

# 基于格网法的城市空间紧凑度研究——以广州市天河区为例

Researches on Urban Compactness Based on Grid Method: A Case Study of Tianhe District, Guangzhou

郭洪旭 黄莹 赵黛青 肖荣波

Guo Hongxu, Huang Ying, Zhao Daiqing, Xiao Rongbo

**摘要:** 本文以广州市天河区为研究对象, 利用高分辨率遥感影像数据提取建筑空间信息并进行分类。在此基础上, 构建城市空间紧凑度评价指标体系, 对研究区的紧凑特征进行评价, 得出以下主要结论: (1) 研究使用的建筑信息提取和分类方法简单易行, 获取的城市建筑空间属性信息准确, 能有效应用于城市空间紧凑度的分析; (2) 研究构建的评价指标体系能有效表征城市不同功能区的物理空间、功能布局以及社会组织紧凑程度的差异; 其中, 人口净密度是评价城市空间紧凑度的关键指标; (3) 产业密集的工商业地区以及交通主干道附近区域的空间紧凑度更高, 商业用地与居住用地的适度混合有助于提高城市空间的紧凑度。城市各功能区空间紧凑度大小依次是中心商业区 > 次级商业区 > 普通商业区 > 一般街区。

**Abstract:** High-resolution remote sensing data of Guangzhou Tianhe district is used to extract building by object-oriented method. Then, the extracted information is used as one of basic data to identify an assessment indices system for measuring urban compactness in the study area. The main results are as following: (1) the method which is used to extract and classify the building information is simple, accurate, reliable and easy to use for urban compactness analysis. (2) The assessment index system which we constructed is an expeditious means to express the difference of physical space, functional layout, and social activity compactness in the different functional zones. Net residential density and population density are key factors to evaluate urban compactness among the assessment indices. (3) The spaces are more compact in the densely built areas of commercial and industrial sites, and the mix of commercial and residential land is helpful to promote compact development. The space of central business district is more compact, followed by secondary business district, ordinary business district and common block.

**关键词:** 城市空间紧凑度; 评价指标体系; 格网法; 广州天河区

**Keywords:** Urban Compactness; Assessment Index System; Grid Method; Guangzhou Tianhe District

国家自然科学基金项目 (41501184) 资助

**作者:** 郭洪旭, 广东省环境科学研究院, 哈尔滨工业大学深圳研究生院深圳市城市规划与决策仿真重点实验室  
黄莹 (通信作者), 中国科学院广州能源研究所  
赵黛青, 中国科学院广州能源研究所  
肖荣波, 广东省环境科学研究院

## 引言

我国人口众多, 城市化增长速度快。城市化推动了我国经济和社会的发展, 极大地改善了居民的生活条件。然而, 过高的城市化增长速率和蔓延式空间扩张给我国城镇化健康发展、资源的合理利用以及社会稳定等带来严重的危害<sup>[1-3]</sup>。针对目前高速城市化所衍生出的诸多问题, 结合国外城市化的历史经验和我国国情, 多位学者指出中国的城市化应循序渐进, 坚持发展以“高密度、高效率、资源节约”为主要特征的紧凑型城市<sup>[4,5]</sup>。

紧凑型城市发展理论是以欧洲为主的西方发达国家研究如何控制城市蔓延、促进城市可持续发展的代表理论之一, 强调城市发展应遏制低密度扩张, 通过基础设施的集中设置和综合利用, 提高土地资源利用和废弃物收集效率, 减少交通距离和污染排放以促进城市可持续发展<sup>[6]</sup>。紧凑度是衡量紧凑型城市的主要指标之一, 目前计算城市紧凑度的标准还不统一, 其定量分析主要采用单指标评价法和多指标综合评价法。单指标评价模型始于 20 世纪 60 年代, 理查德森 (Richardson)、科尔 (Cole)、吉布斯 (Gibbs) 分别提出了紧凑度计算公式<sup>[7-9]</sup>; 在此之后, 贝尔托 (Bertaud) 和马尔佩齐 (Malpezzi) 提出紧凑度指数, 用于城市紧凑度的度量<sup>[10]</sup>; 阮春星 (Nguyen xuan Thiih) 等提出了一种依靠 GIS 光栅分析技术的万有引力模型<sup>[11]</sup>。单指标评价模型主要从城市形态的角度出发, 以建成区面积、周长以及建成区内地块距离城市中心的距离等因素确定单个城市的紧凑度, 因此无法反映城市内部不同区域的紧凑程度。多指标综合评价法在城市形态的基础上增加了人口、经济、交通、资源消耗和环境污染等因素的综合分析, 侧重城市之间的比较和分类。加尔斯特 (Galster) 等提出界定城市蔓延的八个指标, 其中的密度、连续性、集中性等指标可以

