



应用遥感技术

遥感技术

加快矿产资源的勘察(上)

Yaoqian jishu

武汉地质学院 池三川

遥感是一门综合性的新兴科学技术,它与空间科学、计算技术、激光技术等密切结合而又广泛应用于各个学科领域。

在矿产资源的勘察方面,对许多找矿标志及地质信息过去只通过地面实地考察才能发现,既麻烦又缓慢,有时还受自然条件(如高山、沙漠、海湾等难以通行的地区)限制。有了遥感遥测技术,就使得矿产资源勘察有了空间与地面互相配合、互相启示、互相补充的一整套方法。目前已将红外(TLR)扫描器、低太阳角摄影(LSAP)、无线电辐射计(Radiometer)、光谱计(Spectrometer)、侧视航空雷达(SLAR)以及被动微波无线电辐射计等用于收集地表和矿产信息;尤其在判释方法上,运用陆地卫星CCT数据,开展电子计算机自动化识别和分类,不仅提供了一种观察地球的新途径,而且也大大提高了对矿产资源的判释精确度和速度,从而满足生产上日益增长的要

求。

国外利用遥感技术勘察矿产资源已经作了一些试验,有了若干初步成功的例子。如秘鲁在卫象上发现了与银矿有关的许多环形构造;美国利用卫星多谱段影象分析,在新泽西州大西洋城老铁矿区内,对比已知铁矿影象特征,查明了一些新的铁矿远景地段;巴基斯坦达克—楚伊地区西部,根据陆地卫星(Landsat)影象上的地质信息,找出了两个潜在的斑岩铜矿勘探区;美国内华达州的Carlim和Cactz金矿,就是依靠遥感得到的地质信息作依据而发现的;西欧八个国家运用了卫象和遥感资料编制出整个西欧的成矿规律预测图;巴西1960年以前几乎没有开展系统的区域地质找矿工作,1970~75年,利用遥感地质方法(航空摄影、侧视雷达、多谱段扫描)仅四年零九个月就完成了亚马孙河流域森林覆盖区的466万平方公里地质测量任务(一半是1/25万,其余为1/50万至1/5万

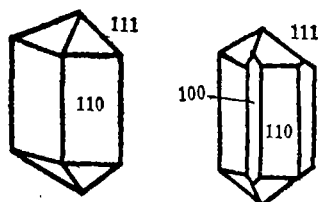


图6 大钟山岩体锆石的主要晶形

失,说明介质硅、钾、钠含量较高。所以大钟山岩体与上述三个岩体不是同源的,属成矿后的岩体,与矿化无关。

3. 塘石爆破角砾岩与龙潭爆破角砾岩的角砾成分——花岗斑岩副矿物分析得知,副矿物种类有磁铁矿、磷灰石、锆石、榍石、独居石、金红石、钛铁矿、黄铁矿、褐帘石、绿帘石、重晶石、白钛石、褐铁矿、白钨矿、透闪石、硅灰石、硅线石、辉钼矿、刚玉、白铅矿、孔雀石、黄钾铁矾等20余

种。副矿物组合类型属“磁铁矿+钛铁矿+榍石+磷灰石+锆石+独居石”型,锆石晶形在两个样中均以柱面(100)发育,柱面(110)缺失,锥面(111)发育组成的聚形晶体为主;说明当时介质中锆、硅的浓度基本不平衡,硅、钾、钠含量均较高,故可认为这两个岩体的角砾成分是同源的。

副矿物及其锆石法的研究还可以用来划分沉岩的岩相、恢复古地理环境以及用作地层对比等等。

* * *

当前,副矿物的研究在国内已得到重视,如对南岭侵入岩、海南铁矿、邯邢地区岩浆岩及云开大山变质杂岩等副矿物的研究。锆石法也用来探索铁矿成因、岩体时代等问题。副矿物锆石法的应用将具有广阔的前景。

