



遥感专辑

第三辑

矿产勘查中的遥感方法

地质矿产部情报研究所 编

地质出版社

P 631
D2B

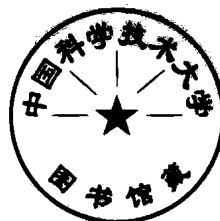
遥感专辑

第三辑

矿产勘查中的遥感方法

地质矿产部情报研究所 编

70.13.159



地质出版社

004622

遥感专辑

第三辑

矿产勘查中的遥感方法

地质矿产部情报研究所 编

*

责任编辑：马清阳

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：13 字数：308000

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数：1—1370册 定价：3.10元

统一书号：13038·新268

目 录

用于矿产勘查的图象线性体分析方法	(1)
依据航空航天象片解译资料进行裂隙分析 (以贝辰加矿带为例)	
.....	(12)
寻找洛斯特里弗天然气田——油气勘查中线性体的密度分析	
.....	(17)
横向构造不连续带——阿巴拉契亚逆掩断层带勘查天然气的可能手段	
.....	(23)
通过平移断层褶曲部位伴生的线性体组合模式识别勘查油气田	(39)
锡-钨矿普查工作中陆地卫星图象进行构造填图的人机对话增强——	
英格兰西南部矿田例案	(56)
用陆地卫星资料勘查爱达荷州中部东区的贵金属和钼矿矿床	(67)
煤矿区隐伏节理和断层构造的影象检测	(75)
热液蚀变及风化岩石表面矿物学特征的确定及在遥感中的应用	(84)
利用陆地卫星多波段扫描仪数据确定稠密植被覆盖区内的褐铁矿化	
露头	(98)
填绘隐伏矿床的航空生物地球物理技术	(112)
爱达荷岩基的红外反射率比值($2.3\mu\text{m}/1.6\mu\text{m}$ 与 $1.1\mu\text{m}/1.6\mu\text{m}$)与	
反映热液系统的 $\delta^{18}\text{O}$ 数值的相关性	(127)
利用空间阵列处理技术综合俄克拉何马州西门特油田区的地质、地	
球化学和地球物理数据	(135)
用计算机技术填绘线性体	(150)
航空航天象片在荒漠区水文地质调查中的应用	(156)
可用于勘查地质工作的热流异常带的机载温度检测图	(174)
应用地理信息系统格式预测土壤流失	(186)
地震活动区的航天研究	(199)

用于矿产勘查的图象线性体分析方法

M. Katz

摘要 地壳断裂构造在陆地卫星图象上表现为线性体，它们的几何性状能够反映它们活动的动力学性质。分析这些线性体，有助于圈定成矿的有利构造环境。这些构造环境通常都是线性体或断裂-断层系统的张性膨胀构造部位，是成矿矿液或含矿火成岩能侵位的地方。陆地卫星图象是各种地带可以成功应用的有效手段。目前与这类线性体有伴生关系的已知矿床类型有Pb、Zn、Ag、Sn、Mo、U、Au、稀土及石墨矿床。本文收集了诸如澳大利亚布洛肯希尔这类干旱地带的层状热液Pb-Zn、Ag矿床及印度喀拉拉邦热带雨林区的石墨、Au矿床的一些实例。对后一类地带进行研究尤其有意义，而分析图象线性体的目的则是要在尚未经过充分勘查的地区内圈出有找矿远景的靶区。

引言

地壳断裂在陆地卫星图象上表现为线性体，有人把它们定义为地表上的单一的线性特征和复合的线性特征，它们的一些地段呈正交或成弧形排列，与相邻的地表特征模式明显不同，所以可能反映了地下的地质现象 (O'Leary, Friedman和pohn, 1976)。其中不少线性体特征表现出具有含矿的构造意义 (Nicolais, 1974)。

因此，陆地卫星图象能提供矿床集中分布的有利构造部位的有用资料 (Short 1974, Viljoen 等人, 1975, Halhouty 1976) 及对找矿起重要作用的断裂构造资料。以陆地卫星成像的比例尺识别地壳的断裂可提高发现其它办法时常不能加以确定的新矿床的机率。所以，识别起了重要的找矿线索或本身就是找矿目标的线性体，尤其是线性体的交汇区，是陆地卫星图象分析工作的一项重要成果，并在规划矿产勘查项目时，可与其它地质、物探资料有效地综合应用 (Richards和Walraven, 1975, Levandowski, Jennings和Lehman, 1976)。

陆地卫星图象已被证明是对新的成矿省开展踏勘性普查的良好手段。这种图象使我们可以快速解译大面积区域的构造，把力量放在寻找特定的靶区上。首先，一些中小规模的找矿勘查组织可以用最低的成本对具有成矿远景的地区快速而高效率地进行分析。这对开始实施矿产勘查项目的一些发展中国家来说，具有特别的意义 (Wolyce 和 Ilunga 1974, Lowe, Summers和Greenblatt 1974)。为了帮助发展中国家利用陆地卫星覆盖资料，世界银行 (1976) 发表了一套完整的图象索引，只要提出要求就可取得这份索引。

本文介绍陆地卫星图象用于找矿勘查中对线性体分析的实例，有干旱地区也有热带雨林区的实例，后者是印度南部喀拉拉邦地区。在该区，陆地卫星图象线性体分析工作的目的是试图圈定迄今尚未勘查过的地区的找矿远景靶区。

线性体的分析

线性体分析就是对线性体分布模式、它们的几何性状及活动力学性质进行研究, 由于它把线性体的分布规律与了解构造过程的工作联系起来, 所以, 它的原理基本上与分析滑动平移断层构造和线性构造相类似 (Katz 1976a)。找矿勘查工作所运用的线性体分析工作是试图根据构造环境圈定集中成矿的最有利的地段。最明显的地段是大型的深成断裂, 这种断裂一般是矿液及含矿火成岩侵位的可能通道, 所以构成线状延伸的靶区。线性体的交汇区, 一般构成较有利的点状靶区。通过进一步的线性体分析, 可以推断出一些不明显但却是有利于成矿的环境。在有利的断裂区内, 开始应该找转换断层的张性断裂地段, 包括对成矿有利的构造方位上的张性断裂。错位距离较大的雁行式断层所构成的裂谷带要比其它对成矿较不利的挤压带优先加以研究。

线性体分析方法能够提供地壳软弱带内最可能是矿液与含矿火成岩侵位环境的信息。这种方法在找线状与点状勘查靶区时已证明十分有用处。事实上, 过去认为与大型线性体及线性体交汇区无关的许多已知矿床, 现在已被查明是位于大型线性体及其交汇区上 (Rich 1973)。可以把这些线性体的控矿认识应用到未开发或以前难到达的地区去, 将线性体的控矿部位作为新的找矿勘查项目的远景靶区。

