

# 城市用地功能混合测度的方法改进

赵广英 宋聚生

**提 要** 城市用地功能布局问题是城市规划的核心问题,研究其混合的测度方法,是准确认知城市、解决城市问题的重要方面。运用文献研究法、归纳分析法、逻辑思辨法研究等10种典型的混合度测度模型,并通过案例进行实证。研究表明:各类测度模型均适用于片区、街区等中尺度整体混合度的测度,但无法体现地块内部的立体布局带来的混合度差异。通过单一地块(或栅格)功能混合度、区域整体功能混合度两个层次的测度方法改进,能够准确、真实地反映城市用地功能的空间混合情况。

**关键词** 城市规划;用地混合;测度;模型;华强北

中图分类号 TU984 文献标志码 A  
DOI 10.16361/j.upf.202201007  
文章编号 1000-3363(2022)01-0051-08

Improving the Measurement of Urban Land-use Mix

ZHAO Guangying, SONG Jusheng

**Abstract:** In urban planning, it is a core issue to understand the functional layout of urban land under use. It is also recognized that applying accurate methods for measuring land mix is a prerequisite for correctly identify and solve urban problems. Ten classical measurement models are compared through case studies based on literature review, inductive analysis, logical deduction, and other methods. It shows that all measurement models are suitable for measuring land-use mix at the medium scale, such as districts and blocks. However, all measurement methods are deficient in recognizing land-use mixes at the plot (grid) scale, which is caused by vertical mixing. The measurement method is improved by introducing two metrics, namely degree of single plot (grid) functional mix and degree of overall regional functional mix.

**Keywords:** urban planning; mixed land use; measurement; model; Huaqiangbei

改革开放以来,在我国40余年的快速城镇化进程中,土地粗放供应现实与土地集约利用要求的矛盾始终存在,土地集约利用一直是国家的明确要求,而用地功能混合则被认为是促进土地资源集约、紧凑利用,强化空间共享与活力,提高空间多样性,实现低碳发展的重要途径<sup>[1-3]</sup>。当前,我国正在开展以生态文明理念为指导的国土空间规划体制改革,多数城市都将面临建设用地供给约束、存量土地的功能优化和修补、提高土地利用效率等问题。

因此,探索用地的紧凑使用、提高用地功能的混合,是实现土地的集约、高效利用的重要手段,也是丰富空间功能的多样性、优化城市空间功能结构、解决“人民日益增长的美好生活需要与不平衡不充分的发展之间的矛盾”、实现高质量发展的重要途径。

## 1 城市用地功能混合的内涵

城市用地功能混合的概念源于1961年简·雅各布斯(Jacobs Jane)提出的混合基本功能(mixed primary use),虽被广泛使用,但仍存在内涵的模糊性。美国规划协会(American Planning Association, APA)<sup>[4]</sup>认为,混合功能适宜步行和创造兼容不同功能的高密度、多样性空间。美国的房地产行业组织还普遍认为:功能混合是包含住宅、零售、办公、娱乐等功能,谋求空间利用最大化的集成开发<sup>[5]</sup>,也包括特定区域相邻地块不同功能类型的组合<sup>[6]</sup>,混合在特定尺度才有意义,多种不同功能的地块之间仍然存在不同程度的混合<sup>[7]</sup>。Grant<sup>[8]</sup>认为:高层公寓、独立住宅、别墅等不同类型的住宅之间的混合也可算作功能混合,而这些并不涉及建筑功能间的混合在荷兰是被排除的<sup>[1]</sup>。

我国各地的技术标准、管理规定中也经常出现混合用地,但国家层面的法律法规体

### 作者简介

赵广英,哈尔滨工业大学(深圳),博士研究生,高级工程师,注册规划师,120668639@qq.com

宋聚生,哈尔滨工业大学(深圳)建筑学院执行院长,教授,博士生导师,通信作者, songyuange@163.com

系中均未提及“混合”的概念，也未在条文解释中提及土地混合使用的相关概念。我国学者认为所谓功能混合(mixed-use)，是指兼容性土地和空间用途的混合状态，是不同土地使用方式、功能布局、经营业态、空间形态混合的结果<sup>[9-11]</sup>。

此外，用地功能混合的分类口径也不统一。英国学者 Alan Rowley<sup>[12]</sup>认为包括单体建筑(individual building)、街区(buildings or street blocks)、街道等公共空间(street and other public space)和社区(district or neighborhood)等4种尺度的功能混合。美国城市土地协会(Urban Land Institute, ULI)将功能混合模式分为城市尺度的水平混合功能(horizontal mixed-use sites)、社区尺度的混合功能步行街区(mixed-use walkable areas)以及建筑单体的垂直功能混合(vertical mixed-use buildings)<sup>[13]</sup>。Eric Hoppenbrouwer<sup>[11]</sup>等将功能混合分为共享型(shared premises dimension)、水平型(horizontal dimension)、垂直型(vertical dimension)和时间型(time dimension)等4个维度的混合模式。

总之，混合既可以是单一地块内不同功能的混合，也可指某一尺度下用地性质之间的混合。为便于用地功能混合测度的研究，本研究讨论3种类型的混合：①同一地块内2种或2种以上的建筑功能类型的混合；②同一街区内不同地块用地性质之间的混合；③同一建筑内不同建筑功能的混合。

## 2 相关测度方法的比较

我国学者围绕城市用地功能混合展开了大量相关研究。李翹<sup>[14]</sup>研究了土地集约利用的城市空间发展模式，李京生等<sup>[15]</sup>对混合用地的小区规划模式进行了探讨，任晋锋等<sup>[16]</sup>从交通出行的视角探讨土地使用及功能布局问题，李晨等<sup>[17]</sup>从土地使用相容性比例及影响要素方面展开了探讨；陈映雪等<sup>[18]</sup>基于小尺度的街区空间研究城市空间功能混合组织；魏晓芳等<sup>[19]</sup>以山地城镇为例，系统研究了高密度空间大集中、小分散、混合布局的空间格局的形成过程与机制。此外，吕斌等<sup>[20]</sup>、王雅娟等<sup>[21]</sup>、周新刚等<sup>[22]</sup>还分

