

成地科技情报 (一)

盲矿预测

(一)



成都地质学院

一九八二年四月

前 言

鉴于地表出露的矿体早已陆续发现，找矿的重心必将转向覆盖地区，深部盲矿床（体）的预测越来越重要。因此，在目前以及今后寻找隐伏盲矿床成一个重要的研究课题，这一课题不仅是我国而且也是世界各国地质工作者当今攻关的难题。

根据找矿系矿产预测科研队的创议，我院组织了有关专业教师，编写《盲矿床（与）预测》专辑，借以介绍国内外在这方面研究的最新成果，有关盲矿预测的方法途径和实例，以供从事寻找盲矿的生产、科研和教学人员参考。专辑拟包括六个方面的内容。

1. 成矿理论预测盲矿；
2. 地球化学方法预测盲矿；
3. 地球物理勘探方法预测盲矿；
4. 数理系统方法预测盲矿；
5. 遥感及航空地质预测盲矿；
6. 板块构造与成矿作用。

上述内容预计两年分辑出版。第一辑内容主要是上述诸方面的综述，发展现状与趋势。参加编写的单位有找矿系矿产预测队、矿床教研室、和数学地质研究室、情报资料室等。

由于时间关系和囿于执笔者的水平，欠妥处尚望读者指正。

成都地质学院情报资料室

1982年4月

目 录

论盲矿带(田)和盲矿床(体)的预测	(1)
成矿区域中的矿质来源	(20)
数学统计方法预测盲矿概况	(32)
板块构造与成矿作用	(38)
找隐状固体矿产的地球物理方法	(52)
电阻率法寻找煤田及煤层中几种有效的测井方法	(56)
新全球构造及成矿作用	(74)
用卫星图象分析的日本两个横断地区的构造特征	(79)
与地球化学和生物地球化学有关的植物表面微粒的 多元素研究	(91)

论盲矿带(田)和盲矿床(体)的预测

邓 尔 新

(找矿系、矿产预测科研队)

前 言

盲矿床预测问题,在国内外已受到极大的重视。这首先是由于出露地表的矿床(体)多已开采,其次在近数十年中,国内外都已开采了许多深埋藏矿床,例如我国许多钨、锡、钼、铅、锌和其它一些著名矿床。苏联的乌拉尔含铜黄铁矿床,阿尔泰和其它一些地区的金属矿带中的多金属矿床,美国密西西比盆地的某些铅锌矿床以及非洲的维特瓦德斯兰德的许多金矿床等等[1]。因此,目前找矿工作的主要特点之一就是发现新矿床的难度加大,见矿率急剧降低。覆盖地区盲矿预测将日益重要。盲矿预测任务极为复杂,以往国内外对于这一问题在很大程度上采用了就矿找矿,从已知矿床成矿规律着手,预测附近类似条件下的盲矿。这确已取得了很大的成就。然而,发展至今,这一方法已明显地受到了局限。目前的发展趋势是以全球性和大区域性的成矿规律和理论模式的研究为基础,预测盲矿带和盲矿区。这样就必然会减少普查工作中孤立地研究单个矿点所产生的盲目性,并由此而导至了一些区域性的大矿的带发现。盲矿床(体)所处的矿带地质和其它特征研究程度,也就是说,在具体的金属成矿省、自然气候和景观地球化学条件下人们对各种成因—工业类型矿床成矿条件和各种矿化信息的认识程度以及对现代和古代侵蚀面下深埋矿床被掩盖特征的认识程度乃是盲矿床(体)预测的基础和关键。过去,往往以单纯的地表或表面地质和化探的因素来分析和处理被掩盖的盲矿床(体)的预测问题。现在由于科学技术飞跃发展,一些新技术方法引进找矿工作中,这样就提供了从立体和三维空间的角度去考虑盲矿预测问题。本文的目的就是要根据现代成矿预测的特点,从新的角度对盲矿预测的理论基础,新技术方法的应用以及对盲矿床(体)预测模式进行分类,并对不同类型盲矿技术方法综合运用等问题作一广泛地讨论。以供广大找矿工作者参考和评论。

第一部份 盲矿带(田)和盲矿床(体)预测 的地质理论基础

由于预测盲矿任务的复杂性,加强对盲矿预测的基础理论研究就更为重要。除了应具备地表或近地表的矿产预测的理论基础之外,对于预测盲矿还要针对其被掩盖的特征以及所需采用的特殊技术手段,而广泛地研究它所涉及的各个学科领域内的基础理论。只有这样才能对盲矿成矿和分布模式有深刻认识,并在所建立的精确成矿的理论指

导下,熟练地运用富有成效的现代技术方法,迅速准确地圈定盲矿带和盲矿田靶区,寻找出大量盲矿床(体)。

盲矿预测的理论基础包括对盲矿形成条件分布规律及其有关的地质特征的研究,盲矿赋存的地质和其它介质(覆盖层、植物和生物、气体和水等)的物理和化学性质发育特征以及自然地理和气候条件的研究等。其中以盲矿预测的地质理论基础最为重要。这是由于盲矿预测成功与否,取决于对找矿地区三维空间地质构造特征研究程度,盲矿带分布模式的认识深度以及有效的技术手段的综合运用和科学分辨程序的建立。找矿地区大地构造特征和区域成矿作用的分析,无疑是盲矿带成矿理论的研究基础。各种岩类的化学物理性质,形成时代和分布规律不仅与盲矿空间分布密切相关,并且亦是盲矿预测模式分类的基础。矿床原生分带,与成矿作用紧密相关的围岩蚀变以及地球化学分散晕的形成机理和分布模式,及其物理化学特性可以直接提供圈定盲矿床(体)的所在位置。下面分别论述。

一、地球构造与金属成矿模式

早期的金属成矿模式是基础于典型的地槽理论,一般来说将各种矿产的形成和分布同位于活动带内的地壳的向下挠曲、深成岩浆作用和与其有关的热液活动相关联。在地槽发展的不同阶段,相应形成各种构造—岩浆热液活动,和不同矿产的空间带状分布。在地壳稳定部分的地台区,除了变质基底和沉积盖层的矿产外,各种内生矿产都与规模较大的大断裂、大断裂有关。它们控制了来自上地幔和地壳下部物质的运移、岩浆和火山作用及其有关的矿产的分布。我国著名地质学家李四光教授创建了地质力学控矿的学说。黄汲清教授提出了地槽褶皱带的多旋回发展对不同时代和不同类型矿产迭加的影响和控制。陈国达教授提出第三大地构造单元—地洼学说,并以此阐述我国东部地区矿产迭加的特点。但是,大多数现代的金属成矿模式则是根据当代板块构造理论和矿产同板块边缘产生的消减带或地幔的熔融物质向上喷射、涌出等作用的关系等等[2]。反复的构造作用和深成作用产生消减率的变化,新的板块边缘的发育,或者板块在地幔喷射物之上的迁移等,这些作用和现象都被认为可以产生不同时代的矿化[2]。由于板块构造与成矿模式的建立,以及各种先进技术手段的运用,在南、北美洲环太平洋地带斑岩铜矿像雨后春笋般地被发现。在东南亚环太平洋地带如巴布亚新几内亚、印度尼西亚的苏拉威西,以及新西兰等地,发现了一系列的斑岩铜矿带[19]。这是运用全球板块构造与成矿模式预测矿产成功的鲜明实例。

