

地质找矿科技成果系列丛书之五

遥感勘查技术

国土资源部科技与国际合作司

二〇一二年九月

地质找矿科技成果系列丛书

编委会

主 编：徐绍史

副主编：徐德明 汪 民

编委会主任：钟自然

编委会副主任：姜建军 彭齐鸣 李金发

编 委：（以姓氏笔画为序）

王 昆	王宗起	付 英	白星碧	刘跃进	许大纯
张金昌	连长云	罗立强	郭珍旭	高锦曦	韩子夜
韩和平	熊盛青	谭永杰	鞠建华		

执行编委：（以姓氏笔画为序）

马 岩	马 梅	文 波	王少波	邓 玲	韦延光
兰井志	冉恒谦	史长义	任玉峰	刘凤山	刘 刚
刘 佳	吕振福	孙文泓	孙建华	朱勃霖	齐 华
何凯涛	宋 元	张成强	张学君	张明华	张振华
张振海	张 强	张辉旭	李永胜	李 冰	李 杰
李超岭	李 颖	杨少平	杨日红	杨红霞	杨 玲
屈文俊	岳铁兵	范继涛	柳群义	胡小平	胡 平
胡 欣	赵财胜	赵恒勤	赵春锋	徐志刚	徐 浩
秦绪文	耿树方	聂洪峰	袁桂琴	贾文龙	贾其海
郭宪璞	高林志	黄学雄	黄洪波	葛晓立	谢文卫
谢秀珍					

前 言

为贯彻落实《找矿突破战略行动纲要（2011—2020 年）》（国办发〔2011〕57 号）和“找矿突破战略行动动员部署电视电话会议”精神，保障找矿突破战略行动总体目标的实现，切实依靠科技进步推动找矿突破，加快科研成果转化，充分发挥已有科技成果在找矿突破中的支撑引领作用。

在找矿突破战略行动办公室统筹部署下，我们启动了《地质找矿科技成果系列丛书》编写工作。经各省、自治区、直辖市国土资源主管部门、中国地质调查局、武警黄金指挥部、部其他直属单位、有关学会、协会和高等院校推荐，有关院所组织专家严格把关和专家筛选，编委会审定，科技与国际合作司汇编形成了《地质找矿科技成果系列丛书》。该丛书主要包括：基础地质（21 项）、矿产地质（91 项）、地球物理勘查技术（47 项）、地球化学勘查技术（20 项）、遥感勘查技术（23 项）、地质钻探勘查技术（82）、岩矿测试分析技术（37 项）、矿产资源综合利用技术（90 项）、地质信息技术（25 项）、地质矿产标准规范（166 项）等 10 个方面共 602 项科技成果。

我们深信，《地质找矿科技成果系列丛书》将有助于从事一线工作的地勘人员了解地质找矿科技成果，应用于地质找矿突破，更好地支撑找矿突破战略行动。

藉此机会，我们衷心感谢为《地质找矿科技成果系列丛书》辛勤工作、无私奉献的科技人员和科技管理人员，期望有关单位结合实际情况按照成果汇编中的项目开展科技成果推广活动，并对《地质找矿科技成果系列丛书》不足之处提出批评建议。

内容摘要

根据国土资源部关于编写遥感找矿技术及其应用成果的有关要求，中国国土资源航空物探遥感中心、中国地质大学、河北省地勘局水文工程地质勘察院（河北省遥感中心）、新疆地矿局信息中心、武警黄金地质研究所、南京地质调查中心和中国煤炭地质总局航测遥感局等单位分别编写了近些年来取得较好应用效果的遥感找矿技术，涵括了遥感图像处理技术、多光谱遥感找矿技术、高光谱蚀变矿物提取及找矿应用技术、遥感综合找矿技术和软件系统研发等。

伴随着遥感技术的快速发展，我国已逐步建立了较成熟地遥感图像处理技术，在找矿应用中发挥了重要的作用，主要包括遥感图像进行辐射校正、几何纠正、图像镶嵌、图像增强、特征提取、图像分类、专题信息提取、以及图像整饰、影像地图制作等处理方法。可以制作出适用于遥感地质解译的信息丰富、纹理清晰的遥感影像图，同时建立了遥感地质立体显示技术，可以更直观的表达地形地貌和遥感找矿成果。

通过在我国西部裸露区多年的基于 ETM + 多光谱蚀变遥感异常提取技术研究，建立了较完善的遥感异常提取的方法技术体系——“去干扰—主成分分析—异常筛选”技术。该方法在数据预处理、干扰去除、异常提取、异常后处理、异常筛选与推荐五部分取得重要进展；适用于植被覆盖度小于 50% 的区域；该方法已经被中国地质调查局确定为区域地质调查、战略性矿产远景调查工作中遥感技术的必做工作方法，并在战略性矿产远景调查、全国矿产远景评价以及我国重要成矿区带的遥感异常提取工作中发挥了重要作用。已在我国天山—北山、昆仑山、冈底斯山、青藏铁路沿线等西部重要成矿带，以及全国矿产资源潜力评价中发挥了重要的应用。另外，充分利用 ASTER 卫星数据短波近红外谱段，初步研究出典型岩性识别和特定蚀变矿物组合信息提取技术，为找矿工作提供了重要的指示信息。

在航天高光谱与航空高光谱蚀变矿物信息提取技术研究方面，取得了突

破性进展，基于矿物光谱特征参量稳定性、敏感性以及变异规律，建立和扩充了“类—族—种—亚种（变种）”的矿物识别分层谱系和 30 余种矿物的光谱识别规则。利用 HyMap 机载高光谱数据在新疆东天山地区识别了高铝绢云母、低铝绢云母、高岭石、蛇纹石、透闪石、方解石、绿泥石、绿帘石等蚀变矿物种类分布及其含量分布。并逐步拓展到矿山环境、深空探测等领域开展相应的定量化探测技术研究与应用。编写了《高光谱遥感矿物填图工作方法指南》，为高光谱遥感技术在地质领域的工程化应用奠定了基础。高光谱在矿山环境污染监测、青藏高原与三江地区资源勘查、柴达木盆地油气资源勘查、行星探测等取得令人满意的应用效果。

近几年来，为了全面支撑我国矿产资源“走出去”战略，初步建立了境外多尺度多层次的遥感地质矿产勘查技术体系，明确了应用与服务对象，取得了具有重要应用价值的成果。研发了多种具有创新性的针对典型成矿类型的蚀变矿物或蚀变矿物组合信息提取技术，初步建立了少地面地质矿产资料的基于遥感示矿信息的重要矿产资源潜力评价模型。在国土资源部、中国地质调查局的领导下，组织了全国各省遥感地质调查队伍和高等院校等共同攻关实施全球地质矿产与资源环境卫星遥感“一张图”工程中，已完成了非洲、南美洲等洲层面的遥感综合调查与评价，圈定了重要成矿带，并提出了优势矿产国家，结合航磁与化探异常互证，经部分地面物探和钻探验证，最后圈定出了具有重要应价值的遥感找矿远景和遥感找矿靶区。为全球矿产资源遥感调查与评价奠定了基础，为国内矿产勘查与开发企业“走出去”提供矿产资源信息，取得了很好的社会与经济效益。

在岩矿光谱测试、遥感综合找矿技术方面也取得了较大的进步，同时基于岩矿光谱测试技术研发了矿物光谱分析专家系统软件，为蚀变矿物信息提取与遥感找矿工作奠定了良好的基础。

综上所述，经多年的努力攻关，遥感找矿技术取得了长足的进步，并在我国全国资源潜力评价、西部重要成矿带和重点示范区找矿中发挥了重要的作用，已成为我国找矿工作的重要技术手段，将为我国找矿突破行动以及全球矿产资源战略提供有利的技术支撑。

目 录

1. 遥感图像处理技术	(1)
2. 遥感异常提取技术研究	(6)
3. 矿化蚀变信息提取技术方法	(9)
4. 基于 ASTER 遥感数据的蚀变矿物与岩性信息提取技术方法	(11)
5. 高光谱遥感技术	(17)
6. 高光谱遥感技术找矿应用研究	(21)
7. 多层次遥感地质解译技术方法	(23)
8. 遥感地质找矿技术	(25)
9. 区域化探数据多元素异常图像融合技术方法	(28)
10. 境外遥感地质找矿应用技术	(30)
11. 岩矿光谱测试技术	(34)
12. 矿物光谱分析专家系统 MSA V3.6	(38)
13. 基于 4G 一体化技术的煤航 e 鸟巡检技术	(42)
14. 缺水地区地下水勘查集成技术	(44)
15. 地下水动态远程监测系统	(46)
16. 地表形变 InSAR 调查与监测技术	(48)
17. 地质灾害遥感调查技术	(54)
18. 崩滑灾害实时专业监测技术	(57)
19. 地质灾害监测光纤传感技术	(60)
20. 地质灾害群测群防监测技术	(62)
21. 国土资源遥感综合调查应用技术	(64)
22. 直升机时间域航空电磁系统	(70)
23. 航磁全轴梯度勘查系统	(71)

遥感图像处理技术

一、内容概述

遥感图像处理是对遥感图像进行辐射校正、几何纠正、图像镶嵌、图像增强、特征提取、图像分类、专题信息提取以及图像整饰、影像地图制作等处理方法。早期曾利用光学、照相等方法对遥感模拟图像（照片、底片）进行处理，简称为光学处理。利用计算机对遥感数字图像进行操作，从而获得某种预期结果的技术，称为遥感数字图像处理。

（一）遥感图像处理方法简介

按图像处理功能划分，可以将遥感图像处理技术分为图像恢复、图像增强、信息提取及影像地图制作四个部分。

1. 图像恢复

图像恢复一般包括两个内容：恢复图像光谱信息的辐射校正和恢复图像空间位置的几何校正。

2. 图像增强

将原来不清晰的图像变得清晰或强调某些关注的目标特征，抑制非关注的特征，使之改善图像质量、丰富图像信息，加强图像判读和识别效果的图像处理方法。

3. 信息提取

信息提取包括图像分类处理技术（根据不同地物的光谱亮度差异和空间结构差异，按照某种规则，进行分类处理）和专题信息提取技术（对研究工作中某些单一信息进行专门提取，例如矿化蚀变信息、水体、植被等）。

4. 影像地图制作

影像地图是在经过处理的遥感图像上加绘图廓、坐标网、比例尺等要素而成。其它地理信息，如行政界线，铁路、公路等，按指定的颜色、线宽、透明程度、线型等方式，也可叠加到遥感图像上，形成一种带有地理信息显示的遥感影像地图，便于宏观展示和图像解释。

标准分幅影像地图是按地形图的实际范围裁剪遥感影像，加上图廓、坐标网、比例尺等地形图图饰形成的影像地图，其具有严格的数学基础和规范的图面整饰，符合地形图几何精度要求，可以作为遥感地质解译的工作底图，供野外及室内使用。

高光谱数据、雷达数据有其自身的特点，有专门的图像处理方法技术，例如，光谱角、光谱匹配方法、雷达处理技术等。

（二）技术特点

遥感技术是利用来自地面目标物的电磁波信息，探测和研究目标物的性质和运动状态。与其他探测手段相比，遥感技术为地学研究提供前所未有的宏观性、直观性的基础资

料，具有从“面”到“点”的特征。遥感图像处理技术具有以下的主要技术特点：

1. 需要高速度、大存储容量的计算机

遥感图像数据的一个重要特点是其数据量大，一景 5 号陆地卫星遥感图像 TM 七个波段数据，大约为 240 M。对于大范围的遥感图像，涉及多景遥感图像，其数据量会更大。高光谱数据（波段多达 200 以上），高空间分辨率数据（空间分辨率达米级），在同样地面范围内，比目前常用的 TM 数据要大很多倍。因此，图像处理需要高运行速度、大存储容量的计算机。

2. 图像处理需要多学科知识

图像处理涉及计算机图形学、地图学、物理学、数学、视觉、心理学以及相关应用学科知识等。这些学科相互关联、相互交叉，综合使用多学科知识，才能达到好的图像处理效果。

3. 遥感图像处理具有严格的数学物理模型

遥感图像处理技术具有严格的数学物理模型，通过高精度的图像恢复处理，能够恢复遥感图像固有的地理、物理信息，图像光谱信息真实、地理空间信息准确。

4. 遥感图像处理会产生图像信息损失

图像增强处理，是以牺牲非目标信息为代价，通过压制和弱化了背景和非目标的信息，来突出目标信息，图像处理必然带来图像中原有的某些信息的损失，增加误差。

5. 遥感图像具有多解性和不确定性

图像处理是以图像亮度数值为基础，图像像元亮度不仅取决于地物的物理特性，还取决于地物的表面状况（如表面含水量、粗糙度、色泽等）及地表的地形起伏对太阳辐射照度的调制作用而引起的地面太阳照射明亮程度变化，如地面阴坡阳坡。地物表面状态和地形调制作用，将直接导致不同地物具有相同图像亮度（同谱异质）与相同地物具有不同图像亮度（同质异谱）现象，造成图像信息的多解性，使以图像象元亮度数值为基础的图像处理技术，在地物信息识别、提取和解释过程中会出现较大困难，一种遥感资料会产生多种解释结果，例如，从遥感图像上提取的矿化蚀变信息，不一定完全对应地表矿化蚀变，同时，还会有一些地表矿化蚀变地物，没有完全提取出来。另一方面，多种因素影响图像的亮度，导致遥感图像上某些地质体的界线，表现为一种光谱特征和空间特征的渐变性和模糊性，使得岩性识别，特别是地质体界线的圈定，带有一定的不确定性。

二、应用范围及应用实例

（一）应用范围

遥感图像具有宏观、客观、综合、实时、动态、快速等特点，为地球资源调查与开发，国土整治，环境监测，以及全球性研究，提供了一种新的探测手段，广泛用于测绘、动态监测、地球资源调查、地质灾害调查与救治、军事侦察等领域。遥感图像处理技术，可以恢复遥感图像固有的光谱信息、地理几何位置信息；可以用来提高遥感图像的分辩效果，增强特定地物信息的识别能力，对遥感图像的分析、解释，具有十分重要的作用，是遥感信息客观真实性的技术保障，是遥感技术的重要组成部分和必要技术手段。遥感图像处理贯穿遥感技术应用研究工作的全过程。

（二）应用实例

遥感图像处理技术在遥感应用研究中发挥了重要作用，这里仅展示图像校正与增强、视反射率图像、影像图制作的应用实例。

几何校正和图像增强处理是最常用的图像处理方法之一。图 1 左边图像为一景经过辐射校正和几何粗校正处理的 3 波段彩色合成陆地卫星原始 TM 图像（波段图像 TM7、TM4、TM1 分别赋予红、绿、蓝），右边为左边图像经过几何精校正和线性增强处理生成的图像，其中右下角为图像中白色方框中的子区图像。直观上看，左右两图像相对旋转一个角度，实际上两图像之间存在一定程度的缩放和变形。经过几何精校正处理的图像，与地形图具有相同的坐标系，在地理位置上相互对应，便于对比分析解释和最终成果图件的制作。右边图像比左边图像具有更丰富的信息，能够清晰显示多种层次的影像，说明线性增强能够突出不同地物之间的差别，便于图像分析解释，子区图像更能清楚显示这种处理效果。

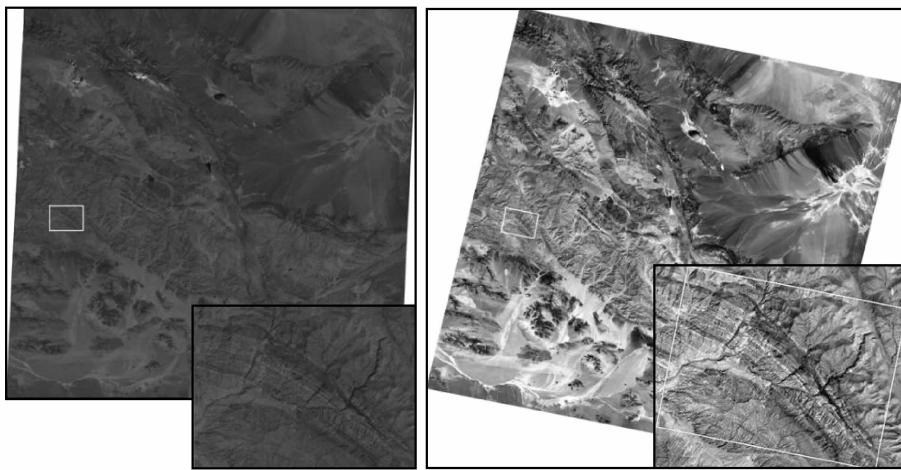


图 1 图像辐射校正、几何校正和图像增强处理

地形压缩、岩性、土壤以及植被等光谱信息增强，有利于岩性识别和专题制图。从遥感图像上提取视反射率图像技术，已被广泛用于上述工作。目前有多种提取视反射率图像的方法，其中以 HIS 变换模型提取视反射率图像效果较好。图 2 左上边为 TM4 波段图像，右上边为相应波段以 HIS 变换模型提取的视反射率图像，下半部为对应的地质图（由 1:50000 地质图修编）。从图像上可以清楚地看到，地形阴影被完全去除，光谱信息得到增强。黑色调的含矿地层与周围地物有明显的差异，很容易识别。同时辉绿岩与含矿地层的界线，非常清晰，而在原 TM4 图像上，这两种岩性，不易区分。野外工作表明视反射率图像所反映的岩性信息是正确的。

视立体地质图是由数字地质图和数字高程模型（DEM）通过模拟光照图像及图像融合处理生成的一种新的图示形式的平面地质图。图 3 为视立体地质图和其中一个子区。图中显示正立体地形效果，地形起伏变化直观，视觉上犹如野外实际观察地表景观。这种地质图不仅便于非地质专业人员读图，而且为地质工作者进行地质体识别、地质构造分析、野外检查、定位以及图面测量等工作提供极大的方便，具有非常强的实用价值。视立体地

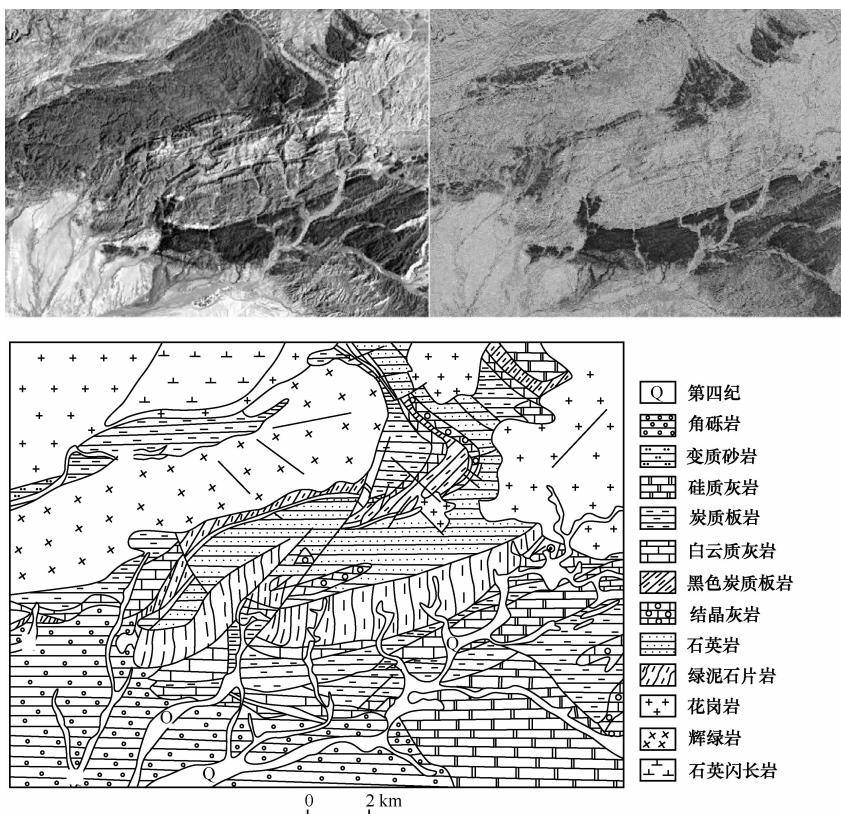


图2 左上为 TM4 波段图像，右上为相应波段的视反射率图像，下半部为地质图

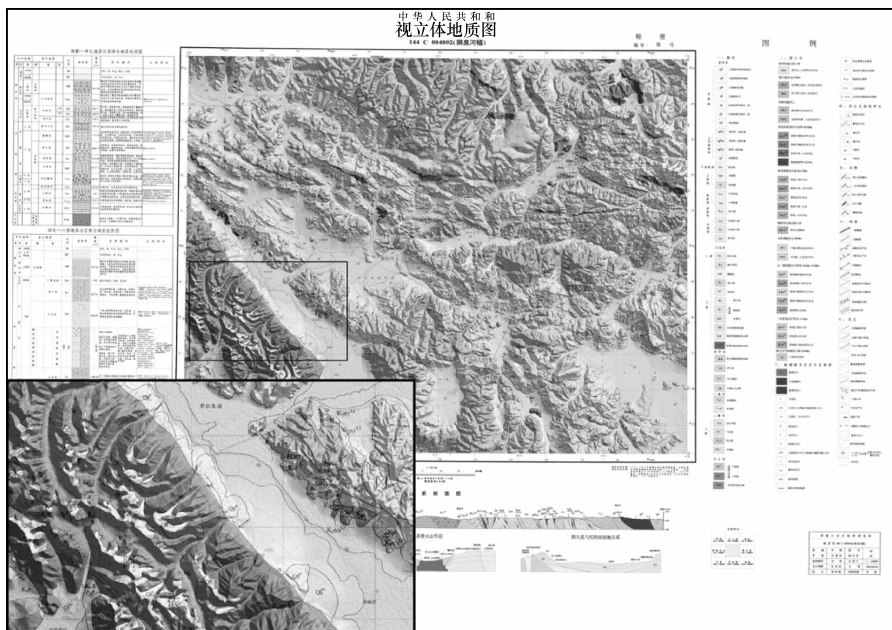


图3 视立体地质图

质图具有丰富的地形地貌信息，它有效地将地质图信息和地形地貌特征结合在一起，是地质图的一种新的表现形式，可以作为地质图件的一种补充。

遥感图像处理技术，可以用来恢复遥感图像的原始光谱信息和地理空间信息，是遥感信息客观真实性的技术保障；可以用来提高遥感图像的分辩效果，增强特定地物信息的识别能力，对遥感图像的分析、解释，具有十分重要的作用。图像处理的精度和质量，直接影响遥感图像应用和研究的效果。

三、推广转化方式

技术培训。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

联系电话：010－62060051

遥感异常提取技术研究

一、内容概述

遥感异常一般是指从遥感数据中提取的、可能与成矿围岩蚀变矿物有关的一种量化遥感找矿信息。2004~2006年，通过完成地质大调查项目“西部重要成矿区带遥感找矿异常提取及应用研究”和“多光谱遥感异常提取方法技术研究”，建立了一套适合我国干旱-半干旱地区遥感异常提取的方法技术体系——“去干扰-主分量分析-异常筛选”技术方法。该方法发展和综合应用了大量前人研究成果，在战略性矿产远景调查工作中得到了推广应用。该技术体系包括数据预处理、干扰去除、异常提取、异常后处理、异常筛选与推荐五部分（图1）。

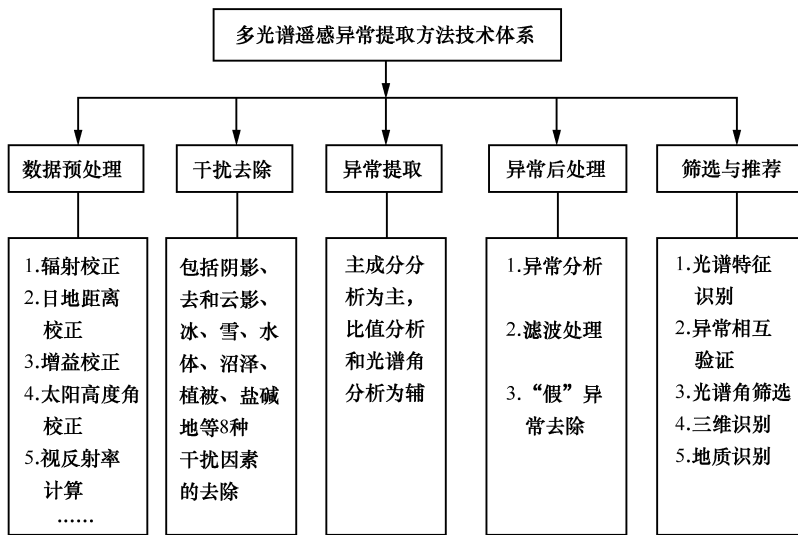


图1 多光谱遥感异常提取方法技术体系框架

(1) 数据预处理：利用线性回归、太阳高度角和日地距离的调整等计算，将太阳辐射校正、日地距离校正、太阳高度角校正等方法成功地应用在数据预处理过程中，基本解决了不同数据中的同一地物遥感异常的趋同性问题。

