

长三角人工智能产业空间格局及影响因素

叶琴¹ 徐晓磊¹ 胡森林² 曾刚² 陆嘉铃¹¹

(1. 上海师范大学 环境与地理科学学院, 上海 200234;

2. 华东师范大学 中国现代城市研究中心, 上海 200062)

【摘要】: 基于从天眼查筛选的长三角人工智能企业数据, 采用核密度法、空间自相关分析、地理探测器等方法, 研究 2015~2020 年长三角 41 个城市的人工智能产业空间格局及影响因素。研究发现: (1) 城市群层面, 长三角人工智能产业呈多中心集聚发展态势, 上海、杭州、苏州、南京、合肥五大集聚中心带动产业整体向沪宁合杭甬发展带集聚; 从产业基础层、技术层到应用层, 随着产业链环节技术门槛的降低, 集聚水平提高, 集聚中心数量增多, 集聚规模扩大。(2) 城市层面, 上海和苏州呈现出“多中心”集聚特征, 而杭州、南京、合肥为“单中心”的集聚模式; 应用层集聚程度高于技术层和基础层, 并向人口最密集和数据生产最多的中心城区集聚, 基础层和技术层则相对更多布局在产业园区。(3) 城市人工智能技术关联产业的基础(计算机、软件等)、科技人员数量、创新能力是影响长三角人工智能产业空间格局的核心因素, 但基础层、技术层和应用层的影响因素存在一定的差异性。

【关键词】: 长三角 人工智能产业 空间格局 影响因素

【中图分类号】: F127 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)03-0526-11

人工智能(AI)是新一轮科技革命和产业革命的重要驱动力量^[1],影响着全球范围内的几乎所有行业与企业。AI通过任务自动化、重组现有知识和新生产知识,从根本上改变产品生产方式和创新方式^[2],极大地提高了生产力^[3]。随着人工智能和数据的影响力不断上升,全球区域产业竞争格局发生了变化。中国已经成为世界第二大人工智能企业集聚区,北京、上海、深圳、杭州成为全球人工智能企业涌现和积聚的热点区域^[4]。2020年8月,习近平总书记在长三角一体化座谈会上提出长三角地区要集合科技创新的力量,发挥各地比较优势,加强分工合作,在人工智能领域尽早取得重大突破。2020年9月,长三角三省一市成立了产值超万亿的长三角人工智能产业链联盟,积极落实国家对长三角人工智能产业发展的要求。推进人工智能产业发展是加快中国创新驱动发展战略实施的强力支撑,是促进区域产业转型和区域产业协同发展的重要途径。在此背景下,研究长三角人工智能产业空间格局及影响因素具有重要的现实意义,为长三角一体化背景下推动人工智能产业空间格局的优化,促进长三角更高质量融合发展提供参考意见。

高新技术产业发展的空间布局及其影响机制一直是经济地理学者关注的重点。在全国尺度上,高新技术产业的集聚程度呈现由东部向西部、沿海向内陆递减的分布趋势^[5,6,7]。城市群尺度上,刘汉初等^[8]指出技术密集型产业空间上呈现出持续向核心城市集聚的动态趋势,但存在行业集聚异质性,通信设备、计算机及其它电子设备制造业的集聚最为明显;席强敏等^[9]应用产业单中心和多中心空间理论展开实证,指出京津冀城市群高技术制造业由单中心向分散的多中心结构演变,以缓解集聚不经济。在地级市尺度上,高新技术产业分布在科技园及中心城区^[10,11],如杨凡等^[10]对北京和上海研发密集型制造企业集聚模式和影响因素进

作者简介: 叶琴(1989~),女,副教授,主要研究方向为创新网络与区域发展.E-mail:yeqin-ecnu@qq.com;胡森林 E-mail:hsllh520@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(41901142);上海市哲学社会科学规划项目(2019EJL003);上海市软科学研究领域重点项目(20692194100)

行对比分析,发现北京的企业集中分布特征明显,而上海表现出集聚与扩散并存的共生集聚特征。作为一种新兴的高新技术产业,人工智能近年来备受国内外学者、媒体和政府部门的关注。但受限于模糊的定义和微观企业数据获取,相关研究仍较少。Gherhes 等^[12]、Doloreux 等^[13]均采用了混合的方法,即结合 AI 相关的文件、出版物等资料和半结构化访谈,分析加拿大蒙特利尔人工智能产业集群的发展演变;一些学者将 AI 定义为与计算机硬件和软件相关的各项技术,采用关键词方法(在专利文件的文本中搜索与人工智能相关的术语)^[14]、预选与 AI 相关技术类别方法,或两种方法的结合来识别与 AI 技术相关的专利^[15]进而研究人工智能产业创新。

综上所述,受限于高质量的企业级数据获取^[16],已有研究对人工智能产业空间集聚特征及集聚机制的探究较少。人工智能产业作为一种新兴的高技术产业,是否具有新的空间格局特征?技术门槛不同的产业链各环节,它们的空间特征存在哪些差异?人工智能产业发展与所在城市和城市群的地方特征有何关系?本文试图探讨这些问题,从城市群和城市内部两个尺度,从产业链的基础层、技术层、应用层 3 个环节分析了长三角人工智能产业的空间格局及影响因素,为长三角一体化背景下推动人工智能产业空间格局的优化,促进长三角更高质量融合发展提供参考意见。

