

利用航天遥感资料进行 森林资源调查的研究

阎兵 吕江鱼

徐冠华

李怀仓 梁炬

李志清 王启睿

(陕西省林业设计院)

(中国林业科学研究院森林调查及计算技术研究开发中心)

摘 要

本文着重阐述了研究应用陆地卫星 MSS 数据进行森林调查的技术流程,评价调查精度并比较外业工作量和生产成本。实验研究表明,利用陆地卫星多光谱扫描数据的计算机分析,可以计算林区各类土地面积和森林蓄积量,绘制森林分布图和蓄积量分布图。同时具有效率高、成本低和节省地面工作量的优点。在我国北方林区,特别是交通不便、尚未开发的林区有应用潜力。

关键词 遥感; 计算机分类; 森林资源调查

本项研究的目的是探索应用通用计算机分析航天遥感资料,实施森林资源监测的生产流程,现场检验调查和成图精度,进行生产成本估算,为建立森林资源动态监测体系摸索一套较成熟的方法。关于卫星数字图象处理的理论研究,见文末有关参考文献^[1-6]。

一、实验区概况

实验地区为陕西省延安地区乔山林业局,位于黄陵县西部,地势西高东低,沮河由西向东横贯本区。海拔高800—1700m,阳坡坡面短而陡,阴坡坡面长而缓。

气候属暖温带半湿润气候类型。

植被属落叶阔叶林地带,天然植被覆盖度高,是陕西省黄土高原上森林植被保存较好的地区,但多为天然次生林,林相较杂乱。主要优势树种有:栎类、山杨、白桦、油松、侧柏等。

二、实验资料

(一) 训练样地的调查

要求样地能反映调查区域内不同地类和森林类型的光谱特征。由于地形等因素的影响，同一类型所对应的卫星图象中各波段亮度值并不总是一致的，为此，要根据地形等条件差异，确定同一类型的不同样地。地面样地变换为卫星数据图象的对应训练区时，将地形图投影系统转换为卫星象片投影系统，它所代表的类型必须保持一致。为了消除配准时产生的误差影响，样地除了在地形图上准确区划界限外，还要定刺样地中心点，并求算其地理坐标。

1. 样地类型

A. 林分类型：为避免分类时混淆，在陕北地形破碎、林相杂乱的条件下，一般划6—12个类较合适。对有林地按树种(组)、龄组(幼、中、成)、疏密度(或郁闭度)(疏0.31—0.49、中0.50—0.69、密0.7以上)等三项主要指标划分林分类型。

B. 无、非林地：划分荒山、疏林、农田三类。

2. 样地面积 计算机图象处理时以 3×3 个象元为统计分析单位。考虑到卫星磁带行列坐标与地理坐标匹配误差(允许1—2个象元)，样地最小面积不得少于10ha。

3. 外业采样 1984年7至8月，在试验区采用典型选样方法共收集各种类型样地84块，其中有林地70块，(含27个林分类型)。样地调查采用随机抽样方法(常规角规调查)，以样地为总体(N)，其中随机布设角规点($h \geq 30$)，并计算其特征数。

(二) 样地资料整理及可靠性评价

将样地资料进行综合分析、归类进行统计分析，结果每个样地蓄积量抽样精度均在85%以上，平均精度为89.5%。我们又将样地调查资料与1983年该局抽样调查资料进行综合分析比较，结果表明样地资料可靠。单位蓄积量对比见表1。

表1 与1983年抽样调查对比

(单位： m^3/ha)

1983 年 调 查	本 次 调 查	对 比 精 度
50.31	50.36	99%

(三) 卫星多光谱扫描数据收集

卫星多光谱扫描数据为Landsat-2，1978年8月1日扫描，图幅号为137—35的计算机兼容磁带(MSS CCT)。

三、实验方法

(一) 技术流程

1. 准备阶段：收集研究地区地形图(1/5万、1/10万)、航片(1/1.4万)、各阶段资源调查图、统计表和有关报告，以及覆盖研究区的陆地卫星MSS数据磁带及相应的加色合卫星影象等资料。

