引文格式：赖冠中. 利用Ripley's K函数法的制造业微观企业数据空间集聚分析[J]. 地理空间信息, 2026, 24(3): 61-66. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.03.013

# 利用Ripley's K函数法的制造业微观企业数据空间集聚分析

赖冠中
（广州市白云区城市规划设计研究所，广东 广州 510080）

**摘　要：**在制造业产业升级背景下，以广州市白云区现状建设用地和典型工业集聚区上的制造业微观企业为研究对象，进行多尺度和单双变量Ripley's K函数空间集聚分析。结果表明：①在两种研究窗口范围下，纺织服装、服饰业为主的劳动密集型行业的集聚程度最高，契合白云区现状产业情况；②白云区大部分行业两两之间的吸引分布与行业劳动力共享和上下游产业链条有关；③对局部6片典型工业集聚区的分析表明，与全区总体分布情况类似，但木制家具业和技术密集型在6片区的集聚表现比全区更明显，人和镇东华工业集聚区形成明显的技术密集型行业集聚。

**关键词：**制造业；工业集聚区；单双变量Ripley's K函数；空间集聚；白云区
**中图分类号：**TU984　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）03-0061-06

## Spatial Agglomeration Analysis of Manufacturing Industry Micro-enterprise Data Based on Ripley's K Function

LAI Guanzhong
(Guangzhou Baiyun Urban Planning and Design Institute, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** Under the background of manufacturing industry upgrade, taking the micro-enterprises in current construction land and typical industry agglomeration areas as the research objects, we used the multi-scale and single and double Ripley's K function to study the spatial agglomeration in Baiyun District of Guangzhou City. The research results showed that ①in the two research windows, the labor-intensive industry, mainly textile and costume industry, had the highest clustering degree, matching the current industrial situation of Baiyun District. ②The mutual attraction between most industries in Baiyun District was related to the sharing of industry labor and the stream of industrial chains. ③The analysis of six typical industry agglomeration areas showed that it was similar to the overall distribution of whole district. However, the agglomeration performance of wooden furniture industry and technology-intensive industry in these six areas was more obvious than that in the whole district. The Donghua industry agglomeration area of Renhe Town formed an obvious agglomeration of technology-intensive industry.

**Key words:** manufacturing industry, industry agglomeration area, single and double Ripley's K function, spatial agglomeration, Baiyun District

党的十八大以来，习近平总书记高度重视实体经济特别是制造业的高质量发展[1]。广州市和白云区政府针对市内制造业产业空间升级、产业链条完善、产业集聚水平提高、工业集聚区整治出台多项文件，落实多项举措[2-3]。白云区是广州市常住人口规模、规划建设用地规模和中心城区面积第一大区[4-5]，区内以中小企业为主的民营经济活跃，有全国首个国家级民营科技园和多个分园。区内制造业企业分布密集，全区制造业产值和劳动力就业人口以传统劳动密集型产值和人口为主，技术密集型为辅；规划打造多个发展平台和产业园区，引导以服饰皮具、智能家居为主的劳动密集型和化妆品、电气机械等技术密集型企业入驻，形成“一园两城三都四区”的产业高质量发展格局[6-12]。在该背景下本文通过分析区内制造业微观企业的空间分布模式，提高对以民营中小企业为主的制造业行业空间集聚的认识，为区域制造业产业发展提供借鉴。

国外对产业集聚的研究以1980年新经济地理学的发展为基础，计量经济学和计量地理学受益于计算机的广泛应用，开始通过数量方法重新审视经济地理学的基本理论，其中对基于马歇尔[13]外部经济三要素的产业集聚新研究又可分为总体经济活动的测度法和地理邻近空间测度法两个主要方向。根据数据形态的不同，可划分多种指标计算产业集聚，如产业间集聚度指数[14]、K密度函数[15]、双变量Ripley's K函数[16]、区位熵和空间自相关Moran's I指数[17]等。国内产业集聚相关研究起步较晚，但随着国内制造业的发展，相关研究[18-23]持续探索，拓宽了新的研究方向。本文结合已有的制造业产业集聚研究方向和Ripley's K函数在城市空间格局方面的应用，选取区内所有制造业企业和6片典型工业集聚区作为研究对象，尝试采用单双

