

中亚天山地区横向构造的航天 遥感分析

王志刚 李 林

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 运用中小比例尺航天图象。对中亚天山地区的横向构造进行研究,探讨深部构造信息的地表遥感特征及深部不均一性与地表不均一性的关系,并分析了天山地区大-超大型金、铜矿床的遥感地质背景。

关键词 遥感, 横向构造, 天山

近年来,岩石圈地表不均一性所反映的深层信息逐渐引起地质界的关注,这就为遥感向“纵深”发展提出一个新的课题。遥感能不能探测深部构造,能不能反映与隐伏构造或隐伏矿床有关的地质信息,一直是遥感地质工作者面临的一个难题。在中亚天山地区大型线性体的遥感对比研究中我们注意到,中亚,包括我国天山地区普遍存在近南北向和北西向两组颇具规模的横向构造。这种构造呈现出弥散的印象特征,具有隐伏深断裂的性质,用常规方法难以发现,只有借助于中小比例尺航天图象才能有效识别。值得注意的是,中亚天山地区的大-超大型金、铜矿床大多都存在这种重要的构造背景。研究中重点进行了横向构造的遥感特征分析,横向构造区域控矿的遥感对比,并研究了反映深部信息的地表结构特征。

1 横向构造的遥感特征、深部背景及其形成机制

早在70年代中期,前苏联地质学家(E. 萨福诺夫等)运用航天图象构造地貌分析的方法,在中亚地区提出“穿透性构造”的概念,从而合理解释了构造地貌的大规模间断及阿尔玛雷克等大型矿床的区域控矿条件。所谓“穿透性构造”是指与天山构造方向无关的断裂系统,包括近南北向、北西向及北东向3组构造。该断裂系形成于海西晚期,控制了岩浆热事件的分布,表现出“穿透”效应。上述构造大多表现为不连续的构造地貌异常组合,以及弥散性的带状特征,并具有新构造的形迹,是深部长期活动在地表投影的结果^[1]。天山地区的遥感研究表明,近南北向和北西向两组穿透性构造在中亚地区具有普遍意义,并延伸至我国天山部分。田培仁等曾注意到这种非天山方向构造的重磁异常显示,并强调了其区域控矿的意义^[2]。近年来天然地震层析成像的研究结果^[3],新疆及邻区的深部横向不均一性甚至延伸到50km深的地壳底部。然而,迄今还没有人注

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http

意到地表横向构造这种不容忽视的深部背景。由于上述构造本质上反映了地表和深部的横向不均一性，本文将这种具有非天山方向的穿透性构造统称为横向构造。

1.1 横向构造的遥感地质特征

解译的基本遥感资料为 NOAA 卫星和陆地卫星 MSS 象片，覆盖了中亚地区西起威海东到乌鲁木齐的广阔区域。通过与前苏联中亚地区的对比研究，识别出的大型横向构造共有约 20 条(图 1)，大多为近南北或北西方向，一般延伸达数百公里，甚至一千公

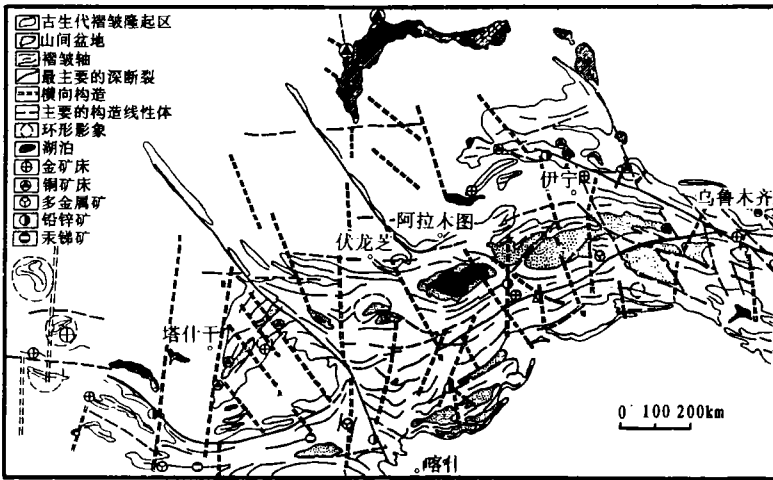


图 1 中亚天山大型线性构造解译图(据 NOAA)卫星图象)

