

滇西北与新生代富碱斑岩体(脉) 有关的金矿床区域成矿模式

武玉海, 葛良胜, 邢俊兵, 邹依林, 郭晓东, 李振华

(武警黄金地质研究所, 河北廊坊 065000)

摘 要: 滇西北地区与富碱岩体(脉)有关的金矿床受控于喜山期区域近 EW 向隐伏构造, 体现出成岩成矿构造控制一体化的特征。研究表明, 富碱岩浆源于深部的壳幔混合层, 是地幔富碱质流体经由深大断裂上升并激发源区岩石部分熔融的产物, 生成于经长期板块相互作用而形成的统一但不稳定的陆块内部。成矿流体亦主要源于地幔, 矿质则地幔与岩浆源区兼而有之, 流体致浆、岩浆形成之后的分异演化及至侵入就位的过程实际上就是含矿流体与岩浆从相伴、相融、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。

关键词: 成矿模式; 金矿床; 滇西北地区; 喜山期; 富碱斑岩体(脉); (近)EW 向隐伏构造

中图分类号: P612; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2004)03-0159-09

1 研究区喜山期区域构造特征

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(带)。跨扬子板块、中甸微板块、兰坪—思茅微板块及各板块间的结合带(即金沙江—哀牢山板块结合带、澜沧江板块结合带和甘孜—理塘板块结合带等)多个大地构造单元。前新生代地质构造演化可分为两个阶段: ①基底及深部构造形成阶段, 前寒武纪—早古生代早期, 形成了本区的结晶和褶皱基底及构造体系; ②统一的大陆板块及板内深大断裂构造形成阶段, 早古生代晚期至新生代早期, 洋间(中)的一系列板块或微板块最终连接到一起, 各板块之间的结合带演化成为陆块内部的深大断裂构造带。经过这两个阶段, 形成了前新生代两类区域构造体系: 一是基底或更深部的构造体系; 二是以板块结合带为代表的区域性深大断裂构造系统。前新生代本区构造以(近)EW 向为主体^[1]。

大量研究表明, 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“结束”。新生代时, 尽管区域板块间相互作用仍在进行, 但本区已处在一个相对统一的由多陆块

不断破碎裂离、又相继拼合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的重要深大断裂构造系统, 并在新的区域应力场中活动; 在地理位置上, 本区则处于由华北地块和扬子地块的拼合在川西地区形成的天然的弧形弯折腹地。另一方面, 由于南侧的印度板块向北俯冲作用继续进行, 并有加剧之势, 在扬子和华南板块东部, 又有巨大的太平洋板块不断地向西运动。使本区从区域特提斯构造应力场为主, 转化成为以太平洋和印度板块活动的构造应力场为主。万天丰^[2]将晚中生代到现在本区区域构造应力的多次转化划分为: J—K₁(208~135 Ma)以NW-SE向挤压为主; K₁²—E₂¹(135~52 Ma)以近SN向挤压为主; E₂²—E₃(52~23.3 Ma)以近EW向挤压为主; N—Q₁(23.3~0.73 Ma)以近SN向挤压为主和Q₂—现在(0.73~0 Ma)以NE-SW向挤压为主几个阶段。在前新生代地质构造基础上和本期这种复杂的综合应力作用下, 奠定了本区新生代地质构造特征。其具体表现是^[1,3]:

(1) 显著地改变了区域构造线的格局。即由原来一直从西部延伸过来的以EW向为主的区域构造线自弧形弯折开始, 由北向南, 依NW-近SN-SE方向逐渐改变, 彻底改变了三江地区的宏观构造格局, 并延续至今, 形成了目前三江地区宏伟而奇特的地形、地貌。研究表明, 这些古板块缝合带或古构造带

活动的重新活动是伴随着构造带总体走向的区域性改变同时进行的。但这种变化在地壳浅部(盖层,显著改变)或深部(基底或更深,由于断裂界线模糊而不突出)的不同层次上表现可能是不同的。正是这一点造成了本区区域地壳深部结构与表层构造的不相协调^[4,5]。