作者简介：赖冠中（1992—），本科，工程师，从事地理数据科学和空间规划分析相关工作，E-mail：laiguanzhong0402@foxmail.com。

变量 Ripley's K 函数进行全区不同制造业行业分类企业点集的全局和局部对比分析。本文的创新性主要体现在：①弥补了国内较少使用Ripley's K 函数进行制造业产业间（单变量）和产业对之间（双变量）空间集聚实证研究的不足，丰富了制造业产业空间集聚的研究内容；②基于制造业大类分类和要素投入密集度分类进行对比，探讨不同分类方式对制造业空间集聚的影响；③针对广东地区存在的村镇工业集聚区，选取6片典型工业集聚区进行不同缓冲距离制造业空间集聚分析和各片区横向对比分析，为地区村镇工业集聚区的土地政策制定提供依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

本文通过高德地图在广州市白云区范围内爬取所有企业名称和地理坐标POI点数据，时间截点为2023年12月，对数据进行清洗、投影等预处理，通过天眼查等企业信息公开平台查询企业所属行业分类（按GB/T 4754–2017《国民经济行业分类》分类，以下简称国标分类），共获得制造业企业名称和对应地理坐标点数据11 114个。根据参考文献[24]将制造业国标分类除其他制造业外的内容分为7大类（共计10 942个）；再根据曾林[25]的划分标准按3类要素投入密集度对7大类进行划分。具体划分为：①农副产品和食品加工业，包括食品制造业（资本密集型）372个、农副食品加工业（劳动密集型）99个、酒、饮料…制造业（资本密集型）73个、烟草制品业（资本密集型）3个；②纺织服装、服饰业，包括纺织服装、服饰业（劳动密集型）1 744个、皮革…制鞋业（劳动密集型）1 186个、纺织业（劳动密集型）406个；③冶金化工与资源粗加工业，包括化学...制品制造业（技术密集型）1 091个、橡胶和塑料制品业（资本密集型）925个、金属制品业（资本密集型）572个、非金属矿物制品业（资本密集型）262个、废弃资源综合利用业（劳动密集型）32个、有色金属…加工业（资本密集型）17个、石油…燃料加工业（资本密集型）14个、黑色金属…加工业（资本密集型）10个、化学纤维制造业（技术密集型）3个；④木制家具业，包括家具制造业（劳动密集型）479个、木材…制品业（劳动密集型）102个；⑤纸制品和工艺业，包括造纸和纸制品业（劳动密集型）611个、印刷…媒介复制业（劳动密集型）291个、文教…用品制造业（劳动密集型）272个；⑥电子机械和装备制造业，包括电气机械…制造业（技术密集型）603个、计算机…制造业（技术密集型）488个、专用设备制造业（技术密集型）392个、通用设备制造业（技术密集型）344个、汽车制造业（技术密集型）229个、仪器仪表制造业（技术密集型）119个、金属…设备修理业（劳动密集型）49个、铁路…设备制造业（技术密集型）27个；⑦药品制造业，包括医药制造业（资本密集型）127个；⑧其他制造业172个。

### 1.2 研究方法

1）单变量Ripley's K函数。多距离空间聚类Ripley's K函数（以下简称K函数）最初是由Ripley[26]提出的，后经多位学者[27–29]深化，提出了函数的多种变体、基于蒙特卡罗模拟检验和边缘校正方法等。K函数能在多距离尺度下识别点模式的空间分布形态集聚（或离散），且该值在同样距离下不受样点数量的影响，常用于识别点模式的分布形态。本文基于R语言Spatstat包探索白云区微观制造业各类企业的空间分布模式以及企业间的协同集聚模式。单变量K函数估计值的计算公式为：

$$\hat{K}(r)=\frac{A}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}I\left(d_{ij}\leqslant r\right)e_{ij}(r);\hat{L}(r)=\sqrt{\frac{\hat{K}(r)}{\pi}} \quad (1)$$

式中，$n$ 为样点数量；$r$ 为搜索阈值；$A$ 为研究区窗口面积；$I(d_{ij}\leqslant r)$ 为示性函数，当观测变量点 $i$ 、$j$ 之间的距离 $d_{ij}\leqslant r$ 时，$I(d_{ij}\leqslant r)=1$，否则为0；$e_{ij}(r)$ 为点 $i$ 、$j$ 之间的边缘校正权重（本文采用边缘平移校正方法）；函数本质上是每个观测点以 $r$ 为半径的圆包含观测点数量的期望值与区域平均强度的商。

