研究指出, 重视城镇化的社会发展建设、重视区域创新扩散通道建设和区域社会互通、重视基于过程拟合的科技创新与城镇化协调发展的耦合点发现将有助于提升科技创新与城镇化协调发展水平。

【关键词】: 科技创新 城镇化 耦合机制 长三角

【中图分类号】: F124.3 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)08-1723-13

近年来, 学术界建立了城镇化与科技创新之间的关联。在科技创新对城镇化的单向关系中, 许多研究成果都印证了科技创新对城镇化的正向推动作用^[1], 这种效应对于特大城市而言尤为明显, 主要表现为科技创新对城镇化正向影响中显著的双门槛效应^[2]。城镇化对科技创新的影响主要体现在城镇化加快了创新资源的集聚与扩散, 加速了城市的技术学习与知识积累^[4], 促进技术、知识在城市区域的传播和获得^[5], 从而间接地推动了科技创新, 提高了城市生产力水平^[3]。Carlino 等^[6]、Peres 等^[7]及 Farahmand 等^[8]的研究也表明, 城镇化的发展为科技创新提供了优良的外部条件。而发达国家的城市之所以能够实现创新并保持创新优势, 则是因为其城镇化进程在人口规模、劳动力素质、产业结构和市场经济体系方面为科创奠定了基础^[9]。

伴随相关研究的深入, 科技创新和城镇化之间的耦合关系得到学界的广泛关注。大量的理论和实证研究揭示了科技创新与城镇化两大系统互为因果关系^[10]。在影响程度和时序上, 发展中国家的科技创新对城镇化影响更大^[11], 但科技创新能力普遍滞

¹作者简介: 林兰(1975~), 女, 研究员, 主要研究方向为区域创新与技术扩散。E-mail: linlan@sass.org.cn; 曹贤忠, E-mail: xzcao@geo.ecnu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771143, 42171184)

后于城镇化发展^[12]。

在科技创新与城镇化作用机制的探讨方面,有两大逻辑解释了二者的耦合过程。一是集聚效应和溢出效应的影响^[13, 14]。尽管发达国家的城镇化普遍早于科技创新大发展时期,但其城镇化则伴生工业化而发生。随着工业集聚,生产性基础设施与生活性基础设施建设飞速发展^[15],城市土地扩张加速^[16],生产要素的集聚对科技创新驱动城镇化发展产生了重要作用,集聚效应可分为正向与负向两个方面,而众多研究表明集聚对科技创新与城镇化的耦合作用具有显著正向促进作用^[17, 18]。二是挤出效应的影响。随着城镇化的发展,城市土地、市场、环境容量日趋饱和,主要生产要素成本(如劳动力和土地)上涨导致产出效率降低,产业挤出效应开始显现^[19, 20]。一方面,是对创新能力缺乏的企业形成了挤出,其被迫搬迁或关停;另一方面,城市不得不吸引和集聚更加高端的要素,以保证强挤出效应下的高生产效率^[21, 22],创新溢出的作用高于其他要素溢出的作用^[23]。在集聚、溢出和挤出三重效应的影响下,科技创新与城镇化两大系统相互作用,形成螺旋式上升的复杂系统,共同促进城市区域的经济、科技高质量发展^[24]。

在科技创新与城镇化耦合影响因素的分析方面,讨论主要集中在正向促进和负向阻碍影响因素的分析上。对于正向促进作用,大量的研究表明,城市的经济发展水平、技术成果转化能力、外资利用水平、产业结构合理性、城市专业化水平、交通与信息网络健全程度、人力资本、基础设施、金融发展等因素均对科技创新与城镇化的耦合产生了显著的正向推动作用^[25, 26];对于负向阻碍作用,一些学者借助模型分析和案例剖析,指出过快的工业化和过度开放可能对于科技创新与城镇化耦合产生反向作用^[27],而政府控制在大多数情况下都是一个负向影响因素^[28]。

在科技创新与城镇化耦合关系演变的探讨方面,大多数研究主要是运用耦合协调度模型来探讨二者之间的时空演化关系,并印证了科技创新与城镇化互为因果的辩证演变过程。一个解释是:科技创新为城镇化提供源源不断的发展动力;城镇化则为科技创新提供要素支撑和扩散平台^[29]。另一个解释是,城镇化是科技创新产生、发展和扩散的基础,城镇化水平较高地区拥有的科技设备、人力资源、研发投入促进了科技创新水平的极大提升;科技创新则为城镇化演进提供技术支撑和引导,并通过淘汰落后产能、改造传统产业等方式,提高城市的生产效率和资源利用能力,从而推动城镇化水平不断提高^[11, 30]。

综上,在既有的关于科技创新与城镇化耦合关系的研究中,对科技创新与城镇化二者耦合的动态演变关系分析仍较为缺乏:重视耦合测度,而对于耦合协调机制的探讨关注不够。有鉴于此,本文选取长三角为研究区域,试图回答城镇化水平较高、科技创新能力较为突出的地区,其科技创新与城镇化耦合协调发展的内在逻辑是什么?耦合关系如何演变?有哪些关键的耦合点?以期为我国其他区域的科技创新与城镇化耦合协调发展提供借鉴。

1 数据来源与研究方法

1.1 指标体系的构建

本文采用 2005~2019 年长三角地区 41 个地级及以上城市的面板与调查数据,基于科学性、可操作性和客观性原则^[31, 32, 33],构建长三角城市科技创新能力与城镇化水平耦合分析指标体系。其中,城镇化水平对经济、社会和发展环境 3 大板块进行考察,选取 20 项指标进行评价(表 1);科技创新能力对创新投入、创新产出、创新扩散、创新环境和创新绩效 5 大板块进行考察,选取 15 项指标进行评价。

1.2 研究方法

1.2.1 变异系数法

为避免主观因素对各指标权重及最终计算结果带来的影响,本文采用客观赋权法对各项指标进行赋权,并采用变异系数法

确定指标权重，具体计算步骤如下：

表 1 城镇化水平综合评价体系

一级指标	二级指标	三级指标	权重
经济发展	经济结构	高新技术产业贡献度(%)	0.0414
		二三产业增加值占比(%)	0.0141
	经济增长	人均 GDP(元)	0.0460
		GDP 增长率(%)	0.0239
社会发展	人口发展	人口城镇化率(%)	0.0225
		二三产业从业人数占比(%)	0.0137
		单位面积商品房销售均价(元)	0.0483
		职工平均工资(元)	0.0395
	基础设施	人均城市道路面积(m ²)	0.0339
		客运总量(万人)	0.0744
		互联网用户数(户)	0.0988
		人均用电量(kW·h) ^①	0.1043
	公共服务	每百人图书馆藏书数(本)	0.0839
		每万人在校大学生数(人)	0.0548
		每万人医疗机构床位数(张)	0.0283
空间发展	空间容量	建设用地面积(km ²)	0.1259
		建成区面积(km ²)	0.0765
		人口密度(人/km ²)	0.0402
	环境容量	污水处理率(%)	0.0180
		生活垃圾无害化处理率(%)	0.0116

