

# 我国工程地质遥感技术应用 特点与若干问题探讨

卓宝熙

(中铁工程设计咨询集团有限公司,北京 100020)

[摘要] 简要介绍了工程选线、选址勘测中遥感技术的应用概况;阐述了工程地质遥感技术应用的特点,认为工程地质遥感技术应用有别于其他领域;强调了我国工程地质遥感技术应用与其他国家不同,形成了我国自己的应用特点,这些特点是由我国国情决定的;探讨了工程地质遥感技术应用的若干问题,包括遥感图像判释,遥感图像处理、数据综合分析、施工阶段遥感技术应用等。

[关键词] 工程地质遥感;特点;若干问题探讨

[中图分类号] TP79 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)03-0087-06

遥感技术是20世纪60年代蓬勃发展起来的集物理、化学、电子、空间技术、信息技术、计算机技术于一体的探测技术。它的出现大大延伸了人类的感官,为人们观察和认识自然界提供了一种新的手段,特别是对地学的调查和认识,可以说是一次革命性的变革。

遥感技术不但具有信息丰富、影像逼真、视野广阔、获取信息快,不受空间和交通限制等优点,还可以通过计算机图像处理增强信息内容,在室内进行反复研究和分析,因而在地质、地貌、农业、林业、矿产资源、土地资源、水资源、气象、海洋、测绘、环境监测、考古、工程勘测、军事等领域得到了广泛应用。

工程建设中遥感技术的应用主要包括铁路、水利水电、公路、油气管道、电力、港口及机场等选线、选址勘测等。工程勘测中遥感技术的应用始于20世纪70年代后期,与国内其他领域的应用同时起步。早在20世纪50年代,在工程地质调查中已开始应用航空方法(遥感技术的前身)。20世纪70年代后期开始应用陆地卫星图像、彩色红外航片、热红外航片图像等。工程勘测中应用遥感技术可提高选线、选址勘测的质量,提高勘测效率,克服地面观察的局限性,减少盲目性,改善劳动条件,节约基建投

资等。遥感技术在工程中的应用已成为一个重要的应用领域,形成了特有的应用模式,取得了较好的应用效果。

历年来,在我国一些大型工程的选线、选址勘测中,均应用了遥感技术,如兰州—新疆、南宁—昆明、北京—九龙、大同—秦皇岛、朔县—黄骅、格尔木—拉萨、滇藏等铁路线;长江三峡、黄河小浪底、雅龚江二滩、南水北调等水利水电工程;石家庄—太原、北京—珠海、320国道大理—保山段、314国道和硕—库尔勒段等高速公路;西汽东输工程;秦山核电站、福建湄洲电站等项目的选线、选址勘测,等等,均应用了遥感技术。

据初步统计,我国历年来有100余条铁路线、约100项水利水电工程、50余条公路、20余条油气管道项目、30余条电力工程等,在选线、选址勘测中应用了遥感技术。实践证明,遥感技术是工程勘测的一种先进手段,深受广大勘测设计人员欢迎,已成为勘测设计现代化的重要组成内容之一。

## 1 工程地质遥感技术应用的特点

遥感技术在各个领域的应用均有其各自的应用特点,不应生搬硬套。例如气象预报要求提供大范

[收稿日期] 2007-02-09;修回日期 2007-07-04

[作者简介] 卓宝熙(1934-),男,福建福州市人,中铁工程设计咨询集团有限公司教授级高级工程师

围的、实时的、全过程追踪的遥感图像,但对遥感图像的分辨率要求并不高,所以应用气象卫星图像最适用。土地规划、农作物产量估测等也要求提供大范围的遥感信息,但对信息的实时性和全过程追踪的要求等方面不如气象预报那样严格,因此,应用分辨率相对高、具有一定实时性的陆地卫星图像较为合适。军事侦察方面要求全天候、实时、侧向以及高精度定位技术等,以侦察敌方军事目标和行动,因此,侧重应用航空遥感技术、红外技术、侧视雷达技术、高分辨率侦察卫星图像以及 GPS 定位技术,等等。工程选线、选址勘测的特点是从面到线(点),逐步深化,同时对勘测的精度要求很高,因此,要先进行陆地卫星宏观分析,然后进行航空遥感图像的详细分析,采用两者相结合的应用模式,并强调遥感判释成果应进行外业验证,以保证成果的质量,而对实时性要求并不高,除对某些特殊地质现象的动态变化要求实时性信息外,一般并不强调实时性<sup>[1]</sup>。

