

# 黔东南州地理信息系统 与遥感一体化试点研究

茹锦文 马祖陆 刘光慧 周定生 / 著



23.211

贵州科技出版社

## 内 容 提 要

本书反映了中国地质科学院岩溶研究所茹锦文研究员领导的 GIS 研究集体,利用地理信息系统与遥感一体化在贵州复杂山区历时五年成功的试点研究。有关研究成果已在国内、外获奖。研究内容涉及卫星遥感土地利用现状调查;防止水土流失的坡改梯工程;草地宜农性评价;再生稻资源的开发以及茶叶、柑橘等经济作物适宜区选择等,所研究的这些方法将在我国西南山区的土地持续利用、国土整治中发挥重要作用。

在利用 TM 数据开展土地利用调查中,在计算机帮助分类以后,再以 GIS 的辅助信息在屏幕上开展判别分类,大大提高了分类精度和速度,为我国土地资源的快速更新提供了一种新的方法。在地理信息系统研究中,该研究集体立足于自主开发的软件 SKset,通过十年努力已升级为 SKset 3.0 for windows,系统中已存贮了 120 多兆数据量,表明该软件的功效及实用性。

本书可作为有关大专院校师生, GIS, RS 研究人员以及立志于我国西南部山区开发人员的参考书。

### 黔东南州地理信息系统与 遥感一体化试点研究 茹锦文等 著

---

贵州科技出版社出版发行

(贵阳市中华北路 289 号 550001)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

787×1092mm 16 开本 7.5 印张 4 插页 180 千字

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—2000

---

ISBN7—80584—687—1/S·120 定价:16.00 元

## “黔东南州地理信息系统与遥感一体化试点研究”

### 项目组成人员

项目顾问：姚茂森\*

项目负责人：茹锦文 周定生

项目参加人：

岩溶研究所：马祖陆 刘光慧 钟晓群 莫源富 周立新  
李淑莹

黔东南州农

业区划系统：黄明祥 杨鸿钧 邵平南 范 力 胡志鸿  
任 林 潘代忠 龙跃东 李进兴 陈守益  
汪才科 张奕辉 谢帮清 吴鸿德 湛鸿溪  
卢立钧 梁恒文

\* 姚茂森同志曾任贵州省黔东南苗族侗族自治州州长，现任贵州省国土厅厅长。

## 序 言

岩溶地质研究所茹锦文研究员领导的 GIS 研究集体与黔东南州农业区划系统密切配合,选择我国贵州偏远山区开展遥感与地理信息系统一体化的试点研究,取得了成功。这是一件值得庆贺的事。

我国是一个农业大国,又是一个多山的国家,山区面积占了国土面积的近 70%。传统的小农经济模式,耕地小片、分散,使土地资源的调查十分困难。六五、七五期间我国农业区划系统曾组织了全国土地资源普查,投入了大量的人力、物力,采用的主要方法是航空照片判读与地面调查相结合,调查的周期长,人为因素大。本书所介绍的一种方法是利用陆地卫星 TM 数据在计算机监督分类的基础上,再利用 GIS 辅助信息在屏幕上实行再判别分类,属于 RS 与 GIS 相结合的分类方法,使调查精度从国际上流行的 67—85% 提高到 90—95%,而且调查速度大大提高,为我国国土资源信息的及时更新提供了新方法,在技术上有创造性,达到了当前国际、国内先进水平。

黔东南州属于我国中西部高原山区,其中岩溶山区又占了全州面积的四分之一,是我国苗、侗等少数民族聚集地,至今大部分县仍处于贫困状态。如何利用地理信息系统等高新技术开发贫困山区,本试点研究作出了成功的范例,诸如在水土流失、宜农草地及再生稻资源的开发、茶园和柑橘等经济作物的选区方面显示了强大的功能。此外,以本课题成果为主要题材撰写的论文在 18 届 ISPRS 国际大会(1996 年 7 月,维也纳)被授予第一届 Doležal 奖,为祖国争得了荣誉。可以预料,这一研究成果将在我国南方山区,尤其是生态环境脆弱的岩溶山区的国土整治中发挥重要作用。

