

收缩城市低效工业用地识别与空间分布特征分析

——以牡丹江建成区为例

张郝萍¹, 衣霄翔¹, 荆莹², 付朝华^{3*}

- (1. 哈尔滨工业大学建筑与设计学院, 自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室, 哈尔滨 150001;
2. 中国城市规划设计研究院住房与住区研究所, 北京 100037;
3. 华蓝设计(集团)有限公司, 南宁 530011)

摘要:随着城市高质量发展对存量土地再开发需求的增长,低效工业用地治理成为落实节约集约用地战略的关键议题之一。我国收缩城市在人口持续减少的过程中,存量空间调整滞后,导致大规模低效工业用地累积,对空间发展产生一定消极影响。东北地区作为典型收缩区域,工业用地低效化问题突出,亟需精准识别与治理。本文以收缩城市牡丹江市建成区为研究对象,构建“产业经济—环境可持续性—空间形态—土地利用”四维识别体系,运用 CRITIC-TOPSIS 法识别并揭示空间集聚规律。结果表明,基于多维度识别体系精准识别出潜在低效利用型和低效粗放利用型用地分别有 596.80hm² 和 199.55hm²,这两种类型在空间上具有一定集聚规律,呈现“核心区遗留型、边缘区无序型、产业走廊衰退型、园区周期波动型”四种类型;基于此,提出“测算诊断—分区施策”的治理机制,依据空间集聚特征实施差异化策略和分类指引,为低效工业用地再开发提供精准化路径,为我国收缩城市低效工业用地识别与治理提供理论支撑与方法创新。

关键词:城市收缩;低效用地;再开发;城市更新;工业空间

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)08-0043-14

0 引言

随着我国进入存量更新的新阶段,产业结构调整和技术进步推动工业企业持续创新发展,部分传统工业厂房及园区因产业转型受阻、产业结构滞后等因素影响,导致大规模工业用地陷入低效状态^[1-3]。这一问题主要表现为土地利用强度低或产出效益大幅度下降,甚至部分用地长期闲置,进而造成城市土地资源浪费。随着城市高质量发展对存量土地再开发的需求不断提升,低效工业用地问题受到广泛关注^[4]。为应对这一挑战,自 2013 年起我国陆续出台相关政策文件,2016 年进一步提出推进低效用地再开发的相关

要求。2023 年 9 月,自然资源部也发布了《自然资源部关于开展低效用地再开发试点工作的通知》,明确提出“以国土空间规划为统领,以城中村和低效工业用地改造为重点,以政策创新为支撑,推动各类低效用地再开发,推动城乡发展从增量依赖向存量挖潜转变”,进一步凸显了低效用地再开发在优化国土空间格局和推动城乡高质量发展中的重要作用。浙江省、福建省莆田市、四川省广元市等地政府相继出台相应的再开发措施和实施细则,探索符合本地实际情况的再开发路径。低效工业用地再开发已成为我国全面实现土地节约集约高效利用等决策部署的核心战略之一。

基金项目:黑龙江省重点研发计划项目(JD2023SJ17)。

与此同时,我国城市发展出现了新型城镇化与城市收缩并行的异质性特征^[5]。统计数据显示,2010—2020 年间全国共有 266 个城市人口持续性流失^[6]。国际经验表明,收缩城市人口减少过程中,存量空间调整相对滞后,易导致大规模低效工业用地累积,并且因更新难度较大而进一步加剧土地低效利用问题^[7]。我国东北地区的收缩城市也面临这一挑战,如齐齐哈尔市在人口减少的同时,城市产业逐渐衰败,截至 2016 年,城市建成区中 56.7% 的工业用地处于低效状态,严重制约了产业发展和空间优化^[9]。大规模低效工业用地的存在不仅阻碍了收缩城市的可持续发展,甚至会导致城市经济发展停滞、生态环境污染加剧、就业岗位锐减等一系列问题^[10]。因此,系统性识别与评估低效工业用地空间分布与利用状况,成为当前收缩城市规划与治理领域亟待解决的核心议题。

当前国内关于低效工业用地的研究主要集中在土地开发强度、土地利用效益、经济产出、生态环境影响等方面,围绕低效工业用地现状、识别方法^[10,11]、指标体系^[12]、再开发方向^[1-3,13]展开深入探讨。现有研究多聚焦于非收缩城市,而对于收缩城市工业空间冗余问题的探究尚未形成系统。随着我国收缩城市数量持续增多,传统老工业基地低效用地问题日益凸显,应结合收缩城市的特殊发展情境,因地制宜地选取低效工业用地识别指标,构建识别指标体系并进行系统性识别,以全面掌握低效工业用地利用现状,防止低效工业用地产生连带效应,这对于推动收缩城市空间高质量发展至关重要。

本研究创新地构建了“体系搭建—低效识别—特征分析”的研究框架,采用多种定量分析方法,围绕“产业经济—环境可持续性—空间形态—土地利用”四个核心维度,提出适用于我国收缩城市低效工业用地识别体系。本研究采用 CRITIC 法(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)、TOPSIS 法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)和空间分析模型,形成了“定量分析+数理统计+空间可

视化”研究路径,涵盖指标体系赋权和综合评价的全流程量化分析,并结合空间分析模型全面探究低效工业用地的空间分布特征。从而全面掌握收缩城市低效工业用地的现实状况,揭示其空间集聚特征及演化逻辑,为精准识别收缩城市低效工业用地提供科学方法论支撑,为我国收缩城市低效工业用地识别与治理提供新思路 and 有益参考。

1 研究框架与方法

1.1 研究区域概况

牡丹江市位于黑龙江省,曾是我国重要的工业基地,其工业发展大致经历了三个主要阶段。第一阶段为建国初期至改革开放前,国家在牡丹江布局和建设了机械制造、化工、建材、纺织等多个行业,初步形成了较为完整的工业体系;第二阶段在改革开放后至 21 世纪初,伴随市场化改革的推进,牡丹江市等东北地区的大量国有企业面临转型困境,工业结构调整压力加剧;第三阶段自 2010 年起,牡丹江市工业发展仍面临严峻挑战,传统重工业转型缓慢与产业结构不合理,同时地区也不可避免地出现了人口收缩现象,据人口普查数据显示,2010—2020 年间牡丹江市总人口减少了 50.85 万人,市区人口在 2014 年到达顶峰(88.94 万人)后进入持续负增长阶段,截止到 2023 年,牡丹江市区已减少了 5.99 万人。

