土地利用重点实验室系列丛书
——中国高技术研究发展计划863－13主题子课题（2001AA136020-2）

# 成像光谱技术在土地动态监测中的应用

“成像光谱技术在土地动态监测中的应用”课题组

地质出版社
·北　京·

## 内 容 简 介

本书通过大量收集国内外相关研究资料，以江苏宜兴试验区为应用示范研究区，做了大量试验与分析，研究了土地利用/覆被类型定量分析识别、变化信息提取技术和成像光谱数据融入的土地动态监测技术；研制了基于成像光谱的土地利用/覆被分类识别软件系统和实用化的基于成像光谱的土地动态监测技术流程；并探索了成像光谱技术应用于土地质量监测的潜力，研究了利用成像光谱数据进行土地质量指标信息提取的方法。

本书为进行土地资源调查与监测、高光谱遥感技术在土地资源调查与监测中的应用提供了技术支持，对全面提高对地观测技术在土地资源调查应用中的技术水平具有重要意义。

**图书在版编目（CIP）数据**

成像光谱技术在土地动态监测中的应用/《成像光谱技术在土地动态监测中的应用》课题组编．—北京：地质出版社，2005．8
ISBN 7-116-04520-1

Ⅰ.成… Ⅱ.成… Ⅲ.光谱反射—应用—大地测量 Ⅳ.P227

中国版本图书馆CIP数据核字（2005）第086238号

责任编辑：何 蔓 张军岩
责任校对：郑淑艳
出版发行：地质出版社
社址邮编：北京海淀区学院路31号，100083
电 话：(010)82324508（邮购部）；(010)82324580（编辑室）
网 址：http://www.gph.com.cn
电子邮箱：zbs@gph.com.cn
传 真：(010)82310759
印 刷：北京地大彩印厂
开 本：787mm×1092mm 1/16
印 张：9.25
字 数：250千字
印 数：1—600册
版 次：2005年8月北京第一版·第一次印刷
定 价：68.00元
ISBN 7-116-04520-1/F·204

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社出版处负责调换）

# 前　言

高光谱遥感技术是自20世纪80年代开始发展起来的遥感前沿技术，它使研究人员可定量地分析、识别地物类型和确定物质性质及组成成分，可以解决许多常规遥感手段无法解决的问题。经过近二十年的发展，成像光谱技术已经广泛应用于地质勘探、植被遥感、资源调查、城市遥感、环境监测、精细农业等研究领域，并充分显示了在定量化遥感方面的潜力。

随着土地资源调查的进一步深入，土地资源管理已从数量管理向质量管护和生态管护方向发展，这对土地资源调查与监测提出更高的要求。土地动态监测将从以往单一的土地数量监测向土地质量监测和生态监测发展，同时向着自动化、定量化的方向发展。利用成像光谱技术高光谱分辨率的特点可增加土地利用/覆被类型识别的程度和精度，将极大改善土地动态监测技术流程的自动化程度和效率，为土地调查、评价和管理提供更丰富、精确的数据源，对土地资源管理具有重要意义。同时，成像光谱在获取研究对象影像的同时获得每个像元的光谱分布，可定量分析地球表面生物物理化学过程和参数，为土地质量监测提供了一种新的技术手段，对全面提高对地观测技术在国土资源调查应用中的技术水平具有重要意义。

成像光谱技术在土地动态监测中的应用研究重点是提高耕地、林地、草地、园地等易混分类型的识别精度，解决土地动态遥感监测中土地利用/覆被变化类型识别的定量化和自动化问题，提高土地遥感动态监测技术流程的自动化程度和效率；开展利用成像光谱数据进行土地质量指标信息提取方法研究，实现对由于土地肥力下降、盐渍化等造成的土地质量变化的监测。

在时间短、任务重的情况下，为保证该项目保质、保量、如期、顺利地完成，课题组同志付出了大量的辛苦劳动。他们收集了大量国内外相关研究资料，并开展了江苏宜兴试验区的示范研究，做了大量试验与分析，由此形成了“成像光谱技术在土地动态监测中的应用研究概论”、“成像光谱数据用于土地动态监测的地物光谱特征数据库研究”、“土地利用/覆被类型的成像光谱定量识别技术与土地利用变化信息提取技术研究”、“成像光谱遥感技术土地质量指标信息提取方法研究”、“利用成像光谱技术的土地动态监测应用示范研究”等研究报告，并研制了基于成像光谱技术的土地利用/覆被分类识别软件系统。

研究成果之一，是建立了成像光谱数据用于土地动态监测的地物光谱特征数据库，构建了宜兴试验区土地利用/覆被类型成像光谱特征模型，编制了基于成像光谱技术的土地利用/覆被分类识别软件系统。之二，是形成了土地利用/覆被类型的成像光谱定量识别技术与土地利用变化信息提取技术流程，提出了基于分层控制思想的高光谱影像土地利用/覆被分类方法，并利用成像光谱与其他遥感影像融合的异常光谱检测法，提出了基于成像光谱数据的土地利用动态监测技术，解决了土地利用动态监测中利用常规遥感数据只能确定变化范围，不能确定变化类型的关键技术。之三，是研制了高光谱遥感进行土地质量指标信息提取的技术流程，探索了将其应用于土地质量监测的潜力，建立了试验区高光谱遥感土

地质量指标的反演模型，进行了试验区土地质量指标参数成图，可初步定量判别试验区土壤肥力下降状况，提高了土地质量监测的水平。之四，是开展了成像光谱技术在土地动态监测中的应用示范研究，并面向土地利用基础图件更新探索了对地观测信息与地面观测信息综合分析与处理的技术路线。

成像光谱技术在土地动态监测中的应用研究立足于国土资源管理对土地资源监测的需求，其成果具有较大的实践价值和应用前景。成像光谱技术应用土地动态监测的技术体系和作业流程可直接地应用于国土资源管理决策和今后国土资源大调查的土地利用动态遥感监测调查工程中，极大地增强了国土资源监管的快速反应能力，为快速、准确提供土地动态信息提供技术保障，对于促进高新技术在土地动态监测中的应用和土地科技创新具有重要作用。

