

# 展十年辉煌功业 望遥感宏伟前程

陈 荫 祥

(国土资源部航空物探遥感中心,北京 100083)

**摘 要** 总结了近30年来遥感地质的工作成就,分析了遥感技术的发展趋势,阐述了遥感技术在国土调查、规划、地质矿产勘查、环境地质和工程勘测以及灾害监测等领域应用的巨大技术潜力和广阔前景,指出了遥感在地球科学、国土环境科学理论研究中的作用。

**关键词** 遥感地质 功业

**分类号** TP-13: TP 79

## 0 引言

时代在发展,科技在进步。近20年来,遥感技术在地质调查与工程勘查领域的推广应用取得了显著的成就,作为专业喉舌和专业科技文化窗口的《国土资源遥感》杂志已经成功地发行了10年,连同其前身《遥感地质》,共开创了20多年的光辉历程。经过广大地质勘测科技工作者多年来的艰苦实践和创新攀登,遥感应用与技术方法终于有了蓬勃的发展,推动了地质勘查、国土资源调查科技的现代化进步,为全国地质勘查和国土资源调查作出了全面的贡献。遥感技术的服务领域从单一的地质矿产勘查扩展到国土资源综合调查和其它的相关研究领域。当前,以地质矿产及与国土资源相关的其他部门为主体的遥感专业队伍,连同众多的应用遥感技术的勘测科研机构,形成了专业覆盖面广、工作规模大、技术装备良好、人员科技素质和专业水平较高且实战能力强的遥感技术队伍,历年来所取得的效益和学术成就均居世界前列,博得了国内外有关人士的赞扬。

作为遥感科技窗口和专业文库的《国土资源遥感》和《遥感地质》杂志卓越地记载和展现了这一伟大的功业,所刊登的千余篇论文,以其内容充实、富有创见、技术水平较高,应用效果明显、文图编印精良和发行面广而受到学术界的关注和领导部门的重视。除了刊登地质矿产、工程勘测、国土资源及生态环境等方面的新发现、重大补充修正成果外,在揭示地球科学理论、人地关系、协调自然资源、生态环境、经济建设、探讨可持续发展等高层次综合决策方面亦给人以很多的启示。此外,在宣传推广遥感技术应用、学术交流探讨、专业发展导向等方面,也建立了卓越功勋。在国土资源遥感的百舸洪流中推波助澜、发展科技、积累文化,可谓成果琳琅,功德昭世。值此世纪之交,回顾历史,瞻望前程,足以令人欣慰和鼓舞。

国土资源与环境是我们中华民族赖以生存和发展的基础。协调人地关系、谋求可持续发展的科学使命十分艰巨。遥感技术正值新兴,科技潜能很大。国土资源遥感是一个专业跨度

很广的勘测科研领域,包括地质矿产、土地管理、环境保护、城乡建设、农林水利、气象水文、建设规划、决策管理、灾害防治等诸多方面,任务涵盖面很广,因果机理错综,今后将面临多学科联合探索的局面,希望业内外人士继往开来,共同奋斗,为人类文明的新发展作出更大的贡献。

## 1 国土资源遥感应用现状评估

### 1.1 区域地质调查

遥感信息在区域地质调查中得到了广泛应用,但由于某些传统地质理论的束缚,地质构造的遥感信息仍未能充分利用。

近半个世纪来,在中、小比例尺区域地质调查与制图中,航摄像片与遥感图像逐渐得到应用并日益受到重视。30年来,大部分中、小比例尺地质图件经过遥感图像和地面研究的补充修正,理论水平和精度均有了明显提高,但用遥感图像和最新地质理论水准来衡量,仍存在很大差距,这些差距将直接影响基础地质研究和地质矿产事业的发展。所以,区域地质图件的不断更新将是一项长期的基础地质工作,而遥感技术在该领域具有深广的潜力,充分发挥其作用将给地质理论和地质矿产事业带来新的活力。纵观已有地质图件存在的错漏,估计能用遥感揭示的尚有60%。近年来,一些边远地区的地质调查图件与遥感图像的地质特征不相吻合的现象仍然很多,中、小比例尺地质图件存在较普遍的质量和精度问题,如果不充分利用遥感图像给予补充修正,则势必造成贻误后世,成为影响地质矿产事业的恶性隐患。

