

# 深穿透地球化学多方法组合在中条山厚层黄土覆盖区找矿试验研究

靳职斌,周新鹏,张双奎,张璐  
(山西省地球物理化学勘查院,山西运城 044000)

**摘要:**在运城盆地厚层黄土覆盖区所开展的深穿透地球化学找矿试验,采用黏土吸附态金属离子(Cu、Co、Ni、Zn等)、热释碳酸盐( $\Delta C$ )、电导率( $\eta\%$ )、F离子选择性电极四种方法同时进行。试验对象是深埋在黄土下200~300 m以深两个铜镍多金属硫化物矿床。通过本次试验,所选四种方法均不同程度捕捉到巨厚黄土覆盖200 m以深的金属矿床成矿地球化学信息,初步证明所选方法是有效的、可行的。其中黏土吸附态金属离子Co、Ni、Cu、Zn异常强度与在矿体中的浓集强度呈明显的正相关关系,间接找矿信息热释碳酸盐( $\Delta C$ )、电导率( $\eta\%$ )也有一致的趋势。进一步将四种方法的异常信息进行叠加,所形成的组合异常更好地克服了单信息微弱、不稳定的缺陷,可更有效地指示深埋隐伏多金属矿体,明显增大异常对矿体的反映率。本次所选的四种方法,野外采样方法简单,操作简便,与常规土壤化探工作方法基本一致,生产与测试成本能为基层单位接受;对同类土壤覆盖区开展深穿透地球化学方法找矿有推广价值。

**关键词:**厚层黄土;深穿透地球化学;黏土吸附态金属离子;热释碳酸盐( $\Delta C$ );电导率;氟离子选择性电极;组合信息  
**中图分类号:** P632      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-4135(2014)03-0197-06

我国黄土覆盖面积达约45万 km<sup>2</sup>,在黄河流域形成大面积连续分布区,主要集中在甘肃东部、陕西北部、及山西、河北大部分地区。对于这些特殊景观区的矿产资源,常规地质勘查手段基本上无能为力。近年来我国在厚层覆盖区应用深穿透地球化学找矿取得了重要进展,多种方法得到了验证<sup>[1]</sup>,如地气法、土壤活动态金属离子、土壤吸附态离子、地电化学、热释汞、热释卤、热释碳酸盐、氦气、汞气、卤素、电导率、地下水、植物根系等。但在实际应用中,这些方法普遍存在一些问题:①采样方法较复杂,实际操作难度大;②信息微弱不稳定,干扰因素多,判别信息来源比较困难;③样品处理和测试费用比较高<sup>[2]</sup>。这些问题直接制约了深穿透地球化学方法在生产中的普及应用。

在中条地区厚层黄土覆盖下的隐伏矿区所开展的深穿透地球化学找矿试验,选取了黏土吸附态金属离子(Cu Co Ni Zn等)、热释碳酸盐( $\Delta C$ )、电导率( $\eta\%$ )、F离子选择性电极等四种方法同时进行,以期通过信息组合达到克服干扰,强化信息的目的。同

时,所选方法操作相对简便,测试成本比较低廉,试验效果明显。

试验对象为运城盆地黄土覆盖区中部的户头铜镍矿和回坑铜镍矿,在矿床覆盖层上方布设试验剖面,以浅表土壤为介质提取下伏矿床中有关矿致地球化学信息。

## 1 地质矿产概况

试验地位于运城盆地厚层黄土覆盖区中部,试验剖面布置在隐伏矿床户头和回坑铜镍矿的上方,剖面方向为EEN(129°),总长8.5 km(图1)。

中条山地区是我国重要的铜矿集区之一,至上世纪九十年代以前已探明铜矿峪、胡家峪、篦子沟等大、中、小型铜矿床30余处,提交Cu金属储量900多万吨。随着长期开采,矿山保有储量已所剩无几,近20年来进行了大量的危机矿山研究与勘查工作,后续找矿始终未取得明显进展,找矿注意力开始转向占五分之四以上的第四系黄土覆盖区,发现有新类型铜、钴、镍多属矿多处<sup>[3]</sup>。

收稿日期:2014-07-10

资助项目:山西省地勘局重点研究项目:山西省大中条地区成矿预测研究(晋地设发[2012]4号)

作者简介:靳职斌(1964-),男,高级工程师,1987年毕业于中国地质大学(武汉),地球化学专业,长期从事矿产勘查,E-mail: jin27192@163.com。

