基于线性光谱分析的城市旧城改造空间格局遥感研究: 以 1997~2000 年上海中心城区为例

岳文泽 徐建华* 武佳卫 徐丽华

(浙江大学东南土地管理学院, 杭州 310029; 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062;
浙江林学院, 临安 311300. * 联系人, E-mail: jhxu@geo.ecnu.edu.cn)

摘要 将光谱分解方法应用于城市景观变化及其生态环境效应的研究, 对于遥感技术与城市地理的结合具有重要意义。但是, 由于城市地表覆盖景观主要以高度复杂的人工材料构成, 光谱分解的精度不高是制约该研究方向发展的关键因素。当前国内外将光谱分解应用于城市地理研究主要包括两大方向, 一是通过选择植被端元, 从而求解出像元尺度上的植被盖度; 二是根据人工建筑为代表的高低反照度地物盖度, 将低反照度端元中的水面掩膜去除后与高反照度端元相叠加, 建立与城市不透透面的定量模型, 从而求解出像元尺度上城市不透透面盖度。本文的主要贡献是: () 针对目前线性光谱分解中端元选择的范围过大、在二维空间中选择端元的信息损失较多等问题, 对端元的选择方法做了较大改进。首先引入像元纯净指数(PPI), 将端元选择范围限定在数量很少的高纯度像元中, 端元选择范围减少了95%左右, 从而提高了选择准确端元的概率。其次构造了三维特征空间, 比传统方法多考虑一个维度, 并可以与原始影像、高分辨率航空遥感影像以及 PPI 结果交互比较, 进一步提高选择准确端元的概率。() 通过严格的光谱和实地检验, 从遥感技术与城市地理相结合的角度, 将高低反照度端元与新旧人工建筑表面对应起来, 利用不同时相的端元盖度对比分析城市旧城改造格局的时空演变特征。() 基于上述改进的混合光谱分析方法, 运用 1997 和 2000 年的 TM 和 ETM+影像数据, 分析了上海市中心城区旧城改造的格局、规模以及模式。结果显示, 该阶段是上海市第一轮旧城改造高峰阶段, 数量占到总改造面积的近一半, 重点区域已经从传统 CBD 扩展到内环线附近; 在改造模式上, 除了改造为新建建筑外, 同时伴随着植被恢复与建设, 中心城区植被覆盖率也大大提高。

关键词 线性光谱分析 端元 旧城改造 上海

混合像元分解技术是目前高光谱遥感影像信息提取的一个研究热点, 其本质是通过从小尺度数据源上挖掘出更大尺度的信息, 丰富了遥感影像本身的信息含量, 提高了数据的应用效率^[1~5]。线性分解模型是建立在像元内相同地物都有相同的光谱特征以及光谱线性可加基础上的, 构造简单, 理论科学, 物理含义明确, 用于解决混合像元现象效果比较理想^[6]。关于线性光谱分解技术, 国内外已经有大量的论文发表, 其中基于带约束的最小二乘法、MNF变换的线性光谱分析是最为常见的分解方法^[1]。例如 2001 年 Small 提出了在主成分变换的基础上, 采用线性光谱模型计算城市植被盖度的方法和过程^[4]; 2004 年他又在最小噪声分离变换(Minimum Noise Fraction MNF)的基础上, 采用线性光谱模型计算城市植被盖度^[7]。此外, 相关研究成果已经见于国内期刊, 如陶秋香、陶华学等人对经过 K-L 和 MNF 变换后进行解混的试验研究, 并对解混精度进行了深入讨论^[8]。线性

光谱分解方法应用于城市景观变化及其生态环境效应的研究更是当前国际上的一个热点, 对于定量遥感方法和城市地理的结合具有重要意义。但是由于城市地表覆盖景观主要以高度复杂的人工材料构成, 光谱分解的精度不高是制约该研究方向发展的关键因素。现有光谱分解技术关键问题是影像上选择光谱端元存在缺陷: 选择范围过大、只从多维数据中的二维空间中选择, 信息损失较多, 而且缺少定量的评价标准。

