

老挝铜地球化学背景与异常特征

王 玮^{1, 2)}, 王学求^{1, 2)*}, 张必敏^{1, 2)}, 聂兰仕^{1, 2)}, Sounthone LAOLO³⁾,
Phomsylalai SOUKSAN³⁾, 周 建^{1, 2)}, 刘汉粮^{1, 2)}, 韩志轩^{1, 2)},
刘东盛^{1, 2)}, 迟清华^{1, 2)}, 徐善法^{1, 2)}

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: 老挝是东南亚地区多金属矿产的重要产地, 本文首次依据老挝全境1:100万地球化学填图数据, 初步研究了老挝铜地球化学背景和空间分布特征, 圈定了老挝地球化学异常。主要取得了如下结论: 1)老挝水系沉积物铜含量分布范围在 1.20×10^{-6} ~ 459.00×10^{-6} , 平均值 21.96×10^{-6} , 背景值 16.50×10^{-6} , 不同构造单元中铜含量而言, 长山地块和各类缝合带上的铜元素平均值和中位值显著大于其他构造单元; 2)老挝铜的地球化学图显示, 其铜元素分布不均, 总体上表现为北部较高, 南部较低的格局; 3)用含量累计频率85%(33.1×10^{-6})为异常下限, 全老挝境内圈定铜元素地球化学异常13处, 其中4处达地球化学省规模($>1000 \text{ km}^2$), 为老挝铜矿成矿远景区划分和勘查提供了基础性资料。

关键词: 老挝; 铜; 地球化学填图; 地球化学背景; 地球化学异常

中图分类号: P595 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2020.061701

Geochemical Background and Anomalies of Copper in Laos

WANG Wei^{1, 2)}, WANG Xue-qiu^{1, 2)*}, ZHANG Bi-min^{1, 2)}, NIE Lan-shi^{1, 2)}, Sounthone LAOLO³⁾,
Phomsylalai SOUKSAN³⁾, ZHOU Jian^{1, 2)}, LIU Han-liang^{1, 2)}, HAN Zhi-xuan^{1, 2)},
LIU Dong-sheng^{1, 2)}, CHI Qing-hua^{1, 2)}, XU Shan-fa^{1, 2)}

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) UNESCO International Centre on Global-scale Geochemistry, Langfang, Hebei 065000;

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

Abstract: Laos is an important production country for metallic ores in Southeast Asia. Lao's National-scale Geochemical Mapping Project has provided insight into understanding geochemical background, spatial distribution and potential targets for copper ore deposits. This paper has primarily reached the following conclusions: 1) The copper concentration ranges from 1.20×10^{-6} to 459.00×10^{-6} , and the background value is 16.50×10^{-6} , 21.96×10^{-6} on average. In terms of copper content of different tectonic units in Laos, the average value and median value of copper in Changshan block and other types of sutures are significantly higher than the values of other tectonic units; the major types of copper deposits are skarn type, hydrothermal type and porphyry type, which are mainly controlled by magmatic, hydrothermal and structural conditions; 2) The geochemical map of copper of Laos shows that the distribution of copper elements is uneven, being high in the north and low in the south; 3) Totally 13 copper geochemical anomalies are delineated by threshold of 33.1×10^{-6} , 4 of which have reached the scale of geochemical provinces with an area of $>1000 \text{ km}^2$ for each, thus providing the potential target areas for copper exploration and development of Laos.

Key words: Laos; copper; geochemical mapping; geochemical background; geochemical anomalies

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20190450)和国家重点研发计划项目(编号: 2016YFC0600600)联合资助。

收稿日期: 2020-05-05; 改回日期: 2020-05-26; 网络首发日期: 2020-06-18。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 王玮, 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。长期从事勘查地球化学研究。通讯地址: 065000, 河北省廊坊市金光道84号。

E-mail: wangxueqiu@igge.cn。

金属铜具有优良的导热性、导电性和延展性，是电缆、电器、电子元件及机械制造最常用的材料，是国民经济和国防军工发展的最重要金属之一。我国铜矿储量世界第三，但矿石品味低，人均少(陈建平等, 2013; 田尤等, 2014; 柳群义等, 2014)。为满足国家建设的需求，需要大量进口铜矿资源，同时推进国内外铜矿资源的勘探工作(张华等, 2003)。铜矿是老挝的优势矿种，老挝的主要铜矿床受岩浆热液及构造条件所控制，主要类型有：夕卡岩型、热液型、斑岩型铜矿。但老挝未开展全国性地球化学调查工作，缺少对老挝铜矿地球化学背景和远景区研究。李玉松等(2016)、刘君等(2015)、雷传扬等(2014)和杜涛等(2017)分别在老挝普老、巴乌、平然和会晒地区等开展的1: 5万水系沉积物地球化学测量，这些地球化学测量工作是作为局部的辅助手段在已知探矿区圈定以铜、金为目标矿产的地球化学异常区，进而指导找矿靶区的划定。