(1)为消除量纲影响，对各指标进行归一化处理，具体计算公式如下：

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} (X_i \text{ 为正向指标}) \\ \frac{X_{j\max} - X_{ij}}{X_{j\max} - X_{j\min}} (X_i \text{ 为负向指标}) \end{cases} \quad (1)$$

式中：\$x'_{ij}\$ 为某城市第 \$i\$ 年，第 \$j\$ 项指标进行归一化处理后的指标值；\$X_{ij}\$ 为某城市第 \$i\$ 年，第 \$j\$ 项指标值；\$X_{j\min}\$ 为第 \$j\$ 项指标最小值；\$X_{j\max}\$ 为第 \$j\$ 项指标最大值。

(2) 计算各标准化指标的变异系数 \$V_j\$，计算公式如下：

$$V_j = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j}, \quad j = 1, 2, 3 \cdots m \quad (2)$$

式中：\$\bar{x}_j\$ 为各标准化指标的均值；\$\sigma_j\$ 为标准差。

(3) 计算各指标权重 \$w_j\$，计算公式如下：

$$w_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}, \quad j = 1, 2, 3 \cdots m \quad (3)$$

1.2.2 综合评价模型

设 \$M_i\$ 为某城市第 \$i\$ 年的城镇化指数，\$N_i\$ 为某城市第 \$i\$ 年的科技创新指数，则：

$$M_i = \sum_{j=1}^{20} w_j p'_{ij} \quad (4)$$

$$N_i = \sum_{j=1}^{15} w_j q'_{ij} \quad (5)$$

式中：\$p'_{ij}\$ 和 \$q'_{ij}\$ 分别代表城镇化质量和科技创新能力指标体系中通过归一化处理后的指标。

1.2.3 耦合协调度模型

耦合的概念来自物理学，最初用来描述系统内部由无序状态转变为有序状态的程度^[34]。在研究经济、人文社会现象时，许多学者借用了这一概念。本研究借鉴李建新等^[36]和王淑佳等^[37]的模型方法，构建城镇化水平与科技创新能力耦合度评价体系。计算公式如下：

$$C_i = 2 \sqrt{\frac{M_i \times N_i}{(M_i + N_i) \times (M_i + N_i)}} \quad (6)$$

式中：C_i为耦合度，取值范围为[0, 1],其大小由各城市的城镇化水平及科技创新水平评价价值决定。

由于耦合度虽能反映城镇化水平与科技创新能力之间的相互作用强度，但并不能反映两大系统是在高质量上相互影响还是在低质量上相互影响。为弥补以上不足，本文引入耦合协调度来表征两大系统相互作用的质量高低。耦合协调反映两个系统在发展演化中彼此和谐一致的程度，有助于揭示不同事物由不协调向协调发展的规律^[38]，其数值越高则说明正向影响越显著。具体计算公式如下：

$$D_i = \sqrt{C_i \times T_i}, \quad T_i = \alpha M_i + \beta N_i \quad (7)$$

式中：D_i为耦合协调度；α、β为城镇化质量系统和科技创新能力的权重系数，且α+β=1。考虑到科技创新与城镇化处于同一重要等级，借鉴前人研究的一般处理方法^[39]，将α和β均赋值为0.5，并将耦合协调度大小划分为5个等级(表2)。

表2 耦合协调度等级划分标准

序号	耦合协调度区间	协调度类型
1	0.0<D _i ≤0.2	严重失调
2	0.2<D _i ≤0.4	轻度失调
3	0.4<D _i ≤0.6	一般协调
4	0.6<D _i ≤0.8	良好协调
5	0.8<D _i ≤1.0	优质协调

1.2.4 空间自相关性

Moran's I 指数反映在空间上邻近的区域单元某属性的相似程度，其取值一般为[-1, 1]。Moran's I 指数越接近-1,表示单元区间的差异越大或分布越不集中；越接近于1,表示单元区间越具有相似属性；接近0,则表示单元区间随机分布，不存在空间自相关性。具体计算公式如下：

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (D_i - \bar{D}) (D_j - \bar{D})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (8)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} (D_i - \bar{D})^2; \bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i; w_{ij}$$

式中：为空间权值矩阵第 i 行第 j 列元素，空间权值矩阵采用 Rook

邻接空间权值矩阵(城市 i 与城市 j 相邻时， $w_{ij}=1$;城市 i 与城市 j 不相邻时， $w_{ij}=0$);n 为城市数量。

1.3 数据来源

本文数据主要来源于长三角各地级及以上城市的历年统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报，省级科技部门统计资料、EPS 数据库和 CEIC 数据库；论文发表数检索自 Web of science 数据库，异地合作专利数检索自国家知识产权局(<https://pss-system.cnipa.gov.cn>)。

2 实证分析

2.1 长三角地区科技创新能力与城镇化质量时序变化分析

2.1.1 科技创新进程滞后于城镇化进程

采用综合评价模型对长三角地区的城镇化水平与科技创新能力进行综合评价，结果如图 1 所示。2005~2019 年，长三角区域城镇化水平与科技创新能力都得到快速提升，但科技创新的发展要显著滞后于城镇化，且各自增速变化呈现出不同步。

2.1.2 城镇化发展经历极化-干线延伸-泛均质化演变过程

考察 2005~2019 年长三角城镇化水平增速，根据马海涛等^[11]、田逸飘等^[13]研究城镇化与科技创新耦合机制的阶段划分依据，可以将长三角区域的城镇化进程大致分为 2005~2009、2010~2014、2015~2019 年三个阶段¹。进一步分析长三角内部城镇化水平与科技创新能力的时空演变特征，如图 2 和图 3 所示。

