

· 境外地质 ·

老挝长山成矿带与花岗岩有关的铜金铁矿床的成矿模式

赵红娟¹, 陈永清¹, 卢映祥²

ZHAO Hong-juan¹, CHEN Yong-qing¹, LU Ying-xiang²

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 云南省地质调查局, 云南 昆明 650051

1. School of Earth and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Yunnan Geological Survey, Kunming 650051, Yunnan, China

摘要:老挝作为“特提斯成矿域”的重要组成部分,具有丰富的矿产资源,尤其是铜、金、铁、铝、钾盐等优势矿产与中国具有很强的互补性。初步论述了老挝的成矿地质背景和近年来发现的与花岗岩类有关的斑岩型铜-金矿床、矽卡岩型铁矿床的矿化地质特征、矿石矿物特征、矿化与岩体的空间关系,在此基础上初步建立了其成矿模式。基于同位素定年数据和 Hf-Rb-Ta 元素判别图,推测这些花岗岩及与其相关的矿床形成于晚石炭世华南地块向印支地块俯冲产生的火山岛弧环境。

关键词:斑岩型铜-金矿床;矽卡岩型铁矿床;成矿模式;成矿环境;老挝长山成矿带

中图分类号: P618.41; P618.51; P618.31; P612

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)10-1619-09

Zhao H J, Chen Y Q, Lu Y X. Ore-forming model for Cu-Au-Fe ore deposits associated with granites in the Truongson ore-forming belt of Laos. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(10):1619-1627

Abstract: As an important part of the Tethyan metallogenic domain, Laos contains abundant mineral resources, especially rich Cu, Au, Fe, Al, and potash salt. Laos could exchange mineral advantages for economic advantages with China. The authors studied in detail the ore-forming geological background of the Truongson ore-forming belt in Laos, mineralization features and ore minerals of newly discovered porphyry Cu-Au deposits and skarn Fe ore deposits as well as their spatial relationships to the granite intrusions. On such a basis, an ore-forming model was tentatively established for the porphyry Cu-Au deposits, thus laying a foundation for building their ore-finding patterns and searching for the same ore deposits in this ore-forming belt. Based on both zircon U-Pb dating and the discrimination diagrams of Hf-Rb-Ta trace elements, it is inferred that these granites and related ore deposits might have been formed in an island arc setting developed by the subduction of the South China block beneath the Indochina block during Late Carboniferous.

Key words: ore-forming geological background; ore-forming model; porphyry Cu-Au deposits; skarn Fe ore deposits; Lao P. D. R.

老挝作为特提斯成矿域的重要组成部分,具有丰富的矿产资源,尤其是铜、金、铁、铝、钾盐等优势矿产与中国具有很强的互补性。老挝跨昌都-思茅-南邦和印支成矿省,其大地构造位置处于欧亚板块

与印度板块缝合线东侧。在地质历史上,构造-岩浆活动强烈,形成丰富的矿产资源^[1-2]。尽管老挝地质工作程度很低,所进行的地质填图、区域地球化学填图和航空地球物理调查仅限于局部范围,但现有的

收稿日期:2011-04-08;修订日期:2011-06-13

资助项目:中国地质调查局地质调查项目《大型超大型矿床成矿地球动力学背景、成矿过程及定量评价模型》(编号:1212011120987)和“十一五”国家科技支撑计划项目《三江-湄公河成矿带成矿系列与成矿大地构造环境研究》(编号:2006BAB01A03)

作者简介:赵红娟(1985-),女,在读硕士,地球探测与信息技术专业。E-mail:hjzhaoly@126.com

通讯作者:陈永清(1960-),男,教授,博士生导师,矿产普查与勘探专业。E-mail:yqchen@cugb.edu.cn

勘查研究成果已经显示老挝具有巨大的矿产资源潜力(图 1)。

1 成矿地质背景

1.1 地 层^[1,3]

老挝所见地层主要为古生界,其次为中生界和新生界。虽无地层学和地质年代学的直接证据表明有前寒武纪地层存在,但在西北、东北和东南部发现了少量深变质岩系,一般认为应属元古宙地层。古生界主要发育在北部和东部地区,寒武系只在与越南相邻的南玛(Nam Ma)山谷中有少量出露,其岩石组合为浅变质的灰岩、页岩、砂岩(石英岩)和砾岩,这套岩石组合延伸至越南境内被定为“寒武系—奥陶系”。奥陶系、志留系和泥盆系主要出露在丰沙湾(Phonsavan)和川圹(Xiang Khouang)地区,另外在东南部的北通河(Sekong)东侧也有发育,其岩性主要为海相灰岩、砂岩和泥质岩石。石炭系—二叠系分布最广,主要为海相灰岩、砂岩和泥质岩石,在局部地区亦有陆相沉积,譬如沙拉湾的石炭系和丰沙里(Phong Saly)的二叠系中含有煤层。中生界主要为出露在桑怒(Sam Nua)地区的中、上三叠统海相灰岩、砂岩、粉砂岩等,其次在南部北通河谷中有侏罗系海相沉积发育。晚三叠世大部分地区褶皱隆起成山地,出现了晚三叠世—白垩纪海陆交互相的砂岩、砾岩沉积,在晚白垩世形成了大量红色泥质粉砂岩和细砂岩,并出现蒸发岩系。

1.2 构造与岩浆岩^[1,3]

在老挝西北部沿湄公河出露地质年代不详的片麻岩及老花岗岩,可能为缅甸克拉通的结晶基底(图 1)^[4],其它地区则为古生代—中生代褶皱带。志留纪—三叠纪西部地区为大陆边缘,东部地区为海盆,在三叠纪海盆褶皱封闭。总体上形成了西北、北中、南部 3 个褶皱带。

