

矿产勘查中的物化探技术应用与地质效果

周圣华¹, 鄢云飞², 李艳军²

(1. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012; 2. 中国地质大学, 武汉 430074)

[摘要] 文章简述了我国目前金属矿勘查的基本现状以及20世纪80年代以来, 我国资源勘查中常用和比较先进的一些物探、化探勘查方法技术、应用现状与地质效果。

[关键词] 矿产勘查 物探技术 化探技术 地质找矿

[中图分类号] P632, P631 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2007)06-0058-05

0 引言

新中国成立后, 面对一穷二白的落后工业面貌, 国家提出矿业先行的号召。1958年以来, 建立起许多大型矿产基地, 我国的矿业得到了较大的发展, 为社会主义建设事业做出了巨大贡献。

20世纪70、80年代, 随着地质找矿工作的不断深入, 露头矿和近地表矿已基本查明。特别是我国东部较发达地区, 地质工作程度较高, 露头矿、易识别矿越来越少, 找矿难度越来越大, 地质找矿逐渐转向已知矿区的周边以及深部隐伏矿的勘查; 在中西部地区地质工作程度相对较低, 一方面继续寻找浅表矿, 另一方面采用新技术进行隐伏矿的勘查。

20世纪80年代以来, 随着我国改革开放的实行和深入, 在矿产资源勘查的理论和技術方面与国际交流迅速增加, 尤其是物探、化探新方法新技术的引进, 有效地提取深部多种找矿信息, 成为寻找隐伏矿的主要手段。我国物、化探工作者, 在引进新方法、新技术和消化吸收的同时, 也自主研发了一些适合我国实际需要的新方法、新仪器等。

1 物探勘查方法技术

物探是地球物理勘查的简称, 包括重力、磁法、电法、地震、放射性和地温等六大类方法。据统计, 物探方法在寻找和扩大能源矿产、黑色金属矿产、有色金属矿产、非金属矿产和地下水等方面, 起着主要的作用, 效果明显优于化探^[1]。

1.1 航空及地面甚低频电磁法(VLF)

甚低频电磁法(Very Low Frequency Electro -

Magnetism, 简称VLF)。其基本原理是: 利用频率为15~30kHz的甚低频军事或广播电台发射的电磁波作为场源, 在地表、空中或地下测量其电磁场的空间分布, 从而获得浅层地质体的电性局部异常, 其探测深度较小(一般在50m左右), 作为一种物探勘查方法, 在我国应用是20世纪80年代从国外引入以后。该方法在圈定良导断裂破碎带、蚀变带, 追踪含矿构造, 寻找低电阻率的岩(矿)脉, 圈定矿化范围等方面具有鲜明的特点。其仪器设备轻便, 野外观测方法简单, 资料处理速度快。但应注意地形、电缆等人文干扰异常的识别和改正。当第四系覆盖较厚时, 对于埋藏较深的地质异常体所反映的有效信息较弱。因此, VLF一般用于浅覆盖区及外围的剖面或扫面工作。目前, 我国已经可以生产较为先进的甚低频电磁仪, 如重庆地质仪器厂生产的DDS系列, 在我国的金属矿产勘查中取得了一定效果^[2-5]。

1.2 地震层析成像(CT)

地震层析成像(Computerized Tomography, 简称CT)就是用医学X射线CT的理论, 借助地震波数据来反演地下结构的物性属性, 并逐层剖析绘制其图像的技术。其主要目的是确定地球内部的精细结构和局部不均匀性(杨文采, 1993)。这一技术起源于20世纪30年代, 技术理论成熟、分辨率高、探测深度大, 尤其在深部探测方面具有明显的优势, 因此主要应用于能源矿产的勘探以及地球内部物理结构及地球动力学研究。在20世纪80年代以后, 才将其应用于金属矿的地球物理勘查工作, 近年来, 我国学者在铜陵矿集区等金属矿勘查中应用了这一方

[收稿日期] 2007-08-01; [修订日期] 2007-10-11。

[第一作者简介] 周圣华(1963年—), 男, 1988年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 高级工程师, 现主要从事地质找矿勘查与综合研究工作。

法^[6-8],积累了不少有益的经验。

1.3 大地电磁测深(MT)

大地电磁测深(Magneto-Telluric sounding,简称MT)是以天然交变电磁场做场源的被动场源电磁测深法。它是通过被动场源引起在地表观测到的电、磁场强度的变化来研究地下岩(矿)石电性及分布特征的一种方法(陈乐寿等,1990)。