根据 Ridd 在 1995 年提出的 VIS (Vegetation- Impervious Surface-Soil) 概念模型中将城市地表景观光谱划分为植被、高反照度、低反照度和裸土四种基本要素, 所有像元都是这四种要素的混合, 该文为后来混合像元分解在城市中的应用奠定了一个理论基础^[4,7~9]。基于这个模型, 植被作为一个端元其意义是明确的, 很多研究通过获取植被盖度揭示城市绿色空间及其生态效应, 另外有一些学者将低反照度端元

中的水面掩膜去除后与高反照度端元建立定量模型, 获取城市不透水面盖度. 由于城市不透面对城市热环境、大气环境等影响显著, 其地理学意义也是明确的. 而对高、低反照度端元本身的城市地理研究在国内外还没有见到. 本文通过大量的野外实测光谱数据的检验以及航空影像上实地样本检验, 发现低反照度端元(除水面外)基本上与老城区陈旧建筑相一致, 而高反照度端元则与新建建筑吻合. 因此, 通过高低反照度两种端元的盖度在不同时相上的变化, 可以表征城市景观格局, 特别是旧城改造的时空演变特征.

图 1 研究区的地理位置图

上海位于中国东部地区, 长江入海口的南侧(图 1), 曾是面临旧城改造任务艰巨的城市. 上个世纪 80 年代初, 大量棚户区的存在和长期人均居住面积不足 4 平方米的现状, 使以改善长年困扰上海市民的居住条件和生活环境为核心的旧城改造和新区建设, 成为一项重要工作. 经过两个阶段的努力, 上海成为旧城改造比较成功的城市. 利用遥感技术来探测旧城改造的空间格局和变化模式具有重要的意义. 首先, 旧城改造的空间格局揭示了城市空间结构的演变特征以及城市功能分区的调整方向, 为未来的城市规划提供基本的思路; 其次, 由于旧城改造规模越来越大, 使用遥感技术来研究旧城改造, 将会为旧城改造工程的规划、实施以及效果评估提供一种低成本、高效的手段; 最后, 遥感与城市地理的结合是一个值得开辟的方向. 1997~2000 年也正是上个世纪 90

年代是上海第一轮旧城改造中的高峰阶段^[10], 本文尝试在端元选择改进的基础上采用线性光谱分解技术, 定量分析上海市 1997~2000 年间旧城改造的时空格局与变化模式, 进行城市景观遥感地理学研究的探索.

1 方法与技术路线

1.1 线性光谱分析原理与端元选择的改进

线性光谱分析假设每一光谱波段中单一像元的反射率为各端元组分特征反射率与它们各自比率的线性组合. 其数学模型可以表示为^[5]:

$$R_i = \sum_{k=1}^n f_k R_{ik} + ER_i, \quad (1)$$

$i=1, \dots, m$ (光谱波段数); $k=1, \dots, n$ (端元数); R_i 为第 i 波段像元反射率, 其包含一种或多种端元组分; f_k 为一个像元内第 k 个端元的反射率所占比率; R_{ik} 表示一个像元内端元 k 在第 i 波段上的反射率. ER_i 是第 i 波段的误差. 对于(1)式, 用最小二乘法可解.

$$\text{RMS} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m ER_i^2 \right) / m}, \quad (2)$$

(2)式表示求解过程中的均方根误差, 从上述分析可见 RMS 越小, 表示总体误差越小. 在光谱端元的选择上, 首先在求解端元所占比率 f_k 的过程中, 采用有约束条件的最小二乘方法, 要求 f_k 同时满足以下两个条件:

$$\sum_{k=1}^n f_k = 1 \quad \text{和} \quad 0 \leq f_k \leq 1. \quad (3)$$

这样就保证了每种光谱端元所占比率的值在 0~1 之间, 同时所有端元所占比率之和等于 1, 避免了一种端元在一个像元内所占比率大于 100%, 或者为负值的现象.

大量研究发现, 通过使用 MNF 变换将信噪比最大的信息集中于前几个主成分, 同时降低波段之间的相关性^[11,12], 对分解的精度有明显提高. 但从以上线性光谱混合分析原理可以看出, 端元数目的确定及选择是解混精度的决定性因素. 由于光谱混合分析技术是针对混合像元分解, 端元选择最好的方法是采用端元光谱的试验测量值, 这种端元被定义为参照端元(Reference endmember). 尽管在遥感影像的大气校正中存在潜在的问题, 对此解决的方法是认为混合光谱作为从影像提取的端元的线性组合, 这

种端元被称为影像端元(Image endmember)^[8]. 实际上,任一影像端元都是参照端元的组合,还包括大气散射和吸收^[13]. 由于城市地表覆盖物质波谱信息十分复杂,加之大气影响的复杂性,大量研究证明,利用从影像本身直接提取的影像端元,分解精度更高^[4-6,8].

