

青藏高原喜马拉雅期碰撞造山型金矿矿化特征和动力学机制：以哀牢山金矿带为例*

孙晓明^{1,2,3}, 石贵勇^{1,3}, 翟伟^{1,3}, 张燕^{2,4}, 熊德信^{5,2},

潘伟坚², 胡北铭²

(1 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275; 2 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275; 3 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室, 广东 广州 519275; 4 华东有色地质勘查局, 江苏 南京 210007; 5 广东省肇庆学院, 广东 肇庆 526061)

国际上流行的造山型金矿理论主要是在前寒武古老克拉通剪切带型金矿基础上发展起来的 (Groves et al., 1998; Goldfarb et al., 2001)。流行观点认为: 造山型金矿主要发育在增生造山带, 而碰撞造山带似乎不利于成矿 (Barley et al., 1992; Groves et al., 1998; Kerrich et al., 2000)。然而, 我国西南地区喜马拉雅期造山型金矿大量发育, 至少形成了 3 条重要的 Au 矿带, 即滇西哀牢山 Au 矿带 (Sun et al., 2009)、川西甘孜—理塘金矿带和龙门山—锦屏山 Au 矿带 (王登红等, 2001; 李晓峰等, 2005), 前者受哀牢山大型走滑剪切带控制, 后者受剪切带和层间滑脱带控制。在高原腹地雅江缝合带两侧, 也有主碰撞期 Au 矿带的发育, 如加茶到浪卡子金矿带以及马攸木金矿等 (多吉等, 2009; 孙晓明等, 2010)。其中哀牢山金矿带为夹于扬子地块和中甸地块之间的近三角形构造变形变质带, 其南北长 392 km, 东西平均宽 60 km, 区域上有阿墨江深大断裂、九甲—安定断裂、哀牢山深大断裂和红河深大断裂等通过。该金矿带是我国最重要的喜山期金成矿带之一, 其中由北向南连续分布着镇沅 (老王寨)、墨江、长安和大坪等大型金矿, 此外还分布着白马寨等岩浆型铜镍硫化物矿床、铜厂斑岩铜矿和安定镍矿等。前人对这些金矿的成矿地质背景和成矿流体特征进行了不少研究, 但对其成因和成矿物质来源等问题仍有不少争论。特别重要的是, 相对于国际上典型的增生造山型金矿, 喜马拉雅期在碰撞造山环境下形成的金矿有哪些主要的特点? 在较系统的野外考察、采样和室内流体包裹体测试、激光拉曼光谱分析、同位素组成测定等基础上, 作者等通过对哀牢山等 Au 矿带的系统研究, 不仅证明碰撞造山带可以产出大型造山型金矿, 而且初步提出了碰撞造山型 Au 矿成矿新模型。研究表明, 哀牢山 Au 矿带不是产于造山带的增生楔内, 而是产于碰撞带的大规模走滑剪切带—红河剪切带, 即扬子地块的构造边界的超岩石圈断裂带上。该剪切带早期左行走滑, 晚期右行。沿走滑断裂分布的富碱侵入岩及煌斑岩年龄表明左行走滑起始于 40 Ma 前后, 而金矿带多数矿床的热液蚀变年龄证明, 成矿作用伴随碰撞造山晚期的大规模走滑活动而发生。哀牢山 Au 矿带多数矿床就位于红河剪切带的二级或次级构造上, 后者多为高角度反转断裂系统和逆冲推覆剪切带, 脆性与韧性变形的转换部位常控制矿体的空间定位。金矿体主要为含金石英脉和含金构造蚀变岩, 赋矿岩石多数为古生代蛇绿混杂岩系, 显示绿片岩相和角闪岩相变质, 产于上地壳中深环境 (多数 > 10 km)。相比于国内外典型的增生造山型金矿, 哀牢山金矿带发育的碰撞造山型金矿整体上具有如下主要特点: ① 矿石矿物组合复杂, 为自然金+贱金属硫化物+菱铁矿等, 常见白钨矿, 大量出现方铅矿, 相应的矿化元素组合也较为复杂, 出现

*国家重点基础研究发展规划(973)项目 (2009CB421006、2002CB412610)项目、国家自然科学基金 (编号: 40830425, 40673045, 40373027)、高等学校博士学科点专项科研基金 (编号: 200805580031)和中央高校基本科研业务费专项基金联合资助
第一作者简介 孙晓明, 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床地球化学和海底矿产资源研究, Email: eessxm@mail.sysu.edu.cn

