

我国遥感地质找矿的科技进步与发展前景

刘德长¹, 李志忠², 王俊虎¹

(1. 核工业北京地质研究院, 遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京 100029;

2. 中国地质调查局, 科技外事部, 北京 100037)

摘要: 结合遥感地质找矿的典型实例, 包括石油、煤炭、有色金属、铀矿和非金属等矿产, 总结回顾了我国遥感地质找矿从起步-高潮-低潮-高潮的发展历程和取得的科技进步, 指出遥感地质找矿历程虽然曲折, 但一直在创新中前进, 在曲折中进步, 推动着我国找矿事业的持续发展, 促进着我国矿产资源的发现。同时从国家需求、应用领域、技术发展和理念更新等四个层面, 展望了遥感地质找矿的发展前景, 特别是强调了国家的需求是遥感找矿的动力, 高空间分辨率的高光谱遥感数据为遥感直接找矿带来了希望;“光谱地壳”计划提出的矿物高光谱立体填图, 为探索遥感技术的深部找矿开辟了新的途径; 陈述院士强调的遥感的应用应从“技术索引”的思路中走出来, 从“技术层面提升到科学层面”, 为今后遥感找矿的深化应用指明了方向。在综合分析遥感地质找矿的科技进步与发展前景的基础上, 指出现在是机遇与挑战并存, 而机遇大于挑战, 应抓住机遇, 应对挑战, 再创遥感地质找矿的新局面。

关键词: 遥感地质找矿; 科技进步; 发展前景; 新局面

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00431

1 引言

当前, 矿产资源对我国国民经济发展的瓶颈制约凸显。采用新技术、新方法加强矿产资源勘查力度, 扩大资源储量, 是保障我国经济可持续发展战略的重要途径。遥感技术在地质领域的应用, 曾对我国遥感事业的发展起了“火车头”的作用, 带动了我国遥感事业的蓬勃发展, 促进了我国矿产资源的发现。但是, 遥感技术在地质找矿中的应用不是一帆风顺的, 前后经历了起步-高潮-低潮-高潮的发展过程。事实表明, 尽管遥感找矿发展的道路是曲折的, 但通过遥感地质工作者的不懈努力, 遥感地质找矿的步子始终没有停顿, 遥感地质找矿工作一直在创新中前进, 在前进中创新, 推动着我国遥感地质找矿的科技进步。21世纪后虽然遥感技术在地质找矿领域的应用难度逐渐加大, 但遥感技术(特别是高光谱遥感技术)和其他现代信息技术的发展, 应用的创新, 为遥感地质找矿带来新的活力。“十二五”将是遥感技术在地质领域应用出现新的高潮的时期, 国家的需求、应用领域的扩展, 基础建

设的加强和应用理念的更新, 将会为遥感地质找矿带来又一个春天。总结我国遥感地质找矿的科技进步, 展望发展前景, 对开创“十二五”遥感地质找矿的新局面具有现实意义。

2 遥感地质找矿的科技进步

2.1 遥感地质找矿的起步与进展

在遥感地质找矿应用的初期, 人们更多看到的是遥感技术的优势, 如遥感观测的区域性和直观性、遥感数据的多波段性, 以及能够快速发现用常规地质方法难以发现的地质体或地质现象等。图1(a)为华南会昌盆地的TM彩色合成遥感影像, 依据影像特征可以明显看出会昌新月形的白垩纪盆地是受环状构造控制的(图1(b)), 而这种环盆关系用常规地质方法是很难发现的, 在遥感图像上却一目了然。

正是由于遥感技术具有上述技术优势, 激起了地质工作者的极大热情和兴趣, 掀起了遥感地质找矿的高潮, 促进了我国矿产资源的发现, 如中科院

收稿日期: 2011-07-01; 修回日期: 2011-08-03.

作者简介: 刘德长(1938-), 研究员, 博士生导师, 长期从事铀矿构造与遥感技术在铀资源勘查和核军事领域的应用。目前, 从事高光谱遥感技术和后遥感应用技术的开拓研究。E-mail: liudc@yeah.net

