

城乡过渡带社会经济空间演化特征与机理

宋志军^{1,2}, 李小建^{1,3,4}, 郑 星⁵

(1. 河南大学地理与环境学院, 开封 475004; 2. 河南大学黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004; 3. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 开封 475001; 4. 河南财经政法大学
城乡协调发展河南省协同创新中心, 郑州 450046; 5. 浙江工商大学土地资源管理系, 杭州 310018)

摘要: 城市空间具有市场、规划双向驱动的特点, 但中国学界对两者空间影响尺度的研究却相对较少。本文以1980—2010年浙江10个城市的城乡过渡带为案例, 以其兼有市场、规划驱动的院落组级、街坊级、小区级、居住区级约60 m至约800 m的空间尺度为研究对象, 利用5年期数据对这一微中观空间进行了广义空间多重分形分析。整体分析显示, 规律化、趋势化和无序化土地斑块演变组分的耦合, 在城乡过渡带形成了3个基本尺度区间: 市场驱动为主的院落组级空间, 规划驱动为主的居住区级空间, 两者过渡的街坊级、小区级空间。空间拓展的主导性分析表明, 因市场、规划在各尺度上引领作用的不同, 院落组级、小区级、居住区级空间演变的趋势化与规律化相复合的特征明显, 街坊级则偏于趋势化与无序化复合下的空间演变。主体性分析进一步显示, 各尺度区间在相应驱动力的作用下, 院落组级空间以趋势化的集聚、小区级、居住区级空间以趋势化的扩散为主; 街坊级则突出表现为无序化的空间拓展。本文的贡献在于通过 $f(a)-a(q)$ 曲线上规律化、趋势化、无序化区间的组合及时序变化, 量化地认识了城乡过渡带常为趋势化与规律化相复合的空间拓展所主导、但却以趋势化的空间拓展为主体的客观现象, 为国土空间规划中市场、规划的空间影响尺度划分、“多层次特征的系统辨识”提供具体的科学依据。

关键词: 多组分复合; 空间多重分形; 院落组级—居住区级空间; $f(a)-a(q)$ 曲线; 城乡过渡带

DOI: 10.11821/dlxb202112004

1 引言

1978年改革开放以来, 中国实现了由计划经济向中国特色社会主义市场经济的转变, 社会经济快速发展。当前中国规划与市场双轨驱动的机制已基本形成^[1], 非国有制经济逐渐成为经济发展的主力, 地摊经济等非正规经济在城镇的院落组级、街坊级、小区级、居住区级空间的数量日益增多、作用日益增强。同时, 因商业、工业、居住、基础设施发展/建设的需要, 各级城镇的规模明显增大。社会经济的发展与空间结构的变化相辅相成, 推动城镇呈现了两种形式的空间拓展: 新增长土地斑块对临近区域的填充或集聚, 新增长土地斑块自建成区向外的外拓或转移。现实中城乡过渡带因是各级城镇发展矛盾、变

收稿日期: 2020-08-21; 修订日期: 2021-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071156, 41971223); 黄河文明省部共建协同中心/黄河文明与可持续发展中心重大项目(2020M18) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.42071156, No.41971223; Project of Collaborative Innovation Center of Yellow River Civilization/Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development, No.2020M18]

作者简介: 宋志军(1970-), 男, 河南安阳人, 博士, 教授, 研究方向为经济地理与土地资源管理。

E-mail: songzzjj@163.com

通讯作者: 李小建(1954-), 男, 河南孟津人, 博士, 教授, 博导, 国际欧亚科学院院士, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: xjli@henu.edu.cn

化集中、景观变化剧烈的区域^[2-3]，上述表现又尤为突出和复杂。从数理特征看，城乡过渡带属空间复杂巨系统，其各类土地斑块的分布常满足幂律和无标度现象，并会形成规律化、趋势化、无序化的空间组分^[4-5]。这些组分相互耦合，共同驱动着该地带的时序化演变^[6]。城乡过渡带不仅是多种发展功能的空间耦合区，也是城市规划、土地规划、功能区规划中难以规划、规划后难以实施的区域^[7-8]。因此对中国城乡过渡带空间演变特征和机制的解析，具有深入了解区域发展现状、合理引导国土空间规划的现实意义。

本文利用复杂科学思想及多重分形中的格子分形技术分析中国典型城乡过渡带的空间耦合机制。具体地，将基于广义多重分形的规律化、趋势化、无序化组分相复合的视角，探究因市场、规划驱动所带来的微中观空间的多尺度耦合，及不同尺度上空间拓展的主导性、主体性与其基本规律，进而揭示城乡过渡带的发展现状、空间特征和演变历程，并探讨多重分形技术在经济地理学中的应用^[9-11]。

2 科学问题与研究思路

2.1 科学问题分析

社会经济活动的变化，势必要引起其载体—地理空间的变化。而空间演变的主导性和主体性，是描述区域地理系统空间变化的两个概念，两者逻辑相关但又不尽相同。主导性是指在地理空间变化中，起引领性、支配性作用的那部分地理事物或过程，并常表现为：① 引发、维持、调节某些地理现象或功能的形成与运行；② 影响其他地理现象或功能的发展^[12]。主体性则指承载空间主要变化的那部分地理事物或过程。例如居民小区与道路的兴建、高新技术企业的迁入常主导着城乡过渡带的空间发展；但农村居民点及耕地向建设用地及绿化空间的转变，却常是城乡过渡带空间变化的主体。空间主导性、主体性相一致的规律化变化，常会产生城乡过渡带某一功能的快速形成和高效运行；而多种组分无序地组合在一起，则产生相反的效果（如违建对整体空间格局的破坏）。通常城乡空间系统各层次演变的主体性与主导性是相异的。

在空间状态、发展过程较为“混乱”的城乡过渡带，城市规划常注重该区域市级、区级中心/地带的宏中观空间的配置，以形成区位不同、等级不同的商服中心、居民区、交通枢纽。但这种规划能否起到辐射周边、多功能化协调发展的作用，则依托上述配置的空间规律化、趋势化和无序化变化的具体复合。同理，因市场驱动，基层商服网点、生产企业、居住的区位选择，也存在一个空间寻优及耦合的过程；并会在街坊级、小区级、居住区级等微中观空间产生集聚，进而形成一定的空间扩散范围。总体上，学界对中国城乡过渡带近年来规律化、趋势化发展的认识还不清晰，对其空间演变的主导性、主体性也不明确。而现实中，规划、市场的内在主导性又常表现为规律化、趋势化、无序化的外在影响，且某种主导性也不见得能同时成为空间演变的主体。因此，对空间演变主导性和主体性的研究是对空间系统内在机制的揭示，对规律化、趋势化和无序化3种状态的描述则是对空间系统外部表现的分析。已有研究发现，规划、市场两种力量具有常规意义上的“规律化”（即严格意义上规律化、趋势化的复合）的空间尺度分布区间或无标度区间：宏观空间是规划的主要“势力范围”、微观空间为市场的“运行区间”、中观空间则多表现为两者的耦合区间^[6, 13]。

由此本文的科学问题得以明确，即从空间复杂性入手，通过对市场、规划驱动下的案例区的空间存在状态及其演变过程（规律化、趋势化和无序化变化的复合）的分析，来解析案例区空间演变具体的特征及机理。基于此，本文专注于城乡过渡带农用地、非

农性用地两大类土地斑块相互交错的空间格局演变, 并反推以市场力量、规划力量为代表的社会经济发展在空间上的“投影”及其基本数理规律。

2.2 研究方法与研究思路

空间多重分形是一种解析地理事物非整数维的存在形式的研究思想^[4, 9], 可量化地描述空间复杂系统总体、局部的演变特征; 据此对某一空间多重分形系统的分析包括全局性、区域性两套指标体系。构建指标体系的指导思想为: 全局性指标体系是利用“系统整体包含个体存在状态的多少”的信息熵思想, 来反映空间总体的复杂性; 局域性指标体系则通过“各局部在系统中所占的权重”的思想来分析空间内部的分异。类比于物理密度场的总体描述, 全局性分析主要反映空间多重分形特征的分布广度(q 值的范围)、演变强度(广义分维值 D_q 的大小)和质量指数(系统统计学特征, $\tau(q)$)等总体性状。类比于物理密度场的局部变化, 局域性分析则用来描述该空间系统局部、子系统的变化。而基于多 q 级的分形系统的局部特征会不同, 并会依系统奇异性指数($a(q)$)发生变化, 由此用 $a(q)$ 随 q 的变化来描述地理空间场的局部变化, 进而各分形的局部演变会随着 q 或 $a(q)$ 的变化形成一个多分维谱($f(a)$), 以反映系统局部的复杂演变^[9, 14-15]。

典型的空间多重分形系统须同时满足全局性指标和局域性指标, 进而可量化地评价某一空间多重分形系统规律化的总体、局部演变^[14-15]。据此, 本文进一步把这一判读依据拓展为对非典型多重分形特征的判读依据, 即把非同时满足全局性指标、局域性指标(或满足单一全局性规律化变化、局域性规律化变化)的分形系统称为广义空间多重分形系统^[13], 在该系统的总体或局部空间上会出现向典型多重分形特征转化, 或由之退化而来的趋势化倾向。而地理事物的规律化演变、趋势化演变及两者与无序化复合而成的整体演变, 在现实中的表现是不同的。由此, 对广义多重分形的认知途径得以具体化。

发端于20世纪末的多重分形思想经历了一个在数理上的创建→向各纵向学科的推广→各学科的引入→在各具体学科中逐步发展的过程, 当前正处于依各学科的特点进行拓展、深化和验证的阶段。目前多重分形思想在经济地理学的研究方兴未艾。但由于缺乏多要素、细节化的中间环节分析的支撑, 加之受传统思维方式的影响, 一些学者对利用相对玄奥的典型、广义多重分形进行的区域空间结构、等级分异及其时序变化的分析与理解常不透彻^[6, 9-10]。然而从复杂科学在物理学、化学等学科的广泛应用、对地理空间运行机理的解析可展望, 对空间多重分形的研究只会更普遍、更深入^[12, 16-17]。

