

张煜星 王祝雄 等编著

# 遥感技术在森林资源 清查中的应用研究



中国林业出版社

S757.2

2237.1

# 遥感技术在森林资源 清查中的应用研究

张煜星 王祝雄 等编著

中国林业出版社

## 《遥感技术在森林资源清查中的应用研究》编委会

主 编 张煜星 王祝雄  
副主编 李增元 武红敢 黄国胜 陈雪峰 韩爱惠  
编 委 庄越挺 陈尔学 赵有贤 孙国清 党永峰 吴 飞  
王雪军 冯益明 张 敏 斯 林 智长贵 夏朝宗  
魏建祥 梁 军 徐茂松 刘清旺 蒲 莹 庞 勇  
董彦芳 刘大伟 许等平 程志楚 高作峰 唐能福  
丁晓强  
编著人员 张煜星 王祝雄 黄国胜 陈雪峰 韩爱惠  
武红敢 智长贵 夏朝宗 王雪军 张 敏 赵有贤

### 图书在版编目 (CIP) 数据

遥感技术在森林资源清查中的应用研究/张煜星 等编著. -北京:中国林业出版社, 2007.6

ISBN 978-7-5038-4801-8

I. 遥… II. 张… III. 遥感技术—应用—森林资源调查—研究 IV. S757.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 076842 号

中国林业出版社·环境景观与园林园艺图书出版中心

电话: 66176967 66189512 传真: 66176967

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同7号)

E-mail cfphz@public.bta.net.cn 电话 66184477

网址 www.cfph.com.cn

发行 新华书店北京发行所

印刷 三河市富华印刷包装有限公司

版次 2007年6月第1版

印次 2007年6月第1次

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 11.25

字数 288千字

印数 1~2000册

定价 49.00元

## 前 言

森林资源清查是中国森林资源调查最重要的方法之一，是获取全国森林覆盖率和森林资源面积、蓄积、结构及其变化数据最科学、最成熟、最实用的调查方法，在国内外具有较大的影响。新中国成立以来，我国已完成了1次全国森林资源普查和6次森林资源清查，这些调查成果为我国各个时期制定林业政策、编制和调整林业计划和规划、检验和评价森林经营效果提供了重要依据，在林业发展和生态建设中发挥了不可替代的作用。

遥感技术是森林资源调查中应用较早、较广泛、较成熟的重要技术之一。自20世纪50年代中期，我国森林资源调查就引入了遥感技术，进行了森林航空测量和森林航空调查；80~90年代，在森林资源清查中开始引入航天遥感，到第六次全国森林资源清查（1999~2003）时，利用遥感技术，实现了国土（除台湾省、香港和澳门特别行政区以外）范围的全面调查，设置固定样地数量达到41.5万个，遥感样地达284万个。随着科学技术的日益发展，抽样技术、遥感技术（RS）、全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）、计算机应用技术等在清查中得到了全面应用，同时，森林资源清查的内容也在不断扩展，调查的广度和深度相应地在逐渐增加。因此，如何充分挖掘遥感技术潜力，攻克应用技术难关，提升调查科技含量和技术水平，使地面调查和遥感调查相互结合，相互补充，各种技术综合应用、系统集成，建立功能完整，技术流程科学，可进行海量数据处理，实用完善的业务运行系统，需要我们不断地探索和研究。

本著作是根据“十五”国家高技术研究发展计划（863计划）资助课题《森林资源遥感监测量化综合处理与业务运行系统》（2003AA131030）的子课题《国家级森林资源遥感监测业务运行系统》的主要研究成果编写而成的。全书共分为7章，较详细论述了基于TM数据的遥感图像处理技术、森林遥感影像特征、解译标志的建立方法、森林资源遥感信息反演理论与方法、森林反演模型、遥感样地布设与判读、森林资源信息定量提取等，并以吉林省森林资源清查为示范，论述了国家级森林资源遥感监测业务运行系统的结构设计、开发环境、主要功能模块和应用成果等。

本著作是课题全体科研人员共同努力、集体智慧的结晶，许多科研人员虽没有参加书稿的撰写，但在课题研究中做出了同样的贡献。在本书的撰写中，各章节的具体编写作者如下：前言（张煜星），第一章（韩爱惠、王祝雄、陈雪峰），第二章（夏朝宗、张煜星、黄国胜、张敏），第三章（王雪军、韩爱惠、夏朝宗、赵有贤），第四章（夏朝宗、黄国胜、王雪军），第五章（韩爱惠、张煜星、武红敢），第六章（智长贵、韩爱惠、张煜星），第七章（智长贵、张煜星、黄国胜），全书统稿由张煜星完成。

课题和本书的完成得到了有关领导和同仁的大力支持与帮助，谨在本书出版之际，衷心感谢中国林业科学研究院资源信息研究所、浙江大学计算机学院、中国科学院遥感

应用研究所和北京超图地理信息技术有限公司的课题参加人员在研究中的紧密友好合作，感谢 863 专家组在课题研究的阶段提出的宝贵意见，感谢所有对课题研究和撰写书稿给予支持和帮助的领导、同事和同仁，特别还要感谢北京林业大学孙玉军教授、邓华锋副教授在百忙之中对本书进行了细致的审核和修改。

