

基于要素流动的城镇建设用地配置方法框架探讨

秦 萧^{1,2}, 甄 峰^{1,2}

(1. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093;

2. 江苏省智慧城市设计仿真与可视化技术工程实验室, 南京 210093)

摘要: 现有城镇建设用地配置主要遵循空间开发导向, 利用静态数据和用地分配标准、评估及预测模型开展, 存在一定的“区域偏好”和“规模求大”现象。在强调生态文明建设和高质量发展的新时期, 国土空间规划战略实施要求城镇建设用地配置方法需要及时革新。关注到信息或智能技术深度影响下未来城镇场所空间将转变为流动空间这一必然趋势, 不同尺度生产、生活及生态要素时空流动与分配将是城镇建设用地科学配置的关键。因此, 利用多源要素流大数据和多学科分析方法, 试图从城镇空间发展水平评价、城镇要素流动网络时空模拟与用地分配、城镇要素功能区识别与开发边界划定、城镇建设用地配置效果动态评估4个方面, 建立基于要素流动的城镇建设用地配置方法框架。结果表明: (1) 城镇空间发展水平评价需要综合考虑城镇对区域现状要素控制、吸引及溢出的能力, 并从空间发展规模、活力及品质三个层面构建评价指标体系; (2) 在城镇建设用地指标区域分配过程中注重利用网络优化模型和社会网络分析方法刻画区域要素流动规律, 并通过时空耦合模型找出不同等级和类型“空间发展水平—要素控制力”组合的城镇; (3) 城镇未来扩展方向和边界形态是由内部各类要素流动变化与功能空间布局的供需时空匹配情况决定的, 需要利用时空耦合、引力、CA及多智能体等模型识别要素功能影响区和流动偏好; (4) 城镇建设用地配置效果评估指标需要体现生态文明、高质量、智慧治理及一体化等未来城镇发展要求和趋势。这些研究结果可以为国土空间规划城镇开发边界划定和实施提供参考。

关键词: 要素流动; 城镇建设用地; 大数据; 方法框架

城镇建设用地配置一直是规划领域重点关注和研究的问题, 也是具有我国特色的新型城镇化发展重要内容之一。城镇建设用地规模与其资源禀赋、经济实力、人口规模、基础设施投入、交通区位、社会影响、生态环境等方面拥有密切的联系, 规划师通常基于这些维度的考虑进行区域内不同用地规模指标的分配。而在单个城镇内部, 规划师则根据空间发展趋势、功能组织要求及重点项目需求等进一步落实具体开发边界范围。在此过程中, 上级和地方政府决策也拥有着一定影响, 表现为上级政府对基础较好、综合实力较强城镇的用地规模指标有一定偏好, 地方政府也表现出对本城镇发展规模求快和开发边界求大的问题。总体来讲, 当前普遍存在着区域尺度用地配置不均衡、地方尺度用地边界划定不科学、城乡总体规划与土地总体规划矛盾冲突明显等现象。

“十九大”以来, 中央明确提出发展进入新时代, 生态文明建设和高质量发展成为主旋律。2019年, 《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》要求整体谋划新

收稿日期: 2021-09-13; 修订日期: 2022-04-07

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52078246); 国家社会科学基金项目 (20AZD040)

作者简介: 秦萧 (1987-), 男, 江苏盐城人, 博士, 副研究员, 研究方向为大数据与国土空间规划方法。

E-mail: x.qin@nju.edu.cn

时代国土空间开发保护格局,综合考虑人口分布、经济布局、国土利用、生态环境保护等因素,科学布局生产、生活与生态空间,并强调坚持海陆统筹、区域协调、城乡融合来优化国土空间结构和布局。同年,《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》明确规定要按照集约适度、绿色发展要求划定城镇开发边界,要以城镇开发建设现状为基础,综合考虑资源承载能力、人口分布、经济布局、城乡统筹、城镇发展阶段和发展潜力,框定总量,限定容量,且保障生态功能的系统性和完整性、永久基本农田的规模和稳定性。2020年,《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》则进一步鼓励形成生产要素从低质低效领域向优质高效领域流动的机制,提高要素质量和配置效率。此外,国家还鼓励运用大数据等手段改进规划方法。由此可见,新时期国土空间规划体系建设需要重点解决城镇建设用地配置存在的问题,强调三生空间的统筹布局和要素的合理高效流动,并运用新技术方法提高决策的科学性。

同时,在新时期背景下,未来的国土开发逐步进入以存量为主的空间利用阶段,存量规划成为国土空间规划的必然选择,强调通过存量用地的盘活、优化、挖潜、提升而实现城市发展^[1-4]。这就要求,城镇建设用地配置既要考虑区域层面各类要素流动与统筹分配,更要注重在增量用地严格限制导向下的城镇内部低效用地(低效率、低品质、不安全以及不合理利用的土地)的再开发^[4],考虑要素流动在区域和城镇内部两个尺度的共同作用及其所带来的用地变化影响。因此,本文以国土空间规划体系建设国家战略要求为指导,以三生空间科学布局为目标,从区域和城镇内部要素流动的视角出发,试图利用大数据对城镇建设用地配置路径进行探讨,以期能够指导国土空间规划编制,为政府用地指标分配实践提供参考。

1 遵循空间开发导向的传统研究

目前,学者们主要对城镇建设用地配置方法在分配标准、需求预测与边界划定、配置效果评估等方面做了较多探索。在用地分配标准方面,利用统计数据,通过层次分析法评价区域宏观战略统筹、社会经济发展、平衡用地矛盾状况来分配各城镇新增建设用地指标^[5];采用计量经济学模型或系统动力学模型测度用地集约利用或者效率水平开展用地区际优化配置^[6,7];建立用地集约利用、用地需求影响、公平性、规划执行等指标支撑用地分配方案^[7]。同时,近年来还基于空间开发潜力评价、生态安全等开展建设用地指标空间配置^[8];从生态服务价值角度开展建设用地优化,提升生态系统服务价值^[9]。可以看出,现有用地分配的核心在于对经济社会发展水平测度,从自然资源禀赋和生态环境保护角度虽然有效延伸了分配思路,但数量较少、研究还不成熟^[10]。此外,现有研究侧重评价区域城镇某一方面或总体发展的规模差异,缺乏对要素流动数据的获取来测度区域城镇要素联系状况,较难准确反映城镇在区域发展中的综合作用。

在用地需求预测与边界划定方面,根据人口规模、配套设施与开发成本来预测未来城市用地面积^[11];获取统计和遥感等数据,运用数据包络分析等方法评价区域城镇建设用地多年利用有效性,并以优化后的样本预测用地需求^[12];基于多规划情景采用非完全信息动态博弈模型确定城镇发展面积^[13];运用计算机案例推理学习方法构建不同空间尺度城镇建设用地及经济社会、资源禀赋因素案例库预测对象城镇用地需求量^[14]。关于边界划定,从多种增长模式中确定一种发展模式,然后结合土地利用现状、服务中心和主

要街道的位置、环境敏感区和不适宜开发用地的位置等要素对城市增长边界进行细化^[11]；在城市增长模型指导下^[15]，基于供求理论从本底条件、技术水平、区位交通、集约程度、人口密度、经济发展等方面构建指标，并利用BP神经网络分析准确反映各评价单元的城镇建设用地适宜性、提高城市增长边界划定精度^[16]；利用约束性元胞自动机（CA）模型对城市增长边界进行划定^[17]；考虑到居民、政府、开发商等城市主体社会经济属性和行为需求偏好，利用城市空间增长决策模型（ABM）分析城市增长边界形态^[18,19]；基于生态位模型考虑增长边界划定的空间连续性^[20]。虽然学者利用不断修正的多种模型从多个视角试图准确预测单个城镇用地需求及具体城市增长边界形态，但忽略了城镇在区域要素流网络中的功能地位对其未来发展规模的重要影响，且较少分析城镇内部要素流动模式与各功能空间（或城镇）边界增长形态之间的时空耦合关系。

