

文章编号: 1006-6616 (2017) 04-0617-10

三维化探数据处理圈定地球化学异常原理及其意义

徐国志, 李楠, 孙璐, 李朋, 吴婷

(河北地质大学, 河北石家庄 050031)

摘要: 以往传统的化探异常圈定, 均采用二维化探数据计算方法, 这种数据处理方法在勘查地球化学行业已应用多年, 到目前为止也仍然是生产中勘查地球化学规范执行标准。但在采样和景观差异较大的前提下, 这种数据处理方法在找矿方面尚有不足之处。为弥补这些不足, 我们提出了一种新的化探数据处理方法, 即增加高程要素的三维数据处理成图方法。通过试验证明该方法对综合异常的圈定效果较好, 异常物质流向更为清楚。三维数据处理法圈定的范围小、浓集中心明显, 有利于准确布置地表探矿工程, 并可以节约勘查成本, 提高找矿命中率。在地球化学环境分析和地球化学找矿评价方面具有重要的现实意义。

关键词: 三维数据处理成图方法; 化探数据计算方法; 化探异常圈定; 浓集中心

中图分类号: P632

文献标识码: A

0 引言

传统的化探异常圈定, 均采用二维化探数据计算方法, 该方法只需要知道采样点的经纬度坐标和元素分析含量, 依据经纬度坐标投影采样点, 并标明该采样点某个元素含量, 然后根据工作区的大小和样品数量统计子区的均值和均方差, 求取该子区的地球化学背景和异常下限。依据异常下限圈定该区异常。这种数据处理方法在我们勘查地球化学行业已经应用近 50—60 年了, 取得了可喜的找矿效果^[1-2], 到目前为止也是生产中勘查地球化学规范执行标准。这种数据处理方法可以较好的反映勘查区的地球化学背景和异常下限, 在有一定规模矿体出露地表并形成“高大全”的异常时, 用此方法圈定异常还是很有效的数据处理手段。也就是说, 在样品采集和地貌景观变化不大的前提下, 可以真实反映区内的地球化学元素高低起伏的变化情况。在这个勘查区里无论是高山还是洼地只要是高含量地段在二维的空间里均可以表达清楚。但是在采样和景观差异较大的前提下, 这种数据处理方法在找矿方面尚有不足

之处。主要表现在以下几个方面:

(1) 较少考虑地形变化, 致使在第四系中固定的化探异常很难解释其缘由。

(2) 已有化探数据分析表明, 元素含量的高低与化探样品的粒度间具有较为明显的成因关系, 即偏细粒级的样品具有较高的含量, 粗粒级相对较低。但是, 由于采样点分布在不同的地貌空间位置, 所采集的样品粒度分布不同(或土壤和水系沉积物混采样), 即使在同一粒度区间也有较大差异。从而导致不同高程的样品元素含量高低的变化分布规律不明显。同样的道理, 一般在植被发育区(如深林沼泽区)采集样品时, 由于在山脚的土壤分布粒度相对偏细, 元素在样品中含量相对偏高, 结果所圈定的异常经常分布在海拔较低山脚下和沟谷中。相反如果在 1~2 级水系不发育区域, 用所采集的土壤代替水系沉积物的土壤样品, 由于土壤颗粒均小于水系沉积物颗粒分布, 其元素平均含量均高于水系沉积物的含量, 按统一异常下限圈定异常, 可以导致这些由土壤高背景区域被圈定为异常区。

(3) 由于异常在不同的景观地区地球化学条件下, 元素在垂向迁移的集中和分散差别较大,

收稿日期: 2017-01-10

基金项目: 国家国际科技合作专项项目(2014DFR21270)

作者简介: 徐国志(1957-), 男, 教授, 从事勘查地球化学与区域地质调查研究。E-mail: 1183222653@qq.com

通讯作者: 李楠(1993-), 女, 在读硕士生, 从事勘查地球化学研究。E-mail: 550733094@qq.com

致使利用统一异常下限圈定出的异常,在分散情况下,出露在山坡和山脊上的异常弱化甚至消失。而在集聚的情况下,也可能夸大了异常规模,影响找矿效果。

为弥补该方法在找矿工作中的局限性,通过广泛实践,我们研究提出了一种新的化探数据处理方法,即在三维数据处理成图过程中引进了高程要素。

1 三维立体化探数据处理的地球化学依据

所谓的三维立体化探数据处理是在传统的二维基础(经纬度坐标和元素分析含量)上增加了高程要素,即第三要素,这里强调元素的垂向迁移规律,是对二维化探数据处理的补充。元素在不同的地貌单元中浓集程度差异较大,不仅表现在二维平面上,而且在垂向上差异也较为突出。元素的迁移和积聚要素主要源于以下4个方面:

1.1 元素地球化学性质

元素的集中和分散与其表生地球化学行为有关,而更本质地是由元素本身的化学性质决定的。化学性质活泼的元素易于迁移,并在适宜的地球化学条件下集中;而化学性质惰性的元素趋向于原地积聚。据此可以将元素划分为如下6类:

第一类元素是指在各种介质条件下都属于活动性很高的元素,即主要 Cl、I、Br、B 等元素,其次如 Ca、Mg、F、Sr、Ra 等元素的活动性也较高。

第二类元素是指与第一类相反的,即在各种介质环境下都表现为不活动或活动性非常低的元素,如 Al、Ti、Sn、Te、W、Ta、Nb、Be、Pt 等元素;其次如 Au、Cr、Zr、Si、P、K 等。

第三类元素是指在氧化环境中活动性高,而还原环境活动性低的元素,如 S、Mo、V、U、Se、Ra 等元素(在还原环境下会沉淀富集)^[3],pH 值对这些元素的影响不大,无论是酸性或碱性环境,他们的活动性都很高,而碱性环境比酸性环境活动性略大。

