

破碎化分析视角的工业用地空间绩效* ——以上海市闵行区为例

The Spatial Performance of Industrial Land Distribution from the Perspective of Fragmentation Analysis: A Case Study of Minhang District in Shanghai

杨帆 陶沛宏 郭长升 沈珏琳 YANG Fan, TAO Peihong, GUO Changsheng, SHEN Juelin

摘要 选择边缘城市化地区探索工业用地空间分布“破碎化”分析方法,通过用地破碎综合指数表征研究范围内工业用地空间绩效,为识别亟待更新的空间单元和采取差异化的规划策略提供借鉴。采用景观格局分析方法和熵值TOPSIS方法对上海市闵行区工业用地权籍数据进行分析,发现:(1)采用熵值TOPSIS方法构建综合多种因素的工业用地斑块破碎综合指数模型,可以定量表征街镇单元工业用地空间分布“破碎化”程度;(2)闵行区各街镇工业用地“破碎化”程度相差较大,用地破碎综合指数(FI)的变化趋势揭示街镇采取了不同的转型策略;(3)闵行区的工业用地空间分布具有典型的边缘城市化地区特征,用地空间分布“破碎化”分析揭示了用地布局的空间绩效内涵。结果表明,在同级行政单元间比较工业用地斑块破碎综合指数(ILP-FI),可形成用地“破碎化”程度评价。破碎综合指数的高低为针对性提出转型更新规划策略提供支撑,也为检验规划对策的有效性提供路径,并对国土空间规划的编制具有支撑作用。

Abstract The purpose of this paper is to explore a fragmentation analysis methodology on industrial land distribution in peri-urban area, quantifying the spatial performance of industrial land within research area by a comprehensive index of land fragmentation, in order to provide references for identifying space units that need to be transformed and adopting differentiated planning strategies. The methods of landscape pattern analysis and entropy-TOPSIS are employed in this paper. The results show that: (1) The comprehensive index model of industrial land fragmentation, which is constructed by entropy TOPSIS method, can quantitatively characterize the fragmentation degree of spatial distribution of industrial land; (2) The fragmentation degree of industrial land in every town and Jiedao of Minhang District in Shanghai is quite different, and the changing trend of the comprehensive index of land fragmentation reveals that they have adopted different transformation strategies; (3) The spatial distribution of industrial land in Minhang District has typical characteristics of a peri-urban area, and the land fragmentation analysis reveals the spatial performance connotation of land spatial distribution. In conclusion, it points out that the comprehensive index of industrial land fragmentation can be compared among administrative units at the same level, and the degree of land fragmentation can be evaluated. The level of fragmentation index provides support for putting forward the transformation strategy and regeneration planning, and also provides a path to test the effectiveness of planning strategy.

关键词 工业用地;空间分布;空间绩效;破碎化分析;边缘城市化地区;上海市

Key words industrial land-use; spatial distribution; spatial performance; fragmentation analysis; peri-urban areas; Shanghai

文章编号 1673-8985 (2021) 03-0088-10 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20210312

作者简介

杨帆

同济大学建筑与城市规划学院
副教授,博士生导师, fanyangsh@tongji.edu.cn

陶沛宏

同济大学建筑与城市规划学院
硕士研究生

郭长升

上海市闵行区规划设计研究院有限公司 工程师
同济大学建筑与城市规划学院 硕士研究生

沈珏琳

同济大学建筑与城市规划学院
硕士研究生

0 引言

当前,城市发展进入存量挖潜阶段。在各类用地中,工业用地闲置低效情况格外突出^[1],这与工业用地一直以来的供给和配置方式有关。因其不仅影响企业的全要素生产率,而且影响地方政府财税收入^[2]。所以,出于最大限度

*基金项目:国家自然科学基金项目“城乡工业用地空间绩效评价及转型更新机理研究”(编号51778436)资助。

获取地方可支配财税能力的目的,地方政府在“招商引资”中并不严格遵循级差地租和价格规律,而是采用灵活的土地出让策略^[3-4]。工业用地出让受生产企业影响相对较小,实际主要受晋升激励机制影响,相应的土地管理制度也始终支持这一倾向^[5-7]。地方政府对土地财政和招商引资的双重依赖和偏好导致过度供给,以致工业用地规模失控^[8-9]。

工业用地的过度供给和低效利用在“边缘城市化地区”(peri-urban area) 尤其突出^[10]。其原因在于,基层政府干预、集体经济组织、民营经济力量在这一地区共同发挥作用,持续争夺以用地为核心的发展权^[11];用地权属、空间功能、政策措施等始终处于激烈的冲突、碰撞和重构过程之中^[12],规划和土地管理机制也存在极大的弹性和不确定性^[13];各类工业园区、居住区与农村居民点、乡镇工业相伴而生,工业用地对其他类型用地产生明显的“挤压”效应,造成“物质、权属、政策”3方面的空间破碎^[14]。

针对工业用地分布的“破碎化”分析正在逐步形成。用地分布“破碎化”分析是对生态和景观格局“破碎化”分析方法和技术手段的借用和延伸,有助于从更为综合和全面的空间视角研究城市化地区^[15]^[3284]。它不同于针对工业地块“投入—产出”经济效率的研究,也不同于根据地区差异性、发展阶段、经济水平等因素而开展的工业用地利用绩效研究^[16-17]。用地“破碎化”研究不仅适用于针对用地分布地理状况的分析,同样适用于关于土地产权、功能分区、经济发展、社会结构、生态系统以及多种类型土地利用空间格局等研究主题,并能够帮助揭示用地分布格局本身的社会经济含义、职住空间关系、产业结构特征等,进而为空间绩效评价奠定基础^[18]^[705-706],^[19]^[84],^[20]^[1878]。

空间绩效是空间资源配置的效用,是衡量用地分布、集聚而形成空间布局关系和结构特征所带来的品质水平,不同于经济绩效^[21]。空间绩效评价包括用地空间分布是否对城市空间产生积极影响的内容。工业用地的空间分布既是城市阶段性发展的结果,也对随后的发

展产生重要影响。工业用地空间分布特征的变迁,会给城市或局部地区带来空间绩效的变化。因此,对工业用地分布的绩效研究不仅与城市空间规划目标紧密相关,而且对城市空间单元破碎化、空间联系弱化和整体功能下降的刻画、测度分析有助于形成改善空间绩效的发展策略^[22]。

既有针对工业用地分布“破碎化”状况的研究以定性描述为主,还没有更多可靠的定量方法;在尝试开展定量“破碎化”的研究中,又常常缺少相对综合的视角。本文选择上海边缘城市化地区闵行区,针对工业用地分布“破碎化”及演进特征开展创新性的综合定量分析;通过对多个空间单元相对“破碎”关系的评价分析,为规划和转型更新提供建设性意见;通过工业用地分布综合破碎分析揭示用地布局的空间绩效内涵。