在全球构造的特征中,由于卫星、航天技术的日新月异,资料的日益积累,过去被地表地质忽略的许多巨大的线性构造被卫星图像所发现。L·C·Rowan和E·H·Lathram根据大量卫星图像资料将地球线性特征按规模划分为三大类[21](下节详述)。其中一类规模最大,是反映地壳大地构造单元的线性特征。这类线性特征一般大于200公里长,多数长达1000公里或更长。它们通常标示着区域构造单元之间的边界线或者这些构造单元内相互分离并各具不同区域构造类型和模式地带的边界线的全部或部分。此外,它们还可以横切整个构造单元的范围,或者横切具有不同构造类型的构造单元间的边界线[2]。众所周知,这种不同大地构造单元的边界线往往是深大断裂和大断裂出现的地带。它往往控制着区域地质构造发展、岩浆作用及其有关的矿产的形成和分布。不少学

者认为,这些很长的构造单元反映出地壳中的不连续性,并常以“地壳的~~推~~推断层”,“深构造带”,“地壳软弱带”和“大地构造板块”或“地壳板块”的边界线等一类的术语来表示它。这些线性特征同深部物质的重力和磁力特征反映曲线的等值线图上的异常展布不连续性地带相符合一致,也同主要大地构造不连续地带相符合一致。这样的例子在美国和加拿大可以举出很多[2]。苏联的地质学家们也表明这些线性特征的某些是与地幔的差异有关,并反映出莫霍面不连续性的变化。此外,绝大多数实例均证实这类线性特征所反映的构造运动是从前寒武纪,甚至被推测是从地壳形成时以来,经常发生的运动。例如在科迪勒拉有许多线性体经检验被认为是与地壳起源有关。在卫星图像上线性特征的空间模式与上述这类构造运动相符合一致。这些线性特征还从已知的地面和地下的地质研究,以及卫星飞行制图表明为属于标示地壳构造的线性特征。当然也有许多线性特征被证实与深部构造无关。因此应仔细选择判断,熟练地解译它们发展的历史。因为这对于金属成矿的分析是极其有益的。所以,作为指示地壳不连续性的宇宙空间图像的线性特征不仅是指示提供矿化物质从深处向上运移的通道。更为重要的是它们作为地壳板块边界线性特征反映大地构造发展、变化的历史及与其有关的大量矿产的形成与分布。许多金属成矿理论的专家们(例如克拉克Clark和其他学者对阿拉斯加, Sutherland—Brown对于不列颠哥伦比亚; Sillitoe 对于安第斯地区的成矿分析)曾指出在许多地区存在着宽广的矿化线性带并平行于主要的构造带。Sutherland—Brown研究了不列颠哥伦比亚的金属的区域性的分布,并以地球化学样品分析成果显示出来,他的结论是在金属矿床和金属背景值的平均值之间有相似性。矿床成因同它所赋存地区的地球化学背景值的水平有密切关系。区域地球化学背景值制约着在该区岩石中相应有的矿床的形成。其他许多学者还认为矿床是由于侧分泌作用而形成的,矿床是从周围岩石中浸提金属组分富集而成。而以上所述又是受区域性线性特征所控制。Sillitoe 解释安第斯已知的矿床的线性带,并辨认出在横切线性带延伸方向上的地质不连续性,并细分安第斯为许多较小的相互平行的构造带,每一分带与其相邻的分带具有不同的金属成矿特征。在阿拉斯加Kuskokwim河的下游地区,相对该州的其它地区,汞金属高度富集。矿化地区不是与单一的线性特征有关,而是在极大程度上局限于两个北东走向和两个北西走向巨长的线型特征体之间。在不列颠哥伦比亚,富汞区域也是近似地局限在两个北西走向的线性特征之间和北西走向的 Rocky Mountain Trench 和 Denali—Yalakom—Fraser 断裂体系之间(见图1)[2]。日本宇宙地质学者 Kazuo Hoshino等,对日本本州北部和本州和四国的西部横断典型岛弧的构造地区,以卫星图像配合空中和地面地球物理对大型线性体构造与成矿关系作了系统的研究。例如在本州北部平行海岸线大致呈近南北向延伸的巨大线形体从东到西依次排列为前第三纪基底地块,晚第三纪沉降带,脊状隆起山系(Backbeon Range)(地貌命名),晚第三纪褶皱带,组成带状排列。各带边界和各带内部均发育巨大的线型体。各带内的矿产在时代、成因—工业类型方面各不相同,例如在脊状隆起山系带内(绿色凝灰岩带)是 Karoka 层控型铜、铅、锌矿床的矿化基地。也是从早白垩世到第四纪直到近代的火山作用区,与其相关的块状黄铁矿型矿床十分富集。晚第三纪褶皱带是日本盛产油气圈闭的地区。这些矿产都是同构造带相关一致地呈线性延伸。在日本南部即本州和四国的西部也由巨大的线性特征——~~巨大构造线~~构造线所控制,并以此划分该地为内带和外带构造单元。内带(靠日本海~~一侧~~)~~以明显的~~以明显的大小不一的 NE-SW 走向