衡量城市建设的紧凑程度<sup>[12]</sup>；伊丽莎白·波顿 (Elizabeth Burton) 建立了对城市紧凑度的综合衡量指标体系，分析和确定了影响城市紧凑发展的各类因素<sup>[13]</sup>；蔡育新 (Yu-Hsin Tsai) 提出从都市区层面界定紧凑程度的多项指标和相应的定量分析方法，采用空间自相关对紧凑度进行模拟<sup>[14]</sup>；施瓦茨 (Schwarz) 运用景观指数法，以城市密度、集聚度、边缘密度和紧凑度等多个指标分析了欧洲 231 座城市的空间紧凑程度<sup>[15]</sup>。我国学者对紧凑城市的研究开始于 21 世纪，主要应用多指标综合分析法比较全国主要城市空间紧凑度的差异，以及城市空间紧凑布局对可持续发展的影响，如马丽和金凤君对中国 120 座地级及以上城市的紧凑度进行评估，并分析其对资源利用和环境污染的影响<sup>[16]</sup>；郭腾云和董冠鹏对我国 31 座特大城市空间紧凑度、城市效率及其变化进行了分析<sup>[17]</sup>；陈海燕和贾倍思应用中国 45 座特大城市的统计数据分析了紧凑发展与城市资源利用和环境之间的关系<sup>[18]</sup>。

综上所述，城市紧凑度的单指标评价法主要以城市外部形态特征反映城市空间的紧凑程度，多指标综合评价法侧重城市之间的比较，两类方法对城市内部空间紧凑特征的分析能力均较弱，而城市内部空间紧凑度的评价才是指导城市空间规划和建设的关键。鉴于此，本文以广州市天河区为研究对象，利用高分辨率遥感影像数据，依据建筑屋顶的光谱信息和纹理特征，应用面向对象法提取研究区的建筑并进行分类。在此基础上，构建城市空间紧凑度的评价指标体系，分析城市内部空间的紧凑特征。本文建立了一套从基础数据收集到城市紧凑度评价的研究体系，研究方法能有效表征城市内部紧凑度的差异，对推进城市紧凑发展，指导城市规划和建设具有切实意义。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

广州市是华南地区的政治、经济、文化中心，城市化进程推进迅速<sup>[19]</sup>。全市辖 10 区 2 市，总面积 7 434.4 km<sup>2</sup>。其中，天河区位于广州市中部，珠江北岸，地理坐标 23°06'00"~23°14'45"N，113°15'55"~113°26'30"E，东西极限长 18.75 km，南北极限长 15.75 km (图 1)。随着广州市城市化进程的推进和城市发展战略中“东移、南拓”空间布局取向的“落地”，天河区正成为广州市新的城市中心，区内的珠江新城和天河商业街所拥有的总部楼宇约占全市的 70% 以上，是广州市最重要的中心商业区。由于天河区处于旧城区外围，相对于以高密度居住用地为主的老城区，其用地类型和空间结构更加多样；同时，公共基础设施集中分布在商业中心，居住建筑、工厂等主要分布在商业中心外围，具有典型的向心型城市化特征。因此以广州市天河区为研究对

象，模拟其空间紧凑度具有典型意义。

研究区共 21 个街道，根据《广州市天河区商业网点发展规划》，可将其划分为中心商业区、次级商业区、普通商业区和一般街区四类区域。中心商业区包括天河南、林和、石牌、冼村和猎德街道，是广州市 CBD 所在地；次级商业区包括棠下、车陂、黄村、前进、珠吉街道，区域内商业建筑和工业用地类型多样；普通商业区位于沙河和沙东街道内，主要分布在天源路和广园快速路以西的交汇处；元岗、龙洞、新塘、凤凰、长兴、员村等街道为一般街区。

### 1.2 研究数据与方法

本研究利用高分辨率遥感影像数据提取建筑空间信息并进行分类；在此基础上，选取建筑密度、用地多样性、人口密度、人口净密度和道路密度五个单项指标表征城市物理空间、社会空间、城市功能和社会活动组织的紧凑程度；继而以极差标准化法对各单项指标进行无量纲标准化处理，并采用变异系

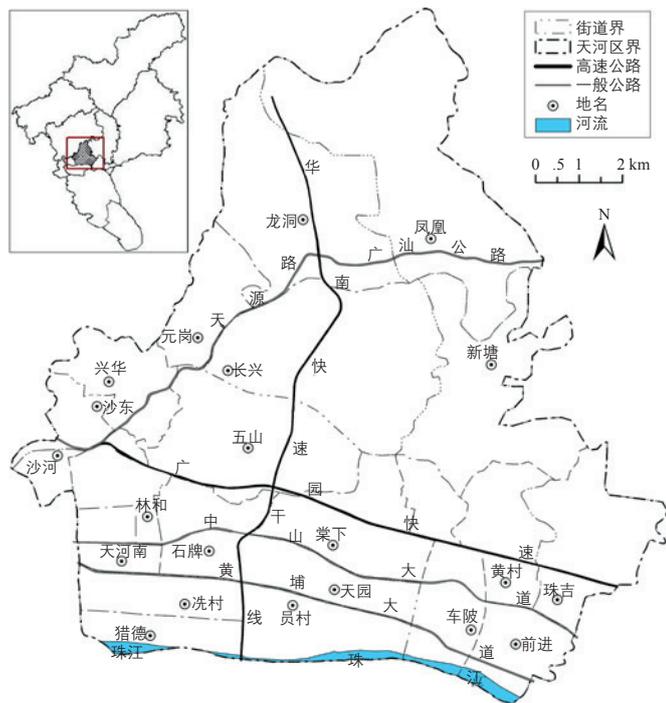


图 1 研究区地理位置  
资料来源：参考文献 [20]

