

滇西北与喜马拉雅期富碱斑岩有关的 金矿成矿系统

葛良胜, 邹依林, 邢俊兵, 王治华, 郭晓东

(武警黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 滇西北地区广泛发育一套以喜马拉雅期为主, 以富碱为特点的斑岩体(脉), 空间上具有以岩体(脉)集中区为单元, 不同单元组成岩带, 多岩带近平行产出的特征。富碱岩浆是地幔富碱质流体经由深大断裂上升至壳-幔混合带激发其岩石部分熔融的产物。金矿成矿与岩浆成岩一脉相承, 形影相随, 具有与富碱岩体完全一致的时空分布特点, 体现了其成岩成矿受区域构造控制的一体化特征。成矿流体主要源于地幔, 矿质则地幔与岩浆源区兼而有之。岩浆和岩浆活动是金矿成矿作用中深部矿质上升的载体和不断聚集的动力。由(近)EW向构造活动—地幔富碱质流体上升—壳-幔混合带内岩浆形成—富碱岩浆分异演化—流体成矿构成了统一的区域成矿系统, 称之为该区与喜马拉雅期富碱岩浆活动有关的金矿(构造)—壳-幔(流体-岩浆)成矿系统。

关键词: 金矿床; 富碱斑岩体(脉); 喜马拉雅期; 成矿系统; 滇西北

中图分类号: P618.51

文献标识码: A 文章编号: 1006-558X(2004)01-0039-09

1 喜马拉雅期区域构造特征及成矿地球动力学环境

滇西北地区位于三江南段北部, 是我国西南重要的铜-金多金属成矿区之一。大地构造位置为横跨扬子板块、中甸和兰坪—思茅微板块及各板块间的结合带, 即金沙江—哀牢山、澜沧江和甘孜—理塘等结合带所构成的多个大地构造单元。在其地质构造演化过程中, 特提斯构造起主导作用, 它是使各(微)板块相互拼合或解离的纽带。

1.1 前新生代地质构造演化

从区域金矿成矿的角度考虑, 可以将本区前新生代的地质构造演化划分为两大阶段: ① 基底或深部构造形成(前寒武纪—

早古生代早期), 完成了区域的第 1 次构造体制转换, 基本奠定了大地构造演化和(金矿)成矿作用的基础; ② 统一的大陆板块及板内深大断裂形成(早古生代晚期—新生代早期), 随着统一大陆板块的最终形成, 区域壳-幔结构也因此定形, 完成了多次以大陆裂解和洋盆闭合为标志的构造体制转换, 与之相伴的不同类型的地质作用也特别强烈。在前新生代时期, 区域构造格架均以(近)EW向为主体^[1]。

1.2 新生代区域构造活动特征

涉及本区的各主要洋、陆(微)板块间的相互作用随着特提斯活动的结束基本上于中生代停止。至新生代, 尽管区域上板块间的相互作用仍在进行, 但本区已基本上处于

收稿日期: 2003-12-01。李莉编辑。

基金项目: 武警黄金指挥部科研项目基金资助(HJ97-4-1)

作者简介: 葛良胜(1966-), 男, 安徽潜山人, 武警黄金地质研究所高级工程师, 硕士, 从事金矿矿床地质研究。

一个相对统一的, 由多陆块不断裂解又相继拼合所形成的复杂板内构造环境之中。古板块结合带已转化为板内重要的深大断裂系统, 并活动于新的区域应力场中。本区处于由华北和扬子板块在川西地区拼合所形成的天然弧形弯折腹地。由于其南侧的印度板块不断地向北俯冲并有加剧之势, 同时, 在扬子和华南板块东部, 又有太平洋板块不断向西运动, 使本区从以区域特提斯构造应力场为主, 转化为以印度和太平洋板块活动为主的构造应力场。万天丰^[2]将该时期(及稍早)内区域构造应力的多次转化划分为J—K₁¹ (208 ~ 135 Ma), 以NW—SE向挤压为主; K₂¹—E₂¹ (135 ~ 52 Ma), 以近SN向挤压为主; E₂²—E₃ (52.0 ~ 23.3 Ma), 以近EW向挤压为主; N—Q₁ (23.3 ~ 0.73 Ma), 以近SN向挤压为主; Q₂ (0.73 Ma) 至现在, 以NE—SW向挤压为主的几个阶段。其地质构造特征具体表现为1) 显著地改变了区域构造线格局, 即自北到南, 由原来以EW向为主逐渐向NNW—SN—N(N)W向转变。研究区位于三江中段, 处于以SN向构造格局为主体的位置, 但有证据表明, 区内深部仍然存在近EW向构造^[1,3-4], 并由此造成了区域地壳深部结构与浅部构造的不相协调^[5]。2) 在区域构造线方向改变的背景下, 局部应力调整产物之一的新生构造形迹大量出现, 古构造活动性质发生显著改变。3) 基底和深部古构造重新活动, 这一点过去人们很少注意到, 但正是这种构造活动对喜马拉雅期构造-岩浆-成矿事件有根本的控制作用, 它是喜马拉雅期富碱斑岩及与之相关的金矿床时空分布、成岩成矿机制解释的基础。其中, 又以近EW向挤压应力为主的阶段(E₂²—E₃, 52.0 ~ 23.3 Ma) 最为重要, 在近EW向的挤压应力作用下, 基底和深部古构造发生了近SN向的拉张, 形成滇西北地区有规律(多条近于平行)分布, 但主要