中国科学院院士  
岩溶地质研究所研究员

袁道先

1996.9.5

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 一、绪论 .....                    | 1  |
| 二、黔东南州地质、地貌概况 .....           | 3  |
| 三、卫星遥感土地利用现状调查 .....          | 4  |
| (一)问题的提出 .....                | 4  |
| (二)前期准备工作 .....               | 6  |
| 1. 遥感 TM 卫星资料的选择 .....        | 6  |
| 2. 遥感图像的预处理 .....             | 7  |
| (三)土地利用现状的计算机模式识别 .....       | 11 |
| 1. 土地利用类型的划分 .....            | 11 |
| 2. 训练场地的选择 .....              | 12 |
| 3. 训练场地的处理与纯化 .....           | 13 |
| 4. 地物光谱特征参数的提取 .....          | 14 |
| 5. 先验概率与混合像元的处理 .....         | 14 |
| 6. TM 数据特征选择与主成分分析 .....      | 16 |
| 7. 计算机监督分类 .....              | 17 |
| (四)分类结果修正与后处理 .....           | 34 |
| 1. 利用屏幕判读识别法修改分类结果 .....      | 34 |
| 2. 专家知识的计算机识别修改 .....         | 34 |
| 3. 数字图像的镶嵌 .....              | 34 |
| 4. 不规则边界的开窗与数据提取 .....        | 36 |
| (五)遥感土地利用现状调查结果的评述 .....      | 39 |
| 1. 已知地区地物计算机监督分类精度检验 .....    | 40 |
| 2. 修正后单个图斑圈定面积与实地调查结果对比 ..... | 40 |
| 3. 计算机监督分类结果精度评述 .....        | 41 |
| 4. 结论 .....                   | 42 |
| 四、遥感环境监测 .....                | 43 |
| (一)水资源污染的监测 .....             | 43 |
| (二)生态破坏与水土流失 .....            | 43 |
| 五、黔东南州地理信息系统 (第一期工程) .....    | 45 |
| (一)地理信息系统国内外研究动态 .....        | 45 |
| (二)黔东南州地理信息系统的特点 .....        | 48 |
| 1. 州、市/县、乡分级行政区划及边界 .....     | 49 |
| 2. 黔东南州交通 .....               | 49 |

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. 数字地形模型 (DTM) .....                                                                                        | 50  |
| 4. 地质图 .....                                                                                                 | 50  |
| 5. 矿产资源 .....                                                                                                | 53  |
| 6. 土壤类型图 .....                                                                                               | 56  |
| 7. 土壤养分丰缺图 .....                                                                                             | 56  |
| 8. 土壤酸碱度图 .....                                                                                              | 57  |
| 9. 基本农田保护区 .....                                                                                             | 58  |
| 10. $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温图及年均气温图 .....                                                               | 59  |
| 11. 黔东南州的旅游资源和规划 .....                                                                                       | 59  |
| (三) 信息的输入和输出 .....                                                                                           | 61  |
| (四) 存储与分析 .....                                                                                              | 63  |
| 1. 数据结构设计 .....                                                                                              | 63  |
| 2. 对象类设计 .....                                                                                               | 64  |
| 3. 系统功能设计 .....                                                                                              | 64  |
| 4. 应用分析 .....                                                                                                | 65  |
| 六、结论 .....                                                                                                   | 71  |
| 主要参考文献 .....                                                                                                 | 72  |
| 附录 1 LIS Combined With RS For A Long Term Sustainable Land Use In Karst Terrane,<br>Southwestern China ..... | 74  |
| 附录 2 黔东南州的矿产资源 .....                                                                                         | 80  |
| 附录 3 对镇远县国土资源遥感调查精度的意见 .....                                                                                 | 104 |
| 附录 4 对卫星遥感成果应用的意见 .....                                                                                      | 106 |
| 附录 5 对凯里市卫星遥感土地利用现状调查精度的说明 .....                                                                             | 107 |
| 附录 6 “黔东南州地理信息系统与遥感一体化试点研究”验收意见 .....                                                                        | 109 |
| 附录 7 项目评审意见书                                                                                                 |     |
| (一) 中国科学院院士, 中国工程院院士, 武汉测绘科技大学教授, 院长李德仁的<br>评审意见 .....                                                       | 110 |
| (二) 全国农业资源区划办公室原主任, 教授张巧玲的评审意见 .....                                                                         | 111 |
| (三) 南京大学城市与资源学系教授黄杏元的评审意见 .....                                                                              | 111 |
| (四) 地矿部地质遥感中心教授级高工王润生的评审意见 .....                                                                             | 112 |
| (五) 中国农业工程研究设计院农业资源监测站高级工程师陆登槐的评审意见 .....                                                                    | 113 |

# 一、绪 论

黔东南苗族侗族自治州(以下简称黔东南州),位于贵州东南部,面积 30327.1 平方公里,人口 382 万,是一个苗、侗等少数民族集居的地方,少数民族约占全州人口的 70%。

黔东南州地处我国中西部高原山地,素有地无三里平之称。丘陵、盆地面积共 825.57 平方公里,仅占全州总面积的 2.7%。本州的西北部又是我国著名的岩溶区。生态环境脆弱的岩溶山区面积达 7035.56 平方公里,占全州总面积的 23.20%。

由于历史、自然及工作方面的原因,全州经济特别是农村经济仍较落后。州内所辖市、县 16 个(图版 1—1),其中属于国家级的贫困县 3 个(黄平、从江、剑河),省级贫困县 10 个(施秉、岑巩、雷山、台江、三穗、天柱、榕江、黎平、丹寨、麻江)(表 1)。

为了贯彻国务院提出的“八七扶贫攻坚计划”,响应党的十四届五中全会提出的重视支持中西部地区经济发展的号召,保护生态环境,促使土地的持续利用,中国地质科学院岩溶研究所 GIS 研究集体与黔东南州农业区划办公室合作开展黔东南州地理信息系统与遥感一体化的试点研究。项目研究自 1991 年始至 1996 年 5 月,历时五年。在现有的 16 个市县土地利用现状调查(普查、详查)的基础上,利用美国陆地卫星 TM 数据及监督分类图像处理技术按县又进行了一次土地利用现状调查。对全州范围的土地利用现状进行了一次全面的校核。并采用本研究集体所开发的 GIS 软件 SKset 3.0 for windows 建立了以土地利用,农业经济宏观规划、决策为主的州级地理信息系统。系统所存贮的信息有地形、地质、矿产、土壤、气温、土壤酸度(pH 值)、土壤养分以及卫星磁带数据等数据量共 120 兆。在项目进行过程中又增加了林业、市场经济、旅游交通等部分信息。州级地理信息系统是一项庞大的系统工程。本次即以当前实用为目的,故暂定为第一期工程。此外,由于人员资金投入的不足,在州级系统内除开发了以县为单位的土地图斑管理分析系统外,仅开发了镇远、凯里县/市级土地信息子系统。在子系统内,实现了更为有效的以乡为单位的土地图斑管理分析系统。

