

# 国外遥感地质通讯

8201

总010

## [会议活动与文摘]

第五届皮科拉讨论会文摘(一).....(2)

第二十四届天体研究会议IGCP讨论会文摘.....(8)

## [项目摘报]

研究俄罗斯地台东南部构造过程石油勘查的星载摄影方法.....(12)

## [区测—普查—找矿]

矿产勘查中的摄影地质与星载图象的解译工作.....(14)

## [图象处理与分析]

航磁与摄影地质——用于选择勘查靶区的一种方法.....(26)

## [新技术与专刊]

用激光遥感法普查矿床.....(34)

## [问题讨论与评述]

线性体(遥感方法研究的问题与方向).....(44)

## [消息与简讯]

国际环境遥感会议消息.....(50)

地质矿产部情报研究所方法室

一九八二年八月

PC-39  
贵州省图书馆

## 第五届皮科拉讨论会文摘(一)

### 陆地卫星资料用于圈定 南达科他州东部的浅部冰碛含水层

本研究的目的是要评价陆地卫星图象对确定南达科他州东部普雷里高原及其邻近地区的冰碛含水层位置的效果。南达科他州东部的景观属于平地至平缓起伏的农耕地。大部份地形特征都与冰碛活动或近代河流侵蚀作用有关。普雷里高原是红河低地(东部)及朱米斯河低地(西部)之间的一块开阔高地,成为南达科他州东部颇突出的筒一地形特征。平缓的皮尔里页岩及其它白垩系地层的冰川期前的剥蚀作用对圈出整个普雷里高原起了作用。这次研究所以选择普雷里高原的原因是,以前的经验说明该处对南达科他州东部含水层的摄影地质解译来说是极好的地区。普雷里高原的大部份冰碛含水层均出露在地表。这一点与它周围地区的砂、砾含水层大部份覆有冰碛物明显不同。选择该高原也由于这里有详细的地质与土壤图。

普雷里高原的基岩为皮尔里页岩及其它白垩系页岩和灰岩,大部份有冰碛物覆盖,平均厚度为120米。土壤富含冰碛物,但也含一些钙质结核。南达科他州地调所较近期的详细地质填图(1:62500)有助于我们对冰碛沉积物的范围及厚度的了解。冰碛物是渗透性比较差的,但冰碛层内小的砂、砾透镜体却可供足够的水量。冰水沉积物是冰融水形成的砂砾堆积物。由于大量的粉砂及粘土从河流排走,只留下了粗粒的砂砾,结果就成为分选很好的冰水沉积层(厚度达30米)。这些沉积物渗透性很好,当成为厚的饱和剖面时,就成为有价值的含水层了。一般地说,普雷里高原的冰水沉积物分布于大的河谷中,并被较薄的近代河流冲积物所覆盖。其它冰水沉积物则成为河谷两侧的阶地出现。由于地下水的经济意义,所以,近年在南达科他州投入颇大工作量来找冰水沉积含水层。

#### 含水层解译的理论

南达科他州东部不同类型的地质物质都具有特定的出露方式。经验表明,仅仅依据该区地形识别来对陆地卫星图象作解译,只能找出很少的含水层,这是因为该州这一部份的地形平坦,地表完全被开垦耕种了。因此,解译含水层必须通过对含水层有关的用地特征进行识别。南达科他州东部的一半面积是牧区,其它一半是耕地,耕种紫花苜蓿、玉蜀黍及小谷类的面积大约对等。有人在朱米斯河低地进行研究发现,堆石区小谷类的比例常常很高,紫花苜蓿

比例低；而阶地及平原的牧草和紫花苜蓿比例高，玉蜀黍和小谷类的比较低。原因是平原春季潮湿，所以耕种早期的作物，同时也因为在潮湿土壤区内有困难。像紫花苜蓿这样的深根植物就很适合这种环境。它们不需要早耕作，并能很好利用浅水位的水。通过观察这些用地模式便可以对大河谷底下的含水层进行遥感解译。

### 含水层的识别

Big Sioux河泛平原下存在一层大的冰水沉积含水层。据有人报导，该含水层面积达85平方公里，平均饱和厚度小于9米。图2、3表示这一含水层部份地段的位置。与这一含水层相邻的是斯库克-克里克河谷，后者也有另一含水层，其规模如上述含水层。要能够圈出河泛平原及其冰碛区冰水沉积含水层的波谱分析工作，涉及到许多的因素。这些因素通过对许多有含水层的地区进行观察便可以确定出来。含水层一般具有：

- (1) 在晚春季节图象内的红外反射率低。这是由于耕作劳动引起的；
- (2) 延长状的轮廓（由河谷的方向造成），可能有树枝状的分叉；
- (3) 在河谷内有一些小的延长状的凹陷谷模式，这是由于树木覆盖的河道、U形河弯及废弃河道造成的；
- (4) 没有在尾碛或滞碛物区所见的水凹地形和园丘地形；
- (5) 在较大的河谷内可见到曲折的河流；
- (6) 沿河谷边部有弯曲的模式，这是河流的弯曲地段引起的。

晚夏的图象在光学上并不能反映出含水层，原因是植物一致。不过，春季图象由于植物模式的波谱和空间变差，含水层能被识别出来。上述两个河谷，春季时具有较暗的颜色，这与周围有杂色黄土覆盖的伊里诺期冰碛区成为鲜明的对照。暗色的卡里冰碛物区与浅色的伊里诺期冰碛物也不同。如天空实验室象片所见到的这种伊里诺期冰碛物所伴生的斑状模式，虽然在陆地卫星图象较低的分辨率下未能呈现成模式，但这一地区却具有较浅的色调特点。陆地卫星图象由于它的全境纵观特点，所以能很好观察到各别象片所遗漏的东西。例如，在图8里，比苏里维与斯库克-克里克含水层可能向南延伸，但被较晚期的卡里冰碛层所覆盖了。据了解，在一些分散的深钻里已打到了卡里冰碛层下隐伏的冰水沉积层。在苏福尔斯东南部发现大的含水层的可能性是值得进一步调查的。

