

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2019.10.025

# 基于修正产业辐射强度模型的辽宁省创意产业 辐射动态研究

赵琪<sup>1</sup>, 刘抚英<sup>2</sup>

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 东北大学 江河建筑学院, 辽宁 沈阳 110169)

**摘要:** 基于断裂点理论,以城市关联度、相对度数中心度和中间中心度指标衡量城市可达性,引入可达性参数对城市间产业辐射强度模型加以改进.以辽宁省14个地级市为研究对象,测算各市2011~2017年创意产业的辐射效应.通过对创意产业空间强度分布结果的比较,分析辽宁省创意产业空间分布和格局演变.研究结果表明:交通便捷性对创意产业发展具有正向作用;辽宁省创意产业联系不紧密;辽宁省的创意产业呈现出两个核心——沈阳市、大连市,两条发展线路——京哈路线和环渤海路线的现象;根据城市发展强度的相似性,应加强同一层级城市的经济联系.

**关键词:** 创意产业;断裂点理论;辐射强度模型;可达性;空间演变

中图分类号: TU 982 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2019)10-1510-07

## Dynamic Radiation of Creative Industries in Liaoning Province Based on Revised Industrial Radiation Intensity Model

ZHAO Qi<sup>1</sup>, LIU Fu-ying<sup>2</sup>

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. School of Jangho Architecture, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: LIU Fu-ying, E-mail: lfycl@sina.com)

**Abstract:** Based on the breaking point theory, urban accessibility was measured by city relevance, relative degree centrality and intermediate center degree index, and the accessibility parameters were introduced to improve the urban radiation intensity model. Taking 14 prefecture-level cities in Liaoning province as the research object, the radiation effects of creative industries in each city from 2011 to 2017 were measured. Through the comparison of the spatial intensity distribution results of creative industries, the spatial distribution and pattern evolution of creative industries in Liaoning province are analyzed. The research results showed that traffic convenience has a positive effect on the development of creative industries. Liaoning's creative industries are not closely linked and they are represented by two cores—Shenyang city and Dalian city, and two development routes—the Jingha route and the Bohai Sea route. According to the similarity of urban development intensity, economic ties of the same level cities should be strengthened.

**Key words:** creative industry; breaking point theory; radiation intensity model; accessibility; spatial evolution

在经济结构转型升级、创意经济兴起的背景下,我国创意产业快速成长.作为依靠创意、文化、技术和人才的产业类型,创意产业以低投入、低能耗、高收益及绿色环保等特征和优势得到了广泛

关注.数据显示,2004~2016年,我国文化及相关产业占GDP的比重从2.15%增至4.14%,并将保持持续增长.随着区域间的交流与合作不断增加,创意产业通过对资源要素的吸引和对相关产

收稿日期: 2018-12-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878125); 浙江省自然科学基金资助项目(LY18E080033).

作者简介: 赵琪(1991-),女,辽宁葫芦岛人,东北大学博士研究生;刘抚英(1969-),男,辽宁辽阳人,东北大学教授,博士生导师.

业发展的带动效应,对地区经济增长和产业结构产生影响.因此,研究城市间创意产业空间关系,度量创意产业的辐射强度并确立区域创意中心,对促进区域创意产业发展和产业结构转型升级具有重要意义.

区域内的资源配置不同造成产业竞争力的差异<sup>[1]</sup>.具有成长优势的产业会通过吸引周边资源以进一步提高其竞争能力,并形成“增长极”.创意产业也具有类似特点,产业增长极在促进本地区产业繁荣的同时会带动周边地区创意产业的发展,即具有辐射作用<sup>[2-3]</sup>.Taffe 等<sup>[4]</sup>通过对美国航空业运输等级进行研究,采用引力模型得出大城市处于城市群的核心位置,其辐射范围最广.基于辐射强度的影响因素,Meyer<sup>[5]</sup>提出城市群的空间关联由存量交流的控制和自然运动组成.Hagerstrand<sup>[6]</sup>提出城市对新技术和新知识的吸收能力是导致技术向外扩展的主要原因.从引力模型修正方法的视角,焦鹏飞等<sup>[7]</sup>提出以经验系数代替引力参数.钱春蕾等<sup>[8]</sup>提出以相对引力常量代替引力参数.郭源园等<sup>[9]</sup>提出以吸引力惯性指数代替引力参数.

基于已有的研究可知:①现有研究大多数将 GDP 和人口数等作为研究城市辐射强度的指标,忽略交通便捷性对城市吸引力和辐射力的影响.②已有的对城市空间关联模型的研究主要集中于对引力模型的修正,鲜有对辐射模型修正的研究.因此,本研究引入可达性作为替代系数衡量产业的辐射强度,应用于产业辐射强度模型的修正,并在针对辽宁省的实证研究中用以剖析省域范围内各城市创意产业空间分布、城市间创意企业互动和创意人才流动情况,揭示辽宁省创意产业的辐射范围和城市间产业关联效应,为辽宁省创意产业发展规划设计和制度制定等提供理论依据.

