

# 中国省际科技人才流动网络及其阻碍因素

王寅秋<sup>1</sup>, 罗晖<sup>2</sup>, 施云燕<sup>1</sup>

1. 中国科协创新战略研究院, 北京 100864

2. 中国国际科技交流中心, 北京 100081

**摘要** 将中国科技人才省际流动这一社会学问题抽象成复杂网络问题进行定量化研究, 构建相应的网络化数学模型。基于文献计量获得2010—2017年中国各个省份之间科技人才流动的数据, 应用复杂网络的各项指标分析可以得到2010—2017年科技人才省际流动的变化趋势和特点。应用假设分析方法, 定量化分析在科技人才流动中阻碍因素的作用程度。

**关键词** 科技人才; 人才流动; 复杂网络

当前, 中国正处于加快跻身创新型国家行列的决胜阶段, 科技创新本质上是人的创新性活动。科技人才资源是资本流动、技术转移、市场开拓的重要载体, 已成为国家和区域发展的战略资源, 高水平的科技人才队伍是一个国家或一个地区科技实力和创新能力的集中体现。习近平总书记指出, “创新之道, 唯在得人”“创新驱动实质上是人才驱动”。党的十九大报告强调“要培养造就一大批具有国际水平的战略科技人才、科技领军人才、青年科技人才和高水平创新团队”<sup>[1]</sup>, 这些重要论断为新时代中国科技人才队伍建设明确了方向和任务目标。

进入21世纪以来, 随着人才强国战略和建设

创新型国家战略的实施, 中国科技人才总量呈现快速增长的态势, 2015年人口抽样调查显示, 中国具有大专以上文化程度的人口达到17093万人, 较2010年同期增长42.87%<sup>[2]</sup>。科技人才空间分布是人才居留意愿的重要体现。但从空间分布的角度看, 科技人才分布的不均衡趋势依然显著, 东部发达省份对人才的“虹吸”效应进一步挤压了中西部省份的发展空间。

国家层面, 党和国家高度关注人才工作, 很早就制定实施了人才强国战略, 中央、国家有关部门和地方分层次、有计划地引进一批能够突破关键技术、发展高新技术产业、带动新兴学科的战略科学家和创新创业领军人才, 很多引进人才已经成为实

收稿日期: 2020-03-31; 修回日期: 2020-06-09

基金项目: 中国科协创新战略研究院院长青年基金项目(2020yzjj-019)

作者简介: 王寅秋, 副研究员, 研究方向为科技人才流动、大数据分析, 电子信箱: wh6509@yahoo.com

引用格式: 王寅秋, 罗晖, 施云燕. 中国省际科技人才流动网络及其阻碍因素[J]. 科技导报, 2020, 38(19): 110-120; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.19.021

施重大科技攻关的骨干力量,成效显著;地方层面,各个省份、直辖市和自治区也都高度重视人才工作,大力引进海外及全国其他省份的科技人才,浙江、广东、上海乃至宁夏等西部省份都出台包括薪酬待遇、启动经费以及团队建设等一系列优惠的政策,“抢人大战”已经在全国高潮迭起。

在此背景下,近年来中国各省份的科技人才呈现出新的空间特点和演化趋势,如何量化评价各个省份对于科技人才吸引力,科技人才在流动中受到的阻碍作用对于流动的影响,这些问题的研究对中国科技人才相关政策的制定和区域发展政策的制定具有借鉴意义。

与国内外大量关于国际人才流动和引进的论文不同,本文更加关注国内的省际人才流动。为保证研究成果更加确实可信,应用量化分析方法,将中国科技人才省际流动抽象成复杂网络。通过文献计量法有效收集、整理2010—2017年中国省际科技人才流动数据,辨识科技人才复杂网络模型中的未知参数。基于量化科技人才流动网络模型和各个省份人才保有量离散化动力学模型,探讨在2010—2017年间人才复杂网络各项指标随时间演化的态势,反映科技人才省际流动的变化特点。进一步假设在无流动阻碍下,研究科技人才省际流动情况并与实际数据进行对比,得到阻碍因素对科技人才省际流动的影响。

## 1 国内外研究现状

科技人才对于经济社会发展和科技创新起到重要作用。因此,国内外政界和学界都对科技人才流动的相关研究日益重视,产出了大量优秀成果。

关于科技人才流动整体态势、形成的原因及造成的影响,Geuna<sup>[3]</sup>对科技人才流动影响因素及其起到的积极/消极作用进行了调查分析;Andrés<sup>[4]</sup>综述了各国科技人才流动的相关政策和理论成果,给出人才流动的影响。Pekkala等<sup>[5]</sup>重点分析了海外科技人才对于流入国科技创新方面的影响。Schon等<sup>[6]</sup>通过研究400多篇人才全球竞争的文章,指出全球主要国家越来越重视科技人才,目前对科技人

才的竞争愈演愈烈。郑巧英等<sup>[7]</sup>对各类型科技人才流动进行了分类,探讨了不同类型的人才流动对流出国和流入国所造成的影响。杜红亮等<sup>[8]</sup>系统梳理了国际有关海外高层次科技人才引进政策的实践与启示。