### 结语

对农业区冰碛含水层进行摄影地质解译工作来说，了解当地的用地特征是必不可少的。一般地说，通过判定河漫滩和低阶地上的用地模式是可以圈出冰碛区中的大的冰水沉积含水层的。

在山区，河漫滩都被利用（高水位区），或者种植粮食。冬季时，耕种的河漫滩地的红外反射率低，山地的反射率则中等，当种植了紫花苜蓿时，其反射率便增高。利用它们不规则的、延长状的模式及靠近高地的农田模式的不规则性，可以很容易地识别它们。春季，冰水沉积阶地被耕种，红外反射率很低。秋季，它们便具有高的反射率。不过，这些阶地难以与其它地质特征

(如地表冰碛物)区别。必须认识的是,南达科他州东部的农业耕种是千变万化的。例如,在高原南部,地表冰碛区在晚春季节种植玉蜀黍,而在北部,冰碛区在8月份才耕种,因为对玉蜀黍来说,那里的生长季节太短了。

在南达科他州东部的普雷里高原,利用陆地卫星图象圈定出了一些大的已知冰碛含水层,并建议可作为没有详细地质图的类似冰碛区地下水勘查的有用手段。陆地卫星图象使水文地质学家能够填绘有地表出露的浅部冰碛含水层,其精确度达到1:25万比例尺的野外图件的水平。在某些情况下,还能预测含水层的区域分布模式。

## 通过陆地卫星图象的光学增强 对安大略湖水文地质的观察

为了帮助安大略湖盆地水文地质条件的解译,对一些陆地卫星资料专门作了处理。利用光学技术对资料作反差扩大,以增强陆地的高反射率细节。编制了两幅9个象幅的镶嵌图,其中一幅利用了高太阳角图象,另一幅用低太阳角图象。高太阳角图象虽然用于水文地质的作用有限,但对于初步确定植物分布是有用的。不过,在一些地区,比周围地区高的红外反射率所标志的芦苇点可反映地下水渗出点的来源。第一幅镶嵌图是由十月份红外反射率低的图象编制的(第5、6、7波段)。植物由于黄色调进一步受到压抑,地表水体则由于第6、7波段合成呈现黑色而得到增强。低太阳角增强了该区的构造现象,揭示了加拿大地盾结晶岩区和阿迪龙达克山脉的地下水运动的构造控制作用。呈异常黑褐色的冰碛区的高含水量土壤区,是浅成含水层及地下水渗出点的表现。安大略湖区西部两幅镶嵌图,通过反映出地下水渗出点或有浅成含水层存在的冰雪分布、冰融模式及植被异常,为水文条件的解译工作提供了资料依据。

## 非洲的地下水勘查计划

地下水勘查是任何综合资源调查工作中重要的组成部份。从我们在坦桑尼亚、东非、贝宁、加纳、上沃尔特及西非的工作,清楚地看出,星载图象可以为地下水普查提供有效的区域指导。在踏勘工作阶段,所用的星载图象包括了有关植物、地质构造、岩性分布及地貌的大量信息。这种信息与已有的地质、地形及地下水资料配合起来,可以编出地下水勘查指南图,大大地提高寻找水源的效率。在踏勘阶段通过星载图象编出地下水勘查指南图,并在图象透明纸上圈出远景地下水“靶”区。这些靶区在第二工作阶段中由摄影地质工作(利用1:7万或更大比例尺的航片)进一步作调查。在第三阶段,利用物探和地质野外工作小组对第二阶段所圈出的靶区进行调查,以便投入钻探和选定最后的勘探地段。这种三个工作阶段的工作方法和最后

的野外调查，可大大地降低区域地下水勘查计划的成本。

具有渗透性岩类的地区或渗透性的非固结物区常常有利于地下水的分布。这些渗透性岩类常常就是含水层。在航空象片和计算机处理过的星载图象上可以解译出渗透性岩类及渗透性非固结物区、断裂-断层带。

#### 从航空象片及星载图象上识别含水岩类

布尔彻等人（1951）曾经介绍过地表水系模式在岩性判别中可作为一种重要要素的作用。这些水系模式可以作为判别岩类渗透性的定量标志。在一种地形区上发育起来的水系模式类型，在很大程度上决定于能渗入地下的降水量与变成地表径流流失的降水量的关系。这种渗入量与地表流失量的关系在很大程度上决定于地形区的可渗透性。

我们的经验表明，航片上能加以观察出来的、与不同岩性伴生的地表水系模式的主要类型，在星载图象上也能加以填绘出来。断裂性或节理性岩区产生一种控制着水系的模式（呈直线状或正交状的水系）。对水文地质调查来说，非渗透性的基岩区内存在有这些正交状的支流河道，可能就标志着含有地下水的断裂或断层地带。在多种情况下，星载图象所追索出来的一定岩类区的水系模式，与由较大比例尺航片所追索出来的同类岩区的水系模式是雷同的。比例尺及地表面积的不同，并不会改变特定水系模式与岩区的关系。对区域地质调查来说，水系模式是圈出不同岩区边界的有力手段。与航片一样，星载图象的地表水系模式的改变是岩性完全改变的反映。

星载图象圈出水系模式之后，就可以选取航片对具有不同水系模式地带内的部分地区进行研究。所以说，星载图象就是一套区域指南图，它可以减少地下水调查摄影地质工作阶段所需要的航片数量。

#### 断裂与地下水：以前的工作

一般地说，断裂或断层带上的水井产量都比周围非断裂基岩区高。水量的差异常常反映岩区断裂或风化程度的差别而不反映岩石矿物学或岩组结构的固有差别。贝拉尔（1976）曾经介绍了1:5万比例尺航片在上沃尔特的巴格尔苏德地区圈定断裂和断层的作用。伍德拉夫等人（1974）写道，在德拉瓦尔山前地区，在航空象片上的断裂或断裂交汇点上的14口水井的平均产量比历史平均产量高了10倍。据莱特曼与帕里扎克（1964）报导，在宾州的一次航空象片断裂填图调查中，位于断裂上或其附近，或位于两条断裂交汇处的水井产量也比位于断裂之间的地带高10—100倍。