成矿规律与板块构造

板块构造理论已引起人们重新审查对矿床的构造控制作用的认识 (Mitchell 和 Garson 1976)。虽然许多矿床出现在与洋底扩张、裂谷活动、板块俯冲带和转换断层有关系的板块边缘上, 但其它一些矿床仍位于通常受大型线性体控制的大陆内部环境中, 这些大型线性体时常是深成构造断裂。裂谷则是有利于富含P、Nb、稀土、Cu、U、Th、Zn元素及诸如磁铁矿、萤石、重晶石、菱锆矿和蛭石等矿物的碱性火成岩、碳酸岩的侵位处 (Mitchell 和 Garson 1976)。Pb-Zn及Sn矿床看来也集中分布于裂谷环境中 (Sawkins, 1976)。这类构造带时常很明显的和规模很大的, 东非裂谷就是一例。陆地卫星图象可用于确定这些大型裂谷带的几何形态、范围及性质 (Mohr 1974), 从而提出找矿的新靶区或新线索。其它具有地裂或转换断层性质的克拉通内部线性体也是成矿的地带。必须特别加以考虑的就是这些线性体。

线性体与成矿作用

虽然许多矿床受线性体控制 (Gaal 1972, Heyl 1972, Scheibner和Stevens 1974, Moore 1976), 但有不少呈线状分布的矿床与某一特定线性体实际上没有关系 (Hodder和Hollister 1976)。许多线性体实际上也没有对矿床起控制作用 (Gilluly 1976)。人们考虑到这其中的一些局限性, 研究线性体对矿床起控制作用的文献日益增多 (Kutina 1976)。有许多矿床看来是位于一些重要的线性体的迹线上, 尤其集中处于线性体交汇区处的重要

线性体上面 (Russel 1973 Rowan和Wetlauffer 1973, Levandowski, Jennings和Lehman 1976)。这些线性体对成矿方向时常起控制作用, 这类线性体系统可与造成地壳早期的镶嵌地块所发育的深大断裂系统相对比 (Wertz 1976)。本文将不讨论这类古老的线性体的意义, 但人们都这样推测, 许多这类线性体均受古老的地壳软弱带, 或者是其活动、活化和成矿历史很长的所谓“长年活动”线性体的控制 (McConnell 1974, Watson 1976, Wynne-Edwards 1976)。这些古老的线性体中, 有许多控制了以后的构造与板块构造, 并延伸到古板块或新板块里 (McConnell 1969, Russel 1973, Garson和Krs 1976)。

断裂是成矿的通道

人们认为, 大型断裂和断裂系统都是深部地壳的破裂构造, 这种深部地壳断裂可延伸到地幔内部而沟通矿化源 (Garson和Krs 1976)。地震测量证明这些断层的延伸深度极大, 它们可达到400km处的地幔深处。这些断层的地表表现也反映它们是深成的成因。有证据表明, 这些断层的长度、间距、错位及其延伸深度彼此成正比关系 (Menzen和Freund 1976)。断层越长, 长度相近的各条断层的间距就越宽, 延伸深度也越大。Merye与Freund曾经指出, 长度相等的断层, 其间距大致相当于它们的延伸深度。

在陆地卫星图象上表现为长而宽的线性体的地壳深成断裂构造, 被认为能够延伸到地幔层, 沟通火成岩的岩浆源并汲取矿液。人们早就知道深成断层控制着各种含矿火成岩体的侵位 (Crockett和Mason 1968)。线性体带内部有含金刚石的金伯利岩、含Ni-Cr-Pt矿的基性超基性岩及含稀土与放射性矿产的碱性岩类、碳酸岩侵位进来, 均反映这些线性体的深成成因。含斑岩铜矿和锡矿的火成岩体, 也受断层和断裂系统控制, 并沿断层和断裂侵入 (Wright 1970, Hollister等人 1975)。

由于成矿热液的密度不及岩石密度的一半, 所以热液将聚集在深部的断层和断裂面上, 并被向上挤压而受到超过四周岩石应力的压力, 结果又引起张性静压断裂活动 (Phillips 1972)。随着溶液的上升、冷却及静压断裂活动之后, 上述压力下降, 溶液里便迅速地沉淀出矿物。所以说, 含矿热液总是向开放性断裂及断层带运移渗透而形成具有工业意义的脉型矿床。这类矿床一般含有Au、Ag、有色金属、Mo、Co及其它矿石矿物。

线性体的几何性状

线性体常常表现为一些单一或复合的线性特征, 它们的部分线段时常呈正交或近似曲线的关系展布 (O'Leary, Friedman和pohn 1976)。大部分线性体是直线状的正交线性迹线。这说明多数线性体的倾角很陡或是直立的, 反映了走向滑动剪切带或张性断裂的特点。曲线状或是弧形的线性迹线, 则可能是倾角中等至小的断裂。这种正交的线性体不可能是逆掩断层, 虽然其中有些属于正断层。它们一般成为平行的、雁行式的或是共轭的线性迹线组出现。雁行式及共轭的迹线是剪切断裂, 平行的迹线组则可能反映张性断裂或正断层。线性体可以是单一的迹线, 或者成为一些较宽的、间距小的平行迹线带, 它们分别代表着刚性岩区的断裂和塑性岩区的剪切带。在这些地区的陆地卫星图象上, 线性体的迹线长度多种多样, 从不到10km到超过300km。它们的宽度也不等, 从仅有几米宽的狭窄破碎带

至30km宽的剪切带。

根据对断裂和断层系统成因的掌握,通过线性体的几何性状可以了解它们的运动动力学性质 (Gold, Parizek 和 Alexander 1973, Bodechtel和Nithack 1974, Gupta 1976 和 Katz 1976a)。许多线性体表现有水平位移的证据,并可被认为是走向滑动断层、转换断层或平移断层。根据应变椭球体的剪切机制的分析,可以对这些断层的力学性质进行描述。

对平移断层或线性体的构造理论, Tchalenko (1970)、Wilcox、Harding 和 Seely (1973) 以及Merzer和Freund (1975) 等人已有所描述。这些理论对了解成矿的各种构造环境是很重要的。对剪切带及粘土层形变作用的实验研究表明,共轭断层均发育成里德型剪切带(R与R') (Tchalenko 1970)。

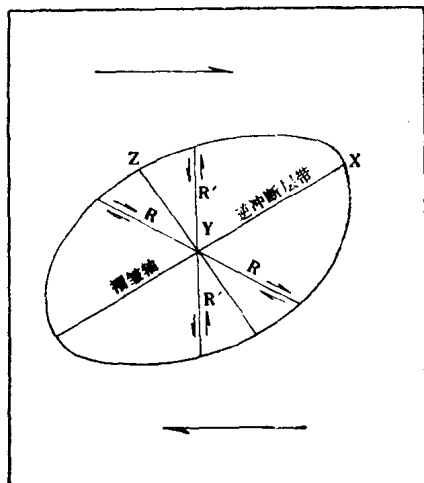


图 1 XZ 剪切面所形成的应变椭球体 X系张应力剪切轴, Z为节理轴, XY为叶理面。平行X的构造都是压性构造, 如褶皱与逆掩断裂, 平行Z的构造是张性构造, 如膨胀性断裂。发育共轭剪切(R与R')处, Z线成为剪切锐角的等分线。里德(R)剪切是低角度合成剪切带, 共轭剪切(R')带是高角度的共轭剪切带