(2) 干扰去除：利用比值切割、高端切割和低端切割等多种方法，对于阴影区、植被、白泥地（盐碱地）云（包括厚云、薄云和雾）水体、沼泽地等多种干扰，进行了去除，进一步突出了“目标”信息（张玉君等，2003；杨金中等，2003）。其中，利用 $(TM1/TM7) > 1$ 作为判据，消除阴影区、冰雪、水体等的影像；利用 $(TM5/TM4) \leq 1$ 消除植被干扰；用 TM3 或 TM4 的高端切割，消除盐碱地的干扰。

(3) 异常提取：强化了数字图像处理技术与矿产地质调查工作的结合，提出了以成矿地质背景为基础、进行区域典型矿化蚀变信息提取的遥感异常分区提取方法，强调了异常提取方法的目的性和实用性。不同的成矿区域，岩性不同、蚀变类型不同，利用整景图像数据进行异常提取，作为“弱信息”的不同遥感异常往往在统计数据中很难突显；通过地质背景、成矿条件的划分，进行分区遥感异常提取，往往更能突显有限目标。

(4) 异常后处理：采用了以 σ 作为尺度，用数倍 σ 值作为阈值的异常分级表现方法（张玉君等，2003；杨金中等，2003）；将光谱角方法应用到多光谱遥感领域，建立了“光谱筛选”、“地质环境背景筛选”等多种遥感异常筛选方法组合。实现了遥感异常的分级和分类，并将遥感找矿异常从遥感异常中遴选出来，提高了遥感找矿异常信息的可信度。遥感异常是基于遥感数据形成的统计学异常，只有与区域找矿的目的结合起来，筛选出的与区域典型蚀变带相似的遥感找矿异常，才具有真正的应用意义。

(5) 异常筛选与推荐：在筛选后的每一张遥感异常图上，均附有一张遥感异常优先检查点位坐标推荐表，在进行野外异常检查时，可以利用表中提供的数据，在全球定位仪（GPS）引导下，较准确地进入异常点，进行异常查证工作。

该方法主要适用我国干旱-半干旱地区和高寒山区羟基遥感异常和铁染遥感异常提取工作，为地质找矿提供参考信息。本方法提取遥感异常的检出限优于二万分之一；在一个混合像元中，只要植被不超出 50%，均可提取出遥感异常。

二、应用范围及应用实例

该技术方法已经在我国天山-北山、昆仑山、冈底斯山、青藏铁路沿线等西部重要成矿带、120 万平方公里的国土面积上成功应用，完成遥感数据处理 174 景，制作 1:25 万标准分幅遥感异常图 97 幅、1:10 万标准分幅遥感异常图 200 幅、1:5 万标准分幅遥感异常图 127 幅，推荐遥感异常检查点 3900 多个。在已经检查的 273 个推荐异常中，新发现矿点、矿化点 57 处。目前，该方法已经被中国地质调查局确定为区域地质调查、战略性矿产远景调查工作中遥感技术的必做工作方法，在局系统推广，并在战略性矿产远景调查、全国矿产远景评价以及我国重要成矿区带的遥感异常提取工作中发挥了重要作用。

以西藏驱龙铜矿为例。该矿床位于冈底斯陆缘火山-岩浆弧东段，区内出露地层为中侏罗统叶巴组中酸性熔岩及火山碎屑岩夹碳酸盐岩、砂岩及砂板岩，第三系丁那组流纹质英安岩、粗面岩等。岩浆活动发育，主要岩石类型为二长花岗岩和花岗闪长斑岩等。其中花岗闪长斑岩为含矿斑岩，呈小岩株侵入于流纹英安岩及二长花岗岩中，地表出露面积 0.6 km²。主要矿化有黄铜矿化和辉钼矿化，呈脉状或浸染状产出。区内蚀变强烈，常见硅化、钾化、绢云母化、高岭石化、青盘岩化等，空间上显现出“中心式”面型蚀变分带特征，含矿斑岩体由内向外表现为：石英绢云母化带（局部黑云母钾长石化）、高岭石硅化绢云母化带、青盘岩化带（局部矽卡岩化）。其中石英绢云母化带分布于斑岩体内，带内矿化明显，矿石以细脉浸染状为主。区内目前发现斑岩型的 Cu Mo 矿（化）体 4 处，在其南侧，分布有顺层产于叶巴组火山岩地层中的层状长岩型（喷流型）铜多金属矿（化）体 5 条。我们利用 TM/ETM 图像对驱龙甲马地区的遥感异常进行了提取，提取结果（图 2）表明，驱龙矿区的遥感异常基本与区域化探异常的分布基本一致，但与区域化探资料相比，遥感异常更直接地反映出可能的蚀变中心位置。野外验证发现驱龙、甲马两矿

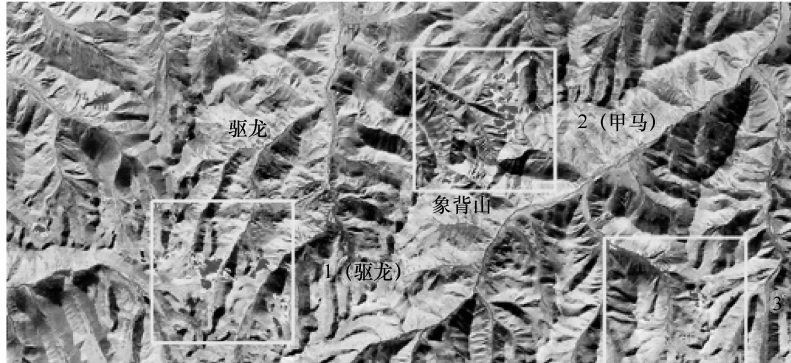


图2 驱龙-甲马地区羟基遥感异常图

区的遥感异常与矿化带的分布基本一致；在驱龙矿区西侧的乃浦异常点为绢云母化、高岭石化、青盘岩化蚀变带，局部见有孔雀石化等矿化迹象；在甲马矿区西南侧的象背山遥感异常带上，多数异常与区域出露的小岩体相对应，见有铜矿（化）体。上述工作为区域找矿提供了新的资料。

三、推广转化方式

成果通过技术培训方式，已经在地质调查局内推广应用。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路31号

邮政编码：100083

联系电话：010-62060051

矿化蚀变信息提取技术方法

一、内容概述

利用遥感数据进行地质填图和找矿有几十年了，遥感技术已经成为地质填图和找矿的重要技术手段之一。岩性识别、地质构造解译、矿化蚀变信息提取等工作为区域遥感找矿提供了强有力的支持。由蚀变矿物构成的蚀变岩石与其周围的岩石反射光谱特征存在着较大的差异，蚀变岩石在某些特定的光谱波段形成了特定的光谱异常。因此，从遥感数据中提取有关成矿围岩蚀变矿化信息为成矿预测提供了重要依据。

由于各工作区地质条件及成矿作用均有其特殊性，且人为因素对蚀变信息提取也存在重要的影响，要形成统一的提取蚀变信息的方法非常困难。为了提供可应用推广的矿化蚀变信息提取方法，本成果矿化蚀变信息提取技术方法从遥感矿化蚀变提取的地质学基础、蚀变岩波谱的物理特性、矿化蚀变提取与遥感信息源的选择、遥感图像信息增强算法选择与全谱带的遥感异常信息提取几个方面分别进行深入的研究工作。

多源遥感数据的全谱段蚀变矿物填图，能够实现不同地区、不同矿化类型不同遥感数据源的较高精度的蚀变矿物填图。本技术方法在应用的过程中针对不同矿化类型波谱曲线的每一个诊断峰谷的区间，对不同遥感数据的增强方法分别进行了探讨、试验。例如，铁的氧化物在 $0.4 \sim 0.5 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 之间的波谱曲线有两个反射峰，针对这一波段区间在常见的遥感信息源传感器上均有反应，而在此波段区间 Worldview-2 数据有七到八个波段，波谱分辨率很高，所以利用该数据就可以很容易的对铁氧化物在该波长区间上的信息增强，并提取有用信息。而利用其他数据，如 ETM/TM、TM/ETM、SPOT4/5、ASTER 传感器均可以增强该信息，但是所得到矿化信息的精度就远不如波谱分辨率较高的 Worldview-2 数据。绿泥石矿化波谱在 $0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 范围内有比较明显的诊断峰谷， $0.4 \sim 0.9$ 在多数传感器的波段范围内都有明显映射，而在 $2.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 之间在资源一号、ETM、ASTER 图像上均有反应，在 ASTER 数据该波长范围内的波谱分辨率最高，可以很好的增强该信息。

所以多源遥感数据提取矿化蚀变能够达到的效果即是：

$$F(\text{蚀变}) = f(\text{ETM}) + f(\text{ASTER}) + f(\text{Spot}) \cdots$$

根据以上所述，在实际操作的过程中，涉及的多源遥感信息的图像融合问题，融合后最佳波段组合，矿化蚀变信息提取的算法问题。针对这些问题，已经利用 C++ 和 IDL 语言分别编写了一定的程序来解决。通过最佳波段的组合算法和波谱函数拟合的严谨算法，使得传统意义上图像增强的波段比值、主成分分析的方法得到进一步的完善；同时针对相似波谱矿物填图时容易出现混淆的问题基于波谱拟合函数提出峰谷的非对称性进行精细矿物填图；对拟合函数一阶导数和二阶导数进行数学意义的推导，丰富遥感信息增强的方式和方法。

利用 $F(\text{蚀变}) = f(\text{ETM}) + f(\text{ASTER}) + f(\text{Spot}) \cdots$ 的方法进行矿化蚀变填图

时是选定在波谱的诊断性峰谷特征波长区间的各信息源参与运算和填图。可以选取诊断性峰谷所在区间的各数据源分别进行填图，以用来比较填图的效果和所能达到的实际精度。

二、应用范围及应用实例

中国地质大学（北京）长期从事于遥感地质调查、蚀变矿物填图、多光谱和高光谱地质应用研究工作。在多年的项目研究工作中，矿化蚀变信息提取技术方法已逐渐成熟，各配套硬件、软件已具备，并在不同地区的遥感找矿过程中得到了应用并取得了一定的成果。已先后在西藏班怒成矿带遥感地质调查、青海祁漫塔格地区铁铜多金属成矿规律研究、青海祁漫塔格地区地球动力学背景研究等项目中运用基于多源遥感信息的全谱带矿化蚀变信息提取技术方法，成功地开展研究区的矿化蚀变信息提取并取得了丰硕的成果，为研究区建立了一批有实际找矿价值、可供实际操作的矿化线索。同时，建立了一套可行、可推广的多源遥感信息的全谱带矿化蚀变信息提取技术方法体系，团队具有多年的研究基础并积累了宝贵的资料、数据与经验。目前，相关研究成果包括已经在研和已研的项目五项，相关文章 20 余篇。将该技术方法进行全国范围的宣传推广与实践应用，拓宽遥感找矿理念与技术方法手段，为实现遥感地质找矿的重大突破提供一条有效的途径。

三、推广转化方式

通过项目示范性应用、发表专著、申请国家专利、网络共享等方式，将具有推广应用前景的多源遥感信息的全谱带矿化蚀变信息提取技术方法进行大力宣传与推广。

针对重点遥感地质调查、遥感找矿单位，利用讲课、培训、实践等方式进行宣传推广，为传统找矿方式提供新的思路和手段，提升遥感能力与综合技术及相关找矿理论水平。

技术依托单位：中国地质大学（北京）

联 系 人：陈建平

通讯地址：北京市海淀区学院路 29 号

邮政编码：100083

联系电话：(010) 82323583

电子邮件：3s@cugb.edu.cn

基于 ASTER 遥感数据的蚀变矿物与岩性信息提取技术方法

一、内容概述

利用多光谱遥感图像提取岩石矿化信息一直以来是遥感研究的热点，1999 年 12 月发射的 Terra 卫星上携带的 ASTER 传感器专门为地质应用和火山监测而设计，其光谱分辨率较 TM/ETM+ 有较大提高，并在国外地质界得到广泛应用。ASTER 遥感数据相对于 Landsat ETM 数据而言，在短波红外与热红外波段设置了更多的波段，可提取更精细的矿物信息，在遥感地质调查与基础研究中有着广阔的应用，已经成功应用于识别矿物与岩石信息。

1. 比值法实现蚀变矿物识别方法

ASTER 遥感数据尽管从光谱分辨率的角度讲仍然为多光谱数据，但短波红外设置有 5 个波段，可以识别常见蚀变矿物 2210 nm、2330 nm 附近的光谱特征。在短波-红外 (SWIR) 子系统与热红外 (TIR) 子系统中，各矿物、岩石在不同的波段具有吸收光谱特征，波段 3 主要是黄钾铁矾的吸收波段，也就是很多含铁离子的矿物吸收波段；波段 5 和波段 6 主要是含 Al (OH) 矿物如高岭石、地开石、伊利石、白云母和明矾石等的吸收光谱范围。波段 8 和波段 10 主要是硅酸盐矿物的吸收波段，在这些波段上能对长石类矿物、橄榄石类和辉石类矿物有吸收特征。而碳酸盐类矿物的吸收特征主要集中在波段 7、8 和 9。

2. MNF 变换法和矿物指数法提取岩性信息技术方法

本次研究中，应用预处理后的 ASTER 数据进行 MNF 变换，得到 9 个波段的主成分，将信息量占绝对优势的前三个分量分别置于红、绿、蓝影像层，生成 MNF 变换合成影像。与传统的彩色合成影像相比，MNF 变换合成影像色差更加鲜明，通过初步地质解译，能够区分研究区主体岩性，如图 2、图 3 所示。利用 ASTER 的 VNIR 和 SWIR 波段进行岩性提取的基础是岩石的矿物组成及其在各波段的光谱反射率，裸露岩石的光谱主要有岩石的矿物光谱叠加而成，基于矿物特征吸收带的波长位置及其与 ASTER 波段设置的关系，通过简单的各类比值运算得到矿物指数用来识别岩性。

二、应用范围及应用实例

采用基于 ASTER 遥感数据的蚀变矿物在东天山黄山铜镍矿地区展开了蚀变矿物提取研究，并进行了初步的野外验证（图 1A）。野外查证中，提取的矿物均在野外得到了验证，这些矿物的填图结果可靠性较高。

项目组采用 MNF 变换法提取岩性信息在西昆仑 1:5 万遥感岩性填图得到了较好的应用。采用该方法提取的结果如下。

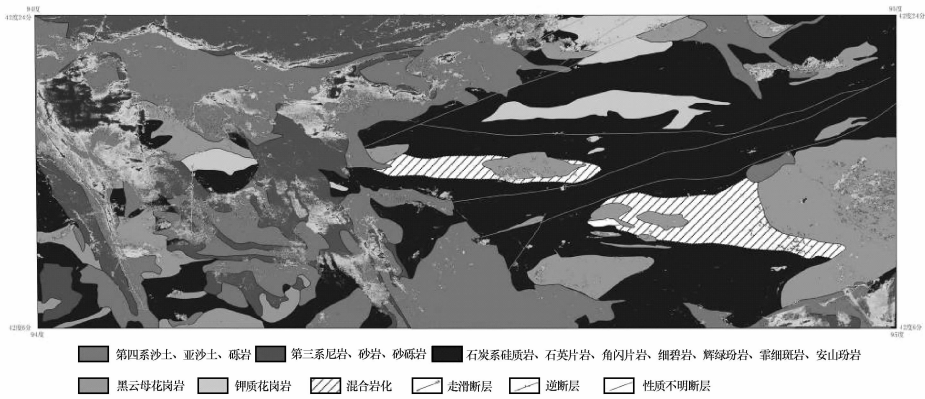
对于研究区而言，研究区存在白云岩化、褐铁矿化、蒙脱石化、绿泥石化等矿化信

息。

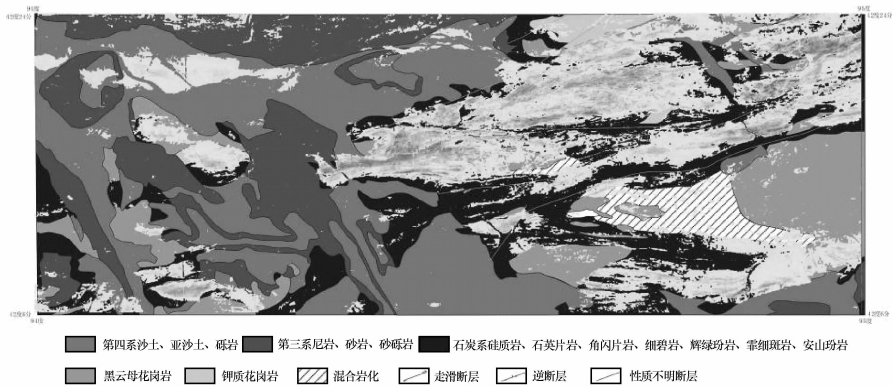
对于碳酸盐类矿物而言，采用 $(7+9)/8$ 来识别碳酸盐、绿泥石类含量较高的地质体；以 $(6+9)/(7+8)$ 来提取含绿泥石、绿帘石、角闪石较多的地质体；以 $6/8$ 提取含角闪石类较高的地质体。当 $(7+9)/8$ 、 $(6+9)/(7+8)$ 和 $6/8$ 分别被赋予红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 时，在图像上，含碳酸盐类较多的地质体为白色或浅灰色，含角闪石类较多的地质体为浅绿色或蓝绿色。用红线圈定图 2 中难以区分的碳酸盐类矿物，



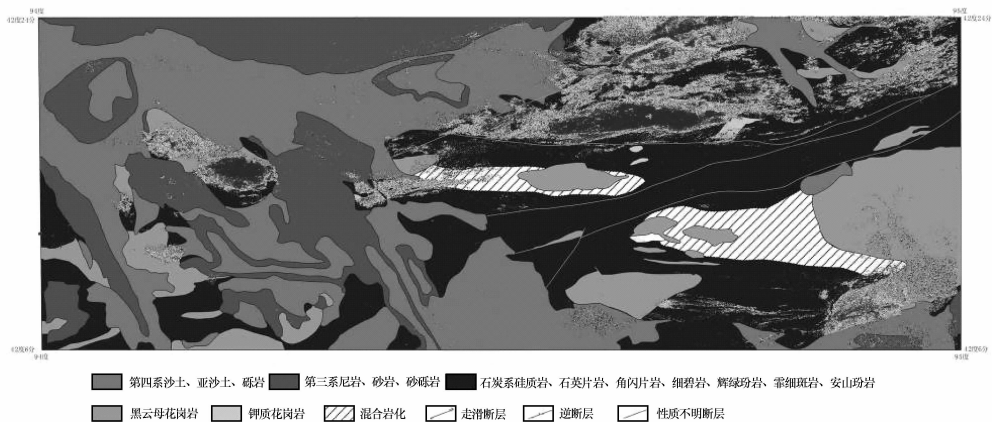
A. 工作区影像图 (红色方块为野外验证点)



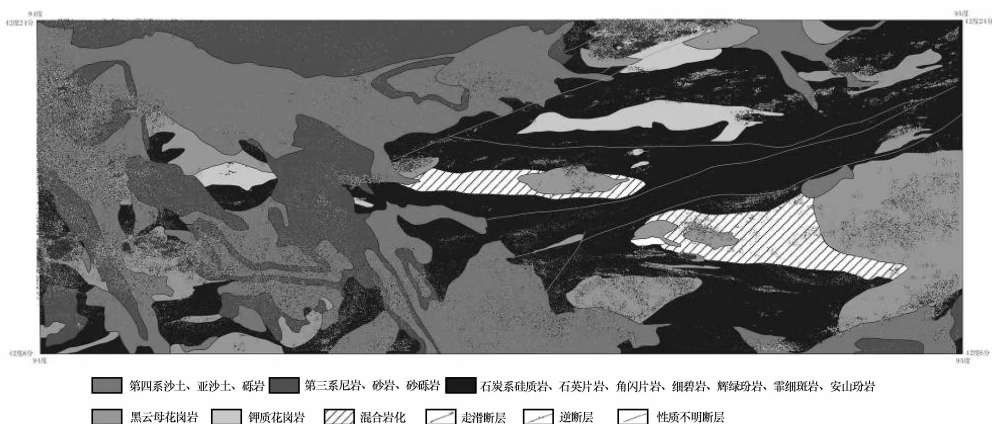
B. 铁氧化物



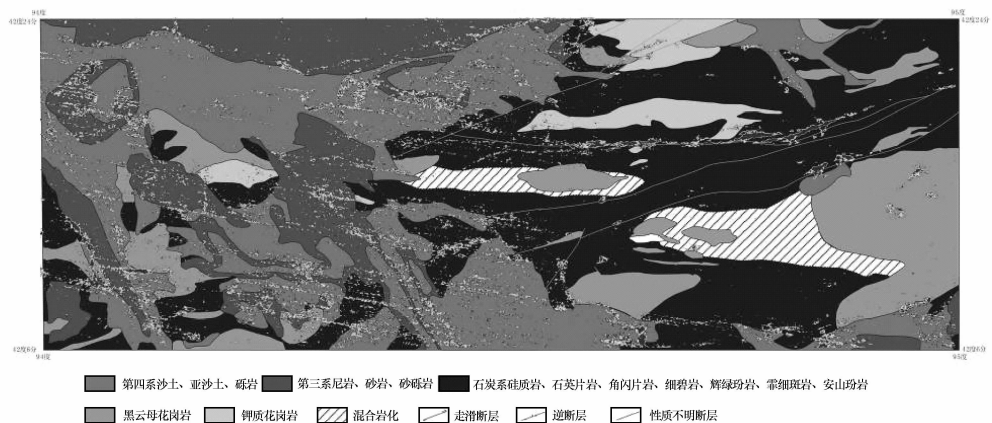
C. 硅酸盐块



D. 绿泥石 / 绿帘石 / 碳酸盐



E. 绢云母



F. 碳酸盐

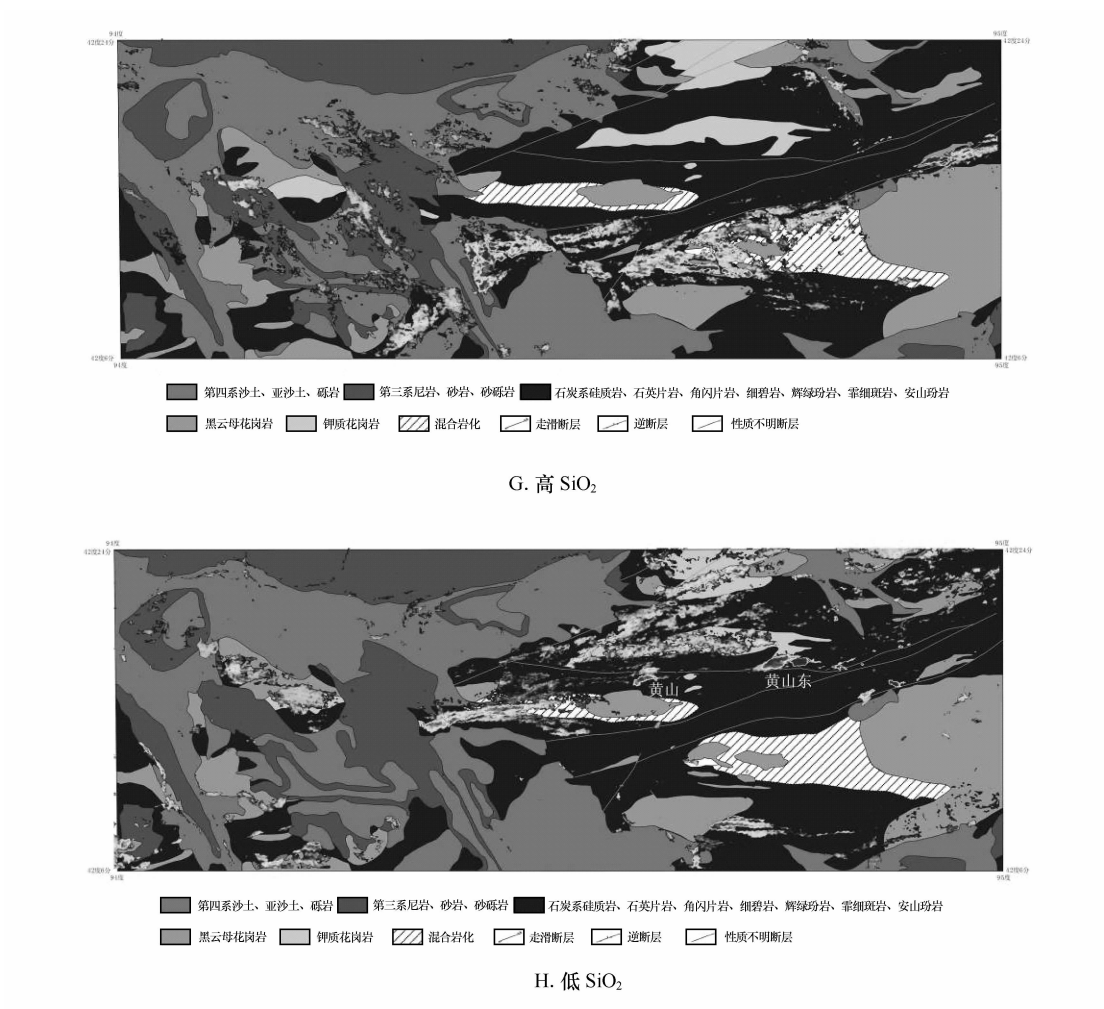


图 1 试验区矿物分布图

如图 5 所示。

含铁类地质体的矿物指数含义为：R (2/1) 为三价铁含量较高地质体，G (5/4) 为含铁硅酸盐，B ((5 + 3) / (1 + 2)) 为含二价铁较高地质体。经过彩色合成后含铁氧化物地质体呈红色，用黄线圈定如图 6 所示。