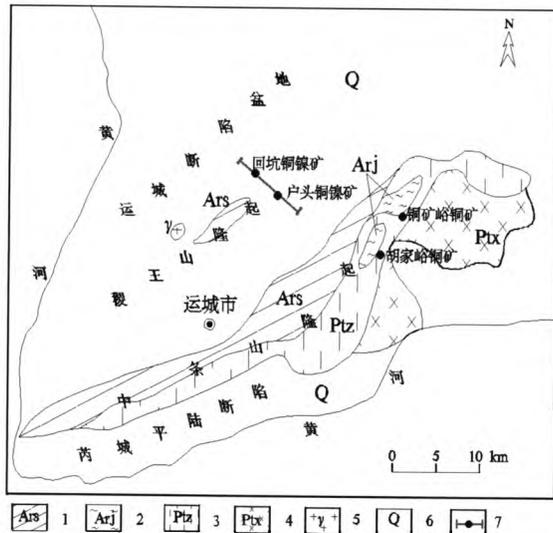


图1 中条地区地质概况略图

Fig.1 Geological sketch map of the Zhongtiao area

1. 太古宇涑水杂岩; 2. 上太古界绛县群; 3. 古元古界中条群; 4. 新元古界西阳河群; 5. 花岗岩; 6. 第四系; 7. 试验剖面

中条山以北是广阔的厚层黄土覆盖区,属新生代断陷构造运动形成的运城盆地,地表浅层普遍分布风积黄土层(Q<sub>3</sub>),为一套成分单一层位稳定的灰黄色、棕黄色粉砂质黏土。下伏盖层以河流相、湖相沉积物为主,主体成分仍为砂质黏土。这套由风成和水成的巨厚黄土覆盖层厚度一般为300~700 m,最厚达1000 m,堆积在以太古宇涑水群为主的古老基底上。前人根据航磁异常发现了深埋地下的户头铁矿,继而发现了与铁矿共生的铜镍矿,后又在户头西北发现了回坑铜镍矿<sup>[4]</sup>。该矿床成因类型为基性-超基性岩浆岩型熔离-贯入式铜镍矿,容矿岩石为太古宇涑水杂岩,主要由基性火山岩、基性-超基性侵入岩、中酸性侵入岩、古陆相沉积等变质而成的混合杂岩组成,含有丰富的、与幔源物质有关的Cu、Au、Ag、Ni、Co、Fe等成分。

## 2 试验矿床特征

### 2.1 户头矿床

户头铁镍铜矿位于运城盆地中部,隐伏垂直埋深约220 m,其中黄土层厚约150 m,上部围岩厚约70 m。该矿床最初以开采磁性铁矿为主,后发现为富含铜、镍、钴等的多金属矿床。矿体产状近水平,产于构造裂隙中,呈脉状和透镜状产出,容矿岩石为太古宇涑水杂岩,以变花岗闪长岩和变辉长岩为主(图2)。矿床成因属基性岩浆熔离矿浆贯入构造裂隙形成的铜镍铁钴多金属矿。矿脉厚度0.50~2.62 m,

长300 m,矿化带厚度47.45~65 m。矿石以斜长石化脉状矿石、石英脉硫化物矿石为主,相互混杂交互产出。主要矿物有磁铁矿、黄铁矿、镍黄铁矿、蓝铜矿、黄铜矿。非金属矿物主要有方解石、石英及少量磷灰石。矿石中Cu含量一般为0.2%~1.2%,平均0.71%,最高含量3.62%;Zn平均含量只有0.01%;镍含量为0.45%~0.98%,平均0.61%,钴含量一般为0.17%~0.084%,平均0.11%。全铁含量一般为20%~30%,平均25%。

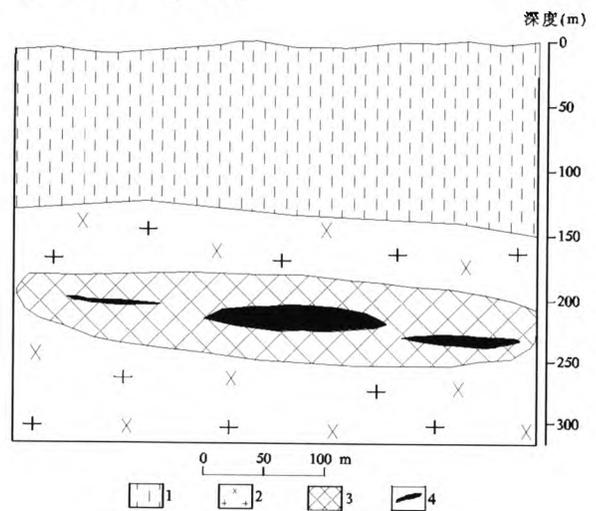


图2 户头铁铜镍钴多金属矿床剖面图 (户头矿井实测,山西物化院 2012)

