

武汉都市区低碳产业空间格局、空间关联及引导策略研究^一

王雨晨，刘合林，聂晶鑫

摘要：发展低碳产业是完成碳达峰、碳中和任务、实现绿色低碳高质量发展的重要途径，但相关的产业分类与空间发展特征认知的研究仍较为不足。本文在现有低碳产业研究与相关规范的基础上，确立了低碳产业分类。据此以武汉市为例，基于网格法，采用空间统计、局部 Moran'I 聚类 and 异常值分析法与地理探测器分析，探究低碳企业空间分布及与其他相关产业的空间关联，并提出针对性的规划引导策略。结果表明，武汉市低碳产业已形成了一定的空间集聚区，并向成熟阶段过渡；各子类低碳企业的产业空间关联存在明显差异，总体上与信息技术型企业的耦合性最好，与生活服务型企业的耦合性较差。研究认为，武汉市低碳产业仍然面临着加强集聚的必要性，应关注产业间的功能联系，通过优化产业空间布局、强化产业间互动与补足生活服务等方式来促进低碳产业的健康发展。

关键词：低碳产业，空间格局，空间关联，引导策略，武汉都市区

0 引言

近年来，碳排放所导致的全球气候变化对生态环境及人类生活产生了巨大影响。为了应对气候变化、实现绿色城镇化愿景，党中央在 2021 年 3 月出台的“十四五”规划《纲要》中明确提出要坚持绿色低碳高质量发展战略，力争实现 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和。而低碳产业作为绿色低碳发展的物质载体和基础支撑，将有利于绿色经济的转型和形成。因此为完成碳达峰、碳中和任务，亟需大力发展低碳产业。深入研究低碳产业的布局规律与产业关联特性，将利于相关产业的规划布置与空间管控，具有重要战略价值。

由于低碳生产所涉及的产业形态多样，而尚未形成统一的产业定义与类型划分，这直接影响了相关研究的开展。因此在现有低碳产业定义及分类^[1-5]研究基础上，结合相关政策规范，确定了低碳产业门类。武汉市作为中部中心城市及国家低碳城市试点在低碳产业转型发展上积累了一定优势。本文根据低碳产业划分筛选出武汉都市区内低碳产业和其他相关产业的企业空间数据，采用空间网格划分、局部 Moran'I 聚类 and 异常值分析法与地理探测器等空间分析手段，研究了低碳产业空间格局及其与其他相关城市产业之间的空间关联关系，并提出相应的产业引导策略，从而服务于低碳产业布局规划与调整工作。

1 研究进展

目前低碳产业还未形成一致的定义，但多数学者都认同低碳产业的核心内涵在于产业活动过程中应节约能源和降低碳排放，且对低碳技术予以肯定和重视^[1]。在低碳产业的划分上，蔡林海提出应分为化石燃料低碳化、可再生能源、能源的效率化与低碳化消费、低碳型服务

一 国家自然科学基金项目(D1218006) 教育部资助基金(19GBQY083)。

四大领域^[2]；王朝华认为包括环保产业、节能产业、减排产业、清洁能源四大领域^[3]；李金辉等提出以碳为对象划分。第一是碳含量较低行业，包括可再生能源、新能源、现代服务业；第二是高碳产业低碳化，主要指经低碳技术改造的传统低碳产业；第三是生产低碳技术的产业，包括碳捕获、碳封存、二氧化碳利用技术；第四是碳交易行业，包括碳金融^[4]。冯奎也将新能源新材料行业视为低碳产业^[5]。暂不统一的低碳产业分类方法，为深入研究低碳产业的发展规律带来一定难度。