在用地配置效果评估方面，国外学者采用已开发土地的扩张程度、住宅数量的改变以及住宅密度的变化等来衡量城市增长边界的实施效果^[21-24]，并注重对边界内外相关具体增长指标的有效对比^[25]。国内学者，一方面利用统计数据，从经济增长贡献和人口用地公平出发评估用地配置效果^[26]；综合考虑产业结构、城镇化水平、土地市场、政府政策等对用地配置效率的影响^[27]；计算区域各城镇多年用地资源势、消耗势、资源—消耗势，分析其空间分布特征和区域配置均衡性^[28]。另一方面，以现状及规划建设用地为基础数据，对配置空间结构进行复杂网络模型构建，分析其连通性差异^[29]。但现有研究主要是基于区域或城镇内部现状的思考，缺乏对于可能影响未来城镇用地规模的新政策、新技术等的关注，正是这些新变化可能带来区域要素流动过程和格局的改变进而影响用地配置效果。

通过国内外文献梳理可以看出，关于城镇建设用地配置方法研究学术界主要集中在对单个城市的增长边界划定方法的探索，且国内外研究目的并不一致。“城市增长边界”的思想萌芽最早可追溯到19世纪英国伦敦以控制城市蔓延为主要目的的绿带研究^[30]。1958年，城市增长边界第一次在美国莱克星顿市得到应用，随后逐步推广到其他城市，现已成为全球引导城市精明增长最为重要的技术手段之一。在国内，经历了30余年的大规模城市建设开发活动，直至2006年建设部在《城市规划编制办法》才首次提出了“城市增长边界”的概念，明确规定在总体规划中要“研究中心城区空间增长边界，确定建设用地规模，划定建设用地范围，划定禁建区、限建区、适建区和已建区，并制定空间管制措施”。这是为了引导土地合理开发与保护自然资源环境，由城市规划部门人为设定的一条城市建设用地与非建设用地的分界线^[15]。由此可见，国外的城市增长边界划定目的首要在于保护而后转为高质量开发并举，而国内目的则更多以限制无序开发为核心的生态保护任务的落实。总体来看，空间开发导向的边界划定研究还是国内外学术界的主流，且国内较国外还更关注区域内城镇间的用地指标统筹分配和边界实施效果的多维度评估研究。

但是，现有研究并没有形成一个体系化方法路径。学者们主要通过不完善的指标体系测度城镇间发展规模差异来指导区域用地分配，较为孤立地考虑单个城镇用地需求，且仅从空间扩张及其影响因素判断未来增长形态问题，并试图评价用地配置后的现状效果。同时，这些研究倾向于将城镇经济社会及生态条件转化为空间用地基础或发展潜力，忽略了空间之上承载的各类要素分布、流动及网络化联系对城镇综合能力、区域功能地位、空间边界形态及未来发展的重要影响。随着国土空间规划体系的逐步建立，城

镇开发边界的内涵、划定原则及划定方法已经远远超出了早期“城市增长边界”的管控内容及相关技术要求。此外, 现有方法更多利用单个或多个年份截面统计数据进行分析, 缺乏对城镇各类要素实时动态监测大数据的采集, 且各类模型评价或预测结果也仅能支撑某时段空间分配方案, 不同空间尺度分析结果关联性较弱, 影响方案的有效实施。

2 关注全要素流动的新时代转型

随着信息技术快速发展和广泛应用, 所认知的“空间”概念本身也在不断变化。Castells^[31]最早分析了信息技术影响下新技术范式的出现, 提出“流空间”概念, 之后又将“流空间”从纯粹的虚拟空间扩展到地理空间, 构建了具有高度流动性的新空间形态——流动空间。信息技术进步加速了人口、信息、资金等时空交换, 使得城市生产与居民活动范围持续扩大, 类型更加复杂^[32], 促进空间资源在不同尺度的共享与分配^[33]。同时, 学者还从资源角度对流动空间进行解释。资源流动指人类活动中由于不同区域之间存在着资源势差, 在资源场力和外力合力推动之下, 资源在不同区域之间发生单向、双向或者多向的流动现象, 大致由通道、节点、网络、域面等空间形态组成^[34]。其中, 通道上的活动主要是运输, 而节点则通过组织和沟通不同通道之间的联系, 起到资源流动过程中承接与集散的功能, 通道和节点构成了资源流动网络, 域面则是节点与通道线路赖以存在的空间基础^[35]。此外, 生态系统服务流近年来也成为研究热点。生态系统服务主要包括生态产品服务、调节服务及文化服务三大类, 其流动是供给区所提供的服务依靠某种载体或不经任何载体, 在自然或人为因素驱动下, 沿某一方向和路径传递到受益区的过程, 主要涉及供给区、连接区与需求区, 具有时空特征、载体特征与量化属性特征^[36]。

实际上, 无论是人口(或信息等)、资源还是生态系统服务的流动, 都表征了人地系统中的某一种要素类型, 而流动空间更倾向于对区域或城镇包含生产(原料、能源、资金、信息等)、生活(人口、消费产品、文化旅游等)及生态(水源涵养、森林、土壤、气候、灾害风险调节等)所有要素流动情况进行规律性概括, 并强调要素的全面性、区域的完整性及流动的时空动态性。在信息技术深入影响下, 要素流动空间将成为区域及城镇争取各类发展资源的主要场所。城镇建设用地作为承载各类要素的实体空间, 其本身也是一种要素, 对其在不同空间尺度的科学配置, 不仅需要考虑区域各城镇发展规模和分配政策影响, 更需要将这些城镇放在区域全要素流动网络动态变化过程中去综合分析^[37]。

面向国土空间规划所强调的“生态”“全域”“全要素”“大数据”等理念和方法, 新时代城镇建设用地配置研究应该具备三个特征: (1) 在对象上, 突出多尺度全要素流动网络分析。需要全面考虑各类要素对城镇现状与未来发展的影响, 且重点关注不同空间尺度(国家、城市群、省域、都市圈、市域、县域、功能区等)各类要素流动网络中城镇的重要性和发展潜力应该是测度其用地实际需求的关键。同时, 还需注意各类要素空间分布和自身特性差异, 各城镇在不同要素流动网络中发挥的功能也应有所差异。(2) 在数据上, 强调多源大数据与传统小数据的融合。现有研究主要利用统计数据, 存在信息缺失、精度较差、时效滞后等诸多缺陷。大数据的出现带来了较大机遇, 各类要素流动情况可以通过传感器、摄像头、智能手机及互联网等等进行捕获。同时, 大数据的优势是大样本量相关关系分析, 擅长现象的时空格局研究, 而传统小数据更多是分析问题因果关系及形成机制^[32,38]。因此, 两种数据源各有优势和侧重, 需要融合应用。(3) 在方法上, 建立

多模型集成的动态模拟技术。现有方法多从单个城镇节点考虑,并没有从要素流动视角去分析节点与网络的关系。虽然资源和生态系统服务流动研究中空间网络分析、动力学模型、网络优化模型及空间分布式模型等能够对要素流动网络进行刻画^[39,40],但多数模型还是基于单个城镇各类要素截面统计数据的理想化模拟和预测,缺乏对于要素流动过程与变化的时空动态分析模拟,缺乏对单个城镇在流动网络中要素的承接能力及各类用地需求的合理预测。这些都需要融合多源数据,在总结现有研究基础上,借鉴其他学科成果,构建城镇建设用地配置新方法框架。