20世纪60年代,我国开始研究并于1980年前后应用于矿产勘查。由于其具有探测深度大(可探测至上地幔),不受高阻层屏蔽,分辨能力强(尤其是对良导介质),工作成本低(相对于地震勘探)和野外装备轻便等特点,在地球岩石圈深部结构研究、地震预报、油气勘探、地热田调查中显示了重要作用(赵国泽等,1998;詹艳等,1999)。

大地电磁测深对于地下低阻层(良导体)相当敏感,这是大地电磁测深方法能够在(隐伏)金属矿勘探中发挥主要作用的主要地球物理依据。就金属矿床而言,矿体与围岩之间,蚀变围岩与未蚀变岩石间,一般均存在较大的电性差异。矿体中金属硫化物的富集会使其电阻率明显降低。而控矿脆性断裂、韧性剪切带、蚀变破碎带的出现,均可导致矿体与周围岩层(体)间明显的电性差异。这使大地电磁测深方法成为解决此类问题的有效手段^[9,10]。

1.4 瞬变电磁法(TEM)

瞬变电磁法(Transient Electromagnetic Methods,简称TEM)是电磁测深法的一种,但它是有别于大地电磁测深(MT法)的以脉冲电流讯号为场源的主动场源时间域电磁勘探技术。TEM以电磁感应理论为基础,通过研究探测目标物感生出的涡流场在其周围空间形成的二次电磁场随时间变化的响应特征,推测目标物的空间形态,从而达到探测目的。基于此,TEM对于寻找高导电性的较大矿体的效能突出。另外,TEM还具有探测深度较大,受地形影响较小,施工环境宽松,作业方便等优点。这使得该方法在一些地理景观复杂的矿区得到了广泛的应用^[11-13],找矿效果明显。

1.5 可控源音频大地电磁法(CSAMT)

可控源音频大地电磁法(Controlled Source Audio-frequency Magnetotellurics,简称CSAMT),是20世纪80年代兴起的基于大地电磁法(MT)和音频大地电磁法(AMT)而发展起来一种主动场源频率域电磁勘探技术。它用一个发射偶极AB供电,电极距离为1~2km,测量工作布置在供电偶极中垂线±30°的扇形面积内,测线与供电AB极连线平行。

这时的场源可以认为是平面波,通过不断变换供电频率便可达到电阻率测深的目的。在山区可根据地形灵活选择发射机位置。测量时只移动接收机便可进行面积性测深工作,从而提高了效率,降低了成本。

CSAMT法勘探深度大(可达2km以上),同时由于其可以通过“变频”改变探测深度的不同,而兼有测深和剖面研究的双重特点,是研究深部地质构造和探寻隐伏矿的有效勘查手段。对于地面甚低频电磁法(VLF)难以发挥作用的厚层覆盖区,可以选用CSAMT法。王继伦等曾在内蒙古莲花山、红花沟、撰山子金矿区以及辽宁柏杖子、青龙沟、盘道沟金矿区进行了以CSAMT法为主的综合物探专题研究工作,圈定出了找矿的有利构造及岩性地段,取得了较好的地质找矿效果^[2]。此外,还有不少学者进行了CSAMT的应用研究工作^[14-16],他们的研究中涉及CSAMT的成果都大致体现了其上述优点。

1.6 连续电导率剖面测量系统(EH4)

EH4连续电导率成像系统是由美国Geometrics公司和EMI公司于20世纪90年代联合生产的一种混合源频率域电磁测深系统。结合了CSAMT和MT的部分优点,利用人工发射信号补偿天然信号某些频段的不足,以获得高分辨率的电阻率成像。其核心仍是被动源电磁法,主动发射的人工信号源探测深度很浅,用来探测浅部构造;深部构造通过天然背景场源成像(MT)。伍岳等在砂岩型铀矿床上应用研究指出^[17]:EH4在高阻覆盖区具独到的优越性,可以穿透高阻盖层;而当基底为高阻时,且基底与上覆砂岩有明显电性差异时,EH4能准确而清晰地探测出基底的埋深和起伏。申萍、沈远超等采用EH4对横跨中国东西的9种不同成因类型的25个矿床进行了研究,结果表明:EH4连续电导率成像结果能够直观地反映矿化异常在剖面的形态、规模、矿化强度等,是隐伏矿定位预测的方法之一^[18-20]。

