

中新经济走廊地质矿产特征及找矿潜力

施美凤, 林方成, 朱华平, 王宏, 邓奇

SHI Meifeng, LIN Fangcheng, ZHU Huaping, WANG Hong, DENG Qi

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081

Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China

摘要:中新经济走廊纵贯东南亚中南半岛,地处全球著名的特提斯成矿域,矿产资源丰富,但资源勘查开发水平滞后,成为中国“一带一路”战略实施的优选地区之一。该区一大批矿床的发现和一系列新矿山的陆续建成投产,必将为区域经济发展和社会进步注入新的活力。通过对中新经济走廊的大型或代表性矿床的地质特征和成矿背景的总结,并对研究区主要矿床的成矿作用、成矿模式及找矿潜力进行讨论,旨在提高对中新经济走廊矿产资源重要性的认识水平,进而为实施“一带一路”战略在东南亚地区的工作部署提供科学依据。

关键词:中新经济走廊;东南亚;中南半岛;地质特征;典型矿床;成矿作用;找矿潜力

中图分类号:P61 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)01-0016-19

Shi M F, Lin F C, Zhu H P, Wang H, Deng Q. Geological and mineral resources characteristics and exploration potential along the China-Singapore economic corridor. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(1):16-34

Abstract: China-Singapore economic corridor, longitudinally through Southeast Asia Peninsula region, is located in the world-famous Tethyan metallogenic domain and has become one of the best choices to implement the "One Belt, One Road" project because of its enrichment of mineral resources and lagging of exploration technology. The discovery of several world-class mineral deposits and the opening of a number of new mines will surely inject new vigor into the economic development and social progress in this region. This paper has summarized the geological characteristics of typical deposits and metallogenic regularities along China-Singapore economic corridor. Meanwhile, ore-forming processes, mineralization pattern and exploration potential have also been discussed. The purpose of this study is to fill the knowledge gap of our understanding of the importance of the mineral resources and the metallogeny along China-Singapore economic corridor and, on such a basis, provide the scientific basis for implementing the "One Belt, One Road" project in Southeast Asia.

Key words: China-Singapore economic corridor; Southeast Asia; Peninsula region; geological characteristics; typical mineral deposit; ore-forming process; exploration potential

中新经济走廊是贯穿东南亚中南半岛国家的跨国陆路经济带,从中国广西南宁、云南昆明南下,纵穿越南、老挝、柬埔寨、泰国、马来西亚,抵达新加坡,长达3800km;广义上,还包括中越南宁-凉山-河内-海防-广宁经济走廊、昆明-老街-河内-海防-广宁经济走廊等。沿中新经济走廊的东南亚中南半岛地区是中国西南三江成矿带向南延伸的地

段,而哀牢山-越南马江结合带以北的地区为中国华南成矿带的南延地段,复杂的地质构造、强烈的岩浆活动造就了该区丰富的矿产资源,特别是钾盐、铝土矿、铜、金、铁、钨、锡、铅、锌、镍、铬等主要矿种资源丰富,且与中国有较强的互补性,受到中国矿业界的关注。

随着“一带一路”战略的实施,东盟地区成为中

收稿日期:2016-04-11;修订日期:2016-06-25

资助项目:中国地质调查局项目《老挝沙耶武里及邻区优势矿产资源潜力调查与分析》(编号:12120114018701)

作者简介:施美凤(1984-),女,硕士,工程师,从事矿产地质研究。E-mail:shimeifeng-1204@163.com

国矿产资源实施“走出去”战略的优选之地。东盟地区经济的迅速发展,对资源也提出了刚性需求,展现出广阔的合作空间。本文对沿中新经济走廊国家的钾盐、铝土矿、铜、金、铁、钨锡、铬、镍等重要矿种的产出环境、地质特征、成矿作用和找矿潜力进行系统论述,了解重要矿床的时空分布规律,进而为中国地勘单位和企业在中南半岛地区开展综合性找矿评价提供依据。

1 成矿环境

中新经济走廊带主体位于南方冈瓦纳大陆与北方劳亚大陆碰撞对接的交汇带,由复杂的陆块群、火山岛弧、板块结合带组成,澜沧江-清莱-文冬-劳勿结合带被认为是两大洲的最终碰撞结合带^[1-4]。二级构造单元主要包括澜沧江-清莱-文冬-劳勿结合带以西的滇缅马陆块群、介于澜沧江-清莱-文冬-劳勿结合带和金沙江-哀牢山-马江结合带之间的印支陆块群及马江结合带以北的华南陆块群。这些陆块群来自冈瓦纳大陆的东北边缘,分别自泥盆纪、早二叠世、三叠纪-侏罗纪从东冈瓦纳大陆边缘裂解出来,并于晚古生代和新生代汇聚拼合,形成现今的地貌格局。其构造-岩浆-成矿作用强烈,是全球最重要的成矿区带之一。

这些二级构造单元对应二级成矿省,可进一步划分出若干个三级成矿带^[5](图1),带内产出的矿床空间位置在成矿时代、成因类型上具有明显的区域成矿专属性。例如与碰撞形成的中酸性岩浆岩带有关的岩浆热液型钨锡矿带(云南临沧-泰国景栋钨锡矿带、云南腾冲-缅甸德林达伊钨锡矿带、老挝-越南长山钨锡矿带),洋壳俯冲及相关弧-陆碰撞背景下形成的铁铜金成矿带(缅甸中央火山弧铜金成矿带、老挝-越南长山铁铜金多金属成矿带、老挝琅勃拉邦-泰国黎府铁铜金多金属成矿带),古生代-中生代发育在稳定陆块上的铅锌矿带(云南保山-缅甸掸泰铅锌成矿带),中新世蒸发沉积盆地中形成的钾盐盆地(泰国呵叻-老挝万象钾盐矿),新生代高铝玄武岩风化形成的铝土矿(老挝万象-越南昆嵩铝土矿带),与结合带超镁铁质岩有关的铬镍矿带(缅甸道茂-密支那镍铬成矿带、马江铬镍铂钨铜金成矿带)等。

2 代表性矿床地质特征

沿中新经济走廊分布的矿种及矿床数量众多,主要矿床地质特征概括于表1。以矿床产出的地质环境及成矿作用为主线介绍代表性矿床的地质特征。

2.1 与镁铁质超镁铁质侵入体有关的铬铁矿、硫化铜镍(铂)矿床

沿中新经济走廊的中南半岛地区铬镍矿的分布明显受超基性岩带的控制,矿床数量较少,主要分布于缅甸北部葡萄-密支那超基性岩带及印缅山脉超基性岩带、越南马江超基性岩带。其中,大型矿床有缅甸太公当铬镍矿床、姆韦当铬镍矿床、越南版幅铜镍矿床等。镍矿有2种矿床类型,其一为岩浆分异型硫化镍矿床;其二为镍硅酸盐风化残余型镍矿床(亦称红土型镍矿床)。

2.1.1 越南山萝省版幅(Ban Phuc)硫化物型铜镍矿床

越南西北部最大的铜镍硫化物矿床位于山萝省的谢科(Ta Khoa)地区,从河内经过安沛(Yen Bai)到谢科的6号公路穿过矿床(约340km)。矿带上铜镍矿产地15处,以镍为主,铜矿多为小型。版幅矿床发育于金平-沱江构造带中部,含矿围岩为泥盆纪片岩、石英岩和硅质灰岩及灰岩,矿区岩浆岩有二叠纪-三叠纪科马提岩-玄武岩组合及晚二叠世苦橄岩-安山岩-玄武岩,安山岩-玄武岩和流纹岩-玄武岩组合^①。

版幅镍-铜-铂族矿床与科马提岩-玄武岩杂岩体的形成密切相关。矿体有似层状-透镜状及脉状2种:①似层状-透镜状矿体平行于橄辉岩体底部内接触带分布,剖面上宽400~500m,厚1.0~36.7m,平均厚7.15m。主要为低品位浸染状硫化铜镍矿石,局部为块状矿石,矿石主要矿物有镍黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿,相对贫Cu、Ni,但Ni/Cu值较脉状矿体更高,且矿化以中上部较富集、下部较贫为特征,伴生Pt、Pd含量极微;②脉状铜镍矿体产于岩体外接触破碎带中(距岩体边界20~100m),矿体走向为280°~310°,倾角70°~90°,长730m,倾斜延深450m,常出现分支、分岔现象。平面、剖面上均呈尖角向下的倒三角形,平均宽仅1.26m。以低角度切割地层,在剖面上矿体与地层近乎整合状接触;富含Cu、Ni、Co,并伴生有Pt、Pd等有益元素。

矿床的铜镍硫化物形成于岩浆成矿系统的早

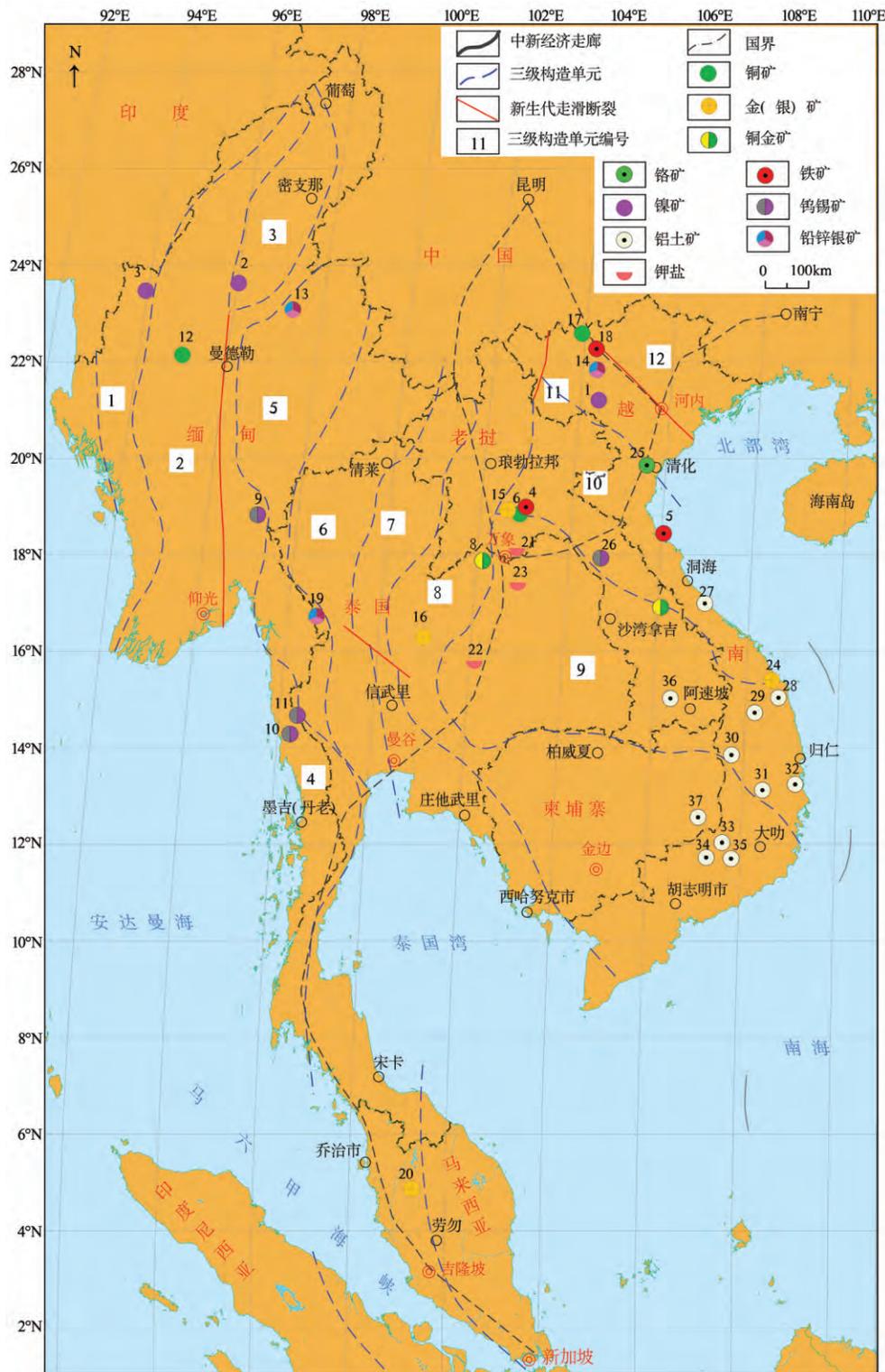


图1 沿中新经济走廊主要构造单元和大型矿床分布图

Fig. 1 Tectonic division and large ore-deposits distribution along the China-Singapore economic corridor