正因为考虑到很多通过定性化经验分析得到的结果信服度不高、方法通用性不强,量化分析科技人才流动的方法越来越受到重视。王寅秋等<sup>[9]</sup>将文献计量学、复杂网络和系统辨识结合,建立全球科技领军人才跨国流动网络化模型。田瑞强等<sup>[10-11]</sup>定义科研人员流动性指数,对科技人才流动进行测度,并从社会网络分析视角探讨高层次人才流动特征。Moed等<sup>[12]</sup>分析了应用科学计量学来研究科技人才流动的有效性和合理性,指出应用此方法来进行科技人才国际流动分析所得结果非常具有信服力。Czaika等<sup>[13]</sup>给出科技人才流动重心随时间变化的动力学方程,并应用回归分析方法讨论阻碍科技人才流动的各种因素所造成的影响。许家云等<sup>[14]</sup>应用CES生产函数计量分析方法发现促进中国海外科技人才回流的因素。另外,欧洲工商管理学院<sup>[15]</sup>构建的全球国家人才竞争力指标体系能够定量评价全球各个国家吸引人才能力强弱。

复杂网络作为一种研究社会学问题的量化方法,已经被广泛应用于许多与科技人才流动相类似的领域,例如移民问题、国际贸易网络问题等。Giorgi等<sup>[16]</sup>将国际移民网络抽象成有向加权的网络拓扑。Yang等<sup>[17]</sup>建立了一个在复杂性和现实性之间能够达到平衡的移民网络模型。Wang<sup>[18]</sup>基于Scopus数据库中高被引作者跨国流动的相关数据设计科技人才流动网络模型,应用回归分析讨论各项影响人才流动的因素及影响程度大小。

## 2 数据界定及来源

详实可信的数据是研究省际科技人才流动的基础和必要条件。但目前为止,关于科技人才并没有统一的定义,并且对于人才流动也没有形成统一的共识。因此,相关权威统计部门就更没有提供科

技人才按年份在各个省份之间流动的统计指标。基于上述考虑,本文采用文献计量学和履历分析法作为工具,得出适用于本文的科技人才的定义和人才流动的定义,基于此收集2010—2017年科技人才在不同省份之间流动的总量数据,作为研究基础性数据。

科技人才指具有一定专业知识或专门技能,从事创造性科学技术活动,并对科学技术事业及经济社会发展做出贡献的人员。中国国内的省际科技人才流动,指因主动或被动的原因导致科技人才所属机构发生省际层面上的空间转移,暨工作单位所在地从一个省份变换为另一个省份,可以细化为科技人才流入和科技人才流出两个子内容,科技人才流入某个省份指科技人才的工作单位在空间上从该省以外转移到该省以内;科技人才从流出某个省份指科技人才的工作单位在空间上从该省以内转移到该省以外。

考虑到数据获取的现实性及可信性,本文通过“科学家在线”网站收集科技人才的省际流动数据。“科学家在线”构建了涵盖经济学、文学、理学、工学等几乎全部的学科分类数据。该数据库通过梳理超过6000万篇公开发表论文、1000万项专利、27万家机构,以文献计量、履历分析等为手段,收集汇总国内大约1100万科研人员的工作履历和科研成果。本文核心数据是从“科学家在线”数据库中随机抽样,取得有完整简历的科技人才10万名。关于“科学家在线”数据库见文献[19]。

以文献计量方法和履历分析方法,筛选这10万名科技人才在2010—2017年发表的论文署名单位,得到科技人才在全国34个省级行政单位(含4个直辖市和香港、澳门、台湾)中任意2个之间的科技人才双向流动的年份数据,即得到在某一年省份 $j$ 流动到省份 $i$ 科技人才数量的绝对值。横坐标表示流出省份,纵坐标表示流入省份,2010—2017年间每一年都可以构建一个的省份之间关于科技人才流动的关系矩阵,共计8个矩阵,作为分析省际科技人才流动的数据基础。

### 3 省际科技人才流动网络模型建立

以从“科学家在线”中提取的科技人才省际流动数据为基础,结合复杂网络和离散化动力学系统相关定量化分析工具,建立中国省际科技人才流动网络化模型和每个省份流入科技人才随时间变化离散动力学方程,并且通过流动历史数据辨识科技人才流动网络中的未知参数。

#### 3.1 省际科技人才流动网络模型框架建立

复杂网络是指具有自组织、自相似、吸引子、小世界、无标度中部分或全部性质的网络,它是由节点和连接节点之间的边所构成,在加权网络中,还包含边的权值。复杂网络在分析具体问题时已经得到了较为广泛的应用,例如工程师基于复杂网络设计多机器人协同工作系统完成复杂任务,社会学家运用复杂网络知识分析观点和流言蜚语如何在社会上进行传播等。正因为考虑到人才在不同省份直接流动与传统复杂网络中信息在节点之间传输类似,可以将科技人才省际流动定量化抽象成有向加权复杂网络进行分析。陈关荣等<sup>[20]</sup>,孙玺菁等<sup>[21]</sup>,何大韧等<sup>[22]</sup>对复杂网络的相关理论、概念、应用场景和分析方法均进行了详细介绍。

由于本研究对2010—2017年每年的科技人才流动进行分析,所以首先定义 $k$ 表示相应的年份。在网络中,用节点 $i$ 代表省份 $i$ ,科技人才从省份 $j$ 流向省份 $i$ 的通道被定义为从节点 $j$ 指向节点 $i$ 的有向边 $(j, i)$ ,与之对应的是边权值 $a_{ij}(k)$ 。在有向网络中,如果存在从节点 $j$ 到节点 $i$ 的一条有向路径,表示从节点 $j$ 到节点 $i$ 之间存在一连串邻接的点,这些点之间由有向边连接,推广到人才流动表示科技人才从省份 $j$ 流向省份 $i$ 存在路径。定义在 $k$ 时刻省份 $j$ 直接流向省份 $i$ 的科技人才总量为 $y_{ij}(k)$ 。定义无向网络是由所对应的有向网络不考虑边的方向构成。定义二项网络为如果存在从节点 $j$ 到节点 $i$ 的边,则相应的权值为1,否则权值为0,如果二项网络的边是无向的,即为二项无向网络;如果边为有向的,即为二项有向网络。如果不考虑两个省份之间人才流动的方向和数量,仅考虑人才流动渠道

