

# 广东省城市创新联系的空间格局演变及优化策略

张惠璇<sup>1</sup>, 刘青<sup>1\*</sup>, 李贵才<sup>1,2</sup>

(1. 北京大学城市规划与设计学院, 广东 深圳 518055; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

**摘要:**城市创新联系的研究对揭示创新空间结构特征、制定区域创新发展策略具有重要意义。本文运用空间相互作用模型对广东省2003、2012年21个地级城市的创新联系空间格局进行测度,分析空间格局演变的特征,并探讨广东省创新联系空间格局的发展与优化策略。结果表明:广东省城市创新联系的空间格局呈现新型“核心—边缘”结构,珠三角仍是这一结构的核心,但有弱化和分化趋势;区域整体网络化程度增强,珠三角外围地区有反极化趋势出现。2003-2012年,创新中心城市由5个变为6个,其辐射范围大小及方向发生变化,辐射强度仍维持强强联合的格局。未来应促进现有创新联系空间格局的优化,在区域整体层面上形成多中心网络化的创新结构。

**关键词:**创新联系;创新中心城市;辐射范围;辐射强度;空间格局;广东省

## 1 引言

伴随国家创新战略的推进,促进城市创新联系成为空间发展战略的重要内容(毕亮亮等, 2008; 吕拉昌等, 2010)。城市创新联系研究对揭示创新联系的空间规律(Pred, 1977; Ouwersloot et al, 2000)、创新能力的影响因素(谭俊涛等, 2014)、城市创新体系等级的格局(胡海鹏等, 2015),并提出相应优化策略(袁立科等, 2007)具有重要意义。由于城市间真实的创新联系难以准确全面测度,一些学者开始尝试将空间相互作用模型引入城市创新联系的研究中,如牛欣等(2013)对经典引力模型进行修正,建立城市创新引力模型,并结合网络分析法,对中国287个地级及以上城市间的创新联系及创新网络空间结构进行深入探讨;蒋天颖等采用传统城市相互作用理论模型及其扩展模型对浙江省区域创新产出空间联系格局展开分析(蒋天颖, 华明浩, 2014; 蒋天颖, 谢敏等, 2014)。事实上,空间相互作用模型作为一种间接测度城市间空间联系格局的定量研究方法,得到了广泛应用和发展(闫卫阳等, 2009),

其中引力模型、断裂点模型等核心模型和拓展内容对于刻画城市空间联系格局(唐娟等, 2009; 钱春蕾等, 2015)、确定城市体系等级(鲁金萍等, 2015)、划定城市吸引力强度和范围(梅志雄等, 2012)具有重要作用。在以往以经济规模、人口规模为主要指标衡量的功能关系之外,现有研究也尝试将生态容量、创新规模等新的功能参数应用于城市间功能联系的测度(张妍等, 2005; 刘贵文等, 2009)。这种通过间接测度城市间空间联系格局的方法,对反映城市间空间联系潜力,促进真实的空间联系具有启发意义。但是,空间相互作用模型是具有丰富内容和多种变化类型的一系列模型,现有围绕城市创新联系的研究对于如何依据各模型的特征有针对性地选取具体模型,如何系统有效的利用现有模型进行分析还缺乏深层次探讨。同时,现有研究多为对空间结构现状特征的分析提炼,缺少对空间结构演化规律的归纳与探析。

基于以上分析,本文选择近年来区域创新能力提升迅猛的广东省,以其全部21个地级城市为研究对象,系统选用引力模型及其拓展测度指标,探究

收稿日期:2016-02;修订日期:2016-05。

基金项目:国家自然科学基金项目(41401122) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41401122]。

作者简介:张惠璇(1992-),女,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向为城市与区域规划, E-mail: zhanghuixuan@pku.edu.cn。

通讯作者:刘青(1982-),女,湖北黄石人,助研,主要从事城市与区域规划、区域创新体系研究, E-mail: liuq@pku.edu.cn。

引用格式:张惠璇, 刘青, 李贵才. 2016. 广东省城市创新联系的空间格局演变及优化策略[J]. 地理科学进展, 35(8): 952-962. [Zhang H X, Liu Q, Li G C. 2016. Spatial structure change and optimization strategies of innovation linkage among the cities in Guangdong Province[J]. Progress in Geography, 35(8): 952-962.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.08.004

2003、2012年广东省城市间的创新联系格局、创新中心等级体系以及创新中心城市辐射范围和强度的变化,并基于省域现状创新联系格局提出相应的空间开发与优化策略,以期系统化集成城市创新联系的研究范式,揭示区域创新联系的空间结构特征,为区域创新战略的制定提供参考。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

考虑数据的可获得性及可比性,本文以广东省21个地级市为研究基本单元,依据2004与2013年城市统计年鉴、2003与2012年城市国民经济和社会发展统计公报、2003年广东省科技经费投入统计公报及2012年广东科技投入报告,获取R&D经费投入、R&D人员数量、专利授权数及大中型工业企业新产品产值4个测度指标数据,并借助Google地图测算各城市市政府所在地之间的最短路径车行距离,以此作为城市间的距离值。

### 2.2 创新联系的测算方法

地理学界根据牛顿的万有引力公式提出了城市引力模型,根据这一模型,两城市间的引力/空间联系潜力(或称空间相互作用力)是城市某种社会经济功能测度(如人口、GDP等)以及两城市间距离的函数,其一般表达式如式(1)。若将创新功能作为城市间某项独特功能的测度内容,则可以运用城市引力模型来考量城市创新联系的大小。

$$I_{ij} = GQ_i Q_j d_{ij}^{-b} \quad (1)$$

式中: $I_{ij}$ 为城市*i*与城市*j*间的引力; $G$ 为引力系数; $Q_i$ 、 $Q_j$ 为城市*i*、*j*间经济社会规模的度量指标; $d_{ij}$ 为城市*i*与城市*j*间的距离; $b$ 为引力衰减指数,通常取值为2。

由于创新也具有空间集聚和邻近效应,城市自身的创新能力及城市间距离可作为城市创新联系的基本要素。本文选取影响城市创新能力的R&D经费投入、R&D人员数量、专利授权数及大中型工业企业新产品产值4个测度指标,分别指代在创新投入层面关键的资金、人力投入和创新产出层面主要的技术创新、产品创新产出。以其几何平均值衡量城市的综合创新能力,并以各城市市政府之间的