在完全空间随机分布（CSR）下，点模式的分布服从泊松分布过程，此时可证明 $\hat{K}(r)$ 的期望值 $E(\hat{K}(r))=\pi r^2$ 。当点模式明显趋向集聚分布时，$\hat{K}(r)>\pi r^2$ ；当点模式明显趋向离散分布时，$\hat{K}(r)<\pi r^2$ 。$\hat{K}(r)$ 函数有一个问题是估计值与 $r$ 不是线性关系，因此Besag等[30]提出 $\hat{K}(r)$ 函数的变体 $\hat{L}(r)$ 函数，且在CSR下 $\hat{L}(r)$ 的期望值 $E(\hat{L}(r))=r$ ，当点模式明显趋向集聚分布时，$\hat{L}(r)-r>0$ ；当点模式明显趋向离散分布时，$\hat{L}(r)-r<0$ 。采用 $\hat{L}(r)$ 函数更容易直观评估不同距离下的分布偏差，因此本文直接以观测值 $\hat{L}(r)-r$ 作为结果分析。

显著性检验的置信区间采用蒙特卡罗模拟[30]，在相同的研究区窗口下模拟生成与点模式相同强度的CSR，对每个观测距离设置0.05显著性水平的置信区间构建区间包络线。若 $\hat{L}(r)-r>0$ 且位于置信区间上限之上，说明点模式呈显著聚集分布；若 $\hat{L}(r)-r<0$ 且位于置信区间下限之下，说明点模式呈显著离散分布；若 $\hat{L}(r)-r$ 位于置信区间内，说明点模式不拒绝随机分布的原假设。

2）双变量K函数。本文采用双变量K函数[23,31]分析各类企业间的协同集聚模式。作为单变量K函数的扩展，双变量K函数检测两类点模式是否在不同距离尺度下存在空间上的吸引（或排斥）关系，显著性检验的置信区间仍采用蒙特卡罗模拟，分析方法与单变量类似。其计算公式为：

$$\widehat{K_{ab}}(r)=\frac{A}{n_a n_b}\sum_{i=1}^{n_a}\sum_{j=1}^{n_b} I\left(d_{a_i,b_j}\leqslant r\right)e_{a_i,b_j}(r);\ \widehat{L_{ab}}(r)=\sqrt{\frac{\widehat{K_{ab}}(r)}{\pi}} \tag{2}$$

3）窗口变量。国内众多采用K函数的研究较少提及函数内的窗口变量[32]这一重要参数的设置。K函数最初用于解决动植物和卫生健康等点模式分布问题，这些问题基于规则样方或点在区域内分布没有明确限制，但若用于城市内点模式的分布研究，则有必要考虑点在城市空间内的分布限制，若将点围成的矩形范围作为研究区窗口，则会同时对边缘校正和蒙特卡罗模拟显著性检验产生影响，最终使得K函数的估计值是有偏的。鉴于此，本文认为有必要将空间点难以分布的地区从研究区窗口范围内剔除，根据白云区实际情况将研究区窗口范围设定为区内所有建设用地（图1灰色色块）和工业集聚区（图1红色线框），对比二者的K函数分布差异。

4）局部分析。本文选取白云区6片典型工业集聚区，采用ArcGIS软件按距离中心点1 000、2 000、3 000 m进行缓冲（参考孙涵[20]、于英杰等[33]的核密度分析带宽公式，经计算所有制造业企业点数据核密度带宽为1 196.24 m，取整为1 000 m进行递增缓冲）；对比分析典型工业集聚区不同缓冲距离和各片典型工业集聚区的制造业微观企业点分布模式，包括研究典型工业集聚区在不同缓冲距离下对附近制造业微观企业的辐射吸引作用，横向对比各片典型工业集聚区的异同（图1缓冲环）。

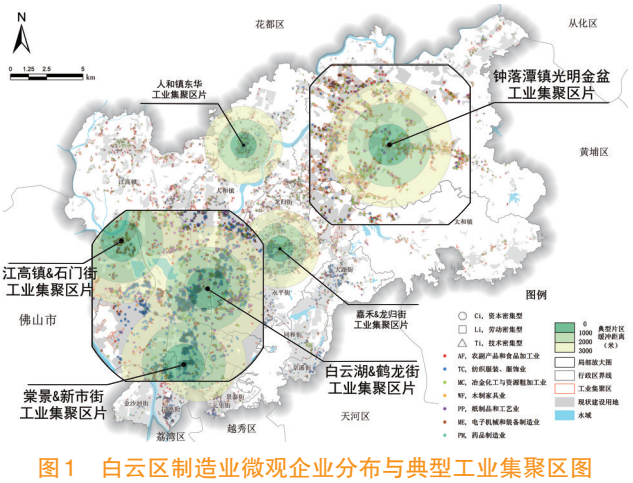
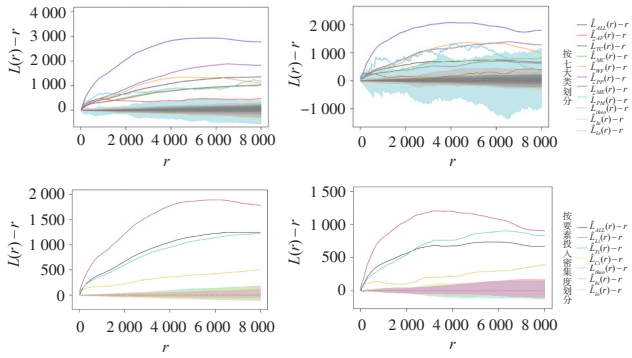



