

# 基于高分辨率遥感影像的广州城市 土地覆被分类系统\*

李淑圆, 周静妍, 余世孝

(中山大学生命科学学院//广州市城市景观生态演变重点实验室, 广东 广州 510275)

**摘要:** 土地覆被分类系统是城市景观研究的基础。近年来对地观测技术发展迅速, 遥感影像的质量与分辨率有了极大的提升, 为土地覆被的研究提供了强大的基础数据, 而科学合理的分类系统则是土地覆被研究的前提。根据不同的研究目的和遥感数据的特点, 各国学者先后提出构建不同层次不同类型的土地覆被或土地利用分类系统, 但迄今仍没有一个为国际学术界广泛认可和具有普适性的分类系统。本文基于多光谱与全色波段融合后的 2 m 分辨率高分一号影像数据, 依据地物自然属性、形态及光谱特征, 提出了一个适用于城市区域的土地覆被分类系统, 并以广州市为例图示了分类结果。该分类系统着重于城市生态系统的特点, 为非重叠的层级体系, 第一、二层级有固定的类别与依据, 第三层级为开放性层级。其中一级类别划分为建成区、植被、水体和裸地 4 类, 二级类别分别划分为商住区、工业区、道路; 林地、灌丛、草地、农田; 河流、库塘等 9 类。分类结果包含二级类别的全部土地覆被类型, 总体精度达到 90.1%, 符合技术要求, 具有推广意义。

**关键词:** 城市土地覆被; 分类系统; 高分一号; 景观分类

**中图分类号:** Q948.15<sup>+</sup>2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2016) 05-0082-07

## Land cover classification system in the city of Guangzhou based on high-resolution remote sensor data

LI Shuyuan, ZHOU Jingyan, YU Shixiao

(School of Life Sciences//Guangzhou Key Laboratory of Urban Landscape Dynamics,  
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Land cover classification system is the basis for urban landscape studies. In recent years, the rapid development of earth observation technique provides the researches of land cover with a great amount of remote sensing images with high resolution. Many scientists have established various types of systems base on the distinguishing features of different remotely sensed data, but none of which can be used pervasively or be widely recognized in the international academia. In this paper, we proposed a classification system based on the sharpened GF-1 data with 2 meter resolution and fit for the urban area. We took Guangzhou city as an example to illustrate the application of this classification system. In this classification system, we focus on the characteristics of urban ecosystem and make it a hierarchy system without overlapping within the classes. The first two layers of the system are solid and classified with certain scientific basis, and the third layer is open for different uses. We divided the first layer into 4 parts, which include: build-up area, vegetation, water and bare land. The second layer combined with residential and commercial area, industrial district, road; forest, bush, grass, paddy field; river, pond etc.

\* 收稿日期: 2016-01-11

基金项目: 广州市科信局资助项目 (2060503)

作者简介: 李淑圆 (1990 年生), 女; 研究方向: 景观生态学; 通讯作者: 余世孝; E-mail: lssysx@mail.sysu.edu.cn

The classification results reach the precision of 90.1% and cover all parts of layer two, which is technically practicable.

**Key words:** urban land cover; classification system; GF-1; landscape classification

土地覆被分类系统是景观格局、结构、功能研究的基础,同时也是对不同尺度、不同层次土地资源的评价、调查与规划研究的基本问题。随着生态环境研究对土地覆被信息日益增长的需求,特别是在国家或区域尺度,遥感监测已成为行之有效的获取土地覆被信息技术手段。遥感监测可以快速、动态地获取大范围的地面信息,弥补了传统的人工野外调查耗时耗力的不足,因而各国学者从不同的角度,针对不同的遥感数据构建了多种土地覆被分类系统。

