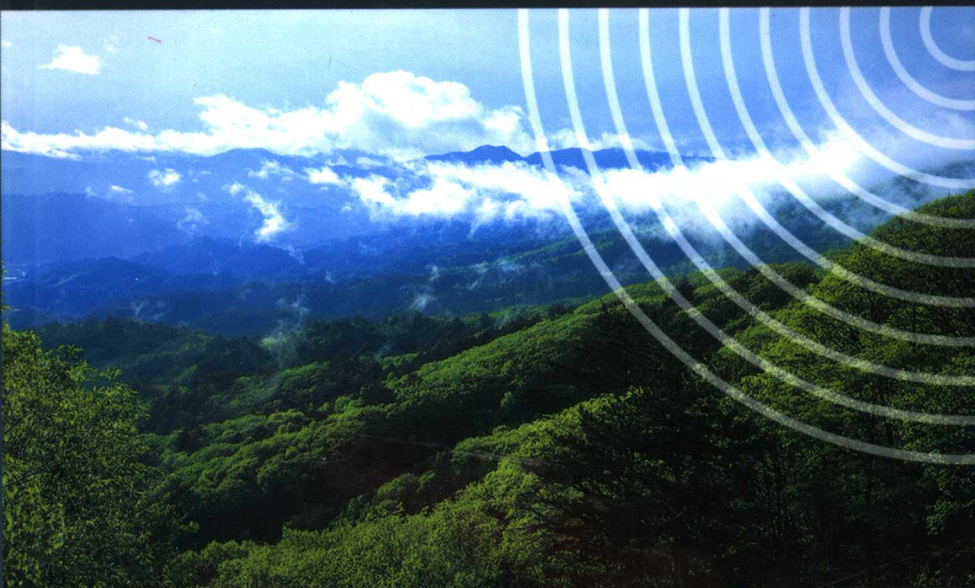


Theory and Realization of
Estimating Forest Stock Volume
by Remote Sensing

森林蓄积量遥感估测

理论与实现



李崇贵 赵宪文 李春干 著



科学出版社
www.sciencep.com

中国林业出版社
CHINA FORESTRY PUBLISHING HOUSE
100004 Beijing, China

森林蓄积量遥感估测 理论与实践

傅德胜 周国合 李德平 著



中国林业出版社
CHINA FORESTRY PUBLISHING HOUSE

森林蓄积量遥感估测 理论与实现

李崇贵 赵宪文 李春干 著

国家自然科学基金项目 30371159 资助

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书在分析以遥感、GIS 和 GPS 为基础的森林蓄积量定量估测基本思想的基础上,提出了根据监测区或少量地面调查样地资料和遥感图像估测森林蓄积量所需解决的关键技术问题,对所有问题结合实例进行了系统分析、论证和软件实现。

全书共分 10 章,分别叙述了森林蓄积量估测的基本思想,样地遥感信息提取及精度分析,森林郁闭度、优势树种及龄组对蓄积量估测的影响规律,遥感比值波段的设置与选择,影响森林蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子的优选方法,在监测区域抽取建立蓄积量估测方程的样地,蓄积量估测模型合理性诊断,森林蓄积量估测模型解算方法研究,获取非样地单元影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子,落实到林班、小班的蓄积量估测,蓄积量估测软件实现等。

本书实用性强,可作为林业调查、规划、设计用书,也可作为农林院校高年级本科生、硕士和博士研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

森林蓄积量遥感估测理论与实现/李崇贵,赵宪文,李春干著. —北京:科学出版社, 2006

ISBN 7-03-016267-6

I. 森… II. ①李…②赵…③李… III. 遥感技术-应用-林木蓄积量-测量 IV. S758.5-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 107673 号

责任编辑:彭胜潮 韩 鹏 黄淦祥/责任校对:朱光光

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 1 月第一次印刷 印张: 13

印数: 1—1 700 字数: 251 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

森林蓄积量估测是林业特有的问题。传统的森林蓄积量调查方法是一、二类调查,存在着劳动强度大、调查周期长、人财物投入大等问题。近年来,随着高空间分辨率遥感技术的发展,GIS 和 GPS 技术在森林资源调查与管理中的应用不断深入和普及,如何利用遥感、GIS 和 GPS 技术,结合少量地面调查样地资料,建立监测区域以样地大小为单位的森林蓄积量估测方程,估测森林蓄积量,以期最大限度地减轻地面调查工作量,已成为森林资源调查领域关注的热点问题。

