

航天遥感信息

在地质中的应用

石油工业出版社

A·B·裴伟 等编

北京)

航天遥感信息在地质中的应用

5418/26

A. B. 裴伟 等编

赵振远 徐树宝 刘洪学 段 鹏 等译

叶和飞 等校

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统地总结了前苏联科学院等有关部门的遥感地质人员,20多年来应用航天遥感信息,配合以地质—地球物理资料,进行地质研究所取得的成果,是一本综合性航天遥感地质研究方面的专著。书中不仅阐述了遥感技术的理论基础和一般解译方法,还以某些地区为例,比较详细地介绍了地质解译的方法、经验和研究成果,这是本书的一个显著特点。本书可供我国遥感地质专业人员、油气勘探专业人员以及有关大专院校师生和研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

航天遥感信息在地质中的应用/(苏)裴伟等编;赵振远等译.
北京:石油工业出版社,1997.5
ISBN 7-5021-2046-7

I. 航…
II. ①裴… ②赵…
III. 航天遥感—遥感图象—应用—地质勘探
IV. P627

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 09500 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
地矿部河北地勘局测绘院印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 24.625 印张 630 千字 印 1—1000
1997 年 5 月北京第 1 版 1997 年 5 月河北第 1 次印刷
ISBN 7-5021-2046-7/TE·1722
定价:40.00 元

译 者 的 话

最近 20 多年来,一方面,由于空间科学、信息科学、计算机科学、物理学等科学技术的进步与发展,为遥感技术奠定了必要的技术基础,另一方面,由于人类生产活动不断地向深度和广度进军,遥感技术得到较为广泛的应用,因而使遥感技术获得了飞跃的发展,已经成为发达国家和一些发展中国家十分重视的一项科学技术。

首先,随着工农业生产的高速发展,人类对自然资源,特别是对油气资源的需求量与日俱增。地球上自然资源的有限性与生产发展对自然资源不断增长的需求之间的矛盾,已经促使人们考虑如何更有效地开发和利用这些资源,因而,调查与管理自然资源则成为迫切需要解决的问题。其次,人类的生活环境正在不断地遭受到人为的和自然的污染。比如,工业排污对水体和大气的污染,造成人为的环境污染,而诸如洪水、泥石流、滑坡、森林火灾、火山爆发等自然灾害,则形成灾害性环境,它们都对生命财产造成极大的威胁。在这种情况下,只有实时监测人为环境污染和自然灾害性环境的发生,才能更有效地采取防护和治理措施,以减少对人类的危害程度。

欲解决上述两个方面的问题,完全依赖直接的现场观察已感不足,于是,由于航空遥感和航天遥感的相继问世,便能获得大范围的地面遥感图像和实时动态信息,所以,这两种遥感方式则成为自然资源的调查与管理,环境的监测与灾害预报的一种新的探测手段。

正因如此,从 1962 年开始,前苏联获得地球表面的第一批遥感图像后不久,即被应用于地质科学研究中了。本书就是前苏联科学院等有关部门的一些遥感地质研究人员应用航天遥感信息,配合以地质—地球物理资料进行地质研究所获综合性成果的专门论著。该专著中不仅阐述了遥感技术的理论基础和一般解译方法等问题,而且还以某些地区为例,比较详细地介绍了地质解译的成果,这是该专著中最显著的一个特点。我们认为,该专著是很有实用价值的,符合我国当前遥感地质工作发展的水平,它在很多方面都有可供我国遥感地质人员学习和借鉴之处,毫无疑问,它的出版将会有助于我国遥感地质工作的进一步发展,从而把我国地质解译水平推向一个新的阶段。这就是我们极力推荐翻译、出版该专著的目的。我们真诚地期望这本书会被我国广大遥感地质人员所喜爱和珍重,并且成为他们实际工作中的良师益友。

本书共分为四个部分:第一部分由刘洪学同志翻译;第二部分由刘洪学、赵振远同志翻译;第三部分由赵振远、段鹏同志翻译;第四部分由徐树宝同志翻译。全书由赵振远、叶和飞同志统校。

最后,由于我们水平有限,在翻译的过程中,难免有些不妥之处,敬请广大读者予以批评、指正。

译 者

1995 年 12 月 28 日

目 录

第一部分 航天遥感信息地质应用方法的一般问题

第一章	航天像片地质解译的方法及其理论基础	(1)
第二章	数学方法在地质遥感中的应用	(8)
一、	以三行感知器为基础识别间接图像的贝叶斯决策	(9)
二、	地质构造单元和遥感图像的分级系统、它们之间的关系和应用遥感方法进行预测	(11)
第三章	航空航天遥感图像的仪器解译方法	(14)
第四章	航天遥感信息与地质—地球物理信息的相关性	(24)
一、	伏尔加河流域下游	(27)
二、	中亚细亚	(31)
第五章	应用航天测量资料进行构造地质研究及地质填图	(37)
一、	航天构造图及航天摄影地质图的编制原则	(37)
二、	传统地质图件的修编问题	(41)
三、	应用多波段航天像片进行构造地质研究	(43)
四、	深成岩体的调查和填图及其岩石化学判断	(48)
五、	航天像片构造地质解译的成矿意义	(53)
六、	山岳褶皱区的构造地质研究	(56)
第六章	几种特殊形式遥感测量的方法基础、特点及应用前景	(64)
一、	热测量	(64)
二、	各种矿床上热量传递的物理—数学模型和普查地热信号的形成过程	(65)
三、	自然条件的概括说明	(69)
四、	遥感地热普查中的工作形式和程序	(72)
五、	引起普查地热信号畸变的主要自然因素	(74)
六、	石油天然气普查中地面遥感热测量结果的解译基础	(76)
七、	雷达测量	(78)
八、	岩石波谱测量	(85)
九、	激光雷达光谱测量	(89)
第七章	遥感方法在地质调查中的综合应用	(93)