本文选择了常被忽视、属非正规经济分布尺度的浙江院落组级一居住区级空间为切入点(便于聚焦市场力量的空间标度区), 以还显粗糙的空间数据(仅划分了农用地和非农性用地)为基础, 展开了广义多重分形分析。但多重分形所依托遥感图像二维的土地斑块, 只能粗略地反映市场、规划两种基本驱动机制在城乡过渡带的空间“投影”, 还不能有效地揭示其背后的社会经济基础。由此, 本文基本研究思路为: 通过对1980—2010年浙江10个城市城乡过渡带空间演变的非线性数理规律的解析, 量化地探究经济地理空间的复杂性; 由对案例科学问题的解析以了解广义多重分形的空间量化途径, 并初步形成一种全新的地理思维范式。

3 案例选择与基础分析

3.1 案例区概况及其选择

浙江是中国改革开放后发展最快、经济基础变化最大并处于城镇化前沿的省份之一, 其东临东海, 西靠山地, 具有相对独立、类型多样的省域城镇体系。选择浙江作为

案例区的依据主要为：① 市场体系完善，以民营中小企业为主，商业活动发达；② 政府的宏中观规划主导着城市的空间发展；③ 非正规经济显著影响着各城镇城乡过渡带（尤其是院落组级—居住区级）的经济活动与空间结构^[18-20]。加之浙江 10 个城市（除岛屿城市舟山）城乡过渡带的人口、经济规模可观、发展历程完整，由此对其时序化演变的复杂性分析，可解析该地带整体的空间特征及其空间格局变化。

浙江不同时期的空间演变模式并不一致。加之多依江临海、近山，新组团/飞地式发展的特色明显，使各城市在 2010 年前后呈现了明显的空间格局差异。如 1978 年以来（尤其是 2007 年城市规划调整后）的空间发展，明显使杭州呈现了“西湖时代”“钱塘江时代”两种发展情境。此外，浙江 10 个城市 21 世纪 10 年代的发展普遍表现出一定的非常规性，其数据也难以拟合到 1980—2010 年的数据中。这一现象在全国普遍存在，这也可从其他案例分析中得到印证^[6, 13]。由此本文最终定位于浙江 10 个城市发展相对稳定、可用一种模式来概括的 1980—2010 年的发展，而未选择发展背景已发生变化且演变模式明显不同的 2010 年后的阶段。

在发展背景、发展阶段得以明确的前提下，通过对 1980—2010 年浙江变化显著的 10 个城市二维城乡过渡带的研究，深入了解中国地级市城乡过渡带近年的空间结构、演变特征和运行机制（县城、集镇尚不能确定具有相同的结论）。本文聚焦浙江 10 个城市院落组级、街坊级、小区级、居住区级等微中观空间的演变。实际院落组级—居住区级空间正好指向城市微中观经济的活跃尺度区，且不失宏中观规划的影响。特别是对院落组级空间的特点、机制的研究，是当前国土空间规划必然要面对的内容。无论从实践还是从理论上，对上述内容的研究都是迫切的。同时客观上对规划机制的研究有利于政府主导的各类宏中观规划的科学实施，对市场机制的研究则有利于合理引导各种微中观社会经济活动的发展。故本文聚焦 10 个城市 1980—2010 年的城乡过渡带这一微中观空间，并以此案例来量化地认识中国城市空间演变的基础性、普适性的特征与规律。

3.2 基础性空间尺度分析

空间多重分形分析可基于非线性/非欧几何分析地理空间的演变，进而较好地解决还原论、传统空间分析相对低效的难题^[4-5, 9, 12, 16-17]。当前的空间复杂性研究，常关注规划主导下城乡宏中观空间的耦合及其空间格局变化。但市场对城乡空间的影响也不同忽视，如个体（居民、中小企业、基层单位）微中观区位的选择。现实中市场驱动的城市生产、生活行为基本活跃于院落组级—居住区级空间尺度，但也会因城市规模的不同产生具体尺度范围的差异。观察浙江城乡过渡带的空间尺度，都指向了约 60 m 至约 800 m 的区间（表 1）。60 m 的下限大于已有研究认为出现多重分形特征的 30 m 下限和一般图像的精度^[21]。约 800 m 的上限则主要受城市规模、地形、基层空间（如小区、道路）的大小/长度影响所致，如表 1 中居住区级约 375 m 到 813 m 的差异。理论上，在城乡过渡带约 60 m 至约 800 m 的空间尺度区间，很多地理事物受城乡多要素异速生长的影响会出现幂律、无标度等空间自组织现象，并表现出 $1/f$ 噪声、Zipf 规律、分形等数理规律^[9]。

表 1 中数据等级源自格子分形，10 个城市同一等级的格子边长分别介于 375~813 m、188~406 m、93~203 m、63~102 m 之间。参照因地形等因素而有所差异的城市规划参考标准，上述空间尺度大致对应于居住区级、小区级、街坊级、院落组级的 4 个空间等级^[22]。其中居住区级是本文最大的空间尺度，约相当于街道办事处、大型居民社区的管辖范围，属城市规划中典型的居住区级空间。对它的分析可反映中国基层管理、次级商服中心的空间发展情况。小区级（也称居住小区级）尺度为居民的日常活动范围，对应于诸如一般商服网点、基层公共设施规划、一般居民社区的空间分布。街坊级空间在城乡过渡带常表现为成街成坊、成组成团的混合形式，是非农化、城市化及其景观变化的重要

表1 2010年浙江10个城市的空间层次
Tab. 1 Spatial hierarchy of 10 cities in Zhejiang in 2010

数据等级	杭州(半平原) (26 km×26 km)		湖州(半丘陵) (13 km×13 km)		嘉兴(平原) (18 km×18 km)		金华(平原) (15 km×15 km)		丽水(滨河+丘陵) (12 km×12 km)	
	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)
居住区级	812.5	898	406.3	722	562.5	977	468.8	904	375.0	567
小区级	406.3	3175	203.1	2176	281.3	3271	234.4	2953	187.5	1727
街坊级	203.1	10971	101.6	7005	140.6	10593	117.2	9609	93.8	5707
院落组级	101.6	38024	—	—	70.3	35398	—	—	—	—

数据等级	宁波(半平原) (22.5 km×22.5 km)		衢州(谷地) (12 km×12 km)		绍兴(半平原) (20 km×20 km)		台州(滨河+丘陵) (18 km×18 km)		温州(滨河+丘陵) (16 km×16 km)	
	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)	格子边长 (m)	非空格 子数(个)
居住区级	703.1	993	375.0	233	625.0	873	562.5	637	500.0	735
小区级	351.6	3480	187.5	802	312.5	2781	281.3	1851	250.0	2450
街坊级	175.8	11671	93.8	2716	156.3	8862	140.6	5764	125.0	8612
院落组级	87.9	40017	—	—	78.1	29442	70.3	19579	62.5	31863

注：因数据提取原因，湖州、金华、丽水 and 衢州缺少院落组级数据。

空间尺度。院落级空间则对应于建成区外缘的小型工厂/手工业作坊、若干院落汇集区所占用的空间规模，其市场驱动明显。可看到，城乡过渡带不同空间尺度的指向性也不同，对它们的分析可反映不同视角下因新增土地斑块的填充、外拓所带来的空间格局变化。然而因缺乏各发展功能/要素/子系统关联性分析的有力支撑，本文更侧重对各尺度单一空间格局的分析。

对于居民，城乡过渡带上述空间多为院落组级、街坊级的居住尺度，小区级、居住区级的出行范围。对于商业，多为基层商服中心/网点的区位分布；对于企业则为多因素寻租后的空间布局。相较于偏规划的区县级、亚区级空间，约60 m至约800 m显然为市场驱动的主要尺度区。但因中观空间（如小区级）属规划与市场的双轮驱动区间，故城乡过渡带的微中观空间会呈现市场、规划共同驱动的局面。1980—2010年浙江市场经济的迅速发展在微中观空间必然会有所“投影”。所以对10个城市非农性用地在这一尺度的对外外拓、对内填充的研究，可反映该地带空间结构的变化，并有助于解析中国城市微中观各空间尺度上时序化演变的基本特征、数理规律及其类型差异。

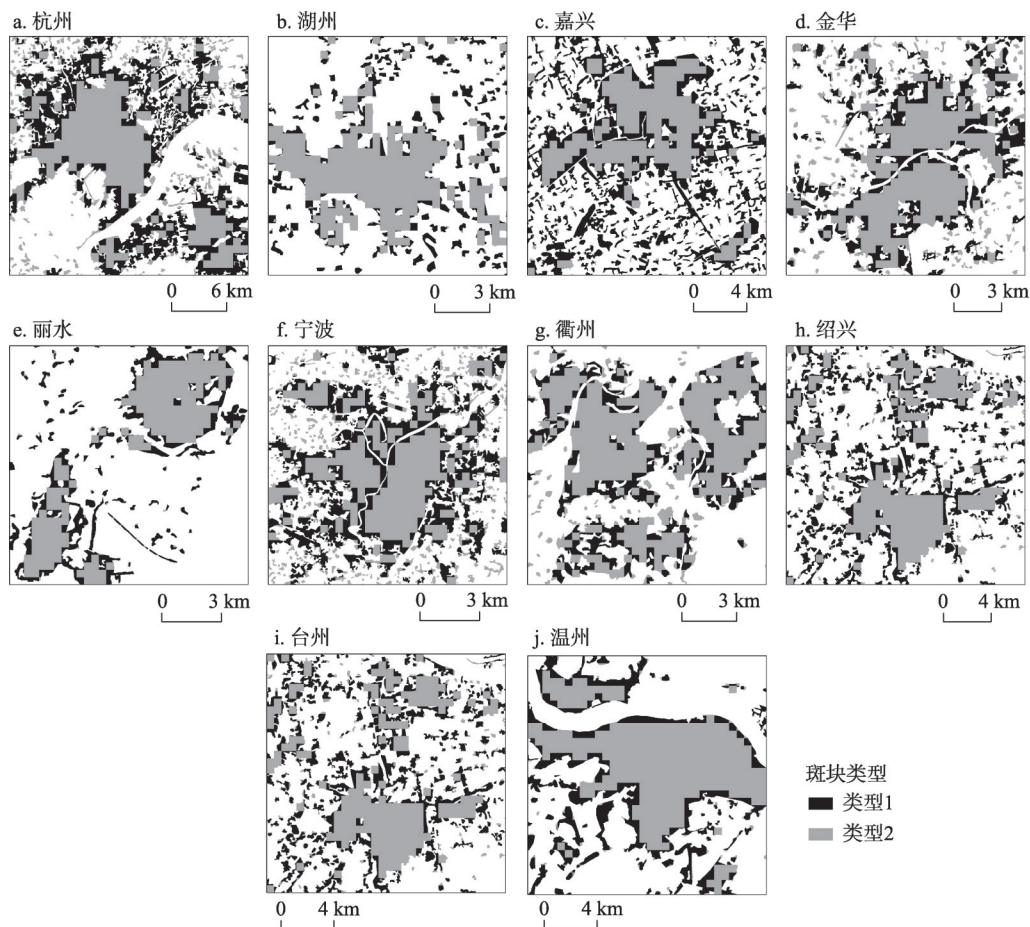
实际建成区是标识城市三维空间、高维属性演变的主要区域，但现有技术、数据多不支持这类空间的多重分形研究。而城乡过渡带突出表现为发展要素在二维空间的融合，故为本文所采用。本文对浙江10个城市二维城乡过渡带的分析包括：①全局性指标分析，主要反映案例区微中观空间的全局性特征，如空间尺度（*m*）的波动，土地斑块密度（*q*）分布范围的变化、广义相关维数（*D_q*）的持续变化、系统演变的规则性等；②局域性指标分析，主要分析城乡过渡带的局部变化，具体包括城乡过渡带演变的奇异性（*a(q)*）、局部分维值（*f(a)*）、空间拓展的倾向性等；③城乡过渡带空间演变的主要特征和发展历程；④多分维谱的峰值、谱偏（驱动力大小、主导性）及其变化，这是本文的基础分析内容；⑤了解10个城市城乡过渡带演变的基本分类；⑥掌握各空间组分的分布、组合特征（如主体性）及其演变。

