

引用格式: 杨帆, 席广亮, 甄峰, 等. “形流融合”视角的国土空间开发适宜性评价: 以南京都市圈为例[J]. 资源科学, 2023, 45(12): 2372–2384. [Yang F, Xi G L, Zhen F, et al. Suitability evaluation of territorial space development from the perspective of “form-flow integration”: A case study of the Nanjing Metropolitan Area[J]. Resources Science, 2023, 45(12): 2372–2384.] DOI: 10.18402/resci.2023.12.06

# “形流融合”视角的国土空间开发适宜性评价 ——以南京都市圈为例

杨帆<sup>1</sup>, 席广亮<sup>1,2</sup>, 甄峰<sup>1,2</sup>, 海晓东<sup>3</sup>

(1. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093; 2. 江苏智慧城市研究基地, 南京 210093;  
3. 智慧足迹数据科技有限公司, 北京 100032)

**摘要:**【目的】随着信息技术和快速交通技术的发展, 流要素对空间格局的塑造作用不断增强, 流要素与地理空间形态要素融合逐渐成为国土空间优化布局的内在要求。本文旨在探讨形流融合的国土空间开发适宜性评价路径与方法, 为国土空间格局优化提供基础支撑。【方法】基于手机信令数据、地理空间数据等多源数据, 构建“形流融合”的国土空间开发适宜性评价指标体系, 并综合运用空间叠置、*k*-means聚类、层次分析等方法, 对南京都市圈的国土空间开发适宜性进行集成评价。【结果】①南京都市圈综合国土空间开发适宜性分布呈现明显的空间集聚和分异特征; 适宜区域以宁马滁和宁镇扬两个同城化片区, 以及常州市金坛区和溧阳市为主; 不适宜区域主要分布在滁州、马鞍山、宣城等城市。②地理空间形态要素评价结果呈现出以南京市为核心、其他城市中心城区为多个开发适宜性峰值区域的“一核多极”的空间分布特征, 地理空间形态要素在国土空间开发中发挥重要的基础作用。③流要素评价结果一定程度上反映了实际的国土空间格局特征, 呈现出“核心—边缘”的空间格局, 其中南京市与滁州、宣城二市的适宜性差异明显。表明南京市“虹吸效应”明显, 跨区域行政壁垒仍然存在。【结论】本文从“形”和“流”融合的视角拓展了国土空间开发适宜性评价范式, 优化了以地域功能为核心的开发适宜性评价方法, 验证了新方法在都市圈尺度的适用性, 为都市圈国土空间格局优化提供理论方法和实践支撑。

**关键词:** 流空间; 形流融合; 国土空间开发; 适宜性评价; 南京都市圈

DOI: 10.18402/resci.2023.12.06

## 1 引言

国土空间规划是对一定地域国土空间开发与保护所作出的统筹安排, 是协调人地关系的重要途径<sup>[1,2]</sup>。国土空间开发适宜性评价是开展国土空间规划的前提性、基础性工作<sup>[2]</sup>, 是在综合考虑资源环境要素条件的基础上, 对特定国土空间进行农业生产、城镇建设等活动的适宜性程度的评价<sup>[3]</sup>。近年来, 高资源消耗、高污染排放的粗放发展模式致使区域空间开发失衡、“三生空间”冲突加剧、资源环

境约束趋紧等人地关系问题愈发突出, 国土空间开发适宜性评价引起了广泛关注<sup>[2]</sup>。2019年, 中共中央、国务院出台《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》(以下简称《若干意见》), 明确提出在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价(以下简称“双评价”)的基础上, 科学有序统筹布局生态、农业、城镇等功能空间<sup>[4]</sup>。

已有国土空间开发适宜性评价多从经济、生态、地理等学科视角进行探究<sup>[5-9]</sup>。一方面, 考虑工

收稿日期: 2023-05-12; 修订日期: 2023-10-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071202); 国家社会科学基金重点项目(20AZD040)。

作者简介: 杨帆, 男, 黑龙江大庆人, 硕士研究生, 研究方向为大数据与城市规划。E-mail: 1936308488@qq.com

通讯作者: 席广亮, 男, 甘肃庆阳人, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为数字化与城市区域发展、国土空间规划等。E-mail: xiguangliang@nju.edu.cn

2023年12月

程地质条件、灾害风险、抗震条件、地形地貌等要素满足建设用地标准的适宜程度<sup>[10,11]</sup>；另一方面，从综合视角选取自然地理、社会经济和生态环境等要素构建评价指标体系，开展国土空间开发适宜性评价<sup>[12-15]</sup>。同时，也有学者基于可持续发展<sup>[16]</sup>、三生空间<sup>[17,18]</sup>、陆海统筹<sup>[13-15]</sup>、社会感知<sup>[19]</sup>、群体偏好<sup>[20]</sup>等视角，强调不同价值导向和技术方法支撑的国土空间开发适宜性评价研究。然而，随着城乡区域间人员、货物、资本、信息等要素的频繁流动，人地关系变得更加复杂，地域功能和空间联系愈加紧密<sup>[21,22]</sup>，要素流动对国土空间格局重塑的作用日益凸显。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中指出，要促进各类要素合理流动和高效集聚，推动形成主体功能明显、优势互补、高质量发展的国土空间开发保护新格局<sup>[23]</sup>。但现有评价多关注一定地域范围内的社会经济和地理空间要素，强调以功能为主导的场所空间适宜性，缺乏对不同地域空间相互作用的考虑，尤其是对要素流的综合分析不足。

全球化和信息化的深入发展，围绕要素流所形成的流空间越来越重要，并逐渐成为区域和城市空间研究的重要视角<sup>[24]</sup>。国外学者较早提出中心流理论，强调基于要素流动的城市网络建构，并发现区域空间结构向多中心网络化转变的趋势<sup>[25,26]</sup>。国内学者采用手机信令、居民活动日志、微博LBS数据、百度指数、企业股权等数据，通过人流、信息流、交通流、资本流、生态流等要素流分析，探究了基于要素流的国土空间格局和结构形态<sup>[27-31]</sup>。伴随着要素流研究的深入，学者们开始将流要素的分析与场所空间的优化提升相结合<sup>[32]</sup>。吴志强<sup>[33]</sup>在国内率先提出“以流定形”的理性规划方法，进而强调“以流定形，形流相生”的国土空间规划基本逻辑。随后，学者开始在国土空间规划<sup>[34,35]</sup>、城市与区域空间研究<sup>[36]</sup>、交通规划<sup>[37,38]</sup>等方面进行“以流定形”的规划方法探索。但总体上，现有研究多集中在理论框架构建，缺乏在空间规划实践中的具体应用。另外，国土空间承载了物质、能量、信息等要素流动的过程，具有系统性，且与流要素之间处于一种动态耦合状态，需要系统性考虑地理空间形态要素和流要素耦合协同问题。然而，当前研究多关注地理空间形态要

素或流要素的单一方面，缺乏对两者的融合考虑<sup>[39]</sup>。因此，本文在既有以地理空间形态要素评价为主的国土空间开发适宜性研究基础上，考虑不同要素流对国土空间开发适宜性的影响，探索地理空间“形”要素与“流”要素结合的评价方法，有助于实现人地关系协调的国土空间开发保护格局构建。

当前，中国确定的国土空间规划体系，主要按行政层级进行规划编制和监督实施，缺乏对跨行政单元区域空间资源配置与优化布局的考虑。南京都市圈是中国较早提出规划建设的跨省都市圈，具有各类要素和资源高度集聚、跨行政区空间协调发展高度复杂的特点。开展南京都市圈的国土空间开发适宜性评价研究，对于提升区域空间资源配置效率和区域协调发展水平具有典型意义。因此，本文以南京都市圈为例，探讨“形流融合”的国土空间开发适宜性评价路径和方法，并对南京都市圈国土空间开发适宜性进行评价分析，以期为中国都市圈空间资源配置和协调发展提供研究基础，为人地协同的国土空间格局优化提供实践依据。