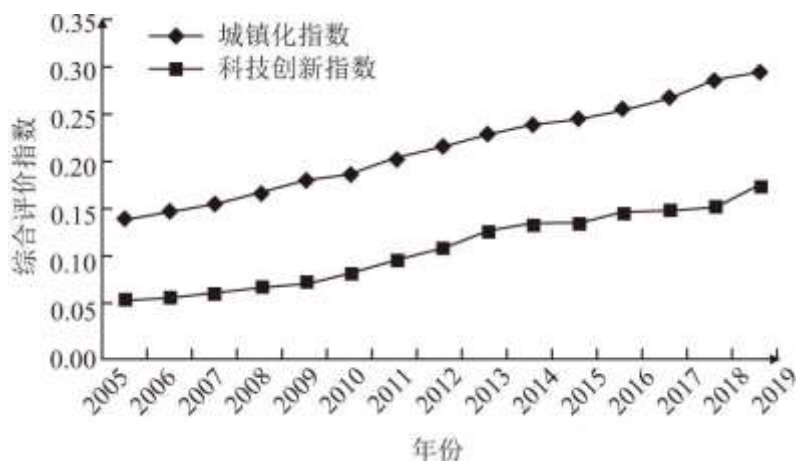


图 1 2005~2019 年长三角地区科技创新能力与城镇化水平综合评价指数

在 2005 年的发展初期，长三角城镇化发展水平呈现出显著的极化特点：即上海城镇化水平最高，远远高于区域内的其他地级及以上城市；2005~2009 年，长三角城镇化发展沿沪宁合、沪杭甬线拓展，呈现出明显的以上海为核心，以上海-南京、上海-杭州创新走廊为轴线向外延伸的放射状结构；2010~2014 年，长三角区域内高度城镇化区域版图快速扩张，形成绵延区域，

出现第二个高度城镇化的城市——南京，苏州、无锡、宁波、杭州、合肥等经济快速增长城市在长三角城镇体系中的地位显著提升；2015~2019 年，除安徽省的亳州、宿州和江苏省的宿迁，长三角城镇化水平普遍提高，形成了直辖市(上海)-省会城市(南京、杭州、合肥)的多核高度城镇化区域，以及泛均质化的城镇化发展整体格局。

2.1.3 科技创新与城镇化的空间拓展呈现出高度的过程拟合特征

图 3 显示，尽管长三角的科技创新进程滞后于城镇化进程，但其空间拓展过程与城镇化高度拟合。2005~2019 年，其空间拓展遵循了极化-干线延伸的演变过程。2005 年，仅有上海科技创新指数高于 0.2, 上海是长三角区内唯一的创新增长极。2005~2009 年，南京凭借良好的科教资源、苏州凭借先进制造优势实现了科技创新能力的层级跨越，成为长三角区域内重要的创新节点城市。2009~2014 年是长三角科技创新空间格局形成的重要时期，其间涌现出杭州、合肥、无锡、宁波等创新重镇。其中，合肥的科技创新具有高增长特征，其 2014 年科技创新能力指数为 0.3174, 超越了杭州(0.3066), 跻身前四名；其 2018 年的科技创新能力指数达 0.4691, 一跃成为仅次于上海(0.7041)的长三角科创明星城市。至 2019 年，长三角已形成以上海为核心，以南京、合肥、苏州、杭州为重要战略支点，以沪宁、沪杭创新走廊为主要延伸方向的“K 字型”科技创新总体布局。

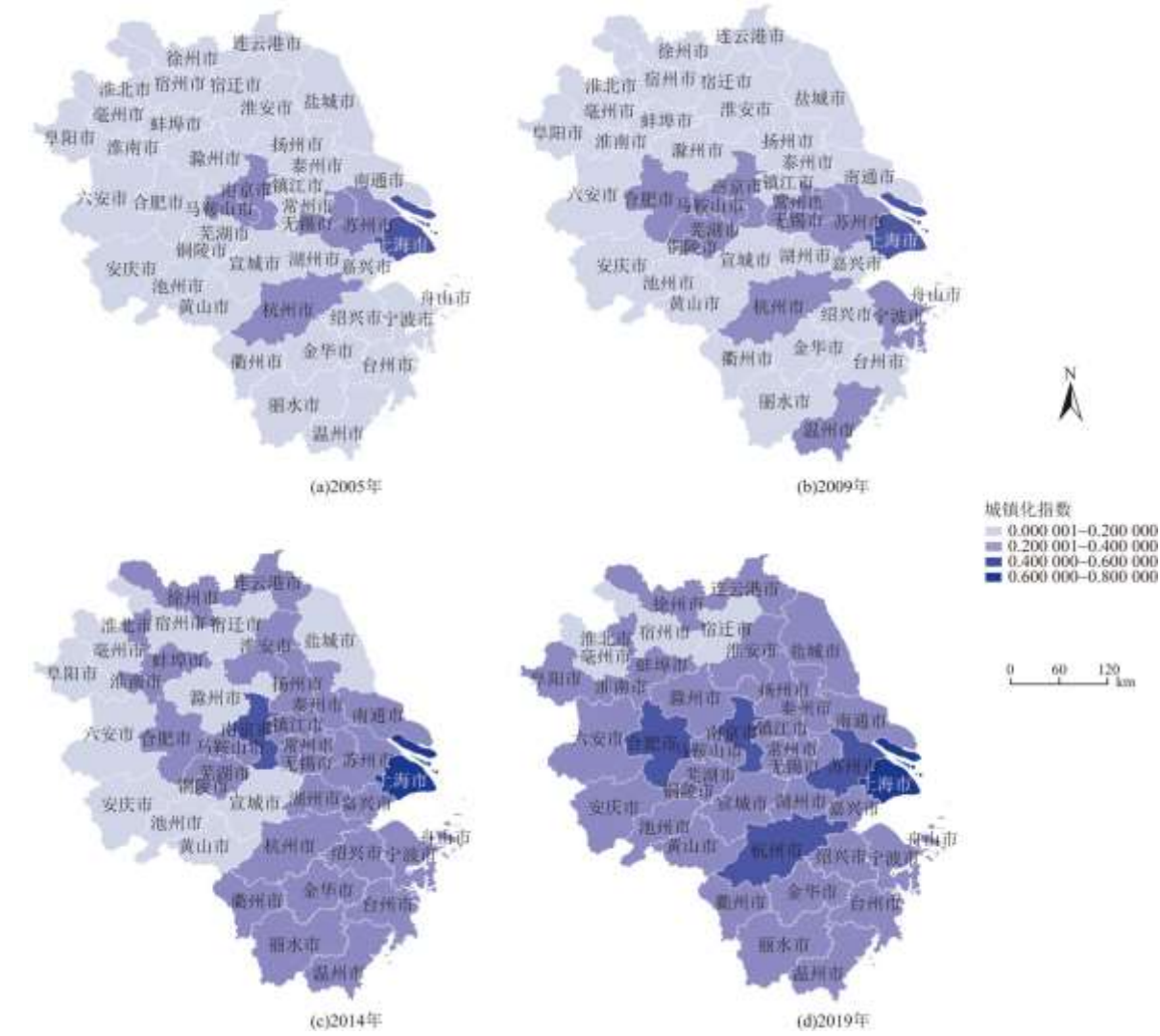


图 2 2005~2019 年重点年份长三角地区城镇化水平指数空间格局演变

2.2 长三角地区城镇化水平与科技创新能力耦合协调性时空特征分析

采用耦合协调度模型计算长三角科技创新与城镇化两大系统的耦合协调度，结果如图4显示。

2.2.1 科技创新与城镇化之间呈现出显著的耦合关系

2005~2019年，长三角科技创新能力与城镇化水平之间呈现出显著的耦合协调关系，且耦合度协调度逐渐增强，由轻度失调→一般协调→良好协调演进。总体而言，城镇化指数领先于科技创新能力指数。根据“木桶原理”，科技创新能力的提升将对两大系统耦合协调发展起到更为关键的作用。