## 1 断裂点理论及辐射强度理论

### 1.1 断裂点理论

吸引力理论认为,城市对周边区域的吸引程度与城市的规模成正比,与两地之间的距离成反比.吸引力模型可用于衡量城市之间的吸引强度,但无法衡量城市间吸引力的界限,因此,为确定城市产业吸引力的范围,深化城市空间关联的量化研究,通过引入断裂点理论划定城市吸引力的边界,将断裂点作为两个城市吸引力的平衡点.随着交通的日益发达,城市间的距离已经从直线距离转为交通距离(例如:公路距离和铁路距离).

因此,定义城市相互影响的分界点(即断裂点)的公式为

$$d_A = D_{AB} / (1 + \sqrt{P_B/P_A}). \quad (1)$$

式中: $d_A$  为较大城市 A 与断裂点的距离; $D_{AB}$  为城市 A 与城市 B 的距离; $P_A$  为 A 的产业综合实力; $P_B$  为较小城市 B 的产业综合实力.

### 1.2 城市间产业辐射强度

在断裂点理论的基础上,计算产业的辐射强度,同样,假设城市 A 与城市 B 之间的直线距离为  $D_{AB}$ ,则较大城市 A 对城市 B 的辐射强度:

$$\varphi_{AB} = d_A / D_{AB} = \frac{1}{1 + \sqrt{P_B/P_A}}. \quad (2)$$

城市 A 的产业辐射强度为

$$\varphi_A = \sum_{B=1}^n \varphi_{AB}. \quad (3)$$

式中, $n$  为研究区域内城市的数量.

根据式(3),产业的辐射强度与两城市间的距离无关,主要取决于产业的综合实力.

## 2 城市间产业辐射强度模型修正

传统的产业辐射强度模型主要考量产业的综合能力,未将影响产业资源空间流动的交通因素的影响作用考虑在内,产业空间相关要素的完整性存在不足.在经济全球化和城市产业空间结构变化的背景下,企业空间关联受交通因素影响日益增大,在高速公路、高铁、机场或港口等城市对外交通设施一定距离内选择企业区位具有显著的成本和效率优势<sup>[10]</sup>.现阶段,作为创意产业主体的创意阶层,其在省域内空间流动主要依赖铁路和陆路.如图 1 所示,创意企业空间区位沿铁路和高速公路呈线性分布,辐射范围与交通可达性成正相关.因此,本研究在原有辐射强度模型基础上引入了城市间交通可达性指标  $K$ .设城市 A 的辐射强度公式为

$$\varphi'_A = K\varphi_A, \quad (4)$$

$$K = C + De + cb_i. \quad (5)$$

式中: $C$  表示城市关联度; $De$  表示相对度数中心度; $cb_i$  表示中间中心度.

### 2.1 城市间关联度分析

城市在空间上相互连接形成网状关系,各城市形成区域空间网络的节点.如果区域内的城市数量为  $N$ ,则城市间空间网络的最大数量为  $N \times (N - 1)$ .

关联度用于分析城市网络的稳健性和脆弱性.如果区域内每个城市之间都存在直接或间接

的关联关系,则可实现城市关系网络的最大值.如果大多数城市之间的连接必须通过某一城市才能实现,则这一城市就具有较高的关联度.关联度越高,则对中心城市的依赖度就越大,网络自身就较脆弱.据此分析城市间的产业关联度,可表示为

$$C = 1 - V/[N \times (N - 1)/2]. \quad (6)$$

式中: $C$ 为关联度,取值为 $[0, 1]$ ;  $V$ 为城市网络中不可达点的个数.

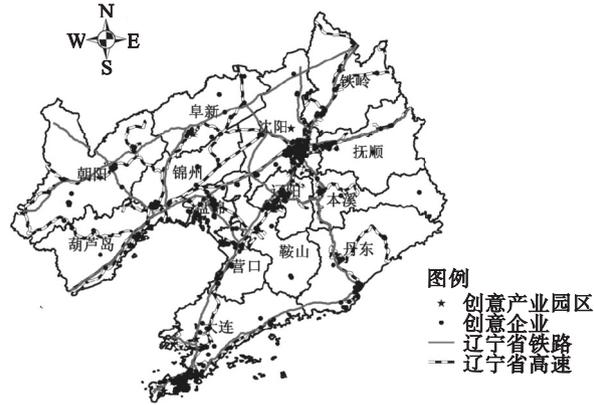


图 1 辽宁省创意企业整体空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of creative enterprises in Liaoning

由于存在部分城市位于同一关联层次下的情况,为进一步区分城市的重要程度,需要对城市在区域网络中的中心性进行分析.