图1　白云区制造业微观企业分布与典型工业集聚区图

## 2　全区总体分布情况

### 2.1　单变量K函数分析结果

按照7大类行业和3类要素投入密集度对全区所有制造业微观企业进行划分，利用单变量K函数分析全区不同分类制造业微观企业在两种窗口下的分布模式，并对比与所有企业总体的分布差异。分析结果见图2，可以看出，所有企业总体和大部分行业在观测距离下均为显著集聚分布，在现状建设用地窗口下，纺织服装、服饰业，纸制品和工艺业，木制家具业在大部分观测距离下集聚程度高于所有企业总体，而按要素投入密集度划分，劳动密集型的集聚程度高于所有企业总体；在工业集聚区窗口下，大部分情况与现状建设用地一致，不同的是农副产品和食品加工业、药品制造业在部分距离下集聚不显著（不能拒绝随机分布假设的原假设），技术密集型在2 500 m距离以上时比所有企业总体的集聚程度高。




a 现状建设用地　　b 工业集聚区

图2　现状建设用地和工业集聚区制造业微观企业单变量K函数分析结果

### 2.2　双变量K函数分析结果

研究制造业微观企业两两之间在现状建设用地的分布模式，分析行业之间是否存在空间上的相互吸引（或排斥）关系，相对参照变量为各行业本身的单变量L函数观测值（即自身的集聚（或离散）分布）。分析结果见图3，可以看出，木制家具业呈集聚分布，但互斥多种其他行业分布；纺织服装、服饰业与其他行业的相互吸引分布明显；冶金化工与资源粗加工业作为制造业上游行业，吸引纸制品和工艺业分布最明显；劳动密集型吸引技术密集型比吸引资本密集型分布明显。结合木制家具业自身的行业特点，原材料到成品之间的产业链条短，需要厂房和仓储用地面积较大，主要分布在钟落潭镇等北部城郊地租较低地区，且无需形成与其他行业的集聚分布来降低生产和劳动力成本，逐渐形成与其他行业的互斥分布格局；而纺织服装、服饰业主要是中小微企业，对用地面积需求较小，技术水平低，可与其他行业共享低端劳动力资源，与其他行业产业链条联系更紧密，容易形成相互吸引分布。

## 3　局部典型工业集聚区分布情况

本文分别提取白云区6片典型工业集聚区，按距离集聚区中心点1 000、2 000、3 000 m进行缓冲，分别采用所有片区3种缓冲距离范围和各典型工业集聚区单独3 000 m缓冲范围作为窗口范围变量。