为了提高解混的精度,本文对端元选择的方法进行改进:首先引入像元纯度指数,将选择范围限定在了数量很少的高纯度像元内. 其次,通过编程实现在三维空间中选择端元,并与原始的影像、航空影像以及像元纯度筛选结果实现交互.

() 像元纯度指数算法(Pixel Purity Index, PPI)

像元纯度指数,是用来确定高纯度像元的一个指标^[14]. 计算像元纯度指数是为了在多光谱数据中更好的寻找光谱端元. 计算原理是把每个像元作为一个 n 维向量,所有像元就组成了一个向量空间 V . 在这个向量空间中基并不惟一,必然存在全部由位于边界位置的向量组成的基 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$,可以用它们的线性组合来表示所有其他的向量. 这些处在边界位置的向量在投影到随机产生的单位向量上时,出现在随机单位向量边缘的概率最大,如果有大量的随机单位向量,这种概率将以频率的形式表现出来. 从混合像元的角度考虑,这些边界位置的向量是相对较为“纯净”的像元,而被这些边界像元所包围的其他像元,则是可以由这些“纯净”像元的线性组合表示的“混合”像元. 为了找到这些处于边界位置的、相对“纯净”的像元,设计了PPI投影算法.

假设 skewer 为随机产生的任意 n 维单位向量,对每一个像元 pixel, 设定一计数器 c , 赋初始值为0. 作如下的投影运算:

$$dp = \sum_{i=1}^n \text{pixel}[i] \cdot \text{skewer}[i]. \quad (4)$$

设定一个阈值 M , 当 $|dp| \geq M$ 时, 计数器 c 在原有基础上加1, 反之, 保持不变, 产生大量这样的 n 维随机单位向量. 对所有随机产生的单位向量, 都进行上述运算, 最后每个像元 c 值将逐渐趋于稳定, 运算结束后每个像元的 c 值确定. 不同像元 c 值的大小, 代表了不同像元的纯净度指数, 即PPI. 图2以二维向量进行了简要说明, 对这些散点在随机的单位向量上进行了投影, 位于边缘的点将被记录一次, 随之, 该点的PPI值加1. 图中圈出的点就是被选出的极值点^[14].

图2 二维空间中点被投影到随机向量上的示意图

在研究选择的范围内, 像元总数为 1665292 个, 按照上述 PPI 算法, 当迭代 10000 万次的时候, 选择出来的纯净像元数为 71046 个, 占到总数的 4.26%; 增加迭代次数, 纯净像元数会增加, 当增加到 15000 次时, 纯净像元基本上保持稳定了, 纯净像元为 87608 个, 占总像元数的 5.26%. 这样将 PPI 结果与原始影像经过 MNF 变换后的结果进行叠置, 将非纯净像元全部掩去. 由此可见, 通过引入 PPI, 总体上将端元的选择范围减少了 95% 左右, 选择范围大大减小.

() 三维 MNF 成分空间中光谱端元选择和解混

对于城市地表覆被光谱端元的构成, 大量研究的普遍观点是, 包括三种或者四种端元. 即, 以玻璃、新的水泥混凝土表面、浅色装饰材料等为主的高反照度(High albedo)端元; 以河流水面、沥青、老式建筑的屋顶材料等为主的低反照度(Low albedo)端元; 第三种是草地和树林组成的绿色植被; 部分研究城乡结合区域, 还将裸土作为第四种端元^[9]. 但对城市内部而言, Small在对全球ETM+遥感数据场普遍分析的基础上得出结论: 可以用植被, 高反照度地物和低反照度地物三种典型地物的线性组合来描述城市遥感数据场^[5]. 图3清楚描述了对应于前两个MNF成分像元的特征空间. 由于端元一般分布在特征空间的角上最外部, 越往角的边缘, 说明纯度越高. 下图中三个角上分别标注了其对应的端元. 在理论上如果所有像元都处于由端元构成的三角形的空间内部, 解混模型可认为是一个理想的线性模型^[7].