的线性构造为特征，也有 NWW 走向的线性断裂。外带（靠太平洋一侧）则为平行中央

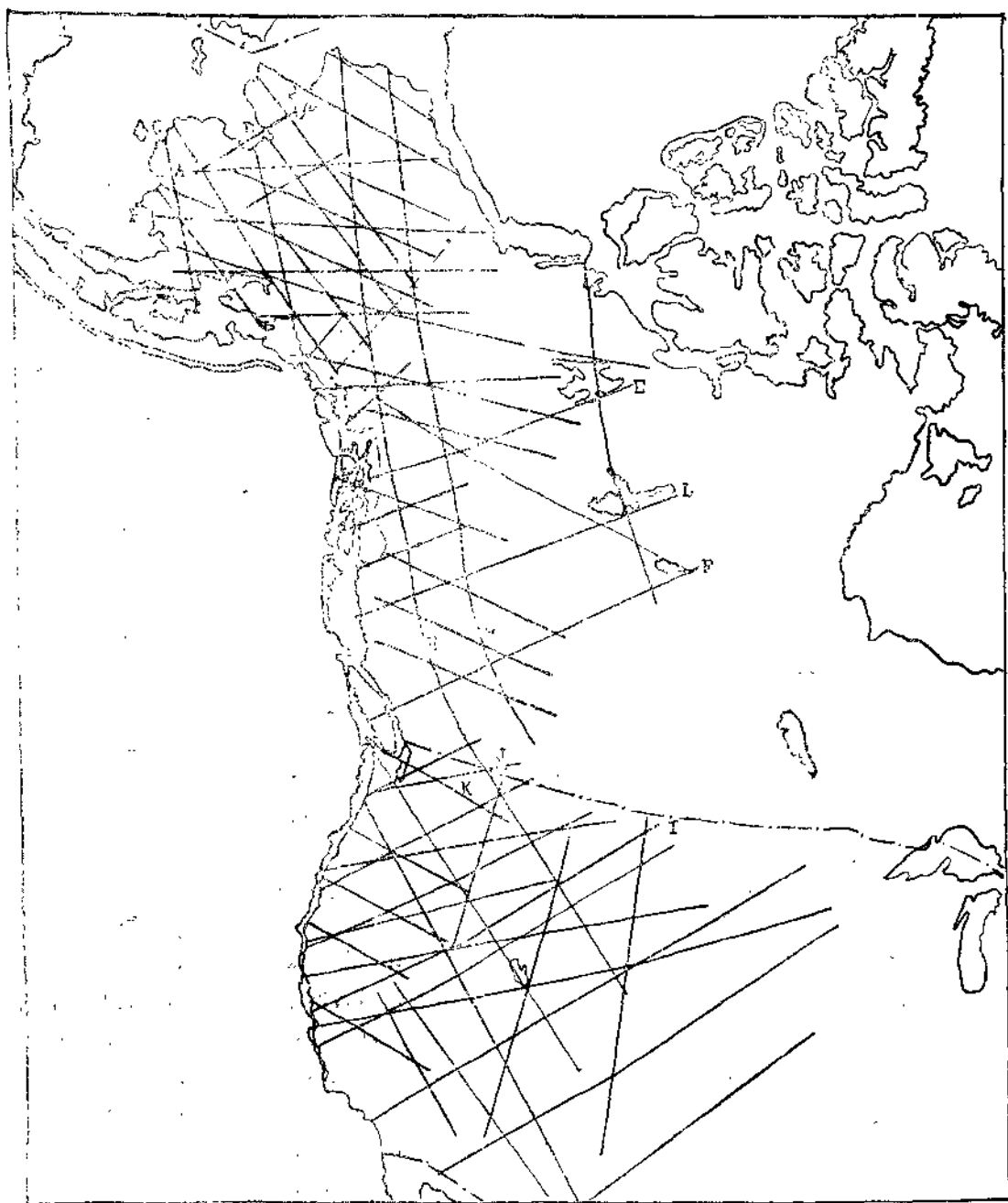


图 1. 显示在北美科迪勒拉地区的表明地壳构造单元线性特征的模式。图中说明在阿拉斯加富永地区局限在图 1 北东向(A-B)和两个北西向(C-D)延伸很长的线性特征之间。在下列频哥伦比亚，富永区域也是局限在二个北东向(E-F)和两个北西向(G-H)延伸极长的线性特征之间。

构造线的走向以及 N-S 向的小而明显的线性断裂为特征[3]。外带和内带分别控制着不同的矿产分布。与线性特征符合一致。

以上实例能很好地说明,沿着地壳板块边界线的内、外构造力的作用产生垂直和水平方向的起伏运动,致使各个岩石圈板块经历了不同的历史,并由此而决定了在一定地区内金属矿产富集地产出。

二、研究标志区域构造体系的线状构造以及 环状构造以预测盲矿田

由于卫星遥感遥测,航空和地面地质及地球物理综合调查,在区域地质构造制图和区域成矿作用的研究上取得了前所未有的新进展。特别是对于标志区域构造体系的线状构造以及环状构造,对于蚀变围岩的分析和圈定。或者二方面的结合,便能快速高效地圈定远景靶区。这些靶区往往是地面无法和未能发现的盲矿田赋存地带。

1. 标志区域构造体系的线状构造及其交叉处对预测盲矿田所起的作用:L.C.Rowan 和 E.H.Latham 将遥感卫星图像解译的大量线性特征分为三类,它是以变形规模作为分类基础。而这种分类却正好有益于盲矿的预测。第一类线性特征标志的是个别构造组和局部构造组的特征。第二类是反映区域构造体系(褶皱带、地台、盆地)的总的特征。第三类前节已述及代表地壳中基本大地构造单元的线型特征。第一类标志局部构造的线性特征长度一般小于10公里,它们能在航空摄影图中清楚的辨别出来,但却很少在卫星图像中被发现。这些线性特征所指示的是可以导致发现各个矿体所处位置的各个褶皱、断层、节理、矿脉、岩性接触带和其它详细地质特征的形式和位置。总的说来,它们反映的仅仅是直接出露地表的条件和近地表的条件。很少能指示深处被掩盖的盲矿。它们所具有的找矿地质意义很容易从地表和近地表的地质和地球物理资料中鉴别。第二类标志区域构造体系的线性特征能经常在陆地卫星图像中被研究和制图。它所指示的往往是深部规模较大的隐状的线性特征及其相互交叉构造。这类线性特征及其交叉地带往往控制被掩盖的盲矿田的发育。它们的规模多数是10—200公里长,有的还更长。另外还有些是属于基本大地构造单元线性特征的一部分。所以,标志区域构造体系的线状特征所指示的是表明褶皱带特征性的褶皱、断裂和其它构造,或者指示的是表明地台的特征性的断裂和其它构造模式,以及指示总的岩性单元接触带。它们在数量上多于第三类线性特征,少于第一类线性特征约一个数量级。它们往往反映已辨认的大地构造单元的内部特征。Carter制作了美国的一个陆地卫星线状构造体图,在图中明显可见从一个地区到另一个地区线状特征的密度和模式的变化是极不相同的。Haman也从美国的陆地卫星图像中识别了和统计了1585个线性特征。从所编制的一系列线性特征的密度和走向的等密度图可显示出原始大地构造单元总的分布。并证定各个大地构造单元中其线性特征的密度和走向分布是各不相同的。他发现线性特征的平均长度测定为156公里。此外它们常同地表地质资料或近地表的磁力测量资料相关。

这一类的线性特征,最有助于圈定靶区。在这靶区所处的范围内往往存在着盲矿田。此外它们还提供进一步野外详细研究的根据。在很多地区,这类线性特征已表明与矿产分布地区具有显著的空间相关。例如阿拉斯加的东部,内华达州、蒙大拿、科罗拉多、新墨西哥和加拿大中部等地区。在所有上述地区内,一个具有高百分比的已知矿区

产在这类线性特征的 2—7 公里长的地段中。Lathram 和 Grye 将卫星图相中线性特征与阿拉斯加的矿化地区的分布相联系，并同 Sutherland—Brown 和其它学者对不列颠哥伦比亚矿化集中区域受构造控制的结论相对比。在该区贯穿全区的主要构造被同它正交的横向构造所交切，矿化集中分布于此交切地带（图 2）。Albert 表明在阿拉斯加的东部 Nabesna 地区存在着大量有异常的地区，原先认为这些地区不存在含矿带，实际证明为含矿的蚀变带。美洲的宇宙地质学者还将整个科迪勒拉宇宙空间图像中的线状特征模式同 Kutina 在美国西部所建立的“剪切应力网”模式相对比，并显示出在方向上以及各个单元的空间上，两个模式之间都显示出明显的相关。此外，宇宙空间图像中的线性模式的大量线性特征切穿一组高矿化地区，大量线性特征的交切的地带同金属富集区域符合一致。Rowan 指出在内华达州数量上占优势的矿化区域沿着二个陆地卫星的线性特征北东走向的 Midas Trench 系统和北西走向的 Walker Lane 而分布[2]。在美国犹他州北部地区陆地卫星图像发现的 NNW-SSE 和 NNE-SSW 线性构造及其交叉点，SE-NW 和 S-N 线性交叉点以及 SEE-NWW 等线型断裂带控制了岩浆上升和含矿岩体的分布，如石英二长岩株、花岗岩类岩株及其有关的斑岩型、接触型、交代型、裂隙脉型贵

