

# 21世纪初期南京城市用地类型与 用地强度演变关系

乔伟峰<sup>1,2,3</sup>, 刘彦随<sup>2</sup>, 王亚华<sup>1,3</sup>, 方 斌<sup>1,3</sup>, 赵西辰<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023)

**摘要:** 城市三维空间扩展已成为21世纪初期中国城市空间扩展的重要特征。利用南京市2000年和2012年两期三维城市数字重建成果, 将地类变化转移矩阵的应用方法进行拓展, 研究城市建成区用地类型变化引致的用地强度的演变。主要结论为: ① 21世纪以来南京建成区处于高速扩张之中, 12年间工业用地增长幅度最大, 其增加的来源主要是农用地, 其次为住宅用地, 农用地和水域面积减少较为明显; ② 在城市内部5种主要地类的转化过程中, 除住宅用地转为其他建设用地的类型容积率有所降低外, 其余转换类型容积率均有明显增长, 城市内部用地类型未发生变化的地块, 容积率也处在不断的提高中; ③ 在城市扩展区各地类的容积率保持在较好的水平, 新增住宅、教育和其他建设用地的容积率超过了老城区相应地类的容积率, 新建工业用地容积率与老工业用地容积率持平, 新建商业用地容积率是老商业用地容积率的65.67%。

**关键词:** 改进的转移矩阵法; 城市用地类型; 用地强度变化; 南京市

DOI: 10.11821/dlxb201511009

## 1 引言

当前, 中国正处在快速城市化阶段, 快速城市化在城市有型实体上的表现是城市的二维平面形态的演变和城市三维空间的扩展。二维平面形态的演变指城市平面规模的迅速扩大和城市内部土地利用结构的不断调整, 三维空间的扩展指城市建筑高度的不断增长和建筑容积率的不增大。

对快速城市化阶段的城市土地利用演变进行研究是当前学者们关注的热点, 并取得了大量的成果<sup>[1-7]</sup>, 在城市规划、土地利用管理领域得到广泛应用。学者们的研究大多从平面的视角着眼<sup>[8-13]</sup>, 大量的文献基于遥感与GIS手段<sup>[14-16]</sup>, 通过扩展强度<sup>[17]</sup>、紧凑度<sup>[18]</sup>、分形值<sup>[19]</sup>、形状指数<sup>[20]</sup>、等扇分析<sup>[21]</sup>、凸壳模型<sup>[22-23]</sup>、景观扩展指数<sup>[24]</sup>、转移矩阵<sup>[25]</sup>等研

收稿日期: 2015-01-19; 修订日期: 2015-04-08

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41371172, 41130748, 41471143, 41271189); 中国博士后科学基金特别资助及面上资助项目(2015T80127, 2014M561040); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(164320H101) [**Foundation:** National Natural Science Foundation of China, No.41371172, No.41130748, No.41471143, No.41271189; Special Financial Grant and General Financial Grant from the China Postdoctoral Science Foundation, No.2015T80127, No.2014M561040; A Project Funded by the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions, No.164320H101]

**作者简介:** 乔伟峰(1975-), 男, 江苏徐州人, 在站博士后, 副教授, 中国地理学会会员(S110010031M), 主要从事土地遥感和GIS应用研究。E-mail: qiaoweifeng@njnu.edu.cn

**通讯作者:** 刘彦随(1965-), 男, 陕西绥德人, 研究员, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110005331M), 主要从事土地利用和农业与农村发展研究。E-mail: liuys@igsnrr.ac.cn



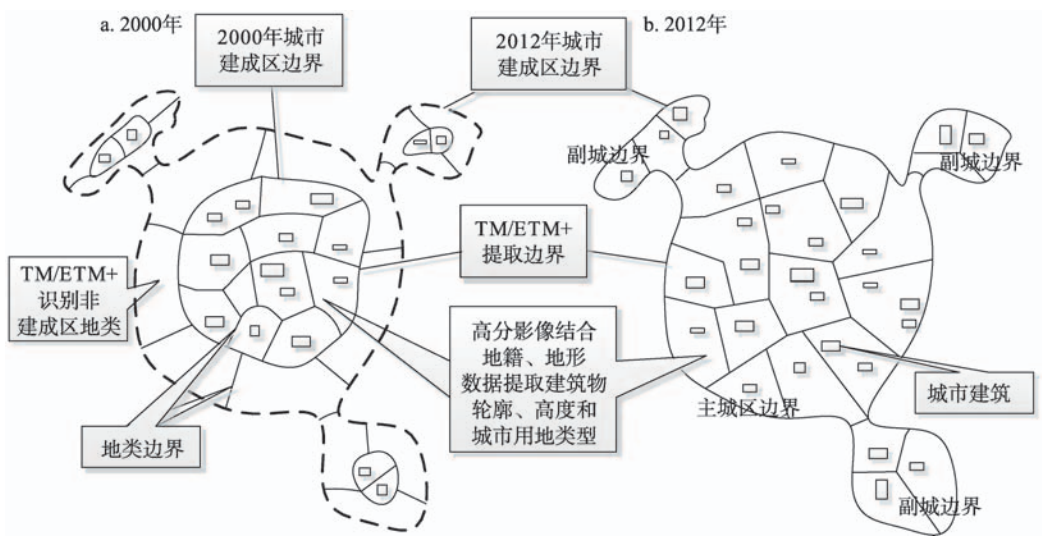


图2 2000年、2012年南京城市时空信息数字重建示意图  
Fig. 2 Spatiotemporal digital reconstruction of Nanjing in 2000 and 2012

