

DOI: 10.5846/stxb202005101166

王翠平, 王豪伟, 郑渊茂. 城市建筑群三维空间布局评价与优化——以厦门岛滨海地带为例. 生态学报, 2020, 40(22): 8119-8129.

Wang C P, Wang H W, Zheng Y M. Evaluation and optimization of three-dimensional spatial distribution for urban complex: A case study on the coastal zone of Xiamen Island. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(22): 8119-8129.

城市建筑群三维空间布局评价与优化 ——以厦门岛滨海地带为例

王翠平¹, 王豪伟², 郑渊茂^{2,3,*}

1 集美大学 港口与环境工程学院, 厦门 361021

2 中国科学院城市环境研究所 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:随着城市化进程的快速推进,城市建设带来了土地资源紧张,使得越来越多的城市向着高层化、立体化、智能化方向发展;城市建筑群三维空间的最优布局是城市集约化发展的基础条件。针对现阶段的城市建筑群三维空间布局存在一些不足,构建城市建筑群三维空间布局的评估方法体系。以厦门岛滨海地带为研究区,基于多源、多空间分辨率遥感影像数据,从建筑景观、热环境和视觉效果 3 个角度评价厦门岛滨海地带三维空间格局的现状;并总结城市三维空间布局优化发展模式;从建筑景观、热环境和视觉效果这三个角度提出了厦门岛滨海地带城市建筑三维空间的布局优化建议。三维空间布局评价的结果表明:(1)从建筑景观角度,不同功能建筑群与容积率关系:商业区容积率最高,其次是商品房居住区,文教区占地面积广且建筑密度低,民房居住区的容积率是最低的但其建筑密度高;(2)从热环境角度,考虑温度因素,建筑群建筑密度过大、建筑层数过多都会造成温度较高;(3)从视觉效果角度,研究区具有宽广的视觉空间和宽阔海面,与以山体为背景的天际线形成了鲜明的对比。此外,提出优化低层建筑和合理布局中高层建筑的建筑容积率,设计建筑形态多样化和优化天际线前景、中景和背景的层次布局,可提高厦门岛的城市建筑群三维空间布局。本研究可为厦门岛滨海地带的城市建筑群三维空间布局优化提供基础数据支持与技术支撑,为城市土地资源规划等政府部门提供决策支持,对城市建筑群三维空间的合理利用和景观优化具有重要意义;也为我国其他城市的可持续发展研究提供新的科学理论依据和参考借鉴。

关键词:厦门岛;建筑群;三维空间;布局评价;布局优化

Evaluation and optimization of three-dimensional spatial distribution for urban complex: A case study on the coastal zone of Xiamen Island

WANG Cuiping¹, WANG Haowei², ZHENG Yuanmao^{2,3,*}

1 College of Harbour and Environmental Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China

2 Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: With the rapid progress of urbanization, urban construction has brought about the shortage of land resources, which makes more and more cities develop towards high-rise, three-dimensional and intelligent development. The optimal layout of three-dimensional space of urban buildings is the basic condition for the intensive development of the city. In view of the current deficiencies in the three-dimensional space layout of urban buildings at present, this study constructs an evaluation system of the three-dimensional space layout of urban buildings. Taking the coastal zone of Xiamen Island as the research area, based on multi-source and multi-spatial resolution remote sensing image data, evaluate the current situation

基金项目:国家自然科学基金(41571148);中国科学院战略性先导科技专项(XDA23030103)

收稿日期:2020-05-10; **网络出版日期:**2020-09-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuanmaozheng@iue.ac.cn

of the three-dimensional spatial structure of the architectural complex in the coastal area of Xiamen Island from the three perspectives of architectural landscape, thermal environment and visual effect. And summarized the urban three-dimensional spatial layout optimization development mode. Finally, from the three perspectives of architectural landscape, thermal environment and visual effects, suggestions for the optimization of the three-dimensional space layout of the coastal zone of Xiamen Island are proposed. The evaluation results of three-dimensional space layout show that: (1) From the perspective of architectural landscape, the relationship between different functional buildings and floor area ratio is as follows: commercial area have the highest floor area ratio, followed by commercial housing residential areas; cultural and educational areas cover a wide area and have low building density; civilian residential areas have the lowest floor area ratios but have high building density; (2) From the perspective of thermal environment, considering the temperature factor, excessive building density and too many building floors will cause higher temperatures; (3) From the perspective of visual effect, the study area has a broad visual space, which is in a sharp contrast with the skyline with the mountain as the background. In addition, it is proposed to improve the floor area ratio of low-rise buildings, rationally arrange the floor area ratio of middle and high-rise buildings, and design diversification of building forms and highlight the hierarchy of skyline foreground, middle scene and background, so as to optimize the three-dimensional spatial layout of the urban buildings of Xiamen Island. This study can provide basic data support and technical support for three-dimensional space layout optimization of the urban buildings in the coastal zone of Xiamen Island, and provide decision support for government departments such as urban land resource planning. It is of great significance for rational utilization of the three-dimensional space and landscape optimization of the urban buildings. It also provides new theoretical basis and reference for the study of sustainable development of other cities in our country.

Key Words: Xiamen island; urban complex; three-dimensional space; layout evaluation; layout optimization

随着社会经济的不断发展,城市化进程进一步加快。城市的建设带来土地资源紧张,使得越来越多的城市向着高层化、立体化、智能化方向发展。因此,如何合理高效地规划利用城市用地、设计及优化城市建筑群三维空间布局,避免土地资源的浪费,成为当今城市建设研究的热点问题^[1]。目前,城市建筑群三维空间布局主要体现在随着建筑高度增加,城市的容积率变大,城市空间显得更加拥挤^[2]。随着地理信息和遥感技术的进步,为城市建筑三维空间布局和优化利用提供了更多的途径;尤其是高分辨率遥感影像技术的不断发展完善,为城市三维空间的特征及扩展研究提供了新思路。对遥感技术等综合运用,使得全天候、多层次监测城市三维空间的发展变化成为可能;同时城市生态环境的监测与管理是生态文明建设的紧要内容^[3]。当前,厦门市正处于高颜值、现代化的城市建设关键时期^[4],从城市建筑群三维空间结构和形态变化视角分析,可全方位、多角度获取城市三维扩展特征;能够整体上把握城市扩展的趋势和规律,为城市土地资源规划等政府部门的决策提供依据。同时,构建适宜的城市空间形态定量化评价模型,对于推进城市可持续发展、合理利用和保护区域生态环境具有重要意义^[5]。因此,高分辨率遥感可为城市三维空间扩展研究提供大量的数据支撑和技术支持^[6],三维空间布局评价与优化对城市建筑群合理布局和城市可持续发展具有重要作用。