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年开展了老挝全境国家尺度(1:100万)地球化学填图工作，编制了老挝全国铜地球化学图和远景预测图。本文从老挝全国尺度上对铜元

素的空间分布进行了初步分析，并圈定了铜的地球化学异常区，为老挝铜矿成矿背景研究和勘查开发提供基础地球化学资料(王学求等, 2006; 王玮等, 2020)。

1 区域地质概况

老挝地处中南半岛中北部，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(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。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。在地史演化进程中，不同地质历史阶段具有不同的大地构造演化特征，自西向东划分为7个三级大地构造单元：1-景洪—素可泰火山弧、2-思茅—

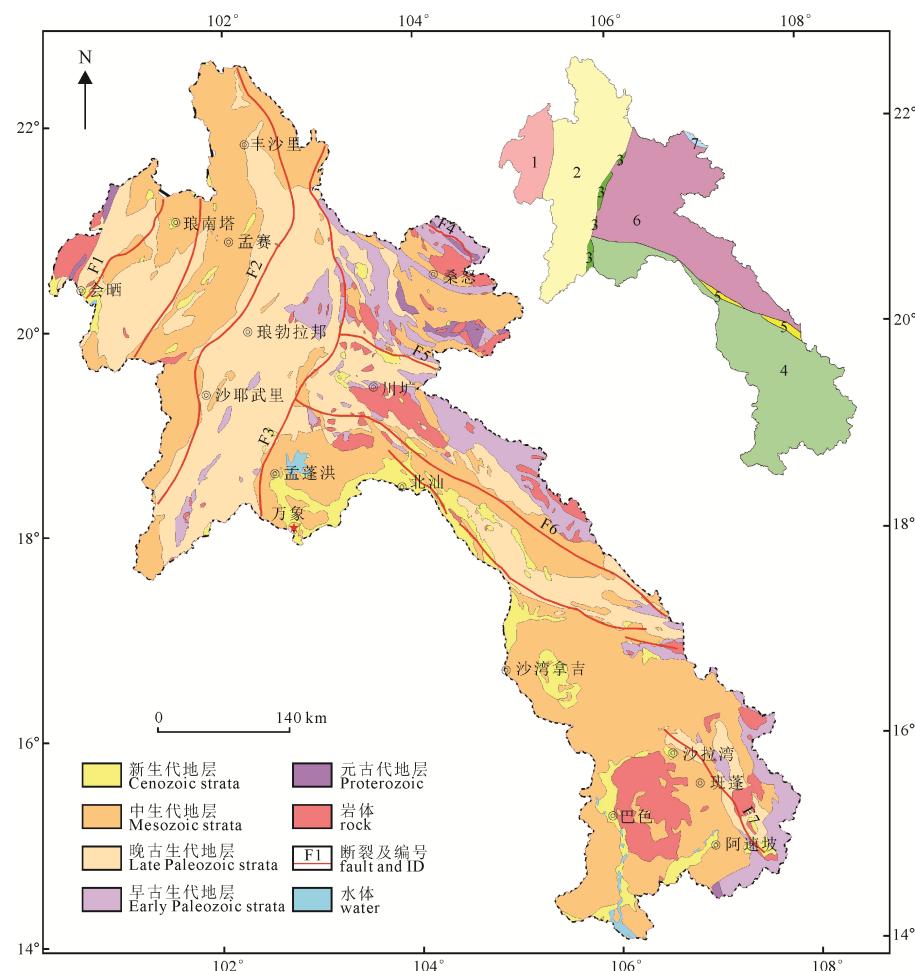


图 1 老挝区域地质构造简图(据贾润幸等, 2014; 王宏等, 2015 修改)

Fig. 1 Simplified geological and structural map of Laos (modified after JIA et al., 2014; WANG et al., 2015)

彭世洛地块、3-奠边府—黎府缝合带、4-万象—昆嵩地块、5-色潘—三岐缝合带、6-长山地块、7-哀牢山—马江缝合带(王宏等, 2015)。区内多期次的岩浆重合叠加、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(李兴振等, 2004; Wakita and Metcalfe, 2005; 卢映祥等, 2009; 施美凤等, 2011; 王宏等, 2012)。

