文章编号:0258-7106 (2005) 04-0437-08

# 山西省平陆县关西沟一带铜铅锌多金属矿利用 θ函数处理数据找矿研究*

陈彩萍
(山西省地球物理化学勘查院,山西 运城 044004)

**摘 要** 文章以关西沟矿区为试验区(矿区西部为已知矿带),对全矿区进行了1:10 000水系沉积物测量,通过对元素迁移过程的主要因素分析和产在同一地形类的多基元景观的共生组合分析,编制出组合元素组,计算 θ函数值,利用 θ函数值圈定异常,作为判断矿致异常和非矿异常的依据。布设了5条岩石剖面,以进行异常检查,除西部异常带与已知矿化带对应外,在中部发现了铅异常带,在东部发现了铜异常带,进一步证实了应用 θ函数处理数据的方法可获得用以指导找矿的重要信息。

**关键词** 地球化学;θ函数;元素组合分析;圈定异常;关西沟;平陆
**中图分类号**: P618.4 **文献标识码**: A

中条山是中国铜矿基地之一,但随着多年开采,富铜矿资源已近枯竭,因此,寻找铜矿接替资源迫在眉睫。在寺沟庙背斜—神仙岭一带,铜、铅、锌多金属矿点星罗棋布。1:20万及1:5万化探异常、重砂异常广布,其中有一部分或反映的是无工业价值的矿化点,或是由局部发育的金属非成矿堆积造成的,更多的则是由于存在能使元素迁移条件发生急剧变化的"地球化学障"而产生的"次生堆积"❶。急需对这些异常进行检查和评价,以期取得找矿突破。θ函数处理数据的方法是依据指示元素浓度越高、浓度间离差越大、元素对之间的相关性越强,反映地质客体含矿可能性越大,用数学公式简单统一起来,通过 θ函数值圈定异常,提供判断矿致异常和非矿异常的直接标准。

谢学锦(2002)提出,勘查地球化学的发展,是对现有的勘查地球化学技术原理的细化和为更好运用这些技术而在方法方面的改进。李通国等(2003)认为,借助新理论、新技术、新方法,进行化探原始数据的综合分析处理显得尤为重要。本次研究以关西沟矿区为试验区,通过利用θ函数圈定异常的试验研究,认为θ函数对于找矿具有一定的指导意义,在具有相同地球化学景观的地区,可做为找矿的重要参考依据。

## 1 关西沟矿区地质背景

关西沟研究区的地理坐标为:东经111°21′~111°23′,北纬34°57′~34°58′;其大地构造单元属中条山块隆南段。主体褶皱构造为寺沟庙背斜,褶皱轴向为NE-SW向,总体褶皱由多级背斜、向斜及倒转向斜组成。

研究区内除西部出露中太古界涑水杂岩外,其余均由下元古界中条群构成,由老至新为龙峪组、余元下组、篦子沟组、余家山组、温峪组、吴家坪组,缺少篦子沟黑色(碳质)片岩层。

区内岩浆活动非常强烈,背斜北端大面积出露中条期唐回变基性岩(斜长角闪岩);南端出露晋宁期神仙岭(基性-酸性)杂岩体;燕山期岩浆活动亦较强烈,多呈中-酸性斑岩脉产出(图1)。

## 2 研究区景观地球化学特征

地球化学景观是以自然气候、地形、地貌、地质、构造特征为基础,结合地球化学分布特征进行划分

* 本文得到中央财政项目(项目编号:晋财建2003-248)的资助
作者简介 陈彩萍,女,1966年生,工程师,现从事矿床地质工作。
收稿日期 2004-07-29;改回日期 2005-03-08。许德焕编辑。

❶ 余致信,薛克勤,杜义贵,等.1991.垣曲测区区域矿产调查报告(山西省地质矿产局内部资料).

