

通过对矿床金属来源研究,认为矿床中闪锌矿贫铁,富镓、锗,  $Zn/Fe$  比值大于 20,  $Ga/In$  比值小于 1, 与以碳酸盐岩为主的沉积—改造型铅锌矿床中的闪锌矿类似。矿石与矿床外围地层岩石的稀土元素总量、分配模式与灯影组白云岩类似,而与西王庙组和白果湾组粉砂岩有很大区别,表明天宝山铅锌矿床的成矿物质来源与灯影组碳酸盐岩有密切关系。结合矿床中硫同位素组成及成矿流体组成的分析结果,认为该矿床具有与密西西比河谷型铅锌矿床类似的特征。

在热液成矿期,区内主要断裂( $F_1$ 、 $F_2$  断裂)在该时期受到 EW 向挤压成为张性断裂,且断裂附近发育密集的劈理带,沿走向大多与 NS 向区域性大断裂相沟通,并向上切割盖层。海西期以来,大气降水沿构造裂隙不断向地下渗透。渗透过程中,成矿流体溶滤流经地层中的铅、锌离子,并与一定量的层间卤水混合,在地温梯度的作用下,这种混合流体被加热形成成矿热液。成矿热液沿断裂构造运移到灯影组时,遇到有利的碳酸盐,溶滤了更多的铅、锌等金属离子,成为以  $PbCl^+$ 、 $ZnCl^+$ 、 $ZnCl_2$  等络合物活化迁移的热液继续运移,当进入构造破碎带时,由于地球化学障及灯影组地层中的有机质热降解产生的有机碳等的还原作用,以及断裂活动造成的低压环境和峨眉山火山爆发提供的高温条件,使 Pb、Zn 等成矿组分与甲烷还原硫酸盐形成的还原硫作用,造成方铅矿、闪锌矿沉淀,形成铅锌矿床。

## 14. 云南和老挝锡及铝土矿表生成矿作用对比研究

杨社锋<sup>1,2,4</sup>, 方维萱<sup>1,2,3</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>, 王思德<sup>3</sup>, 张巨伟<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 有色金属矿产地质调查中心北京资源勘查技术中心, 北京 100012;

3. 北京东南亚资源科技有限公司; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

表生作用主要与气候、植被、基岩、地貌、时间等因素有关,具有与内生作用不同的特征,如低温、低压、水、二氧化碳、生物有机体等参与。目前发现的表生成矿的矿床类型有风化矿床和部分沉积矿床。表生作用形成多种矿床,包括(1)红土型的金、镍、铁、锰、钴、铝土、稀土元素、铀矿、砂锡、砂金、铋钼砂矿、金红石等残积坡积和淋积矿床;(2)高岭土矿、蒙脱土矿等残余富集矿床;(3)镍、铀矿等淋积矿床。此外还有一些沉积矿床。在热带亚热带地区,红土型铝土矿、红土型金矿和红土型镍矿等风化矿床分布广泛(南京大学地质系,1979;顾皓民译,1994;廖士范,1997;王瑞廷等,2002;高振敏等,2002;肖振民,2002;陈骏等,2004;方维萱等,2005)。

云南省从南到北出现北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、南温带、中温带、北温带(高原气候区域)等7种气候带类型,南部为亚热带和热带气候,植被类型为热带季雨