## 2.2 城市间中心性分析

中心性分析用于研究城市在整个区域网络中的重要性 and 影响力,区域网络中重要节点城市的影响力大于其他城市.为测量网络中心性,Freeman<sup>[11]</sup>提出位于网络中间的个体比位于两端的个体更具有影响力,并采用相对度数中心度和中间中心度两个指标表达网络中心性.

1) 相对度数中心度:是指某一城市与其他城市直接相关联的个数  $n$  和最大可能直接相连的区域个数  $N$  之比:

$$De = n/N - 1. \quad (7)$$

由于相对度数中心度基于城市间可直接到达的个数,数据测算结果也同城市关联度一样.考虑到某一城市有可能处于区域间流转的中间线路上,起着枢纽作用;因此,采用中间中心度指标可更进一步表达城市中心性.

2) 中间中心度:用于测算某一城市在多大程度上处于其他城市流转的中间位置.若多城市间的最短路径需要经过某一城市,则该城市处于“中心”位置的可能越大.假设城市  $j$  与城市  $k$  之间的路径数目为  $g_{jk}$ ,而城市  $j$  与城市  $k$  之间经过城市  $i$  的路径数目为  $g_{jk}(i)$ ,城市  $i$  控制城市  $j$  和城市  $k$  的能力为  $b_{jk}(i)$  (即城市  $i$  处于城市  $j$  和城市  $k$  之间的概率),其中  $b_{jk}(i) = g_{jk}(i)/g_{jk}$ .将所有能经过城市  $i$  的城市对点相加,得到区域  $i$  的绝对中间中心度,标准化后得到相对中间中心度  $cb_i, j \neq k \neq i$ ,公式为

$$cb_i = \frac{2 \sum_j \sum_k b_{jk}(i)}{(n-1)(n-2)}. \quad (8)$$

## 3 辽宁省创意产业实证研究

### 3.1 城市间创意产业空间辐射强度计算

本文选取辽宁省为研究对象,将辽宁省视为一个封闭的空间块,选取创意产业的就业人数作为衡量创意产业发展能力的指标.将信息传输、软件和信息技术服务业、租赁和商务服务业、科学研究和技术服务业、文化、体育和娱乐业作为创意产业的主要行业.考虑到创意资源在各市之间的流动主要表现为人才流动,因此选择现阶段城市间的交通主体高铁网衡量城市可达性;将不可直接到达点作为不可达点,得出 2011~2017 年修正前辽宁省各城市创意产业的辐射强度(见表 1),城市间的可达性  $K$ (见表 2)及 2011~2017 年修正后辽宁省各城市创意产业的辐射强度(见表 3).

表 1 修正前 2011~2017 年辽宁省各城市创意产业辐射强度

Table 1 Original radiation intensity of creative industries in Liaoning province from 2011 to 2017

年份	沈阳	大连	鞍山	抚顺	本溪	丹东	锦州	营口	阜新	辽阳	盘锦	铁岭	朝阳	葫芦岛
2011	9.32	8.81	7.17	5.90	5.31	6.52	6.63	6.19	5.55	5.33	6.35	6.36	5.94	5.62
2012	9.40	8.86	7.17	5.82	5.11	6.74	6.56	5.86	5.35	5.31	7.60	6.00	5.75	5.48
2013	9.36	8.88	7.54	5.92	5.48	6.85	6.65	5.93	5.60	5.36	6.13	5.91	5.82	5.57
2014	9.14	9.13	7.52	6.41	6.42	6.54	6.41	5.68	4.95	5.45	6.73	5.74	5.50	5.38
2015	9.18	9.26	7.55	6.25	6.22	6.27	6.80	6.70	5.39	5.43	5.93	5.71	5.69	5.63
2016	9.20	9.33	7.42	6.29	6.04	6.25	7.00	5.82	5.35	5.05	5.97	5.80	5.74	5.74
2017	9.42	9.44	7.54	5.89	6.09	6.23	7.34	6.03	5.01	4.99	5.86	5.94	5.37	5.88

表 2 辽宁省各城市可达性

Table 2 Accessibility of cities in Liaoning province

变量	沈阳	大连	鞍山	抚顺	本溪	丹东	锦州	营口	阜新	辽阳	盘锦	铁岭	朝阳	葫芦岛
C	0.978	0.967	0.967	0.868	0.956	0.945	0.978	0.956	0.890	0.945	0.967	0.967	0.868	0.967
De	1	0.769	0.769	0.077	0.692	0.615	0.923	0.692	0.000	0.615	0.769	0.769	0.077	0.769
cb <sub>i</sub>	0.244	0.000	0.056	0.000	0.026	0.000	0.147	0.120	0.013	0.088	0.205	0.000	0.000	0.000
K	2.222	1.736	1.792	0.945	1.674	1.56	2.048	1.768	0.903	1.648	1.941	1.736	0.945	1.736

