

# 老挝全国地球化学填图与成矿远景区预测

王 珂<sup>1, 2)</sup>, 王学求<sup>1, 2)\*</sup>, 张必敏<sup>1, 2)</sup>, 韩志轩<sup>1, 2)</sup>,  
Sounthone LAOLO<sup>3)</sup>, Phomsylalai SOUKSAN<sup>3)</sup>, 刘汉粮<sup>1, 2)</sup>, 刘东盛<sup>1, 2)</sup>

1) 自然资源部地球化学探测重点实验室, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000;

2) 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北廊坊 065000;

3) 老挝人民民主共和国自然资源与环境部, 老挝万象 01000

**摘要:** 随着国家“一带一路”倡议的推进, 在中国地质调查局的资助下, 开展了老挝境内 21 万 km<sup>2</sup> 的国家尺度(1:100 万)地球化学填图工作, 本次工作填补了老挝国家尺度地球化学填图的空白, 为老挝基础地质、矿产开发、环境保护、农业生产等多个方面提供了基础地球化学保障。本次共采集老挝境内地球化学样品 1905 件, 使用多种测试手段分析了 71 种元素的含量, 并据此制作了这些元素的地球化学图和地球化学异常图。通过对老挝 Au、Cu、Ni、Co、Mn、Zn、Ag、As、Sb、Pb、Bi 和 Sn 的地球化学参数及其相关性的研究发现: 这些元素的中位值均小于我国热带雨林区水系沉积物元素含量, 而且这些元素的中位值均小于其平均值, As、Au、Bi、Pb 和 Sb 在老挝境内的分布十分不均, 元素局部富集明显。通过 R 型聚类分析, 我们将上述元素分为 Au; Cu; Ni、Co; Mn、Zn; Ag、As、Sb、Pb、Bi、Sn 等 5 个簇群, 并根据元素的地球化学分布特征及综合异常特征, 在老挝划分了 7 个地球化学成矿远景区。

**关键词:** 老挝; 地球化学填图; 国家尺度; 成矿远景区预测

中图分类号: P632; P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2019.052802

## National-scale Geochemical Mapping and Prediction of Metallogenic Prospective Areas in Laos

WANG Wei<sup>1, 2)</sup>, WANG Xue-qiu<sup>1, 2)\*</sup>, ZHANG Bi-min<sup>1, 2)</sup>, HAN Zhi-xuan<sup>1, 2)</sup>,  
Sounthone LAOLO<sup>3)</sup>, Phomsylalai SOUKSAN<sup>3)</sup>, LIU Han-liang<sup>1, 2)</sup>, LIU Dong-sheng<sup>1, 2)</sup>

1) Key Laboratory of Geochemical Exploration, Ministry of Natural Resources, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang, Hebei 065000;

2) International Centre on Global-scale Geochemistry, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Langfang, Hebei 065000;

3) Ministry of Natural Resources and Environment, Lao People's Democratic Republic, Vientiane, Laos 01000

**Abstract:** With the promotion of the National Initiative “The Belt and Road” and the support of the China Geological Survey, a national-scale geochemical mapping of 210 000 km<sup>2</sup> was carried out in Laos, which filled the blank of national-scale geochemical mapping in Laos, and provided the basic geochemical guarantee for Laos’ basic geology, mineral development, environmental protection, and agricultural production and some other fields. During the project, a total of 1905 geochemical samples were collected in Laos, 71 elements were analyzed through several testing methods. Based on the analysis results, the geochemical maps and geochemical anomaly maps of Laos were compiled. By studying the geochemical parameters of Au, Cu, Ni, Co, Mn, Zn, Ag, As, Sb, Pb, Bi and Sn in Laos and their correlations, it is found that the median values of these elements are less than the

本文由国家重点研发计划项目(编号: 2016YFC0600600)和中国地质调查局地质调查项目(编号: 121201108000150005; 1212011120331; 1212010661313)联合资助。

收稿日期: 2019-03-17; 改回日期: 2019-05-20; 网络首发日期: 2019-05-30。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 王珂, 女, 1984 年生。硕士, 工程师。主要从事勘查地球化学与全球尺度地球化学方向研究。通讯地址: 065000, 河北省廊坊市金光道 84 号。E-mail: wangwei@igge.cn。

\*通讯作者: 王学求, 男, 1963 年生。博士, 研究员。主要从事勘查地球化学与全球尺度地球化学方向研究。通讯地址: 065000, 河北省廊坊市金光道 84 号。E-mail: wangxueqiu@igge.cn。

values of sediments in the tropical rainforest area of China, and the median values of these elements are less than their average values. As, Au, Bi, Pb and Sb are unevenly distributed in Laos, and the local enrichment of elements is obvious. Through the analysis of R-type cluster, the elements are divided into five clusters: Au; Cu; Ni, Co; Mn, Zn; and Ag, As, Sb, Pb, Bi, Sn. According to the geochemical distribution characteristics and comprehensive anomaly characteristics of the elements, Laos is divided into seven metallogenic prospective areas.

**Key words:** Laos; geochemical mapping; national-scale; metallogenic prospective area

国家尺度地球化学填图实施 40 余年(Butt and Nichol, 1979; 谢学锦, 1979, 2002, 2003, 2007, 2008; 王学求, 2013), 各国地球化学家对样品采集、分析测试、图件制作等地球填图手段开展了一系列的研究, 取得了丰硕的成果, 并证明了地球化学填图方法是矿产资源快速勘查评价最有效的方法(Ottesen et al., 1989; Alexander and Victor, 1995; Bölviken et al., 1996; Elsenbroek and Nester, 2002; 王学求, 2003, 2013; Atsuyuki et al., 2005; Xie, 2008; Cheng et al., 2013)。我国自 1978 年实施“区域化探全国扫面规划”以来, 截止到 2009 年, 已完成了全球最大面积的国家尺度化探扫面工作, 总面积达 700 余万 km<sup>2</sup>, 取得了数以千万计的高质量的元素含量数据, 发现各类矿产 2 000 余处, 取得了巨大科学成就、经济效益和社会效益(Xie et al., 1997; 刘大文等, 2002; 谢学锦和刘大文, 2006; 谢学锦等, 2009; 奚小环, 2007), 并培养了一批优秀的勘查地球化学家, 使得我国地球化学填图居于世界领先水平(Xie et al., 1997; Xie and Cheng, 1997, 2004, 2013; 谢学锦, 2007, 2008; 谢学锦等, 2009)。随着国家“一带一路”倡议的推进, 在中国地质调查局的资助下, 2016 年开展了老挝境内 21 万 km<sup>2</sup> 的国家尺度(1:100 万)地球化学填图工作, 分析了 71 种元素, 填补了老挝国家尺度地球化学填图的空白, 为老挝基础地质、矿产开发、环境保护、农业生产等多个方面提供了基础地球化学保障。同时, 通过开展与老挝地球化学合作填图, 为老挝培养了一批地球化学人才, 提高了东南亚国家地球化学填图水平, 推动了国家“一带一路”倡议和“化学地球”大科学计划的实施, 进一步巩固了我国在地球化学填图领域的领先地位。

## 1 区域地质概况

老挝地处亚洲中南半岛的中北部, 是半岛上唯一的内陆国家, 境内 80% 的地区为山地和高原, 其余为盆地和平原。属热带和亚热带季风气候, 植被极为发育, 现代风化堆积作用强烈, 基岩出露较少, 加之交通不便, 地质调查程度很低(严城民等, 2006; 朱延浙等, 2009)。老挝出露地层主要为古生界, 其次为中生界和新生界(图 1)。古生界主要发育在北部和东部地区。中生界主要为出露在桑怒地区的中、