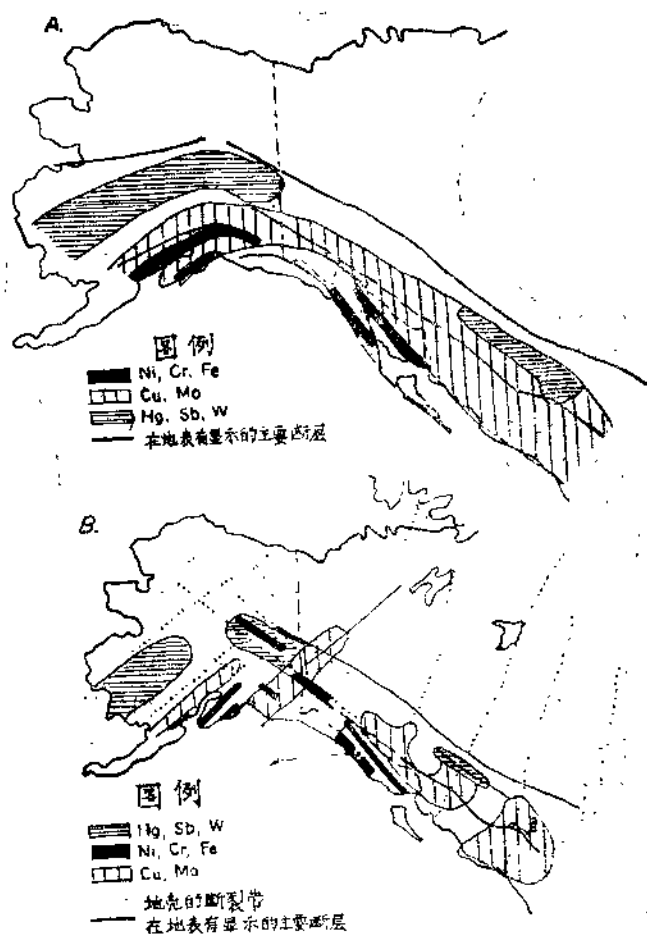


图2：在阿拉斯加和西加拿大图中表明的金属局部富集的可利地区

金属、多金属Pb、Zn、Ag、Au和Cu等矿产[4]。在南美补充运用电子计算机技术加强了对难见的线性特征在陆地卫星图件上的研究,从而被T·Offield发现了一个意义重大的东西向的控矿线状特征,它从大陆横越大西洋大陆棚而伸展并同一个转换断层共同延伸而横切大西洋南部。在非洲,同一个转换断层共同延展的是一个矿化线性带,其矿化分布模式可与南美洲沿线性特征分布的矿化分布模式相对比。此外,在南非,在靠近和沿着线性特征分布的地带,环绕着前寒武纪地块为核心,褶皱带分布的地区,与线性特征分布一致的潜在的隐伏盲矿带的范围被圈定出来。在红海地区Garson和Krs识别的“深部构造”带的走向和空间分布同宇宙图像中的线性特征的走向和空间分布一致。他们并指出这些构造带同红海内的深卤水潭和陆地上的矿化地区有密切的关系[2]。在苏联利用卫星图像追索和圈定了许多巨大的断裂。1978年以后在苏联的南方宇宙地质学家辨别出71个断裂—线状沿伸65—1500公里。在苏联的褶皱带地区(如古生代的乌拉尔和Гянь-Цзянь,中生代的魏霍扬—科累马地区以及苏联南部阿尔卑斯褶皱带分布地区)通过宇宙图像判明了正交和斜交断裂的交切构造对成矿的巨大作用。在沉积盖层中的高度发育的裂隙带,可以反映出深部的断裂,而这些断裂裂隙在早先地表制图时均不能完善地表达出来。这些断裂裂隙地带有利于成矿地质渗透带的发育。因此合理地辨别出在基底的深断裂和同它一致的地台沉积盖层的高度发育的裂隙以及宇宙图像上的线性特征之间的关系,对地台区盲矿田的预测具有重要意义。除此之外,在沉积盖层中的局部褶皱构造可使沉积岩的岩相和厚度发生变化而有利于在圈闭构造和一定岩性类型中石油和天然气矿床的形成[5]。А.С.Караханян在苏联的卫星图像中辨译出在外高加索的范围内北西西走向的线性构造极其明显。在小高加索的西部线性构造主要为SWW向的走向,而在小高加索的南东部分主要是SEE和SE方向延伸的线性构造。以上这些线性方向符合于小高加索的主要的大地背斜构造带和地貌带(山脉和水系)的总方向。在高加索巨大的线性体中具有意义的是那些基本符合由构造相带所制约的深断裂带和其他大构造带的某些地段[6]。在小高加索经卫星制图查明金属矿集中的地区与最大型的近东西(北东东向)走向的断裂有关。在其被北东,南北和北西向断裂所交切而形成多边形的块段地带众多的铅—锌,铅—镉多金属矿床和矿点发育[7]。В.Н.Брюханов等还指出线性特征相互交切地带与环状构造间的关系及其控矿特征。他们以魏霍扬中生代褶皱带中发育的巨大线性体为例说明纵向和横向的线性交叉结点经卫星图像解译而发现许多新的环状构造。经过检查工作证明,线性体同小断裂和裂隙集中的地带符合一致。环状构造同原先在地面未发现,未出露的花岗侵入体符合一致。这些又进一步被地球物理资料所证实。在有利地段经详细的地球化学取样确定了稀有金属矿化[5]。

在我国滇西云龙地区,在植被高达95%以上的覆盖地区利用卫星照片发现槽间大断裂,并查明它控制了成矿的母岩体和钨锡矿带[8]。类似的例子在我国甘肃、黑龙江和长江流域等地区也很突出。例如黑龙江省东部,大量的金、银、铜、铅、锌、钨、钼和铁矿床矿点均分布在北东、北西向线性构造交叉成菱形断裂网格角顶或角内,多组断裂交叉部位以及环形构造与线型构造交会部位。在该地区利用卫星图像显示的线性构造圈定了12个找矿靶区[9]。在我国贵州镇远地区利用航天照片结合已有资料分析发现东西向裂隙和北东东向与北西西向线性构造交汇处,对于金伯利岩的寻找是很有利的构造部位[10]。所以,在地表露头很少的条件下,由于宇宙地质测量资料显示出有利的线性特

征,使原先一些由地面地质测量和找矿工作所获资料而认为对于找矿是没有远景的地区,被查明为具有工业意义的盲矿田赋存地区。

2. 环状构造与盲矿田的预测:环状构造的研究和制图对于迅速圈定盲矿田的靶区具有特殊意义。在欧美和苏联利用宇宙图像判明各种类型的环状构造,并进而查明它们与成矿的关系,配合其他方法,圈定盲矿的靶区,其实例是极其丰富和值得借鉴的。