距离作为城市间的距离值。城市创新联系的计算公式为:

$$R_{ij} = K \times \sqrt[4]{M_i \times N_i \times O_i \times P_i} \times \sqrt[4]{M_j \times N_j \times O_j \times P_j} / D_{ij}^2 \quad (2)$$

式中: $R_{ij}$ 为城市*i*与城市*j*间的创新联系; $M_i$ 、 $M_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的R&D经费投入额度; $N_i$ 、 $N_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的R&D人员数量; $O_i$ 、 $O_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的专利授权数; $P_i$ 、 $P_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的大中型工业企业新产品产值; $D_{ij}$ 表示城市*i*和城市*j*的市中心距离; $K$ 为引力常数,本文中取值为1000<sup>①</sup>。

通过对区域内两两城市间创新联系大小的计算,可刻画区域创新总体空间格局,通过对不同年份的数值计算与比较,可揭示空间格局的演化规律。

### 2.3 创新中心等级测算方法

式(2)可以反映一个城市与区域内另一个城市之间创新联系的大小。为了衡量一个城市在区域创新联系格局中的地位和重要性,将城市*i*与区域内其他城市的创新联系值加总,得到城市*i*对外创新联系总量 $R_i$ 。城市创新联系总量越大,表明该城市对外创新联系的范围和规模越大。因此,本文将城市创新联系总量作为划分城市创新等级的依据之一,计算公式如下:

$$R_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} \quad (3)$$

式中: $R_{ij}$ 为城市*i*与城市*j*之间的创新联系; $n$ 为区域内除城市*i*以外的城市总个数。

最大引力线是指城市*i*与其他城市的创新联系值中最大值的连线,表示2个城市间潜在的创新联系最大。最大引力线通过的次数越多,说明该城市在区域创新联系空间格局的中心性越强。因此,本文将最大引力线通过次数作为划分城市创新等级的依据之二,公式如下:

$$R_i^{\max} = \max[R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{ij}, \dots, R_{i(n-1)}, R_{in}] \quad (4)$$

式中: $R_i^{\max}$ 为城市*i*与*n*个城市创新联系的最大值; $R_{in}$ 为城市*i*与第*n*个城市的创新联系值。

本文将创新联系总量和最大引力线的通过次数共同作为划分创新中心等级标准,并进行不同年份的层级对比,以揭示城市创新等级体系格局的变化情况。

①引力常数取值通常并不影响最终数据的对比分析,本文计算的创新联系只是地理经济空间中的相对能级概念,不追求绝对值的意义,因此在不影响最终研究结果的情况下,确定*K*值为1000。

## 2.4 城市创新辐射范围和强度测算方法

### 2.4.1 城市创新辐射范围

地理学界在引力模型基础上发展出断裂点公式,用于划定城市吸引范围和城市经济区。其基本含义为城市的吸引范围由城市规模(某种社会经济测度)与城市间距离共同决定,相邻城市的吸引力在断裂点处达到均衡。因此,可利用断裂点公式计算2个城市间创新活动相互作用的平衡点,从而反映一个城市对另一个城市创新辐射能力所及的范围。本文以上文中几何平均值(见2.2)求算的城市综合创新能力表征城市创新规模,运用式(5)计算相邻城市断裂点的距离,并进行不同年份的比较,以探究城市创新辐射范围的变化。

$$D_i = D_{ij} / (1 + \sqrt{Q_j / Q_i}) \quad (5)$$

式中: $D_i$ 为断裂点到城市*i*的距离; $D_{ij}$ 为城市*i*、*j*之间的距离; $Q_i$ 、 $Q_j$ 分别为城市*i*、*j*的创新能力。

### 2.4.2 城市创新辐射强度

经济辐射场强模型是引力模型拓展下的另一测度指标,其借用了物理学中“电场”“磁场”“重力场”的概念,通过计算中心经济体在受力经济体处产生的辐射能力强度,模拟经济要素相互作用相互影响的过程。城市作为区域空间结构的核心,其创新影响力也会在一定区域内形成“创新场”。本文运用创新场强模型(式(6))计算城市*i*在断裂点处的辐射力大小( $F_i$ ),并通过不同年份的数值比较,以探究2个城市之间创新相互作用的强度变化。

$$F_i = Q_i / D_i^2 \quad (6)$$

式中: $Q_i$ 为城市*i*的创新能力; $D_i$ 为城市*i*到断裂点处的距离。

## 3 广东省城市创新联系空间格局演变

### 3.1 区域创新联系空间格局演变

研究选取2003与2012年2个时间节点上的统计数据,经修正后的引力模型(式(2))测算得到广东省21个城市间的创新联系。为了较直观地反映广东省城市创新联系的空间格局演变,本文以粗细、虚实不同的线表示2个城市间发生创新联系的难易程度,绘制了城市创新联系空间格局图(图1)。

(1) 总体上看,2003-2012年间,广东省城市创新联系的空间格局仍然保持以珠三角为核心、珠三角外围地区为边缘的“核心—边缘”结构特征,但这一结构呈现出以下新型特征:首先,传统的“核心—边缘”结构有弱化趋势,城市之间创新吸引力明显增强,区域城市创新联系的网络化格局更为显著。其次,珠三角外围城市间的创新联系在方向和强度上都有所提升,与珠三角内部城市的差距逐渐缩小,部分地区出现新的小型网络,有反极化的趋势出现;湛江、茂名、云浮等粤西城市之间创新联系增强,潮州、汕头等粤东城市之间则呈现更为明显的网络化趋势,但粤东和粤西城市之间的创新联系仍然较弱。

(2) 2003-2012年间,珠三角内部城市创新联系的空间格局在保持强强联系的同时发生了一定分异。广州、佛山、深圳3个城市两两之间及其对外仍保持强强联系的格局,东莞、中山、珠海3个城市的联系显著提升,强化了珠三角创新联系的网络化趋势;而肇庆与其他城市的创新联系一直较弱,尽管2012年其创新能力有较大提升,但仍为珠三角城市