Fig.2 Profile of the Hutou polymetallic (Fe Cu Ni Co) deposits

1. 黄土覆盖层; 2. 变花岗闪长岩及辉长岩; 3. 矿化带; 4. 铜镍钴铁矿脉

### 2.2 回坑矿床

回坑矿床位于户头北部6 km处,根据钻探资料,矿床垂直深度约240 m,其中上覆黄土厚210 m,上部围岩厚约30 m。矿床类型与户头一致,产于下伏太古宇涑水杂岩中,容矿岩石为一套基性片麻杂岩,主要为斜长角闪岩、角闪二长片麻岩、变花岗闪长岩、石英闪长岩等(图3)。矿床成因同样为基性岩浆分异矿浆贯入式成矿,矿脉比较分散,由一系列薄层矿脉组成,总厚度约60 m。主要矿物组合为磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿等。其中Cu含量平均0.27%,最高6.64%,Ni含量平均0.08%,最高0.69%,Co含量平均0.09%,最高达1.57%;Zn平均含量0.11%,最高0.29%,全铁平均含量29%,最高含量49%。

## 3 试验方法简述

本次所选四种方法,统一以地表土壤为介质一

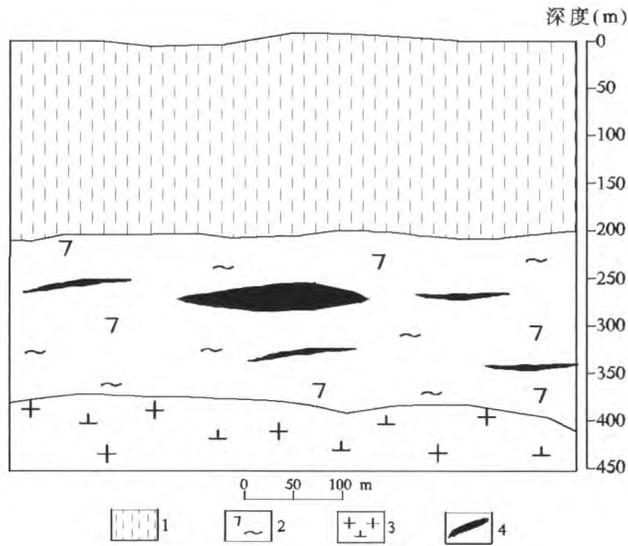


图3 回坑铁铜镍钴多金属矿床剖面图  
(根据回坑ZK301钻孔,山西物化院 2012)  
Fig.3 Profile of the Huikeng polymetallic  
(Fe Cu Ni Co) deposits

1. 第四系黄土; 2. 斜长角闪片麻岩;
3. 花岗闪长岩; 4. 铜镍钴铁矿脉

次性采集样品进行测试,具体在户头-回坑矿床上方布设一过矿剖面。剖面长8.5 km,采样点距100 m,从零点到末点共采集样品86个。采样深度统一控制在150~170 cm之间,以尽量排除表层物质的干扰。土壤样采集量约1 kg,装入棉布样品袋自然晾干后,取过100目筛的细粒样,送化验室按照上述有关要求进行测试。

土壤吸附态测量是金属元素活动态测量法之一,利用偏提取技术测试土壤吸附态金属组分,是当前使用比较多的一种方法<sup>[5]</sup>,并且在地矿、冶金、有色等系统都开展了大量研究工作,取得了很多成果,也取得了较好找矿效果<sup>[6]</sup>。本次用5%柠檬酸铵和0.5%醋酸(1:1)对土壤中Cu、Zn、Ni、Co、Ag等吸附态离子进行偏提取分析。

热释碳酸盐( $\Delta C$ )法最早是由美国运用于石油、天然气勘探的一种新方法<sup>[7-8]</sup>,后来发现在金属矿床上方也能形成“后生碳酸盐”,1985年美国地质学家 Lovell在“土壤中二氧化碳测量可作为半干旱和干旱区域寻找隐伏矿的指标”一文,介绍了根据隐伏铅锌矿上方所获得的Pb-Zn数据,能够反映深埋盲矿的事实。上世纪九十年代我国有过多项试验<sup>[9]</sup>,在第四系覆盖层厚度130~180 m的一些铅锌矿等矿区得到良好的验证效果。本次试验就是参照前人做法,在

