

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

Three-dimensional Urban Form at the Street Block Level for Major Cities in China

龙 瀛 李 派 侯静轩 LONG Ying, LI Pai, HOU Jingxuan

摘 要 街区尺度的城市形态是城市规划与设计的核心关注对象,它对城市功能和活动产生重要的作用。而目前的城市形态学研究往往只关注街区的二维形态。基于所获得的中国63个大中城市中心城的335.7万个大规模的三维建筑物数据,将形态类型学的理论方法从二维扩展至三维,提出城市街区形态的三维指标体系,并以此为依据对案例城市中的街区进行分类。根据9类街区形态在城市中的比例,对63个案例城市进行聚类分析,划分出5类城市,并探讨了城市三维形态类型在国土空间上的分布规律。通过街区三维属性的城市形态,能够认识中国城市系统在空间维度的一般规律及其差异性,以及城市空间形态对城市功能和活动的影响。

Abstract The urban form of street block scale is the key of urban planning and design, which plays an important role in urban functions and activities. At present, the study of urban morphology only focuses on the two-dimensional shape of street blocks. Based on the 3.357 million large-scale three-dimensional building data of 63 medium and large cities in China, this study extends the theoretical method of urban morphology and typology from two-dimension to three-dimension, proposes a three-dimensional index system of urban street block morphology, and categories the street blocks in case cities on this basis. According to the proportion of the nine types of street block form, 63 cities are clustered into five types, and the distribution of three-dimensional urban types in China is discussed. With three-dimensional attributes of the street block scale in each city, we can understand the general spatial principles and differences of Chinese urban system, as well as the impact of urban spatial form on urban functions and activities, which has important theoretical values.

关键词 街区形态 | 形态类型学 | 大模型 | 三维建筑物 | 大数据

Keywords Urban block form | Typo-morphology | Big model | Three-dimensional buiding | Big data

文章编号 1673-8985 (2019) 03-0010-06 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20190302

作者简介

龙 瀛
清华大学建筑学院
特别研究员,博士生导师

李 派
清华大学建筑学院
研究助理,硕士

侯静轩
清华大学建筑学院
博士研究生

0 引言

城市形态是城市研究与规划设计的核心和基础。它是城市内在政治、经济、社会结构、文化传统等在外在空间上的体现,同时也是城市功能、活动,乃至活力的载体。传统上,对城市形态的研究主要分为两大流派:源自英国城市历史地理学科的城市形态学理论 (Urban morphology),它强调对城镇平面形态结构和变化过程的理解,分析的基本对象为规划平面 (Town plan,包括街道、街区和建筑基底3元素)、建筑形态 (Building fabric) 和土地使用^[1];另一

个则是源自意大利建筑学专业中的建筑类型学 (Architectural typology),它认为基本建筑类型 (Basic building type) 可以反映当地历史与传统特征,表达城市文化和集体记忆,并将这种方法扩展到对城市肌理类型 (Urban tissue type) 的研究中,分析建筑与周围环境的空间结构关系及其历史特性^[2]。集成上述两个学派,陈飞^[3]提出城市形态类型学的概念并对其在中国的应用进行了探讨。此研究框架强调城市形态的视觉效应和居民对形态的记忆深刻度,重视城市公共空间的设计以及所提出的7大形态要素类型分析在设

*基金项目:本文受到国家自然科学基金面上项目 (编号51778319)、重点项目 (编号71834005)、清华大学自主科研计划“关于可持续城市的‘数据增强设计’学术交流项目”和国家科技重大专项 (编号2017ZX07103-002) 共同资助。

计中的可实践性,并且认为将城市天际线、街道立面剖面等纳入城市形态分析将使其更立体和全面。然而,以上城市形态研究受到技术条件的限制,在具体实践过程中多针对二维,即平面的城市空间展开,缺乏对城市三维形态的考虑。