3.3 数据选择与处理

研究数据源于1980年、1995年、2000年、2005年、2010年Landsat TM/ETM遥感影像，运用ENVI 5.1软件及ArcGIS 10.2对案例区5年期的遥感影像数据解译及分区统计分

析所得。浙江 10 个城市基本都分布于山前平原、盆地、河谷地带, 城乡过渡带更是受“滨河、近山”较大的影响, 并未呈现规则的几何形状。以小区级空间为例, 通过实地考察和查阅地图可看到, 杭州、宁波、绍兴的城乡过渡带多处于平原、半平原地区, 小区外侧的道路(可视为格子边长)都较长, 处于 310~410 m 范围; 温州、嘉兴、台州、金华的小区级空间则多处于 230~280 m 范围; 另外, 丽水、衢州和湖州 3 个城市则因城市边缘多丘陵和河流, 而处于 180~210 m 范围。总体上, 上述分析进一步量化了 10 个城市城乡过渡带的具体空间尺度。

3.3.1 单一年份截面数据的提取 在非农性用地的空间密度大致相同、基本涵盖城乡过渡带的前提下, 本文依双对数函数(等价于幂函数^[9])确定了 10 个城市的空间范围(图 1)。由图 1 可看到, 典型空间多重分形系统/规律化系统主要分布于 10 个城市建成区的裙角及近郊区, 即图中斑块类型 1 的分布区, 而广义空间多重分形系统则分布于较这一地带更大的附近区域。由此基于 5 年期的截面数据, 本文将探究这 10 个城市由多种土地斑块构成的、承载着城市化、非农化、产业化等进程的局部空间(城乡过渡带)的总体特征及时序化演变, 并着力从局部管窥各城市整体的发展特征和空间格局。



注: ① 示意图源自各城市的空间数据, 大致对应于各城市居住区级、小区级空间尺度。② 非农性用地斑块类型 1 为典型多重分形子系统所含斑块, 类型 2 为非该系统的斑块。

图 1 2010 年浙江 10 个城市空间格局

Fig. 1 Spatial layouts of 10 cities in Zhejiang in 2010

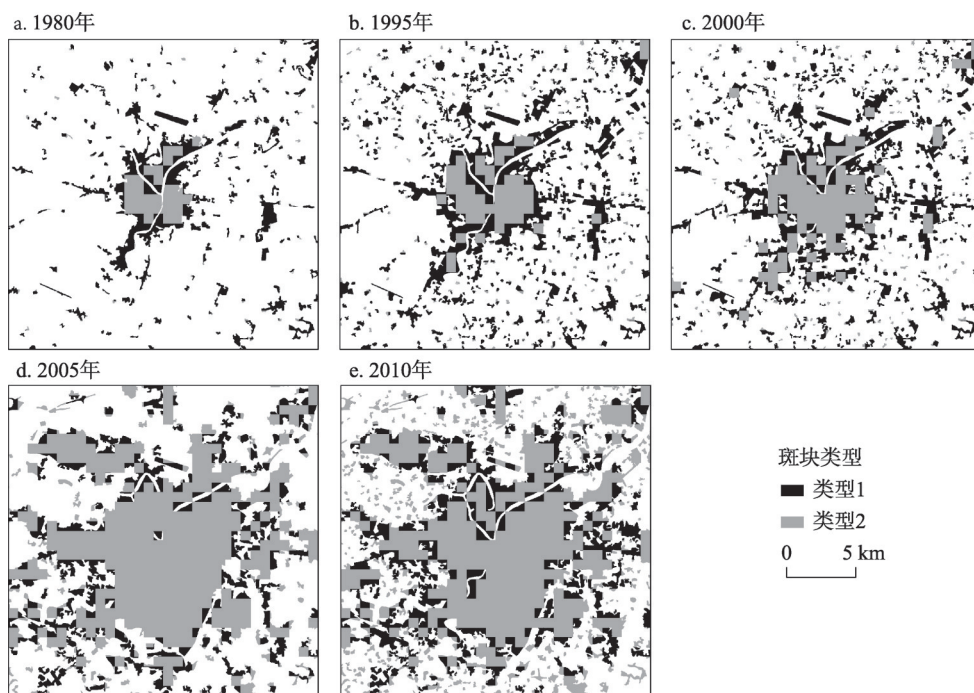
而上述根据双对数函数选择的城乡过渡带空间系统,将在下文第4、第5章节细分为规律化、趋势化、无序化3种空间组分。

3.3.2 多年份时序化数据的提取 浙江非农性用地的拓展有鲜明的时代特征,蕴含着基础性的城市演变规律^[14, 23-25]。由此本文以图1的空间范围为基准,提取了10个城市1980年、1995年、2000年、2005年、2010年各尺度的土地利用数据。可看到城乡过渡带具有持续的空间变化过程,新增土地斑块不断改变着原有空间格局,由此本文所述的空间拓展过程实际是通过不同年份的空间格局变化来加以认识的。以宁波22.5 km×22.5 km的城乡过渡带为例(图2),其5年期的发展分别具有相异的空间格局,并在非农性用地的中低密度区(斑块类型1分布区)形成了典型的空间多重分形系统。宁波5年期的城市规模、有多重分形特征的空间格局都可直观展现出来,并可探究该局部空间(城乡过渡带)由多种土地斑块所承载的城市化、非农化、产业化进程的时序变化^[13, 26-28]。

3.4 分析流程和技术流程

进行格子空间多重分形分析的目的是要发现区域空间结构随土地斑块大小发生的层次性(q)变化,及由此产生的全局性、局域性的规律化、趋势化数理特征^[14, 23],本文是对浙江10个城市城乡过渡带5年期非农性用地斑块在院落组级—居住区级的空间分布、空间耦合的特征、机制的分析^[28],这符合国土空间规划“多层次特征的系统辨识”的思想^[29]。故通过浙江的案例研究来认识中国城乡空间的复杂变化,是本文的另一个重要目的。鉴于描述的简洁性,后文略去具体的数理分析、推导过程,相关文献对多重分形已有较详细的介绍^[4-5, 9, 12, 14, 16, 23]。

基于规范的多重分形分析程序,本文得到了浙江10个城市城乡过渡带5年期院落组级—居住区级空间随斑块层次性 q 发生变化的广义相关维数(D_q)、质量指数($\tau(q)$)两



注: 非农性用地斑块类型1为多重分形子系统所含斑块,类型2为非该子系统的斑块。

图2 1980—2010年宁波的5年期空间格局(居住区级)

Fig. 2 Spatial patterns of Ningbo from 1980 to 2010 (at residential area level)

个全局性指标, 奇异性指数 ($a(q)$)、局部分维值 ($f(a)$) 两个局域性指标, 并绘制了 D_q-q 、 $\tau(q)-q$ 、 $a(q)-q$ 、 $f(a)-q$ 、 $f(a)-a(q)$ 曲线拟合示意图。进而进行了主要分维值 (D_0 、 D_1 、 D_2)、参数 (如 $a(q)$ 、 $f(a)$) 取值范围、统计学属性 ($\tau(q)-q$ 的曲线形状)、多分维谱 (即 $f(a)-a(q)$ 曲线) 的谱宽、谱偏、峰值、规则性等的界定与判断, 得到了 10 个城市基于多种参数的分析结论 (表 2)。随着 q 值的变化, 浙江 10 个城市空间多重分形子系统的复杂空间特征、时序化演变被逐步解析出来。在实际操作中, 各空间尺度 (m) 的 q 值全被限定在了 $[-2.0, 13.0]$ 的区间。把下限值设在 -2.0 , 是避免把对下一级空间尺度 (如街坊级) 的分析越级到上一级 (小区级)。由此, 某一城市不同空间尺度的数理特征被区分开来, 并可进行多城市间多重分形特征的比较。以规律化、全局性趋势化、局域性趋势化、无序化组分为依托, 本文的技术分析流程如图 3 所示。

4 主导性分析

本文对浙江 10 个城市院落组级、街坊级、小区级、居住区级空间拓展的分析包括“哪部分土地斑块层次 (q 值区间) 主导着城乡过渡带的空间演变”“哪部分土地斑块层次 (q 值区间) 成为了空间演变的主体”。这两部分内容由浅入深、由细节到整体的分析, 为后文获得总体性量化分析提供了重要的理论依据。

4.1 规律化主导组分的分析

理论上, 某一空间尺度的 $f(a)-a(q)$ 曲线的峰值 ($q=0$) 及其附近 q 值区间, 对应于该尺度空间变化的主导性斑块层次, 它在空间格局中具有引领性作用^[14, 23]。由此, 本文假设主导性 q 值分布区为 $[-2.0, 2.0]$, 进而以规律化组分所占的区间大小 (表 2) 为依据, 对 10 个城市 5 年期院落组级—居住区级的数据进行分析。