500~600℃范围内热释放土壤中的碳酸盐,测试其中二氧化碳含量<sup>[10]</sup>。

土壤电导率测量属地电化学范畴<sup>[11-12]</sup>,但不需要专门供电与接收设备,样品采集与普通土壤化探采样相同。桂林冶金地质学院对电导率寻找隐伏矿床进行了较系统和深入研究与应用<sup>[13]</sup>,先后对厚层基岩、坡积物覆盖的铅锌等矿进行找矿试验,皆取得了良好的效果。本次测试电导率方法是,取5 g过100目钢丝筛土壤样品,加入100 mL去离子水溶解,搅拌半小时后用电导率仪直接测试。

用卤素作为指示元素,在厚层覆盖条件下找盲矿,是目前正在探索的一种方法。利用F离子选择电极在甘肃、江西、广西、湖北、吉林和辽宁的一些已知矿床上进行了试验,取得了一定成效。F离子选择电极的应用基础是测定电极在溶液中的薄膜电位,与参比电极(甘汞电极)组成原电池,进而测量其电池的电动势。具体方法是准确称取土壤样品2 g置于100 mL烧杯中,加蒸馏水50 mL,在70℃下搅拌浸取30 min,将浸取液转入100 ml容量瓶中,加入10 mL离子强度调节缓冲液,用蒸馏水稀释至刻度线,F电极进行直接测试。

## 4 试验结果

### 4.1 粘土吸附态金属离子

本方法共测试了Co、Ni、Cu、Zn 4个黏土吸附态金属离子,是与矿床有关的直接找矿信息。由图4可见,Co异常对户头矿和回坑矿床都有反映,具有良好的对应关系;Ni与Zn在回坑矿区均有异常出现,其中Zn在测线左侧出现两个异常峰值,D2异常与矿床对应,D1异常部位矿床情况不明。Cu异常与回坑、户头矿床的对应性都不明显,且曲线波动性较大。

### 4.2 其它三种方法

另三种方法热释碳酸盐( $\Delta C$ )、电导率( $\eta\%$ )、离子选择电极(F)是间接找矿信息。由图5可见,热释碳酸盐( $\Delta C$ )异常对回坑和户头矿床都有良好的反映,对户头矿床反映更为显著。与户头矿床对应的D4异常集中程度更高,与回坑矿床对应的D2异常也较明显。