## 2 研究区域、方法与数据

### 2.1 研究区概况

南京都市圈位于中国东部、长江中下游沿江城市地带核心地区，地跨苏皖两省（图1）。2021年2月，国家发改委批复了《南京都市圈发展规划》（以下简称《发展规划》）<sup>[40]</sup>，是国家正式批复的首个都市圈规划。南京都市圈以江苏省南京市为中心，包括镇江、扬州、淮安和常州的溧阳市、金坛区，以及安徽省的马鞍山、芜湖、滁州、宣城，覆盖了两省中的9个地级市，共计60个区（县）和县级市，总面积6.6万km<sup>2</sup>。2021年，南京都市圈共实现地区生产总值46665.68亿元，为稳定长三角乃至全国经济大盘起到重要支撑作用<sup>[41]</sup>。因此，探讨南京都市圈的国土空间开发适宜性评价，对于跨区域空间资源配置和格局优化具有参考价值。

### 2.2 方法与数据

#### 2.2.1 研究方法

（1）评价单元选择。南京都市圈国土空间开发适宜性评价单元分为网格单元和行政单元。其中，地理空间数据按照90 m×90 m网格进行计算，社会经济和要素流数据由于其统计方式的局限性，相关



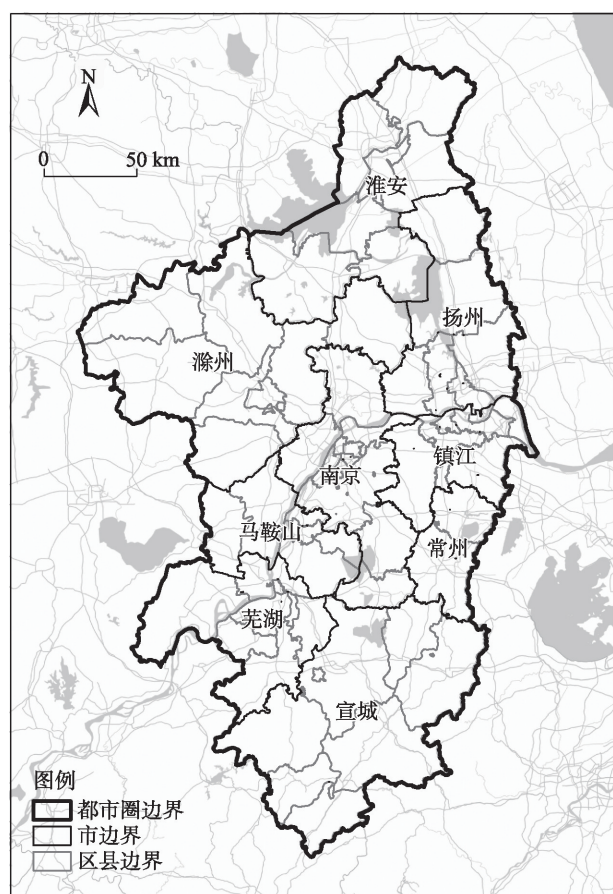


图1 南京都市圈区位图

Figure 1 Location of the Nanjing Metropolitan Area

注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1605号标准地图制作, 底图边界无修改。

数据按照行政区进行统计。其中, 社会经济数据为区县尺度, 交通流、资本流和物流数据为市尺度, 人流和信息流数据为街道尺度。在综合评价过程中, 本文采用90 m×90 m网格作为最基本的评价单元, 将不同类型的评价数据的空间量化图层进行栅格化处理, 并转化为统一的尺度。

(2) 指标体系构建。由于都市圈的开放性、流动性和复杂性, 都市圈尺度的国土空间开发适宜性评价, 不仅要考虑地理空间形态要素, 还要兼顾流要素对国土空间开发活动的影响<sup>[22]</sup>。因此, 参考已有研究<sup>[33,36]</sup>, 本文在“以流定形”的规划范式基础上, 将地理空间形态要素与流要素相结合, 构建“形流融合”的评价指标体系(表1)。

地理空间形态要素可以认为是场所空间所承载的经济、人口、土地、设施等基本要素, 体现了国土空间的开发潜力、强度和约束。本文基于潜力-

约束模型<sup>[42]</sup>, 从社会经济、土地利用和环境限制3个方面构建地理空间形态要素评价指标体系。①社会经济方面, 按行政单元进行数据的空间化处理。②土地利用类型: 空间可达性采用成本分析法<sup>[42]</sup>; 交通设施、公共服务设施分布采用核密度分析法; 土地利用现状参考《江苏省国土空间规划(2021—2035年)》《安徽省国土空间规划(2021—2035年)》以及文献[13-15], 对不同用地类型的开发适宜性分级赋值; 与建成区距离采用缓冲区分析。③环境限制方面: 生态保护重要性, 依据木桶原理法则<sup>[43]</sup>, 对每个地块的评价因子进行空间叠置取最小值(表2); 耕地适宜性评价采用多要素空间叠置法(表3)<sup>[44]</sup>。

流要素主要包括人流、信息流、物流等要素流, 能够较好地刻画地域内部不同空间的功能联系<sup>[22]</sup>。当前, 社会网络分析<sup>[45,46]</sup>、重力模型<sup>[47]</sup>等方法广泛应用于要素流测度。综合考虑南京都市圈的特点以及相关政策<sup>[40,48]</sup>, 选取交通流、资本流、人流、信息流、物流, 构建流要素评价指标体系, 并借鉴社会网络分析中的相对度中心性<sup>[49]</sup>测度各要素流指数, 值越高代表网络中节点的连接能力越强, 开发适宜性越大。具体计算公式如下:

$$D_i = \sum_{j=1}^n \frac{X_{ij}}{n-1} \quad (1)$$

$$X_{ij} = T_{ij} + T_{ji} \quad (2)$$

式中:  $D_i$  为节点  $i$  的相对度中心性;  $X_{ij}$  为节点  $i$  与节点  $j$  之间的联系强度;  $T_{ij}$  参考已有研究<sup>[32,50-52]</sup>, 根据不同要素流选取不同指标, 交通流、资本流、人流、信息流、物流中  $T_{ij}$  分别采用交通工具由节点  $i$  发往节点  $j$  的班次总和、位于节点  $i$  的企业总部在节点  $j$  建立的分支机构数量、人流从节点  $i$  到节点  $j$  的出行量总和、出行人流从节点  $i$  到节点  $j$  的APP使用时长总和、节点  $i$  到节点  $j$  的货运线路总和;  $T_{ji}$  与之相反。

此外, 在各指标分级赋值中, 社会经济和各要素流的指标为连续的统计数据, 运用  $k$ -means 聚类法对各指标分类<sup>[53]</sup>, 并对分类结果进行分级赋值, 避免直接赋值导致数据失真。土地利用和环境限制的指标为离散数据, 通过自然间断法分类, 并采用德尔菲法对分类结果进行分级赋值。各指标赋值