处于隐伏状态的近EW向张性构造, 本质上也是前述局部应力调整的产物^[1]。

综上所述, 在整个地质历史演化过程中, 本区经历了十分复杂的地质构造作用。其中新生代的构造活动是距现在时间最短, 地质-地理特征明显, 岩浆活动较为剧烈的地质事件之一。区域构造线的变形、变位, 循古构造线新生构造形迹的出现, 基底和深部构造的重新活动及与之相伴的区域岩浆活动和成矿作用, 开启了新一次壳-幔物质相互作用的进程。

2 富碱岩体(脉)特征

2.1 时空分布

根据已收集到的区内成岩时代数据(136个), 滇西北富碱斑岩体(脉)成岩的时间跨度为18.19 ~ 89.35 Ma, 65%的年龄数据集中在20 ~ 50 Ma, 主要形成于喜马拉雅早—中期, 少数为燕山晚期^[4,6]。以喜马拉雅期为主的这一套富碱岩体(脉)广泛分布于西自澜沧江, 东至绿汁江断裂带的范围内, 其向北和向西分别可延伸至四川及西藏境内。本区富碱岩体(脉)的成岩与空间分布受区域(近)EW向的隐伏构造控制, 可划分为3个岩带, 各岩带可依产出特点划分若干岩体(脉)集中区^[3,6]。

1) 南岩带, 分布在西自永平, 经巍山、祥云至姚安—南华一线, 岩带内部可进一步划分出永平—卓藩、巍山—南涧、祥云(含宾川)—弥渡和姚安—南华(含楚雄)等相间产出的岩体集中区。

2) 中岩带, 分布在西自剑川—洱源, 经北衙、丽江到永仁—华坪一线, 带内相间分布有老君山—剑川、鹤庆—北衙(含丽江)、永胜(战河)—华坪(含永仁直苴)等几个岩体集中区。

3) 北岩带, 分布于中甸甯哥至三坝, 东到宁蒍一线, 可划分出中甸—甯哥、三坝

—可麦洛、宁蒗白牛厂—罗卜地等几个岩体集中区。

2.2 地质学和岩石学特征

富碱岩体（脉）以浅或超浅成侵入体为主，广布于全区各岩体集中区并与金矿成矿关系最为密切。可划分出 3 个主要岩石类型：正长（斑）岩、二长斑岩和花岗（斑）岩类。野外详细观察表明，在不同岩体集中区，诸岩体的成岩呈现出明显多期次岩浆活动的特征，由此形成了具有一定共性，又各具特色的岩石演化系列。南、中岩带的部分岩体集中区内有火山岩及爆发角砾岩筒产出。

2.3 岩石化学特征

通过 116 个岩石化学成分数据（表略）处理，就与金矿关系最为密切的正长（斑）岩类而言，其岩石化学具有如下特征（其他岩类岩石的总体变化与其相似）。

1) 主要氧化物含量特征， SiO_2 变化于 56.26% ~ 68.56%，平均 64.63%，属于 SiO_2 饱和或过饱和类型。 Al_2O_3 变化于 11.12% ~ 18.22%，平均 15.29%，多数属于铝过饱和类型，少数属于正常类型。氧化物含量随 SiO_2 的增加而增加，呈正常变化趋势，反映岩浆演化符合正常的演化规律。

2) 里特曼指数，对不同岩带岩石里特曼指数（ Σ ）值统计表明，富碱岩体（脉）总体上是一套以碱钙性和碱性系列岩石为主体，兼有少量强碱性和钙质岩杂岩组合。

3) 全碱含量，全区岩石均具有富碱和钾的特征，全碱含量（ALK）总体变化于 6.68% ~ 13.87%，平均在 9.5% 左右，绝大多数岩体集中区内的岩石均表现出 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ， $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 1.01 ~ 67.35，与正常相同类型的岩浆岩相比偏高。