Au+Ni 组合和 Au+W+Cu+Pb+Zn 等组合; ② 成矿时代为喜山期, 主碰撞后 30 Ma 以内成矿; ③ 成矿流体盐度和组成上: 盐度较高, 出现较多幔源组分; CO₂ 含量很高, 甚至出现大量纯 CO₂ 流体包裹体; 含金石英和白钨矿流体包裹体中 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 组成绝大多数为 -2‰~-6‰, 显示其中 CO₂ 可能主要来自幔源; ④ 围岩中出现较多的同时代基性和碱性脉岩; ⑤ 垂直方向物质交换较强, 壳幔相互作用明显; ⑥ 虽然金矿体主要形成于喜马拉雅造山期, 但具有多期多阶段成矿的特点。推测其原因是: ① 碰撞造山环境下, 壳幔相互作用强烈, 垂直方向物质交换明显, 较多地幔流体加入; ② 控矿断裂为活动断裂, 多期改造和矿化叠加; ③ 成矿时代较新, 保留原始成矿信息; ④ 成矿流体盐度较高, CO₂ 和 Cl⁻ 较高。成矿流体为近临界的高 CO₂ (CO₂ ≥ H₂O) 的中低盐度的 CO₂-H₂O-NaCl 体系流体, 在成矿过程中基本不存在流体混合, 减压沸腾导致了 Au 的快速沉淀 (熊德信等, 2007)。

研究显示哀牢山金矿中各主要金矿的成矿作用均与本区强烈的壳幔相互作用相关, 成矿主要发生于本区印支板块与扬子板块喜马拉雅期初始碰撞之后。喜马拉雅造山运动早期, 由欧亚板块碰撞产生侧向挤压, 本区沿红河断裂带形成大型左旋走滑剪切带, 使得 Moho 面上升, 地幔物质部分熔融并上涌, 形成大量煌斑岩等基性岩脉, 同时发生强烈排气作用, 对下地壳进行热烘烤, 地幔排气形成的深源地幔流体和下地壳脱水形成的富 CO₂ 变质流体混合形成携带 Au、S 等成矿物质或矿化剂的深源富 CO₂ 流体, 并沿韧性剪切带上升。在 10 km 左右的韧—脆性转换的构造层次, 由于脆性断裂的形成, 流体温压下降且快速上升, 将产生 CO₂ 相持续的不混溶作用, 而与 Au(HS)₂⁻ 稳定性相关的 H₂S 随气相与流体分离, 迁出, 引起 Au(HS)₂⁻ 一分解和 Au⁰ 的沉淀, 形成大坪式深源石英脉型金矿; 而到达浅部脆韧性—脆性层次的流体, 与大气水混合, 并与围岩发生水岩反应, 促使以蛇绿岩型超基性岩为主的矿源层中的金得以活化进入流体, 随着物理化学条件的改变, 在碎裂岩中或者脆性断裂等合适的构造空间沉淀成矿, 形成角砾岩型或脉型的浅成金矿体 (如老王寨、墨江、长安金矿等)。因此, 哀牢山金矿属于碰撞造山背景下剪切带控制型金矿 (熊德信等, 2007)。重点开展青藏高原东缘金矿带的系统研究, 不仅有助于造山型金矿理论的完善, 而且有可能创建新的碰撞造山型金矿成矿理论, 有力地指导该区金矿的勘查。

参 考 文 献

- 多吉, 温春齐, 范小平, 等. 2009. 西藏马攸木金矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1-216.
- 李晓峰, 毛景文, 陈文. 2005. 四川绵萨洼金矿两类矿石绢云母 40Ar/39Ar 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 51(3): 335-339.
- 孙晓明, 韦慧晓, 石贵勇, 翟伟, 等. 2010. 藏南邦布大型造山型金矿流体地球化学和成矿机制. 岩石学报, 26(6): 1672-1684.
- 王登红, 杨建民, 薛春纪, 等. 2001. 西南三江-大渡河地区喜马拉雅期金矿成矿作用同位素年代学依据. 见: 陈毓川, 王登红, 主编. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[M]. 北京: 地震出版社. 84-87.
- 熊德信, 孙晓明, 石贵勇. 2007. 云南哀牢山喜山期造山型金矿带矿床地球化学及成矿模式[M]. 北京: 地质出版社. 1-144.
- Barley M E and Groves D I. 1992. Supercontinental cycles and the distribution of metal deposits through time[J]. *Geology*, 20: 291-294.
- Goldfarb R J, Groves D I and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis[J]. *Ore Geology Reviews*, 18: 1-75.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. *Ore Geology Review*, 13: 7-27.
- Kerrick R, Goldfarb R, Groves D, et al. 2000. The characteristics, origins, and geodynamics of supergiant gold metallogenic provinces[J]. *Science in China (D)*, 43(S): 1-68.
- Sun X M, Zhang Y, Xiong D X, et al. 2009. Crust and mantle contributions to gold-forming process at the Daping deposit, Ailaoshan gold belt, Yunnan, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1-3): 235-249.