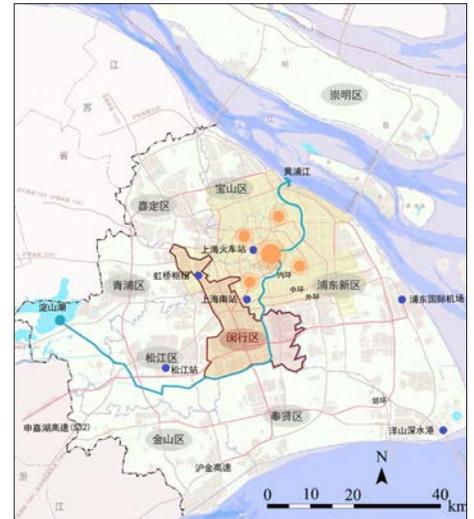
1 研究区域概况

闵行区位于上海市中心城区西南,该区总面积372.6 km²,占上海市域的5.9%。2014年闵行区各类建设用地已达285.4 km²,占全区总面积的76.6%,其中城镇建设用地达257.9 km²;工业用地总面积86.7 km²,占全部建设用地的30.4%。闵行区工业开发历史较早,集聚了上海多个发展时期的重要工业企业,包含多种工业用地和工业园区类型。在上海市通过工业用地减量化和工业项目转型政策引导工业用地向产业区块集聚的背景下,以闵行区为研究对象对分析工业用地空间格局及其变化具有重要意义^[23]。

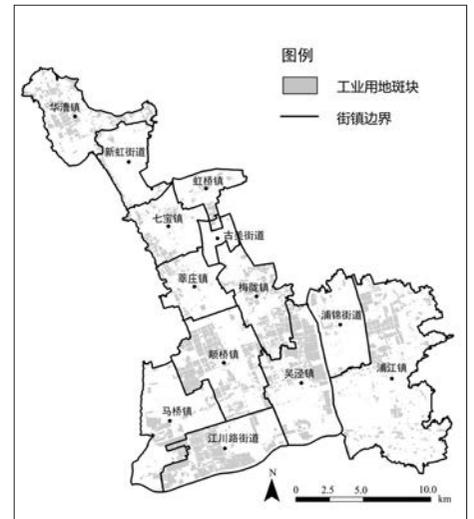
2019年,闵行区下辖9个镇、4个街道和1个独立莘庄工业园区。街道、镇是上海市最基层行政管理层级,对辖区内土地利用管理拥有一定权限,财税体制上既有向上级负责的要求也有自我发展的诉求。闵行区是较为典型的大都市边缘城市化地区,部分地区涉及上海主城区与主城片区(见图1a)。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及预处理



a 上海市闵行区区位图



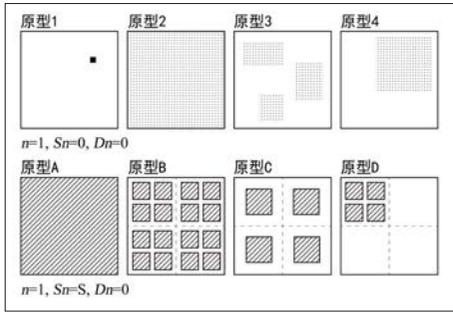
b 闵行区街镇示意图

图1 上海市闵行区区位及街镇示意图

Fig.1 Location and administrative division of Minhang District, Shanghai

资料来源:笔者自绘。

采用2014年工业用地权籍图,去除违法用地和已批未供用地部分作为基础数据。结合2019年现场调研情况,去除已发生转型的工业用地,作为2019年工业用地斑块(ILP)现状数据。采用《2016年闵行统计年鉴》公布的2015年上海市闵行区街镇行政区划作为空间单元划分,其中原浦江镇分为现浦江镇和浦锦街道两部分。将莘庄工业区归入颛桥镇范围(见图1b)。在用地权籍信息的图斑预处理中采用如下方法。



注：图中深色点或方块代表工业用地图斑（ILP）。

图2 用地斑块“破碎化”的基本原型

Fig.2 Space prototype of land patch-work fragmentation
资料来源：笔者自绘。

首先，对基础数据进行图斑归集，将相邻的工业用地图斑（ILP）进行合并处理。不同生产企业共享地籍边界，以及服务于厂区或园区的低等级市政路网、合理的绿化隔离带等因素都给用地图斑的识别带来误差。具体合并方法为，将市政道路和绿地之外的用地类型设置为障碍要素，设置聚合距离为50 m，利用Arc GIS10.6“聚合面”（aggregate polygons）工具处理；同时去除面积小于50 m²的图斑。其次，将各街镇工业用地矢量数据转化为栅格数据。根据区域土地面积变化评价指数模型^[24]，比较不同像元尺寸（cell size）下工业用地斑块（ILP）面积情况。选择将矢量数据转化为像元尺寸为“5 m×5 m”的栅格数据，尽可能减少用地图斑栅格边界与实际用地边界无法重合所产生的面积误差^[25]。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用分布格局“破碎化”与空间绩效

受相关研究启发，用地分布空间格局可采用景观生态“斑块”破碎分析方法开展。因此，研究中用地图斑的“破碎化”是对工业用地分布状态的表述，包括3个含义：（1）工业用地在研究区域内分布数量较大，而非零星存在；（2）工业用地的集中分布与分散分布对研究区域空间格局有明显影响；（3）每一块工业用地斑块的大小和形状也对研究区域空间格局有明显影响（见图2）。因此，工业用地分布“破碎化”程度受研究区域内工业

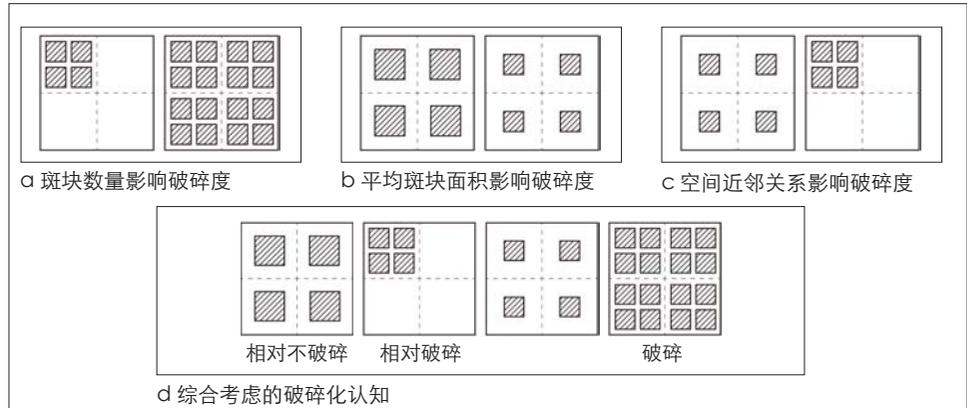


图3 多元空间指标对用地斑块破碎评价的影响

Fig.3 The impact of multi-spatial index on the fragmentation evaluation of land-use patch-work

资料来源：笔者自绘。

表1 土地利用破碎分析主要指数及含义

Tab.1 The main index and meanings of land-use fragmentation analysis

指数名称	单位	指数含义
斑块密度 (PD)	个/km ²	反映研究范围用地斑块的数量。该值越大，表示用地斑块越多，用地相对破碎度越大
平均斑块面积 (MPS)	hm ²	反映用地斑块平均大小。该值越大，用地完整度越好，用地相对破碎度越小
平均最近距离 (MND)	m	反映用地斑块与各自最近的斑块之间距离的平均值。值越小，表示斑块之间越近邻，整体破碎度相对越小