- 1—印缅山脉结合带; 2—缅甸中央火山弧带; 3—葡萄-密支那结合带; 4—腾冲-德林达依陆块; 5—掸邦-西马来西亚陆块; 6—景栋陆块; 7—琅南塔-庄他武里火山弧带; 8—琅勃拉帮-黎府-大叻陆块; 9—万象-昆嵩陆块; 10—长山褶皱带(陆块); 11—马江结合带; 12—越北陆块

期岩浆阶段、晚期岩浆阶段及热液阶段,形成机制如下:①金平—沱江裂谷裂陷阶段,亚碱性拉斑玄武岩熔出,地幔基底岩浆演化形成高铝、高镁、低碱科马提质—玄武质岩浆;②科马提岩—玄武岩岩浆形成岩浆房,发生初步的分离结晶,在岩浆房的底部形成堆晶橄榄岩;③硫饱和的科马提岩—玄武岩岩浆的上升侵位过程中,独立硫化物相熔体下沉至岩浆底部形成浸染状铜镍矿化,最终形成似层状—透镜状矿体;④在底部浸染状矿化形成过程中,部分硫化物熔浆沿岩体侵位时产生的接触构造破碎带迁移并沉淀成矿,或自中间岩浆房中分离出的一部分硫化物熔浆沿构造薄弱带侵入,形成外接触带的脉状矿体;⑤热液成矿作用过程,成矿热液对先前存在的镍—铜矿石产生交代作用,导致磁黄铁矿被黄铁矿集合体交代,镍黄铁矿被六方硫镍矿和紫硫镍矿交代,形成铂族矿物。

2.1.2 缅甸实皆省太公当(Innet Taung)铬镍矿床

太公当铬镍矿位于实皆省密亚当南,构造上位于缅甸中北部的葡萄—密支那结合带南段,处于SN向的实皆断裂带和NE向构造带的交会部位,受控于太公当超基性岩体。铬矿为蛇绿岩型岩浆分异作用形成的原生铬铁矿,镍矿是镍硅酸盐风化残余型镍矿床(亦称红土型镍矿床)。

区内主要由超基性岩和白垩纪—新近纪的沉积物组成,且太公当超基性岩体向东俯冲超覆于白垩系和古近系—新近系之上。矿区的超基性岩体出露面积100km²,由蛇纹石化纯橄榄岩、方辉橄榄岩、二辉橄榄岩、异剥橄榄岩和辉石岩组成。矿体呈豆荚状产于岩体中,单个矿体规模达数十至数千吨。矿石矿物为铬尖晶石,在很多矿石的铬铁矿结构内可见铬镁尖晶石和硬铬尖晶石,具块状及豹斑状构造,Cr₂O₃含量为48%,Cr/Fe=3:1,矿石储量14700t。

超基性岩是风化壳型硅酸镍矿的成矿母岩和矿体的直接载体。地表多被红土覆盖,矿体与围岩界线清晰。研究表明,超基性岩(基岩)上方存在3个明显的风化带,自上而下分别为含镍较低的红棕色粘土带(8m)、黄褐色含镍褐铁矿带(4m)、蚀变橄榄岩带和镍富集带(4m)。矿体一般厚3~5m,整个镍矿由5个矿体组成。矿石Ni的平均含量为2.01%,矿石储量4000×10⁴t,相当于Ni金属储量80×10⁴t。

风化壳各层都有不同程度的镍矿化,红土盖层平均含Ni为0.578%;褐铁矿化层只在局部发育,铁含量较高,镍品位一般小于1.1%;镍通常在蚀变橄榄岩带和镍富集层富集,最高可达4.24%。基岩平均含Ni为0.495%,未风化的超基性基岩中Ni的原始含量是0.3%^[6]。

2.1.3 缅甸实皆省姆韦当(Mwetaung)铬镍矿床

姆韦当铬镍矿位于实皆省吉灵庙(Kalaymyo)镇,受控于姆韦当超基性岩体,构造上位于缅甸西部的印缅山脉结合带。该岩体出露面积60km²,主要由蛇纹石化纯橄榄岩和方辉橄榄岩组成。1964—1965年,缅甸国内铬铁矿勘查过程中发现了姆韦当红土型镍矿;1982—1984年,德国对矿区南部的铬铁矿进行勘查;1981—1992年,日本、联合国发展计划署、缅甸等多家公司先后对该区进行了考察和详查工作;2003—2005年,云南有色局和中国有色矿业多次对该矿进行了考察^[7]。

与太公当一样,铬矿为蛇绿岩型岩浆分异作用形成的原生铬铁矿,镍矿是镍硅酸盐风化残余型镍矿床。铬铁矿石中Cr₂O₃含量为46%,铬矿石储量8500t,成矿时代为晚白垩世—始新世。

姆韦当岩体风化壳自下而上由超基性岩的黄绿色分解带(厚30~60m)、深棕红色红土带(厚5m)组成。最富镍的部位在分解带和红土带的过渡地段,含量可高于原岩的10倍以上:超基性岩中Ni含量为0.3%,分解带和红土带的过渡地段Ni含量为3%,矿石矿物为硅镁镍矿,平均Ni含量为1.10%,镍矿石储量3000×10⁴t,相当于镍金属储量33×10⁴t。

2.2 与中酸性岩体有关的铁、铜、金、锡、钨矿床

沿中新经济走廊带中酸性侵入岩体广泛分布,主要形成于与特提斯洋壳俯冲有关的火山弧或弧—陆碰撞构造背景,与之相关的铁、铜、金、钨、锡等矿床十分发育。印支地块群的黎府褶皱带和长山褶皱带包含多阶段与岩浆弧有关的花岗岩类^[2],黎府褶皱带被认为早奥陶世—晚石炭世为弧后扩张洋盆,晚石炭世—早二叠世向西俯冲,早—中三叠世洋盆关闭形成陆缘弧^[3];长山褶皱带在中奥陶世—中泥盆世同时受北侧原特提斯马江洋向南俯冲和南侧三岐—福山洋向北俯冲的弧—陆碰撞,晚石炭世—早二叠世北侧古特提斯马江洋的扩张和南侧三岐—福山洋的持续俯冲(形成与火山弧有关的铁、铜金矿)、晚二叠世—中三叠世北侧古特提斯马江

表1 中新经济走廊主要矿床地质特征
Table 1 Geological characteristics of major deposits
along the China-Singapore economic corridor

矿床名称	构造环境	容矿围岩	岩浆岩	矿体特征	矿物组合	围岩蚀变	成因类型	规模/品位	参考文献
1-越南山萝省版幅(Ban Phuc)铜镍矿床	金平-沱江晚二叠世一早三叠世裂谷	泥盆系片岩、石英岩和硅质灰岩及灰岩	与裂谷活动有关的超镁铁质-镁铁质火山-深成岩杂岩	似层状及脉状2种,前者赋存于橄辉岩体内的下部及底部;后者产于岩体南西侧外接触破碎带中	镍黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿	角岩化、透闪石化、蛇纹石化等	岩浆分异型硫化镍矿	大型,镍铜储量为 19.3×10^4 t,其中镍 12×10^4 t	[1]
2-缅甸实皆省太公当(Innet Taung)铬镍矿床	葡萄-密支那结合带	超基性岩、第四系风化壳	蛇纹石化纯橄橄岩、方辉橄橄岩、二辉橄橄岩、异剥橄橄岩和辉石岩	铬矿原生矿呈豆荚状产于基性岩体中,多为缓倾似层状,局部为不规则状透视镜体。红土型镍矿产于第四系风化层	铬尖晶石、铬镁尖晶石和硬铬尖晶石	蛇纹石化、蓝闪石化、泥化、黄铁矿化、黄铜矿化等	蛇绿岩型岩浆分异型铬矿,风化残余型镍矿	大型,铬矿石储量14700t,含 Cr_2O_3 48%;镍矿石储量 4000×10^4 t,平均含Ni 2.01%	[6]
3-缅甸实皆省姆韦当(Mwetaung)铬镍矿床	印缅山脉结合带	超基性岩、第四系风化壳	姆韦当超基性岩体,由蛇纹石化纯橄橄岩和方辉橄橄岩组成	铬矿矿体呈豆荚状产于基性岩体中,红土型镍矿平面形态受地形控制,多为缓倾似层状	铬铁矿、硅镁镍矿	蛇纹石化、泥化	岩浆分异型铬矿,风化残余型镍矿	大型,铬矿储量8500t,铬铁矿石含 Cr_2O_3 46%;镍矿石储量 3000×10^4 t,平均含Ni 1.10%	[7]
4-老挝万象省爬立山(Pha Lek)铁矿床	长山褶皱带	中上泥盆统大理岩和火山碎屑岩	花岗岩、二长花岗岩(280Ma)、花岗闪长岩(308-317Ma)、闪长岩	致密块状磁铁矿、孔洞状赤铁矿、砂砾土状铁矿	赤铁矿、褐铁矿、磁铁矿	砂卡岩及大理岩化、角岩化、绿泥石化、磁铁矿化、绿帘石化	砂卡岩型、火山-沉积型、风化淋滤型	大型,资源量大于 2×10^4 t, TFe:40%-60%	[8-9]
5-越南河静省石溪(Thack Khe)铁矿床	长山褶皱带	上古生界角岩、大理岩和灰岩,中三叠统砂岩、泥质页岩和角岩	Phia Bioc杂岩体:花岗闪长岩、二长花岗岩(253-258Ma)、二云母花岗岩	矿体呈NNE向展布,似透视镜状,横剖面呈马尾状	以磁铁矿-赤铁矿为主,局部有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿	砂卡岩化及大理岩化	砂卡岩型	大型,铁矿资源量 5.5×10^4 t, TFe:60%-65%	[10]
6-老挝万象省福康(Phu Kham)铜矿床	长山褶皱带	石炭系一二叠系碳酸盐岩、火山碎屑岩和砂卡岩	花岗闪长斑岩(310-270Ma)、与成矿无关的花岗岩(431Ma)	矿体呈透视镜状、似层状、脉状产出,呈NW向,NE向及近EW向展布	黄铜矿、蓝铜矿、斑铜矿及孔雀石、黄铜矿、蓝铜矿、斑铜矿、磁铁矿、菱铁矿及孔雀石	钾化、绢英岩化、砂卡岩化、碳酸盐化、绿泥石化及硅化	斑岩型、砂卡岩型和热液型	大型,储量 2.4×10^4 t, TCu 0.55%, Au 0.24g/t, Ag 2.2g/t	[11-13]
7-老挝沙拉湾省色潘(Sepon)金铜矿床	长山褶皱带	古生界碎屑岩、碳酸盐岩	花岗闪长斑岩(290Ma)和少量岩脉	由东西2个近似连续的矿化亚带构成,铜矿化主要分布在西部,金矿化主要分布在东部	铜矿石以黄铜矿、黄铁矿和斑铜矿为主;金矿石有黄铁矿、毒砂、辉钨矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和自然金	钾化、青磐岩化、泥化、砂卡岩化、角岩化、绿泥石化、大理岩化、脱碳酸盐化、硅化	沉积岩容矿型金;类夕卡岩型铜;斑岩型铜;碳酸盐岩交代型铅锌银	大型,金储量102t,铜 196×10^4 t, Au 1.6g/t, TCu 2%	[14-15]
8-泰国廊开省普龙(Phu Lon)铜金矿	黎府褶皱带	泥盆系石灰岩和火山碎屑岩(359Ma)	闪长岩、石英二长斑岩(244Ma)	浸染状及细脉状	黄铜矿、黄铁矿、自然金、银金矿、闪锌矿	砂卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、赤铁矿化、碳酸盐化	砂卡岩型	大型, 5400×10^4 t,含Cu 2.4%, Au 0.64 g/t	[16]

