

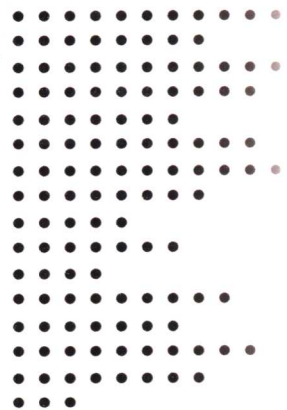
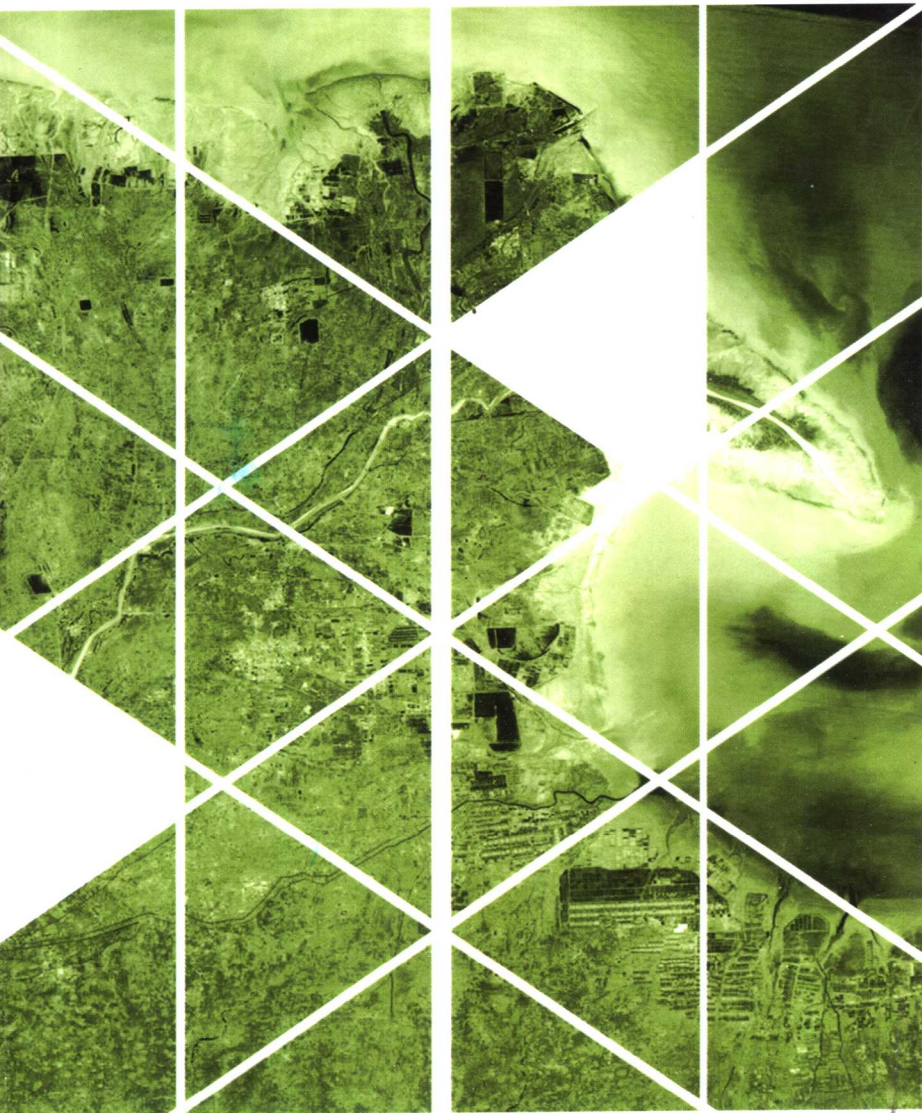


◎ 万余庆 谭克龙 周日平 编著



高光谱遥感

应用研究



 科学出版社
www.sciencep.com

高光谱遥感应用研究

万余庆 谭克龙 周日平 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书介绍了成像光谱学原理,以及高光谱遥感在农业、生态与环境、矿产资源调查等领域的试验和部分成果。阐述了地面光谱测试、高光谱遥感图像预处理以及分类识别的基本技术路线和注意事项,系统总结了植物、土壤光谱特征和分析方法,在环境监测和矿床探测领域作了一些应用尝试。

本书可供从事高光谱遥感应用领域的学者参考,也可作为高校从事相关专业研究的师生阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

高光谱遥感应用研究/万余庆等编著. —北京:科学出版社,2006
ISBN 7-03-017623-5

I. 高… II. ①万…②谭…③周… III. 光谱分辨率-光学遥感-应用-研究 IV. TP722

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 077500 号

责任编辑:朱海燕 韩 鹏 李久进 / 责任校对:赵燕珍
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 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 11 月第一次印刷 印张:16 3/4 插页:6

印数:1—2 500 字数:344 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

在可见光、近红外以及短波红外波段，地物以反射太阳光为主，通过仪器测定的光谱可以作为识别地物类型和诊断其状态的标志。

成像光谱学就是根据成像光谱仪图像与光谱合二为一的特点，利用从成像光谱或高光谱遥感影像所反演的地物反射光谱特征，研究地球表面物体的分类、物质的成分、含量、存在状态、空间分布及其动态变化的学科。它的发展提高了遥感的定量化水平，丰富了地球科学的研究手段和人们对地球资源环境的认知能力。

1983年世界上第一台将影像和光谱融和为一体的航空成像光谱仪在美国喷气推进实验室研制成功后，随即在矿物填图、植验研究中取得了良好的结果。研究表明，成像光谱在地质找矿、水环境、生态、大气等定量遥感研究中具有巨大潜力，从而引起了国际遥感界的高度重视。成像光谱技术的发展及其在多学科领域的应用一直处于国际遥感发展的一个重要前沿。20年来成像光谱技术已经取得了许多重大成就，数十种航空成像光谱仪研制成功并已在相关国家实现了航空业务运行，美国和欧洲等国家和地区还发展了自己的高光谱遥感卫星。MODIS、MERIS、CHRIS被应用于监测水质及大气成分等方面的试验，EO-1等也已发射升空并在国际范围内产生了很大影响。我国除了在航空高光谱遥感领域取得了很大进展外，还在国家“神舟”载人航天计划中成功地试验了我国第一台星载中分辨率成像光谱仪。

我国的成像光谱技术也是伴随着应用的需求而发展的。早在20世纪80年代中期，为适应地质找矿的需要，由中国科学院上海技术物理研究所率先研制了对矿物识别十分有效的短波红外细分光谱扫描仪，这一发展几乎与国际同步。由中国科学院遥感应用研究所、上海技术物理研究所、安徽光学精密机械研究所以及贵阳和广州地球化学研究所等研究人员组成的研究集体与国内致力于高光谱遥感研究发展的科技工作者多年来一直在高光谱遥感领域进行着不懈的努力，推动了我国成像光谱技术及其应用的发展，并取得了一系列重要的成果。