本项目由茹锦文负责总体设计,组织项目全面实施,并任本书主笔。周定生代表黔东南州农业区划系统,开展全面合作,参与总体设计、实施方案的制定,拟定州级地理信息系统与山区农业综合开发相结合项目的主要资源因素及指标,并对全书的编排和有关参数作了全面核定。马祖陆负责卫星遥感土地利用现状调查,软件调试、优化,完成 15 个市/县的机助分类,屏幕辅助分类以及全州卫星影像数字镶嵌,并提供卫星遥感土地利用调查部分的初稿。刘光慧负责 GIS 系统软件的开发以及州、市/县级系统的安装、调试。并提供地理信息系统

部分的初稿。钟晓群、莫源富、周立新共同完成图形输入软件的开发调试及操作,此外莫源富还完成了榕江县的 TM 数据的机助分类及屏幕分类。周立新负责图形输入后处理及协助系统安装、屏幕图版摄影,提供图形数字化的初稿等。李淑莹负责地质矿产子系统的汇编及本书出版前的系统订正、审核。有关插图由梁茂珍等同志清绘。

本项目在研究过程中得到黔东南州政府、贵州省农业区划办、农业部区划司和地矿部岩溶研究所领导的关心和指导。黔东南州原州长姚茂森同志任本研究项目顾问。州土地管理局、州农牧局土肥站等提供了有关图件和资料,在此一并致以衷心的感谢。

表 1 黔东南州基本情况一览表

| 县名 | 总面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 总人口<br>(人) | 人口密度<br>(人/km <sup>2</sup> ) | 岩溶面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 岩溶面积<br>占总面积<br>% | 贫困状况 |    |
|----|---------------------------|------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|------|----|
|    |                           |            |                              |                            |                   | 国家级  | 省级 |
| 凯里 | 1305.9                    | 395308     | 302.71                       | 919.85                     | 70.44             |      |    |
| 施秉 | 1543.8                    | 135204     | 87.58                        | 1223.94                    | 79.28             |      | ✓  |
| 黄平 | 1667.8                    | 312831     | 187.57                       | 1279.91                    | 76.74             | ✓    |    |
| 镇远 | 1877.7                    | 228584     | 121.74                       | 876.53                     | 46.69             |      |    |
| 岑巩 | 1486.5                    | 192978     | 129.82                       | 866.08                     | 58.26             |      | ✓  |
| 丹寨 | 937.7                     | 146278     | 156.00                       | 290.46                     | 30.97             |      | ✓  |
| 麻江 | 1222.2                    | 194223     | 158.91                       | 936.96                     | 76.66             |      | ✓  |
| 雷山 | 1218.5                    | 131973     | 108.31                       | 0                          | 0                 |      | ✓  |
| 台江 | 1198.2                    | 146837     | 122.55                       | 93.67                      | 7.82              |      | ✓  |
| 三穗 | 1035.8                    | 182455     | 176.15                       | 31.04                      | 3.00              |      | ✓  |
| 天柱 | 2201.1                    | 368602     | 167.46                       | 303.76                     | 13.80             |      | ✓  |
| 剑河 | 2035.1                    | 189206     | 92.97                        | 1.20                       | 0.06              | ✓    |    |
| 锦屏 | 1596.9                    | 198512     | 124.31                       | 40.54                      | 2.54              |      |    |
| 榕江 | 3315.8                    | 282967     | 85.34                        | 0                          | 0                 |      | ✓  |
| 黎平 | 4439.2                    | 442155     | 99.60                        | 115.45                     | 2.60              |      | ✓  |
| 从江 | 3244.9                    | 227800     | 85.61                        | 56.17                      | 1.73              | ✓    |    |
| 合计 | 30327.1                   | 3825923    | 126.16                       | 7035.56                    | 23.20             |      |    |

注:表中总面积及岩溶面积系引自贵州省地理信息研究成果。总人口为 1994 年底统计数字。

## 二、黔东南州地质、地貌概况

黔东南州大地构造位置横跨我国两大构造单元：南华区与扬子区。分别隶属于其中两个次级构造单元，雪峰隆起与武陵坳褶带（图版 2—4）。

雪峰隆起位于州的东南部，发育了一大套前震旦纪元古界的浅变质砂、页岩系，以板溪群的清水江组为代表。分布面积约占全州面积的 60%。武陵坳褶带位于本州的西北部，发育了一套下部古生界浅海大陆架的沉积岩系。其中震旦、寒武、奥陶等系地层以碳酸盐岩为主，志留系以碎屑岩为主，约占全州面积的 34.33%。上古生界、中生界其他地层分布范围仅占总面积的 5.8%。由于上述两大不同的地质背景，造成了黔东南州地形、地貌乃至农业生态环境明显的差异。西部 7 县、市（凯里、施秉、黄平、丹寨、麻江、岑巩、镇远）为黔东南著名的岩溶区，以岩溶峰丛、峡谷为特征。国家级旅游区湄阳河三峡即位于该区。东部 9 县（雷山、剑河、台江、三穗、天柱、锦屏、榕江、黎平、从江）为碎屑岩系所组成的常态山，为贵州省乃至全国著名的林区。