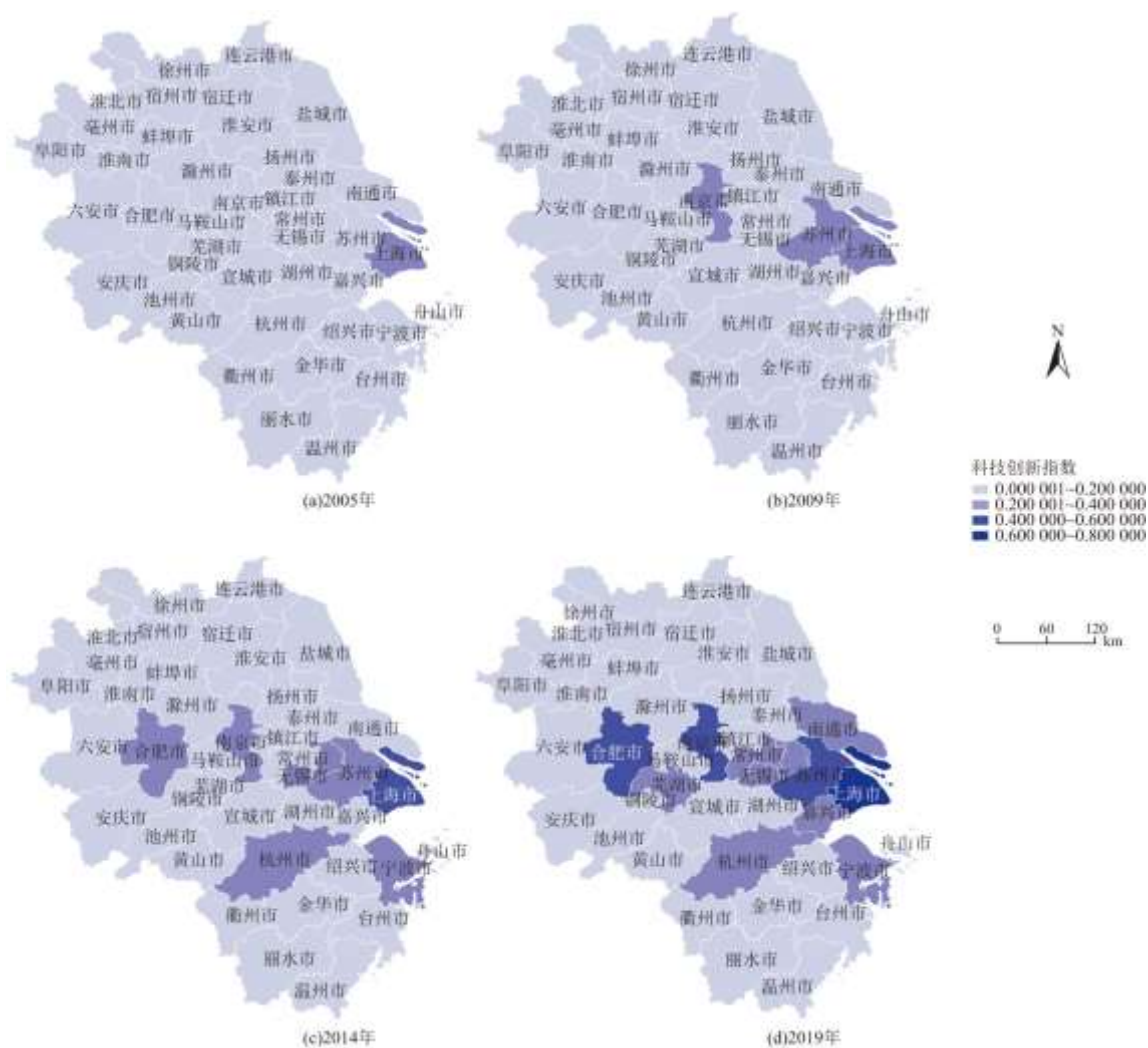


图3 2005~2019年重点年份长三角地区科技创新能力指数空间格局演变

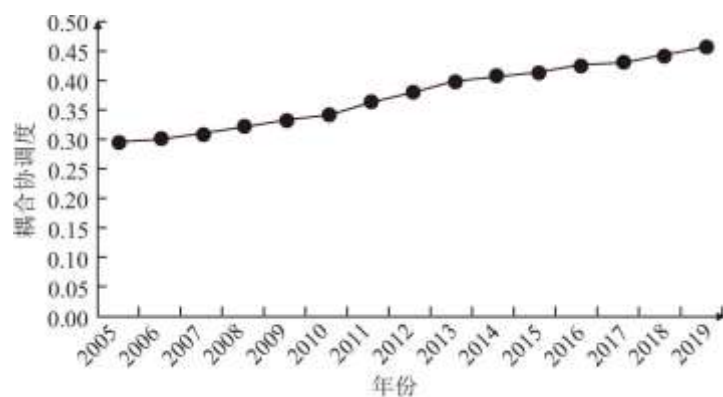


图 4 2005~2019 年长三角地区科技创新能力与城镇化水平耦合协调度

2.2.2 科技创新与城镇化耦合存在空间自相关性

进一步考察两大系统耦合协调性的时空变化特征，对 2005~2019 年长三角地区两大系统的耦合协调度 Moran' sI 指数进行测算。结果显示，长三角地区科技创新能力与城镇化水平的耦合协调性存在明显的空间溢出效应；且随着时间的推移，其空间自相关性呈现出逐渐增强的趋势(表 3、图 5)。

从空间分布看，具有高耦合协调度的区域往往都具有人口重镇与科技重镇的双重身份，存在“高城镇化水平-高科技创新能力-高耦合协调度”区域，以上海为代表；同时也存在一些“高城镇化水平-低科技创新能力-高耦合协调度”区域，以苏北城市为代表；以及“高城镇化水平-低科技创新能力-低耦合协调度”区域，以皖西和浙西城市为代表。