#### 陆地卫星线性体与地下水

星载图象对水文调查的作用已得到证实。在亚拉巴马，德拉霍维扎尔等人（1973）检查了沿灰岩区星载图象的一条线性体分布的水井产量。在该线性体带（四公里宽）约有80口水井和泉眼。井产量高达1144米<sup>3</sup>/小时，平均近115米<sup>3</sup>/小时。位于该带两侧的水井，产量明显降低，平均只有36米<sup>3</sup>/小时。他们进一步表示，在有些地方，陆地卫星图象线性体伴生的河流的水流量比正常区大70倍。虽然陆地卫星图象正在被用于地下水调查，但这些应用的作用还有待评

价。应该把线性体看成为具有地下水较高远景地区的标志，选择井位必须由象片解译及一般地面调查来完成。

#### 用于线性体解译的数字增强图象

陆地卫星图象能加以识别的许多线性体，在航片上是难以识别或不可能识别的，另一方面，航片上能看到的线性特征却又在星载图象分辨能力之下。不过，星载图象和航片填绘出来的线性特征的走向方位却有明显的相关性。在识别大而明显的线性体时，不同比例尺星载图象的解译也已证明是有作用的。1:100万，甚至1:50万比例尺图象填绘出来的大型线性体，在放大到1:25万的同类图象上可能会被遗漏。相反，许多短的线性体在较小比例尺图象上也会被遗漏掉的。但在较小比例尺图象上，反映线性特征的极模糊的影象细节可以更容易识别。小比例尺图象所解译出来的线性特征常常比大比例尺图象所解译的宽。因此，为了确保线性体的完全解译，研究不同比例尺图象是很重要的。

我们一般采用彩色合成图象，但第7波段的黑白放大图象对填绘断裂与断层也有明显的作用。断裂线上的基岩一般是渗透性的，含有风化比较厉害的土壤层，土壤含水量较高，并伴有较密的植被。这些含水带或所伴生的植被带（尤其沿某一线性特征趋势分布），可能就表明是含水断裂带。陆地卫星反复的覆盖能力，使我们能选择旱季和雨季的图象，我们觉得，分析两个季节的图象是必要的。旱季图象上还出现的植被及明显的水体，实际上就是由隐伏含水层引起的。

### 陆地卫星图象在地下水勘查中的应用

#### 东非坦桑尼亚

1975年地球卫星公司编制出了“坦桑尼亚共和国和联合国国际开发署（AID）阿鲁沙地区地下水勘查指南图”。这份指南图上所表示出来的信息是由计算机处理的陆地卫星图象解译取得的。图版II是阿鲁沙地区马尼亚拉湖区北部的图象（7波段）。\* 地下水从孔隙性火山岩区渗出（A），被堵塞、储存在恩加鲁卡凹陷的低地内（B）。白色地区（B）是火山岩区周围的碱性沉积物。在（C）处，自高地流入的地表水系到了马尼亚拉湖（D）边缘低地便消失。汇集在（D）区的地下水渗入马尼亚拉湖，这一点是从该湖东测没有冲积三角洲推断出来的。所以，D处的地形是一种可能的含水层区，必须用较大比例尺航空象片解译方法加以研究。完成解译以后，我们得到了说明D区分布有灰岩的信息，这实际上是一种渗透性含水岩类。线性体（E）与（F）都是断裂带。必须调查这些线性体的地下水。G处的线性体反映出具有地下水开发的较大远景，因为它们都是在可渗透性岩区内交切的。交汇地带应该加以详细调查。在（H）处，基岩为变质岩，渗透性十分差。这从密集正交的树枝状水系模式及沿马尼亚拉湖西缘出现的冲积三角洲可以看出。在坦桑尼亚的加拿大地下水勘查队的成员已经发现，在辛吉达地区（濒临该图象所示的这一地区），凡与线性体有关的水井的产量都有明显提高。

\* 附图都被删去 编注

## 贝宁, 加纳, 上沃尔特: ROAP计划

1977年地球卫星公司与TAMS工程公司对上述三国境内的沃尔特盆地大部分地区开展一、二两个阶段的综合资源测量。该计划(区域河盲病区规划项目)是要解决盆地这些地区的殖民问题。地球卫星公司编制了整个项目区(356,000km<sup>2</sup>)第一工作阶段的区域地下水勘查指南图,解译了22个陆地卫星象幅。在第二工作阶段,我们对每一个国家的一个详细试验区利用1:2万、1:5万及1:7.5万比例尺的立体航片进行了摄影地质填图,每个试验区面积近200平方公里。通过这一工作,编制了这三个试验区1:5万比例尺的地下水勘查指南图。这种图象填图工作还由四个地质学家和水文地质学家进行两次野外路线测量工作作补充。在进行该计划工作过程中,利用了已有的地质图和报告、地形图、气象资料、水井资料、物探资料以及地表水系资料。地表水系网提供了有关基岩的渗入水量的信息以及远景区有关地下水渗出水量的信息。

### 方法

我们发展了利用岩石渗透性及平均年降水量数据对ROAP项目区地下水远景作区域分类的方法。这种方法还得到陆地卫星图象所填绘的、被视为是比一般地下水远景区还要好的远景区标志的线性体资料的补充。岩性是在陆地卫星图象的透明纸上圈出的。在工作过程还利用了现有的地质图,并通过图象解译作了修正。随后,根据其平均渗透性对这些岩区的地下水远景进行分类排队。通过对上述地质图的研究,像制作陆地卫星图象透明图那样编出区域地下水勘查指南图(比例尺1:20万及1:25万)。这些指南图上有岩类总的渗透性、有利的线性体及雨量资料。采用了四种渗透性类别来描述已填绘岩区的地下水远景:第4类—无含水层;第3类—无含水层—含水层差;第2类—含水层差—好;第1类—含水层好。项目区大多数岩区属于第2及3类。

在这次研究工作的地质填图阶段,由陆地卫星填绘出大量的线性特征(线性体),并转绘到地质图的透明纸上,对这些线性体的下列诸项内容进行检查:

- 1) 确定它们与水系和地形的关系;
- 2) 观察它们所在岩区的种类;
- 3) 确定任何可能反映有地下水汇集的异常植物组合。

地下水勘查指南图上只绘上有利于地下水汇集的线性特征。从1:100万陆地卫星图象上解译出大型的线性体,并转绘到反映地下水远景的透明图上。这些线性体及其走向延伸地段,都被视为代表了大的断裂带和可能对于地下水汇集特别有利的地带。我们的地质学家正在利用较大比例尺的黑白立体航片进一步研究这些陆地卫星图象编制出来的地下水勘查指南图上的有利地区。现在正在利用标准的摄影地质技术填绘渗透性岩区和地下水的地貌标志,并对断裂及断层进行填图。这些更详细的第二阶段的指南图将由水文地质学家进行野外检查。

### 结语

在我们编制南非区域地下水勘查计划的地下水勘查指南图时利用了计算机增强的陆地卫星图

象作为资料来源。在踏勘工作阶段利用陆地卫星图象的工作方法，大大地降低了工作项目的成本，提高了工作效率。图象圈出的地下水远景区都由第二工作阶段的摄影地质工作和第三阶段的物探和地面实况调查工作加以验证。星载与机载图象可成功地用来填绘渗透性含水岩层及反映断裂和断层的线性特征。

(杨廷槐摘自《Proc. 5 th. Pecorra Symp》1980)

## 第二十四届天体研究会议 IGCP讨论会文摘(一)

### 利用遥感技术对新斯科舍省卢宁堡— 昆斯郡布鲁菲尔德地区进行地质解译分析

研究区的范围接近 $16 \times 3.2$  km，位于新斯科舍省卢宁堡—昆斯郡布鲁菲尔德地区。根据该地区的地质情况，很有希望在此地找到有重要经济价值的矿产，诸如金、银、铜、锡、砷、钼和钨。该地区分布有两种大的岩群：寒武—奥陶系玛古马(Magumo)统互层状的板岩和石英岩以及泥盆纪的深成侵入花岗岩。玛古马统又进一步被分为两组：较老的戈尔登维尔组(由石英岩和板岩组成)；较新的哈利法克岩组(主要由灰绿和黑色的板岩组成)。该地区的花岗岩—交代沉积岩的接触具有重要的地质和经济意义；同时，花岗岩所伴生的矿化石英岩脉和云英岩化带也延伸进入到围岩玛古马统中。

研究经过密度分割和等灰度方式处理的多期热图象，以便确定其对该地区的地质研究及构造解译的意义。通过对所使用的黑白、自然色和机载红外彩色象片进行立体分析，以及综合现有地质资料和详细的野外填图来验证热数据的研究。

制作一张模式识别图以便检验各种不同波谱和结构类别的空间分布，这些类别均是由于不同的土地利用或高密度植被复盖类型造成的。地表特征被冰川成因的浮土沉积物所复盖，特别是该区广泛分布的大面积的鼓丘。尽管这些特征妨碍了解译，但还是可以对地形和地面复盖特征非常相似的试验区的基岩岩性单位作判别的。深成岩体显示出很高的热响应以及它与玛古马统所不同的独特的结构模式。花岗岩的波谱与结构变化，在相当于模拟或分割处理的热图象的比值图象上较一致。起码有一条玛古马群两个岩组间的接触带被圈定出来。各色线性和曲形线性特征可在机载象片上被划出。这些线性体在从前的研究工作中没被发现，而现在它们可帮助确定高度矿化及云英岩化的地带，以及帮助确定了其它一些有益的构造形变。目前，正在继续这项研究以检验遥感数据对该地区岩性鉴定、确定矿化带及详细构造分析的作用和局限性。



## 用航天方法研究苏联的矿产资源

在苏联，从航天飞行器上获取的信息已被有效地运用在区域地质调查、矿床的预测和研究方面。地质填图的新方法，如现在广泛用于复盖该国大部份地区的摄影地质和成矿预测填图，已在结合地质、地球物理和各种遥感（高空、雷达和红外）数据来识别航天图象的基础上得到精益求精。

在识别航天图象基础上的矿物资源勘查分三个步骤进行：第一阶段包括了小比例尺的摄影地质和成矿预测填图，以查明控矿的航天地质特征；第二阶段包括对所识别的航天客体进行中比例尺的地面检查，并对圈出的地区和可能的矿带进行详细的研究；在第三阶段，对异常区作分类及进行大比例尺的矿产定量预测和找矿。

近5年间，借助航天地质研究在西伯利亚地台及其褶皱形边缘地带、在西西伯利亚地台、波罗的海结晶地盾、哈萨克褶皱地带和中亚，查明了一些有利的矿产区和目标。

航天图象应用于矿产勘查方面的经济效益，在于它能够更好地选择大比例尺地质测量和寻找某一类型矿产的地区。因而减少了昂贵的地面勘查工作量，说到底，在于增加了发现矿床的可能性。

## 辛格布姆—乔塔纳格普尔—凯翁贾尔 地区利用陆地卫星图象研究区域 地质、构造和有关矿床

采用象片解释方法对复盖了辛格布姆—凯翁贾尔地区约66000平方公里的，作成了1:100万和1:25万比例尺（4个波段）的彩色合成、比值和线性扩大增强等的陆地卫星图象进行了研究。该地区构成东印度的前寒武地区，由两条明显不同的造山带所组成，这两条造山带的基本界线是辛格布姆统高级变质岩组成的200公里长的含铜弧形冲断层带。该冲断层带的南面，含铁矿克拉通主要由被大型辛格布姆岩基侵入的低品位含铁矿岩类和更早期的变质岩群中的岩类，如英云闪长岩等组成。

该次研究查明了一组持续的、间隔很近的、走向为 $N25^{\circ}$ 到 $N30^{\circ}$ 的线性特征（包括延续70公里长的大型线性体）及另一组走向为 $N118^{\circ}$ 和 $N135^{\circ}$ 的大型线性体。这些线性体在整个含铁矿克拉通地区内比比皆是，而在辛格布姆统岩区的北带和萨肯达冲断层南部的东加茨构造省内则看不到。