电导率( $\eta\%$ )异常对户头矿床的反映较好,对回坑矿床没有反映,其中异常D1与黏土吸附态Ni离子异常相重合。D2异常强度相对较高,与黏土吸附态

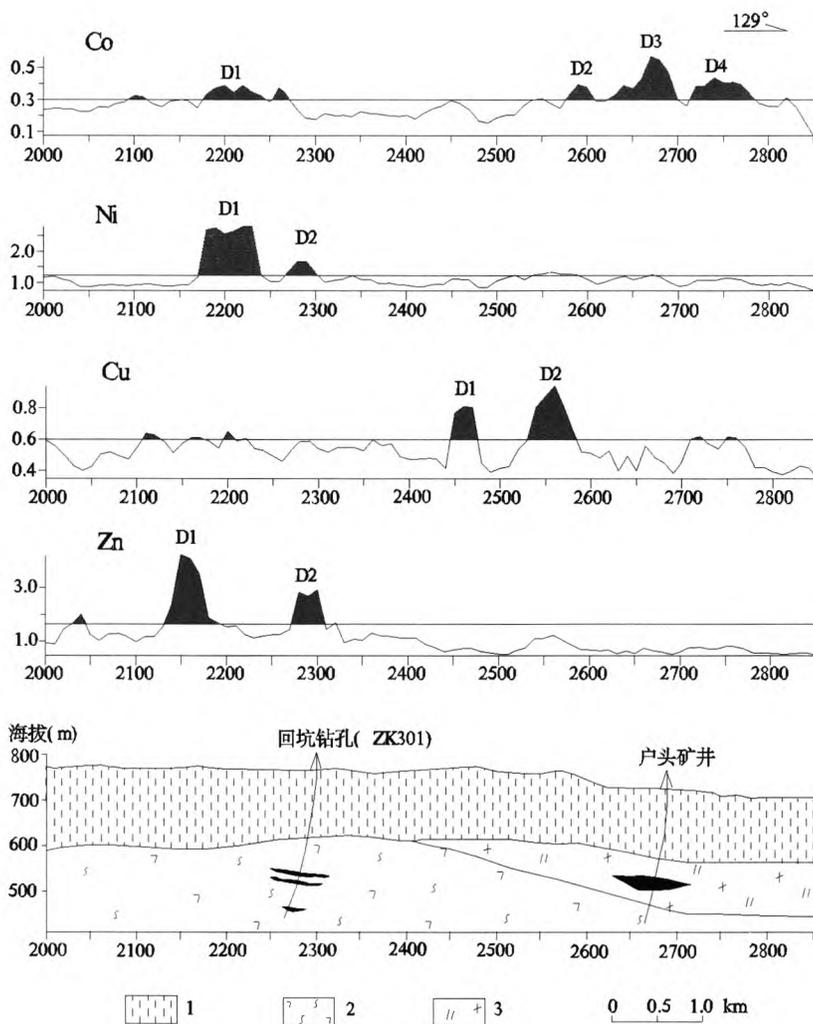


图4 粘土吸附态金属离子异常剖面图

Fig.4 Abnormal profile of the clay absorption phase metal ions

1. 第四系黄土;2. 斜长角闪岩;3. 变花岗闪长岩及辉长岩

Co及蚀变碳酸盐( $\Delta C$ )异常一致,对户头矿床反映较好。

F离子异常与矿床的对应关系不明显,异常形态也较分散,曲线波动性较大,总体上分高低值两个台阶,高低值分界线陡变梯度部位与回坑矿床对应,也显示出一定的对应关系。

### 5 影响异常的主要因素及信息组合效果

通过以上试验,各类异常对隐伏矿床均有不同程度的反映,但效果不同。为进一步查明其原因,结合矿床品位特征进行了初步分析,结果如下:

表1是根据户头矿床和回坑矿床中Cu、Zn、Ni、Co平均含量与规范边界品位所计算的比值,用以衡

量元素浓集强度。其中Co浓集强度在两矿区均最高,且户头更高,与图4中Co异常特征基本一致;Cu在户头矿床中浓集强度很强,是回坑的近9倍,图4中也只在户头矿区一方出现Cu异常;Zn在回坑矿床中浓集强度则是户头的10倍,图4中也只在回坑矿区出现了Zn异常。由此不难看出,隐伏矿床中元素的浓集强度与上方异常呈正相关性。对于非直接信息来讲,从图5看出热释碳酸盐( $\Delta C$ )和电导率( $\eta\%$ )异常也在户头矿床上方更明显,与户头矿床品位较高相一致,也表现出与金属元素含量之间的正相关特点。

由此初步认为,本区巨厚黄土覆盖下的多金属矿床中,有关元素含量达到一定浓度,在覆盖层上方可显示出相应元素直接信息异常,也可引起间接信息异常,符合元素浓度扩散的基本原理<sup>[4]</sup>。

本次试验所用方法显示效果趋势一致,为了进一步克服单个信息弱和不够稳定的缺陷,将各方法所取得的信息进行叠加组合,具体方法是将所有数据标准化(原数据除以平均值)后进行累加,统一编制信息异常曲线图(图6)。

综合信息曲线中有两个显著异常,对回坑和户头两个已知矿床都有明显反映,分别表现为D2、D4异常。对于D1、D3来讲,由于地质工作程度所限,尚不能解释其确切成因,但临近已知矿异常D2、D4,可能存在更重要的找矿意义。

为进一步验证本次深穿透地球化学试验效果,在本试验剖面上做了1:2000音频大地电磁测深和高精度磁测剖面(图6),测量点距均为100 m。结果显示,在D2与D4异常部位,分别对应出现了较明显的M1和M2磁异常,同时在约250 m深处对应应有AMT相对高阻异常R2和R4。矿区矿石以斜长石化脉状矿石、石英脉硫化物矿石为主,根据矿石物性测量资料,主要矿石有高阻高磁的特点,因此M1、M2磁异

表1 回坑-户头矿床成矿元素浓集系数及强度比较

Table 1 Comparison of metallogenic element concentration factors and intensity between the Huikeng and Hutou deposit

元素		Cu	Zn	Ni	Co
规范边界品位		0.3%	1.0%	0.2%	0.03%
回坑	矿床品位	0.27%	0.11%	0.08%	0.09%
	浓集强度	0.9	0.11	0.4	3.0
户头	矿床品位	0.71%	0.01%	0.61%	0.11%
	浓集强度	2.6	0.01	3.1	3.6
浓集系数比较		户头强	回坑强	户头强	相当

常与R2、R4高阻异常可能是对含矿地质体的反映,进一步佐证了深穿透地球化学综合信息异常的可靠性。

金属离子、热释碳酸盐( $\Delta C$ )、电导率、F离子选择性电极),均不同程度捕捉到巨厚黄土覆盖200 m以深的多金属矿床成矿地球化学信息,初步证明所选方法的有效性和可行性。

## 6 结论与讨论

(1)通过本次试验,所选四种方法(黏土吸附态

(2)以上各方法中,黏土吸附态金属离子Co、Ni、Cu、Zn异常强度与在矿体中的浓集强度呈明显的正

相关关系,间接找矿信息热释碳酸盐( $\Delta C$ )、电导率( $\eta\%$ )也有一致的趋势,这一特点进一步增强深穿透地球化学应用的信心,只要隐伏矿体在达到一定品位,在覆盖层上方可以形成相应的直接找矿信息和间接找矿信息。

