

# 紧凑型高密度居住形态的量化与测度研究\*

## ——以沈阳市长白街区为例

Study on Quantification and Measurement of Compact High-density Residential Form: A Case Study of Changbai Residential Block, Shenyang

马芳芳 刘生军 MA Fangfang, LIU Shengjun

**摘要** 在新型城镇化背景下,居民的生活方式逐渐发生变化,对居住空间的需求存在量与质的提升,因此如何在有限居住区内营造高质量、可持续的居住环境成为新的思考焦点。聚焦于高密度居住街区,以沈阳市长白街区为例,从紧凑度角度对街区形态进行分析,选取平均层数、容积率、建筑覆盖率及开敞空间率4个指标,借助ArcGIS对街区的形态指标进行量化与分析,使用全局莫兰指数探究指标与紧凑度的空间相关性,并利用层次分析法确定各个指标权重,从而构建街区紧凑度测度指标体系,进而获得街区内的空间尺度分布规律。结果表明:(1) 选取的4个指标均大于0,呈现空间正相关关系,其中平均层数呈现的集聚性特征最为显著;(2) 在紧凑度这一测度指标中,该地块以集约型发展为主,紧凑度较为均衡,且受交通因素影响较大;(3) 研究区内以中高层住宅为主,容积率均值为2.51,保证了最佳的空间容量,同时也较符合人性化的要求。以期对我国其他城市高密度居住空间规划提供借鉴。

**Abstract** Under the background of new urbanization, the lifestyle of residents has gradually changed, and the demand for living space has been increased in both quantity and quality. Therefore, how to create a high-quality and sustainable living environment in limited residential space has become a new focus. Taking Changbai residential block in Shenyang as an example, this paper analyzes the block form from the perspective of compactness, and selects four indicators including average floor number, floor area ratio, building coverage rate, and open space rate. The shape index of the block is quantified and analyzed through ArcGIS, the Global Moran's Index is used to explore the spatial correlation of indicators and compactness, and the analytic hierarchy process is used to determine the weight of each indicator to construct a compactness measurement index system. Ultimately, this paper reveals the pattern of spatial scale distribution in the block. (1) The four indexes selected are all above 0, presenting a positive spatial correlation, among which the average floor number presents the most significant clustering feature. (2) In the measurement index of compactness, the block is dominated by intensive development and balanced compactness, and it is greatly affected by traffic factors. (3) The study area is dominated by high-rise residential buildings with an average floor area ratio of 2.51, which ensures the best space capacity and meets the requirements of humanization. This study hopes to provide references for the planning of high-density residential space in other cities in China.

**关键词** 新型城镇化;城市形态;居住街区;紧凑度;紧凑度指数

**Key words** new urbanization; urban form; residential block; compactness; compactness index

文章编号 1673-8985 (2021) 04-0079-06 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20210411

### 作者简介

马芳芳  
东北大学江河建筑学院  
硕士研究生  
刘生军(通信作者)  
东北大学江河建筑学院  
副教授,博士, hit\_lsj@126.com

城市形态是一个城市的政治、经济、社会结构、文化传统等要素在外在空间上的显像特征,在一定程度上影响城市的可持续发展。随着我国城镇化进程的快速发展,居住用地逐渐成为城市用地结构中占比最大的部分,其空间形态一直受

到多方关注。同时,街区制的兴起与推广,打造了一种全新的城市建设模式,得到诸多认可。

居住街区空间形态的量化研究对塑造健康有序的街区空间、调节居民与物质空间环境的关系具有一定的积极意义,同时也为提升居住

\*基金项目:中央高校基本科研业务专项“城市建筑景观格局与灰霾扩散的关联分析”(编号N2011005)资助。

空间品质提供一定的理论依据。

## 1 核心概念界定

### 1.1 高密度居住区

“密度”(density)一词在物理意义上是指单位体积下物质所具有的质量,能够反映物质本身的特性,同时也会受到外界因素的影响。从城市空间环境来看,密度常作为评价城市物质建造环境的重要指标。高密度指所在空间环境中,高层建筑分布较为密集,有着高建筑容积率、高建筑覆盖率和低开放空间率的特点,同时也可能包括公共服务设施和道路网的高密集度。因此,可将高密度物质空间环境特点简单归纳为:①以高层建筑为主;②高建筑容积率;③低开敞空间率;④高建筑覆盖率<sup>[1]</sup>。

