

· 城市生态保护 ·

上海市城市空间扩张与人居环境质量关系研究

李科¹⁻³, 齐晶瑶¹, 张富国², 陈雷³, 闫钰², 董艳红², 王灵芝⁴

- (1. 哈尔滨工业大学环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;
2. 中国市政工程东北设计研究总院有限公司, 吉林 长春 130021;
3. 吉林建筑大学松辽流域水环境教育部重点实验室, 吉林 长春 130118;
4. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要:上海市作为中国进入快速城市化发展阶段的典型代表,其城市化发展速度快,变化特征明显的同时,由于人口密度大,城市化带来的问题也显著而典型。文章借助遥感影像资料、自然及人文数据资料,基于ArcGIS平台,分析上海市城市化发展时空变化,构建人居环境质量指数,并对城市空间扩张与人居环境质量进行相关性研究。研究表明,2010~2018年上海市城市用地扩张速度呈“圈层式”扩张,扩张强度先增后减,在距城市中心20~25 km达到峰值;各圈层建筑密度从市中心到边缘地区逐渐降低,建筑平均层数变化趋势为先上升再下降最后趋于平缓;人居环境质量指数在扩张强度超过0.0005、扩张速度超过0.02时与其呈反向变化,与建筑平均层数呈正向变化,超过一定限值(22.3%)后受建筑密度制约。

关键词: 城市化;城市扩张;致密化;人居环境质量;上海市

中图分类号: X321

文献标志码: A

DOI: [10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021110016](https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021110016)

Study on relationship between urban spatial expansion and living environment quality in Shanghai

LI Ke¹⁻³, QI Jingyao¹, ZHANG Fuguo², CHEN Lei³, YAN Yu², DONG Yanhong², WANG Lingzhi⁴

- (1. School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. China Northeast Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Changchun 130021, China; 3. Key Laboratory of Song Liao Aquatic Environment, Ministry of Education, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118; 4. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: As a typical representative city of China entering the stage of rapid urbanization, Shanghai has a rapid urbanization development with obvious changes. At the same time, due to the high population density, the problems caused by the urbanization are also obvious and typical. Based on ArcGIS platform, this paper analyzed the spatio-temporal change of Shanghai's urbanization, established the living environment quality index, and studied the correlation between the urban spatial expansion and the living environment quality by the remote sensing image data, natural and human data. The results showed that urban land expansion in Shanghai from 2010 to 2018 with a "circular" expansion. The expansion intensity increased first and then decreased, and reached the peak value at 20~25km from the city center. The building density of each circle layer decreased gradually from the center to the edge area. And the average number of building floors increased first, then decreased and finally flattened. When the expansion intensity exceeded 0.0005 and the expansion speed exceeded 0.02, the living environment quality index showed a reverse change, which was positively changing with the average number of floors of the building. When the index exceeded a certain limit (22.3%), it was restricted by the building density.

Keywords: urbanization; urban expansion; densification; living environment quality; Shanghai

CLC number: X321

中国已进入快速城市化阶段,其重要表现形式之一就是城市空间的快速扩张,定量刻画与理解城市空间形态及其演化对研究城市化问题具有重要意义^[1]。对于城市发展,国外学者多注重城市扩展

收稿日期: 2021-11-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878316); 吉林省教育厅科学技术研究规划项目(JJKH20220297KJ)

作者简介: 李科(1982-),男,博士、副教授。研究方向: 环境规划与管理。E-mail: like_student@163.com

通信作者: 齐晶瑶(1960-),女,博士、教授。研究方向: 环境规划与管理。E-mail: jyq@hit.edu.cn

引用格式: 李科,齐晶瑶,张富国,等.上海市城市空间扩张与人居环境质量关系研究[J].环境保护科学,2022,48(5):38-44.

的几何特征,从景观指数角度识别和分析城市扩展的特征。国内学者对城市扩展的研究主要集中于不同尺度下城市扩展的空间特征^[2-3]、城市扩展的驱动机制^[4]和模型模拟预测^[5],以期科学地引导建设用地扩展、维护城市生态安全。在人居环境质量指数建立方面,国内相关研究也比较全面^[6-7],但对于城市化和人居环境质量关系方面研究较为有限。