已有研究多集中于对低碳产业界定及发展路径的探讨性思考，少有关于低碳产业空间规律的研究也显得深度不足。周诗文等基于碳足迹量化的角度分析沈北新区的低碳产业空间布局^[6]，李亚博等对徐州经济技术开发区的低碳产业空间布局进行研究^[7]。以上文献均只聚焦于产业园区等微观尺度，多以定性分析为主，而忽略了城市尺度上产业的分布差异。研究在产业空间格局上已积累了一定方法和框架，能够为研究低碳产业提供借鉴。黄亚平等运用 GIS 空间关联分析、圈层-象限分析等方法，研究了 20 世纪 90 年代以来武汉都市区制造业空间演化过程及格局特征^[8]。李秀伟等运用 GIS 空间分析方法，以北京市各街道乡镇为空间单元，分析北京市产业空间的布局演变特征^[9]。任俊宇等通过核密度估算法、空间连接核算法对北京市科技型中小企业的空间布局及演变规律进行研究^[10]。

国内学者也从产业集群、产业链的角度研究低碳产业与相关产业的关联性。低碳产业集群的转化途径包括传统制造业集群的改造、工业园区的综合优化、生产性服务业集群的提升、新能源新材料行业的再定位^[5]。从产业链来看，低碳理念与技术应融入从研发到制造、包装到运输、产品到服务的各个环节^[11]。借助产业的升级改造与产业链合作，低碳产业与相关产业发生着种种关联。这种关联不局限于低碳产业内部，还包括与其他相关产业的互动。通过共区位的方式，低碳产业与相关企业得以共享信息、人才与服务等，从而形成更深刻的空间关联关系。地理探测器被视为解析不同主体间空间关联关系的有力分析工具^[12]，并在制造业^[13]、金融产业^[14]中得到验证。基于现有文献研究，结合相关规范要求，确定低碳产业分类，以武汉都市区为例，分析了低碳产业的空间格局与产业关联程度。

2 研究数据与方法

2.1 研究范围

基于对企业样本数据的调查，发现武汉市低碳产业数据主要集中在武汉市外环以内，因此选择武汉都市区作为研究范围，共包含 7 个主城区（江汉区、江岸区、硚口区、汉阳区、武昌区、洪山区、青山区）、6 个远城区（新洲区、东西湖区、黄陂区、蔡甸区、江夏区、汉南区）的部分片区、3 个开发区为东湖高新技术开发区（后文简称“东湖高新区”）、武汉经济技术开发区（后文简称“武汉经开区”）、武汉化工区。目前武汉市低碳产业已形成一定规模。据统计，2017 年武汉市新材料产业增加值达 249.69 亿元，新能源与高效节能产业总产值达 25.55 亿元，环境保护产业总产值达 54.60 亿元^[15]。识别武汉市低碳产业的空间分布

规律与产业关联关系将为通过规划手段刺激相关产业的发展提供参考。

2.2 低碳产业划分

在相关低碳产业分类^[1-5]的文献基础上，以低能耗、低排放、低污染、高效益为分类依据，认为现有国家《战略性新兴产业分类（2018）》中的新能源产业、新能源汽车产业、新材料产业、节能环保产业四大领域可直接归属于低碳产业，考虑到部分生产低碳技术服务和碳交易服务的产业，将低碳产业划分为四大类别：第一类为新能源类，包括新能源产业和新能源汽车产业；第二类为新材料类，包括新材料产业；第三类为节能环保类，包括节能环保产业；第四类为低碳服务类，包括低碳技术服务产业和碳交易服务产业（表 1）。

表 1 低碳产业分类表（来源：根据《战略性新兴产业分类（2018）》及学者文献整理）

类型	详细分类内容
新能源类	新能源产业：核电产业、风能产业、太阳能产业、生物质能及其他新能源产业、智能电网产业
	新能源汽车产业：新能源汽车整车制造、新能源汽车装置、配件制造、新能源汽车相关设施制造、新能源汽车相关服务
新材料类	新材料产业：先进钢铁材料、先进有色金属材料、先进石化化工新材料、先进无机非金属材料、高性能纤维及制品和复合材料、前沿新材料、新材料相关服务
节能环保类	节能环保产业：高效节能产业、先进环保产业、资源循环利用产业
低碳服务类	低碳技术服务产业：生产碳捕获及存储技术（CCS）、二氧化碳开发利用技术等
	碳交易服务产业：碳金融和碳贸易；碳管理咨询；碳汇交易等

