

# 多维距离下科创中心辐射效应对 区域创新绩效的影响 ——以长三角地区为例

许学国<sup>1</sup> 桂美增<sup>1</sup> 张嘉琳<sup>21</sup>

(1. 上海大学 管理学院, 上海 200444;

2. 上海飞机制造有限公司, 上海 201324)

**【摘要】** 长三角地区是我国综合实力最强的区域之一，是“一带一路”与长江经济带的重要交汇地带。2019年，中央明确提出将长三角区域一体化上升为国家战略，长三角区域整体发展具有不同于其它区域的特殊战略地位，发挥着突出的带动作用。上海建设具有全球影响力的科技创新中心，更加有利于推动长三角一体化高质量发展。基于此，首先借鉴静电场理论，构建创新辐射场模型，对2011-2019年长三角地区辐射效应演变过程进行分析；其次，从时间距离、技术距离和经济距离3个维度探究科技创新中心辐射效应对区域创新绩效的影响；最后，提出推动长三角区域一体化发展的对策建议。

**【关键词】** 多维距离 科技创新中心 辐射效应

**【中图分类号】**: F127.5 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1001-7348(2021)10-0056-09

## 0 引言

在国家规划引导下，我国目前已形成长三角、京津冀、粤港澳三大重点经济发展区域。2019年，中央明确将长三角区域一体化上升为国家战略，长三角区域整体发展具有不同于其它区域的特殊战略地位。长三角作为全国经济发展高地，于2014年率先提出建设上海科创中心的战略规划，通过为上海科创中心提供创新资本与创新要素集聚优势，吸引各地创新资源流入，在政策扶持及良好的创新氛围下，促使自身创新能力不断提升<sup>[1]</sup>。在长三角一体化发展背景下，上海必将成为具有全球影响力的科创中心，以上海为龙头的长三角地区高质量发展迫切需要提升区域科技创新能力。

研究表明，区域发展不仅取决于自身资源禀赋，还与周边地区密切相关。区域协同创新有利于促进创新要素在地区间高效

---

**作者简介**: 许学国(1967-), 男, 江苏盐城人, 博士, 上海大学管理学院教授、博士生导师, 研究方向为创新与知识管理、技术创新管理;

桂美增(1992-), 男, 河南南阳人, 上海大学管理学院博士研究生, 研究方向为技术创新管理;

张嘉琳(1995-), 女, 河南郑州人, 上海飞机制造有限公司职员, 研究方向为区域创新管理。

**基金项目**: 上海市软科学研究领域重点项目(19692108000); 沪苏浙皖“长三角高质量一体化发展重大问题研究”专项项目(2019CSJ004)

流动,进而提升区域创新绩效<sup>[2]</sup>。上海科创中心作为长三角地区的创新引擎,凭借优越的地理位置、良好的创新环境、开放的创新理念吸引创新资本与创新要素集聚。相比之下,长三角地区其它城市因为自身经济及科技水平受限,创新资源集聚效果不佳,导致区域协作与创新效率低下,阻碍长三角一体化发展。在区域协同创新视角下,每个区域的创新活动除利用自身拥有的创新要素外,还需要利用其它区域的创新要素<sup>[3]</sup>,空间辐射溢出效应对区域发展越来越重要<sup>[4]</sup>。辐射性是场源城市的重要特征,它以技术、资金、制度等优势带动周边城市发展<sup>[5]</sup>。上海科创中心以丰富的创新资源、强大的技术优势和创新能力为依托,为推动区域创新主体发展作出重要贡献<sup>[6]</sup>。因此,在长三角区域一体化发展战略背景下,探究上海科创中心辐射效应尤为重要。

目前,已有不少学者对科创中心辐射带动力进行研究。陈搏<sup>[7]</sup>发现,科创中心建设能够促进区域创新绩效提升;王海芸等(2017)以城市“五项责任”为维度构建科创中心评价模型。科创中心辐射效应是科创中心在空间视角下区域协同创新的新表现形式。对目前文献进行梳理发现,大部分学者集中探讨科创中心创新辐射力静态评价指标体系构建,从空间视角测度科创中心创新辐射效应的研究较少。古典物理学认为,空间中的物理量通过“场”进行能量转化和信息交换<sup>[8]</sup>。随着“场”理论及研究方法的不断拓展,逐渐有学者将场论应用于哲学、经济、管理等学科领域,提出知识场、经济场、物流场等概念,并结合电场、磁场、引力场等物理学理论研究主体间相互作用与空间联系<sup>[9-10]</sup>。创新要素在时空中分布不均会产生场效应,促使创新要素在城市间流动。科创中心集聚了丰富的人力、财力资源,通过对原有资源的利用、转化和创造,形成新的知识、信息、技术等资源,产生大量资源流动,并向周边地区辐射。因此,场论对于研究科创中心空间辐射效应具有重要参考价值。

基于此,本研究首先借鉴古典物理学中的静电场模型构建创新辐射场。以长三角地区为例,通过构建上海科创中心对长三角城市群的辐射效应模型,测量上海科创中心建设前后对长三角城市的辐射效应;其次,从多维距离视角分析科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响;最后,提出推动长三角一体化发展的对策建议,为促进长三角一体化高质量发展提供重要参考。

## 1 创新辐射效应测度

### 1.1 创新场模型构建

物质间通常以“场”为介质实现彼此间的联系。任寿根<sup>[11]</sup>研究发现,城市之间也存在“场”,其性质与电场极为相似,并将其命名为城市场。正如电荷运动产生电场,城市间创新要素流动也会产生城市创新场<sup>[12]</sup>。创新场是创新要素存在与活动的空间环境,由于创新要素时空分布不均匀,因此城市间存在创新要素溢出与汲取效应。这种城市间彼此影响的关系与电场中电荷间的关系相似,不同之处在于创新场中各城市既是创新要素的接收者又是创新要素的发送者<sup>[13]</sup>。在创新场中,场源城市拥有较强的辐射力,通过辐射场源城市对存在于场中的场点城市产生影响,场点城市与场源城市相对静止,这与静电场中场源与电荷的关系相类似。因此,本文对物理学中的静电场和城市间的创新场进行对比<sup>[14]</sup>,发现两者具有很多相似性。