1 产业界定、数据来源与研究方法

1.1 人工智能产业界定

AI 产业发展目前仍处于起步阶段,它的快速发展使其定义变得困难^[17],目前依然没有确定的定义列出 AI 的组成和边界^[3]。全球人工智能研究始于 20 世纪 50 年代,但由于算法、计算能力和数据方面的突破,直到 2010 年初,人工智能才能够被商业化应用。然而,目前的人工智能发展仍处于狭义的人工智能阶段,即在单一能力上优于人类^[18]。薛澜等^[4]将人工智能产业定义为一组开发机器系统(包括算法和硬件)的公司,这些机器系统模仿人类智能来解决特定问题。2017 年国务院印发的《新一代人工智能发展规划》指出构建包含前沿基础理论、关键共性技术、基础支撑平台、智能应用的中国人工智能体系。清华大学-中国工程院知识智能联合研究中心发布的《2019 人工智能发展报告》中指出人工智能产业的 13 个重点技术领域范围,包括机器学习、计算机视觉、知识工程、自然语言处理、语音识别、计算机图形学、多媒体技术、人机交互技术、机器人、数据库技术、可视化技术、数据挖掘、信息检索与推荐。

根据产业链划分,人工智能产业又可细分为基础层、技术层和应用层^[19]。其中,基础层是支撑人工智能应用的前提,包括专用芯片和软硬件开发制造等,创新难度大、技术和资金壁垒高;技术层依托基础层进行识别与机器学习,技术开发难度较大;应用层是实现人工智能技术在不同场景的应用,技术进入门槛相对较低^[20]。当前,中国“人工智能+”为代表的應用層日益丰富,传统产业被改造并催生出新业态,而基础层和技术层的布局能力和研发实力还有待提升。

1.2 数据来源与处理

本文研究区域为长三角整个规划区,即上海市、江苏省、浙江省、安徽省,四地共计 40 个地级市与 1 个直辖市;由于区县层面存在行政区划调整,本文以国家统计局发布的 2015 年行政区划代码为标准进行企业经纬位置点数据的合并处理,共计 310 个区县。其次,借鉴上述概念和方法,本文研究的人工智能企业范围包括人工智能软件和硬件开发的基础层企业、为人工智能提供数据及算力支撑的技术层企业、面向特定应用场景需求的应用层企业。

本研究从天眼查网站(www.tianyancha.com/vipintro?itchpointflag=pc_home_vipbutton_pb)筛选人工智能企业(天眼查网站数据来源国家信用信息公示系统,国家信用信息公示系统是中国国家市场监督管理总局公开发布的企业微观数据库),根据企业经营范围和类型进行人工逐个判别,建立了长三角人工智能企业数据库。

长三角人工智能企业数据库包括了截止 2020 年 10 月 31 日在业存续的 16369 家人工智能企业,新创企业以人工智能技术应

用的中小微企业为主(“平台赋能+中小微企业+开发者”的组织形态),注册资本大于等于 3000 万人民币的企业数量为 1013 家(北京、杭州、天津等各地政府给予人工智能企业重大项目最高补贴 3000 万),大于 5000 万人民币的企业数量仅为 746 家。进一步根据人工智能产业链各层专攻范围,识别出长三角人工智能基础层、技术层和应用层企业数量为 2136、3979 和 10254 家。将经营范围涉及“专用芯片研发”、“大数据”、“软硬件研发”、“云计算”的人工智能企业筛选为基础层领域;将经营范围涉及“算法理论”、“开发平台”、“计算机视觉”、“机器视觉”、“智能语音”、“机器学习”、“可视化技术”、“数据挖掘”、“语音识别”等人工智能企业筛选为技术层领域;将经营范围涉及“智能教育”、“智能金融”、“智能医疗”、“智能家居”、“智能制造”等面向市场应用的人工智能企业筛选为应用层领域。为避免企业数量的重复计算,如一个企业的经营范围涉及多个领域,只将其归为排在前面的相应领域类型。

图 1 展示了 2003~2020 年长三角人工智能企业数量变化趋势。2014 年之前,长三角人工智能产业企业数量很少。2015 年 7 月,国务院出台《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》,首次将人工智能纳入重点任务之一,推动中国人工智能步入新阶段,人工智能企业数量增长速度加快。2017 年 7 月,国务院发布《新一代人工智能发展规划》,确立了新一代人工智能发展三步走战略目标,将人工智能上升到国家战略层面。在相关政策的强力驱动下,2020 年的人工智能企业新增数量尤为明显。

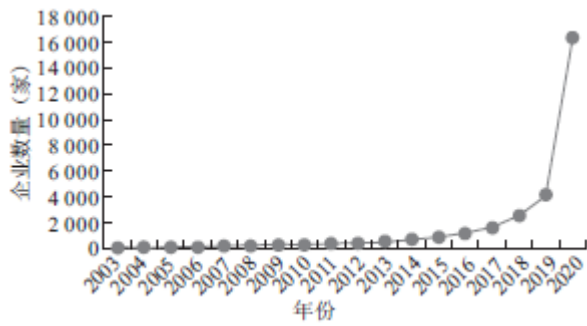


图 1 2003~2020 年长三角人工智能企业数量

1.3 研究方法

首先根据长三角人工智能企业数据库中的企业位置信息建立企业空间数据库,结合核密度估计可视化表达企业空间点分布的格局;其次,通过核密度法、空间自相关分析,研判产业空间分布与集聚扩散规律;再者,采用地理探测器对产业布局的可能影响因素进行分析。主要方法如下:

(1) 核密度法

通过对企业经纬度位置点数据的核密度分析,可视化表达产业分布格局与演化规律,其计算公式如下:

$$f_k(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $f_k(x)$ 为核函数; $h>0$ 为带宽; $x-x_i$ 表示估计值 x 到样本 x_i 的距离。基于整理所得的 16369 家长三角人工智能企业,通过百度坐标拾取系统确定每个企业的经纬度坐标,利用 ArcGIS 软件实现核密度制图。

(2) 空间自相关分析

全局 Moran' sI 统计量测度城市群内各区县及其领域产业空间关联及差异程度，计算公式如下：

$$\text{Moran's } I = \frac{n}{S_0} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}, \quad n$$

式中： n 为空间单元总数； y_i 和 y_j 分别表示第 i 个空间单元和第 j 个空间单元的企业数量； \bar{y} 为所有空间单元企业数量的均值； w_{ij} 为空间权重值。Moran' sI 的区域范围为 $[-1, 1]$ ，Moran' sI > 0 ，表示所有空间单元的企业数量在空间上有正相关性，即 I 的值越大，企业集聚程度越高；Moran' sI $= 0$ ，表示企业随机分布，无空间相关性；Moran' sI < 0 ，表示所有地区的企业数量在空间上有负相关性，即 I 的值越小，企业分散分布程度越高。

(3) 地理探测器

地理探测器 (<http://www.geodetector.cn/>) 是探测空间分异性，以及解释其背后驱动力的一组统计学方法，该方法没有过多的假设条件，在处理混合类型数据时具有明显优势，因此在自然和社会科学方面多个领域得到了广泛应用^[21]。本文运用 Geodetector 软件，分析产业基础、经济水平、科创资源和政府政策四大类因素对长三角人工智能产业空间格局的影响。

2 长三角人工智能产业空间格局

2.1 产业整体空间格局演化

在省域层面，截止 2020 年 10 月 31 日，江苏省在业存续的人工智能企业数量最多为 6967 家，占比达到 42.6%；浙江省次之，为 5706 家，占长三角总量的 34.9%；上海市和安徽省分别为 2234 家和 1462 家，分别占总量的 13.6% 和 8.9%。从城市层面来看，上海市人工智能企业数量最多共 2234 家，占总数的 13.6%，紧随其后的是杭州、南京、苏州和合肥，分别为 2146 家、2098 家、1880 家和 1127 家，这五座城市的人工智能企业数量占总数的 57.9%。

为进一步探究长三角人工智能产业的空间集聚趋势，本文以国务院发布《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》、《新一代人工智能发展规划》两大重要文件的发布年份作为时间节点，分析了截止 2015、2017、2020 年长三角在业存续的人工智能企业空间格局，并计算了全局莫兰值，如表 1 所示。2015、2017、2020 年，长三角人工智能产业发展的莫兰指数全部为正，且指数值逐渐增大，P 值检验结果也均为显著，说明长三角人工智能产业发展呈现显著的空间正相关性，空间集聚程度不断增强。

表 1 长三角人工智能产业发展的全局莫兰值及检验结果

年份	Moran' sI	Z	P-value
2015	0.322	6.826	0
2017	0.344	8.013	0
2020	0.449	11.252	0

借助 ArcGIS 软件，绘制了长三角人工智能企业空间分布图(图 2)。从图 2a 和图 2d 可以看出，2015 年，长三角人工智能产业处于起步阶段，人工智能企业主要分布在上海，江苏省的南京、苏州、无锡等苏南地区，安徽省的合肥，浙江省北部的杭州以及沿海城市宁波、温州。安徽省整体上人工智能产业发展落后于另外两省一市，大部分县区还未涉足人工智能产业。具体来看，2015 年，上海的企业数量最多为 145 家，全市分布相对均匀；杭州企业数量次之(140 家)，但主要分布于城市的中心城区；苏州、合肥人工智能产业发展紧随杭州，企业数量分别为 85 家和 71 家，也形成了明显的中心城区集聚特征。上海和苏州两座城市交界区县布局大量人工智能企业，可见上海和苏州在人工智能方面有充足的交流合作空间。

2017 年，上海、杭州、南京、苏州、合肥成为主要的集聚中心，杭州企业数量最多为 252 家，其次为上海、苏州、合肥、南京，分别为 216 家、165 家、164 家和 148 家。从图 2b 和图 2e 可以看出，“上海-苏州”的双核集聚演变为“杭州-上海-苏州-南京”连绵区。2017 年，安徽人工智能产业发展成效显著，每个城市均有，企业分布合肥人工智能产业集聚程度显著提高。宁波、温州、嘉兴、无锡、常州、镇江、扬州等城市纷纷开始重视人工智能，引进人工智能企业和技术团队，企业集聚程度也有了显著的提高，但与上海市和三省省会城市还有较大差距。