上海作为一线大都市,一方面城市化发展速度快,变化特征显著;另一方面人口密度大,城市问题(空气质量恶化、城市交通问题)显著而典型。因此,本研究选取上海市为研究区,借助 ArcGIS 平台,在对上海市城市化发展时空变化分析的基础上,构建人居环境质量指数,从而揭示城市扩张变化与人居环境质量的相关性。研究有助于科学认识城市动态演变过程与宜居地区特征,以期为未来制定城市发展规划、建设“绿色友好型”的新型城市和调控城市用地形态提供科学依据。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

上海市地处东经 120°52′~122°12′E、北纬 30°40′~31°53′N 之间,总面积 6 340 km²,划分为中心、半中心、郊区及崇明县郊县 4 个区域,共辖 15 个区(不包括崇明县),是长三角城市群格局的核心,见图 1。上海市陆地地势呈现东部高、西部低、全区地势平坦的特点,境内湖泊众多,属亚热带季风性气候区,具有明显的城市热岛效应。2018 年,上海市平均气温约为 15.8℃,年均降水量 1 119.1 mm,全市常住人口总数为 2 423.78×10⁴ 人,GDP 为 3.27×10¹² 元。

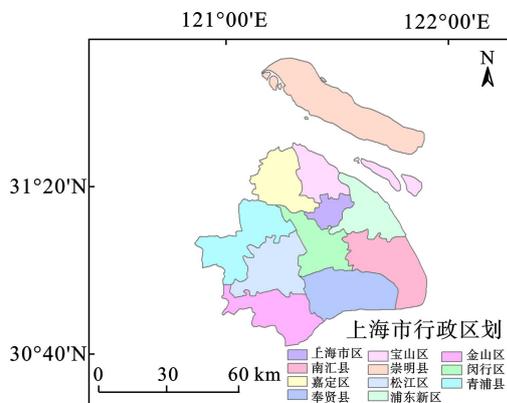


图 1 研究区位置

1.2 数据来源

2000 和 2018 年上海市土地利用现状数据、2018 年上海市 DEM 高程数据、建筑数据、全国植

被覆盖率数据、平均降水量数据、平均气温数据和行政边界数据源自中国科学院资源与环境科学数据中心;上海市道路数据源自地理国情监测云平台;AQI 环境监测数据源自中国环境监测总站;2010 年第六次人口普查空间数据、2016 年上海市 POI 数据源自数据研习社。

2 上海市城市空间扩张特点

2.1 上海市城市扩张特点

2.1.1 上海市城市扩张分析方法 圈层分析是指以城市中心为圆心,将城市划分成一定半径圆环,每个同心圆环作为城市扩张空间分异的基本单元,以此计算有关维度指标^[8]。本研究根据上海市 POI 数据,以上海市政府作为城市中心,5 km 作为半径进行圈层分析,之后的结果均基于此圈层进行。

利用上海市 2000 年和 2018 年的土地利用现状数据,借助 ArcGIS 软件的 Intersect 模块,将数据进行叠加,再以上述圈层对数据进行分析,根据结果计算城市扩张指标。扩张速度计算,见式(1)^[9]:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \quad (1)$$

式中: K 为研究时段内区域建设用地的扩张速度; U_a 、 U_b 分别为研究时段开始与结束时建设用地的面积, km²; T 为研究时段, a。

扩张强度指数计算,见式(2)^[10]:

$$UEI = \frac{U_b - U_a}{A} \times \frac{1}{T} \quad (2)$$

式中: UEI 为研究时段内区域建设用地的扩张强度, km²/a; U_a 、 U_b 分别为研究时段开始与结束时建设用地的面积, km²; A 为土地总面积, km²; T 为研究时段, a。

2.1.2 建设用地扩张速度结果分析 城市扩张速度通常以 30% 和 50% 为界限, ≤30% 为缓慢扩张阶段、30%~50% 为较快扩张阶段, ≥50% 为快速扩张阶段^[11]。本文根据上海市情况,通过自然断点法,将上海市各圈层扩张速度分为 5 类,对应区域分别为:缓慢扩散、低速扩散、中速扩散、快速扩散和高速扩散,见图 2。

研究发现,上海市城市扩张速度在空间上分异特征明显,呈现明显的“圈层式”扩张模式。总体来看,建设用地扩张速度随着距中心城区距离增加而逐渐加快,这主要是因为上海市中心城区与紧邻的