黔东南州地处贵州高原向湘西丘陵及桂北山地的过渡地带。中部苗岭山地，主峰雷公山海拔 2178.8 米，为全州的最高峰。南部与桂北九万大山相接，海拔 1670 米属于中山地形。此外均为海拔 1000 米左右的低山丘陵。地形向清水江、都柳江河谷区逐渐降低，最低区位于黎平地坪，海拔 137 米，也是全省地势最低点。

西部高原面上的岩溶区，地形切割深度多在 100—200 米间，峡谷区变大，常形成河谷型瀑布，如镇远晒旗落差达 160 米。东部山区切割深度多在 300—600 米，大者可达 700—800 米。因此地形陡峻，山坡地多。以镇远县湄阳镇为例，地形坡度大于 15°的山坡面积占全镇总面积的 36.5%。

全州年均气温 15.8℃，年均降雨量 1227.5 毫米。

州内地表水系以中部苗岭山脉为界，北部属长江水系，流域面积约 21500 平方公里。南部属珠江水系，流域面积 8802 平方公里。

湄阳河、清水江属长江的三级支流，系本州北部的两条重要水系，均向西汇入沅水入洞庭湖。湄阳河发源于瓮安县境，横贯本州北部，经旧州、黄平、施秉、岑巩至镇远县羊坪进入铜仁境内。流域面积 5106 平方公里，年均流量 27.3—69.1 米<sup>3</sup>/秒（镇远大茶园站），平均落差 1.8%。清水江发源于都匀，蜿蜒于麻江、凯里、剑河、锦屏、天柱等地，流域面积 14769 平方公里，年均流量 172—454 米<sup>3</sup>/秒（锦屏站），平均坡降 1.6‰（南路）。

本州南部的都柳江，属珠江的三级水系，发源于独山，穿行于榕江、下江、从江等地经丙梅流入广西。州内流域面积 8802 平方公里，年均流量 91.1—252 米<sup>3</sup>/秒（石灰厂站）。

上述三条均属于山区河流，落差大，蕴藏着丰富的水电资源。理论蕴藏量达 205.79 万千瓦，实际可开发量达 124.5 万千瓦。目前，仅开发了 10 万千瓦，开发潜力很大。可喜的是黔东南州近期计划开发清水江三板溪水电站（装机容量为 100 万千瓦）。

### 三、卫星遥感土地利用现状调查

#### (一)问题的提出

系统地开展县级土地利用现状调查是七五期间国家区划部门下达的一项重要任务。为了保证调查的精度,有关部门要求以地面调查为主,结合航空照片的目视解译、调绘和手工成图、量算面积的方法。因此,在我国许多地区的大面积中小比例尺的土地利用调查中,已广泛地利用航空遥感资料进行目视判读,解释成图和量算面积。并已取得了较好的效果,完成了全国大部分县级土地利用调查及其它资源、环境调查工作。但是,由于地面调查与目视解译参加人员多,容易出现人为判读误差,尤其在山区复杂的地形条件下。此外,野外调查大致需要投入 50—60% 现场核实的工作量,因此调查周期长,费用大,不能适应信息迅速更新和大面积动态土地监测的要求。为了避免人为判读所出现的系统误差和满足快速土地调查和监测的需要,一些研究者已开始利用卫星遥感资料(数字图像)通过计算机模式识别分类的方法进行土地利用调查,如我国“三北”防护林调查中,林业分类与蓄积量的估产,北方草原牧草的分布与估产以及北方 5 省(市)(后扩大到 11 省、市)的小麦估产等,取得了较好的成果,为国家及各级地方政府进行土地管理规划奠定了良好的基础。然而,这些成果主要是在我国北方广大平原、高原林区等地形平坦、地物较单一的地区取得的。在我国南方山区这种复杂的地形、地物条件下,尚缺少成功的经验。

贵州省黔东南州是我国典型的南方岩溶及碎屑岩山区。该州曾先后于 1979—1985 年和 1988 年两度采用地面调查与航片解译的方法开展土地利用调查,其中普查工作已于 1988 年前完成,部分县(市)尚开展了土地详查工作。然而,前后两次调查结果耕地面积相差较大(表 2)。

表 2 黔东南州部分县土地利用调查耕地面积对比表<sup>①</sup>

| 县 名 | 水 田        |            |                        | 旱 地        |            |                        |
|-----|------------|------------|------------------------|------------|------------|------------------------|
|     | 普 查<br>(亩) | 详 查<br>(亩) | 误差 <sup>②</sup><br>(%) | 普 查<br>(亩) | 详 查<br>(亩) | 误差 <sup>②</sup><br>(%) |
| 镇远县 | 129502     | 237131     | 183.1                  | 113899     | 277114     | 243.20                 |
| 黄平县 | 229200     | 411866     | 179.7                  | 159000     | 317171     | 199.5                  |
| 施秉县 | 93606      | 155830     | 166.4                  | 67015.3    | 170747     | 254.8                  |
| 岑巩县 | 137193     | 198763.9   | 144.9                  | 90402      | 202474.6   | 224                    |