些年份某些不易获取高分辨率影像的区域，本文采用大比例尺地形图、地籍图和 Google Earth 上的高分辨率历史影像进行辅助判读。

3.2 研究的技术路线

采用两期 TM/ETM+ 影像，应用基于知识与规则的分层信息提取法对遥感影像进行精确分类<sup>[27]</sup>（图3），基于分类结果提取城市建成区边界<sup>[28-29]</sup>，作为三维信息提取的边界控制；基于 IKONOS、GeoEye 和 Google Earth 等影像分别提取建成区屋顶轮廓、建筑高度和建成区内部地类<sup>[30]</sup>，大比例尺地形图或地籍图用于三维信息提取的补充资料，形成两期时空信息数字重建成果。将研究区范围两个年份的完整的土地利用分类图进行精确配准并进行叠置分析，可生成土地利用类型变化图，进一步将用地类型转换面积进行汇总可生成城市内部地类变化转移矩阵，可对城市扩展部分和城市内部的土地利用变化进行分析。通过转移矩阵的拓展应用也可对城市扩展部分和城市内部由地类转换导致的容积率变化进行相关分析。

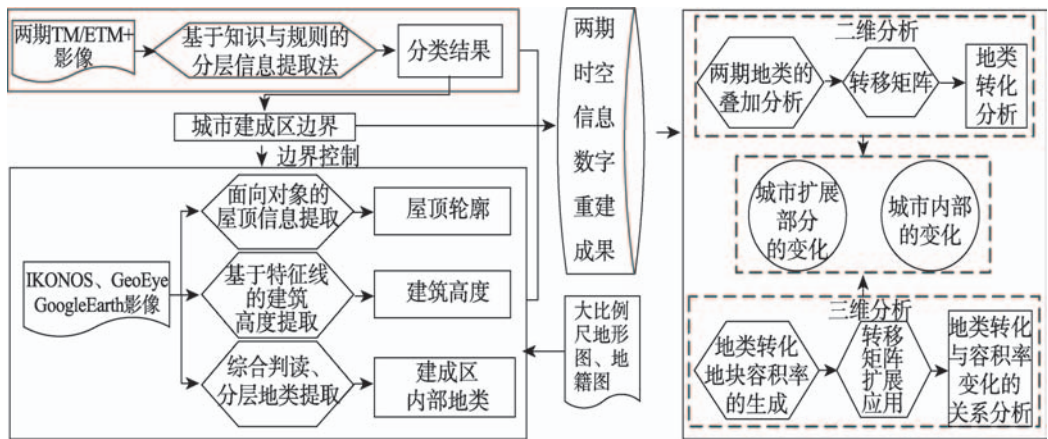


图3 研究技术路线图  
Fig. 3 Methodology of research



本文所使用的土地利用分类体系是在全国第二次土地调查分类标准的基础上进行调整, 基于重点研究城市地区的需要, 按居住用地、商业用地、工业用地、教育用地、其他建设用地、道路广场、公园绿地、水域、农用地、未利用地共 10 种类型进行用地的划分, 其中其他建设用地指除本文重点关注的商业、工业、住宅、教育用地外的公共设施、机关团体、医疗卫生等用地。2000 年建成区外围是城郊和农业区, 土地分类采用基于 TM/ETM+ 影像的分类结果, 其中农村居民点用地按住宅用地处理。

3.3 转移矩阵在用地类型与用地强度相关分析中的拓展应用

地类转移矩阵是主、宾栏交叉对应的棋盘式表格, 直观地反映一定时期各类土地面积增加的来源和减少的去向。主栏部分为变更后地类, 宾栏部分为变更前地类, 主、宾栏交叉的纵横行构成地类变更面积, 横行表示地类年内减少的去向, 纵行表示地类年内增加的来源 (图 4a)。

在本文中, 借鉴地类转移矩阵的生成方法, 将 2000 年和 2012 年的城市土地利用分类图进行叠置分析, 将叠置分析后生成的地类变化图斑、地类未变化图斑与 2000 年和 2012 年的建筑物图层 (含建筑轮廓和高度信息) 进行叠置套合, 求各相交图斑的期初地类、期末地类面积和期初建筑总面积、期末建筑总面积。地块的建筑总面积按建筑基底面积 (屋顶轮廓面积) 乘以建筑楼层数计算, 楼层数通过建筑高度值按每层 3 m 计算得出。汇总各地类转化类型的期初建筑总面积和期末建筑总面积, 求期末建筑总面积和期初建筑总面积之差, 除以该地类转化类型的面积之和, 即得到地类转换过程中的容积率变化值。计算公式如下:

$$r_{ij} = \frac{\sum J - \sum J'}{\sum S}$$

(1)