## 2 我国工程地质遥感技术应用的特 点

### 2.1 工程地质遥感技术应用具有特殊的效果

我国地域广阔,地形地质复杂,有的地区人烟稀少、交通欠发达、自然环境恶劣,用传统的地面调查方法非常困难,利用遥感技术则最为理想。我国的工程地质遥感技术面对上述复杂自然条件,解决了许多技术难题,积累了许多宝贵的经验,发挥了特殊的应用效果,这是世界上任何国家或地区所没有的。例如,日本国土面积仅有  $3.7 \times 10^5 \text{ km}^2$  多,不到 20 幅的陆地卫星图像即可完全覆盖,加上日本既有地形地质资料较详细,交通便利,陆地卫星图像发挥不了太大作用。

### 2.2 大量基建项目促进了遥感技术的发展

众所周知,工程项目在施工之前首先要进行勘测设计。我国是发展中国家,历年来有大量的工程项目,如前面提到的铁路、高速公路、水利水电、核电站、南水北调、西汽东输、港口、机场等的选线、选址等,均采用了遥感技术。“十一五”期间,还将建设 17 000 km 铁路,根据《中长期铁路网规划》,我国要建设“四纵四横”快速交通通道;到 2020 年将大致建成  $1.1 \times 10^5 \text{ km}$  铁路<sup>[2]</sup>,建成“八纵八横”国道公路主干线;2007 年将建成高速公路 5 000 km 以上;其他工程项目也将大量建设,这就为遥感技术应用提供了广阔的平台。

遥感技术在工程选线、选址勘测中的应用,不但

取得了明显的技术经济效益,而且通过大量工程项目的实际应用,促进了遥感技术的发展,积累了大量宝贵的判释经验和应用经验。可以说遥感技术如果没有在大量工程选线、选址勘测中的应用,不会发展到今天这个水平。我国工程地质遥感技术应用已处于国际先进水平。

### 2.3 积累了大量工程地质遥感图像典型图谱和判释(应用)经验

我国工程地质遥感技术的应用比较重视典型图谱的积累,多年来,积累了大量的工程地质遥感图像典型图谱,包括全国多种地区的地貌、地层(岩性)、地质构造、不良地质、水文地质等工程地质遥感图像典型图谱 1 000 余像对,并从中选取出 400 对,于 1999 年由《科学出版社》出版在《工程地质遥感图像典型图谱》上,其典型图谱内容十分珍贵。

我国工程地质遥感技术应用比较重视判释经验和应用经验的总结,出版了多部有关工程地质遥感技术判释经验和应用经验的著作及数百篇论文。这是广大工程地质遥感技术人员共同劳动的结晶。

### 2.4 形成了我国独有的遥感技术在工程建设全过程应用的模式

以往,工程建设中遥感技术一般只在工程选线、选址的前期应用,忽视了勘测后期的应用,至于施工阶段应用遥感技术则被认为毫无意义,因此,在遥感技术应用的初期从未涉及施工中的应用。施工阶段不用遥感技术的理由是勘测阶段地质条件已经查明。由于我国地质条件十分复杂,实际上许多工程施工中揭示的地质情况经常与设计文件不符,有的甚至出入较大<sup>[3]</sup>。为此,铁路遥感技术人员提出应在施工阶段应用遥感技术,并于 1991 年首次在南昆铁路施工中应用遥感技术提供工程地质资料。实践证明,遥感技术在施工阶段的应用可以发挥很好的作用。南昆铁路施工阶段应用遥感技术是工程地质遥感技术应用的一次突破,它的意义不仅仅是在南昆铁路施工阶段发挥了作用,更重要的是证实了遥感技术在施工阶段仍然可以发挥作用,打破了以往认为施工阶段应用遥感技术毫无意义的思想禁锢,拓宽了工程地质遥感技术的应用范围。应该说施工阶段应用遥感技术具有创新意义,至今尚未见到国内外其他部门有关遥感技术应用于施工的报道。