第四类元素是指在氧化环境或酸性条件下,其活动性较高或中等^[4],如 Cu、Co、Ni、As、Cd 等亲硫元素。这些元素在还原环境或碱性条件下往往易沉淀富集。

第五类元素是指在还原环境下一般不活动,如 Pb、Li、Rb、Ba、Bi、Sb、Ge、Cs、Ti 等元素,在氧化环境下活动性会提高,而受 pH 的影响不大。

第六类元素是指在氧化环境下(或碱性条件下)活动性低,如 Fe、Mn 等元素,而在还原环境(酸性)活动性增加。

在表生环境内元素的化学活动性的差异,决定了不同元素在土壤和水系沉积物中的存在形式的不同。相对突出的山体是剥蚀区,发育的沟谷是相对的沉积区。元素从剥蚀区迁移到沉积区的过程中,元素发生分异导致不同程度的集中和分散。

1.2 物理风化程度差异

现在研究表明,岩石和矿物在风化后所形成的碎屑物颗粒越细,越有益于元素的迁移和富集,岩石强烈风化后形成细颗粒及粘土,易吸附金属离子和胶体。勘查地球化学中多次粒度实验已经证实,在高于 200 目的粒度里元素含量均高于其他粒级的含量。在山区由于高差的影响,矿物岩石风化所形成的土壤在不同高程中有较大的差异,例如在山顶和山坡上发育的土壤类型大部分是粗骨土类,颗粒较粗有碎石块,有机质少。山下一般发育褐土类,颗粒较细以富含有机质的沙和泥为主。

按景观条件可以把土壤分为两种情况:①植被不发育,只在山脚附近发育土壤的地方有部分灌木植物生长,山脊岩石裸露,地表分布着大小不等的沟系,没有常年流水的水系,没有典型的水系沉积物。这类土壤一般风化特征是山顶及山坡高处碎屑物颗粒较粗,细颗粒含量较少;而向着山脚方向颗粒越来越细且细颗粒含量逐渐增高,到了山脚则以沙和粘土为主,一般厚度可达几米至十几米。造成这一现象是由于雨水的冲刷导致风化形成的细颗粒由山顶及山坡高处逐渐迁移至山脚^[5]。众所周知,在化探样品采集中,不同粒级的样品元素含量不同。为了解决这一问题,现在采集的化探样品一般是截取某个粒度范围,例如截取粒度 -20 目 ~ +60 目的样品。尽管这样,由于碎屑颗粒在样品中粒度分布不同,同样在元素含量方面存在较大差异。研究表明,元素更趋于富集在细颗粒和粘土中。因此,这种景观地貌下的样品中,元素含量变化趋势往往表现为自山脊至山谷增加趋势明显,其差异可达到 2 ~ 5 倍。

②植被发育, 很少有裸露的基岩出露, 整个山体基本被植被覆盖, 这类区域又可分为两种情况: 一是没有发育岛状冻土层或冻土层较深的区域, 元素地球化学含量变化规律表现为自山顶至山脚从高到低的衰减模式; 二是有季节性和永久性冻土层的区域, 元素地球化学含量变化规律表现为自山顶至山脚元素从低到高的递增模式。

在现代地球化学勘查中, 常常使用另一种采样介质, 即水系沉积物, 这类介质在元素垂向分布中也有较大差异, 下面按两种情况讨论: ①植被不发育, 山顶岩石裸露, 发育季节性水系, 这类区域在一级水系中(河流的上游), 水系沉积物的物质成分主要是碎石和粗砂, 在风化程度比较低的情况下, 有机质较少, 植被不发育, 易形成一些粗的岩屑和粗砂。三级水系中一般表现是沙和粘土, 富含有机质。元素地球化学垂向变化规律是自上游至下游元素含量呈增加趋势^[6]。②植被发育, 整个山体被植被覆盖(如大兴安岭深

林沼泽区), 植被腐烂所形成的富有机质深林土发育覆盖较厚, 3 级水系可以常年有水, 但 1~2 级水系没有常年流水, 在其河谷中生长着乔灌木, 常年基本处于干枯状态。采集水系沉积物非常困难。所谓采集的水系沉积物基本是土壤, 不是真正的水系沉积物。所采集的化探样品粒度由山脊至山脚粒度由细变粗, 元素自上到下呈衰减模式。一般采集 1~2 级水系附近的土壤样品的元素含量是同区域的水系沉积物元素含量 2~5 倍。

1.3 化学风化差异

在表生条件下, 影响元素活动性的因素如下:

1.3.1 介质的酸碱性 (pH 值)

多数元素的溶解度及其化合物的稳定性, 对水介质的 pH 值极其敏感。某元素以其氢氧化物的形式沉淀的 pH 值, 称为该元素的水解 pH 值。1980 年, 英国的莱文森对某些金属离子的水解 pH 值作了试验, 发现有如下结果, 如表 1。

表 1 某些金属离子的水解 pH 值

Table 1 Hydrolyzed pH values of certain metal ions

元素	Fe ³⁺	Zn ²⁺	Sn ²⁺	Ce ⁴⁺	Hg ⁺	In ³⁺	Th ⁴⁺	Al ³⁺	U ⁴⁺	Cr ³⁺	Cu ³⁺	Fe ²⁺	Be ²⁺	Pb ²⁺
pH	2.0	2.0	2.0	2.7	3.0	3.4	3.5	4.1	4.2	5.3	5.3	5.5	5.7	6.0
元素	Cd ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Y ³⁺	Sm ³⁺	Zn ²⁺	Nd ³⁺	Pb ³⁺	Hg ²⁺	Ce ³⁺	La ³⁺	Ag ⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺
pH	6.7	6.7	6.8	6.8	6.8	7.0	7.0	7.1	7.3	7.4	8.4	7.5~8.0	8.5~8.8	10.5