2 研究方法

老挝 1: 100 万国家尺度地球化学填图采样密度为 1 个样/(10 km×10 km)网格, 按照编制地球化学图的要求, 图上 1 个数据/cm²。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, 平原较少, 采样介质为水系沉积物。水系沉积物采样点布设在每个采样网格内的最大汇水域, 河流长度一般小于 10 km。样品粒级小于 2 mm (-10 目)。采样重量过筛后大于 1 kg, 重复样数量达到总样品数量的 3%~5%, 老挝全境共采集样品 1905 件。所有样品均在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室加工分析, 避免了不同实验室所造成的实验误差。本次工作统一分析了 69 种元素, 其中铜的检测方法为 X 射线荧光光谱分析法(XRF), 检出限为 1×10^{-6} 。

地球化学图的底图采用 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 D_x, D_y 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, 所对应铜元素含量分别为: 3.3×10^{-6} , 4.0×10^{-6} , 5.6×10^{-6} , 6.9×10^{-6} , 8.5×10^{-6} , 9.5×10^{-6} , 10.6×10^{-6} , 13.3×10^{-6} , 16.5×10^{-6} , 19.9×10^{-6} , 23.7×10^{-6} , 26.3×10^{-6} , 29.4×10^{-6} , 33.1×10^{-6} , 41.5×10^{-6} , 55.9×10^{-6} 和 76.3×10^{-6} , 并以累计频率 85%, 95%, 97.5% 所对应的含量(33.1×10^{-6} , 55.9×10^{-6} , 76.3×10^{-6})划分异常的外、中、内带编制地球化学异常图。

3 结果与讨论

3.1 铜元素地球化学参数特征

本研究在老挝境内完成了约 23 万 km² 的国家尺度(1: 100 万)地球化学填图, 共采集样品 1905 件, 老挝全境及各构造单元铜元素地球化学统计参数见表 1。

从表 1 中可以看出: 老挝铜含量为 1.20×10^{-6} ~ 459.00×10^{-6} , 铜含量背景值(中位值)和平均值分别是: 16.50×10^{-6} 和 21.96×10^{-6} 。老挝铜含量平均值与我国热带雨林区水系沉积物中铜含量(20×10^{-6})基本相当(鄢明才等, 1995), 明显大于老挝铜含量背景值, 由此可见老挝铜元素局部富集较为明显。就老挝境内不同构造单元中铜含量而言, 长山地块和各类缝合带上的铜元素平均值和中位值显著大于其他构造单元, 平均值最大和最小的分别为哀牢山—马江缝合带和景洪—素可泰火山弧带, 中位值最大和最小的分别为奠边府—黎府缝合带和万象—昆嵩地块。景洪—素可泰火山弧带铜含量为 4.21×10^{-6} ~ 50.56×10^{-6} , 铜含量背景值和平均值分别是 17.54×10^{-6} 和 18.63×10^{-6} , 与老挝全境铜含量相比, 背景值略大, 平均值在所有构造单元中最低, 标准差较小, 显示该构造带内铜元素分布相对均匀; 思茅—彭世洛地块铜含量为 1.29×10^{-6} ~ 393.7×10^{-6} , 铜含量背景值和平均值分别是 17.04×10^{-6} 和 22.62×10^{-6} ; 奠边府—黎府缝合带铜含量为 8.31×10^{-6} ~ 72.40×10^{-6} , 铜含量背景值和平均值分别是 19.72×10^{-6} 和 23.77×10^{-6} , 万象—昆嵩地块铜含量为 1.20×10^{-6} ~ 459.00×10^{-6} , 铜含量背景值和平均值分别是 12.20×10^{-6} 和 19.82×10^{-6} , 均低于老挝

表 1 老挝铜元素地球化学参数
Table 1 Geochemical parameters of Cu in Laos

统计单元	统计参数					
	样品数	最小值	平均值	中位值	最大值	标准差
老挝全境	1905	1.20	21.96	16.50	459.00	26.06
1. 景洪—素可泰火山弧带	112	4.21	18.63	17.54	50.56	7.76
2. 思茅—彭世洛地块	504	1.29	22.62	17.04	393.70	24.53
3. 奠边府—黎府缝合带	44	8.31	23.77	19.72	72.40	15.72
4. 万象—昆嵩地块	665	1.20	19.82	12.20	459.00	31.03
5. 色潘—三岐缝合带	22	3.40	23.61	18.40	92.30	19.63
6. 长山地块	549	2.47	23.78	19.13	328.50	24.34
7. 哀牢山—马江缝合带	9	3.65	25.53	18.18	82.76	24.84

