

近 18 年来杭州城市用地扩展特征及其驱动机制

王伟武, 金建伟, 肖作鹏, 石婷婷

(浙江大学城市规划工程与信息技术研究所, 杭州 310058)

摘要: 基于多时相 Landsat TM/ETM+ 数据和 GIS 技术, 采用人机交互的遥感图像监督分类和空间叠加方法提取了 1991, 1999, 2008 三个年份杭州市辖区建设用地专题信息, 分时段重点分析了从 1991~2008 年各市辖区城市扩展强度指数、方向及其侵占其他用地情况, 揭示了杭州城市扩展的社会经济等多方面的驱动力因子与作用机制。结果表明: 18 年来, 杭州城市用地快速扩展, 各市辖区扩展速度和扩展强度表现出明显的阶段性和空间差异性。与 1991 年相比, 2008 年城市建设用地规模增加到近 3 倍, 被侵占用地的主要类型是农用地, 其次为水域和林地, 其中农用地占 66.98%, 水域占 17.71%, 林地占 15.31%。分析表明: 城市人口、经济总量的快速增长、社会和外商投资额大幅增加、快速增加, 以及快速的旧城更新和郊区房地产开发、高教园区和科技开发园区的用地组团式开发、跨江大桥和内外绕城公路的建设等因素是近 18 年杭州城市空间扩展的主要驱动力。政府应该反思在不同城市扩展阶段的得失, 思考如何实现未来城市的理性扩展。

关键词: 城市扩展; 遥感; GIS; 驱动机制; 杭州市

文章编号: 1000-0585(2009)03-0685-11

1 引言

城市扩展的驱动因素可划分为外部因素和内部因素。外部因素主要是人口流、物资流、信息流, 从周边区域进入城市后对整个城市发展带来的影响。随着全球化趋向逐渐明显, 这种影响在不断增强。近年来, 国内学者开始意识到从不同空间尺度研究城市扩展及其外部驱动机制。例如, 国内外学者从全国角度出发, 利用多年城市统计数据, 分析中国城市用地扩展与人口、经济增长和工业化的总体关系^[1,2]。也有研究重点关注在长江三角洲、珠江三角洲城镇密集地带或北京、广州、上海大都市区等我国城市化最为剧烈的地区, 分析研究我国沿海经济发达地区集中型城市扩展模式和用地形态演变机制^[3~12]。也有进一步研究大都市的周期性扩展规律^[13]。从内部因素考察, 某个城市用地扩展在不同历史时期表现出不同的扩展形态与需求取向, 并且与城市的发展历史、城市性质变迁等存在密切关系, 在不同的发展阶段表现出不同的城市扩展的驱动机制。在经济发展初期, 城市扩展往往对人口、资源和社会经济等发展基础的依赖比较强烈, 城市扩展到一定程度则环境、人文景观、商业等因素逐渐成为影响城市扩展的主要因素。

国内外学者对单个城市的扩展研究进行了多方面的探讨。理论层面上, 一般认为影响城市发展的因素主要有人力资本、科技进步、城市灾害、水资源、城市交通、城市生活垃

收稿日期: 2008-09-22; 修订日期: 2009-03-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA12Z232); 浙江省自然科学基金资助项目(M403040)

作者简介: 王伟武(1972-), 男, 博士, 副教授。主要从事遥感和 GIS 技术在城市规划和环境科学中的应用等方面研究。E-mail: weiwuwang@zju.edu.cn

圾、城市人口规模、城市贫困、城市文化、城市政府公共干预等方面。城市扩展是各种影响因素对城市发展的作用结果在实体空间上的综合反映。由于国内外社会经济等方面的发展特征差异很大,国内城市扩展的影响因素机理和国外差异很大,而且有很大的地域特征。另外,从已有研究来看,我国的学者更注重实证研究,利用 GIS 和遥感技术分析了北京、上海、西安、厦门等城市扩展特征和主要驱动因子,并且偏向于应用遥感和 GIS 技术计算城市单元在某时段内扩展强度指数、扩展速率等指标。然而城市扩展的定量指标可以直接表达城市扩展的结果,却不能直接揭示来自城市自然系统和城市人工系统各种因子对城市扩展这一过程的影响或驱动机制,因此需要将城市作为一个人工自然系统综合分析我国城市扩展在不同扩展区位的驱动因子,理论分析和定量分析技术相结合,加深从不同的时空层面对我国城市扩展的驱动影响因子和内在机制方面的研究。

杭州地处中国东部沿海,浙江省北部、钱塘江下游(图 1),包括 8 个市辖区,即上城、下城、拱墅、江干、西湖、滨江、余杭和萧山。杭州作为长江三角洲南翼的重要大都市,浙江省政治、经济、文化中心和国际性旅游城市之一,在长江三角洲社会经济发展中占有十分重要的地位。在杭州城市扩展方面,以往研究主要是杭州城市郊区化机制、城市空间规划或部分用地的变化机理等方面^[14, 15]。由于历史数据和遥感等技术的缺乏,以往研究侧重于定性分析和概念性战略发展方面,很难精细分析出杭州城市扩展形态过程和发生机理。

本文以杭州城市为例,从中小尺度剖解城市扩展规律和驱动机制,以充实我国中小尺度城市扩展多时相分时段研究和城市扩展形态变迁的驱动因素研究案例。同时有利于准确客观地评价杭州城市扩展过程中的得失,理性辨别城市扩展的合理或不利的驱动因素,为未来杭州城市扩展过程中如何优化和选择未来城市发展格局提供科学的理论和方法,为杭州城市规划和建设管理提供具体可行的科学依据。

