

# 基于不透水地表比例的城市扩展研究

李俊杰<sup>1</sup>, 何隆华<sup>2</sup>, 戴锦芳<sup>2</sup>, 李杏朝<sup>1</sup>, 傅俏燕<sup>1</sup>

(1. 中国资源卫星应用中心, 北京 100830;

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:**不透水地表比例是衡量城市化水平的一个重要指标,采用不透水地表比例可以研究城市的空间变化和扩展并量化城市空间变化和扩展的强度。使用多端元光谱混合分析方法可以从 TM 影像中提取亚像元尺度的不透水地表比例,用该方法从两个时相的 TM 影像中提取南京都市发展区不透水地表比例,在此基础上定性和定量地分析该区域的空间变化和扩展。

**关 键 词:**多端元光谱混合分析;不透水地表;城市扩展

**中图分类号:**TP 79      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-0323(2008)04-0424-04

## 1 引 言

最近 30 年来中国城市的城市化和城市扩展 (Urbanization & Urban Sprawl) 迅速,受到了普遍的关注和研究,越来越多的人口居住在城市里。城市扩展,随着人口增加的趋势一个明显的效应就是自然覆盖的类型景观转变为不透水地表<sup>[1]</sup>。不透水地表是指房屋屋顶、沥青水泥道路、停车场等不透水的地表面。不透水地表作为人为的不可渗透的地表特征,它是表征城市环境的一个重要因子,也是城市化水平的一个重要指标,因此我们可以采用不透水地表比例(丰度)的变化来检测和量化城市的空间扩展以及它的强度。

相比较于传统的城市变化检测方法,如波段相减、比值 (band differencing, rationing), 变化矢量 (change vector) 和分类后处理 (post-classification) 等方法,通过检测不透水地表比例(丰度)变化的方法来研究城市变化有以下两个优点:①不透水地表比例是亚像元尺度,相对于传统的像元尺度,精度更高;②不透水地表比例提供的信息更为丰富,不但可以研究城市空间上的变化和扩展,还可以表现出空间变化和扩展上的强度信息。

采用中等分辨率卫星影像来提取亚像元尺度的不透水地表比例的方法有多种,如决策树方法<sup>[1,2]</sup>、多元回归方法<sup>[3]</sup>、人工神经网络方法<sup>[4]</sup>、光谱混合分

析方法<sup>[5~12]</sup>等。论文采用多端元的光谱混合分析方法分解南京都市发展区两个时相的 TM 影像,得到研究区两个时相的不透水地表比例,并在此基础上获取南京都市发展区的扩展区域以及变化强度信息。

## 2 研究区概况及不透水地表比例获取

### 2.1 研究区概况

南京是长江流域四大中心城市之一和长江三角洲西部的枢纽城市,同时它也是中国著名的四大古都之一。南京是中国重要的综合性工业生产基地,华东地区重要的交通、通讯枢纽,全国四大科研教育中心城市之一。据 2000 年第五次人口普查统计,南京市人口总规模已达 623.8 万,居住在城镇的为 443.5 万人,占总人口的 71.09%。南京市域总面积 6 597 km<sup>2</sup>,现辖 11 个区和两个县:玄武区、白下区、秦淮区、建邺区、鼓楼区、下关区、江宁区、浦口区、六合区、栖霞区、雨花台区、溧水县和高淳县。

论文选择的研究区域为南京都市发展区,它是南京市规划局在南京市城市总体规划(1991~2010) 2001 年调整稿中提出来的区域<sup>[13]</sup>。南京都市发展区是指南京市域内以长江为依托,以主城为核心,以主城及新市区、新城为主体,以绿色生态空间相间隔,以便捷交通相联系的高度城市化地区。具体地域为玄武、白下、秦淮、建邺、鼓楼、下关、雨花、栖霞、浦口和大厂等区全部,江宁区的东山、东善

桥、江宁等乡镇,江浦的珠江、桥林、汤泉等乡镇,六合县的雄州、东沟、瓜埠等乡镇。南京都市发展区总面积约 2 947 km<sup>2</sup>,占南京市域总面积的 45%。