20世纪90年代以来具有71个波段的模块式成像光谱仪(MAIS)、推帚式高光谱成像仪(PHI)以及作业型模块式成像光谱仪(OMIS)及其相应的数据处理和分析软件的相继研制成功标志着中国高光谱遥感发展进入重要阶段。成像光谱或高光谱遥感技术在我国多学科应用和国际合作方面也取得了重要进展。国内外大量应用研究表明，

高光谱在岩石矿物探测、大气和海洋环境监测、植被精细分类和生物化学参数的提取等方面比常规多光谱遥感具有更大的优势和明显的效果。高光谱遥感科学技术在我国受到了高度的重视，它不仅成为在国际合作中发挥我国优势的高新技术领域，而且也在国家重要航空航天对地观测体系中占有一定的地位。在我国计划于 2007 年发射的两项航天计划，即国家环境和灾害监测卫星星座和探月工程中成像光谱仪都将成为重要一员，发挥它所特有且不可替代的作用。

虽然我国在高光谱遥感领域取得了重要成果，但我们也不无遗憾地看到，能反映我国在这一方面成就的论著仍然是凤毛麟角。以该书的作者为主体的研究集体从 2000 年起针对所在地区和行业业务特点开展了一系列很有价值又卓有成效的研究工作。延河流域的研究，论证了高光谱技术应用于黄土高原生态与环境调查的可行性和实用性，分析了不同植物、土壤、水体的光谱特征，探索了光谱库的建立方法，建立了基准观测带以植物为主体的地物光谱库；研究了植物组分、水体泥沙含量、土壤类型对光谱的影响；探索了高光谱图像定量预测水体泥沙含量的模型和方法。在宁夏汝箕沟煤田，研究了热红外波段对煤田自燃的监测效果，探索了煤田烧变岩的识别特征，还研究了热红外波段图像与地表温度的定量关系及地表温度的定量反演方法；基于岩石矿物组分对光谱的影响，研究反演了岩石矿物含量，定量分析了岩石反射率与三价铁含量的关系；针对矿区环境监测的需要对矿区粉尘污染强度也进行了定量分析研究。特别值得赞赏的是在 2003 年 3 月，他们将高光谱遥感与地球物理方法相结合成功地对举世瞩目的陕西秦始皇陵区进行了开创性的探索，成功地提取了陵区火烧土和夯土层的信息，对高光谱遥感考古进行了非常有益的尝试和探索。

在书中，作者也涉及高光谱图像的恢复和处理方面的问题，实现了利用 DEM 及飞行姿态参数对高光谱图像的几何校正，野外实测光谱数据的快速预处理和建库。作者把模糊识别方法引入高光谱图像分类之中，对高光谱图像和光谱数据处理模块的集成、各种常见分类精度的分析和评价也作了系统的论述。

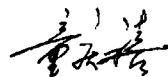
可喜的是，他们的这些研究工作与本单位和部门的科研和生产项目紧密结合，研究目标具有很强的针对性，取得了明显的效果。该书比较系统地归纳和总结了高光谱遥感数据处理方法和应用工作流程，对研究和生产工作中的实际作业以及可能碰到的问题具有重要的示范性。

该书系统地介绍了高光谱遥感的原理，国内外研究现状，高光谱遥感信息获取、处理、分类和识别，以及高光谱在植被、土壤、环境、地质等领域的研究和应用。在研究内容和分析方法上结合了行业和区域的特点，具有很强的创新性。在拜读该书初稿之余，除对作者们数年坚持不懈的努力和在光谱遥感技术发展和应用领域的拓展方面所做的工作及所取得的成绩深表敬意外，还特别对他们在结合行业特点所做的有

利于高光谱遥感产业化的努力和创新表示钦佩。

我相信该书会成为我国高光谱遥感研究发展广厦中一个有力的支柱，它将会对高光谱遥感的普及和推广应用做出应有的贡献。我对该书的出版表示祝贺！

中国科学院院士



2006年6月25日

前 言

自 20 世纪 80 年代初提出成像光谱概念以来, 高光谱遥感始终处于遥感科学技术的前沿, 并且得到了不断的发展。随着航天高光谱系统的成功运行, 以及一些新型、高性能高光谱系统的完全实用化和计算机技术的快速发展, 目前高光谱遥感研究的重点已集中到高光谱遥感应用领域的拓展和应用技术的提高上。过去人们常常为这种超多波段和巨大的数据量所困扰, 但是现在这些问题都变容易了, 许多学者进行了更深入的探索, 在一些新领域开展应用试验, 还有一些研究人员开发出新的信息分析算法, 这无疑是高光谱遥感技术开始实用和普及的标志, 预示着高光谱遥感具有良好的发展前景。

为了探索高光谱遥感技术在矿产资源勘查、生态与环境监测、考古探测等方面的应用方法和效果, 国家科技部资助实施了“863”课题“西部金睛行动——西部生态环境本底调查”项目(2000~2001年)和“考古遥感与地球物理综合探测技术”项目(2002~2003年), 中国煤炭地质总局资助实施了“高光谱遥感应用研究”项目(2000~2005年), 宁夏回族自治区煤炭厅资助实施了“宁夏汝箕沟煤田自燃动态监测”项目(2001~2002年), 国家历史博物馆资助实施了“丰镐地区历史与环境变迁”考古研究项目(2004~2005年)。这些课题先后选择陕北延河流域、秦始皇陵区、宁夏汝箕沟煤田、内蒙古乌达煤田、太原西山煤田、陕西长安一户县作为研究区, 利用我国“863”计划研制的 OMIS1、OMIS2 成像光谱仪, 通过一系列高光谱飞行, 先后进行了植被、煤火、烧变岩、水污染和粉尘污染、地下文物遗存高光谱信息提取研究, 取得了一些成果。

本书介绍的主要研究内容包括: ①高光谱遥感机理及其在农业、生态与环境、矿产资源调查等领域的试验和应用现状; ②野外光谱测试的流程和注意事项, 野外光谱数据预处理和建立光谱库的方法; ③高光谱遥感图像辐射校正和利用惯导参数进行几何校正的方法; ④模糊识别理论在高光谱图像分类识别中的应用试验, 并根据多个试验区的分类结果, 比较了常用高光谱遥感图像分类识别方法的优劣; ⑤以延河流域的野外植物光谱数据为依据, 分析了各种植物的光谱特征及其生化组分的计算方法和结果; ⑥定量研究水体光谱反射率与水体中土壤含量的关系, 提出定量预测水体泥沙含量的高光谱遥感图像最佳波段; ⑦对水体污染程度和污染类型的光谱特征进行了相关分析; ⑧定量研究热红外波段图像与地表温度的关系, 比较了 OMIS1 的各个热红外波段对探测自燃热异常的有效性, 探索了地表温度的定量遥感方法; ⑨定量研究岩石光