表 3 2005~2019 年长三角地区科技创新能力与城镇化水平耦合协调性的 Moran' sI 指数测算

年份	Moran' sI	Z
2005	0.0959	1.1484
2006	0.1650*	1.8084
2007	0.1193	1.3751
2008	0.1865**	2.0226
2009	0.2207**	2.3454
2010	0.2726***	2.8342
2011	0.3440***	3.5047
2012	0.3231***	3.2957
2013	0.3274***	3.3296
2014	0.3483***	3.5331
2015	0.3914***	3.9424

2016	0.3864***	3.8980
2017	0.3708***	3.7754
2018	0.4305***	4.3753
2019	0.4209***	4.2952

注：*表示 90%置信度，**表示 95%置信度，***表示 99%置信度。

2.3 长三角地区城镇化水平与科技创新能力子系统耦合协调性分析

为了进一步探明区域科技创新能力与城镇化水平的协调发展机制，需考察不同发展阶段两大系统子系统之间以及要素之间的耦合协调情况。

根据长三角区域城镇化进程的阶段划分，计算各阶段不同地级市得分最高的耦合协调类型，如图 6 所示。

2.3.1 科技创新与城镇化耦合随时间推移更加聚焦

鉴于长三角的科技创新进程滞后于城镇化进程，以城镇化为主影响因素，2005~2009、2010~2014、2015~2019 年，长三角各地级市科技创新与城镇化子板块高度耦合的类型分别为 8 种、5 种和 5 种，呈现出递减趋势。这在一定程度上反映了，随着区域城镇化水平不断提高、科技创新能力不断提升，两大系统之间子版块的主要耦合点越来越少，耦合的内容更加聚焦。

2.3.2 科技创新与城镇化耦合重点随时间推移变动

主要发现有：在促进创新的城镇化因素中，经济因素逐步淡化，社会因素重要度上升；创新环境是一种准备性条件，先于其他创新行为显示出重要性；随着时间推移，城镇化对科技创新的带动由辅助创新环境营造，转向促进创新扩散和提高创新绩效。

2.3.3 科技创新与城镇化耦合随时间推移呈现空间分异特点

由于图 6 只显示了各阶段不同地级市得分最高的耦合类型，所以，并不能对长三角内部科技创新与城镇化耦合的类型变化作更为细致的空间演变探讨。但是，以省级行政单位为观察对象，可以看出，尽管子板块耦合随时间推移更加聚焦，但江苏、浙江、安徽各省内部出现了最优耦合关系多样化的空间分布趋势，这在一定程度上说明了区域科技创新与城镇化的耦合不是一个趋同的过程，而是会随着时间推移出现分化。从这一点来说，区域一体化并不会导致创新竞争环境的同质性，产业组织有可能在区域内部形成多样化的竞合关系，从而可能避免过于激烈和消耗的区域发展竞争。

2.3.4 社会因素是科技创新和城镇化耦合的关键

为了更清晰地看出科技创新与城镇化耦合阶段性变动的原因，计算各阶段耦合协调度排名前 10 的次级组合与因子组合，如表 4、表 5 所示。

表 4 显示，具有地方治理色彩的社会结构的发育与个性化对科技创新和城镇化的耦合起到了关键作用。最突出的二级指标是人口发展与基础设施，其最大的作用是为创新溢出做好社会资源储备，其次是为科技创新吸聚资金和做好竞争性条件准备。

2.3.5 科技创新与城镇化耦合具有显著的阶段性特征

表 5 显示, 城镇化在不同的发展阶段为科技创新提供了不同的准备性条件。2005~2009 年, 在区域城镇化发展早期和科技创新的萌芽时期, 城镇化的作用主要是为科技创新准备竞争性条件: 即通过积累一定的经济体量和发展质量、具备相对合理的经济结构、修建基础设施、提供基本公共服务、具有一定的社会资源储备、具备一定的社会化发展水平、预留一定的空间容量为区域产业发展、技术开发和知识积累提供最基础的准备性条件。2010~2014 年, 在区域城镇化发展中期和科技创新发展早期, 城镇化对科技创新的作用主要表现为: 继续放大竞争性条件准备的累积效应; 经过经济、社会的高速发展, 具备了更强的资本投入能力; 社会性条件开始为提高创新强度、增加技术产出、促进创新溢出做好了组织准备。2015~2019 年, 在区域高度城镇化和科技创新快速发展时期, 城镇化对科技创新的竞争性条件准备逐渐弱化, 人口发展与基础设施的作用继续被放大; 随着城市人口、产业、基础设施密度不断提高, 环境容量成为区域发展的限制性条件之一, 在较大程度上影响到区域人口导入、产业转移和技术引进, 进而影响到创新强度与技术产出; 囿于城镇化水平仍待提高的原因, 现有的经济、社会基础仍未能很好促进表征科技创新高级阶段的知识产出、创新合作、能力培育和绿色创新的发展。

