

哀牢山蛇绿混杂岩带金矿成因类型简析

李定谋*

(中国地质科学院成都地质矿产研究所, 成都)

提 要: 哀牢山造山带是西南“三江”地区一个重要的地质构造和金、铜成矿带。通过区域成矿地质条件分析和地质地球化学研究, 论述了浊积岩和蛇绿岩是金矿的二个矿源层, 在构造演化过程中金质迁移和富集的机制有别, 总结出“裂聚层”“碰成矿”两期区域成矿演化模式; 在深入分析弧形推覆构造控矿体系基础上, 阐明了各类型矿床的构造样式, 指明了金矿富集的有利部位; 对典型矿床成矿地质特征、成因矿物学以及成矿机理进行了详细研究, 论证了成矿流体水介质主要来源于大气降水成因的地下水, 探讨了地下水动力条件和演化, 成矿的物理化学条件以及金质等成矿物质迁移、富集方式, 从而划分出 4 种成因类型的金矿床, 提出了区域找矿模型。

关键词: 蛇绿混杂岩 金矿 成因类型 哀牢山

1 地质背景

哀牢山金矿床沿哀牢山结合带展布, 位于扬子陆块西部边缘, “三江”特提斯造山带之东侧。哀牢山金矿成矿带由两部分组成, 即哀牢山推覆构造带和哀牢山推覆变质体, 后者为扬子陆块基底推覆就位的变质地体。因而哀牢山金矿带以红河大断裂为东界、标志明显, 西界为阿墨江-李仙江断裂所限、和思茅盆地分野。两断裂带间程度不同的变形变质体造就了金矿床集中产出的基本地质环境。

该区经历了漫长而复杂的构造演化历程: ① 前寒武纪至泥盆纪 ($An \in -D$) 前特提斯演化阶段; ② 早石炭世 (C_1) 古特提斯洋扩张阶段, 大量基性火山喷发及超镁质岩形成洋壳带, 为改造型金矿床形成准备了物质基础; ③ 晚二叠世至中三叠世古特提斯洋闭合阶段, 蛇绿岩洋壳向西俯冲形成陆缘山弧和碰撞型花岗岩, 成为初始储集层改造富集的元素迁移期之一; ④ 晚三叠世 (T_3) 碰撞后造山阶段, 已褶皱的海西沟弧带在印支晚期封闭并自东向西推覆, 直至燕山期—喜马拉雅早期, 这种不平衡动力作用及平移走滑运动的结果, 决定了哀牢山金矿床分布的格局。

哀牢山金矿床地层岩石建造特点表现为, 哀牢山带多数地层呈岩席状混杂分布, 划分成四个构造地层单元: ① 深变质的下元古宇单元, 由黑云二长片麻岩、变粒岩、角闪片岩、大理岩等构成, 一般认为是扬子陆块结晶基底的组成部分, 金背景值低于克拉克值; ② 古生界浅变质岩单元, 为一套低绿片岩相的砂板岩、片岩夹薄层灰岩组成, 推测地层时代从志留纪到二叠纪。该套地层金背景值接近克拉克值, 部分地段含量较高, 并出现异常; ③ 构造混杂岩单元, 这是本区主要的赋矿岩层, 部分岩片可恢复其火山碎屑沉积岩组合、其时代为晚泥盆世到早石炭世。其中晚泥盆世的一套浊积岩是冬瓜林式大型金矿床的容矿岩层, 石

* 李定谋, 男, 59 岁, 高级工程师, 从事矿床地质研究。邮政编码: 610082

炭系为主的一套蛇绿混杂岩系是老王寨式金矿床的主要容矿岩系,上述两个容矿层的构造混杂便是金厂金矿床产出的构造部位;④未变质地层单元主要指晚三叠世一碗水组红色砂、砾岩沉积,目前尚未发现有强的金矿化现象。

哀牢山带金矿床发育于弧形推覆构造体系中,这是一组相互关联的容矿裂隙与岩脉系统。不同的样式如套弧型(冬瓜林、老王寨矿床),排弧型(双沟川沟矿床),单弧-滑脱型(金厂金矿),分别有不同的矿床产出。中酸性岩沿北西向脆韧性断裂带呈线状分布。与世界上许多煌斑岩密集的金矿区相似,老王寨-冬瓜林矿区的金矿体与煌斑岩在空间分布上有一致性,几乎都受断裂构造控制。从与金矿成矿关系来看,煌斑岩富含 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$,矿床中较为发育的脉状碳酸盐化有可能部分来自这类岩石。

2 矿床特征

构造混杂岩沿九甲-墨江断裂带上盘发育形成一个北西延伸的脆、韧性断裂带,在空间上往往包容和改造东西断裂但呈入字型、弧形追踪、复合成为宽广的断裂带,进而构成该区的配、储矿构造。

围岩蚀变以碳酸盐化、绢云母化为主,出现低温热液蚀变组合如硅化(玉髓)、石英-白云石网脉、铬水云母、绿泥石、黄铁矿等。热液蚀变在围岩中明显表现为增碳(黑化)、去硅(红化)和镁质碳酸盐化(白化)三种普遍发育的具找矿意义的蚀变现象。