2 数据来源与处理方法

2.1 数据来源

数据源为杭州市辖区范围内的多时相的 Landsat TM / ETM+ 卫星影像数据、乡镇行

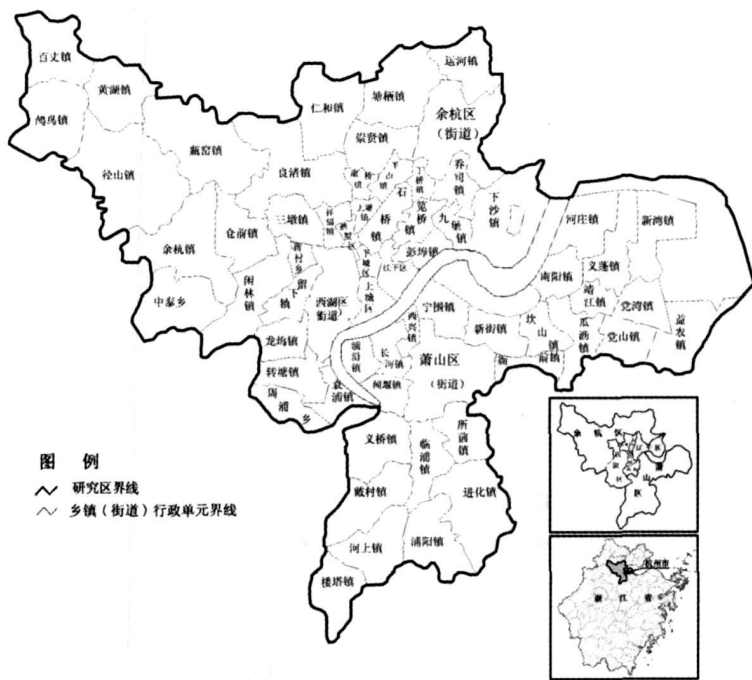


图 1 研究区分布及行政单元(乡镇、街道)构成

Fig 1 The study area and its structure

政界限空间数据、数字高程模型 (DEM) 数据, 以及 1991 年以来杭州市的社会经济统计资料。影像成像时间分别为 1991 年 7 月 23 日、1999 年 10 月 1 日的 Landsat 5 TM 和 2008 年 8 月 12 日的 Landsat ETM+。

2 2 数据预处理

为获取精确的城市扩展用地数量和边界信息, 首先对多时相影像数据进行预处理, 包括大气校正、几何纠正和正射校正。大气校正的目的是获得地表准确的反射率特征, 然后从 1: 5 万地形图上获得地面控制点对三景不同时相的遥感数据进行几何校正。另外, 为减少地形对太阳辐射的影响, 采用 1: 5 万 DEM 对遥感图像进行正射校正, 在 Erdas image8. 6 中完成。

2 3 遥感图像分类与运算

相对于乡村区域, 城市区域的土地覆盖变化具有其特殊性的一面。这是由于在城市中, 建设用地往往占很大的比例, 并且随着城市社会经济和城市化进程的加快, 由于城市建设用地在空间上土地利用性质很难变更, 城市建设用地必然在原有基础上不断地向外扩展或蔓延。

土地覆盖分类类型的确定主要取决于研究的目的和精度要求。从前面分析可知, 土地覆盖分类目的主要是作为地表覆盖变化研究的基础。根据《土地利用现状分类》(GB/T21010-2007), 全国土地利用现状分类系统按两级分类, 一级类型 8 个, 二级类型 46 个。一级包括耕地、园地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域、未利用土地 8 大类型。根据杭州市的实际情况, 结合本次土地覆盖分类的目的, 将分类类型合并为 4 大类, 主要包括建设用地、农用地、林地、水体。杭州市土地覆盖分类类型及含义见表 1。

表 1 杭州市土地利用/覆盖分类类型

Tab 1 Land cover/ land use type in Hangzhou City

| 土地覆盖类型 | 含 义 |
|--------|--|
| 建设用地 | 城市用地、城镇用地、农居点、独立工矿、铁路、公路、民用机场 |
| 农用地 | 灌溉水田、水浇地、旱地、菜地、果园、桑园、茶园、草坪 (民用机场、公路旁等)、荒草地 |
| 林地 | 林地、有林地 |
| 水体 | 河流、湖泊 |

注: 由于草坪、荒草地物理特征与农用地相似, 在分类时将其纳入农用地。

本研究首先将经预处理后的影像, 根据不同地表覆盖的影像光谱特征, 选择训练样区, 然后选用最大似然法进行分类, 并进行精度评估, 建立精度评估误差矩阵。误差矩阵采用像元抽样产生, 抽样时, 需确定抽样点数和抽样方法, 并逐个确定像元点的参考(实际)类别。具体方法是 Erdas imagine 的支持下, 利用分类模块(Classifier)中 Accuracy Assessment 功能首先分层随机产生抽样点, 然后逐点进行参考类别确定。使各时相的影像分类总体精度(Overall accuracy)和偏相关系数(Kappa coefficient)均达到分类要求以上。

表 2 为利用 TM 和 ETM+ 影像进行土地覆盖类型计算机自动分类误差矩阵。具体分析后可知, 在进行非监督分类时, 林地和农用地容易误分, 由于城市内河的存在, 城市内河可能与城市建设用地误分, 由于钱塘江沙滩的存在, 也可能导致水体与建设用地误分。农用地与建设用地往往相邻生长, 由于混合像元的存在, 也可能导致两者之间的误分。由于分类前已将要分类的土地覆盖类型概括为四大类, 分类精度大大提高, 可以达到 90% 以上, 能够满足下文进行地温反演和城市扩展对地表温度影响研究的精度要求。