数法确定各指标的权重，加权计算研究区城市空间紧凑度综合指数。各单项指标及综合紧凑度均在 500 m × 500 m 的格网中进行表征。

### 1.2.1 数据来源

研究采用的遥感数据为广州市天河区 2010 年 2 月成像的 QuickBird 数据，全色波段空间分辨率 0.61 m，数据的预处理包括影像的辐射标定、几何配准、大气纠正、数据融合等；各街道人口为 2010 年广州市第六次全国人口普查数据中的常住人口；土地利用图为广州市 2007 年 1 : 2 000 标准分幅土地利用现状图；道路基础信息为广州市天河区 2010 年交通路网数据，来源于广东省地图出版社编制的《广州市地图册》<sup>[20]</sup>。

### 1.2.2 建筑信息提取及分类方法

采用面向对象法提取建筑信息，该方法集合临近像元为对象以识别提取目标光谱要素，充分利用高分辨率的全色和多光谱数据的空间、纹理和光谱信息对图像分割和分类，以高精度的矢量结果输出<sup>[21]</sup>。

以天河区 2010 年高分辨率遥感影像为基础，应用遥感影像处理软件

ENVI 4.8 中的 Feature Extraction (FX) 模块对影像中的建筑进行提取，其流程分为发现对象和特征提取两部分。本文对建筑信息提取的步骤和参数设置详见图 2 和表 1。

由于研究区建筑类型多样，在提取过程中参数设置结合影像质量和建筑特征作适当调整。建筑信息提取后，反复对比影像特征，结合地图信息<sup>[20]</sup>，建立建筑类型分类标志，对提取的建筑信息进行分类。将提取并分类的建筑信息与 2007 年广州市 1:2 000 的土地利用现状图进行叠加，对分类结果进行验证和修订，以提高分类的准确性。天河区属于中心城区，2007—2010 年土地利用变化较小，以 2007 年土地利用现状图对建筑种类进行验证和修订

具有一定的可行性。最终，将提取的建筑分为 4 大类、17 个二级地类（图 3）。

### 1.2.3 城市空间紧凑度计算方法

紧凑城市的主要特征为高密度、功能混合和集约化。其中，高密度指人居环境的紧凑性，功能混合指城市功能的紧凑和复合；集约化为城市各项活动的集中组织<sup>[22]</sup>。因而本研究选取建筑密度、用地多样性、人口密度、人口净密度和道路密度分别反映城市物理空间、社会空间、城市功能和社会活动组织的紧凑程度，各指标的数值越大代表城市空间越紧凑。

建筑密度是单位区域内建筑占地面积的比例，用以反映城市建设开发的集中程度。用地多样性以 Shannon-

表 1 建筑提取的主要步骤和参数设置

操作步骤		阈值 / 参数设置	依据	目的
发现对象	Segment	30~90	临近像素的亮度、纹理、边缘特征等	分割区域影像
	Merge	> 90	属性、目标的大小	合并同属性临近斑块
	Compute attributes	—	空间、光谱、纹理、颜色空间属性等	—
特征提取	Bandratio	< 0.3	光谱属性	剔除植被、水体等
	rect_fit	0.5~1	空间属性	剔除道路等
	Avg band 2	< 600	光谱属性、空间属性等	剔除水泥地面、广场等
	area	> 40 m <sup>2</sup>	面积属性	剔除非建筑小斑块

资料来源：参考文献 [21]