谱反射率与 Fe^{3+} 的关系, 对利用高光谱遥感图像反演岩石矿物含量进行了有效的尝试; ⑩利用高光谱遥感探测粉尘污染强度的方法; ⑪高光谱遥感考古试验。本书还介绍了黄土高原生态与环境观测基准带地物光谱库、利用 DTM 和飞行姿态参数校正高光谱图像的结果, 以及秦始皇陵区高光谱遥感考古的效果。

本书是上述高光谱遥感应用研究认识的总结, 凝聚了研究人员的智慧和辛勤劳动, 也概括了作者从事高光谱遥感应用研究的经验和体会。参加上述各项目的单位还有: 中国科学院遥感应用研究所, 中国科学院上海技术物理研究所、中国测绘科学研究院等。其中, 中国科学院遥感应用研究所的童庆禧院士对项目给予了热心的指导和帮助; 赵永超博士亲临现场指导野外光谱测试和定标工作, 并与张霞博士一同承担了秦始皇陵区的高光谱图像预处理工作; 张兵博士和熊桢博士也给予了帮助。中国科学院上海技术物理研究所王建宇所长、薛永祺院士对高光谱遥感飞行给予了大力支持; 杨一德教授、刘延年博士、于龙博士亲临现场, 组织高光谱遥感飞行。正是他们的支持和帮助, 为我们顺利完成各项科研和生产任务提供了基本保障。

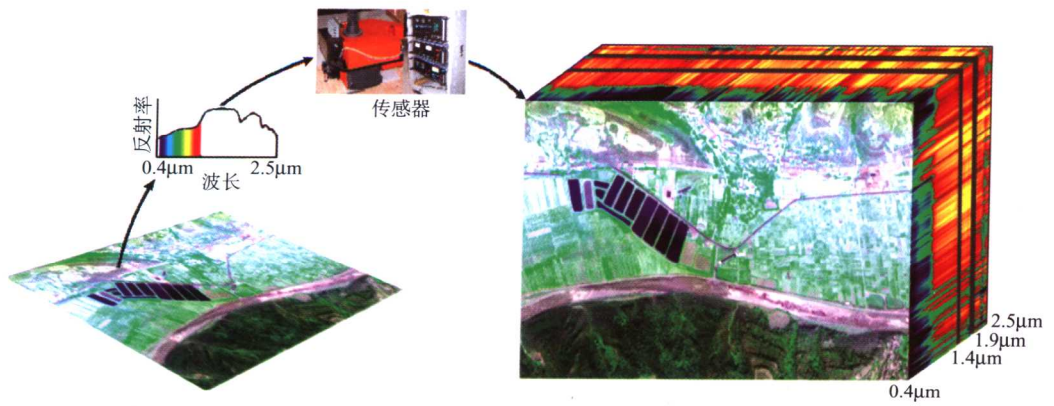
我们的科研工作还得到了各级领导、兄弟单位的支持和协助。在本书即将出版之时, 我们衷心感谢国家科技部高新司信息处、信息获取与处理技术“863”专家组、中国煤炭地质总局、中国煤炭地质总局航测遥感局、国家历史博物馆、陕西省考古研究所、宁夏煤炭厅灭火处、中国地质调查局、阎良飞行研究院、咸阳国际机场、延安机场、银川机场的各级领导和相关技术人员。另外, 我们也对曾经给予项目研究大力支持和热心指导的张延安、康高峰、马贺平、于志伟、吕录仕、袁国泰、林大杨、段清波等专家致以诚挚的谢意。

本书的第 1 章主要参考了国际著名的高光谱研究专家 R. N. Clark 的专著 *Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy*, 并且得到他的引用许可, 我们对 R. N. Clark 教授表示衷心感谢。