随着现代城市的立体化发展,城市的三维形态的重要性的对城市的影响逐渐增加,国内外学者也开始对相关问题着手研究。国际上,Harvey等人^[3]利用三维建筑物数据从多个维度测算了若干美国城市的街道界面特征指标,包括沿街建筑数量、沿街建筑高度差异和连续性、街道横截面的高宽比等,由此进行了对城市街道物质空间景观(Streetscape)的评价。而针对中国的城市三维形态学研究,张培峰等^[4]从高分辨率遥感影像提取了沈阳市铁西区居住区建筑物的三维信息,并且结合景观指标(道路密度、绿化率、建筑平均高度等)以及社会经济指标(人口密度和人均GDP等),分析三维景观变化的规律及影响因素;乔伟锋等^[5]利用城市天际线、城市体积及分维数、高层建筑的数量与占地面积的关系等方法分析2000年以来南京城市的三维增长特征;张愚和王建国^[6]以容积率作为基本指标,探讨芜湖市城市高度形态的生长机制与过程;杨俊等人^[7]利用大连市中山区2003年和2013年的三维建筑数据,测算建筑加权平均高度、建筑体积、建筑覆盖率和容积率4项指标,以此探讨中山区10年间城市建筑景观格局的时空分异特征,龙瀛和叶宇^[8]发现街道、建筑等精细尺度空间的三维属性影响城市空间品质和活力。综合来看,目前国内外针对三维城市形态的研究由于建筑物三维信息获取途径少、数据不全等原因,多针对某特定城市,缺少跨城市、跨区域的研究。而且不同研究间的分析尺度区别较大,很难对不同城市的同一研究单元的三维属性进行比较,尤其缺乏对街区尺度这一城市规划与设计基本单元的跨城市研究。

本文旨在以城市形态类型学理论方法作为基础,兼顾城市形态学关注的街区形态和建筑类型学关注的建筑类型。相比于陈飞^[3]提出的研究框架,本文做到了将城市立体形态和平面分析置于同等重要的地位,并将其跨越区域、街

区、公共空间和建筑的研究尺度统合为街道尺度,以使研究结论更具普适性。本文通过利用大规模的三维建筑物数据对中国跨区域的街区形态三维特征进行分析,并以此对中国城市形态进行分类,为以后的中国全域和各级别城市的三维形态学研究奠定基础。

1 研究范围与数据来源

1.1 研究范围

本文研究范围为北京、上海、天津、广州、沈阳等中国63个主要城市的中心城区,涵盖全部5个直辖市、除台湾外全部27个省与自治区的省会城市、31个有代表性的地级市(图1)。其中地级市的选择标准为:2011年中国各城市GDP排名前100的城市,且同一省份的地级市不超过6座,拥有较为完整的互联网数据。最终符合标准的城市有31座,其中浙江、江苏、广东3省均有6座城市入选。这种城市筛选方法,同时兼顾城市在地理空间上的分布均匀性和城市GDP反映出的城市发展情况,能够较为全面地体现中国城市的状况。地理分布上,华北地区城市9座、华东地区城市21座、东北地区城市4座、华中地区城市5座、华南地区城市14座、西南地区城市5座、西北地区城市5座(图2)。在城市范围方面,本文利用2010年的遥感影像图对各城市的城镇建设用地进行解析,提取出城市中心最大的建设用地斑块(即为城镇建设用地中心大团)作为该城市的中心城范围,而非规划上的中心城区,以保证所分析区域皆为建成空间。此外,城市区域范围受到数据的约束,没有建筑物数据或数据不完整的区域被排除出所研究城市中心城的范围。

1.2 基础数据

在大数据时代,丰富的数据获取渠道和大规模的数据量为城市研究带来了新的机遇。如今街景地图、智能手机数据、签到数据、出租车轨迹数据的应用已相当普遍,这些无一不为城市研究提供了丰富可靠的数据来源。它们既可以用用于分析城市内部的形态构成,同时还可以对不同城市进行横向对比,从而得出区域甚至全国范围内城市形态的一般规律和地域差异^[9]。