Fig. 1 Interpretation sketch map of the transverse structures in Tianshan area, based on NOAA image

里。由于多期次深部断裂活动，横向构造常以新构造的形式出现，将天山构造横切为不同段落，分隔了不同性质的山间盆地及山脉的不同走向段或高程段，有时构成推覆构造的边界断裂。以横向构造为界，每一段落具有相对一致的构造、地貌型式。由于具有隐伏构造的性质，横向构造常表现出弥散性特征，即断裂面不出露于地表，而是由不连续的线性体，包括张性裂隙、先成河谷、断裂等组成较宽的异常带，带宽数公里甚至十余公里。因此，只有在 NOAA、MSS 等中、小比例尺的图象上才能较好地概括其带状总体特征。横向构造有时控制火山机构或岩浆成因的环形体分布。

例如，克孜尔库姆的穆龙套地区南北向横向构造(Ⅰ)，限制了几个大型浑圆状环形体(穹窿状古隆起)的分布；塔什干横向构造(Ⅲ)至费尔干纳一段，以北东向叠瓦状逆冲推覆构造为主；费尔干纳北西向横向构造至西伊塞克横向构造(Ⅵ)一段，以向南东方向突出的弧形隆起为主要特征；伊塞克湖和昭苏两个山间盆地为横向构造(Ⅶ)所分隔，这种分段性特征反映了深部构造活动的不均一性。此外，横向构造贯穿了不同的构造单元，由前苏联学者确定的卡拉库尔——巴尔喀什巨型横向构造(Ⅴ)，呈追踪型式断续延伸上千公里，横穿哈萨克斯坦板块、天山构造带和帕米尔构造带，具有明显的超带性特征。另外，横向构造常形成推覆构造的边界断裂及重要的控矿构造。

1.2 横向构造的深部背景

岩石圈深部信息的传递主要通过机械形变来实现，然而遥感信息表明，横向构造的形变特征往往比走向构造弱得多，很容易误认为是浅部的新构造形迹。横向构造是否具有深部意义，近年来地球物理的研究成果提供了一些有利证据。费鼎，肖友奎等¹⁾曾利用重、磁测量结果确认了天山地区存在 15 条南北向及北东向磁异常带，确定为断裂构造。这类异常与天山走向线型磁异常有显著区别，常以切断、错动后者为主要特征。如科克苏河南北向异常带在依什基里克山将正磁异常错动达 30km，与遥感解译的科克苏河横向构造在性质、规模、空间上相吻合，并提供了大哈拉军山逆冲推覆构造的深部证据。乌鲁木齐—库尔勒异常带是划分天山基底结构的一条重要深构造。近年来的研究成果认为两侧相对落差幅度竟达 4km，两侧区域重力场和磁场特征显著不同。

近年来李强等^[3]运用天然地震层析成像技术，研究了新疆及其毗邻地区的地壳和上地幔速度结构，通过不同深度的速度图象(图 2)，揭示出值得注意的深部信息。在 2km, 22km, 50km 深度的图象中，高速区和低速区均为南北向分布，深部横向不均一性的特征明显。到 80—110km 深度，天山以低速度结构为主，横向不均一性才变的模糊不清。上述深部特征与地表东西向断裂为主的构造格局迥然不同，然而揭示了横向构造的深部环境。种种迹象表明，天山地区的横向构造具有不容忽视的深部背景。遥感图象中所呈现的弥散性质可能是隐状深构造的重要地表信息。

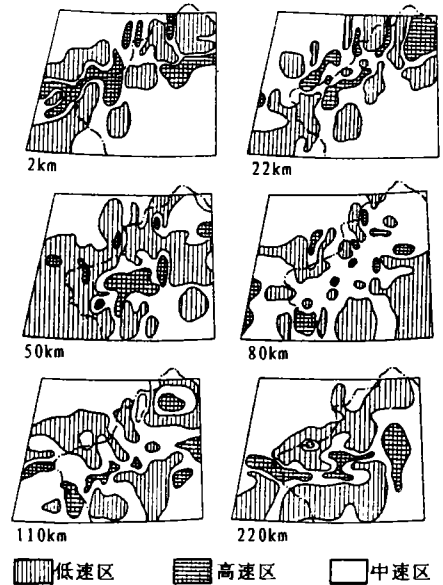


图 2 新疆及邻区天然地震层析成像图 (据李强等, 1994)