① 黔东南州县乡镇综合信息资料,黔东南州农业区划办公室,1992。

② 设普查数为 100。

究其原因,主要有如下几个方面:

1. 山区地形切割深,交通不便,而且土地利用类型多,分布零散,给野外调查和室内判读解译造成了较大困难。
2. 航片中山区阴影多,信息微弱(“盲区”)。
3. 航片系多中心投影,其边缘畸变在实际调查中难以完全克服,另外,航片的镶嵌,转绘成图和手工面积量算也会出现系统误差。
4. 参加工作人员多,在地物判读,解译过程中常会出现系统误差。

利用陆地卫星专题图(TM)资料对土地利用进行调查,不仅避免了多中心投影边缘畸变的缺点,而且由于采用模式识别,计算机面积量测等先进手段,避免了大量手工作业所造成的误差。模式识别中的监督分类法只需要在野外现场选择少量地物训练场地便可由计算机自动对土地利用类型分类、统计和成图,大大减少了野外工作量,尤其在那些地面通行条件较差的山区,具有十分重要的意义。

研究者首先对镇远县开展了试点研究工作,在镇远县 1878 平方公里的范围内,从野外到室内通过三次反复的试验研究,取得了比较满意的结果。本试验曾由该县农业区划办公室抽样(10 块样地)现场核实,认为结果可靠。自 1993 年下半年开始在全州范围内推广。两种方法主要性能对比如表 3 所示。

表 3 土地利用调查方法对比表

|              | 地面调查与航空解译                                      | 监 督 分 类                          |
|--------------|------------------------------------------------|----------------------------------|
| 几何精度         | 比例尺为 1:1 万的图件,<br>4×4mm <sup>2</sup> 相当于 2.4 亩 | 1 像元=30×30m <sup>2</sup> =1.35 亩 |
| 调查周期         | >2—3 年                                         | 2 月                              |
| 野外调查工作量 *    | 60%                                            | 5%                               |
| 调查经费 **      | >20 万元                                         | 3—4 万元                           |
| 调查人员         | 约 10—20 人                                      | 1 人                              |
| 统计成图         | 手工成图及量测                                        | 扫描成像、计算机自动统计显示                   |
| 信息量          | 黑白照片,信息量小                                      | 多波段数字图像,信息量大                     |
| 其 它          | 航片多中心投影的边缘畸变,镶嵌成图系统误差难以克服                      | 经几何精校正,镶嵌后,误差小(≤30m)             |
| 动态监测及 GIS 管理 | 难以实现                                           | 容易实现                             |

\* 指野外调查路线面控制率;      \*\* 按当年市场不变价计。

## (二)前期准备工作

卫星遥感土地利用现状调查前期的准备工作包括 TM 数据时相的选取,土地利用类型的划分,监督分类方法的选择等。

### 1. 遥感 TM 卫星资料的选择

自 60 年代以来,由于卫星遥感传感器的不断改进,获得的各种卫星遥感数据的频谱范围不断扩大,地面分辨率不断提高为卫星资料应用开拓了广阔的前景。卫星图像的地面分辨率从气象卫星(NOAA)的 1.1 千米提高到美国 Landsat(TM 资料)的 30 米,法国 Spot 卫星资料的 10/20 米,以及最近销密的前苏联卫星资料,提高到了 2—3 米(KFA3000)。从而使其精度达到或接近航空遥感地面分辨精度,信息量也更为丰富(表 4),给各个领域的应用,

表 4 部分卫星资料对比表

| 资料名称               | 地面分辨率<br>(m) | 信息量<br>(波段数) | 覆盖范围<br>(km <sup>2</sup> ) | 轨道重复周期<br>(天) |
|--------------------|--------------|--------------|----------------------------|---------------|
| Landsat—MSS<br>(美) | 80×80        | 4            | 185×185                    | 18            |
| Landsat—TM<br>(美)  | 30×30        | 7            | 185×185                    | 16            |
| Spot<br>(法)        | 10/20        | 4            | 60×60                      | 3/26          |
| KFA—3000<br>(前苏联)  | 2—3          | 3            | 440                        |               |

尤其是资源与环境调查监测,提供了极大的方便。在众多的卫星资料中,尤以美国地球资源卫星 TM 资料信息量最为丰富(7 个波段),信息/价格比最优,而且获取容易,应用历史长,技术成熟,可以满足本次土地利用调查的精度要求。故本次调查采用 TM 资料为主,辅以 GIS 支持下的各种数字图件,包括已有的土地普查、详查,林业调查等资料进行综合研究。

美国陆地卫星按固定的轨道,大致每 16 天绕地球一圈。因此,地球表面上同一地点每年大致可以覆盖 22 次。然而,由于气候的原因,常常会被云层不同程度的遮挡,因此要选择特定地点特定时期的 TM 数据并非一件易事。