遥感图像对地质结构的客观写真是不容忽视的客观事实,地质科学发展到今日,我们依然得保持现实的态度,先客观描述地质现象,后进行理论概括,这将有利于发展科学、促进地质矿产事业的持续发展。遥感信息反映的地质事实,不能因为学科偏见,传统观念和规程而被改变。当然,早期的遥感资料由于受分辨率的限制,导致应用程度受到了限制,但我们不能因此而使遥感地质长期处于朦胧状态和粉饰地位。近年来,由于采用了新的技术思路,在大比例尺地质调查和地质制图中,遥感与地质的符合程度和可兼容程度有了很大的改进,但在如何充分发挥遥感地质的认识上仍有待统一,否则遥感地质将无法健康发展下去。

在岩浆岩、变质岩,特别是火山岩地区,地质图上对地质结构的描述要比实际粗略得多,很多复式侵入杂岩体、隐伏侵入体、火山机构、脉岩、变质岩的类型和相带在遥感图像上有充分的反映,但常规地质图则记述得很简单。在松散堆积物广泛覆盖的地区,地质图上的要素内容也过于简略,满足不了经济建设和地质科学发展的需要。近年来,各类钻井、物探资料进一步证明了遥感地质资料的可靠程度。如果能用遥感资料将各种各样的隐伏地质信息、隐蔽地质界限,补充到这类地区的地质图上去,则将大大改善其地质研究程度。

近年,在内蒙古、山东、江西、四川等省区开展的以遥感为主要技术手段的1:5万比例尺图幅地质填图工作取得了良好的效果,初步结果表明,采用遥感资料进行大面积多幅联测方式,不仅提高了工作效率和填图质量,而且节约了经费,提高了地质图的科学水平。遥感技术在岩性识别、断裂解译、侵入单元、超单元划分及中生界地质研究方面,都显示出优势,这表明遥感必将成为我国1:5万比例尺区域地质调查的主要技术手段。

除了全国统一规划开展的1:5万区域地质调查外,各部门还结合矿产开发、工程地质、环境地质调查开展了大比例尺地质填图,在这些工作中如能充分正确地应用遥感技术,也必将大

幅度提高大比例尺地质图件的精度和专业水平,加快详细地质调查、专业勘测的进度。

另外,现有大量的专题地质图存在着与遥感图像不相吻合的内容,这些专题图件在产生时,往往经过了较强烈的专业“滤波”,观点“滤波”,所以,在使用中需要慎审对待,最好利用遥感资料进行核对补充,以免给后续工作带来不良影响。

## 1.2 地质构造理论新贡献

遥感信息对地质构造的可能贡献远没有引起构造地质学界的重视,新的地质理论蓄势待发。遥感用于地质构造研究,表面上大家是承认的,但深究起来却未必如此,一些浅显的、与传统地质概念一致的理论,一般都能被采纳应用。遥感信息被不少地质构造专家用来补充、修正自己的专题图件,从而提高了构造地质学的研究水平,很多重大发现也曾引起广泛的轰动。不少构造地质专家结合遥感构造信息的宏观结构、全景形态的密集显示开展了构造统计分析、分形几何学、应力体系等的新尝试,在矿床分布、工程地质、环境动力等的研究方面取得了可喜的效果。

