

文章编号: 1000-4734(2020)04-0510-08

# 深穿透地球化学在黔西北隐伏铅锌矿找矿中的应用

郑明泓<sup>1</sup>, 金中国<sup>1</sup>, 刘玲<sup>1\*</sup>, 唐永永<sup>2</sup>, 衮民汕<sup>3</sup>, 曾道国<sup>3</sup>

(1. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局, 贵州 贵阳 550005; 2. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 3. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院, 贵州 贵阳 550005)

**摘要:** 黔西北是川、滇、黔铅锌多金属成矿区的重要组成部分, 区内矿床沿区域性断裂呈带状分布, 矿体主要受断裂构造和岩性的双重控制, 且多为高品位的隐伏矿。由于常规化探方法在寻找深部隐伏矿方面存在短板, 本文在黔西北杉树林、洗线沟和青山铅锌矿床开展了深穿透地球化学勘查法(土壤吸附烃和地电提取法)的探索并取得了良好的找矿效果。研究发现, 有机烃(甲烷、乙烷、丙烷、乙烯等)异常和地电提取离子(Pb、Zn、As、Sb和Hg)异常与深部隐伏铅锌矿体具有明显的对应关系, 在青山矿床外围利用地电提取法成矿预测了深部隐伏矿体, 有机烃异常也为杉树林矿床下一步找矿指明了方向。

**关键词:** 地球化学找矿; 深穿透地球化学勘查法; 矿床地质; 铅锌成矿区; 黔西北

**中图分类号:** P618.4; P631 **文献标识码:** A **doi:** 10.16461/j.cnki.1000-4734.2020.40.012

**第一作者:** 郑明泓, 男, 1985年生, 博士, 高级工程师, 主要从事矿床学方面研究. E-mail: 115969534@qq.com

## An application of the deep penetration geochemistry for prospecting concealed lead-zinc orebodies in the northwestern Guizhou Province, China

ZHENG Ming-hong<sup>1</sup>, JIN Zhong-guo<sup>1</sup>, LIU Ling<sup>1\*</sup>, TANG Yong-yong<sup>2</sup>, GUN Ming-shan<sup>3</sup>, ZENG Dao-guo<sup>3</sup>

(1. *Guizhou Nonferrous Metal and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang 550005, China;* 2. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy Sciences, Guiyang 550081, China;* 3. *Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, China*)

**Abstract:** The northwestern Guizhou is an important part of the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn polymetallic ore concentration area. The Pb-Zn deposits in this area zonally occur along regional faults with orebodies controlled by faults and lithologies. Most of orebodies are of hidden high-grade ores with considerable economic values. Due to the shortcoming of the conventional geochemical survey for prospecting concealed mineral resources, the deep penetration geochemical prospecting methods (soil adsorption hydrocarbon and geoelectric extraction prospecting) have been applied for prospecting Pb-Zn resources in the deep parts of the Shanshuling, Xixiangou, and Qingshan Pb-Zn deposits in the area and good ore-prospecting results have been obtained in this paper. The results show that obvious anomalies of organic hydrocarbons (methane, ethane, propane, ethylene, etc.) and geoelectric extraction ions (Pb, Zn, AS, Sb, Hg) are significantly correlated with the concealed lead-zinc ore bodies. The geoelectric ion extraction has been successfully applied for prospecting concealed Pb-Zn orebodies in the periphery of the Qingshan Pb-Zn deposit. The anomalies of organic hydrocarbons have also been used to indicate the further direction of ore-prospecting in the deep part of the Shanshuling Pb-Zn deposit.

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: U1812402)

\* 通讯作者, E-mail: 71313369@qq.com

**Keywords:** Geochemical ore-prospecting; the deep penetration geochemical prospecting methods; deposit geology; the Pb-Zn metallogenic area; northwestern Guizhou

人类通过上千年的肉眼找矿和超过半个世纪的系统地质勘查, 地表或浅表产出的矿床几乎发现殆尽, 寻找大型或巨型矿床的最大机遇在深部<sup>[1]</sup>。传统的化学勘查方法在地(浅)表找矿发挥重要作用, 但对于深部隐伏矿床, 特别是覆盖区找矿, 已无法完全适应。随着成矿理论和分析技术的发展, 新兴地球化学勘查方法在隐伏矿床的勘查中发挥着越来越重要的作用, 尤其令人瞩目的是以土壤吸附烃法、地气法、金属活动法、地电地球化学法、活动金属离子法等一系列提取技术为代表的深穿透地球化学方法<sup>[2]</sup>。我国深穿透地球化学近年来发展迅速, 在很多方面已赶超国外<sup>[3]</sup>。地电化学提取法是一种介于地球物理和地球化学两者间新的找矿方法, 可以直接探测到矿床产生的金属离子, 进入化探“盲区”, 对于隐伏铜、金、铅、锌的“攻深找盲”具有良好的效果<sup>[4-9]</sup>。土壤吸附烃找矿法在 90 年代以后得到较好的发展, 研究中发现矿床有机烃与矿体浓度(品位值)呈正相关关系, 有机烃的浓度中心对应矿床的矿化富集中心, 这一特点在隐伏矿床找矿预测中发挥重要作用<sup>[10-12]</sup>。