由于我们所掌握的资料和认识的局限性, 书中错误在所难免, 恳请读者批评指正。

编者

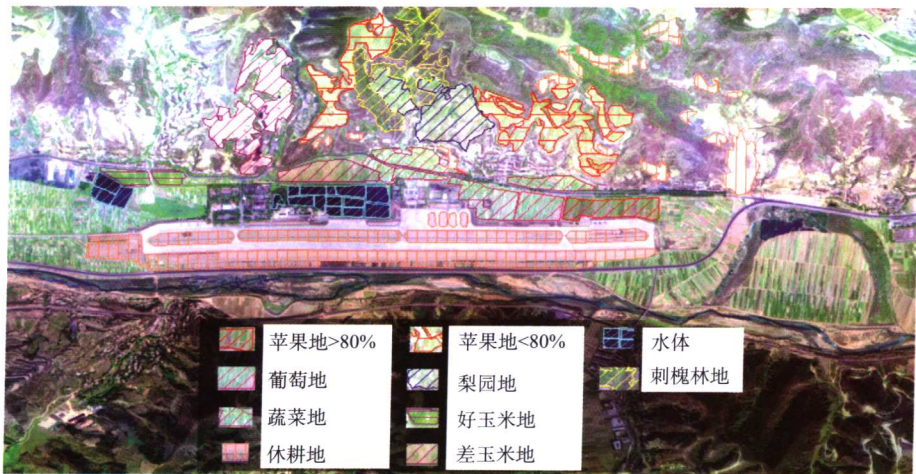
2006 年 2 月



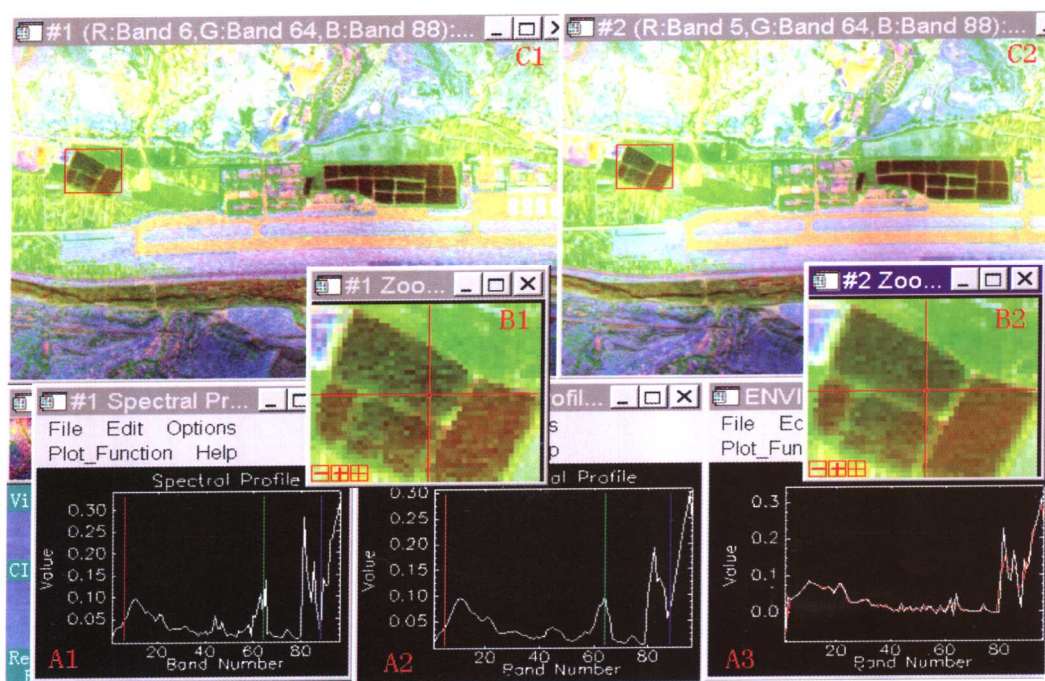
图版 I 高光谱遥感成像示意图



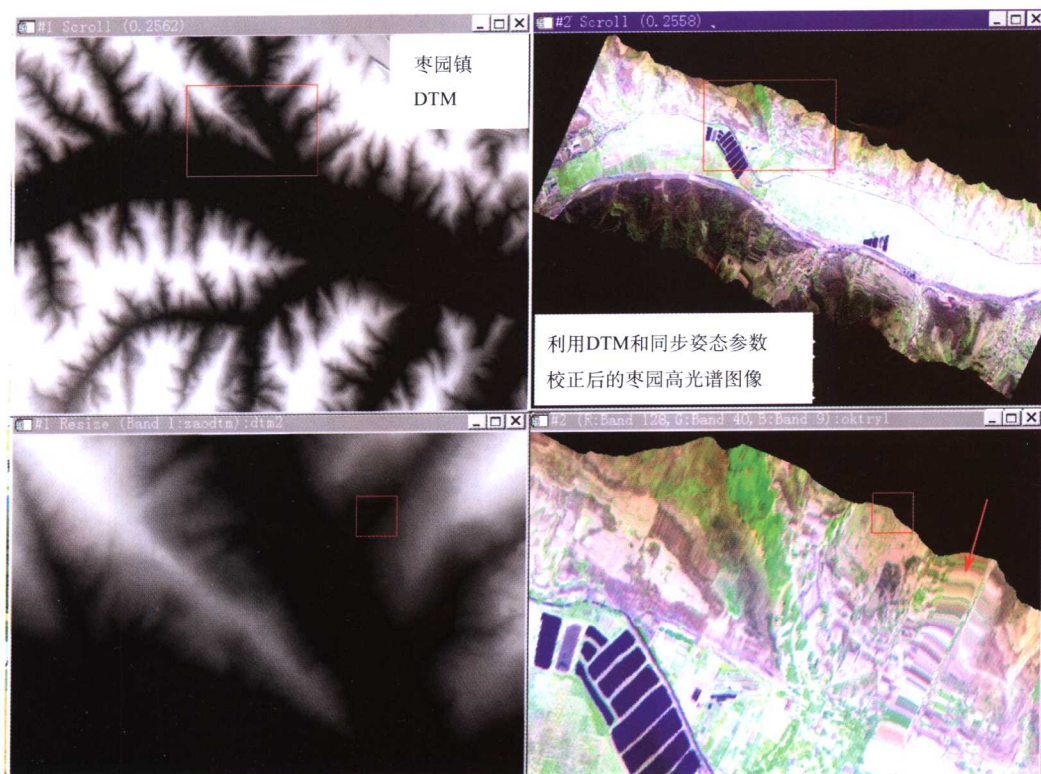
图版 II 枣园镇高光谱遥感图像及野外同步调绘草图



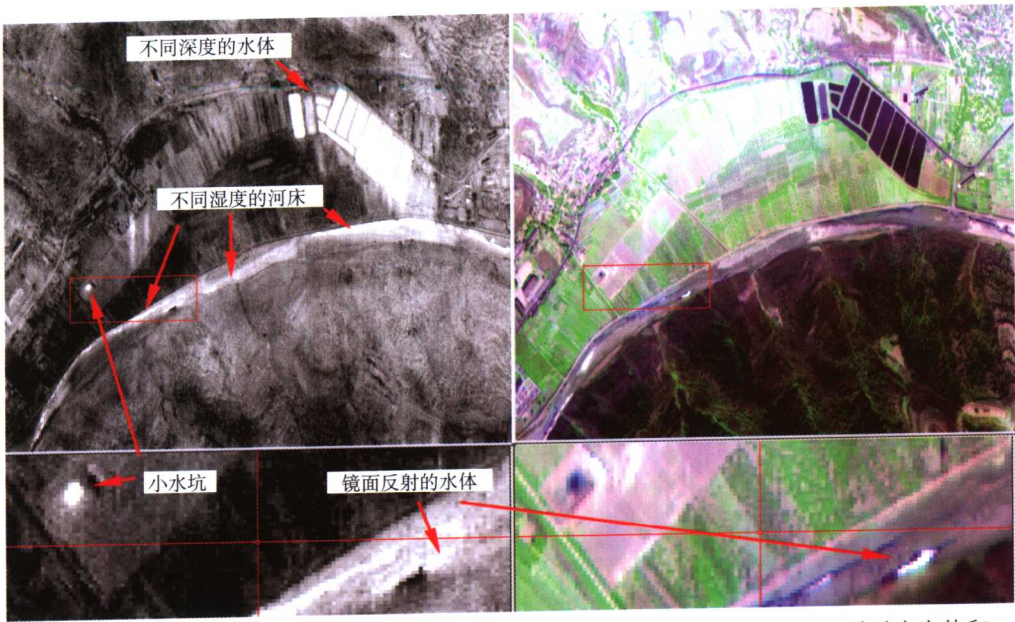
图版 III 延安机场高光谱遥感图像(包括同步调绘地物边界)



