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

博 士 生：　熊德信

导　　师：　孙晓明 教授

专　　业：　矿物学、岩石学、矿床学

摘　要

哀牢山断裂带位于古扬子板块与印度板块之间的缝合地带，是世界著名的构造岩浆带之一。近年来，该断裂带已相继发现了老王寨、墨江、大坪和长安等大型金矿，被认为是一类与蛇绿岩带、煌斑岩相关的喜山期金矿带，这引起了地质学界广泛的关注和研究，但是目前对于该金矿带在成矿时代、流体来源、成矿机制，特别是与成矿相关的壳幔作用机制等关键问题上尚无统一认识。本论文通过对哀牢山金矿带进行详细的野外调查和地球化学分析，获得了以下主要结论：

1. 虽然赋矿围岩各异，但老王寨、墨江、大坪、长安金矿在控矿构造、围岩蚀变、矿化形式等方面有许多共性，它们可能形成于相同的构造事件中。

2. 对墨江金镍矿进行围岩、矿石的地球化学研究得出：其超基性岩围岩为蛇绿岩型方辉橄榄岩－橄榄斜方辉石岩，属含镍的镁质超镁铁岩，表明本区镍矿主体为岩浆成因；金厂组硅质岩或蚀变硅质岩型金矿石均为热水沉积成岩成矿的产物；含金石英脉在物质来源上与金厂岩体有一定关系，而与硅质岩关系不大，其金的成矿作用是在高水/岩比的条件下进行。

3. 对大坪金矿白钨矿的微量元素、闪长岩围岩蚀变、矿石的稀土元素进行详细的地球化学研究得出：闪长岩等赋矿围岩发育强烈的糜棱岩化；团块状多金属硫化物金矿石中轻、重稀土元素之间无明显分馏；白钨矿富集 Sr, Ba, 而亏损 Mo, Bi, Sn, Nb 和 Ta，其稀土元素球粒陨石标准化曲线为 MREE 富集型右倾曲线，并具有变化的 Eu 正异常。这表明本区成矿流体主体为深源的相对高温、富 CO_2 富 Na^+的还原性热液体系，而与岩浆的结晶分异作用无关，闪长岩

通过退变质反应可能为早期成矿流体提供了部分成矿物质；含金石英脉的形成与区域剪切带的活动有关，形成于低水岩比的条件下。

4. 墨江金镍矿矿石与超基性围岩铂族元素（PGE）地球化学研究显示：墨江金镍矿 PGE 来源主要来自超基性围岩；该超基性岩是由经历了基性岩浆抽提和交代作用形成的亏损地幔发生程度不同的部分熔融形成的，其原始岩浆中 S 已达到饱和；该矿为早期岩浆型 Ni 矿和晚期热液型 Au(Ni)矿组成的复合矿床。另外，大坪、长安金矿各类金矿石和围岩的 PGE 组成显示其成矿与上地幔熔融成因的煌斑岩等基性岩脉有关，成矿物质主要不是来自闪长岩、正长岩围岩，而是来自地幔。

5. 与大坪、长安金矿成因有关的煌斑岩的 PGE 组成显示它们均可能是由上地幔部分熔融产生的，其原始岩浆中 S 已达到饱和。但长安煌斑岩 PGE 组成显示其形成过程中原始岩浆受到了地壳物质的混染，可能与两矿区煌斑岩原始岩浆上侵幅度不同有关。

6. 各金矿床的矿石 PGE 组成对比研究表明，哀牢山金矿带大规模成矿作用可能与新生代强烈的壳幔相互作用有关，其成矿流体可能主要来自与煌斑岩成因相关的地幔排气形成的深源富 CO_2 流体，但哀牢山蛇绿岩带中的超基性岩在提供其中的金矿床的成矿物质来源上也有重要贡献。

7. 大坪含金石英脉流体包裹体基本由富液相 CO_2 包裹体和不同 CO_2/H_2O 比例的 CO_2-H_2O 型包裹体组成，早成矿阶段白钨矿石英脉中同时富含富气相 CO_2 包裹体和 N_2-CO_2 包裹体，主成矿阶段团块状多金属硫化物金矿石中富液相 CO_2 包裹体占明显优势，只有晚成矿阶段碳酸盐石英脉中含有居次要地位的 H_2O 溶液包裹体。早成矿阶段包裹体的盐度为 6.37~14.64wt%NaCl，均一温度为 299.4℃~423.7℃，压力约为 190～440MPa；主成矿阶段包裹体的盐度在 3.70~14.64wt%NaCl 之间，均一温度 279.0℃~406.5℃之间，压力约为 133.5~340.0 MPa，相当的成矿深度为 5.1~12.9km。这些特征显示该矿成矿流体为近临界的高 CO_2（$CO_2 \geq H_2O$）的中低盐度的 CO_2-H_2O-NaCl 体系流体，该矿是剪切带控制下的中深中温热液金矿，成矿作用主要是减压沸腾环境下发生流体的相分离作用所引起的快速沉淀。