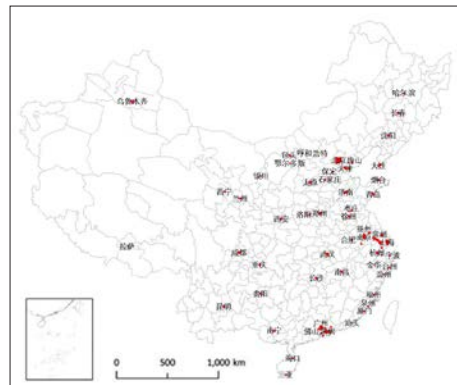


图1 研究范围
资料来源:笔者自绘。

目前,对三维城市形态的研究主要基于带有建筑物高度或层数的三维建筑物数据,而三维建筑物数据主要来源于利用建筑物阴影从高分辨率遥感影像中提取出的建筑轮廓和高度信息^[10]。不同于以往研究,本文所利用的建筑物数据抓取于某互联网地图平台。获取的建筑物基底(Footprint)在ArcGIS中进行了矢量化,并且对建筑物的坐标点进行了配准。数据包含每个建筑物的基底分布及层数信息。研究范围内共搜集3 356 914个建筑物,平均4层,平均基底面积666 m²。此外,本文利用了2011年63个城市中心城内的街道路网数据,用于各城市内部街区的生成(图3)。

2 研究方法

街区在传统西方城市中扮演着基本空间组织单元的角色。它是城市形态学和建筑类型学的主要研究对象,同时也是理解城市中建筑形态与城市总体形态的媒介^[11]。本文利用形态类型学的理论与方法,同时增加三维尺度的数据,基于街区尺度对中国城市三维形态进行划分。此外,为了对全国范围内不同城市的形态进行横向对比,本文利用龙瀛等^[9]提出的大模型研究范式,用大规模数据作为驱动,兼顾了分析的大尺度和模拟单元的精细化。具体而言,研究方法分为3部分:(1)根据街道划分城市空间并统计建筑形态数据,(2)根据街区形态划分街区类别,(3)基于不同街区类别占比划分城市形态类别。

2.1 街区划分与空间形态统计

地区	省份	城市名称	级别	地区	省份	城市名称	级别	地区	省份	城市名称	级别
华北地区	北京	北京	直辖市	华东地区	浙江	绍兴	地级市	华南地区	广东	惠州	地级市
	天津	天津	直辖市			台州	地级市			汕头	地级市
	河北	石家庄	省会			温州	地级市			珠海	地级市
		唐山	地级市		济南	省会	中山			地级市	
	山西	太原	省会		青岛	地级市	深圳		深圳	直辖市	
		内蒙古	呼和浩特		省会	烟台	地级市		广西	南宁	省会
	包头		地级市		枣庄	地级市	海南		海口	省会	
	鄂尔多斯		地级市		合肥	省会	三亚		地级市		
华东地区	上海	上海	直辖市	安徽	芜湖	地级市	福建	福州	省会		
		江苏	南京		省会	沈阳		省会	泉州	地级市	
	常州		地级市		大连	地级市		厦门	地级市		
	南通		地级市	吉林	长春	省会	西南地区	四川	成都	省会	
	苏州		地级市		黑龙江	哈尔滨		省会	重庆	重庆	直辖市
	无锡		地级市	湖北	武汉	省会		贵州	贵阳	省会	
	徐州		地级市	湖南	长沙	省会		云南	昆明	省会	
	扬州	地级市	河南	郑州	省会	西藏	拉萨	省会			
	浙江	杭州		省会	洛阳	地级市	陕西	西安	省会		
		金华	地级市	江西	南昌	省会	甘肃	兰州	省会		
		嘉兴	地级市	广东	广州	省会	新疆	乌鲁木齐	省会		
		宁波	地级市		东莞	地级市	青海	西宁	省会		
	佛山	佛山	地级市		佛山	地级市	宁夏	银川	省会		

图2 研究城市所在地区、所在省份、城市名称及级别
资料来源:笔者自绘。

本文首先利用获取的街道路网数据生成全国63个城市的街区,过程如下:(1) 由于获取的街道数据存在重叠、错位、断点等问题,所以对街道数据进行合并、瘦化和拓扑等预处理,生成清晰明了的路网数据;(2) 按不同的道路等级,生成2—30 m的道路退让间距;(3) 移除道路图层,留下的区域即为被道路分割而成的街区;(4) 将街区图层与研究范围内的中心城边界相叠加,获得各个城市内的街区^[12]。

接下来利用获取的全国63个城市的街区和建筑物数据,生成含有容积率、建筑密度和平均层数这3类三维建筑物信息的街区,步骤包括:利用街区内的建筑总基底面积与街区面积之比,得到街区的建筑密度数据;利用街区内所有建筑物的总层数与建筑物数量之比,得到建筑平均层数数据。