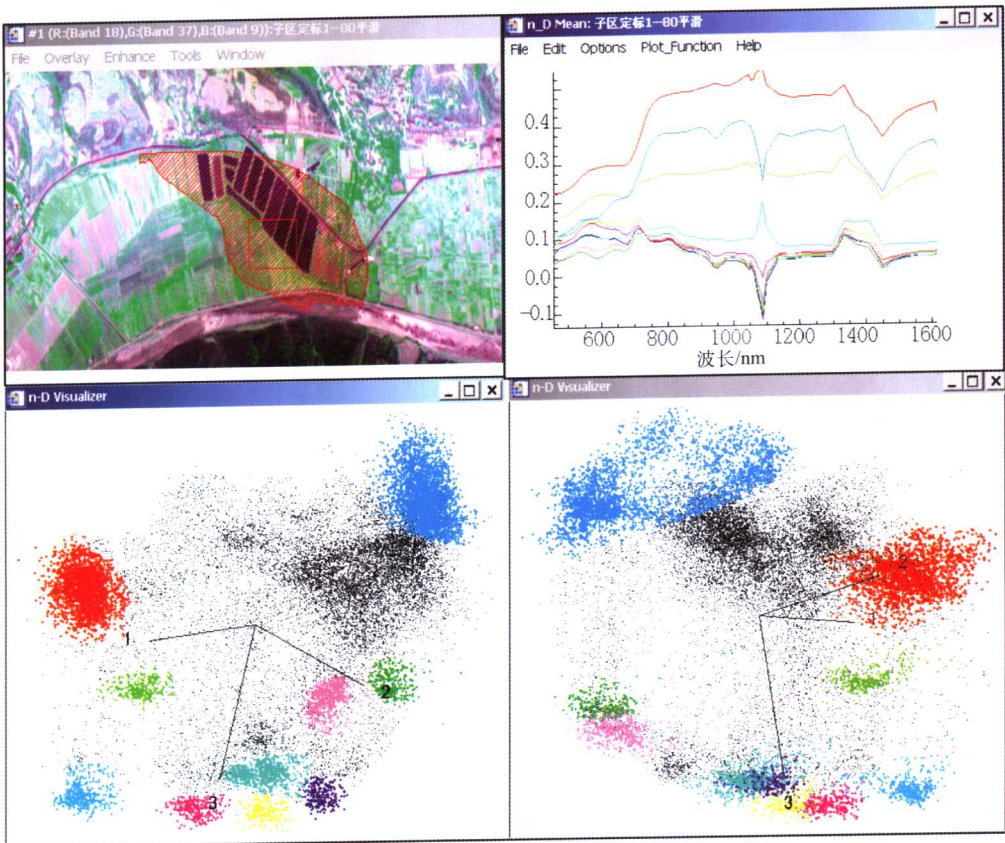
图版IV 光谱曲线平滑处理图像前后对比。处理前(C1,B1,A1), 处理后(C2,B2,A2), A3为处理前后光谱曲线对比图



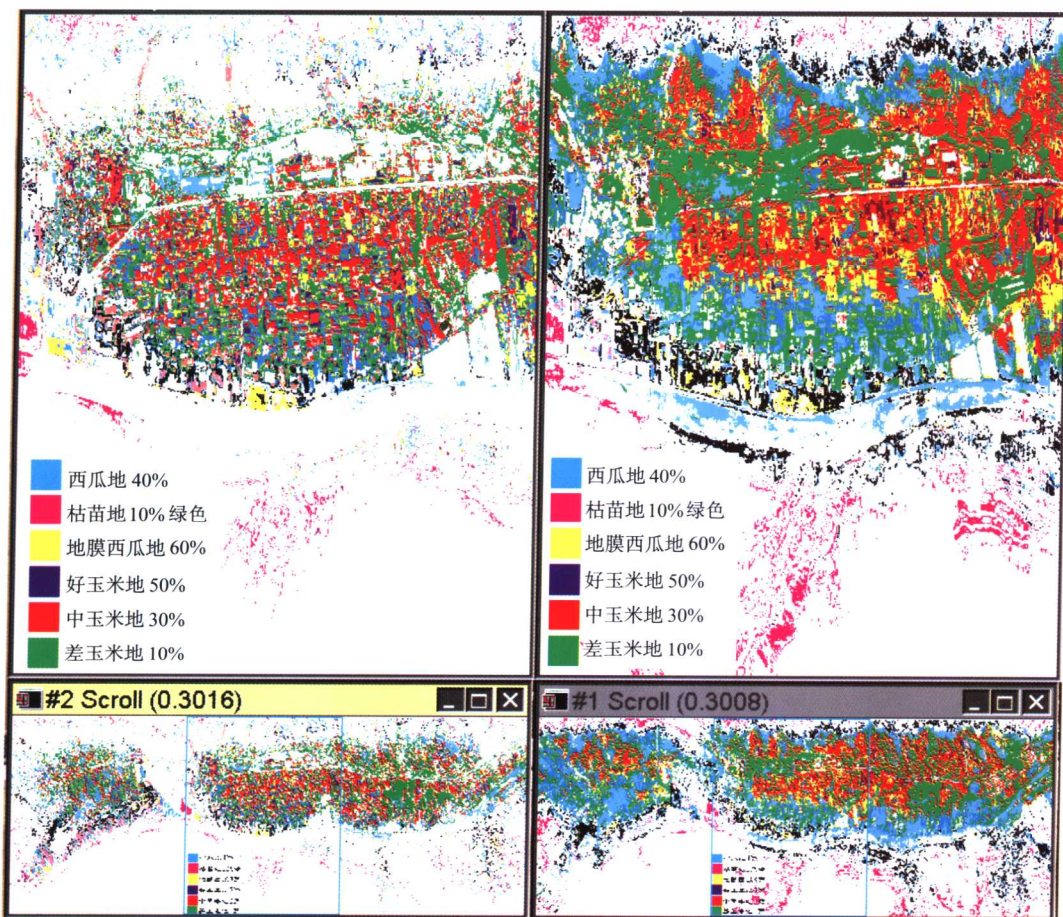
图版V 枣园镇高光谱遥感图像几何校正的结果对比图



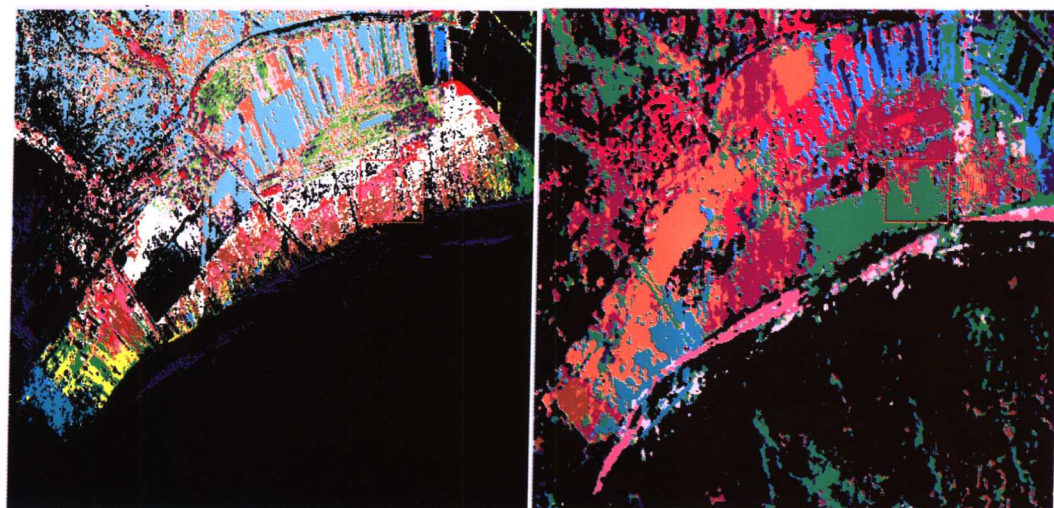
图版 VI 枣园镇附近鱼池的深度差异在 MNF 变换后第六分量的反映(左), 同时对小水体和不同湿度的河床有反映, 右图为 73、39、20 波段的假彩色合成