原来标在粘土层上的参考环均由于剪切力而形变成应变椭球形, 因此是XZ面。X是应变椭球体的主张力轴, Z则是解理短轴, XY是叶理面(图1)。X轴是共轭里德剪切的两面锐角平分线。R线分出了两个低角度的合成剪切带。其剪切运动方式与剪切力偶一样, R'是高角度的合成剪切带, 其剪切运动与剪切力偶相反。除了里德剪切带以外, 还发育与Z平行的张性断裂及平行于X轴的压性构造, 如逆掩断层及褶皱(图1)。

沿大型的转换断层线上(Tchalenko 1970)或在剪切力偶所切割的地块内, 可以发育剪切力偶所产生的这类构造(Thomas 1974)。

在线性体系统内部或外面的构造内部可以发育一些有利的膨胀构造环境。在这两种情况下, 沿Z及R'均发育原生的张性断裂。R线上由于剪切带的局部膨胀可能发育次生的张性断裂, 在褶皱构造的

张性转折枢纽带内的X线上也发育次生的张性断裂。假如断层带内部的张压力超过外部的有效压力的话, 断层内部本身也能形成张性断裂(图2A)。随着剪切带的发展, 断层就趋于弯曲(Merzer和Freund, 1975), 并在这种断层带处产生张应力(图2B)。临近断裂交叉部位处的雁行式断层及活动, 也能在断裂交叉地区内发育张性断裂(图2C)。在断层的末端, 也能形成张力环境(图2D)。在这些有利的构造环境内出现有环形构造, 便能反映有火成侵位, 如环形构造、火山颈、岩丘及火山口。

分析这类构造时确定运动是右旋或是左旋的性质以及位移的大小, 是很重要的。在陆地卫星图象上, 根据标志层的位移(图3A)、向外张开的里德剪切方向(图3B)、拖曳构造(图3C)、褶皱轴的收敛(图3D)及S形折曲(图3E), 可帮助确定剪切作用的方向(Albers 1967)。在延性断层带或剪切带内的内部构造也可用于确定剪切方向和剪切强度(Ramsay和Graham 1970)。确定了剪切方向及剪切数量以后, 就可以解译出一些有利的线性体作为找矿勘查的目标。文献中介绍线性体模式控制成矿的实例很多, 其中得到利用的研究工作有线性体迹线或线性体交汇点迹线(Heyl 1972)、线性体有关的张性断裂(Woodall