对于褐铁矿化类矿物指数图像，矿物指数的含义为：R ((5 + 7) / 6) 提取白云母、伊利石、蒙脱石含量较高地质体，G (4/5) 识别铁矾土、红土含量较高的地质体，B ((5 + 7) / 6) 为黏土类矿物。经过彩色合成后含红土地质体呈青色或青灰色，用红线圈定如图 7 所示。

在 ASTER 数据进行 MNF 变换的基础上，提取碳酸盐类、铁氧化物、红土类矿物信息，将提取的信息进行叠加，如图 8 所示，能够较好地反应研究区各类矿物岩性信息，为进行更高精度的岩性填图提供参考和依据。



图2 MNF 变换影像



图3 基于 MNF 变换的岩性提取



图4 碳酸盐类矿物提取



图5 铁氧化物提取

三、推广转化方式

基于 ASTER 遥感数据的蚀变矿物与岩性信息提取技术方法具有辅助开展区域性的矿物填图、岩性填图与地质填图的潜力，利用该方法提取了工作区的矿物及岩性信息分布有助于提高地质填图的效率，在地质找矿研究工作中能够发挥较大的作用，近年来该技术已



图6 红土类矿物提取



图7 岩性填图结果

在新疆地矿局的地质找矿研究工作中得到了广泛的应用，取得了良好的应用效果。

该方法已基本成熟，ASTER 数据也较容易获取，项目组将采用联合研究和培训的方式推广转化该方法，使该方法能够为地质找矿研究工作发挥应有的作用。

技术依托单位：新疆地矿局信息中心

联系人：孙卫东 于浩 常玲 陈建明

通讯地址：新疆乌鲁木齐市克西路2号

邮政编码：830000

联系电话：4856316, 4856308

电子邮件：xjsunwind@163.com

高光谱遥感技术

一、内容概述

1. 成果简介

高光谱遥感通常指光谱分辨率很高（达到 $\lambda - 2$ ），可获取地物连续且完整的光谱曲线的遥感技术，对于成像的高光谱遥感，又称为成像光谱遥感，最早由 Goetz 在讨论成像光谱仪初期成果时提出。

目前高光谱遥感使用的光谱段主要为可见光/近红外/短波红外（ $0.35 \sim 2.5 \mu\text{m}$ ）谱段，可识别 OH^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 Fe^{3+} 等矿物种类（如：高岭石、白云母、蒙脱石、方解石、白云石、黄钾铁矾、石膏、绿泥石、绿帘石、蛇纹石、滑石、角闪石、辉石、橄榄石等），甚至可半定量估算其含量以及某些矿物晶格中的类质同像替换（白云母中 Si、Al 的替换，以及绿泥石中 Fe、Mg 的替换）。该技术已广泛应用于资源勘查、行星探测领域中，技术层面已具备了工程化应用的能力。

中/热红外（ $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$ ）谱段高光谱遥感技术，目前主要用于行星和深空探测，由于数据源的限制，该技术对地观测应用中起步较晚，技术的成熟度相对较低。理论上讲可识别更丰富、更精细的岩石、矿物信息，除可识别可见/近红外/短波红外谱段能识别的矿物外，还可识别可见/近红外/短波红外谱段无法识别的造岩矿物（石英、长石、黑云母等），具有广阔的应用前景。

2. 基本原理

（1）矿物光谱

岩矿光谱特征主要是由组成物质内部离子、微量元素和基团的电子跃迁、基团振动等内部机理和矿物颗粒大小、几何光学位置、矿物表面形态与风化作用、矿物或岩石的混合等外部机理共同作用的结果。其中，内部机理是光谱产生的原因；外部机制是光谱变异的原因。研究内部机理可以定量识别岩矿的组成、结构和含量等；研究外部机理可以研究岩矿所处的外在环境变化、蚀变特征等后天作用。在可见光/近红外/短波红外（ $0.35 \sim 2.5 \mu\text{m}$ ）谱段，利用每种矿物特有的反射光谱特征进行矿物识别，在中/热红外（ $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$ ）谱段，则是利用每种矿物特有的发射谱光谱进行矿物识别。

在可见光/近红外/短波红外（ $0.35 \sim 2.5 \mu\text{m}$ ）谱段，电子跃迁过程及基团振动是矿物光谱特征产生的主要机理。电子跃迁主要包括：晶体场效应、电荷迁移、导带和色心。基团振动是在分子和晶体晶格中，分子键的相互作用产生的振动。在中/热红外（ $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$ ）谱段，发射谱光谱特征产生的机理是基团振动。

（2）矿物识别方法

理论上讲，每种矿物由于成分、结构不同，光谱（反射与发射）也不同，矿物识别就是根据不同的光谱特征进行矿物种类、含量、成分判别的过程。

不论是可见光/近红外/短波红外 (0.35 ~ 2.5 μm) 谱段, 还是中/热红外 (2.5 ~ 25 μm) 谱段, 进行矿物识别前, 均需完成预处理, 前者特有 (不同于多光谱) 的预处理主要为大气校正, 后者则包括大气校正、温度/发射率分离。

可见光/近红外/短波红外 (0.35 ~ 2.5 μm) 谱段大气校正是抑制大气对电磁波传输的影响。目前常用的方法主要为基于 6S、MODTRAN 大气辐射传输模型的方法。首先利用 820 nm、940 nm 与 1135 nm 的大气水汽吸收强度逐像元反演大气水汽含量, 利用暗地物的 660 nm 与 2200 nm 的比值反演气溶胶光学厚度, 将反演结果输入大气辐射传输模型完成大气校正。

热红外 (6.0 ~ 25 μm) 谱段大气校正相对复杂。首先利用 MODTRAN 大气辐射传输模型计算大气透过率、上行辐射与下行辐射 (大气热辐射), 将大气透过率、上行辐射消除, 得到地面 (离地) 热辐射 (包括大气下行辐射)。之后, 利用温度/发射率分离算法完成下行辐射消除的同时, 得到地面的温度与发射光谱。在遥感地质领域, 应用最成功的温度/发射率分离算法是 ASTER 卫星热红外团队开发的 TES 算法。中红外 (2.5 ~ 6.0 μm) 谱段由于太阳反射能量与地面热辐射能量相当, 且相互叠加, 处理难度校正, 在地质领域应用仍很不成熟。

可见光/近红外/短波红外 (0.35 ~ 2.5 μm) 谱段矿物识别常用的方法有沙漏法、吸收特征法。沙漏法包括数据降维、端元光谱提取、光谱相似性匹配。数据降维的目的是将数据中的有用信息压缩至有限的波段中, 减小数据冗余与相关, 减小后续端元光谱提取的计算量, 并提高计算精度。端元光谱提取是通过数学方法提取影像数据数据中的“纯”像元光谱, 并认为所有影像光谱均可看作由不同比例的端元光谱混合而成。光谱相似性匹配是通过计算端元光谱与获取的图像光谱之间的相似性, 两个光谱之间的相似性越高, 是同一种矿物的可能性越大。吸收特征法是首先计算图像光谱的吸收谷的吸收位置、吸收面积等特征参量, 根据专家知识完成矿物的识别光谱相似性识别方法对一些光谱精细特征敏感性低, 识别能力较弱, 但抗噪声能力较强, 一般用于数据质量较差、地形起伏较大的地区, 而基于光谱特征参量的方法相反, 一般用于数据质量较高、地形起伏较小的地区。

热红外 (6.0 ~ 25 μm) 谱段, 矿物发射光谱遵循线性混合的规律, 且光谱特征为复合峰, 因此一般采用光谱线性分解的方法完成矿物识别。在实验室, 该技术成功应用于岩石中矿物含量与化学成分的反演中, 反演的化学成分还可以用于火山岩的分类命名, 将反演矿物与电子探针扫描成像结果进行了对比, 平均标准偏差为 4.8vol%。在对地观测中, 利用机载数据, 也成功用于石英、碳酸盐、 SiO_2 含量等信息的识别。在火星探测中, 热红外高光谱技术也取得了极大成功, 国际上首次制作了火星表面硫酸盐、斜长石、钾长石、赤铁矿、碳酸盐、高钙辉石、低钙辉石等分布图, 赤铁矿的分布得到了美国火星车机遇号的验证。

3. 技术特点

与传统的多光谱遥感 (光谱分辨率一般大于 100 nm) 相比, 高光谱遥感能够获取地物上百个波段的连续光谱, 且每个图像像元均可以提取一条光谱曲线。可根据一些精细的光谱特征识别多光谱遥感无法识别的地物。图 1 中所示地物可以根据高光谱数据的精细光谱特征 (2210 nm 的主吸收特征与 2265 nm 的次级吸收特征), 识别为高岭石, 而利用多光谱数据则无法准确识别。相对于多光谱遥感, 高光谱遥感在信息提取的种类、可靠性、

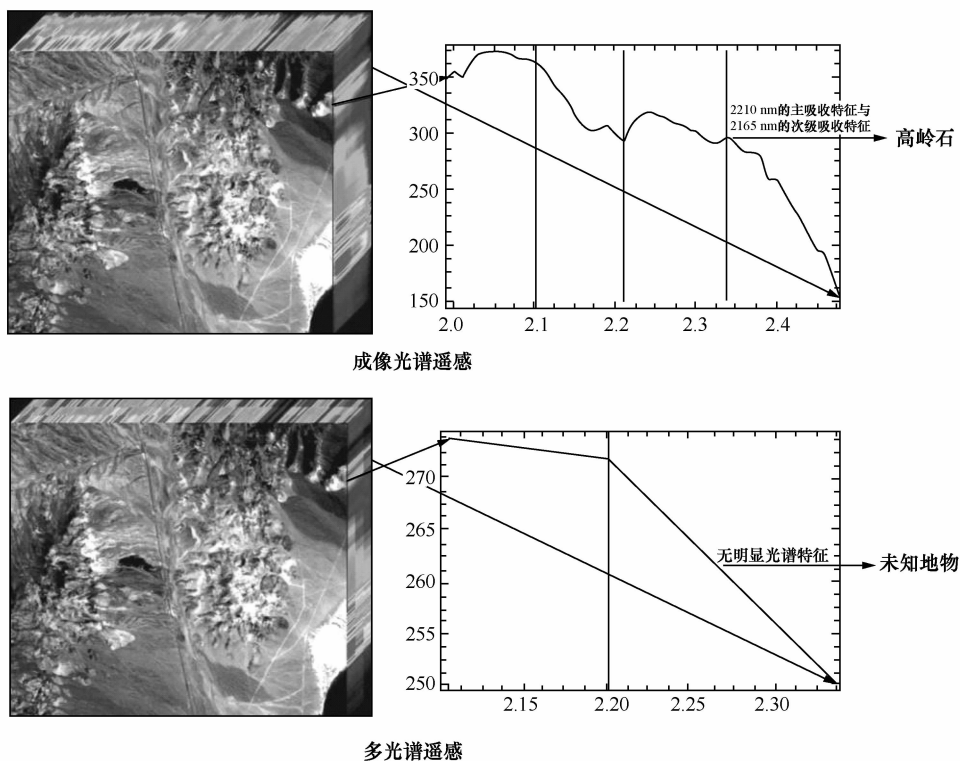


图1 高光谱与多光谱遥感矿物识别的比较（数据为美国 Cuprite 地区 AVIRIS 数据）

定量化程度等方面均有显著提高。在地质勘查与地质环境监测领域，高光谱遥感主要用于识别地表矿物或矿物组合的种类、成分与含量信息，作为地质研究与地质工程部署的依据。目前，高光谱遥感技术可识别数十种矿物的种类、成分以及含量信息。

4. 技术指标

可见光/近红外/短波红外高光遥感矿物识别率达到 82% 以上，准确率达到 90% 以上。

二、应用范围及应用实例

1. 应用范围

高光技术主要应用于对地观测、行星探测。对地观测中主要应用于裸露区、半覆盖区。

2. 应用实例

图2 为新疆东天山土墩-黄山地区的 8 条航带的 HyMap 机载高光谱识别的矿物分布图，矿物识别方法采用基于特征谱带的方法。识别了绿泥石、绿帘石、高铝白云母、低铝白云母、方解石、高岭石、蛇纹石、滑石或透闪石等矿物分布。通过对比分析发现，蛇纹石较好地反映出蚀变超基性岩体的分布，而区域内土墩、黄山、香山、二红洼等铜镍矿床都显示有蛇纹石与滑石、高岭石、绿帘石、或透闪石等的矿物组合分布，表明蛇纹石与滑石或透闪石等多矿物的共生组合对该区与超基性岩有关的铜镍矿物具有很好的指示作用，是该区寻找同类矿床的重要指示标志之一。

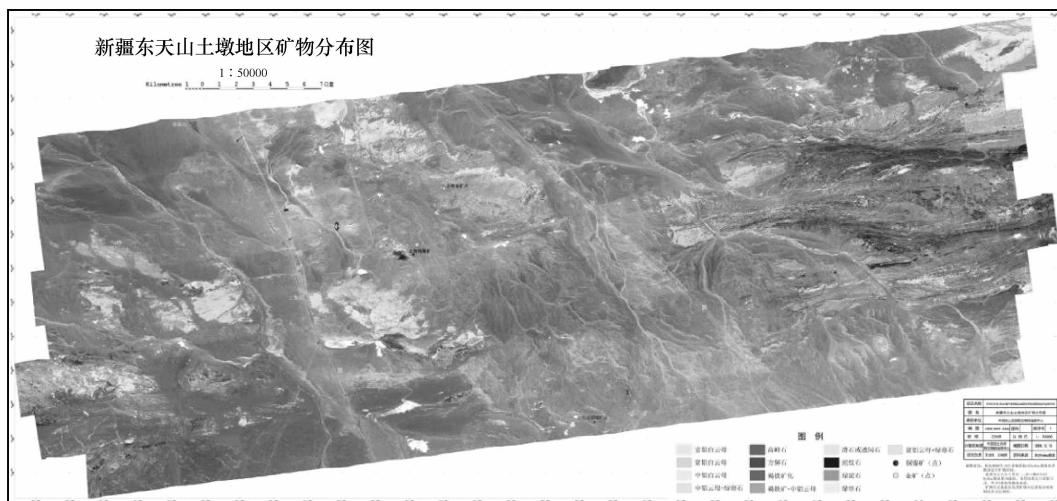


图2 新疆东天山土墩-黄山地区 HyMap 机载高光谱矿物分布图

在甘肃柳园地区利用核工业北京地质研究提供的 CASI/SASI 高光谱数据,在南金滩金矿区识别出的近东西向分布的褐铁矿化,野外验证证实了矿区弱褐铁矿化的存在,并在矿东部具有相同异常特征的地区做了化探采样,3 个样品中有一个样品金品位为 0.28 g/t。

在中西部成矿带应用高光谱技术,可快速缩小找矿靶区,为其他勘查技术的部署提供重要信息。

三、推广转化方式

技术培训。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址: 北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码: 100083

联系电话：010-62060051

高光谱遥感技术找矿应用研究

一、内容概述

在系统总结国内外高光遥感技术找矿应用进展的基础上，应用星载高光谱遥感数据—Hyperion，在河北省丰宁县胡麻营一带开展了高光谱蚀变矿物信息提取研究，取得以下成果：

（1）工作区内植被覆盖度大于 70%，并且残、坡积覆盖厚，野外调查时基本见不到地表露头，使得高光谱遥感数据的像元波谱曲线与 USGS 标准矿物波谱数据库或室内实测岩石、矿物波谱曲线差别很大，增加了蚀变矿物识别的难度。根据工作区典型蚀变矿物诊断性波谱所在波长区间和工作区具体情况，首次建立了植被覆盖严重地区蚀变矿物分谱带识别规则：

①绿泥石、高岭石、蒙脱石、白云母等含羟基基团的蚀变矿物识别主要利用 2000 ~ 2500 nm 波长区间的诊断性波谱，而不考虑其阳离子的波谱特征；纤铁矿、赤铁矿、黄钾铁矾、褐铁矿等含过渡性金属阳离子的蚀变矿物识别主要利用 400 ~ 1000 nm 波长区间的诊断性波谱，而不考虑其阴离子团的波谱特征；

②由于 1400、1900 nm 附近是大水汽吸收波段，现有星载高光谱遥感数据，在这个波长区间数据质量较差，并且该波长区间内蚀变矿物的波谱特征研究相对较少，因此蚀变矿物在 1000 ~ 2000 nm 波长区间的波谱特征暂不考虑；

③识别过程中，首先对分类端元的波谱曲线进行整体波谱特征识别，剔除部分与蚀变矿物无关的端元，如植被端元等，可加快识别速度；

④在矿物填图过程中，为避免出现过多的未知类别，以全部分类端元作为波谱夹角分类的参考样本，最后根据端元波谱谱形特征分析结果，结合研究区已知地质资料，识别具体蚀变矿物。

（2）基于分谱带识别规则，利用“沙漏”流程等方法，在工作区内共识别出方解石、绿泥石、斜绿泥石和白云石 4 种蚀变矿物。野外检查表明，识别出的绿泥石和斜绿泥石矿物与工作区内已知金矿（化）点分布较为一致，且蚀变类型较为一致；白云石与区内大理岩分布范围吻合较好。

（3）基于分谱带识别规则，利用波谱夹角方法提取针铁矿、赤铁矿矿物。野外检查时，在次火山岩破碎带中见硅化和镜铁矿化。

（4）开展了“沙漏”流程、监督分类—波谱夹角和非监督分类方法的高光谱蚀变矿物信息提取研究。“沙漏”流程提取结果表明绿泥石、斜绿泥石分布与已知金矿（化）点分布较好且蚀变类型一致，白云石与大理岩分布较为一致。波谱夹角方法提取的针铁矿、赤铁矿分布与区内镜铁矿化点吻合较好。表明监督分类与“沙漏”流程蚀变矿物信息提取方法优于非监督分类蚀变矿物信息提取方法。

(5) 在植被覆盖区,利用星载高光谱遥感数据开展蚀变矿物信息提取研究,把植被、水体、道路等非地质信息与蚀变矿物信息置于相体水平,利用“沙漏”流程提取影像覆盖区所有类别,根据分类端元影像曲线特征,识别蚀变矿物,能够取得较为理想的效果。

(6) 在系统地分析了 Hyperion 数据的存储方式及特点,发现 Hyperion 数据中“Smile”效应处存在明显的灰度差异,并且灰度差异为一常数。因此,利用“交差轨道照度修正(Cross-Track Illumination Correction)”方法去除影像中的“Smile”效应。

(7) 应用 ENVI 软件中 FLAASH 模块对 Hyperion 数据进行了的大气校正与反射率反演。把反射率反演前后影像中植被波谱曲线与理论植被波谱曲线相比较,认为反射率反演后影像中植被波谱曲线与理论植被波谱曲线相似。

(8) 以该项目为依托,发表相关学术论文 4 篇,指导石家庄经济学院本科生毕业论文 2 名。

二、应用范围及应用实例

在工作区南部大营子矿集区内,提取的蚀变矿物以绿泥石为主,白云石和斜绿泥石矿物零星分布,其中白云石主要分布在绿泥石边缘。结合遥感地质解译结果,认为绿泥石成因与低温热液作用有关,碳酸盐化是气水热液后期作用的产物,二者同时出现,表明该出至少发生两期热液活动,热液活动是该区内生金属矿形成的主要原因。因此认为该区绿泥石、斜绿泥石、白云石蚀变矿物组合是该区热液金属矿的成矿的有利部位,据此确定区内西两间房村村北绿泥石蚀变矿物分布区域为找矿有利地段。

三、推广转化方式

联合研究和技术培训。

技术依托单位:河北省地勘局水文工程地质勘查院(河北省遥感中心)

联系人:吕凤军

通讯地址:河北省石家庄市槐中路 131 号(河北省水文工程地质勘查院)

邮政编码:050021

联系电话:0311-86111342; 13363867510

电子邮件:lvfj1973@sina.com

多层次遥感地质解译技术方法

一、内容概述

以“西昆仑成矿带矿产资源遥感地质调查（地大北京）”为项目依托，项目组在充分收集、吸收研究区已有地质矿产资料的基础上，以典型矿床遥感找矿模型为指导，通过典型岩矿波谱测试、反演及岩矿鉴定完善遥感解译标志，进行工作区矿产地质遥感解译、蚀变信息提取及筛选、成控矿要素提取等工作；通过室内工作和野外调查相结合的工作方法，编制研究区区域构造—岩性遥感解译图和遥感找矿异常图；并在现代成矿理论与典型矿床遥感找矿模型的指导下，圈定研究区内的找矿远景区。

在遥感地质解译工作中，采用多层次遥感地质解译：即基于 ASTER、ETM 数据的 1:10 万遥感构造格架的地质解译，确定区域构造格架、岩性单元等；基于 WorldView-2 数据的 1:5 万全分辨率遥感地质解译，以确定构造交切关系、岩性段界线等微观地质信息；基于 WorldView-2 数据的 1:1 万全分辨率遥感地质解译，以提取成、控矿要素，为找矿预测做前期准备工作。解译过程中，分层次逐步深入解译，完善地质图编制。

此外，在遥感数据对比分析的基础上，项目组开展了西昆仑地区的遥感信息提取、增强方法的研究工作，并取得了一定的成果，主要表现在构造信息提取研究和岩性信息增强研究两个方面：①在构造信息提取方面，研究出以 WorldView-2 数据为主，ASTER、ETM、DEM 等数据为辅的构造信息提取方法。其中包括多源遥感数据综合解译、WorldView-2 影像构造信息增强（“主成分分析+彩色合成”法、“高通滤波+主成分分析”法等）、基于 DEM 数据断裂构造信息提取（生成阴影图、坡度图、水系分布图的方法，及三维显示）等多种方法；②在岩性信息增强方面，摸索出了一套以地物波谱特征为基础的波段组合、比值、弱化阴影等浅覆盖区的岩性信息增强方法，其中包括波段组合方法、拉伸法、比值法、滤波增强法、主成分分析法、HIS 变换法及第四系浅覆盖区岩性信息增强方法等。

二、应用范围及应用实例

以 2011 年度西昆仑成矿带矿产资源遥感地质调查项目为例，项目组以优于 1 m 分辨率的 WorldView-2 卫星遥感数据为主要数据源，利用其高空间分辨率及不同光谱波段的特性，辅以 TM/ETM⁺、ASTER 数据，在野外实地波谱测试及室内岩矿鉴定的基础上，进行工作区多层次遥感地质解译、成控矿要素提取工作，并对重点地区以及影像特征不明显地区进行信息增强处理，突出特征差异，提取有用信息，完成了工作区 8 幅 1:5 万构造岩性遥感解译图，对区北岩性单元进行了较为详细的划分，新解译出多组构造，并解译出片理、片麻理、暗色岩脉等多处微地质现象，补充完善了地质图；在综合分析工作区的岩性地层、构造活动、遥感异常等的基础上，对各成矿亚带的成矿地质特征、成矿要素进行了

综合研究，总结了工作区成矿地质特征，分析了各成矿带成矿要素，形成了各成矿带矿产地质背景新认识，圈定了 4 处遥感找矿远景区和 2 处遥感找矿靶区，编制了工作区 8 幅遥感找矿预测图。

三、推广转化方式

遥感技术作为一门新兴的高科技工作手段，具有宏观、高效、准确等其他工作方法所不具备的优势，可作为矿产地质调查的先驱。对于自然地理条件恶劣、交通极为不便、工作程度低的地区，开展高分辨率遥感地质调查，进行多层次遥感地质解译，可以对区域岩性、构造、成/控矿要素、蚀变异常信息进行提取，精确构建工作区构造格架、详细厘定侵入岩体界线及岩性界线，有效将地质调查、遥感调查、综合研究与地质找矿紧密结合，进而开展成矿远景预测和找矿靶区的圈定，为矿产地质调查服务。

技术依托单位：中国地质大学（北京）

联 系 人：田淑芳

通讯地址：北京海淀区学院路 29 号中国地质大学（北京）教二楼 112

邮政编码：100083

联系电话：010-82322163

电子邮件：sftian@cugb.edu.cn

遥感地质找矿技术

一、内容概述

1. 基本原理

基于成矿理论，充分利用多光谱遥感技术不同波段对基础地质环境、成矿条件和矿化信息的响应能力，通过最佳波段组合选取和相应的图像增强处理技术，提取单一岩性与岩石组合、侵入岩体、构造等基础地质环境信息，矿源层、成矿母岩体、导矿构造等成矿背景条件信息，断造构造与成矿背景条件的复合节体组合等控容矿信息和直接指示矿化蚀变存在的指示信息，指导遥感找矿预测。