表1 南京都市圈国土空间开发适宜性评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of territorial space development suitability in the Nanjing Metropolitan Area			
目标层	准则层	指标层	指标赋值
地理空间 形态要素	社会经济(建设潜力)	人均GDP	[0.00, 0.25)=0.2; [0.25, 0.45)=0.4; [0.45, 0.60)=0.6; [0.60, 0.80)=0.8; [0.80, 1.00)=1.0
		二三产业比例	[0.00, 0.15)=0.2; [0.15, 0.34)=0.4; [0.34, 0.55)=0.6; [0.55, 0.76)=0.8; [0.76, 1.00)=1.0
		居民人均可支配收入	[0.00, 0.12)=0.2; [0.12, 0.30)=0.4; [0.30, 0.40)=0.6; [0.40, 0.70)=0.8; [0.70, 1.00)=1.0
		人口密度	[0.00, 0.07)=0.2; [0.07, 0.20)=0.4; [0.20, 0.30)=0.6; [0.30, 0.80)=0.8; [0.80, 1.00)=1.0
		全社会固定资产投资增长率	[0.00, 0.12)=0.2; [0.12, 0.25)=0.4; [0.25, 0.35)=0.6; [0.35, 0.70)=0.8; [0.70, 1.00)=1.0
	土地利用(开发强度)	空间可达性	≥90=0.2; [60, 90)=0.4; [30, 60)=0.6; [15, 30)=0.8; [0, 15)=1.0
		交通设施分布	[0.0, 0.8)=0.2; [0.8, 2.0)=0.4; [2.0, 3.9)=0.6; [3.9, 6.9)=0.8; ≥6.9=1.0
		公共服务设施分布	[0.0, 3.4)=0.2; [3.4, 13.8)=0.4; [13.8, 31.2)=0.6; [31.2, 62.9)=0.8; ≥62.9=1.0
		土地利用类型	河流、湖泊、水库及内陆滩涂、沙地=0.0;园地、林地、草地等地=0.2;沼泽、盐碱地等未开发利用土地=0.8;城乡用地、工矿用地等其他建设用地=1.0
		与建成区距离/m	≥1500=0.0; [1000, 1500)=0.4; [500, 1000)=0.6; [0, 500)=0.8
流要素	环境限制	生态保护重要性	禁止建设=0.0;极重要=0.2;重要=0.4;中等重要=0.6;一般=0.8;允许建设=1.0
		耕地适宜性	极适宜=0.0;高适宜=0.4;一般适宜=0.6;低适宜=0.8;不适宜=1.0
		高速列车客运流指数	[0.00, 0.20)=0.2; [0.20, 0.30)=0.4; [0.30, 0.47)=0.6; [0.47, 0.60)=0.8; [0.60, 1.00)=1.0
		普通列车客运流指数	
		长途客车客运流指数	
	资本流	跨城企业投资流指数	[0.00, 0.09)=0.2; [0.09, 0.17)=0.4; [0.17, 0.22)=0.6; [0.22, 0.31)=0.8; [0.31, 1.00)=1.0
	人流	城市内部人流指数	[0.00, 0.03)=0.2; [0.03, 0.08)=0.4; [0.08, 0.16)=0.6; [0.16, 0.32)=0.8; [0.32, 1.00)=1.0
		跨城人流指数	
	信息流	城市内部信息流指数	[0.00, 0.10)=0.2; [0.10, 0.20)=0.4; [0.20, 0.32)=0.6; [0.32, 0.54)=0.8; [0.54, 1.00)=1.0
		跨城信息流指数	
	物流	跨城物流指数	[0.00, 0.10)=0.2; [0.10, 0.25)=0.4; [0.25, 0.35)=0.6; [0.35, 0.70)=0.8; [0.70, 1.00)=1.0

注:社会经济指标数据进行了归一化处理,故数据在0.00~1.00之间。

表2 生态保护重要性评价指标体系

Table 2 The importance evaluation indicator system of ecological protection			
目标层	准则层	评价层	指标赋值
生态保护重要性	生态环境敏感性	林地	灌木林、有林地=0.0;疏林地=0.2;其他林地=0.5
		水域	水库、河渠=0.0;湖泊、河渠缓冲区 100 m=0.2
		草地	高覆盖度草地=0.2;中覆盖度草地=0.5;低覆盖度草地=0.8
		坡度/°	≥25=0.0; [15, 25)=0.2; [10, 15)=0.5; [5, 10)=0.8; [0, 5)=1.0
		起伏度/m	≥90=0.0; [60, 90)=0.2; [30, 60)=0.5; [15, 30)=0.8; <15=1.0
	生态功能重要性	防风固沙重要性	极重要=0.2;重要=0.4;中等重要=0.6;一般=0.8
		洪水调蓄重要性	一般=0.0;重要=0.4
		生物多样性	极重要=0.2;重要=0.4;中等重要=0.6;一般=0.8
		水土保持重要性	≥500=0.0; [250, 500)=0.5; [50, 250)=0.8; <50=1.0
		水源涵养重要性	极重要=0.2;重要=0.4;中等重要=0.6;一般=0.8
	生态红线	—	禁止建设=0;允许建设=1



表3 耕地适宜性评价指标体系

Table 3 Cultivated land suitability evaluation indicator system

目标层	准则层	指标层	指标赋值
耕地适宜性	土壤条件	土壤PH值	[0.0, 4.5)=0.0; [4.5, 5.5)=0.2; [5.5, 6.0)=0.5; [6.0, 7.9)=0.8; [7.9, 14.0]=1.0
		土壤有机质/%	[0, 1)=0.0; [1, 2)=0.2; [2, 4)=0.8; ≥4=1.0
		土层厚度/cm	30=0.0; 100=0.5
		土壤质地	砾质土=0.0; 砂土=0.5; 黏土=0.8; 壤土=1.0
	立地条件	高程/m	≥500=0.0; [200, 500)=0.2; [70, 200)=0.5; [30, 70)=0.8; <30=1.0
		坡度/°	≥15=0.0; [10, 15)=0.2; [6, 10)=0.5; [2, 6)=0.8; <2=1.0
	气候条件	年降水量/mm	<1000=0.8; ≥1000=1.0
		年均温/℃	<15=0.2; ≥15=0.5

范围在0~1之间,分值越高代表该指标的适宜性条件越好。

(3)指标权重确定

首先,采用离散标准化法对原始数据进行线性变换,并根据评价指标的特点,分别采用层次分析法和变异系数法确定评价指标权重<sup>[54,55]</sup>。目标层、准则层以及土地利用的指标层数据结构复杂,采用层次分析法(AHP)构建评价指标判断矩阵,并通过一致性检验,计算评价指标的权重。社会经济、交通流、资本流、人流、信息流和物流的指标层数据相

对完整且数据量大,则采用变异系数法,得到各指标的权重(表4)。

(4)综合适宜性评价。基于每项指标的单因子分析结果,采用多要素空间叠置法<sup>[56-58]</sup>,得到综合适宜性评价结果,并利用自然断点法划分为适宜、较适宜、一般适宜、不适宜4个等级。其中,地理空间形态要素中的环境限制为限制性因子,对国土空间开发具有关键的约束作用。因此,采用限制系数评价模型<sup>[53]</sup>,计算地理空间形态要素得分,以及在综合评价计算中通过环境限制结果修正流要素得分。

表4 国土空间开发适宜性评价指标赋权结果

Table 4 Weights of evaluation indicators for the suitability of territorial space development

目标层	准则层	权重	指标层	权重
地理空间形态要素	社会经济	0.2500	人均GDP	0.1533
			二三产业比例	0.1056
			居民人均可支配收入	0.1546
			人口密度	0.4702
			全社会固定资产投资增长率	0.1163
	土地利用	0.7500	空间可达性	0.2021
			交通设施分布	0.1054
			公共服务设施分布	0.0432
			土地利用类型	0.4843
			与建成区距离	0.1650
流要素	交通流	0.0890	高速列车客运流指数	0.3453
			普通列车客运流指数	0.3022
			长途客车客运流指数	0.3525
	人流	0.2896	城市内部人流指数	0.3386
			跨城人流指数	0.6614
	信息流	0.1790	城市内部信息流指数	0.3050
			跨城信息流指数	0.6950
	资本流	0.3720	—	—
	物流	0.0704	—	—

