

大比例尺综合地质填图 中遥感地质方法的应用

地质矿产部情报研究所

一九八七年十月

目 录

大比例尺综合地质填图中遥感地质方法的应用

(一) 1:5万比例尺地质填图中遥感资料的应用

一、概况和特点	(1)
一)、概况	(1)
二)、关于工作阶段和解译填图程序的讨论	(2)
二、岩性解译工作的部分方法	(4)
一)、常规摄影地质解译	(5)
二)、高分辨率星载成像技术判别岩性的作用及几个数据检验、判别方法实验问题	(10)
三)、高分辨率机载成像技术判别岩性、检测岩相变化	(22)
四)、消除植被影响的图象处理技术及讨论	(29)
三、构造解译及有关系列图件的用途	(31)
一)、工作例案	(31)
二)、断裂迹线分析方法的用途	(46)
三)、图象线性体解译和构造填图的检验、对比	(47)
四、成矿评价和预测的几种方法及其作用	(51)
一)、区域评价, 扫面选区	(51)
二)、概念模型, 综合方法评价	(62)
三)、详细评价时蚀变带增强处理的技术原则——以部分类型的金矿为例	(67)

1:5万比例尺地质填图中遥感资料的应用

遥感地质方法从一开始(摄影地质)就是地质填图的一种手段,今天,地质填图仍是它的主要用途之一。本文将列述苏联以外几个国家的1/5万或相当于这一比例尺地质填图时遥感资料的部分应用情况,通过一些例案简介、交代遥感地质填图的部分工作内容或技术特点,由此也探讨这一手段的某些长处和局限性。众所周知,许多国家地质填图是没有统一的“规范”,各国1/5万填图的技术水平以及所投入的方法、工作量不尽相同,一个国家不同地区和不同图幅利用遥感资料的程度和技术状况也不同,所以本文简介的是成矿远景区带内地质填图工作中有一定代表性、被认为值得推广,我们也以为有参考作用的部分遥感解译方法的应用情况,其中有的虽然属于实验的成果或专题研究工作,但考虑到其技术确已得到实际应用,所以也加以引述。这次资料调研工作曾得到有关省站(队)同志的支持,特致谢意。

一、概况和特点

一)、概况

一个时期以来,世界各个幅员较大的国家通过利用遥感技术加速完成了1/20万比例尺地质填图任务,并随着矿产勘查和其它国土开发工作的开展积极推进了大比例尺填图的覆盖步伐,它们这些大比例尺地质填图的工作内容和方法也有了较大的变化。出现这种情况的国家有苏联、加拿大、澳大利亚、印度、巴西,在一定程度上说还包括了美国。

苏联在这方面的变化很突出,它经过10多年的努力改革了过去用传统方法逐幅填图的单一做法,发展了综合应用遥感、地面地质和物化探技术进行联幅测量和矿产评价的“新型填图方法”,把地质填图与普查工作很好结合起来。对苏联的这种新型填图方法及有关技术已在另文中介绍。

加拿大、澳大利亚、印度、巴西和美国这一比例尺的填图基本沿袭过去的方法,但在加强遥感、物化探资料的应用和矿产资料评价工作方面却有共同的表现:澳大利亚目前以彩色航片为主并辅以部分地段的数字增强图象推进1/10万和1/5万比例尺填图(两者已接近全国面积的1/3),在成矿区带上的1/5万填图和普查评价工作加强了物化探、遥感资料的综合应用,近年新组装的机载高分辨扫描器得到实际应用;加拿大近10年来联邦和各省地调所的1/5万填图虽然仍广泛应用航空全色黑白片(1/1.5万)解译方法,但为了推广和提高星载资料的应用,近年在西北地区及前寒武地盾森林覆盖的冰碛层区等多种环境下实验TM资料的填图效果,机载MEIS—I、II型推扫式成像仪在判别岩性和检测地植物异常方面取得良好效果;印度的1/5万比例尺填图面积于1983年已达到全国面积的64%,计划1990年完成。他们的大部分图幅是由航片解译和地面检查方法完成的,进度快,多数图幅的研究程度偏低,但在重要成矿区带上的图幅也较多利用物化探及遥感资料,同时为配合IRS—2计划,他们在一系列地区实验应用了各种增强图象,包括综合评价影像、物化探异常的技术。

航片仍然是美国地质填图所采用的主要遥感资料,但80年代以来美国地调所采取了一些措施,例如牵头推行全国高空摄影计划(拍摄1/5.8万比例尺彩色片和1/8万比例尺全色黑白片,分辨率均为2米)、加速1/2.4万比例尺数字地形图幅数据的覆盖等措施,改善利用遥感资料的条件。这一时期它实施的“西部矿产资源远景评价”计划以及在西部与各州地调所开展的一系列荒原评价项目,促使了西部地区、阿拉斯加、科罗拉多高原区1/2.4万、1/6.25万和部分1/9.6万比例尺填图工作的加速开展。遥感资料的构造和岩性解译以及由图象处理所输出的“色异常图”与现有物化探异常进行综合评价,被地调所作为一种加速该“评价”计划的方法予以实施。上述荒原评价项目也较多借助于遥感资料,填图比例尺为1/5万至1/20万。美国地调所的这一系列措施有效地提高了这些项目的填图质量,强化了矿产评价的环节。例如,温德莱弗山脉地带过去几度的填图工作没有什么发现,但地调所与矿业局于1982—1983年在此实施评价计划,利用数字地形数据生成浮雕图象多方位增强线性构造和岩性的反差,提高了反映断裂构造的线性体的解译准确度,把时代属于前寒武纪、具有强烈脆性形变和围岩蚀变特征的巨形断裂带与地形表现不明显的剪切带相区分,结果发现了一些大型线性体上的糜棱状花岗岩、斑状花岗岩、片麻岩区内的硅化、绿泥石化蚀变带,在蚀变围岩内见绿帘石,在剪切带内见磁铁矿和石英网脉。

必须指出,近年有越来越多的外国矿业公司披露了它们综合应用遥感资料开展普查填图的成果,这些工作对我们发展成矿区带上的遥感地质填图方法是有一定的参考意义的。

总的说来,遥感地质(航空地质)在上述国家一直就是地质填图的基本工作手段,从工作类型上说,它们的1/5万或相当这一比例尺的填图可分为两类,一类是政府部门(如地调所)按国际分幅开幅的填图。另一类则是矿业公司或其它部门以找矿或其它资源调查(如美国的各项矿产评价项目)为目的的填图,前者仍多以一般航片(黑白片和彩色摄影片为主)解译和少量“点”、“线”野外工作成图为主,矿产评价为副,投放的物化探工作量有多有少;后者则不然,并往往由于工作区条件和所找矿种的不同而动用不同类型的遥感资料,填图目标较明确,主要以查明、解决与成矿关系较密切的地质(岩性或构造)问题为主。不管是前者或后者,其遥感资料解译和地面检查工作都是作为整个填图的有机组成部分与其它工种一起安排的,形成了合理的工作程序。所以有的填图工作者强调“图象处理必须遵循野外地面研究工作而又走在后者的前面,野外地质人员应该与图象处理人员一起在显示器前工作”(J.C.Spray et.al.1986),这也是上述国家许多遥感地质填图工作取得收效的一个特点。