表 3 修正后 2011~2017 年辽宁省各城市创意产业辐射强度

Table 3 Revised radiation intensity of creative industries in Liaoning province from 2011 to 2017

年份	沈阳	大连	鞍山	抚顺	本溪	丹东	锦州	营口	阜新	辽阳	盘锦	铁岭	朝阳	葫芦岛
2011	13.53	7.55	6.55	5.06	4.69	5.59	8.99	6.05	4.83	5.04	8.98	7.68	5.09	6.80
2012	13.65	7.59	6.55	4.99	4.51	5.78	8.90	5.72	4.65	5.01	10.74	7.25	4.93	6.63
2013	13.59	7.61	6.89	5.08	4.84	5.88	9.01	5.79	4.87	5.07	8.66	7.14	4.99	6.74
2014	15.68	14.24	12.32	5.49	5.50	5.61	8.36	7.77	4.25	7.87	9.12	8.95	4.72	6.74
2015	15.56	14.44	12.21	5.36	5.49	5.38	11.61	9.57	4.69	8.95	10.47	8.91	4.88	8.79
2016	20.45	16.19	13.30	5.94	10.11	9.74	14.34	10.29	4.83	8.32	11.58	10.07	4.28	9.96
2017	20.92	16.38	13.51	5.56	10.19	9.72	15.04	10.66	4.52	8.22	11.36	10.30	5.07	10.21

3.2 模型检验

1) 指标选取与检验: 选取 GDP 指标用以检验城市创意产业的辐射强度, 其数据结果见图 2。可知, 从 2011~2017 年, 沈阳市创意产业辐射强

度有三年保持不变; 大连在 2016~2017 年度实现高速增长; 锦州、营口、阜新、盘锦、朝阳、葫芦岛呈现出辐射强度增加的趋势; 而鞍山、抚顺、本溪、丹东、辽阳、铁岭呈现出辐射强度下降趋势。

