

分类号：TP751

授予学位单位代码：10434

研究生学号：2012110331

山東農業大學

硕士学位论文

基于 ZY-3 影像的北京市六环以内城市用地信息提取
及特征分析

Information Extraction and Characteristic Analysis of Urban
Land within Six Ring in Beijing City Based on ZY-3 Image

研 究 生：王彩艳

学 科 专 业：土地资源管理

研 究 方 向：土地信息技术

学 院：资源与环境学院

指 导 教 师：王瑗玲教授

2015 年 5 月 20 日

论 文 提 交 日 期： 2015 年 5 月 20 日

论 文 答 辩 日 期： 2015 年 6 月 6 日

学 位 授 予 日 期： 2015 年 6 月 18 日

学 科 门 类： 管理学

答 辩 委 员 会 主 席： 吴泉源

论文原创性和使用授权的声明

本人所呈交的学位论文，是在导师指导下，独立进行科学研究所取得的成果。对在论文研究期间给予指导、帮助和做出重要贡献的个人或集体，均在文中明确说明。本声明的法律责任由本人承担。

本人完全了解山东农业大学有关保留和使用学位论文的规定，同意学校保留和按要求向国家有关部门或机构送交论文纸质本和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权山东农业大学可以将本学位论文的全部或部分++内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文，同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并向社会公众提供信息服务。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名：_____

导 师 签 名：_____

日 期：_____

符号说明

RS: Remote Sensing, 遥感

GIS: Geographic Information System, 地理信息系统

ZY-3: 资源三号卫星

Brightness: 亮度值

Mean Layer4: 第 4 波段均值

NDVI: 归一化植被指数

Length/Width: 长宽比

Existence of Class: 类型是否发生

Distance to Class: 对类型的距离

Invert Similarity to Classes: 与类型的相反相似性

GLDV: Gray Level Difference Vector, 灰度级差矢量

GLCM: Gray Level Co-occurrence Matrix, 灰度共生矩阵

Object-oriented: 面向对象

Membership Function: 隶属度函数

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
1 引言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	1
1.3 国内外研究现状.....	2
1.3.1 国外研究现状.....	2
1.3.2 国内研究现状.....	3
1.4 研究内容及研究方法.....	4
1.4.1 研究内容.....	4
1.4.2 技术路线.....	4
1.5 研究方法.....	5
1.5.1 文献资料法.....	5
1.5.2 目视解译法.....	5
1.5.3 实地调查法.....	6
1.5.4 面向对象与 GIS 技术	6
2 研究区概况.....	6
2.1 自然条件.....	6
2.2 人口及社会经济状况.....	7
3 数据来源及预处理.....	9
3.1 遥感数据获取.....	9
3.2 遥感数据预处理.....	11
3.2.1 波段合成.....	12
3.2.2 辐射校正.....	13
3.2.3 几何校正.....	15
3.2.4 分幅影像拼接.....	16
3.2.5 影像裁剪.....	17
4 基于面向对象的六环内用地信息提取.....	17
4.1 面向对象分类法.....	17

4.1.1 隶属度函数法.....	19
4.1.2 影像分割.....	20
4.1.3 分类层次构建.....	24
4.1.4 分类特征定义.....	26
4.2 城市内部用地信息提取.....	34
4.2.1 第一层次（level1）.....	34
4.2.2 第二层次（Level2）.....	34
4.2.3 第三层次（Level3）.....	35
4.2.4 第四层次（Level4）.....	37
4.3 分类精度评价.....	40
5 六环内城市用地特征分析.....	43
5.1 高、低密度生活用地分析.....	43
5.2 农村居民点及农用地分析.....	45
5.3 工业用地分析.....	45
5.4 其他地类分析.....	50
6 结论.....	51
6.1 研究结果.....	51
6.1.1 面向对象分类方法提取城市内部用地.....	51
6.1.2 北京市六环内城市用地特征分析.....	51
6.2 创新.....	52
6.3 展望.....	52
参考文献.....	53
致谢.....	57
攻读学位期间发表论文情况.....	58

中文摘要

改革开放以来,我国城市化进程加快,2014 年城镇化率已达 54.77%。随着城市化发展,城市空间扩展、产业结构转型升级以及居民生活水平提高,城市内部结构和空间格局发生重大变化,改变了城市功能布局,直接影响着城市经济社会发展和生态环境质量。而近年来高分辨率卫星影像的应用为快速、精确提取城市内部用地信息、研究城市内部用地特征提供了便利。因此,基于高分辨率卫星影像,快速、精确提取城市内部用地信息,分析其用地结构及空间格局特征,对于科学管理城市土地、改善城市生态环境及促进城市可持续发展具有重要意义。

北京市是我国的首都,六环以内区域是北京市的核心区,是北京市政治、经济、文化、科教和国际交往中心的聚集区,同时工业企业较多,环境污染严重。其用地类型复杂多样,有工业用地、生活用地、交通用地、绿地、水面等。本文基于 ZY-3 卫星影像,采用面向对象方法,提取北京市六环内用地信息,并分析其用地结构及空间特征,以期北京市用地管理及城市规划提供依据。主要研究内容和结果为:

1、基于 ZY-3 影像和面向对象的北京市六环以内用地信息提取

采用资源三号卫星遥感影像,基于 eCognition 软件,采用面向对象分类方法中的隶属度函数分类法,采用多尺度分割,构建分类层次,选取光谱特征包括亮度值(Brightness)、第 4 波段均值(Mean Layer4)、归一化植被指数(NDVI),几何特征包括长宽比(Length/Width)、面积(Area),纹理特征中的灰度级差矢量对比度(Gray Level Difference Vector Contrast, GLDV Contrast)、灰度共生矩阵对比度(Gray Level Co-occurrence Matrix Contrast, GLCM Contrast)、135 度方向,辅助与邻域对象的关系特征包括类型是否发生(Existence of Class)、对类型的距离(Distance to Class)、与类型的相反相似性(Invert Similarity to Classes)等其他特征,针对不同地物类型,设置合理阈值,精确提取。

不仅准确提取出研究区内水体、植被、建设用地和待开发用地,更剔除了阴影的影响,创新区分了城市建设用地内部各种地物类型,包括工业工地,低密度和高密度生活用地和交通用地。分类精度可达到 89.09%, Kappa 系数达到 0.8800,提取效果较好。研究表明基于面向对象方法提取高分辨率影像中城市内部用地信息是可行的,可为城市内部用地的快速、准确提取提供有效的技术手段。

2、北京市六环内城市用地特征分析

(1) 高、低密度生活用地占地面积分别为 669.89 和 86.06 平方公里,分别占六环总面积 29.55%和 3.80%。低密度生活用地主要分布在四环以内,旅游用地附近低密度生活

用地分布较多；高密度生活用地分布较广，主要集聚在医院、学校、银行及商业中心附近。结合土地集约利用原则，高密度生活用地应布局在三环至五环之间，二环以内为旅游用地及老城区，低密度生活用地应布局在此，对比分类图，布局较为合理。

（2）农村居民点和农用地分别占地 229.26 和 239.50 平方公里，占六环总面积比重分别为 10.11%和 10.56%。农村居民点主要分布在五环与六环之间，与城镇构成近郊城乡交错地带，是中心城市与乡村的过渡地带，呈半城市、半乡村状态。农用地主要围绕农村居民点分布。

（3）工业用地占地 439.19 平方公里，约占六环总面积的 21%。根据北京市风向、水流方向、远离居民区噪声等，海淀区位于城市顺风轴及风向旋转处，也位于河流上游，因此不适宜布局空气污染型和水源污染型工业用地；丰台区、石景山区和大兴区位于城市顺风轴及风向旋转处，不适宜布局空气污染型工业用地。

（4）湖泊、植被、河流和待开发用地分别占地面积约为 27.89 平方公里、378.64 平方公里、14.84 平方公里和 46.27 平方公里。湖泊主要分布在颐和园、奥体森林公园、后海公园、前海公园等公园；植被主要分布在石景山区和丰台区，以及公园；农用地围绕农村居民点周围；永定河贯穿丰台区和大兴区，北沙河由沙河水库左侧流经海淀区，温榆河由沙河水库右侧流经朝阳区和通州区；南苑机场和首都国际机场分别位于丰台区和顺义区；待开发用地主要分布在丰台、房山、大兴和通州区的工业用地附近；六环以内交通发达，形成网状结构。待开发用地主要分布在丰台、房山、大兴和通州区。

关键词：城市内部用地，信息提取，特征分析，面向对象，资源三号卫星。

Information Extraction and Characteristic Analysis of Urban Land within Six Ring in Beijing City Based on ZY-3 Image

Abstract

Since China's reform and opening up, China's urbanization process is accelerated, the urbanization rate reached 54.77% in 2014. With the development of urbanization, urban spatial expansion, transformation and upgrading of industrial structure, and improving of living standards, urban internal structure and spatial pattern has greatly changed, that changed the urban function layout and affected the urban economic and social development and ecological environmental quality directly. In recent years, the application of high resolution satellite imagery provides the convenience for fast and accurate extraction of internal city land use information and researching urban land use characteristics. Therefore, based on high resolution satellite imagery, fast and accurate extraction of land use for internal city information, analysis of its characteristics of land use structure and spatial pattern are of great significance for scientific management of urban land, urban ecological environment and urban sustainable development.

Beijing is the capital of our country, within areas of six rings are the political, economic, cultural, educational and international communication center, at the same time, industrial enterprises cause more serious environmental pollution. Land use types are very complicated, including industrial land, living land, traffic land, green land, water, *et al.* In this paper, based on ZY-3 satellite images, using object-oriented method, extracted the land information within six rings in Beijing, and analyzed the land use structure and spatial characteristics, in order to provide the basis for the Beijing municipal land management and urban planning. The main research contents and results are as follows:

(1) Based on ZY-3 and object-oriented classification method to extract the urban land

This study six ring of Beijing area as the research area, three satellite remote sensing image using resources, based on the eCognition software, adopts the object-oriented classification method of Membership Function classification, "homogeneous" with the multiresolution segmentation image object for the smallest taxa, by building the classification level, the selection of spectral features include Brightness, Mean Layer4, NDVI; Geometric features including Length/Width, Area; Texture feature of Gray Level Difference Vector Contrast (GLDV Contrast) Gray Level Co-occurrence Matrix Contrast (GLCM Contrast), 135 - degree direction; Auxiliary area relations with adjacent domain object features include

Existence of Class; The types of Distance to Class; Invert Similarity to Classes and other characteristics, set the reasonable threshold after repeated experiments, accurate extraction.

This study has accurately extracted the water, vegetation, construction land and land to be developed, and eliminated the influence of shadow, innovation to distinguish the various feature types within the urban construction land, including industrial land, low density and high density living land and traffic land. Classification accuracy can reach 89.09%, the Kappa coefficient is 0.8800, the effect is better.

(2) Urban land characteristic analysis

High and low density living land cover an area of 669.89 and 86.06 square kilometers, with a total area of 29.55% and 3.80% respectively. Low density living land is mainly distributed within the 4th ring, that are mostly near the land used for tourism; High density living land has a wide distribution, that is main concentrated in hospitals, schools, banks and business center. Combining with the principle of intensive utilization of land, land for high density living land should be layout between the 3rd and 5th ring road, low density land should be layout in travel land and the old city, contrasted with classification figure, and found that is a reasonable layout.

Rural residential areas and agricultural land, respectively 229.26 and 239.50 square kilometers, the proportion of total six ring area were 10.11% and 10.56% respectively. Rural settlements are mainly distributed in between 5th and 6th ring, interlaced zone between urban and rural areas, formed a transitional zone central city and the countryside, half city and half the country. Agricultural land is mainly around the rural settlement distribution.

Industrial land covers an area of 439.19 square kilometers, about 21% of the total area in six rings. According to the flow direction of wind, away from residential areas such as noise, Haidian district, located in the city with the wind shaft rotation and the river upstream, so there is no suitable for the air and water polluting industrial land; Fengtai, Shijingshan and Daxing district are not suitable for air polluting industrial land layout that located in the city with the wind shaft rotation.

Lakes, vegetation, river and land to be developed, cover about 27.89, 378.64, 14.84 and 46.27 square kilometers. Lakes are mainly distributed in the Summer Palace, the Olympic forest park, Houhai, Qianhai and other parks; Vegetation are mainly distributed in the Shijingshan, Fengtai and park; The rural residential areas are around of the farmland; Yongding river runs through the Fengtai and Daxing district, north Shahe goes through the Haidian district by left, Wenyu river goes through the Chaoyang and Tongzhou district by right; Nanyuan Airport and Beijing Capital International Airport are located in Fengtai and

Shunyi district respectively; Land to be developed are mainly distributed in Fengtai district, Daxing and near the industrial land; Traffic developed within six ring, forming the reticular structure. Land to be developed are mainly distributed in Fengtai, Daxing, Fangshan and Tongzhou.

Keywords: Urban land, Information extraction, Characteristics analysis, Object-oriented, ZY-3.

1. 引言

1.1 研究背景

土地是人类创造财富的来源,对人类的生存和发展至关重要,我国土地资源总量充足,但人均占有量不足。而土地作为一种不可再生资源,如何保证其可持续利用是当今社会亟需解决的问题。土地虽为一种自然存在物,但人类对其更多的是为满足经济需求而进行的开发利用等一系列活动。人类在生产生活过程中,不同形式的土地资源和人类的发展息息相关,从早期渔猎文明,到后期农耕文明,直至现期工业文明,人类对土地的利用表现出从点到面逐渐强化的演变趋势。

进入 21 世纪后,我国城镇化进程明显加快,已逐渐成为当今社会的发展趋势,十六大将全面建设小康社会作为我党今后的奋斗目标,而其必要任务之一即为加速城镇化进程。自改革开放 30 多年以来,我国城镇化发展速度较快,李德华预测我国城镇化率 2050 年有可能达到 60%甚至 65% (李德华, 2001)。实现城镇化很明显已成为 21 世纪中国实现社会主义现代化建设必须要完成的重要任务之一。

城镇化可以说是一种全球性的社会经济转型现象,经济发展进程中势必要面临城镇化的问题 (崔功豪等, 1992),我国城镇化发展迅速,都市圈、城市群、城市带以及中心城市在过去 30 年快速出现、发展并蔓延。城市空间扩展、产业结构转型升级以及居民生活水平的提高改变了城市内部结构和空间格局,从而使城市社会经济发展和威胁生态环境质量受到严重影响。因此,城市用地内部空间结构的识别与变化情况研究已成为当前研究的热点问题之一。

1.2 研究意义

改革开放 30 多年,我国城市化发展迅速,2014 年我国城镇化率预计将达到 54.77%。随着城市空间扩展、产业结构转型升级以及居民生活水平的提高,城市内部结构和空间格局发生重大变化,改变了城市功能布局,直接影响着城市经济社会发展和生态环境质量。因此,城市用地内部空间结构的识别与评价研究已成为当前研究热点问题之一。利用高分辨率遥感影像提取城市内部土地利用信息已成为研究城市内部用地空间结构变化常用的方法。但由于城市内部用地类型以及遥感信息都十分复杂,特别是不同类型的建设用地,光谱特征相似度极高,要实现高精度提取城市内部土地利用信息相对难度较大。

因此,如何挖掘高分辨率影像中不同地物光谱以外的诸如形状、纹理和空间关系等

信息,实现快速、准确、自动地获取城市内部用地信息是城市研究的难点。同时针对城市内部不同地物信息的特征进行深入分析,包括空间分布情况及合理布局等,具有非常重大而深远的意义,为城市规划及社会经济发展提供一定的借鉴意义。

1.3 国内外研究现状

遥感(RS)是指在不与被研究对象直接接触的条件下,通过传感器装置,,获取研究对象的特征信息(通常是电磁波的反射辐射量和发射辐射量),并对这些特征信息进行处理、表达、应用的一门技术。遥感技术主要包括信息传输技术,传感器技术,信息处理、提取和应用技术以及目标信息特征的分析、测量等。

目前我国空间技术、传感器技术、数字图像处理技术、数据通讯技术的不断发展,遥感技术具有实时、动态、快速、准确的特点,我国空间遥感技术迄今已达到多种对地观测数据的新平台(王绪龙,2006)。

目前针对城市用地信息提取采用的遥感方法各有不同,提取精度也都较好,但总体看来均未对城市内部建设用地进一步分类。因此,本研究选取北京市六环以内为研究区,利用 eCognition 软件,以资源三号卫星作为信息源,挖掘研究区内城市内部用地光谱、形状、纹理及空间关系信息,采用基于面向对象分类的隶属度函数法提取城市内部用地信息,以期为研究城市内部用地结构及其空间分布提供技术支撑。国内外研究现状如下。

1.3.1 国外研究现状

国外许多专家学者通过不同卫星遥感影像对城镇发展进行了深入研究。Yokohari Makoto 等通过遥感手段,提取东京、汉城、曼谷等几个亚洲大城市并用地信息,进行深入的扩展分析,研究得出西方的城市绿色隔离带和区划思想并不适用于亚洲的大城市,并针对亚洲各大城市,提出与之适应的新构想(Yokohari Makoto *et al.*, 2000)。R. Welch 采用假彩色 TM 合成影像,通过目视判读,将城市内部的建成区准确提取出来(R Welch, 1980)。Barry Haack 等在发现 TM 较 MASS 更适用于提取土地覆盖相对较均一的城郊区,MASS 适用于土地覆盖相对较复杂的地区的地物类型提取(Barry Haack, 1987);Curran 和 Pedle 基于 MSS 遥感影像数据提取出英格兰地区的城市边缘地带的各种地物类型信息(Curran and Pedley, 1990)。Gao 和 skillcom 选择澳大利亚南部的地区作为研究样区,提出了基于 SPOT 遥感影像数据,高精度提取研究区的土地利用信息的方法(Gao and skillcom, 1998)。C.Weber, A. Puissant 通过采用遥感技术解译 1986-1996 年共 10 期的突尼斯大都会区的 SPOT 遥感影像数据,利用解译数据进行城市增长的城市化压力和模型等有关研究(C.Weber *et al.*, 2003)。Martin Herold, Noah C. Goldstein 等采用 72 期的

IKONOS 影像数据,选取加利福尼亚州圣巴巴拉市为研究区域,做出城市时空增长的测量、分析和建模等研究 (Martin Herold *et al.*, 2003)。

1.3.2 国内研究现状

我国在城市遥感专题研究方面也取得了较多的成果,顾朝林以北京市为研究区,基于多期 SPOT 遥感影像数据,提取出北京市土地利用信息并分析土地利用变化情况,并且提出了北京城市扩展方式主要有外城蔓延、轴向扩展和郊区城市化3种(顾朝林,1999)。张新乐等利用多源遥感数据和地形图提取哈尔滨市土地利用空间扩张信息,得出经济的快速发展及振兴东北老工业基地政策的带动、人口的增加、交通等基础设施等因素是哈尔滨市近 30 年城市土地利用扩张的主要驱动力 (张新乐等, 2007)。车风、林辉基于 CBERS-02B 高分辨率遥感影像数据,深入挖掘不同地物类型的类型光谱信息,构建土壤调节植被指数 (SAVI)、归一化水体指数 (NDWI) 和比值居民地指数 (RRI),并将三者作为三个指数波段进行波段合成,通过监督分类的最大似然法提取出城市土地利用信息 (车风等, 2010)。胡德勇等将监督分类、非监督分类和归一化建筑指数等方法结合起来,较高精度地提取出长沙市城市土地利用信息,然后将多期城市土地利用变化情况进行对比分析,得出人口增长迅速最能推动城市快速扩张 (胡德勇等, 2006)。

宋晓宇、单新建基于 IKONOS 高分遥感影像,辅助纹理信息识别目标地物,并作为影像分类的重要参考依据,从而精确地提取出城市内部的建筑物外部形状轮廓 (宋晓宇等, 2002)。周成虎、杨存建等构建出基于知识库的识别居民地的特征模型,针对 TM、JERS-1、SAR、NOAA、AVHRR 和 Radarsat 等不同的遥感影像数据,提取出建设用地信息的不同方法 (周成虎等, 1999; 杨存建, 2001)。赵萍等基于高分 SPOT 卫星遥感影像构建决策树模型,最终提取出江南地区的城市和集村居民地信息 (赵萍等, 2003)。吴宏安等提取出西安市的边界信息之后,将监督分类法和归一化裸露指数 (NDBI) 法进行分类精度对比,最终确定监督分类法相对而言提取城市边界信息更为准确 (吴宏安等, 2005)。

李加林等通过采用遥感影像数据,构建决策树,深入研究长江三角洲地区的城市用地时空演变情况 (李加林, 2006)。周小成等利用 ASTER 和 TM 遥感影像数据和地形数据,监测出漳州市城镇建设用地的扩张情况 (周小成等, 2008)。童磊、邹峥嵘以 QuickBird 为数据源,采用面向对象提取技术,对城市用地进行高精度提取,但针对建设用地,尚未进一步分类 (童磊等, 2009); 周春艳、王萍等利用 QuickBird 高分辨率影像,基于多尺度分割和面向对象方法,不仅提取出城市用地信息,同时将建筑物细分为建筑物阴影、