对于土地利用现状调查来说,每年五月至十月是最理想的季节。因为这一时期地面作物生长旺盛,各类地物的反射波谱差异明显,易于区分。然而贵州素有“地无三里平,天无三日晴”之称,五月至十月通常为阴雨、多云天气,难以获得高质量的图像资料。为了获得一幅理想的 TM 图像资料,我们在国家卫星地面站共检索了 4 年的数据,结果见表 5。

表 5 本地区小于 80%云盖量的卫星资料

| 年    | 月  | 日  | 云 盖 量(%) |
|------|----|----|----------|
| 1988 | 10 | 19 | 30       |
| 1988 | 11 | 20 | 30       |
| 1989 | 7  | 18 | 40       |
| 1989 | 10 | 22 | 30       |
| 1990 | 8  | 22 | 20       |
| 1990 | 11 | 26 | 80       |
| 1991 | 7  | 24 | 60       |
| 1991 | 10 | 12 | 60       |
| 1991 | 10 | 28 | 0        |

由此可见,4年内云盖量小于80%的卫星资料仅九景,以1991年10月28日的为最佳(无云层覆盖)。

黔东南州3万余平方公里范围内共涉及四景TM卫星磁带数据(表6)。

表 6 黔东南州卫星数据结合表

|             |             |
|-------------|-------------|
| 万 山 幅       | 黔 阳 幅       |
| 126-41      | 125-41      |
| (1991.10.28 | (1989.9.17) |
| 榕 江 幅       | 资 源 幅       |
| 126-42      | 125-42      |
| (1991.10.28 | (1987.6.10) |

幸好全州85%的范围位于万山、榕江两景卫星磁带中,均系1991年10月28日获得的同一时相数据。这样,为统一的图像处理、监督分类奠定了基础。

## 2. 遥感图像的预处理

遥感图像预处理是分类识别、系列图件制作的基础。其内容包括图像的几何校正、图像的滤波和辐射纠正、图像的各种增强和变换以及图像的镶嵌或分幅、不规则边界数据提取

等。图像预处理方法很多,这里重点阐述与本研究密切相关的几种处理方法。

#### (1) TM 数字图像的几何精校正

由于卫星传感器姿态、高度、扫描速度的变化以及地球的自转曲率、高程及地形起伏的影响,都会引起图像的几何畸变,造成几何失真。因此,必须根据地形图上的大地坐标点或直接根据 GPS 所读得的数据对 TM 数据进行校正。对于土地利用现状调查来说,它作为土地管理分析与规划的工具,尤其需要各种相应图件在几何位置上的精确配准。由于 TM 图像销售前已由遥感卫星地面站作了几何粗校正,消除了系统误差,所以本文重点讨论几何精校正。

卫星数字图像几何精校正的方法实质上是通过对像元坐标的解析变换和数字影像灰度值的重抽样形成新的图像,因此几何精校正包括了几何位置的纠正及灰度变换(重采样)两大步骤。

##### a. 几何位置的变换

鉴于所采用的校正用标准图像的不同,几何位置的变换又可分为两种方式,即图像对图像和图像对地图变换。后者在我国多采用高斯-克吕格投影平面变换,通过二元多项式法变换来实现。

$$\begin{cases} X = F_1(x, y) = \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n a_{jk} X^j Y^k = a_{00} + a_{10}X + a_{01}Y + a_{20}X^2 + a_{11}XY + a_{02}Y^2 \\ \quad + a_{30}X^3 + a_{21}X^2Y + a_{12}XY^2 + a_{03}Y^3 \\ Y = F_2(x, y) = \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n b_{jk} X^j Y^k = b_{00} + b_{10}X + b_{01}Y + b_{20}X^2 + b_{11}XY + b_{02}Y^2 \\ \quad + b_{30}X^3 + b_{21}X^2Y + b_{12}XY^2 + b_{03}Y^3 \end{cases}$$

式中  $x, y$  为像元在 TM 影像中的坐标;  $X, Y$  为该点在地形图中的坐标;  $a_{jk}$  和  $b_{jk}$  为几何校正系数,可通过在原始图像和地形图上选择同名点对作为控制点,应用最小二乘法求得。这种方法的优点是能保证整幅图像变换后总误差最小,但不能确保局部精度的完全一致。事实上,对于面积较大,地形起伏明显的地区,某些局部的误差是非常显著的。具体表现在几何控制点多的地方几何精校正的精度较高,而几何控制点少的局部地区误差较大。此外,误差尚取决于调查区范围,地面起伏复杂程度。

贵州省黔东南州总面积达 3 万余平方公里,跨越范围东西宽 230 余公里,南北长 260 余公里,为典型的山区,区内地形复杂。为了减少上述原因可能造成的几何误差,我们采用了二次校正法。

首先将区内不同图幅按行政区域或地理(地物)分区分成若干不同的小区,分别按地形图进行几何精校正。在各小区内尽可能多选控制点,使控制点均匀地分布在全区,用局部的二维几何校正代替多维几何校正。实践证明,这种方法能有效地消除局部误差,可使调查精度控制在一个像元以内(表 7)。