本书在作者多年研究与开发工作的基础上,提出了利用遥感、GIS 和 GPS 进行森林蓄积量估测的基本思想及需要解决的关键理论和技术问题。主要研究内容包括:样地对应遥感信息的提取及精度分析;森林郁闭度、优势树种及龄组对蓄积量估测的影响规律;遥感比值波段的设置与选择;影响森林蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子的筛选;抽取建立监测区域蓄积量估测方程样地的动态仿真模型;蓄积量估测模型的有效性检验;解算蓄积量估测方程的算法研究;如何获取监测区域待估单元(与样地大小相同)对应影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子,其中涉及遥感图像的转换,监测区域 DEM 模型的加载,待估单元海拔、坡度、坡向信息的提取,林班、小班分布图与遥感图像的叠加及待估单元属性信息的提取以及遥感、GIS 和 GPS 的有效集成。在理论研究的基础上进行软件实现,开发功能完备、操作方便的软件系统。本书以 3S 技术为基础的森林蓄积量定量估测,从理论到实现自成体系,研究成果已于 2004 年 12 月 16 日在北京林业大学通过同行专家的鉴定,可全面应用于生产实践。

在与本书相关的研究工作中,受到国家自然科学基金项目(编号:30371159)、云南省林业调查规划院、广西林业勘测设计院、内蒙古第二林业勘察设计院的联合资助。在本书的理论研究及软件开发中,云南省林业调查规划院喻庆国高级工程师、内蒙古第二林业勘察设计院李全基院长曾多次协助进行现场试验并提供算例。作者在此表示衷心感谢。

作者在进行森林蓄积量遥感估测理论研究及软件开发的过程中,曾得到北京林业大学资源与环境学院游先祥教授,西北农林科技大学李卫忠教授,东北林业大学资源与环境学院蔡体久教授和范文义教授,中南林学院资源与环境学院陈遐林教授,吉林省林业调查规划院王长文院长、陈国林总工程师,国家林业局西北林业调查规划设计院、陕西省林业厅的有关科技人员,华南农业大学林学院杨燕琼教授,广东省林业调查规划院资源监测分院的林寿明院长、魏安世副总工程师等的热

情帮助。多年来,他们提供了很多有益的思想和建议。

本书第 9 章涉及 DEM 模型、林班、小班分布图显示及其与遥感图像的叠加,落实到林班、小班的蓄积量计算等软件开发工作,由西安科技大学硕士研究生璩存勇完成。全书由中国科学院唐守正院士主审,在本书出版之际,作者在此一并致谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

目 录

前 言

第 1 章 森林蓄积量遥感估测理论的基本思想	1
1.1 森林蓄积量估测	1
1.2 森林郁闭度估测	3
1.3 基础数据准备	5
1.4 展望分析	9
第 2 章 样地对应遥感信息的提取及精度分析	10
2.1 概述	10
2.2 传统方法提取样地遥感信息的精度	11
2.3 GPS 定位提取样地遥感信息的精度	13
2.4 样地对应遥感信息的提取	15
2.5 GPS 定位在样地遥感信息提取中的应用	17
第 3 章 森林郁闭度优势树种及龄组对蓄积量估测的影响规律	20
3.1 森林郁闭度对蓄积量估测的影响规律	20
3.2 优势树种对蓄积量估测的影响规律	25
3.3 龄组对蓄积量估测的影响规律	29
第 4 章 遥感比值波段的设置与选择	32
4.1 比值波段的设置	32
4.2 信息量及多重相关性	33
4.3 遥感波段及比值波段的选择	35
4.4 实例分析	36
4.5 结论	41
第 5 章 影响森林蓄积量定量估测最优变量的选择方法	43
5.1 最优变量选择原则	43
5.2 最优变量选择方法	48
5.3 计算所有可能的遥感和 GIS 因子子集	51
5.4 测度各种方法优劣的标准	55
5.5 实例计算	55
5.6 结论	59