首先,物理学中的静电场具有场源,而在创新场中,创新要素聚集区域被视为场源。因此,无论是静电场还是创新场,两者均存在场源;其次,在静电场中电场相互叠加,从而形成新电场。同时,创新场也具有相同特性,场源与场点城市间不同创新要素相互叠加,从而形成新创新场<sup>[15]</sup>;再次,电流是由于静电场中电荷间存在电势差所引致。而在创新场中,同样由于场源与场点城市创新要素存在势差,进而形成城市间的创新流<sup>[13]</sup>。通常情况下,城市间的创新要素势差越大,产生的创新流也就越大;最后,静电场中电场强度与电荷距离成反比。而在创新场中,场源城市对场点城市的辐射强度随着距离的缩短,能够降低人才、资金和技术等资源流动成本,从而促进场源城市产生更强的辐射效应<sup>[16]</sup>。因此,创新场中的辐射强度与电场强度相似,两者均存在与距离成反比的特性。

由于创新场与静电场特征相类似(见表 1),因此本文依据电场理论相应公式,赋予其创新含义,进而推导出创新场辐射理论模型。由于静电场是一个矢量场,因此将创新场也定义为矢量场。在空间坐标系中,  $(x', y', z')$  为场源,  $(x, y, z)$  为场点,  $\vec{r}$  和  $\vec{r}'$  分别表示坐标系原点到场源与场点的矢量距离。 $\vec{e}$  为单位矢量,因此  $\vec{r} = x\vec{e}_1 + y\vec{e}_2 + z\vec{e}_3$ ,  $\vec{r}' = x'\vec{e}_1 + y'\vec{e}_2 + z'\vec{e}_3$ 。由此可见,创新场中场源与场点的距离  $\bar{r}$  为:

$$\begin{aligned}\vec{R} &= \vec{r} - \vec{r}' = (x - x')\vec{e}_x + (y - y')\vec{e}_y + (z - z')\vec{e}_z \\ &= R\vec{e}_R\end{aligned}\quad (1)$$

依据静电场强度计算公式 $\vec{E} = \frac{Q}{\epsilon r^2}\vec{e}_r$ 可知, 电场场强 $E$ 与电荷量 $Q$ 、静电力常数 $\epsilon$ 成正比, 与空间距离 $r^2$ 成反比。因此, 结合张刚等<sup>[17]</sup>的研究, 创新场辐射强度为矢量 $RE(r)$ , 方向为创新要素输出地指向创新要素汇入地, 场源对空间 $\vec{r}$ 处场点的创新辐射强度为:

$$\vec{RE}(\vec{r}) = k \frac{Q}{R^2} \vec{e}_R = k \frac{Q}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} \vec{e}_R \quad (2)$$

表 1 静电场与创新场相似性特征

| 静电场               | 创新场           |
|-------------------|---------------|
| 点电荷               | 场源: 创新主体      |
| 点电荷电荷量: $Q$       | 场源创新要素总量: $Q$ |
| 场强: $E$           | 创新辐射场场强: $RE$ |
| 空间距离: $r$         | 创新辐射距离: $R$   |
| 静电力常量: $\epsilon$ | 创新辐射场因子: $k$  |

## 1.2 变量选取

### 1.2.1 科创中心评价指标体系构建

为计算创新场中场源与场点之间的辐射强度, 首先需要计算创新场中场源的创新要素总量 $Q$ 。本文创新场中的场源为上海科创中心, 因此构建科创中心评价指标体系, 对上海科创中心的创新要素进行计算, 进而获取场源创新要素总量。陈搏<sup>[7]</sup>对全球科创中心进行系统性研究, 从资源投入、成果创新和资源环境等方面构建相应评价指标体系。本文在借鉴其研究成果的基础上, 结合创新场辐射过程, 从资源、成果和环境 3 个方面构建科创中心评价指标体系(见表 2), 从而更加全面、系统地测算场源创新要素总量。

为获取创新场中场源创新要素总量, 首先需要确定各指标权重, 本文采用熵值法获取各指标权重。由于面板数据无法通过传统熵值法计算各指标权重, 因此采用添加时间因素的改进熵值法进行权重计算, 具体过程如下:

假设评价指标体系由 $n$ 项指标构成, 研究对象为 $T$ 年 $m$ 个城市,  $x_{ij}^t$ 表示 $i$ 个城市第 $j$ 项指标第 $t$ 年的数据值, 初始评价矩阵为 $X = \{x_{ij}^t\}_{m \times T \times n}$ 。

首先，对数据进行标准化处理，并对数据值进行平移。

$$(x_{ij}^t)' = \frac{x_{ij}^t - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} + 1, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$(x_{ij}^t)' = \frac{x_{j\max} - x_{ij}^t}{x_{j\max} - x_{j\min}} + 1, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

其中， $(x_{ij}^t)'$  为标准化后的值， $(x_{ij}^t)' \in [1, 2]$   $(x_{ij}^t)' \in [1, 2]$ 。  $x_{j\max}$  为第  $j$  项指标的最大值， $x_{j\min}$  为第  $j$  项指标的最小值。

其次，计算第  $j$  项指标的熵值  $e_j$ 。

$$e_j = -\frac{1}{\ln m T} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m q_{ij}^t \ln q_{ij}^t, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式(5)中， $q_{ij}^t = \frac{(x_{ij}^t)'}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m (x_{ij}^t)'}$  表示各项指标的比重。