4) $\text{Log } \Sigma - \text{Log } R1 - R2$ 图解表明，研究区富碱岩石在 $\text{Log } \Sigma - \text{Log } R1 - R2$ 图解上的投影点均位于 B 和 C 区，即活动带及由其派

生的碱性岩区。在表征花岗岩与板块构造环境的 $R1 - R2$ (Batchor 等, 1985) 图解上，一部分投影点位于造山晚期—晚造山期花岗岩区，另一部分落入 A 型（碱性、过碱性）——造山后—非造山区的花岗岩区。在 $Q - \text{ANOR}$ 图解上，大部分投影点位于澳大利亚东南造山后的 A 型花岗岩区。上述图解表明，富碱岩体（脉）形成于一种类似于造山晚期或造山后期的构造环境。

5) 在 Shand 指数图解上，本区岩石的投影点绝大部分落入与裂谷有关的花岗岩、造山后花岗岩和大陆花岗岩区或其重叠区，同时也证明了本区富碱岩体（脉）产于陆内张性造山晚或后期大地构造环境，或称陆内不稳定的非造山环境。

3 与富碱斑岩体（脉）有关的金矿床系列

滇西北地区与富碱岩体（脉）有关的金矿床按其主控矿因素和矿化类型可做如下划分：
 ① 单因素控制型，小水井式（构造角砾岩型），陆家村式（石英脉型）等；
 ② 双因素控制型，铜厂坪式（蚀变斑岩型 + 石英脉型），姚安式（含 Au 镜铁矿脉型 + 构造破碎带蚀变岩型 + 角砾岩型），金子沟等矿点亦属此类；
 ③ 多因素控制型，马厂箐式（构造破碎带蚀变岩型 + 石英脉型 + 斑岩铜-钼伴生金型），北衙式（角砾岩型 + 接触带或构造破碎带蚀变型），甯哥式（蚀变碱性辉长岩型 + 构造蚀变岩型 + 石英脉型）等。上述不同矿化类型的存在突出地反映了矿床产出的具体地质背景和控矿因素各具特点，同时由于不同地区具体控矿因素（组合）的差异，又导致其矿化特征的复杂性。

笔者等研究^[7-14]表明，区内与富碱岩体（脉）有关的金矿床具有以下特点。

1) 矿床（点）与岩体（脉）具有相同的空间分布特征。在区域上，富碱岩带就是

成矿带，富碱岩体集中区就是成矿集中区。在矿区，矿床的定位与富碱岩体（脉）之间有明确的空间位置关系：矿床大多产于富碱岩体内部、岩体与围岩的内外接触带以及距岩体具有一定距离的围岩中，而矿体的赋存部位则视具体情况的不同而较为复杂。

2) 矿化类型具有鲜明特色。在同一个矿区内，通常可见有多种矿化类型和它们的复杂组合，既有较常见的构造破碎带蚀变岩型、石英脉型，又有具特殊意义的构造角砾岩型、隐爆角砾岩型、夕卡岩型、蚀变斑岩型等，还有一些矿化类型或它们的组合是本区所特有的，如镜铁矿脉型等；多数矿区一般都是多种元素（Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Fe等）共生或伴生。它们本质上是由各矿区复杂的控矿因素决定的。

3) 矿床（体）的赋存部位对围岩没有明显的选择性。

4) 在不同矿区矿体的赋矿构造中，（近）EW向的构造破碎带占有十分重要的地位，为矿体定位提供了优势空间，在EW向与其他方向构造的交汇部位，常形成粗大的富矿柱。

5) 金矿成矿作用一般与相对中晚期活动形成的富碱岩体（脉）有关，区域上通常以正长（斑）岩类和二长斑岩类岩石为主，因而表现出金矿化与这几种岩性岩石关系特别密切的现象，其本质是由岩浆演化过程所决定的。

6) 矿脉与岩体（脉）的空间关系表明，成矿时间一般与区内富碱岩浆活动同期或稍晚，突出表明两者明确的时间对应关系。

7) 矿床的矿石矿物组合视不同地区、不同矿化类型而有简单和复杂之分，亦视具体产出地区控矿条件的不同而不同。通常是由多因素控制的矿区，无论其矿化类型如何，一般矿物组合较为复杂（马厂箐金矿）；受单因素控制者则一般比较简单（小水井金矿）。