上三叠统海相灰岩、砂岩和粉砂岩等, 其次在南部北通河谷中有侏罗系海相沉积发育。新生界在北部山间谷地发育, 并有褐煤层出现; 第四系在沟谷中广泛分布。区域构造上, 老挝隶属于印支陆块区, 是由众多小块体及其间拼接带组成的结构复杂的统一陆块。区内多期次的岩浆岩重合叠加、成带、成片展布构成了岩浆岩带, 岩浆岩带多分布在俯冲带、碰撞带等板块构造活动强烈的部位, 形成了具有大地构造意义的构造岩浆岩带, 这些构造岩浆带与该地区矿产资源的形成关系密切(Wakita and Metcalfe, 2005; 卢映祥等, 2009; 施美凤等, 2011; 李玉彬等, 2012; 王宏等, 2012, 2015; 贾润幸等, 2014; Khin et al., 2015; 刘书生等, 2018)。

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

老挝 1:100 万国家尺度地球化学填图设计采样网格 10 km×10 km。按照编制地球化学图的要求, 图上每 cm<sup>2</sup> 至少 1 个点, 按此原则布设整个研究区域的采样点位。每个采样点应能够控制每个采样网格最大面积, 老挝地理位置处于中南半岛, 境内多山, 海拔总体较高, 低山丘陵次之, 平原低谷较少, 采样介质以水系沉积物为主。在每个网格的低洼处采样, 样品粒级小于 2 mm(-10 目)。采样重量应该过筛后大于 1 kg, 重复样数量要达到总样品数量的 3%~5%, 老挝全境共采集样品 1905 件。

### 2.2 分析测试

老挝国家尺度地球化学填图统一分析了 71 种元素, 分析方法以 ICP-MS、FU-ICP-OES 和 XRF 为主, 所有元素分析检出限必须低于地壳克拉克值。各元素对应的分析方法如下: GF-AAS(Au); ICP-MS(Bi、Cd、Cs、Hf、In、Mo、Pb、Sc、Ta、Th、Tl、U、W、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y、Pt、Pd、Te); XRF(SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Ba、Br、Cl、Co、Cr、Cu、Ga、Nb、Ni、P、Rb、S、Ti、V、Zn、Zr); HG-AFS(As、Sb、Se、Ge); CV-AFS(Hg); SIE(F); ES(Ag、B、Sn); CF-COL(I); FU-ICP-OES(CaO、MgO、Na<sub>2</sub>O、Be、Li、Mn、Sr); GC(C、N), 各种元素检出限见表 1。

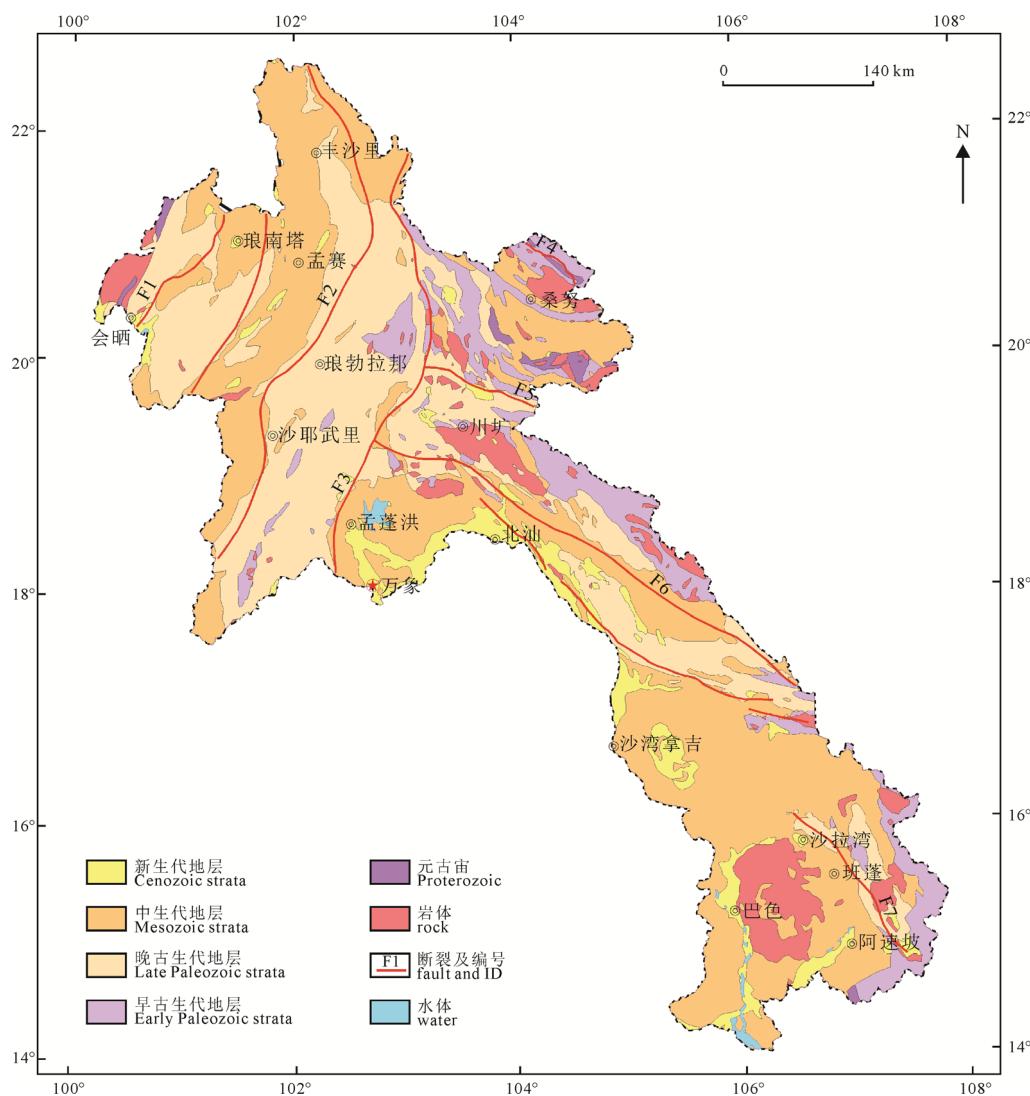


图1 老挝区域地质简图(据贾润幸等, 2014)  
Fig. 1 Simplified geological map of Laos (modified after JIA et al., 2014)

表1 71种元素检出限表  
Table 1 The detection limits of 71 elements

分析指标	Ag	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Cl
检出限	20	1	0.2	1	5	0.5	0.05	1	20	20
分析指标	Co	Cr	Cs	Cu	F	Ga	Ge	Hf	Hg	I
检出限	1	5	1	1	100	2	0.1	0.2	2	0.5
分析指标	In	Li	Mn	Mo	N	Nb	Ni	P	Pb	Pd
检出限	0.02	1	10	0.2	20	2	2	10	2	0.03
分析指标	Pt	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te
检出限	0.03	5	30	0.05	1	0.01	1	5	0.1	0.01
分析指标	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn	Zr	Y	La
检出限	1	10	0.1	0.1	5	0.2	2	2	1	1
分析指标	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
检出限	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
分析指标	Tm	Yb	Lu	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
检出限	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
分析指标	TC									
检出限	0.1									

注: Ag、Au、Cd、Hg、Pd、Pt元素检出限含量单位为10<sup>-9</sup>; SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、CaO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O和TC检出限含量单位为%; 其他元素含量单位为10<sup>-6</sup>。