1.7 浅层地震技术

浅层地震技术是地震勘探方法的一种,它是用人工激发的弹性波在岩石中的传播来研究地下地质结构和岩性信息的一种方法。该方法最初用于油气勘查,目前仍是这一领域的主导方法。该方法比一般方法探测深度大(可达地表以下3km左右),经图像处理能对地下构造的形态和分布做出精细的地质评价。

在20世纪60~70年代,国外即在金属矿区进行了地震勘探试验,蔡新平(1994)等在我国较早地

将浅层地震方法应用于金厂峪金矿区隐伏地质结构的研究,有效地指导了深部找矿^[21]。韩金良等在西堡子湾金矿隐伏矿体预测中应用浅层地震技术,效果明显,并指出该方法有推广的必要^[22]。总体来说,在我国金属矿地震勘查技术仍处在试验阶段。

综上所述,需要指出的是在使用上述物探方法进行地球物理勘查工作之前,首先要对测区内的地层、岩体、矿石等采集足够数量的标本进行电性参数的测定,从而确定是否具备开展地球物理勘探的物性条件。同时应注意各种方法的综合使用以对异常进行相互印证,仅用单一的方法对隐伏矿进行成矿预测是很困难的,也不符合当前隐伏矿产勘查的发展趋势。

2 化探勘查方法技术

化探是地球化学勘查的简称,在寻找和扩大贵金属矿产方面,由于其多解性少,具有直接性,其勘查效果明显优于物探。随着勘查与化学分析技术的进步,以水系沉积物测量为代表的传统化探方法(还有矿床原生晕法、土壤测量法等)愈加成熟,解释方法也正朝量化、综合化和模式化方法迅速发展。伴随着地质找矿的深入,露头矿和近地表矿已基本被查清殆尽,隐伏矿的寻找成为今后矿产勘查的发展趋势。近年来,一些高灵敏度、高精度的化学分析仪器,提高了人们对地球物质特殊存在形式和迁移运动机制的认识,同时促进了人们对地球化学勘查方法的开发研究,提出了不少隐伏矿床地球化学勘查的新理论和新的方法技术。

传统的化探方法中,气体地球化学测量方法是利用各种气体物质进行找矿的重要勘查方法之一。这种气体测量是测定本身呈气体的元素或分子,如:汞蒸气、氦气、CO₂ 气体、烃类气体等,这与新发展起来的深穿透地球化学中的地气(地球气)则不同。后者是测定气体中的纳微金属颗粒,而这些金属颗粒并不是以气体形式存在,而是以某种方式存在于气体中(或被其携带)。汞气测量是气体测量方法中研究最多应用最广也是最成功的方法之一,下面将其原理及应用做以简要介绍以便与下面的深穿透地球化学方法进行简略对比。

2.1 汞气测量及热释汞量法

汞及其化合物的地球化学性质有两个方面的重要特征:一方面汞是典型的亲硫元素。这使它在内生成矿作用中,以各种形式分散进入各种硫化物中,使汞呈高度分散状态;另一方面,汞及其化合物具有

很高的蒸汽压,与其他金属元素相比,汞为最易挥发的金属元素。汞易于从各种化合物还原成自然汞,而自然汞在相当宽的氧化还原电位和酸碱介质内是稳定的。汞具有较强的穿透力,一般地说,由地下深部上升的汞蒸汽,沿着构造断裂、破碎带上升,从地面一下几百米甚至几千米,可以一直到达地表,即使疏松覆盖物较厚,地表土壤中仍有汞的异常显示。土壤汞异常往往指示断裂构造顶部的投影位置。然而当直接采样介质为气体(如壤中气汞量法、地面大气汞量法等)时,受气候、环境,尤其是降雨等自然因素和操作上繁琐、操作过程中主观因素的影响,测量结果重现性不理想。Klusman(1990)更认为:汞蒸汽测量除对汞矿外实质上是一种间接找矿方法,因而它比在残积层分布地区土壤测量这种直接找矿方法在可靠性与应用的广泛性方面都要差得多。而土壤汞量法有较好的重现性,尤其是热释汞量法(利用汞及其化合物的热稳定性较差,直接加热固体样品,让样品所吸附的汞释放出来,然后用原子吸收型测汞仪进行测量)操作简捷、成本低廉、重现性好,而且该方法应用具有及时性,因而具有很好的应用前景,是20世纪冶金地质化探工作十大创新成果之一^[23]。由于汞与金在地球化学方面的诸多共同点(周期表位置紧密相邻,电离势、离子半径、电价等接近),汞矿化或汞异常使汞作为金的主要远程指示元素对金矿勘查(尤其对含金石英脉和含金破碎带)具有重要的指示意义。