二)、关于工作阶段和解译填图程序的讨论

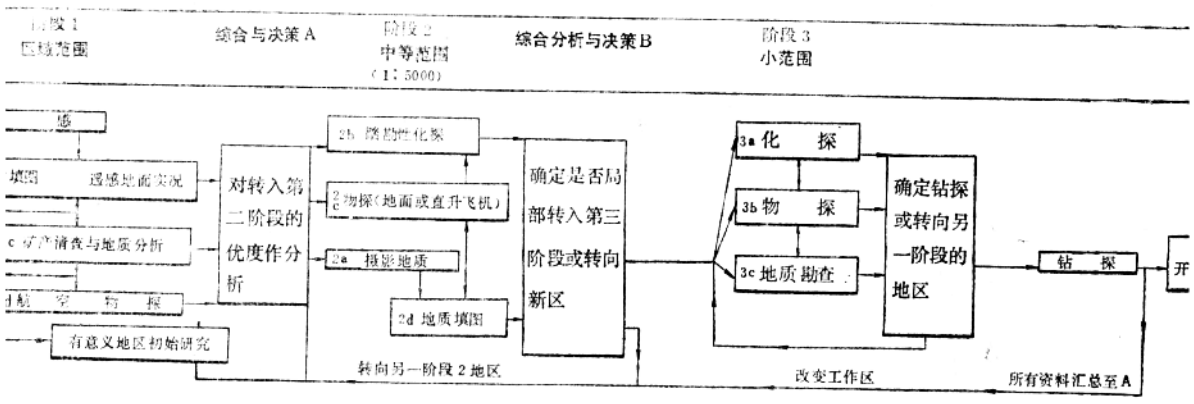
表1是D.A.哈廷斯总结植被发育地区的工作经验所提出的工作程序,具有明显的找矿性质,但它基本代表了目前多数国家的做法。这一程序最突出的两个要点是:一个地区的填图应置于该区地质-矿产调查总的开发程序之中,既有前后阶段的纵向关系,在同一阶段内各种手段测量工作又有横向的先后的综合关系;其次,后一阶段工作类型以至选区均决定于前一段工作成果综合研究作出的决策。对考虑我国成矿区带或新的远景区的遥感地质填图工作来说,该程序有一定意义,并提示了一些有用信息。不难看出,该程序中的摄影地质、物化探测量作为地质填图的组成部分而先于具体的填图编图工作。不管在第一阶段中比例尺地质填图还是在第二阶段的1/5万比例尺填图中,摄影地质都是超前进行的。对多数图幅来说,开展1/5万比例尺填图首先是综合分析已有资料以决策是否有必要投入这一工作(即表1中的

A项)和确定开展1/5万工作阶段的2a、2b、2c的方法,这样,具体的地质填图工作(2d)就能够从2a到2c以至A项得到好处。摄影地质作为第二阶段的一种工作先行于地质填图和物化探工作,无疑可以缩小地面详细调查面积,提出需要运用某些物、化探手段解决地质遗留问题的靶区。为此,正如哈廷斯提出的,2a是第二阶段的主要工作环节之一,即使在植被比较发育的地带。B项实际上是1/5万填图成果的综合分析工作,目的是决策是否有必要投入更大比例尺的工作,即对值得进一步详细填图或矿产评价的靶区作决策提供依据。

总的看来,遥感地质在这种1/5万比例尺地质填图中的作用归类起来有:

- 1)、在原有中比例尺地质填图和物化资料基础上,根据部分航片或较大比例尺图[象]解译、适量地面工作完成构造和岩性填图,为确定进一步的地质观察、取样、物化探测量的目标区提供部分资料依据;
- 2)、发挥视域大及对一定埋深的隐伏地质体(断裂、岩体、古火山机构等)有影象反映能力等特长,在更大范围内的构造格局或发现“地质异常”的基础上,辅助构造或地层岩性问题的深入调查;
- 3)、检测地表或近地表的矿化岩性标志、蚀变带、异常地植物或控矿构造的影象,发现新的矿化线索;另一方面,发挥可直观展现测区多数据集和典型矿床成矿模型的能力,建立概念勘查模型辅助矿产评价;
- 4)、发挥遥感多时相、多检测能力等特点,可以在不同地区根据不同的要求,兼做工程地质、水文地质或其它资源调查评价工作,编出相应的主题图件,扩大填图的技术-经济效益。

表1, 一个地区地质填图-普查总程序



*图中阶段2的1:5000应为1:50000

这些作用需要通过合理的工作程序和得当的技术手段、解译方法加以实现,航片或其它遥感图象的人机处理和具体解译、野外检查或波谱测量等工作也通过这种安排与其它地面地质、室内分析研究工作合为一体,形成我们称之为遥感地质填图的工作方法。由于目前遥感技术拥有多种手段和图象处理方法,施工过程又可以有足够的野外工作配合,注意解译标志的代表性,所以这种填图的岩性判别和对岩石单元的划分程度一般不亚于常规方法,而且时常有新的发现;对构造,其结果更是如此。根据上述国家部分1/2.4万至1/5万或1/6.336万比例尺图幅填图和成矿区综合填图工作,可把这种填图的程序概括如下:

第一阶段：资料、图件研究，野外踏勘

第一次摄影地质解译的任务：1.熟悉地形和地质情况，采集标本和薄片样，确定地质单元的影象标志；2.规划实况调查路线和观察点，评价填图方法和后勤供应；3.确定支援工作的类型（如岩矿、古生物鉴定、波谱测量等）。

第二阶段：第二次摄影地质解译和第二次野外工作（调绘、检查及上述支援工作等），综合野外地质和物化探资料完成构造、岩性填图、评价矿化条件；

第三阶段：第三次摄影地质解译，根据必要的图象处理和其它新资料修正解译结果和图件。

虽然不同岩性和景观区所用的遥感资料及解译方法会有不同，上述作用也会有差异，但这种工作程序却基本相似，强调了综合解译和多次解译的必要性。有人在伊朗东部开展的有关填图工作的程序基本与此雷同。他们首先在航片上标出地质路线和着陆点，在第一次解译的基础上用跳跃方式进行野外点上观测和调绘，各观测点之间再内插观测线；为了统一记录，建立了数据卡片系统，各点都刺点编号定位于航片上使观测线也表现出来。每天回营地再转绘到1/5万底图上。虽然测区的岩类包括了古生代至新生代多种岩类（深海相沉积岩、复理式岩、浅海相沉积岩以及陆、海相的角砾岩、火山岩、蛇绿岩、混合岩等），但由于解译过程及时安排了古生物和岩矿鉴定工作、收集了绝对年龄资料，加上路线观察工作的配合，结果完成了各个地质单元界线的圈划工作，而且还发现，在第二次野外检查之后又安排第三次解译使整个填图结果优于仅仅是在填图行进中由象片解译来提高填图质量的做法。

二、岩性解译工作的部分方法

岩性解译和岩石单元划分是岩性填图两个彼此相关但又不尽相同的工作内容，正确的岩性解译是岩石单元划分的基础，但是测区已有的岩石单元划分资料及遥感图象所显示的岩石单元标志又有助于岩性解译，因此说，在实际工作中岩性解译与野外地质观察、岩石地层工作应是密切配合才能完成整个岩性填图任务和力求有新的发现的。与传统的黑白航片摄影地质填图方法相比，当今遥感地质填图的最大进展就是提高了岩性解译（或判别）的能力，其标志是：出现了依据地质材料组成成分波谱特征或其它表面特性的定量处理和判别技术，过去在黑白象片上显示差异不大的岩性（如均质的变质岩类）在有关增强图象上产生颜色反差而可区分，多种热液蚀变岩性或其分带可被检测，一些新的机载高分辨率传感系统大大提高了岩性判别的工作比例尺。在上述国家促使这些技术进展及使这些技术在生产填图工作中得到迅速应用的许多努力中，有两项工作看来起了积极作用，值得我们注意：