表中溶液浓度为 0.025~0.0025 M, 1 M = 10³ mol/m³, 因此, 在介质 pH = 2.0 时, 氧化铁可以沉淀; pH = 5.3 时 Cu³⁺ 可沉淀; pH = 7.0 时 Zn 沉淀。

对于 Fe³⁺、Zn²⁺、Cu²⁺ 离子, 由于在表生条件下其水解的 pH 存在明显差异, 因此, Fe、Zn、Cu 元素就分离, Fe 基本上残留原地, 而 Cu、Zn 远离矿体向外扩散。

1.3.2 介质的氧化还原环境对元素的活动性也是很重要的控制因素^[7]

例如在氧化环境下, Mo、V、U、Se、Zn 等活动性很高, 而在还原条件下(特别是含有机质的沼泽地区), 其活动性很低, 沉淀析出。Fe、Mn 氧化物在氧化条件下, 活动性很低, 而在还原环境下活动性则增高。

处于在山坡、山脊的岩石、矿物与山脚下岩石、矿物相比较接触的水的时间较少, 基本暴露在地表空气中, 水解作用弱, 以物理风化为主, 基本长期处于氧化环境。而山脚下土壤发育, 水

量丰富, 氧化环境弱, 与山脊的环境相比较具有较强的还原特征。自山脊至山脚环境表现为氧化环境减弱还原环境增强。

1.4 生物风化的差异

大量研究成果表明有机质是重金属的重要络合剂, 是搬运和沉淀重金属的重要载体, 高含量有机质土壤往往富集金属元素。在山地地貌中, 生物风化主要表现在有机质含量上, 自山脊至山脚, 由于植被覆盖的原因, 随着植被覆盖加厚, 在土壤中有机质含量呈增加趋势。

2 三维化探数据处理的地球化学方法

2.1 三维立体化探数据处理的第一种方法

(1) 整理原始分析数据。

(2) 高程数据分组, 按采样点的高程对每个采样点进行高程排序, 然后按高程等间隔将样品划分若干个不同的高程组, 统计每个高程组的样

品个数,制作直方图。横坐标是高程,纵坐标是样品数。统计每个组的均值和均方差,为了屏蔽“块金效应”,采用大于均值加3倍方差的特高值剔除方法,对每个数据组进行逐步迭代求取均值。如果样品数小于30件采用中位数代替平均值。

(3) 选取最大样品数组或与最大样品数相近的邻近组作为主风化标准面。采用这组平均值与其他组平均值相比,求取每个高程组的元素迁移的风化系数。

(4) 用求得的每组的风化系数乘以每组的分析的原始数据,使之成为新的数据组。

(5) 利用 MAPGIS 制图软件采用新的数据生成新的数据图,按最大样品数组求出的异常下限圈定异常。

(6) 异常追踪和解释。

2.2 三维立体化探数据处理的第一种方法

(1) 整理原始分析数据。

(2) 高程数据分组,按采样点的高程对每个采样点进行高程排序,然后按高程等间隔将样品划分若干个不同的高程组,统计每个高程组的样品个数,制作直方图。横坐标是高程,纵坐标是样品数。统计每个组的均值和均方差,为了屏蔽“块金效应”采用大于均值加3倍方差的特高值剔除方法,对每个数据组进行逐步迭代求取均值。如果样品数小于30件采用中位数代替平均值。

(3) 求取每个高程段的异常下限。

(4) 求取对应高程段数据的衬度。

(5) 用求得的每组的衬度数据,使之成为新的数据组。

(6) 采用1、2、4倍数圈定衬度异常。

第一种方法主要是调整数据,所标定的数据是经过主风化面系数校正后的数据,所反映的信息是每个采样点的修正分析值具有纲量单位。这种方法比较适合与地质条件较为简单的区域,直接反映每个点的各元素含量。不足之处是受异常干扰,由于每个元素含量单位不同,不能定量绘制综合异常图。第二种方法是采用衬度法,衬度值是无纲量值,只能反映元素在这个点的相对高低,不能直接反映元素的含量。适合地质条件复杂地区应用。最大的优点是可以定量绘制综合异常图。

3 三维立体化探数据处理方法的应用意义

三维立体化探数据处理考虑了高程对元素迁移的影响和地形地貌的景观条件差异对元素整体的影响。在传统二维因素的前提下,加入了高程的三维变量,利用三维地理要素描述元素地球化学行为。在地球化学环境分析和地球化学找矿评价方面具有重要的现实意义。

3.1 屏蔽虚假地球化学异常

由于采样介质不同、同一粒级段中的粒度分布比例不同,可以导致在元素含量上有3~5倍的差异,一些本来高背景的地段,由于采样介质的差异导致圈定成地球化学异常地段。例如,在植被发育的地区,某个水系上游由于采不到水系沉积物样品或者采集的样品粒度与标准粒度比较过细(例如土壤),导致样品某些元素含量较高。化探图幅现在是按统一的异常下限圈定异常,即使使用“抠子区”的方法确定异常下限,但只是限定在地质意义的岩石区。由于这类样品含量一般是背景的2~5倍,导致这些样品按异常样圈定在异常中,对这类异常可以定为非矿致异常。采用三维化探数据处理可以很好屏蔽这类异常,利用最大众数风化面标准,采用“削平补齐”的方式,消除水系沉积物上、下游区段的采样介质和粒度分布形成的误差。同样,也可以使用高程衬度法消除这些误差,更科学的判别是否由矿化引起异常。

3.2 强化和凸显中小弱异常

利用三维化探数据处理方法,并不会消除研究区中一些“高大全”矿致异常,该有的异常仍然存在,相反在某些情况下还可以增强异常强度和规模。由于校正了元素在高程上垂直迁移和采样误差,使之原来较弱的异常显现更强、更清楚,便于异常源追踪。可以做为1:5万矿产化探数据二次开发中较弱的异常的提取方法。