作为我国典型收缩城市,牡丹江市的工业发展停滞,大规模工业企业生产效率低下,部分厂区长期处于闲置或低效利用状态,工业用地低效问题突出。本研究以牡丹江市主要建成区为实证研究对象(图 1)。该区域内共分布 350 宗工业用地,共 1549.10hm²,主要分布在裕民工业区、江南新城工业区、大庆路工业片区、城西工业片区,此外,部分工业用地零散分布于城市核心区或近郊区域。研究区域工业用地规模大、历史悠久、类型丰富,具有较强的典型性和代表性。鉴于此,以牡丹江市建成区为研究对象开展研究,具有重要的实践意义。

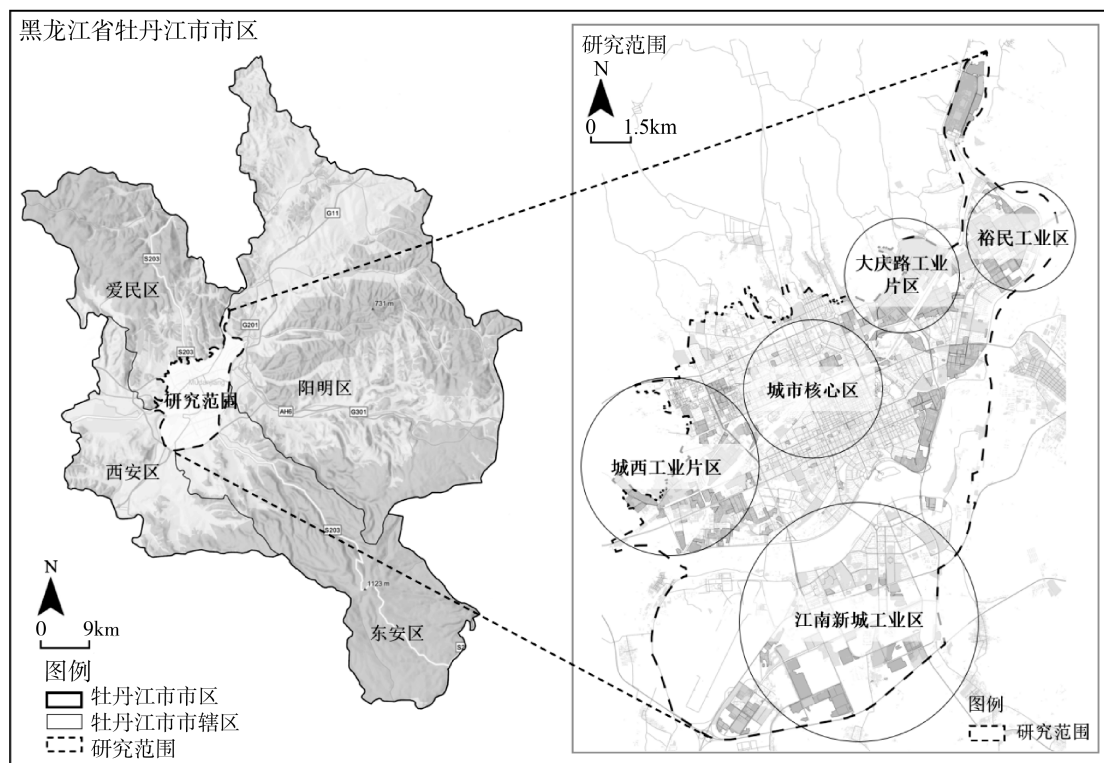


图1 研究范围

1.2 研究方法

1.2.1 收缩城市低效工业用地识别体系构建

(1) 低效工业用地识别指标体系

结合收缩城市空间发展特征与我国低效工业用地现实状况,低效工业用地是指在空间布局、生产效益、环境影响和就业承载能力等诸多方面存在问题,未能充分发挥其应有效能的工业用地^[14]。这类用地处于闲置、遗弃状态,或已利用但效率低下,且与区域发展定位不相适宜,同时环保和能源消耗方面不达标,但这类土地仍具有较大潜在价值和利用的可能性^[2]。在收缩城市背景下,低效工业用地呈现出更为复杂多样的特征,既涉及产业衰退、空间冗余等宏观问题,也包含用地利用效率低下、环境污染等微观层面的问题。对其综合识别是一个涉及多层次、多目标的复杂过程,需借助多指标综合识别,实现对低效工业用地的系统性、精细化识别。

在考虑识别指标科学性、整体性和数据可获得性的基础上,借鉴国内外相关研究成果,结合相关政策文件和收缩城市低效工业用地的现实

问题,建立了“产业经济—环境可持续性—空间形态—土地利用”四维识别体系,选取了15个核心指标(表1),全面揭示低效工业用地的内在特征。产业经济侧面反映工业用地的经济效益、产业结构和运营情况,主要选取了工业基准地价、产业集聚度、土地利用主体、工业门类四项指标,其中,工业基准地价体现地块的经济潜力与市场价值,产业集聚度衡量企业间的空间协同与集群效应,土地利用主体反映企业使用状态与活跃程度,工业门类揭示产业类型对土地利用效率的影响。环境可持续性强调工业用地与周边环境的相互作用与约束情况,选取了交通连接度、土地冲突指数、区位情况、环境污染程度四项指标,分别从可达性、用地兼容性、区位条件与生态负荷等方面综合评估土地的环境适宜性。空间形态聚焦工业空间布局与形态特征,选取了分形维数、绿化覆盖率、用地形状三项指标,反映地块形态的规则性与空间整合潜力。土地利用衡量了土地利用集约程度和开发强度,选取了容积率、建筑密度、工业厂房形象、工业厂房质量四项指标,综合评价用地空间利用效率及再开发可

能性。

在指标数据处理方面,体系中涵盖定量指标与定性指标两种类型。对于定量指标,主要通过政府公开统计数据、遥感监测数据、开放数据平台等多源渠道获取,确保数据的权威性与可比性。对于定性指标,在参考相关文献分类标准的基础上^[9,10,14],结合实地调研结果,将各类定性指标划分为多个等级,并制定明确的分类判别依据。随后采用分级赋值法将定性信息转化为量化数据,以增强其在模型分析与比较研究中的适用性。具体赋值过程中,各等级分别对应 0、2、4、6 四个数值,反映等级间的相对差异性与排序关系,从而实现定性评价结果的标准化、结构化处理。

(2) 基于 CRITIC 法的指标权重确定

CRITIC 法由 Diakoulaki^[15] 等 (1995) 提出,是一种基于指标间相关性与冲突性的客观赋权方法,能够衡量不同指标间的对立性与依赖性,结合对比强度与相关系数来计算指标的重要程度,适用于多指标综合评价体系。在收缩城市低效工业用地识别体系中,部分指标之间存在较强的相关性,可能导致信息冗余。因此,在赋权时,需要综合考虑各指标的信息独立性及其对整体评价体系的贡献度。本研究选取 CRITIC 法来确定各指标的重要程度,反映“产业经济—环境可持续性—空间形态—土地利用”四个维度指标的冲突性与统一性。