2. 建立各种类型的地面训练样地。

3. 在地形图上求算局界、场界、样地中心控制点等地理坐标。

4. 计算机分析陆地卫星 MSS 数据磁带。包括选控制点，建立地理坐标与扫描图象行列坐标的关系式，提取和分析训练样地，选择分类系统，确定分类方法等。

5. 验证：打印输出研究区分类字符图后，进行地面综合验证。

6. 绘制局、场森林分布图(1/5万、1/2.5万)，绘制森林蓄积量分布图(1/5万)。

7. 编写研究报告。

(二) MSS 数据的变换

通过人机对话方式，输入研究地区边界坐标，利用已建立的地理坐标与磁带行列坐标的关系式，提取研究地区的子图象。对于子图象研究表明：该图幅 MSS₇ 与 MSS₆、MSS₆ 与 MSS₄ 波段数据相关紧密($\gamma > 0.9$)。由于研究区地形破碎，同一类型的林分因坡向不同，所表现的亮度值差异较大，为了消除因地形不同引起的亮度差异，我们采用比值增强处理。试验表明，应用 MSS₇/MSS₆、MSS₇/MSS₄ 比值处理后效果较好。并采用 MSS₇、MSS₇/MSS₆、MSS₇/MSS₄ 三个通道作为研究区的基本数据，可以反映该地区地类特征，达到了预期效果。

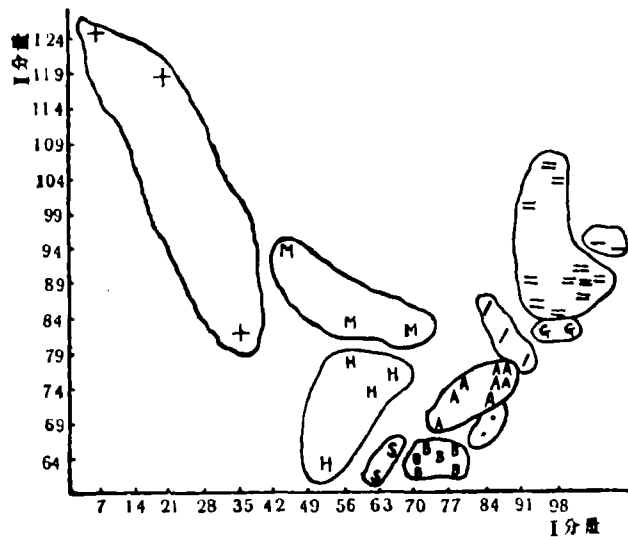
(三) 训练样地信息提取与分析

1. 训练样地信息的提取 通过人机对话形式，输入样地地理坐标，利用已建立的坐标关系式，在卫星数字图象上确定样地所在象元，选取 3 × 3 象元，计算并打印输出样地象元各波段亮度平均值、标准差、协方差矩阵、直方图、字符代码图。

2. 训练样地信息的分析 研究分析直方图的相似性及差异性，是确定分类决策的基础。不同直方图反映出不同的样地类型。例如，双峰或多峰值就有助于探测不同背景灰度级物体的存在，反映出样地的复杂性。

训练样地数据经主分量变换后，得到一个判断多波段数据样地可分性的综指标，从图中可看出，根据第 1 和第 2 主分量，可分出：农田(+)，荒山(M)，灌木疏林(H)，针叶中龄林(-)，针叶成熟林(=)，针阔混交中龄林(G)，针阔混交成熟林(/)，栎类中龄林(·)，栎类成熟林(S)，阔叶中龄林(A)，阔叶成熟林(B)。

在对 84 块样地进行直方图分析和主分量分析的基础上进行了归类，以确定同一类样地的光谱统计值在空间中能否聚集成一群。同时确定不同类型的样地在各波段或波段比构成的二维坐标系中能否求出它们之间的分界线，在三维空间中能否求出它们之间的分界面。如果由于地形或其它因素的影响，同一类样地的光谱特征差异较大，在空间中不能聚集成一群，可以集成两个或多个空间群体，并据此进行分类，最后再归并为同一类。



主分量分析图(图注见文内)

如果由于某些随机因素造成样地光谱混淆，则予以删除，以免影响分类精度。最终把光谱特

性相同或相近，在空间中又能聚集成一群的同一类型样地归并在一起，计算该群（土地类型或森林类型）的平均值、标准差、协方差矩阵及相关矩阵，作为分类的统计度量标准。

以上全部工作可以通过我们建立的数学模型和设计的计算机程序完成。

（四）分类系统

为了便于比较，研究区建立了三个分类系统，见表2。

表 2 分 类 系 统 比 较

地 类 分类系统	无、非 林 地		有 林 地								类 数	
	农 田	荒 山	灌 木 疏 林	针 叶	针 叶	针 阔	针 阔	阔 叶	栎 类	阔 叶		栎 类
				中 龄 林	成 熟 林	中 龄 林	成 熟 林	中 龄 林	中 龄 林	成 熟 林		成 熟 林
第一分类系统	✓	✓	✓	✓		✓			✓			6
第二分类系统	✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓		7
第三分类系统	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	11