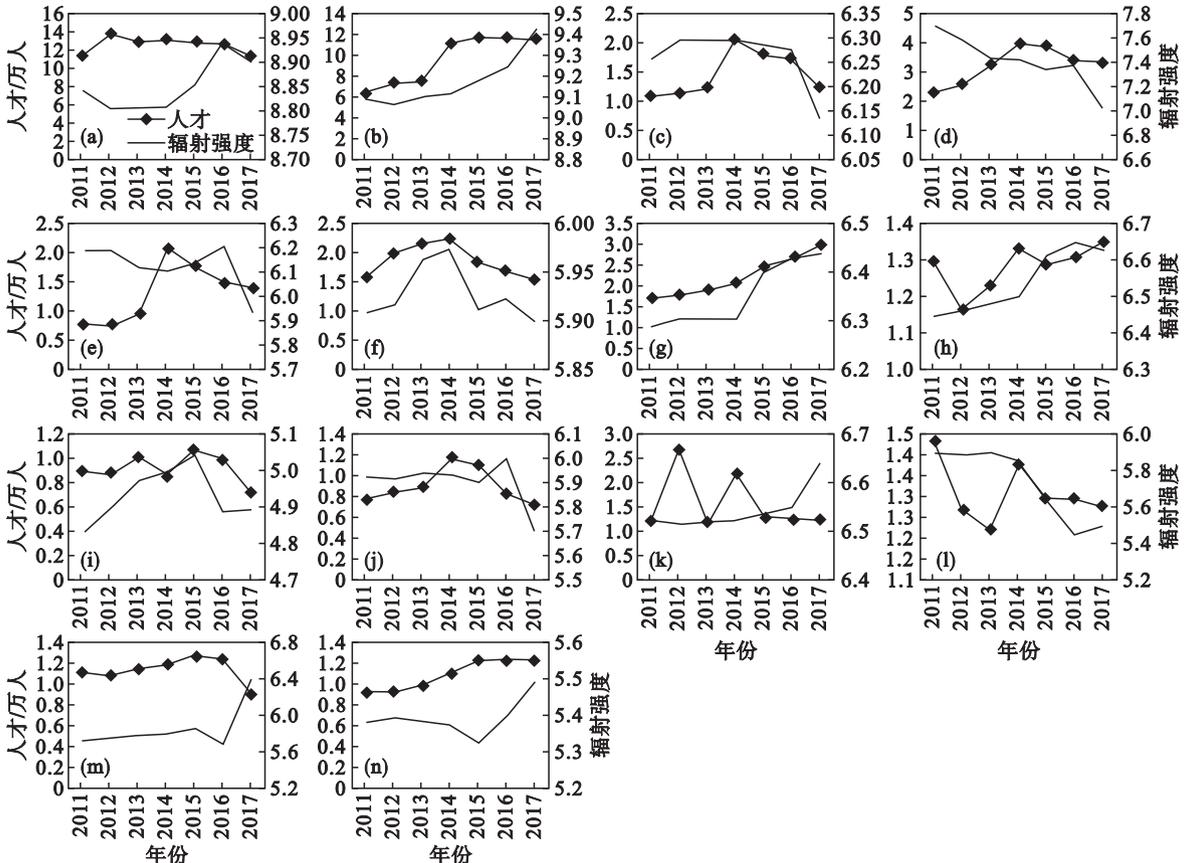


图 2 辽宁省创意人才和辐射强度(基于 GDP)

Fig. 2 Creative talents and radiation intensity in Liaoning province based on GDP

(a) — 沈阳; (b) — 大连; (c) — 抚顺; (d) — 鞍山; (e) — 本溪; (f) — 丹东; (g) — 锦州; (h) — 营口; (i) — 阜新; (j) — 辽阳; (k) — 盘锦; (l) — 铁岭; (m) — 朝阳; (n) — 葫芦岛。

以创意阶层作为衡量创意产业发展的指标,可以看出,沈阳市创意人才数呈现出先增后减的变动趋势;大连市呈现出逐年增长的趋势,并在 2013~2014 年实现高速增长;鞍山、抚顺、本溪、锦州、葫芦岛均呈现出增长趋势,营口、盘锦基本不变,而丹东、阜新、辽阳、铁岭、朝阳呈现出下降趋势。

分析表明,GDP 无法准确衡量城市创意产业的发展 and 变动情况,以 GDP、人口数、R&D 投入等因素作为测算创意产业吸引力或辐射力的指标科学性不足。因此,宏观指标并不能准确诠释创意产业发展演变的状态和机理,但可作为影响创意产业发展和确定创意产业延伸方向的因素。城市辐射范围如图 3 所示。

2) 模型修正前后对比分析:从修正前的辐射强度模型(见表 1)可以看出,2011~2014 年,大连与沈阳的辐射强度较接近,并在 2015 年反超沈阳,但无法对 2011~2013 年沈阳市创意人才数量是大连创意人才数量二倍的情况下(见图 2),其辐射强度相近的原因做出科学解释。此外,诸如鞍山市创意人才在 2014~2017 年间下降 16.54%,而其修正前的辐射强度并没有变化,抚顺市创意人才在 2011~2017 年上升 13.19%,而其修正前辐射强度却呈现下降趋势。营口市在创意人才数

量上升的情况下,其修正前的辐射强度却下降了等现象,都表明原辐射强度模型存在明显缺陷。

由修正后的辐射强度变动(见表 3)可以看出,2011 年沈阳市创意产业辐射强度几乎是大连市的 2 倍;而在 2014 年,两城市辐射强度基本相同。大连市创意产业快速发展可以归因于:哈大高铁于 2012 年 12 月开始运营,大连—北京方向的高铁于 2013 年 12 月开始运营,交通的便捷性缩减了创意人才交流的时间成本。2014 年的鞍山市创意产业辐射强度约为 2011 年的 2 倍,也归因于创意人才的流动;2011~2017 年营口市创意产业辐射强度增加与创意人才的增长相对应,2011~2017 年抚顺市创意产业辐射强度增长 10%,也与创意人才的增长相匹配。哈大高铁的运营增强了大连、营口、鞍山、辽阳、沈阳等城市之间的关联,成为 2013~2014 年大连、鞍山、营口、辽阳等城市辐射强度变化的重要因素;大连—北京高铁的运营为沿线城市营口、盘锦、锦州、葫芦岛提供了高效、便捷的交通,可达性促进了 2014~2015 年锦州、葫芦岛等城市创业人才的增长。同样,可达性弱也可以作为抚顺、阜新、朝阳等城市(暂无高铁经过)创意产业衰退的主要原因。因此,可达性应作为创意产业辐射强度变化的重要且必要的考虑因素。