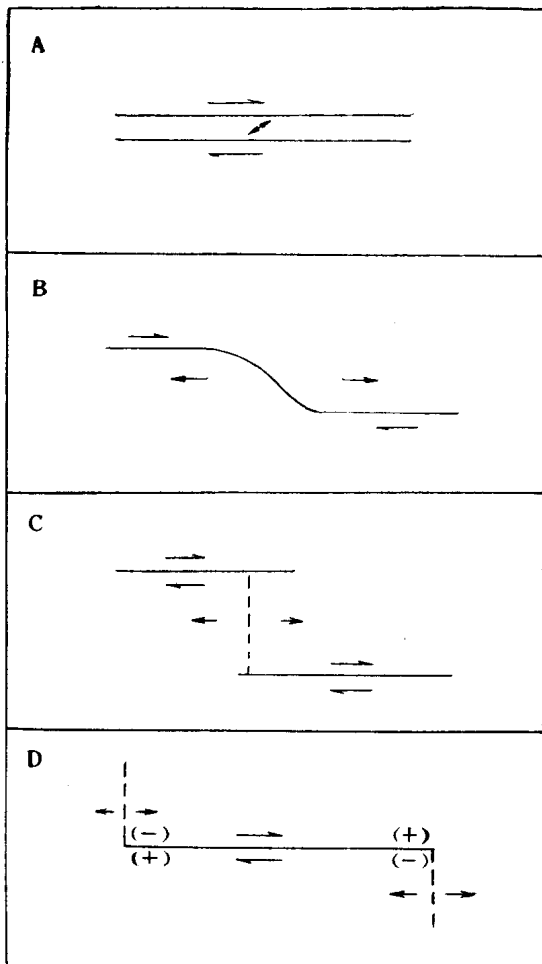


图 2 各类右旋断层（单箭头）所伴生的张性断裂（双箭头）

A—开放性剪切断裂；B—断层的Z形连结带；C—右旋错动的雁行或断层系统；D—断层的尖灭端

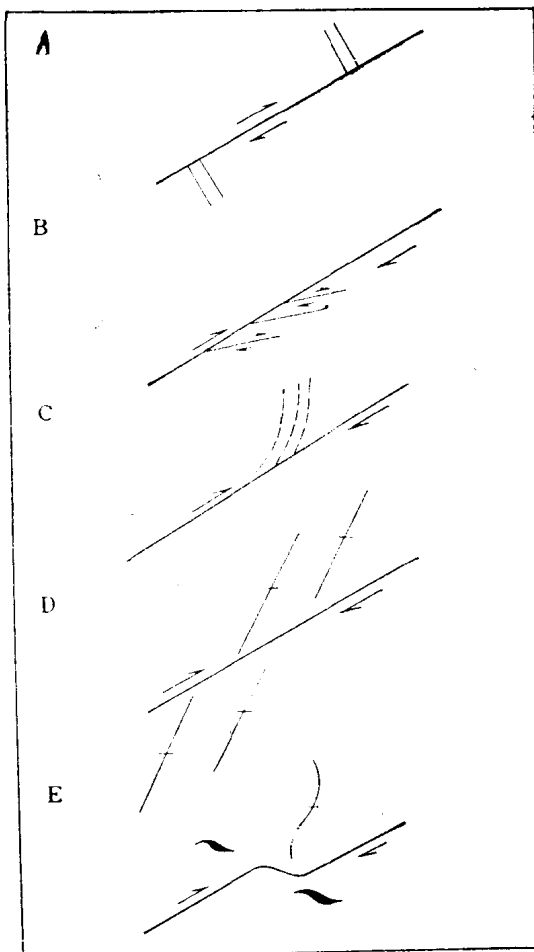


图 3 断层右旋活动方向的标志

A—错位的标志层；B—复合型里德剪切带；C—逆时针的拖曳构造；D—雁行式褶皱轴的右旋收敛；E—断层、褶皱轴及张性断裂的Z型折曲

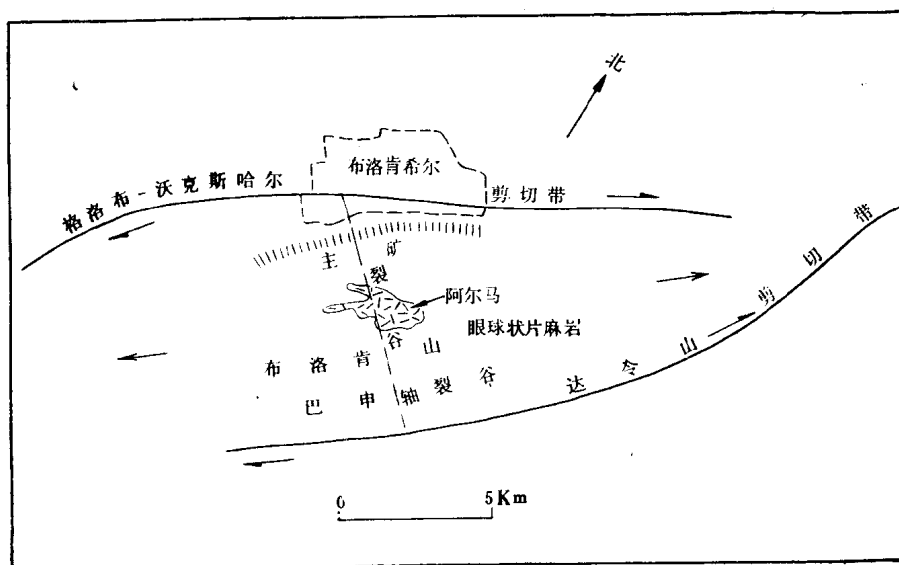


图 4 产生在格洛布沃克斯哈尔达令山右旋断错和右旋雁行式剪切系统之间的张性裂谷中的布洛肯山主矿体

1965)、沿线性体带 (O'Oriscoll 1971)、在线性体的端部 (Bechthold, Digget 和 Childs 1973), 以及在雁行式线性体之间的裂谷带 (Katz 1976b) (图4)。这些分析线性体的理论已应用于找矿工作了。

用于矿产勘查的线性体分析

澳大利亚布洛肯希尔

O'Oriscoll (1968) 已经对澳大利亚新南威尔士州元古代布洛肯希尔地区线性构造对区域成矿的控制作用作过介绍。Katz (1976a, b)、Katz 和 Decouteur (1977) 等人借助陆地卫星图象对该矿区作了进一步研究, 已确定出大型的线性体模式及线性体的控矿作用。引起人们对该区进行研究的一个基本原因是, 这个被称为布洛肯希尔型层状Pb-Zn矿床的主矿体产于张性裂谷构造环境内, 受澳大利亚东部达令河大断裂有关的一组NE向雁行式线性体的控制 (Katz 1976b) (图4)。一些类似布洛肯希尔型的Pb-Zn矿床也同样表现受线性体的控制, 火成岩体、尤其是含Ni-Pt的基性与超基性岩和岩栓, 也分布于线性体及其交汇点上 (Katz 1976a) (图5)。

其它的脉型Ag-Pb矿床 (撒卡林加型) 人们早就认为是受断层控制 (Barnes 1974)。这类矿床都赋存在由许多各种成因的小断层所构成的断层带内。这些小断层在陆地卫星图象上无法辨认出来, 但主要的矿床均出现在受大型线性体控制的几组断层中 (图5)。这些脉型矿床看来是沿WNW及NW向的Z及R膨胀性线性体展布, 尤其出现于上述线性体与NE向线性体的交汇区上。马贝尔群矿床沿NW向的坎塔巴线性体分布, 阿波利翁瓦利群的矿床则产于WNW向斯蒂芬斯克里克线性体与NE向芒特弗兰克斯线性体的交汇点处。翁布鲁贝克群的矿床则处在WNW向戈鲁加线性体交切NE向温迪温迪断层的地方, 撒卡林加群矿床赋存在E-W向撒卡林加-平纳克利斯剪切带内, 该剪切带到了NE向的温迪温迪断层附近便不见, 这可能与该断层端部的张力带有关系。在斯蒂芬斯克里克水库附近出现一个小的矿群, 该处是NW、NE、WNW及E-W向线性体的交汇点, 也是今后找矿很有意义的目标点。

在普尔诺穆塔、霍姆斯特德一带出现了一群撒卡林加型矿床 (图5), 它们处在由NW向的坎塔巴、WNW向的斯蒂芬斯克里克及NE向的芒特弗兰克斯三条线性体所构成的一个近似三角形的地区内。该区由于有许多NNE向雁行式褶皱而受到强烈的形变。看来, N-S向的断裂起主要的控制作用, 这些断裂可能与褶皱活动所引起的褶皱枢纽线上的张压力有关系。

印度南部喀拉拉地区

与布洛肯希尔地区的极干旱条件相反, 印度南部喀拉拉邦却是地处于热带雨林地带。喀拉拉邦的陆地卫星图象表明, 这种地带的线性体模式反映极清楚, 最有用的图象是7波段的图象。喀拉拉邦东部树林茂密的西部山隘丘陵区所显示的线性体模式非常清楚, 但是, 到了海岸平原区, 线性体模式就不清楚, 并为沉积物所掩盖了。