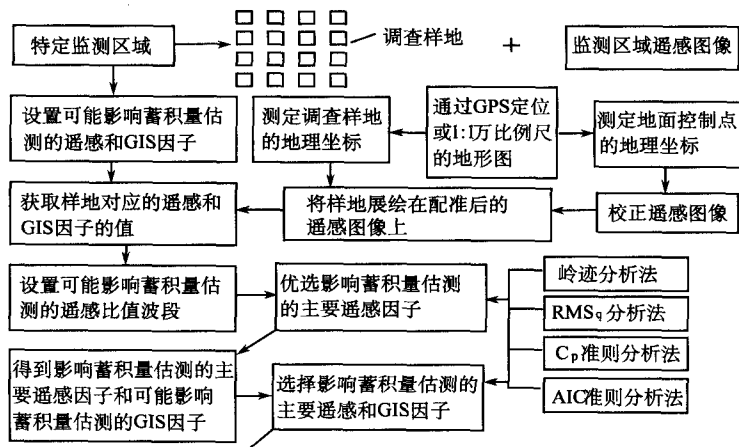
第 6 章	在监测区域抽取建立蓄积量估测方程的样地	60
6.1	用主分量分析探测监测区域样地的种类	61
6.2	聚类分析在监测区域样地分类中的应用研究	69
6.3	监测区域样地抽样	78
第 7 章	森林蓄积量估测模型合理性诊断	88
7.1	森林蓄积量估测残差分析	88
7.2	蓄积量估测诊断修正	95
7.3	确定蓄积量估测模型解算方法	99
第 8 章	森林蓄积量估测模型解算方法	100
8.1	最小二乘估计	100
8.2	岭估计	105
8.3	稳健估计	113
8.4	径向基神经网络	119
第 9 章	获取待估单元影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子	124
9.1	样地大小单元主要遥感因子的提取	124
9.2	样地大小单元主要 GIS 因子的提取	127
第 10 章	森林蓄积量遥感估测软件实现	140
10.1	概述	140
10.2	样地资料	141
10.3	遥感信息	155
10.4	监测区域森林郁闭度估测	162
10.5	监测区域森林蓄积量估测	176
参考文献		188
附表		190

第 1 章 森林蓄积量遥感估测理论的基本思想

1.1 森林蓄积量估测

以 3S 技术为基础的森林蓄积量定量估测的基本思想是:充分利用遥感图像和监测区域可以准确获取的 GIS 信息,以非线性模型为基础,建立以样地大小为单位的蓄积量估测方程,对监测区域的蓄积量进行全面估测,然后再根据森林区划实现落实到林班和小班蓄积量估测。主要包括:

根据监测区域一、二类地面样地调查资料及遥感图像,设置可能影响森林蓄积量估测的遥感和 GIS 因子;利用 GPS 定位技术或借助 1:1 万比例尺的地形图,获取样地和地面控制点的地理坐标,校正遥感图像;将样地展绘在校正后的遥感图像上,提取样地对应的遥感信息;设置影响蓄积量估测的遥感比值波段,选择影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子;用影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子刻画样地,对监测区域的样地进行分类;在分类的基础上,根据抽样理论和最优化理论,抽取能够代表监测区域森林资源分布状况的样地;根据所抽样地建立以样地大小为单位的蓄积量估测方程;诊断所建方程的有效性;将遥感图像转换为以样地大小为单位的图像,借助监测区域 DEM 模型,林班、小班分布图,获取监测区域以样地为单位,影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子的值,在遥感图像上估测每个样地大小单元对应的蓄积量;对所有样地大小单元的蓄积量进行积分,确定监测区域总蓄积量预报值。统计每个林班和小班包含样地单元的个数,计算落实到林班和小班的蓄积量。按传统方法计算监测区域的蓄积量,分析森林蓄积量遥感估测所能达到的精度,并进行效益分析。森林蓄积量遥感估测的基本思想及流程如图 1.1.1 所示。