（一）、在行将全面开展遥感地质填图的岩区或成矿区带（成矿省），针对不同景观—岩性带的不同岩性单元超前进行岩性解译实验，总结出增强岩类的有效技术及消除干扰因素的方法；

（二）、通过研究项目或实际填图工作，自然形成了少数既熟悉地质又擅长遥感图象处理技术的“尖子”队伍，他（她）们开发了一系列判别岩性的增强技术，实验总结了在相应岩区实际可行的岩性填图的工作策略。

下面我们列述部分岩性解译工作的例案和方法：

一)、常规摄影地质解译

(一) 确当处理的星载资料配合航片立体观测, 细分老区的岩石单元

南非德兰士瓦省西部分布着太古代和元古代的古老岩类, 前者主要是花岗岩, 后者主要是一些变质岩、火山岩及碎屑岩, 包括维特沃特斯兰德石英岩, 文特斯多普安山岩及互层状沉积岩。覆在其上的是德兰士瓦岩系, 包括底部的碎屑岩组(黑矿脉统)及上部的白云岩统。再上面就是一套石英岩、页岩夹部分火山岩的所谓比勒陀利亚统。70年代有人利用不同季节的陆地卫星图象填绘了不同岩类的分布, 解译了一些局部岩性细节的变化, 增加了对有关岩类成岩环境和过程的认识。其中在德兰士瓦岩系白云岩统分布区内发现了七条色调变化异常带, 经野外检查发现, 其中4条色调较暗的色带与无燧石的暗色白云岩带对应, 其它三条则与燧石含量较高的浅色白云岩对应。这些亚层在该区过去连续开展地质填图和找矿工作的90年间却从未被发现。

印度比哈尔邦辛格布姆前寒武岩带是迄今找矿活动仍十分活跃的有名成矿区带, 分布有重要的铁矿、有色金属、放射性矿产以及耐火材料等矿床。区内除了辛格布姆花岗岩和基性-超基性脉岩以外, “铁矿”、辛格布姆、科尔汉、丹乔里和达尔马岩群等前寒武变质岩的主要岩类有高级和低级变质程度的黑云母片岩、千枚岩、板岩、页岩、石英岩、角砾岩、砂岩、条带状含铁石英岩、页岩、变质熔岩、花岗片麻岩、变粒玄岩等。该岩带由于广泛进行过地质填图和多种勘查方法开展过找矿活动, 岩性构造等地质条件已得到充分研究, 但由此也产生了许多地质争论问题。80年代初印度地调所和印度空间应用中心在该岩带开展一项填图项目, 以评价不同处理方法的陆地卫星图象对判别岩性和划分岩石单元、构造解译及研究成矿与构造的关系等方面的应用效果, 其工作方法和结果如下:

工作方法

1)、在岩带内选取了9块检验区, 按1/28.3万比例尺提取这9个试验区子象幅的数据, 由这些子象幅的数据生成下列几种增强图象:

线性扩展增强图象;

6个比值的图象(4/5, 4/6, 4/7, 5/6, 5/7, 6/7);

不同波段的假彩色合成图象;

亮度动态范围等间距亮度值的彩色组合片或阴影输出图片。

2) 立体镜下目视解译这些图象, 并配合各试验区部分地段航片的立体观察解译结果; 为对比评价, 每一个试验区根据不同图象解译结果编出岩性单元划分、构造、矿点等主题图件, 再由各种信息编出最后图件;

3)、进行野外和室内反射波谱测量, 并测量CCT输出象片的灰度。确定不同岩性或岩类的相对反射值及其变化规律, 控制因素。

结果

1)、除了查明2、3、4、6波段的不同比值生成的彩色比值合成图象对地质解译更有利、6波段较适合判别坚硬岩区的岩性, 5波段反映线性的脉岩更清楚等结果外, 最重要的成果是证明, 利用陆地卫星数字增强图象解译确定的地质单元可达到岩组水平, 而且常常能够在这些岩组内分出各个岩性、岩层的次级单位。例如, 铁矿岩群被细分为6个岩段: 页岩-千枚岩、含铁石英岩-页岩、绢云母千枚岩、页岩-砂岩及变质基性-超基性岩; 辛格布姆岩群的查伊巴萨岩组进一步细分为三个岩层(岩段): 高级变质的黑云母片岩-角闪片岩-兰晶石

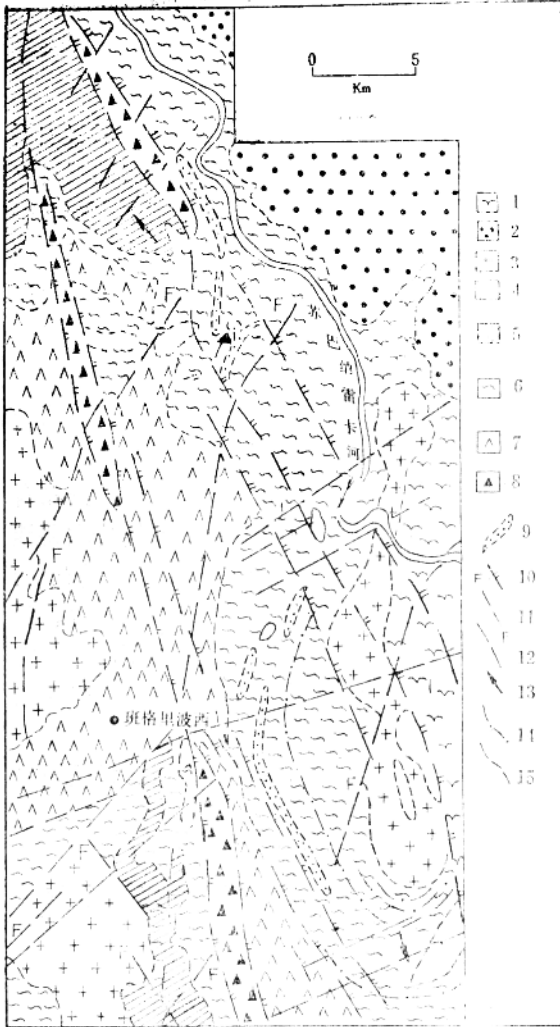


图1、由增强图象解译确定的辛格布姆剪切带的延伸范围，1-土壤和冲积层；2-第三系覆盖层；3-花岗岩；4-基性岩；5-石英岩/角砾岩/火山岩；6-黑云母片岩，千枚岩/石英岩；7-花岗片麻岩；8-剪切带片岩；9-石英岩带；10-可能的剪切带；11-可能的断层；12-其它线性特征；13-褶皱轴向；14-地层和岩性环形式线；15-地质界线。

用于事先确定的岩性地层疑难地段的勘查工作，如隐伏岩体范围的圈定、覆盖地段岩层的延伸追索、岩相结构变化的调查等等。这些工作如果还有航磁等物探资料作佐证，将可取得更好的解译效果。例如，沙特阿拉伯地盾南部的阿布拉地堑区被视为勘查层状铜矿的远景区，为了确定沉降区的范围及它与其它地质单元总的构造关系到底是断层关系还是其它不整合的接触关系，通过利用1/6万比例尺航片和1/50万陆地卫星图象进行摄影地质解译，加上航磁佐证，结果根据区内的碳酸盐岩标志层、不同的岩性组合和影像表现把阿布拉群划分成18个地质单元，找出了迄今未认识的五个标志层，使阿布拉群内部的地层、厚度及岩相变化得以评

