

武汉理工大学

数学建模暑期培训论文

第 4 题

基于引力模型的城市人才吸引力评价模型

第 20 组

姓名

方向

张方祚

编程

彭译萱

建模

刘佳迎

建模

2019 年 08 月 13 日

摘要

本文针对城市人才吸引力评价问题,基于城市人才吸引力方面改进的**引力模型**建立了多维度人才吸引力评价模型,并搜集相关数据,运用**主成分因子分析法**量化评价了十大维度指标对武汉市人才吸引力的影响,分析了武汉市人才吸引力水平的优势与不足。

针对问题一建立了人才吸引力模型,得到各因素对城市人才吸引力的量化评价。首先根据普华永道、米尔肯研究所等世界知名机构发布的城市评价体系,从十大维度建立了武汉市人才吸引力体系,并从统计年鉴、各大数据库、经济论坛整理了 2009-2017 年 34873 条相关数据。运用主成分因子分析法对数据的筛选和处理,得到了 10 个维度、27 个指标、5 个主因子的**武汉市人才吸引力评价模型**,主因子累计贡献率为 **94.47%**。同时量化地评价了相关政策对城市人才吸引力指标的的影响,结果显示科技政策(2012 年)、落户政策(2017 年)使相关指标提升了 **3.73%、1.95%**。

针对问题二,基于引力模型对问题一的人才吸引力模型进行改进,根据不同人才类型建立了对应的评价模型,分析了武汉与四个同类城市在人才吸引力上的**优势与不足**。根据产业类型的不同将人才分为**六个**类型,以人才类型对应指标对总体吸引力的贡献度为依据,确定引力模型系数,建立六类人才的评价体系。不同城市之间建立**迁移成本**变量,以房价、消费水平、恩格尔系数等指标来衡量,代替传统引力模型中的空间距离。模型结果显示不同城市对不同类型人才的吸引力各有优劣。综合吸引力评分南京最高,西安最低,武汉在教育和科技产业居领先地位,符合中国城市圈布局和城市产业布局。对指标进行灵敏度分析,六类体系对应产业指标在各自体系中均占主导地位,贡献度均超过 50%,体现了城市的不同产业布局对不同类型人才的吸引力不同。最后针对城市产业布局、海外人才引进方面给出提升人才吸引力的可行方案。

针对问题三,结合问题一、问题二模型结论,从薪酬、创新、人才引进、产业结构等方面为武汉市人力资源管理部门给出了建议报告。首先通过分析武汉在各城市间的人才吸引力模型,给出薪酬、创新等优势指标的激励措施,并针对武汉市人才引进、产业结构等方面的不足,给出合理建议。

模型的优点有两个,一是根据相关数据和权威报告全面地建立了人才吸引力评价模型;二是针对传统引力模型的不足对其进行了改进,更加符合目前城市实际人才吸引力水平。

【关键词】主成分因子分析 城市人才吸引力评价 多维度引力模型

目录

一、问题重述.....1

 1.1 问题背景.....1

 1.2 问题概述.....1

二、模型假设.....2

三、符号说明.....2

四、问题分析.....3

 4.1 问题一分析.....3

 4.2 问题二分析.....3

 4.3 问题三分析.....3

五、问题一的求解与建立.....4

 5.1 问题分析.....4

 5.2 预备工作.....5

 5.3 城市吸引力评价指标模型.....7

 5.4 模型的求解与检验.....8

六、问题二模型的求解与建立.....12

 6.1 问题分析.....12

 6.2 预备工作.....12

 6.3 模型的求解与检验.....17

七、问题三模型的求解与建立.....21

八、模型的评价与改进.....23

 8.1 模型的优点.....23

 8.2 模型的缺点.....23

参考文献.....23

附录 A 代码.....24

附录 B 表格.....27

一、问题重述

1.1 问题背景

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。

吸引人才最关键的是：符合人才的理想，满足人才的需求和愿望。对大多数人来说，首先关心的是“发展前景”：就业实体及其所在城市的前景，不光当前好，未来也不会很快衰落，毕竟人是要考虑“迁移成本”的；其次是收入（报酬或盈利），这方面有绝对（同行业）的和相对（同地域，平价购买力）的两种考量；再次是环境方面的因素：治安，交通，污染，教育、医疗，购物，等等。目前，这方面定性讨论多，定量研究少；定量研究中单因素的多，综合考虑的少；静态考量多，动态（时变）考量少，考虑“不可比”条件的更少。“少”的原因主要是缺乏合适的“数学模型”，使得结论既缺乏说服力，也缺乏可验证性。

1.2 问题概述

问题 1：通过收集相关数据并建立数学模型，量化地评价武汉市的人才吸引力水平，并尝试就武汉市目前人才政策对人才吸引力水平的影响做出量化评价。

问题 2：针对具体人才类别，深入分析比较武汉市与其他同类城市（如成都、天津、西安和南京）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。

问题 3：为武汉市人力资源管理部门写 1 篇建议报告，要求论点明确，论据充分。

二、模型假设

- 人才在选择城市的时候，充分了解了该城市的发展前景，收入水平，行业增长率，环境和政府政策等信息；
- 每个人的选择都是独立的，不受身边的人影响；
- 每个人都认为各要素重要程度降序以此为发展前景，收入水平，行业增长率，环境，政策；

三、符号说明

符号	定义
M	城市综合人才吸引力评分
A_i	第 i 个二级评价指标
X_i	第 i 个三级评价指标
F_j	公因子指标评分值
Z_j	各指标对总目标的组合权重值
D_{ij}	第 i 个与第 j 个城市之间的迁移成本
E_{ij}	第 i 个与第 j 个城市之间的场强

四、问题分析

本题需要在评价城市人才吸引力评价的背景下，满足实际城市吸引力排行的条件下，建立模型并设计算法。结合城市的发展前景、工作报酬和环境因素，给出城市人才吸引评价模型，并深入分析比较武汉市与其他四个同类城市在人才吸引力上的优势与不足。由于问题中未给出相关数据，首先应该查找数据及相关实际背景对问题的实际情况进行一定的了解，再确定模型的求解方法，对此问题进行合理的求解。

4.1 问题一分析

问题一需要量化评价武汉人才吸引力水平，首先需要根据题目要求与以往的地区人才吸引要素研究，寻找合适的地区人才吸引因素，建立五维度的地区人才吸引力要素框架。其中人口环境维度三个，生活环境维度五个，经济环境维度两个，社会环境维度两个。通过因子分析模型求解各三级指标的权重，得到量化评价武汉人才吸引力水平。

4.2 问题二分析

问题二需要针对具体人才类别，深入分析比较鸣哈与其它同类型城市在吸引人才上的优势与不足。首先根据产业结构对人才类型进行划分为三个大类：划分为提供生产物资的第一产业，代表加工制造的第二产业和代表公共服务业的第三产业。借鉴以往城市人才吸引力的研究，对比相似类型五个城市对不同类型人才吸引力状况，剔除进一步促进产业发展，为高层次人才提供奖金与住房补助等有效措施。

4.3 问题三分析

问题三需要根据问题一、二模型，对比武汉以及其他同类城市在人才引进政策上的异同，并根据人才吸引力评价模型的相关指标，给出武汉在各方面的优势与不足，并为武汉市人力资源管理部门提出针对性建议。

