

doi: 10.12029/gc20160526

李玉松, 张玉清, 马立柯. 老挝普老地区多金属矿地球化学异常特征及找矿前景[J]. 中国地质, 2016, 43(5): 1780–1790.

Li Yusong, Zhang Yuqing, Ma Like. Geochemical anomaly features and exploration prospect of polymetallic deposits in the Pulao area, Laos[J]. Geology in China, 2016, 43(5): 1780–1790(in Chinese with English abstract).

老挝普老地区多金属矿地球化学异常特征 及找矿前景

李玉松¹ 张玉清² 马立柯³

(1.安徽省地球物理地球化学勘查技术院, 安徽 合肥 230001; 2.安徽省地质矿产勘查局322地质队, 安徽 马鞍山 243000;
3.安徽省地质矿产勘查局312地质队, 安徽 蚌埠 233040)

摘要: 普老地区 Pb、Zn、Sn 多金属异常区位于老挝北部长山成矿带, 1:5 万水系沉积物地球化学测量发现了以 Pb、Sn 为主, 伴生 Zn、Ag、W、Sb、Bi、As、Hg、Cu、Au 等元素异常。1:1 万土壤地球化学测量圈定了 3 个综合异常带, Pb、Zn、Sn 等元素具有异常强度高、规模大、浓集中心明显的特点, 经异常检查发现铅锌、锡多金属矿化点 13 处。研究和分析异常区元素的地球化学分布和异常特征, 认为该区多金属异常为矿致异常, 具有寻找热液型铅锌、锡及多金属矿的潜力。

关键词: 地球化学异常; 热液型矿床; 长山成矿带; 老挝

中图分类号: P622[·]3; P632; P612 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2016)05-1780-11

Geochemical anomaly features and exploration prospect of polymetallic deposits in the Pulao area, Laos

LI Yu-song¹, ZHANG Yu-qing², MA Li-ke³

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Survey Technology of Anhui Province, Hefei 230001, Anhui, China; 2. No. 322 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Ma'anshan 243000, Anhui, China; 3. No. 312 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Bengbu 233040, Anhui, China)

Abstract: Pb, Zn, Sn polymetallic anomalous zones of the Pulao area are situated in the Changshan ore-forming belt in northern Laos. 1:50000 stream sediment geochemical survey identified major anomalies of Pb and Sn, accompanied by other anomalies of Zn, Ag, W, Sb, Bi, As, Hg, Cu and Au. 1:10000 soil geochemical survey delineated 3 comprehensive anomalous zones of Pb, Zn and Sn, which are characterized by high intensity and big size with distinct concentration centers. Test of the anomalies gave rise to 13 Pb, Zn, Sn polymetallic ore spots. Based on study and analysis of geochemical distribution of elements in the anomalous zones and their anomalous features, the authors hold that the polymetallic anomalies are related to mineralization, with potential in search

收稿日期: 2015-12-28; 改回日期: 2016-07-07

基金项目: 2012 年度安徽省境外地质勘查基金项目(2012JW-2-2)资助。

作者简介: 李玉松, 男, 1963 年生, 高级工程师, 长期从事地质矿产、地球化学勘查和管理工作; E-mail: ahlys1832@sina.com。

for Pb, Zn, Sn and polymetallic deposits in the area.

Key words: geochemical anomaly; hydrothermal deposit; Changshan metallogenic belt; Laos

About the first author: LI Yu-song, born in 1963, male, senior engineer, engages in exploration and management of geochemical and geological mineral resources; E-mail: ahlys1832@sina.com.

Fund support: Supported by Geological Exploration Abroad Fund Program in Anhui Province (No. 2012JW-2-2).

为响应国家“走出去”发展战略,2011年5月,安徽地矿投资集团有限公司与老挝政府签订了《华潘省华勐县、万通县普翁村铁矿普查与勘探合同》,勘查面积222 km²。华勐县普老地区铅锌多金属矿勘查为其中的一部分。

勘查区位于老挝北部长山成矿带西侧川圹铁铜铅锌多金属成矿区^[1-5]北部。1:5万水系沉积物地球化学测量圈定了以铅、锌、锡为主的综合异常区4处,其中普老异常(AS-3)具有强度高、规模大、浓集中心明显、分带清晰的特点,赋存于寒武系龙王庙组地层中,受NNW向区域构造带控制,具有良好的成矿环境,是一个有利的找矿区域。随后开展的1:1万土壤地球化学测量和岩石地球化学剖面测量,详细圈定了铅、锌、锡等元素异常范围,了解了异常区的地质、地球化学特征,查明了异常的起因,对异常的找矿意义作出评价,提出了该矿权区以寻找铅锌、锡多金属矿为主的勘查目标。

1 区域地质背景

勘查区位于南海印支地块长山微陆块长山造山带^[6-9]西侧,NE向孟卡西—普雷山断裂与NW向长山—岷港断裂带交汇处南部地区,区内构造发育,区域成矿条件优越(图1)。

根据《老挝地质矿产概论》,区域地层属川圹—巴色地层区,出露地层有寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系。岩石组合寒武系为浅变质的灰岩、页岩、砂岩和砾岩;奥陶系—泥盆系主要为海相灰岩、砂岩和泥质岩石;石炭系—二叠系主要为海相灰岩、砂岩和泥质岩石,局部有陆相沉积。构造主要表现为北西向、近东西向断裂构造,其中北西向构造纵贯勘查区南北,为主要的控矿构造。区域岩浆岩主要为中酸性花岗岩^[1,4,10-11]。

川圹铁铜铅锌多金属成矿区已知矿床(点)较多,主要有富诺安铁矿、会农铁矿,5个铜矿点,至少

12个铅锌矿床(点)^[3,12]。

2 勘查区地质特征

2.1 地层

参照《中国地层典》、《老挝北部九省(区)地质矿产图》和本次工作成果,认为勘查区出露地层为寒武系沧浪铺组(C_{1c})、龙王庙组(C_{1l})、志留系关底组(S_{3g})。

寒武系沧浪铺组(C_{1c}):主要分布在勘查区的西部。可分为3段:下段为棕红、紫红色浅变质泥岩、页岩、粉砂质泥岩,夹有少量薄层浅变质粉砂岩,厚度>300 m;中段为紫色、棕色等浅变质含粉砂质泥岩、泥质粉砂岩,厚100 m左右;上段为黄绿、浅灰黄、浅灰白色浅变质泥质粉砂岩、钙质粉砂岩及粉砂岩。