西北部印支期褶皱带贯穿老挝西部,其区域构造线为 NNE 向,泥盆系—三叠系发生了中等—强烈褶皱,并伴有浅变质作用。在北礼(Pak Lay)一带发育一些早三叠世花岗质小侵入体,也有时代不详的花岗岩体,沙耶武里(Sayaburi)附近见有辉长岩体。褶皱带中北礼—琅勃拉邦(Luang Prabang)一带和西北边境地区安山质—英安质火山岩分布广泛,可能为二叠纪火山活动的产物。

北中部海西期褶皱带主要由奥陶系—石炭系组

成,其基底可能为加里东期褶皱带,在这一早期褶皱带中沿 NW 方向断续出露基性和超基性岩。该褶皱带区域构造线为 NW—NNW 向,向北与西北部褶皱带在东经 103°附近合并,在桑怒和他曲(Thakhek)发现了白垩纪花岗岩小侵入体。此外,桑怒盆地是一个三叠纪构造叠加在海西期褶皱带上的中生代陆内构造—火山盆地并有强烈的火山活动,发育三叠纪流纹岩、英安岩和玄武岩,可见中生代构造活动对其有叠加影响。

南部印支期褶皱带主要由变形较弱的中生代陆相沉积岩组成,区域构造线为 NNW 向,其基底为海西期或加里东期褶皱带,也可能有前寒武纪地层。现在已发现有造山后侏罗系和下白垩统陆相砂岩、砾岩在许多地方发育,表明大部分地区在晚中生代发生了隆起和断裂活动,这可能是受周边板块(尤其是东侧的南中国海板块和西侧的缅甸板块)作用的影响的缘故。

此外,在北部地区发育的新近纪小裂谷和南部地区大量分布(西北部也有小规模分布)的上新世—更新世玄武岩(包括一些碱性岩)表明在新生代发生了拉张作用。

2 铜金铁矿化

据有关文献统计^[5],东南亚和西南太平洋的铜金矿床主要形成于中晚新生代(25~1Ma)岩浆弧,目前已发现矿床 160 余个,其中包括斑岩型、矽卡岩型、高—中—低硫化物型、火山块状硫化物型和沉积岩作为容矿岩石的浸染状矿床。据统计(过去的产量加已探明的储量),共计金 15000t,铜 115Mt,绝大多数金铜产在斑岩型矿床(金 8742t,铜 97.1Mt)、中硫化物热液矿床(金 2659t)、低硫化物热液矿床(金 2659t)和矽卡岩型矿床(金 938t,铜 9.2Mt)中。但在上述的统计数字中,真正属于中南半岛的矿床仅有缅甸的一个斑岩铜矿床,即蒙育瓦斑岩铜矿床。但近年来,澳大利亚矿业公司分别在老挝南部萨瓦纳基省和川圹省发现与花岗斑岩有关的具有重要工业价值的塞奔(Sepon)斑岩型铜—金矿床和富开(Phu Kham)斑岩型铜—金矿床。塞奔矿床已被中国五矿公司收购,2009 年生产铜 10×10⁴t,黄金 7t,是目前老挝最大的铜金生产基地。中南半岛地区矽卡岩型铁矿化发育,储量最大、品位最富当属越南河静省石溪铁矿床,储量约 5.5×10⁸t,全铁大于 60%的矿石储

