

doi:10.3799/dqkx.2012.121

# 白音诺尔矿区土壤地球化学纵向迁移特征

谢淑云<sup>1</sup>, 焦 杨<sup>1</sup>, 燕 敏<sup>1,3</sup>, 信栋林<sup>1,4</sup>, 徐德义<sup>5\*</sup>, 成秋明<sup>2</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

3. 中国科学院贵阳地球化学研究所, 贵州贵阳 550002

4. 湖南省地矿局 403 队, 湖南常德 415000

5. 中国地质大学经济学院, 湖北武汉 430074

**摘要:** 土壤地球化学测量工作对发现土壤中与成矿有关的地球化学异常进而对指导找矿具有重要的意义. 内蒙古白音诺尔铅锌矿床是我国北方一个典型的矽卡岩型矿床, 具有大而富的特点. 选取内蒙古白音诺尔铅锌矿区某已开采矿体上方 6 号土壤垂直剖面、以及距离 6 号剖面分别约 1.0 km 和 4.5 km 的非矿土壤垂直剖面 3 和 8, 垂向上通过每隔 10 cm 取样, 进行了系统的土壤磁化率测试和与成矿有关的部分微量元素的总量测试分析. 结果显示, 尽管近矿剖面 6 和远矿剖面 3 中磁化率与土壤深度之间呈良好的负相关关系, 但剖面 6 中 9 种元素含量均显示“顶底低中间高”的“倒 C 型”分布, 而远矿剖面 3 和 8 中元素含量多呈动荡波动. 这些研究思路与结论可为覆盖区表生土壤地球化学测量及矿产预测研究提供借鉴, 对系统模拟和研究地球化学组分在矿区及周边残积土剖面中的迁移演化规律及其影响因素亦具有指示意义.

**关键词:** 覆盖区; 白音诺尔矿区; 土壤剖面; 磁化率; 元素纵向迁移; 成矿预测; 矿床.

中图分类号: P596

文章编号: 1000-2383(2012)06-1140-09

收稿日期: 2012-07-19

## Geochemical Vertical Transportation along Soil Profiles in Baiyinnuoer Pb-Zn Deposit Areas, Mongolia, China

XIE Shu-yun<sup>1</sup>, JIAO Yang<sup>1</sup>, YAN Min<sup>1,3</sup>, XIN Dong-lin<sup>1,4</sup>, XU De-yi<sup>5\*</sup>, CHENG Qiu-ming<sup>2</sup>

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Geochemistry Institute of China Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

4. 403 Geological Brigade, Geological Prospecting Bureau of Hunan Province, Changde 415000, China

5. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Geochemical soil survey is of great significance to find the geochemical soil anomalies related to ore deposits. Baiyinnuoer lead-zinc deposit in Inner Mongolia is one typical Skarn deposit in North China and detailed geological mining survey had been done in this area to prospect ore-bodies. In this study, 3 typical vertical soil profiles had been sampled to study the geochemical vertical transportation modes and then to further explore new ideas for mineral resource prospecting. Soil profile 6 was collected upon one Pb-Zn ore-body. Profile 3 and Profile 8 were 1 km and 4.5 km away from Profile 6, respectively. Along Profile 6 and Profile 3, soil magnetic susceptibility values decrease significantly with the depth of the soil samples increasing. The distribution patterns of all the 9 geochemical elements along Profile 6 display a similar trend which shows the concentrations are lower in both topsoil layer and half-weathered rock layer, but higher in residual subsoil layer, showing as “C-shape”, which are quite different from those patterns for profile 3 and profile 8, since the element concentration values do fluctuate violently without a similar trend as shown in Profile 6. The research approach and results of this paper could be useful references for evaluating mineral resources in covered areas from the surface geochemical soil surveys and it also could provide new avenues for detecting the geochemical mechanisms for vertical transportation.

**基金项目:** 国家自然科学基金(No. 40972205); 中国地调局项目(Nos. 1212010633910, 1212011121101); “863”项目(No. 2009AA06Z110).

**作者简介:** 谢淑云(1976-), 博士, 教授, 研究方向为应用地球化学、数学地质. E-mail: tinaxie@cug.edu.cn

\* **通讯作者:** 徐德义, E-mail: xdy@cug.edu.cn

**Key words:** covered area; Baiyinnuoer Pb-Zn deposit area; soil profile; magnetic susceptibility; elemental vertical transportation; ore prospecting; ore deposits.

## 0 引言

随着找矿工作的深入,在矿区深部及外围找矿的难度越来越大,国内外找矿实践证明,化探在矿区深部及外围找盲矿是一种直接有效的方法技术.土壤地球化学测量工作在寻找深部矿体等方面亦占有重要地位.土壤残积物是覆盖在基岩上的风化产物,这些覆盖物在重力和流水的作用下发生了位移,但在成分和空间位置上,仍与母岩保持着明显的联系.在地球化学找矿中采集土壤样品时,采样层位的正确与否、分析粒度的范围大小等,直接关系到地球化学找矿的效果(王崇云,1987;Hale,2000).

由于各地自然条件的不同,主要是气候、植被和地貌特征等的不同,残积土壤剖面的发育在不同地区表现出不同的特征,其土壤剖面中金属元素的含量分布特征亦不同.众多学者探讨了不同类型岩石风化剖面中的分布特征,这方面的研究主要集中在原岩性质探讨等方面,如尚彦军等(2001)用统计学方法定量表征花岗岩的风化程度,郝立波等(2004)总结出岩石风化成土过程中主量元素和微量元素均一化的不同规律,孙承兴等(2002)揭示了碳酸盐岩风化壳稀土元素超常富集及Ce强烈亏损的原因.关于残积土壤地球化学特征与地球化学找矿的关系亦有大量的研究,如根据原岩性质的差异划分风化残积土与风化残积型金矿类型的关系(熊文亮,1996),分析植物与土壤元素以及与铜矿、锡铁矿的关系并探索主要成矿元素在植物与土壤之间的迁移转换的关系(柯文山等,2001;孙超等,2011).Anand *et al.* (2007)的研究指出了残积土剖面中的元素含量与蚁穴、植物等介质中的含量对矿床均有重要的指示信息,进而给出了生物地球化学找矿线索.也有学者通过土壤地球化学测量进行区域地球化学异常的分级与评价解释,该研究方向受到了广泛的关注(谢学锦和王学求,2003;于成涛和龙建军,2010).Akçay *et al.* (1998)、Cameron *et al.* (2004)详细地探讨了土壤中元素迁移方式和受生物地球化学作用影响的元素迁移机理.