黔西北铅锌成矿区位于扬子地台西南缘, 小江、师宗—盘县和垭都—紫云等 3 条深大断裂所围限区域的东侧, 是川滇黔铅锌多金属矿集区的重要组成部分, 区内构造活动频繁、峨眉山玄武岩浆喷溢强烈, 物化探异常沿构造成群成带展布, 铅锌矿化普遍, 矿床(点)分布密集, 具备形成中、大型矿床的地质地球化学背景和条件。前人对矿田典型矿床的成矿条件、矿床地球化学特征、成矿作用以及成矿预测等进行了相关研究<sup>[13-32]</sup>。鉴于岩石地球化学测量成本高, 在黔西北地区寻找隐伏脉状产出的铅锌矿针对性不强, 土壤地球化学测量因铅锌矿开发、冶炼历史长, 存在污染影响等因素已经不适合在本区开展。笔者开展国家自然科学基金项目子课题“地球化学测量及低弱矿化异常提取”的研究, 结合前人研究成果, 探讨深穿透地球化学找矿方法(土壤吸附烃及地电提取法找矿)在本区攻深找盲的应用, 以期扩大区域找矿成果提供新的思路。

土壤吸附烃找矿主要通过检测土壤中的烃类化学组分, 寻找地下油气及金属矿的一种手段。地电提取法找矿是通过分析覆盖层或深部地质体在人工和自然地电化学反应过程中被电流分解的岩(矿)石组份, 获得元素含量与位置的相关曲线用以推断矿体的位置、埋深和品位。本文利用上述 2 种方法在黔西北杉树林、青山和洗线沟铅锌矿床中开展研究, 有机烃异常和地点提取离子异常与隐伏铅锌矿体在空间上能够很好的吻合, 表明上述方法对黔西北铅锌矿勘查具有适用性。

## 1 区域成矿地质背景

黔西北铅锌成矿区位于扬子准地台西南缘, 是川、滇、黔铅锌多金属矿集区的重要组成部分。区内地层出露有震旦系至侏罗系(其中奥陶系、中上志留系和下泥盆统、白垩系缺失), 其中石炭系至三叠系地层出露全、分布广和沉积厚度大。区内基底地层未见出露, 沉积盖层以碳酸盐岩为主, 页岩、砂岩次之, 其中碳酸盐岩是本区铅锌矿的主要赋矿围岩。区内构造极为发育, 以 NW 和 NE 向构造(断裂和褶皱)为主, SN 和 EW 向构造次之, 其中 NW 和 NE 向断裂构造控制着区内铅锌矿床(点)的展布。中二叠统峨眉山玄武岩遍及全区, 并与铅锌矿床(点)的分布具有密切的空间关系。区内代表性矿床有银厂坡、天桥、箐箕湾、猪拱塘、青山、杉树林和洗线沟等(图 1)。

## 2 典型矿床特征

依据野外对水城杉树林、钟山青山、赫章洗线沟等典型矿床调查, 结合前人工作成果, 总结本区矿床地质特征(图 2、表 1)及控矿因素, 本区构造是最主要的控矿因素, NW 向褶皱带, NW 向逆冲断层与 NE 向横断层交汇部位, 层间破碎带、层间滑动面、牵引虚脱地段分别控制铅锌矿带展布、矿床产出及矿体空间就位。赋矿地层为石炭统一二叠统, 容矿岩性主要为碳酸盐岩。

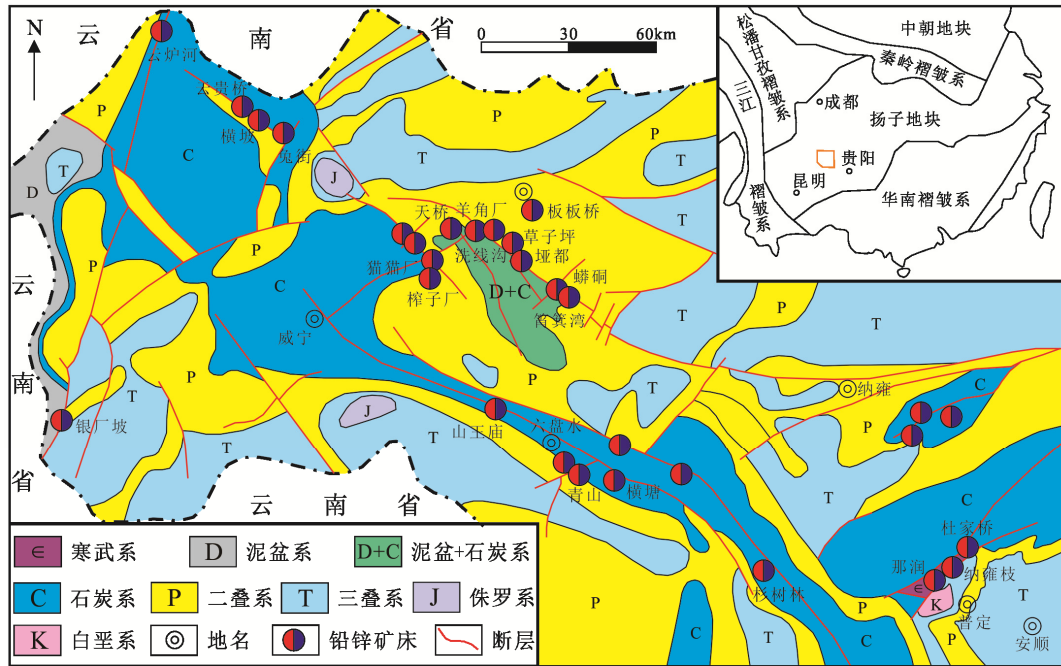


图1 黔西北地质略图 (据曾道国等<sup>[31]</sup>修改)

Fig. 1. Geological sketch map for the northwestern Guizhou (modified after Zeng et al., 2018).