(1) 在 10 个城市约 124~203 m 的街坊级空间 (表 1), 从未出现过同时满足全局性指标体系、局域性指标体系的典型多重分形组分 (2.1 中 3 种空间状态在此被称为 3 种组分), 故在表 2 未列出该空间尺度。

(2) 院落组级空间 (本文也称之为末端空间) 完全不具备典型多重分形特征的几率较大。如再加上上述对街坊级空间的分析, 可认为这两个尺度整体表现为趋势化与无序化相复合 (通俗的“混乱性”) 的空间, 且其复合程度较强。而这一由市场驱动的院落组级、街坊级空间尺度的表象, 也符合人们对基层空间格局的直观认识。与此相对应, 规划驱动的小区级、居住区级空间的趋势化、规律化复合 (通俗的“规则性”) 则较强。

(3) 除街坊级外, 院落组级—居住区级空间演变普遍具有一定源于市场、规划驱动的规律化。且依空间规律化演变的强度可分为规律化完全主导、规律化强烈主导、规律化较强主导、规律化一般性主导、规律化较弱主导、无规律化主导 6 个量化后的等级。可见, 微观/市场、中观/规划的规律化演变仅是区域空间重要的、但非唯一的演变状态。

表 2 中 q 值的区间范围直观展示了上述量化结果, 各城市微观空间整体表现为偏市场驱动的“混乱性”、中观空间偏规划的“规则性”, 街坊级则表现为两者的耦合区间。

4.2 趋势化主导组分的分析

表 2 中各 q 值的 $[-2.0, 2.0]$ 区间并非是规律化全覆盖的, 其余区间更多为满足单一全局性、局域性指标体系的趋势化 q 值区间所覆盖。由此扩展到广义空间多重分形分析, 则浙江院落组级—居住区级空间更多表现为一种规律化、趋势化、无序化相复合的空间。表 3 显示, 趋势化变化的影响比规律化变化更普遍、强度更大^[6, 13], 已成为影响城乡过渡带空间演变的最重要组分。进一步地, 本文把仅满足单一性指标体系的土地斑块分为全

表2 1980—2010年浙江10个城市5年期的典型多重分形特征的 q 值分布区(无街坊级)

Tab. 2 The q distribution of typical multifractal features of 10 cities in Zhejiang for five years from 1980 to 2010 (without block level)

年份	杭州			湖州			嘉兴			金华		
	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级
1980	-	-	-	-	-2.0~-1.3	-2.0~2.0	-2.0~-1.6	-0.7~2.0	-0.1~2.0	-	-2.0~2.0	-1.3~2.0
1995	*	*	*	-	-2.0~-1.2	-1.0~2.0	-2.0~2.0	-0.7~2.0	-0.1~2.0	-	-2.0~2.0	-1.4~2.0
2000	*	*	*	-	-2.0~-1.1	-2.0~2.0	-2.0~1.6	-0.6~2.0	0~2.0	-	-2.0~2.0	-1.1~2.0
2005	*	*	*	-	-2.0~-0.8	-0.9~2.0	-2.0~0.6	-0.6~2.0	-0.1~2.0	-	-2.0~0.6	-0.7~2.0
2010	-2.0~2.0	-0.4~2.0	-0.1~2.0	-	-2.0~2.0	-0.5~2.0	-2.0~2.0	-0.8~2.0	-0.4~2.0	-	-1.4~2.0	-0.1~2.0
绍兴												
衢州												
年份	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级
1980	-	-2.0~-1.4	-2.0~-0.1	-2.0~-0.1	-1.5~2.0	-0.5~2.0	-	-2.0~1.5	-1.4~2.0	*	-1.0~2.0	1.4~2.0
1995	-	-2.0~-1.0	-2.0~2.0	-2.0~1.0	-0.7~2.0	-0.1~2.0	-	-2.0~1.6	-1.3~2.0	-2.0~1.1	-1.0~2.0	-0.3~2.0
2000	-	-2.0~-1.4	-2.0~0.1、1.0~2.0	-2.0~0.9	-0.7~2.0	-0.1~2.0	-	-2.0~1.4	-1.3~2.0	-2.0~1.0	-0.9~2.0	-0.3~2.0
2005	-	-2.0~-0.9	-1.2~0、0.7~2.0	-2.0~0.9	-0.5~2.0	-0.1~2.0	-	-2.0~2.0	-0.6~2.0	-0.7~0.6	-0.8~2.0	-0.2~2.0
2010	-	-2.0~-1.2	-0.8~2.0	-2.0~2.0	-0.2~2.0	0.2~2.0	-	-1.8~2.0	-0.4~2.0	0.9~1.1	-0.5~0.2	-0.1~0.2
温州												
年份	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级
1980	*	-2.0~-1.7	-0.8~2.0	*	-1.4~0.5	-0.6~2.0	-	-	-	-	-	-
1995	-2.0~-0.7	-1.7~2.0	-0.7~2.0	*	-1.3~-0.7	-0.5~2.0	-	-	-	-	-	-
2000	*	-1.7~1.2	-0.6~2.0	-2.0~-1.7	-1.1~1.2	-0.4~2.0	-	-	-	-	-	-
2005	*	-1.3~0.6	-0.5~2.0	*	-0.9~1.6	-0.4~2.0	-	-	-	-	-	-
2010	-2.0~-0.7	-1.7~2.0	-0.7~2.0	*	-0.8~2.0	-0.3~2.0	-	-	-	-	-	-

注: ① 假设主导性的 q 值分布区为[-2.0, 2.0]; ② 依规律化强度的大小或其 q 值分布区间, 分为规律化完全主导(q 值-2.0~2.0的全域覆盖)、规律化强烈主导(3.0~3.9)、规律化较强主导(2.0~2.9)、规律化一般性主导(1.0~1.9)、规律化较弱主导(0.1~0.9)、无规律化主导; “-”为缺失数据。

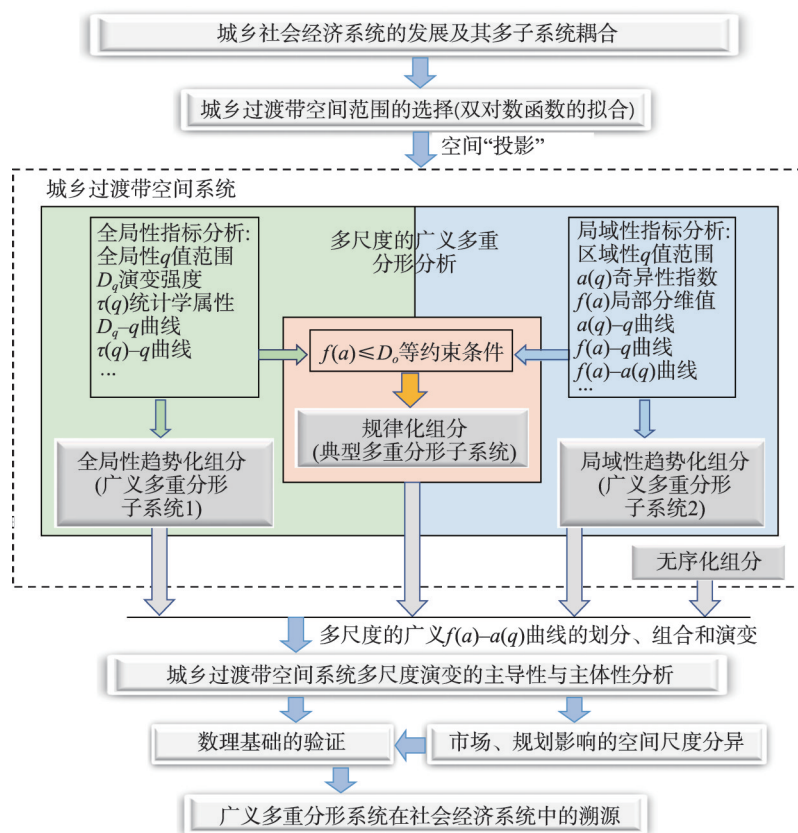


图3 广义空间多重分形分析的技术流程图

Fig. 3 Technical flowchart for generalized spatial multifractal analysis in the study

局性趋势化组分、局域性趋势化组分，并由两个组分的 q 值区间可知：①按浙江10个城市5年期的全局性趋势化、局域性趋势化及其与无序化的复合情况，微中观空间（含街坊级）可分为4种演变类型，且从未在院落组级、小区级、居住区级出现过完全无序化的空间格局。这说明趋势化与规律化复合主导的演变状态是城乡过渡带整体发展的常态，外在的空间“混乱性”只是一种表象。②街坊级空间整体趋于局域性趋势化、局域性趋势化和无序性复合的主导，再次证实了空间“混乱”并不等同于空间无序。但街坊级空间的演变态势却较为温和，弱于院落组级空间。③院落组级空间（微观）整体偏于市场驱动的局域性趋势化演变，规划驱动的居住区级空间（中观）则偏于全局性趋势化演变。小区级、街坊级空间（各城市存在具体差异）表现为两者的过渡区，是规划、市场两种力量耦合性影响的主要分布尺度区间。但总体上整个院落组级—居住区级空间仍以趋势化演变为主，它与规律化一起构成了城乡过渡带空间拓展的“规则性”。

表3具体展示了浙江10个城市城乡过渡带市场、规划的影响尺度区间。其中前者以院落组级空间为代表（表3绿色系的覆盖），后者则以居住区级较为典型（表3黄色系的覆盖）。两者的过渡区（小区级、街坊级）则渐次地实现着两种机制的过渡。这证实了，市场力量更倾向于城乡过渡带的基层空间，并成为其主要的“运行区间”；而越往高尺度空间，越是规划力量的“势力范围”。

④各演变组分“争相”取得空间拓展的主导性，从而改变着城乡过渡带的空间形态。如2005年温州的小区级空间，出现了无序化 $[-2.0, -1.8]$ 、全局性趋势化 $[-1.7, -1.0]$ 、

表3 1980—2010年浙江10个城市5年期的广义多重分形特征的q值分布区(无街坊级)

Tab. 3 The q distribution of generalized multifractal features of 10 cities in Zhejiang for five years from 1980 to 2010 (without block level)