表 2 1991、1994、1999、2001 年土地利用/覆盖分类误差矩阵

| Tab 2 The error matrix of land use/ land cover classification in 1991, 1994, 1999 and 2001 | | | | | | | | | |
|--|------|-----------|--------|--------|--------|-----------|-----|--------|-------|
| 分类数据 | | 参考数据 | | | | 参考样 | 总样 | 生产者 | 用户 |
| | | 林地 | 水体 | 建设用地 | 农用地 | 点数 | 点数 | 精度(%) | 精度(%) |
| 1991 | 林地 | 61 | 0 | 0 | 4 | 65 | 61 | 100.00 | 93.85 |
| | 水体 | 0 | 45 | 2 | 3 | 50 | 48 | 93.75 | 90.00 |
| | 建设用地 | 0 | 2 | 47 | 1 | 50 | 50 | 94.00 | 94.00 |
| | 农用地 | 0 | 1 | 1 | 89 | 91 | 97 | 91.75 | 97.80 |
| | 小计 | 61 | 48 | 50 | 97 | 256 | 256 | | |
| | 总体精度 | 94.53 (%) | | | | | | | |
| Kappa 值 | | 0.9192 | 0.8769 | 0.9254 | 0.9646 | 总 Kappa 值 | | 0.9251 | |
| 1999 | 林地 | 64 | 0 | 0 | 1 | 65 | 65 | 98.46 | 98.46 |
| | 水体 | 0 | 46 | 0 | 4 | 46 | 50 | 100.00 | 92.00 |
| | 建设用地 | 1 | 0 | 48 | 6 | 50 | 54 | 94.12 | 87.27 |
| | 农用地 | 0 | 0 | 3 | 83 | 94 | 86 | 88.30 | 96.51 |
| | 列总合 | 65 | 46 | 51 | 94 | 255 | 255 | | |
| | 总体精度 | 94.14 (%) | | | | | | | |
| Kappa 值 | | 0.9794 | 0.9025 | 0.8411 | 0.9449 | 总 Kappa 值 | | 0.9202 | |
| 2008 | 林地 | 67 | 0 | 0 | 2 | 69 | 69 | 97.10 | 97.10 |
| | 水体 | 0 | 9 | 0 | 1 | 10 | 10 | 90.00 | 90.00 |
| | 建设用地 | 0 | 0 | 48 | 2 | 50 | 48 | 100.00 | 96.00 |
| | 农用地 | 2 | 1 | 0 | 123 | 126 | 128 | 96.09 | 97.62 |
| | 列总合 | 69 | 10 | 48 | 128 | 255 | 255 | | |
| | 总体精度 | 96.86 (%) | | | | | | | |
| Kappa 值 | | 0.9603 | 0.8959 | 0.9507 | 0.9522 | 总 Kappa 值 | | 0.9510 | |

为更精确地获取用地数据和分析结果，本文采用人机交互的遥感图像监督分类和空间叠加结合的方法分析 1991~ 1999 年和 1999~ 2008 年 2 个时段杭州市城市建设用地扩展特征，进而揭示杭州城市扩展的驱动因素与内在相互作用机制。最后利用 GIS 空间叠加技术，以各市辖区为研究单位，对各时相城市建设用地信息专题地图进行统计分析，计算各市辖区城市扩展速率和扩展强度，获取各市辖区城市用地扩展方向、速率。

3 杭州城市用地扩展特征分析

3.1 杭州城市扩展的总体形态特征分析

图 2 表示出杭州市 1991、1999、2008 年三个时相的城市建设用地的分布特征。为了从城市尺度上分析杭州城市扩展的形态的变迁，以上城区和下

表 3 距主城中心 20、40、60km 圆周内建设用地分布状况

| Tab 3 The distribution of urban construction land in the different circles of 20, 40 and 60 kilometers in diameter | | | |
|--|----------|----------|----------|
| 用地面积 (km²) | 20km 圆周内 | 40km 圆周内 | 60km 圆周内 |
| 1991 年建设用地 | 91.95 | 182.82 | 267.54 |
| 1999 年建设用地 | 143.87 | 302.26 | 370.90 |
| 2008 年建设用地 | 174.84 | 439.38 | 661.91 |

城区行政界限的中点为中心，20km，40km，60km 为直径绘制圆周。结果发现（表 3），1991~ 1999 年时段内扩展用地大部分集中在 20~ 40km 的圆周之间，1999~ 2008 年扩展

用地大部分集中在 20~ 40km 和 40~ 60km 的圆周之间。在 60km 圆周之外的建设用地和扩展程度则十分有限，主要表现为在原有中心城镇用地基础上的适度扩展。

3 2 杭州各市辖区城市扩展的空间分异特征分析

城市用地扩展的空间分异特征是一定时期内城市用地在不同扩展方向表现出不同的扩展程度。可以用扩展强度指数计算城市扩展在不同区域上的程度，通过比较不同时期扩展强弱和快慢，研究城市扩展形态变化特征，可以揭示城市扩展的空间分异和形态演变特征。通常用城市年均增加面积与基年面积之比来表示扩展强度，计算方法为：

$$\Phi = \frac{UA_{n+i} - UA_i}{nUA_i} \times 100\%$$

式中，Φ 为城市年均扩展强度指数，UA_{n+i} 和 UA_i 分别代表 n+ i 年和 i 年的城市面积，i 是以年为单位的时间。

利用分类后的遥感图像分别统计出杭州各市辖区各时相建设用地面积，计算两时段年均扩展数率和扩展强度指数（表 4）。

表 4 1991~ 1999 年、1999~ 2008 年各市辖区扩展速率和扩展强度指数（%）
Tab 4 The built-up area and urban expansion intensity index during 1991~ 1999 and 1999~ 2008 in the respective region of Hangzhou