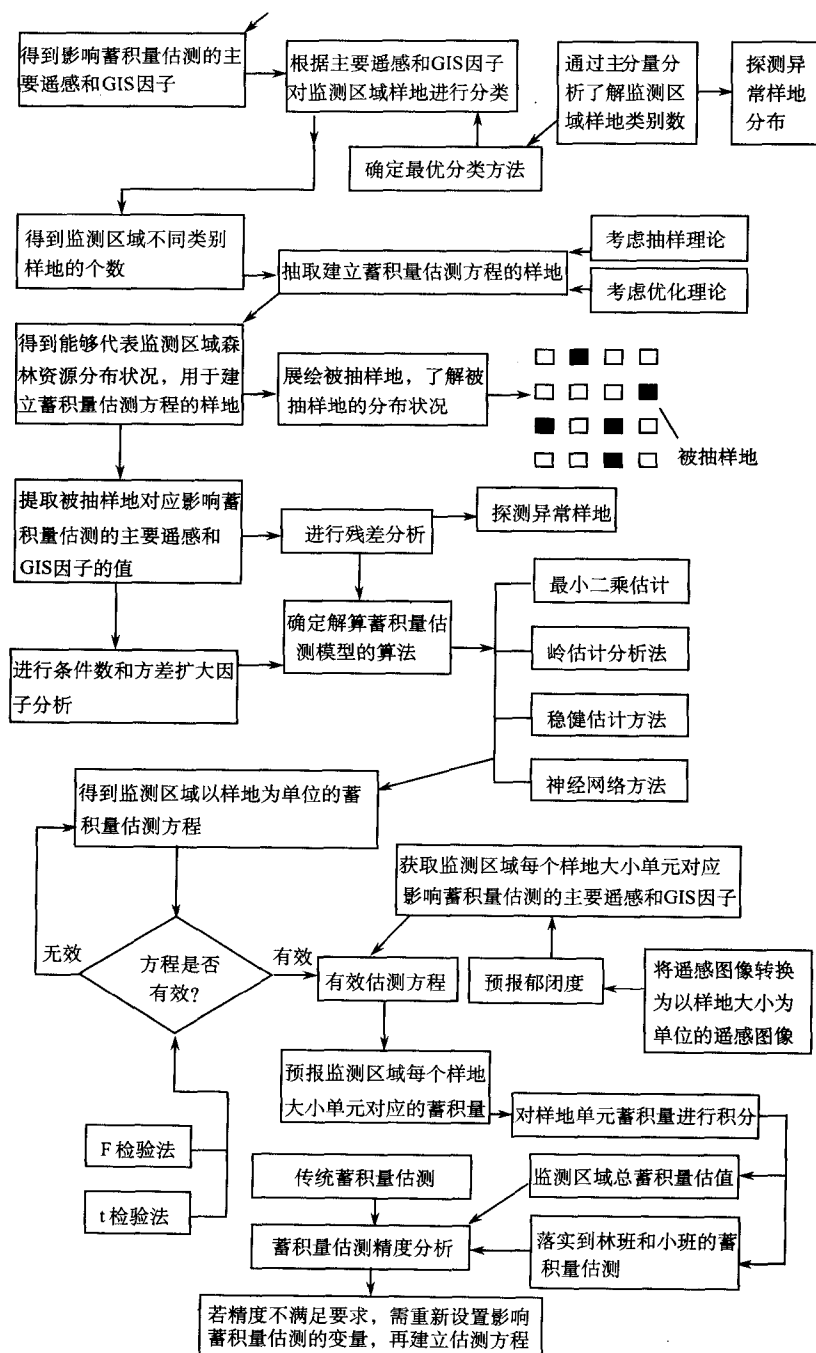
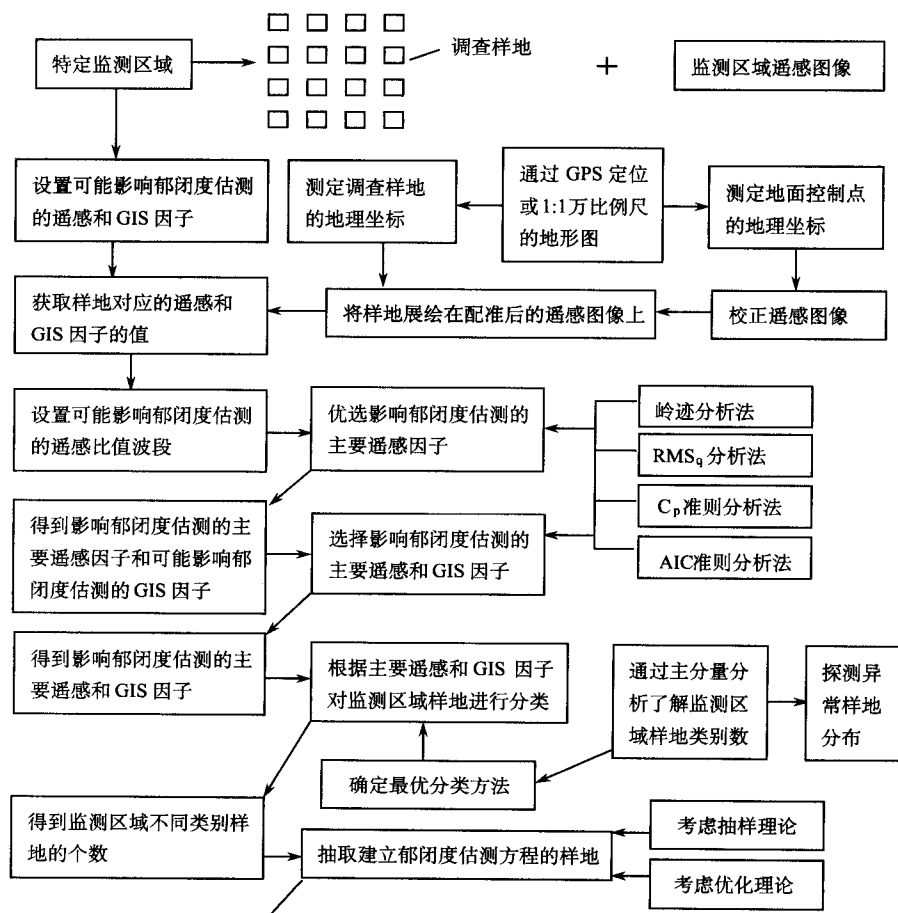