### 3.1　缓冲距离对比分析

6片典型工业集聚区的单变量K函数分析结果见图4，可以看出，在3种缓冲距离下，所有企业总体（黑色实线）均为显著的集聚分布。按7大类行业划

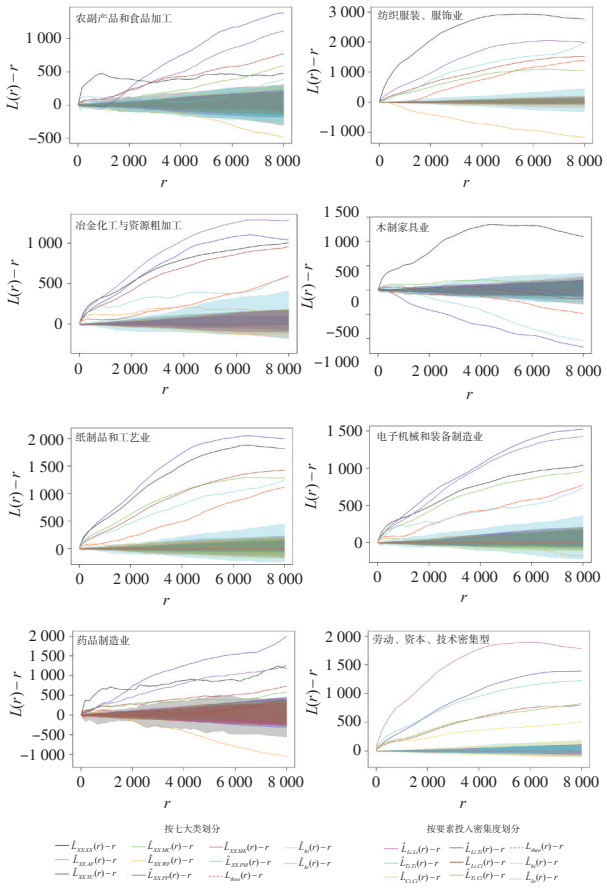
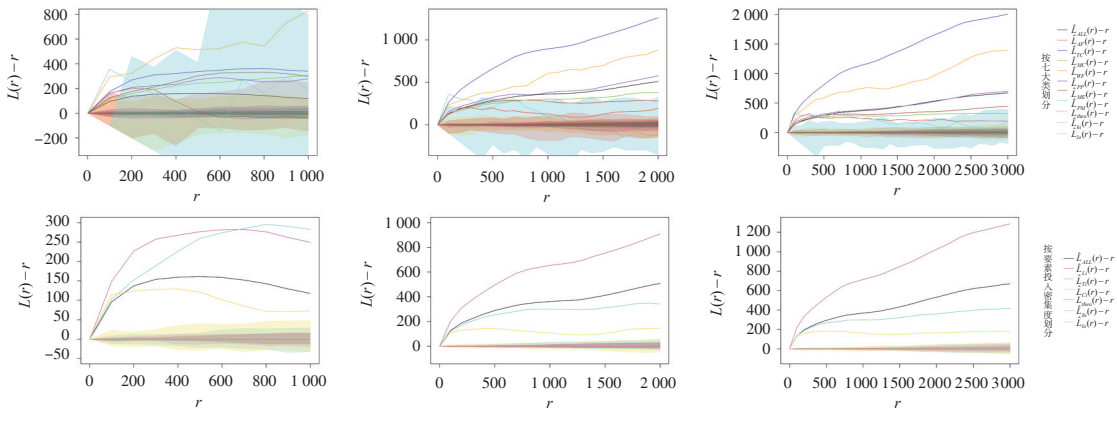



图3 现状建设用地制造业微观企业双变量K函数分析结果

分制造业微观企业,在1 000 m缓冲距离下,部分行业不能拒绝随机分布的原假设；在2 000、3 000 m缓冲距离下的结果类似,纺织服装、服饰业是集聚程度最高的行业。对比全区建设用地和工业集聚区（图2）的行业集聚情况可知,木制家具业在典型集聚区的集聚程度高于全区集聚程度。按要素投入密集度划分制造业微观企业,3类行业均为显著集聚分布,3种缓冲距离的情况类似,与全区建设用地和工业集聚区的行业集聚情况也类似,只有在1 000 m缓冲距离下,技术密集型行业集聚高于所有企业总体集聚程度。

### 3.2 各片区横向对比分析

将距离中心点3 000 m缓冲作为窗口变量,分别对6片典型工业集聚区制造业微观企业进行单变量K函数独立分析,结果见图5,按7大类行业划分,除纺织服装、服饰业均为显著集聚分布外,其他行业集聚程度不明显,棠景和新市街工业集聚区、钟落潭镇光明金盆工业集聚区等部分片区的大部分行业不能拒绝随机分布的原假设；而按3类要素投入密集度划分,以劳动密集型集聚为主,技术密集型为辅,值得关注的是江高镇和石门街工业集聚区在1 500 m以上的距离不再以劳动密集型集聚为主,人和镇东华工业集聚区的技术密集型显著集聚程度大于劳动密集型。




a 1 000 m b 2 000 m c 3 000 m

图4 缓冲距离1 000、2 000、3 000 m下制造业微观企业单变量K函数分析

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本文以广州市白云区内所有公开的企业位置和所属行业类型为研究对象,将行业类型按照国标分类归并为7大类和按照要素投入密集度分为3类,在全区范围内分别以现状建设用地和工业集聚区为研究窗口进行单双变量K函数分析,同时挑选6片典型工业集聚区进行缓冲分析和横向比较,完成了全局和局部范围的按照不同制造业分类的空间点模式分布对比研究,主要结论如下：