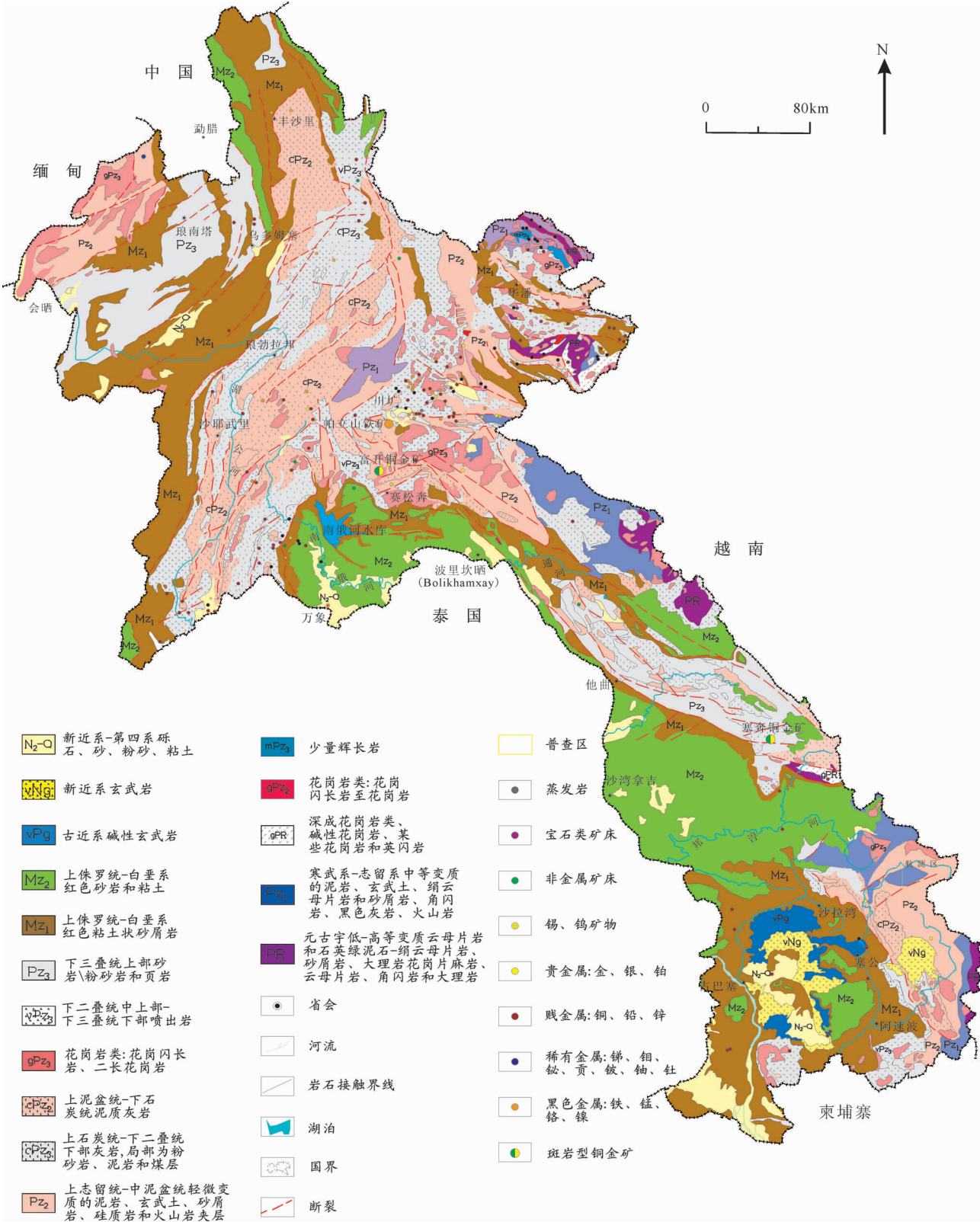


图 1 老挝地质和矿产分布略图^[4]

Fig. 1 Geological map showing distribution of mineral resources in Laos

量 $3.2\times 10^6\text{t}$ 。目前,在万象北东 150km 处新发现的帕立山矽卡岩型铁矿床有望成为中南半岛继石溪铁矿床之后第二个大型富铁矿床。

2.1 斑岩型铜-金矿床

2.1.1 成矿地质背景

矿床位于 NW 向长山印支褶皱带 (Truongson Fold Belt) (图 2)。泥盆纪—奥陶纪期间,在拉张构造盆地沉积了碳酸盐岩、钙质泥岩、粉砂岩和砂岩。二叠纪—三叠纪期间,掸泰地块 (洋壳) 俯冲于印支地块之下,随后碰撞发生构造挤压形成褶皱—断裂带,其间伴随着岩浆活动和矿化作用。

2.1.2 矿床基本特征

(1) 塞奔 (Sepon) 斑岩型铜-金矿床

该矿床位于 NW 向长山印支褶皱带 (Truongson Fold Belt) 南东端 (图 3)。

矿区地层为志留纪—泥盆纪的碎屑沉积岩和碳酸盐岩,局部层位富含炭质、黄铁矿和磁黄铁矿。沉积岩可划分为 5 个岩性组合:砂岩—灰岩组合、粉砂岩—燧石—页岩组合、白云岩—灰岩组合、钙质页岩—纹层状钙质页岩组合和燧石—粉砂岩—页岩组合。侵入岩为网状流纹英安斑岩。近 EW 向断裂和 NW 向断裂交织构成菱形断裂网络,控制流纹英安斑岩和铜、金矿化的空间分布。矿化带总体上呈 EW 向分

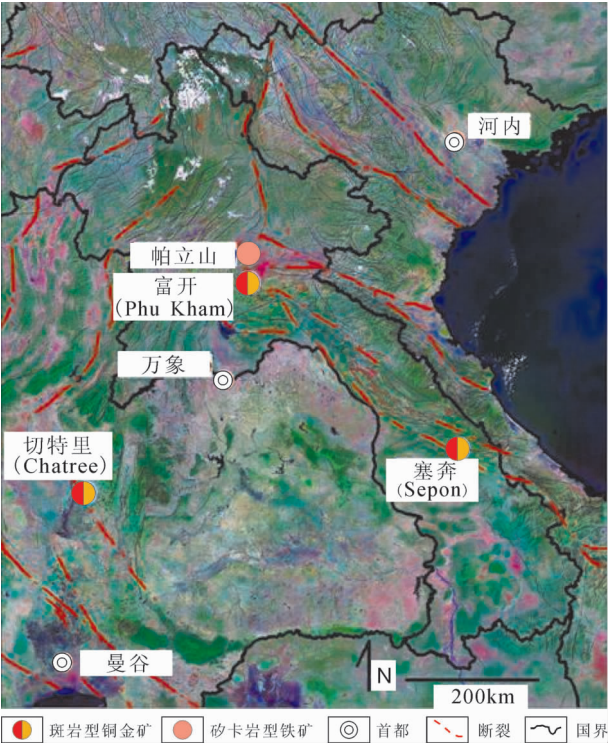


图 2 斑岩型铜-金矿床和矽卡岩型铁矿床区域地质遥感影像图 (据参考文献①修编)

Fig. 2 Interpreted remote sensing map showing regional geology of the porphyry Cu-Au and skarn Fe ore district