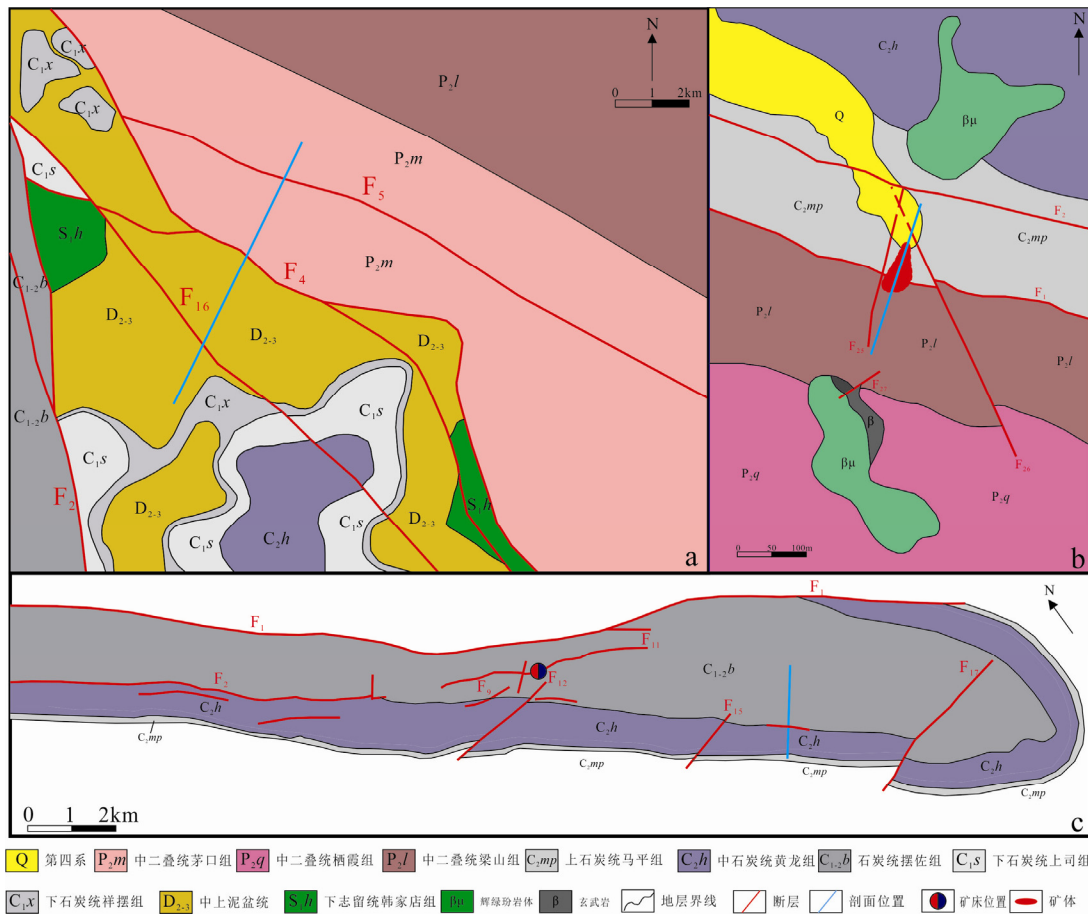


图2 黔西北典型矿床地质简图 (a. 洗线沟; b. 青山; c. 杉树林)

Fig. 2. Simplified geological maps for typical Pb-Zn deposits in the northwestern Guizhou (a-Xixiangou; b-Shanshulin; c-Qingshan).

表1 洗线沟、杉树林、青山铅锌矿床特征对比表

Table 1. Comparison of geological characteristics of the Xixiangou, Shanshulin, and Qingshan lead-zinc deposits