林和常绿阔叶林,并与东南亚国家老挝相连。云南构造上地处特提斯-喜马拉雅构造域和滨太平洋构造域的结合部位,跨越扬子陆块边缘、印度板块边缘及其之间的三江构造转换带,居于欧亚古陆块南部边缘和冈瓦那古陆块相碰撞的区域和以峨眉山玄武岩为标志的峨嵋地幔热柱构造活动区南部,经历了吕梁旋回、扬子旋回、兴凯-加里东旋回、海西旋回、阿尔卑斯旋回的多期发展,深大断裂发育,在全球构造中的位置比较特殊。因此,云南省矿产资源丰富,被誉为中国的有色金属王国。云南的地质工作程度较高,目前发现的表生成矿的风化矿床较多。包括高振敏等(2002)划分的上芒岗红色粘土型金矿、个旧地区红土型砂锡矿、墨江与元江交界镍矿、牟定水桥离子吸附稀土矿床等,还有昆明地区和毗邻的富民、安宁、晋宁、呈贡四个县分布的由富铝的硅酸盐岩石-基性岩、碱性岩、酸性岩、变质岩等在长期风化过程中经风化淋滤去硅去铁等作用形成红土型铝土矿等。目前对砂锡矿形成机理和分布规律的研究较少(宋叔和等,1994),通过研究3条老厂砂锡矿的风化壳剖面的表生地球化学特征,以及40件老厂砂锡矿中砂矿物分类样品的主量元素、微量元素和锡、铅、锌、铜等元素赋存状态特征,分析了老厂砂锡矿可能的物质来源包括两方面,一是原生硫化物锡矿和氧化矿锡矿的风化搬运沉积,二是砂锡矿下伏白云岩的风化作用。初步回答了砂锡矿的形成机理问题。

老挝和中国云南接壤,云南境内的三江构造带可能向南延伸到老挝境内。全境基本为热带季风型气候,年平均气温在 $20^{\circ}\text{C}$ ~ $26^{\circ}\text{C}$ 之间,植被类型为热带季雨林(中国科学院地理所外国地理研究室,1977)。老挝和云南都是山区地貌居多,两个地区可能形成相似的表生矿床。老挝以往的地质资料大部分来自于英国、法国和越南等国家援助的地质项目的成果,现在也有部分地质人员从事基础工作。区内地层发育齐全,但时代划分较模糊。老挝横跨印支板块、华南板块、思茅-南邦中间板块3个一级构造单元,分界为奠边府-琅勃拉邦-难府和马江两个板块缝合带。地处稳定区和活动带交接地带,深大断裂及岛弧发育,岩浆侵入和火山活动期次多,分布广,并有相关多种矿床形成。近年来,除了发现数处大型铜、铅锌原生矿床外,在老挝中部 Saysomboun 地区发现了大型 Phu Kham 红土型金矿(下部有大型斑岩型铜金矿),在南部 Champasak 省的 Boloven 高原确认了红土型铝土矿,以及位于东南亚锡矿带上的上世纪40年代就有采矿活动的 Thaket 省 Nam Pathene 地区的红土型砂锡矿等,此外老挝很多河流的河床和阶地都在开采砂金。Boloven 高原的新生代形成的玄武岩已经发生了铝土矿化,微量元素在风化壳剖面中分散富集规律明显,铝土矿含 $\text{SiO}_2$ 较高,地表的铝、钠、钾、钙等元素贫化严重。相对于云南个旧老厂砂锡矿,对比研究了老挝 Thaket 省 Nam Pathene 地区的红土型砂锡矿的矿石矿物学和表生地球化学特征(表1)。

由上述对比可见,老挝 Thaket 省 Nam Pathene 砂锡矿床同我国云南个旧老厂砂锡矿相比较,地质工作程度较低,地层没有详细划分,岩浆岩的研究都比较多,气候、植被、地貌占有一定的优势,地层和岩浆岩锡含量也较高,对表生作用下砂锡矿的形成具有很大的有利条件。由于我国云南和老挝的成矿地质背景相似,因此通过对比研究云南和老挝两地成矿地质背景和表生成矿典型矿床地球化学特征,为风化矿床特征提供一定的理论基础。