第二部分 应用航空航天遥感信息研究现代的和最新的地质作用

第八章	现代的和最新的内生作用	(95)
一、	年青的地质构造和地震的预测	(95)
二、	研究年青构造变动的遥感方法	(95)
三、	研究年青构造的某些科研成果	(99)
四、	航空航天技术在根据地质标志长期预报强烈地震中的作用	(99)
五、	航空航天遥感手段在强烈地震经常性预报中的应用前景	(102)

六、地震震源机制与航天像片上地震区显示之间的关系·····	(103)
七、现代的火山现象及构造·····	(107)
八、火山喷发的研究·····	(108)
九、现代火山构造的研究·····	(111)
第九章 现代的和最新的外生作用·····	(118)
一、平原区最新构造指示的外生作用·····	(118)
二、以图兰低地为例对地下水文网的研究·····	(122)
三、滑坡作用的研究与预测·····	(125)
第十章 近海区域新构造运动及地貌构造的分析·····	(129)
一、鄂霍次克海和日本海大陆沿岸的地貌构造及其新生代形成史·····	(129)
二、堪察加半岛年青火山区的地貌构造·····	(137)
第十一章 大陆架的最新地质作用与现代地质作用·····	(141)
一、海底地物图像的解译·····	(141)
二、海水近表层和海面目标的解译·····	(144)
第十二章 航天遥感信息、最新的构造运动和地形·····	(146)

第三部分 应用航天遥感信息研究线性体和环形体

第十三章 东欧地台的线性体和环形体·····	(155)
一、波罗的海地盾·····	(155)
二、俄罗斯板块·····	(162)
三、东欧地台的西部·····	(168)
四、东欧地台南部和斯基夫板块·····	(172)
第十四章 克里米亚—高加索地区的线性体和环形构造·····	(179)
一、横穿造山运动带的或横穿区域性的线性体和线性体带·····	(179)
二、局部的线性体·····	(184)
三、环形构造·····	(188)
第十五章 乌拉尔的线性体和环形构造·····	(191)
一、线性断裂·····	(193)
二、横向构造要素·····	(194)
三、环形构造·····	(198)
第十六章 图兰板块的线性体·····	(203)
第十七章 帕米尔—天山地区的线性体和环形构造·····	(210)
一、线性体·····	(210)
二、环形构造·····	(213)
第十八章 西伯利亚地台和西西伯利亚板块的线性构造和环形构造·····	(218)
一、西伯利亚地台·····	(218)
二、西西伯利亚板块·····	(225)
第十九章 萨彦—图瓦地区的线性体·····	(228)
第二十章 蒙古人民共和国领土上的线性体和环形体·····	(235)
第二十一章 东南西伯利亚和远东地区的线性体和环形体·····	(240)

一、线性体·····	(242)
二、环形构造·····	(250)
第二十二章 维尔霍扬—科雷马褶皱区的线性构造和环形构造·····	(257)
第二十三章 根据地质地貌、重力测量和高度综合水平面的航天测量资料确定的 行星线性体及其等级·····	(262)
第二十四章 横穿欧亚大陆的线性体系统·····	(273)
第二十五章 大陆壳的特大型环形构造·····	(285)
第二十六章 线性体及环形体的解译与解释的基本原则、观点和问题 ·····	(291)
一、线性体和环形体的确定与分类·····	(291)
二、构造的综合水平和线性体形态的完整性及其等级的并列从属性·····	(294)
三、线性体和断裂的关系·····	(299)
四、线性体和环形体的时代·····	(300)
五、环形体和线性体的相互关系·····	(301)
六、线性体和环形体的定量特性·····	(301)
七、做为岩石圈深部岩层构造标志的线性体和环形体·····	(303)
八、关于解译线性体和环形体的可靠性与客观性的评价·····	(305)

第四部分 油气地质中航天资料的应用

第二十七章 综合性油气普查工作中遥感研究·····	(307)
第二十八章 古老地台含油气省·····	(309)
一、伏尔加—乌拉尔含油气省·····	(309)
二、北里海含油气省南部·····	(315)
三、东欧地台西部·····	(319)
四、第聂伯—普里皮雅茨含油气省·····	(320)
五、油田地面遥感地温研究·····	(328)
六、在航天像片上东欧地台含油省基底构造的反映·····	(331)
七、乌克兰地盾·····	(335)
八、东西伯利亚含油气省·····	(339)
第二十九章 年青板块含油气省·····	(344)
一、图兰含油气省·····	(344)
二、费尔干含油气区·····	(350)
三、前高加索含油气省·····	(354)
四、西西伯利亚含油气省·····	(358)
第三十章 阿尔卑斯盆地含油气省·····	(373)
一、外高加索含油气省·····	(373)
二、西土库曼含油气省·····	(377)
第三十一章 采用遥感方法研究含油气区的有效性·····	(384)
结论·····	(388)

第一部分 航天遥感信息地质应用

方法的一般问题

第一章 航天像片地质解译的方法 及其理论基础

尽管航天遥感图像在地质学中的应用已经积累了大量的经验,但是,对于航天像片中所包含的地质信息的特点和性质,以及它们与用传统的地面方法和航空方法所获得的信息之间的关系等问题还远未搞清楚。因此,进一步研究和完善航天探测及其资料在解决地质学问题中的应用方法,在很大程度上取决于对航天遥感图像形成的基础理论的知识水平,同时,还取决于对图像中包含的地质信息实质的识别能力。