续表 1-1

矿床名称	构造环境	容矿围岩	岩浆岩	矿体特征	矿物组合	围岩蚀变	成因类型	规模/品位	参考文献
9-缅甸茂奇(Mawchi)锡钨矿床	腾冲-德林达依构造-岩浆岩带(东南亚钨锡矿带西亚带中段)	石炭系茂奇群砂板岩、石英岩、大理岩	晚中生代一新近纪黑云母花岗岩	矿脉NNE向,在花岗岩中较规则,进入沉积变质岩后出现分枝和指状网脉	锡石、黑钨矿,伴生黄铁矿、黄铜矿、毒砂、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、方铅矿,局部有白钨矿	电气石化	热液(脉)型	中-大型,矿石储量83.1×10 ⁴ t,含Sn:1.54%、WO ₃ :0.75%	[17]
10-缅甸德林达依省赫敏之(Hermyingyi)锡钨矿	腾冲-德林达依构造-岩浆岩带(东南亚钨锡矿带西亚带南段)	石炭系墨吉群浅变质碎屑岩系	燕山晚期和喜山早期中酸性侵入岩。粗晶黑云母花岗岩、细晶花岗岩(59.5Ma)	呈浸染状、网状脉、脉状,沿SN走向的裂隙体系发育,切穿NNW向的细晶花岗岩体	黑钨矿、锡石,次为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿,含少量磁黄铁矿、黄锡矿、辉钼矿、辉铋矿、白钨矿	云英岩化为主,其次为硅化	热液石英脉型,云英岩型	大型,WO ₃ :0.276%~0.311%,SnO ₂ :0.049%~0.061%	[18]
11-泰国北碧比洛克(Pilok)锡钨矿	腾冲-德林达依构造-岩浆岩带(东南亚钨锡矿带西亚带南段)	石炭系一二叠系碎屑岩层序(页岩、粉砂岩、砂岩和含砾泥岩)	二长花岗岩(175~182Ma)、黑云母-白云母细粒花岗岩(72~76.5Ma)和碱性长石细粒花岗岩	含石英英脉呈网脉状穿插于二长花岗岩及细粒花岗岩中,矿脉为近SN向和近EW向	以黑钨矿、锡石为主,含少量黄铁矿、辉钼矿、白钨矿	绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、石英-绢云母化和泥化	热液脉型	大型	[19-21]
12-缅甸实皆省蒙育瓦(Monywa)铜矿床	缅甸中央第三纪火山弧带	中新统英安质-安山质火山岩和火山碎屑岩	流纹岩、英安岩、安山岩	矿体产于补给火山口附近的角闪黑云母斑岩中,块状矿局部发育于火山岩上部的网状脉中	主要为辉铜矿、蓝辉铜矿和黄铁矿,少量铜蓝、硫砷铜矿	泥化、泥质蚀变(叶蜡石、高岭石、明矾石、绢云母、石英)	热液型	大型,Cu:700×10 ⁴ t	[22-23]
13-缅甸掸邦包德温(Bawdwin)铅锌银多金属矿床	保山-掸泰古生代碳酸盐台地	寒武系一奥陶系包德温凝灰岩和寒武系潘云(Pangyun)组火山碎屑岩和浊积岩系	凝灰岩、角砾岩、流纹岩	3个矿段:Chinaman矿段、Shan矿段、Meingtha矿段,块状矿石沿NW向断裂发育	含银方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、斜方砷铁矿、黝铜矿、辉铋矿、块硫锑铅矿、深红银矿、辉砷镍矿、辉砷钴矿、车轮矿、方黄铜矿	绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化	火山块状硫化物型(VHMS)	大型,探明储量铅105×10 ⁴ t、锌21.8×10 ⁴ t,含Pb 21%、Zn 15%、Ag 0.055%	[22]
14-越南安沛省秀丽(Tule)铅锌银矿床	秀丽火山岩带	侏罗系一白垩系火山-沉积岩	正长斑岩,石英正长斑岩,钠长斑岩	脉状矿体,块状与透镜状构造	方铅矿,闪锌矿,少量黄铁矿,黄铜矿与辉银矿	硅化、泥化	热液型	资源储量Pb约12.4×10 ⁴ t(10.06%);Zn 8.2×10 ⁴ t(2.80%);Cd 419t(0.83%);Ag 406t(168g/t)	①
15-老挝万象省班会晒(Ban Houayxai)金银矿床	长山褶皱带	早二叠世火山沉积	安山岩(286Ma)、火山角砾岩(283Ma)	矿体呈网脉状和块状角砾岩产出	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、银金矿、脆银矿、毒砂	硅化、泥化	热液型	大型,资源量7600×10 ⁴ t,含Au 0.82g/t,Ag 7.0g/t	[24]
16-泰国碧差汶省切垂(Chatee)金矿床	黎府褶皱带	晚二叠世一早三叠世火山碎屑岩和火山沉积	闪长岩脉,含玄武岩脉和角闪石斑岩脉(221~244Ma)的巨晶花岗岩闪长岩	矿体呈脉状、网状状和少量角砾状产出	银金矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、少量黄铜矿	硅化、泥化、青磐岩化	热液型	大型,矿石储量8170×10 ⁴ t,矿石含Au 1.18g/t,Ag 9g/t	[25]

续表1-2

矿床名称	构造环境	容矿围岩	岩浆岩	矿体特征	矿物组合	围岩蚀变	成因类型	规模/品位	参考文献
17-越南老街省辛归(Sin Quyen)铜矿床	哀牢山-红河剪切带	元古宇辛归组黑云母片麻岩与含角闪石片麻岩	新元古代角闪岩与片麻状花岗岩,二叠纪花岗岩	条带状、条带状、沿辛归组片麻岩与片麻状花岗岩接触带分布	黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、晶质(沥青)铀矿、自然金、金红石、辉铅矿及含稀土矿物独居石、褐帘石等	混合岩化	火山-沉积变质成因的IOCG型	探明铜矿石量5280×10 ⁴ t,平均品位Cu:0.91%,伴生Au品位:0.44g/t,磁铁矿:5.4%,伴生稀土Ce+La+Pr+Nd为0.70%	②[26]
18-越南老街省巴洒(Bat Sat)铁矿床	哀牢山-红河剪切带	红河群结晶变质岩,主要有长石石英岩和磁铁矿石英岩	基性侵入岩	矿体呈层状、似层状和透镜状,延伸3.5-4km,厚约300m。	磁铁矿	硅化、黄铁矿化、泥化等	火山-沉积变质型	铁矿储量1×10 ⁶ t以上	③④
19-泰国达府夜速县帕达恩(Pa Daeng)锌矿	保山-掸泰古生代碳酸盐台地	三叠系灰岩		含矿带呈NNW向线状分布,横穿沉积岩走向,主矿体呈不规则矿囊	菱锌矿、异极矿、少量方铅矿、闪锌矿、白铅矿	铁染	碳酸盐岩热卤水改造型(MVT型)	大型,锌矿石储量450×10 ⁴ t(Zn 24%),约含锌储量108×10 ⁴ t	③
20-马来西亚(Selinsing)金矿床	马来半岛中央弧前盆地带	石炭系粉砂岩、砂岩和千枚岩	流纹岩岩脉	脉状、浸染状,二期成矿(脉)	包括黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿和自然金	硅化、绿泥石化、黄铁矿化和绢云母化	沉积型、热液(造山)型	储量达482×10 ⁴ t, Au: 1.49g/t	[27]
21-老挝万象省万象(Vientiane)平原盐矿床	沙空那空中新生代沉积盆地	古近系塔贡组膏盐岩与陆源细碎屑岩		似层状产于塔贡组下段膏盐岩亚段	由光卤石(19%)、钾盐(15%)、岩盐、石膏组成		海源陆相成因	大型, KCl: 9.70%~30.76%。	③
22-泰国猜也蓬省班内那隆(Bamnet Narong)钾盐矿床	呵叻中新生代沉积盆地	上白垩统一古近系马哈拉堪组紫红色碎屑岩系和蒸发岩沉积		钾盐矿床位于盐背斜的翼部,而光卤石矿床位于盐向斜中	主要是光卤石,少量钾石盐		浅海沉积	大型	③
23-泰国木安乌隆(Udon Thom)钾盐矿床	沙空那空中新生代沉积盆地	上白垩统一古近系马哈拉堪组紫红色碎屑岩系和蒸发岩沉积		钾盐矿床位于盐背斜的翼部,而光卤石矿床位于盐向斜中	主要是光卤石,少量钾石盐		浅海沉积	大型	③
24-越南广南省蓬苗(Bong Mieu)金矿床	三岐-福山结合带	中元古界片岩系(强变形的片岩,片麻岩和花岗岩)	花岗岩、伟晶岩、浅色岩脉(237Ma)	由3个矿化带组成,矿体呈脉状、透镜状	黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、白钨矿、铋钼矿、锡石、毒砂、辉钼矿、磁铁矿	绿帘石化、绿泥石化、黑云母化、碳酸盐化	砂卡岩型、热液型	大型,金储量5700×10 ⁴ t, Au1.8~7.9g/t	[22, 28]
25-越南清化省努山古定(Co Dinh)铬矿床	马江结合带	第四系河床冲积层下部	努山超基性岩体	矿体呈血红色,由大小不等的角砾状、苔状、姜状、不规则状矿与红色粘土混合堆积而成	铬铁矿、硅镁镍矿		蛇纹石化、绿泥石化、绿帘石化和少量阳起石化。	大型,探明铬矿石储量2380×10 ⁴ t,含Cr ₂ O ₃ 1.0%~5.9%, Ni 0.38%~0.64%	①③

续表 1-3

矿床名称	构造环境	容矿围岩	岩浆岩	矿体特征	矿物组合	围岩蚀变	成因类型	规模/品位	参考文献
26-老挝甘蒙省南巴坦(Nam Pathene)锡矿	长山褶皱带	浅岩溶盆地的风化红土	早中三叠世花岗岩类(239-247Ma); 含锡上三叠统一侏罗统(191-226Ma)安山岩-英安岩-流纹岩组分的次火山杂岩	矿体以层状为主,长300-500m,厚0.1-10m,氧化带深30-50m,最长达100m	砷黄铁矿、锡石、黄铁矿为主,次有磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和少量白钨矿、黄锡矿		风化残余型	大型, Sn 0.12%	③
27-35-越南南部红土型铝土矿床	新生代玄武岩高原	玄武岩风化壳	上新统一更新统拉斑玄武岩、更新世-全新世橄辉玄武岩		主要为三水铝石,其次为针铁矿、赤铁矿等铁的氧化物		风化残余型	大型,铝土矿总储量为 30×10^4 t,资源总量近 70×10^4 t	③
36-老挝占巴色省巴松(Pakxong)铝土矿	新生代玄武岩高原	第四系残积层	橄辉玄武岩和伊丁石化玄武岩	矿体在平面上呈不规则面状、长条状,在垂向上主要呈斗篷状或似层状产出。	三水铝石、针铁矿、赤铁矿、钛铁矿、高岭石、石英和黏土质	钠黝帘石化、伊丁石化等	红土型(风化壳型)	大型,探明内蕴经济资源量(331) 800×10^4 t, Al_2O_3 含量为30%-50%	[29-30]
37-柬埔寨多基里省森莫诺隆铝土矿床	新生代玄武岩高原	全新世红土覆盖区	上新统一更新统溢流相拉斑玄武岩	上部为含矿红土层,中间为黄色-灰白色黏土层,下部为半风化玄武岩	以三水铝石为主,还含有针铁矿、赤铁矿、高岭石等		风化残余型	大型,储量可达 3200×10^4 t, Al_2O_3 含量高达46%-57%	③

洋向南俯冲(形成与火山弧有关的铁、铜金矿)和南侧三岐-福山洋闭合^[10]。这些与岩浆弧有关的成矿类型有矽卡岩型铁矿、斑岩型铜矿、斑岩-矽卡岩型铜金矿等。

此外,区内还发育著名的东南亚钨锡矿带(包括东部云南临沧-泰国景栋钨锡矿带和西部云南腾冲-缅甸德林达伊锡钨矿带),该带从缅甸、泰国经马来西亚一直延伸到印度尼西亚的勿里洞岛。锡钨矿主要与带内的S型花岗岩有关,形成锡石-黑钨矿-石英脉型、云英岩型锡钨矿。马来西亚素有“锡国”的美称,锡储量仅次于中国,西马来西亚11个州中9个有锡矿,以霹雳州和雪兰莪州最多;矿石类型以冲积砂锡矿为主,如世界著名的坚打谷锡矿区和吉隆坡锡矿区,矿床规模主要是中小型。

2.2.1 老挝万象省爬立山(Pha Lek)铁矿床

爬立山铁矿位于老挝万象省赛宋文县西北方的南山村境内,构造上位于长山褶皱带北部。中上泥盆统构成矿区的主要赋矿层系,包括下部大理岩夹少量钙质碎屑岩和上部一套火山碎屑岩

夹少量碎屑岩组合。矿区内侵入岩以华力西期的花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩为主,为长山花岗岩带的一部分,总体呈NW-SE向展布,以不规则岩株状分布。这些岩体最新的锆石U-Pb测年结果显示,岩石主要形成于280~317Ma^[8,32]。岩石地球化学特征表明,这些岩体形成于火山岛弧环境^[32]。