1）全区制造业微观企业单变量K函数分析结果表明纺织服装、服饰业,纸制品和工艺业,木制家具业和所有劳动密集型企业在现状建设用地和工业集聚区两种窗口大部分观测距离下均比所有企业总体的集聚程度高,说明相比其他行业,以衣帽鞋、纸品文教和家具制造为主的传统劳动密集型企业既在产业产值上占比较大,也是全区制造业行业地理集聚的主要驱动力,是白云区制造业劳动力就业人口的底盘和产业规划升级转型的基底。

2）双变量K函数分析结果表明,白云区大部分行

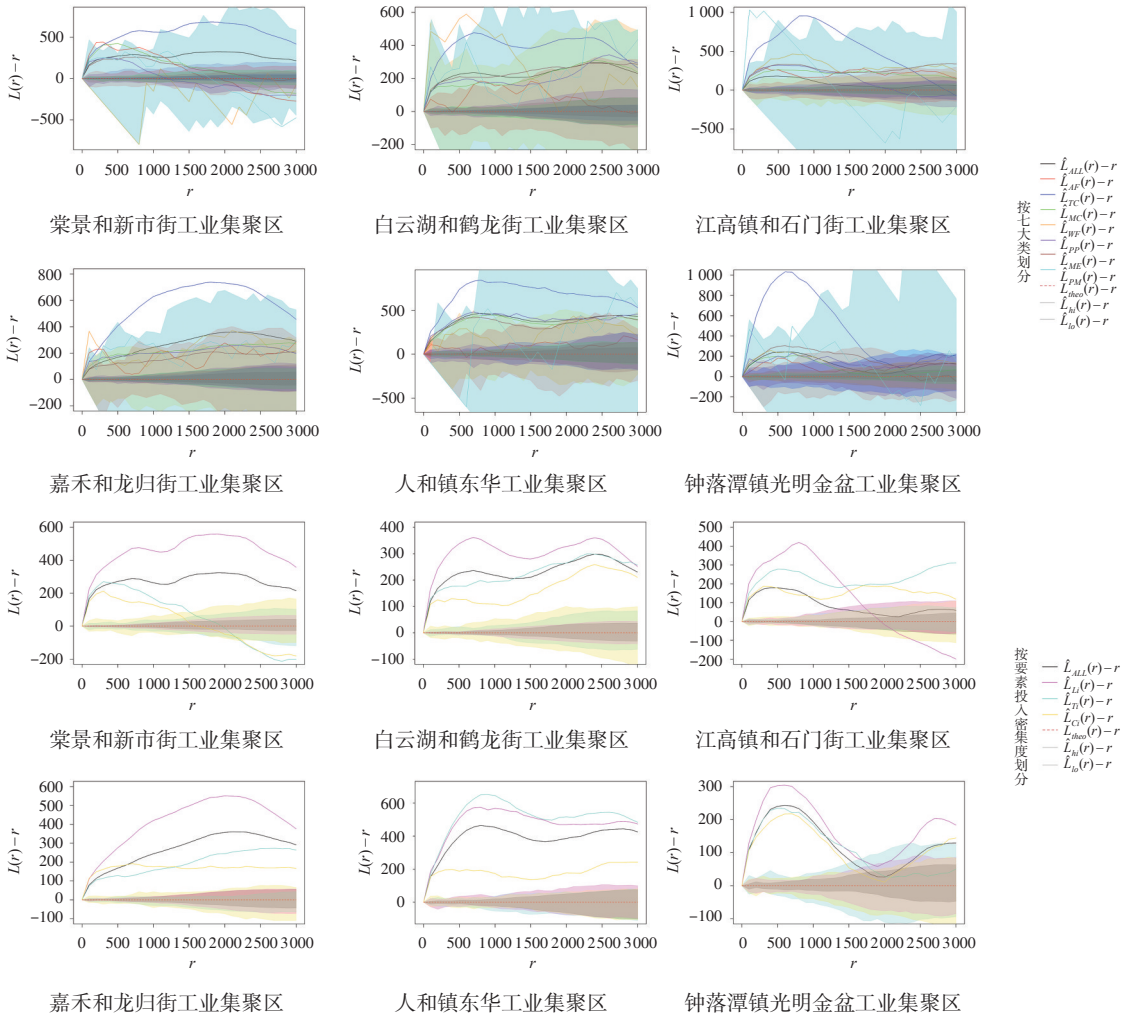



图5　6片典型工业集聚区制造业企业单变量K函数分析结果

业两两间的相互吸引分布与行业劳动力共享和上下游产业链条有关,值得关注的是冶金化工与资源粗加工业作为制造业上游行业,吸引纸制品和工艺业分布最明显,其原因可从马歇尔外部经济三要素的产业关联活动进行分析,冶金化工与资源粗加工业行业的很多产品是纸制品和工艺业的原材料,如印刷和记录媒介复制业需要油墨、胶水、塑料等,文教、工美、体育和娱乐用品制造业需要颜料、橡胶、玻璃、石膏以及各种金属制品等,而同样依靠冶金化工与资源粗加工业的电子机械和装备制造业,被吸引分布的程度不明显,说明白云区产业链终端制造业仍以中低端制造业为主,与孙涵等[20]学者采用DO指数测度京津冀地区制造业内协同集聚的结论类似。

3）6片典型工业集聚区的分析结果表明,6片区与全区的总体分布情况类似,纺织服装、服饰业和劳动密集型仍是集聚程度最高的行业,木制家具业和技术密集型在6片区的集聚表现比全区更明显,人和镇东华工业集聚区的技术密集型行业集聚是一个亮点。

### 4.2　建议

本文采用单双变量K函数分析制造业微观企业在全区现状建设用地和工业集聚区下的空间点分布模式,结果与白云区现状产业情况基本吻合,参照白云区最新产业规划和制造业发展方向,提出3点政策建议:①全区现阶段以传统衣帽鞋、纸品文教和家具制造劳动密集型企业的地理数量集聚分布为主,在保证劳动力就业的前提下,建议加强该类企业依托白云区规划建设的重点发展产业园区和产业平台（广州时尚之都和设计之都）进行转型升级,考虑促进同类中小微企业合并经营管理,将劳动密集型企业的地理数量集聚逐步转化为