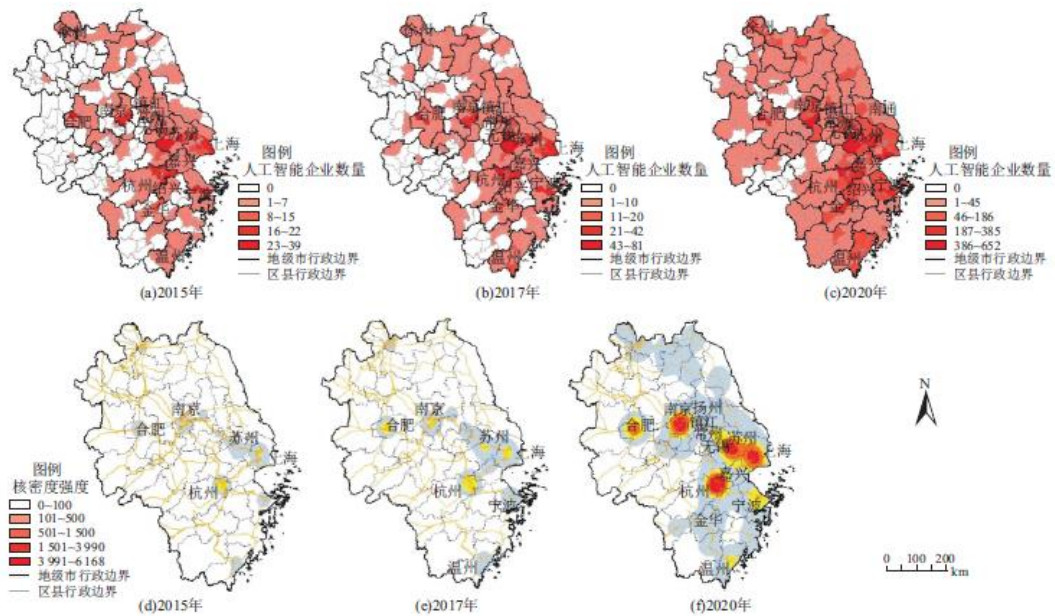


图 2 2015、2017、2020 年长三角人工智能企业分布与核密度图

2020 年，长三角人工智能企业总体集聚强度快速提升，呈现“Z”字型布局。从图 2c 和图 2f 可以看出，人工智能企业集聚规模显著增大，并形成上海、杭州、南京、苏州、合肥等五大集聚中心，“Z”字型集聚格局初步形成。

2.2 核心城市人工智能企业空间集聚模式

进一步绘制了五大集聚中心城市的企业分布图(图 3)，上海和苏州市的人工智能企业分布呈现多核心集聚，中心城区和郊区都有大量企业分布，主要归因于分布于市域内的各类园区。杭州、南京和合肥的人工智能企业在全市域内高度集中，呈单核心集聚特征。其中，杭州的人工智能企业主要集聚在东北部的余杭区、拱墅区、萧山区、西湖区、江干区等中心城区；南京市的人工智能企业集中分布在其中部的栖霞区(351 家企业)、秦淮区等中心城区，以及城区内新港高新技术产业园、鼓楼高新区等；苏州市的人工智能企业集中分布在其苏州工业园区(510 家企业)以及姑苏区、吴中区等；合肥的人工智能企业集中分布在西北部的蜀山区(258 家企业)与瑶海区(230 家企业)。

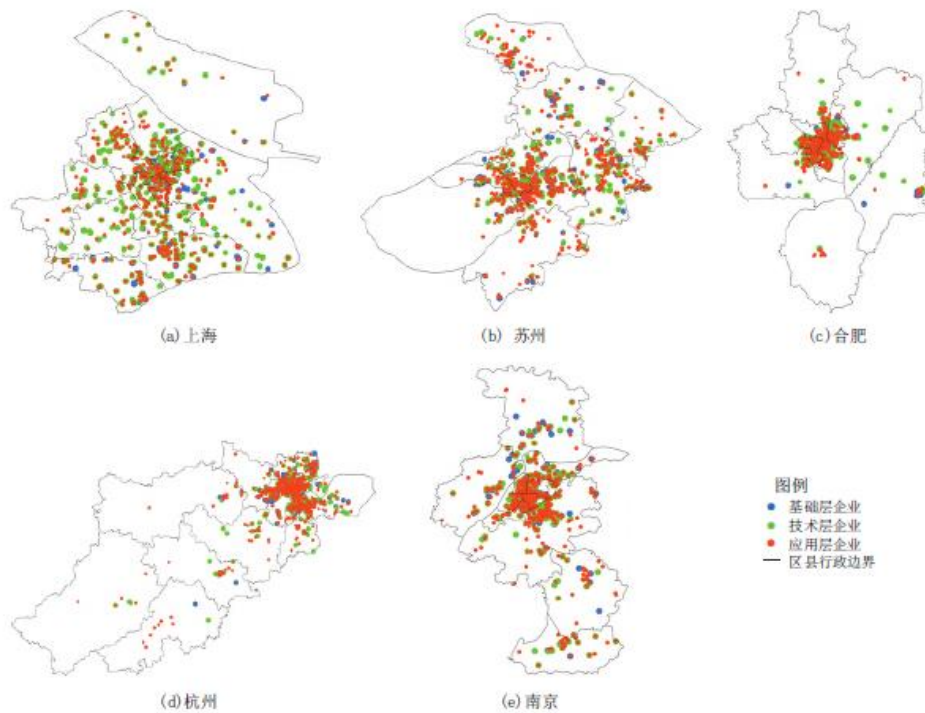


图 3 2020 年上海、苏州、合肥、杭州、南京五大集聚中心城市人工智能企业分布

总的来看，各类产业园区、大学和科研院所等深刻影响着城市内部人工智能企业分布的空间模式。园区作为中国产业集聚的核心载体，吸引了人工智能企业。其中，上海的园区、大学和科研院所分布较为分散，如浦东新区拥有上海临港人工智能产业基地和张江人工智能岛，闵行区有马桥人工智能产业园，松江区有国家火炬上海松江洞泾人工智能特色产业基地和腾讯长三角人工智能超算中心。而杭州、南京、合肥的园区、大学和科研院所均高度集聚，如杭州 604 家人工智能企业集聚在拥有之江实验室和人工智能小镇的余杭区，同时依托阿里巴巴、海康威视等龙头企业优势，加上早期建立的浙江大学人工智能研究所，其所在地的人工智能方面发展很快。