五、问题一的求解与建立

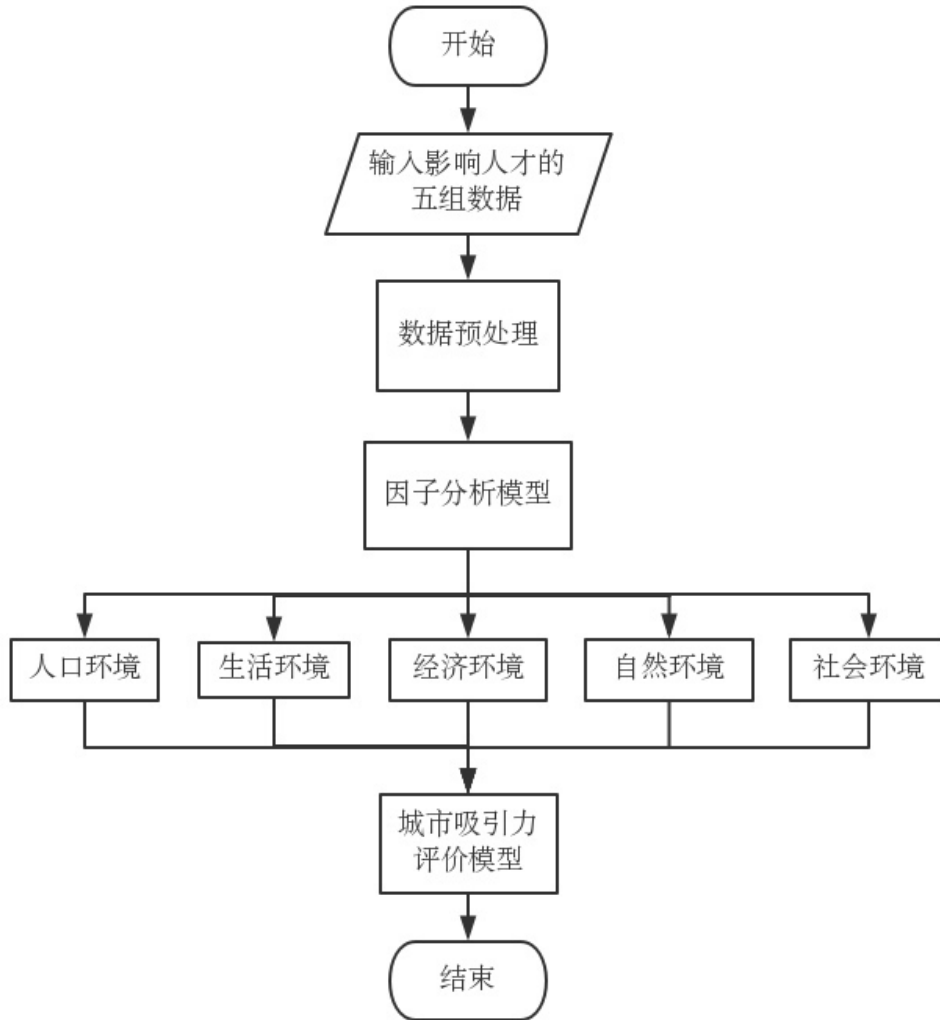


图 1 问题一流程图

5.1 问题分析

任何一个城市的整体发展都必然伴随着经济、社会、人口、自然等诸多要素的协调发展。同样的，城市对人才吸引力也是错综复杂、变化不断的。在指标方面，若选取总量太多，在评价模型时太过复杂，可行性低。若数据太少则评价不够准确，脱离实际性。通过对人才流动以及人才吸引等相关理论的研究分析，问题一将城市人才吸引力总结归纳为 10 个人才吸引力评价要素（二级指标）、27 个具体评价指标（三级指标）的量化评价体系^[1]。

5.2 预备工作

（一）人才吸引力评价指标原理分析

因子分析的目的在于将复杂关系的变量，综合为数量较少的几个因子，分析其变量内部相关的依赖程度以及各指标之间的联系与区别。采用因子分析法建立模型，将通过不同的对变量的影响程度进行分析，建立客观的评价模型^[2]。根据传统地区人才吸引力的有关研究建立的整体分析框架进行设计，并参考了张炜在天津市人才吸引力所使用的四维度分析框架，对之在做出少量修改的同时并增加了人才类别与工作年限等其他重要因素的统计，以便于获取更为有价值的信息。

因此为尽可能客观反映吸引力，我们在遵循建立指标体系的科学性、综合性与系统性、可行性、可比性和数量恰当性原则之上，兼顾总量指标和相对指标，经过层层筛选得到的指标体系如表 2 所示^[7]。

表 2 指标体系

智力资本和创新	高等教育在校生规模/万人
	高校数量/所
技术成熟度	“互联网 +” 指数
	专利授权量/份
区域重要城市	星级酒店数量/家
	客运总量/万人
健康、安全与治安	每千人人均执业医师数量
	医疗卫生机构-医院和卫生院数量
	每千人医院床位数
	刑事发案总数
	破案率
交通和城市规划	每万人公共交通工具
	绿化面积
	居民住房保障
	人均道路面积

可持续发展与自然环境	居民人均水资源
	污水集中处理率
文化与居民生活	人均每月文化娱乐消费
	人均每月可支配收入
	恩格尔系数
经济影响力	第三产业人口比重
	知名企业数量
	吸引外商直接投资
成本	人均消费支出
	在职职工年平均工资
宜商环境	市场环境指数

（二）统计指标数据指标处理

1. 同向化处理

在评价城市人才的指标中，失业率、恩格尔系数和住宅商品房并不是越高越好，为方便比较，需要对这三个指标进行同向化处理。公式如下：

同向指标 = | 原始指标 - 原始指标的平均值 |

2. 标准化处理

为了对变量进行比较并消除由于观测量纲的差异及数量级差异所造成的影响，将样本观测数据进行标准化处理，使标准化的变量均值为 0，方差为 1。其处理方法如下：

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\delta_X}$$

3. KMO 检验

因子分析前，首先进行 KMO 检验和巴特利球体检验。KMO 检验用于检查变量间的相关性和偏相关性，取值在 0 1 之间。KMO 统计量越接近于 1，变量间的相关性强，偏相关性越弱，因子分析的效果越好。实际分析中，KMO 统计量在 0.7 以上时效果比较好；当 KMO 统计量在 0.5 以下，此时不适合应用因子分析法，应考虑重新设计变量结构或者采用其他统计分析方法。

（三）因子分析

应用标准化数据的协方差矩阵来衡量样本中各因子的相关性，计算得到相关性系数矩阵^[8]。若是采用全部 27 个因子分析模型的可行性不高，因此需要采用

因子分析法来寻找各个因子间内部联系，提取公因子，以少数几个综合性指标来相对全面的反映出全体因子的主要信息。

主因子的确定 在变量通过 KMO 检验和巴特利检验之后，通过选取的主因子对方法解释的累计贡献率百分比大于 85% 的原则来选取，而且所选取主因子的特征值必须大于 1。它等于该主因子与其它相关因子载荷的平方和。在 SPSS 中通过碎石图清晰判断因子特征值的变化，得到特征值大于 1 的主因子的个数。

求解旋转后因子载荷矩阵 在知道主因子数量后，可以得到初始的因子对四个主因子相对参考载荷，写出因子分析模型。虽然载荷矩阵能够很好给出初始因子之间的关系，但对于某些指标不能给出很好的解释，对此，通过方差最大法正交旋转法对因子载荷矩阵进行转得到相应因子变量对相应原变量的相对重要程度。其中，因子载荷的绝对值越大，表明该因子与原变量的重合性越高，在解释因子时越重要。

求得因子得分和综合绩效得分 采用回归法估计因子得分系数，并输出因子得分系数矩阵和因子得分协方差矩阵。此时的协方差矩阵应为单位矩阵，说明主因子之间时不相关的，即通过主因子分析得到的主因子包含的信息是不重复的。

（四）城市政策修正影响

武汉作为高等学历人数比例前三的城市，颁布了有利于引进外来人口、吸引人才的政策。根据已经产生重大影响的政策作为依据，对武汉城市吸引力模型中的因子进行修正。例如一系列徐进低碳科技创新的政策和措施。

5.3 城市吸引力评价指标模型

通过主因子分析模型得到对城市吸引力影响较大的主因子，根据武汉针对人才吸引颁布的政策对指标权重进行修正。采用城市人才吸引力综合测评模型，根据人才吸引力综合评分来将此评价综合量化。

因三级指标层中每一个指标都是从不同方面来反映城市人才吸引力的发展水平，为对其人才吸引力总体水平进行综合评价，拟采用多目标线性加权寒暑对城市人才吸引力综合评价值 P 进行求解，设：

$$M = \sum_{j=1}^N F_j Z_j, j = 1, 2, 3, \dots, 27$$

式 M 为城市综合人才吸引力评分，各指标评分值 F_j ，各指标对总目标的组合权重值为 Z_j 。显然 M 越大，说明城市对人才吸引力越强。

5.4 模型的求解与检验

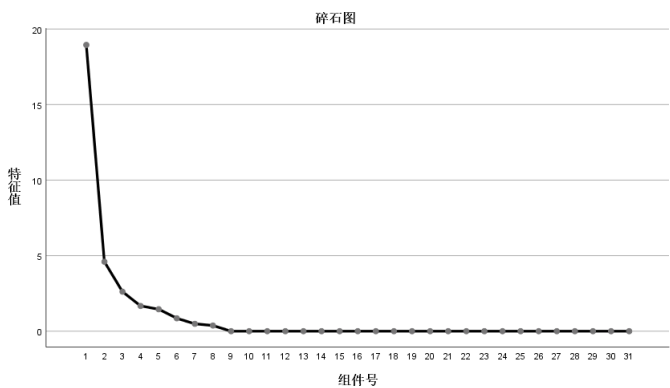
1) 在进行因子分析前首先进行 KMO 和巴特利检验，通过 SPSS 计算检验结果通过。

