

深穿透化探方法及在矿产勘查中的应用

赵洪涛, 张庆华

(河南省地质矿产勘查开发局 第 1 地质勘查院, 河南 南阳 473056)

摘要: 文章简述了深穿透化探方法的基本理论, 介绍了地气测量方法、活动态金属离子法、金属元素活动态提取法和电地球化学法 4 种深穿透化探方法, 并对深穿透化探方法的应用现状及其地质效能进行了评析, 指出在应用综合勘查技术和化探异常信息时需要注意与工作区的成矿地质条件相结合。

关键词: 矿产勘查; 深穿透化探方法; 隐伏矿体; 深部找矿

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)03-0196-05

0 引言

矿产资源是人类社会经济发展的重要物质来源, 随着地质找矿工作的深入, 许多露头矿和近地表矿已基本被查明。尤其是我国东部地区, 地质研究程度较高, 地表浅部的露头矿、易识别矿几乎勘查殆尽, 逐渐转向已知矿区的周边及深部进行勘查工作。

生产矿山的深部盲矿(隐伏矿)及外围找矿预测的工作难度大, 必须采用新理论, 研究新方法、新技术才会有所突破^[1]。目前, 一大批传统的和新型的化探方法被应用于矿产勘查工作中, 包括原生晕找矿模型、构造叠加晕法、汞蒸气测量、地电化学、深穿透-地气法、包裹体气晕和离子晕法、热晕法、卤素测量等, 在矿山深部及周边找矿工作中取得可喜成效。

1 深穿透勘查地球化学基础理论

深穿透勘查地球化学(Deep penetration exploration geochemistry)可以定义为能探测深部隐伏矿体发出的直接信息的勘查地球化学理论与技术方法。这一定义主要有两层含义: 一是探测深度大, 至少应在百米以上; 二是测量直接找矿信息^[2]。按照

这样的定义, ①与测量地气中金属含量有关的方法——地气法、地球气纳微金属测量、气溶胶测量、纳米物质测量等; ②有机质结合形式法(MPF)、热磁地球化学法(TMGM)、酶提取法(Enzyme leach)、金属活动态测量法(MOMEQ)和活动态金属离子法(MMI)等测定与矿体上方土壤中活动态的金属有关的方法; ③电地球化学方法均可以列入深穿透勘查地球化学的研究领域, 甚至植物测量法也可纳入深穿透勘查地球化学研究范畴^[2]。

深穿透地球化学通过研究成矿元素或伴生元素从隐伏矿向地表的迁移机理和分散模式、含矿信息在地表的存在形式和富集规律, 发展含矿信息采集、提取与分析、成果解释技术, 以达到寻找隐伏矿的目的。深穿透地球化学的理论基础由连续的几个要素构成^[3]: 元素向地表的迁移机理 \rightarrow 迁移到地表以后的赋存介质和赋存形式 \rightarrow 形成异常模式的特征。后两个要素是第一个要素导致的结果, 是可以观测到的。而元素从深部向地表的迁移机理是无法观测到的, 也一直是勘查地球化学研究的焦点和争论最大的问题。传统的元素运移途径(如风化过程中元素的物理和化学释放、地下水循环、离子扩散作用、氧化还原电位、气体扩散等机制)最多只能迁移几十米的距离, 是不可能将深部几百米的矿体元素迁移至地表的。深穿透勘查地球化学中元素的迁移模型主要有离子扩散迁移模型、地下水溶解迁移模型、电化学迁移模型、地气流迁移模型^[3]和多营力迁移模

收稿日期: 2009-06-09 修回日期: 2009-07-06

作者简介: 赵洪涛(1972), 男, 河南唐河人, 工程师, 从事地质矿产勘查工作。通信地址: 河南省南阳市文化路 218 号, 河南省地质矿产勘查开发局第一勘查院; 邮政编码: 473056; E-mail: zht720606@126.com