在从宇宙研究地球的过程中,主要借助于目视方法或者应用摄影、扫描和其它图像。地质学家、地理学家、水文学家、农业专家和自然地理部门的专家们都是从地面获得的同一图像上获得所需信息的。专家们的任务则是从地球表面的复杂综合图像中提取其所需要的信息。

因此,在进行航天像片地质解译时,从一开始就必须具有一个完整而确定的概念,即什么是由地质作用形成的地球表面。就最一般形式而言,必须把地球表面视为不同时代和不同深度相继构造的叠置,这是有规律地经受外力综合作用的结果。在这种定义之下,地球表面首先亦可作为历史范畴,其次作为岩石圈(内生作用)与水圈、大气圈和生物圈(外生作用)相互作用的结果。

从历史观点来看,首先必须将地球表面构造分为古老构造和新构造两个单元。在地球表面轮廓的形成中,它们的比重各不相同。因此,不同时代构造单元的航天遥感图像所含有的信息量自然亦不尽相同。

众所周知,首先反映在航天遥感图像上的大陆现代地貌的基本形状,主要决定于在一般情况下始于渐新世到早中新世那些运动的新构造。这些构造形态的特有规模,在绝大多数情况下,它们本身都与航天像片的视域对应得很好。正因为如此,航天像片能够提供更多的新构造运动信息。实际上新构造到处可见,它在航天像片上作为直接标志显现出来,尤其涉及到广泛发育的大型基底褶皱及与其相联系的断裂(据Э.阿尔甘,1935;C. C. 舒尔茨,1948)。

同一时代的阿尔卑斯褶皱广泛地分布在阿尔卑斯造山褶皱范围内,并且属于盖层的褶皱范畴,相对而言,褶皱不很大,而且形成不了较大型具有独立形态的地形。所以,通常它们能在大比例尺的航天像片上解译出来,而在航空像片上其解译效果则更好些。

经过后期较年青构造运动改造过的不同规模的古老构造,常以新的构造出现,并且通过这种构造反映出它的某些要素。随着后期改造程度的不同,以及某种新构造区的属性不同,它们在地表地形形成中的作用也是不同的。在年青的造山地带范围内,例如天山地区一些古老褶皱岩系的构造,在遥感测量资料上识别它们较次于年青的阿尔卑斯褶皱带。这种构造仅仅决定最新构造形态的某些特点,而在地形上通常表现为中型和微型地貌形态。微地貌只能形成

某些新构造地块的内部影像特征。这些影像要素的本身或者古老构造的形态,在小比例尺航天像片上(例如“流星”号卫星)是解译不出来的,只能够在较大比例尺的图像上,例如,利用“礼炮”号轨道站和“联盟”号宇宙飞船以及“陆地卫星”自动卫星获得的图像上,才能识别出来(当然远非处处如此),而且远不是所有都能识别出来。

在地台型古老地块(例如地盾)的图像上古老的褶皱岩系均有清晰的显示。由于褶皱岩系的形态,在这里很少被晚期构造作用所改造,所以也未被造山地形的深部褶皱形态所湮没。在这种条件下,选择性侵蚀的和已被整修过的古老构造形态以及岩层,在地形的形成中都占有主导地位,因此很容易解译出来。大的古老褶皱基底或者变质基底的巨大的各种岩系,甚至在从“流星”系列卫星获得的较小比例尺的图像上也能显示出来。

探讨问题的第二种观点是内生与外生因素的相互作用,已有大量文献专门论述过这种观点。尽管这种相互作用的许多方面和结果,至少在一般情况下基本上都已经清楚了。然而,在遥感测量资料的分析和解译中,它们都有着重要的意义,应该予以特别的重视。因此,我们着重指出某些众所周知的情況。

在分析内生分量时,首先必须注意到,内生分量是由不同时代,即古老的和年青的形变组成的。正如许多公开发表的文献所引述的那样,诸多不同地区的地质—地球物理剖面所揭示的大陆地壳断面图(图1),均表明所观察到的情况,岩石圈深部层位界面的构造(地形),在近地表的新构造分量中都有很好的显示。

由此便决定了利用航天遥感图像研究深部构造的可能性。就其实质而言,问题在于分析新构造的深部分量时,正如上面已经叙述的那样,在航天像片上均有很好的显示。

同时还必须考虑到,这些新构造的形态可能是继承了古老构造,也可能在某种程度上与古老构造呈不整合,形成新的或者叠加的构造。

在所有情况下,年青的构造作用使地球表面发生变形,即是说,破坏了以前形成的平衡状态,促使重力及其它力以及外部作用达到均衡,最终导致表面的平衡,随着与地面倾斜变形的大小和气候条件的不同,形成了一定的外生作用(剥蚀作用和堆积作用)的岩系,这些岩系便预先决定了地形的发育和构造及土壤—植被分布的特点,它们在航天像片上的显示特征,可以作为各种不同的最新构造形态及发育特点的解译标志。

很明显,在年青构造的背景上,应该观察到全部的古老构造,并且决定其构造细节和内部结构,地表或者沉积岩覆盖下的老地层的分布决定了地壳的较新变形的发育情况(在第一种情况下,伴随着上升运动,而在第二种情况,则伴随下降运动),并且可作为它们的指示标志(图1)。