别从紧凑型视角研究城市空间功能的测度、规划问题。

但是，有关混合度测度方法的研究多以西方学者为主。Brown等<sup>[23]</sup>比较了4种常见的测度方法，发现早期的住房多基于6种测度熵值和较短的轨道交通距离建设，Song等<sup>[24]</sup>也对比了8种测度方法，提出各种测度方法的适用情形，Liang等<sup>[25]</sup>运用元胞自动机的方法，模拟用地功能混合结构以及测度方法。国内对城市用地功能混合测度方法的研究主要有：钱林波<sup>[26]</sup>基于就业岗位和人口密度修正的混合率熵指数模型；李苗裔等<sup>[27]</sup>基于多源数据时空熵，研究了北京城市功能混合度的识别评价方法；郑红玉等<sup>[28]</sup>系统总结了当前土地混合利用的测度方法研究进展；王德等<sup>[29]</sup>对常见的3类测度方法进行了比较研究，提出了各自的优缺点。

总之，已有的研究多侧重于国外功能混合理念和经验的介绍，以单一指标测度为主，而有关测度方法改进的研究较少，是城市用地功能混合领域主要的创新研究方向。

### 2.1 用地功能混合度测度的规划机理

就用地功能混合的测度而言，核心是“尺度”问题，混合度的测度在特定的尺度下才有规划意义。测度的粒度(或分辨率)缩小到一栋建筑物内部，反映的是建筑物内部使用功能的空间构成关系[图1(c)]；将粒度放大到一个地块或街坊，建筑功能的交错布局带来的混合度差异又需要重新定义[图1(a)(b)]；就城市整体而言，无论是大小，功能都是多样的、混合布局的，整体混合度与一个片区或单个地块规划意义并不相同。因此，研究用地功能混合的规划机理十分重要。

一方面，混合度测度的规划价值取决于空间感知尺度的差异性。对中微观尺度来说，用地功能混合与“社区生活圈”存在相似的规划语境。围绕街区、街道的城市功能往往以社区对应的“生活圈”为基本单元，居住区、工业区、商务办公区等是市民感知城市功能的基本尺度；而在空间单元、地块内部，感知功能差异的粒度则变成了建筑物，如商业建筑、办公楼、住宅楼等；相应地，居民感知建筑单体内部功能差异的粒度是楼层，即通过定义不同楼层之间的功能，强化空间功能的差异性，如地下停车空间，1—2层的商业，3—4层的办公等。因此，用地功能混合的测度应区分尺度的差异性，明确具体的粒度。

另一方面，混合度测度的规划价值还取决于规划管理尺度的差异性。在总体规划阶段，规划管理尺度是以城市干道、自然边界围合成的规划管理单元，体现主导功能用途分区。其混合度的测度注重对单元整体功能的构成与布局结构，规划管控措施应体现各级中心区域的混合度阈值，同时体现地块之间功能的协同性。在详细规划及规划许可阶段，规划尺度往往具体到了以支路围合的地块层面，管控抓手也多体现在控制性详细规划或规划许可方面，混合度的测度需要体现不同建筑功能的组合差异。在建筑设计层面，空间尺度缩小至建筑单体内部，其混合度的测度需要体现内部功能构成的复杂性与共享、协同关系，可通过建筑设计过程中的建筑面积构成和功能组织，强化混合度差异。考虑现有规划编制体系的技术特点，测度粒度需要体现空间单元内部功能的多样性和布局差异，与实际的管控单元尺度相当。因而，总体规划阶段的测度尺度应体现城市主要功能分区与各类综

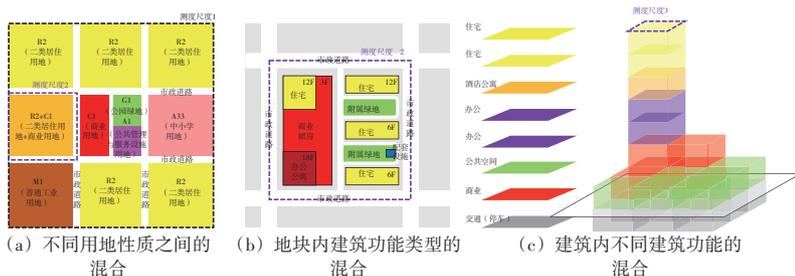


图1 用地及建筑功能混合布局的维度

Fig.1 Dimensions of mixed layout of land use and buildings

合性中心的混合度差异, 测度尺度宜与主导功能用途分区的图斑保持一致性, 控制在 (500-600)m × (500-600)m 左右; 控制性详细规划阶段的测度尺度宜与地块大小接近, 控制在 (200-300)m × (200-300)m 左右; 修建性详细规划阶段的测度尺度宜与建筑物宽度接近, 体现建筑物与周边功能的差异性, 控制在 (15-25)m × (15-25)m 左右; 建筑设计阶段的测度尺度可使用建筑物本身的尺度进行测度。见表1。

本研究关注片区、地块以及建筑物单体层面的混合布局, 基于规划管理、设计以及空间的使用, 探讨规划设计对用地功能混合的要求, 区分测度方法的差异性。

### 2.2 常见的测度方法

有关用地功能混合测度的研究基本围绕数量和距离两个方面的核心内容展开, 既有的研究方法主要有下列4类(表2): ①比例视角, 根据不同用地类型、功能的面积比例直接计算混合度<sup>[30]</sup>; ②多样性视角, 借助辛普森指数 (Simpson Index)、香农-威纳指数 (Shannon-Weaner Index)、熵指数 (Entropy Index)、平衡指数 (Balance Index)、分异指数 (Dissimilarity Index)、碎化指数 (Fragmentation Index) 等多样性指标计算混合度<sup>[31-40]</sup>; ③可达性视角, 从不同用地、功能的空间使用需求着手, 计算之间的可达性, 评价混合程度<sup>[41-42]</sup>; ④综合多样性和可达性指标, 运用指标体系、框架评价混合度<sup>[43-44]</sup>。此外, 用地功能混合的测度还有赫芬达尔·赫希曼指数 (Herfindahl Hirschman Index)、阿特金森指数 (Atkinson Index)、基尼系数 (Gini Index) 和混合指数 (Mixed-use Index) 等指数法, 对城市空间功能的混合问题适用性较差, 多与上述方法结合使用。

### 2.3 中微观尺度的测度方法比较分析

从各种测度模型的内涵来看: 面积比例法、熵指数法、分异度指数法、机会累积模型法以及潜力模型法能较好地体现建筑功能的平面混合布局情况; 除面积比例法外, 各类方法均可较好地反映建筑功能的多样性; 两种可达性视角的