纵观遥感提供的构造新信息可概括为:①表浅坚硬地壳中的大断裂和韧性剪切带;②地块和岩块;③密布的直线形断裂和大节理;④碎裂块体与漂移岩块;⑤塑性-硬固地壳中垂直贯通的强爆环形断裂;⑥地壳中的膨隆及塌陷地段等。这些新的地质构造信息及其在理论研究、实际应用中的作用、意义尚未引起足够的重视,甚至引起了不断的争议。争论之一是:我们看到的大部分的构造面,包括断裂、岩块边界,在中新生代都有不同程度的活化错动,甚至延迟到新第三纪以后,有些专家就怀疑新构造运动真是如此普遍强烈吗?甚至有人武断地反对如实标绘断裂,只允许按照他们的意愿勾画;争论之二则是:通过遥感分析发现的不同世代、不同级别的环形断裂,包括隐伏侵入体和岩浆强爆中心,尽管20多年来遥感专业许多学者进行了多方面的研究和探讨,也有重要的发现和较系统的理论,但遥感这一功能的发现始终未能开发出来并被广泛应用,这不能不说是很大的遗憾。我们坚信,这一新的地质构造理论将会萌生、生长,给地质科学带来革命性发展;争论之三则属于遥感在地球构造动力学方面的新发现。根据大量遥感地质影像及近年来地质构造活动的考证,地球的地质构造动力可分为3个能量级别:最微弱最普遍的是主运动后的动力补偿协调,以重力协调为主;第二级是地壳机械动力,表现为挤压、伸展、剪错,这正是构造地质学家关注的地壳固体塑性力源。但是,根据遥感揭露,还有来自地球深部的高能级的岩浆强爆动力,它们在蓄集足以突破地壳压制的能量后,急剧地爆发出来,以急促强烈的形式从岩浆热动力源向地壳浅部以气、液、固混合的形式刺入到地壳不同深处,少数达到地表,如火山、地震、热力强爆,它们遵照流体强喷射模式,急剧地、深刻地改变着地球各圈层的高热能和物质分异运动,这种岩浆强烈活动中心可以多次爆炸,贯通性地改造地壳不同深度的结构,留下重重迭迭的环形构造,这些环形构造有岩浆侵入、火山、地震甚至地表的岩石碎裂圆形击伤区(即天文地质学家所谓的撞击伤疤)、海洋中的强烈旋涡、大气中的气旋、湍流和飓风眼。在岩浆急剧运动的同时伴随有矿床的聚集和环境灾害的发生,运动后期则带动中、低能量的传统地质动力运动。笔者相信,这一重要发现终将引起地质动力学理论的革命,推动地质学的发展。

## 1.3 矿产资源和地质能源的开发

遥感技术在开发矿产资源和地质能源方面取得成果显著。我们从业的范围包括国内各矿业部门,矿产资源的勘查、开发利用是遥感应用的主战场,从金属矿床、非金属矿床、煤炭、石

油、地下水到地热资源,各部门的遥感地质工作者都开展了长期、大量的研究工作,从已知矿产地的遥感地质再评估中总结找矿标志,建立矿床地质模式,进而开展不同矿种的区域远景预测和具体的普查找矿工作,特别是急缺矿种和重点矿带的专题攻关研究。新发现远景地段、矿产线索、新的矿产地质认识及扩充的矿产地质资料占原有矿产地质信息的五分之一左右,这个增量是很可观的,它证明了遥感在勘查开发矿产资源方面的可行性,并且具有很广的应用领域,而这些领域几乎涉及矿产地质的所有方面,从古矿冶遗址的新启示、就矿找矿、围岩蚀变、矿床构造分析到矿床模式对应预测,遥感的直接贡献都是很大的。更大的启示则在于,当分析某一矿田的地质环境时,已有资料在遥感图像的对应启发下,经常使研究者恍然大悟。这表明,很多矿床在遥感图像上是可以直接判定的,这正象用遥感信息预测矿床一样,并非举一而不能反三。推断拓展容易,验证认可却成了遥感找矿的巨大障碍,目前难验证落实的有一批代表性预测成果,估计会有一半可靠吧!或者再少一点,那也是了不起的贡献。从这一战略观点,重新审视和认识遥感找矿,扎实深入地投进验证的过程中,深化遥感地质找矿的思路。遥感找矿不能依靠左顾右盼地找什么多元信息开路,而要以遥感地质为主,认真总结各种矿床的遥感地质标志特征,建立找矿模式,重点是遥感信息的矿床地质“纯量”和特色,然后逐步上升到矿群、矿带及其地质环境背景,才能建立遥感地质找矿的坚实理论基础。目前的研究探索处在初级阶段,理论水平低是目前遥感地质找矿的主要障碍,需要攻关突破。