首先,对指标数据进行无量纲化处理,采用 min-max 线性标准化模型,使不同量纲的指标可比,对于正向和负向指标采用线性标准化,分别为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

式中, x_{ij} 为第 i 个样本第 j 个指标的原始值; x'_{ij} 为标准化值。

其次,计算指标对比强度 (C) 和指标冲突性 (D)。对比强度 (C) 衡量指标在样本间的变异

程度,对比强度越高的指标,在样本间差异显著,对低效用地的识别具有强区分能力;指标冲突性 (D) 用于判断指标之间的信息重叠程度,筛选信息独立性较高的指标。若指标冲突性越小,表明与其他指标含有的相同信息越多,可能存在冗余,可以降低其权重以避免对评价结果造成过度影响。具体公式为:

$$C_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x'_{ij} - \bar{x}'_j)^2} \quad (3)$$

式中, C_i 为指标对比强度; x'_{ij} 标准化后数据; \bar{x}'_j 为均值;

$$D_j = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (4)$$

式中, D_j 为指标冲突性; r_{jk} 为指标 j 与 k 的 Pearson 相关系数。

最后,综合计算指标对比强度与冲突性,得到指标信息量并对其归一化处理,最终得到指标权重(表 1)。具体公式为:

$$L_j = C_i * D_j \quad (5)$$

$$\omega_i = \frac{L_j}{\sum_{j=1}^m L_j} \quad (6)$$

式中, L_j 为指标信息量; ω_i 为第 j 个指标的权重。

1.2.2 低效工业用地识别模型

TOPSIS 法是一种经常用于多目标决策分析,可基于多个指标衡量研究对象的优劣程度。若研究对象最接近于正理想解,同时又最远离负理想解,则该研究对象为最优方案,反之,则为最差方案。本研究采用 TOPSIS 法评估低效工业用地,并基于前述 CRITIC 赋权结果确定指标权重。

首先,构建加权标准化矩阵,并计算各评价对象与正、负理想解之间的距离。具体公式为:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik})^2}} \quad (7)$$

式中, Z_{ij} 为指标加权后的加权值。

其次,通过计算各指标的最优和最劣值,确定正理想解和负理想解。

表 1 收缩城市低效工业用地识别指标体系

目标层	准则层	权重	指标层	类型	性质	含义	权重
低效工业用地识别	产业经济	0.318	工业基准地价	定性	+	据基准地价官方政策文件,将牡丹江工业用地基准地价共分为 III 级地 295 元/m ² 、II 级地 325 元/m ² 、I 级地 354 元/m ²	0.088
			产业集聚度	定量	+	工业用地点状数据核密度,反集聚程度	0.025
			土地利用主体	定性	+	结合实地调研和数据平台,搜集企业信息;结合既有研究 ^[9] ,将工业的生产经营情况分为停产空置、部分空置、转换为其他功能、部分用地转换为其他功能、存续	0.104
			工业门类	定性	+	结合《国民经济行业分类》和牡丹江的《产业结构调整指导目录(2019 年本)》《牡丹江市构建现代产业体系发展规划(2021—2025 年)》等相关文件,将工业行业划分为落后淘汰型、限制发展型、其他型、鼓励发展型	0.101
			交通连接度	定量	+	工业用地周边一定范围内(如 500m)的道路条数	0.038
	环境可持续性	0.286	土地冲突指数	定量	-	工业用地与居住、商业用地之间因距离因素产生的冲突程度	0.033
			区位情况	定性	+	结合圈层结构理论来看,将牡丹江市建成区工业与空间布局和社会经济发展状况叠合分析,将区位适宜发展程度划分为三级,即城市核心区域、城市边缘区域、产业园区	0.127
			环境污染程度	定性	-	结合相关对各类工业行业污染物的单位产值排放的研究、《上市公司环保核查行业分类管理名录(2008)》以及其他相似城市经验值,划分各工业的环境污染程度,从低污染到高污染分为 4 级	0.088
			分形维数	定量	-	反映工业用地相对“破碎”的程度、与周边环境的协调性和开发的复杂程度	0.042
			绿化覆盖率	定量	-	工业用地面积中绿化覆盖的占比	0.062
	空间形态	0.151	用地形状	定量	-	衡量工业用地图斑形状的复杂程度或偏离标准形状(如圆形)的程度	0.047
			容积率	定量	+	工业土地利用强度	0.046
			建筑密度	定量	+	工业建筑厂房基底面积与用地总面积的比值	0.056
			工业厂房形象	定性	+	实地调研了工业企业建筑厂房外观设计、空间利用的特色、文化艺术内涵以及厂房维护,分为建筑形象较差、建筑形象一般、建筑形象较好、建筑形象好	0.068
			工业厂房质量	定性	+	工业用地内部物质空间环境的好坏程度,结合结构、外观的完整、坚固性、完整性等的综合评价,将其分为质量较差、质量一般、质量较好、质量很好	0.075
土地利用	0.245						

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^+ - z_{ij})^2}, \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^- - z_{ij})^2}$$

式中, D^+ 为正理想解距离; D^- 为负理想解距离; ω_j 为第 j 个属性的权重。

最后, 测度评价对象与最优方案的接近程度, S_i 值用于衡量工业用地的综合效率, $0 \leq S_i \leq 1$, S_i 越大表示评价对象越优。本研究参考相关识别标准, 对采用自然断点法对 S_i 值进行划分, 将低效工业用地识别结果中不连续的数据点作为分级依据。

$$S_i = \frac{D^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (9)$$

式中, S_i 为第 i 个评价对象与理想解的贴近度。

1.2.3 空间分布特征分析模型

(1) 全局空间自相关分析 (Global Moran's I)

全局空间自相关分析可以用来判断研究区域内地理单元之间的相互依赖关系, 可以揭示研究区域低效工业用地在整体空间上的集聚或离散特征, 本研究采用莫兰指数 (Moran's I) 作为测度指标, 得到结果为正说明低效用地呈集聚分布, 若为负, 则离散分布。具体公式为:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} * \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

式中, n 为研究区域内的工业用地单元数量; x_i 为第 i 个单元的属性值; \bar{x} 为均值; w_{ij} 为空间权重矩阵元素。

(2) 局部自相关性分析 (Local Indicators of Spatial Association, LISA)

基于上述分析, 本研究通过局部自相关性分析 (LISA) 来揭示低效工业用地在局部区域的空间异质性。局部空间自相关用于识别局部区域的高值集聚 (HH) 或低值集聚 (LL), 以揭示研究区域的空间异质性。本研究采用热点分析 (Get-

is-Ord G_i^*) 的方法, 测度不同地块的空间集聚特征, 集聚值为正表示热点 (高值集聚), 为负则表示冷点 (低值集聚)。具体公式为:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ji}(d) x_i - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ji}(d)}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2(d) - (\sum_{j=1}^n w_{ji}(d))^2}{n(n-1)}}} \quad (11)$$