L.C.Rowan和E.H.Lathram认为环状构造是线性特征中的一个特殊情况。他们根据所掌握的有关资料认为环状构造没有排列成区域构造模式。并认为环状构造中有些是在主要的线性特征的附近产出,有的可能是由于线性特征的爆裂(disrupted)而变形。另外,也有许多却很少或没有同长的线性特征相关。他们仍然着重按环状构造的规模将它们分类,并讨论与成矿的关系。苏联一些宇宙地质学家对环状构造的分类较重视,他们对环状构造的规模和成因类型及其同成矿的关系已作出了初步分类。В.Н.Брюханов, В.В.Коваленок等[5]根据宇宙图形的解译,认为可划分出大量的各种不同成因的环状构造,其中有四类环状构造具有重要意义:①火山—构造和火山—深成火成岩体的构造,它的规模从较小的直径到几十公里的直径,它与岩浆源的形成有关。②火山构造洼地和隆起带,它常常是椭圆状的,其直径规模为几十到几百公里,③巨大的中心—环状构造,它是在地盾的范围内,在地壳形成的早期发生的。④是由不同水平层位的岩石圈的变形,或者是与底辟作用有关的现象所产生的隆起和注陷。此外,他们还认为由于宇宙地质制图的结果而建立了许多新资料,这对于地质构造的理解是极为重要的。例如在鄂霍次克—楚克奇带查明了地壳的多圆图形,它与大量的圆形和椭圆形的环形火山构造类型的构造的发育有关。这些同古火山岩构造相应的构造决定了火山岩相的空间分布,放射—同心状系统的断裂和高密度裂隙带的发育。在地盾和块状结晶岩的范围内(波列斯克,阿尔丹,阿得巴尔,乌克兰)显示出巨大环状构造的巨大作用。它们的直径从数十公里变化到数百公里。В.К.Брюханов等认为这些构造乃是地壳形成时原始或卫星阶段的古代残余构造。这些断层能控制侧向的热块体转移的不同类型的作用。这种热块体迁移作用的进行是从岩石的软流圈层向地壳的上部水平带迁移,而这种热块体迁移作用决定着岩浆岩和热液形成作用的分布。阿尔丹地盾可能就属此例,在它的范围内查明了中生代亚碱性侵入体群分布的规律性。在宇宙图像上的该地区,解译出巨大的环状构造以及同它相伴生的放射状的断裂,它们分布的地方同高裂隙性和退化变质的弧形带相符合。大量含矿的中生代侵入体产在环状构造的中心部位[5]。М.А.Артамонов和Е.Н.Востокон对波列斯克—斯堪的纳维亚(地盾)区域环状构造的研究得出结论将该区环状构造划分为五类:①陨石口(астробемы)类型,其形成时代从早古生代到中新世直到全新世。陨石口的规模直径从100米到7—8公里,罕见的例子直径可达35公里(ОЗ.Сильян),②花岗—片麻状岩钟,规模10—20公里,③与中心类型岩浆杂岩有关的火山构造成因的环状构造,分布于Осло地盾的范围内,时代为上古生代,规模达10公里,④等量的基底类型的圆形地块,块体平均规模近200公里。其中某些地块属环状构造并与十分复杂的构造地块有关,在重力场和磁力场的复合性中反映出来,并常常具有椭圆形状,⑤复杂的构造—岩浆基底地块规模从20—100公里,它们在物理势场中往往具有复合性的异常,这种复合性异常分布的块段往往被限定为环状或弧形的递减率带和环状(常常是多环状)异常带。通过地球物理资料而得到证实,它们是深部地壳的环状构

造其延深可直达莫霍面[11]。L.C. Rowan 和 E.H. Lathram 认为目前还没有提出一个关于环状构造与成矿关系的总的新分类,但它们对于环状构造的研究表明不同规模的环状构造具有不同的成因,并同成矿的关系各异。例如几十公里的或较小的环状特征的地质鉴别一般能在地表地质中进行或者以其产出的构造位置来推断。那些在火山地区环境中,诸如俄勒冈和华盛顿州(有些在波兰附近为早先未知的)的环状构造可能是被覆盖的破火山口,例如内华达州的那些环状构造类型。另外一些环状构造可能标志着直接位于其下的火成侵入体的轮廓。如在亚利桑那州的那些环状构造。还有一些环状构造是被叙述为环绕火成岩体的蚀变带的轮廓。例如在加利福尼亚的东部。具有几百公里直径规模的环状特征的成因和性质,以及大半径,规模同上的曲线特征的成因和性质,这一问题尚待解决。Lowman 提出地壳发育演化的理论,它基础于对月球、金星和火星的观察,这些与上述环状构造的解释相当。这些环状特征代表太古代的火山口。近似于今日在其它星球上所见的一样。另方面,Smith 解释美国西部地区的曲线和环状特征,认为它们是由于大陆地壳分裂成较小的板块所造成的局部构造。但这一假说缺乏充足的证据。总之,许多这类构造和基本大地构造单元之间在空间分布上是密切相关的。象这种关系可以很清楚地在美国基底地质图件中反映出来[2]。L.C. Rowan 和 E.H. Lathram 还认为矿床对于火山颈、火山管、环状杂岩脉、破火山口、火山道、冲击火山口、环绕侵入体的蚀变带和近似环状的斑岩侵入体的亲和力,使我们认识勘探预测矿床而研究环状构造的重要性。然而由于目前对环状构造与矿化关系的总的系统的分类尚未提出,因而必须对它们产出的具体的环境逐个加以研究[2]。从上述可见研究环状构造对于盲矿田预测有以下几方面的意义:(1)可以帮助查明早先未知的潜在的盲矿田。(2)结合对线性特征的分析可以帮助确定区域盲矿田分布系列。(3)进一步证实与环状火山构造和深成火成岩体构造有关的矿化源地的特征的重大作用。(4)确定矿化和盲矿田同地壳形成时的古老环状构造的关系。在苏联研究环状构造配合物化探等技术手段成功地预测盲矿田靶区的实例是很多的。例如在前已述及的苏联东北部地质研究不够充分的地区鄂霍次克—楚克奇火山成因带的范围内,表明存在着有几十公里直径组成的环状构造。经与地球物理资料相对照而查明找矿最有远景的地段,同时证实了环状构造的作用和它们的火山构造性质。在这些构造范围内区分出地下火山体、岩脉、火山裂口相的中心,相当大的热液蚀变岩石所处的地段,同时又直接指示了低温热液类型的矿化[5]。在中哈萨克斯坦利用宇宙图像和高空航片的解释结合地面大比例尺地质测量发现环状构造和弧形断裂带与区域重力测量极小值分布地区极好地重合。证实其下有白岗岩类的花岗岩侵入体,岩体顶部往往富含稀有金属白钨、辉钼矿等盲矿床。地面检查有次生钨、钼分散晕异常。因而极快地查明了所有远景地区[7]。在澳大利亚布洛肯希尔和芒特、艾萨铅锌矿外围进一步找矿是先应用卫星相片发现了松散层覆盖区的一个圆形图像,然后查阅航磁、重力资料,发现该地为高磁、低重力异常,又对比区域地质资料,推断深部为一个环形基底破碎带,可能含矿,后经证实为一个储量很大的花岗质角砾型铜、铀矿床[12]。在秘鲁利用卫星相片发现环状构造而直接找银矿。还有利用线性构造同环状构造发现金伯利岩的例子。环状构造对于预测斑岩铜矿特别有效,几乎在世界一些著名的斑岩铜矿区都可见到环状构造与它们有密切关系。在美国西部、墨西哥北部、阿巴拉契、阿拉斯加、育空以及在马达加斯加和科西嘉等都不例外。苏联学者 Павлова 指出苏联的铜矿约有90%产在