目前已形成了我国独有的遥感技术在工程建设的勘测设计阶段、施工阶段和运营阶段全过程的应用模式。遥感技术在施工阶段的应用已逐步

得到推广应用,在铁道部颁布的《铁路工程地质遥感技术规程》中<sup>[4]</sup>,已列入遥感技术在施工中的应用,其中第7章专门规定了施工阶段和运营阶段工程地质遥感工作的有关内容和要求。施工阶段应用遥感技术不但为施工提供工程地质资料,而且做到了遥感图像的反复应用,充分发挥了遥感图像的应用潜力。通过施工的实际验证,对遥感判释成果有了全过程的认识和最终的结论,对遥感技术的提高大有益处。

铁路施工阶段遥感技术的应用只是初步的,目前正在逐步推广应用,但在其他工程中的应用尚未涉及。随着时间的推移,将会有更多的工程在施工中应用遥感技术。

### 3 对若干问题的探讨

#### 3.1 关于遥感图像判释问题

##### 3.1.1 遥感图像片种的选择

理论上而言,各种遥感图像所突出信息的内容不完全一样,均有其不同的作用。如卫星图像对宏观背景研究较为有利;天然彩色航片能真实地反映各种地物的色调;热红外扫描航片能记录地物的温度,有利于夜间对温度异常物体的发现;微波技术能在一定程度上穿透云雾和森林,等等。

在工程地质遥感技术应用中,应当根据不同的目的和应用阶段,有针对性地选择适用的遥感图像,多选一种遥感图像,就会增加成本;即使采用一种新技术,也应考虑投入费用与取得效益之间的技术经济效益比。从当前的遥感技术应用水平来看,一般而言,工程建设中遥感图像的应用,以使用中等分辨率的卫星图像(TM图像,ETM图像等)和全色黑白的航空像片相结合较为合适,这种组合既能基本查明工程地质情况,满足工程勘测的需要,又比较经济,可达到较好的技术经济效益比。笔者认为,我国黑白航空像片基本覆盖全国,应当充分利用,除非十分必要,应尽量少用其他遥感图像;有时增加一种遥感图像,其作用并不大,但成本却高得多。生产部门考虑使用遥感图像的基本原则是“雪中送炭”而不是“锦上添花”;盲目应用遥感图像,认为应用的遥感图像越多越好,这样将会陷入遥感技术应用的误区<sup>[5]</sup>。

以陆地卫星图像为例,一般的宏观地质调查使用中等分辨率的图像即可,高分辨率的陆地卫星图像可能效果好一些,但费用较高,除非缺它不可,生

产部门才会考虑应用。

##### 3.1.2 关于岩性的判释

岩性、地质构造和不良地质是工程地质判释的三个主要内容,它们对工程都具有重要的影响。岩性判释是工程地质判释中最难判释的内容。理论上而言,同一地区相同的岩石具有类似的几何形态特征(地貌特征),不同的岩石具有不同的几何形态特征。然而,实际情况远较理想情况复杂得多,因为同一地区的同一种岩石,由于所处部位的不同,颗粒粗细的不同,沉积岩地层厚度、产状的不同,岩浆岩的多期作用及接触关系的不同,变质岩的变质程度及错综复杂的岩石组合等的不同,以及软硬岩石抗风化能力的不同,加上断裂构造的影响,其所表现的地貌特征也有所不同;相反地,不同的岩石,由于所处的自然环境相同或由于巧合,也有可能出现相类似的地貌形态。因此,岩性判释难度较大。

正是由于上述原因,岩石界线同样很难被准确划分出来,尤其是变质岩最难确定其界线。

鉴于上述情况,建议在进行岩性判释时,把两种不同岩石的界线大致勾绘出来即可,至于界线两侧的岩石名称不要急于确定,一旦需要确定,可到现场确认。岩层界线和岩石界线到底勾绘哪一种,或是两种界线同时勾绘,也有不同看法。笔者认为在编制小比例尺地质图( $1:5 \times 10^4 \sim 1:20 \times 10^4$ )所开展的遥感图像判释,应确定岩石的形成年代并勾绘其地层界线,小比例尺地质图上区域性大断裂及主要构造的确定,需结合地层年代进行分析;而编制带状大比例尺地质图(大于 $1:1 \times 10^4$ )时主要是确定岩石的类别,形成年代并不重要,应重点查明岩石的矿物成分,岩石破碎程度及物理力学性质等,这些内容对工程的影响较大。