2) 由表 3 特征根知，因子 1 的特征值 $\lambda_1=18.948$ ，占方差的 61.112%，由图 2 知，当提取 1、2 个公因子是，特征值变化非常明显，当提取第 6 个以后的公因子时，特征变化比较校，基本趋于平缓。由此说明，提取 5 个公因子对原变量信息的刻画有显著影响。因此，我们提取 5 个公共因子，这 5 个公因子的累计方差达到 94.476%，即这 5 个公因子可以反映原来 27 个指标的 94.476% 的信息量，可见采用前 5 个公因子对武汉人才吸引力进行评价是比较合适的。

表 3 总方差解释

成分	初始特征值 ^a			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差百分 比	累积 %	总计	方差百分 比	累积 %	总计	方差百分 比	累积 %
1	18.948	61.122	61.122	18.948	61.122	61.122	11.154	35.981	35.981
2	4.597	14.829	75.951	4.597	14.829	75.951	6.393	20.624	56.605
3	2.614	8.433	84.384	2.614	8.433	84.384	6.195	19.983	76.588
4	1.671	5.391	89.774	1.671	5.391	89.774	3.648	11.766	88.354
5	1.455	4.693	94.467	1.455	4.693	94.467	1.895	6.113	94.467
6	.854	2.755	97.222						
7	.487	1.571	98.793						
8	.374	1.207	100.000						
9	1.608E-15	5.188E-15	100.000						

提取方法：主成分分析法。



a. 提取了 5 个主成分

3) 未转轴的因子载荷矩阵

表 4 是初始因子载荷矩阵，由此可写出因子分析模型如下：

$$X_1 = 0.777F_1 + 0.286F_2 + 0.450F_3 + 0.204F_4 + 0.234F_5.$$

.....

$$X_{30} = -0.158F_1 - 0.712F_2 + 0.502F_3 - 0.137F_4 + 0.436F_5$$

表中的每个数据表示了相应变量对相应原变量的相对重要程度。运用正交旋转之后得到的因子载荷矩阵如下表 4 所示：

表 4 因子载荷矩阵

	1	2	3	4	5
X ₁	0.777	0.286	0.45	0.204	0.234
X ₂	0.305	-0.241	0.04	-0.799	0.351
X ₃	0.756	0.543	0.239	0.248	-0.064
X ₄	0.77	0.438	0.437	0.145	0.023
X ₅	0.731	0.428	0.475	0.217	0.066
X ₆	0.731	0.463	0.432	0.233	0.068
X ₇	0.014	-0.717	-0.202	-0.637	0.032
X ₈	-0.05	0.7	0.15	0.681	0.014
X ₈	0.725	0.477	0.452	0.193	0.036
X ₉	-0.589	-0.741	-0.105	-0.241	-0.144
X ₁₀	0.804	-0.267	0.471	-0.037	-0.146
X ₁₁	0.55	0.506	0.529	0.379	0.034
X ₁₂	0.496	0.422	0.681	0.239	0.07
X ₁₃	0.42	0.678	0.482	0.349	0.084
X ₁₄	0.939	0.218	0.154	-0.066	-0.041
X ₁₅	0.905	-0.048	-0.042	-0.241	-0.104
X ₁₆	-0.246	-0.135	-0.882	-0.238	0.155
X ₁₇	-0.302	-0.026	-0.613	-0.625	-0.141
X ₁₈	0.786	0.435	0.286	-0.273	0.045
X ₁₉	0.635	0.607	0.421	-0.022	0.11
X ₂₀	0.696	-0.013	-0.128	0.156	0.511
X ₂₁	0.325	0.024	0.734	-0.42	0.316
X ₂₂	0.121	0.097	-0.129	0.023	-0.941
X ₂₃	0.711	0.418	0.401	0.287	-0.094
X ₂₄	0.704	0.399	0.475	0.236	-0.05
X ₂₅	0.68	0.478	0.502	0.22	0.079
X ₂₆	-0.158	-0.712	0.279	-0.137	0.436
X ₂₇	-0.317	.582	-0.582	.196	-0.038

提取方法：主成分分析法。

旋转方法：凯撒正态化最大方差法。

a. 旋转 10 次迭代后收敛。

通过 SPSS 计算结果中的载荷图可以清晰的看出各影响因子对主因子的载荷分布，判别出那些因子对主因子的作用较为集中，如图 2 所示。

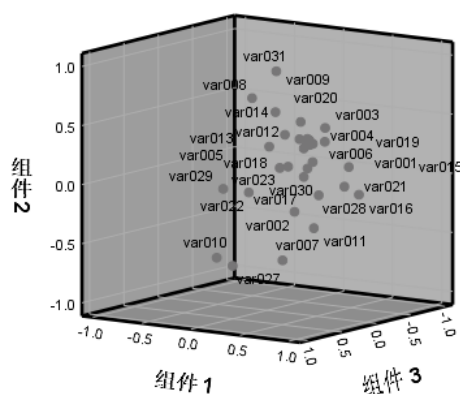


图 2 旋转后空间组件图

第一主因子包括居民住房保障率、人均道路面积、刑事案发率和人均每月文化娱乐消费，这些指标反映了城市的生活条件，故将其命名为生活因子。第二主因子包括每千人人均执业医师数量、医疗卫生机构数量、年人均消费支出和人均每月可支配支出，这些指标反映了城市的医疗水平，故将其命名为医疗因子。第三主因子包括“互联网 +”指数、专利授权量、第三产业人口比重和在职职工年平均工资，这些指标反映了城市所提供的事业平台，故将其命名为事业平台因子。第四主因子包括高校数量、星级酒店数量、吸引外商直接投资率和年人均消费支出，这些指标反映了城市的经济发展，故将其命名为经济发展因子。第五主因子包括居民人均水资源和市场环境指数，这些指标反映了城市的居住环境，故将其命名为居住环境因子。

4) 求得因子得分和综合绩效得分

采用回归法估计因子得分系数，并输出因子得分系数矩阵，得到 10 个二级指标的最后得分如下表所示：

表 5 二级指标得分

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
15.2656	6.7784	0.2285	25.2348	20.5999	4.2277	7.9923	7.4219	0.9458	3.8368

又最后得到的因子得分协方差矩阵是一个单位矩阵，说明主因子之间是不相关的，估计出的因子得分，可以量化描述城市人才吸引力水平，利用因子得分可以从不用角度对城市人才吸引力水平进行量化评分，其计算公式如下：

$$M = \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^5 a_{ij} X_i$$

将五个公因子的累计贡献率作为权重指标，得到得分为

表 6 公因子权重指标

61.122	14.829	8.433	5.39	4.693
--------	--------	-------	------	-------

根据计算公式得到武汉从 2009 年到 2017 年的城市吸引力得分，进行对比发现，在经济、文化、科技方面均有较大发展，武汉近 8 年的城市吸引力逐步上升，得到折线图如下图：



图3 武汉 2009-2017 年城市吸引力得分

5) 政策因素模型检验

通过重大政策发布后武汉城市人才吸引力的改变^[8]来检验模型计算的合理性。首先确定吸引力检验公式为：

$$\Delta = \frac{\Delta_{ij} w_i}{\sum_{i=1}^{10} w_i}$$

式中 Δ_{ij} 为第 i 个二级指标在第 j 年的增长率， w_i 为其对应的权重，经过权重转换之后的增长率能够反映在武汉吸引力指标体系中这个二级指标受到政策的影响力大小。

查阅资料可得，武汉市颁布的人才吸引政策主要为科技政策和落户政策。

科技政策体现人才吸引力模型的“智力资本和创新”、“技术成熟度”两个指标，指标权重分别为 15.26 和 6.77。在相关政策的影响下，我们统计得出 2009-2017 年武汉市的公共预算中科学技术支出如下图。