寒武系龙王庙组(C_{1l}):主要分布于勘查区的中部。岩性以烟灰色、乳白色微晶灰岩、大理岩化灰岩、白云质灰岩、大理岩为主,局部夹少量薄层板状砂岩、粉砂质页岩及板岩等,厚500~1500 m。

志留系关底组(S_{3g}):主要分布在勘查区的东部。为棕灰、浅灰、棕褐色等杂色千枚岩、板岩夹少量浅灰白色粉砂质板岩、灰黑色板岩等,厚度>1000 m。

2.2 构造

勘查区断裂构造较发育,主要有NNW向、近EW向两组。其中NNW向(F1)贯穿勘查区南北,为区内主要构造^①。

NNW向断裂构造(F1):该构造在区内延伸长度约6.37 km,南部出露宽度10~20 m,贯穿整个异常区。总体走向340°~350°,倾向50°~65°,倾角60°~75°。构造带的低洼、缓坡地段多被残坡积物覆盖,偶见构造角砾岩砖石,两侧形成陡峭岩壁,蚀变较强,主要有硅化、大理岩化、绿泥石化等。

近EW向构造:有F2、F3、F4、F5、F6平移断层。F2分布于勘查区北部,长约1970 m,属右行平移断

①马立柯,刘青,等.老挝人民民主共和国华潘省华勐县万通县普翁村铁矿普查地质报告(内部报告)[R].2014.

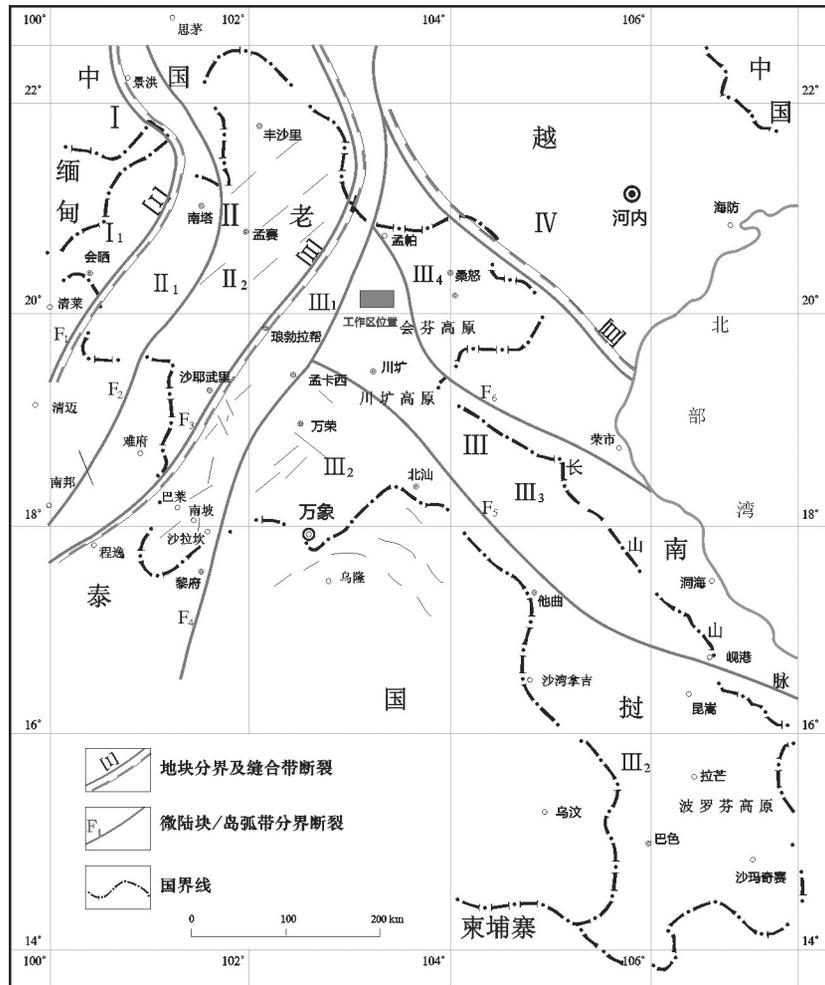


图1 老挝及邻区构造单元划分图

I—保山掸泰地块; I₁—临昌—会晒微地块; II—思茅—南邦地块; II₁—景洪—南塔岛弧带; II₂—思茅—难府微陆块; III—南海印支地块; III₁—墨江—黎府岛弧带; III₂—万象—昆仑微陆块; III₃—长山微陆块; III₄—桑努岛弧带; IV—华南地块; [I]—昌宁—清迈缝合带; [II]—琅勃拉邦—程逸缝合带; [III]—马江缝合带; F₁—澜沧江—班南坎断裂; F₂—南本河断裂; F₃—墨江—程逸断裂; F₄—孟卡西—普雷山断裂; F₅—长山—岷港断裂; F₆—孟帕—蓝江断裂; F₇—马江断裂

Fig. 1 Division of structural units in Laos and neighboring areas

I—Baoshanchantai Block, I₁—Linchang—Huishai Micro block; II—Simao—Nanbang Block; II₁—Jinghong—Nanta Island Arc Belt; II₂—Simao—Nanfu Microblock; III—South Sea Indo—China Block; III₁—Mojiang—Lifu Island Arc Belt; III₂—Vientiane—Kunlun Microblock; III₃—Changshan Microblock; III₄—Sanno Island Arc Belt; IV—South China Block; [I]—Changning—Chiangmai Collision Belt; [II]—Louangphrabang—Chengmian Collision Belt; [III]—Majiang Collision Belt; F₁—Nancangjiang—Bannankan Fault; F₂—Nanbenhe Fault; F₃—Mojiang—Chengmian Fault; F₄—Mengkaxi—Puleishang Fault; F₅—Changshan—DaNang Fault; F₆—Mengpa—Lanjiang Fault; F₇—Majiang Fault

层; F3分布于勘查区中北部,长约1833 m,属左行平移断层; F4、F5分布在勘查区中部偏南,分别长约80 m、92 m; F6分布于勘查区南部,长约2090 m。其中F2、F3断裂带西端延伸至异常区边界,东端到白云质大理岩; F4、F5、F6断裂带西端延至寒武系沧浪铺组棕红色泥岩,东端到白云质大理岩。该组断裂带内断层三角面发育,断层崖下方为坍塌堆积白云