本书汇集了国家科技部中国高技术研究发展计划“信息获取与处理技术”（863－13）主题中“对地观测技术在国土资源调查中应用”的子课题“成像光谱技术在土地动态监测中的应用”研究所取得的成果。此课题由国土资源部土地利用重点实验室承担，课题负责人为程烨、张继贤和王静。本书共分八章，基本涵盖了成像光谱技术在土地动态监测中的应用的数据获取、信息提取与应用示范各个方面，各章既相互独立，又有机地联系在一起，构成了成像光谱技术在土地动态监测中应用的整体框架。本书各章的执笔人依次为：第一章王静，第二章王静、程烨、张继贤、谢俊奇、张明达、杨冀红、刘顺喜，第三章何挺，第四章何挺、李海涛、尤淑撑，第五章李海涛、张清、梁欣廉，第六章何挺，第七章尤淑撑，第八章张定祥，参加本书编写工作的还有郭旭东、周莲芳、李玉环、吕春艳、刘爱霞、王荣彬。全书统稿王静、何挺。

本书是“成像光谱技术在土地动态监测中的应用”课题组全体成员辛苦劳动的结晶。在本项目执行过程中，得到了叶天竺先生、马克伟教授级高级工程师、王瑞江研究员、谭永杰研究员、王润生研究员、郭晓方研究员等的大力指导，得到了国土资源部国际合作与科技司和中国土地勘测规划院有关领导、专家及同行们的大力支持、悉心指导和热心帮助，在此一并表示最衷心的感谢。

由于成像光谱技术在土地动态监测中的应用研究在我国尚处于初期阶段，同时遥感技术及信息处理技术的发展日新月异，因此，成像光谱技术在土地动态监测中的应用研究无论在理论上还是方法上都需要进一步的发展，并不断地在实践中得以检验、补充和完善。鉴于我们的水平和时间所限，书中不妥、疏漏乃至错误在所难免，恳望读者不吝赐教。

“成像光谱技术在土地动态监测中的应用”课题组

2005 年 3 月

# 目　　录

前　言
第一章　总　论 ..... 1
第二章　成像光谱技术应用于土地动态监测研究发展趋势与研究设想 ..... 6
一、成像光谱技术及其发展 ..... 6
二、成像光谱技术应用于土地动态监测国内外研究现状与发展趋势 ..... 8
三、成像光谱技术应用于土地质量监测国内外研究现状与发展趋势 ..... 10
四、成像光谱技术应用土地动态监测的研究设想 ..... 12
五、成像光谱技术应用于土地动态监测的关键技术 ..... 14
（一）土地利用/覆被变化监测 ..... 14
（二）土地质量指标信息提取 ..... 15
六、成像光谱技术应用于土地动态监测研究方案 ..... 16
（一）成像光谱数据用于土地动态监测的地物光谱特征数据库研究 ..... 16
（二）土地利用/覆被类型的成像光谱定量识别技术与
土地利用变化信息提取技术研究 ..... 17
（三）成像光谱遥感技术土地质量指标信息提取方法研究 ..... 19
（四）利用成像光谱技术的土地动态监测应用示范研究 ..... 20
第三章　数据获取与地面调查 ..... 22
一、试验区概况 ..... 22
二、成像光谱数据获取 ..... 23
三、地物光谱数据获取 ..... 23
四、土壤有机质含量测定 ..... 26
五、土壤水分含量的测定 ..... 26
第四章　高光谱数据预处理 ..... 27
一、数据评价与波段选择 ..... 27
（一）最佳波段选择步骤 ..... 27
（二）面向分类识别目标——土地利用/覆被类型的波段选择 ..... 35
二、边缘辐射畸变纠正 ..... 37
三、辐射定标 ..... 38
四、几何纠正 ..... 41
（一）OMIS图像几何畸变特征分析 ..... 42
（二）OMIS影像几何校正流程 ..... 44
（三）试验与结果 ..... 47
五、光谱数据预处理 ..... 48
（一）光谱曲线平滑 ..... 48
（二）水吸收峰波段的剔除 ..... 49

（三）光谱吸收特征峰参数定量分析 ..... 49
第五章　面向土地利用/覆被类型的成像光谱定量分析识别技术 ..... 51
一、示范区典型地物波谱及其特征分析 ..... 51
（一）地物波谱特性及其机理 ..... 51
（二）地物光谱特征分析方法 ..... 53
（三）示范区典型土地利用地物光谱特性 ..... 53
二、成像光谱数据特征提取技术 ..... 59
（一）光谱特征提取方法 ..... 59
（二）光谱维特征提取技术 ..... 64
三、成像光谱数据的分类识别技术 ..... 64
（一）光谱角制图(SAM)的分类技术 ..... 65
（二）面向土地利用的多级分层决策树分类技术 ..... 67
（三）精度评价 ..... 72
四、利用成像光谱数据的土地利用/覆被变化信息提取方法 ..... 78
（一）基于图斑单元的变化信息提取技术 ..... 78
（二）基于两个时相成像光谱数据的变化信息提取技术 ..... 82
（三）基于成像光谱数据与常规全色遥感数据的变化信息提取技术 ..... 86
（四）基于光谱参数的变化信息提取技术 ..... 87
（五）基于成像光谱数据遥感监测技术流程 ..... 88
第六章　基于高光谱遥感技术的土地质量指标信息提取方法研究 ..... 91
一、土壤有机质含量光谱信息提取 ..... 91
（一）光谱分析 ..... 92
（二）单相关分析 ..... 93
（三）逐步回归分析 ..... 98
（四）小结 ..... 102
二、土壤水分含量光谱信息提取 ..... 103
（一）国内外研究概述 ..... 103
（二）水吸收峰特征提取 ..... 104
（三）与光谱反射率相关分析 ..... 106
（四）与水吸收峰特征值相关分析 ..... 106
（五）小结 ..... 108
三、基于成像光谱数据的土地质量评价指标参数成图 ..... 109
第七章　高光谱影像土地利用/覆被信息提取与分类技术示范应用研究 ..... 111
一、基于高光谱影像的典型地类光谱库 ..... 111
（一）典型地类感样区选取 ..... 111
（二）基于光谱纯化技术提取纯净像元 ..... 112
（三）示范区典型地类波谱图库 ..... 112
二、基于影像质量和典型地类光谱可分性的波段选择 ..... 116
三、基于分层方法的土地利用/覆被一级自动分类 ..... 117