2.2 街区三维形态类型分析

选取位于中心城内、有建筑物且面积小于

1 km²的街区作为研究的基本单元,并根据街区内建筑物形态的不同特征将街区进行分类。对街区的分类采用两个指标:建筑平均层数与建筑密度,从平面和高度角度对街区形态进行刻画,反映出街区在二维和三维空间中的建设强度和形态。建筑密度按照0—0.15, 0.15—0.25和>0.25分为3类;建筑高度按照低层(1—3层)、多层(4—7层)和高层(8层及以上)分为3类,通过两两组合的方式分A到I的9种类型(图4)。为使分析结果具有较高的可解释性,采用预设指标对建筑密度和高度进行受监督的分类。此分类方式中分类指标的选取,充分考虑到中国城市中建筑密度和高度的分布情况,并可以用于对城市功能和经济活动的分析^[13]。

2.3 基于街区三维形态的城市类型划分

在获取每个城市9类街区的分布比例后,使用聚类分析法,对63座城市中心城区进行分类。

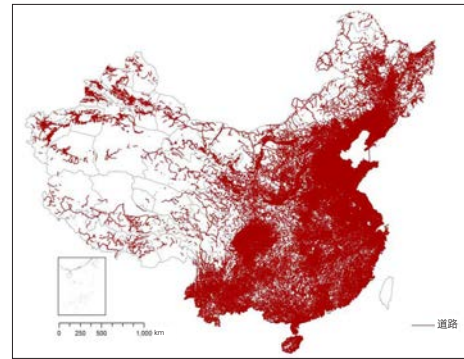


图3 全国街道数据分布
资料来源:笔者自绘。

根据不同分类数量对应数据的分布情况,选择将案例城市分为5大类,之后对5大类城市的分类规律进行探讨。此分析过程中之所以选择非监督分类,是因为本文不涉及对于基于街区三维形态学分类的定量阐释,即以发现不同三维类型城市在国土上的分布情况和潜在规律为目的,而非发掘可能规律潜在的发生原因。

具体方法为,利用SPSS软件的二阶聚类分析,分别将63个城市按照不同的城市形态类型比例分类后,我们选择组间差异相对最大的5类作为聚类结果(表1)。表中第1行为根据9种类型街区形态占城市比例所确定的城市类型名称,第2行为聚类分析结果所对应的类型编号,第3至11行为不同城市类型中各形态街区所占比例,第12行为不同类型城市的数量。其中城市类型名称是根据聚类分析结果,对5种城市形态类型进行分析所得出的。具体步骤如下:(1) 第4类城市在这5类城市中较为特殊,低层建筑比例较高而多层高层比例较低,与以中、高层街区为主的其余类别区别较大。因此,首先将第4类城市命名为“低层类”城市。(2) 在其余4类城市中,第2类与第3类城市低层街区比例非常低,而第1与第5类城市低多高层街区均有一定比例,因此将前者视为“多高层类”城市,后者视为“复合类”城市。(3) 将2种“复合类”城市进一步进行比较分析。第5类城市多层高密度比例相对第1类较低,而多高层均匀密度街区比例较高,故命名为“复合均匀密度类”城市;第1类城市高层高密度街区比例较高,而高层中低密度街区比例较低,因此命名为“复合高密度