### 1.2 紧凑型街区

“街区”(block)指四周由城市街道所围成的最小区块,内部涵盖了建地与建筑物等。紧凑型城市源于可持续发展理念,是基于土地资源集约利用的新思想,具体表现为城市用地规模紧凑、功能紧凑和结构紧凑3方面。本文所指的紧凑型街区,从空间形态上讲,指由城市街道所围成的高密度、围合式街区的用地集合,内部包含建筑、道路、绿地景观和公共服务设施等要素,即由多个街坊和要素共同组成的城市局部区域<sup>[2]</sup>。

### 1.3 城市形态

形态(morphology)最早由希腊语中的“morphē”(形)与“logos”(逻辑)发展而来。城市形态(urban form)指城市建造环境的空间组织和布局形式、城市用地的外部几何形态,其内部包含诸多要素,因而具有错综复杂的特点。随着时间的推移,城市形态会发生一系列变化,为适应城市发展的要求,需要探究和思考。

西方国家对于城市形态的研究起步较早,早在19世纪初就已经对城市形态展开了广泛的研究和讨论,提出一系列理论和方法。我国相关研究的起点则是在20世纪80年代。近年来随着我国城市化速度加快,城市空间形态的研究也越来越受到诸多学者的关注。目前国内有关

城市空间形态的研究可大致分为3类:①城市空间形态的测度研究。任安东等<sup>[3]</sup>分析了中国36个城市的形状计量指标,并辅以Pearson相关系数探求各指标间的相关性;周鹏<sup>[4]</sup>通过构建特征值指标体系,研究武汉市多尺度多维度的居住空间分异特征。②城市形态特征的研究。周在辉等<sup>[5]</sup>运用分形维数、城市空间扩展速度、各向异性指数等指标对武汉市城市用地的演化特征进行探索与分析;钱志友等<sup>[6]</sup>借助遥感影像,采用景观指数法和等扇方位法等空间分析方法,对南京市城市扩张及其形态演变进行定量分析,在时间和空间上揭示了南京市城市扩张与形态演变特征;熊伟婷等<sup>[7]</sup>运用年轮分析、全局自相关分析、圈层分析等方法,以建筑层数、建筑年代、建筑高度、建筑密度、地块地价和开发强度等为评价指标,定量分析了无锡市空间形态“集聚式”分布和“年轮式”增长的演化特征。③城市空间形态的扩张机制研究。徐银凤等<sup>[8]</sup>利用4个时期的Landsat遥感影像,借助分形理论和空间句法分析,探索苏州城市外部和内部空间形态演变特征,并揭示其影响机理;谭雪兰等<sup>[9]</sup>基于4个年份的遥感影像,利用GIS分析、等扇分析法和多元回归分析法,分析了长沙市1989年以来城市空间扩展的动态变化过程、特征及影响因素。

总结已有研究发现,目前对城市空间形态的研究仍有不足。从研究方法来看,单纯依靠定量指标分析较多,而统一建立量化指标体系、探

求指标相关性的研究较少;从研究对象来看,以单个城市或多个城市区域为对象的研究较多,缺乏对某个城市片区的精细化尺度的形态研究;从研究内容来看,对城市形态建立测度模型研究较少,特别是对城市街区形态的研究不多。因此,在前人研究的基础上,本文旨在以城市形态学理论为基础,聚焦居住街区的微观尺度,借助地理信息系统(GIS)平台,对街区内的场地、包含建筑和道路等形态要素进行综合提取,对相关指标参数进行统计和分析,并进一步运用全局莫兰指数(Global Moran's I)探求指标的相关性分析,最后通过层次分析法(AHP)对居住街区的紧凑度形态进行评价,为引导街区向绿色、健康有序的方向发展提供一定的指导和建议。

## 2 研究区概况

本文研究范围为沈阳市和平区长白岛(见图1),占地4.3 km<sup>2</sup>,位于沈阳市浑河南岸,居住用地面积占整个地块的67.9%(见图2),被称为沈阳“一河两岸”重要的滨水生态居住板块,是集生态宜居、商务办公、文化娱乐、运动休闲为一体的大型滨水城市生活区。由于该街区同时包含道路、绿地、建筑、公共活动开敞空间和场地等多元空间信息,道路网系统高度密集,其路网密度为21.78 km/km<sup>2</sup>,具有较强的空间可达性,且不拘泥于单一功能街区的形态,属于多种类型、功能复合的街区,因此具有一定的研究意义。