3.3 利用主风化面的样品数据确定地球化学背景及异常下限

三维化探方法实验统计学表明,利用主风化面标高段的样品数(一般接近图幅样品总数三份之一)确定背景和异常下限与传统的回归迭代法确定的背景和异常下限相同及相近^[8-9]。比传统规

范的计算更加简单、便捷。

(1) 确定工作图幅中异常元素种类和异常出露的标高位置:根据每个元素的高程分布曲线可以判别异常元素种类。实验表明正常分布的元素在每个高程中曲线表现为直线分布型,而有异常的元素分布呈曲线型,曲线的拐点即是异常出露的标高段。

(2) 依据元素标高曲线确定相关元素组合:一组与成矿有关的元素在高程曲线上,表现为相同或相似的曲线形态,通过曲线形态可以直观判别元素组合及相关关系。

4 三维立体化探数据处理方法应用案例分析

依据本文提出的三维化探数据处理方法,对现有的国内多个不同景观区的1:5万化探资料进行了实验研究,其中包括如内蒙古的戈壁化风沙草原区、大兴安岭森林沼泽区、小兴安岭丘陵地区等共计十五幅1:5万水系沉积物和土壤数据。实验表明相同景观区内的元素垂向迁移基本相似,不同的景观区的元素垂向迁移不同。即使随高程下降积聚元素,其积聚的程度也有差别,元素也有上升和下降之分。因此,三维化探数据处理可以适用于不同景观区。本文选择小兴安岭森林沼泽区和内蒙古干旱半干旱地区为例说明三维化探数据处理方法的应用效果。

4.1 小兴安岭森林沼泽区对比研究

小兴安岭森林沼泽区位于我国东北部大、小兴安岭一带。该区属北寒温带湿润气候区。夏季温和湿润,冬季严寒漫长,冰冻期长达200~300天,发育连续多年冻土和岛状多年冻土。山体多被森林覆盖,沟谷中沼泽发育。该区大致分为大、小兴安岭两个次一级景观区。其中,大兴安岭地区属于浅切割中低山区,水系比较发育。山坡地表土质极少,多石流坡。残积层中一些元素强烈富集,地表腐殖层中多数元素相对贫化。一级水系和沟谷两侧沼泽发育,沉积物主要由泥炭组成,仅二、三级水系河床底部有碎屑沉积物。与残积物相比,水系碎屑沉积物中元素发生贫化,而泥炭沉积物中表生活动性强的Zn、Cu、Mn、Ag等元素明显富集,特别是Zn和Mn。小兴安岭属微浅切割低山丘陵区^[10]。山体浑圆、沟

谷开阔、水系不发育。一级水系源头、沟谷两侧以及平坦分水岭都发育沼泽,沼泽化面积约占总面积的20%~30%。仅在二、三级水系河床底部有碎屑沉积物,其它地段均为以泥炭为主的沉积物。该区总的特征是化学风化显著增强,从基岩→残积层→水系沉积物,活动性元素趋向贫化。与碎屑沉积物相比,水系泥炭沉积物中的易活动元素如Cu等明显富集,且主要以有机结合形式存在;而活动性小的元素如Au,在泥炭中则含量明显降低。

试验图幅位于小兴安岭中部,表生地球化学景观如上述;图1、图2是采用常规方法圈定的异常图和三维方法圈定的异常图,通过对比从而得出结论。

圈定结果表明;一些高大全异常基本没有显著变化,只是异常物质流向更为清楚。在山顶和山坡的弱异常彼此并不成为孤立的小块,而是形成与地质构造和地质体相吻合的面状低缓异常。比较两者差异如下:

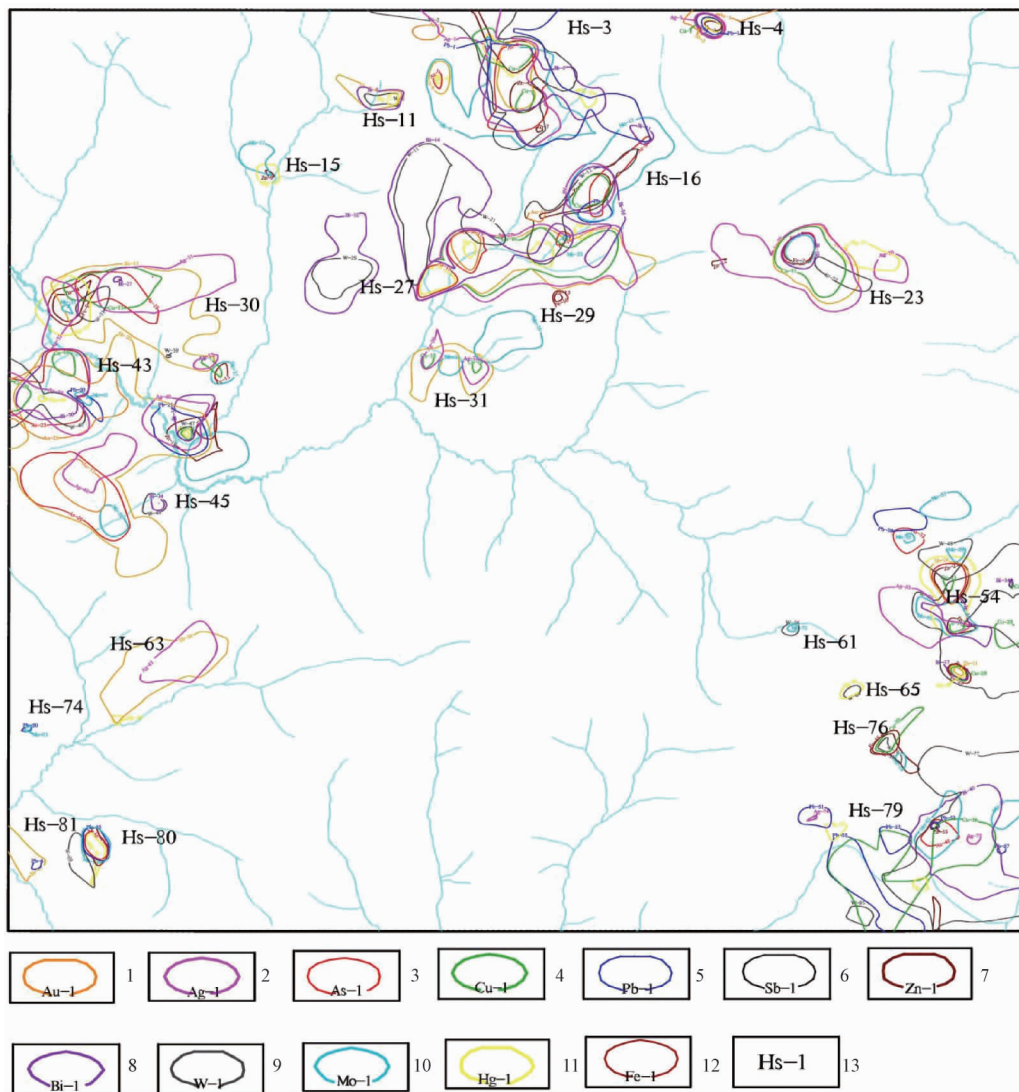
①图1中HS-11异常为单点异常,在三维方法圈定异常的图2中,将其分割,大大降低了单点异常对结果的影响,有一定的屏蔽作用。