| 市辖区 | 建设用地面积 (km ²) | | | 扩展面积 (km ²) | | 扩展速率 (km ² /a) | | 扩展强度指数 (%) | |
|-----|---------------------------|--------|--------|-------------------------|------------|---------------------------|------------|------------|------------|
| | 1991 | 1999 | 2008 | 1991~ 1999 | 1999~ 2008 | 1991~ 1999 | 1999~ 2008 | 1991~ 1999 | 1999~ 2008 |
| 余杭区 | 76 87 | 107 92 | 166 57 | 31 05 | 58 85 | 3 88 | 6 54 | 5 05 | 6 06 |
| 萧山区 | 117 37 | 166 36 | 389 96 | 48 99 | 223 91 | 6 12 | 24 88 | 5 22 | 14 95 |
| 拱墅区 | 21 24 | 31 65 | 43 81 | 10 41 | 12 21 | 1 3 | 1 36 | 6 13 | 4 29 |
| 下城区 | 17 33 | 25 53 | 33 77 | 8 2 | 8 29 | 1 03 | 0 92 | 5 91 | 3 61 |
| 上城区 | 14 22 | 17 28 | 16 29 | 3 06 | - 0 96 | 0 38 | - 0 11 | 2 69 | - 0 62 |
| 江干区 | 32 02 | 53 9 | 108 40 | 21 88 | 54 59 | 2 74 | 6 07 | 8 54 | 11 25 |
| 滨江区 | 9 68 | 16 12 | 37 56 | 6 44 | 21 47 | 0 81 | 2 39 | 8 32 | 14 80 |
| 西湖区 | 38 69 | 53 69 | 71 58 | 15 | 17 99 | 1 88 | 2 00 | 4 85 | 3 72 |
| 总 和 | 326 67 | 471 58 | 867 95 | 145 03 | 396 37 | 18 11 | 44 04 | 5 54 | 9 34 |

不同时段的扩展速度是单一或多个主要城市扩展的驱动因子在不同阶段对不同城市区位作用在空间上综合表现结果。表 4 表明，杭州各市辖区的空间扩展在不同时段表现出较强的不均衡性，各市辖区的扩展面积、年均扩展速率和扩展强度指数均表现出很大的空间分异性。1991~ 1999 年，杭州城市扩展速率为 18. 11km²/a。各市辖区的扩展面积均小于 50km²，余杭区、江干区、萧山区扩展面积均超过 20km²，上城区为 3 06km²。萧山区、

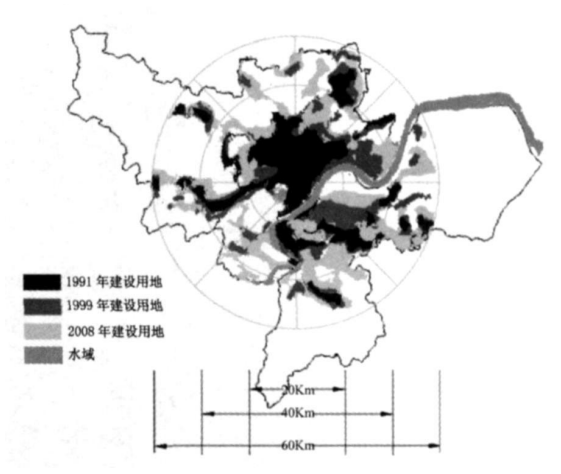


图 2 杭州市 1991、1999、2008 年三个时相的城市建设用地叠加图
Fig 2 Temporal urban land expansion map from 1991 to 1999 and from 1999 to 2008 in Hangzhou city

余杭、江干区的扩展速率相对较大，滨江区、上城区扩展速率相对较小。扩展强度指数则总体差别不大，说明在这一阶段各市辖区开发强度基本相当。老城区的城市扩展已经基本完成，而余杭、江干、萧山等区在这一阶段主要以工业化推进城市化为主要特征。1999~2008 年，杭州城市扩展速率为 $44.04\text{km}^2/\text{a}$ ，城市扩展规模大幅度上升。从各市辖区的扩展面积上分析，排序基本保持不变，余杭区、江干区、萧山区的扩展面积和扩展速率仍还是处于优势地位，三个区扩展面积分别为 58.85 km^2 ， 54.59 km^2 和 223.91km^2 ，大大超出了上一阶段的扩展面积。在扩展速率方面，下城的扩展速率有所减少。上城则呈现负扩展特征，特别是开始了大面积绿地建设和水体整治，城市空间从量的扩展开始转为存量土地的盘活改造，主要表现了旧城区的用地更新历程。

3 3 杭州城市用地扩展的侵占结构分析

应用遥感处理的交叉表监测技术，对杭州市分类后遥感图像分区域统计各类用地类型结构，进行增减量计算和分类汇总，结合空间叠加技术目视判读，可以定量分析杭州市土地覆盖面积的专题信息（表 5）和城市扩展侵占用地类型结构（表 6）。杭州市土地利用/覆盖

表 5 杭州市八区四大类用地面积及变动情况

| Tab 5 Changes in the four different land cover types in Hangzhou city | | | | |
|---|--------|--------|---------|--------|
| 类型 | 林地 | 水体 | 农用地 | 建设用地 |
| 1991 | 856 53 | 314 11 | 1861 19 | 326 67 |
| 1999 | 873 71 | 249 99 | 1763 22 | 471 58 |
| 2008 | 813 00 | 179 81 | 1497 72 | 867 95 |