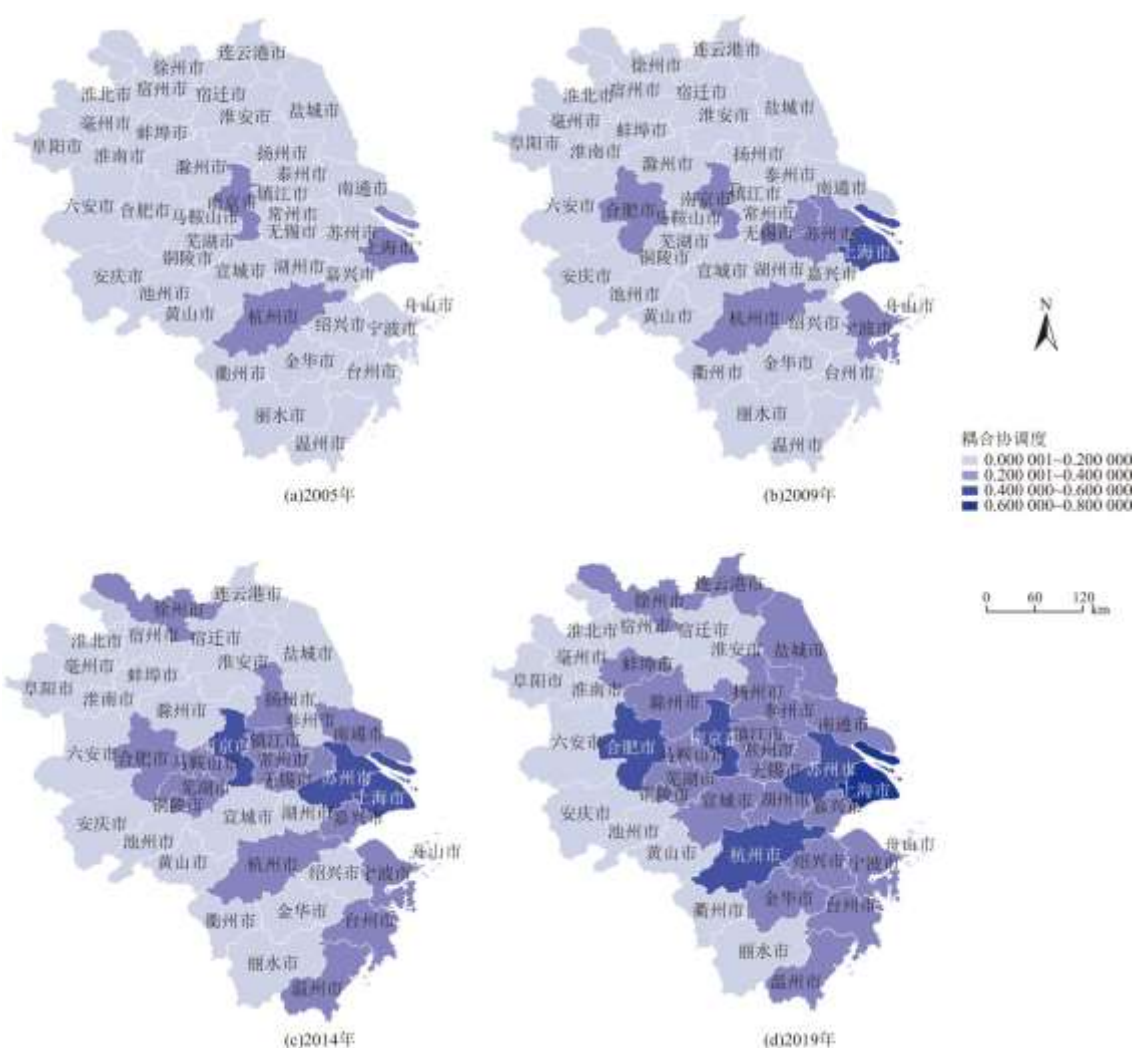


图 5 2005~2019 年重点年份长三角地区科技创新能力与城镇化水平耦合协调度空间格局演变

3 结论与启示

本文以 2005~2019 年长三角地区 41 个地级及以上城市数据为研究样本，采用变异系数、耦合协调度模型和莫兰指数模型等分析工具，研究城镇化水平与科技创新能力的耦合关系、演变过程以及关键耦合点。主要得出以下结论：

(1) 2005~2019 年，长三角地区科技创新能力与城镇化水平稳步提升。城镇化经历了以上海为核心，以沪宁、沪杭为轴线呈放射状向外延伸，最终泛均质化发展的演变过程；科技创新进程滞后于城镇化进程，其时空演变规律与城镇化进程呈现出高度过程拟合特征。

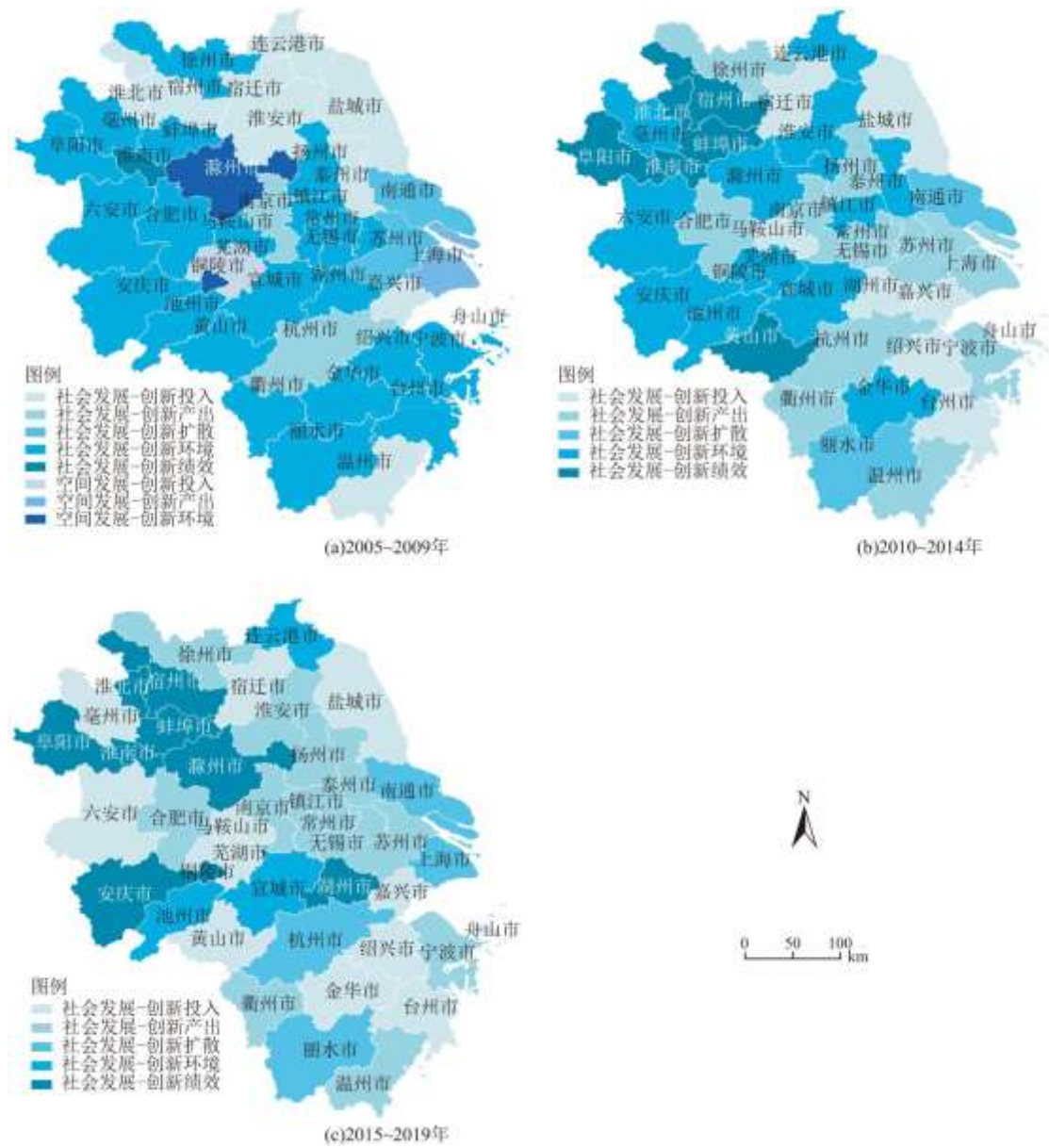


表 4 2005~2019 年耦合协调度排名前十的二级指标组合

排序	城镇化二级指标	科技创新二级指标	数值
----	---------	----------	----

1	人口发展	竞争性条件	0.1636
2	基础设施	竞争性条件	0.1572
3	人口发展	资金投入	0.1532
4	基础设施	资金投入	0.1467
5	人口发展	创新溢出	0.1461
6	人口发展	创新强度	0.1445
7	公共服务	竞争性条件	0.1422
8	经济结构	竞争性条件	0.1414
9	环境容量	竞争性条件	0.1413
10	基础设施	创新溢出	0.1406