2.3 数据来源及处理

企业数据来源于《湖北省武汉市工商注册企业名录 2018》，采集信息包含名称地址、经营范围、企业类型等。根据低碳产业分类表及企业经营范围，通过求证查询、排除掉未以低碳产业为主营业务的企业后，筛选出所有满足条件的低碳企业为 1907 家，其中新能源类 630 家、新材料类 484 家、节能环保类 781 家、低碳服务类 12 家。根据《2017 年国民经济行业分类》整理后得到其他相关产业企业，金融保险服务业 3766 家、交通运输、仓储和邮政业 2255 家、信息传输、软件和信息技术业 1911 家、租赁和商务服务业 1431 家、住宿和餐饮服务业 3080 家。基于所得样本数据，经过地理编码、坐标纠偏等处理方法，以 ArcGIS10.2 为空间分析平台建立武汉都市区低碳产业和关联企业空间数据库。

2.4 研究方法

（1）空间网格划分：把研究范围划分为若干 1km*1km 的空间网格，将低碳企业及相关产业企业按空间坐标落入对应网格内，从而得到每个空间网格单元中低碳企业密度，并进行密度网格可视化，以此来识别企业的空间分布特征。

（2）局部 Moran'I 聚类和异常值分析法：该方法可用来发现局部空间是否存在空间自相关，其可计算每一个空间单元与邻近单元就某一属性的相关程度^[8]。本文用来探究每个空间网格单元与邻近单元的空间相关程度，以此判断低碳产业及其各子类产业企业空间分布的

集聚情况，得到的四种集聚结果中：高/高集聚（H-H），表示高值单元被高值单元包围；高/低集聚（H-L），表示高值单元被低值单元包围；低/高集聚（L-H），表示低值单元被高值单元包围；低/低集聚（L-L），表示低值单元被低值单元包围。

（3）地理探测器分析法：地理探测器是探测和利用空间分异性的工具，用于探测经济社会系统中的某些因子多大程度解释了某一属性的空间分异^[16-18]。本文用来探究低碳产业与其他产业的空间关联关系，具体模型如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (1)$$

式中： $h=1, \dots, L$ 为低碳企业密度或关联企业密度的分层， N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数， σ_h^2 为一级区域低碳企业密度的方差， σ^2 是次级区域低碳企业密度的方差， q 的值为 $[0,1]$ ， q 为关联企业密度的探测力值，即 q 值表示关联企业密度解释低碳企业密度的程度。 q 值越大说明该类关联产业对低碳产业空间布局影响越大，即二者空间关联越强。

3 武汉市都市区低碳产业企业空间分布格局特征

3.1 低碳产业企业的空间分布特征

从行政区划来看（表 2），低碳企业分布在东湖高新区的数量最多达 411 家，占比 21.55%。其次洪山区、武昌区、江夏区、东西湖区、江岸区、青山区的企业占比介于 10%-5%，而武汉化工区、汉南区、蔡甸区等地区的企业占比均低于 5%。从子类产业来看，新能源类主要分布在武昌区、洪山区和东西湖区，新材料类主要分布于江夏区、青山区和蔡甸区，节能环保类主要分布于洪山区、江岸区和武昌区，低碳服务类主要分布于武昌区及江岸区。

从交通环线来看（图 1），大部分企业分布于外环线至三环线之间，占比达 42.16%；其次分布于三环线和二环线之间，占比达 32.20%；在二环线至一环线之间、外环线以外分别占比达 10.85%、8.23%；一环线以内分布最少，占比仅 6.55%。可见低碳产业并不遵循一般的中心外围规律，而是广泛分布在郊区中，如东湖高新区和武汉经开区。