资料来源：笔者自制。

用地斑块（ILP）的密度、面积和离散程度的共同影响（见图3）。工业用地分布“破碎化”（fragmentation）是描述工业用地空间布局特征的一个新视角，可用来表征其空间绩效。

由于工业用地在城市建成区存在分布过于分散、某些用地斑块规模细小两个重要特征，并由此带来不良环境影响和复杂交通职住关系，因此给地区功能完善和提升带来障碍，导致再开发利用困难等。减弱其“破碎化”程度则体现提高空间绩效的价值导向，并能够通过规划引导予以实施。运用Fragstats软件对用地图斑栅格数据进行空间特征分析^{[15]3286, [18]706, [19]86, [20]1879-1880}，选择用地斑块密度（PD）、平均斑块面积（MPS）和平均最近距离（MND）3个基本指数，作为计算工业用地斑块破碎综合指数的基础（见表1）。其中，工业用地斑块密度和平均最近距离与用地“破碎化”有正相关关系，其值越大则工业用地空间绩效越低；相反，平均斑块面积与用地“破碎化”有负相关关系，斑块面积的增大有利于提高工业用地空间绩效。

2.2.2 熵值法确定指数权重

综合分析需要对3个基本空间指数赋予权重。熵值法通过指数项的数列分布特征确定指数项的权重，能够消除主观因素影响^[26]。针对闵行区13个街镇单元构建综合分析矩阵：

$$X = (x_{ij})_{n \times m} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中： $n=13$ ，对应闵行区13个街镇单元； $m=3$ ，对应3个指数PD、MPS和MND（见表1）。3个基本空间指数计算结果不能直接采用综合模型运算，需先进行标准化处理^[27]，将数值控制在[0, 1]范围。

$$S_{ij} = \frac{\ln x_{ij} - \min(\ln x_j)}{\max(\ln x_j) - \min(\ln x_j)} \quad (2)$$

式中： S_{ij} 为街镇*i*的*j*指数的标准化处理结果； x_{ij} 为街镇*i*的*j*指数值； $\max(\ln x_j)$ 为指数*j*数列的最大值的对数； $\min(\ln x_j)$ 为指数*j*数列的最小值的对数。由于MPS指数数列的变化趋势与破碎化程度的变化趋势相反，需对这个指数先取倒数

表2 闵行区街镇单元工业用地斑块空间指数计算结果 (2014年)
Tab.2 The results of ILP spatial index at town level in Minhang, 2014

行政区	辖域面积 /km ²	工业用地面积 /km ²	工业用地比例/%	PD (个/km ²)	MPS hm ²	MND m
浦江镇	78.65	14.03	17.84	4.42	4.25	87.74
颛桥镇	39.21	15.14	38.60	2.83	14.48	54.04
吴泾镇	37.64	14.38	38.20	3.24	12.34	49.76
马桥镇	33.63	5.21	15.50	2.94	5.54	65.83
江川路街道	30.27	12.09	39.92	2.77	15.26	53.99
华漕镇	28.18	7.65	27.16	5.71	4.88	57.90
梅陇镇	25.47	7.77	30.51	5.22	6.43	43.38
浦锦街道	23.30	1.30	5.59	3.39	1.69	111.00
七宝镇	18.11	3.03	16.76	4.91	3.60	60.55
新虹街道	19.22	1.16	6.02	3.12	1.97	57.05
莘庄镇	19.45	2.44	12.54	2.88	4.58	129.50
虹桥镇	12.81	2.25	17.56	3.12	6.08	76.51
古美街道	6.74	0.27	4.06	1.19	1.20	382.00
均值	28.67	6.67	20.79	3.52	6.33	94.56
全区整体水平 ^②	372.68	86.72	23.27	3.46	7.11	68.63

资料来源:笔者自制。

再计算。标准化处理后的3个基本空间指数 (用SPD、SMPS、SMND表示) 均位于“0至1数值”区间。

针对综合分析矩阵X,通过公式 (3) 和公式 (4) 计算3个基本空间指数的信息熵,并通过公式 (5) 计算各指数的权重。

$$P_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_{ij}} \quad (3)$$

$$H_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

$$W_j = \frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^m H_j} \quad (5)$$

式中: p_{ij} 为指数 j 下街镇 i 占该指标的比重; H_j 为指数 j 的信息熵值; n 为街镇个数; S_{ij} 为前文中街镇 i 指标 j 的标准化结果。其中 W_j 为指数 j 的权重; m 为所需引入指数的数量。

2.2.3 TOPSIS法获得工业用地斑块破碎综合指数

将上述熵权法获得的权重对3个基本空间

指数的标准化结果进行加权,得到加权后的综合分析矩阵R:

$$R = (r_{ij})_{n \times m} \quad (6)$$

$$r_{ij} = x_{ij} \times W_j \quad (i=1,2,\dots,n;j=1,2,\dots,m) \quad (7)$$

令指数 j 的最优解 S_j^+ 为加权矩阵R中加权后的指数 j 中的最大值,最劣解 S_j^- 为加权矩阵R中加权后的指数 j 中的最小值。最优解指用地图斑最破碎的情况,最劣解为用地图斑最不破碎的情况。进而,运用公式 (8) 和公式 (9) 计算各街镇工业用地斑块 (ILP) 破碎化指数与最优解 (最破碎) 和最劣解 (最不破碎) 的欧式距离。

$$Sep_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (S_j^+ - r_{ij})^2} \quad (8)$$

$$Sep_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (S_j^- - r_{ij})^2} \quad (9)$$

式中: Sep_i^+ 为各街镇工业用地斑块破碎化

指数与最破碎情况的欧式距离; Sep_i^- 为各街镇工业用地斑块破碎化指数与最不破碎情况的欧式距离。

采用公式 (10),计算各街镇工业用地破碎程度:

$$FI_i = \frac{Sep_i^-}{Sep_i^+ + Sep_i^-} \quad (10)$$

式中: FI_i 为街镇的工业用地斑块破碎综合指数 (ILP-FI)。以此反映各街镇工业用地分布相对的空间“破碎化”状况。

3 数据输出及分析

3.1 工业用地斑块 (ILP) 分项空间指数计算结果

闵行区13个街镇^①的3个空间指数都存在较大差异 (见表2)。

3.1.1 工业用地斑块密度特征 (PD)

在其他变量相同的情况下,工业用地斑块 (ILP) 密度指数PD数值越大则工业用地分布越破碎。计算结果显示,古美街道PD值最小,为1.19;华漕镇PD值最大,为5.71;闵行区整体水平为3.46。其中,4个街镇的指数高于整体水平,工业用地空间分布相对于其他9个街镇较为破碎 (见表2,图4a-图4b)。

3.1.2 工业用地平均斑块面积特征 (MPS)

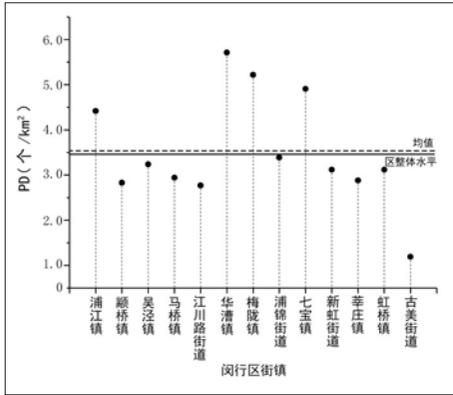
在斑块数量相同的情况下,平均斑块面积越小则用地越破碎。计算结果显示,古美街道内工业用地MPS值最小,为1.20 hm²;江川路街道MPS值最大,为15.26 hm²;闵行区整体水平为7.11 hm²。其中,10个街镇的指数低于整体水平,工业用地空间分布相对于其他3个街镇较为破碎 (见表2,图4c-图4d)。