8) 在金矿成矿早期，一般各矿化区普遍具有不同程度的钾化蚀变，尤以斑岩体（脉）内的蚀变作用较强。

9) 金矿成矿作用虽与富碱岩浆活动密切相关，但与一般的岩浆热液矿床相比，在矿床（矿物）共生组合、矿体地质特征、矿化类型、热液蚀变特征等方面都更为复杂，与岩浆热液矿床不完全相同。例如本区既有相对中深成的蚀变辉长岩型，中浅成的石英脉或构造破碎蚀变岩型，还有浅—超浅成的含Au镜铁矿脉型等。表明与成岩作用相伴的整个岩浆演化过程中，都有不同规模的成矿作用发生，而不仅仅局限于岩浆（期后）热液成矿。

10) 金矿成矿作用虽也具有多期、多阶段性，但总体同处于一个大的岩浆活动期内，没有跨越大的地质历史时代，矿化作用较简单，而不象其他金矿床那样具有显著的多期、多成因复合或叠加改造的特征。

由上述总结可以看出，区内与富碱岩体（脉）有关的金矿床是在统一的大地构造背景下，由相同或相似的成矿作用所形成。其成矿和产出均受到富碱岩浆和区域上以近EW向隐伏构造活动为主的构造等因素控制，但由于各地区控矿条件（围岩性质、构造特点、容矿空间等）的不同，形成了具有不同矿化类型的一系列金矿床。笔者将其称为滇西北地区与喜马拉雅期富碱岩浆活动有关的金矿成矿系列。

4 矿床地球化学

4.1 成岩成矿时代

由于有关矿床和地层、岩体等之间的关系十分清晰，因此对与富碱岩体（脉）有关的金矿成矿时代的认识，也取得了广泛一致。主要形成于喜马拉雅早—中期（50~18 Ma），部分可能延至喜马拉雅晚期，即与区内富碱岩体（脉）的成岩时代相近或稍晚。

另据云南地科所对主要与斑岩体（脉）有关的铜-金矿床成矿时代的研究资料^[15]，祥云马厂箐矿床为 11.8 Ma，中甸甬哥金矿的金矿化石英脉为 28.2 Ma，均较相关地区富碱岩体（脉）的成岩年龄年轻，这也充分反映了金矿成矿以喜马拉雅期为主的特征。此外，对研究区内及外围其他重要金-铜矿采用不同方法所获得的年龄测试数据也同样表明，尽管各地区赋矿围岩和岩浆岩的成岩时间间距很大，但其成矿时代均以喜马拉雅早—中期为主。

4.2 成岩成矿地球化学

4.2.1 岩体与地层 Au 丰度值的变化特征

1) 无论矿区还是外围，各岩体集中区内不同期次未受蚀变作用的岩石，其 Au 丰度值大多与地壳 ($1 \times 10^{-9} \sim 9 \times 10^{-9}$) 相当，并具有从早到晚降低的趋势，符合 Au 在岩浆体系演化过程中所应表现出的正常分配规律。但矿区内受蚀变作用的富碱岩类岩石的 Au 丰度值及其变化范围，均高于矿区内或其外围相同岩性岩石 Au 丰度值 1~2 个数量级。在赋矿的富碱岩（体）脉中，自矿脉向外，Au 含量逐渐降低，不具有典型的 Au 源于岩体（脉）所表现出的那种降低场（靠近矿脉的地方降低，随距离增大而有所升高的现象）特征。

2) 在不同岩体集中区（矿区），所出露的主要赋矿地层和不同岩性岩石的 Au 丰度研究结果，具有与富碱岩类岩石基本相似的结论。

由此可见，从矿区到外围，从矿区内没有蚀变到遭受蚀变作用的岩体以及矿脉和岩脉之间的 Au 丰度值变化特征表明，矿区内矿脉和蚀变富碱岩体（脉）Au 丰度值较高应是矿化作用的结果。同时考虑到区内所出露的富碱岩体以小岩株或脉状产出为主，本质上难以提供足够的 Au 质以形成矿床，特别是某些岩体（脉）本身就受到较强的矿化作用而成为矿体的一部分，表明他们并非为

成矿提供矿源，其更主要的是作为金矿化富集场所而存在。

4.2.2 岩石与矿床的同位素地球化学特征

4.2.2.1 S 同位素 全区矿床矿石硫化物 ^{34}S 的变化区间为 -15.33‰~15.20‰，主要集中于 -3‰~5‰；不同地区金矿床（点）的平均值为 -0.66‰~9.75‰；单个样品的 S 同位素组成以不大的正值（多数小于 5‰）为主；不同种类矿物之间的数值对比表明，S 同位素的分馏达到了平衡。富碱岩体（脉）的 S 同位素组成为 -1.7‰~6.6‰，不同地区的平均值变化于 -0.75‰~4.83‰。除少数地区外，不同岩体的 S 同位素组成均以较小的正值为主，且变化范围不大，总体上与陨石 S 的组成相当。不同成因来源的 S 同位素组成对比表明，总体上本区金矿床（点）及相关岩体的 S 同位素组成与陨石 S 相近，显示出源于地球深部，具有上地幔的特点，而矿石 S 同位素组成的变化范围较富碱岩体大则与矿液活动范围较大且不同地区的成矿背景相关。