亮和暗建筑物，比传统的城市用地信息提取分类上升一个平台（周春艳等，2008）。

1.4 研究内容

1.4.1 研究内容

1.4.1.1 基于 ZY-3 影像和面向对象的北京市六环以内用地信息提取

本研究以北京市六环内区域为研究区，采用资源三号卫星遥感影像，基于 eCognition 软件，采用面向对象分类方法中的隶属度函数分类法，采用多尺度分割，构建分类层次，深入挖掘不同地物信息的光谱、形状、纹理及空间关系特征，针对不同的地物类型，反复试验后设置合理阈值，精确提取，并进行精度评价，为城市内部用地的快速、准确提取提供有效的技术手段。

1.4.1.2 北京市六环内城市用地特征分析

根据提取结果，针对每种地类的分布特征进行深入分析，特别是北京市比较典型的地物类型，如高、低密度居民生活用地、农村居民点、农用地及工业用地。

根据北京市实际情况，通过利用 ARCGIS 构建建立北京市六环及以内区域简易模型图，每种地类从不同的角度进行深入分析，如由于高低密度生活用地布局是否合理尚不能进行主观判断，可从其整体布局情况及正确的合理性布局应为怎样的角度进行分析；而农村居民点及农用地不存在是否合理布局的问题，可从整体布局进行分析；工业用地布局不合理容易造成环境污染，因此可对六环以内的工业用地布局是否合理进行分析；其他地类不属于北京市典型地物，分析整体分布即可。

1.4.2 技术路线

本文在实地调查的基础上，辅以北京市土地利用现状图，在 ERDAS，ARCGIS 及 eCognition 软件支持下，对研究区 2013 年的资源三号卫星遥感影像进行解译，基于面向对象的隶属度函数法提取北京市六环以内城市内部用地。然后单独提取出工业用地，针对不同污染类型的工业用地，探讨其布局是否合理，并分析不合理原因及提出解决的合理对策。具体技术流程见图 1.1。

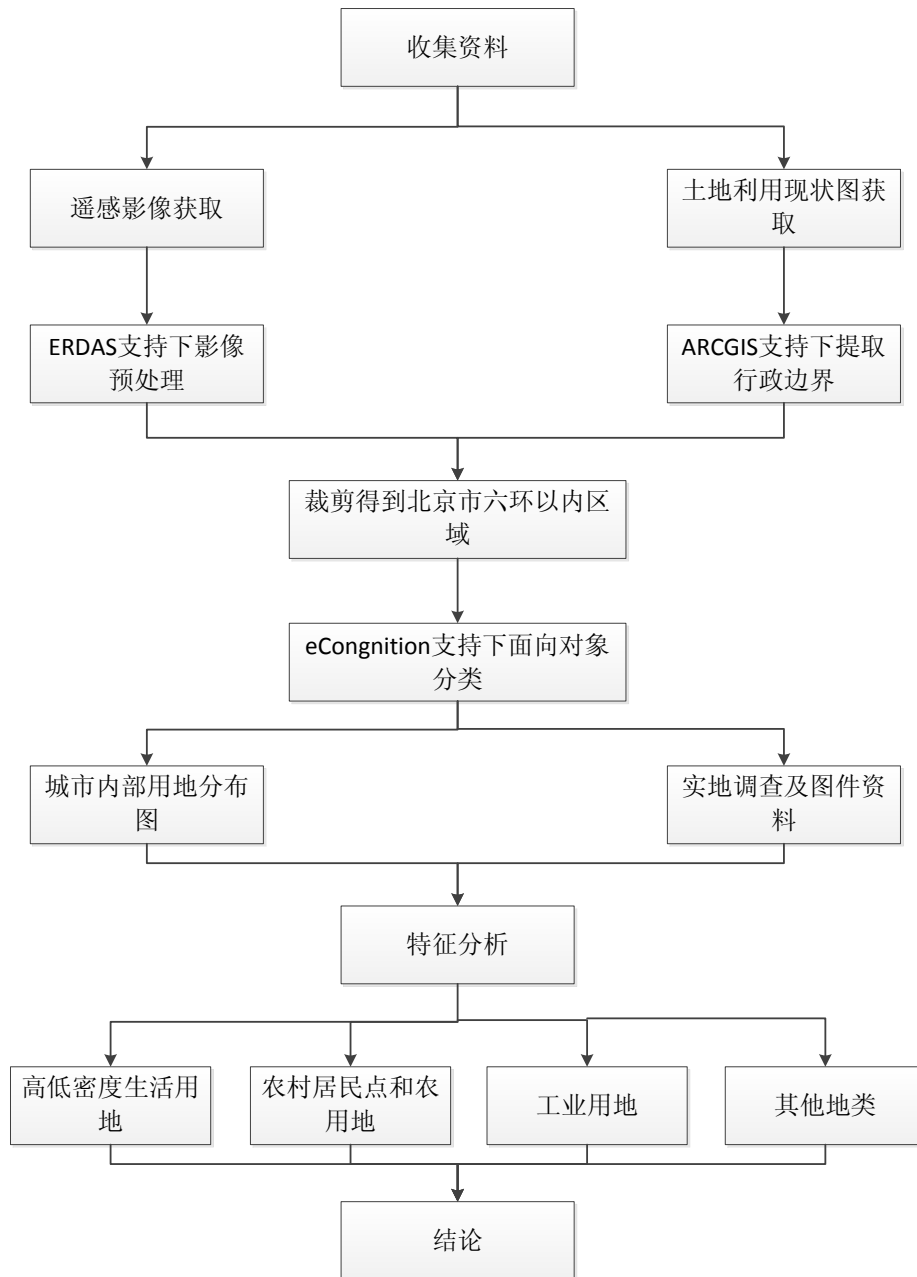


图 1.1 技术流程图

Fig.1.1 Technical flow chart

1.5 研究方法

1.5.1 文献资料法

通过查阅大量北京市历史资料及相关研究文献，获取北京市近年来发展概况，及工业用地相关知识，作为本研究的参考基础。

1.5.2 多尺度分割法

采用多尺度分割法获得影像对象作为分类的最小单元。多尺度分割采用异质性最小的区域合并算法，先将单个像元合并为较小的影像对象，再将较小的影像对象合并成较

大的多边形对象，分割过程中多边形对象异质性逐渐减小，实现整幅影像在给定分割尺度下所有影像对象的平均异质性最小，是逐级合并的过程。

1.5.3 实地调查法

为客观的了解研究区地物类型及方便后续精度验证，本研究进行了选点实地调查，主要选点依据北京市几个典型的工业用地区及经济商贸区，如首钢、中关村、798 等，结合实地调查、土地利用现状图及遥感影像图，综合判断北京市六环以内城市内部用地的主要类型。

1.5.4 面向对象与 GIS 技术

本研究基于资源三号卫星遥感影像，采用面向对象法提取北京市六环以内城市内部用地类型。具体主要包括：遥感影像波段合成、拼接、校正、裁剪、增强处理、多尺度分割、隶属度函数解译等。城市内部用地提取之后，需要参照土地利用现状图，基于 GIS 手段，对错分及漏分地物类型进行手动修改，然后针对城市内部信息，通过构建空间区位图进行特征分析。

1.5.5 隶属度函数法

本研究采用隶属度函数法，将对象的特征值转换成模糊值，即进行标准化处理，实现特征间的组合和特征的灵活选取，把像元的类型特征值转换成 0 与 1 之间的模糊值，以表明某一类的隶属度，根据隶属度从而判断地物类别。

2. 研究区概况

2.1 自然条件



图 2.1 研究区位置示意图

Fig.2.1 Sketch map in the study area

北京市位于北纬 39 度 54 分 20 秒，东经 116 度 25 分 29 秒，位于华北平原北部。毗邻渤海湾，上靠辽东半岛，下临山东半岛。北京市毗邻天津市，并与之共同围绕在河北省之中。太行山余脉西山位于北京市的西部，燕山山脉军都山位于北京市的北部，两山相交于南口关沟处，形成一个东南方向展开的半圆形大山弯，俗称“北京弯”，其围绕的小平原即为北京小平原。北京市平均海拔 43.5 米，其中，北京平原海拔高度约在 20 至 60 米之间左右，山地海拔一般在 1000 至 1500 米左右。

北京属于北温带半湿润大陆性季风气候，夏季高温多雨，冬季寒冷干燥，春、秋时间较短。全年约 180 至 200 天无霜期，西部山区无霜期相对较短。降水季节分配不均匀，全年 80% 的降水都集中在夏季的 6 至 8 月份，7 月和 8 月通常会有大雨。

北京全年平均约为 112 至 136 kcal/cm 的太阳辐射量，年平均约 2000 至 2800h 的日照时数。在夏季雨季时节，北京日照明显减少，每月约有 230h 的日照时数；北京市日照时数秋季虽然比春季要少，但相比夏季而言却多，此时每月的日照时数约 230 至 245h；而一年之中冬季很明显日照时数最少，每月日照时数一般不会多于 200h，平均约在 170 至 190h。

目前北京市已有 67 种矿种被发现，全北京市有 476 处矿床及矿点产地，有 44 种矿种被列入国家储量表，其中，能源矿产为 2 种；黑色金属矿产共 4 种；有色金属、贵金属及分散元素矿产 11 种；化工原料非金属矿产 5 种；冶金辅助原料非金属矿产 7 种；建材及其他非金属矿产 15 种。有 49 处黑色金属产地，35 处有色金属产地，68 处化工原料非金属产地，43 处冶金辅助原料非金属产地，75 处建材及其他非金属产地，30 处煤炭产地。

北京市水资源丰富，其中，拒马河水系、永定河水系、北运河水系、潮白河水系、蓟运河水系等自然水系遍布北京市，它们发源于西北部的山地地区，崇山峻岭被其穿过，蜿蜒流经东南方向的平原地区，最后分别汇入渤海。北京市不存在天然的湖泊，有 85 座人工水库，其中主要有怀柔水库、密云水库、官厅水库、海子水库等大型水库。北京市地下水约为 29.21 亿 m^3 多年平均补给量，约 24 至 25 亿 m^3 平均年可开采量，一次性的天然水资源为 55.21 亿 m^3 年平均总量。

2.2 人口及社会经济状况

北京市行政区划包括 16 个区和县。其中，东城区、西城区 2 个首都功能核心区，海淀区、朝阳区、丰台区、石景山区 4 个城市功能拓展区，通州区、顺义区、房山区、大兴区、昌平区 5 个城市发展新区，怀柔区、平谷区、门头沟区、密云县、延庆县 5 个

生态涵养发展区。

北京市至 2013 年末常住人口达到 2114.8 万人，比上年同期增加了 45.5 万人。其中包括常住北京市的 802.7 万外来人口，占北京市的常住人口比例为 38%。常住户籍人口 1312.1 万人。常住人口中，包括 1825.1 万城镇人口，占常住人口百分比为 86.3%。2012 年实现 7702.8 亿元社会消费品零售额，比 2011 年增长 11.6%。进出口总值 4079.2 亿美元，比上年同期增长 4.7%。其中出口 596.5 亿美元，增长了 1.1%；进口 3482.7 亿美元，增长了 5.3%。2013 年批发和零售业实现 115912.7 亿元商品购销额，比上年同期增长了 10.2%；其中，实现 56112.4 亿元购进额，增长了 10.3%；59800.3 亿元销售额，增长了 10.1%。

2013 年北京已有世界五百强企业总部 48 家，首次位居全球城市第一。北京市是我国惟一入选全球前 10 名的国际会议城市（国际大会及会议协会(ICC)2010 年公布）。北京已有 21 个展会通过国际展览联盟（UFI）认证，占全国总数的 1/4 以上。2010 年 1 至 7 月国际化大型会展在京共举办 51 场，比去年同期猛增 41.7%。

北京市是全球第一个拥有世界地质公园的首都城市，拥有 6 处世界遗产，是全球拥有最多世界遗产的城市。北京市旅游资源十分丰富，拥有 200 多处对外开放旅游景点，世界级的旅游景点主要有故宫，天坛，北海公园、颐和园和圆明园等皇家园林，还有万里长城以及世界上最大的四合院恭王府等名胜古迹。

六环以内区域是北京市的核心区，是北京市政治、经济、文化、科教和国际交往中心的聚集区。该区经济发达，交通便利，用地类型复杂多样，主要有工业生产用地、居民生活建筑用地（包括居住用地、行政办公、商服用地等）、交通用地、绿地、水面及少量的待开发用地等。六环以内区域主要包括东城区、西城区、海淀区、朝阳区、丰台区、石景山区的全部，及顺义区、门头沟区、通州区、房山区、大兴区的部分区域。

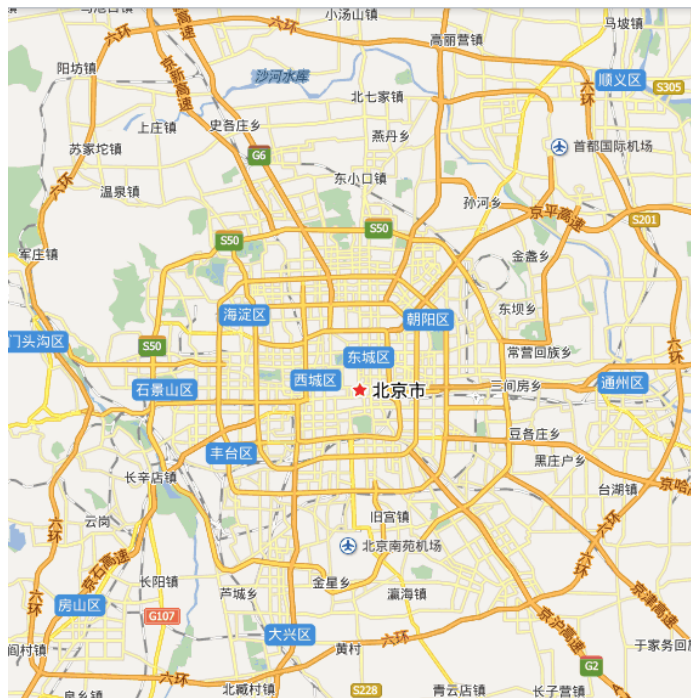


图 2.2 研究区范围（截于百度地图）

Fig.2.2 Scope of the study area

3. 数据来源及预处理

3.1 遥感数据获取

（1）资源三号卫星简介

资源三号（ZY-3）卫星是中国第一颗自主的民用高分辨率立体测绘卫星，通过立体观测，可以测制 1：5 万比例尺地形图，为国土资源、农业、林业等领域提供服务，资源三号将填补中国立体测图这一领域的空白，2012 年 1 月 9 日 11 时 17 分资源三号卫星在太原卫星发射中心由“长征四号乙”运载火箭成功发射升空。1 月 11 日顺利传回第一批高精度立体影像及高分辨率多光谱图像，影像覆盖黑龙江、吉林、辽宁、山东、江苏、浙江、福建等地区，共约 21 万平方公里。2012 年 4 月 20 日完成卫星在轨测试工作。

卫星载荷：

卫星采用经适应性改进的资源二号卫星平台，配置四台相机：

- A. 1 台地面分辨率优于 2.1 米的正视全色 TDI CCD 相机；
- B. 2 台地面分辨率优于 3.5 米的前视、后视全色 TDI CCD 相机；
- C. 1 台地面分辨率优于 5.8 米的正视多光谱相机。

表 1.1 资源三号卫星参数表 1

Table1.1 Table 1 of Resources satellite no. 3parameter

平台	有效载荷	波段号	光谱范围(um)	空间分辨率(m)	幅宽(km)	侧摆能力	重访时间(天)
资源 三号	前视相机	—	0.50~0.80	3.5	52	±32°	3~5
	后视相机	—	0.50~0.80	3.5	52	±32°	3~5
	正视相机	—	0.50~0.80	2.1	51	±32°	3~5
	多光谱相机	1	0.45~0.52	6	51	±32°	5
		2	0.52~0.59				
		3	0.63~0.69				
		4	0.77~0.89				

卫星轨道（标称值）：

轨道形式：太阳同步圆轨道 高度：505.984 公里 倾角：97.421°

回归周期：59 天

重访周期：5 天 降交点地方时：10:30AM

表 1.2 资源三号卫星参数表 2

Table1.2 Table 2 of Resources satellite no. 3parameter

项目	参数
轨道高度	505.984km
轨道倾角	97.421°
降交点地方时	10:30AM
交点周期	97.716min
近地点幅角（度）	90
偏心率	0
回归周期（天）	59
和邻轨迹间距（km）	44.68

卫星重量：约 2650kg

卫星寿命：在轨工作寿命 5 年

地面像元分辨率：

前视、后视相机：3.5m 正视相机：2.1m 多光谱相机：5.8m

覆盖宽度：前视、后视相机:52km 正视相机：50km 多光谱相机：52km

图像数据压缩比：全色图像：2：1 和 4：1 可选

多光谱图像：无损压缩

数传通道个数：2 通道

（2）资源三号卫星主要应用领域

A.资源三号卫星常被应用于制作 1:5 万比例尺立体测图和数字影像，以及更新 1：2.5 万等其他更大比例尺的地形图的部分要素，同时对于农业、灾害、资源环境、公共

安全等领域或部门也能提供一定的基础服务。

B.卫星应用系统常被用于处理 2.5 米、4 米和 10 米分辨率的卫星影像及其构成的立体测绘影像, 1: 5 万地形图及其他测绘产品的制作, 修测与更新 1: 2.5 万等更大比例尺地形图, 基于资源三号卫星, 建立有关基础 GIS 生产与更新的技术应用体系。

C.实现业务化运行, 长期、稳定、高效地将高分辨率立体影像转化为高质量的基础地理信息产品, 并为其他用户部门提供高分辨率遥感影像应用服务, 是应用系统建设的最终目标。

D.利用资源三号卫星获取的立体影像, 在构成的立体视野里, 会出现高耸的山体、陡峭的河谷、矗立的灯塔, 栩栩如生的公路、房屋、桥梁, 通过立体观测, 能够完成数字高程模型制作、立体测图等作业, 生产现势性强、精度高的基础地理信息产品, 结合资源三号卫星多光谱影像及各种专题信息, 还可以生产各种融合影像产品、专题产品等, 满足各行业部门的应用需求。

(3) 资源三号卫星优势

A.以往航空摄影, 受天气因素影响很大, 比如有雨的天气就不能拍摄, 导致一年成像面积只有 70 万到 100 万平方公里, 而且是把所有比例尺都算上的, 而资源三号卫星为解决这个矛盾, 利用回访功能, 以特区为单位, 可以避开受天气因素影响的地方选择其他拍摄地方, 并且生成的是一个可量测的实体模型, 我们可以通过计算机直接量测实体模型, 不用全部到野外进行实地测量, 就可实现数据的准确采集。同时也实现了影像加工和整理的整体数字化。

B.实景模型与实体地物之间是存在误差的。不同比例尺误差不一样, 比例尺越大, 相应的精度要求就越高(误差越小)。1: 5 万比例尺地形图要求高程精度达到 5 米, 在一些高山地区还达不到这样高的精度。对 1: 2.5 万这样大的比例尺地形图, 对它进行修测与更新是可以的, 但要达到这样的高精度还是比较困难。资源三号卫星设计的测图比例尺是 1: 5 万, 所以在进行 1: 2.5 万比例尺地形图测量时只能满足部分要素。

3.2 遥感数据预处理

采用 2013 年 4 月 6 日资源三号卫星分幅影像数据, 空间分辨率为 5.8m, 同时向北京市国土资源局收集 2009 年北京市 1:10 万土地利用现状图和北京市交通路线图。首先进行影像的辐射校正, 然后因现状图上不存在高、低密度生活用地, 不利于后期精度验证, 因此实地调查并参照 Google Earth 最新地图进行 2013 年土地利用类型变更处理, 另外, 很多地物类型与所需分类不一致, 如现状图上林地分为有林地、灌木林地、其他

林地以及绿地，因此需将不同林地类型予以合并，均命名为植被区。为与分类图叠加建立误差矩阵验证精度，需要将变更后的土地利用图以 5.8m 为最小单元导出（与遥感影像像元大小一致），最终获取研究区变更后的 2013 年土地利用分类图。

在 Erdas 软件支持下，首先将 1-4 波段影像进行波段合成，以变更后土地利用分类图为参照，分别选取高斯-克里格和西安 80 作为合成影像校正的投影系统和坐标系统，选取 15 个明显的道路交叉点对影像进行校正，校正误差控制在 0.5 个象元。然后进行分幅影像拼接。利用北京市六环路对拼接后的影像进行裁剪，裁剪出北京市六环以内区域为研究区，见图 3.1。



图 3.1 研究区影像图

Fig.3.1 Images of the study area

3.2.1 波段合成

多波段影像组合处理是一种图像增强处理方法，即通过同一地区（或地物）不同波段影像的不同组合叠加，达到突出图像上不同目标的处理方法，这样即综合了各个波段的特性，又扩展了图像的动态范围，使图像上不同类型、形态的地物获得良好的显示效果。多波段图像组合处理即可采用光学方法进行，又可通过数字图像处理实现。