乔山林业局全局采用第一分类系统(6类)，腰坪、双龙林场同时使用了第二分类系统(7类)，双龙林场还使用了第三分类系统(11类)。

（五）土地利用类型分类

类型样地统计值主成分分析表明，根据研究区象元各波段亮度值可以区分有林地和无、非林地；在有林地内，可进一步区分针叶林(油松)、针阔混交林(油松、栎类、杨、桦)、阔叶混交林(栎类、杨、桦)的中龄和成熟林；在无、非林地内，可以区分农田、荒山、灌木林和疏林。

对土地利用类型和森林类型较多的双龙林场进行了较为详细的分类，区分出农田、荒山、灌木疏林、针叶中龄林、针叶成熟林、针阔混交中龄林、针阔混交成熟林、栎类中龄林、栎类成熟林、阔叶混交中龄林、阔叶混交成熟林。

在监督分类中，采用中国林科院研制的新型分类器，其精度和最大似然法分类器相同，但运算速度远远高于最大似然法分类器。

根据研究区地貌特征，林分分布不均的特点，为提高分类精度，将该试验区分为三个实验小区。即双龙、建庄、腰坪、店头四个林场划为一个小区，柳芽林场为一个实验小区，大岔、上矇子林场为一个小区。分类时以该小区样地资料为主。

（六）森林蓄积量的估算

采用以陆地卫星各波段亮度值的林学信息为基础的非线性数学模型估计森林蓄积量。估算时确定了三个变量，即林分类型、龄组和密度。林分类型分为针叶林、针阔混交林、栎类林、阔叶混交林。龄组分为成熟林、中龄林。疏密度分为中、密。每个象元的三个变量的值通过有监督分类确定，经专业分析，计算时只考虑龄组与密度的交互作用。

估算蓄积量时，根据样地实测蓄积量数值建立记分模型，将有监督分类确定的每个象元三个变量的值代入记分模型，回报每个象元的蓄积量。根据要求，将属于同一树种或同一龄组的象元的蓄积量累加，即得出该树种或该龄组的总蓄积量，进而得出实验区蓄积量估计值。

（七）森林分布图和蓄积量分布图的绘制

在卫星影象局部区域内进行林业成图时，陆地卫星影象可以应用仿射变换进行几何校正。本项试验表明，其误差为1.5个象元。

土地分类图和蓄积量分布图利用计算机进行图面整理以删除某一类的孤立象元或者数目很少的同类象元所组成的小区域。本次试验中,在图面整理时通过输入参数规定,农田、荒山、灌木疏林最小区域为3个象元(面积为1.3ha)。针叶林、针阔混交林、阔叶混交林最小区域为5个象元(面积为2.3ha)。小于上述象元数目的区域将合并到邻近占优势的地类中去。

根据林业成图的要求,利用行式打印机打印森林分布图和蓄积量分布图。在打印过程中,采用再抽样的方法以适应各种不同比例尺的需要,并解决行式打印机字符两个方向长度不一致造成的两个方向比例尺不同的困难。本次研究中分布图以林场为单位输出。林场边界坐标数据通过键盘输入,根据边界决策准则确定每个象元位于林场内部或外部。边界内各种地类(或不同的蓄积量等级)用不同符号表示,边界外象元不打印。图象打印输出后按照不同符号着色、拼接,形成林业局森林分布图和蓄积量分布图。

四、实验结果

(一) 各类土地利用面积的结算和森林分布图的绘制

乔山林业局计算机分类计算的各类土地利用面积见表3。计算机分类计算的各类土地面积与1983年抽样调查资料对比见表4。表4所列对比数字表明,当利用卫星图象计算机分析将林区划分为有林地、灌木林地、荒山、农田等土地利用类型时,面积总分类精度达88.9%,有林地面积分类精度达96.0%。

双龙林场计算机分类计算的各类土地利用面积统计见表5,该面积与1983年抽样调查对比见表6。

表3

乔山林业局各类面积(计算机分类)统计

(单位, ha)

总面积	%	阔叶林		针阔混交林		针叶林		灌木疏林		荒山		农田	
		面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
167040	100	101143	60.55	15768	9.44	18809	11.26	17122	10.25	8736	5.23	54.62	3.27

表4

各类土地面积分类评价

(单位, ha)