2023年12月

计算公式如下：

$$CSS = GSS + ERS \times FSS \quad (3)$$

$$GSS = ERS \times \sum_{p=1}^P \mu_p G_p \quad (4)$$

$$ERS = \prod_{l=1}^m R_l \quad (5)$$

$$FSS = \sum_{q=1}^Q w_q F_q \quad (6)$$

式中： $CSS$ 为评价单元的综合国土空间开发适宜性； $GSS$ 为地理空间形态要素得分； $ERS$ 为环境限制得分； $FSS$ 为流要素得分； $\mu_p$ 、 $G_p$ 分别为地理空间形态要素指标 $p$ 的权重与得分； $P$ 为地理空间形态要素指标的个数； $R_l$ 为环境限制指标 $l$ 得分， $0 \leq R_l \leq 1$ ， $R_l$ 的值越大，限制条件越弱，当 $R_l = 1$ 时，不存在限制； $m$ 为环境限制指标的个数； $w_q$ 、 $F_q$ 分别为流要素指标 $q$ 的权重与得分； $Q$ 为流要素指标的个数。

### 2.2.2 数据来源

针对南京都市圈的地域特点、数据的可获得性和适用性，参考相关研究<sup>[13-15,42]</sup>，采用以下数据：①地理空间数据。选取行政区划、城市路网和POI等矢量数据以及土地利用类型、地理高程、土壤、气候和生态等栅格数据。其中，行政区划、城市路网均来自于网络公开数据；土地利用类型数据来自于LUCC遥感解译提取；生态红线采用2018年6月印发的《安徽省生态保护红线》《江苏省国家级生态保护红线规划》成果；POI、地理高程、生态、土壤、降水和气温等数据分别来源于高德地图API开放接口、地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)、中国生态系统评估与生态安全格局数据库、世界土壤数据库(HWSD, Harmonized World Soil Database)、国家青藏高原科学数据中心平台(<https://data.tpdc.ac.cn>)以及欧洲中期天气预报中心的ERA5-Land数据集。②社会经济数据。通过2021年南京都市圈各省、市统计年鉴获取人均GDP、二三产业比例、居民人均可支配收入、人口数量和全社会固定资产投资增长率等社会经济数据。③要素流数据。反映要素流动趋势以及地域之间的空间相互作用状态，综合考虑数据属性<sup>[45]</sup>，通过中国联通智慧足迹公司、企查查网站、12306网站、keyunzhan.com网站、菜鸟运输市场网站等途径，获取手机信令、投资-被投资企业

业数量、客运班次以及物流线路数据。

## 3 结果与分析

### 3.1 地理空间形态要素分析

地理空间形态要素评价反映了研究区域的建设潜力、开发强度与环境限制，对国土空间开发建设活动具有基础性和支撑性作用。总体上，南京都市圈地理空间形态要素得分呈现出“一核多极”的特征，即以南京市为核心，以其他城市中心城区为多个开发适宜性峰值区域的空间格局(图2)。适宜区域主要分布在长江两岸，与《发展规划》提出的沿江发展带，以及南京市域“两带一轴”的空间结构较为吻合，表明地理空间形态要素评价结果符合实际情况。较适宜区域主要集中在南京中心城区，在南京市外围区域分布则较为分散，且无明显的集聚区域。一般适宜区域集中分布于淮安、滁州、马鞍山、芜湖、宣城等南京都市圈西部边缘地区。此外，不适宜区域主要集中分布在宣城、淮安、扬州和滁州4市，在镇江、南京、马鞍山和芜湖4市分布相对分

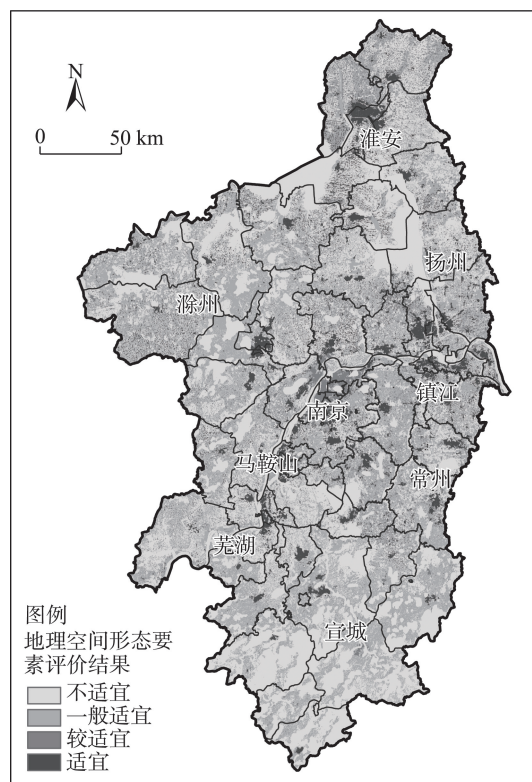


图2 地理空间形态要素评价结果

Figure 2 Evaluation results of geospatial form elements

注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1605号标准地图制作，底图边界无修改。

散。其中,不适宜区中包含有重要的自然保护区、风景名胜区和生态公园,如洪泽湖湿地国家级自然保护区、月亮湾生态旅游风景区、青龙湾国家森林公园等,且保持了较为原始的生态景观风貌,是南京都市圈内生态功能显著的关键区域。

### 3.2 流要素分析

流要素评价反映适宜性功能类型、数量规模、表现强度等多维属性,包含了要素流动强度、网络联系等结构特征<sup>[22]</sup>,体现了地区活力和对开发建设活动的总体需求。如图3所示,南京都市圈流要素评价结果呈现出“核心—边缘”的空间格局。具体而言,适宜区域主要分布在南京市及其周边市的区县街道,而不适宜区域主要分布在滁州、马鞍山、宣城等城市。南京市的栖霞区、鼓楼区、玄武区、江宁区以及浦口区的适宜性最高,镇江、常州次之,且句容市与南京紫东地区接壤的宝华镇、郭庄镇和经济开发区的适宜性显著高于镇江与常州的其他地区,宣城和滁州的适宜性最低。其次,流要素评价结果

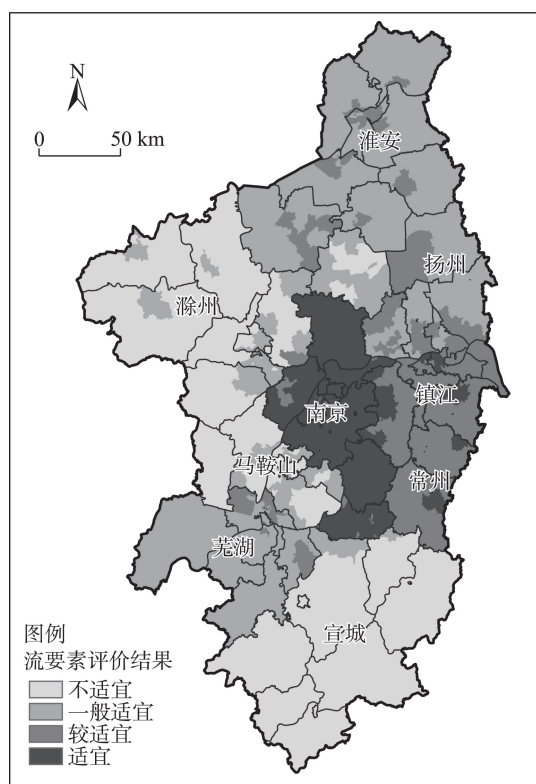


图3 流要素评价结果

Figure 3 Evaluation results of flow elements

注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1605号标准地图制作, 底图边界无修改。

空间分异明显,江苏省内多为适宜、较适宜区域;而安徽省内除少部分与南京接壤地区以及沿长江部分地区为较适宜区域,其余地区则多为不适宜区域。究其原因,南京都市圈一体化发展强化了南京市的“虹吸效应”,但都市圈内跨区域政策协同机制仍不健全,同时利益协调机制尚不完善,一定程度上限制了要素的自由流动,降低了资源的配置效率<sup>[41]</sup>。

