

2018 年“深圳杯”数学建模挑战赛

基于城市人才关联网络网络势下降率的 城市人才吸引力评价模型研究

团队成员

姜 柳（船舶海洋与建筑工程学院）

贾如钊（船舶海洋与建筑工程学院）

董金剑（材料科学与工程学院）

徐国整（船舶海洋与建筑工程学院）

易 航（农业与生物学院）

指导老师

尚建辉（数学与科学学院）

上海交通大学

2018 年 5 月

摘 要

当今世界各地的经济发展都是以人才为核心的发展，人才竞争态势日趋显现。人才竞争力是综合竞争力的重要组成部分，而其中人才环境因素是人才竞争力的重要组成部分。目前，关于人才吸引力评价模型的研究仅停留在评价体系阶段，缺少动态性和综合性。

本文以结合了网络势下降率和数据场等理论，创新性地提出了基于城市人才关联网络网络势下降率的城市人才吸引力评价模型。首先，本文选择包括深圳在内的十个极具人才吸引力的城市，基于 Pearson 系数构建了城市人才吸引关联网络，通过节点的网络势下降率得到城市人才吸引度的评价排名。接着，基于数据统计和分析，量化地评价了政策效力，针对不同人才类别分析了深圳的优劣势，并给出相关的政策建议。最后，基于人才不同阶段的需求，对南山区进行了量化评价。

根据得到的结果，本文认为深圳的人才吸引力在本文选择的十个城市中名列前茅，深圳“加大营商环境改革力度若干措施”也对人才吸引力有很好的提高作用。但是，深圳也有自己的短板——人均城市道路面积较少，高校数量较少。对此，本文认为，深圳可以从城市规划及联合建校等方面进行改进。在考虑经济发展特点、人才政策及人才阶段发展需求之后，本文认为南山区在人才吸引方面十分有竞争力。

关键词：人才吸引，城市网络，网络势，评价模型，深圳

目 录

1	问题重述	5
2	问题背景	6
2.1	人才的概念	6
2.2	人才吸引力的概念	6
2.3	城市人才吸引力的评价方法研究	7
2.4	城市关联网络研究现状	9
3	问题分析	10
4	问题假设	12
5	符号说明	13
6	问题建模与求解	14
6.1	基于城市人才关联网络网络势下降率的评价模型建立	14
6.1.1	数据场原理	14
6.1.2	基于数据场的网络势下降率思想	15
6.1.3	基于 Pearson 相关系数的城市人才吸引关联网络拓扑结构 ..	17
6.1.4	城市人才吸引网络节点质量计算	20
6.1.5	城市人才吸引网络节点辐射半径计算	25
6.1.6	城市人才吸引网络影响因子计算	26
6.2	基于城市人才相关网络模型的问题一求解	27
6.2.1	深圳市人才吸引力量化评价	27
6.2.2	量化分析深圳“加大营商环境改革力度若干措施”对人才吸引 力水平的影响.....	32
6.2.3	结果分析	37
6.3	多元回归线性模型与问题二求解	37
6.3.1	多元回归线性模型	38
6.3.2	人才类别指标建立	38
6.3.3	各类别人才主要影响指标分析及相关政策讨论	41
6.3.4	结果分析	47
6.4	基于地区人才关联网络模型即人才需求曲线的问题三求解	48
6.4.1	南山区经济发展特点	48
6.4.2	南山区人才政策	51
6.4.3	人才不同阶段的动态需求	52
6.4.4	问题三求解	55
6.4.5	结果分析	60

7	模型评价	61
8	研究展望	63
9	参考文献	64
10	附录	65
10.1	珠三角人才吸引网络 2009-2016 每万劳动力中研发人员数	65
10.2	长三角人才吸引网络 2010-2015 每万劳动力中研发人员数	71
10.3	各城市 2010-2016 每万劳动力中研发人员增长量	74
10.4	各城市 2010-2016 初选指标数据（一）	79
10.5	各城市 2010-2016 初选指标数据（二）	83
10.6	各城市 2016-2016 初选指标数据（三）	87
10.7	各城市 2010-2016 年各行业从业人员数量变化（万人）	91
10.8	各地区每万劳动力中研发人员数	95
10.9	Pearson 相关系数计算代码	100
10.10	辐射半径计算代码	102
10.11	基于网络势下降原理的计算代码（含影响因子计算）	105
10.12	多元回归模型计算代码	110

1 问题重述

在世界各国和全国各地都加大争夺人才的背景下，一个城市要保持其竞争活力和创新力，必须与时俱进地但不盲目地调整相关人才吸引政策。2018 年深圳市将加大营商环境改革力度作为一项重要工作，以吸引更多优秀的高新企业和优秀的人才。吸引人才的关键因素有很多，但是目前的人才吸引力评价模型缺少动态因素及“不可比”条件的考虑。我们需要：

- 1、通过收集相关数据、建立数学模型，量化地评价深圳市的人才吸引力水平，并量化评价深圳“加大营商环境改革力度若干措施”对人才吸引力水平的影响。

2. 针对具体人才类别，深入分析比较深圳市与其他同类城市在人才吸引力上的优势与不足，给出有效提升人才吸引力的可行方案。

3. 针对深圳南山区的经济技术发展特点和相关人才政策，同时考虑人才在各个发展阶段的动态需求，量化地评价深圳南山区人才吸引力水平。

2 问题背景

2.1 人才的概念

从古代开始，我国就有对人才思想的相关论述，如晋代古典中就有“褒贤贵德，乐育人才。”¹的说法，在不同的历史时期，人才也有不同的具体含义。而有关人才的界定，我国的相关文件也给出了具体的标准。1982年，国务院出台了《国务院批转国家计划委员会关于制定长远规划工作安排的通知》，对专门人才给出了界定，专门人才是指具有中专及以上学历，或者是具有技术员，及相当于技术员以上的专业技术职务的两类人，之后该文件有关专门人才的定义逐渐成为国内对人才的定义。这个定义的特点在于便于进行人才的界定和统计，在此后很长时间里都被作为我国政府有关人才认定和统计的工具。在2003年12月出台的《中共中央、国务院关于进一步加强人才工作的决定》中对人才的概念给出了新的阐述，指出“只要具有一定的知识或技能，能够进行创造性劳动，为推进社会主义物质文明、政治文明、精神文明建设，在建设中国特色社会主义伟大事业中做出积极贡献，都是党和国家需要的人才。”2010年6月出台的《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》对于人才做出了进一步的界定，指出人才是指具有一定的专业知识或者专业能力，进行相应的创造性劳动，为社会发展做出了较高贡献的人，这些人是人力资源中具有较高素质和能力的劳动者。本文在研究中，采用的即为《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》中对于人才的定义。

2.2 人才吸引力的概念

人才吸引力顾名思义就是吸引人才的能力。由于人具有能动性，因此城市人才吸引是基于人的意愿，对于城市的自由选择而产生的互动结果^[1]。本文所指的人才吸引力具有一定的双重性，它不仅是各地区对于地区外人才的吸引，同时也是对于地区内部既有人才的吸引，它指的是各省市改善自身经济、社会环境，增加对于人才的吸引能力，进而引导地区外部、内部人才进入或留下，

¹ 葛洪《抱朴子·逸民》

为当地建设做出贡献的所有过程的集合。本文所定义的人才吸引力就是对影响人才流动、成长、价值发挥作用的因素的满足程度。

2.3 城市人才吸引力的评价方法研究

城市人才吸引力评价，一方面通过根据城市已知的历史和现实的数据，对影响人才流动和发展需要的原因及条件加以归纳总结，构建人才引导评价指标系统；另一方面，通过运用统计学等数学形式，构建城市人才吸引模型，对人才引导的影响力状况的各方面进行测评，求出被评价地区当前人才吸引力水平，指出其存在的问题，同时对如何提高人才吸引力提供合理的建议和指导的研究。

目前研究中主要使用的人才吸引理论有推拉理论、产业集聚人才吸引理论等。

1965 年前后，由 E. S. Lee 首先提出“推拉理论”，对人口迁移的相关因素进行了系统的分析，他创造性的将不同的因素分为“推力”与“拉力”两类。他的理论认为，推力是一种能够将一个地区的人口向外推出的因素，这种因素是消极的；反之，拉力则是一种积极的因素，能够将其他人口吸引到本地区来。古典推力理论将这种人口的流动因素具体的表达为薪资差别，即薪资是影响人口流动的唯一因素；而现代的推拉理论则认为影响人口流动的因素除了薪资外还包含其它的各种待遇，如晋升机会、培训深造、社会地位以及生活环境等因素。很多因素都有可能会阻碍到推力的形成，比如下岗、劳动报酬少、自然环境比较恶劣、所处岗位难以施展自己的才能，还有另外的一些社会因素。而迁入地自身具有一种拉力，这种拉力能够吸引人才的迁入，也就是所谓的吸引力，比如较高的薪资待遇、更多的择业机遇、发展前景广阔、生活环境良好等。社会环境、经济环境及自然环境是构成推力和拉力的基本内容。如果迁出地的推力达到一定的值，迁入地的拉力也达到了一定的值，在他们的共同作用下，人才的迁移现象就会出现。值得注意的是，因为尽管都处于相同的地区，但是在社会、经济以及社会地位等方面每个人之间都有很大的差异性，因此其所形成的推力也会有所区别，对于迁入地的拉力而言，情况亦然^[2]。该理论创

造性的考虑了迁入地和迁出地的条件差异，将人的选择客观处理为理性比较，是许多相关研究的理论基础。

产业集聚人才吸引理论。经济学家马歇尔^[3]从产业集聚的角度研究人才吸引理论。他详细地论证了规模经济和外部经济对产业集聚的影响。他指出，正是产业在地理区域上出现的集聚现象推动了对人才的吸引。影响产业出现集聚现象的主要因素包括共享市场、技术服务、降低生产成本，提高劳动生产率等。由于产业区需要大量的劳动力资源，许多劳动力涌入集聚区附近，潜在的劳动力市场形成。企业能够很便捷地获得所需要的人才，降低了企业的人力资源成本。现代新经济地理学理论的奠基者，著名学者克鲁格曼提出，制造业中处于产业链两端以及相互关联的产业之间，最初可能是由于偶然因素产生了集聚，厂商发现互相之间可以分工协作，降低生产成本。从而企业在得到了良好的发展，之后大量企业也抱团式发展，这样最终导致了集聚的出现。出现产业集聚的地区对劳动力有巨大的需求，提供良好的就业机会和较高的劳务报酬。此时，集聚区内劳动力需求与供给达到了基本均衡的状态，促进了产业集群的形成。产业集群形成后，内部彼此强烈的协调性和依赖性促进企业发展，外部的统一性能够保持集聚动力，促使集群规模不断强化和壮大。随后，法国著名经济学家弗朗索瓦·佩鲁提出了经济发展的增长极概念。他认为，增长极就是经济发展的核心力量，是经济空间中的核心推动单元。经济联系是经济活动中各个主体之间最重要的因素。它们在经济活动中都有自己的存在空间，产生自己的发展决策。但由于彼此之间的经济联系会产生一种推进效应，这种效应是由多种效应综合作用产生的结果，是增长极理论的着眼点。极聚效应和扩散效应是伴随着增长极形成与发展过程的，在发展的初级阶段，增长极的发展主要推动集聚效应的产生。主要表现为周边地区各种资源的集聚，核心增长极的发展使得增长极内部拥有大量的就业机会、良好的工作环境和优越的工资待遇，不断吸引着人才的集聚。在增长极发展到一定阶段，内部经济发达，就会出现扩散效应。

2.4 城市关联网络研究现状

文献对于城市人才吸引力的研究大多集中于城市本身静态的分析，鲜有考虑到周边或同类型对研究对象的人才吸引力影响。

吕康娟^[4]等论证了区域城市网络形成的动因，提出了城市网络表达的内容。对长三角 16 城市的首位特征与产业集聚特征分析基础上，建立了以城市为节点、企业关联业务为边、联系程度为权重的有向边权网络，通过复杂方法的测算，得出长三角城市网络的结构特征。证明长三角城市已经互动发展形成联系紧密的网络关系，区域内形成以上海为中心，以苏州和杭州等为关键枢纽，以常州等为次级节点和以镇江等为新兴市场的网络格局。

邹凯^[5]等提出可基于灰色关联和 BP 神经网络算法对智慧城市发展潜力进行评价。首先，构建了 GRA-BPNN 智慧城市发展潜力评价模型，依据智慧城市发展潜力评价指标体系，运用灰色关联理论对指标体系进行约简；然后，将约简后的指标体系输入 BP 神经网络中进行智能训练与仿真，发现实际输出值与期望输出值之间的误差达到预期目标；最后，与熵权法、TOPSIS 法和灰色关联分析 3 种方法的评价结果进行比较，进一步证明了该评价方法的科学性与合理性。

在本文的研究中，不仅考虑到城市自身的指标和属性对于人才的吸引力，而是将城市加入到城市网络中，动态的考虑周边各城市对研究对象的人才吸引力的影响，从而更好地了解城市对人才吸引能力的优势和不足，为克服城市盲目吸引人才和人才模式单一提供依据，进而为制定合理城市人才发展规划提供必要的决策参考和实践指导。

3 问题分析

本文的第一题的主要任务是建立数学模型，量化评价深圳及其南山区的人才吸引力水平，并量化评价相关政策的影响以及深圳在人才吸引力上的不足。考虑到城市群以及城市聚集效应的影响，如果单一地根据城市属性进行评价，评价结果难免有些片面。另外，人才吸引力水平由各方面因素综合影响决定。因此，本文基于“复杂网络中的节点重要性评价”及“多属性决策”的概念，构建基于城市人才吸引关联网络以及数据场理论的人才吸引力评价模型。

城市与城市之间人才吸引力存在关联，有的城市存在“竞争”关系，有的城市存在“合作”关系，这样的关系最终会形成一个城市人才吸引关联网络。城市人才吸引关联网络属于社会网络。社会网络指人与人之间、组织与组织之间为达到特定的目的进行信息交流的关系网络，基本上由节点和关系两部分组成^[6]。在理论上，可以为任何共同体构建一个社会网络，如一个公司、学校、研究机构、地区甚至整个世界^[7]。对于城市人才吸引关联网络来说，节点代表城市，连边代表城市之间的关系，包含“竞争”和“促进”两种基本的关系。“竞争”意味着某城市人才吸引力的提高会带来其他城市人才吸引力的下降；“促进”意味着某城市人才吸引力的提高会带动其他城市对人才的吸引。

社会网络中关键节点的评估是社会网络研究中的经典问题，这些节点的重要程度反映了节点在其中的影响。对于城市人才吸引关联网络来说，节点（即城市）的重要度评估反映了城市在人才吸引力方面的综合评价。社会网络中节点重要性的评估必须考虑节点的属性和网络拓扑两个方面。对于城市人才吸引关联网络来说，节点的属性即城市人才吸引力评价指标，网络拓扑即城市人才吸引关联网络的拓扑结构。考虑到数据之间会有互相影响，我们应用数据场和拓扑势的理论进行城市的人才吸引力评价——对于网络中的一个节点（城市）来说，其退出引起网络势下降的值越大，其在网络中就越重要。

问题二的主要任务是针对不同的人才类别，对比深圳及其同类城市之间的优势和不足。我们针对不同行业的人才，通过收集广州、深圳、杭州等 10 个城市的数据，进行多元回归分析得到吸引不同行业人才的指标权重。对于比较重

要的指标，我们对比分析了深圳的表现，给出深圳的优势与不足，并对人才吸引政策提供了参考建议。

对于问题三，我们考虑了人才不同年龄阶段的需求，并假定函数进行刻画。我们从人才的需求角度出发，结合南山区的经济特点和人才政策进行了分析。

总的来说，本文的研究思路如图 3-1 所示。

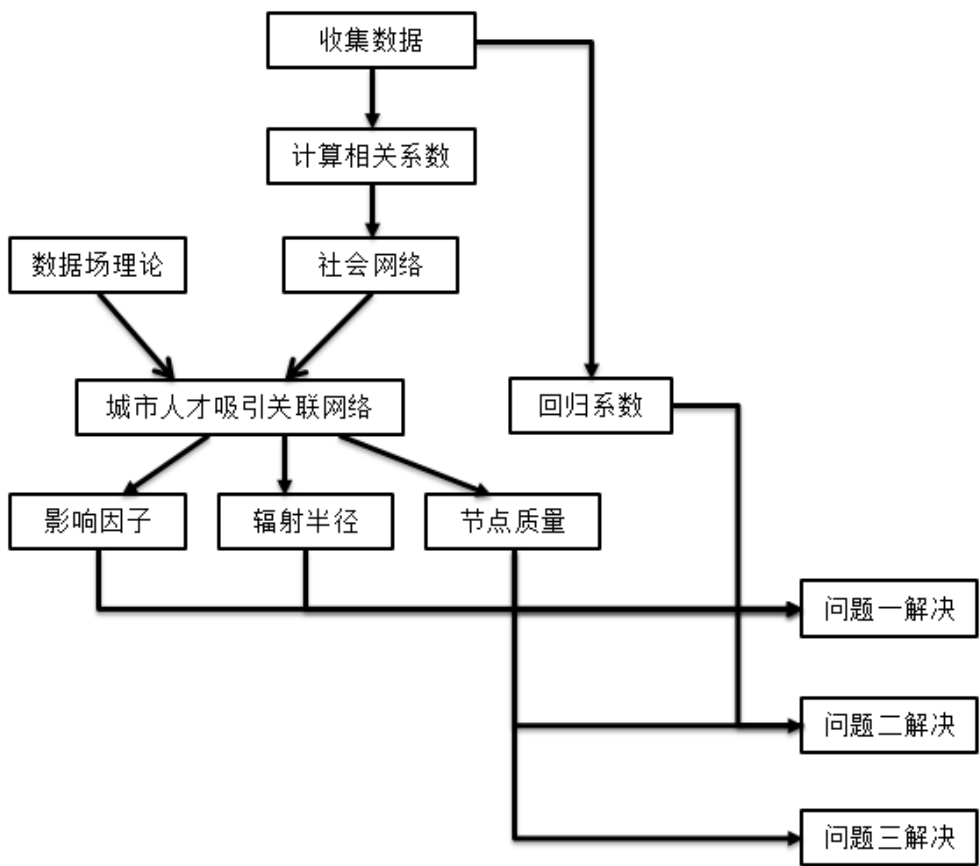


图 3-1 研究思路

4 问题假设

- 1、城市与城市之间人才吸引力存在关联，有的城市存在“竞争”关系，有的城市存在“合作”关系，这样的关系最终会形成一个城市人才吸引关联网络。根据波特菱形理论，“在国际竞争中，成功的产业必然先经过国内市场的搏斗，迫使其进行改进和创新，海外市场则是竞争力的延伸”，我们假定无论城市之间是竞争还是合作的关系，它们都会对网络总是作正贡献，即会增加网络的总人才吸引力（模型中以网络势能进行表示）。
- 2、考虑到“竞争”会一定程度上抑制人才的吸引力，我们认为网络因为城市竞争得到的人才资源少于因为合作得到的人才资源。在模型中，我们假定城市竞争得到的人才资源是城市合作得到的人才资源的 $1/2$ 。
- 3、在建立城市人才吸引关联网络时，我们选取了成都、天津、西安、深圳、广州、厦门、武汉、杭州、苏州、南京这十座积极参与“抢人大战”的城市。由于北京和上海的城市属性部分指标过高（如人均 GDP，人均收入等），会造成其他城市之间的差异减小，因此本文在建立城市人才吸引关联网络时不增加北京和上海这两个节点。
- 4、我们假设不同年龄层次的人才在选择城市时，无论城市之间是竞争还是抑制关系，其对城市的选择时只考虑城市属性，不考虑城市之间的关系。

5 符号说明

符号	说明
Ω	数据空间
$\varphi_x(y)$	对象 x 在点 y 处产生的势值
m	场源强度，即数据对象的质量
σ	用于控制对象间的相互作用力方程，称影响因子
k	距离指数
$\ x-y\ $	对象 x 和对象 y 之间的辐射距离
$\varphi(x)$	空间任一点 $x \in \Omega$ 的势值
v_i	网络中的节点 i
$PV(i)$	节点 v_i 的势值
NP	网络中所有节点的势值总和
NP_0	初始网络势
NP_1	网络变化后的网络势
r	Pearson 相关系数
\bar{X}	数据的平均值
$FV_{i,in}$	城市人才吸引固有属性集合
$FV_{i,out}$	城市网络拓扑结构属性的集合
m_i	城市人才吸引各指标属性的函数值
$m_{i,in}$	城市人才网络节点固有属性
$m_{i,out}$	城市节点网络拓扑结构重要度
DC_i	城市节点网络拓扑结构重要度
H	势熵
$h_\theta(x)$	多元回归线性模型
$P(t)$	人才医疗需求曲线函数
$f(t)$	人才教育需求曲线函数
$q(t)$	人才发展需求曲线函数

6 问题建模与求解

6.1 基于城市人才关联网络网络势下降率的评价模型建立

6.1.1 数据场原理

数据场理论的基本观点可以表达为^[7]：同一问题域的各个数据对象之间不是孤立的，存在相互作用和影响；每一个数据对象既对其他数据对象产生作用，同时也受到其他所有对象的影响；所有数据对象关于数据所定义的空间上的每一个点，也将产生相应的作用和影响，也就是说数据对象的作用力，将呈现出空间分布的特性，这种影响力的空间分布，就是数据场；数据对象之间的影响力大小，随着数据对象本身的质量增加而增加，随着距离的增加而减少。

数据场模型从拓扑结构层面上，注重节点之间的依赖程度和节点对网络资源的控制能力，反映在辐射半径和影响因子的设置上，而且可以通过节点质量来考虑节点的属性的影响^[7]。

数据通过辐射形成的数据场，是一种描述和计算每一个数据对整个数域空间的作用的虚拟空间场，可用场强函数描述数据在空间辐射能量的规律。根据物理学中稳定有源场的势函数性质，即稳定有源场的势函数是一个关于场点空间位置的单值函数，有各向同性，空间任一点的势值大小与代表场源强度的参数成正比，与该点到场源的距离呈递减关系，可以给出数据场势函数形态的基本准则。^[8-10]