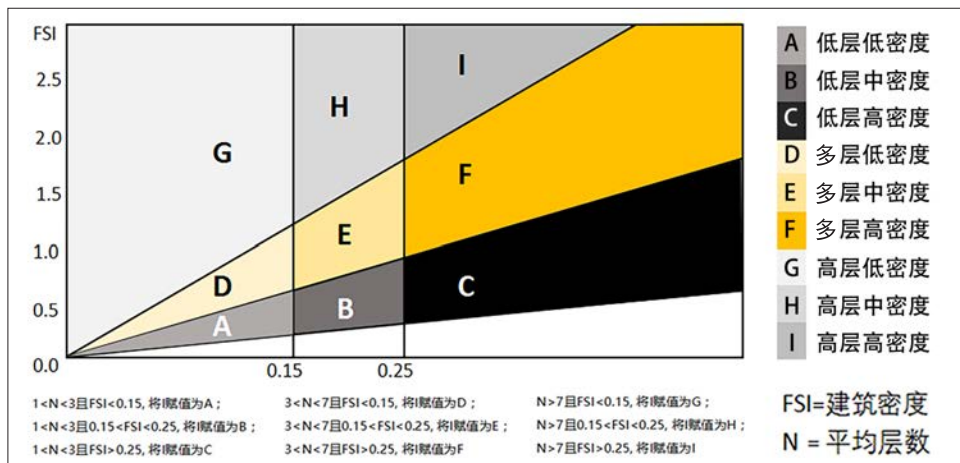


图4 街区类型的划分标准
资料来源:笔者自绘。

表1 基于街区形态的城市分类

类型名称	复合高密度	多高层均匀密度	多高层高密度	低层	复合均匀密度
类型编号	1	2	3	4	5
A低层低密度 (%)	5	4	4	7	5
B低层中密度 (%)	3	3	2	13	4
C低层高密度 (%)	18	16	14	54	18
D多层低密度 (%)	3	3	3	1	5
E多层中密度 (%)	8	9	6	2	10
F多层高密度 (%)	46	51	49	16	44
G高层低密度 (%)	1	1	1	0	2
H高层中密度 (%)	3	3	3	0	4
I高层高密度 (%)	13	10	17	7	9
城市数量 (个)	18	16	18	3	8

资料来源:笔者自制。

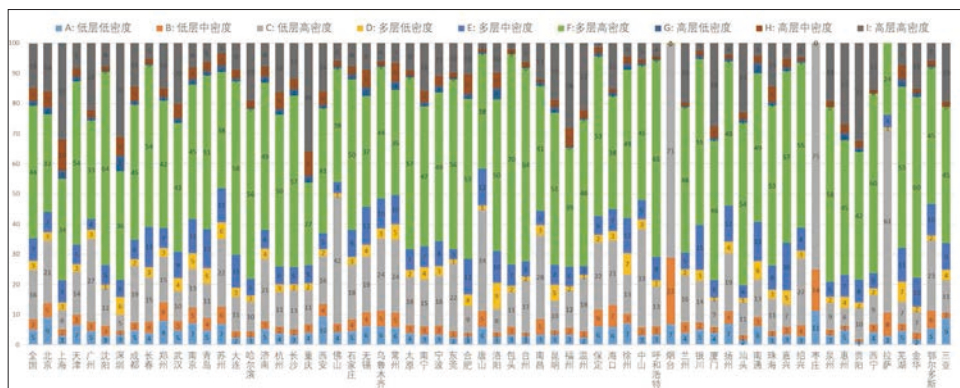


图5 63个城市的9类城市形态构成占比 (单位:%)
资料来源:笔者自绘。

类”城市。(4) 将2种“多高层类”城市进一步进行比较分析。第2类城市高层密度比例较低,第4类城市则相反,因此将两者分别命名为“多高层均匀密度类”和“多高层高密度类”城市。虽然第2类与第5类城市的多层高密度街区仍占据最大比例,但为了与其他类型进行区分,依然

使用“均匀密度”对两者进行描述。

3 研究结果

3.1 街区三维形态类型占比分析

分析全国63个城市中心城的三维建筑物数据,发现我国多数街区的建筑密度在0.22—

0.52之间,建筑层数多介于2.4—7.0之间。通过对每个城市的9类城市形态构成进行分析(图5),发现我国城市形态总体以多层高密度为主(44%),其次为低层高密度式(16%)和高层高密度(15%),占比最少的为低层中密度式(3%)、多层低密度(3%)和高层低密度(2%)。

利用各城市的9类形态构成比例与全国平均水平(即63个城市中所有街区的城市形态构成比例)进行对照,可以看出中国城市形态呈“多数平均且差异性小、少数极端且独特性强”的特征。多数城市与全国平均城市形态极为相似,少数形态特色比较鲜明的城市(与全国平均水平相似度低于0.8)包括高层高密度形态占比较大的上海(32%)和重庆(36%),以及低层高密度形态为主导的佛山(42%)、拉萨(61%)、枣庄(75%)和烟台(71%)。