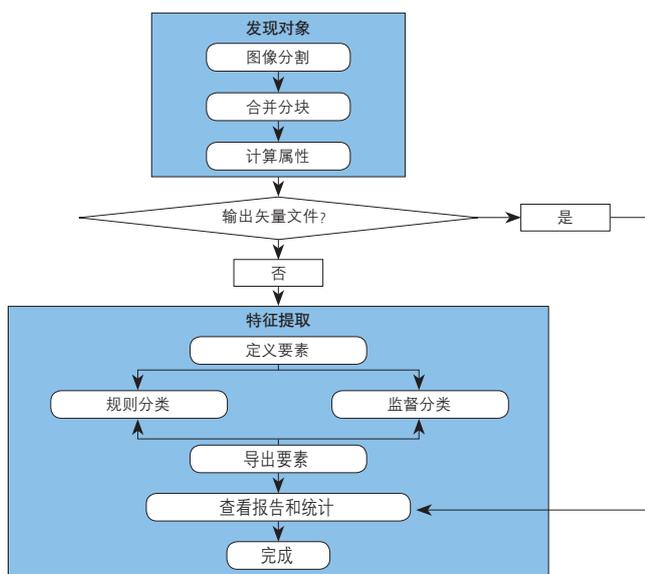
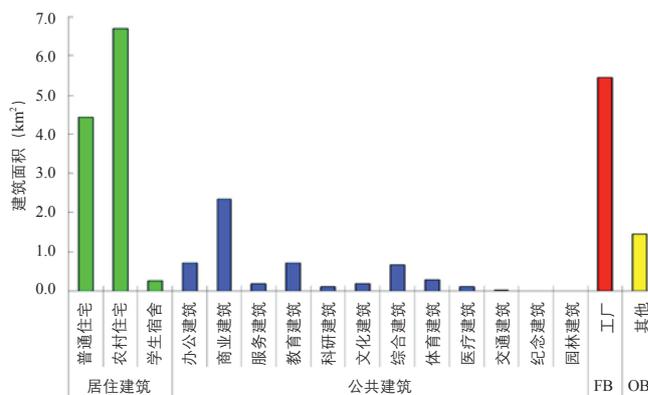


图 2 面向对象分类流程图

资料来源：参考文献 [21]



注：FB 为工业建筑；OB 主要为在建建筑

图 3 建筑提取结果

Weaver 指数进行计算, 其大小取决于区域内建筑类型的多少和分布的均匀程度, 主要反映城市功能布局的紧凑程度。人口密度为单位土地面积上的常住人口数, 主要反映人口的聚集程度。人口净密度为单位居住用地面积上的人口数, 由于居住用地是城市中最主要的用地类型, 因此该指标在反映人口聚集程度的同时, 能间接体现土地利用的集约程度; 该指标能有效剔除城中村、棚户区等用地人口密度高但土地利用效率偏低对研究结果的影响。道路密度为单位面积内道路长度的总和, 用于反映城市公共资源和社会活动组织的集约程度。各项指数均以格网法进行表征, 计算方法如下:

$$D(B_j) = \frac{\sum_{n=1}^N S_n}{u} \quad (1)$$

$$H(j) = -\sum_{n=1}^N p_n \ln(p_n) \quad (2)$$

$$D(P_j) = \frac{\sum_{m=1}^M S_m D_m}{u} \quad (3)$$

$$D(P_{j-net}) = \frac{\sum_{m=1}^M S_m D_m}{\sum_{n=1}^N S_n} \quad (4)$$

$$D(R_j) = \frac{\sum L_q}{u} \quad (5)$$

式(1) — (5) 中,  $D(B_j)$ 、 $H(j)$ 、 $D(P_j)$ 、 $D(P_{j-net})$  和  $D(R_j)$  分别为格网  $j$  内的建筑密度、用地多样性、人口密度、人口净密度以及道路密度。 $n$  为建筑类型;  $N$  为格网  $j$  中的建筑类型总数;  $S_n$  为格网  $x$  中第  $n$  类建筑的占地面积;  $p_n$  为格网  $x$  内第  $n$  类建筑个数占建筑总数的比例;  $m$  和  $M$  分别为格网内居住建筑的类型和类型总数;  $S_m$  和  $D_m$  分别为格网中第  $m$  类居住建筑的占地面积和建筑人口密度, 建筑人口密度估算过程见《城市居住人口空间分布的模拟研究》<sup>[23]</sup>;  $L_q$  为格网  $x$  内各类道路的长度, 包括步行街、自行车道、机动车道;  $u$  为格网面积。

在单项指标分析的基础上, 以极差标准化法对各指标进行无量纲标准化

处理, 并采用变异系数法确定各指标的权重, 最终计算得到紧凑度综合指数。变异系数法为客观赋权法, 取值差异越大的指标, 也就是越难以实现的指标, 更能反映被评价单位的差距, 因而将被赋予更高的权重。指标的标准化处理及综合紧凑度的计算公式如下:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (6)$$

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{\sigma_i/\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n (\sigma_i/\bar{x}_i)} \quad (7)$$

$$F_j = \sum_{i=1}^n W_i x'_{ij} \quad (8)$$

式中:  $x'_{ij}$  和  $x_{ij}$  分别为  $j$  格网中, 指标  $i$  的标准值  $x_i$  和  $s_i$  实际值,  $x_i$  和  $s_i$  分别为指标  $i$  的平均值和标准差;  $W_i$  为  $i$  指标的权重,  $V_i$  为  $i$  指标的变异系数,  $i$  为评价因子数,  $i=1, 2, 3, 4, 5$ ;  $F_j$  为  $j$  格网的紧凑度综合指数。