3 基于要素流动的城镇建设用地配置方法框架

在刻画不同空间尺度各类要素时空流动基础上,本文从城镇发展水平和其未来对各类要素控制能力测度的视角出发,试图建立基于要素流动的城镇建设用地配置方法框架,包含城镇空间发展水平综合评价、要素流时空模拟与用地规模分配、要素主体功能区识别与开发边界划定、用地配置效果评估等方面(图1)。根据2021年自然资源部国土空间规划局和耕地保护监督司发布的最新《关于加快推进永久基本农田核实补录和城镇开发边界划定工作的函》中要求城镇开发边界划定需依据守住自然生态安全边界、遵循“双评价”成果基础、根据水资源约束底线和利用上线、纳入“三调”现状集中城镇建成区等原则外,特别强调不与城镇建设用地规模指标挂钩。应基于城镇的发展潜力、用地条

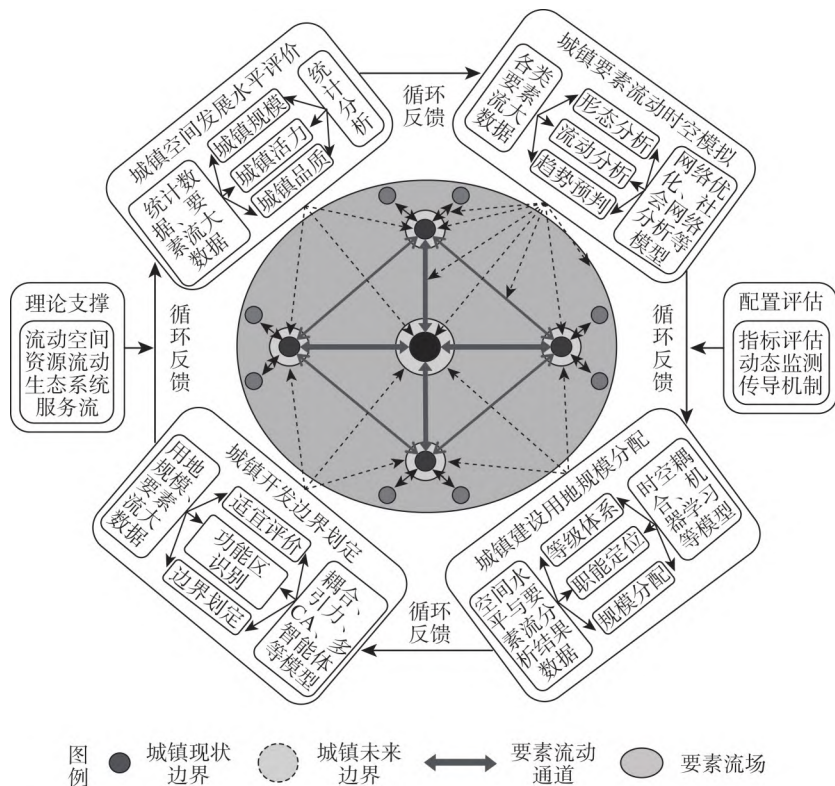


Fig. 1 Allocation method framework of urban construction land based on element flow

件、空间分布特点等划定城镇开发边界，体现城镇功能的整体性和开发建设活动的关联性。实际上，本文的方法框架正是对该条城镇开发边界划定指导原则内容的方法创新探索。其中，城镇发展水平综合评价是对城镇的发展潜力、用地条件、空间分布特点等方面的综合分析，城镇要素流动时空模拟与用地规模分配、要素主体功能区识别与边界划定是为了充分保障城镇功能的整体性和开发建设活动的关联性，而用地配置效果评估则是为了使开发边界划定结果更为科学、可实施、可持续。

3.1 基于要素流大数据感知的城镇空间发展水平评价

城镇空间发展水平评价核心是指标体系构建，评价方法一般都是在单个指标计算基础上运用主成分分析、层次分析、模糊综合分析、评价指数分析等方法对多个指标进行综合测度。传统研究主要从宏观经济、人口规模、用地规模、设施投入等方面进行指标设置，侧重社会经济宏观规模和建成环境空间规模的静态度量，忽略了对城镇空间之上各类要素活力的测度，也忽略了对城镇空间发展品质的评价。城镇现状要素的活力越强说明城镇对区域中流入要素的控制能力越强，城镇空间发展的品质越高代表其发展效益越好、对区域各类要素吸引能力越强，且活力与品质较好的城镇往往其对外溢出的要素也越多，进而支撑区域城镇化水平的整体提升。因此，对于城镇空间发展水平的评价需要综合考虑空间发展规模、活力及品质三方面，且三者之间也互为影响和补充，才能较为科学地反映城镇对区域要素控制、吸引及溢出的现状综合能力。

具体来讲，在建立传统社会经济规模（例如GDP、固定资产投资、人口规模等）和建成环境规模（例如建设用地规模、公服设施建设、路网密度等）指标基础上，可以按照要素类型设置反映城市多维活力的指标体系，且“活力”能够通过要素投入总量和单位时间动态变化水平来进行反映。在生产方面，通过原材料投入与消耗^[34,35]、能源供应与消耗（例如水、电、气等）^[35,39]、资金流通强度^[41]、信息联系强度^[42]、就业活力与结构^[43]等指标可以测算城镇现有各类生产要素使用状况；在生活方面，人口活动强度与变化^[44,45]、商品（或服务）供应与购买^[46]、文化资源开发与消费^[47]等指标能够反映城镇居民日常活动水平；在生态方面，水源涵养、森林、土壤、气候、灾害风险调节等要素的现状规模和月度或年度流动变化是主要衡量其活力水平的指标^[36,40,47]。其中，利用交通卡口监控、车载定位设备等可以获取城镇原材料和商品运输流量大数据；利用传感器、遥感等监测设备可以获取企业能源使用、水源涵养、土壤质地、气候变化、灾害风险调节等大数据；利用移动手机或GPS定位设备可以捕获较为精确的人口各类行为活动大数据；利用企业网、搜索引擎、招聘网、网络地图、旅游网等互联网可以获取城镇资本、信息、就业、文化等要素的流动或使用情况大数据。

空间品质应是一个多维度概念，既有绩效也有社会人文层面的内涵，这是反映城镇内部各要素作用于不同功能空间而产生对单个或多个区域要素吸引能力强弱的综合指标。绩效层面可以理解为某城镇的空间开发效益，是对空间的投入和产出之间关系的测算。其中：投入方面可以是土地开发强度、基础设施建设、公共服务供应、交通可达性等^[48,49]；产出方面可以是土地价格、空间经济收益、活动强度、使用主体评价、环境影响等^[46,50]；大部分数据来源于统计资料，活动、用户评价及环境影响数据可通过移动定位设备、互联网及传感器等渠道获取。而社会人文层面空间品质则涉及了空间建设风貌，包括色彩、风格、建筑密度、绿化率、连续性、连接性、整洁度、破败程度等^[51,52]；设施服务质量包括服务能级、服务范围、服务价值、服务口碑等^[47,53,54]；空间知名度包括产业

园、商业中心、旅游景区、文体场馆等城镇内部高等级功能区的区域影响范围及群体。建设风貌除了现场勘察、问卷访谈等传统手段获取数据,还能够利用网络街景图片大数据进行感知。设施服务质量则多来源于居民对城镇各类设施的主观感受,可以从点评网站、社交网站、搜索引擎等渠道获取各类评价大数据。同时,空间知名度大数据可以从搜索引擎、社交网络、旅行网站、购物网站等获取。