石英岩、片岩-石英岩和低级变质黑云母片岩-千枚岩组合；达尔布姆岩组也被划分为片岩-千枚岩、板岩-千枚岩-石英岩、含铁石英岩-千枚岩和页岩-千枚岩等岩段；达尔马火山岩群熔岩被划分为形成山脊的粗粒的基性岩和形成山谷的发育劈理的变闪长岩、绿泥片岩、凝灰岩、集块岩以及块状细粒，玄武岩。花岗片麻岩可以分出粗至中粒状花岗岩-伟晶岩及中至细粒的灰色花岗岩、片麻岩不同岩相段。同时，在有些试验区内还查明了辛格布姆花岗岩与铁矿岩群之间的关系；

2)、填绘了许多线性体，尤其有意义的是填绘了有名的辛格布姆剪切带（东西向）两头的延伸范围，发现剪切带西部可追索到松达尔以南，过了甘加普尔盆地南部边缘地带又有两条大的线性体作为剪切带的南、北边线出现；东端，该剪切带看来分裂成几条剪切带，在冲积层覆盖区内还可以被圈出。向东延伸最远的剪切带可能达到辛格布姆克拉通以南地段而与苏金达逆断层带衔接，图1就是辛格布姆剪切带的延伸地段及有关岩性解译结果。

印度在卡纳塔克邦奇德拉杜尔加片岩带等变质岩区的工作也取得类似的结果。这些例案说明，即使在地质研究程度相当高的地区，确实增强处理的陆地卫星图象也有助于岩性划分。然而，由于陆地卫星MSS工作波段范围和空间分辨率的限制，增强处理的图象比例尺只能达到1/25万的放大程度，所以它在1/5万比例尺遥感地质填图时多用于踏勘岩性的区域变化趋势或者在总结原有图件资料时配合航片

价。此外，构造分析和摄影地质填图建立了地堑总的构造格局，在地堑内识别出三个主要的构造单元并认识了阿布拉群与上下岩层单元的不整合或假整合的关系。这些资料显然对地堑区内的大比例尺填图和矿产评价工作的作用是十分可贵的。

(二)、 全色黑白航片和彩色航片的摄影地质填图修正地层不整合面的层位

这里所附的地层表是印度安德拉邦卡林纳加尔地区东部的地层顺序的一部分。印度地调所的R.拉曼等人在该区利用航空象片进行1/4万比例尺摄影地质填图，根据影象的识别标志（色调、结构影纹、水系模式等）圈划了各岩组的地层界线，并经过野外检查完成了图件编制工作。这次填图最大的收获是确定了帕克哈尔超群与苏拉韦群之间的不整合面所在层位位置。早在上一世纪末有人就报导了这两个岩群之间存在角度不整合关系，本世纪50年代Heron否定了这一关系，到了60年有人再次提出此问题，但却把拉马甘丹瓦层状砾石-粗砂质砂岩底部的暗褐色和红色砂岩划归苏拉韦群，并作为后者的底部而表明是不整合的产物。这次摄影地质填图过程由于有关岩层在影象上的空间分布关系的提示进行了实地检查，清楚地鉴定了该不整合面是处于红色-白色砂岩层与下伏帕克哈尔超群包括上述互层状砾质-粗砂质砂岩（第5层）在内的碳酸盐-砂屑岩层顶部（第7层）之间，这一更正得到了证实。

印度安德拉邦卡林纳加尔地区东部地层顺序

时 代	岩 组	岩 层
现 代		冲积红土
侏 罗	科塔岩组	钙质砂页岩
三迭至 下石炭	卡姆提组	铁质砂页岩
	巴拉卡尔组	长石砂岩、页岩和煤
	塔尔切尔组	绿色泥质砂岩和砾石层
苏拉韦群(上元古界)		互层状红色和白色砂岩
中元古界	帕克哈尔超群	7. 页岩、灰岩、红色页岩 正石英岩、粗砂岩 互层状砾石-粗砂砂岩
(以下略)		

(三) 消除地形效应，配合影象，地面实况，正确推断岩基岩相

地表切割强烈，植被茂密地带会给摄影地质及遥感技术的应用带来一些麻烦，所以需要专门的解译方法，解译工作的关键是要利用植被模式、地貌或微地貌与地下地质的内在连系，通过植物和地貌的观察对地下地质条件作间接推断，然后以一定的野外观测加以检查或用其它手段配合验证。这种工作方法的基础是微地貌学和植物地质学。图2是塔斯马尼亚（澳大利亚）西北部格拉尼特托尔岩基所在地区，区内地形切割，植被发育，树线以下地带是茂密的雨林植物，树线以上则是杂草覆盖。为了查明和划分岩基内不同岩相的岩性，在利用1/4万比例尺的黑白航片和1/2万比例尺的彩色航片进行摄影地质图填工作中便通过观察不同断裂发育强度和微细的影象地貌差异，对岩相进行了解译。图2a是经过野外检查和一

定取样工作证实的岩基岩相摄影地质图及其推断剖面。图2B是填图时飞行的航磁和航空放射性测量结果。可以看出，航磁圈出的岩基边缘与摄影地质方法所圈出结果极为吻合，放射性测量确定的不同强度的钾化带也支持了摄影地质解译的蚀变岩相圈划结果，因为花岗岩的蚀变岩相带钾含量比其余地段明显增高。

值得指出的是，这次填图时还研究了陆地卫星资料，考虑到地形切割在所分析的冬季低太阳角图象上的阴影效应，所以采用波段比值增强技术。结果在5/7波段比值图象上的解译与上述摄影地质和物探资料的对应性十分良好。但是由于断层构造和植被的影响，造成同岩相花岗岩的灰度显示发生差异：格拉尼特托尔岩基是一个层状侵入体，所以在西部的较深切的沟谷内出露了较早期的花岗岩相，加上植被影响，显示的灰度较暗，侵入体较上部的蚀变岩相同所处高度及植物覆盖薄，灰度浅。可是，岩基东部由于是断层上盘把较早期的花岗岩相推到较高的海拔高度，那里的植被少，灰度也呈浅色，造成同岩相的花岗岩在岩基的不同地段呈不同色调。解译中如果不考虑植被和地貌，而仅仅依据陆地卫星比值图象灰度就会对东部的花岗岩相作出错误的划分。