传统方法在选择端元时, 只考虑了MNF变换后主成分中的两个维度(如图3)^[15], 对于也包含较多信息的其他成分则忽视了^[16]. 本文利用PPI结果, 将不

纯像元掩去后,通过编程构造了一个三维特征空间,其中每一个点代表原始影像中高纯度的一个像元(图 4),并且实现了与原始影像的交互,即选中其中任一个点,原始影像就会自动关联到该点对应的像元并放大显示,同时还与 PPI 结果相关联,确定该像元的纯度值.这样我们在三维特征空间中点构成的多面体边缘选择端元,通过旋转、倾斜坐标轴,从不同角度和方向对像元点构成的多面体及其在各个面上的投影进行观察,同时与原始影像交互,另外还可以与高分辨率的航空影像关联,检验其地表景观构成是否单一,再利用 PPI 结果设定纯度值的门槛.通过不断交互比较,分别在三个角的顶点处各选择 100 个点作为植被、高反照度、低反照度的光谱端元.对选取

图 3 MNF 变换后的前两个主成分两两之间的散点图

图 4 在 MNF1~3 的三维空间中像元的散点分布

的端元计算均值,得到了 3 种端元在各个波段上的光谱值(图 5).

图 5 端元在各个波段上的反射率

1.2 对高低反照度端元的光谱与地物检验

() 波谱仪实测地物反射光谱检验

城市地表景观材质高度复杂,但仍有规律可寻.为了揭示城市地表景观反射波谱特征,我们利用波谱仪,对上海市城市典型地物的反射波谱进行了野外实地测量,测量点为 171 个,测量波谱数目 2305 条.对于上海城市人工建筑表面可以划分为三种类型:道路、屋顶和少量的裸土表面,夏季的中心城区裸土很少,没有考虑.由于一些高楼大厦屋顶广泛采用的玻璃、金属材料,其基本上为镜面反射,通过测定,发现反射率很高,基本上都溢出了波谱仪的测量范围;而对于新建建筑使用最多的还是由水泥和装饰材料构成的新水泥混凝土表面,经过多次测量,发现其反射率在 400~900 nm 范围内都要高于 35%,远远高于旧水泥表面、瓦片屋顶以及沥青表面.对于上海老城区来说,最主要的建筑表面是青瓦片屋顶,通过实测的波谱值可以看出,旧的水泥表面也明显高于青瓦片屋顶¹⁾.另外,过去建筑屋顶和道路表面广泛采用的沥青,反射率很低,但在上海近些年来被一些水泥混凝土、建筑装饰材料、玻璃、金属以及屋顶绿化等所取代,基本上较少使用了.因此,采用高低反照度端元来反映城市建筑的新旧程度是切实可行的.

另外,从图 6 可以看出一些老式建筑表面实测的光谱值与图 4 分解得到的低反照度端元反射率变化具有相反的趋势.主要原因为像元分解使用的影像没有经过大气校正,由于大气中存在的颗粒物体引起的大气程辐射(包括瑞利散射和米氏散射)随着波长增加而降低;另外大气中的水蒸汽,在红外波段对

1) 徐丽华. 大气辐射遥感影像与大气环境质量研究——以上海市为例. 博士学位论文. 上海:华东师范大学, 2005. 10~16

辐射的吸收总体上高于可见光波段. 两个原因共同导致上述结果, 但是总体上看, 对用高低反照度端元来表征新旧建筑表面的影响并不大.

图6 几种典型的城市建筑表面的实测波谱反射率

() 在航空影像选择实地样本检验

为进一步明确高反照度端元与新建建筑的对应情况, 利用高分辨率彩色航空影像, 随机选择了 75 个 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的空间样本, 对其中新建筑物进行手工数字化并统计, 再利用这些样本对解混得到的高反照度端元盖度进行统计, 对统计结果的比较如图 7. 虽然由于时相不统一、新建筑物的判断误差以及数字化误差等存在, 但是高反照度地物与新建筑物的一致性还是很明显的, 统计二者平均误差只有 0.044, 由此可见通过高分辨率航空影像的实地检验, 可以用高反照度端元来代表新建建筑.