3.2 基于城市形态的城市分类

在将城市形态与城市功能或特色进行分析后可以看出来(表2),“复合高密度类”城市代表了中国较为典型的城市形态:其中包括一些历史文化名城,如历史古都北京、西安、郑州,以及旅游度假城市,如海口、三亚。“多高层均匀密度类”城市主要为综合经济实力较强、第三产业发达的一二线城市:例如一线城市上海、深圳和天津;二线发达城市包括杭州、重庆、宁波、济南;以及二线中等城市包括成都、武汉、石家庄、长沙。“多高层均匀密度类”城市则主要为经济发展较好、第二产业发达的二三线城市:包括省会城市例如哈尔滨(国家重要制造业基地)、沈阳(全国重要工业基地)、太原、福州;边疆地级省会,包括呼和浩特、兰州、贵阳。“低层类”城市为自然环境较好,地理位置特殊的城市:例如风景秀丽的拉萨,其海拔3 650 m,是世界上海拔最高的城市之一;枣庄境内地形地貌比较复杂,形成低山、丘陵、山前平原、河漫滩、沿湖洼地等多类型地貌特征,其中丘陵约占总面积的54.6%。“复合均匀密度类”城市多为重要的经济城市:其历史文化、生态环境较好,旅游业和现代化产业较为发达。例如南京、苏州、洛阳。综合来看,全国范围内的城市形态学分析,体现了不

同城市间的共性的同时也反映出一定的城市特性,为日后不同城市的形态类型学研究提供了比对的基。此外可以看出城市形态类型学分类结果与根据城市行政级别、GDP或人口数量进行的城市分类结果有较大的区别,或许能够体现城市功能与活动发展过程更深层次的规律性。

通过对这5类城市的空间分布的可视化(图6),可以看出城市的形态类型受到物理空间的影响,显示出一定的空间自相关性。空间规律上,东南沿海丘陵地区以“多高层中密度类”城市为主(如台州、福州、温州、绍兴、泉州、汕头和金华);长江三角洲地区以“复合中密度类”城市为主(如南京、苏州、无锡、常州、南通和芜湖);长江沿线的其他城市多为“多高层均匀密度类”类城市(如合肥、成都、武汉、长沙和重庆)。此现象说明城市的形态类型更多地受地理空间禀赋的决定,而非行政区域划分的影响,如长三角地区同样的城市形态类型包含江苏南部和安徽南部的城市;长江沿线同类型城市横跨安徽省、湖北省、湖南省、四川省与重庆市;东南沿海同类型城市分属于浙江省、福建省和广东省。

除去相似性,在同一地理区域内各城市形态类型又存在一定差异。比如长江三角洲附近的上海、宁波和杭州属于“多高层中密度类”城市,扬州属于“复合高密度类”城市,苏州、无锡和南京则属于“复合中密度类”城市。这些城市在地理条件上的区别不大,却拥有非常差异化的城市形态,需要从历史、经济等角度来进行解释。类似的例子还包括:东北地区长春市属于“复合高密度类”城市,沈阳、大连和哈尔滨则属于“多高层高密度类”城市;珠江三角洲地区深圳、珠海和惠州属于“多高层中密度类”城市,汕头属于“多高层高密度类”城市,佛山和中山属于“复合高密度类”城市;华北平原中北京、保定和唐山属于“复合高密度类”城市,天津则属于“多高层中密度类”城市。

在大尺度的城市形态类型分布上,出现了特殊的规律性。除去乌鲁木齐和拉萨市这两座离其他大中城市较远的城市,可将其余的61座城市视作一个国家级城市群。可以看出“多高层高密度类”城市分布于此城市群的边缘,东北

表2 根据街区三维形态的中国主要城市分类

分类	数量(个)	包含城市
复合高密度类	18	北京、保定、广州、长春、郑州、青岛、西安、佛山、乌鲁木齐、唐山、南昌、海口、中山、银川、扬州、嘉兴、鄂尔多斯、三亚
多高层均匀密度类	16	上海、天津、深圳、成都、武汉、济南、杭州、长沙、重庆、石家庄、南宁、宁波、合肥、昆明、珠海、惠州
多高层高密度类	18	沈阳、大连、哈尔滨、太原、东莞、包头、台州、福州、温州、呼和浩特、兰州、厦门、汕头、绍兴、泉州、贵阳、西宁、金华
低层类	3	烟台、枣庄、拉萨
复合均匀密度类	8	南京、苏州、无锡、常州、洛阳、徐州、南通、芜湖