Rao (1974) 对喀拉拉邦太古代地区总的线性构造模式已作过分析, 他解译了三个主

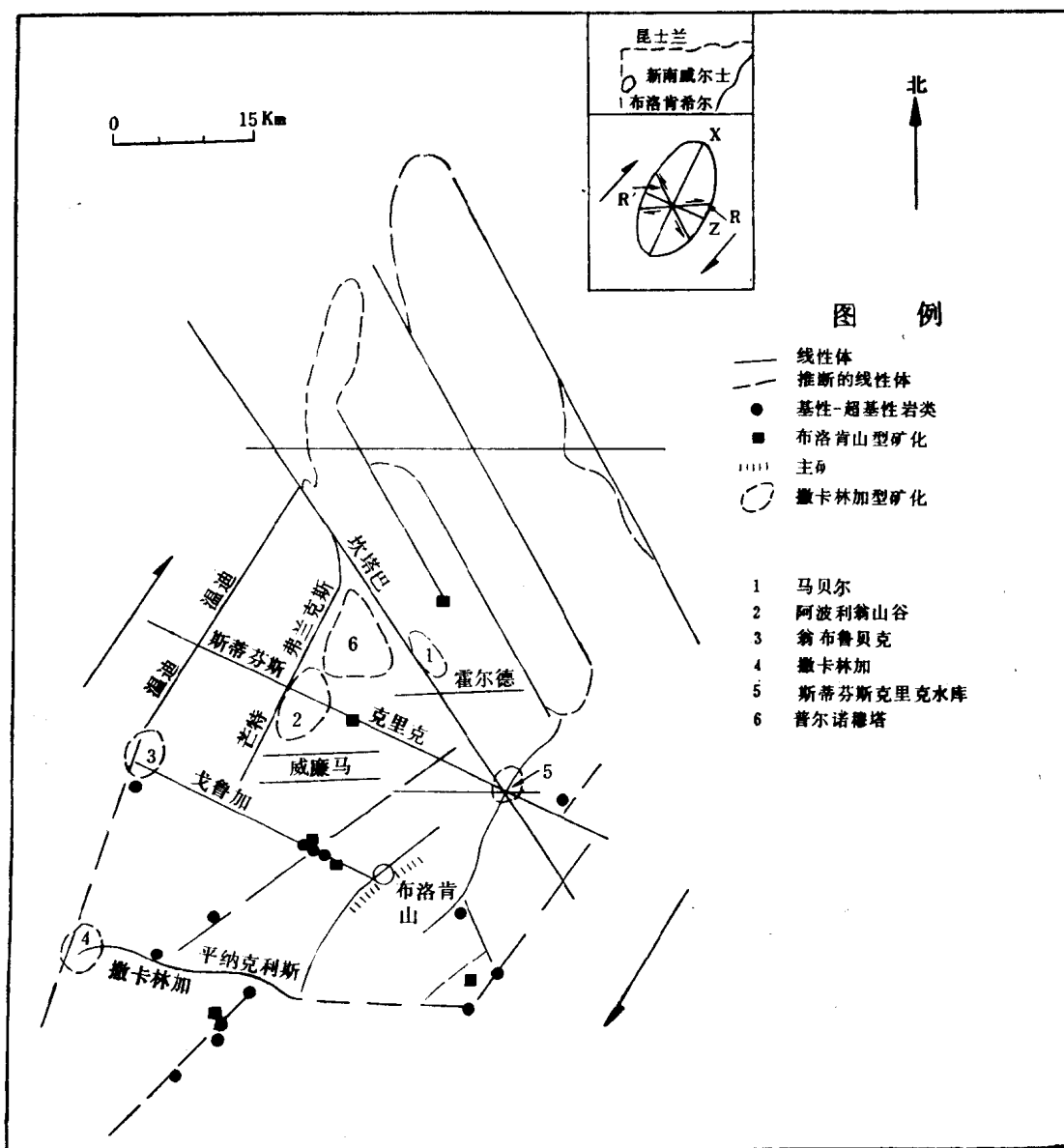


图 5 布洛肯山地区威廉马地块线性体对成矿及基性-超基性岩体侵位的控制

小图表示该地块应变椭圆体的方向 (据Ktazt 1976a)

要的线性体组: NW向、NE向及NNW向三组。他也提到称为帕尔加特山口的E-W向断裂。对覆盖喀拉拉邦大部分地区的陆地卫星图象的观察,证实存在这些构造方向并解译出一些新的线性体(图6)。虽然对邻区泰米尔邦的研究已发现线性体对成矿有重要的控制作用(Grady 1971),但对该区线性体与成矿的关系迄今还没有人作过研究。泰米尔邦的一些控矿线性体已延伸到喀拉拉邦内,在喀拉拉邦北部已发现印度南部一条最重要的含矿线性体带——NE向的巴瓦尼线性体(Katz 1977)(该带也称为主干断层,Grady 1971;或称为阿塔帕迪-梅图帕莱亚姆剪切带,Rao 1974)。由于该线性体带已证明是碱性侵入岩及碳酸岩(有U、Nb、Ta、Cu、P等工业矿床)的分布区,所以在延伸到喀拉拉邦内的这段地区必然受到人们的重视和研究,尤其是这条NE向线性体带与帕尔加特山口所表现出来的一条

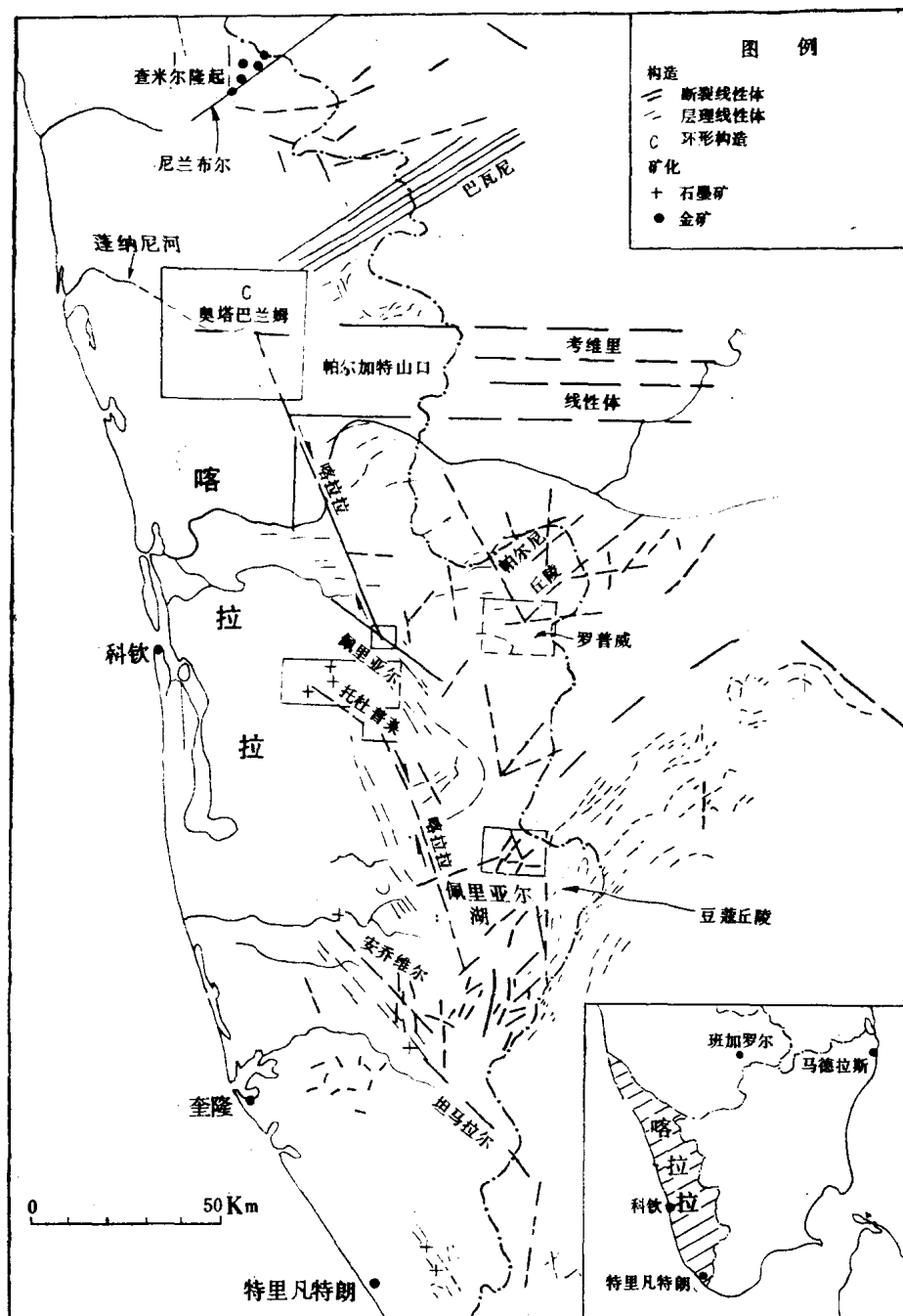


图 6 印度喀拉拉邦陆地卫星图象线性体
框出的地区是进一步找矿的远景靶区

E-W向考维里线性体和NNW向的喀拉拉线性体发生交汇的地段 (Katz 1977) (图 6)。

在奥塔巴兰姆附近，上述交汇区成为一个直径 5 km 的环形构造，它与东北部泰米尔邦境内蒂鲁帕图尔附近的巴瓦尼线性体上已见含矿碳酸岩的一些环形构造相类似 (Grady 1971)。该环形构造应是一个有成矿远景的碳酸岩及碱性侵入岩。实际上，蓬纳尼河沿河地带可以被视为是一个找矿的目标区，尤其是图 6 上标为 C (原文误为 A——译注) 的方