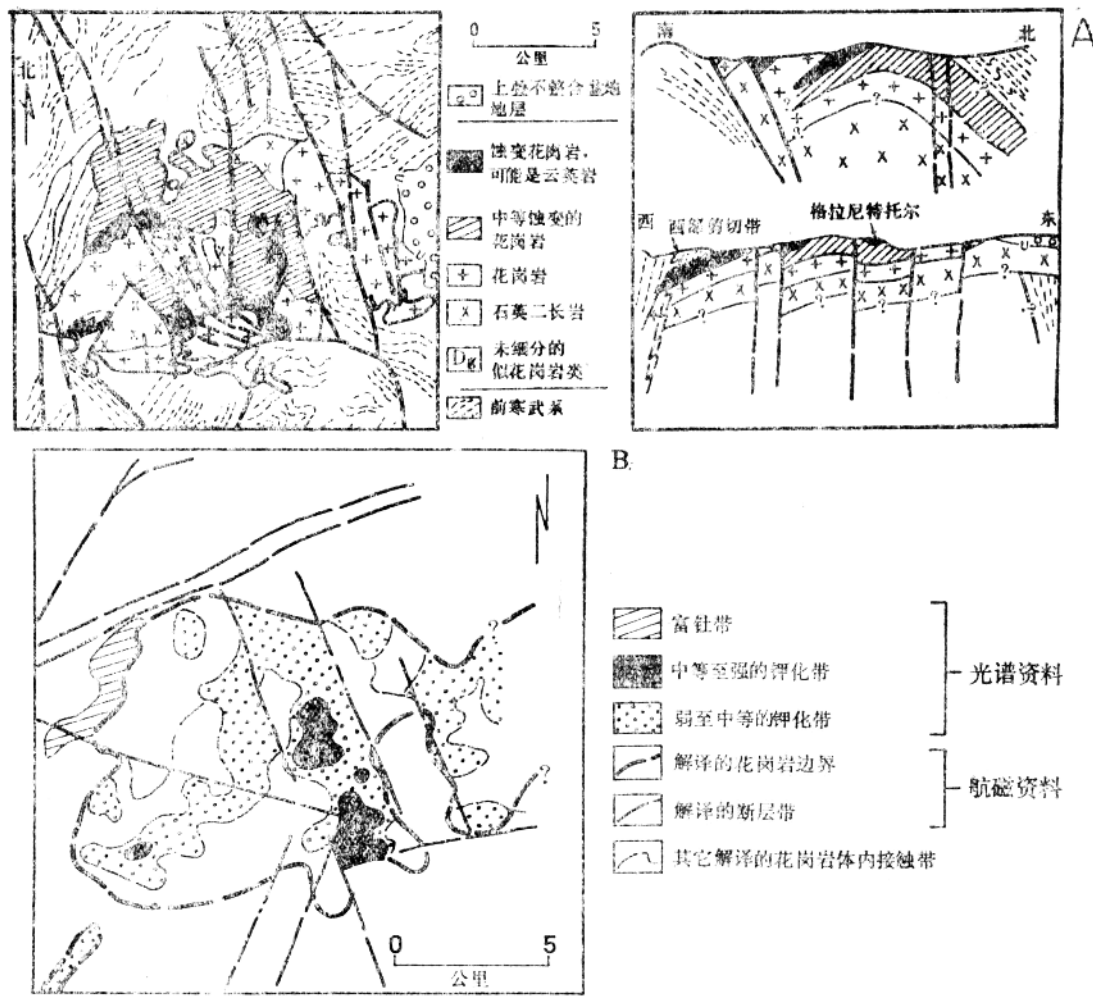


图2 格拉尼特托尔岩基的解译图，a—摄影地质图及推断剖面；b—航磁、航放解释图

(四) 立体象对观察岩性的构造要素及其空间关系, 区分渗透片麻岩与石英片岩、花岗岩成因

尼日利亚西部伊利沙243幅已经填了图, 但对区内与渗透片麻岩伴生的石英片岩有不同认识, 认为这些片岩可能是基底杂岩内一套时代较晚的发生褶皱和变质的沉积岩, 也可能是主要构造错动面发生硅化作用所形成的产物。后来该图幅西侧用航空摄影地质方法填了伊沃243幅。填图中除用航空象片作立体观察外, 还进行了野外踏勘。观察发现, 渗透片麻岩的片理线性特征始终平行于石英片岩山脊的扭曲方向, 同时石英片岩为典型的沉积变质岩区的紧闭褶皱, 又作长距离的扭曲, 其间也没有伴生其它岩类。由此对石英片岩提出更合理的成因解释, 认为它们是由沉积岩中硅质含量较高的岩层在变质作用和花岗岩化过程形成的, 并一起处于柔性状态下受挤压形成紧闭褶皱, 其它成分的沉积岩则都形成渗透片麻岩。

有时利用一般航空黑白片也可以区分不同成因的花岗岩, 例如在渗透片麻岩和变质沉积岩区内, 一些楔形花岗岩的外表常常与渗透片麻岩相似, 在野外也时常会以为是不同岩相的渗透片麻岩。但在立体象对观察过程, 经过认真分析这三种岩性区的线性要素彼此的关系, 即可区别出貌似渗透片麻岩的侵入花岗岩, 因为后者的线性要素一般不平行于变质岩的残余片理线性要素, 有时从色调上也可发现它们的差异。

(五) 以灰度或颜色色调差异、形状和地貌等影象特征, 填绘不同期次火山岩及其地貌特征

遥感图象视域大, 对不同成分或其特征不同的地表具有不同的影象表现, 而且可以利用多种增强技术扩展不同岩性的差异等特点, 已使火山岩区的岩性和岩相填图工作得到一定改善。许多过去需要耗费长时间的野外观察才能区分填绘的火山岩类和岩相分带, 现在增强图象上则一目了然, 或者只要配合少量地面工作就能填绘。在这样进行工作的时候, 常常是综合分析解译中等比例尺的卫片和大比例尺航片, 以使观测一定范围的火山活动变化。例如近年土耳其西部库拉玄武岩带用彩色合成图象和航空象片立体观察, 分出了三期玄武岩喷发产物, 而且由于可以纵观全区的构造格局, 很容易识别了第一期玄武岩是从近E-W向的断层或断裂带喷出, 第二期的火山口位于偏南面, 由WNW-ESE和SW-NE向断层喷出地表, 第三期更偏南, 经同一方向的轨弱带喷出。由于各类火山岩类及区内的变质岩、第三纪盆地灰岩各具特殊的地貌特征、色调, 它们在陆地卫星图象上的填绘结果与1/3.5万比例尺航空的解译准确度近乎一样。有材料报导, 近年在沙特阿拉伯地盾的萨姆朗—沙伊班地带的遥感地面填图工作也表明, 利用陆地卫星TM图象、航空热红外成象以及航空主题填图器资料的摄影地质解译, 可有效地提高岩性判别, 帮助了火山岩相填图以及蚀变带的圈定工作。该前寒武地盾区主要由火山岩和沉积岩构成, 有铁镁质至长英质侵入岩以及发育一些克拉通缝合线的层状基性-超基性杂岩。以往的工作已划分三种火山岩相, 即中心相, 古火山口边缘相(近源相)及远源相。中心相为火山杂岩体核部, 由熔岩和粗结构的火山碎屑岩组成, 有大量次火山岩脉和岩株, 蚀变强烈; 近源相构成了火山机构的翼部, 主要是熔岩和粗一中粒结构火山碎屑岩, 还有岩床和大理岩层; 边缘相则以长英质凝灰岩占主导。填绘、查明这些岩相及火山机构是该区加速金矿和块状硫化物矿产勘查工作新开展的1/5万乃至1/2万—1/1.5万比例尺地质填图的主要工作。迄今的工作表明, 采用下列工作程序和工作方法可完成上述岩相填图及圈定有关蚀变带:

1) 研究已知区的合成图象, 确定最适于待测区目标岩性的合成图象; 工作证实, 机载

AADS-1268扫描器各波假彩色合成和比值合成的赋色和组合类型的作用如下:

红	绿	兰	作 用
5	3	2	模拟真色, 黄铁矿、高岭土化
10	9	3	检测铁帽、蚀变带类型及相对强度岩性判别
10	7	3	同上
10	9	8	岩性解译
11	9	8	岩性解译, 蚀变岩—侵入体隐伏接触带;
10/9	9/7	7/3	粘土化, 硅化, 岩相观测, 脉岩, 岩株