关于城市建筑群三维空间研究,国内外学者主要集中在三维信息提取^[7-12]、三维模型构建方法^[13-15]、三维景观格局分析^[16-25],以及三维空间布局评价^[26-37]。城市三维信息提取中,目前主要采用遥感影像、航空摄影测量以及采用激光点云数据来提取城市建筑物三维信息^[7-10],比如,Xie 等^[11]基于航空影像采用构造实体几何模型的多面体法,提取城市三维模型信息;丁宁等^[12]采用机载激光雷点云数据提取了建筑物屋顶定量信息。城市三维模型构建研究中,国外主要采用模型应用于城市管理中,而国内主要是对城市的扩展和规划等进行分析。在早期,Woodbury 等^[13]基于古典形状法,对城市建筑模型进行了设计和创建。谢年等^[14]基于 GIS 数据可快速构建城市三维景观模型,提高城市三维景观的建模效率。因此,采用三维模型模拟解决现实的城市问题,对城市的发展具有重要的意义^[15]。

城市三维景观格局分析中,当前主要以城市三维建筑为研究对象,对城市立体化发展进行探究。学者研究认为,基于三维空间的探索将在未来城市发展和规划中起到重要作用。比如,Liu 等^[16]认为高分辨率影像更适合城市的三维景观格局分析识别。Kaňuk 等^[17]重点研究三维建模在城市规划中的应用。Chen 等^[18]和 Wu 等^[19]分析了城市三维景观特征以及城市生态变化。Vasin 等^[20]通过对不同城市景观的比较,分析了三维可视化模型的优缺点。张培峰等^[21]构建了南京三维城市景观格局指数,分析在不同空间尺度三维建筑景观变化及其驱动机制。在城市三维特征方面,于卓等^[22]和乔伟峰等^[23]等探讨了城市建筑高度、紧凑度、容积率等三维空间形态指标变化过程。Lin 等^[24]研究表明城市在建设过程中,低层建筑倾向于配置在城市外围,高层建筑倾向于集约发展。Zhang 等^[25]表明在经济水平达到一定阶段后,发达的城市地区的三维空间会出现明显变化。此外,城市三维空间与城市发展紧密联系,城市立体延伸代表着城市集约度提升,也对城市生活环境产生影响。于卓等^[22]研究认为城市三维空间发展强度影响着二维空间稳定性,城市建设需要衡量多维空间的尺度效应。乔伟峰等^[23]研究表明城市立体空间结构并非越高越好,城市规划建设应综合考虑用地强度、社会经济及生态环境等多方面的效益,并结合城市功能区进行城市用地的合理规划。因此,需要对城市三维空间布局的合理性进行评价。

在城市三维空间布局的评价中,目前国内外学者主要采用单一指标进行三维空间布局的评价研究,具体指标包括:建筑景观指标、热环境指标或视觉效果指标等。采用热环境指标方面,Srivanit 和 Kazunori 分析了热环境指标与 12 个二维和三维格局的关系,发现三维空间对城市热环境的影响更大^[26]; Chun 和 Guldman 采用空间回归模型也得出三维空间格局对热环境贡献度相对较高^[27]。Zheng 等^[28]研究表明,与植被覆盖比例和建筑物密度相比,建筑物高度对热环境的影响更大。同时,城市的热环境效应与土地利用变化及城市的三维空间结构关系密切。Gaur 等^[29]对城市区域进行量化和建模分析,城市热环境效应与城市规模具有显著的正相关关系。祝新明等^[30]研究表明城市在城镇化进程伴随着建成区面积的增加和热环境高温区面积的扩大。此外,卫星热红外传感器是反演地表空间连续性的热红外地表温度的有效方式^[31-32]。采用建筑景观指标方面,张小飞等^[33]对城市形态的结构特征与功能的空间作用的理论进行了探讨。Yu 等^[34]采用机载 LiDAR 数据提取建筑密度指标并分析休斯顿市中心三维建筑布局。张培峰等^[21]在构建三维建筑景观评价指标的基础上,分析了不同空间尺度三维建筑景观变化。陈探等^[35]从建筑景观指标方面分析沈阳市三维景观格局分异特征,表明密度和容积率方面沈阳三维建筑景观差异显著。采用视觉效果指标方面多采用天际线对建筑群三维格局进行分析,张建华等^[36]对烟台滨海天际线的三维空间格局进行层次划分与解析,主要探讨该区域天际线指标的各层次结构与景观效果的协调组织问题。甘伟等^[37]采用街景天际线作为古城景观的指标,可反映历史文化街区空间界面特征,为古城保护和改造提供重要基础依据。

综上所述,以上专家学者研究均取得了一定的成果,但均从单一角度进行建筑群三维空间布局的评价研究,而且目前关于从多角度对建筑群三维布局与优化的研究相对较少。鉴于此,本研究以厦门岛滨海地带为研究区,基于多源、多空间分辨率遥感影像数据,从建筑景观、热环境和视觉效果三个角度评价厦门岛滨海地带三维空间格局的现状,并总结城市三维空间布局优化发展模式;最后,从建筑景观、热环境和视觉效果这三个角度提出了厦门岛滨海地带城市建筑三维空间的布局优化建议,以为未来城市三维空间的合理规划提供一定的参考价值,对城市可持续发展具有重要意义。

1 研究区概况

1.1 研究区域

厦门市位于中国福建省东南沿海地区^[38]。海洋环境自然地将城市分为两部分:厦门岛和大陆,厦门岛包含思明区和湖里区,大陆由四个区组成辖区(包含集美、海沧、同安、翔安)。厦门岛的地形地势具有起伏,范围从 0—379 m,为亚热带季风气候,年平均气温 21℃^[39]。