(2) 新生构造形迹大量出现,古构造活动性质发生显著改变。伴随着各板块之间的相对运动,本区形成了强烈的褶皱、大规模的推覆、滑脱、走滑及韧性剪切带和不同块体间拆离构造等等,这些构造形迹是区内古构造重新活动最富特点的表现。它是在区域构造线方向改变的背景下,局部应力调整的产物之一。

(3) 基底和深部构造重新活动。在区域应力场多次转化过程中,一个突出的特点是埋深于基底或更深部构造的重新活动。其中又以前述的第三个阶段,即以近EW向挤压应力为主的阶段($E_2^2-E_3$, 52~23.3 Ma)最为重要。基底和深部构造活动的重要表现是:在近EW向的强烈挤压应力作用下,导致基底和深部古构造发生近SN向的拉张,形成了滇西北地区有规律分布(多条近于平行)但主要处于隐伏状态的近EW向张性构造。正如前述,由于本区存在不同方向的深大断裂带,且沿这些构造带出现应力调整作用及一系列调整产物,在一定程度上抵消了EW向构造活动的强度,使其在地表浅部难以见到连续的构造形迹,而成为隐伏构造,因此,从本质上看(近)EW向构造带的存在也是局部应力调整的产物之一。但它们一直未能引起人们的充分注意。然而详细研究表明^[3],正是这种构造活动对喜山期构造-岩浆-成矿作用有根本的控制作用,它是区内喜山期富碱斑岩及与之相关金矿时空分布、成岩成矿机制解释的关键。

2 喜山期富碱岩浆活动特征

自1982年涂光炽先生等将滇西北地区沿金沙江—哀牢山断裂带分布的富碱斑岩体作为华南两大富碱侵入岩带之一提出以来,对该区富碱岩体的研究从未间断,并取得了许多成果,积累了十分丰富的资料。笔者已在充分占有这些资料的基础上,对全区相关富碱岩类的地质及岩石化学特征进行过专门的研究^[6]。

2.1 空间分布

以喜山期为主的富碱岩体(脉)广泛分布于滇西北地区西自澜沧江断裂带,向东到绿汁江断裂带的范围内,向北和向西分别可延伸至四川及西藏境内。区内共发现各种不同类型的富碱岩体(脉)近千余个(条)。研究认为^[2],本区富碱岩体(脉)区域上是受区域(近)EW向隐伏构造控制的,可将研究区内富碱岩体分布划分为3个岩带,各岩带内又可划分为若干个岩体(脉)集中区。

(1) 南岩带:分布在西自永平,经巍山、祥云至姚安—南华一线,岩带内部可划分为永平—卓藩、巍山—南涧、祥云(含宾川)—弥渡和姚安—南华(含楚雄)等岩体集中区;

(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,可划分为中甸—甯哥、三坝—可麦洛、宁蒍白牛厂—罗卜地等岩体集中区。

2.2 岩石组合

区内富碱岩石按其产状和岩相大致可划分为火山杂岩(火山喷发-沉积岩)和爆破角砾岩筒等,此外尚有广布全区各岩体集中区的煌斑岩类。以浅成、超浅成侵入岩体(脉)为主,火山岩及爆发角砾岩筒仅见于南、中岩带的部分岩体集中区内。浅成、超浅成侵入(杂)岩体(脉)与金矿的关系最为密切。相关的浅成或超浅成的斑岩体(脉)广泛分布于各个岩体集中区,形成滇西北地区喜山期具有特色的一套岩浆岩系列。可划分为3个主要的岩石类型,即:正长(斑)岩类、二长斑岩类和花岗(斑)岩类。诸岩体的形成具有明显的多次活动特征,不同期次形成的岩石在其产出状态、岩石类型、空间分布、岩石特征等方面都具有一定差异。