四、矢量数据辅助下的人机交互土地利用/覆被二级分类 ..... 122
（一）土地利用/覆被二级类型自动分类 ..... 122
（二）土地利用/覆被二级类型人机交互式分类 ..... 123
五、高光谱影像土地利用/覆被分类精度评价 ..... 124
（一）土地利用/覆被类型一级地类自动分类精度评价 ..... 124
（二）土地利用/覆被类型二级地类自动分类精度评价 ..... 128
六、小结 ..... 128
第八章　基于成像光谱数据土地利用动态遥感监测应用示范 ..... 129
一、变化信息检测 ..... 129
二、监测结果分析 ..... 131
结束语 ..... 136
参考文献 ..... 137

# 第一章　总　论

高光谱遥感技术是自20世纪80年代开始发展起来的遥感前沿技术。1983年第一幅由航空成像光谱仪（AIS-1）获取的高光谱图像以全新的面貌呈现在科学界面前，标志着第一代高光谱分辨率传感器面世。高光谱遥感的特点是光谱分辨率高，波段连续性强，能获得多光谱传感器无法获得的精细的光谱信息。成像光谱技术为人们提供的数据产品包含了丰富的表征地物生物理化特性的光谱信息，使研究人员可以利用地物光谱特征定量地分析、识别地物类型和确定物质性质及其组成成分，可以解决许多常规遥感手段无法解决的问题。世界各国都先后研制了各种类型的成像光谱仪，并且通过大量航空飞行试验研究，在数据获取、辐射定标、光谱重建、数据处理、地物识别等方面取得了很大进步，发展了多种辐射校正、光谱重建、波形分析、光谱识别、定量反演等方法。经过近二十年的发展，成像光谱技术已经广泛应用于地质勘探、植被遥感、资源调查、城市遥感、环境监测、精细农业等研究领域，并充分显示了其在定量化遥感方面的潜力。随着成像光谱技术进入航天遥感，这项技术将成为资源环境动态监测的有力工具，目前国际上已经利用低空间分辨率的MODIS遥感数据进行资源环境的综合观测，以及利用高分辨率的HIRIS以及AVIRIS数据进行海洋监测，同时在诸如大气圈化学、植物生态过程和脆弱生态系统等领域得到一定利用。我国也及时跟踪该项高科技技术的应用研究，在“863”工程中，应用高光谱成像技术在数字城市、精细农业领域已经取得了较大进展。

成像光谱技术在土地动态监测中的应用受到了越来越多的关注，其中成像光谱数据的分类识别与变化检测是土地动态监测的关键技术。一方面，人们对传统的分类方法如最大似然法、主成分分析法、人工神经网络法不断探索新的途径以适合成像光谱数据量大的特点，涌现了改进的多级最大似然法，分块主成分分析法等新方法。另一方面，以光谱匹配识别为主要手段的分类技术利用成像光谱数据的重建光谱与地面光谱匹配，采用混合光谱分解技术，直接获取地物组成成分，包括光谱角度填图（SAM）、匹配滤波（MF）、正交子空间投影法（OSP）等方法。在成像光谱数据变化检测方面，目前还没有形成成熟的技术方法。混合像元的识别是土地利用/覆被类型识别的难点。

目前国内外利用高光谱遥感数据进行土地质量指标定量反演研究趋势集中在土壤光谱反射特性研究和利用成像光谱数据进行植被覆盖与土地退化研究方面。在土壤研究方面，土壤光谱反射特性的研究是土地质量指标定量反演的物理基础，基于土壤光谱反射特性的土地质量指标反演主要集中在土壤有机质、土壤水分和土壤质地方面。成像光谱技术的价值主要在于对土壤类型制图、土壤矿物成分鉴别、土壤温度（如用TIMS或ASTER数据）监测，以及从成像光谱数据中定量反演土壤物理化学参数，以便进行土地生产力评价，以及监测由于风蚀、水蚀、盐渍化造成的土地退化现象。在植被和生态应用研究方面，成像光谱数据可定量研究植被的组成成分，已经在植被指数、植被叶面积指数、光合有效辐射

等因子的估算中以及在植被生物化学参数分析、植被生物量和作物单产估算、作物病虫害监测中得到广泛的应用。

随着土地资源调查的进一步深入，土地资源管理已从数量管理向质量管护和生态管护方向发展，这对土地资源调查与监测提出更高的要求。土地动态监测将从以往单一的土地数量监测向土地质量监测和生态监测发展，同时向着自动化、定量化的方向发展。利用成像光谱技术高光谱分辨率的特点可增加土地利用 / 覆被类型识别的程度和精度，为土地调查、评价和管理提供更丰富、精确的数据源，对土地资源的管理具有重要意义。同时，高光谱分辨率遥感将反映地物性质的光谱与确定其空间和几何关系的图像革命性地结合到了一起，在获取研究对象影像的同时获得每个像元的光谱分布，定量分析地球表面生物物理化学过程和参数，为土地质量监测提供了一种新的技术手段。将成像光谱技术引入土地动态监测和土地质量监测，会极大地改善土地动态监测技术流程的自动化程度和效率，提高土地质量监测的水平，扩展监测内容，降低调查成本，缩短调查周期，提高调查成果的科学性、客观性和稳定性，全面提高对地观测技术在国土资源调查应用中的技术水平，推动国土资源调查工作主流程信息化的进程。