2), 由所选定彩色合成图象组合生成拷贝进行解译, 配合野外路线 (线距按需要) 观察岩相岩性组合, 确定岩相边界, 圈定中心岩相等;

3) 人机对话处理关键地段图象, 检查和解译这些地段的岩性及蚀变带;

4) 对需要进一步详细研究的目标, 作其它技术的处理。

二) 高分辨率星载成像技术判别岩性的作用及几个数据检验、判别方法实验问题

(一) 陆地卫星 (5) TM (主题填图器) 的特性及岩性判别前的数据检验

表2是陆地卫星 (4.5) TM及SPOT-1HRV Fcc的一般特性, 总的说, SPOT适于制图, TM更符合主题信息提取的要求。对岩性判别来说, TM既具有判别多种岩性的工作波段又有较高的成像-图件配准的精度, 使它成为各国积极实验大比例尺填图手段之一。TM成像的这种配准精度即大地测量精度, 决定于图象或图件上的地面控制点的定位精度、研究区的地形、以及用于配准图象-图件的算法。迄今的研究表明, 经过校正的TM数据在条件较有利的测区 (如地形“投影”差造成配准误差小) 可满足1/2.4万比例尺图件的制图要求, 一般情况则可达到1/5万—1/10万比例尺的要求, 图3是荷兰中部“克罗默莱茵河”地区1/2.5万比例尺的“主题图”, 就是由TM图象与航片解译编制的地形图组合生成的, 可判别各种用地类别, 还可区分小于象元的线性地物。

由于下列几种因素, 使TM及SPOT图象在1/5万填图中具有一些优越作用: TM和SPOT的基/高比分别为0.1及0.5—1.0, 有较好的立体成像能力; TM地理编码所需地面控制

表2 TM和Spot成像的特性

发射时间	TM: 06/1982	Spot: 22/02/86	
传感器			
分辨率 (米)	30.30	10.10	20.20
波段 (nm)		(MSS)	(PA)
1	450—520	500—590	510—730
2	520—600	600—680	
3	630—690	790—890	
4	760—900		
5	1550—1750		
6	2080—2350		
7	10.3—12.5 (μm)		
象幅面积 (Km)	185.185	60 (60—85)	
时间覆盖	16天周期	3—5次/26天	

点少（如在加拿大，一幅TM图象所覆盖面积 3.4 km^2 用7—15个点，这个面积相当于16幅1/5万图幅，每幅要5个控制点），因而其成本只有摄影测量的1/10；更便于与其它成象或非成象资料复合，包括与数字地形模型（DTM）；采录图象数据的成本远远低于航空摄影（TM $\$0.09/\text{km}^2$, SPot $\$0.6/\text{km}^2$, 高空摄影 $1.50/\text{km}^2$ ）。

与陆地卫星的MSS相比，TM由于增加了3.5.6.7波段而提高了判别岩性的能力。从图4所示摩洛哥南部安迪亚特拉斯地区（埃尔格拉矿带的东段）的MSS、TM图象看出，区内主要分布着各种前寒武纪岩浆岩和变质岩类，外围是古生界沉积岩；TM比值图象上高反射值有所反映的NNE向岩墙在两个短波红外波段图象上表现得更清晰，其原因是岩墙侵入烘烤了岩石，使被侵入岩层比岩墙更受风化了，同时，在可见—近红外区内岩墙和围岩的波谱特征相类似。过去的图象解译并未发现该区是埃尔格拉矿带的一部分，现在由于用TM短波红外波段的比值处理增强了反照率差异的办法将各种地质特性反映出来，被确认应属矿带的一段。

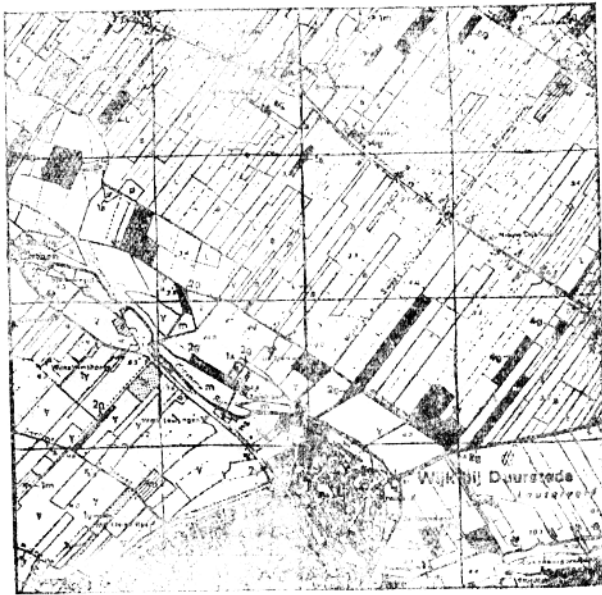
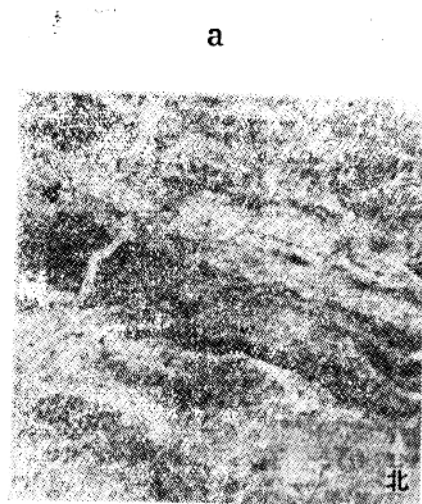


图3、 荷兰中部“克罗默莱茵河”地区1/2.5万比例尺主题图

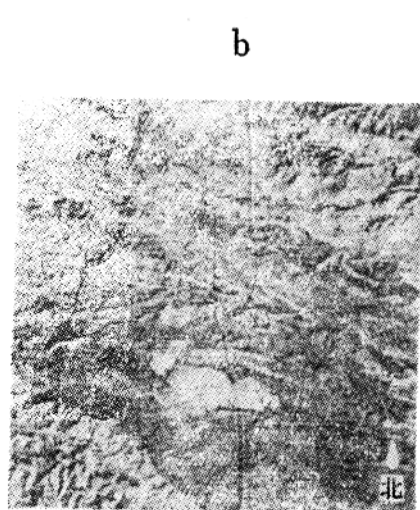
由此可见，检验填图岩区或环境内TM的辐射和空间分辨能力对选定使用方法及建立处理程序有重要意义。这里以美国怀俄明州温德河盆地TM的波谱特性分析和地质评价实验为例，简介这种试验工作的基本内容：在有代表性的地段上采录野外反射数据，编制定量校准曲线对比TM成象辐射值与相应的地面反射值；评价TM的DN分布特点，确定有关增益和截止的位置；根据DN直方图和影象的观测，定量表征波谱—影象地质特征；通过相关分析或主组分分析定量对比象幅内一定子区的TM、TMS数据；