众多学者认为,成矿元素在矿体上方不同深度覆盖层中的异常具有明显的继承关系(张必敏,2011),国内外众多学者结合地气(Kristiansson and Malmqvist,1982;王学求,1996;Hale,2000)、室内

实验迁移柱与实际计算(Hamilton,2000;王学求等,2009)等方面的证据,认为绝对浓度高的元素每年可以迁移数米的距离,在上百万年的第四纪演化历史中,元素完全可以迁移数米甚至数百米的覆盖层到达地表(王学求等,2009).但在矿体上方覆盖层的不同部位,其变异范围较大,不同层位富集规律存在较大争议:有的学者认为,在温暖潮湿景观下,土壤剖面各层位元素的分布规律呈现从下至上逐渐增大的趋势(周国华等,2002;赵志忠等,2005),而在富含腐殖质的温带森林或沼泽地区则呈现从下到上逐步减少的趋势(于海涛,2007);还有很多元素的含量分布在垂直方向上变化起伏较大,有的学者认为存在中间低、顶底高的现象,有的学者认为受构造蚀变带等影响差异大(王崇云,1987;王学求,2005;Wang *et al.*,2007;王学求等,2009),这些学者视不同覆盖区类型及矿种可能有不同的规律可循,目前还存在很大的争议.

本文拟通过系统采集内蒙古白音诺尔矿区靠近矿体和远离矿体的不同土壤地球化学垂直剖面,以每隔10 cm进行系统采样,分析元素在土壤剖面上的分布规律及其对深部矿体的指示意义.

## 1 地质背景与样品采集与分析

内蒙古白音诺尔铅锌矿床的矿区大地构造位置属天山—内蒙兴安地槽褶皱区、内蒙古中部地槽褶皱系、苏尼特右旗晚华力西地槽褶皱带、哲斯—林西复向斜的北西翼.处于白音诺尔—景峰北东向断裂与白音诺尔—罕庙东西向断裂交汇处,由于受区域构造的控制,区内地层、侵入岩、构造形迹均呈北东向展布.

白音诺尔铅锌矿床是大兴安岭地区储量最大的铅锌矿床,矿体主要沿花岗闪长(斑)岩与大理岩接触带产出,位于白音乌拉火山机构北部环状、放射状断裂系统内的寄生火山通道白音诺尔周围,东西长2 km,南北宽1.9 km,面积约3.8 km<sup>2</sup>.

采样地点位于内蒙古白音诺尔铅锌矿区已开采区上方及周围(图1),本次共采集3个纵向土壤剖面样品,其中剖面6(TY006)位于矿区某采空区上方,剖面3(TY003)和剖面8(TY008)远离矿区.其中,剖面3位于采空区北部,离剖面6约1.0 km;而

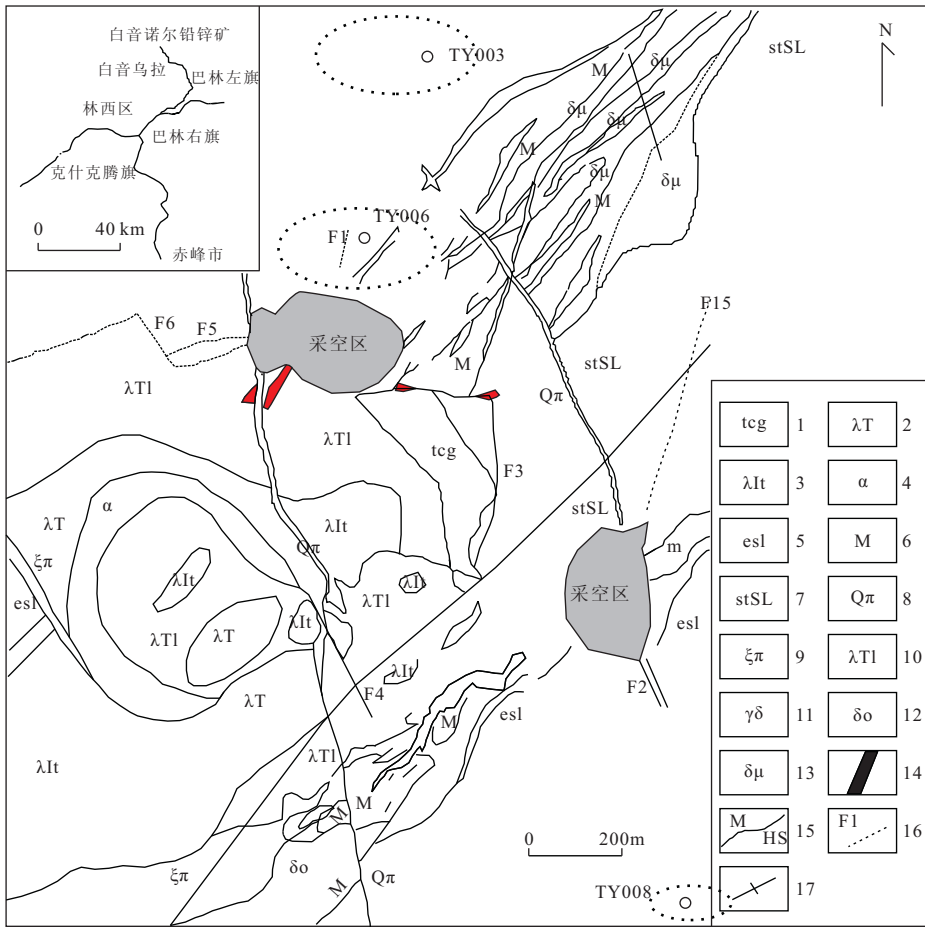


图 1 白音诺尔铅锌矿区地质简图及工作采样点示意图(引自中国地质调查局危机矿山办公室, 2008)