定量的分析结果，即 1991 年、1999 年、2008 年杭州市各类用地覆盖总面积情况。杭州城区土地利用/覆盖从 1991~ 1999 年、1999~ 2008 年的变化趋势，显示出杭州市八个区建设用地增加量大多数从农用地转变而来，其次是原有水体（湿地）、林地破坏较大。

1991~ 1999 年，杭州城市用地扩展对周边地势平坦、交通方便的水体和农用地都有一定程度的侵占。表 6 列示了各市辖区两个不同时段杭州市建设用地对林地、水体及农用地的侵占情况。1991~ 1999 年，建设用地扩展主要侵占的是水体和农用地，其侵占面积为 64.23 km^2 和 97.86 km^2 ，对 1991~ 1999 年总侵占面积的贡献比分别是 39.6% 和 60.4%；1999~ 2008 年，杭州市城市用地扩展主要侵占的是农用地、水体和林地，其侵占面积高达 265.50km^2 、 70.18km^2 和 60.71km^2 ，分别占总侵占面积的 66.98%、17.71% 和 15.31%。

表 6 1991~ 1999、1999~ 2008 年杭州城市扩展侵占用地类型和结构(km²)

Tab 6 Land use types and areas occupied by the urban expansion in Hangzhou city, 1991~ 1999 and 1999~ 2008

| 类型 | 林地 | | 水体 | | 农用地 | | 建设用地 | |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 时段 | 1991~ 1999 | 1999~ 2008 | 1991~ 1999 | 1999~ 2008 | 1991~ 1999 | 1999~ 2008 | 1991~ 1999 | 1999~ 2008 |
| 余杭区 | 65 75 | - 14 81 | - 29 94 | - 6 82 | - 66 86 | - 38 87 | 31 05 | 58 85 |
| 萧山区 | - 28 31 | - 43 79 | - 9 31 | - 46 49 | - 11 38 | - 132 87 | 48 99 | 223 91 |
| 拱墅区 | - 1 34 | 10 05 | - 2 94 | - 0 40 | - 6 13 | - 21 72 | 10 41 | 12 21 |
| 下城区 | - 1 98 | 0 17 | - 2 59 | - 0 71 | - 3 63 | - 7 62 | 8 2 | 8 29 |
| 上城区 | - 0 51 | 0 55 | - 2 84 | - 0 07 | 0 29 | 0 52 | 3 06 | - 0 96 |
| 江干区 | - 9 74 | - 2 03 | - 4 55 | - 10 81 | - 7 59 | - 41 27 | 21 88 | 54 59 |
| 滨江区 | - 3 18 | - 1 61 | - 0 16 | - 0 17 | - 3 1 | - 19 61 | 6 44 | 21 47 |
| 西湖区 | - 3 64 | - 9 25 | - 11 9 | - 4 71 | 0 54 | - 4 05 | 15 | 17 99 |
| 合 计 | 17 05 | - 60 71 | - 64 23 | - 70 18 | - 97 86 | - 265 50 | 145 03 | 396 37 |
| | - 43 66 | | - 134 41 | | - 363 36 | | 541 40 | |

注：负项表示该类用地被侵占面积，正项表示该类用地增长面积。

18年来,杭州市城市建设用地对林地、水体和农用地的总侵占面积为 541.40km^2 ,占1991年这三大类用地面积之和的17.86%,说明用地扩展主要是通过土地非农化来实现。萧山、江干、西湖、余杭有较多水体转变为建设用地,余杭、萧山有较多农用地、林地转变为建设用地。余杭和萧山18年中城市化速度较快,开发强度较大,建设用地面积增加最多,分别增加 89.90km^2 和 272.90km^2 。以萧山为例,1991~1999年间,建设用地增加 48.99km^2 ,增加率为41.74%,侵占林地最多,高达 28.31km^2 ,农用地 11.38km^2 次之,水体 9.31km^2 最少。1999~2008年间,萧山建设用地增加 223.91km^2 ,增加率为134.59%,建设用地扩展速度是1991~1999年的4.07倍,侵占农用地最多,水体、林地次之,分别减少 132.87km^2 、 46.49km^2 、 43.79km^2 。

4 杭州城市用地扩展的驱动机制

4.1 经济快速发展和人口城市化是杭州城市用地扩展的根本动力

1991年以来,杭州市国民经济持续、快速发展,经济总量规模与人口规模不断提升。从全市层面上看,市区生产总值(GDP)从189.62亿元增加到344.51亿元,年平均增长率在12%以上,高于全国及浙江省平均水平。三次产业比例也随之不断优化,第二、三产业比例分别从53.33%、40.56%变为49.46%、47.41%,传统制造业比重开始下降,现代制造业、服务业水平不断提升。城市化水平也从42.01%(1991年)推进为59.56%(2008年),年均增速达到1.43%。杭州市社会经济发展大体上可以分为缓慢发展(1991~1993)和过渡发展时期(1994~2000),高速发展时期(2001~2008)。1991~1993年,杭州市区固定资产投资相对较低,仅为89.31万元。主要的投资来源是国有企业和部分民营经济扩大再生产投资,政府城市建设推动下的生产、城市建设。外商直接投资相对较少,三年实际利用外资仅1.26亿美元。1994~2000年,1993年设立的三大开发区则开始了招商引资的步伐,吸引外资借以促进产业结构升级。随着杭州市的全社会固定资产投资额迅速扩大,年平均增长率超过25%,工业产值快速增长,特别是两大开发区及其周边地带,城市用地的大幅增加。2000~2008年,杭州经济开始走向国际化。一方面,外商直接投资大大增加,入驻开发区的三资企业不断增多,外资企业的工业产值不断增加。外商投资通过提高经济发展水平和优化产业结构间接地促进了杭州市的城市化进程。