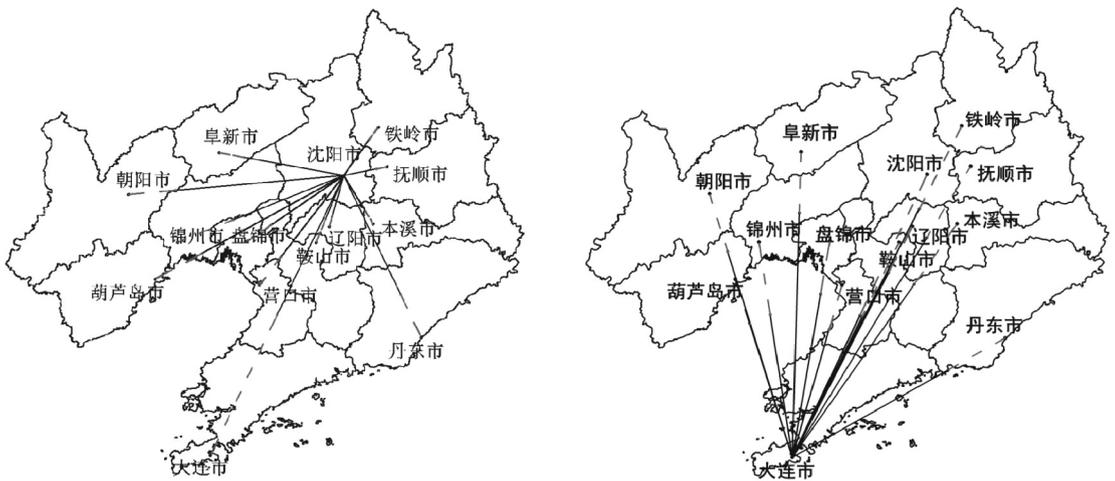


图 3 城市辐射范围(沈阳市和大连市)

Fig. 3 Radiation scope of Shenyang and Dalian

### 3.3 创意企业的空间分布分析

基于对辽宁省 1 243 家创意企业的空间分布进行分析(见表 4 和图 1),创意产业相对集中于特大城市、大城市中。其中,59.21% 的创意企业集中在两座副省级特大城市;29.85% 的创意企业分布在 12 个地级市中;仅有 6.36% 的创意企业分布在县级市中。辽宁省创意企业整体空间分布

(图 1)表明,创意产业除相对集中分布在大连、沈阳两座副省级特大城市外,其他城市中的创意企业还具有邻近城市间主要交通走廊分布的特征。

### 3.4 创意产业格局的动态演变

1) 中心城市辐射范围:根据修正后 2011~2017 年辽宁省各城市创意产业辐射强度(见表 3),辽宁省创意产业的发展呈现出不均衡状态。

其中大连、沈阳两市对其他城市的辐射强度远大于其他城市之间的辐射强度,表明创意资源易从其他城市向沈阳、大连流动(见图 3). 从 2011~2017 年创意资源的迁徙图(见图 4)可以看出,沈阳、大连、锦州、鞍山、本溪为创意资源的主要流入城市,阜新、朝阳、盘锦、辽阳、丹东为创意资源主要流出城市,说明创意资源易从创意产业欠发达地区向创意产业发达地区流入. 表 2 计算结果显示,沈阳与其他城市的关联度最高,为 2.222,锦州紧随其后,为 2.048,而抚顺、阜新、朝阳与其他城市的关联度最低,仅与一两个城市可直接到达. 这意味着空间距离较远的城市之间的交通需要经过沈阳,这进一步加剧了沈阳地区创意产业的发展,并且削弱远距离城市之间的联系.

表 4 辽宁省创意企业数量与城市分布

Table 4 Number of creative enterprises in Liaoning

创意企业数量/个	城市类型	占比/%
736	副省级特大城市	59.21
371	地级市	29.85
79	县级市	6.36
57	县	4.59

源,发挥两城市的交通枢纽作用,有助于促进辽宁省与河北省的创意产业互动.