给定空间 Ω 中的数据对象 x ， $\forall y \in \Omega$ ，记对象 x 在点 y 处产生的势值为 $\varphi_x(y)$ ，则 $\varphi_x(y)$ 应同时满足：

- (1) $\varphi_x(y)$ 是定义在空间 Ω 上连续、光滑、有限函数；
- (2) $\varphi_x(y)$ 各向同性；
- (3) $\varphi_x(y)$ 是距离 $\|x-y\|$ 的单值递减函数。当 $\|x-y\|=0$ 时， $\varphi_x(y)$ 达到最大值，但不是无穷大；当 $\|x-y\| \rightarrow \infty$ 时， $\varphi_x(y) \rightarrow 0$ 。

本文采用核力场的势函数进行分析，核力场的势函数如式 6-1 所示：

$$\varphi_x(y) = m \times e^{-\left(\frac{\|x-y\|}{\sigma}\right)^k} \quad (\text{式 6-1})$$

其中：

m ——场源强度，即数据对象的质量；

$\sigma \in (0, +\infty)$ ——用于控制对象间的相互作用力方程，称影响因子；

$k \in N$ ——距离指数；

$\|x-y\|$ ——辐射距离。

通过查阅文献，一般情况下，选择代表短程场的势函数能更好地描述数据对象间的相互作用，当 $k=2$ 时，势函数 $\varphi_x(y) = m \times e^{-\left(\frac{\|x-y\|}{\sigma}\right)^2}$ 对应核力场的高斯势，在核力场中，数据场的空间分布主要取决于对象间的相互力程或者影响半径，而与势函数的具体形态或者距离指数 k 的选取关系不太。考虑到高斯函数具有良好的数学性质和普适性，故本文借用 $k=2$ 时的拟核力场势函数，即高斯势函数来描述认知行为中数据场的性质。

根据数据场的特性，我们进一步研究多个数据的数据场的分布和作用规律。各个数据都独立向外辐射数据能量时，在数域空间中的一点所引起的数据能量之和，称为此处数据场的势。数据场的势度量数据场中某点所受数据辐射能量总和的强弱，它既是全部数据的数据场在该点的数据能量强度之和，也是此点所接受的全部数据辐射过来的数据能量之和。

假设给定空间 Ω 中包含 n 个对象的数据集 $D = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 及其产生的数据场，空间任一点 $x \in \Omega$ 的势值可以表示为其他所有点对 x 的势值之和，如式 6-2 所示。

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(x) = \sum_{i=1}^n (m_i \times e^{-\left(\frac{\|x-x_i\|}{\sigma}\right)^2}) \quad (\text{式 6-2})$$

其中，当 $x = x_i$ 时，取 $\|x - x_i\| = 0$ 。

6.1.2 基于数据场的网络势下降率思想

基于数据场的网络势下降率 (Network Potential Decrease Rate, NPDR) 的思想^[7]，认为节点间的相互作用具有局域特性，每个节点的影响能力会随着网络距离的增长而快速衰退。根据公式 6-2，节点 v_i 的势值表示为 $PV(i)$ (Potential Value)。

$$PV(i) = \sum_{j=1}^n \varphi_j(v_i) = \sum_{j=1}^n (m_j \times e^{-\left(\frac{\|v_i-v_j\|}{\delta}\right)^2}) \quad (\text{式 6-3})$$

其中，当 $v_i = v_j$ 时，取 $\|v_i - v_j\| = 0$ 。

式 6-3 中各参数的意义同式 7-1 中的一样，数据场中的势度量数据场中某点所受数据辐射能量总和的强弱，在城市人才关联网络中，一个节点的势值表示城市的人才吸引力受到网络中所有城市的影响的总和，也理解为城市由于加入了网络而从网络中“获益”。

那么对于整个网络中，所有节点的势值总和，称为网络势 NP（Network Potential）。

$$NP = \sum_{i=1}^n PV(i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (m_j \times e^{-\left(\frac{\|v_i - v_j\|^2}{\delta}\right)}) \quad (\text{式 6-4})$$

式 6-4 中各参数的意义同式 6-2 中的一样，可见在城市人才关联网络中，NP 表示网络中每个成员所有的“人才吸引力的总和”，也就是由于城市间通过连接构成网络而产生的“价值”。同样，网络势评价的是整个网络的“价值”，而每一个城市的参与和退出都会影响网络势，而要评估一个城市在城市人才吸引网络中的重要性，可以用这个城市是否参与网络对整个网络的网络势的影响的大小来衡量。本文定义网络势下降率 NPDR（Network Potential Decrease Rate）

$$NPDR = \frac{NP_0 - NP_1}{NP_0} \quad (\text{式 6-5})$$

式中 NP_0 是初始网络势， NP_1 是网络变化后的网络势。

网络势下降率思想的方法是一个节点删除后造成的网络势下降率越大，则对于整个网络来说，这个节点越重要。同样也可以用节点势值下降率来评估某个节点相对于另一节点的重要程度。从上面的分析可以看出，基于数据场的网络势下降率思想把数据场理论扩展到社会网络模型中，通过对节点质量、辐射半径和优化因子的计算，建立社会网络的数据场模型。通过节点删除后，网络的变化，计算节点势值和网络势的变化，以网络势的下降率来评估节点相对于整个网络的重要性。

因此，本文的模型算法流程如图 6-1 所示，接下来，本文将就流程图中的重要步骤进行解释说明，完善模型的建立。



图 6-1 模型算法流程图

6.1.3 基于 Pearson 相关系数的城市人才吸引关联网络拓扑结构

Pearson 相关系数 (Pearson correlation coefficient) 是一种线性相关系数，记为 r ，用来反映两个变量 X 和 Y 的线性相关程度。 r 值介于 -1 到 1 之间，大于零表示正相关，小于零表示负相关，绝对值越大表明相关性越强。

Pearson 相关系数 r 可以由式 6-6 计算得到。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (\text{式 6-6})$$

假设有 n 个城市，每个城市的样本量为 m ，则可以得到样本矩阵 A ， a_{ij} 表示城市 i 的第 j 个样本值。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1m} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

对样本矩阵的每两列利用式 6-6 进行计算，可以得到城市之间的 Pearson 相关系数。以城市为节点，城市之间的 Pearson 相关系数作为城市之间连边的权值，即可得到城市人才吸引关联网络。为了简化网络，利用 Pearson 相关系数的性质，当 $r \in [0, 0.2]$ 时认为两个变量即若相关或无相关，剔除城市人才吸引关联网络中权值绝对值小于 0.2 的边。即对于 Pearson 相关系数绝对值小于 0.2 的两个城市，认为它们在人才吸引力上没有关联，得到最终的城市人才吸引关联网络。

考虑到数据的可获得性以及代表性，本文选取了城市 2009 年至 2016 年“每万劳动力中研发人员数增长量”作为各城市的城市人才吸引力衡量指标。根据《人才规划纲要》，“每万劳动力中研发人员数”可作为表征人才质量及竞争力的指标²，选取“每万劳动力中研发人员数增长量”则通过人才质量及竞争力变化的角度考虑城市之间的人才吸引力相关性。为验证模型拓扑结构的可靠性，本文选取珠三角地区和长三角地区城市分别建立了城市人才吸引关联网络（图 6-2 和图 6-3），数据来源于各城市的统计年鉴。

这里选用珠三角地区和长三角地区的城市数据进行验证。

² <http://renshi.people.com.cn/GB/17920689.html>

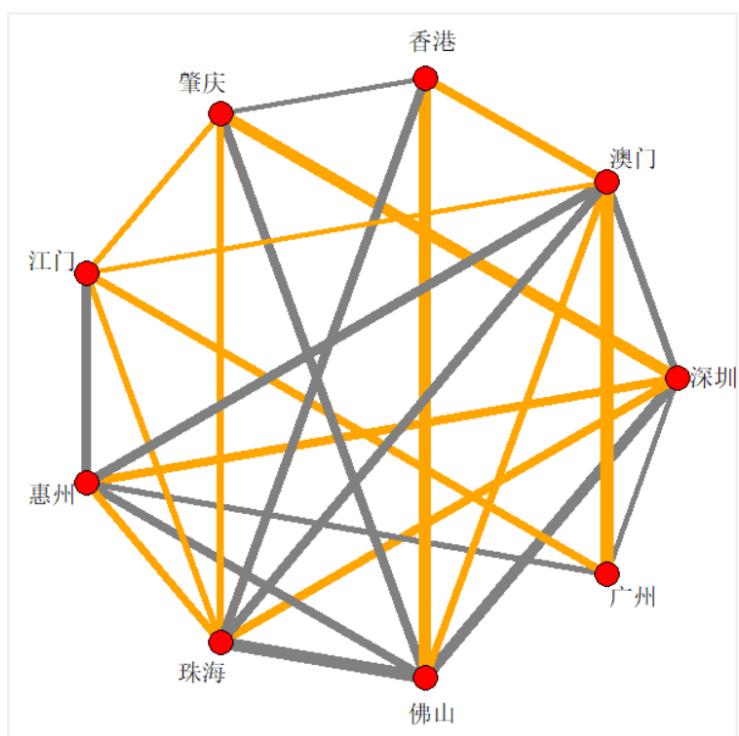


图 6-2 珠三角城市人才关联网络
(橙色代表正相关, 灰色代表负相关, 相关性越大, 线型越粗)

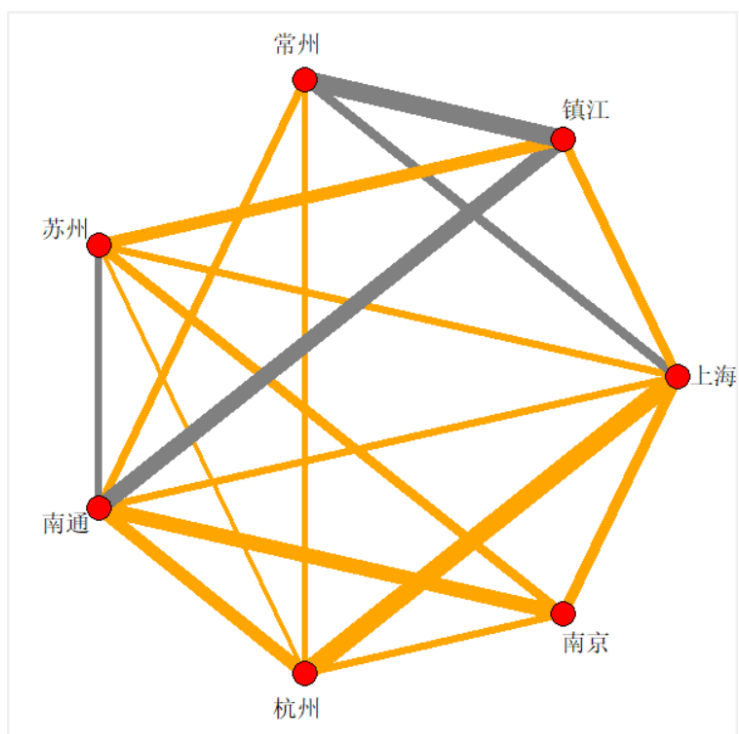


图 6-3 长三角城市人才关联网络
(橙色代表正相关, 灰色代表负相关, 相关性越大, 线型越粗)

从图 6-2 和图 6-3 中可知，珠三角城市群竞争和促进关系相对复杂，而长三角城市群基本上是促进关系，对于其中存在的竞争关系，通过查阅新闻资料，我们认为其比较符合现实情况。

6.1.4 城市人才吸引网络节点质量计算

节点的质量表示节点辐射能量的能力，即节点的质量越大，节点的辐射能力也越大。在社会网络中节点的质量是其固有属性的体现，本文选取节点的属性 FV 作为质量的衡量。节点的属性有丰富的意义，节点的属性不仅受到节点固有属性的影响，还会受到拓扑特征得出的属性（节点度、介数等），我们首先应该选择具体分析相关的属性进行考虑。为简化分析，我们认为城市固有属性与网络拓扑特点对城市人才吸引度的影响同样重要，对城市固有属性中不同属性值的权重，我们运用主成分分析法进行确定。

在城市人才吸引网络中，假设节点的 $FV_{i,in}$ 城市人才吸引固有属性集合， $FV_{i,out}$ 为城市网络拓扑结构属性的集合，质量 m_i 为城市人才吸引各指标属性 $FV_{i,in}$ 和 $FV_{i,out}$ 的函数值。

$$m_i = m_{i,in} + m_{i,out} = f(FV_{i,in}) + f(FV_{i,out}) \quad (\text{式 6-7})$$

式 6-7 中 $m_{i,in}$ 为城市人才网络节点固有属性， $m_{i,out}$ 为城市节点网络拓扑结构重要度。

（1）基于主成分分析方法的的城市人才网络节点固有属性计算

关于影响城市人才吸引力的指标体系的建立，国内外学者都做了充分的研究。在指标体系的选择上，本文在问题背景上有了详细的介绍，在此不做赘述。不过可以看到，城市人才吸引力评价体系评价指标大致分为经济环境、基础设施、人口流入阻碍、人才吸引力水平等方面，大约有 23 个指标。为了简化模型的分析以及简化评价指标体系，我们选择主成分分析法（Principal Components Analysis, PCA），把多指标转化为少数几个综合指标（即主成分），其中每个主成分都能够反映原始变量的大部分信息，且所含信息互不重复。主成分分析的原理是设法将原来变量重新组合成一组新的相互无关的几个综合变量，同时根据实际需要从中可以取出几个较少的综合变量尽可能多地反

映原来变量的信息的统计方法叫做主成分分析或称主分量分析，也是数学上处理降维的一种方法^[11]。

① 指标初选

为了更加全面地评价城市人才吸引力，健全科学合理的指标体系是建立评价模型分析的基础。根据评价指标的选取原则，主要从经济发展环境、生活质量环境、就业保障环境、科教文卫环境四个方面构建城市人才吸引力评价主成分^[12]。本文首先根据文献，考虑数据的可收集性，对评价城市人才吸引力的指标进行了初步的筛选，如表 6-1 所示

表 6-1 城市人才吸引力评价指标体系初选

类型	指标	数据来源
经济环境	人均收入	统计年鉴直接获取
	人均消费	统计年鉴直接获取
	第二产业占比	统计年鉴直接获取
	第三产业占比	统计年鉴直接获取
	外商直接投资	统计年鉴直接获取
	金融业发达程度	金融业产值/地区生产总值
	IT 行业发达程度	IT 行业产值/地区生产总值
基础设施	高校数量	统计年鉴直接获取
	城镇化率	统计年鉴直接获取
	人均城市道路	城市道路面积/常住人口
	人均公路	公路里程数/常住人口
	人均绿化面积	绿化面积/常住人口
	技工学校数量	统计年鉴直接获取
人口流入阻碍	中学数量	统计年鉴直接获取
	小学数量	统计年鉴直接获取
	人均薪水涨幅	(本年人均工资-上年人均工资)/上年末工资
	幼儿园	统计年鉴直接获取

人才吸引力水平	人口净流入率	(本年年末常住人口-上年年末常住人口*上年人口自然增长率)/本年年末常住人口
	就业率	统计年鉴直接获取
	人均教育投入	教育财政支出/常住人口
	人均科研投入	科研财政支出/常住人口
	人均医疗投入	医疗财政支出/常住人口
	人均 GDP	统计年鉴直接获取

经济发展环境——经济发展环境是指构成人才生存和发展的社会经济状况和国家经济政策，是影响消费者购买能力和支出模式的因素，它包括收入的变化，消费者支出模式的变化等。金融是企业的润滑油，如果一个地区的金融业发达，那么这个地区的企业投融资便会十分方便，金融业的发达对企业发展有巨大的帮助。IT 业的发达对企业的发展也有着十分大的促进作用，传统行业与 IT 行业结合后往往能产生 1+1>2 的效果，最近兴起的敏捷性组织便是 IT 与企业结合的成果。所以金融业与 IT 业是目前两个十分重要的产业，本文分别将金融业与 IT 业的生产总值除以地区生产总值作为行业发达程度。本文在经济发展环境方面的评价指标包括城镇居民人均可支配收入、城镇居民人均消费、人均 GDP、金融业发达程度、IT 业发达程度等。

1) 金融业发达程度=金融业产值/地区生产总值

2) IT 业发达程度= IT 行业产值/地区生产总值

生活服务环境——生活服务环境指的是与人才生活密切相关的各种自然条件和社会条件的总体，它由自然环境和社会环境中的物质环境所组成。生活服务环境不仅包括影响服务过程的各种设施，而且还包括许多无形的要素。本文在生活服务环境方面的评价指标包括城镇化率、高校数量、人均公路里数、人均城市道路面积、人均绿化面积等方面。

就业保障环境——就业保障环境是指通过各种就业政策来保障人才就业发展的外部环境。一个地区的工资涨幅越高发展前景越好，人才流入的可能性越

大。人口净流入率也是侧面对一个城市的就业保障环境的体现。能否实现就业更是人才流入的前提，为了保证系数都是正数，本文使用了工作率。本文在就业保障环境方面的评价指标包括平均工资涨幅、人口净流入率、工作率等。其中：

1) 工资涨幅=（本年人均工资-上年人均工资）/上年人均工资

2) 人口净流入率=（本年年末常住人口-上年年末常住人口*上年人口自然增长率）/本年年末常住人口

3) 工作率=1-失业率

科教文卫环境——如果说前三项主成分是一个城市的硬实力，那么科教文卫便是一个城市的软实力，科教文卫水平的提升有助于提升一个城市的魅力。人才流动的时候往往也会考虑科教文卫方面的因素。本文在科技文卫方面选取的平价指标包括了人均财政教育投入、人均财政科研投入、人均财政医疗投入。

②主成分分析过程

经过讨论本文选择了成都、天津、西安、深圳、广州、厦门、武汉、杭州、苏州、南京这十座积极参与抢人大战的城市。时间方面我们选择了最新可查的 2016 年各城市的统计年鉴。

先将各指标 Z-score 化，计算出 10 个城市各指标的平均值 μ 与标准差 σ 。z-score 标准化(正太标准化)是基于原始数据的均值 (mean) 和标准差 (standard deviation) 进行数据的标准化。将 A 的原始值 x 使用 z-score 标准化到 x' 。于是 Z-score 便等于：

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{式 6-8})$$

本文使用的是 EVIEWS8.0 软件，将数据导入软件中，分别对 4 个主成分进行分析，并根据碎石图选取出解释度超过 90%的成分因子，并且根据各个成分因子的特征值进行加权平均从而得出各个指标构成主成分的系数，分析得到 2016 年主成分指标及其权重如表 6-2 所示。

表 6-2 主成分指标及其权重

指标		权重
经济环境	人均 GDP	0.40
	人均消费	0.33
	人均收入	0.32
	金融业发达度	0.25
	IT 业发达度	0.20
基础设施	高校数量	0.22
	人均公路	0.27
	人均城市道路面积	0.37
	人均绿化面积	0.14
人口流入阻碍	工资涨幅	0.37
	净流入率	0.58
	工作率=（1-失业率）	0.20
人才吸引水平	人均教育投入（元）	0.31
	人均医疗投入（元）	0.46
	人均科技投入（元）	0.58

（2）城市节点网络拓扑结构重要度计算

对于网络中节点拓扑重要度的评价，学者提出了度中心性（degree centrality）、接近中心性（closeness centrality）、介数中心性（betweenness centrality）等指标。为简化模型，本文采用度中心性来表示城市节点网络拓扑结构重要度。度中心性是指节点 i 相关联的边数与节点 i 可能存在的最大边数的比率，表达式为：

$$DC_i = \frac{k_i}{n-1} \quad (\text{式 6-9})$$

其中： k_i ——网络中与节点 i 关联的边数。度中心性定义表明了一个节点与其他节点直接通信的能力，数值越大，在网络中越重要。

对于城市人才关联网络来说，我们首先可以得到网络的连接矩阵 S_{ij} ，

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & \cdots & s_{nn} \end{bmatrix}$$

s_{ij} 表示城市 i 和城市 j 之间的连接关系，0 代表没有直接连边，1 表示有直接连边。那么，对于节点 i 来说，与节点 i 相关联的边数 k_i 则为连接矩阵 S_{ij} 第 i 行中不为零的值得个数。

6.1.5 城市人才吸引网络节点辐射半径计算

数据场方法拓展应用到城市人才吸引网络模型中，最主要的改变就是辐射半径计算的改变。在城市人才吸引网络中，我们认为城市 i 和 j 之间的相关性除了受到 i 和 j 之间的之间影响外，还与其他城市造成的间接影响有关。下面举一个例子进行说明。

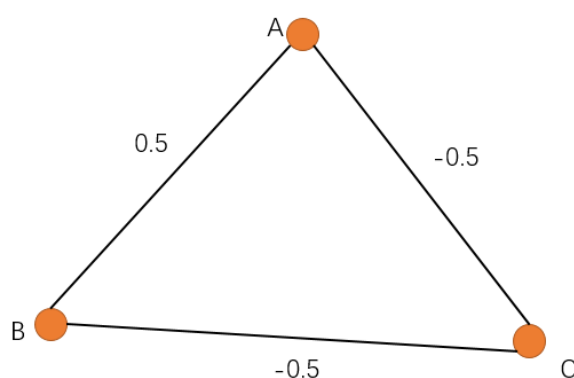


图 6-4 一个简单的城市人才吸引网络模型

如图 6-4 所示，A、B、C 为三个城市，这三个城市之间的人才吸引相关系数如图中连边的权值所示。假设城市 A 的人才增长值为 δ ，则城市 A 对城市 C 的直接影响为 -0.5Δ ，城市 C 由于城市 A 对城市 B 的影响而造成的间接影响为 $-0.5 \times 0.5\Delta = -0.25\Delta$ 。那么，城市 A 对城市 C 的总体影响为 $-0.5\Delta - 0.25\Delta = -0.75\Delta$ 。

因此，我们基于无向图的遍历，得到了城市之间的影响值。考虑到城市之间的关联系数均为绝对值小于 1 的数，城市之间影响的传递会由于路径变长而减小，所以我们仅考虑二次传递内的影响效果。