(3)多方法信息叠加形成的组合异常,能够较好地克服单一信息微弱、不稳定的缺陷,可更有效地指示深埋隐伏多金属矿体,明显增大异常对矿体的反映率。

(4)本次所选的四种方法,野外采样方法简单,操作简便,与常规土壤化探采样采集与加工方法基本一致,测试费用略高于常规土壤化探,能为基层地质单位接受。对同类土壤覆盖区开展深穿透地球化学方法找矿有推广的实用价值。

尽管本次试验所得异常较好地反映了两个已知多金属深埋矿床,取得了一些理想的效果,但仍存在一些问题,如Cu异常与矿床位置偏离,户头矿床含Ni高,但在上方却没有出现Ni异常,F异常

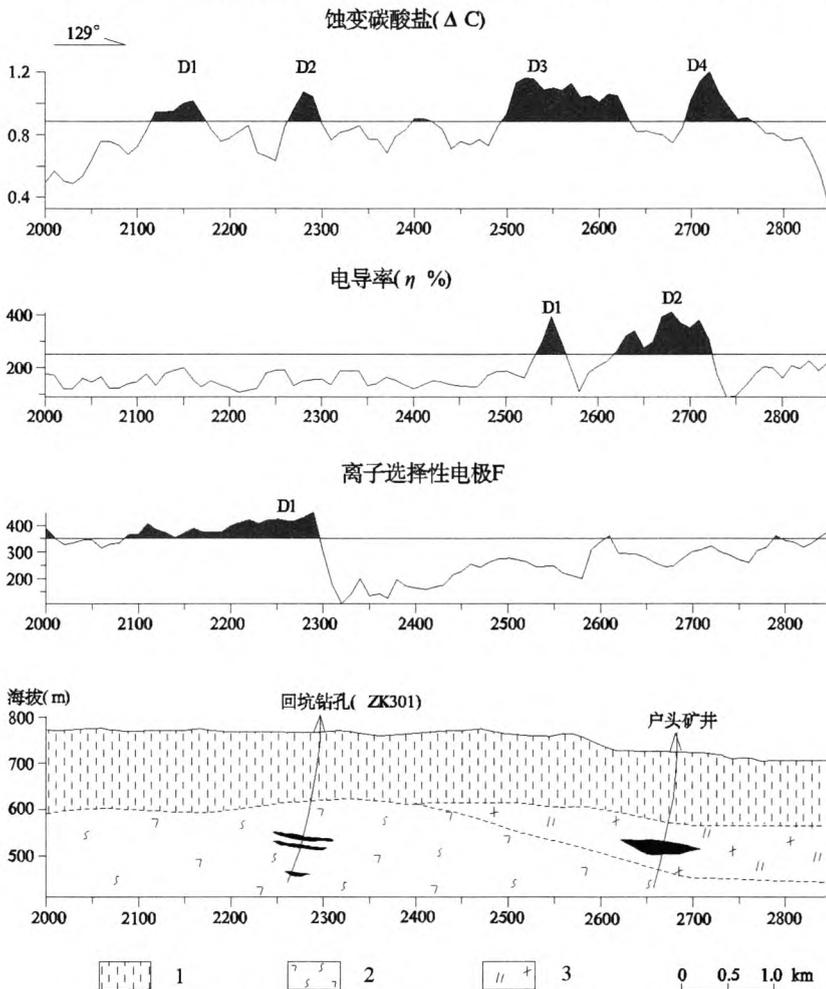


图5 热释碳酸盐( $\Delta C$ )、电导率( $\eta\%$ )、离子选择性电极(F)异常剖面图  
Fig.5 Abnormal profile of the thermal released carbonates ( $\Delta C$ ), conductivity ( $\eta\%$ ), fluoride ion selective electrode  
1. 第四系黄土; 2. 斜长角闪岩; 3. 变花岗岩闪岩及辉长岩