## 2.2 不透水地表比例获取

Ridd<sup>[14]</sup> 在 1995 年提出了 VIS (Vegetation, Impervious surface, Soil) 模型, VIS 模型把高度异质性的城市地表简化为植被、不透水地表和裸土的线性组合,为对城市地表的分解提供了一个实用和可靠的概念模型。基于 VIS 模型使用光谱混合分析的方法对中等分辨率遥感影像进行像元分解可以得到城市地表的 VIS 组成比例。

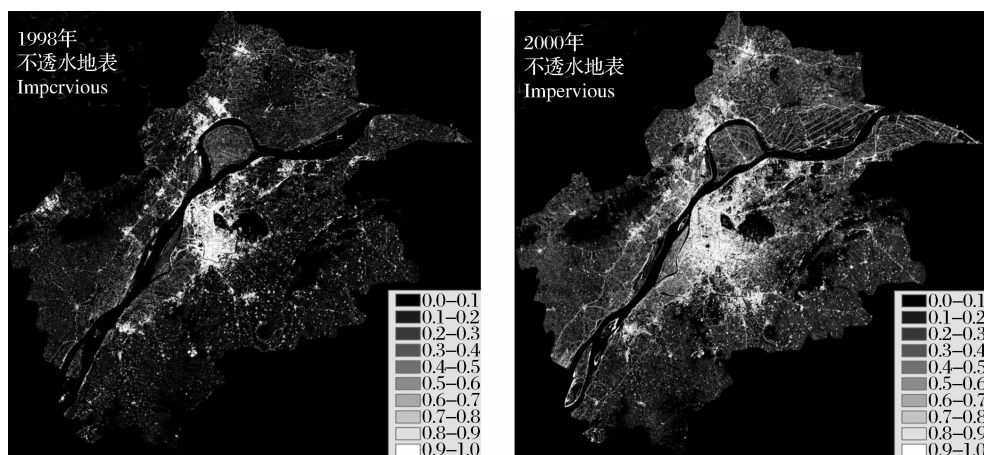


图 1 1988 和 2000 年研究区不透水地表丰度图比较

Fig. 1 Comparison of impervious surface fraction of studying area between 1988 and 2000

## 3 多时相城市扩展分析

图 2(见图版 VI)是对南京都市发展区 1988 年和 2000 年不透水地表丰度赋色后的彩图,这样在图 2 上对比 1988 年和 2000 年研究区的不透水地表丰度图可以发现城市扩展非常明显。图 2 中白色的圆圈是人为标上去的,圆圈旁的区域名表明了圆圈范围内区域的名称,圆圈所表明的范围只是核心区域并不是该区域精确的范围。我们可以看到由于长江和紫金山的限制,南京主城区主要在往南扩展,主城西南的河西地区(以位于穿越南京城的秦淮河以西而得名)是南京城市新的住宅和商业区,主城东南发展方向是往江宁区(东山)扩展,江宁主要是新的商品住宅小区、大学分校以及高新技术工厂园区;南京主城周边的“卫星”城镇,如大厂、浦口、珠江等,也有明显的发展,主要表现就是团块状向四周扩展。

2000 年的不透水地表丰度图与 1988 年的不透水地表丰度图进行波段相减运算,得到 1988 年到 2000 年研究区不透水地表变化图,见图 3(a)(见图

论文使用 Roberts<sup>[15~16]</sup> 1998 年提出的多端元的光谱混合分析 (Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis, MESMA) 方法对 1988 年和 2000 年研究区的 TM 影像进行分解,得到研究区域的不透水地表比例,如图 1 所示(说明:论文中比例和丰度是一个意思,指一个像元内某种组分的面积占像元总面积的比值)。利用 2000 年研究区的高分辨率卫星影像 IKONOS 对不透水地表比例的精度进行了验证,均方根误差 (Root Mean Square Error, RMSE) 为 9.48%。不透水地表比例获取的详细过程和精度验证可参考文献[17]。