近郊城区发展较早,新增建设用地面积较少;而离中心城区相对较远的圈层,在城乡发展一体化政策的扶持下,发展潜力依次增大。

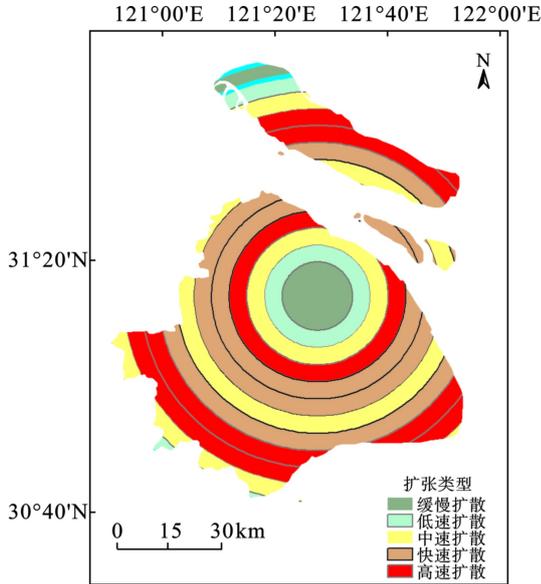


图 2 2000~2018 年建设用地扩张特征

2.1.3 建设用地扩张强度变化分析 扩张强度变化显示在 25 km 以内时,随着距城市中心的距离增加,城市扩张强度逐渐升高,这是由于近城区发展较早,可利用土地有限,导致扩张重心逐步外移;而距离城市中心 25~70 km 范围内,由于城市中心辐射范围有限,随着距离增加,扩张强度也逐步降低,见图 3。

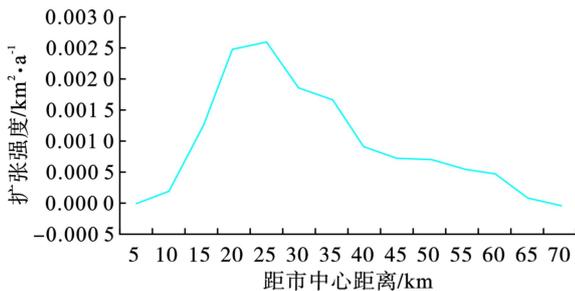


图 3 2000~2018 年建设用地扩张强度随距城市中心距离的变化

2.2 上海市致密化发展特征

2.2.1 建筑层数分布特点 以上海市部分区域建筑数据为基础数据,见图 4,再借助 ArcGIS 平台,对上述各圈层进行深入分析,见图 5。根据自然断点法将研究区范围内建筑分为 7 类:1~3 层、4~6 层、7~12 层、13~20 层、21~33 层、34~66 层和 67~118 层,并求得不同层数的建筑在各圈层所占比重,见表 1。