型^[4]等5种。

2 深穿透化探方法

目前比较常见的深穿透勘查地球化学方法包括地气测量方法、活动态金属离子法、金属元素活动态测量法、电地球化学法等。

2.1 地气测量方法

这里的地气测量方法不同于传统的 Rn , CO_2 , Ar 及 Hg 的气体地球化学方法,而是 Malmqvist 和 Kristiansson^[5-7] 提出的以 Geogas 著称的地气法。在寻找铀矿的过程中,通过对地表氡(²²²Rn)的测量,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。研究者成功地在瑞典和新西兰进行了地气采集试验^[8,9]。随后,俄罗斯戈里格良于80年代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)。20世纪90年代初地气法引入我国后,王学求等^[10]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,其后将该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,伍宗华等^[11]称之为气溶胶体测量。

虽然隐伏矿产向上迁移并携带纳微金属溶胶等微粒的原理尚不清楚,但这并不妨碍人们捕集这些元素微粒并进行检测而应用于地质找矿。地气异常检测是揭示深部隐伏断裂的有效手段之一,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,另外,由于地气的客观存在,其异常具有很好的再现性,地气测量法已经成为隐伏金属矿勘查的一种重要手段。

2.2 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 Mann 等^[12]发展起来的。经过长时间的野外和实验室研究、试验和开发、勘查实践,MMI法已经成为一种寻找隐伏矿的实用方法。MMI法的依据是深部矿体的金属活动离子可以穿过上覆的沉积岩石及外来的运积物到达地表,使用某种特殊试剂可以把这种金属活动离子提取出来,这种金属活动态离子异常经常较准确地位于矿体垂

直上方,偶尔也在倾斜上方。MMI法能够准确地圈定金的盲矿体以及隐伏的镍和贱金属矿化,并已在澳大利亚、非洲、智利和美国等许多覆盖厚度几米至700m的矿床上圈定出多个含金、贱金属和镍矿化的矿体。但关于活动态金属离子如何从深部达于地表,至今也没有明确说明。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^[13-15]。

2.3 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 MOMEO)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、金属离子或化合物会在某种营力的作用下向地表迁移,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。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,如偏提取技术提取的是地化样品中离子态性状的金属元素,故对那些易呈离子态的金属元素(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。由此可见,MOMEO对不易形成离子而多以超微细活动态形式存在的金找矿效果较突出。这与中国学者最初提出金属活动态提取法 MOMEO^[16]主要用来寻找贵金属中的金不谋而合。

2.4 电地球化学法

电地球化学方法是前苏联 Ryss 和 Goldberg^[17]等提出的。该方法用于寻找隐伏矿体的基本原理是深部盲矿或隐伏矿经过电化学溶解,在矿体周围形成离子晕,与成矿有关的成矿元素及伴生元素在电化学电场、地气、地下水运动等各种自然营力作用下迁移到近地表,并以多种形式赋存下来。在人工电场作用下,矿化相关的金属离子平衡发生改变,金属阳离子在电场作用下向阴极移动,并形成电解物,收集并分析电极上吸附的电解物,即可发现相关的金属离子异常,从而达到找矿和评价的目的^[18-20]。

该方法的离子来源问题一直存在着不同的观点,前苏联学者认为金属离子是由于人工电场的驱使直接来源于深部矿体;而中国和美国学者则认为人工电场的作用只不过是驱使早已被其他营力迁移至地表土壤中的金属离子沉积在电极上而已,不可能直接作用到几百米深的隐伏矿体^[13]。康明等^[19]

通过一系列的实验研究,提出了“外电场作用下,提取电极周围的离子运移牵动着远处及深部离子迁移的递推理论”,认为地电提取的离子并非直接来自深部矿体,也不完全只是来源于电极周围的土壤中,而是存在着一种动态的离子平衡状态,当地下深部有隐伏矿体存在时,随着浅部离子被提取,矿体电化学反应产生的金属离子就会源源不断地从深部向上迁移,从而形成了动态平衡的离子晕。