2.3 产业链不同环节空间格局

从基础层、技术层到应用层，随着技术门槛的降低，产业集聚中心的数量增多，集聚规模扩大(图 4)。首先，长三角人工智能基础层、技术层和应用层企业数量分别为 2136、3979 和 10254 家，分别占总数的 13%、24%和 63%；其次，对 2020 年产业链三个层次分别计算全局莫兰指数值(2017 年以前基础层企业数量少，故不作趋势分析)，测算结果表明，集聚指数最高的是应用层，Moran' sI 值为 0.413***；其次是技术层，Moran' sI 值为 0.391***；最低值为基础层，Moran' sI 值为 0.121***。从图 3 也可以看出，在五大中心城市中应用层企业集聚程度最高，主要集聚在中心城区；技术层和基础层分布相对分散，尤其在上海和苏州两座城市，两座城市相邻的区县嘉定、青浦、昆山、太仓、吴江区有大量技术层企业的集聚，合肥、杭州、南京的近郊也有少量技术层企业的分布。

基础层领域形成了上海、南京、杭州 3 个集聚中心。基础层为人工智能提供数据及算力支撑，是人工智能产业发展的基础，而目前基础层领域的核心技术，多掌握在国际 IT 巨头手中。长三角基础层领域的企业数量最少，发展最为薄弱。上海市基础层企业数量为 356 家，其次是南京 257 家、杭州 252 家。目前上海市拥有在芯片领域的 Thinkforce、ISSI 等领先企业，以及云计算创新基地等平台，基础层实力最为强劲，基础层企业集聚在浦东新区(图 4a)。

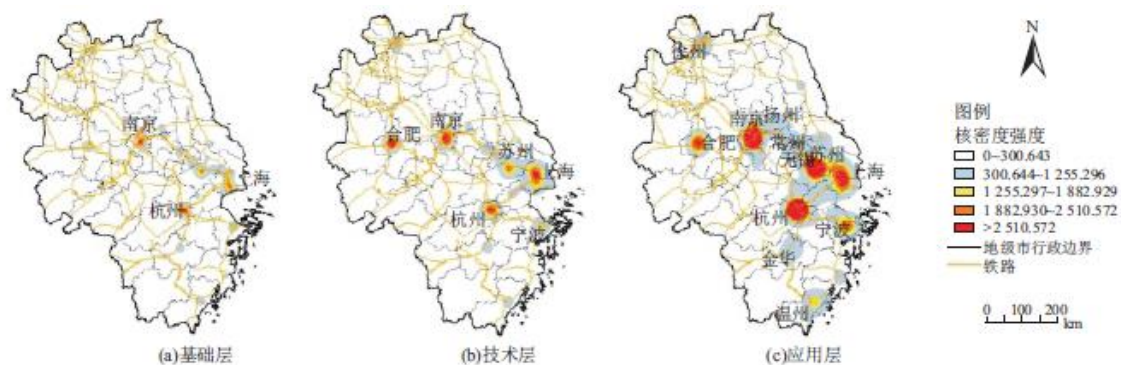


图 4 长三角人工智能产业基础层、技术层、应用层核密度图

技术层是人工智能发展的核心，以模拟人的智能相关特征为出发点，构建相关路径，对应用层产品智能化程度起决定作用。上海市的杨浦区、长宁区、闵行区、松江区、浦东新区等在智能识别、类脑智能等技术领域具有发展优势(图 4b)，技术层企业数量最多为 752 家；其次为杭州、南京、合肥、苏州。杭州手握阿里巴巴和浙江大学，在互联网、电子商务等领域迅速崛起；南京引进华为、中兴、联想等 IT 企业在区域内设立研发总部，又有众多高质量高校和科研院所；合肥凭借科大讯飞和声谷产业基地在语音识别领域达到全国领先水平；苏州在技术层面主要聚焦于语音识别、计算机视觉领域，涌现出包括思必驰、华兴致远在内的一批本土企业。另外，宁波、无锡、徐州、金华在技术层发展也较好，宁波成立人工智能产业研究院，在计算机技术平台、计算机视觉等方面全力打造，金华和徐州都积极谋划发展人工智能技术。

应用层是人工智能产业的延伸，集成了人工智能基础应用技术，面向特定应用场景需求形成软硬件设备或解决方案。长三角人工智能产业的应用层领域企业基本覆盖长三角区域，并向沪宁合杭甬发展带集聚(图 4c)。人工智能产业呈现应用的多样化特点，在智能制造、生活家具、医疗健康、娱乐传媒、绿色环保、文化教育等领域应用广泛。杭州应用层企业数量最多为 1465 家，杭州主要利用人工智能为行业提供服务、产品和解决方案，在金融、安防、交通、医疗、制造、机器人等领域均得到良好应用。其次为南京、苏州、上海，分别为 1356 家、1229 家、1126 家，上海的张江人工智能岛和苏州的工业园区在应用层领域的集群优势明显。宁波的应用层发展态势良好，形成了明显的集聚中心，“智能+”成为宁波产业发展新引擎。温州、嘉兴、金华、徐州、无锡、常州等城市均在人工智能应用领域取得良好发展。