调查方法	总面积		有林地		灌木疏林		荒山		农田	
	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
抽样实测	167266	100	139534	78.04	24855	14.74	4784	2.86	7293	4.36
计算机计算结果	167040	100	135720	81.25	17122	10.25	8736	5.23	5462	3.27

表5

双龙林场各类土地利用面积统计

(单位, ha)

总面积	%	阔叶成熟林		阔叶中龄林		针阔混交林		针叶林		灌木疏林		荒山		农田	
		面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
33224	100	10386	31.26	12562	37.81	2591	7.89	3146	9.47	2306	6.94	1502	4.52	731	2.20

表 6 双龙林场各类土地面积分类评价

(单位: ha)

调查方法	总面积	%	有林地		灌木林地		荒山		农田	
			面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
抽样实测	33165	100	28796	86.82	2481	7.48	795	2.40	1093	3.30
计算机计算结果	33224	100	28686	86.34	2305	6.94	1502	4.52	731	2.20

表6所列对比数字表明,利用卫星图象计算机分类,面积总分类精度达95.9%,有林地面积分类精度达99.6%。

本项试验的主要成果之一是计算机打印输出较大比例尺的各种森林分布图,包括划出11种地类的比例尺为1:2.5万的双龙林场森林分布图;划分出6种地类的比例尺为1:5万的乔山林业局森林分布图以及各林场比例尺为1:2.5万的森林分布图。

(二) 森林蓄积量的估算和蓄积量分布图的绘制

乔山林业局计算机估算的森林蓄积量统计见表7。

表 7 乔山林业局森林蓄积量(计算机估算)统计

(单位: m³)

针叶林		针阔混交林		栎类		阔叶林		合计
中龄林	成熟林	中龄林	成熟林	中龄林	成熟林	中龄林	成熟林	
424342	791344	527374	391796	428603	486190	2666346	1327535	7037530

乔山林业局计算机估算的森林总蓄积量与1983年调查总蓄积量对比见表8。

表 8 乔山林业局蓄积量评价

(单位: m³)

1983年调查结果	计算机计算结果	差值	精度
6553914	7037530	+483616	92.6%

表8所列数字表明,利用卫星图象计算机估算森林总蓄积量精度较高。

双龙林场计算机估算蓄积量统计见表9。

双龙林场计算机估算森林总蓄积量与1983年调查总蓄积量对比见表10。

表10表明,利用卫星图象计算机估算一个林场的森林蓄积量,方法基本可行。

计算表明,蓄积量估计相关系数高达0.9478,林业局总蓄积量估算精度为92.6%,已经达到可应用的水平。

在估算森林蓄积量时,计算机还绘制了蓄积量分布图。在本项试验中,依照每个象元的单位面积蓄积量,每15m³划分为一个等级,得到用不同字符代表不同蓄积量等级的图象。计算机打印输出的乔山林业局森林单位面积蓄积量等级分布图比例尺为1:5万。

表9

双龙林场蓄积量统计

(单位: m³)

针叶林		针阔混交林		栎类		阔叶林		合计
中龄林	成熟林	中龄林	成熟林	中龄林	成熟林	中龄林	成熟林	
63942	143079	58906	94561	121711	153484	483887	301660	1421230

表10

双龙林场计算机分类总蓄积量评价

(单位: m³)

1983年调查	计算机计算结果	差值	精度
1213312	1421230	+207918	82.9%

(三) 地面验证

1986年10月,由乔山林业局和下属各林场组织技术人员现场核对,结果见表11。

表11

乔山林业局计算机分类结果地面验证评价

类型	地面实况 (块)	计算机分类		判对率 (%)
		判对	判错	
农田	26	24	2	92.3
灌木疏林	20	20	0	100
荒山	2	2	0	100
针叶林	29	27	2	93.1
阔叶林	54	54	0	100
针阔混交林	6	3	3	50
总计	137	130	7	94.9

从表11可以看出,阔叶混交林、灌木疏林、荒山的地面验证精度很高,这是因为这些地类之间差异比较明显,光谱特征有各自的特点,这在主分量分析中已得到证实。对错分的地段,逐块分析原因如下:农田有两块计算机划分为灌木林,主要原因是该地段处于沟道狭窄之处,易受混合象元的影响;针叶林(1967年人工栽植的油松)划为灌木林,是因为1978年(卫星资料为1978年8月)油松林还是幼林,同灌木混生在一起;针阔混交林划为阔叶林的原因,是针阔混交林多分布在阳坡,阔叶树的组成比大。