年份	杭州			湖州			嘉兴			金华		
	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级
1980	-	-	-	-	1.4~2.0	**	1.7~2.0	-1.2~-0.8	-0.6~-0.2	-	**	-2.0~-1.4
1995	-2.0~2.0	-0.7~2.0	-0.1~2.0	-	1.3~2.0	-2.0~-0.9	**	-1.3~-0.8	-0.7~-0.2	-	**	-2.0~-1.5
2000	-2.0~2.0	-0.6~2.0	-0.1~2.0	-	1.2~2.0	**	1.7~2.0	-1.1~-0.7	-0.6~-0.1	-	**	-2.0~-1.2
2005	-2.0~-1.6	-2.0~-1.6	-2.0~-1.6	-	0.9~2.0	-2.0~-1.0	0.7~2.0	-1.0~-0.7	-0.6~-0.2	-	0.7~2.0	-2.0~-0.8
2010	-1.5~2.0	-0.6~2.0	-0.1~2.0	-	**	-2.0~-0.6	**	-1.5~-0.9	-0.5	-	-1.5	-0.6~-0.2
	**	-0.4~2.0	0~2.0	-						-		
年份	丽水			宁波			衢州			绍兴		
	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级
1980	-	-1.3~2.0	0.2~1.0	0~2.0	-2.0~-1.6	-1.4~-0.6	-	1.6~2.0	-2.0~-1.5	-2.0~1.2	-1.7~-1.1	-0.9~1.3
1995	-	-0.9~2.0	**	1.1~2.0	-2.0~-0.8	-0.6~-0.2	-	1.7~2.0	-2.0~-1.4	1.2~2.0	-1.6~-1.1	-0.9~-0.4
2000	-	-1.3~2.0	0.2~0.9	1.0~2.0	-2.0~-0.8	-0.7~-0.2	-	1.5~2.0	-2.0~-1.4	1.1~2.0	-1.5~-1.0	-0.8~-0.4
2005	-	-0.8~2.0	-2.0~-1.3	1.0~2.0	-2.0~-0.6	-0.5~-0.2	-	**	-1.0~-0.7	-2.0~-0.8	-1.5~-0.9	-0.8~-0.3
2010	-	-1.1~2.0	-2.0~-0.9	**	-2.0~-0.3	-0.3~-0.1	-	-2.0~-1.9	-0.9~-0.5	-2.0~-0.8	-1.5~-0.5	-0.8~-0.2
							-				0.3~2.0	
年份	台州			温州			湖州			嘉兴		
	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级	院落组级	小区级	居住区级
1980	-2.0~2.0	1.8~2.0	-2.0~-0.9	-2.0~2.0	-2.0~-1.5	-1.5~-0.7	-2.0~2.0	-2.0~-1.5	-1.5~-0.7	-2.0~2.0	-2.0~-1.5	-1.5~-0.7
1995	-0.6~2.0	-1.9~-1.8	-0.9~-0.8	-2.0~2.0	-2.0~-1.4	-1.4~-0.6	-2.0~2.0	-2.0~-1.4	-1.4~-0.6	-2.0~2.0	-2.0~-1.4	-1.4~-0.6
2000	-2.0~2.0	-2.0~-1.8	1.3~2.0	-1.6~2.0	-2.0~-1.2	1.3~2.0	-1.6~2.0	-2.0~-1.2	1.3~2.0	-1.6~2.0	-2.0~-1.2	1.3~2.0
2005	-2.0~2.0	-2.0~-1.4	0.7~2.0	-2.0~2.0	-1.7~-1.0	1.7~2.0	-2.0~2.0	-1.7~-1.0	1.7~2.0	-2.0~2.0	-1.7~-1.0	1.7~2.0
2010	-0.6~2.0	-1.9~-1.8	-0.9~-0.8	-2.0~2.0	-1.4~-0.9	-0.7~-0.4	-2.0~2.0	-1.4~-0.9	-0.7~-0.4	-2.0~2.0	-1.4~-0.9	-0.7~-0.4

注：本表汇总了除规律化组分外的复合系统；黄色为全局性趋势化组分，浅黄色为全局性趋势化组分与无序化复合的组分；绿色为全局性趋势化组分；浅绿色为全局性趋势化组分与无序化复合的组分；其中无序化子系统的范围为去除规律化、趋势化分组的q值分布区，表中全略去；浅灰色格子“**”源自表2中规律化完全主导模式。

规律化[-0.9, 1.6]、局域性趋势化[1.7, 2.0]共存的局面。这表明城乡过渡带常是多种空间属性相“混杂”的, ③实际只是④的外在表象。

⑤ 各组分的 q 值区间存在不同程度的波动, 这表明同一组分土地斑块的规模大小存在着变化。以表3中杭州5年期小区级 q 值范围的变化为例, 在 $q = 0$ (或 $f(a)-a(q)$ 曲线的峰值) 所对应的土地斑块规模约为 $406 \text{ m} \times 406 \text{ m}$ 的小区级空间, $q > 0$ 时则指向较小规模的土地斑块 (如集贸市场), $q < 0$ 时指向较大规模的土地斑块 (如开发区)。故 q 值区间的大小、位置及其变化, 都预示着某一社会经济活动及其载体——土地斑块规模的变化。但本文对各尺度上的 q 值 (区间) 均不做实体事物的指向性分析或讨论。

4.3 基于主导性分析的认识

在承认典型多重分形特征存在的情况下, 并不排除趋势化多重分形特征的大量存在。可认为: ① 非典型的规律化与趋势化相复合的空间演变, 是浙江10个城市城乡过渡带的主导模式。② 趋势化、规律化特征及其存在的尺度区间也是动态变化、相互转化的, 它们与无序化一起共同构成了城乡过渡带多组分动态复合的空间系统。而探究三者的耦合态势, 则需深究市场、规划驱动的区域社会经济的发育程度、耦合情况。

实际典型多重分形分析还包含一个 $f(a) \leq D_0$ 的约束条件^[30-31], 但分析显示其对本文的约束不大。加之二维的数理分析会把三维、高维空间的信息压缩为二维的“投影”, 进而造成信息的扩大化, 所以本文在主导性、主体性分析中都放宽了这一条件。

5 空间主体性分析

在遥感影像中会存在大量虽在特定尺度/精度内但却可进一步细化的空间细节, 对它的分析对全面掌握区域的空间格局大有裨益。如此, q 值区间会向高值区 (更小的土地斑块) 延伸, 于是本文设定了[-2.0, 13.0]的更大 q 值范围。在[-2.0, 13.0]范围内, 可通过 $f(a)-a(q)$ 曲线的谱偏来判断某一尺度空间拓展的主体性。以下依广义多重分形的分析步骤^[32-34], 分两种情况展开了对浙江城乡过渡带空间演变的主体性分析。

5.1 单一尺度空间演变的主体性

$f(a)-a(q)$ 曲线的谱偏、谱宽、形状的规则性都可反映空间系统的复杂特征。就空间演变的主体性而言: 左偏预示着系统的演变以大 q 值 (小斑块) 为主体, 右偏则预示着以小 q 值 (大斑块) 为主体, 钟形结构则为各层次斑块的均衡发展^[14, 23]。以2005年温州的小区级空间为例 (图4a), 该年份温州城乡过渡带的空间变化是以规律化、局域性趋势化组分为主体的。由图4并结合实际可验证, 2005年左右的温州城乡过渡带, 虽然规律化、趋势化的道路建设、小区的兴建 (峰值附近) 是温州空间演变的主导力量, 但由建

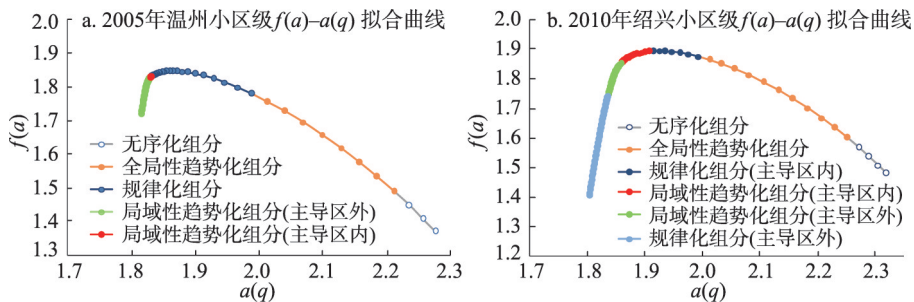


图4 规律化、趋势化、无序化空间组分的复合(以2005年温州和2010年绍兴为例)

Fig. 4 The composition of regularized, trended, disordered spatial components

成区疏解而来的商服用地、工矿仓储用地(左偏)等却成为空间演变的主体。类似案例还有2010年绍兴小区级空间的 $f(a)$ - $a(q)$ 曲线(图4b)。相较于2005年温州城乡过渡带以小斑块增长为主的空间演变,绍兴2010年的空间演变中大斑块也有一定的增长,且其局域性演变的强度($f(a)$ 值)还大于前者。绍兴城乡过渡带兼有多种规模非农性用地的集聚和扩张,具有更强的局域性演变特征。

综上可知:①与空间主导性分析一致,广义多重分形的主体性分析显示:浙江10个城市城乡过渡带的微观空间趋于以市场驱动的规律化、规律化与局域性趋势化复合为主体的演变;中观空间则整体趋于以规划驱动的规律化、规律化与全局性趋势化复合为主体的演变;街坊级空间则是两者的耦合区间。总体上,浙江10个城市城乡过渡带空间演变的主体性比主导性更为复杂多变。②浙江城乡过渡带各层次空间的拓展分为两类:第一类包括嘉兴、金华、丽水,在1980—2010年的发展过程中,3个城市基本保持着大斑块和小斑块的均衡性增长;第二类含剩余的7个城市,表现为由相对均衡的增长逐步演变到以小斑块外拓为主的空间演变。这符合当时中国地级市空间演变的基本情况。

5.2 多尺度复合的空间演变的主体性

本文进一步进行了10个城市城乡过渡带多尺度 $f(a)$ - $a(q)$ 曲线相复合的分析。分析显示,5年期曲线都呈现了左偏为主的特征。以各级规划为基础,各级各类商服、生产、居住活动等都具有明显的空间扩散特征。由此小商小贩、路边摊点逐步发展为固定营业场所的机会趋大,地摊经济等非正规经济的生存空间逐步拓宽,在中国这具有很强的代表性。以台州为例,图5展示了其5年期多尺度 $f(a)$ - $a(q)$ 曲线相复合的情况,可看到:①居住区级、小区级曲线具有由较均衡的形态向左偏转化的变化过程。②院落组级曲线表现为一贯的类直线(单分形)形态,这与北京、郑州的研究一致^[6, 13],这应属末端空间演变的“独特性”。③各级空间的局域性演变强度($f(a)$)存在逐渐增强的趋势。浙江其他9个城市也基本呈现了这种演变态势(图6)。