3.2 基于要素流动网络时空模拟的城镇建设用地分配

城镇除了自身空间发展水平对区域产生影响外,在区域城镇网络化格局中的功能和地位决定了其未来发展的可能机遇。这就需要对由各类要素时空流动形成的区域城镇网络进行分析与模拟,在区域网络中找出每个城镇发展特色与潜力优势,进而给予适合其深度融入区域一体化发展的合理用地规模。具体来讲,在获取区域生产、生活及生态要素时空大数据和对区域各城镇空间发展水平进行综合评价基础上,将单个城镇看作要素流动节点,将交通等基础设施看作要素流动通道,将各城镇及基础设施组成的区域作为流场,并对区域城镇要素流动进行多年份综合分析,找出流动网络的变化规律与格局。

目前,学术界相关研究方法大致分为两类,利用形态分析或拓扑分析对道路网络形态和结构进行研究与优化^[35],利用社会网络分析方法对城镇间的人、物、信息、技术、资本等要素联系进行分析或模拟来测度单个城镇在要素联系网络的中心性和城镇间要素联系格局^[41,42,55-57]。但是,前者仅关注通道自身形态或结构,缺乏对通道之上影响其网络结构的流动要素的考虑;后者则忽略了通道对诸如人流、物流、能源等实体要素流动的现实影响,仅以要素数量联系来表征城镇间联系,并非刻画了要素在通道中的流动状态(例如流量分配、流速等)。实际上,区域要素流动网络分析需要将要素流动和通道网络综合考虑,且不同类型要素与通道之间的相互作用关系也不尽相同。诸如,通道对人流、物流、能源流等实体要素具有增强或限制作用,而对信息、技术、资本等非实体要素影响非常小。首先,一方面,借鉴交通领域的网络优化模型^[35,58,59],既能够分析通道网络形态与结构,又可以根据通道网络实际情况(例如公路、铁路、水运等同类通道不同运输方式、最短路径、其他路径等同类通道不同运输路径、路网、电网、燃气管道等不同类通道)进行要素通道选择与流量模拟分配,进而可以用于分析区域城镇实体要素流动网络。另一方面,发挥社会网络分析方法在联系关系(包括,联系网络强度、中心性及格局等)刻画方面的优势,对区域城镇非实体要素流动进行分析。同时,在上述分析过程中还需考虑区域发展战略、重大基础设施建设、技术创新等未来发展环境变化下要素流动网络可能的时空变化,并利用复杂网络分析方法^[29,60]测度本区域要素流动网络对外界其他区域城镇的影响,找出具体城镇和关键要素,评估跨区域要素流动对本区域要素流动网络结构稳定性的影响。

然后,通过构建时空耦合模型,测度不同空间发展水平的城镇对要素流动网络中各类要素的掌控能力及原因。具体包括,分别利用解耦关系分析法和相关性分析法评价二者的时序、空间耦合特征,利用耦合协调度模型分析二者的耦合协调程度^[61],并通过地理探测器^[62]和回归分析方法对影响耦合协调度的因素及内在机制进行探讨。再者,确定城镇在区域网络中的最优、优、中等、较差、最差的不同等级“空间发展水平—要素控制力”组合,重点找出既在某一要素流动网络中起关键或重要作用又取得较好发展水平

的城镇,进而综合定位区域各城镇的职能及要素影响范围。同时,还需在要素流动网络影响范围内进一步界定能够发挥跨区域要素控制能力的城镇,明确区域城镇职能最终等级与体系,划分诸如综合型、交通型、文化旅游型、产业型、生态型等职能城镇。最后,按照各城镇在区域中发挥的不同特色职能及要素影响范围,在城镇自然和生态条件能够承载其最大开发建设能力测度基础上,参考国家或省市相关用地分配标准或要求,重点通过国内外其他类似职能且发展较好城镇的用地规模案例进行机器学习^[14],统筹分配各类型城镇对应的用地规模指标。

3.3 基于要素功能区识别的城镇开发边界划定

在用地总规模确定前提下,城镇开发边界如何划定成为关键内容,这也是国土空间规划体系实施以来学界和业界关注、争论且方案不断调整的工作,但现有划定方法缺乏对城镇实际发展需求的思考。城镇未来方向和边界形态是由内部各功能性用地发展规律和增长需求决定的,表现为各类要素流动变化(需求侧)与各类空间布局(供给侧)的供需时空匹配情况,供小于需就应把握二者时空发展规律来引导可能的未来增长空间,供大于需应该控制增长并逐步引导其在合理时间内提高土地利用效率,且不同用地空间之上承载的主导要素的时空流动对其影响最为关键。同时,这也是有效识别城镇内部存量空间利用情况、合理盘活存量用地资源、优化调整存量用地布局的重要内容。

首先,根据各城镇区域发挥作用的主导功能,综合考虑现状土地利用、地块区位、集约程度、人口密度、交通网络、自然生态限制等影响因素,利用BP神经网络等^[16]对城镇建设用地适宜性进行评价,并确定主导功能用地和其他用地之间的比例关系,例如产业型城镇需要增加产业用地比例、生态型用地需要保证生态用地比例等。然后,诊断城镇内部各类要素流动与用地布局之间供需匹配情况,有效测度存量空间利用情况和要素功能区范围。以居住用地为例,其承载的要素主体为人口,对其供需匹配评价可分为活力和流动性两方面。一方面,居民选择居住地的直接动机为该地块品质和公共服务是否满足自身需求,因此利用手机信令数据测度用地夜晚实际居住情况^[63]和利用公服设施POI数据测度用地公共服务吸引潜力能够反映该居住用地实际活力^[64],并通过耦合模型分析活力与用地规模的耦合协调度,进而能够识别每一块居住用地增加利用效率或扩大规模的方向;另一方面,居民迁居还受公共中心吸引能力影响,特别是高等级中心拥有较多数量和类型的公服设施、就业机会及便捷的交通等,能够吸引较多人口居住在其周边^[65,66]。建立包含人口日均变化、设施或就业岗位丰富度、交通可达性等指标能够综合测度公共中心流动性强度和等级,进而利用引力模型能够划定受公共中心影响的具体居住用地范围。在以上分析基础上,能够对城镇居住用地现状供需情况进行较为准确的把握,且考虑到诸如公共用地等不同类型用地之间的相互复杂影响。当然,城镇不同用地其承载的主导要素并不相同,二者相互影响的规律也不尽相同,其供需匹配识别路径也应有所差异,诸如工业用地之上主要承载的是原料或产品要素,商业用地主要是消费者和商品或服务要素等。

通过对城镇各要素流动与用地布局相互作用关系的测度,能够有效识别不同要素在城镇内部流动的不同空间偏好与用地供应耦合情况,找出各要素流动的功能影响空间范围,进而可以为城镇开发边界划定提供支撑。而关于具体边界形态划定方法,学界已经做了较多探索,大致分为三大类:(1)以适宜性评价和承载力评价为基础的边界划定方法,但是以保护用地生态价值为主,无法将人口和经济的承载规模与未来土地利用转换