中心型环状构造中,而且是分布在同心环边缘或环边与线性断裂交汇处。我国冶金部地质研究所在研究国内斑岩铜矿床与环状构造关系时发现80%以上的矿床在不同类型的环状构造的边缘,偶儿也见于环块内部。并且与环状(或环块)构造中的线性断裂更为密切。我国八大关、多宝山矿区,蒙古的阿伦诺尔斑岩铜矿、额尔登丁敖包和察尔汗苏布尔斑岩铜、钼矿床,都分布在天山—大兴安岭弧形构造带上的环块构造上,我国公婆泉矿区产于大环块构造边缘的寄生小环块密集处。德兴矿田则与婺源环块有关,分布于环块中心部位[13]。除此之外,我国利用航天和航空像片,对环状或环块状构造的研究和圈定已广泛地开展,并取得初步成就,例如对我国山西的铜矿,我国东部地区矽卡岩型铁矿,燕山、吉、辽、河南,华南和东南沿海的各种类型的金矿。华南(包括赣、皖、鄂、湘、黔、滇等省)的钨、锡、汞、锑矿以及湘东某些地区的铀矿同环状或环块状构造以及环状构造与线状构造交汇部位的密切关系均已通过对卫星和航空像片的解译和研究而得到进一步的肯定[14]。

根以据上论述,笔者认为在开展盲矿田预测工作前必须对于预测区所在成矿带的特征进行研究和总结,同时应在卫星和航片上详尽地研究标志区域构造体系的线性特征和环状构造。然后将线性和环状特征按规模—形态—成因类型以及同矿化的可能关系进行分类。根据每一类型的典型特征,组织地面具有广泛而综合的找矿工作,便能迅速而有效的圈定盲矿田的靶区。

三、隐伏火成岩和与其有关的盲矿田的预测

矿床物质来源重要的一方面是由岩浆活动所提供的。岩浆岩与内生矿床之间存在着复杂的成因和空间联系。有些矿床如岩浆型铬、镍矿床与基性、超基性岩直接相关。斑岩型铜、钼矿床亦与中酸性斑岩体直接关联。这些矿床的寻找首先要圈定有关的岩浆岩体。但较多的矿床与岩浆岩的关系则是间接的,有的很不明显。预测隐伏的含矿母岩体,首先是要分析岩浆岩与成矿的关系。然后用特殊的技术方法圈定地下的隐伏岩体。并进一步预测与其有关的盲矿田。

分析区内岩浆岩与成矿的关系,首先要对岩浆岩成分特征与成矿的关系进行研究,即成矿专属性的研究。包括对岩石化学、岩石地球化学和微量元素地球化学特征、岩石矿物成分及矿物标型特征、同位素成分和气液包裹体成分等方面的研究。除此之外,岩浆岩与成矿作用在时、空分布特征之间的关系也是成矿预测研究的重点。这是在一般条件下的情况。对于含矿的隐伏岩浆岩的预测和圈定,则必须考虑隐伏岩体和盲矿田的被覆盖的特征。因而在分析岩体与成矿关系的基础上,特别要着重研究隐伏岩体在地表所显示出的各种信息。

由于岩浆活动和成矿作用是在地质发展历史某一特定阶段的产物,因此它必然与各种地质体存在着有机的联系。特别是与构造作用的发生和发展有着密切的关系。在地壳构造运动发展到一定阶段、岩浆侵入、分异、冷凝,同时成矿作用相伴发生,最后形成了特定的构造—岩浆—成矿带。因此,同一时代和一定成分的岩浆岩成带状,线状或环状分布,并制约着与其有关的矿产成带状分布。这就为我们从研究已知大矿带内的岩浆岩特征为基础,进一步对带内隐伏岩体的含矿性作出科学的预测。例如环太平洋成矿

带,与斑岩铜矿直接相关的岩浆岩其形成时代均相近,虽然斑岩体的成分有相当大的变化,但它们的岩石化学特征却都是钙—碱性的。例如环太平洋南西岛弧和澳大利亚的斑岩铜矿包括菲律宾的吕宋岛的 Taysan, Mamut, Sabah (Borneo), 印度尼西亚的苏拉威西岛 Tombulilato 地区、西伊里安地区, 所罗门群岛的 Koloula Guadaleanal, 巴布亚新几内亚的 Panguna, Bougainville, 新不列颠 Esis, Plesyumi, Star Mountain 地区和 Ok Tedi 和 Yandera 地区以及澳大利亚的 Moonmerna Queensland, Coalstoun Queensland, Copper Hill, New South Wales 等。与铜矿有关的斑岩显示出结构构造上的近似性,然而岩成分却变化较大,从闪长岩变化到石英二长岩。但是其岩石化学特征均是钙—碱性,形成时代为新生代。它们的结晶的物理环境也是相近的[19]。因而详细分析已知大矿带中的岩浆岩、矿化、围岩蚀变和地球化学等地质特征,进而可以预测一系列的新的类似隐伏矿田和矿床。东南亚的巴布亚新几内亚的 Panguna, Bougainville, 斑岩铜矿预测成功就是极其典型的实例。除此之外,研究矿带的构造岩浆作用同样可以预测隐伏岩体的空间分布。然而,为了准确地圈定隐伏岩体的具体位置,必须在上述研究的基础上,研究隐伏岩体在地表显示出的信息那就是地质地貌、水系、植物等信息,地球物理和地球化学特征信息。

(一) 隐伏的含矿岩体在地表显示的地质、地貌、水系和植物特征信息

由于成矿母岩体在形成时间和空间分布方面是受地壳运动所控制。因此一定时代的构造运动控制着特定的岩浆活动。在某一大地构造单元内,可以预测到特定的岩浆岩组合。例如苏联学者 В.В. Овехимовский 对 Приамурья (包括伯力边区和阿穆尔地区) 的区域地质结合物探重力异常的分析指出,该地区最有远景的锡石—硫化物是与偏基性的花岗岩、闪长岩、辉长岩浆组合有关。而这套岩浆岩组合是处于地壳厚度相对较小的隆起区和拗陷区的边缘地带[20]。类似情况在苏联外贝加尔、非洲和世界上其它地区均有存在。又例如前述环太平洋地区钙—碱性岩浆系列,及其有关的矿床形成于全球性断裂带(洋壳向大陆或岛弧板块俯冲—毕乌夫带),与此类似,在两个大陆板块碰撞的地缝合线的全球断裂带,又控制了来源于上地幔的基性和超基性岩浆岩套和与其有关的矿产(阿尔卑斯带)。我国贺兰山—龙门山—横断山深大断裂,秦岭—大别山深大断裂和郯城庐江深断裂均控制了一系列的岩浆岩套和与其有关的矿产。因此,在这些大矿带内已初步掌握了岩浆岩的时、空分布和成矿专属性规律的基础上,再预测新的隐伏的含矿母岩,就有较大的把握。并且,由于矿带所处的大地构造单元的特点,可显示出一系列的地质、地貌、水系、植物以及地球化学、地球物理特征信息。那就可以如前所述利用宇宙和航空地质调查配合地面制图就可以充分地查明和圈定全球和区域性的线性特征、环状构造以及一系列的岩浆—火山活动带。并为直接圈定隐伏含矿岩体打下基础。Von Bandat, H.F, P.H.D 曾系统地论述了利用航摄资料,以地貌特征(如抗风化能力强的块状侵入体的边界—花岗岩穹丘地貌特征,环状火山地形特征等),水系特征(如侵入岩显出一种宽阔的空间结构的树枝状水系,水系的水头表现出突然的弯曲等特征,放射状和环状水系特征等),色调特征和植物特征(如花岗岩体易形成富砂、富酸性的土壤有利于松树的成长,在航片上极易与其它树木区别,再如不同类型植物的排列成线状、环状等以示各种地质体)等等[21],均能配合其它手段圈定隐伏的含矿岩体。