前面谈到岩石的判释主要是根据其几何形态特征,但由于判释标志的不稳定性和相似性,给岩石判释增加了难度。特别是当两种岩石之间界线呈过渡状态时,很难确定其准确的界线。因此,除主要依靠几何形态特征判断岩性外,还应借助于波谱分析方法,即几何形态分析与波谱分析相结合的方法,这是提高岩石判释效果的一种理想的应用模式。特别是近几年出现的高光谱成像技术,对于获取地球表面特性资料是最具潜力的一种方法。

一些发达国家从20世纪70年代末到80年代初提出成像光谱遥感概念模型,并着手研制高光谱仪,从20世纪90年代到21世纪初,高光谱技术已

经由试验研究逐步走向商业化运营。目前,高光谱成像光谱仪的波段数可达数百个通道,带宽达到3 nm,远小于原先陆地卫星的光谱段的带宽。以陆地卫星 TM 数据为例,其光谱段带宽达到60~270 nm 范围,鉴别能力远不如高光谱的分辨能力。可以预言,高光谱技术与几何形态影像特征相结合的分析方法,将是今后岩矿遥感辨认的重要应用模式,应充分认识高光谱技术在岩石分析中存在的巨大潜力<sup>[3]</sup>。对于高光谱技术的机理及其在岩石矿物的应用,还有大量工作要做。

我国于20世纪80年代中后期开始发展高光谱技术,先后研制了MAIS,OMIS,C-HRIS和PAI等成像光谱仪,正在研制星载高光谱仪和搭载光谱仪的卫星系统,并利用“神舟”号飞船获取了部分成像光谱仪数据。由于受数据源和数据质量的限制,我国仅有中国科学院遥感应用研究所、中国国土资源航空物探遥感中心、核工业遥感信息与图像分析技术重点实验室等单位对高光谱技术开展了研究。中科院遥感所利用高光谱技术对岩石分类进行了研究,国土资源航空物探遥感中心利用高光谱成像数据开展了蚀变矿物提取和矿化识别的试验,在矿物识别和地质找矿等方面取得一些阶段性成果,如在西藏驱龙地区利用航天Hyperion数据圈定有利成矿远景区,经野外验证近于一致,还建立了铜矿种高光谱找矿模式。但这些研究和所取得的成果仅仅是个开始,距离实际应用还有相当距离,与世界水平相比,仍有较大差距。

在岩石和矿物识别中,其效果好坏在很大程度上取决于对地物光谱特性的了解。自然界同类岩石的矿物成分和结构会有很大的差异,并且由于矿物的混合效应和环境因素的影响,岩矿光谱特性会产生各种变异。为了使我国高光谱成像技术在岩石和矿物判释中达到实用阶段,除继续开展高光谱成像机理研究外,应集中精力对各种条件下岩矿光谱特性进行研究,广泛深入地开展岩矿光谱特性和混合光谱变异的研究,提高成像光谱在岩矿分析中的应用效果。在大量系统地研究岩矿光谱特性和混合光谱变异规律的基础上,应逐步建立和完善高光谱数据库,积累的数据越多,就越有利于实际应用<sup>[1]</sup>。

### 3.1.3 关于断裂构造判释

地质构造判释包括岩层的产状、褶皱构造、断裂构造、火山机构等。在地质构造判释中,人们更关注

的是断裂构造,这是因为断裂构造的普遍存在及其与工程的关系更为密切。

以往地面调查编制的工程地质图一般不超过5 km,而且图中断裂大部分是套用1:20地质图中的断裂,这种图很难满足对工程地质条件评价的要求。编制大面积断裂构造图由于工作量大,受人力、财力和工期的限制,往往只能放弃。而利用遥感图判释编制大范围的断裂判释图,可起到事半功倍之效,这种大面积的断裂构造图与地震震中资料的套合,对分析区域断裂构造和活动断裂十分有利。