表1 用地功能混合测度的推荐尺度

Tab.1 Recommended scales of mixed measure methods

| 规划阶段   | 测度尺度                    | 单元 | 方式            | 备注                                   |
|--------|-------------------------|----|---------------|--------------------------------------|
| 总体规划阶段 | (500-600)m × (500-600)m | 街区 | 栅格或主导功能用途分区图斑 | 体现主要功能分区的混合度差异, 各级中心的混合度差异           |
| 详细规划   | (200-300)m × (200-300)m | 地块 | 栅格或地块图斑       | 体现地块与周边地块的功能差异, 生活圈功能的多样性            |
|        | (15-25)m × (15-25)m     | 单体 | 栅格或建筑物轮廓      | 体现不同功能的建筑之间的布局关系, 建筑功能的多样性与竖向功能布局的差异 |
| 建筑设计   | 建筑物轮廓                   | 单体 | 建筑物轮廓         | 建筑竖向功能布局的差异                          |

表2 常见的混合度测度方法比较

Tab.2 Comparison of typical measurement methods for land-use mix

| 测度方法   | 测度模型   | 含义   |
|--|--|--|
| 面积比例法 (Proportion) <sup>[45]</sup>                     | $MIX = \sum \left( \frac{R_i}{A_u} \right)$<br>$R_i$ 为混合用地的面积, $A_u$ 研究区域的总面积  | 功能混合区域的面积比例之和  |
| 熵指数 (Entropy Index) <sup>[27, 34]</sup>                | $S = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_{10} P_i$<br>$n$ 为用地或功能的类别数; $P_i$ 为不同种类用地或功能所占的面积比例<br>$H_u = - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} \times \log_{10} P_{ij}$<br>$P_{ij} = A_{ij}/A_k$<br>某种 POI 类型在第 $i$ 行第 $j$ 列的网格中的个数为 $A_{ij}$ , 第 $i$ 行第 $j$ 列网格中 POIs 的总个数为 $A_k$ , $H_u$ 为空间信息熵                      | 混合熵指数取值在 0-1 之间, 越接近 1, 混合程度越趋于多样化、均衡<br>将区域划分为 $m \times n$ 个栅格, 通过 POIs 数据计算混合信息熵指数          |
| 分异度指数 (Dissimilarity Index) <sup>[38, 46]</sup>        | $D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left  \frac{b_i}{B} - \frac{w_i}{W} \right $<br>$D$ 为分异度指数, $n$ 为研究区域内空间单元数, $b_i$ 和 $w_i$ 是空间单元 $i$ 中功能 $B$ 和功能 $W$ 的面积, $B$ 、 $W$ 分别是研究区域内功能的总面积<br>$ID = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n  X_i - Y_i $<br>$ID$ 为分异度指数, $X_i$ 为 $i$ 单元内面积比率, $Y_i$ 为 $i$ 单元的人口比率, $n$ 为 $i$ 单元地块总数量 | 0 代表无分异, 1 代表完全分异。 $D$ 值越大, 表明分异程度越大, 混合度高<br>基尼系数算法, 反映区域各类功能面积比例和人口比例的差异, 值越低代表居住、商业等功能混合程度高 |
| 碎化指数 (Fragmentation Index) <sup>[36, 37]</sup>         | $f(j) = \frac{1}{(n \times 9)} \sum_{i=1}^n n_i$<br>$n$ 是规划分析栅格的数量, $n_i$ 代表在规划分析栅格 $j$ 中第 $i$ 个网格的碎化值; 9 是九宫格 (3×3) 常数。碎化值 (1-9), 中心栅格基础值为 1, 每个相邻同类网格为 0, 不同的值为 1  | 测度每个栅格所代表的功能与周边 8 个栅格所代表功能的异同, 反映用地的混合程度   |
| 辛普森指数 (Simpson Index) <sup>[31]</sup>                  | $D = 1 - \sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i}{N_i} \right)^2$<br>$s$ 为功能类型数, $n_i$ 为 $i$ 类功能单元内的面积/地块数, $N_i$ 为 $i$ 类功能的总面积/地块数  | 随机抽取多种功能样本中属于同一功能的概率, 数值越大, 多样性越高  |
| 香农-威纳指数 (Shannon-Weaner Index) <sup>[33, 47, 48]</sup> | $MSIDI = - \ln \left( \sum_{i=1}^m P_i^2 \right)$<br>香农多样性指数 MSIDI, $P_i^2$ 功能类型在 $i$ 中出现 2 次的概率, $P$ 用该功能的面积或数量比表示, $m$ 为功能类型的数量  | 表示用地功能类型的多少和各地块用地面积的均匀程度   |
| 机会累积模型 (cumulative-opportunity) <sup>[49]</sup>        | $A_i = \sum_j O_{ij}$<br>$O_{ij}$ 是为栅格提供的服务功能数量, $i$ 为设定的阈值, $j$ 为到设施 $i$ 的距离阻力小于阈值 $i$ 的设施功能  | 一定区域内到达各种服务功能的数量, 数量越大, 可达性越高, 混合度越高   |
| 潜力模型法 (potential measure) <sup>[49]</sup>              | $A_i = \sum_j D_j \int (d_{ij})$<br>$A_i$ 是 $i$ 栅格到所有服务功能 (1, 2, 3, ..., $j$ ) 的可达性, $D_j$ 表示 $j$ 设施的吸引力大小, $d_{ij}$ 表示 $i$ 、 $j$ 之间的距离, $\int (d_{ij})$ 表示距离衰减函数  | 生活所需的各类服务功能的便利程度, 值越高, 表示混合度越低   |

测度方法还能体现建筑功能之间的协同关系。但是, 各类测度方法均无法较好地体现建筑功能的竖向混合布局的差异性。为更直观地比较各类测度方法的差异, 本研究以深圳市华强北片区为例, 运用上述测度方法分别进行整体、地块

(部分方法使用栅格) 两个尺度的混合度测度, 比较其一致性。整体混合度的比较使用偏离均值的比例, 筛选出偏离较大的测度方法; 地块层面, 基于各种方法的矢量地块 (或栅格) 测度结果, 统一量纲后计算其标准差, 进行空间自相