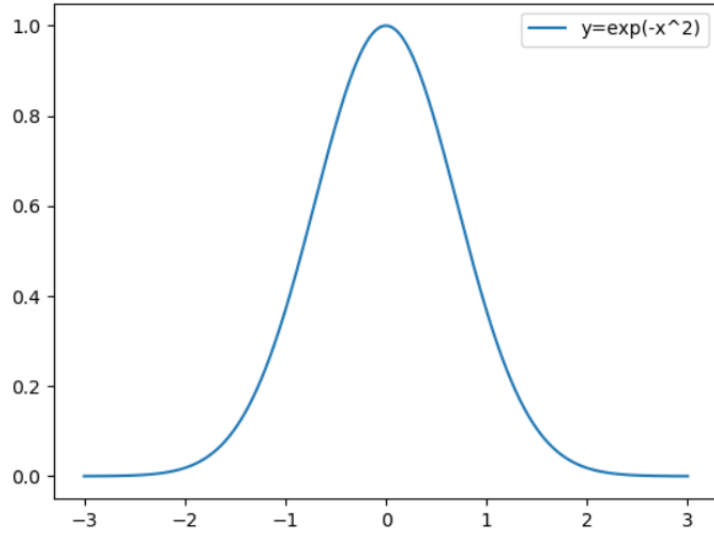


图 6-5 $y = e^{-x^2}$ 函数图像

对于势函数 $\varphi_x(y) = m \times e^{-\left(\frac{\|x-y\|}{\sigma}\right)^2}$ 对应核力场高斯势来说，辐射半径 $\|x-y\|$ 越大，其影响越小（如图 6-5 中 $y = e^{-x^2}$ 函数图像可知）。但是，对于 Pearson 相关系数来说，其绝对值越大，相关性越大，影响力越强。因此，我们对计算得到的影响值根据模型假设进行计算并取倒数作为城市之间的辐射半径。

6.1.6 城市人才吸引网络影响因子计算

根据势函数 $\varphi_x(y) = m \times e^{-\left(\frac{\|x-y\|}{\sigma}\right)^2}$ 对应核力场高斯势，由高斯势的“ 3σ 规则”可知：每个节点的作用范围是一该节点为中心、半径等于 $\frac{3}{\sqrt{2}}\sigma$ 的领域空间，即节点间的相互作用力方程为 $\frac{3}{\sqrt{2}}\sigma$ ；可知场的空间分布主要取决于节点间的相互作用力程，根据相互作用力程，对于给定的势函数形态，影响因子 σ 的取值显然会对数据场空间分布产生极大的影响^[7]。根据查阅文献，我们引入势熵的概念来衡量势场分布的合理性，势熵的定义为

$$H = - \sum_{i=1}^n \frac{PV(i)}{Z} \log \left(\frac{PV(i)}{Z} \right) \quad (\text{式 6-10})$$

其中 $Z = \sum_{i=1}^n PV(i)$ 。分析势熵的性质，可知对应最小势熵的 σ 值相应的市场分布于底层数据分布非常温和。那么优化 σ 的问题转换成求解势熵 H 的最小化问题。本文采用文献[7]提到的简单的试探法，主要是通过选取试探点和比较

函数值，使包含极小点的搜索区间不断减小，直到获取满足精度要求的函数极小点。算法流程图如图 6-6 所示。

```

Procedure ComputeFactor ( D )
 $a \leftarrow \frac{\sqrt{2}}{3} \min(\min(D)); b \leftarrow \frac{\sqrt{2}}{3} \max(\max(D)); \tau \leftarrow \frac{\sqrt{5}-1}{2}$  //初始化搜所区间和常数
 $\sigma_1 \leftarrow a + (1-\tau)(b-a)$ 
 $H_1 \leftarrow \text{call}(3.15)$  //调用公式 3.20 进行计算，以  $\sigma_1$  为输入参数
 $\sigma_r \leftarrow a + \tau(b-a)$ 
 $H_r \leftarrow \text{call}(3.15)$  //调用公式 3.20 进行计算，以  $\sigma_r$  为输入参数
while  $\text{abs}(b-a) > \varepsilon$  //  $\varepsilon$  为精度控制常数
    if  $H_1 < H_r$ 
         $b \leftarrow \sigma_r; \sigma_r \leftarrow \sigma_1; H_r \leftarrow H_1$ 
         $\sigma_1 \leftarrow a + (1-\tau)(b-a)$ 
         $H_1 \leftarrow \text{call}(3.20)$  //重新计算  $H_1$ 
    else
         $a \leftarrow \sigma_1; \sigma_1 \leftarrow \sigma_r; H_1 \leftarrow H_r$ 
         $\sigma_r \leftarrow a + \tau(b-a)$ 
         $H_r \leftarrow \text{call}(3.15)$  //重新计算  $H_r$ 
    end
end
if  $H_1 < H_r$   $\sigma \leftarrow \sigma_1$ 
else  $\sigma \leftarrow \sigma_r$ 
end
return  $\sigma$ 

```

图 6-6 试探法求影响因子^[7]

6.2 基于城市人才相关网络模型的问题一求解

6.2.1 深圳市人才吸引力量化评价

首先，我们选取了与城市同类的 10 个城市进行比较，包括深圳、广州、杭州、厦门、苏州、南京、天津、武汉、西安和成都。通过收集这些城市 2010 年至 2016 年的每万劳动力研发人员增长量，基于 Pearson 相关系数建立了深圳市人才吸引关联网，如图 6-7 所示；该网络的 Pearson 相关系数计算结果如表 6-3 所示，邻接矩阵如表 6-4 所示。

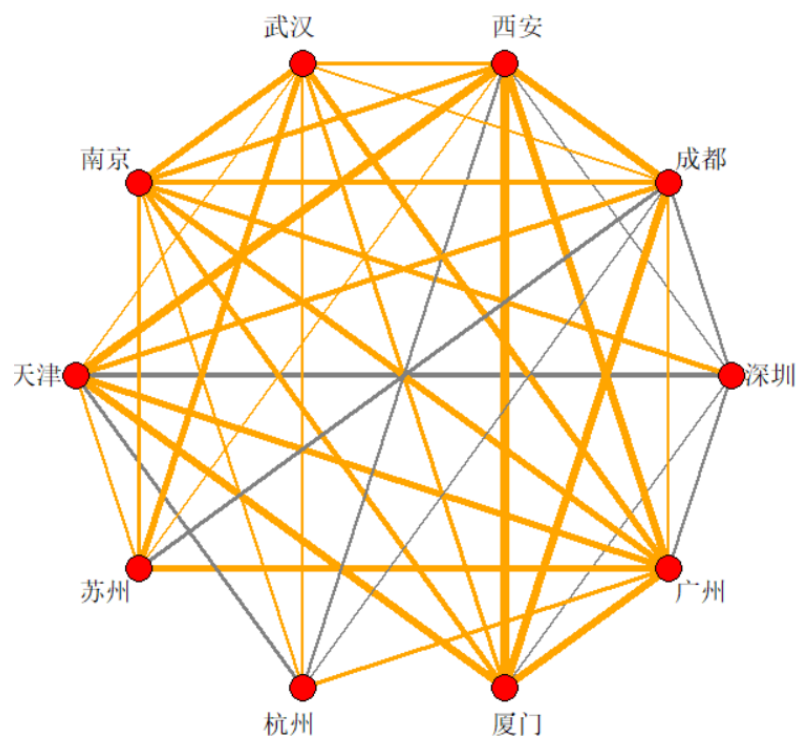


图 6-7 城市人才吸引关联网络

(橙色代表正相关，灰色代表负相关，相关性越大，线型越粗)

表 6-3 城市人才吸引关联网络中各城市 Pearson 相关系数计算结果

	深圳	广州	厦门	杭州	苏州	天津	南京	武汉	西安	成都
深圳	\	-0.30	-0.25	0.12	0.19	-0.45	0.52	-0.06	-0.21	-0.25
广州	-0.30	\	0.74	0.34	0.67	0.62	0.61	0.65	0.75	0.31
厦门	-0.25	0.74	\	0.03	0.04	0.72	0.56	0.41	0.92	0.84
杭州	0.12	0.34	0.03	\	0.19	-0.43	0.20	0.25	-0.21	-0.27
苏州	0.19	0.67	0.04	0.19	\	0.28	0.38	0.57	0.21	-0.35
天津	-0.45	0.62	0.72	-0.43	0.28	\	0.14	0.20	0.90	0.52
南京	0.52	0.61	0.56	0.20	0.38	0.14	\	0.68	0.48	0.47
武汉	-0.06	0.65	0.41	0.25	0.57	0.20	0.68	\	0.31	0.31
西安	-0.21	0.75	0.92	-0.21	0.21	0.90	0.48	0.31	\	0.72
成都	-0.25	0.31	0.84	-0.27	-0.35	0.52	0.47	0.31	0.72	\

表 6-4 城市人才吸引关联网络中各城市邻接关系

(0 代表没有连接, 1 代表有连接)

	深圳	广州	厦门	杭州	苏州	天津	南京	武汉	西安	成都
深圳	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
广州	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
厦门	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
杭州	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
苏州	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
天津	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
南京	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
武汉	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
西安	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
成都	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

其次, 我们收集了各个城市 2016 年主成分属性的数据, 根据网络拓扑结构, 以及表 6-2 中各指标的权值, 利用式 6-7 对每个城市的节点质量进行了计算。为了减少量纲带来的影响, 我们首先对数据进行了无量纲化处理, 最终计算结果如表 6-5 所示。

表 6-5 城市人才关联网络各城市节点质量计算结果（2016 年数据）

（归一化处理，节点质量满分为 6 分）

指标		权重	深圳	广州	厦门	杭州	苏州	天津	南京	武汉	西安	成都
经济环境	人均 GDP	0.40	0.95	0.81	1.00	0.71	0.83	0.66	0.91	0.64	0.41	0.44
	人均消费	0.33	0.64	0.61	0.76	0.66	0.71	0.83	0.79	0.89	0.99	1.00
	人均收入	0.32	0.90	0.94	0.85	0.96	1.00	0.68	0.92	0.73	0.66	0.66
	金融业发达度	0.25	1.00	0.64	0.75	0.60	0.60	0.70	0.82	0.57	0.80	0.91
	IT 业发达度	0.20	0.46	0.27	0.25	1.00	0.17	0.14	0.15	0.14	0.48	0.24
基础设施	高校数量	0.22	0.14	0.98	0.19	0.46	0.26	0.65	0.63	1.00	0.75	0.67
	人均公路	0.27	0.07	0.36	0.30	0.95	0.67	0.58	0.73	0.28	0.22	1.00
	人均城市道路面积	0.37	0.43	0.35	0.45	0.32	0.38	0.66	1.00	0.62	0.42	0.62
	人均绿化面积	0.14	0.69	0.90	0.45	0.20	0.32	0.17	1.00	0.09	0.21	0.18
人口流入阻碍	工资涨幅	0.37	0.96	0.96	0.68	0.95	0.93	0.69	1.00	0.85	0.98	0.60
	净流入率	0.58	0.72	1.00	0.05	0.26	0.00	0.20	0.00	0.23	0.26	0.39
	工作率=（1-失业率）	0.20	0.99	0.99	0.98	1.00	1.00	0.98	1.00	0.99	0.98	1.00
人才吸引水平	人均教育投入（元）	0.31	1.00	0.66	0.80	0.79	0.71	0.97	0.70	0.62	0.39	0.71
	人均医疗投入（元）	0.46	1.00	0.73	0.75	0.62	0.52	0.77	0.54	0.74	0.49	0.73
	人均科技投入（元）	0.58	0.84	0.20	0.14	0.20	0.22	0.20	0.16	0.20	0.08	1.00
m1：节点固有属性质量			3.63	3.32	3.76	3.40	2.66	3.02	2.62	2.86	3.13	2.78
m2：节点网络拓扑属性质量			0.667	1.000	0.667	1.000	0.778	0.667	0.667	0.889	0.889	0.889
节点质量(m = m1+m2)			4.29	4.32	4.43	4.40	3.44	3.68	3.29	3.75	4.02	3.67

根据上节提到的方法，我们得到了城市网络中每个结点的辐射半径，如表 6-6 所示。

表 6-6 城市人才关联网络各城市辐射半径计算结果

	深圳	广州	厦门	杭州	苏州	天津	南京	武汉	西安	成都
深圳	0.00	9.11	6.45	10.34	22.86	7.69	6.72	11.13	6.03	6.93
广州	9.11	0.00	1.02	22.96	2.55	1.17	1.30	1.35	1.03	1.11
厦门	6.45	1.02	0.00	28.02	1.78	1.10	1.32	1.24	1.02	1.29
杭州	10.34	22.96	28.02	0.00	12.45	55.70	48.32	42.11	118.46	53.52
苏州	22.86	2.55	1.78	12.45	0.00	2.84	2.45	2.59	2.10	2.01
天津	7.69	1.17	1.10	55.70	2.84	0.00	1.27	1.35	1.17	1.26
南京	6.72	1.30	1.32	48.32	2.45	1.27	0.00	1.68	1.27	1.73
武汉	11.13	1.35	1.24	42.11	2.59	1.35	1.68	0.00	1.18	1.61
西安	6.03	1.03	1.02	118.46	2.10	1.17	1.27	1.18	0.00	1.22
成都	6.93	1.11	1.29	53.52	2.01	1.26	1.73	1.61	1.22	0.00

根据 6.1 节提到的模型进行编程计算，可以得到结果如图 6-8 所示。

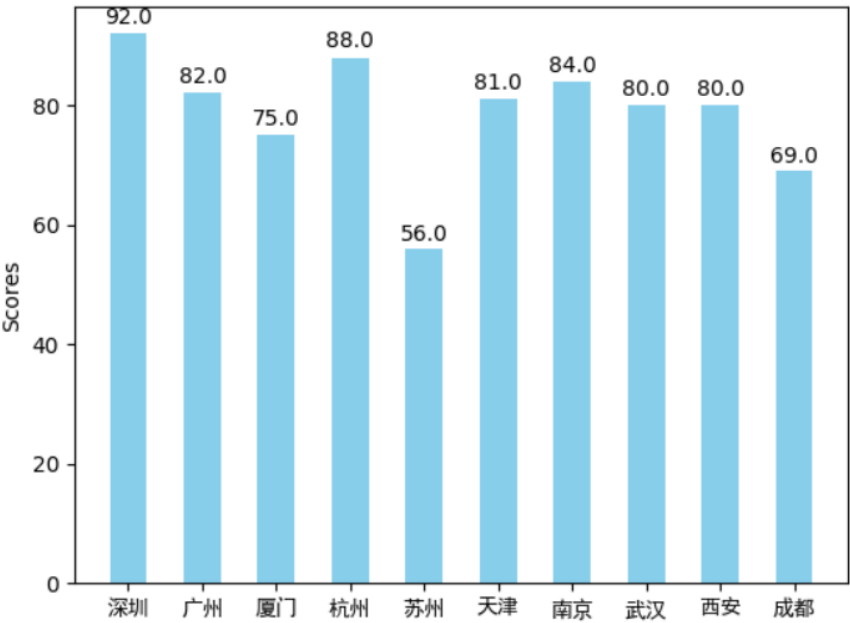


图 6-8 基于城市人才关联网络网络势下降率的城市人才吸引力评价模型评分结果

6.2.2 量化分析深圳“加大营商环境改革力度若干措施”对人才吸引力水平的影响

通过对深圳“加大营商环境改革力度若干措施”的研读，我们选择措施中的一些关键点，根据过往其他城市相关政策的影响进行数据统计，并对深圳“加大营商环境改革力度若干措施”的影响进行量化分析。从行政级别上看，深圳属于副省级市，因此我们主要通过相关省、市、自治区数据的对比进行分析。

（1）创新创业方面

深圳“加大营商环境改革力度若干措施”第9条指出“提供更全面的创新支持。加大创新创业奖励力度。”通过政策检索，我们发现很多地区的创新创业均和高校挂钩，旨在吸引高校人才。因此，我们选取“普通高等学校正高级专任教师数”变化率作为评判指标。考虑数据的可获得性和可对比性，我们对15个省、市、自治区2015年的创新创业相关政策（表6-7）进行研究，通过对比地区发布创新创业政策后普通高等学校正高级专任教师数的变化，来确定深圳“加大营商环境改革力度若干措施”在对创新创业给予大力支持后，对深圳人才吸引力水平的影响。

表 6-7 2015 年部分地区创新创业政策及其数据对比

政策内容	发布地区	普通高等学校正高级专任教师数（万人）			发布前 增长量	发布后 增长量	变化率 (%)
		2014 年	2015 年	2016 年			
江苏省深化高等学校创新创业教育改革实施方案	江苏	1.34	1.41	1.46	0.07	0.05	-28.57
河南省人民政府关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	河南	0.8	0.84	0.87	0.04	0.03	-25.00

青海省人民政府办公厅关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	青海	0.07	0.08	0.08	0.01	0	-100.00
云南省人民政府办公厅关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	云南	0.38	0.39	0.40	0.01	0.01	0.00
市教委关于贯彻落实深化高等学校创新创业教育改革的实施意见的通知	天津	0.46	0.48	0.47	0.02	-0.01	-150.00
河北省人民政府关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	河北	0.96	0.99	1.00	0.03	0.01	-66.67
甘肃省人民政府办公厅关于印发甘肃省发展众创空间推进大众创新创业实施方案的通知	甘肃	0.29	0.31	0.32	0.02	0.01	-50.00
吉林省人民政府办公厅关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	吉林	0.58	0.61	0.64	0.03	0.03	0.00
广西壮族自治区人民政府办公厅关于实施广西高等教育强基创优计划推进高等学校创新创业教育改革的的通知	广西	0.4	0.41	0.44	0.01	0.03	200.00
安徽省人民政府办公厅关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	安徽	0.45	0.49	0.51	0.04	0.02	-50.00

重庆市人民政府办公厅关于深化高等学校创新创业教育改革的通知	重庆	0.43	0.45	0.46	0.02	0.01	-50.00
关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	新疆	0.13	0.13	0.14	0	0.01	100.00
山西省人民政府办公厅关于发展众创空间推进大众创新创业的实施意见	山西	0.30	0.28	0.29	-0.02	0.01	150.00
湖南省教育厅关于深化高等学校创新创业教育改革的实施意见	湖南	0.7	0.71	0.75	0.01	0.04	300.00
内蒙古自治区人民政府办公厅关于印发深化高等学校创新创业教育改革实施方案的通知	内蒙古	0.26	0.27	0.27	0.01	0	-100.00

由表 6-7 可以发现，创新创业政策平均能提高 8.65% 的普通高等学校正高级专任教师数变化。因此，我们认为大力推广创新创业，深圳“加大营商环境改革力度若干措施”能使深圳多吸引 8.65% 的高校教师人才。

（2）人才住房补贴方面

深圳“加大营商环境改革力度若干措施”第 10 条指出“实施更优惠的人才住房政策。加大保障性安居工程筹集建设力度，扩大人才住房和保障性住房供给”。关于人才住房补贴的政策，目前西安、成都、海南各省市均进行了推广。然而，过去的政策相对较少。通过查阅，我们选取了贵阳市、福州市以及温州市作为样本进行数据研究。

贵阳市于 2006 年推行《贵阳市引进高层次人才暂行办法》，温州市于 2013 年发布《温州市人民政府关于完善市区人才住房政策的实施意见》，福州

市于 2015 年实施《关于中国（福建）自贸区福州片区引进高层次人才住房公积金特殊支持政策的暂行规定》。具体的数据变化见表 6-8。

表 6-8 部分地区人才住房政策及其数据对比

政策内容	发布地区	科技活动人员			发布前增长量	发布后增长量	变化率(%)
		发布前一年	发布年	发布后一年			
贵阳市引进高层次人才暂行办法、贵阳市引进高层次人才住房补贴暂行办法	贵州	31094	35483	38663	4389	3180	-27.55
温州经济技术开发区实施人才住房保障政策“筑巢引凤”	温州	121	107	120	-14	13	192.86
福州住房公积金管理委员会印发《关于中国（福建）自贸区福州片区引进高层次人才住房公积金特殊支持政策的暂行规定》的通知	福州	82884	79409	79979	-3475	570	116.40

由表 6-8 可以发现，人才住房政策平均能提高 93.9%的科技活动人员数变化。因此，我们认为实行人才住房政策，深圳“加大营商环境改革力度若干措施”对于吸引科技活动人才十分有效。

（3）知识产权保护和管理

深圳“加大营商环境改革力度若干措施”第 17 条指出“实施最严格知识产权保护”。我们选取了 2010 年部分省、市、自治区最新的知识产权相关政策（表 6-9）进行研究，通过对比地区发布知识产权政策后的公有经济企事业单位专业技术人员数变化，来确定深圳“加大营商环境改革力度若干措施”在知识产权保护和管理方面做出规定后，对深圳人才吸引力水平的影响。

表 6-9 2015 年部分省、市、自治区知识产权相关政策及其数据对比

政策内容	发 布 地 区	公有经济企事业单位专业 技术人员数(人)			发布前 增长量	发布 后增 长量	变化率 (%)
		发布前 一年	发布年	发布后 一年			
市政府办公厅转发市商务委关于促进本市与贸易有关的知识产权工作若干意见的通知	上海	363787	356378	377379	-7409	21001	383.45
关于印发天津市知识产权战略纲要的通知	天津	250599	239596	254234	-11003	14638	233.04
关于印发新疆维吾尔自治区知识产权战略纲要的通知	新疆	411628	407651	421372	-3977	13721	445.01
关于印发湖北省知识产权(专利)事业“十二五”发展规划编制工作方案的通知	湖北	794661	765798	760818	-28863	-4980	82.75
关于印发《关于实施中小企业知识产权战略推进工程的意见》的通知	陕西	647370	640644	651633	-6726	10989	263.38
吉林省人民政府办公厅转发省科技厅关于进一步加强知识产权工作意见的通知	吉林	552889	533203	535262	-19686	2059	110.46

从表 6-9 中可知，加强对知识产权的保护和管理，可以对公有经济企事业单位专业技术人员数量平均提高 1.5 倍。同时，我们发现 2010 年多个省市自治区发布了《打击侵犯知识产权和制售假冒伪劣商品专项行动方案》，这对人才劳动成果的保护有促进的作用。因此，我们认为，因为对知识产权有了保护和

管理，深圳“加大营商环境改革力度若干措施”对深圳市人才吸引力十分有效。

6.2.3 结果分析

从模型结果来看，深圳的人才吸引力在这十个城市中以 92 分拔得头筹，但是从节点属性表（表 6-5）中仍能发现深圳依旧存在短板——人均消费过高、高校数量过少、人均公路过少，特别是高校数量将会成为深圳未来科技竞争力和科技人才吸引力的一块短板。