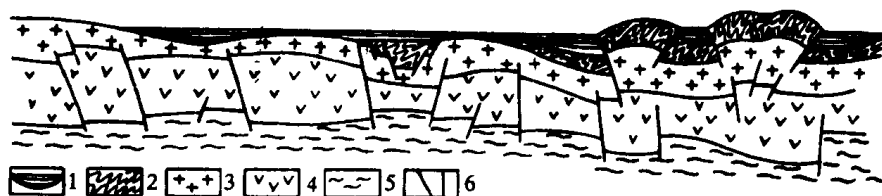


图1 大陆地壳断面略图

1—地台盖层的非断层岩系或者弱断层岩系;2—褶皱区岩石的断层岩系和年青地台基底;
3—花岗—变质岩;4—玄武岩层;5—上地幔;6—断裂

古老构造决定着各种岩层的空间分布,各种岩层出露地表后,并在此遭受选择性剥蚀作用,从而形成了地表起伏的特征、土壤—植被结构及地表轮廓的某些其它细节。

隐伏的古老构造,在地表同样会有间接的显示,因为它们对从下部上升的热流、气体及流体都会发生作用,所以,它们能够改变和形成地表地球化学结构特点及发育相应的土壤—植被。

在第一种和第二种情况下,古老构造单元在地表反映的轮廓清晰程度、形态和范围,以及它们在航天遥感图像上的特征都有实质性的差别。所以,在解译时要求不同的数据(其中包括成像高度)及不同的解译方法。

从总体上可以得出这样的结论,在绝大多数情况下,地层通过地貌或者景观指示,在航天像片上有所反映。同时,同一种地物或者是同样岩性的地质体,由于处于不同的构造—地形地势和不同气候条件下,它们在航天像片上的显示可能有很大的差异。地层表现的外部形态的多样性和空间分布上的多变性是必然的,这乃是自然规律。V.戴维斯当时就阐述过这一问题的实质,他强调指出,所有各式各样的地貌,并非偶然现象,而是一种自然规律,它决定于下述三种因素,即地质构造、形成的过程和时间,其中地质构造是重要因素。

在航天遥感图像上,解译地质体的方法和识别方式是各式各样的,取决于多种情况及条件,现将这些条件做如下划分。

(1)研究对象和目的:

①研究对象:线性体,环形体,断裂,褶皱岩系,岩石—构造岩系,火山岩和侵入岩,风化壳,热液蚀变带等等。

②研究目的与任务:划分和评价地震危险带和地应力异常带,不同类型的高矿化作用带,深部隐伏(深埋藏的)断裂,含油气构造,不同埋藏深度岩层的不调谐发育区,热流上升带等等;编制和修改地质图、构造图、地貌图、地球物理图及其它图件。

③被研究现象和作用的动力活动性。

(2)被研究的地物、现象或者过程所处位置的一般自然条件:

①构造—地貌位置:大陆地台平原(地盾、地块),褶皱山区(拗陷、隆起),浅海区,浅洋区及内陆水体浅水区。

②景观—气候条件:气候带(温度和湿度)特点(类型)及土壤—植被状况。

(3)研究程度:

①研究程度高的地区(研究工作可以取得已知地质体及其相互关系的补充信息)。

②研究程度低的地区(研究工作能够取得初步结果及初步概念)。

(4)物质—技术条件:

①航天遥感图像的种类及质量:比例尺,区域覆盖(视野)范围,波谱测量范围,测量时间及重复周期以及数据采集方式(摄影、视像及扫描方式)等等。

②技术可行性及原始图像的变换方法。

上述前三组条件首先决定了对技术和资料的要求。如果这些条件不能得到满足,那么研究任务就不可能部分地或全部地完成。下面将以线性体为例,阐述有关解译方法的一些极其重要的观点。

研究线性体的主要任务乃是查明其性质。为了解决线性体的属性问题,必须对遥感资料和用传统的地质、地球物理、地球化学和景观—地貌方法所得到的数据进行全面综合分析。

研究线性体的一部分任务是研究它们与地壳断层变形的关系,它们的运动学特性,与地壳

应力带的可能联系,线性体的时代,它们的埋藏深度,线性体与磁场、重力场及热场的相互关系,以及与高渗透率带及地球化学异常带的相互关系等等。

在重要的理论和实践问题之中,必须重视线性体的地球动力学分析(线性体与行星性裂隙;线性体,移动论和固定论),线性体在矿产构造预测以及在地震活动带研究中的应用等等。

为划分和评价地震危险带和应力异常带,必须进行广泛的综合测量和研究工作,其中应该特别重视线性体的划分。在解译时,分析它们在各种比例尺图像上显示的亮度、形态及其它特征。前人有许多实例说明,不同埋藏深度的线性体,在不同比例尺和不同区域覆盖范围的航天遥感图像上,反映的强度和形状有着实质性的差异。因此,把不同比例尺的图像进行对比,至少可以得到有关岩石圈深部地层活动线性体的辅助信息。这些信息与近地表构造的情况常常是不相符合的,所以通过它们进行研究往往不是很有效果的(马卡罗夫等人,1974)。

问题在于岩石圈深部层位的断裂变形向上部传播,随着上部层位的构造和岩石非均匀性而受到改造,而且当它们达到地表时,则呈现出各式各样次生形状的多少有些变宽的晕及其它特征,其成因关系不总是很明显的,没有一定的构造总体性,也就是说,缺少足够的满足遥感测量的条件。在其它同等条件下,变形埋藏越深,它在地表显示的分散性就越强,那么,为了查清这种变形,则要求更好的成像高度。在沉积岩广泛发育的平原地区,利用航天遥感图像研究深部活动带和隐伏断裂是特别有效的。