②图1中HS-3异常面积较大,套合较乱,异常浓集中心显示不明显,经过处理后的图2中,可清楚观察到HS-3异常是由两个异常浓集中心组成。

③图2中HS-4异常面积变大,并且Hg元素消失。HS-23异常面积增大,套合的更加清晰,方便观察。初步观察原图中浓集中心仅有一个,而后者有两个较清楚的中心,且新增加了Au元素异常。

④图2新增加了XZ-1、XZ-2、XZ-3、XZ-4异常,此异常套合较好,十分直观明显,其中XZ-1异常元素更是多达8个之多,其中包括Sb、Au、Pb、Fe、As、Bi、Cu、Mo元素,研究价值极高。XZ-2异常由图1中HS-61、HS-65与HS-76这三个小异常合并为一个具有潜在找矿价值的新的异常XZ-2,此异常套合较好,面积较大,其中包括所有元素,具有重要的研究意义。

⑤图1中HS-30与HS-43两个异常套合极乱,不同物质流向均圈分到同一异常里,图2中有效的将这两个异常进行区分,便于观察,并且将较小异常HS-45与HS-43异常合并,归为同一异常。



注：1、金异常范围及编号 2、银异常范围及编号 3、砷异常范围及编号 4、铜异常范围及编号 5、铅异常范围及编号 6、锡异常范围及编号 7、锌异常范围及编号 8、铋异常范围及编号 9 钨异常范围及编号 10、钼异常范围及编号 11、汞异常范围及编号 12、铁异常范围及编号 13、组合异常编号

图 1 常规方法圈定的综合异常图

Fig. 1 Comprehensive abnormal map delineated by the conventional method

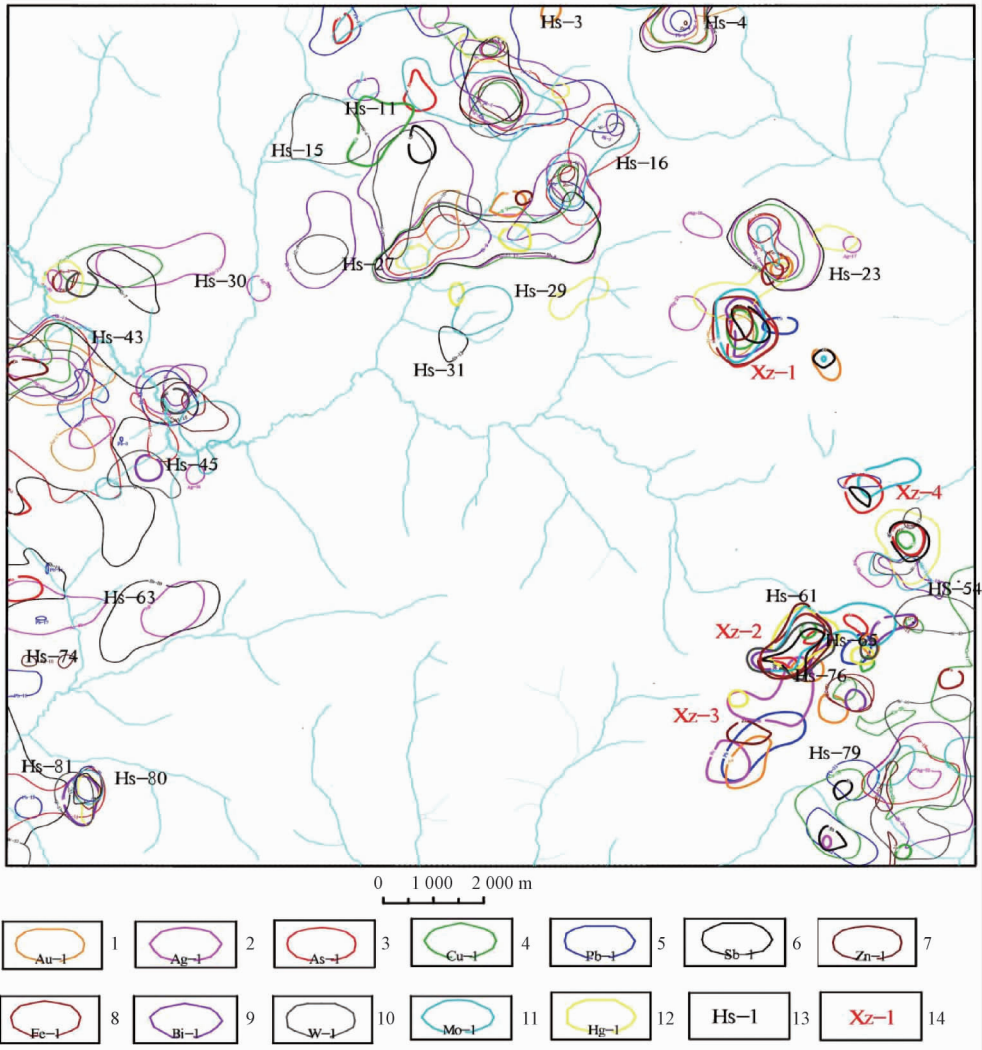
⑥HS-31 异常在图 1 中为一较大异常，而在图 2 中被分割为较小的、无意义的两处小异常。HS-46 异常消失，其中包括 Pb、Mo、As、Ag 四种元素。