质大理岩岩块,粒径大小不一。

2.3 岩浆岩

勘查区内未发现岩浆岩出露。但土壤次生晕和原生晕的异常元素与岩浆热液关系密切,多为亲硫元素,推测区内可能有未发现或隐伏岩体(脉)。

2.4 围岩蚀变与矿化

区内围岩蚀变较强,主要有硅化、大理岩化、绿



图2 地球化学勘查工作程度图
Fig.2 Degree of geochemical exploration

泥石化、高岭土化等。地质工程揭露及地球化学测量工作,发现有铜矿化点各1处,铅、锌、锡、钨矿化点各3处。

3 样品采集与测试方法

在矿权区开展1:5万水系沉积物地球化学测量210 km²,采集样品816件,采样密度3.9个/km²,目的是圈定化探综合异常,为开展地质普查提供地球化学依据^[13]。在1:5万水系沉积物地球化学测量圈定的普老综合异常(AS-3)开展1:1万土壤地球化学测量10 km²,采集样品2552件,采样网度100 m×40 m,测线布设近EW向,目的是详细圈定异常范围,了解异常区的地球化学特征。在1:1万地球化学异常浓集地段,采用岩石地球化学剖面对异常进行查证,确定异常起因,并对异常的找矿前景作出评价^[14-15]。岩石样品采集点距20~40 m,采集岩石样品245余件。

上述工作均按设计书和相关规范进行,野外工作通过安徽省公益性地质调查管理中心组织的野外验收,工作质量可靠。

样品加工和测试由昆明矿产资源监督检测中心承担,主要分析Ag、Au、As、Bi、Cu、Mo、Hg、Sb、Sn、Pb、W、Zn等12个元素,采用合理的配套分析方法(表1),按照规范要求进行样品质量监控,方法检出限、准确度监控、精密度监控、内检及异常抽查的各项分析质量参数达到规范要求,分析质量可靠。

4 地层中元素的变化特征

区内地层主要岩性相对单一,对地层岩石样品进行特征值计算,统计了9个元素的区域背景值、平均值(x)、变化系数(cx)、富集系数(k)、地壳丰度等(表2)。

表2显示,Pb、Sb元素区域背景含量高于地壳丰度的近2倍或以上,其余Zn、Sn、W、Cu、Mo、Au等元素背景含量低于地壳丰度,说明勘查区地层为Sb、Pb元素高背景区,也是Pb成矿物质来源之一。而Sn、W等元素若成矿,应有其他的物质来源。

勘查区内Pb、Zn、Ag、Au、Cu、Sb、Sn、W、Mo等元素的变化系数均大于1.5,呈强分异的分布模式,反映该区成矿环境十分有利。

地层中各元素的富集系数k依次为Sn_(8.01)、W_(4.63)、Ag_(3.92)、Pb_(3.79)、Cu_(2.84)、Mo_(2.68)、Sb_(2.58)、Zn_(2.12)、Au_(1.35),除Au以外均大于2,显示富集程度高的特点。

为研究这些元素之间的组合成因关系,以岩石样分析结果为样本做R型因子分析,选取累计方差贡献>85%为标准提取因子,采用斜交因子矩阵(表3)划分元素组合,得出以下不同特征组合^[16]:

表1 配套分析方法一览
Table 1 Supporting analysis method chart

分析方法	项目数	测定项目	方法检出限/10 ⁻⁶	
			要求	实测
发射光谱法(Es)	2	Ag	0.05	0.03
		Sn	2	1
石墨炉原子吸收法(GF-AAS)	1	Au	0.0003-0.001	0.0003
		Au>100×10 ⁻⁹	0.10	0.01
化学金法(AAS)	5	Cu	1	0.5
		Pb	5.0-10.0	5
		Zn	20	10
		Mo	1	0.3
		W	1	0.5
原子吸收法(AAS)	2	Pb, Zn >1000	0.05×10 ⁻²	0.01×10 ⁻²
		原子荧光光谱法(AFS)	As	1
	4	Sb	0.3	0.3
		Bi	0.3	0.1
		Hg	0.05	0.005

表2 岩石地球化学特征值统计

Table 2 Statistics of petro-geochemical characteristic values

特征值	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Sb	Sn	W	Mo
区域背景值	22.5	52.93	0.12	0.84	4.87	2.43	0.82	1.53	0.47
平均值(\bar{x})	85.33	112.41	0.47	1.13	13.82	6.28	6.57	7.08	1.26
变异系数(cv)	2.16	2.03	2.93	1.96	2.15	2.53	2.77	3.33	3.98
富集系数(k)	3.79	2.12	3.92	1.35	2.84	2.58	8.01	4.63	2.68
地壳丰度(黎彤, 1967)	12	94	0.08	4	63	0.6	1.7	1.1	1.3

注: Au元素单位为 10^{-9} , 其余为 10^{-6} , 富集系数=平均值/背景值。

表3 R型斜交因子矩阵

Table 3 R-type oblique factor matrix

因子	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Sb	Sn	W	Mo
F1	0.8176	0.7532	0.7120	0.7688	-0.0467	0.0435	-0.025	0.0723	-0.0497
F2	0.0094	0.0208	-0.0039	-0.0242	0.9505	0.9334	0.0179	-0.0570	0.0349
F3	0.0057	-0.0373	-0.0446	0.0426	-0.0608	0.0607	-0.0442	0.7492	0.9240
F4	0.0981	0.0933	-0.2423	-0.1056	0.0664	-0.0601	0.9255	0.3262	-0.2034

F1因子为Pb、Zn、Ag、Au组合, 反映了中低温热液铅锌多金属矿化。

F2因子为Cu、Sb组合, 反映多金属矿化中, Cu、Sb元素的相对富集现象。

F3因子为W、Mo组合, 反映中高温钨钼矿化。

F4因子为Sn、(W)组合, 反映锡矿化, 成矿物质来源于深部岩浆。

通过对元素变化特征和矿化类型分析, 认为勘查区各元素呈强分异的分布模式, 富集程度高, 显示成矿地质条件有利^[17-19]。矿化类型主要有两种, 一是中低温热液铅锌多金属矿化; 另一是中高温热液锡钨多金属矿化。成矿物质具有多源性特征。Sb主要来自地层; Pb、Ag部分来源于地层, 大部分可能是深部岩浆热液自身带有的; Sn、W、Zn等主要来源于深部含矿热液^[20-21]。

5 地球化学异常特征

1:5万水系沉积物测量圈定了多金属综合异常区4处, 沿NW向断裂带两侧分布(图3)。其中普老地区铅、锡多金属综合异常(AS-3)强度高, 规模大, 浓集中心明显, 元素组合异常套合关系好。因此在其浓集中心布置了1:1万土壤测量, 详细圈定了铅、锡、钨等元素异常, 通过原生晕剖面 and 槽探工程揭露, 发现铅、锡、钨等矿化体, 取得了相应的成果, 显示了地球化学方法的有效性。