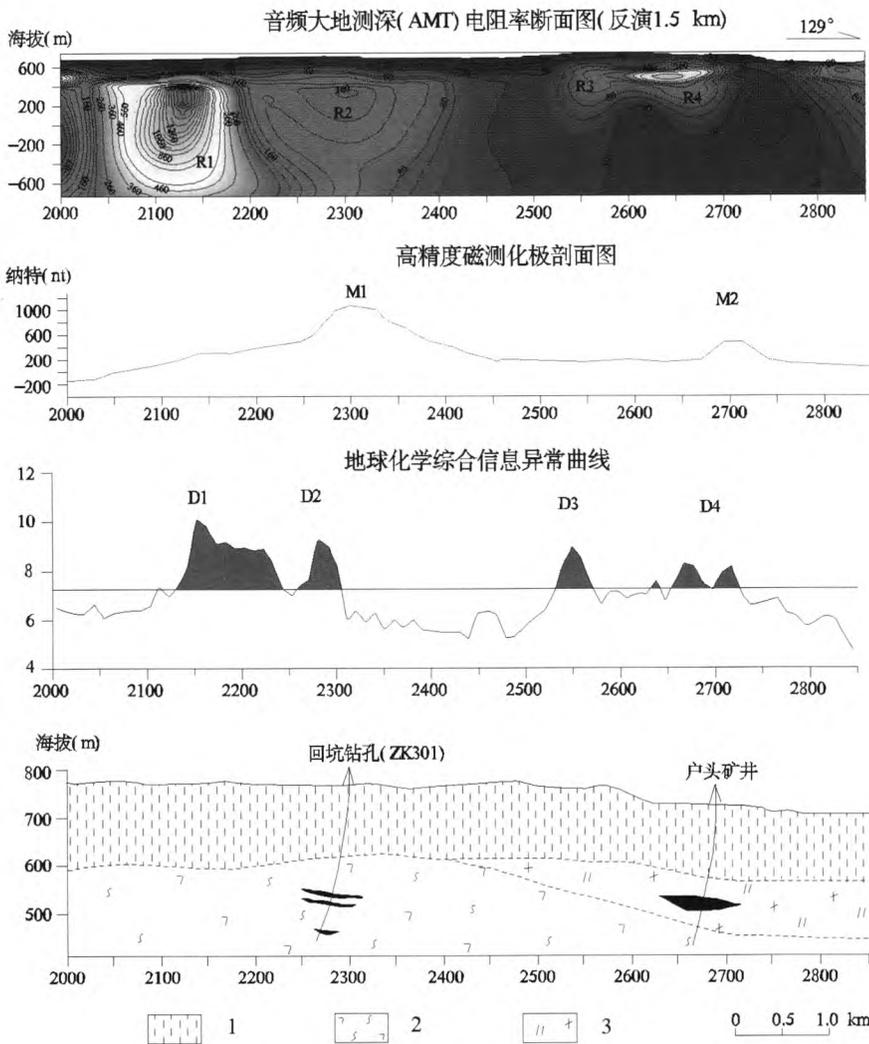


图6 联合信息综合异常剖面图

Fig.6 Abnormal profile of the integrated information

1. 第四系黄土;2. 斜长角闪岩;3. 变花岗闪长岩及辉长岩

峰值不集中等问题。究其原因,Cu可能由于在地表氧化条件下的活性比Ni、Co大,容易迁移偏离主体位置。Ni与Co在土壤中易被黏土吸附,但由于黏土矿物对Ni和Co吸附有很大选择性,常造成不同的Ni:Co比值。户头矿区无Ni异常显示,可能由于局部土壤差异性造成Ni流失所致。总之,来自深部矿体的金属离子在厚层风成黄土中存留的信息是十分微弱的,也容易受到地表多种因素干扰。依靠单一信息探测深部成矿,可靠性自然会大大降低。本次除了直接信息(Co Ni Cu Zn)外,配合热释碳酸盐( $\Delta C$ )和电导率等方法,采取多方法多指标综合信息,克服了偶然性,最终取得了较理想的效果。因此采取“多元素直接信息+多方法间接信息”的联合方法,应该是

今后开展深穿透地球化学找矿的一个重要途径。

致谢:本次应用试验研究与成文过程中得到了中国地质大学(武汉)马振东教授的悉心指导,在此深表感谢!

参考文献:

[1] 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.

[2] 王学求. 深穿透勘查地球化学[J]. 物探与化探,1998,22(3):166-169.

[3] 孙继源,冀树楷,真允庆. 中条裂谷铜矿床[M]. 北京:地质出版社,1995,190.

[4] 赵斌. 2013. 大中条地区火山-岩浆-成矿作用及成矿预测[D]. 长安大学,2013.

[5] 陈希泉,罗先熔,文雪琴. 内蒙古额尔古纳虎拉林金矿区金属元素活动态测量法找矿试验[J]. 矿产与地质,2006,20(4-5):475-478.

[6] 李惠,禹斌,李德亮,等. 化探深部预测新方法综述[J]. 矿产勘查,2010,1(2):156-160.