式中, \bar{X} 为全局均值; S 为标准差; d 为搜索半径。

1.3 数据来源与处理

本研究围绕产业经济、环境可持续性、空间形态和土地利用四个维度展开数据收集工作, 通过政府官方统计、实地调查和开放大数据平台等多个渠道获取数据。具体来说, 一是借助政府官方统计数据获取了 2021 年研究区域土地利用现状数据、《牡丹江市区域镇国有土地基准地价及有偿使用费标准》和《牡丹江市构建现代产业体系发展规划 (2021—2025 年)》, 掌握区域内工业现状的基础上, 查明工业地价、产业结构与政策导向等信息, 为产业经济维度指标提供支撑。二是于 2021 年通过实地勘察和拍摄照片等方式获取了工业用地的工业厂房形象、质量、层数等一手数据, 作为土地利用、空间形态等维度的基础信息来源。三是从 OSM 地图 (OpenStreetMap) 获取了 2021 年研究区域的路网数据、建筑矢量数据、居住与商业的 POI 数据, 主要用以评估环境可持续性; 从天眼查 (<https://www.tianyancha.com>) 收集了 2021 年研究区域工业的经营情况、工业门类等数据, 支撑产业经济维度的企业聚集度、门类等指标判定; 通过 2021 年高分辨率遥感影像解译获取工业用地的绿化覆盖数据, 服务环境可持续性与空间形态维度分析。

2 多因子低效工业用地综合识别

2.1 分项指标识别结果

(1) 产业经济。研究区域工业用地产业经

济整体发展水平较低,超过40%的工业用地产业经济处于相对较低或低水平(图2a)。从空间分布上来看,工业用地主要集中在裕民工业区、江南新城工业区、大庆路工业片区及城西工业片区,且大量工业用地处于III类地价区域。在产业经营方面,研究区域超过一半的工业用地存在一定问题,其中42.31%的工业用地处于全部停产空置或部分停产空置状态,15.41%的工业用地全部或部分已经转换为其他功能用地。从工业门类来看,研究区域内有727.23hm²的工业用地属于落后淘汰型,主要涉及电力、钢铁、水泥、有色金属等行业产能落后的企业。这些企业内部物质空间环境衰败,业态相对低效,严重影响并制约了区域产业经济的健康发展,亟须优化升级与改造。

(2)环境可持续。研究区域工业用地的环境可持续性的整体水平不高,共有932.57hm²工业用地处于可持续性低或可持续性较低水平(图2b)。结合具体指标来看,工业用地与城市环境之间存在显著的相互作用与影响。一方面,建成区环境尤其是交通网络建设情况,对工业用地的影响显著。研究区域228.93hm²的工业用地与交通网络连接线路较少、连接质量较差或连接类型单一,导致工业运输效率低下,产业协同效果不佳。同时,在城市发展导向影响下,工业用地的区位因素也至关重要。当前,41.24%的工业用地位于城市核心区域内,随着城市功能布局的变动,部分工业用地已不再适宜继续使用。另一方面,工业用地对周边环境也产生消极影响,具体来看,178宗工业用地位于与周边居住或者商业用地存在较大冲突的距离区间内,彼此之间产生一定的功能冲突,导致功能难发挥,同时292.34hm²的工业用地在生产中产生的废气、噪声、废水等对周边环境产生较大影响。

(3)空间形态。部分工业用地建设时期相对较早,建设方式相对粗放,这些遗留问题导致工业用地的空间形态利用层面面临诸多挑战。研究发现,32.79%的工业用地的空间形态复杂,已不适宜继续作为工业用地;39.67%的工业用

地空间形态相对复杂,利用价值较低,难以充分开发和利用(图2c)。从具体的指标来看,研究区域内18宗工业用地分形维数超过1.5,表明这些地块空间形态较为“破碎”,地块分割较为严重,呈现较强的零碎性。同时,56宗工业用地形状指数大于1.5,呈现明显的不规则的长条状或有较多凹凸部分,这种不规则的形状对建设规划和生产布局产生了显著的负面影响,增加了土地开发和利用的难度,难以实现高效的土地利用和合理的产业布局。此外,93宗工业用地绿化覆盖率高于25%,从既有研究^[9]及工业项目建设相关控制指标来看,过高的绿化覆盖率往往意味着工业用地的生产空间存在形态冗余、布局不紧凑等问题,从而可能导致土地利用效率下降,难以有效支撑高效生产活动与合理空间利用需求。

(4)土地利用。在研究区域中,土地利用效率较低和土地利用效率低的工业用地分别为464.15hm²和377.22hm²(图2d)。这些土地利用程度欠佳的工业用地中,95.85%的容积率低于0.8,主要集中在大庆路工业片区和城西工业片区。这些区域的工业用地利用效率低,主要原因在于其工业建设年代较为久远。一方面,厂房建筑在设计水平和风貌上差异明显,且质量相对不高;另一方面,该区域多由村镇企业以及一些低端产业构成,由于缺乏统一的设计规范,建筑风格繁杂多样。相比之下,江南新城工业区与裕民工业区的厂房质量普遍较高,园区内建筑主要包括生产性工业厂房和服务性办公用房。工业厂房规模较大,多为一层框架结构,造型简约。而办公建筑一般为4~6层,能满足企业办公、会议、员工休憩等运营需求。

2.2 综合指标识别结果

本研究基于“产业经济—环境可持续性—空间形态—土地利用”四个维度,综合识别了研究区域工业用地。通过构建评价指标体系,对各项定量、定性指标进行标准化处理并加权计算综合得分。结合既有研究经验^[9-14]与数据分布特征,借助自然断点法对结果划分,并划分为四个