4.2.2.2 H、O、C 同位素

1) 除北衙金矿区外，石英、水云母包裹体的 D 值变化于 -85.8‰~-145.0‰，平均 -111.11‰；石英包裹体的 $^{18}\text{O}_{\text{矿物}}$ 值变化于 2.60‰~16.76‰，相应的 $^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 1.00‰~10.61‰，马厂箐成矿晚期白云石包裹体中的 $^{18}\text{O}_{\text{矿物}}$ 为 12.1‰~12.4‰，相应的 $^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 为 2.36‰~3.84‰，而镜铁矿-石英脉中镜铁矿的 $^{18}\text{O}_{\text{矿物}}$ 为 1.40‰~2.82‰。根据自然界中不同体系 H、O 同位素组成的经验数据，可以推定本区金矿床成矿流体水的初始和主要来源为地幔流体或与地幔流体活动相关的深部岩浆流体，与标准地幔流体相比较，其 H、O 同位素组成总体均稍稍偏低，成矿晚期的 $^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值略有向西漂移，反映成矿晚期有微量天水混入。

2) 据中国科学院地质研究所对北衙金

矿区 2 组 6 个方解石样品的 $^{13}\text{C}_{\text{矿物}}$ 值研究^[12]，其中一组取自矿体或岩体中方解石脉，其 C 同位素组成为 5.05‰~8.13‰，与岩体中气液包裹体中的 C 值（-5‰~23‰）处在同一个范围，表明其是以地幔源等深部来源为主。但该组样品 O 同位素的 ^{18}O 则以较低负值为特征（-16.21‰~-18.76‰），反映在成矿作用晚期可能存在着大气降水的影响，但也有报道认为（何明友、胡瑞中，1997），具有特别低的 O 同位素组成的流体也可能来自地下深部（地幔）的流体源，这与前述有关结论是一致的。另一组取自于碳酸盐岩方解石脉，其 C 同位素组成为 -3.2‰~5.2‰，相应的 O 同位素组成为 -2.40‰~-6.94‰，显示出与前者的差异，表明这 2 组样品的 C 质来源不同，后者应源于天水淋滤沉积所形成的碳酸盐岩中的 C。

3) 另外，马厂箐金矿床主矿化阶段 3 个白云石样品的 C 同位素组成（-4.9‰~-2.7‰），也与地幔源的组成基本一致，同样表明即使在成矿作用晚期，天水的加入和参与成矿流体循环的程度不大。

4) 据吕伯西、王增等（1993）对整个富碱岩体的 H、O 同位素组成的对比研究认为（宝丰寺碱长花岗岩全岩的 $^{18}\text{O}_{\text{矿物}}$ 值为 10.38‰，D 值为 -100‰，单矿物钾长石的 ^{18}O 值为 9.51‰，老君山正长斑岩单矿物钾长石的 ^{18}O 值为 9.31‰，相应的 $^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 8.90‰~9.10‰），在金沙江—哀牢山富碱斑岩带，大多数富碱岩体（脉）的热流体具有以地幔水（岩浆初生水）为主的组成特点，即本区的富碱岩浆源区的水可能来源于以幔源为主的壳-幔混合区^[16-17]。

由此可见，本区矿石矿物中包裹体水（代表的是成矿流体）和相应的富碱岩类流体（代表岩浆流体）的 H、O 同位素组成十分相似，反映了二者具有相同的来源区，且以地幔为主。

4.2.2.3 Pb 同位素 总体上不同类型矿床矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的变化范围分别为 17.969~18.960、15.226~15.992 和 37.591~39.607；岩体分别为 18.094~18.644、15.537~15.709、38.566~39.094。在 Pb 同位素组成图上，二者的排列规律和变化趋势十分相似，但矿床的 Pb 同位素组成变化范围比富碱岩体（脉）要大，同一岩体集中区内的富碱岩体（脉）及与之相关的金矿床（点）比较也具有同样的特征。这既反映了二者的同源性，同时也证明了矿石 Pb 的来源更为复杂一些。这与前述的 S、H、O、C 同位素组成所反映的特点一致。在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上，投影点多位于地幔和造山带演化线之间，部分位于造山带和上地壳演化线之间，也反映了以深源（上地幔或壳-幔带）Pb 为主的来源特征。