表 1 老厂砂锡矿和 Nam Pathene 砂锡矿成矿特征对比表<sup>1)</sup>

对比内容	云南个旧老厂砂锡矿床	老挝 Thaket 省 Nam Pathene 砂锡矿床
位置	云南省个旧市老厂地区, 北纬 23°16', 东经 104°14', 海拔 2100m ~ 2300m。	Thaket 省 Nam Pathene 河谷中, 位置北纬 17°53', 东经 104°37', 海拔 500m ~ 600m。分布面积 220km <sup>2</sup> 。
气候	年平均气温 16.1℃, 年平均降雨量 926.8mm, 全年平均降雨 160 天。	年平均气温 25.6℃, 年平均降雨量 2451.4mm, 全年平均降雨 123 天。
地貌	高原山地, 砂锡矿床位于白云岩、灰质白云岩、大理岩形成的喀斯特地貌之上, 沿断裂分布。	Nam Pathene 河谷位于长约 30km, 宽约 8km 的岩溶盆地中, 砂锡矿为残积冲积风化矿床, 残积矿床品位较高。
地层	三叠系个旧组中下段碳酸盐岩和第四系黄褐色粘土、砂质粘土, 其中三叠系个旧组碳酸盐岩是主要控矿围岩。	矿区地层从老到新为奥陶系 - 志留系粉砂岩及砂岩, 厚 200m 中泥盆统砂页岩, 中 - 上泥盆统和下石炭统碳酸盐岩, 中石炭统 - 二叠系灰岩及第四系残积、冲积和洪积物。
构造	矿区内构造发育, 主要为褶皱和断裂。蒙子庙断裂下部为脉状含锡氧化矿床, 这些含矿岩石可能为地表砂矿提供了来源。	构造上位于外来的被剥蚀残留的推覆体形成的侵蚀 - 岩溶盆地, 推覆体形成时间为早三叠世 - 侏罗纪之间, 运动方向从东北往西南。
岩浆岩	燕山晚期花岗岩是矿区的主要岩浆岩, 属老卡岩体的一部分, 隐伏于地下 200 余米至千余米。	岩浆活动最早为早古生代辉绿岩, 伴随二叠纪花岗岩类。三叠纪安山岩、英安岩和流纹质次火山岩侵入。普遍含 Al 高, 且 K 比 Na 高, 三叠纪次火山岩高碱。花岗岩和花岗闪长岩含锡低于拉克值, 次火山岩中较高 (0.1% ~ 0.45%)。所以三叠纪次火山岩可能与锡成矿有关。
原生矿床	接触带型锡石 - 矽卡岩硫化物锡铜共生矿床和铜的矽卡岩硫化物矿床, 细脉带氧化矿床。	原生矿化分两个阶段, 第一阶段是在斑状流纹岩顶部的云英岩和 NS 向断裂羽状裂隙的毒砂 - 石英脉中, 属锡石 - 石英型及云英岩型矿带和细脉, 围岩为硅化和云英岩化, 锡石晶粒较大, 含较高铌、钽、钨、钛、锆等。第二阶段近地表硫化物型, 锡石呈 $100 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ mm 的针状体。表生作用形成残坡积、堆积型砂锡矿。
砂矿床	残积、坡积、洪积类型。砂矿床上部为腐殖质及棕红色粘土, 厚 0.3m ~ 0.5m; 中部为厚约 10m、广泛分布的红色黄色粘土层, 含 5% ~ 10% 的锰结核及褐铁矿、岩屑; 下部过渡为黄黑相间的含锰结核粘土层, 厚 1 ~ 5m。锡石多为棕色棱角、半棱角的单体或聚合体。	砂锡矿表层为富含铁氧化物的红土层, 包含石英矿囊和小的针锡矿, 针锡矿含锡 0.3% ~ 1.3%。可见毒砂、辉铋矿、闪锌矿等。在花岗岩侵入体 NW 和 NNE 面, 有一含锡云英岩沿花岗岩体和围岩接触带穿过, 可能为本区原生锡来源。1979 ~ 1987 年间前苏联对 Nam Pathene 河谷的风化矿床进行地质勘探, 结果显示有 112.9 百万吨锡矿石量, 品位为 0.12%, 含锡金属量 13.39 万吨。

1) 资料来源: 中国科学院地理所外国地理研究室, 1977; United Nations, 1990; 宋叔和等, 1994; 李方夏, 1995; 余凡, 1996