### 2.3 图件编制

所有地球化学图的底图均采用 Arcgis10.2 版本制作, 底图中点、线、面文件格式分别以.shp 文件格式导入 GeoExpl 软件制作地球化学专题图。在 GeoExpl 中对数据进行网格化处理, 网格单元间距 Dx、Dy 均为 10 km, 计算模型采用指数加权模型, 其中数据搜索模式采用圆域搜索, 半径为网格单元间距的 2.5 倍即 25 km。根据以上方法对数据进行网格化处理后在 GeoExpl 中以等值线图生成地球化学图。地球化学图的编制采用累积频率的分级方法按累积频率 2.5%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 97.5% 所对应的含量划分成 18 级, 并以累计频率 85%, 95%, 97.5% 所对应的含量划分异常的外、中、内带编制地球化学异常图(图 2)。

## 3 老挝成矿元素地球化学参数特征

本研究统计了 1905 件样品数的所有 71 种元素含量, 均统计最小值、最大值、算数平均值和累积

频率分别为 25%(低背景基线值), 50%(中背景基线值), 75%(高背景基线值), 85%(异常基线值), 95%, 97.5% 相对应的元素含量值, 部分成矿元素地球化学参数见表 2。

从表 2 中可以看出: 上述成矿元素的平均值均大于其中位值, 元素 Ag、Co、Cu、Mn、Ni 和 Zn 的平均值略大于中位值; As、Au、Bi、Pb 和 Sb 的平均值明显大于中位值, 其中 Sb 的平均值几乎是中位值的 4 倍; Ag、As、Bi、Pb 和 Sn 的平均值与 75% 值相当, Au 和 Sb 的平均值均大于 85% 值, 这说明 As、Au、Bi、Pb 和 Sb 在老挝境内的分布十分不均, 元素局部富集明显。通过与我国热带雨林区水系沉积物元素含量对比发现, 老挝成矿元素含量的中位值均小于我国热带雨林区水系沉积物元素含量; 老挝成矿元素含量平均值中, 元素 Ag、Bi、Co、Cu、Mn、Ni、Pb 和 Zn 的含量平均值与我国热带雨林区水系沉积物元素含量大体相当, As、Au 和 Sb 的平均含量明显较大, 而 Sn 的平均含量明显小于我国热带雨林区水系沉积物元素含量, 这说明在

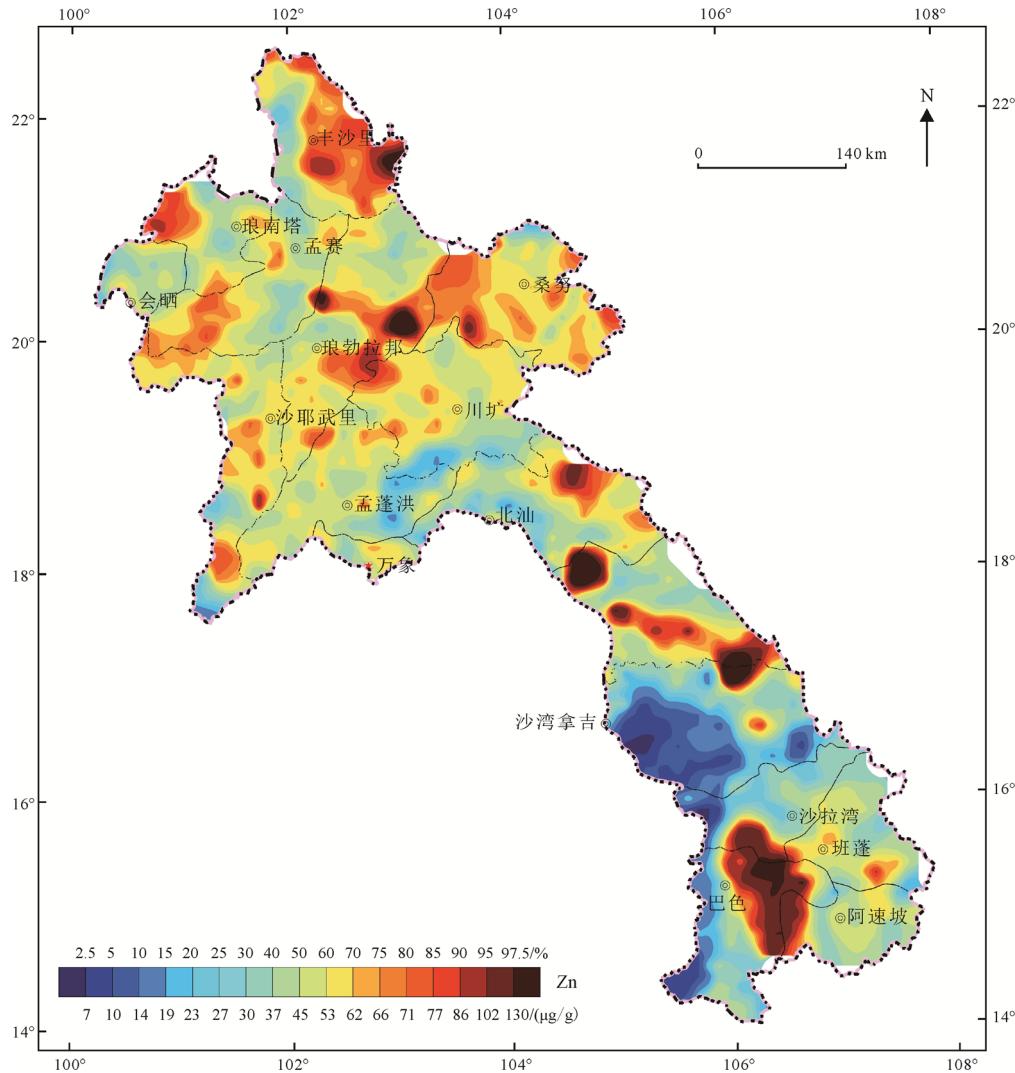


图 2 老挝 Zn 元素地球化学图  
Fig. 2 Geochemical map of Zn in Laos

表 2 老挝成矿元素地球化学参数表  
Table 2 Geochemical parameters of ore-forming elements in Laos

元素	Ag	As	Au	Bi	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
最小值	19	0.50	0.10	0.03	0.23	1.20	75	0.50	2.15	0.05	0.63	3.90
25%值	49	2.19	0.55	0.10	4.67	9.51	260	8.22	9.77	0.29	1.39	26.87
中位值	61	4.78	0.98	0.18	8.90	16.50	386	15.12	14.96	0.50	1.88	45.39
75%值	75	9.05	1.52	0.29	14.49	26.28	626	24.16	21.93	0.88	2.57	66.37
85%值	88	11.74	1.98	0.36	18.09	33.11	818	30.55	26.96	1.22	3.20	77.07
95%值	122	22.02	4.01	0.54	30.05	55.90	1 329	53.20	40.56	2.34	4.91	101.51
97.5%值	153	32.25	7.32	0.78	42.84	76.34	1 727	99.61	53.52	3.30	6.44	130.39
最大值	10 000	2 755.10	913.70	46.62	242.70	459.00	14 212	236.70	4 695.00	1 284.94	100.00	2 524.00
平均值	79	10.41	2.53	0.29	11.83	21.96	537	21.25	23.62	1.94	2.52	52.46
标准偏差	325	85.86	23.60	1.45	14.06	26.06	589	26.89	134.55	34.53	4.87	74.22
中国热带雨林区水系沉积物	80	7.70	1.49	0.36	12.00	20.00	660	24.00	29.00	0.72	4.20	63.00

注: Ag、Au 元素含量单位为  $10^{-9}$ , 其他元素含量单位为  $10^{-6}$ ; 中国热带雨林区水系沉积物数据来源于文献迟清华和鄂明才(2007)。