比例尺),用人少、进度快、质量基本满足要求,还发现了铁(利用航片和航磁资料迅速查明的卡腊贾斯铁矿,含铁66.1%,储量达17.8亿吨)、铝土矿(萨拉卡铝土矿、特龙贝塔斯优质铝土矿等。仅巴拉州探明铝土矿储量已达12亿吨,从而使巴西铝土矿总储量跃居世界第三位)等重要矿产;1976年玻利维亚利用陆地卫星数据分析,发现了世界上尚未发现的最大储量的锂矿。这一新技术的应用使对全球范围内火山作用的全貌得到了较详细的了解,近几年来与火山岩有关(或与火山成矿作用有关)矿床的勘察工作有了明显的突破。

1978年4月10~26日在菲律宾马尼拉召开的第12届环境遥感国际讨论会上,发表了18篇这方面的论文,大致反映了当前在矿产资源勘察方面研究的深度和进展概况。目前,世界上许多国家利用遥感技术和卫星影像的综合分析,发现的新矿床在逐渐增多,特别是盲矿,根据透视消息*、岩性构造判释及成矿规律的分析,对成矿带展布规律的揭示,效果显著。

遥感技术在矿产资源勘察中应用的地位

矿产资源的勘察包括一系列的调查研究及多种方法手段的使用。目前找矿顺序不外乎以下五个步骤:①资料的编辑;②找矿勘探目标区的选择;③基本图件的制作;④地球物理和地球化学勘探方法的选择;⑤地面考察和钻探验证。遥感技术和卫星影像在矿产资源勘察中的应用仅占了第2阶段和第3阶段的一部分。这也就反映了它在矿产资源勘察应用中的所处地位。

遥感技术及卫星影像在矿产资源勘察方面目前初步可以达到:①提供大量地质构造的新资料,甚至对已研究过的地区也会提供地质构造的补充资料(美国阿巴拉契亚山脉南部地区,已进行了80多年的地质工作,出版过各种大、中比例尺的地质图,似乎重要构造不会遗漏。但通过对航、卫片和红外摄影、侧视雷达影像的对比分析,又新揭示出两条明显的区域断裂构造,经实地证实它对该区深部煤层开采和油气勘察很有意义);②可以得到有关决定矿床分布的主要因素之一的大地构造和控矿构造(包括地表上仅有间接标志的隐伏断裂)的资料,从而

可以较深刻地分析区域成矿问题;③对控制矿床分布的地质条件是一种快速有效的研究方法,它虽然不能单独地和全面地解决各种问题,但是对分析控矿的诸因素无疑是有益的;④运用遥感技术所获得的大量资料和数据,可以编制各种专门的地质底图和成矿预测图。遥感技术在矿产资源勘察中的应用,还处于用已知去判释未知,先易后难,先大后小(范围),缺少成熟经验的试验性阶段。遥感图象比例尺一般较小、分辨率较低,方法本身也还有一定局限性。今后在应用中还必须大量配合航空遥感和航空摄影技术等其它手段,才能达到更有效的目的。

应用的根据

有用矿产的形成是地壳历史发展某一阶段的产物,所以它在地壳中的分布是有规律的。这种规律一般是由许多有利于成矿的复杂地质条件和找矿标志所决定的。

遥感技术就是以认识各种地质特征为基础,特别是与矿化有联系的各种地质特征。包括有利的构造背景、岩性组合、蚀变围岩的颜色或地形、土壤地球化学异常所引起的植被改变等等。卫星图象的成功应用取决于这些特征的表现、大小以及图象的预测价值。当然,这些因素是随矿化的成因类型、周围地质体的性状和气候环境等条件而改变的。