2. 遥感地质找矿技术特点

以遥感技术为手段，最新成矿理论为指导，充分利用遥感技术显示成矿地质环境的宏观信息，构造与含矿岩层、成矿岩体的空间节体组合规律，矿化蚀变异常的指示标志，通过已知典型矿床成矿规律分析，遥感找矿模型的建立，采取从已知到未知的对比分析方法，实现区域成矿带、成矿区、靶区遥感找矿预测，指导矿产资源勘查和找矿潜力评价。

二、应用范围及应用实例

1. 应用范围

遥感技术具有多平台、多信息源、多空间与多光谱分辨率的技术特点和宏观性及直观性的技术优势。广泛应用于地质矿产、区域地质、环境地质、地质灾害和生态环境等多个领域。目前，就地质矿产领域而言，国内遥感找矿方法很多，归结起来主要有矿源场-成矿节-信息异常遥感找矿模式法（赵福岳，2000 年）基于遥感技术成矿预测方法（张瑞江，2010）勘查指数遥感找矿预测（王品清，2001 年）色-线-环-块-带五要素找矿预测法（于学政，2003）等等。这些遥感找矿技术方法理论基础不同，各具特色，在遥感地质找矿领域充分发挥着作用。

2. 应用实例

通过对前人资料的分析研究，确定成矿带；在对成矿带内基础地质和成矿理论的分析研究，确定找矿预测区域和控矿要素；利用不同的遥感数据和技术手段，确立控矿要素的解译标志，根据解译标志编制控矿要素图，并进行成矿预测；通过综合手段，优选找矿靶区，提出进一步工作方向。通过该方法的应用，在青藏高原斑岩型铜矿区发现了金矿化，在西藏雅鲁藏布江成矿带发现了金矿床，在新疆乌恰县发现了穆龙套型金矿床，提出了一大批具有可操作性的找矿方向。

（1）应用效果

通过对已知矿床的剖析，总结出我国青藏高原斑岩型铜矿存在深部铜钼、中部铅锌和浅部金的“三层楼”矿化模式。我国冈底斯成矿带发现的铜钼、铅锌和金矿床应该是一

完整的成矿系列，也具有“三层楼”矿化模式。这一观点对上述地区成矿预测将起指导作用。

云南雪鸡坪铜矿和红山铜矿石英脉中金矿化十分明显。雪鸡坪铜矿区石英脉中金的质量分数为 6.2×10^{-9} 和 42.5×10^{-9} ，南北向裂隙带石英脉中金的质量分数为 104×10^{-9} 。在雪鸡坪矿区外围三叠系控矿地层中的石英脉金的质量分数为 116×10^{-9} 。红山铜矿地表也发育少量石英脉和黄铁矿化，金的质量分数为 21.2×10^{-9} （杨清华，2001）。

新疆阿希金矿为低温浅成火山热液型石英脉金矿（陈哲夫，1999），具有晚期浅成矿化特性，属斑岩成矿作用的晚期阶段，其深部应该存在早期斑岩铜钼成矿阶段。根据这一特征可预测深部斑岩铜钼矿的找矿方向。

在成矿理论指导下，通过地质、矿产、地球物理异常、地球化学异常、重砂异常、遥感影像异常、遥感矿化蚀变异常等多源地学信息的分析研究，进行综合找矿预测。例如在贡嘎县东北的普下一带，根据遥感影像特征、控矿地层、控矿构造和遥感矿化蚀变等综合信息进行找矿应用，确定靶区内出露的一套白垩系碎屑岩地层，其成矿元素的赋存状态有利于成为矿源层；控矿断裂上盘为一套碳酸盐岩地层，起隔水层作用，成矿过程中可阻止成矿物质的发散；北东向断裂为区内的控矿断裂，其次级断裂和北东向韧性剪切带为主要容矿断裂，这些部位具有蚀变和破碎带遥感影像异常（图1中的1、2、3、5、6处）。区内主成矿期——喜山期岩浆活动强烈。通过对地球化学和重砂异常源头的追踪，异常源头位于靶区内。区内存在铁染和羟基遥感矿化蚀变信息，具备矿化特征。通过这些方法的综合应用，最终圈定出普下金铜一级找矿靶区，确定了6处进一步工作的区域（图1），并在预测的找矿靶区内发现了金矿床。



图1 普下金、铜多金属一级找矿靶区 ETM 影像

1~6 为找矿区域编号；红绿蓝黄等色斑为遥感矿化蚀变区

(2) 找矿实例

1) 利用已知矿床控矿条件对比解译找矿。穆龙套金矿为一受含碳岩系地层控制的超大型矿床，根据卫星影像对控矿含碳岩系进行对比解译，在同一成矿带上的我国乌恰县吉根—五瓦一带发现了含碳岩系地层。根据这一控矿要素进行金成矿预测，取得了很好的找

矿效果。

五瓦为一已知黄铁矿点，在原生矿石中，金品位最高达 20 g/t（张瑞江，2007）。在吉根乡以北发现了 5 个金、铜矿体，铜、金矿化与热液成矿作用有关，与石英脉关系密切，铜最高含量达 15.85 %，金最高品位为 27.62 g/t（张瑞江，2007）。

吉尔吉斯斯坦境内的萨雷贾兹超大型锡矿受二叠纪花岗岩控制，根据控矿岩体的影像标志，在我国新疆哈尔里克山同一成矿带上建立了二叠纪萨雷贾兹花岗岩侵入体单元，预测了木札尔特河和精河二个锡矿找矿远景区。

巴布亚新几内亚黑尔岛拉杜拉姆金矿床的金矿化形成时间为 0.7 Ma，斐济瓦吐库拉恩派尔罗金矿床的矿化发生时间为 3.7 Ma，这二座金矿床的成矿受这一时期的火山机构和碱性玄武岩控制，成矿时间分别为更新世和上新世（杨清华，2001）。我国藏北高原（主要是西藏与新疆、西藏与青海交界处），中新世晚期—上新世碱性玄武岩火山活动强烈（吴珍汉，2003），火山作用方式类似，火山机构保存完整。与碱性火山岩有关的金成矿作用是金矿的重要类型，这一地区广布的火山机构可以作为找矿预测的重要方向。

2) 利用遥感影像异常找矿。主要利用遥感影像上显示的矿化色调异常（矿化蚀变引起）和构造边界异常（构造作用产生的几何形态）进行找矿预测。如新疆阿舍勒铜多金属矿，由于地表的褐铁矿化，在遥感影像上形成明显的黄褐色调异常，同时受南北向构造挤压作用，形成明显的南北向展布的构造透镜体。新疆多拉那萨依金矿，受南北向构造挤压作用和东西两侧三个岩体侵入共同作用，形成明显的南北向挤压带和反“S”形几何形体，同时也形成明显的色调异常。

3) 根据成矿带延伸找矿。遥感影像显示各类构造具有独到的优势，而构造无论是在控制成矿带还是控制矿床方面，都起主导作用，这一点在新疆地区成矿预测中发挥了重要作用。库姆托尔超大型金矿床位于吉尔吉斯斯坦东南部与我国接壤的国境线一带，矿区构造位置属于中天山构造带，与我国境内中天山构造带划分完全吻合。矿区出露地层为里菲群碳质千枚岩，局部有石墨化。根据这一控矿要素，在我国中天山构造带特克斯县的一处石墨矿点内发现了与库姆托尔超大型金矿床完全一致的地质现象和矿化特征，具备重大的找矿线索。通过对滨巴尔喀什斑岩铜成矿带延伸的对比解译，发现该成矿带分南北二支沿伊犁河谷（南支）和塔城—青城—哈密以北一线（北支）进入我国境内，这两条带已成为新疆重要的斑岩铜矿成矿带，陆续发现了一批铜矿床（点）。

三、推广转化方式

技术培训。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

联系电话：010 - 62060051

区域化探数据多元素异常图像融合技术方法

一、内容概述

为执行国家“十一五”科技支撑项目重点课题《哀牢山金多金属成矿带找矿方法开发及应用示范》研究成果之一。

该方法技术是借用遥感多波段数据图像的融合技术处理化探数据成果。基本步骤为：首先将化探数据点位图图像化，再把不同元素化探数据图像作为遥感数据图像处理时一个波段分别赋 RGB 通道开展图融合，形成不同元素化探异常的融合图像，再开展其他的进行各种分析处理，从而显示某种特定的地质效果，充分挖掘化探数据内蕴含的地质和矿化信息。

(1) 制作化探单元素图像。将化探数据的单元素丰度值，经处理后形成类似于遥感单波段图像单元素图像（图 1）。

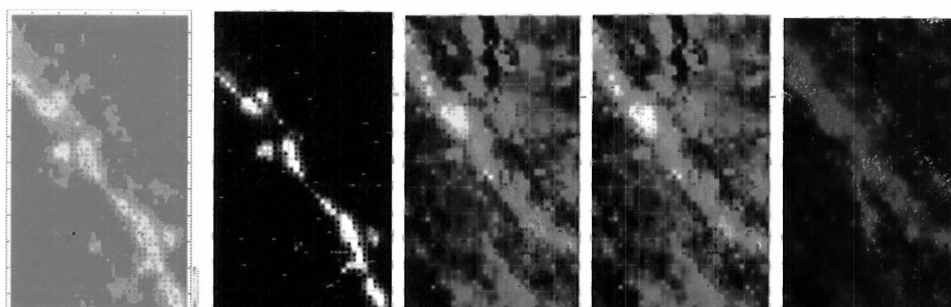


图 1 自左至右：老王寨—金厂一带镍地球化学图；镍元素地球化学图像；Au - Cu - Ni 元素融合图像；Au - Cu - Mo 融合图像；化探主成分 PCl⁺ 遥感（铁 + 羟基）（右）融合图像

(2) 多元素融合图像。通过对不同波段（元素）图像运用遥感数据处理技术（将不同的元素赋以 RGB 通道）进行像素级融合，可以获得多元素（波段）融合彩色图像。这种图像上以色彩叠加原理，十分明确地显示出单元素、双元素或三元素异常的融合结果。既可以通过单色值的分布情况了解不同元素的区域分布特征，又可以通过色彩叠加值了解多种元素在同一地区的含量高低。同时还可通过其颜色的色调深浅判断不同元素和多种元素异常值的高低特征，因而对于找矿具有重要指导意义。

(3) 多元素主成分分析图像。化探测试一般都要同时测定多达十几种甚至 30 多种元素，上面处理方法一次只能形成最多反映三种（如 Au/Ag/Cu 或 Au/Cu/Mo 等）元素的色调图。对于矿区矿化和主指示元素组合较少时可能突出重点，观察主要三种主要元素的丰度分布情况，但当矿区成矿元素和找矿指示元素较多时，则必须通过多幅图像放在一起目

视对比才能判别它们的意义，而无法体现在同一张图像上。为此，可以在化探元素丰度值基础上，通过普通多元统计分析，先确定主要成矿元素组合。而后将这些元素的单元素图像，运用遥感主成分分析技术，选择主成分因子最大贡献主成分形成图像或几个主成分图像形成融合图像，这样就可以在同一张图像上融合更多元素空间分布的信息特征。前面这三步均是以化探数据为基础的处理结果。

(4) 化探与遥感的融合。在上述基础上，再用单元素或多元素的融合图像与遥感数据蚀变提取信息形成像素级融合，得到化探与遥感异常融为一体的多波彩色图像。从而既反映出化探异常空间分布特征，同时又突出了遥感蚀变信息特点，能够最大限度地挖掘出遥感和化探端元的组合地质信息。

二、应用范围及应用实例

本项目对老王寨、金厂及位于其间的平掌-双沟地区，新圈定了 2 处找矿靶区，靶区一位于镇沅金矿田的南延地段，距镇沅金矿田约 50 km。经武警黄金第十支队开展远景区野外实地查证，发现向阳山 1 号矿化蚀变带，由 11 条槽探工程进行揭露，出露标高 2150 ~ 2250 m，控制长度约 1040 m，厚度 1.13 ~ 9.89 m，金品位 $0.12 \sim 12.2 \times 10^{-6}$ 平均金品位 0.82×10^{-6} 产状 $43^\circ \sim 115^\circ \angle 20^\circ \sim 56^\circ$ ，圈定矿体 2 个，分别为 I 号矿体和 II 号矿体，估算 334 资源量 1417 kg。进一步工作又在 1 号矿化蚀变带南西侧新发现 2 号、3 号和 4 号矿

化蚀变带。2 号矿化蚀变带，有 4 个槽探工程、2 个钻探工程控制，圈定矿体一个，估算 334 金资源量 556 kg。靶区二位于平掌—三家村一带地区，通过查证发现 3 条矿化带，工程控制表明，金品位 $0.14 \sim 0.79 \times 10^{-6}$ 平均银品位 150.21×10^{-6} 平均铅品位 1.83×10^{-2} ，平均锌品位 11.61×10^{-2} 均显示具有一定的找矿前景。

通过上述工作，初步验证了通过遥感 + 化探数据融合等方法技术圈定的异常区（找矿靶区）具有较大的找矿价值，反映了这种方法在该区找矿选区中的适用性。

三、推广转化方式

建议以项目合作的形式进行。

技术依托单位：武警黄金地质研究所

联系人：葛良胜

通讯地址：河北省廊坊市丰盛路 159 号武警黄金地质研究所

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 5909506

电子邮件：geliangsheng@yahoo.cn

境外遥感地质找矿应用技术

一、内容概况

1. 工作内容

以卫星遥感为主要技术手段，依据相关遥感解译标准，参考已有的地质矿产资料，开展全球 1:500 万地质矿产卫星遥感解译、重要资源型国家 1:100 万地质矿产遥感解译，圈定重要成矿带、重要矿业活动区和成矿有利地段；进行重要成矿带 1:25 万、成矿有利地段 1:5 万~1:1 万地质矿产遥感解译；在解译成果基础上，开展全球重要矿种矿床成矿规律研究。为国家对外科学技术研究与交流提供基础信息，为“走出去”矿业企业勘查开发提供境外矿产信息服务。

2. 技术方法

①地质资料收集与遥感解译成果比对；②卫星数据获取；③遥感数据处理及图件制作；④遥感地质解译及编图；⑤遥感异常矿化蚀变信息提取；⑥图像增强处理；⑦图像解译与收集资料、野外调查相结合；⑧遥感技术与 GIS 技术相结合；⑨综合分析等方法。

3. 技术流程

以遥感信息为主要地质矿产信息源，以 GIS 为平台，结合境外矿产资源勘查综合评价数据库、全球主要成矿带图件、全球重要矿业国家法规、投资环境等信息，分阶段，分层次，开展遥感地质矿产解译，为国外地质矿产资源勘查信息服务“一张图”平台建设提供遥感地质信息（图 1）。

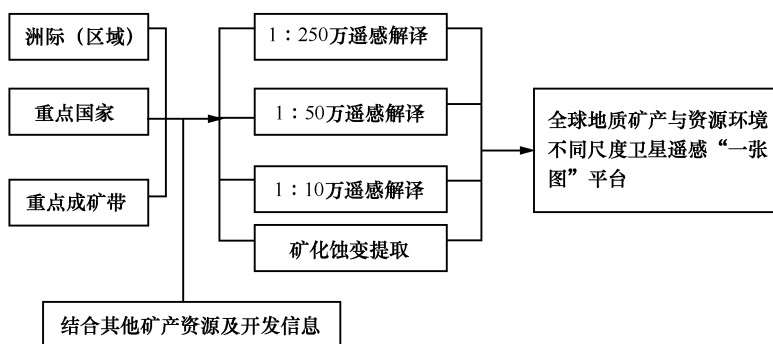


图 1 总体部署框图

4. 技术标准

(1) 《全球地质矿产与资源环境卫星遥感解译技术要求》

该技术要求规范了《全球地质矿产与资源环境卫星遥感“一张图”工程》遥感解译

内容、解译方法、解译图件编制和数据入库等方面的要求。适用于比例尺 1:500 万 ~ 1:5 万的遥感地质解译。

(2) 《全球地质矿产与资源环境卫星遥感“一张图”工程图件制作技术要求》

该要求规定了《全球地质矿产卫星遥感“一张图”工程》的 1:500 万尺度全球（洲际）、1:100 万（国家尺度）、1:25 万、1:10 万（遥感找矿战略选区）、1:5 万、1:1 万（遥感找矿靶区）遥感解译系列图件制作要求。

(3) 《全球地质矿产卫星遥感“一张图”工程成果图件拼接方案》

根据该方案进行成果图件的拼接，能更好地显示和表达全球一张图遥感地质解译内容和成果，形象展示各大洲乃至全球主要构造格架、地层、岩体、矿床分布，为全球构造、成矿规律研究，全球重要成矿带的划分提供依据。

二、应用范围与应用实例

1. 应用范围

①全球七大洲、207 个国家共计 14900 万 km² 陆域面积开展 1:500 万地质矿产遥感解译；

②重要资源型国家开展 1:100 万地质矿产遥感解译；

③重要成矿带开展 1:25 万地质矿产遥感解译及矿化蚀变信息提取；

④成矿有利地段开展 1:5 万 ~ 1:1 万地质矿产遥感解译。

2. 应用实例

(1) 重要资源型国家

选择矿产资源非常发育、矿种与我国紧缺资源互补性强、勘探开发程度较低，与我国政治环境友好、政局稳定、投资环境优越的国家和地区作为重要资源型国家，开展相关的境外遥感地质找矿工作。目前已开展的国家有埃塞俄比亚、津巴布韦、秘鲁等国，正在开展工作的有中亚五国、阿富汗和巴基斯坦等国。

主要工作内容为开展全国 1:100 万地质矿产遥感解译，开展重要成矿带 1:25 万地质矿产遥感解译；开展成矿有利地段 1:5 万 ~ 1:1 万地质矿产遥感解译。并在重要成矿带内利用 ASTER 数据进行矿化蚀变信息提取工作（图 2，图 3）。

(2) 与企业合作开展的相关境外遥感地质找矿工作

与五矿公司合作，在厄立特里亚工作区开展了前期 1:25 万遥感地质矿产解译及矿化蚀变信息提取工作，结合相关地质资料在该区圈定了找矿靶区，该靶区与后续的地面化探异常十分吻合，并最终被五矿公司申请为矿权区（图 4），目前正在对该靶区进行 5 万的遥感地质矿产解译。

(3) 全球典型矿种遥感找矿模型研究

选择全球大型特大型矿床，开展铁、铜、锰矿、铝土矿、镍矿、铀矿、钾盐和金矿等矿种的成矿规律研究。根据各矿种有多种成因类型，不同控矿因素、矿床地质特征和规模等特点，且工业意义也各有差异。为此，针对不同矿种不同成因类型采用不同的遥感解译方法，建立各自的遥感找矿模型。

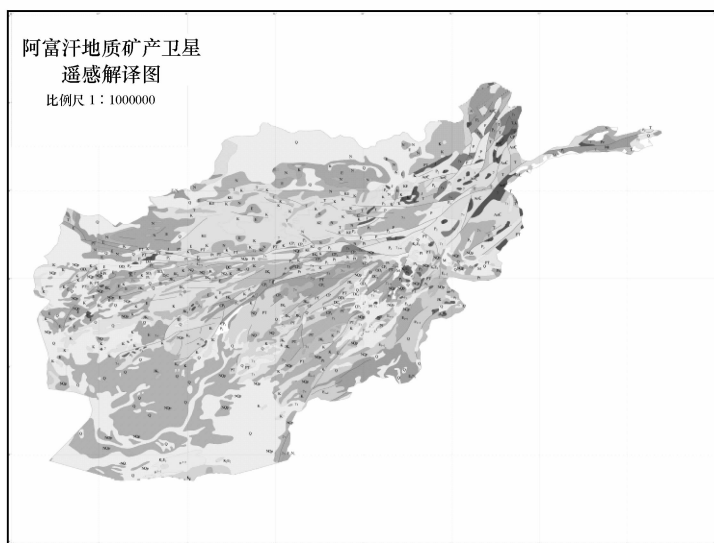


图2 阿富汗 1:100 万地质矿产卫星遥感解译图

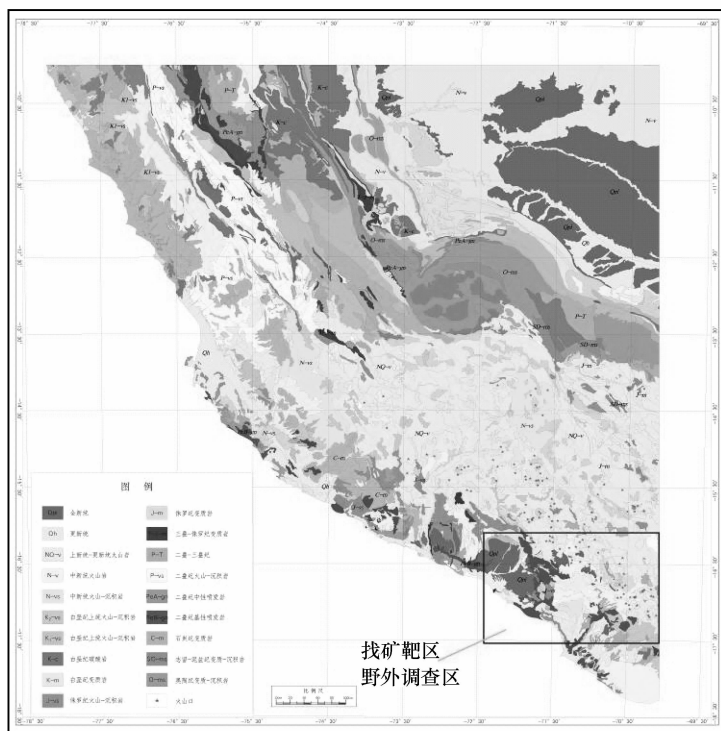


图3 秘鲁 1:25 万找矿有利地段遥感地质解译图

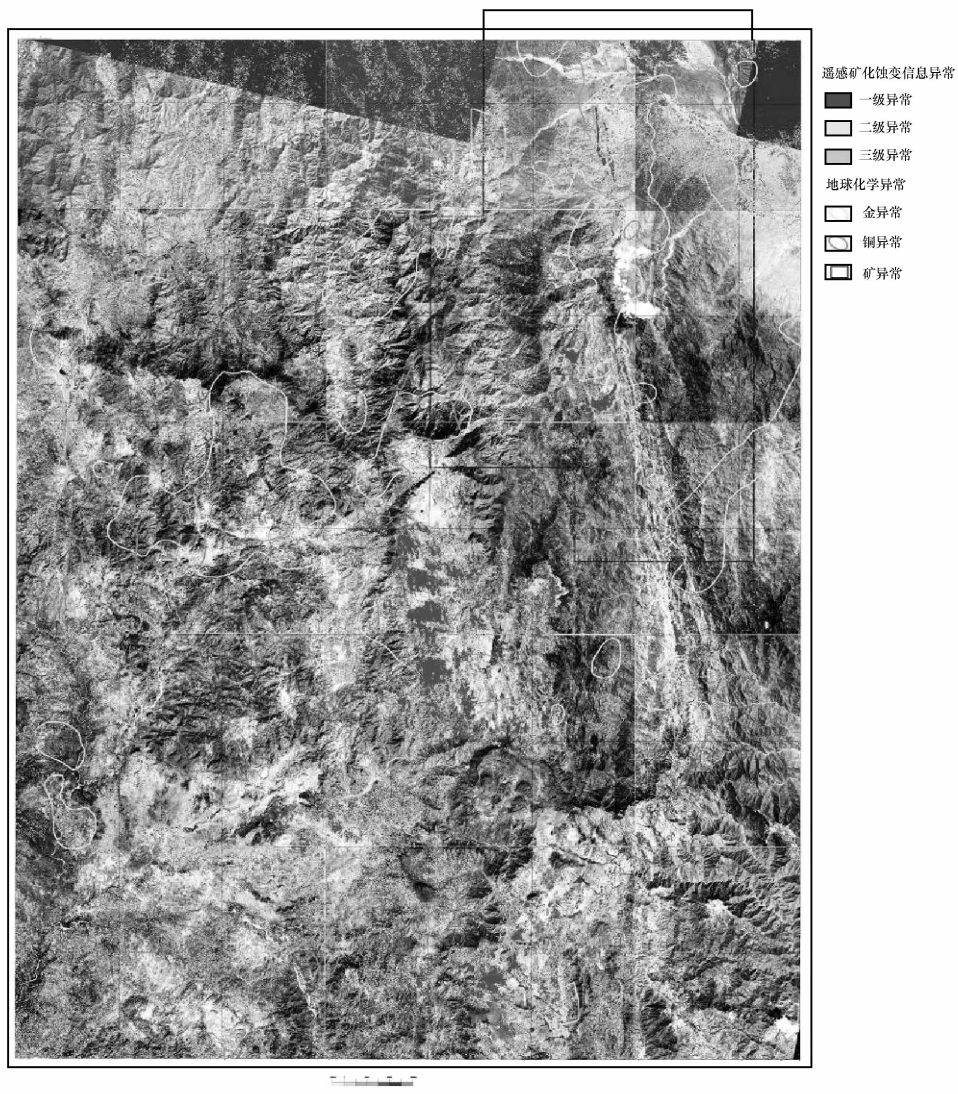


图4 厄立特里亚工作区铝羟基矿物组合遥感异常与化探异常套合图

三、推广转化方式

联合研究与技术培训

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路31号

邮政编码：100083

联系电话：010-62060051

岩矿光谱测试技术

一、成果概述

岩矿光谱是遥感地质应用技术的理论基础，是多光谱蚀变信息提取、岩性识别和高光谱矿物识别的依据。无论是多光谱技术还是高光谱技术，其理论基础都是地物光谱特征机理。岩矿光谱特征谱带都源于矿物晶体中电子过程和原子基团的振动过程，其光谱特征主要是受其物质组成成分及内部晶体结构等内在机制和物化特征等外在机制所制约。大量研究表明，岩矿的内部结构、化学成分的改变会使光谱反射强度和谱带位置、吸收深度都发生相应的变化，并会由于矿物中离子的替代或新矿物的生成而出现新的特征谱带。而外在环境、岩矿表面状态和物理风化等外在条件因素也会对波谱产生一定的影响，但除了化学风化外，一般仅会引起岩石反射率大小的变化，而对光谱整体形状和吸收谱带特征的影响不大。