### 3.3 “形流融合”的综合评价

南京都市圈综合国土空间开发适宜性评价是地理空间形态要素与流要素的集成评价结果。如图4所示,总体上,南京都市圈国土空间开发适宜性呈现明显空间集聚和分异特征。适宜区域以宁马滁和宁镇扬两个同城化片区以及常州市的金坛区与溧阳市两个区域为主,不适宜区域多分布在滁州、马鞍山、宣城3市。如表5所示,适宜、较适宜、

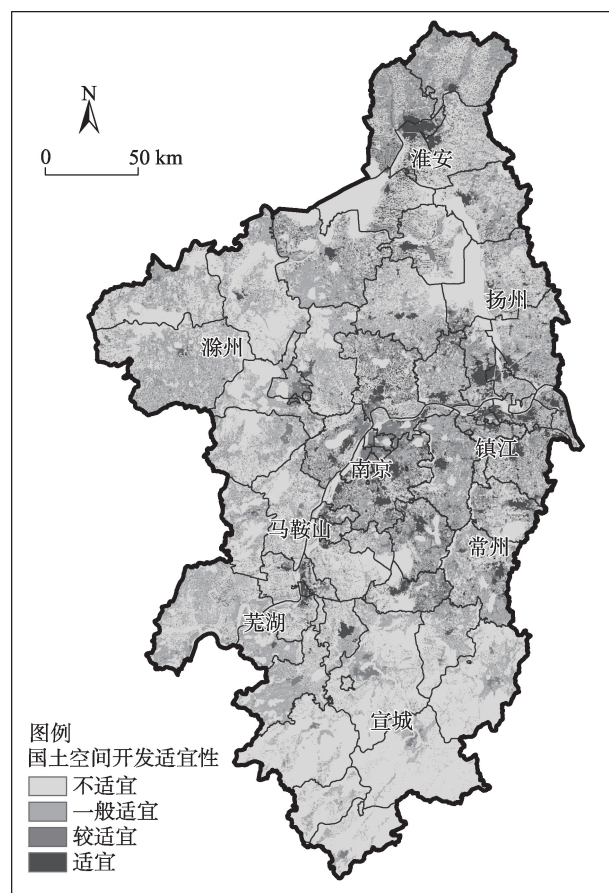


图4 南京都市圈综合国土空间开发适宜性评价结果

Figure 4 Evaluation results of comprehensive territorial space development suitability of the Nanjing Metropolitan Area

注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1605号标准地图制作, 底图边界无修改。



2023年12月

表5 南京都市圈国土空间开发适宜性分布统计表

Table 5 Statistics of suitability distribution of territorial space development in the Nanjing Metropolitan Area

名称	不适宜		一般适宜		较适宜		适宜	
	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%
南京都市圈	35398.77	54.52	20526.40	31.61	5629.52	8.67	3373.35	5.20
常州市(部分区域)	1034.51	41.69	988.90	39.86	267.53	10.78	190.24	7.67
滁州市	7592.41	56.52	4730.68	35.22	970.09	7.22	140.09	1.04
淮安市	4805.96	48.61	3147.51	31.84	1203.96	12.18	728.71	7.37
马鞍山市	2511.15	62.04	1129.87	27.91	325.66	8.05	80.98	2.00
南京市	2337.89	35.49	2081.94	31.61	1221.66	18.55	945.51	14.35
芜湖市	3036.05	50.93	2387.08	40.04	354.82	5.95	183.60	3.08
宣城市	9863.84	81.19	1999.74	16.46	271.07	2.23	14.35	0.12
扬州市	3035.67	46.21	2360.57	35.93	588.38	8.96	584.56	8.90
镇江市	1181.32	30.98	1700.14	44.59	426.34	11.18	505.31	13.25

一般适宜和不适宜片区分别占全域总面积的5.20%、8.67%、31.61%和54.52%。具体而言,南京市由于在建设潜力、开发强度和流要素方面具有绝对优势,适宜与较适宜开发地区占市域面积比重最大,分别为14.35%、18.55%。镇江市和扬州市在建设潜力、开发强度和流要素方面具有相对优势,适宜开发区占各市域总面积的比重位居都市圈的二、三名,分别为13.25%和8.90%。其次,常州市、芜湖市、马鞍山市的建设潜力相对较高,但在重点项目建设、环境要素限制、政策协同机制、利益协调机制等方面的短板明显<sup>[41]</sup>,限制了流要素的自由流动,流要素优势不足,适宜开发地区占比低。而宣城市不适宜区占比高达81.19%,保护空间相比发展空间更为突出,保护压力大。

此外,评价结果的整体分布格局与《发展规划》中提出的“一极两区四带多组团”的空间格局基本一致,地理空间形态要素在国土空间开发中仍承担着重要的基础作用。而宁马滁和宁镇扬两个片区以及县城、重点镇的“多组团”的流要素评价结果,与当前行政壁垒阻碍要素流动、空间效率和同城化水平不高等现实情况相一致<sup>[40]</sup>,与建设同城化发展示范区域的战略构想存在一定距离,可见流要素一定程度上反映了实际的国土空间结构特征,对塑造国土空间开发与保护格局的作用逐渐凸显。因此,综合考虑地理空间形态要素和流要素进行国土空间开发适宜性评价对国土空间规划实践具有很强现实意义。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

随着信息技术和快速交通的发展,人流、信息流、资本流等要素流动对国土空间格局重塑的作用日益凸显。然而,现行国土空间开发适宜性评价难以较好地适应日益复杂的国土空间。基于此,首先,本文立足于流要素对空间格局塑造作用不断增强的趋势,构建了“形流融合”的国土空间开发适宜性评价框架,拓展了“以流定形”的规划范式。其次,考虑不同地域空间相互作用,将“流”空间的概念转化为具体的量化指标,并纳入国土空间开发适宜性评价当中,优化以地域功能为核心的开发适宜性评价方法,使评价结果能够更好地服务于国土空间动态复杂系统优化的需求。最后,以南京都市圈为研究对象,开展国土空间开发适宜性评价,并将综合评价结果与《发展规划》中都市圈空间协调发展格局进行对照,一定程度上验证了“形流融合”的国土空间开发适宜性评价方法在都市圈尺度的适用性。主要结论如下:

(1)综合国土空间开发适宜性呈现明显的空间集聚和分异特征。其中,南京市在建设潜力、开发强度和流要素集聚方面具有绝对优势,适宜与较适宜开发地区占市域面积比重最大。镇江市和扬州市在建设潜力、开发强度和流要素方面具有相对优势,适宜开发区占各市域总面积的比重位居都市圈的二、三名。常州市、芜湖市、马鞍山市的流要素优势不足,适宜开发地区占比低。

(2)地理空间形态要素评价结果呈现出“一核多极”的格局,即以南京市为核心,各城市中心城区为多个开发适宜性峰值区域的空间格局,与《发展规划》提出的“一极两区四带多组团”的空间格局基本一致,地理空间形态要素在国土空间开发中仍承担着重要的基础作用。

(3)流要素评价结果空间分异明显,适宜性较高的地区主要集中在南京市、镇江市以及常州的金坛区和溧阳市,而马鞍山、滁州、宣城等城市的部分地区流要素评价价值较低,其中南京市与滁州、宣城二市适宜性差异明显。流要素评价结果与空间效率和同城化水平不高等现实情况相一致,一定程度上反映了实际的国土空间格局特征。

## 4.2 讨论

本文立足于都市圈尺度,进行了形流融合的国土空间开发适宜性评价思路方法探索,研究存在一定的局限性。

(1)由于部分流数据难于获取,以及数据本身存在一定缺陷,导致评价结果并不能完全反映真实情况。未来应提升多元流数据的精度和完备度,探究不同要素流之间的关系,从而识别不同要素流对空间开发适宜性的影响方式,为构建人地协同的国土空间格局提供基础支撑。

(2)地理空间形态要素与流要素“融合”方法有待优化,缺乏流空间和场所空间之间的互动关系考虑。未来需要深入探索场所空间与流空间的交互作用机制,构建相应的指标体系对二者交互状态进行量化,并在此基础上进行形流融合的国土空间格局优化研究。

(3)由于缺乏流要素的面板数据,导致无法分析流要素分布格局的形成机制,且动态的流数据能否反映未来国土空间开发适宜性的研究尚处于理论设想阶段,缺乏技术上的验证,未来需要在后续研究中进一步深入探索。

## 参考文献(References):

[1] Qu Y B, Dong X Z, Su D S, et al. How to balance protection and development? A comprehensive analysis framework for territorial space utilization scale, function and pattern[J]. Journal of Environmental Management, 2023, DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117809.