是否存在的人才流动网络,称为二项无向人才流动网络。

考虑到本研究一个时间段内科技人才省际流动特点的演化趋势,需要对不同年份数据进行比较,为了克服样本收集总量所带来的影响,对直接收集的  $y_{ij}(k)$  进行标准化。考虑到后续分析的方便,采用以下标准化方法。

$$m_{ij}(k) = \frac{y_{ij}(k)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ij}(k)} \times 100 \quad (1)$$

式中,  $m_{ij}(k)$  为  $y_{ij}(k)$  标准化后的值,  $n$  为省份数量。

正因为采用了这种标准化方法,还可以得到

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}(k) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}(l) = 100$$

式中,  $k$  和  $l$  是任意两个时刻,并且  $m_{ij}(k)$  始终保持在  $[0,100]$  区间内。

假设在  $k$  时刻流入省份  $i$  的科技人才总量  $m_i(k)$ , 即复杂网络节点  $i$  的值,满足离散化动力学方程

$$m_i(k) = \sum_{j=1}^n m_{ij}(k) = \sum_{j=1}^n a_{ij}(k) m_j(k-1) \quad (2)$$

式中,  $k$  时刻流入省份  $i$  的科技人才总量是其他省份分别流向省份  $i$  科技人才的相加总和。进一步假设在  $k$  时刻流入省份  $i$  的人才总量是在  $k-1$  时刻流入所有省份人才量的加权和,参数  $a_{ij}(k)$  指省份  $j$  流向省份  $i$  的科技人才占  $k-1$  时刻流入省份  $j$  科技人才总量的比例,从整体上反映了省份  $i$  对于省份  $j$  科技人才的吸引力。特别地,有  $\sum_{i=1}^n m_i(k) = \sum_{i=1}^n m_i(k+1)$  恒成立。

### 3.2 省际科技人才流动网络模型参数辨识

考虑到采用的标准化辨识方法以及节点值动力学方程,有以下结果

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n m_i(k) &= \sum_{i=1}^n m_i(k-1) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}(k) m_j(k-1) \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}(k-1) \end{aligned} \quad (3)$$

不失一般性,认为科技人才从省份  $j$  流向省份  $i$  仅仅与省份  $i$  和  $j$  某些因素相关,与其他省份完全无关,因此有

$$m_{ij}(k-1) = a_{ij}(k) m_j(k-1) \quad (4)$$

进而得到

$$a_{ij}(k) = \frac{m_{ij}(k-1)}{m_j(k-1)} \quad (5)$$

进而交换变量  $i$  和  $j$ , 有

$$\sum_{j=1}^n m_j(k) \sum_{i=1}^n a_{ij}(k) = \sum_{i=1}^n m_i(k) \sum_{j=1}^n a_{ji}(k)$$

因此,公式(3)演化为

$$\sum_{i=1}^n m_i(k) \sum_{j=1}^n a_{ji}(k) = \sum_{i=1}^n m_i(k)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i(k) \sum_{j=1}^n a_{ji}(k) - \sum_{i=1}^n m_i(k) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n m_i(k) \left[ \sum_{j=1}^n a_{ji}(k) - 1 \right] = 0$$

根据上式显然有  $\sum_{j=1}^n a_{ji}(k) = 1$  成立。并且设矩

阵  $\mathbf{A}(k) = [a_{ij}(k)] \in R^{n \times n}$ , 则矩阵  $\mathbf{A}(k)$  的列和为 0, 也就是  $\mathbf{1}^T \mathbf{A}(k) = \mathbf{0}$  在任意时刻均成立,其中  $\mathbf{1}$  为  $n$  行 1 列、所有元素均为 1 的列向量。

## 4 省际科技人才流动时间演化分析

应用建立的科技人才省际流动模型,基于“科学家在线”提供的 2010—2017 年中国科技人才省际流动的数据,建立全国科技人才省际流动网络拓扑。分析人才流动网络的相关定义和指标变化,提出科技人才流动随时间变化的演进态势的特点。

首先,基于不同年份的  $\mathbf{A}(k)$ , 得出不同年份科技人才省际流动的网络拓扑结构(图 1)。

通过复杂网络的各项定义和指标,定量化分析科技人才流动在 2010—2017 年间的演化趋势。考虑到科技人才流动具有某些特殊性,本文对复杂网络相关指标的计算进行一定修改。