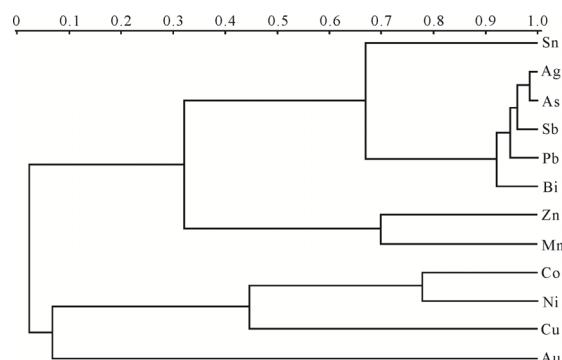


图 3 老挝成矿元素聚类分析(R型)谱系图

Fig. 3 The ore-forming elements clustering analysis (R) spectrum diagram in Laos

距离较近, 相似的气候条件及自然景观区, 大部分元素的含量比较接近, 而受热液作用、区域构造等影响较大的元素如 Au、As 等元素受气候和地球化学景观的影响较小。

为了更好地研究老挝元素间的相关程度和空间分布特性, 并分析元素组合特征, 我们采用相关系数法(R型聚类)对成矿元素进行聚类分析(图 3), 并以相关系数 0.5 为界, 将 12 种元素分成 5 个簇群, 分别为: Au; Cu; Ni、Co; Mn、Zn; Ag、As、Sb、Pb、Bi、Sn。Ag、As 相关性最强, 相关系数为 0.981, Ag、As、Sb、Pb、Bi 的相关度都很高, 综合的相关度达到了 0.9 以上。Ni 和 Co 的相关度也较好, 达到 0.783, Mn、Zn 相关度为 0.695; Cu 与 Co 和 Ni 有一定的相关性, 但相关度不高, 与其他元素相关性很差, 这与老挝的主要铜矿床多为夕卡岩型、热液型、斑岩型相匹配, 主要受岩浆热液及构造条件所控制; Au 与其他元素的相关性都很差, 反映了 Au 矿床的形成受热液作用和自然淋滤作用控制, 与老挝国内主要的金矿床主要为斑岩型、石英脉型、卡林型和冲积型相呼应(王学求和谢学锦, 2000; 卫万顺和张宇辉, 2005)。

#### 4 老挝成矿元素地球化学预测区

在单元素地球化学图和地球化学异常图的基础上, 根据元素的相关性编制了地球化学组合异常图和综合异常图(图 4), 综合区域地质和区域成矿情况及成矿元素的综合地球化学分布特征, 在老挝划分出如下几个地球化学成矿预测区(表 3):

(1) 丰沙里—兑朱芝地球化学预测区: 本区面积约  $2700 \text{ km}^2$ , 位于丰沙里—兑朱芝一带, 思茅—丰沙里成矿带北部新生代盆地中, 发育中、新生代地层, 主要岩性为浅海相灰岩、泥岩及陆相的红色砂岩、砂砾岩, 区内断裂构造发育, 岩浆岩不发育。主要地球化学异常为 Au、Cu 和 Co-Ni, 这些异常面积较大, 但异常强度一般, Au、Cu、Co、Ni 的最大值分别为:  $6.33 \times 10^{-9}$ 、 $76.69 \times 10^{-6}$ 、 $209.68 \times 10^{-6}$  和  $90.09 \times 10^{-6}$ ; 平均值分别为:  $1.76 \times 10^{-9}$ 、 $41.90 \times 10^{-6}$ 、 $27.55 \times 10^{-6}$  和  $28.28 \times 10^{-6}$ , 异常强度分别为: 1.80、2.54、3.09 和 1.86。本区发现有沉积改造型南永铜矿和新寨铜矿, 矿体主要赋存在砂岩中, 呈脉状、透镜状、似层状产出, 并受地层、构造控制(吕俊等, 2009; 于江, 2014; 刘慧鹏等, 2017), 本区是老挝沉积型铜矿的主要成矿远景区。

(2) 索金—班腾根地球化学预测区: 本区面积约  $2500 \text{ km}^2$ , 位于琅勃拉邦成矿带与思茅—丰沙里成矿带交界处, 难府—琅勃拉邦断裂的南侧, 主要出露地层有三叠—侏罗系粉砂岩, 中二叠统安山岩、安山质凝灰岩, 下二叠统海相碳酸盐岩(贾润幸等, 2014)。沿断裂带分布有华里西—印支期花岗岩及中酸性火山岩。主要地球化学异常为 Au、Cu, Au 异常面积大, 强度一般, Au、Cu 的最大值分别为:  $56.39 \times 10^{-9}$  和  $109.90 \times 10^{-6}$ ; 平均值分别为:  $4.78 \times 10^{-9}$  和  $25.67 \times 10^{-6}$ , 异常强度分别为: 4.87 和 1.56。区内 Nam Phak 和 Nam Hou 地区均发现有金

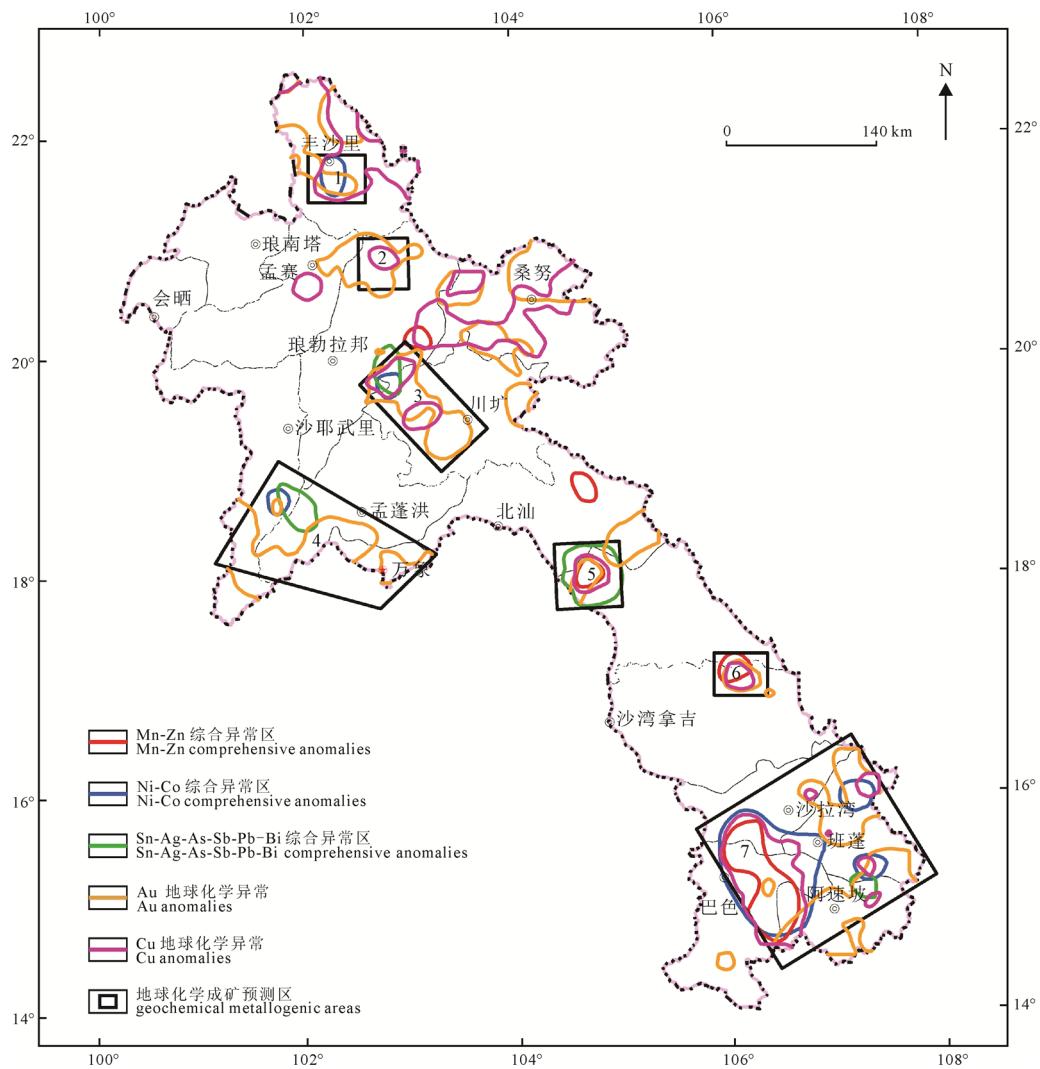


图4 老挝成矿元素综合异常图  
Fig. 4 Comprehensive anomaly map of ore-forming elements in Laos