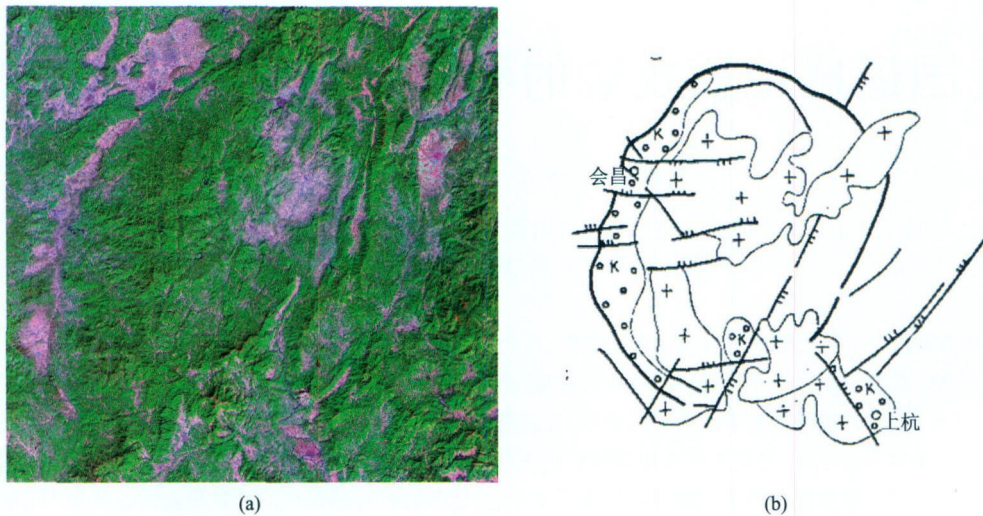


图1 (a) 遥感影像图; (b) 解译图江西会昌环状构造遥感影像及解译图

Fig 1 Circular structure remote sensing image and interpretation map of HuiChang in Jiang Xi (a) Remote sensing image; (b) Interpretation map

遥感所利用细分红外和多光谱遥感在新疆找到金矿^[1], 国土资源部航测遥感中心利用遥感影像发现了罗布泊钾盐矿^[2], 西安煤炭遥感研究院通过对大兴安岭西坡的遥感解释, 在大兴安岭西坡一举发现18个含煤盆地^[3-4]。其他一些有代表性的案例还包括新疆塔里木盆地石油天然气的发现^[5-6]和伊犁盆地砂岩型铀矿床的扩大等等^[7-8]。

但是随着矿产勘查技术的发展, 特别是向深部找矿的发展, 以及遥感技术的不断深入, 遥感技术在地质找矿中应用的局限性日趋明显, 主要表现在以下几个方面:

(1) 遥感影像反映的主要是地表信息或浅部信息在地表的反映, 而找矿不仅需要地表信息, 更需要深部信息;

(2) 多光谱遥感技术由于属宽带光谱, 光谱分辨率低, 虽然取得一定找矿效果, 但缺乏普遍意义上的直接找矿价值;

(3) 遥感技术虽然在基岩裸露区识别岩性、构造的效果很好, 但在植被覆盖区识别地层、岩性的效果很差。

针对上述局限性, 遥感地质工作者进行了不懈的努力。开发了多源地学信息集成技术, 以探索解决矿产资源勘查由地表转向深部隐伏矿床的必然趋势与遥感主要反映地表或浅部信息本质特征之间的矛盾^[9-11]; 开发了遥感弱信息提取技术, 以期直接从多光谱遥感图像上提取矿化蚀变信息, 来探索遥感直接找矿的技术与途径^[12-13]。图2是张远飞

等通过“遥感蚀变信息多层次分离技术”, 利用TM波段值及其派生变量在青海都兰塔妥-沟里地区, 直接提取的与金属矿化有关的三价铁蚀变遥感信息。刘德长, 赵英俊等根据遥感图像具有丰富的光谱和纹理信息, 在构造识别方面具有明显的优势, 但在植被覆盖区识别岩性的效果差, 而放射性伽玛能谱数据具有区分岩性和矿化蚀变、受植被干扰少的优势, 利用图像处理技术将二者融合形成一种新类型图像。这种图像既保留了多光谱遥感图像识别断裂构造的长处, 又具有能谱图像区分岩性和蚀变的优点, 从而开发出光-能谱集成技术, 拓展了遥感图像在植被覆盖区的应用, 取得了很好的应用效果^[14-16](图3)。

虽然遥感地质工作者的努力促进了遥感地质找矿的科技进步, 但由于信息源为中等分辨率的多光谱遥感信息源, 如MSS、TM、SPOT等, 以及20世纪末地质工作投入量的减少, 遥感地质找矿一度从高潮转入了低潮。

2.2 新世纪遥感地质找矿的转机

新世纪以来, 数字地球战略思想的提出, 三维可视化技术、虚拟现实技术、仿真-模拟技术等现代信息技术的发展, 以及新型遥感数据源的问世为遥感地质找矿带了转机^[17-20]。因此, 如何将这些新理念、新型遥感信息源和新的技术方法引入地质找矿领域, 进一步来解决找矿问题, 成为摆在遥感地质工作者面前的重要研究课题。