多光谱技术应用于地质领域相对较早，已广泛地应用于遥感地质解译和信息提取。基于对岩矿光谱特征的理解，利用多光谱数据可以开展蚀变信息的提取，服务于地质找矿等应用工作。

在高光谱地学应用中，岩矿光谱特征是地物信息直接提取的基础，高光谱纳米级超高光谱分辨率，数十至成百个波段对地物成像，在获取地物空间信息的同时获取地物连续光谱信息，可以根据地物诊断波谱等特性，直接识别地物类型及其组分。依据岩矿光谱特征，利用高光谱遥感影像，有可能直接识别出岩矿类型，特别是识别出与成矿作用密切相关的蚀变矿物，圈定热液矿化蚀变带，分析蚀变矿物组合，定量或半定量地估计相对含量及蚀变强度，为矿产资源勘查提供技术支持。另外，对岩芯进行光谱扫描，可以构建深部地质作用过程，指导找矿工作。

二、应用实例

岩矿光谱不仅在遥感地质领域得到了越来越广泛的应用，在农业地质、采矿业以及矿石选冶等方面也越来越发挥出其独特的作用。

1. 岩矿光谱及其特征机理研究

根据矿物的光谱特征，可以快速识别出组成岩石的矿物类型、矿物化学成分及其含量的变化。例如白云母中铝含量的细微变化会使其光谱特征产生明显的变化（图1）；同种物质成分因结晶程度的不同而具有不同的形态特征（图2）。

2. 多光谱蚀变信息提取

在新疆东天山、西藏驱龙等地，利用 ETM⁺ 数据，结合与成矿紧密相关的蚀变矿物光谱特征，提取出该区与成矿相关的蚀变矿物分布区。经野外验证，与矿区（点）分布基本吻合。

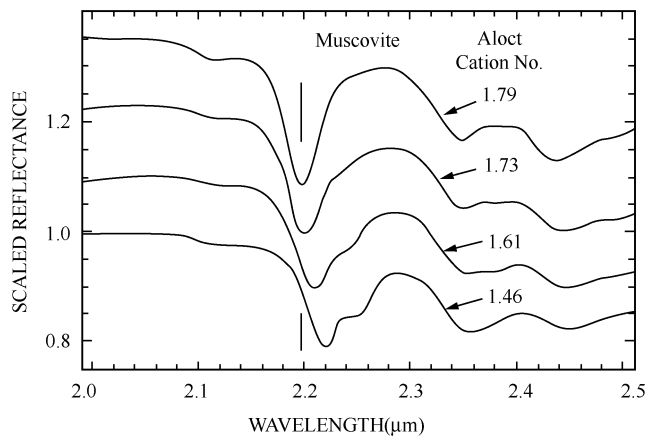


图1 Al 含量对白云母矿物光谱的影响
(据 Swayze G A, 1997)

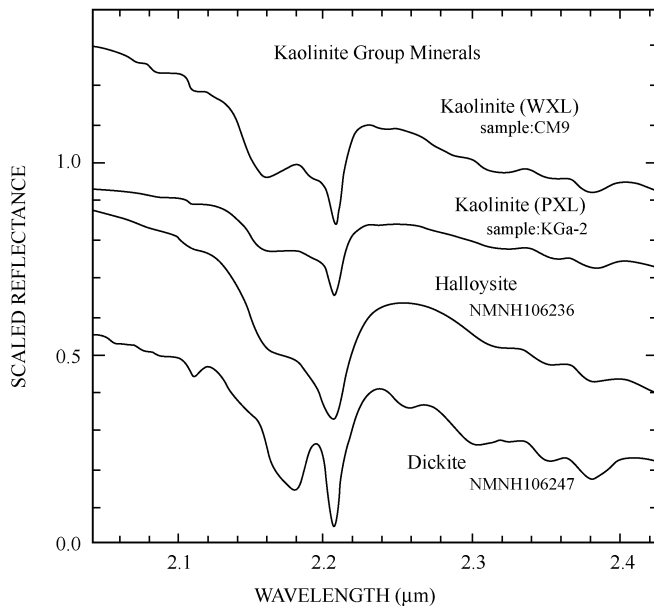


图2 不同结晶程度的高岭石族矿物光谱曲线
(据 Clark R N, 1999)

3. 高光谱矿物填图与成矿预测

基于矿物光谱特征，利用 HyMap 机载成像光谱数据填绘出了白云母（高铝白云母、贫铝白云母）、绿泥石、绿帘石、绿泥石和绿帘石组合、高岭石、蒙脱石、透闪石、蛇纹石、褐铁矿、方解石等 10 多种矿物种类（图 3），经野外查证（图 4），矿物识别率达 82%，准确率达 90 以上。

在驱龙地区，利用 Hyperion 数据识别出与斑岩铜矿相关的蚀变矿物，根据矿物共生

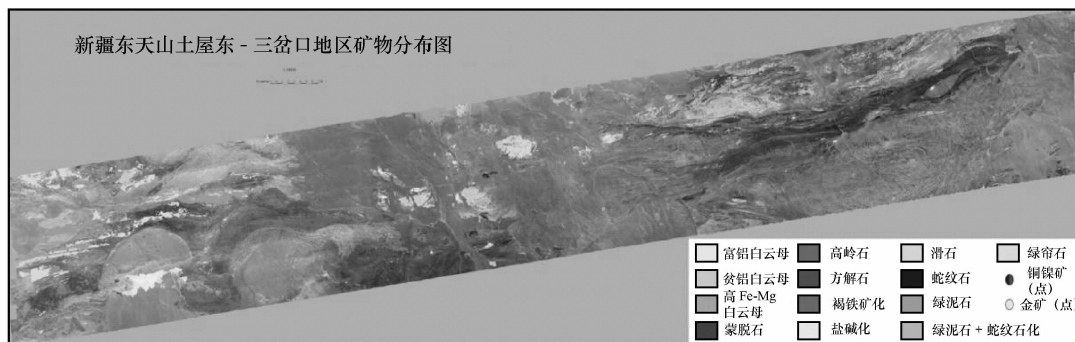


图3 新疆土屋东-三岔口地区矿物分布图



图4 数字化岩芯扫描仪

组合关系以及成矿规律，圈出了有利成矿靶区，并得到了实际验证。

4. 矿山地质污染与环境调查

基于岩矿光谱特征，利用高光谱 Hyperion 数据，识别出德兴铜矿区矿山重金属污染、植被污染、水污染等相关信息，为开展绿色矿山建设提供支撑。

5. 岩芯光谱扫描及选矿应用

同时，依据岩矿光谱特征的一些细微差别，可以探测一些蚀变矿物和一些造岩矿物的矿物组成成分的变化及结构特征，用于分析或恢复矿物成生的地质环境，分析地质作用过程。

澳大利亚联邦科工研制出了数字化岩芯扫描及解译系统 Hylogging System（图4），该系统是面向对象、多层次的岩芯矿物分析编录系统。系统能够沿岩心方向连续获取矿物反射光谱及高分辨率彩色影像，分析和识别多种地质单元和热液蚀变聚合物，包括层状硅酸

盐、碳酸盐、水合硫酸盐、氧化铁等矿物，为地质矿产资源的深部探测和三维立体探测提供了一种非常便利的技术手段。

ASD 公司 Goetz 等人近期研发的新一代高光谱系统，主要用于选矿厂矿石传输带上矿石杂质成分实时监测。该系统利用模拟的太阳光源（相当于 20 个太阳强度），从目标上方“700 mm”（“近感”）近距离地监测矿石选冶中杂质成分的变化（图 5）。

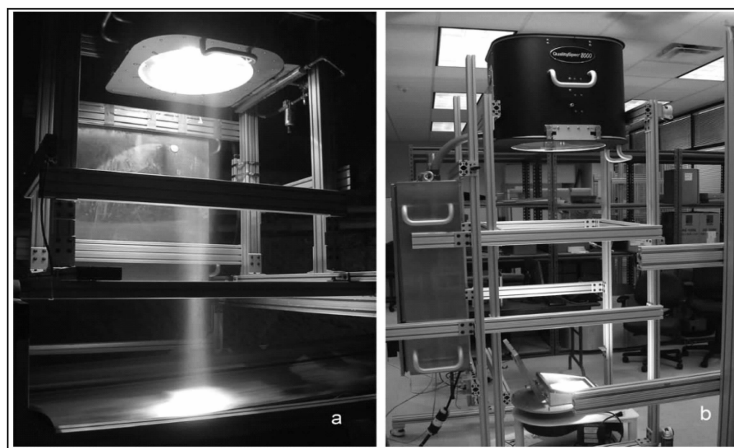


图 5 基于光谱测试的选矿厂矿石传输带上矿石杂质成分实时监测系统
(Goetz et al, 2009b)

6. 其他应用实例

随着对于地物精细特征的探测与识别需求的不断加深，对遥感载荷指标及应用潜力提出了更高的要求，促使遥感传感器不断地趋于向高空间分辨率、高光谱分辨率以及更大幅宽方向发展。

因此从遥感地质的实际应用需求出发，基于基础地物光谱特征及分析，对空间传感器的设计、最佳遥感波段的选择、卫星遥感数据的大气校正、图像数字处理方法的选择、参数的确定以及应用解译标志的确定等方面都具有极其重要的意义。

三、推广转化方式

通过举办会议培训，开展会议交流和技术人员培训，使得更多的技术人员了解和掌握改项技术及其相应的应用情况。并可通过一定的宣传报道，拓展该项技术及其应用领域的知名度及影响力。

同时，技术依托单位的技术人员可实时提供相关的技术咨询服务。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

联系电话：010-62060051

矿物光谱分析专家系统 MSA V3.6

一、内容概述

1. 简介

矿物光谱分析专家系统 MSA V3.6，是南京地质调查中心经过 8 年开发，专门用于矿物光谱分析的专业软件，拥有软件著作权。本软件具有中英文切换功能，可控制我中心便携式近红外光谱仪 PNIRS 和美国 ASD 仪器，同时还具有定性分析、定量分析、特征峰提取和数据表达功能，此软件在国内外拥有一大批用户。世界上著名的美国 ASD 公司准备将此软件作为其仪器配套软件，推荐给全球用户，目前正在美国进行测试。

2. 应用范围

矿物定性和定量分析，图像处理，光谱信息提取，数据建模。为找矿靶区预测，地质研究，矿山开采和选矿工艺提供数据依据。

3. 分析矿物种类

硅酸盐中单矿物（如黏土矿物，绿泥石，蛇纹石等）；

含羟基之硅酸盐矿物（如绿帘石，闪石等）；

硫酸盐矿物（如明矾石，黄铁钾矾，石膏等）；

碳酸盐矿物（如方解石，白云石等）；

珠宝玉石（角闪石，利蛇纹石等）。

4. 仪器控制

国产 PNIRS 和美国 ASD

5. 地质应用

矿物识别，为勘查、地质和土壤/基岩测量进行矿物填图，钻孔和隧道（平硐）编录，蚀变系统填图和目标区选择，成矿作用的指示，成矿潜力评价，矿物地球化学和结晶学，采矿中的品位控制，下脚料中黏土含量监测，辅助遥感图片的判别等。具体意义如下：

（1）提供矿化环境的特征，如交代类型和交代带等。

（2）鉴别原岩类型：鉴别高岭石，表明其原岩是长英质岩石，发现蒙脱石表明原岩是镁铁质岩石

（3）指示矿化关系，富镁的绿泥石接近矿化中心，富钾的白云母更和矿化有关

（4）指示风化范围和过程，如三水铝石表示晚期的铝土质环境

（5）指示矿化作用的化学过程，（如 K/Na 交代）及温度（叶蜡石，黄玉，地开石等矿物是高温矿物）。

二、应用范围及应用实例

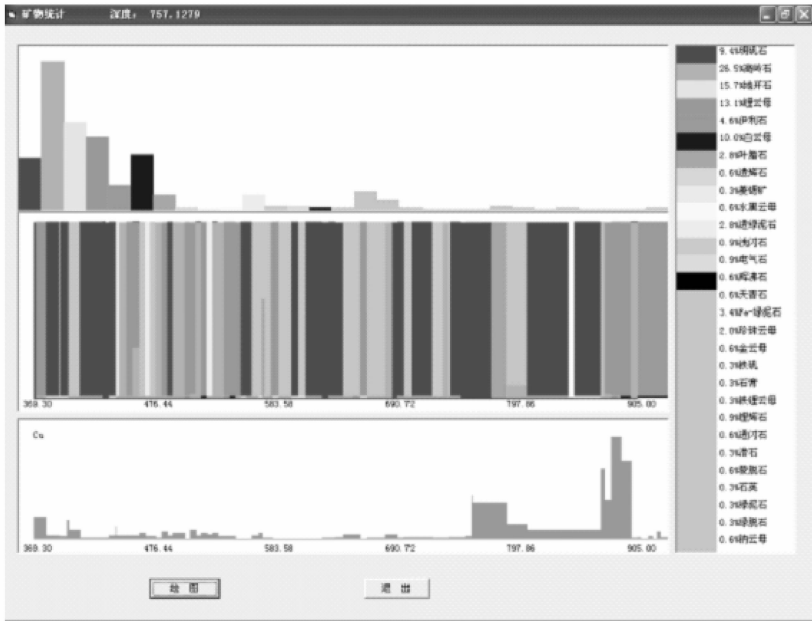


图2 矿物分布图

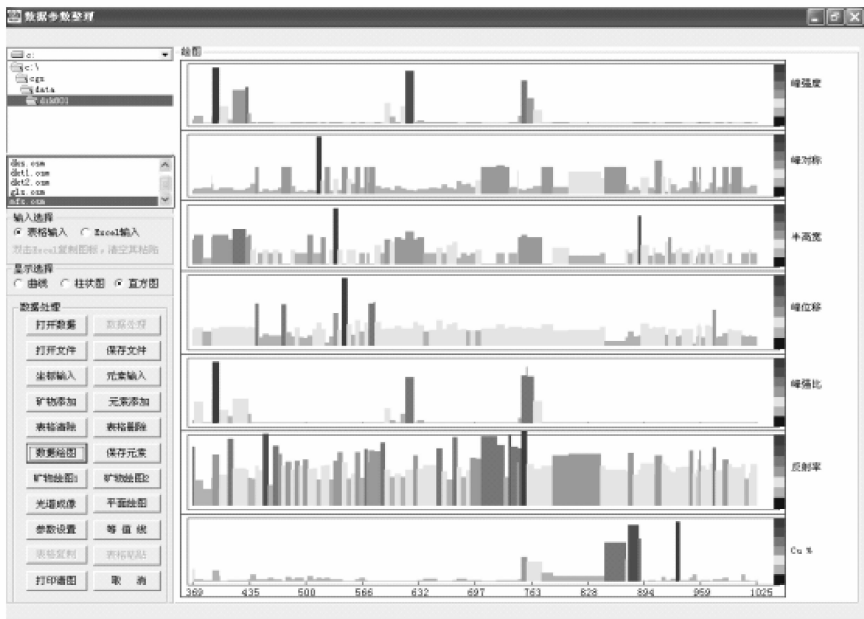


图3 矿物光谱数据和矿化关系

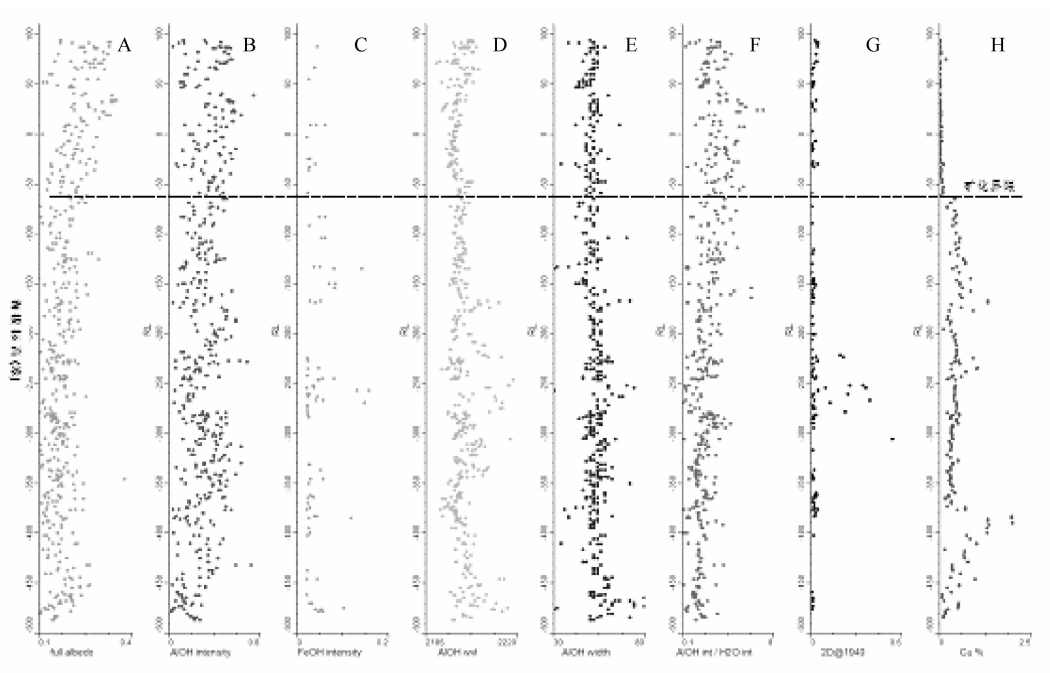


图4 矿物与成矿关系分析结果图

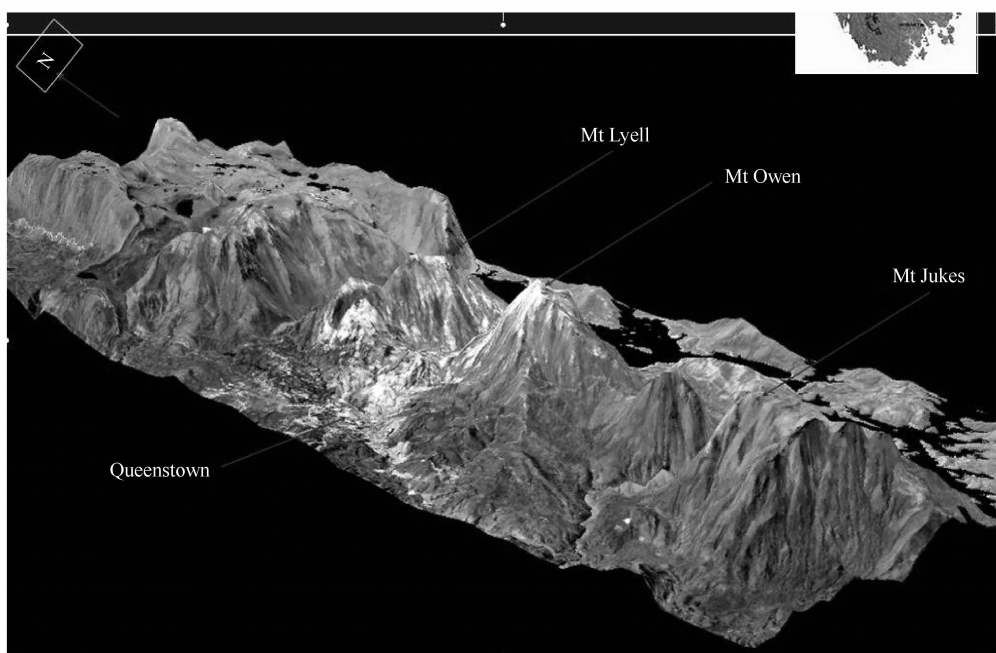


图5 地表蚀变矿物填图

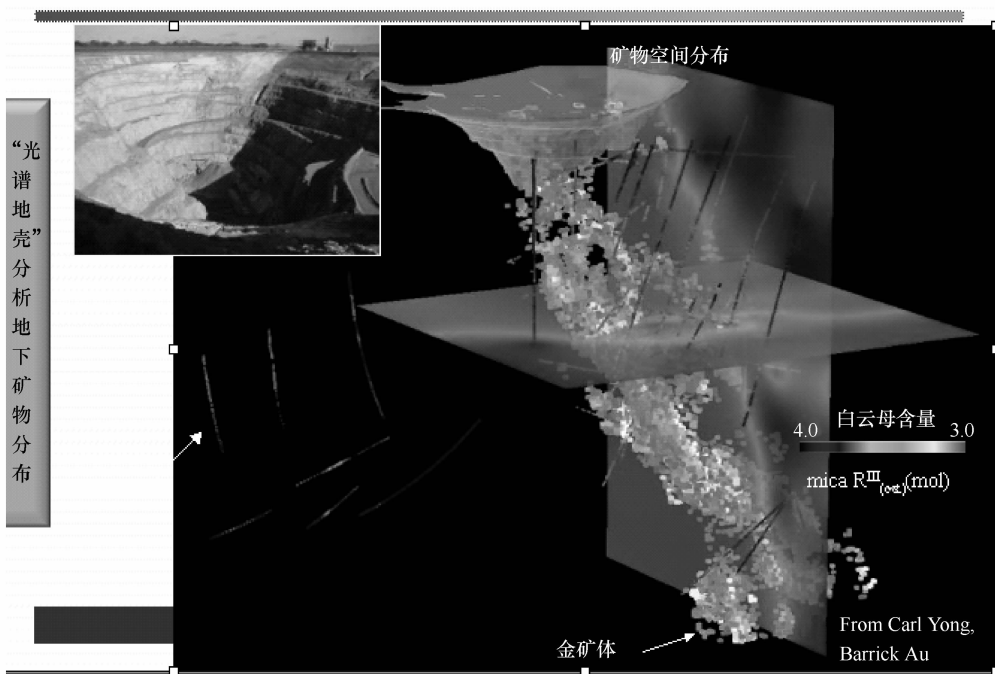


图6 蚀变矿物立体填图

三、推广转化方式

本单位组织生产与销售。

技术依托单位：南京地质调查中心

联系人：修连存

通讯地址：南京市中山东路534号

邮政编码：210016

联系电话：13901596926

电子邮件：xiuliancun@china.com

基于 4G 一体化技术的煤航 e 鸟巡检技术

一、内容概述

煤航 e 鸟巡检综合了国内外巡检系统的优点,针对国内巡检行业的应用需求开发,真正实现简单实用,三方面的创新成果达到国际先进水平。

(一) 巡检管理模式创新

基于 4G 技术的煤航 e 鸟巡检系统将改变传统的模糊巡检,手工记录的巡检模式,取而代之的是更加智能的、精确的和可视的巡检模式;巡检工在日常巡检时,e 鸟巡检仪会为巡检工进行导航,指导巡检工按照指定巡检路径巡检,同时 e 鸟巡检仪会自动记录巡检工的轨迹并自动上报,当遇到异常情况时,巡检工可通过 e 鸟巡检仪记录下异常信息,对异常情况进行拍照、录像,连同发生地的四维空间坐标发送到监控中心,管理者即可在办公室实现对现场情况的监督并下发指令处理异常情况,从而实现了巡检管理的可视化、实时化,本巡检模式可以推广应用到长输管道、电力线路、公路、铁路、水利等行业领域的巡检。

(二) 地理矢量数据转换到 KML (Keyhole Markup Language) 的方法创新

利用 GoogleEarth 进行商业开发时,如将不同坐标系,不同比例尺的地理数据叠加到 GE 影像上,叠加精度和表现形式往往影响其使用,本项目中采用新的转换方法克服了上述缺陷,使其叠加精度更加精确、表现形式更加多样化,解决了大容量地理数据精确转换到 KML 文件,从而实现商业应用的目的,本项方法创新已经获得国家发明专利。

(三) 基于 GoogleEarth 平台开发巡检系统的思路创新

采用专业的 GIS 平台开发的巡检系统,往往会因地形数据表现形式的单一和死板,以及 GIS 平台开发的功能过于专业化而导致开发成本过高、用户难于操作和理解,最终放弃使用,本项目中利用免费的 GoogleEarth 平台结合专业地理数据开发,巧妙地应用了 GE 系统本身的三维地球浏览模式、动态飞行模式等视觉特效,让管理者在使用系统时仿佛置身其中,乐于操作,极大的推动普及了系统的应用,开创了国内将 GE 用于 GPS 巡检系统的新思路。