图 1.1.1 森林蓄积量遥感估测流程

1.2 森林郁闭度估测

对监测区域样地调查资料采用数学方法进行研究,结果表明,在影响蓄积量估测的遥感和 GIS 因子中,森林郁闭度是不可或缺的影响因子。利用监测区域调查样地的遥感和 GIS 信息,建立以样地大小为单位的蓄积量估测方程后,在监测区域内,除调查样地的森林郁闭度是已知的外,其他样地大小单元对应的郁闭度是未知值。因此本书在研究及软件设计时,先利用监测区域调查样地对应的遥感和 GIS 信息建立以样地为单位的郁闭度估测方程,在遥感图像上预报各样地单元对应的郁闭度,然后再将郁闭度代入蓄积量估测方程预报蓄积量。如图 1.2.1 所示,郁闭度的估测流程与蓄积量估测相类似。



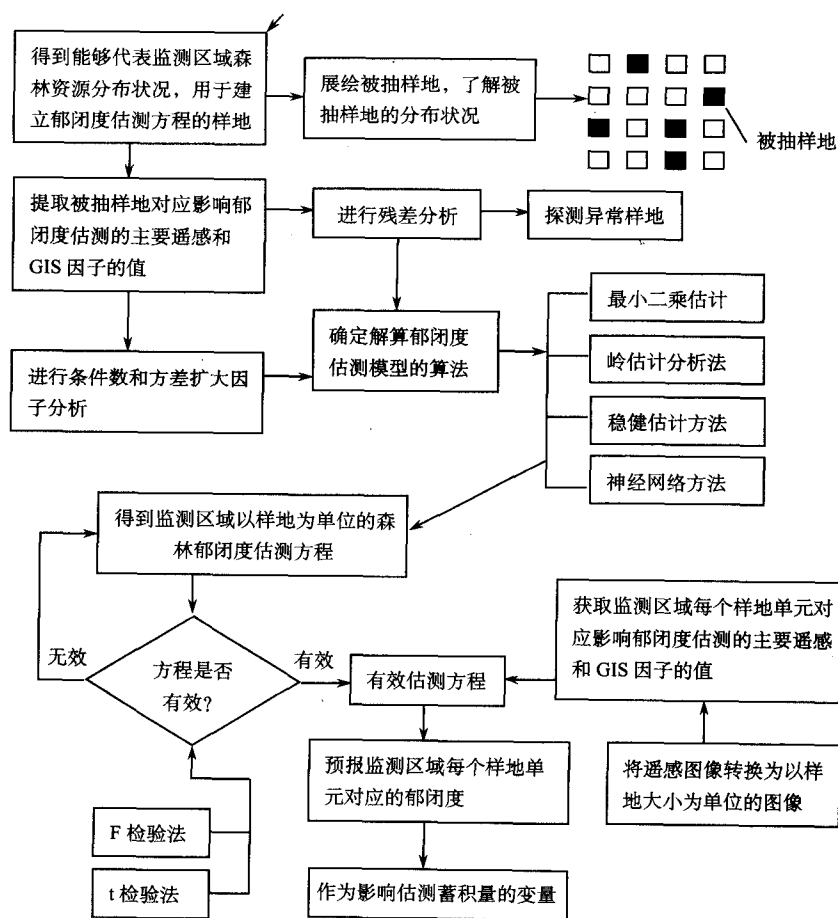


图 1.2.1 以遥感、GIS 和 GPS 为基础的森林郁闭度估测

根据上面的分析,要实现森林蓄积量遥感估测,理论和技术上需解决下列关键问题:

- (1) 研究参与建立蓄积量估测方程样地对应遥感信息的精度及可靠性;
- (2) 研究郁闭度对蓄积量估测的贡献大小及影响规律;
- (3) 研究优势树种对蓄积量估测的影响规律;
- (4) 研究如何设置影响郁闭度及蓄积量估测的遥感比值波段;
- (5) 研究如何筛选影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子;
- (6) 研究如何抽取能够代表监测区域森林资源分布状况的样地;
- (7) 论证蓄积量估测模型的有效性和可靠性;
- (8) 确定解算蓄积量估测模型的算法;