矿化点，本区铜、金的主要成矿类型为砂岩型铜矿化，冲积型砂金矿化。

(3)班皮亚—川圹地球化学预测区：本区主要位于长山成矿带北部，部分区域与琅勃拉邦成矿带交界，地层为下古生界的陆源细粒碎屑岩和上古生界的陆源碎屑岩、碳酸盐岩，区内喜山期中酸性岩浆的侵入和喷发活动强烈。主要地球化学异常为Au、Cu、Co-Ni。局部有Ag-As-Sb-Pb-Bi-Sn综合异常，Au、Cu、Co、Ni的最大值分别为： $105.90 \times 10^{-9}$ 、 $211.32 \times 10^{-6}$ 、 $42.52 \times 10^{-6}$ 和 $98.51 \times 10^{-6}$ ；平均值分别为： $3.23 \times 10^{-9}$ 、 $28.57 \times 10^{-6}$ 、 $14.96 \times 10^{-6}$ 和 $25.75 \times 10^{-6}$ ，异常强度分别为：3.29、1.73、1.68和1.69。各项元素异常均较为强烈，这与区内喜山期岩浆活动及区内发育的普雷山深大断裂密切相关，在岩浆活动的过程中，形成了多种类的金、铜、银、铅、锡等多金属矿产，已知的矿产有孟考铅矿、帕奔金矿、陇维金矿、富开铜金矿和波通铜矿等(夏庆霖等, 2009; 陈慕天等, 2013; 赵延朋等, 2013; 刘威等, 2017)，本区是老挝最重要的多金属矿产成矿

远景区之一。

(4)孟瓦—万象地球化学预测区：本预测区面积约 $16\ 600\ km^2$ ，包括了沙耶武里省南部、孟蓬哄省西南部，万象省西部，成矿区带上跨越了琅勃拉邦成矿带和万象—巴色成矿带。区内出露以泥盆系—中三叠统为主的地层，华力西期NE深大断裂普雷山断裂贯穿全区，印支—燕山期板块对接，NW向构造大规模发育，形成区域性大型剪切带，与原NE向构造叠加复合。晚二叠世为火山弧发育期，并伴随大量华力西期花岗岩侵入，使得本区有很好热液及构造矿床的成矿前景。本区主要异常元素为：Au、Co-Ni和Ag-As-Sb-Pb-Bi-Sn组合异常，Au、Cu为主要异常元素，最大值分别为： $303.20 \times 10^{-9}$ 和 $134.10 \times 10^{-6}$ ；平均值分别为： $4.34 \times 10^{-9}$ 和 $21.71 \times 10^{-6}$ ，异常强度分别为：4.43和1.32。其中Au的异常面积大，异常强度高，是主要的目标矿产。预测区内已知典型金矿床有萨纳坎金矿、帕莱金矿、邦金金矿和上洞金矿等一系列具有开发价值的金矿床(高亚龙等, 2017)。

表3 老挝成矿远景区地球化学参数  
Table 3 Geochemical parameters of metallogenic prospective areas in Laos

远景区	区内样品数	面积/km <sup>2</sup>	元素	最小值	平均值	中位值	最大值	标准差	区域背景值	异常下限	异常强度	异常衬度	变异系数
1、丰沙里—兑朱芝	28	2 716	Au	0.44	1.76	1.35	6.33	1.49	0.98	1.98	1.80	0.89	0.85
			Cu	15.76	41.90	35.97	76.69	19.63	16.50	33.11	2.54	1.27	0.47
			Co	7.48	27.55	17.91	209.68	42.13	8.90	18.09	3.09	1.52	1.53
	25	2 513	Ni	8.65	28.28	22.21	90.09	19.56	15.20	33.55	1.86	0.84	0.69
			Au	0.34	4.78	0.99	56.39	11.70	0.98	1.98	4.87	2.41	2.45
			Cu	3.96	25.67	18.93	109.90	26.67	16.50	33.11	1.56	0.78	1.04
3、班皮亚—川圹	86	7 473	Au	0.35	3.23	1.42	105.90	11.49	0.98	1.98	3.29	1.63	3.56
			Cu	2.47	28.57	24.37	211.32	26.08	16.50	33.11	1.73	0.86	0.91
			Co	2.07	14.96	14.13	42.52	7.03	8.90	18.09	1.68	0.83	0.47
	26	4 206	Ni	4.42	25.75	23.41	98.51	14.15	15.20	33.55	1.69	0.77	0.55
			Au	0.31	4.34	1.12	303.20	26.94	0.98	1.98	4.43	2.19	6.20
			Cu	1.29	21.71	15.72	134.10	18.94	16.50	33.11	1.32	0.66	0.87
4、孟瓦—万象	127	16 612	Au	0.10	1.76	0.88	8.85	2.12	0.98	1.98	1.79	0.89	1.21
			Cu	3.40	37.46	11.55	328.50	78.91	16.50	33.11	2.27	1.13	2.11
			Ag	33.50	865.98	66.50	10 000.00	2 692.20	61.00	88.00	14.20	9.84	3.11
	29	2 268	As	1.25	228.40	4.41	2 755.10	709.50	4.78	11.74	47.78	19.45	3.11
			Sb	0.27	82.36	0.67	1 284.94	288.59	0.50	1.22	164.72	67.51	3.50
			Pb	4.11	337.66	18.25	4 695.00	1 078.14	14.96	26.96	22.57	12.52	3.19
5、班纳坎	29	2 268	Bi	0.07	4.08	0.16	46.62	11.49	0.18	0.36	22.65	11.33	2.82
			Sn	0.90	14.11	2.22	100.00	31.53	1.88	3.20	7.51	4.41	2.23
			Au	0.31	2.13	1.23	14.28	2.92	0.98	1.98	2.18	1.08	1.37
	227	29 483	Cu	8.00	30.87	19.70	136.20	31.63	16.50	33.11	1.87	0.93	1.02
			Mn	175.50	935.56	395.10	14 211.50	2 574.34	386.00	818.00	2.42	1.14	2.75
			Zn	14.90	154.07	47.40	2 524.00	45.916	45.39	77.07	3.39	2.00	2.98
6、班纳戈格—班索巴圭	29	2 268	Au	0.16	2.58	0.90	93.39	8.70	0.98	1.98	2.64	1.30	3.37
			Cu	1.60	28.62	20.50	118.70	24.60	16.50	33.11	1.73	0.86	0.86
			Co	0.60	21.24	12.10	242.70	27.63	8.90	18.09	2.39	1.17	1.30
	227	29 483	Ni	1.80	49.70	22.10	236.70	60.17	15.20	33.55	3.27	1.48	1.21
			Mn	119.70	690.18	455.60	7 764.30	782.13	386.00	818.00	1.79	0.84	1.13
			Zn	4.90	59.69	47.10	237.60	45.88	45.39	77.07	1.31	0.77	0.77