## 2 结果与分析

### 2.1 建筑信息提取结果及精度评价

研究共提取建筑物样本 12 911 个, 面积合计 24.1 km<sup>2</sup>, 部分城中村建筑单体间距非常小, 影像识别和提取时将紧密连续分布的单体建筑合并为一个斑块。居住建筑、公共建筑、工厂建筑、其他建筑占地面积分别为 11.96 km<sup>2</sup>、5.29 km<sup>2</sup>、5.45 km<sup>2</sup>、1.46 km<sup>2</sup>, 其中居住建筑用地是研究区最主要的用地类型, 各类建筑的面积如图 3 所示。普通住宅包括所有城镇住宅用地上的小区住宅、家属院等城市居住建筑; 农村住宅包括城中村及农村宅基地上的各类农村居住建筑; 学生宿舍为高校内的宿舍建筑。为了分析建筑面积提取的精确性, 分别在城市中心和外围的石牌、车陂和龙洞街道选取三个样方, 共 63 栋建筑, 比较解译面积与实际面积的误差; 建筑实际面积取自广州市国土资源和房屋管理局。通过取样对比, 本研究解译面积与样本实际建筑用地面积的平均相对误差为 13%, 提取结

果较为准确; 提取建筑的分类结果也与土地利用现状图保持较高的一致性, 因而建筑的提取和分类结果可以用于城市空间紧凑度的分析。

## 2.2 城市空间紧凑特征

### 2.2.1 建筑密度

研究区建筑密度的主要特点表现为: 主干道沿线建筑密度更大, 各功能区建筑密度的大小依次是次级商业区 > 中心商业区 > 普通商业区 > 一般街区 (图 4a)。各类建筑主要分布在广园快速路以南、珠江以北, 天源路和广汕路沿线建筑分布的连续性也较强, 主干道附近的建筑密度高于周边地区。次级商业区所在的广园快速路和中山大道两侧的建筑密度最大, 区域内公共建筑相对集中 (图 4c), 周边居住建筑、城中村、工厂分布密集 (图 4b, 4d), 建筑密度最高可达 0.8, 即每平方公里内建筑用地面积为 0.8 km<sup>2</sup>。中心商业区公共建筑众多, 但开敞空间较大, 因而建筑密度略低于次级商业区。普通商业区是研究区重要的服装批发集散地, 建筑密度略低于中心商业区。元岗、新塘、凤凰、长兴、员村等产业用地较少的街区建筑密度整体偏低。天河区界内空白区域建筑密度低于 0.06, 主要为山体、水体、耕地及植被分布区; 下文各指标不对该区域进行分析, 以“NULL”表示。

### 2.2.2 用地多样性

研究区用地多样性的主要特点为: 产业集中的区域用地多样性更高, 但中心商业区用地多样性相对偏低。各功能区用地多样性的高低依次是普通商业区 > 次级商业区 > 中心商业区 > 一般街区 (图 5)。普通商业区是广州市重要的服装批发集散地, 建设发展时间长, 由于地处中心商业区外围, 土地价格远低于中心商业区, 但同时具有一定的产业发展优势, 区域内医疗、

教育、文化用地种类众多，因而是研究区内用地多样性最高的区域，用地多样性指数基本在 1.5 以上。次级商业区的公共建筑与普通住宅集中，周边工业用地众多，因而用地多样性也较高。中心商业区内土地利用以高端商业建筑用地为主，其他用地类型和数量较少；同时，大型商业建筑周边的开放空间大，单位面积内的建筑种类较少，因而用地多样性整体偏低。一般街区内以居住建筑用地为主，其他用地类型较少，因而用地多样性最低。

### 2.2.3 人口密度

研究区的人口密度并非简单地由城市中心向外围呈指数式衰减，产业密集区和主干道附近的人口密度更高。各功能区人口密度的大小依次是次级商业区 >

中心商业区 > 普通商业区 > 一般街区 (图 6a)。研究区居住人口主要集中在中山大道、黄埔大道以及广汕路以西两侧的带状区域内。次级商业区内有大量的产业用地，普通住宅建筑和农村住宅建筑众多，到达中心商业区的交通便利，是研究区最重要的外来务工人员集聚地，因而人口密度较高，最高可达 4 万人 / km<sup>2</sup>。中心商业区内的居住用地以普通居住建筑为主，分布集中，人口密度与次级商业区相当。普通商业区内人口密度基本在 1 万人 / km<sup>2</sup> 左右，平均水平略低于中心商业区。一般街区内产业用地少，交通区位差，人口密度整体偏低。

### 2.2.4 人口净密度

与人口密度分布趋势不同，人口净密度呈现出明显的城市中心高、外

围低的特征，各功能区人口净密度的大小依次是中心商业区 > 普通商业区 > 次级商业区 > 一般街区 (图 6b)。中心商业区内公共建筑密集，高端商业建筑众多，吸引就业的能力极强；虽然居