关计算,分析其偏离较大、较小的区域,进而分析比较各类测度方法的差异。见图2。

基于深圳华强北片区的测度结果,片区平均混合度0.56。比较各类测度方法,熵指数法、碎化指数法测度的片区整体混合度偏离值较小;考虑居住—非居住建筑面积比和人口的分异度指数法偏离值最小;面积比例法偏离值最大;辛普森指数、香农-威纳指数两种相似的测度方法,对于片区层面的整体测度而言,取值偏高;机会累积模型法以及潜力模型法与各类指数法量纲不一致,整体层面的混合度测度结果没有可比性。见表3。

从地块或栅格的测度结果来看,面积比例法能够直观地反映混合用地和兼容其他功能类型的混合区域,但不能反映混合功能的面积比例。熵指数法容易受地块大小的影响;基于POI个数的空间信息熵,商业地块内的指数偏高。两种分异度指数法结果接近,考虑人口的基尼系数算法更能体现居住—非居住功能的均衡分布情况。碎化指数法只能通过栅格进行计算,栅格与地块的尺度越接近越准确,测度结果容易受道路以及栅格大小的影响。辛普森指数及香农-威纳指数受地块大小影响较大,基于功能面积比的测度结果优于基于功能类型数量的测度结果。较机会累积模型法而言,潜力模型法更能体现住宅周边重要公共服务设施的距离衰减情况;两种基于缓冲区的测度均依赖于栅格计算。各类测度结果的标准差表明,振兴路西段、燕

南路北段、华发路两侧区域的结果偏差比较大,此类区域为商业、商务办公与居住功能混杂区域,夹杂了大量的公共服务设施,且建筑物尺度较小、数量多。见图3。

分析比较典型的城市用地功能混合

测度模型:①各类测度模型均适用于片区、街区层面的地块或整体混合度测度,基于矢量地块的测度方法更易于统计建筑功能类型和面积,基于栅格的测度方法,栅格粒度的划分宜等于或小于地块面积;②熵指数法容易受矢量地块大小

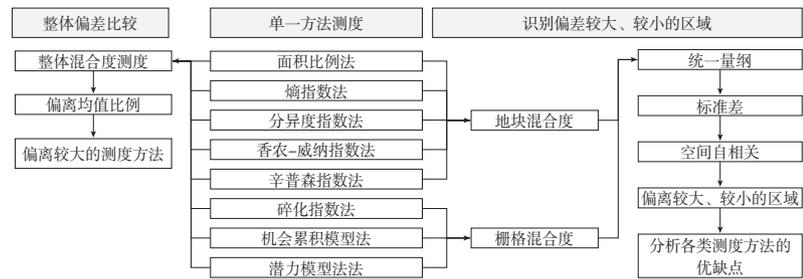


图2 常见的混合度测度方法比较思路  
Fig.2 Comparison of rationales of typical measurement methods

表3 不同方法的华强北片区测度结果

Tab.3 Measurement results by different methods applied in Huaqiangbei

| 测度方法                              | 整体混合度 | 偏离均值比例/% | 备注  |
|-----------------------------------|-------|----------|---|
| 面积比例法<br>(Proportion)             | 0.13  | -76.79   | 偏离值超过均值的76.79%,测度结果信度低。混合用地系数取值2,兼容其他用途的用地系数取值1.3 |
| 熵指数<br>(Entropy Index)            | 0.42  | -25.00   | 基于地块内功能面积比的熵指数                                    |
|                                   | 0.38  | -32.14   | 基于POI个数的空间信息熵指数                                   |
| 分异度指数<br>(Dissimilarity Index)    | 0.83  | 48.21    | 计算居住—非居住功能的均衡性                                    |
|                                   | 0.64  | 14.29    | 基尼系数算法,反映区域地块内各类功能面积比例和人口比例的差异                    |
| 碎化指数<br>(Fragmentation Index)     | 0.40  | -28.57   | 栅格粒度为50 m×50 m,受栅格大小影响较大,接近地块宽度为宜                 |
| 辛普森指数<br>(Simpson Index)          | 0.85  | 51.79    | 与香农-威纳指数本质上属于同一种方法,基于功能类型数量测度                     |
| 香农-威纳指数<br>(Shannon-Weaner Index) | 0.83  | 48.21    | 与辛普森指数本质上属于同一种方法,基于功能面积测度                         |

注:本表中测度方法对应的测度模型与表2相同。考虑已经具备矢量地块图斑,将POI兴趣点落到地块内,可以减少栅格划分对测度结果的影响,本研究中熵指数二的测度使用矢量数据。机会累积模型法、潜力模型法计算的数据与以上算法量纲不一致,不参与整体测度结果比较。

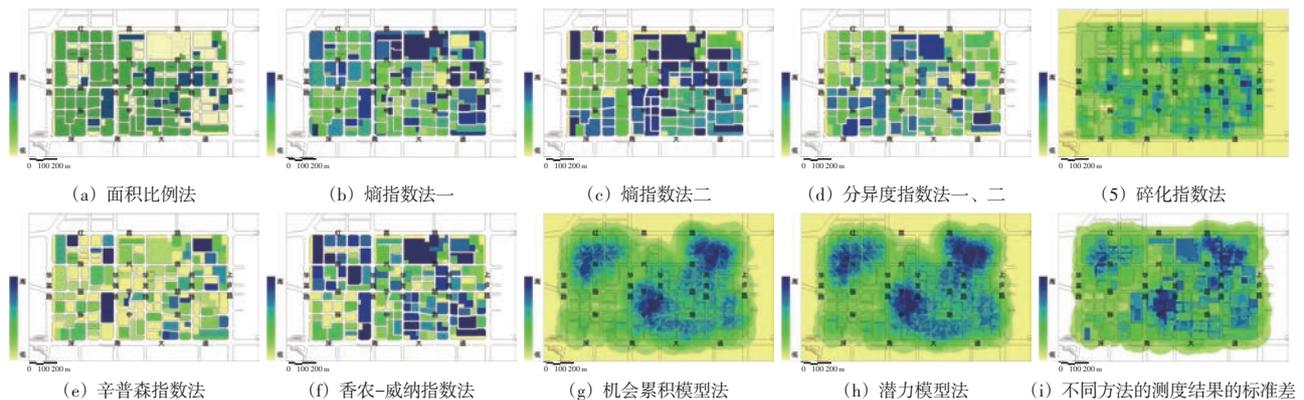


图3 华强北片区不同方法的测度结果  
Fig.3 Measurement results of different methods applied in Huaqiangbei  
注:两种分异度指数法测度结果值的频段一致。