老王寨和冬瓜林矿体呈似层状、板状或透镜状,产状随断裂波状弯曲而同步变化,显示地表陡倾向深部缓倾的特点,主矿体规模大,占矿石储量的绝对多数。金厂矿床有贫、富两种矿体,贫矿产于超基性岩推覆体下部之硅化岩中、呈囊状或饼状,长100~200 m,厚度达30~40 m;富矿呈脉状为含金的梳状石英脉充填在贫矿裂隙中,成群斜裂近东西向分布,金品位特高。大坪矿床金矿体为含金多金属硫化物的石英脉,产于闪长岩体内北西向裂隙中。老王寨矿床典型矿物组合为环带状黄铁矿、低温相毒砂、自然金、碲化物和镁质碳酸盐矿物;冬瓜林矿床为显微-次显微金、莓粒黄铁矿、辉锑矿、绢云母、方解石与石英;金厂金矿典型矿物组合:自然金、Ni、Co为硫盐和硫酸盐矿物、多金属硫化物、银矿物、石英和绢云母;大坪金矿床为自然金、多金属硫化物、铜的盐类矿物,石英与绢云母。

3 成矿流体

哀牢山金矿带成矿流体的水主要来源于大气降水成因的地下水。地下水在泥盆纪-石炭纪以沉积盆地水为主,水动力环境处于局部低压场与区域低压场的叠加部位,为沉积预富集阶段矿源层的形成提供了水动力条件。印支期开始由于多期次构造-岩浆活动等热事件的作用获热动力源,形成强活动性流体溶解盐类、萃取成矿元素逐渐演变成成矿的热流体;燕山-喜马拉雅期的构造应力场控制着地下水的运移和分布,流体上升的驱动力来自温度梯度,破碎带是应力集中、流体排泄的场所。

成矿流体的温度在100~300℃之间,峰值为 $(160 \pm 50)^\circ\text{C}$;成矿时的压力为27.2~57.5 MPa,相应的成矿深度为1.074~2.270 km,属中浅成矿床; f_{O_2} 变化在 $10^{-35.303} \times 10^5$

$\sim 10^{-52.280} \times 10^5 \text{ Pa}$ 之间属弱氧化环境; pH 值为 5.83~6.82, 与同温度下溶液的中性 pH 值相比, 属弱碱性溶液, 而且从主阶段到晚阶段, 成矿溶液有从弱碱性向中性演化的趋势; Eh 值为 $-0.166 \sim -0.294 \text{ eV}$ 、属弱还原环境; 成矿流体中总硫活度 a_{SS} 为 $10^{-2.280} \sim 10^{-2.116} \text{ mol/L}$, 硫的溶解类型以 H_2S 、 HS^- 还原硫形式占绝对优势, 这对金质的迁移和沉淀起着至关重要的作用。成矿溶液中金的溶解度 a_{Au} 为 $10^{-8.123} \sim 10^{-6.977} \text{ mol/L}$ 。成矿主阶段金的总溶解度比晚阶段高, 这与主阶段金矿化强, 晚阶段金矿化弱的地质事实相吻合。矿液中金的迁移形成以 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 占绝对优势, 其次是 AuS^- , 而其它搬运形式 (AuCl_2^- 、 AuCl_4^- 、 $\text{Au}_2\text{S} \cdot (\text{HS})_2^-$) 则是微不足道的, 其成矿意义不大。引起 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 分解沉淀的原因主要是还原硫浓度, pH 值和温度的降低。

4 矿床地球化学

4.1 稳定同位素

(1) 矿石铅同位素组成 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值由金厂→冬瓜林→龙王寨→库独木→大坪具增大趋势。矿石铅同位素组成的平均值低于岩石铅的平均值且变化范围较大。老王寨、冬瓜林(库独木)矿床岩石铅和矿石铅的同位素组成相似, 显示同源特点; 金厂矿床矿石铅具有深源特点, 且部分为异常铅, 与矿带多属正常铅的情况有差别。铅同位素单阶段演化模式年龄参考范围变化较大 ($7.8 \times 10^6 \sim 304.7 \times 10^6 \text{ a}$), 以金厂的模式年龄最老 ($155.4 \times 10^6 \sim 304.7 \times 10^6 \text{ a}$), 次为老王寨 ($69.5 \times 10^6 \sim 245.5 \times 10^6 \text{ a}$)、冬瓜林 ($63.9 \times 10^6 \sim 187.6 \times 10^6 \text{ a}$), 最年轻的是大坪金矿床 ($27.8 \times 10^6 \sim 128.3 \times 10^6 \text{ a}$)。综上所述、冬瓜林、老王寨矿床最后形成于燕山-喜马拉雅期, 而大坪矿床则形成于喜马拉雅期。铅同位素源区特征值 ω 、 μ 、 κ 值由北而南具降低趋势, 暗示由北向南幔源成分增加。另一方面本区的铅同位素与造山带铅同位素一致, 显示壳幔混源特点, 并表现出多源性特征, 只有金厂矿床显示出较强的幔源特征。