青海都兰县塔妥-沟里地区矿化蚀变遥感信息异常图

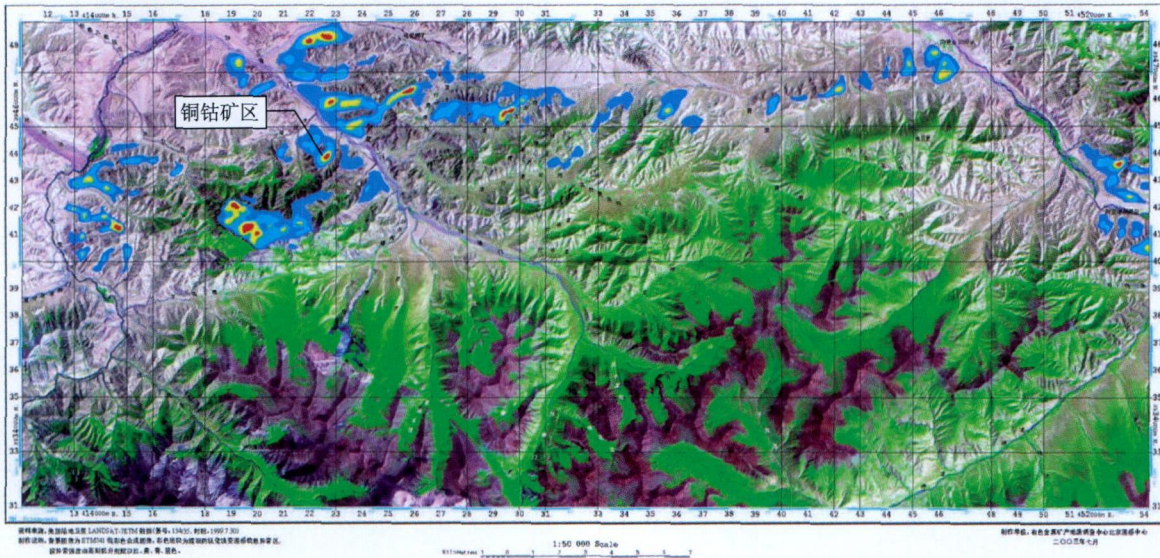


图 2 青海都兰塔妥-沟里地区矿化蚀变遥感信息异常图(蓝-黄-红表示铁染强度由低到高)

Fig. 2 The remote sensing abnormal information of mineralized alteration in Dulantatue-Gouli of Qinghai

(1) “光谱地壳”计划的提出

李志忠、王晋年等(2010年)提出的光谱地壳计划,从理念层面上讲就是对卫星、航空、地面和岩芯取得的和将要取得的海量高光谱数据,利用数字地球的战略思想和方法技术进行信息的存储、管理、查询、分析、数字运算和三维可视化等。目的是构建一个虚拟的、光谱表达的地壳,以便最大限度地利用高光谱信息资源。这实际上是数字地球在高光谱遥感领域的特殊应用与拓展,是我国数字地球典型应用系统建设的重要组成部分。

(2) 矿产资源数字勘查区的构建

矿产资源数字勘查区的概念是笔者在“数字地球”框架下,结合铀资源勘查的实践,将遥感、GIS和虚拟现实技术相结合提出来的,目标是把“数字地球”的战略思想和一些关键技术引入到矿产资源勘查中来,构建一个虚拟的矿产资源勘查区,通过信息查询,实现虚拟找矿与虚拟勘探,以加速高新技术在矿产资源勘查中的应用,促进实现地质工作的信息化^[21-22]。

(3) 新型遥感技术在地质找矿中的应用

进入新世纪以来,IKONOS、QuickBird、OBVIEW、Aster、Hyperion、ALOS、TerraSAR、CBERS-02B等更高空间分辨率、光谱分辨率和更多极化方式遥感数据源的出现,特别是高光谱遥感数据源为遥感地质直接找矿带来了希望。如中国国土资源航空物探遥感中心在新疆东天山地区,利

用航空高光谱数据进行了1:5万矿物填图试验,建立了裸露区高光谱矿物识别与矿物填图的技术体系和工作程序,为我国第三代地质填图—矿物填图奠定了技术基础^[23-25]。另外,在西藏驱龙地区根据Hyperion数据填出的蚀变矿物,圈定的找矿靶区取得了很好的验证效果^[26]。