查明和进一步分析地表的地热异常和地球化学异常,对于识别含油气构造和某些含矿构造,其中包括隐伏矿,对于弄清深部隐伏构造都是很重要的。为此目的,应用遥感方法从原则上讲是有可能的。因为地表某一地区的地球化学谱(这种谱在某种程度上反映在土壤—植被的特点中和像片上电磁射线的特性中),其中含有非常不均一的信息,包括上升的流体物质携带的信息,这些信息不仅表征了其母岩的介质,而且也说明了它们在上升到地表途径中所穿透地壳各地层时的信息。由此,问题可以归结为,借助于地表多谱段测量和窄谱段内的细分测量,可以对地球化学观测场不同成因的分量(其中也包括不同埋藏深度的分量)进行区分。

因此,遥感(航天)地球化学探测,可以直接地和有目的地普查各种地球化学异常带。在这方面,多谱段探测和测量的重要作用是很明显的;而且还可以用来对地表电磁波辐射进行光谱分析。而激光雷达光谱测量方法^①(见第六章)更有独到的作用和广阔的发展前景。

鉴于上面指出的地表地球化学结构特点和在地球化学结构中有可能反映隐伏的地球化学物质非均匀性,因此必须指出,看来,所有的在航天图像上解译出的构造单元,用新构造变形远远不是都能解释的。

在所有的情况下,解决科学和实际问题都是以弄清某种现象(或者岩层)的典型特征和特点为基础的。选择必要的探测和测量种类,应该从具有普遍意义的理论和科学技术方法的前提以及试验探索的方法出发。

(1) 物理—地理条件。

被研究的地物或者被研究的区域所处位置的物理和地理条件,在线性体形状的形成当中及它们在航天像片上显示特征以及对其所做的解译,都有非常重要的和决定性意义。在一般情况下,这些条件决定于地形和气候因素。

当然,地表地形的主要要素,决定于地质构造,而且首先决定于它的新构造布局。在大陆地台平原区和高山—褶皱区内,线性体的显示特点和解译标志可能有实质性的差异。由于构

● Лидар——Lidar (Laser Radar) 激光雷达。——译者注

造运动幅度的剧烈程度和总强度以及地质作用的不同,而且由于地表这种或那种特性的水平梯度差异的缘故(地层的岩性—岩相成分,倾角等等),因此同一线性体(转换型)在地台图像和与其毗连的山区的图像上,可能具有不同的影像清晰度和不同的形状。在一个区域可能反映得很明显,而在另一区域很可能就找不到。然而,在另种比例尺和另种成像高度的图像上,该线性体在这里却又可能显示得很清楚。为了查清地台区范围内的线性体,在同类条件下,一般都要求具有较高成像高度的图像。

例如,在解释深部地质体的线性体和根据不同比例尺图像显示的特征来估计线性体的深度时,上述情况有着重要的意义。然而,很显然,这种估计必须考虑到线性体位于哪种地质构造单元。在估计线性体断续的原因及其走向形态的变化时,还必须顾及到这一点。

除了这些最一般的情况而外,在线性体显示的特点中,最实质性的差别,均与线性体在剥蚀或者堆积作用区内所处的位置有关。地台区的地盾和地块,造山地带内隆起和拗陷都可以作为这样的例子。

在以剥蚀作用为主的地区,线性体不仅反映在基底的岩性—岩相、构造等特点上,而且还显示在不同类型和形态的侵蚀—剥蚀地形上,分析这些地区的地形可以获得最有价值的信息。因为在这里线性体主要都反映在侵蚀网的轮廓、阶地的位置和其它一些地形的形态上。

在广泛发育着堆积平原的下降区内,线性体的形迹在地表显示得不很明显,通常,它们反映出一些同沉积的变形,这些变形同时伴随有岩相成分、岩层厚度、土壤植被的相应结构、地表湿度等的变化。有时,它们还在基底的某种埋藏深度不均匀性的地表上呈现地热—地球化学的反映。

如果在剥蚀区内,线性体是由相当明显的地形边界构成的,那么,在堆积平原区,它们的轮廓则常常是模糊不清的,没有明显的界线。欲查清这些线性体,就要使用具有较高分辨率的图像。此外,在这种情况下,土壤—植被的结构具有很大意义。由于多波段测量在一定的光谱区内容易记录出某些地物的信息,所以它在线性体的解译中,占有相当大的比重。查明水域范围内的线性体,需要用特殊的方法。在可见光谱段短波部分的遥感图像上,可以直接解译浅水区水底地形一些要素形成的构造。同样,在较深的水域部分,也可能根据间接标志解译出一些线性体和其它构造。而水介质的某些特点(如颜色、温度、含盐度、密度及浮游生物的饱和度等等)都是由水流的结构决定的,照样地也与水底地形形成的构造有关。欲查明水体的构造,应该利用光谱短波段部分的图像。显然,应用这些资料所确定的水底构造要素的位置,是非常近似的。

研究区的气候条件,对于线性体在航天遥感图像上显示的形态,同样亦有重要的作用,所以,在划分和解译地物及其参数时,首先应该考虑到这一点。其实,很重要的是有个清楚的概念与其说是研究区的气候特点,倒不如说是由这些特点决定的地质作用的成因类型,而且与相应的土壤—植被一起决定着地质构造的景观显示。

干旱地区的遥感图像,不论是炎热地区,还是寒冷地区,地质基底均处于“裸露”产出状态,在这里,地形及其岩性(岩石)特征,首先是颜色及构造—结构特点,都是基底构造很好的指示标志。已有的经验表明,对于这类地区,红外波段和可见光谱长波段图像,含有较丰富的信息。