资料来源:笔者自制。



图6 5类城市的空间分布

资料来源:笔者自绘。

边缘包含3座城市、西北边缘包含4座城市、东南边缘包含9座城市,只有贵阳和太原不在此列。“复合均匀密度类”8座城市则全部位于此城市群东西向的中线上。“多高层均匀密度类”城市位于城市群的腹地,“复合高密度类”城市则坐落于城市群腹地与边缘之间。

4 结论与讨论

4.1 主要结论

本文利用全国63个城市中心城的建筑和街道数据,首先统计了每个城市中心区街区各项

指标的平均值,进而得到全国各城市形态的一般规律以及差异性。随后本文利用街区的平均层数和建筑密度这两类参数将街区划分为9种类型:“低层低密度”“低层中密度”“低层高密度”“多层低密度”“多层中密度”“多层高密度”“高层低密度”“高层中密度”和“高层高密度”,并统计了每个城市的9类形态街区的构成,从街区三维形态角度对全国大中城市进行整体的认识。

接下来通过对63个城市进行聚类分析,得出中国城市形态的5种类型,即“低层类”“复合均匀密度类”“复合高密度类”“多高层均匀密度

类”和“多高层高密度类”。其中，“复合高密度类”“多高层均匀密度类”和“多高层高密度类”为我国城市的主要形态类型。之后对城市形态类型在全中国的分布类型进行分析，从空间自相关、临近空间差异性和整体城市形态类型分布规律角度得出了一定的结论。

4.2 研究创新

理论创新方面：本文在结合城市形态学与建筑类型学的城市形态类型学研究框架中，增加了城市三维形态作为主要分析元素，使原本包含城市形态和建筑类型的研究体系在所分析的空间维度上更加立体和完整。此外，本文精简了不同城市形态类型学研究中从建筑、地块、街区到区域的多尺度研究单元，将其统一至街区尺度，为城市形态类型学提供完整而统一的研究基底。

研究范围创新方面：本文首次对全国4类行政等级、涵盖东西部各地域范围的共63座城市进行形态学分析，增加之前不同城市的形态学研究的可比性，脱离对每个城市或几个临近城市进行研究的限制，为未来对中国城市更系统的研究提供标准和参照。

研究方法创新方面：不同于以往对城市形态研究多针对某个城市具体分析，本文利用大模型的研究范式，兼顾了大尺度和精细化模型单元，从而为认识我国城市形态的一般规律及差异性提供途径。而通过使用受监督分类和非受监督分类相结合的方法，一方面对于单一城市形态类型的分类更具解释度，另一方面能够使城市跨区域聚类分析得出更合理的结果，而非仅呈现空间自相关模式。

4.3 潜在应用与展望

本文所使用的方法可用于未来的城市规划设计中。如当今国家新型城镇化规划呼吁以人为本的城镇化，在城市建设中愈发重视城市品质、活力和精细化设计。本文所用的城市形态模型可以用于城市内部形态类型片区的划分，从而针对不同形态区确定不同的规划目标与土地利用密度规划，实现城市整体风貌的保护和营造。其中部分方法曾于2017年被应用于雄安新区规划设

计的标准工作营，利用中国不同等级城市的街区指标给予雄安新区规划方案的指引和参考。

不足之处在于所选取的城市主要集中在一二线城市乃至具有一定规模的三线城市，而想要更加全面地了解中国城市形态，则需要进一步对以往被忽略的中小城市进行分析研究。另外，对城市形态模型的深入分析可以更加关注城市形态的外延表现，包括经济（城市消费水平、GDP等）、社会（人群活力、健康程度等）和生态（能耗、环境质量和绿化水平等）维度的效应评估，并且增加城市形态的历史数据，实现在时间轴线上的动态分析，为其时空变异规律和影响因素进行更为深入的判断。此外，今后可以进一步利用三维建筑物数据进行城市空间的研究，包括对街道空间品质如沿街建筑数量、沿街建筑高度差异和连续性、街道横截面的高宽比等指标的测算；以及利用三维建筑物数据所反映出的城市建设强度，对城市形态的多中心性（Morphological polycentricity）进行识别^[14]。