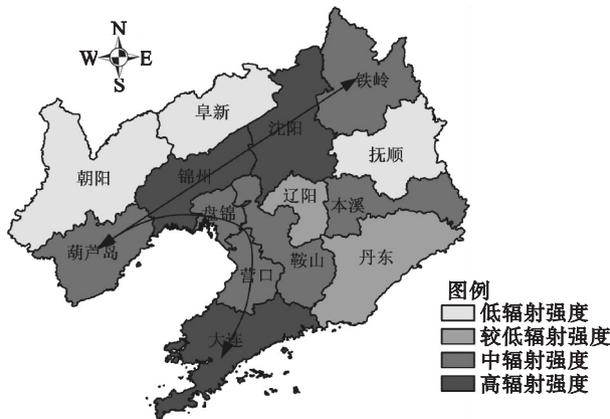


图 5 辽宁省创意产业发展路线图

Fig. 5 Development route of creative industries in Liaoning

3) 创意产业格局的动态演变:辽宁省创意产业发展呈现出从一个中心、多个发展点到两个中心、多个发展点的演变特征. 创意企业可以通过城市内部交通与本地域其他产业集群发生资源流动和相互影响作用,也可以通过区域交通网络与其他城市发生资源流动和影响作用(见图 6). 重要节点城市中的创意企业通过贸易参与、技术支持的方式渗透入其他城市,获取新市场(见图 6b); 众多企业之间以竞争的方式产生横向联系,与用户或供应商产生纵向联系<sup>[12]</sup>. 在创意产业发展期间,企业之间通过互动寻找合作伙伴,开拓潜在的发展区域,以维持和拓展创意产业网络<sup>[13]</sup>. 基于贸易互动和知识获取,创意企业进一步促进跨地区联系,扩展其影响的空间范围,促进区域创意产业的整体发展(见图 6c).

4) 城市空间格局的划分:城市间创意产业辐射强度的差异表明城市之间的吸引能力差异. 当城市 A 的创意产业对城市 B 的辐射强度远大于城市 B 对城市 A 的辐射强度,表明两城市创意产业发展水平较为悬殊;反之,则表明两城市创意产业水平较为相近,竞争能力相当. 当处于同一辐射强度等级上的城市建立区域经济联系时,所能获取的收益最大. 根据图 7 可以看出,沈阳、大连处于较高层级,鞍山、锦州、本溪、丹东、营口、盘锦、铁岭和葫芦岛处于一般层级,抚顺、阜新、辽阳、朝阳处于较低层级. 因此,加强同一层级之间的创意产业联系,可以通过资源互补提升整个省域的创意产业发展水平.

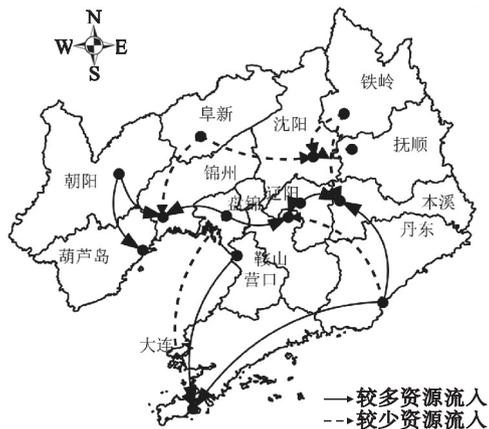


图 4 辽宁省创意资源的迁徙图

Fig. 4 Migration of creative resources in Liaoning

2) 创意产业发展线路:辽宁省创意产业发展呈现出北京—沈阳—长春沿线、环渤海沿线发展的态势(见图 5). 北京—沈阳—长春沿线上的沈阳、锦州的辐射强度介于 13~20,而葫芦岛和铁岭的辐射强度介于 9~14;环渤海沿线上锦州、大连的辐射强度介于 13~20,葫芦岛、盘锦、营口的辐射强度介于 9~14. 与内蒙古接壤的朝阳、阜新的辐射强度低于 5,说明这两城市的创意产业吸引力较弱. 锦州和葫芦岛是北京—沈阳—长春线路与环渤海沿线的重叠城市,对两条线路的发展都起到重要的作用. 因此,充分利用两城市的资

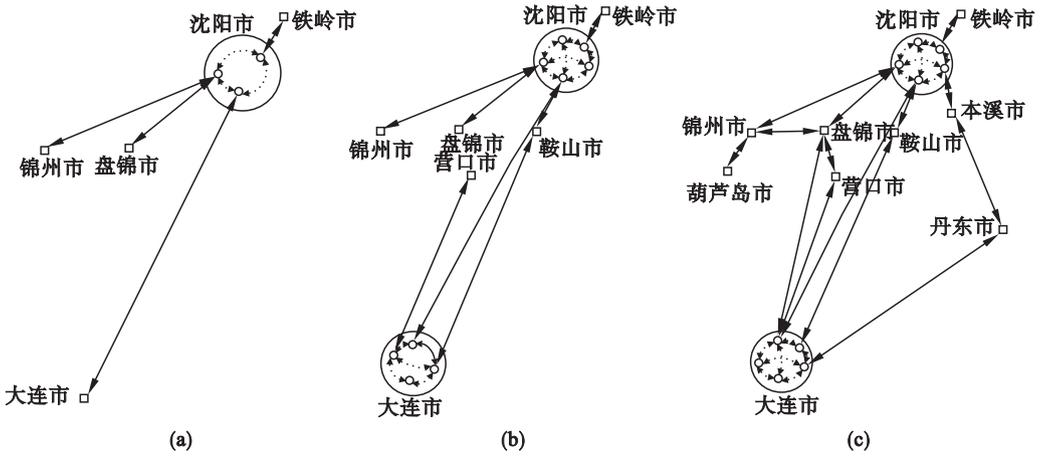


图 6 辽宁省创意产业的动态演变(2011—2014—2017)