表 3.1 资源三号卫星波段特性

Table3.1 Bands feature of ZY-3

波段	波长 (μm)	波段特性
蓝波段 (B1)	0.45-0.52	该波段位于水体衰减系数最小的位置, 对水体的穿透力最大, 用于判读水体的深度, 研究浅海水下的地形情况和水体浑浊程度等方面, 制作水体和浅海水域图。
绿波段 (B2)	0.52-0.59	该波段位于绿色植物的反射峰附近, 健康茂盛植物对其反射敏感, 可以识别植物的不同种类, 评价植物的生产能力, 对水体也有一定的穿透能力, 可以反映出水下的地形、沙洲、沿岸沙坝等特征。
红波段 (B3)	0.63-0.69	该波段位于叶绿素的主要吸收带, 可用于区分植物类型、覆盖度、判断植物的生长状况等, 此外该波段对可为裸露地表、植被、岩性、地层、构造、地貌、水文等特征提供丰富的植物信息。
近红外波段 (B4)	0.77-0.89	该波段位于植物的高反射区, 反映了大量的植物信息, 多用于植物的识别与分类, 同时它也位于水体的强吸收区, 可有助于识别并勾勒水体边界, 识别与水有关的地质构造、地貌等。

波段合成是以加色法彩色合成为原理, 根据不同地物信息特征, 有依据地选择遥感影像的其中某三个波段, 分别赋予红、绿、蓝三原色, 最终合成假彩色影像。

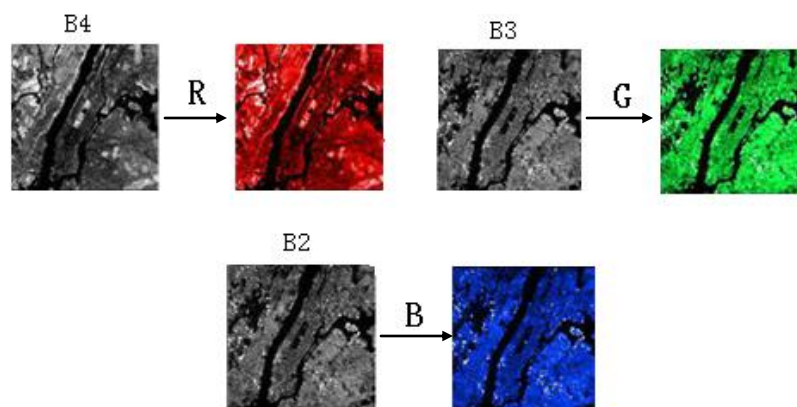


图 3.2 假彩色合成原理图

Fig.3.2 Images of the false color composite

基于 ERDAS 软件, 将 4、3、2 波段的 TIFF 影像一起进行合成, 得到最终合成的假彩色影像, 见图 3.1。

3.2.2 辐射校正

辐射校正 (Radiometric correction) 是指对由于大气、光照等外界因素, 以及数据获取和传输系统等内部因素而产生的辐射失真进行的校正, 对因辐射误差而引起影像畸变进行消除或改正。辐射校正的目的是尽可能消除因传感器自身条件、薄雾等大气条件、太阳位置和角度条件及某些不可避免的噪声等引起的传感器的测量值与目标的光谱反射率或光谱辐射亮度等物理量之间的差异; 尽可能恢复图像的本来面目, 为遥感图像的识别分类、解译等后续工作奠定基础。

引起遥感影像辐射量失真的因素主要有遥感器灵敏度特性引起的辐射失真, 视场角、太阳角、地形起伏及大气吸收、散射等造成的辐射畸变等。

辐射校正需要校正三个主要方面: (1) 光学镜头的非均匀性的边缘减光现象、光电

变换系统的灵敏度等传感器的灵敏度特性引起的辐射误差。(2) 太阳高度角的不同引起的辐射畸变校正、地面倾斜、起伏等光照条件差异引起的辐射畸变。(3) 大气散射和吸收引起的辐射失真。

3.2.2.1 因大气影响引起的辐射误差校正

由于大气散射主要发生在短波段影像（遥感中的可见光以蓝、绿波段最为严重），随着波长的增加，散射作用反而越弱，因此可以将红外影像作为没有受到散射影响的标准图像，将其它波段的影像与其进行对比，其差值就是需要校正的散射辐射值。具体校正方式有回归分析法和直方图法。

在 ERDAS 软件支持下，本研究采用直方图法对影像进行大气辐射校正。其原理图见图 3.3，其中，a 为应减去的大气散射校正值。

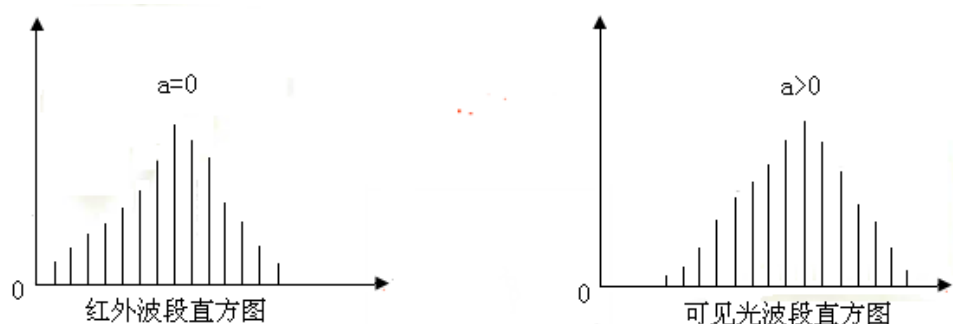


图 3.3 直方图法原理图

Fig.3.3 Images of the histogram principle

3.2.2.2 因太阳辐射引起的辐射误差校正

对于因太阳高度角引起的辐射误差校正，主要有公式法和波段比值法。在 ERDAS 软件支持下，本研究采用公式法对影像进行太阳高度角辐射校正。

太阳高度角的校正通过调整一幅图像内的平均灰度来实现，太阳高度角 θ 斜射时得到的图像 $g(x, y)$ 与直射时得到的图像 $f(x, y)$ 有如下关系：

$$f(x, y) = \frac{g(x, y)}{\sin \theta} \quad \text{公式 (1)}$$

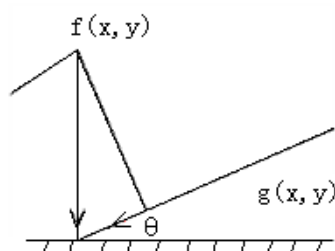


图 3.4 公式法原理图

Fig.3.4 Images of the Formula method principle

3.2.3 几何校正

因飞行器的姿态、高度、速度以及地球自转等因素，当遥感成像时，影像相对于地表目标地物发生了一定程度的几何变形，表现为像元相对于地表目标地物的实际位置发生了一定程度飞挤压、扭曲、拉伸和偏移等，对这些几何误差需要进行校正，即为几何校正（Geometric correction）。

误差来源主要包括内部误差和外部误差。内部误差是由于传感器自身的性能、结构等因素造成；外部误差是传感器以外的因素造成，如地球曲率、地形起伏、地球旋转等。

几何校正包括两个基本环节：像元坐标转换和像元灰度值重采样。一般步骤为：确定校正方法、确定校正公式、验证校正方法、对原始输入影像重采样。

本研究采用多项式直接进行像元坐标转换，校正公式为：

$$\begin{aligned} X_p &= a_0 + a_1x_p + a_2y_p \\ Y_p &= b_0 + b_1x_p + b_2y_p \end{aligned} \quad \text{公式 (2)}$$

式中：(x_p, y_p) (X_p, Y_p) 表示任意一个像元在原始影像和纠正后影像中的坐标。

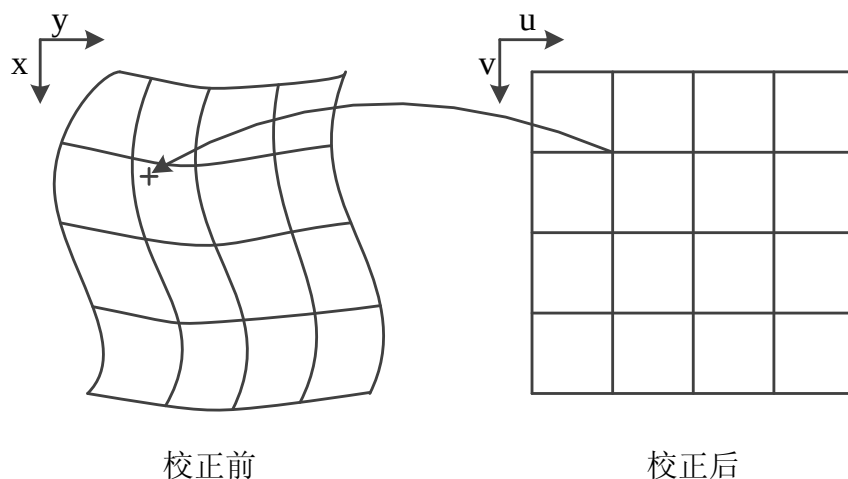


图 3.5 几何校正原理图

Fig.3.5 Figure of geometric correction

重采样包括最邻近法、双线性法、三次卷积法。双线性内插法得到的重采样影像较平滑、没有锯齿状，空间信息更准确，因此，本研究采用双线性法。取 (z, y) 点周围的 4 邻点，在 y 方向（或 x 方向）内插 2 次，再在 x 方向（或 y 方向）内插一次，得到 (x, y) 点的亮度值 f(x, y)，该方法即为双线性内插法。

在 Erdas 软件支持下，以变更后土地利用分类图为参照，分别选取高斯-克里格和西安 80 作为影像校正的投影系统和坐标系统，选取 15 个明显的道路交叉点对影像进行校正，校正误差控制在 0.5 个像元。

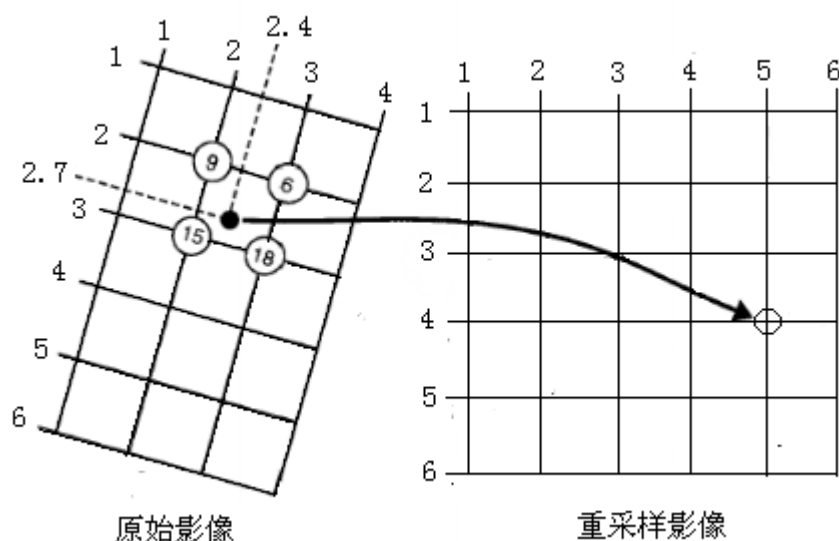


图 3.6 重采样模型图

Fig.3.6 Figure of resampling model



图 3.7 几何校正前后对比图

Fig.3.7 Figure of geometric correction before and after contrast

3.2.4 分幅影像拼接

影像拼接技术就是将数张有重叠部分的图像（可能是不同时间、不同视角或者不同传感器获得的）拼成一幅大型的无缝影像的一门遥感技术。

影像拼接是生成完整全景图的关键，影像拼接主要采用两种方式进行：一是采用两幅图像亮度差最小的方法，二是采用特征的方法。第二种方法目前使用最多当需要拼接的影像存在一定的倾斜和变形以及相邻影像之间存在一定的色差时，该方法可以很好的解决这些问题。影像拼接主要包括 4 个步骤：（1）确定两幅相邻影像重合的较精确位置，为特征点的搜索奠定基础，即图像预拼接；（2）在基本重合位置确定之后，找到需要进行匹配的特征点，即提取特征点；（3）根据匹配点建立图像的变换矩阵并实现图像的拼接，即图像矩阵变换及拼接；（4）图像平滑处理。

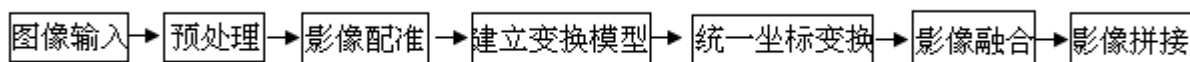


图 3.8 影像拼接流程图

Fig.3.8 The flow chart of image stitching

3.2.5 影像裁剪

影像裁剪是根据实际工作或者研究的区域的范围，把影像裁剪出一个或多个新的影像文件。影像裁剪是输入一幅能涵盖研究区的影像，通过掩膜（研究区范围的区文件等），裁剪出新的结果文件，范围和掩膜范围一致。

由于研究区范围为六环以内的区域，因此需要对拼接后的影像进行裁剪（Subset Image），以得到六环以内的研究区域。按照 ERDAS 实际图像分幅裁剪的过程，可以将图像分幅裁剪分为两种类型：规则分幅裁剪（Rectangle Subset），不规则分幅裁剪（Pdygon Subset）。

规则分幅裁剪是指利用一个矩形对遥感影像进行裁剪，利用左上角和右下角两点的坐标，确定影像的裁剪位置，规则分幅裁剪的整个裁剪过程相对比较简单。

不规则分幅裁剪是指采用任意多边形对影像进行裁剪，这个任意多边形必须事先自己做好，且必须是闭合的，这个多边形可以在 ERDAS 中生成 AOI，也可以在 ARCGIS 中生成 shape 文件都可。

本研究采用不规则分幅裁剪，得到六环以内的研究区。

3.3 非遥感数据获取

本研究还搜集了大量的非遥感数据，作为辅助资料，图像资料包括北京市 2008 年土地利用现状图、Google Earth 最近地图；文本资料包括北京市自然、社会经济、地质水文资料及相关已发表的研究成果等。

4. 基于面向对象的六环内用地信息提取

4.1 面向对象分类法

本研究分析城市内部各类用地的显著特征，探索采用面向对象法准确提取城市内部用地类型，技术路线图见图 4.1。

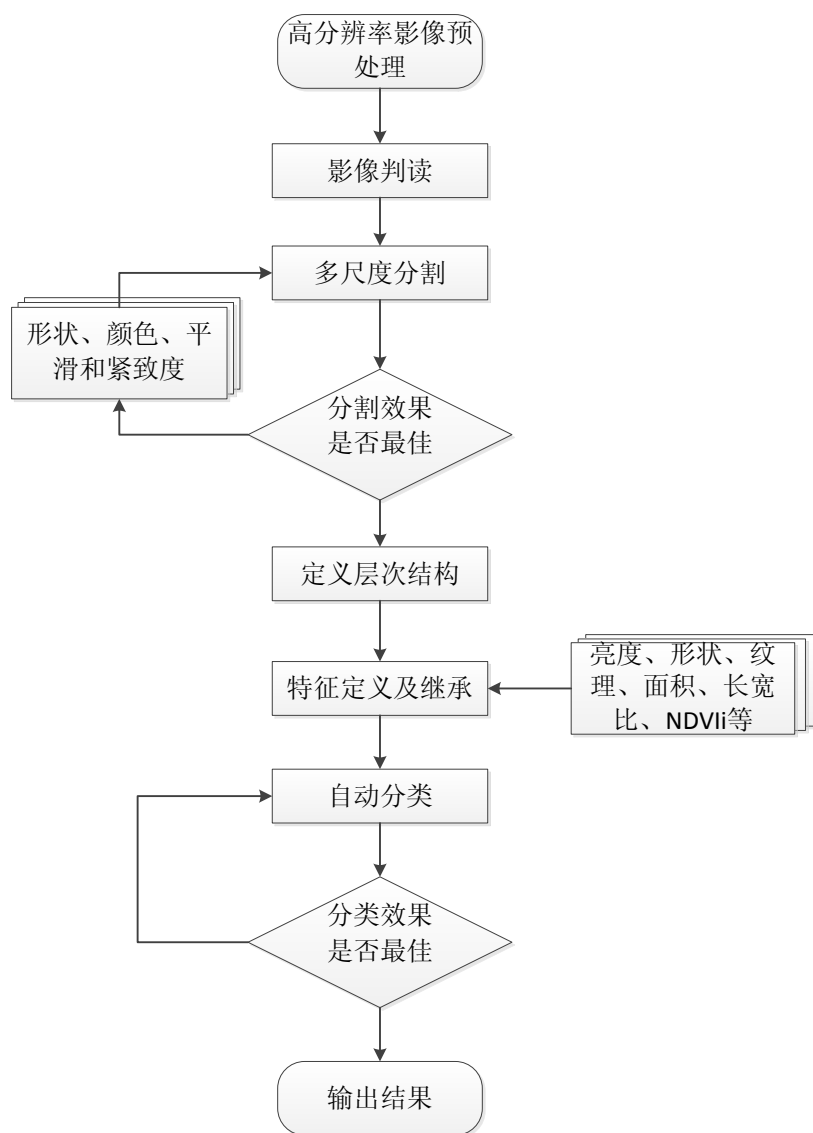


图 4.1 面向对象分类流程图

Fig.4.1 The flow chart of object-oriented classification

面向对象分类方法是以对象作为分类的最小单元，对象的生成可以由已有的专题图获取，也可以采用遥感影像分类的方法生成。

在分类过程中，对对象进行分析，提取光谱、形状、纹理及空间关系信息，并将这些信息作为知识加入分类器中，同时将已有的 GIS 数据作为知识加入到分类器中，这样极大地提高了分类精度，知识的加入可以通过决策树来实现。

该方法充分利用了高分辨率遥感影像的特点，使分类结果更接近于目视判读的效果，有效地提高分类精度；以多尺度分割对象为最小单元，利用对象的几何信息、纹理信息和空间关系进行地物信息提取，有效避免了破碎图斑的产生且降低了光谱混淆程度（常春艳等，2012）；分类后还可以通过建立对象之间的拓扑关系来反映地理实体之间的关系，利用 GIS 的空间分析法对遥感数据进行更深层次的挖掘。

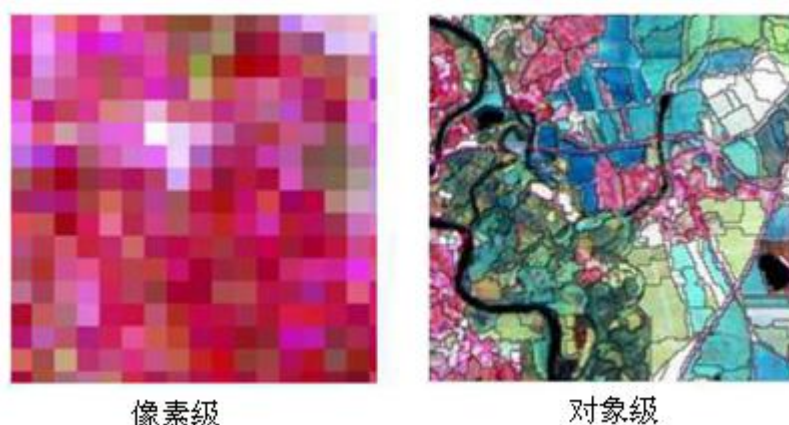


图 4.2 像素级和对象级对比图

Fig.4.2 Figure of pixel level and object level contrasted

面向对象分类方法包括基于样本的分类方法和基于规则模式的分类方法。

基于样本的分类也称最邻近分类，是指通过选取一系列样本对象，选择特征集（多个特征），计算这些样本在这些特征空间的分离度。再根据分离高的特征计算所有对象与样本点的距离，距离小于阈值，则归为一类。即是在声明每个类的样本对象后，每个影像对象都赋为特征空间中最邻近样本所代表的的类中。

基于规则模式的分类方法也称隶属度函数分类，是指为对象选取特征并对这些特征的信用隶属度函数进行描述，将这一对象归为一类的过程，可精确定义为对象属于某一类的标准，是基于一个特征的，如果一个类仅仅通过一个特征或者只用少数的特征就能和其他类区分，则可以使用隶属度函数，它是一种模糊函数，在分类中，当完全不属于该类时，隶属度为 0；完全属于时，隶属度为 1。

4.1.1 隶属度函数法

若对研究区 U 中的任意某个元素 x ，都存在一个数 $A(x) \in [0, 1]$ 与之对应，则称 A 为 U 上的模糊集， $A(x)$ 即为 x 对 A 的隶属度。当 x 在 U 中变动时， $A(x)$ 就是一个函数，即称为 A 的隶属函数。隶属度 $A(x)$ 越接近于 1，代表 x 属于 A 的程度越高， $A(x)$ 越接近于 0，代表 x 属于 A 的程度越低。用取值于区间 0, 1 的隶属函数 $A(x)$ 表征 x 属于 A 的程度高低。隶属度属于模糊评价函数里的概念：模糊综合评价是一种十分有效的多因素决策方法，指对受多种因素影响的事物做出全面的评价，其特点是评价结果并不是绝对地肯定或否定，而是以一个模糊集合来表示评价结果。