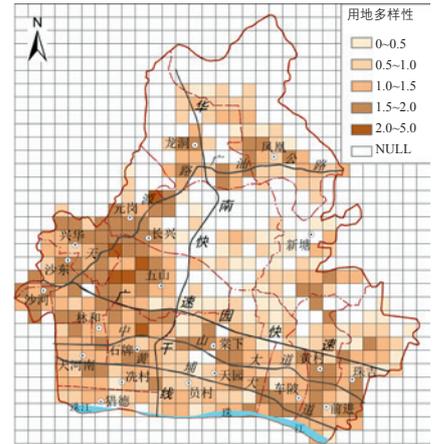


图 5 研究区用地多样性分布特征

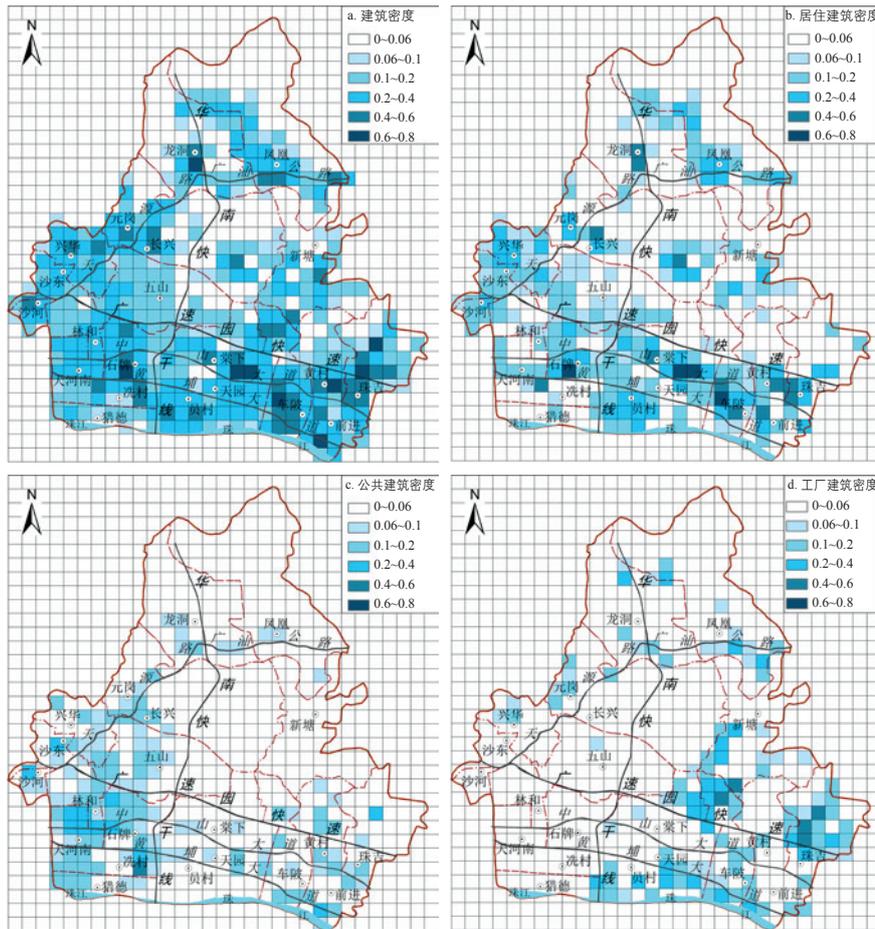


图 4 研究区各类建筑的密度及分布特征

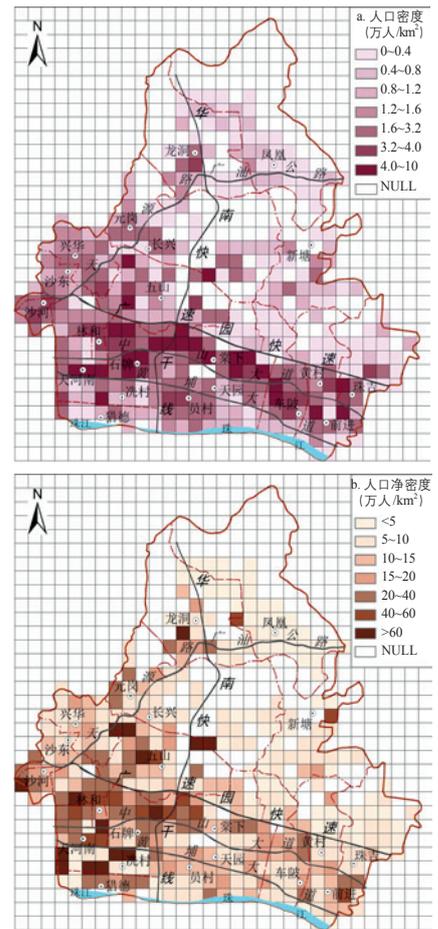


图 6 研究区人口分布特征 (a. 人口密度, b. 人口净密度)

住建筑用地少、人口密度低于次级商业区，但单位居住建筑面积上承载的人口更多，土地利用效率远高于外围地区，人口净密度基本在 20 万人 /km<sup>2</sup> 以上，最高可达 60 万人 /km<sup>2</sup>。次级商业区虽然人口密度最高，但城中村众多，房屋低矮、连片建设现象严重，人口净密度远低于中心商业区。普通商业区内老旧社区较多，同时有部分城中村，因而人口净密度整体偏低。一般街区内产业用地少、交通区位差、人口稀少，而居住建筑低矮、分散、占地面积大，因而人口净密度非常小，总体水平在 5 万人 /km<sup>2</sup> 以下。