目前比较先进的化探方法是深穿透地球化学方法,它包括地气测量方法、活动态金属离子法、金属元素活动态测量法等。

2.2 地气测量方法

这里的地气测量方法不同于传统的测试对象为Rn、CO₂、Ar及Hg的气体地球化学方法,而是瑞典学者L Malmqvist和K Kristiansson于20世纪80年代提出的以Geogas著称的地气法^[24,25]。他们在寻找铀矿的过程中,通过对地表氡(222Rn)的测量得到启示并认为:地下深部的气体呈微气泡形式上升,通过矿体时将成矿元素附着于气泡表面带到地表。他们研制了地气捕集设备,并成功地在瑞典和新西兰进行了地气采集试验^[26,27]。随后,俄罗斯CB戈里格良在1985年发现了元素自深部向地表的发射迁移现象,发展了离子测量找矿法,并研制了射气捕集装置。德国和捷克联合研制出与瑞典地气法相似的"元素分子形式法" MFE(Molecular Forms of Elements, 1991)。20世纪80年代末90年代初"地气

法”引入我国后,王学求等于1990年在山东大尹格庄金矿进行了首次气体动态采样试验,发现矿体上方气体中异常金的存在。其后把此项技术命名为:地球气中纳微金属测量 NAMEG (Nanoscale Metals in Earth - Gas),简称地球气测量,我国学者伍宗华(1995)称之为气溶胶体测量^[28-30]。

虽然隐伏于地下深处的有用矿产通过射气向上迁移并携带纳微金属溶胶等微粒的原理目前尚不清楚,但是这不妨碍人们捕集这些元素微粒并进行检测作为一种新的化探方法应用于地质找矿。国内外的研究应用成果表明,地气测量可以反映地表以下400m左右的金属矿,也可反映埋深4000m的油气田环状构造。地气异常检测是揭示深部隐伏断裂的有效手段,常出现在隐伏断裂的正上方,异常的宽度基本反映隐伏断裂破碎带的宽度。地气土壤测量取样时,其异常所反映的往往是深部矿化,与地表土壤元素分布完全不同。另外,由于地气的客观存在性,其异常具有很好的再现性,不受工业电源、建筑及工作时间的限制。因而,地气测量法已经成为隐伏金属矿勘查的一种重要手段。

2.3 活动金属离子法

活动金属离子法(Mobile Metal Ions,简称MMI)是澳大利亚的A Mann与R Birrell等在20世纪90年代初发展起来的。据其介绍,MMI法经过长达6年的野外和实验室研究、试验和开发,以及90多次勘查实践,已经成为一种寻找隐伏矿的实用方法。Mann等于1995年第十七届国际化探会议上正式提出了该方法^[31]。MMI法的依据是深部矿体的金属活动离子可以穿过上覆的成矿后沉积的空白岩石及外来的厚层运积物而达于地表。使用某种特殊试剂可以把这种金属活动离子提取出来,这种金属活动离子异常较准确地经常位于矿体垂直上方,偶尔也在倾斜上方,假异常很少遇到。MMI法能够准确地圈定盲金矿以及隐伏镍和贱金属矿化,并已在澳大利亚、非洲、智利和美国等许多地区覆盖厚度几米至700m的矿床上圈定出39个含金、贱金属和镍矿化的矿体。以MMI技术开发应用的Wamtech Pty公司声称他们迄今已有74个找矿例案,找矿成功率达86.5%。虽然如此,关于活动态金属离子如何从深部达于地表,原作者对此却也不能明确说明。估计像该方法的提出者所处的澳大利亚深风化壳地区,风化过程中元素的化学释放是主要原因,但这对运积物地区却不能成立,而且这样的迁移机制也无法解释几百米深的矿体上方发现异常的现象。这说