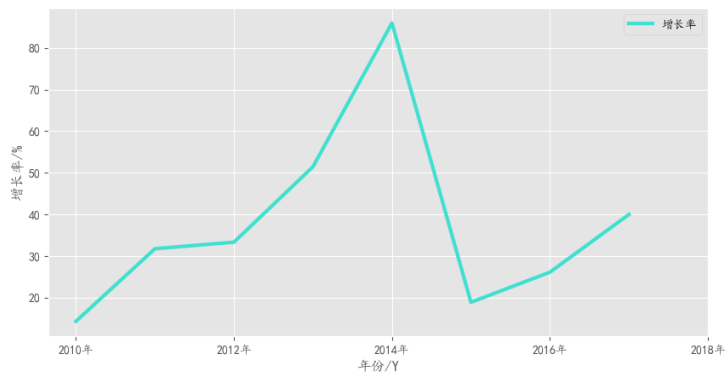


图4 公共预算中科学技术及增长率（2010-2018）

由图可知，武汉市 2013、2014 年增长率分别为 51.4%、85.9%。因此我们可以判定武汉市的科技政策对武汉的科技创新产业发展产生了必然的有益影响，同时根据吸引力检验公式得到得出城市影响力较之前提升了 3.73%。

另一个对武汉吸引力影响较大的政策为落户政策。自 2017 年以来，武汉市实施百万校友资智回汉工程，武汉 9 场校友资智回汉累计签下 13013.8 亿元。据 2018 年统计年鉴显示武汉市新办理落户数为 8.4 万人，较 2017 年（5.6 万人）增加 2.8 万人，较 2016 年（3.6 万人）增加 2.3 倍。其中，办理大学生落户 4.2

万人，较 2017 年（1.8 万人）增加了 2.3 倍，2016 年 1.4 万人增加 3 倍。该政策体现人才吸引力模型的“智力资本和创新”、“技术成熟度”、“经济影响力”三个指标，指标权重分别为 15.26、6.77 和 7.421946，根据吸引力检验公式，计算得出城市影响力较之前提升了 1.95%。

六、问题二模型的求解与建立

6.1 问题分析

问题二需要在城市吸引力模型的基础上，针对具体人才分类，对五个城市人才吸引力横向比较。根据武汉、程度、天津、西安和南京五个城市的人才进行计划和人才引进结果，根据较为常见的产业结构分类，划分为提供生产物资的第一产业、代表加工制造的第二产业和代表公共服务业的第三产业。

6.2 预备工作

6.2.1 核心城市引力模型

要研究不同城市对人才的吸引力，除了对城市单独进行评分，也要考虑城市之间的社会经济联系，需要引入万有引力定律，并经过一定的修正之后来计算两个城市之间的空间相互作用^[11]。空间的相互作用除了受距离影响外，还与地理食物的聚集规模有关，通常有下式来表示两地之间的相互作用：

$$I_{ij} = K_{ij} \frac{M_i M_j}{D_{ij}}$$

式中 I_{ij} 表示两地之间的相互引力， M_i 、 M_j 分别表示两个城市的人才吸引力， D_{ij} 表示两地之间的迁移成本， K_i 为对人才类型修正的相关政策的影响。该式是地理区位论和区域科学中使用的基本引力模式，表示处于不同位置上的两个城市之间的空间流（信息流、业务流、货流、人流）的强度^[4]。从这个意义上说每个城市都是一个引力场，因此四个城市之间存在场强，从而引入场强模型和引力模型共同评价人才吸引力具有一定的可行性。

我们知道城市的规模越大、经济越发达，其影响的范围越广，引力场和场强也就越大，离其中某个城市进的当然收到其辐射的强度大^[6]，但是随着距离的增加其场强会衰减，从而有场强公式：

$$E_{ij} = \frac{I_{ij}}{M_j} = K_{ij} \frac{M_i}{D_{ij}}$$

式中 E_{ij} 为场强，此即距离城市任意点场强计算公式。

6.2.2 二级指标分类标准

智力资本和创新维度包括两个方面三个变量：一是从教育规模、就业人口的文化程度来衡量城市的智力资本，包括两个变量，分别为高等教育在校生规模和高校数量；二是观察城市的创新投入与潜力，由国家重点实验室数量观察。

中国城市正处在关键的产业转型期，城市对高等教育人才表现出更强烈的诉求，因此用高等教育在校生规模和高校数量来衡量，城市高等人才和教育机构的数量一定程度上反映了城市的发展潜力。国家重点实验室作为国家科技创新体系的重要组成部分，对城市的科技创新提供了重要的智力支持。

技术成熟度与上一维度，均关注城市在创新发展与技术水平方面的表现。智力资本和创新侧重于考察城市的人力资本积累和基础科学研究方面的水平，但技术成熟度侧重于当前可以产业化或已经投入使用的成熟技术。此维度包含两个变量：‘互联网+’指数和专利授权量。‘互联网+’指数均为综合计算得出的综合指数，覆盖面是多角度的。专利授权量是能直接的体现当地技术发展的客观数据。此维度在城市群中间显现出明显的聚集效应，城市群内部差异不大，城市之间差异较大。

区域重要城市维度通过星级酒店数量和客运总量来衡量。此维度排名跟城市综合排名有很大的相似度，因此不难看出，综合实力较强的城市在作为对外窗口促进国际交流和作为区域中心城市带动周边协调发展方面，都有更好地体现。并且区域中心城市对辐射区域内部人才有着很强的吸引力。随着“一带一路”倡议的实践、粤港澳大湾区的加快建设、中国改革开放的进一步深化和区域经济的更加紧密融合，未来我国城市将会在国际经济交流往来和区域影响力方面，迎来更多的发展机遇。

健康、安全与治安维度刻画了城市在医疗、养老、安全等公共服务与社会保障方面的表现。此维度包含五个变量：每千人执业医师数量、医疗卫生机构数量、每千人医院床位数、治安案件发案数及其破案率。省会城市本身就具有相对集中的医疗资源，服务范围不仅包括本市，还辐射和覆盖全省。与北京、上海相比等超大城市相比，人均水平更高的二线城市在该维度对人才具有更强的吸引力。

交通和城市规划维度包含四个变量，分别为：人均道路面积、每万人公共交通工具数、绿化面积覆盖率和居民住房保障率。前两个变量反应城市交通状况，后两个变量描述城市规划情况。随着道路交通量增加，城市交通在为人们提供便利的同时，拥堵所带来的不良影响越来越大。交通越发达，对经济发展越有利，越能吸引人才。城市规划越合理，城市发展越可持续，越能持续吸引和留住人才。

可持续发展与自然环境维度包括个变量，分别为：居民人均水资源和污水集中处理率。上述两变量侧重于评价城市发展过程中对水和空气的利用和影响情况。武汉、南京等河流沿岸城市在此维度有天然优势。现在越来越多的城市开始转变原来的经济发展方式，探索可持续、高质量的发展道路。更多城市在生态环境与人口资源双方面的可持续发展情况得到提升。

城市的文化特色与居民生活状况，也是衡量城市吸引力与未来发展机遇的重要方面。文化与居民生活维度包含三个变量，分别为：人均每月文化娱乐消费、人均每月可支配收入和恩格尔系数。人均每月文化娱乐消费描述了城市活力和文化娱乐产业规模，人均每月可支配收入和恩格尔系数描述了居民日常生活的质量。经济发展越好的城市，在此维度中得分越高。

经济影响力这一维度重点观察城市的经济地位、产业结构及活跃程度，强调的是城市在经济发展及影响力方面的综合表现。此维度变量包括：第三产业人口比重、知名企业数量和吸引外商直接投资。长三角城市南京等经济影响力明显强于其他城市，知名企业数量远多于其他城市。成都等城市作为西南城市群的经济核心，在吸引外商直接投资方面表现优秀。西安招商引资成果明显，多家知名企业投资西安设立总部，“一带一路”战略效果初步显现。天津等京津冀城市在吸引外商直接投资方面表现一直优异。