对于深圳“加大营商环境改革力度若干措施”，我们从创新创业、人才住房政策以及知识产权保护等反面进行了分析，发现：

（1）从结果来看，创新创业举措能小幅提高人才的吸引力，我们认为其效果不够显著的原因主要与创新创业人才培养周期长等因素有关。但是创新创业人才的后劲足，后期能带来巨大的效益。

（2）人才住房政策能大幅提高人才的吸引力。从目前的社会情况来看，高房价是制约人才吸引力的一股重要力量，如果能够出台人才住房补贴，对人才将会是很大的吸引。

（3）知识产权保护措施能显著提高人才的吸引力。对于高水平人才特别是科研人才来说，会更加关注科研成果、论文、专利等知识产权的保护。如果能够出台相关的知识产权保护措施，将会吸引更多的优秀人才。

综合来看，未来深圳可以考虑加大这方面的政策力度和执行措施，吸引更多的优秀人才，深圳“加大营商环境改革力度若干措施”能将深圳的人才吸引力提高一倍左右。

6.3 多元回归线性模型与问题二求解

关于城市的人才吸引力，往往会受到多个因素的影响。因此，我们选取表 7-1 中的指标作为自变量，将不同人才类别的人数作为因变量，建立多元回归模型。通过多元回归模型计算得到的标准回归系数，标准回归系数反应自变量的重要程度，我们通过深圳在比较重要的指标上的得分来看出深圳在吸引不同类别的人才上，与其他同类城市相比的优势和劣势。

6.3.1 多元回归线性模型

假设一个含有多个变量的线性模型，模型中的特征为 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ，则该模型可以表示为

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \dots + \theta_n x_n \quad (\text{式 6-11})$$

引入 $x_0 = 1$ ，则公式 6-11 可以表示为

$$h_{\theta}(x) = \theta^T X \quad (\text{式 6-12})$$

要求解这个多元回归线性模型，我们采用正规方程实现。首先，为了削弱数据尺度带来的影响，我们要对数据进行预处理，将所有特征的尺度尽量缩放到-1 和 1 之间，如式 6-13 所示。

$$x_n = \frac{x_n - \mu_n}{s_n} \quad (\text{式 6-13})$$

式中 μ_n 为 X 的均值， s_n 为 X 的方差。

其次，为了求解 θ ，我们采用正规方程求解。最小二乘法可以将误差方程转化为有确定解的代数方程组（其方程式数目正好等于未知数的个数），从而可求解出这些未知参数。这个有确定解的代数方程组称为最小二乘法估计的正规方程，可以用矩阵形式表示，如式 6-14。

$$\theta = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (\text{式 6-14})$$

6.3.2 人才类别指标建立

根据国务院于 2016 年 11 月 29 日印发的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》（下简称《规划》），战略性新兴产业代表新一轮科技革命和产业变革的方向，是培育发展新动能、获取未来竞争新优势的关键领域。《规划》要求各级政府贯彻执行扶持发展新兴产业，提出了 2016-2020 年的发展目标，“形成新一代信息技术、高端制造、生物、绿色低碳、数字创意等 5 个产值规模 10 万亿元级的新支柱。”

2016 年 12 月，深圳市根据《深圳市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《规划》迅速制定了《深圳市战略性新兴产业发展“十三五”规划》，提出了构建产业发展新生态、打造信息经济新引擎、实现生命经济新突破、激发创意经济新活力、培育绿色经济新优势、夯实材料基础新支撑等若干

措施，着力提升战略性新兴产业发展能级，持续引领产业高端发展和经济高质量发展。

根据以上政策，本文选取了与上述新兴行业相关的各行业从业人员数量作为指标（数据来源：2011 年至 2017 年的《中国城市统计年鉴》），构建不同行业的人才评价模型。通过统计深圳、广州、杭州、厦门、苏州、南京、天津、武汉、西安和成都，在 2010-2016 年期间制造业，信息传输、计算机服务和软件业，金融业，科学研究、技术服务和地质勘查业，水利、环境和公共设施管理业，文化、体育、娱乐业等六个行业的从业人数变化（如表 6-10 所示，以深圳市为例），进行多元线性回归，最终得到以上各行业人才各指标的重要度系数如表 6-11 所示。

表 6-10 深圳市 2010-2016 年典型行业从业人员数量变化（万人）

年份	制造业	信息传输.计算机服务和软件业	金融业	科学研究.技术服务和地质勘查业	水利.环境和公共设施管理业	文化.体育.娱乐业
2010	123.66	5.29	10.86	5.43	1.81	1.7
2011	122.27	5.23	12.77	5.52	1.78	1.64
2012	126.38	5.23	12.73	6.08	1.41	1.96
2013	255.88	12.50	10.65	7.87	1.23	2.30
2014	258.7983	13.267	9.2076	7.8117	1.2336	2.5772
2015	247.7456	13.4808	9.9129	8.7034	1.3365	2.4612
2016	233.9247	18.4605	10.5073	9.3583	1.1978	2.8731

表 6-11 各战略性新兴产业人才各指标重要度系数

指标	制造业	信息传输、计算机服务和软件业	金融业	科学研究、技术服务和地质勘查业	水利、环境和公共设施管理业	文化、体育、娱乐业
人均 GDP	-0.017	-0.123	-0.066	0.14	0.167	0.019
人均收入	-0.05	-0.178	-0.365	-0.405	-0.533	0.082
人均消费	-0.113	0.074	-0.022	0.137	0.351	0.096
金融行业占比	0.165	-0.064	-0.025	0.268	-0.024	0.19
IT 行业占比	-0.127	0.164	0.151	0.093	-0.38	-0.06
人口净流入率	-0.069	0.062	0.009	0.046	0.09	0.015
就业率	0.335	0.122	0.304	-0.205	0.212	-0.259
人均薪水涨幅	0.07	-0.011	-0.046	-0.013	0.012	0.12
高校数量	-0.104	0.142	0.287	0.421	0.402	0.099
人均公路	-0.289	-0.144	-0.387	0.067	0.232	0.011
人均城市道路面积	-0.275	0.265	-0.24	0.114	0.195	0.042
人均绿化面积	0.046	0.194	0.192	0.316	0.069	-0.136
人均教育投入	0.1	-0.076	0.564	-0.041	0.343	0.898
人均医疗投入	0.23	0.497	0.132	0.192	-0.05	-0.831
人均科研投入	0.401	0.453	-0.056	-0.23	-0.38	0.123

将表 6-11 中重要度系数的绝对值低于 0.2 的指标忽略其影响，得到表 6-12。表 6-12 显示了制造业，信息传输、计算机服务和软件业，金融业，科学研究、技术服务和地质勘查业，水利、环境和公共设施管理业，文化、体育、娱乐业等六个行业的人才吸引力与以上若干城市指标之间的关联。

表 6-12 各战略性新兴产业人才各指标重要度系数（次要因素归零处理）

指标	制造业	信息传输、计算机服务和软件业	金融业	科学研究、技术服务和地质勘查业	水利、环境和公共设施管理业	文化、体育、娱乐业
人均 GDP	0	0	0	0	0	0
人均收入	0	0	-0.365	-0.405	-0.533	0
人均消费	0	0	0	0	0.351	0
金融行业占比	0	0	0	0.268	0	0
IT 行业占比	0	0	0	0	-0.38	0
人口净流入率	0	0	0	0	0	0
就业率	0.335	0	0.304	-0.205	0.212	-0.259
人均薪水涨幅	0	0	0	0	0	0
高校数量	0	0	0.287	0.421	0.402	0
人均公路	-0.289	0	-0.387	0	0.232	0
人均城市道路面积	-0.275	0.265	-0.24	0	0	0
人均绿化面积	0	0	0	0.316	0	0
人均教育投入	0	0	0.564	0	0.343	0.898
人均医疗投入	0.23	0.497	0	0	0	-0.831
人均科研投入	0.401	0.453	0	-0.23	-0.38	0

6.3.3 各类别人才主要影响指标分析及相关政策讨论

根据上文计算的结果，我们将 2016 年各城市的指标得分整理在表格内，如表 6-13 所示。随后结合各战略性新兴产业人才各指标重要度系数和 2016 年各城市指标得分，分析各行业人才的主要影响指标并讨论深圳市对各行业不同类型的人才在人才吸引力上的优势与不足。

表 6-13 2016 年各城市指标得分

指标	深圳	广州	厦门	杭州	苏州	天津	南京	武汉	西安	成都
人均 GDP	0.95	0.81	1.00	0.71	0.83	0.66	0.91	0.64	0.41	0.44
人均消费	0.64	0.61	0.76	0.66	0.71	0.83	0.79	0.89	0.99	1.00
人均收入	0.90	0.94	0.85	0.96	1.00	0.68	0.92	0.73	0.66	0.66
金融业发达度	1.00	0.64	0.75	0.60	0.60	0.70	0.82	0.57	0.80	0.91
IT 业发达度	0.46	0.27	0.25	1.00	0.17	0.14	0.15	0.14	0.48	0.24
高校数量	0.14	0.98	0.19	0.46	0.26	0.65	0.63	1.00	0.75	0.67
人均公路	0.07	0.36	0.30	0.95	0.67	0.58	0.73	0.28	0.22	1.00
人均城市道路	0.43	0.35	0.45	0.32	0.38	0.66	1.00	0.62	0.42	0.62
人均绿化面积	0.69	0.90	0.45	0.20	0.32	0.17	1.00	0.09	0.21	0.18
工资涨幅	0.96	0.96	0.68	0.95	0.93	0.69	1.00	0.85	0.98	0.60
净流入率	0.72	1.00	0.05	0.26	0.00	0.20	0.00	0.23	0.26	0.39
工作率 = (1-失业率)	0.99	0.99	0.98	1.00	1.00	0.98	1.00	0.99	0.98	1.00
人均教育投入	1.00	0.66	0.80	0.79	0.71	0.97	0.70	0.62	0.39	0.71
人均医疗投入	1.00	0.73	0.75	0.62	0.52	0.77	0.54	0.74	0.49	0.73
人均科技投入	0.84	0.20	0.14	0.20	0.22	0.20	0.16	0.20	0.08	1.00

（1）制造业

制造业一列中，呈现正相关的指标有人均科研投入、就业率以及人均医疗投入，而人均公路、人均城市道路面积则呈现负相关。

对于制造业与交通运输之前的负相关关系，有文献[13]指出当运输成本不会成为区域间贸易的障碍时，制造业集聚产生的收益就有可能高于区域间贸易支付的成本，进而形成制造业集聚，并在收益递增的作用下强化该趋势。因此，在前期阶段，交通基础设施的发展可能会推动制造业集聚；在后期阶段，发达的交通基础设施会降低制造业集聚。而我们选取的 10 个城市均为城市化水平较高、制造业发展较为成熟的城市，因此处于上述描述中的后期阶段，因而人均公路和人均城市道路面积两项指标呈现负相关关系。

从表 6-13 可见，深圳市人均科研投入、就业率以及人均医疗投入三项指标的得分分别为 0.84，0.99 以及 1.00，在所有城市的排名分别为 2、5、1，均名列前茅。因此，深圳市对于制造业人才的吸引力在所有分析城市中是相对较强的，有助于“智能制造”发展战略的顺利实施。

（2）信息传输、计算机服务和软件业

本列中，呈现正相关的指标为人均医疗投入、人均科研投入以及人均城市道路面积。

信息传输、计算机服务和软件业属于高新技术产业，是我国经济社会发展的最强推动力之一。由于国家的大力扶持，高新技术产业的工资水平和增速也得以持续增长；另一方面，IT 业和互联网业给传统行业赋能，从小见大，方方面面都有 IT 的影子，大大加快了传统行业的更新换代，创造出了大量的工作岗位。2018 年 5 月 16 日，国家统计局公布了 2017 年各行业的平均工资数据。数据显示，IT 行业以年平均工资 13 万元力压金融业，位居各行业首位。因此，薪酬水平较高的 IT 业人才对于城市的要求会不仅仅体现在收入水平上，也会表现出对于医疗条件、交通便捷性的较高标准上。

在人均医疗投入、人均科技投入以及人均城市道路面积三项指标中，深圳市的得分分别为 1.00、0.84 和 0.43，在 10 个所选取的城市中排名为第 1、第 2 和第 6，在医疗和科技投入方面表现优异，但人均城市道路面积较低，在一定

程度上反映了拥堵这一种“大城市病”，道路资源紧张局限了深圳市对于 IT 人才的吸引力。

（3）金融业

与金融业呈现正相关的指标为人均教育投入、就业率以及高校数量，其中人均教育投入的相关系数超过了 0.5；而呈现负相关的指标为人均公路、人均收入以及人均城市道路面积。

过去十年，中国金融业经历了一个快速增长的阶段。从增加值占比来看，金融业增加值占 GDP 的比重从 2007 年的 5.62% 快速提高到 2017 年的 7.95%。其中，最高峰值在 2015 年，这一比重曾高达 8.40%，显著高于欧美成熟市场国家。这些体现出了在过去十年中，金融业作为全社会平均薪酬水平最高、人才缺口最大的行业之一，受到了全社会的关注和瞩目，同时也吸引了一大批人才从事金融业。根据 2015 年领英中国发布的各行业人才吸引力指数，在所有的行业中，金融人才的吸引力指数高达 1.33，成为对人才最具吸引力的行业，相较而言，互联网行业人才吸引力指数以 1.21 位居第二。有许多家长希望自己的孩子能够从事光鲜、多金的金融业，这在过去十年的社会职业意识变化中得到了鲜明的体现，这解释了金融业与人均教育投入这一指标的相关系数高达 0.564、与高校数量相关度为 0.287 的现象。

在呈现正相关作用的指标中，深圳市的表现为：人均教育投入分数为 1.00，就业率 0.99，高校数量分数仅为 0.14，排名分别为 1, 5, 10。由于在就业率指标中，各城市表现差别无几（均为 1.00、0.99 或 0.98 分），因此对于金融业人才的吸引力而言，深圳的很大一块短板为高校数量少，这也将是深圳市未来人才战略的重要一部分。

（4）科学研究、技术服务和地质勘查业

与科技、地质业呈现正相关的指标有高校数量、人均绿化面积以及金融行业占比；而人均收入、人均科技投入和就业率呈现负相关关系。

科学技术人才是国家人才资源的重要组成部分，是科技创新的关键因素，是推动国家经济社会发展的重要力量，但由于其人才培养的长周期性、顶尖人才的引领性、科研成果转化的滞后性以及管理制度的相对独立性，因此科技人

才是较为特殊的一类人才，需要各级政府关注到科技人才的特殊需求，制定与之适应的人才政策。高等学校是科学研究的主战场，对于科学技术人才特别是高层次科技人才的吸引有着极为重要的作用，这一点在表 6-13 中也得以体现。此外值得一提的是，代表居住环境因素的“人均绿化面积”指标在科技人才的吸引中也有着较强的相关性，也体现出了科技人才对居住的自然环境有着较高的需求和期望，这是政府在招揽科技人才时不能忽视的一个因素。

在正相关指标中，深圳市的得分如下：高校数量 0.14 分、人均绿化面积 0.69 分以及金融行业占比 1.00 分，排名分别为第 10、第 3 以及第 1。从分数上看，深圳市对于科技人才的吸引力在 10 个城市中处于中下游地位，需要从高校建设以及绿化等自然环境构建等方面提升自身实力。

（5）水利、环境和公共设施管理业

根据表 6-13，水利、环境和公共设施管理业有较多相关指标。正相关的有：高校数量、人均消费、人均教育投入、人均公路和就业率，负相关的指标为人均收入、IT 行业占比以及人均科技投入。

水利、环境工作属于技术要求高、专业性强、注重社会效益的工作，在对资源开发、利用、节约、保护、配置以及防治的各个方面，都离不开一支强有力的专业队伍。此外，水利、环境和公共设施管理业的人才对于我国未来节能环保、新能源等产业的发展提供着基础性的支撑作用。其专业性强的行业属性决定了水利、环境人才与教育水平直接关联，即行业的高门槛使得仅有一部分受过高等教育的人才方能准入，但行业相对冷门的状况使得人才发展呈现一个复杂的需求状态。从相关指标来看，一方面，水利环境人才渴望生活在消费水平较高、交通便捷、教育机会丰富的大城市；另一方面，人均收入的相关系数高达-0.533，又体现出该群体对于收入的焦虑性，这与其高受教育程度又有一定程度上的矛盾。在目前的行业发展中，水利环境人才仍未得到其高技术属性所应有的重视程度，因此可以预见到的是，在今后十年、二十年的时间内，各城市对于低碳环保行业、新能源技术等领域的人才，将展开更为激烈的争夺。届时，最先开展相关措施吸引本行业人才的城市将在未来发展中抢占先机。

在正相关指标中，深圳市的得分如下：高校数量 0.14 分、人均消费 0.64 分、人均教育投入 1.00 分以及人均公路 0.07 分，排名分别为第 10、第 9、第 1 以及第 10。从分数上看，深圳市对于水利环境人才的吸引力在所有分析城市中处于劣势。为了未来低碳经济、新能源经济的发展前景、扭转现阶段对水利环境人才吸引力不足的不利局面，深圳市不仅仅需要从高校建设、交通状况角度提升城市自身属性和实力，更要提前制定相关人才的吸引政策，预见并提前针对未来经济发展的潮流做好人才储备，抢先占领人才高地。

（6）文化、体育、娱乐业

根据上表，文化、体育和娱乐业的相关因素相对简单和直观，该行业与人均教育投入有着极强的联系，正相关系数高达 0.898,；而与人均医疗投入的负相关指数有 0.831，呈现出明显的二元化倾向。

如今，数字创意产业逐渐成为促进优质产品和服务有效供给的智力密集型产业，创意经济作为一种新的发展模式正在兴起。《文化部“十三五”时期文化产业发展规划》中明确提出，“到 2020 年，实现文化产业成为国民经济支柱性产业的战略目标”，体现了国家对于文化产业的重视，文化产业在稳增长、促改革、调结构、惠民生等方面的积极贡献将进一步凸显。文化、体育和娱乐业，是一种智力、创意密集型产业，其要求从业人员具备较高的文化知识和人文素养，这些均需要较长的教育周期和较大的教育投入，因此计算得到的强正相关性体现出了两者的联系，符合预期。根据马斯洛的需求层次理论，人的需求可以被分成生理需求（Physiological needs）、安全需求（Safety needs）、爱和归属感（Love and belonging）、尊重（Esteem）和自我实现（Self-actualization）五类，依次由较低层次到较高层次排列。需求层次理论有两个基本出发点，一是人人都有需要，某层需要获得满足后，另一层需要才出现；二是在多种需要未获满足前，首先满足迫切需要；该需要满足后，后面的需要才显示出其激励作用。对于文化、体育和娱乐业的从业人员而言，他们的职业选择决定了他们对于创意、文化的追求，即追求自我实现，因而低层次的需求，如生理需求和安全需求，对于大部分文化、体育和娱乐业人才而

言，是早已得到满足的需求。这可能能够解释医疗投入与该行业的负相关关系。

在正相关指标中，深圳市的人均教育投入得分为 1.00 分，排在所有城市的第一位。因此，深圳市尽管现阶段的文化、体育和娱乐业从业人员的规模并不大，但对广大外市人才吸引力较强，在未来可能迎来文化产业的井喷式发展。

6.3.4 结果分析

综上所述，对于不同的人才类别，与其他城市相比，深圳的优势主要体现在：

（1）人均科研投入较高，重视科研的投入，关注科研竞争力的发展。深圳高新区始建于 1996 年 9 月，规划面积 11.5 平方公里，是国家“建设世界一流高科技园区”的六家试点园区之一，是“国家知识产权试点园区”和“国家高新技术产业标准化示范区”。根据 2016 年的数据，深圳拥有三万多家科技型企业，国家级高新技术企业数量达 5524 家，约占广东全省半壁江山，创业板、中小板上市的深圳企业总数连续 9 年居全国大中城市首位。4G 技术、超材料、基因测序、新能源汽车、3D 显示、无人机等领域创新能力跻身世界前沿。另外，依托科技创新，深圳涌现了众多龙头企业，如华为、中兴、腾讯等。这些都是深圳在人才吸引力方面的优秀。

（2）人均教育投入较高，重视人才的培养。深圳教育的发展现状可以概括为：历史短、速度快。深圳在教育方面的优势，主要表现在：

- ① 深圳高等教育势头好，在办好深圳大学、南方科技大学等本地大学基础上，加强了与国内外著名高校（17 所外来 985，1 所 211 和 6 所港校）合作，建成了若干高水平大学、新办大学。
- ② 深圳基础教育质量优。深圳市高考成绩居全国全省前列，省级普通高中比例、公办标准化义务教育学校比率、教师职称学历达标率等指标全省领先。
- ③ 深圳职业教育水平高。深圳市职业教育规模相对较小，但整体发展水平较高，高职院校办学水平全国领先，全市有 12 所中职学校（近 50%）成为省级以上重点学校。

- ④ 深圳民办教育比例高。深圳市民办中小学占 38%，民办幼儿园占 96%，两项比例在全国大城市中均为最高。

上述的这些优势，能够解决人才在子女教育上的“后顾之忧”，是吸引人才的重要原因。

（3）金融行业占比高，金融业发达。“一个城市的金融业越强大，则意味着这个城市的经济实力和竞争力就越强悍；其城市的影响力、辐射力和带动力也就越深远。³”深圳因紧邻国际金融中心香港的地理优势，资金增速较快，是中国中小创和私募金融、民间金融、互联网金融、科技金融的聚集地，是民营金融市场最为发达的地方。

而深圳的不足主要体现在：

- （1）人均城市道路面积过低，城市拥堵；
- （2）高校数量较少，高校人才储备力量不足。

我们认为，一方面深圳可以通过城市交通规划来改善市区内的交通情况；另一方面，深圳可以通过联合办学、联合培养的方式，增加本地的高校数量，培养本地人才储备军。

6.4 基于地区人才关联网络模型即人才需求曲线的问题三求解

6.4.1 南山区经济发展特点

从行政级别上看，深圳属于副省级市，因此我们将基于 Pearson 相关系数建立深圳南山区、深圳其他行政区以及珠三角地区其他地级市之间的人才关联网络，如图 6-9 所示。该网络的 Pearson 相关系数计算结果如表 6-14 所示，邻接矩阵如表 6-15 所示。考虑数据的可获得性，我们选取了深圳的四个行政区——南山区、龙岗区、盐田区和福田区，以及广州市、肇庆市、江门市、惠州市、珠海市、佛山市进行比较。