2.3 岩石化学特征

经对116个岩石化学成分数据处理,就与金矿关系最密切的正长(斑)岩类而言, $w(\text{SiO}_2) = 56.26\% \sim 68.56\%$,平均64.63%,略高于中国和世界正长岩类的平均值(63.30%和62.20%),属于 SiO_2 饱和或过饱和类型。 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 11.12\% \sim 18.22\%$,平均15.29%,同中国火成岩之正长岩类相比(15.89%)略低,也略低于世界39类火成岩之正长岩类的平均值(15.65%)。多数属于铝过饱和类型,少数属于正常类型。在主要氧化物随 SiO_2 含量变化图

上,氧化物含量随二氧化硅含量的增加,呈现正常的变化趋势,氧化钾及氧化钠略有增高,氧化钙、氧化镁及氧化铁则均表现为下降,氧化铝为先略有增加,愈往酸性,其值则略有降低,表明岩浆演化符合正常的演化规律。

不同岩带岩石里特曼指数(σ)值的统计可以看出,各岩带内碱钙性岩($\sigma = 3.3 \sim 9$)占有最重要的地位,其次为钙碱性岩($\sigma = 1.8 \sim 3.3$),此外在南及中岩带还有一定量的碱性岩类(σ 大于 9),同时各岩带内均含有一定量的钙性岩(σ 小于 1.8)。区域上从南到北,具有碱性岩类减少而钙性岩类增加的变化趋势。总体上看,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性岩的岩石组合。

从区内 3 个岩带及其各集中区内岩体的全碱含量及相关数值分析可知,全区岩石均具有富碱、富钾的特征,全碱值(ALK) = 6.68% ~ 13.87%,平均 9.5%,绝大多数岩体集中区内岩石均表现出 $K_2O > Na_2O$, (K_2O/Na_2O) 介于 1.01 ~ 67.35 之间,与正常的岩浆岩相比均偏高。这是区内喜山期不同类型岩浆岩的共同特征,也是将它们称之为富碱岩体(脉)的缘由。

3 与富碱岩体(脉)有关的金矿床系列及成岩成矿作用一体化特征

3.1 主要金矿床(化)类型

滇西北蕴藏有极为丰富的矿产资源。金矿是其中主要的矿种之一。滇西北地区几乎所有的原生金矿均同富碱岩体(脉)有一定的关系,与富碱岩体(脉)有关的金矿床可做如下划分:

(1) 单因素控制型(A)。A-1: 小水井式(构造角砾岩型); A-2: 陆家村式(石英脉型)等;

(2) 双因素控制型(B)。B-1: 铜厂坪式(蚀变斑岩型+ 石英脉型); B-2: 姚安式(含金镜铁矿脉型+ 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(C)。G-1: 马厂箐式(构造破碎带蚀变岩+ 石英脉型+ 斑岩铜钼伴生金型); G-2: 北衙式(角砾岩型+ 接触带或构造破碎带蚀变型); G-3: 甬哥式(蚀变碱性辉长岩型+ 构造蚀变岩型+ 石英脉型)等。

双因素和多因素控制型又可划分为共生和复合两种矿化方式。随着地质研究和找矿工作的不断深

入,区内金矿床类型仍在不断的丰富和完善。

不同类型金矿床的主要地质特征可参考文献 [711]。

3.2 成岩成矿的一体化特点

3.2.1 成岩成矿时间上的连续性

区内与富碱斑岩有关的金矿赋矿围岩十分广泛,基本上涉及到了本区出露的各时代地层,其中最老地层如祥云马厂箐金矿的赋矿地层主要为下奥陶统向阳组和下泥盆统的康廊组,最新的如姚安、北衙、剑川金子沟等地的第三系始新统、渐新统砂岩或砂砾岩等,其他赋矿地层还包括白垩系、二叠系、三叠系等。从这一点分析可知,区内有关金矿的成矿虽然各地可能并不完全一致,但最晚的应晚于始新世。主要集中于始新世和上新世之间,一部分可能延续到更新世。