表 2 低碳产业企业在各研究单元落点占比表（来源：作者整理）

研究单元	新能源类企业数量	新材料类企业数量	节能环保类企业数量	低碳服务类企业数量	低碳产业企业总数	研究单元内企业占比
蔡甸区	27	38	21	0	86	4.51%
东西湖区	50	38	56	0	144	7.55%
汉南区	14	15	22	0	51	2.67%
武汉经开区	31	37	25	0	93	4.88%
汉阳区	15	20	28	0	63	3.30%
洪山区	59	21	93	2	176	9.23%
东湖高新区	203	77	130	1	411	21.55%

黄陂区	16	22	26	0	64	3.36%
江岸区	40	18	79	2	139	7.29%
江汉区	16	13	28	0	57	2.99%
江夏区	41	54	68	0	163	8.55%
硚口区	23	19	40	1	83	4.35%
青山区	11	53	64	1	129	6.76%
武汉化工区	2	13	8	0	23	1.21%
武昌区	72	19	74	3	168	8.81%
新洲区	10	27	19	1	57	2.99%
总计	630	484	781	12	1907	100.00%

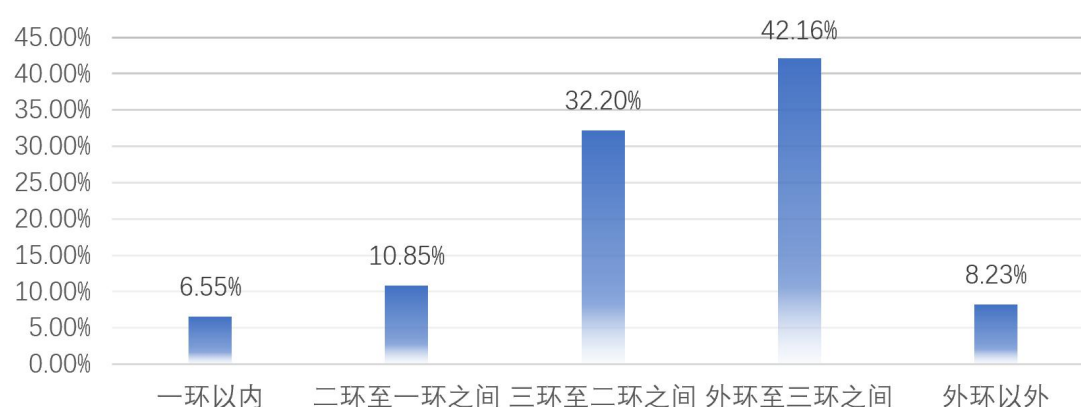


图1 低碳产业企业在各环路间落点占比（来源：作者自绘）

3.2 低碳产业企业的空间分布密度

通过空间网格划分法得到武汉都市区低碳产业及子类产业的空间分布密度，通过局部Moran'I聚类分析和异常值分析法绘制出低碳产业及子类产业的空间分布聚类和异常值结果可视化。结果表明，低碳企业已形成明显聚集态势，其中高密度区位于东湖高新区，中密度区位于二环内的中心城区，低密度区位于三环外的郊区。高/高集聚地区主要为东湖高新区、二环以内中心城区和青山区。不同子类产业中的企业密度分布存在差异，新能源类企业集聚度较高，高/高集聚地区主要为东湖高新区、三环以内中心城区、武汉经济技术开发区等，表现为沿主要交通干道呈带状扩散。新材料类企业集聚度一般，高/高集聚地区主要为中心城区和东湖高新区，在三环外郊区呈散点状分布。节能环保类企业集聚度较高，高/高集聚地区主要为东湖高新区、三环以内中心城区尤其江汉、武昌、青山等。低碳服务类企业集聚度最低，主要在中心城区呈点状分散。