二、应用范围及应用实例

煤航 e 鸟巡检推出市场后,因其简单实用、很好地解决了传统巡检中的人员定位难、数据传输难的管理难题,实现巡检管理可视化、精确化、实时化的目标,因此受到了巡检行业的一致好评。煤航 e 鸟巡检先后在中石化、中石油、延长油矿等单位的长输管线上进行了推广应用,系统安装运行后,有效为客户解决了以下几方面的问题:

(1) 从根本上解决了数据采集和数据传输问题,节省了巨大的通讯网络建设和维护费用;

(2) 大大提高了工作效率:所点即所得,瞬间可完成生产数据的查询,从而进行生

产安排；

(3) 缩短了数据更新周期：借助 GPRS 通信网络，现场巡检数据瞬间传送至中心数据库，并通过软件系统进行表现；

(4) 有力督促了巡检精确到位的问题：基于 4G 技术，实时监视巡检人员的行踪，有效保护的巡检目标的安全；

(5) 加强了工作执行力度：事故处理的全过程均有在线记录；逾期报警，提醒工作人员及时处理事故。

下面是自煤航巡检推出以来的部分系统用户：

序 号	企业名称	巡线公里约数
1	中石化天然气济南管道公司	2500 km
2	中石化中原油田天然气产销厂	600 km
3	中石化西南分公司川西采气厂	1000 km
4	中石化西南分公司川北采气厂	500 km
5	中石化西南分公司云南采气厂	200 km
6	中石油兰成渝管道成都段	600 km

以中石化天然气济南管道公司用户为例，安装使用煤航 e 鸟巡检系统后，给客户带了巨大的经济效益，如下表：

效益分析	使用 e 鸟巡检前	使用 e 鸟巡检后
巡检效率	以往经常出现巡线工怠工问题	现在巡检工每天 6 点多即开始巡检，巡检效率大幅度提高
管理水平	管理者每天定时开车下去检查巡检工，费时费力	只需坐在办公室即可实现监督，明显提高了管理水平
通信费用	每年给巡检工补助通信费 $200 \text{ 个人} \times 50 \text{ 元} \times 12 \text{ 个月} = 12 \text{ 万}$	每年只需 GPRS 费用 $200 \text{ 台} \times 5 \text{ 元} \times 12 \text{ 个月} = 1.2 \text{ 万}$
产生效益	每年因管道不能及时发现问题，造成维修维护费用近 500 万元	及时发现问题，消除安全隐患，节约成本近 500 万元

三、推广转化方式

帮助用户安装基于 4G 一体化技术的煤航 e 鸟巡检系统，培训应用维护技术人员。

技术依托单位：中国煤炭地质总局航测遥感局

联 系 人：谢志清

通讯地址：陕西省西安市和平门外大街 3 号

邮政编码：710054

联系电话：029 - 87855324

电子邮件：xzhq6951@163.com

缺水地区地下水勘查集成技术

一、内容概述

通过在严重缺水的基岩地区和内陆盆地不同类型地下水勘查示范工程实践，建立了包括地下水蓄水构造模式、“逐步逼近式”找水模式和勘查技术方法体系的地下水勘查集成技术，在实践中成效显著。

总结出 15 种基岩裂隙水富集的蓄水构造模式，即隐伏断裂型、基底隆升型、叠瓦状台阶型、地堑地垒型、棋盘型、单斜型、阻水断裂型、断裂带型、断块型、褶皱型、地垒型、地堑型、隐伏风化壳型、裸露风化壳型和玄武岩层状型，丰富了基岩山区找水理论和实践。

建立了集遥感-地质调查-地球物理勘探“三位一体”的“逐步逼近式”地下水找水模式，即首先利用前人资料，了解地下水类型及区域分布情况，确定找水方向；然后根据地区特点采用不同遥感数据解译，遴选找水靶区；再采用 1:5 万~10 万水文地质测绘和快速物探方法查明地下水形成条件与富集规律，确定富水地段；在此基础上开展 1:1 万或更高精度的水文地质测绘以及有效的综合物探，水文地质与地球物理专业技术人员共同会商进一步缩小范围，确定钻探孔位；最后针对不同地层岩性特点，选择相应工艺实施钻探，并进行综合测井、抽水试验及水质分析等，建立地下水示范供水井。

针对碎屑岩区、西南红层区、岩溶区、黄土高原和内陆盆地缺水地区地下水赋存特点和蓄水构造模式，建立了包括遥感技术、地质调查、地球物理勘探和水文地质钻探技术的地下水勘查技术体系，包括需要解决的问题、方法的选择与组合以及工作步骤等，对类似地区地下水勘查可提供经济高效的“菜单式”技术方案支持。如针对基岩山区如何有效确定地质构造发育及其富水特征的难题，建立了以放射性氡气法、声频大地电场法、甚低频法等为主的轻便快速方法定性确定构造裂隙发育带，采用激发极化法、音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、高分辨率地震定量确定富水程度的“有效组合”找水技术体系。

同时，研制出了新型 U-PVC 管材、贴砾过滤器和携砾过滤器，开发了基岩水井压裂增水技术。

这些成果不仅丰富和发展了地下水理论与实践，提高了我国复杂地区地下水勘查与开发技术水平，推动了地下水科学进步，更重要的是为类似地区地下水勘查可提供技术支持。

二、应用范围及应用实例

2010 年国土资源部组织实施了西南抗旱找水打井行动，中国地质调查局水文地质环境地质调查中心在广西壮族自治区岩溶干旱缺水地区隆安县和南丹县开展的地下水勘查中，利用在鄂尔多斯盆地周边岩溶水勘查中总结出来的技术方法体系，结合南方岩溶水的赋存

特点，利用“遥感解译-地面调查-综合地球物理勘探”“逐步逼近式”地下水勘查技术，首先采用某某数据源，解译出构造及其相互关系，然后通过地面调查验证，初步确定找水靶区，然后利用 EH-4 电导率成像系统、高密度电法和激发极化法等确定井位；再利用空气潜孔锤快速钻进工艺和酸性处理技术进行施工；完成供水示范井 25 口，成井率高达 83%，不仅按时保质保量完成了任务，而且进一步完善了地下水勘查技术方法体系。

2011 年国土资源部又实施了华北黄淮地区抗旱找水打井行动，中国地质调查局水文地质环境地质调查中心工作区为山东省临朐县，该县地处郯庐断裂附近，地质、水文地质条件极为复杂，地下水类型多样，包括岩溶水、碎屑岩孔隙裂隙水、花岗岩构造裂隙水、玄武岩孔隙孔洞水等，找水难度极大。水环地调中心以地质、遥感和物探专业技术人员为前期井位确定工作单元，并结合水文地质钻探人员，采用地下水勘查集成技术，在到达工作区第三天就在玄武岩地区打出山东抗旱第一井，在规定时间内完成 34 眼供水井的定井与施工任务，成井率 87%。该技术在复杂条件下的突出优势和有效性再次得到验证和加强。

三、推广转化方式

(1) 合作开展缺水地区地下水勘查，在项目实施中直接提供技术支持和人员实战技术培训。

(2) 编写不同缺水地区不同类型地下水勘查技术手册，为从事地下水勘查技术人员提供技术指导。

(3) 技术培训。

技术依托单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

联系人：邢卫国

通讯地址：河北省保定市七一路 1305 号

邮政编码：071051

联系电话：03123107077

电子邮件：cgsffs@188.com

地下水动态远程监测系统

一、内容概述

针对国内目前在地下水监测仪器方面的不足,综合考虑野外环境和防止人为破坏等各种因素,研制了地下水动态远程监测系统。地下水动态远程监测系统由现场水位水温的自动采集仪器和数据远程传输系统组成。数据自动采集仪器负责地下水水位水温的定时自动采集、自动存储。远程传输系统通过数据采集设备,按照约定的协议进行信息交换和通讯,以实现智能化采集、传输、监控、管理的监测网络。

该地下水动态远程监测系统具有以下技术特点:

先进性。系统采用先进的技术手段、灵活的实现方法和国际流行的设计思想,保证了系统具有较强的生命力,符合当前和未来的应用需要,使其具有长期的使用价值。仪器具有自动监测、自动存储、远程传输,定时周期任意设定等特点,实现了仪器全自动无人值守工作,仪器通过数据接口与计算机连接,在现场完成监测数据的回收;或通过 GSM 公共服务网,在室内中心站任意调用各监测点的监测数据;

兼容与扩展性。系统遵循标准的通信协议,并提供开放的接口。当需要扩展新的功能或与别的系统进行连接,只需遵循相应层次的接口,就能方便接入本系统,与本系统构成一个完整的新系统。在系统升级的过程中,采用模块替换的方式逐个升级模块,不会造成整个系统的停运。对某一层次模块的修改和增加,不会影响到其他层次模块。

可靠性。系统以保证野外环境下(-30°C 至 85°C)可靠工作为前提。仪器采用全密封圆筒式主机结构,便于野外安装及保管,同时由于密封防潮问题的解决,使仪器系统的可靠性得到了保证。此外,数据采集、传输等工作方式的设计中力求把功耗降到最低。

便捷性。仪器设计中提供了电池电量显示功能,当电量不足时,用户可方便地更换电池。

该系统以其优越的技术性能,既提高了监测技术的科技含量,又极大地节约了人力资源,是我国地下水监测由手工操作迈向全自动监测的新的里程碑。它的推广使用将会对我国地下水监测网的构建起到积极的促进作用。

地下水动态自动监测仪获 2004 年国土资源科学技术奖二等奖,2007 年该项目荣获中国仪器仪表学会 2007 年度优秀产品奖。

二、应用范围及应用实例

本仪器应用范围广,适应能力强,自研制成功以来,已开始小批量试应用。其中,有在地质环境监测站用于地下水监测的,有用于三峡库区监测地下水位变化的,有用于城市水资源管理的,还有用于抽水试验的等等,以上应用均收到了良好的效果。

2002 年,受中国地质环境监测院委托,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

承担了“地下水动态自动监测仪试应用”的任务，并在全国范围内选择了六个具有代表性的省（市）级监测站作为试点单位，以每省 3 套仪器进行试推广应用。首批参加推广应用的单位有：湖南、陕西、辽宁、四川、河北、北京等地的监测总站。通过以上单位的推广应用，充分体现了其全自动无人值守工作的优越性，特别是在寒冷的东北地区和气候潮湿的湖南地区，仪器仍然运转正常，充分说明了仪器较强的野外适应能力。用户们普遍认为：地下水动态自动监测仪使用方便，容易掌握，安全性能强；监测数据准确可靠，精度较高，不受外界因素的干扰，特别适合重要的、位置偏远的监测点的长期监测管理；仪器自动采集、自动存储，测量间隔任意设定，可适合不同水文地质工作的要求，在他们提供的应用效果报告中给予了高度的评价。

三峡库区地质灾害防治工作指挥部于 2003 年 6 月使用中国地质调查局水文方法研究所研制生产的“地下水动态自动监测仪”25 套，用于秭归、巴东、巫山、奉节等地的滑坡体内的地下水监测。目前，这批仪器正在为蓄水后的三峡库区地下水监测发挥着作用。

此外，该仪器还在我中心承担的“蒙古国图-敖锌矿水源地勘查项目”中进行了应用，取得了良好的效果。

三、推广转化方式

- (1) 提供整套地下水监测方案，并实施监测。
- (2) 提供实用的监测仪器设备、技术培训、现场安装及使用中的技术指导等。

技术依托单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

联系人：邢卫国

通讯地址：河北省保定市七一中路 1305 号

邮政编码：071051

联系电话：03123107077

电子邮件：cgsffs@188.com

地表形变 InSAR 调查与监测技术

一、内容概述

合成孔径雷达干涉测量（Interferometric SAR, InSAR）技术是最近三十余年来发展起来的一项非常有发展潜力的空间对地观测技术，它基于合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar, SAR）成像和干涉测量原理，利用雷达波的相位信息测量地表三维空间位置及其微小变化的一项技术。

中国国土资源航空物探遥感中心从 2000 年起开始从事 InSAR 技术理论、方法、技术及其应用的研究。自 2005 年以来重点围绕灾害性地表形变 InSAR 监测与工程化应用，先后得到国土资源部科技司、中国地质调查局、国家 863 计划以及国防科工委等部门 10 余项研究与调查项目支持。解决了多种地表形变 InSAR 监测中的若干关键技术问题，建立了利用 InSAR 技术进行大区域地面沉降信息提取的工作方法和技术流程，在区域性地面沉降调查与监测技术发展的基础上，开展了矿区开采沉陷、地震形变调查、滑坡活动监测等多领域形变调查与监测研究。同时，开展高分 InSAR 监测技术研究，以中高分辨率 InSAR 技术相结合，围绕典型大型线性工程和重点工程区，开展了线性工程区地表形变多尺度 InSAR 监测工作。

取得以下主要创新成果：

（1）建立了以“相干目标短基线时序分析”为核心的集成短基线集、永久散射体技术及角反射器 InSAR 的多参数地表形变 InSAR 监测技术系统及灾害预警平台，制定了地面沉降 InSAR 监测技术指南，填补了国内空白，成为我国地面沉降监测主流技术之一，从根本上促进了地质灾害“空-地”一体监测技术进步，属国际先进。

（2）建立了以多轨道、长条带 InSAR 集成与中高分辨率 InSAR 时序分析的总体技术，克服了区域地面沉降全覆盖和重点地区精细监测的难题；研发了基于 WebGIS 的区域地面沉降 InSAR 监测预警网络信息平台；长条带、多轨道 InSAR 集成技术属国际领先。

（3）建立了集成 InSAR 与精密水准的地面沉降监测技术，提出了顾及点间距离的测量精度评定方法。工程化应用表明 InSAR 精度优于 $\pm 5\text{ mm}$ ，区域监测优于 $\pm 1\text{ cm}$ ，与 3、4 等水准测量相当，满足地面沉降监测需要。

（4）提出了基于角反射（CR）网络 InSAR 时序分析的滑坡监测技术，建立了以 CR 为连接的 InSAR 同步测量技术。

与传统地表形变测量技术相比，InSAR 技术具有以下鲜明特点：

（1）大区域面上地表形变测量，弥补了大地水准测量和 GPS 测量点位稀疏的缺点。

（2）数据获取方式为主动式遥感手段，在适宜的自然环境条件下几乎可以实现全天候数据获取，保证了监测所需的数据量。

（3）不需在每次测量时的人工地面参与，尤其在交通十分不方便，地形变化很大的

地面工作困难地区，更能体现出这一优势，节省了大量人力物力。

InSAR 地表形变技术测量精度优于 $\pm 5\text{ mm}$ ，区域监测优于 $\pm 1\text{ cm}$ ，与 3、4 等水准测量相当，满足地表形变监测需求。PSInSAR 技术在城镇等建构筑物较多的地区，相干点密度超过 100 个/km^2 ；即使在植被覆盖较多的地区，其平均密度也在 $5\sim 10\text{ 个/km}^2$ 。

二、应用范围及应用实例

研究成果已广泛应用于我国华北平原、长三角、汾渭谷地等主要地区区域性地面沉降调查与监测，累计监测范围超过了 20 万平方公里，实现了我国三大沉降区的 InSAR 监测全覆盖。同时，面向国家重大基础设施建设需要，应用 InSAR 技术开展高速铁路沿线地面沉降监测与调查，应用中分辨率（ENVISAT 数据）和高分辨率（TerraSAR-X）InSAR 技术监测高速铁路沿线地面沉降，并在京津城际高速铁路全线中取得成功应用。在实现区域性地面沉降 InSAR 监测的基础上，开展了矿山开采沉陷调查、油田地表变形监测、滑坡活动监测、城市地裂缝探测、地震形变场提取等多尺度、多形式的灾害性地表形变场探测与监测，取得良好效果，显示了 InSAR 技术在该领域具有广阔的应用前景。在中国地质调查局的支持下，自 2011 年起，以 InSAR 技术为主要手段开展全国地表形变遥感地质调查，InSAR 技术成为地表形变测量的主要技术手段之一。

华北平原区 InSAR 监测地面沉降速率图（2008~2010 年）

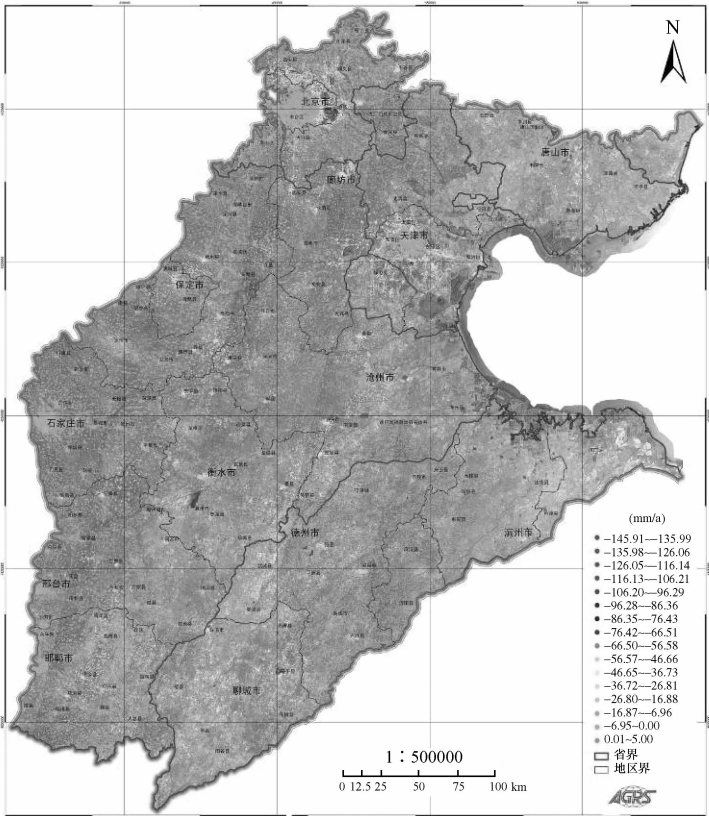


图 1 华北平原区 InSAR 监测地面速率图（2008 ~ 2010）

1. 区域性地面沉降监测

实现了我国三大沉降区 InSAR 监测全覆盖, 查明三大沉降区内地面沉降区域分布状况、沉降速率, 得到工作区地面沉降的时空发展趋势, 编制地面沉降现状图, 结合其他调查与监测技术, 对地面沉降状况实施了有效的动态监测。如图 1 所示为华北平原地面沉降 InSAR 监测地面沉降速率图, 共处理华北平原区 7 个轨道下 2008 ~ 2010 年间接收的 ENVI-SAT 数据近 600 景, 覆盖范围约 30 万 km^2 , 除去轨道间重叠, 实际获取华北平原沉降区监测成果的面积 15.69 万 km^2 。

2. 重大基础设施中高分 InSAR 技术多层次监测

以京津高速铁路为示范开展了中分全线地面沉降调查与监测, 并利用高分数据对重点地面沉降区进行精细监测。如图 2 ~ 图 6 所示。通过对多轨道的数据处理, 提取了京津高速铁路沿线 6 km 地面沉降状况, 查明 2 处明显的沉降漏斗, 编制了相应的沉降速率剖面图及沉降变化坡度图, 为铁路沿线地面沉降治理提供了依据, 并对其中一个重点沉降漏斗采用高分数据进行了精细监测。

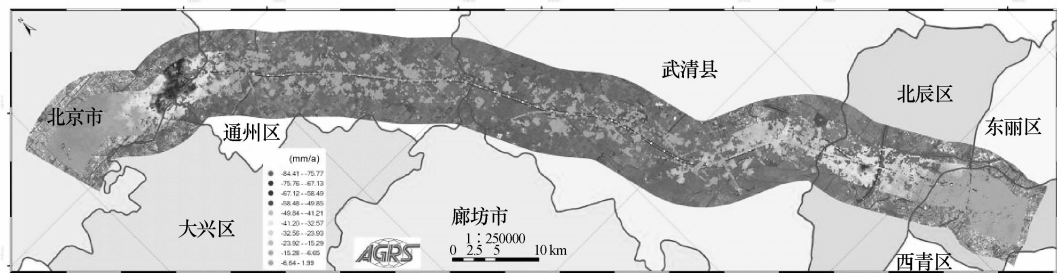


图 2 京津高速铁路 InSAR 监测全线地面沉降速率图 (2007 ~ 2009)

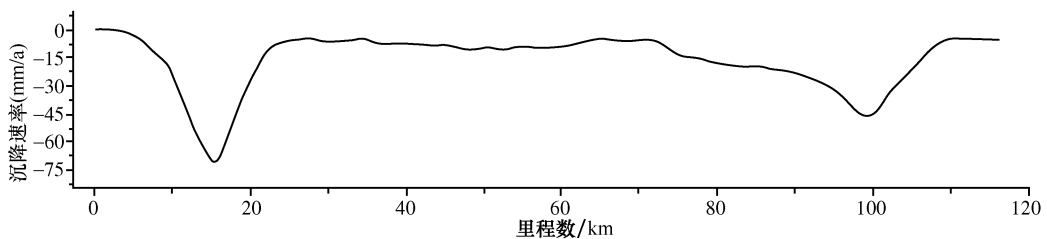


图 3 京津高速铁路 InSAR 监测全线地面沉降速率剖面图 (2007 ~ 2009)

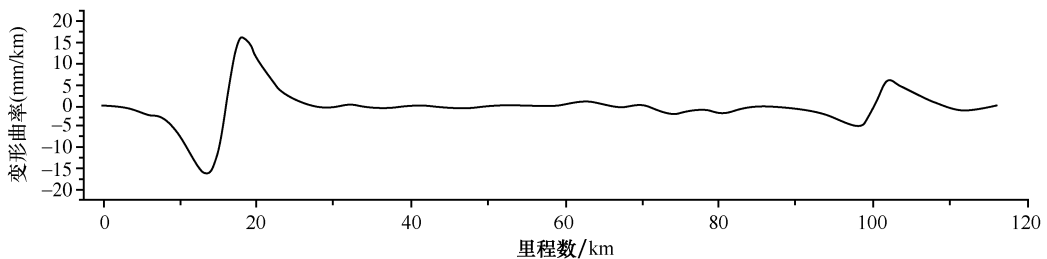


图 4 京津高速铁路 InSAR 监测全线地面沉降速率坡度图 (2007 ~ 2009)

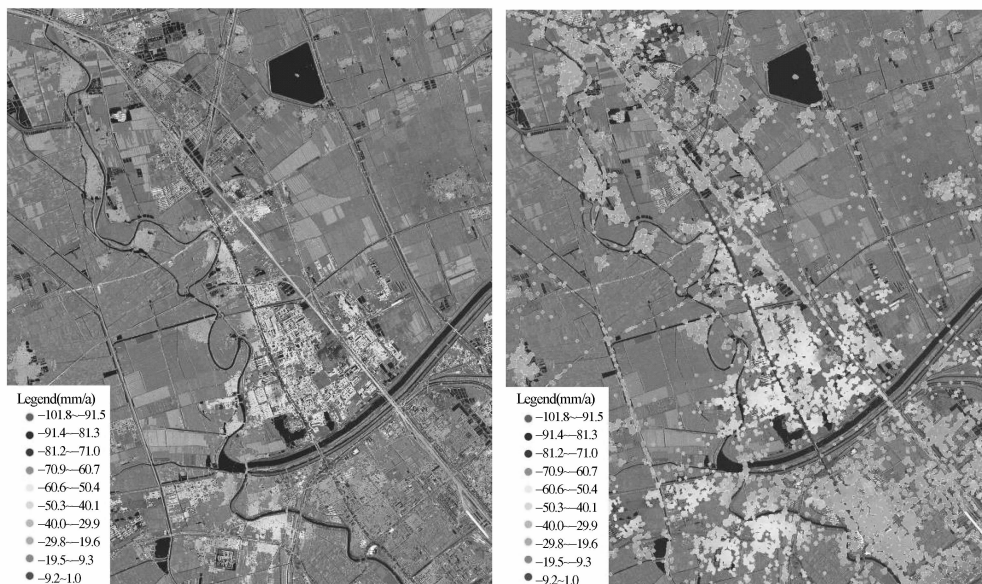


图5 京津高速铁路中高分 InSAR 监测重点沉降漏斗（2009）（左：高分；右：中分）

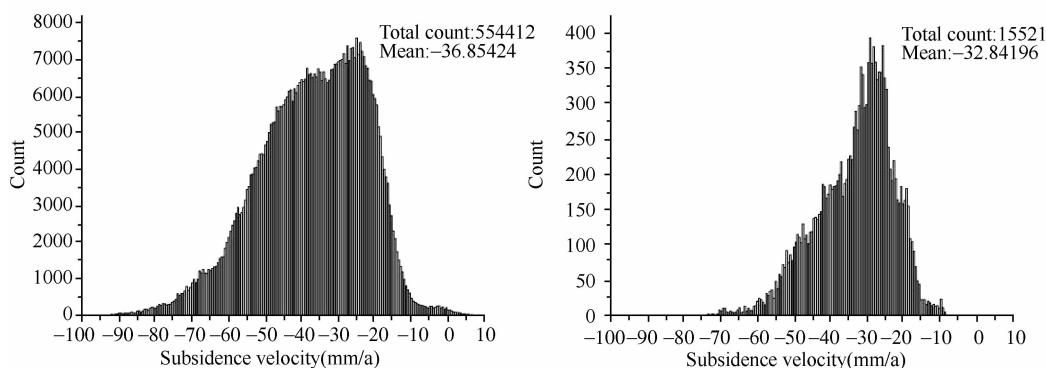


图6 中高分 InSAR 监测相干目标统计图（左：高分；右：中分）

3. 多类型地质灾害监测与工程实践

在实现区域性地面沉降 InSAR 监测的基础上，开展了矿山开采沉陷调查、油田地表变形监测、滑坡活动监测、城市地裂缝探测、地震形变场提取等多尺度、多形式的灾害性地表形变场探测与监测，取得良好效果。如图 7 为某矿区三个沉陷漏斗随时间变化的干涉纹图变化情况，干涉纹图中干涉条纹的密度代表了开采沉陷量的大小，随着时间间隔的增加，干涉条纹的密度越大，表明沉陷量，通过对不同时期干涉纹图条纹的密度监测实时反应矿区开采沉陷状况。