5.1 区域地球化学异常

普老综合异常区(AS-3), 长约7.5 km, 宽1.5~

3.0 km, 面积约18 km², 沿NW向断裂带分布, SE端未封闭。异常元素组合为Pb、Zn、Ag、Sn、W、Sb、Bi、As、Hg、Cu、Au等11个, 各异常元素的最高含量分别为Pb 985×10^{-6} 、Zn 879×10^{-6} 、Ag 1.45×10^{-6} 、Sn 118×10^{-6} 、W 467×10^{-6} 、Sb 176×10^{-6} 、Bi 23.7×10^{-6} 、As 898×10^{-6} , 各元素异常套合关系较好。

将该区各元素异常值与地壳丰度进行对比(表4), 研究各元素异常与成矿的关系。

表4显示勘查区异常处于高背景区。前苏联地球化学研究认为: 金属含量偏高区富集系数 k 为2.4~10, 是受同聚集作用为主的地球化学专属性的岩系控制, 具有有利的找矿岩性。Pb、Ag、Sn、W等元素富集系数 k 分别为 $k(\text{Pb})$ 为4.12, $k(\text{Ag})$ 为2.50, $k(\text{Sn})$ 为4.71, $k(\text{W})$ 为5.45, 显示具有找矿专属性岩系, 其高值点大于或接近原生晕异常内带含量, 表明该区受深部岩浆热液作用, 导致Pb、Ag、Sn、W等元素进一步富集。As、Sb元素的富集为多金属矿化前缘晕的反映, Bi的强富集进一步印证了区内存在岩浆热液作用。

因此, 该区Pb、Sn等元素异常强度高、规模大、浓集中心明显, 元素组合异常丰富, 且套合关系较好, 与发现的多金属矿化点吻合性好, 证明普老地区为寻找铅、锡、钨等多金属矿的重要远景区。

5.2 土壤地球化学异常

1:1万土壤测量圈定了以Pb、Sn为主的综合异常7处, 划分了3个综合异常带(图4), 自北向南编号为I、II、III号。

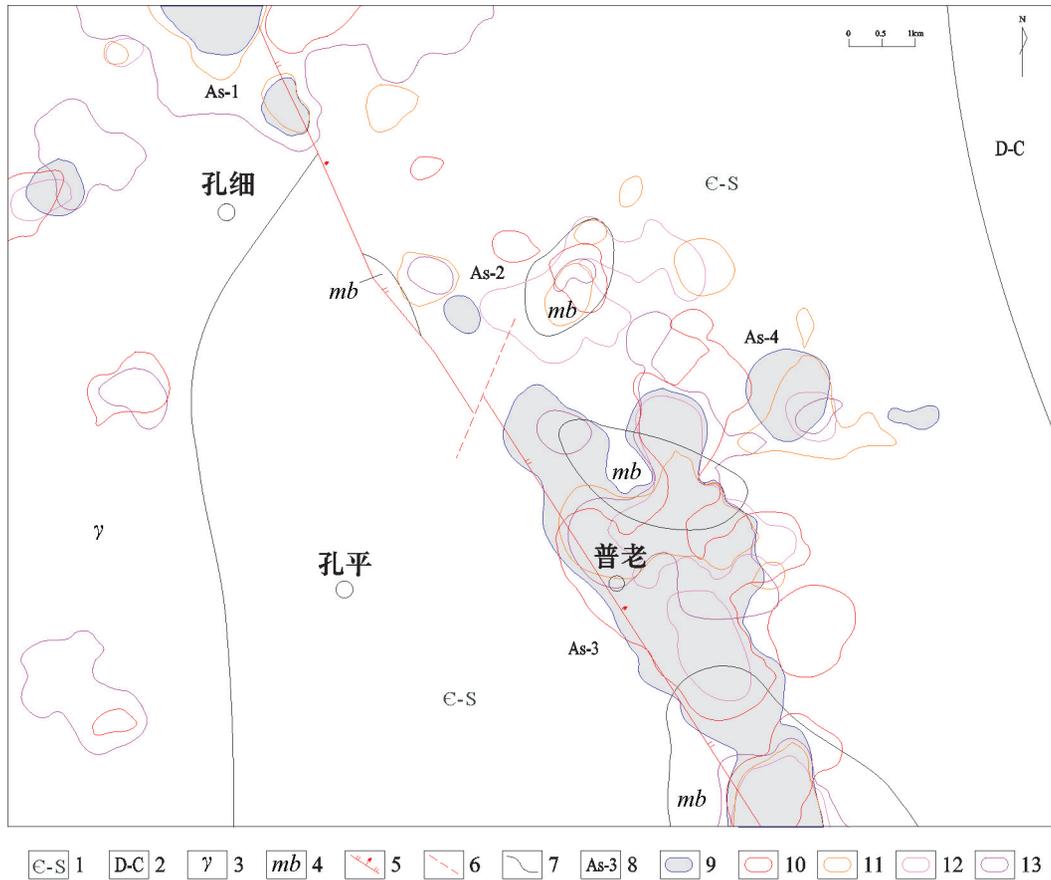


图3 1:5万水系沉积物综合异常图(附地质简图)

1—寒武系—志留系; 2—泥盆系—石炭系; 3—花岗岩; 4—大理岩化; 5—正断层; 6—平移断层;
7—地层界线; 8—异常编号; 9—Pb元素异常(50×10^{-6}); 10—Sn元素异常(8×10^{-6});
11—Zn元素异常(200×10^{-6}); 12—Ag元素异常(0.2×10^{-6}); 13—W元素异常(6×10^{-6})

Fig.3 1:50000 stream sediments comprehensive anomalies map (with geological sketch map)

1—Cambrian—Silurian; 2—Devonian—Carboniferous; 3—Granite; 4—Marblic alteration; 5—Normal fault; 6—Wrench fault; 7—Stratigraphical boundary;
8—Serial number of anomaly; 9—Pb anomaly (50×10^{-6}); 10—Sn anomaly (8×10^{-6}); 11—Zn anomaly (200×10^{-6});
12—Ag anomaly (0.2×10^{-6}); 13—W anomaly (6×10^{-6})

表4 1:5万水系沉积物异常特征值

Table 4 Characteristic values of 1:50000 stream sediment anomalies

元素	Pb	Zn	Ag	Sn	W	Sb	Bi	As	Hg	Cu	Au
异常下限	50	200	0.2	8	6	10	1	50	0.12	50	4
地壳丰度(黎彤, 1967)	12	94	0.08	1.7	1.1	0.6	0.004	2.2	0.089	63	4
富集系数 k	4.12	2.13	2.50	4.71	5.45	16.67	250	22.73	1.35	0.79	1