最后，得出第  $j$  项指标的权重  $w_j$ 。

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (6)$$

各指标权重值如表 2 所示，通过公式  $Q = a_1 Q_1 + a_2 Q_2 + a_3 Q_3$  可以获取科创中心的创新资源总量。其中， $Q_1$  表示创新资源， $Q_2$  表示创新成果， $Q_3$  表示创新环境， $a_i (i=1, 2, 3)$  为各指标对应的权重。

### 1.2.2 创新要素吸收能力

在创新场中，场点城市所受辐射力与自身吸收能力相关。若场点城市的吸收能力较差，即使在创新场中存在较大的创新流，场点城市仍无法很好地消化吸收，由此产生较差的辐射效果。孙兆刚等<sup>[18]</sup>研究发现，城市之间创新要素差距( $k_1$ )和场点城市利用能力( $k_2$ )共同影响场点城市的创新吸收能力，且影响程度相同。因此有：

$$k = 0.5k_1 + 0.5k_2 \quad (7)$$

### 1.2.3 多维距离构建

创新场中场源创新要素辐射是一种空间行为，在辐射过程中受各种因素影响。通过分析创新场辐射强度公式发现，场源与场点间的距离能够直接产生辐射作用。在实际分析过程中，可从多种维度对城市间的距离进行衡量，如地理距离、时间距离和经济距离等。因此，本文从多维距离视角出发，测算不同维度下城市间的实际距离，从更加精细的角度分析不同距离场点城市所受的辐射效应。

(1)时间距离 (GD)。

本文采用城际间乘坐交通工具最快到达的时间对其进行度量。通过查阅城市间高铁、铁路、公路时间信息，最终获得原始时间距离 (D)。由于长三角地区包含一市三省众多城市，不同城市间的交通便利程度存在较大差异，仅使用原始时间距离指标无法准确反映城市间的时间距离<sup>[19]</sup>。因此，本文选用城市客运量和货运量两个指标度量城市交通便利性，并对原始时间距离进行修正。首先，计算场源城市对场点城市交通便利性的比值并进行归一化处理，通过专家意见赋予比值权重进而获得各场点城市的交通便利度  $\alpha$  ,进而获得修正后的时间距离 GD。

$$GD=(1-\alpha)D \tag{8}$$

(2)技术距离 (TD)。

通过研发费用、R&D 人员数、专利数等指标对城市间的技术距离进行量度。其中，专利数最能直观反映城市技术创新能力，因此本文采用城市间专利数量差距表征城市间的技术距离。

$$TD=\frac{\omega}{\omega_i} \tag{9}$$

其中， $\omega_i$ 为场点城市专利数， $\omega$  为场源城市专利数。

(3)经济距离 (ED)。

地区创新活动不仅受地理距离的影响，而且与地区间的经济差距存在一定关系。地区之间若存在巨大的经济差距，则会限制先进知识传播。因此，本文采用城市间 GDP 差距表征城市间的经济距离。

$$ED=\frac{\varphi}{\varphi_i} \tag{10}$$

其中， $\varphi_i$ 为场点城市的 GDP,  $\varphi$  为场源城市的 GDP。

表 2 科创中心评价指标权重

| 一级指标           | 二级指标           | 三级指标             | 权重      |
|----------------|----------------|------------------|---------|
| 创新资源 (0. 4512) | 人力资源 (0. 1513) | 科学技术活动人数 (万人)    | 0. 0426 |
|                |                | 普通高等学校在校学生数 (万人) | 0. 0504 |

|               |               |                   |        |
|---------------|---------------|-------------------|--------|
|               |               | R&D 人员全时当量(万人年)   | 0.0583 |
|               | 技术资源 (0.1459) | 3 种专利申请量(件)       | 0.0557 |
|               |               | 新产品开发项目数(项)       | 0.0509 |
|               |               | 高等学校研发课题数(项)      | 0.0393 |
|               | 资本资源 (0.1540) | R&D 经费内部支出(亿元)    | 0.0387 |
|               |               | 地方财政科技经费(亿元)      | 0.0376 |
|               |               | 地方教育经费(亿元)        | 0.0348 |
|               |               | 新产品开发经费(亿元)       | 0.0429 |
| 创新成果 (0.2152) | 知识成果 (0.1289) | 科技论文数(篇)          | 0.0698 |
|               |               | 3 种专利授权量(件)       | 0.0591 |
|               | 产业成果 (0.0863) | 技术合同成交额(亿元)       | 0.0404 |
|               |               | 新产品销售收入(亿元)       | 0.0459 |
| 创新环境 (0.3336) | 人文环境 (0.1838) | 普通高等学校数(所)        | 0.0659 |
|               |               | 公共图书馆藏书量(万册)      | 0.0388 |
|               |               | 互联网用户数(万人)        | 0.0380 |
|               |               | 移动电话用户数(万人)       | 0.0411 |
|               | 产业环境 (0.0846) | 第三产业占 GDP 的比重(/)  | 0.0461 |
|               |               | 高新技术企业数(家)        | 0.0385 |
|               | 生态环境 (0.0652) | 一般工业固体废物综合利用率(/)  | 0.0434 |
|               |               | GDP 综合能耗(吨标准煤/万元) | 0.0218 |

### 1.3 辐射效应测度

在本文构建的创新场中，场源为上海科创中心，场点为苏浙皖 3 省 26 个城市。通过公式计算创新场中场源对场点的辐射强度，进而获取上海科创中心对长三角城市群的辐射效应(见表 3)。本文时间跨度为 2011—2019 年，数据来源于长三角地区 2012—2020《中国城市统计年鉴》和《科技统计年鉴》。