全境铜元素含量，其中背景值为所有构造单元中最底；色潘—三岐缝合带铜含量为 3.40×10^{-6} ~ 92.30×10^{-6} ，铜含量背景值和平均值分别为 18.40×10^{-6} 和 23.61×10^{-6} ，均略高于老挝全境的背景值和平均值；长山地块铜含量为 2.47×10^{-6} ~ 328.50×10^{-6} ，铜含量背景值和平均值分别为 19.13×10^{-6} 和 23.78×10^{-6} ，亦略高于老挝全境铜含量；哀牢山—马江缝合带铜含量为 3.65×10^{-6} 和 82.76×10^{-6} ，铜含量背景值和平均值分别为 18.18×10^{-6} 和 25.53×10^{-6} 。

老挝铜含量直方图和箱图(图 2)显示所采集样品的铜元素含量大致具对数正态分布特征，铜含量在 25%~75% 之间集中，下部可见少量温和异常值，上部存在断续排列的温和异常值，无极端异常值。

为了更好地研究老挝铜元素与其他成矿元素的相关程度，采用相关系数法(R型聚类)对部分成矿元素进行聚类分析(图 3)，发现在老挝全国范围内，Cu 与 Co 和 Ni 有一定的相关性，但相关度不高，与 Au 等其他元素相关性很差。但根据后续的研究发现，在铜元素异常区域，Cu 与 Au、Co、Mn 及 Zn 等元素具有很高的相关性，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(施美凤等，2013；赵作新等，2015；聂兰仕等，2020)。

3.2 铜异常特征与空间分布

老挝铜地球化学图的底图采用累积频率的分级方法划分成 18 级，从老挝铜的地球化学图(图 4a)中可以看出，老挝铜元素分布不均，形成多个高背景区，总体上表现为北部较高，南部较低的格局，其中老挝北部的丰沙里省中东部地区、中北部琅勃

拉邦省—川圹省—华潘省及南部的沙拉湾省—占巴塞省—塞公省—阿速坡省均存在大面积的高值区。老挝主要的铜低值区分布在沙湾拿吉省和沙拉湾省西北部地区，为低值异常区。

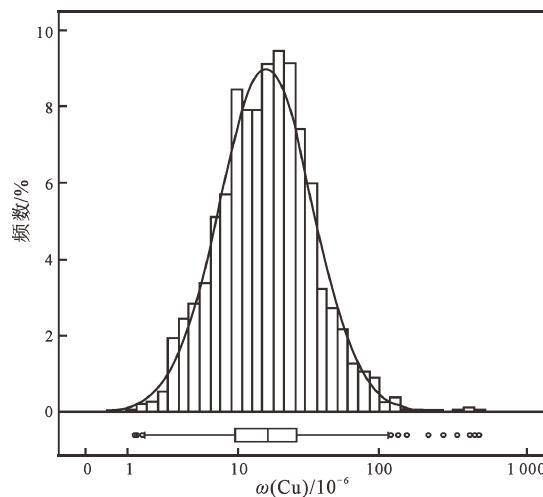


图 2 老挝铜含量直方图和箱图
Fig. 2 Histogram and box diagram of Cu content in Laos

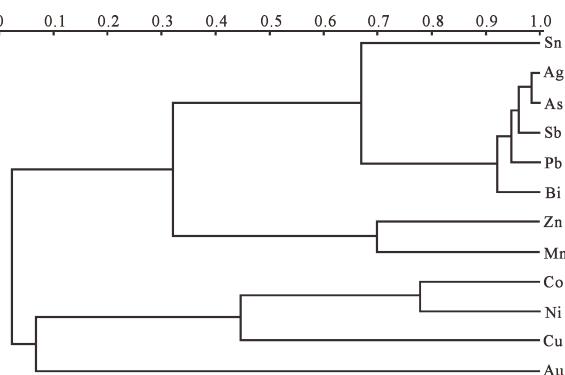


图 3 老挝成矿元素聚类分析(R型)谱系图
Fig. 3 The clustering analysis (R) spectrum diagram for ore-forming elements in Laos