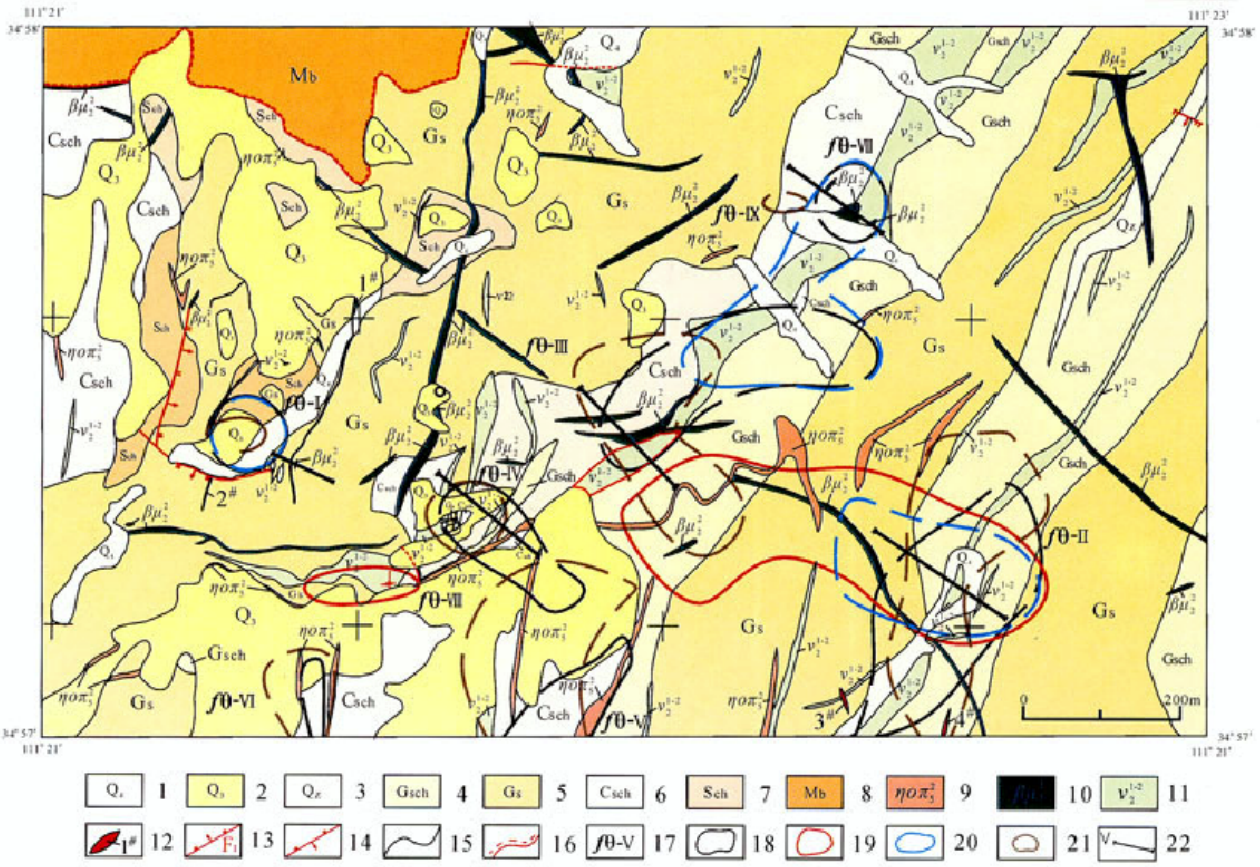


图 1 关西沟研究区组合异常与地质复合图

1—第四系全新统冲、洪积层；2—第四系上更新统亚砂土、粘土；3—下元古界中条群篦子沟组石英岩；4—下元古界中条群篦子沟组石榴绢片岩；5—下元古界中条群篦子沟组绢英（片）岩；6—下元古界中条群篦子沟组碳质绢片岩；7—下元古界中条群篦子沟组绢片岩；8—下元古界中条群余元下组大理岩；9—中生代燕山期石英二长斑岩；10—中元古代西阳河期辉绿岩；11—早元古代中条期变质辉长岩；12—矿化带及编号；13—实测正断层及编号；14—实测逆断层；15—实测地质界线；16—变质期复合界线；17—组合异常编号；18—Bi-Cu-Zn-Ag-Mo-Pb；19—Cu-Au；20—Cu-Zn-Ag-Hg-Mo；21—Pb-Bi-As-Au-Sb；22—岩石剖面及编号

Fig.1 Geological map showing composite anomaly in Guanxigou study area

1—Quaternary Holocene alluvial and deluvial bed; 2—Quaternary Epipleistocene sabulous clay and clay; 3—Quartzite of Bizigou Formation of Lower Proterozoic Zhongtiao Group; 4—Garnet sericite schist of Bizigou Formation of Lower Proterozoic Zhongtiao Group; 5—Phyllic (schist) rock of Bizigou Formation of Lower Proterozoic Zhongtiao Group; 6—Carbonaceous sericite schist of Bizigou Formation of Lower Proterozoic Zhongtiao Group; 7—Schist of Bizigou Formation of Lower Proterozoic Zhongtiao Group; 8—Marble of Yuyuanxia Formation of Lower Proterozoic Zhongtiao Group; 9—Mesozoic quartz monzonitic porphyry; 10—Diabase of Middle Proterozoic Xiyanghe Period; 11—Meta-gabbro of Early Proterozoic Zhongtiao Period; 12—Mineralized belt and serial number; 13—Measured normal fault and serial number; 14—Measured reversed fault; 15—Measured geological boundary; 16—Compounding boundary of metamorphic period; 17—Composite anomaly and serial number; 18—Bi-Cu-Zn-Ag-Mo-Pb; 19—Cu-Au; 20—Cu-Zn-Ag-Hg-Mo; 21—Pb-Bi-As-Au-Sb; 22—Rock profile and serial number

的区域，因而，研究不同的地球化学景观可以了解元素的分布、组合、迁移、转化的规律，从而进行找矿远景区划。

## 2.1 地球化学景观的划分

不同的地球化学景观单元，其地球化学异常解释亦应区别对待，因此，掌握区内景观地球化学特征是 $\theta$ 函数元素组合分析的基础。通常将气候、地质和地貌上均一的地段称之为基元景观，这是景观地球化学研究的基本单位。产于同一地形类的多基元景观的共生组合，称之为一个地球化学景观。