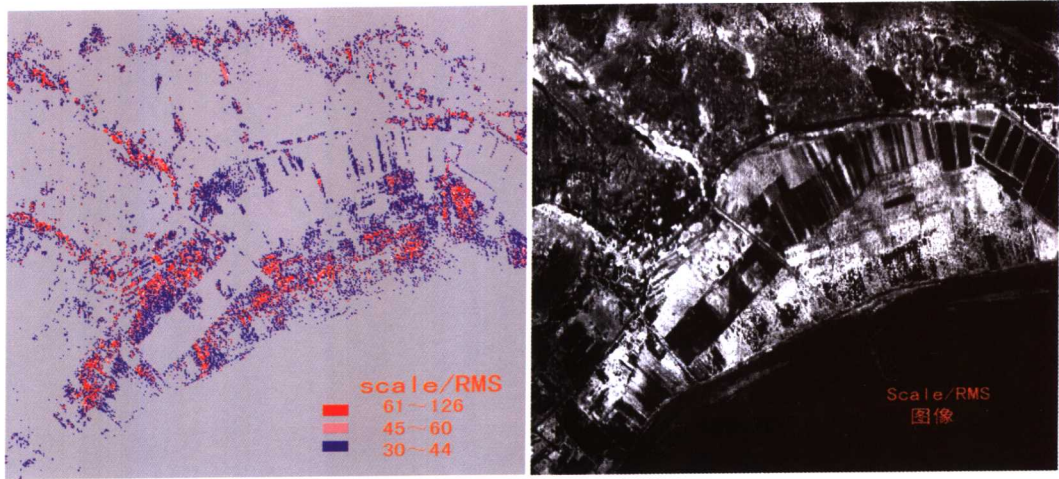
图版 VII 左上红色区域为参与分析的区域。左下和右下为左上红色区域经过 MNF 变化后的前三个分量的 N-D 投影散点图, 二者投影角度不同。右上为相应区域的光谱均值曲线, 左下和右上、右下图同一颜色对应同样地物



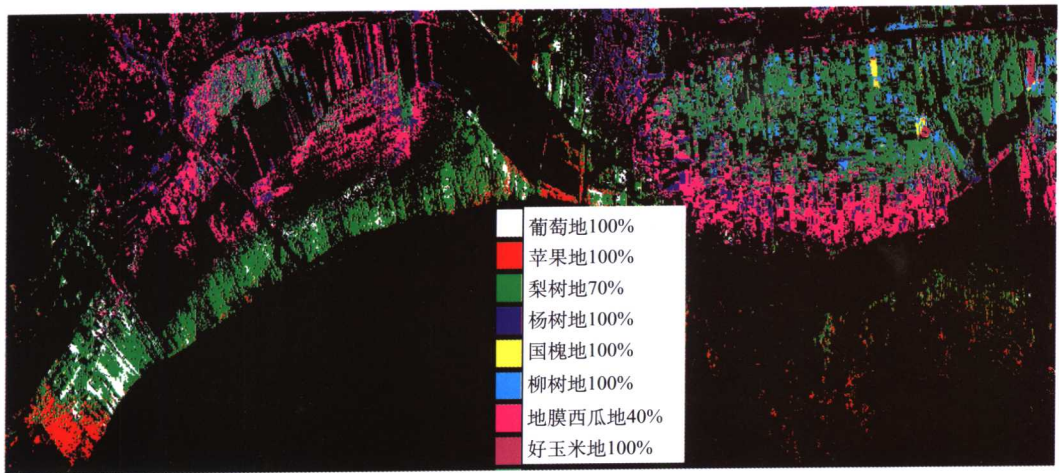
图版VIII 右图为 20 个波段 465~710nm(21 个波段)的分类结果, 左图为 455~1642nm (80 个波段)参与分类的结果, 图中白色的区域为无归属类



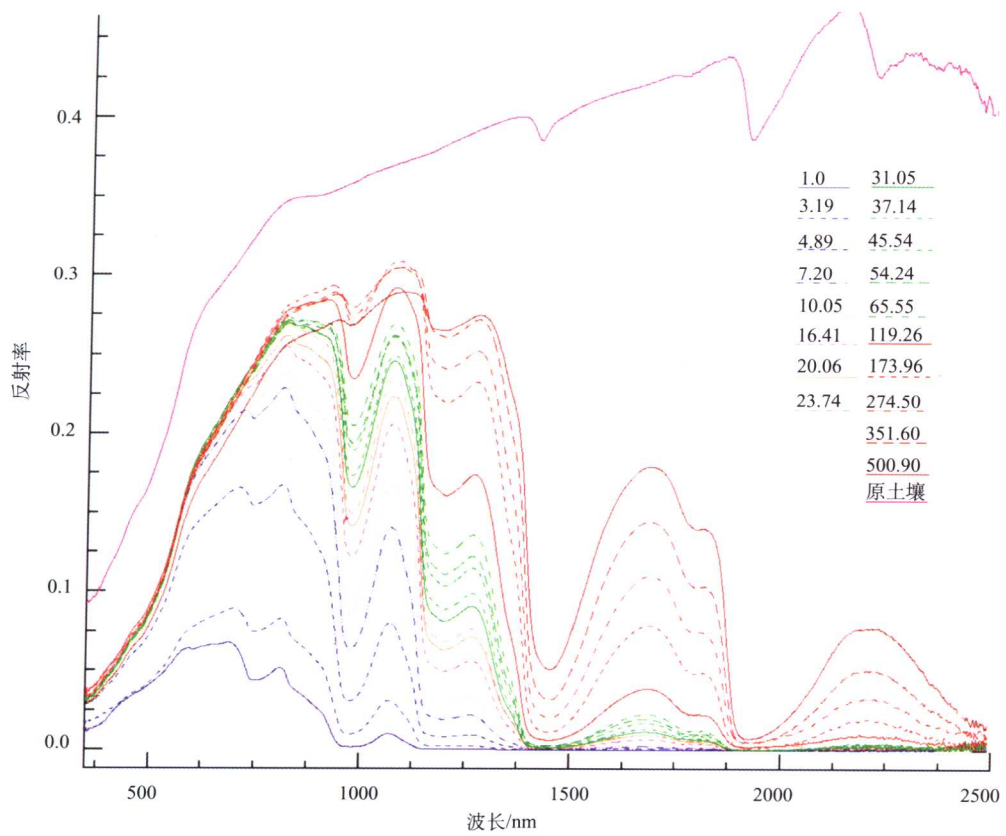
图版IX 光谱角填图识别(SAM, 左)和光谱匹配滤波(MF, 右)的处理结果, 根据野外调查, SAM的精度比MF的高, 而MF空间连贯性比较好