4.2.2.4 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素 本区富碱岩体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的变化范围为 0.706 40~0.711 624，平均 0.707 75，小于 0.708，表明富碱岩体（脉）的岩浆源并不具有典型的幔源特征，而可能是壳-幔型。据邓万明^[18]等研究，滇西地区富碱岩体（脉）Nd 同位素的（ Nd_t ）值分布在 -3.4~-6.3 之间，它们既不同于典型的亏损地幔，也不同于典型的大陆地壳。对比本区岩石的 Nd 和 Sr 同位素特征，二者具有较好的一致性，在（ Nd_t ）—（ Sr_t ）投影图上，投影点介于典型的地壳和地幔之间，进一步证明岩浆源是兼有壳-幔同位素组成特征的混合源。

4.2.3 微量元素地球化学特征

4.2.3.1 过渡元素 不同地区富碱岩体（脉）过渡元素（以球粒陨石标准化）的曲线形态为相似的 W 型，充分表明其具有同源性，与原始地幔相比，相对富集 Ti、V、Cu，略高或大致相等的是 Mn、Zn、Co，Cr、Ni 则明显亏损。过渡元素的这种分配特征与以深部源（含上地幔源）为主的富碱岩类

一致。从曲线形态还可以推断出岩浆的分异演化较为强烈，岩浆活动具有多期次性的特征。从岩、矿石曲线特征对比看，中晚期岩浆活动的产物（主要是正长斑岩或二长斑岩等）与金矿化关系密切。

4.2.3.2 亲石元素 不同地区富碱岩石 MORB 标准化不相容元素的分布模式具有相似的“驼峰”形特征，反映它们具有大致同一来源的性质。同 MORB 相比，各岩体元素的标准值都大于 1，表明岩石中大离子亲石元素 (LILE) 和高场强元素 (HFSE) 均有一定的富集，且前者的富集程度要更高一些。亲石元素的这种特征表明富碱岩类的源区较为复杂。张玉泉、谢应雯等^[19~21]认为，与源于地幔、形成于拉张环境的科罗拉多粗面英安岩 (Leat, 1988) 的元素分配模式相似。结合岩石化学特征，笔者认为其可能是一种以壳-幔过渡或混合区为主要源区的大陆内部特殊张性环境下的产物。

4.2.3.3 稀土元素 区内主要典型矿床 (点) 及相关岩 (矿) 石的稀土元素分布特征^[4,7~9]：1) 矿石稀土元素总量的变化范围较窄，其值也较低；2) 矿石和岩体 (脉) 均表现为轻稀土富集，但富碱岩类岩石富集程度的变化范围更宽些，表明矿石与岩体 (脉) 相比，其稀土元素分馏程度更为相近和稳定；3) La/Sm 值 (富碱岩类岩石为 $6.05 \times 10^{-9} \sim 27.89 \times 10^{-9}$ ，矿石为 $2.65 \times 10^{-9} \sim 22.73 \times 10^{-9}$) 的变化范围相似；4) 金矿石与富碱岩类岩石的 Eu 值总体相似，但 Eu 的相对亏损或富集程度均增大；5) 同一地区的矿石与富碱岩类岩石稀土元素的配分模式对比显示，前者的曲线相对平缓，且均位于富碱岩类岩石分布曲线的下方，其一致性 (曲线形态) 变化要比富碱岩类岩石复杂一些，但总体上仍很相似。稀土分布曲线特征表明，富碱岩类岩浆与成矿流体的演化经历了同样的水热系统，也就是说二者曾经共存于同一体系；又反映出由于岩浆和流体

的性质、组成、演化途径和方式、活动范围等的不同而分别形成 REE 含量相对较高和分异稍强的富碱岩浆，以及 REE 含量相对较低和分异相对稳定，但后期变化更显著 (流体活动性大、易受混染) 的成矿热液。

综上所述，1) 滇西北富碱岩体 (脉) 虽然广布于区内的许多地区，形成了若干个岩体集中区或带，并构成了滇西北地区具有特色的一个岩浆岩系列，但是它们仍然是同源岩浆演化的产物，其主要源区为壳-幔混合带；2) 作为主要矿质的 Au 等相关元素不是源于已经成岩的富碱岩体 (脉) 和与之有关的围岩 (地层)，而更可能的是源于最初的地幔流体，在其上升的过程中熔融源区岩石形成岩浆的同时又吸收岩浆源区中的矿质；作为成矿物质的另一部分，流体介质则主要是深源地幔流体，同致浆流体具有相同的来源。可以看出的是流体活动和演化时间、范围均比岩浆大，因而其性质、成分等也更为复杂；其他来源的流体和矿质的并入也许是不可避免的，但在滇西北地区，除个别矿区或时期外，其影响都是很微小的。