由表 3 结果可知，2019 年场源城市上海对场点城市的辐射效应较 2011 年明显增强。这是因为，上海自 2014 年提出建立科创中心以来，政府不断增加科技创新投入，实施促进高新技术企业发展的相关政策，有效提升了城市科技创新成果转化能力。因此，上海科技创新要素总量整体有所增加。为详细考察 26 个地级市辐射效应变化情况，本文将 2011 年和 2019 年各城市基于多维距离视角下的辐射强度值分别输入 ArcGIS10.6 软件，采用自然间断点法进行分析，从时间、技术和经济 3 个视角分析长三角城市群辐射效应演变情况，结果见表 4~表 6。

本文将辐射强度分为 4 类，分别为辐射强度高、较强、较弱和弱。由表 4 可以看出，基于时间距离的长三角城市辐射效应基本有所提升。辐射效应弱的城市由 2011 年的 9 个缩减为 2019 年的 5 个。其中，南通由 2011 年较弱变为弱，是由于近年来长三角地区城市间高铁线路逐渐增多，而通沪高铁仍未开通，从而影响时间距离下南通创新辐射强度。未来，随着通沪高铁的开通，将会极大地提升上海对南通的辐射强度。

由表 5 可知，与 2011 年相比，2019 年上海对各城市的辐射强度值较强以上地区大幅增长，辐射强度较弱以下地区由 18 个降至 11 个。这表明，上海在 2014 年科创中心建成后，有效增强了对长三角各城市的创新辐射强度。

由表 6 可知，2019 年各区域基于经济距离辐射强度均有不同程度提升，辐射强度较强以上的城市由 10 个增至 14 个。此外，辐射强度弱的地区由 2011 年的 7 个缩减至 4 个。从省级视角看，上海科创中心对浙江各城市的辐射强度总体表现较好，浙江各城市受到的辐射强度基本处于较强以上。为剖析多维距离下辐射效应对区域创新绩效的影响机理，本文采用回归模型进行检验。

表 4 基于时间距离的创新辐射强度地区划分

| 辐射强度 | 得分           | 2011 年                      | 2019 年                     |
|------|--------------|-----------------------------|----------------------------|
| 强    | (1.28, 1.66] | 苏州、杭州、绍兴                    | 苏州、杭州、宁波、嘉兴、绍兴             |
| 较强   | (0.91, 1.28] | 南京、无锡、宁波、嘉兴、金华、合肥           | 南京、无锡、镇江、温州、湖州、金华、台州、合肥、滁州 |
| 较弱   | (0.57, 0.91] | 常州、南通、镇江、温州、湖州、台州、滁州、芜湖     | 常州、扬州、马鞍山、芜湖、铜陵、池州、安庆      |
| 弱    | (0, 0.57]    | 盐城、扬州、泰州、舟山、马鞍山、宣城、铜陵、池州、安庆 | 南通、盐城、泰州、舟山、宣城             |

表 5 基于技术距离的创新辐射强度地区划分

| 辐射强度 | 得分           | 2011 年                              | 2019 年                  |
|------|--------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 强    | (1.41, 1.79] | 苏州、南通、杭州、绍兴、合肥                      | 苏州、杭州、宁波、温州、嘉兴、湖州、绍兴、合肥 |
| 较强   | (1.09, 1.41] | 宁波、金华、芜湖                            | 南京、无锡、南通、扬州、镇江、金华、台州    |
| 较弱   | (0.69, 1.09] | 南京、无锡、常州、盐城、扬州、镇江、泰州、温州、嘉兴、湖州、台州、宣城 | 常州、盐城、泰州、滁州、马鞍山、芜湖      |
| 弱    | (0, 0.69]    | 舟山、滁州、马鞍山、铜陵、池州、安庆                  | 舟山、宣城、铜陵、池州、安庆          |

表 6 基于经济距离的创新辐射强度地区划分

| 辐射强度 | 得分           | 2011 年                      | 2019 年                  |
|------|--------------|-----------------------------|-------------------------|
| 强    | (1.25, 1.72] | 苏州、南通、杭州、宁波、绍兴、合肥           | 苏州、杭州、宁波、温州、嘉兴、绍兴、合肥    |
| 较强   | (0.95, 1.25] | 南京、无锡、金华、芜湖                 | 南京、无锡、南通、扬州、镇江、湖州、金华、台州 |
| 较弱   | (0.67, 0.95] | 常州、盐城、扬州、镇江、泰州、温州、嘉兴、台州、马鞍山 | 盐城、常州、泰州、滁州、芜湖、铜陵、安庆    |
| 弱    | (0, 0.67]    | 湖州、舟山、滁州、宣城、铜陵、池州、安庆        | 舟山、马鞍山、宣城、池州            |

## 2 科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响

### 2.1 模型设定

本文采用 Jaffe<sup>[20]</sup>的知识生产函数构建实证模型，检验科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响机理。该函数在对产业创新影响因素进行评价时，着重揭示供需匹配度在知识溢出中所发挥的作用。知识积累与创新是创新绩效提升的重要来源<sup>[21]</sup>，因此创新绩效提升过程类似于知识生产过程。此外，区域间多维距离也是双方匹配的重要因素。基于此，采用该模型能够更好地揭示科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响机理，模型设定如下：

$$\begin{aligned}
 INP_{i,t} = & \lambda + \alpha_1 RE_{i,j,t-1} \times GD_{i,j,t-1} + \alpha_2 RE_{i,j,t-1} \times \\
 & TD_{i,j,t-1} \times \alpha_3 RE_{i,j,t-1} \times ED_{i,j,t-1} + \beta_1 RE_{i,j,t-1} + \\
 & \beta_2 GD_{i,j,t-1} + \beta_3 TD_{i,j,t-1} + \beta_4 ED_{i,j,t-1} + \sum_k \gamma_k Z_{i,t-1} + \varepsilon
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