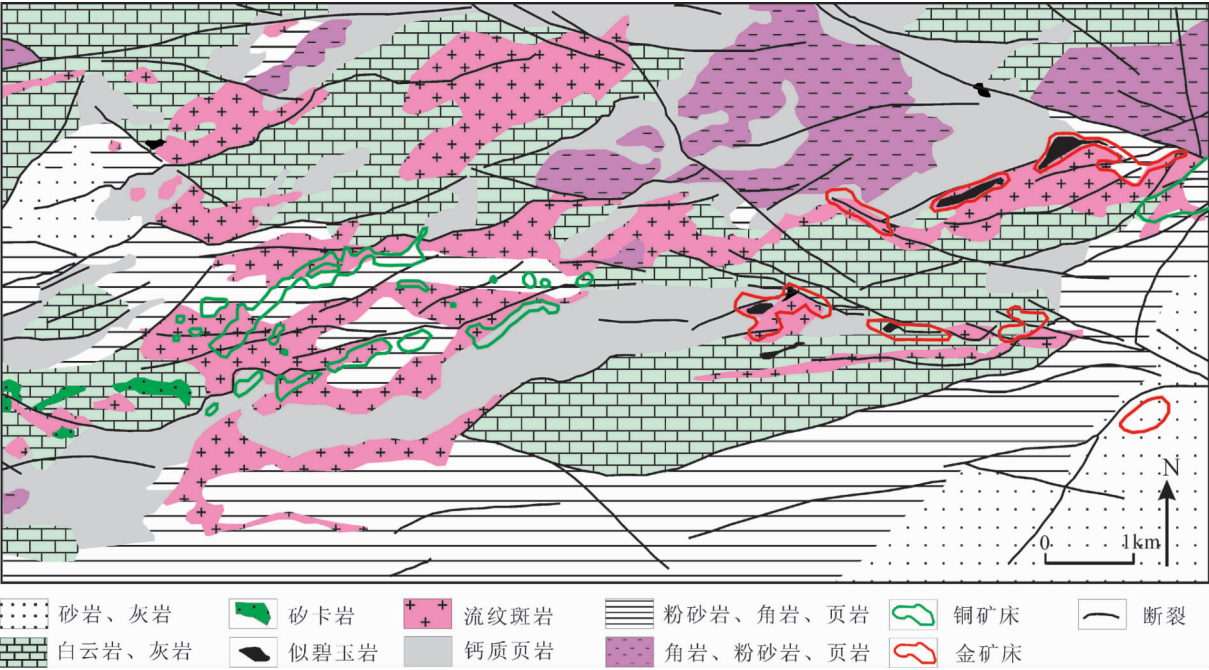


图 3 塞奔 (Sepon) 斑岩型铜-金矿床矿区地质图 (据参考文献①修编)

Fig. 3 Geological map of the Sepon porphyry Cu-Au deposit

布,由南北2个近似连续的矿化亚带构成,长约12km。铜、金矿化在空间上是分离的。铜矿化主要分布在矿区的西部,长约5km,且具有2种矿化类型:细脉浸染状矿化和矽卡岩型矿化,前者矿化容矿岩石是流纹英安斑岩和砂页岩燧石组合,后者则是白云岩灰岩组合。金矿化主要分布于矿区东部,长约5km,容矿岩石是流纹英安斑岩和钙质页岩-纹层状钙质页岩组合,并与似碧玉岩紧密共生。金共生组合矿物为微细自然金-黄铁矿-石英,具有卡林型金矿化的特点。

原生金属矿物主要有黄铜矿、自然金、黄铁矿、毒砂等。氧化次生富集带发育,主要金属矿物有赤铜矿、辉铜矿、方铜矿、自然铜、孔雀石、褐铁矿等(图4)。

铜储量:①次生富集铜储量为60Mt,铜平均品位为2.5%,铜金属量为1500kt;②原生矿铜储量为23Mt,铜平均品位为1.1%,铜金属量为250kt;③可开采铜储量为18Mt,铜平均品位为4.5%,铜金属量为790kt。

金储量:①氧化矿金储量为2Mt,金平均品位为1.2g/t,金金属量为0.7Moz(Moz=百万盎司,1盎司=28.35g);②过渡带矿金储量为7Mt,金平均品位为2.1g/t,金金属量为0.5Moz;③原生矿金储量为35Mt,金平均品位为2.0g/t;④总内蕴资源量:金金属量为4.0Moz;⑤总可采金储量3Mt,金平均品位为1.8g/t,金金属量为0.2Moz。

矿化氧化次生富集带发育,自地表向下至原生硫化物矿床具有清晰的分带规律:铁帽→辉铜矿→孔雀石→原生硫化物矿石。其中,辉铜矿带特别发育,钻孔揭露的厚度36~56m不等,铜品位高达7.71%~10.55%,极大地提高了矿床的经济价值(图4)。

塞奔(Sepon)斑岩型铜-金矿床成矿模式如图5所示:①铜-金矿化距主体侵入体具有一定的距离;②钙质围岩有利于形成矽卡岩矿床;③在粘土中发生铜表生富集形成辉铜矿-粘土矿化带,其厚度达80m;④原生硫化物矿带与次生氧化铜富集带之间发育含金铁帽;⑤不同类型构造(背斜和断裂)控矿;⑥接触带(微小侵入体与化学性质活泼的沉积岩相互作用形成接触带)控矿;⑦矿体扁平缓倾斜(接触带构造控制)或陡倾斜(断裂控制);⑧富存于毒砂和黄铁矿中的金的粒度仅有10 μ m,类似于卡林型金矿;⑨金矿化某种程度上与去钙(碳酸盐)化有关,含