产业规模升级集聚；②现阶段工业集聚区仍以劳动密集型企业集聚为主,除纺织服装、服饰业外,木制家具业也有一定分布,但该类产业用地面积较大,产业链条短,对全区产业链的延伸和带动提升作用不强,建议工业集聚区内腾退部分低端劳动密集型企业,鼓励以技术密集型和资本密集型为主的冶金化工和电子机械装备行业入驻工业集聚区；③现阶段全区未形成技术密集型和资本密集型的产业集聚核心以及以电子机械装备制造业和药品制造业为主的中高端制造业终端,下一步建议依托规划建设的重点发展产业园区和产业平台（白云湖数字科技城和先进制造产业

园），根据经济活动联系和上下游产业链条，有针对性地引导相关行业企业进入平台或园区协同发展。

本文在一定程度上丰富了城市内部产业空间集聚的研究体系，但仍有不足，后续可从两个方面进行深入研究：①引入行业投入产出分析或可挖掘更多内容；②增加时间尺度分析，如5~10年前对比现在各行业数量的增减变化和集聚程度变化等。

## 参考文献


[1] 新华网. 大力发展制造业，习近平总书记高度重视[EB/OL]. (2023-09-21)[2025-03-01]. http://politics. people. com. cn/n1/2023/0921/c1001-40082497. html

[2] 广州市人民政府办公厅. 关于优化空间载体支撑制造业高质量发展的实施意见[EB/OL]. (2024-04-28)[2025-03-01]. https://www.gz.gov.cn/zwgk/fggw/sfbgtwj/content/mpost_9630795. html

[3] 广州市人民政府办公厅. 关于印发广州市支持村镇工业集聚区更新改造试点项目的土地规划管理若干措施(试行)的通知[EB/OL]. (2022-08-30) [2025-03-01]. https://www. gz. gov. cn/gzzcwjk/detail. html?id=8440

[4] 广州市统计局. 统计年鉴2024年[R/OL]. (2024-12-17)[2025-03-01]. https://tjj. gz. gov. cn/datav/admin/home/www_nj/.