Fig.2 Seismic tomography of Xinjiang and adjacent region (From Li Qiang et al. 1994)

1.3 横向构造的弥散性质及其形成机制

中亚天山大部分横向构造具有弥散性质，即不存在连续的断裂面，而是由断续分布的浅层断裂、曲折及与其有关的地貌异常组合而成，呈现出带状特征，带的宽度为几公里甚至数十公里。上述现象与走向断裂系统有显著的区别，既表现出新构造的迹象又具有隐伏深构造的性质，但构造两侧相对位移很小。B.T. 特利福诺夫(1978)认为，多期次的深部断裂活动与浅部地壳层状的不协调水平运动相互作用，导致地表构造的迁移，从而产生弥散性的构造形迹。在这种情况下，观察到的新构造已经“继承”或迁就了古老

1) 天山地区航空磁测勘查报告(内部交流). 地质矿产部航空物探总队, 1986.

深构造的部分要素。里德尔切变理论同样能够合理解释这一现象(图 3)。隐伏断裂的旋转、错动,引起浅部挠曲,及切变面和张裂隙向地表发散,形成带状分布。模拟试验与西伊塞克北西向横向构造(VI)的遥感解译结果对照(图 4),具有本质上的相似性。我们认为弥散性构造的发育程度取决于深部断裂的活动性质。在弱剪切作用下,深部形变在地表分散成各种形式的派生形变,产生典型的弥散性质,是天山地区常见的类型;反之,深部强剪切作用下,可以使浅部的切变面和张裂隙进一步发展成为连续的断裂面出露地表。这种类型常在相邻地段伴生推覆构造。

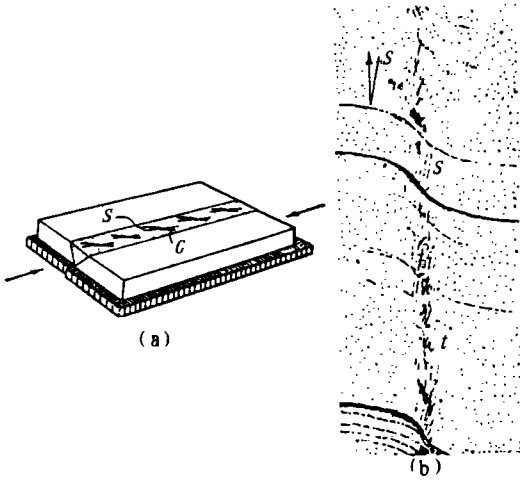


图 3 旋转应变中的切变面和张裂缝
(据 E. Cloos)

- a. 把粘土饼放在二块板上 $s =$ 切变面;
 $G =$ 张裂缝
- b. 变形带的细节 $t =$ 张裂缝

Fig.3 Shear fractures and tension fissure in rotational strain (From E. Cloos)

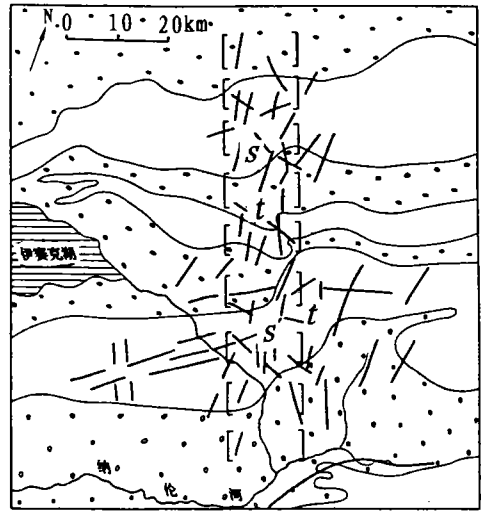


图 4 西伊塞克横向构造的解译图
 构造隆起区(山体) 冲洪积河谷区 弥散性线性体密集带
 解译线性体 /s 切变面 /t 张裂隙

图 4 西伊塞克横向构造的解译图
Fig.4 Interpretation map of the transverse structure, west to Isaik lake; based on Landsat MSS image.