在市辖区层面上,城市经济的发展,尤其是投资结构的变化直接推动了产业结构的变动。三次产业数量结构的变动使杭州市工业用地需求明显增加,加速了农用地的城市化。城市近郊或者农村的就地工业化或剩余劳动力输出,城市非农业人口持续增长,外来人口向城市空间不断集聚,建设用地的规模持续扩大。城市建设用地规模从1991年的 326.67km^2 增加到2008年 867.95km^2 ,扩大了近3倍,市区常住非农业人口规模也从1991年的140.65万人增加到2008年的245.56万人。另一方面,城市旧城区的改造,城市中心建筑密度增大,中心城区建筑高度不断增加,城市中心商务活动的频繁,土地产出效益日益提升。杭州市主城区平均土地产出效益从1991年的2.53亿元/ km^2 提高到2008年的2.63亿元/ km^2 。

4.2 开发区、高教园区、科技工业园区的用地组团式开发

90年代中后期,杭州政府开始推行技术、要素、结构全面升级的产业引导政策,极大地推动了产业空间的优化调整。主要表现为城市中心土地逐步完成向郊区置换,工业企业和高等院校不断迁往市郊或郊区,退城入园。新增和迁入企业直接入住工业园区,直接

推进开发区投资和建设,并依托高教园区、科教园区,实现产学研一体化。在东城、南部,集中了位于钱塘江北岸的杭州经济技术开发区和之江国际度假区和位于江南的高新技术开发区、萧山经济技术开发区。杭州经济技术开发区围绕建设国际先进制造业基地、新世纪大学城和花园式生态型城市副中心三大目标推进城市化进程。开发区内有下沙高教园区,建成规模 10.91 km²,总建筑面积 480 万 m²,安排了 15 所高校,在校大学生达 16 万人。同样,高新技术开发区则依托滨江高教园区,加大产业科教合作力度,以“构筑天堂硅谷、建设科技新城”为总目标,突出通信电子、软件、集成电路、数字电视和生物制药等高新产业的发展,并加快推进城市建设步伐。其中,滨江高教园区占地 133.14 ha 汇集了 6 所高等职业技术学院,在校大学生 5 万左右。杭州之江国家旅游度假区则通过加大旅游招商和服务力度,以及按居住开发和基础设施先行的建设方针,推动了转塘地区的城市化进程。中国美术学院新校区、浙江工业大学新校区的整体建设,转塘地区在发展旅游服务业的同时,对接滨江高新区,成为杭州的创意产业基地。萧山经济技术开发区是重点开发区和日商、台商投资最密集的地区,该区以电子通讯、汽车及零部件、精密机械、医疗食品、纺织服装、建材化工等支柱产业,依托萧山城区,逐渐成为一个以发展工业、引资外资、出口创汇为主导的外向型、现代化的工业园区、现代新城。另外,在城西方向,2000 年以来小和山高教园区和浙江大学新校区相继开工建设,规划面积分别为 466 ha 和 212.49 ha,可容纳学生 6 万和 5 万人。随着两大高教园区入驻,并与浙江大学国家科技园、西湖科技园等连绵发展,各项配套设施的相继完善,城西文教区的用地面积随之增加,用地效益和质量也随之提高。城北方向,随着余杭撤县设区,余杭经济技术开发区依靠产业基础、土地、人力资源和配套设施的优势,在招商引资、产业扩展等方面都进入新的发展时期。开发区在空间发展上依托临平主城,逐渐向良渚、闲林、五常方向渗透,形成以工业为主,集商贸、居住、休闲为一体的都市型现代化城区。主城工业企业搬迁的专项规划组织编制和有效实施,也有效地推动了工业的郊区化。工业郊区化则是由开发区的空间政策牵引,产业计划、空间规划则对产业空间结构调整都有约束和引导。总之,随着布局调整的深入,杭州市形成了多个发展特征差异明显的多种产业用地组团并存的空间格局。开发区、高教园区、科技工业园区用地成为杭州城市用地扩展最直接的方式。

4.3 市场和政策驱动房地产郊区化开发

杭州市居住郊区化是在中心城区的旧区改建和城郊住宅开发双重推力下进行的。1991~2008 年,尤其是 1999 年以来,住房市场改革步伐激活了杭州的房地产市场,推动了杭州市的居住郊区化;房地产开发促使了旧城区更新为土地附加值更高的商贸金融、商务办公中心。浙江民营资本的不断注入房地产市场,外来人口的激增,加速了杭州房地产发展的进程。城镇居民人均住房使用面积也由 10.7 m² 增加到 20.7 m²,全市房地产年开发量由 763 万 m² 上升为 4214 万 m²。

杭州市居住郊区化在空间呈现了郊区城市住宅开发、农居点更新城市化、外来人口向农居点集中多种形态并存的特点。房地产带动的郊区开发、城市化的农居点建设、外来人口聚居点使城市用地面积在近郊区呈蔓延状扩展。2000 年新修订规划,确定八大居住区和组团的同时,更加强调了城西的居住职能,“居住西进”形成了泛指西湖区的生活文教区和余杭区“大城西”的概念,杭州市西部周边原有的大片农业用地和水域转化为城镇建设用地,加快了主城区向西扩展。由于新城、副城建设,下沙、滨江、萧山、临平等的房地产开发投资不断增大,尤其是萧山,房地产开发用地相对偏高,就地城市化和农居点城