进行匹配,不能有效地预测未来城市用地增长量的空间分布^[15]; (2) 以元胞自动机模型为核心的自下而上的边界模拟,考虑到自然条件在边界增长模拟中的约束、动力及阻力,但忽略了城市主体决策对城镇自然扩张的重要影响^[17,67]; (3) 城市空间增长决策模型,较好地补充了CA模型的不足,但仅能针对各类主体某一领域的决策偏好(例如土地开发)进行简单分析^[18,19,68],缺乏对人类能动性及各环境、经济、社会要素之间相互交流、反馈作用的考虑^[69]。由于具有自下而上的思路、高粒度、高动态的特点和强大的复杂计算功能,近年来学者尝试利用多智能体模型定义理性人的复杂行为规则,以微观能动对土地利用变化产生的影响来推演不同情景下城镇用地的变化趋势^[70,71]。实际上,城镇各类要素流动是多个主体复杂决策行为的共同结果,具有显著的空间偏好,其流动特征与状态指标能够较好地表征及简化主体的复杂行为。因此,在各类要素功能影响范围分析基础上,综合利用CA模型和多智能体模型^[15,72],既可以模拟城镇在一定自然条件下的空间扩展情况,又能够推断由主体决策行为所产生的要素流动对土地利用的时空影响规律及机制,并参考国土空间规划城镇开发边界划定原则和流程,最终划定城镇开发边界。

3.4 面向未来城市的城镇建设用地配置效果动态评估

城镇建设用地配置效果评估除了设置诸如经济增长贡献、人口用地公平、产业结构、城镇化水平、土地市场、资源利用等传统指标,更需要考虑新时代国家战略要求和技术创新所带来的未来区域及城镇发展变化。参考学者相关研究^[73-77],首先要体现生态文明,以实现生态刚性保护为基础,不断建设生态环境、挖掘和提升生态系统服务价值,设置生态红线侵占率、生态用地占比、生态网络连通度、空气优良指数、通风廊道合理性等指标;其次要体现高质量,需要以充分集约利用、高社会经济效益、精准满足用地实际需求为目标,设置用地集约利用指数、地均产出、用地共享度、要素一用地时空耦合协调度等指标;再者要体现智慧治理,充分考虑智能技术及其带来的要素加速流动对城镇空间的改造及用地需求变化(例如信息基础设施、共享空间、智慧场景等新增用地需求),考虑用地配置方案的弹性化实施效果,设置用地信息化指数、要素流动性、智能化指数、方案决策联动效率等指标;最后还要体现一体化,正确处理好单个城镇建设用地方方案与区域城镇网络化发展之间的关系,设置区域协调度、区域功能指数、毗邻区用地耦合协调度等指标。

同时,还需要思考建立评估动态开展和数据实时采集的工作机制,纳入国土空间规划年度“城市体检”任务中统筹推进。此外,在国土空间规划体系下,城镇建设用地配置表现为“自上而下”行政力主导的“上下联动配置”模式,高层级区域对下一层级区域的建设用地规模具有主导的统筹作用。因此,为保障评估结果和优化措施的有效落实,还需要研究全国、城市群、省域、都市圈、市域、县域、功能区多级空间单元之间要素流网络的跨界流动时空特征与模式,确定各层级间城镇建设用地规模配置的传导机制问题。特别是诸如城市群、都市圈及功能区之类没有行政力而社会经济联系较强的区域,还应存在不同的要素流动模式和用地配置传导方案。

4 结论与讨论

在信息技术对空间深刻影响和国土空间规划战略需求背景下,本文从流动空间视角出发,利用各类要素流大数据,集成多类型方法和模型,试图建立城镇建设用地配置新

方法框架。包括从空间规模、活力、品质三方面构建城镇发展水平综合评价指标体系,对城镇生产、生活及生态全要素流动网络进行时空分析与模拟,通过城镇空间发展水平与要素流动网络的匹配程度来确定城镇功能定位、用地规模分配、要素功能区识别及开发边界划定,且建立适应新时代的城镇建设用地配置效果的动态评估路径,以期能够为国土空间规划编制和管理实践提供参考。

但是,本文还存在一些不足。一是,多源数据采集与融合问题。本文所涉及到的各类要素时空大数据,目前对人口活动、信息传播等采集和研究较多,而诸如生产原材料、能源、水资源、气候环境等的采集难度较大、成本较高,研究也较少,这部分数据如何采集与应用将是一个较大的挑战。同时,大数据虽然利用优势明显,但其类型多样、样本量巨大、且针对研究问题的目的性不强,如何针对本文对象将多源大数据、大小数据进行有效融合是关键。二是,要素流动网络分析与模拟方法问题。由于城镇发展要素多种多样、每一种要素属性特征也并不相同,且不同空间尺度城镇网络或城镇内部也非常复杂、各尺度网络之间也存在关联与相互影响,如何甄选或创新支撑要素流动分析与模拟的具体方法或技术也将是未来的主要难点。三是,研究方法框架缺乏实践验证。本文提出的研究思路、方法框架、评价指标及研究方法等是在梳理学者相关研究基础上结合国土空间规划和未来发展趋势的方向性判断,缺乏实证研究的支撑和细化,需要在后期研究中不断地丰富和补充。

参考文献(References):

- [1] 黎斌,贺灿飞,黄志基,等. 城镇土地存量规划的国际经验及其启示. 现代城市研究, 2017, (6): 39-46. [LI B, HE C F, HUANG Z J, et al. International experience and enlightenment of inventory planning of urban land. Modern Urban Research, 2017, (6): 39-46.]
- [2] 王卉. 存量规划背景下的城市用地兼容性的概念辨析和再思考. 现代城市研究, 2018, (5): 45-54. [WANG H. Analysis on the concept and rethinking of land use compatibility under the background of built-up area planning. Modern Urban Research, 2018, (5): 45-54.]
- [3] 邹兵. 增量规划向存量规划转型: 理论解析与实践应对. 城市规划学刊, 2015, (5): 12-19. [ZOU B. The transformation from greenfield-based planning to redevelopment planning: Theoretical analysis and practical strategies. Urban Planning Forum, 2015, (5): 12-19.]
- [4] 林坚,叶子君,杨红. 存量规划时代城镇低效用地再开发的思考. 中国土地科学, 2019, 33(9): 1-8. [LIN J, YE Z J, YANG H. Thoughts on the underused urban land redevelopment in the era of inventory planning. China Land Science, 2019, 33(9): 1-8.]
- [5] 程迎轩. 省级规划调整完善新增建设用地指标分配研究: 以广东省为例. 国土资源情报, 2017, (3): 17-22, 34. [CHENG Y X. Research on the allocation of newly-added quota of regional construction land during the adjustment and improvement of provincial planning: A case study of Guangdong province. Land and Resources Information, 2017, (3): 17-22, 34.]
- [6] 陈逸,陈志刚,周艳,等. 江苏省地级市建设用地利用效率的区域差异与优化配置. 经济地理, 2017, 37(6): 171-176, 205. [CHEN Y, CHEN Z G, ZHOU Y, et al. Built land use efficiency and optimal allocation in Jiangsu province. Economic Geography, 2017, 37(6): 171-176, 205.]
- [7] 陆张维,吴次芳,岳文泽. 土地利用总体规划建设用地指标区域动态分配问题研究. 中国土地科学, 2010, 24(8): 59-65. [LU Z W, WU C F, YUE W Z. Study on dynamic regional allocation of construction land quotas in general land use planning. China Land Science, 2010, 24(8): 59-65.]
- [8] 丁建中,金志丰,陈逸. 基于空间开发潜力评价的泰州市建设用地空间配置研究. 中国土地科学, 2009, 23(5): 30-36. [DING J Z, JIN Z F, CHEN Y. Research on spatial allocation of construction land in Taizhou city based on assessment of spatial development potentials. China Land Science, 2009, 23(5): 30-36.]