按照产业空间分布形态可将低碳企业分布特征归纳为：第一，在城区重要商圈及城郊产业园呈面状高密度集聚。第二，沿城市干道、轨道交通及江河呈带状中密度蔓延分布。第三，在城市郊区呈点状低密度散乱分布。这一定程度上代表着低碳产业的发展阶段。起步阶段的企业往往较少，呈现低密度散点分布；待产业发展到一定程度，企业数量与集聚规模都将提

高，逐渐发展成带状、簇状格局；进一步产业趋于成熟，企业数量及规模较大，由面状向集聚中心靠拢。据此可判断出：低碳产业的发展总体上趋于成熟，节能环保类和新能源类产业处于逐步向成熟阶段过渡，该类企业规模已经形成一些集聚规模。新材料类企业处于发展阶段，该类企业的集聚规模相对较小，未出现明显产业集聚中心，但有高密度面状集聚趋势。低碳服务类企业尚处于起步阶段，未形成规模的集聚。各子类低碳产业空间分布特征如表 3。

表 3 各子类低碳产业空间分布特征（来源：作者整理）

产业类型	分布形态	发展阶段	企业特征	空间分布集聚特征
新能源类	主：面状 次：带状+点状	向成熟期 过渡阶段	设备制造企业规模大、用地需求大；其他相关中小企业用地需求较为灵活	集聚度较高，主要集中于东湖高新区、二环以内中心城区、武汉经开区等
新材料类	主：带状 次：面状+点状	发展阶段	设备制造企业规模大、用地需求大；其他相关中小企业用地需求较为灵活	集聚度一般，主要集中于青山区和东湖高新区，在三环外郊区呈散点状分布
节能环保类	主：面状 次：带状+点状	向成熟期 过渡阶段	设备制造企业规模大、用地需求大；其他相关中小企业用地需求较为灵活	集聚度较高，主要集中于东湖高新区、中心城区尤其江汉、武昌、青山等
低碳服务类	主：点状	起步阶段	以中小企业为主，用地需求较为灵活	集聚度最低，主要在中心城区呈点状分散

4 武汉市都市区低碳产业与其他产业的空间关联

采用地理探测器分析法，将低碳产业及各子类产业在每个格网中的分布密度作为因变量 Y，将其他产业在每个格网中的分布密度作为自变量 X，包括金融保险服务业（X₁）、交通运输、仓储和邮政业（X₂）、信息传输、软件和信息技术业（X₃）、租赁和商务服务业（X₄）、住宿和餐饮服务业（X₅），相应空间分布。将每个 1km*1km 格网中所提取出自变量 X 和因变量 Y 的信息作为输入数据在软件 GeoDetector 中运行，得到因子探测结果（表 4）。

表 4 低碳产业及各子类产业空间布局的因子探测结果（来源：作者整理）

探测因子	q 值				
	总体低碳产业	新能源类	新材料类	节能环保类	低碳服务类
X ₁	0.4927	0.4530	0.2003	0.4616	0.4024
X ₂	0.3711	0.2398	0.2723	0.3491	0.1134
X ₃	0.6010	0.6550	0.2102	0.5322	0.1949
X ₄	0.4752	0.3268	0.2533	0.4486	0.3125
X ₅	0.3493	0.2678	0.1423	0.3581	0.2275

由表 4 可知,与低碳产业的产业关联程度按照信息传输、软件和信息技术业(0.6010)、金融保险服务业(0.4927)、租赁和商务服务业(0.4752)、交通运输、仓储和邮政业(0.3711)与住宿和餐饮服务业(0.3493)的次序依次降低。子类产业上,新能源类、节能环保类与总体低碳产业在其他产业的空间关联关系上表现出较好的一致性。新材料类与交通运输、仓储和邮政业(0.2723)空间关联相对较强,与住宿和餐饮服务业(0.1423)空间关联最弱。低碳服务类与金融保险服务业(0.4024)空间关联最强,与交通运输、仓储和邮政业(0.1134)空间关联最弱。基于探测因子可对探测结果进行如下分析:

(1) 金融保险服务业(X_1)、租赁和商务服务业(X_4)。金融保险服务业、租赁和商务服务业与总体低碳产业、新能源类、新材料类、节能环保类企业的空间关联均较强,而金融保险服务业与低碳服务类企业的空间关联最强。这是由于低碳产业的发展离不开资金政策的支持,而金融保险服务业可满足中小型低碳企业融资、金融咨询等需求,租赁和商务服务业可为低碳产业提供设备租赁、商务咨询等服务。另外低碳服务类企业大多以碳交易服务为主,涉及碳金融、碳汇交易等金融领域,因此与金融保险服务业的空间关联最强。

(2) 交通运输、仓储和邮政业(X_2)。交通运输、仓储和邮政业与低碳产业、新能源类、节能环保类、低碳服务类企业的空间关联均较差,但与新材料类企业的空间关联最强。多数低碳产业企业更侧重科技研发、产品销售等领域,所以对交通运输、邮政物流等服务的需求并不大。而中间产品的转运与储存是新材料产业链中极为重要的环节,这使得交通运输、仓储和邮政业与新材料类企业的空间关联最为密切。

(3) 信息传输、软件和信息技术业(X_3)。该产业与低碳产业及新能源类、节能环保类企业的空间关联最强,与新材料类、低碳服务类的空间关联较差。低碳产业尤其是新能源类、节能环保类在企业创造价值的过程中需要大量信息技术的支持,比如新能源汽车的相关电子软件开发、节能管理和环境监测信息平台的搭建等。信息技术型企业可为低碳企业提供大量信息与外包服务,这使其与低碳产业的空间关联最强。低碳服务类企业的技术含量较低,与信息技术型产业的空间关联较差。但新材料类企业存在前沿材料的研发需求,与相关技术企业的关联性欠佳,说明新材料类企业布局存在优化可能。

(4) 住宿和餐饮服务业(X_5)。住宿与餐饮服务业是基本的生活需求,但与所有低碳产业的空间关联均较差。这表明武汉市的低碳产业与生活配套之间缺乏有效的耦合。住宿和餐饮服务业主要集中于中心城区内,而低碳产业多数位于各个开发区内,因此造就了空间错位。未来应加强住宿餐饮等生活性服务设施在低碳产业周边的布局,以此来满足当地企业和居民的生活服务需求。

5 武汉市低碳产业空间布局规划引导策略

5.1 合理优化低碳产业空间布局

应重点加强低碳产业在东湖高新区、楚河汉街商圈、江汉路商圈、武钢研究院的集聚,

巩固现有产业集聚优势。其次应优化郊区中散点分布的企业，必要时转移部分企业于就近新兴产业园区中。子类产业上，新能源类应以东湖高新区和武汉经开区为布局重点，尤其可围绕东风汽车产业园布局；新材料类应以东湖高新区和青山区为布局重点，结合青山区现有钢铁制造业优势布局。节能环保类应以东湖高新区、青山区和江汉区为布局重点，优化黄陂区和江夏区的布局；低碳服务类应以武昌区、江汉区为布局重点，形成一定规模的服务中心。

5.2 积极促进相关产业协同发展

低碳产业集群的形成与其他相关产业的配合密不可分。需加强低碳产业与信息技术型产业、金融服务业等产业的空间耦合，还应注重加大住宿餐饮业等生活性服务业在低碳产业周边的布局，以满足企业和居民的需求。从子类产业看，新材料类应重点加强与交通运输、仓储和邮政业的空间协同发展，低碳服务类应重点加强与金融保险服务业的空间协同合作。