决定地球化学景观中元素迁移过程的主要因素有3类：生物气候因素、地形地貌因素和地质因素。这3类因素的不同，造成了景观的多样性。而土被则是景观的“名片”，因为土被的特点实际上取决于前两类因素，并在一定程度上反映了下伏疏松产物、风化壳及基岩的成分、厚度和结构。因此，土被表现出来的物质和生物循环的特点是景观地球化学分类的基础（谢学锦等，1999）。关西沟研究区总体上属

于中-高山、薄覆盖阔叶林景观。其土被,西部为褐色土,东部为瓦灰色土,属林地土壤。土层约厚 60 ~ 100 cm,表层为厚约 1 ~ 3 cm 的枯枝落叶层,其下为 10 ~ 15 cm 厚的灰黑色或棕灰色的腐植层,其有机质含量达 10 %左右。整个土层无碳酸盐反应,土壤和地表水的 pH 值在 6.5 ~ 8.5 范围内,呈中性和碱性。

在同一气候条件下,根据地形地貌、地质,可将研究区划分为 3 个基元景观:1 号区,由大理岩构成的中-高山阔叶林景观,位于该区的西北角;2 号区,由第四系沉积物及绢英片岩类岩石组成的中-高山阔叶林景观,位于该区的西南部;3 号区,由绢英片岩类岩石组成的中-高山阔叶林景观,位于该区东部的大部分地域。

### 2.2 元素表生迁移规律

只有研究元素在表生带的迁移规律,即研究成矿元素从岩石和矿床向风化壳、陆地沉积物、土壤、水、植物里转移的途径,才有可能对元素作出正确的 θ 函数组合分析,并对地球化学异常作出准确评价。

化学元素的次生岩石化学分散晕,是指某一矿床特有的元素在现代或古老疏松沉积物和土壤或盖层沉积物中含量异常偏高的局部地带,它是由这个矿床或其原生晕经表生破坏而形成的(潘家永等,2002)。而矿床岩石化学元素分散流,是指某一矿床特有的化学元素含量偏高的地区,它发育在机械径流和含盐径流的岩石中(任天祥等,1998)。在机械分散晕中,矿物组分呈固体物质而存在,而在盐晕中,矿物组分以溶解化合物或水溶化合物形式存在(王崇云,1987)。

### 2.3 水的地球化学特性及氧化-还原条件

在许多景观中,次生晕的形成与水对化学元素的迁移有关,因此,对水的特性作一了解有极大的实际意义。在决定水特性的物理化学参量中,氧化-还原条件和酸碱条件的意义最大。在景观和表生带内,一般可分为 3 类氧化-还原环境:氧化环境,还原-潜育环境,还原-硫化氢环境。氧化系列的土壤和沉积物显红色、褐色和黄色;潜育水一般含 $CO_2$,使土壤和岩石呈瓦灰色、棕色、浅蓝色、暗白色和斑杂色;硫化氢还原环境常出现淤泥和含水层,岩石显黑色,含硫化物。大部分水元素的迁移条件取决于天然水的活化反应。根据酸碱条件,可把水分为强酸性、酸性和弱酸性、中性和弱碱性以及强碱性 4 大类。

经水点调查,本研究区天然水的 pH 值为 7.8 ~ 8.1,属于中性和弱碱性一类。

综上所述,本研究区总体上属于氧化环境和还原-潜育环境。

## 3 元素的组合分布特征

### 3.1 异常元素组合及探途作用

本研究区的 θ 函数组合研究分析,选用了 Pb、Zn、Cu、Ag、Au 以及近程探途元素 Hg、As、Sb、Bi、Mo。探途元素是指成矿作用之后仍有活动性的元素,它们在矿床形成后从矿体中"分馏"出来,在上覆岩层中发育为晕。以此作为隐伏矿床的地球化学普查标志,能取得良好效果(谢学锦等,1999)。特别是 As、Sb、Bi,其天然丰度低,但都显示很强的亲铁-亲铜性,因此,其在硫化物中的浓度应有明显的地球化学衬度(衬度是指某一指示元素所形成的异常含量平均值与异常所在区域该元素的背景平均值的比值)。当岩石风化和硫化物氧化时,As、Sb、Bi 有可能以碎屑和溶液状态搬运至水系中。因此,在本次水系勘查中,它们可能起到探途元素的作用,有助于寻找具有经济价值的硫化物矿床。