2.3 遥感找矿面临的新挑战

2007年,在陈述彭院士倡导下,遥感地质界召开了“遥感找矿面临的新挑战”的香山科学讨论会。这次会议也是第一次以遥感为主题的香山科学讨论会。通过交流和讨论,与会代表达成以下几点共识:(1)遥感找矿的突破寄希望于高光谱遥感技术,特别是高空间分辨率的高光谱遥感技术;(2)开发先进的图像处理技术,特别是蚀变信息提取软件系统,并建议列入国家基础工程加以实施;(3)遥感地质找矿要加强多学科交叉、信息综合和方法集成;(4)建立遥感地质综合实验场,为深入研究遥感机理,遥感与其他地学信息的耦合性和人才培养提供基地。(5)研制和发射具地质找矿目的的专题小卫星,以提供针对地质找矿应用更有效的遥感信息源。

这些共识对后来我国遥感地质找矿的科技进步起到了促进作用:

2.3.1 3Si 航空成像光谱系统的引进

中国地质调查局明确我国航空高光谱遥感的

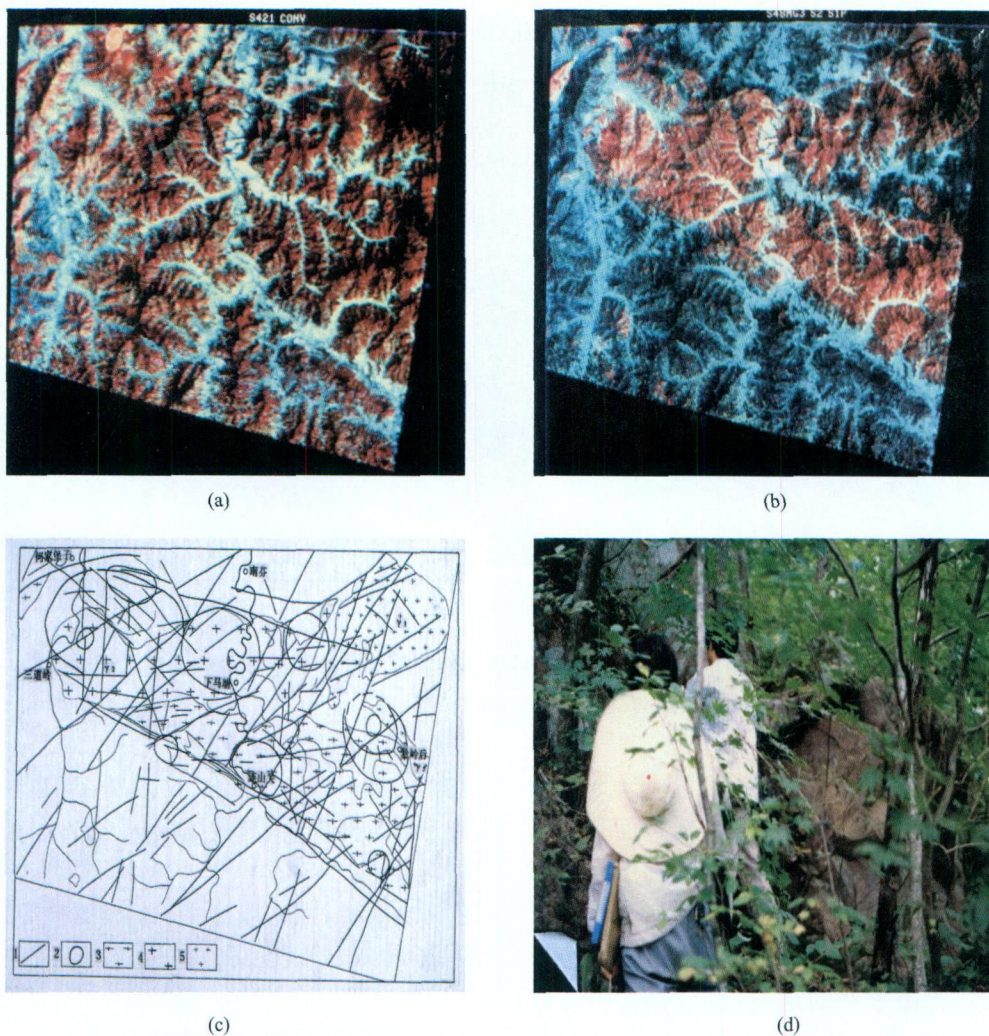


图3 连山关 TM 遥感影像图(a); 连山关光-能谱融合影像(b); 连山关光-能谱解译图(c)及连山关野外实景图(d)
 Fig 3 The TM remote sensing image(a); The ray-spectrometer fusion image(b); The ray-spectrometer interpretation image(c); The field image of Lianshanguan(d)