版 VI), 负值和零值为背景色黑色,只对不透水地表比例变化为正值区域着色,图 3(a)中不透水地表比例增加了 30%~50% 区域着黄色,50% 以上区域着橙色和红色,考虑到丰度图的精度两幅图相减的平均绝对误差在 15% 左右,我们可以认为当不透水地表比例增加 30% 以上时,该区域是可能在城市化的区域,土地利用类型发生了变化或发生了同一土地利用类型内部的密化。图 3(a)中橙色和红色区域一般是土地利用类型发生了剧烈改变的区域,多为城市扩展带来的城市边缘裸地和农业用地的丢失。我们可以看到城市扩展的主要区域为南京主城的西南、南和东南方,见图 3(a)中椭圆 3、4 和 5 内区域,同时主城东北的栖霞区和长江以北的浦口区的城市区域也有相当的发展,圆圈 1 内为南京浦口区的高新技术产业开发区,2 为南京栖霞区的经济技术开发区,椭圆 3 为南京的河西地区,1988 年时为城市边缘的农业用地,主要为菜地,现在主要为中高密度居住区;4 是雨花台区域;5 是江宁区,主要是高技术工业、商品居住区和大学的分校,带来了该区

城市区域的急剧扩展。

图4和图3(b)(见图版VI)分别是江宁主要城市区域1988年和2000年不透水地表比例图和变化图,我们可以看到该区不透水地表的明显扩展和增加,区域内与外界联系的宽阔道路增加了,如图4和图3(b)方形区域,1988年到2000年增加的交叉道

路和立交桥(花神庙立交桥);图4和图3(b)中椭圆形区域内显示了1988年到2000年沿道路的不透水地表或城市区的扩展;图4和图3(b)圆圈区域内显示了城镇区向四周的扩展,图3(b)显示了江宁区城市的空间扩展以及扩展区域不透水地表比例变化的强度,橙色和红色区域为剧烈变化区域。

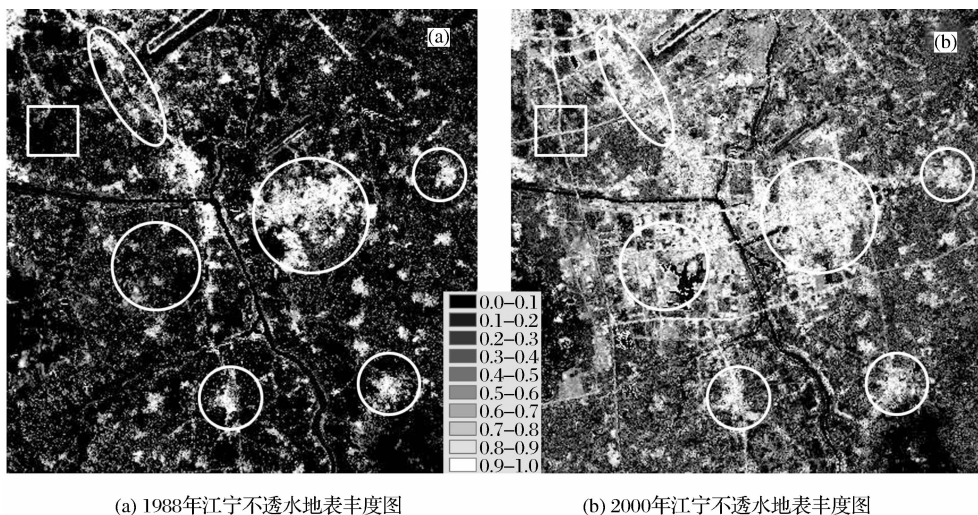


图4 1988年和2000年江宁不透水地表丰度对比图 and 变化图

Fig. 4 Comparison of impervious surface fraction of Jiangning between 1988 and 2000

## 4 结 语

城市自身的发展带来了内部结构的变化和向外的扩展,传统的使用中分辨率卫星影像对城市变化和扩展的研究都是基于像元级的变化检测,无法定量地反映城市内部变化和向外扩展的强度信息,使用不透水地表丰度研究城市扩展,相比于传统的城市变化和扩展的研究,不但得到了城市空间变化和扩展区域,还定量地刻画了城市变化和扩展区域的强度信息。此外,城市化过程往往伴随着城市土地利用覆盖类型的变化,针对特定的研究区应该可以找到不透水地表比例的变化值与土地利用覆盖类型变化之间的对应关系,这是值得深入研究和探讨的问题。

### 参考文献:

- [1] Xian G, Crane M. Assessments of Urban Growth in the Tampa Bay Watershed Using Remote Sensing Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97: 203-215.
- [2] Yang L, Hung C, Homer C G, et al. An Approach for Mapping Large-area Impervious Surface: Synergistic Use of Landsat 7 ETM+ and High Spatial Resolution Imagery[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2003, 29(2): 230-240.