面对不断增长的海量成像光谱数据，如何从中有效地提取土地资源信息进行深层次加工和应用，以满足不同领域用户的需求，是国内外学者研究的热点。利用成像光谱技术进行土地动态监测研究重点主要表现为：

- 定标模型研究，即研究成像光谱数据的定标、定量化和大气纠正模型与算法，依此实现成像光谱信息的图像 - 光谱转换。
- 定量分析技术研究，涉及基于光谱数据库的光谱匹配识别方法、混合光谱分解方法、光谱特征分析方法等。
- 信息提取方法研究，如成像光谱影像的特征提取、分类识别、数据融合等。
- 可视化技术研究，包括成像光谱影像的立方体显示等。
- 数据压缩编码技术研究，包括海量成像光谱数据的实时压缩和高保真有损压缩技术的研究。
- 成像光谱关键应用参数反演技术研究。

在此背景下，国家科技部中国高技术研究发展计划“ 信息获取与处理技术 ”（ 863-13）主题设置了“ 对地观测技术在国土资源调查中应用 ”课题，开展了“ 成像光谱技术在土地动态监测中的应用 ”研究。成像光谱技术在土地动态监测中的应用研究是针对国土资源大调查中的土地动态监测所采用的多光谱数据源无法解决部分土地利用 / 覆被类型分类识别和变化检测的问题，以及目前土地动态监测流程定量化和自动化水平不高的状况，通过成像光谱技术的研究，重点提高对耕地、林地、草地、园地等易混分类型的识别精度，解决土地动态遥感监测中土地利用 / 覆被变化类型识别的定量化和自动化问题，提高土地遥感动态监测技术流程的自动化程度和效率；研究对地观测信息与地面观测信息的多源数据的信息融合、信息挖掘和提取技术，进行交叉和综合分析，提高土地利用变化的解译能力，应用于土地利用基础图件更新；开展利用成像光谱数据进行土地质量指标信息提取方法研究，实现对由土地肥力下降、盐渍化等造成的土地质量退化监测。

本研究的主要任务是在已有的以 TM 和 SPOT 为主要数据源的土地动态监测基础上，通过1000～3000km²宜兴试验区的应用示范，开发将成像光谱数据融入的土地动态监测技术，

形成土地利用/覆被类型定量分析识别与变化信息提取技术、基于成像光谱的土地利用/覆被分类识别软件系统和实用化的基于成像光谱的土地动态监测技术流程。实现将成像光谱数据作为土地利用动态监测的三大遥感数据源之一、提高土地利用/覆被类型识别准确度与几何精度的目标。

通过两年的研究工作，主要取得了以下研究成果：

其一是建立了成像光谱数据用于土地动态监测的地物光谱特征数据库，构建了宜兴试验区土地利用/覆被类型成像光谱特征模型，编制了基于成像光谱技术的土地利用/覆被分类识别软件系统。在研究中，采集了宜兴试验区耕地、园地、林地、建设用地、水域等主要土地利用/覆被类型的光谱曲线，构建了试验区地物光谱数据库，数据库具备光谱数据交互式查询、显示、编辑和输入/输出，以及光谱运算、重采样和光谱匹配等基本功能。同时收集了标准波谱数据库，包括目前几个对公众开放的重要波谱库，如John Hopking大学的热红外及植被波谱库，美国地质调查局USGS开发矿物波谱库以及NASA喷气推进实验室JPL开发的标准物质成分波谱库，对典型地物的光谱数据进行了分析研究。在此基础上，根据现有土地利用/覆被分类体系，通过去噪、光谱归一化等处理，消除了由于时相、区域、天气等因素对光谱特征曲线造成的影响，采用光谱微分技术、波形分析技术等多种光谱特征分析方法来提取地物光谱特征，建立了耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域等八大类土地利用/覆被类型光谱特征模型，分析了反映地物属性的光谱特征区间和参数，进行了土地利用/覆被类型的特征光谱区间发掘。本研究解决了成像光谱辐射定标、波谱特征分析、光谱匹配识别、混合光谱分解等关键技术，提出了基于成像光谱数据的土地利用/覆被分类识别技术，包括基于匹配滤波的方法和基于统计理论的方法等，最终形成了利用成像光谱数据的土地利用/覆被分类识别方法；同时开发了基于高光谱遥感数据处理的土地利用/土地覆被分类处理模块，实现了高光谱数据的预处理与分类信息的自动提取。

其二是形成了土地利用/覆被类型的成像光谱定量识别技术与土地利用变化信息提取技术流程，提出了基于分层控制思想的高光谱影像土地利用/覆被分类方法，并利用成像光谱与其他遥感影像融合的异常光谱检测法，提出了基于成像光谱数据的土地利用动态监测技术，解决了土地利用动态监测中利用常规遥感数据只能确定变化范围，不能确定变化类型的关键技术。基于土地利用的多级决策树分类，每一步分类操作是在地物光谱特性分析下的光谱参量设计或光谱相似度分析，而所有的决策树对象均是一个非0/1的决策参量，专家知识可调节参量来决定土地利用/覆被类型的空间分布，这种方法体现了利用高光谱数据的波谱信息的特点。其分类方法对林地、园地和耕地三者分类的正确率基本在70%以上，与传统的最大似然分类相比，显著提高了对园地的分类精度，并减小了分类精度的波动性，对耕地、园地易混分类型的混分率显著降低，并初步实现耕地、园地、林地、草地的自动识别和二级类在人工目视解译辅助下半自动识别的目标。在土地利用变化检测中，通过两个时相影像交叉融合增强变化信息，根据不同变化类型间的光谱差异，利用监督分类法提取变化发生的位置、大小和范围。异常光谱检测法综合了逐像素比较法和分类后比较法的优势，检测结果既能确定变化范围，又能确定变化类型，避免了逐像素比较法无法确定变化类型的缺陷和分类后比较法由于前后两时相遥感影像单独分类引起的误差累积。利用成像光谱数据进行土地利用变化检测可自动检测《全国土地分类（过渡期间适用）》绝大多数二级类型之间的相互转变，提取的图斑边界准确，类别噪声或伪变化信息较少，变