表 7 黔东南州部分地区 TM 图像几何精度检验结果 (单位:像元)

| NO. | Image-X | Image-Y | Map-X    | Map-Y    | Error-X | Error-Y | Tot. Error |
|-----|---------|---------|----------|----------|---------|---------|------------|
| 1   | 6097.00 | 3454.00 | 6096.755 | 3454.438 | 0.245   | -0.438  | 0.684      |
| 2   | 5827    | 4383    | 5827.177 | 4382.713 | -0.177  | 0.287   | 0.463      |
| 3   | 7317    | 1214    | 7316.959 | 1214.193 | 0.041   | -0.193  | 0.233      |
| 4   | 6582    | 1324    | 6581.942 | 1323.366 | 0.058   | 0.634   | 0.692      |
| 5   | 6772    | 1714    | 6771.837 | 1714.776 | 0.163   | -0.776  | 0.9391     |
| 6   | 6818    | 2177    | 6817.386 | 2176.766 | 0.614   | 0.234   | 0.849      |

其次以某一区域(主要研究区)为基础,将经过按地形图几何精校正的各子区再进行一次图像对图像的配准校正,即通过子区图像间的重叠区选择相应的控制点。

按上述方法处理,虽然增加了工作量,但保证了整幅图具有较高的几何精度。经抽点调查,总误差可控制在 1—2 个像元之内(表 8),而且消除了局部误差,取得了较好的效果。

表 8 黔东南州几何精校正镶嵌抽点检查对比表 (单位:米)

| NO. | Image-X,    | Image-Y,   | Map-X,       | Map-Y,      | Error-x | Error-y | Tot. Error |
|-----|-------------|------------|--------------|-------------|---------|---------|------------|
| 1   | 19292884.00 | 2930148.00 | 19292879.107 | 2930171.28  | 4.893   | -23.28  | 28.173     |
| 2   | 19287184.00 | 2918448.00 | 19287182.251 | 2918428.992 | 1.749   | 19.008  | 20.757     |
| 3   | 19309234.00 | 2915148.00 | 19309232.785 | 2915153.781 | 1.215   | -5.781  | 6.999      |
| 4   | 19296124.00 | 2938308.00 | 19296151.288 | 2938290.042 | -27.288 | 17.958  | 45.246     |
| 5   | 19296364.00 | 2937228.00 | 19296367.141 | 2937258.936 | -3.141  | -30.936 | 34.077     |
| 6   | 19294264.00 | 2944038.00 | 19294245.571 | 2944030.971 | 18.429  | 7.029   | 25.455     |

#### b. 灰度变换

校正图像上各点的灰度值是根据原始图像上各点灰度值经过某种变换求得。灰度变换的方法有多种,可根据原始图像的类型和变换后的目的选择决定。对于遥感 TM 图像来说,为了保证变换后 TM 图像亮度值的连续性和 TM 合成图像系列成图的可视性,我们采用了双向线性插值法。

#### (2) 图像数据的恢复

在黔东南州 4 幅 TM 图像中,万山幅和榕江幅图像都有少量脱离线(数据为 0),一般一行或二行,最多不超过三行。我们采用脱离线、下两行光谱值的平均值或直接用上(下)行光谱值代替脱离线对应数据。

所保存的磁带数据时间长了,常使一些数据无法读出或丢失,致使该区域无信息。在资源幅图像中, TM2 波段在南部有 196 行无数据, TM5 波段下部(从 2924 行开始)大半幅图像缺数据(原磁带数据无法读出)。其中 TM2 波段数据缺失少,且其信息可通过同属可见光波段的 TM1 和 TM3 得到较好的恢复。TM5 波段信息量最大,在图像的显示成图和分类中具有十分重要的作用。虽然 TM7 波段信息与 TM5 比较类似,但无论从信息量或对主要地物的区分程度都远不及 TM5。因此,必须对 TM5 波段所缺数据进行适当恢复。采取的办法是:在全幅图中有 TM5 数据的区域选择子区,逐点统计子区内 TM5 波段数据与其它各波段数据;建立 TM5 波段数据与某一个(如 TM7, TM4)或几个波段的光谱数据的变换关系;根据子区内光谱统计特征,将 TM7 或某一其它波段(如 TM4)的灰度进行变换,使其均值和方差接近于 TM5 波段;以 TM7 波段(或某一其它波段)为 TM5 波段图的基础,根据子区所建立的变换关系,对其灰度值进行相应的调整。

经上述处理后的 TM5 波段数据较原来单纯用 TM7 波段数据代替的显示效果有较好的改进。此方法也可用于对某些覆盖范围较大的云层及其阴影区下地物光谱值的恢复。

### (3) TM 数字图像增强

根据卫星传感器及磁带记录的容量, TM 图像的灰度分布范围可达 256 个级差。然而由于受光照、地物种类、大气散射等的影响,地物光谱值仅仅集中在某一个区间,使图像呈低反差状态而模糊不清。因此,利用监督分类方法开展土地利用调查前必须对图像进行分析和增强处理。

在图像增强前,将各主要地物类别的训练样区的光谱值从 TM 图像中提取出来进行对比,发现它们集中分布在某一个区间,互相之间的差别甚微。以镇远县为例,看原始地物类别的灰度值及其方差(表 9)。