在复杂网络分析中,最基本、最重要的概念是网络节点的度,在有向网络中分为网络的入度和出度,其中入度定义为

$$d_i^{\text{in}}(k) = \sum_{j=1}^n a_{ij}(k), \quad (6)$$

在讨论科技人才流动的问题时,该项指标反映

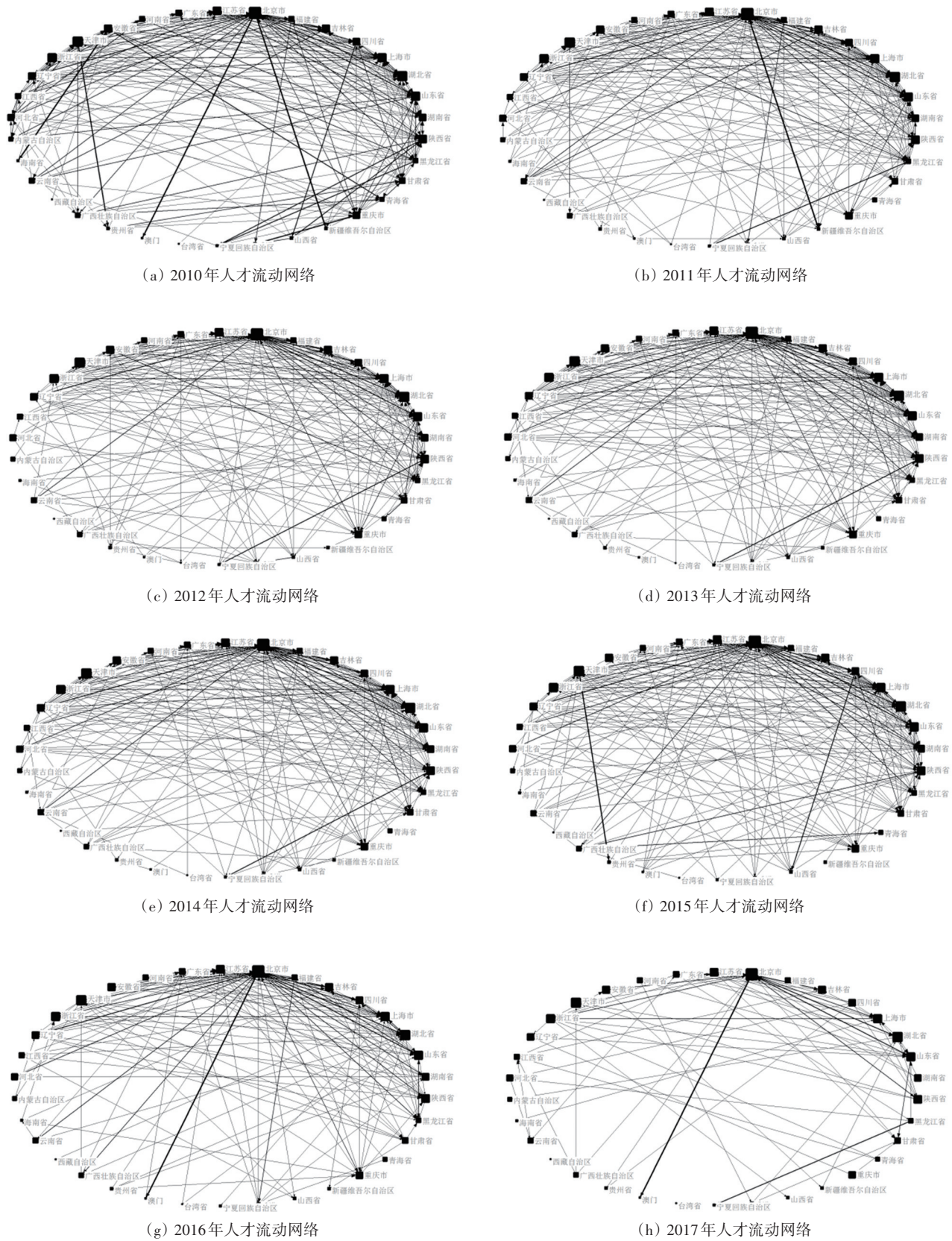


图1 中国科技人才省际流动网络拓扑

省份*i*对其他省份科技人才的吸引能力。有向网络出度一般定义为

$$d_i^{out}(k) = \sum_{j=1}^n a_{ji}(k) \quad (7)$$

由于采用本文的方法已经得到在  $\sum_{j=1}^n a_{ji}(k) = 1$  任意时刻对于任意节点都是成立的,所以任意节点的出度都是1。由此得出全国各省份入度随时间变化趋势(图2)。

如图2所示,北京、上海、广东和江苏等东部省

份的入度持续保持在较高水平,北京的入度值明显高于其他地区,上海、江苏以及广东处于第二梯队,说明吸收了全国大量科技人才;浙江、辽宁、山东以及重庆相比于其他省份,入度值也相对较大,说明也是部分科技人才流动的理想目的地;再次是湖北、安徽、陕西等,这些省份的入度值比较小,对于科技人才的吸引力不够充分,流动至这些省份的科技人才总量也是较为有限;最后是西藏、新疆、宁夏等偏远、经济欠发达省份,入度值接近于0,很少有科技人才从外部流入。