注: Au元素含量单位为 10^{-9} ,其他元素含量单位为 10^{-6} 。

5.2.1 I号综合异常带

位于勘查区北部,长约1500 m,宽300~600 m,主要由AP1、AP2综合异常组成。该异常带呈长条状沿NW向,分布于寒武系龙王庙组(C₁L)碳酸盐系地层中。异常元素组合为Pb、Zn、Ag、Hg、Au、W、Sn、As、Sb、Bi、Cu,各元素最高含量分别为Pb 5600×10^{-6} 、Zn

4500×10^{-6} 、Ag 16.6×10^{-6} 、Hg 1.647×10^{-6} 、Au 66.3×10^{-9} 、W 89.6×10^{-6} 、Sn 218×10^{-6} 、As 386×10^{-6} 、Sb 134×10^{-6} 、Bi 11.1×10^{-6} 、Cu 246×10^{-6} ,各元素异常套合关系较好。

AP1位于F1与F2断层交汇部位NE侧,出露地层为龙王庙组。异常元素组合为Pb、Zn、Ag、Au、Sn、W、Hg、Sb等,异常面积约0.32 km²,NW端未封闭。

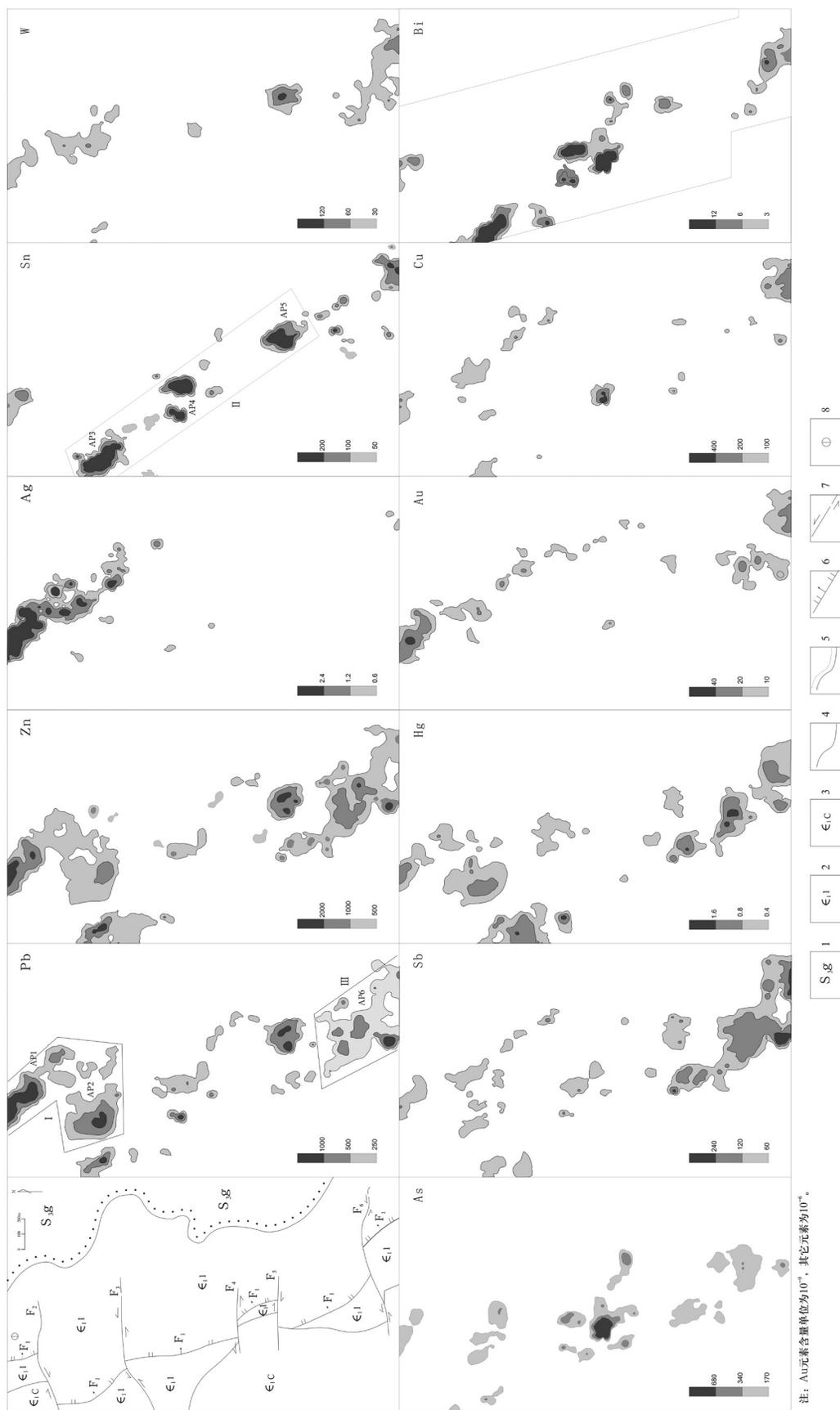


图4 普老地区地质、地球化学(土壤)异常剖析图

1—志留系关庙组; 2—寒武系龙王庙组; 3—寒武系沧浪铺组; 4—地层界限; 5—不整合界限; 6—正断层; 7—平移断层; 8—铅锌矿点

Fig. 4 Geological and geochemical (soil) anomaly resolution map for the Pulao area

1—Guandi Formation of Silurian; 2—Longwangmiao Formation of Cambrian; 3—Canglangpu Formation of Cambrian; 4—Stratigraphy boundary; 5—Uncomformity; 6—Normal fault; 7—Wrench fault; 8—Ore spots of Zn and Pb

各元素浓集中心明显,分带清晰,套合关系较好。Pb、Zn、Ag、Au异常强度大,具内中外3个浓度带,Pb、Zn内带含量($Pb > 1000 \times 10^{-6}$ 、 $Zn > 2000 \times 10^{-6}$)超过其原生晕内带含量($Pb = 500 \times 10^{-6}$ 、 $Zn = 1000 \times 10^{-6}$)的2倍以上,具较大规模。经地质检查发现铅、锌矿化点4处,在其NW端未封闭异常的延伸方向发现铅、锌矿化点5处,铅锌矿化带长度约400 m,矿化岩石为碳酸盐系,Pb、Zn最高含量分别为 1446×10^{-6} 、 1898×10^{-6} ,说明铅锌矿体已出露地表。