- [9] 刘耀林, 郝弘睿, 谢婉婷, 等. 基于生态系统服务价值的土地利用空间优化. 地理与地理信息科学, 2019, 35(1): 69-74. [LIU Y L, HAO H R, XIE W T, et al. Optimization of land use space based on the value of ecosystem services. Geography and Geo-Information Science, 2019, 35(1): 69-74.]
- [10] 张红伟, 王占岐, 张利国, 等. 我国建设用地指标配置研究进展及展望. 中国国土资源经济, 2021, 34(11): 34-43. [ZHANG H W, WANG Z Q, ZHANG L G, et al. Research progress and prospect of index allocation of construction land in China. Natural Resource Economics of China, 2021, 34(11): 34-43.]
- [11] 王颖, 顾朝林, 李晓江. 中外城市增长边界研究进展. 国际城市规划, 2014, 29(4): 1-11. [WANG Y, GU C L, LI X J. Research progress of urban growth boundary at home and abroad. Urban Planning International, 2014, 29(4): 1-11.]
- [12] 黄金碧, 冯长春. 基于DEA模型优化的城镇建设用地需求预测: 以皖江城市带为例. 城市发展研究, 2013, 20(11): 75-80. [HUANG J B, FENG C C. Prediction of urban construction land based on optimized data by DEA: In case of cities along the Yangtze River in Anhui province. Urban Development Studies, 2013, 20(11): 75-80.]
- [13] ZHANG J, WANG K, SONG G X, et al. Application of multi-agent models to urban expansion in medium and small cities: A case study in Fuyang city, Zhejiang province, China. Chinese Geographical Science, 2013, 23(6): 754-764.
- [14] 郑伟伟, 柯新利. 基于案例推理的城镇建设用地需求预测: 以重庆市为例. 城市问题, 2018, (8): 79-86. [ZHENG W W, KE X L. Forecast of urban construction land demand based on case-based reasoning: In case of Chongqing. Urban Problems, 2018, (8): 79-86.]
- [15] 谭荣辉, 刘耀林, 刘艳芳, 等. 城市增长边界研究进展: 理论模型、划定方法与实效评价. 地理科学进展, 2020, 39(2): 327-338. [TAN R H, LIU Y L, LIU Y F, et al. A literature review of urban growth boundary: Theory, modeling, and effectiveness evaluation. Progress in Geography, 2020, 39(2): 327-338.]
- [16] 孟霖, 郭杰, 孙驰, 等. 基于供求关系的城镇建设用地适宜性评价: 以扬州市为例. 资源科学, 2018, 40(1): 11-21. [MENG L, GUO J, SUN C, et al. Suitability evaluation of urban construction land based on supply and demand in Yangzhou city. Resources Science, 2018, 40(1): 11-21.]
- [17] 龙瀛, 韩昊英, 毛其智. 利用约束性CA制定城市增长边界. 地理学报, 2009, 64(8): 999-1008. [LONG Y, HAN H Y, MAO Q Z. Establishing urban growth boundaries using constrained CA. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(8): 999-1008.]
- [18] DEVISCH O. Should planners start playing computer games? Arguments from SimCity and second life. Planning Theory & Practice, 2008, 9(2): 209-226.
- [19] SAMSURA D A, DER KRABBE E V, VAN DEEMEN A M. A game theory approach to the analysis of land and property development processes. Land Use Policy, 2010, 27(2): 564-578.
- [20] 李鑫, 肖长江, 欧名豪, 等. 基于生态位适宜度理念的城镇用地空间优化配置研究. 长江流域资源与环境, 2017, 26(3): 376-383. [LI X, XIAO C J, OU M H, et al. Urban land spatial optimized allocation based on the idea of Niche fitness. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(3): 376-383.]
- [21] COUCH C, KARECHA J. Controlling urban sprawl: Some experiences from Liverpool. Cities, 2006, 23(5): 353-363.
- [22] KASANKO M, BARREDO J, LAVALLE C, et al. Are European cities becoming dispersed? A comparative analysis of 15 European urban areas. Landscape and Urban Planning, 2006, 77(1): 111-130.
- [23] MILLWARD H. Urban containment strategies: A case-study appraisal of plans and policies in Japanese, British, and Canadian cities. Land Use Policy, 2006, 23(4): 473-485.
- [24] WASSMER R. The influence of local urban containment policies and statewide growth management on the size of United States urban areas. Journal of Regional Science, 2006, 46(1): 25-65.
- [25] GENNAIO M, HERSPERGER A, BURGI M. Containing urban sprawl: Evaluating effectiveness of urban growth boundaries set by the Swiss land use plan. Land Use Policy, 2009, 26(2): 224-232.
- [26] 杨鑫, 姜海, 范宇, 等. 基于效率—公平的区际建设用地指标配置方式评价及改进: 以南京市为例. 中国土地科学, 2017, 31(7): 20-27. [YANG X, JIANG H, FAN Y, et al. Evaluation and improvement on inter-regional allocation mode of construction land quotas from the perspective of efficiency and equality: Take Nanjing city as an example. China Land Science, 2017, 31(7): 20-27.]
- [27] 王艺洁, 付万年, 刘志有. 新疆绿洲县域建设用地配置效率及优化措施研究: 以乌鲁木齐县为例. 中国农业资源与区划, 2019, 40(5): 188-194. [WANG Y J, FU W N, LIU Z Y. Study on allocation efficiency and optimizing measures of construction land in Xinjiang oasis counties: Taking Urumqi county as an example. Chinese Journal of Agricultural Re-