市化的空间特征明显,城区面积迅速扩展。

除市场力量外,杭州房地产郊区化还受政府政策导向的驱动。宏观导向方面主要体现在行政区划的调整和空间规划两方面。1996年,杭州将余杭下沙、九堡、三墩等三镇和萧山的西兴、长河和浦沿三镇并入市区。90年代后期,调整钱塘江两岸地带的乡镇、街道,促进了诸如近江街道等钱塘江北岸沿岸城镇地区非农业人口明显增长。而更大的行政区划调整发生在2001年,萧山、余杭撤县市设区并入市区,杭州市区的行政辖区面积由 683km^2 扩至 3068km^2 。行政辖区的扩展为城市建设用地扩展提供了更多的发展空间,强化了余杭、萧山的社会经济联系,促使杭州居住郊区化能够在更大的区域得到实现。另外,杭州提出发展杭州都市圈,市区作为都市圈的主体,与社会经济联系密切的萧山、余杭和富阳三市都被划入都市圈范围。整体形态从以旧城为核心的团块状布局,转变为以钱塘江为轴心,跨江、沿江形成“1个主城,2个副城,6个旅游区”的多核组团式布局形态。另外,大量的居住区规划布置在近郊区,杭州市区规划共设40~45个居住区,其中主城30~34个,下沙城7个,滨江区5个,不断推进了杭州居住郊区化历程。

4.4 城际交通基础设施建设的推动与拉动作用

90年代中后期,杭州开始加快了交通基础设施建设,为城市土地的成片成块开发提供了基础性条件,促进了工业和第三产业的规模聚集经济发展;另外,城市交通基础设施和道路的建设也直接扩增建设用地面积。杭州作为省会,公路网四通八达,密集度高。主要线路有杭宁、沪杭、杭徽、杭甬、杭金衢高速公路。沪杭高速是杭州接轨东部沿海长江三角洲的主要交通要道,杭宁高速是杭州北通南京和苏锡常的枢纽,杭徽高速、黄衢南高速则是加强杭州往西与安徽、福建、江西等地联系的通道,杭甬、杭金衢高速则直接构建了杭州与省内各地市的便捷联系。另外还有01、02、03、04、05省道和114等国道的改造建设也加快了杭州与周边地区的联系。多方向、高密度的公路网有力地推进了城市空间扩展。遥感图像分析也表明,交通走廊的周围形成了带状的建设用地,杭州的东北、东南以及东部的城市发展与杭宁高速、沪杭高速、杭甬高速、杭金衢高速是有很大大关系的。内外绕城高速公路的建设对杭州近远郊区用地扩展也起到了很大的推动和拉动作用。

5 结论

结合上述分析,得出以下几点结论:

(1) 多时相杭州城市用地和城市扩展信息定量地表明了1991~2008年杭州市各市辖区城市扩展的面积、速率和方向及其侵占用地情况。18年来,城市建设用地规模超过原来的2倍之多,同时杭州各市辖区扩展速度和扩展强度表现出明显的阶段性和空间差异性。1991~1999年,萧山区、余杭区、江干区的扩展速率相对较大,滨江区、上城区扩展速率相对较小。各区扩展强度指数基本相当。1999~2008年,杭州城市扩展规模大幅度上升。余杭区、江干区、萧山区的扩展面积和扩展速率仍处于优势地位,三个区扩展面积分别为 58.85km^2 , 54.59km^2 和 223.91km^2 ,大大超出了1991~1999年的扩展面积。余杭区、江干区、萧山区、滨江区的扩张强度也明显提升。上城区则呈现负增长特征,说明老城区的用地扩展在这一时期从量的扩展转为存量土地的盘活。与1991年相比,2008年被城市扩展侵占用地的主要类型是农用地,其次为水域和林地,其中农用地占66.98%,水域占17.71%,林地占15.31%。

(2) 过去18年,杭州城市扩展深刻地受到人口城市化、经济集聚、工业郊区化、房

地产郊区化、科技高校园区开发和高速公路等城际交通设施建设等多重人工因素的影响。在不同的扩展阶段,上述人为因素对城市扩展的贡献程度有所不同,并且在不断变化。例如,上世纪90年代中期前,人口城市化、经济集聚、工业郊区化等计划性因素对杭州扩展起主要作用,而后来政策和市场开始共同作用于杭州城市扩展,房地产郊区化、科技高校园区开发、行政区划和高速公路等城际交通设施建设等因素开始起到主要作用。

(3) 18年来,杭州城市扩展还与其自身的自然地理因素存在密切关联。杭州市是一个三面环山、水域分布较广的城市,城市空间扩展很大程度上受地形和水域的限制。由于城市西面受到西湖风景区、西溪湿地和钱塘江上水区的影响,杭州主城区基本上不往这两个方向扩展,即使扩展也速度很慢,而主要往北边和东边发展或往南跨江发展;下沙城区扩展受原来多为农用地和滩涂地的影响,城市扩展必须追加一定的投资,克服门槛效应。在缺乏满足集聚投资资金的情况下,在发展初期也一定程度影响用地扩展速度。此外,萧山区、余杭区和西湖区北部的城镇扩展都明显地受到农用地分布、水体分布等自然门槛效应的限制。城市发展要跨越这些门槛,必须追增大量资金投入,从而深刻地影响了城市扩展的最终形态。