由于研究时间较短，成书过程仓促，书中错误和不妥之处，恳请读者批评和指正。

张煜星

2007 年 5 月

# 目 录

## 前 言

第一章 绪论 .....	(1)
第一节 森林资源清查及发展历程 .....	(1)
一、森林资源及森林资源调查 .....	(1)
二、国外主要林业国家的森林资源清查状况 .....	(2)
三、中国森林资源清查状况 .....	(3)
第二节 林业遥感应用技术的发展及现状 .....	(4)
一、遥感技术及其发展现状 .....	(5)
二、遥感在林业调查中的应用与发展 .....	(6)
三、遥感在森林资源清查中的应用 .....	(11)
四、遥感在森林资源清查中应用的发展趋势 .....	(13)
第二章 森林资源清查遥感监测的多阶抽样技术 .....	(15)
第一节 森林资源遥感监测的多阶抽样设计 .....	(15)
一、设计原则 .....	(15)
二、技术框架 .....	(16)
三、应用技术 .....	(18)
第二节 森林资源遥感监测分类系统 .....	(22)
一、林地资源分类系统 .....	(22)
二、土地荒漠化/沙化分类系统 .....	(26)
三、湿地分类系统 .....	(30)
四、各阶遥感监测分类特征 .....	(31)
第三章 遥感图像的处理技术 .....	(33)
第一节 遥感的理论基础 .....	(33)
一、引言 .....	(33)
二、电磁波谱与电磁辐射 .....	(35)
三、大气对太阳辐射的影响 .....	(38)
四、地物反射波谱特征 .....	(39)
第二节 几何精校正 .....	(43)
一、图像配准 .....	(45)
二、控制点校正 .....	(45)
三、灰度重采样 .....	(47)
第三节 图像融合 .....	(47)
一、像素级融合 .....	(47)

二、特征级融合 .....	(47)
第四节 图像增强 .....	(50)
一、直方图变换 .....	(50)
二、空间滤波 .....	(51)
三、比值法和差值法增强 .....	(52)
四、图像间运算 .....	(52)
五、彩色增强 .....	(52)
六、多光谱变换 .....	(53)
第五节 图像镶嵌与裁剪 .....	(55)
一、图像镶嵌 .....	(55)
二、图像裁剪 .....	(56)
第六节 图像掩模 .....	(56)
第七节 投影转换 .....	(57)
第四章 森林资源遥感影像特征与解译标志 .....	(58)
第一节 森林遥感影像特征 .....	(58)
一、遥感影像特征 .....	(58)
二、光谱特征分析 .....	(59)
三、空间特征分析 .....	(60)
四、时相特征分析 .....	(62)
五、波段组合分析 .....	(63)
第二节 遥感影像解译标志建立的方法和原则 .....	(65)
一、解译标志建立的原则 .....	(65)
二、解译标志建立的方法 .....	(66)
三、解译标志建立的过程 .....	(66)
第三节 森林遥感影像解译标志 .....	(67)
一、主要地类解译标志 .....	(68)
二、土地荒漠化/沙化解译标志 .....	(69)
三、主要湿地类型遥感解译标志 .....	(70)
第五章 森林资源的遥感信息表达与反演模型 .....	(72)
第一节 遥感信息反演的理论与方法 .....	(72)
一、遥感信息特征 .....	(72)
二、遥感信息反演模型类型与建模方法 .....	(76)
三、光谱特征模型的建立方法 .....	(78)
第二节 森林资源类型反演模型 .....	(80)
一、森林资源类型信息提取常用方法比较 .....	(80)
二、森林资源类型反演模型 .....	(80)
第三节 遥感样地的布设与判读 .....	(84)
一、遥感样地布设与目视判读 .....	(84)
二、遥感样地判读成果统计 .....	(88)

第四节 森林变化信息反演模型 .....	(89)
一、物候归一化 .....	(90)
二、森林变化概率 .....	(92)
三、森林资源变化信息模型的技术流程 .....	(93)
第五节 林分专题信息定量反演 .....	(93)
一、林分专题信息遥感定量反演流程 .....	(94)
二、大气纠正 .....	(94)
三、林分定量信息反演模型 .....	(97)
四、郁闭度、蓄积量等级图的平滑 .....	(97)
第六章 国家级森林资源遥感监测业务运行系统 .....	(99)
第一节 业务运行系统目标与任务 .....	(99)
一、研究目标 .....	(99)
二、研究任务 .....	(99)
第二节 业务运行系统的结构设计 .....	(100)
一、系统需求分析 .....	(101)
二、系统结构设计 .....	(103)
第三节 业务运行系统的开发环境 .....	(104)
第四节 遥感数据处理功能 .....	(104)
一、遥感数据预处理 .....	(105)
二、遥感图像配准和几何精校正 .....	(105)
三、辐射校正 .....	(105)
四、图像增强 .....	(108)
五、图像融合 .....	(111)
六、图像运算 .....	(113)
七、图像镶嵌 .....	(113)
八、图像掩模处理 .....	(113)
九、查看图像信息与波段选择 .....	(114)
十、投影转换 .....	(115)
第五节 森林资源信息提取功能 .....	(115)
一、森林类型识别 .....	(115)
二、森林变化信息提取 .....	(117)
三、林分因子定量分析 .....	(119)
四、遥感样地识别 .....	(120)
第六节 森林资源信息统计功能 .....	(124)
一、遥感样地统计 .....	(124)
二、分类信息统计 .....	(126)
三、林分因子定量信息统计 .....	(126)
四、森林变化信息统计 .....	(126)
第七节 信息管理功能 .....	(126)