图版X 枣园镇西侧园地 SFF 分类图。左图中数值越大说明属于梨园地的概率越大，右侧为以灰阶值表示的概率，灰阶值越大，属于梨园地的可能性越大



图版XI 枣园附件一阶导数光谱图像分类结果

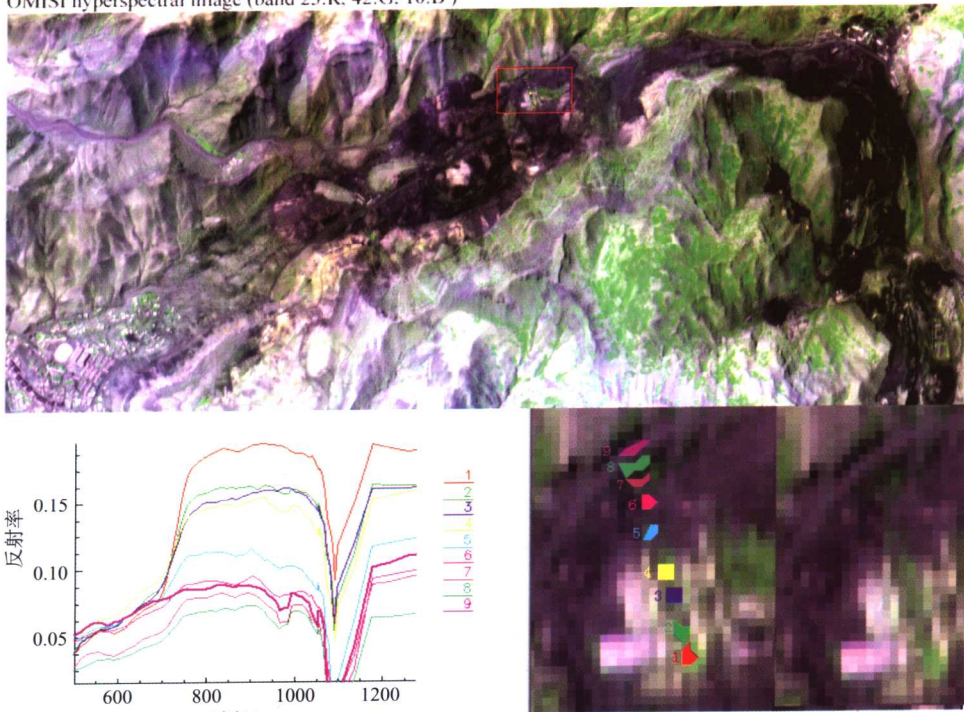


图版XII 不同土壤含量的水体以及试验用土壤的光谱曲线

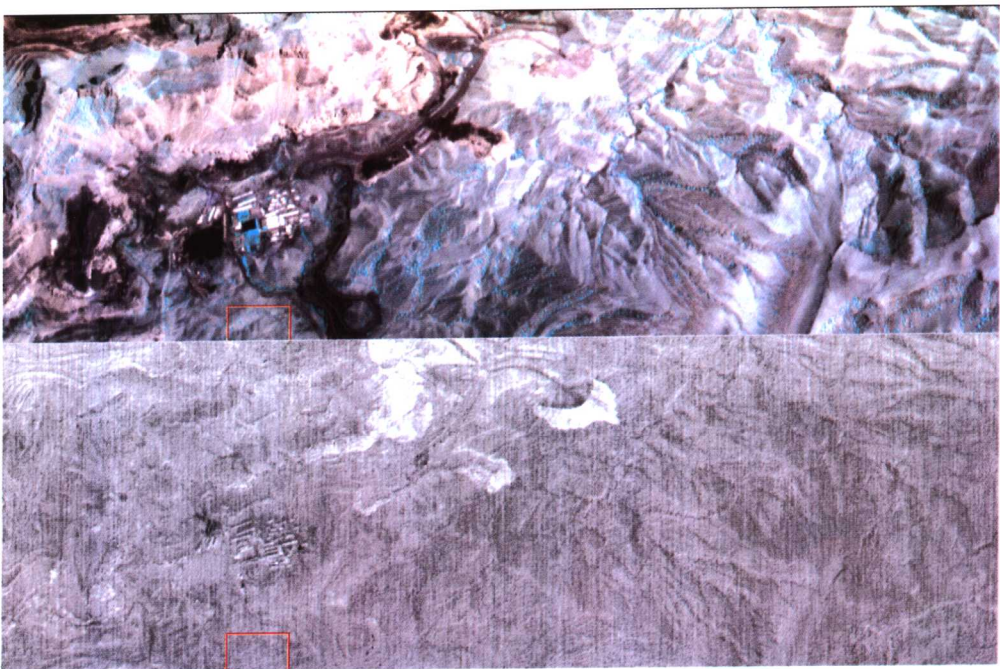


图版XIII 经过一阶导数运算之后的高光谱遥感图像(左)与原图像假彩色合成(右),左图中不同河段水体的颜色显著不同,野外调查证明颜色的差异是由于水体污染程度差异所致。在右图水体的色调变化肉眼难以区分,图中数字和符号为野外光谱测试点和调查点