表 9 未增强前各土地类型的光谱均值及方差

|     |     | 林 地   | 水 域   | 建筑用地  | 旱 地   | 有水田   | 无水田   | 草 地   |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TM1 | 均 值 | 60.90 | 61.90 | 70.90 | 67.53 | 67.93 | 71.46 | 63.84 |
|     | 方 差 | 1.47  | 2.72  | 4.77  | 3.48  | 2.53  | 2.16  | 2.83  |
| TM2 | 均 值 | 24.82 | 23.30 | 30.87 | 30.27 | 31.27 | 32.59 | 26.25 |
|     | 方 差 | 1.09  | 1.80  | 3.28  | 3.07  | 2.02  | 1.37  | 2.46  |
| TM3 | 均 值 | 22.51 | 20.29 | 32.31 | 31.75 | 33.07 | 35.30 | 26.61 |
|     | 方 差 | 1.53  | 1.24  | 4.77  | 4.67  | 2.52  | 2.15  | 3.58  |
| TM4 | 均 值 | 48.78 | 19.61 | 37.75 | 48.02 | 30.70 | 45.94 | 47.26 |
|     | 方 差 | 6.60  | 2.77  | 5.96  | 8.10  | 3.16  | 2.87  | 9.80  |
| TM5 | 均 值 | 44.54 | 14.63 | 49.77 | 64.67 | 23.20 | 69.92 | 60.15 |
|     | 方 差 | 8.65  | 2.86  | 10.59 | 15.29 | 5.50  | 5.22  | 18.95 |
| TM6 | 均 值 | 15.59 | 6.55  | 28.26 | 30.78 | 10.87 | 36.27 | 25.2  |
|     | 方 差 | 3.39  | 1.14  | 6.49  | 8.46  | 2.54  | 3.60  | 9.0   |

图像增强的方法较多,对于不同的应用目的,可选择不同的增强方法。例如,对于黔东南

州 TM 彩色合成图像的显示成图,我们采用了直方图均衡化,即将原图像直方图通过变换函数调整为均衡直方图。实际上所谓直方图均衡化是扩大像元的动态范围,即将原始直方图窄的亮度的变化范围扩大,从而改善了图像对比度。对于山区阴影多的地区,采用比值法增强,以消除阴影的影响。对于图像的监督分类,则采用“分段线性增强法”,即增强前首先将主要地物的光谱统计特征直方图进行对比,然后有针对性地扩大原始图像中主要地物,尤其各地物间的亮度范围,同时相应压缩次要的、非重点地物的亮度。表 10 为分段线性扩展前后几种典型地物的统计特征。

表 10 镇远县分段线性扩展前后几种地物光谱特征

|     |     | 水     |       | 有水田   |        | 无水田   |        | 草 地   |        | 林 地   |        |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|     |     | 增强前   | 增强后   | 增强前   | 增强后    | 增强前   | 增强后    | 增强前   | 增强后    | 增强前   | 增强后    |
| TM3 | 均 值 | 20.9  | 64.12 | 33.07 | 183.13 | 35.30 | 194.17 | 26.61 | 101.33 | 22.5  | 60.68  |
|     | 方 差 | 1.24  | 32.28 | 2.52  | 28.71  | 2.15  | 35.04  | 3.58  | 34.38  | 1.53  | 19.57  |
| TM4 | 均 值 | 19.61 | 4.10  | 30.70 | 48.98  | 45.94 | 77.35  | 47.26 | 70.16  | 48.78 | 122.08 |
|     | 方 差 | 2.77  | 11.84 | 3.16  | 21.03  | 2.87  | 21.44  | 9.80  | 34.16  | 6.60  | 38.87  |
| TM5 | 均 值 | 14.63 | 34.53 | 23.20 | 79.60  | 69.92 | 159.80 | 60.15 | 142.30 | 44.54 | 116.19 |
|     | 方 差 | 2.86  | 23.39 | 5.50  | 26.00  | 5.22  | 24.18  | 18.95 | 42.01  | 8.65  | 29.37  |

图 1 显示了镇远县 TM5 波段增强前后光谱直方图。可以看出,增强后,全图光谱值范围明显扩大,各地物之间的光谱值差异变大,对图像训练场地的显示识别,圈绘及人工判读识别具有更好的效果。

### (三)土地利用现状的计算机模式识别

#### 1. 土地利用类型的划分

在土地利用现状的计算机模式识别中土地利用类型的划分必须参照国家有关的技术规范以及所选择的卫星 TM 图像的分辨率及特定时间相对地物的可分性。

本次研究中选择的西部两景卫星 TM 磁带均系 1991 年 10 月 28 日获得,并覆盖了全州面积的 85%左右。因此贵州山区秋末的地物景观类别应该引起我们特别的关注。例如,此时水稻已大部分收割,将出现三种不同的景观:闲荒、冬泡充水以及翻耕种上油菜。旱地作物收割后虽大部分闲荒,形成较为单一的景观,但仍有部分残留有红薯、蔬菜等。此外由于 TM 图

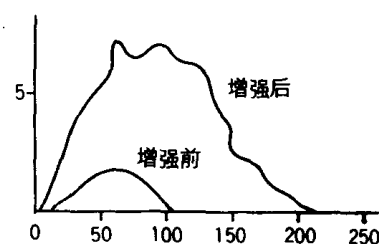


图 1 TM 数据增强前、后光谱直方图  
(以 5 波段为例)