根据区内成岩时代数据(136 个)作出的不同年龄区间范围内的频率图^[6]可以看出,滇西北地区富碱斑岩体(脉)体形成的时间跨度为 18.19 ~ 89.35 Ma,大部分年龄数据集中在 30 ~ 50Ma 的范围内,占全体数据的 65%。由此可知,区内的富碱斑岩体(脉)主要形成于喜山早-中期,少数为燕山晚期。其中 89.35Ma 为甬哥岩体的年龄,据杨岳清等(2002)最新研究成果,该岩体获得了 28.2Ma 的年龄值^[12]。

云南省地质科学研究所(1999)^[13]对区内主要与斑岩体(脉)有关的铜金矿床矿石或蚀变岩石中成矿期(或蚀变的)石英进行顺磁共振法(ESR)成矿年龄测定,祥云马厂箐矿床为 11.8Ma,中甸甬哥金矿的金矿化石英脉为 28.2Ma,均比相关富碱岩体的成岩年龄年轻,充分反映了以喜山期为主的特征。此外,研究区金铜矿的不同方法年龄数据同样表明,区内富碱斑岩体成岩及有关的金矿床成矿在时间上具有连续性。

3.2.2 成岩成矿空间上的一致性

滇西北地区喜山期富碱岩体(脉)及与之相关的金矿床在空间上具有很好的一致性。这种特点主要表现在两个方面。

首先在区域尺度上,主要受统一的近 EW 向隐伏构造制约,所形成的富碱岩浆岩带就是金成矿带,据此可将区内相关金矿床划分与岩浆岩带相对应的 3 个近 EW 成矿带;同样,由近 EW 向构造与其他方向区域构造交汇部位控制的岩体集中区也就是成矿集中区。

其次在微观上,在各不同岩体/成矿集中区内部,矿床(体)与岩体(脉)的空间位置关系十分密切。

由于岩体活动具有多次性,因此所形成的矿化(如规模、类型等)也有差别。野外的实际调查发现,几乎所有的岩体集中区内均见到了不同程度的金矿化现象。金矿化主要同中-中晚期(4020 Ma)形成的岩体(脉)关系密切,相关的岩石类型主要为正长斑岩、二长斑岩和花岗斑岩等。按矿脉与岩体(脉)之间的关系,可以分为3类,即岩体(脉)内矿脉,如姚安干沟和中甸甬哥等矿床,许多含金镜铁矿或含金石英脉呈脉状、细网脉状或浸染状等直接产出于正长斑岩脉体中并见有被后期的岩脉切穿现象;在甬哥,除有多组脉体穿入斑岩体外,部分斑岩体几乎是全岩矿化,即整个岩体就是矿化体;岩体(脉)边矿脉,这种矿脉在本区最为常见,含金脉体紧靠正长斑岩体形成,同正长斑岩脉具有相同的产状,但一般规模要小得多,且连续性差一些,如姚安、北衙、金子沟等地,剑川上竹坪金矿化点还见有这类矿脉和岩脉一起切入(穿)早期活动的正长岩体中;岩体(脉)外矿脉,这又分两种情况,一种是虽然矿脉在岩体(脉)外,与其看不出直接相连的关系,但一般均相隔不远,可视为岩体的外接触带,另一种就是相隔较远(但一般不大于4 km),甚至在矿化区范围内没有发现有相关的岩体(脉)出露(除煌斑岩脉外),但仍受控于同一方向的构造断裂系统,前者如小水井,后者如陆家村。

3.2.3 成岩成矿作用关联性

区内富碱岩体(脉)与相关金矿床具有密切关系,实际上是由富碱岩体成岩作用和与之相关的金矿床成矿作用内存的关联性所决定的。区域岩浆活动和金矿成矿作用受统一的构造体系所控制,形成了统一的构造-岩浆-成矿作用系统,这是建立滇西北地区与喜山期富碱岩体(脉)有关金矿床区域成矿模式的重要基础。