现有的勘查工作表明,爬立山铁矿床预测铁矿石资源量大于 2×10^8 t,属大型矿床^[9]。爬立山铁矿矿石按自然类型分为砂砾土状铁矿石、孔洞状赤(褐)铁矿石、致密块状磁铁矿石3种。铁矿石品位一般为TFe 40%~60%。矿区岩体与碳酸盐岩接触部位发育强烈的接触交代作用,形成矽卡岩化带和大理岩化带。钻孔资料揭示,自上而下表现为大理岩-磁铁矿-矽卡岩-二长花岗岩的分布规律,可代表爬立山矿区矽卡岩型铁矿体的典型特征。根据赤铁矿石的组构分析,初步确定孔洞状赤铁矿石既具有火山作用成岩成矿的特征,又具有沉积成岩成矿的特征,并在后期遭受了风化淋滤作用。其矿床

类型包括接触交代作用形成的矽卡岩型铁矿、火山作用形成的火山-沉积型铁矿及表生作用形成的风化淋滤型铁矿。

2.2.2 越南河静省石溪(Thack Khe)铁矿床

石溪铁矿位于越南中部河静市东北7km的海岸区,构造上位于长山褶皱带中部大江(Song Ca)断裂系的东端,是东南亚地区最大的矽卡岩型富磁铁矿。1962年通过航磁发现异常,1964年经勘探和钻探发现,探明储量及资源量为 5.5×10^8 t,矿区已详查C+D+E级储量为 5.44×10^8 t, TFe平均品位为61.35%。由于矿床靠近大海,矿体埋深可至海平面以下420m,海水灌入采区最大流量为7952 m³/d,开采条件差,加之含锌偏高,目前尚未开发,但具有极大的工业价值。

石溪铁矿地表均被海岸沙和粘土层覆盖,只有石溪湾有2个小的花岗岩(Phia Bioc岩体)山体,山顶海拔373m。矿区地质图及勘探钻孔资料显示,该区域地层主要由中一下泥盆统角岩、大理岩和灰岩,石炭系一二叠系灰岩和大理岩,中三叠统砂岩、泥质页岩和角岩组成。Phia Bioc岩体为长山褶皱带内众多岩浆杂岩体之一,主要由花岗闪长岩、二长花岗岩、二云母花岗岩组成。笔者对矿区北部的黑云母二长花岗岩进行了锆石U-Pb测年研究,结果为253.0~257.8Ma(晚二叠世),岩石地球化学特征及Hf同位素组成表明,黑云母二长花岗岩属于铝质A型花岗岩,主要形成于下地壳火成岩的部分熔融,应该形成于特提斯马江洋向长山褶皱带下俯冲时期的弧后伸展构造背景^[10]。

铁矿产于泥盆系一二叠系碳酸盐岩与黑云母花岗岩、花岗闪长岩的接触带,已勘探的矿区矿体呈NNE向展布,似透镜状,向南倾斜,倾角20°,横剖面呈马尾状,向西扩散进入花岗岩体内。矿体埋深25~135m,长约3km,大体可分为南、北2个矿段;矿体北部宽200~400m,厚22~273m;南部最宽处700m,厚17~443m。矿石以块状磁铁矿-赤铁矿富矿为主(占95%),TFe品位为60%~65%,平均61.35%,属酸性低磷、低硫富铁矿石,局部有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等硫化物细脉。

2.2.3 老挝万象省福康(Phu Kham)铜矿床

福康铜金矿位于长山成矿带西北段川圹高原上,距万象约100km,是长山褶皱带最重要的斑岩-矽卡岩型氧化矿之一,资源量为 2.27×10^8 t,含Cu

0.48%, Au 0.22g/t, Ag 2g/t。矿区容矿岩系为晚石炭世一早二叠世碳酸盐岩和火山碎屑岩,与矽卡岩矿化有关的斑岩脉侵入到含矿火山碎屑岩中,在斑岩周围分布有大量含石榴子石矽卡岩和磁铁矿矽卡岩。

福康铜金矿区存在斑岩型、矽卡岩型和热液型3种矿化类型^[11]。斑岩型铜(金)矿化产于花岗斑岩中,以含矿母岩强烈蚀变为特征,含矿母岩为花岗闪长斑岩、石英二长斑岩及流纹英安质火山杂岩,其中火山杂岩具同心环状构造。矽卡岩型铜(铁、金)矿化产于花岗斑岩及细粒花岗岩的外接触带内,可能与海西期和印支期的岩浆活动有关;矿体、矽卡岩带均受顺层构造破碎带控制,呈透镜状、似层状产出。热液型铜金矿化则产于构造破碎带中,含矿母岩为火山碎屑岩;矿体呈透镜状、脉状产出,呈NW向、NE及近EW向展布。斑岩型铜矿石含铜矿物为黄铜矿、蓝铜矿、斑铜矿及孔雀石。矽卡岩型铜(铁、金)矿石主要矿物成分为黄铜矿、蓝铜矿、斑铜矿、磁铁矿、菱铁矿及孔雀石。侵入斑岩及赋矿围岩普遍遭受了强烈的热液蚀变,主要发育钾化、黑云母化、绢英岩化、矽卡岩化、碳酸盐化、绿泥石化、硅化等,其中与铁铜矿化密切的蚀变是矽卡岩化,与铜金矿化密切的是绢英岩化、硅化。

福康铜金矿区与矿化有关的花岗斑岩及附近Long Chieng Track和Ban Houayxai浅成热液型金矿的含矿火山岩的锆石U-Pb年龄为310~270Ma^[12],表明矿床形成于晚石炭世一早二叠世。福康矿区安山质-英安质岩层的全岩地球化学样品表现为陆缘弧的特征^[13]。

2.2.4 老挝沙拉湾省色潘(Sepon)铜金矿床

老挝色潘铜金矿位于老挝中南部沙湾拿吉省(Savannakhet)色潘镇北约40km处,矿区面积约1947km²,大地构造上位于长山褶皱带东南端色潘盆地内。矿区出露地层以古生界碎屑岩、碳酸盐岩建造为主,为一套半地堑盆地陆相河流沉积和滨浅-深海相沉积。区内岩浆活动以发育花岗闪长斑岩和少量岩脉为特征,斑岩体与围岩呈侵入接触,部分地段呈构造接触关系,锆石U-Pb测年结果为290Ma^[14]。

色潘矿集区矿化带总体呈EW向分布,由东、西2个近似连续的矿化亚带构成,长约12km。铜矿化主要分布在矿集区的西部,与斑岩铜矿体系有关,

包括斑岩型铜钼金矿化和类矽卡岩型铜矿化及次生铜矿化,前者以石英网脉状产出,后者形成块状硫化物铜矿化层和类矽卡岩型铜矿化层。金矿化主要分布于矿集区的东部,在空间上相对远离斑岩体中心,以微细浸染状形式存在,为沉积岩容矿型(类卡林型)金矿化特点,金矿化体产出受缓倾岩性界面、断裂构造、褶皱、斑岩席等控制。此外,在矿集区还可见零星的铅锌银矿化,主要为脉岩体与碳酸盐围岩交代作用形成,属于中低温矿化组合,铅锌银矿化体呈层状、脉状或囊状,品位较低。

矿区铜矿床围岩蚀变有斑岩体内部蚀变和热接触充填交代蚀变2种。前者发育钾化、黑云母化、青磐岩化、泥化等斑岩型铜矿常见蚀变。类矽卡岩型矿化以热接触充填交代蚀变为主,含铜硫化物带常与斑岩体边缘发育的绢云母化有关。此外,还可见矽卡岩化(石榴子石矽卡岩化、透辉石矽卡岩化)、角岩化、绿泥石化及大理岩化。矿区金矿床发育的蚀变类型主要有脱钙或脱碳酸盐化、泥化和硅化。色潘铜金矿集区主要有4种矿化类型:斑岩体内部的斑岩型铜钼金矿化、斑岩体边部的类矽卡岩型铜矿化、邻近斑岩体的碳酸盐岩交代型铅锌银矿化、远离斑岩体的沉积岩容矿型(类卡林型)金矿化^[15]。目前作为工业矿体正在开采的有类矽卡岩型铜矿床和沉积岩容矿型(类卡林型)金矿床。

2.2.5 泰国廊开省普龙(Phu Lon)铜金矿床

普龙铜金矿位于廊开西湄公河南侧,构造上位于黎府褶皱带。含矿岩系为泥盆系火山碎屑岩和灰岩,碎屑锆石的U-Pb测年结果显示,其最大沉积时限为晚泥盆世(359Ma)。次碱性-钙碱性石英二长斑岩和闪长-花岗闪长斑岩侵入泥盆系中,形成矽卡岩和矿体。发育原生磁铁矿和榍石而缺乏钛铁矿,表明成矿为氧化型岩浆来源^[16]。

普龙铜金矿产于石英二长斑岩及旁侧的矽卡岩中,矽卡岩分为内带和外带,内带发育在侵入岩体边缘,外带发育在凝灰质砂页岩和少量大理岩中,蚀变矿物具有空间分带性,由内向外为侵入岩-内矽卡岩-石榴子石>辉石-含水矿物-大理岩的顺序,表明形成矽卡岩的流体可能来自岩浆。矿石矿物为黄铜矿、黄铁矿、自然金、银金矿、闪锌矿,地表铁帽中有孔雀石,具浸染状及细脉状构造。I号矿体矿石储量 500×10^4 t,平均含Cu 2.43%、Au 0.64g/t;II号矿体矿石储量 5300×10^4 t,

平均含Cu 1.7%、Au 0.45g/t,折合铜金属总储量 102×10^4 t。

2.2.6 缅甸茂奇(Mawchi)锡钨矿床

缅甸茂奇锡钨矿位于东南亚锡矿带的西亚带(腾冲-德林达依锡钨矿带)中段,克耶邦(Karen)帕桑附近,产于晚中生代一新近系黑云母花岗岩体顶部,围岩为石炭系茂奇群砂板岩、石英岩和大理岩。矿体走向NNE向,倾向NW,倾角 $75^\circ \sim 80^\circ$ 。已知64条相互平行的矿脉,长750~1000m,厚0.02~2.50m,平均厚1m,垂深达300m。矿脉在花岗岩中较规则,进入沉积变质岩后出现分枝和指状网脉。

矿石矿物主要为锡石、黑钨矿,伴生黄铁矿、黄铜矿、毒砂、辉钼矿、辉铋矿、闪锌矿、方铅矿,局部有白钨矿;脉石矿物为石英、长石、云母、方解石、萤石、电气石及少量黄玉、绿柱石。矿石储量 83.1×10^4 t,平均含Sn 54%、 WO_3 0.75%^[17]。

2.2.7 缅甸赫敏之(Hermingyi)钨锡矿床

赫敏之钨锡矿位于缅甸土瓦东北约40km,紧邻泰缅边界比洛克钨锡矿床,是缅甸最大的钨锡矿之一。矿区出露地层主要为石炭系墨吉群浅变质碎屑岩,主要岩性为泥质板岩、粉砂质板岩及少量石英岩夹层。区内岩浆岩十分发育,主要为燕山晚期和早喜山期中酸性侵入岩,自西向东可分为滨海花岗岩带、中脊花岗岩带和前脊花岗岩带。赫敏之钨锡矿产于中脊花岗岩带的碱长细晶花岗岩体中及其围岩接触带内。该细晶花岗岩呈岩株状侵入S型钾长石粗晶黑云花岗岩体中,在地表呈NNW走向,长1400m,宽550m。赫敏之细晶花岗岩株的Rb-Sr等时线年龄是 59.5 ± 1.4 Ma, $Sr^{87}/Sr^{86} = 0.727 \pm 0.001$ ^[33],其起源具有岩浆-热液过渡性质,是早期岩浆在分异演化晚期形成的。

矿区内矿化形式较单一,呈浸染状、网状、脉状,沿SN走向的裂隙体系发育,切穿NNW走向的细晶花岗岩体。区内发育矿脉数百条,主要矿脉40余条,脉厚1~2m。矿脉主要产于细晶花岗岩体顶部,部分产于接触带围岩中,前者矿化组合为锡石-黑钨矿-石英脉型,后者为锡石-黑钨矿-云英岩型。矿石矿物主要为黑钨矿、锡石,次为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿,含少量磁黄铁矿、黄锡矿、辉钼矿、辉铋矿、白钨矿;脉石矿物主要有石英、白云母、电气石、绿柱石、磷灰石等。矿石含 WO_3 0.276%~0.311%, Sn 0.049%~0.061%; $WO_3:Sn = 4.52:1 \sim 6.35:1$ 。王宏