⑦HS-80 与 HS-81 合并为同一异常，新的异常套合好、面积大，方便观察，且更有研究意义。

⑧图 1 中 HS-54 异常套合较乱，图 2 将其分割为三个异常，其一是该异常的大面积中心异常，仍命名为 HS-54 异常；其二为其上部分，离中心较远的小异常，命名为 XZ-4 异常，包括 Pb、Sb、As 三种元素；其三为其较中心较远的下部分小异常，与上述新增的 XZ-2 异常合并，套合较好，是具有

真正研究价值的异常。

更重要的是在这些图幅中一些已知的矿床、矿点、矿化点，以及通过路线地质调查发现的矿点，使用传统的化探处理方法只是对其圈出了弱异常或没有异常，利用此方法圈定这些矿点异常可达 2~3 级浓度，并且十分清楚。原来在 1~2 级水系采集的水系沉积物（实际是土壤）或采集的就是土壤的样品，由于其元素含量远远大于水系沉积物，在传统方法圈定中，大部分被圈定为异常，事实上这些异常均是由背景所引起，这次研究显示这些异常通过数据处理均可以弱化或消失。此外一些分布在第四系上的异常，同样也是弱化



注: 1、金异常范围及编号 2、银异常范围及编号 3、砷异常范围及编号 4、铜异常范围及编号 5、铅异常范围及编号 6、铋异常范围及编号 7、锌异常范围及编号 8、铁异常范围及编号 9 铋异常范围及编号 10、钨异常范围及编号 11、钼异常范围及编号 12、汞异常范围及编号 13、组合异常编号 14、新增组合异常编号

图 2 三维方法圈定的综合异常图

Fig. 2 Comprehensive anomaly map delineated by the three-dimensional method

和消失。

4.2 内蒙古干旱半干旱地区对比研究

该类地区的特点是: 大陆性干旱气候, 降雨量稀少 (干旱荒漠区年降雨量 < 200 mm; 半干旱荒漠区年降雨量 < 400 mm), 蒸发量大, 水分缺乏, 几乎无地表径流^[11]; 夏季高温, 日温差大, 冬季寒冷; 植被稀疏, 风大沙多, 风蚀和搬运作用强烈。在这类地区的山区和低山丘陵区的干沟中有季节性洪流冲积物, 可进行水系沉积物测量。但这类地区的一个共同特点是受新、老风成沙的干扰^[12]。由于风的吹蚀、搬运、分选和堆积, 使地表疏松层和水系沉积物中不同程度的混入了风成沙, 除完全风蚀剥蚀区风成沙较少外, 其余地

区一般都干扰严重, 不仅改变和杂化了疏松层和水系沉积物中的元素分布, 而且往往使异常含量稀释, 甚至使异常完全消失。表生地球化学作用也对一些元素的迁移和富集产生明显影响。干旱荒漠和半荒漠区呈碱性和偏碱性环境, 强烈的蒸发蒸腾作用使许多元素如 Ca、Mg、Na、Sr、S、Ba、V 以及一些微量元素在土壤和水系沉积物中发生次生富集。此外, 以风蚀剥蚀为主的地区有时还可形成顺风向的所谓风成异常和残留重矿物异常^[13-15]。