一、数据库管理 .....	(126)
二、数据查询与检索 .....	(130)
三、数据编辑 .....	(131)
四、地图操作 .....	(131)
五、制图 .....	(131)
六、数据分析 .....	(131)
<b>第七章 国家级森林资源遥感监测业务运行系统的示范应用 .....</b>	<b>(132)</b>
<b>第一节 示范区概况及示范数据 .....</b>	<b>(132)</b>
一、示范区概况 .....	(132)
二、示范应用数据及资料 .....	(133)
<b>第二节 主要技术标准与要求 .....</b>	<b>(134)</b>
一、第一阶森林资源遥感监测技术标准与要求 .....	(134)
二、第二阶遥感样地判读技术标准与要求 .....	(135)
三、第三阶固定样地地面调查技术标准与要求 .....	(139)
四、成果图件的基本要求 .....	(142)
<b>第三节 示范应用业务流程及精度分析 .....</b>	<b>(143)</b>
一、遥感图像处理 .....	(143)
二、第三阶固定样地调查数据导入 .....	(146)
三、第二阶遥感样地判读 .....	(146)
四、第一阶遥感数据森林资源信息提取 .....	(152)
五、森林专题地图生成 .....	(165)
六、监测成果数据库的建立 .....	(166)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(168)</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 森林资源清查及发展历程

### 一、森林资源及森林资源调查

森林不仅为人类的生存发展提供物质资源，在维持生态过程和生态平衡中还具有重要作用，特别是在保护脆弱的生态系统、水域和淡水资源方面起着关键作用。1992年联合国环境与发展大会，通过了《21世纪议程》和《关于森林问题的原则声明》，分析了环境所面临的全球生态环境恶化的危机，强调了森林的重要生态作用，提出了防止土地和水资源退化、空气污染、保护森林和生物多样性的行动方案，呼吁世界各国保护和可持续地利用森林资源和林地资源。

森林问题已日益成为国际社会广泛关注的热点问题，世界各国都在积极寻找新的林业发展模式。特别是对自然灾害频繁、生态环境建设任务日趋繁重的中国来说，以林业生态建设为中心，加强林业生态和林业产业两大体系建设，实现森林的可持续经营，这已成为21世纪中国林业的首要任务。而森林作为可再生自然资源，除具有自身的生长消亡发展规律外，森林的数量、质量和空间分布还受到自然环境条件和人类活动等的影响，而森林资源调查和监测则是掌握森林数量、质量和结构的重要方法，是森林资源可持续经营的前提条件。

通过森林资源调查，可以及时掌握森林资源数量和质量，了解森林资源的消长变化规律和趋势，摸清影响与制约森林生长的自然、经济、社会客观条件。因此，森林资源调查是林业的重要基础工作。我国的森林资源调查有50多年的发展历史，经过不断的修改、补充和完善，初步形成了符合我国林业发展特点和要求的、较为完整的森林资源调查体系。根据森林资源调查的目的、空间尺度、调查内容、技术方法等的不同，可划分为：①森林资源清查；②森林资源规划设计调查；③森林作业设计调查；④年度森林资源专项调查；⑤专业调查。

国家森林资源连续清查（National continuous forest inventory），简称一类调查，是以抽样理论为基础设置固定样地，定期对固定样地上的森林资源进行重复性调查的一种资源调查方法。森林资源清查一般只对总体范围提供可靠的森林资源数据估计，而这种对特定范围的估计，远比同样范围内用其他调查方法可靠和快速，地域范围越大，效率越高。因此，森林资源清查是一种宏观监测方法，在国家林业建设中具有重要的地位。

随着信息技术本身的发展，数理统计在森林资源调查中的广泛应用，以及林业建设和发展宏观要求的变化，森林资源清查体系在林业生产、管理实践中也在不断发展和完善，主要包括调查内容和标准的变化、调查技术手段和方法的变化及成果形式的变化。调查内容和标准方面，传统的森林清查过程中以森林生长状况和立地因子为主，实现对树木资源及林地资源的调查。目前，由于清查内容的不断扩大，各国森林资源清查所用的评价指标和技术标准

也在发生变化。部分国家已经将森林健康、森林土壤和森林生态系统结构和功能指标纳入调查范围。在森林资源清查成果表现形式方面,通过多期的调查,可以分析得到土地利用类型和森林资源动态变化情况,并通过绘制全国森林分布图、森林资源现状数据、前后期的资源动态变化数据分析等,从而为生态保护、林业建设和森林资源的保护和发展提供基础信息。在森林资源清查的技术手段与方法方面,基于抽样理论的调查方法,也随着现代信息技术与航空航天技术的发展,不断变化。遥感越来越多地应用于森林资源调查,并且取得了不可替代的作用。目前,在3S综合技术的支撑下,遥感信息在扩大森林资源调查范围、提高工作效率、防止偏估等方面发挥了重要作用。