厦门市是中国最早建立 4 个经济特区的城市之一,在过去的 30 多年里,厦门市的城市空间和人口都有了

快速增长^[40-42]。厦门岛的思明区是厦门市政治、经济和文化中心,是厦门市的城市中心;同时,厦门市是滨海旅游城市,厦门岛拥有厦门市的黄金海岸线,境内的旅游景点众多、旅游资源丰富,滨海地段的城市建筑群具有重要的旅游、观光景观价值。厦门岛东南滨海地区,是市民游客休闲旅游的首选目标之一,随着环岛路从乡村小道—海防路—滨海环岛路的演变,该区域是集城市山、水环境特色的典型区域。本研究选取厦大片区和曾厝垵为研究区,从高清影像上看,厦大片区三维建筑密集,距海洋的距离也较近,而曾厝垵区则为较多的民宿和一些地方特色建筑,具体为从演武大桥开始至环岛路与曾厝垵西路交汇处的环岛路段两侧的建筑区(图1)。因此,本研究以厦门岛东南滨海地带为研究区开展建筑群三维空间布局评价与优化具有重要意义。

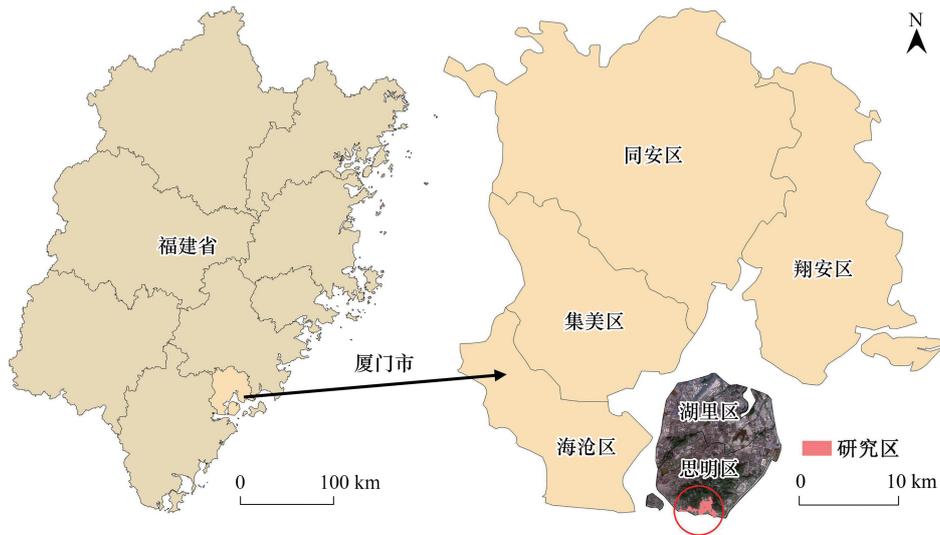


图1 研究区域的区位

Fig.1 Location of research area

1.2 数据来源

首先,本研究基于 Landsat8 OLI/TIRS 遥感影像数据提取厦门岛地表温度,Landsat8 OLI/TIRS 遥感数据是从 USGS 网站下载,该影像数据获取的时间为 2017 年 8 月 15 日,地理空间坐标信息为 WGS_1984_UTM_Zone_50N;其次,基于 GF-2 卫星遥感影像数据提取建筑容积率,该数据来源于中国资源卫星应用中心,该中心提供的影像已对数据进行几何纠正、辐射校正和影像融合等预处理过程,最后得到空间分辨率为 0.8 m 的高分辨率影像,该数据获取时间为 2017 年 12 月 22 日,地理空间坐标信息为 WGS_1984_UTM_Zone_50N;最后,采用实地调查采样获取厦门岛滨海地段建筑群的立面影像数据,并经处理提取滨海地段的天际线。

2 评价指标

结合综合性、代表性、可计量性和易操作性等规则对三维空间布局评价指标进行选取的原则,本研究从建筑景观、热环境和视觉效果等方面选取建筑容积率、地表温度和天际线作为三维空间布局的评价因子。随着城市平面和立体空间结构的发展变化,尤其是三维空间结构的快速变化,城市的热岛效应在不断增强,城市内部热环境与城市建设内部矛盾也会日渐突出。建筑物容积率反映了城市土地利用的开发强度,建筑物容积率是城市规划、城市生活环境质量评价的重要指标。随着城市的发展建设,城市高层建筑不断出现,高层建筑和超高层建筑已成为了影响城市天际线的决定性因素,天际线作为沿海城市滨海地带区域景观构成的重要构成部分,对表达和识别城市特色起到了重要的作用。

2.1 建筑景观指标

建筑物容积率是指建筑物总面积与建筑地块面积的比值,它是衡量城市土地开发利用强度的重要指

标^[32]。建筑容积率既反映了建筑群密度也反映了建筑群高度信息,是建筑景观指标的重要评价因子。建筑容积率的获取方法主要有实地测定法和高分遥感影像提取法;对于大范围城市的建筑容积率获取,采用高分辨率的遥感影像提取阴影来反演容积率更加符合需求。厦门市在过去的 30 多年里,城市空间和人口都得到快速增长^[40-42]。因此,本研究选取建筑容积率指标来评价与优化厦门市的城市建设快速发展状况,具有代表性。本研究采用实地调查和阴影长度法^[43]相结合的方法反演建筑容积率,阴影长度法是基于建筑物、阴影、太阳与卫星之间的几何关系,首先利用建筑物阴影长度估算建筑物高度,然后依据建筑物高度得出建筑物楼层数,再结合建筑物基底面积和建筑物占地总面积,估算建筑物容积率。

2.2 热环境指标

城市热环境的主要表征之一是地表温度。地表温度是由地表热辐射和热力学特性共同决定的,受到热通道、地面湿度、地表反射率、太阳和大气下行辐射以及近地表气温的影响^[44]。由于厦门市处于亚热带季风气候,夏季高温,因此,本研究选取热环境指标对厦门市夏季的城市三维空间进行评价与优化,具有适宜性。本研究基于 Landsat8 OLI/TIRS 遥感影像,采用大气校正法反演地表温度^[45]来提取研究区域的地表温度。