在潮湿地区,地质基底一般都处于易变的土壤—植被覆盖之下。在这种所谓“隐伏”区,根据间接标志的总合对航天遥感图像进行地质解译。所以说,事先了解地质体和构造的标志是特别重要的和必要的。因为土壤—植被的指示属于非常细致的类别,远非都能直接的区分出来。所以必须采用仪器测定方法,地物辐射波谱亮度值的计算和分析方法,以及各种人工区分

方法。这类方法有光学的、电子的或者照相滤波方法,这些方法都属于原始图像的各种变换方法。该方法的工作量相当大,而且要求有相应的技术条件予以保证。

至于与地形特点有关的地貌标志,在潮湿地区同样是多种多样的。但是,由于外生作用的特殊性,在空间上较干旱地区是易变的。因此必须做这样的准备,同样的地物在航天遥感图像上将有不同的显示。这是非常重要的情况,因为,譬如在线性体地质属性的解释中,主要的问题是它们形态上的变化,决定于最初的(构造)因素,而不是纯粹的反映介质的外部特征。

下面的一组条件,涉及到同研究工作的方向、过程、方法和可行性等内容有关的解译地区研究程度的状况问题。有关这方面的观点,看来勿须做特殊的解释。但是,必须强调指出,在进行航天遥感图像地质解译时,本区的初步研究程度以及解译人员的知识和经验水平都有很重要的意义。与此相关的是所要解决的问题和任务的广度,对所看到的影像的地质实质的认识深度,也就是说,遥感手段应用的效果问题。

对研究程度较低地区的遥感解译,使用与解译研究程度较好地区的类比方法,一般只能得到构造格架的总的概念,得出某些初步的结论和组织相应形式的地面检查工作。在这种条件下,所能解决问题的范围,一般来说是极其有限的,而且假设程度也很高。

研究程度较高地区的研究工作,有着完全不同的特点。除了能够获得近地表构造细节的许多补充资料之外,研究工作的重要内容则是根据航天遥感图像,对已知的因素和概念进行区域分析,从而提供大区域内不同构造单元空间相互联系的客观的整体情况。当我们从成因上研究单个地质体(单元)的组合时,同样亦可以得到一些新的资料及其有关的组成部分,因为这些单元的性质取决于综合体的性质。除此而外,在航天遥感图像上,由于它们成像高度很高的缘故,所以有一些,甚至于大的地质体,看来都消失了,代替它们的则是表征该地质体组合的某种新的性质。

由此可见,航天遥感图像能够再次开发多种多样的已有的地质和地球物理资料,再一次地揭示已知地质体之间未知的因果关系,并且获得这些地质体性质的新的概念。同时,应用不同成像高度及不同区域覆盖范围的航天遥感图像,有可能在很大范围内,即从局部地区到全球范围进行分析研究。

最后,我们分析一下物质—技术条件,即航天遥感图像的类型及质量,仪器处理及变换技术的可行性。

(2) 图像的比例尺、分辨率及区域覆盖范围。

图像的比例尺、分辨率及区域覆盖范围,决定着被研究地物和现象的等级。如果拥有一系列不同成像高度的各种比例尺图像,那么,就有可能对岩石圈构造开展多种布局的研究工作。例如,关于线性体的现代概念,显然应该建立在从整体上直接着眼于大的构造单元,而不是仅从地面观测所能看到的那些细节。

航天遥感图像具有较大的视场和很大的成像高度,非常有利于编制各种综合纲要和图件,正如巴什洛娃等人(1973年)所指出的那样,不是用一般的综合方法和地质图的构造分析方法,而是直接通过解译航天像片可能编制大地构造图和构造图,这里并不涉及地质填图阶段本身。在电视航天像片解译中,构造图是原始图,而不是派生出来的资料。把用航天遥感图像解译出来的地质构造细节与大的地质单元拟合,最近一个时间成为有用的研究手段。同时必须指出,航天遥感图像的对比—模拟地质—构造解译方法,存在着一定的缺点和局限性,主要与同样的或者类似的地质体,尤其是古老地质体,外表反映的多样性和空间多变性有关。

上面指出了通过不同比例尺航天像片的对比分析,可能得出构造单元的埋藏深度,并且有

可能修正对岩石圈各种岩层的构造格局的认识。这一点,对于研究岩石圈深部构造的地球物理方法,无疑是一个很重要的补充。

(3)波谱范围。

正如已经明确的那样,图像的波段对于查明地质体和填图具有重要的意义,这些地质体由于这样或那样原因很难用地面调查方法识别和追索出来。这一点在覆盖区条件下尤为重要。因为在这里被研究的岩层产在密集的土壤—植被或者较新的岩石盖层之下。在这种情况下,研究工作的任务是寻找出使所研究的对象能最大限度显现出来的那种光谱波段,或不同波段的组合。

这方面的研究工作与地表的地球化学结构和特征,与地壳的渗透性及深部去气作用密切相关。如果从实用观点出发,其前景很大,例如,对于查明和追索具有一定地球化学元素组合的裸露的和隐伏的金属矿带,含油气构造和研究深部岩层构造来说,都有重要的意义。

(4)测量时间同样起重要的作用。

当地质基底被植被覆盖最少,抑或植被生长状况与土壤湿度明显显示出来和突出显示出地质基底构造特征的时候,对于每个地区来说都应当知道得很清楚,或者可以确定出一年内的季节。

同时还必须利用某些“反常”现象,譬如,在农作物密集发育地区,当雪被剥去农业用地的绿被使之暴露出地形要素的时候,许多线性体和断层都比较清楚地显示在地面像片上。雪被在春天融化的动力状态及其分布的特点,在许多情况下,都能很好地表现出地壳热流的非均一性。