森林资源清查,已成为实现现代化森林经营管理必不可少的重要环节和基础工作,森林资源清查的总体任务和清查内容就是为实现可持续林业提供信息支持。

## 二、国外主要林业国家的森林资源清查状况

### 1. 美国的森林资源清查状况

美国的森林资源清查与分析(Forest Inventory and Analysis, FIA)最早开始于19世纪30年代,以州为单位逐个开展资源清查,到60年代,已有48个州完成了清查工作(USDA Forest Service, 1992)。到90年代,美国大部分地区进行了三次资源清查,最多的地区进行了6次,目前平均清查周期为10年。

清查系统的设计根据各地区的信息需求情况略有不同,但总体上是属于分层双重抽样设计。即第一重样本采用航空像片进行抽样,主要判读土地利用类型、蓄积量等级和林分类型,美国共采用了约650万个航空像片样地(通常采用国家航空摄影提供的1:40 000黑白航空像片)。第二重样本为地面调查样本,样本密度为每3000英亩(1214hm<sup>2</sup>)到10 000英亩(4047hm<sup>2</sup>)一个样本。

20世纪90年代开始,美国开展了森林健康监测(Forest Health Monitoring, FHM),主要内容:①本底基础数据的调查和动态变化的检测;②监测评估,当检测到的变化原因不明时,需要组织多学科的科学家进行更详细的采样调查,做出解释;③在小流域层次上,选取各种典型的森林类型和生物群系,进行高强度的定点监测和长期研究;④监测技术的研究,开发和完善监测指标,提高数据获取和分析的效率和可靠性。1998年通过的《农业研究推广与教育改革法》中,提出了设计一个综合森林资源清查与分析与森林健康监测、全国采用统一的核心监测指标、统一标准、定义,每5年提交一次监测报告的年度资源监测系统的要求。

在2003年开始的森林资源清查与分析中,采用新的资源清查设计。主要特点是:

- (1) 采用全国统一的4个固定半径样园的样地;
- (2) 采用全国统一的系统抽样设计;
- (3) 每个州每年都调查一部分森林资源清查与分析固定样地;
- (4) 综合森林资源清查与分析森林资源清查与分析和森林健康监测的野外调查部分;
- (5) 每5年产出一次资源清查报告,一般采用多年移动平均法进行估计,同时提供采用数据更新法进行估计的可能。

### 2. 加拿大的森林资源清查状况

传统上加拿大各省负责森林资源的经营管理和监测,联邦政府并不进行国家森林资源清

查 (NFI), 国家级的森林资源数据主要依靠各种数据源的统计汇总。20 世纪 80 ~ 90 年代, 加拿大的森林资源清查主要利用各省的森林资源清查数据进行编辑汇总, 随着可持续经营工作的开展, 这种清查方法已经不能满足有关国际公约、国内决策以及多资源管理的需求。为了设计新的森林资源清查, 加拿大于 1995 年成立了加拿大森林资源清查委员会 (Canadian Forest Inventory Committee, CFIC), 1999 年完成了加拿大森林资源清查的设计。调查周期为 10 年。

加拿大森林资源清查, 目前采用分层抽样的方式进行调查。在有林和有植被的地区, 使用航空像片, 比例尺为 1:20 000 或更大; 在极地和少植被、无植被地区使用卫星遥感资料, 一般采用 LANDSAT7-TM 图像。卫星资料还可以全面应用, 以检验航空像片样地和地面调查样地是否有偏。遥感样地的大小为 2km × 2km, 抽样间隔仍为 20km × 20km (抽样面积为 1%)。在遥感样地内, 采用多边形区划法或点判读法进行判读。主要特点是:

- (1) 全国采用统一的抽样网格;
- (2) 根据生态区进行分层, 每层采用不同的抽样强度;
- (3) 利用了遥感资料、森林经营档案和其他辅助信息源。

### 3. 瑞士的森林资源清查状况

瑞士是一个联邦制国家, 每个州都享有相对独立的自治权。早在 1956 年, 苏黎世联邦科技大学 (ETH) 的 Kurt 教授就提出了进行森林资源清查的建议, 1973 年, 联邦林业研究所设立了森林资源清查研究室, 具体负责第一次森林资源清查的筹备和执行工作。第一次森林资源清查的野外调查工作于 1983 ~ 1985 年完成。抽样总体为全瑞士, 按地理位置区划为 5 个大区, 即: 侏罗山脉 (Jura)、中部区、阿尔卑斯山低地地区、阿尔卑斯山地区和阿尔卑斯山南部地区。调查的主要目的是获得森林面积和蓄积方面的数据。抽样方案选定为 1km × 1km 网格系统抽样, 全瑞士共约 41 000 个样地, 根据航空像片判读出有林地/无林地, 并将有林地内的样地在像片上刺点, 对于可通达的森林进行了野外调查和永久性标定。航片判读样地的面积为 50m × 50m。

第二次森林资源清查于 1996 年完成, 在第二次清查中补充调查了土壤、森林功能及植被群落方面的因子。瑞士森林资源清查的抽样设计有 2 个方面的特点:

- (1) 是应用航片进行双重分层抽样;
- (2) 是采用部分重复抽样法 (Sampling with Partial Replacement, SPR) 估计生长量。

## 三、中国森林资源清查状况

中国是森林资源连续清查体系建立较早的国家之一。1950 ~ 1962 年曾对全国范围内的森林资源进行了普查, 以县 (局) 为单位的森林资源清查工作, 采用的方法多样化, 主要侧重于查清全国森林资源现状。从 20 世纪 70 年代开始, 开始采用系统抽样技术, 建立了以省 (区、市) 为总体的森林资源连续清查体系, 每 5 年复查一次。第一次至第六次清查时间分别为 1973 ~ 1976 年, 1977 ~ 1981 年, 1984 ~ 1988 年, 1989 ~ 1993 年, 1994 ~ 1998 年, 1999 ~ 2003 年。第一次全国森林资源清查, 为开展全国森林资源动态监测奠定了基础; 第二次、第三次、第四次、第五次、第六次全国森林资源清查, 是对上期清查的复查, 方法逐步完善, 数据更加翔实。前五次清查, 主要是对地面设置的固定样地进行的传统地面调查。

从 20 世纪 90 年代逐步引入 “3S” 技术等, 森林资源清查的技术水平不断提升。从

1999年开始的第六次森林资源清查,全面引入了遥感应用技术。目前,我国森林资源清查体系,以省(区、市)为控制总体,以3S技术为支撑,采用遥感监测与地面调查技术相结合的双重分层抽样遥感监测体系。固定样地按系统抽样的原理布设,固定样地一般采用正方形,也可采用矩形样地、圆形样地或角规控制检尺样地。样地面积一般为 $0.0667\text{hm}^2$ 。遥感样地采用目视判读的方法,主要用于地类及森林的识别。遥感调查主要采取Landsat-TM/ETM遥感数据。遥感判读样地的数量原则上不得低于固定样地数量的4倍,且遥感判读样地的密度不小于 $2\text{km}\times 2\text{km}$ 。遥感判读样地大小为 $90\text{m}\times 90\text{m}$ 。

2004年开始的第七次森林资源清查,又增加了新的清查任务和内容。目前的调查内容主要包括土地利用与覆盖、立地与土壤、森林状况与特征、森林功能、以及影响土地类型与森林变化的其他因素等5方面。

我国森林资源清查的每一次复查,清查体系都得到进一步优化和完善,全国地面固定样地数量不断增加,地面样地覆盖的范围越来越大,到2003年止,全国布设的固定样地达到41.5万个。目前,我国的31个省(区、市)已经建立了完善的森林资源连续清查体系,各省(区、市)实现了地面样地的全覆盖。由于各地复查固定样地的复位率较高,增强了前后期调查成果的可比性,从而为准确掌握森林资源消长变化规律提供了可靠基础,为宏观监测全国森林资源动态起到保证作用。我国建立的森林资源连续清查体系,在技术上、规模上和组织体系方面,均居国际领先地位。

我国现行森林资源清查体系的主要特点为:

我国森林资源连续清查体系自1977年建立以来,经过多次复查,以其综合、动态、多样化的清查成果信息,实现了对国家森林资源经营效果的监测与评价,为改善森林经营措施提供科学依据;分析了省级清查总体和全国的森林资源状况,为编制国家和地方的林业发展计划和区划提供直接的信息;实现了对林业重点工程实施效果宏观尺度的监测与评价,是进一步完善工程管理和工程调整的重要依据;实现了对林业发展影响与制约因素的综合评价,为国家制定和调整林业方针政策、决策提供了科学依据;掌握了全国森林资源及其生态质量的动态变化规律,是国家制定生态环境建设规划、调整环境政策等的重要依据;根据林业在国民经济和可持续发展中的地位,为制定国家发展战略和规划提供依据;3S技术的综合应用,提高了成果信息含量和工作效率,能够提供宏观快速的森林资源信息,对强化资源管理,促进我国林业持续、快速、健康发展,正在起着积极的作用。

## 第二节 林业遥感应用技术的发展及现状

林业是我国最早应用遥感技术并形成应用规模的行业之一。近50年来林业遥感工作者遵循着现代遥感技术的发展,林业卫星遥感应用小范围科研,发展到大规模生产性应用;从简单的个别调查,发展到综合监测体系的建设。林业行业,在取得一个个遥感科研和应用成果的同时,锻炼和造就了一支既有深厚理论基础,又面向林业建设需要的林业遥感科技力量。形成了从中央到地方不同层次的林业卫星遥感科研和应用机构。进入新世纪,林业工作者关注的对象已经是内容更为广泛的自然资源与生态状况范畴,遥感数据的应用种类也涵盖了低、中、高分辨率的多光谱、高光谱以及雷达数据,为森林资源监测提供了各种遥感信息源。

## 一、遥感技术及其发展现状

遥感 (Remote Sensing, 简称 RS) 是一种远距离的、非接触性的目标探测技术和方法。通过对目标进行探测, 获取目标信息, 然后对所获取的信息进行加工处理, 从而实现目标进行定位、定性或定量的描述。目标信息的获取主要是通过接收目标反射和辐射的电磁波得到。根据搭载传感器的平台不同, 可分为地面遥感、航空遥感、航天遥感。随着信息化技术的发展, 遥感尤其是航天遥感已广泛地应用于农业、林业、国土、海洋和气象等各行业。