等^[18]通过对腾冲地区来利山锡矿与土瓦地区赫敏之钨锡矿形成时代、矿床特征、成矿作用、成矿岩体地球化学、流体包裹体特征等的研究认为,二者在形成时代上接近、成因上相似,可能具有统一的构造-岩浆-成矿演化系统。

2.2.8 泰国比洛克(Pilok)钨锡矿床

泰国比洛克钨锡矿位于东南亚锡矿带的西亚带(腾冲-德林达依锡钨矿带)南段,位于首都曼谷北西250km,距南西侧的缅甸赫敏之钨锡矿床约50km。比洛克钨锡矿于1939年开始开采,20世纪七八十年代为鼎盛时期,矿工多达十多人,曾有36个矿山,遍布数十平方千米,年产锡石和黑钨矿精矿约2400t。1985年因国际钨锡市场价格疲软而关闭矿山,至今未再开采。

矿区围岩主要为石炭系一二叠系含砾泥岩、页岩、粉砂岩、砂岩等碎屑岩层,普遍遭受浅变质作用。矿区主要发育2期花岗岩,早期为侵入到石炭系一二叠系浅变质岩中的中粒二长花岗岩(175.3~181.7Ma)^[19],晚期为黑云母-白云母细粒花岗岩和碱性长石细粒花岗岩(72~76.5Ma)^[20],呈岩株或岩脉侵入到早期二长花岗岩中。碱性长石细粒花岗岩为矿区主要含矿岩,矿区热液石英脉极为发育,且钨锡矿化强烈,是钨锡矿的另一种含矿岩石。脉体主要呈网脉状穿插于二长花岗岩及细粒花岗岩中,脉宽5~50cm,最宽70cm,以近SN向为主,受区域断裂构造的控制。近EW向石英脉矿化以黑钨矿为主,近SN向者锡比钨多,后者穿切前者,2期矿化。对比洛克热液系统的流体包裹体及稳定同位素特征分析认为^[21],最早的锡钨矿化应该是细晶岩所含的黑钨矿±锡石±黄铁矿,温度可能高于500℃;黑钨矿矿化的主要阶段与晚于细晶岩形成及贫矿电气石蚀变之后的石英±钾长石脉有关;锡石形成的主要阶段与钾化和钨矿化的云英岩相关,其发生的时间相对较晚、温度中等(350~500℃);晚期的含矿石英脉为热液系统的最后阶段,以低温(220℃~350℃)、低盐度混合流体为主。

2.3 与镁铁质、长英质喷出岩有关的铜、铅、锌、金(银)多金属矿床

沿中新经济走廊带广泛分布与镁铁质、长英质喷出岩有关的铜、铅、锌、金(银)多金属矿床,如缅甸的中央火山弧带(Kawlin-Wutho-Mt Popa arc)形成的火山块状硫化物型蒙育瓦矿床,在缅甸-泰国

西部的掸邦地块发育的火山块状硫化物型铅锌银矿床,在长山褶皱带和黎府褶皱带发育的很多浅成低温热液型金、铜金钼矿床。

2.3.1 缅甸蒙育瓦(Monywa)铜矿床

缅甸蒙育瓦铜矿是东南亚地区最大的铜矿之一,位于曼德勒西北约115km处,地貌上处于钦敦江冲积平原的西部,构造上位于缅甸中央火山弧带。蒙育瓦铜矿由萨比塘(Sabetaung)矿段、萨比塘南(Sabetaung South)矿段、七星塘(Kvisintaung)矿段、礼勃当(Letpadaung)矿段4个矿段组成。萨比塘矿床在1983年已开始进行露天开采,萨比塘南目前也已进行工业开采,较大规模的七星塘矿床在西面紧邻萨比塘矿,其东南约7km是蒙育瓦矿区规模最大的铜矿床——礼勃当铜矿。蒙育瓦矿区保有矿石资源量 20×10^8 t,铜资源量超过 700×10^4 t。

矿化带位于上新统角闪黑云母斑岩穹丘的补给火山口附近。该穹丘被流纹岩、石英黑云母斑岩和角闪黑云母斑岩岩墙插入。铜矿化主要发育于呈岩墙、岩床产出的斑状黑云安山岩、石英安山岩、少量英安岩及少量流纹岩和发生褶皱并遭受火山岩扰动的上勃固组内。铜矿化序列下伏地层为温绍-博巴(Wuntho-Popa)弧的中生代岩石,主要由砂岩和页岩组成,上覆地层为厚逾300m的上中新统安山质火山碎屑岩^[22]。含矿岩石表现出很强的泥质热液蚀变组合及典型的高硫热液蚀变系统,包括晶洞石英、明矾石、叶蜡石、高岭石和地开石。矿物组合主要是辉铜矿、蓝辉铜矿和黄铁矿,以及少量的铜蓝和硫砷铜矿^[23]。Khin等^[22]对矿区明矾石的Ar-Ar测年结果为19.7Ma,认为蒙育瓦成矿时代为早中新世。

2.3.2 缅甸掸邦包德温(Bawdwin)铅锌银多金属矿床

包德温铅锌银矿位于掸邦腊戍西约50km,构造上位于滇缅马陆块群的滇西保山-缅甸掸邦稳定地块,是东南亚中南半岛最大的火山块状硫化物型(VHMS)铅锌银矿床。矿区含矿岩系为寒武系-奥陶系包德温凝灰岩和寒武系潘云(Pangyun)组火山碎屑岩、浊积岩系(浅色砂岩和石英岩、石英砂岩、页岩和泥岩),矿体下部底板为新元古界昌马支系,主要为千枚岩、板岩、变硬砂岩(灰瓦岩)和石英岩夹少量片岩和薄层大理岩,具浊流沉积特征。侵入岩为流纹斑岩(包括红色的Nam-la岩体和灰色的Leoi-mi岩体)。

包德温铅锌银矿产于一NW走向的剪切断裂

带(长4km,宽0.1km)中,包括3个矿段:中国人(Chinaman)矿段、掸邦(Shan)矿段、迈英达(Meingtha)矿段。整个矿带长2400m,宽150m,矿段之间被断层错开。掸邦矿段和迈英达矿段主要为高品位铅锌矿体,而中国人矿段主要为黄铁矿-黄铜矿体,周围还有浸染状矿体。掸邦矿段长380m,垂深350m,平均宽6m;迈英达矿段长550m,垂深450m,平均宽6m;中国人矿段长400m,垂深400m,平均宽42m。矿石矿物有含银方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、斜方砷铁矿、黝铜矿、辉铋矿、块硫锑铅矿、深红银矿、辉砷镍矿、辉砷钴矿、车轮矿、方黄铜矿,氧化带矿物有铜蓝、白铅矿、铅矾、菱锌矿、钴华和镍华。含银矿物以深红银矿为主,次为自然银。矿石中银含量与铅锌含量成正比。矿石一般含Ag 31.1g/t,中国人矿段含Ag达400~600g/t。矿石含Pb 21%、Zn 15%、Cu 0.3%、Ni 0.23%、Co 0.08%、Ag 0.055%、Sb 1.2%。探明储量铅 105×10^4 t、锌 21.8×10^4 t。

2.3.3 越南安沛省秀丽(Tule)铅锌银矿床

秀丽铅锌矿主要分布在安沛省Mu Cang Chai县秀丽地区,构造上位于中生代秀丽盆地内的秀丽火山岩带。该矿带从义路(Nghia Lo)到Co Gi San地区,总长度达几十千米。已知8个矿床与矿点,其中有2个矿床进行了勘探(Co Gi San与Huoi Hao),6个矿点进行了详查工作(Ban Lim, Nam Chau, Tu San, Nam Kim, Nam Co与Ban Bo)。大部分矿床与矿点由法国地质学者发现,1962—1994年,越南地质局进行了勘查,勘探结果表明,Co Gi San矿床铅锌储量 2.6×10^4 t,平均品位Pb为5%,Zn 1%~3%,Ag为1092~3660g/t;Huoi Pao矿床铅锌储量 0.99×10^4 t,Ag品位为98~282g/t。整个矿带总的铅储量约 12.4×10^4 t(Pb: 10.06%);锌储量 8.2×10^4 t(Zn: 2.80%);镉储量419t(Cd: 0.83%);银储量406t(Ag: 168g/t)。

秀丽铅锌矿类型属于热液石英脉型,矿体围岩包括秀丽杂岩的酸性喷出岩(火山岩与次火山岩)和Tram Tau组的火山-陆源沉积岩。矿石有脉状、块状和透镜状构造。矿石矿物为方铅矿、闪锌矿、少量黄铁矿、黄铜矿与辉银矿。

2.3.4 老挝万象省班会晒(Ban Houayxai)金银矿床

老挝班会晒金银矿位于长山褶皱带北端,距万象100km,是印支地区第三大金矿(仅次于老挝南部

的色潘金矿和泰国切垂金矿),矿石资源量 7600×10^4 t,含Au 0.82 g/t, Ag 7.0g/t, 2012年初开始开采。含矿岩系为早二叠世火山沉积,包括富晶火山角砾、粉砂岩、凝灰质砂岩、红色粉砂岩层和沉积角砾。在火山岩和沉积岩石中均含矿化脉或矿化角砾^[24]。成矿为低硫浅成低温热液型,与硅化-泥化蚀变有关,表现为石英、冰长石、云母、绿泥石和黄铁矿组合。矿体以网脉状和块状角砾岩产出,脉宽小于5cm,主要由方解石、石英和少量硫化物充填。矿石矿物主要有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、银金矿、脆银矿、毒砂。

对班会晒金银矿区含矿的安山岩和火山角砾岩的最新锆石U-Pb定年结果为280Ma,认为班会晒含矿火山岩系形成于早二叠世,应该属于南长山火山-岩浆岩带(310~270Ma)^[10,24]。

2.3.5 泰国碧差汶省切垂(Chatree)金-银矿床

切垂金-银矿位于泰国披集和碧差汶交界处,是东南亚地区最大的低硫热液型金矿,构造上属于黎府褶皱带。含矿岩系为晚二叠世一早三叠世火山碎屑岩和火山沉积,包括下部安山质角砾岩、中部流纹质角砾岩与外生碎屑沉积岩、上部石英和富岩屑角砾岩。这些火山岩大多具有大陆弧的地球化学特征,火山碎屑岩的沉积环境可能主要是近陆或浅海环境^[25]。新近研究表明,切垂金银矿区含矿火山岩层序的形成主要与2个时期(晚二叠世和早三叠世,260~240Ma)的岩浆作用有关,晚二叠世火山岩层可能形成于俯冲起始阶段,岩浆来源于地幔,而早三叠世火山岩层形成于俯冲达到稳定阶段,金矿化应该形成于二叠纪与三叠纪的转换时期(约250Ma),岩浆源以山火-侵入混合岩浆为标志^[25]。

切垂金-银矿以脉状、网脉状和少量角砾状产出。主要脉石矿物有石英、绿泥石、冰长石和硫化物。金主要以银金矿的形式存在,单矿物和硫化物中均与石英、碳酸盐矿物和绿泥石有关。切垂金-银矿属于浅成热液金银矿,矿石储量达 8170×10^4 t,金为大型、银属小型矿床规模,矿石含Au 1.18g/t、Ag 9g/t。

2.4 与沉积(变质)岩有关的铁、铜、铅、锌、金、钾(岩)盐矿床

沿中新经济走廊还发育与沉积(变质)岩有关的铁、锰、铜、铅、锌、金等矿床,铁、锰、铜矿主要产于

越北古陆,如老街—和平一带的元古宙火山—沉积变质铁矿和沉积变质铜金稀土矿、高平—太原一带的泥盆纪沉积变质铁锰矿等。铅锌矿在缅甸和泰国的掸邦地块,矿床类型有碳酸盐岩热卤水改造型矿床、碳酸盐岩沉积—改造型(SEDEX型)矿床。金矿主要是沉积含矿和后期构造富集成矿型。钾盐(岩盐)主要产于泰国呵叻盆地,老挝万象平原、沙湾拉吉平原,钾盐(岩盐)矿床均产于晚白垩世—古近纪蒸发岩系中。与之相邻的中国云南思茅盆地也有大中型钾盐矿床分布。