Fig. 1 Generalized geological map and sketch map of sampling in Pb-Zn deposit in Baiyinnuoer district, Mongolia, China

- 1. 上侏罗统满克头鄂博组凝灰质角岩(tcg); 2. 上侏罗统满克头鄂博组流纹质凝灰岩(λT); 3. 上侏罗统满克头鄂博组流纹质熔结凝灰岩(λIt);
- 4. 上侏罗统满克头鄂博组安山岩(α); 5. 二叠系林西组泥质板岩(esl); 6. 二叠系黄冈梁组大理岩(M); 7. 二叠系黄冈梁组粉沙泥质板岩(stSL);
- 8. 石英斑岩(Qπ); 9. 燕山早期正长斑岩(ξπ); 10. 燕山早期流纹质熔结凝灰岩(λT1); 11. 印支期花岗闪长岩(γδ); 12. 印支期石英闪长岩(δο);
- 13. 印支期闪长玢岩(δμ); 14. 铅锌矿矿体; 15. 地质界限; 16. 断层及编号; 17. 褶皱轴

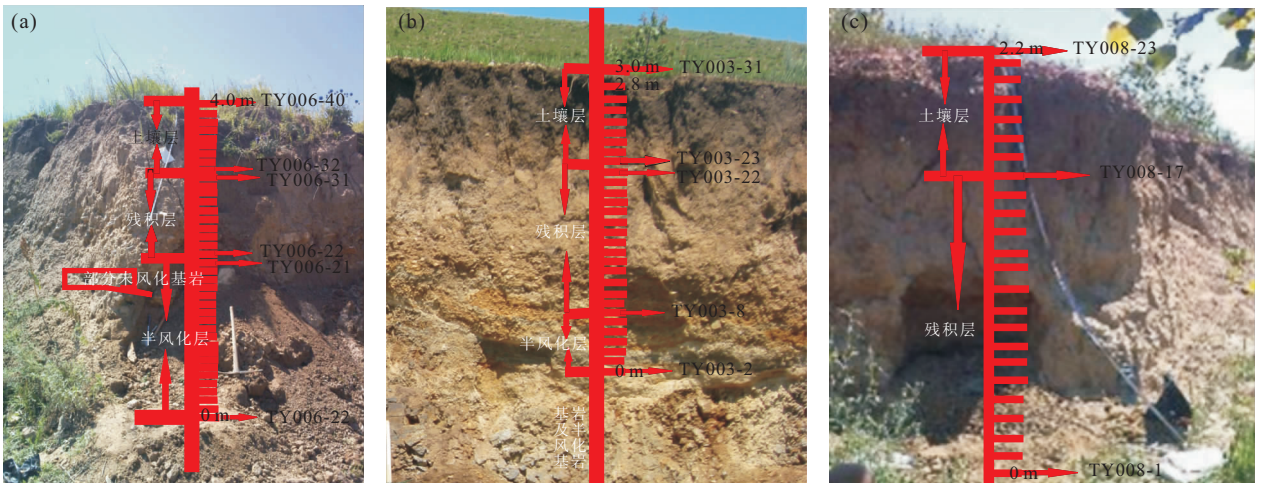


图 2 土壤分层以及样品采集位置示意

Fig. 2 Sketch map of soil layers and the sampling sites

- a. TY006 剖面; b. TY003 剖面; c. TY008 剖面

表 1 土壤剖面各土层特征描述

Table 1 Basic description of soil layers of the sampling profiles

土壤剖面分层	TY006	TY003	TY008
土壤层(A)	土壤颜色由灰白色直接过渡到最上面的灰黑色甚至黑色,土壤粒度细、黏度大,该层厚度与残积层厚度相当,共采集样品 10 件,包括 1 个表层土样	土壤层呈灰黑至黑色,粒度细小,厚约 80~100 cm,该层共采集样品 9 件,包括 1 件表层土样	土壤颜色由浅红棕色渐变为黑色,粒度细,黏度大,采样 9 个,厚约 90 cm 左右
残积层(B)	残积层土壤含有较多小石子,土壤呈灰白色,粒度较小,黏度一般,厚度约 1 m,共采集样品 10 个	残积层呈棕黑色至灰黑色,粒度较小,厚约 1.4~1.5 m,该层共采集样品 14 件	在厚约 2.2 m 的范围内共采集残积层土样 22 个,该层土壤颜色为红棕色,粒度较细,黏度一般
半风化层(C)	母质层颜色为红棕色,粒度较大,黏度一般,出露厚度约 2 m,共采集样品 21 个	半风化层呈棕黄色,粒度较粗,含有部分碎石,手触摸较硬,干燥,该层厚约 60 cm,共采集样品 7 件	无
基岩	基岩未出露,挖掘后发现基岩埋藏较浅,但几乎完全风化,风化后的基岩呈红褐色,肉眼难以识别其岩性	土壤剖面下部出露基岩,基岩风化严重,风化面呈棕红色,难以辨认原岩成分	无基岩出露

剖面 8 位于矿区外围,离剖面 6 约 4.5 km 的东南方向。

采样过程中对所选取剖面进行初步野外分层,土壤剖面从地表垂直向下具有明显的分层现象,层与层之间成分、颜色、结构均不同,从上到下按野外观察大体划分为土壤层、残积层及半风化层和未风化基岩 4 层. 本次采样选取的剖面天然露头良好(图 2),其中剖面 6 共采集 41 件样品,剖面 3 和剖面 8 各采集 31 件样品,具体采样信息见表 1 所示。