(1) 对应已知矿化带,面积性异常元素组合为 Pb-Zn-Cu-Ag-As-Sb-Bi-Mo,而且 As、Sb、Mo 表现为区内最高含量。

(2) 对应(平行)已知矿化带沿二级水系(老君庙河),以 50 m 间隔作了一条 15 个点的水系沉积物采样试验剖面,在采样深度为 5 ~ 25 cm 的一段水系沉积物中,诸元素无明显的富集规律。在采样深度为 25 ~ 55 cm 的一段水系沉积物中,Pb-Zn-Ag-Au 元素套合较好,异常明显,其中,Pb 流长为 50 m,Zn 流长为 100 m,Ag 流长为 100 m,Au 流长为 100 m,而 As、Bi、Mo、Cu 则无明显的富集趋势。

(3) 发现 Pb 异常带。该异常带位于研究区的中部,呈北东向展布,异常元素组合为 Pb-Zn-Cu-Mo,Pb 流长为 400 m,Mo 流长为 55 m。As、Hg、Sb、Ag、Au 不套合,呈分散状态。

由上述 3 种情况可见,该区指示元素的水系沉积物异常的流长都很短,一般为 100 ~ 400 m,地球化学衬度为 1.6 ~ 2.5 或 5 ~ 6.6,这与异常所处位置有关。Pb、Zn、Cu、Bi、Mo、Ag、As 为有效指示元素,但探途作用不甚显著。

### 3.2 元素在不同氧化-还原条件表生带中的行为

#### 3.2.1 水系沉积物中的异常元素

在研究区西部的氧化环境中,Zn 的迁移系数

$K_X$ = 0.1 ~ 10,水迁移作用的强度为“强”;Cu 的迁移系数 $K_X$ = 0.1 ~ 1,强度中等。Mo 在表生条件的氧化作用下,可形成钼酸或钼酸盐。Ag 可在酸性和碱性介质中迁移,是表生带中的活动元素;而 As、Pb、Bi 等元素在大部分环境中不太活动。在已知矿化带附近,形成 Pb-Zn-Cu-As-Bi-Mo 异常元素组合,这些水迁移系数截然不同的元素的含量同时偏高,就只能是矿致异常所致。

研究区东部为还原-潜育环境,Cu、Zn、Mo 等元素的水迁移系数都很小($K_X$ = 0.001 ~ 0.01),与 Hg、As、Sb、Bi、Pb 这些不太活动的元素共同形成较大的中部 Pb 异常带及东部的 Cu 异常带。

在水系沉积物中,Ag 富集深度为 5 ~ 25 cm,Zn、Pb 为 25 ~ 55 cm,Cu 为 5 ~ 35 cm。

水系沉积物中元素富集的粒级,Cu 为 20 ~ 80 目,Pb 为 60 ~ 100 目和 10 ~ 20 目,Zn 为 10 ~ 80 目。

元素的最高含量:Cu 为 $162.5 \times 10^{-6}$;Pb 为 $69.5 \times 10^{-6}$;Zn 为 $333 \times 10^{-6}$;Ag 为 $0.32 \times 10^{-6}$;Hg 为 $0.504 \times 10^{-6}$;As 为 $24.1 \times 10^{-6}$;Sb 为 $1.97 \times 10^{-6}$;Bi 为 $1.65 \times 10^{-6}$;Mo 为 $3.9 \times 10^{-6}$(上述数据由山西省地球物理化学勘查院地勘公司提供)。

3.2.2 土壤中的异常元素

在土壤中,异常元素主要富集在 B 层(淋积层),研究区内的最高含量为:

Cu 206.5 × $10^{-6}$;Pb 340 × $10^{-6}$;Zn 500 × $10^{-6}$;Ag 7.96 × $10^{-6}$;Co 23 × $10^{-6}$;Ni 37 × $10^{-6}$(上述数据由山西省地球物理化学勘查院地勘公司提供)。

异常元素组合:

(1) 已知矿化带 水系沉积物为:Cu-Pb-Zn-Ag-As-Bi-Mo;土壤、岩石为:Cu-Pb-Zn-Ag-Co-Ni。

(2) 铅异常带 水系沉积物为:Cu-Pb-Zn-Bi-(Sb)-(Hg、As、Mo);土壤为:Cu-Pb-Zn-Ag-Co-Ni;岩石为:Pb-Zn-Ag-(Cu、Co)-Ni。

(3) 铜异常带 水系沉积物为:Cu-Ag-Hg-Sb-Bi;土壤为:Cu-Pb-Zn-Ag-Co-Ni;岩石为:Cu-Zn-Ag-Ni。

# 4 θ函数组合异常图

## 4.1 θ函数的理论依据

勘查地球化学的研究应从研究元素的分散模式到元素套合的分布模式(谢学锦,2003),θ函数是根据 T. C. 瓦郝罗麦耶夫的 $\theta_i = \sum_{i=1}^{p} ij - \sum_{n=1}^{q} nk$ 函数修改而来(吴传璧,1984)。θ函数和元素配对相关系数,其实质是把异常元素浓度的高低、浓度间标准离差的大小及元素配对相关性的大小,用数学公式简单统一起来,所得计算结果值体现了异常元素浓度越高、浓度离差越大、元素间相关性越强,地质客体的含矿可能性就越大。

$$\theta = r_{iCu} + r_{iPb} + r_{iZn} + \cdots\cdots$$

式中:$r_i = (A_i - A_{ij})/(G - S_{ij})$。其中,$A_i$ 代表网格化值;$A_{ij}$代表以 i 格为中心的 5 × 5 或 3 × 3 窗口滑动平均值;$G$ 代表给定值 1.1 × $S_{ij}$ max,$S_{ij}$为以 i 格为中心 5 × 5 或 3 × 3 窗口滑动平均值的标准离差。

$$S_{ij} = [\sum (X_i - \bar{x})^2/(n-1)]^{1/2}。$$

## 4.2 研究区内指示元素的分类

根据元素自身特性和研究区内地质矿床特征,可将指示元素分为 4 组:

1 组 成矿元素:Cu,Pb,Zn,Ag;

2 组 探途元素:Hg,As,Sb;

3 组 酸性场元素:Mo,Bi;

4 组 基性(超基性)场元素及与黑色金属矿床有关的元素:Ni,Co,V。

## 4.3 θ函数组合试验方法与地质物探成果对比检查结果

将 θ函数组合试验方法与地质物探成果进行对比,θ函数组合异常套合在激电异常之中,其异常元素组合与研究区内已知的铜铅锌多金属矿床的元素组合一致。由此推断,θ函数组合异常是由某种矿化作用引起的,并非次生堆积异常,从而说明所使用的 θ函数组合试验方法技术有效,可以导致矿床地球化学异常的发现。

# 5 θ函数圈定的地球化学异常的解释推断

## 5.1 θ函数组合

将元素的 $r$ 值组合为以下 4 种 θ函数组合

(1) Pb 组 Pb、Bi、As、Au、Sb 为不活动元素组,编制组合异常图 1 张,共圈定出不活动元素异常 7 处(Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ,Ⅵ,Ⅸ)(图 2)。

(2) Cu 组 Cu、Zn、Ag、Hg、Mo 为活动元素组,编制组合异常图 1 张,共圈定出活动元素异常 3 处(Ⅰ,Ⅱ,Ⅷ)(图 3)。

(3) Cu、Pb、Zn、Ag、Bi、As、Mo 组 为矿化带元素组合组,编制组合异常图 1 张,圈定出矿化带元素

组合异常 7 处(Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ,Ⅵ,Ⅶ)(图 4)。

(4) Au-Cu 特殊地球化学建造元素组　编制组合异常图1张,圈定出矿化带元素组合异常2处

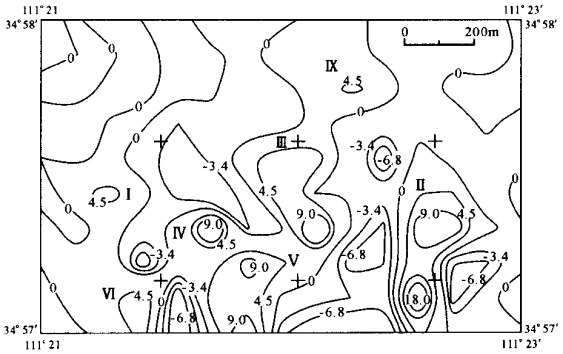


图 2　关西沟水系沉积物 Pb-Bi-As-Au-Sb 组合异常图

Fig.2　Pb-Bi-As-Au-Sb composite stream sediment anomaly of Guanxigou

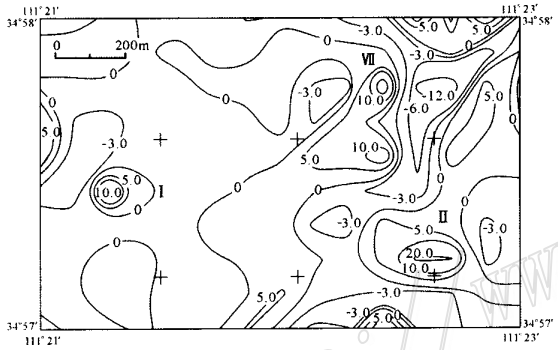


图 3　关西沟水系沉积物 Cu-Zn-Ag-Hg-Mo 组合异常图

Fig.3　Cu-Zn-Ag-Hg-Mo composite stream sediment anomaly of Guanxigou

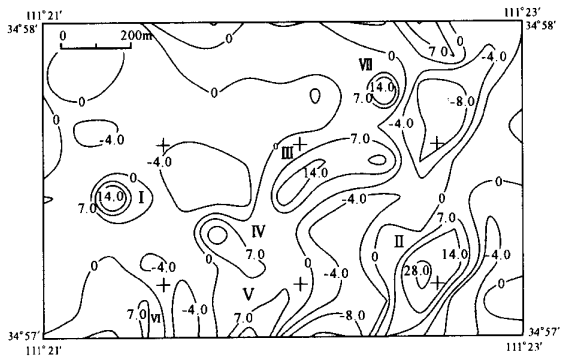


图 4　关西沟水系沉积物 Cu-Pb-Zn-Ag-Bi-As-Mo 组合异常图

Fig.4　Cu-Pb-Zn-Ag-Bi-As-Mo composite stream sediment anomaly of Guanxigou

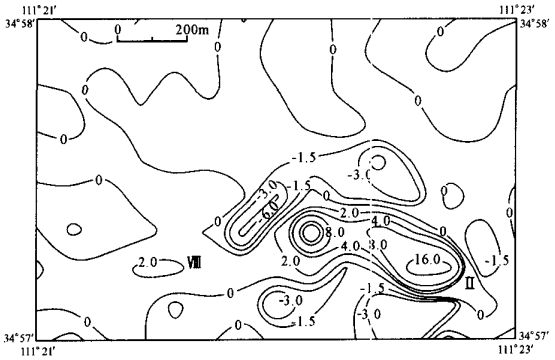


图 5　关西沟水系沉积物 Au-Cu 组合异常图

Fig.5　Au-Cu composite stream sediment anomaly of Guanxigou

(Ⅱ,Ⅷ)(图 5)。

### 5.2　θ 函数组合异常特征

研究区内 θ 函数组合异常特征见表 1。

## 6　结　论

依据以下准则对 θ 函数圈定出的异常进行解释推断:

(1) 研究岩石化学异常中的元素组合,把非矿异常与矿床的次生晕和分散流区分开来。