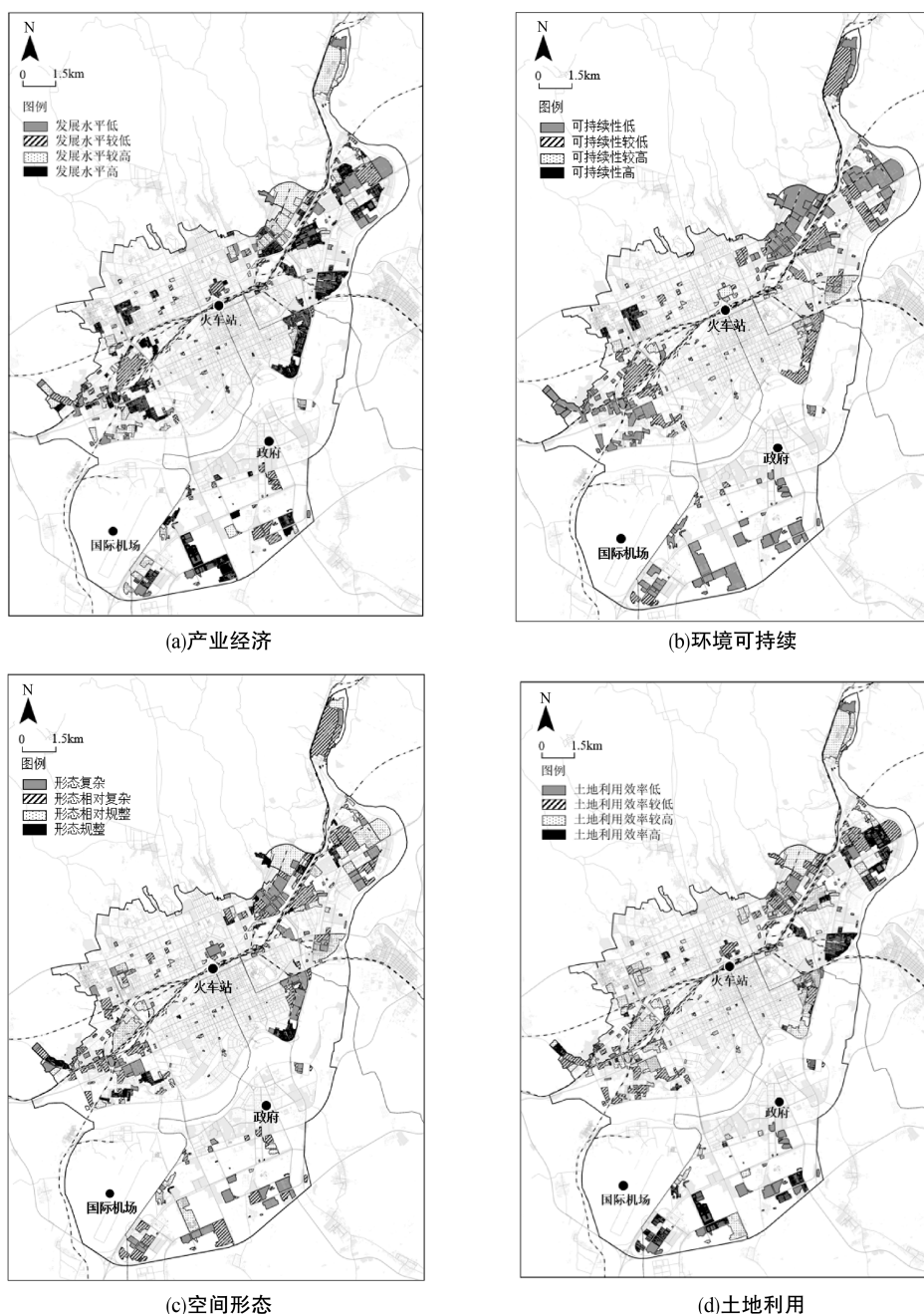


图 2 分项指标识别结果

类型:高效集约利用型、一般适度利用型、潜在低效利用型和低效粗放利用型(表 2、图 3)。其中,高效集约利用型工业用地在产业经济、环境协调性、空间形态及土地利用强度等方面表现优异,体现出较高的整体效益;一般适度利用型各项指标处于中等水平,用地效率尚可,但仍有提升空间;潜在低效利用型在部分维度存在明显短板,具有转型或再开发潜力;低效粗放利用型则在多数指标上表现不佳,存在结构老化、功能弱化、空

间利用率低等问题,土地利用效率显著偏低。

从用地规模上看,潜在低效利用型的工业用地面积最大,为 596.80hm²,占总规模的 38.53%。这表明,研究区域内存在较大面积的工业用地具有转向低效利用的潜在风险。低效粗放利用型 199.55hm²,占总规模的 12.88%,这类用地存在严重的资源浪费,亟需进行改造升级,如引入新产业或优化空间布局,以提高土地利用效率。此外,高效集约利用型与一般适度利用型工业用地

表 2 低效工业用地综合识别结果

类型	数量/宗	面积/hm ²	占比/%	识别分值区间跨度
高效集约利用型	70	235.50	15.20%	0.5506~0.6789
一般适度利用型	110	517.25	33.39%	0.4660~0.5505
潜在低效利用型	100	596.80	38.53%	0.3822~0.4659
低效粗放利用型	70	199.55	12.88%	0.2780~0.3821
总计	350	1549.10	100.00%	0.2780~0.6789

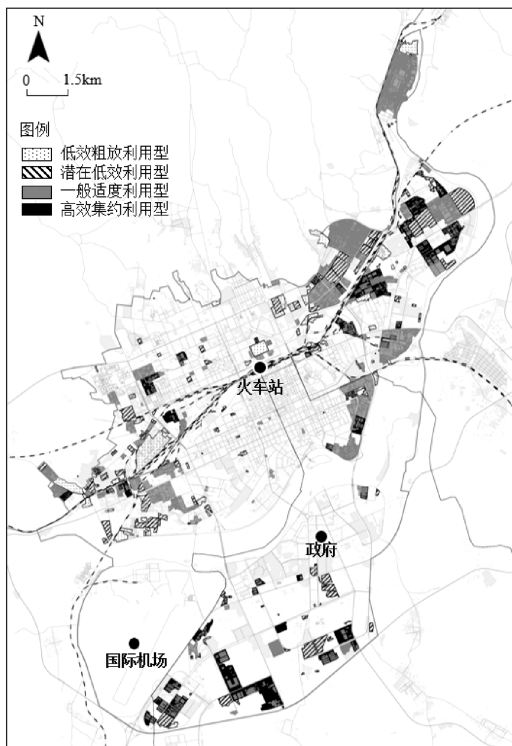


图 3 低效工业用地综合识别结果

分别为 235.50hm² 和 517.25hm², 这些用地承载了区域主导产业。从用地数量上看, 一般适度利用型工业用地数量最多, 达 110 宗, 其次是潜在低效利用型, 共 100 宗, 高效集约利用型与低效

粗放利用型数量相当, 也就是说, 接近一半数量的工业用地处于低效或存在低效的可能(研究区域工业用地共计 350 宗)。总体来看, 研究区域内的工业用地利用效率参差不齐, 潜在低效利用型和低效粗放利用型用地占比较大。