辐射评价是有效应用TM图象数据做好岩性判别的重要工作步骤，如果测区或邻区没有这种评价工作可资参考，时常需要完成这一工作，以正确使用数据。

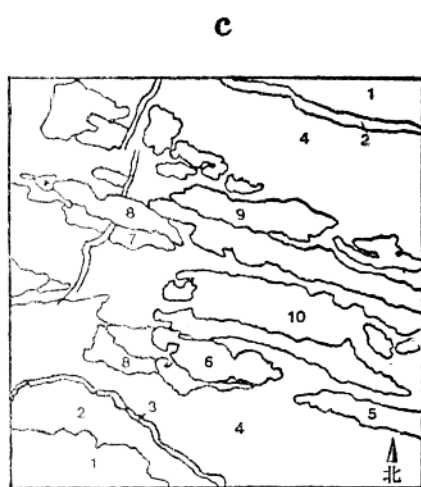
1. 对比TM成象辐射值与地面反射值：由于TM数据所反映是辐射值，所以它变换成地表反射波谱值时需要作校准，以消除仪器和大气等因素的校应。根据传感器成象的辐射关系式可解求一定通道的DN与该通道的平均辐射值 $\bar{U}$ 的关系



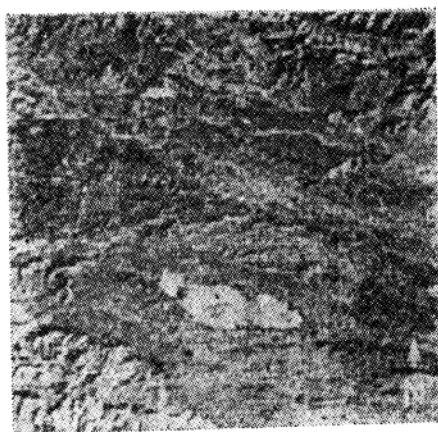
4 / 5 波段



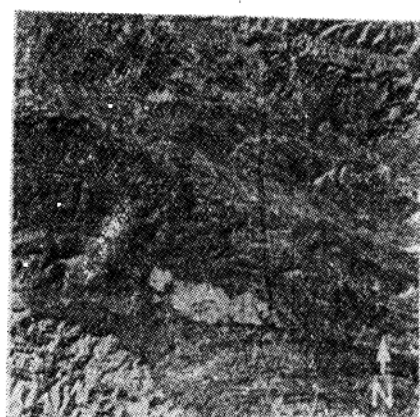
5 波段



E



d



3 波段

图4 摩洛哥南部安迪亚特拉斯地区的Tm、MSS图象

a: TM1/5, b: TM5, 解译图C—砂岩—片岩; 2—白云岩; 3—角砾岩; 4—砂岩, 角砾岩; 5—安山岩; 6—花岗岩; 7—片麻岩; 8—辉长岩—闪长岩杂岩体; 9—角砾岩—石英岩; 10—混合岩—片麻岩杂岩; d: TM3; e: MSS5的平均辐射值H的关系;

$$N(\rho, \bar{\rho}, \tau, \lambda) = \mu_0(\lambda) (a(\rho, \mu_0, \lambda) \rho(\lambda) + b(\bar{\rho}, \mu_0, \lambda))$$

这里, $N(\rho, \bar{\rho}, \mu_0, \lambda)$ 是传感器接收的辐射, $F(\lambda)$ 为波长 λ 的太阳辐射, $\rho(\lambda)$ 则为波长 λ 的象元反射 (朗伯反射), $\bar{\rho}(\lambda)$ 是背景反射, μ_0 太阳方位角的余弦 $\cos\theta$ 。 $a(\rho, \mu_0, \lambda)$ 和 $b(\bar{\rho}, \mu_0, \lambda)$ 是包括了目标的辐射、大气散射辐射衰减的因数项。由此, 第 i 个通道的辐射 DN_i 与其平均辐射 N_i 有下列关系:

$$DN_i = \alpha_i N_i + \beta_i, (i = 1, 2, \dots, 5, 7)$$

对 TM 来说, α_i, β_i 都是已知的校准常数, 所以可得到 $DN_i = m_i p_i + n_i$

$$m_i = \mu_0 \alpha_i a_i F_i$$

$$n_i = \mu_0 \alpha_i b_i F_i + \beta_i$$

可见, 利用若干地面目标的 DN_i 及 ρ_i 测量值可以估测 m_i 及 n_i 。研究者利用下列经验方法对比扫描器的辐射值与野外反射波谱值来确定 m_i 及 n_i , 即在象幅区内对 7 个校准目标 (雪、水库水体、机场沥青跑道和泥土停机道、青草、砂、红层) 进行双向反射波谱测量, 由 TM 滤波函数卷积处理所得到的地面反射值 (曲线) 估估各 TM 波段的等值反射量, 再与这些目标在 TM 图象上的 DN 值做相关分析, 结果得到的相关系数均优于 0.97, 说明可根据地面反射波谱对 TM 作校准。

2. 对上述校准 TM 数据的可用性进行具体分析或检验: 由校准的数据编制图象六点波谱曲线 (图 5) 作对比分析。如图 5a 所示, 红层在 2.3 波段范围内有 F_0 的吸收带, 粉砂岩在 5—7 波段间较陡, 可见有 (OH) 吸收; 红色岩类与灰岩的波谱相似, 说明根据 TM 较宽波段的反射数据区分红层和碳酸盐岩类可能有难度, 必须考虑利用它们的其它影像特征的不同表现; 图 5b 则是三处风化花岗岩露头的 TM 图象波谱, 由于代表了同一地段所测量的地面波谱

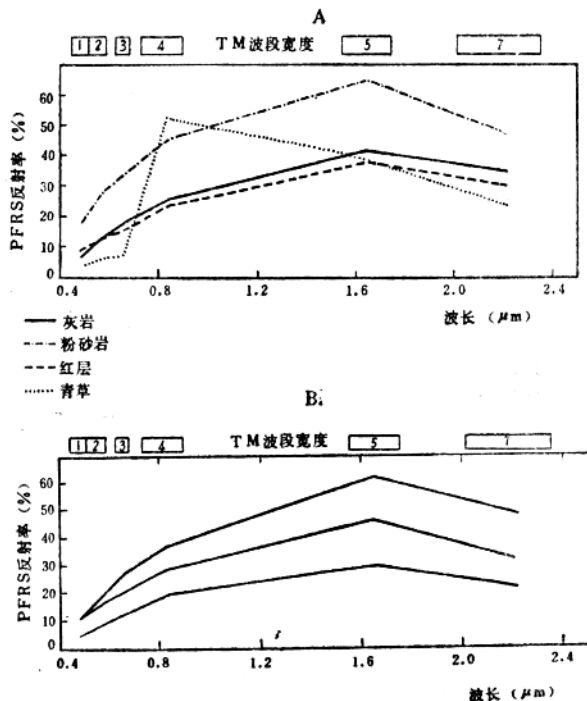


图 5, a, 用校准的数据得到的四种岩石的 TM 波谱, b, 三个风化花岗岩的 TM 波谱 (由校准数据);

范围, 所以可从总的波谱曲线的形态和反射值范围直接对比TM和地面的波谱, 地面波谱的 $0.9\mu\text{m}$ 及 $2.2\mu\text{m}$ 的吸收带将是很明显的, 但在波段较宽的TM数据上却可能不同。