成本包括**生产成本**和**生活成本**两个方面，也是人才选择城市的重要因素。此维度包含两个变量：年人均消费支出和在职职工年平均工资。此维度中，经济发达城市的价格水平普遍偏高，排名相对靠后。近年来发展速度较快的西安、成都、武汉表现与其他发展水平相近的城市相比表现较好，成本较低的优势也是人才选择生活居所的重要考虑因素。

宜商环境是城市的制度环境和各种软成本影响下的综合维度，此维度包含一个变量：市场环境指数。金融和自由贸易是此维度的重要衡量标准。本文五城市在金融方面表现均一般，自由贸易度也很难与深圳等改革开放重点城市相比。南京位于长三角城市圈，受上海影响，发展较好，其他城市营商环境均有待提高。

得到五个城市根据二级指标分类如下：

- 智力资本和创新
- 技术成熟度
- 区域重要城市
- 健康、安全与治安
- 交通和城市规划
- 可持续发展与自然环境
- 文化与居民生活
- 经济影响力
- 成本
- 宜商环境

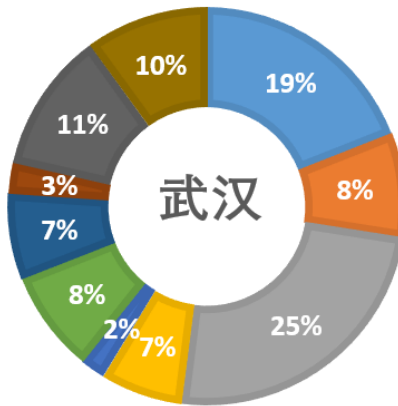


图 5 武汉二级指标占比

- 智力资本和创新
- 技术成熟度
- 区域重要城市
- 健康、安全与治安
- 交通和城市规划
- 可持续发展与自然环境
- 文化与居民生活
- 经济影响力
- 成本
- 宜商环境

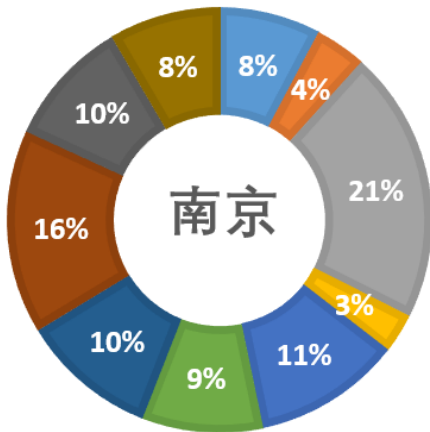


图 6 南京二级指标占比

- 智力资本和创新
- 技术成熟度
- 区域重要城市
- 健康、安全与治安
- 交通和城市规划
- 可持续发展与自然环境
- 文化与居民生活
- 经济影响力
- 成本
- 宜商环境

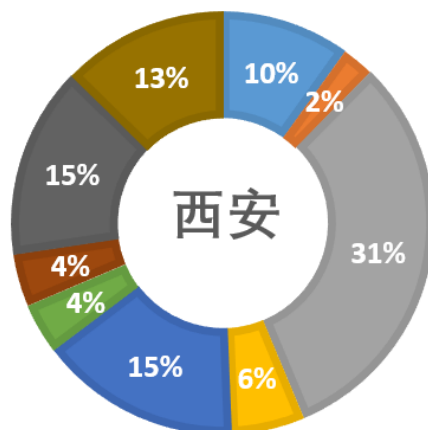


图 7 西安二级指标分析

- 智力资本和创新
- 技术成熟度
- 区域重要城市
- 健康、安全与治安
- 交通和城市规划
- 可持续发展与自然环境
- 文化与居民生活
- 经济影响力
- 成本
- 宜商环境

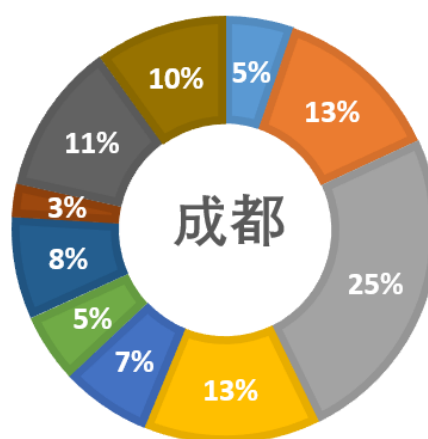


图 8 成都二级指标分析

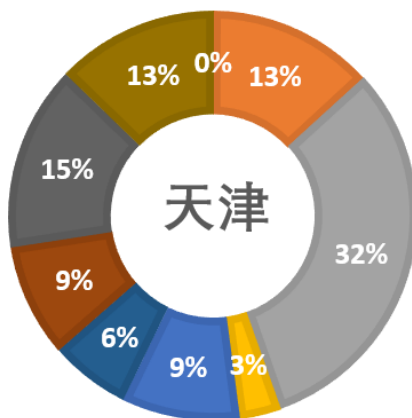
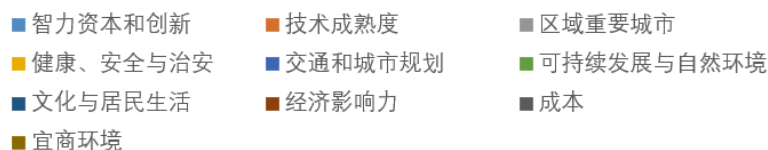


图 9 天津二级指标分析

6.2.3 人才类别的划分

根据五个城市各个行业所占人数比例排序，我们划分成制造业、建筑业、信息软件、科学研究、教育、金融业共六个人才类别，此时的人口总数已经达到就业人数的 85%，基本可以概括城市的就业情况。

根据第一问已有的第二级分类标准，对六大产业的指标进行整理：制造业包括技术成熟度中的专利授权书，建筑业包括交通中的城市规划，信息产业包括技术成熟度中的“互联网+”指数，科技产业包括智力中的资本创新，教育产业包括文化与居民生活，金融业包括宜商环境中的经济影响力。

6.3 模型的求解与检验

6.3.1 综合吸引力排名

由城市引力模型计算出迁移成本和综合吸引力进行比较，得到武汉、成都、南京、西安和天津五个城市最后得分如下表 4 所示：

表 4 城市吸引力得分

	武汉	成都	南京	西安	天津
原始吸引力	5.2508	6.3751	7.2151	3.5949	4.4850
迁移成本	1.1916	1.1332	1.3918	1.0007	1.2823
综合吸引力	4.4063	5.6255	5.1836	3.5921	3.4973