电地球化学法是将地球物理、地球化学和电化学综合交叉为一体组成的一种找矿方法,主要应用于矿产勘查的详查及异常查证阶段。据国内外的研究表明,该方法可用于寻找埋藏厚度超过150 m的未固结覆盖层下和厚度超过500 m基岩下的深部矿体^[13],在寻找隐伏矿床方面具有广阔的应用前景。

3 应用实例

自“深穿透勘查地球化学”这一概念^[21]被提出至今,越来越多的地质研究者逐渐对该方法重视,并从事于该方法的野外和实验室研究、试验和开发、勘查实践。经过20多年的试验与实践,深穿透化探方法在国内外被较广泛地应用于隐伏矿体的勘查工作中,并取得了较好的效果^[22]。王学求^[23]应用活动态的铁锰氧化物膜提取法和电地球化学提取法对新疆干旱荒漠区的金窝子金矿区进行了试验,于210金矿和金窝子金矿上方都发现了非常好的异常;聂兰仕等^[24]对大尹格庄金矿开展金属活动态测量、地球气测量、地电化学测量、土壤全量测量的方法,试验结果显示在埋深达300 m的隐伏金矿体上方发现了较明显的地球气、水提取与地电化学Au异常,异常与已知金矿体位置吻合程度较高,而土壤全量测量只在蚀变带头部有所反映,显示了深穿透地球化学方法在隐伏矿勘查中的良好应用前景;此外,在乌兹别克斯坦的穆龙套金矿和澳大利亚的奥林匹克坝矿区等进行的一系列试验中均取得了较好的成果^[22]。

聂兰仕等^[25]采用深穿透化探方法对内蒙古花敖包特铅锌矿床进行找矿方法对比研究。

花敖包特铅锌矿位于大兴安岭中南段的锡林浩特—霍林郭勒成矿亚带上。区内出露的地层主要为中生界和零星分布的古生界,侵入岩主要为华力西晚期的超基性岩和燕山期的脉岩。构造主要以华力西期形成的NE向压性断裂为主。矿石矿物主要

为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉锑矿、辉铁锑矿、硫铜锑矿等,脉石矿物组合主要为石英、长石、绿泥石、方解石、角闪石、萤石等。花敖包特为一个大型银铅锌多金属矿,矿体埋深70 m,地表有3~15 m的风成沙覆盖,由3个矿体组成,分别为1号、2号、3号矿体。其中1号矿体埋藏较浅,为30 m左右;2号矿体和3号矿体埋深较大,3号矿体埋深有70 m,2号矿体在1号与3号矿体之间,埋深达250 m。

聂兰仕等^[25]在矿区内布置了5条剖面,其中1线—3线通过1号矿体,4线通过2号矿体,5线位于3号矿体的上方。线距100 m,线长600~800 m,点距40 m,在已知矿体上方加密至20 m,每个点上采集地球气样品、土壤样品和地电化样品,土壤样品过100目筛,筛下细粒级样品分析全量中Ag, Pb, Zn等元素的含量,细粒级样品还用于金属活动态的提取。试验结果表明,4种方法均在矿体上方发现了很好的Pb, Zn, Ag, Cd异常,异常与矿体的位置吻合程度很好(图1),显示了深穿透化探方法在隐伏矿勘查中的良好应用前景。

4 存在的问题及建议

随着高精度、高灵敏度分析仪器的使用以及与基础理论学科的广泛融合,深穿透化探方法在矿产勘查的应用中取得了较好的找矿效果。但是这些方法还存在着许多明显的问题,其中急需重视的问题主要有以下几个方面:

(1)方法本身的理论问题的研究。由于元素从深部向地表迁移的机理难以直接观测,而且可能还有其他一些新的地质现象或作用营力未被发现和注意,一些基本理论问题,如活动性元素的存在形式、迁移机制等一直备受争议,这些问题的解决不仅对金属矿产的勘查,而且对于方法自身的发展以及对矿床成因等问题的研究都具有十分重要的意义。