矿床主要特征	洗线沟铅锌矿	杉树林铅锌矿	青山铅锌矿床
赋矿地层、岩性	碳酸盐岩(二叠系茅口组灰岩, 泥盆系独山组、望城坡组、尧梭组及石炭系的摆佐组、黄龙组的灰岩、白云岩)	主要赋矿层位为上石炭统黄龙组(C <sub>2h</sub> ), 岩性为白云岩化泥晶灰岩、角砾状灰岩	铅锌矿体主要产于上石炭统马平组灰岩(C <sub>2mp</sub> )与下二叠统梁山组(P <sub>2l</sub> )炭质页岩和泥灰岩的接触部位
构造特征	矿区地处岷都-麟洞主构造带上, 洗线沟地段地表构造形式主要表现为北西向张性主断裂(F <sub>4</sub> )及近南北向派生张性分支断裂(编号F <sub>1</sub> 、F <sub>2</sub> )构成的断夹块组合	矿区构造发育, 主要有3个主断层和观音山背斜及向斜构造等。其中NW向威宁—水城构造带(F <sub>1</sub> )由多个高角度逆冲断层组成, 为主控断裂	矿区走向断裂构造发育, 以F <sub>1</sub> , F <sub>1-1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>32</sub> , F <sub>35</sub> 为主, 这些断层规模大, 控制矿区矿体展布。
矿体规模、产状及分布	矿体主要呈似层状以及陡倾斜脉状分布于断层破碎带及其影响带中, 主矿体北西向长约800 m, 宽30~126 m, 铅平均厚度4.66 m, 矿石Pb平均品位4.59%, Zn平均品位15.16%	矿体呈右行雁列排列, 赋存于F <sub>11</sub> 、F <sub>30</sub> 断层之间的断裂带中, 单个矿体主要呈脉状和透镜状, 与断层产状一致。主矿体长460 m, 延伸最大145 m, 均厚平4.17 m, 平均品位Pb 3.64%, Zn 14.98%, 矿石中伴生有Cd、Ge、Ga、In等稀散元素	矿体呈陡倾斜柱状、囊状产于F <sub>1</sub> 、F <sub>2</sub> 夹持的碳酸盐岩块体中, 主矿体走向20~70 m, 倾向延深145 m, 均厚32.10 m, 平均品位Pb 9.92%, Zn 37.58%
矿石矿物成分	矿石矿物以闪锌矿为主, 含少量方铅矿, 脉石矿物主要为白云石、方解石等	主要由闪锌矿和方铅矿组成, 黄铁矿次之, 含少量的白铁矿。脉石矿物有方解石、石英、白云石及少量重晶石	主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铅矿及少量黄铜矿、赤铁矿、褐铁矿;脉石矿物有白云石、方解石、重晶石、萤石、石英等
矿石结构、构造	结构: 自形、半自形、它形结构; 构造: 致密块状、脉状、浸染状构造	结构: 自形-半自形、它形粒状, 交代、充填、压碎、草莓状结构; 构造: 以块状构造为主, 其次为浸染状、细脉状、条带状和层纹状构造	结构: 自形、半自形、它形、充填结构; 构造: 块状构造、脉状、角砾状、网脉状、草毒状构造
蚀变特征	硅化、黄铁矿化、方解石化、重晶石化等	黄铁矿化、褐铁矿化、铁锰碳酸盐化、重晶石化、硅化	黄铁矿化、方解石化、褐铁矿化、重晶石化、硅化

### 3 采样和测试方法

以洗线沟、青山和杉树林铅锌矿床为研究对象, 采用剖面测量法, 在洗线沟和青山铅锌矿床的已知矿体上部分别布设土壤吸附烃及地电提取实验剖面, 然后在杉树林和青山矿区外围分别布设了土壤吸附烃和地电提取预测剖面。

土壤吸附烃剖面: 点距20~50 m, 样品均来自稳定土壤层中组合样(在1 m范围内多点组合采样), 在裂隙周围加密(20 m)。样品加工至160目, 应用酸解烃法测试, 测试在中国有色桂林矿产地质研究院有限公司进行, 仪器选用安捷伦6820气相色谱, 采用DB-1(长15 m, 内径0.53 mm)色谱柱, FID检测器, 使用氮气作为辅助气, 氢气为燃气, 空气为助燃气。测试方法包括脱气与测定2部分。具体方法参考《GB/T29173-2012 油气地球化学勘探试样测定方法》。

地电提取剖面: 在剖面上等距(20 m)布设提取点, 挖坑埋入离子接收器, 并浇灌适量提取液, 采取90 V干电池48 h供电后, 取下吸附材料, 采用桂林理工大学开发的低电压、小电流偶极提取装置提取分析了Pb, Zn, AS, Sb, Hg等5个元素, 根据实验结果绘制地质综合剖面。

## 4 实验结果

### 4.1 土壤吸附烃

洗线沟铅锌矿床土壤吸附烃试验剖面特征: 从表2及图3a可以看出剖面上有很明显的甲烷、乙烷、丙烷、乙烯等同步共振异常峰, 在断层地表出露位置附近, 甲烷、乙烷、丙烷、乙烯等均表现为单峰异常, 在矿体深部对应的H5、H6、H7位置出现了明显的高异常。

杉树林铅锌矿床土壤吸附烃实验剖面特征：从表 3 及图 4a 可以看出在白云石化蚀变带中，乙烷、丙烷和正丁烷相对富集，同时在 H9 和 H11 等 2 处出现了低弱正异常，与地下深部的矿体具有较好的吻合性，在 H2 处乙烷、丙烷和正丁烷表现为单峰异常。

表 2 洗线沟铅锌矿床土壤吸附烃测试结果 ( $w_B/10^{-6}$ )

Table 2. The analytical results of soil adsorption hydrocarbons from the Xixiangou lead-zinc deposit