式中:  $r_{ij}$  为  $i$  地类转换为  $j$  地类后该种转换类型的容积率变化量;  $\sum J$  为  $i$  地类转为  $j$  地类的用地转换类型期初的建筑总面积;  $\sum J'$  为  $i$  地类转为  $j$  地类的用地转换类型期末的建筑总面积;  $\sum S$  为  $i$  地类转为  $j$  地类的用地转换类型面积之和。  $r_{ij}$  为正表明地类转换的过程中容积率增加了,  $r_{ij}$  为负表明地类转换的过程中容积率减小了。

将求出的各  $r_{ij}$  按转移矩阵的形式排列即得到基于地类转变的容积率变化转移矩阵 (图 4b)。该转移矩阵将地类转换与用地强度转换进行了结合, 即将二维平面的城市空间扩展和三维立体的城市空间扩展结合了起来进行研究。

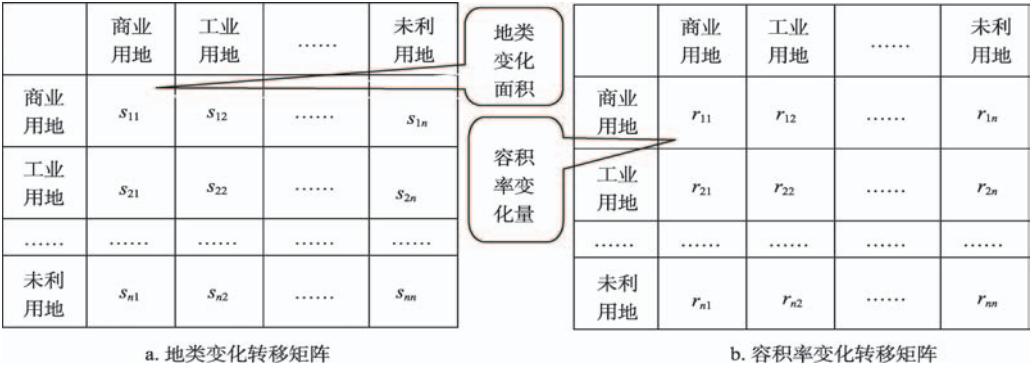


图4 地类变化转移矩阵与容积率变化转移矩阵  
Fig. 4 Transfer-matrix of land use change and plot ratio change

4 研究结果

4.1 城市平面扩展和地类的转换

南京市建成区面积由2000年的354.10 km<sup>2</sup>扩张到2012年的960.08 km<sup>2</sup>，12年间扩张了605.98 km<sup>2</sup>，平均每年扩张50.50 km<sup>2</sup>，城市处在高速扩张之中（图5）。至2012年，南京主城区已和周边发展组团完全连接，南京城市已经形成主城区和东山、仙林、江北三个副城连为一体的发展格局，形态上呈现明显的“彳”形，其中两撇为沿长江两岸东北—西南向发展的两条轴线，一竖为从南京主城至江宁、禄口的北—南向的发展轴线。在城市扩展过程中，占用了大量城郊地区的耕地、园地、林地、农村居民点、水域等用地；同时，城市内部也在发生着剧烈的土地利用类型的转变（图6），大量的老旧小区

的拆迁、工业用地“退二进三”等在不断进行着，且变化面积的比例较大。

表1为960.08 km<sup>2</sup>研究区范围内2000-2012年地类变化转移矩阵，表2为基于式（1）计算的研究区地类转化导致的容积率变化转移矩阵，表3为基于表1和表2的汇总数据。由表1和表3，随着城市的外扩，工业、商业、住宅、教育和其他建设用地面积均有不同幅度增长，其中工业用地增长幅度最大，12年间净增155.34 km<sup>2</sup>，农用地和水域面积缩小较为明显，其中农用地减少幅度最大，减少了431.06 km<sup>2</sup>；从增减的比例来看，道路广场用地增长幅度最大，增长了202%，教育用地、其他建设用地和工业用地分别增长了177%、175%和174%，分别居二、三、四位，农用地减少比例最大，减少了89%，水域用地减少了49%；2000年农用地的减少去向主要是工业用地、其他建设用地、住宅用地和道路广场用地，分别占农用地转为其他地类总面积的32.74%、18.29%、17.12%和



图5 2000-2012年南京城市扩展图

Fig. 5 Urban expansion of Nanjing during 2000-2012



图6 2000-2012年南京地类变化图(局部)

Fig. 6 Land use change of Nanjing during 2000-2012 (part)

表1 2000-2012年南京地类变化转移矩阵(hm<sup>2</sup>)

Tab. 1 Transfer-matrix of land use change in Nanjing during 2000-2012 (hm<sup>2</sup>)