被识别的各种地质和构造单元有：

- a) 查克拉达查尔附近的包含迭加褶皱的含铁矿复向斜，伴随有铁、锰和铬铁矿矿床；

- b) 含有铁矿组残留物的辛格布姆花岗岩和较老的岩石;
- c) 锡姆普利帕尔和丹乔里盆地;
- d) 伴生有铜、金、铀、钨、锰和铅矿床的 200 公里长的弧形含铜冲断层带;
- e) 具有主褶皱系统和交叉褶皱系统的辛格布姆统和达尔马熔岩;
- f) 杂有变质岩和其它岩类残留物的库拉帕尔、查克拉达普尔和乔塔纳格普尔花岗片麻岩。

## 中部大陆基底的构造—— 地形、重力、地震和遥感数据

将美国大陆的约60万个布格重力估计值，经空间滤波处理，制成一种连续色调图象。将滤波后的数据以彩色信号的形式经数字处理标示在阴影地形图上，这样得到的图象就成了一张彩色阴影地形图，其上面的图象要素的色调和饱和度是由布格异常值来控制的。大型构造特征（即中部大陆的重力高）根据这些数据很容易识别出来，例如一些难以识别和从前没有识别出来的大型特征。一条约 120—150 公里宽的线性重力低由内布拉斯加东南部（中部大陆重力高中断处）开始延伸，通过奥扎克高原，并穿越密西西比海湾。该重力低同时也和构成了一条约 2800 公里长的线性特征的刘易斯、克拉克线性体（蒙大拿到华盛顿）形成一线分布。在密苏里东南，该重力低的强度为 30 毫微伽，若解释为由沉积岩填充的单条河谷，这个数值就太高了。更确切地说，该线性特征一定是一个基底构造。事实上，在密苏里，断层、褶皱轴、岩脉和基底地形的走向同这个重力低的方向都近于平行。同时，新马德里地震活动就集中在该重力低与另一条反映密西西比海湾内的里尔佛特裂谷的重力低相交的地方。这个地震资料表明，地震活动多沿着平行于这两组大型重力低的方向发生。

这个线性重力特征的成因还没弄清楚——可能是一条裂谷，一条转换断层，或是某些构造组合。

我们还查阅了肯塔基州西部拉夫克里克断层系统的陆地卫星数据和地形、海洋卫星、重力等数据。该断层系统聚集了一些页岩沉积区的气田。各种数据组合和增强图象内可看到一些以前没有描绘出来的线性特征。其中有些线性特征的间隔紧密，足以为勘探钻井提供理想的场所。

## 植被、化学、矿物发现的时间问题

植物的反射率、叶绿素发光和热发射特性大多是在有控制的实验室试验中被测得的。将用各种不同浓度的镉、铜、铅或锌处理后的植物同未经处理的植物相比较,以便辨别由于轻微的金属中毒引起的植物在光学性质方面的变化。在豌豆、苜蓿、玉米、燕麦、黑麦草以及未经处理的大豆或向日葵上都可观测到可见光波长范围内反射率的增大和叶绿素的减少。反射率的增强与“红端”波长区内的“蓝移”(叶绿素吸收端向长波方向发生的变化)有着密切的关系。这表明红端测量法用于鉴别轻微的金属中毒效应比辐射测量方法更有前景。在实验室试验中由于对豌豆类和大豆类植物进行金属处理引起 $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.65\mu\text{m}$ 和 $2.20\mu\text{m}$ 处红外反射的降低。在自然生长于铜-砷异常区的栎树上发现有 $1.65\mu\text{m}$ 和 $2.20\mu\text{m}$ 处有同样的效应,并且发现在这些波长区内的反射率与土壤中铜和砷的浓度有明显的负相关关系( $P>99\%$ )。在用镉处理的初步试验中,用双束光激发叶绿素发光,发现被控制处理的植物在其非常轻度的金属中毒(营养液中仅含50 ppm 镉)的情况下即能被清楚地鉴别出来。不过,用镉或铜处理过的植物只有当营养液中这两种金属的浓度超过100 ppm时才会见到植物冠部辐射温度升高约 $1^\circ$ 所引起的明显的中毒现象。这种植物冠部温度的升高与气孔闭塞有关,所以,植物轻微的水中毒也会引起同样的效应。这项实验工作提出了一些遥感植物金属中毒的可能方法。

## 陆地卫星和热容量绘图仪的增强图象 对亚热带潮湿和半干旱两种不同 地区的矿产勘查的作用

对处于不同的自然环境中,两个有利地质条件地区的矿产勘查中多波段和热图象的作用作评价。这两个地区,一个位于昆士兰西部和南澳大利亚北部的半干旱低矮树木和热带无树草原灌木丛地区,另一个位于中国云南西部潮湿的亚热带森林地带。

陆地卫星图象被用于识别对成矿有利的构造和岩性,以及圈定指示矿化基岩的含铁岩和铁帽。在澳大利亚,热容量绘图仪图象和已进行了反差扩大和彩色变换处理的陆地卫星图象配合使用,以识别昆士兰影响到地球化学数据解释的水系模式。彩色增强合成图象解译图是通过陆地卫星底片在微密度仪上数字转换后经计算机分类的产物和将计算机兼容磁带在一台IDP3000数字图象处理机上处理后产生的。对它们的检验是通过可利用图幅和航空照片的野外调查来进行的。对地植物异常区和含铁岩区的植物、土壤和砾块样的金属含量进行了分析。