其中， $INP_{it}$  为  $i$  城市第  $t$  年的区域创新绩效， $RE_{i,j,t-1}$  为场源城市  $j$  对场点城市  $i$  在  $t-1$  年的辐射效应。 $GD_{i,j,t-1}$ 、 $TD_{i,j,t-1}$ 、 $ED_{i,j,t-1}$  分别表示  $t-1$  年地区  $i$  与地区  $j$  间的时间、技术和经济距离。为描述时间、技术、经济距离下辐射效应对区域创新绩效的影响，采用  $RE_{i,j,t-1} \times GD_{i,j,t-1}$ 、 $RE_{i,j,t-1} \times TD_{i,j,t-1}$ 、 $RE_{i,j,t-1} \times ED_{i,j,t-1}$  分别表示辐射效应与不同距离的交互项。若该交互项系数显著为负，则说明相应距离越小，辐射力对区域创新绩效提升的作用越大。 $Z_{i,t-1}$  为控制变量， $\lambda$  为常数项， $\varepsilon$  为随机误差项。

由于交通便利程度提高，城市间的时空距离不断压缩。为在时空压缩背景下分析技术距离与经济距离辐射效应对区域创新绩效的影响，本文在公式(11)的基础上添加辐射效应以及时间距离与技术距离、时间距离与经济距离的交互项，从而对多维距离交互作用下科创中心辐射效应影响区域创新绩效的作用机理进行探析。具体模型设定如下：

$$\begin{aligned}
INP_{i,t} = & \lambda + \varphi_1 RE_{i,j,t-1} \times GD_{i,j,t-1} \times TD_{i,j,t-1} + \\
& \varphi_2 RE_{i,j,t-1} \times GD_{i,j,t-1} \times ED_{i,j,t-1} + \alpha_1 RE_{i,j,t-1} \times \\
& GD_{i,j,t-1} + \alpha_2 RE_{i,j,t-1} \times TD_{i,j,t-1} + \alpha_3 RE_{i,j,t-1} \times \\
& ED_{i,j,t-1} + \beta_1 RE_{i,j,t-1} + \beta_2 GD_{i,j,t-1} + \beta_3 TD_{i,j,t-1} + \\
& \beta_4 ED_{i,j,t-1} + \sum_k \gamma_k Z_{i,t-1} + \epsilon
\end{aligned} \quad (12)$$

## 2.2 变量设定

### (1) 被解释变量。

区域创新绩效 (INP) 反映一个区域知识与技术的发展状况<sup>[22]</sup>。现阶段, 学者通过创新投入和创新产出两方面进行衡量<sup>[23-24]</sup>, 常采用专利数和新产品收入作为衡量指标<sup>[25-26]</sup>。由于专利申请到专利授权存在较长的时间差, 部分学者认为专利数不能准确反映区域创新绩效 (张玉臣等, 2013)。因此, 本文借鉴其研究成果, 采用新产品收入指标对区域创新绩效进行测量。

### (2) 解释变量。

创新辐射效应 ( $RE_{i,j,t-1}$ ) 依据高德地图获取城市  $i$  与城市  $j$  之间的直线距离 ( $SD_{i,j}$ )<sup>[27]</sup>, 通过公式 (2) 计算获得。时间距离、技术距离、经济距离通过公式 (8)~(10) 计算得到。

### (3) 控制变量。

①基础设施建设水平、区域建设水平差异影响区域创新绩效, 交通设施完备性影响区域创新能力, 因此本文采用城市人均道路面积 (INF) 表征基础设施建设水平 (孙晓华等, 2013); ②经济发展水平。经济发展为区域创新提供资金支撑, 是影响区域创新的重要因素。因此, 本文采用人均地区生产总值 (PGDP) 对其进行衡量<sup>[28]</sup>; ③财力投入影响区域创新绩效, 故本文采用 R&D 内部经费投入 (CP) (张晓华等, 2013) 对其进行衡量; ④科技创新人员是创新主体及创新的驱动力, 故本文采用高等教育教师数 (HC) 表征人力资本投入<sup>[29]</sup>; ⑤对外开放程度采用外商直接投资 (FDI) 进行衡量, 因为 FDI 通过资本流入对区域创新绩效产生影响<sup>[30]</sup>; ⑥技术市场作为技术商品交易的平台, 对区域创新发展至关重要, 因此本文采用技术合同成交额 (INN) 衡量技术市场活跃度<sup>[28]</sup>。本文涉及的变量名称、符号及含义见表 7。

表 7 变量说明

| 变量   |          | 符号  | 含义            |
|------|----------|-----|---------------|
| 因变量  | 区域创新绩效   | INP | 新产品销售收入       |
| 自变量  | 辐射效应     | RE  | 直线距离下城市间的辐射力值 |
|      | 时间距离     | GD  | 基于交通便利修正的时间距离 |
|      | 技术距离     | TD  | 专利申请差距        |
|      | 经济距离     | ED  | GDP 差距        |
| 控制变量 | 基础设施建设水平 | INF | 人均道路面积        |

|  |          |      |            |
|--|----------|------|------------|
|  | 经济发展水平   | PGDP | 人均 GDP     |
|  | 财力资本     | CP   | R&D 经费内部投入 |
|  | 人力资本     | HC   | 高等教育教师数    |
|  | 对外开放程度   | FDI  | 外商直接投资     |
|  | 技术市场活跃程度 | INN  | 技术合同成交额    |

### 2.3 实证结果分析

由于科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响存在滞后性，因此解释变量均采用滞后一期数据，各变量描述性统计结果见表 8。

为避免模型存在异方差及共线性问题，对所有变量采用取对数处理。检验结果显示，变量 VIF 值均小于 5，说明基本可以忽略多重共线问题。本文运用 Stata16.0 软件对式 (12) 和式 (13) 进行回归分析，结果见表 9 和表 10。