2000年	2012年									
	商业用地	工业用地	住宅用地	教育用地	其他建设用地	道路广场用地	公园绿地	水域	农用地	未利用地
商业用地	435.44	25.61	204.08	28.53	32.15	148.65	10.86	7.10	0.12	32.31
工业用地	100.38	6365.92	997.16	146.80	157.35	606.56	251.46	57.03	25.24	234.91
住宅用地	182.84	1945.64	7031.23	505.84	1424.80	2035.59	186.11	297.08	603.89	890.17
教育用地	13.00	35.87	240.45	1405.97	69.88	119.50	17.17	9.81	0.31	28.34
其他建设用地	71.80	181.27	449.56	299.38	3193.61	458.27	380.27	39.80	9.37	108.50
道路广场用地	100.16	191.06	676.32	115.67	194.10	2660.71	90.08	63.60	5.23	113.68
公园绿地	24.96	8.45	53.38	12.53	165.41	57.84	2558.65	4.12	0.08	5.40
水域	33.44	707.20	453.72	113.34	596.75	681.99	109.27	853.84	209.17	286.14
农用地	237.22	14418.89	7537.85	2536.40	8054.05	5495.13	431.37	654.15	4514.94	4672.10
未利用地	58.70	596.92	732.54	204.99	395.82	470.85	217.55	60.31	77.69	1391.24

注: 其他建设用地指除商业、工业、住宅、教育用地外的公共设施、机关团体、医疗卫生等用地。

表2 2000-2012年南京地类容积率变化转移矩阵

Tab. 2 Transfer-matrix of land use plot ratio change in Nanjing during 2000-2012

2000年	2012年									
	商业用地	工业用地	住宅用地	教育用地	其他建设用地	道路广场用地	公园绿地	水域	农用地	未利用地
商业用地	0.69	0.26	1.54	0.10	0.71	-1.30	-0.64	-1.37	-1.38	-0.03
工业用地	1.49	0.12	1.53	0.48	0.56	-0.37	-0.12	-0.35	0.18	0.27
住宅用地	1.00	0.05	0.35	0.19	-0.15	-0.70	-0.46	-0.53	-0.13	-0.08
教育用地	2.07	0.61	1.46	0.45	0.68	-0.52	-0.22	-0.30	-0.46	0.10
其他建设用地	1.30	0.97	1.30	0.56	0.27	-0.36	0.00	-0.16	-0.05	0.15
道路广场用地	2.78	1.10	2.16	1.12	1.10	0.01	0.12	0.07	-0.96	-0.26
公园绿地	0.15	0.87	1.61	0.81	0.21	-0.03	0.03	-0.03	0.00	0.24
水域	1.51	0.31	1.37	1.08	0.20	0.00	0.09	0.00	0.21	0.30
农用地	0.88	0.39	1.12	0.76	0.37	0.01	0.11	0.05	0.00	0.18
未利用地	1.66	0.66	1.87	0.74	0.49	-0.11	0.05	-0.03	0.21	0.00

表3 南京城市内部主要建设用地类型地类面积和建筑总面积

Tab. 3 Land use area and gross construction area of main construction land inside the city of Nanjing

	2000年地类面积(km <sup>2</sup> )	2012年地类面积(km <sup>2</sup> )	2000年建筑总面积(m <sup>2</sup> )	2012年建筑总面积(m <sup>2</sup> )	2000年平均容积率	2012年平均容积率
商业用地	924.85	1257.93	1.24×10 <sup>7</sup>	2.30×10 <sup>7</sup>	1.34	1.82
工业用地	8942.81	24476.82	3.62×10 <sup>7</sup>	1.13×10 <sup>8</sup>	0.40	0.46
住宅用地	15103.21	18376.28	1.38×10 <sup>8</sup>	2.77×10 <sup>8</sup>	0.92	1.51
教育用地	1940.29	5369.46	1.17×10 <sup>7</sup>	4.90×10 <sup>7</sup>	0.60	0.91
其他建设用地	5191.84	14283.93	1.66×10 <sup>7</sup>	3.81×10 <sup>7</sup>	0.32	0.27

12.48%, 工业用地增加的来源主要是农用地, 其次为住宅用地, 分别占其他地类转为工业用地总面积的79.61%和10.74%, 除工业用地和住宅用地外其他用地转变为工业用地的量占比均较小; 商业用地增加的来源主要是农用地、住宅用地和工业用地, 住宅用地增加的来源主要是农用地、工业用地和未利用地, 教育用地增加的来源主要是农用地、住宅用地和其他建设用地。以上分析表明城市外扩主要占用的是大量的农用地。