早在1976年,美国国家地质调查局(USGS)依托着世界上第一颗地球资源卫星,根据Anderson<sup>[1]</sup>提出的分类系统,发展出一套包括四个层级,适用于遥感数据的土地覆被分类系统。系统具有清晰的层次,三、四级类别为开放性体系,应用范围较广,但其一级类别层次上既考虑了土地利用状况又兼顾了土地自然生态背景,导致次级类别间关系过于复杂,出现类别交叉混淆的情况<sup>[2]</sup>。1990年代开始,卫星遥感在全球和区域尺度土地利用/土地覆被研究上取得了突破性进展。国际地圈—生物圈计划(IGBP)基于1 km的AVHRR及MODIS数据结合土地覆被的植被状况,采用非等级层次,将全球土地覆被划分为17个类别<sup>[3-4]</sup>。该系统类别细致,但每个类别都对应量化的物理指标,灵活性和兼容性较差。1996年,联合国粮农组织(FAO)建立了一个开放的可灵活拓展的土地覆被系统LCCS(Land Cover Classification System)<sup>[5]</sup>,到2000年,欧盟联合研究中心利用SPOT4/VGT数据在FAO的基础上,将全球土地覆被划分为22个类别<sup>[6]</sup>。同时期,国内学者刘纪远<sup>[7]</sup>提出了适用于中国资源环境遥感宏观调查的土地资源分类系统方法,林培等<sup>[8]</sup>提出了以“土地利用现状+土地资源背景”的迭加模式为基础的5级土地利用分类体系,并构建了以遥感信息为主体的多源信息复合分类与制图系统。

各种分类系统的提出,为土地覆被的相应研究提供了基础支持。然而,多数的分类系统仅针对大尺度、中低分辨率的遥感数据,对区域性的研究在分辨率和适用性上有一定的局限,而仅有的几个高分辨率数据适用的分类系统则着重关注城郊等自然土地覆被分布较广的区域,分类依据为单一的土地

覆被的自然属性或是土地的利用性质。目前尚没有一个专门针对城市区域,同时关注地物的自然属性以及形态特征,可适用于高分辨率遥感影像的土地覆被分类系统。

城市土地覆被变化对城市地表径流、生境分布、局部气候等有着重要的影响<sup>[9]</sup>,是决定城市生态环境质量的重要因素,同时也是城市景观生态学研究的基础。随着遥感技术的发展,高分辨率遥感影像以其纹理细节更加清晰、信息更加丰富等特点,获得了越来越广泛的应用。在城市环境中,土地覆被类型多样,结构复杂,空间异质性高,利用高分辨率影像实现土地覆被信息的精确提取有着极为广阔的应用前景<sup>[10]</sup>。对比基于像元的分类方法,面向对象的信息提取法能较好地利用高分辨率影像的纹理信息,在总体及各类地物的提取精度上均优于传统的提取方法,在高分辨率影像信息提取上有较大优势<sup>[11]</sup>。因而,面向对象的信息提取法在农用地精细分类<sup>[12]</sup>,居民地提取<sup>[13]</sup>,城市建筑物提取<sup>[14]</sup>等类别单一的地物信息提取上已有较好的应用。城市土地覆被分类所涉及的地物类别多样,使用单一的提取方法通常无法获得理想的分类效果,因此,本文根据各类地物的特点,结合使用了不同提取方法,对城市土地覆被进行分类。

“高分一号”(GF-1)卫星是我国高分辨率对地观测系统重大专项中的首发星。卫星于2013年4月发射,目前在轨运行稳定,成像清晰,且计划运行5~8 a。它采用了高空间分辨率、多光谱与高时间分辨率相结合的光学遥感技术,以及多载荷图像拼接融合技术和高精度高稳定度姿态控制技术<sup>[15]</sup>,可广泛应用于国土资源调查与监测、防灾减灾、农业水利以及生态环境监测等国家重大工程领域。GF-1数据产品的全色波段的空间分辨率达到2 m,还包括分辨率为8 m的蓝、绿、红及近红外四个波段的多光谱数据。通过全色波段和多光谱数据的融合,可较好地保留低分辨率数据的多光谱信息,同时增强了地物的纹理细节,提高影像的分辨率。融合后的影像数据,基本能目视解译识别出直径大于100 m或宽度大于50 m、长度大于250 m的块状地物,以及长度大于250 m的线状地物,符合1:2.5万和1:5万遥感地质解译相关技术规范的要求<sup>[16]</sup>。因此,本文的研究目的是基于高分一号