发展方针,即引进与研制并举的方针。核工业北京地质研究院国家级遥感信息与图像分析技术重点实验室于2008年从加拿大引进了3Si航空成像光谱系统,其光谱范围包括了可见光、近红外、短波红外和热红外谱带,光谱波段数为420个,空间分辨率最高为厘米级,可以为遥感地质找矿提供高空间分辨率的高光谱遥感数据(表1)^[27]。

2.3.2 多光谱遥感蚀变信息提取技术的应用

多光谱遥感蚀变信息提取技术在地质找矿领域得到了进一步的推广应用。中国国土资源航空物探遥感中心完成了天山北山、昆仑山、冈底斯山等地区120万km²的1:25万遥感异常扫面工作,共提供遥感异常3944个、找矿远景区39处、找矿靶区61处。在已经检查的109个遥感异常中,新发现矿点、矿化点24个。

表1 CASI/SASI/TASI航空成像光谱仪参数

Tab 1 Characteristics parameters of CASI/SASI/TASI aerial imaging spectrometer

参数	CASI-1500	SASI-600	TASI-600
光谱范围	380~1050nm	950~2450nm	8.0~11.5μm
每行像元数	1470	640	600
连续光谱通道数	288	101	32
光谱带宽	2.3nm	15nm	0.125μm
帧频(全波段)	14	100	200
总视场角	40°	40°	40°
瞬时视场角	0.028°	0.07°	0.068°
信噪比(峰值)	>1100	>1100	>4600
量化水平	14位	14位	14位
绝对辐射精度	<2%	<2%	±10%

2.3.3 后遥感应用技术的理念的提出及技术的开发

针对学科的交叉、信息综合与方法集成,刘德长、叶发旺等提出后遥感应用技术的理念,并围绕新理念开发了相应的技术^[28]。

后遥感应用技术是指将遥感技术与传统的地质方法和现代信息技术相结合的遥感信息深化应用技术。它强调遥感信息的应用不仅局限于遥感信息本身的应用,还应该包括遥感信息的延伸应用,随着遥感信息应用的深化,更应该加强遥感信息的延伸应用,即后遥感技术的应用。

地质勘查后遥感应用技术的构成包括两个一体,即在信息源上集遥感信息、地质信息、地球物理信息、地球化学信息为一体,在方法技术上集图像处理技术、GIS技术、三维可视化技术、多媒体技术、仿真模拟技术、虚拟现实技术及传统地质学方法为一体。因此,不同于传统的多源地学信息集成技术,这里的集成,不仅是信息的集成,还包括了技术的集成。围绕后遥感应用技术理念,结合铀资源勘查,先后开发了铀资源数字勘查区构建技术、遥感与其他地学信息集成技术、地学信息三维可视化技术、铀成矿过程的计算机模拟技术、虚拟找矿与虚拟勘探技术等。

2.3.4 遥感地质实验场的建立

中国国土资源航空物探遥感中心在我国东天山地区建立和正在建立我国遥感地质实验场,将为我国科研人员进行遥感信息机理研究,遥感地质信息提取和应用模式的建立,遥感载荷指标设置与潜力评估、检验,以及遥感地质人才的培养等提供综合性的基础实验场地。

2.3.5 国产高光谱卫星计划的实施

依托863重点专项和高分专项项目,我国正在实施面向地质找矿的国土资源高光谱卫星计划,卫星预计2015年发射。这将为我国地质找矿提供自主知识产权的新的低光谱卫星遥感数据源,必将推动遥感地质找矿向新的境界发展。

从上可见,尽管遥感地质找矿工作经历了起步-高潮-低潮-高潮的发展过程,但遥感地质找矿工作一直在创新中前进,在前进中创新,推动着我国遥感地质找矿工作的科技进步与持续发展。

3 遥感地质找矿的发展前景

在论述了我国遥感地质找矿科技进步之后,再从以下4个层面对我国遥感地质找矿的发展前景

作分析。

3.1 国家需求层面

从国家需求层面看,矿产资源对国民经济发展的瓶颈制约凸现。温总理在“国务院关于加强地质工作的决定”批示中强调,解决矿产资源制约瓶颈的出路在于“推进地质科技进步与创新,加快高新技术在地质工作中的应用,实现地质工作现代化”。遥感技术是对地观测的高新技术,推进其科技进步与创新,加快其在地质工作中的应用,扩大资源储量,是保障我国矿产资源的供应和实现地质工作现代化的重要途径。2009年8月17日,李克强副总理到国土资源部视察时,明确提出加大地质勘查力度,立足国内,提升地质矿产工作对国民经济和社会发展的保障能力。显然,国家的需求是遥感地质找矿工作发展的动力。