³ <http://m.kdnet.net/share-12249536.html>

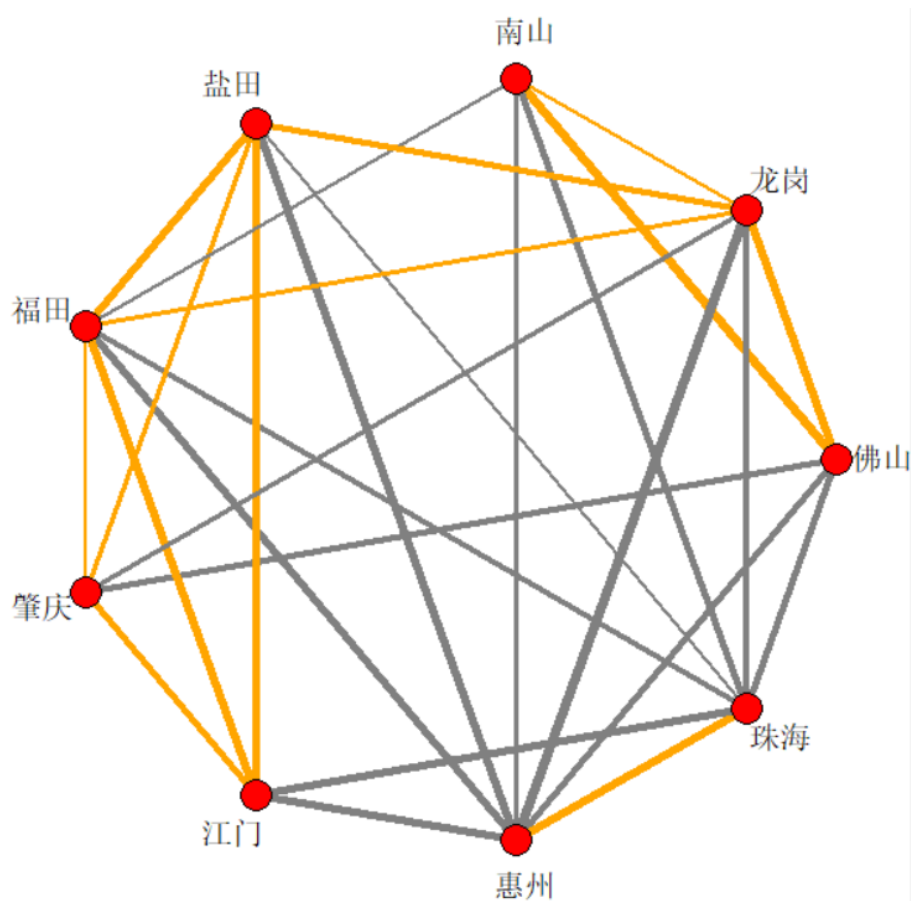


图 6-9 地区人才吸引关联网络

(橙色代表正相关，灰色代表负相关，相关性越大，线型越粗)

表 6-14 地区人才吸引关联网络中各城市 Pearson 相关系数计算结果

	佛山	珠海	惠州	江门	肇庆	福田	盐田	南山	龙岗
佛山	\	-0.52	-0.45	-0.18	-0.53	-0.11	0.03	0.74	0.62
珠海	-0.52	\	0.77	-0.64	0.07	-0.51	-0.26	-0.51	-0.53
惠州	-0.45	0.77	\	-0.58	-0.08	-0.64	-0.66	-0.35	-0.86
江门	-0.18	-0.64	-0.58	\	0.48	0.63	0.61	0.17	0.17
肇庆	-0.53	0.07	-0.08	0.48	\	0.30	0.39	0.00	-0.33
福田	-0.11	-0.51	-0.64	0.63	0.30	\	0.67	-0.24	0.39
盐田	0.03	-0.26	-0.66	0.61	0.39	0.67	\	0.10	0.53
南山	0.74	-0.51	-0.35	0.17	0.00	-0.24	0.10	\	0.26
龙岗	0.62	-0.53	-0.86	0.17	-0.33	0.39	0.53	0.26	\

表 6-15 地区人才吸引关联网络中各城市邻接关系

(0 代表没有连接，1 代表有连接)

	佛山	珠海	惠州	江门	肇庆	福田	盐田	南山	龙岗
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----

佛山	0	1	1	0	1	0	0	1	1
珠海	1	0	1	1	0	1	1	1	1
惠州	1	1	0	1	0	1	1	1	1
江门	0	1	1	0	1	1	1	0	0
肇庆	1	0	0	1	0	1	1	0	1
福田	0	1	1	1	1	0	1	1	1
盐田	0	1	1	1	1	1	0	0	1
南山	1	1	1	0	0	1	0	0	1
龙岗	1	1	1	0	1	1	1	1	0

其次，我们收集了各个城市 2016 年主成分属性的数据，根据网络拓扑结构，得到了网络中各地区的属性评价表（表 6-16）。为了减少量纲带来的影响，首先对数据进行了无量纲化处理。由于有些数据难以获得，我们在进行南山区及其他地区对比时，删除了人口净流入率、人均公路里程及人均城市道路面积等指标；在 IT 行业产值的统计中，由于福田区、盐田区和龙岗区缺少直接的数据，利用高新技术产业中的信息产业产值进行计算。

表 6-16 地区属性评价表

指标		佛山	珠海	惠州	江门	肇庆	福田	盐田	南山	龙岗
经济环境	人均 GDP	0.26	0.46	0.25	0.18	0.18	0.82	0.83	1.00	0.52
	人均消费	0.57	0.54	0.84	1.00	0.97	0.35	0.54	0.37	0.56
	人均收入	0.66	0.67	0.44	0.38	0.32	1.00	0.77	0.99	0.67
	金融业发达度	0.12	0.21	0.13	0.15	0.09	1.00	0.35	0.20	0.14
	IT 业发达度	0.04	0.06	0.33	0.21	0.02	0.16	0.56	1.00	0.65
基础设施	高校数量	0.25	0.83	0.33	0.33	0.50	0.00	0.00	1.00	0.83
	人均绿化面积	0.49	0.74	0.67	0.66	1.00	0.84	0.47	0.64	0.67
人口流入阻碍	工资涨幅	0.83	0.71	0.94	0.74	0.84	0.38	1.00	1.00	0.40
	工作率= (1-失业率)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
人才吸引水平	人均教育投入 (元)	0.49	1.00	0.62	0.41	0.40	0.66	0.99	0.87	0.62

	人均医疗投入 (元)	0.48	0.78	0.98	0.36	0.44	0.56	0.88	1.00	0.52
	人均科技投入 (元)	0.10	0.46	0.10	0.04	0.02	0.92	1.00	0.87	0.21

表中城市属性指标的评分越高，说明该城市在这一指标上的表现越出色。从表 6-17 中可以知道，南山区的 IT 产业十分发达，对教育和科技的投入也表现突出，人均收入也较高。此外，深圳大学、南方科技大学均位于南山区，也成为南山区人才发展的重要力量。

6.4.2 南山区人才政策

从南山区人力资源局的网站上，我们发现南山区人力资源网上查询到南山区政府曾于 2016 年 6 月 1 日发布《南山区自主创新产业发展专项资金人才工作分项资金实施细则》，2016 年 6 月 30 日发布《南山区“领航人才卡”综合服务办法》，2016 年 7 月 11 日发布《南山区鼓励和支持人才创新创业发展办法》，于 2017 年 10 月 17 日发布《深圳市南山区人才素质提升工程项目资助操作规程》。这几项政策涵盖了人才住房、创新创业支持和知识产权管理等方面。另外，根据 6.3 节的分析，我们发现高校数量对人才来说的吸引力十分重要。对此，我们根据 6.2.2 分析得到的政策效力，将南山区的高校数量得分提高 8.65%，更新后的城市属性评价如表 6-17 所示。

表 6-17 考虑南山区人才政策后的城市属性评价表

指标		佛山	珠海	惠州	江门	肇庆	福田	盐田	南山	龙岗
经济环境	人均 GDP	0.26	0.46	0.25	0.18	0.18	0.82	0.83	1.00	0.52
	人均消费	0.57	0.54	0.84	1.00	0.97	0.35	0.54	0.37	0.56
	人均收入	0.66	0.67	0.44	0.38	0.32	1.00	0.77	0.99	0.67
	金融业发达度	0.12	0.21	0.13	0.15	0.09	1.00	0.35	0.20	0.14
	IT 业发达度	0.04	0.06	0.33	0.21	0.02	0.16	0.56	1.00	0.65
基础设施	高校数量	0.25	0.83	0.33	0.33	0.50	0.00	0.00	1.865	0.83

	人均绿化面积	0.49	0.74	0.67	0.66	1.00	0.84	0.47	0.64	0.67
人口流入阻碍	工资涨幅	0.83	0.71	0.94	0.74	0.84	0.38	1.00	1.00	0.40
	就业率	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
人才吸引水平	人均教育投入（元）	0.49	1.00	0.62	0.41	0.40	0.66	0.99	0.87	0.62
	人均医疗投入（元）	0.48	0.78	0.98	0.36	0.44	0.56	0.88	1.00	0.52
	人均科技投入（元）	0.10	0.46	0.10	0.04	0.02	0.92	1.00	0.87	0.21

6.4.3 人才不同阶段的动态需求

对于人才不同阶段的动态需求，我们根据年龄层来划分，通过 20 岁以上不同年龄段的人才对城市属性各指标的需求，调整城市属性各指标的权重 α_i 。假设需求程度 $\alpha_i \in [0.5, 1.5]$ ，如果 $\alpha_i = 0.5$ ，那么认为人们对这个指标的需求较低；如果 $\alpha_i = 1.0$ ，那么认为人们对这个指标有一定的需求；如果 $\alpha_i = 1.5$ ，那么认为人们对这个指标有极高的需求。我们考虑人才吸引水平的两个方面——人均教育投入和人均医疗投入，高校数量、工资涨幅、就业率以及人均收入等 6 个指标会随着年龄阶段的变化，人们的需求也会随之改变；对于其他指标，我们假设人们对其给予一定的重视，即 $\alpha_i = 1.0$ 。

(1) 人均教育投入及高校数量

人们对教育的需求分为两个方面，一个是对自身教育的需求，一个是对子女教育的需求。我们假定每个人对于自身的教育需求是相同的；对于子女教育的需求，我们认为其在子女受教育阶段达到最高值，在子女完成教育阶段之后，人们会逐渐减少对教育的关注度。

我们选取正态分布曲线对人们的教育需求进行描述。

$$f(t) = \frac{20}{8\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-30)^2}{128}} + 0.5 \quad (\text{式 6-15})$$

那么人才教育需求曲线如下图所示。

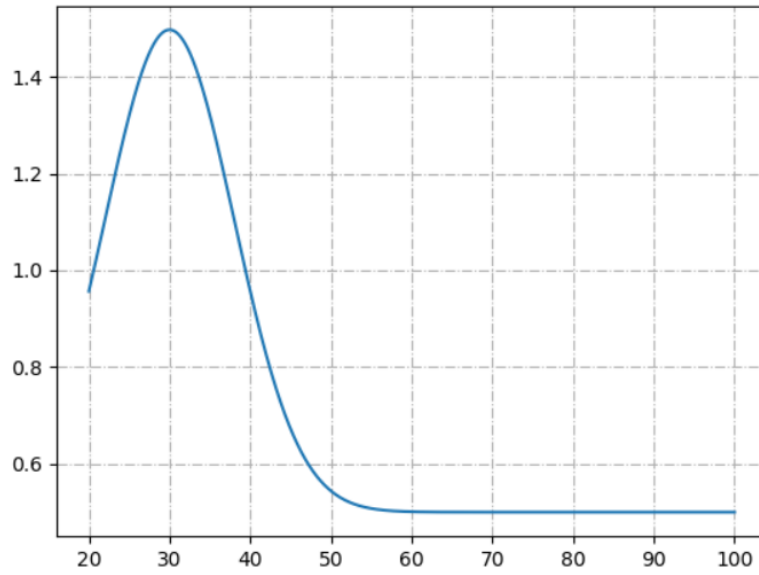


图 6-10 人才教育需求曲线

从图中可知，在 20 岁至 45 岁之间，人们对于教育的关注度较高；在 30 岁左右，即子女开始上学之后，人们会十分重视教育的投入和教育资源；在 40 岁之后，子女基本完成了教育阶段，人们对教育资源的关注度逐渐下降。

(2) 人均医疗投入

在人均医疗投入方面，政府的人均医疗投入越高，医疗水平和医疗条件越好。根据文献[14]的分析，青年因为自身身体素质较好，对医疗水平的关注远不及中老年人群；随着年龄的增长，患病几率增加，对医疗条件的要求也在增加。因此，我们假设人才对医疗水平的需求为 logistic 函数，logistic 函数的表达式如下：

$$P(t) = \frac{KP_0 e^{rt}}{K + P_0(e^{rt} - 1)} \quad (\text{式 6-16})$$

式中 P_0 为初始值， K 为终值， r 衡量曲线变化快慢。这里我们取

$$P(t) = \frac{0.01e^{0.17(t-25)}}{1+0.01[e^{0.17(t-25)}-1]} + 0.5 \quad (\text{式 6-17})$$

人才医疗需求曲线如下图所示。

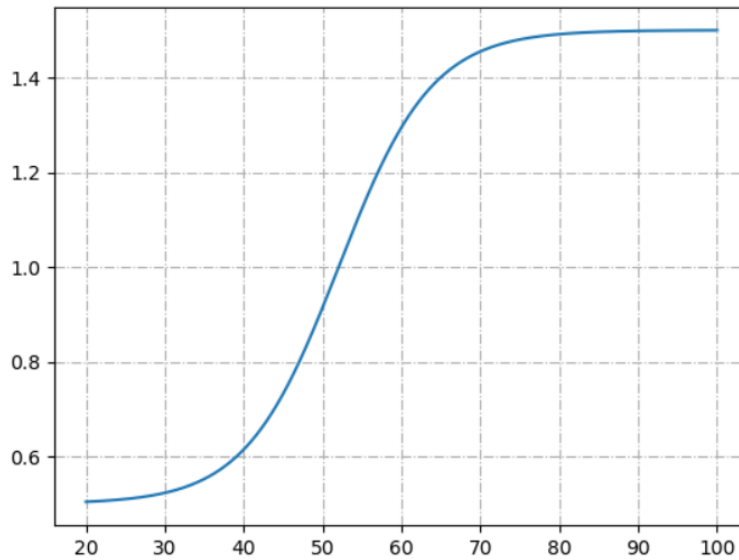


图 6-11 人才医疗需求曲线

从图中可知，对于 20 岁到 30 岁的青年来说，他们的关注度并不会在医疗条件上；而随着年龄的增长，人们会愈来愈关注医疗水平，40 岁至 50 岁的时候需求会急剧上升；到了 70 岁左右，身体机能逐渐退化，人们也会医疗资源提出更高的要求。

（3）工资涨幅、就业率以及人均收入

对于工资涨幅、就业率以及人均收入，我们认为刚刚进入社会的青年对它们的关注度较高，而随着年龄的增长，对这些指标的需求会逐渐下降。因此，我们取

$$Q(t) = \frac{-0.01e^{0.17(t-25)}}{1+0.01[e^{0.17(t-25)}-1]} + 1.5 \quad (\text{式 6-18})$$

由此得到的工资涨幅、就业率以及人均收入相关的人才发展需求曲线如下图所示。

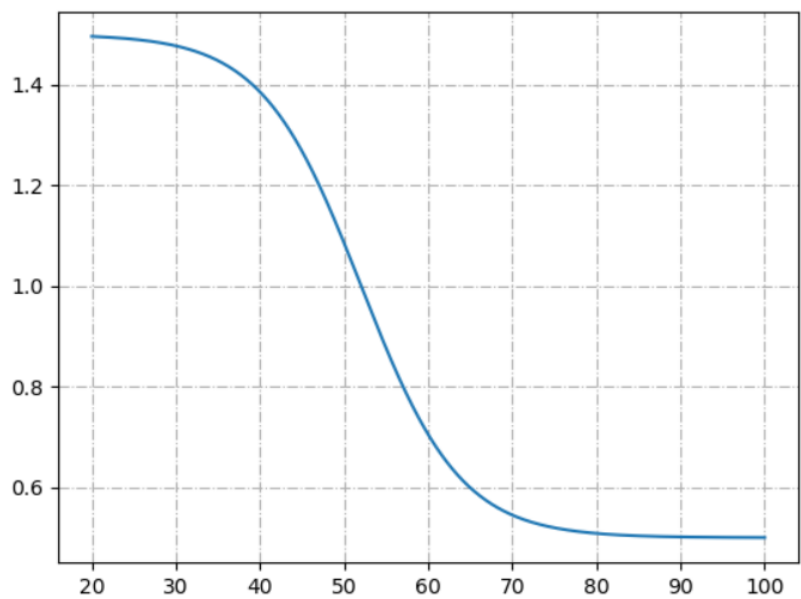


图 6-12 人才发展需求曲线

6.4.4 问题三求解

(1) 地区青年人才吸引力评价

25 岁为硕士研究生基本的毕业年龄，我们选取了 25 岁为一个年龄点，考虑青年人才需求，可以得到各地区的节点质量如表 6-18 所示。根据表 6-18 中的节点质量，可以编程求得地区对青年人才吸引力的评价，结果如下图所示。

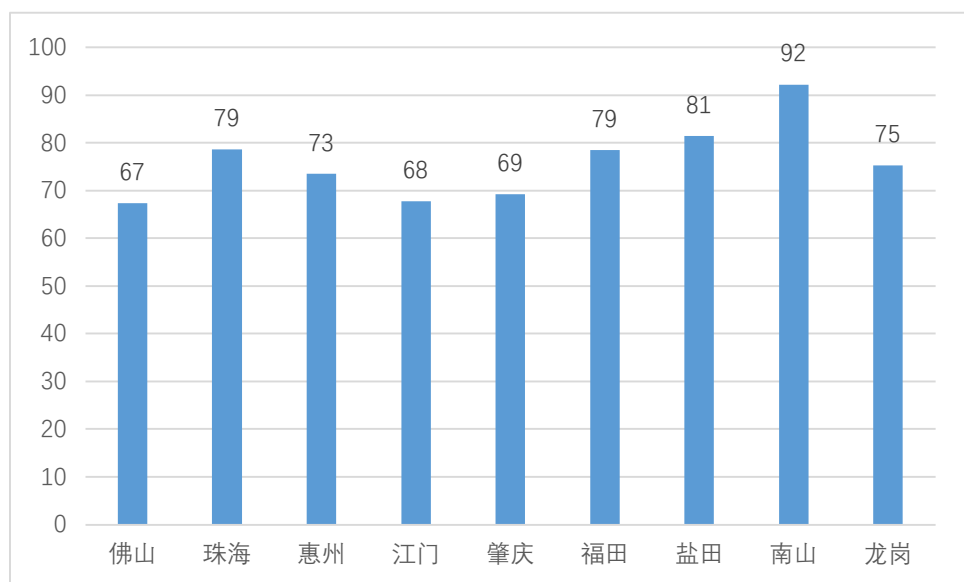


图 6-13 地区青年人才吸引力评价

表 6-18 考虑青年人才需求的地区节点质量

指标		权重	佛山	珠海	惠州	江门	肇庆	福田	盐田	南山	龙岗
经济环境	人均 GDP	1.00	0.26	0.46	0.25	0.18	0.18	0.82	0.83	1.00	0.52
	人均消费	1.00	0.57	0.54	0.84	1.00	0.97	0.35	0.54	0.37	0.56
	人均收入	1.49	0.66	0.67	0.44	0.38	0.32	1.00	0.77	0.99	0.67
	金融业发达度	1.00	0.12	0.21	0.13	0.15	0.09	1.00	0.35	0.20	0.14
	IT 业发达度	1.00	0.04	0.06	0.33	0.21	0.02	0.16	0.56	1.00	0.65
基础设施	高校数量	1.00	0.25	0.83	0.33	0.33	0.50	0.00	0.00	1.87	0.83
	人均绿化面积	1.00	0.49	0.74	0.67	0.66	1.00	0.84	0.47	0.64	0.67
人口流入阻碍	工资涨幅	1.49	0.83	0.71	0.94	0.74	0.84	0.38	1.00	1.00	0.40
	就业率	1.49	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
	人均教育投入（元）	1.32	0.49	1.00	0.62	0.41	0.40	0.66	0.99	0.87	0.62
人才吸引水平	人均医疗投入（元）	0.51	0.48	0.78	0.98	0.36	0.44	0.56	0.88	1.00	0.52
	人均科技投入（元）	1.00	0.10	0.46	0.10	0.04	0.02	0.92	1.00	0.87	0.21
m1: 节点固有属性质量			6.40	8.54	7.49	6.45	6.73	8.80	9.62	12.04	7.74
m2: 节点网络拓扑属性质量			0.556	0.778	0.778	0.556	0.556	0.778	0.667	0.556	0.778
节点质量(m = m1+m2)			6.95	9.32	8.27	7.01	7.29	9.57	10.28	12.60	8.52

（2）地区壮年人才吸引力评价

。根据 2016 年的平均育龄年龄，我们选择 30 岁作为另一个年龄节点。在这个年龄左右，因为拥有子女并要开始考虑子女的教育问题，人们对教育的需求随之提高。考虑该阶段的人才需求，可以得到地区节点质量如表 6-19 所示。根据表 6-19 中的节点质量，可以编程求得地区对壮年人才吸引力的评价，结果如下图所示。