3 长三角人工智能产业空间格局影响因素

3.1 理论基础与指标选择

国内外学者从制度环境、创新环境、产业基础等方面对高新技术产业空间的影响因素进行了探讨，认为外商投资、技术型人才、领先公司、资本、大学和政府的支持显著促进高新技术产业的集聚发展^[23, 24]，而技术创新能力薄弱、市场能力要素发挥失调则会导致高新技术产业发展动力不足^[25]。演化经济地理学者从技术关联性的视角，研究相关多元化和无关多元化对区域内新兴产业产生的影响。Frenken^[26]、Balland^[27]、Essletzbichler^[28]等的研究表明城市相关多元化(产品、产业、技术相关)在区域内引发新的产业；然而，Castald 等^[29]研究表明无关的多元化可以导致更根本的创新。对于人工智能产业而言，Doloreux^[13]指出蒙特利尔 AI 行业路径创造的先决条件首先是强大的本地信息和通信技术 (ICT) 集群(人工智能产业是从 ICT 集群中发展起来)；其次是关键的本地和全球创业者和支持者的集体行动、大学和研究机构的参与以及多尺度政策。Gherhes 等^[12]指出政府、工业和学术界的耦合促进了蒙特利尔 AI 产业的产生；加拿大联邦政府和省级互补的多级政策举措促进了知识的创造和传播、市场形成、创业实验和合法化，巩固了人工智能产业作为新的区域路径。Yu 等^[18]指出 AI 产业的基础是数据，2000 年以来中国 ICT 产业的快速发展奠定了 AI 产业的数据基础；ICT 产业基础、大学和研究机构、人才资源、宽松的制度体系共同驱动中国人工智能产业的兴起。

基于以上学者的研究结论、中国新一代人工智能发展战略研究院发布的《中国新一代人工智能科技产业发展报告(2019)》中对区域人工智能科技产业竞争力的评价指标体系,本文建立了长三角人工智能产业空间格局影响因素指标体系(表2)。因变量Y为各城市截止2020年10月31日的人工智能企业数量,自变量为表2中的10个二级指标。考虑到影响因素的滞后项,本文将自变量数据滞后2年,即数据来源于《2019中国城市统计年鉴》、41个城市的政府官网和天眼查官网。

表2 长三角城市人工智能产业空间格局影响因素指标体系

一级指标	二级指标	数据说明
产业基础	计算机企业数量(X1)	主要业务为计算机技术和产品研发,计算机及零配件制造、销售和企业的企业
	软件企业数量(X2)	主要业务为软件开发、销售和企业的企业
	芯片企业数量(X3)	主要业务为芯片开发、销售和企业的企业
经济水平	GDP(X4)	地区生产总值
	外商投资(X5)	当年实际使用外资金额
科创资源	科学技术支出(X6)	地方一般公共预算支出
	科研人员数量(X7)	年末城镇单位的科学研究和技术服务人员数量
	专利申请数量(X8)	科技创新情况
	普通高等学校数量(X9)	普通高等学校数量
政府政策	人工智能产业政策数量(X10)	人工智能产业政策文件汇总

注:根据自然断裂法,将10个自变量均离散化为5个等级。

3.2 实证结果分析

核心影响因素包括计算机企业数量(X1)、软件企业数量(X2)、科研人员数量(X7)和专利申请数量(X8),影响力指数均超过了0.9。首先,长三角人工智能产业的形成与当地的计算机及软件产业基础是密切相关的,这一结果证实了已有研究关于人工智能产业发展路径模式^[13]。截止2018年末,上海、杭州、南京、苏州、合肥五个城市的计算机企业、软件企业数量总量分别占长三角总量的71.40%、66.19%;无锡、常州、宁波、金华等城市计算机、软件企业数量次之,而淮安、黄山、铜陵等城市企业数量最少,可见雄厚的技术关联产业基础对人工智能产业的发展至关重要。科研人员数量和专利申请数量的解释力分别达到0.931和0.943,科研人员是科研产出的重要主体,专利申请数量反映了地区整体创新水平^[30]。截止2018年末,上海、杭州、南京、苏州、合肥五个城市的科研人员数量和专利申请数量分别占长三角总量的67.81%和38.78%,五市集聚了大批相关人才,大量的科研人员为人工智能产业的科技创新做出了巨大贡献。

次要影响因子包括GDP(X4)、科学技术支出(X6)、普通高等学校(X9),解释力指数均超过了0.8。良好的经济水平、科技创新投入能够促进人工智能产业的发展,GDP反映了一个地区的经济水平,高校资源和科学技术支出对企业的创新激励作用明显。截止2018年末,上海、苏州、杭州、合肥、南京五市的地区生产总值和科学技术支出,分别占长三角总量的39.95%、57.55%,同时集聚了大多数的高层次大学与研究院所。此外,外商投资和人工智能产业政策数量为一般影响因素,城市的外来投资反映一个

城市的开放程度，能够促进地方间的知识、技术、人才等要素进行交流与合作；而通过对各城市人工智能产业政策的梳理，可以发现，上海、南京、苏州、杭州、合肥都针对人工智能的发展发布了相关政策，力争在 2020 年达到全国领先水平。

基础层、技术层和应用层三个领域存在技术门槛等异质性差异，本文进一步探究各因子对其影响的异同点(表 3)。结果显示，影响基础层、技术层和应用层的主要因子的共性和差异性并存。相同的是，城市的产业基础、经济发展水平与科创能力对基础层、技术层和应用层来说均十分重要，而政策的驱动效应相对较弱。其主要在于一方面政策的实施以及发挥作用存在滞后效应，另一方面，各城市间的人工智能产业政策存在同质性，影响了相应政策的作用效应。不同的是，应用层对本地计算机企业数量的依赖性更强，由于应用层的技术进入门槛相对较低，本地拥有计算机产业基础的城市更容易推动人工智能应用层企业的发展；此外，技术层更多的是与软件产业知识基础相似，故技术层对本地软件企业数量的依赖性最强。对于基础层来说，其技术门槛最高，对城市产业基础和科创能力总体要求比较高，产业基础、科研人员数量和专利申请数量是其最为重要的 3 个影响因素。