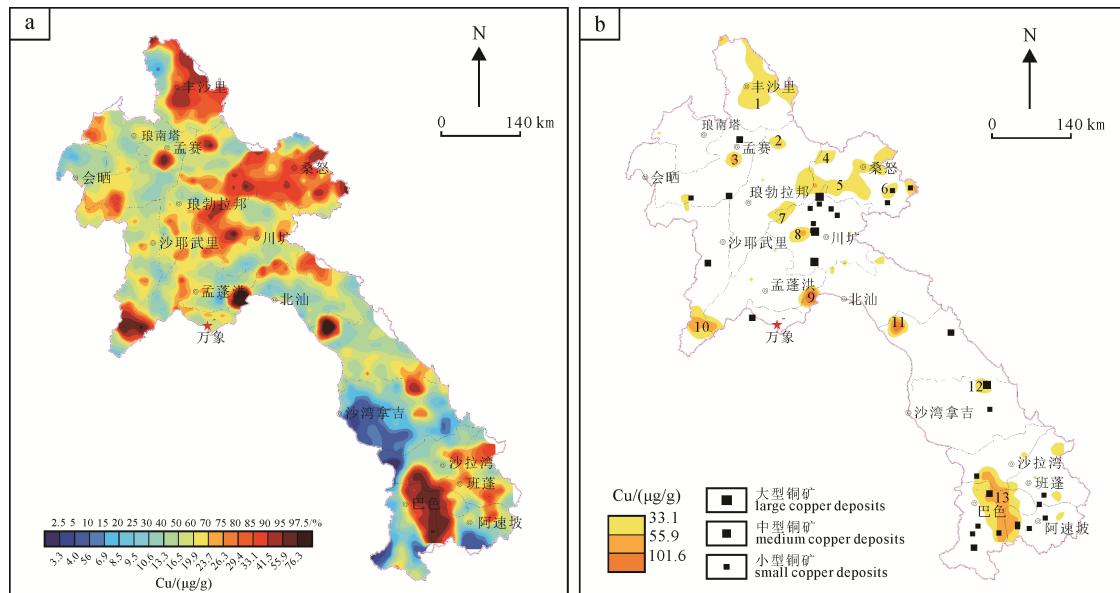


图 4 老挝铜元素地球化学图(a)和异常图(b)
Fig. 4 Geochemical contour map (a) and anomalous map (b) of Cu in Laos

表 2 老挝铜地球化学异常统计参数
Table 2 Statistical parameters of Cu geochemical anomalies in Laos

异常 编号	异常 点数	异常面积 km^2	异常内 极小值 $/10^{-6}$	异常内 中位值 $/10^{-6}$	异常内 极大值 $/10^{-6}$	异常内 平均值 $/10^{-6}$	异常内 标准差	区域 背景值/ 10^{-6}	异常下限 $/10^{-6}$	异常 强度	异常 衬度	变异 系数	异常规模/ $(\text{km}^2 \times 10^{-6})$	异常规模 排序
Cu-1	33	4 990	16.03	47.89	76.69	46.27	16.56	16.50	33.10	2.80	1.40	0.36	230 880	3
Cu-2	5	468	16.28	25.72	109.90	55.51	48.33	16.50	33.10	3.36	1.68	0.87	25 977	11
Cu-3	8	570	10.06	15.10	393.70	63.30	133.67	16.50	33.10	3.84	1.91	2.11	36 080	9
Cu-4	3	645	33.10	37.89	42.68	37.89	6.77	16.50	33.10	2.30	1.14	0.18	24 439	13
Cu-5	62	5 685	6.88	38.77	131.70	42.97	25.81	16.50	33.10	2.60	1.30	0.60	244 287	2
Cu-6	5	510	17.63	50.73	94.15	50.48	32.86	16.50	33.10	3.06	1.53	0.65	25 747	12
Cu-7	6	983	22.70	47.48	72.28	48.82	20.60	16.50	33.10	2.96	1.47	0.42	47 990	8
Cu-8	5	745	8.81	31.80	211.32	79.28	85.39	16.50	33.10	4.81	2.40	1.08	59 067	7
Cu-9	9	977	4.50	16.86	459.00	109.42	190.49	16.50	33.10	6.63	3.31	1.74	106 907	5
Cu-10	13	2 200	19.10	58.40	134.10	61.47	28.78	16.50	33.10	3.73	1.86	0.47	135 232	4
Cu-11	9	980	7.90	11.30	328.50	84.30	124.88	16.50	33.10	5.11	2.55	1.48	82 614	6
Cu-12	10	562	12.80	36.20	136.20	53.91	45.04	16.50	33.10	3.27	1.63	0.84	30 297	10
Cu-13	56	7 234	5.40	53.30	118.70	56.79	28.74	16.50	33.10	3.44	1.72	0.51	410 801	1

老挝铜元素地球化学异常图(图 4b)是以累计频率 85%, 95%, 97.5% 所对应的含量划分异常的外、中、内带, 同时满足具有地球化学异常套合特征或异常范围内至少 2 个连续异常点为原则编制完成。按照上述原则, 国家尺度上, 在老挝共圈定铜地球化学异常 13 处, 其中 4 处达地球化学省规模(谢学锦等, 2002), 各地球化学异常区统计参数见表 2。

Cu-1 异常, 本异常规模排序第三, 异常面积大, 异常强度较小, 此异常区位于思茅—丰沙里成矿带北部新生代盆地中, 发育中新生代海相及陆相沉积岩, 区内断裂构造发育, 岩浆岩不发育, 铜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, 本异常区已知有南永铜矿和新寨铜矿, 均为沉积改造型铜矿床(刘慧鹏等, 2017; 于江, 2014)。