3.2.3.1 区内不同类型富碱岩体具有同源性

尽管不同岩体集中区内岩石在岩石类型、共生组合及许多特点上存在这样或那样的差异,但是它们均属同源岩浆演化的产物。

(1) 岩浆岩的成岩时代相近。主体岩石的成岩集中在50~30 Ma的范围内;不同岩体集中区内的岩浆活动具有多期次特征,并且从早到晚具有大致相同的岩浆演化趋势。

(2) 岩浆岩的空间分布及其构造控制特征相似。即近EW向隐伏构造带控制岩带,近EW向构造带和其他方向构造的交汇部位控制岩体集中区,在各集中区内,以近EW向小型张性构造为主体控制着岩体(特别是岩脉)的定位。

(3) 不同岩体集中区内岩体(脉)的产出特征相似。各集中区内岩体均以岩株或岩脉的形式产出,且具有浅成或超浅成的特点。

(4) 不同集中区内的岩性组合总体上相似,突出表现在以正长斑岩-二长斑岩-花岗斑岩为主,同一岩性的岩石具有大致相同的岩石学和矿物学特征。此外,在不同岩带的不同集中区内,由于具体地质环境的差异,也产出有一些各具特色的岩石类型,但总体上具有基本一致的岩石演化系列。

(5) 岩石化学特征总体上相似,且在不同岩带以及同一岩带的不同集中区内还具有一定的规律性变化。

(6) 对区内部分富碱岩体Rb-Sr和Sm-Nd同位素的研究表明,本区富碱岩体的 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 变化范围为0.7064~0.711624,平均为0.70775,小于0.708,对比不同地区的相关数值,除少地区外,基本变化不大。姚安地区该值相对较高,可能与其岩石钾含量较高有关。通常划分地幔或壳幔型岩浆源区的 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 为0.706,也有人认为0.705,且一般均应小于0.708。对比本区的0.70775可知,本区富碱岩体的岩浆源并不具有典型的幔源特征,而更可能是壳幔型。据邓万明(1997,1998)^[14]等研究,滇西地区富碱岩体的钕同位素 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 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。对比本区岩石的钕和锶同位素特征,二者具有较好的一致性,在 $\epsilon\text{Nd}(t)$ - $\epsilon\text{Sr}(t)$ 投影图上,投影点介于典型的地壳和地幔之间,并偏向地壳一侧,证明了岩浆源区是以深部地壳物质为主且有幔源物质参与的混合源。根据区内的壳幔结构进行对比分析认为,这一岩浆源区可能是壳幔混合/过渡带。

3.2.3.2 成岩成矿物质(矿质和流体)具有共源性

从研究区内主要岩体集中区主要类型岩石、不同时代地层、矿区及外围相关岩石中的金丰度值对比研究表明,金矿的成矿对围岩并没有明显的选择性,矿化体产出于何种层位,主要取决于相关富碱岩体(脉)集中区的地层出露情况以及地层与构造、岩体(脉)之间的匹配。一些具有优势的赋矿地层,并不反映其与岩石的金丰度间有何种联系,而是由于这种特定层位的具体性质,如裂隙发育程度、是否有构造破碎带通过、与岩体(脉)的距离、岩石的渗透性、以及保存金矿化体的能力等决定的。其次,不同时代或岩性未受矿化影响的地层或岩石金丰度值与克拉克值相近,偏高或偏低均不大,也没有明显的规

律,并无特别富金的且可以作为众多金矿矿质来源的地层单元存在。但如果地层或岩石受到了矿化或蚀变,则其丰度值会发生一定变化。这说明金并非源于相关地层。

为了深入查明区内金矿床的成矿物质来源,分别对研究区内主要岩体集中区与富碱岩体有关的典型矿床开展了包括金丰度、稳定同位素和稀土元素等矿床地球化学特征及其示踪研究。

(1) 金丰度。矿区内富碱岩类的金丰度值及其变化范围均大于矿区外围相同岩性的岩石金丰度值 12 个数量级,同时在矿区内受到矿化蚀变的岩石要高于未受明显蚀变的岩石。无论是在矿区还是在外围,每个岩石集中区内不同次活动的岩体之间,金丰度值从早到晚有降低的趋势,与金在岩浆演化过程中所表现的性状一致。这种现象反映矿质并非源于已成岩的富碱岩体^[2]。