(二) 隐伏的含矿岩体显示的地球物理特征信息

前已叙及在宇宙地质方法中利用光、电学物理性质圈定地质体，但目前利用隐伏岩体的磁力性质和重力性质来预测它们应用最广。众所周知根据岩石化学的准则可将岩浆岩划分为超基性、基性岩类，中性、中酸性岩类和酸性、超酸性岩类以及碱性岩类。各大类的岩石的成因和物质来源不同而决定着与其有关的矿产地迥然不同。由于它们的成分不同，致使其物理性质方面，特别是磁力和重力性质方面有明显的差异。这样，就使地球物理参数不仅作为预测和圈定隐伏含矿岩体的重要手段，笔者认为，更为重要的是它也是盲矿床预测模式分类的重要基础之一。以往对盲矿床（体）的分类只从覆盖特征出发，最多兼顾地球化学参数。忽略主动从三维空间角度，并综合运用宇宙和地球物理技术去处理盲矿分类问题。这是本文在以后各章还要重点论述的。由于地球物理方法具有较强的穿透性能。所以在预测隐伏含矿岩体和盲矿方面有其不能取代的特殊作用。目前航空和地面磁测均向精度更高方向发展。现已能划分过去认为是非磁性的含矿岩体。高精度的磁测还可以划分出热液蚀变、接触交代蚀变带等。苏联和欧美（在南非）都已用磁测方法预测含金刚石矿床的金伯利岩，并取得很大成效。美国和加拿大还日益重视区域航磁资料、积极进行全国航磁图的测制和出版工作，这些工作，为预测各种地下隐伏含矿岩体和矿产打下了牢固的基础。另一重要趋势是对岩石磁性的深入的研究，一些学者认为，对岩石的化学成分和密度、磁力性质之间的关系这一问题的研究，可以导致用精确的磁力测量测制各种化学成分不同的岩石。在实际找矿工作方面如 D.A. Barr 对加拿大不列颠哥伦比亚 Chappelle 金—银矿床运用了磁法划分未蚀变的 Takla 群（上三迭纪）透闪石安山斑岩（数值范围从1000—3000伽马和硅质岩（数值范围400—800伽马），对侵入到 Asitka 群（二迭纪）中的 Omineca 侵入体及同围岩的接触带均作了圈定。对冰碛物覆盖区内，断层的延伸范围和岩石的接触界线均以磁力资料加以圈定并投影在图上。对含金石英脉带也用磁力资料圈定，它们同磁力低谷（值）区符合一致[22]。这一研究为提供在冰碛覆盖区圈定与矿有关的火山岩、岩浆岩以及直接圈定矿脉提供了良好的经验。

近来国外对重力的研究以提高精度和改进仪器并重，用重力梯度仪代替重力仪，使航空重力测量得以发展和进行。这样就开辟和扩大航空地球物探调查的新领域。重力测量对于划分各种地质体接触带特别有效。在重力测量发展的新方向中，研究深部构造密度差不仅对地壳大地构造极为重要，对矿产和含矿岩体的预测也是极其有用的。例如苏联 В.В.Онихимовский 对 Приамурья 地区锡矿床成因的研究中，运用了区域重力测量资料分析地壳深部构造、隐伏岩浆岩和矿化成因。对该区锡矿工业远景作出了准确的评价[20]。修正了以往对锡矿床成因和预测工作中错误的观点。他们认为重力负异常与构造隆起带，如西伯利亚陆台，Становой 过渡带，Селемюжино—Керьинский 地垒—复背斜，Амурский 中间地块的中部和东部以及所有的复背斜区，二者之间反映出清楚的一致性。这些构造隆起带最主要的特点是地壳具有最大的厚度。相反，在拗陷带和复向斜构造地区，地壳的厚度急剧地缩小，重力异常增大。因此，在地壳构造隆起带内，一系列布吉负异常非常清楚地反映出花岗岩块体，在深部，它们常常扩大规模并相合并为一体。所以这些负异常就被解释为巨大的花岗岩深成岩体，并由此而确定了大多数内生矿床和矿化现象如锡、钨、钼以及绝大多数金、锑、汞矿化现象与区域最小重力值的正相关关系。它们进一步分析这些地区内的花岗岩后认为，它们绝大多数是淡色和正常的含

锡花岗岩，常是超酸性和碱性的。同它们共生的是含锡的伟晶岩、云英岩和石英脉，并常含有黑钨矿[2]。类似的情况在世界上其它地区也很多。与此相反，在该地区具有较小的地壳厚度的地段，却发育着大量的中生代和第三纪的火山岩，偏基性的花岗岩、闪长岩和辉长岩和一系列成分与之相同的成矿前的岩脉。在这种条件下发育着与其有关的最为丰富的锡石—硫化物建造矿床。因此，他们认为最有利于富集含锡矿结和矿床的地区，乃是地壳厚度比较小，又具有重力负异常的地区，或者更倾向于布吉负异常和正异常之间的边缘带，在地质上就是坳陷带和复向斜（正异常区）与复背斜、地块或其它构造隆起带（负异常区）之间的边缘带中[20]。以上实例极好地说明重力测量对预测和圈定隐伏含矿岩体的重要意义。

苏联学者 G.A.Sokolov（英音译名）对苏联乌拉尔山南延至哈萨克斯坦北西部的 Kempirsay 的含铬深成超基性岩体的研究，可以代表对阿尔卑斯类型的合铬侵入体的地质、地球物理的综合预测和圈定的一个好实例。他认为 Kempirsay 的超基性橄榄岩浆是从上地幔侵入到地壳之后冷凝而形成。岩浆是在岩浆源产生分异，从而表现在侵入体内有不同相带的规律性分布。一般上部带为较酸性的橄榄岩相带（或部分辉岩带）。中间带为方辉橄榄岩—纯橄榄岩。而绝大多数纯橄榄岩是在较低水平的深部。每一个岩相带都具有特征的副矿物铬尖晶石的特殊化学成分与其它相带十分不同。最大最富的铬铁矿体往往赋存在强烈分异作用所残留的岩浆中。超基性岩浆的分异作用伴随着切穿到上地幔的深断裂的重复封闭和张开。这样，深断裂成为岩浆上升到地壳的通道。通过地球物理的方法查明深断裂在 Kempirsay 深成岩体的南东部。从岩浆源分异残留的岩浆，最后侵入形成纯橄榄岩相也分布在深断裂所在的地区，其中蕴藏有高品位，储量最大的铬铁矿体。地球物理方法（磁法和重力法）准确地提供了深断裂和富铬矿的纯橄榄岩相带在深部分布规律的可靠的信息[23]。