3.2 应用领域层面

从应用领域层面看,遥感地质找矿的发展前景主要包括以下4个方面:

(1) 遥感找矿地域的扩展

我国遥感地质找矿的主要地域从陆地拓展到了海洋^[29-32],从人口稠密、交通便利地区拓展到了人口稀少、交通不便地区,找矿地域的扩展为遥感技术优势的发挥提供了新的用武之地。

(2) 遥感找矿应用面的扩大

过去遥感地质找矿主要是追求资源量的增加,而现在除考虑资源量的增加外,还要考虑到环境保护、灾害治理等需求,这就为遥感技术在地质找矿中的应用拓展了新的方面。

(3) 找矿的全球化

由于卫星遥感不受国界限制,因此,在全球找矿中可以发挥更大的作用,包括国外直接找矿和为国外找矿提供信息服务等。

(4) 外星找矿探索

在外星找矿领域,遥感技术具有其他技术手段无法替代的优势^[33-34]。

3.3 技术发展层面

从技术发展层面看,遥感地质找矿的发展主要包括以下3个方面:

(1) 高光谱遥感技术的发展

特别是高空间分辨率的高光谱遥感数据源为

遥感直接找矿带来了新的希望。例如,核工业北京地质研究院利用 3Si 航空高光谱成像系统在甘肃北山柳园地区进行了实验,完成了 700km² 面积的高光谱航空测量,对取得的该区高空间分辨率的高光谱遥感数据,进行了蚀变矿物填图,在该区提取出 10 种以上常见的蚀变矿物,提取结果与已知矿床的吻合性达到 80% 以上。利用高光谱遥感图谱合一的技术优势,通过分析,可以区分成矿与非成矿断裂、蚀变岩体与非蚀变岩体、蚀变地层与非蚀变地层,并可研究热液活动期次,成矿的温压条件、热动力过程和成矿热液流动的轨迹等成矿机理和作用。同时,可以优选出近十处新的找矿靶区。试验结果表明,航空高光谱成像系统不仅在技术层面,而且在理论层面,具有重要的找矿价值。

(2) 地质勘查遥感系统的研建

中国地质调查局正在研建的地质勘查遥感系统,将航天、航空、地面、地下的遥感数据采集、处理、应用集成在一起,形成一整套地质勘查遥感系统。

在上述系统支持下的“光谱地壳”计划的实施,将有望把遥感技术的应用从地表引向地下,从二维引向多维,探索出应用遥感技术进行深部三维找矿的新途径、新技术、新方法。

(3) “物化遥”、“星空地”一体化的立体地质勘查技术体系

我国正在发展的星载和航空遥感技术系统、航空物探技术系统、地面和地下物探技术系统、地球化学技术系统、矿产资源综合利用技术系统,并在此基础上建立的“物化遥”、“天空地”一体化的立体地质勘查技术体系是实现地质工作现代化的重要组成部分。

3.4 理念更新层面

陈述彭院士晚年曾对遥感在地质找矿中的应用作过精辟的论述,他说:“面对盲矿和深部矿床的难题,遥感应用须从遥感‘技术索引’的思路走出来,从控矿构造迈向与成矿机理研究相结合的高度。”并提出“遥感应用必须与物化探、磁力、重力、地震探矿等方法相结合……”,强调要将遥感应用“从技术层面提升到科学层面”^[35]。陈先生的观点为遥感在地质找矿中的深化应用指明了方向,不仅要从技术的角度,而且要从成矿理论的高度来解决遥感找矿问题。因此,遥感技术在地质找矿领域的

应用要努力做到:

(1) 充分发挥遥感技术的优势。遥感在地质领域应用最大的技术优势就是它能够快速发现用常规地质方法很难发现的地质体和地质现象,从而促进地质人员发现问题,提出问题,重新思考问题。

(2) 遥感在地质找矿中的应用需实现两个结合,一是遥感信息与传统地质信息的结合;二是遥感技术与现代信息技术的结合。

(3) 遥感在应用过程中要注入地质专业知识,将信息转化为创造性思维,来指导决策和实践。

总之,展望未来,任重道远,迎来的将会是大有作为的遥感地质找矿的又一个春天。

4 结语

地质工作者的一项神圣使命就是要为国找矿,遥感技术在地质领域应用的重心就是要用遥感这一高新技术为国家多找矿、快找矿、找好矿。目前,遥感地质找矿遇到的两大科学难题,一是遥感直接找矿问题;二是深部找矿问题。通过总结我国遥感找矿的科技进步和对发展前景的展望可见,高光谱遥感技术的发展为遥感直接找矿带来了新的希望,而高空间分辨率的遥感技术和多极化的成像雷达技术为这一希望注入了活力;“光谱地壳”计划提出的对钻孔岩芯和地面高光谱遥感数据的立体矿物填图,为遥感技术的深部找矿探索提出了新的思路与途径。遥感技术的创新应用还应该与应用理念的更新相结合,正如陈述彭院士强调的遥感应用“须从‘技术索引’的思路走出来”,应将其“从技术层面提升到科学层面”,这样才能最大限度的提升遥感地质找矿的应用效果。