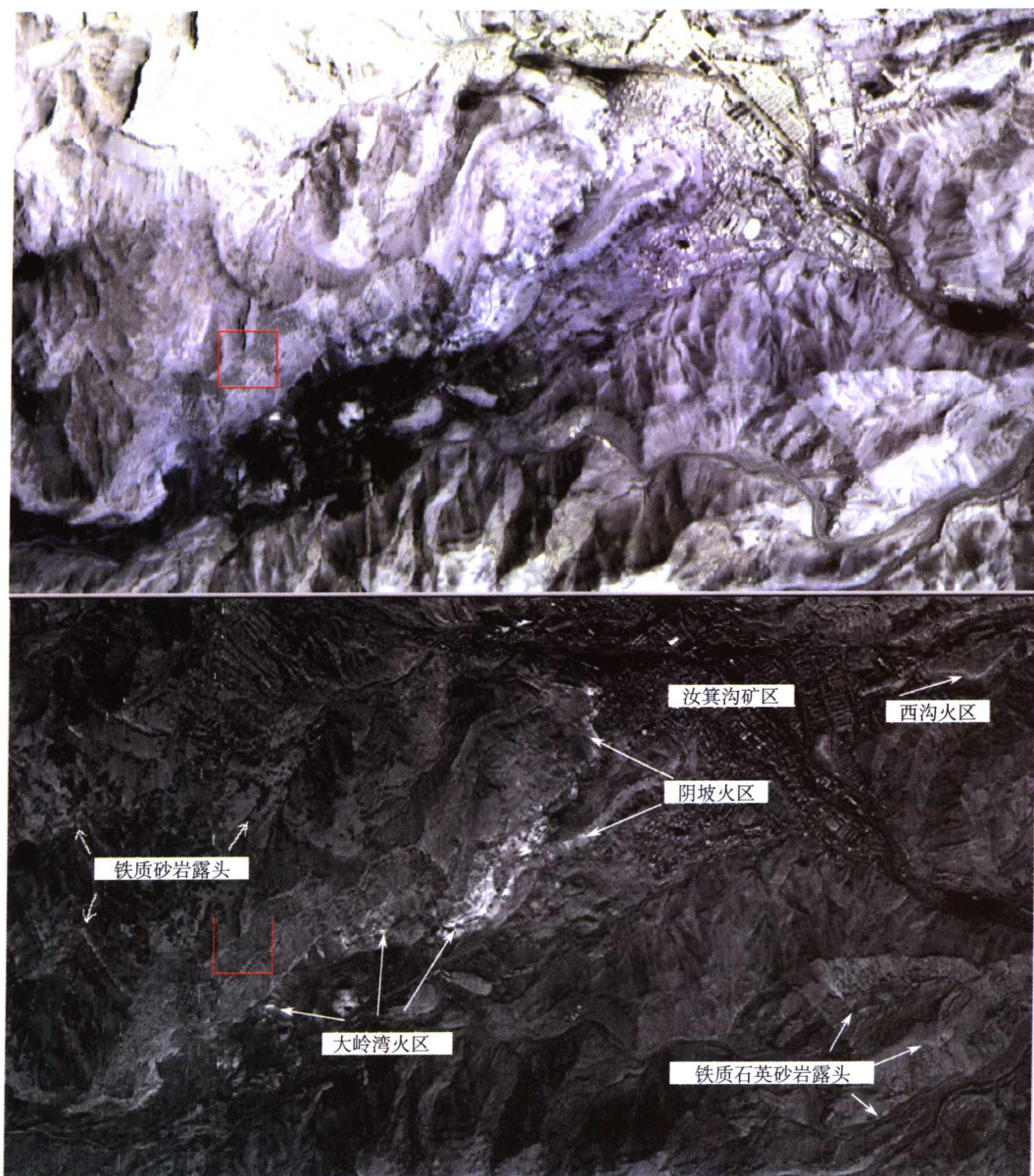
OMISI hyperspectral image (band 23:R, 42:G, 10:B)



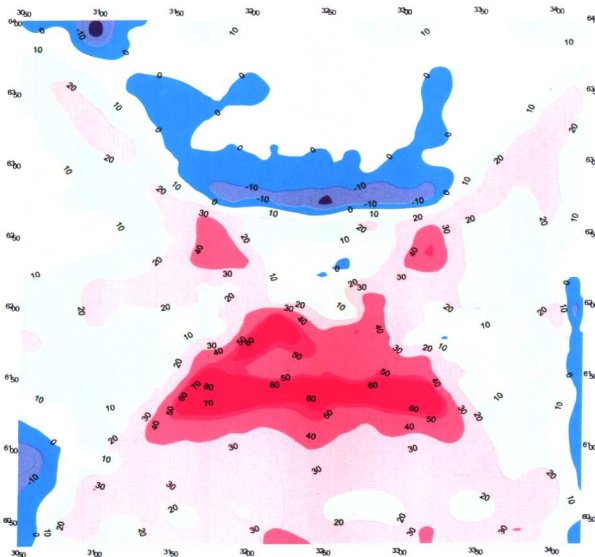
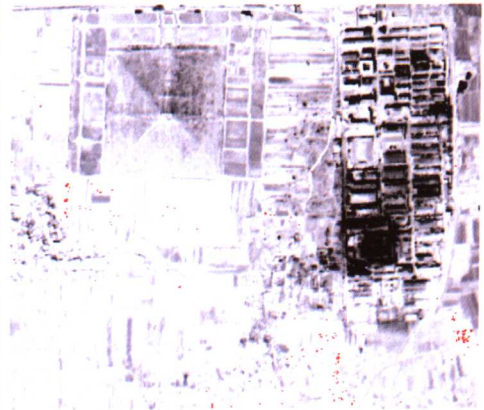
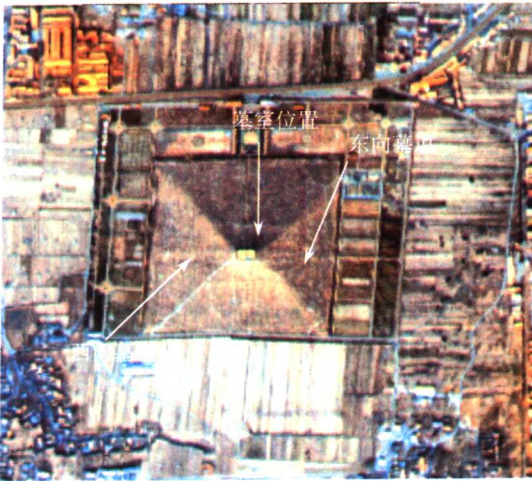
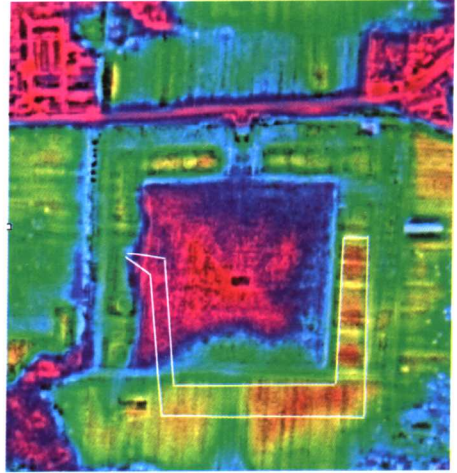
图版 XIV 上图为试验区高光谱遥感图像(第 23、42、10 波段合成), 右下图为测试点所在区域, 中下图为测试点所在的位置, 左下图为各个测点的植物光谱曲线



图版 XV 上图左上方有大量剥离工作面, 岩石较亮, 右上角向阳坡也较亮, 它们与烧变岩的色彩相似, 难区分。下图为第 28 波段与第 36 波段相减获得的烧变岩分布图像, 烧变岩被凸现, 烧变岩剥离物的堆积区也能有效区分, 这张图片部分地说明了高光谱遥感在金属矿床识别中的优势



图版 XVI 上为汝箕沟矿区的高光谱假彩色合成图像，下为各类地表岩石的 Fe^{3+} 相对含量分布图。西沟火区、阴坡火区、大岭湾火区基本顺煤层走向分布的烧变岩，图中越亮的斑块代表 Fe^{3+} 的含量越高。火区中的亮斑为红色烧变岩分布区



图版 XVII 秦始皇陵区高光谱遥感考古典型图片

左上，假彩色合成近于真彩色图像；

右上，热红外波段伪彩色合成；

左中，第 64、63、62 波段合成图像；

右中，陵区局部光谱角填图，红色为疑似火烧土；

左下，同期测试的秦始皇陵封土堆高磁异常图，空间位置与上图中的高热异常形态对应