(2) 2005~2019 年，长三角地区科技创新与城镇化耦合协调发展水平由轻度失调阶段提升至良好协调阶段；伴随耦合协调发展水平的提升，科技创新与城镇化耦合协调发展的空间溢出效应逐渐增强；科技创新能力的提升对两系统耦合协调发展起到更为关键的作用。

(3) 长三角地区的城镇化先后经历了以经济发展为主的快速提升期和以社会发展为主的协调发展阶段。城镇化水平快速提升阶段为科技创新能力的提高集聚了人力资本，奠定了物质基础，做好了社会资源储备和准备了竞争性条件。随着城镇化进入社会发展阶段，科技创新能力从竞争性条件准备转变为创新产出、创新绩效的全方位提升。现阶段，尽管长三角地区科技创新能力综合水平较高，但科技创新能力中位于更高层级的知识产出、创新合作、能力培育和绿色创新尚未在城镇化与科技创新耦合协调发展中发挥主要作用。

表 5 2005~2009 年分阶段耦合协调度排名前十的二级指标组合

排序	城镇化二级指标	科技创新二级指标	耦合协调度
1	人口发展	竞争性条件	0.1491
2	基础设施	竞争性条件	0.1431
3	环境容量	竞争性条件	0.1351
4	公共服务	竞争性条件	0.1337
5	空间容量	竞争性条件	0.1332
6	人口发展	资金投入	0.1331
7	经济结构	竞争性条件	0.1306
8	经济增长	竞争性条件	0.1298

9	基础设施	资金投入	0.1273
10	人口发展	创新溢出	0.1264
2010~2014 年			
排序	城镇化二级指标	科技创新二级指标	耦合协调度
1	人口发展	竞争性条件	0.1658
2	基础设施	竞争性条件	0.1581
3	人口发展	资金投入	0.1539
4	人口发展	创新强度	0.1506
5	人口发展	创新溢出	0.1479
6	基础设施	资金投入	0.1463
7	人口发展	技术产出	0.1453
8	基础设施	创新强度	0.1450
9	公共服务	竞争性条件	0.1430
10	环境容量	竞争性条件	0.1427
2015~2019 年			
排序	城镇化二级指标	科技创新二级指标	耦合协调度
1	人口发展	技术产出	0.1844
2	人口发展	创新强度	0.1840
3	基础设施	创新强度	0.1795
4	人口发展	竞争性条件	0.1760
5	人口发展	资金投入	0.1725
6	人口发展	创新溢出	0.1641
7	公共服务	技术产出	0.1593
8	空间容量	技术产出	0.1537
9	环境容量	创新强度	0.1520
10	环境容量	技术产出	0.1511

基于以上结论，得到如下启示：

(1) 重视城镇化的社会发展建设，为区域科技创新提供泛在性准备条件。对于世界上绝大多数的国家和地区而言，城镇化往往先于科技创新发生，并历时长久；相比之下，中国的城镇化进程偏快，依靠经济高速增长来带动设施建设和人口集聚，在社会积累方面准备不足，社会元素丰富的福利和福祉社会尚未形成。在未来的发展中，应更加重视城镇化的质量提升和软实力培育，打通科技创新与城镇发展之间的社会通道。注重文化培育，形成能够满足人们素质提高和精神享受的文化土壤；注重生态绿色发展需求，提高环境品质；重视制度环境建设，提供平等发展机会、注重产权维护、规范管理，营造健康的城市创新氛围。

(2) 重视区域创新扩散通道建设，以及区域社会互通。长三角城镇体系的枢纽城市与科技创新的节点城市高度重合，建成区蔓延方向与创新扩散方向也高度吻合。应遵循科技创新与城镇化进程的过程拟合规律，充分发挥区域核心城市经济、科技、文化的带动作用以及交通干线转移、扩散、溢出的辐射效应，高度整合城镇化与科技创新的空间布局，高度统筹人员、资本、技术流动，建立高效的区域创新扩散体系。同时，加强区域间的社会互通。在人员流动方面，破除户籍制度带来的行政壁垒；在区域交通体系建设方面，巩固区域交通干线的便利化程度，注重区域路网建设；打通临界断头路，建设节点城市的直达通道。在社会资源共享方面，实现远程医疗、空中课堂，探索虚拟现实技术手段下的跨行政区医疗、教育资源自由流动。

(3) 重视基于过程拟合的科技创新与城镇化协调发展的耦合点发现。科技创新与城镇化协调发展的耦合点并不局限于本文讨论的耦合范围，而是可能随着发展阶段演进与发展方向变化而改变。应对阶段性的关键耦合点予以关注，特别是对提升经济发展与创新投入、社会发展与创新环境、绿色发展与创新绩效的耦合关系给予客观评价。同时，伴随城镇经济发展水平提高、人口老龄化程度加深和数字技术应用速度加快，也可能会出现数字社会和人本社会情境下的科技创新与城镇化之间新的耦合点。例如，“工业 4.0”时代的物理信息系统(CPS)的应用，需要以“社会 5.0”场景下的细胞型社会组织与弹性社会组织为土壤，社会发展的组织结构以及社会开放度就要被纳入耦合分析框架。又如，从全球碳减排的趋势性目标出发，绿色技术发展和创新的绿色化需要被更多考虑；社会因素被放大后，某些类别技术创新的公共物品属性及其扩散要求需要被重视。

参考文献:

[1] WILSON R P, VANDENABEELE S P. Technological innovation in archival tags used in seabird research[J]. Marine Ecology Progress, 2012(451): 245-262.

[2] 郑强. 科技创新对新型城镇化的影响——基于面板门槛模型的实证分析[J]. 城市问题, 2017(6): 25-35.