- (9) 如何有效获取非样地单元对应影响蓄积量估测的主要遥感和 GIS 因子;
 (10) 在理论研究的基础上进行软件实现。

1.3 基础数据准备

1.3.1 蓄积量估测所用数据类型

根据上述森林蓄积量遥感估测理论的基本思想,要进行以遥感和 GIS 为基础的森林蓄积量定量估测,需先利用监测区域一、二类调查样地对应的遥感和 GIS 信息,或在监测区域布设一定数量的临时样地,并获取其对应的遥感和 GIS 信息,建立以样地为单位的森林郁闭度及蓄积量估测方程,然后再预报监测区域的蓄积量。所需用到的数据除建立蓄积量估测方程样地对应的遥感和 GIS 信息外,还需要将监测区域的遥感图像转换为以样地大小为单位的遥感图像,并确定以样地大小为单位的遥感图像每个像元对应的遥感和 GIS 信息。下面将分别就遥感信息和 GIS 信息进行说明。

1) 遥感信息

不同的遥感图像,因光谱分辨率相差较大,所能提供的遥感信息也不尽相同。下面分别就 TM 和 SPOT 5 遥感图像进行分析。若监测区域采用的是 15m 或 30m 空间分辨率的 TM 遥感图像,根据已有研究文献,设置下列可能影响蓄积量估测的遥感信息。

考虑 TM 遥感图像各波段的特点及植物波谱反射特性与植物分布密度呈线性相关,遥感信息包括 TM 各波段的灰度值及灰度比值。TM 各波段分别为 TM_1 、 TM_2 、 TM_3 、 TM_4 、 TM_5 、 TM_7 。比值波段包括: $TM_{\frac{4-3}{4+3}}$ 、 $TM_{\frac{4}{3}}$ 、 TM_{4-3} 、 $TM_{\frac{4+\frac{5-2}{5+2}}{3}}$ 、 $TM_{\frac{4 \times 3}{3}}$ 、 $TM_{\frac{7}{3}}$ 及 $TM_{\frac{4}{2}}$ 等。其中 $TM_{\frac{4-3}{4+3}}$ 等价于 $(TM_4 - TM_3)/(TM_4 + TM_3)$,其余比值波段的含义与此相同。

对于空间分辨率为 2.5m 的 SPOT 5 遥感图像,可能影响蓄积量估测的遥感波段及比值波段包括 SP_1 、 SP_2 、 SP_3 、 $SP_{\frac{1-2}{1+2}}$ 、 $SP_{\frac{2-3}{2+3}}$ 、 $SP_{\frac{1 \times 3}{3}}$ 等。

对不同的遥感信息源,比值波段可根据实际情况和用户需要进行设置。

2) GIS 信息

参与建立蓄积量估测方程样地的 GIS 信息需通过地面调查获取,主要包括海拔、坡向、坡度、地类、优势树种、龄组、郁闭度等。在建立蓄积量估测方程后,对监测区域进行蓄积量预报时,需将监测区域的遥感图像转换为以样地大小为单位的遥感图像,转换后遥感图像各像元(与样地大小相同)的 GIS 信息,主要通过监测区域 DEM 模型、林班、小班分布图等资料获取。在设置影响蓄积量估测的 GIS 因

子时,主要考虑了下列因素:

(1) 森林的种类与海拔有较大的相关性,海拔高应作为影响蓄积量估测的因子。

(2) 地类包括有林地、疏林地、灌木林地、未成林地、苗圃地、无立木林地、宜林地、非林地等多种类型。不同地类对应的蓄积量相差较大,在进行蓄积量估测时,应考虑样地大小单元对应地类的差异。不同的遥感信息源及地面 GIS 基础资料所能提供的地类信息不尽相同,考虑蓄积量估测的特点,为保证精度,简化计算,仅将地类划分为有林地、疏林地、灌木林地和无非林地 4 种类型,将未成林地、苗圃地、无立木林地、宜林地和林业辅助生产用地划归无非林地。

在进行数据处理时,根据数量化方法^[1],地类是定性数据,可用向量表示。对某个样地而言,若有林地、疏林地、灌木林地或无非林地,可分别表示为(1,0,0,0)、(0,1,0,0)、(0,0,1,0)和(0,0,0,1)。因地类只有四个分量,只要知道了其中三个分量的取值,第四个分量的值即可推算出来。在表示样地的地类属性时,可以用一个三维向量表示。有林地、疏林地、灌木林地和无非林地可分别表示为(1,0,0)、(0,1,0)、(0,0,1)和(0,0,0)。