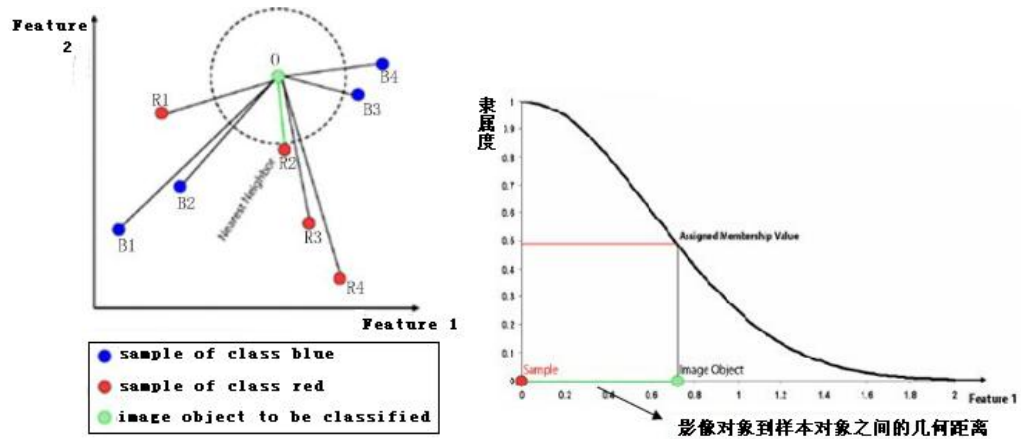


图 4.3 隶属度函数原理图

Fig.4.3 Figure of Membership Functions

本研究采用隶属度函数法提取北京市六环内城市内部用地。该方法将对象的特征值转换成模糊值,即进行标准化处理,实现特征间的组合和特征的灵活选取(张峰等,2003),其原理是把像元的类型特征值转换成 0 与 1 之间的模糊值,以表明某一类的隶属度。隶属度函数提取研究区内地物信息步骤主要包括多尺度分割、分类层次构建、分类特征选取与计算和影像分类 4 部分。技术路线如图 4.4。

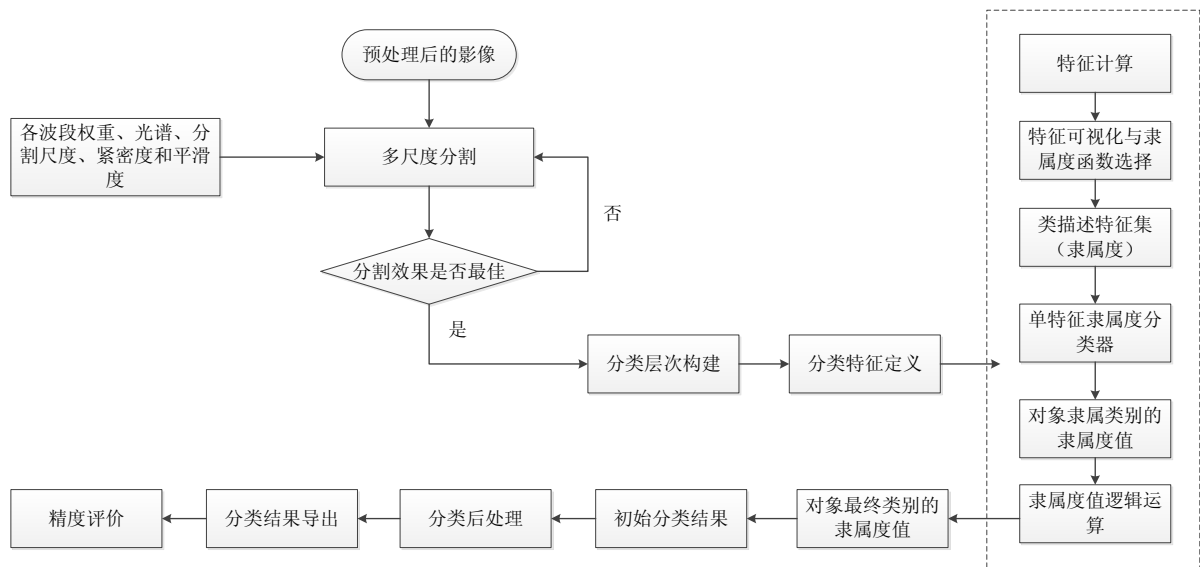


图4.4 隶属度函数分类技术路线

Fig.4.4 Technology roadmap of object-oriented classification

4.1.2 影像分割

影像分割是指根据影像的部分特征将一幅影像分成若干“有意义”的互不交叠的区域,使得这些特征在某一区域内表现一致或相似,而在不同区域间表现出明显的不同。它是对遥感影像进行进一步面向对象分析、理解和识别的基础,是高分辨率遥感影像应用领域的关键技术之一。

eCognition 中的影像分割算法主要有：

(1) 棋盘算法：是最快的分割算法，但对感兴趣对象的特征描述并不有效。分割产生相同大小的对象。

(2) 四叉树分割：分割速度很快，可以产生多种尺度大小的对象。直接产生的对象没什么意义，但对后续光谱差异分割和多尺度分割区域生长算法有用。

(3) 多尺度分割：用的最多、最有效、速度最慢的一种分割方式。

(4) 光谱差异分割：影像对象域只能为对象。

(5) 多阈值分割：当需要基于绝对的像素值进行分割时使用这个算法。

4.1.2.1 多尺度分割

多尺度分割采用异质性最小的区域合并算法，先将单个像元合并为较小的影像对象，再将较小的影像对象合并成较大的多边形对象，分割过程中多边形对象异质性逐渐减小，实现整幅影像在给定分割尺度下所有影像对象的平均异质性最小，是逐级合并的过程（管珍等，2010）。

多尺度分割采用的是自下向上的区域增长算法，也就是采用数据驱动法完全分割影像。具体策略为：开始于单像素大小的影像对象，在整个影像范围里，把相邻的小影像对象逐步合并为较大的影像对象。合并新形成的较大影像区域局部异质性随着影像对象的合并依此逐步减小，多尺度分割处理流程见图 4.5。当合并后的影像对象异质性达到最小时，合并过程就会结束，完成整个多尺度分割过程。根据所要提取的目标地物特征或其空间结构的大小范围占整个影像区域的像元数来最终确定分割参数。分割参数设置越小，多尺度分割过程进行越快，分割最终形成的影像对象也就越小，异质性越低，即生成的影像对象大小直接受到分割参数的影响，随分割参数增大而增大。

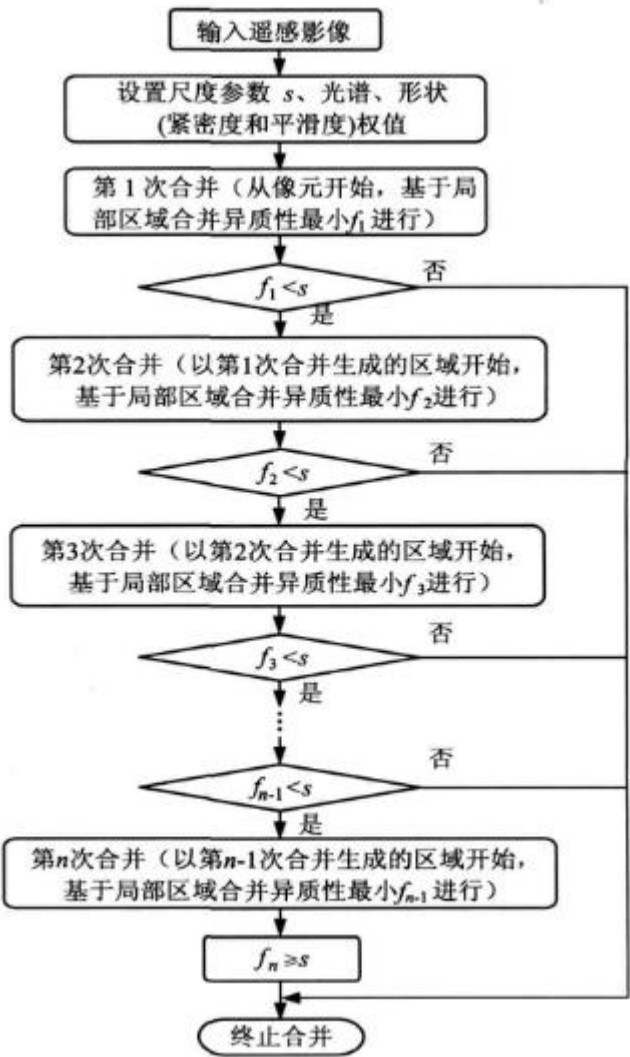


图4.5 基于异质性最小多尺度分割算法流程图

Fig.4.5 Flowchart of multi-i scale segmentation based on minimum heterogeneity

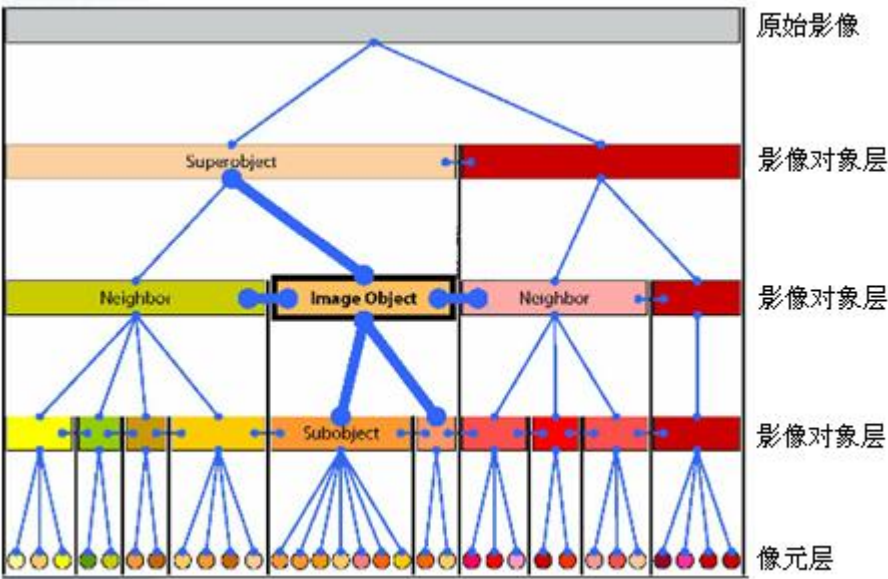


图4.6 基于异质性最小多尺度分割算法模型图

Fig.4.6 Model figure of multi-scale segmentation based on minimum heterogeneity

4.1.2.2 分割参数选择

(1) 分割参数

分割参数的选择直接影响分割效果，分割参数包括各波段权重、分割尺度、光谱因子和形状因子（形状因子包括紧致度和光滑度）（王彩艳等，2014）。

光谱异质性（ h_{color} ）表示对象内部各像素之间的光谱差异性，通过对象各个波段光谱值标准差的加权和来表示（王彩艳等，2014），计算如公式（3）。

$$h_{color} = \sum_{k=1}^m w_k \times \sigma_k \quad \text{公式（3）}$$

式中， h_{color} 为光谱异质性， σ_k 为各波段的光谱标准差， w_k 为各波段的光谱权重。

形状异质性（ h_{shape} ）表示对象形状的差异性，如公式（4）。通过紧密度和光滑度加权和来描述对象的形状特征。对象紧密度描述对象饱满程度，即接近正方形和接近圆形的程度。对象光滑度描述对象边界破碎程度（王彩艳等，2014）。如公式（5），（6）。

$$h_{shape} = w_{compactness} \times h_{compactness} + (1 - w_{compactness}) \times h_{smooth} \quad \text{公式（4）}$$

式中， $w_{compactness}$ 是紧密度的权重， $0 \leq w_{compactness} \leq 1$ ， $h_{compactness}$ 表示紧密度， h_{smooth} 表示光滑度。

$$compactness = l/\sqrt{n} \quad \text{公式（5）}$$

式中， $compactness$ 为紧密度， l 为对象轮廓边界的长度， n 为对象内部包含的像素个数。

$$smooth = l/b \quad \text{公式（6）}$$

式中， $smooth$ 为光滑度， l 为对象轮廓边界的长度， b 为对象最小外包矩形的边界长度。

将光谱参数和形状参数结合，构成分割函数(S_f)，在影像中创建相对同质像元的对象（王彩艳等，2014）。如公式（7）。

$$S_f = w_{color} \times h_{color} + (1 - w_{color}) \times h_{shape} \quad \text{公式（7）}$$

式中， w_{color} 是相对于形状自定义的权重系数， $0 \leq w_{color} \leq 1$ 。 w_{color} 值设置越大，越突出强调图像的色彩特征；同理，形状参数权重系数 $w_{compactness}$ 设置较大，越突出强调图像的形状特征。

(2) 分割参数选择原则

为确保不同的影像区域获得影像对象得到区分，尽量采用最大可能的分割尺度（前提是需要满足必要的精度条件）；形状作为首要考虑的标准，满足这一标准之后，优先考虑采用颜色作为标准。主要是因为遥感影像数据中光谱特征是最为基本且重要的参考

信息，光谱因素通常在参数设置中占有较大的比重，形状标准的权重如果设置太高可能会影响分割效果；针对处于边界光谱的土地利用信息，尽量将光滑度参数设置高一点；针对形状比较紧凑的土地利用信息，尽量将紧凑度参数设置较高。

形状因素对于避免因影像对象形状不完整而造成精度降低具有重要作用，紧凑度参数对于区分结构紧凑与不紧凑的目标地物具有重要意义，光滑度因素有助于完善边界相对光滑的影像对象。

根据上述原则，针对研究区复杂的地物特征，经反复试验，分割尺度依次为 200、150、100 和 50，基于像元以 200 尺度进行初始分割。在此基础上，依次基于对象以 150 和 100 尺度进行分割，为使所有分类集中显示，最后以 50 分割尺度基于像元分割，分别定义为 Level1，Level2，Level3 和 Level4。形状指数和紧致度分别为 0.1 和 0.5，各波段的权重均为 1。上下层影像对象之间存在属性继承关系。

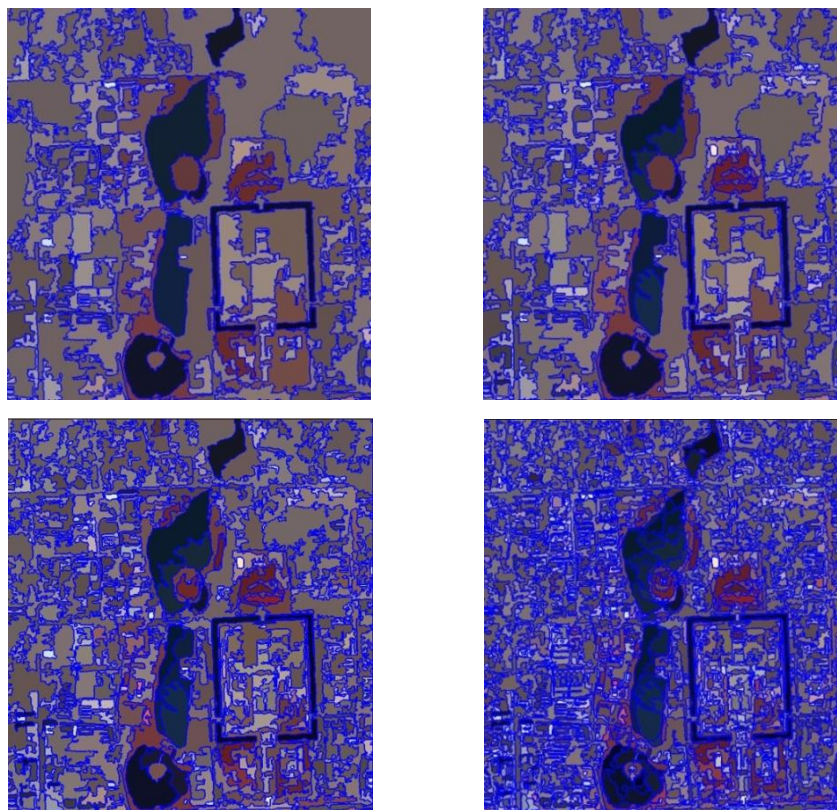


图4.7 200, 150,100和50尺度分割效果（自左向右）

Fig.4.7 Segmentation in 200, 150, 100 and 50 scales

4.1.3 分类层次构建

北京市六环内用地类型复杂多样，建设用地内部地物类型复杂，地物特征分析后，发现工业用地较其他建设用地类型特征明显，将其提取出来可以更好地利用土地刻画产业空间布局；另外，商服用地、旅游用地等与居住用地较难区分，统称为居民生活用地，

可根据楼间距细分为高、低密度生活用地。

城市的土地集约利用目前已成为地理学、经济学以及城市规划学研究的热点问题之一（毛蒋兴等，2005）。改革开放后，我国工业化和城镇化进程急剧，对于城市用地的需求量迅速膨胀，在庞大的需求压力下，城市土地粗放低效利用的问题日益严峻，表现在城市用地失控，直接占用大量耕地（陶然等，2007；刘新卫等，2008；邵晓梅等，2006）；城市用地结构不合理（刘新卫等，2008；张民省，2008）等。为提高城市土地集约利用程度，许多文献把城镇建设密度作为衡量城市土地利用效率的指标之一（毛蒋兴等，2005；邵晓梅等，2006；郑泽庆等，2008）。北京市建筑用地密度分布不均现象明显，即城市建设中存在明显的不合理状况，将城镇居民生活建筑用地从密度角度细分为高、低密度城镇用地，可为城市规划建设提供参考信息，以提高城市土地集约利用程度，具有十分重要的现实意义。

因此，在全国土地利用分类、城乡用地分类及城市建设用地分类的基础上，将建设用地分为工业生产用地、高密度生活用地、低密度生活用地、农村居民点、交通用地、机场等。非建设用地有绿地、湖泊、农用地、待开发用地等。不同种类概念界定见表 4.1。

表 4.1 地物类型概念界定

Table 4.1 The concepts of feature type

用地类型	概念界定
建设用地	工业生产用地 独立设置的工厂、车间、手工业作坊、建筑安装的生产场地、排渣（灰）场地等用地。
	高密度生活用地 工业生产用地以外的、楼间距 20m 以内的居住、行政、商服等生活用地。
	低密度生活用地 工业生产用地以外的、楼间距 20m 以上的居住、行政、商服等生活用地。
	农村居民点 农村人口聚居的场所。一般可分为农村集镇（为乡所在地，又称为乡镇）、中心村（为过去生产大队所在地）和基层村（为过去生产队所在地）。
	交通用地 居民点以外的各种道路及其附属设施用地和民用机场用地，包括城铁、铁路、高速公路、城市道路。
	机场 称飞机场、空港，较正式的名称是航空站。
非建设用地	农用地 用于农业生产的土地。
	植被 公园、动植物园、陵园、风景名胜、防护林、水源保护林以及其他公共绿地等植被区。
	湖泊 城市内部天然形成的积水区常水位岸线所围成的水面。
	河流 城市内部天然形成或人工开挖河流常水位岸线之间的水面，不包括被堤坝拦截后形成的水库水面。
	待开发土地 指经有关部门批准，通过各种方式获得土地使用权，但尚未进行开发的土地面积。

参照变更后的土地利用分类图，结合各分割尺度层次下影像对象自身特点，根据分割尺度由大到小，提取地物由易到难的原则构建信息提取分类层次。

一级分割尺度最大，适合提取面积较大或特征极为明显的地物类型，经过多次试验，在该层次下提取水域，绿地，部分工业生产用地。水域分为水库和河流 2 种子类。二级层次下提取农用地、待开发用地，部分小面积工业生产用地和机场。三级分割尺度较小，可以把道路分割精细，但是由于建设用地也被分割较细，导致建筑物阴影脱离建筑物单独分割出来，因此需要对该尺度下的阴影进行单独提取，这些阴影主要是城镇用地的阴影，农村居民点阴影不明显。因此，利用 Level3 在继承 level2 各种地物特征的基础上，提取道路，阴影道路、阴影、城镇居民生活用地和农村居民点。城镇居民生活用地分为高密度生活用地和低密度生活用地 2 种子类。四级层次下各种地物分别继承 1-3 级的对应地物特征，集中显示。分类层次构建见表 6.2。

表 4.2 地物类型分类层次表
Table 4.2 Table of object type classification level

层次	目标地物（母类）	目标地物（子类）
Level1	水域	河流
		湖泊
	部分工业生产用地	
	植被	
Level2	农用地	
	待开发用地	
	小面积工业生产用地	
	机场	
Level3	交通用地	
	阴影	
	城镇建设用地	低密度城镇用地
		高密度城镇用地
	农村居民点	

4.1.4 分类特征定义

特征是指目标对象的相关信息的表述。分类过程中应用最多的两类大特征：影像对象特征，即和一个对象关联的表述其信息的特征，包括光谱、形状、纹理等特征；类相关特征（空间关系特征），即一个类和整个层次结构中的类关联表述，包括给定了类的子对象数量及给定类的子对象的相邻关系。

4.1.4.1 光谱特征

自然界中无论哪种地物对于电磁波反应都不同，表现出其独特的电磁波辐射规律，例如某些地物可以反射，吸收外来的紫外线、可见光、红外线和微波的某些波段，同时它们又都可以发射某些红外线和微波；少数的某些地类还可以透射电磁波，这些地物特性即为地物的光谱特征。

光谱特征属于典型的全局性特征，它表达了图像或图像区域所对应的地物类型的从外表看出的性质。通常光谱特征是基于像素的特征，此时所有属于影像或影像对象的像素都扮演着不同的角色，起着不同的作用。因为光谱对影像或影像对象的方向、大小等变化极为不敏感，因此光谱特征针对不同地物类型的局部特征不能很好把握。另外，如果只采用光谱特征分类，倘若数据量很大的话，常会将许多容易影响精度的次要地物信息也提取出来，即异物同谱；同时同一种地物类型受到大气等的影响，也会表现出同物异谱。常见的光谱特征有：亮度值、最大及最小均值、最大均值差、均值、标准差、最大及最小像素值、以及各种指数（包括植被指数、水体指数、建筑物指数等）。