AP2异常位于F1断层东侧,出露地层为龙王庙组。元素组合为Pb、Zn、Hg、As、Sb、Cu、Ag、Au等,异常面积约0.32 km²。Pb、Zn、Hg异常强度大,浓度分带清晰,套合关系较好。Pb具内中外3个浓度带,Zn、Hg具中外2个浓度带,Pb、Zn中带含量超过其原生晕内带含量。据国内原生晕研究^[14]认为:在内带异常内,一般均能发现具工业品位的矿(化)体,由此推断AP2异常为矿致异常。

总体认为,I号综合异常带具有有利的成矿地质环境,Pb、Zn等元素异常强度大,浓集中心明显,分带清晰,各元素异常套合较好。矿点检查工作已发现铅锌等多金属矿(化)点数处,是寻找铅锌多金属矿的重要地段。

5.2.2 II号综合异常带

位于勘查区中部,长约3000 m,宽200~400 m,主要由AP3、AP4、AP5综合异常组成。该异常带呈串珠状沿NW向断裂带两侧分布。异常元素组合主要为Sn、Bi、Pb、Zn、W、Sb、As、Hg,各元素最高含量分别为Sn 2200×10^{-6} 、Bi 195×10^{-6} 、Pb 2500×10^{-6} 、Zn 5300×10^{-6} 、W 165×10^{-6} 、Sb 154×10^{-6} 、As 7500×10^{-6} 、Hg 1.41×10^{-6} ,各元素异常套合关系较好。

AP3异常位于F1断层西侧,出露地层为龙王庙组。元素组合为Sn、Bi、Pb、Zn、Hg、As、Sb、W、Cu等,异常面积约0.25 km²,NW端未封闭。各元素浓集中心明显,分带清晰,套合关系较好。Sn、Bi、Pb、Zn异常强度大,具内中外3个浓度带。Sn内带含量($Sn > 200 \times 10^{-6}$)超过其原生晕内带含量($Sn = 100 \times 10^{-6}$)的2倍以上,最高值为 2200×10^{-6} 超过Sn矿床最低工业品位(0.2%),异常面积近0.1 km²,推断AP3异常由锡及多金属矿化引起。

AP4异常位于F1断层东侧,出露地层为龙王庙组。由2个浓集中心组成。元素组合为Sn、Bi、Pb、

As、Sb、Zn等,异常面积约0.22 km²。Sn、Bi、Pb异常强度大,具内中外3个浓度带。Sn内带含量超过其原生晕内带含量的2倍以上,异常规模大,推断AP4异常由锡及多金属矿化引起。

AP5异常位于F1与F5断层交汇部位东侧,出露地层为龙王庙组。元素组合为Sn、Pb、Zn、W、Bi、Sb、Hg、Cu、Au等,异常面积约0.2 km²。Sn、Pb、Zn、W异常强度大,具内中外3个浓度带。Sn、Pb、Zn内带含量超过其原生晕内带含量的2倍以上,异常规模大。异常检查发现1处铅锌矿化点,矿化岩石为大理岩化灰岩,Pb、Zn含量为Pb 891×10^{-6} 、Zn 1583×10^{-6} 。推断AP5异常由锡、铅锌及多金属矿化引起。

总体认为,II号综合异常带具有有利的成矿地质环境,Pb、Zn等元素异常强度大,浓集中心明显,分带清晰,各元素异常套合较好。矿点检查工作已发现铅锌等多金属矿(化)点数处,是寻找铅锌多金属矿的重要地段。

II号综合异常带为以Sn为主,其异常内带面积近0.3 km²,高于砂锡矿的边界品位0.02%,具有寻找砂锡矿和原生锡矿的潜力。AP5异常检查发现1处铅锌矿化点。总体认为该异常带由锡、铅锌及多金属矿化引起。

5.2.3 III号综合异常带

位于勘查区南部F1与F6断层交汇部位,出露地层为龙王庙组。该异常带主要由AP6综合异常组成,长约1200 m,宽200~550 m,异常面积约0.55 km²,SE端未封闭。AP6异常呈板状沿NW向。异常元素组合主要为Pb、Zn、Sn、Sb、Hg、Bi、Au、As、W、Cu,各元素最高含量分别为Pb 2700×10^{-6} 、Zn 3200×10^{-6} 、Sn 352×10^{-6} 、Sb 847×10^{-6} 、Hg 2.39×10^{-6} 、Bi 15.9×10^{-6} 、Au 34.9×10^{-9} 、As 527×10^{-6} 、W 134×10^{-6} 、Cu 374×10^{-6} ,各元素异常套合关系较好。

该综合异常带具有有利的成矿地质环境,Pb、Zn等元素异常强度较大,前缘晕元素As、Sb、Hg异常范围较大,说明铅锌矿化体处于浅地表或隐伏状态,是寻找铅锌多金属矿的又一重要地段。

6 异常找矿前景分析

(1)勘查区位于川圹铁铜铅锌多金属成矿区,出露的寒武系龙王庙组地层具有找矿专属性岩系特征^[22-23],断裂构造发育,矿化蚀变强烈,具有较好的

成矿地质条件。

(2)地球化学勘查显示,从区域水系沉积物异常-矿区土壤异常-原生晕异常,主要成矿元素Pb、Zn、Sn等具有较好的重现性,异常强度高,规模大,浓集中心明显。异常元素组合为Pb、Zn、Ag、Sn、W、Sb、Bi、As、Hg、Cu、Au等,具热液型铅锌及多金属矿异常特征^[22-25],属矿致异常。

(3)国内外成矿地球化学研究^[15, 22, 26]认为,只有高含量Pb异常,不一定与工业矿体有关,矿异常需具备3个条件:即 $Pb > 300 \times 10^{-6}$, $As > 100 \times 10^{-6}$, $Cu/Pb < 0.2$ 。对AP1异常内铅矿化(Pb含量 $> 1000 \times 10^{-6}$)样品统计显示:平均含量Pb为 1670.97×10^{-6} , As为 168.73×10^{-6} (土壤数据), Cu/Pb为0.07。因此,铅锌异常浓集中心地段具有发现工业矿体的潜力。

AP1异常,近矿元素Pb、Zn、Ag、Au等异常内带发育,部分元素含量达到工业品位,同时出现尾晕元素Sn、Bi、W、Cu异常和高含量点,而前缘晕元素As、Sb、Hg主要为外带异常,且分布零星,表明矿体遭受到强烈剥蚀,从矿点检查发现较多的铅锌矿化点也证明了这点。AP2、AP6异常,近矿元素Pb、Zn异常主要出现中带异常,无Ag、Au元素异常;尾晕元素组合几乎不出现,而前缘晕元素As、Sb、Hg异常范围较大,甚至出现中带异常,说明矿体剥蚀程度较浅或为隐伏矿。