若监测区域采用的高空间分辨率遥感图像和 GIS 数据可提供更多的地类信息,可有效区分以样地为单位的地类到灌木林地、未成林地、苗圃地等类型,则可增加更多的地类因子。

(3) 坡向与森林的分布及生长状况有密切关系,在进行蓄积量估测时应考虑坡向的影响。根据国家森林资源连续清查技术规程^[2],坡向为样地范围内的地面朝向,共分为 9 类,具体分类及各类的方位角如表 1.3.1 所示。在进行森林蓄积量估测时,将坡向划分为阴坡、阳坡和无坡向 3 种类型。将东坡、北坡、东北坡及西北坡划归阴坡,将西坡、南坡、东南坡及西南坡划归阳坡,无坡向单独一类。在数据处理时,坡向可作为定性数据,也可作为定量数据。当作为定性数据时,可用一个二维向量表示。当样地坡向是阴坡、阳坡或无坡向时,可分别表示为(1,0)、(0,1)和(0,0)。当坡向作为定量数据时,为一个变量,其具体取值为十进制的方位角。

表 1.3.1 森林资源调查样地坡向分类

编号	坡向	方位角/(°)	蓄积量估测坡向
1	北坡	338~22	阴坡
2	东北坡	23~67	阴坡
3	东坡	68~112	阴坡
4	西北坡	293~337	阴坡
5	西坡	248~292	阳坡
6	南坡	158~202	阳坡
7	东南坡	113~157	阳坡
8	西南坡	203~247	阳坡
9	无坡向	坡度<5°的地段	无坡向

(4) 优势树种对森林蓄积量估测影响较大,在进行蓄积量估测时,应将优势树种作为影响蓄积量估测的因子。监测区域不同样地对应的优势树种可能会不尽相同,不同的优势树种类型是定性数据。设监测区域所有样地对应的优势树种共有 m 种类型,则优势树种可用一个 $m-1$ 维的向量表示,具体数量化表示方法同地类和坡向。

(5) 郁闭度直接反映森林生长状况,蓄积量估测时应考虑郁闭度的影响。在遥感图像上,无法直接获取森林郁闭度的信息,需先估测森林郁闭度,再将郁闭度作为自变量估测蓄积量。

(6) 其他未考虑的信息,如龄组、树高等。但除地面调查样地外,这些因子目前尚无法有效获取。在进行落实到林班和小班的蓄积量估测时,根据林班和小班的调查资料,可以设置龄组、树高等调查因子作为影响蓄积量估测的变量。因 1 龄组调查一般采用目估方式判断,会有一定的误差,在进行落实到林班、小班的蓄积量估测时,是否应将龄组作为影响蓄积量估测的因子,可根据实际调查资料的精度状况确定,若调查精度高,则可以作为影响蓄积量估测的因子,若调查精度低,则应慎重考虑。

综合上述分析,在建立以样地为单位的森林蓄积量估测方程时,影响蓄积量估测的因子如表 1.3.2 所示。对地面样地而言,在表 1.3.2 中除遥感信息外,其他所有因子通过样地调查获取,在根据地面样地建立蓄积量估测方程,并将监测区域的遥感图像转换为以样地大小为单位的遥感图像后,可提取各样地单元对应的遥感信息,非样地单元对应的 GIS 因子主要通过 DEM 模型或林班、小班调查资料获取,也可通过遥感图像,采用人机交互方式,目视解译获取。

表 1.3.2 森林蓄积量估测所用数据种类

编号	数据名称	属性	数据来源
1	遥感信息	定量数据	遥感图像
2	海拔	定量数据	DEM 模型
3	地类	定性数据	林班和小班调查资料或遥感图像提取
4	坡向	定性/定量数据	DEM 模型
5	坡度	定量数据	DEM 模型
6	优势树种	定性数据	林班和小班调查资料或遥感图像提取
7	龄组	定性数据	林班和小班调查资料
8	郁闭度	定量数据	进行估测
9	其他未考虑信息		