2.3 视觉效果指标

天际线是指城市在垂直方向表现出来的三维空间形态的总体轮廓,能够对城市三维空间形态进行直观地展示^[23]。三维空间结构清晰、形态完整的城市建筑物构成的天际线不仅能够增强城市的可识别性和地域特色,还具有极高的城市艺术价值^[46]。同时,城市天际线是观测者在不同时期内沿城市某一方向观测三维建筑所观察到的全景,每个城市均具有其特有的三维空间轮廓^[6]。城市天际线作为一种景观现象,离不开景观主客体因素及其相互之间必要的视觉条件保证。由视觉美学上看,城市海滨岸线上的景物在纵深方向主要由前景、中景和背景等多层次展现出来,因此,从客观上根据景观客体的体量和位置进行层次划分、并进行分层次的解析是尤为重要的^[36]。厦门环岛路是厦门市的黄金海岸线,其滨海地段的城市建筑群具有重要的旅游、观光景观价值。因此,本研究选取天际线指标来进行厦门岛滨海地段的城市建筑群三维空间的评价与优化,具有代表性意义。

3 城市建筑群三维空间布局评价体系建立

3.1 建筑容积率与三维空间布局

3.1.1 建筑容积率提取

首先,从谷歌地图高清影像上提取研究区各建筑群小区范围,然后采用高分二号遥感影像提取研究区建筑物信息和建筑物阴影信息,并通过实地调查对研究区各小区建筑高度进行纠正,最后基于阴影高度法提取各小区建筑容积率信息(图 2)。如图 2 所示,所有小区建筑容积率均值为 1.32。由此可知,研究区的各小区高层建筑较少,以别墅和低层建筑为主,靠近海岸一侧的小区相对高于远离海岸区域的居住区。

3.1.2 建筑容积率与三维空间布局

为了更细致地分析研究区三维建筑群与容积率之间的关系,本研究将研究区各小区进行功能分区,划分为文教区、商品房居住区、民房居住区以及商业区共四种功能区,为了进一步分析不同功能建筑小区与容积率关系,本研究计算了每种功能区的容积率均值和建筑密度均值(表 1)。由表 1 所示,商业区容积率最高,以 11 层左右的小高层为主;其次是商品房居住区,以 6 至 11 层的多层住宅为主;文教区占地面积广,建筑密度低,

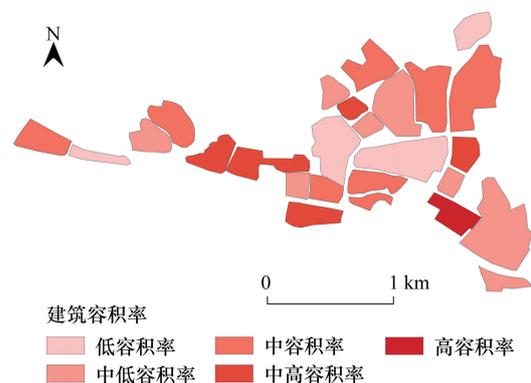


图 2 研究区域内各居住区的容积率分级展示
Fig. 2 The gradation display of the floor area ratio for each residential area in the study area

多层建筑为主;民房居住区的容积率是最低的,但是其建筑密度高,建筑以 2 层建筑为主。

表 1 不同功能区容积率均值

Table 1 The average of floor area ratio in different functional areas

功能区 Functional areas	容积率均值 Average of floor area ratio	建筑密度均值 Average of building density
商品房居住区 Commercial residential areas	1.29	0.21
民房居住区 Rural residential areas	0.92	0.41
商业区 Business areas	1.62	0.26
文教区 Cultural and educational areas	0.94	0.21

3.2 热环境与三维空间布局

3.2.1 地表温度提取

为了便于信息提取,本研究首先基于 Landsat8 OLI/TIRS 遥感影像数据提取厦门岛地表温度,然后计算各建筑小区的平均地表温度。并基于温度等级将厦门岛划分为中温、中高温、高温和极高温共 4 个不同温度区域(图 3)。如图 3 所示,整体上厦门岛滨海区域温度高于中心区区域,城市极高温区域主要集中于西北部港口和机场以及滨海区域,高温、中高温和中温区域主要集中在中部和南部水域和山区。

3.2.2 地表温度与三维空间布局

基于厦门岛地表温度信息,提取研究区各居住区平均地表温度(图 4)。由图 4 可知,研究区温度范围为高温和极高温,6 个小区的平均温度为极高温。

为了进一步分析不同功能建筑区与温度关系,并本研究计算了每种功能区的平均温度。由于地表温度高低与植被覆盖度具有较大的关联性,为了分析不同功能区温度差异的成因,本研究计算每个建筑区的 NDVI 均值,并计算每种功能区的 NDVI 均值(表 2)。由表 2 可知,民房居住区的温度最高,其次是商业区、文教区,商品房居住区最低。并由 NDVI 均值可知,民居区域植被覆盖较低,民居区域建筑密度高,且多为低矮平房;商品房小区 NDVI 均值最高,温度也最低,对比文教区建筑群三维布局可知,商品房小区建筑群通常楼层较多;而商业区则建筑密度也较高。由此可知,考虑温度因素,建筑群建筑密度过大、建筑层数过多都会造成温度较高。

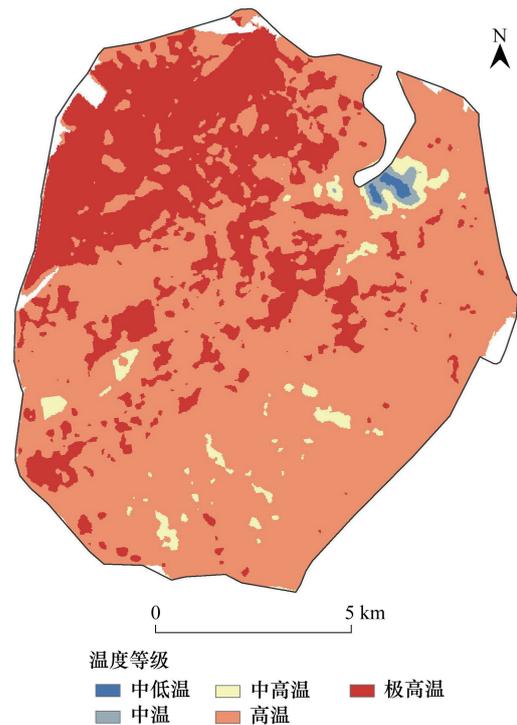


图 3 厦门岛热环境的温度分级

Fig. 3 Temperature classification of thermal environment in Xiamen Island

表 2 不同功能区平均温度

Table 2 Mean temperature in different functional areas

功能区 Functional areas	温度均值 Mean temperature	NDVI 均值 Mean NDVI	建筑密度均值 Mean of building density
商品房居住区 Commercial residential areas	38.28	0.155	0.21
民房居住区 Rural residential areas	39.38	0.089	0.41
商业区 Business areas	38.49	0.146	0.26
文教区 Cultural and educational areas	38.47	0.143	0.21