(4) II号综合异常带为以Sn为主,由AP3、AP4、AP5异常组成,Sn异常内带面积近0.3 km²,最高值为0.22%,平均含量为0.027%,高于砂锡矿的边界品位(0.02%)。异常元素组合为Sn、Bi、Pb、Zn、Cu、As、Sb、Hg。据国内外锡矿元素组合^[15, 27-28]研究认为,Bi元素为脉状锡矿床重要的指示元素,本区发现的锡矿化岩石为含砾粗砂岩,推断Sn异常由锡石硅酸盐脉锡矿风化而成,具有寻找砂锡矿和原生锡矿的潜力。

(5)3个综合异常带均沿NW向构造带展布,具有相同或相近的成矿地质条件,伴生异常元素组合相近,铅、锌矿化岩石主要为大理岩化碳酸盐,锡、钨矿化岩石主要为碎屑岩,初步认为铅、锌、锡、钨等多金属矿化具有相同(近)的成矿物质来源,受相同(近)的成矿作用控制。

(6)勘查区属热带季风气候,风化和氧化作用强烈,矿石矿物方铅矿、闪锌矿等可能氧化成白铅矿、菱锌矿等,或形成次生矿物。白铅矿、菱锌矿的颜

色、结构构造与碳酸盐比较相似,肉眼不易识别,因而错失铅锌矿体。此类情况,在地质勘查中是有先例的^[29-30],因此在今后的工作中应加以注意。

(7)整个矿权区为富Fe₂O₃(CaO、MgO)的地球化学环境,有利于形成热液型多金属矿床^[22]。区域化探圈定的4处多金属异常长约16 km,且两端尚未封闭,各异常处于相近的成矿地质环境,因此实现普老地区铅锌多金属矿的找矿突破,对整个矿权区的地质找矿工作具有重大意义。

7 结 论

通过对普老地区成矿地质条件、地球化学异常特征的综合分析,得到如下认识:

(1)勘查区位于老挝重要的铁铜铅锌多金属成矿区,具有一套找矿专属性岩系,成矿地质条件十分有利。

(2)该项目在对铁矿进行评价的同时,利用地球化学勘查技术圈定了以Pb、Zn、Sn、W为主的综合异常带,提出了寻找铅锌、锡多金属矿的新思路,显示了地球化学找矿方法的有效性。

(3)通过对地球化学异常的综合研究,发现以NNW向断裂带为中心向两侧,异常元素组合显示由中高温向中低温元素过渡的特点,为同一成矿体系在不同地质体中的反映。

(4)圈定了3个寻找热液型铅锌、锡多金属矿的重要找矿靶区。I、III号综合异常带以寻找热液型铅锌多金属矿为主;II号综合异常带以寻找砂锡矿、锡多金属原生矿为主。

(5)通过与国内外相似矿床的成矿地质条件和地球化学特征的对比研究,认为勘查区具有寻找具规模的铅锌、锡等多金属矿的潜力,对提升整个矿权区的经济价值具有重要意义。

致谢: 在本文的编写过程中,得到安徽地矿投资集团有限公司总工程师侯明金博士的精心指导和帮助;审稿人对本文进行了详细的审阅,为本文的修改提供了重要的帮助。在此一并致以诚挚的感谢。

参考文献(References):

- [1] 赵红娟,陈永清,卢映祥.老挝长山成矿带与花岗岩有关的铜金铁矿床的成矿模式[J].地质通报,2011,30(10):1619-1627.
Zhao Hongjuan, Chen Yongqing, Lu Yingxiang. Metallogenic

- model of copper-gold-iron ore deposits related to granite in the Changshan metallogenic belt of Laos[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(10): 1619-1627(in Chinese with English abstract).
- [2] 胡雄伟, 吴良士. 老挝人民民主共和国地质特征与区域成矿[J]. 矿床地质, 2009, 28(1): 104-106.
Hu Xiongwei, Wu Liangshi. Geological features and regional metallogenesis in Laos[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(1): 104-106 (in Chinese with English abstract).
- [3] 朱延浙, 吴军, 崔子良, 等. 老挝北部地区矿产资源与成矿预测[J]. 矿产与地质, 2007, 21(6): 665-667.
Zhu Yanzhe, Wu Jun, Cui Ziliang, et al. Mineral resources and metallogenic prognosis in northern Laos[J]. Mineral Resources and Geology, 2007, 21(6): 665-667(in Chinese with English abstract).
- [4] 卢映祥, 刘洪光, 黄静宁, 等. 东南亚中南半岛成矿带初步划分和区域成矿特征[J]. 地质通报, 2009, 28(2/3): 314-325(in Chinese with English abstract).
Lu Yingxiang, Liu Hongguang, Huang Jingning, et al. Initial division and regional metallogenic features of the Indo - China Peninsula in southeast Asia[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(2/3): 314-325.
- [5] 吴良士. 老挝人民民主共和国矿产资源及其地质特征[J]. 矿床地质, 2000, 9(4): 235-239.
Wu Liangshi. Mineral resources and their geological features in Laos[J]. Mineral Deposits, 2000, 9(4): 235-239(in Chinese with English abstract).
- [6] 王宏, 林方成, 李兴振, 等. 老挝及邻区构造单元划分与构造演化[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 71-84.
Wang Hong, Lin Fangcheng, Li Xingzhen, et al. The division of tectonic units and tectonic evolution in Laos and its adjacent regions [J]. Geology in China, 2015, 42(1): 71-84(in Chinese with English abstract).
- [7] 万天丰. 新编亚洲大地构造区划图[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1351-1365.
Wan Tianfeng. A new Asian tectonic unit map [J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1351-1365(in Chinese with English abstract).
- [8] Cai J X, Zhang K J. A new model for the Indo-China and South China collision during the Late Permian to the Middle Triassic [J]. Tectonophysics, 2009, 467: 35-43.
- [9] 施俊法, 李友枝, 金庆花, 等. 世界矿情[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 174-182.
Shi Junfa, Li Youzhi, Jin Qinghua, et al. The World Mining [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 174-182(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈永清, 刘俊来, 冯庆来, 等. 东南亚中南半岛地质及与花岗岩有关的矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
Chen Yongqing, Liu Junlai, Feng Qinglai, et al. Geology and Granite - Related Ore Deposits in Indo - China Peninsula in Southeast Asia[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010(in Chinese with English abstract).
- [11] 李景春, 徐庆国, 庞庆邦. 老挝人民民主共和国地质矿产概况[J]. 贵金属地质, 2009, 28(2): 224-226.
Li Jingchun, Xu Qingguo, Pang Qingbang. Outline of geology and mineral resources of Laos[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 2009, 28(2): 224-226(in Chinese with English abstract).
- [12] 赵延朋, 王晓曼, 夏旭学, 等. 老挝甘蒙省南巴坦锡多金属矿田地质特征及成因浅析[J]. 有色矿冶, 2012, 28(6): 1-4.
Zhao Yanpeng, Wang Xiaoman, Xia Xuxue, et al. Geological features and genetic analysis of Sn polymetallic ore field in Nanbatan, Khammuane Province, Laos[J]. Non - Ferrous Mining and Metallurgy, 2012, 28(6): 1 - 4(in Chinese with English abstract).
- [13] 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 勘查区找矿理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2014: 509-529.
Ye Tianzhu, Lv Zhicheng, Pang Zhenshan, et al. Theory and Method of Prospecting in the Prospecting Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 509 - 529(in Chinese with English abstract).
- [14] 邵跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
Shao Yue. Rock Survey (Primary Halo Method) for Prospecting of Hydrothermal Ore Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997(in Chinese with English abstract).
- [15] 罗先熔, 文美兰, 欧阳菲, 等. 勘查地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
Luo Xianrong, Wen Meilan, Ouyang Fei, et al. Exploration Geochemistry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘洪, 黄瀚霄, 李光明, 等. 因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1126-1136.
Liu Hong, Huang Hanxiao, Li Guangming, et al. Factor analysis in geochemical survey of the Shangxu gold deposit, northern Tibet [J]. Geology in China, 2015, 42(4): 1126-1136(in Chinese with English abstract).
- [17] 欧阳宗圻, 李惠, 刘汉忠. 典型有色金属矿床地球化学异常模式[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 150-165.
Ouyang Zongqi, Li Hui, Liu Hanzhong. Geochemical Anomaly Model for Typical Nonferrous Ore Deposits[M]. Beijing: Science Press, 1990: 150-165(in Chinese with English abstract).
- [18] 李随民, 魏明辉, 郝华金. 消除背景影响的化探异常圈定方法——以张家口地区为例[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2083-2090.
Li Suimin, Wei Minghui, Hao Huajin. The elimination of background influence in the delineation of geochemical anomalies: A case study of geochemical data from Zhangjiakou area [J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2083-2090(in Chinese with English abstract).
- [19] 马振东. 中国铜矿地质地球化学找矿模型及地球化学定量预测方法研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2014: 333-351.
Ma Zhendong. Geological and Geochemical Prospecting Model