(2)多种方法的优化选择。各种方法都存在自身的局限性,随着找矿难度的增加和众多复杂因素的干扰,不同方法的找矿效果可能不尽相同。在经费最小化程度下,如何从上述深穿透化探方法中选择合理的方法,从化探异常中快速筛选出最有找矿前景的靶区,并对矿体进行定位预测,成为目前化探勘查中的关键技术难题之一。

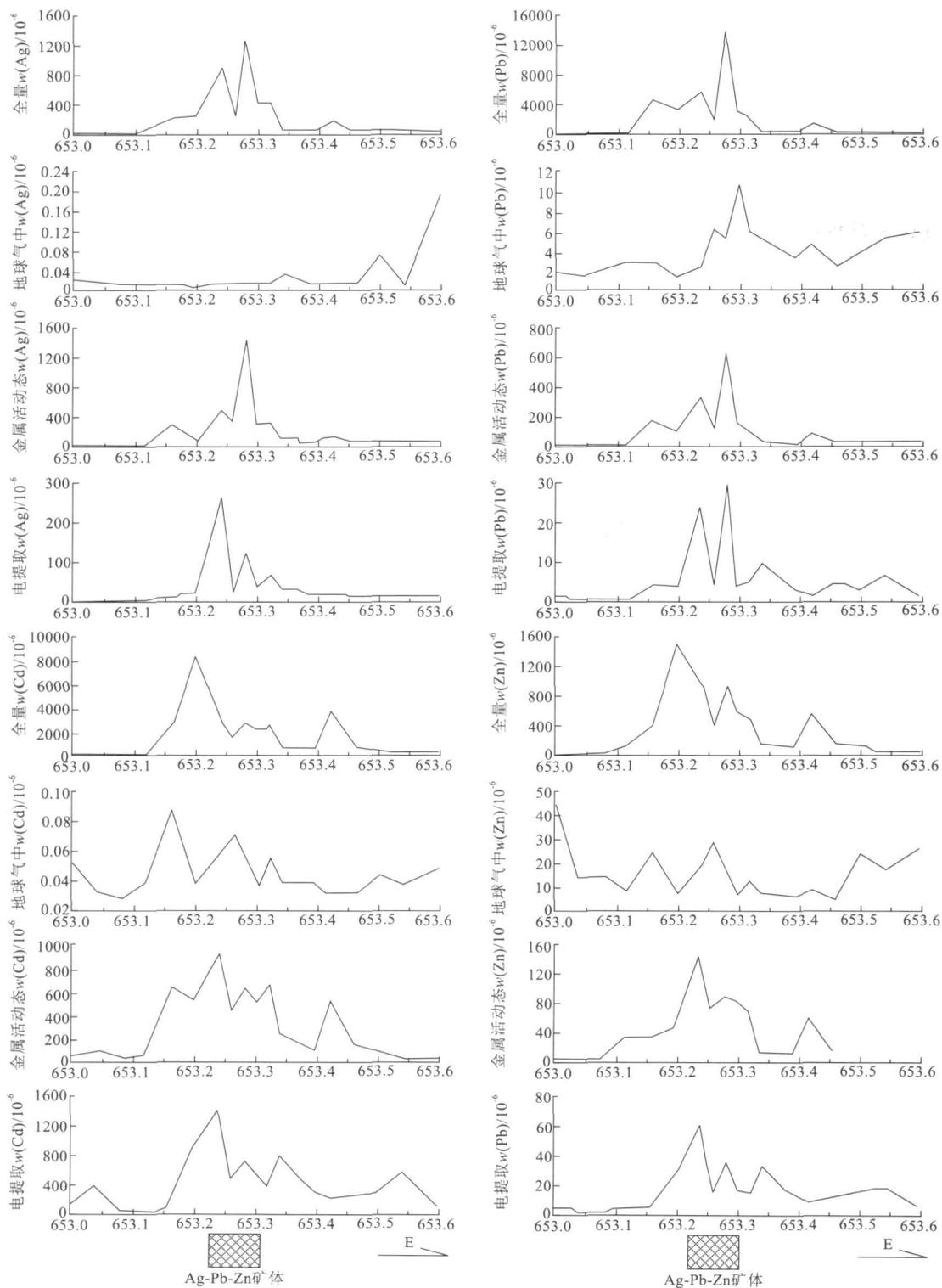


图 1 西乌旗花敖包特铅锌矿 1 线 Ag, Pb, Cd, Zn 异常剖面

Fig.1 Section of Ag, Pb, Cd and Zn anomalies along line 1 of the Huabote lead zinc deposit, Xi Ujimqin banner

(3) 适用于难识别类型或难识别矿种的方法研究与开发。过去一段时间, 深穿透化探方法借助于

高精度、高灵敏度的分析技术, 在发现难识别矿种或难识别类型矿床上取得了一定的成功, 尤其是贵金

属矿。但目前依然存在一些新的难识别矿种或难识别矿床类型,如砂岩型铀矿、黑色岩系中铂族元素矿床等还有待于深入研究和找矿技术的突破。

通过对上述各种深穿透化探方法应用现状及其地质效能的评析,可以发现深穿透化探方法对寻找深部盲矿或隐伏矿具有其独特的优势,而且与物探方法相比更具有直接性,已成为深部找矿最为有效的手段之一。但也应注意到,任何一种化探方法都有其自身的适用性,对于不同的矿种、不同的景观条件、不同的勘查阶段都有其一定的适用范围,如MMI提取的是离子态的形式,故对于那些易呈离子形式的金属元素(贱金属和多金属矿)比较有效;MOMEO提取的不仅是离子态的形式,还包括超微细的金属,故对于不宜形成离子形式的金矿效果突出^[2]。因此在实际应用这些方法时,还应注意应用综合勘查技术进行找矿预测,采用单一化探手段去进行隐伏矿的找矿预测是不现实的;同时,化探方法的运用必须以具体的成矿地质背景为基础,化探信息必须结合实际成矿地质条件来解释,坚持地质-化探-地质的思路,这样才能解决地质与找矿的实际问题。

参考文献:

[1] 李惠,岑况,沈镛立,等. 危机矿山深部及其外围盲矿预测的化探新方法及其最佳组合[J]. 地质与勘探, 2006, 42(4): 2-6.

[2] 王学求. 深穿透勘查地球化学[J]. 物探与化探, 1998, 22(3): 165-174.

[3] 王学求. 深穿透地球化学迁移模型[J]. 地质通报, 2005, 24(10-11): 892-896.

[4] 谢学锦,王学求. 深穿透地球化学新进展[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 225-238.

[5] Kristiansson K, Malmqvist L. A new model mechanism for the transportation of radon through the ground Proc[C]. Soc. Explor. Geophys. 50th Int. Mtg, Houston., Texas. 1980: 2535-2565.

[6] Kristiansson K, Malmqvist L. Evidence for nondiffusive transport of Rn in the ground and a new physical model for the transport[J]. Geophysical, 1982, 47(10): 1444-1452.

[7] Malmqvist L, Kristiansson K. Experiment evidence for an ascending microflow of geogas in the ground[J]. Earth and

Planetary Science Letters, 1984, 70: 407-416.