3 低效工业用地空间分布特征分析

3.1 工业用地空间集聚特征

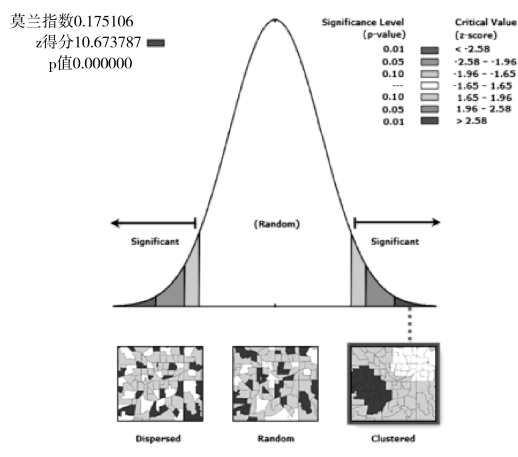
基于空间自相关分析模型 (Global Moran's *I*) 的测算结果 (表 3, 图 4), 研究区工业用地的综合效率指数呈现显著的空间依赖特征。Moran's *I* 指数计算结果为 0.175106 ($p < 0.001$), *Z* 得分为 10.673787, 均通过 1% 显著性水平检验, 表明研究区域内工业用地的综合效率呈现显著的正向空间自相关 (Moran's $I > 0$), 即具有相似综合效率水平的工业用地在空间上呈现一定的集聚性, 而非随机分布。同时, 预期指数 (Expected Index = -0.002865) 与实际观测值的显著偏离 ($p = 0.000000$) 进一步验证了空间集聚现象具有统计学意义的非随机性, 是受到了特定因素的影响造成的。

基于此, 采用 Getis-Ord G_i^* 指数探究工业

表 3 Global Moran's 分析结果

指标	值	解释
Moran's <i>I</i>	0.175106 * * *	低效用地呈现空间集聚 (正自相关)
预期指数	-0.002865	随机分布的理论期望值
<i>Z</i> 得分	10.673787	统计极显著 ($p < 0.001$)
方差	0.000278	数据离散程度低
<i>p</i> 值	0.000000	具有极高的统计学显著性

注: * * * 表示通过 1% 显著性水平检验



z得分为10.673787, 则随机产生此聚类模式的可能性小于1%。

图4 Global Moran's I 分析结果

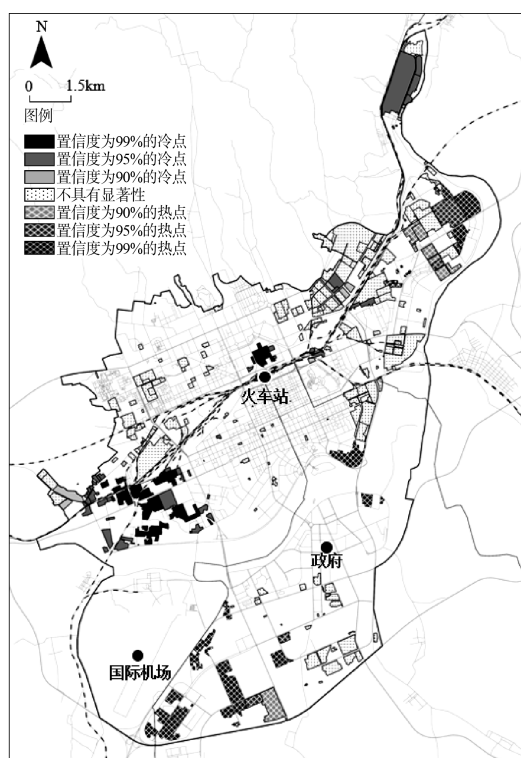
用地综合效率分布的空间异质性(图5a)。结果显示:一是热点区(High-High 聚类)主要集中在江南新城工业区和裕民工业区(图5b),这些地区工业用地综合效率呈现高值显著集聚特征,表现出较强的产业集聚效应和较高的土地利用效率,表明这些地区处于高效、快速发展的态势;二是冷点区(Low-Low 聚类)主要位于城西

工业片区(图5b),这些区域工业用地综合效率呈低值显著集聚,且用地形态相对破碎,所承载的产业大多属于落后淘汰型产业,发展潜力较低;三是其余地区为过渡区,在这些区域高值点和低值点的空间聚类测度结果并不显著,集聚尚未形成一定规模。综合来看,研究区域热点区和冷点区在空间上相对集中分布,并非均匀分散。

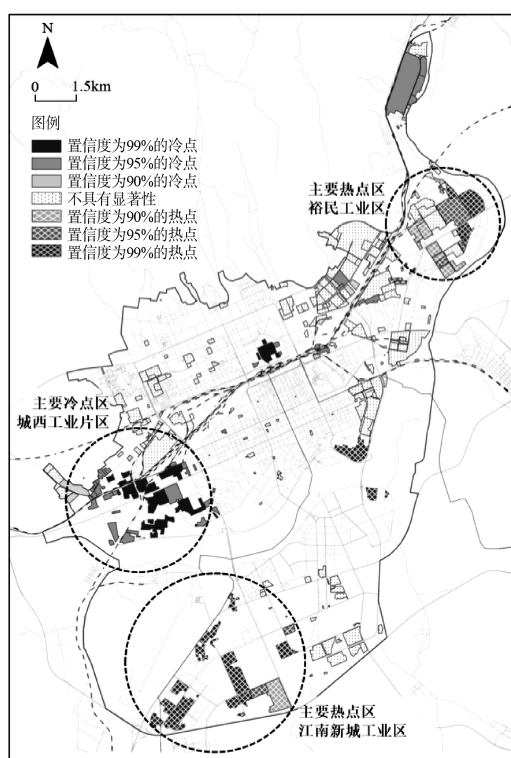
3.2 低效工业用地空间分布类型

从整体层面上来看,研究区域内工业用地的效率呈现出一定的空间差异。工业园区的工业用地效率较高,城市边缘区其次,城市核心区域内工业用地效率整体较低且工业存量较大。潜在低效利用型和低效粗放型利用工业用地在牡丹江市建成区中呈现“多点分散式集聚”的空间分布特征,在小空间范围内工业用地零散分布,且各相对集聚的区域具有一定的空间分布规律,部分潜在低效利用型和低效粗放利用型工业用地沿城市核心区的铁路线分布。