- and Geochemical Quantitative Prognosis Methodological Study of Copper Deposits in China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2014: 333 – 351(in Chinese with English abstract).
- [20] 肖茂章, 狄永军, 明小泉, 等. 冷水坑矿田层状富铅锌矿赋矿围岩——铁锰碳酸岩角砾岩物质来源及成因分析[J]. 中国地质, 2014, 41(2): 589–601.
Xiao Maozhang, Di Yongjun, Ming Xiaoquan, et al. Material sources and genetic analysis of the iron–manganese carbonatite breccia host rock of the stratiform Pb–Zn–rich orebodies in the Lengshuikeng orefield [J]. *Geology in China*, 2014, 41(2): 589–601(in Chinese with English abstract).
- [21] Taylor R G. Geology of tin deposits: Developments [J]. *Economic Geology*, 1979, 11: 1–543.
- [22] 刘崇明, 胡树起, 马生明. 热液多金属矿岩石地球化学勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
Liu Chongming, Hu Shuqi, Ma Shengming. Petro–Geochemical Prospecting of Hydrothermal Polymetallic Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014(in Chinese with English abstract).
- [23] 孙建东, 骆学全, 张雪辉, 等. 江西省冷水坑银铅锌矿床铁锰碳酸盐角砾岩成因研究[J]. 中国地质, 2014, 41(2): 484–496.
Sun Jiandong, Luo Xuequan, Zhang Xuehui, et al. A genetic study of Fe–Mn carbonate breccias in the Lengshuikeng Ag–Pb–Zn deposit, Jiangxi Province [J]. *Geology in China*, 2014, 41(2): 484–496(in Chinese with English abstract).
- [24] 张艳, 韩润生, 魏平堂, 等. 云南昭通铅锌矿 pH–log f_{O_2} 和 pH–log a 相图对铅锌共生分异的制约[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 607–620.
Zhang Yan, Han Runsheng, Wei Pingtang, et al. pH–log f_{O_2} and pH–log a for Pb–Zn paragenesis and separation in the Zhaotong lead–zinc deposit [J]. *Geology in China*, 2015, 42(2): 607–620(in Chinese with English abstract).
- [25] 张长青, 芮宗瑶, 陈毓川, 等. 中国铅锌矿资源潜力和主要战略接续区[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 248–272.
Zhang Changqing, Rui Zhongyao, Chen Yuchuan, et al. The main successive strategic bases of resources for Pb–Zn deposits in China [J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 248–272(in Chinese with English abstract).
- [26] Xie XJ, Yin BC. Geochemical patterns from local to global [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1993, 47: 109–129.
- [27] 张建斌, 丁建华, 南格利. 中国锡矿资源特征及主要远景区潜力分析[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 839–852.
Zhang Jianbin, Ding Jianhua, Nanz Geli. The characteristics and potential of tin resources in China [J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 839–852(in Chinese with English abstract).
- [28] 潘含江, 程志中, 杨榕, 等. 云南个旧锡多金属矿区尾矿元素地球化学特征[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1137–1150.
Pan Hanjiang, Cheng Zhizhong, Yang Rong, et al. Geochemical survey and assessment of tailings of the Gejiu tin–polymetallic mining area, Yunnan Province [J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 1137–1150(in Chinese with English abstract).
- [29] 孙康胜, 朱永新. 宕昌县代家庄铅锌矿找矿历程的反思[J]. 甘肃地质, 2007, 16(3): 12–14.
Sun Kangsheng, Zhu Yongxin. Introspection of the process of Pb–Zn prospecting in Daijiazhuang, Dangchang County[J] *Gansu Geology*, 2007, 16(3): 12–14(in Chinese with English abstract).
- [30] 蒙珍, 杜录平, 谢志峰. 甘肃省宕昌县代家庄铅锌矿的发现及物探化探找矿效果[J]. 物探与化探, 2006, 30(6): 498–504.
Meng Zhen, Du Luping, Xie Zhifeng. Discovery and geophysical and geochemical prospecting results of the Daijiazhuang Pb–Zn ore deposit in Dangchang County, Gansu Province [J]. *Geophysical and Geochemical Prospecting*, 2006, 30(6): 498–504 (in Chinese with English abstract).