纵观我国遥感技术当年在地质领域的应用形势,应该是机遇与挑战并存,而机遇大于挑战。我们一定要抓住机遇、应对挑战,再创遥感地质找矿的新局面。

本文是笔者于 2011 年 3 月在成都召开的“遥感地质找矿问题与对策”战略研讨会上所作的主题报告基础上写成的,但“我国遥感地质找矿的科技进步与发展前景”是一个全局性的问题,本文是笔者根据近几年的研究,以及有关资料,结合自己的工作经验、思考分析后的一些认识,以此与同行同享。

参考文献:

- [1] 杨柏林. 岩矿光谱信息与航空细分红外光谱遥感找矿[J]. 国土资源遥感, 1990, 3: 42-50
- [2] 李廷祺. 新疆罗布泊地区钾盐矿床远景规模的遥感地质研究[J]. 国土资源遥感, 1991, 1(1): 29-35
- [3] 邹远耀. 湖南省中新生代盖层下遥感找煤成效[J]. 中国煤田地质, 1993, 5(3): 58-60
- [4] 谭克龙, 万余庆, 鲍桂宝, 等. 遥感找煤应用与展望[C]. // 陈述彭, 毛德华, 等. 2007 遥感科技论坛, 北京: 地震出版社, 2007, 411-415
- [5] 傅碧宏, 丑晓伟, 邓云山, 等. 塔里木盆地东南缘石油遥感地质综合分析与评价[J]. 新疆石油地质, 1997, 18(2), 109-111
- [6] 丁树柏. 遥感找石油的历史与现状及存在问题[C]. // 陈述彭, 毛德华, 等. 2007 遥感科技论坛, 北京: 地震出版社, 2007, 403-409
- [7] 王保群. 伊犁盆地南缘可地浸砂岩型铀矿的重大突破[J]. 新疆地质, 2002, 20(2): 106-110
- [8] 黄贤芳, 刘德长, 叶发旺, 等. 伊犁盆地层间氧化带型砂岩铀矿床勘查的遥感技术方法[M]. 北京: 原子能出版社, 1999, 104-110
- [9] 刘德长, 孙茂荣, 朱德龄, 等. 以航空放射性测量为主的多源信息综合技术及应用[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23(6): 660-664
- [10] 李恭. 多源找矿信息综合图像处理与隐伏矿床预测[J]. 有色金属矿产与勘查, 1992, 1(1): 34-40
- [11] 祝民强. 基于GIS的砂岩型盆地铀矿多源信息集成评价技术研究[D]. 核工业北京地质研究院, 2002, 44-50
- [12] 张远飞, 吴健生. 基于遥感图像提取矿化蚀变信息[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 604-610
- [13] 张远飞, 朱谷昌, 吴德文. 地质矿产调查的遥感蚀变信息多层次分离提取技术及应用[C]. // 陈述彭, 毛德华, 等. 2007 遥感科技论坛, 北京: 地震出版社, 2007, 464-470
- [14] 刘德长, 叶发旺, 赵英俊. 光-能谱集成技术系统及其地质应用[J]. 地球信息科学, 2006, 8(4): 16-23
- [15] 黄贤芳, 刘德长, 董秀珍, 等. 覆盖区光-能谱数据归一化集成的铀资源勘查技术研究[R]. 核工业北京地质研究院, 2004, 15-19
- [16] 赵英俊, 刘德长. 光-能谱集成技术在国土资源调查中的应用研究[C]. // 陈述彭, 毛德华, 等. 2007 遥感科技论坛, 北京: 地震出版社, 2007, 481-487
- [17] 刘德长, 叶发旺, 赵英俊, 等. 数字地球理论与方法在矿产资源勘查中的应用探索[C]. // 陈述彭, 毛德华, 等. 2007 遥感科技论坛, 北京: 地震出版社, 2007, 3-10.
- [18] 叶发旺, 刘德长, 仇宝聚. 虚拟现实技术在铀矿地质中的应用探讨[J]. 铀矿地质, 2004, 20(1): 56-62
- [19] 芮小平, 余志伟, 许友志, 等. VRML在三维地质曲面动态显示中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(3): 5-9
- [20] Hodgson P, Gras R, Virtual Reality Tools & Technique Revolutionize E&P Decision Making. <http://www.sis.slb.com/media/about/articles/ogevrtos.pdf>.
- [21] 刘德长, 赵英俊, 仇宝聚, 等. 核工业铀资源勘查遥感应用的创新与数字勘查技术系统研究[J]. 国外铀矿地质, 2002, 19(3): 152-160
- [22] 刘德长. 后遥感应用技术研究[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2007, 30-44
- [23] 甘甫平, 王润生, 马谡乃. 基于特征谱带的高光谱遥感矿物谱系识别[J]. 地学前缘, 2003, 10(2): 446-452
- [24] 王润生, 杨苏明, 阎柏琨. 成像光谱矿物识别方法与识别模型评述[J]. 国土资源遥感, 2007(1): 1-9.
- [25] 王润生, 甘甫平. 高光谱矿物分层谱系识别方法: 中国专利, ZL2004 1 0048346. 5[P]. 2007, 5-23.
- [26] 甘甫平, 王润生, 杨苏明. 西藏 Hyperion 数据蚀变矿物识别初步研究[J]. 国土资源遥感, 2003(4): 44-51
- [27] 赵英俊, 秦凯, 杨燕杰. 航空高光谱遥感在铀资源勘查中的应用分析[M]. // 张金带, 李子颖. 铀矿勘查和地质科技进展与态势. 北京: 原子能出版社, 2010, 610-614.
- [28] 刘德长, 叶发旺. 后遥感应用技术的提出与思考[J]. 世界核地质科学, 2004, 21(1): 33-40
- [29] 陆应诚, 田庆久, 齐小平, 等. 海面甚薄油膜光谱响应研究与分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(4): 986-989
- [30] 吴永森. 胶州湾海洋航空遥感实验—中国海洋遥感研究的开端[J]. 海洋科学, 2010, 34(3): 92-93
- [31] Gonzalez M, Uriarte A, Pozo R and Collins M. The Prestige Crisis: Operational Oceanography Applied to Oil Recovery, by the Basque Fishing Fleet[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 53: 369-374
- [32] Lu Y C, Tian Q J, Qi X P, Wang J J and Wan X C. Spectral Response Analysis of Offshore Thin Oil Slicks[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(4): 986-989
- [33] 于艳梅, 甘甫平, 周萍, 等. 热红外遥感火星矿物填图方法初步研究及应用[J]. 国土资源遥感, 2009, 4(4): 36-39
- [34] Bandfield J L. Global Mineral Distribution on Mars[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(E6): 5042-5063.
- [35] 陈述彭. 矿产资源与遥感信息深度开发应用[C]. // 陈述彭, 毛德华, 等. 2007 遥感科技论坛, 北京: 地震出版社, 2007, 373-380.