表 3 长三角人工智能产业空间格局影响因素地理探测结果

变量	总体	基础层	技术层	应用层
X1	0.947***	0.942***	0.935***	0.972***
X2	0.920***	0.878***	0.974***	0.907***
X3	0.824***	0.764***	0.823***	0.811***
X4	0.801***	0.758***	0.796***	0.838***
X5	0.691***	0.633***	0.731***	0.706***
X6	0.823***	0.791***	0.847***	0.838***
X7	0.931***	0.904***	0.954***	0.891***
X8	0.943***	0.943***	0.851***	0.931***
X9	0.884***	0.876***	0.900***	0.814***
X10	0.570**	0.536**	0.574**	0.547**

注：***, **, *分别表示在 0.01, 0.05, 0.1 的置信水平下显著。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文对 2015~2020 年长三角人工智能产业空间布局与影响因素进行分析，结论如下：

(1) 长三角人工智能产业向沪宁合杭甬发展带集聚，呈“Z”字型布局，并初步形成了上海、南京、苏州、杭州、合肥五大集聚中心，但城市内部集聚模式不同。从 2015 到 2020 年，长三角人工智能企业数量规模快速增长，增幅达 22.7 倍之多。在空间上，2015~2020 年，人工智能企业总体集聚强度快速提升，呈现出以上海、南京、苏州、杭州、合肥为核心的多中心的集聚格局，“核心-边缘”结构愈加明显，安徽多数城市一直处于人工智能产业发展的边缘地区；具体到 5 大城市内部，上海和苏州人

工智能产业呈现多中心集聚特征，而杭州、南京、合肥的人工智能产业主要为单核心集聚模式，高度集聚于产业园区及中心城区。

(2) 长三角人工智能产业发展主要聚焦于应用层和技术层，基础层发展较为薄弱，随着技术门槛的降低，集聚中心数量增多，集聚规模扩大。长三角人工智能企业以应用层为主，数量规模占比达到 63%，技术层次之。这是由于基础层的技术和资金壁垒高，非中心城市在短时间内还较难形成集聚中心。在城市内部，应用层的集聚程度同样高于技术层与基础层，主要集聚在中心城区，而基础层和技术层则更加向各类园区集聚。上海的基础层与技术层企业数量最多，布局相对分散，在与苏州相邻的区县亦有大量技术层企业布局。

(3) 产业基础和科创能力是驱动长三角人工智能产业发展的重要因素，其中计算机企业数量、软件企业数量、科研人员数量和专利申请数量等因子尤为重要。从总体来看，计算机企业数量、软件企业数量、科研人员数量和专利申请数量的解释力均超过 0.9，是人工智能产业发展的核心驱动力。对于，技术进入门槛相对较低的应用层来说，对本地计算机企业数量的依赖性更强，而技术层更多的是与软件产业的知识基础相似，故技术层对本地软件企业数量的依赖性最强；基础层由于技术门槛最高，对城市产业基础和科创能力总体的要求比较高。

4.2 讨论与政策启示

本研究为集聚理论的发展作出贡献。(1) 高技术新兴产业在城市群中以多中心集聚形式发展，以寻求城市化经济。随着长三角城市群一体化发展进程的加快，长三角人工智能产业发展表现出由核心引领(上海、南京、苏州、杭州与合肥)-节点带动(宁波、无锡、常州等)的集聚发展模式。此外，长三角城市群拥有强大的经济和科创实力，同时是电子信息等相关产业集聚的高地，本文同样证实了计算机及软件产业基础对人工智能产业的重要作用。(2) 通过比较人工智能产业链不同环节集聚特征，发现技术进入门槛较低的应用层集聚水平更高。城市群层面，应用层发展速度最快，率先形成多个集聚中心。城市层面，由于应用层靠近客户和数据源头，能够实现更低延迟性、更低能耗、更小体积和更低成本的人工智能技术应用路径，因此应用层企业在人口最密集、能够生产最多数据的中心城区集聚。在高成本的大城市，中心城区的工业用地越来越少，开发区和工业区撤离中心城区在郊区选址，越来越多的先进制造业入驻郊区的开发区和工业园^[31]。人工智能基础层和技术层企业与原有的位于园区的计算机、软件、芯片企业存在紧密技术关联，因此也优先布局于园区。在“后工业”的大城市，技术门槛较低、高客户接触的产业环节表现出明显的向中心城区集聚模式，这与 Grodach 和 Martin 对墨尔本制造业集中度的研究结论一致^[32]。

基于研究结果与讨论，对长三角人工智能产业发展和空间格局优化提出政策建议：(1) 城市群层面，发挥上海、南京、杭州、合肥、苏州五大中心城市对周边城市的产业引领作用，提升合肥在安徽省内的辐射能力以及与沪苏浙的对接力。可以成立长三角产业园区发展促进会，加强各城市人工智能产业园区之间的基础层与技术层领域的深度对接与分工协作。发挥长三角人工智能产业链联盟的作用，推动各城市在基础层与技术层的创新合作，争取在芯片算力、核心算法等关键领域实现技术突破；推动应用层领域的的数据资源整合，建立应用场景示范的推广机制。(2) 城市层面，吸引人工智能产业基础层和技术层企业落户产业园区，在中心城区的创新创业园可以重点扶持和培育人工智能应用型企业。加大对芯片、软硬件产业的科研投入，夯实产业发展基础。培养科技创新人才，完善人工智能人才体系建设，实现各地区创新人才的密切交流合作。

参考文献:

[1] 新华社. 习近平主持中共中央政治局第九次集体学习并讲话 [EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2018-10/31/content_5336251.htm, 2018.