由表 9 中模型 (1)~(5) 结果可知，统计量  $\text{Adj. } R^2$  均高于 0.7，表明模型拟合度较好。从回归结果 (1) 中可以看出，辐射效应 (RE) 的回归系数显著为正，表明科创中心辐射效应能够显著正向影响区域创新绩效。为分析多维距离辐射效应对区域创新绩效的影响，本文逐步加入距离变量，结果如模型 (2)~(4) 所示。3 种距离与辐射效应交互项的  $p$  值均小于 0.01 且符号为负，表明区域创新绩效受时间距离、技术距离和经济距离的显著负向影响。通过观测系数大小可以发现，经济距离下科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响最大，表明随着场源城市与场点城市经济差距的不断缩小，场点城市接收消化场源城市辐射创新要素的能力更强。模型 (5) 结果显示，辐射效应与时间距离交互项 ( $\text{RE} \times \text{GD}$ ) 系数的绝对值小于辐射效应与技术距离交互项 ( $\text{RE} \times \text{TD}$ ) 及辐射效应与经济距离交互项 ( $\text{RE} \times \text{ED}$ ) 系数的绝对值，说明时间距离下辐射效应的作用低于技术距离与经济距离。这表明，随着经济与技术的飞速发展，区域间要素流动越发便利，时间距离对创新要素的溢出效应逐步衰减。

表 8 变量描述性统计结果

| 变量       | 符号   | 样本数 | 平均数   | 标准偏差 | 最小值  | 最大值   |
|----------|------|-----|-------|------|------|-------|
| 区域创新绩效   | INP  | 234 | 6.79  | 1.19 | 2.17 | 8.79  |
| 辐射效应     | RE   | 234 | 0.77  | 0.03 | 0.22 | 1.59  |
| 时间距离     | GD   | 234 | 1.33  | 0.27 | 1.01 | 2.00  |
| 技术距离     | TD   | 234 | 1.20  | 0.27 | 1.00 | 2.00  |
| 经济距离     | ED   | 234 | 1.22  | 0.23 | 1.01 | 2.00  |
| 基础设施建设水平 | INF  | 234 | 18.59 | 6.66 | 4.66 | 43.90 |
| 经济发展水平   | PGDP | 234 | 7.83  | 3.44 | 2.16 | 19.90 |
| 财力资本     | CP   | 234 | 0.02  | 0.01 | 0.00 | 0.03  |

|          |     |     |        |        |      |        |
|----------|-----|-----|--------|--------|------|--------|
| 人力资本     | HC  | 234 | 5.44   | 5.31   | 0.26 | 24.43  |
| 对外开放程度   | FDI | 234 | 119.59 | 117.40 | 5.05 | 573.43 |
| 技术市场活跃程度 | INN | 234 | 30.81  | 49.43  | 0.06 | 284.75 |

表 9 多维距离辐射效应对区域创新绩效影响的估计结果

| 变量                  | Model <sub>1</sub>     | Model <sub>2</sub>     | Model <sub>3</sub>     | Model <sub>4</sub>     | Model <sub>5</sub>     |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| RE                  | 0.0361 <sup>*</sup>    | 0.0143 <sup>**</sup>   | 0.0166 <sup>***</sup>  | 0.0226 <sup>***</sup>  | 0.0231 <sup>***</sup>  |
| RE×GD               |                        | -0.062 <sup>***</sup>  |                        |                        | -0.0129 <sup>***</sup> |
| RE×TD               |                        |                        | -0.0301 <sup>***</sup> |                        | -0.0226 <sup>**</sup>  |
| RE×ED               |                        |                        |                        | -0.0409 <sup>***</sup> | -0.0356 <sup>***</sup> |
| GD                  | -0.0872 <sup>***</sup> | -0.0050 <sup>***</sup> | -0.0082 <sup>**</sup>  | -0.0084 <sup>***</sup> | -0.0086 <sup>**</sup>  |
| TD                  | -0.0213 <sup>***</sup> | -0.0087 <sup>***</sup> | -0.0071 <sup>***</sup> | -0.0124 <sup>***</sup> | -0.0212 <sup>***</sup> |
| ED                  | -0.0012 <sup>***</sup> | -0.0198 <sup>***</sup> | -0.0182 <sup>***</sup> | -0.0121 <sup>***</sup> | -0.0305 <sup>***</sup> |
| INF                 | 0.0041                 | 0.0003                 | 0.0019                 | 0.0026                 | 0.0029                 |
| PGDP                | 0.0147 <sup>***</sup>  | 0.0023 <sup>***</sup>  | 0.0003 <sup>***</sup>  | 0.0049 <sup>***</sup>  | 0.0111 <sup>**</sup>   |
| CP                  | 0.0132 <sup>**</sup>   | 0.0084 <sup>***</sup>  | 0.0126 <sup>**</sup>   | 0.0931 <sup>***</sup>  | 0.0248 <sup>***</sup>  |
| HC                  | 0.0067 <sup>***</sup>  | 0.0191 <sup>***</sup>  | 0.0115 <sup>**</sup>   | 0.0066 <sup>**</sup>   | 0.00613 <sup>***</sup> |
| FDI                 | 0.0091                 | 0.0251                 | 0.0245                 | 0.0204                 | 0.0381                 |
| INN                 | 0.0016 <sup>**</sup>   | 0.0003 <sup>***</sup>  | 0.0046 <sup>**</sup>   | 0.0032 <sup>***</sup>  | 0.0024 <sup>***</sup>  |
| _cons               | 0.0024 <sup>***</sup>  | 0.0025 <sup>***</sup>  | 0.0049 <sup>***</sup>  | 0.0031 <sup>***</sup>  | 0.0036 <sup>***</sup>  |
| N                   | 234                    | 234                    | 234                    | 234                    | 234                    |
| R <sup>2</sup>      | 0.749                  | 0.749                  | 0.777                  | 0.781                  | 0.814                  |
| Adj. R <sup>2</sup> | 0.729                  | 0.726                  | 0.768                  | 0.761                  | 0.789                  |
| F 检验                | 63.12 <sup>***</sup>   | 62.47 <sup>***</sup>   | 81.35 <sup>***</sup>   | 82.01 <sup>***</sup>   | 70.56 <sup>***</sup>   |
| Hausman 检验          | 7.16 (P=0.283)         | 10.87 (P=0.175)        | 12.73 (P=0.072)        | 18.47 (P=0.010)        | 21.16 (P=0.006)        |
| 模型类型                | RE                     | RE                     | RE                     | FE                     | FE                     |