采集过程为防止污染,由底部向地表采集,首先将卷尺从剖面上端垂直下放,然后使用小铁铲从下至上(半风化层底端至土壤层上端)每间隔 10 cm 采样,每件样品重约 500 g. 采集样品置于布袋封装,外加塑料袋以防样品运送过程中相互污染. 样品取回先在野外室内自然风干,然后运回实验室。

本次所采土壤样品运回实验室后,弃去样品中的动植物残体、砾石等杂物. 经玛瑙研钵粉碎至 200 目,送往中国地质大学(武汉)岩石磁学实验室进行磁化率测定,送往中国地质大学(武汉)地球化学实验室进行元素含量测定. 本次主要测试了与 Pb-Zn 矿有关的 Cu、Fe、Mn、Pb、Sb、Zn、As、Hg、Bi 共 9 种元素含量。

## 2 磁化率分布特征

土壤磁化率特征在岩石磁化率各向异性特征研究(Graham, 1954)、构造地质学、矿田构造学、石油地质学(张拴宏和周显强, 1999)、环境磁学、污染源判断及气候变化、油气勘探、岩心磁化率特征与找

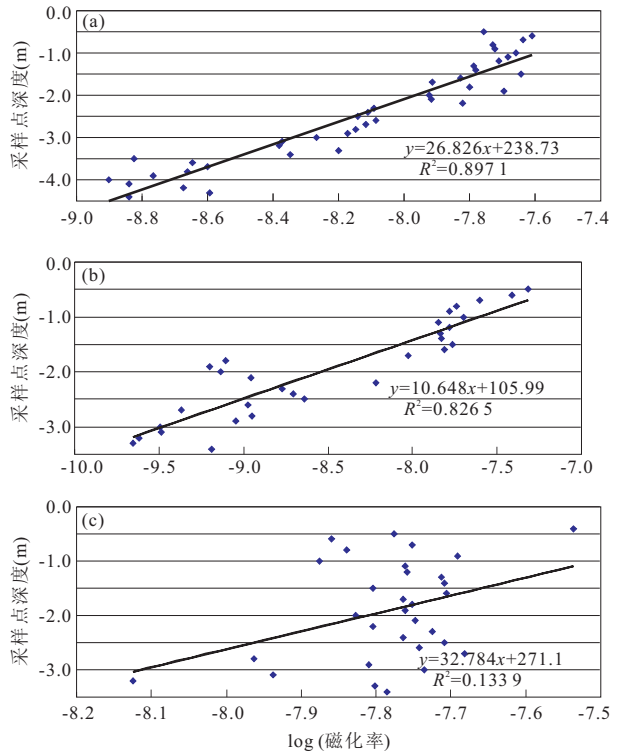


图 3 土壤垂直剖面 6(a)、剖面 3(b)和剖面 8(c)中磁化率(log, m<sup>3</sup> · kg<sup>-1</sup>)变化示意图

Fig. 3 Variation of magnetic susceptibility along vertical soil profiles

矿预测(王磊等, 2012)及与金属矿有关的环境问题等方面均有大量的研究(姜月华等, 2006)。

本次土壤磁化率特征分析表明,剖面 6 中土壤磁化率随土壤深度的增加逐渐降低,体积磁化率变化范围从土壤剖面最上部地表的  $4.96 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  渐变到剖面底部的  $1.45 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ,波

动范围较大,但整体显示磁化率与土壤深度之间呈现较好的负相关关系(图 3a). 离剖面 6 较近的剖面 3 中,随着土壤深度的增加,磁化率亦显示一定的降低趋势,显示较弱的线性递减规律. 但对比剖面 6 而言,其磁化率波动范围亦较大(图 3b),从  $6.65 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  变化到  $6.40 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ . 而离剖面 6 较远的剖面 8 中,土壤磁化率随土壤剖面的变化幅度不大,特别是在残积层中磁化率在较小范围内呈动荡波动,无明显的降低趋势(图 3c).

从野外采样布局来看,剖面 6 位于矿体上方,下部有矿体赋存,显示有 Pb-Zn 等多金属物质;剖面 3 处尚未发现下部矿体,剖面 8 在矿区外围. 3 个剖面均处于矿田范围内,分布于已发现的矿体附近,总体地貌景观具有相似的特征,气候变化对 3 个剖面磁化率的差异性影响应较小. 具体分析,可能主要受来自于土壤剖面本身的特征影响.

### 3 地球化学特征分析

王学求等(2005)对覆盖层土壤进行了系统取样

研究,在地表所发现的地球化学异常峰值基本位于矿体正上方,显示了元素垂向迁移特征;不同粒级分布特征分析表明,在矿体上方表层覆盖物中细粒级(100 目)样品中金的含量普遍高于粗粒级样品中的含量,矿体上方异常显著,而粗粒级样品中 Au 含量变化不明显,矿体上方无异常显示;纵向剖面分析发现,成矿元素和伴生元素在矿体上方土壤垂直剖面中呈双层分布,或在柱状图上呈现“C 型”分布的模式,即在剖面底部靠近矿体的风化层中和垂直剖面顶部的土壤层中元素含量高,而在剖面的中间位置出现低含量分布. 这种矿体上方异常的形成,被认为是多种营力共同参与的结果,各种迁移方式在其中所起的作用,要视具体矿体的产出深度、地表景观及气候条件而定(王学求等, 2005).