注：元素含量单位：Ag、Au为 $10^{-9}$ ，其他元素为 $10^{-6}$ 。

(5)班纳坎地球化学预测区: 该预测区位于甘肃省西北角, 以班纳坎为中心, 面积约  $4200 \text{ km}^2$ , 本区处于万象—巴色成矿带和长山成矿带交界处, 区域地层主要为上古生界板状页岩、变质砂岩等。中生界红色泥岩、砂岩、泥灰岩及蒸发岩。新生界出露古近纪—第四纪地层, 岩性为红土、粉砂、砾石等松散沉积物, 普遍含锡石。富良复式褶皱和长山—岘港断裂是区内的控矿构造, 海西期中酸性侵入岩为本区金属矿产的形成提供了物源。本区域 Au、Cu、Mn-Zn 和 Ag-As-Sb-Pb-Bi-Sn 综合异常强度均较高, Au、Cu、Ag、As、Sb、Sn 异常强度分别为: 1.79、2.27、14.20、47.78、164.72 和 7.51。本预测区是寻找金矿、铜矿和砂锡矿等多金属矿产的重要区域, 已知周边及区内的矿产有拉绍金矿、波宁砂锡矿、南巴坦锡矿等(Schwartz et al., 1995; 赵延朋等, 2012, 2013; 刘胜和周连, 2014; 陈喜峰等, 2015)。

(6)班纳戈格—班索巴圭地球化学预测区: 该预测区异常面积约  $2200 \text{ km}^2$ , 中心区域约  $800 \text{ km}^2$ 。位于沙湾拉吉省东北部。成矿区带上亦处于万象—巴色成矿带和长山成矿带交界处, 主要出露地层为晚古生代碎屑沉积岩和碳酸盐岩, 北西向的长山—岘港断裂是区内的控矿构造, 华力西期—印支期中酸性火山岩控制着该区域铜金矿的时空分布, 并提供了成矿所需要的矿物来源和能量来源。主要地球化学异常为: Au、Cu、和 Mn-Zn, Au、Cu、Mn、Zn 的最大值分别为:  $14.28 \times 10^{-9}$ 、 $136.20 \times 10^{-6}$ 、 $14.211.50 \times 10^{-6}$  和  $2.524.00 \times 10^{-6}$ ; 平均值分别为:  $2.13 \times 10^{-9}$ 、 $30.87 \times 10^{-6}$ 、 $935.56 \times 10^{-6}$  和  $154.70 \times 10^{-6}$ , 异常强度分别为: 2.18、1.87、2.42 和 3.39。本区是老挝铜金矿的重要找矿远景区, 本区已知的矿产有赛奔铜金矿、府桑金矿和怀浩金矿等(赵延朋等, 2013)。

(7)南部地球化学预测区: 本预测区地理上位于老挝南部, 包括了沙拉湾省南部、占巴塞省东北部、阿速坡省北部和塞公省大部, 成矿区带上位于万象—巴色成矿带南端, 区内主要地层为古生代和中生代沉积岩, 发育有深大断裂孟高断裂, 区内岩浆活动强烈, 中酸性火山岩和侵入岩为该区提供了金属矿产的形成提供了物源和热源。Au、Cu、Co-Ni、Mn-Zn 和 Ag-As-Sb-Pb-Bi-Sn 综合异常强度高, 异常面积大, Au、Cu、Co、Ni、Mn 和 Zn 的最大值分别为:  $93.39 \times 10^{-9}$ 、 $118.70 \times 10^{-6}$ 、 $242.70 \times 10^{-6}$ 、 $236.70 \times 10^{-6}$ 、 $7764.30 \times 10^{-6}$  和  $237.60 \times 10^{-6}$ ; 平均值分别为:  $2.58 \times 10^{-9}$ 、 $28.62 \times 10^{-6}$ 、 $21.24 \times 10^{-6}$ 、 $49.70 \times 10^{-6}$ 、 $690.18 \times 10^{-6}$  和  $59.69 \times 10^{-6}$ , 异常强度分别为: 2.64、1.73、2.39、3.27、1.79 和 1.31。本区

已知的金属矿产有会阿速坡金矿、纳勐金矿、塔德铜矿、塞贡富锡矿、钟昂 1、2 号铅矿等(朱延浙等, 2009; 夏庆霖等, 2009; 赵延朋等, 2013; 张恒等, 2016)。

## 5 结论

老挝岩浆活动剧烈, 发育多条深大断裂, 为矿产的形成提供了物源、能量和通道, 具有先天的成矿条件, 但老挝地表覆盖严重, 河流众多, 水系密集, 使得传统地质找矿难度巨大。地球化学填图工作能很好地提供找矿线索, 在本地区具有得天独厚的优势, 本文的主要结论如下:

(1)老挝国家尺度 1:100 万地球化学填图, 覆盖了老挝约 21 万  $\text{km}^2$ , 编制了 71 种元素的地球化学图和地球化学异常图, 填补了老挝国家尺度地球化学填图的空白, 为老挝基础地质、矿产开发、环境保护、农业生产等多个方面提供了基础地球化学保障。

(2)通过研究老挝 Au、Cu、Ni、Co、Mn、Zn、Ag、As、Sb、Pb、Bi 和 Sn 的地球化学参数特征发现 As、Au、Bi、Pb 和 Sb 在老挝境内的分布十分不均, 元素局部富集明显, 而且老挝成矿元素含量的中位值均小于我国热带雨林区水系沉积物元素含量。

(3)通过研究老挝 Au、Cu、Ni、Co、Mn、Zn、Ag、As、Sb、Pb、Bi 和 Sn 的地球化学相关性, 我们将上述元素分为 Au; Cu; Ni、Co; Mn、Zn; Ag、As、Sb、Pb、Bi、Sn 等 5 个簇群。

(4)根据元素的地球化学分布特征及综合异常特征, 在老挝划分了丰沙里—兑朱芝铜地球化学成矿远景区、索金—班腾根铜、金地球化学成矿远景区、班皮亚—川圹金、铜、银、铅及锡等多金属地球化学成矿远景区、孟瓦—万象金地球化学成矿远景区、班纳坎金、锡地球化学成矿远景区、班纳戈格—班索巴圭铜、金地球化学成矿远景区和老挝南部金、铜、铅及锡等多金属地球化学成矿远景区。

## Acknowledgements:

This study was supported by State Key Research and Development Program (No. 2016YFC0600600), and China Geological Survey (Nos. 121201108000150005, 1212011120331 and 1212010661313).

## 参考文献:

- 陈慕天, 王吉勇, 许国明. 2013. 老挝川圹省西南部富开铜金矿床地质特征[J]. 云南地质, 32(3): 286-288.  
陈喜峰, 向运川, 叶锦华, 蔡纲, 陈秀法, 张振芳, 李娜, 张新元. 2015. 东南亚中南半岛锡矿带成矿特征[J]. 地质通报,