化信息检测率达 95% 以上，漏提图斑不足 8%，误提图斑小于 5%。

其三是研制了高光谱遥感进行土地质量指标信息提取的技术流程，探索了将其应用于土地质量监测的潜力，建立了试验区高光谱遥感土地质量指标的反演模型，进行了试验区土地质量指标参数成图，初步可定量判别试验区土壤肥力下降状况，提高了土地质量监测的水平。在研究中，首次将高光谱分辨率遥感技术引入到土地质量监测中，根据高光谱遥感技术特点结合土地质量指标光谱特点，通过分析试验区土壤样品的光谱数据与理化特性之间的关系，运用光谱特征提取、微分技术等方法，对 14 种光谱反射率变换特征的分析，提出了土壤有机质、土壤水分等光谱特征指标。运用多元统计分析、微分光谱分析及基于光谱位置变量的分析技术，建立了土地质量指标的高光谱反演模型。利用经验线性法通过地面同步测量的布标和水体的光谱数据对试验区成像光谱数据进行了地物光谱重建，对生成的反射率图像利用地面光谱所建立的反演模型，对高光谱遥感图像进行了土地质量指标参数成图。

其四是开展了成像光谱技术在土地动态监测中的应用示范研究，并面向土地利用基础图件更新探索了对地观测信息与地面观测信息综合分析与处理技术路线。在研究中，选择江苏宜兴试验区进行试验飞行，进行实用型模块化机载成像光谱仪 OMIS 的成像光谱数据获取，并同步进行地面光谱数据的获取。开展了利用机载 GPS 数据进行 OMIS 图像几何校正的研究，提出了 OMIS 图像几何校正的处理流程，该方法对 OMIS 图像因扫描方式引起的系统畸变以及地形、外方位元素等引起的非系统畸变进行了有针对性的校正。并建立了统一数学地理基础，进行多源数据的配准与套合和矢量－栅格一体化的多源数据的标准化表达与整合，用于土地利用 / 覆被分类和土地利用动态监测。此外，还开展了基于地面观测信息与对地观测信息综合分析与处理技术的土地利用基础数据更新应用试验，建立了一套综合应用地面观测信息与对地观测信息进行土地利用基础数据更新的技术流程。

通过应用示范研究，完成了 10 条航带的几何纠正与影像镶嵌工作，形成了 1∶1 万全分类土地利用图和土地利用动态监测图及土地利用基础数据更新图。对宜兴试验区 128 波段 OMIS-I 机载成像光谱数据，利用多级分层决策树综合分类方法，实现了对土地利用 / 覆被一级类（林地、园地、水体、耕地）自动分类，分类精度达到 94.9%，Kappa 系数 为 0.93，园地漏分率较高为 7.59%，耕地漏分率最低为 2.23%，耕地错分率最高为 11.47%，林地错分率为 8.99%，园地错分率为 0.38%，水体错分率为 0。采用土地利用矢量数据辅助和人工目视解译对部分二级类型进行细分，可获得可靠精度分类结果，结果分类精度达到 90%。试验区研究表明，多级分层决策树综合分类方法在高光谱影像土地利用 / 覆被分类具有可操作性和较高的精度保证。以变化较集中的 H50G016092 图幅进行土地利用动态遥感监测试验，基于 2000 年 9 月和 2001 年 9 月两个时相 SPOT+TM 融合数据共提取变化图斑 6 个，基于 2002 年 4 月成像光谱数据与 2000 年 9 月 SPOT+TM 融合数据共提取变化图斑 13 个；基于两个时相 SPOT+TM 融合数据和基于成像光谱数据与 SPOT 数据对新增建设的检测效果基本相同，但基于成像光谱数据可进一步区分新增建设占用的地类。基于成像光谱与高空间分辨率数据进行变化检测，提取图斑边界准确，类别噪声或伪变化信息较少，变化信息检测率达 90% 以上，漏提图斑不足 10%，误提图斑约为 15%～20%，大大提高了图斑提取精度和边界修正工作效率。基于成像光谱和 SPOT-5 数据可以满足当前土地利用动态遥

感监测精度要求，最小可检测图斑为0.4～0.6亩[1]，面积相对误差为3%～5%，几何点位精度为6～8m。

成像光谱技术在土地动态监测中的应用研究立足于国土资源管理对土地资源监测的需求，在系统地分析成像光谱技术应用于土地动态监测的相关机理和方法基础上，研究了成像光谱数据与其他遥感数据和地面调查数据集成与融合技术，建立了成像光谱技术并辅助于其他数据的土地动态监测技术体系和作业流程，其成果具有较大的实践价值和应用前景：

- 成像光谱技术应用于土地动态监测的技术方法可显著地提高土地利用/覆被类型的判读或分类精度，提高工作效率；其技术体系和作业流程可直接地应用于国土资源管理决策和今后的国土资源大调查的土地利用动态遥感监测调查工程中，极大地增强了国土资源监管的快速反应能力，为快速、准确的提供土地动态信息提供了技术保障，对于促进高新技术在土地动态监测中的应用和土地科技创新具有重要作用。
- 通过本研究建立的成像光谱技术在土地动态监测中应用技术流程，不仅可在全国推广应用，而且通过成像光谱技术在重点地区土地生态环境监测、城乡结合部土地动态监测和土地基础数据更新中的示范工程研究，建立适合不同类型区的土地动态监测技术流程和土地基础数据更新技术，可为基于成像光谱技术的土地动态监测产业化提供技术支撑。这些研究的成功，将会促进国土资源大调查中的土地动态监测工作，具有更好的经济效益和社会效益。
- 成像光谱技术在土地监测中的应用不仅局限于土地利用/覆被类型的动态监测，而且还可对土地生态环境、土地质量和生产力进行动态监测，还可服务于土地利用变化与食物安全评估和土地生态环境评估等，从而可广泛应用于国家和地方的资源可持续利用和社会可持续发展的决策过程。此外，有关应用基础研究成果除可被国土资源管理部门直接应用外，还可在国家环境保护总局、水利部、建设部、国家林业局、农业部、中科院等专业部门以及高校和其他科研院所得到广泛的应用，市场应用前景相当广泛。