[7] 李生郁,郑康乐,徐丰孚. 土壤热释碳酸盐( $\Delta C$ )测定法及其在油气普查中的应用[J]. 物探与化探,1986,10(1):18-27.

[8] 侯以霆. 应用化探热释CO<sub>2</sub>方法在桂东北找寻铅-锌矿床的一例[J]. 地质论评,1987,33(4):381-384.

[9] 张美娣. 热释CO<sub>2</sub>找矿方法的试验及其应用[J]. 矿产地质研究院学报,1986,(3):62-72.

[10] 敖巧庆. 土壤 $\Delta C$ 碳酸盐的分析方法及石油化探应用[J]. 石油实验地质,1986,8(4):386-396.

[11] 侯冬梅,罗先熔,王建历,文美兰,欧阳菲,李兆谊. 地球电化学法在中国-澳大利亚两国寻找隐伏矿床中的对比研究[J]. 地质通报,2012,31(1):126-135.

[12] 罗先熔. 厚层覆盖区壤中电导率测量方法及其找矿效果[J]. 地质与勘探,1987,(3):60-64.

[13] 罗先熔. 再论地球电化学测量法寻找隐伏矿床[J]. 桂林冶金地质学院学报,1994,14(3):295-302.

[14] 任天祥,刘应汉,汪明启. 纳米科学与隐伏矿藏——一种寻找隐伏矿的新方法、新技术[J]. 科学导报,1995,8(3):18-19.

---

# **MODFLOW Application on the Numerical Simulation of Geothermal Fluid in Tianjin Binhai New Area**

ZHANG Fen-na<sup>1</sup>, JIA Zhi<sup>1,2</sup>, GAO Liang<sup>1</sup>, LIU Jiu-long<sup>1</sup>

(1.Tianjin geothermal exploration and designing institute, Tianjin, 300250, China;

2.China University of Geosciences , Beijing, 100083 , China )

**Abstract :** In order to rational development and utilization of geothermal resources in Tianjin Binhai New Area, we take Minghuazhen geothermal fluid in the Qiaogu-Kancaizhuang Neogene Minghuazhen Formation as an example, do numerical simulation with Visual MODFLOW software. The result Indicate that the calculation model can reflect the dynamic characteristics of groundwater level in the geothermal fluid. It is suggested that in 100 years, geothermal fluid geothermal fluid level close to 150 m recoverable reserves is about  $10.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ . According to the prediction of changes in the design of mining Minghuazhen geothermal fluid of underground water level, to add  $1000 \text{ m}^3$  exploitation of days is feasible .

**Key words:** Tianjin Binhai New Area; geothermal fluid; numerical simulation; MODFLOW; calculation; Minghuazhen Formation

---

## **Study on Prospecting Test of Deep-Penetrating Geochemical Multi-Method in Thick Loess Coverage Area of the Zhongtiao Mountain**

JIN Zhi-bin, ZHOU Xin-peng, ZHANG Shuang-kui, ZHANG Lu

(Geophysical and Geochemical Exploration Institute of Shanxi Province, Yuncheng, Shanxi, 044000, China)

**Abstract:** We carry out the deep-penetrating geochemical prospecting test for thick loess coverage area in the Yuncheng basin. This work adopts four methods simultaneously, including clay absorption phase metal ions (Cu Co Ni Zn etc.), thermal released carbonates ( $\Delta C$ ), conductivity ( $\eta\%$ ) and fluoride ion selective electrode. The test objects are two copper-nickel-polymetallic sulfide deposits buried in 200~300 meters deep under the loess. In the experiment, the four methods all captured the geochemical information from 200-meter-deep metal deposits covered by the thick loess in different degrees. It proves that the methods are effective and feasible preliminarily. There is obvious positive correlation between the anomaly intensity of the clay absorption phase metal ions (Cu Co Ni Zn) and the concentrating strength in the mineral ore. The indirect prospecting information including thermal released carbonates ( $\Delta C$ ) and conductivity ( $\eta\%$ ) shows the same tendency. Furthermore, we superimpose the anomaly information of the four methods and form the assemblage anomaly, which overcome the defect of single information weak and unstable, indicate the buried polymetallic ore effectively, and reflect the mineral ore anomaly more obviously. The cost of production and test of the four methods can be accepted by grass-roots unit, because the field sampling techniques are simple and easy in operation, consistent with conventional soil geochemical exploration methods. The development of the deep-penetrating geochemical prospecting method has the popularization value in similar soil coverage area.

**Key words:** thick loess; deep-penetrating geochemical method; clay absorption phase metal ions; thermal released carbonates ( $\Delta C$ ); conductivity; fluoride ion selective electrode; assemblage information