(一)用遥感技术研究找矿地质条件

1)对岩浆岩的判释:大多数矿床均直接或间接与岩浆活动有关,特别是内生矿床。一般按其空间位置,矿床可分布在侵入体、接触带或围岩中。成因上一般与基性—超基性岩及碱性岩有关的铬、镍、钴、铂、金刚石、钛、铌钽、稀土等岩浆矿床,大多赋存在岩体内;而与中酸性岩有关的伟晶岩型、夕卡岩型、云英岩型矿床大多在岩体与围岩的接触带;各种热液矿床和岩体时代、规模、组分、结构、形态和环境之间存在着某种关系。即使那些远离侵入体的矿体,在空间分布上仍常以某侵入体为中心作同心环状分布。

*目前对产生“透视”信息有几种说法:①所谓“宏观效应”的结果—电磁波通过各种不同介质时产生散射的结果;②地球化学、地热、地磁等异常为卫星传感器所捕获,因而在卫片上表现出一定的色调和结构特征;③地下水、植被、土壤的间接反映。

这里只通过一些实例加以说明。例如,国外有人(Nixon, Jackson)在蒙索托地区的假彩色红外摄影及黑白象片影象上把已知含金刚石的五个金伯利岩岩筒辨认出来,并且还对象象上三条主要的线性特征体系的交切点作了分析,证实与金伯利岩岩筒相吻合,从而用来鉴别若干新的找矿区。在南非克里斯泰林地盾区,通过卫星图象分析精确地确定了南非两个地质构造单元,并在其接触带的基性—超基性岩中含有世界上最大的镍矿。还有不少国家用卫星象片寻找“环形构造”,布置和指导找矿。所谓“环形构造”,在多数情况下,尤其是基岩出露区,多是一些岩体(如攀枝花钒钛磁铁矿所赋存的隐伏辉长岩体在影象上即显示一圆形构造;中间有一条牦牛沟相隔,北侧目前已勘探获得几亿吨铁储量,1978年开始在圆形影象的南侧勘探也已打到了矿)和受岩体作用而形成的蚀变带或“晕圈”。这些“晕圈”地段正是许多热液矿床形成的有利部位。我国安徽某有色金属矿区,原地面工作查明该矿床产于岩体边缘接触带上,但由于地面工作的局限性,未能正确判断该岩体的真实形态,甚至仅根据岩体在地表出露的边界轮廓,误认为呈“鸡冠形”,后经卫星象片判释岩体蚀变“晕圈”,断定该矿床产于一个沿断裂展布的隐伏的椭圆形岩体之上。矿床的分布范围是覆盖整个椭圆形岩体之上的成矿面,大大扩大了找矿远景区,指导了找矿勘探工作的部署。

由于含铁岩石在 $0.3\sim 0.4\mu$ 和 0.9μ 存在着两个吸收带(反射率较低,色调暗),可得到较好的判释效果(尤其对超基性岩和带状角砾岩)。在卫星影象上还可以分析岩体的类型、形态、接触带位置及剥蚀程度等,用以指导找矿勘探。我国西藏阿里地区卫星影象不仅显示了雅鲁藏布江深大断裂的位置,并沿其两侧又发现了一些基性—超基性岩体,对今后寻找铬铁矿床提供了新的目标区。

2)对构造条件的判释:内、外生矿床的形成和分布均不同程度上受一定地质构造控制。利用卫星影象上的色(色调)、形(图形)、影(阴影)三类信息标志对构造条件的判释和研究,可以直观地看出图幅或目标区内地质构造的骨架轮廓和特点。特别是对

构造单元和构造体系的划分,对环形、线性构造、隐伏构造和新构造的研究,都较单一的野外实际调查和一般的航空照片的判释优越得多。对线性构造的判释具有独特效果,可以在卫象上逼真地、一目了然地看到所有断裂的规模、分布范围及展布方向等规律(图1—A),利于成矿预测研究。