[2] 张京祥, 黄贤金. 国土空间规划原理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2021. [Zhang J X, Huang X J. Principles of Territory Spatial Planning[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2021.]

[3] 刘小波, 王玉宽, 李明. 国土空间开发适宜性评价的理论、方法与技术应用[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(12): 2097-2110. [Liu X B, Wang Y K, Li M. Theory, method and technological application of territorial spatial development suitability evaluation [J]. Journal of Geo-Information Science, 2021, 23(12): 2097-2110.]

[4] 中共中央办公厅. 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[N]. 人民日报, 2019-05-24(1). [General Office of the Central Committee of the Communist Party of China. Some Opinions of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on Establishing the System of Land and Space Planning and Supervising its Implementation[N]. People's Daily, 2019-05-24(1).]

[5] 张玉臻, 熊建华, 叶剑平. 基于利益相关者视角的待复垦矿区土地再利用适宜性评价[J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(1): 89-97. [Zhang Y Z, Xiong J H, Ye J P. Suitability evaluation of mining-land reuse from the perspective of stakeholders[J]. Geography and Geo-Information Science, 2021, 37(1): 89-97.]

[6] 李迎成, 李金刚. 基于生态位视角的城市创新空间适宜性评价及发展策略研究: 以南京市为例[J]. 科技管理研究, 2023, 43(7): 62-69. [Li Y C, Li J G. Suitability evaluation of urban innovation space and its improvement strategies from the niche perspective: A case study of Nanjing[J]. Science and Technology Management Research, 2023, 43(7): 62-69.]

[7] 王静, 翟天林, 赵晓东, 等. 面向可持续城市生态系统管理的国土空间开发适宜性评价: 以烟台市为例[J]. 生态学报, 2020, 40(11): 3634-3645. [Wang J, Zhai T L, Zhao X D, et al. Land development suitability evaluation for sustainable urban ecosystem management taking Yantai as an example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(11): 3634-3645.]

[8] 钟镇涛, 张鸿辉, 洪良, 等. 生态文明视角下的国土空间底线管控: “双评价”与国土空间规划监测评估预警[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2415-2427. [Zhong Z T, Zhang H H, Hong L, et al. Territorial space baseline control from the perspective of ecological civilization: “Double evaluation” and monitoring-evaluation-warning[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2415-2427.]

[9] 李龙, 吴大放, 刘艳艳, 等. 生态文明视角下喀斯特地区“双评价”研究: 以生态敏感区宁远县为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2385-2400. [Li L, Wu D F, Liu Y Y, et al. “Double evaluations” of karst area from the perspective of ecological civilization: A case study of Ningyuan in ecologically sensitive area[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2385-2400.]

[10] 尹怡诚, 成升魁, 马润田, 等. 基于“在地性”与“协同性”的丘陵

2023年12月

- 地区县域“双评价”模式探讨:以湖南辰溪县为例[J]. 经济地理, 2020, 40(9): 102–113. [Yin Y C, Cheng S K, Ma R T, et al. “Double Evaluation” mode to county in hilly areas based on “Locality” and “Coordination”: A case study of Chenxi County, Hunan Province[J]. Economic Geography, 2020, 40(9): 102–113.]
- [11] 喻忠磊, 张文新, 梁进社, 等. 国土空间开发建设适宜性评价研究进展[J]. 地理科学进展, 2015, 34(9): 1107–1122. [Yu Z L, Zhang W X, Liang J S, et al. Progress in evaluating suitability of spatial development and construction land[J]. Progress in Geography, 2015, 34(9): 1107–1122.]
- [12] 马仁锋, 季顺伟, 马静武, 等. 海域“双评价”的实践与应用:以温州为例[J]. 经济地理, 2022, 42(1): 21–27. [Ma R F, Ji S W, Ma J W, et al. The practice and application of “Dual Evaluation” in marine areas: A case of Wenzhou[J]. Economic Geography, 2022, 42(1): 21–27.]
- [13] 刘柄麟, 张振克, 纪学朋, 等. 海岸带国土空间开发适宜性评价及功能空间配置:以海南岛为例[J]. 自然资源学报, 2022, 37(4): 862–879. [Liu B L, Zhang Z K, Ji X P, et al. Research on suitability evaluation of land space development and functional space allocation in coastal zone: A case study of Hainan Island[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(4): 862–879.]
- [14] 冯佳凝, 刘荣娟, 濮励杰, 等. 基于陆海统筹的南通市国土空间开发适宜性评价[J]. 资源科学, 2022, 44(2): 299–308. [Feng J N, Liu R J, Pu L J, et al. Suitability evaluation of territorial spatial development from the perspective of land–sea coordination: A case study of Nantong City, China[J]. Resources Science, 2022, 44(2): 299–308.]
- [15] 纪学朋, 黄贤金, 陈逸, 等. 基于陆海统筹视角的国土空间开发建设适宜性评价:以辽宁省为例[J]. 自然资源学报, 2019, 34(3): 451–463. [Ji X P, Huang X J, Chen Y, et al. Comprehensive suitability evaluation of spatial development and construction land in the perspective of land–ocean coordination: A case study of Liaoning Province, China[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 451–463.]
- [16] Gao J Z, An T T, Zhang H F, et al. The evaluation method of the marine spatial suitability for islands from the perspective of sustainable development: A case study of the Pingtan Islands[J]. Sustainability, 2023, DOI: 10.3390/su15118996.
- [17] Fu J Y, Bu Z Q, Jiang D, et al. Sustainable land use diagnosis based on the perspective of production–living–ecological spaces in China[J]. Land Use Policy, 2022, DOI: 10.1016/j.lusepol.2022.106386.
- [18] Liao T, Li D, Wan Q. Tradeoff of exploitation–protection and suitability evaluation of low–slope hilly from the perspective of “production–living–ecological” optimization[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2020, DOI: 10.1016/j.pce.2020.102943.
- [19] Huang H, Li Q, Zhang Y. Urban residential land suitability analysis combining remote sensing and social sensing data: A case study in Beijing, China[J]. Sustainability, 2019, DOI: 10.3390/su11082255.
- [20] Wang Y, Jin C, Lu M, et al. Assessing the suitability of regional human settlements environment from a different preferences perspective: A case study of Zhejiang Province, China[J]. Habitat International, 2017, 70: 1–12.
- [21] 席广亮. 城市流动性与智慧城市空间组织[M]. 北京: 商务印书馆, 2021. [Xi G L. Urban Mobility and Smart City Spatial Organization[M]. Beijing: The Commercial Press, 2021.]
- [22] 岳文泽, 韦静娴, 陈阳. 国土空间开发适宜性评价的反思[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 1–10. [Yue W Z, Wei J X, Chen Y. Rethinking suitability evaluation of territorial space development [J]. China Land Science, 2021, 35(10): 1–10.]
- [23] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[N/OL]. (2021–03–13) [2023–08–19]. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm). [National Development and Reform Commission. The Outline of the 14th Five–Year Plan for National Economic and Social Development of the People’s Republic of China and the Long–term Goals for 2035[N/OL]. (2021–03–13) [2023–08–19]. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).]
- [24] 钮心毅, 李凯克. 跨城功能联系视角下的都市圈国土空间规划实施监测[J]. 资源科学, 2021, 43(2): 380–389. [Niu X Y, Li K K. Implementation monitoring of territorial and spatial planning in metropolitan areas from the perspective of intercity functional linkages[J]. Resources Science, 2021, 43(2): 380–389.]
- [25] Taylor P J, Hoyler M, Verbruggen R. External urban relational process: Introducing central flow theory to complement central place theory[J]. Urban Studies, 2010, 47(13): 2803–2818.
- [26] Taylor P, Derudder B. World City Network: A Global Urban Analysis[M]. New York: Routledge, 2016.
- [27] 钮心毅, 林诗佳. 城市规划研究中的时空大数据: 技术演进、研究议题与前沿趋势[J]. 城市规划学刊, 2022, (6): 50–57. [Niu X Y, Lin S J. Spatiotemporal big data in urban planning researches: Technological evolution, research topics, and frontier trends[J]. Urban Planning Forum, 2022, (6): 50–57.]
- [28] 席广亮, 甄峰, 汪侠, 等. 南京市居民网络消费的影响因素及空间特征[J]. 地理研究, 2014, 33(2): 284–295. [Xi G L, Zhen F, Wang X, et al. Study on the influencing factors and spatial characteristics of residents’ online consumption in Nanjing[J]. Geographical Research, 2014, 33(2): 284–295.]
- [29] 赵金丽, 张学波, 任嘉敏, 等. 多元流视角下黄河流域城市网络空间结构及其影响因素[J]. 地理科学, 2022, 42(10): 1778–1787. [Zhao J L, Zhang X B, Ren J M, et al. Spatial structure and influencing factors of urban network in the Yellow River Basin