样品编号	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	乙烯
H1	1.44	0.119	0.077	0.023	0.032	0.553
H2	2.23	0.114	0.067	0.036	0.037	0.895
H3	1.52	0.090	0.070	0.025	0.056	2.49
H4	1.63	0.063	0.039	0.015	0.024	0.490
H5	1.30	0.059	0.049	0.019	0.023	0.469
H6	4.65	0.400	1.10	0.196	0.737	31.6
H7	2.11	0.195	0.138	0.023	0.075	3.35
H8	1.25	0.047	0.044	0.027	0.036	2.19
H9	1.36	0.068	0.040	0.019	0.018	0.737
H10	1.59	0.089	0.141	0.015	0.037	1.13
H11	3.28	0.123	0.105	0.020	0.060	1.85
H12	1.54	0.093	0.048	0.011	0.020	0.492
H13	1.21	0.082	0.066	0.015	0.032	1.44
H14	17.2	3.84	2.79	0.218	1.03	5.54
H15	2.55	0.149	0.147	0.025	0.098	2.68

表 3 杉树林铅锌矿床土壤吸附烃测试结果 ( $w_B/10^{-6}$ )

Table 3. The analytical results of soil adsorption hydrocarbons from the Shanshulin lead-zinc deposit

样品编号	H1	H2	H3	H4	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14
乙烷	0.511	0.676	0.909	0.400	0.313	0.293	0.141	0.347	0.208	0.239	0.093	0.148	0.103
丙烷	0.348	0.473	0.504	0.311	0.126	0.150	0.084	0.224	0.133	0.209	0.054	0.130	0.122
正丁烷	0.186	0.217	0.143	0.116	0.052	0.084	0.086	0.057	0.082	0.091	0.027	0.062	0.053

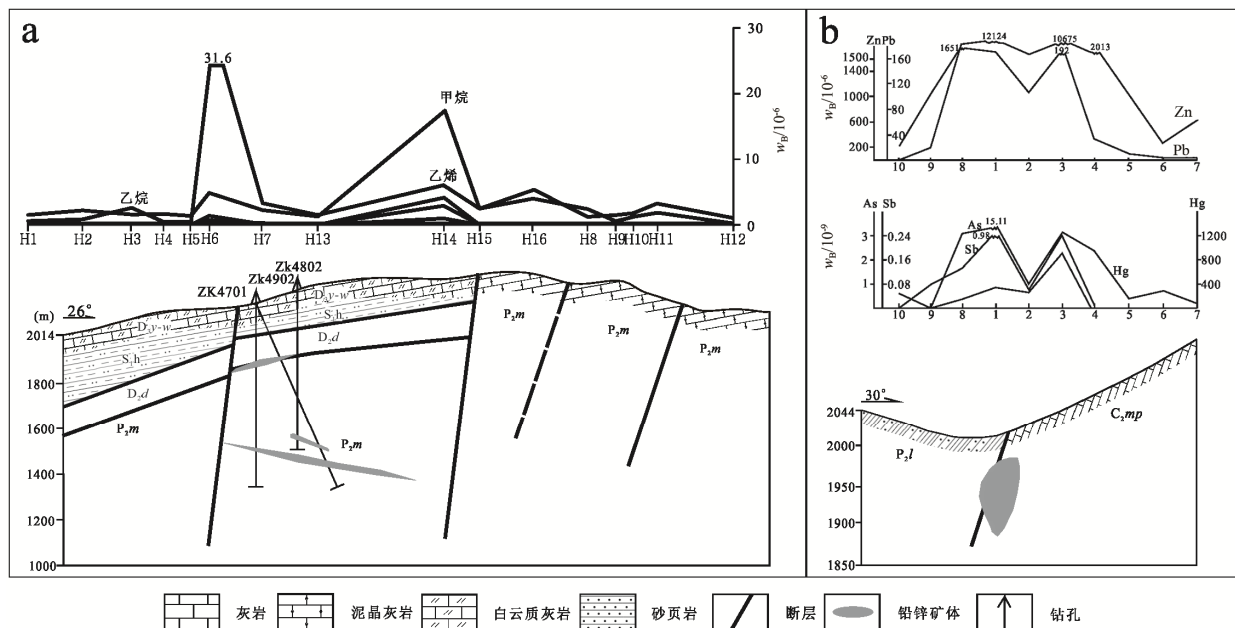


图 3 深穿透地球化学综合剖面 (a-洗线沟铅锌矿床; b-青山铅锌矿床, 青山地电提取数据来源于文献[33])  
Fig. 3. Composite profiles of deep penetration geochemical anomalies in the Xixiangou (a) and Qingshan (b) lead-zinc deposits.

### 4.2 地电提取法

#### 1) 青山铅锌矿床地电提取法实验剖面特征 (图 3b)

**Pb 异常特征:** 在剖面 9-5 点之间测出宽度 100 m, 强度为  $108 \times 10^{-6} \sim 192 \times 10^{-6}$  的 Pb 离子双峰式异常, 异常高出背景 ( $20 \times 10^{-6}$ ) 5~10 倍; **Zn 异常特征:** 在剖面 9-5 点之间测出宽度 100 m, 强度为  $108 \times 10^{-6} \sim 10675 \times 10^{-6}$  的 Zn 离子双峰式异常, 异常高出背景值 ( $20 \times 10^{-6}$ ) 5~50 倍; **As 异常特征:** 在剖面 9-4 点之间测出宽度 80 m, 强度为  $0.883 \times 10^{-6} \sim 15.118 \times 10^{-6}$  的离子异常, 异常呈双峰形态产出; **Sb 异常特征:** 在剖面 9-4 点之间测出宽度 80 m, 强度为  $0.14 \times 10^{-9} \sim 0.6 \times 10^{-9}$  的离子异常, 异常高出背景值 ( $0.02 \times 10^{-9}$ ) 7~30 倍, 异常呈双峰形态产出; **Hg 异常特征:** 在剖面 2-5 点之间测出宽度 60 m, 强度为  $675 \times 10^{-9} \sim 1261 \times 10^{-9}$  的离子异常, 异常高出背景 ( $20 \times 10^{-9}$ ) 5~80 倍, 异常向剖面的 NE 端位移, 离隐伏矿体赋存部位约 20 m, 而隐伏矿体正上方仅测出  $91 \times 10^{-9} \sim 227 \times 10^{-9}$  的弱异常。