2.4.1 越南老街省辛归(Sin Quyen)铜矿床

辛归铜铁—稀土金矿床位于越南老街省北西25km巴刹县,红河西岸,距越南首都河内北西约300km。1993年,澳大利亚公司探明辛归铜—铁—稀土—金矿床储量:铜 55×10^4 t(平均品位1.03%)、金23t(平均品位0.44g/t)、稀土 33×10^4 t(平均品位0.63%)、银25t、磁铁矿 285×10^4 t^[26]。2005年,辛归铜矿由越南煤炭矿产集团接管,探明铜储量已超过 100×10^4 t,年生产铜达 4.2×10^4 t。

辛归铜矿位于越南西北部地区范士版(Phan Si Pan)成矿带中部。范士版成矿带为哀劳山成矿带南延部分,呈NW—SE向展布,宽50km,长700km;东缘为红河断裂带,西接秀丽盆地与黑水河裂谷。矿区出露地层单一,为元古宇辛归组的一套角闪岩相云母片岩、片麻岩及混合岩,走向NW—SE向,倾向NE。矿区岩浆活动强烈,新元古代斜长角闪岩、花岗质片麻岩多呈似透镜状,叶理发育,具条带状构造,与矿区高品位矿化层密切相关;二叠纪花岗岩多呈小岩脉、岩株产出,切穿矿区内地层及新元古代岩体。

矿区发育的铜—金—铁—稀土矿化带沿NW—SE走向展布,与地层产状一致,长约2km,宽350m。在矿化带内已圈定矿体17个,呈串珠状分布,单矿体一般呈透镜状、板状,矿体厚数十厘米至25m,长400m。

矿区发育条带状和块状2类矿石。矿石矿物主要为黄铜矿、磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方黄铜矿、自然金等。脉石矿物有黑云母、钠长石、绿帘石、石英、绿泥石、方解石等。矿石具浸染状、中—细粒半自形粒状结构,条带状、块状构造。除铜、铁外,矿石中金、稀土、银等含量也较高。

辛归铜矿是前寒武纪火山—沉积变质成因的

IOCG型铁铜—稀土多金属矿床。矿化可分为2个阶段:①交代蚀变阶段,发育褐帘石、磁铁矿、晶质铀矿和其他少量氧化物,主要产于交代岩中;②热液阶段,稍晚于交代蚀变阶段,主要发育硫化物和金矿化,主要产于交代岩中,但也产于片岩、黑云母片麻岩和角闪岩中。矿区蚀变以钠质蚀变(钠长石化)为主,局部发育强烈的钾质蚀变。

2.4.2 越南老街省巴洒(Bat Sat)铁矿床

巴洒铁矿床位于越南老街省保河地区。矿床于1959—1963年发现,1963—1973年进行了勘探,1986年至今,老街矿产公司进行了采矿,探明的矿石储量达 1.3×10^8 t,为大型铁矿。

越南保河—和平一带是越南境内最重要的铁矿成矿区之一,已知大型铁矿3处、中型铁矿2处、小型铁矿2处,如老街地区的Kip Tuoc、Ban Vuoc铁矿, Van Ban地区的Lang Lech、Lang Phat、Tam Dinh铁矿等,以老街巴洒铁矿和勒村铁矿最为典型。这类矿床主要出露在前寒武纪变质岩分布地区,矿床的矿石组成主要由磁铁矿与赤铁矿组成,矿体形态以透镜体或夹层整合分布于片麻岩中^④。

巴洒铁矿床铁矿层产于古—中元古界红河群结晶变质岩带内,围岩主要有长石石英岩、磁石英岩等,铁矿层与围岩为整合接触;矿体呈层状、似层状和透镜状,延伸3.5~4km,厚约300m,总体上呈狭窄的NW向带状分布,空间上分布不均匀。矿体多遭受表生风化,矿石呈块状、土状构造,以磁铁矿为主,平均含Fe 47.33%。

2.4.3 泰国达府涓索县帕达恩(Pa Daeng)锌矿床

帕达恩锌矿位于泰国达府涓索县(Mae Sod)南东东12km,为碳酸盐岩热卤水改造型(MVT型)矿床,构造上位于云南保山—缅甸掸邦碳酸盐岩台地。锌矿产于三叠系中厚层灰岩、局部鲕状灰岩夹钙质砂岩、白云岩层中。含矿带呈NW向线状分布,横穿沉积岩走向,长2500m。由1个主矿体及5个小矿体组成,主矿体呈不规则矿囊,长500m,宽250m,厚约50m;小矿体一般长50m,个别达150m。矿体东部围岩为灰岩,矿石矿物主要为菱锌矿;西部围岩为钙质砂岩,矿石矿物主要为异极矿,含少量方铅矿、闪锌矿、白铅矿。矿体中部为块状矿石,Zn含量小于30%;边部为疏松土状,Zn含量小于20%,含大量未矿化灰岩团块。含Cd 0.01%~1%,平

均0.2%。探明锌矿石储量 $450 \times 10^4 \text{t}$ (Zn 24%),约合锌金属储量 $108 \times 10^4 \text{t}$ 。

2.4.4 马来西亚 Selinsing 金矿床

Selinsing 金矿位于马来西亚彭亨(Pahang)北西部,距文东市约50km,构造上位于文冬-劳勿结合带以西的马来半岛中央带,属于滇缅马陆块群。目前,Selinsing 金矿的矿石资源储量达 $482 \times 10^4 \text{t}$,Au品位1.49g/t。

Selinsing 金矿的含矿岩系为石炭系粉砂岩、砂岩和千枚岩。Makoundi 等^[27]对粉砂岩和凝灰质粉砂岩进行碎屑锆石 U-Pb 定年,结果分别为300~324Ma 和331Ma。根据矿物组合和钻孔样品分析,Selinsing 金矿具有2期矿化脉,早期为石英-碳酸盐-绿泥石-硫化物脉,晚期为石英-硫化物-绿泥石脉。矿石矿物包括黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿和自然金,脉石矿物包括白云石、金红石、绢云母、赤铁矿、方解石、伊利石和绿泥石。Makoundi 等^[27]经详细的构造和地球化学分析,认为含5种黄铁矿,并对黄铁矿进行微量、S、Pb 同位素和流体包裹体研究,认为 Selinsing 金矿的形成包括2个阶段:第一阶段在沉积岩系的球状黄铁矿中富集 Au、V、As、Mo、Se、Te、Ni、Ag 和 Zn;第二阶段后期成岩变形和变质中流体通道的形成,Au 在后期黄铁矿中再富集。

2.4.5 老挝万象省万象(Vientiane)平原盐矿床

泰国呵叻-老挝万象含钾盆地位于泰国的东北部和老挝中部,面积约 170000km^2 ,地处昆嵩隆起西侧,中部的普潘隆起将其分割成南、北2个成盐盆地,南部为呵叻盆地,北部为沙空那空盆地。呵叻盐盆地内有班内那隆(Bamnet Narong)、孔敬、暖颂、亚索顿等钾盐矿床,沙空那空盐盆地内有乌隆(Udon Thom)、万象(Vientiane)、更谷(Keng Kok)、哇仑农汉等钾盐矿床,钾盐总资源量为 $270 \times 10^8 \text{t}$,居亚洲第一^③。

万象钾(岩)盐矿位于老挝万象平原,分布在 3000km^2 范围内。自1974年湄公河流域发展委员会在万象平原东部首次发现钾盐矿以来,越南、中国分别于1982年、2001年在万象平原进行钾盐矿勘查。

万象盆地的含盐岩系为古近系塔贡组膏盐岩与陆源细碎屑岩,组成3个明显的旋回,钾盐主矿体呈似层状产于塔贡组下段的膏盐岩亚段上部,还存在透镜状分布的次要矿体,顶底板均以石盐岩为直

接围岩,矿石类型以光卤石为主,矿床属碎屑岩系中的钾盐矿床。岩盐层厚60~500m,含NaCl 90%~95%。盐层主要由光卤石(19%)、钾盐(15%)、岩盐、石膏组成,含NaCl 25.03%、 MgCl_2 19.19%。

2.4.6 泰国猜也蓬(Chai Yaphum)省班内那隆(Bamnet Narong)钾盐矿床

班内那隆钾盐矿产于泰国呵叻盆地的中东部,含盐建造属于呵叻群上白垩统一古近系马哈沙拉堪组(Maha Sarakham Formation),为一套紫红色碎屑岩系(粘土岩、粉砂岩、细砂岩,偶夹少量灰绿色细砂岩或粘土岩)和蒸发岩类(岩盐、光卤石、钾石盐、溢晶石、水氯镁石等)构成,沉积厚度377~945m,底部由厚0.9~2m的硬石膏层与下伏红层过渡。有3个岩盐段,之间被粘土岩隔开:①上岩盐段厚3~67m,平均厚21m,夹1层厚1.5~2.4m的硬石膏层;②中岩盐段厚9~115m,平均33.5m,局部顶、底有厚度小于1m的硬石膏和石膏层,岩盐段下部出现少量钾石盐和光卤石;③下岩盐段赋存主要岩盐和钾盐层,最大厚度439m,含岩盐层354m、钾盐和光卤石层82m,底部为厚0.6m的硬石膏层。

岩盐-光卤石-溢晶石(镁钙盐)带产于下岩盐段上部,厚0.9~99m,一般厚21~49m,平均厚41m。主要矿物光卤石含 K_2O 5%~10%,最富24%~30%。光卤石带之上有厚0.9~5m的纯岩盐层,局部厚达60m。

钾盐矿床位于盐背斜的翼部,而光卤石矿床位于盐向斜中。中上盐层岩盐多呈白色或灰白色,夹多层石膏薄层,岩盐中含较多杂质。下盐层与中上盐层的明显区别为,石盐较干净,呈无色或淡蓝色,直接顶板多为几十厘米至1m的硬石膏。

泰国呵叻高原的钾盐层由光卤石和钾石盐组成,以光卤石层为主,其次为含钾石盐光卤石矿石。局部地段夹含水氯镁石含溢晶石光卤石矿、水氯镁石光卤石矿、溢晶石光卤石矿石、含光卤石钾石盐矿石、光卤石钾石盐矿石等类型。矿石的产出顺序大致为钠盐→钾石盐(或含钾石盐岩或含钾石盐光卤石岩)→钾镁盐(光卤石)→镁盐(水氯镁石或含水氯镁石光卤石),反映了每一沉积旋回中盐层沉积阶段气候越干燥,盐湖化学分异作用越彻底的特征。

2.4.7 泰国木安乌隆(Udon Thom)钾盐矿床

乌隆钾盐矿产于泰国北东部,毗邻老挝万象,

构造上与万象盆地同属于沙空那空盆地。含盐地层为上白垩统一古近系马哈沙堪组紫红色碎屑岩系和蒸发岩沉积。北部沙空那空盆地钾盐层的厚度、品位和储量均大于南部呵叻盆地,钾盐远景储量为 $335.55 \times 10^8 \text{t}$, 南部呵叻盆地为 $86.56 \times 10^8 \text{t}$ 。

沙空那空盆地为受深断裂控制、构造封闭条件良好的大型拗陷盆地,经历了漫长的中生代红色碎屑岩沉积后,逐步演变成大面积的滨海浅水盐湖—干盐湖环境,在晚白垩世持续干旱气候条件下,形成巨厚蒸发岩矿床。矿床的盐类物质主要来源于海水,其次来源于深层卤水。海水由东向西补给,浓缩卤水向西迁移,形成由东向西的碳酸盐→硫酸盐→石盐→钾镁盐4个较完整的蒸发沉积相区。钾镁盐在次级拗陷中沉积,且多集中分布在盆地中心及西部。

2.5 与区域变质岩有关的金矿床

与区域变质岩有关的金矿主要分布在大型剪切带和走滑断裂带内,其成矿受构造变形和母岩变质影响。如越南中部的三岐—福山结合带内产出多个该类型的金矿,本文以著名的蓬苗(Bong Mieu)金矿为例,分析其成矿地质特征。

蓬苗金矿位于岘港市南东约60km,大地构造上位于长山褶皱带南部的三岐—福山结合带,矿床产于近东西向的福山背斜的南、北两翼及东、西倾伏端。该矿床是越南已知最大的金矿床,已有100多年的开采历史,目前由越南与澳大利亚的合作公司(Bong Mieu Gold Mining Co. Ltd)开采。

蓬苗金矿的主要成矿类型有石英脉型和砂卡岩型2类。矿床产于中元古界片岩系(Kham Duc变质岩系:强变形的片岩,片麻岩、石英岩、斜长角闪岩和花岗岩)的剪切带和构造角砾岩带中。Tran等^[33]对矿区片岩和片麻岩测得的锆石U—Pb年龄主要在1050Ma左右,认为岩石沉积于新元古代或之后。正片麻岩具有约430Ma和245Ma两组年龄,未变形的侵入岩的年龄为252Ma,解释为长山褶皱带南侧的三岐—福山洋是奥陶纪—志留纪双向俯冲及印支期马江洋向南俯冲作用下形成的^[10, 28]。