- based on multiple flows[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(10): 1778-1787.]
- [30] 高雅妮, 何丹, 高鹏, 等. 基于三层级股权关系的长三角城市网络节点地位研究[J]. *地理研究*, 2022, 41(6): 1577-1592. [Gao Y N, He D, Gao P, et al. Node status of the Yangtze River Delta urban network: Through the lens of three-level equity relationship [J]. *Geographical Research*, 2022, 41(6): 1577-1592.]
- [31] 常守志. 基于生态流的城市景观生态变化与优化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019. [Chang S Z. *Landscape Ecology Change and Optimization of Urban Landscape Based on Ecological Flow*[D]. Changchun: Jilin University, 2019.]
- [32] 甄峰, 李哲睿, 谢智敏. 基于人口流动的城市内部空间结构特征及其影响因素分析: 以南京市为例[J]. *地理研究*, 2022, 41(6): 1525-1539. [Zhen F, Li Z R, Xie Z M. Analysis of urban internal spatial structure characteristics and its influencing factors based on population flow: A case study of Nanjing[J]. *Geographical Research*, 2022, 41(6): 1525-1539.]
- [33] 吴志强. 国土空间规划原理[M]. 上海: 同济大学出版社, 2022. [Wu Z Q. *Principles of Spatial Planning*[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2022.]
- [34] 张英男, 龙花楼. 面向城乡融合发展的县域国土空间规划: 理论认知与实践探索[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(2): 1-10. [Zhang Y N, Long H L. Theory and practice of county-level territorial space planning under the context of urban-rural integrated development[J]. *China Land Science*, 2023, 37(2): 1-10.]
- [35] 程鹏, 屠启宇. 响应创新发展逻辑的国土空间规划策略[J]. *城市规划学刊*, 2022, (6): 72-79. [Cheng P, Tu Q Y. The strategies of territorial spatial planning in response to the logic of innovation development[J]. *Urban Planning Forum*, 2022, (6): 72-79.]
- [36] 张晓云, 谭兴业, 殷健, 等. 基于“形”和“流”的城市多中心体系实证研究: 以沈阳市中心城区为例[J]. *城市规划*, 2016, 40(S1): 50-56. [Zhang X Y, Tan X Y, Yin J, et al. An empirical study on urban polycentric system based on forms and flows: The case of central area in Shenyang[J]. *City Planning Review*, 2016, 40(S1): 50-56.]
- [37] 李玮峰, 杨东援. 基于“以流定形”的城市交通空间分析逻辑[J]. *城市交通*, 2020, 18(1): 1-8. [Li W F, Yang D Y. Spatial analysis logic for urban transportation based on the “shaped by flow” concept[J]. *Urban Transport of China*, 2020, 18(1): 1-8.]
- [38] 副中心站交通团队. “3.0时代”北京站城融合枢纽地区综合交通规划实践[N/OL]. (2021-09-28) [2023-08-19]. <https://mp.weixin.qq.com/s/gX9wzxm2lO2ASu4kCHUT-A>. [Deputy Central Station Traffic Team. The Practice of Comprehensive Transportation Planning in the Integrated Hub Area of Beijing Railway Station In “3.0 Era”[N/OL]. (2021-09-28) [2023-08-19]. <https://mp.weixin.qq.com/s/gX9wzxm2lO2ASu4kCHUT-A>.]
- [39] 罗彦, 蒋国翔, 陈少杰, 等. 基于“双评价”和主体功能区优化的国土空间规划探索[J]. *城市规划*, 2022, 46(1): 7-17. [Luo Y, Jiang G X, Chen S J, et al. Exploration of territorial planning based on “Dual evaluations” and optimization of main functional area[J]. *City Planning Review*, 2022, 46(1): 7-17.]
- [40] 江苏省人民政府, 安徽省人民政府. 南京都市圈发展规划[N/OL]. (2021-03-22) [2023-08-19]. [http://www.jiangsu.gov.cn/art/2021/4/16/art\\_46143\\_9750343.html](http://www.jiangsu.gov.cn/art/2021/4/16/art_46143_9750343.html). [Jiangsu Provincial People's Government, Anhui Provincial People's Government. Development Planning of Nanjing Metropolitan Area[N/OL]. (2021-03-22) [2023-08-19]. [http://www.jiangsu.gov.cn/art/2021/4/16/art\\_46143\\_9750343.html](http://www.jiangsu.gov.cn/art/2021/4/16/art_46143_9750343.html).]
- [41] 吴波, 张妍妮. 南京都市圈区域一体化高质量发展研究[J]. *中国国情国力*, 2022, (12): 34-39. [Wu B, Zhang Y N. Research on high-quality development of regional integration in Nanjing Metropolitan Area[J]. *China National Conditions and Strength*, 2022, (12): 34-39.]
- [42] 尹海伟, 孔繁花. 城市与区域规划空间分析实验教程[M]. 南京: 东南大学出版社, 2018. [Yin H W, Kong F H. *Lab Manual for Spatial Analysis in Urban and Regional Planning*[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2018.]
- [43] 李鹏, 李晨阳, 沈梦婷, 等. 自然保护区旅游承载力多情景核算: 以云南泸沽湖为例[J]. *资源科学*, 2022, 44(3): 620-633. [Li P, Li C Y, Shen M T, et al. Multi-scenario accounting of tourism carrying capacity in nature protected areas: Taking the Lugu Lake Nature Reserve in Yunnan as a case[J]. *Resources Science*, 2022, 44(3): 620-633.]
- [44] 毕玮, 党小虎, 马慧, 等. “藏粮于地”视角下西北地区耕地适宜性及开发潜力评价[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(7): 235-243. [Bi W, Dang X H, Ma H, et al. Evaluation of arable land suitability and potential from the perspective of “Food Crop Production Strategy Based on Farmland Management” in northwest China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(7): 235-243.]
- [45] 秦昆, 喻雪松, 周扬, 等. 全球尺度地理多元流的网络化挖掘及关联分析研究[J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24(10): 1911-1924. [Qin K, Yu X S, Zhou Y, et al. Networked mining and association analysis of geographical multiple flows at a global scale[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2022, 24(10): 1911-1924.]
- [46] 罗桑扎西, 甄峰, 张姗姗. 复杂网络视角下的城市人流空间概念模型与研究框架[J]. *地理研究*, 2021, 40(4): 1195-1208. [Luo S Z X, Zhen F, Zhang S Q. A conceptual model and methodological framework for examining urban people flow space based on complex network perspective[J]. *Geographical Research*, 2021, 40(4): 1195-1208.]
- [47] 刘瑜, 姚欣, 龚咏喜, 等. 大数据时代的空间交互分析方法和应用再论[J]. *地理学报*, 2020, 75(7): 1523-1538. [Liu Y, Yao X, Gong Y X, et al. Analytical methods and applications of spatial in-