选择最佳探测季节和昼夜时间的具体意见,可以通过不太复杂的专门研究方法来获得。

(5)测量的重复率。

测量重复率对于解决地质学中的许多问题并没有很大的意义。可是,为研究许多地质作用及对其做出预测,需要有一定的测量周期性,这种测量的周期性应该依照所研究的地质现象的特点来确定。为研究火山喷发,也可能还有地震危险带,必须从卫星轨道上对一些对应的危险区做经常性的巡察,然后再对观测和测量的结果进行分析。为了防止滑坡和泥石流,这种卫星“巡察”必须在最紧要的年份和季节进行。再如,为了评价河岸、海岸和湖岸的侵蚀作用和海蚀作用,土壤的侵蚀和盐碱化、沼泽化,沙漠分布及其它一些类似作用的发展速度和趋势,测量的周期可以长得多。

(6)获取图像的方法。

获取图像的方法对它们的再次变换和决策相应的技术方法的确定起着很大的作用。摄影图像完全能够满足目视的和仪器的分析方法,而对于自动处理(滤波)和图像解译(尤其是多波段图像)的计算机来说,最有前景的是获取图像的机械—电子扫描方法。

有关航天遥感图像在地质测量中应用的方法特点和各种观点,显然,远远不止所涉及的这些。但是,它们足以说明了遥感地质的复杂性、多种布局性及广阔的应用可能性。

第二章 数学方法在地质遥感中的应用

用遥感方法获得的图像,并非都是些真实地物的唯一反映,它们表示的仅仅是某些,而不是最主要的地物,只是它们的波谱摄影和几何特性。所以,必须探讨不同比例尺的遥感数据的若干特性,给出一系列定义,指出用数学方法所能解决的问题的范畴,以及用遥感手段研究地质体的最佳战略。

航空航天像片的特点在于,不同性质的地质体在像片上的反映可能是相同的,或者相反,目标标志相同的一些地质体,在不同的景观和地质条件之下,可能呈现不同的图像。

由于存在这种情况,促使我们必须采用“地质体”和“地质体遥感图像”(以下简称“图像”)的概念。

正如经验表明了的,遥感资料具有这样一种特殊的性质,即它们的分辨率的差异决定着解译出的构造单元的级次。首先让我们研究一下这种现象的物理原因。然后,再来研究航空航天信息的分析方法。

(1) 航空航天像片的分辨力犹如地球不同级次构造单元的滤波器。

用遥感方法测得地物的图像,是在地质体相对其周围地区存在分光光度差异的情况下测得的。这种差异是由于地表地形特点及其反射率和颜色的变化引起的。因此,我们将区分亮度、色调及阴影的反差。由于像片的分辨率不同,形成了反映不同级次构造单元的图像。

确实,假设在高度 H 上安放一台摄像机,如果一些点间距离为 $l \leq L = \lambda H/D$ (式中, λ ——光波波长; D ——仪器的光学特性),那么,根据瑞利准则,这些具有同样分光光度特性的点是不能区分开来的。由此可见,当航空航天像片的参数 D 和 H 固定不变时,那么,只有距离为 $l > L$ 的地物才能成像。遥感仪器决定于它的光学特性和摄影高度,才能起到自动滤波作用,所以在像片上只有那些完全固定级次的构造才能成像。增大摄影高度 H ,或者降低光学特性 D ,导致航空航天像片上高级次的构造单元消失了,而突出了以前看不出来的较低级次的构造单元。

(2) 遥感方法的正演问题、反演问题和预测问题。

因为遥感仪器具有滤波特性,所以,必须考虑各种地质体图像的级次。由于地质体与其图像之间的关系存在非单值性,便有可能把遥感方法的正演问题、反演问题和预测问题区分开来。

所谓正演问题,我们理解为确立地质体与其图像之间的单值或非单值的对应关系问题。反演问题是利用遥感资料判断地质体问题。最后,利用遥感资料预测是否存在矿产、地震和滑坡等属于预测问题。

就其分光光度指数和几何指数的差异而言,可以把航天遥感图像划分为两组,即线性体和地块。

考虑到构造单元的级次并列从属性,我们约定把固定级次 K 的地质体系单元称之为级次并列从属性固定水平 K 的线性体,这种地质体系单元的延伸长度两倍或大于两倍超出其宽度。取构造长度与其宽度之比值的十进位对数作为线性的测度。

延伸性不到两倍大于其宽度的固定水平 K 地质体图像,我们称之为级次并列从属性固定

水平 K 的地块图像。

在真实地质体与其遥感图像之间存在非单值性相互关系,在很大程度上决定了用遥感手段研究这些地质体的工作方法。

缺少求解遥感正演问题,不可能把遥感图像和具体的地质体等同起来。所以,必须一开始就要求解正演问题,然后,譬如应用模式识别算法过渡到求解反演问题。换言之,在第一阶段是对遥感图像的普查和分类,在第二阶段应用数学统计方法或者模式识别方法,借助于地面的观测,进行训练,定量评价遥感图像与具体的地质体类型之间关系的密切程度。最后,第三阶段是在训练的基础上,根据遥感资料完成用模式识别算法对地质体的判断。虽然如此,但是由于上面罗列的特性,在这种情况下判断的非单值性照样存在。

另外一种比较有效效果的途径,是航空航天信息作为某种指数与地壳和岩石圈存在的非均一性比值,一般来说,非均一性的性质是未知的,需要利用传统的地球物理和地质方法加以确定。

有两种解决遥感预测问题的方法。可以在解决正演问题和反演问题的基础上,利用图像判断地质体,并将判断结果包括到预测算法之中。但是,从实践观点出发,直接在预测程序的训练阶段,就利用遥感资料是比较合理的。这样,可以不经过判断阶段(黑匣子方法),用遥感方法直接预测。