从这 20 余年的遥感地质找矿实践中,我们已经察觉到,矿床特别是大型、超大型矿床,高品位富矿、多组分复合矿床,往往成群出现,多时代重迭地密集在某一地段,这正是我们前面谈到的深源岩浆热动力中心。沿这一通道,金属矿床、非金属矿床、煤炭、石油、天然气、水资源、地热能,按照各自温压条件,成串地密集,也包括不同世代的迭加,这一发现很重要。为了遥感技术在矿产资源、地质能源应用领域的全面突破,我们不妨选择几个、十几个这样的资源集结点,以遥感地质为主开展新一轮的矿产探索,相信必能取得地质矿产的重大突破。对有些矿产的成因也可能出现新的见解。例如,根据我国及其它国家石油、天然气矿产的开采量证实的这些能源的空间分布与遥感环形结构的紧密相关,我曾多年倡导石油、天然气的深源无机聚成因,按照这一学说,不仅能对已知大型、特大型矿田的空间分布作出确切的数学统计分析,更重要的是可以找到一种以遥感地质预测为主的新的勘查方案,以期用更少的勘探费用发现和证实一批大型、超大型油气、水热、多元矿床群。

按遥感图像显示的迹象表明,水热资源的勘查开发并不需要那么紧张、悲观,深层地下淡水的储量绝非象目前评估的那样短缺,地壳中的水资源除了浅层交流外,还有源自深处的,而且数量和质量均优于浅层交换水。因此,包括地热资源的开发在内,均有待发挥遥感地质的优势。

#### 1.4 工程地质勘测、环境地质及地质灾害

遥感技术在工程地质勘测、环境地质和地质灾害研究方面获得广泛的应用和良好的效果,但急待以新的思路进行深入研究,提高应用水平:

近年来,遥感在大型工程规划选址,工程地质稳定性评价,铁路、高速公路、引水工程、水利电力建设等方面进行了广泛应用,初步显示出遥感的技术优势,取得了显著的社会效益和经济效益。但在应用过程中配合偏滞后,失去其超前的导向作用。由于缺乏周全的地质—生态环境意识和工程地质稳定性评价的地质动力学观点陈旧,为某些重点工程的选址带来隐患。对

崩塌、滑坡、泥石流等不良地质条件开展了遥感应用研究,但也仍局限于现有工程沿线和崩塌、滑坡、泥石流重灾地段,实际上在占中国国土68%的丘陵、山区,重力地质灾害普遍存在,随着近年来的建设工程规模增大,触发崩塌、滑坡、泥石流灾害的危险与日俱增。平原、海岸带的干旱、土壤沙化、盐渍化、地面沉降、河湖退化等环境地质灾害也很严重,过去我们则很少开展高水平的遥感调查。

### 1.5 国土资源环境调查

近20年,在国土资源与环境的省级遥感综合调查和地带性专题遥感研究方面开展了很多工作,普遍显示了遥感的综合优势。在经济发达、环境错踪的城市和重要工程地段揭示出一批地面调查难于以发现的社会经济和工程问题,从业各部门的专业信息有了大幅度的增添和更新,遥感技术在与常规调查的配合方面也取得广泛的经验,但从科学理论发现和方法技术进步上仍处于试探、磨合的初级阶段。总结已往国土调查的工作经验,认为遥感是国土资源调查必不可少的现代化手段。

环境和灾害遥感调查是一个急待开发领域,地质环境、生态环境、灾害预测研究刚刚起步,新一轮国土资源调查也正在规划开展。集以往专业分散、低水平重复、数据工程缺乏统一规划的教训,希望遥感能在我国国民经济发展方针指导下,立足于现代地球科学体系的新理论,为国土资源环境调查、生态环境改良、灾害防治和经济开发作出应有的贡献。