本次研究发现,矿体上方的土壤剖面 6 中,其元素含量的平均值亦高于剖面 3 和剖面 8,显示土壤中高含量受矿体影响的特点;而剖面 6 中从顶部土壤层到下部半风化层,除 Hg、As 外,Cu、Fe、Mn、Pb、Sb、Zn、Bi 这 7 种元素均显示相似的分布规律,呈现“顶底低中间高”的“倒 C 型”分布模式(图 4),

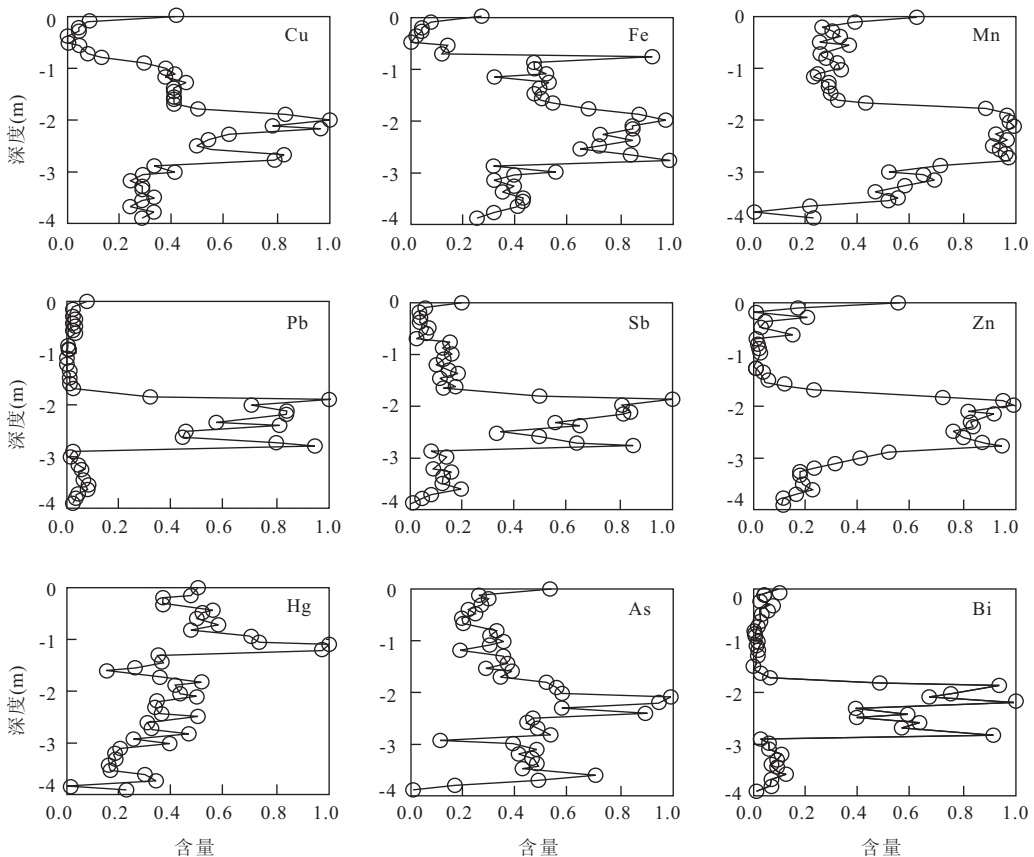


图 4 矿体上方垂直土壤剖面(剖面 8)中元素含量(标准化含量)分布

Fig. 4 Element concentration variation along vertical soil profile 6 upon Pb-Zn ore-body



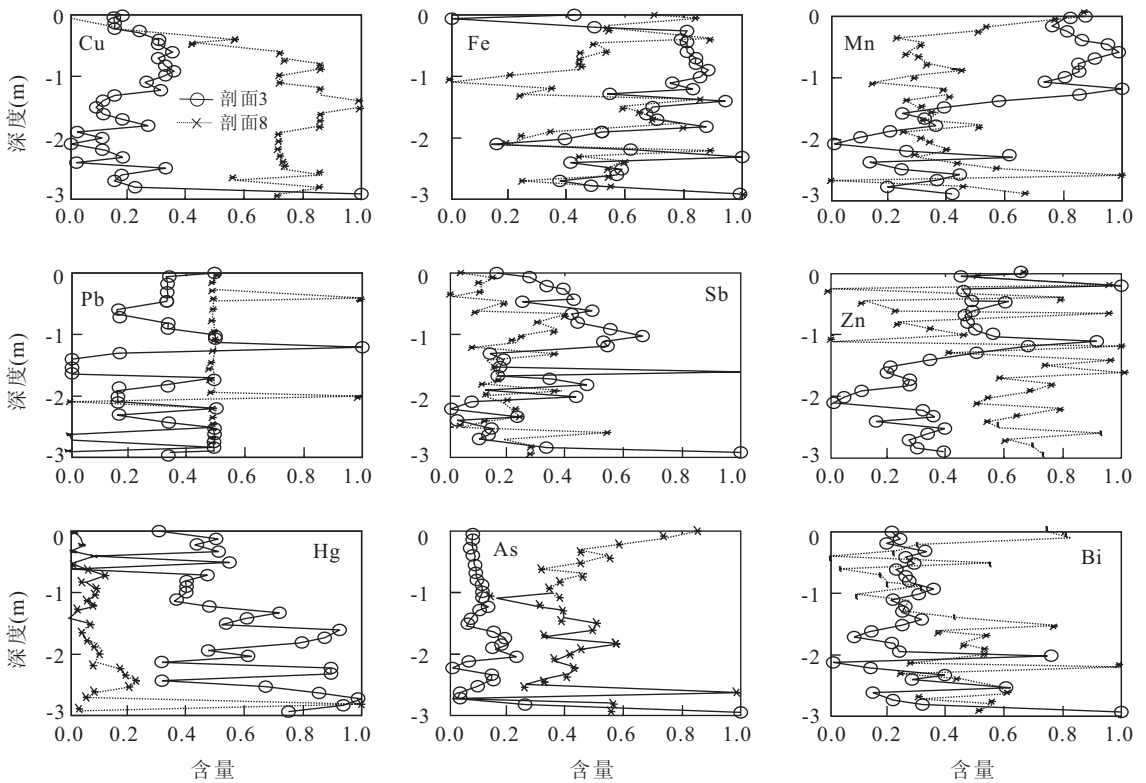


图 5 远离矿体上方垂直土壤剖面(剖面 3 和剖面 8)中元素含量分布

Fig. 5 Element concentration variation along vertical soil profiles 3 and 8 away from profile 6