蓬苗金矿由3个矿化带组成:①霍根(Ho Gan)长250~1000m,厚0.9m;②格山(Nai Ken)长3000m,厚0.1~0.4m;③霍纳(Ho Naoc)长350m,厚0.5~

0.8m。矿体呈脉状、透镜状,属于金—黄铁矿—毒砂组合。霍根含Au 1.9g/t、格山含Au 7.9g/t、霍纳含Au 1.8g/t,伴生Ag、Cu、Pb、Zn。金储量 $5700 \times 10^4 \text{t}$,为大型矿床。成矿具有多期次叠加。石英脉中含条带状、斑块状黄铁矿,可见到团块状、脉状方铅矿与石英伴生。矿石的矿物组合主要有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、白钨矿、铋钼矿、锡石、毒砂、辉钼矿、磁铁矿。

2.6 与表成作用有关的镍、铬、锡、金、铝土矿矿床

受风化、残积、坡积、冲积作用形成的镍、铬、锡、金、铝土矿等砂矿或红土型矿床,尤其是砂锡、砂金和铝土矿,是东南亚地区重要的矿产。砂锡主要分布在缅甸—泰国—马来西亚的东南亚锡钨矿带和长山褶皱带;砂金主要分布在缅甸中央火山弧带和马来西亚及黎府褶皱带;红土型铝土矿床(即风化残余型或玄武岩风化壳型)主要分布在老挝—越南—柬埔寨三国接壤地区,为新近纪—早第四纪高原玄武岩风化形成。砂铬矿和红土型镍矿主要受控于结合带内的超基性岩,如缅甸北部葡萄—密支那超基性岩带内的太公当镍矿、印缅山脉超基性岩带姆韦当镍矿、越南马江超基性岩带内的古定砂铬矿,前2个在2.1中已经描述。

2.6.1 越南清化省努山古定(Co Dinh)铬矿床

努山古定铬矿分布在清化省农贡(Trieu Son)县努山(Nui Nua)一带,距清化省城18km的古定村附近。构造上位于马江结合带东南端,成矿母岩为侵位于中三叠统的努山超基性岩体,主要由蛇纹石化纯橄榄岩、方辉橄榄岩、二辉橄榄岩、异剥橄榄岩、辉石岩组成^[34],呈NW走向,长15km,宽3~4km,面积55km²,为砂铬矿的源岩。原生矿化伴随超基性岩分布,矿体为厚20~30cm的巢带状或豆荚状集合体,目前尚未开展原生矿的勘探。

具有经济价值的古定铬砂矿产于努山超基性岩体的北东侧及南西侧的第四纪河床冲积层下部。于1927年被法国地质学家发现,自1930年开始进行了开发。努山岩体北东侧第四纪盆地长12km,宽3km,探明铬矿石储量 $2080 \times 10^4 \text{t}$,镍矿石储量 $300 \times 10^4 \text{t}$;努山岩体南西侧盆地内探明铬矿石储量 $1300 \times 10^4 \text{t}$,总体矿床规模达到特大型。

含砂铬矿的冲积层厚80m,由中砾、砂砾、砂、粘土及铬铁矿组成。含3个矿层,厚0.65~34.5m,单个巢状富集矿体厚0.2~0.3m。铬铁矿粒度较细,多在

0.07~0.28mm之间。矿石含 Cr_2O_3 1.0%~5.9%,平均大于2.5%,含Ni 0.38%~0.64%;铬精矿含 Cr_2O_3 47.1%~51.54%, $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}=2.16\sim 2.44$ 。

2.6.2 老挝南巴坦(NamPathene)锡矿床

南巴坦锡矿床位于老挝甘蒙省他曲西北70km的南巴坦河谷,构造上位于老挝-越南北西-南东向的长山褶皱带,锡矿主要产于浅岩溶盆地的风化红土中。矿区范围220 km^2 ,已知50多个锡矿点和一些开采的小型锡矿。矿体以层状为主,长300~500m,厚0.1~10m,氧化带深30~50m,最深达100m。矿石矿物以砷黄铁矿、锡石、黄铁矿为主,还有磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和少量白钨矿、黄锡矿。矿石含Sn 0.12%。估计锡金属储量 $13.39\times 10^4\text{t}$ ^③。

关于锡矿的成因存在较大争论,最早法国地质学家认为属于沉积成因^⑤,后来部分法国、前苏联学者认为矿化与早一中三叠世花岗岩类(花岗岩、花岗闪长岩中的黑云母绝对年龄值239Ma、247Ma)有关^⑥。20世纪80年代前苏联和老挝地质学家否定了上述2种看法^⑦,认为早一中三叠世花岗岩及花岗闪长岩株为锡成矿前岩体,锡含量低于克拉克值(<0.001%),主要引起矽卡岩型铁、铜矿化,而晚三叠世-早侏罗世(226~191Ma)的次火山杂岩(安山岩-英安岩-流纹岩组合)中锡含量较高,锡矿化与其最后两幕斑状流纹岩有关,第一期形成锡石-石英脉型和锡石-云英岩型矿化,第二期(主矿化期)形成锡石-硫化物型矿化,之后经地表风化、剥蚀、搬运,形成南巴坦砂锡矿。

2.6.3 越南南部红土型铝土矿床

越南有众多的红土型铝土矿床,主要分布在中南部的多乐(DakLak)、达农(DakNong)、昆嵩(Kon-Tum)、林同(LamDong)几省,该区广泛分布新生代玄武岩,覆盖面积达21000 km^2 ,形成海拔1000~3000m的高原。已探明犹灵、广义、贯勃龙-软纳克、波来古-昆嵩、邦美蜀、达农、福隆、保禄11个矿床,达到大型规模(图1:29~37),铝土矿储量约 $30\times 10^8\text{t}$,资源量近 $70\times 10^8\text{t}$ ^③。

矿区玄武岩大体可分为2种类型:①上新世-更新世拉斑玄武岩,占据高原绝大部分,红土型铝土矿就产于其风化壳中;②更新世-全新世橄榄玄武岩,多沿深断裂带展布,构成所谓的“山谷玄武岩”,分布面积较小。

上新世-更新世玄武岩风化壳中的铝土矿主要分布在3个不同的标高:2450~2950m,1000~1100m,600~900m。风化壳厚度6~60m,分带较清晰,自上而下为红土带(由红土角砾、卵石和腐植物组成,含少量三水铝土矿)、铝土矿带(为红土结核、岩屑、岩块组成的褐红土壤,主要矿物为三水铝土矿、针铁矿和高岭石,少量为其他粘土矿物)、风化带(由多色粘土矿物如高岭石、准镁络石为主组成,其余有针铁矿、石英、三水铝土矿等,普遍存在玄武岩的残块)、原生玄武带(新鲜玄武岩)。

矿石的矿物成分简单,主要为三水铝石(占59%~60%)铝针铁矿、针铁矿(19.4%),赤铁矿8.6%,高岭石8.0%,钛铁矿3%,锐钛矿1.4%。

2.6.4 老挝南部红土型铝土矿床

老挝的铝土矿主要分布于南部波罗芬(Boloven)高原的西贡、阿速波、占巴色等省,为古近纪-第四纪高铝玄武岩风化壳红土型三水铝土矿。由于老挝多地玄武岩受地壳抬升的影响,遭受了强风化作用,尤其是化学风化作用,使原生玄武岩表层形成红土型风化壳,一般风化壳的厚度达25m。其风化壳剖面与越南、柬埔寨地区的红土型风化壳剖面类似。老挝的铝土矿具有矿床规模大、质量好、覆盖薄、宜露采等优势,本文仅以占巴色省巴松(Pakxong)铝土矿为例进行矿床特征的总结。

巴松铝土矿为一大型红土型风化壳型三水铝土矿,探明内蕴经济资源量 $(331)800\times 10^4\text{t}$,获总资源量约 $6000\times 10^4\text{t}$ ^{②①}。矿区地处班敦凸起南部,地层简单,从下至上为侏罗系-白垩系砂岩、玄武岩、残积层粘土层、残积层含矿层和顶部残坡积层腐殖土层。玄武岩为裂隙喷发型,主要矿物成分为斜长石、橄榄石、辉石等。分布面积超过2000 km^2 ,厚达700~800m。波罗芬高原玄武岩从中新世开始喷发,距今约5.7Ma^{③①}。

矿区内经详查共圈出铝土矿矿体5条,矿体主要分布于山脊、残丘的宽缓地带及缓坡上,平面上呈不规则面状、长条状,垂向上主要呈斗篷状或似层状产出。矿体产状随地形或风化面起伏而变化,与地形坡向、坡度基本一致。单个矿体长3.0~4.5km,宽0.5~3.0km,平均厚度3.38~4.71m,平均品位36.49%~43.67%。

矿石矿物包括三水铝石、针铁矿、赤铁矿、钛铁矿、高岭石、石英和粘土质。矿石类型包括矿体上

部黄红色粘土中的块状铝土矿(约6%)、矿体中上部紫红色粘土内的结核状铝土矿(约62%)、矿体中下部紫红色粘土中的片状铝土矿(约30%)、矿体下部紫红色粘土内的树枝状铝土矿和矿体底部的粒状铝土矿(约2%)5种。

2.6.5 柬埔寨蒙多基里省森莫诺隆铝土矿床

柬埔寨红土型铝土矿床主要分布在与越南交界的“孟”高原上川龙地区,该区发育高原玄武岩约20000km²,现已在海拔2500m、1100m和900m标高的3个夷平面上发现铝土矿床(点),质量好且储量可观。位于蒙多基里省的森莫诺隆铝土矿床为大型矿床,铝结核或块体的Al₂O₃含量高达46%~57%,其胶结物红土中Al₂O₃含量亦达20%左右。初步估算其储量可达3200×10⁴t。

上川龙地区展布的玄武岩,属上新世一早更新世溢流相拉斑玄武岩,分布于谷地的玄武岩经风化后,除发现形成铝土矿外,还有钴土矿、红宝石、蓝宝石、尖晶石等。钴土矿赋存于风化壳上部红土层带,其位置一般较铝土矿层低。红宝石和尖晶石的产出,则多出现于“谷地玄武岩”风化、剥蚀后形成的坡冲积层的底部,已不具有残积或残余矿床的性质。

铝土矿矿体上部为含矿红土层,中间为黄色-灰白色粘土层,下部为半风化玄武岩。新鲜玄武岩的主要组成矿物有斜长石、辉石、橄榄石,以及少量磁铁矿、钛铁矿、锐钛矿、磷灰石、锆石、电气石等。

红土层中的铝土矿,朱华平等^[35]根据矿石结构,自上而下划分出4个层带。

(1)结核状铝土矿带:由结核状铝土矿和粘土组成。结核大小为1~3mm,散布于红色粘土中,结核在粘土层中的含量为20%~30%。组成矿物为三水铝石、针铁矿和高岭石。

(2)球状铝土矿带:球状体切面呈同心环状,外部为三水铝石,内部由高岭石、三水铝石和针铁矿混合体组成“内核”。厚0~3m。

(3)炉渣状铝土矿带:主要矿物为三水铝石,其次为高岭石、针铁矿。矿石呈炉渣状、结核状,红褐色。厚1~3m。

(4)块状铝土矿带:主要由三水铝石组成,其中含针铁矿、赤铁矿、高岭石等,矿石多呈块状、砾状产出,块砾之间的胶结良好,矿块色黑,似铁屑。

厚0~2m。

3 成矿作用及找矿潜力分析

在总结沿中新经济走廊带分布的主要大型矿床的成矿特征后,参照Cox等^[36]的矿床模式,根据构造环境、矿产形成的主控因素和矿床主要特征,把中南半岛地区主要矿产归纳为6大类18个矿床模式(表2)。

与中国相比,东南亚中南半岛地区的地质找矿工作程度低,除越南、泰国具有一定的国家层次找矿工作外,其他国家找矿工作的主体是矿业公司,地质调查和矿产勘查工作的水平大致相当于中国20世纪60—70年代的水平。中南半岛地区的铝土矿、铜、金、钾盐、镍、铬、钨锡已知的资源储量较大,缅甸、老挝和柬埔寨进一步找矿和开发的潜力大。该地区地理上与中国近邻,交通运输距离较近,无疑是中国企业“走出去”的有利地区。