结合上述研究结果,研究区域工业用地的综



(a)Getis-Ord G^* 指数分析结果



(b)热点区-冷点区集聚情况

图5 工业用地综合效率分布情况

合效率在空间上的集聚并非随机现象,而是受到了特定因素的影响。从城市区域层面分析,结合工业用地空间布局及其演变历程来看,潜在低效利用型和低效粗放利用型工业用地主要有四种类型(图6)。一是城市核心区遗留型,研究区域核心区存在大量零星分布的潜在低效利用型和低效粗放利用型用地,这些用地大多建于建国初期,随城市扩张逐步被居住、商业功能包围。尽管这些用地占据了城市核心地段,但因其土地利用效率低下,未能释放土地经济价值,造成优质城市空间资源被浪费。二是边缘区无序建设型,主要是城西工业片区和城市边缘、近郊地带的边缘型相对低效工业企业,这些用地大多由老旧厂房改造或分布的中小村镇企业聚集形成,空间组织呈现“三失”特征,即规划失序、产业失配、设施失能,不仅难以形成产业集群,还与周边环境产生明显的冲突。三是产业走廊衰退型,以大庆路工业片区为代表,在国家大力发展重工业基地时期建设,沿街建设并形成以石油化、煤化工为

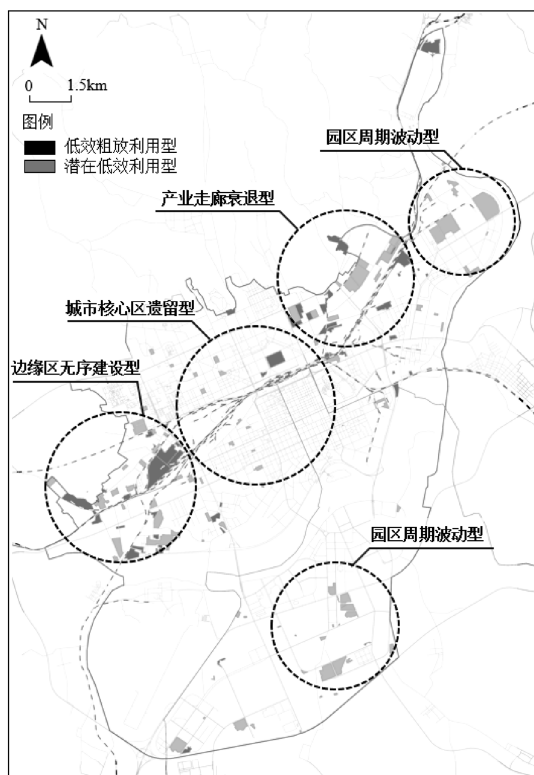


图6 低效粗放利用型和潜在低效利用型工业用地空间分布

主的工业企业群,由于转型困难,加之城市产业园模式兴起,该区域工业逐渐进入低效状态。四是园区周期波动型,在裕民工业区和江南新城工业区内,出现或即将出现暂时性的低效用地,这种低效主要是由于产业生命周期波动、土地供给超前于需求或产业自身设施配套滞后造成。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究构建“体系搭建—低效识别—特征分析”的研究思路,采用多种定量分析方法,以收缩城市牡丹江市建成区为研究对象,从“产业经济—环境可持续性—空间形态—土地利用”四个维度构建适用于我国收缩城市低效工业用地识别体系。通过 CRITIC 法对 15 个识别指标客观赋权,利用 TOPSIS 法从多个方面综合识别低效工业用地,并借助 Global Moran's I 、Getis-Ord G_i^* 等空间分析模型,解析低效工业用地空间集聚情况,进而掌握收缩城市低效工业用地现实状况和发展问题,为我国收缩城市低效工业用地识别与治理提供新思路 and 有益参考。主要结论如下:

(1)从“产业经济—环境可持续性—空间形态—土地利用”四维度分项结果来看,研究区域超过一半以上的工业用地在环境可持续性和空间形态的综合效率相对较低。这些低效工业用地建设时期较早,缺乏合理规划,随着城市功能的调整和产业升级,这些用地逐渐与城市发展路径相悖,从而影响周边居住、商业或生态环境。加之,部分地块形态相对复杂,利用难度较大,不适宜继续作为工业用地。

(2)从综合识别结果来看,研究区域工业用地整体综合效率水平偏低。其中,潜在低效利用型和低效粗放利用型工业用地分别为 596.80hm^2 (占总规模的 38.53%) 和 199.55hm^2 (占总规模的 12.88%)。大规模低效工业用地在一定程度上给城市环境可持续发展和空间集约紧凑发展带来了消极影响。

(3)从空间集聚特征来看,研究区域工业用

地的综合效率呈现显著的正向空间自相关。江南新城工业区和裕民工业区工业用地综合效率水平较高,形成高效产业集聚区;而城西工业片区则为综合效率较低的集聚区域。总体来看,研究区域潜在低效利用型和低效粗放利用型工业用地呈现“小范围集聚”“大范围分散”的空间分布特征,即其在某些区域形成集聚现象,同时在更大尺度上则呈零散分布。

(4)从潜在低效利用型和低效粗放利用型工业用地的空间集聚类型来看,研究区域工业用地的综合效率在空间上的分布受到特定因素的影响。综合分析工业用地的空间布局和演变历程,潜在低效利用型和低效粗放利用型工业用地主要有四种类型:城市核心区遗留型、边缘区无序建设型、产业走廊衰退型和园区周期波动型。

4.2 讨论

在收缩城市社会经济低迷、人口流失和资源枯竭等多重挑战交织的背景下,工业用地极易由于空间发展不匹配、用地供需不平衡、劳动力下降、地方政府因财政压力无力补贴企业技术改造等因素而陷入持续低效状态^[16],并且难以实现再开发,进而导致低效工业用地规模累积。因此,需构建适应收缩城市特征的低效工业用地科学治理体系。

(1)多维度低效工业用地识别体系须结合收缩城市的特殊性进行适用性革新。传统低效工业用地识别体系通常侧重经济效益的测度。然而,在收缩城市人口外流、经济衰退等问题的影响下,工业企业即使保持原有生产效率,也可能因市场萎缩而造成经济产出下降。因此,需要结合实际情况从多个维度筛选识别指标。加之,在收缩城市发展范式从“增长导向”转向“小而美”的过程中,城市用地发展需要综合考虑经济、社会和环境等因素^[17],对于低效工业用地测度也需要从“量”与“质”等多个维度评判,纳入空间协调、环境可持续性等非经济维度,选取分形维数、绿化覆盖率等指标。不仅回应了收缩城市空间破碎化和生态修复需求,也有效支持城市渐进式转型而非盲目扩张。

(2)收缩城市土地再开发的投资市场下行和政府面临巨大的财政压力等因素影响下,城市用地更新和大规模空间规划与重构能力受到制约。基于本研究揭示的工业用地的综合效率在空间集聚规律,可以建立“测算诊断—分区施策”的精准治理机制。对于冷点区(城西工业片区),可以在“精明收缩”理念的引导下,采用用地置换、弹性留白、污染治理等空间更新策略,促进低效工业用地更新,以缓解收缩城市的人地矛盾;对于热点区(如江南新城工业区),可以采取提质增效措施,通过“正向激励”替代行政干预,吸引社会资本参与更新,如“腾笼换鸟”引导产业链向高端制造延伸,优化产业结构等;针对过渡区,应建立动态监测机制,采用防范措施,或功能调换和实施弹性留白等策略,为远期转型预留足够的空间。