(2) 元素在表生作用带中的次生堆积异常是非矿异常,是由于存在能使元素迁移条件发生急剧变化的"地球化学障"而产生的,因此,大比例尺的次生晕和分散流的岩石化学普查,必须详细研究景观地球化学特征。利用水迁移系数截然不同的元素异常组合来判定矿致异常。

(3) 在矿致异常元素组合中,成矿元素与伴生元素之间,大多呈现显著的正相关,这是判定矿致异常的重要依据。

(4) 利用特殊指示元素及其组合,可以判定地球化学异常的性质。

依据组合异常特征简表(表 1)、异常解释推断简表(表 2)及组合异常与地质复合图(图 1),可对研究区的异常进行如下综合解释:

(1) 异常分布大致可分为 3 个带:① 西部异常带,与矿化带相对应,元素共生组合良好,但范围较小,反映出已知矿点前景有限;② 中部异常带,以铅异常为主,呈北东向展布,对应较厚层的变质辉长岩带,反映出矿化具有一定的规模,但分为几个浓集中

http://www.kcdz.ac.cn/

表 1 组合异常特征简表

Table 1 Characteristics of the composite anomaly

| 复合异常 | 组合异常类别 | 异常形态 | 复合面积/ $km^2$ | 对 应 地 层 |
|---|---|---|---|---|
| $f_0$- Ⅰ | Pb- Bi- As- Au- Sb | 椭圆形 | 0 .064 | 已知矿化带 |
| | Cu- Zn- Ag- Hg- Mo | 圆形 | | |
| | Bi- Cu- Zn- Ag- As- Mo- Pb | 圆形 | | |
| $f_0$- Ⅱ | Pb- Bi- As- Au- Sb | 带状 | 0 .476 | 石榴绢片岩层及变质辉长岩 |
| | Cu- Zn- Ag- Hg- Mo | 带状 | | |
| | Bi- Cu- Zn- Ag- As- Mo | 椭圆形 | | |
| | Cu- Au | 带状 | | |
| $f_0$- Ⅲ | Pb- Bi- As- Au- Sb | 长条状 | 0 .224 | 碳质绢片岩层及变质辉长岩 |
| | Bi- Cu- Zn- Ag- As- Mo- Pb | 带状 | | |
| $f_0$- Ⅳ | Pb- Bi- As- Au- Sb | 圆形 | 0 .1 | 碳质绢片岩层及变质辉长岩 、石英二长斑岩 |
| | Bi- Cu- Zn- Ag- As- Mo- Pb | 带状 | | |
| $f_0$- Ⅴ | Pb- Bi- As- Au- Sb | 带状 | 0 .256 | 碳质绢片岩层及石英二长斑岩 |
| | Bi- Cu- Zn- Ag- As- Mo- Pb | 椭圆形 | | |
| $f_0$- Ⅵ | Pb- Bi- As- Au- Sb | 椭圆形 | 0 .056 | 碳质绢片岩层及石英二长斑岩 |
| | Bi- Cu- Zn- Ag- As- Mo- Pb | 长条形 | | |
| $f_0$- Ⅶ | Cu- Zn- Ag- Hg- Mo | 不规则状 | 0 .264 | 碳质绢片岩层及变质辉长岩 |
| | Bi- Cu- Zn- Ag- As- Mo- Pb | 圆形 | | |
| $f_0$- Ⅷ | Cu- Au | 长条形 | 0 .032 | 变质辉长岩 |
| $f_0$- Ⅸ | Pb- Bi- As- Au- Sb | 蛋圆形 | 0 .004 | 绢片岩 |