从以上叙述可以看到,断裂判释中应用遥感技术的优越性是毋庸置疑的。但问题并非如此简单,关键在于遥感图像所确定的断裂可信度如何。从遥感图像上判释断裂主要是通过断裂的判释标志,它可分为直接判释标志和间接判释标志,只有根据直接判释标志,如断裂破碎带的直接出露、地质体被切断(错开)等确定的断裂构造才是可靠的;而间接判释标志,如线形影像、两种不同地貌截然相接、水系异常,成串出露的泉水湿地、温泉等确定的断裂构造是不可靠的。

遥感断裂构造判释中普遍存在着把大量线形影像确定为断裂构造的现象,而实际上现场验证很多线形影像不是断裂构造,因为有些线形负地形是节理经水流切割形成的沟谷,有的地形影像是岩层分界线。此外,一些地物界线、地类界线、人工建筑物等也都是线形影像。因此,不能把线形影像都视为断裂构造。为此,建议在应用遥感图像编制断裂构造图时,把线形影像与断裂构造影像以不同符号加以区别,如可用不同粗细的线段、实线和虚线的线段、不同色调的线段等加以区别,或将断裂构造影像的线段注明编号,如RS-1,RS-2……未编号者则为一般线形影像。

### 3.2 关于遥感图像处理问题

随着20世纪60年代遥感技术的出现,产生了遥感图像处理技术。图像处理技术从最初的光学处理和光电图像处理,发展到如今的计算机数字图像处理,并且处理方法及应用软件越来越丰富和完善。

图像处理的目的是使遥感图像上的某些信息得以突显或消除,从而使图像获得更清晰、更丰富的信息,提高判释的效果。应该说,在希望突出某种地质信息时,有针对性地采用合适的图像处理方法,可以收到较好效果(见表1)。

表1 图像处理方法的适用范围<sup>[4]</sup>

Table 1 Application scope of image processing method

数字图像处理	
灰度线性扩展	加大反差较小的图像的反差
指数扩展	加大具有较高亮度值、反差小、信息丰富的图像的反差和突出地物的细部结构
对数扩展	增强色调较深的低亮度值地区的图像,或阴影区、深色调岩石分布区的图像
假彩色合成	突出地貌、地层(岩性)、地质构造、不良地质、水体、植被、地下水等图像信息
假彩色密度分割	增强平原地区隐伏断层、盐渍土、软土、地下水图像信息,消除地形影响,增强平原地区的地物、岩性、水体、植被、地下水以及含水有关的地质现象的解译效果
比值增强	突出线性构造、线性影像以及地物、水系的边界等
滤波增强	突出线性构造、线性影像以及地物、水系的边界等
图像变换	突出岩性、线性构造、环形构造、第四系覆盖层下的隐伏构造等信息
综合图像处理	增强多种遥感地质信息,建立地质体立体模型,分析动态变化规律并量测变化范围

遥感图像处理技术的应用是必要的,但不盲目应用。在遥感技术应用初期,为了进行宣传,制作了许多色彩鲜艳夺目的遥感图像处理成果给领导看或在学术会议上展示,是必要的。时至今日,在生产中应用则应考虑图像处理成果的应用效果,考虑技术经济效益比。

以滤波技术为例,经常看到一些科研报告或一些论文笼统地强调滤波技术的作用,以为可以突出线形构造以及地物、水系等边界,殊不知有些线形构造和线形影像在一般陆地卫星图像上显示得很清楚,可以通过影像分析确定,哪些是地质构造形成的线形影像,哪些是非地质构造形成的线形影像。而经过滤波技术处理后突出了密密麻麻的线形条纹,但几何形态影像特征消失了,仅根据单一的线形条纹,分不清哪些是断裂构造线形影像,哪些是与地质有关的线形影像,哪些是与地质构造无关的线形影像。这种喧宾夺主的线形条纹,反而给断裂构造判释造成麻烦,值得深思。