(2) 硫同位素。全区矿床 $\delta(^{34}\text{S}) = -15.33 \times 10^{-3} \sim 15.2 \times 10^{-3}$, 主要数值集中于 $-3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$ 之间,不同地区平均值变化范围为 $-0.66 \times 10^{-3} \sim 9.75 \times 10^{-3}$ 。单个样品的 $\delta(^{34}\text{S})$ 以不大的正值(小于 5×10^{-3} , 占 94.4%) 为主。但各矿区金矿床硫同位素组成表现出总体上相似的同时,由于具体的成矿地质条件和物理化学环境的变化,硫同位素组成也具有各自的特点。距离富碱岩体(脉)相对较远的矿床(点),其硫同位素组成值变化范围比那些近岩、岩边或岩内的金矿脉要大得多,如姚安金矿总体 $\delta(^{34}\text{S})$ 值变化为 $1.2 \times 10^{-3} \sim 15.2 \times 10^{-3}$, 出现了较高的正值,但位于正长斑岩脉内的矿脉 $\delta(^{34}\text{S})$ 值为 $1.2 \times 10^{-3} \sim 3.7 \times 10^{-3}$; 据研究^[15], 北衙金矿的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值有随深度变浅而增大的特征,而据西南冶勘昆明地调所研究,马厂箐金矿床的硫同位素值有从早期到晚期逐渐增大的特点。反映了在成矿热液演化过程中,由于具体地质条件的不同有着不尽相同的演化经历。

富碱岩体的 $\delta(^{34}\text{S}) = -1.7 \times 10^{-3} \sim 6.6 \times 10^{-3}$, 不同地区的平均值为 $-0.75 \times 10^{-3} \sim 4.83 \times 10^{-3}$ 。不同岩体的硫同位素组成多为较小的正值,且变化范围不大,总体上与陨石硫同位素组成相当。对比本区金矿床(点)与相应的富碱岩体(脉)的硫同位素组成可知,前者的变化范围大于后者,但其总体趋势和平均值均十分相似。反映了二者具有相同的初始来源,同时也表明,后者的经历要比前者复杂得多。本区金矿床(点)及相关岩体的硫同位素组成与陨石硫相近,显示出源于上地幔的特点。