错分具有共同的特点,就是单向性错分,即农田个别地段错分为灌木,针阔混交林部分地段错分为阔叶林。但没有发现将灌木林划分为农田的现象。

五、效益分析

应用卫星图象的计算机分析进行森林调查具有下列特点:

①节省工时,减少人力。据统计,该局一类森林调查需2550个工作日,而应用本方法只需540个工作日,相当于一类森林调查工作量的21%。②节约经费,降低成本。该局一类森林调查总费用为4.5万元,每公顷0.27元,而应用本方法为1.5万元,每公顷0.09元,为一类森

林调查的33.3%。③速度快，周期短。

六、结 论

(一) 本项研究设置了地面训练样地，试验结束后组织了由生产单位配合的一支验证队伍，进行现场验证。构成了一个完整的研究流程。

(二) 利用陆地卫星MSS数据磁带的计算机分析，可以计算林区各类土地利用面积和森林蓄积量，绘制森林分布图和蓄积量等级分布图。它具有效率高、成本低、减少外业工作量的优点。在我国北方林区有应用的潜力。

(三) 卫星数据磁带的计算机森林调查既不同于二类森林调查，又不同于一类森林资源清查。它调查的广度和深度不如二类调查，统计数据不如一类调查详细。但它能够及时地掌握某一地区的森林资源信息，迅速地绘制森林分布及蓄积量分布图。这一点优于一类调查；同时它的资源数据、图面资料更新快、周期短，是一类、二类调查所不及的。因此，计算机对资源卫星数据磁带图象处理应自成体系，不能和传统的调查方法类比，只能与其它方法相互补充，发挥各自的优势。

(四) 由于陆地卫星连续不断地提供磁带数据，再配合少量的地面工作，进行森林调查，动态监测，建立森林资源连续清查体系，是一项值得重视的技术方法，具有广阔的发展前景。随着航天遥感技术的发展，陆地卫星TM、SPOT等新一代卫星及国土卫星的应用，空间分辨率和光谱分辨率的提高，计算机图象处理对森林资源动态监测将形成一个独立、完整、实用的体系，起到不容忽视的作用。

参 考 文 献

- [1] 徐冠华，1983，遥感技术在国外林业应用的现状和展望，七十一八十年代初国外林业技术水平文集，中国林科院科技情报所出版。
- [2] Xu Guan-Hua, 1981, Digital multiband image handling and classification package with emphasis on landsat images, STOU-NG48, STOCKHOLM.
- [3] Xu Guan-Hua, 1982, The expanded PDCS digital image processing system (EPDCS), ACTES DU Symposium International de la commission VII de la societee internationale de photogrammetrie et teledetection.
- [4] 徐冠华，1984，一个资源卫星图象数据自动处理系统——PDCS系统，遥感技术研究与应用资料汇编，科学技术文献出版社。
- [5] 唐守正、徐冠华，1984，利用资源卫星磁带数据估计森林蓄积量方法的研究——原理和方法，遥感技术研究与应用资料汇编，科学技术文献出版社。
- [6] 唐守正、徐冠华、李志清、陆锁发，1983，利用资源卫星磁带数据估计森林蓄积量方法的研究——实验结果与分析。
- [7] 徐冠华、李志清，1983，卫星图象空间信息的提取和它在计算机分类中的应用。
- [8] 徐冠华、李志清，1983，EPDCS卫星图象处理系统应用手册。

A STUDY ON APPLICATION OF SPACE REMOTE SENSING DATA TO FOREST INVENTORY

Yan Bing Lu Jiangyu Li Huaicang Liang Ju

(The Forest Inventory and Design Bureau of Shan Xi Province)

Xu Guanhua Li Zhiqing Wang Qirui

(The Research and Development Center for forest Inventory and Computing Technique CAF)

Abstract

This paper deals with the technological process of applying Landsat MSS data to forest inventory at the forest bureau, evaluates the accuracy of the Survey and Compares the field work load and production cost with traditional methods. The study done at Qiao Shan Forest Bureau reveals that by means of computer analysis of Landsat MSS data we can easily estimate the areas of varied land types and timber volumes, and draw the forest map and timber volume distribution map. Moreover, the techniques is possessed of the following advantages: high efficiency, low cost and less field workdays. In the forest zone in North China, especially in that part of forest where it is hard of access and has not yet been opened up. The techniques will be very useful.

Key word: remote sensing; computer classification; forest inventory