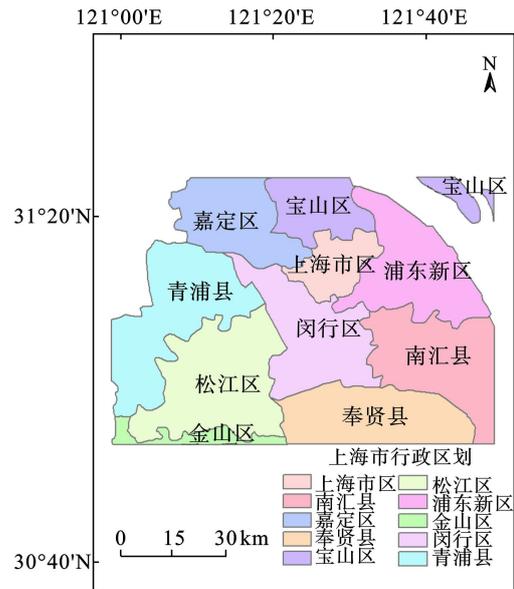


图 4 基底面积所在县级边界

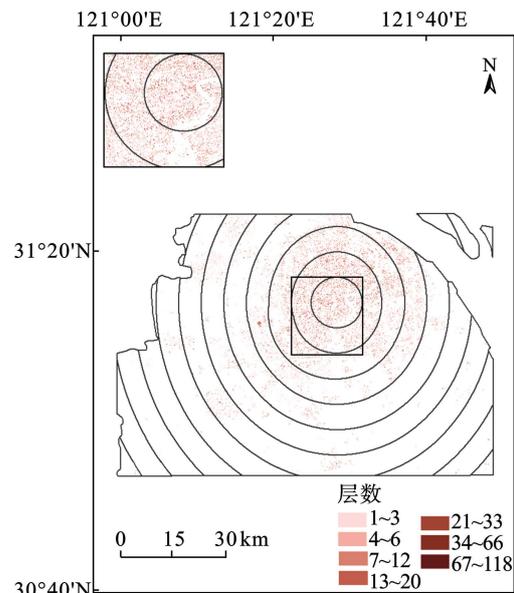


图 5 上海市建筑层数分布

以到达市中心的距离为 x 轴,以各类建筑在各圈层内的占比为 y 轴,绘折线图,见图 6。

图 6 可知,曲线变化波动较大,原因如下:1)中心集聚。在靠近市中心的圈层内,土地集约利用,高层建筑较多,在城市边缘地区高层建筑较少;2)圈层本身特性。研究区范围内包括部分行政区,由于各个行政区拥有各自的商业中心,各个中心也发挥着集聚作用,导致某些圈层内 4~20 层建筑占比有反弹上升趋势;与此相对,一些圈层包含大量公园绿地和工业园区,导致 1~3 层建筑占比也较高;3)建筑本身特性。1~3 层建筑多为工厂、村镇及公共用地,4 层以上多为住宅用地和商服用地。

表 1 各类建筑在各圈层的占比统计

建筑层数	5 km	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km	35 km	40 km	45 km	50 km	55 km	60 km
1~3层	45.19	26.31	39.65	60.73	67.72	66.36	55.82	50.66	79.78	35.54	25.00	27.61
4~6层	33.38	35.35	33.96	28.10	23.11	24.40	34.26	39.43	10.42	30.64	20.83	62.96
7~12层	11.47	30.85	22.82	8.41	5.23	6.05	5.45	7.18	8.06	24.26	54.17	1.01
13~20层	4.86	5.43	3.12	2.45	3.30	2.87	4.10	2.58	1.73	9.07	0.00	8.42
21~33层	4.64	2.01	0.43	0.31	0.64	0.32	0.35	0.11	0.00	0.49	0.00	0.00
34~66层	0.42	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
67~118层	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

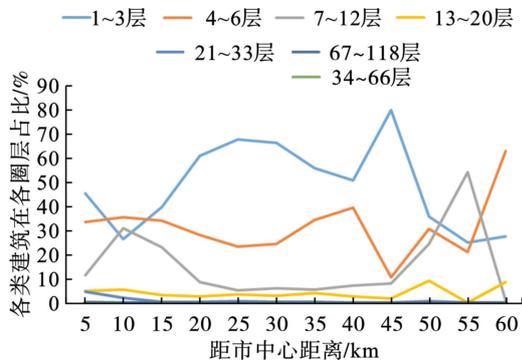


图 6 各类建筑在不同圈层占比

2.2.2 建筑平均层数和建筑密度特征 以圈层分析结果为基础计算各圈层建筑平均层数和建筑密度,本文中建筑密度为城市建筑密度,见式(3):

$$\text{建筑密度} = \frac{\text{建筑物的基底面积}}{\text{规划建设用地面积}} \quad (3)$$

鉴于数据可得性,本文以土地利用现状面积中的建设用地面积代替规划建设用地面积。由于基底面积缺少部分露天建设用地数据,如道路、工矿和水利等,求得的建筑密度较小。虽然数值偏小,但整个城市的各类建设用地分布均匀,各圈层均包含上述露天建设用地,所以此结果对于城市化程度的分析同样具有意义,可以代替建筑密度分析城市的空地率和建筑密集程度。此外,由于 50~60 km 圈层建筑数据可得性限制,此范围地区未作深入分析。

研究发现各圈层建筑密度从市中心到边缘地区逐渐降低,此结果符合城市致密化与集聚发展原则。建筑平均层数变化趋势为先上升再下降最后趋于平缓,10 km 圈层平均建筑层数高于 5 km 圈层的原因是中心城区包含建筑层数普遍较低的旧城区,之后的曲线符合城市致密化发展原则,见图 7。