3.1.3 工业用地斑块平均最近距离特征 (MND)

平均最近距离MND指数越大则用地越破碎。计算结果显示,古美街道MND值最高,为382.00 m;梅陇镇MND值最低,为43.38 m;闵行区整体水平为68.63 m。其中,5个街镇指数高于整体水平,工业用地空间分布相对其他8个街镇较为破碎 (见表2,图4e-图4f)。

注释: ① 街镇信息来源:上海民政局官方网站, <http://www.shmzj.gov.cn/gb/shmzj/node6/node34/u1ai43816.html>; 国家民政部官方网站, <http://www.mca.gov.cn/article/sj/tjzb/a/2015/below/201602/20160200880232.htm1>。

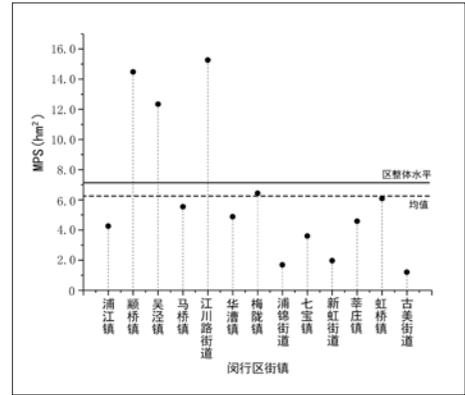
② “全区整体水平”是指将闵行全区视为1个分析单元的空间指数计算结果。



a 斑块密度指数分布特征



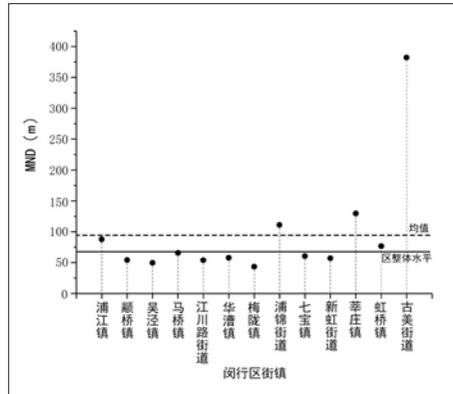
b 依整体水平分组情况



c 平均斑块面积分布特征



d 依整体水平分组情况



e 平均最近距离分布特征



f 依整体水平分组情况

图4 闵行区各街镇工业用地斑块单一空间指数特征分析

Fig.4 The spatial index characteristics of ILP at town level in Minhang

表3 闵行区各街镇工业用地斑块破碎综合指数计算结果(2014年)

Tab.3 The ILP-FI result of each town in Minhang, 2014

行政区/统计范围	S_{PD}	S_{MPS}	S_{MND}	最优距离	最劣距离	FI
古美街道	0.0000	1.0000	1.0000	0.1346	0.6231	0.8224
浦锦街道	0.6681	0.8666	0.4319	0.3000	0.3867	0.5631
莘庄镇	0.5640	0.4738	0.5028	0.3210	0.3169	0.4968
浦江镇	0.8373	0.5025	0.3238	0.3903	0.2673	0.4065
新虹街道	0.6153	0.8044	0.1260	0.4589	0.3003	0.3956
七宝镇	0.9040	0.5679	0.1533	0.4623	0.2459	0.3473
虹桥镇	0.6158	0.3621	0.2608	0.4447	0.2025	0.3129
华漕镇	1.0000	0.4481	0.1327	0.4871	0.2176	0.3088
马桥镇	0.5780	0.3982	0.1918	0.4704	0.1877	0.2852
梅陇镇	0.9426	0.3401	0.0000	0.5651	0.1739	0.2353
吴泾镇	0.6394	0.0834	0.0631	0.5819	0.0965	0.1423
颛桥镇	0.5532	0.0207	0.1011	0.5795	0.0912	0.1359
江川路街道	0.5404	0.0000	0.1006	0.5842	0.0894	0.1327
均值	—	—	—	—	—	0.3527
闵行区整体水平	0.6801	0.3004	0.2109	0.4768	0.1768	0.2705
闵行区内的“104区块” ^③	-0.5340	-0.2873	-0.0495	0.6375	0.0000	0.0000

资料来源:笔者自制。

资料来源:笔者自绘。

3.1.4 依单一指数进行工业用地斑块“破碎化”判断

单一空间指数所得出的工业用地斑块(ILP)空间分布“破碎化”程度的排序相互之间并不一致。比较3个空间指数的排序,指数均处于相对“破碎”状态的只有浦江镇,指数均处于相对不“破碎”状态的有颛桥镇、吴泾镇和江川路街道。其余街镇的各项指数分布规律不明显。可见,依据任何单一指数,都不足以判定各街镇工业用地斑块(ILP)空间分布“破碎化”程度的高低之分(见图5),需要进行综合分析。

3.2 工业用地斑块破碎综合指数计算结果及分析

3.2.1 破碎综合指数计算结果

熵值法的计算结果显示, S_{PD} 、 S_{MPS} 、 S_{MND}

注释: ③上海市规划工业区块共104个,简称为“104区块”;本文数据分析中的“104区块”为闵行区内的规划工业区块。将闵行区工业用地“104区块”作为比照组。因其斑块密度PD和平均最近距离MND低于所有街镇,平均斑块面积MPS大于所有街镇,在相应的数据集中处于“外溢”状态,故令其在各指标下的最优距离为指标最优解和最劣解间的距离,最劣距离为0。

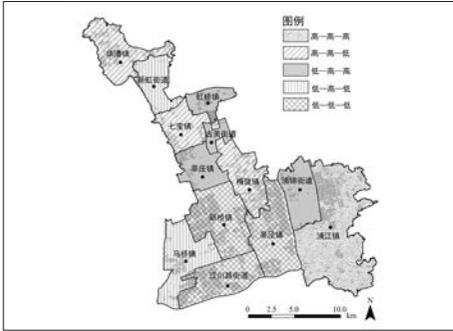


图5 依单一指数的工业用地“破碎化”定性分析结果
Fig.5 Qualitative analysis of ILP-fragmentation based on single spatial metric