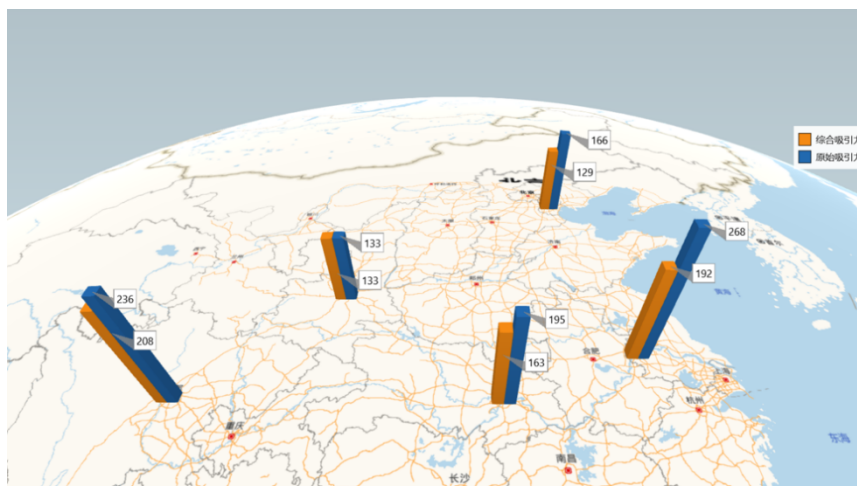


图 10 城市吸引力得分比较

可知根据引力场模型得到的城市从高到低排名为：

成都>南京>武汉>西安>天津

6.3.2 不同人才吸引力得分

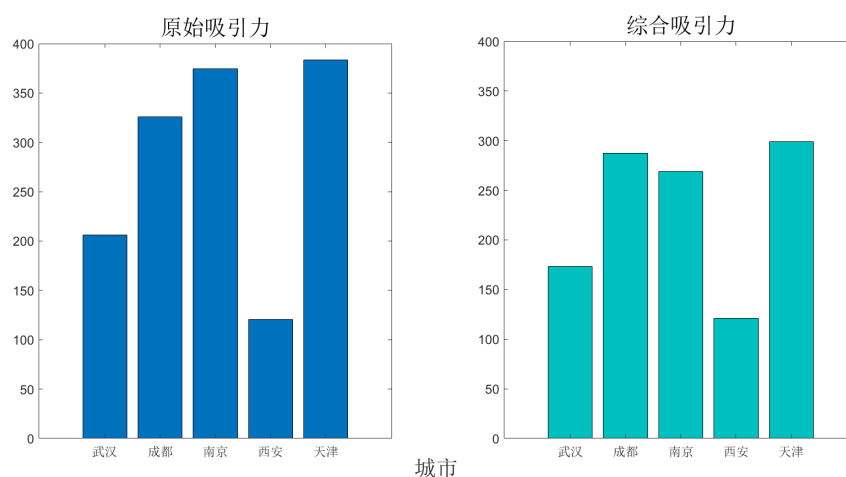


图 11 制造业人才吸引力排名

制造业排名为：天津>成都>南京>武汉>西安。批发与零售业是人民日常生活中接触最多的行业。行业人才吸引力与经济发展水平有关。天津依靠其发展手工业的历史排名第一，程度在电子商务的推动下紧随其后，南京依靠江浙沪经济发展区排名第三，武汉和西安因为地理位置与前三个城市差距较大。

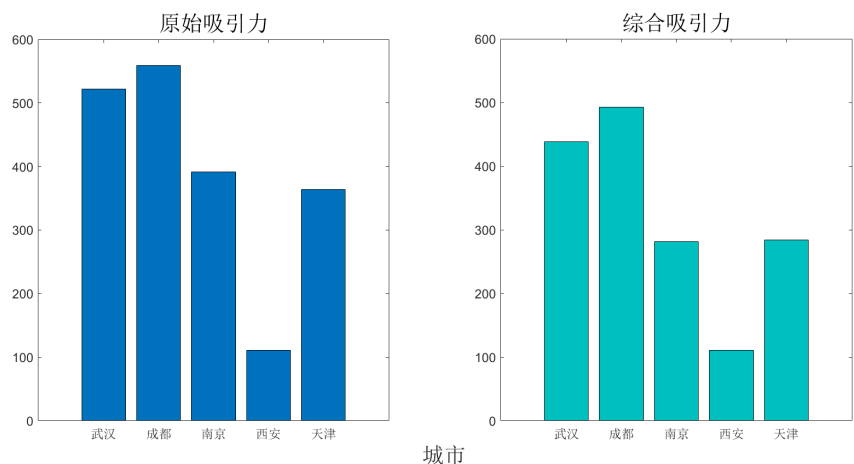


图 12 建筑业人才吸引力排名

建筑业排名为：成都>武汉>南京>天津>西安。建筑业的发展为各企业的协作发展创造了良好的工业环境。人才的吸引力增强。

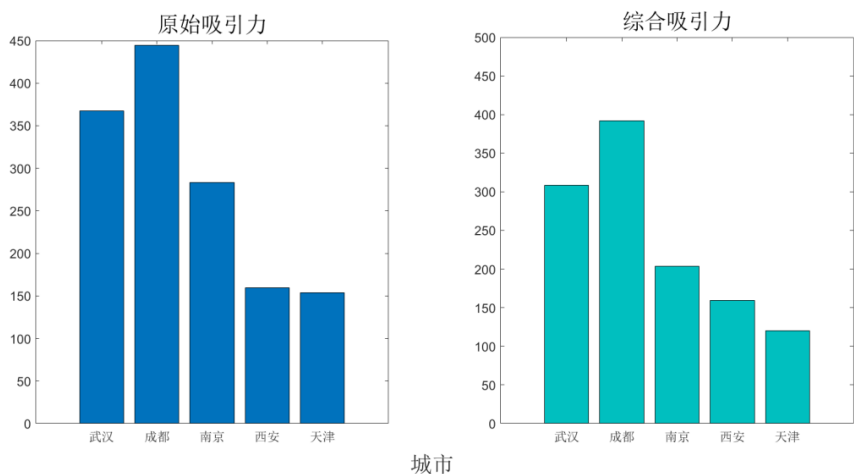


图 13 信息业人才吸引力排名

信息业排名为：成都>武汉>南京>西安>天津。在信息与传输技术人才吸引力方面，成都少量领先于武汉，超过其他城市。武汉拥有众多高校，国家重点实验室数量也相对其它四个城市较多，信息产业发达。为了更好的吸引人才，深圳市可以统筹发展，形成产业集群，通过产业集群进一步聚集人才，产生更大的人才吸引力。

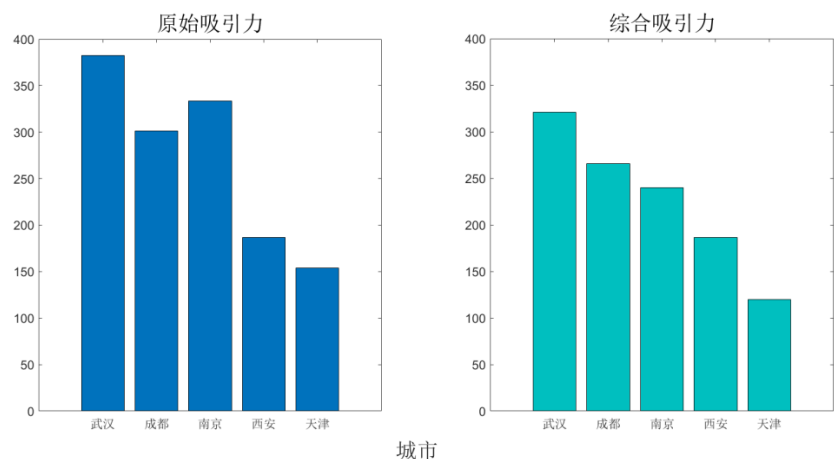


图 14 教育业人才吸引力排名

教育业排名为：武汉>成都>南京>西安>天津。湖北作为中部地区教育，其省会武汉拥有丰富的教育资源，成立“七校联盟”加强教育合作，因此教育产业得分比其它城市远超过其它城市。

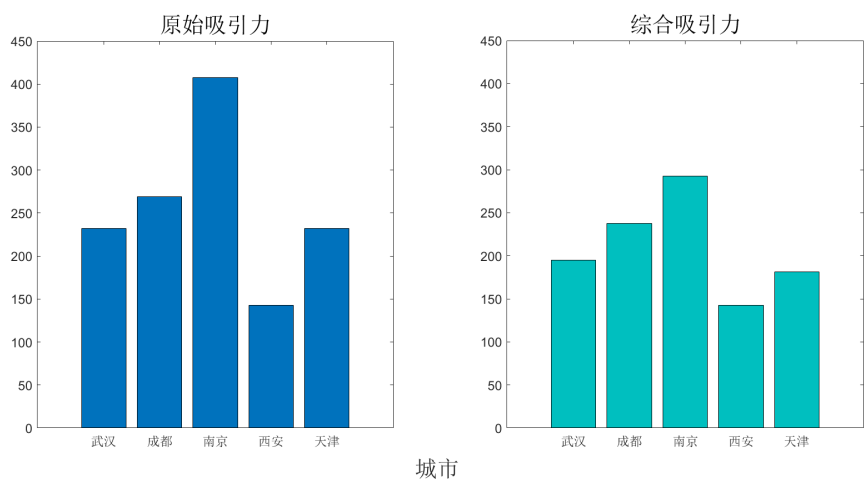


图 15 金融业人才吸引力排名

金融业排名为：南京>成都>武汉>天津>西安。金融业是第三产业。对于金融类人才的吸引力，我们通过宜商环境中的经济影响力进行评价。从上表中可以看出，武汉市的金融业人才吸引力在同类城市中处于第三位，与成都接近，领先西安和天津。相对其他城市，南京市金融业的体量大，人才吸引力强。为了更好的吸引人才，可以帮助人才落脚安居，解决人才的后顾之忧，增强城市人才吸引力。