NDVI: 归一化植被指数 Normalized difference vegetation index

3.3 天际线与三维空间布局

厦门岛地形以滨海平原、台地和丘陵为主,万石山和东坪山作为研究区滨海天际线的背景层次,为天际线提供了更丰富的景观层次。从远景上为天际线呈现了固定的背景景观要素,同时其在立体上的轮廓也为滨海天际线的组织提供了背景参照。本研究所选研究区具有显著的山体背景,该区域天际线的视觉角度与城市内陆地区的天际线存在较大差异,该区域的天际线具有非常明确的视觉边界,即海岸沙滩和山体。该区域沿海岸带具有宽广的视觉空间,宽阔的海面为以山体为背景的天际线形成了鲜明的对比,同时该区域的立体空间中,海面起到托浮岸畔和水中景观的基底作用,山体的山脊线为天际线提供了空间起伏的视觉美感。

厦门岛环岛路景观具有其自身的特色,滨海区域一般为植被,综合考虑具体景观要素,研究区景观的景在纵深方向主要由前景植被、前景建筑群、中景建筑群、背景建筑群以及背景山体等多层次展现。为了更清晰详细地绘制天际线,本文将研究区分为两段:白城至书法广场段,书法广场至音乐广场段。

首先,本研究在白城海滩获取白城至书法广场段天际线(图 5)。由图 5 可知,厦门岛白城至书法广场段天际线层次较分明,受前景植被的影响,前景天际线不够突出;中景天际线起伏不显著,构成中景天际线的建筑群楼层高度过于一致,建筑形态也较为雷同,同时作为天际线的竖向构图主体部分,中景天际线缺少在层次上起到视觉中心作用的建筑。起到中心海上远景效果上削弱了滨海城市天际线作为城市标志形象的突出作用;背景天际线起伏显著,建筑形态具有鲜明的特色,特别是世贸双子塔非常突出,因此背景天际线未能起到丰富中景天际线和山体之间的层次变化的作用。为了更细致的了解此段天际线的具体情况,本研究分段对天际线进行了局部放大提取,如图 5 所示,以世贸双子塔为背景的天际线部分,背景天际线建筑密度偏少,仅世贸双子塔突兀的呈现在背景天际线中,但由于其过于突出的存在又降低了前景和中景天际线的存在感。另外一段具有山体背景天际线的部分,总体天际线层次变化较显著,但同一层次天际线建筑形态单一,高度起伏也不显著。

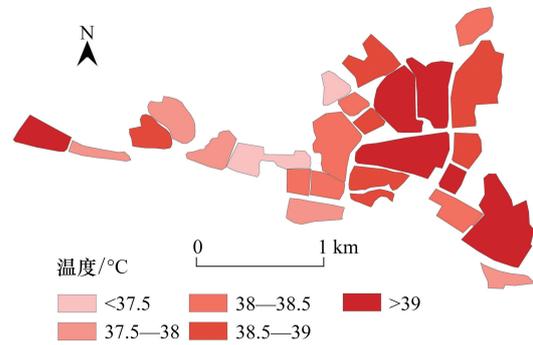


图 4 研究区域内各居住区的温度分级展示

Fig.4 The temperature classification display of each residential area in the study area

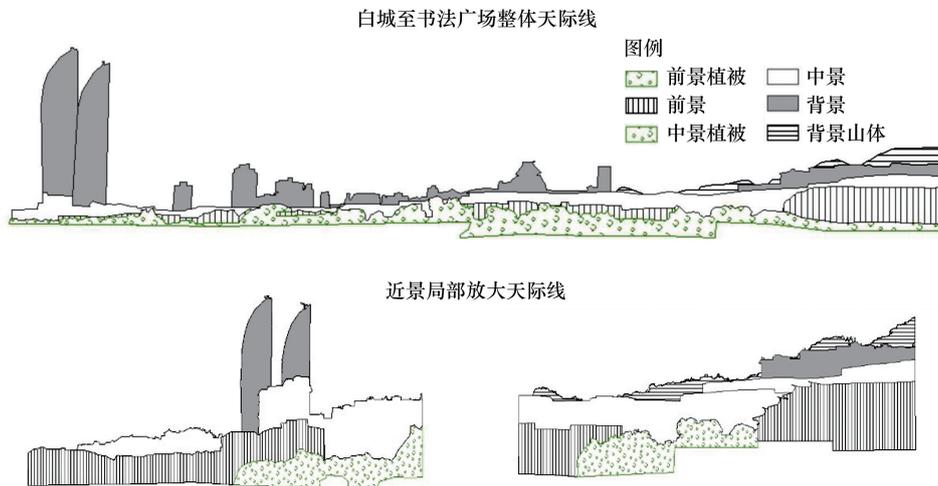


图 5 白城至书法广场天际线

Fig.5 Skyline from Baicheng to Calligraphy Square

其次,本研究在书法广场获取书法广场至音乐广场段天际线,如图 6 所示。由图 6 可知,厦门岛书法广场至音乐广场段以商业区和民宿居多,高层建筑较少,较大部分建筑均被植被遮挡,层次不分明,整体来看天际线层次不分明,起伏变化不显著,仅背景山体天际线较突出,总体来看该段滨海地带天际线景观不利于多层次天际线界面的展示。为了更细致的了解此段天际线的具体情况,本研究也分段对天际线进行了局部放大提取,如图 6 所示,以中间具有背景天际线部分,中景天际线建筑较密集,建筑形态也较具有特色,但建筑高度较一致;背景天际线建筑密度偏低,建筑形态也较单一,但高度也较一致,且高度偏高,在一定程度上能起到丰富中景天际线和山体之间的层次变化的作用;另外一段无背景天际线的部分,天际线层次变化单一,建筑景观呈现的天际线仅为中景天际线,天际线建筑形态也较单一,高度起伏也不显著。