- sources and Regional Planning, 2019, 40(5): 188-194.]
- [28] 聂雷, 邵子南. 基于资源场势的江苏省建设用地空间配置研究. 河南农业大学学报, 2019, 53(3): 434-440. [NIE L, SHAO Z N. Research of construction land spatial allocation in Jiangsu province based on resource field and potency. Journal of Henan Agricultural University, 2019, 53(3): 434-440.]
- [29] 黄琳珊, 陈彦光, 李双成. 京津冀城镇用地空间结构的多分维谱分析. 地理科学进展, 2019, 38(1): 50-64. [HUANG L S, CHEN Y G, LI S C. Multifractal spectral analysis of land use structure of the Beijing-Tianjin-Hebei urban system. Progress in Geography, 2019, 38(1): 50-64.]
- [30] 刘海龙. 从无序蔓延到精明增长: 美国“城市增长边界”概念述评. 城市问题, 2005, (3): 67-72. [LIU H L. From urban sprawl to smart growth: A review of the concept of urban growth boundary in USA. Urban Problems, 2005, (3): 67-72.]
- [31] CASTELLS M. The Rise of the Network Society. Cambridge MA: Blackwell Publishers, 1996.
- [32] 秦萧, 甄峰. 大数据与小数据结合: V 信息时代城市研究方法探讨. 地理科学, 2017, 37(3): 321-330. [QIN X, ZHEN F. Combination between big data and small data: New methods of urban studies in the information era. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(3): 321-330.]
- [33] KENNETH E C. Transactional forces and the metropolis: Towards a planning strategy for Seoul in the year 2000. Journal of Korea Planning Association, 1980, 15(2): 4-11.
- [34] 成升魁, 甄霖. 资源流动研究的理论框架与决策应用. 资源科学, 2007, 29(3): 37-44. [CHENG S K, ZHEN L. Resource flow: Theoretical framework and application for decision making. Resources Science, 2007, 29(3): 37-44.]
- [35] 张新林, 赵媛. 基于空间视角的资源流动内涵与构成要素的再思考. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1611-1623. [ZHANG X L, ZHAO Y. Rethinking of connotation and constituent elements of resources flow based on spatial perspective. Journal of Natural Resources, 2016, 31(10): 1611-1623.]
- [36] 王嘉丽, 周伟奇. 生态系统服务流研究进展. 生态学报, 2019, 39(12): 4213-4222. [WANG J L, ZHOU W Q. Ecosystem service flows: Recent progress and future perspectives. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(12): 4213-4222.]
- [37] ZHEN F, CAO Y, QIN X, et al. Delineation of an urban agglomeration boundary based on Sina Weibomicroblog 'check-in' data: A case study of the Yangtze River Delta. Cities, 2017, 60: 180-191.
- [38] 秦萧, 甄峰, 李亚奇, 等. 国土空间规划大数据应用方法框架探讨. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2134-2149. [QIN X, ZHEN F, LI Y Q, et al. Discussion on the application framework of big data in territorial spatial planning. Journal of Natural Resources, 2019, 34(10): 2134-2149.]
- [39] 王宜强, 赵媛. 资源流动研究现状及其主要研究领域. 资源科学, 2013, 35(1): 89-101. [WANG Y Q, ZHAO Y. Resource flow and main research themes. Resources Science, 2013, 35(1): 89-101.]
- [40] 姚婧, 何兴元, 陈玮. 生态系统服务流研究方法最新进展. 应用生态学报, 2018, 29(1): 335-342. [YAO J, HE X Y, CHEN W. The latest progress in ecosystem service flow research methods. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(1): 335-342.]
- [41] 李哲睿, 甄峰, 傅行行. 基于企业股权关联的城市网络研究: 以长三角地区为例. 地理科学, 2019, 39(11): 1763-1770. [LI Z R, ZHEN F, FU X X. Mapping urban network through inter-firm investment relationship: A case study of Yangtze River Delta. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(11): 1763-1770.]
- [42] 甄峰, 王波, 陈映雪. 基于网络社会空间的中国城市网络特征: 以新浪微博为例. 地理学报, 2012, 67(8): 1031-1043. [ZHEN F, WANG B, CHEN Y X. China's city network characteristics based on social network space: An empirical analysis of Sina micro-blog. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(8): 1031-1043.]
- [43] 王德, 朱查松, 谢栋灿. 上海市居民就业地迁移研究: 基于手机信令数据的分析. 中国人口科学, 2016, (1): 80-89, 127. [WANG D, ZHU C S, XIE D C. Research on intra-city employment mobility in Shanghai: Based on cell phone data. Chinese Journal of Population Science, 2016, (1): 80-89, 127.]
- [44] 钮心毅, 李晓晗, 刘思涵. 应用手机信令数据的建设用地活动强度监测方法. 地理信息世界, 2021, 28(4): 1-8. [NIU X Y, LI X H, LIU S H. A method for monitoring construction land activity intensity using mobile phone signaling data. Geomatics World, 2021, 28(4): 1-8.]
- [45] 罗桑扎西, 甄峰. 基于手机数据的城市公共空间活力评价方法研究: 以南京市公园为例. 地理研究, 2019, 38(7): 1594-1608. [LUO S Z X, ZHEN F. How to evaluate public space vitality based on mobile phone data: An empirical analysis of Nanjing's parks. Geographical Research, 2019, 38(7): 1594-1608.]
- [46] 王灿, 王德, 朱玮, 等. 基于消费者行为的商业空间绩效评价体系建设. 城市规划, 2021, 45(3): 33-45. [WANG C,

- WANG D, ZHU W, et al. Construction of assessment system on commercial space performance based on consumer behavior. *City Planning Review*, 2021, 45(3): 33-45.]
- [47] 冯晓珂, 黄斌斌, 李若男, 等. 生态系统服务流特征及量化方法研究进展. *环境保护科学*, 2019, 45(6): 29-38. [FENG X Y, HUANG B B, LI R N, et al. Research progress on characteristics and quantification methods of ecosystem service flow. *Environmental Protection Science*, 2019, 45(6): 29-38.]
- [48] 刁星, 程文. 城市空间绩效评价指标体系构建及实践. *规划师*, 2015, 31(8): 110-115. [DIAO X, CHENG W. Urban space performance evaluation. *Planners*, 2015, 31(8): 110-115.]
- [49] 王新峰, 袁兆宇, 李君, 等. 基于空间绩效的总规实施评估方法探索. *规划师*, 2018, 34(6): 112-117. [WANG X F, YUAN Z Y, LI J, et al. Spatial performance based evaluation of urban master plan implementation. *Planners*, 2018, 34(6): 112-117.]
- [50] 任晓娟, 陈晓键, 马泉. 空间经济绩效导向下的城市用地布局优化研究. *城市规划*, 2019, 43(7): 50-59. [REN X J, CHEN X J, MA Q. A study on the optimization of urban land layout under the guidance of spatial economic performance. *City Planning Review*, 2019, 43(7): 50-59.]
- [51] 龙瀛, 唐娟娟. 城市街道空间品质大规模量化测度研究进展. *城市规划*, 2019, 43(6): 107-114. [LONG Y, TANG J X. Large-scale quantitative measurement of the quality of urban street space: The research progress. *City Planning Review*, 2019, 43(6): 107-114.]
- [52] 阳建强, 朱雨溪, 张倩. 面向空间品质提升的城市更新. *时代建筑*, 2021, (4): 12-15. [YANG J Q, ZHU Y X, ZHANG Q. Urban regeneration toward the improvement of spatial quality. *Time Architecture*, 2021, (4): 12-15.]
- [53] 秦萧, 甄峰, 朱寿佳, 等. 基于网络口碑度的南京城区餐饮业空间分布格局研究: 以大众点评网为例. *地理科学*, 2014, 34(7): 810-817. [QIN X, ZHEN F, ZHU S J, et al. Spatial pattern of catering industry in Nanjing urban area based on the degree of public praise from Internet: A case study of Dianping.com. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(7): 810-817.]
- [54] 王德, 王灿, 谢栋灿, 等. 基于手机信令数据的上海市不同等级商业中心商圈的比较: 以南京东路、五角场、鞍山路为例. *城市规划学刊*, 2015, (3): 50-60. [WANG D, WANG C, XIE D C, et al. Comparison of retail trade areas of retail centers with different hierarchical levels: A case study of East Nanjing Road, Wujiaochang, Anshan Road in Shanghai. *Urban Planning Forum*, 2015, (3): 50-60.]
- [55] 李涛, 程遥, 张伊娜, 等. 城市网络研究的理论、方法与实践. *城市规划学刊*, 2017, (6): 43-49. [LI T, CHENG Y, ZHANG Y N, et al. Theories, methods and practice of city network analysis. *Urban Planning Forum*, 2017, (6): 43-49.]
- [56] 钮心毅, 刘思涵, 朱艺. 地区间人员流动视角下的中国城镇化空间特征研究. *城市规划学刊*, 2021, (1): 82-89. [NIU X Y, LIU S H, ZHU Y. Spatial characteristics of China's urbanization: The perspective of inter-prefecture population movement. *Urban Planning Forum*, 2021, (1): 82-89.]
- [57] 李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 等. 中国三大城市群电子商务快递物流网络空间结构及其形成机制研究. *地理科学*, 2021, 41(8): 1398-1408. [LI Y J, WU Q T, ZHANG Y L, et al. Spatial structure and formation mechanism of e-commerce express Logistics network in the three major urban agglomerations of China. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(8): 1398-1408.]
- [58] 温旭丽, 陆燕楠, 向星月. 面向多式联运的货运网络优化模型构建与应用. *物流技术*, 2021, 40(1): 67-72, 82. [WEN X L, LU Y N, XIANG X Y. Construction and application of multi-modal freight transportation network optimization model. *Logistics Technology*, 2021, 40(1): 67-72, 82.]
- [59] 杨忠振, 穆雪, 朱晓聪. 交通流变化下的多配送中心—多需求点配送网络优化模型. *交通运输工程学报*, 2015, 15(1): 100-107. [YANG Z Z, MU X, ZHU X C. Optimization model of distribution network with multiple distribution centers and multiple demand points considering traffic flow change. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2015, 15(1): 100-107.]
- [60] 王茂军, 田雨英, 杨雪春. 山东省城镇网络结构与城镇网络角色识别: 基于民国时期土货/洋货流通网络的分析. *地理研究*, 2011, 30(9): 1621-1636. [WANG M J, TIAN L Y, YANG X C. Study on structure of urban network in Shandong province and on identifying city-roles in the network: Based on the analysis of circulation network of native products/foreign goods in the Republic of China. *Geographical Research*, 2011, 30(9): 1621-1636.]
- [61] 赵宏波, 魏甲晨, 孙东琪, 等. 大城市内部“生产—生活—生态空间”多尺度耦合协调度: 以郑州市为例. *资源科学*, 2021, 43(5): 944-953. [ZHAO H B, WEI J C, SUN D Q, et al. Multi-scale analysis on the coupling coordination degree of