影像数据, 提出一套适用于城市区域的土地覆被分类系统, 为城市区域的景观生态学研究、生态评价和规划建设提供分类依据。

## 1 分类系统构建

### 1.1 分类系统构建原则

本分类系统的构建基于以下原则:

1) 分类系统采用层级式结构, 从大类到小类按层级逐渐细分, 形成土地覆被分类体系, 并且等级层次可扩充, 便于针对不同研究目的应用。

2) 根据遥感影像分辨率可解译出的土地覆被信息来构建分类系统, 同一级别的每个土地覆被类型提取精度应相近且应达到 85% 以上<sup>[17]</sup>。

3) 不同级别侧重关注城市区域土地覆被类型的不同特点。一级类别不宜过细, 力求反映城市基本的土地覆被特征, 二级类别充分反映城市区域特有的土地覆被类型。

4) 分类系统应简洁、实用。在同一层次内,

力求在分类最少的情况下满足所有分类需求, 确保每种土地覆被类型都有其明确的归属, 避免出现模棱两可的情况。

### 1.2 分类依据

结合已有的土地覆被分类系统的优劣, 依据上述所提出的规则, 本系统采用二级分类体系, 设置第三级别为开放性系统, 以适用于不同的研究目的, 或研究尺度更小时可以拓展添加 (表 1)。为避免低层级类别出现模棱两可的情况, 一级类别的设置仅考虑地物的自然属性。建成区以人工构建、构筑物为主, 地表覆被以不透水表面为表征。植被类包括地表所有的植物群落。植物的叶面在红光波段有很强的吸收, 而在近红外波段有很强的反射, 因此能与其他地物很好地区别。地物的形态特征为二级类别划分的主要依据。由于在城市生态系统中, 植被作为第一性生产者的功能已居于次要位置<sup>[18]</sup>, 因此, 在二级类别的划分上, 不再按照利用性质区分植被, 而是着重关注其在城市中的呈现

表 1 城市土地覆被分类系统  
Table 1 Urban land cover classification system

一级类别	二级类别	定义	形态分布	影像特征
建成区	商住区	商用及居住建筑密集的斑块	一般在地势平坦区域聚集分布, 多由楼房、人工构筑物等不透水面组成	
	工业区	厂房, 厂区	一般分布于市郊, 建筑较低矮, 排列整齐, 屋面反照率较大	
	道路	车行或人行的廊道景观	连接或穿过各商住、工业斑块, 或交叉成网络	
植被	林地	乔木林, 果园等植被高大密集的斑块	多分布于山地或地势起伏区域, 一般聚集分布, 斑块面积较大	
	灌丛	灌木丛, 灌草丛, 低矮植被斑块	分布于自然山地的顶部及山腰, 或分散分布于建成区内	
	草地	草本、稀疏植被斑块	成片分布于山顶或小面积分布于林地周围及建成区内部	
	农田	耕地	分布于地势平坦区域, 接近水源, 斑块多规整方正	
水体	河流	带状、线状水体	广泛分布	
	库塘	方整或不规则的闭合水体斑块	密集或分散分布于河流周边, 或于河流末端及山谷区域	
裸地		未利用地、裸土、空地斑块	分散分布, 斑块面积较小	

形式，避免了类别之间的混淆重叠。工业区以厂房、仓储等低矮宽大的建筑物为主，屋面多为高反射率材质，商住区主要为排列规律的中高层楼房或密集建筑，二者在形态及光谱特征上有显著的差异，因此划分为两个类别；道路是线性的基础设施，无论是车行的宽阔公路抑或是人行的小道，其基本形态均为细长带状，与建成区类别里的其他地物能明显相互区别，因此单独划为一类。水体分为线状水体与闭合状水体划两类，线状水体如支流、干流、河涌等统一归为河流，闭合状水体如基塘、湖泊、水库等列为库塘一类。其余不属于以上类别的地物如未利用地、沙地、裸土等划归为裸地，并且不在第二层级内继续细分。两层级的所有类别均能在高分一号影像上通过建立一定的规则由计算机自动解译。