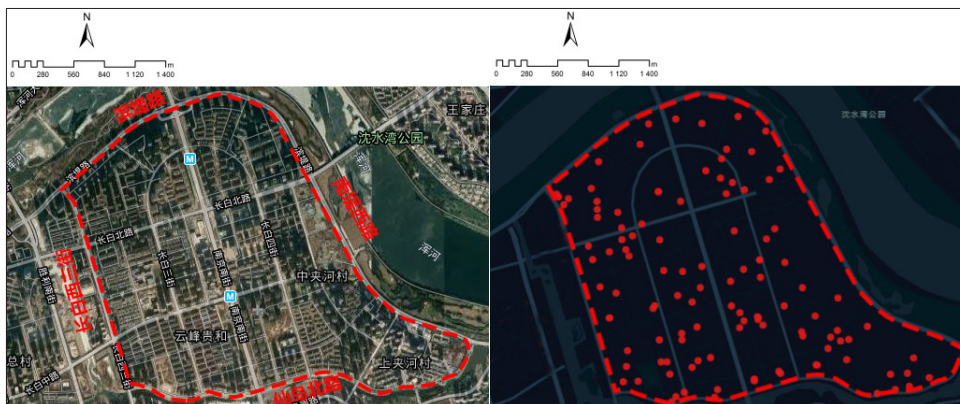


图1 研究区域及区域内小区点位置  
Fig.1 Study area and location of residential areas in the study area

资料来源:笔者自绘。



图2 街区内用地性质分布图  
Fig.2 Land use in the block

资料来源:笔者自绘。

### 3 研究方法

#### 3.1 数据来源及处理

本文主要借助Google、OSM地图信息平台获取城市行政边界、街区信息、交通路网等其他相关城市空间数据,结合遥感影像资料,通过AutoCAD和ArcGIS软件技术进行图形的处理和绘制,经过坐标转换、空间校正、地理配准等方法,进行完善和整理,筛选出可利用的相关信息。同时在ArcGIS平台内进行形态指标的赋值和属性定义,进一步建立基础形态数据库,继而进行形态相关数据的提取、统计和分析。

#### 3.2 指标测度模型构建

评价体系以“紧凑度”评价识别为基础。英国学者波顿(Burton)曾对城市紧凑度的评价指标进行探究,认为高密度的建筑是紧凑城市形成的最重要的空间形态,容积率则代表了地块开发的程度,与街区紧凑形态的形成息息相关。针对以上特点,结合高密度居住街区核心概念,根据定量分析的原则,从平均层数(Average Layer, AL)、建筑覆盖率(Building Density Ratio, BDR)、容积率(Floor Area Ratio, FAR)和开敞空间率(Open Square Ratio, OSR) 4个指标因子构建紧凑度测度模型。

#### 3.3 空间相关性检验

评价体系中,为探求各评价因子之间的空间相关性,采用全局莫兰指数对其进行检验,主

要统计相邻的空间分布对象属性取值之间的关系,范围为[-1, 1],如果高值与高值聚集在一起,低值与低值聚集在一起,则为“空间正相关”。反之,则为“空间负相关”。越接近-1和1,就表明空间相关性越强,0表示该属性值不存在空间相关性。其计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

式中: $n$ 为指标点数目; $y_i$ 和 $y_j$ 分别为空间对象在第 $i$ 和第 $j$ 点的属性值; $w$ 为空间权重矩阵。根据正态分布检验值,当 $Z$ 得分处于-1.65—1.65之间,在统计上呈现随机分布的趋势;反之如果 $Z$ 得分大于1.65(或小于-1.65),表明区域之间的空间正相关(或负相关)具有显著意义。

从测定结果来看(见表1),可以发现全局莫兰指数均大于0,且 $Z$ 得分均大于1.65,数据聚集的可能性大于随机分布的可能,且4个指标因子之间存在空间正相关关系,符合紧凑型街区的特征,且能够显著拒绝零假设。