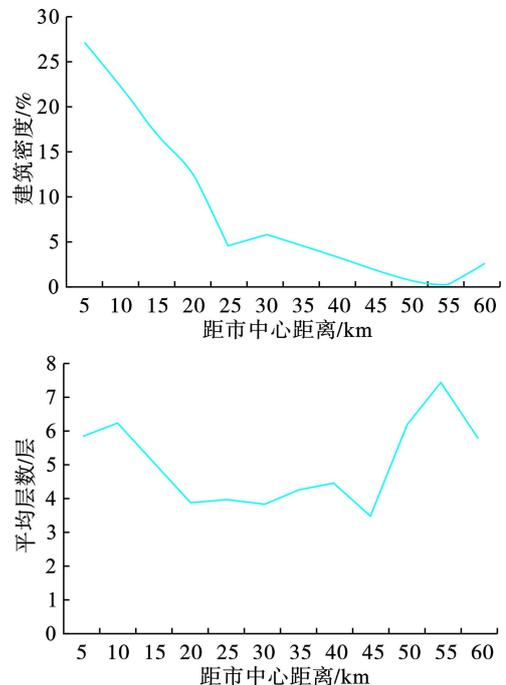


图 7 各圈层建筑密度与建筑平均层数变化

3 构建上海市人居环境质量指数

3.1 构建人居环境质量指数

区域人居环境是一个复杂综合体,故在构建人居环境质量综合指数时需要同时考虑自然要素和人文要素^[2],见图 8。

3.2 指数选择依据及计算方法

3.2.1 地形起伏度 地形起伏度是描述一个区域地形特征的一个宏观性的指标^[13],在土地利用评价、生态环境评价和人居环境适宜性评价等领域有广泛应用。地形起伏度的计算,见式(4):

$$R_i = H_{\max_i} - H_{\min_i} \quad (4)$$

式中, R_i 表示第 i 个栅格的地形起伏度, H_{\max_i} 和

$Hmin_i$ 表示第 i 个栅格内 DEM 最大值和最小值。本研究数据源为 SRTM DEM 90 m 数据,以 4.72 km² 作为地形起伏度适宜计算尺度^[14]。根据上海市 DEM 数据,利用 ArcGIS 得到 14 个圈层的地形起伏度数值,见图 9(a)。根据所得结果结合地形起伏度分级方法确定分值,由于地形起伏度不超过 30 m 为平原地区,故以地形起伏度为 30 m 的赋 90 分,地形起伏度为 0 m 赋 100 分,期间起伏度每增加 3 m 减 1 分,得到地形起伏度分值。

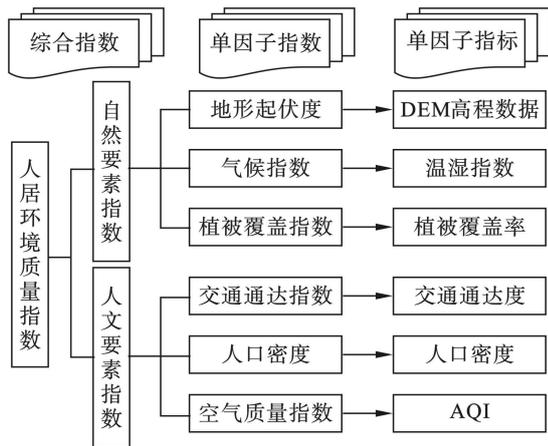


图 8 人居环境质量指数构建

3.2.2 气候指数 对于人类来说,居住环境的温度和相对湿度都会对人类居住感受产生较大的影

响。温湿指数(THI)由俄国学者的有效温度演变而来,它的物理意义是湿度订正以后的温度,综合考虑了温度和湿度对人体舒适度的影响^[15]。温湿指数的计算,见式(5~6):

$$THI = T - 0.55 \times (1 - f) \times (T - 58) \quad (5)$$

$$T = 1.8t + 32 \quad (6)$$

式中, T 为华氏温度, °F; t 为月平均摄氏温度, °C; f 为月空气相对湿度, %。

根据上海市平均温度和平均湿度数据,利用 ArcGIS 得到 14 个圈层的温湿指数,见图 9(b)和(c)。依据温湿指数分级表^[16],利用极差标准化法为气候指数赋分。分值越大越接近 1 表明温湿情况越适宜居住,分值越小越接近 0 表明越不适宜居住,从而得到温湿指数分值。

3.2.3 植被覆盖指数 植被变化直接影响生态环境的变迁,进而影响居住区植被、水文和大气循环变化,是研究人居环境的主要因子之一^[17]。

利用 ArcGIS 对植被覆盖率进行圈层分析,得到 14 个圈层的植被覆盖率,将植被覆盖率(0~1)数据进行重分类,(0~0.2)赋 60 分,以此类推,得到植被覆盖率分值,图 9(d)。