1.4 横向构造的分类

依据横向构造的性质,可以划分成两种不同的类型。(1)弥散型横向构造:以深部多次的应力扰动为主,构造强度不表现为大尺度的变形位移,仅向地表传递派生形变,大多为张性的裂隙发育带,具有隐伏深断裂的特征。以喀拉库尔—巴尔喀什构造为代表。(2)横向断裂带:大多具有压扭性质,破裂面出露地表,伴随显著的水平剪切形变,形成推覆体边界断裂。塔拉斯—费尔干那断裂及西天山科克苏横向构造中段是这种类型的极端实例。上述两种类型分别代表深部剪切形变的两个端元组分,其间存在过渡类型。使得地表形迹、控岩控矿作用具有多样性和复杂性。

依据空间特征,天山地区存在两组横向构造的优选方位。(1)近南北向横向构造:垂直于古特提斯构造带,与海西期区域应力场方向一致,强度自西向东逐渐减弱,大多具有张性及弥散性的特征。(2)北西向横向构造:以塔拉斯—费尔干那和纳曼两个断裂带

为高序次的构造, 其余大多为弥散性次级构造, 具有统一的右旋走滑性质和等距分布的特征。

2 线性构造的遥感信息提取

为提取地质体的构造信息, 在西天山采用了空间滤波增强的图象处理方法。空间域滤波是通过局部性的积和运算采用 $n \times n$ 的矩阵算子作为卷积函数^[4]。

$$g(i, j) = \sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-n}^{j+n} f(k, l) \times h(i-k, j-l)$$

式中: f 为输入图象, h 为滤波函数, g 为滤波后的输出图象, 通常选择 $n \times n$ 的矩阵算子作为滤波数。

为了增强 NOAA 图象以及 TM 图象中的区域控矿构造信息, 分别对两者进行了定向滤波。所谓定向就是对模板矩阵设置一定的权值使模板增强方向与图象边界实际走向尽量一致。处理结果突出了与模板一致的线性结构特征。考虑到图象幅内主要的区域构造线一般均以不同规模近东西方向展布为主, 而南北向的横向构造相对较弱, 因此滤波时主要针对东西向和南北向的构造进行的。对规模较大的东西向构造滤波时, 主要目的是突出其总体趋势, 南北向的构造多数是由规模较小的断裂或裂隙组成, 所以东西向构造和南北向构造滤波时分别采用了 5×5 和 3×3 的滤波核。滤波方法采用 Robinson 滤波。

NOAA AVHRR 图象的滤波处理是同时对 3 个波段进行滤波, 因而得到的也是彩色合成图象。经过滤波后的图象对于非天山方向的构造解译非常有利。一些近南北或北西向的横向构造常由断续分布的浅层断裂、节理以及与其相关的地貌组合异常构成, 在地表识别起来非常困难, 图象的增强处理使得非天山方向许多构造带得以识别和确定。如汗腾格里峰北西向横向构造, 在处理后的图象中清晰可辨。TM 图象滤波处理主要利用其高空间分辨率的优势, 对区内天山方向(东西向)和非天山构造方向的细节特征加以研究。在进行滤波处理之前, 采用了下列波段组合: $(TM7 - VI) / (TM7 + VI)$ 。其中 VI (植被指数) $= (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ 。TM3、TM4、TM7 波段是区分地表沉积物与基岩的。VI 项用于增强植被差异引起的反差, 它与 TM7 组合起来所产生的图象对构造有较好的增强效果。对这种图象采用上述所设计的滤波模板, 分别进行东西和南北向滤波, 之后将二者之和的图象与二者共同组合成红、绿、蓝彩色图象。经过滤波处理的图象, 特克斯达板附近的南北向横向断裂可清楚地显示, 其向南延伸至科克苏河的趋势也很明显。

3 横向构造及其控矿意义

中亚天山地区的横向构造具有区域控矿的重要意义, 通过对前苏联的穆龙套金矿, 阿尔玛雷克、科翁腊德铜矿, 萨累多尔金矿以及我国的阿西金矿等大-超大型金铜矿床的宏观遥感地质特征对比, 表明它们均与横向构造存在一定的关系, 如穆龙套超大型