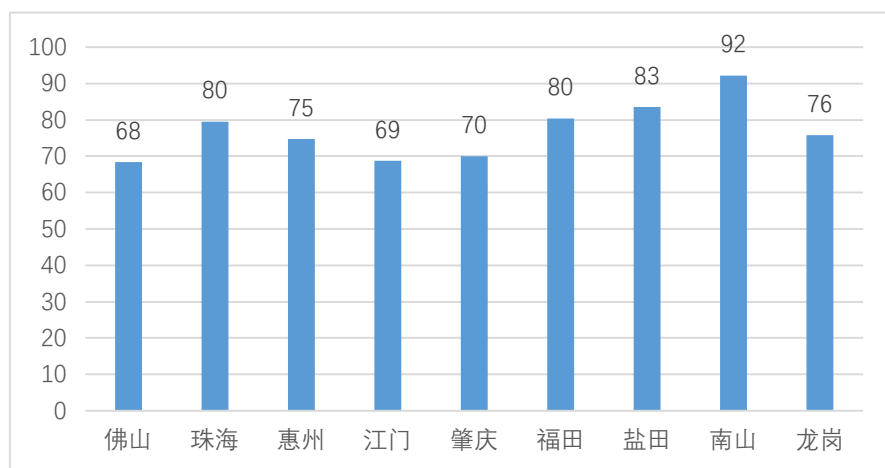


图 6-14 地区壮年人才吸引力评价

（3）地区中老年人才吸引力评价

对于中老年人才来说，他们更多的是关注地区的医疗环境和医疗水平。我们选择 60 岁为年龄节点。考虑该阶段的人才需求，可以得到地区节点质量如表 6-21 所示。根据表 6-16 中的辐射半径以及表 6-21 中的节点质量，可以编程求得地区对中老年人才吸引力的评价，结果如下图所示。

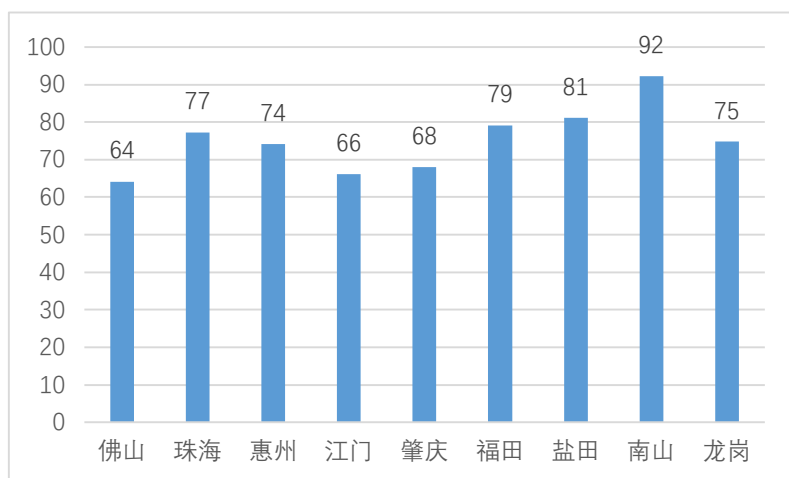


图 6-15 地区中老年人才吸引力评价

表 6-19 考虑壮年人才需求的地区节点质量

指标		权重	佛山	珠海	惠州	江门	肇庆	福田	盐田	南山	龙岗
经济环境	人均 GDP	1.00	0.26	0.46	0.25	0.18	0.18	0.82	0.83	1.00	0.52
	人均消费	1.00	0.57	0.54	0.84	1.00	0.97	0.35	0.54	0.37	0.56
	人均收入	1.48	0.66	0.67	0.44	0.38	0.32	1.00	0.77	0.99	0.67
	金融业发达度	1.00	0.12	0.21	0.13	0.15	0.09	1.00	0.35	0.20	0.14
	IT 业发达度	1.00	0.04	0.06	0.33	0.21	0.02	0.16	0.56	1.00	0.65
基础设施	高校数量	1.00	0.25	0.83	0.33	0.33	0.50	0.00	0.00	1.87	0.83
	人均绿化面积	1.00	0.49	0.74	0.67	0.66	1.00	0.84	0.47	0.64	0.67
人口流入阻碍	工资涨幅	1.48	0.83	0.71	0.94	0.74	0.84	0.38	1.00	1.00	0.40
	就业率	1.48	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
	人均教育投入（元）	1.50	0.49	1.00	0.62	0.41	0.40	0.66	0.99	0.87	0.62
人才吸引水平	人均医疗投入（元）	0.52	0.48	0.78	0.98	0.36	0.44	0.56	0.88	1.00	0.52
	人均科技投入（元）	1.00	0.10	0.46	0.10	0.04	0.02	0.92	1.00	0.87	0.21
m1: 节点固有属性质量			6.47	8.71	7.59	6.51	6.79	8.90	9.77	12.18	7.83
m2: 节点网络拓扑属性质量			0.556	0.778	0.778	0.556	0.556	0.778	0.667	0.556	0.778
节点质量(m = m1+m2)			7.02	9.48	8.37	7.07	7.34	9.67	10.44	12.73	8.61

表 6-20 考虑壮年人才需求的地区节点质量

指标		权重	佛山	珠海	惠州	江门	肇庆	福田	盐田	南山	龙岗
经济环境	人均 GDP	1.00	0.26	0.46	0.25	0.18	0.18	0.82	0.83	1.00	0.52
	人均消费	1.00	0.57	0.54	0.84	1.00	0.97	0.35	0.54	0.37	0.56
	人均收入	0.71	0.66	0.67	0.44	0.38	0.32	1.00	0.77	0.99	0.67
	金融业发达度	1.00	0.12	0.21	0.13	0.15	0.09	1.00	0.35	0.20	0.14
	IT 业发达度	1.00	0.04	0.06	0.33	0.21	0.02	0.16	0.56	1.00	0.65
基础设施	高校数量	1.00	0.25	0.83	0.33	0.33	0.50	0.00	0.00	1.87	0.83
	人均绿化面积	1.00	0.49	0.74	0.67	0.66	1.00	0.84	0.47	0.64	0.67
人口流入阻碍	工资涨幅	0.71	0.83	0.71	0.94	0.74	0.84	0.38	1.00	1.00	0.40
	就业率	0.71	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
	人均教育投入（元）	0.50	0.49	1.00	0.62	0.41	0.40	0.66	0.99	0.87	0.62
人才吸引水平	人均医疗投入（元）	1.29	0.48	0.78	0.98	0.36	0.44	0.56	0.88	1.00	0.52
	人均科技投入（元）	1.00	0.10	0.46	0.10	0.04	0.02	0.92	1.00	0.87	0.21
m1: 节点固有属性质量			4.45	6.48	5.90	4.75	5.07	6.84	7.34	9.78	6.02
m2: 节点网络拓扑属性质量			0.556	0.778	0.778	0.556	0.556	0.778	0.667	0.556	0.778
节点质量(m = m1+m2)			5.01	7.26	6.68	5.31	5.62	7.62	8.01	10.34	6.80

6.4.5 结果分析

综合来看，考虑南山区的经济技术发展特点和相关人才政策，同时考虑人才在各个发展阶段的动态需求，对于青年人才、壮年人才以及中老年人才，深圳南山区的人才吸引力均名列前茅。

- (1) 对于青年人才来说，他们对人才收入、工资涨幅及就业率的关注最高，南山区在这三项指标上的排名分别为第二、第一和第一名。可以看出，南山区对青年人才十分具有吸引力。
- (2) 对于壮年人才来说，人均教育投入是和其子女紧密相关的因素。南山区排名第三。可见未来南山区还需加强基础教育质量及高等教育水平，培养更多的本土人才，做好人才储备。
- (3) 对于中老年人才来说，南山区在人均医疗投入上极具优势。2018 年深圳规模最大的高端医疗机构落户南山区，这也将继续巩固和扩大南山区的医疗水平优势。
- (4) 另外，我们还发现，南山区的金融行业产值占比评分较低，但与其他地区相比，南山区的金融产值是很高的。我们分析认为这一“金融业发达程度评分较低”的原因与南山区综合实力较强有关。例如对于盐田区来说，虽然金融业产值达到 12%，但其余产业实力不够突出，造成了金融业十分发达的评分结果。而南山区从产值构成上看，金融业、信息行业等均实力较强，金融业产值占比的优势相对来说不够明显。

7 模型评价

本文提出的模型具有综合性和动态性两个特点，不仅考虑了城市之间的影响，而且随着年度数据的增加，网络关系系数也会随之调整，网络的动态性可以帮助分析最新的城市人才吸引力水平。

现代城市的经济发展日趋多样化，产业类型和产业结构日趋丰富，城际交通的迅猛发展使得城市间在各个方面的合作与竞争关系日趋紧密，某一城市的人才吸引力已不再单单取决于该城市的发展状态，而是与其所在的城市网络中的各种因素都息息相关。因此，本文在第一题与第三题分析城市人才吸引力时采用了更能反映上述因素的网络模型。在该模型中，不仅考虑了城市自身的因素对人才的吸引力（反映在节点质量），同时考虑了城市在网络中对整个城市网及其他城市对该城市的人才吸引力影响程度（反映在辐射半径），并通过影响因子等方法将二者所占比重控制在一个合理的程度，从而得到更加完善，更加符合实际情况的评价模型。

对于问题一中深圳“加大营商环境改革力度若干措施”对人才吸引力水平的影响，本文采用分析对比其他省市类似政策颁布前后对该地区人才吸引力涨幅的影响，得出“措施”中对人才引力有突出影响的因素及其影响程度，并结合深圳市现状给出“措施”将对深圳市人才吸引力产生的量化影响。由于各地发展的具体状况各不相同，颁布的类似政策也都与深圳市的“措施”有所出入，且各地政策的执行力度与深圳市之间存在必然差异，该问题最终的量化结果不可避免地会存在一定的误差，但通过本文中大量数据的分类处理和分析类比，仍能得到不失一般性的结论。

本文在问题二的求解中采用多元线性回归模型对深圳市人才按行业进行分类，并根据每种行业人才历年增长情况得出深圳市的分行业人才吸引力，进而通过分析各行业人才对城市发展要素的偏好，以及各大城市每类要素的发展程度对比，得出各大城市对不同行业人才的吸引力。该模型具有时间动态，若输入按年份增减，将重新解算出数据截止年的人才吸引力，因此可作为城市人才吸引力的预测模型。

问题三的解答依赖于本文问题一中创建的城市人才吸引力网络模型，并按照题设要求进一步优化，选取深圳市包括南山区在内的地级行政单位及珠三角地区几个同等城市进行分析。为分析不同发展阶段人才吸引力，本文建立了人才随年龄增长的城市发展要素重视程度关系曲线，该关系曲线包含人才对教育、薪资、医疗等几个重点要素关注度随年龄变化的分布曲线，通过该关系调整网络模型中的城市要素比重，可以很好地反映南山区对各阶段人才的吸引力。该模型的一大优势在于，由于关注度曲线具有连续性，模型可解算对于任意发展阶段的人才吸引力。

通过对比本文模型所得结果及各地相关政策、新闻，可以看出本文各题结论符合实际，模型基本合理。但是，本文模型在建立过程中仍存在一些缺憾，主要原因来自于数据的不完整性和非即时性。本文数据基本来自于各城市统计年鉴和政府机关公示文件，由于各地年鉴编制存在差异，导致很多因素会在某些地区缺失，使得我们不得不在模型中放弃一些因素，这些因素的缺少一定程度上会导致结果的误差；另外，由于各地区年鉴编写在时间上都有不同程度的滞后，使得我们无法得到最新的数据，尤其是 2017 年的数据，大部分地区都尚未完成更新，而本文模型大都具有时间动态，故无法得到最新的动态结果。此外，一些统计年鉴之外的数据获取难度更大，如在问题二中，最初我们试图通过不同的分类标准来界定“不同的人才类别”，如按职称划分、按劳动方式划分以及按行业划分等，进而从多个维度对深圳市人才吸引力进行评价，以便给出更加精准的发展建议，但由于按照其他分类方式无法找到相对完整的数据，最后我们只选择了基于行业的分类方式。

8 研究展望

通过本文对深圳市人才吸引力的各方面的评价结果可以看出，深圳市在全国各大城市中具有巨大的人才吸引力优势，但同时也存在着一定的不足，特别是人均消费过高、高校数量过少等问题亟待解决。从图 6.2 和图 6.3 可以看出，珠三角地区的城市间关系尚未发展到和谐统一的程度，大都存在或多或少的竞争关系，而长三角地区城市间的相互促进和依赖则相当明显，故而深圳市虽然已经跻身超一线城市，但仍然面临着来自周边城市的压力和挑战。怎样更快地吸引更加优质的人才，在珠三角城市群协同发展，带动粤港澳大湾区发展的同时成为“领头羊”，是深圳必须思考并解决的问题。

9 参考文献

- [1] 李健飞. 我国不同地区科技人才吸引力评价研究[D]. 中国海洋大学, 2011.
- [2] 刘妍. 西安地区科技人才吸引力评价研究[D]. 西北大学, 2014.
- [3] 马歇尔, 经济学原理[M], 北京: 商务印书馆, 1983:74-77
- [4] 吕康娟, 王娟. 长三角城市群网络化发展研究[J]. 中国软学, 2011 (08) :130-140.
- [5] 邹凯, 包明林. 基于灰色关联理论和 BP 神经网络的智慧城市发展潜力评价. [J]科技
进步与对策, 2015 Vol32. No. 17
- [6] 邓中华. 社会网络、引文网络和链接网络之比较[J]. 图书馆杂志, 2008(9), 6-
10.
- [7] 成清. 社会网络的节点重要性评估与社区发现研究[D]. 国防科学技术大学,
2011.
- [8] 司光亚. 战争复杂系统仿真分析与实验[M]. 国防大学出版社, 2008.
- [9] 戴晓军, 淦文燕, 李德毅. 基于数据场的图像数据挖掘研究[J]. 计算机工程与应
用, 2004, 40(26):41-43.
- [10] 吕辉军. 基于数据场的人脸识别研究[D]. 硕士学位论文, 解放军理工大学, 2002.
- [11] 苏键, 陈军. 主成分分析法及其应用(A). 轻工科技. 2012, 9:12~13
- [12] 万星辰, 施杨, 秦燕. 城市人才吸引力评价指标体系的设计思路[J]. 产业与科
技论坛, 2013, 12(10):253-254.
- [13] 金煜, 陈钊, 陆铭. 中国的地区工业集聚: 经济地理、新经济地理与经济政策[J].
经济研究, 2006(4):79-89
- [14] 王俊, 昌忠泽, 刘宏. 中国居民卫生医疗需求行为研究[J]. 经济研究,
2008(7):105-117.

10 附录

10.1 珠三角人才吸引网络 2009-2016 每万劳动力中研发人员数

深圳			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	202684	926.3800	218.79
2015	174953	906.1400	193.08
2014	176345	899.6600	196.01
2013	187045	899.2400	208.00
2012	196202	771.2000	254.41
2011	155912	764.5400	203.93
2010	160148	758.1400	211.24
2009	128208	692.4900	185.14
广州			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	79618	835.2580	95.32

2015	79930	810.9881	98.56
2014	80195	784.8358	102.18
2013	66165	759.9295	87.07
2012	64394	751.2997	85.71
2011	58905	743.1755	79.26
2010	47296	711.0695	66.51
2009	41275	679.1495	60.77
佛山			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	82707	438.8100	188.48
2015	80636	438.4100	183.93
2014	73232	438.0800	167.17
2013	64336	437.2900	147.12
2012	57807	437.2500	132.21
2011	56900	445.1300	127.83
2010	56200	443.4600	126.73
2009	53100	424.3800	125.12
备注	1、没有找到 R&D 人数，用信息传输、计算机服务和软件业以及科学研究、技术服务业人员之和代替		

珠海			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	141143	109.5471	1288.42
2015	135644	108.9215	1245.34
2014	131945	108.7935	1212.80
2013	129033	106.3208	1213.62
2012	126884	104.9253	1209.28
2011	122682	104.0886	1178.63
2010	116682	103.0205	1132.61
2009	110576	98.1331	1126.80
惠州			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	34926	285.5700	122.30
2015	22757	281.5100	80.84
2014	20010	280.6100	71.31
2013	18678	277.2700	67.36
2012	19055	270.0400	70.56

2011	13885	267. 9700	51. 82
2010	9460	260. 1400	36. 37
2009	8601	252. 1600	34. 11
江门			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	20131	244. 0700	82. 48
2015	20204	242. 9200	83. 17
2014	19824	243. 2400	81. 50
2013	17494	244. 3000	71. 61
2012	16688	248. 3400	67. 20
2011	15775	253. 0286	62. 34
2010	14187	249. 5463	56. 85
2009	9248	243. 1084	38. 04
备注	1、没有找到 R&D 人数，用信息传输、计算机服务和软件业以及科学研究、技术服务业人员之和代替		
肇庆			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数

年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	13140	220.3100	59.64
2015	12605	218.4400	57.70
2014	11200	217.7900	51.43
2013	10568	216.2200	48.88
2012	10267	215.5500	47.63
2011	7570	215.1300	35.19
2010	6282	213.0500	29.49
2009	4235	235.8200	17.96
香港			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	29047	392.0100	74.10
2015	28165	390.3200	72.16
2014	27378	387.1100	70.72
2013	26045	385.5100	67.56
2012	25264	378.2200	66.80
2011	24460	370.3100	66.05
2010	24060	365.3700	65.85

2009	23281	367.6600	63.32
澳门			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2016	16800	39.7200	422.96
2015	18900	40.3800	468.05
2014	19500	39.4700	494.05
2013	15000	37.6000	398.94
2012	13400	35.0600	382.20
2011	12000	33.6300	356.82
2010	11100	31.9600	347.31
2009	11100	31.3200	354.41
备注	1、没有找到 R&D 人数，用专业人员数量代替代替		

10.2 长三角人才吸引网络 2010-2015 每万劳动力中研发人员数

上海			
年份	科技活动人员	社会从业人员（万人）	每万劳动力中研发人员数
2010	334600	1090.7600	306.76
2011	375300	1104.3300	339.84
2012	389100	1115.5000	348.81
2013	431600	1368.9100	315.29
2014	451000	1365.6300	330.25
2015	448100	1361.5100	329.12
南京			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	科技活动人员	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2010	59925	457.7500	130.91
2011	67664	468.3400	144.48
2012	80343	478.0000	168.08
2013	79799	481.2000	165.83
2014	82791	488.9000	169.34
2015	76847	491.1000	156.48
杭州			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数

年份	科技活动人员	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2010		626.3300	93.85
2011	74089	637.7700	116.17
2012	78275	644.4300	121.46
2013	81617	650.5100	125.47
2014	90193	654.9200	137.72
2015	94323	663.0300	142.26
南通			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	科技活动人员	社会从业人员（万人）	每万劳动力中研发人员数
2010	16037	474.0000	33.83
2011	20004	473.0000	42.29
2012	22211	468.9000	47.37
2013	24225	467.2000	51.85
2014	24438	462.0000	52.90
2015	25098	460.0000	54.56
苏州			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	科技活动人员	社会从业人员（万人）	每万劳动力中研发人员数
2010	60262	687.5000	87.65
2011	71587	691.0000	103.60

2012	91807	694. 3000	132. 23
2013	100181	695. 2000	144. 10
2014	137151	693. 4000	197. 79
2015	138976	691. 4000	201. 01
常州			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	科技活动人员	社会从业人员（万人）	每万劳动力中研发人员数
2010	1338	272. 0000	4. 92
2011	1496	277. 7200	5. 39
2012	1208	280. 9900	4. 30
2013	1606	280. 9000	5. 72
2014	1562	281. 0000	5. 56
2015	1254	281. 0000	4. 46
镇江			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	科技活动人员	社会从业人员（万人）	每万劳动力中研发人员数
2010	17984	189. 3000	95. 00
2011	20601	190. 2600	108. 28
2012	25091	191. 5500	130. 99
2013	26581	192. 1000	138. 37
2014	32516	192. 7000	168. 74
2015	37680	193. 0700	195. 16

10.3 各城市 2010-2016 每万劳动力中研发人员增长量

深圳				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	160148	758.14	211.2380299	-7.308869898
2011	155912	764.54	203.92916	
2012	196202	771.2	254.4113071	50.48214704
2013	187045	899.24	208.0034251	-46.40788194
2014	176345	899.66	196.0129382	-11.99048689
2015	174953	906.14	193.0750215	-2.937916701
2016	202684	926.38	218.7914247	25.71640317
广州				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	47296	711.0695	66.5138921	12.7473322
2011	58905	743.1755	79.2612243	
2012	64394	751.2997	85.71013671	6.448912413
2013	66165	759.9295	87.06728716	1.357150449
2014	80195	784.8358	102.180609	15.11332183
2015	79930	810.9881	98.5587828	-3.62182619
2016	79618	835.258	95.32144559	-3.237337209
厦门				

年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	49983	214.38	233.1514134	22.81101299
2011	64308	251.24	255.9624264	
2012	70343	276.38	254.5155221	-1.446904258
2013	68713	278.18	247.0091308	-7.506391329
2014	68319	285.61	239.2038094	-7.805321388
2015	65482	302.5629	216.4244195	-22.77938987
2016	51520	319.5158	161.2439823	-55.18043722
杭州				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	94696	626.33	93.85	22.3188383
2011	74089	637.77	116.1688383	
2012	78275	644.43	121.4639294	5.295091068
2013	81617	650.51	125.4661727	4.002243331
2014	90193	654.92	137.7160569	12.24988423
2015	94323	663.03	142.2605312	4.544474275
2016	51520	319.5158	161.2439823	18.9834511
苏州				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	60262	687.5	87.65381818	15.94531351

2011	71587	691	103.5991317	
2012	91807	694.3	132.2295838	28.63045206
2013	100181	695.2	144.103855	11.87427125
2014	137151	693.4	197.7949236	53.69106856
2015	138976	691.4	201.0066532	3.211729602
2016	155163	691.3	224.4510343	23.44438112
天津				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	96736	1096.78	88.20000365	7.91114096
2011	111586	1161.01	96.11114461	
2012	126436	1214.46	104.108822	7.997677421
2013	143667	1268.21	113.283289	9.174467017
2014	164076	1307.61	125.4777801	12.19449103
2015	177725	1330.98	133.5294294	8.051649371
2016	177165	1338.69	132.3420658	-1.187363692
南京				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	59925	457.75	130.9120699	13.56416531
2011	67664	468.34	144.4762352	
2012	80343	478	168.08159	23.60535474
2013	79799	481.2	165.8333333	-2.248256625