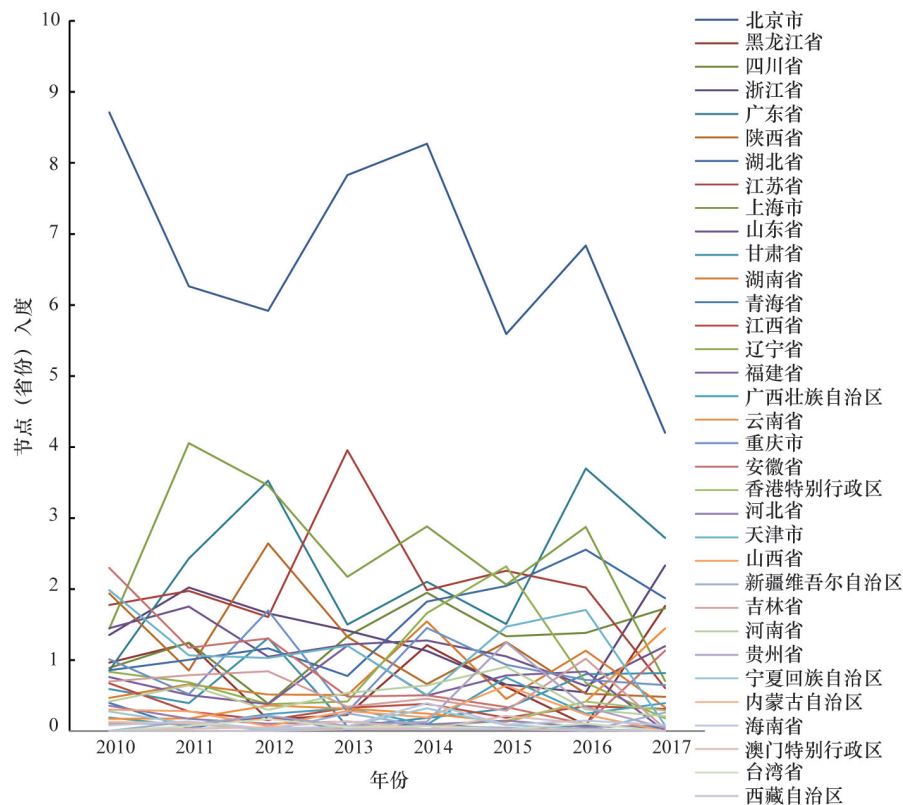


图2 各省份入度变化趋势

网络中任意2个节点之间的距离是评价复杂网络中的节点之间能否进行信息交流,交流是否便利的重要指标。通常地,在复杂网络分析中,从节点*j*到*i*的距离定义为这两个节点之间所有路径上的边权值和的最短值。考虑到本文提出的科技人才流动网络模型边权值是省份的科技人才吸引力,对传统的网络节点距离进行优化,重新定义如下:

$$l_{ij} = \min \left[ 1 / \left( a_{c_1j} + a_{c_2c_1} + \dots + a_{c_kc_{k-1}} + a_{ic_k} \right) \right] \quad (8)$$

进一步定义整个网络的平均距离如下:

$$L = \frac{\sum_{i \neq j} \min \left[ 1 / \left( a_{c_1j} + a_{c_2c_1} + \dots + a_{c_kc_{k-1}} + a_{ic_k} \right) \right]}{n(n-1)} \quad (9)$$

式中,  $(j, c_1), (c_1, c_2), \dots, (c_{k-1}, c_k), (c_k, i)$  是从省份*j*指向省份*i*的一条科技人才流动有向路径。距离越短,说明科技人才从省份*j*流向省份*i*的便利程度越高。

计算并绘制2010—2017年整个科技人才省际流动网络的变化趋势,如图3所示。

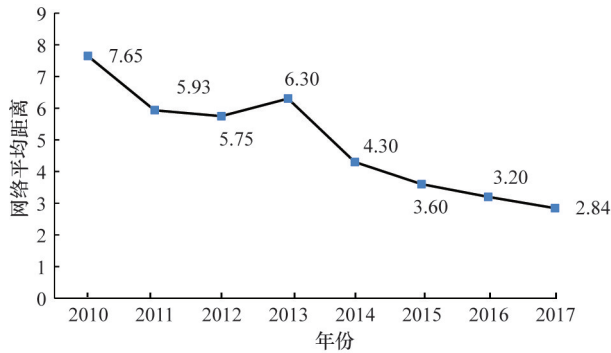


图3 科技人才省际流动网络平均距离变化趋势

人才流动网络平均距离有相当显著的降幅,从7.65降到了2.84,降幅达到63.02%,年均降幅达到11.69%。说明2010—2017年科技人才流动越来越便利,人才流动意愿越来越强。

复杂网络聚类系数通常被用来测量节点之间结集成团的程度,指一个节点的邻接节点之间相互连接的程度。集聚系数分为整体与局部两种。整体集聚系数可以给出一个网络中整体的集聚程度的评估,而局部集聚系数则可以测量图中每一个节点与附近节点的集聚程度。对于无向网络,聚类系数定义为

$$c_i = \frac{l_i}{d_i(d_i - 1)}$$

式中, $d_i$ 是节点*i*的度(无向网络出入等于入度), $l_i$ 是与节点*i*直接相连的接地个数。

针对需要研究科技人才流动的问题,并且考虑到人才流动网络是有向加权的,所以按照聚类系数的内涵进行重新定义。针对二项无向网络,局部聚类系数定义为

$$c_i(k) = \frac{1}{l_i(k)} \quad (10)$$

针对加权有向网络的局部聚类系数则定义为

$$c_i(k) = \frac{\sum_{j,k} [a_{ij}(k)a_{jk}(k)a_{ki}(k)]^{\frac{1}{3}}}{d_i^{\text{in}}(k)[d_i^{\text{in}}(k) - 1]} \quad (11)$$

式中, $a_{ij}, a_{jk}, a_{ki}$ 是对应有向边 $(j,i), (k,j), (k,i)$ 的权值,有向边 $(j,i), (k,j), (k,i)$ 构成了一个首尾相接的三角。