的影响,同样的功能数量和布局方式,地块尺度越大,混合度越高;③机会累积模型法和潜力模型法等可达性法,考虑了空间的实际使用需求,更适用于测度“社区生活圈”层面的混合度;④两种分异度模型均适用于测度居住—非居住功能的混合程度;⑤碎化指数法受栅格大小影响较大,栅格粒度宜接近地块单栋建筑物的平面投影;⑥各类测度方法均无法充分体现地块(或栅格)内部建筑功能立体布局带来的混合差异;⑦面积比例法、多样性视角的测度方法与可达性视角的测度方法之间存在逻辑差异,测度结果彼此缺乏可比性,无法形成统一的指标评价体系。

总之,现有的各类测度方法多借鉴数学、生态学、物理学等相关学科,在城市用地功能混合的测度方面,能够测度片区整体或地块的混合度。对于城市规划工作而言,地块或建筑物内往往是多种用途或功能的混合<sup>[4]</sup>,不但需要关注宏观尺度布局的混合测度问题,还应关注地块内部乃至建筑单体的功能布局差异所带来的混合度变化。现有的测度方法,无法体现地块内建筑物数量布局的混合关系,并不适用于中微观尺度的建筑设计和城市设计对空间精细化布局要求。

因此,本研究重点探讨测度地块(栅格)内部建筑功能类型构成、立体布局和面积比例差异,改进片区整体功能混合度的测度模型,以期真实、准确地反映空间布局情况,为规划设计提供可靠的决策依据。

### 3 测度方法的改进

基于矢量数据的测度方法有其独特的优势。一方面,规划数据平台、规划管理许可往往以Dwg、Shapefile等矢量数据为载体,特别是各地建设的“一张图”管理系统,往往以矢量数据为主,基于矢量数据的测度方法与管理口径一致;另一方面,较栅格数据而言,矢量数据能够体现不同大小地块内部的完整信息。但是,矢量数据也存在其特有的缺陷,比如,体现功能多样性指数的测度方法往往受地块大小影响较大,碎化指数的测度中矢量数据仍需要栅格化等。

相比而言,栅格数据也有其独特的

优势。一方面,目前常见的测度模型普遍可以采用栅格化的计算方式,能够较好地体现功能多样性和布局的平面差异性;另一方面,栅格在大尺度的混合度测算方面比较容易操作,测度粒度一致且便于叠加。相应地,栅格数据也存在缺陷,诸如与规划管理尺度之间换算困难,栅格尺度与地块、建筑物尺度不一致等。

综合考虑栅格和矢量数据地特点,本研究分别就矢量数据和栅格数据,分别提出相应的测度改进思路。

#### 3.1 基于矢量地块数据的测度方法改进思路

就用地功能混合本身的内涵而言,影响混合测度的向量主要包括单位面积内功能类型数量、各类功能的平面布局结构、功能在竖向上的组合关系、功能之间的联系程度等4个方面。就矢量的地块而言,地块内的功能类型数量、各类功能的面积比、功能在竖向上的布局数据比较容易获取,而地块内部建筑功能的平面差异性无法在地块层面直接体现,需要结合建筑物功能测算。地块内的功能类型越多,混合度越高;功能面积的比例越均衡,表示各功能面积差异越小,混合程度越高;低层(1—2层)功能类型占地块内功能类型总数的比例越高,表示多数功能集中在裙房,混合程度低,反之则混合度高。

##### 3.1.1 单一地块功能混合度的测度

单一地块内用地功能混合的测度可以从建筑功能类型构成的多样性、建筑功能的竖向布局差异2个维度的变量完善测度方法。

首先,测度地块功能类型构成的多样性。功能类型的丰富程度、功能之间面积比例的均衡性是影响混合度的主要考虑变量。功能的丰富程度可以用功能类型的数量规范化表达,而功能之间面积的均衡性使用各类功能面积比的标准差表达,体现各功能比例与平均比例的偏离程度。即:

$$D_i = S_i + \delta_i$$

式中: $D_i$ 为地块*i*功能类型的构成的多样性; $S_i$ 为地块*i*中的功能数目的规范化值<sup>①</sup>,取值0—1,功能数量越多混合程度越大; $\delta_i$ 为测度地块*i*中各类功能面积比的标准差,取值0—1,数值越小表

示越均衡,计算时用1减去该值。

其次,还应考虑地块内部竖向混合布局的差异性。采用低层功能比*L*(1—2层功能类型的数量占地块总功能类型数量的比例,计算时用1减去该值)体现竖向混合的状态。

最后,对 $D_i$ 、 $L_i$ 进行离差标准化,得到 $D_i^*$ 、 $L_i^*$ ,求和并进行规范标准化,得到地块*i*的功能混合度。即:

$$H_i^* = D_i^* + L_i^*$$

##### 3.1.2 片区整体功能混合度的测度

片区整体功能混合度的测度分别从各地块混合度平均数及混合度分布的差异性2个维度测算,加权求和综合得到测度区域整体用地功能混合度的测度公式。即:

$$H = \overline{H_i^*} (1 + \frac{S_b}{S_i})$$

式中: $H$ 为用地功能混合度; $\overline{H_i^*}$ 为各地块混合度的平均数; $S_b$ 为大于地块平均数的地块面积; $S_i$ 为片区总面积。

#### 3.2 基于栅格数据的测度方法改进思路

在栅格粒度确定、其他变量不变的情况下,单位栅格内所拥有的功能类型数量越多,混合度越高;竖向上各类功能叠合情况越复杂、比例越均衡,混合度越高;同样,平面上栅格用地性质与周边相邻栅格用地性质差异越大,混合程度越高。

因此,平面上直接用碎化值表达,体现与周边用地功能的差异。竖向上以栅格内的功能种类数量表达功能丰富程度,以各类功能面积比的标准差表达各类功能的比例均衡性。

##### 3.2.1 单一栅格功能混合度的测度

单一栅格内用地功能混合的测度可以从建筑功能类型构成的多样性、平面功能的碎化程度2个维度的变量完善测度方法。

首先,测度栅格功能类型构成的多样性。功能丰富程度、功能之间面积的均衡性是影响混合度的主要考虑变量。功能的丰富程度可以用功能类型的数量表达,而功能之间面积的均衡性结合各类功能面积比的标准差表达,体现各功能比例与平均比例的偏离程度。即:

$$D_i = \frac{S_i}{(1 + \delta_i)}$$

式中： $D_i$ 为栅格*i*功能类型的构成的多样性； $S_i$ 为栅格*i*中的功能数目<sup>①</sup>，功能数量越多混合程度越大； $\delta_i$ 测度栅格*i*中各类功能面积比的标准差表达，取值0—1，数值越小表示越均衡。