因转移矩阵的宾栏部分为变更前地类,主栏部分为变更后地类,因此可通过分析宾栏部分城市建成区内部所含地类的变化情况,来分析城市内部地类的转变<sup>[31]</sup>。经分析,工业用地转为住宅用地为 997.16 hm<sup>2</sup>、工业用地转为道路广场为 606.56 hm<sup>2</sup>、住宅用地转为工业用地为 1945.64 hm<sup>2</sup> (该数字较大主要是因为住宅用地中含农村居民点用地面积)、住宅用地转为道路广场用地为 2035.59 hm<sup>2</sup>,道路广场用地转为住宅用地为 676.32 hm<sup>2</sup>,以上这些转化最为明显。城市建成区内部用地的变化,反映出 12 年间城市内部用地在不断地进行着调整与重构,且受城市规划、土地价格等原因影响不断地进行着老旧小区改造和工业用地“退二进三”等空间结构的调整,土地利用结构和布局在向着合理的方向变化。

#### 4.2 基于地类转换的容积率变化分析

随着用地类型的转化,各用地类型上的建筑总面积也处于不断增减当中(表 2,表 3),2000-2012 年间,住宅用地建筑面积增长最快,共增长了  $1.39 \times 10^8$  m<sup>2</sup>,增长比例为 100.3%,工业用地、教育用地、其他建设用地和商业用地分别增长了  $7.68 \times 10^7$  m<sup>2</sup>、 $3.73 \times 10^7$  m<sup>2</sup>、 $2.15 \times 10^7$  m<sup>2</sup> 和  $1.06 \times 10^7$  m<sup>2</sup>,增长比例分别为 212%、320%、130% 和 85%。各地类平均容积率的排序从 2000 年至 2012 年没有发生变化,容积率由大到小为商业用地、住宅用地、教育用地、工业用地、其他建设用地,这反映出不同城市用地类型的建筑容积率的特点。

商业、工业、住宅、教育用地容积率在此期间均有不同幅度增长,其中住宅用地容积率增长最快,从 0.92 增长到 1.51,增长了 0.59,这一方面反映出城市内部低矮住宅在不断改造成新的高层、小高层和多层住宅小区,另一方面反映出城市扩张过程中新建住宅也有较大容积率,用地较为集约。从典型地块上分析,也能反映上述特点,如位于城市核心区张府园西部的熙园地块,2000 年时为低矮杂乱的民房,容积率仅为 0.8,后被改造为高层住宅,容积率达 4.54;仙林副城的亚东城地块原为农用地,后被开发为高层住宅,容积率达 4.87。商业用地平均容积率由 2000 年的 1.34 增长到了 2012 年的 1.82,增长了 0.48,说明老城区的商业建筑在不断增高,同时新形成的商业中心也有较高的容积率。从典型地块上分析,新街口商圈的新百地块容积率原为 6.55,随着新百南京中心大厦的建设,容积率升为 16.65;新开发的河西地区万达广场商业地块原为低矮的农居,容积率为 0.7,经开发后容积率升为 3.01,容积率提高均较大。除住宅用地和商业用地外,教育用地平均容积率增加了 0.31,工业用地平均容积率增加了 0.06。随着城市的扩张,其他建设用地的容积率略有下降。

由表 2 可以看出发生地类转换的地块和未发生地类转换的地块的容积率的变化情况。先来分析商业、工业、住宅、教育和其他建设用地等城市内部的主要地类,在这 5 种地类的相互转化过程中,除住宅用地转为其他建设用地的类型容积率有所降低外,其余转换类型容积率均有明显增长,其中教育用地转为商业用地容积率变化最大,达到 2.07,工业用地转住宅用地、商业用地转住宅用地,容积率变化幅度都达到 1.5 以上;地类容积率变化转移矩阵中的主对角线反映了地类未发生改变的地块的容积率变化情况,对于用地类型没有发生改变的地块,容积率也处在不断的提高中,其中商业用地提高了 0.69,比 2000 年提高了 51.49%,教育用地提高了 0.45,增长的比例为 75%,其他建设用地增长了 0.27,增长的比例为 84.38%,住宅用地增长 0.35,增长的比例为 38.04%。以上分析说明在城市已建成区用地类型发生和未发生变化的地块都在进行着更新改造,且力度较大。

以上为城市改造过程中容积率的变化情况,那么由农用地、未利用地转为工业、商业、住宅、教育和其他建设用地的类型属于城市扩展的情况,可理解为新建地块的容积

率。通过表2相应的单元格进行分析,考察最为典型的农用地转为商业、住宅、教育和其他建设用地的情况,发现农用地转为商业用地平均容积率增加0.88,转为工业用地增加0.39,转为住宅用地增加1.12,转为教育用地增加0.76,转为其他建设用地增加0.37,上述数据与表3中2000年各地类平均容积率进行比较,可发现在城市扩展地区住宅、教育和其他建设用地的容积率超过了老城区相应地类的容积率,新建地区的工业用地容积率也达到了已建成区工业用地容积率的97.5%,因区位较偏,新建商业用地容积率是老商业用地容积率的65.67%。总体来说,扩展地区的各地类的容积率和已建成区的相应地类比较均保持在相对较好的水平。