### 2.2.5 道路密度

主干道沿线的道路密度远高于其他区域，各功能区道路密度的大小依次是中心商业区 > 次级商业区 > 普通商业区 > 一般街区（图 7）。中心商业区和次级商业区内产业用地集中，横穿广州市东西的主干道——黄埔大道和中山大道贯穿其中，道路密度最

高可达 14 km/km<sup>2</sup>。产业相对集中的普通商业区道路密度略低于中心商业区和工业区。一般街区的道路密度普遍偏低，整体水平在 4 km/km<sup>2</sup> 以下。

### 2.2.6 紧凑度综合指数

采用变异系数法对以上五个单项指标进行权重确定，并计算研究区的紧凑度综合指数。各指标的权重如表 2 所示：人口净密度和人口密度被赋予最高的权重，说明这两个指标在各区的差异最大，也最难实现，因此提高人口聚集能力是城市紧凑发展的关键。与人口净密度和人口密度两个指标相比，其他三个指标的权重相对较小。

研究区产业集中的区域和主干道沿线的紧凑度更高，各功能区紧凑度的大小依次是中心商业区 > 次级商业区 > 普通商业区 > 一般街区，中心商业区和次级商业区内不同区域紧凑度差异较大。如图 8 所示，中心商业区所在的石牌、天河南、林和街道空间

紧凑度整体偏高，但猎德和冼村街道紧凑度却偏低，主要原因是两街道内以商业用地为主，居住建筑不多，人口密度和用地多样性偏低。次级商业区靠近主干道沿线的区域具有更高的紧凑度，商业建筑和普通居住建筑集中，用地多样性、人口净密度、道路密度等均较高；而距离主干道较远的区域以城中村为主，虽然人口密度较大，但人口净密度不高，因而空间紧凑度相对偏低。普通商业区空间紧凑度略低于中心商业区和次级商业区，区域内居住建筑老旧，人口净密度偏低，道路密度也偏低。龙洞、凤凰、新塘、长兴等街区以居住用地为主，产业用地少、道路基础设施配置差，因而用地多样性偏低，人口聚集能力差，空间结构不紧凑。

## 3 结论

本文构建了能够有效表征城市内部空间紧凑度的评价指标体系，并以广州市天河区为研究对象，对其空间紧凑程度进行评价，得到以下主要结论，并提出政策建议。

(1) 本研究使用的建筑信息提取和分类处理方法简单易行，获取的城市建筑空间属性信息准确，能有效应用于城市空间紧凑度的分析。研究选取的五个单项指标能有效表征城市不同功能区的物理空间、社会空间、功能布局以及社会组织紧凑程度的差异，其中人口净密度是决定城市空间紧凑度的关键。

(2) 产业密集的工商业地区以及交通主干道附近区域的空间紧凑度更高，各功能区空间紧凑度的大小依次是中心商业区 > 次级商业区 > 普通商业区 > 一般街区。中心商业区内商业用地和居住用地适度混合的区域紧凑度更高。次级商业区内，商业集中的主干道沿线具有更高的紧凑度，距离主干道较远的工业和城中村密集区紧

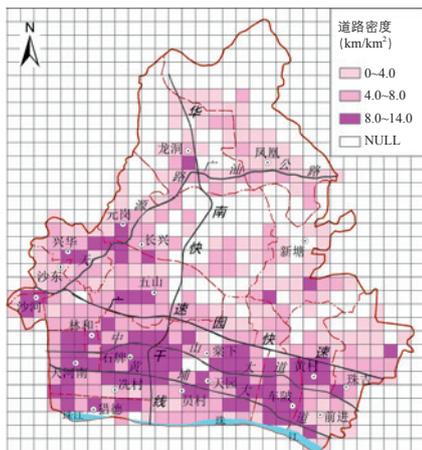


图 7 研究区道路密度分布特征

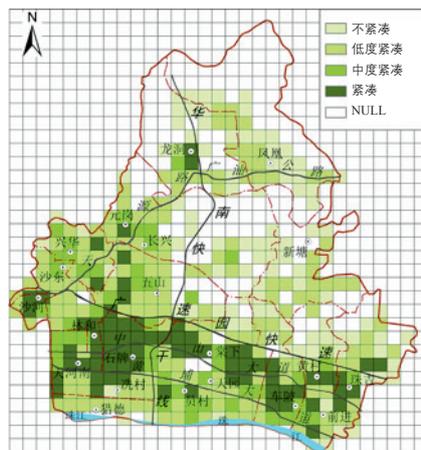


图 8 研究区紧凑度综合指数度量结果

表 2 变异系数法确定单项指标权重

	建筑密度	用地多样性	人口密度	人口净密度	道路密度
平均值 $\bar{x}_i$	0.24	1.11	1.40	70.41	5 241.82
标准差 $S_i$	0.14	0.53	1.47	132.00	3 324.73
变异系数 $V_i$	0.58	0.48	1.05	1.87	0.63
归一化权重 $W_i$	0.13	0.10	0.23	0.41	0.14