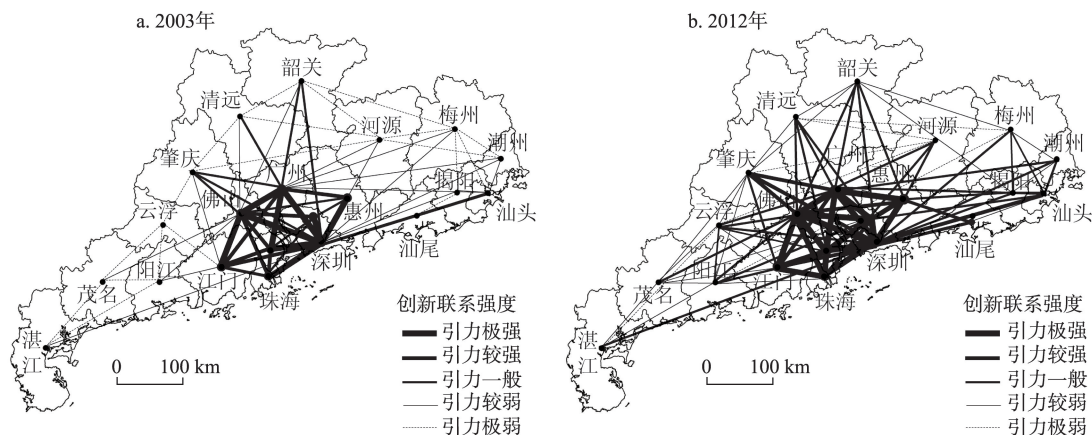


图1 2003、2012年广东省城市创新联系的空间格局演变

Fig.1 Spatial structure change of innovation linkage among the cities in Guangdong Province, 2003 and 2012



中对外创新联系最弱的城市,与韶关、汕头等珠三角外围城市尚未拉开差距。

(3) 从珠三角外围城市与珠三角城市的联系来看,2003-2012年间,珠三角外围城市与珠三角区域的创新联系明显增强,呈从点状联系到网络化联系转变。2003年,汕头、韶关、清远等粤东北地区城市与珠三角的创新联系较强,湛江、茂名、云浮等粤西城市与珠三角的创新联系极弱,粤东北和粤西地区存在着较为明显的空间差异。2012年,阳江、云浮、河源等珠三角外围城市的创新联系明显增强,以汕头、潮州为核心的粤东地区和以韶关、清远为核心的粤北地区出现网络化趋势。

3.2 创新中心城市等级划分

依据式(3)-(4)分别计算创新联系总量和最大引力线通过次数,对2003、2012年广东省21个城市创新联系的强度和中心性进行评估(图2)。结合区域实际情况,本文采取以下分类识别一、二、三级创新中心城市: $R_i \geq \bar{R} + 2S$  且最大引力线 $\geq 3$ 为一级创新中心城市(其中 $\bar{R}$ 与 $S$ 分别为广东省21个地级城市对外创新联系总量的平均值与标准差);

$R_i \geq \bar{R} + S$  且最大引力线 $\geq 2$ 为二级创新中心城市; $R_i \geq \bar{R}$  为三级创新中心城市,划分结果如表1所示。从图2和表1可以看出,2003、2012年进入前三等级的创新中心城市总体上分布在珠江口湾区内,珠三角外围城市的创新能力比较接近,创新联系总量均低于平均水平。湾区外围的江门、肇庆、惠州3个城市的创新能力还不显著;汕头与潮州在珠三角外围城市中的创新表现较为突出,2003、2012年最大引力线通过次数均为2,说明汕头与潮州有一定的创新中心性,虽然其创新联系总量较低,尚未成为创新中心城市,但具备发展为下一阶段创新中心城市的潜力。从各个层级看,2003-2012年广东省创新中心城市的等级发生了以下变化:

(1) 一级创新中心城市由广州、佛山变为广州、深圳。2003年,广州、佛山的创新联系总量高于全省平均值2个标准差,远超省内整体创新水平,最大引力线通过次数均为5,中心性较强,共同构成广东省一级创新中心城市。2012年,广州因高校与科研机构的汇聚、创新资源的持续投入以及其地理区位优势而继续保持高创新联系总量与较强的中心

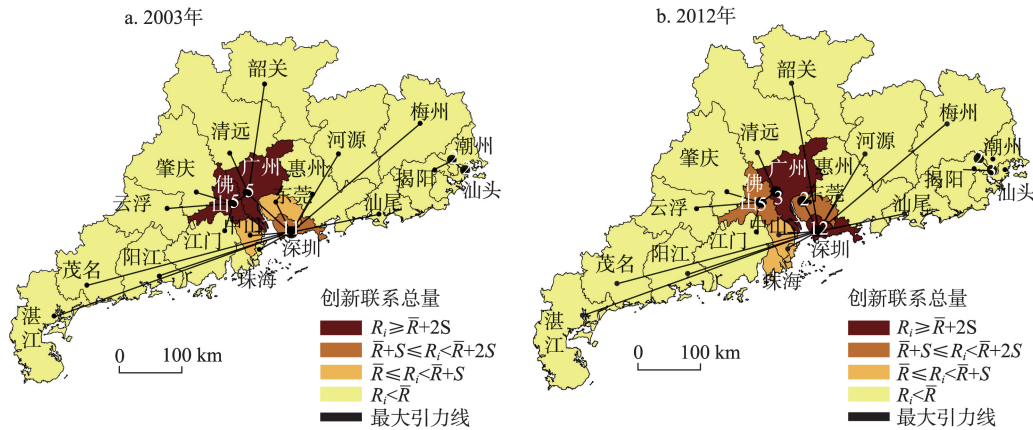


图2 2003、2012年广东省城市创新能力分析图<sup>②</sup>  
Fig.2 Innovative ability of cities in Guangdong Province, 2003 and 2012

表1 2003、2012年创新中心城市等级划分

Tab.1 Classification of innovation center cities in Guangdong Province, 2003 and 2012

城市等级划分	划分依据	2003年	2012年
一级创新中心城市	$R_i \geq \bar{R} + 2S$ 且最大引力线 $\geq 3$	广州、佛山	广州、深圳
二级创新中心城市	$R_i \geq \bar{R} + S$ 且最大引力线 $\geq 2$	深圳	佛山、东莞
三级创新中心城市	$R_i \geq \bar{R}$	东莞、中山	珠海、中山