整体聚类系数为网络中所有节点局部聚类系

数的平均值,定义如下:

$$c(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i(k) \quad (12)$$

计算2010—2017年科技人才省际流动二项无向网络的整体聚类系数变化趋势,如图4所示。

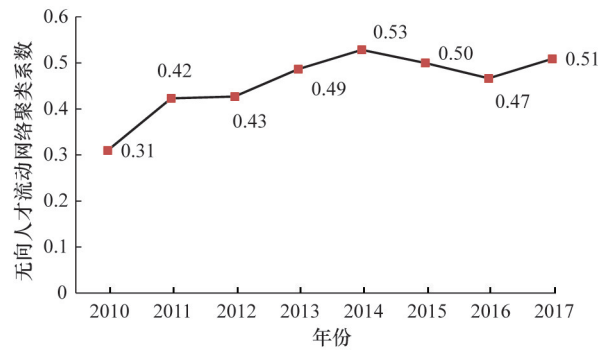


图4 科技人才省际流动二项无向网络整体聚类变化趋势

计算2010—2017年科技人才省际流动二项无向网络的整体聚类系数变化趋势,如图5所示。

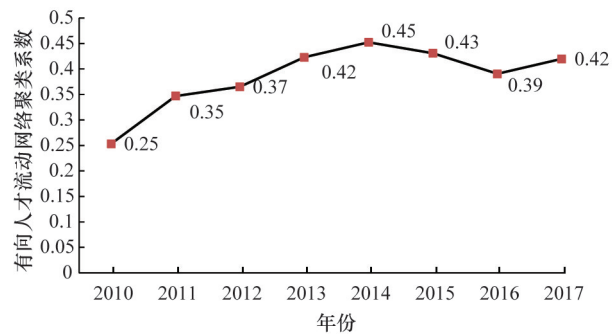


图5 科技人才省际流动网络整体聚类系数变化趋势

对比图4和图5可知,科技人才省际流动网络两类聚类系数变化较为类似,均呈现明显的上升趋势,其中二项无向网络的整体聚类系数从0.31上升至0.51,增幅达到64.5%,年均增幅达到6.42%;加权有向网络的整体聚类系数也从0.25上升至0.42,增幅达到68.00%,年均增幅6.70%。两类聚类系数的整体增长说明省份之间的流动渠道越来越广泛,越来越多的科技人才流动更加趋于直接在两个省份之间流动而且不借助某些特定的省份作为流动的中介。

另一个在复杂网络分析中非常广泛的指标是网络熵,用来衡量网络均质或异质的程度。如果一个网络中所有节点都有相似的重要性,则该网络称

为同质网络;反之,如果网络中存在一个或几个节点的重要性远远超过其他网络,则该网络称为异质网络。针对科技人才流动问题,如果所构建的人才流动网络中存在能够影响整个网络态势的一个或几个省份,则网络是异质的,反之如果小部分节点的剧烈变化不会对整个网络造成大的影响,则网络是同质的。定义入度熵如下:

$$\epsilon = \frac{-2 \sum_{i=1}^n \eta_i (\ln \eta_i) - \ln [4(n-1)]}{2 \ln n - \ln [4(n-1)]} \quad (13)$$

式中,  $\eta_i = d_i^{\text{in}} / \sum_{j=1}^n d_j^{\text{in}}$ 。

因为所有节点的出度都是一样的,所以本文不对从出度角度定义的网络熵进行分析。

根据定义(13)可知,  $0 \leq \epsilon \leq 1$ 。并且如果熵值  $\epsilon$  越接近 1,网络的异质性呈现的越明显,越接近 0,网络的同质性越明显。根据定义计算科技人才省际流动的网络熵变化趋势,如图 6 所示。



图 6 科技人才省际流动网络入度熵变化趋势

可以发现,复杂网络入度熵从 2010—2017 年整体变化幅度不大,在 0.17 至 0.20 之间震荡,网络入度熵明显小于 1。结合网络熵的定义可知,人才流动网络从流入量角度是明显呈异质性,说明人才流动的目的地显著集中在某几个省份,全国分布非常不均匀。结合入度计算结果分析,可以认为全国科技人才流动的目的地主要集中在北京、上海、江苏、广东等直辖市或东部发达省份,其他省份和直辖市科技人才吸引力较低,人才流入量相对较少,并且这一态势在 2010—2017 年相对稳定,没有发生太大变化。

## 5 省际科技人才流动阻碍程度研究

尽管目前各个省份之间对于科技人才的争夺日趋激烈,东部发达省份出台了各种优惠措施在全国范围内招揽优秀科技人才,但科技人才流动仍然受到经济、政策以及专业领域等各项因素阻碍。阻碍作用的程度、各个省份情况以及随时间变化的情况并不十分清晰,有必要进行分析研究。

为了科学评估阻碍科技人才省际流动因素的作用,本文应用假设分析方法,即假设在无阻碍情况下计算科技人才省际流动数据,并与现实情况进行对比,分析二者之间的差距,得到阻碍因素的作用。类似分析方法框架由 Head 等<sup>[23]</sup>提出,已经在分析国际贸易网络中得到应用,本文应用在分析科技人才省际流动问题中。

首先假设上文得到的科技人才从省份  $j$  流动到省份  $i$  的综合反映  $a_{ij}$  能够拆分为如下形式:

$$a_{ij}(k) = u_i(k) + c_j(k) + e_{ij}(k) \quad (14)$$

式中,  $u_i(k)$  可以被认为是省份  $i$  对所有省份科技人才的吸引能力;而  $c_j(k)$  则是省份  $j$  阻碍本来拥有的科技人才流动到其他省份的因素,即本文所认为的阻碍因素;  $e_{ij}(k)$  是影响科技人才从省份  $j$  流动到省份  $i$  的其他随机因素,在本文中假设该项数值有界且相比较  $u_i(k)$  和  $c_j(k)$  可以忽略。