- production-living-ecological spaces in cities: A case study of Zhengzhou city. *Resources Science*, 2021, 43(5): 944-953.]
- [62] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [63] 钟炜菁, 王德. 上海市中心城区夜间活力的空间特征研究. *城市规划*, 2019, 43(6): 97-106, 114. [ZHONG W J, WANG D. A study on the spatial characteristics of nighttime vitality in the city center of Shanghai. *City Planning Review*, 2019, 43(6): 97-106, 114.]
- [64] 龙瀛, 周垠. 街道活力的量化评价及影响因素分析: 以成都为例. *新建筑*, 2016, (1): 52-57. [LONG Y, ZHOU Y. Quantitative evaluation on street vibrancy and its impact factors: A case study of Chengdu. *New Architecture*, 2016, (1): 52-57.]
- [65] 席广亮, 甄峰, 沈丽珍, 等. 南京市居民流动性评价及流空间特征研究. *地理科学*, 2013, 33(9): 1051-1057. [XI G L, ZHEN F, SHEN L Z, et al. The evaluation of resident fluidity and the spatial characteristics of flow in Nanjing. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(9): 1051-1057.]
- [66] 钮心毅, 康宁, 李萌. 都市圈视角下的上海城市公共中心体系重构探讨. *城市规划学刊*, 2019, (3): 42-49. [NIU X Y, KANG N, LI M. Reconstruction of Shanghai city public center system from the perspective of metropolitan area. *Urban Planning Forum*, 2019, (3): 42-49.]
- [67] HAASE D, LAUTENBACH S, SEPPELT R. Modeling and simulating residential mobility in a shrinking city using an agent-based approach. *Environmental Modelling and Software*, 2010, 25(10): 1225-1240.
- [68] MATTHEWS R, GILBERT N, ROACH A, et al. Agent-based landuse models: A review of applications. *Landscape Ecology*, 2007, 22(10): 1447-1459.
- [69] 王梓洋, 石培基, 张学斌, 等. 基于多智能体模型的兰州市城镇用地扩展模拟. *应用生态学报*, 2021, 32(6): 2169-2179. [WANG Z Y, SHI P J, ZHANG X B, et al. Simulation of Lanzhou urban land expansion based on multi-agent model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(6): 2169-2179.]
- [70] 刘小平, 黎夏, 艾彬, 等. 基于多智能体的土地利用模拟与规划模型. *地理学报*, 2006, 61(10): 1101-1112. [LIU X P, LI X, AI B, et al. Multi-agent systems for simulating and planning land use development. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1101-1112.]
- [71] 全泉, 田光进, 沙默泉. 基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟. *生态学报*, 2011, 31(10): 2875-2887. [QUAN Q, TIAN G J, SHA M Q. Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(10): 2875-2887.]
- [72] 王宏杰. 基于元胞自动机与多智能体模型的城市空间扩展研究. 昆明: 昆明理工大学, 2016. [WANG H J. Research on urban spatial expansion based on cellular automata and multi-agent model. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2016.]
- [73] 张跃胜, 李思蕊, 李朝鹏. 为城市发展定标: 城市高质量发展评价研究综述. *管理学报*, 2021, 34(1): 27-42. [ZHANG Y S, LI S R, LI Z P. Setting standards for urban development: Review of evaluation of urban high-quality development. *Journal of Management*, 2021, 34(1): 27-42.]
- [74] 江宗文, 张军. 生态城市评价指标体系研究综述. *山西建筑*, 2016, 42(13): 245-246. [JIANG Z W, ZHANG J. On evaluation indexes system of ecological cities. *Shanxi Architecture*, 2016, 42(13): 245-246.]
- [75] 宫攀, 张令新. 国内外智慧城市评价指标体系对比分析及启示. *规划师*, 2018, 34(11): 96-100, 107. [GONG P, ZHANG L X. A comparative study on domestic and iverseas evaluation index system of smart city. *Planners*, 2018, 34(11): 96-100, 107.]
- [76] 曾刚, 王丰龙. 长三角区域城市一体化发展能力评价及其提升策略. *改革*, 2018, (12): 103-111. [ZENG G, WANG F L. Evaluation and promotion strategies of urban integration development capability in the Yangtze River Delta Region. *Reform*, 2018, (12): 103-111.]
- [77] 甄峰, 张姗姗, 秦萧, 等. 从信息化赋能到综合赋能: 智慧国土空间规划思路探索. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2060-2072. [ZHEN F, ZHANG S Q, QIN X, et al. From informational empowerment to comprehensive empowerment: Exploring the ideas of smart territorial spatial planning. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2060-2072.]

Discussion on urban construction land allocation based on element flow

QIN Xiao^{1,2}, ZHEN Feng^{1,2}

(1. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Jiangsu Provincial Engineering Laboratory of Smart City Simulation and Visualization, Nanjing 210093, China)

Abstract: The existing urban construction land allocation mainly follows the guidance of spatial development, which is carried out by using static data and land allocation standards, evaluation and prediction models. There are some phenomena of "regional preference" and "seeking large scale". In the new era of emphasizing the construction of ecological civilization and high-quality development, the implementation of territory spatial planning strategy requires that the allocation method of urban construction land needs to be innovated in time. This project focuses on the inevitable trend that the urban place space will be transformed into the urban flow space under the deep influence of information or intelligent technology in the future, and considers that the spatiotemporal flow and distribution of production, life and ecological elements of different scales will be the key to the scientific allocation of urban construction land. Therefore, the project uses multi-source big data of element flow and multi-disciplinary analysis methods, trying to establish a new method framework from four aspects: evaluation of urban spatial development level, spatio-temporal simulation of urban element flow network and land allocation, identification of urban element functional area and delimitation of development boundary, and dynamic evaluation of urban construction land allocation effect. Firstly, it is found that the evaluation of urban spatial development level needs to comprehensively consider the ability of cities to control, attract and overflow the current regional elements, and construct the evaluation index system from three aspects of spatial development scale, vitality and quality. Secondly, in the process of regional distribution of urban construction land index, we pay attention to using network optimization model and social network analysis method to describe the flow law of regional elements, and find out the cities with different levels and types of combination of "spatial development level and element control" through time-space coupling model. Thirdly, the future expansion direction and boundary shape of cities are determined by the spatiotemporal matching of supply and demand between the flow changes of various internal elements and the functional space layout. It is necessary to identify the functional influence area and flow preference of elements by using models of spatiotemporal coupling, gravity, cellular automata and agent-based system. Finally, the evaluation index of urban construction land allocation effect needs to reflect the requirements and trends of future urban development, such as ecological civilization, high quality, smart governance and integration. These research results can provide reference for the delimitation and implementation of urban development boundary in territory spatial planning.

Keywords: element flow; urban construction land; big data; method framework