资料来源:笔者自绘。

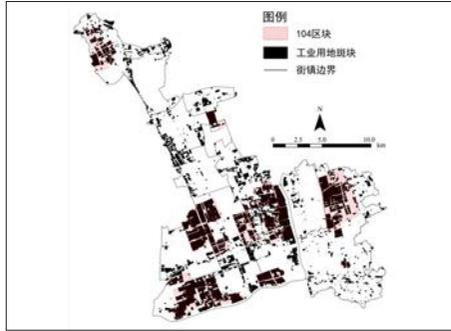
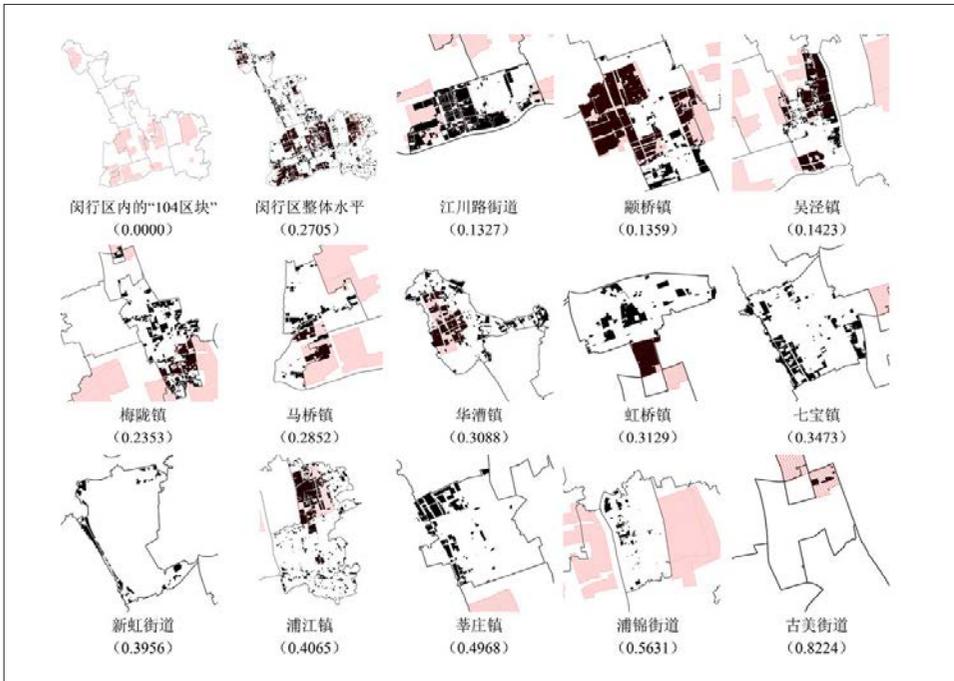


图6 闵行区工业用地斑块和“104区块”分布图
Fig.6 The spatial distribution of ILP and “104” industrial clusters in Minhang

资料来源:笔者自绘。

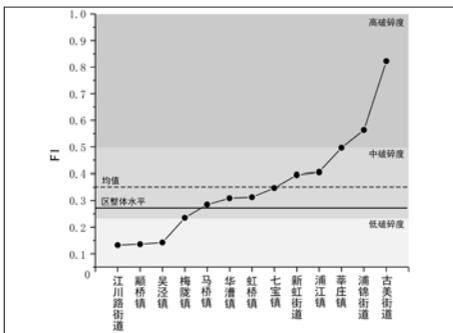


注:图例同图6,阴影部分为“104区块”范围;括号内为FI指数。

图7 闵行区各街镇工业用地斑块破碎综合指数排序及斑块特征

Fig.7 Ranking of ILP-FI and corresponding patch-work at town level in Minhang

资料来源:笔者自绘。



a 闵行区各街镇工业用地FI计算结果



b 闵行区各街镇工业用地破碎化分级分布

图8 闵行区各街镇工业用地斑块FI计算结果的分布情况

Fig.8 Diagrams sorted according to ILP-FI of towns in Minghang

资料来源:笔者自绘。

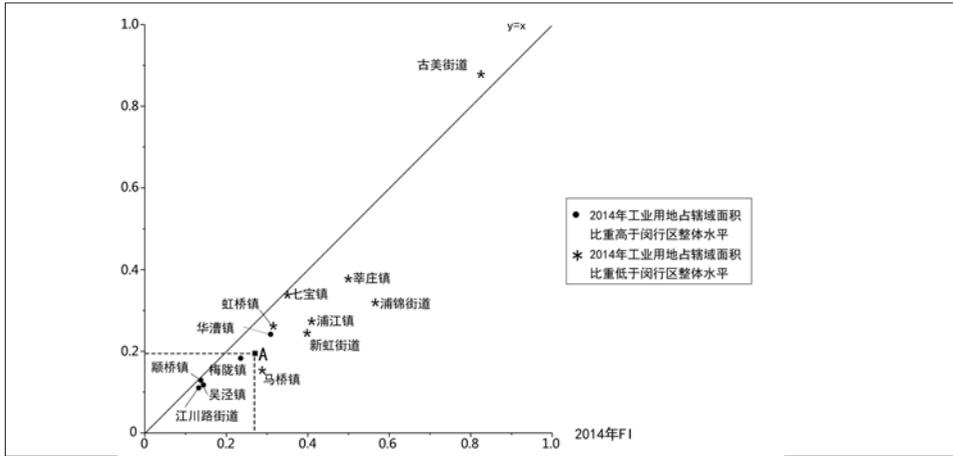
分别应被赋予的权重为0.1346、0.3497、0.5157。 FI 运算结果显示,闵行区13个街镇工业用地斑块(ILP)破碎综合指数均分布在0.1327至0.8224间,且未在 $[0, 1]$ 间呈正态分布。其中,江川路街道的破碎综合指数为0.1327,是最低值;古美街道为0.8224,是最高值;梅陇镇为0.2353、马桥镇为0.2852,两者最接近于闵行区整体水平0.2705(见表3)。

3.2.2 工业用地斑块“破碎化”排序与分级

对13个街镇“破碎综合指数(FI)”进行排序,并与用地图斑比对,可对“破碎化”的工业用地图斑(ILP)特征有直观了解(见图6-图7)。据此绘制指数变化曲线。将工业用地斑块(ILP)破碎情况分为3组(见图8),分别代表闵行区街镇单元内工业用地斑块(ILP)“破碎化”程度相对低、中、高3级的分析结果(见表4)。

3.3 规划实施对工业用地斑块“破碎化”的改善

笔者于2019年对研究范围所有工业用地斑块(ILP)进行了现场核对,对未转型工业用地采用相同方法计算 FI (见表5)。结果显示,2014年至2019年底闵行区工业用地减少了21.87 km²,占工业用地总量的25%左右。与2014年相比,除古美街道 FI 略微增大外,其余街镇 FI 指数均有不同程度的下降。其中,浦锦街道 FI 指数下降最多。在破碎综合指数排序方面,古美街道和江川路街道分别维持着工业用地斑块相对最破碎和最不破碎的街镇单元地位;颛桥镇、梅陇镇、华漕镇、虹桥镇、七宝镇和莘庄镇工业用地斑块破碎度相对位序降低;吴泾镇、马桥镇、新虹街道、浦江镇和浦锦街道工业用地斑块破碎度相对位序提高。这说明过去5年以来,闵行区经历了一轮较大规模的工业用地更新。其中,零星细碎工业用地斑块优先得到转型再开发;工业用地规模占街镇辖区面积比例较大的街镇,不仅原有工业用地斑块破碎综合指数较低,而且保持了低“破碎化”状态;相反,工业用地占比较低的街镇工业用地转型分散,破碎综合指数增大(见图9中点A左下方和右上方几个街镇)。规划及其实施促成工业用地分布密