[1] 1亩=0.067公顷

# 第二章　成像光谱技术应用于土地动态监测研究发展趋势与研究设想

## 一、 成像光谱技术及其发展

高光谱遥感技术是自20世纪80年代开始发展起来的遥感前沿技术。经国际遥感界的共识，光谱分辨率在$10^{-1}\lambda$数量级范围的称为多光谱（Multispectral），这样的遥感器在可见光和近红外光谱区只有几个波段，如美国Landsat MSS、TM， 法国的SPOT等；而光谱分辨率在$10^{-2}\lambda$的遥感信息称之为高光谱（Hyperspectral）；随着遥感光谱分辨率的进一步提高，在达到$10^{-3}\lambda$时，遥感即进入超高光谱（Ultraspectral）阶段（陈述彭等，1998）。许多物质的特征往往表现在一些狭窄的光谱范围内，如何捕获物体的这种特征而又不失其整体形态及与周围地物的关系，这就是高光谱分辨率遥感产生和发展的基础和要回答的问题（童庆禧，2000）。高光谱遥感的特点是光谱分辨率高，波段连续性强，能获得多光谱传感器无法获得的精细的光谱信息，由于其光谱分辨率高达纳米数量级，因此遥感器在0.4～2.5㎜范围内可细分成几十个，甚至几百个波段，光谱分辨率为5～10nm。由于是超多波段成像 ，若以波长为横轴、灰度值作纵轴 ，高光谱图像上每一个像元点在各通道的灰度值都可形成一条精细的光谱线 ，这样就构成了独特的超多维光谱空间，如图1.1所示。

高光谱遥感的发展，从研制第一代航空成像光谱仪算起已有20多年的历史，并受到

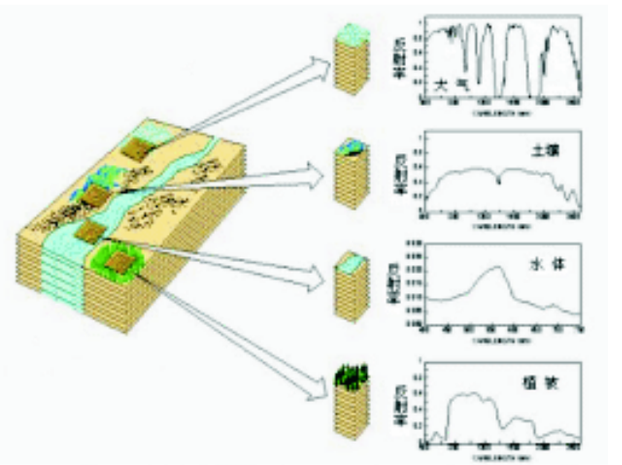



图1.1　成像光谱学的基本概念
（据Green et al., 1998）

世界各国遥感科学家的普遍关注。1983 年，第一幅由航空成像光谱仪（AIS-1）获取的高光谱图像以全新的面貌呈现在科学界面前，标志着第一代高光谱分辨率传感器面世。第一代成像光谱仪以 AIS-1 和 AIS-2 为代表，这类成像光谱仪以推扫方式的二维面阵列成像，AIS-1 用 32 × 32 面阵列成像，而 AIS-2 则用 64 × 64 面阵列成像。这类高光谱分辨率数据由于二维固体阵列探测器宽度的限制而使获得的图像宽度（每行像元数）非常有限，这一点阻碍了这一仪器的商业发展，但它确实开创了高光谱和高空间分辨率兼有、光谱和图像合一的高光谱遥感技术新时代。1987 年第二代高光谱成像仪问世，美国宇航局（NASA）喷气推进实验室（JPL）从 1983 年开始研制航空可见光 / 红外光成像光谱仪（AVIRIS），并于 1987 年获得第一幅 AVIRIS 图像。AVIRIS 是首次测量全部太阳辐射覆盖的波长范围（0.4～2.5㎜）的成像光谱仪，是第二代成像光谱仪的代表，与第一代成像光谱仪的主要区别在于 AVIRIS 以扫描式线阵列成像。由美国研制的高光谱数字图像实验仪（HYDICE）在 1996 年开始使用。它的探测范围与 AVIRIS 相同（0.4～2.5㎜），但用 CCD 推扫式技术成像，有 210 个波段，宽度 3～20nm 不等。与此同时，一些发达国家竞相投入力量研究成像光谱仪，加拿大的 FLI/PML、CASI，澳大利亚的 AMSS、Hymap 是其中的典型代表。中国的成像光谱仪在开发上也有较大的进展，1991 年 64 波段可见光－近红外模块式机载成像光谱仪（MAIS）研制成功，并投入实验与研究；“九五”期间在 863 项目的支持下，完成了实用型模块化航空成像光谱仪系统（OMIS Ⅰ、OMIS Ⅱ）和推帚式成像光谱仪（PHI）的研制。