4.1.4.2 形状特征

不同的基于形状特征的分类方法相对来说提取影像中的目标地物信息效果还是很好的，但也存一定的问题，包括：①目前基于形状特征的分类方法相对来说其数学模型不是很完善；②如果目标地物信息出现一定变形，可能提取结果不一定符合实际；③很多形状特征往往只描述了目标地物某一部分的特征，实现全面描述目标地物信息困难较大；④很多形状特征反映的目标地物的形状信息可能与人的直观感觉存在一定差距，也就是说，特征空间的相似性与人视觉系统感受到的相似性可能存在不一致。

通常情况下，形状特征有两类表示方法，一类是轮廓特征，另一类是区域特征。影像的轮廓特征主要针对地物类型的外边界，而整个形状区域则需要影像的区域特征来表示。常见的形状特征有：面积、周长、等价直径、长度、宽度、长宽比、形状指数。

4.1.4.3 纹理特征

纹理特征也属于一种全局性特征，它也描述了影像或影像对象所对应地物类型的表面性质。但纹理特征只是一种表面特性，并不能完全反映出地物的内部本质属性，所以只采用纹理特征对于获得高层次图像内容较为困难，甚至实现不了。

与光谱特征不同，纹理特征并不是基于像素的特征，而是由多个像素构成对象作为最小单元基础。在模式匹配中，这种区域性的特征优越性较大，不会出现因局部偏差无法成功匹配的情况。作为一种统计特征，纹理特征有旋转不变性的典型特征，并且抗噪

能力较强。但是,纹理特征也存在一定的弊端,其中一个很明显的弊端就是当影像分辨率发生变化时,所计算出来的纹理有可能出现一定的偏差。另外,因光照、反射情况等的影响,2D 图像中反映出来的地物信息的纹理特征可能会与 3D 地物表面真实的纹理存在一定的差距。

常见的纹理特征有:灰度共生矩阵、灰度级差矢量、Tamura 纹理特征 (TAMURA H *et al.*, 2003)、自回归纹理模型 (JIANCHANGM *et al.*, 1992)、小波变换 (乔志杰等, 2006; DAUGMAN JG, 1985) 等。灰度共生矩阵和灰度级差矢量特征提取与匹配主要依赖于能量、惯量、熵和相关性四个参数。Tamura 纹理特征基于人类对纹理的视觉感知心理学研究,提出 6 种属性,即:粗糙度、对比度、方向度、线像度、规整度和粗略度 (TAMURA H *et al.*, 2003)。自回归纹理模型 (simultaneous auto-regressive, SAR) 是马尔可夫随机场 (MRF) 模型的一种应用实例 (JIANCHANGM *et al.*, 1992)。

4.1.4.4 空间关系特征

所谓空间关系,是指图像中分割出来的多个目标之间的相互的空间位置或相对方向关系,这些关系也可分为连接/邻接关系、交叠/重叠关系和包含/包容关系等 (汪彦龙等, 2006)。通常空间位置信息可以分为两类:相对空间位置信息和绝对空间位置信息。前一种关系强调的是目标之间的相对情况,如上下左右关系等,后一种关系强调的是目标之间的距离大小以及方位。显而易见,由绝对空间位置可推出相对空间位置,但表达相对空间位置信息常比较简单。

空间关系特征的使用可加强对图像内容的描述区分能力,但空间关系特征常对图像或目标的旋转、反转、尺度变化等比较敏感。另外,实际应用中,仅仅利用空间信息往往是不够的,不能有效准确地表达场景信息。为了检索,除使用空间关系特征外,还需要其它特征来配合。

常用的空间关系特征有:与邻域对象的关系特征包括类型是否发生 (Existence of Class); 对类型的距离 (Distance to Class); 与类型的相反相似性 (Invert Similarity to Classes)。

4.1.4.5 本研究选取的分类特征

水体在近红外波段 (第 4 波段) 强吸收,大部分水体在该波段下呈现蓝黑色或深蓝色,阴影在光谱特征上与水体相似,但水体面积较阴影大,在 200 尺度下 (第一尺度层) 分割效果很好,而阴影面积较小,在 200 尺度下其与建筑物同属一个对象,没有分离,因此可以在第一尺度下仅靠光谱特征就可以排除阴影干扰提取水体。阴影形状细长,与

交通用地相似，但是两者在近红外波段的光谱特征差异较大，因此，可以利用光谱特征剔除阴影，然后利用形状特征提取交通用地。植被在蓝光波段强吸收，在近红外波段高反射；建设用地内部纹理、亮度和面积等特征差异较大，如高密度生活用地纹理细致紧密，低密度生活用地楼房间距大、阴影清晰、沟纹较深，因此可以选择纹理特征就行区分，反复试验发现灰度极差矢量 135 度方向能将城镇居民生活用地提取出来，而灰度共生矩阵 135 度方向能区分高低密度。工业生产用地亮度较大、分布零散、部分工业生产用地面积较小。

基于此，选取光谱特征包括亮度值（Brightness），第 4 波段均值（Mean Layer4），归一化植被指数（NDVI）；几何特征包括长宽比（Length/Width），面积（Area）；纹理特征中的灰度级差矢量对比度（Gray Level Difference Vector Contrast, GLDV Contrast）和灰度共生矩阵对比度（Gray Level Co-occurrence Matrix Contrast, GLCM Contrast），135 度方向；辅助与邻域对象的关系特征包括类型是否发生（Existence of Class）；对类型的距离（Distance to Class）；与类型的相反相似性（Invert Similarity to Classes）等其他特征，针对不同地物类型，反复试验后设置合理阈值，精确提取。

（1）波段均值

均值（Mean）是由构成一个影像对象的所有 n 个像素的图层值 c_{li} 计算得到。

$$Mean = \bar{c}_l = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n c_{li} \quad \text{公式（8）}$$

（2）亮度值（DN 值）

亮度值（Brightness）是由包含光谱信息的图层平均值的总和与影像对象的图层数量的比值得到，即 DN 值（Digital Number），是记录的地物的灰度值。无单位，是一个整数，值大小与传感器的辐射分辨率、地物发射率、大气透过率和散射率等有关。

$$Brightness = \frac{1}{n_l} \cdot \sum_{i=1}^{n_l} \bar{c}_l \quad \text{公式（9）}$$

（3）归一化植被指数

归一化植被指数（NDVI）是近红外波段与红光波段的差与这两个波段的和的比值，常用来检测植被生长状态、植被覆盖度和消除部分辐射误差。是最常用的植被指数，虽然 NDVI 对土壤背景的变化较为敏感，但由于 NDVI 可以消除大部分与仪器定标、太阳角、地形、云阴影和大气条件有关辐照度的变化，增强了对植被的响应能力，是目前已有的 40 多种植被指数中应用最广的一种（李民赞，2006）。

$$NDVI = \frac{B_4 - B_3}{B_4 + B_3} \quad \text{公式 (10)}$$

(4) 长宽比 (Length/Width)

长宽比等于协方差矩阵的特征值的比值, 较大的特征值是分数的分子或者长宽比也可以用边界框来近似。取两者中较小的结果作为特征值。

$$\begin{cases} \frac{Length}{Width} = \frac{eig_1(S)}{eig_2(S)}, & eig_1(S) > eig_2(S) \textcircled{1} \\ \frac{Length}{Width} = \frac{a^2 + ((1-f) \cdot b)^2}{A} \textcircled{2} \end{cases} \quad \text{公式 (11)}$$

式中: $eig(S)$: 协方差矩阵的特征值 (即对协方差矩阵进行特征分解)

a: 边界框长度 b: 边界框宽度 f: 边界框填充度 A: 影像对象的面积

假设 X 是以 n 个标量随机变量组成的列向量, 并且 μ_k 是其第 k 个元素的期望值, 即 $\mu_k = E[X_{(k)}]$; 协方差矩阵然后被定义为:

$$\begin{aligned} \Sigma &= E\{(X - E[X])(X - E[X])^T\} \quad \text{公式 (12)} \\ &= \begin{bmatrix} E[(X_1 - u_1)(X_1 - u_1)] & E[(X_1 - u_1)(X_2 - u_2)] & \dots & E[(X_1 - u_1)(X_n - u_n)] \\ E[(X_2 - u_2)(X_1 - u_1)] & E[(X_2 - u_2)(X_2 - u_2)] & \dots & E[(X_2 - u_2)(X_n - u_n)] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E[(X_n - u_n)(X_1 - u_1)] & E[(X_n - u_n)(X_2 - u_2)] & \dots & E[(X_n - u_n)(X_n - u_n)] \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(5) 面积

面积 (Area) 即构成影像对象的像素的数量, 无单位。实际计算时需要乘以分辨率的平方, 以求得实地的面积, 有单位,。

(6) 灰度级差矢量

灰度级差矢量数学定义为: $I(x, y)$ 为图像灰度, 对于任意位移 $\delta = (\Delta x, \Delta y)$, 有 $I_\delta(x, y) = |I(x, y) - I(x + \Delta x, y + \Delta y)|$ 公式 (13)

其中, $\Delta x, \Delta y$ 为整数。设图像灰度级数为 m , 则存在一个 m 维的特征矢量, 其第 i 个分量就是 $I_\delta(x, y)$ 的像素值为 i 的概率。 $I_\delta(x, y)$ 值的大小就代表了图像纹理的精细程度。若纹理较粗糙, δ 相对于纹理基元的尺寸较小, 相距 δ 的各对像素点应具有相近的灰度级, $I_\delta(x, y)$ 的值就较大; 相反, 纹理较精细, $I_\delta(x, y)$ 的值就较小。

灰度级差矢量包括均值 (Mean)、对比度 (Contrast)、熵 (Entropy)、角二阶距 (Angular Second Moment) 4 个纹理特征统计量, 每个特征包括 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个方向。

通过计算研究区灰度级差矢量的 4 个纹理特征统计量, 对比分析后, 发现灰度级差矢量对比度 (135° 方向) 可以有效提取居民生活建筑用地信息。

灰度级差矢量对比度即纹理的清晰程度，可体现图像的清晰度。纹理的沟纹越深，对比度越大。

$$\text{表达式为: } Contrast = \sum_i i^2 p_{\delta}(i) \quad \text{公式 (14)}$$

其中， p_{δ} 为 $I_{\delta}(x, y)$ 的概率密度。

(7) 灰度共生矩阵

灰度共生矩阵是指将影像的纹理通过利用影像灰度级之间的二阶联合条件概率密度来表示（龙鹏飞等，2009）。灰度直方图是指统计影像单个像素的某个灰度，而灰度共生矩阵则是统计影像上保持某距离的两像素分别具有某种灰度的情况。

虽然影像灰度方向、间隔以及变化幅度等重要信息都可以通过灰度共生矩阵展示，但区别纹理的特性却不能通过其展示出来，因此需要在灰度共生矩阵的基础上将用来定量描述纹理特征的统计属性提取出来（龙鹏飞等，2009）。

任取遥感影像($N \times N$)中一点，坐标设为 (x, y) ，同时选取偏离该点的另外一个点，坐标设为 $(x+a, y+b)$ ，将两者组成点对，将其灰度值设置为 (g_1, g_2) 。在整个区域内移动 (x, y) 点，得到各种灰度值 (g_1, g_2) ，将灰度值级别数设置为 k ，则共有 k^2 种 (g_1, g_2) 组合。针对整个区域，将每种 (g_1, g_2) 值出现的频率统计出来，排列形成一个方阵，再利用 (g_1, g_2) 出现的总频率将每种 (g_1, g_2) 值出现的频率归一化形成出现的概率 $P(g_1, g_2)$ ，该方阵即称为灰度共生矩阵。相距 (a, b) 差分值之间选取不同的数值，获取所取不同值对应的联合概率矩阵。依据纹理分布的周期性特点来选择 (a, b) 的取值，纹理较细的情况下，选取 $(1, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 $(2, 0)$ 等较小的差分数值。

灰度共生矩阵中的元素 (g_1, g_2) 的值表示了在图像中其中一个像素的灰度值为 g_1 ，另一个像素的灰度值为 g_2 ，并且相邻距离为 d ，方向为 A 的这样两个像素出现的次数。在实际应用中 A 一般选择为 0° 、 45° 、 90° 、 135° 。

当 $a=1, b=0$ 时，像素对是水平的，即 0 度扫描；当 $a=0, b=1$ 时，像素对是垂直的，即 90 度扫描；当 $a=1, b=1$ 时，像素对是右对角线的，即 45 度扫描；当 $a=-1, b=1$ 时，像素对是左对角线，即 135 度扫描。

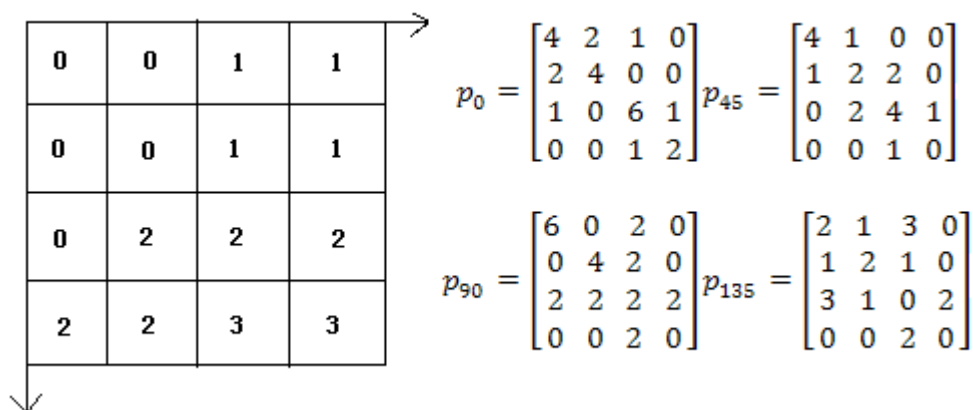


图4.8 不同方向的灰度共生矩阵 (d=1)

Fig4.8 GLCM of different directions (d=1)

这样，两个像素灰度级同时发生的概率，就将 (x, y) 的空间坐标转化为“灰度对” (g_1, g_2) 的描述，形成了灰度共生矩阵。

实验中对灰度共生矩阵进行了如下的归一化：

$$P(g_1, g_2) = \frac{p(g_1, g_2)}{R}, \quad R = \begin{cases} N(N-1) & \theta=0 \text{ 或 } \theta=90 \\ (N-1)^2 & \theta=45 \text{ 或 } \theta=135 \end{cases}$$

公式 (19)

灰度共生矩阵数学定义为：从影像 (x, y) 灰度为 i 的点离开某个固定位置关系 $\delta = (D_x, D_y)$ 的点上的灰度为 j 的概率（其中 D_x, D_y 分别表示垂直和水平的距离）。表示为 $P_\delta(i, j), (i, j = 0, 1, 2, \dots, L-1)$ 。

公式 (20)

其中， L 表示图像的灰度级； i, j 分别表示两个像素的灰度； δ 表示两个像素间的空间位置关系。不同的 δ 决定了两个像素间的距离和方向。

Haralick 定义了 14 种纹理特征 (Haralick R M et al., 1973)。常用的用于提取遥感影像中的纹理信息的特征统计量主要有：均值 (Mean)、对比度 (Contrast)、熵 (Entropy)、角二阶距 (Angular Second Moment) 4 个纹理特征统计量，每个特征包括 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个方向。

$$\text{Mean} = \sum_{i=0}^{\text{quant}_k} \sum_{j=0}^{\text{quant}_k} p(i, j) * i$$

公式 (21)

均值反映纹理的规则程度，纹理杂乱无章、难以描述的，值较小；规则律性强、易于描述的，值较大。

$$\text{Contrast} = \sum_{i=0}^{\text{quant}_k} \sum_{j=0}^{\text{quant}_k} p(i, j) * (i - j)^2$$

公式 (22)

对比度反映图像中局部灰度变化总量。在图像中，如局部像素对的灰度差别越大，

则图像的对比度越大，图像的视觉效果越清晰。

$$\text{Entropy} = - \sum_{i=0}^{\text{quant}_k} \sum_{j=0}^{\text{quant}_k} p(i, j) * \ln p(i, j) \quad \text{公式 (23)}$$

熵是图像所具有的信息量的度量，是测量灰度级分布随机性的特征参数，表征了图像中纹理的复杂程度。图像的纹理越复杂，熵值越大；反之，图像中的灰度越均匀，则熵值越小。

$$\text{ASM} = \sum_{i=0}^{\text{quant}_k} \sum_{j=0}^{\text{quant}_k} p(i, j)^2 \quad \text{公式 (24)}$$

角二阶矩也叫能量，是图像灰度分布均匀性的度量。当 GLCM 中元素分布较集中于主对角线附近时，说明局部区域内图像灰度分布较均匀，ASM 取值相应较大；相反，如果共生矩阵的所有值均相等，则 ASM 值较小。

因影像像元为 5.8m，高、低密度建筑用地以 20m 为划分界限，可知楼间距大于 3.5 个像元即为低密度建筑区，反之则为高密度建筑区，很明显，低密度建筑区较高密度建筑区纹理沟纹更深，清晰度更大。

而灰度共生矩阵对比度恰恰能更好地反映影像的清晰度和纹理的沟纹深浅。

$$\text{表达式为 } \text{Contrast} = \sum_i \sum_j (i - j)^2 P_\delta(i, j) \quad \text{公式 (25)}$$

另外，低密度建筑区阴影清晰，其与阴影的距离不超过一个像元；高密度建筑区虽也存在阴影，但其阴影很细，在 100 尺度下（第三尺度层），阴影与高密度建筑同属一个对象，没有分离。

因此，灰度共生矩阵对比度（135°方向）结合高、低密度建筑区与阴影的距离特征（Distance to Class）可以有效的将高、低密度建筑区分开。

（8）其他特征

类型是否发生（Existence of Class）是指所关心的影像对象周围的某一范围（以像素表示）内的影像对象已被分配到某一定义了的类型中去的发生的的可能性。如果这一范围内发现有影像对象是定义了的某一类型，特征值为 1（=真），否则值为 0（=假）。定义范围的半径可以通过编辑特征距离确定。

对类型的距离（Distance to Class）是指所关心的影像对象与已被分配到某一定义了的类型中去的最邻近的影像对象的距离。

与类型的相反相似性（Invert Similarity to Classes）是一种否定继承，与同一父类的其他子类特征相反。

4.2 城市内部用地信息提取

4.2.1 第一层次 (level1)

(1) 水体提取：水体在近红外波段（第 4 波段）强吸收，大部分水体在该波段下呈现蓝黑色或深蓝色，阴影在光谱特征上与水体相似，但水体面积较阴影大，在 200 尺度下（第一尺度层）分割效果很好，而阴影面积较小，在 200 尺度下其与建筑物同属一个对象，没有分离，因此可以在第一尺度下仅靠光谱特征就可以排除阴影干扰提取水体。

利用纹理信息和第 4 波段均值信息提取。纹理信息采用常用的灰度共生矩阵(Texture After Haralick) 中的灰度级差矢量对比度 (Gray Level Difference Vector Contrast, GLDV Contrast), 135 度方向提取水体。该特征反映了图像的清晰度和纹理沟纹深浅的程度。纹理沟纹越深, 其对比度越大, 视觉效果越清晰; 反之, 对比度小, 则沟纹浅, 效果模糊。灰度差即对比度大的像素对越多, 这个值越大。第 4 波段为近红外波段, 该波段是水体的强吸收区, 特征明显。因此, 经多次试验后将特征定义为 GLDV Contrast(quick8/11) (Direction 135) <53 且 Mean Layer4<452。河流形状细长, 利用长宽比信息区分河流和湖泊。因此, 在继承水体特征的前提下, Length/width>3 为河流, 反之为湖泊。

(2) 工业用地提取：由于部分工业用地在影像上具有较高的亮度, 集中分布在城市郊区, 但是部分耕地和未利用地也具有较高的亮度值, 而工业用地具有清晰的纹理结构, 灰度共生矩阵对比度恰恰能更好地反映影像的清晰度和纹理的沟纹深浅。因此需要结合纹理信息提取。利用亮度值 (Brightness) 和灰度共生矩阵纹理信息提取。经多次试验后将特征定义为 GLDV Contrast (quick8/11) (Direction 135) >40 且 Brightness >540。

(3) 植被提取：植被在蓝光波段强吸收, 在近红外波段高反射。NDVI (近红外区与红光区的反射率差值/近红外区与红光区的反射率和值) 是最常用的植被指数, 虽然 NDVI 对土壤背景的变化较为敏感, 但由于 NDVI 可以消除大部分与仪器定标、太阳角、地形、云阴影和大气条件有关辐照度的变化, 增强了对植被的响应能力, 是目前植被指数中应用最广的一种。因此, 利用归一化植被指数 (NDVI) 提取植被信息。反复试验得 NDVI>0.29 为植被区。

4.2.2 第二层次 (Level2)

(4) 农用地提取：4 月份, 主要农作物为冬小麦, 该月份处于返青时期, 呈现绿色, 对红光强吸收, 对绿光强反射, 与植被光谱特征极为相近, 仅仅采用光谱特征很难区分, 因此, 在已提取植被的前提下, 针对农用地和待开发用地, 农用地的纹理信息要比待开发用地更清晰, 在继承第一层次特征的前提下, 反复试验, 发现灰度级差矢量 135 度方