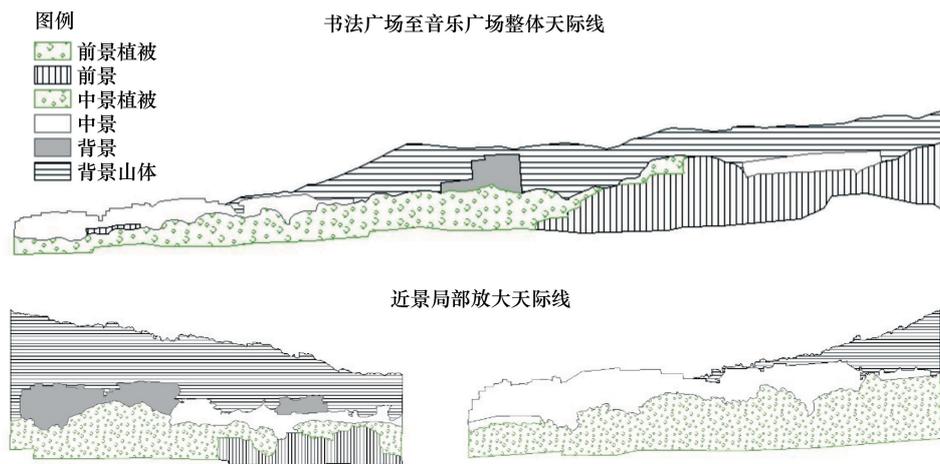


图 6 书法广场至音乐广场天际线
Fig.6 Skyline of Calligraphy Square to Music Square

4 城市建筑群三维空间布局优化发展建议

4.1 建筑景观角度三维空间布局优化发展建议

从容积率分析结果来看,厦门岛滨海地带以低层民居、低层别墅以及中高层居民区和商业区为主。从三维布局来看,不同类型的建筑存在各自不同布局问题,针对不同建筑类型提出如下建议:

4.1.1 优化低层建筑布局

厦门岛滨海地带多为低层别墅和低层民居,低层别墅基本符合别墅区为正常的容积率值,而民居层数基本为二层建筑,民居的容积率接近 1,建筑密度过高。民居固然有其自身的特色,但却存在较多的生态和社会问题,应优化低层民居的空间布局,加快民居的空间规划,降低其空间密度,适当增加建筑高度,提高其容积率。

4.1.2 合理布局中高层建筑

厦门岛滨海地带的中高层建筑以商业区和居民区为主,容积率基本符合中高层容积率范围。在厦门日益增加的用地压力下,适当增加中高层建筑密度,提高建筑高度可缓解厦门用地压力。

4.2 热环境角度三维空间布局优化发展建议

城市热岛是城市化进程中日益突出的问题,而建筑三维空间布局对城市热环境具有较大的影响。本研究以保障城市可持续发展,减少城市热岛对城市居民舒适生活的影响,实现城市化与城市环境协调发展的可持续发展目标。对厦门岛滨海地带的三维空间布局提出如下建议:

4.2.1 优化城市用地类型空间布局

在建筑密集区增加降温用地比例,合理规划热岛效应区域与降温用地的空间布局。从用地空间布局来

看,城市建设用地比例越高,城市热岛效应越显著。同时,城市建筑密度高的区域,NDVI 指数通常均较低,因此,增加植被覆盖比例对减缓城市热岛效应具有较显著的效果。在城市用地类型空间布局优化方面:一方面要减少城市建筑用地聚集效应,在未来规划过程中需要合理规划城市建设用地和植被用地比例;另一方面要在已经集中连片的高楼和建设用地及其周边,增加植被用地的规划。总之,合理规划建设用地和植被用地比例,优化城市用地类型空间布局,进而较少产生城市建成区的热岛效应。

4.2.2 合理规划风景区建筑布局

厦门岛滨海地带较多的旅游风景区,特别是具有闽南特色的滨海民居,非常受游客们的青睐,本研究中的曾厝垵就是其中的典型代表,每天都有大量的游客集中在这个区域。从城市热环境分析来看,曾厝垵是所有功能区类型中温度最高,属于极高温区。分析其原因包括多个方面,建筑密度高,植被少,人流量大,建筑布局规律杂乱等。曾厝垵属于滨海民居,是集美食、住宿和游玩于一体的综合区域,也是厦门重要的旅游风景区,为游客提供舒适的环境是非常重要的。因此,在解决城市热岛效应的有效方法是:合理规划该类区域的建筑布局,增加植被占比,增加区域内容的通风性。

4.3 视觉效果角度三维空间布局优化发展建议

天际线是城市重要的景观之一,特别是滨海旅游城市,其视觉景观效果更为重要,通过三维空间布局优化提升天际线的视觉景观效果。厦门岛具有天际线视觉效果的天然优势,厦门岛中心多山地,为天际线美观效果形成良好的背景,滨海地带又由较多的适合于观景的平台,游客在欣赏海天一色的美景的同时,还可欣赏由山体作为背景的由三维建筑构成的城市天际线。由前述部分分析可知从布局来看,厦门岛滨海天际线从视觉美观来看仍有欠缺,本研究提出如下建议:

4.3.1 建筑形态多样化

厦门岛滨海地带的三维建筑功能类型是多样的,由文教区、商业区、居住区和民居,但建筑形态类型却较单一。从天际线的视觉效果来看,同一层次的三维建筑较单一,高度未形成错落有致的景观美感,三维建筑形态也多以长方体形态为主。应增加同一层次三维建筑的多样化类型,从高度上形成高低起伏,错落有致的空间布局;从三维建筑形态来看,应增加多样化建筑类型,滨海地带是厦门重要的风景区,应增加具有地方特色的闽南建筑类型,使游客在欣赏自然风光的同时,还能领略闽南民俗文化。