#### 3.4 数据归一化

由于评价体系中各指标因子量纲不同,借助GIS平台,利用重分类工具将各单因子去纲量化,进行归一化处理,并按1—10级采取自然间断分级法(Jenks)进行量化分级。

表1 各个指标的空间自相关检验结果

Tab.1 Spatial autocorrelation test results of various indicators

序号	指标	Global Moran's I	Z-score	P-value
1	平均层数	0.313920	14.291864	0.000000
2	容积率	0.129725	4.830582	0.000001
3	建筑覆盖率	0.129106	4.817058	0.000001
4	开敞空间率	0.168258	6.251430	0.000000

资料来源:笔者自制。

表2 街区紧凑度评价矩阵及因子权重

Tab.2 Evaluation matrix of block compactness and factor weights

指标因子	平均层数	建筑覆盖率	容积率	开敞空间率	权重 $w_i$
平均层数	1.0000	0.3333	1.0000	0.3333	0.1279
建筑覆盖率	3.0000	1.0000	3.0000	1.0000	0.3838
容积率	1.0000	0.3333	1.0000	0.5000	0.1416
开敞空间率	3.0000	1.0000	2.0000	1.0000	0.3468

资料来源:笔者自制。

#### 3.5 权重计算

为准确判断各类别因子对其形态的影响程度,本文采用层次分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP),参考相关文献以及专家打分法,运用Saaty9级标度法进行赋值,构建判断矩阵,并对判断矩阵进行一致性检验,公式如下:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (2)$$

式中: $CR$ 表示一致性检验比例; $CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$  $RI$ 为平均随机一致性指标。通过以上公式可以计算出上述判断矩阵的一致性比例为0.0077,通过一致性检验,具体指标详见表2。

其中 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ 、 $W_4$ 分别代表平均层数、建筑覆盖率、容积率和开敞空间率的加权影响系数。可以看出,建筑覆盖率对于街区形态的影响程度最大,其次为开敞空间率,影响最小的为平均层数。由此,街区紧凑度指数(Residential Compact Index, RCI)公式如下:

$$RCI = W_1AL + W_2BDR + W_3FAR + W_4OSR \quad (3)$$

#### 3.6 评价方法

本文采用综合评价指数法,以80 m×80 m

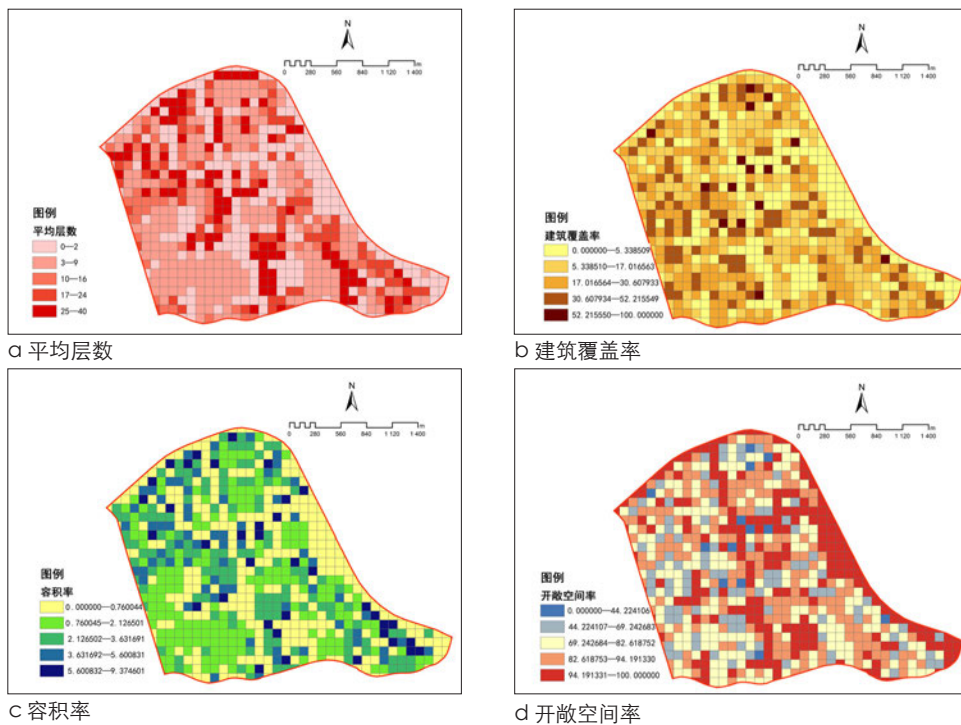


图3 平均层数、建筑覆盖率、容积率和开敞空间率的分析结果  
Fig.3 Analysis results of AL, BDR, FAR, and OSR

的渔网网格为数据单元,借助ArcGIS地理信息系统对各项评价指标权重进行空间叠加,由此计算出研究区内紧凑度指数,并对其空间分布规律进行量化描述。

## 4 结果与分析

### 4.1 指标因子分析结果

本文按照定量分析的原则,借助ArcGIS中的渔网工具,将居住街区分为 $80\text{ m}\times 80\text{ m}$ 的网格,共708个。再通过提取街区内建筑物质心点与生成的渔网做相交分析,对街区内的形态进行展现。

在平均层数这一指标中,其界定直接影响到住区的空间容量。结果显示,该研究区北部以高层建筑为主,南部多层建筑占比较大。较为符合新版居住规划标准中建筑高度不超 $80\text{ m}$ 的要求;其次为25—40层,占比13.8%。其高度较为明显的地区主要集中于地块北部,分布于长白中路北侧的万科城小区、格林玫瑰湾小区以及南侧的格林生活坊小区,平均层数为32层,最高为40层的汇锦金融中心;其次为南京南街东

侧的中海国际社区以及恒大半岛天境小区,平均层数为30层。这是由于该地块位于浑河南岸,其昂贵的地价促使建筑集约式发展。

容积率是地块内总建筑面积与用地面积的比值,反映建筑空间环境的密度状况,且通常二者呈正相关关系,建筑容积率高的地区其环境密度也较高。在规划与建筑设计研究领域,认定评价密度高的标准为:容积率高于1.6为高密度。在这一指标中,整个地块的容积率平均值为2.51。包括道路及未建设用地在内,0.000000—0.760044这一区间所占比例最大,高达41.8%,主要集中于南京南街西侧,分布有和众人口文化公园和周边教育类设施;南堤西路的西侧有大面积未建设用地以及地块南侧的中海龙湾小区,其建筑层数都较低,总建筑面积较小,故容积率较低;其次为容积率在0.76—2.13区间,占比25%,主要集中于长白中路北部的格林观堂小区,南侧的银海湾家园、天河家园以及和泓国际小区。除维华商业广场等商业用地,其他区域容积率值较为适中,小区内建筑物分布较为均匀,层数设置也

较为合理,这无疑为社区内居民的生活带来了较好的感受和体验,增强了居民之间的信息交流。

建筑覆盖率不仅能够反映住区内建筑物的密集程度,还可以反映出住区的土地利用效率。随着住区功能逐渐多样化、混合化和综合化,该地区的建筑覆盖率较为均匀,平均值为15.5%,且数值在30%以下的地块占比84%,可以得出该地区在城市用地的扩张上发展较为充分,土地利用率高,具有均质化特征。这主要是由于长白居住地块开发年份较晚,且该地块南北邻水,区位因素较为优越,建设的高档小区数量也较多,对于居住小区建设的指标也越来越严格,但也存在分布较为密集的小区,主要位于北部的远洋和平府小区及中部华润幸福里小区,覆盖率平均值可达50%。

开敞空间率这一指标对于整个社区的邻里交往氛围的营造以及活化闲置空间等都有一定的积极意义。其与建筑覆盖率指标呈负相关,开敞空间率越大,地块内的建筑覆盖率就越低。此次分析可得出,除主要道路和南堤西路旁的未开发用地外,该地区的开敞空间率平均值为70.2%,说明其开敞空间及景观绿地等开发建设较为人性化,在一定程度上能够满足社区居民的心理需求,提供相应的日常活动空间和生活服务。从图3中可看出长白四街西侧的地块开发较东侧更为充分,主要因为西侧开发小区数量较多,而东侧集中于南部的中海国际社区与恒大半岛社区。