框范围内的地区。

喀拉拉邦内其它已知矿床受线性体控制的有石墨和金矿。从图 6 已知石墨和金矿分布图上可以看出这些矿床与线性体的控制关系,有两个石墨矿床位于NW向的安乔维尔-坦马拉尔线性体上(Rao 1974),另外三个矿床则在科钦东面40km处,也位于托杜普莱线性体上(Rao 1974),不过它们可能受NNW向雁行式线性体即喀拉拉线性体的控制(Katz 1977)。这些NNW向线性体看来都是年青的构造,平行海岸线,有可能是冈瓦纳古陆解体引起的一些张性断裂(Rao 1974)。但是,南面的这组线性体表现为一条拖曳构造带,具有右旋运动的历史,而北面的线性体也有右旋活动位移(Rao 1974)。这些石墨矿床必然是在这两条NNW向雁行式右旋线性体之间的张性断裂区内发生侵位的。其它一个石墨矿田位于一条未加肯定的NNW向线性体上(Rao 1974)。

基于上述这些关系,我们认为NW与NNW向线性体对石墨成矿起了控制作用,进一步的找矿工作应该选择在一些交汇区的这些NW与NNW向线性体上的靶区。NW向佩里亚尔和托杜普莱线性体与NNW向喀拉拉邦线性体交汇的地区均是有远景的点迹目标。佩里亚尔和托杜普莱线性体间的一般地区,也是有远景的地区(图6)。

喀拉拉邦北部的金矿都处在查米尔隆起和NE向尼兰布尔线性体交汇区附近(Rao 1974)(图6)。Rao也写到,巴瓦尼线性体上的金矿化也具有这种构造趋势。

总之,矿产勘查项目的工作都必须集中在线性体交汇区点迹密度高的那些地区。喀拉拉邦其它远景找矿靶区均以方框示于图6上,包括豆蔻丘陵地带的佩里亚尔湖地区及帕尔尼丘陵的罗普威地区。

杨廷槐译自《AGID Repor No.7》1982,谭筱波校

参 考 文 献

- L.J. Lawrence and B.L. Wood of the University of New South Wales read the manuscript and made helpful comments. P.S. Rao of the Geological Survey of India is also thanked for providing unpublished information on the geology of Kerala.
- REFERENCES
- Albers, J.P., 1966, Belt of sygmoidal bending and right lateral faulting in the Western Great Basin: *Geol. Soc. America Bull.* v 78, p 143-156.
- Jarnes, R.G., 1974, Thackaringa-type silver lead deposits: in *The Mineral Deposits of New South Wales*, N.L. Markham and H. Basden (eds), *Geol. Surv. N.S.W. Dept. Mines*, p 60-66.
- Lechtold, I.C., M.A. Liggett and J.F. Childs, 1973, Regional tectonic control of Tertiary mineralization and recent faulting in the southern Basin-Range province, an application of ERTS-1 data: in *Symp. Significant Results Obtained for ERTS-1*, NASA SP-327, v 1, A, p 425-431.
- Kodectel, J. and J. Nithack, 1974, Geological tectonic evaluation of ERTS-1 and Skylab imagery of north and central Italy: *Geoforum*, v 20, p 11-24.
- Lockett, R.N. and R. Mason, 1968, Foci of mantle disturbance in Southern Africa and their economic significance: *Econ. Geol.* v 63, p 532-540.
- Maal, G., 1972, Tectonic control of some Ni-Cu deposits in Finland: *Intl. Geol. Congr.* v 4, p 215-224.
- Jarson, M.S. and M. Krs, 1976, Geophysical and geological evidence of the relationship of Red Sea transverse tectonics to ancient fractures: *Geol. Soc. America Bull.*, v 87, p 169-181.
- Gilluly, J., 1976, Lineaments - ineffective guides to ore deposits: *Econ. Geol.*, v 71, p 1507-1514.
- Gold, D.P., R.E. Parizek and S.A. Alexander, 1973, Analysis and application of ERTS-1 data for regional geological mapping: in *Symp. Significant Results Obtained for ERTS-1*, NASA SP-327, v 1, A, p 231-245.
- Grady, J.C., 1971, Deep main faults in South India: *J. Geol. Soc. India*, v 12, p 56-62.
- Gupta, R.P., 1976, Delineation of active faulting and some tectonic interpretations of the Munich-Milan section of the Eastern Alps use of LANDSAT-1 and 2 imagery: *Tectonophys.* v 38, p 297-315.
- Halbouty, M.T., 1976, Application of LANDSAT imagery to petroleum and mineral exploration: *Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v 60, p 745-793.
- Heyl, A.V., 1972, The 38th parallel lineament and its relationship to ore deposits: *Econ. Geol.* v 67, p 879-894.
- Hodder, R.W. and V.F. Hollister, 1976, Some geologic distinctions among lineaments for the mineral explorationist: 1st Intl. Conf. *New Basement Tectonics*, Utah Geol. Assoc. Publ. 5, p 453-461.
- Hollister, V.F., J.M. Allen, S.A. Ansalone and R.H. Seraphim, 1975, Structural evolution of porphyry mineralization at Highland Valley, British Columbia, Canada: *Can. J. Earth Sci.* v 12, p 807-820.
- Katz, M.B., 1976a, Lineament tectonics of the Willyama block and its relationship to the Adelaide aulacogene: *J. Geol. Soc. Australia* v 23, p 275-285.
- , 1976b, Broken Hill, a Precambrian hotspot? *Prec. Res.* v 3, p 91-106.
- , 1977, Tectonic evolution of the Archaean granulite facies belt of Sri Lanka and South India: *Prec. Res.*
- and H. LeCouteur, 1977, Riedel type lineaments in the Precambrian Willyama block, Broken Hill, Australia: *Proc. 2nd Intl. Conf. New Basement Tectonics*
- Kutina, J., 1976, Relationship between the distribution of big endogenetic ore deposits and the basement fracture pattern - examples from four continents: *Proc. 1st Intl. Conf. New Basement Tectonics*, Utah Geol. Soc. Publ., v 5 p 565-593
- Levandowski, P.W., T.V. Jennings and W.T. Lehmann, 1976, Relations between ERTS lineaments, aeromagnetic anomalies and geological structure in north-central Nevada: *Proc. 1st Intl. Conf. New Basement Tectonics*, Utah Geol. Soc. Publ. v 5, p 106-117.
- Lowe, D.S., R.A. Summers and E.J. Greenblatt, 1974, ERTS data use as an aid to mineral exploration in developing countries: final report. *An Economic Evaluation of the Utility of ERTS Data for Developing Countries*, Environmental Res. Inst. of Michigan, App A, 33pp
- McConnell, R.B., 1969, Fundamental fault zones in the Guiana and West African shield in relation to presumed axes of Atlantic spreading: *Geol. Soc. America Bull.* v 80, p 1775-1782.
- , 1974, Evolution of taphrogenic lineaments in continental platforms: *Geol. Rund.* v 63, p 389-430
- Merzer, A.M. and Freund, R., 1975, Buckling of strike slip faults - in a model and in nature: *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* v 43, p 517-530