#### 2) 青山铅锌矿床外围地电提取法实验剖面特征 (图 4b)

**Zn 异常特征:** 在剖面 8-4 点之间测出宽度 80 m, 强度为  $1506 \times 10^{-6} \sim 10926 \times 10^{-6}$  的 Zn 离子双峰式异常, 异常高出背景 ( $200 \times 10^{-6}$ ) 7~80 倍; **As 异常特征:** 在剖面 8-4 点之间测出宽度 80 m, 强度为  $100 \times 10^{-9} \sim 700 \times 10^{-9}$  的 Zn 离子双峰式异常; **Hg 异常特征:** 在剖面 8-4 点之间测出宽度 80 m, 强度为  $100 \times 10^{-9} \sim 700 \times 10^{-9}$  的 Zn 离子双峰式异常。

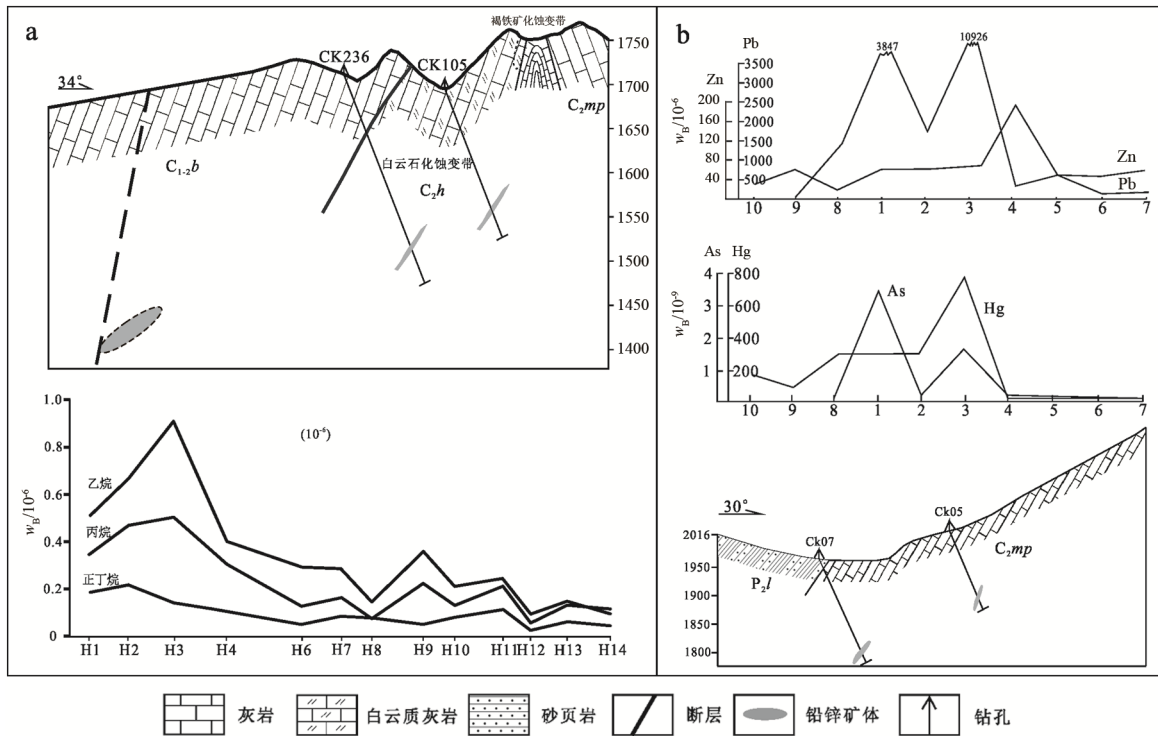


图 4 深穿透地球化学综合剖面 (a-杉树林铅锌矿床; b-青山铅锌矿床, 青山地电提取数据来源于文献[33])  
 Fig. 4. Composite profiles of deep penetration geochemical anomalies in the Shanshulin (a) and Qingshan (b) lead-zinc deposits.