一级类别分为4类：建成区、植被、水体、裸地。

二级类别分为9类：建成区——商住区、工业区、道路；植被——林地、灌丛、草地、农田；水体——河流、库塘。

三级类别为开放性类别，使用者可根据研究应用的需要在二级类别基础上进一步灵活划分，以便适用于不同的研究对象与目的。

## 2 研究区域与遥感影像

### 2.1 研究区域

广州市位于广东省中部，地处珠江三角洲北缘，濒临南海（112°57'E - 114°3'E, 22°26'N - 23°56'N），南北最大纵距 182 km，东西最大横距 215 km，辖区总面积 7 434.4 km<sup>2</sup>。自 1978 年起，广州的城市化进程经历了起步、起飞及持续快速发展的过程<sup>[19]</sup>，市域内景观类型丰富，是典型的城市生态系统。

### 2.2 遥感影像

本研究选用 2013 至 2014 年广州市 GF-1 全色与多光谱融合影像作为基础数据源。融合后的数据分辨率为 2 m，包含蓝、绿、红及近红外波段。利

用红光波段与近红外波段计算得出 NDVI 指数数据作为辅助数据。

### 2.3 分类方法

由于城市土地覆被中所涉及的各种地物类别所处的尺度不尽相同，所需提取的类别较多，因此本文基于易康（eCognition developer 6.4）和 ENVI 5.2 以及 ArcGIS 软件平台，运用多尺度分割以及分层分类的策略，同时利用部分地物的光谱差异性，结合支持向量机（SVM）监督分类，对 GF-1 遥感影像进行解译。在面向对象提取阶段，eCognition 较其他软件有更好的操作灵活性，可对地物特征作出更为详细的划分，输出对象的面积、周长、形状等近百种特征属性供使用者分析应用<sup>[20]</sup>。ENVI 软件平台集成了多种监督分类算法的工作流程，在面向对象信息提取的基础上结合地物光谱特征，应用支持向量机流程工具进一步提高提取类别的丰富度。分类后处理运用目视检译，在 ArcGIS 平台上对误分的斑块进行修正。

2.3.1 多尺度分割 经过多次预实验，结合地物实际尺度发现，当分割尺度为 100 个像元时建筑群斑块能较好的聚合，且在形状因子权重较大的条件下，库塘斑块能呈现出较为完整的形态，较细的河流支流在这个尺度下能连接成细带状。将分割尺度设为 150 个像元，灌丛、草地、农田斑块的形态较为完整。在 300 个像元的尺度下，植被与其他覆被类型能很好地分离。因此分割尺度及影响因子权重分配如表 2。

2.3.2 分类规则构建 根据植被在可见红光波段的吸收特性及近红外波段的反射特性，利用 NDVI 指数进行提取，并以此区分出植被与非植被类别。在植被类型下，农田较为方整，纹理有明显特点，在近红外波段反射率很大，根据这几个特征建立规则，将其与其他植被进行区分；林地、灌丛与草地三类相互之间光谱特征差异明显，因而利用 SVM 监督分类法对三类地物进行同时提取；在非植被层次，建成区所有地物的近红外波段反射值均大于 950，与水体其裸地的反射情况有显著差异，据此

表 2 多尺度分割参数

Table 2 Parameters of multi-scale segmentation

层次	土地覆被类型	分割尺度（像元）	形状因子权重	光滑度因子权重
1	植被、非植被	300	0.1	0.5
2	农田、灌丛、草地、林地	150	0.7	0.5
3	商住区、工业区、河流、库塘、道路、裸地	100	0.7	0.5

提取出建成区类别, 商住区与工业区房顶的波谱反射特性在多个波段中均呈现出一定差异, 因此对照地面真实控制点选取商住区及工业区的相应感兴趣区域 (Region of interest, ROI) 作为样本, 应用 SVM 进行规则训练及监督分类, 道路的长宽比值较大, 可建立相关规则进行提取; 水体的红光与近红外波段反射特性与植被相反, 利用 NDVI 指数先作区分, 河流与库塘各自的形态特征迥异, 因此设置形状指数作进一步区分, 其余未被分类的地物归为裸地。规则在层次之间传递, 较低层级与较高层级形成继承关系 (表 3)。