[5] 天地图. 广东省地理信息公共服务平台[DB/OL]. (2020-10-30) [2025-03-01]. https://guangdong. tianditu. gov. cn/map/index. html#

[6] 总体规划处. 广州2035 | 国际枢纽门户 山水智慧城区:广州市白云区国土空间总体规划草案[R/OL]. (2023-06-30) [2025-03-01]. https://ghzyj. gz. gov. cn/zwgk/ztzl/gtkjgh/tzgg/content/post_9079244. html

[7] 区人民政府. 广州市白云区人民政府关于印发广州市白云区“十四五”产业发展规划的通知[EB/OL]. (2022-01-30) [2025-03-01]. https://www. by. gov. cn/gkmlpt/content/8/8067/post_8067249. html#12598

[8] 区统计局. 广州市白云区第七次全国人口普查年鉴(2020年) [R/OL]. (2023-02-13) [2025-03-01]. https://www. by. gov. cn/gzjg/qtjj/sjfb/tjsj/tjnj/content/mpost_8800469. html

[9] 区人民政府. 经济大区挑大梁，引领产业新格局[R/OL]. (2025-02-05) [2025-03-01]. https://www. by. gov. cn/gzjg/qtjj/sjfb/tjsj/tjnj/content/mpost_8800469. html

[10] 李汉青，袁文，马明清，等. 珠三角制造业集聚特征及基于增量的演变分析[J]. 地理科学进展，2018，37(9):1291-1302

[11] 梁家声，李静，陆子川. 城乡接合部地区工业用地空间绩效综合评估研究:以广州市白云区为例[J]. 住宅与房地产，2022(10):5-8

[12] 赖冠中，张业金. 基于POI数据的城市近郊区制造业空间关联分析:以广州市白云区为例[J]. 云南地理环境研究，2024，36(3):9-16

[13] Marshall A. Principles of Economics[M]. London: Palgrave Macmillan，1890(8):226

[14] Ellison G，Glaeser E L，Kerr W R. What Causes Industry Agglomeration? Evidence from Coagglomeration Patterns[J]. American Economic Review，2010，100(3):1195-1213

[15] Duranton G，Overman H G. Testing for Localization Using Micro-geographic Data[J]. The Review of Economic Studies，2005，72(4):1077-1106

[16] Arbia G，Espa G，Quah D. A Class of Spatial Econometric Methods in the Empirical Analysis of Clusters of Firms in the Space[J]. Empirical Economics，2008，34(1):81-103

[17] 陈建军，陈怀锦. 集聚的测度方法评述:基于前沿文献的研究[J]. 西南民族大学学报(人文社科版)，2017，38(4):134-142

[18] 朱康文. 基于GIS的山地城市制造业的地理集中度测算及时空演变研究[D]. 重庆:重庆师范大学，2016

[19] 陈妍. 京津冀城市群第二产业空间集聚研究:以制造业为例[D]. 武汉:武汉大学，2018

[20] 孙涵，岳焕印，孙威，等. 基于DO指数的京津冀地区制造业协同集聚测度与动态演化[J]. 地球信息科学学报，2024，26(9):2123-2139

[21] 葛莹，朱国慧，王华辰，等. 基于Ripley’s K函数浙江城市空间格局及其影响分析[J]. 地理科学，2014，34(11):1361-1368

[22] 邵海雁，靳诚，钟业喜，等. 共享单车起讫点与城市微观土地利用格局的空间关联:基于厦门岛的POI大数据[J]. 经济地理，2023，43(3):109-119

[23] 伍萱，邵大伟. 南京公园绿地与城市功能空间分布关系:基于双变量Ripley’s K函数分析[J]. 中国城市林业，2023，21(2):83-90

[24] Fan C j，Huang X R，Zhou L. China’s Gridded Manufacturing Dataset[J]. Scientific Data，2022，9(1):742

[25] 曾林. 制造业细分行业数字化转型评价研究[J]. 现代工业经济和信息化，2024，14(2):65-68

[26] Ripley B D. Modelling Spatial Patterns[J]. Journal of the Royal Statistical Society，1977，39(2):172-212

[27] Lotwick H W，Silverman B W. Methods for Analysing Spatial Processes of Several Types of Points[J]. Journal of the Royal Statistical Society，1982，44(3):406-413

[28] Diggle P J，Chetwynd A G. Second-order Analysis of Spatial Clustering for Inhomogeneous Populations[J]. Biometrics，1991，47(3):1155-1163

[29] Dixon P M. Ripley’s K Function[J]. Encyclopedia of Environmetrics，2002，3:1796-1803

[30] Besag J，Diggle P J. Simple Monte Carlo Tests for Spatial Pattern[J]. Applied Statistics，1977，26(3):327-333

[31] Diggle P J. Statistical Analysis of Spatial Point Pattern[M]. Cambridge:Academic Press，1983

[32] Baddeley A，Rubak E，Turner R. Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R[M]. Boca Raton:CRC Press，2015

[33] 于英杰，杜德斌，李祺祥，等. 中国三大城市群知识密集型制造业的空间集聚特征及形成机制:基于科技型企业大数据分析[J]. 人文地理，2024，39(4):57-65