紧凑度偏低。普通商业区的空间紧凑度整体低于中心商业区和次级商业区，区域内空间紧凑度的差异不大。一般街区产业用地少而分散，人口净密度、用地多样性等均偏低，空间结构不紧凑。

(3) 城市是一个复杂的有机体，影响城市紧凑发展的因素众多，通过以上分析，本文认为：促进城市的紧凑发展，产业的聚集是核心，提高人口净密度是关键。在产业聚集的条件下，辅以城市规划手段，如优化道路基础设施布局，适当提高用地多样性和建筑容积率，达到提高人口净密度的目的，实现城市的紧凑发展。城市不同功能区应采取不同的紧凑发展策略：中心商业区应适当增加居住用地，提高土地利用多样性，避免通勤人口的钟摆式流动；次级商业区应加强对城中村的规划和管理，提高土地利用效率；普通商业街应加强对老旧社区的改造，提升城市活力；一般街区应避免产业小规模分散发展，居住用地应集中规划和管理。

本研究重点从城市物理空间、社会空间、城市功能和社会活动组织四个角度探讨了城市空间紧凑度的分析方法，为相关领域的研究提供了方法和借鉴。然而，由于城市系统的复杂性以及数据资料的缺乏，本文对城市经济、产业发展紧凑特征的探讨还不足，不同紧凑度对资源的有效利用和城市可持续发展的影响也有待深入研究。UPI

注：本文未注明来源的图表均为作者绘制

## 参考文献

- [1] Fung K L. Urban Sprawl in China: Some Causative Factors[M] // Ma L J C, Hanten E W. Urban Development in Modern China. Colorado: West View Press, 1981: 194-221.  
[2] Wu F, Yeh Anthony G O. Urban Spatial Structure in a Transitional Economy: The Case of Guangzhou, China[J]. Journal of the

- American Planning Association, 1999, 65: 377-394.  
[3] Chu K Y, Yeung Y M. Guangdong: Survey of a Province Undergoing Rapid Change[M]. Hong Kong: Chinese University Press, 1994.  
[4] 陆大道. 我国的城镇化进程与空间扩张[J]. 城市规划学刊, 2007, 4: 47-52.  
[5] 仇保兴. 紧凑度和多样性——我国城市可持续发展的核心理念[J]. 城市规划, 2006, 11: 18-24.  
[6] Elizabeth B, Mike J, Katie W E B, Mike J. Achieving Sustainable Urban Form[M]. London and New York: E & FN Spon, 2000: 347.  
[7] Cole J P. Study of Major and Minor Civil Division in Political Geography[M]. Miami, 1960.  
[8] Gibbs J P. Urban Research Methods[M]. New York, 1961.  
[9] Richardson H W. The Economics of Urban Size Lexington, Mass, 1973.  
[10] Bertaud Stephen M A. The Spatial Distribution of Population in 35 World Cities: the Role of Markets, Planning and Topography[J]. Center for Urban Land Economics Research, 1999.  
[11] Nguyen X T, Bernd H, et al. Evaluation of Urban Land-use Structures with a View to Sustainable Development[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2002, 22: 475-492.  
[12] Hanson R Galster G, Ratcliffe M R, et al. Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept[J]. Housing Policy Debate, 2001, 4: 681-717.  
[13] Elizabeth B. Measuring Urban Compactness in UK Towns and Cities[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2002, 29: 219-250.  
[14] Tsai Y H. Quantifying Urban Form: Compactness versus "Sprawl"[J]. Urban Studies, 2005, 42: 141-161.  
[15] Schwarz N. Urban form Revisited-selecting Indicators for Characterising European Cities[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 96: 29-47.  
[16] 马丽, 金凤君. 中国城市化发展的紧凑度评价分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30: 1014-1020.  
[17] 郭腾云, 董冠鹏. 基于 GIS 和 DEA 的特大城市空间紧凑度与城市效率分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 4: 482-490.  
[18] 陈海燕, 贾信思. 紧凑还是分散?——对中国城市在加速城市化进程中发展方向的思考[J]. 城市规划, 2006, 5: 61-69.  
[19] Mylly S. Remote Sensing Monitoring and Driving Force Analysis of Urban Expansion in Guangzhou City, China[J]. Habitat International, 2010, 2: 228-235.  
[20] 广东省地图出版社. 广州市地图册[M]. 广州: 广东省地图出版社, 2010.  
[21] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 211-232.  
[22] 方创琳, 祁魏锋. 紧凑城市理念与测度研究进展及思考[J]. 城市规划学刊, 2007, 4: 65-73.

- [23] 郭洪旭, 赵黛青, 黄莹. 城市居住人口空间分布的模拟研究——以广州市天河区为例[J]. 热带地理, 2013, 33: 81-87.

(本文编辑: 许玫)