表 3 对象提取规则  
Table 3 Rules of feature extraction

层级 1		层级 2		层级 3	
类别	参数	类别	参数	类别	参数
植被	NDVI > 0.3	农田	NIR > 2 200 Rectangular fit > 0.55 Shape index < 3.5	-	-
		林地、灌丛、草地	继承植被规则 SVM	-	-
非植被	Not 植被	建成区	NIR > 950	商住区、工业区	NDVI > 0 SVM NDVI > 0 Length/Width > 6
		水体	NDVI < 0 Not 建成区	道路	NDVI < -0.3
		裸地	剩余未分类别	河流	NDVI > -0.3
				库塘	Rectangular fit > 0.75

对三个区联合作精度评价, 以目视检译结合地面真实调查资料的方式, 针对每种覆被类型分别选取了 15 个真实控制点感兴趣区域 (ROI), 在 ENVI 5.2 平台上, 应用混淆矩阵对分类结果进行精度评价。分析显示, 每种土地覆被类型的分类精度均达到 85% 以上, 总体精度为 90.1%。

海珠区 (图 1) 由河流环抱, 区内主要的土地覆被类型为建成区, 其中商住区占总面积的 33.5%, 工业区斑块破碎, 在区域中部、东北部边缘以及林地周边均有分布。商住区斑块面积相比较大且分布连贯, 斑块聚集程度高。道路景观相互交错成网状, 穿插分布于建成区内, 部分向其他覆被类型延伸。植被占区域总面积 14.7%, 其中林地占总面积 5.6%, 并以聚集分布的形式存在, 与地面真实调查数据结合校验, 该区内林地多数为果园; 灌丛及草地斑块破碎, 零星分布于林地斑块中以及商住区中, 农田与裸地鲜有分布。

### 3 结果与讨论

限于篇幅, 我们以海珠区、天河区以及番禺区三个行政区为例为说明。海珠区位于广州市的中部, 是发展较早, 城市化程度极高的老城区; 天河区与海珠区接壤并处于其北部, 是新近发展的城区, 区域内景观较为多样; 番禺区与海珠区南部接壤, 在 2000 年纳入广州市区划, 开发较晚。这三个行政区包括了本分类系统二级类别中所有的土地覆被类型。

天河区的土地覆被类型分布在南北方向上有明显的差异。在靠近老城区的南部主要为建成区, 北部靠近新区, 植被景观分布较多。建成区占天河区总面积 33.1% 其中商住区比例为 26.9%, 主要集中在南部靠近老城区范围, 工业区在中部至北部分布较为集中, 植被占该区总面积 22.4%, 其中林地占总面积的 5.9%, 其斑块面积较大, 聚集分布。农田面积占比 5.5%, 主要分布于区域北部及东部边缘, 灌丛及草地斑块破碎, 分散分布在林地斑块的周围及内部, 总体来说植被景观聚集分布, 聚集区域内各植被类型混合分布。该区无大面积的水体分布。

番禺区各景观类型分布较为混合, 仍以建成区为主, 其中工业区占总面积 33.0%, 比重较大。农田占总面积 1.3%, 其分布具有明显的南北差异, 北部仅有少量破碎农田斑块散布, 南部保留了大量形状规则的农田景观。该区水系较为丰富, 有