向可以很好提取农用地范围，阈值设定为 GLDV Contrast (quick8/11) (Direction 135) <38 提取农用地，反之为非农用地。

(5) 待开发用地提取：待开发用地几乎无草木生长，实地近乎光秃，表现在遥感影像上呈现亮度值较高，且相比耕地，形状不规则等特征，试验发现形状特征里的紧致度 (compactness) 能很好的体现出待开发用地的形状不规则特征，表现为紧致度较高。因此，在与农用地特征相反的前提下，结合亮度较高的特征，反复试验设置阈值为 $Brightness > 487$ 且 $compactness > 2.8$ 以提取待开发用地。

(6) 工业用地提取：对比现状图发现，在四环以内尚存在部分小面积的工业用地，且 (2) 中并未对这部分工业用地予以提取，对比影像发现，这部分工业用地具有较高的亮度值，并且面积较小，分布在城区。因此，在与待开发用地特征相反的前提下，利用面积 (Area) 和亮度值特征 (Brightness) 进行提取。反复试验定义特征为 $Area < 1026 \text{PxI}$ 且 $Brightness > 614$ 为工业用地。

(7) 机场提取：机场不仅具有较高的亮度值，且具有狭长的跑道，相比 level2 层次下亮度值较高的工业用地，其面积较大。在与该层次下的工业用地特征相反的前提下，利用 $Area > 970 \text{PxI}$ 且 $Brightness > 700$ 为机场。

4.2.3 第三层次 (Level3)

(8) 道路提取：道路形状细长，且颜色较暗，在多尺度分割下，能清晰的被分割成单个对象，采用长宽比进行提取， $Length/width > 7$ 为道路。但是从提取结果发现，部分 6 狭长的阴影也被分为道路，而阴影与道路相比，在第 4 波段反应较为敏感，这一点与水体较为相似，试验发现大部分阴影在第 4 波段的均值 $Mean \text{ Layer4} < 317$ ，因此，在继承第二层次特征的前提下，定义 $Length/width > 7$ 且 $Mean \text{ Layer4} \geq 317$ 为道路。反之为阴影和建设用地。

(9) 阴影和建设用地提取：根据 (8)，在已提取道路的前提下，与道路特征相反，利用 $Mean \text{ Layer4} < 317$ 提取阴影，反之为城镇建设用地。因为农村居民点在该层次下大部分被分割为一个对象，城镇建设用地内部结构复杂，分割精细，每个对象面积较小，反复试验 $Area > 950 \text{pxI}$ 为农村居民点，反之为城镇建设用地。城镇建设用地细分为高低密度城镇建设用地 2 种子类。在继承城镇建设用地特征的前提下，利用 GLCM Contrast (quick8/11) (Direction 135) > 64 且 $Distance \text{ to 阴影} < 1 \text{pxI}$ 提取低密度建设用地，反之为高密度建设用地。

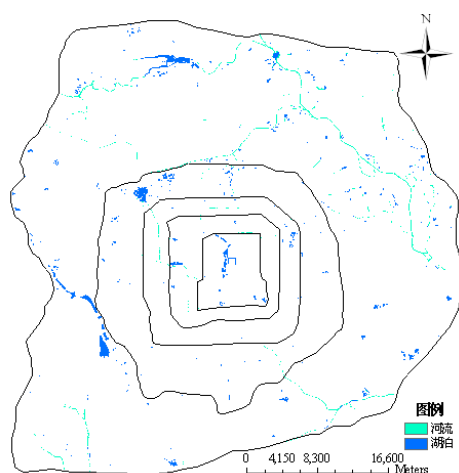


图 4.9 水体提取结果图
Fig.4.9 Extraction of water

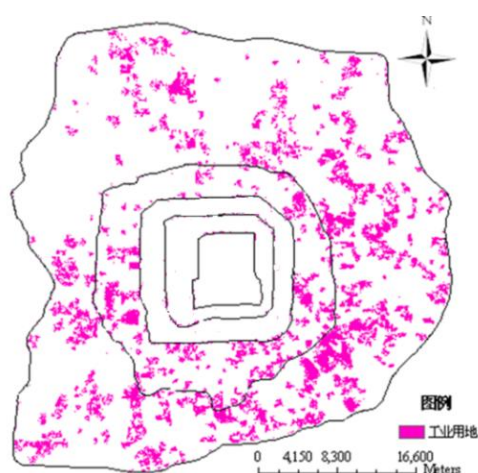


图 4.10 工业用地 1 提取结果
Fig.4.10 Extraction of industrial land1

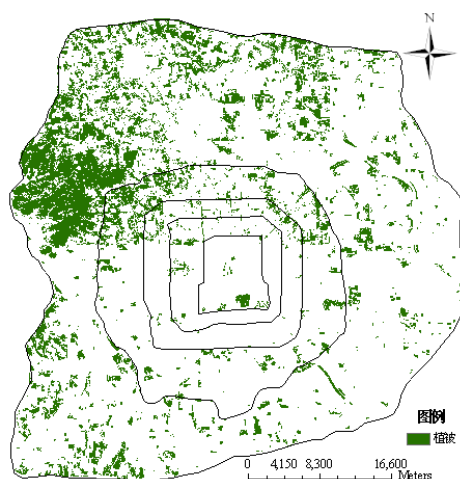


图 4.11 植被提取结果图
Fig.4.11 Extraction of woodland

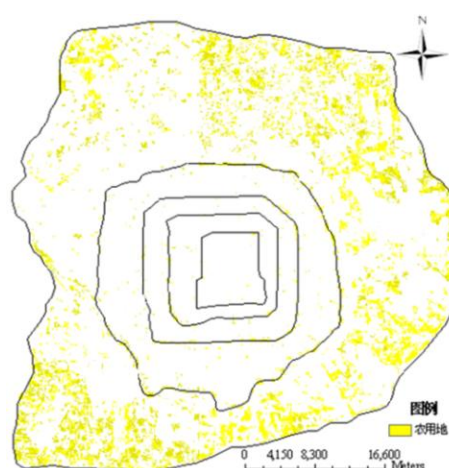


图 4.12 农用地提取结果
Fig.4.12 Extraction of agriculture land

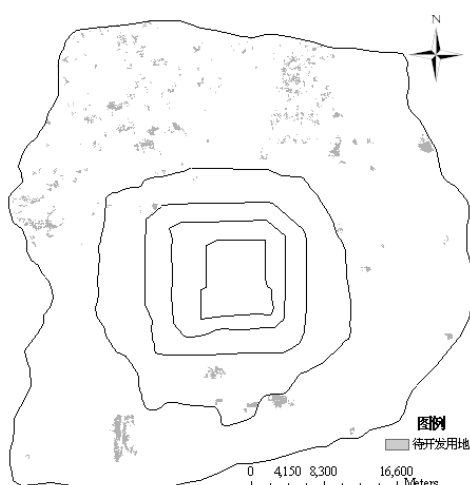


图 4.13 待开发用地提取结果
Fig.4.13 Extraction of developed land

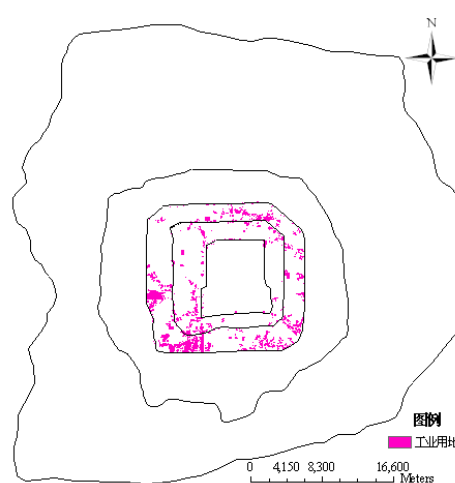


图 4.14 工业用地 2 提取结果
Fig.4.14 Extraction of industrial land2

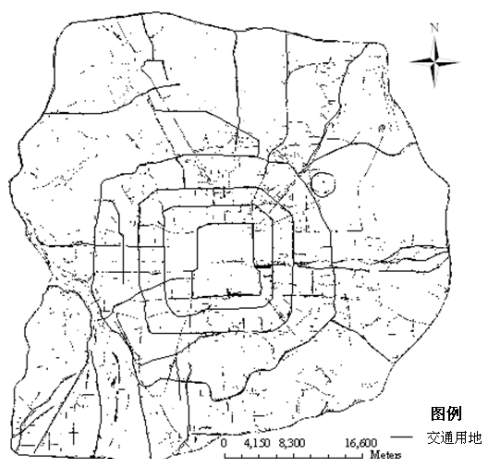


图 4.15 道路提取结果图

Fig.4.15 Extraction of road

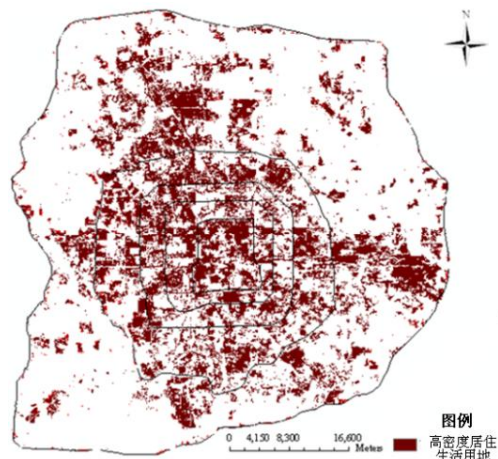


图 4.16 高密度城镇用地提取结果

Fig.4.16 Extraction of high density urban area

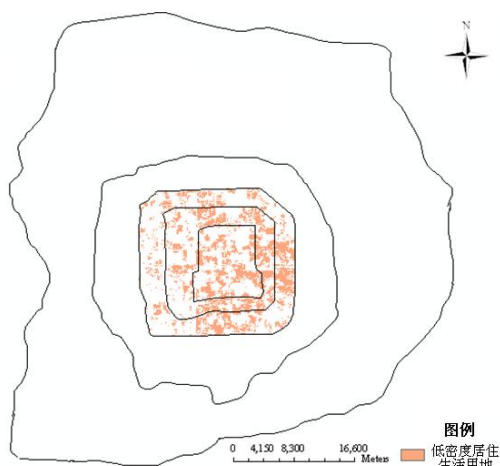


图 4.17 低密度城镇用地提取结果

Fig.4.17 Extraction of low density urban area

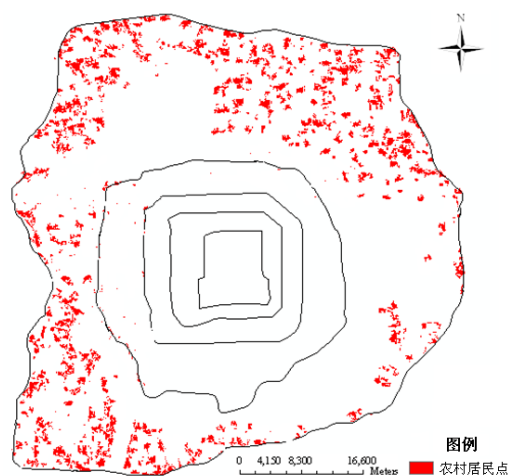


图 4.18 农村居民点提取结果

Fig.4.18 Extraction of rural

4.2.4 第四层次 (Level4)

Level4 分割尺度最小，将上述所有分类集中在该层次下显示，并分别继承上述与之对应地类的特征。每种地类对应的距离等于 4 减去它所对应的 1-3 层次。

各地物类型分类规则见表 4.3。

表 4.3 目标对象分类规则

Table 4.3 The classification rules of target object

层次	目标地物（母类）	目标地物（子类）	分类特征
Level1	水域		GLDV Contrast（quick8/11）（Direction 135）<53&Mean Layer4<452
		河流	Existence of 水域&Length/width>3
		湖泊	Invert Similarity to 河流
	部分工业生产用地		GLDV Contrast（quick8/11）（Direction 135）>40&Brightness >540
Level2	植被		Invert Similarity to 工业生产用地&NDVI>0.29
	农用地		Existence of 非植被&Distance to 非植被=1&GLDV Contrast（quick8/11）（Direction 135）<38
	待开发用地		Invert Similarity to 农用地& Brightness >487& compactness>2.8
	小面积工业生产用地		Invert Similarity to 待开发用地&Area<1026Pxl&Brightness>614
	地		Invert Similarity to 工业生产用地&Area>970Pxl 且 Brightness>700
Level3	交通用地		Existence of 非机场&Distance to 非机场=1&Length/width>7&Mean Layer4≥317
	阴影		Invert Similarity to 交通用地&Mean Layer4<317
	城镇建设用地		Invert Similarity to 阴影& GLDV Contrast（quick8/11）（Direction 135）>78& Brightness>708
		低密度生活用地	Existence of 城镇建设用地&GLCM Contrast（quick8/11）（Direction 135）>64& Distance to 阴影<1pxl
		高密度生活用地	Invert Similarity to 低密度城镇用地
	农村居民点		Invert Similarity to 城镇建设用地&Area>950pxl

层次	目标地物	分类特征
Level4	河流	Existence of level1 河流&Distance to level1 河流=3
	湖泊	Existence of level1 湖泊&Distance to level1 湖泊=3
	部分工业生产用地	Existence of level1 部分工业生产用地&Distance to level1 部分工业生产用地=3
	植被	Existence of level1 植被&Distance to level1 植被=3
	农用地	Existence of level2 农用地&Distance to level2 农用地=2
	待开发用地	Existence of level2 待开发用地&Distance to level2 待开发用地=2
	小面积工业生产用地	Existence of level2 小面积工业生产用地&Distance to level2 小面积工业生产用地=2
	机场	Existence of level2 机场&Distance to level2 机场=2
	交通用地	Existence of level3 交通用地&Distance to level3 交通用地=1
	阴影	Existence of level3 阴影&Distance to level3 阴影=1
	低密度生活用地	Existence of level3 低密度城镇用地&Distance to level3 低密度城镇用地=1
	高密度生活用地	Existence of level3 高密度城镇用地&Distance to level3 高密度城镇用地=1
	农村居民点	Existence of level3 农村居民点&Distance to level3 农村居民点=1

(表 4.3 续)

根据分类特征，基于 eCognition 软件，采用隶属度函数法按层次依次提取各目标地物，然后在 ArcGIS 支持下，针对错分地物进行手动修改，一级和二级中工业生产用地归为一类，高密度生活用地、低密度生活用地、工业生产用地分别与其各自的阴影合并，得到最终分类图见图 4.19。

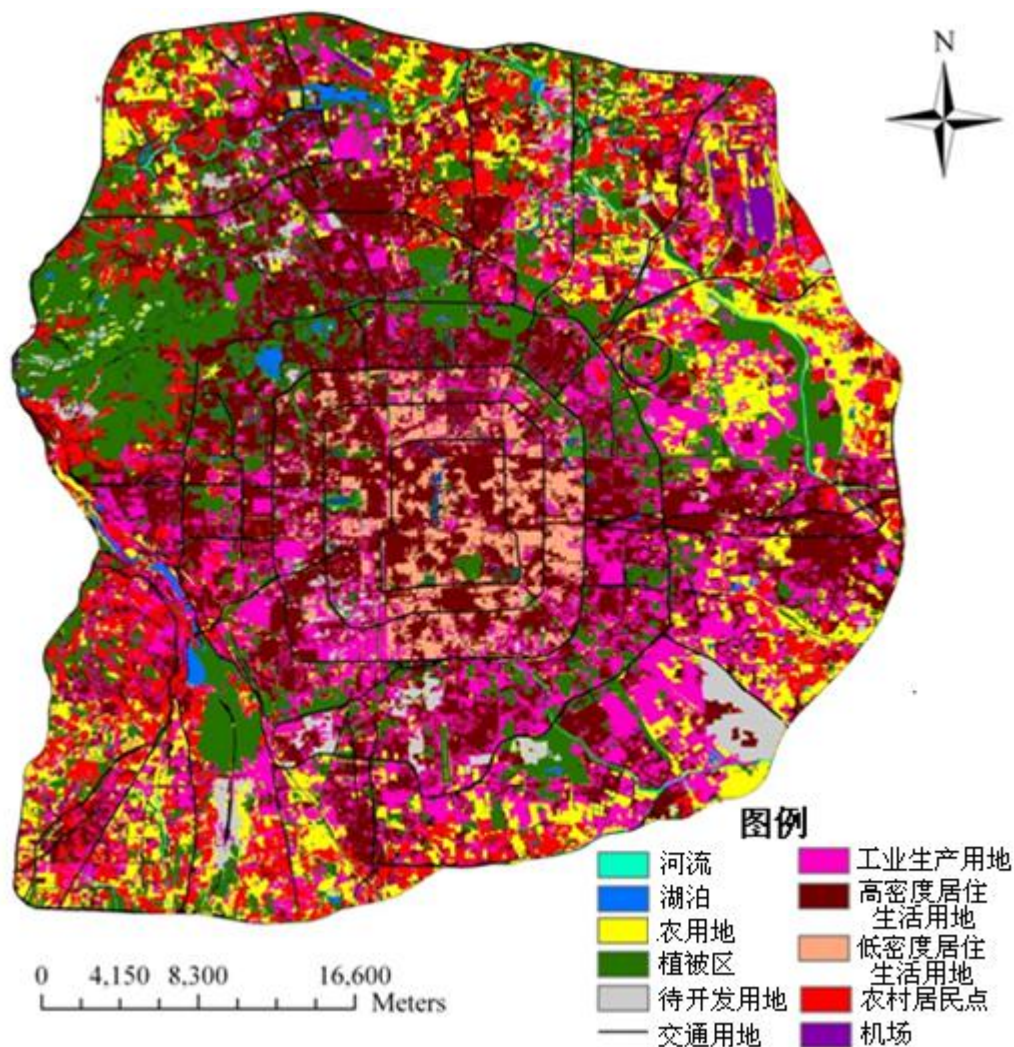


图 4.19 北京市六环以内土地利用类型分类图

Fig.4.19 The land use type classification figure within six ring of Beijing

阈值设置是分类中最重要和最难以准确把握的步骤，需要持续不断的调整，找到分类的最佳指标取值范围，才能达到较好的分类效果。eCognition 中的 Feature View 工具，可用于设置合理的阈值。选择某一指标，图像上会显示该指标的分布图，调整可获得区分目标对象和非目标的阈值范围，确定目标对象的合理阈值。

4.3 分类精度评价

评价分类精度是土地利用动态监测环节的关键步骤之一，也是衡量分类结果是否精

确的重要标准之一（肖桂荣，2002；冉有华等，2003；陈本清，2002；赵英时，2003）。误差矩阵是评价分类精度最常用的指标之一，通过计算出使用者精度、生产者精度、总体精度和 Kappa 系数等，可以直观地看出各种地物类型的提取精度以及整体的分类精度。

误差矩阵是一个 $N \times N$ 的矩阵（ N 为分类数），用来对比参照物样点与提取物样点之间的误差，行代表提取物样点，列代表参照物样点，对角线部分为某种地物类型与验证类型完全一致的样点个数。检验分类图像中的每一个像素是不可能实现的，理应随机地选择一组像元作为参考。

Kappa 系数是另外一种计算分类精度的方法，将所有地表真实分类中的像元总数（ N ）与混淆矩阵的对角线（ X_{kk} ）的和求乘积，再与某一类中地表真实像元总数与该类中被分类像元总数之积对所有类别求和的结果求差，再与总像元数的平方差减去某一类中地表真实像元总数与该类中被分类像元总数之积对所有类别求和的结果求商，最终得到 Kappa 系数。

kappa 计算结果为 $-1 \sim 1$ ，但通常 kappa 是落在 $0 \sim 1$ 间，可分为五组来表示不同级别的一致性： $0.0 \sim 0.20$ 极低的一致性(slight)、 $0.21 \sim 0.40$ 一般的一致性(fair)、 $0.41 \sim 0.60$ 中等的一致性(moderate)、 $0.61 \sim 0.80$ 高度的一致性(substantial)和 $0.81 \sim 1$ 几乎完全一致(almost perfect)。

生产者精度表示本类的像元划分至本类的比例，用户精度表示分类结果中确实属于本类的像元所占的比例（郑明国等，2006）。

使用者精度、生产者精度、总体精度与 Kappa 系数的计算公式如下。

$$\text{使用者精度} = X_{ii} / X_{i+} \times 100\% \quad \text{公式 (18)}$$

$$\text{生产者精度} = X_{ii} / X_{+i} \times 100\% \quad \text{公式 (19)}$$

$$\text{总体精度} = \sum_{i=1}^r X_{ii} / M \times 100\% \quad \text{公式 (20)}$$

$$K = (M \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}) / (M^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}) \quad \text{公式 (21)}$$

其中， K 为 Kappa 系数， r 是误差矩阵的行数， X_{ii} 是 i 行 i 列的值（即每一类型正确的样本点数）， X_{i+} 和 X_{+i} 分别是 i 行的和与 i 列的和， M 为所有检测样本总数。

在 ERDAS 支持下，分别在预处理之后得到的 $5.8m$ 为最小单元的土地利用图和分类图上对每种地类随机均匀选点 25 个，建立误差矩阵，计算得出各地类的制图精度、用户精度以及分类的总体精度和 Kappa 系数，见表 4.4。