明,迄今为止人们对于深部矿体的元素向上迁移的机理还不能完全了解^[29,32,33]。

2.4 金属活动态提取法

金属活动态提取法(Leaching of Mobile Forms of Metals in Overburden,简称MOME0)和上面提到的MMI法均源于早期的偏提取技术。MOME0方法的思想是:金属矿床本身及其围岩中,与矿有关的超微细金属或金属离子以及化合物,会在某种营力的作用下,如地下水、地气流、蒸发作用、浓度梯度、毛细管作用等向地表迁移。在到达地表后,被上覆土壤或其他疏松物的地球化学障所捕获,并在原介质元素含量的基础上形成活动态叠加含量。使用适当的提取剂将这些元素叠加含量提取出来,从而达到寻找和评价隐伏矿的目的。由此可见,金属活动态提取法与传统的偏提取在理论与方法上存在诸多差异:偏提取技术提取的是地化样品中离子态性状的金属元素,故对那些易呈离子形式的金属元素(贱金属和多金属)的勘查工作较有效;而金属活动态测量提取的是地化样品中呈离子态形式的金属;也包括超微细金属,它是针对金属活动态本身的提取。因此,对不易形成离子形式而多以超微细活动态形式存在的金的找矿效果较突出。这与中国学者最初提出金属活动态提取法MOME0(王学求,1989;王学求等,1995、1996)时,主要用来寻找贵金属中的金不谋而合^[29]。后经在新疆西天山、胶东,乌兹别克斯坦的穆龙套金矿、澳大利亚的奥林匹克坝矿区进行的一系列试验均取得了较好的试验成果^[34]。

3 应用与问题

1)当前矿产勘查的发展趋向是应用综合勘查技术进行找矿预测,这需要各种勘查手段的密切配合,协同作战,以减少多解性,而仅用一种物探或化探的手段去进行隐伏矿的找矿预测是不现实的。

2)物化探方法的运用必须以工作区的成矿地质背景为基础,物化探信息必须结合工作区的成矿地质条件来解释。在进行物化探勘查过程中始终坚持地质—物化探(结合地质理论进行合理分析、解释)—地质的思路,而不能脱离成矿地质条件,孤立使用某种方法,只有这样才能解决地质与找矿的实际问题。

[参考文献]

- [1] 刘士毅,孙文珂,孙焕振,等.我国物探化探找矿思路与经验剖析[J].物探与化探,2004,2,28(1):1-9.
- [2] 王继伦,李善芳,齐文秀,等.中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用[M].北京:地质出版社,1997,6.
- [3] 张寿庭,徐旃章,郑明华.甚低频电磁法在矿体空间定位预测