20 世纪 90 年代以来, 遥感技术得到了突飞猛进的发展, 逐步形成集高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率于一体的, 多角度、多类型的遥感数据获取、处理与应用体系, 建成天地一体化的快速信息流。

### (一) 国外遥感技术发展状况

从空间分辨率的发展来看, 不同等级分辨率的商用卫星数据很多, 已初步形成对地观测系统的多级遥感数据。美国的 Landsat5-TM 数据分辨率为 30m, Landsat7-ETM+ 数据全色波段分辨率为 15m。2003 年 10 月 17 日, 印度发射的 RESOURCESAT-1 卫星, 也称 IRS-P6, 该卫星上搭载三种传感器, 各传感器采集数据的分辨率分别为 LISS-3 多光谱数据, 星下点空间分辨率为 5.8m, LISS-4 多光谱或全色模式数据, 分辨率为 23.5m, AWIFS 多光谱数据, 星下点空间分辨率为 56m。1996 年和 1997 年美国宇航局 (NASA) 分别发射了两颗小型卫星 Clark 和 Lewis, 其空间分辨率为 3m。2002 年, 法国 SpotImage 公司的 SPOT 5 号卫星也发射成功, 其携带的两台高分辨率几何成像仪, 可拍摄 2.5m 分辨率的全色图像和 10m 分辨率的彩色图像。2000 年 1 月 3 日, SpaceImaging 开始正式发布销售分辨率 1m 的 IKONOS 影像; 2001 年 10 月 18 日美国数字全球 (Digital Globe) 公司又发射了“快鸟 2” (QuickBird-2) 卫星, 其提供的全色影像分辨率达到了 0.61m, 成为目前商业遥感卫星中分辨率最高的遥感影像产品; 此外, 加拿大、日本等国也都发射了自己的商业卫星。

高光谱遥感 (Hyperspectral Remote Sensing) 是国际上 20 世纪 80 年代才开始发展起来的遥感技术。美国于 1999 年 12 月 18 日发射升空的 Terra 卫星和 2002 年 5 月 4 日发射的 Aqua 卫星, 均搭载了 MODIS 传感器, 它有 36 个通道, 波段涉及陆地、海洋、大气等综合信息。其中, 第 1, 2 通道 (可见光 0.62 ~ 0.67 $\mu\text{m}$ 、近红外 0.841 ~ 0.876 $\mu\text{m}$ ) 的空间分辨率为 250m, 第 3 ~ 7 通道空间分辨率为 500m, 其余 29 个通道空间分辨率为 1km。2000 年美国宇航局 (NASA) 发射的地球轨道一号 (EO-1) 卫星搭载的 Hyperion 传感器共有 220 个波段、大气校正仪 AC 具有 256 个波段。

1995 年 11 月加拿大雷达卫星 RADARSAT 1 的发射, 标志着卫星微波遥感的重大进展。2002 年 3 月 1 日, 欧洲空间局成功发射了“环境观测卫星” (Envisat)。它是欧洲航天局迄今生产的最大、最昂贵、最先进的地球环境观测卫星, 携带了 10 个地球和大气观测仪。其中, 最大的仪器为高级合成孔径雷达 (ASAR), 能够调整视角, 并在不同模式 (分辨率和/或视场) 的多极化状态下进行数据获取, 可以提供分辨率为 30 米的雷达图片。

### (二) 我国遥感技术发展状况

20 年来我国遥感事业为了更好地为国民经济建设服务, 本着独立自主原则, 进行了国家遥感对地观测体系的建设。

1988 年 9 月我国发射了第一颗极轨气象卫星《风云一号》A, 1990 年 9 月发射了第二

颗极轨气象卫星《风云一号》B。之后,于1997年6月发射了第一颗静止气象卫星《风云二号》A,于1999年5月发射了第三颗极轨气象卫星《风云一号》C,2000年6月又发射了第二颗静止气象卫星《风云二号》B,2002年5月发射了第四颗极轨气象卫星《风云一号》D。风云卫星(FY)均为我国研制发射,其中FY-1C已在轨运行2年4个月,超过原设计寿命;FY-2B于2000年6月发射,设计寿命为3年。我国与巴西合作的《资源一号》(CBERS-1)卫星,于1999年10月成功发射,至今已在空间超寿命运行两年以上。资源1号卫星上有两种遥感器5波段CCD相机和4波段红外扫描仪。这2种遥感器的9个波段是统一编号的,即从B1、B2、B3、B4、B5(CCD相机)到B6、B7、B8、B9(红外扫描仪)。在一颗卫星上同时安装CCD相机和红外扫描仪,这在世界上是绝无仅有的。这样,既可使卫星全天候工作,又大大增加了信息量。它的发射结束了我国没有自己的较高分辨率传输型资源卫星和完全依赖国外卫星数据的历史。