金矿区位于南北向横向构造(I)与东西向大型构造相互穿插所形成的断块内, 早古生界基底隆起构成直径约 80km 的环形影象, 镶嵌于断块中, 形成环形体与两组构造复合的构造背景; 阿尔玛雷克斑岩型铜矿, 矿田直接受横向构造(III)控制, 在庫拉玛岩带与横向构造的复合区分段集中分布着斑岩体、火山机构及环形构造。前苏联借助航天象片在横向构造中已经发现了矿化很高的隐伏断裂带, 并提出隐伏断裂带找矿专属性的结论(B. B. 阿克塞年柯, 1974)。我国阿西金矿地区, 遥感解译分析也存在一组很弱的近南北向线性体, 由短轴褶皱轴和分散的南北向裂隙构成一个宽约 4km 的带, 南北向断裂具张性特征, 形成于火山机构的后期, 矿体赋存其中。我国南天山西段, 中亚地区数条横向构造延伸至境内, 明显控制铅锌矿(点)的分布, 如沙里塔什铅锌矿、科什布拉克铅锌矿均产于北西向横向构造与南天山构造带的复合部位。五瓦金、铜多金属矿点群位于卡拉库尔—巴尔喀什巨型南北向张性带(V)的次级断裂上, 也是区域背景十分有利的成矿区段。

4 结 语

中亚天山地区的横向构造发育于古老造山带, 有其地域和形成机制上的独特性。海西期前该组构造可能已经存在, 其后控制了造山期间岩浆活动和火山活动的通道, 海西晚期前陆俯冲所形成的大规模推覆造山作用已经掩盖了这些古构造的大部分形迹, 海西期后的构造运动使其多期次但却是有有限度地复活, 从而形成这种弥散性的构造特征。

横向构造由于其对矿产的控制意义, 已日益引起地质界的关注。它能够合理解释构造地貌的间断和分段性现象, 大—超大型矿床的产出构造背景, 金属矿化及 A 型花岗岩的分段集中现象。近年来秦岭地区的天然地震层析成象研究也同样揭示了深部南北向构造, 并提出“立交桥式”的控矿模式。在内蒙古大青山、乌拉山地区的遥感调查(吴顺发等^[1]), 也解译出 6 条南北向横向构造, 构造带宽为 10—25km, 它们也具有弥散性和等距性的特征, 并对哈德门沟、巨金山等金矿床具有控制作用。随着对这一构造现象的深入研究, 会对找矿方向和观念产生重要的影响。

正如地球物理的上延拓处理技术一样, 小比例尺航天图象的概括能力, 能够突出大型深部构造信息, 为深部构造的研究提供了一种简捷的辅助手段。我们认为岩石圈地表不均一性反映深层结构的不均一性。这是一个十分重要的概念, 是遥感地质突破二维观测局限性的基本依据, 相信随着遥感与地球物理研究成果的相互补充, 以及对地表结构信息的深入理解, 运用遥感方法去研究岩石圈不同层次的深部构造将是可行和有效的。

参 考 文 献

- [1] B. T. 特利福诺夫等著, 林彻等译. 地球的航天地质研究. 北京: 地质出版社, 1981.
- [2] 田培仁. 非天山方向构造与区域控矿探讨. 地质与勘探, 1993, (9).
- [3] 李强等. 新疆及其毗邻地区地震层析成象. 地球物理学报, 1994, 3(3).
- [4] 日本遥感研究会编. 刘勇卫, 贺雪鸿译. 遥感精解. 北京: 测绘出版社, 1993.
- [5] 吴顺发. 内蒙古乌拉山—大青山地区遥感解译构造特征与金矿找矿方向探讨. 黄金地质科技, 1993, (1).

作 者 简 介

王志刚，男，1952年4月生，高级工程师，1982年毕业于河北地质学院地质系，从事遥感地质研究工作，发表文章及学术报告6篇。

Geological Remote Sensing for the Transverse Structures in Tianshan Area

Wang Zhigang Li lin

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences)

Abstract According to the appearance on which nonuniformity of surface on the earth reflect deep structural nonuniformity, the paper studies the transverse structures, acrossing the Tianshan orogen, by morphostructural analysis based on NOAA AVHRR and LANDSAT MSS images. Formed in Variscan orogeny and due to multiperiodic activities, they appear to have diffuse belt and neotectonic feature, consisting of series of tensional fractures and faults. Interpretation on image and geophysical survey suggest that they have deep seating and probably extend to lower-crust. More important, intersecting area of transverse structure and strike ones usually indicate the position of large metal deposit. Therefore, remote sensing survey of transverse structure is significance for prospecting metal deposits.

Key words Remote sensing, Transverse structure, Tianshan