（三）隐伏的成矿岩体在地表显示的地球化学信息

岩浆岩的地球化学和微量元素地球特征的研究包括 1，岩浆岩内挥发份的研究，如岩浆活动的晚期 F、Cl、B、H₂O、CO₂ 的富集并与成矿作用紧密相关，2，成矿元素在岩体中背景含量的研究特别是岩体中或在岩体的某些造岩矿物中某些元素如 W、Sn、Cu、Be、Cr 等以及伴生的微量元素的异常含量的研究，能提供工业矿化存在的信息，3，研究岩浆岩矿物成分和某些矿物的标型特征以指示矿化的可能存在，4，对同位素和气液包裹体成分的研究以指示矿化。对于隐伏的含矿岩体的圈定，上述几方面的研究同样重要，因为元素的地球化学异常可以在地面形成各种分散晕，从而提供可靠的信息。D.I.Groves 对澳大利亚塔斯曼尼亚岛含锡花岗岩的地球化学的研究证实了含锡高的黑云母—白云母花岗岩与工业锡矿化之间的关系，并据此而预测含锡盲矿田的远景区。澳大利亚塔斯曼尼亚岛北东部的锡矿化是与席状体和中粒的黑云母—白云母花岗岩有关，它们又侵入在无矿化的斑状黑云母花岗岩石英二长岩内。经区域制图和对花岗岩及其组分，黑云母进行研究后，他们认为黑云母—白云母花岗岩代表一个高度分异的产物。它们是从早期结晶的黑云母花岗岩／石英二长岩的岩浆分异出来的残余岩浆中冷凝结晶而成。在结晶分离时，锡偏向于富集在液相中。黑云母—白云母花岗岩和其中的黑云母都富含锡。经研究证实黑云母中含锡量很高，是由于锡在液相和晶体之间的正常分布所决定的。而不是黑云母的构造有利于锡的置换。在岩石中的锡的含量高和伴随着

Li、Rb 和 F 含量高，Fe、Mg、Ca 和 Ti 含量低的这些特征指示了含锡高的黑云母—白云母花岗岩与该区锡矿化的关系[24]，从而有利于快速查明锡的远景区。

Tischendorf (1977) 认为含锡花岗岩的微量元素平均值异常是它们所具有的重要特征之一。它们一般是含 Sn, $30 \pm 20\text{ppm}$, Li, $220 \pm 120\text{ppm}$ 或 $400 \pm 200\text{ppm}$, Rb, $550 \pm 200\text{ppm}$, Be, $13 \pm 6\text{ppm}$, F $3700 \pm 1500\text{ppm}$ 。由于岩浆热液和成矿作用过程中，微量元素富集和减损的数量不同，有的背道而驰。所以用微量元素的比值来作为相应的找矿指示。例如在成矿作用过程中 Li, Rb 增加，而 Ba、Sr 减损。因此在岩石或矿物中利用元素对的比值作找矿指示；对伟晶岩经常运用的有 Mg/Ti, Mg/Li, Zr/Sn, K/Rb, Rb/Tl, (Nb+Ta)/Ti, Mn/Fe, Rb/Fe, Rb/K, Hf/Zr, Y/Ce, Ga/Al 等等[25]。最近 M·Boissavy—Vinau, G·Roger (1980) 提出一个新的指标，即 TiO_2/Ta 。它们对 Marche 东部（法兰西地块中部）和 Visen 的北部（葡萄牙）的含锡花岗岩的分异作用的研究表明：岩浆分异的最后阶段，由于结晶分离，致使最后残余的岩浆中增加 Sn、W、Ta、Rb、Cs。F 和 Li，减损 Ti, La, U, Th, Ba 等。其中钽 (Ta) 显著地与 Sn 相关，在 Marche 地区 TiO_2/Ta 的比值在未分异的岩浆岩中为 4900，而对于分异最强的花岗岩其 TiO_2/Ta 为 1，比值是在此范围内逐渐变化的。因此，利用 TiO_2/Ta 比值就能很好地指示岩浆分异和成矿作用以及找矿有利的地区[25]。

美国地质调查所 J·R·Watterson 等人在美国西部五个金、银大矿区，在岩石中分析了 Te 元素等的含量。该地区最大的矿床环绕白垩纪石英二长岩 (Gem—Dago Peak 岩株) 的南西周边呈弧状分布，再建的地球化学晕是 Te、Sb、As、Pb、S 和 Cd 晕环绕着这些岩株。连续的 Te 晕环绕着岩株呈倒锥状。在本区之西南部分，在地下约有 1000 米处有一深成岩体，为航磁资料所指明，Te 分散晕同样出现在相应的岩石和土壤中，其分布地段与深部的上述深成岩体相关。此外，有一个低含量的 Te 晕出现环绕整个 780km^2 的地区内，Te 的分散晕圈定了侵入前的矿带。T·R·Watterson 等根据地球化学和地质的证据认为，首先是位于北西向矿带中的主要矿床的形成，同时有一定形态、并环绕矿床而分布的 Te 晕的形成，然后较晚的是由于二长岩株的侵入造成 Te 晕和其它挥发分元素的再移动，再分配而环绕岩株成晕圈。它们的规模和形态是受侵入岩浆的热源中心的影响[26]。而这热源中心与成矿的物质来源地密切相关。可见地球化学，地球物理对于圈定与成矿有关的隐伏岩体是十分有效的。

我国刘清泉提出“构造地球化学”的应用问题，认为它可以预测和圈定成矿构造，并可圈定地下隐伏含矿母岩体和岩体接触带。例如地球化学晕的几何形态可以形成鲜明的同心环带结构，反映出地下的火成岩体，在地面无论是在平面上还是在剖面上，晕都环绕侵入岩体及火山口，呈较好的环带。如个旧矿区隐伏岩体，在垂直方向上元素的分带结构自深部岩体向上到地表可分为六个带，即：I 带 W、Nb、Be (伴生 Sn、Cu、Bi)；II 带 Cu、W、Bi (伴生 Sn、Be、As)；III 带 Sn、Cu (伴生 Bi、W、Mo)；IV 带 Sn、Pb (伴生 Cu、Ag、In)；V 带 Pb、Zn (伴生 Sn、Cd、Ag、Mn)；VI 带 Mn (伴生 Pb、Zn、Ag、Sb)。环带结构的规模随岩体产状和蚀变矿化而异。一般异常大于岩体，有的达十几倍。垂向剖面上异常延伸长达 1—2 公里。对于岩体接触带的圈定也是极为显著，地球化学异常以特征的组合和强度与接触线套合。如广东大东山岩体可以元素晕加以圈定。吉林红旗岭以 Cu、Ni、Co 异常很好地圈定了含矿超基性岩体。此外，