注：图中A点为2014年、2019年闵行区整体FI水平的交汇点。

图9 闵行区各街镇工业用地斑块FI变化情况

Fig.9 The change of ILP-FI at town level from 2014 to 2019

资料来源：笔者自绘。

表4 闵行区街镇工业用地斑块破碎综合指数分级表

Tab.4 The classification of ILP-FI at town level in Minhang

破碎综合指数分级	街镇单元	FI范围
低	江川路街道、颛桥镇、吴泾镇	$0.0000 < FI < 0.2353$
中	梅陇镇、马桥镇、华漕镇、虹桥镇、七宝镇、新虹街道、浦江镇	$0.2353 \leq FI < 0.4968$
高	莘庄镇、浦江街道、古美街道	$0.4968 \leq FI < 1.0000$

资料来源：笔者自制。

度、面积和距离变化，导致街镇层面工业用地破碎水平变化。以降低工业用地破碎化程度为目标的转型策略，起到了改善街镇治理单元空间绩效的作用。

3.4 基于工业用地斑块破碎综合指数的规划评价

根据工业用地斑块破碎综合指数进行分析 (ILP-FI) 有助于形成相应对策措施。一方面，工业用地破碎综合指数可以帮助识别边缘城市化地区工业用地布局最混乱的治理单元；另一方面，工业用地综合破碎化排序则有助于确定在不同的治理单元所采取的空间规划政策。

以FI指数较高、较低和接近闵行区整体水平3种情况的3个街镇（浦江街道、江川路街道、梅陇镇）为例，比较其工业用地斑块 (ILP) 分布与控制性详细规划的关系可见：浦江街道工业用地比例较低，但是工业用地分布高破碎化，再开发利用难度较大；相应规划策略是将现状工业用地转型开发为其他用地，如商业、

绿地等，同时将零星工业集中，适应街道以居住功能为主的规划定位。江川路街道包含国家级“闵行经济技术开发区”，工业用地破碎化程度较低；相应规划策略是依托开发区划定“104区块”以保留完整的园区。同时，全面转型零星工业用地，极大地降低了破碎综合指数。梅陇镇工业用地破碎度接近于闵行全区整体水平，各类产业形态充分发育，是经济活力地区，工业用地破碎综合指数略有提升。相应规划策略是在工业园区基础上划定两处“104区块”以实现工业集中转型。同时，零散工业用地转型和产业集聚区局部转型活跃，反映出兼顾了对园区集中发展和属地化发展两种工业生产集聚形态（见图10）。

由此可见，经过规划的各级工业园区能够有效降低工业用地分布混乱的状况；如果进一步有财税分享机制支撑，则更能有效解决工业用地以街镇为单元分散分布的现象，改善该地区空间品质。在不设工业园区的街镇，虽然工业用地量大且斑块分布“破碎化”程度较高，

却也为实现城市“功能性”修补、完善市政设施和公共服务设施提供了空间载体。工业用地斑块破碎综合指数 (ILP-FI) 可帮助制定针对性的规划对策。

4 讨论

4.1 用地破碎综合指数与空间“破碎化”现象的关联

工业用地斑块破碎综合指数 (ILP-FI) 定量分析结果并非用地分布空间“破碎化”现象本身。用地空间分布“破碎化”具有相对性，描述用地空间分布“破碎化”状况的空间原型 (space prototype) 尚待进一步明确。工业用地破碎综合指数与用地分布经验认知的对应关系需要基于更多的实证研究才能建构起来。同时，由于存在地区发展差异，工业用地在不同地区或不同空间尺度下可能呈现出不同的分布“破碎化”特征。因此，用地破碎综合指数的计算与地域和空间单元的限定密切相关，也与分析输出结果所对应治理主体的意愿密切相关。同时，也需进一步进行经验认知的验证。

4.2 工业用地空间绩效内涵再认知

工业用地空间分布受地方政府财税体制、土地管理制度、工业投入产出、土地利用效率、就业规模等因素的综合影响，又与用地权属、转型意愿、产业门类等因素存在关联。因此，工业用地空间分布的“破碎化”反映了不同空间单元社会经济运行过程的差异。这一现象在边缘城市化地区尤为突出，集体与国有建设用地相互混杂的权属情况进一步加剧了空间破碎化情况^[26]。

基于此，对工业用地空间分布“破碎化”特征进行的定量分析，实际上揭示的是空间分布格局背后的经济社会机理；既不同于社会绩效、经济绩效和生态绩效，也不同于计算地均“投入—产出”的土地利用效率；可以表述为“空间（性）绩效”。它是针对用地分布格局和空间关系特征所开展的分析，试图揭示蕴含在空间格局背后的功能和资源配置效用水平。工



注：a、b、c中红色阴影部分为“104区块”，浅灰色部分为2014—2019年间发生转型的工业用地。

图10 闵行区工业用地斑块分布破碎综合指数典型街镇的现状图斑与控制比较

Fig.10 Comparison of present ILP and regulatory planning of the typical towns with FI in Minhang

资料来源：笔者自绘。

表5 2014—2019年闵行区各街镇工业用地斑块破碎综合指数变化
Tab.5 Change of ILP-FI at town level in Minhang, 2014-2019

街道名称	2014年工业用地面积/ km ²	2019年工业用地面积/ km ²	工业用地面积变化率/%	2014年FI	2019年FI	位序变化	FI变化
古美街道	0.27	0.19	-29.26	0.8224	0.8725	0	0.0502
浦锦街道	1.30	1.15	-11.55	0.5631	0.3136	2	-0.2495
莘庄镇	2.44	1.17	-52.19	0.4968	0.3719	-1	-0.1249
浦江镇	14.03	10.55	-24.84	0.4065	0.2683	1	-0.1382
新虹街道	1.16	0.33	-71.79	0.3956	0.2393	3	-0.1563
七宝镇	3.03	1.20	-60.36	0.3473	0.3338	-3	-0.0135
虹桥镇	2.25	1.09	-51.36	0.3129	0.2561	-1	-0.0568
华漕镇	7.65	4.74	-38.08	0.3088	0.2414	-1	-0.0673
马桥镇	5.21	4.53	-13.13	0.2852	0.1473	1	-0.1379
梅陇镇	7.77	4.92	-36.69	0.2353	0.1832	-1	-0.0522
吴泾镇	14.38	11.88	-17.34	0.1423	0.1170	1	-0.0252
颛桥镇	15.14	12.24	-19.11	0.1359	0.1295	-1	-0.0065
江川路街道	12.09	10.86	-10.18	0.1327	0.1109	0	-0.0218
区整体水平	86.72	64.85	-25.22	0.2705	0.1945	—	-0.0760

资料来源：笔者自制。

业用地的空间分布是经济、社会、生态等作用机制的结果，并以某种分布格局为空间表征。因此，用地分布格局的绩效既蕴含着对城市空间品质高下取舍的内涵，也蕴含着经济社会影响机制不断优化的内涵。

4.3 工业用地“破碎化”分析的应用

(1) 应用于空间政策评估

从闵行区工业用地斑块破碎综合指数变化的情况来看，街镇层面工业用地空间绩效得到了改善。一方面，高等级产业园区的规划对工业用地分布的“破碎化”有抑制作用。由于工业用地布局受政策性产业区块和街镇一级发展意