### 4.2 街区紧凑度模型结果分析

在上述研究基础上,为更加系统综合评价街区的紧凑度指数并进行分析,借助GIS平台,利用重分类工具将各单因子值去纲量化,进行归一化处理,按1—5级采取自然间断分级法进行量化分级,再通过属性字段的加权计算工具对各个形态指标进行加权叠加,得到街区紧凑度的总体分布图(见图4),该图反映了街区内紧凑度的高低。

可以看出,该地区范围内紧凑度指数平均值为37.7,其中,除主要道路和未开发用地,整

资料来源:笔者自绘。

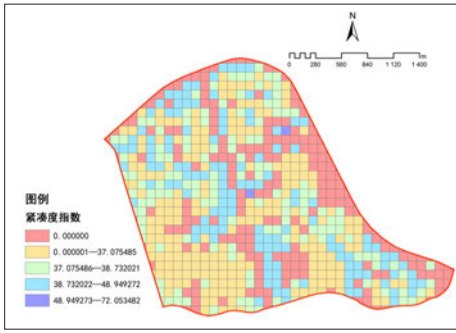


图4 区域内紧凑度指数评价结果  
Fig.4 Evaluation results of the compactness index in the region

资料来源:笔者自绘。



图5 地块三维立体化形态图  
Fig.5 Three-dimensional morphology of the area

资料来源:笔者自绘。

个地块的紧凑度主要集中在37.075485,占整个地块的43.8%,与均值相差无几。但同时也存在指数较高的区域,位于三好桥北侧的丽湾国际小区和南京南街东侧的维华商业广场区域,紧凑度指数分别为59.7和72.0。这主要是由于临街城市快速路,周边的商业服务类设施较为齐全,其他教育类、生活服务类设施分布都较为密集,在空间上反映不同层面的社会经济需求。数值较低的是位于南部的银河湾家园及恒大半岛社区,紧凑度较为均一,无明显多样化特征(见图5)。

5 结论

本文基于紧凑型住区的指导思想,从中微观视角出发,选取沈阳市长白街区地块进行空间形态的量化分析,构建紧凑度测度模型,并使用紧凑度指数来刻画地块内的高密度形态。研究结论如下:

(1) 通过对平均层数、建筑覆盖率、容积率

和开敞空间率指标进行量化分析,发现除未开发用地外,研究区内平均层数均值为13层,且北部及东南部区域建筑高度差异化较为明显,容积率均值在2.51,建筑覆盖率与开敞空间率的分布有较强的随机性,说明该研究区富有潜在性社会活力,能较大程度上满足高品质的居住和生活需求。

(2) 通过对4个指标进行空间自相关检验,结果显示平均层数呈现的集聚性特征最为显著,约为开敞空间率的2倍,其次为容积率,建筑覆盖率与紧凑度相关性最弱。表明该研究区在建筑高度控制上较为良好,呈现较好的连通性特征,同时也大大提升了土地利用效率。

(3) 基于“紧凑度测度模型”的建立,可以发现该研究区整体上呈现高密度的形态特征,总体趋势是“西北—东南高,西南较低”。由于该区域为沿河地带,其建设考虑到沿河天际线及城市风貌,因此城市用地都较为紧凑,土地利用率高,使其发挥了较大的开发价值。这不仅有利于实现住区资源环境的合理分配,减少浪费,而且可以为居民提供高效、高品质的生活空间,从而加强整个地区的集聚效应,在保障生态效益的同时促进经济效益的提升,实现城市的健康持续发展。

综上所述,沈阳市长白街区处于存量更新的阶段,面向高密度、集约化方向发展仍有较大提升空间;同时要结合以人为核心的新型城镇化建设,综合考虑居住街区建设的适宜尺度及空间,有利于促进城市更加紧凑、绿色地发展和富有活力。

本文系统分析了高密度居住街区空间形态的量化特征,建立了定量研究的测度模型和住区空间形态量化研究框架,不仅考虑了住区的内部物质空间环境,而且融入了对三维立体空间使用的思考。这对未来城市居住空间的形态学研究提供了一定的理论基础,也为居住空间品质的提升提供了依据,同时也为其他城市,尤其是北方地区的居住街区规划管控提供了参考。由于城市系统的复杂性和资料收集的局限性,本文缺乏对城市

经济和社会文化要素的探讨,对街区紧凑度的影响有待深入研究。

参考文献 References

[1] 董春方. 高密度建筑学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
DONG Chunfang. Architecture to high-density[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

[2] 庄宇,周玲娟. 上海中心城街区形态及其密度指标的量化研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(8): 1090-1099.  
ZHUANG Yu, ZHOU Lingjuan. Quantitative research of urban form and density index of central city block in Shanghai[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2019, 47(8): 1090-1099.