注 :复合面积为组合异常在图中的重叠部分 。

表 2 关西沟地球化学异常解释推断表

Table 2 Interpretation and Inference table of Guanxigou geochemical anomaly

| 复合异常 | 复合异常组成 | 1∶1 万水系沉积物测量 | 活动与不活动元素 | 解 释 推 断 | | | 异常评序 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 矿种 | 异常性质 | 赋存岩层 | |
| $f_0$-Ⅰ | Pb 组 、Cu 组已知组 | Ⅳ号剖面 , Cu 、Pb 、Zn 、Ag 、As 、Mo 、Pb | 有 Cu 组活动元素组与 Pb 组不活动元素组 | Cu 、Pb 多金属 | 已知矿异常 | 断裂带 | 3 |
| $f_0$-Ⅱ | Pb 组 、Cu 组已知组 , Au- Cu 建造 | Cu 、Ag , 岩石中含量增高 | 有 Cu 组活动元素组与 Pb 组不活动元素组 | Cu 、Pb 多金属 | 推断矿异常 | 变质辉长岩 | 1 |
| $f_0$- Ⅲ | Pb 组已知组 | Ⅱ号剖面 , Pb 、Zn 含量增高 , 岩石中 Ag 含量为 0 .85 g/ t | 无 Cu 组活动元素异常 | Pb 多金属 | 推断矿异常 | 变质辉长岩 | 4 |
| $f_0$- Ⅳ | Pb 组已知组 | Ⅲ号剖面 , Pb 、Zn 含量增高 , 岩石中 Ag 含量为 0 .8 g/ t | 无 Cu 组活动元素异常 | Pb 多金属 | 推断矿异常 | 变质辉长岩 | 2 |
| $f_0$- Ⅴ | Pb 组已知组 | 未作土壤 、岩石剖面检查 | 无 Cu 组活动元素异常 | As 高 | 推断矿异常 | 变质辉长岩 | 6 |
| $f_0$- Ⅵ | Pb 组已知组 | 未作土壤 、岩石剖面检查 | 无 Cu 组活动元素异常 | Pb | 推断矿异常 | 变质辉长岩 | 7 |
| $f_0$- Ⅶ | Cu 组异常组 | Ⅰ 号剖面 , Pb 含量增高 , 岩石中 Ag 含量为 0 .85 g/ t | 无 Pb 组不活动元素异常 | Pb 、Zn 多金属 | 推断矿异常 | 变质辉长岩 | 5 |
| $f_0$- Ⅷ | Au- Cu 建造 | 未作土壤 、岩石剖面检查 | Pb 、Cu 组均无异常 | | 推断矿异常 | | 8 |
| $f_0$- Ⅸ | Pb 组已知组 | 未作土壤 、岩石剖面检查 | Cu 组无异常 | | 性质不明异常 | | 9 |

注 :1∶1 万水系沉积物测量的采样密度为 32 个点/ $km^2$ 。

http://www.kcdz.ac.cn/

心;③东部异常带,以铜为主,呈北东向展布,对应一层变质辉长岩带,主要浓集中心位于异常带的南端,其规模和前景较大。

在中部异常带和东部异常带的南端,有一条近东西向的异常带,沿近东西向的分水岭展布,由 Cu 异常和 Au 异常组成,与北东向异常带交叠在一起。Ⅷ号异常,由一近东西向的 Cu 异常和一个位于 Cu 异常中部呈水滴状的 Au 异常构成。Ⅱ号为 Au-Cu 组合异常,其西端浓集中心主要由一近东西向的 Au 异常引起,此异常位于分水岭上,与燕山期石英二长斑岩相对应。

(2) 为进行异常检查,布设了 5 条岩石剖面(见图 1)根据岩石剖面检查结果,以及水系沉积物异常的分布与对应的地质条件,综合分析研究区内的 θ 函数组合异常,除西部已知矿化带异常受断裂构造控制成矿作用外,其余的中部异常带和东部异常带,均与变质辉长岩带有成因关系。

(3) 研究区内,Ⅰ号异常为已知,Ⅸ号为性质不明异常。Ⅷ号 Au-Cu 异常仅呈现很小规模,但元素配对相关系数异常相当显著,推断可能系深部矿化引起。其余均为矿致异常。区内Ⅱ号异常前景最大。全区异常排序见表 2 中的"异常评序"。

(4) Ⅱ号异常为研究区内的首序异常,是 Cu、Pb、Zn、Au、As、Hg、Bi 等元素的综合异常。土壤和岩石剖面取样检查证明该异常客观存在,且变质辉长岩中的 Ag 含量为 1.3 g/t,显示矿化性质。经 θ 函数数据处理,复合异常套合良好,矿带元素组合异常呈北东向展布,规模为 1 000 × 400 m,不活动元素组合异常呈近南北向展布,规模为 1 000 × 250 m,活动元素组合异常呈东西向椭圆形,规模为 700 × 360 m,其规模相当可观。该复合异常不仅有矿带元素组合,而且活动元素和不活动元素组合同时含量增高,这只能是矿致异常的反映。