我国第一颗海洋卫星于2002年5月发射。“海洋一号”卫星是中国第一颗用于海洋资源开发利用的试验型应用卫星,卫星质量368kg,星体近似正方体,卫星轨道高度798km,装载的遥感设备包括一台分辨率为1100m的10波段水色扫描仪和一台分辨率为250m的四波段CCD相机,星体分隔成平台和载荷舱两部分,设计寿命两年。海洋水色卫星(HY-1)是一颗试验型业务卫星,主要用于海洋水色要素探测,为海洋环境监测与资源开发服务。海洋环境监测与资源开发包括海洋生物资源开发利用,海洋污染监测与防治,海岸带资源开发和海洋科学研究等领域。

此外,2000年6月28日由清华大学和英国萨里卫星技术公司合作研制的清华一号小卫星在普列谢茨克航天发射场发射成功。清华一号上携带一台3波段相机,分辨率为39m。2000年10月31日和12月21日,我国先后发射了第一颗和第二颗“北斗导航试验卫星”,构成了我国第一代卫星导航定位系统即“北斗导航系统”。北斗导航实验卫星的发射说明中国已开始打造独立自主的导航定位卫星。2002年发射的神舟三号宇宙飞船,还装载了中分辨率成像光谱仪,这是继美国之后第二个中分辨率成像光谱仪上天。

建立长期稳定运行的卫星对地观测体系,是我国空间遥感的发展目标。在今后的10年,我国将建立以气象卫星系列、资源卫星系列、海洋卫星系列和环境与灾害监测小卫星群组成的长期稳定运行的卫星对地观测体系,实现对中国和周边地区以及全球的陆地、大气、海洋的立体动态监测,为我国森林资源清查遥感技术的广泛应用提供了广阔的前景。

## 二、遥感在林业调查中的应用与发展

### (一) 国外遥感应用技术的发展

早在20世纪30年代,国外就开始利用航空摄影测量进行土地资源调查,而利用卫星遥感影像进行调查研究则始于20世纪70年代初期。1973年,美国和加拿大为研究苏比利尔湖、密执安湖、安大略湖等5湖的各种污染源,用Landsat-1号卫星数据对5湖流域进行了土地利用状况分类。加拿大从20世纪70年代开始每5年用卫星遥感资料和航空遥感结合的方法对全国土地资源的利用情况进行一次监测。澳大利亚、法国、日本、德国等一些经济发达国家,也定期利用卫星遥感进行土地资源利用情况调查。在全球和洲际尺度上进行的研究以应用气象卫星(NOAA/AVHRR)数据监测为主,始于1981年,Tucker和Townshed首先应用多时相AVHRR植被指数(NDVI)数据,分别进行了非洲和北美洲土地覆盖研究。

Cihlar 等人研究用 NOAA/AVHRR 卫星数据各波段组合方案进行加拿大北部土地覆盖分类, 用 AVHRR 的 1、2 和 4 波段组合, 以及它们的主成分波段、NDVI 来进行试验, 认为其中最有效的是 NDVI, 其与 TM 数据分类的精度相比较可达 45% ~ 60%, 其中主要土地覆盖类型的精度可达 80%。Fung 于 1990 年在加拿大的滑铁卢地区进行了 Landsat5 TM 图像在土地覆盖变化动态监测中的评价研究, 选择 1985 年 8 月和 1986 年 7 月的 Landsat5 TM 数据, 采用的方法是图像差值、主成分分析和多时相缨帽变换法, 对产生的 12 种变化信息进行了提取, 并对提取精度进行了评价, 其中部分地类变化探测精度达到了 90% 以上。

在国外, 利用遥感信息进行动态监测主要应用于土地利用方面的研究, 特别是在近年来全球人口不断增加、土地资源的超量开发、人类生存环境受到严重威胁的情况下, 引起各国政府及有关国际机构的普遍关注。1993 年世界有影响的两大组织“全球地圈与生物计划”(IGBP) 和“全球环境变化人文计划”(HDP) 共同发起对土地利用与全球土地覆盖变化(LUCC) 的研究。在 IGBP 和 HDP 组织的推动下, 土地利用/土地覆盖研究成为全球变化研究的热点和前沿问题, 相关国际组织和各国政府纷纷跟进, 启动各自的研究项目, 如国际应用系统研究所 (IIASA) 于 1995 年启动的“欧洲和北亚土地利用/土地覆盖变化模拟项目”, 联合国环境署 (UNEP) 于 1994 年启动的“土地覆盖和模拟 (LCAM)”项目, 旨在调查东南亚地区土地覆盖现状与变化。美国宇航局 (NASA) 的对地观测计划 (EOS)、欧洲空间局 (ESA) 的极轨平台计划 (POEM)。加拿大计划 2005 年底发射 RADARSAT-2 号星, 广泛应用于湿地资源环境的监测等。

总的来说, 国外近年来在利用遥感信息源进行动态监测工作的进展主要表现在以下几个方面:

(1) 全球对地观测体系的建立。在过去的 30 年中, 随着一系列大型国际遥感计划的实施, 对地信息获取技术已从可见光发展到红外、微波, 从单波段发展到多波段、多角度、多极化, 从空间维扩展到时空维, 从多维光谱到超微光谱, 已初步建立起了高、中、低轨道结合, 大、小、微型卫星协同, 相、细、分辨率互补的全天候、多层次的全球对地观测体系。