为了评估阻碍因素作用,假设对于任何科技人才流动  $c_j(k) = 0$ ,因此有  $a_{ij}(k) = u_i(k)$ 。基于这个条件,省份  $i$  在年份  $k+1$  吸引的科技人才总量可以表示成:

$$m_i(k+1) = \sum_{j=1}^n u_i(k) m_j(k) = u_i(k) \sum_{j=1}^n m_j(k) \quad (15)$$

通过标准化有  $\sum_{i=1}^n m_i(k) = \sum_{i=1}^n m_i(k+1)$ ,可知

$$u_i(k) = \frac{m_i(k+1)}{\sum_{j=1}^n m_j(k)} = \frac{m_i(k+1)}{\sum_{j=1}^n m_j(k+1)} \quad (16)$$

式(16)表明,在没有阻碍作用的情况下,在  $k$  时刻省份  $i$  对科技人才吸引力可以通过在  $k+1$  时刻流入该省份科技人才的总量与全国在不同省份间流动的科技人才的总量的比值来反映,并且某一

个特定目的地省份对于所有省份人才的吸引程度都是一样的。而在上一节中,已经认为在实际情况下,省份*i*对省份*j*科技人才的吸引力为 $a_{ij}(k)$ ,因此比较 $u_i(k)$ 和 $a_{ij}(k)$ 可以分析科技人才在省际间流动所受到阻碍程度。为了方便量化比较,对于省份*i*定义如下

$$f_i(k) = \frac{u_i(k)}{\sum_{j=1}^n a_{ij}(k)/n} \quad (17)$$

表示科技人才流入该省份所受到的阻碍程度。如果没有阻碍因素,有 $f_i(k) = 1$ ;在一般实际情况下,有 $f_i(k) > 1$ ;但是一旦对于某些省份的阻碍因素 $c_j(k)$ 如果起到了促进人才流失的反作用,不排除有 $f_i(k) < 1$ 的情况存在。

计算2010—2017年以34个省级行政单位作为目的地的阻碍因素平均值并绘制随时间变化曲线,如图7所示。

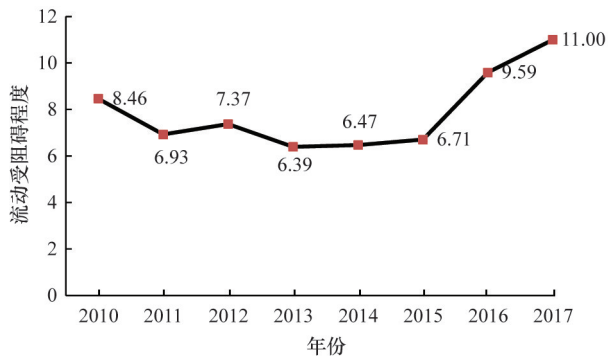


图7 科技人才省际流动平均阻碍程度变化趋势

2010—2011年阻碍因素呈现下降态势,2011—2015年阻碍因素作用程度相对较小,而2015—2017年阻碍因素的作用有比较明显的上升态势,整体呈现“U”形的发展轨迹。出现这种现象的原因,可以认为是2010年起各个省都已经意识到科技人才对于创新发展的重要作用,纷纷出台有吸引力的政策措施大力引进人才,并且在2011—2015年持续实施。但是在2015年以后,可能是部分省份的相关政策有所调整,政策关注的重点从关注一般性科技人才到更加聚焦到亟需紧缺专业领域人才和高端科技人才,并且从国家到地方层面为了防止人才

的无序流动,制定了一些相关预防性政策,由此导致了科技人才省际流动的阻碍性有所加大。

图8进一步分析部分地区的典型省份作为人才流动目的地情况下,科技人才流向这些省份所分别受到阻碍程度及变化情况,仍然是以北京、上海、广东作为目的地的人才流动所受到阻碍因素最小,并且一直保持在较低的数值,说明这些地方相比于人才原来所在地区有较为优惠的科技人才吸引政策或是有较为优厚的人才待遇和良好的人才发展机遇,人才都向往流动到这些地区。陕西和辽宁在2010—2017年对人才流动的阻碍因素有较为明显的增长,可以认为这些省份由于近几年发展受到影响,经济和创新环境不是特别理想,人才并不将这些省份作为主要的流动目的地,在一定程度上对人才流动有所阻碍。广西作为偏远地区的代表,阻碍因素作用一直偏高,原因很可能也是经济和科研环境不好,人才流入意愿较低,阻碍人才流向该省份。值得分析的是宁夏和安徽,虽然经济不强,但是阻碍因素影响程度也不高,可以认为是由于这些省份对于人才还是有较为开放的政策,对某些特定人才也是有一定的吸引力,一定程度上促进了科技人才的流入。

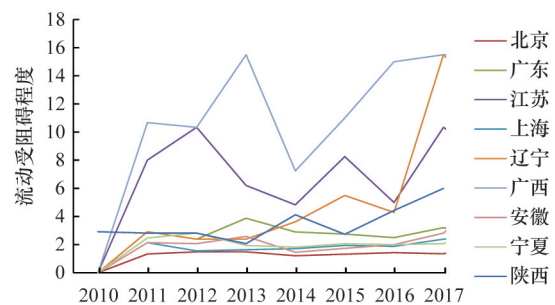


图8 流向不同目的地的科技人才流动阻碍影响变化

## 6 结论

利用基于复杂网络的量化分析方法,对从2010—2017年科技人才在国内各个省份之间流动的态势和随时间变化的趋势进行了分析。首先,通过文献计量方法整理得到这段时间科技人才在不