Fig. 6 Dynamic evolution of creative industries in Liaoning(2011 -2014 -2017)

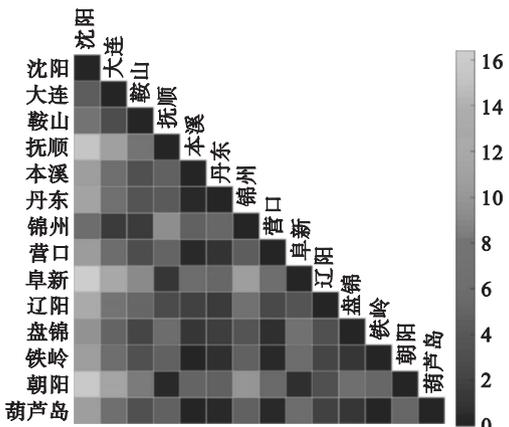


图 7 辽宁辐射强度相似图

Fig. 7 Similarity of radiation intensity in Liaoning

注:以修正后辐射强度差值的绝对值作为度量城市间创意产业相似度的指标。

## 4 结 论

1) 修正后的辐射强度模型以创意产业就业人数为衡量产业发展的指标,更能符合创意产业的现状;修正后的辐射强度模型将交通可达性考虑进内,不仅能解释创意产业的发展趋势,还能解释创意产业的变化幅度。

2) 大部分创意企业集中在沈阳和大连,各城市之间经济联系并不密切。

3) 辽宁省创意产业发展呈现出沿北京—沈阳—长春和环渤海发展的态势。

4) 辐射强度相似、层级相同的城市要通过优势互补,实现共同发展。

### 参考文献:

[ 1 ] 马仁峰. 中国长江三角洲城市群创意产业发展趋势及效应分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014(1): 1-9.  
(Ma Ren-feng. Trends and effects of creative industries

development in the yangtzi river delta ' s urban agglomerations[ J]. *Resources and Environments in Yangtze Basin*, 2014(1): 1-9. )

[ 2 ] Hawthorn G. Innovation diffusion as a spatial process [ J]. *Sociology*, 1969, 3(2): 270-287.

[ 3 ] Tobler W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region [ J]. *Economic Geography*, 1970 ( 46 ): 234-240.

[ 4 ] Taffe E J, Edward J. The urban hierarchy: an air passenger definition[ J]. *Economic Geography*, 1962(2): 1-14.

[ 5 ] Meyer D R. A dynamic model of the integration of frontier urban places into the United States system of cities [ J]. *Economic Geography*, 1980(56): 39-120.

[ 6 ] Hagerstrand T. The propagation of innovation waves [ J]. *Neuropsychobiology*, 2000, 42(4): 172-174.

[ 7 ] 焦鹏飞, 张凤荣, 李灿, 等. 基于引力模型的县域中心村空间布局分析——以山西省长治县为例 [ J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 45-54.  
(Jiao Peng-fei, Zhang Feng-rong, Li Can, et al. The spatial organization of central villages in Changzhi county based on the gravity model [ J]. *Resource Science*, 2014, 36 ( 1 ): 45-54. )

[ 8 ] 钱春蕾, 叶菁, 陆潮. 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*, 2015, 34 ( 2 ): 237-245.  
(Qian Chun-lei, Ye Qing, Lu Chao. Gravity zoning in Wuhan metropolitan area based on an improved urban gravity mode [ J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(2): 237-245. )

[ 9 ] 郭源园, 胡守庚, 金贵. 基于改进城市引力模型的湖南省经济区空间格局演变研究 [ J]. *经济地理*, 2012, 32 ( 12 ): 67-90.  
(Guo Yuan-yuan, Hu Shou-geng, Jin Gui. Evolution of spatial pattern on Hunan province ' s economic zones based on improved gravitational models of cities [ J]. *Economic Geography*, 2012, 32(12): 67-90. )

[ 10 ] de Grange L, Troncoso R, Ibeas A, et al. Gravity model estimation with proxy variables and the impact of endogeneity on transportation planning [ J]. *Transportation Research Part A*, 2009, 43(2): 105-116.

[ 11 ] Freeman L C. Centrality in social networks; conceptual clarification [ J]. *Social Networks*, 1978, 1: 215-239.

[ 12 ] Maskell P, Bathelt H, Makmberg A. Building global knowledge pipelines; the role of temporary clusters [ J]. *European Planning Studies*, 2006, 14(8): 997-1013.

[ 13 ] Bathelt H, Schuldt N. Between luminaries and meat grinders: international trade fairs as temporary clusters [ J]. *Regional Studies*, 2008, 42(6): 853-868.