美国从加利福尼亚州海岸山脉卫星影象判释得知,该区的圣安德列斯断层是一条成矿前的导矿构造(至今仍在活动),而斜交它的北西西向剪切裂隙是该区汞矿的容矿构造。Lathran等人应用卫星遥感技术对美国阿拉斯加的育空—塔纳诺高地一带的构造与成矿的关系作了对比(图2)。过去认为矿化是受区域应力场引起的向北突出的弧形岩相带控制,如今经“云雨”气象卫星及陆地卫星影象的判释,认出北西和北东向的线性要素并作为深部地壳构造的表现,因而找矿勘探目标区应是平行这些线性特征的地带,特别是在其交汇处,从而大大缩小了勘察范围,并在德纳利断层东北的两个北东向断裂之间的地带发现了几个斑岩铜矿床。1977年新疆地质局区测队在航测大队、中国科学院自然资源综合考察组的配合下,使用卫片对东疆铁矿会战区进行了1/50万区域地质矿产图的编制,仅用了10个人两个月的时间就完成了面积达21万3千平方公里的编图任务,而且使编图区的构造轮廓更加清楚和合理,地质界线更加准确。在夜间红外成象中还可以较易发现被沙漠、戈壁所掩盖的断层构造。

岩浆热液上升的可能通道的追索对于寻找金属矿床十分有用。包括具有圆形构造的热动力中心,火山或侵入体及由线性形迹所暗示的断裂构造,地层破碎带及构造隆起。它们是地壳构造的脆弱带,对形成各种接触交代型、火山型、热液型矿床的关系很密切,对寻找盐丘储油构造也十分有利。美国科罗拉多中部的圆形构造是重点找矿区;密苏里州新马德里巨型断裂复合处是铅锌矿区;加拿大格伦维尔区,在魁北克基性和超基性岩中发现的17个铜镍矿床中,有13个与环状构造有关。这些含矿岩体不管产状(岩盆、岩基、岩鞍)如何,在航卫片及地形图上均显示与环状构造有密切关系;我国西北某铁矿沿东西向线性构造(断裂)分布

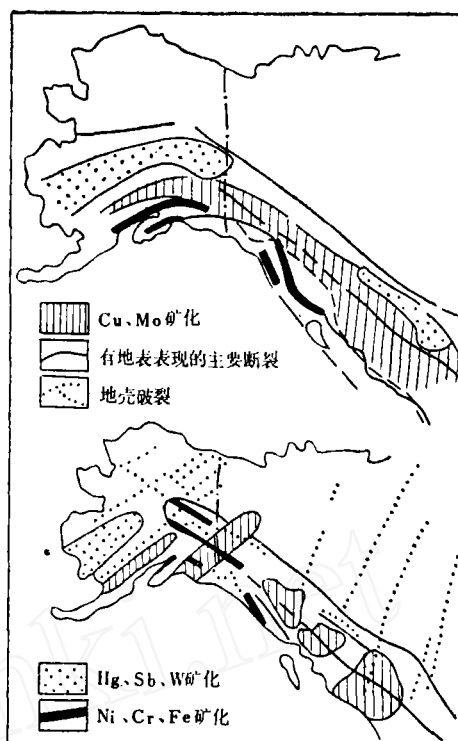
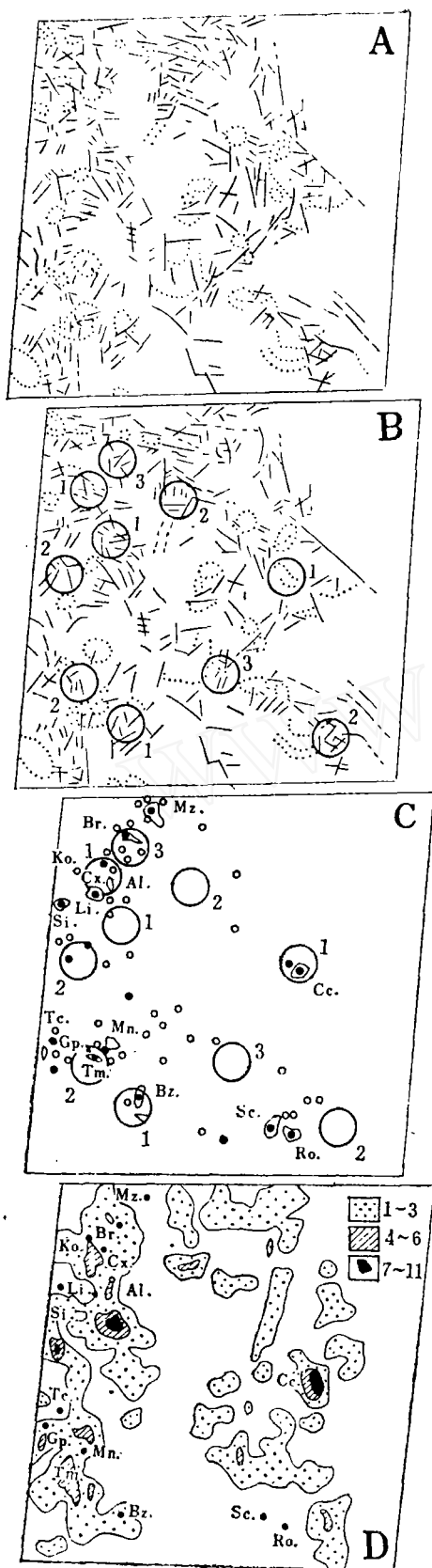