[3] 任安东,张晓瑞,张如意. 城市空间形态和道路通达性的综合测度研究[J]. 合肥工业大学学报(社会科学版), 2019, 33(3): 22-28.  
REN Andong, ZHANG Xiaorui, ZHANG Ruyi. Study on comprehensive measure of urban spatial form and road accessibility[J]. Journal of Hefei University of Technology (Social Science), 2019, 33(3): 22-28.

[4] 周鹏. 城市居住空间形态测度与评价[D]. 武汉: 武汉大学, 2015.  
ZHOU Peng. Measurement and evaluation of urban residential spatial form[D]. Wuhan: Wuhan University, 2015.

[5] 周在辉,任云英. 武威1990—2016年城市空间形态特征分析[J]. 工业建筑, 2020, 50(7): 120-126.  
ZHOU Zaihui, REN Yunying. Analysis of urban spatial forms in Wuwei from 1990 to 2016[J]. Industrial Construction, 2020, 50(7): 120-126.

[6] 钱志友,符海月,王妍,等. 2004—2016年南京市城市扩张及形态演变特征[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(2): 149-156.  
QIAN Zhiyou, FU Haiyue, WANG Yan, et al. Characteristics of urban expansion and morphological evolution in Nanjing from 2004 to 2016[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2019, 31(2): 149-156.

[7] 熊伟婷,杨俊宴. 1949年后无锡城市空间形态演化特征的定量研究[J]. 现代城市研究, 2016(2): 56-61.  
XIONG Weiting, YANG Junyan. Quantitative research on the evolution features of Wuxi urban