- [3] Yang X. Estimating Landscape Imperviousness Index from Satellite Imagery[J]. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2006, 3(1): 6-9.
- [4] Sangbum L, Lathrop R G. Subpixel Analysis of Landsat ETM+/sup+/ Using Self-organizing Map (SOM) Neural Networks for Urban Land Cover Characterization [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(6): 1642-1654.
- [5] Rashed T, Weeks J R, Roberts D, et al. Measuring the Physical Composition of Urban Morphology Using Multiple End-member Spectral Mixture Models[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2003, 69, 1011-1020.
- [6] Wu C S, Murray A T. Estimating Impervious Surface Distribution by Spectral Mixture Analysis[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84: 493-505.
- [7] Wu C S. Normalized Spectral Mixture Analysis for Monitoring Urban Composition Using ETM+ Imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93: 480-492.
- [8] Lu D S, Weng Q H. Spectral Mixture Analysis of the Urban Landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ Imagery[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2004, 70(9): 1053-1062.
- [9] Lu D S, Weng Q H. Use of Impervious Surface in Urban Land-use Classification[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 102: 146-160.

- [10] Lu D S, Weng Q H. Spectral Mixture Analysis of ASTER Images for Examining the Relationship between Urban Thermal Features and Biophysical Descriptors in Indianapolis, Indiana, USA[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 104: 157-167.
- [11] Guan Z, Tian Q J. Studying the Urban Composition by Normalized Spectral Mixture Analysis[J]. Remote Sensing Information, 2006, 2: 5-10. [管仲, 田庆久. 利用归一化光谱混合分析方法研究城市组成[J]. 遥感信息, 2006, 2: 5-10.]
- [12] Qian L X, Cui H S. Urban Surface Composition Analysis Based on the Normalized Spectral Mixture Model[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2006, 2: 64-68. [钱乐祥, 崔海山. 运用归一化光谱混合模型分析城市地表组成[J]. 国土资源遥感, 2006, 2: 64-68.]
- [13] Nanjing Urban Planning Bureau. The General Urban Plan of Nanjing City (1991-2010) 2001 Revised[M]. 2001: 1-2. [南京市规划局. 南京市城市总体规划(1991-2010) 2001年调整稿[M]. 2001: 1-2.]
- [14] Ridd M K. Exploring a V-I-S (Vegetation-impervious Surface-soil) Model for Urban Ecosystem Analysis through Remote Sensing: Comparative Anatomy for Cities[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(12): 2165-2185.
- [15] Roberts D A, Gardner M, Church R, et al. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains Using Multiple Endmember Spectral Mixture Models[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 65: 267-279.
- [16] Roberts D A, Numata I, Holmes K, et al. Large Area Mapping of Land-cover Change in Rondonia Using Multitemporal Spectral Mixture Analysis and Decision Tree Classifiers[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(D20): 8073.
- [17] Li J J. Remote Sensing Research of Urban Surface Based on the Method of Spectral Mixture Analysis-a Case of Nanjing Metropolitan Developing Area[D]. A Dissertation for the Master's Degree, Chinese Academy of Sciences, 2007, 5, 11-26. [李俊杰. 基于光谱混合分析方法的南京市地表遥感研究-以南京都市发展区为例[D]. 中国科学院研究生院硕士学位论文, 2007, 5, 11-26.]

## Urban Sprawl Study Based on Impervious Surface Percent

LI Jun-jie<sup>1</sup>, HE Long-hua<sup>2</sup>, DAI Jin-fang<sup>2</sup>, LI Xin-chao<sup>1</sup>, FU Qiao-yan<sup>1</sup>

(1. China Center For Resources Satellite Data & Application, Beijing 100073, China;

2. Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Impervious surface percent is an important index to indicate urbanization level; it can be used to study the change and spatial extension of urban area quantitatively. Multiple endmember spectral mixture analysis method was used to extract sub-pixel level of impervious surface percent from TM image. This paper applies that method to extract the impervious surface percent of Nanjing Metropolitan development area from two temporal TM images. Then based on impervious surface percent, the change and spatial sprawl of study area was analyzed qualitatively and quantitatively.

**Key words:** Multiple endmember spectral mixture analysis; Impervious surface; Urban sprawl