实验图幅位于内蒙古东部, 隶属于通辽市管辖。表生地球化学特征已于前述。本文选取了一个标准的 5 万图幅, 是三维化探数据处理与传统方

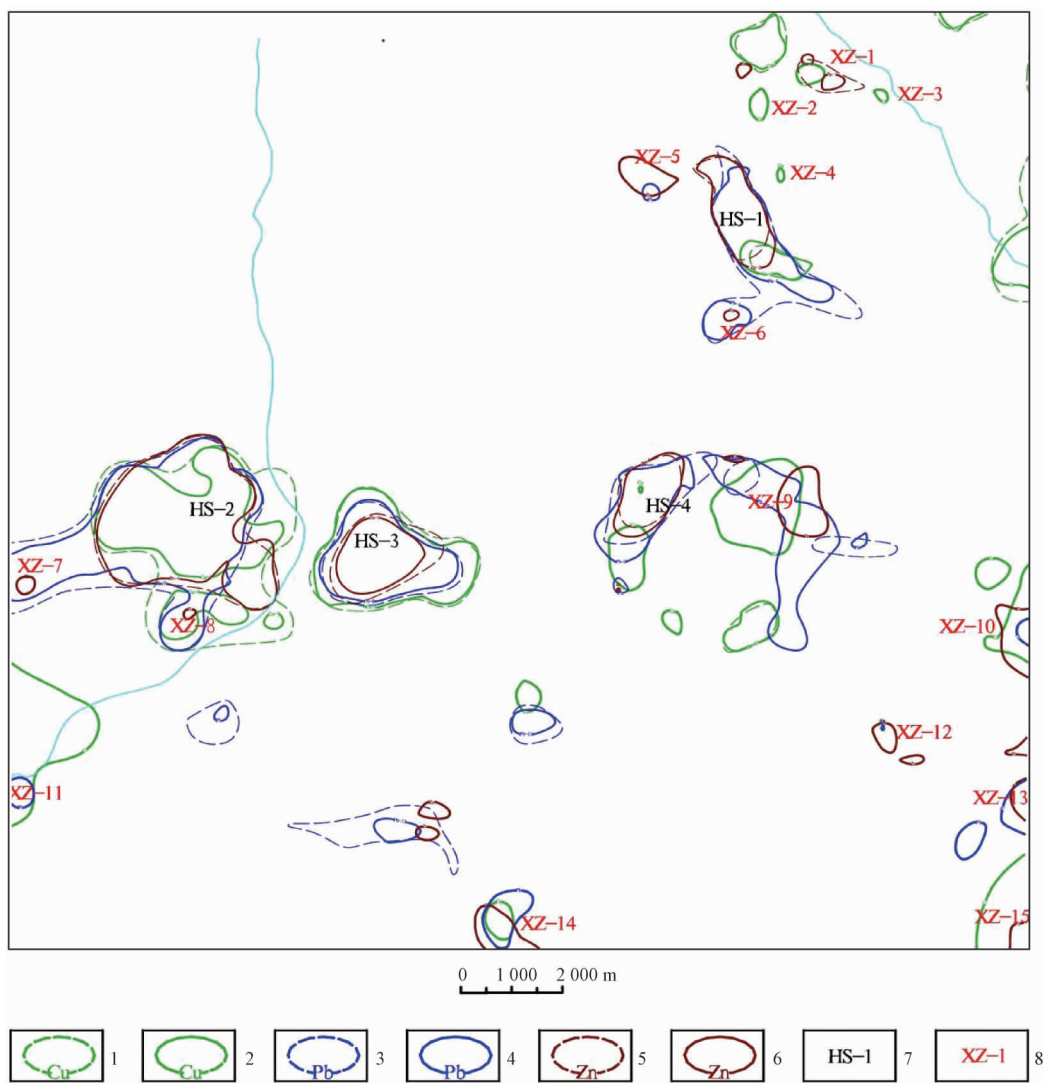
法异常圈定的结果（见图3），比较两者差异可以看出；

①用新方法圈定后，原来所有异常面积略有缩小。已经发现的 Cu 矿原异常面积也缩小了。特别是 HS-1 和 HS-2 两个异常是见矿（铜矿）异常，新圈定的异常面积较小，使之找矿范围进一步缩小，指示意义突出。

②将 HS-1 异常中物质来源不同的 Pb 异常进行分割并且与新增的 Zn 异常套合较好，形成新的 XZ-6 异常，此方法可对不同物质来源的元素进行分割，使异常图更加直观，利于圈定靶区。

③在 HS-1 异常右上方圈定出新的 Cu 异常，异常命名为 XZ-1、XZ-2、XZ-3、XZ-4，并且在 HS-4 异常右侧提取了 Cu、Pb、Zn 异常进而新增了 XZ-9 异常，极具研究价值。这些异常所在位置是已发现的铜矿点所在地（紧邻图幅的边部），原来只是圈定出一个小的弱的 Cu 异常，此次不但圈定出较多的 Cu 异常，还圈出组合元素。

④用新方法圈定后，出现了新的多个组合异常分别是 XZ11—14 异常，原来圈定异常均为单元元素单点异常。表明该方法可以对弱异常进行有效提取，从而增加找矿概率。



注：1、原方法圈定的 Cu 异常范围；2、新方法圈定的 Cu 异常范围；3、原方法圈定的 Pb 异常范围；4、新方法圈定的 Pb 异常范围；5、原方法圈定的 Zn 异常范围；6、新方法圈定的 Zn 异常范围；7、原组合异常编号；8、新增组合异常编号

图3 常规方法与三维方法圈定的综合异常对比图

Fig. 3 Comparison diagram of comprehensive anomaly delineated by the conventional method and the three-dimensional method

5 结果讨论

三维化探数据处理方法由于考虑了元素的纵向迁移的特征,用不同高程采样点群作为统计异常下限单元,符合在不同的景观条件下,分散物质及元素迁移规律,屏蔽了由于诸种原因元素在化探样品中分布不均匀的“噪音”,可以有效的屏蔽在化探异常圈定中的虚假异常,而强化矿致异常的强度,增加异常组分数。特别是在一、二级水系不发育地区,水系沉积物和土壤样品混采地区可以取得较好的效果。

实验对比研究表明,利用三维化探数据处理方法对原有矿致异常的强度、规模不仅没有降低,反而有所增强。由于采用了高程阶段性异常下限,降低了原来的异常下限,致使许多较弱的异常得以显现,强度规模得到强化。因此,这种方法可以作为当下较弱、致不明显的异常的提取方法之一。