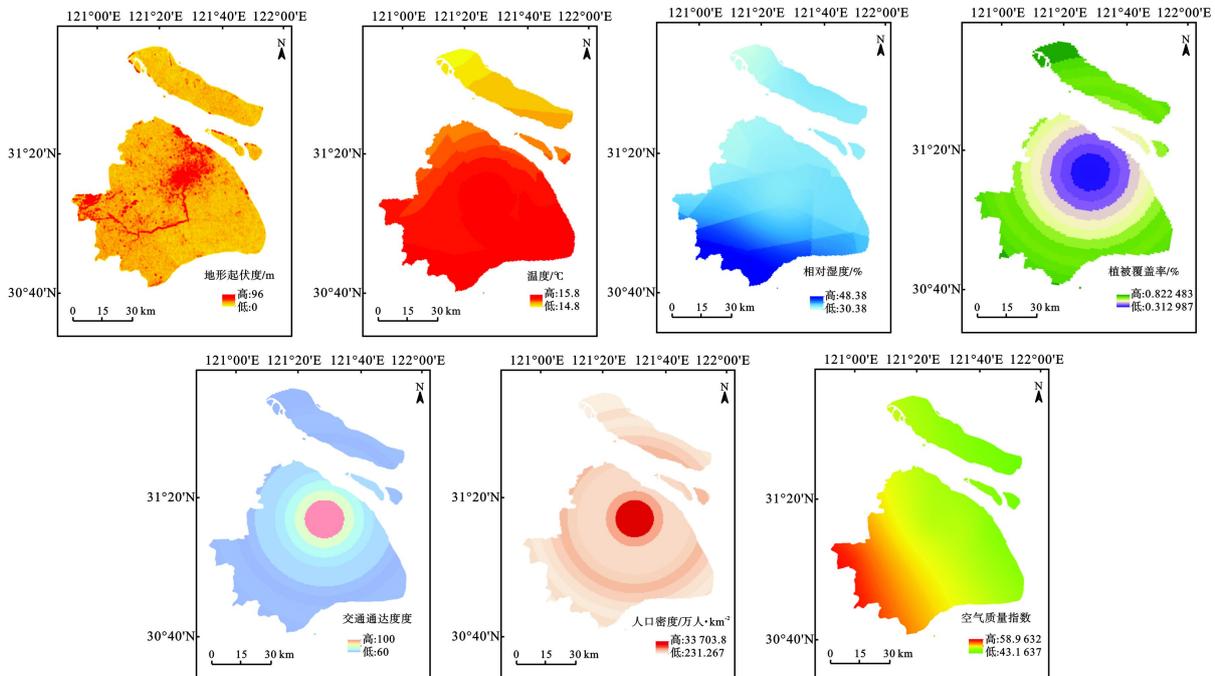


图 9 人居环境质量单因子指数空间分布

3.2.4 交通通达指数 交通作为表征区域发展状况的重要指标之一,支撑着城市与城市之间人员、物质和信息等的交换和流动^[18],是人居环境质量评

价不可或缺的因子。本研究运用面积占比法^[19],以市区一级道路为研究对象,55 m 作为道路的影响距离,对道路数据赋分,对其进行缓冲区分析,以缓冲区

面积与圈层面积比作为圈层的道路通达度, 见式(7):

$$y = \frac{\sum L \times 55}{S} \quad (7)$$

式中, L 为一级道路长度, m ; S 为圈层面积, m^2 。

由于道路通达度属于正向指标, 比较 14 个圈层道路通达度, 数值最小的圈层赋分 60, 数值最大的圈层赋分 100, 其余圈层依托已确定的一次函数依次赋分, 便将道路通达度转变成介于 60~100 的分值, 得到交通通达度分值, 见图 9(e)。

3.2.5 人口密度 人口密度是单位土地面积上的人口数量, 它是衡量一个国家或地区人口分布状况的重要指标。根据上海市第六次全国人口普查数据, 计算 14 个圈层的人口密度, 采用基于二次函数的标准化方法^[20], 将所有人口密度进行 z-score 标准化, 见式(8):

$$Z_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_i) S_i \quad (8)$$

式中, Z_{ij} 标准化数值, X_{ij} 是具体数值, \bar{X}_i 是平均值, S_i 是标准差。

选取 Z_{ij} 最大值和最小值为 50 分, 倒数第二小值为 60 分, 进行二次函数拟合, 得函数参数值后进行分值计算, 见式(9):

$$F_i = -1.797 \times 107 \times X_i^2 + 0.006 \times X_i + 48.600 \quad (9)$$

式中, F_i 为分值; 计算得到人口密度分值, 见图 9(f)。

3.2.6 空气质量指数 空气质量指数(AQI)是定量描述空气质量状况的非线性无量纲指数。利用上海市 11 个监测站空气数据, 通过 ArcGIS 的 Interpolation 模块得到上海市 AQI 分布数据, 进行圈层分析后得到各圈层 AQI 平均值, 再根据空气质量指数级别对 AQI 进行标准化, AQI 值为 0 时赋 100 分, 之后 AQI 值每增加 1 分值增加 0.2 分, 得到空气质量指数分值, 见图 9(g)。