现在的高光谱遥感器正由航空遥感为主转向航空和航天高光谱遥感相结合，星载与机载的区别是由高度相差悬殊而引起，对于相同的地面分辨率，星载仪器的 IFOV 要小几十到几百倍，相应的仪器灵敏度要高几十到几百倍；由于输入信号大幅度减小，仪器 SNR 也随之减小，保证有足够的 SNR 非常重要；在弱的输入信号情况下，探测元件辐射特性差异表现更为明显，获取均一性上好的探测元件决非易事。在星载遥感器中，美国 EOS 两颗卫星 Terra/Aqua 上载有中分辨成像光谱仪 MODIS（36 个波段），欧洲 Envisat 载有中分辨成像光谱仪（MERIS）波段数为 15。2000 年 11 月 21 日，美国 NASA 发射了一颗崭新的卫星－地球观测 -1（EO-1）卫星，它是一颗试验性卫星，目的是为了对卫星本体和遥感器的新技术进行验证，进而为 21 世纪地球观测卫星的设计和制造提供技术借鉴。EO-1 卫星内装先进陆地成像仪（ALI）、LEISA 大气校正仪（LAC）和高光谱成像仪（HYPERION）等 3 台仪器。其中 ALI 的用途和技术性能与 LANDSAT-7 上的 ETM+ 相当，LAC 用于测量大气水汽和气溶胶，HYPERION 是推扫式传感器，有一个望远镜，两个光谱仪，共有 220 个波段，波段连续，光谱分辨率 10nm，光谱范围 400～2500nm，地面分辨率 30m，机上标定系统的绝对辐射标定精度达到 6%，这是一台名副其实的成像光谱仪，其分辨率相当于目前的机载成像光谱系统，其性能好于 EOS Terra 卫星上的 MODIS（36 个波段）。HYPERION 数据的最引人注目的应用是定量矿物填图，对提供面上的基础地质

表 1.1　HYPERION 的技术特性

| 波段数目 | 光谱范围 μm | 波段宽度 nm | 地面分辨率 m | 幅宽 km | 辐射精度 (%) | 量化等级 bit | 仪器质量 kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 220 | 0.40～2.50 | 10 | 30 | 7.5 | 6 | 12 | 49 |

信息意义重大。

美国空军于2001年7月19日发射了Mightysat-2.1卫星，其上载有FTHSI（the Fourier Transform Hyperspectral Imager）传感器，光谱范围350～1050nm共256个波段，地面分辨率15m。另外，美国空军曾于2001年9月21日发射了1颗高光谱高分辨率卫星OrbView-4，但发射失败，该卫星上装有2台遥感器，1台是高空间分辨率

表1.2　卫星高光谱数据源

| 卫星 | 国家 | 遥感器 | 分辨率/m | 波段数 | 名　称 |
|---|---|---|---|---|---|
| Envisat | 欧洲 | MERIS | 300<br>1200 | 15 | 中分辨率成像光谱仪 |
| Terra、Aqua | 美国 | MODIS | 250<br>500<br>1000 | 36 | 中分辨率成像光谱仪 |
| EO-1 | 美国 | Hyperion | 30 | 220 | 高光谱成像光谱仪 |
| Mightysat-2.1 | 美国 | FTHSI | 15 | 256 | 高光谱成像光谱仪 |
| OrbView-4（发射失败） | 美国 | Orbview | 8 | 205 | 高光谱成像光谱仪 |

多光谱遥感器（Pan分辨率为1m，Ms分辨率为4m），另1台是高分辨率高光谱遥感器，光谱范围450～2500nm，波段数205个，波段连续，地面分辨率8m。典型的高光谱遥感器的技术特性具体见表1.2。

# 二、成像光谱技术应用于土地动态监测国内外研究现状与发展趋势

成像光谱技术为人们提供的数据产品包含了丰富的表征地物生物理化特性的光谱信息，使研究人员可以利用地物光谱特征定量地分析识别地物类型和确定物质性质及其组成成分，可以解决许多常规遥感手段无法解决的问题。经过近20年的发展，成像光谱技术以其具有的精细光谱特点，已经广泛应用于地质勘探、植被遥感、资源调查、城市遥感、环境监测、精细农业等研究领域，并充分显示了其在定量遥感方面的潜力。世界各国都先后研制了各种类型的成像光谱仪，并且通过大量航空飞行试验研究，在数据获取、辐射定标、光谱重建、数据处理、地物识别等方面取得了很大进步，发展了多种辐射校正、光谱重建、波形分析、光谱识别、定量反演等方法。如美国、澳大利亚、日本、中国、法国等国家在开展大量航空飞行试验的同时，在数据获取、处理分析和信息提取模型以及应用等方法技术上都有很大发展。美国JPL、NASA和USGS在其本土内华达州的Cuprite矿区，开展了多次新型成像仪试验数据获取、分析方法等研究，并在澳大利亚、南非、以色列等国家的大矿区以及针对农、林、水、环境诸多方面的应用进行试验分析（Goetz et. al., 1985)。岩矿识别、矿物丰度制图以及找矿勘查是成像光谱应用的主要方向。1982年Goetz等人应用航天飞机上短波红外辐射计（SMIRR）的5个波段（带宽100mm)，成功地在埃及识别出高岭石和碳酸盐矿；在墨西哥州下加利福尼亚圈定了铁氧化矿、粘土矿以及明矾石矿。1984和1985年美国地质调查所的Fred A. Kruse利用三条航带的成像光谱数据进行了蚀变矿物填图试验，提取两

种类型的蚀变矿物。

我国中科院遥感应用研究所、国土资源部航空物探遥感中心、核工业部北京地质研究院、广州地质新技术研究所也相继在新疆哈图金矿区、阿克苏柯坪地区、河北张家口赤城—崇礼地区、广西桂林猫儿山铀矿区及北海市、内蒙古大青山、北京沙河镇、江苏常州等地区开展了地质岩性、矿物填图与矿产资源勘查与评价，城市土地利用调查，森林调查以及农作物精细估产等示范性工作，取得了很多很好的成果。1992 年中科院遥感应用研究所利用 MAIS 成像光谱数据在新疆阿克苏柯坪进行油气勘查研究中，根据矿物吸收指数成功地区分了该地区从寒武、奥陶、志留、泥盆到二叠系的地层。除上述典型地质应用之外，成像光谱技术在金、银、铜、铅、锌、铀等多种矿产勘查中也有许多示范应用（张宗贵，2000）。

此外，国外商业遥感图像处理系统针对常见成像光谱数据，相继推出成像光谱处理模块，这些系统有 RSI 公司的 ENVI，PCI Geomatics 公司的 PCI 和 MicroImages 公司 TNTmips，它们大都具有光谱分类、纯净像元提取、地物波谱库、MNF 变化、光谱角制图、匹配滤波等功能，为成像光谱数据的深层次应用奠定了基础。