(3)针对收缩城市低效工业用地的差异化特征,应对其再开发制定差异化响应机制,采取分类指引的方式进行精准治理。具体来说,城市核心区遗留型低效工业用地因其区位稀缺性,可以采取“功能转换+拆除新建”等策略重新捕获用地价值;对于边缘区无序建设型和产业走廊衰退型低效工业用地,可以采取“撤厂并园”计划,将零散的工业用地整合进入产业园区,或是采用永久性功能转换、临时使用、绿色基础设施等策略,确保低效工业用地在城市收缩过程中预留功能转换弹性;对于园区周期波动型低效工业用地,可建立“综合效率预警机制”,对其及时清退或升级。

参考文献(References):

- [1] 甄溪,李津莉,于红,等.存量规划背景下低效工业用地识别与优化策略研究——以聊城市嘉明经济开发区为例[J].天津城建大学学报,2023,29(05):311-318+327.
- [2] 甄延临,瞿嗣澄,陈玉洁.节约集约背景下城市低效工业用地的更新路径与机制研究——以嘉兴市城北片区为例[J].城市发展研究,2023,30(11):9-15.
- [3] Jin R, Huang C, Wang P, et al. Identification of Ineffi-

- cient Urban Land for Urban Regeneration Considering Land Use Differentiation[J]. *Land*, 2023, 12(10): 1957.
- [4] 周挺. 城市发展与遗存工业空间转型[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [5] 桑春, 潘鑫, 张尚武, 等. 空间治理视角下中国城市收缩现象研究述评与议题展望[J]. *城市规划学刊*, 2024, 68(02): 58-63.
- [6] MENG Xiangfeng, LONG Ying. Shrinking cities in China: Evidence from the latest two population censuses 2010-2020[J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2022, 54(3).
- [7] 王新宇, 孟祥凤, 王春龙, 等. 资源枯竭型城市的低效空间识别方法——以鹤岗市为例[J]. *资源科学*, 2024, 46(06): 1119-1130.
- [8] 衣霄翔, 赵天宇, 吴彦锋, 等. “危机”抑或“契机”?——应对收缩城市空置问题的国际经验研究[J]. *城市规划学刊*, 2020, (02): 95-101.
- [9] 荆莹. 收缩城市建成区低效工业用地识别与优化策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [10] 刘羿伯, 张郝萍, 吴梓溶, 等. 基于绿色基础设施绩效提升的收缩城市低效工业用地优化利用: 以牡丹江为例[J]. *资源科学*, 2024, 46(02): 386-406.
- [11] 蔡立玦, 何继红, 梁雄飞, 等. 存量低效工业园区改造全周期监管策略——以佛山市顺德区村级工业园升级改造实践为例[J]. *规划师*, 2021, 37(06): 45-49+55.
- [12] 陈卓, 毕如田, 陈利根, 等. 基于多层次指标体系的城镇低效工业用地认定与查询——以山西省榆社县为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(12): 31-38.
- [13] 景鹏, 何业成, 乔学扬, 等. 低效工业用地识别与高质量再开发路径研究——以南京市江宁区为例[J]. *规划师*, 2024, 40(12): 146-151.
- [14] 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(09): 92-97.
- [15] Diakoulaki D, Mavrotas G, Papayannakis L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method[J]. *Computers & Operations Research*, 1995, 22(07): 763-770.
- [16] 石骋, 衣霄翔, 张远景. 人口收缩地区城镇建设用地规模与结构配置研究——以东北三省为例[J]. *黑龙江国土资源*, 2024, 22(03): 10-23.
- [17] 衣霄翔, 王淑钰, 张郝萍, 等. 人口收缩背景下城镇建设用地的挑战与出路——以我国东北三省为例[J]. *城市规划学刊*, 2023, 67(06): 68-78.

作者简介:

第一作者:张郝萍,1997年生,女,河南信阳人,硕士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,主要研究方向为城乡规划。Email:20s034114@stu.hit.edu.cn;

通讯作者:付朝华,1984年生,男,湖南汨罗人,硕士,华蓝设计(集团)有限公司,高级城市规划师,主要研究方向为城乡规划和国土空间用途管制。Email:21064564@qq.com

Identification of Inefficient Industrial Land and Analysis of Its Spatial Distribution Characteristics in Shrinking Cities: Case Study of the Built-up Area in Mudanjiang City

ZHANG Haoping¹, YI Xiaoxiang¹, XING Ying², FU Zhaohua^{3*}

(1. School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology; Key Laboratory of National Territory

Spatial Planning and Ecological Restoration in Cold Regions, Ministry of Natural Resources, Harbin 150001, China;

2. China Academy of Urban Planning and Design Housing and Residential District Research Institute, Beijing 100037, China;

3. Hualan Design & Consulting Group, Nanning 530011, China)

Abstract: As urban areas develop in high-quality, the demand for the redevelopment of existing land increasingly continues, making the governance of inefficient industrial land a critical issue in implementing the economical and intensive land use. For China's shrinking cities, the adjustment of existing urban space has lagged behind the population decline, resulting in the accumulation of large areas of inefficient industrial land, which negatively impacts the high-quality development of urban space. As a typical shrinking region, Northeast China faces particularly severe issues related to the inefficient use of industrial land, highlighting the urgent need for precise identification and targeted governance in shrinking cities. Taking the built-up area in Mudanjiang City, a typical shrinking city, as the research object, this study constructs a four-dimensional identification system integrating industrial economy, environmental sustainability, spatial form, and land use efficiency, and applies the CRITIC-TOPSIS method to identify inefficient industrial land and reveal its spatial agglomeration patterns. The results show that the multi-dimensional identification system, tailored to the specific characteristics of shrinking cities, accurately identifies 596.80 hectares of potentially inefficiently utilized industrial land and 199.55 hectares of inefficient and extensively utilized industrial land within the study area. These two categories of land exhibit distinct spatial agglomeration patterns, manifesting in four typical forms: legacy-type in core areas, disordered-type in peripheral areas, decline-type in industrial corridors, and cyclical-fluctuation-type in industrial parks. Based on these findings, the study proposes a governance mechanism of "measurement-diagnosis and zonal policy-making", advocating differentiated renewal strategies and classified guidelines according to the spatial agglomeration characteristics of inefficient industrial land. This approach offers spatial and precise pathways for the redevelopment of such land, providing both theoretical support and methodological innovation for the identification and governance of inefficient industrial land in China's shrinking cities.

Key words: urban shrinkage; inefficient land; redevelopment; urban renewal; industrial space