5 与富碱岩体 (脉) 相关的金矿壳-幔成矿系统

在上述综合研究的基础上，笔者初步建立了一个金矿成矿系统，称之为滇西北地区与喜马拉雅期富碱岩类岩浆活动有关的区域金矿壳-幔成矿系统。依据初始流体—流体致浆—岩浆成岩—流体成矿的顺序，结合区域构造活动特征，对该成矿系统的演化过程 (机制) 做如下阐述。

在喜马拉雅早—中期特殊的地质地理背景和成矿动力学环境下，由于基底或更深处古构造的重新活动在本区形成了一系列近 EW 向的隐伏构造，它们为深部岩浆的形成与上升创造了前提条件，是区内深部流体上升、岩浆形成、岩浆上升侵入以及岩体

(脉)定位的主要控制因素。富碱岩类岩浆源于壳-幔过渡带(壳-幔混合层)^[18],主要是由深部流体(地幔富碱质流体)经包括(近)EW向隐伏构造带在内的一些深切地幔构造注入该带后,并引起该区岩石部分熔融或碱交代所形成。

从深部上升的地幔流体其本身就含有大量的成矿物质,当流体上升到壳-幔过渡区或壳-幔混合层并形成岩浆时,在流体致浆以及碱交代作用的过程中,还可能获得一定量的包括Cu、Mo、Pb、Zn、Au等在内的其他成矿物质,这同时也是造成不同地区流体中不同种类矿质元素含量的高低差异并最终导致矿种不同的主要原因。在岩浆上侵(具有明显的多期次性)演化过程中,与岩浆共存的含矿热流体也随其演化并一起上升。当流体和岩浆上升到一定的高度后,岩浆开始成岩,而流体则转化为含矿热液,并在岩浆-流体或流体阶段,开始发生蚀变和矿化作用。早期矿化或蚀变主要发生在岩体内部或其周围,相对的高温状态决定了其以贱金属矿化为主,可伴有Au的沉淀;后期矿化则主要发生在距离岩体不远的区域,特别是岩体与地层的接触带,矿化主要以Au为主。矿化与蚀变类型、规模、强度、组合、矿化体的特征等则取决于相关区域的具体地质环境以及在这种环境中热液的物理化学状态变化情况。依据岩浆演化的性质,批量流体常常于岩浆演化的中晚期得以聚集^[22~24],因而具有成矿主要与中晚期岩浆活动产物有关的特征。这一成矿流体的演化是滇西北地区最重要的成矿事件之一,并由此形成独具特色的、与富碱岩类岩浆活动有关的一系列金或伴生金矿床。由此可以看出,流体致浆、岩浆形成之后的分异演化及至上侵就位的过程,实际上就是含矿流体与岩浆从相融、相伴、上升到分离,流体中矿质不断聚集从而演变成含矿热液并最终成矿的过程。岩浆(活动)在金属成矿作用中所起的作用是深

部流体上升的载体和矿质在流体中不断聚集的热机。由(近)EW向构造活动—地幔富碱质流体上升—壳-幔混合带内岩浆形成—富碱岩浆分异演化—流体成矿等要素组成了一个统一的区域成矿系统,这一成岩成矿系统的演化机制,不仅可以很好地解释区内喜马拉雅期富碱岩体(脉)的时空分布和物质成分上的演化规律,而且能够将富碱岩体(脉)的形成与相关金矿的成矿作用有机地结合起来,使之与本区的区域大地构造演化及新构造活动特征融为一体。同时这一机制将区内在新生代区域大地构造作用条件下,通过地球内部流体所维系的壳-幔物质相互作用有机地联系起来,十分明确地显示出喜马拉雅期与富碱岩浆活动有关的金矿床成矿过程中壳-幔物质相互作用的突出特点。

参考文献:

- [1] 葛良胜,郭晓东,邹依林,等.滇西北地区(近)东西向隐伏构造带的存在及证据[J].云南地质,1999,18(2):155-167.
- [2] 万天丰.中国东部中—新生代板内构造变形及古应力场[M].北京:地质出版社,1992.
- [3] 葛良胜,郭晓东,邹依林,等.滇西北(近)东西向隐伏构造及其对岩浆和金成矿的控制作用[A].中国地质学会.“九五”全国地质科技重大成果论文集[C].北京:地质出版社,2000.
- [4] 葛良胜,杨嘉禾,郭晓东,等.滇西北地区与碱性(杂)岩体(脉)有关的金矿区域成矿条件及成矿预测[R].河北廊坊:武警黄金地质研究所,1999.
- [5] 云南省地质矿产局.云南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1990.
- [6] 葛良胜,郭晓东,邹依林,等.滇西北地区富碱岩体(脉)地质学及岩石化学特征[J].矿产与地质,2002,16(3):147-153.
- [7] 葛良胜,郭晓东,邹依林,等.云南姚安金矿地质特征及成因研究[J].地质与资源,2002,11(1):29-37.
- [8] 葛良胜,郭晓东,邹依林,等.云南北衙金矿地质特征及成因研究[J].地质找矿论丛,2002,17(1):32-40.
- [9] 葛良胜,郭晓东,邹依林,等.云南马厂箐金矿地质特征及成因研究[J].地质与勘探,2002,38(5):