### 1.6 方法技术进步

遥感应用技术得到迅速的发展。多年来,遥感应用技术从信息的获取手段、设备的引进到方法技术的发展都取得了明显的成就,在遥感数据的获取、处理和地学专业数据分析、地理信息系统专业数据库的建设等方面基本上达到世界先进水平,其中不少方面的创新,处于世界领先水平。主要表现为:坚持航天遥感与航空遥感并重,扬长避短,成功地完成了不同比例尺,不同专业类型的工程科研任务;坚持遥感与野外调查相结合的原则,使遥感信息的专业开发应用始终处于扎实深入和实践验证的辩证唯物论的正确轨道;遥感信息专业波谱分析和形成机理的探讨一直在进行着,并在地质环境的某些方面有所突破;在遥感数字图像基础性研究的同时,投入了较大的精力致攻于专业应用处理,实践表明,专业处理会更直接引导遥感地质应用的深入发展。遥感地学(资源、环境)数据库建设正在探索规划中,这是一个牵涉地球自然背景和社会经济的庞大复杂问题,近来有人提及的数字地球的想法,预示着在这个领域将有重大发展,遥感信息在这个科技新浪潮中应该发挥重要作用。

## 2 遥感对地观测应用前景展望

遥感技术在本世纪后半期发展迅速,技术水平更加完善。尽管在地球科学、农林、工程、环境、资源乃至考古等方面经过各专业的实际应用发挥,也积累了不少经验,但真正在技术装备、应用水平上得到较充分体现的,还是在不久前的一次战争中,战火中遥感技术得到了充分的应用,从战略筹划到准实时的战术侦察、战役监控、战斗配合的多层次结合,为遥感应用作了一次全面的演练,展示了威力。今后一段时间内,如果民用部门能达到这个应用水平,遥感技术就真正地发展起来了,转化成科学技术生产力了。作为国土资源与环境遥感的发展,在今后的工作中应注意以下趋势和动态:

(1) 航天与航空遥感的信息获取手段已足够下世纪前半期使用。目前, 航天对地遥感观测的地面几何分辨精度达到米级, 航空遥感可达厘米级。波段设置可以达到几十个乃至数百个, 时间分辨可以达到准实时态。如此高精度的遥感信息, 其应用潜力和价值是巨大的, 高度的对地揭示能力将会对国土资源与环境调查带来重大变化。

(2) 多年来航空、航天遥感积累的信息数据量巨大, 并且每时每刻仍在以很高的速率不断涌来, 这种超海量的信息源流是人类新的财富, 而这些信息对了解地球现状、追溯历史、研究动态会有巨大贡献。但面对这浩瀚的数据, 我们却消化不良, 世界上无数的电子计算机在日夜忙碌着, 但并没改变被这种巨大信息量淹没的状态。国土资源与环境问题既多又复杂, 这个形势够严重了。面对这一矛盾, 专家们和应用部门的负责人应当兴奋起来。

(3) 国土资源与环境问题很多, 面对各种问题, 科学家们争论不休, 熟对熟错, 难以定论。诸如矿产资源究竟是否紧缺? 淡水资源是真缺吗? 各种自然灾害根由在那里? 生态环境恶化的主因是人类活动还是地球环境在变? 水土流失人为治理的难度有多大? 气候变暖全是人类的罪过吗? 中国北方的干旱化、土地沙化究竟如何? 长江、黄河的病根在哪里, 自然、人类各负什么责任? 有些环境治理措施真能有回天之力吗? 海洋如何科学开发, 陆地怎样充分开发利用? 哪州哪县究竟能养活多少人? 大城市化过程中的隐患何在? 是发现了矿产才组建工业体系呢? 还是在地质条件有利节点处找矿从而遏止长途运矿、运煤、输油输气? 经济建设决策的科学依据经得住深究吗? 要科学地解决这些问题, 首先需要深入的遥感论证, 此外还需要将几十门国土资源与环境相关学科组合成诸如地球科学、环境科学和灾害科学等几个主干体系。否则, 科学理论就发展不到一个与能真正解决现实矛盾的新高度, 使遥感应应用依然像二十世纪下半期的这种状态。遥感信息是发展新科学理论的巨大原动力, 而不仅仅是手段和工具, 这个观念转变不过来, 就发挥不了遥感的作用。要有所作为, 既要利用浩瀚的遥感信息发展科学理论, 组建统帅性科学大体系, 又要充分利用遥感信息, 深思熟虑地剖析国土资源环境问题, 这才是真正的任务。