注:本文以  $\bar{R} + 2S$ 、 $\bar{R} + S$  衡量城市的创新联系总量超过区域总体水平的程度。

②图中数字表示最大引力线通过次数。

性。除此之外,广州在依托其基础工业和机械装备制造优势发展先进制造业的同时,优先发展高新技术产业,积极调整第三产业结构,重视科研及教育文化产业、金融保险业等生产性服务业的培育,不断强化其作为核心城市对全省创新型产业的集聚辐射功能,稳居省内一级创新中心城市之列。而佛山虽具有邻近广州的区位优势,但创新投入和产出主要依靠本地企业,并面临剧烈的区域竞争和传统产业转型升级的压力,2012年创新联系总量被深圳反超,中心性优势减弱,跌入二级创新中心城市之列。

(2) 二级创新中心城市由深圳变为东莞、佛山。2003年省内二级创新中心城市只有深圳一个,城市创新能力分化现象明显。当时的深圳处于创新飞速发展阶段,虽然其作为珠江口东岸地区的核心,最大引力线通过次数多,表现出很强的中心性,但创新联系总量仍明显落后于广州、佛山,因此并未成为一级创新中心城市。2012年,深圳的创新联系总量和最大引力线通过次数均有所提升,尤其是创新联系总量由2003年高于平均值1个标准差提升到高于平均值2个标准差,逐渐取代佛山成为广东省一级创新中心城市乃至国内创新节点城市。主要是因为2012年深圳的创新投入已达广州的近2倍,并拥有国内规模最大、集聚性最强的战略性新兴产业,且其本身具有毗邻香港的区位优势,因此呈现创新联系总量和中心性双高的态势。2003年,东莞的创新实力与广州、佛山、深圳相比还有较大差距,创新联系总量仅高于平均值,中心性也较低,位列三级创新中心城市。2012年,随着东莞迅速崛起,创新联系总量大幅提升并高于平均水平1个标准差,中心性也有所提升,与佛山共同构成广东省二级创新中心城市体系。这与其邻近深圳的区位、电子信息产业的空间合作以及实施“科技东莞”的创新工程有密切关系。

(3) 三级创新中心城市由中山、东莞变为中山、珠海。中山市依托新型专业镇建设,打造集聚产业高端要素的战略平台,引导区域特色产业集聚发展,促进专业化分工、产业化协作,并不断加大对科技创新活动的投入,保持着高于平均水平的创新联系总量,稳居广东省三级创新中心城市之列。2012年,珠海的创新联系总量明显提高,高于全省平均值,随着高新技术产业规模迅速壮大,区域产学研合作逐步深化,跃升为三级创新中心城市,在区域

创新体系中发挥日益重要的作用。但中山与珠海的最大引力线通过次数始终为1,创新中心性不强,未来还有待进一步提升其对区域创新型产业的引领和组织能力。

### 3.3 创新中心城市辐射能力

#### 3.3.1 辐射范围

为进一步探究一、二、三级创新中心城市辐射范围的空间变化,运用式(5)分别测算2003与2012年广州、深圳、佛山、东莞、中山、珠海到断裂点的距离,并以细线表示断裂点距城市*i*的距离减小(辐射范围减小),以粗线表示断裂点距城市*i*的距离增加(辐射范围扩大),绘制了创新中心城市的辐射范围变化图(图3-8),从图中可以发现以下特点:

(1) 广州与佛山的创新辐射范围显著缩小。广州与佛山的断裂点变化状况比较相似,它们与省内其他城市的连线以细线居多,说明2012年省内大部分城市的创新能力有了较大幅度的提升,与广州、佛山的创新水平差距正逐渐缩小,广州、佛山对其他城市的创新辐射优势相对减弱,创新辐射的空间范围总体呈现缩小趋势。

(2) 东莞的创新辐射范围显著扩大。东莞的断裂点变化情况与广州、佛山恰恰相反,除对云浮的辐射范围缩小外,其对珠三角内部及外围城市的辐射范围均呈扩张趋势,说明东莞近年来的创新能力提升迅速,创新溢出效应明显。

(3) 深圳、中山与珠海的创新辐射范围显著分化。深圳、中山、珠海的断裂点变化情况类似,创新辐射的空间范围总体呈扩张趋势,但对部分城市创新辐射范围缩小,方向存在分化。从粗线的延伸方向看,深圳、中山及珠海的创新辐射范围向粤东及粤北地区蔓延,说明这些创新中心城市对粤东北地区的辐射优势相对较大,创新外溢以及辐射效应日趋强化。

#### 3.3.2 辐射强度

依据式(6)分别测算2003、2012年各创新中心城市在断裂点处的场强值并按由大到小进行排序,以反映城市创新辐射强度的变化情况,结果如表2所示(由于篇幅所限,表中只列出了辐射强度排名靠前的城市)。

(1) 从总体上看,相较于2003年,2012年创新中心城市对省内城市的辐射强度均明显增强,但总体场强分布格局并没有很大变化。9年间,创新中心城市与辐射场强靠前的城市中,只有深圳与广州和