6.3.2 灵敏度分析

择业过程中，相关的专业指标对人才的吸引力往往是最大的。由于 K_a 的确定标准为人才种类分类指标的贡献值在总体吸引力评分中超过 50%，因此在人才种类吸引力指标的灵敏度分析中，不同人才种类的对应指标在各自种类中的贡献度皆是最主要的，对应的灵敏度都是最大的。

对于迁移成本这一变量，西安的迁移成本在五个研究城市中是最小的，因此即使西安的原始吸引力在五市中并不突出，但综合吸引力在五市中有时表现良好。例如对信息产业和教育产业人才的吸引力均超过了天津。

6.4 提升吸引力方案

进行纵向对比可以得出武汉与其它四个城市在地区人才吸引力上的差距，其中武汉市在教育条件，信息产业和建筑发展三个方面对人才存在较显著的吸引力影响，但是在制造业和金融类型的人才吸引力上都存在较大劣势。

为了引进优秀人才，考虑到武汉在户籍政策，子女教育，休闲娱乐，生态环境四个方面基本都存在优势。通过对比我们提出相应的政策为：

- (1) 对武汉引进人才进行购房补贴，提高武汉市人才受住房条件的负面影响。
- (2) 扩大武汉市在教育与信息产业的优势，进一步提高对不同人才的吸引力。
- (3) 通过大数据分析获取目标地区的目标人才画像、人才特征、人才趋势、流动与供需情况，可以帮助城市更合理、更有针对性的海外引才策略。通过人才数据洞察提升城市在海外地区的人才战略布局与产业目标的适配性。
- (4) 目前经济体量较大、发展程度较高的城市生产总值增速普遍较慢，而深圳等城市依然处于高速发展。这与其产业结构有关，其主导产业集中于新兴产业领域，如高端制造业、现代服务业、高科技产业等，因此在其他城市产业升级的同时，能保持较高增速。

七、问题三的求解

武汉身为中国城市的第一梯队，目前武汉的经济总量、能级、国际影响力和国际资源配置等指标有极大地提升空间。未来武汉发展需要依托其多年累积的经验和资源，充分发挥潜力，把握机遇，为此根据模型，提出以下几点建议：

第一，提升薪酬方面：针对不同行业、不同工作性质和处于企业组织不同层次、不同岗位的人才^[3]，企业应采取不同的评价标准和方式来评价人才的绩效和确定“奖金”的数额，以保证公平和效率的原则。

- 1) 对于从事技术工作的人才：对于高级技术人才可以根据他参与的项目为企业所带来的效益，以项目提成的方式给予奖励；而对于一般的技术员工或工人可以采取一次性奖金以鼓励他在具体生产或研发过程中的小发明或小创新。
- 2) 对于从事管理工作的人才：可以采取“目标管理”的方式。制定一定的管理目标，并根据目标完成程度以及效果来确定奖金数额。对于目标的制定和考核标准可以由企业来制订，也可以由企业与企业与人才双方协商制订。

3) 对于从事市场方面工作的人才,可以采取以市场业绩为依据来确定报酬,同时可以辅以“目标管理”方式来鼓励人才在开拓新市场,创造潜在消费市场以及推广企业知名度等不能直接计量的工作。

第二,武汉过去 20 年一直坚持科技创新,已经在光电材料、新能源汽车和大科学装置建设等领域成为国内最领先的城市之一。近年来武汉又在人工智能、生物医药和生命科学等领域培育了一批有代表性的企业和机构,形成了国际影响力。

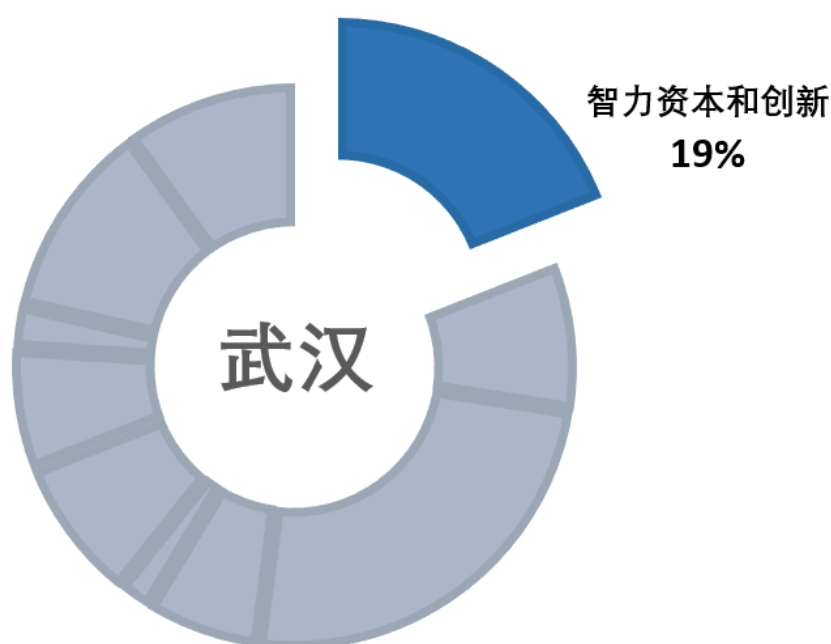


图 16 武汉市智力资本与创新指标权重占比情况

科技创新是衡量城市核心竞争力的重要指标,从人才吸引力模型中智力资本与创新指标权重占比情况图 6 和图 13 分析可得武汉科技创新能力在城市人才综合吸引力中占比为 19.27%,在五大城市中排名第一。根据图 4 可得武汉市出台一系列政策《科学技术奖励办法》(2012)、《科学技术奖励办法实施细则》(2013)后,武汉市 2013、2014 年增长率分别为 51.4%、85.9%,成效显著,武汉应该加大科研教育经费的投入力度,进一步激活科技强推力,发展新动力。

第三,武汉目前面临城市深度老龄化的挑战,2018 年全市 65 岁以上的老人约 366 万人,占常住人口比重为 15.1%,同时又面临其他城市积极吸引各类高端人才的挑战。武汉需要适时调整优化人口调控政策,一方面对高端人才提供个性化的政策,实行“一人一策”方法,即通过实施“百人计划”,校友,专家联络会等方式,引进一批高层次人才;另一方面要形成合理的年龄和就业人口结构,落实计划生育家庭奖励扶助政策,按照“老人老办法,新人新办法”的原则,对政策调整前独生子女家庭和农村计划生育双女家庭,继续实行现行的各项奖励扶助政策,在社会保障、精准扶贫、新农村建设、就业创业、医疗卫生等方面予以倾斜。

八、模型的评价与改进

8.1 模型的优点

- 1) 在涉及到城市人才吸引力状况评价时,用因子分析模型能综合考虑各种不同因素,通过计算出各个因素的权重值来决定其在最后排序中所占的重要性,并增强算法的可行性。
- 2) 模型数据收集较全,模型建立的依据较为成熟客观。

8.2 模型的缺点

- 1) 我国地域辽阔,人才状况差异甚大,该模型还需通过更广泛的应用加以多方面的验证,所以还有很大的优化空间。
- 2) 城市的吸引力水平是由许多个因素组成,在建立模型的过程中我们只选取了少部分因素进行评价,而忽略了其中的一些影响因素。

参考文献

- [1]谷王娟.城市人才吸引力评价与比较研究[D].重庆大学,2018.
- [2]陈蕾.我国城市人才吸引力评价的定量评估[J].商业经济,2018(08):43-45+59.
- [3]阮梦蝶.基层如何留住人才:“两选并轨”政策对武汉的启示[J].武汉职业技术学院学报,2018,17(03):112-115.
- [4]张炜.天津市人才吸引力影响要素评价——基于随机森林法的检验分析[A].天津市社会科学界联合会.发挥社会科学作用 促进天津改革发展——天津市社会科学界第十二届学术年会优秀论文集(中)[C].天津市社会科学界联合会:天津市社会科学界联合会,2017:8.
- [5]刘继生,陈彦光.分形城市引力模型的一般形式和应用方法——关于城市体系空间作用的引力理论探讨[J].地理科学,2000(06):528-533.
- [6]赵今朝,闫少华.基于因子分析与引力模型的徐州都市圈发展研究[J].城市观察,2010(05):164-172.
- [7]王敏.社会公开招聘制度下高职院校人才招聘工作的思考[J].昆明冶金高等专科学校学报,2014,30(02):18-21.
- [8]高建祥,邱歆芮,黄昕宇,张琦,张阳.人才吸引力评价模型研究——以深圳市为研究对象[J].科技经济导刊,2019,27(12):160-163.
- [9].《中国都市圈发展报告 2018》发布[J].城市规划通讯,2019(06):12.
- [10]Song Meng. Talent Attraction Evaluation Model based on Data from Shenzhen City[P]. Proceedings of the 2018 International Workshop on Education Reform and Social Sciences (ERSS 2018),2019.