在澳大利亚,调查工作是在位于作者过去研究的莱迪安尼-芒特艾萨-克朗克里地区南部

的库里达拉-塞尔温-布利亚地区及包括该地元古界岩类被后期沉积物复盖的平原区进行的。对由陆地卫星底片制作的1:50000比例尺的彩色合成图象初步的研究,识别出了一些基底构造和附近一些黑色及含铁岩色调特征的地区。其中一个黑色区经野外调查确定为一个含铅铁帽,其它是含铁岩,其中一些含不同量的铅、锌、铜、钼及其它一些可测得含量的贵金属。有些黑色与红土区有关,而其它一些则与具有特殊植被群落出露的蛇纹岩区有关,后来对选出的一些远景矿化区的计算机兼容磁带按 $1 \times 1$ 象元制成的彩色增强合成图象作解译,能识别出基岩出露地区的岩性,圈出了地面有复盖物地区的近地表露头,并勾画出了含铁岩或铁帽。

在云南,研究了喜马拉雅山褶皱带和云南高原的部分地区。印度和欧亚板块会合处的活动带在腾冲附近具有明显的火山和地热活动特点。开始研究时还没有什么图件,航空象片或地面实况。由底片和计算机兼容磁带制成的彩色增强合成图象经解译,识别出了似乎对一些地区水系模式起一定控制作用的大型基底构造,查明构造走向和褶皱特征,区别了不同岩性,火山岩和熔岩流,并把耕作了的谷地与森林复盖的山坡区别开来。由于距离远且难以到达,妨碍了对一些有前途的地区进行地面实况研究。而在腾冲附近,野外调查已查了不同光谱响应、植被和基岩地质之间以及地热活动、有色金属矿化同断层构造间的密切关系。已查明一个与有利岩性有关的大型远景矿化带,不过,还要看用地植物、地球化学和可能的地球物理方法评价的结果,然后在适当的地方开展槽探或打钻。在这个遥远地区,增强的陆地卫星图象有效地指出了找矿勘查靶区,并在获得航空测量图象之前就为野外研究和飞行项目提供了一张“位置”图。

在澳大利亚中部的阿蒂西安大盆地的热容量绘图仪图象上,大型基底构造在夜间红外复盖图象上成为热特征而极容易识别出来。这可能与地热源有关。云南西部没有热图象。

(孙晓明译自《Proc. workshop 24Th plenary Meet.

COSPAR, Symp IGCP 143》1982, 杨廷槐校)

### 项目摘报

## 研究俄罗斯地台东南部构造过程 石油勘查的星载摄影方法

进一步提高地质勘查的工作效率是苏共第25届会议对第十个五年计划的主要目标之一。星载摄影的进展及其在地质研究工作中的应用,已使我们能够借助于新的信息——卫星资料来研

究含油区。卫星资料在石油勘查中最有价值的作用是研究大厚度覆盖的含油区的深部构造。对包括俄罗斯地台东南部的这种地区来说，已可以编制出反映深部建造—构造的星载区域构造图了。通过综合机载—星载和传统的地质—物探方法，可以取得最佳的研究结果。

对俄罗斯地台东南部的地质—物探资料的分析，已清楚地把油气的垂直迁移活动与构造特征（主要是断层）建立起关系。这种关系已见于日古列夫斯克，博利舍基涅尔斯克及萨马京斯克断层带。在地台边缘及在黑海凹陷的内带和伏尔加—乌拉尔含油地带，也已见到类似的关系。

基底表面及沉积盖层较下部层位的深成断裂，对于盖层现代构造的形成和发展无疑起了重大的作用。在区域断裂带内，无论是大型和波状隆起，背斜构造链，还是局部构造所产生的褶曲，常常在沉积盖层构造面及在节理强烈的地段内发育，这些都是石油聚集的有利条件。并已证明，机载—星载资料在识别和追索这些断裂带方面是有价值的。个别地区各种比例尺的机载和星载资料的取得，使得人们能够精确地解译断层带及所伴生的背斜构造。

这种做法的一个最好例子就是1978年出版的“乌拉尔—黑海地区的星载构造图”。该图清楚地勾划出了黑海凹陷及其相邻地区沉积盖层构造与断层系统间的空间关系，以及极复杂的区域断层的格局。在凹陷内部的几个地区里，传统的地质—物探方法查明了盐丘，盐丘下基底的构造特征的分布与区域断层的平面关系。左右着盐丘的规模、形状及走向的几个因素是：区域的深成构造及局部构造的因素。后者都与孔谷阶含盐沉积的厚度及岩相性质有关。

不管盐丘的地质构造如何复杂，它们的空间分布都是线性的，尤其在黑海凹陷的边缘。在那里，盐丘脊部和盐丘群（链）常常标志着盐丘下基底甚至是真基底的断层带，就如地质—物探资料时常所证实的那样。卡林尼早些时候曾经写到断层系统和盐丘的石油容量受到它们的控制。有些研究者反复指出过里海凹陷的盐丘的空间位置、盐丘下基底（古生代）的区域断层及较深部的地壳层位之间有规律的相关关系。对资料认真地进行综合分析，使我们能够记录到里海凹陷最凹陷的中央部份的一些盐丘构造的线性分布。对盐丘形成及其发展的深部因素不能确定，显然会妨碍石油勘查工作。含油区时常是呈线性延伸地带分布的，这一点使我们能够更为精确地预测油气田的存在和分布。机载和星载资料在识别这些地带方面已证明十分有用处。这些关系在新构造活动断层带反映得特别清楚；这种新构造活动断层决定了塑性的水化学体的重新分布及这些盐丘构造所产生的局部构造的形成。局部构造通常控制了上部盐丘构造复合体内的油气聚集区和油捕构造的分布和范围。所以说，借助机载和星载方法对线性盐丘分布带和盐丘群或其它局部构造的解译，将有助于确定烃类垂直迁移活动更大地段的分布模式。在里海凹陷和相邻的伏尔加—乌拉尔地区各地带内的石油分布反映了这种线性的盐丘带的存在。例如，地质研究已查明，在霍勃金斯克地带西南和东南部的局部构造的重新活动引起了烃类强烈的垂直迁移活动。该地带西南和东南边缘无数的油显示就清楚地反映了它的新构造活动性。