- 34(4): 734-745.
- 迟清华, 鄭明才. 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社: 94-95.
- 高亚龙, 牛英杰, 刘智勇, 陈京玉, 沈九州. 2017. 老挝金矿资源分布特征与成矿远景[J]. 现代矿业, 577: 20-25.
- 贾润幸, 方维萱, 魏雪燕. 2014. 老挝地质矿产资源及开发概况[J]. 矿产勘查, 5(5): 826-833.
- 李玉彬, 钟婉婷, 张天平, 陈华安, 李玉昌, 陈红旗, 范安辉. 2012. 西藏改则县波龙斑岩型铜金矿床地球化学特征及成因浅析[J]. 地球学报, 33(4): 579-587.
- 刘大文, 谢学锦, 严光生, 连长云, 王全明. 2002. 地球化学块体的方法技术在山东金资源潜力预测中的应用[J]. 地球学报, 23(2): 169-174.
- 刘慧鹏, 王芳, 钱雷云, 李福. 2017. 老挝丰沙里省新寨铜矿土壤地球化学特征[J]. 世界有色金属, 2(1): 179-181.
- 刘胜, 周连. 2014. 老挝甘蒙省新奔县波宁砂锡矿地质特征及矿床成因初探[J]. 西部探矿工程, 3: 147-150.
- 刘书生, 杨永飞, 郭林楠, 聂飞, 彭智敏, 潘桂堂. 2018. 东南亚大地构造特征与成矿作用[J]. 中国地质, 45(5): 863-889.
- 刘威, 牛英杰, 戴富余, 沈九州. 2017. 老挝爬奔金矿地质地球化学特征及成因[J]. 科学技术与工程, 17(30): 14-19.
- 卢映祥, 刘洪光, 黄静宁, 张宏远, 陈永清. 2009. 东南亚中南半岛成矿带初步划分与区域成矿特征[J]. 地质通报, 28(2/3): 314-325.
- 吕俊, 师洪涛, 刘乾, 杨东华. 2016. 老挝乌多姆赛省纳埃铜矿地质特征及找矿前景[J]. 云南地质, 35(2): 230-234.
- 施美凤, 林方成, 李兴振, 凌小明, 石洪召. 2011. 东南亚中南半岛与中国西南邻区地层分区及沉积演化历史[J]. 中国地质, 38(5): 1244-1256.
- 王宏, 林方成, 施美凤. 2012. 老挝及邻区主要矿产成矿规律[J]. 矿床地质, 31(增刊): 1177-1178.
- 王宏, 林方成, 李兴振, 施美凤. 2015. 老挝及邻区构造单元划分与构造演化[J]. 中国地质, 42(1): 71-84.
- 王学求, 谢学锦. 2000. 金的勘查地球化学—理论与方法·战略与战术[M]. 济南: 山东科学技术出版社.
- 王学求. 2003. 矿产勘查地球化学: 过去的成就与未来的挑战[J]. 地学前缘, 10(1): 239-248.
- 王学求. 2013. 勘查地球化学 80 年来重大事件回顾[J]. 中国地质, 40(1): 322-330.
- 卫万顺, 张宇辉. 2005. 金矿床模型[M]. 北京: 中国大地出版社: 184-193.
- 奚小环. 2007. 多目标的地质大调查—21 世纪勘查地球化学的战略选择[J]. 物探与化探, 31(4): 283-288.
- 夏庆霖, 谢蕴宏, 刘俊来, 冯庆来, 李定平, 陈永清. 2009. 东南亚中南半岛地区黑色金属矿床谱系[J]. 地质通报, 28(2/3): 326-332.
- 谢学锦. 1979. 区域化探[M]. 北京: 地质出版社.
- 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. 2003. 全球地球化学填图[J]. 中国地质, 30(1): 1-9.
- 谢学锦, 刘大文. 2006. 地球化学填图与地球化学勘查[J]. 地质评论, 52(6): 721-736.
- 谢学锦. 2007. 地球化学填图的历史发展(代总序)[J]. 地质通报, 26(11): 1399-1404.
- 谢学锦. 2008. 全球地球化学填图—历史发展与今后工作之建议[J]. 中国地质, 35(3): 357-374.
- 谢学锦, 任天祥, 奚小环, 张立生. 2009. 中国区域化探全国扫面计划纲要[J]. 地球学报, 30(6): 700-716.
- 严城民, 朱延浙, 吴军, 冯明刚. 2006. 老挝万象地区基础地质调研的主要进展[J]. 地球学报, 27(1): 81-84.
- 于江. 2014. 老挝丰沙里省南永铜矿床构造控矿研究[D]. 昆明: 昆明理工大学.
- 张恒, 王旭东, 邹林, 肖超, 王玉杰, 刘东, 王双轮, 张金鹏. 2016. 老挝纳勐金矿区地质特征及找矿方向[J]. 矿产勘查, 7(6): 1011-1022.
- 赵延朋, 何国朝, 陆家海. 2013. 老挝典型金矿床地质特征及成矿模式[J]. 矿产与地质, 27(增刊): 41-46.
- 赵延朋, 王晓曼, 夏绪学, 王欣柔. 2012. 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, 28(6): 1-4.
- 朱延浙, 吴军, 胡建军, 崔子良, 黄晓林, 严城民. 2009. 老挝地质矿产概论[M]. 昆明: 云南科技出版社.

## References:

- ALEXANDER M S, VICTOR A G. 1995. Regional to detailed geochemical mapping of the Kariisk ore district, eastern Trans-Baikal region, Russia[J]. Journal of Geochemical Exploration, 55: 67-74.
- ATSUYUKI O, NOBORU I, SHIGERU T, YOSHIKO T. 2005. Application of multi-element statistical analysis for regional geochemical mapping in Central Japan[J]. Applied Geochemistry, 20: 1017-1037.
- BÖLVIKEN B, BOGEN J, DEMETRIADES A, DE VOS W, EBBING J, HINDEL R, LANGEDAL M, LOCUTURA J, O'CONNOR P, OTTESEN R T, PULKKINEN E, SALMINEN R, SCHERMANN O, SWENNEN R, VAN DER SLUYS J, VOLDEN T. 1996. Regional geochemical mapping of Western Europe towards the year 2000[J]. Journal of Geochemical Exploration, 56: 141-166.
- BUTT C R M, NICHOL I. 1979. The identification of various types of geochemical stream sediment anomalies in Northern Ireland[J]. Journal of Geochemical Exploration, 11(1): 13-32.
- CHEN Mu-tian, WANG Ji-yong, XU Guo-ming. 2013. The Geological feature of Phu Kham Cu-Au Deposit in SW Xieng Khouang, Laos[J]. Yunnan Geology, 32(3): 286-288(in Chinese with English abstract).
- CHEN Xi-feng, XIANG Yun-chuan, YE Jin-hua, CAI Gang, CHEN