8. 激光拉曼光谱分析在大坪含金石英脉石英中发现了大量孤立状的具完全有序结构的石墨包裹体，根据石墨拉曼光谱 D：G 峰强度比估计大坪石墨形

成于麻粒岩相变质温度条件下，表明这些石墨可能是富 CO_2 流体从下地壳麻粒岩相岩石中搬运上来的，沿剪切带上升的下地壳变质脱水形成的麻粒岩相变质流体参与了成矿。

9. 大坪白钨矿石英脉的流体包裹体 CO_2 碳同位素组成$\delta^{13}C$ 绝大多数落在−3‰ ~−6‰，显示其流体可能主要来源于上地幔。白钨矿的 Sr−Nd 同位素组成显示本区原始成矿流体主要来自下地壳，但不排除有幔源物质加入。白钨矿流体包裹体的 He-Ar、Ne 和 Xe 同位素组成显示大坪金矿成矿流体主要由深源地幔流体和富含 CO_2、^{40}Ar、^{134}Xe、^{136}Xe 和 ^{4}He 的地壳流体组成，其中基本不含大气饱和水。大坪金矿矿石矿物的 Re/Os 比值均>1，为 6.36~121.67，γOs(t) 均为高正值，为 290.21~810.24，平均 492.92，$^{187}Os/^{188}Os$ (t)为 0.495~1.154，远高于金矿形成时(距今约 33.55Ma)球粒陨石 $^{187}Os/^{188}Os$ 的初始比值(0.12679)，显示该矿成矿过程中有来自地壳的高放射性成因 ^{187}Os 的加入。综合大坪金矿矿床地球化学研究结果，可以得出：大坪金矿成矿流体主要为由地幔排气形成的深源地幔流体和下地壳脱水形成的富 CO_2 流体所组成的混合流体，因此大坪金矿属于剪切带控矿的深源热液型金矿。

10. 对大坪金矿绢英岩化近矿围岩中的热液绢云母进行了 ^{40}Ar-^{39}Ar 定年，得到其坪年龄为 33.76 ±0. 65 Ma，相应的反等时线和正等时线年龄分别为 33.55 ±0.74 Ma 和 33.57 ±0.74 Ma，显示大坪属于喜山早期金矿，这些年龄数据与哀牢山金矿带中广泛出现的喜山期煌斑岩脉年龄非常接近。

11.综合对比研究表明哀牢山金矿带成矿作用有以下主要特点：各矿床成矿作用均与本区强烈有壳幔相互作用相关；成矿年龄集中于 30~50Ma，表明成矿主要发生于本区印支板块与扬子板块喜山期初始碰撞之后；矿床主要产于与韧性剪切作用相关的脆性断裂或断裂破碎带中；各金矿床的成矿流体均为还原性的、中低盐度的含少量 N_2 的 CO_2-H_2O-NaCl 体系流体；各金矿床的成矿温度、压力由大坪→墨江→老王寨→长安金矿递减，对应于矿化类型由石英脉型→石英脉型＋破碎带蚀变岩型→破碎带蚀变岩型。

12. 提出了哀牢山金矿带为喜山期碰撞造山背景下剪切带控制型金矿（或喜山期造山型金矿）的成矿模式：喜山早期，由印度板块与欧亚板块的碰撞产生侧向挤压，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 CO_2 流体混合形成携带 Au、S 等成矿物质或矿化剂的深源富 CO_2 流体，并沿韧性剪切带形成的显微构造上升。在 10km 左右的韧－脆性转换的构造层次，由于脆性断裂的形成，温压下降而流体快速上升，将产生 CO_2 相持续的不混溶作用，而与 $Au(HS)_2^-$ 稳定性相关的 H_2S 随气相与流体分离，引起 $Au(HS)_2^-$ 分解和 Au^0 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）。

关键词：喜山期造山型金矿带，韧性剪切带，蛇绿岩带，铂族元素（PGE），麻粒岩相石墨包裹体，富 CO_2 流体包裹体，惰性气体同位素，壳-幔相互作用，金成矿模式，哀牢山