5.3 努力补齐低碳服务产业短板

武汉市低碳服务类产业企业数量和规模较少，总体仍处于起步阶段。未来应集中力量建设低碳服务类产业，以抢占低碳产业发展的高地。从小类来看，碳交易服务产业应与金融保险服务业协同布局，并以楚河汉街商圈、江汉路商圈为中心进行产业布局；而由于低碳技术服务产业主要是生产碳捕获及存储（CCS）等低碳技术的企业，因此其产业布局可结合新能源类、节能环保类产业进行布局，未来可考虑重点布局在东湖高新区、武汉经开区和青山区。

6 结论与展望

本文通过对武汉市低碳产业分布空间格局及产业空间关联的研究，发现低碳产业企业在中心城区已形成明显聚集态势。其中高密度区位于东湖高新区内，中密度区位于二环内的中心城区，低密度区位于三环外的郊区。低碳企业与信息技术型企业的空间关联最强，与金融保险服务业、租赁和商务服务业关联其次，与交通运输、仓储和邮政业及住宿餐饮服务业关联较弱。总体来看，武汉市低碳产业已经形成一些集聚规模，逐步向成熟阶段过渡，但仍存在较大优化空间，如外围企业较为分散、低碳服务类企业规模较小、与生活服务设施的耦合度不足等。未来应充分协调低碳产业与相关产业的发展，进一步促进低碳产业的壮大。

参考文献

- [1] 刘传江,章铭.低碳产业发展研究动态述评[J].生态经济,2012(02):104-106.
- [2] 蔡林海.低碳经济绿色革命与全球创新竞争格局大格局[M].北京:经济科学出版社,2009.
- [3] 王朝华.北京在环渤海低碳产业体系构建中的地位和作用[J]中国集体经济,2010(9):26~27.
- [4] 李金辉,刘军.低碳产业与低碳经济发展路径研究[J].经济问题,2011(3):37~40,56.
- [5] 冯奎.中国发展低碳产业集群的战略思考[J].对外经贸实务,2009(10):9-12.
- [6] 周诗文,石铁矛,李绥.基于碳足迹分析的沈北新区低碳产业空间布局研究[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2017,19(05):466-470.
- [7] 李亚博,常江.徐州经济技术开发区低碳产业空间布局研究[J].北方经贸,2012(04):32-33.

- [8] 黄亚平,周敏.武汉都市区制造业空间演化特征、机理及引导策略研究[J].城市规划学刊,2016(06):54-64.
- [9] 李秀伟,路林.北京市产业空间布局演变特征[J].城市发展研究,2011,18(10):50-56.
- [10] 任俊宇,袁晓辉,胡晓亮.科技型中小企业的空间布局及其演变规律研究——以北京为例[J].北京规划建设,2018(04):168-173.
- [11] 文龙光,易伟义.低碳产业链与我国低碳经济推进路径研究[J].科技进步与对策,2011,28(14):70-73.
- [12] 于志英.长三角城市群产业空间格局及驱动要素分析[D].中国测绘科学研究院,2019.
- [13] 张杰,唐根年.浙江省制造业空间分异格局及其影响因素[J].地理科学,2018,38(07):1107-1117.
- [14] 刘娅娜. 中国金融产业集聚的空间格局、影响因素及其产业结构调整效应[D].河南大学,2019.
- [15] 孟武康,陈小青,总编.武汉统计年鉴[M],中国统计出版社,2018,6-7.312.
- [16] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(01):116-134
- [17] Wang JF, Li XH, Christakos G, Liao YL, Zhang T, Gu X & Zheng XY. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. International Journal of Geographical Information Science 24(1): 107-127.
- [18] Wang JF, Zhang TL, Fu BJ. 2016. A measure of spatial stratified heterogeneity. Ecological Indicators 67: 250-256.

作者简介

王雨晨,华中科技大学建筑与城市规划学院,硕士

刘合林,华中科技大学建筑与城市规划学院,教授

聂晶鑫,华中科技大学建筑与城市规划学院,博士