图7 航空影像上实地样本高反照度地物与分解结果的比较

1.3 光谱分解精度检验

() 最小二乘求解中 RMS(Root Mean Square)误差

线性光谱分解过程中, 图像预处理、光谱端元数量的确定、端元的选择以及最小二乘求解都会产生一系列误差, 影响着最终分解的精度^[4]. 为了评价计算精度, 首先利用均方根误差对总体精度进行评价. 根

据(2)式, 显然RMS越小, 计算的准确性越高. 图8为2000年应用线性模型解算过程中产生的对每个像元的RMS值图像. 最大RMS只有0.0867, 对照RMS的直方图, 发现绝大部分RMS都小于0.01左右, 其中小于0.02的要占到98.5%, 这个值要小于Small等人计算结果^[4], 可见本研究总体精度较高. 但是从RMS的空间分布上看, 不同的区域差别很大. 总体上城市建成区明显高于郊区, 老城区高于新城区, 浦西地区高于浦东地区. 但是城区一些纯度较高的区域, 例如大面积水面、绿地等性质单一的区域均方根误差都比较小. 相对来说, 纯净较高的像元误差较小, 混合像元误差较大, 在混合像元内部组分越复杂, 误差越大, 说明可能还存在着另外的光谱端元, 对这些弱的光谱端元(城市光谱反射弱信息)的提取将是今后城市混合像元分解研究中的重要问题.

() 高分辨率航空影像的抽样检验

根据上述解混的原理, 在单个像元内, 三种端元的盖度是一种线性关系, 而且总和等于1, 这样如果我们通过检验能够确定其中一种或者两种是相对精确的, 那么就可以说明解混的总体精度相对较高. 在城市中心区, 如上文所说, 除了水面外高低反照度端元盖度之和就可以表示为城市不透水面^[7], 不透水面景观在视觉上的空间范围容易确定. 因此, 我们在高空间分辨的航空影像(对水面做了掩膜处理后的)上随机选择一定数量的样本, 手工数字化出来不透水面的范围并统计面积, 并利用这些空间样本对上述解混的结果进行统计运算, 获取解混得到的不透水面的面积, 通过二者的比较来说明上述解混的精度.

我们在彩色航空遥感影像上随机选取127个 $150\text{ m} \times 150\text{ m}$ 的矩形窗口, 一个基本原则是内部要包含一定数量的城市建筑, 然后对127个矩形窗口内的不透水面进行手工数字化, 来获取每个窗口内实际不透水面的比重. 然后利用这些矩形窗口, 对上述解混获得的高、低反照度盖度之和进行抽取, 得到上述模型计算后的解混结果, 对二者进行比较并计算参差, 结果如图9. 除了个别窗口内参差大于0.4外, 主体部分都在 ± 0.2 以内, 而且参差随着不透水面比重的增加而减少. 与国外没有改进的同类研究相比^[7], 精度有明显提高.

2 结果与分析

2.1 线性光谱分解结果

按照上述原理对预处理后的影像进行线性分解,

图 8 均方根误差影像及其频率分布图

图 9 不透水面盖度计算值的精确度诊断结果

图 10 与图 11 分别是 1997 和 2000 年上海市外环线以内的解混结果, 1997~2000 年正是上海市第一轮旧城改造的攻坚阶段, 城市高速扩展, 城市建设日新月异. 这些新建筑采用的建筑材料基本上都是金属、玻璃、水泥混凝土等, 其光谱特征大部分都表现为较高的反照率. 图中可以发现, 高反照度地物盖度, 城区与郊区之间差异显著, 在郊区除了个别的集镇外, 其他的都很小. 而在城市内部, 老城区与新城区差异很大, 基本上都分布在城市扩展的前缘地带以及旧城改造后新建的住宅区等. 而低反照度的地物, 反映的是水面、陈旧的建筑, 粉尘污染比较严重的重工业区, 在人民广场到外滩之间苏州河两岸上海市的老城区, 以工业用地为主的吴淞口地区都是高值区. 3 年间变化的主要特征是, 由于旧城改造和城市扩展的同时进行, 城市中心区, 很多低反照度的老式建筑被高反照度的新建筑和植被所替代, 城市外围则主要由农田植被转变为高反照度的新建筑. 但是对城市生态环境的日益重视, 在城市内部的植被覆盖明显增加, 特别是城市内部的新建公园和大型绿地, 植被盖度表现为较高的值,

特别是新江湾城、共青森林公园、陆家嘴绿地以及长风公园等, 2000 年植被盖度都达到了 60% 以上.