- 中的应用[J]. 地质科技情报, 1999, 12, 18(4): 85-88.
- [4] 白大明, 聂凤军, 江思宏. 甚低频电磁法对脉状矿床勘查评价的意义——以金、铅锌(银)和萤石矿为例[J]. 矿床地质, 2002, 21(4): 408-413.
- [5] 姜永兰, 付占荣, 孙家枢, 等. 甚低频电磁法在柴胡栏子金矿间接找矿中的应用[J]. 地质与勘探, 2005, 1, 41(1): 77-79.
- [6] 史大年, 吕庆田, 徐明才, 等. 铜陵矿集区地壳浅表结构的地震层析研究[J]. 矿床地质, 2004, 23(3): 383-389.
- [7] 吕庆田, 史大年, 赵金花, 等. 深部矿产勘查的地震学方法: 问题与前景——铜陵矿集区的应用实例[J]. 地质通报, 2005, 3, 24(3): 211-218.
- [8] 徐明才, 高景华, 荣立新, 等. 地面地震层析成像和高分辨率地震联合勘探技术[J]. 地质与勘探, 2005, 7, 41(4): 83-87.
- [9] 肖骑彬, 蔡新平, 徐兴旺, 等. 浅层地震与 MT 联合技术在隐伏金属矿床定位预测中的应用——以新疆哈密图拉尔根铜镍矿为例[J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 676-683.
- [10] 梁光河, 徐兴旺, 肖骑彬, 等. 大地电磁测深法在铜镍矿勘查中的应用——以与超镁铁质岩有关的新疆图拉尔根铜镍矿为例[J]. 矿床地质, 2007, 2, 26(1): 120-127.
- [11] 金中国, 邹林, 赵俭文. 瞬变电磁法在黔西北猫猫厂铅锌矿找矿中的应用[J]. 地质与勘探, 2002, 11, 38(6): 48-50.
- [12] 刘国兴, 王喜臣, 张小路, 等. 大功率激电和瞬变电磁法在青海锡铁山深部找矿中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 10, 33(4): 551-554.
- [13] 陈卫, 杨生, 王有霖, 等. 时间域瞬变电磁法在地质勘查中的应用[J]. 矿产与地质, 2006, 8, 20(4-5): 538-542.
- [14] 杨金中, 赵玉灵, 沈远超. 可控源音频大地电磁法在矿体定位预测中的应用——以山东省乳山市蓬家乔金矿床为例[J]. 地质科技情报, 2000, 9, 19(3): 107-112.
- [15] 石昆法, 张庚利, 李英贤. CSAMT 法在山东蓬家乔地区层间滑动角砾型金矿成矿预测中的应用[J]. 地质与勘探, 2001, 1, 37(1): 86-90.
- [16] 杨彦峰, 杨生, 周振义. CSAMT 在陕西凤太地区寻找隐伏金属矿上的应用[J]. 地质找矿论丛, 2002, 6, 17(2): 131-135.
- [17] 伍岳, 刘汉彬, 董秀康. EH4 电导率成像系统在砂岩型铀矿床上的应用研究[J]. 铀矿地质, 1998, 1, 14(1): 32-37.
- [18] 申萍, 沈远超, 刘铁兵, 等. EH4 连续电导率成像仪在隐伏矿体定位预测中的应用[J]. 矿床地质, 2007, 2, 26(1): 70-78.
- [19] 沈远超, 申萍, 刘铁兵, 等. 东天山镜儿泉铜镍矿床成矿预测及 EH4 地球物理测量依据[J]. 地质与勘探, 2007, 3, 43(2): 62-67.
- [20] 曾庆栋, 刘铁兵, 李光明, 等. 新疆布尔克斯岱金矿床成矿远景[J]. 地质与勘探, 2004, 7, 40(4): 17-20.
- [21] 蔡新平, 刘秉光, 季钟霖, 等. 金厂峪金矿的控矿构造与其地球物理验证[J]. 黄金科学技术, 1994, 10, 2(5): 1-7.
- [22] 韩金良, 张宝林, 蔡新平, 等. 山西堡子湾金矿隐伏矿体预测及其工程验证[J]. 地质与勘探, 2003, 9, 39(5): 6-10.
- [23] 李惠, 张国义, 禹斌, 等. 20 世纪冶金地质化探工作十大创新成果[J]. 地质找矿论丛, 2006, 10, 21(增刊): 125-130.
- [24] K Kristiansson, L Malmqvist. Evidence for nondiffusive transport of Rn in the ground and a new physical model for the transport[J]. Geophysical, 1982, 47(10): 1444-1452.
- [25] L Malmqvist, K Kristiansson. Experiment evidence for an ascending micro-flow of geogas in the ground[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1984, 70: 407-416.
- [26] K Kristiansson, L Malmqvist. Trace elements in the geogas and their relation to bedrock composition[J]. Geos exploration, 1987(24): 517-534.
- [27] K Kristiansson, L Malmqvist, W Persson. Geogas prospecting: a new tool in the search for concealed mineralizations[J]. Endeavour, New Series, 1990, 14(1): 28-33.
- [28] 丁汝福. 国内外寻找隐伏矿化探新方法研究进展[J]. 地质与勘探, 1999, 3, 35(2): 30-34.
- [29] 王学求, 谢学锦. 金的勘查地球化学——理论与方法·战略与战术[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2000. 12.
- [30] 伍宗华, 古平, 等. 隐伏矿床的地球化学勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 6.
- [31] Mann A W, Birrell R D, Gayl M et al., Partial extractions and mobile metal ions M[A]. In: Camuti K S. Extend abstracts of the 17th IGES[C], 1995.
- [32] 吴其斌, 王君恒, 崔霖沛. 勘查隐伏金属矿的新方法[J]. 地质与勘探, 1999, 11, 35(6): 44-47.
- [33] 谢学锦. 战术性与战略性的深穿透地球化学方法[J]. 地学前缘, 1998, 4, 5(1-2): 171-183.
- [34] 王学求. 寻找和识别隐伏大型特大型矿床的勘查地球化学理论方法与应用[J]. 物探与化探, 1998, 4, 22(2): 81-89.

APPLICATION AND EFFICIENCY OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION METHODS IN PRESENT ORE PROSPECTING

ZHOU Sheng-hua¹, YAN Yun-fei², LI Yan-jun²

(1. China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract: Based on brief summary of the present status of metal ore exploration, principle, features and application of some common and advance geophysical and geochemical exploration methods in resource exploration in China since 1980s are discussed.

Key words: mineral prospecting, geophysical exploration, geochemical exploration, geological prospecting