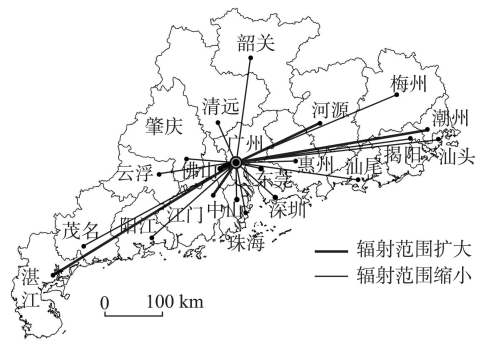


图3 广州辐射范围变化  
Fig.3 Change of radiation range of Guangzhou

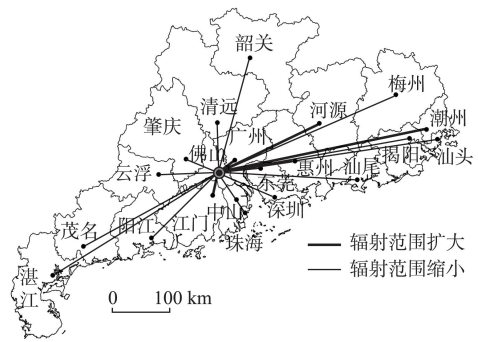


图4 佛山辐射范围变化  
Fig.4 Change of radiation range of Foshan

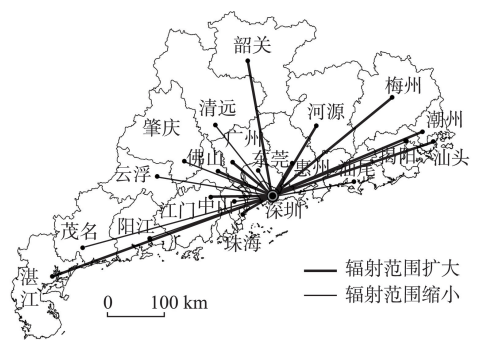


图5 深圳辐射范围变化  
Fig.5 Change of radiation range of Shenzhen

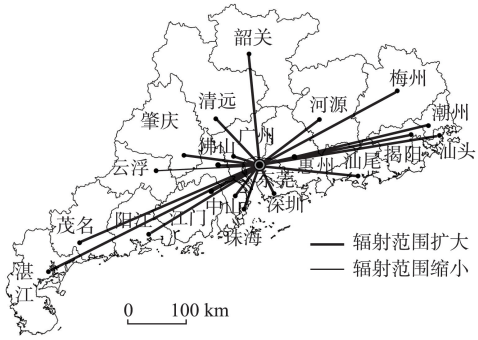


图6 东莞辐射范围变化  
Fig.6 Change of radiation range of Dongguan

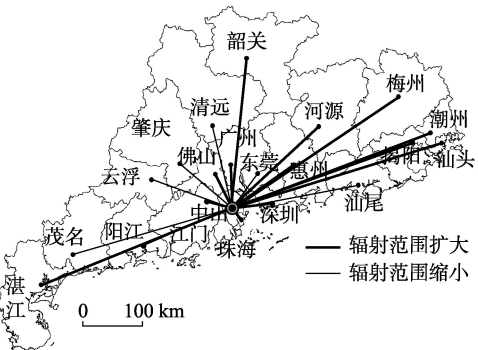


图7 中山辐射范围变化  
Fig.7 Change of radiation range of Zhongshan

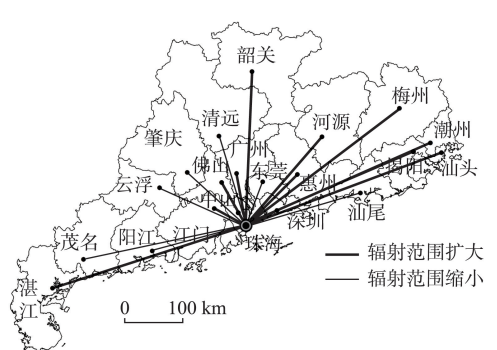


图8 珠海辐射范围变化  
Fig.8 Change of radiation range of Zhuhai

惠州、佛山与深圳和东莞、珠海与东莞和江门的创新辐射场强排名有一位的升降幅度(表2),且排名前三位的格局均未发生变化。因此,2个创新能力强的邻近城市未来仍可能继续保持强强联合的创新增长模式。伴随同城化趋势,城市间的创新联系将日益紧密,这种创新辐射强度将进一步得到强化。

(2) 2003-2012年间,创新中心城市对珠三角内部城市的辐射强度存在差异。创新中心城市之间的辐射强度均较强,尤其是广州与佛山、深圳与东莞、珠海与中山这几对创新中心城市间的创新影响作用力度最大。创新中心城市对肇庆、江门、惠州这些珠三角内部城市的辐射强度则较弱,某些年份甚至低于对珠三角外围城市的辐射强度。



表2 2003、2012年创新中心城市辐射强度排序  
Tab.2 Radiation intensity ranking of innovation center cities, 2003 and 2012

城市	广州		深圳		佛山		东莞		中山		珠海	
	2003年	2012年	2003年	2012年	2003年	2012年	2003年	2012年	2003年	2012年	2003年	2012年
广州	—	—	4	5	1	1	2	2	4	4	3	3
深圳	3	3	—	—	4	5	1	1	2	2	2	2
佛山	1	1	6	6	—	—	3	3	3	3	4	4
东莞	2	2	1	1	5	4	—	—	6	6	6	5
中山	4	4	3	3	3	3	5	5	—	—	1	1
珠海	7	7	2	2	7	7	6	6	1	1	—	—
惠州	9	9	5	4	9	9	4	4	7	7	7	7
江门	5	5	7	7	2	2	7	7	5	5	5	6
肇庆	8	8	10	10	6	6	9	9	8	8	8	8
清远	6	6	11	11	8	8	8	8	9	9	9	9
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

注：方框突出显示2003-2012年创新辐射场强排名仅有一位升降幅度的城市。

(3) 从创新中心城市对珠三角外围城市的辐射强度来看,广州、佛山、东莞等创新中心城市对珠三角外围城市清远的辐射强度较大,甚至高于对珠三角内部城市肇庆、惠州的辐射强度。2003-2012年间,广州对清远的辐射强度大于肇庆与惠州,东莞对清远、深圳对汕尾和河源的辐射强度均大于肇庆。这预示着,在广东省创新联系的空间格局中,珠三角外围城市可能进入核心城市的联系之中,虽然肇庆是珠三角城市,但如果在创新方面得不到大力提升,未来将会面临更多的竞争和挑战。

4 广东省创新联系格局空间优化策略

4.1 优化依据与手段

在全球化经济一体化及城镇区域化发展的背景下,城市与区域空间组织呈现从“一极集中”向“多极多核”网络化结构转化的趋势。多中心、网络化的城市区域空间组织模式因其可避免单中心所导致的集聚不经济,并且加快城市间的物质流动、信息传递和资金周转率而被认为是城乡间多种物质动态流的最佳表现形式及城市群发展的理想模式(年福华等, 2002; 朱顺娟等, 2010; 李国平等, 2013)。创新作为现代化城市的重要功能之一,其空间格局的优化路径也应遵循城市群多中心、网络化的发展规律。一方面,知识与技术创新存在明显的地域空间集聚与溢出效应,中心地区加速集聚资源要素优先发展成为创新中心并产生知识溢出,具

备创新潜力的外围地区承接部分功能发展成为次级中心(傅兆君等, 2003; 姜磊等, 2011),多个创新中心的协同发展可促进区域整体创新能力的提高。另一方面,区域内企业、政府、研究机构等要素互动联系并结成关系网络,共同参与产品、技术创新和制度创新。网络节点的连接数越多,联结密度越大,网络效应则越高(张永安等, 2010)。