由于具有较高的光谱分辨率，成像光谱技术在土地动态监测中的应用受到了越来越多的关注。其中，应用成像光谱数据进行土地利用 / 覆被分类识别与变化检测是土地动态监测的关键技术。一方面，人们对传统分类方法如最大似然法、主成分分析法、人工神经网络法不断探索新的途径以适合成像光谱数据量大的特点，涌现了改进的多级最大似然法，分块主成分分析法等新方法。另一方面，以光谱匹配识别为主要手段的分类技术，它利用成像光谱数据的重建光谱与地面光谱匹配，采用混合光谱分解技术，直接获取地物组成成分，如光谱角度填图（SAM）、匹配滤波（MF）、正交子空间投影法（OSP）等方法。利用成像光谱数据进行变化检测，目前还没有形成成熟的技术方法。混合像元的识别是土地利用 / 覆被类型识别的难点，这一方面比较典型的有美国马里兰大学的 Harsanyi 和 Chang 等人开发了一系列改进的 OSP 方法，并将 Kalman 滤波器用于线性混合模型中，这种线性分离 Kalman 滤波器不仅可以检测到像元内各种特征丰度的突然变化，而且能够检测对分类有用的目标特征。英国萨里大学的 Bosdogianni 等提出了利用 Hough 变换进行混合像元分类的方法，以及 Jin Kim 提出的模糊分割模型，Charles Ichoku 提出的几何光学模型，这些方法都从不同程度上解决混合像元的问题，而距离问题的真正解决尚有一定差距。

国内经过 863 — 308 主题专家科研人员多年的辛勤工作，以成像光谱技术为核心的对地观测技术取得了重大进展，获得了许多重要成果。其中“对地观测技术农业应用试验示范”课题研究成像光谱技术在精细农业方面的应用以及“对地观测技术应用于城市规划示范工程”研究成像光谱技术在城市制图系统的应用，均取得了一系列研究成果，为推动成像光谱技术在土地动态监测中应用提供了有益的经验。我国研究人员在追踪成像光谱技术的最新前沿技术的同时，积极开展自己的研究，提出许多独特的方法和见解，但与国外相比研究成果还显得较少，这与成像光谱数据源缺乏有关，随着我国成像光谱仪的研制成功和商业成像光谱数据产品的出现，这种局面将得到较大的改观，高光谱技术的研究与应用将会蓬勃的展开。

作为国土资源大调查重要内容的土地资源调查，其目的是获取准确、翔实的土地资

源动态信息，为不同层次的土地利用规划提供基础数据。目前土地资源调查的土地动态监测以 TM 和 SPOT 卫星影像为主，监测对象主要面向城市扩展。一方面受 TM 和 SPOT 卫星的光谱局限性，土地资源管理需要的土地利用的全部分类，尤其是对农业用地内部和建设用地内部地类的识别尚不能实现，无法为土地资源的高效管理提供翔实数据。另一方面，现有土地动态监测流程的定量化水平不够和自动化程度不高，较高精度的监测信息依然需要人工目视解译。为了实现国土资源领域工作主流程的信息化，土地动态监测向着自动化、定量化的方向发展，利用成像光谱技术高光谱分辨率的特点可增加土地利用 / 覆被类型识别的程度和精度，为土地调查、评价和管理提供更丰富、精确的数据源，对土地资源管理具有重要意义。将成像光谱技术引入土地动态监测，会极大地改善土地动态监测技术流程的自动化程度和效率，全面提高对地观测技术在国土资源调查应用中的技术水平，推动国土资源调查工作主流程信息化的进程。

## 三、 成像光谱技术应用于土地质量监测国内外研究现状与发展趋势

自 20 世纪中期以来，随着世界范围内的人口－资源－环境之间的矛盾越来越严重，土地退化（如土壤侵蚀、土壤肥力下降，灌溉区盐渍化，森林、草地的生产力下降等）问题愈加严重，土地质量问题也成为各国政府和学者所关注的热点问题。土地质量研究的根本目的在于实现土地资源集中、统一、协调、有序地高效管理，监测是其首要环节。长期以来由于技术方法和手段的限制，我国尚缺乏关于土地质量的整体准确信息，从而在很大程度上影响着决策的科学性。因此，如何采用先进的技术手段和最新的研究成果，对具有不同时空尺度的复杂的土地质量状况进行监测，来提高监测水平，扩展监测内容，成为摆在我们面前的首要研究课题。当前，国际土地资源管理的重要趋势是从数量管理向质量管护和生态管护方向发展（Lubchenco et al., 1991； Christensen et al., 1996；Dale et al., 2000），土地动态监测将从以往单一的土地数量监测向土地质量监测和生态监测发展。通过采集、分析和解译一系列时相的定量化数据，获取土地质量信息，探测土地质量的变化，及早识别土地质量变化的不利趋势，对于土地资源管理决策，最终实现可持续土地利用具有重要意义。高光谱分辨率遥感将反映地物性质的光谱与确定其空间和几何关系的图像革命性地结合到了一起，在获取研究对象的影像的同时获得每个像元的光谱分布，定量分析地球表面生物物理化学过程和参数，为土地质量监测提供了一种新的技术手段，使得土地质量监测各指标的定量反演成为可能。

将高光谱遥感技术引入土地质量监测，探索将其应用于土地质量监测中的潜力具有重要意义。根据高光谱遥感的技术特点结合土地质量指标光谱特点，运用多元统计分析技术、基于光谱位置变量的分析技术等方法，通过地面光谱特征分析和土壤理化特性分析，选择高光谱遥感技术手段所能监测的若干直接或间接反映土地质量状况的光谱指标，建立土地质量指标的光谱指标模型，进行高光谱遥感土地质量监测，达到提高土地质量监测水平，扩展监测内容，降低调查成本，缩短调查周期，提高调查成果的科学性、客观性和稳定性的目的。