图2 构造对成矿的控制

着数十个矿点；我国西南地区的断裂交汇点上探到了铬矿。目前世界上根据构造条件判释而找到矿床或扩大工业储量的例子是很多的。

3)对地层、岩性、岩相条件的判释：如所周知，所有内、外生矿床无不直接间接与一定时代的岩性、地层及岩相有关；铁、锰、磷、铝等外生沉积矿床还受古地理、古构造等的控制。在分析、研究某地区外生矿床时，首先应注意矿床赋存的有利层位与构造，以便尽量做到顺矿层“追索”，找出有关的象片图形、地貌特征或与一定植物的联

←图1 美国科罗拉多州中部贵金属和贱金属矿试验区从卫星象片判释得出的几种综合图件

A—从卫星判释出来的线性和环形构造（实线为界线清楚者，虚线为可能或中等显露者，点线为环形特征构造）；

B—最后选定的10个远景区（数字为远景区的优先顺序）；

C—已知矿区和选定的远景区之相应关系（小圈为矿点，黑点示大矿区，英文代号系矿区名称缩写）；

D—图象线交汇密度等高线图（示与主矿区的位置，图例中的数字，代表每一单位面积的图象线交汇的数字）

系,总结出控制该类沉积矿产的有关岩性标志。沉积不整合在成矿上也起重要作用。当前对矿产储量有较大突破的层控矿床,就是在一定的岩性、地层组合控制下成矿作用的结果。

委内瑞拉的波利瓦尔铁矿是一套20亿年以上的富硅酸盐含铁建造中的沉积变质铁矿,因矿体与周围的铁质石英岩磁性相同,磁法没有奏效。但在象片上却发现含矿层常在平缓的向斜褶皱核部形成小丘而找到了矿床。美国加利福尼亚的金矿产在古河床中,被第四纪熔岩流埋在底下,难以追索,利用航空象片找到熔岩脊即可指出隐伏的沉积金矿床。我国西南有两个铜矿虽早已发现,但仍不了解其分布规律,当在影象上发现它们正位于背斜两翼同一个层位上时,才按顺层追索而扩大了矿区的远景。

加拿大在寻找沉积变质铁矿时,曾在卫象上详细研究了含铁石英岩中薄层石英夹层(它具有线性的,稍具蚀刻的面貌及稍深色调的条纹和变质过程中的破裂),而与矿体

的关系密切;当出现厚层石英时铁矿就明显变贫。我国四川蓬萊镇组含铜砂岩与砂岩发育程度有关,故判释时着重注意砂岩所显示的陡坎以及植被掩盖所显示的深色带状影纹,以此分析推断铜矿的成矿有利地段及变化。