依据城市创新联系强度的基本测度因子,主要通过扩大创新规模、缩小城市间“距离”这2种途径提高创新联系强度,优化现有格局。前者可通过加大研发经费、R&D人员等创新要素的投入,提高技术及产品创新产出的方式来实现;后者除促进物理空间的邻近之外,还可通过促进“认知邻近、组织邻近、技术邻近、社会邻近”等多维邻近的方式,增加城市间的属性关联度,以提高创新联系的可能性(Greunz, 2003; Boschma, 2005; 李琳, 韩宝龙, 2011; 李琳, 杨田, 2011; 夏丽娟等, 2014)。为了实现这些不同层次的邻近效应,可以采取以下手段:一是通过建立高速稳定的区域交通网络,提高关键创新节点的空间可达性;二是将创新驱动战略作为区域共识纳入各市的重点战略行动中,促进核心—边缘城市间产品研发、专利合作的关联配合,扩大认知邻近效应;三是鼓励高校、科研院所、企业等组织跨越区域边界开展联合创新行为,实现组织邻近效果;四是通过区域共建创新载体,促进同一产业集群中相似或互补型企业的互动衔接,在长期的合作中形成技术邻近与社会邻近效应。

## 4.2 优化策略

### 4.2.1 构建“1+1+7”珠三角核心创新圈,推动区域创新整体网络化

从区域的创新联系格局看,2003-2012年期间,广东省城市创新联系总体增强,呈现更趋网络化的空间格局,同时也仍然保持以珠三角为核心、珠三角外围地区为边缘的“核心—边缘”结构。但这一结构具有弱化与反极化趋势的新型特征,珠三角创新网络更为显著和强大,内部存在分异;而珠三角外围城市在联系方向和引力强度上也都有相应的提升,尤其是潮州、汕头等粤东城市呈现较为明显的网络化趋势。这一演变反映了广东省区域创新联系整体趋于优化,今后应以现有格局为依托,进一步推进整体向多中心网络化的空间组织方式发展。

未来应继续强化珠三角在区域创新体系中的核心引领作用,内部形成各具特色的创新功能中心。通过创新联系总量和最大引力线划分创新中心城市格局可以发现,广州和深圳已经形成联系方向各有侧重的一级创新中心。结合2市在基础知识创新和重大技术创新方面各有侧重的优势,未来应促进形成由广深双核驱动,珠三角其余7市一体联动的“1+1+7”多中心创新圈。广州与深圳应强化源头创新功能,珠三角其余7市也应依托现实基础,发展珠江东岸以电子信息为主的高新技术产业带,培育珠江西岸先进装备制造产业带,共建“珠三角国家自主创新示范区”,实现创新功能的错位发展。广东省其他地区也应以高新技术产业园区、专业镇、工程技术中心等创新载体为平台,促进与珠三角核心创新圈各市的创新创业合作,完善省域综合交通体系建设,在区域整体层面促进创新联系网络的形成。

### 4.2.2 壮大珠三角西岸创新中心,培育外围次级创新节点

从创新等级体系中的创新中心城市看,2003-2012年期间,广东省创新中心城市由5个变为6个,创新中心城市间的创新能力差距逐渐缩小。虽然城市自身创新规模及与区域内其他城市相对创新水平处于不断变化中,但是创新中心城市始终集中分布于环珠江口湾区,并且珠三角东西岸创新能级存在分化,一、二级创新中心大多分布在东岸,西岸中心的创新能力相对较弱,因此未来应重点壮大佛山、中山及珠海3个西岸创新中心,以促进整体创新

格局的均衡。汕头、潮州在珠三角外围城市中的创新表现较突出,具有一定的创新中心性,具备发展为下一阶段创新中心城市的潜力,应予以重点培育。

在全省创新驱动的背景下,佛山应借助大数据、云计算等技术大力发展智能制造,以“互联网+制造”的“工业4.0”模式促进传统优势产业的转型升级。中山与珠海近年来的创新能力虽有所提高,但创新的中心性仍然较弱。今后应依托专业镇特色经济和现代化产业体系,促进中山翠亨新区、珠海高新区成为承接产业和人才转移的桥头堡,推进深中通道、深珠城际轨道等大型基础设施工程,提高创新中心性。对于汕头、潮州等珠三角外围城市应深度挖掘创新潜力,加快华侨经济文化合作试验区、中以创新产业城、中潮产业转移园等高端创新载体群建设,组建区域产业技术创新联盟,打造“淘宝·特色中国之潮汕馆/汕头馆”“中国瓷都”等区域品牌,培育粤东地区创新驱动新引擎。

### 4.2.3 优化强强联合格局,促进粤东西北地区与珠三角的协同创新

从城市的创新辐射范围和强度来看,2012年,广州、佛山的创新辐射范围缩小,创新优势正被其他增长极削弱。东莞的创新辐射范围显著扩大,创新外溢效应显著。深圳、中山及珠海的创新辐射空间范围总体呈扩张趋势,辐射方向存在分化,其中与珠三角东岸和粤东北地区城市的创新联系普遍增强。创新中心城市的辐射强度维持强强联合的格局,但对珠三角外围地区尤其对粤西城市的辐射普遍较弱,核心圈层与外围圈层的创新发展水平分布严重失衡。因此,需要加强核心—外围圈层间的联系并引入外部创新网络以进一步优化现有格局。一方面,应连通开放的全球网络以优化强强联合的创新格局。培育创新集聚区成为国际化创新枢纽,吸纳国内外先进技术、高端创新人才与企业,使珠三角创新资源更多地参与全球创新要素配置,促进中心城市嵌入全球创新链条。另一方面,增强粤东西北地区与珠三角,尤其是粤西地区与珠三角西岸的联系。按照珠三角城市与上述地区城市的对口帮扶关系,鼓励核心城市主导或协助对口城市引入优势品牌、生产服务企业及产业项目,积极推进莞韶城创新平台、深汕合作区、潮州—中山产业创意园等创新载体建设,同时加大财政科技资金与普惠性政策向粤东西北地区的倾斜力度,探索