因此,在遥感资料的应用中,我们遇到了两种情况,第一种情况,这些资料自身含有有关存在不同深度构造的新的重要信息,而且它们的存在用传统的地质研究方法常常不都能确定。第二种情况,因为在地球表面,我们只能找到深部构造的间接反映(况且这些构造用遥感方法反映出来也是多样性的)。这些构造的图像,一般不完全与真实地质体符合。由此,一方面必须研制一种以遥感图像为基础的判断(识别)真实地质体的方法,而另一方面,则应该找到一种在矿产普查中直接应用遥感资料的方法。下一章将介绍这些方法。

一、以三行感知器为基础识别间接图像的贝叶斯决策^①

在遥感资料的分析中,所应用的间接图像,可以把这样的问题作为正演问题,即其中在量为 $N+1$ (N ——特征数)的特征空间内给出分布 $P(X_k/iV)$, 对把间接图像 iV 归入具体地质体 X_k 的概率进行评价。根据这些数据,当存在特征值 U_i^k 或者交叉特征值的组合 iV (指预测问题)时,估价实现地质体 X_k 的概率;当存在具体的特征值或者特征值的组合时(指诊断问题),必须找出什么样的概率根据目标特征区分出地质体 $X_k \in \{X\}$ 。

在求解反演问题时,必须根据观测数据集(共同实现目标特征和间接图像),在间接图像条件下,计算实现目标特征 X_k 的概率。因为概率 $P(X_k/iV)$ 先验是未知的,地质预测的反演问题有初始值;只有在求解该问题后,不论是预测还是诊断才是可能做到的。

与简化特征总体类似(B. K. 库恰依, 1976),我们把间接图像的简化总体理解为这样一种理想的总体,其中全部的间接图像的类均相等,即 $P(iU) = P(iV)$ 。此时,单个地质体 X_k 的简化总体有

$$P(iU/X_k) = \frac{P(X_k/iU)}{\sum_i P(X_k/iU)} \quad (2.1)$$

① 该方法详见文献: B. K. 库恰依和 Л. Н. 秋恰杰耶夫(1979年)。

式中 $P(X_k/jU)$ ——间接图像 jU 条件下,实现地质体 X_k 的概率。

已知概率 $P(jU/X_k)$,可以选择体系的一级概率关系的构造,因为 $P(jU/X_k)$ 值越大,共同实现地质体和间接图像的概率越高,这些概率是间接图像 jU 与地质体 X_k 关系密切度的不变量评价,它们与图像和地质体本身的先验概率有关。

有关体系的二级概率关系的选择问题,这里实际上解决诊断问题,那么,因为简化特征总体 $P(jU/X_k) = P(X_k/jU)$,考虑公式(2,1),可以根据贝叶斯公式求出固定的间接图像共同实现概率和 $K - X_k \in \{X\}$ 类地质体的概率

$$\bar{P}(X_k/jU) = \frac{P(X_k)P(jU/X_k)}{\sum_{l=1}^L P(X_l)P(jU/X_l)} \quad (2.2)$$

式中 $P(X_k)$ —— k 类地质体的先验概率。

我们把 N 维特征空间的对应间接图像矢量之间的距离称之为两间接图像 $^1U = \{^1u_1, ^1u_2, \dots, ^1u_N\}$ 和 $^2U = \{^2u_1, ^2u_2, \dots, ^2u_N\}$ 之间的距离

$$\rho_{12} = \rho_{21} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (^1u_i - ^2u_i)^2}$$

把图像 iU 从属性的条件概率逼近于间接图像之间距离函数图像 $jU: P(^iU/jU) = \alpha(\rho_{ij})$ 。研究间接图像之间关系函数的广义形式 $\alpha(\rho_{ij}) = a_0 f(\rho_{ij})$,并附加以如下明显的边界条件

$$\begin{cases} \alpha(\rho_{ij}) = a_0 \leq 1 & \text{当 } \rho_{ij} = 0 \\ \alpha(\rho_{ij}) = 0 & \text{当 } \rho_{ij} = \rho_{\text{极大}} \end{cases}$$

导出的关系函数可以视为以概率为基础的符合性概念的广义化。

假设有两种类型的训练信息:(1)第一种矩降 $t_{ij}(X_k)$,矩阵的行是实现 $K(X_k)$ 类地质体条件下的间接图像;(2)第二种矩降 t_{ij}^* ,矩降的行是从训练总体中随机选择出来的间接图像。此时,简化总体中的关系概率决定于与(2.1)类似的公式

$$P^*(jU/X_k) = \frac{\sum_{i=1}^{h_k} \alpha\{\rho(jU, ^iU)\}}{\sum_{j=1}^{h_k} \sum_{i=1}^{h_k} \alpha\{\rho(jU, ^iU)\} \sum_{j=1}^{N^*} \alpha^*\{\rho(jU, ^iU)\}} \\ : \sum_{k=1}^{h_k} \frac{\sum_{i=1}^{h_k} \alpha\{\rho(^kU, ^iU)\}}{\sum_{m=1}^{h_k} \sum_{i=1}^{h_k} \alpha\{\rho(^mU, ^iU)\} \sum_{l=1}^{N^*} \alpha^*\{\rho(^lU, ^iU)\}} \quad (2.3)$$

式中 X_k ——矩体 $t_{ij}(X_k)$ 中图像数,矩体 t_{ij}^* 中图像的 N^* 数和间接图像集 $jU \in t_{ij}(X_k)$ 看作事件完全群。