场点城市受到的创新辐射效应与多维距离有关，同时不同类型距离对科创中心辐射效应的影响呈现出一种复合作用特征。

目前，随着交通工具的日益便利，时空压缩已成为地区空间变化的典型特征。那么，空间距离变化是否会重塑科创中心辐射效应作用机制?为此，需要进一步探讨时空压缩下多维距离对科创中心辐射效应的影响。根据公式(12)构建实证模型，结果如表 10 所示。

由表 10 模型(6)~(8)结果可知，统计量 Adj.  $R^2$  均高于 0.7, 表明模型拟合度较好。由模型(6)和(7)结果可知，辐射效应、时间距离和技术距离的交互项( $RE \times GD \times TD$ )系数以及辐射效应、时间距离和经济距离的交互项( $RE \times GD \times ED$ )系数均显著为正，说明时间距离变化对技术距离和经济距离的辐射效应具有显著调节作用。这表明，时空压缩降低了地区间由于技术距离和经济距离过高所造成的辐射效应限制作用<sup>[31]</sup>。

表 10 多维距离交互下辐射效应对区域创新绩效影响的估计结果

| 变量                       | Model <sub>6</sub> | Model <sub>7</sub> | Model <sub>8</sub> |
|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| RE                       | 0.0402***          | 0.0391***          | 0.0415***          |
| $RE \times GD \times TD$ | -0.0254**          |                    | -0.0136**          |
| $RE \times GD \times ED$ |                    | -0.0413***         | -0.0647***         |
| $RE \times GD$           | -0.2475**          | -0.0263            | -0.0314            |
| $RE \times TD$           | -0.0355**          | -0.0546**          | -0.0674**          |
| $RE \times ED$           | -0.0532**          | -0.0524**          | -0.0611**          |
| GD                       | -0.0362            | -0.0351            | -0.0374            |
| TD                       | -0.0212**          | -0.0249**          | -0.0066**          |
| ED                       | -0.0102**          | -0.0126***         | -0.0087***         |
| INF                      | 0.0105             | 0.0101             | 0.0103             |
| PGDP                     | 0.0261***          | 0.0261***          | 0.0242***          |
| CP                       | 0.0012***          | 0.0017***          | 0.0022***          |
| HC                       | 0.0214***          | 0.0202***          | 0.0196***          |
| FDI                      | 0.0186*            | 0.0183             | 0.0176             |
| INN                      | 0.0025***          | 0.0027***          | 0.0223***          |
| _cons                    | -0.0253***         | -0.0236***         | -0.0246***         |
| N                        | 234                | 234                | 234                |
| $R^2$                    | 0.727              | 0.742              | 0.733              |
| Adj. $R^2$               | 0.716              | 0.723              | 0.726              |
| F 检验                     | 53.74***           | 58.15***           | 50.62***           |

|            |                 |                 |                 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Hausman 检验 | 21.67 (P=0.010) | 19.38 (P=0.023) | 21.24 (P=0.024) |
| 模型类型       | FE              | FE              | FE              |

### 3 结语

#### 3.1 研究结论

本文通过梳理国内外科创中心、创新空间理论和辐射理论相关文献，结合长三角一体化发展，研究上海科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响。首先，分析科创中心创新辐射原理，构建创新场；其次，构建科创中心评价指标体系，对上海科创中心创新要素总量进行衡量；再次，对长三角城市群辐射强度进行测算；最后，基于多维距离复合作用机制，探讨城市间多维距离辐射效应对区域创新绩效的影响。结果表明，长三角城市群 2019 年受到的创新辐射强度较 2011 年有大幅提升。这是因为，上海自 2014 年提出建设科创中心以来，政府不断增加科技创新投入，实施促进高新技术企业发展的相关政策，有效提升了城市科技创新成果转化能力。另外，上海在科技创新方面的创新要素总量在整体上有所增加。

同时，根据面板数据回归分析结果发现，区域创新绩效受科创中心辐射效应的正向影响，影响程度因地区时间距离、技术距离和经济距离的不同而不同，具体表现为城市间多维距离与区域创新绩效负相关。其中，经济距离是影响科创中心辐射效应的首要因素，其次是技术距离。在时空压缩视角下，时间距离变化对技术距离和经济距离的辐射效应具有显著调节作用，其有助于缓解地区间由于技术距离和经济距离过大而造成辐射效应受限的问题。

#### 3.2 对策建议

(1) 重视多维距离影响因素，发挥创新要素空间辐射效应，提升科技创新欠发达地区创新能力。科技创新发达地区的辐射效应应具有显著的路径依赖特征，对与自身空间距离较近的地区辐射效应较强。因此，长三角地区应注重多维距离影响因素所发挥的作用，缩短时空距离，减小技术、经济水平差距，加强科技创新交流与合作，充分发挥空间辐射效应。

(2) 构建区域“科创走廊”，提升区域创新效率。为更好地发挥上海科创中心的辐射带动作用，长三角各地区应，借鉴美国 128 号公路地区、硅谷和日本筑波科学城的成功经验，依托科创中心构建区域“科创走廊”，使创新主体实现跨区域沟通协作，带动区域创新发展，建设“一核多廊”的区域“科创走廊”。