汇总如图6所示的 $f(a)$ - $a(q)$ 等曲线,2010年浙江的城乡过渡带呈现如下特征:①院落组级空间都呈右偏的单分形直线形式,新增的土地斑块均聚集在非农性用地周边,并

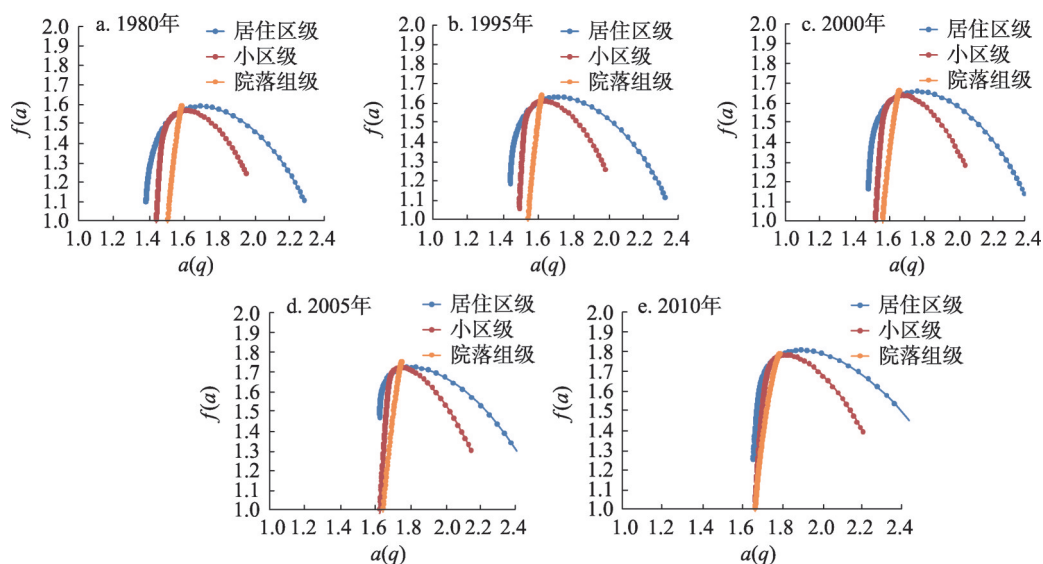
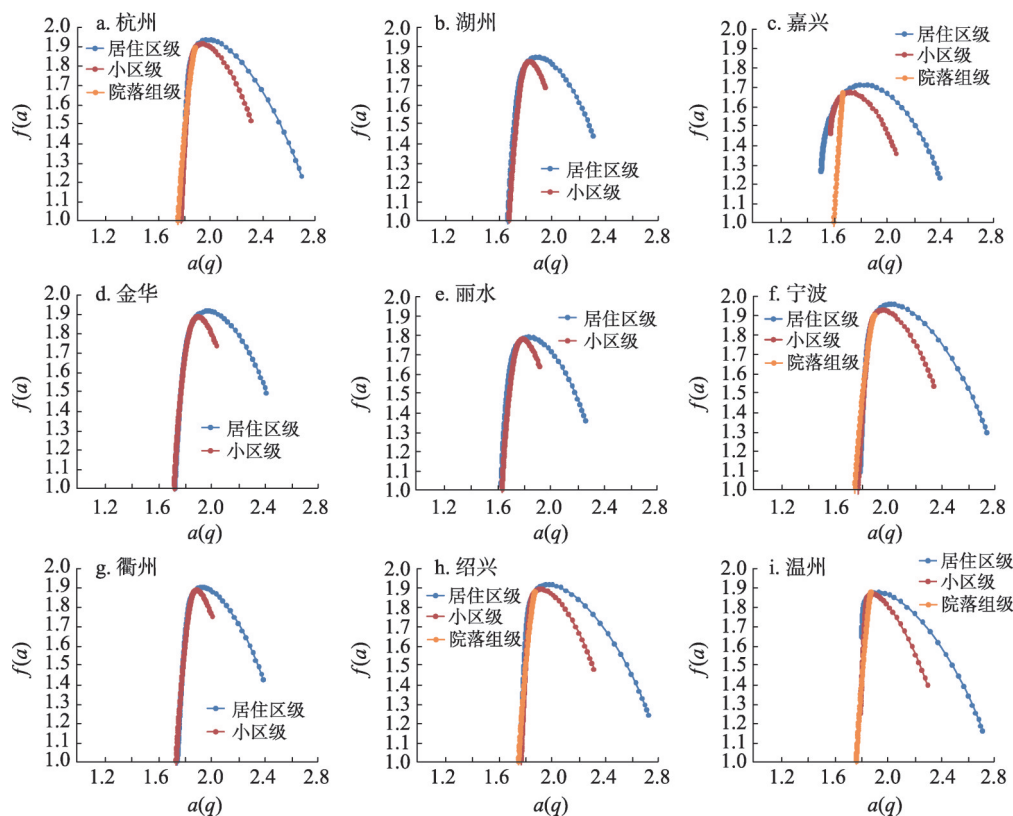


图5 1980—2010年浙江台州多空间尺度 $f(a)$ - $a(q)$ 曲线的复合

Fig. 5 The composition of multiple spatial scale's $f(a)$ - $a(q)$ curves for Taizhou in Zhejiang from 1980 to 2010

图6 2010年浙江9个城市多空间尺度 $f(a)$ - $a(q)$ 曲线的复合Fig. 6 The composition of multiple spatial scale's $f(a)$ - $a(q)$ curves for 9 cities in Zhejiang in 2010

成为建成区外拓及农用地非农化的前沿；②街坊级空间因多由无序化、趋势化组分构成，整体处于“混乱”状态；③小区级空间出现了两种情况：以小城市（嘉兴、金华、丽水、衢州、湖州）为代表的集聚与扩散的钟形发展，其他城市（杭州、宁波、绍兴、温州、台州）以集聚为主的左偏式发展；④居住区级整体呈扩散（左偏）式的空间发展；但并不排除钟形结构的存在（如嘉兴）。当然多年期斑块的集聚和扩散，还产生了多尺度 $f(a)$ - $a(q)$ 曲线的时序变化，这也为分析各城市空间的动态变化提供了基础。但对浙江10个城市的时序化分析都显示了与2010年相近的分析结论。

5.3 主导性和主体性的结合

由上文可知，浙江10个城市的城乡过渡带呈现了以扩散为主（分维谱的左偏）、以集聚为辅的空间增长（右偏）形式，两者均衡发展的几率并不大。广义多重分形的区间划分进一步显示，这一地带空间演变的类型呈现多样化，很难用统一的模式来总结浙江城乡过渡带空间拓展各组分的主体性。这应是各级尺度上社会经济活动都有一定的核心驱动力，而各发展要素又据此核心驱动力而产生不同的适应性变化所致。其最终结果，就是在空间上产生了全方位的规律化、趋势化、无序化组分的复合。

由此再次反观主导性、主体性分析，在浙江10个城市城乡过渡带约60 m至约800 m的空间尺度，共形成了3个基本尺度区间：市场驱动的、“混乱”但有一定空间集聚规律（广义）的院落组级空间，规划驱动的、“规则”且有一定空间扩散规律的居住区级空间，基本属于无序化的、两者的过渡性区间—街坊级、小区级空间。

溯源 1980—2010 年浙江 10 个城市城乡过渡带的空间变化, 均源自市场、规划的驱动, 并为某些规律化与趋势化组分的复合所主导。这些组分引领着整个空间的发展, 并带动了、影响着其他组分的变化, 及区域多种发展属性的空间错位/不协调, 进而产生了 10 个城市城乡过渡带全方位的空间差异。空间主导性、主体性是两个相互关联的分析视角, 它们在现实空间中的实体化载体常不一致。因此空间主导性与空间主体性相结合的分析, 有助于辩证地看待这一地带的空间演变。

6 理论验证和机理分析

空间多重分形分析不同于传统的空间数理分析, 它更多用数值区间 (如 q 值区间) 来描述地理事物的存在/耦合状态。而其研究对象存在形式的非整数维、空间分布的非均匀化、发展状态的非理想态, 也注定基本的数理检验及其背后的机制分析是不可避免的。故本文还进行了相应的双分形分析、社会经济运行机理的分析。

6.1 双分形分析

社会经济系统是具有核心驱动力的系统, 其内部的变化常具有一种变换中的“不变性”。对应于本文, 上述分析暗含着一个数理假设: 院落组级—居住区级空间的演变具有相同的本征函数, 各尺度空间特征、演变模式的差别仅是这一函数的变形或平移^[10]。故本文进行了院落组级—居住区级空间的双分形分析, 以验证这一内含的本质性规律。在多重分形分析中, 当散点在 $Dq-q$ 拟合曲线上呈直线时, 说明系统在全域尺度上满足同一标度率, 属各向同性的自相似分形。如散点呈两段式直线形式, 则意味着在全域尺度上系统遵循着两个标度率, 即双分形 (Bifractals) 结构^[35], 并指向自仿射过程: 不同尺度/方向/子空间的分形发育程度并不同步^[36]。具体到 1980—2010 年浙江 10 个城市的各级空间尺度, 本文对囊括区域级、亚区域级、区县级、亚区级、居住区级、小区级、(基层商圈圈级)、街坊级、(住宅楼级) 和院落组级的九级或十级空间尺度的 $Dq-q$ 拟合曲线进行了双分形分析, 结果如表 4 所示。

1980 年、1995 年、2000 年各城市的空间发展用两段式曲线来描述比较合适 (图 7, 以金华为例)。其中标度区 1 (绿颜色曲线) 为宏观尺度空间、标度区 2 (黄颜色曲线) 为微中观空间的拟合情况。这说明当时指令性、指导性规划还是区域各级空间演变的主要影响因素, 市场还是一个与之并未完全融合的驱动力量。但从 10 个城市双标度曲线的分段情况看, 院落组级、街坊级、小区级、居住区级基本都位于同一标度区, 这说明当时浙江城乡过渡带的院落组级—居住区级空间都遵循着一个统一的本征函数。到 2005 年、2010 年城乡过渡带的双标度现象已明显趋于用单一标度来表达了, 这时规划、市场的融合已经形成。综上可认为, 上文关于空间主导性、主体性的数理分析是可行的。