表 4.4 土地利用信息提取误差矩阵

Table4.4 Error matrix of land use extraction

分类图 参照图	高密度活 用地	低密度活 用地	工业生产 用地	农村 居民点	机场	交通 用地	植被	农用地	待开发 用地	湖泊	河流	像元 总数	制图精 度 (%)
高密度生活用地	21	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	84.00
低密度生活用地	2	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	88.00
工业生产用地	0	2	22	0	0	0	0	0	1	0	0	25	88.00
农村居民点	0	0	0	24	0	0	0	0	1	0	0	25	96.00
机场	0	0	0	0	24	0	0	0	1	0	0	25	96.00
交通用地	0	2	0	0	0	21	0	0	2	0	0	25	84.00
植被	0	0	0	0	0	0	23	1	1	0	0	25	92.00
农用地	0	0	0	0	0	0	1	23	1	0	0	25	92.00
待开发 用地	0	0	1	0	0	0	1	1	22	0	0	25	88.00
湖泊	0	0	0	0	0	0	1	0	0	22	2	25	88.00
河流	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	21	25	84.00
像元总数	23	29	25	24	24	21	27	25	30	24	23	275	
用户精度 (%)	91.30	75.86	88.00	100	100	100.00	85.19	92.00	73.33	91.67	91.30		
Over accuracy=89.09% Kappa=0.8800													

表 5.1 2013 年北京市六环以内城市用地各地物类型面积

Table5.1 Beijing urban land within six ring around the content type area in 2013

地物类型	高密度 生活用地	低密度 生活用地	工业生产 用地	农村 居民点	机场	交通 用地	植被	农用地	待开发 用地	湖泊	河流	总计
面积 (km ²)	669.89	86.06	493.19	229.26	22.13	128.07	378.64	239.50	46.27	27.89	14.84	2267

由表4.4可知，城市内部用地分类总体精度可达到89.09%，Kappa 系数达到0.8800，在0.81~1范围内，几乎完全一致(almost perfect)。各分类地物占真实地物百分比较高，提取效果较好。

5. 六环内城市用地特征分析

基于 ARCGIS 空间分析功能，统计2013年北京市六环以内城市用地各地物类型像元数量，影像分辨率为5.8m*5.8m，像元数量与分辨率的乘积即为各地类占地面积，统计结果见表5.1。

由表4.4可知，北京六环面积是2267平方公里，这与统计资料相符。高、低密度生活用地占地面积分别为669.89和86.06平方公里，工业生产用地面积较大，约493.19平方公里，六环以内仍然存在一定面积的农村居民点和农用地，分别占地229.26和239.50平方公里，也有一定的土地尚未开发利用，统计这部分面积约46.27平方公里，由分类图可知，植被和湖泊主要分布在各个公园以及石景山区和丰台区。

针对北京市比较典型的地物类型，如高、低密度居民生活用地、农村居民点、农用地、及工业用地，根据北京市实际情况，通过利用 ARCGIS 构建建立北京市六环及以内区域简易模型图，每种地类从不同的角度进行深入分析，如由于高低密度生活用地布局是否合理尚不能进行主观判断，可从其整体布局情况及正确的合理性布局应为怎样的角度进行分析；而农村居民点及农用地不存在是否合理布局的问题，可从整体布局进行分析；工业用地布局不合理容易造成环境污染，因此可对六环以内的工业用地布局是否合理进行分析；其他地类不属于北京市典型地物，分析整体分布即可。

5.1 高、低密度生活用地分析

从表5.1中可见，高、低密度生活用地占地面积分别为669.89和86.06平方公里，分别占六环总面积29.55%和3.80%，很明显高密度生活用地面积要远远多于低密度生活用地，这主要是由于土地集约利用理念的诞生，城市内部用地必须得到高效集约利用。

从分类图4.19可以看出，低密度生活用地主要分布在四环以内，对比土地利用现状图发现，旅游用地附近低密度生活用地分布较多，如天安门、故宫及天坛附近，这主要是因为居民区产生的生活垃圾会对旅游地造成一定的污染，影响旅游观光，同时旅游地人流过多，对居民生活也会造成不利影响，且旅游地附近地价偏高，建立过多居民区易造成资源浪费。

而高密度生活用地分布较广，这与土地集约利用理念相符，北京市城市扩张急速，外来人口数量急剧增加，居民生活用地扩建已成为北京市极为常见的现象，而北京市地价普遍较高，高密度居住生活用地需要建立在地价相对较低的地段，如四环以内的非旅游区，以及四环以外特别是五环至六环的城郊。基于 ARCGIS 统计六环以内主要的医院、学校、银行及商业中心，发现高密度生活用地主要集聚在此。

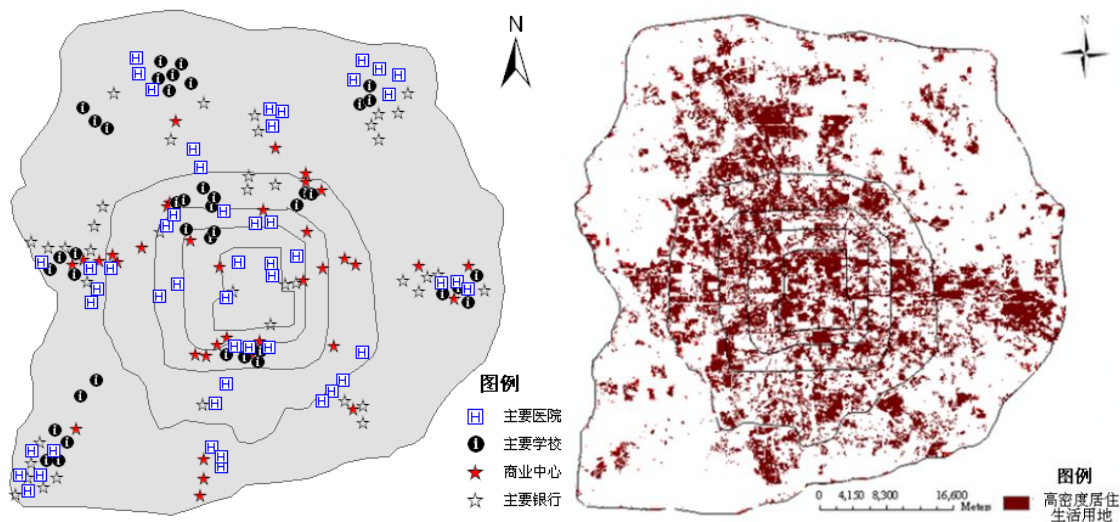


图 5.1 高密度生活用地分布图

Fig5.1 Figure of high-density living land layout

二环以内为老城区，且旅游用地较多，居民区产生的生活垃圾会对旅游地造成一定的污染，影响旅游观光，同时旅游地人流过多，对居民生活也会造成不利影响，且旅游地附近地价偏高，建立过多居民区易造成资源浪费。因此二环以内宜布局低密度生活用地，而五环至六环之间为农村居民点，因此为使土地得到高效的集约利用，三环至五环之间布局高密度生活用地。通过利用 ARCGIS 构建北京市六环及以内区域简易模型图，针对高低密度生活用地，进一步探索其合理布局，构建高低密度合理性布局简易图。

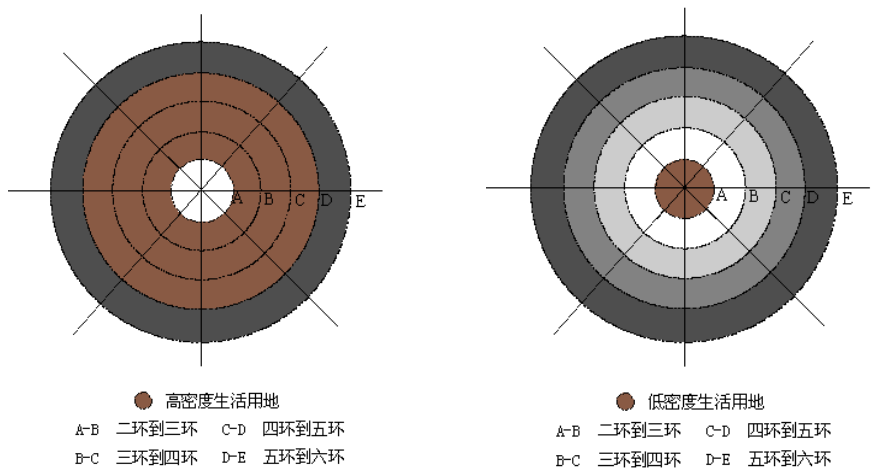


图 5.2 高、低密度生活用地空间区位选择

Fig.5.2 Figure of high and low density living land spatial location selection

5.2 农村居民点及农用地分析

由图表可知，五环和六环之间还分布农村居民点，也存在一定面积的农用地，主要分布在顺义区、门头沟区、通州区、房山区、大兴区和丰台区，分别占地229.26和239.50平方公里，占六环总面积比重分别为10.11%和10.56%。

农村居民点主要分布在五环与六环之间，与城镇构成近郊城乡交错地带，是中心城市与乡村的过渡地带，呈半城市、半乡村状态，整体经济发展水平较高，区域内的农村居民点分布密集，由于该区的农民有较多的非农就业机会，并且农地数量极其有限，农村居民点用地主要体现为居住和生活功能。

农用地主要围绕农村居民点分布，农业的发展不容忽视，北京市的农业发展既有城市化带来的巨大的农产品和服务的市场需求，也有经济发展带来的强大的资本、技术支持。北京农业的发展必须以城乡统筹发展为宗旨，按照建设宜居城市的要求，在充分发挥农业的生产功能的基础上，通过调整农业产业结构和空间布局，大力发展资源节约型和环境友好型的种植、养殖业，更好地发挥农业的社会公益性功能，促进资源环境和经济社会的协调与可持续发展（张凤荣，2008）。

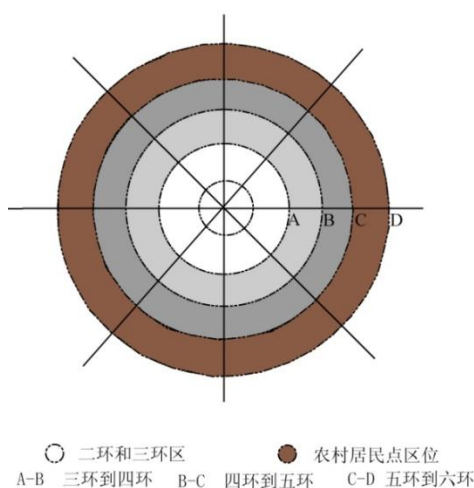
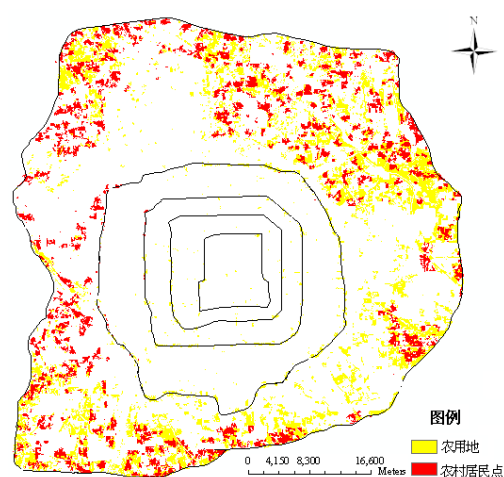


图 5.3 农村居民点空间区位选择图

Fig.5.3 Figure of rural spatial location selection



5.4 农村居民点及农用地分布图

Fig.5.4 Figure of rural and farming land layout

5.3 工业用地分析

大气污染、水污染、噪声污染及固体废弃物污染被看成是世界范围内四个主要环境问题。导致这些污染的污染型企业主要有火电厂、水泥厂、焦化厂、铁合金厂、钢铁厂、炼铝厂等。实地调查并结合相关图件，发现北京市主要污染型企业为水泥厂、钢铁厂、

造纸厂、印刷厂、煤炭厂、焦化厂等，所有企业或多或少的都会造成大气、水、噪声以及废渣污染，不同企业影响程度不同，主要分析对不同资源污染程度相对严重的不同企业。其中，钢铁厂、焦化厂、煤炭厂对空气造成的污染相对较严重；造纸厂、印刷厂会对水造成污染较严重，尽量布置在河流的中下游；水泥厂会引起较严重的废渣污染；而所有污染型企业均会带来比较严重的噪声污染，需尽量远离居住区。根据分类图及实地调查基于 ARCGIS 做六环以内所有污染型企业布局图见图5.6，与图5.5对比，六环以内分布较多的钢铁厂、水泥厂、印刷厂和煤炭厂，而这些企业往往是导致环境污染的典型企业，钢铁厂和煤炭厂会产生大量的工业废气，对大气造成污染，水泥厂会产生较多的工业废渣，对土壤以及水资源造成污染，印刷厂排放大量的工业废水，严重污染水资源，危害居民生活及健康。

根据分类图4.19将工业用地单独提取出来，做工业用地分布图见图5.5。由图可知，除二环以内无工业用地，其他地区均分布一定面积的工业用地，其中，五环和六环之间（丰台区、石景山区、大兴区、朝阳区和海淀区）工业用地面积最多，分布较为集中。根据表5.1，工业用地占地439.19平方公里，约占六环总面积的21%，而居民生活用地约占总面积的33%，根据分类图4.19可知，大部分工业用地分布在居民生活用地附近，只有极少数远离居民区，由此可见，工业用地势必会影响居民生活，给居民生活及健康造成不利影响。

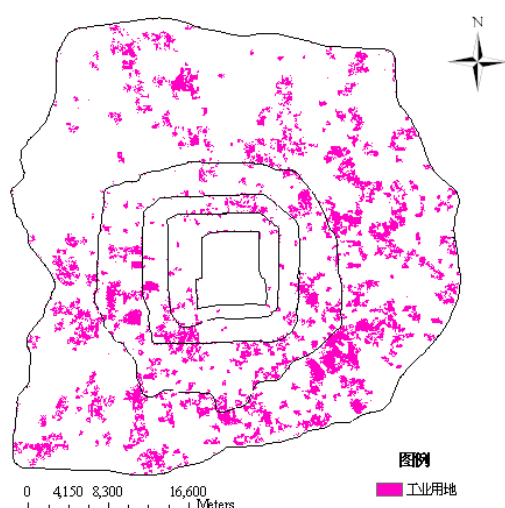


图 5.5 六环内工业用地提取结果图

Fig.5.5 Extraction of industrial land within six ring

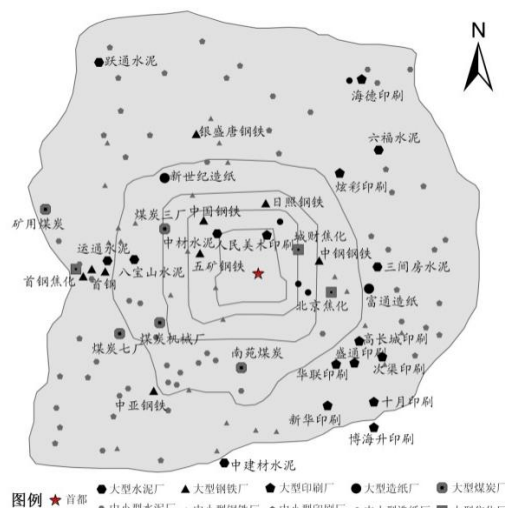


图 5.6 六环内主要污染型企业厂布局图

Fig.5.6 Major polluting enterprises layout within six ring

根据分类结果图观察工业用地整体布局，发现二环和三环的区域工业用地分布极少，零散分布面积较小的工业用地，而且工业用地布局本应尽量远离市区，因此可忽略二环

和三环,通过利用 ARCGIS 构建北京市六环及以内区域简易模型图,针对不同类型的工业用地,进一步探索六环以内工业用地合理性布局,构建工业用地合理性布局结构简易图。

非污染型工业用地是一个城市经济发展最基本的基础和来源,同时也是都市工业的主要载体,这种类型的工业用地可以说对城市人民的居住环境以及公共环境基本没有污染,也基本上不会构成安全威胁。都市型工业普遍具有典型“三低”特点,即低污染、低消耗以及低物耗,而且一般是劳动集约型和技术集约型的产业,产生的主要市场需求是企业所在的城市。因此,非污染型工业用地在城区的选址比较灵活,除了二环和三环之外,其他区域都可以,见图 5.7。

空气污染型工业用地的城市布局直接受到风向的影响。我国地域面积辽阔、地形种类比较复杂,季风对不同地区影响程度也不相同,从风向角度看既存在只有一种盛行风向的地区,也存在两个基本相等但盛行风向不同的地区,盛行风向不同的转换方式有两种中,一是直接转换,二是旋转转换(杨吾扬等,1978)。因此,仅靠一个盛行风向或仅仅采用一个最小风频来决定如何合理布局空气污染型工业用地是远远不够的,应根据北京市全年盛行风向的各种不同情况,分别进行考虑。

北京有盛行风向随季节变换逐步过渡,自冬至夏,盛行风向又 N—NW—SW—S;自夏至冬,则直接由南风转换为北风(杨吾扬等,1978)。当出现基本相反的盛行风向时,空气污染型工业用地应布局在城市顺风轴的两侧,见图 5.8 左图;当出现季节旋转性质的盛行风向时,空气污染型工业用地则应布局在风向旋转的对侧,见图 5.8 右图。因此,求交集得出北京市空气污染型工业用地最合理的布局应是 5.8 右图。

随着工业的迅速发展,废水的种类和数量不断增加,从而造成日益严重的水体污染,这不仅仅会导致水资源严重缺乏,甚至有可能威胁居民的生存和健康。为尽可能避免或者减少工业排放的污染物污染城市水资源环境,确保城市居民的饮水安全,水污染型工业用地不能布局在城市现有及规划地表水和地下水的上游。因此,水污染型工业用地在布局时首先需要考虑地表水和地下水的方向,通常该类型工业用地应布局在水流的中下游,见图 5.9。

随着近代工业的发展,工厂的各种设备运作声级一般较高,对人及周围环境造成不良影响,最终形成噪声污染。噪声污染也属于环境污染的一种,已经对人类的生活造成了较为严重的危害。常常通过建立防护林带和隔音墙等来控制噪声污染,因此,噪声污染型工业用地的布局相对来说比较灵活,布局时只要满足污染的防护距离即可。噪声按

声音的频率可分为： $<400\text{Hz}$ 的低频噪声、 $400\sim 1000\text{Hz}$ 的中频噪声及 $>1000\text{Hz}$ 的高频噪声，依据噪声的污染程度，低频噪声污染工业用地相比中频噪声污染工业用地应距离市中心更近一点，而高频噪声污染工业用地一定要尽可能的远离市区，布局在六环以外最好。因此，最佳的布局方式，见图 5.10。

工业废渣数量大，化学成分复杂，有的甚至具有毒性，对人类健康危害极大。工业废渣不仅占有大片的城市用地，而且会对土壤、水质、大气产生污染，在城市中的废渣可根据其成分，进行综合利用，减少其对城市环境的干扰和影响。因废渣型工业用地需独立设置堆场，应尽量布局在城市的边缘。同时废渣对土壤、水质、大气都可能产生较为严重的污染，因此，在对废渣污染型工业用地进行布局时，不仅要考虑风向，即布局在主导风向的下风向或最小风频的上风向，同时也要考虑其对地表水的影响，因此应布局在水流的中下游，因此，最佳布局方式，见图 5.11。