设立创新扶持专项基金,优先支持创新型产业集群、全省孵化育成体系建构。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文基于引力模型及其拓展模型,选取2003和2012年2个时间节点,探究广东省21个地级城市创新联系的空间格局演变,并结合区域发展实际进行分析,得到以下主要结论:

(1) 广东省创新联系总体更趋于网络化,呈现新型“核心—边缘”结构,但有弱化和反极化的趋势。未来应在区域整体层面上促进创新联系网络的形成,强化珠三角核心圈的引领作用。

(2) 创新中心城市由5个变为6个,集中分布于珠江口湾区内,但珠三角东西岸创新中心的能力存在明显分化。在今后发展中亟待提升壮大西岸创新中心,并选择珠三角外围具备创新潜力的地区培育新的创新中心。

(3) 创新中心辐射范围的大小及方向发生变化,辐射强度仍维持强强联合的格局,外围圈层接受创新辐射的强度普遍较弱,区域创新发展失衡。未来应依托创新载体与对口帮扶机制,加强粤东西北地区与珠三角核心区的创新联系,促进协同创新。

### 5.2 讨论

城市引力模型是研究城市间某种功能联系、辨识城市影响力范围的有效工具,其基本假设认为两城市间的引力/空间联系潜力与城市规模及城市间距离相关。运用引力模型可间接测度城市间创新联系的基本空间格局,较为真实和直观地揭示出区域创新能级和创新空间相互作用力的演变规律与特征,为区域创新体系构建以及空间格局优化提供依据。但随着知识经济和信息社会的高速发展,城市自身创新水平及地理空间邻近性不再是产生创新联系的必要条件,产业结构、知识基础、组织行为、社会关系、制度文化环境等功能属性的邻近也会影响城市间的知识扩散效果及技术创新合作。在未来的研究中,应进一步量化这些创新联系的影响因子并将其纳入模型中,尝试获取一些更能直接反映区域创新联系的“流”数据,如专利和论文合作量、高新企业相互投资额、人才资金流动量等,并且对城市间距离采用时间距离进行优化,使得测度结

果更加精准。另外,还可以通过更长时间序列的纵向研究和更多区域间的横向比较,进一步验证模型中的引力衰减指数和引力常数。

### 参考文献(References)

- 毕亮亮,施祖麟. 2008. 长三角城市科技创新能力评价及“区域科技创新圈”的构建: 基于因子分析与聚类分析模型的初探[J]. 经济地理, 28(6): 946-951, 954. [Bi L L, Shi Z L. 2008. Evaluation of city innovation capability and the construction of "regional innovation circle" in Yangtze River Delta: Based on the factor and cluster analysis method [J]. Economic Geography, 28(6): 946-951, 954.]
- 傅兆君, 陈振权. 2003. 知识流动与产业空间集聚现象分析[J]. 地域研究与开发, 22(3): 5-8, 13. [Fu Z J, Chen Z Q. 2003. A study on knowledge flows and enterprise space clusters[J]. Areal Research and Development, 22(3): 5-8, 13.]
- 胡海鹏, 吕拉昌, 黄茹, 等. 2015. 基于创新流视角的广东省城市创新体系与职能[J]. 城市发展研究, 22(6): 71-76. [Hu H P, Lv L C, Huang R, et al. 2015. Urban innovation system and function in Guangdong Province in the perspective of flow of urban innovation[J]. Urban Development Studies, 22(6): 71-76.]
- 姜磊, 季民河. 2011. 城市化、区域创新集群与空间知识溢出: 基于空间计量经济学模型的实证[J]. 软科学, 25(12): 86-90. [Jiang L, Ji M H. 2011. Urbanization, regional innovation cluster, and spatial knowledge spillover: Empirical study based on spatial econometric model[J]. Soft Science, 25(12): 86-90.]
- 蒋天颖, 华明浩. 2014. 长三角区域创新空间联系研究[J]. 中国科技论坛, (10): 126-131. [Jiang T Y, Hua M H. 2014. Research on regional innovation spatial linkage of Yangtze River Delta[J]. Forum on Science and Technology in China, (10): 126-131.]
- 蒋天颖, 谢敏, 刘刚. 2014. 基于引力模型的区域创新产出空间联系研究: 以浙江省为例[J]. 地理科学, 34(11): 1320-1326. [Jiang T Y, Xie M, Liu G. 2014. Spatial linkage of regional innovation output based on gravity model: A case study in Zhejiang Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 34(11): 1320-1326.]
- 李国平, 孙铁山. 2013. 网络化大都市: 城市空间发展新模式[J]. 城市发展研究, 20(5): 83-89. [Li G P, Sun T S. 2013. Networked metropolis: A new urban spatial development model[J]. Urban Development Studies, 20(5): 83-89.]
- 李琳, 韩宝龙. 2011. 地理与认知邻近对高技术产业集群创新影响: 以我国软件产业集群为典型案例[J]. 地理研究,