（杨廷槐摘自《Int. Geol. Rev.》V. 23. №9. 1979.）

## 矿产勘查中的摄影地质 及星载图象的解译

C. R. 纳什 P. R. 博谢尔等(亨廷地质与物探公司)

编按: 本文作者在澳大利亚、太平洋地区、非洲和欧洲等地有多年的找矿经历。他们通过对遥感地质发展的历史回顾以及找矿例案的介绍, 强调了以下几点认识: 1. 必须在充分的资料调研基础上, 对具体技术方法的可行性作分析; 要根据勘查项目各阶段的工作目的, 选择适当季节(或时间)、比例尺的遥感资料, 确定有针对性和效益最好的处理方法; 2. 合理的遥感地质填图方法的设计及相应的野外工作量, 要由所开展的调查工作特征(如某矿种的某种成因类型)和工作阶段来决定; 3. 必须根据相应的成矿概念模型, 结合其它资料和野外工作, 对遥感资料反复解译, 以揭示、捕捉能反映成矿环境的地质条件为主要目的。

### 引 言

传统的摄影地质(学)是研究通过以航空摄影为媒介获取、解译及记录地质信息的技术。现代的航空测量胶片提供了综合取得电磁波谱可见至近红外波段(0.4—0.7  $\mu\text{m}$ )范围内的高空间分辨率、高信息量及高的波谱分辨率的办法。这些属性和航空摄影测量的成本较低和速度较快, 使摄影地质自第二次世界大战以来得到了广泛的应用, 尤其在区域地质填图、石油与矿产勘查、工程地质与水文领域方面。

本文的主要目的是从大量文献归纳评述摄影地质方法发展的一些重要演变阶段以及物探和遥感技术、摄影地质解译结果的综合应用的演变阶段。其次是要通过一些例案来论证综合摄影地质方法在现代矿产勘查策略中的具体应用, 这些例案多数与澳大利亚的环境有关。所叙述的这些方法学代表着作者们的技术思路的连续发展产物, 它们是经历了10年的检验及在各种自然地理和地质环境下完成了500万平方公里的摄影地质填图工作所发展起来的。

这样广泛地论述一个课题是需要舍弃一些东西的。例如, 在澳大利亚及其它地区的现代矿

产勘查工作实践的主要做法中，像热成像、机载侧视雷达、机载多波段扫描这样的遥感技术都是起补充作用的，所以，进一步讨论时都加以省略了。另外，虽然今天有成打的主要物探技术可使用，但我们只讨论把航磁、重力及放射性测量与摄影地质方法加以综合应用的那些例案。

## 历史的回顾

### 摄影地质方法的发展及其应用

第一次世界大战期间飞机与摄影机的成功结合及战后航空摄影的发展，标志了摄影地质方法发展的第一阶段。在以后的二十年间，一些立体象片解译方法的发展是受到诸如在新几内亚进行了面积100万平方公里的摄影地质填图这样一些项目的推动的。

世界绝大部分的著名油矿都赋存在背斜里。兰德曾经指出，236个著名油田所含的石油有80%产于这类构造。许多含石油的背斜构造特征，都是大而露不好，所以用常规的野外填图方法难以圈定。不过，在50年代应用摄影地质填图技术圈定诸如背斜和盐丘这类大型构造却收到了相当的效果，特别在像美国南部海湾沿岸地带这种地势反差很低的地区尤为如此。这些成功的效果导致摄影地质方法在地貌学的研究工作中得到广泛的应用。摄影地质构造等值线作图技术的发展与应用，在世界的石油勘查工作中一直是重要的角色。布伦达尔及马钱特曾经介绍了一些例子，说明摄影地质方法在澳大利亚地区的石油盆地研究工作中的作用，这些摄影地质方法在石油勘查方面的卓有成效的应用，亦在很大程度上使目前还在应用的摄影地质技术正规化起来。小比例尺航空摄影的作用及其后来在填绘诸如区域含油构造这样的大型构造特征方面的优越性，首先是由亨普希尔作介绍的。以后，由各次双子座、阿波罗及天空实验室飞行的空间摄影促使高空摄影大为发展，这些计划所取得的重要贡献，证实了轨道高度图象的潜在价值。

石油工业的扩大时期与世界范围内的区域地质填图及资源评价工作的高潮是相吻合的。在美国，R. G.雷讨论过摄影地质在美国地调所区域填图项目中的作用，而奥勒姆则曾经介绍过伦敦地质研究院的区域研究工作中摄影地质的应用。在澳大利亚，佩里曾经讨论了摄影地质在矿产源局的区域填图工作中的应用。

虽然在石油勘查和区域填图领域内摄影地质技术及其作用已为人们所充分公认，但它们在矿产勘查方面的作用则显得逊色。这主要是因为难以对摄影地质现象与金属或非金属矿化的地表显示进行对比，而且也由于人们迄今仍把矿床视为天生的反常产物，而不认为矿床是可以根据各种地质条件加以解译的地质记载的重要组成部份。有关描述摄影地质对矿产勘查的应用的文献，一般都是介绍直接识别矿化有关的“目标”，包括金伯利岩筒，或含金的断层—矿脉系统，矿化所伴生的地表效应（包括铁的表生富集带、热液蚀变及矿化区上部的地形与植物异常、沉积铀矿床所伴生氧化效应及层状铜矿化上部的植物异常）。诺曼提出过识别几类矿床的摄影地质标志，这些矿床包括金伯利岩、硫化物铁帽、矿脉与伟晶岩、层状砂矿床。

许多矿床都具有特有的断裂模式，这些模式可以用摄影地质技术加以识别。勘查含油构造的断裂轨线分析方法\*首先在加拿大冰碛地区使用奏效。布兰森特、贝尔彻与谢皮斯、阿尔佩介绍了另外的一些应用，此外，拉特曼、豪廷顿及诺曼也对这些断裂轨线分析技术作过很好的评述。

断裂轨线分析在矿产勘查中的应用是有范围的，它主要是研究把摄影地质的断裂轨线资料作为确定反映侵入体及所伴生热液蚀变区的局部应力模式的标志。诺曼等人介绍了在莱索托玄武岩高原区圈定金伯利岩侵入体侵位构造环境的一次断裂研究工作。