[2] AGRAWAL A, MCHALE J, OETTL A. The economics of artificial intelligence: An agenda [M]. Chicago: University of Chicago Press, 2019.

-
- [3] DAMIOLI G, VAN ROY V, VERTESY D. The impact of artificial intelligence on labor productivity[J]. *Eurasian Business Review*, 2021, 11 (1):1-25.
- [4] XUE L, LIANG Z, YU Z, et al. China artificial intelligence development report 2018[R]. China Institute of Science and Technology Policy at Tsinghua University, 2018.
- [5] 汤长安, 张丽家, 殷强. 中国战略性新兴产业空间格局演变与优化[J]. *经济地理*, 2018, 38(5):101-107.
- [6] 毛炜圣, 钟业喜, 吴思雨. 长江经济带战略性新兴产业创新能力时空演化及空间溢出效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(6):1268-1279.
- [7] 贺灿飞, 胡绪千. 1978年改革开放以来中国工业地理格局演变[J]. *地理学报*, 2019, 74(10):1962-1979.
- [8] 刘汉初, 樊杰, 张海朋, 等. 珠三角城市群制造业集疏与产业空间格局变动[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(2):195-206.
- [9] 席强敏, 季鹏. 京津冀高技术制造业空间结构演变的经济绩效[J]. *经济地理*, 2018, 38(11):112-122.
- [10] 杨凡, 杜德斌, 段德忠, 等. 城市内部研发密集型制造业的空间分布与区位选择模式——以北京、上海为例[J]. *地理科学*, 2017, 37(4):492-501.
- [11] 刘青, 李贵才, 仝德, 等. 基于ESDA的深圳市高新技术企业空间格局及影响因素[J]. *经济地理*, 2011, 31(6):926-933.
- [12] GHERHES C, VORLEY T, VALLANCE P, et al. The role of system-building agency in regional path creation: insights from the emergence of artificial intelligence in Montreal[J]. *Regional Studies*, 2021(1):1-16.
- [13] DOLOREUX D, TURKINA E. New path creation in the artificial intelligence industry: Regional preconditions, new actors and their collective actions, and policies[J]. *Regional Studies*, 2021(1):1-13.
- [14] PRATO G D, COBO M L, SAMOILI S, et al. The ai techno-economic segment analysis[J]. *JRC Working Papers*, 2019.
- [15] FUJII H, MANAGI S. Trends and priority shifts in artificial intelligence technology invention: A global patent analysis[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2018, 58:60-69.
- [16] FURMAN J, SEAMANS R. AI and the economy[J]. *Innovation Policy and the Economy*, 2019, 19:161-191.
- [17] OECD. OECD science, technology and industry scoreboard 2017: The digital transformation [M]. Paris: OECD Publishing, 2017.
- [18] YU Z, LIANG Z, XUE L. A data-driven global innovation system approach and the rise of China's artificial intelligence industry[J]. *Regional Studies*, 2021(3):1-11.
- [19] 张鑫, 王明辉. 中国人工智能发展态势及其促进策略[J]. *改革*, 2019, (9):31-44.

-
- [20]邓子云, 何庭钦. 区域人工智能产业发展战略研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(7):32-43.
- [21]王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134.
- [22]胡森林, 曾刚, 刘海猛, 等. 中国省级以上开发区产业集聚的多尺度分析 [J]. 地理科学, 2021, 41(3):407-415.
- [23]周伟, 赵艳, 宁煊. 京津冀城市群制造业结构变迁与空间集聚影响因素分析[J]. 地理科学, 2020, 40(11):1921-1929.
- [24]孙瑜康, 孙铁山, 席强敏. 北京市创新集聚的影响因素及其空间溢出效应[J]. 地理研究, 2017, 36(12):2419-2431.
- [25]刘颖, 郭琪, 贺灿飞. 城市区位条件与企业区位动态研究[J]. 地理研究, 2016, 35(7):1301-1313.
- [26]FRENKEN K, BOSCHMA R A. A theoretical framework for evolutionary economic geography: Industrial dynamics and urban growth as a branching process[J]. *Journal of Economic Geography*, 2007, 7(5):635-649.
- [27]BALLAND P A, RIGBY R, BOSCHMA R. The technological resilience of US cities[J]. *Cambridge Journal of Regions Economy and Society*, 2015, 8(2):167-184.
- [28]ESSLETZBICHLER J. Relatedness industrial branching and technological cohesion in US metropolitan areas [J]. *Regional Studies*, 2015, 49(5):752-766.
- [29]CASTALDI C, FRENKEN K, LOS B. Related variety, unrelated variety and technological breakthroughs: An analysis of US State-Level patenting [J]. *Regional Studies*, 2015, 49(5):767-781.
- [30]马志云, 许雅洁, 杨芳娟, 等. 新兴技术成长阶段动态监测方法研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(6):976-989.
- [31]SERRANO V R D V. The intrametropolitan geography of knowledge-intensive business services (KIBS): A comparative analysis of six European and U.S. City-Regions[J]. *Economic Development Quarterly*, 2019, 33(4):279-295.
- [32]GRODACH C, MARTIN D. Zoning in on urban manufacturing: Industry location and change among low-tech, high-touch industries in Melbourne, Australia[J]. *Urban Geography*, 2021, 42(4):458-480.