炭沉积岩组合对成矿具有化学圈闭的功能。

围绕岩体矿化组分具有明显的分带现象(远离岩体):Mo-Cu→Au→Pb-Zn。

(2)富开(Phu Kham)斑岩型铜-金矿床

该矿床位于NW向长山印支褶皱带(Truongson Fold Belt)北西端,万象北东方向约100km处(图2)。

矿区发育近EW向且向北突出的弧型冲断层和一近SN向分布的旋扭构造体系。旋扭构造体系由一系列向SE收敛、NW发散的一系列弧形断裂组成。这一形如蝌蚪的旋扭构造体系控制了与成矿有关的斑岩脉群的分布,进而控制了铜-金矿化的分布。矿区主要的岩石类型为角砾岩(碎屑锆石U-Pb年龄400Ma),位于逆冲断层的上盘,其下盘是晚三叠世红色粉砂岩(碎屑锆石U-Pb年龄220Ma),二者为断层接触。二叠纪-石炭纪火山碎屑沉积岩、火山侵入杂岩(锆石U-Pb年龄300~310Ma)位于帚状构造的帚部。侵入岩主要有志留纪花岗岩(431.2Ma $\pm$ 9.5Ma),位于矿区东部,与相邻岩石单元为断层接触;长石斑岩,侵入于二叠纪-石炭纪火山碎屑沉积岩,与铜-金矿化具有成因联系(图6)。

矿化分为2期:矽卡岩矿化和网脉状矿化,前者包括黄铁矿化矽卡岩、磁铁矿化矽卡岩、赤铁矿化-石英矽卡岩、赤铁矿化-绿泥石矽卡岩;后者包括块状黄铜矿化和脉状黄铜矿,脉状黄铜矿几乎是由纯黄铜矿组成的不规则、不连续的细脉,产于临近矽卡岩的蚀变沉积岩中(图7)。

与塞奔矿床类似,铜次生富集作用发育,并具有明显的分带现象:自地表向下依次为铁帽→次生富集带→原生硫化物矿石,次生富集矿物主要有辉铜矿、铜蓝和蓝辉铜矿。

此外,还有一些已知的铜矿床(点),大多为与花岗闪长岩有密切成因联系的脉状或浸染状矿化,在南部地区也有层状铜矿化。已发现的铜矿产地主要有如下地区。在靠近中国边境的勐海(Moung Hai)地区有一些铜矿点,其中那磨(Ban Nam)铜矿点位于勐海西南10km,矿化发育在砂岩和砾岩中的断裂破碎带内,含有黄铜矿、铜蓝、孔雀石和蓝铜矿。勐海东南3km的会通(Phou Thoug)地区,发育于闪长岩和花岗斑岩岩体内的石英脉含黄铜矿、孔雀石和蓝铜矿等,在三叠系粉砂岩中也有低品位的层状铜矿化。川圹北部的会山(Phou San)周围有一些铜矿点:

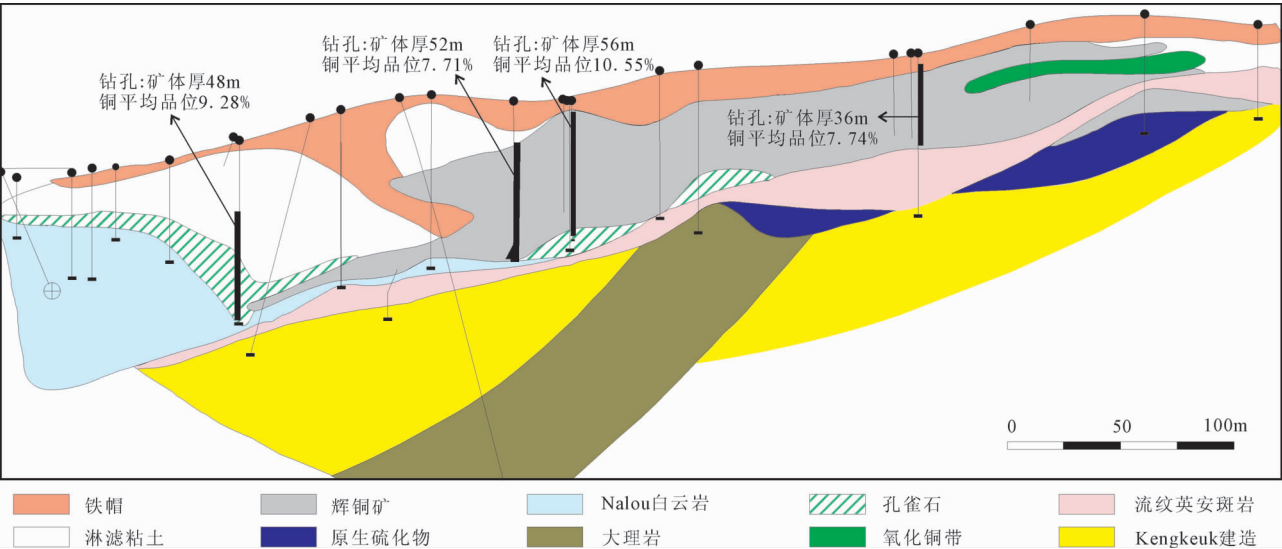


图 4 塞奔(Sepon)斑岩型铜-金矿床勘探线剖面(据参考文献①修编)

Fig. 4 Geological section along the exploration line of the Sepon porphyry Cu-Au deposit