参考文献/References

- [1] 熊光强,赵洪涛,刘敏,等. 内蒙古四子王旗黑脑包岩体年代学与地球化学特征及其构造演化 [J]. 地质力学学报, 2013, 19 (2): 162 ~ 177.
XIONG Guangqiang, ZHAO Hongtao, LIU Min, et al. Geochronology and geochemistry of the Heinaobao pluton in Siziwangqi, Inner Mongolia and its tectonic evolution [J]. Journal of Geomechanics, 2013, 19 (2): 162 ~ 177.
- [2] 丁文君,陈正乐,陈柏林,等. 河北迁安杏山铁矿床地球化学特征及其对成矿物质来源的指示 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (4): 363 ~ 373.
DING Wenjun, CHEN Zhengle, CHEN Bolin, et al. Geochemical characters of band iron formations from Xingshan iron deposit in Qian'an area, Hebei Province: implication for their origin [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (4): 363 ~ 373.
- [3] 许淑梅. 长江口外缺氧区及其邻近海域氧化还原敏感性元素的分布规律及环境指示意义 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
XU Shumei. The distribution and environmental significance of redox sensitive elements off the Changjiang Estuary hypoxia zone and its contiguous sea area [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [4] 穆振永. 判定物质氧化性强弱的十种方法 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
MU Zhenyong. Ten methods for determining the oxidation resistance of materials [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [5] 王为,许刘兵,林志海,等. 海岸壶穴与风化坑的成因差异及证据——以广东沙扒镇和庙湾岛海岸为例 [J]. 第四纪研究, 2013, 33 (5): 1016 ~ 1033.
WANG Wei, XU Liubing, LIN Zhihai, et al. Evidences for the origin of coastal weathering pits and marine potholes on the coast of Guangdong—a case study in Shapa Town and Miaowan Island, China [J]. Quaternary Sciences, 2013, 33 (5): 1016 ~ 1033.
- [6] 薛传东,刘星,亓春英,等. 滇池近代沉积物的元素地球化学特征及其环境意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26 (6): 582 ~ 590.
XUE Chuandong, LIU Xing, QI Chunying, et al. Element geochemical characteristics of modern sediments in the Dianchi Lake, Kunming, and their environmental significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2007, 26 (6): 582 ~ 590.
- [7] 郑国东,付碧宏. 断裂带构造地球化学研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27 (S1): 436 ~ 437.
ZHENG Guodong, FU Bihong. Tectonic geochemistry of fault zone [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27 (S1): 436 ~ 437.
- [8] 胡丰产. 新疆某铜矿区化探数据异常下限确定方法对比研究 [J]. 矿业工程, 2012, 10 (2): 4 ~ 6.
HU Fengchan. Geochemical data abnormality lower-limit determining methods and their comparison for a copper ore deposit in Xinjiang [J]. Mining Engineering, 2012, 10 (2): 4 ~ 6.
- [9] 程小昆. 广西珊瑚钨锡矿床地球化学异常特征及找矿预测 [D]. 桂林: 桂林理工大学, 2009.
CHENG Xiaokun. Geochemical anomalies and prospecting prediction of the coral tungsten tin deposit, Guangxi [D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2009.
- [10] 李艳芳,王加晶,许丹妮. 黑龙江省生物多样性评价 [J]. 环境科学与管理, 2012, 37 (12): 153 ~ 157.
LI Yanfang, WANG Jiajing, XU Danni. Evaluation on biodiversity in Heilongjiang province [J]. Environmental Science and Management, 2012, 37 (12): 153 ~ 157.
- [11] 杨少平,焦保权,孙忠军,等. 森林沼泽景观区区域化探异常追踪方法技术 [A]. 第八届全国勘察地球化学学术讨论会论文集 [C]. 昆明: 中国地质学会, 2009.
YANG Shaoping, JIAO Baoquan, SUN Zhongjun, et al. Regional forest swamp landscape area geochemical anomaly tracing method [A]. The National Survey and Geochemical Symposium [C]. Kunming: Geological Society of China, 2009.
- [12] 高珍权. 东天山铜金多金属成矿学及找矿系统工程学 [D]. 长沙: 中南大学, 2002.
GAO Zhenquan. Copper-gold polymetal metallogeny and prospecting systematic engineering of East Tianshan, Xinjiang, China [D]. Changsha: Central South University, 2002.
- [13] 薛水根. 地球化学异常的查证方法及效果 [J]. 江苏地质, 2002, 26 (1): 13 ~ 18.

- XUE Shuigen. Determination methods and effect for geochemical anomaly [J]. *JiangsuGeology*, 2002, 26 (1): 13 ~ 18.
- [14] 王学求, 孙宏伟, 迟清华, 等. 地球化学异常再现性与可对比性 [J]. *中国地质*, 2005, 32 (1): 135 ~ 140.
- WANG Xueqiu, SUN Hongwei, CHI Qinghua, et al. Reproducibility and Comparison of geochemical anomalies [J]. *Geology in China*, 2005, 32 (1): 135 ~ 140.
- [15] 姚涛, 陈守余, 廖阮颖子. 地球化学异常下限不同确定方法及合理性探讨 [J]. *地质找矿论丛*, 2011, 26 (1): 96 ~ 101.
- YAO Tao, CHEN Shouyu, LIAORUAN Yingzi. Methods for determination of the lower geochemical anomaly limit and the rationality discussion [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2011, 26 (1): 96 ~ 101.

THE PRINCIPLE OF GEOCHEMICAL ANOMALY DELINEATION BASED ON THREE DIMENSIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION DATA METHOD AND ITS SIGNIFICANCE

XU Guozhi, LI Nan, SUN Lu, LI Peng, WU Ting

(Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, Hebei, China)

Abstract: Two-dimensional geochemical data calculation method, as the traditional method in geochemical exploration anomaly delineation, has been used in the geochemical exploration industry for many years. However, this data processing method has some deficiencies in the prospecting and prospecting area in the premise of sampling and landscape differences. In order to compensate for these shortcomings, three-dimensional data processing and mapping method is proposed, which added elevation elements. It is proved by experiments that this method is better for comprehensive anomaly delineation and the abnormal material flows are clearer. The delineation range of the 3D data processing and mapping method is relatively small with obvious concentration center, which is conducive to the accurate arrangement of surface exploration engineering, saving prospecting cost and improving the accuracy of prospecting.

Key words: 3D data processing and mapping method; calculation method of geochemical exploration data; geochemical anomaly delineation; concentration center