- _____, 1976, Equal spacing of strike slip faults: *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* v 45, p 177-188.
- Mitchell, A.H.G. and M.S. Garson, 1976, Mineralization at plate boundaries: *Minerals Sci. Eng.* v 8, p 129-169.
- Mohr, P.A., 1974, Mapping of the major structures of the African rift system: *Smithson. Astrophys. Observ. Spec. Rept.* 361, 70pp.
- Moore, J.M., 1976, A major lineament in the Arabian Shield and its relationship to mineralization: *Mineral. Dep.* v 11, p 323-328.
- Nicolas, S.M., 1974, Mineral exploration with ERTS imagery: *Third ERTS-1 Symposium*, NASA SP-351, A, p 955-967.
- O'Driscoll, E.S.T., 1968, Notes on the structure of the Broken Hill lode and its tectonic setting in Broken Hill: *Monogr., Austr. Inst. Min. Metall.*, v 3, p 87-102.
- _____, 1971, Deformational concepts in relation to some ultramafic rocks in Western Australia: *Spec. Publ. Geol. Soc. Austr.*, v 3, p 351-366.
- O'Leary, D.W., J.D. Friedman and H.A. Pohn, 1976, Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms: *Geol. Soc. America Bull.* v 87, p 1463-1469.
- Phillips, W.J., 1972, Hydraulic fracturing and mineralization: *J. Geol. Soc. Lond.*, v 128, p 337-359.
- Ramsay, J.G. and R.H. Graham, 1970, Strain variation in shear belts: *Can. J. Earth Sci.* v 7, p 786-813.
- Rao, P.S., 1974, Some aspects of structure and tectonics of the Kerala region and related mineralisation: *Int'l Seminar Tectonics and Metallogeny, SE Asia and Far East*, Geol. Surv. India (unpublished paper).
- Rich, E.I., 1973, Relation of ERTS-1 detected geologic structure to known economic ore deposits: *Symp. Significant Results Obtained for ERTS-1*, NASA SP-327, v 1, A, p 395-402.
- Richards, D.J. and F. Walraven, 1975, Airborne geophysics and ERTS imagery: *Minerals Sci. Eng.* v 7, p 234-278.
- Rowan, L.C. and P.H. Wetlaufer, 1973, Structural geologic analysis of Nevada using ERTS-1 images: a preliminary report: *Symp. Significant Results Obtained for ERTS-1*, NASA SP-327, p 413-424.
- Russell, M.J., Base metal mineralization in Ireland and Scotland and the formation of the Rockall Trough: in: *Implications of Continental Drift to the Earth Sciences*, D.H. Tarling and S.K. Runcorn (eds), Academic Press, p 581-597.
- Sawkins, F.J., 1976, Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments: *J. Geol.*, v 84, p 653-671.
- Scheibner, E. and B.P. Stevens, 1974, The Lachlar River lineament and its relationship to metallic deposits: *Quart. Notes Geol. Surv. NSW*, v 14, p 8-18.
- Short, N.M., 1974, Mineral resources, geological structures and landform surveys: *Third ERTS-1 Symp.*, v 11, Summary of Results, NASA SP-356, p 147-167.
- Tchalenko, J.S., 1970, Similarities between shear zones of different magnitudes: *Geol. Soc. America Bull.* v 81, p 1625-1640.
- Thomas, G.E., Lineament block tectonics: Williston-Blood Creek Basin: *Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Bull.* v 58, p 1305-1322.
- Viljoen, R.P., M.J. Viljoen, J. Grootenboer and T.G. Longshaw, 1975, ERTS-1 imagery: an appraisal of applications in geology and mineral exploration: *Minerals Sci. Eng.* v 7, p 132-168.
- Watson, J., 1976, Mineralization in Archaean provinces: in *The Early History of the Earth*, B.F. Windley (ed), John Wiley, p 443-453.
- Wertz, J., 1976, Detection and significance of lineaments and lineament intersections in parts of the northern Cordillera: *Proc. 1st Intl. Conf. New Basement Tectonics*, Utah Geol. Assoc. Publ. 5, p 42-53.
- Wilcox, R.E., T.P. Harding and D.R. Seely, 1973, Basic wrench tectonics: *Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v 57, p 74-96.
- Wolyce, U. and S. Ilunga, 1974, Geologic hypotheses on Lake Tanganyika region, Zaire, drawn from ERTS imagery: *Third ERTS-1 Symp.*, NASA SP-351, A, p 955-967.
- Woodall, R.W., 1965, Structure of the Kalgoorlie Goldfield: in *Geology of Australian Ore Deposits*, 8th Commonw. Min. Metall. Congr., p 71-79.
- World Bank, 1976, LANDSAT Index Atlas of the Developing Countries: The World Bank Cartography Division, Washington.
- Wright, J.B., 1970, Controls of mineralization in Nigeria tin fields: *Econ. Geol.* v 65, p 945-951.
- Wynne-Edwards, H.R., 1976, Proterozoic ensialic orogenesis: the milliped model of ductile plate tectonics: *Amer. J. Sci.*, v 276, p 927-953.

依据航空航天象片解译资料进行裂隙分析（以贝辰加矿带为例）

本文介绍了依据航空航天象片对贝辰加矿带进行研究的成果。所获取的资料是通过《西北地质》生产地质联合体计算中心设计的一套地质信息自动化处理系统的程序处理的。

科拉半岛西北部1:100万和1:50万航天象片的解译结果(图1)表明, 贝辰加向斜位于直径约为 30km 的较明显的环状构造内。卢奥特宁断裂将这个环状构造分为两部分: 北槽地和南槽地。在北槽地界内能很好地解译出贝辰加向斜的构成要素——整合产状的贝辰加系火山-沉积岩。