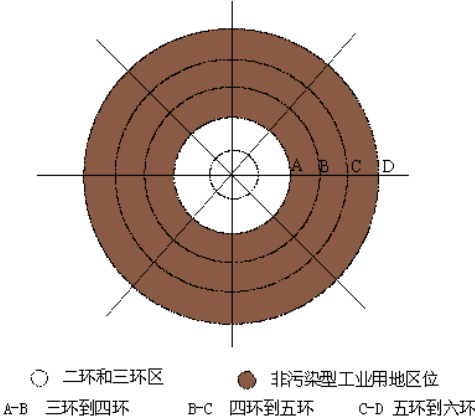


图 5.7 非污染型工业用地的空间区位选择

Fig5.7 Non-polluting industrial land spatial location selection

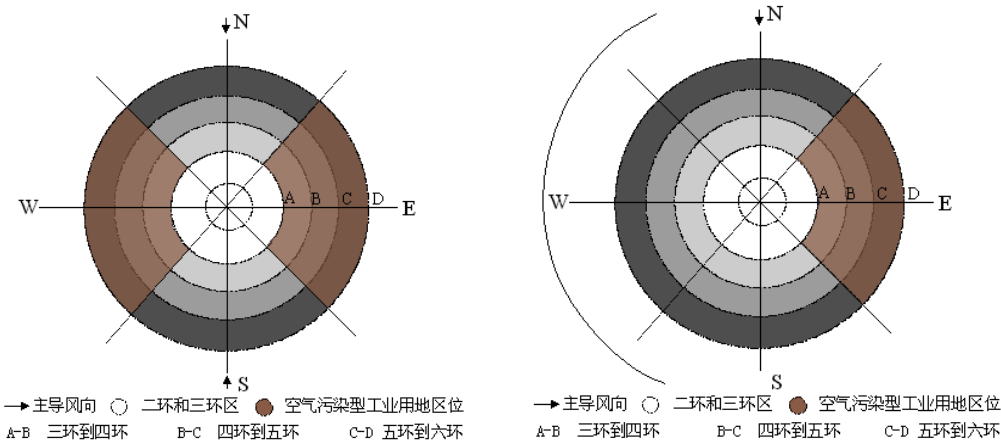


图 5.8 空气污染型工业用地的空间区位选择

Fig5.8 Atmosphere-polluting industrial land spatial location selection

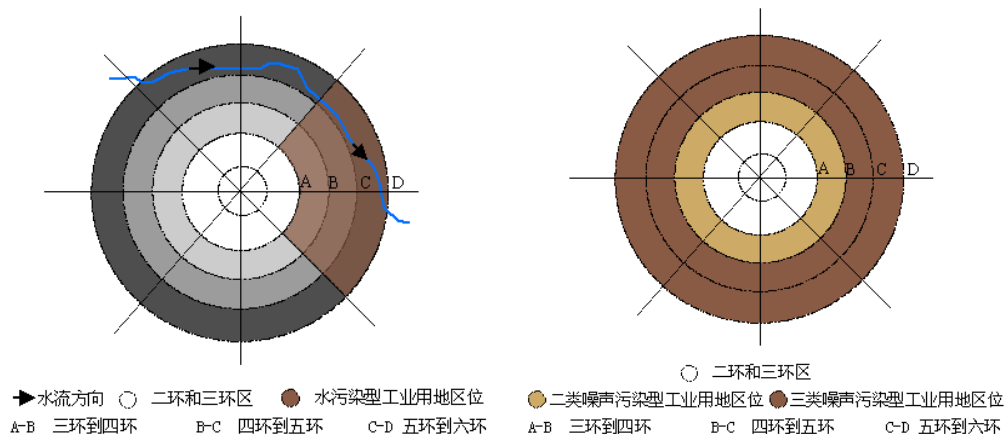


图 5.9 水污染型工业用地的空间区位选择

Fig.5.9 Water-polluting industrial land spatial location selection

图 5.10 噪声污染型工业用地的空间区位选择

Fig.5.10 Noise-polluting industrial land spatial location selection

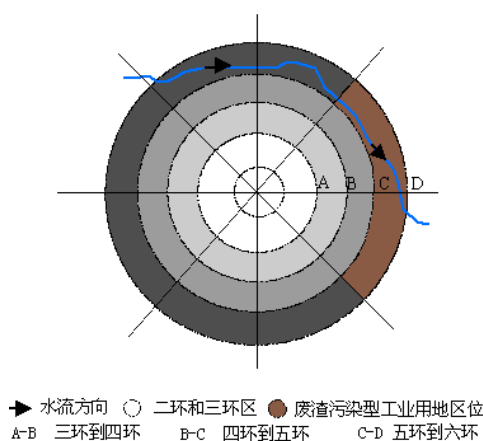


图 5.11 废渣污染型工业用地的空间区位选择

Fig.5.11 Waste-polluting industrial land spatial location selection

根据上述分析，结合分类图发现，北京市工业用地整体布局相对较合理，但也存在一定的问题，如海淀区、丰台区、石景山区和大兴区工业用地布局存在一定的不合理之处。

根据分类图及实地调查基于 ARCGIS 做六环以内所有污染型企业布局图见图 5.12。并结合实地调查得知，上述四区均分布一定的污染型企业。结合各区地理位置及风向、水源等因素，发现海淀区位于城市顺风轴及风向旋转处，不适宜布局煤炭、钢铁、焦化等空气污染型工业用地，同时海淀区位于河流上游，也不适宜布局印刷、造纸等水源污染型工业用地，也就是说对于水泥等废渣污染型工业用地，也不适宜布局；丰台区和石景山区地处风向旋转处，也不适宜布局空气污染型工业；大兴区位于城市顺风轴及风向旋转处，也不适宜布局空气污染型工业用地。红框里为布局不合理的范围。

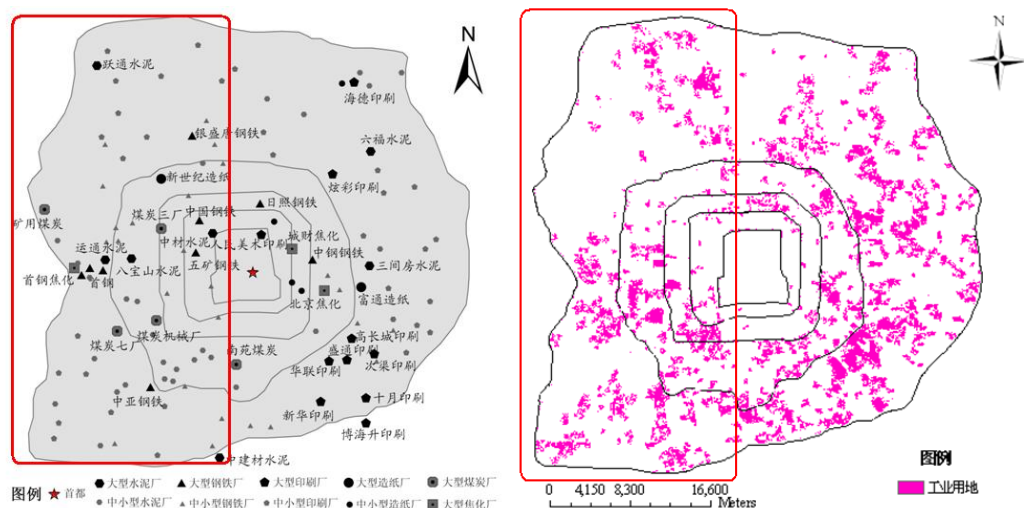


图 5.12 六环内主要污染型企业厂不合理布局图

Fig5.12 Figure of major polluting enterprises unreasonable layout within six ring

5.4 其他地类分析

对于非典型地物（植被、交通过地、待开发用地、机场、湖泊、河流），根据分类图分析其空间分布情况。

湖泊占地面积约为27.89平方公里，主要分布在颐和园、奥体森林公园、后海公园、前海公园等公园；植被约为378.64平方公里，主要分布在石景山区和丰台区，以及公园绿地；六环以内河流约为14.84平方公里，主要河流有永定河、沙河及温榆河，永定河贯穿丰台区和大兴区，沙河由沙河水库左侧流经海淀区，温榆河由沙河水库右侧流经朝阳区和通州区；六环内有北京南苑机场和首都国际机场，分别位于丰台区和顺义区；六环以内交通密集发达，地铁、铁路、高速公路及公路形成明显的网状结构。

北京市六环以内城市用地虽已得到相对较高效的利用，但依然存在一定数量的待开发用地，主要分布在丰台、房山、大兴和通州区，由表可知，待开发用地面积约为46.27平方公里，占六环总面积2.04%，由于距离市中心较远，工业用地较多，在工业用地周围，很多土地没有得到开发利用，工业排放的废渣对土地造成一定的污染，久而久之，甚至成为废地。因此，需要制定合理的规划，对待开发用地进行合理的开发利用，如工业附近的待开发用地，可以用来建立其他工业，不仅可以使待开发用地得到利用，同时也避免了新工业建立位置的不合理，有助于形成工业组团。

6. 结论

6.1 研究结果

6.1.1 面向对象分类方法提取城市内部用地

本研究以北京市六环内区域为研究区,采用资源三号卫星遥感影像,基于 eCognition 软件,采用面向对象分类方法中的隶属度函数分类法,采用多尺度分割,构建分类层次,选取光谱特征包括亮度值 (Brightness), 第 4 波段均值 (Mean Layer4), 归一化植被指数 (NDVI); 几何特征包括长宽比 (Length/Width), 面积 (Area); 纹理特征中的灰度级差矢量对比度 (Gray Level Difference Vector Contrast, GLDV Contrast) 和灰度共生矩阵对比度 (Gray Level Co-occurrence Matrix Contrast, GLCM Contrast), 135 度方向; 辅助与邻域对象的关系特征包括类型是否发生 (Existence of Class); 对类型的距离 (Distance to Class); 与类型的相反相似性 (Invert Similarity to Classes) 等其他特征, 针对不同地物类型, 反复试验后设置合理阈值, 精确提取。

不仅准确提取出研究区内水体、绿地、建设用地和待开发用地, 更剔除了阴影的影响, 创新区分了城市建设用地内部各种地物类型, 包括工业工地, 低密度和高密度生活用地和交通用地。分类精度可达到 89.09%, Kappa 系数达到 0.8800, 提取效果较好。研究表明基于面向对象方法提取高分辨率影像中城市内部用地信息是可行的, 可为城市内部用地的快速、准确提取提供有效的技术手段。

6.1.2 北京市六环内城市用地特征分析

(1) 高、低密度生活用地占地面积分别为 669.89 和 86.06 平方公里, 分别占六环总面积 29.55%和 3.80%。低密度生活用地主要分布在四环以内, 旅游用地附近低密度生活用地分布较多, 如天安门、故宫及天坛附近; 高密度生活用地分布较广, 基于 ARCGIS 统计六环以内主要的医院、学校、银行及商业中心, 发现高密度生活用地主要集聚在此。结合土地集约利用原则, 基于 ARCGIS 做六环以内高低密度生活用地布局简易模型图, 高密度生活用地应布局在三环至五环之间, 二环以内为旅游用地及老城区, 低密度生活用地应布局在此, 对比分类图, 布局较为合理。

(2) 农村居民点和农用地分别占地 229.26 和 239.50 平方公里, 占六环总面积比重分别为 10.11%和 10.56%。农村居民点主要分布在五环与六环之间, 与城镇构成近郊城乡交错地带, 是中心城市与乡村的过渡地带, 呈半城市、半乡村状态。农用地主要围绕农村居民点分布。

(3) 工业用地占地 439.19 平方公里, 约占六环总面积的 21%。基于 ARCGIS 做六环以内工业用地布局简易模型图, 根据北京市风向、水流方向、远离居民区噪声等, 海淀区位于城市顺风轴及风向旋转处, 不适宜布局空气污染型工业用地, 同时海淀区位于河流上游, 也不适宜布局水源污染型工业用地; 丰台区、石景山区和大兴区位于城市顺风轴及风向旋转处, 也不适宜布局空气污染型工业用地。

(4) 湖泊、植被、河流和待开发用地分别占地面积约为 27.89 平方公里、378.64 平方公里、14.84 平方公里和 46.27 平方公里。湖泊主要分布在颐和园、奥体森林公园、后海公园、前海公园等公园; 植被主要分布在石景山区和丰台区, 以及公园; 农用地围绕农村居民点周围; 永定河贯穿丰台区和大兴区, 北沙河由沙河水库左侧流经海淀区, 温榆河由沙河水库右侧流经朝阳区和通州区; 南苑机场和首都国际机场位于丰台区和顺义区; 待开发用地主要分布在丰台、房山、大兴和通州区的工业用地附近; 六环以内交通发达, 形成网状结构。待开发用地主要分布在丰台、房山、大兴和通州区。

6.2 创新

(1) 数据创新性: 资源三号 (ZY-3) 卫星是中国第一颗自主的民用高分辨率立体测绘卫星, 2012 年首次发射成功, 分辨率高达 5.8m, 目前使用者较少。与航片相比, 单幅影像监测面积更广, 比航片多出近红外波段, 因此波段信息更多, 提取的特征也就更多; 与 TM 和 ETM+ 影像相比, 分辨率更高, 因此, 采用资源三号卫星影像提取北京市六环以内城市用地信息, 可靠方便, 本研究在数据选择上具有一定的创新性。

(2) 技术创新性: 本研究采用面向对象方法与 GIS 相结合技术, 提取北京市六环以内城市内部用地, 与传统基于像元分类方法相比, 以多尺度分割获得的影像对象为分类单元, 不仅避免了破碎图斑的产生, 提高了抗噪能力, 而且深入挖掘城市内部用地地物信息的光谱、形状、纹理和空间关系等特征, 辅助实地调查和历史资料, 不仅准确提取出研究区内水体、绿地、建设用地和待开发用地, 更剔除了阴影的影响, 创新区分了城市建设用地内部各种地物类型, 包括工业工地, 低密度和高密度生活用地和交通过地。且提取精度较高。因此, 本研究在技术上具有一定的创新性。

6.3 展望

面向对象分类过程中还存在需进一步探讨的问题, 如多尺度分割时的分割参数和信息提取时的特征选择及阈值设置都具有一定的主观性, 因此需反复试验才能获得较好结果。

参考文献

- 崔功豪,王本炎,查彦育. 城市地理学[M].南京:江苏教育出版社,1992.
- 车风,林辉. 城市建设用地遥感信息提取方法研究[J]. 测绘科学, 2010, 04: 97-99.
- 曹珂,聂真. 基于能源流组织的工业用地空间布局[J]. 山西建筑,2008,(04):252-253.
- 常春艳,赵庚星,王凌,朱西存,高泽. 滨海光谱混淆区面向对象的土地利用遥感分类[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 226-231.
- 陈本清. 利用多时相卫星遥感影像对厦门市城市化进程及环境变化进行动态监测与分析. 福州大学硕士研究生毕业论文.2002,3.
- 代冠军. 城市总体规划中工业用地布局问题探讨[D].西安建筑科技大学,2013.
- 顾朝林. 北京土地利用履被变化机制研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 307-312.
- 管珍,曹广超,易俊柱. 面向对象的遥感影像分类研究[J]. 科技创新导报,2010,(34): 8-10+12.
- 黄光宇陈勇著. 生态城市理论与规划设计方法.科学出版社.2002.
- 胡德勇,李京,陈云浩,张兵,彭光雄. 基于多时相 Landsat 数据的城市扩张及其驱动力分析[J]. 国土资源遥感, 2006, 70(4): 46-54.
- 靳丽伟.基于 RS 与 GIS 的土地利用动态遥感监测[D]: [硕士学位论文].河北: 河北师范大学, 2006.
- 李德华. 城市规划原理(第三版)[M].同济大学出版社.2001.
- 李加林. 长江三角洲地区城市用地时空演变研究[D].北京:中国科学院,地理科学与资源研究所全球变化信息研究中心,2006.
- 刘新卫,张定祥,陈百明. 快速城镇化过程中的中国城镇土地利用特征[J].地理学报, 2008, 63(3): 301-310.
- 李民赞.《光谱分析技术及其应用》,科学出版社,2006。
- 龙鹏飞,贺亮,吕回,张纯. 基于 BEMD 和灰度共生矩阵的图像特征提取[J]. 计算机工程与应用,2009,16:201-203+214.
- 毛蒋兴,阎小培,王爱民等. 20 世纪 90 年代以来我国城市土地集约利用研究述评[J].地理与地理信息科学, 2005, 21(2): 48-53.
- 潘洪义,周介铭,何伟,蒋贵国. 唐山市主城区工业用地布局与空间结构分析[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2012,(04):567-572.

- 乔志杰,蒋加伏. 基于小波分解的纹理图像检索[J].计算机与数字工程, 2006, 34(6): 75-78.
- 冉有华,李文君,陈贤章. TM 图像土地利用分类精度验证与评估——以定西县为例[J].遥感技术与应用,2003,18(2):81-86.
- 沈润平. 土地利用遥感监测的关键技术及其应用研究[D]: [博士学位论文].浙江: 浙江大学,2002.
- 宋晓宇,单新建. 高分辨率卫星影像在城市建筑物识别中的初步应用[J]. 遥感信息, 2002, (1): 27-31.
- 孙明,冯志行,陆明. 布局·生态·更新——哈尔滨工业用地布局研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2008,(03):270-274.
- 邵晓梅,刘庆,张衍毓. 土地集约利用的研究进展及展望[J].地理科学进展,2006,25(2): 85-95.
- 童磊,邹峥嵘. 基于高分辨率卫星影像的城市用地信息提取研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2009, 02: 128-130.
- 陶然,袁飞,曹广忠. 区域竞争、土地出让与地方财政效应:基于 1999-2003 年中国地级城市面板数据的分析[J].世界经济,2007, (10): 16-28.
- 王绪龙. 济南市土地利用动态遥感监测技术方法研究[D]: [硕士学位论文].山东:人口·资源环境学院,2006.
- 吴宏安,蒋建军,周杰,张海龙,张丽,艾莉. 西安城市扩张及其驱动力分析[J]. 地理学报 2005,60(1):150-157.
- 吴南,刘征. 小城镇工业用地布局研究[J]. 小城镇建设,2011,(10):97-99.
- 王彩艳,王瑗玲,王介勇,王瑞燕,姜峥嵘. 基于面向对象的海岸带土地利用信息提取研究[J]. 自然资源学报,2014,09:1589-1597.
- 汪彦龙,刘金华,王丽萍. 基于对象空间关系的图像检索方法研究[J].计算机技术与发展,2006,16(1):66-69.
- 许容峰. 基于遥感的龙海市土地利用变化动态监测与专题研究[D]: [硕士学位论文].福建: 福州大学,2003.
- 肖桂荣. 基于遥感与 GIS 的县级土地利用动态监测与更新研究——以长乐市为例.福州大学硕士研究生论文,2002,12.
- 杨存建. 基于知识发现的 TM 图像居民地自动提取研究[J]. 遥感技术与应用,2001,16(1) :1-6.

- 杨吾扬,董黎明. 盛行风向与城市布局的关系[J]. 城市规划,1978,05:21-34.
- 张新乐,张树文,李颖,匡文慧. 近 30 年哈尔滨城市土地利用空间扩张及其驱动力分析[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 157-163.
- 周成虎. 遥感影像地学理解与分析[M].北京:科学出版社,1999.
- 赵萍,冯学智,林广发. SPOT 卫星影像居民地信息自动提取的决策树方法研究遥感学报 [J].2003,7(4):309-216.
- 周小成,汪小钦,吴波,励惠国. 城镇扩张的多源遥感图像动态监测分析[J]. 地球信息科学,2008,(03):332-337.
- 周春艳,王萍,张振勇,齐成涛. 基于面向对象信息提取技术的城市用地分类[J]. 遥感技术与应用, 2008, 01: 31-35+123.
- 张峰,吴炳方,黄慧萍,李苗苗. 泰国水稻种植区耕地信息提取研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 766-772+784.
- 张民省. 浅论我国城市巨型化发展的危机与对策[J].城市发展研究, 2008, 15(3): 27-29.
- 郑泽庆,黄贤金等. 我国城市土地集约利用评价研究综述[J].山东师范大学学报(自然科学版), 2008, 23(3): 89-94.
- 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M].科学出版社,2003,6.
- 郑明国,蔡强国,秦明周,岳天祥. 一种遥感影像分类精度检验的新方法[J]. 遥感学报,2006,01:39-48.
- 张凤荣,赵华甫,黄大全,李佳,赵婷婷. 基于宜居城市建设的北京市农业产业空间布局[J]. 资源科学,2008,02:162-168.
- Barry Haack. An Assessment of Landsat MSS and TM Data for Urban and Near-Urban Land-Cover Digital Classification [J]. Remote Sensing of Environment 1987,21:201-213.
- Cover Change and Economic Development in the Florida Everglades. Ecological Economics, Volume37, Issue3, June 2001, p357-369.
- Curran P J, Pedley M I. Airborne MSS for land cover classification [J].Geocarto International, 1990,5:15-26.
- C. Weber, A. Puissant. Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis Metropolitan Area[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86:341-352.
- DAUGMAN JG. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters[J]. Journal of the Optical Society ofAmericaA, 1985,2(7): 1160-1169.

- Gao J, Skillcom D. Capability of SPOT XS data in producing detailed land cover maps at the urban—rural periphery [J]. International Journal of Remote Sensing 1998,19:2877-2891.
- Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Texture Features for Image Classification[J]. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 1973, 3(6): 610-621.
- JIANCHANGM, ANILK J. Texture classification and segmentation using multiresolution simultaneous autoregressive models[J]. Pattern Recognition, 1992, 25(2): 173-188.
- Martin Herold, Noah C. Goldstein, Keith C. Clarke. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86:286-302.
- R Welch. Monitoring urban Population and energy utilization Patterns from satellite data [J].Remote Sensing of Environment,1980,9:1~9.
- TAMURA H, MORI S, YAMAWAKI T. Texture features corresponding to visual perception[J]. IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics, 2003, 8(6): 460-473.

致谢

岁月转瞬即逝，很快我的三年研究生生活面临结束，在即将毕业之际，不禁回忆起三年以来的点点滴滴，其中，自学遥感和 GIS 成为我最为深刻的记忆，以及中科院两年的实习经验，也让我获益良多，无论我在学校还是在中科院学习期间，山农大都教会了我作为一名硕士研究生，必须具备优良的学风和严谨的科研态度。值此毕业论文完成之际，我谨向所有关心、爱护、帮助我的人表达最诚挚的谢意与最衷心的祝福！

本论文是在导师王瑗玲教授的悉心指导之下完成的。三年来，王老师以其渊博的专业知识和严谨的教学态度，引导我一步一步学会创新，爱上钻研。本论文从选题到最终完稿，每一步都是在王老师不厌其烦反复地指导下完成的，王老师付出了大量的心血，在此我向我的导师表示最深切的谢意与祝福！

本论文的完成也离不开其他老师、同学和朋友的关心与帮助。在此也要感谢中科院地理所王介勇和刘志高老师对本论文数据的提供与支持，同时感谢我院土管专业老师在论文开题、初稿、预答辩期间所提出的宝贵意见。在这里衷心祝福所有老师健康幸福！

攻读学位期间发表论文情况

(1) 王彩艳, 王瑗玲, 王介勇, 王瑞燕。基于面向对象的乳山市海岸带地物类型提取研究,《自然资源学报》, 2014 (29), 1589-1597。

(2) 王彩艳, 王瑗玲, 王介勇, 刘志高。基于面向对象的北京市区城市内部用地提取,《自然资源学报》, 2015 (30), 705-714。