The Technology Progress and Developing Future of Remote Sensing Geological Prospecting in China

LIU Dechang¹, LI Zhizhong², WANG Junhu¹

(1. *Beijing Research Institute of Uranium Geology, National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis Technology, Beijing 100029, China*; 2. *China Geological Survey, Science and Technology Ministry of Foreign Affairs, Beijing 100037, China*)

Abstract: The paper firstly retrospected the technology progress and developing course of geologic prospecting in our country by the way of illustrating the example of geologic prospecting, including oil, coal, nonferrous metals, uranium, non-metallic minerals and so on. Then it pointed out that the process of remote sensing geological prospecting was tortuous, but it put forward in the innovation and was innovating in the forward, and impelled the continuable developing of geologic prospecting and promoted the discovery of mineral resource in China. Secondly, the paper made a prospect of remote sensing geologic prospecting on the lay of national requirement, appliance field, technology developing and ideaistic updating. The paper particularly emphasized that the country's needs were the power for remote sensing prospecting, the data with high spatial resolution and hyper-spectral resolution brought hope for the direct exploration by the means of remote sensing. Three-dimensional mineral hyperspectral mapping proposed by "Spectral crust" plan has opened up a new avenue to explore the deep exploration by remote sensing technology. And academician Chen stressed that the application of remote sensing should come out from a idea of "technology index", and upgraded to the "scientific level" from the "technical level". At last, based on the comprehensive analysis of technological progress of remote sensing geological prospecting and development prospects, the paper illustrated that the opportunity and challenge contemporary exist at present, furthermore, the opportunity precedes challenge, we must seize the opportunity and rise to the challenge, reshape the new situation of remote sensing geologic prospecting.

Key words: remote sensing geologic prospecting; technological advancements; developing prospect; new situation.