2014	82791	488.9	169.3413786	3.508045272
2015	76847	491.1	156.4793321	-12.86204649
2016	76387	493.2	154.8803731	-1.598959038
武汉				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	42318	483	87.61490683	1.228466662
2011	44244	498	88.84337349	
2012	46170	506.4	91.17298578	2.329612288
2013	49323	522.24	94.44508272	3.272096939
2014	51778	530.44	97.61330216	3.168219444
2015	38040	544.92	69.80841224	-27.80488992
2016	35159	550.37	63.88247906	-5.925933184
西安				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	128559	477.58	269.1884082	28.82969698
2011	147814	495.99	298.0181052	
2012	162232	514.57	315.2768331	17.25872788
2013	161004	530.71	303.3747244	-11.90210866
2014	173320	532.92	325.227051	21.85232654
2015	160629	528.06	304.1870242	-21.04002676
2016	98974	539.18	183.5639304	-120.6230938

成都				
年份	研发人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数（人）	每万劳动力中研发人员数增长（人）
2010	12109	752.7799	16.08571111	0.208314967
2011	12598	773.1668	16.29402608	
2012	12986	793.7488	16.36033969	0.066313619
2013	13563	821.1913	16.51624902	0.155909321
2014	12956	820.6783	15.78694112	-0.729307896
2015	12674	826.4127	15.33616315	-0.450777965
2016	12674	894.38	14.17071044	-1.165452718

10.4 各城市 2010-2016 初选指标数据（一）

指标		人均 GDP	人均收入（元）	第三产业占比	FDI（万美元）	第二产业占比	人均消费	金融业发达度	IT 业发达度
成都	2010	48311.50409	20835	0.501742826	90200	0.446901914	15511	0.078770313	0.04
成都	2011	59749.84527	23932	0.500594195	119700	0.452310455	17795	0.091854205	0.038
成都	2012	69364.98061	27194	0.494563174	161527	0.462667129	19054	0.090993422	0.037
成都	2013	76675.64542	29968	0.502166541	212000	0.459050894	20362	0.09805917	0.035
成都	2014	83061.5161	32665	0.516177949	214152	0.44831598	21711	0.106577876	0.036
成都	2015	99102.07239	33476	0.468727378	150491	0.388118384	21825	0.103057214	0.037
成都	2016	77210.15347	35902	0.601166912	183173	0.481614012	23514	0.131059997	0.037
广州	2010	87458	30658.49	0.610093037	497384	0.372363276	25011.61	0.06238444	0.040313472
广州	2011	97588	34438.08	0.6151212	674734	0.368414599	28209.74	0.068864314	0.03882846
广州	2012	105909	38053.52	0.635869164	680188	0.348356448	30490.44	0.071674264	0.038311332
广州	2013	120294	42049.14	0.645191573	711428	0.340066247	33156.83	0.073685965	0.03481191
广州	2014	128478	42954.6	0.652258805	803975	0.334650815	33384.74	0.085123751	0.029873186
广州	2015	136188	46734.6	0.671116952	836335	0.316350688	35752.5	0.089981833	0.032246379
广州	2016	141933	50940.7	0.693521255	990123	0.294237712	38398.2	0.092562817	0.041000833
杭州	2010	70024	30035	0.492395692	435627	0.472668922	20219	0.101584981	0.053246222
杭州	2011	80689	34065	0.500191466	472230	0.46616331	22642	0.105767994	0.055791075
杭州	2012	89323	37511	0.520624279	496061	0.446809321	22800	0.10092642	0.061947758
杭州	2013	95190	40925	0.543274	527633	0.425578169	30659	0.104699567	0.071416863

杭州	2014	103813	44632	0.552481851	633460	0.417717537	32165	0.09575913	0.103652234
杭州	2015	112230	48316	0.582400768	711253	0.388948163	33818	0.093677027	0.127186842
杭州	2016	124286	52185	0.60886993	720915	0.364241811	35686	0.086798887	0.153067077
南京	2010	81298	28312	0.390829622	281601	0.453716391	18156	0.08165632	0.010799133
南京	2011	96872	32200	0.388984171	356440	0.449244328	20763	0.089878481	0.018505934
南京	2012	112980	36322	0.381647335	413031	0.440290103	23493	0.09328938	0.025949355
南京	2013	126099	39881	0.37098417	403262	0.42850619	24129	0.104725001	0.02668922
南京	2014	136564	42568	0.353611654	329074	0.410790466	25855	0.110966755	0.025855976
南京	2015	149307	46104	0.349278915	333459	0.402927957	27794	0.115446616	0.022038902
南京	2016	159597	49997	0.341018107	347937	0.392012964	29772	0.118228852	0.023055873
厦门	2010	114318	29253.14	0.491488654	169653	0.497319368	19960.67	0.070818822	0.024203114
厦门	2011	137064	33565.31	0.479454326	172566	0.510827022	22314.31	0.075047773	0.023812344
厦门	2012	147453	37576.05	0.506547738	159453	0.484464672	24921.64	0.080881635	0.023240758
厦门	2013	155088	41360.4	0.524713129	185608	0.467750536	26864.07	0.084559378	0.022242789
厦门	2014	163587	39625.09	0.546651076	197101	0.446099209	27402.76	0.094101095	0.027606558
厦门	2015	167204	42606.62	0.557070789	209373	0.4360252	28928.54	0.107150985	0.034706982
厦门	2016	175321	46253.74	0.585711861	222401	0.408161455	30866.75	0.108120089	0.038271198
深圳	2010	96184	32381	0.536802398	42.97	0.462535902	22806.54	0.134761602	0.042542431
深圳	2011	110520	36505	0.535800184	45.99	0.463630679	24080.03	0.135893605	0.044368255
深圳	2012	123451	40742	0.558146753	52.29	0.441367427	26727.68	0.132318494	0.049983968
深圳	2013	137632	44653	0.568194657	54.68	0.431407647	28812.44	0.13388109	0.054969546

深圳	2014	149495	40948	0.573948507	58.05	0.42570292	28852.77	0.137167285	0.057371803
深圳	2015	157985	44633	0.587805473	64.97	0.411814669	32359.2	0.142923569	0.062417507
深圳	2016	167411	48695	0.600482916	67.32	0.399149124	36480.61	0.144194573	0.070789603
苏州	2010	93043	29219	0.415466182	853511	0.569277412	17897	0.052797134	0.019701135
苏州	2011	102129	33243	0.429058906	891222	0.55591542	21046	0.059089353	0.019549332
苏州	2012	114029	37531	0.443974808	916490	0.541328627	23092	0.068231259	0.019193033
苏州	2013	123209	41143	0.465944974	869805	0.519204499	25197	0.074959472	0.020768764
苏州	2014	129925	46677	0.484265916	811978	0.500910915	28972.8	0.074232844	0.020505941
苏州	2015	136702	50390	0.499393618	701920	0.485734004	31136	0.081386121	0.022393025
苏州	2016	145556	54341	0.515397326	600300	0.470269317	33305.28	0.08618819	0.025260596
天津	2010	74078	24293	0.456798936	1084872	0.527643722	16562	0.061232319	0.016472102
天津	2011	86518	26921	0.458325203	1305602	0.527762292	18424	0.066679326	0.014990871
天津	2012	94741	29626	0.466119335	1501633	0.520792289	20024	0.076393862	0.013470502
天津	2013	101824	28980	0.479438309	1682897	0.507834613	22306	0.084133087	0.013351995
天津	2014	107078	31506	0.491755286	1886676	0.495753291	24290	0.088875947	0.013778059
天津	2015	109916	24101	0.517342465	2113444	0.470255721	26230	0.095215782	0.015930172
天津	2016	115053	37110	0.564361191	1010045	0.423325966	28345	0.100281291	0.021163643
武汉	2010	58961	20806.32	0.514392024	329265	0.455057825	14490.07	0.063254479	0.02676462
武汉	2011	68315	23738.09	0.489408772	376015	0.481207299	17140.96	0.058886161	0.024215492
武汉	2012	79482	27061	0.480151977	444424	0.482214742	18813.14	0.066232124	0.021747116
武汉	2013	89000	29821.22	0.477247944	525011	0.485696482	20157.32	0.067097766	0.019591726

武汉	2014	98000	33270.39	0.489971677	619858	0.475263867	22002.22	0.069474293	0.020074522
武汉	2015	104132	36436	0.51021952	734303	0.456787339	23943.05	0.076794491	0.020810409
武汉	2016	111469	39737	0.5284266	852255	0.438782937	26535	0.081788961	0.021133908
西安	2010	38357	22244	0.538188513	156653	0.418621217	16543.21	0.069821084	0.052667244
西安	2011	45561	25981	0.546144027	200522	0.409115106	19305.83	0.066299899	0.057492041
西安	2012	51499	29982	0.550189215	247800	0.405302573	26524	0.070909575	0.066125767
西安	2013	57464	33100	0.553444996	312994	0.405854249	23848	0.087210684	0.071868986
西安	2014	63794	30715	0.561353011	370310	0.399585627	20892.89	0.097221008	0.070931974
西安	2015	66938	33188	0.595516445	400833	0.366525891	22414.8	0.113579949	0.070692564
西安	2016	71647	35630	0.612843307	450466	0.350228009	23798.9	0.115293706	0.073070631

10.5 各城市 2010-2016 初选指标数据（二）

指标		高校数量	城镇化率	人均公路	人均城市道路	技校	人均绿化面积	工资涨幅
成都	2010	50	0.6551	18.13901677	14.89	95	14.70928664	0.118913171
成都	2011	50	0.67	18.07905233	14.98	92	14.88377691	0.109650991
成都	2012	52	0.6844	18.80853965	16.24	90	15.84437721	0.128761702
成都	2013	53	0.694	18.95217973	15.385	86	16.06242477	0.24653986
成都	2014	56	0.704	18.82237309	14.78	84	16.3181195	0.0847326
成都	2015	56	0.7147	18.70607874	14.62	84	17.83477871	0.112207581
成都	2016	56	0.7062	18.61208209	14.51	86	22.21983945	0.066979819
广州	2010	77	0.8378	7.061369001	7.656176239	86	108.4280094	0.102682758
广州	2011	79	0.8413	7.099607843	7.868235294	81	109.5843137	0.046717569
广州	2012	80	0.8502	7.007609686	7.897872871	81	101.5686702	0.105620121
广州	2013	80	0.8527	6.965374261	7.922300956	69	102.2287032	0.095785808
广州	2014	80	0.8543	7.047895723	7.961469363	68	109.5898475	0.066142811
广州	2015	81	0.8553	6.903141226	8.318144447	58	113.2811401	0.087555209
广州	2016	82	0.8606	6.669277602	8.206928472	56	109.7603874	0.108155003
杭州	2010	37	0.735	22.05711632	6.898653355	17	23.91891107	0.115999776
杭州	2011	38	0.739	22.15753917	7.043265775	17	24.91878683	0.150935331
杭州	2012	38	0.743	17.89025222	6.003181095	17	20.60327198	0.115827417
杭州	2013	38	0.749	17.97829037	6.135232926	17	21.03799186	0.079233314

杭州	2014	38	0.751	18.02069276	6.910706253	17	22.52699055	0.10485451
杭州	2015	39	0.753	17.97516079	7.252162342	18	22.69239299	0.088959674
杭州	2016	39	0.768	17.74706138	7.544623422	19	23.98236831	0.106570972
南京	2010	53	0.785	13.42349768	19.35	31	105.9593386	0.132306772
南京	2011	53	0.7973	13.45032124	19.63	27	108.5545868	0.20396532
南京	2012	54	0.8023	13.51410366	20.14	28	110.0968019	0.104015499
南京	2013	53	0.805	13.65079753	21.28	27	114.1979531	0.098950401
南京	2014	59	0.8092	13.81920863	22.17	27	116.3009214	0.096970519
南京	2015	53	0.814	13.72406173	23.06	27	117.6240605	0.113392293
南京	2016	53	0.82	13.55622733	23.36	27	122.1714631	0.1124391
厦门	2010	17	0.8833	5.360168539	8.41011236	3	45.96348315	0.105094231
厦门	2011	17	0.885	5.308476454	9.218836565	4	47.37950139	0.14432529
厦门	2012	17	0.886	5.241389646	9.479564033	3	49.40326975	0.139442058
厦门	2013	17	0.887	5.371849866	9.571045576	3	50.61126005	0.06354948
厦门	2014	17	0.888	5.33648294	9.454068241	3	51.70341207	0.087086496
厦门	2015	16	0.889	5.350777202	10.70725389	3	52.77979275	0.059115085
厦门	2016	16	0.89	5.603392857	10.54336735	3	54.75	0.076167229
深圳	2010	8	1	1.559390667	8.6	13	94.09178558	0.079896411
深圳	2011	9	1	1.545464967	10.1	13	93.2179911	0.092892818
深圳	2012	10	1	1.572899482	10.1	15	92.60102016	0.070126761
深圳	2013	10	1	1.580596299	10.8	15	92.79887853	0.061159126

深圳	2014	10	1	1.527057492	10.8	16	91.66519775	0.160206966
深圳	2015	12	1	1.444541116	10.4	15	87.74376686	0.115387262
深圳	2016	12	1	1.375079776	10	15	84.07762588	0.107646173
苏州	2010	20	0.7006	12.19342441	5.142496582	12	36.6896433	0.131765232
苏州	2011	20	71.31	12.4040043	5.251599532	11	37.48086741	0.133740069
苏州	2012	20	72.31	12.40816752	5.376761999	11	38.77676769	0.11540844
苏州	2013	21	73.15	12.43555446	5.521472393	10	39.31674024	0.065842907
苏州	2014	21	73.95	12.45954357	5.636552244	10	39.789702	0.090204507
苏州	2015	21	74.9	12.4706104	5.754521477	10	40.44649586	0.079679192
苏州	2016	22	75.5	12.40443676	8.803088078	10	39.15040292	0.10484016
天津	2010	55	0.7955	11.41546537	14.89	39	14.79346412	0.171882468
天津	2011	55	0.805	11.19387559	17.05	33	16.04039629	0.065606246
天津	2012	55	0.8155	10.89127127	17.88	33	15.79379401	0.121147502
天津	2013	55	0.820100393	10.67646599	18.74	29	15.75590439	0.101749195
天津	2014	55	0.822805757	10.62097428	16.71	29	16.6843573	0.073775692
天津	2015	55	0.826400336	10.69847119	16.02	29	18.36258444	0.100545532
天津	2016	55	0.829302486	10.73156992	15.39	28	21.16906512	0.0776002
武汉	2010	78	0.647	2.745110062	11.37	49	8.89	0.184988745
武汉	2011	79	0.661	2.834431138	12.27	49	9.59	0.187753721
武汉	2012	79	0.675	5.183003953	14.4	40	10.5	0.028963916
武汉	2013	80	0.676	4.729080235	13.3	39	10.5	0.115447674

武汉	2014	80	0.676	4.97523699	10.8	33	11.06	0.128963292
武汉	2015	82	0.706	5.047276978	14.82	28	11.12	0.089004616
武汉	2016	84	0.717	5.298062455	14.39	25	10.39	0.095998882
西安	2010	50	0.689996578	3.141336543	7.039095597	28	14.32600512	0.112776211
西安	2011	61	0.701000775	3.236074894	7.351939296	24	16.06878568	0.100580935
西安	2012	62	0.71510248	3.647067077	8.332331724	24	17.76707316	0.068475731
西安	2013	63	0.720496967	3.944329945	9.23580303	22	20.66929821	0.108166977
西安	2014	63	0.726096784	4.011799478	9.439837728	22	21.92297885	0.105835866
西安	2015	63	0.730196655	4.101474913	9.7145975	20	23.64275868	0.109651293
西安	2016	63	0.734298751	4.170174704	9.758641773	20	25.47850455	0.109780868

10.6 各城市 2016-2016 初选指标数据（三）

指标		中学数量	小学数量	幼儿园数量	净流入率	工作率=(1-失业率)	人均教育投入（元）	人均医疗投入（元）	人均科技投入（元）
成都	2010	487	504	2835	0.009207124	0.9476	1929.436849	842.2150087	2300.120967
成都	2011	487	502	1699	0.007770429	0.9785	2544.997765	894.6057699	2528.196135
成都	2012	494	510	1848	0.007590847	0.9839	2489.645886	844.9703839	2990.58252
成都	2013	498	513	1874	0.009646732	0.9836	2788.110169	1104.38135	3367.031709
成都	2014	497	522	1945	0.014217724	0.98	2636.056461	1173.718552	3710.953632
成都	2015	494	523	2003	0.008771633	0.9812	2831.690892	1198.022882	4095.110134
成都	2016	602	556	2228	0.014579225	0.9811	2483.479516	1233.055978	4013.06713
广州	2010	475	1004	1532	0.062101896	0.978	886.1864673	404.3335956	251.281668
广州	2011	472	961	1548	-0.003621475	0.9765	1375.152157	530.7482353	334.8345098
广州	2012	478	941	1562	0.001670899	0.9759	1740.784647	583.2602482	405.9265202
广州	2013	494	936	1601	0.000572462	0.9785	1964.502429	672.2143144	419.2158926
广州	2014	500	938	1628	0.003290898	0.9774	1751.032453	889.5279232	430.5737548
广州	2015	510	941	1666	0.023382864	0.978	2126.295635	999.047485	656.7524128
广州	2016	514	953	1693	0.037474966	0.9759	2292.747534	1238.199167	804.319436
杭州	2010	317	408	969	0.003361194	0.9781	1536.492919	605.2429185	418.7354887
杭州	2011	317	109	970	0.003772389	0.9814	1898.14144	738.0408222	504.0347851
杭州	2012	314	415	914	0.205216892	0.9837	1669.241082	635.3385594	456.5757782
杭州	2013	311	419	860	-0.001192666	0.9815	1836.776346	702.7566712	523.0664858

杭州	2014	313	421	881	-0.002688003	0.9816	2054.5704	806.0661269	589.3859649
杭州	2015	318	443	910	0.008608064	0.9826	2477.738967	849.7760035	777.8775782
杭州	2016	326	447	930	0.009776881	0.9828	2753.715716	1056.2734	815.4005224
南京	2010	215	345	501	0.03560243	0.974	955.3424247	394.6251061	206.1791298
南京	2011	220	344	551	0.008872989	0.9735	1175.222898	483.2842116	296.9503397
南京	2012	220	344	578	0.002971201	0.9731	1531.552506	555.5691704	428.8690112
南京	2013	218	339	564	-0.000923057	0.9733	1537.531449	592.5889738	489.9973131
南京	2014	223	345	774	-0.001737632	0.975	1665.997249	733.0728691	544.2971726
南京	2015	223	350	828	-0.001725938	0.981	2163.333698	880.778057	631.7463787
南京	2016	227	346	878	-0.002409614	0.9812	2450.665054	910.1571947	640.5078597
厦门	2010	120	295	505	0.065330618	0.9667	1218.595506	406.8820225	269.5758427
厦门	2011	116	291	559	0.009649418	0.9681	1616.897507	541.4598338	337.6537396
厦门	2012	116	287	612	0.00897139	0.9651	1926.708447	583.6866485	376.373297
厦门	2013	116	289	642	0.005282413	0.9697	2130.045576	674.2627346	439.0080429
厦门	2014	111	296	674	0.010522047	0.9677	2332.598425	910.6666667	460.6981627
厦门	2015	113	302	691	0.001207513	0.9678	2637.696891	1064.082902	481.253886
厦门	2016	114	300	690	0.002012755	0.9664	2782.216837	1268.959184	542.5331633
深圳	2010	295	340	1040	0.028359113	0.9755	1470.26128	597.7506749	1124.775357
深圳	2011	299	334	1093	-0.004342221	0.978	1880.054264	751.7874544	673.3888072
深圳	2012	302	333	1186	-0.006626578	0.9758	2333.601646	998.2791968	751.5131691
深圳	2013	314	335	1313	-0.010194206	0.976	2707.034594	1005.922532	1251.130409

深圳	2014	325	331	1402	-0.003606635	0.9774	3056.097561	1462.141777	885.7183943
深圳	2015	335	334	1489	0.036153939	0.976	2535.896016	1323.502685	1883.503388
深圳	2016	352	337	1579	0.026937881	0.9767	3482.641665	1690.18424	3388.566054
苏州	2010	257	317	411	0.003185601	0.972	1177.016989	322.9505062	341.4038375
苏州	2011	263	306	444	0.00298469	0.9728	1438.075998	437.9058249	509.6162073
苏州	2012	261	294	465	-0.000687921	0.973	1712.929065	524.1376042	631.236788
苏州	2013	261	304	509	-0.000712075	0.9788	1853.465927	576.8827928	721.8958851
苏州	2014	276	383	555	-0.00257225	0.9808	1924.285175	660.8062995	714.813278
苏州	2015	283	387	731	-0.001906194	0.981	2171.851922	752.7552751	832.0695177
苏州	2016	292	391	754	-0.00188662	0.9811	2463.719781	879.3602194	894.0793057
天津	2010	659	956	1607	0.030168661	0.964	1766.848048	539.3091612	332.8971977
天津	2011	625	874	1455	0.015878324	0.964	2231.865966	668.2883255	444.2122281
天津	2012	616	843	1461	0.017482574	0.964	2680.176202	749.484485	541.0105084
天津	2013	611	838	1702	0.014871625	0.964	3133.792054	875.8261389	630.4127808
天津	2014	597	842	1821	0.007274222	0.964	3408.535018	1063.613768	718.6134058
天津	2015	599	849	1868	-0.001499553	0.965	3280.261159	1260.67423	781.0207182
天津	2016	603	857	2092	0.007433497	0.965	3376.757227	1300.9884	801.282872
武汉	2010	395	639	785	0.068564494	0.9589	769.4483618	391.6855724	119.6026734
武汉	2011	380	623	785	0.021391639	0.9606	851.4720559	565.1047904	152.3822355
武汉	2012	374	598	888	0.004752609	0.9619	1322.161067	563.0899209	204.041502
武汉	2013	369	590	1024	0.00354638	0.9648	1343.579256	685.8679061	309.165362