2.2 1997~2000 年浦西内环以内旧城改造的格局与模式

根据上述分析, 发现利用端元选择改进后的线性光谱分解方法, 解混的精度较高. 通过光谱检验和实地样本检验两种方法, 证明利用高低反照度端元的盖度可以很好的表征城市建筑的新旧程度, 因此对其在不同时相上的变化, 可以用来探讨分析新城区的空间扩展(将在另文专门讨论)和老城区的旧城改造两个方面的城市地理问题. 本文选择 1997 和 2000 年两个时相的 TM、ETM+ 影像, 鉴于这个阶段正处于上海第一轮旧城改造的高峰时段, 因此本文重点对该时段浦西内环内老城区(该区域改造面积占总改造面积的 90%)旧城改造的格局、规模与模式进行讨论.

对于低反照度端元来说, 除了水面外, 其他的基本上都是陈旧建筑, 而水面在不同时相上反射率变化很小, 因此像元内部如果低反照度端元所占比重有显著提高, 就认为该像元进行了旧城改造. 考虑到一个像元由三种成分组成, 经过多次试验, 我们选择 15% 作为一个门槛值, 即从 1997~2000 年若一个像元内低反照度端元比重增加超多 15%, 即认为该像元经过了旧城改造. 同样, 通过对该像元内部高反照度端元比重和植被端元比重变化的比较, 决定是从老建筑变成新的建筑, 还是改变为以植被为代表的强调生态功能的绿色空间. 即, 对于确定旧城改造的像元, 如果植被盖度增加了 15% 以上, 则该像元内的旧城改造基本上是从低反射率的陈旧的老式建筑变化为绿色植被, 同样, 若该像元内高反照度端元比重若

图 10 上海市 1997 年线性光谱分解的结果

图 11 上海市 2000 年线性光谱分解的结果

增加了 15% 以上, 则认为该像元内的旧城改造以新建建筑为主; 而如果植被和高反照度端元都增加, 但是都没有超过 15%, 则认为该像元内的旧城改造既有新建建筑, 又增加了植被覆盖度。根据这个原则, 在 ARCGIS/GRID 模块下通过栅格计算, 得到了上海市 1997~2000 年中心城区旧城改造的格局、规模与模式, 结果如图 12 所示。图上红绿蓝三色表示进行过旧城改造的区域, 红色表示由改造为新建建筑为主; 绿色则表示改造为植被为主, 蓝色表示二者兼有。

从结果可以看出, 作为第一轮旧城改造的后期, 改造的焦点区域已经从城市核心 CBD(南京路和淮海路之间, 以及豫园周围)向外扩展到内环线附近。改造为新建建筑为主的区域除了杨浦区、虹口区靠近黄浦江的区域外, 其他都分布在普陀区、长宁区、徐汇区以及卢湾区靠近内环线的一侧, 形成一个旧城改造热点环带。该轮旧城改造的另外一个显著特点就是新建建筑的同时伴随着植被恢复和大量的公园绿

图 12 1997~2000 年像元尺度上旧城改造的格局与模式

地建设。其中绿色植被显著提高区域主要包括两块: 一是徐汇北部的湖南路和天平路两个街道, 这里是

过去的法租界,以老式别墅建筑为主,由于间隔开阔,近些年来通过植被恢复,植被又以树为主,建筑基本上都被绿树掩盖,植被盖度有显著提高.另外几处分别为虹口区和长宁区内环附近以及卢湾区的北部由老式建筑而改造的大型绿地,例如西部延安高架和内环高架交界的天山公园大型公共绿地;北部改造后的鲁迅公园、和平公园等.而在上述旧城改造热点的环带内部与 CBD 的外部之间,大部分从老式住宅区改造为新式住宅和行政办公用地,建筑密度降低,同时增加了植被覆盖,因此这些区域的改造同时包括新建建筑和增加植被覆盖.