其次，还应考虑栅格之间功能的差异性。可以借鉴碎化指数的概念，设定 $n_i$ 为栅格*i*的碎化值，取值1—9，中心栅格基础值为1，每个相邻同类栅格为0，不同的值为1，求和得到中心栅格的碎化值。

最后，对 $D_i$ 、 $n_i$ 进行离差标准化，分别得到 $D_i^*$ 和 $n_i^*$ ，求和得到栅格*i*的功能混合度。即：

$$H_i = D_i^* + n_i^*$$

### 3.2.2 片区整体功能混合度的测度

片区整体功能混合度的测度同样通过功能类型构成的多样性、平面功能的碎化程度2个维度测算。

其中，功能类型构成的多样性，将单个栅格 $D_i$ 的取值区间离差标准化，取其平均数表示。即：

$$D_i^* = \frac{D_i - D_{i,\min}}{D_{i,\max} - D_{i,\min}}$$

平面功能的碎化程度直接使用碎化指数计算公式。即：

$$N = \frac{1}{(s \times 9)} \sum_{i=1}^s n_i$$

求和综合得到测度区域整体用地功能混合度的测度公式。即：

$$H = \overline{D_i^*} + N$$

式中： $H$ 为用地功能混合度； $N$ 为片区平面功能碎化值； $s$ 是规划分析栅格的数量； $D_i$ 为栅格*i*功能类型的构成多样性； $n_i$ 为栅格*i*的碎化值； $i$ 取值区间为1— $s$ 。

## 4 案例实证——以深圳市华强北片区为例

深圳华强北片区是以商贸服务为主的多功能商业中心区，具有典型的多功能商业中心的特点，建筑密度高、用地功能混合程度高且与其他片区空间联系紧密，是研究城市用地功能混合问题的理想区域。

### 4.1 华强北片区的功能混合测度

#### 4.1.1 数据来源

使用2015年华强北片区1:1000的数字地形图（部分区域通过现场勘测的方式进行了更新）、深圳市2015年建筑物信

息普查数据，提取建筑物轮廓、层数和功能用途。此外，根据《深圳市城市规划标准与准则》（2014版）中“建筑与设施用途分类表”的用地功能分类，于2020年7月份对每一栋建筑物进行了现场校核，修正了建筑各楼层实际功能信息。

#### 4.1.2 基于矢量数据的功能混合度的测度

基于矢量数据的华强北片区用地功能混合度的测度，通过地块和片区整体两个层面开展。

（1）以地块为单位的功能混合度的测度

以地块为单位测度的功能混合度更具有规划管理意义，使用法定图则划定的地块数据。同时，将建筑物各楼层的功能和面积数据以建筑物单体为单位，分别进行统计。基于ArcGIS的空间连接，将建筑物数据对应到地块单元内，分别计算地块内的功能类型构成的多样性和竖向混合布局的差异性，对其进行标准化，得到各地块的功能混合度结果[图4（a）]。

（2）区域整体功能混合度的测度

根据各地块用地功能混合度的结果，计算所有地块混合度的平均数为0.40。统计大于地块平均数的地块面积 $S_b$ 占片区总面积 $S_t$ 的比例，加权求和综合得到测度区域整体用地功能混合度0.69。

#### 4.1.3 基于栅格数据的功能混合度的测度

通过单一栅格和片区整体两个层面开展用地功能混合度的测度。

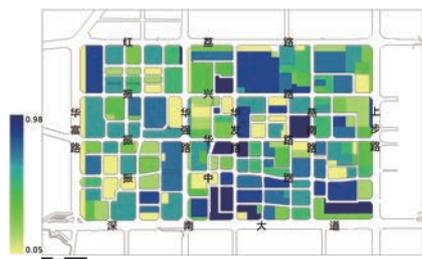
（1）单一栅格功能混合度的测度

将华强北区域进行网格划分。华强北现有建筑物的进深为15 m—25 m，网格划分需要考虑分析栅格粒度对建筑物的识别，确保与建筑物间距大致相近，采用12.5 m×12.5 m的网格进行分析。此外，还需兼顾碎化指数的分析需要，确保建筑功能与周边建筑功能的差异性，使用25 m×25 m的网格进行栅格处理。

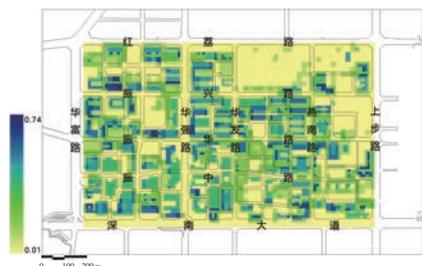
计算栅格功能类型构成的多样性、栅格的碎化值，对其进行离差标准化，得到栅格的功能混合度结果[图4（b）]。

（2）区域整体功能混合度的测度

根据功能类型构成的多样性计算结果，将其离差标准化，计算栅格功能类型构成多样性的平均数为0.12，使用碎化指数公式计算平面功能的碎化程度为0.47，求和综合得到测度区域整体用地



（a）基于矢量地块的测度结果



（b）基于栅格的测度结果

图4 华强北片区用地功能混合度测度结果

Fig.4 Mixed measurement results of land use and function in Huaqiangbei

功能混合度为0.59。

### 4.2 分析与讨论

基于矢量地块与栅格的华强北片区用地功能综合混合度测度结果分别为0.69、0.59，偏离前述各类测度方法均值比分别为23.21%、5.36%，测度结果信度较高；基于栅格计算的结果准确性更高，但基于地块的测度结果更符合规划管理的习惯；通过与空间模型的比对，各地块、栅格的混合度测度结果与平面、竖向上的混合情况一致，能够准确反映单一地块内不同建筑物功能布局的混合程度。

改进后的测度方法具有两个方面的特点。一方面，能够适用于以地块为单位的规划管理及详细设计需求；另一方面，基于分楼层建筑物信息数据的混合度测度，能够体现平面、立体两个维度建筑功能混合带来的布局差异，因而，能够适用于商业、商务中心区等用地功能高度混合的区域，同时也适用于居住区、工业区等用地功能单一但建筑功能存在混合的区域。