武汉	2014	365	588	1097	0.004246953	0.9685	1395.466241	834.1071774	550.3540337
武汉	2015	361	591	1184	0.01865163	0.9692	1736.513099	1060.849194	642.8254947
武汉	2016	367	594	1303	0.008780774	0.9706	2146.280025	1244.934146	802.7149784
西安	2010	436	1531	1004	0.000232005	0.958	626.3851028	319.7755514	51.39188822
西安	2011	423	1424	1122	0.000246517	0.961	875.4551648	394.9550121	61.3057063
西安	2012	419	1322	1239	0.000308314	0.965	1263.219493	484.7162951	69.33437781
西安	2013	418	1291	1295	-0.000442615	0.966	1322.059594	586.1447817	91.95980485
西安	2014	421	1257	1343	0.000385973	0.966	1292.577224	683.2941176	156.3210664
西安	2015	422	1234	1417	0.004372863	0.966	1359.889037	802.4030509	292.2406267
西安	2016	422	1190	1475	0.009749212	0.967	1354.481947	831.2881421	311.1185335

10.7 各城市 2010-2016 年各行业从业人员数量变化（万人）

城市	年份	制造业	信息传输.计算机服务和软件业	金融业	科学研究.技术服务和地质勘查业	水利.环境和公共设施管理业	文化.体育.娱乐业
深圳	2010	123.66	5.29	10.86	5.43	1.81	1.7
	2011	122.27	5.23	12.77	5.52	1.78	1.64
	2012	126.38	5.23	12.73	6.08	1.41	1.96
	2013	255.88	12.50	10.65	7.87	1.23	2.30
	2014	258.7983	13.267	9.2076	7.8117	1.2336	2.5772
	2015	247.7456	13.4808	9.9129	8.7034	1.3365	2.4612
	2016	233.9247	18.4605	10.5073	9.3583	1.1978	2.8731
厦门	2010	52.41	1.13	1.39	0.54	0.66	0.57
	2011	57.81	0.84	1.62	0.73	0.79	0.57
	2012	57.95	0.91	1.86	0.84	0.96	0.71
	2013	54.08	1.32	1.86	1.46	1.06	0.89
	2014	51.9133	2.0477	2.7852	1.8391	1.1602	0.885
	2015	48.2983	2.7861	3.3034	1.8195	1.3054	0.8578
	2016	46.0875	2.7243	3.5116	2.02	1.4681	0.9344
广州	2010	88.64	5.29	7.96	7.68	3.36	3.61
	2011	116.29	6.17	9.32	7.87	3.24	3.54
	2012	117.11	5.13	9.96	9.35	3.71	3.49

	2013	98.50	9.39	7.62	13.95	5.07	3.75
	2014	92.1279	9.7149	8.1862	15.7134	5.5549	3.8917
	2015	85.3171	10.0529	8.3341	17.2514	5.6263	4.3101
	2016	81.9675	13.0072	11.7395	13.7489	5.0955	4.0031
杭 州	2010	75.91	6.49	7.52	8.52	4.38	2.03
	2011	79.08	7.4	8.02	9.26	4.51	2.09
	2012	80.47	8.40	8.95	10.30	4.90	2.37
	2013	72.67	9.82	9.14	8.62	3.42	2.39
	2014	70.6516	10.7464	9.5754	8.5675	3.2042	2.2801
	2015	68.0289	11.5793	10.6693	8.6886	2.9531	2.3138
	2016	65.1937	12.8899	12.0029	11.5027	2.5946	2.4407
苏 州	2010	90.06	1.09	3.69	0.73	1.27	0.7
	2011	89.87	1.21	4.21	0.79	1.36	0.73
	2012	88.28	1.41	4.31	0.85	1.25	0.68
	2013	199.17	4.51	6.11	2.35	2.14	1.03
	2014	219.43	4.48	6.34	2.32	2.14	0.99
	2015	210.9668	4.2453	6.1894	2.4759	2.183	0.9122
	2016	200.7699	3.87	6.19	2.56	1.99	0.9
南 京	2010	47.41	2.43	3.12	4.36	1.77	1.73
	2011	53.55	3.12	3.79	4.67	1.83	1.32
	2012	53.55	3.63	3.80	5.29	2.04	2.01

	2013	58.55	14.96	3.53	6.59	1.73	2.31
	2014	55.71	14.89	4.44	7.23	2.01	2.36
	2015	52.99	14.5909	4.2418	8.1089	2.0086	2.553
	2016	48.4356	14.15	4.44	8.2	2.35	2.68
武 汉	2010	50.26	2.22	5.5	5.74	2.31	2.06
	2011	50.9	2.25	5.65	5.84	2.31	2.07
	2012	51.72	2.32	5.72	5.93	2.30	1.98
	2013	52.86	2.71	6.44	6.64	2.37	2.34
	2014	52.9808	3.0168	6.5154	7.2495	2.9148	2.3542
	2015	53.1632	3.313	7.2906	7.7783	3.2985	2.5269
	2016	53.1482	3.7364	7.6687	8.072	3.2508	2.7212
西 安	2010	42	4.94	5.89	9.07	2.27	2.53
	2011	44.38	5.12	5.37	10.4	2.3	2.61
	2012	46.54	8.80	6.85	10.35	2.37	2.76
	2013	44.98	16.88	6.33	12.12	2.45	2.19
	2014	44.36	7.73	6.76	12.72	2.84	1.96
	2015	45.4564	7.6335	7.8303	13.2113	2.4721	2.2481
	2016	45.498	8.4393	8.9838	13.2961	2.5761	2.1787
天 津	2010	75.3	2.24	6.95	6.47	3.55	1.75
	2011	112.66	2.08	7.72	5.34	3.36	1.6
	2012	120.25	3.27	7.82	8.27	3.68	1.90

	2013	122.33	3.57	8.09	10.75	4.14	2.27
	2014	118.99	3.85	8.91	10.69	4.07	208
	2015	110.7759	4.3541	12.1349	11.3175	4.1349	2.2085
	2016	99.4163	4.8475	16.0073	11.487	4.4223	2.1217
成都	2010	45.19	1.31	5.23	6.85	2.39	1.83
	2011	57.91	1.69	5.72	7.52	2.57	1.85
	2012	58.91	1.79	6.85	8.61	2.62	1.78
	2013	104.55	14.54	7.01	12.15	4.39	5.35
	2014	62.225	10.1674	6.3409	11.6839	3.8593	2.955
	2015	108.3197	16.9835	8.8852	14.4379	4.3507	6.1681
	2016	101.3733	31.2864	12.2297	17.3338	4.6573	8.5599

10.8 各地区每万劳动力中研发人员数

佛山			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	53100	424.3800	125.12
2010	56200	443.4600	126.73
2011	56900	445.1300	127.83
2012	57807	437.2500	132.21
2013	64336	437.2900	147.12
2014	73232	438.0800	167.17
2015	80636	438.4100	183.93
2016	82707	438.8100	188.48
备注	1、没有找到 R&D 人数，用信息传输、计算机服务和软件业以及科学研究、技术服务业人员之和代替		
珠海			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	110576	98.1331	1126.80
2010	116682	103.0205	1132.61
2011	122682	104.0886	1178.63
2012	126884	104.9253	1209.28

2013	129033	106.3208	1213.62
2014	131945	108.7935	1212.80
2015	135644	108.9215	1245.34
2016	141143	109.5471	1288.42
惠州			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	8601	252.1600	34.11
2010	9460	260.1400	36.37
2011	13885	267.9700	51.82
2012	19055	270.0400	70.56
2013	18678	277.2700	67.36
2014	20010	280.6100	71.31
2015	22757	281.5100	80.84
2016	34926	285.5700	122.30
江门			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	9248	243.1084	38.04
2010	14187	249.5463	56.85
2011	15775	253.0286	62.34

2012	16688	248. 3400	67. 20
2013	17494	244. 3000	71. 61
2014	19824	243. 2400	81. 50
2015	20204	242. 9200	83. 17
2016	20131	244. 0700	82. 48
备注	1、没有找到 R&D 人数，用信息传输、计算机服务和软件业以及科学研究、技术服务业人员之和代替		
肇庆			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	4235	235. 8200	17. 96
2010	6282	213. 0500	29. 49
2011	7570	215. 1300	35. 19
2012	10267	215. 5500	47. 63
2013	10568	216. 2200	48. 88
2014	11200	217. 7900	51. 43
2015	12605	218. 4400	57. 70
2016	13140	220. 3100	59. 64
福田区			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	46139	100. 8291	457. 60

2010	47979	102.5096	468.04
2011	51938	108.8906	476.97
2012	53522	112.2110	476.98
2013	57268	120.0646	476.98
2014	58020	121.6406	476.98
2015	58820	123.3945	476.68
2016	61141	128.2648	476.68
盐田区			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	427	6.4445	66.26
2010	2659	6.9260	383.92
2011	2885	7.0212	410.90
2012	2651	7.0800	374.44
2013	3286	6.7393	487.59
2014	3479	6.2941	552.74
2015	2982	6.5735	453.64
2016	2585	6.2431	414.06
南山区			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数

2009	13699	46.1675	296.72
2010	16433	47.9612	342.63
2011	16611	53.4525	310.76
2012	16388	57.3736	285.64
2013	19825	61.0054	324.97
2014	23262	64.6372	359.89
2015	30191	67.1353	449.70
2016	33488	71.9604	465.37
龙岗区			
指标	人才资源总量		每万劳动力中研发人员数
年份	R&D 人员（人）	社会劳动者人数（万人）	每万劳动力中研发人员数
2009	910	63.0745	14.43
2010	5629	69.4172	81.09
2011	5372	67.2410	79.89
2012	5496	68.7875	79.90
2013	3056	54.1650	56.42
2014	5581	53.6215	104.08
2015	5764	50.8709	113.31
2016	6848	50.0029	136.95

10.9 Pearson 相关系数计算代码

编译环境: Python 3.6.5

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import xlrd
import xlwt
import numpy as np
import statsmodels.tsa.stattools as ts
from math import sqrt

def multipl(a, b):
    sumofab=0.0
    for i in range(len(a)):
        temp=a[i]*b[i]
        sumofab+=temp
    return sumofab

def person(x, y):
    n=len(x)
    #求和
    sum1=sum(x)
    sum2=sum(y)
    #求乘积之和
    sumofxy=multipl(x, y)
    #求平方和
    sumofx2 = sum([pow(i, 2) for i in x])
    sumofy2 = sum([pow(j, 2) for j in y])
    num=sumofxy-(float(sum1)*float(sum2)/n)
    #计算皮尔逊相关系数
    den=sqrt((sumofx2-float(sum1**2)/n)*(sumofy2-float(sum2**2)/n))
    return num/den

def main():
    col = []
    # 打开文件
    workbook = xlrd.open_workbook(u'京津冀数据.xlsx')
    # 根据 sheet 索引或者名称获取 sheet 内容
    sheet = workbook.sheet_by_index(1) # sheet 索引从 0 开始
    ##for i in range(1, 10):
    ##    col = sheet.col_values(i)
```

```

##    del col[0]
##    result = ts.adfuller(col, 1)
##    print (result[0])
#相关度计算
workbook = xlwt.Workbook(encoding = 'ascii')
worksheet = workbook.add_sheet('PERSON')

for i in range(1, 5):
    Result_final = []
    coli = sheet.col_values(i)
    del coli[0]
    x = np.array(coli)
    for j in range(1, 5):
        colj = sheet.col_values(j)
        del colj[0]
        y = np.array(colj)
        person_co = person(x, y)
        Result_final.append(person_co)
    for k in range(0, len(Result_final)):
        worksheet.write(i, k, label = Result_final[k])

workbook.save('PERSONResult.xls')

main()

```

10.10 辐射半径计算代码

编译环境: Python 3.6.5

```
import numpy as np
import xlrd
import xlwt
import math
from functools import reduce
from xlutils.copy import copy

def readexcel():
    datalength = 9
    col = np.zeros((datalength, datalength))
    workbook = xlrd.open_workbook(u'问题三—m 值.xls')
    sheet1 = workbook.sheet_by_index(5)
    for i in range(datalength):
        coli = sheet1.col_values(i)
        for j in range(datalength):
            col[j][i] = coli[j]
    sheet2 = workbook.sheet_by_index(4)
    cities = sheet2.col_values(0, 1)
    return col, cities

class Parameter(object):
    def __init__(self, i, j, D):
        self.i, self.j = i, j
        self.D = D
        self.points = [x for x in range(len(self.D))]
        self.paths = [[self.i, self.j]]
        self.paratotal = 0
        self.para = []
    def road(self):
        self.points.remove(self.i)
        self.points.remove(self.j)
        #包含三个点的路径
        for point in self.points:
            self.paths.append([self.i, point, self.j])
        #包含四个点的路径
        for k in self.points:
```

```

#             for l in self.points:
#                 if k!=l:
#                     self.paths.append([self.i, k, l, self.j])
        return self.paths

    '''传入 i 到 j 的所有路径，得到所有路径上权之积的总和，即 i 和 j 之间的相关系数'''
    def paraij(self):
        def f(x, y):
            return x*y
        for path in self.paths:
            for k in range(len(path)-1):
                m = path[k]
                n = path[k+1]
                self.para.append(self.D[m][n])
            multi = reduce(f, self.para)
            self.paratotal = self.paratotal + multi
            self.para = []
            multi = 0
        return self.paratotal

def writeexcel(relation, city, file):
    # 打开想要更改的 excel 文件
    old_excel = xlrd.open_workbook('%s' % file)
    # 将操作文件对象拷贝，变成可写的 workbook 对象
    new_excel = copy(old_excel)
    # 获得第一个 sheet 的对象
    worksheet = new_excel.add_sheet('%s' % city)
    # 写入数据
    for i in range(len(relation)):
        for j in range(len(relation)):
            worksheet.write(i, j, relation[i][j])
    # 另存为 excel 文件，并将文件命名
    new_excel.save('问题三-相关系数.xls')

    '依次去掉一个城市，得到新的 9*9 关联系数矩阵'
def removecity(D, cities, i):
    D = np.delete(D, i, axis=0)
    D = np.delete(D, i, axis=1)
    length = len(D)
    relation = np.zeros((length, length))
    for x in range(length):

```

```

        for y in range(length):
            if y!=x:
                p = Parameter(x, y, D)
                p.road()
                relation[x][y] = p.paraij()
    city = cities[i]
    return relation, city

def standard(r):
    m = np.amax(r)
    return(r/m)

def main():
    D, cities = readexcel()
    length = len(D)
    relation = np.zeros((length, length))

    for i in range(length):
        for j in range(length):
            if j!=i:
                p = Parameter(i, j, D)
                p.road()
                relation[i][j] = p.paraij()
    relation = standard(relation)
    writeexcel(relation, '全部', '问题三—m 值.xls')
    for k in range(length):
        r, city = removecity(D, cities, k)
        r = standard(r)
        writeexcel(r, city, '问题三—相关系数.xls')

main()

```


10.11 基于网络势下降原理的计算代码（含影响因子计算）

编译环境：Python 3.6.5

```
import xlrd
import math
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def cal_pv(m, D,  $\sigma$ ):
    """
    节点势值 pv 计算
    """
    s = 0
    t = np.zeros_like(D, np.float)
    for i in m:
        t[:, s] = i*np.e**(-(D[:, s]**2/ $\sigma$ ))
        s = s+1
    #t = t-np.diag(np.diag(t))
    return np.sum(t, 1)

def cal_H(m, D,  $\sigma$ ):
    """
    势熵计算 H
    """
    return -
    sum(cal_pv(m, D,  $\sigma$ )/sum(cal_pv(m, D,  $\sigma$ ))*np.log10(cal_pv(m, D,  $\sigma$ )/sum(cal_pv(m, D,  $\sigma$ ))))

def cal_ $\sigma$ (D, m):
    """
    影响因子计算  $\sigma$ 
    """

    a = math.sqrt(2)/3*np.amin(D)
    b = math.sqrt(2)/3*np.amax(D)
     $\tau$  = (math.sqrt(5) - 1)/2
     $\sigma_1$  = a + (1- $\tau$ )*(b-a)
    H1 = cal_H(m, D,  $\sigma_1$ )
     $\sigma_r$  = a +  $\tau$ *(b-a)
    Hr = cal_H(m, D,  $\sigma_r$ )
    while abs(b-a)>0.1:
```

```

        if Hl < Hr:
            b =  $\sigma_r$ 
             $\sigma_r = \sigma_l$ 
            Hr = Hl
             $\sigma_l = a + (1 - \tau) * (b - a)$ 
            Hl = cal_H(m, D,  $\sigma_l$ )
        else:
            a =  $\sigma_l$ 
             $\sigma_l = \sigma_r$ 
            Hl = Hr
             $\sigma_r = \tau * (b - a)$ 
            Hr = cal_H(m, D,  $\sigma_r$ )
    if Hl < Hr:
        return  $\sigma_l$ 
    else:
        return  $\sigma_r$ 

def getD_data(filename):
    """
    从 excel 中读取辐射半径数据
    将数据按照 城市:array 分类存储成字典形式
    并输出字典
    """
    D = {}
    D_data = xlrd.open_workbook('../'+filename, 'r')

    D_table_name = D_data.sheet_names()[-11:]
    for i in D_table_name:
        D_table = D_data.sheet_by_name(i)
        ncols = D_table.ncols
        D_array = np.zeros(ncols*ncols).reshape(ncols, ncols)
        for j in range(ncols):
            D_array[j] = D_table.row_values(j)
            #D_array[j] = np.abs(D_table.row_values(j))
            #将小于 0 的辐射半径取正，并降低影响
            for m in range(len(D_array[j])):
                if D_array[j][m] < 0:
                    D_array[j][m] = -D_array[j][m]/2
            #取倒数
            for m in range(len(D_array[j])):
                if (D_array[j][m] != 0):
                    D_array[j][m] = 1/D_array[j][m]

```

```

        D[i] = D_array
    return D

def getm_data(filename, tablename):
    """
    从 excel 中读取节点质量数据
    将数据按照 城市:array 分类存储成字典形式
    并输出字典
    """
    m = {}
    m_data = xlrd.open_workbook('../'+filename, 'r')
    m_table = m_data.sheet_by_name(tablename)
    m_name = m_table.col_values(0)

    t = 0
    for i in m_name:
        if t == 0:
            m[i] = m_table.row_values(t)[1:]
        else:
            m[i] = m_table.row_values(t)[1:-2]
        t = t+1

    return m

def cal_city_mark(city_NPDR):
    t = {}
    max_city = max(city_NPDR, key=city_NPDR.get)
    for key in city_NPDR:
        t[key] = round(city_NPDR[key]/city_NPDR[max_city]*85
                        , 0)

    return t

def plot_citymark(city_mark):

    mark = list(city_mark.values())
    for i in range(len(mark)):
        mark[i] = round(math.sqrt(mark[i])*10, 0)
    city = list(city_mark.keys())

    ind = np.arange(len(mark))*0.7 # the x locations for the groups
    width = 0.35 # the width of the bars

```

```

fig, ax = plt.subplots()
rects = ax.bar(ind, mark, width, color='SkyBlue')

# Add some text for labels, title and custom x-axis tick labels,
etc.
ax.set_ylabel('Scores')
ax.set_title('城市人才吸引力得分', fontproperties =
'SimHei', fontsize = 15)
ax.set_xticks(ind)
ax.set_xticklabels(city, fontproperties = 'SimHei', fontsize = 10)
for rect in rects:
    ax.text(rect.get_x() + rect.get_width()*0.5,
1.01*rect.get_height(),
        '{}'.format(rect.get_height()), ha='center', va='bottom')

plt.show()

def main():

    D = getD_data('问题一 ver5.1-相关系数.xls')
    ,,,

    计算 NP0
    ,,,

    m = getm_data('问题一-m 值.xls', 'm_value (2)')
     $\sigma$  = cal_ $\sigma$  (D["全部"], m["全部"])
    #  $\sigma$  = 2

    pv = cal_pv(m["全部"], D["全部"],  $\sigma$ )
    NP0 = sum(pv)

    ,,,

    依次删除城市, 计算 NPDR
    ,,,

    delet_city = ['深圳', '广州', '厦门', '杭州', '苏州', '天津', '南
京', '武汉', '西安', '成都']
    city_NPDR = {}

    for i in delet_city:

```

```

     $\sigma$  = cal_ $\sigma$  (D[i],m[i])
    #  $\sigma$  = 2
    pv = cal_pv(m[i],D[i],  $\sigma$  )
    NP = sum(pv)
    city_NPDR[i] = (NP0-NP)/NP0

    city_mark = cal_city_mark(city_NPDR)
    print(sorted(city_mark.items(),key = lambda
item:item[1],reverse=True))
    plot_citymark(city_mark)

if __name__ == '__main__':
    main()

```

10.12 多元回归模型计算代码

编译环境: Python 3.6.5

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import numpy as np
import pandas as pd
from numpy.linalg import inv
from numpy import dot
import xlrd
import xlwt

##从 EXCEL 里面加载数据
def read_excel(filename, index):
    workbook = xlrd.open_workbook(filename)
    sheet = workbook.sheet_by_index(index) # sheet 索引从 0 开始
    row = sheet.nrows
    col = sheet.ncols
    data = np.arange(row*col).reshape(row, col)
    for i in range(col):
        coli = sheet.col_values(i)
        for j in range(row):
            data[j][i] = coli[j]
    return data

##数据归一化处理
def featureNormalize(X):
    X_norm = X;
    mu = np.zeros((1, X.shape[1]))
    sigma = np.zeros((1, X.shape[1]))
    for i in range(X.shape[1]):
        mu[0, i] = np.mean(X[:, i]) # 均值
        sigma[0, i] = np.std(X[:, i]) # 标准差
    X_norm = (X - mu) / sigma
    X_norm = np.around(X_norm, 2)
    return X_norm, mu, sigma

# 正规方程法
data = read_excel('data.xlsx', 22)
#删除 data 中的非主成分因素
data = np.delete(data, [0, 3, 4, 12, 15, 20, 21, 22], axis = 1)
```

```

data = np.delete(data, [63, 64, 65, 66, 67, 68, 69], axis = 0)
cols = data.shape[1]
##data, mu, sigma = featureNormalize(data)

y = data[:, cols-1]
x1 = np.delete(data, -1, axis = 1)
x0 = np.zeros((x1.shape[0], 1))
for i in range(x0.shape[0]):
    x0[i][0] = 1
x = np.hstack((x0, x1)) #增加列数, 把 x0, x 左右连接。

theta_n = dot(dot(inv(dot(x.T, x)), x.T), y)
theta_n = np.around(theta_n, 3)
for i in range(1, len(theta_n)):
    print(theta_n[i])

```