图 8 为西藏改则地震震后形变图，通过形变图可以清晰反应地震震中位置及形变状况。

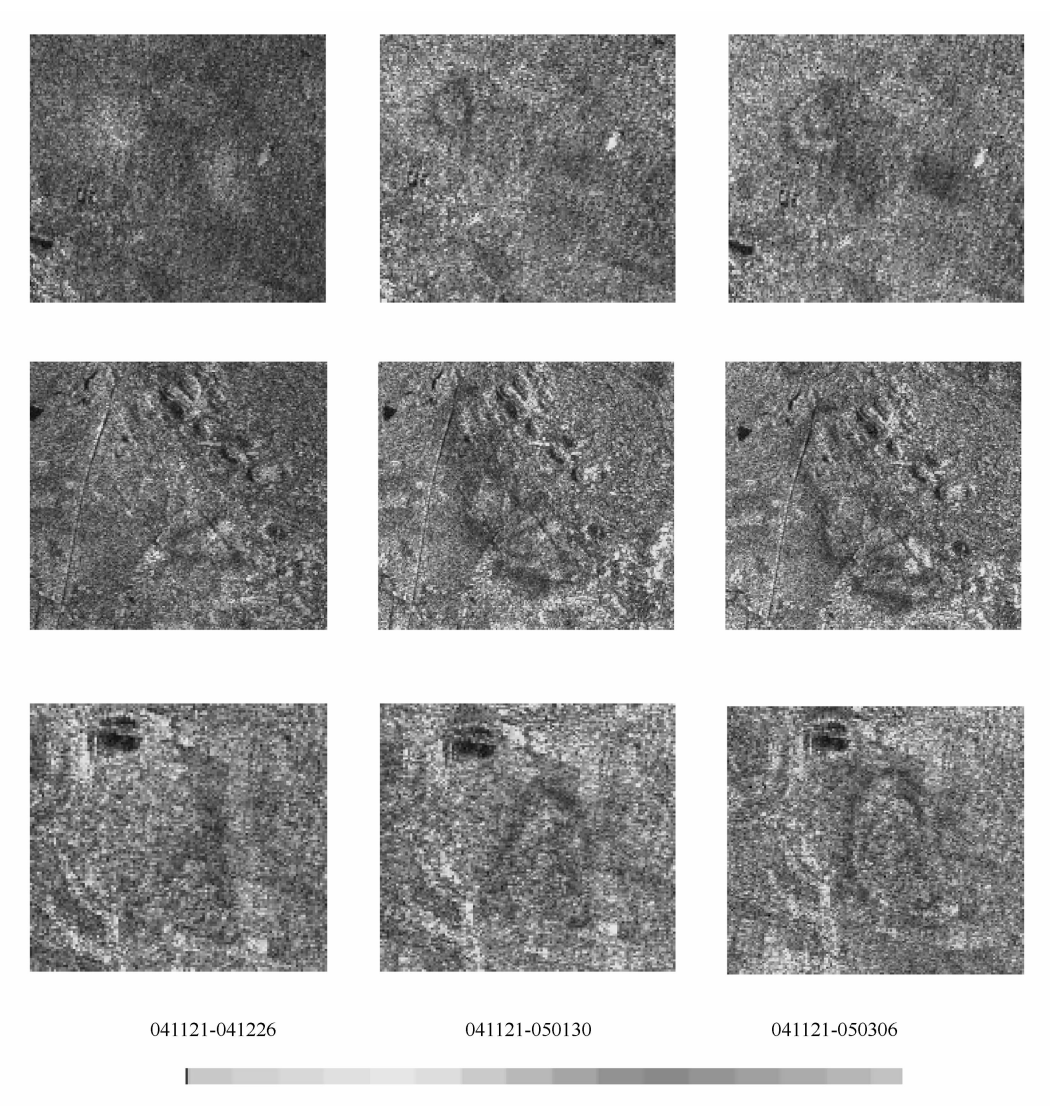


图7 干涉纹图所反映的沉陷过程

三、推广转化方式

项目应用、会议交流、人员培训、技术咨询。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路31号

邮政编码：100083

联系电话：010-62060051

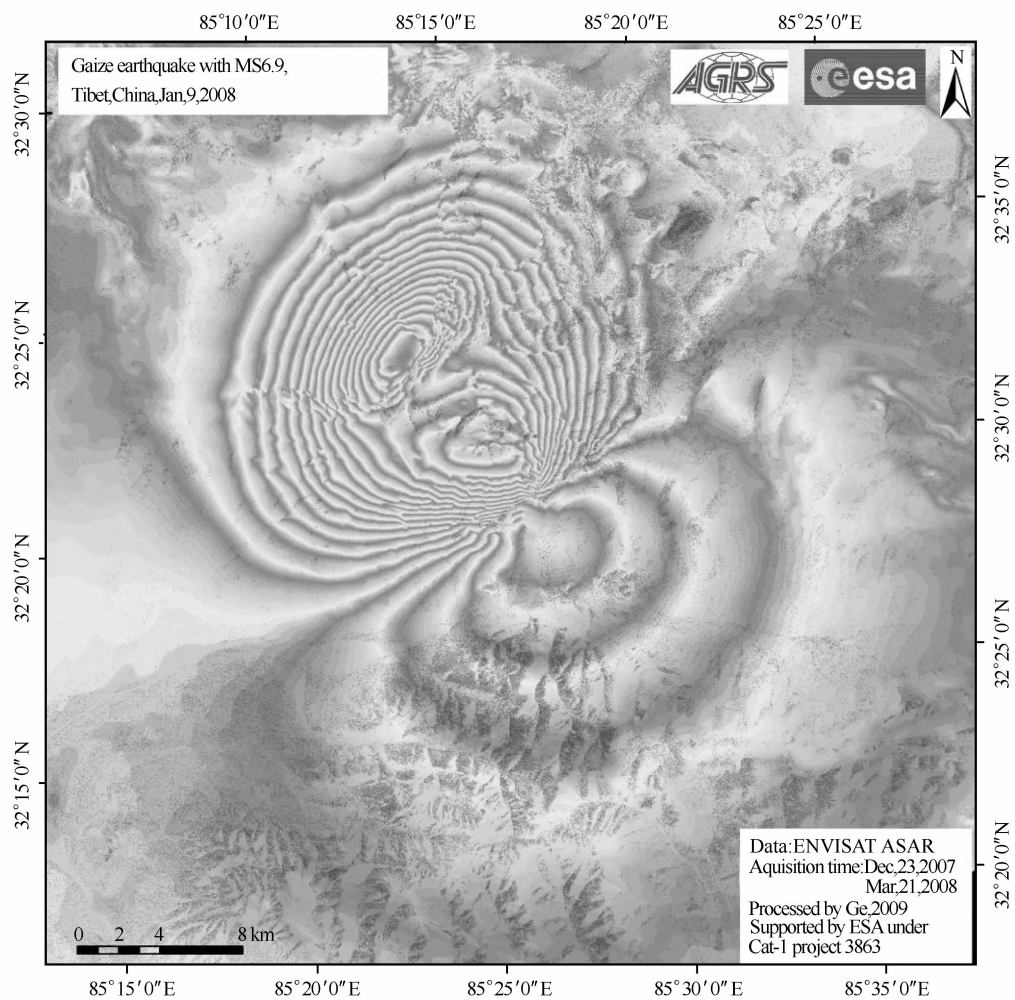


图 8 西藏改则地震震后形变图

地质灾害遥感调查技术

一、内容概述

1. 成果简介

地质灾害遥感调查是基于遥感图像,利用人机交互目视解译方式来获取地质灾害相关信息的技术方法。该技术的应用可追溯到 20 世纪 70 年代末,日本利用航空遥感图像编制了 1:5 万比例尺的全国地质灾害分布图。我国地质灾害遥感调查起步于 20 世纪 80 年代初,在二滩水电开发前期论证中,采用了航空遥感进行库区滑坡分布、规模及发育环境调查。虽然起步较晚,但我国地质灾害遥感调查技术在服务于众多的山区大型工程建设过程中得到快速发展。国土资源大调查工作开展以来,应用地质灾害遥感调查技术,航遥中心先后完成了长江三峡库区、青藏铁路沿线、喜马拉雅山地区、川东缓倾斜坡地区等近 40 万平方千米的滑坡、泥石流等的分布及发育环境调查。2008 年以来,在应对和处理“5·12”汶川地震灾害、“6·5”重庆武隆铁矿乡鸡尾山崩塌灾害、“4·14”玉树地震灾害、“6·28”关岭滑坡灾害、“8·7”甘肃舟曲泥石流灾害过程中,地质灾害遥感调查技术起到了非常重要的作用。尤其是“5·12”汶川地震灾区完成的“次生地质灾害航空遥感调查”项目,调查获取的震后首张航空图像和映秀镇-汶川沿线航空图像,被抗震救灾前线指挥部的同志称赞为是对抗震救灾的“伟大贡献”;调查成果为指挥抗震救灾、防范次生地质灾害、开展灾后重建等工作提供了重要的科学依据,在救灾与灾后重建决策中发挥了重要作用。

2. 基本原理

地质灾害大多具有明显的形态特征,与背景岩石或地层有一定的色调、形状、阴影、纹理及图形的差异,在遥感图像上显示特定的色调、纹理及几何形态组合,作为识别地质灾害的直接解译标志。而地质灾害造成地形地貌、植被、水系及景观生态等的异常突变,可以为地质灾害的判定提供间接标志。地质灾害遥感调查技术就是利用遥感信息源,以人机交互目视解译为主,计算机图像处理为辅,并将遥感解译成果与现场验证相结合,同时结合其他非遥感资料,综合分析,多方验证,最终判读圈定地质灾害孕育背景、规模及形态特征,并对目标区域内已发生的地质灾害点或隐患点进行系统全面调查,评价其可能的影响区域及对象,为地质灾害防治、监测及突发地质灾害救援等相关工作提供基础资料和决策依据。

3. 技术特点

(1) 遥感调查技术从高空对大范围地区或个体地质灾害进行探测,能够获取区域或个体地质灾害的宏观全貌特征。

(2) 遥感调查技术不受地面条件的限制,在自然条件恶劣的地区,比地面调查具有更高的安全性、可行性和工作效率。

(3) 遥感调查技术能快速对同一地区进行多时相数据采集, 及时获取最新数据。利用多时相遥感调查, 可以动态反映调查区地质灾害的动态变化情况, 对地质灾害发展状况进行监测。

4. 技术指标

依据采用的遥感图像的不同分辨率及地质灾害调查的尺度, 从覆盖几个平方千米的巨型、大型古(老)滑坡, 到暴雨引发覆盖十几平方米的坡面泥石流等规模不等的地质灾害, 甚至几平方米范围的地面塌陷都可以利用地质灾害遥感调查技术识别出来, 基本满足1:1万比例尺的地质灾害详细调查。

二、应用范围及应用实例

1. 应用范围

地质灾害遥感调查技术的应用范围包括以下几个方面:

(1) 地震次生灾害遥感应急调查和监测。通过遥感图像的数字制图、人机交互目视解译及自动识别等, 提取地震灾区房屋毁损、道路破坏、河流堵塞、地质灾害(崩、滑、流)次生地质灾害及潜在地质灾害等信息, 制作灾区遥感图像和地质灾害分布图。

(2) 区域及个体崩塌、滑坡、泥石流、塌陷的详细调查。以滑坡为例, 在遥感图像上, 利用滑坡表现出来的形态、色调、纹理等直接解译标志和地形地貌、水系等间接解译标志, 结合其他非遥感资料, 对已发生的滑坡进行调查, 获取滑坡特征信息及其地质环境信息, 分析其形成的条件, 从而预测、圈定滑坡地质灾害的易发区。

(3) 突发性地质灾害应急调查和监测。在突发性地质灾害发生后, 利用灾害前后的遥感图像对比分析, 通过人机交互目视解译提取灾害的范围、灾害房屋损毁、道路破坏等信息, 结合其他资料综合分析与研究, 进行突发性地质灾害分析及灾损评估。

(4) 土地退化和荒漠化调查与监测(石漠化、水土流失、沙漠化、盐渍化、沼泽化等)。利用遥感图像提取与土地退化和荒漠化特征、范围及与变化等密切相关的影响因素, 如地表温度、土地利用类型、地形(坡度、坡向、坡位)、土壤(类型、质地、盐碱含量、含水率)、植被(盖度、分布)及沟壑密度、盐碱斑占地率等, 进行区域土地退化和荒漠化分布及程度调查与监测。

2. 应用实例

(1) 喜马拉雅山地区重大地质灾害遥感调查

喜马拉雅山地区是我国地质灾害最严重的区域之一, 利用地质灾害遥感调查技术, 在调查区约17万平方千米范围内解译出175处滑坡, 361条泥石流沟, 17个崩塌严重区段, 13个溃决冰川终碛湖, 2个溃决堰塞湖。通过将调查结果与气候环境、地形地貌环境、植被类型及盖度、土地利用等进行综合分析, 获取了地质灾害发育的区域环境特征; 与断裂特征、地层岩性、工程地质岩组、新构造运动与地震等综合分析, 获取了地质灾害发育的区域地质特征; 评价了区内堵河堰塞湖溃决灾害、冰湖溃决灾害、滑坡灾害、泥石流灾害等隐患的分布及可能影响区域, 结果表明堵河堰塞湖溃决灾害隐患和冰湖溃决灾害隐患较大。

(2) 地震次生地质灾害航空遥感调查

“5·12”汶川特大地震发生后, 航遥中心运用国内最先进的航空遥感技术装备及手

段，开展了迄今为止最大规模的多平台、多传感器、多数据处理系统航空遥感调查，获取了北川等 14 个重灾县市 4.3 万平方千米的高分辨率航空遥感图像，完成了重灾县市道路、房屋损坏等灾情和崩滑流、堰塞湖等次生地质灾害遥感调查，解译出地震引发的崩滑流 7226 个、堰塞湖 147 个、灾害毁路 1423 处；圈定有危险的村镇 264 个，潜在危险道路 1732 处。调查成果为防范次生地质灾害、开展灾后重建等提供了重要的科学依据。

（3）滑坡地质灾害遥感调查

2010 年 6 月 28 日，贵州省关岭县发生滑坡特大地质灾害后，利用灾害发生前后的遥感图像、地形图等数据，对滑坡灾害前后图像进行了精细解译，确定关岭滑坡的滑坡碎屑流复合型灾害性质，圈定滑坡灾害影响区面积 186 775 m²，计算出滑塌体规模为 117.6 万 m³，碎屑堆积规模为 174.7 m³，损毁耕地 210 亩，掩埋房屋 34 栋，在第一时间为前线救灾应急及治理工作提供了准确的调查数据。

（4）泥石流地质灾害遥感调查

2010 年 8 月 7 日晚 23：40 分左右，甘肃省舟曲县县城后山三眼峪沟、罗家峪沟突发大规模泥石流。灾害发生后，航遥中心立即启动应急救灾机制，在第一时间获得了灾前高分辨率卫星数据和灾后航摄数据、高分辨率卫星数据，制作应急救灾图件，通过地质灾害遥感调查技术，提取灾区房屋毁损、道路破坏、河流堵塞、后期灾害隐患等信息，对前期泥石流治理工程的影响进行了遥感解译评价，形成灾情解译评价报告，提供给各部委值班室和部现场指挥部，及时为中央和各部委决策提供依据。

三、推广转化方式

地质灾害遥感调查精度在一定程度上还依赖于研究人员的经验，不同的知识背景对同一遥感图像的认识还存在一定差异。因此，地质灾害遥感调查技术的推广转化需按照技术培训的方式进行，以会议交流、地质灾害遥感调查技术培训班、技术咨询等形式为主。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

联系电话：010-62060051

崩滑灾害实时专业监测技术

一、内容概述

专业监测系统由位于前端（灾害体）的监测网系统，位于后端的数据处理、分析、发布系统，以及联系前后端的数据采集、传输等系统组成。实时监测技术指通过一系列的技术集合，实现专业监测过程远程化、自动化、连续化。研究取得了以下主要成果：

表 1 地质灾害常用滑坡监测技术方法简表

分类	子类	监测技术方法	主要监测设备
变形监测	地表位移监测	全站仪监测	全站仪
		GPS 监测	GPS 接收机
		裂缝位移监测	位移计
		地面倾斜监测	地表倾斜仪
		伸缩（收敛）计监测	伸缩仪
	深部位移监测	钻孔倾斜仪监测	钻孔倾斜仪
		TDR 监测	TDR
		钻孔多点位移监测	位移计
压（应）力监测		岩土体压（应）力监测	压力盒
		滑坡推力监测	推力仪
		锚索（杆）应力监测	锚索（杆）测力计
相关因素监测	地下水动态监测	水位监测	水位计
		含水量（率）监测	含水量测定仪
		孔隙水压力监测	孔隙水压力计，渗压计
		流量监测	流量计
		水质水温监测	水质分析仪
		地微震监测	微震监测系统
		地声监测	声发射仪
		地温监测	地温计
		放射性监测	氦气测量仪、A 杯等
影响因素监测	气象要素监测	降水量监测	雨量计
		温湿度监测	温湿度计
		风速风向监测	风速仪
		江（河）水位监测	水位计
		工程活动监测	收集记录
		地震监测	收集记录
宏观地质现象监测			调查记录

(1) 系统地收集、归纳、总结了崩滑灾害的各类常用专业监测技术方法，根据地质分析需要，将监测技术方法分为变形监测、压（应）力监测、相关因素监测、影响因素监测、宏观地质现象监测等 5 大类 26 个子类（见表 1）。系统论述了各监测方法的测量原理、监测系统构成、常用监测仪器、技术特点与适用性、施工方法与流程、数据记录与处理方法等，形成了崩滑灾害监测技术方法系列化。初步完成了《地质灾害常用监测技术方法》一书的编写，该书将为地质灾害监测技术方法选择、应用提供参考手册

(2) 在滑坡分类研究的基础上，提出了基于岩土类型分类、动力成因分型、变形运动特征分式的三层次滑坡监测分类方案（图 1），滑坡监测分类既涵盖所有滑坡类型，又考虑岩土性质、动力学、运动学特征之不同对监测技术要求上的差异，同时对分类指标进行了必要的简化，使得监测分类简洁易用。监测分类后的滑坡命名规则为 C + B + A（如“推移式降雨型土质滑坡”）。系统研究了各类滑坡的变形机理，确定了监测的主要内容和重点部位，提出了不同变形阶段适宜的监测周期、监测技术方法组合和监测网布置方案，并按照地质有效、技术可行、经济合理的原则对方案进行了优化。在此基础上，初步完成了滑坡监测技术规范的编制。

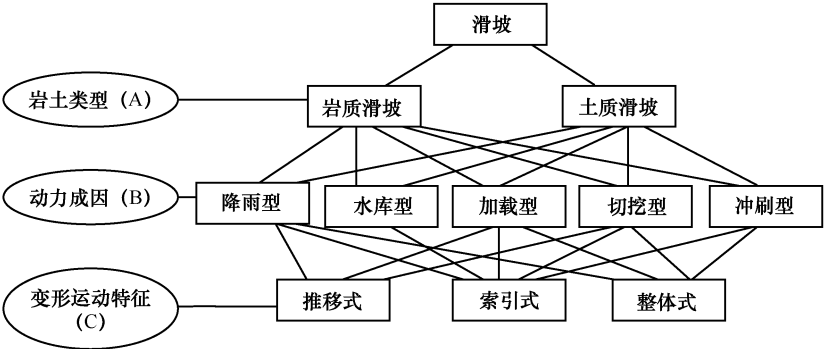


图 1 滑坡监测分类方案图

(3) 解决了实时监测系统建设中数据自动采集、远程无线传输、网络实时发布等系列关键技术，总结出一套箱体式实时监测台站的建设方法及标准。实时监测台站以通用型数据采集仪为核心，直接连接基于电压、电流、频率、开关等多类传感器，功耗低，采用太阳能系统直流供电，通过 GPRS/CDMA 网络，以“数据流”形式和数据接收终端通信，集成化程度高，传感器彼此间互不干扰，运行稳定性好。数据接收终端监控台站运行状态，负责下达采集指令、接收数据，并自动完成数据的转换、计算、入库。

(4) 系统总结了多元监测数据综合处理分析方法，提出了监测数据序列等距化、插值、剔除、平滑、平微求速度和加速度、拐点识别等多种预处理的理论与推荐方法，提出了同一部位不同元数据以及不同部位同一元数据的相关性、滞后性数学分析方法，在此基础上，开发了多元监测数据综合处理分析软件，为自动预警提供了基础。

(5) 积极探索了 BOTDR、微震、扫描型全站仪等分布式监测技术的应用方法。

二、应用范围及应用实例

崩滑灾害实时专业监测技术在国土资源部三峡库区地质灾害—重庆巫山野外基地的多

个场地中得到了较好应用和示范。2003 ~ 2006 年建立了巫山县向家沟滑坡、玉皇阁崩滑体实时监测网，监测方法包括 GPS、固定式钻孔倾斜仪、TDR、孔隙水压力仪、自动雨量计、超声波流量计等，建有综合监测台站（机房式）5 处，同期建立了监测信息处理发布中心，面向公众实时发布各类监测信息。2010 年增建了万州区塘角村 1 号滑坡、巫山县李家坡滑坡、四道桥滑坡实时监测网，监测方法中增加了滑体含水量、库水位等，建有综合监测台站（箱体式）7 处。2004 ~ 2006 年，在巫山、巴东滑坡、高陡边坡、桥梁等建立了 6 处 BOTDR 示范点，2009 ~ 2010 年建立了武隆县羊角镇危岩 ISS 微震监测系统试验应用场地。

三、推广转化方式

- (1) 编写专著《地质灾害常用监测技术方法》，为相关从业人员提供技术参考手册。
- (2) 制定滑坡监测技术规范，指导行业发展。
- (3) 申请软件著作权，促进监测数据综合分析软件商品化。
- (4) 依托重庆巫山野外基地，提供开放式技术服务与跨行业跨领域项目协作。

技术依托单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

联 系 人：邢卫国

通讯地址：河北省保定市七一中路 1305 号

邮政编码：071051

联系电话：0312 - 3107077

电子邮件：cgsffs @ 188. com

地质灾害监测光纤传感技术

一、内容概述

(1) 基于光栅传感技术研制完成的“光纤光栅应变传感器”、“光纤光栅位移传感器”、“光纤光栅钢筋计”三种类型的光纤光栅传感器，具有自主知识产权，性能已达同类产品水平，经济成本与国内同类产品相比降低 50%，并获得了“滑坡裂缝监测用光纤光栅传感装置”（专利号：ZL200820135234.7）、“光纤光栅实验标定工作台”（专利号：ZL200820124713.9）两项实用新型专利。

(2) 利用光波分复用技术，解调光纤光栅传感器阵列，研制完成的光纤光栅监测解调仪，技术性能已达国际同类技术产品水平，经济成本与国际国内同类产品相比降低 30%，并在三峡库区滑坡裂缝监测中得到实际应用。

(3) 利用微波电光调制、光相干检测的方法，研制完成的具有自主知识产权的分布式光纤应变监测系统样机，技术性能接近国际同类产品水平，经济成本降低 30%，并在三峡库区滑坡监测中得到实际应用。

(4) 通过光纤传感技术在巫山残联滑坡、邓家屋场滑坡、巫山中学滑坡的应用试验，探索了光纤传感技术应用于滑坡监测的光纤选型、网络布设、铺设方法、光栅传感器选型及安装等施工工艺，取得了野外试验数据，监测显示光纤传感技术用于监测滑坡是可行的。

天然的滑坡体多是未经人工改造的自然岩土体，而且其上多是覆盖着松散的第四系，为柔性的介质；而光纤体积小并且柔软可弯曲，适用于监测刚性的对象。要想对滑坡体进行光纤监测，就必须选择施工方案、施工工艺等，或是对滑坡体进行人工处理，或是直接利用滑坡体上已修筑的构筑物 and 受滑坡体影响的其他构筑物来对光纤进行黏结固定。人工处理过的滑坡体就是在其上选择有代表性的剖面，通过人工构筑能反映滑坡体应变的光纤黏结体，将光纤以神经网络的形式植入滑坡体，使滑坡体的应变信息能真实地通过铺设于其上的光纤的应变反映出来，便可对滑坡实施从线到面的实时监测。