上海市第一轮旧城改造(1992~2000 年)是以 365 万平方米危棚简屋面积为工程总体名字的“365”旧城改造工程,据统计,总计改造了 3800 万平方米的旧城,其中危房超过 400 万平方米,100 万居民通过优惠购买公房的方式搬进了新居.其中仅 1995~2000 年,上海就拆除了大约 3000 万平方米历史上遗留下来的建筑¹⁾.按照光谱分解变化的计算结果,1997~2000 年间,浦西内环线内进行过旧城改造的面积为 1576 万平方米,占到了上海市统计的第一轮旧城改造总面积的近一半,占浦西内环总面积的 19.93%;其中以新建建筑为主的改造大约占到 7.90 平方公里,占 1997~2000 年旧城改造面积的 50.13%;以植被恢复和绿地建设为主的旧城改造大约为 2.72 平方公里,占改造总面积的 17.26%;二者兼而有之的占到 32.61%.由此可见,1997~2000 年间,上海市旧城改造的力度很大,在建筑物改造中以居住和行政办公区为主,同时伴随大规模的基础设施建设,内环高架、延安高架、南北高架以及地铁一、二号线以及轻轨三号线大多数都是在这期间建设或者正在建设.在旧城改造中加大植被覆盖建设,绿色植被面积大幅提高.光谱分解的结果与统计数据基本一致,只是由于两幅影像的时相差异,一是 1997 年 4 月,另外一幅是 2000 年 6 月,后者植被的茂密程度明显高于前者,因此

植被盖度的增加值相对偏大.

2.3 在街道尺度上看上海旧城改造的格局与模式

由于像元尺度分辨率过小,我们利用街道的行政单元对上述旧城改造的结果进行统计分析,将旧城改造及其流向的面积统计到各个街道政区上,进一步分析,1997~2000 年上海市中心城区旧城改造的空间格局和模式特征.

从街道尺度上来看(图 13),1997~2000 年的旧城改造格局特征更加明显,重点区域都是沿着外围的内环线分布,从北向南,沿着内环线的重点街道包括杨浦区的四平路、江浦路和平凉路街道;虹口区的新港路街道;普陀区的长寿路街道;长宁区的华阳路和新华路街道;徐汇区的徐家汇、湖南路和天平路街道.而在内部人民广场以东的城市核心区旧城改造面积较少.其中改造力度最大的就是徐汇区的徐家汇街道和天平路街道.在改造模式上,以改造为新建建筑为主面积较大的街道主要有北部杨浦区的江浦路和平凉路街道;西部普陀区的长寿路街道;南部徐汇区的徐家汇街道和卢湾区的打浦桥街道,构成一个开口向东的半环形.而绿色植被为主改造面积较大的街道包括,北部的四平路街道,南部的天平路、湖南路和华阳路街道等,形成一南一北两个集中区,其中最集中的是南部徐汇、静安、长宁和卢湾交界的区域,而在中部的苏州河沿岸以及东部的黄浦区,由于地价极高,受经济利益的驱使,旧城改造中绿色植被面积增加非常少^[17,18].就是在外围以绿色植被为主的改造区基本上也是在原来一些植被覆盖较好的区域或者公园的基础上进行植被恢复或者新的植被建设;一些完全在老式建筑基础上新建的绿地还很少,而且规模比较小,主要分布在一些大型立交周围;但在一些新建建筑中间建设的居住绿地虽然规模较小,但是分布较广,对中心城区生态环境的改善具有积极影响.