## 5 讨论

有机物不同程度地参与了许多金属矿床的成矿过程, 它对金属元素的活化、迁移和富集均有重要的作用<sup>[34]</sup>。烃类气体是有机物参与成矿过程的重要伴生组分, 在中低温热液矿床中表现尤为明显, 同时, 烃类组分具有挥发性强、垂向迁移距离远、继承性好、易被土壤吸附或次生包裹的特征, 从而在地表形成反映深部矿体空间展布特征的次生晕烃气异常<sup>[35]</sup>, 吸附烃浓集中心也指示了含矿断裂构造位置, 轻烃的晕中心所指示的烃源可当作矿床富集的靶区。本次研究中从洗线沟土壤吸附烃剖面中可以

看出甲烷、乙烷、乙烯等单峰异常与本区深部的断裂及矿体具有良好的对应性, 因此我们认为有机烃的单峰异常, 能够有效的示踪构造位置, 同时对深部盲矿具有重要预测作用。

矿体上有不同厚度的覆盖物, 矿体的成矿元素、伴生元素经溶解为离子, 在矿体内部形成微电池, 在扩散作用、地下水等共同作用下向上运移, 在矿体围岩及地表覆盖物中形成相应的离子晕。青山铅锌矿矿床已知矿体上面地电提取剖面特征显示 Pb, Zn, AS, Sb, Hg 等离子异常分布范围均达 80 m 以上, 异常强度均高出背景值几到几十倍, 特别是锌离子异常尤为明显, 其最高异常值达  $10675 \times 10^{-6}$ 。Pb, Zn, AS, Sb, Hg 等离子异常多呈双峰形态产出, 异常形态较规整清晰, 所有的极值异常都集中在特定地段(已知矿体的所在部位), 为矿致异常, 显示了异常与隐伏矿体对应关系, 推断其在本区寻找隐伏矿体是可行的。

前人在大厂锡多金属矿田、凡口铅锌矿床、虎头崖多金属矿区等多处矿田(区)开展土壤吸附烃找矿及地电提取法找矿研究, 均取得了较好的成效<sup>[36-40]</sup>。本次试验认为, 土壤吸附烃的单峰异常多分布在断裂构造周边, 能够有效的示踪断裂或隐伏断层的位置, 这些断裂往往是重要的导矿和容矿构造, 因而与深部盲矿体的在空间上具有很好的对应性。地电提取法的离子异常在隐伏铅锌矿体上方出现了清晰的显示, 二者具有很好的空间对应性, 表明深部隐伏矿是形成地表或浅表离子异常的原因。因而, 土壤吸附烃以及地电提取法对该区隐伏铅锌矿体具有较好的指示作用, 这可能为本区深部找矿提供重要的启示: (1) 杉树林铅锌矿床土壤吸附烃实验剖面中(图 4a), 在 H9 和 H11 两处出现了低弱正异常, 与地下深部的矿体具有较好的吻合性; 在 H3 处乙烷、丙烷和正丁烷表现为正的高单峰异常, 根据有机烃异常与断层、矿化的关系, 推测 H3 位置的深部存在隐伏断层及铅锌矿体, 且规模较大, 同时结合根据井下及钻孔资料, 我们认为在已发现的矿体延伸较大, 且其深部为本区的一个重要找矿方向。

(2) 青山铅锌矿矿床外围地电提取法实验剖面中(图 4b), Zn, As, Hg 等离子异常分布范围均达 80 m 以上双峰形态异常, 异常形态较规整清晰, 异常强度均高出背景值几到几十倍, 特别是锌离子异常尤为明显, 其最高异常值达  $10926 \times 10^{-6}$ , 显示该地段深部可能赋存隐伏铅锌矿体, 依据这一成果, 结合地质情况综合考虑, 布设 CK05、CK06 等 2 个钻孔(图 4b), 在 CK05 的 130.6 m 处以及 CK06 的 166.7 m 见到陡倾斜状铅锌矿体, 厚度 1 m 左右, 反应了地电提取法在寻找隐伏矿体的有效性。

## 6 结 论

土壤吸附烃的单峰异常与深部隐伏断裂或盲矿在空间上能够很好的对应, 同时, 也给杉树林铅锌矿床下步找矿指明了方向。地电提取法的离子异常在隐伏铅锌矿体上方出现了清晰的显示, 利用该法成功预测了青山矿区外围的隐伏矿体。上述研究表明, 深穿透地球化学找矿(土壤吸附烃和地电提取法)在黔西北地区预测深部隐伏铅锌矿体方面是可行的。