从区位上来分析用地容积率的空间分布和随时间的变化情况。2000年时,主城区以新街口为中心,沿中山路、中山南路、中山北路、中山东路、汉中路为用地容积率数值较高的地区,高值主要为商业用地地块和住宅用地地块,其中商业用地容积率的最高值达15.0,住宅用地的最高值达11.83,由这个区域向外容积率呈逐渐降低的趋势。2012年时,新街口、鼓楼地区的部分地块容积率值显著增加,此时商业用地地块容积率最高达25.47,居住用地最高达23.57。同时,河西新城、南京南站周边、三个副城也出现了容积率较高的地区,但分布比较零散,未连成片,主要是建设强度较大的城市住宅区和商业集中区。2012年,栖霞、浦口、雨花、江宁等地区的开发区地块容积率较低。

用地建设强度受自然环境、经济人口、城市地价、历史文化和规划导向等因素的影响,其中经济人口的发展和城市地价因素是推动因素,自然环境和历史文化因素是限制因素。用地建设强度并非越高越好,而是要综合考虑土地利用的社会、经济和生态效益,盲目进行高强度的用地开发,将会带来严重的城市病。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

利用南京市2000年和2012年两期三维城市数字重建成果,将地类变化转移矩阵的应用方法进行拓展,研究南京市建成区城市用地类型和用地强度的演变,以多角度、全方位揭示城市用地演变的规律。主要结论如下:

(1) 传统的地类变化转移矩阵中各元素为地类变化的面积,本文将地类变化面积改造成地类转变过程中的容积率的变化量,用以反映城市用地演变过程中的用地强度变化情况。计算方式为发生地类转变的地块上建筑总面积的变化量除以该转换类型地块总面积。该转移矩阵的构造可较好地反映地类发生变化和未发生变化的地块上的容积率变化,可用来分析城市的三维扩展和城市用地强度、用地效率的变化情况。

(2) 南京市建成区面积从2000-2012平均每年扩张50.50 km<sup>2</sup>,城市处在高速扩张当中。随着城市的扩展,工业用地增长幅度最大,12年间扩张了155.34 km<sup>2</sup>,农用地和水域面积缩小较为明显,其中农用地减少幅度最大,减少了431.06 km<sup>2</sup>。农用地的减少去向主要是工业用地、其他建设用地、住宅用地和道路广场用地,其中工业用地占用占总减少量的29.7%,工业用地增加的来源主要是农用地,占总增加量的58.91%,其次为住宅用地,占总增加量的7.95%。在城市内部的地类转换中,工业用地转为住宅用地和道路广场用地、住宅用地转为道路广场用地、道路广场用地转为住宅用地等数量较大,反映出12年间城市内部用地在不断地进行着调整与重构,土地利用结构和布局在向着合理的方向变化。

(3) 城市内部5种主要地类的平均容积率的排序从2000年至2012年没有发生变化,



容积率由大到小为商业用地、住宅用地、教育用地、工业用地和其他建设用地。12年间整个研究区住宅用地、商业用地、教育用地和工业用地平均容积率分别增加了0.59、0.48、0.31和0.06。在城市内部的地类转化过程中,5种主要地类除住宅用地转为其他建设用地的类型容积率有所降低外,其余转换类型容积率均有明显增长,城市内部用地类型未发生变化的地块,容积率也处在不断地提高中。在城市扩展地区住宅、教育和其他建设用地的容积率超过了老城区相应地类的容积率,城市扩展区新建工业用地容积率与老工业用地容积率持平,新建商业用地容积率是老商业用地容积率的65.67%,主要原因新建商业用地和老商业用地比区位较偏,容积率相对较低。总的来说,扩展地区的各地类的容积率和已建成区的相同地类的容积率比较均保持在相对较好的水平。

## 5.2 讨论

本文为城市用地强度的变化研究提供了一种新的方法,定量分析了城市扩展、城市内部地类变化导致的各地类面积和容积率的变化情况。由于城市时空信息数字重建特别是三维信息数字重建工作量大,所以本文仅分析了21世纪以来的两期数据,今后的研究中应进一步增加数据时点,进行城市用地强度演变分阶段的规律探索。未来,随着新增建设用地指标的趋紧和城市开发边界的划定,城市蔓延式扩张将得到遏制,城市内部地类转换和用地强度提升力度将越来越大,需要加强未来城市地类和用地强度变化的模拟,并结合社会、经济、人口等指标进行变化合理性分析。