在中条山南段具有类似关西沟一带景观地球化学条件的地区,可以推广 1∶1 万低密度水系沉积物测量,进行单点分析(32 个点/$km^2$),用 θ 函数圈定出异常,异常圈定后,可布置小面积追索补点,并布置土壤和岩石剖面检查。

在开展次生晕和分散流岩石化学普查时,应同时进行景观地球化学调查。因为,地球化学普查方法对多个类型及属种的景观而言应有所不同。元素的表生带迁移富集规律,是次生晕和分散流异常的解释基础。

在对所圈定出的地球化学异常进行评价时,建议进行适当的重砂测量及重砂化探,以研究岩石重砂与水系沉积物样品重砂的关系,为异常解释推断提供更直接的成矿作用方面的参数依据。

"攻深找盲"是今后矿产地球化学勘查的方向,因此,深穿透化探方法技术是今后的主要手段,故建议在工程验证之前,进行"地电化学提取"以及溴、碘化探,为工程验证指明具体靶点。

**致 谢** 本文在撰写过程中得到刘仁亮教授级高级工程师的热情指导;本文为首次利用 θ 函数进行找矿试验研究,许多同志为此付出了艰辛的劳动,是集体劳动的成果。在此谨向他们表示衷心感谢。

**References**

Li T G, Li W S, Liu J H, et al. 2003. Mineral deposit geochemistry predicts the method——take a piece of body of Gansu Province geochemistry as an example[J]. Geology in China, 30(2): 192~198 (in Chinese with English abstract).

Pan J Y and Ma D S. 2002. The hot liquid mineral deposit mineralized element geochemistry is unusually probed into[J]. Geology and Exploring, 38(6): 10~12 (in Chinese with English abstract).

Ren T X, Wu Z H and Qiang R S. 1998. Visit the method technology that is unusually screened and investigating and verifying in the area [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 10~11(in Chinese).

Wang C Y. 1987. Geochemistry looks for the ore foundation[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~68(in Chinese).

Wu C B. 1984. The chemical data of rock predict - the new comprehensive criterion explained in general survey[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~30(in Chinese).

Xie X J. 2003. From exploration geochemistry to applied geochemistry [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 27(6): 412~415 (in Chinese with English abstract).

Xie X J. 2002. Reconnoitre geochemistry: the development history current situation prospect[J]. Geology and Exploring, 38(6): 1~9 (in Chinese with English abstract).

Xie X J and Xang Y C. 1999. The geochemistry method of the huge mineral deposit[A]. In: Xie X J, Shao Y and Wang X Q. eds. Move towards the mineral products in 21st Century and reconnoitre geochemistry[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 61~90(in Chinese).

**附中文参考文献**

李通国, 李文胜, 刘建宏, 等. 2003. 矿床地球化学预测方法——以甘肃省地球化学块体为例[J]. 中国地质, 30(2): 192~198.

潘家永, 马东升. 2002. 热液矿床成矿元素地球化学异常探讨[J]. 地质与勘探, 38(6): 10~12.

任天祥, 伍宗华, 羌荣生. 1998. 区域化探异常筛选与查证的方法技

术[M]. 北京: 地质出版社.10~11.
王崇云. 1987. 地球化学找矿基础[M]. 北京: 地质出版社. 1~68.
吴传璧. 1984. 岩石化学数据预测-普查解释的新综合性准则[M]. 北京: 地质出版社. 1~30.
谢学锦. 2003. 从勘查地球化学到应用地球化学[J]. 物探与化探, 27(6): 412~415.
谢学锦. 2002. 勘查地球化学:发展史 现状 展望[J].地质与勘探, 38(6):1~9.
谢学锦, 向运川. 1999. 巨型矿床的地球化学方法[A]. 见: 谢学锦, 邵 跃, 王学求, 主编. 走向21世纪矿产勘查地球化学[C]. 北京: 地质出版社. 61~90.

# Application of $\theta$ function to data processing for ore prospecting in Guanxigou copper, lead, zinc polymetallic ore district, Pinglu County, Shanxi Province

CHEN Cai-ping
(Shanxi Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Yuncheng 044004, Shanxi, China)

**Abstract**

The Guanxigou ore district, whose western part is a known ore belt, was adopted as an experimental area. 1:10,000 stream sediment survey was conducted in the whole ore district. Based on an analysis of major factors in the process of element migration in the ore district and a paragenesis analysis of the multi-element landscapes within the same kind of land forms, the author compiled the composite element group, calculated the $\theta$ function value and used the $\theta$ function to delineate anomalies. In this way, the anomalies related to ore deposits could be differentiated from the barren anomalies. Five rock profiles were arranged for anomaly inspection. The western anomaly belt is consistent with the known mineralized belt and, in addition, a lead anomaly belt and a copper anomaly belt were discovered in the central part and in the western part, respectively. All these achievements further prove that the application of $\theta$ function to data processing can yield important guiding information for ore prospecting.

**Key words:** geochemistry, $\theta$ function, element association analysis, anomaly delineation, Guanxigou, Pinglu

http://www.kcdz.ac.cn/