Cu-5 异常, 面积 5685 km^2 , 异常点数 62, 异常强度 2.60, 异常规模排序第二, 此异常位于长山成矿带北部, 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, 区内中酸性岩浆的侵入和喷发活动为本地区金属矿床的物源, 而区内发育的普雷山深大断裂是主要的控矿构造, 异常区内及周边已知的铜矿床有富开铜金矿和班波通铜矿等(陈慕天等, 2013; 赵作新等, 2015)。

Cu-10 异常, 面积 2200 km^2 , 异常点数 13, 异常强度 3.73, 异常规模排序第四, 本异常位于沙耶武里省南部和孟蓬哄省西南部交界处, 成矿区带上跨越了琅勃拉邦成矿带和万象—巴色成矿带。Cu 的异常面积较大, 异常强度高。异常区内出露以泥盆系—中三叠统为主的地层, 华力西期 NE 深大断裂墨江—程逸断裂贯穿该异常区, 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(王晓曼, 2016; 刘彬等, 2020)。异常区内已发现的铜矿床有班康姆铜金矿(赵延朋等, 2017), 在异常区内及周边已知有萨纳坎金矿、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)。

Cu-13 异常区地理上位于老挝南部, Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等多金属异常强度高, 异常面积大。区内主要地层为古生代和中生代沉积岩, 发育有深大断裂带, 区内岩浆活动强烈, 本区已知的铜矿有塔德铜矿(赵作新等, 2015), 其他矿产有阿速坡金矿(赵延朋等, 2013)、纳勐金矿(张恒等, 2016)、塞贡富锡矿(施美凤等, 2013)、钟昂 1、2 号铅矿(夏庆霖等, 2009; 卢映祥等, 2009)等, 是老挝多金属矿产的重要勘查、开发区。

Cu-9、Cu-11 和 Cu-12 这三处异常区均分布在色潘—三岐缝合带上或周边, 这几处异常虽然不是地球化学省, 但异常强度大, 区内平均值高。北西向的长山—岘港断裂是区内的主要控矿构造, 华力西期—印支期中酸性火山岩发育, 提供了成矿所需要的矿物和能量来源, 这些异常区也是老挝铜金矿的重要找矿远景区(赵作新等, 2015; 韩志轩等, 2020)。

4 结论

首次开展的老挝全国尺度地球化学填图很好地提供了老挝全国铜元素地球化学背景, 弥补了老挝地质矿产调查程度低, 远景区不详的难题, 为铜矿远景区预测提供了基础性数据, 对老挝铜矿区域矿产调查和寻找未知矿床提供了靶区:

(1) 老挝铜含量为 $1.20 \times 10^{-6} \sim 459.00 \times 10^{-6}$, 平均值 21.96×10^{-6} , 铜含量背景值 16.50×10^{-6} 。就老挝境内不同构造单元中铜含量而言, 长山地块和各类缝合带上的铜元素平均值和中位值显著大于其他构

造单元。

(2)通过对部分成矿元素进行 R 型聚类分析发现, Cu 与大部分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。

(3)老挝铜的地球化学图显示, 其铜元素分布不均, 总体上表现为北部较高, 南部较低的格局。

(4)老挝铜元素地球化学异常图上共圈定铜地球化学异常 13 处, 其中 4 处达地球化学省规模, 同时, 色潘—三岐缝合带及周边也是老挝铜金矿的重要找矿远景区。

致谢: 感谢审稿专家及编辑老师提出的宝贵意见, 感谢全体项目组成员的辛勤付出。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20190450), and National Key Research & Development Program of China (No. 2016YFC0600600).

参考文献:

- 陈建平, 张莹, 王江霞, 肖克炎, 娄德波, 丁建华, 阴江宁, 向杰. 2013. 中国铜矿现状及潜力分析[J]. 地质学刊, 37(3): 358-365.
- 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.
- 杜涛, 朵雪莲, 汪博. 2017. 老挝会晒地区地球化学特征及成矿预测分析[J]. 世界有色金属, 6(1): 139-140.
- 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.
- 韩志轩, 张必敏, 乔宇, 柳青青, 胡朗明, 郭祥义, 王永康, 付海平. 2020. 隐伏铜矿区土壤微细粒测量有效性实验——以江西通江岭铜矿为例[J]. 地球学报, 41(6): 977-986.
- 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.
- 雷传扬, 李瑞峰, 赵保顺, 赵桂秋. 2014. 老挝平原地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿意义[J]. 物探与化探, 38(3): 453-460.
- 李兴振, 刘朝基, 丁俊. 2004. 大湄公河次地区主要结合带的对比与连接[J]. 沉积与特提斯地质, 24(4): 1-12.
- 李玉松, 张玉清, 马立柯. 2016. 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, 43(5): 1780-1790.
- 刘彬, 王学求, 侯青叶. 2020. 长江中下游地区铜地球化学块体时间属性——来自碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年的证据[J]. 地球学报, 41(6): 835-850.
- 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.
- 刘君, 潘亮, 赵鹤森, 唐顺娟, 陶琳. 2015. 水系沉积物测量在老挝巴乌地区的应用[J]. 金属矿山, 464(2): 92-97.
- 柳群义, 王安建, 张艳飞, 陈其慎. 2014. 中国铜需求趋势与消费结构分析[J]. 中国矿业, 23(9): 5-8.
- 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.
- 聂兰仕, 刘汉粮, 李江鹏, 范羽, 迟清华, 刘东盛, 周怡宁, 王学求. 2020. 中蒙边界地区铜区域地球化学分布及远景区预测[J]. 地球学报, 41(6): 851-860.
- 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.
- 施美凤, 林方成, 刘朝基, 李振兴, 王宏. 2013. 东南亚缅泰老越柬五国与中国邻区成矿带划分及成矿特征[J]. 沉积与特提斯地质, 33(2): 103-112.
- 田尤, 杨为民, 申俊峰, 曾详婷. 2014. 中国铜资源产业形势分析与发展对策建议[J]. 资源与产业, 17(4): 100-105.
- 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.
- 王玮, 王学求, 张必敏, 韩志轩, Sounthone LAOLO, Phomsylalai SOUKSAN, 刘汉粮, 刘东盛. 2020. 老挝全国地球化学填图与成矿远景区预测[J]. 地球学报, 41(1): 80-90.
- 王晓曼. 2016. 老挝班康姆铜金矿地质特征及成矿机制研究[D]. 桂林: 桂林理工大学.
- 王学求, 徐善法, 程志中, 刘红艳, 师淑娟. 2006. 国际地球化学填图新进展[J]. 地质学报, 80(10): 1598-1606.
- 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, 刘大文, 向运川, 严光生. 2002. 地球化学块体—概念和方法学的发展[J]. 中国地质, 29(3): 225-233.
- 鄢明才, 迟清华, 顾铁新, 王春书. 1995. 中国各类沉积物化学元素平均含量[J]. 物探与化探, 19(6): 465-472.
- 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.
- 张华, 鹿爱莉, 胡德文, 余振国. 2003. 中国铜矿资源实施全球化战略研究[J]. 中国矿业, 12(7): 4-9.
- 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: 41-46.
- 赵延朋, 康铁锁, 宁庚陈, 葛华, 潘瀚. 2017. 老挝班康姆铜金矿床火山—侵入杂岩地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 36(3): 281-294.
- 赵作新, 王泽传, 朱延渐, 严城民. 2015. 老挝铜矿资源与成矿预测[J]. 地质与资源, 24(3): 237-241.
- 朱延渐, 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:

- CHEN Jian-ping, ZHANG Ying, WANG Jiang-xia, XIAO Ke-yan, LOU De-bo, DING Jian-hua, YIN Jiang-ning, XIANG Jie. 2013. On present situation and potential analysis of copper resources in China[J]. Journal of Geology, 37(3): 358-365(in Chinese with English abstract).
- 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).
- DU Tao, DUO Xue-lian, WANG Bo. 2017. The analysis of geochemical characteristics and metallogenetic prediction of Laos houayxay[J]. Mineral Resources, 6(1): 139-140(in Chinese with English abstract).
- GAO Ya-long, NIU Ying-jie, LIU Zhi-yong, SHEN Jiu-zhou. 2017. Gold resources distribution characteristics and metallogenetic 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).