在过去10年里，我们这些摄影地质学家专家组已在比文献所介绍的“目标选择”方法的应用的更大范围内运用了摄影地质方法。我们的做法建筑在刻苦的象片解译技术基础上，同时又配合对区域地质、地貌及成矿规律概念的充分了解而确定出适于矿产勘查的地质区域。这些研究工作的比例尺可以很不同，从对面积超过10万平方公里的区域沉积盆地的评价，到对矿点勘查地段周围几个平方公里地区的复杂地质条件的解译。这些摄影地质项目有关的组织、工作活动及资料的编汇工作的方法，在威尔逊的论著里已作了讨论。

#### 陆地卫星的推动作用

1972年第一颗地球资源卫星的成功发射，引起利用遥感技术圈定矿产资源的热潮。在内华达州，利用陆地卫星多波段数据对果德菲尔德矿区褐铁矿蚀变区的圈定，起了颇大的推动作用。后来，有人相继报导了在巴基斯坦、伊朗、内华达州坎普里特地区及墨西哥的索诺拉省利用星载和机载多波段资料判定斑岩型矿化所伴生热液蚀变区的类似成功例子。在亚利桑纳州开展的研究项目，在锡尔维贝尔矿区、赫尔维特亚斑岩铜矿区及萨福尔法矿区内取得了令人鼓舞的成果。陆地卫星多波段资料也被应用于铀矿勘查。有人利用计算机增强处理技术成功地圈定了怀俄明州卷褶型铀矿床所伴生氧化作用的红色染色区，同时，亚利桑纳州钦尔岩组砂岩铀矿床的蚀变区也同样被揭示出来。

在矿产勘查中陆地卫星数据的另一用途是确定与多种成矿环境有关的大构造特征（可以在覆盖面积相当大的小比例尺图象上被很好观察出来）。这些大的构造特征可以表现为各别的线性体、曲面或环形构造，或者是线性构造带、线性特征带。经常被人引述的罗万的一项研究工作表明，内华达州金属矿区的分布与陆地卫星图象主要的线性体明显吻合。奥德里斯科尔进行的一些类似研究工作，也揭示了在美国西南部及澳大利亚存在一些构造带，这些构造带看来对矿床的分布位置起了明显的控制作用。维尔乔因等人评述过陆地卫星成象在调查南非具有成矿意义的主要构造带方面的作用。在阿拉斯加，类似的关系，也曾被人观察出来。

根据对非洲锡矿化与一定的深成线性构造要素伴生的观察，丘克尔·艾克及诺曼论证了陆地卫星成象对圈定尼日利亚可能的矿化线性体的用途。墨西哥与内华达州的贵金属矿床的分布也明显受大型线性体的控制。海尔所讨论的田纳西州的碳酸盐岩中铅—锌—萤石矿化的构造控制，已被研究工作证实；研究工作发现了一条重要的陆地卫星图象线性体，矿沿着该线性体集中

\* Fracture trace analysis. 或译为断裂迹线分析



分布。在其它密西西比型矿床的一些勘查项目中，陆地卫星图象成功地得到应用。大型构造线性体对火山成因块状硫化物矿床及斑岩铜钼矿床的分布位置起非常重要的控制作用，这类矿床与达到上部地壳环境需要大的构造断层活动的火成岩系统有明显的伴生关系。也有人直接对陆地卫星图象上所观察到的大型环形构造的成矿意义进行研究。这些研究工作强调了矿产勘查工作中的一个基本因素，即构造对产生矿床的特定的火成和沉积环境的控制。

小比例尺的陆地卫星图象对石油勘查工作的影响是相当大的，这已得到文献的一系列例案的说明。萨宾曾经评论过陆地卫星图象作为一种构造填图手段在肯尼亚、埃及及科罗拉多一些勘查租地上的应用，同时，文森特及库兰德也介绍过在密执安州成功圈定一处油捕构造的细节。哈尔博特对15个著名油田的陆地卫星图象的研究表明，这些油田多数显示出能被识别的构造特征，如果当时这些构造特征被圈定出来，对早期的勘查工作将会起很大的作用。其它利用陆地卫星图象的石油勘查项目例案，埃弗里特等人已作了介绍。

因为星载系统取得的图象类似于大面积地区的小比例尺机载象片，所以，对陆地卫星图象的研究也在寻找与现代地貌特征有关系的矿床方面取得成功。在假色合成图象上红土化地区显得特别清楚，这一特点可以在勘查含镍红土及铝土矿上加以运用。在陆地卫星图象上，干旱环境的古河道常常可以识别出来，对它们进行填绘，有助于找沉积铀矿床。

### 区域物探测量

在70年代初期的能源危机以后，许多国家力求矿产商品能自给自足，从而投入大量的区域物探测量工作，特别是重力、航磁及放射性测量。这种努力在生产着西方大部份矿产的少数几个西方国家（加拿大，美国、澳大利亚及南非）和通常以多边及双边援助计划来开展资源测量的发展中国家里，有同样的表现。这些工作得到的结果是，现在进行勘查工作的许多广大区域都有了区域重力、航磁及光谱数据，同时还在以每年几百万测线公里的速率取得新的机载测量数据。

过去二十年里，物探测量的应用及其所依据的理论出现明显的根本变化。早年的航磁和放射性测量主要设计用于圈定可能具有经济意义的一些目标，如富含铁矿物的矿床或是放射性的原料物质，但是，近些年来，这类测量数据在区域地质填图方面的价值越来越得到重视了。技术上的提高，其结果也是物探资料质量的提高，进一步促进了这一进程。所以，常常可以有区域重力、航磁及放射性数据与摄影地质和遥感资料综合起来。综合解译航空物探资料与陆地卫星图象的例案，里查德与威尔赖文已作介绍了。

## 摄影地质方法——优越性与局限性

实际上，我们最好把摄影地质看成是航空摄影结果的综合地质分析，其目的是编出反映岩性地层、构造及地貌信息的图件。摄影地质图可以是主题图，只反映部份地质特征（如断裂、环形构造与植被异常），也可以是用于预测部份地区的地表岩性地层、构造和地貌特征，在这种