即在土壤层及半风化层下部的元素含量较低,而残积层及半风化层上部元素含量较高,高值的出现均在土壤剖面 50 cm 以下,而表层土中均显示较低的含量.事实上,Hg 与 As 的高含量段亦出现在剖面中部,即剖面 30 cm 以下显示类似分布.一般来说,残积层淋滤作用不大,这种“顶底低中间高”的分布模式可能是由于残积层中 Fe、Mn 等氢氧化物及粘土、有机质对成矿有关元素的吸附作用使元素聚集而形成,这种分布模式可能可以作为指示被土壤覆盖的矿体和盲矿体存在的一种标志(王崇云,1987),各种地球化学元素在岩石风化形成土壤的过程中,其分布模式易发生明显分异,多种与成矿有关的元素所共同表现出的这种统一的分配模式,可能对指示覆盖矿体和盲矿体具有重要意义.

而离剖面 6 约 1.0 km 的剖面 3 中,随着土壤深度的增加,Cu、Fe、Zn、As、Bi 的含量逐渐升高,而其他 4 种元素含量呈现动荡起伏变化(图 5);在离剖面 6 约 4.5 km 的剖面 8 中,除 Cu 显示剖面深部高、浅部低的趋势外,其他 8 种元素均呈不规则动荡变化(图 5).

姜月华等(2006)研究指出,城市环境剖面土壤磁化率与 Cu、Zn 有效量和全量含量之间呈现向下

递减的相同特点,认为土壤磁化率与 Cu、Zn 等有效量与全量含量之间在城市环境中受人工经济工程活动影响所致,同时指出土壤磁化率与重金属元素含量有效量及全量含量之间在不同环境条件下的相关性存在明显差异.结合本次白音诺尔矿区不同剖面的分析结果亦可以看出,即使在同一矿区,远离矿体和靠近矿体的土壤剖面中元素含量与土壤磁化率存在明显不同的分布规律,土壤剖面 6 中 9 种元素含量的“倒 C 型”分布明显、土壤磁化率值随深度降低显著,而远离矿体的土壤剖面 3 和 8 中土壤磁化率值和元素含量的分布关系不明显,这种分布模式形成的多重营力作用的大小及影响范围尚有待进一步分析.

#### 4 结论

本文尝试性地通过覆盖区土壤剖面中较小尺度的等间距取样与测试,以发掘土壤理化性质对指示深部矿化信息的思路和方法:

(1)土壤元素含量在矿体上方和远离矿体的土壤垂直剖面中的分布状况存在明显的差异,在研究区矿体上方剖面中,主要成矿元素及与成矿密切相

关的元素呈现明显的“顶底低中间高”的分布模式,即 Cu、Pb、Zn 等元素的高含量部分主要出现在残积层,而在剖面上部土壤层及半风化层中元素含量较低;而远离矿体的土壤剖面中元素含量的分布多显示不规则动荡状,部分元素显示随深度增加元素含量呈增加趋势。

(2)本次研究的 3 个土壤垂直剖面中,矿体上方剖面与距离矿体上方约 1.0 km 处的土壤剖面中磁化率的变化有类似的线性递减规律,这可能显示 2 个土壤剖面在理化性质上有一定的相似性,但其元素含量的变化规律却明显不同。

这些思路和方法可为覆盖区矿产综合预测提供借鉴,对于研究覆盖区地球化学调查的取样深度、异常形成机理及元素的迁移转化规律研究均具有借鉴意义。还有许多问题尚待深入分析:(1)元素在土壤中的纵向迁移模式尚不明确,土壤的理化性质及矿床类型可能是造成表观上各种次生晕特征明显差异的主要原因,而影响下部矿体元素在残积土中纵向迁移模式的因素有待深入分析;(2)本文主要是通过每隔 10 cm 采样、将样品粉碎至 200 目粒级进行总量分析的结果,具体可以在不同粒径及地球化学指标的不同赋存形式等方面作进一步探讨;(3)随着全国多目标地球化学调查与矿产资源潜力评价等项目的深入开展,越来越多的区域地球化学数据积累起来,在深穿透地球化学的研究中,奥林匹克坝等模拟实验的研究积累了较多微观尺度上的数据,如何通过横向、纵向等不同剖面上元素含量数据的计算模拟,探讨普适性的、有代表性的数学模型与关系式,给出元素动态迁移演化研究的动力学方程,进而探讨元素迁移转换的动力学机理及其与下伏矿体之间的关系,从而更好地为覆盖区地球化学找矿及矿区生态环境地球化学评价与预测服务,均具有重要的理论与实践指导意义。

## References

Akçay, M., Lermi, A., Van, A., 1998. Biogeochemical exploration for massive sulphide deposits in areas of dense vegetation: an orientation survey around the Kankoy deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, 63(3): 173—187. doi:10.1016/S0375-6742(98)0051-X

Anand, R. R., Cornelius, M., Phang, C., 2007. Use of vegetation and soil in mineral exploration in areas of transported overburden, Yilgarn Craton, western Australia: a contribution towards understanding metal transportation processes. *Geochemistry-Exploration, Environ-*