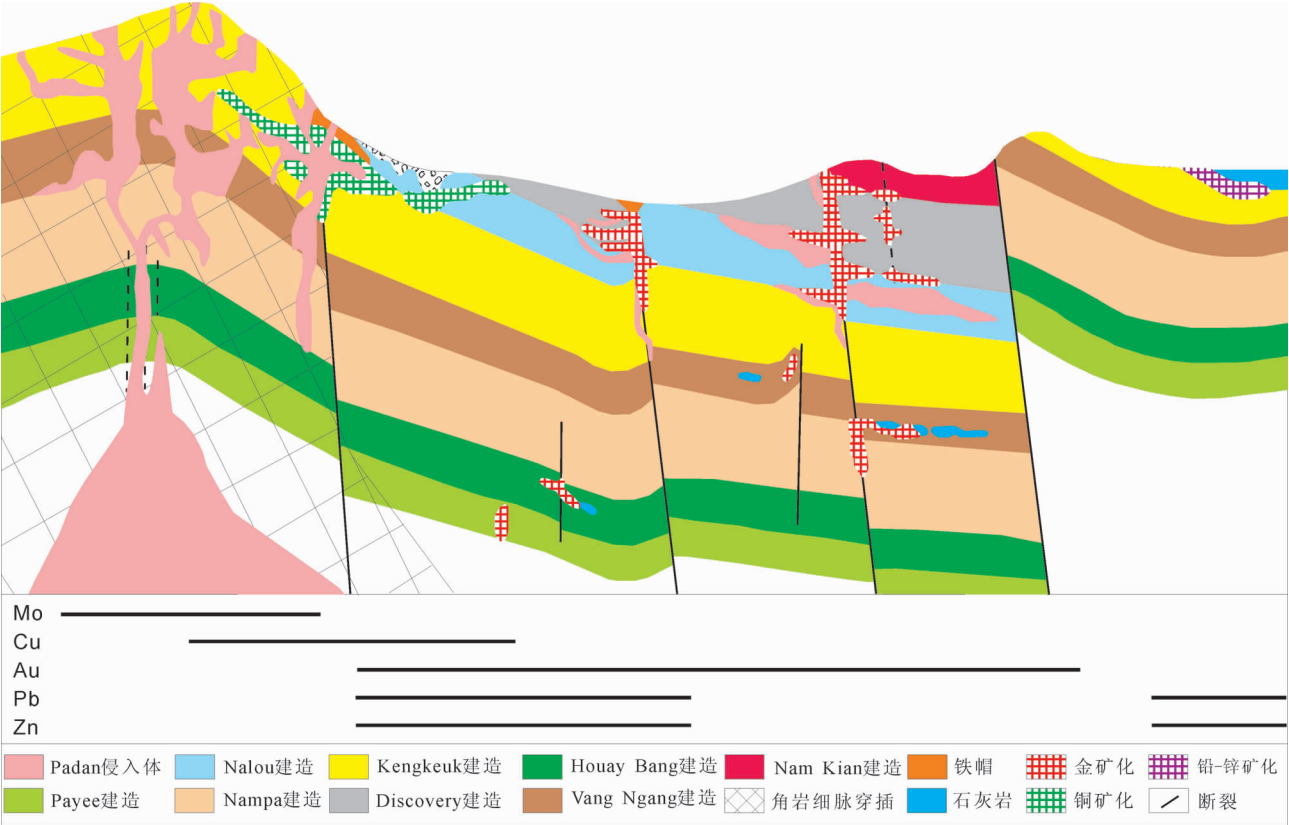


图 5 塞奔(Sepon)铜-金矿床成矿模式(据参考文献①修编)

Fig. 5 Ore-forming model of the Sepon porphyry Cu-Au deposit

川圹西南约 40km 的南通(Ban Nam Thong)附近, 铜矿化发育在花岗岩与石炭系灰岩接触带的矽卡岩中,并含有少量毒砂、辉钼矿、方铅矿和闪锌矿。20 世纪 60 年代后期对占巴色(Cha mpasak)地区的层

状铜矿化进行了普查,在占巴色西南约 32km 的搜宏玛(Soukhou ma)一带,缓倾斜的侏罗系页岩和砂岩中发育孔雀石及硅孔雀石化,有不少样品铜品位达 1%~2%,高者为 5%~6%。80 年代初又对波罗芬(Bolovens)高原东部和南部地区进行了铜矿普查,在三叠系砂岩和泥质岩中发现有层状铜矿化,并伴有金和银,最高品位为铜 25%、金 5×10^{-6} 、银 100×10^{-6} 。

2.2 矽卡岩型铁矿床

以帕立山矽卡岩型铁矿床为例,阐明其地质矿化特征(图 8)。帕立山矽卡岩型铁矿床位于 NW 向长山印支褶皱带(Truongson Fold Belt)北西端,紧邻富开斑岩型铜-金矿床(图 2)。不同的是前者与闪长岩关系密切,后者与花岗闪长岩有关。断裂构造主要有 3 组:南北向断裂、北东向断裂和东西向断裂。岩体长轴与东西向断裂一致,据此推断,东西向构造岩浆活动与铁矿化关系密切。矿体围绕闪长岩体与围岩接触带呈椭圆状断续分布,矿石矿物是磁铁矿、赤铁矿和一些硫化物,脉石矿物主要是石英,出露主矿体品位 63.48%~68.70%,是一高质量的富铁矿床。围岩是中一晚古生代的碳酸盐岩和陆源碎屑沉积岩,闪长岩的时代可能是三叠纪^[6]。虽然尚处于勘探阶段,但据地表出露的情况,与铁矿化有关的

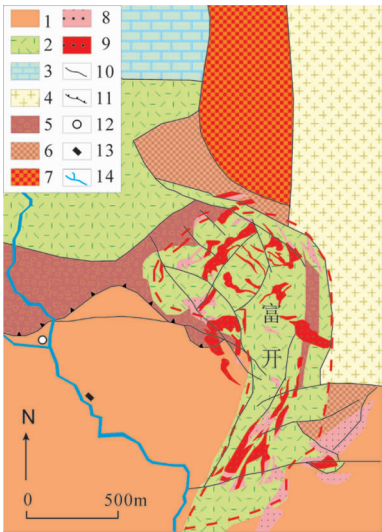


图 6 富开(Phu Kham)斑岩型铜-金矿床地质简图
(据参考文献②简化)