## 参考文献(References)

- [1] Kuang Wenhui, Shao Quanqin, Liu Jiuyan, et al. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban expansion in Beijing central city since 1932. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11(4): 428-435. [匡文慧, 邵全琴, 刘纪远, 等. 1932年以来北京主城区土地利用空间扩张特征与机制分析. *地球信息科学学报*, 2009, 11(4): 428-435.]
- [2] Zhang Li, Lei Jun, Li Xuemei, et al. The features and influencing factors of urban expansion in China during 1997-2007. *Progress in Geography*, 2011, 30(5): 607-614. [张利, 雷军, 李雪梅, 等. 1997-2007年中国城市用地扩张特征及其影响因素分析. *地理科学进展*, 2011, 30(5): 607-614.]
- [3] Wang Weiwu, Jin Jianwei, Xiao Zuopeng, et al. Urban expansion and its driving forces based on remote sensed data and GIS: A case study of Hangzhou City from 1991 to 2008. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 685-695. [王伟武, 金建伟, 肖作鹏, 等. 近18年来杭州城市用地扩展特征及其驱动机制. *地理研究*, 2009, 28(3): 685-695.]
- [4] Tan Minghong, Li Xiubin, Lu Changhe. Expansion of construction land and occupation of farmland in large and medium cities of China in the 1990s. *Science in China Series D*, 2005, 34(12): 1157-1165. [谈明洪, 李秀彬, 吕昌河. 20世纪90年代中国大中城市建设用地扩张及其对耕地的占用. *中国科学: D辑*, 2005, 34(12): 1157-1165.]
- [5] Wang Lei, Duan Xuejun. The expansion of urbanization area in Yangtze River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(5): 702-709. [王磊, 段学军. 长江三角洲地区城市空间扩展研究. *地理科学*, 2010, 30(5): 702-709.]
- [6] Zhang Wenzhong, Wang Chuansheng, Xue Dongqian. Urbanization base of city-land use expansion in the Zhujiang River Delta. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(5): 575-582. [张文忠, 王传胜, 薛东前. 珠江三角洲城镇用地扩展的城市化背景研究. *自然资源学报*, 2003, 18(5): 575-582.]
- [7] Feng Jian. Spatial-temporal evolution of urban morphology and land use structure in Hangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 343-353. [冯健. 杭州城市形态和土地利用结构的时空演化. *地理学报*, 2003, 58(3): 343-353.]
- [8] Hall P. The future of the metropolis and its form. *Regional Studies*, 1997, 31(3): 211-220.
- [9] Chang Q, Li S C, Wang Y L, et al. Spatial process of green infrastructure changes associated with rapid urbanization in Shenzhen, China. *Chinese Geographical Science*, 2013, 23(1): 113-128.
- [10] Wilson H E, Hurd J D, Civco D L, et al. Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 275-285.
- [11] Liu X P, Li X, Chen Y M, et al. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 2010, 25(5): 671-682.
- [12] Camagni R, Gibelli M C, Rigamonti P. Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 2002, 40(2): 199-216.
- [13] Yin J, Yin Z E, Zhong H D, et al. Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai

- metropolitan area during the transitional economy (1979-2009) in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 177(1-4): 609-621.
- [14] Wu Hongan, Jiang Jianjun, Zhou Jie, et al. Dynamics of urban expansion in Xi'an City using Landsat TM/TM+ data. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 143-150. [吴宏安, 蒋建军, 周杰, 等. 西安城市扩张及其驱动力分析. *地理学报*, 2005, 60(1): 143-150.]
- [15] He Zhen, Zhao Wenliang, He Junping. Remote sensing monitoring of urban sprawl based on object-oriented and driving forces analysis: A case study of Zhengzhou City. *Geographical Research*, 2011, 30(12): 2272-2280. [贺振, 赵文亮, 贺俊平. 郑州市城市扩张遥感动态监测及驱动力分析. *地理研究*, 2011, 30(12): 2272-2280.]
- [16] Sun Shanlei, Zhou Suoquan, Wei Guoshuan, et al. Dynamic monitoring of urban expansion in the region around Hangzhou Bay. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(2): 327-335. [孙善磊, 周锁铨, 魏国栓, 等. 环杭州湾地区城市扩张的遥感动态监测. *自然资源学报*, 2008, 23(2): 327-335.]
- [17] Liu Shenghe, Wu Chuanjun, Shen Hongquan, et al. A GIS based model of urban land use growth in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 407-416. [刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉, 等. 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.]
- [18] Yin Fang, Feng Min, Zhong Feng, et al. Research of urban expansion in Siping City based on remote sensing and GIS. *Journal of Geo-Information Science*, 2010, 12(2): 242-247. [尹芳, 冯敏, 钟凤, 等. 基于GIS的四平市城市扩展遥感分析. *地球信息科学学报*, 2010, 12(2): 242-247.]
- [19] Li Feixue, Li Manchun, Liu Yongxue, et al. Urban growth in Nanjing since 1949. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(4): 524-535. [李飞雪, 李满春, 刘永学, 等. 建国以来南京城市扩展研究. *自然资源学报*, 2007, 22(4): 524-535.]
- [20] Wang Xinsheng, Liu Jiyan, Zhuang Dafang, et al. Spatial-temporal changes of urban spatial morphology in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 392-400. [王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征. *地理学报*, 2005, 60(3): 392-400.]
- [21] Yan Shan, Wu Yong. A study on spatial difference of Wuxi City from expansion. *Human Geography*, 2001, 16(3): 84-88. [杨山, 吴勇. 无锡市形态扩展的空间差异研究. *人文地理*, 2001, 16(3): 84-88.]
- [22] Liu Jiyan, Wang Xinsheng, Zhuang Dafang, et al. Application of convex hull in identifying the types of urban land expansion. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 885-892. [刘纪远, 王新生, 庄大方, 等. 凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别. *地理学报*, 2003, 58(6): 885-892.]
- [23] Gao Jinlong, Chen Jianglong, Yuan Feng, et al. Patterns, functions and underlying mechanisms of urban land expansion in Nanjing. *Geographical Research*, 2014, 33(10): 1892-1907. [高金龙, 陈江龙, 袁丰, 等. 南京市建设用地扩张模式、功能演化与机理. *地理研究*, 2014, 33(10): 1892-1907.]
- [24] Liu Xiaoping, Li Xia, Chen Yimin, et al. Landscape expansion index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1430-1438. [刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 等. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用. *地理学报*, 2009, 64(12): 1430-1438.]
- [25] Yang Yongchun, Yang Xiaojuan. Research on urban spatial expansion and land use inner structure transformation of the large valley-basin cities in China from 1949 to 2005: A case study of Lanzhou. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 37-49. [杨永春, 杨晓娟. 1949-2005年中国河谷盆地型大城市空间扩展与土地利用结构转型: 以兰州市为例. *自然资源学报*, 2009, 14(1): 37-49.]
- [26] Wang Qian, Zhang Zengxiang, Yi Ling, et al. Research on urban expansion in Nanjing, China using RS and GIS. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(5): 554-559. [王茜, 张增祥, 易玲, 等. 南京城市扩展的遥感研究. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(5): 554-559.]
- [27] Qiao Weifeng. Study on urban spatial multidimensional expansion of Nanjing based on land use perspective [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013. [乔伟峰. 土地利用视角下的南京城市空间多维扩展研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.]
- [28] Wang Jing, Liu Jin. Dynamic of urban expansion in Lianyungang city based on the multi-time-phase remote sensing images: A case study of Xipu District. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying*, 2011(1): 81-83. [王晶, 刘锦. 基于多时相遥感数据的连云港城市扩展监测: 以新浦区为例. *城市勘测*, 2011(1): 81-83.]
- [29] Song Xiaodong, Liu Pu, Zhou Yixing. Urban and rural area division: Taking Shanghai as an example. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(8): 787-797. [宋小冬, 柳朴, 周一星. 上海市城乡实体地域的划分. *地理学报*, 2006, 61(8): 787-797.]
- [30] Tan Qulin. Urban building extraction from VHR multi-spectral images using object-based classification. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2010, 39(6): 618-623. [谭衢霖. 高分辨率多光谱影像城区建筑物提取研究. *测绘学报*, 2010, 39(6): 618-623.]
- [31] Qiao Weifeng, Sheng Yehua, Fang Bin, et al. Land use change information mining in highly urbanized area based on

transfer matrix: A case study of Suzhou, Jiangsu Province. *Geographical Research*, 2013, 32(8): 1497-1507. [乔伟峰, 盛业华, 方斌, 等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘: 以江苏省苏州市为例. *地理研究*, 2013, 32(8): 1497-1507.]

## The relationship of evolution between urban land use types and intensity in Nanjing since the early 21st century

QIAO Weifeng<sup>1,2,3</sup>, LIU Yansui<sup>2</sup>, WANG Yahua<sup>1,3</sup>, FANG Bin<sup>1,3</sup>, ZHAO Youchen<sup>1</sup>

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Three-dimensional urban space expansion has become an important feature of China's urban spatial expansion since the early 21st century. Based on the three-dimensional digital reconstruction results of Nanjing in 2000 and 2012, this paper expanded the application methods of land use types transfer-matrix to study the evolution of land use intensity caused by the changes of land use types in urban built-up areas. The results consist of three aspects: (1) Nanjing's built-up area has experienced rapid expansion since the early 21st century, and it expanded 50.50 km<sup>2</sup> per year on average. During the past 12 years, industrial land attained maximal growth with an expansion of 155.34 km<sup>2</sup>, and its main incremental source was agricultural land, followed by residential land. Agricultural land and water area decreased obviously, and the lost agricultural land was transferred mainly to industrial land. (2) The sequence of average plot ratio of five major land use types in built-up areas, which were commercial land, residential land, educational land, industrial land and land for other construction purposes in descending order, did not change from 2000 to 2012, and the average plot ratio of the first four land use types increased by 0.59, 0.48, 0.31 and 0.06, respectively. In the transformation processes of five major land use types in built-up areas, the plot ratio of residential land converted to other construction land decreased, while other conversion types significantly increased. The plot ratio of unchanged land use types also constantly rose. (3) The plot ratios of new residential and educational lands as well as land for other construction purposes exceeded those of the corresponding land types in the old town, suggesting that the plot ratios of land types in the urban expansion area were at a higher level. The plot ratios of new industrial land and old industrial land were unchanged. The plot ratio of new commercial land was 65.67% of that of old commercial land.

**Keywords:** improved transfer-matrix method; urban land use type; land use intensity change; Nanjing