*ment, Analysis*, 7(3): 267—288. doi: 10.1144/1467-7873/07-142

- Cameron, E. M., Hamilton, S. M., Leybourne, M. I., et al., 2004. Finding deeply buried deposits using geochemistry. *Geochemistry Exploration Environment Analysis*, 4(1): 7—32. doi:10.1144/1467-7873/03-019
- Graham, J. W., 1954. Magnetic susceptibility anisotropy, an unexploited petrofabric element. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1954, 65: 1257—1258.
- Hale, M., 2000. Handbook of exploration geochemistry. *Geochemical Remote Sensing of the Sub-surface*, 7: 1—549.
- Hamilton, S. M., 2000. Spontaneous potential and electrochemical cells. In: Hale, M., Govett, G. J. S., eds., *Geochemical remote sensing of the sub-surface. Handbook of Exploration Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, 7: 81—119.
- Hao, L. B., Ma, L., Zhao, H. B., 2004. Elemental homogenization during weathering and pedogenesis of volcanic rocks from North Da Hinggan Ling. *Geochimica*, 33(2): 131—138(in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y. H., Wang, R. H., Kang, X. J., 2006. Study on distribution of soil magnetic susceptibility and Cu, Zn effective and total contents in Huzhou City, Changjiang River delta. *Resources Survey and Environment*, 27(3): 223—232(in Chinese with English abstract).
- Ke, W. S., Xi, H. A., Yang, Y., et al., 2001. Analysis on characteristics of phytogeochemistry of *Elsholtzia haichowensis* in Daye Tonglushan copper mine. *Acta Ecologica Sinica*, 21(6): 907—912(in Chinese with English abstract).
- Kristiansson, K., Malmqvist, L., 1982. Evidence for nondiffusive transport of  $^{222}\text{Rn}$  in the ground and a new physical model for the transport. *Geophysics*, 47(10): 1444—1452. doi:10.1190/1.1441293
- Shang, Y. J., Wu, H. W., Qu, Y. X., 2001. Comparison of chemical indices and micro-properties of weathering degrees of granitic rocks—a case study from Kowloon, Hong Kong. *Chinese Journal of Geology*, 36(3): 279—294(in Chinese with English abstract).
- Sun, C., Li, Y. F., Wang, D. Y., et al., 2011. Geochemical characteristics of rare-earth elements in the soils around iron mine regions of Anshan. *Journal of Jilin Agricultural University*, 33(3): 301—305 (in Chinese with English abstract).
- Sun, C. X., Wang, S. J., Ji, H. B., 2002. Formation mechanism of the superhigh concentration of REE and the strong negative Ce anomalies in the carbonate rock

- weathering profiles in Guizhou Province. *China. Geochimica*, 31(2): 119—128 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C. Y., 1987. The foundation of geochemical prospecting. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, L., Li, T. C., Yang, X. Y., 2012. Application of bore-hole core magnetic susceptibility and PXRF measurement to the Moon Mountain copper-iron mining area in Chile and prospecting prediction. *Geology and Prospecting*, 48(2): 396—405 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. Q., 1996. The current situation and future of geogas. *Foreign Geoprospection Technology*, (5): 12—18 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. Q., 2005. Conceptual model of deep-penetrating geochemical migration. *Geological Bulletin of China*, 24(10—11): 892—896 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. Q., Liu, Z. Y., Bai, J. F., et al., 2005. Deep-penetration geochemistry-comparison studies of two concealed deposits. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 27(3): 250—255 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. Q., Wen, X. Q., Rong, Y., et al., 2007. Vertical variations and dispersion of elements in arid desert regolith: a case study from the Jinwozi gold deposit, northwestern China. *Geochemistry-Exploration Environment Analysis*, 7(2): 163—171. doi:10.1144/1467-7873/07-131
- Wang, X. Q., Zhang, B. M., Chi, Q. H., 2009. Experimental evidence of deep-penetrating geochemical migration model. *Acta Mineralogica Sinica*, (S1): 485—486 (in Chinese with English abstract).
- Xie, X. J., Wang, X. Q., 2003. Recent developments on deep-penetrating geochemistry. *Earth Science Frontiers*, 10(1): 225—238 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, W. L., 1996. The basic types and prospects of weathered residual gold deposits in Jiangxi province. *Jiangxi Geology*, 23(1): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Yu, H. T., 2007. The research about Daxing'anling of a large quantity elements content and distribution in seasonal permafrost (Dissertation). Inner Mongolia Agricultural University, Inner Mongolia (in Chinese).
- Yu, C. T., Long, J. J., 2010. Mineralization geological conditions and gold geochemical research in Sanfang Yongfeng County. *Journal of East China Institute of Technology (Natural Science)*, 34(1): 67—74 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. H., Zhou, X. Q., 1999. A review of the applications of anisotropy of susceptibility to earth science. *Geological Review*, 45(6): 613—620 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B. M., 2011. Deep-penetrating geochemistry: mechanism and methods in Gobi areas (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing (in Chinese).
- Zhao, Z. Z., Bi, H., Yang, Y. G., et al., 2005. Spatial distribution pattern of trace elements contents of latosol in the west of Hainan island. *Earth and Environment*, 33(2): 69—73 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, G. H., Ma, S. M., Yu, J. S., et al., 2002. Vertical distribution of elements in soil profiles and their significance for geological and environmental. *Geology and Prospecting*, 38(06): 70—75 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 郝立波, 马力, 赵海滨, 2004. 岩石风化成土过程中元素均一化作用及机理: 以大兴安岭北部火山岩区为例. *地球化学*, 33(2): 131—138.
- 姜月华, 王润华, 康晓钧, 2006. 长三角湖州市土壤磁化率与铜、锌有效量和全量分布规律. *资源调查与环境*, 27(3): 223—232.
- 柯文山, 席红安, 杨毅, 等, 2001. 大冶铜绿山矿区海州香薷 (*Elsholtzia haichowensis*) 植物地球化学特征分析. *生态学报*, 21(6): 907—912.
- 尚彦军, 吴宏伟, 曲永新, 2001. 花岗岩风化程度的化学指标及微观特征对比——以香港九龙地区为例. *地质科学*, 36(3): 279—294.
- 孙超, 李月芬, 王冬艳, 等, 2011. 鞍山市铁矿区土壤稀土元素的地球化学特征. *吉林农业大学学报*, 33(3): 301—305.
- 孙承兴, 王世杰, 季宏兵, 2002. 碳酸盐岩风化成土过程中 REE 超常富集及 Ce 强烈亏损的地球化学机理. *地球化学*, 31(2): 119—128.
- 王崇云, 1987. *地球化学找矿基础*. 北京: 地质出版社.
- 王磊, 李天成, 杨新雨, 2012. 钻孔岩心磁化率及 PXRF 测量在智利月亮山铁铜矿区应用与找矿预测. *地质与勘探*, 48(2): 396—405.
- 王学求, 1996. 地气的研究现状与未来. *国外地质勘探技术*, (5): 12—18.
- 王学求, 2005. 深穿透地球化学迁移模型. *地质通报*, 24(10—11): 892—896.
- 王学求, 张必敏, 迟清华, 2009. 穿透性地球化学迁移模型的实验证据. *矿物学报*, (S1): 485—486.
- 王学求, 刘占元, 白金峰, 等, 2005. 深穿透地球化学对比研究