- spatial morphology since 1949[J]. *Modern Urban Research*, 2016(2): 56-61.
- [8] 徐银凤,汪德根,沙梦雨. 双视角下苏州城市空间形态演变及影响机理[J]. *经济地理*, 2019, 39(4): 75-84.  
XU Yinfeng, WANG Degen, SHA Mengyu. Morphological evolution and influence mechanism of Suzhou urban space from the perspective of double dimension[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 75-84.
- [9] 谭雪兰,欧阳巧玲,江喆,等. 基于RS/GIS的长沙市城市空间扩展及影响因素[J]. *经济地理*, 2017, 37(3): 81-85.  
TAN Xuelan, OUYANG Qiaoling, JIANG Zhe, et al. Urban spatial expansion and its influence factors based on RS/GIS: a case study in Changsha[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 81-85.
- [10] 方彬,葛幼松. 街区制发展历程中的街区形态演变与街区适宜尺度探讨[J]. *城市发展研究*, 2019, 26(11): 34-40.  
FANG Bin, GE Yousong. The evolution of block patterns and the discussion on the appropriate scale of block in the development course of block system[J]. *Urban Development Studies*, 2019, 26(11): 34-40.
- [11] 龙瀛,李派,侯静轩. 基于街区三维形态的城市形态类型分析——以中国主要城市为例[J]. *上海城市规划*, 2019(3): 10-15.  
LONG Ying, LI Pai, HOU Jingxuan. Three-dimensional urban form at the street block level for major cities in China[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2019(3): 10-15.
- [12] 杜宏武. 探讨住区休憩空间价值的量化评价方法——基于规划控制与设计视角[J]. *现代城市研究*, 2016(9): 67-71.  
DU Hongwu. Quantitative evaluation methods of recreational space in compact neighborhoods: perspectives of planning control and neighborhoods design[J]. *Modern Urban Research*, 2016(9): 67-71.
- [13] 乔丽芳,张毅川,冯磊,等. 城市住区环境景观吸引力量化评价模型——以新乡市住区为例[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2009, 33(1): 115-120.  
QIAO Lifang, ZHANG Yichuan, FENG Lei, et al. Measurable evaluation model of the landscape attraction of urban residential environment: a case study in residential districts of Xinxiang City[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2009, 33(1): 115-120.
- [14] 乔泽浩,栾志理,李双辉,等. 济南都市圈城市紧凑度综合评价及影响因素研究[J]. *北京联合大学学报(自然科学版)*, 2020, 34(1): 41-47.  
QIAO Zehao, LUAN Zhili, LI Shuanghui, et al. Comprehensive evaluation of urban compactness and influence factors in Jinan Metropolitan Area[J]. *Journal of Beijing Union University (Natural Sciences)*, 2020, 34(1): 41-47.
- [15] 刘润佳,把多勋. 中国省会城市紧凑度与城镇化水平关系[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(3): 586-600.  
LIU Runjia, BA Duoxun. The relationship between urban compactness and urbanization level in capital cities of China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(3): 586-600.
- [16] 田成诗,李金. 大型城市紧凑度与能源效率的关系研究[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(10): 1781-1795.  
TIAN Chengshi, LI Jin. A study on the relationship between compactness and energy efficiency in large cities[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(10): 1781-1795.
- [17] 贾梦圆,刘晓阳,陈天,等. 中国地级及以上城市紧凑度测度[J]. *城市问题*, 2019(11): 4-12.  
JIA Mengyuan, LIU Xiaoyang, CHEN Tian, et al. Measurement of compactness of cities at and above the prefecture level in China[J]. *Urban Problems*, 2019(11): 4-12.
- [18] 张祚,罗翔,闫小平. 长江中游城市群城市紧凑度时空差异分析[J]. *长安大学学报(社会科学版)*, 2018, 20(4): 83-93.  
ZHANG Zuo, LUO Xiang, YAN Pingping. Spatial-temporal differences and relationship between cities' compactness and efficiency in urban agglomeration in the middle reaches of Yangtze River[J]. *Journal of Chang'an University (Philosophy and Social Science Edition)*, 2018, 20(4): 83-93.
- [19] 徐放. 基于高清遥感影像地类识别数据的建设用地紧凑度研究——以武汉市为例[C]//活力城乡美好人居——2019中国城市规划年会论文集. 北京:中国建筑工业出版社, 2019:56-69.  
XU Fang. Research on construction land compactness based on high-resolution remote sensing image land class identification data: a case study of Wuhan City[C]//Dynamic urban and rural habitat: proceedings of 2019 China Annual National Planning Conference. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019: 56-69.
- [20] 汪睿,张彧. 以史为鉴——类型形态学视角下的街区尺度演变研究[J]. *现代城市研究*, 2018(10): 75-79.  
WANG Rui, ZHANG Yu. Taking history as a lesson: research on the evolution of block sizes from the perspective of typomorphology[J]. *Modern Urban Research*, 2018(10): 75-79.
- [21] 迈克尔·詹姆斯,伊丽莎白·伯顿,凯蒂·威廉姆斯. 紧缩城市——一种可持续发展的城市形态[M]. 周玉鹏,龙洋,楚先锋,译. 北京:中国建筑工业出版社, 2004: 18.  
JAMES M, BURTON E, WILLIAMS K. Compact city: a sustainable urban form[M]. ZHOU Yupeng, LONG Yang, CHU Xianfeng, translate. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004: 18.
- [22] 唐尧,宋瑜,谢俊杰. 2000—2010年中国城市空间形态紧凑度变化特征分析[J]. *生态科学*, 2016(3): 134-139.  
TANG Yao, SONG Yu, XIE Junjie. Urban compactness changes in China from 2000 to 2010[J]. *Ecological Science*, 2016(3): 134-139.
- [23] 李琳,黄昕珮. 基于“紧凑”内涵解读的紧凑度量与评价研究——“紧凑度”概念体系与指标体系的构建[J]. *国际城市规划*, 2012, 27(1): 33-43.  
LI Lin, HUANG Xinpei. The research on compactness based on analyzing the meaning of "compact": constructing the system of concepts and indexes for "compactness"[J]. *Urban Planning International*, 2012, 27(1): 33-43.
- [24] 吕斌,孙婷. 低碳视角下城市空间形态紧凑度研究[J]. *地理研究*, 2013(6): 1057-1067.  
LYU Bin, SUN Ting. Study on spatial form compactness from low-carbon perspective[J]. *Geographical Research*, 2013(6): 1057-1067.