4.3.2 优化天际线前景、中景和背景的层次布局

厦门岛中心山体已为滨海地带城市景观天际线形成天然的背景,但并未起到良好的视觉效果。结合实际情况,厦门滨海地带天际线景观分为4个层次:前景植被、前景建筑、中景建筑、背景建筑和背景山体。总体来看,厦门滨海地带未形成前景、中景和背景相互交错,层次突出的特色城市天际线景观。背景建筑密度偏低,即最靠近山体的建筑较少,可适当考虑增加靠近山体的建筑密度,形成近可欣赏山景远可欣赏海景的特色建筑类型。前景植被密度过高,几乎遮挡全部的前景建筑,可考虑给密集的前景植被开放多个出口,既可起到通风效果又可降低前景植被的遮挡作用;还可适当增加前景建筑的高度,不仅可增加前景建筑的层次,还增强了前景建筑欣赏海景的视觉效果。

综上所述,厦门滨海地带三维建筑空间布局存在如下问题:总体来看,各建筑小区植被比例偏低,热岛效应显著,低层建筑容积率异常,城市景观天际线的视觉效果不显著。具体来看,低层民居建筑密度偏高,植被比例过低;中高层建筑密度正常,但占比较少,三维建筑形态单一;高层建筑密度偏低,占比也较少,城市景观天际线视觉效果差。

未来需要优化发展建议为:(1)民居建筑已形成地方特色建筑,在不影响其民俗文化价值的前提下可适当降低空间密度,提升建筑高度,增加植被用地比例;(2)中高层商业区和居民区可适当提升建筑用地密度,缓解厦门用地压力,除必要的建设用地外增加植被用地比例,提升中高层建筑形态的多样化布局;(3)增加高层建筑密度,提升高层建筑景观天际线背景天际线视觉效果。

此外,除了从建筑景观、热环境和视觉效果角度来发展及优化城市建筑群信息等自然因素感知,将来还应

考虑结合心理感知、社会经济视角、过程与风险等相关方面的来探讨城市建筑群的研究,来努力实现城市的可持续发展^[47-48]。

5 结论

本研究建立了城市建筑群三维空间布局的评估方法体系,从建筑景观、热环境和视觉效果 3 个角度评价了厦门岛滨海地带三维空间格局的现状,并总结了厦门岛滨海区域的三维空间布局优化发展模式,最后给出厦门岛滨海地带三维建筑空间布局优化建议。本研究可得以下结论:

从建筑景观、热环境和视觉效果 3 个角度评价三维空间布局可得:(1) 不同功能建筑群与容积率关系:商业区容积率最高,以 11 层左右的小高层为主;其次是商品房居住区,以 6 至 11 层的多层住宅为主;文教区占地面积广,建筑密度低,多层建筑为主;民房居住区的容积率是最低的但其建筑密度高,建筑主要以 2 层建筑为主;(2) 考虑温度因素,建筑群建筑密度过大、建筑层数过多都会造成温度较高;(3) 研究区具有宽广的视觉空间和宽阔海面,与以山体为背景的天际线形成了鲜明的对比,同时该区域的立体空间中,海面起到托浮岸畔和水中景观的基底作用,山体的山脊线为天际线提供了空间起伏的视觉美感。

最后,从对应 3 个指标提出城市建筑群的优化发展建议。具体从优化低层建筑和合理布局中高层建筑的建筑容积率角度;优化城市用地类型和合理规划风景区的热环境角度;以及设计建筑形态多样化和优化天际线前景、中景和背景的层次布局的天际线角度,来提出厦门岛滨海地带的城市建筑群三维空间布局的优化发展建议。此外,将来可以考虑结合心理感知、社会经济视角、过程与风险等相关方面指标进一步探讨城市建筑群的研究,对实现城市可持续发展具有重要意义。

参考文献 (References):

- [1] 刘丽娟. 城市规划与城市土地资源的利用. 城市建设理论研究, 2017, (9): 50-50.
- [2] 张培峰, 胡远满, 熊在平. 区位因素对沈阳市铁西区三维建筑景观变化的影响. 生态学报, 2012, 31(7): 1832-1838.
- [3] 赵景柱. 关于生态文明建设与评价的理论思考. 生态学报, 2013, 33(15): 4552-4555.
- [4] 廖斌. 国际会展对城市经济发展的影响效应研究——以厦门为例[D]. 厦门: 厦门大学, 2017.
- [5] 赵景柱, 宋瑜, 石龙宇, 唐立娜. 城市空间形态紧凑度模型构建方法研究. 生态学报, 2011, 31(21): 6338-6343.
- [6] 杨俊, 国安东, 席建超, 葛全胜, 李雪铭. 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. 地理学报, 2017, 72(4): 646-656.
- [7] 邵晓雷, 潘晓露, 李一民. 高分辨率遥感影像城区地物信息提取技术研究. 贵州大学学报: 自然科学版, 2012, 29(1): 88-91.
- [8] 何原荣, 郑渊茂, 潘火平, 陈鉴知. 基于点云数据的复杂建筑体真三维建模与应用. 遥感技术与应用, 2016, 31(6): 1091-1099.
- [9] 李瑶, 潘竟虎. 基于 Landsat 8 劈窗算法与混合光谱分解的城市热岛空间格局分析——以兰州市中心城区为例. 干旱区地理, 2015, 38(1): 111-119.
- [10] 郑渊茂, 何原荣, 余建伟. 激光点云的多功能风洞施工量测与分析. 测绘科学, 2017, 42(11): 171-176.
- [11] Xie W, Zhou G, Xue Y. 3D urban model with true-texture reconstruction for decision-making//Proceedings of 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing. Denver, CO, USA: IEEE, 2006: 1394-1397.
- [12] 丁宁, 孙英君, 崔健, 陈明九. 高层建筑物变形监测数据处理与分析. 测绘科学, 2011, 36(5): 93-94, 102-102.
- [13] Woodbury R, Flemming U, Coyne R, Fenves S, Garrett J. The SEED project: a software environment to support the early phases in building design//Proceedings of the 8th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems. Melbourne, Australia: ACM, 1995.
- [14] 谢年, 向煜, 徐艇伟. 基于规则的快速三维建模技术研究. 城市勘测, 2013, (4): 5-8.
- [15] 胡建平, 董春华, 陈亚东, 王丽. 虚拟现实技术在城市三维地学模拟中的应用. 计算机工程与设计, 2009, 30(8): 2001-2003, 2007-2007.
- [16] Liu M, Hu Y M, Li C L. Landscape metrics for three-dimensional urban building pattern recognition. Applied Geography, 2017, 87: 66-72.
- [17] Kaňuk J, Gallay M, Hofierka J. Generating time series of virtual 3-D city models using a retrospective approach. Landscape and Urban Planning, 2015, 139: 40-53.
- [18] Chen Z Y, Xu B, Devereux B. Urban landscape pattern analysis based on 3D landscape models. Applied Geography, 2014, 55: 82-91.
- [19] Wu Q, Guo F X, Li H Q, Kang J Y. Measuring landscape pattern in three dimensional space. Landscape and Urban Planning, 2017, 167: 49-59.