两例.物探化探计算技术,27(3):250—255.

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

熊文亮,1996.江西省风化残积型金矿基本类型及找矿前景分析.江西地质科技,23(1):1—6.

于成涛,龙军军,2010.永丰县三坊地区成矿地质条件及金地球化学研究.东华理工大学学报(自然科学版),34(1):67—74.

于海涛,2007.大兴安岭林区季节性冻土中大量元素含量及分布特征的研究(硕士学位论文).内蒙古:内蒙古农业

大学.

张必敏,2011.戈壁覆盖区深穿透地球化学异常形成机理与找矿方法(博士学位论文).北京:中国地质科学院.

张拴宏,周显强,1999.磁化率各向异性地质应用综述,地质论评,45(6):613—620.

赵志忠,毕华,杨元根,等,2005.海南岛西部地区砖红壤中微量元素含量及其分布特征.地球与环境,33(2):69—73.

周国华,马生明,喻劲松,等,2002.土壤剖面元素分布及其地质、环境意义.地质与勘探,38(6):70—75.

\*\*\*\*\*

### 《地球科学——中国地质大学学报》参考文献著录格式

本刊参考文献采用著者一出版年制,即按作者姓氏的首字母顺序排列.中文参考文献必须有对应的英文翻译,文内引用文献必须与文后的参考文献对应.在一条参考文献中若有 3 个以上作者,在文内仅列出一个作者,后面加“et al.”(英文文献)或“等”(中文文献),若有两个作者,在文内必须全部列出,并用“and”(英文文献)或“和”(中文文献)连接;文内同一位置引用多条文献时,按出版年从老到新顺序排列.英文文献中期刊名用斜体表示,姓用全称,名用缩写;如果期刊文献有 doi 号,请放在每条英文文献的最后.从 2013 年起,所有英文文献的文章题目中实词首字母全用大写,虚词首字母全用小写(句首除外).示例如下:

#### (1) 期刊

(文内)……经过几代人几十年对生物地层的潜心研究,建立了该剖面各门类生物组合,如牙形石在界线层和早三叠世自下而上划分了 5 个带(张克信等,1995;Mei *et al.*, 1998;Tong and Yang, 1998),菊石建立了 3 个带,…….对应的文献:

Mei, S. L., Zhang, K. X., Wardlaw, B. R., 1998. A Refined Succession of Changhsingian and Griesbachian Neogondolellid Conodonts from the Meishan Section, Candidate of the Global Stratotype Section and Point of the Permian Triassic Boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 143: 213—226.

Tong, J. N., Yang, Y., 1998. Advance in Study of the Lower Triassic Conodonts at Meishan Section, Zhejiang Province. *Chinese Science Bulletin*, 43 (16): 1350—1353.

张克信,赖旭龙,丁梅华,等,1995.浙江长兴煤山二叠—三叠系界线层牙形石序列及其全球对比.地球科学——中国地质大学学报,20(6): 669—676.

Zhang, K. X., Lai, X. L., Ding, M. H., et al., 1995. Conodont Sequence and Its Global Correlation of Permian-Triassic Boundary in Meishan Section, Changxing, Zhejiang Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 20 (6): 669—676 (in Chinese with English abstract).

(文内)……Mo-W 成矿作用主要出现在石英脉和石英细脉中,也出现在岩钟顶部和石英脉周围的云英岩中(Burmistrov *et al.*, 1990),…….对应的文献:

Burmistrov, A. A., Ivanov, V. N., Frolov, A. A., 1990. Structural and Mineralogical Types of Molybdenum-Tungsten Deposits of Central Kazakhstan. *International Geology Review*, 32(1): 92—99. doi: 10.1080/00206819009465758

#### (2) 专著、译著

(文内)……王尚彦和殷鸿福(2001)对贵州省威宁县哲觉剖面早三叠世卡以头组 57 层至 61 层孢粉进行了研究,从剖面上所获得的孢粉数量较少,…….对应的文献:

王尚彦,殷鸿福,2001.滇东黔西陆相二叠纪—三叠纪界线地层研究.武汉:中国地质大学出版社,88.

Wang, S. Y., Yin, H. F., 2001. Study on Terrestrial Permian-Triassic Boundary in Eastern Yunnan and Western Guizhou. China University of Geosciences Press, Wuhan, 88 (in Chinese).

#### (3) 论文集析出文献

(文内)……图 2 为南迦帕尔巴特西南的巴基斯坦喜马拉雅和南迦帕尔巴特地区的反映变质作用和深熔作用的温度—时间图(Searle, 1996),…….对应的文献:

Searle, M. P., 1996. Cooling History, Erosion, Exhumation, and Kinematics of the Himalaya Karakoram Tibet Orogenic Belt. In: Yin, A., Harrison, T. M., eds., *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge Univ. Press, New York, 37—110.