#### 3.3 不足与展望

本文存在以下不足：①由于数据可获取性有限，本文构建的科创中心评价指标体系仍不完善，未来将进一步完善科创中心评价指标体系，对科创中心进行科学、全面的评价；②本文借鉴经典电场理论构建科创中心辐射量场模型，仅对科创中心辐射强度进行衡量，未对科创中心辐射效率进行探讨。未来将借鉴磁场理论构建科创中心辐射质场模型，对科创中心辐射质量进行研究；③本文仅探讨时间距离、技术距离和经济距离下科创中心辐射效应对区域创新绩效的影响，未来将进一步借鉴经济地理学中的多维邻近概念，对文化距离、社会距离和产业结构距离等维度进行讨论。

#### 参考文献:

[1]王海军, 骆建文. 基于长三角经济带发展的上海科创中心建设对策[J]. 科技管理研究, 2016, 36(8):64-68.

- 
- [2] 范斐, 连欢, 王雪利, 等. 区域协同创新对创新绩效的影响机制研究[J]. 地理科学, 2020, 40(2):165-172.
- [3] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. 经济研究, 2015, 50(7):174-187.
- [4] TAN F, KONG Q. Uncovering the driving mechanism of regional synergistic development based on Haken model: case of the bohai rim region[J]. Environment Development and Sustainability, 2020, 22(4):3291-3308.
- [5] 李辉, 顾荣华, 朱玉林. 土地出让对长江中游城市群经济辐射的影响效应与形成机制研究[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(1):35-43.
- [6] 丁明磊, 王革. 中国的全球科创中心建设: 战略与路径[J]. 人民论坛·学术前沿, 2020, 190(6):32-37, 53.
- [7] 陈搏. 全球科创中心评价指标体系初探[J]. 科研管理, 2016, 37(S1):289-295.
- [8] PERROUX F. Economic space: theory and applications[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1950, 64(1):89-104.
- [9] SIMINI F, GONZALEZ MC, MARITAN A, et al. A universal model for mobility and migration patterns[J]. Nature, 2012, 484(7392):96-100.
- [10] 于谨凯, 马健秋. 山东半岛城市群经济联系空间格局演变研究[J]. 地理科学, 2018, 38(11):1875-1882.
- [11] 任寿根. 城市兼并、城市场与城市经济发展[J]. 管理世界, 2005, 21(4):28-34.
- [12] 许学国, 梅冰青, 吴耀威. 基于知识属性与场论的空间知识辐射效应研究——以长三角地区为例[J]. 科技进步与对策, 2016, 33(2):148-153.
- [13] KESIDOU E, ROMIJN H. Do local knowledge spillovers matter for development? an empirical study of uruguay's software cluster[J]. World Development, 2008, 36(10):2004-2028.
- [14] 张刚. 基于场论的城市间相互作用的机理和效应研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [15] 张刚, 贾志永, 左大杰. 城市量场、城市质场与城市间相互作用研究——基于经济物理学方法[J]. 华东经济管理, 2015, 29(12):45-50.
- [16] 庄汝龙, 宓科娜, 赵彪, 等. 基于可达性的中心城市市场能与经济关联格局——以浙江省为例[J]. 经济地理, 2016, 36(9):58-65.
- [17] 张刚, 张爱英, 左大杰. 从经济物理学到城市场略论[J]. 经济问题, 2016, 438(2):18-23.
- [18] 孙兆刚, 刘则渊, 孟丽菊. 企业对知识溢出吸收能力的测度[J]. 科学技术与工程, 2005, 2(4):233-236, 240.
- [19] ZHANG W, DERUDDER B, WANG J, et al. An analysis of the determinants of the multiplex urban networks in the Yangtze River Delta[J]. Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie, 2020, 111(2):117-133.

- 
- [20]JAFKE AB.Real effects of academic research[J].The American Economic Review,1989,79(5):957-970.
- [21]姜骞,唐震.“资源-能力-关系”框架下网络能力与科技企业孵化器服务创新绩效研究——知识积累的中介作用与知识基的调节作用[J].科技进步与对策,2018,35(5):126-133.
- [22]GUI Q,LIU C,DU D.Globalization of science and international scientific collaboration:a network perspective [J].Geoforum,2019,105(4):1-12.
- [23]田增瑞,田颖,吴晓隽.科技孵化产业协同发展对区域创新的溢出效应[J].科学学研究,2019,37(1):57-69.
- [24]陈倩倩,陈业华,李风燕.基于共享投入DEA模型的我国区域创新效率预测[J].统计与决策,2019,35(14):37-41.
- [25]LIU X,BUCK T.Innovation performance and channels for international technology spillovers:evidence from chinese high-tech industries[J].Research Policy,2007,36(3):355-366.
- [26]HAGEDOORN J,CLOODT MMAH.Measuring innovative performance:is there an advantage in using multiple indicators[J].Research Policy,2003,32(8):1365-1379.
- [27]郑蔚,许文璐,陈越.跨区域城市群经济网络的动态演化——基于海西、长三角、珠三角城市群分析[J].经济地理,2019,39(7):58-66,75.
- [28]柳卸林,杨博旭.多元化还是专业化?产业集聚对区域创新绩效的影响机制研究[J].中国软科学,2020,357(9):141-161.
- [29]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[J].经济地理,2014,34(10):15-22.
- [30]NING L,WANG F,LI J.Urban innovation,regional externalities of foreign direct investment and industrial agglomeration:evidence from chinese cities[J].Research Policy,2016,45(4):830-843.
- [31]李婧,何宜丽.基于空间相关视角的知识溢出对区域创新绩效的影响研究——以省际数据为样本[J].研究与发展管理,2017,29(1):42-54.