- [8] Kristiansson K, Malmqvist L. Trace elements in the geogas and their relation to bedrock composition[J]. Geoexploration, 1987, (24): 517-534.
- [9] Kristiansson K, Malmqvist L, Persson W. Geogas prospecting: a new tool in the search for concealed mineralizations[J]. Err deavour, New Series, 1990, 14(1): 28-33.
- [10] 王学求,谢学锦,卢荫麻. 地气动态提取技术的研制及在寻找隐伏矿上的初步试验[J]. 物探与化探, 1995, 19(3): 161-172.
- [11] 伍宗华,古平. 隐伏矿床的地球化学勘查[M]. 北京:地质出版社, 2000.
- [12] Mann A W, Birrell R D, Gayl M, et al. Partial extractions and mobile metal ions[C]. In: Camuti K S. Extend abstracts of the 17th IGES, 1995.
- [13] 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, 5(1-2): 171-183.
- [14] 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.
- [15] 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, 35(6): 44-47.
- [16] Wang Xueqiu, Xie Xuejing, Ye Shengyong. Concepts for gold exploration based on the abundance and distribution of ultra fine gold[J]. J. Geochem. Explor., 1995, 55(1): 93-102.
- [17] RYSS YU S, GOLDBERG I S. The partial extraction of metals method in mineral exploration. Method and Technique [M], 1973, 84: 5.
- [18] 康明,罗先熔. 地电化学方法的改进及应用效果[J]. 地质与勘探, 2003, 39(5): 63-66.
- [19] 康明,罗先熔. 金属矿床地电化学勘查方法研究现状及前景展望[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 452-457.
- [20] 周奇明. 电法地球化学方法快速寻找隐伏矿的效果[J]. 矿产与地质, 2001, 15(4): 275-278.
- [21] 王学求. 18届国际化探会议述评[J]. 物化探译丛: 1997, (5): 31-33.
- [22] 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, 22(2): 81-89.
- [23] 王学求,刘占元,白金峰,等. 深穿透地球化学对比研究两例[J]. 物探化探计算技术, 2005, 27(3): 250-255.
- [24] 聂兰仕,程志中,王学求,等. 深穿透地球化学方法在山东大尹格庄金矿区试验研究[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(增刊): 207-211.
- [25] 聂兰仕,程志中,王学求,等. 深穿透地球化学方法对比研究——以内蒙古花敖包特铅锌矿为例[J]. 地质通报, 2007, 26(12): 1574-1578.

- (1. *Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China;*
2. *Tianjin Geothermal Exploration Development-Designing Institute, Tianjin 300250, China;*
3. *Inner Mongolia Minerals Experiment Research Institute, Hohhot, 010031, China)*

Abstract: The clastic carbonate rock-type gold deposit-control system in Daqingshan area is characterized by continental aulacogen tectonic background, the flysch formation at the Lower Hongshangou Formation of Middle Erdaowa group and the bedding detachment shear zone. The aulacogen provided the metallogenic background condition (i. e. Erdaowa group was deposited under the background) including the ore-forming materials, energy and space. The flysch formation provided the ore-forming materials and the ore-forming space, the bedding detachment shear zone and the sub-scale folds, especially for the syncline and synform structure in the shear zone which was formed by extension mechanism during the early aulacogen close orogeny period. Then is put forward three-factor-ore control model of the flysch formation and the overprinted bedding detachment shear zone and the sub-scale folds.

Key Words: ore-controlled systems; Daqingshan; Inner Mongolia; clastic carbonate rocks-type gold deposits

(上接第 200 页)

THE PRESENT APPLICATION STATUS OF DEEP GEOCHEMICAL PENETRATION METHOD FOR MINERAL PROSPECTING

ZHAO Hong-tao, ZHANG Qing-hua

(No. 1 Institute of Geological Exploration, Henan Provincial Bureau of GeosExploration and Mineral Development, Nanyang 473056, Henan, China)

Abstract: As one of the most efficient methods for deep blind ores or concealed ores, the deep penetration geochemical method has made significant progresses in mineral prospecting. This paper outlines the basic theories of deep penetration geochemistry, and emphasizes the four deep penetration geochemical methods, i. e. nanoscale metals measurement of earth gases, mobile metal ions measurement, leaching of mobile forms of metals in overburden and electroferous geochemistry. We also review the application status and efficiency of deep penetration geochemistry and point out that application of the integrated geochemical prospecting methods and geochemical anomaly information to mineral prospecting must be combined with the geological and metallogenical conditions of the working area.

Key Words: mineral prospecting; deep penetration prospecting geochemistry; concealed ore; deep ore prospecting