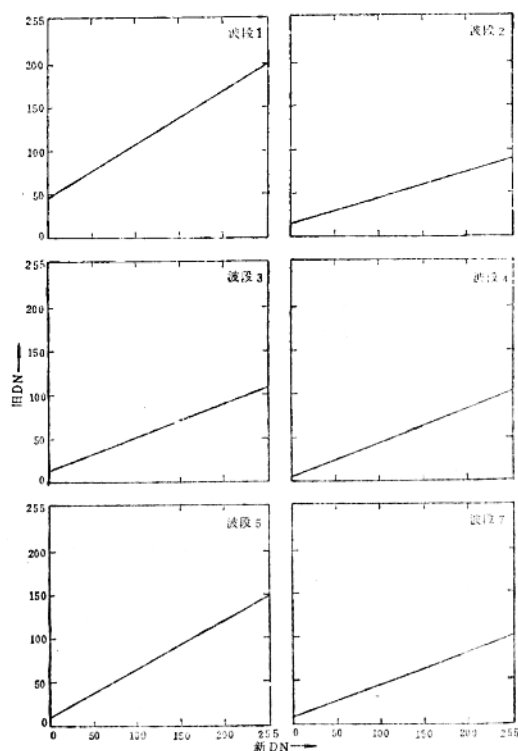


图6、由校准数据计算TM各波段的增益和截止增量:

波段	截止	增益
1	44	1.63
2	16	3.29
3	15	2.73
4	6	2.60
5	12	1.86
7	8	2.68

3. 评价DN分布直方图, 了解TM数据的辐射分布及其增益、截止: 根据直方图观察, 发现地面物质的DN分布范围较窄, 水体、植被, 土壤和岩石、雪的DN分布达不到0—256动态范围的1/2, 这反映了TM的DN分布特点, 也说明TM的增益对地质应用时常需要利用宽度达到256的DN动态范围这一点来说是太低了、由此根据野外波谱测量所建立的校准曲线可用于计算增大6个可见-近红外波段的增益和截止的范围 (图6)

4. TM与TMS (机载多波段扫描器, 通道详见60页) 数据进行地质对比: 这也是评价TM图象数据波谱特性的方法之一。为了便于对这两个数据集作对比, 对数据作主组分变换处理。主组分变换一般是用于压缩数据集的维次, 但也可用于揭示图象内反映波谱类别的数据点的离散度。这种变换可由图象取样所建立的各个波段对的协方差矩阵或相应的相关矩阵进行运算。研究者用相关矩阵计算了上述两个数据集的主组分并作对比, 然后求出两个矩阵秩相关的斯皮尔曼系数 (评价相似性的概率水平), 最后对比了图幅区内一块子区 (科珀山) 的TM和TMS主组分图象 (影象) 及现有地质图件。该子区的波谱和摄影地质解译结果证明TM在填绘区内的地层单元和构造方面的作用可与TMS相对比, 例如区内的前寒武纪花岗岩和变质沉积岩的不同岩类在TM图象

上有不同的颜色显示, 这里一个叫Wagon Bed的岩组过去被划为一个岩石填图单元, 现在根据图象的表现被划为两个单元了, 并在图象上纠正了该岩组与另一岩组 (Wind River岩组) 的接触关系, 过去将后者填为前者了。由此可见TM对测区岩性判别的一些作用。

(二) TM成象数据的IHS变换及有关混合处理

一般说来, TM数据的增强算法也可分为两大类, 一类是用于增强或压抑构造信息 的各种滤波算法; 另一类则是用于增强多波段成象的波谱信息, 如波段合成、波段比值、主组分变换以及这些增强信息的IHS变换, 等等, 这类增强方法主要是用于增强岩性的差别和完成岩石单位填图的。因此在1/5万比例尺遥感地质填图工作中TM数据的处理利用包括了两个工作阶段, 即上述检验TM数据的波谱分析特性阶段, 根据各波段的相关矩阵选取判别岩性的最佳波段, 其次, 基于岩性单元的判别特征设计增强方法并做试点处理。在所述的几种增强技

术中，值得注意的是力求生成能够同时较有效地进行构造和岩性填图的单幅输出图象的混合处理方法。

1) TM波段比值的芒塞尔变换 (IHS变换)

迄今的实验和应用已证实TM判别岩性的能力优于MSS, 而且有时候可达到与TM波段对应的机载系统的水平, 表3表示了部分工作例案TM增强和分类图象类型判别岩性的相对优劣程度。可以看出, 为了抑制地形效应和增强岩性的波谱差异而进行正规化处理的比值增强和比值彩色合成增强的判别效果较佳, 不过, 在实际工作环境中也常常有不少岩类需要借助其它光学参数的变化来扩展它们之间的差异, 芒塞尔变换增强技术就是其中一种。这里简介鲍尔德山地区(内华达州中南部)TM波段比值IHS变换图象的填图效果及变换算法: 该区主要分布第三纪和第四纪火山岩类(包括玄武岩、流纹岩、英安岩、流纹凝灰岩)和花岗岩侵入体, 区内的金矿为浅成热液型矿床, 矿化主要赋于流纹凝灰岩内的裂隙和岩脉中, 多数矿床位于古火山口边缘并与陡产状的正断层构造有关。金矿化也发育有关的热液蚀变。为了提高岩性及热液蚀变填图效果和依据下列TM波段有铁的氧化物、粘土及碳酸盐的特征波谱影应, 以5/7、2/2和3/4波段比值作IHS变换。结果, 第三、四纪的玄武岩以其夺目的暗绿色别于相邻的流纹岩和火山灰溶岩、凝灰岩, 而第四纪玄武岩因 Fe_2O_3 含量较高而带红、褐色彩又可划出; 英安岩以其特有的影象标记区别于玄武岩和侵入体; 区内分布广泛的强蚀变带也由于其粘土和铁的氧化物所显示的黄色标记而较容易圈划。研究者采用了不同于传统的IHS变换的做法, 其变换的基本算法大致是这样:

图象F可以定义为正交排列的象元函数, 所以第i行和第j列象元的F值可写为: $F(i, j)$, 计算机存储的图象实际是0—225各整数值位的比特变量阵; 以F代表图象 F^* 的“扩展”图象, 即有 $F^*(i, j) = A[F(i, j) - B] \dots (1)$

计算R3/2比值图象值, 并定义R3/2正比于比值 D_3/D_2 (D_3 、 D_2 —波段3、2的平均反射值), 即得:

$$R3/2(i, j) \propto \frac{D_3(i, j)}{D_2(i, j)} \dots \dots \dots (2)$$

根据成象模型, 可得到日光照射区 (3a) 和阴影区 (3b) 传感器的辐射值:

$$B_x(i, j) = C_x + S_x \cdot \rho_x(i, j) \cdot \cos[\theta(i, j)] \dots (3a)$$

$$B_x(i, j) = C_x \dots \dots \dots (3b)$$

C_x 是大气散射, S_x 是比例常数, 从原理上说决定于日光波谱、大气透射率及传感器的响应, 所以用 (3a) 等式重写式 (2):

$$R3/2(i, j) \propto \frac{B_3(i, j) - C_3}{B_2(i, j) - C_2} \dots \dots \dots (4)$$

对整个图象来说即有 $X3/2(i, j) = \frac{B_3(i, j) - A_3}{B_2(i, j) - A_2} \dots$, 或 $X3/2(i, j)$

$$\approx \frac{S_3 D_3(i, j) \cos[\theta(i, j)] + (C_3 - A_3)}{S_2 D_2(i, j) \cos[\theta(i, j)] + (C_2 - A_2)};$$

从后面这一特设方程可以看出 $\cos[\theta(i, j)]$ 项不会消除, $\theta(i, j)$ 随地形而变, 所以 A_2 、 A_3 取值不同时 $X3/2$ 图象的地形显示也不同, 可选择地形显示(效应)最小的图象。由此得到对应于 C_2 、 C_3 的 A_2 、 A_3 值, 以及 $X3/2(i, j)$ 的数字数值, 并在IHS模型变换