(4) 政府应该反思在不同发展阶段城市扩展的得与失,在编制规划和建设管理过程中,应实时把握杭州城市扩展的基本规律,总结以往和思考未来城市扩展的驱动力因子和机制。例如城市西部居住空间的大幅度扩展导致西溪湿地大面积缩减(从约 107km^2 减到约 20km^2)。政府应该反思过去摊大饼式的居住开发模式,推行以保护湿地景观为前提的房景相容的紧凑型高层或小高层居住开发模式,阻止城市用地无序蔓延。又如,杭州市的耕地和水体资源有限,城市化过程中必须尽可能地避免侵占耕地和水体,维护良好的城市生态环境。同时,面对杭州建设用地空间有限的现实,采取积极的规划设计措施保护耕地,开展土地整理,化零为整,通过适当提高容积率与土地单位面积产值,充分挖掘城市土地利用潜力。

参考文献:

- [1] Xiangzheng Deng, Jikun Huang, Scott Rozelle. Growth, population and industrialization, and urban land expansion of China. *Journal of Urban Economics*, 2007.
- [2] 谈明洪,李秀彬,吕昌河.我国城市用地扩张的驱动力分析. *经济地理*, 2003, 23(5): 635~ 639.
- [3] 贾铁飞,倪少春,郑辛酉.快速城市化地区土地利用动态变化及城市化空间进程分析. *国土资源遥感*, 2006, 64(1): 36~ 39.
- [4] 刘盛和,吴传钧,沈洪泉.基于GIS的北京城市土地利用扩展模式. *地理学报*, 2000, 55(4): 407~ 416.
- [5] 李晓文,方精云,朴世龙.上海及周边主要城镇城市用地扩展空间特征及其比较. *地理研究*, 2003, 22(6): 769 ~ 779.
- [6] 胡伟平,杨国清,吴志峰.珠江三角洲城镇建筑覆盖近期变化研究. *地理研究*, 2003, 22(6): 780~ 788.
- [7] 龚建周,夏北成.1990年以来广州市土地覆被景观的时空梯度分异. *地理学报*, 2007, 62(2): 181~ 190.
- [8] 陈本清,徐涵秋.城市扩展及其驱动力遥感分析——以厦门市为例. *经济地理*, 2008, 25(1): 79~ 83.
- [9] 肖捷颖,葛京凤,沈彦俊.基于GIS的石家庄市城市土地利用扩展分析. *地理研究*, 2003, 22(6): 789~ 798.
- [10] 吴宏安,蒋建军.西安城市扩张及其驱动力分析. *地理学报*, 2008, 63(1): 143~ 150.
- [11] 潘卫华,徐涵秋.泉州市城市扩展的遥感监测及其城市化核分析. *国土资源遥感*, 2004, 62(4): 36~ 40.
- [12] 马荣华,陈雯,陈小卉.常熟市城镇用地扩展分析. *地理学报*, 2004, 59(3): 418~ 426.
- [13] 宗跃光.大都市空间扩展的周期性特征——以美国华盛顿—巴尔的摩地区为例. *地理学报*, 2008, 60(3): 418 ~ 424.
- [14] 冯健.杭州城市郊区化发展机制分析. *地理学与国土研究*, 2002, 18(2): 88~ 92.

- [15] 朱波. 杭州城市空间拓展浅析. 城市规划, 2003, (5): 89~ 93
- [16] 杨存建, 周成虎. TM 影像的居民地信息提取方法研究. 遥感学报, 2000, 4(2): 146~ 150
- [17] 查勇, 倪绍祥, 杨山. 一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法. 遥感学报, 2003, 7(1): 37~ 40
- [18] 卓莉, 李强. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型. 地理学报, 2006, 61(2): 169~ 178.
- [19] Liu X, Li X, Shi X. Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata. Ecological Modelling, 2008, 211(1-2): 169~ 181.
- [20] He C Y, He, O Norio, Zhang Q F. Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. Applied Geography, 2006, 26: 323~ 345

Urban expansion and its driving forces based on remote sensed data and GIS: A case study of Hangzhou city from 1991 to 2008

WANG Wei-wu, JIN Jian-wei, XIAO Zu-peng, SHI Ting-ting
(Institute of Urban Planning Engineering and Information Technology,
Zijingan Campus, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Based on multi-temporal Landsat TM/ETM+ Images and GIS, we extracted information of urban construction land use in Hangzhou with supervised classification and overlay technology. The characteristics of the changes of urban construction land use were analyzed with the aid of spatial overlay technique in order to obtain urban spatial expansion information. Then, the intensity index, direction of urban expansion as well as the situation of the land occupied by urban expansion are analyzed quantitatively, and the socioeconomic driving forces factor and their effect mechanism during the last 15 years (1991 to 2008) were explained. The result revealed that the rate of urban expansion in Hangzhou city was very quick and the urban land area in 2008 was over twice more than that in 1991. The arable land around the urban area, water body and woodland, the main land use types due to the urban expansion, accounted for 66.98%, 17.71% and 15.31% respectively. The study also showed that the main human driving forces causing urban expansion in Hangzhou in the past 15 years included the following aspects: the high-speed economic development, the rapid growth of population, the increase of investment at home and abroad, the quick renewal in the old city and the development of suburban real estate, the group development of Higher Education and Science and Technology Development Zone, and the development of urban transport facilities such as the four bridges across the Qiantang River and the two ringed highways around the Hangzhou city. The local government ought to rethink profoundly the advantages and disadvantages of urban expansion in the different stages, and to do in-depth analyses of the future urban expansion mechanism to push forward sustainable urban expansion.

Key words: urban expansion; remote sensing; GIS; driving mechanism; Hangzhou city