4)对风化成因的条件判释:风化成因单独作为找矿地质条件的意义,在于某些重要矿床(坡积、残积、淋积矿床)的形成,都直接、间接与风化作用有关。残积矿可从露头影象特征及颜色上加以区别;古代和现代砂矿矿床出露区多没有或较少有植被覆盖,而呈不规则条带、斑块、贝壳状尾矿堆等;铁帽及氧化矿露头更易判释。美国根据“双子座—4号”卫象,圈出亚利桑那州几个氧化金属矿带;不论面型或线型的风化壳矿床多位于古老夷平面、高阶地、洪积、坡积地貌单元中,表面平坦;淋滤矿床的地面特征在航空彩色照片上常很容易辨认,用遥感方法评价淋滤带以下矿体的勘探超出了可预见技术的范围。国外认为激发极化(Induced

遥感技术及地质用途

表 1

波段与系统	工作波长 (微米)	空间分辨率 (毫弧度)米	象片类别	作业时间	地质用途
紫外(扫描器、摄影机等)	0.01~0.4	0.01~0.1	紫外片	白天	用于石油的勘察(在该波段可出现异常反射亮度系数)及地下水、异常植物区的研究
可见光(扫描器、摄影机、电视)	0.4~0.7	0.001~0.01	全色黑白片、卫星片、彩色片、假彩色片、多波段片	白天	照片或多波段影象,可作地质填图、构造分析,火山、工程地质及环境地质研究,找水和找矿标志的分析
红外反射(摄影、扫描、辐射计)	0.7~3.5	0.01~0.1	红外片	白天	构造分类、岩类判释、地貌填图、水文地质、地热地质、火山、地震和海洋地质,异常植物区扫描
热红外(扫描、辐射计)	3.5~10 ³	1.0	热红外片	白天、夜晚	构造填图、地热调查、地下水勘察、岩类判释、硫化物氧化矿及放射性矿产的寻找
微波(扫描、辐射计)	10 ³ ~10 ⁶	10	微波遥感片	白天、夜晚	构造分析,浮土水分测量、找地下溶洞位置
雷 达	真实孔径雷达	8.3×10 ³	2~10	白天、夜晚	森林或云雾、浮土区填图,构造分析(可显现隐伏构造),预测浅层地下水
	合成孔径雷达	1.3×10 ⁶	0.2~1		

注:微波遥感可分为主动式——雷达,被动式——辐射计。

Polarization) 用作固定被氧化带掩蔽的矿床是有意义的。

5) 对地形地貌和水文地质条件的判释, 地形、地貌发育情况与地质构造特点有密切联系。寻找原生矿床时, 研究地貌对成矿的控制最有意义。

矿体及近矿岩石依其结构构造、硬度、抗风化、抗溶蚀差异性在地貌, 特别是微地貌形态在卫星影像上多少都有反映。坚硬的、物理化学性能稳定的表现为正地形(陡坎、脊峰、山丘、长垅等), 如含金和钨的石英脉、含铁石英岩(沉积-变质铁矿)、钒钛磁铁矿矿床、含长石和压电石英的伟晶岩矿床等。我国迁安铁矿常形成丘陵山包, 出现在山前洪积扇和冲积平原上, 也容易识别。硫化物矿床、含铬超基性岩体及含矿花岗岩体等均由于结构疏松或节理发育、物理化学性质不稳定, 而常表现为负地形(槽沟或条状洼陷等)。美国阿拉斯加的塞互特半岛经卫象判释, 发现了一个直径7公里的未知径向盆地, 实地勘察证实这种地形内赋存有锡矿床。法国比利牛斯山的哥克拉特钨矿的发现, 航片提供了良好的线索。该区有大片奥陶系碳酸盐岩并有花岗岩长岩体侵入, 岩体在航片上呈现地势凸出比较高, 地形高