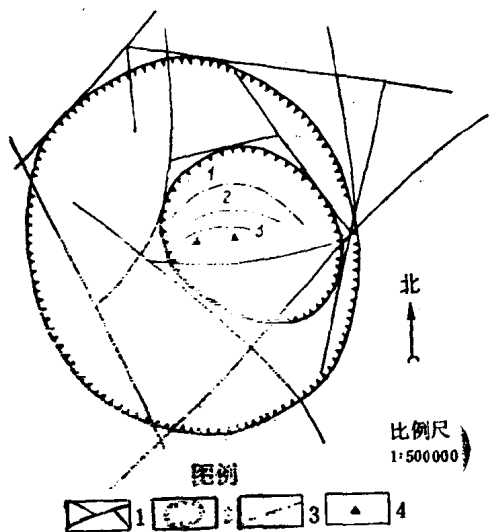


图1 航天象片解译略图

1—区域断裂; 2—环状构造界线; 3—贝辰加系火山-沉积岩(1—库埃特夏尔文组, 2—科洛锡奥克组, 3—普利古亚尔文组); 4—铜-镍矿床

这个构造位于直径比它约大1倍的、西北方向略长的一个圆环内。该双“环”系统被不同走向的线性体切割; 除了原来已确定的断裂外, 在略图上(图1)又圈划出了新断裂, 它们在一起形成两个多边形, 内切两个“环”。所圈出环形物的性质还不了解, 它们完全可能并不对应于任何特殊的自然产物, 而是由于概略程度高而产生的人为图象。

大“环”被一些断裂划分为很多块段。阿拉列琴区的矿床就赋存在其中的一个块段内, 该块段位于这个构造的南部并以波里依大什断裂和西贝辰加断裂为界。

贝辰加矿带位于科拉半岛西北部的前寒武系变质杂岩发育区。已知的硫化铜-镍矿床在空间上或成因上皆赋存于整合在凝灰沉积岩层(贝辰加系普利古亚尔文组)内的基性和超基性分异岩体中。贝辰加矿带在构造格局上是瑞芬活动期贝辰加-伊曼德腊-瓦尔祖加活动区的一部分^[1,2]。

研究区的大部分矿床和矿点赋存在贝辰加系的第四纪凝灰沉积岩层内。很多文献^[3-6]中指出了不同走向的断裂对铜-镍矿定位过程的意义。从这一点来看, 对研究区表现为网状线性体的断裂构造特征进行研究是有益的。

为研究贝辰加构造中的断裂构造使用了1:28000航片的解译成果。总共量测了大约32000次数据, 线性体的最小长度为80m。

航空摄影象片解译结果分两个阶段处理。第一阶段, 将整个平面图(1:50000的四个图幅)用规则的网格分成 5×5 cm的单元网格; 在每个方格内测线性体的走向和总长度。对

单元网格中这类数值的选择是根据贝辰加矿田内最大型基性和超基性含矿岩体在地表上出露的平均面积以及量测数据的数目必须有代表性这两点来进行的。在单元网格中走向测量的最低数据不少于300个，而对于凝灰沉积岩层区，则测量了所有解译线性体的走向(平均200个)。依据获取的资料编制了每个单元网格中线性体走向的玫瑰图(图2)。

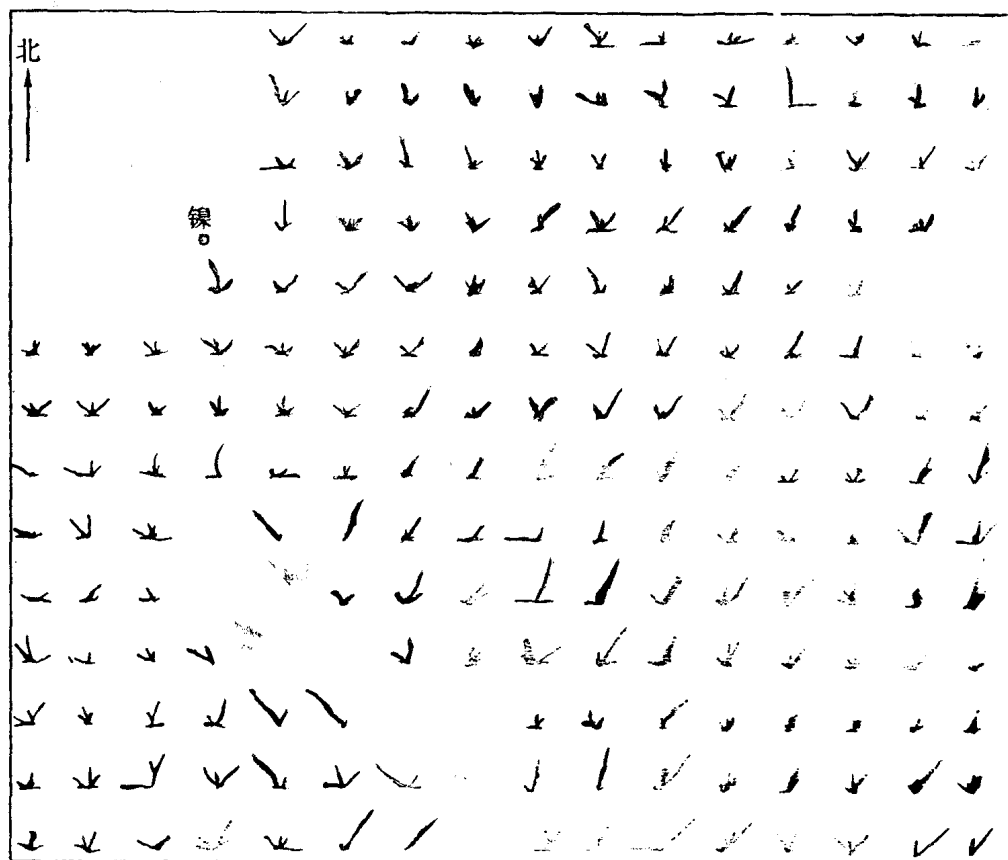


图2 贝辰加向斜线性体走向玫瑰图(1mm—1%)

利用每个网格中所有解译出来的线性体的总长度值并根据非多项式模型编制了线性体密度趋势面图，其显著水平为0.05。业已确定(图3)，区域密度的最大值(超过4条/km)位于第四纪火山-沉积(“含矿的”)岩层的矿田内。这个地区的特点是玫瑰图上的主要花瓣是分开的，即花瓣的数目增至6—7条(见图2和图3)。由于岩石的形变强度和崩解作用程度间存在着直接的联系(这也反映在线性体网的轮廓上)，那么根据所获得的结果就可将贝辰加矿田的位置与构造形成的最后阶段遭受到最强烈形变的那一部分构造联系起来。这种结论与某些文献关于贝辰加构造界内硫化铜-镍矿的时代和成因的提法相吻合^[7,8]。

在线性体密度趋势面图的等值线上，研究区的大型断裂——卢奥特宁断裂表现很明显，它与区域密度的最低值区相对应；这是由于断裂带的地形特征(有一系列总的走向为东北东的沼泽化洼地)所致。区域密度的绝对最小值(小于0.6条/km)位于波里依大什深断裂(断裂走向为NW315°)的西南，并与这一地区的基岩在地表的出露程度低，实际上并没有基岩露头有关。

在东南部，一个不明显的最大值(其区域密度值超过4条/km)与拉马斯断裂以南的