2023年12月

- teractions in the era of big data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(7): 1523–1538.]
- [48] 南京市人民政府. 南京都市圈2022年度工作要点“圈”定“8+2”城市将共建“统一市场”[N/OL]. (2022-05-23) [2023-08-19]. [https://www.nanjing.gov.cn/njxx/202205/t20220523\\_3424304.html](https://www.nanjing.gov.cn/njxx/202205/t20220523_3424304.html). [Nanjing Municipal People's Government. Nanjing Metropolitan Area 2022 Annual Work Points "Circle" Set "8+2" City Will Build a "Unified Market" [N/OL]. (2022-05-23) [2023-08-19]. [https://www.nanjing.gov.cn/njxx/202205/t20220523\\_3424304.html](https://www.nanjing.gov.cn/njxx/202205/t20220523_3424304.html).]
- [49] Wall R, van der Knaap B. Sectoral differentiation and network structure within contemporary worldwide corporate networks[J]. *Economic geography*, 2011, 87(3): 267–308.
- [50] 管若尘, 甄峰, 席广亮, 等. 基于手机APP的居民线上行为空间分布特征研究: 以南京中心城区为例[J]. *人文地理*, 2022, 37(5): 89–96. [Guan R C, Zhen F, Xi G L, et al. Research on the spatial distribution characteristics of residents' online behavior based on mobile app: A case study of Nanjing central block[J]. *Human Geography*, 2022, 37(5): 89–96.]
- [51] 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[J]. *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 ecommerce express logistics network in the three major urban agglomerations of China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(8): 1398–1408.]
- [52] 安俞静, 刘静玉, 乔墩墩. 中原城市群城市空间联系网络格局分析: 基于综合交通信息流[J]. *地理科学*, 2019, 39(12): 1929–1937. [An Y J, Liu J Y, Qiao D D. Urban spatial connection and network structure in Zhongyuan Urban Agglomeration: A study based on integrated traffic and information flow[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(12): 1929–1937.]
- [53] Wei B, Li Y, Suo A, et al. Spatial suitability evaluation of coastal zone, and zoning optimisation in Ningbo, China[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2021, DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105507.
- [54] 肖攀, 彭轲, 赵幸悦子, 等. 长江中游岸线资源与开发利用适宜性评价分析[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(4): 788–798. [Xiao P, Peng K, Zhao X Y Z, et al. Evaluation and analysis on suitability of development and utilization of the bank line resources in the middle reaches of Yangtze River[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(4): 788–798.]
- [55] 李维航, 张高军, 陈森, 等. 粤港澳大湾区旅游竞争力与城市化的耦合协调度及其对地方经济的影响[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(3): 701–717. [Li W H, Zhang G J, Chen S, et al. The coupling coordination between tourism competitiveness and urbanization and its impact on local economy[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(3): 701–717.]
- [56] 杨庆媛, 张浩哲, 唐强. 基于适应性循环模型的重庆市国土空间生态修复分区[J]. *地理学报*, 2022, 77(10): 2583–2598. [Yang Q Y, Zhang H Z, Tang Q. Ecological restoration zoning of territorial space in Chongqing City based on adaptive cycle model[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(10): 2583–2598.]
- [57] 江东, 林刚, 付晶莹. “三生空间”统筹的科学基础与优化途径探析[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(5): 1085–1101. [Jiang D, Lin G, Fu J Y. Discussion on scientific foundation and approach for the overall optimization of "Production–Living–Ecological" space[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5): 1085–1101.]
- [58] 农宵宵, 吴彬, 陈铁中, 等. 基于“三生”功能的柳州市国土空间适宜性评价[J]. *规划师*, 2020, 36(6): 26–32. [Nong X X, Wu B, Chen T Z, et al. Evaluation of national land use and space for functions of "Production, Life, Ecology", Liuzhou[J]. *Planners*, 2020, 36(6): 26–32.]

## Suitability evaluation of territorial space development from the perspective of “form–flow integration”: A case study of the Nanjing Metropolitan Area

YANG Fan<sup>1</sup>, XI Guangliang<sup>1,2</sup>, ZHEN Feng<sup>1,2</sup>, HAI Xiaodong<sup>3</sup>

(1. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Jiangsu Smart City Research Base, Nanjing 210093, China; 3. Smart Steps Digital Technology Co. Ltd., Beijing 100032, China)

**Abstract: [Objective]** The rapid advancements in information technology and transportation have greatly augmented the influence of flow elements on shaping spatial patterns. The integration of flow elements with geospatial morphological elements is gaining significance in optimizing

territorial spatial planning. This study aimed to explore the approaches and methodologies for assessing the suitability of territorial space development by integrating forms and flows, which may provide essential support for the optimizing of territorial spatial patterns. **[Methods]** In this study, we employed mobile signaling data, geospatial data, and other diverse information sources to develop an evaluation indicator system known as “form-flow integration”. This system was designed to assess the suitability of territorial space development. Spatial overlay, *k*-means clustering, and hierarchical analysis methods were used to perform an integrated evaluation of the suitability of territorial space development in the Nanjing Metropolitan Area. **[Results]** (1) The territorial space development suitability in the Nanjing Metropolitan Area shows distinct characteristics of concentrated agglomeration around a single center and spatial differentiation. Suitable regions are primarily concentrated in the urbanized areas of Nanjing-Ma’anshan-Chuzhou and Nanjing-Zhenjiang-Yangzhou, as well as the Jinshan District and Liyang City of Changzhou. On the contrary, the regions that are not suitable are predominantly situated in Chuzhou, Ma’anshan, and Xuancheng. (2) The evaluation findings pertaining to the geospatial morphological elements indicate that Nanjing City functions as the central hub of the metropolitan area, while multiple city center areas serve as diverse high development suitability hubs. This exemplifies a spatial distribution characteristic known as “one core and multiple poles”. Geospatial morphological elements play a pivotal role in the development of territorial space. (3) The evaluation results of flow elements partially depict the genuine dynamic characteristics of the territorial spatial structure, thereby unveiling a spatial pattern characterized by a “core-periphery” nature. There are substantial variations in the development suitability of Nanjing, Chuzhou, and Xuancheng Cities. The existence of a significant “siphon effect” in Nanjing City, along with persistent administrative obstacles across different regions, is apparent. **[Conclusion]** This study contributes to the advancement of evaluating the suitability of territorial space development by integrating “form” and “flow” elements. The evaluation method for development suitability is optimized, with regional functionality as the central focus. Additionally, this study proves the applicability of the new method at the scale of metropolitan area, which provides theoretical reference for the optimization of territorial spatial pattern in metropolitan area.

**Key words:** space of flows; form-flow integration; territorial space development; suitability evaluation; Nanjing Metropolitan Area