- 11-17.
- [10] 刘景洪, 李如良, 邵伟年. 云南鹤庆北衙金矿地质特征及成矿机制探讨 [J]. 西南矿产地质, 1991, 5 (2): 50-54.
- [11] 毕献武, 胡瑞忠, Cornell D H. 富碱侵入岩与金成矿的关系: 云南姚安金矿床成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据 [J]. 地球化学, 2001, 30 (3): 264-272.
- [12] 中国科学院黄金科技工作领导小组办公室. 中国金矿研究新进展, 第一部 (下篇) [M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [13] 原武装黄金第十三支队. 云南祥云马厂箐矿床地质特征及找矿预测研究 [R]. 云南 昆明: 原武警黄金第十三支队, 1993.
- [14] 西南地调局昆明地质调查所. 滇西北与碱性火山-次火山岩有关的岩金成矿规律及成矿预测 [R]. 云南 昆明: 西南地调局昆明地质调查所, 1992.
- [15] 云南省地质科学研究所. 滇西三江地区和台湾地区喜马拉雅期成矿作用及其对比 [R]. 云南 昆明: 云南省地质科学研究所, 1999.
- [16] 吕伯西, 王增, 张能德, 等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性 [A]. 中华人民共和国地质矿产部地质专报 (三), 岩石矿物地球化学, 第 18 号 [C]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [17] 吕伯西, 钱祥贵. 滇西新生代碱性火山岩、富碱斑岩深源包体岩石学研究 [J]. 云南地质, 1999, 18 (3): 127-143.
- [18] 邓万明, 黄萱, 钟大赉. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征及成因 [J]. 地质科学, 1998, 33 (4): 412-425.
- [19] 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 哀牢山—金沙江富碱侵入岩及其同裂谷构造的关系研究 [J]. 岩石学报, 1987, 3 (1): 17-26.
- [20] 谢应雯, 张玉泉. 云南洱海东部新生代岩浆岩岩石化学 [J]. 岩石学报, 1995, 11 (4): 423-433.
- [21] 谢应雯, 张玉泉. 云南洱海东部新生代高钾碱性岩浆岩痕量元素特征 [J]. 岩石学报, 1999, 15 (1): 75-82.
- [22] 葛良胜. 岩浆体系演化中金的性状——兼论岩浆岩与金矿的关系 [J]. 黄金地质, 1995, 1 (3): 39-46.
- [23] 葛良胜, 郭晓东, 邹依林. 试论地球内部流体与地质作用——现代地质科学研究思考 [J]. 地球科学进展, 1998, 13 (2): 129-139.
- [24] 岑况. 幔-壳地球化学演化和岩浆期后金属富集成矿的历程 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (2): 375-383.

Gold mineralization system related to alkali-rich porphyries in Himalayan, the northwestern part of Yunnan

GE Liang-sheng, ZOU Yi-lin, XING Jun-bing, Wang Zhi-hua, GUO Xiao-dong
(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: The Cenozoic alkali-rich porphyries formed through fractional melting (and/or alkali-metasomatism) of the source rocks in the lower-crust and upper-mantle by the mantle-derived hydrocarbon alkali fluid which migrated up along deep faults (mainly EW-trending-nearly) into the crust-mantle belt (mixed layer or transition zone). It is considered that the EW-trending, buried, deep faults, resulting from remobilization of ancient structures in the Cenozoic special geological and geography conditions, are one of results of regional stress adjustment. The fluid (it might Au-bearing) moved up through melting body or accompanied the intrusions of the alkali-rich magma and obtained gold from the rocks the fluid passed by metasomatism, extraction and remobilization and then changed into ore-bearing hydrothermal solution. When it moved into some favorable space around the porphyry bodies (veins) in the shallow of crust, a series of gold (and other metal) deposits with different types and sizes formed. A metallogenic system, named (tectonic-) crust-mantle (fluid+magma) metallogenic system of gold deposit related to Cenozoic alkali-rich porphyries in the north-western region of Yunnan province, is established in this paper.

Key words: gold deposit; alkali-rich porphyries; Himalayan; metallogenic system; north-western region of Yunnan province