愿的共同影响,总体上趋于形成产业园区与地方化发展的适度均衡状态。“104区块”政策对一定范围内工业用地空间分布的“破碎化”有明显的抑制作用。

另一方面,不同时间阶段的工业用地分布“破碎化”分析为规划实施提供了监测与评价路径。通过对比同一行政单元2014年和2019年的工业用地破碎综合指数,发现闵行区零星的、分散分布的工业用地优先得到了转型开发,并且改变了土地利用性质;街镇层级工业用地转型模式的归纳分类具有一定价值。

(2) 应用于国土空间规划编制、实施和监测

用地的“破碎化”分析有助于掌握土地资源本底情况,对“双评价”“双评估”阶段都能够提供基础性支撑,以利于国土空间规划的编制^[29]。其中,工业用地分布的“破碎化”分析,有助于识别问题突出的地区;形成对不同行政单元工业用地使用方式的比较和判断,在空间规划总体框架下形成地区差异化的发展策略。在高“破碎综合指数”地区可以考虑采取多功能性设施的补足,在低“破碎综合指数”地区可以实施整体性产业转型升级、产业空间重构的再工业化发展策略。

此外,用地“破碎综合指数”为国土空间规划前期分析、实施评估和动态监测提供了新的视角和路径。通过对用地现状与规划实施结果开展“破碎化”分析,有助于判断规划方案是否改善了一定空间治理单元内的空间绩效。通过跟踪和实时监测工业用地“破碎化”水平,能够实现引导工业用地空间绩效的不断优化,以及国土空间规划适时调整的需求。

4.4 研究的局限性和后续优化设想

受闵行区13个街镇单元样本量的限制,破碎综合指数(FI)结果中出现了“特殊值”现象。比如,低样本量导致平均近邻距离要素在计算中获得了较高的权重值,古美街道成为工业用地图斑破碎综合指数(ILP-FI)最大的街镇。事实上,古美街道去工业化水平较高,工

业用地比例低且相对分散;破碎综合指数较高可能只在一定程度上反映了工业用地转型的紧迫性。从优化研究的角度,一方面,后续研究中可通过扩大样本量以帮助熵值TOPSOIS方法获得更为恰当的权重分配;另一方面,计算所得FI指数需要进一步与上位政策、区位、禀赋等其他经济社会特征进行综合考虑,以实现更为准确的判断。

此外,企业类型、土地权属、经济活动、社会结构,乃至工业用地上的建设强度、密度、空间模式等因素都需要进一步考虑。如果将这些要素分别与工业用地斑块叠合,将使经济社会和权利关系以空间格局的形式得以显化。随着时间的推移,在不同的发展地区,各类要素基于工业用地斑块的空间格局变化值得进行比较。随着更多具有启发性和规律性的信息的挖掘,空间(性)绩效的内涵将不断得到丰富;并为继续探索社会绩效、经济绩效、生态绩效与空间绩效的关联打下基础。

5 结语

工业用地图斑破碎综合指数(ILP-FI)能有效反映城市化地区工业用地分布的空间绩效特征。用地“破碎综合指数”(FI)不仅可以在同级行政单元间进行比较、排序,从而凸显某类型土地使用空间分布的特征;而且用地“破碎综合指数”较高的地区为开展城市功能性修补提供了前置警示和空间载体。其中,工业用地分布“破碎化”分析还进一步揭示了空间绩效内涵,提供了有效的规划政策建议和实施检验路径。工业用地“破碎综合指数”在被量化计算和比较的同时,用地空间分布“破碎化”现象得到了较全面的剖析,对发现工业用地转型更新的难点和焦点地区,以及提出空间布局优化方案具有支撑作用。

参考文献 References

- [1] 高辉娜. 工业用地对中国城市工业经济增长的贡献[J]. 城市发展研究, 2015, 22(3): 86-92, 100.
GAO Huina. Study on contribution of industrial

land to industrial economic growth in Chinese mainland cities[J]. Urban Development Studies, 2015, 22(3): 86-92, 100.

- [2] 张莉,程可为,赵敬陶. 土地资源配置和经济发展质量——工业用地成本与全要素生产率[J]. 财贸经济, 2019, 40(10): 126-141.
ZHANG Li, CHENG Kewei, ZHAO Jingtao. Land resource allocation and economic development quality: industrial land price and total factor productivity[J]. Finance & Trade Economics, 2019, 40(10): 126-141.
- [3] 林坚,张沛,刘诗毅,等. 基于生产函数的工业用地级差收益研究——以国家级开发区典型企业数据为例[J]. 城市发展研究, 2010, 17(6): 80-85.
LIN Jian, ZHANG Pei, LIU Shiyi, et al. Research on the differential incomes of industrial land based on the production function: a case study of the typical enterprises in state-level development zones[J]. Urban Studies, 2010, 17(6): 80-85.
- [4] 沈体雁,艾国炬,崔娜娜,等. 长江三角洲地区地方政府工业用地出让策略互动行为[J]. 工业技术经济, 2019, 38(11): 47-53.
SHEN Tiyan, AI Guoju, CUI Nana, et al. Interactive behavior of local government industrial land transfer strategy in the Yangtze River Delta[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2019, 38(11): 47-53.
- [5] 赵小凤,刘梦丽,楼佳俊,等. 江苏省工业企业对用地供应方式选择偏好及影响因素——11个地级市1300家企业的调研分析[J]. 中国土地科学, 2019, 33(7): 33-39, 100.
ZHAO Xiaofeng, LIU Mengli, LOU Jiajun, et al. Preferences and influencing factors of enterprises willingness to acquire industrial land based on multiple logistic regression model[J]. China Land Science, 2019, 33(7): 33-39, 100.
- [6] 田文佳,余靖雯,龚六堂. 晋升激励与工业用地出让价格——基于断点回归方法的研究[J]. 经济研究, 2019, 54(10): 89-105.
TIAN Wenjia, YU Jingwen, GONG Liutang. Promotion incentives and industrial land leasing prices: a regression discontinuity design[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(10): 89-105.
- [7] 刘凯. 中国特色的土地制度如何影响中国经济增长——基于多部门动态一般均衡框架的分析[J]. 中国工业经济, 2018(10): 80-98.
LIU Kai. How the land system with Chinese characteristics affects China's economic growth: an analysis based on a multi-sector dynamic general equilibrium framework[J]. China Industrial Economics, 2018(10): 80-98.
- [8] 刘力豪,陈志刚,陈逸. 土地市场化改革对城市工业用地规模变化的影响——基于国内46个大中城市的实证研究[J]. 地理科学进展, 2015, 34(9): 1179-1186.
LIU Lihao, CHEN Zhigang, CHEN Yi. Effects and