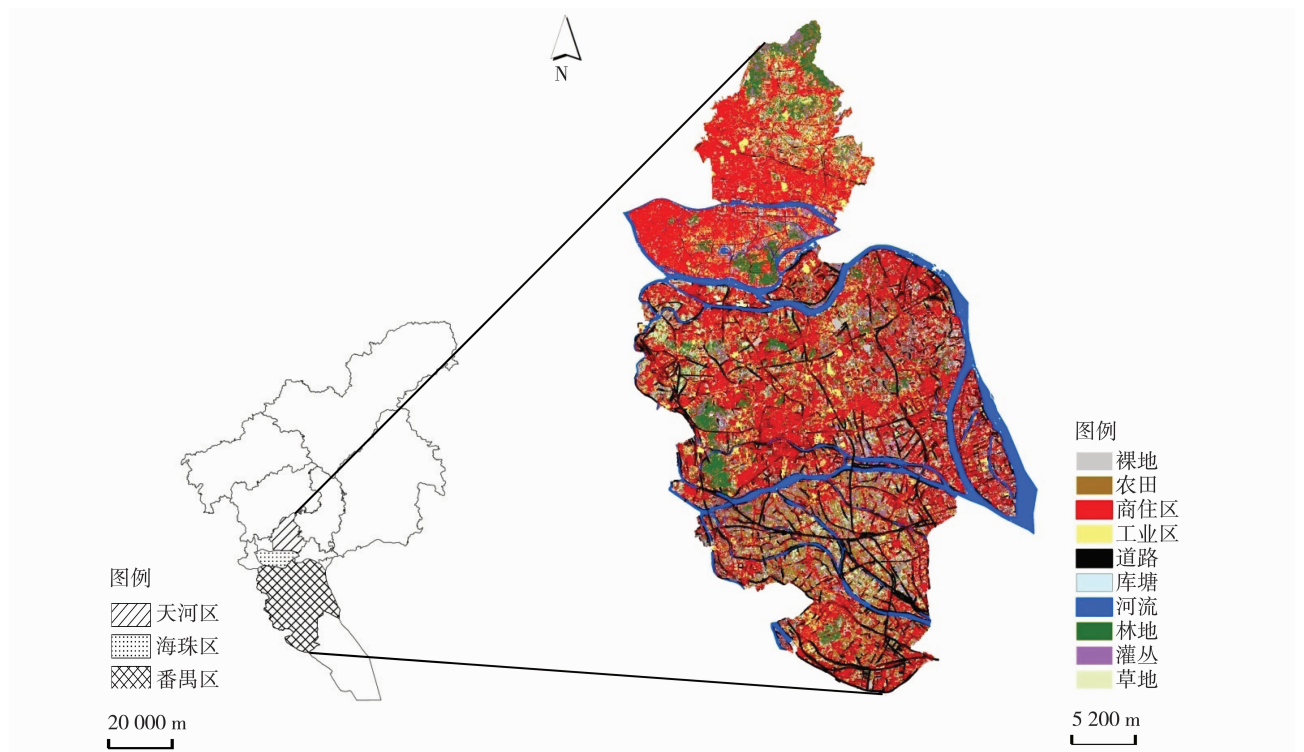


图 1 天河区、海珠区、番禺区土地覆被分类

Fig. 1 Land cover classification of Tianhe District, Haizhu District and Panyu District

多条主要河段，基本为东西或南北走向，库塘紧邻河流分布。林地占总面积 5.6%，分布较为连贯，单个斑块面积较大。

综合三个区的分类结果，城市区域内，建成区在所有土地覆被类型中占比最高，老城区及其周边一定范围内区域开发程度较高，土地覆被类型主要为商住区，工业区斑块破碎，散布于老城区内商住区之间或在离中心城区较远的区域集中分布；植被景观分布广泛，林地多成聚集形态分布，斑块面积较大，灌丛与草地混合分布，多为面积较小的破碎斑块，散布于建成区内或聚集分布于林地周围。离中心城区较远的区域开发程度较低，有较多植被景观的分布，其中北部主要为林地景观，南部保留着较多的农田。库塘与农田混合分布，二者的分布与河流的位置密切相关。道路成网状覆盖在三个实验区上，远离老城区的区域分布着更多的宽而连贯的道路；裸地分布较少，偶见于河流两岸、农田边缘及开发程度较低的建成区内。

传统上基于像元的分类方法虽在中低分辨率的遥感影像分类中得到了很好的应用与发展，但由于其基本原理皆是基于单个像元的光谱及灰度特征进行分类，单独应用于高分辨率影像将无法利用数据丰富的纹理信息与空间结构，从而导致严重的“椒盐现象”<sup>[21]</sup>。相比之下，面向对象信息提取技

术可对影像进行多尺度分割，同时基于分割的对象展开分类。此方法模拟了人类的视觉理解角度，将像元按一定的规则集合得到有意义的对象，实现原始影像从目标尺度空间到语义尺度空间的表达，最大程度地利用高分辨率影像的空间和光谱信息，更加适合环境组分复杂，结构多样的城市土地覆被的精确分类<sup>[22]</sup>。