- Chinese with English abstract).
- LEI Chuan-yang, LI Rui-feng, ZHAO Bao-shun, ZHAO Gui-qiu. 2014. Geochemical characteristics of Pingran area in Laos based on stream sediment survey and their prospecting significance[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 38(3): 453-460(in Chinese with English abstract).
- LI Xing-zhen, LIU Chao-ji, DING Jun. 2004. Correlation and connection of the main suture zones in the Greater Mekong subregion[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 24(4): 1-12(in Chinese with English abstract).
- LI Yu-song, ZHANG Yu-qing, MA Li-ke. 2016. Geochemical anomaly features and exploration prospect of polymetallic deposits in the Pulao area, Laos[J]. Geology in China, 43(5): 1780-1790(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 Metals, 2(1): 179-181(in Chinese with English abstract).
- LIU Jun, PAN Liang, ZHAO He-sen, TANG Shun-juan, TAO Lin. 2015. Application of stream sediment survey in bawu area of Laos[J]. Metal Mine, 46(2): 92-97(in Chinese with English abstract).
- LIU Qun-yi, WANG An-jian, ZHANG Yan-fei, CHEN Qi-shen. 2014. Copper demand trend and consumption structure in China[J]. China Mining Magazine, 23(9): 5-8(in Chinese).
- LU Ying-xiang, LIU Hong-guang, HUANG Jing-ning, ZHANG Hong-yuan, CHEN Yong-qing. 2009. Preliminary division of the metallogenetic 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).
- HAN Zhi-xuan, ZHANG Bi-min, QIAO Yu, LIU Qing-qing, HU Lang-ming, GUO Xiang-yi, WANG Yong-kang, FU Hai-ping. 2020. Validity Experiments of Fine-grained Soil Geochemical Survey for Exploring Concealed Copper Deposits: A Case Study in the Tongjiangling Copper Deposit, Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 41(6): 977-986(in Chinese with English abstract).
- LIU Bin, WANG Xue-qiu, HOU Qing-ye. 2020. Temporal Distribution of Copper Geochemical Blocks in the Middle-Lower Yangtze River Region: Evidence from Detrital Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating[J]. Acta Geoscientica Sinica, 41(6): 835-850(in Chinese with English abstract).
- NIE Lan-shi, LIU Han-liang, LI Jiang-peng, FAN Yu, CHI Qing-hua, LIU Dong-sheng, ZHOU Yi-ning¹, WANG Xue-qiu. 2020. Regional Geochemistry and Distribution of Anomalies Related to Potential Copper Metallologic Areas in China-Mongolia Border Region[J]. Acta Geoscientica Sinica, 41(6): 851-860(in Chinese with English abstract).
- 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).
- SHI Mei-feng, LIN Fang-cheng, LIU Chao-ji, LI Xing-zhen, WANG Hong. 2013. Classification and metallogenesis of metallogenetic belts in Southeast Asia and the neighbouring southwestern part of China[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 33(2): 103-112(in Chinese with English abstract).
- TIAN You, YANG Wei-min, SHEN Jun-feng, ZENG Xiang-ting. 2014. Situation and suggestions of China's copper resources industry[J]. Resources and Industries, 17(4): 100-105(in Chinese).
- 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, 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 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 Wei, WANG Xue-qiu, ZHANG Bi-min, HAN Zhi-xuan, Sounthone LAOLO, Phomsylalai SOUKSAN, LIU Han-liang, LIU Dong-sheng. 2020. National-scale Geochemical Mapping and Prediction of Metallogenic Prospective Areas in Laos[J]. Acta Geoscientica Sinica, 41(1): 80-90(in Chinese with English abstract).
- WANG Xiao-man. 2016. Copper and gold geological characteristics and metallogenetic mechanism of PangKuam in Laos[D]. Guilin: Guilin University of Technology(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu, XU Shan-fa, CHENG Zhi-zhong, LIU Hon-gyan, SHI Shu-juan. 2006. Progress on international geochemical mapping[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1598-1606(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-jing, LIU Da-wen, XIANG Yun-chuan, YAN Guang-sheng. 2002. Geochemical blocks-Development of concept and methodology[J]. Geology in China, 29(3): 225-233(in Chinese with English abstract).
- YAN Ming-cai, CHI Qing-hua, GU Tie-wu, WANG Chun-shu. 1995. Average element content of various sediments in China[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 19(6): 465-472(in Chinese).
- YU Jiang. 2014. Structural ore-controlling structure of Nanyong copper deposit in Phongsaly Province, Laos[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology(in Chinese with English abstract).
- 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).
- ZHANG Hua, LU Ai-li, HU De-wen, YU Zhen-guo. 2003. Study on the implementation globalization strategy of China's copper ore resources[J]. China Mining Magazine, 12(7): 4-9(in Chinese).
- ZHAO Yan-peng, HE Guo-zhao, LU Jia-hai. 2013. Geological characteristics and metallogenetic model of typical gold deposits in Laos[J]. Mineral Resources and Geology, 27: 41-46(in Chinese).
- ZHAO Yan-peng, KAN Tie-suo, NING Geng-chen, GE Hua, PAN Han. 2017. Geochemical characteristics of the volcanic intrusive complex in the Pangkuam copper-gold deposit of Laos and its geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 36(3): 281-294(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zuo-xin, WANG Ze-chuan, ZHU Yan-zhe, YAN Cheng-min. 2015. Copper mineral resources and metallogenetic prediction in Laos[J]. Geology and Resources, 24(3): 237-241(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(in Chinese).