- [11]钱春蕾,叶菁,陆潮.基于改进城市引力模型的武汉城市圈引力格局划分研究[J].地理科学进展,2015,34(02):237-245.
- [12]Strother Stuart. More employers, more jobs, more money: An empirical analysis of local economic development policy impacts in US cities[J]. Panoeconomicus,2007,54(4).
- [13]Yifan Sun,Qihua Wang. Function-on-function quadratic regression models[J]. Computational Statistics and Data Analysis,2020,142.

附录 A 代码

```
%% 计算各指标权值
scoremainweight=scorearray*scoreweight
%% 归一化
FlattenedData = originscore(:);
% 展开矩阵为一列，然后转置为一行。
MappedFlattened = mapminmax(FlattenedData, 0, 1); % 归一化。
MappedData = reshape(MappedFlattened, size(originscore)); % 还原为原始矩阵形式。此处不需转置回去，因为 reshape 恰好是按列重新排序
lastscore=MappedData'*scoremainweight

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
def age_pie():
    plt.rcParams['font.sans-serif'] = ['KaiTi'] # 指定默认字体
    plt.rcParams['axes.unicode_minus'] = False # 解决保存图像是负号 '-' 显示为方块的问题
    labels = ['智力资本和创新','技术成熟度','区域重要城市','健康、安全与治安','交通和城市规划','可持续发展与自然环境','文化与居民生活','经济影响力','成本','宜商环境'];
    sizes =
[15.26567300000000,6.778418000000000,0.2285830000000000,25.23483300000000,20.59995600000000,4.227710000000000,7.992309000000000,7.421946000000000,0.945852000000000,3.836865]
    # print(sizes)
    explode = (0, 0,0,0.05,0,0,0,0,0) # 0.1 为第二个元素凸出距离
    colors = ['tomato', 'lightskyblue', 'goldenrod', 'green', 'y']
    # 饼图绘制函数
    plt.figure(figsize=(8, 6))
    plt.pie(sizes, explode=explode, labels=labels, colors=colors, \
            autopct='%1.1f%%', shadow=False, pctdistance=0.7, \
            startangle=90, textprops={'fontsize': 10, 'color': 'w'})
    plt.title('吸引力模型各指标权重分布图')
```

```

plt.axis('equal')
plt.legend(loc='upper right')
plt.savefig('age.png', dpi=600)
plt.show()
print(age_pie())
#--coding:utf-8--
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
import tushare as ts
plt.rcParams['font.sans-serif'] = ['KaiTi'] # 指定默认字体
plt.rcParams['axes.unicode_minus'] = False # 解决保存图像是负号'-'显示为方块的问题
data =
[14.33,31.7574398500000,33.3314732100000,51.4559703700000,85.9774990600000
,18.8825099400000,26.1152348100000,39.9746290400000];
y = data
x = range(1,31)
# y1=y[0:4]
#y2=y[4:14]
plt.style.use('ggplot')
figsize = 10,8
figure, ax = plt.subplots(figsize=figsize)
plt.plot(x,y,'o-',label="增长率",color="turquoise",linewidth=3)
#plt.plot(x2,y2,"",label="2016 年",color="blue",linewidth=2)
font2 = {'family': 'KaiTi',
         'weight': 'normal',
         'size': 20,
         }
plt.title('碎石图',font2)
plt.legend(loc='upper right')
plt.xticks((2010,2011,2012,2013,2014,2015,2016,2017),('2010 年','2011 年','2012 年',
,'2013 年','2014 年','2015 年','2016 年','2017 年'))
## 坐标轴
plt.tick_params(labelsize=23)
labels = ax.get_xticklabels() + ax.get_yticklabels()
[label.set_fontname('KaiTi') for label in labels]
plt.grid(x)
plt.show()
#数据设置
y1
=[14.33,31.7574398500000,33.3314732100000,51.4559703700000,85.97749906000
00,18.8825099400000,26.1152348100000,39.9746290400000];
x1=range(1,32);

```

```

# x2=[0,5000,10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 40000, 45000, 50000,
55000];
# y2=[0, 214, 445, 627, 800, 956, 1090, 1281, 1489, 1625, 1896, 2151];
#设置输出的图片大小
figsize = 10,8
figure, ax = plt.subplots(figsize=figsize)
#在同一幅图片上画两条折线
A,=plt.plot(x1,y1,'-r',label='A',linewidth=5.0,color="turquoise")
# B,=plt.plot(x2,y2,'b-.',label='B',linewidth=5.0)
#设置图例并且设置图例的字体及大小
font1 = {'family' : 'Times New Roman',
'weight' : 'normal',
'size' : 23,
}
#legend = plt.legend(handles=[A,B],prop=font1)
legend = plt.legend(handles=[A],prop=font1)
#设置坐标刻度值的大小以及刻度值的字体
plt.tick_params(labelsize=23)
labels = ax.get_xticklabels() + ax.get_yticklabels()
[label.set_fontname('Times New Roman') for label in labels]
#设置横纵坐标的名称以及对应字体格式
font2 = {'family' : 'Times New Roman',
'weight' : 'normal',
'size' : 30,
}
plt.xlabel('年份/Y',font2)
plt.ylabel('增长率/%',font2)
#将文件保存至文件中并且画出图
plt.show()

function [s,w]=shang1(x,k1)
[n,m]=size(x);
[X,ps]=mapminmax(x');
ps.ymin=0.002;
ps.ymax=0.996;
ps.yrange=ps.ymax-ps.ymin;
X=mapminmax(x',ps);
X=X';
for i=1:n
    for j=1:m
        p(i,j)=X(i,j)/sum(X(:,j));
    end
end
end
k=1/log(n);

```

```

for j=1:m
    e(j)=-k*sum(p(:,j).*log(p(:,j))));
end
d=ones(1,m)-e;
w=d./sum(d);
w1=k1.*w;
s=w1*p';

```

附录 B 表格

公因子方差

	原始		重新标度	
	初始	提取	初始	提取
var001	1.000	.984	1.000	.984
var002	1.000	.915	1.000	.915
var003	1.000	.988	1.000	.988
var004	1.000	.997	1.000	.997
var005	1.000	.994	1.000	.994
var006	1.000	.996	1.000	.996
var007	1.000	.962	1.000	.962
var008	1.000	.979	1.000	.979
var009	1.000	.996	1.000	.996
var010	1.000	.987	1.000	.987
var011	1.000	.962	1.000	.962
var012	1.000	.984	1.000	.984
var013	1.000	.950	1.000	.950
var014	1.000	.997	1.000	.997
var015	1.000	.958	1.000	.958
var016	1.000	.891	1.000	.891
var017	1.000	.938	1.000	.938
var018	1.000	.878	1.000	.878
var019	1.000	.966	1.000	.966
var020	1.000	.962	1.000	.962
var021	1.000	.786	1.000	.786
var022	1.000	.921	1.000	.921
var023	1.000	.926	1.000	.926
var024	1.000	.932	1.000	.932
var025	1.000	.938	1.000	.938
var026	1.000	.998	1.000	.998

var027	1.000	.818	1.000	.818
--------	-------	------	-------	------

提取方法：主成分分析法。

成分转换矩阵

成分	1	2	3	4	5
1	.712	.461	.478	.223	.048
2	.439	-.598	.186	-.610	.208
3	.420	.282	-.715	-.316	-.364
4	.241	-.162	-.475	.429	.711
5	-.256	.570	.028	-.542	.562

提取方法：主成分分析法。

旋转方法：凯撒正态化最大方差法。

成分得分协方差矩阵

成分	1	2	3	4	5
1	1.000	.000	.000	.000	.000
2	.000	1.000	.000	.000	.000
3	.000	.000	1.000	.000	.000
4	.000	.000	.000	1.000	.000
5	.000	.000	.000	.000	1.000

提取方法：主成分分析法。

旋转方法：凯撒正态化最大方差法。