图 13 街道尺度上旧城改造的格局

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/972005-65>

1) 王蔚, 傅国林. 上海旧城改造成绩斐然 250 万居民告别危棚简屋. 文汇报, 2003 年 7 月 17 日

3 结论与讨论

本文以 Landsat 卫星的 TM 和 ETM+遥感影像为数据源,利用改进后的线性光谱分解技术,以旧城改造为例,探讨了城市景观变化的遥感地理学研究方法和意义,得到如下结论:() 针对城市线性光谱分解中的制约因素,引入像元纯度指数,将端元的选择范围降低了95%左右;构造三维特征空间,相对于传统的二维空间选择方法,多考虑了一个维度并且和原始影像、高分辨率航空影像以及 PPI 结果的交互比较,端元选择的准确率大大提高。() 提出了将高低反照度和植被端元的时空变化来反映旧城改造的格局和模式的思想,为城市景观变化的遥感地理学研究提供了一个新的思路。该思想的前提是建立在严格的光谱检验和实地检验的基础上的。通过大量野外实测地物反射光谱和在高分辨率彩色航空影像上随机选择样本的检验,都说明了可以用高低反照度端元盖度变化表征旧城改造的格局、规模与模式。() 对两个时相的光谱分解结果的定量运算,揭示了上海市旧城改造的格局与模式特征:在像元尺度上,当时的改造焦点已从核心的 CBD 向外扩展到内环沿线的半环状区域;老式旧建筑改造为新建建筑是最主要的改造模式;但是同时也伴随着植被的恢复和新的绿色植被建设;近三分之一的改造在新建建筑的同时,建筑密度降低,植被覆盖率增加,主要表现为一些新式住宅和行政办公区。街道尺度上,改造幅度最大的为四平路、江浦路、长寿路、徐家汇和天平路五个街道;苏州河沿岸和黄浦区各个街道改造力度已很小了,以新建建筑为主的改造模式主要分布在东北、西部和西南三块;而以植被覆盖为主的改造集中在南北两块的天平路和四平路街道。() 尽管通过端元选择的改进,解混精度相对国外现有研究有很大提高。但从本质上看改进后的端元选择仍然缺乏定量衡量标准。此外由于城市地表覆盖景观结构过于复杂,影像的时相差异,新建城市建筑中也存在一些反射率较低的特殊材料等,研究结果还存在一定偏差,例如,由于时相原因导致植被覆盖率的增加明显过快。如何确定一种定量的端元评价方法并实现自动选择,同时通过波谱分析找到新旧建筑中不同反射率的典型地物,都是下一步需要深入研究的问题。

致谢 作者对季维教授和两位审稿专家为本文提出了非常富有建设性的意见和建议表示感谢。本研究受国家自然科学基金资助(批准号:40371092)。

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/972005-65>

参 考 文 献

- 1 陶秋香,陶华学,张连蓬. 线性混合光谱模型在植被高光谱遥感分类中的应用研究. 勘查科学技术, 2004, (1): 21—24
- 2 Shimabukuro Y E, Smith J A. Least squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1991, 29: 16—20[DOI]
- 3 Emma U, Susan U, Deanne D. Mapping nonnative plants using hyper-spectral imagery. Remote sensing of environment, 2003, 86: 150—161[DOI]
- 4 Small C. Estimation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(7): 1305—1334[DOI]
- 5 Small C. Multitemporal analysis of urban reflectance. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 427—442[DOI]
- 6 吕长春,王忠武,钱少猛. 混合像元分解模型综述. 遥感信息, 2003, (3): 55—60
- 7 Small C. The Landsat ETM+ spectral mixing space. Remote Sensing of Environment, 2004, 93: 1—17[DOI]
- 8 Wu C. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. Remote Sensing of Environment, 2003, 84: 493—505[DOI]
- 9 Ridd M K. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16: 2165—2185
- 10 姚昆遗. 为上海旧城改造把脉. 北京规划建设, 2004, 1: 151—153
- 11 马建文,赵忠明,布和敖斯尔. 遥感数据模型与处理方法. 北京: 中国科学技术出版社. 2001. 62—70
- 12 Smith M O, Johnson P E, Adams J B. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal components analysis. Journal of Geophysical Research, 1985, 90: 797—804
- 13 Van Der Mee F, De Jong S M. Improving the results of spectral unmixing of Landsat Thematic Mapper imagery by enhancing the orthogonality of end-members. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21: 2781—2797[DOI]
- 14 Boardman J W, Kruse F A, Green R O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data: in Summaries, Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 95-1, 1995, 1: 23—26
- 15 Weng Q, Lu D, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 2004, 89: 467—483[DOI]
- 16 Gillespie A R, Smith M O, Adams J B, et al. Interpretation of residual images: spectral mixture analysis of AVIRIS. Proceedings of the 2nd AVIRIS workshop, 4-5 June 1990 (Pasadena, CA: JPL): 243—270
- 17 徐建华,岳文泽,谈文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律——以上海中心城区为例. 地理学报, 2004, 59(6): 1058—1065
- 18 岳文泽,徐建华,谈文琦,等. 城市景观多样性的空间尺度分析——以上海市外环线以内区域为例. 生态学报, 2005, 25 (1): 122—128

(2005-09-23 收稿; 2005-11-07 接受)