(2) 理论和方法取得了一定的进展, 成功地开展了一些具体工作, 分析处理方法也得到改进, 遥感监测精度进一步得到提高。如对遥感分类新方法进行了探讨, 如人工神经网络分类 (Atkinson and Tamal, 1997; Paola and Schowengerdt, 1995)、分类树法 (Friedl and Brodey, 1997)、专家系统方法、基于空间结构的上下文分析法 (J, Stuckens, Coppin, et al, 2000; Ryherd and woodcock, 1996) 等。

(3) 在区域尺度的研究主要利用 Landsat TM 卫星数据, 遥感监测的方法以多时相遥感影像复合为主, 如原始图像差值法、比值法、主成分差值/比值、植被指数差值/比值法等, 并且精度已在不断提高, 如 Riley (1997) 等利用 MSS 影像进行墨西哥的 Tuxtlas 地区 1986 ~ 1994 年土地覆盖变化的研究, 其精度可以达到 81% ~ 87%。Adams 等人 (1995) 对巴西 Amazon 盆地进行的土地覆盖变化研究, 利用 1988 年、1989 年、1990 年和 1991 年的 TM 数据进行的, 监测精度可以达到 90% 以上。Lenney 等人 (1996) 对埃及的农业土地利用进行了监测, 采用 1984 年和 1993 年的 TM 数据, 进行了 NDVI 分析, 分类精度可达到 95.85%。

(4) 商业化应用体系基本形成, 使卫星技术在应用中获得巨大的商业价值和社会效益的同时促进了发展。



## (二) 我国林业遥感应用技术的发展

林业遥感一直是我国遥感技术应用中的一个重要的、活跃的领域。遥感在我国林业上应用范围很广,包括森林资源清查、森林资源调查、动态监测、森林火灾监测和评估、森林病虫害监测等,在各个领域都取得了巨大的成绩。

### 1. 我国林业遥感应用技术的发展状况

20世纪50年代中期,我国首次开展了森林航空测量、森林航空调查和地面综合调查工作,从而建立了以航空像片为手段,目测调查为基础的森林调查技术体系。1972年美国地球资源卫星(陆地卫星)升空运行,开始了航天遥感技术发展和应用的新时期。我国林业遥感工作者十分重视这一技术进展并立即组织了对其多光谱影像(MSS)的应用研究。1977年利用MSS图像,首次对我国西藏地区的森林资源进行了清查,填补了森林资源数据的空白,为卫星遥感资料在林业生产中的应用开了先例,并获1978年全国科学大会奖。1981年至1983年,在三北防护林地区自然资源与综合农业区划工作中应用MSS资料完成了大面积土地资源调查。随后,在“六五”、“七五”、“八五”、“九五”和“十五”国家科技攻关中都列入了有关的林业遥感应用研究课题。课题内容涉及森林资源监测技术的应用研究、三北防护林地区遥感综合调查、森林火灾监测等,涉及多学科、多种遥感资料与非遥感资料的结合。这些课题取得了可喜的成果,培养了人才、积累了经验,储备了技术,为航天遥感在林业生产中的应用起到了积极的推动作用。

1993~1997年,由联合国开发计划署(UNDP)援助的“建立森林资源监测体系”项目顺利执行。该项目把遥感技术、地理信息技术、数据库和数学预测模型以及地面调查方法等结合起来,建立新的以航天遥感技术为主要信息采集手段的全国森林资源监测体系。项目首先在江西进行了省级规模的试点。利用TM数据完成了全省1:5万影像地图的制作和森林资源的计算机自动分类,建立省级森林资源地理信息系统、数据库以及动态模型,为林业建设的宏观决策提供了快速、准确的先进技术方法,取得了较好的社会效益。在1999年开始的第六次全国森林资源清查中,遥感技术得到了全面应用,对遥感判读样地的布设及数量、遥感图像处理及输出、遥感判读样地的验证及检查等各个环节都作了明确的规定,遥感技术在实现森林资源清查全覆盖、提高抽样精度、防止偏估等方面起到了重要的作用,完善和充实了我国森林资源清查技术体系。

2000年12月,由国防科工委支持,以西藏东南部的林芝地区为示范区,开展了“资源一号卫星在西藏自治区森林资源调查中应用”示范项目。通过该项目的实施,探索出一套应用中巴资源卫星数据进行森林资源调查的科学方法、步骤与技术工艺流程,为丰富森林资源调查的信息内容,提高信息的时效性,及时掌握西藏森林资源的现状和动态,彻底改善西藏地区森林资源调查严重滞后的局面奠定了基础。同时,也为全面推广应用具有我国自主知识产权的卫星遥感数据源,进一步充实和完善我国森林资源监测体系打下良好基础。

2003年5月至2005年6月,由国家林业局调查规划设计院主持,中国林业科学研究院、浙江大学、中国科学院遥感应用研究所等多家单位共同参与,开展了863计划项目“森林资源遥感监测量化综合处理与业务运行系统”的研究。其子课题“国家级森林资源遥感监测业务运行系统”,在森林郁闭度、蓄积量、变化信息等分级估测关键技术研究的基础上,将遥感图像处理、遥感信息提取、成果统计分析与信息数据库管理等技术进行集成,成为一个完整的森林资源遥感监测业务系统。该系统的研制将进一步推动遥感技术在森林资源清查