Fig. 6 Geological map of the Phu Kham porphyry Cu-Au deposit

- 1—呵叻盆地红层;2—沉积杂岩;3—灰岩;4—二云母花岗岩;
5—砾岩;6—浅褐色粉砂岩;7—红层;8—细粒酸性粉砂岩;9—长石斑岩;10—断层;11—逆断层;
12—村庄;13—矿业公司;14—河流

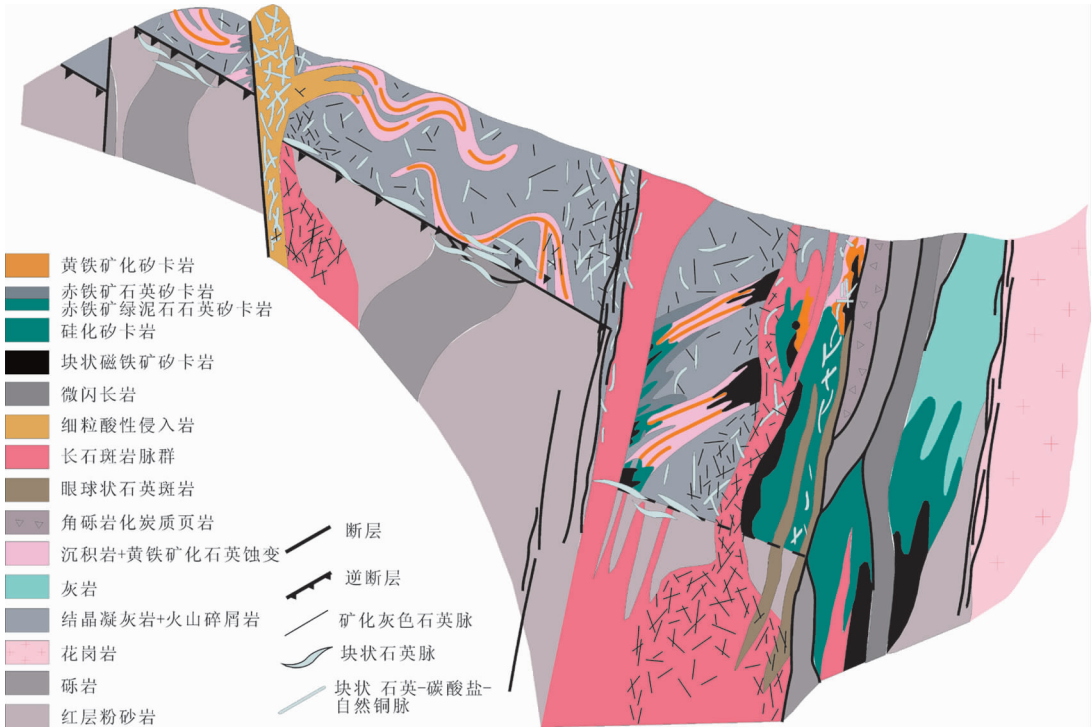


图 7 富开(Phu Kham)斑岩型铜-金矿床成矿模式(据参考文献②简化)

Fig. 7 Ore-forming model of the Phu Kham porphyry Cu-Au deposit

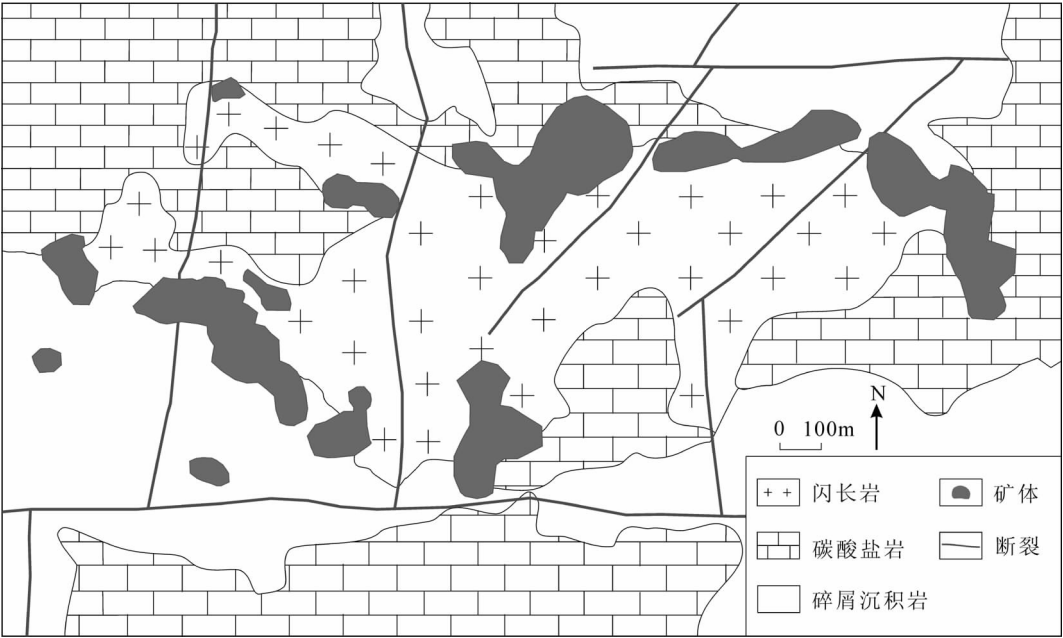


图 8 帕立山矽卡岩型铁矿床地质简图(据 TM 遥感影像解译、航磁异常解译和野外地质踏勘编制)