3.3 人居环境质量指数

根据层次分析法和专家打分法确定各因素权重, 见表 2。

表 2 人居环境质量指数各因子权重

评价要素	单因子指数	单要素权重	综合权重
自然要素	地形起伏度	0.343	0.152
	气候指数	0.367	0.162
	植被指数	0.290	0.128
人文要素	空气质量指数	0.244	0.186
	人口密度指数	0.333	0.136
	交通通达指数	0.423	0.236

与所求的各要素权重分值相乘得到 14 个圈层的上海市人居环境质量指数。各因素分值计算时均根据与人居环境质量的关系进行, 各类正向指标、反向指标和人口密度均已按照与人居环境质量的关系进行了处理, 因此人居环境质量指数越高, 人居环境质量越好。上海市各圈层的人居质量指数, 见表 3。

分析发现自然要素指数从中心地区到城市外围呈递增变化; 人文要素指数从中心地区到城市外围呈递减变化; 人居环境质量指数由中心到外围地区呈现波动性变化, 最适宜居住地区为 0~15 km、35~45 km 和 65~70 km 范围, 见图 10。

表 3 人居环境质量指数

圈层	距市中心 距离/km	人文要素 指数	自然要素 指数	人居环境质量 指数
1	5	74.98	83.58	80.35
2	10	77.58	86.98	82.53
3	15	79.05	81.63	81.52
4	20	79.98	74.80	77.92
5	25	81.18	73.72	77.85
6	30	81.95	73.42	78.03
7	35	82.23	73.99	78.50
8	40	83.24	75.14	79.69
9	45	83.82	73.25	78.81
10	50	83.63	71.39	77.59
11	55	82.34	70.11	76.25
12	60	85.88	71.52	78.67
13	65	92.10	66.61	78.44
14	70	95.50	68.91	81.34

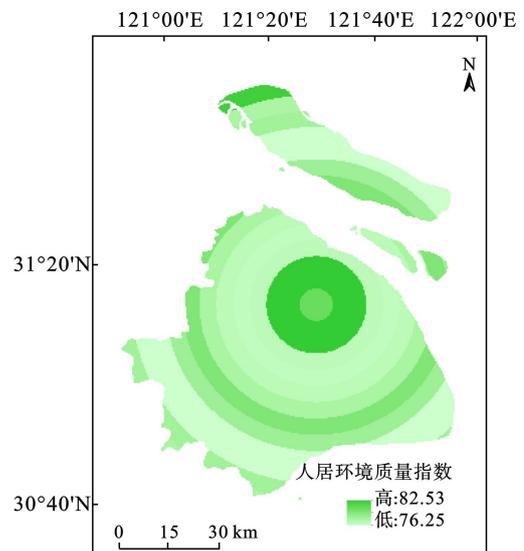


图 10 上海市人居环境质量指数

4 城市空间扩张与人居环境质量指数关系研究

总体来看,当扩张强度超过 0.000 5,扩张速度超过 0.02 时,人居环境质量指数与扩张强度和扩张速度呈反向变化,与建筑平均层数呈正向变化,超过一定限值后受建筑密度制约,即建筑密度越大,人居环境质量指数越低,见图 11。扩张强度和扩张速度越大,一方面说明该地区之前城市化情况较差,有大量可用于建设的面积,因此该地区的基础设施情况一般,且人口数量随着扩张强度和速度的变化增大,逐渐使得人口密度过高;另一方面城市扩张过程中会占用原本的绿地,减少地区植被覆盖率,造成相应的污染,使得地区空气质量较差。因此扩张强度和扩张速度越大,人居环境质量越差。

扩张强度和扩张速度越小,说明该地区属于城市化高度发达地区或城市郊区,前者基础设施建设很好,交通方便,空气治理情况较好;后者绿化率高,空气质量好,人口密度适宜。因此扩张强度和扩张速度越小,人居环境质量越高。平均层数较高的地区,包含大量适宜居住的区域,基础设施和交通环境等条件都十分优越,人居环境质量也比较高;平均层数较低的地区,包含许多工矿用地和未开发地区,基础设施和空气质量较差,人居环境质量相应也较差。建筑密度过大的地区,城市绿地率不能得到保障,人口密度过大,属于过饱和地区,人居环境质量较低,此处求得的最大限值为 22.3%,实际值应该大于本文研究数值。