- mechanism of market-oriented land reforms on the scale of industrial land use: an empirical study on 46 cities in China[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(9): 1179-1186.
- [9] 王岳龙, 邹秀清. 土地出让: 以地生财还是招商引资——基于居住—工业用地价格剪刀差的视角[J]. *经济评论*, 2016 (5): 68-82.
WANG Yuelong, ZOU Xiuqing. Land transfer in China: to obtain land revenue or attract business and investment?[J]. *Economic Review*, 2016(5): 68-82.
- [10] 何为, 黄贤金. 半城市化: 中国城市化进程中的两类异化现象研究[J]. *城市规划学刊*, 2012 (2): 24-32.
HE Wei, HUANG Xianjin. Incomplete urbanization: a research on China's urbanization[J]. *Urban Planning Forum*, 2012(2): 24-32.
- [11] 杨忍, 陈燕纯, 徐茜. 基于政府力和社会力交互作用视角的半城市化地区工业用地演化特征及其机制研究——以佛山市顺德区为例[J]. *地理科学*, 2018, 38 (4): 511-521.
YANG Ren, CHEN Yanchun, XU Qian. Evolution of rural industrial land use in semi-urbanized areas and its multi-dynamic mechanism: a case study of Shunde District in Foshan City[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(4): 511-521.
- [12] 程哲, 蔡建明, 杨振山, 等. 半城市化地区混合用地空间重构及规划调控——基于成都的案例[J]. *城市规划*, 2017, 41 (10): 53-59, 67.
CHENG Zhe, CAI Jianming, YANG Zhenshan, et al. Spatial reconstruction and planning response for mixed land use in the peri-urban area: a case study of Chengdu[J]. *City Planning Review*, 2017, 41(10): 53-59, 67.
- [13] 张磊, 陈晓琴, 董晓翠, 等. 三生互斥视角下工业用地空间布局优化——以天津市为例[J]. *地理与地理信息科学*, 2019, 35 (3): 112-119.
ZHANG Lei, CHEN Xiaoqin, DONG Xiaocui, et al. Research on spatial layout optimization of industrial land based on mutual exclusion of ecological-production-living spaces in Tianjin[J]. *Geography and Geo-information Science*, 2019, 35(3): 112-119.
- [14] 郭炎, 袁奇峰, 李志刚, 等. 破碎的半城市化空间: 土地开发治理转型的诱致逻辑——佛山市南海区为例[J]. *城市发展研究*, 2017, 24 (9): 15-25.
GUO Yan, YUAN Qifeng, LI Zhigang, et al. Fragmented peri-urban space induced by land development governance transition: taking Nanhai in Foshan City as an example[J]. *Urban Development Studies*, 2017, 24(9): 15-25.
- [15] 车通, 李成, 罗云建. 城市扩张过程中建设用景观格局演变特征及其驱动力[J]. *生态学报*, 2020, 40 (10): 3283-3294.
CHE Tong, LI Cheng, LUO Yunjian. Changes in landscape pattern of built-up land and its driving factors during urban sprawl[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(10): 3283-3294.
- [16] 袁玉玺, 马利, 仝德, 等. 工业用地集约利用的差异化分区研究——以海南省沿海12个市县为例[J]. *地域研究与开发*, 2019, 38 (2): 133-138.
YUAN Yuxi, MA Li, TONG De, et al. Management zoning of industry land intensive use: taking twelve cities and counties along the coast of Hainan Province as examples[J]. *Areal Research and Development*, 2019, 38(2): 133-138.
- [17] 范胜龙, 张莉, 曾在森, 等. 不同经济发展水平地区开发区土地集约利用的影响因素研究——以福建省为例[J]. *中国土地科学*, 2017, 31 (6): 51-58.
FAN Shenglong, ZHANG Li, ZENG Zaisen, et al. Factors influencing land intensive use of development zone in regions with different levels of economic development: a case study in Fujian Province[J]. *China Land Sciences*, 2017, 31(6): 51-58.
- [18] 吴箐, 李宇. 土地经济生态位变化下的城乡空间景观格局表征——以广东省惠州市为例[J]. *地理科学*, 2014, 34 (6): 705-710.
WU Qing, LI Yu. The representation of landscape pattern to land economic niche changes: a case study of Huizhou City in Guangdong Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(6): 705-710.
- [19] 欧维新, 张伦嘉, 陶宇, 等. 基于土地利用变化的长三角生态系统健康时空动态研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28 (5): 84-92.
OU Weixin, ZHANG Lunjia, TAO Yu, et al. A land-cover-based approach to assessing the spatio-temporal dynamics of ecosystem health in the Yangtze River Delta Region[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(5): 84-92.
- [20] 胡昕利, 易扬, 康宏樟, 等. 近25年长江中游地区土地利用时空变化格局与驱动因素[J]. *生态学报*, 2019, 39 (6): 1877-1886.
HU Xinli, YI Yang, KANG Hongzhang, et al. Temporal and spatial variations of land use and the driving factors in the middle reaches of the Yangtze River in the past 25 years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(6): 1877-1886.
- [21] 吴一洲, 王琳. 我国城镇化的空间绩效: 分析框架、现实困境与优化路径[J]. *规划师*, 2012, 28 (9): 65-70.
WU Yizhou, WANG Lin. Spatial performance of China's urbanization: analysis framework, reality dilemma, and improvement approach[J]. *Planners*, 2012, 28(9): 65-70.
- [22] 朱佩娟, 贺清云, 朱翔, 等. 论城市空间破碎化研究[J]. *地理研究*, 2018, 37 (3): 480-494.
ZHU Peijuan, HE Qingyun, ZHU Xiang, et al. Research on urban space fragmentation[J]. *Geographical Research*, 2018, 37(3): 480-494.
- [23] 杨帆. 大城市地区工业用地存在问题的初步分析及思考——以上海市为例[J]. *城市发展研究*, 2016, 23 (4): 80-86.
YANG Fan. Problem analysis of industrial land use in the metropolitan area: the case study of Shanghai[J]. *Urban Development Studies*, 2016, 23(4): 80-86.
- [24] 徐芝英, 胡云锋, 刘越, 等. 空间尺度转换数据精度评价的准则和方法[J]. *地理科学进展*, 2012, 31 (12): 1574-1582.
XU Zhiying, HU Yunfeng, LIU Yue, et al. A review on the accuracy analysis of spatial scaling data[J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(12): 1574-1582.
- [25] 杨帆. 制度演进背景下城市工业用地更新理论与方法[M]. 上海: 同济大学出版社, 2019: 249-256.
YANG Fan. The theory and method of industrial land regeneration under the institutional evolution[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2019: 249-256.
- [26] 黄慧明, 周敏, 吴妮娜. 佛山市顺德区低效工业用地空间绩效评估研究[J]. *规划师*, 2017, 33 (9): 92-97.
HUANG Huiming, ZHOU Min, WU Nina. Spatial performance evaluation of inefficient industrial land in Shunde District, Foshan City[J]. *Planners*, 2017, 33(9): 92-97.
- [27] 李宪文, 林培. 城郊耕地利用景观分析与评价研究[J]. *河北农业大学学报*, 1998 (4): 90-95.
LI Xianwen, LIN Pei. The analysis and evaluation of farmland use landscape in the urban fringe[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 1998(4): 90-95.
- [28] 杨帆. 从法律、制度和空间实施三方面重构对乡村规划的认知[J]. *西部人居环境学刊*, 2019, 34 (5): 49-55.
YANG Fan. Formation of integrated cognition on rural planning from the perspectives of law, institution and space implementation[J]. *Journal of Human Settlements in West China*, 2019, 34(5): 49-55.
- [29] 杨帆, 宗立, 沈珏琳, 等. 科学理性与决策机制: “双评价”与国土空间规划的思考[J]. *自然资源学报*, 2020, 35 (10): 2311-2324.
YANG Fan, ZONG Li, SHEN Juelin, et al. Scientific rational orientation and decision-making support orientation: the thinking of "double evaluation" and territorial spatial planning[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2311-2324.