Fig. 8 Interpreted geological map of the Palishan Fe deposit

磁异常分布强度、规模和对矿石的初步分析,该矿床有望成为中南半岛继石溪铁矿床之后第二个大型富铁矿床。

此外,在川圹省的珐兰(Pha Lek)和会农(Phou Nhouan)地区亦发现矽卡岩型铁矿床。珐兰铁矿位于川圹西南约 60km,铁矿化地段断续长约 60km,铁矿体呈透镜状,产于花岗岩、花岗闪长岩与强烈褶皱的页岩、砂岩、灰岩的接触带附近,矿石矿物主要为块状磁铁矿,也有少量磁黄铁矿和黄铁矿。会农铁矿床位于川圹北约 5km,矿体位于一个山脊上,呈顺层状或透镜状,大部分山脊的主峰由铁矿石组成,矿体下部为砂岩、页岩。矿体长约 4km,宽数百米,矿石呈条带状,由致密灰色磁铁矿和亮红色赤铁矿条带组成,矿石品位 60%左右,资源总量巨大。

3 构造环境

最新测定的与帕立山矽卡岩型铁矿床有关的闪长岩、花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为 308~317Ma(另文讨论),这与 Phu Bia 矿业公司测定的富开斑岩型铜金矿的花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄 300~310Ma^[4]的结果是一致的。在 Hf-Rb-Ta 微量元素构造环境判别图解(图 9)中,

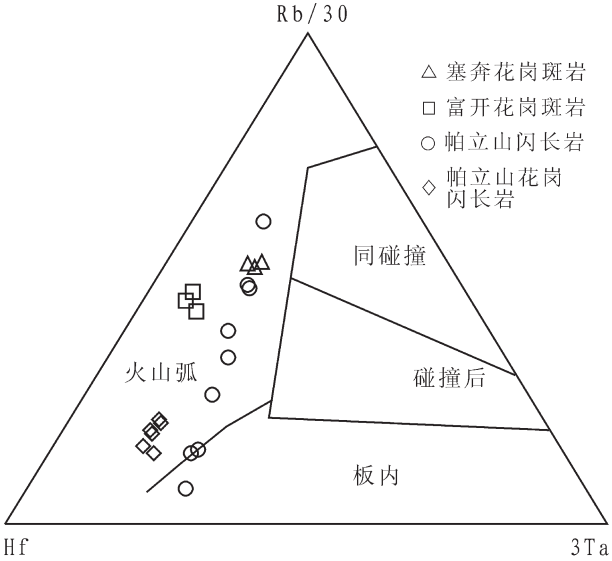


图 9 Rb/30-Hf-3Ta 微量元素构造环境判别图解^[7]

Fig. 9 Tectonic setting of Rb/30- Hf -3Ta trace elements

来自塞奔和富开斑岩型铜金矿的花岗斑岩样品和来自帕立山的绝大部分样品的投点都分布于火山弧构造环境。这表明产于长山成矿带的铜金铁矿床及与其相关的花岗岩形成于晚石炭世华南地块向印支地块俯冲产生的火山岛弧环境^[8]。

4 结 论

老挝属于资源丰富但勘查程度很低的发展中国家。加强与老挝在矿产勘查开发领域的合作,对推动两国的经济社会发展具有重要意义。澳大利亚一矿业公司在近 10 年内与老挝政府合作,在前人工作的基础上,新发现并勘查开发了 2 个(富开和塞奔)高品位大型斑岩铜-金矿床,中国鑫河矿业公司发现并勘查了具有大型规模的帕立山矽卡岩型富铁矿床。这表明老挝作为东南亚地区正在开发的处女地确实蕴藏着巨大的矿产资源潜力,并具有高效廉价的找矿效果。长山成矿带与国内云南的兰坪-思茅地块相接,同属于兰坪-思茅-印支地块。因此,长山成矿带铜金铁矿床的发现和研究的对兰坪-思茅地块区域寻找同类矿床具有一定的指导意义。

参考文献

[1]李方夏,赵应龙,王卓之,等. 东南亚地质矿产与矿业经济[M]. 云南省地质矿产局,云南省计划委员会, 1995.

[2]卢映祥,刘洪光,黄静宁,等. 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, 2009, 28(2/3): 314-325.

[3]Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Atlas of Mineral Resources of the Escape Region (7): Laos People’s Democratic Republic[M]. United Nations, Publication, Bangkok, Thailand, 1990.

[4]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.

[5]Garwin S, Hall R, Watanabe Y. Tectonic setting, geology, and gold and copper mineralization in Cenozoic magmatic arcs of Southeast Asia and the West Pacific[M]//Society of Economic Geologists. Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volum. 2005:891-930.

[6]Fan Pow-foong. Accreted terranes and mineral deposits of Indochina [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 343-350.

[7]Harris N B, Pearce J A, Tindle A G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward M P, Ries A C. Collision tectonics[J]. Geol. Soc. London Spec. Publ., 1986, 19: 67-81.

[8]张宏远,刘俊来.三江南段-中南半岛特提斯蛇绿岩大地构造与成矿[J].地球科学,2011,36(2):262-276.

① MMG. The Geology and Mineral Resources of the Sepon Gold and Copper Operation, Lao P. D. R. (ppt). 2009.

② Phu Bia Mining Limited. Phu Kham Cu-Au deposit —A Porphyry-Skam system, Lao P. D. R. (ppt). 2009.