光纤光栅传感技术用于监测滑坡主要是用于监测滑坡后缘或已知裂缝的实时变化，将光纤光栅传感器通过表贴或埋设的方法布设在滑坡已知裂缝上，并通过波分复用技术将多个传感器串接在一起，构成准分布式监测网络，就可对滑坡体已知变形处进行实时监测。

(5) 探索了 FBG 与 BOTDR 联合监测滑坡的应用方法。通过试验，显示 FBG 与 BOTDR 联合监测滑坡，在整个滑坡体上铺设监测光纤，利用 BOTDR 技术可获得整个滑坡体的概要信息；在滑坡体变形的关键部位——变形缝安装 FBG 传感器，利用其监测灵敏度高的特点，获得滑坡某些关键部位的应变值，既可克服 BOTDR 监测空间分辨率不高的缺点，又可弥补 FBG 只能实现离散点测量的不足，从而可实现由点到线再到面的滑坡监测，获得滑坡体较完整的应变信息。

二、应用范围及应用实例

残联滑坡位于重庆市巫山县新县城中心地带，为河流谷坡地形。由于人类活动强烈，大范围开挖及切坡破坏了原始斜坡的平衡，加上地表水的入渗、使得斜坡表层土体发生崩滑、溜滑、裂缝等变形。虽对其采取“清方减载+格构锚+护脚墙+地表排水”方案进行了治理，但滑坡下部仍然有明显的地表变形。监于此，2004年8月运用BOTDR技术对其进行了监测。2006年10月又在其关键的变形部位安装了FBG应变传感器。

监测区由上下两部分组成。滑坡体上部充分利用治理工程形成的混凝土格构，在水泥护格上刻槽铺设光纤，折回式布置，总体上呈网状布设。滑坡体下部，种用贯穿于滑体的水泥阶梯路，在人行阶梯右侧护墙上刻槽铺设光纤，一字型线状布置，总体上呈剖面布设。在滑坡下部人行阶梯92~93 m处，安装了FBG应变传感器。

BOTDR监测显示（图1），沿光纤分布有4个明显的高应变异常段，并呈两两对称（光纤折回铺设）。C₁异常段对应于剖面的92~93处，C₂异常段对应于剖面的142~143处。宏观调查发现，这两处地表存在明显的拉裂和剪切变形，FBG监测数据（图2）也表明变形仍在继续，截止到2010年5月，裂缝变形应变量已达到642.76 $\mu\epsilon$ 。这样，通过FBG与BOTDR的联合监测，既获得了滑坡体沿剖面方向的应变分布情况，又对变形关键部位加强了监测。

三、推广转化方式

科技成果包括光纤光栅传感器、光纤监测系统及光纤监测方法，拥有自主知识产权，将在国家重大工程建设中，对滑坡、边坡等稳定性监测发挥很好的作用。这些科技成果可以经过成果转化，形成监测技术相关的产品直接市场销售，地质灾害光纤监测技术方法可通过示范工程的方式进行推广。

技术依托单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

联系人：邢卫国

通讯地址：河北省保定市七一中路1305号

邮政编码：071051

联系电话：03123107077

电子邮件：cgsffs@188.com

地质灾害群测群防监测技术

一、内容概述

自主研发了裂缝报警器、滑坡预警伸缩仪、泥石流报警器、雨量预警器、地质灾害多参数采集传输仪、地质灾害综合监测无线报警仪、地质灾害预警电话拨号报警系统、泥石流远程自动监视报警系统、磁致伸缩水位监测预警仪、地质灾害群测群防预警信息管理软件、激光多点位移监测预警仪、无线射频网络传感器系统和3G传输控制平台、分布式电导率监测仪、泥石流地声数据采集分析预警仪、含水量监测仪、分布式磁致伸缩多点滑坡位移监测系统、四路位移监测仪、伸缩传感器、便携式滑坡崩塌监测无线预警仪、山洪泥石流泥水位监测无线远程预警仪、泥石流超声波泥水位监测仪等20余种一系列实用型地质灾害自动监测预警仪器，研发了地质灾害群测群防预警信息管理发布系统和地质灾害监测预警技术方法信息网网站。已经获裂缝报警器、滑坡预警伸缩仪、泥石流报警器、雨量预警器、地质灾害多参数采集传输仪、伸缩传感器等9项专利。研发的仪器主要用于崩塌、滑坡、泥石流和地面塌陷突发性地质灾害的监测预警。为汶川地震灾区 and 全国地质灾害易发区提供了经济适用的地质灾害监测预警仪器达十余套和安装使用培训，得到了广泛的推广和应用，并多次成功预警，避免了人员伤亡，得到了用户的好评和认可。项目实施以来极大地充实和丰富了地质灾害监测预警技术方法和手段，提高了我国地质灾害监测技术水平，为我国地质灾害群测群防体系建设和地质灾害防护能力的提高提供了强有力的技术支撑。

二、应用范围及应用实例

研制的地质灾害监测仪器基本遍布我国大陆地区，尤其是汶川和玉树地震灾区及全国地质灾害易发高发区（见图1）。据不完全统计，地质灾害监测有大量成功监测预警的实例，简述几例如下：

2008年6月5日下午5时许，由于余震及大雨的原因，四川安县晓坝乡两河村高家嘴滑坡和杜家包崩塌，成功预警，挽救了11位村民的生命。

云南省红河县迤萨镇西山社区米线厂滑坡区居住着28户129人，2009年9月12日，滑坡伸缩仪报警。当地政府迅速组织武警强行滑坡危险区的11户50人撤离，9月15日2时滑坡发生，由于成功预警，避免了大量的人员伤亡。

据云南省昭通市2010年不完全统计，地质灾害监测预警仪器在大关县、盐津县和绥江县等，有效预警71次，成功预警4次，撤离26户114人，取得了良好的成效。

2010年9月10日凌晨1时左右，四川省宁南县新村乡突遇暴雨，至3时50分，降雨量达75 mm³。短历时暴雨致使新村乡新竹村4组和8组草坪子滑坡隐患点，盐巴坪村1组中梁子滑坡隐患点和盐巴坪村2组垮山滑坡隐患点发生灾害。由于预警及时，当地政府

果断将 43 户 203 人转移至安全区域避险 4 直接避免了大量的人员伤亡。

2011 年 9 月 21 日 22 时 45 分，甘肃省陇南市武都区汉王镇杨家坝村沙包梁安装的滑坡伸缩仪发生报警，由于该滑坡直接威胁其下的 56 人、约 350 万元和国道 212 线的车辆通行安全。当地国土部门和村委等迅速组织人员撤离。23 时 25 分，监测预警仪器再次发生警报，当地相关部门迅速封锁道路，22 日 0 时 10 分，滑坡发生，由于监测仪器成功预警，及采取措施及时，避免了人员伤亡和财产损失。



图 1 滑坡预警伸缩仪和裂缝报警器全国应用分布图

三、推广转化方式

研制的监测预警设备，为群测群防体系建设和重大地质灾害应急监测提供技术支持，推动地质灾害群测群防技术进步为目标。首先选择典型地区开展应用示范，然后逐渐推向全国各个行业，直到走向世界，并最终实现监测仪器的商品化。

技术依托单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

联系人：邢卫国

通讯地址：河北省保定市七一中路 1305 号

邮政编码：071051

联系电话：03123107077

电子邮件：cgsffs@188.com

国土资源遥感综合调查应用技术

一、内容概况

在充分收集已有基础地质、国土资源、生态环境等相关资料的基础上，以现代遥感技术为主要手段，开展界河（包括陆域国界）和重点资源环境区域基础地质、国土资源、生态环境三类专题因子遥感详查，监测动态变化，获取定量数据，分析资源环境变化规律与发展趋势，研究基础地质与资源环境变化对我国国土开发安全的影响，形成全国陆域边界国土资源一张图，为国土开发安全、国防建设安全、外交事务安全和环境治理提供基础数据。

二、应用范围

项目成果可以为国土开发安全、国防建设安全、外交事务安全和环境治理提供服务。

1. 国土开发安全

以基础地质遥感解译结果为基础，通过不同地区地层岩性、结构构造、厚度，新构造断裂发育程度，工程岩土体性状，地层岩性的含水与富水性等遥感地质特征的分析研究，建立标准剖面地质结构模型，划分剖面地质结构分区，并根据剖面地质结构分区对生态环境、国土资源类型开发程度或安全保障程度的支持，划分集剖面地质结构与国土资源类型为一体的国土资源类型开发安全类型，即安全型、较安全型、不安全型、极不安全型四类，并进行国土资源环境类型开发安全程度分区，编制国土开发安全性分区图。

2. 国防建设安全

通过东北界河国土资源遥感综合调查获取的地质、地形地貌、工程岩组、富水地质环境、界河变迁等遥感调查成果，已深度应用于沈阳军区的军事应用建模、军事布场侦察和军事作战指挥系统之中。其成果不但对现在乃至以后的战争均将会发挥巨大的军事地质作用，实现由军事被动侦查向军事主动侦查直至主动布防的转换，并引导着战争的走向，最终决定战争的胜负。而掌控界河或边境地区的地质灾害和岸线变迁情况，采取针对性防御工事和作战行动的布防，无疑对于战争胜利起着积极的推动作用，同时起到巩固国防安全，防患于未然的重大作用。

3. 外交事务安全

西南界河地区国土资源遥感调查与监测初步成果显示，在藏南争议区约9万 km² 面积内，印度政府进行大量的城镇、军事设施、大型工程等建设，这对国家实时掌握中印边境地区尤其是争议区内对方的国土开发、城镇发展、军事目标、矿产资源分布及环境状况提供依据，有利于我国有针对性地进行中印边境地区战略性的国防基础建设（如预定战区的交通，后勤补给、维修等）、战术性的国防建设（如预战区保障供应系统的畅通性、作战环境的选取、生态战争的准备等）；更有利于中印边界谈判时掌握主动权，维护我国人

民的根本利益。

4. 环境治理

随着我国经济的飞速发展，出现的资源与环境之间的矛盾和问题越来越明显、越来越突出，直接威胁人居安全、社会稳定和经济的可持续发展。为此，深入开展我国重大资源环境问题区带的国土资源遥感综合调查，掌控资源环境变化的数量与质量特征，变化规律与发展趋势，形成机理，提出科学合理的治理建议，并付诸实施，可以实现我国资源与环境和谐可持续发展、人与自然的和谐发展。

三、应用实例

(一) 鸭绿江入海口西水道通航能力减弱

鸭绿江入海口段界河地区遥感解译结果表明，近 10 年来，朝鲜岛屿局部地段，已形成了岛岛相连，岛岸相连的复杂边界局面。据初步估算，60 年来，仅下游段朝方岛屿就扩张了 60 多平方公里。以目前的发展趋势推断，不出 20 年，朝方的大部分岛屿即可完成所谓的陆岛联结，属于我方一侧的鸭绿江西支流主航道即将不复存在，同时，使我国失去了获得河口段大片新生土地和岛屿的机会，失去了大片的海洋国土。到那时，属于朝方一侧的鸭绿江东水道将变为主航道，我国也将失去东北地区唯一的出海口，这使我国主权受到严重损害。而且鸭绿江的出海口段的数十公里，迟早会成为朝鲜的内陆河，这也意味着封闭了东北三省唯一的海上通道，那么，我国将失去一道有利的“战略堤坝”，对我国的军事和国家安全产生极为不利的影响。

因此，我方应在易受冲蚀地段修建护岸工程保护国土资源，同时疏通西水道，增加纳潮量，减轻西水道的淤积程度。

鸭绿江下游段岸线、岛屿变迁图

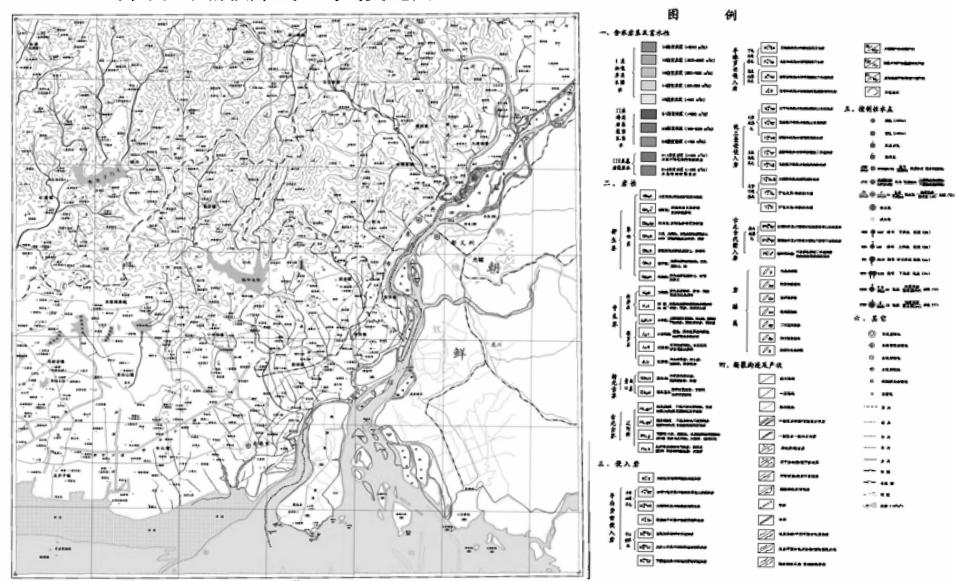


图 1 鸭绿江下游段岸线、岛屿变迁图

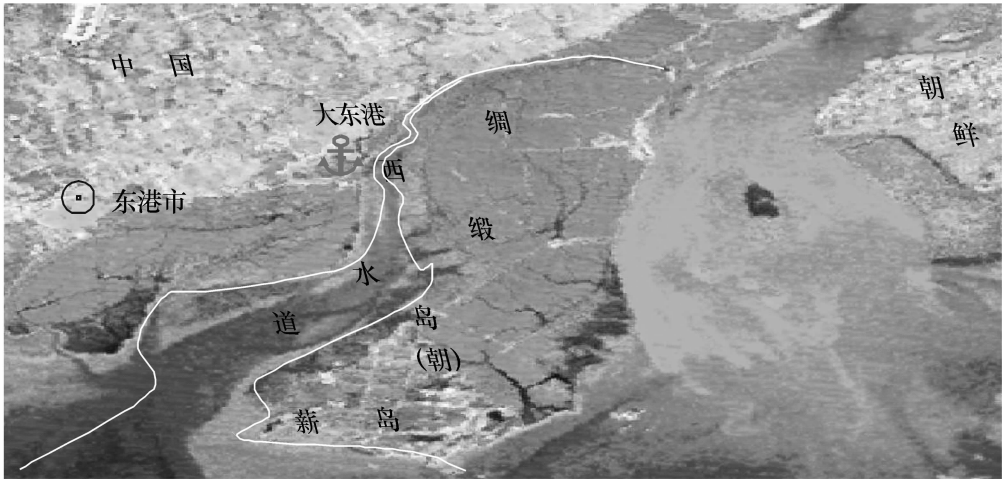


图2 1978年西水道 MSS 假彩色合成图像



图3 1999年西水道 ETM 假彩色合成图像

(二) 中印边界争议区国土安全受到威胁

在藏南中印争议区内，印度共建有4个机场（图5~6）；除此之外，区内还建有多个直升机场（图7）。在解译过程中，还发现多个疑似军事目标（图9）。

区内交通网总长约3280 km，其中铁路两条，约520 km，主干公路两条，约1150 km，次干公路230 km，支线公路1380 km。（图8）

区内共解译地质灾害74处，其中滑坡46处（图10），泥石流17处（图11），崩塌11处。部分地质灾害威胁雅鲁藏布江和达旺河等主要河流，存在安全隐患。印控争议区城市扩展速度较快（图12），反映出区内人口增长和生产建设活动加剧，值得关注。



图4 2010年西水道 ALOS 假彩色合成图像

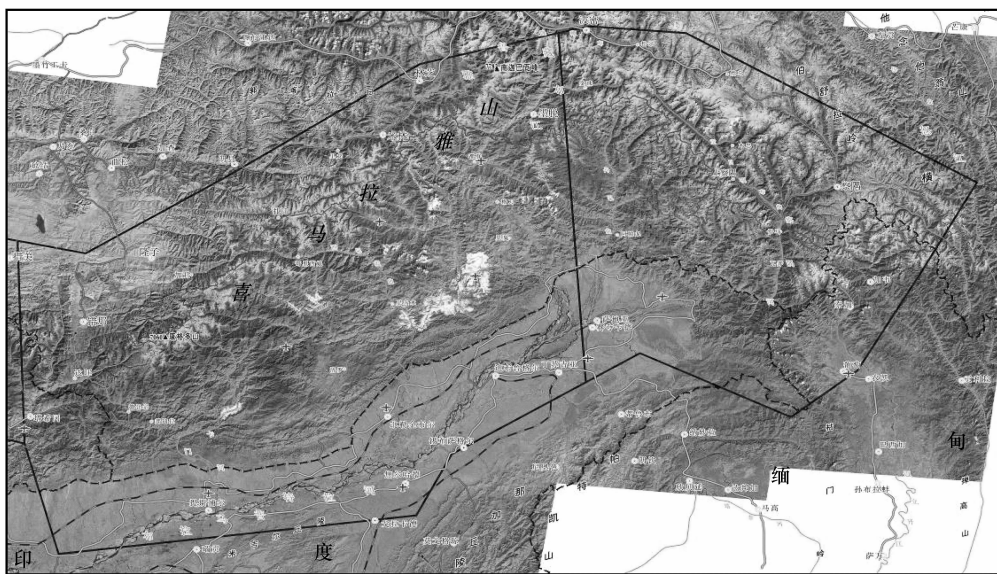


图5 藏南 TM 卫星影像图（红线为争议区边界）

四、推广转化方式

1. 军民融合推进项目成果转化

项目以军民结合作为抓手，将部队相关单位直接纳入项目，组织了专题会议，研讨军事地质需求，制定相关技术要求，并将前期调查成果成功应用于军事领域，实现了国土资源遥感调查成果军事应用的成果转化。

2. 为国土资源管理部门提供决策支持

界河地区有许多开放性口岸和经济开发区，占有特殊的经济地位，但是此地区地质工



图6 印控区内机场影像图



图7 印控区内直升机场影像

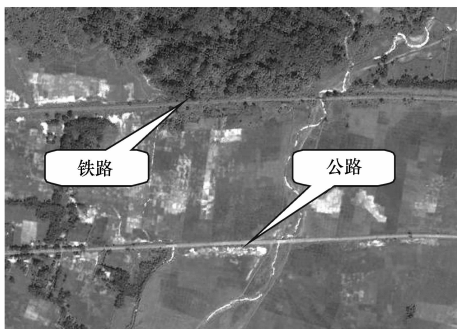


图8 铁路及主干公路影像图



图9 达旺地区疑似军事目标影像图

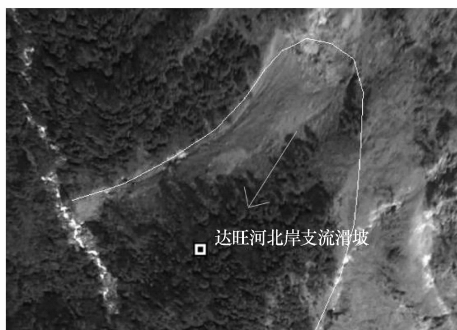


图10 达旺河左岸大型滑坡影像图

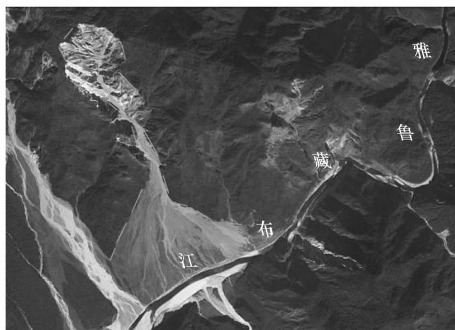


图11 墨脱南里夏大型泥石流影像图



图12 印控区内城市扩展对比图

作程度低，现有基础地质和资源环境数据难以满足国土资源管理工作的需要，直接影响国土资源开发的规划，项目可以为相关部门提供调查数据与决策支持。

3. 服务于争议区外交谈判与周边国家环境外交

项目对中印边境争议区地质、矿产、环境等因子进行全面遥感调查，摸清资源本底，获取第一手资料，可以为我国争议区划界谈判争取主动，避免损失重要矿产地。对我国与朝鲜、俄罗斯、蒙古、越南、老挝、缅甸、印度等国家边境地区开展国土资源环境调查，获取地质灾害、界河变迁等重要数据，排除环境隐患，可服务于环境外交。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联 系 人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

联系电话：010 - 62060051

直升机时间域航空电磁系统

一、成果概述

直升机时间域航空电磁系统，飞行高度低、探测深度大、异常分辨率高，可以根据需要进行不同比例尺测量，特别是能够完成大比例尺精细勘查；系统具有机动、灵活，能在复杂地形条件下应用的特点。可用于金属、多金属矿产勘查，水资源调查等应用领域。

该勘查系统是在国家 863 计划和国土资源部、中国地质调查局的支持下，由我国技术人员自主开发的，填补了国内空白。系统采用大电流梯形波发射技术，磁矩超过 250000 万 Am^2 ，补偿了一次场 95% 以上保证了二次场数据的有效采集，采用磁通反馈空心线圈传感器技术降低了仪器噪声水平。仪器与国外同类型先进系统进行了勘查对比试验，结果相吻合，主要技术指标达到国际先进水平。

二、应用实例

系统在河南桐柏地区进行了试验勘查应用，测网 100 米 $\times$ 2000 米，异常反映清晰、分辨率高，仪器系统的一致性良好，获得了好的勘查效果。

三、推广转化方式

根据用户要求，进行勘查应用服务。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：陈 斌

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号航遥中心

邮政编码：100083

联系电话：010 - 62060058

电子邮件：cb2030@126. com

航磁全轴梯度勘查系统

一、成果概述

航磁全轴梯度勘查系统可直接测量四道地磁场强度及地磁场强度在三个方向上的空间变化率，具有系统稳定、灵敏度高、动态噪声低、一致性好、频带宽等特点。航磁全轴梯度勘查系统可用满足我国矿产资源勘查中对快速、高分辨率航空地球物理勘查高技术装备的需要，实现固体矿产资源勘查和油气资源调查评价的快速、高效、多尺度、大深度的立体探测，同时在国防军事领域具有广泛的应用前景。

中国国土资源航空物探遥感中心从上世纪八十年代末开始研制航磁水平梯度系统，向后进行五次梯度试验飞行。在国家高技术研究发展计划“航空地球物理勘查技术系统”重大项目的资助下以航空氦光泵磁力仪、补偿仪和收据收录系统等核心技术为依托，通过科技攻关突破高动态磁场数字跟踪技术、多通道同步高精度测频技术、航磁梯度实时数字补偿技术等关键技术，研制出新一代的数字式航空氦光泵磁力仪和磁梯度仪、多通道航磁数字补偿仪和数据收录系统，并以这些仪器为核心设备集成数字化的航磁全轴梯度勘查系统。研发的具有完全自主知识产权的航磁全轴梯度勘查系统，能够实现对地磁场强度及其梯度的高精度、高分辨率测量，磁力仪和磁梯度仪灵敏度达 0.00025nT （单位带宽有效值），仪器分辨率 0.0001nT ，磁干扰场补偿精度由于 0.08nT ，同步精度小于 Lamer 周期， 5000km 测试飞行全部资料统计航磁全轴梯度勘查系统横向梯度动态噪声 0.00086nT/m 、纵向动态噪声 0.00156nT/m 、垂向动态噪声 0.00956nT/m ，达到国际先进水平。航磁全轴梯度勘查系统的成功研制标志着我国航空地球物理仪器研发和勘查技术水平又达到一个新的阶段，为固体矿产资源勘查、油气资源调查评价等提供新的技术手段。

二、应用实例

作为替代传统航磁总场测量的航磁全轴梯度勘查系统，目前已累计进行试生产飞行约 25204km ，取得了一批高精度航磁总场及航磁全轴梯度资料。利用高精度航磁全轴梯度资料在内蒙古自治区、河北省等地圈定了一批航磁梯度异常，特别是发现

了某地高达数千 nT/km 的航磁垂直梯度异常，该梯度异常极有可能是铁矿引起的。航磁全轴梯度异常与已知矿点具有良好的对应关系，在划分区域构造、岩性填图等方面发挥了重要作用。此外，航磁梯度测量基本不受地磁场随时间变化影响，不需要地面磁场测量基站，在西部沙漠高原、南海海域等不易架设地面基站的地区更能发挥勘查测量的优势。

三、推广转化方式

根据用户要求，进行勘查应用服务。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联 系 人：葛晓立

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号中国国土资源航空物探遥感中心

邮政编码：100083

联系电话：010-62060051

电子邮件：gxiaoli@sohu.com