差大, 坡度陡的特殊地貌, 极易圈定, 在此接触带追索发现了矿化标志, 结合物探方法, 圈定了异常, 钻探证实是一个拥有50万吨工业储量的钨矿床。

目前开始应用微波侧视雷达来勘察与侵蚀地面有关的铝土矿和镍矿。它对矿床的某些异常特征, 如交错环(Altationhalos), 放射热及从硫化矿物的氧化而来的热也可以测试出来。它可以研究不同热容岩石和含硫化物岩石的接触带。

目前, 在卫象上可分辨出河谷侵蚀的不同阶段, 这对不同类型砂矿的寻找是有指导意义的。矿床存在的古河道或河流阶地也可以在航片上查清。如北罗德西亚列奥山脉的古河系中的丰富金刚石矿床就是用航片查明的, 该河系几乎与现代河系垂直分布, 在地面几乎不可能被发现。另外, 在一些坡积面大、岩溶发育的地区(如我国个旧砂锡矿区)往往有利于寻找(保存)砂矿。

不同的遥感手段在地质领域的不同方面有着自己独到的用途。因此, 在矿产勘察过程中, 应当根据地质上所要解决的某个或几个具体问题, 有针对性选用不同遥感手段(表1)。

(未完待续)



地质新闻

用白蚁窠圈定隐伏铜矿

埃得蒙迪矿位于莫桑比克中部、曼尼卡镇西北, 是一个高品位的小型铜矿, 目前正在开采之中。

该矿产在一个大型太古代地向斜南翼的侵入蛇纹岩地区, 向斜轴呈东南向。矿区内, 基性和超基性岩席侵入绿岩内, 变为不同程度的蛇纹岩化。基性和超基性岩席的南部边缘则被花岗岩侵入, 这些地层均被粒玄岩和霏细岩岩墙切穿。

埃得蒙迪矿可分为三段: 埃得蒙迪恩、曼尼卡和西摩三个矿体, 在基性和超基性岩内沿东西向裂隙带产出, 主要为脉状和浸染状黄铜矿。磁黄铁矿局部丰富, 辉黄铁矿、黄铁矿、辉砷钴矿、方黄铜矿、闪锌矿、褐铁矿、磁铁矿、金及一些未鉴定出的铂族矿物均以微量产出。

该矿曾断续开采了八十年, 1962年, 为扩大储量曾对该矿再次进行详细勘探, 应用了物探、化探、地质调查及槽探和金刚石钻探等各种方法。磁法和自电法未得出任何异常。覆盖全区的地球化学土壤采样虽得出一些异常, 而槽探及钻探验证却一无所获。

鉴于过去文献中曾报道过, 白蚁爬到潜水面去饮水,

而携带上来30米以下深处的矿物颗粒。例如, 图姆斯和威布(1960)曾详细研究过赞比亚铜带的矿化地区内白蚁窠中的金属分布, 沃特逊(1970)亦曾分析过白蚁窠内的金属含量, 而发现锌异常。埃得蒙迪恩的工作人员于1973年冬遂在白蚁窠核部进行了采样, 不仅在已知矿体上采样, 而且在无矿岩石和其它类型的地层上进行了采样工作。所选蚁穴是 Macrotermitidae 族白蚁, 这种白蚁可达到相当的深部。将每个蚁穴的外壳、白色蚁房及土核都移去后进行采样。样品磨至-230目, 用原子吸收法进行分析。

分析结果表明了铜和镍的异常富集, 以后进行了钻探验证。在埃得蒙迪恩和曼尼卡两矿体之间发现了九个高品位的铜矿体, 这些矿体过去用化探土壤采样及物探方法均未发现。

由此可见, 白蚁窠的地球化学采样可做为地质调查后的一种补充勘探方法。凡有深入地下的白蚁洞穴的地方都值得用这种方法做进一步的调查研究。

黎青摘译自英《采矿与冶金汇刊》

1975年84卷4期