同省份之间流动的分年度数据,作为研究的数据基础。其次,根据复杂网络与人才流动所呈现的相似性,建立科技人才流动复杂网络量化模型框架,基于已有的人才流动数据,辨识得到网络框架模型中的未知参数。第三,分析科技人才省际流动网络某些关键指标的变化趋势,研判人才流动的发展特点。最后,应用假设分析方法,计算在无阻碍因素作用下的科技人才省际流动的期望数据,与实际数据进行对比,得到阻碍因素的实际作用程度以及针对不同省份所产生的不同影响。

中国科技人才省际流动分布整体上差异性比较明显,科技人才大量流向北京、上海、广东以及浙江等东部发达地区,中部、特别是西部一些省份对科技人才吸引力较低,并且科技人才较少流向这些地区。同时也发现以东部发达地区作为目的地的人才流动所受的阻碍程度也相对较低。中部和西部的某些省份,虽然经济和科研条件不是很好,可是由于制定了有针对性的引才政策,以这些省份为目的的人才流动所受到的阻碍也不大。并且从2010—2017年,中国科技人才省际流动的便利性大大增加,越来越多的科技人才流动不需要在中介省份进行中转。

### 参考文献(References)

- [1] 习近平. 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利[R]. 北京: 中国共产党第十九次全国代表大会, 2017.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 2015年全国1%人口抽样调查主要数据公报[R]. 北京: 中华人民共和国国家统计局, 2016.
- [3] Geuna A. Global mobility of research scientists[M]. Amsterdam: Elsevier, 2015.
- [4] Andrés S. The international mobility of talent[M]. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- [5] Sari-Pekkala K, William K, Caglar Ö, et al. Global talent flows[J]. Journal of Economic Perspectives, 2016, 30(4): 83-106.
- [6] Schon B, Ian W. The global "war for talent"[J]. Journal of International Management, 2009, 15(3): 273-285.
- [7] 郑巧英, 王辉耀, 李正风. 全球科技人才流动形式、发展动态及对中国的启示[J]. 科技进步与对策, 2014(13): 150-154.
- [8] 杜红亮, 赵志耘. A study on overseas high-level talents polices in science and technology in China[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
- [9] 王寅秋, 罗晖, 李正风. 基于系统辨识的全球科技领军人才流动网络化模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(10): 2590-2598.
- [10] 田瑞强, 姚长青, 潘云涛, 等. 基于履历数据的海外华人高层次科技人才流动研究: 社会网络分析视角[J]. 图书情报工作, 2014(19): 96-103.
- [11] 田瑞强, 姚长青, 袁军鹏, 等. 基于科研履历的科技人才流动研究进展[J]. 图书与情报, 2013(5): 119-125.
- [12] Moed H F, Halevi G. A bibliometric approach to tracking international scientific migration[J]. Scientometrics, 2014, 101(3): 1987-2001.
- [13] Czaika M, Orazbayev S. The globalisation of scientific mobility, 1970-2014[J]. Applied Geography, 2018, 96: 1-10.
- [14] 许家云, 李淑云. 基于CES生产函数模型的海外人才回流问题研究[J]. 中国科技论坛, 2012(12): 102-106.
- [15] INSEAD. The global talent competitiveness index: 2019 [R]. Fontainebleau: Insead, 2019.
- [16] Giorgio F, Marina M. International migration network: Topology and modeling[J]. Physical Review E, 2013, 88(1): 012812.
- [17] Yang S, Yang X, Zhang C, et al. Using social network theory for modeling human mobility[J]. Network IEEE, 2010, 24(5): 6-13.
- [18] Wang Y Q, Luo H, Shi Y Y. Complex network analysis for international talent mobility based on bibliometrics [J]. International Journal of Innovation Science, 2019, 11(3): 419-435.
- [19] 科学家在线[EB/OL]. [2019-12-20]. <http://www.scientist-in.com/>.
- [20] 陈关荣, 汪小帆, 李翔. 复杂网络引论——模型、结构与动力学(英文版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [21] 孙玺菁, 司守奎. 复杂网络算法与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015.
- [22] 何大韧, 刘宗华, 汪秉宏. 复杂系统与复杂网络[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [23] Head K, Mayer T. What separates us? Sources of resistance to globalization[J]. Canadian Journal of Economics, 2013, 46(4): 1196-1231.

## Networked analysis on scientific talent migration between provinces in China and its obstructive effectiveness

WANG Yinqiu<sup>1</sup>, LUO Hui<sup>2</sup>, SHI Yunyan<sup>1</sup>

1. National Academy of Innovation Strategy, China Association for Science and Technology, Beijing 100864, China

2. China Centre for International Science and Technology Exchange, Beijing 100081, China

**Abstract** Talents are the foundation of entrepreneurship and the driver of prosperity. The essence of innovation-driven development is talent-driven. Scientific talents are the most critical driving force and decisive factor in the development of economy. There are fierce talent competitions between different regions in China. In this paper we abstract talent migration between different provinces in China as a complex network, and propose an associated networked model. Based on bibliometrics, we get the data about talent migration between different provinces from 2010 to 2017. We combine the data and the propose a networked model to study the evolution of talent migration in China by analyzing the evolution of some indicators of the network. In addition, we also study the talent migration flows in a view of obstacle factors by the way of assuming an obstacle-free framework. We hope that the results can be used to make policies about talents for governments and support to analyze social problems in quantification.

**Keywords** scientific talent; talent migration; complex network ●



(责任编辑 卫夏雯)