- [20] Vasin Y G, Osipov M P, Tomchinskaya T N. Development of interactive virtual models of the urban landscape of the historical center of Nizhni Novgorod. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2011, 21(2): 351-353.
- [21] 张培峰, 胡远满. 不同空间尺度三维建筑景观变化. *生态学杂志*, 2013, 32(5): 1319-1325.
- [22] 于卓. 多维城市空间增长探讨//生态文明视角下的城乡规划——2008 中国城市规划年会论文集. 大连: 中国城市规划学会, 2008: 1137-1141.
- [23] 乔伟峰, 刘彦随, 王亚华, 陆显颖. 2000 年以来南京城市三维空间扩展特征. *地理研究*, 2015, 34(4): 666-676.
- [24] Lin J, Huang B, Chen M, Huang Z. Modeling urban vertical growth using cellular automata—Guangzhou as a case study. *Applied Geography*, 2014, 53: 172-186.
- [25] Zhang W X, Li W D, Zhang C R, Hanink D M, Liu Y Y, Zhai R T. Analyzing horizontal and vertical urban expansions in three East Asian megacities with the SS-coMCRF model. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 177: 114-127.
- [26] Srivanit M, Kazunori H. The influence of urban morphology indicators on summer diurnal range of urban climate in Bangkok metropolitan area, Thailand. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 2011, 11(5): 34-46.
- [27] Chun B, Guldmann J M. Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 76-88.
- [28] Zheng Z, Zhou W Q, Yan J L, Qian Y G, Wang J, Li W F. The higher, the cooler? Effects of building height on land surface temperatures in residential areas of Beijing. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2019, 110: 149-156.
- [29] Gaur A, Eichenbaum M K, Simonovic S P. Analysis and modelling of surface Urban Heat Island in 20 Canadian cities under climate and land-cover change. *Journal of Environmental Management*, 2018, 206: 145-157.
- [30] 祝新明, 王旭红, 周永芳, 吴文恒, 刘状. 建成区扩张下的西安市热环境空间分异性. *生态学杂志*, 2017, 36(12): 3574-3583.
- [31] Rao P K. Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1972, 53(7): 647-648.
- [32] 刘焱序, 彭建, 王仰麟. 城市热岛效应与景观格局的关联: 从城市规模、景观组分到空间构型. *生态学报*, 2017, 37(23): 7769-7780.
- [33] 张小飞, 王仰麟, 李正国, 李卫锋, 叶敏婷. 三维城市景观生态研究. *生态学报*, 2007, 27(7): 2972-2982.
- [34] Yu B L, Liu H X, Wu J P, Hu Y J, Zhang L. Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 98(3/4): 210-219.
- [35] 陈探, 刘焱, 胡远满, 常雄凯, 李春林, 徐岩岩, 施拓. 沈阳城市三维景观空间格局分异特征. *生态学杂志*, 2015, 34(9): 2621-2627.
- [36] 张建华, 潘蕾. 滨海环山城市天际线景观的组织与塑造——以烟台滨海天际线景观特色为例. *城市发展研究*, 2010, 17(9): 77-84.
- [37] 甘伟, 胡雯, 周钰. 历史文化街区的街景天际线分形特征研究——以凤凰古城为例. *华中建筑*, 2020, 38(5): 125-129.
- [38] Tang L N, Ma W. Assessment and management of urbanization-induced ecological risks. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2018, 25(5): 383-386.
- [39] Hua L Z, Zhang X X, Chen X, Yin K, Tang L N. A feature-based approach of decision tree classification to map time series urban land use and land cover with landsat 5 TM and Landsat 8 OLI in a coastal city, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, 6(11): 331.
- [40] Tang L N, Wang L, Li Q Y, Zhao J Z. A framework designation for the assessment of urban ecological risks. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2018, 25(5): 387-395.
- [41] Tang L N, Zhao Y, Yin K, Zhao J Z. Xiamen. *Cities*, 2013, 31: 615-624.
- [42] Hua L Z, Shao G F, Zhao J Z. A concise review of ecological risk assessment for urban ecosystem application associated with rapid urbanization processes. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2017, 24(3): 248-261.
- [43] 黄蓉, 李丹, 乔相飞. 基于 QuickBird 卫星影像阴影的青岛市建筑物高度提取. *测绘通报*, 2012, (S1): 281-283, 316-316.
- [44] 周伟奇, 田韞钰. 城市三维空间形态的热环境效应研究进展. *生态学报*, 2020, 40(2): 416-427.
- [45] 胡德勇, 乔琨, 王兴玲, 赵利民, 季国华. 单窗算法结合 Landsat8 热红外数据反演地表温度. *遥感学报*, 2015, 19(6): 964-976.
- [46] 张长城. 济南城市三维景观格局时空分异特征研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2019.
- [47] Zhao J Z, Liu X, Dong R C, Shao G F. Landsenses ecology and ecological planning toward sustainable development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2016, 23(4): 293-297.
- [48] Zhao J Z, Yan Y, Deng H B, Liu G H, Dai L M, Tang L N, Shi L Y, Shao G F. Remarks about landsenses ecology and ecosystem services. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2020, 27(3): 196-201.