### 3.3 应重视数据综合分析

数据综合分析或称多元地学信息综合分析技术,是一门新兴的信息处理技术,已经受到重视。目前应用遥感、地球物理、地球化学等多种数据综合分析,已成功地应用于地质构造和岩性的判释。如在卢安达西部热带雨林和草原区内,通过数据综合分析技术,首次编制出了 $1:25 \times 10^4$ 地质图;在巴西东南部热带植物与厚层残积土覆盖区,利用数据综合分析技术,成功地圈定出古生代超基性岩的分布范围,等等。在我国尚未见到成功例子的报道,在地质遥感技术应用中应该说以遥感技术为主体的多数据综合分析,特别是在深部地质构造方面应用综合分析,是可以发挥应有作用的<sup>[6]</sup>。

### 3.4 重视遥感技术在施工阶段的应用

1991年在南昆铁路施工阶段应用遥感技术取得成效后,10余年来已逐步推广应用,施工阶段遥感技术的应用已纳入有关规程中,表明遥感技术在施工中的应用已经得到承认。

然而由于种种原因,施工阶段应用遥感技术的力度还不够,其原因并非技术本身问题,主要受制于宣传力度不够,施工部门不太了解遥感技术的作用,未配备遥感技术人员,无力开展遥感技术工作,而设计院又无暇接受施工部门的委托开展施工遥感工作。另外,还有体制问题,部门利益等问题,也妨碍了施工阶段遥感技术的应用。今后应加强宣传遥感技术在施工阶段应用的必要性,解决应用中存在的一些利益关系问题,施工部门应配备工程地质遥感技术人员,等等,才能使施工阶段遥感技术得到推广应用。

致谢:本文参考了中国国土资源航空物探遥感中心甘甫平等编写的“高分辨率光谱遥感信息地质应用技术工程研究成果报告”,特此表示感谢!

### 参考文献

- [1] 卓宝熙. 遥感技术与工程勘测[A]. 徐匡迪. 中国科学技术前沿[M]. 北京:高等教育出版社,2006. 327-362
- [2] 王兆成,黄民. 中长期铁路网规划研究[M]. 北京:中国铁道出版社,2004
- [3] 卓宝熙. 面对信息时代的铁路航测遥感技术[J]. 铁道工程学报,1999(增刊):226-233
- [4] 卓宝熙,戈清萍. 铁路工程地质遥感技术规程[S]. TB10041-2003
- [5] 卓宝熙. 工程地质遥感判释与应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2002
- [6] 何钟琦,王学佑. 国外遥感地质技术若干新进展[J]. 遥感信息,1992(2):32-35

# Application of Remote Sensing in China's Engineering Geology

Zhuo Baoxi

(China Railway Engineering Consultants Group, Beijing 100020, China)

[**Abstract**] The paper introduces briefly the application of remote sensing technique in engineering routing, site selecting and survey. It describes the application characteristics of remote sensing in engineering geology and thought that the application differs from that in other fields. It also points out that the application in China differs from that in other countries due to different national conditions. The paper discusses with emphasis on some issues in application, including the interpretation and processing of remote sensing images, data comprehensive analysis, application of remote sensing in the engineering construction stage, etc.

[**Key words**] remote sensing in engineering geology; characteristics; discussion on some issues

---

(上接 24 页)

# Philosophic View on Exploration Engineering of Daqing Oil Field at a New Stage

Wang Yupu

(Daqing Oil Field Company, Ltd. Daqing, Heilongjiang 163000, China)

[**Abstract**] During the 10th “five year” plan, the exploration work in Daqing Oil Field was conducted positively from the perspective of philosophy, with new achievements and 4 new inspirations. The first inspiration tells that cognition sources from practice, and confined practice would result in limited cognition, only by judging historical events progressively and evolutionarily could made great innovations. The second inspiration expounds that exploratory risks exist objectively and associate with chances. Solving the conflicts between risks and chances is the key to success. The third inspiration illustrates that oil - finding ability is productive force, while organizing and managing being production relations. Productive force would be accelerated by adequate production relations. The fourth inspiration concludes that freeing exploration ideas is the internal cause and foundation while development of exploration technology being the external cause and condition. External causes would take effect through internal causes, and generate qualitative change. “2 identification technologies” innovated together with the new development of “3 engineering technologies” in Daqing Oil Field have beneficially supported the exploration prospects.

[**Key words**] daqing; oil field; exploration; engineering; philosophy