(4) 加强遥感在国土资源与环境调查应用中的科学研究, 才能将遥感信息和技术潜势真正转化成科学技术生产力。回顾以往, 由于有些人把遥感应应用视为是“雕虫小技”, 一味强调实际生产, 而忽视专业应用的基础理论研究, 才长期存在专业指导水平不高, 缺乏既有高新理论水平又有娴熟遥感技巧的学科带头人, 学科发展缺乏导向, 专业争议缺乏权威性评论等。为了扭转这种学术不景气氛, 必须加强专业研究, 更新资料和仪器设备, 配备必要的航天、航空遥感手段, 培养高素质人材, 在即将掀起大科学体系理论建设等重大复杂问题上深入论证, 在专业机构、任务调整的浪潮中锻练专业队伍的实力, 发挥遥感技术实力推动科学理论创新, 全面介入国土资源环境调查的各个领域, 揭示矛盾, 解决问题, 显示功效。相信遥感将是下一个世纪国土资源环境调查和科学研究的关键手段之一, 也必将得到更大的发展。

## SHOWING ACHIEVEMENT PROSPECTING FUTURE

Chen Yinxiang

(*Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center, Beijing 100083*)

### Abstract

The paper summarizes the achievement of remote sensing of geology, analyses the development tendency of remote sensing technique, deals with the technique potentiality and good prospects of this technique which be used at the land investigation, planning, mineral products survey as well as disaster monitor. Meanwhile, it points out that the remote sensing technique is very important on the theory study of geoscience and environment science.

**Key words** Remote sensing Achievement

**作者简介:** 陈荫祥 教授级高工 多年来,共完成遥感地质科研勘查项目 18 项,获国家科研一、二、三等奖各一次。解译编制遥感类地质图件 560 幅,发表专业报告、论文 213 篇,培养研究生 20 余名。曾兼任地理学会环境遥感分会副理事长,地质学会遥感地质专委会副主任,五种遥感杂志副主编、编委。中国遥感地质应用创始人之一,本专业学科带头人。

### 小资料

## 先进的陆地观测卫星(ALOS)及其3种载荷

预定于 2002 年发射的 ALOS 是日本的一颗高分辨率的地球观测卫星,该卫星具有对大量数据的处理功能,并且装有测定卫星位置和姿态的系统。星上载有的 3 种仪器分别为用于立体制图的全色遥感立体测绘仪(PRISM)、先进的可见光和近红外辐射仪-2(AVNIR-2)和相控阵型 L 波段合成孔径雷达(PALSAR),其数据可分别用于制图、环境监测和自然灾害监测。

(1)PRISM——PRISM 是 ALOS 卫星上主要载荷,它有 3 个独立的反射系统(天底、前视、后视),可以沿轨迹方向进行立体观察,其波长范围为  $0.53 \sim 0.77 \mu\text{m}$ 。它所提供的分辨率为 2.5 m 的数据资料将被用来建立精确的数字高程模型。

(2)AVNIR-2——AVNIR-2 是 1996 年 8 月发射的先进地球观测卫星(ADEOS)上 AVNIR 的后继型号,二者主要技术差别在于视场角的不同,在多光谱区域,AVNIR-2 的图像分辨率为 10 m,AVNIR 分辨率为 1.6 m。

(3)PALSAR——PALSAR 具有横向瞄准功能,入射角在  $18^\circ \sim 55^\circ$  之间,PALSAR 具有 3 种观测模式:1)高分辨率模型;2)扫描合成孔径雷达模式(ScanSAR);3)低数据率模式。

(本刊编辑部)