1.3.2 数据结构

为建立以样地为单位的森林蓄积量定量估测方程,需利用少量地面调查样地

如表 1.3.2 所示的遥感和 GIS 信息。在进行软件设计时,为有效地进行信息存储、管理与分析,需设计合理的数据结构。所设计的数据结构,可使用户能动态增加或减少其中的数据项。本书在进行理论研究及系统开发时,采用了 Matlab 6.5 软件平台,软件中所有数据均采用矩阵形式保存。设监测区域用于建立郁闭度和蓄积量估测方程的样地总数为 n , n 个样地对应表 1.3.2 中各影响因子的观测阵可表示为

$$X = \begin{bmatrix} Rs_1 & El_1 & Lp_1 & Sa_1 & Sd_1 & Pt_1 & Ag_1 & Cd_1 & Un_1 \\ Rs_2 & El_2 & Lp_2 & Sa_2 & Sd_2 & Pt_2 & Ag_2 & Cd_2 & Un_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Rs_n & El_n & Lp_n & Sa_n & Sd_n & Pt_n & Ag_n & Cd_n & Un_n \end{bmatrix}$$

上面矩阵中, Rs 表示遥感信息, El 表示海拔信息, Lp 表示地类信息, Sa 表示坡向信息, Sd 表示坡度信息, Pt 表示优势树种, Ag 表示龄组信息, Cd 表示郁闭度, Un 表示尚未考虑的信息。具体内容可根据不同的遥感信息源、资源分布状况及估测区域条件进行设置。除 El, Sd, Cd 外,其余各项又可能包括多项内容。

1.3.3 数据的获取

在根据少量地面样地的调查资料和遥感信息建立以样地为单位的森林蓄积量估测方程后,为预报整个监测区域的蓄积量,还需根据监测区域的遥感图像、DEM 模型、林班和小班调查资料等,提供蓄积量估测方程中作为自变量的遥感和 GIS 因子的具体数值。在我国,森林资源一、二类调查一般多采用 0.08hm^2 或 0.06hm^2 的方形样地,以前用于资源监测的遥感图像多采用空间分辨率为 30m 或 15m 的 TM 遥感图像,伴随遥感技术的迅速发展,目前全国已有很多单位开始采用空间分辨率为 2.5m 的 SPOT 5 遥感图像,当采用空间分辨率为 30m 的 TM 遥感图像时,地面样地可能包含在一个像元以内,也可能与多个像元相交。若采用空间分辨率为 15m 或 2.5m 的遥感图像,地面样地在包含多个像元的同时,又可能与多个像元相交。因蓄积量估测方程是根据少量地面样地的调查资料和样地在遥感图像上对应的遥感信息建立的,利用蓄积量估测方程对监测区域的蓄积量进行预报时,方程中作为自变量的遥感和 GIS 因子也必须以样地大小为单位。为此需将监测区域的遥感图像转换为以样地大小为单位的遥感图像,将监测区域的 DEM 模型转换为以样地大小为单位的 DEM 模型,以转换后的遥感图像像元为单位,提取蓄积量估测方程中所需的遥感信息,以转换后的 DEM 模型为基础,提取各样地大小单元对应的海拔、坡向和坡度信息。将林班和小班分布图叠加在转换后的遥感图像上,提取以像元为单位的的地类信息,在获取了蓄积量估测方程中所包含的遥感和 GIS 因子的具体数值后,就可计算以样地为单位的蓄积量。对所有样地大小单位进行

积分,可计算监测区域的总蓄积量。关于以样地大小为单位的遥感图像转换,基于DEM模型的海拔、坡度、坡向信息的提取等内容,本书后续章节将进行详细论述。

为计算落实到林班、小班的蓄积量,需将林班、小班分布图叠加在转换后的遥感图像上,根据林班和小班边界坐标,统计落入林班和小班的样地单元个数,计算以林班和小班为单位的蓄积量。

若监测区域没有DEM模型、林班和小班分布图,只有遥感图像,蓄积量估测方程中所包含的遥感和GIS因子,可借助遥感图像,通过目视解译,由人机交互方式获取。

若监测区域没有进行样地调查,只进行了林班和小班调查(如内蒙古、广东等地),为估测林班和小班的蓄积量及监测区域的总蓄积量,可以林班和小班的中心点(GPS采样点)为起点,取 0.08hm^2 或 0.06hm^2 的方形样地,并推算其对应的蓄积量,按上述思路建立以样地为单位的蓄积量估测方程,进行蓄积量估测。

1.4 展望分析

在设置影响蓄积量估测的遥感和GIS因子时,没有考虑从遥感图像上难以有效获取的重要测树因子,如树高、胸径等。而这些因子对蓄积量估测起非常重要的作用。伴随高空间分辨率遥感技术的发展及国家对林业投入的增加,在结合地面调查、高空间分辨率遥感图像能有效识别上述因子的条件下,可考虑将上述因子作为影响蓄积量估测的GIS信息参与分析,所有分析思路及软件设计都无需改变,完全可以满足要求。