(2) 矿石中 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化较大 ($-7.6\text{‰} \sim +8.1\text{‰}$), 平均 -2.10‰ , 围岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化更大 ($-8.3\text{‰} \sim +15.4\text{‰}$) 平均 1.24‰ , 在直方图上呈双峰: 主峰为 $0.5\text{‰} \pm$, 以老王寨、冬瓜林矿床为代表, 分布狭窄呈塔式效应具深源特征; 另一峰值为 -5.0‰ , 与其代表性的矿床金厂 (-4.5‰) 一致, 硫可能源于火成岩; 大坪矿床的硫同位素值变化不大 ($-0.61\text{‰} \sim +8.1\text{‰}$), 多为正值且分布离散, 硫可能源于地层。由此, 哀牢山金矿带之硫主要来源于深源火成岩、部分源于地层。

4.2 微量元素

热液中金属化学元素主要来源于蛇绿岩套和泥盆系浊积岩; 少数亲酸性岩浆的高温热液元素 (W、Sn、Bi 等) 可能与燕山-喜马拉雅期岩脉群的侵入活动有关; As、Sb、Hg、Pb、Zn 可能源于沉积岩地层; Cr、Co、Ni、Sn、Cu、Ag 可能源于超基性岩; Au 属多来源, 地层中的 Au 与 Mn、As、Sb 关系密切; 来自火成岩的 Au 与 Cr、Cu、Ag 等相关。

5 控矿因素与成矿规律

5.1 成矿控制

(1) 泥盆系—石炭系双矿源层(岩)对成矿的控制: 上泥盆统浊积岩和下石炭统蛇绿混杂岩的地质地球化学特征表明, 它们是哀牢山金矿成矿带的矿源层或预富集体。浊积岩及蛇绿混杂岩的展布制约着金矿化的空间分布。

(2) 弧形推覆构造对成矿的控制: 主要表现为三级构造控矿和三阶段构造演化与成矿作用的关系; 矿带由区域蛇绿混杂岩构造控制, 矿田(床)受局部性构造转折带控制; 矿体就位于具复合性质的弧形推覆构造的破碎带内。

(3) 变质作用对成矿的控制: 对成矿起直接控制作用的是构造变质作用, 区域变质作用不明显。

5.2 成矿规律

主要的金矿床集中成片、成带位于前缘推覆带上盘之弧顶部、且具等距性分布。另一个特点是大型矿床均集中于泥盆系—石炭系容矿岩层中, 主要矿体分布在不同岩性层间的滑脱面内。根据哀牢山构造带演化历史以及控矿构造主次, 具体矿床特征和矿床分布规律, 共划分两个Ⅱ级成矿带(哀牢山后缘韧性变形带成矿亚带和前缘冲断带成矿亚带), 在此基础上进一步划分出前缘冲断带成矿亚带中的5个成矿段(哀牢山前缘蛇绿混杂岩带成矿段、金山丫口推覆体成矿段、三猛推覆体成矿段、金平推覆成矿段和绿春推覆体成矿段)。成矿演化包括3个主要阶段: 初始富集形成矿源层(岩); “矿源层”经历后期地质作用形成另外的“矿源岩”, 或经热液作用使金质活化、转移并局部富集甚至形成矿床(体); 变形作用、地下水运移汇集和岩浆作用的叠加改造就位形成工业富集或构成大型矿床, 即“三段式”成矿演化规律。成矿时代的演化规律与哀牢山陆缘造山带经特提斯演化以来历经的若干重大地质事件紧密联系在一起。初始矿源岩系主要形成于海西期张裂作用, 铷-锶同位素年龄集中在 $420 \times 10^6 \sim 300 \times 10^6$ a左右, 即“裂聚层”——浊积岩与蛇绿岩“双矿源层”形成; 印支期俯冲作用使矿源岩在深部及消减带重熔再造形成新的矿源岩——辉石闪长岩等, 铷-锶同位素年龄集中在 $285 \times 10^6 \sim 200 \times 10^6$ a之间; 印支-燕山期发生的碰撞挤压事件, 导致先期成矿富集体变质变形, 成矿流体于有利的弧形推(滑)覆构造顶端汇聚形成工业矿(体)床, 成矿年龄小于 200×10^6 a以至 $n \times 10 \times 10^6$ a, 此即“碰成矿”; 受喜马拉雅期运动影响, 研究区以走滑形式为主的构造运动及其煌斑岩类的广泛活动, 部分矿体得到叠加和改造, 最新的成矿年龄为 26×10^6 a左右。

5.3 成因类型

我们采用赋矿围岩岩性组合, 结合地质事件对成矿影响划分出矿床类型系列: 以火山岩为主要容矿围岩的(就地)改造型矿床; 以侵入岩为主要容矿围岩的(异地)改造型矿床; 以浊积岩为主要容矿围岩的(就地)改造型矿床; 以蛇绿混杂岩为主要容矿围岩的改造型矿床。鉴于现有的矿床成因类型划分方案不能反映哀牢山造山带典型演化环境和成矿作用特征, 因而我们称其为哀牢山陆缘造山式改造型矿床, 视其具体情况进一步划分上述成因序列(式)。

(参考文献略)