- Xiu-fa, ZHANG Zhen-fang, LI Na, ZHANG Xin-yuan. 2015. Metallogenic characteristics of the Central South Peninsula tin ore belt in Southeast Asia[J]. Geological Bulletin of China, 34(4): 734-745(in Chinese with English abstract).
- CHENG Zhi-zhong, XIE Xue-jing, YAO Wen-sheng, FENG Ji-zhou, ZHANG Qin, FANG Jin-dong. 2013. Multi-element geochemical mapping in Southern China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 139: 183-192.
- CHI Qing-hua, YAN Ming-cai. 2007. Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House: 94-95(in Chinese).
- ELSENBROEK J H, NESER J A. 2002. An environmental application of regional geochemical mapping in understanding enzootic geophagia of calves in the reivilo area, south africa[J]. Environmental Geochemistry and Health, 24: 159-181.
- GAO Ya-long, NIU Ying-jie, LIU Zhi-yong, SHEN Jiu-zhou. 2017. Gold resources distribution characteristics and metallogenic potential of Laos[J]. Modern Mining, 577: 20-25(in Chinese with English abstract).
- JIA Run-xing, FANG Wei-xuan, WEI Xue-yan. 2014. General introduction of geology, mineral resources and mining exploitation in Laos[J]. Mineral Exploration, 5(5): 826-833(in Chinese with English abstract).
- KHIN Z, MEFFRE S, LAI C K, BURRETT C, SANTOSH M, GRAHAM I, MANAKA T, SALAM A, KAMVONG T, CROMIE P. 2015. Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia – A review and contribution[J]. Gondwana Research, 26: 5-30.
- LI Yu-bin, ZHONG Wan-ting, ZHANG Tian-ping, CHEN Hua-an, LI Yu-chang, CHEN Hong-qi, FAN An-hui. 2012. Geochemical Characteristics and Genesis of the Bolong Porphyry Copper-Gold Deposit in Gerze County, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 579-587(in Chinese with English abstract).
- LIU Da-wen, XIE Xue-jing, YANG Guang-sheng, LIAN Chang-yun, WANG Quan-ming. 2002. The Application of Geochemical Blocks Methods to Gold Resources Assessment in Shandong Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 23(2): 169-174(in Chinese with English abstract).
- LIU Hui-peng, WANG Fang, QIAN Lei-yun, LI Fu. 2017. Soil Geochemical Characteristics of Xinzhai copper Area at Phongsaly Province, Laos[J]. World Nonferrous Metal, 2(1): 179-181(in Chinese with English abstract).
- LIU Sheng, ZHOU Lian. 2014. Geological Characteristics and Genesis of Boning Sand Tin Deposit in Xinben County, Khammuane Province, Laos[J]. Western Exploration Project, 3: 147-150(in Chinese).
- LIU Shu-sheng, YANG Yong-fei, GUO Lin-nan, NIE fei, PENG Zhi-min, PAN Gui-tang. 2018. Tectonic characteristics and metallogeny in Southeast Asia[J]. Geology in China, 45(5): 863-889(in Chinese with English abstract).
- LIU Wei, NIU Ying-jie, DAI Fu-yu, SHEN Jiu-zhou. 2017. Geological-geochemical Characteristics and Genesis of the Phapon Gold Deposit in Laos[J]. Science Technology and Engineering, 17(30): 14-19(in Chinese with English abstract).
- LU Ying-xiang, LIU Hong-guang, HUANG Jing-ning, ZHANG Hong-yuan, CHEN Yong-qing. 2009. Preliminary division of the metallogenic belts in the Central South Peninsula of Southeast Asia and their regional ore-forming characteristics[J]. Geological Bulletin of China, 28(2/3): 314-325(in Chinese with English abstract).
- LÜ Jun, SHI Hong-tao, LIU Qian, YANG Dong-hua. 2016. The geological feature and prospecting potentiality of Naai Cu deposit in Udomsay, Laos[J]. Yunnan Geology, 35(2): 230-234(in Chinese with English abstract).
- OTTESEN R T, BOGEN J, BØLVIKEN B, VOLDEN T. 1989. Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping[J]. Journal of Geochemical Exploration, 32(1): 257-277.
- SCHWARTZ M O, RAJAH S S, ASKURY A K, PUTTHAPIBAN P, DJASWADI S. 1995. The Southeast Asian Tin Belt[J]. Earth-Science Reviews, 38: 95-293.
- SHI Mei-feng, LIN Fang-cheng, LI Xing-zhen, LING Xiao-ming, SHI Hong-zhao. 2011. Stratigraphic zoning and tectonic events in Indochina and adjacent areas of southwest China[J]. Geology in China, 38(5): 1244-1256(in Chinese with English abstract).
- WAKITA K, METCALFE I. 2005. Ocean plate stratigraphy in east and southeast Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 24: 679-702.
- WANG Hong, LIN Fang-cheng, SHI Mei-feng. 2012. Main mineralization law of minerals in Laos and neighboring areas[J]. Mineral Deposits, 31: 1177-1178(in Chinese).
- WANG Hong, LIN Fang-cheng, LI Xing-zhen, SHI Mei-feng. 2015. The division of tectonic units and tectonic evolution in Laos and its adjacent regions[J]. Geology in China, 42(1): 71-84(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu, XIE Xue-jin. 2000. Exploration Geochemistry of Gold—Principles and Methodology, Tactics and Strategy[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press(in Chinese).
- WANG Xue-qiu. 2003. Exploration geochemistry: past achievements and future challenges[J]. Earth Science Frontiers, 10(1): 239-248(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu. 2013. Landmark events of exploration geochemistry in the past 80 years[J]. Geology in China, 40(1): 322-330(in Chinese with English abstract).

- WEI Wan-shun, ZHANG Yu-hui. 2005. The Model of Gold Deposits[M]. Beijing: China Land Press: 184-193(in Chinese).
- XI Xiao-huan. 2007. Multi purpose comprehensive geological survey: the strategic choice of exploration geochemistry in 21st century[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 31(4): 283-288(in Chinese with English abstract).
- XIA Qing-lin, XIE Yun-hong, LIU Jun-lai, FENG Qing-lai, LI Ding-ping, CHEN Yong-qing. 2009. Ferrous metal deposit spectrums of the Central South Peninsula region in Southeast Asia[J]. Geological Bulletin of China, 28(2/3): 326-332(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jin. 1979. Regional Geochemical Survey[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- XIE Xue-jin, CHENG Hang-xin. 1997. The suitability of floodplain sediment as a global sampling medium: evidence from China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 58(1): 51-62.
- XIE Xue-jing, MU Xu-zhan, REN Tian-xiang. 1997. Geochemical mapping in China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 60: 99-113.
- XIE Xue-jin. 2002. Exploration geochemistry: retrospect and prospect[J]. Geology and Prospecting, 38(6): 1-9(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jin. 2003. Global geochemical mapping[J]. Geology in China, 30(1): 1-9(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jing, CHENG Hang-xin. 2004. Global geochemical mapping and its implementation in the Asia-Pacific region[J]. Applied Geochemistry, 16: 139-1321.
- XIE Xue-jin, LIU Da-wen. 2006. Geochemical Mapping and Geochemical Exploration[J]. Geological Review, 52(6): 721-736(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jin. 2007. Development of geochemical mapping[J]. Geological Bulletin of China, 26(11): 1399-1404(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jin. 2008. Global geochemical mapping—Historical development and suggestions of future work[J]. Geology in China, 35(3): 357-374(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jing. 2008. Geochemical Mapping—Evolution of Its Aims, Ideas and Technology[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 82(5): 927-937.
- XIE Xue-jin, REN Tian-xiang, XI Xiao-huan, ZHANG Li-sheng. 2009. The Implementation of the Regional Geochemistry—National Reconnaissance Program (RGNR) in China in the Past Thirty Years[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(6): 700-716(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jing, CHENG Hang-xin. 2013. Sixty years of exploration geochemistry in China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 139: 4-8.
- YAN Cheng-min, ZHU Yan-zhe, WU Jun, FENG Ming-gang. 2006. The Main Advances in the Fundamental Geological Investigation of Vientiane Area, Laos[J]. Acta Geoscientica Sinica, 23(2): 169-174(in Chinese with English abstract).
- YU Jiang. 2014. Study on ore-controlling structure of Nam Yong copper deposit in Phongsali, Laos[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology: 1-66(in Chinese with English abstract).
- ZAW K, SANTOSH M, GRAHAM I T. 2014. Tectonics and metallogeny of mainland SE Asia: Preface[J]. Gondwana Research, 26: 1-4.
- ZHANG Heng, WANG Xu-dong, ZOU Lin, XIAO Chao, WANG Yu-jie, LIU Dong, WANG Shuang-lun, ZHANG Jin-peng. 2016. Geological characteristics and prospecting direction in Nameung gold deposit area, southern Laos[J]. Mineral Exploration, 7(6): 1011-1022(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yan-peng, HE Guo-zhao, LU Jia-hai. 2013. Geological characteristics and metallogenic model of typical gold deposits in Laos[J]. Mineral Resources and Geology, 27: 41-46(in Chinese).
- ZHAO Yan-peng, WANG Xiao-man, XIA Xu-xue, WANG Xin-rou. 2012. Geological Character and Ore Genesis of the Nam Paten Tin-polymetallic Ore Deposite[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 28(6): 1-4(in Chinese with English abstract).
- ZHU Yan-zhe, WU Jun, HU Jian-jun, CUI Zi-liang, HUANG Xiao-lin, YAN Cheng-min. 2009. Introduction on the Geology and Mineral Resources of Laos[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press: 20-66(in Chinese).