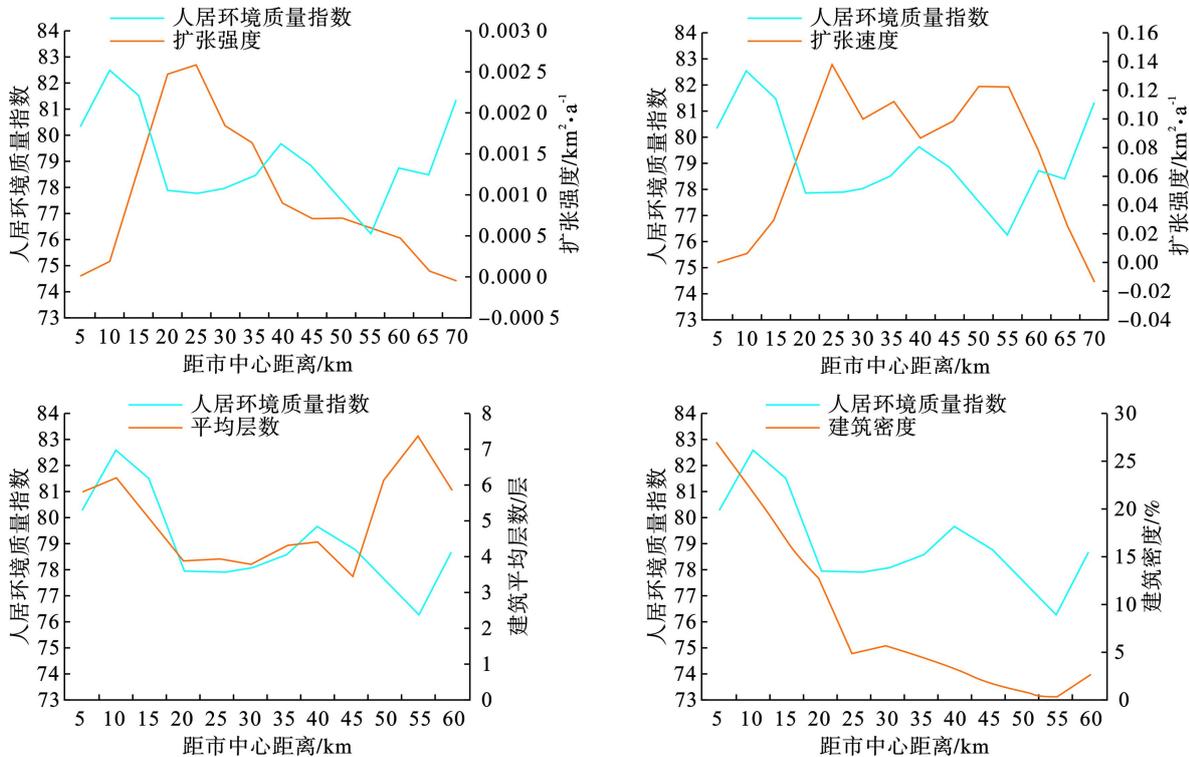


图 11 人居环境质量与城市化特点关系

5 结论

(1)上海市城市扩张速度在空间上分异特征明显,呈现明显的“圈层式”扩张模式。总体来看,建设用地扩张速度随着距中心城区距离增加而逐渐加快,扩张强度峰值为距离城市中心 20~25 km 范围内,并向两侧递减。各圈层建筑密度从市中心到边缘地区逐渐降低,建筑平均层数变化趋势为先上升再下降最后趋于平缓。

外围呈递增变化;人文要素指数从中心地区到城市外围呈递减变化;人居环境质量综合指数由中心到外围地区呈现波动性变化,最适宜居住地区为 0~15 km、35~45 km 和 65~70 km 范围。

(3)城市空间扩张与人居环境质量关系:当扩张强度超过 0.000 5,扩张速度超过 0.02 时,人居环境质量指数与扩张强度和扩张速度呈反向变化,与建筑平均层数呈正向变化,超过一定限值(22.3%)后受建筑密度制约,即建筑密度越大,人居环境质量指数越低。

(2)人居环境质量自然指数从中心地区到城市

(下转第 68 页)