虽然改进后的混合度测度方法在适用范围、测度结果的可靠性方面得到了很大的改善，但仍有其局限性，以建筑物功能与分楼层建筑功能为基础的测度模型虽然能准确地体现功能类型、平面

和竖向布局的多样性,但依赖于详细的建筑信息,普查数据获取难度大、工作量大,在城市或区域等大尺度的混合度测度中并不适用。

## 5 结语

对10种典型的混合度测度模型的比较研究结果表明,各类测度方法都有其适用的局限性。首先,目前的测度方法是建立在平面功能混合基础上的测度模型,而城市是立体的,现有的测度方法无法体现立体布局带来的混合差异。其次,各类模型测度结果的合理性在很大程度上受制于地块或栅格粒度划分。因此,研究通过单一栅格功能混合度、区域整体功能混合度两个层次对测度方法进行改进,并以华强北片区的测度结果和实际情况的对比进行案例实证,结果表明:改进后的测度模型能真实反映城市用地功能混合情况。

虽然,混合度的提高有助于土地集约利用,提高空间功能的配置效率,促进空间活力的提升。但是,混合度并不是越高越好,城市用地功能混合的测度只能反映功能在平面、立体的空间混合情况,并不能体现空间布局的合理性。因此,在测度中甄别负面的混合,对用地功能混合度合理的取值区间进行探讨仍是今后的重要研究方向。

注:文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

## 注释

① 为反映数量功能的交错布局带来的混合度提高,考虑同一栋楼宇可能有某些功能嵌套在其他功能楼层之间的情况,重复的功能数量按0.5系数折算。如,某栋综合楼1—5层是商业功能,6—7成为娱乐康体,8—9、15层为商业,10—14层为办公,16—18层为住宅,共有4种功能。其中8—9、15层两段的功能与1—5层相同,分别乘以0.5的修正系数。该建筑功能类型数量为 $4+2 \times 0.5=5$ 种。

## 参考文献 (References)

[1] HOPPENBROUWER E, LOUW E. Mixed-use development: theory and prac-

- ice in Amsterdam's Eastern Docklands[J]. *European Planning Studies*, 2005, 13(7): 967-983.
- [2] MCNEILL D, FINE G. Global city: Jan Gehl, public space and commercial culture in central Sydney[J]. *Journal of Urban Design*, 2011, 16(2): 161-178.
- [3] 文雯. 阿姆斯特丹混合使用开发的规划实践[J]. *国际城市规划*, 2016(4): 105-109. (WEN Wen. The planning practice of mixed-use development in Amsterdam[J]. *Urban Planning International*, 2016(4): 105-109.)
- [4] American Planning Association. Planning and urban design standards[M]. Hoboken: John Wiley and Sons, 2006.
- [5] NIEMIRA M P. The concept and drivers of mixed-use development: insights from a cross-organizational membership survey[J]. *Research Review*, 2007, 4(1): 53-66.
- [6] HANDY S L, BOARNET M G, EWING R, et al. How the built environment affects physical activity: views from urban planning[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2002, 23(2-suppl-S1): 64-73.
- [7] ANGOTTI T, HANHARDT E. Problems and prospects for healthy mixed-use communities in New York city[J]. *Planning Practice & Research*, 2001, 16(2): 145-154.
- [8] GRANT J. Mixed use in theory and practice: Canadian experience with implementing a planning principle[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2002, 68(1): 71-84.
- [9] 钟力. 混合使用开发理念解读: 以深圳华侨城规划设计为例[J]. *新建筑*, 2010(5): 118-122. (ZHONG Li. Interpretation of the mixed-use development concept: case study on the planning and design in OCT in Shenzhen[J]. *New Architecture*, 2010(5): 118-122.)
- [10] 庄淑亭, 任丽娟. 城市土地混合用途开发策略探讨[J]. *土木工程与管理学报*, 2011, 28(1): 33-37. (ZHUANG Shuting, REN Lijuan. Discussions on the mixed-uses development strategy of urban land[J]. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2011, 28(1): 33-37.)
- [11] 黄莉. 城市功能复合: 模式与策略[J]. *热带地理*, 2012(4): 402-408. (HUANG Li. Mixed land use for urban development: models and strategies[J]. *Tropical Geography*, 2012(4): 402-408.)
- [12] ROWLEY A. Mixed-use development: ambiguous concept, simplistic analysis and wishful thinking[J]. *Planning Practice and Research*, 1996, 11(1): 85-98.
- [13] Urban Land Institute. Mixed-use development handbook[M]. 2nd ed. USA: Urban Land Institute, 2003.
- [14] 李翅. 土地集约利用的城市空间发展模式[J]. *城市规划学刊*, 2006(1): 49-55. (LI Chi. Probed into city spacial development pattern based on compact land-use[J]. *Urban Planning Forum*, 2006(1): 49-55.)
- [15] 李京生, 付予光, 李将, 等. 对小区规划模式可持续性的思考[J]. *城市规划学刊*, 2008(1): 90-95. (LI Jingsheng, FU Yuguang, LI Jiang, et al. Some thinking on sustainability of residential district planning[J]. *Urban Planning Forum*, 2008(1): 90-95.)
- [16] 任晋锋, 吕斌. 土地使用对交通出行的影响[J]. *城市规划学刊*, 2011(5): 63-72. (REN Jinfeng, LÜ Bin. The impact of land use on travel[J]. *Urban Planning Forum*, 2011(5): 63-72.)
- [17] 李晨, 姚文琪, 程龙, 等. 城市土地使用相容性比例及影响要素探讨: 以深圳市更新地区为例[J]. *城市规划学刊*, 2013(4): 60-67. (LI CHEN, YAO Wenqi, CHENG Long, et al. A study on land use compatibility: the case of urban renewal area in Shenzhen[J]. *Urban Planning Forum*, 2013(4): 60-67.)
- [18] 陈映雪, 甄峰. 基于居民活动数据的城市空间功能组织再探究: 以南京市为例[J]. *城市规划学刊*, 2014(5): 72-78. (CHEN Yingxue, ZHEN Feng. Further investigation into urban spatial function organization based on residents' activity data: a case study of Nanjing[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(5): 72-78.)
- [19] 魏晓芳, 赵万民, 孙爱庐, 等. 山地城镇高密度空间的形成过程与机制研究[J]. *城市规划学刊*, 2015(4): 36-42. (WEI Xiaofang, ZHAO Wanmin, SUN Ailu, et al. A study on the formation process and mechanism of high-density spaces in mountainous cities and towns[J]. *Urban Planning Forum*, 2015(4): 36-42.)
- [20] 吕斌, 祁磊. 紧凑城市理论对我国城市化的启示[J]. *城市规划学刊*, 2008(4): 61-63. (LÜ Bin, QI Lei. Compact city: a sustainable way of urbanization[J]. *Urban Planning Forum*, 2008(4): 61-63.)
- [21] 王雅娟, 屈信, 张尚武. 规划研究视角的特大城市通勤空间紧凑性评价方法: 以济南市为例[J]. *城市规划学刊*, 2018(6): 61-68. (WANG Yajuan, QU Xin, ZHANG Shangwu. Exploration on planning-oriented evaluation method of commuting space compactness in mega-cities: a case study of Jinan city[J]. *Urban Planning Forum*, 2018(6): 61-68.)
- [22] 周新刚, 郎宽. 面向就业活动紧凑度的紧凑城市规划策略[J]. *城市规划学刊*, 2019(3): 50-57. (ZHOU Xingang, LANG Wei. Planning for compact city from the perspective of employment activities[J]. *Urban Planning Forum*, 2019(3): 50-57.)
- [23] BROWN B B, YAMADA I, SMITH K R,