[3] CARAGLIU A, DEL BO C, KARIMA K, NIJKAMP P. The winner takes it all: Forward-looking cities and urban innovation[J]. The Annals of Regional Science, 2016, 56(3): 617-645.

[4] GLAESER E L, KALLAL H D, SCHEINKMAN J A, et al. Growth in cities[J]. Journal of Political Economy, 1992, 100(6): 1126-1152.

[5] RONDINELLI D A. National innovation systems: A comparative analysis Richard Nelson, ed[J]. The Columbia Journal of World Business, 1993, 28(4): 94-95.

[6] CARLINO G A, CHATTERJEE S, HUNT R M. Urban density and rate of invention[J]. Journal of Urban Economics, 2007, 61(3): 389-419.

[7] PERES R, MULLER E. Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions[J]. International Journal of Research in Marketing, 2010, 27(2): 91-106.

-
- [8] FARAHMAND S, AKBARI N. Spatial affects of localization and urbanization economies on urban employment growth in Iran[J]. Journal of Geography and Regional Planning, 2012, 34(2):115-121.
- [9] 左学金, 王红霞. 大都市创新与人口发展的国际比较——以纽约、东京、伦敦、上海为案例的研究[J]. 社会科学, 2009(2):44-52, 189.
- [10] 程开明, 李金昌. 中国城市化与技术创新关联性的动态分析[J]. 科学学研究, 2008(3):666-672.
- [11] 田逸飘, 刘明月, 张卫国. 城镇化进程对区域科技创新水平的影响[J]. 城市问题, 2018(4):4-11.
- [12] 陈仪, 荀守奎, 兰国辉. 安徽省科技创新与新型城镇化耦合协调度发展研究[J]. 城市学刊, 2019, 40(1):94-100.
- [13] 马海涛, 卢硕, 张文忠. 京津冀城市群城镇化与创新的耦合过程与机理[J]. 地理研究, 2020, 39(2):303-318.
- [14] 吴玉鸣, 徐建华. 中国区域经济增长集聚的空间统计分析[J]. 地理科学, 2004, 24(6):654-659.
- [15] 严盛虎, 李宇, 毛琦梁, 等. 我国城市市政基础设施建设成就、问题与对策[J]. 城市发展研究, 2012, 19(5):28-33.
- [16] 朱高立, 王春杰, 周佳宁, 等. 产业发展、土地集约利用与城市土地扩张[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(7):1473-1485.
- [17] 张丽华, 林善浪, 汪达钦. 我国技术创新活动的集聚效应分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2011, 28(1):3-18.
- [18] 李乃文, 李方正. 创新型科技人才集聚效应研究[J]. 徐州工程学院学报(社会科学版), 2012, 27(2):26-31.
- [19] 唐根年, 沈沁, 管志伟, 等. 中国东南沿海制造业集聚过度及其生产要素拥挤实证研究[J]. 经济地理, 2010, 30(2):263-267.
- [20] 江静, 刘志彪. 商务成本: 长三角产业分布新格局的决定因素考察[J]. 上海经济研究, 2006(11):87-96.
- [21] 孙福庆, 刘亮, 曹祎葭. 上海全球科技创新中心的商务成本比较研究[J]. 上海经济, 2016(1):5-20.
- [22] 黄繁华, 郭卫军. 空间溢出视角下的生产性服务业集聚与长三角城市群经济增长效率[J]. 统计研究, 2021(7):66-79.
- [23] 孙文浩. 科研人才集聚与地区新旧动能转换[J]. 中国人力资源开发, 2021, 38(1):101-113.
- [24] 宛群超, 邓峰. FDI、科技创新与中国新型城镇化——基于空间杜宾模型的实证分析[J]. 华东经济管理, 2017, 31(10):103-111.
- [25] 蒋天颖, 华明浩, 许强, 等. 区域创新与城市化耦合发展机制及其空间分异——以浙江省为例[J]. 经济地理, 2014, 34(6):25-32.
- [26] 刘雷, 喻忠磊, 徐晓红, 等. 城市创新能力与城市化水平的耦合协调分析——以山东省为例[J]. 经济地理, 2016(6):59-

- [27]陈仪, 苟守奎, 兰国辉. 安徽省科技创新与新型城镇化耦合协调度发展研究[J]. 城市学刊, 2019, 40(1):99-105.
- [28]杜传忠, 金华旺. 城镇化与工业化耦合协同对区域自主创新能力的影晌研究——基于空间溢出效应视角[J]. 经济问题探索, 2020(4):85-97.
- [29]董中贤, 胡守勇. 新型城镇化与科技创新创业的融合发展: 逻辑机理, 实践维度与推进路径[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2018, 233(3):133-138.
- [30]滕堂伟, 孙蓉, 胡森林. 长江经济带科技创新与绿色发展的耦合协调及其空间关联[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11):2574-2585.
- [31]武晓静, 杜德斌, 肖刚, 等. 长江经济带城市创新能力差异的时空格局演变[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(4):490-499.
- [32]陈肖飞, 郭建峰, 姚士谋. 长三角城市群新型城镇化与生态环境承载力耦合协调研究: 基于利奥波德的大地伦理观思想[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4):715-724.
- [33]秦红涛, 田钧. 优化电力消费结构助力经济高质量发展[J]. 统计理论与实践, 2021(3):68-72.
- [34]闫涛, 张晓平, 陈浩, 等. 2001-2016 年中国地级以上城市经济的区域差异演变[J]. 经济地理, 2019, 39(12):11-20.
- [35]陈红光, 李晓宁, 李晨洋. 基于变异系数熵权法的水资源系统恢复力评价——以黑龙江省 2007-2016 年水资源情况为例[J]. 生态经济, 2021, 37(1):179-184.
- [36]李建新, 梁曼, 钟业喜. 长江经济带经济与环境协调发展的时空格局及问题区域识别[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12):2584-2596.
- [37]王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3):793-810.
- [38]徐维祥, 李露, 周建平, 等. 乡村振兴与新型城镇化耦合协调的动态演进及其驱动机制[J]. 自然资源学报, 2020, 35(9):2044-2062.
- [39]陈炳, 曾刚, 曹贤忠, 等. 长三角城市群生态文明建设与城市化耦合协调发展研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3):530-541.

注释:

1 人均用电量客观反映经济强度与社会密度^[23], 此处视其为正向指标.

2 2009 年, 以“一揽子计划”为主线的政府工作对我国自主创新能力提升产生了强大推力; 2014 年, 《国家新型城镇化规划(2014-2020 年)》的发布, 对我国城镇化的进程产生了重大影响, 极大地加快了以人为本的城镇化进程.