与中国云南相邻的缅甸、老挝边界地区对比研究表明,中国一侧有很多钨锡、铅锌、铜、铁等矿床发现,而缅甸、老挝一侧已发现的矿床数量少。中国从解放以来就持续开展地质找矿工作,在三江成矿带中南段近年不断有新的矿床发现。这些现象直观地显示,地质找矿工作程度低的东南亚地区具有很大的找矿潜力。

4 结论

(1)中新经济走廊在成矿地质背景上位于全球重要的特提斯成矿域,是中国西南三江成矿带和华南成矿带的向南延伸,成矿主要与特提斯多岛洋演化(古特提斯、中特提斯、新特提斯)伴随的一系列洋壳俯冲、陆-陆(弧-陆)碰撞等构造-岩浆事件有关,形成很多铁、铜、金、钨、锡、铅、锌、钾盐、铝土矿等大型矿床。

(2)根据构造环境、矿产形成的主控因素和矿床主要特征,沿中新经济走廊分布的主要矿产类型可归纳为六大类:与镁铁质超镁铁质侵入体有关的铬铁矿、硫化铜镍(铂)矿和铁矿床,与长英质侵入体有关的铁、铜、锡、钨、金、银矿床,与镁铁质、长英质喷出岩有关的金、铅锌银矿,与沉积(变质)岩有关的铁、铜、铅锌、钾(岩)盐矿,与区域变质岩有关的金矿,与第四纪表生风化作用有关的镍、铬、锡、钨、金、铝土矿等残余矿或砂矿。

表 2 东南亚中南半岛地区主要大型矿床成矿模式
Table 2 Metallogenic model of main large deposits in the
Central South Peninsula of Southeast Asia

成矿类型	描述性矿床模式	代表性矿床
I. 与镁铁质超镁铁质侵入体有关的铬铁矿、硫化铜镍(铂)矿和铁矿床	模式 1 镁质超基性岩体中的豆荚状铬铁矿(阿尔卑斯型铬铁矿)	2—缅甸实皆省太公当铬矿床、 3—缅甸实皆省姆韦当铬矿床
	模式 2 铁质基性超基性岩体中的岩浆型硫化铜镍(铂)矿	1—越南山萝省版福铜镍矿
II. 与长英质侵入体有关的铁、铜、锡、钨、金、银矿床	模式 3 砂卡岩型铁矿	4—老挝万象省爬立山铁矿床、 5—越南河静省石溪铁矿床
	模式 4 斑岩型铜矿	6—老挝万象省福康铜矿床
	模式 5 斑岩-砂卡岩型铜金矿床	7—老挝沙拉湾省色潘金铜矿床、 8—泰国廊开省普龙铜金矿
	模式 6 热液型(锡石-黑钨矿-石英脉、云英岩型)锡钨矿	9—缅甸茂奇锡钨矿床、10—缅甸德林达依省赫敏之锡钨矿、11—泰国北碧比洛克锡钨矿
III. 与镁铁质、长英质喷出岩有关的金、铅锌银多金属矿床	模式 7 火山岩黄铁矿型多金属矿床(黑矿型块状硫化物矿床)	12—缅甸实皆省蒙育瓦铜矿床、13—缅甸掸邦包德温铅锌银多金属矿床、14—越南安沛省秀丽铅锌银矿床
	模式 8 浅成低温热液金(银)矿脉	15—老挝万象省班会晒银矿床、 16—泰国碧差汶省切垂金矿床
IV. 与沉积(变质)岩有关的铁、铜、铅、锌、钾(岩)盐矿床	模式 9 元古宙沉积变质铁矿	18—越南老街省巴洒铁矿床
	模式 10 元古宙层状铜-金-稀土矿床	17—越南老街省辛归铜矿床
	模式 11 沉积-改造型铅锌矿	19—泰国达府夜速县帕达恩锌矿
	模式 12 晚白垩世—古新世岩盐-钾盐-石膏矿床	21—老挝万象省万象平原盐矿床、22—泰国猜也蓬班内那隆钾盐矿床、23—泰国木安乌隆钾盐矿床
V. 与区域变质岩有关的金矿床	模式 13 含金石英脉矿床	24—越南广南省蓬苗金矿床
VI. 与表成作用有关的镍、铬、锡、金、铝土矿床	模式 14 红土型镍矿床	2—缅甸实皆省太公当镍矿床、 3—缅甸实皆省姆韦当镍矿床
	模式 15 红土型铝土矿床	27~35—越南北部红土型铝土矿床、36—老挝占巴色省巴松铝土矿、37—柬埔寨蒙多基里省森莫诺隆铝土矿床铝土矿
	模式 16 砂铬矿	25—越南清化省努山古定铬矿床
	模式 17 砂锡(钨)矿	26—老挝甘蒙省南巴坦锡矿
	模式 18 砂金矿床	20—马来西亚 Selinsing 金矿床

(3) 中新经济走廊的地质调查和矿产勘查开发程度明显低于中国, 矿产资源勘查开发的潜力大, 是企业矿业投资非常有利的地区。

参考文献

- [1] Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion[C]//Proceedings of the IGCP Symposium on Geology of SE Asia, Hanoi, 1995.
- [2] Metcalfe I. The Bentong-Raub Suture Zone[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18(6): 691-712.
- [3] 李兴振, 刘朝基, 丁俊. 大湄公河次地区构造单元划分[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(4): 13-20.
- [4] 施美凤, 林方成, 李兴振, 等. 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, 2011, 38(5): 1244-1256.
- [5] 施美凤, 林方成, 刘朝基, 等. 东南亚缅甸老越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, 2013, 33(2): 103-112.
- [6] 程迁群, 罗太旭. 缅甸达贡山风化壳型硅酸镍矿床[J]. 云南地质, 2009, 28(4): 420-424.
- [7] 马绍春, 郑国龙. 缅甸莫茅塘红土型镍矿成矿地质条件[J]. 云南地质, 2009, 28(2): 420-424.
- [8] 王疆丽, 林方成, 朱华平, 等. 老挝万象省爬立山铁矿成矿二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(3): 87-93.
- [9] 朱华平, 范文玉, 毛洪江, 等. 老挝万象省爬立山(Pha Lek)铁矿床地质特征及成矿作用分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(5): 1492-1501.
- [10] Shi M F, Lin F C, Fan W Y, et al. Zircon U-Pb ages and geochemistry of granitoids in the Truong Son terrane, Vietnam: Tectonic and metallogenic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 101: 101-120.
- [11] 王宏, 王疆丽, 陈慕天, 等. 老挝川圹省 Phu Kham 铜金矿床地质特征及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2014, 29(1): 66-71.

- [12]Manaka T, Khin Z, Meffre S. Geological and Tectonic Setting of Cu-Au Deposits in Northern Lao PDR[C]//Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), 4th IGCP 516, and 5th APSEG, Bangkok Thailand, 2008:254-257.
- [13]Kamvong T, Khin Z, Meffre S, et al. Adakites in the Truong Son and Loei fold belts, Thailand and Laos: genesis and implications for geodynamics and metallogeny[J]. Gondwana Research, 2014, 26(1): 165-184.
- [14]Cromie P W, Khin Z, Smith S. New insights through LA-ICP-MS and sulphur isotope investigations into the occurrence of gold in the Sepon gold deposits, Laos[C]//18th Australian Earth Sciences Convention (AESC), Melbourne, 2006.
- [15]朱华平, 范文玉, 王宏, 等. 老挝色潘铜金矿床研究新进展[J]. 地质科技情报, 2013, 32(5): 182-187.
- [16]Kamvong T, Khin Z. The origin and evolution of skarn-forming fluids from the Phu Lon deposit, northern Loei Fold Belt, Thailand. Evidence from fluid inclusion and sulfur isotope studies[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34, 624-633.
- [17]Khin Z, Khin M T. A note on a fluid inclusion study of Tin-Tungsten mineralization at Mawchi mine, Kayah state, Burma[J]. Economic Geology, 1983, 78: 530-534.
- [18]王宏, 林方成, 施美凤, 等. 滇缅腾冲-毛淡棉构造岩浆岩带锡钨成矿系统与典型矿床研究[J]. 地质与勘探, 2013, 49(1): 1-10.
- [19]施美凤, 林方成, 范文玉, 等. 泰国西部比洛克(Pilok)锡钨矿区二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2015, 34(4): 769-779.
- [20]Charusiri P. Lithophile metallogenetic epochs of Thailand: a geological and geochronological investigation[D]. Ontario: Queen's University (Ph.D. Thesis), 1989:1-819.
- [21]Linnen R L. Genesis of a magmatic metamorphic hydrothermal system: the Sn-W polymetallic deposits at Pilok, Thailand[J]. Economic Geology, 1995, 90: 1184-1166.
- [22]Khin Z, Meffre S, Lai C K, et al. Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia—a review and contribution[J]. Gondwana Research, 2014, 26(1): 5-30.
- [23]Mitchell A H G, Win M, Kyi L, et al. Geology of the high-sulfidation copper deposits, Monywa Mine, Myanmar[J]. Resource Geology 2011, 61: 1-29.
- [24]Manaka T, Khin Z, Meffre S, et al. The Ban Houayxai epithermal Au-Ag deposit in the Northern Lao PDR: Mineralization related to the Early Permian arc magmatism of the Truong Son Fold Belt [J]. Gondwana Research, 2014, 26(1): 185-197.
- [25]Salam A, Khin Z, Meffre S, et al., Geochemistry and geochronology of epithermal Au-hosted Chatree volcanic sequence: implication for tectonic setting of the Loei Fold Belt in central Thailand[J]. Gondwana Research, 2014, 26(1): 198-217.
- [26]Mclean R N. The Sin Quyen iron oxide-copper-gold-rare earth oxide mineralization of North Vietnam[C]//Porter T M. Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective, volume 2. PGC Publishing, Adelaide, 2001, 2: 293-301.
- [27]Makoundi C, Khin Z, Large R R, et al. Geology, geochemistry and metallogenesis of the Selinsing gold deposit in Central Malaysia[J]. Gondwana Research, 2014, 26(1): 241-261.
- [28]Tran H T, Khin Z, Halpin J, et al. The Tamky-Phuoc Son Shear Zone in Central Vietnam: tectonic and metallogenic implications[J]. Gondwana Research, 2014, 26(1): 144-164
- [29]刁纯才. 老挝帕克松地区波罗芬高原铝土矿成因浅析[J]. 地质与资源, 2014, 23(4): 414-417.
- [30]罗正传, 刘智琳, 李俊平, 等. 老挝巴松铝土矿地质特征及成因探讨[J]. 矿产勘查, 2011, 2(3): 304-310.
- [31]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.
- [32]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.
- [33]Lehmann B, Jungyusuk N, khositantont S, et al. The tin-tungsten ore system of Pilok, Thailand[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1994, 10(1/2): 51-63.
- [34]Trung N M, Tsujimori T, Itaya T. Honvong serpentinite body of the Song Ma fault zone, Northern Vietnam: A remnant of oceanic lithosphere within the Indochina-South China suture[J]. Gondwana Research, 2006, 9(1/2): 225-230.
- [35]朱华平, 施美凤, 王宏, 等. 东南亚中南半岛地区红土型铝土矿地质特征及成矿模式[J]. 矿物学报(增刊), 2015, 1096-1097.
- [36]Cox P, Singer D A. Descriptive and grade-tonnage models and database for iron oxide Cu-Au deposit[M]. U. S. Geological Survey, 2007, 1155: 3-14.
- ①刘俊来, 宋志杰, 陈美勇, 等. 中越合作哀牢山-红河-马江成矿带成矿背景与成矿规律对比研究项目成果报告. 2010: 208-235.
- ②Department of Geological and Minerals of Vietnam (DGMV). Geology and mineral resources map of Ha Noi Sheet, scale 1: 200000, with the explanatory note, Hanoi, 2001.
- ③林方成, 施美凤, 李兴振, 等. 三江-湄公河成矿带地质背景和成矿规律对比研究专题成果报告. 2010:160-266.
- ④Department of Geological and Minerals of Vietnam (DGMV). Mineral resources of Vietnam, scale 1: 1000000, with the explanatory note, Hanoi, 2004.
- ⑤Tran Van Ban, Bountheung Phengthavongsa, Bountheung Sayaseng, et al. Geology and Minerals of Mid-Central Laos Region. 2000: 14-22.
- ⑥李兴振, 刘朝基, 林方成, 等. 东南亚地区地质矿产对比研究项目成果报告. 2007:243-245.
- ⑦United Nations. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region. Lao Peoples's Democratic Republic, Explanatory Brochure, 1990, 7: 1-19.