## 4 结 论

针对国内尚无适用于城市区域的土地覆被分类系统这一现状，本文根据城市生态系统的特点结合高分一号数据特征，提出了一套城市土地覆被分类系统，其中包含 4 个一级类别和 9 个二级类别，全面简洁地涵盖了城市区域土地覆被的基本类型，并且预留第三级类别供使用者按不同研究目的灵活拓展。应用该系统，对广州市域范围内的高分一号遥感影像建立一系列的提取分类规则，依托易康、ENVI 等软件平台，使用面向对象的信息提取结合 SVM 监督分类法进行半自动提取，解译出二级类别的全部土地覆被类型，并对海珠、天河与番禺三个行政区内各类土地覆被的比例及分布情况做了详细分析。分类结果空间分辨率为 2 m，各类分类精度均达到 85% 以上，总体精度达到 90.1%。该系统结合土地覆被的自然属性以及形态特征构建，便

于应用在各类机器提取方法上,且能达到较高的分类精度,大大减轻了对高分辨率影像进行人工目视解译的工作量。本系统及分类数据在城市景观格局演变研究,城市地表覆被对气候环境的影响分析以及城市土地资源利用评价、生态安全评价等领域将具有广泛的应用前景。

### 参考文献:

- [1] ANDERSON J R, HARDY E, ROACH J T, et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data [R]. Geological Survey Professional Paper 964, 1976.
- [2] 袁希平,甘淑. 土地覆盖遥感监测及分类系统实例评析[J]. 云南工业大学学报, 1999, 15(4): 7-10.
- [3] LOVELAND T R, REED B C, BROWN J F, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(6/7): 1303-1330.
- [4] FRIEDL M A, McIVER D K, HODGES J C F, et al. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1): 287-302.
- [5] GREGORIO A D, JANSEN L J M. Land cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- [6] BARTHOLOME E, BELWARD A S. GLC2000: A new approach to global land cover mapping from earth observation data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(9): 1959-1977.
- [7] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1996.
- [8] 林培,刘黎明. 关于建立我国土地利用分类及其制图问题的探讨[J]. 中国土地科学, 2001, 15(1): 28-31.
- [9] WENG Y C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization [J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 81(4): 341-353.
- [10] 蒲智,杨辽,白洁. 基于面向对象技术的高分辨率遥感影像的阴影检测与去除[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(6): 735-738.
- [11] 张俊,于庆国,侯家槐. 面向对象的高分辨率影像分类与信息提取[J]. 遥感技术与应用, 2010(1): 112-117.
- [12] 邓媛媛,巫兆聪,易俐娜,等. 面向对象的高分辨率影像农用地分类[J]. 国土资源遥感, 2010, 22(4): 117-121.
- [13] 侯伟,鲁学军,张春晓,等. 面向对象的高分辨率影像信息提取方法研究——以四川理县居民地提取为例[J]. 地球信息科学学报, 2011, 12(1): 119-125.
- [14] 乔程,骆剑承,吴泉源,等. 面向对象的高分辨率影像城市建筑物提取[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(5): 36-39.
- [15] 陆春玲,王瑞,尹欢. “高分一号”卫星遥感成像特性[J]. 航天返回与遥感, 2014, 4: 010.
- [16] 罗海静,资锋,陈玲,等. 高分一号卫星在国土资源领域的应用及前景[J]. 卫星应用, 2015(3): 41-43.
- [17] ANDERSON J R. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data [M]. US Government Printing Office, 1976:963-965.
- [18] 蒋高明. 城市植被: 特点,类型与功能[J]. 植物学通报, 1993, 10(3): 21-27.
- [19] 杨鹏,陆宏芳,陈飞鹏,等. 1995至2004年广州土地利用格局变化与驱动分析[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1262-1267.
- [20] DING Xiaoying. The application of ecognition in land use projects[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2005, 28(6): 116-120.
- [21] ZHOU C Y, WANG P, ZHANG Z Y, et al. Classification of urban land based on object-oriented information extraction technology [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(1): 31-35.
- [22] SHACKELFORD A K, DAVIS C H. A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas [J]. IEEE Transactions, 2003, 41(10): 2354-2363.