表 4 1980—2010 年浙江 10 个城市 5 年期的双分形分析结果(以杭州、温州、金华、湖州为例)
Tab. 4 Results of five years' bi-fractal analysis for 10 cities in Zhejiang from 1980 to 2010
(the cases of Hangzhou, Wenzhou, Jinhua and Huzhou)

年份	杭州			湖州			金华			温州		
	宏中观	微中观	差值	宏中观	微中观	差值	宏中观	微中观	差值	宏中观	微中观	差值
1980	1.9728	1.7644	0.2084	1.8415	1.6109	0.2306	1.8930	1.5934	0.2996	1.8261	1.6486	0.1775
1995	1.9718	1.8025	0.1693	1.8522	1.6296	0.2226	1.8818	1.5747	0.3071	1.8425	1.6711	0.1714
2000	1.9802	1.8137	0.1665	1.8557	1.6413	0.2144	1.8978	1.6160	0.2818	1.8813	1.7114	0.1699
2005	1.9741	1.8755	0.0986	1.8752	1.6774	0.1978	1.8842	1.7715	0.1127	1.9189	1.8353	0.0836
2010	1.9873	1.8909	0.0964	1.9530	1.7612	0.1918	1.9932	1.8778	0.1154	1.9533	1.8538	0.0995

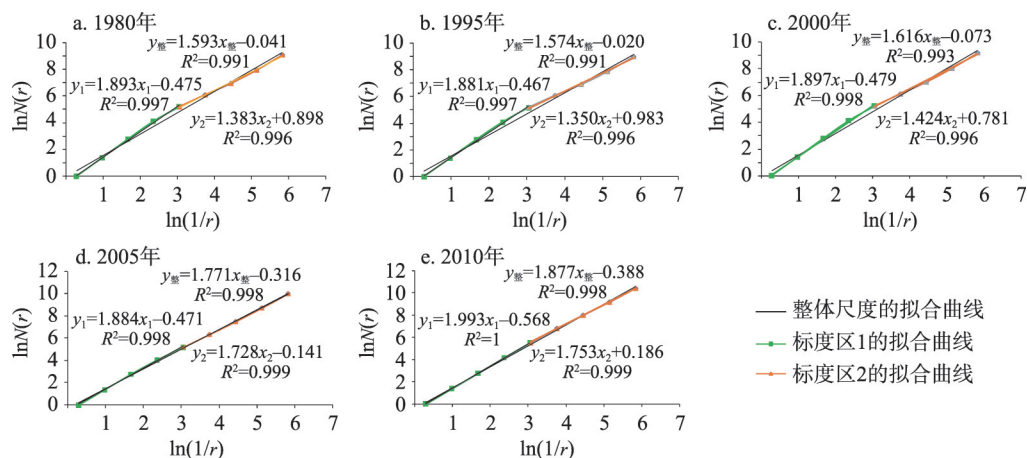


图7 1980—2010年浙江金华5年期的双分形分析示意图

Fig. 7 Diagram of five years' bi-fractal analysis for Jinhua in Zhejiang from 1980 to 2010

6.2 运行机理分析

本文第4、第5章节属典型的数理分析，需溯源其在现实中的本源。通过空间多重分形思想来反映区域社会经济的发展规律、空间的演变规律及两者的复杂数理规律，乃至解析3个规律——对应的关系，目前还有一定困难。但尽管如此，本案例的上述分析还是给出了一个区域空间演变与社会经济发展（仅以市场、规划为代表）之间较清晰的关联性解析。实际中国城乡过渡带的矛盾突出、利益纠葛严重，出现规则性的空间演进只是一种期盼。破碎的城乡过渡带空间是居民、集体/村委会、政府、开发商多方博弈的结果，涉及生产、生活和生态的方方面面，出现不同程度的空间“混乱性”（趋势化与无序化）本就是常态^[37]。故临时摊点、路口式商店并不会完全依规划而发展，却会依利益而存在。另外在城乡发展、空间变化中，政府的组织管理能力也不容小觑^[18-19, 37]。政府主导的开发区建设、旧城改造等宏中观规划一旦实施，必然会在新旧居住区级、小区级空间得以落实，进而带动市场驱动的各类社会经济活动的运行，从而影响区域微观空间的发展。可见，“规则性”与“混乱性”相复合的社会复杂性塑造了城乡过渡带的空间复杂性。

本文中院落组级—居住区级空间格局的变化，可分为两个基本标度区间：① 趋于市场驱动的、以院落组级为代表的微观空间；② 趋于规划驱动的、以居住区级空间为代表的中观空间。从研究结果看，这两个标度区间之间还出现了一个耦合性区间（以无序化明显的街坊级空间为代表）。而本文第4、第5部分细化了上述非线性的系统特征。显然，这一对地理空间层级化演化（以 q 值区间、 $(f(a)-a(q))$ 曲线的划分为标志）的多种状态、属性的量化与辨识，要优于基于具体数据点（如最大/小点，最优点）的传统数理方法。多重分形的分析方式更科学、更贴近实际，其以层次化（ q ）为基础的数理分析能更好地解析区域空间运行、社会经济发展的复杂性。

本文只是基于非农性用地的初步数理分析，上述分析与案例区的发展模式差异、范围大小、区位选择、违建情况、自然条件的影响密不可分^[38]，现实情况应更加复杂。

7 结论与讨论

7.1 结论

7.1.1 空间的基本运行机制 院落组级—居住区级空间格局，由市场、规划两种力量共同

驱动而成。1980—2010年两种力量在浙江10个城乡过渡带约60 m至约800 m的空间尺度,分别形成了各自的主要空间标度区/影响尺度区间:微观空间偏于市场的作用,中观空间则偏于规划的作用。受两种力量的共同驱动,在各空间尺度上分别形成了规律化、趋势化(含全局性趋势化、局域性趋势化)和有序化的演变组分。它们相互融合、相互转换,实现着多种发展功能/进程的耦合。分析显示,居住区级、小区级、院落组级空间呈现了“规则性”(趋势化加规律化)较强的空间格局,而街坊级空间的“混乱性”(趋势化加无序化)则较突出。

7.1.2 空间拓展的主导性 “规则性”演变是1980—2010年浙江10个城市城乡过渡带空间拓展的主导模式,且呈常态化。具体的:①微观空间看似“混乱”,但却以市场驱动下的局域性趋势化加规律化的“规则性”演变为主导;②中观空间整体趋于规划驱动的全局性趋势化加规律化的主导式演变;③街坊级空间突出表现为市场、规划两种力量的耦合区间,整体表现出局域性趋势化的主导性。总体上,院落组级—居住区级空间的“规则性”主导特征较强,乃至从未出现过完全为无序化组分所主导的空间演变模式。

7.1.3 空间拓展的主体性 1980—2010年浙江10个城市城乡过渡带空间拓展的主体性呈如下特征:①院落组级地理事物突出表现为空间的集聚(分维谱的右偏);②小区级空间主要分为对外外拓对内填充的均衡发展(钟形结构)和对外外拓(左偏)两种情况;③居住区级空间主要表现为空间的对外外拓(左偏);④街坊级空间呈现了整体无序的空间状态;⑤总体上,院落组级—居住区级空间的整体拓展表现为以外拓为主的发展态势,但空间的外拓、集聚相互混杂,并以7.1.2所述的“混乱性”“规则性”主导模式驱动着该地带的空间演变。

值得注意的是,院落组级空间(末端空间)的分维谱呈单分形的直线式右偏,明显不同于居住区级、小区级的空间曲线形态。从中国地级市40年的发展看,这一末端尺度的空间演变始终具有不受城市规模、城市类型影响的“独特性”。

7.1.4 研究意义 理论上通过 $f(a)-a(q)$ 曲线3个区间的划分及其组合、时序变化,有助于解析区域空间规律化、趋势化、无序化相复合的时空演替,并更深入地理解经济地理事物内在、细节化的但却完整的演变过程。显然相较于传统数理分析,广义多重分形对区域多状态、多层次相复合的空间量化分析,能更深入地反映经济地理空间的真实情况。而本研究的实践意义也是显著的:城乡过渡带同时受市场、规划的双轮驱动,在各层次上都有着自己独特的演变规律、演变类型,故通过广义多重分形分析可很好地甄别两者的空间影响尺度区间、认识区域空间演变的基本属性,并据此进行合理的空间规划。而本文所展示的研究思想和分析方法,有助于各尺度空间特征的精准定位,从而提高国土空间规划的科学性。

7.2 讨论

广义多重分形思想是量化区域空间复杂演变的一种重要思想,但现阶段需要进一步的深化并与其它复杂科学方法相结合。如能获得各子类土地类型复合后的空间涌现性,并由二维城乡过渡带向三维、高维的城市建成区拓展,必将极大地扩展广义空间多重分形分析在经济地理学中的应用范围及其实效。而从非整数维、非均匀性、非理想态的分形视角看待纷繁复杂的经济地理现象,将为分析以往难以下手的非正规经济在微中观空间的分布、发展等提供有力的技术支持,进而为国土空间规划提供科学依据。但因细化数据、三维乃至高维数据的限制,本文对浙江10个城市具体区域的选择、内部空间结构的认识都是初级的,对表2、表3及文中各图所蕴含的丰富信息也未深度挖掘。

此外, 展开空间复杂性分析的前提是要深入了解案例区的社会经济基础及其深刻变化, 社会经济的发展、区域空间的演变及两者的数理表达应相互关联并达到统一。掌握区域多主体的博弈及其非理想的发展过程, 不仅有利于掌握复杂的社会经济活动在空间上的“投影”, 也有利于合理引导、规划其空间布局。

本文的一个重要目的是要通过一个较具体的案例研究, 为学界推介近期新发展起来的多重分形思想。这种思想具有理论上的先进性, 但还应深化与经济地理学的具体结合, 并提高研究成果的可读性。

参考文献(References)