## 参 考 文 献:

- [1] 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.
- [2] 孙剑, 陈岳龙, 李大鹏. 隐伏矿床勘查地球化学新进展[J]. 地球科学进展, 2011, 26(8): 822-836.
- [3] 赵景, 邱炜, 罗先熔. 两种深穿透地球化学勘查方法的研究现状及存在的主要问题[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2012, 30(1): 49-53.
- [4] 罗先熔. 地球电化学勘查及深部找矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- [5] 罗先熔, 康明, 欧阳菲, 等. 地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [6] 黄薰德, 吴郁彦. 地球化学找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [7] 罗先熔, 王葆华, 文美兰, 等. 地电化学集成技术寻找隐伏金矿的研究及找矿预测[M]. 北京: 金工业出版社, 2010.
- [8] 李兆谊, 罗先熔, 候冬梅, 等. 地电化学集成技术在黑龙江金厂金矿的应用研究及找矿预测[J]. 黄金科学技术, 2010, 18(5): 117-122.
- [9] 王佳音, 祁昌炜, 刘磊. 地电化学提取法在碳酸盐岩地区隐伏铅锌矿寻找中的应用[J]. 现代矿业, 2016, 32(10): 96-99.
- [10] 张清, 邓金灿, 陈远荣, 等. 广西大厂锡矿烃气测量试验研究[J]. 矿产与地质, 2002(4): 248-251.
- [11] 吴烈善, 彭省临. 岩石有机烃新方法在八卦庙金矿床快速勘查评价中的应用[C]//中国地质学会. 第三届全国矿田构造与地质找矿理论方法研讨会论文集, 2010: 57-59.
- [12] 吴烈善, 韦龙明. 有机烃新方法在微细浸染型金矿床勘查评价中的应用——以陕西八卦庙特大型金矿床为例[J]. 地质与资源, 2001(2): 111-115.
- [13] 王华云. 贵州铅锌矿的地球化学特征[J]. 贵州地质, 1993(4): 272-290.
- [14] 郑传仑. 黔西北铅锌矿区的控矿构造研究[J]. 矿产与地质, 1992(3): 193-200.
- [15] 董家龙. 黔西北地区铅锌矿基本地质特征及找矿思路[J]. 岩土工程界, 1999(6): 657-679.
- [16] 钱建平. 黔西北威宁—水城铅锌矿带动力成矿作用研究[J]. 地球与环境, 2001(3): 134-140.
- [17] 刘幼平, 杭家华, 张伦尉, 曾道国. 黔西北铅锌矿集区成矿条件及找矿潜力探讨[J]. 矿产与地质, 2004(6): 545-549.
- [18] 金中国, 戴塔根. 矿床地球化学与矿床地质——黔西北铅锌成矿区地球化学特征[J]. 云南地质, 2006(4): 410-411.
- [19] 金中国, 黄智龙. 黔西北铅锌矿床控矿因素及找矿模式[J]. 矿物学报, 2008, 28(4): 467-472.
- [20] 张应文, 金中国. 基于 MAPGIS 的黔西北娅都-蟒洞铅锌成矿带找矿预测[J]. 桂林工学院学报, 2008, 28(4): 468-472.
- [21] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北赫章天桥铅锌矿床成矿物质来源: S、Pb 同位素和 REE 制约[J]. 地质论评, 2010, 56(4): 513-524.
- [22] 张准, 黄智龙, 周家喜, 等. 黔西北筲箕湾铅锌矿床硫同位素地球化学研究[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 496-501.
- [23] 胡晓燕, 蔡国盛, 苏文超, 等. 黔西北筲箕湾铅锌矿床闪锌矿中的成矿流体特征[J]. 矿物学报, 2013, 33(3): 302-307.
- [24] 熊伟, 程鹏林, 周高, 等. 黔西北铅锌成矿区成矿金属来源的铅同位素示踪[J]. 矿物学报, 2015, 35(4): 425-429.
- [25] 闫维华, 刘永锋, 游连强. 综合物探方法在黔西北某铅锌矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2016, 第40卷(4): 688-694.
- [26] 夏高鹏. 黔西北地区铅锌成矿规律及找矿前景探究[J]. 资源信息与工程, 2016, 31(5): 29-30.
- [27] 金中国, 周家喜, 黄智龙, 等. 贵州普定纳雍枝铅锌矿床成因: S 和原位 Pb 同位素证据[J]. 岩石学报, 2016, 第32卷(11): 3441-3455.
- [28] 朱路艳, 苏文超, 沈能平, 等. 黔西北地区铅锌矿床流体包裹体与硫同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2016, 第32卷(11): 3431-3440.
- [29] 宋振涛, 管少斌, 牛禹, 等. 黔西北铅锌成矿带成矿地质条件与找矿标志[J]. 矿产与地质, 2017, 第31卷(3): 460-471.
- [30] 金中国, 周家喜, 郑明泓, 等. 贵州普定五指山地区铅锌矿床成矿模式[J]. 矿床地质, 2017, 第36卷(5): 1169-1184.
- [31] 曾道国, 金中国, 罗洪远, 等. 隐伏铅锌矿的找矿预测技术方法探讨——以黔西北丫都铅锌矿床为例[J]. 矿产勘查, 2018, 第9卷(6): 1197-1204.
- [32] 韩润生, 王明志, 金中国, 等. 黔西北铅锌多金属矿集区成矿构造体系及其控矿机制[J]. 地质学报, 2020, 94(3): 850-868.
- [33] 桂林工学院黔西北科研组. 贵州水城中部铅锌矿万分之一成矿预测[R].
- [34] 陈远荣, 贾国相, 戴塔根. 论有机质与金属成矿和勘查[J]. 中国地质, 2002, 29(3): 257-262.
- [35] 陈远荣, 戴塔根, 贾国相, 等. 金属矿床有机烃气常见异常模式和成因机理研究[J]. 中国地质, 2001, 28(4): 32-37.
- [36] 李晓勇. 地电提取测量法寻找隐伏矿方法研究及应用[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 92-96.
- [37] 苏晶文, 胡凯, 李颀. 粤北凡口超大型铅锌矿有机质成矿地球化学特征[J]. 高校地质学报, 2005, 11(1): 58-66.
- [38] 李昌明, 陈远荣, 陈晓雁, 等. 广西南丹县大厂矿田铜坑锡矿成矿地球化学模型和找矿预测标志[J]. 地质通报, 2012, 31(1): 136-142.
- [39] 王业成. 青海省虎头崖矿区地球化学找矿方法评价[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [40] 王佳音, 祁昌炜, 刘磊. 地电化学提取法在碳酸盐岩地区隐伏铅锌矿寻找中的应用[J]. 现代矿业, 2016(10): 96-99, 107.