- et al. Mixed land use and walkability: variations in land use measures and relationships with BMI, overweight, and obesity[J]. *Health & Place*, 2009, 15(4): 1130-1141.
- [24] SONG Y, MERLIN L, RODRIGUEZ D. Comparing measures of urban land use mix [J]. *Computers, Environment & Urban Systems*, 2013, 42(7): 1-13.
- [25] LIANG X, GUAN Q, CLARKE K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: a case study in Wuhan, China[J]. *Computers Environment and Urban Systems*, 2021, 85: 101569.
- [26] 钱林波. 城市土地利用混合程度与居民出行空间分布——以南京主城为例[J]. *现代城市研究*, 2000(3): 7-10+63. (QIAN Linbo. The research on the relationship between degree of mixed urban land-use and spatial distribution of trips: in case study of main districts in Nanjing[J]. *Modern Urban Research*, 2000(3): 7-10+63.)
- [27] 李苗裔, 马妍, 孙小明, 等. 基于多源数据时空熵的城市功能混合度识别评价[J]. *城市规划*, 2018(2): 97-103. (LI Miaoyi, MA Yan, SUN Xiaoming, et al. Application of spatial and temporal entropy based on multi-source data for measuring the mix degree of urban functions[J]. *City Planning Review*, 2018(2): 97-103.)
- [28] 郑红玉, 黄建洪, 卓跃飞, 等. 土地混合利用测度研究进展[J]. *中国土地科学*, 2019(3): 95-104. (ZHENG Hongyu, HUANG Jianhong, ZHUO Yuefei, et al. Research progress on the measurement of mixed land use[J]. *China Land Science*, 2019(3): 95-104.)
- [29] 王德, 殷振轩, 俞晓天. 用地混合使用的国际经验: 模式、测度方法和效果[J]. *国际城市规划*, 2019(6): 79-85. (WANG De, YAN Zhenxuan, YU Xiaotian. International experience of mixed land use: models, measures and effects[J]. *Urban Planning International*, 2019(6): 79-85.)
- [30] SHI B, YANG J. Scale, distribution, and pattern of mixed land use in central districts: a case study of Nanjing, China[J]. *Habitat International*, 2015, 46: 166-177.
- [31] SIMPSON E H. Measurement of diversity [J]. *Nature*, 1949, 163: 688.
- [32] COMER D, GREENE J S. The development and application of a land use diversity index for Oklahoma city, OK[J]. *Applied Geography*, 2015, 60: 46-57.
- [33] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- [34] FRANK L D, ANDRESEN M A, SCHMID T L. Obesity relationships with community design[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2004, 27(2): 87-96.
- [35] MCGARIGAL K, MARKS B J. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure[R]. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-351, 1995: 82-132.
- [36] WEI Y, ZHANG Z. Assessing the fragmentation of construction land in urban areas: an index method and case study in Shunde, China[J]. *Land Use Policy*, 2012, 29(2): 417-428.
- [37] LI T, LIANG Y, BO Z. Measuring residential and industrial land use mix in the peri-urban areas of China[J]. *Land Use Policy*, 2017, 69: 427-438.
- [38] DUNCAN O, DUNCAN B. A methodological analysis of segregation indexes[J]. *American Sociological Review*, 1955, 20, 210-217.
- [39] MASSEY D S, DENTON N A. The dimensions of residential segregation[J]. *Social Forces*, 1988, 67(2): 281-315.
- [40] SAKODA J M. A generalized index of dissimilarity[J]. *Demography*, 1981, 18(2): 245-250.
- [41] ABDULLAHI S, PRADHAN B, MANSOR S, et al. GIS-based modeling for the spatial measurement and evaluation of mixed land use development for a compact city[J]. *GI-Science & Remote Sensing*, 2015, 52(1): 18-39.
- [42] STEAD D. Relationships between land use, socioeconomic factors, and travel patterns in Britain[J]. *Environment & Planning B Planning & Design*, 2016, 28(4): 499-528.
- [43] HAJNA S, DASGUPTA K, JOSEPH L, et al. A call for caution and transparency in the calculation of land use mix: measurement bias in the estimation of associations between land use mix and physical activity[J]. *Health & Place*, 2014, 29: 79-83.
- [44] NABIL N A, ELDAYEM G E A. Influence of mixed land-use on realizing the social capital[J]. *HbrcJournal*, 2015, 11(2): 285-298.
- [45] 李顺成. 紧凑城市的中国化范式, 理论、测度方法与实证研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2019. (LI Shuncheng. Chinese paradigm of compact cities, theory, measuring method and empirical research[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2019.)
- [46] CERVERO R, KOCKELMAN M K. Travel demand and the 3ds: density, diversity, and design[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1997, 2(3): 199-219.
- [47] JOST L. Entropy and diversity[J]. *Oikos*, 2006, 113(2): 363-375.
- [48] YUE Y, ZHUANG Y, YE H A G O, et al. Measurements of POI-based mixed use and their relationships with neighbourhood vibrancy[J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2017, 31(4): 658-675.
- [49] MOUDON A V, LEE C, CHEADLE A D, et al. Operational definitions of walkable neighborhood: theoretical and empirical insights[J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2006, 3(S1): 99-117.

修回: 2022-01