参考文献 References

- [1] 张健,田银生,谷凯. 伯明翰大学与城市形态学[J]. 华中建筑, 2012(5): 5-8.
ZHANG Jian, TIAN Yinsheng, GU Kai. University of Birmingham and urban morphology[J]. Huazhong Architecture, 2012(5): 5-8.
- [2] 陈飞,谷凯. 西方建筑类型学和城市形态学:整合与应用[J]. 建筑师, 2009(4): 53-58.
CHEN Fei, GU Kai. Western architectural typology and urban morphology: integration and application[J]. The Architect, 2009(4): 53-58.
- [3] HARVEY C, AULTMAN L, TROY A, et al. Streetscape skeleton measurement and classification[J]. Environment and planning B: Planning and Design, 2017(44): 668-692.
- [4] 张培峰,胡远满,熊在平,等. 城市居住区三维景观变化规律与影响因素[J]. 应用生态学报, 2011(2): 453-459.
ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al. Variation pattern and its affecting factors of three-dimensional landscape in urban residential community of Shenyang[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011(2): 453-459.
- [5] 乔伟锋,刘彦随,王亚华,等. 2000年以来南京城市三维空间扩展特征[J]. 地理研究, 2015(4): 666-676.
QIAO Weifeng, LIU Yansui, WANG Yahua, et al. Analysis on the characteristics of three-dimensional

- urban space expansion in Nanjing since 2000[J]. Geographical Research, 2015(4): 666-676.
- [6] 张惠,王建国. 城市高度形态的相似参照逻辑与模拟[J]. 新建筑, 2016(6): 48-52.
ZHANG Yu, WANG Jianguo. The similarity reference logic of urban vertical form and its simulation[J]. New Architecture, 2016(6): 48-52.
- [7] 杨俊,国安东,席建超,等. 城市三维景观格局时空分异特征研究——以大连市中山区为例[J]. 地理学报, 2017(4): 646-656.
YANG Jun, GUO Andong, XI Jianchao, et al. Spatial-temporal differentiation of three-dimensional urban landscape pattern: a case study of Zhongshan District in Dalian[J]. Acta Geographica Sinica, 2017(4): 646-656.
- [8] 龙瀛,叶宇. 人本尺度城市形态:测度、效应评估及规划设计响应[J]. 南方建筑, 2016(5): 41-47.
LONG Ying, YE Yu. Human-scale urban form: measurements, performances, and urban planning & design interventions[J]. South Architecture, 2016(5): 41-47.
- [9] 龙瀛,吴康,王江浩,等. 大模型:城市 and 区域研究的新范式[J]. 城市规划学刊, 2014(6): 55-63.
LONG Ying, WU Kang, WANG Jianghao, et al. Big models: a novel paradigm for regional and urban studies[J]. Urban Planning Forum, 2014(6): 55-63.
- [10] 卓莉,黄信锐,王芳,等. 基于高空间分辨率与立体像对遥感数据的建筑物三维信息提取[J]. 遥感技术与应用, 2013(6): 1062-1068.
ZHUO Li, HUANG Xinrui, WANG Fang, et al. A 3D building reconstruction method based on stereo images and high spatial resolution images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013(6): 1062-1068.
- [11] 陈飞. 一个新的研究框架:城市形态类型学在中国的应用[J]. 建筑学报, 2010(4): 85-89.
CHEN Fei. A new research frame: the application of urban morphology theory and typology theory in China[J]. Architectural Journal, 2010(4): 85-89.
- [12] LIU X, LONG Y. Automated identification and characterization of parcels (AICP) with OpenStreetMap and points of interest[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2015, 43(2): 498-510.
- [13] 叶宇,庄宇,张灵珠,等. 城市设计中活力营造的形态学探究——基于城市空间形态特征量化分析与居民活动检验[J]. 国际城市规划, 2016(1): 26-33.
YE Yu, ZHUANG Yu, ZHANG Lingzhu, et al. Designing urban spatial vitality from morphological perspective: a study based on quantified urban morphology and activities' testing[J]. Urban Planning International, 2016(1): 26-33.
- [14] TAUBENBÖCK H, STANDFUß I, WURM M, et al. Measuring morphological polycentricity: a comparative analysis of urban mass concentrations using remote sensing data [J]. Computer, Environment and Urban System, 2017(64): 42-56.