- [1] Wu Li. "Two wheel drive": The greatest achievement of China's economic restructuring. *Researches in Chinese Economic History*, 2013(3): 15-19. [武力. “两轮驱动”: 中国经济体制改革的最大成就. *中国经济史研究*, 2013(3): 15-19.]
- [2] Huang Gengzhi, Xue Desheng, Zhang Hong'ou. The development of urban informal employment and its effect on urbanization in China. *Geographical Research*, 2016, 35(3): 442-454. [黄耿志, 薛德升, 张虹鸥. 中国城市非正规就业的发展特征与城市化效应. *地理研究*, 2016, 35(3): 442-454.]
- [3] Huang Gengzhi, Xue Desheng, Jin Lixia. Micro-location decision making of urban street vendors: Evidence from interviews with 200 vendors in Guangzhou. *Human Geography*, 2016, 31(1): 57-64. [黄耿志, 薛德升, 金利霞. 城市流动摊贩的微区位选择机制: 基于广州市200个摊贩访谈的实证研究. *人文地理*, 2016, 31(1): 57-64.]
- [4] Goodchild M F, Mark D M. The fractal nature of geographic phenomena. *Annals of the Association of American Geographers*, 1987, 77(2): 265-278.
- [5] Frankhauser P. *Fractal Geometry for Measuring and Modeling Urban Patterns. The Dynamics of Complex Urban Systems: An Interdisciplinary Approach*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2008.
- [6] Song Z J, Yu L J. Multifractal features of spatial variation in construction land in Beijing (1985-2015). *Humanities and Social Sciences Communications*, 2019, 5: 68. DOI: 10.1057/s41599-019-0257-2.
- [7] Ma Y L, Qiao J J, Han D. Interpreting the humanistic space of urban-rural interface using consumption behaviors. *Journal of Rural Studies*, 2020. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2019.12.014.
- [8] Ma W Q, Jiang G H, Chen Y H, et al. How feasible is regional integration for reconciling land use conflicts across the urban-rural interface? Evidence from Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region in China. *Land Use Policy*, 2020, 92: 104433. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104433.
- [9] Chen Yanguang. *Fractal Urban Systems: Scaling, Symmetry, Spatial Complexity*. Beijing: Science Press, 2008. [陈彦光. 分形城市系统: 标度、对称、空间复杂性. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [10] Li X J, Luo Q, Hai B B, et al. Progress in the micro-perspective studies of economic geography in China since 1980s. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(8): 1041-1056.
- [11] Batty M, Longley P A. *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. London: Academic Press, 1994.
- [12] Yu Lu, Hao Bolin, Chen Xiaosong. *Marginal Miracle: Phase Transitions and Critical Phenomena*. Beijing: Science Press, 2016. [于淦, 郝柏林, 陈晓松. 边缘奇迹: 相变与临界现象. 北京: 科学出版社, 2016.]
- [13] Song Z J, Chen Y, Li Y. Comparative studies on evolutionary spatial multifractal mechanism for built-up lands in Zhengzhou from 1988 to 2015 with the characteristics of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 269: 122451. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122451.
- [14] Kantelhardt J W, Zschiegner S A, Koscielny-Bunde E, et al. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2002, 316(1-4): 87-114.
- [15] Chen Y G, Wang J J. Multifractal characterization of urban form and growth: The case of Beijing. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2013, 40(4): 884-904.
- [16] Batty M. Less is more, more is different: Complexity, morphology, cities, and emergence. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000, 27: 167-168.
- [17] Xu Guozhi. *System Science*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Education Press, 2000. [许国志. 系统科学. 上海: 上海科学技术教育出版社, 2000.]
- [18] Du Ping, Pan Zheqi. The evolution and enrichment of the Zhejiang model. *Governance Studies*, 2019, 35(5): 68-77. [杜平, 潘哲琪. “浙江模式”的演进与丰富. *治理研究*, 2019, 35(5): 68-77.]

- [19] Zhao Wei. Forced logic: Re-examination of the Zhejiang model. *Governance Studies*, 2019, 35(6): 66-77, 2. [赵伟. 倒逼的逻辑: 浙江模式再审视. *治理研究*, 2019, 35(6): 66-77, 2.]
- [20] Xu Weixiang, Li Lu, Huang Mingjun, et al. Spatial-temporal differentiation characteristics and formation mechanism of coordinated development of "four modernizations" and residents' happiness in Zhejiang Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(10): 1631-1641. [徐维祥, 李露, 黄明均, 等. 浙江县域“四化同步”与居民幸福协调发展的时空分异特征及其形成机制. *地理科学*, 2019, 39(10): 1631-1641.]
- [21] Thomas I, Frankhauser P, Badariotti D. Comparing the fractality of European urban neighbourhoods: Do national contexts matter? *Journal of Geographical Systems*, 2012, 14(2): 189-208.
- [22] Li Dehua. *Principles of Urban Planning*. 3rd ed. Beijing: China Building Industry Press, 2001. [李德华. *城市规划原理* (第三版). 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.]
- [23] Ihlen E A. Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab. *Front Physiol*, 2012, 3: 141. DOI: 10.3389/fphys.2012.00141.
- [24] Frankhauser P, Tannier C, Vuidel G, et al. An integrated multifractal modelling to urban and regional planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2018, 67: 132-146.
- [25] Huang L S, Chen Y G. A comparison between two ols-based approaches to estimating urban multifractal parameters. *Fractals*, 2018, 26(1): 1850019. DOI: 10.1142/S0218348X18500196.
- [26] Song Z J, Chen Y, Li Y, et al. An analysis of the allometric and multifractal features of a development in the urban-rural area in the lower reaches of the Yangtze River: 2012 cross-sectional data of four provinces and one City. *Complexity*, 2020: 1-19. DOI: 10.1155/2020/6963827.
- [27] Song Zhijun, Liu Liming. Allometric growth of Beijing development functions from 1979 to 2009: Based on the analysis of the social economy functions. *Economic Geography*, 2016, 36(1): 53-60. [宋志军, 刘黎明. 1979—2009年间北京多种发展功能的异速生长. *经济地理*, 2016, 36(1): 53-60.]
- [28] Song Zhijun, Zhao Xin, Zhou De. The chaos of economic geography- "entropy": A review of relevant analytical techniques. *Economic Geography*, 2018, 38(6): 35-43. [宋志军, 赵欣, 周德. 经济地理空间的混乱现象: “熵情”. *经济地理*, 2018, 38(6): 35-43.]
- [29] The Central People's Government of the People's Republic of China. Opinions of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on Establishing a Territorial Space Planning System and Supervising Its Implementation (2019-05-23). http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/23/content_5394187.htm. [中华人民共和国中央人民政府. 中共中央、国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见(2019-05-23). http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/23/content_5394187.htm.]
- [30] Chen Y G. Exploring the fractal parameters of urban growth and form with wave-spectrum analysis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2010, 2010(2): 1038-1045.
- [31] Chen Y G. On the spaces and dimensions of geographical systems. *Journal of Geography and Geology*, 2012, 4(1): 118. DOI: 10.5539/jgg.v4n1p118.
- [32] Batty M, Xie Y C. Self-organized criticality and urban development. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1999, 3 (2-3): 109-124.
- [33] Portugali J. *Self-organization and the City*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000.
- [34] White R, Engelen G. Urban systems dynamics and cellular automata: Fractal structures between order and chaos. *Chaos, Solitons & Fractals*, 1994, 4(4): 563-583.
- [35] White R, Engelen G. Cellular automata and fractal urban form: A cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 1993, 25(8): 1175-1199.
- [36] Chen Y G, Lin J Y. Modeling the self-affine structure and optimization conditions of City systems using the idea from fractals. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2009, 41(2): 615-629.
- [37] Guo Yan, Yuan Qifeng, Tan Shimin, et al. Urban renewal to integrate fragmented rural industrialized areas: A case study of Nanhai district, Foshan City. *City Planning Review*, 2020, 44(4): 53-61, 89. [郭炎, 袁奇峰, 谭诗敏, 等. 农村工业化地区的城市更新: 从破碎到整合, 以佛山市南海区为例. *城市规划*, 2020, 44(4): 53-61, 89.]
- [38] Li Xiaojian, Qiao Jiajun. Impact of landform on input-output of man-land system in farmland of mountainous region: A micro-study of a small village in Wugou of Henan province. *Geographical Research*, 2004, 23(6): 717-726. [李小建, 乔家君. 地形对山区农田人地系统投入产出影响的微观分析: 河南省巩义市吴沟村的实证研究. *地理研究*, 2004, 23 (6): 717-726.]

Evolution and mechanism of social-economic space in the rural-urban transition zones

SONG Zhijun^{1,2}, LI Xiaojian^{1,3,4}, ZHENG Xing⁵

(1. College of Geography and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China; 2. Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China; 3. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China; 4. Collaborative Innovation Center of Urban-Rural Coordinated Development, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450046, Henan, China; 5. Department of Land Resources Management, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Urban space is characterized by both marketing and planning driven attributes, but very few studies were carried out on the scale of their spatial influence in Chinese academia. This paper takes the rural-urban transition zones of 10 cities in Zhejiang from 1980 to 2010 as the case, aiming to conduct multi-level research which was formed between 60 m to 800 m, including courtyard group level, block level, community level, and residential area level, spatial analysis with the market and planning driving forces. It also analyzes the micro-meso space with the generalized spatial multifractal analysis based on five-year data. Through composition of the spatial regularized, trended and disordered land patches, the analysis shows that there were three basic spatial scales (including market-driven courtyard group level space, plan-driven residential area level space, and the transitional interval of the two-block level space and community level space) in the rural-urban transition zones. The results of spatial expansion analysis show that, due to the different leading roles of market and planning at different scales, the spatial evolution at the courtyard group level, community level, and residential area level was dominated by the combination of trend and regularization, while the spatial evolution at the block level was dominated by the combination of trend and disorder. The results of subjectivity analysis further indicate that under the action of the corresponding driving forces, the courtyard group level space was displayed as agglomeration, while the community level space and the residential area level space were shown as diffusion, and the three have obvious trended characteristics. Furthermore, the development of block level space followed a disordered evolution. The contribution of the paper includes the finding of an objective phenomenon that the spatial pattern of the rural-urban transition zones has often been dominated by tendency and regularity, but the evolution subjectivity is dominated by tendency, due to the combination and its sequence changes of the regularity, trend and disordered on the $f(a)-a(q)$ curve. It will provide a specific scientific basis for the spatial scale division and "the system identification of multi-level features" in territorial spatial planning driving forces.

Keywords: multicomponent recombination; spatial multifractal; courtyard level- residential level; $f(a)-a(q)$ curve; rural-urban transition zone