- 30(9): 1592-1605. [Li L, Han B L. 2011. An empirical research on how geographic proximity and cognitive proximity work on the innovation performance of high-tech industrial cluster[J]. *Geographical Research*, 30(9): 1592-1605.]
- 李琳, 杨田. 2011. 地理邻近和组织邻近对产业集群创新影响效应: 基于对我国汽车产业集群的实证研究[J]. *中国软科学*, (9): 133-143. [Li L, Yang T. 2011. Effect of geographical proximity and organisational proximity on innovations of industrial cluster: An empirical research based on automobile industry clusters in China[J]. *China Soft Science*, (9): 133-143.]
- 刘贵文, 张悻蓝. 2009. 基于主成分分析的城市创新能力评价[J]. *科技管理研究*, (10): 115-117, 123. [Liu G W, Zhang Y L. 2009. Jiyu zhuchengfen fenxi de chengshi chuanguangxin nengli pingjia[J]. *Science and Technology Management Research*, (10): 115-117, 123.]
- 鲁金萍, 杨振武, 孙久文. 2015. 京津冀城市群经济联系测度研究[J]. *城市发展研究*, 22(1): 5-10. [Lu J P, Yang Z W, Sun J W. 2015. Research on economic contact measurement of Beijing- Tianjin- Hebei Urban Agglomeration[J]. *Urban Development Studies*, 22(1): 5-10.]
- 吕拉昌, 李勇. 2010. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系[J]. *地理学报*, 65(2): 177-190. [Lv L C, Li Y. 2010. A research on Chinese renovation urban system based on urban renovation function[J]. *Acta Geographica Sinica*, 65(2): 177-190.]
- 梅志雄, 徐颂军, 欧阳军. 2012. 珠三角城市群城市空间吸引范围界定及其变化[J]. *经济地理*, 32(12): 47-52, 60. [Mei Z X, Xu S J, Ouyang J. 2012. The delimitation and change of cities space attractive scopes in the Pearl River Delta[J]. *Economic Geography*, 32(12): 47-52, 60.]
- 年福华, 姚士谋, 陈振光. 2002. 试论城市群区域内的网络化组织[J]. *地理科学*, 22(5): 568-573. [Nian F H, Yao S M, Chen Z G. 2002. The preliminary study on the network organization in urban agglomeration[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 22(5): 568-573.]
- 牛欣, 陈向东. 2013. 城市间创新联系及创新网络空间结构研究[J]. *管理学报*, 10(4): 575-582. [Niu X, Chen X D. 2013. Innovation connection between cities and spatial structure of innovation network[J]. *Chinese Journal of Management*, 10(4): 575-582.]
- 钱春蕾, 叶菁, 陆潮. 2015. 基于改进城市引力模型的武汉城市圈引力格局划分研究[J]. *地理科学进展*, 34(2): 237-245. [Qian C L, Ye J, Lu C. 2015. Gravity zoning in Wuhan Metropolitan Area based on an improved urban gravity model[J]. *Progress in Geography*, 34(2): 237-245.]
- 谭俊涛, 张平宇, 李静. 2014. 2001-2010年黑龙江省城市创新能力格局与发展过程[J]. *地理科学进展*, 33(4): 508-516. [Tan J T, Zhang P Y, Li J. 2014. Structure and development of urban innovation capability in Heilongjiang Province during 2001-2010[J]. *Progress in Geography*, 33(4): 508-516.]
- 唐娟, 马晓冬, 朱传耿, 等. 2009. 淮海经济区的城市经济联系格局分析[J]. *城市发展研究*, 16(5): 18-23, 29. [Tang J, Ma X D, Zhu C G, et al. 2009. Study on urban economic region of Huaihai Economic Region based on economic contacts[J]. *Urban Studies*, 16(5): 18-23, 29.]
- 夏丽娟, 谢富纪. 2014. 多维邻近视角下的合作创新研究评述与未来展望[J]. *外国经济与管理*, 36(11): 45-54, 81. [Xia L J, Xie F J. 2014. A literature review of collaborative innovation from a perspective of multi-dimensional proximity[J]. *Foreign Economics & Management*, 36(11): 45-54, 81.]
- 闫卫阳, 王发曾, 秦耀辰. 2009. 城市空间相互作用理论模型的演进与机理[J]. *地理科学进展*, 28(4): 511-518. [Yan W Y, Wang F Z, Qin Y C. 2009. Analysis of the principle and evolvement of the theoretic models of urban spatial interaction[J]. *Progress in Geography*, 28(4): 511-518.]
- 袁立科, 张宗益. 2007. 创新系统的区域可达性研究[J]. *科研管理*, 28(1): 1-6, 32. [Yuan L K, Zhang Z Y. 2007. A study on regional accessibility in innovation systems[J]. *Science Research Management*, 28(1): 1-6, 32.]
- 张妍, 杨志峰, 李巍. 2005. 城市复合生态系统中互动关系的测度与评价[J]. *生态学报*, 25(7): 1734-1740. [Zhang Y, Yang Z F, Li W. 2005. Measurement and evaluation of interactive relationships in urban complex ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 25(7): 1734-1740.]
- 张永安, 李晨光. 2010. 创新网络结构对创新资源利用率的影响研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 31(1): 81-89. [Zhang Y A, Li C G. 2010. Research on the innovation network structural impact on innovation resource utilization [J]. *Science of Science and Management of S.&T.*, 31(1): 81-89.]
- 朱顺娟, 郑伯红. 2010. 城市群网络化联系研究: 以长株潭城市群为例[J]. *人文地理*, 25(5): 65-68, 31. [Zhu S J, Zheng B H. 2010. A research on the linkage among a urban agglomeration network: A case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration[J]. *Human Geography*, 25(5): 65-68, 31.]
- Boschma R. 2005. Proximity and innovation: A critical assess-

- ment[J]. *Regional Studies*, 39(1): 61-74.
- Greunz L. 2003. Geographically and technologically mediated knowledge spillovers between European regions[J]. *The Annals of Regional Science*, 37(4): 657-680.
- Ouwensloot H, Rietveld P. 2000. The geography of R&D: To-bit analysis and a Bayesian approach to mapping R&D activities in the Netherlands[J]. *Environment and Planning A*, 32(9): 1673-1688.
- Pred A. 1977. *City system in advanced societies*[M]. London, UK: Hutchinson.

## Spatial structure change and optimization strategies of innovation linkage among the cities in Guangdong Province

ZHANG Huixuan<sup>1</sup>, LIU Qing<sup>1\*</sup>, LI Guicai<sup>1,2</sup>

(1. School of Urban Planning and Design, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Research on innovation linkages of cities has an important significance for revealing characteristics of innovative spatial structure and forming strategies for regional innovation development. This article uses a spatial interaction model to measure the spatial structure of innovation linkages among 21 cities in Guangdong Province in 2003 and 2012, with the aim to reveal the change of the spatial structure. Strategies for the development and optimization of spatial structure of innovation linkages in Guangdong Province are discussed based on data analysis and principles of urban spatial organization. The article concludes that the spatial structure of innovation linkages in Guangdong province shows a new "core-periphery" structure and the Pearl River Delta cities are at the core of this structure, which shows a weakening and differentiation trend compared to the past. The overall degree of network linkage is enhanced, and there is a tendency of anti-polarization in periphery regions of the Pearl River Delta. From 2003 to 2012, the number of innovation center cities dropped from 6 to 5. Both radiation range and direction of innovation center cities experienced some changes, and innovative radiation intensity showed a "strong-strong combination" pattern. In the future, the existing spatial pattern of innovation linkages should be optimized and regional polycentric network innovative pattern should be built on the regional scale.

**Key words:** innovation linkage; innovation center city; radiation range; radiation intensity; spatial structure; Guangdong Province