(3) 氢、氧、碳同位素。除北衙矿区外,本区矿床中的石英、水云母包体 $\delta(\text{D}) = -85.8 \times 10^{-3} \sim 145 \times 10^{-3}$, 平均 111.11×10^{-3} ; 石英包体 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}}) = 2.6 \times 10^{-3} \sim 16.76 \times 10^{-3}$, 相应 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{水}}) = 1.0 \times 10^{-3} \sim 10.61 \times 10^{-3}$, 马厂箐^[15]成矿晚期白云石包体中 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}}) = 12.1 \times 10^{-3} \sim 12.4 \times 10^{-3}$, 相应的 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{水}}) = 2.36 \times 10^{-3} \sim 3.84 \times 10^{-3}$, 姚安石英镜铁矿脉中镜铁矿的 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}}) = 1.4 \times 10^{-3} \sim 2.82 \times 10^{-3}$ 。可以推定本区金矿床成矿流体水的初始(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。但北衙矿区氧同位素组成具有特殊性。据研究^[16], 北衙金矿区 6 个方解石 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}})$ 测试结果可分为两组。其一为以较低的负值为特征($-3.75 \times 10^{-3} \sim -18.76 \times 10^{-3}$), 是矿体和岩体内的方解石脉, 这组数据同西南冶勘昆明地调所^[17]测试的数据($-15.19 \times 10^{-3} \sim -19.72 \times 10^{-3}$) 十分相似。一般认为具有负值组成的同位素氧为大气降水的特征,但同时对方解石中碳同位素的分析表明, $\delta(^{13}\text{C}) = -5.05 \times 10^{-3} \sim 8.13 \times 10^{-3}$, 与火成岩气液包体的 $\delta(^{13}\text{C})$ 值($-5 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3}$) 相当,从而反映出其源于地下深部而与大气降水无关的特点。另一组沉积碳酸盐的方解石 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}}) = -2.44 \times 10^{-3} \sim -6.94 \times 10^{-3}$, 以具较高的负值为特点,可能源于天水,但相对应的 $\delta(^{13}\text{C}) = -0.84 \times 10^{-3} \sim 0.72 \times 10^{-3}$, 近于 0, 明显地显示出与海水碳酸盐的碳同位素组成相似,二者吻合得很好。这就证明了这两组碳、氧不是同一来源,后者可以肯定源于天水淋滤沉积碳酸盐中的碳,而前者氧并不一定是源于天水。另从马厂箐金矿床主矿化阶段白云石 3 个样品的碳同位素组成($-4.9 \times 10^{-3} \sim 2.7 \times 10^{-3}$)^[15] 也与地幔源的碳同位素组成基本一致。综合分析认为,本区的成矿流体中碳、氧也是以地幔源等深部来源为主的,但成矿作用晚期,大气降水的影响也可能是存在的。

从区内富碱岩体的角度看,宝丰寺碱长花岗岩全岩 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}}) = 10.38 \times 10^{-3}$, $\delta(\text{D}) = -100 \times 10^{-3}$, 单矿物钾长石的 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}}) = 9.51 \times 10^{-3}$; 老君山正长斑岩单矿物 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}}) = 9.31 \times 10^{-3}$, 基本上属于正常的¹⁸O 范围。相应计算出的 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{水}})$ 值分别为 9.1×10^{-3} 和 8.90×10^{-3} 。一般认为, $6 < \delta(^{18}\text{O}_{\text{水}}) < 10$ 是地球深部源物质熔融成因的花岗岩类。对比本区的 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{水}})$ 值, 同样表明了形成这些岩浆的流体为以深部来源为主的源区特征。另据吕伯西、王增等(1993)^[18]对整个富碱岩体的氢、氧同位素组成的对

比研究认为,在金沙江—哀牢山富碱斑岩带,大多数富碱岩体的热流体具有以地幔水(岩浆初生水)为主的组成特点。综合分析认为,本区的富碱岩浆源区流体的来源可能以幔源为主。

(4) 铅同位素。总体上矿石 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$, $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 和 $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 的变化范围分别为: 17.969~18.960, 15.226~15.992 和 37.591~39.607。而岩体的 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb}) = 18.094\sim 18.644$, $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb}) = 15.537\sim 15.709$, $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb}) = 38.566\sim 39.094$, 二者在有关图解的排列规律和变化趋势十分相似,但矿床的铅同位素变化范围比富碱岩体要大,同一岩体集中区内的富碱岩体(脉)与相关金矿床(点)比较也具有同样的特征。这既反映了二者的同源性,同时证明矿石铅的来源更为复杂一些。

(5) 稀土元素。金矿床矿石(含蚀变岩石)稀土元素总量 $w(\text{REE}) = 9.79 \times 10^{-6} \sim 544.73 \times 10^{-6}$, 轻重稀土比值为 3.08~27.28, $\delta(\text{Eu})$ 和 $\delta(\text{Ce})$ 分别为 0.58~1.85 和 0.23~0.95, 与本区富碱岩类相比,其共同的规律是:矿石稀土元素总量变化范围减小,其值也降低;矿石和岩(脉)均表现为轻稀土富集,但富碱岩类的变化范围更大些,表明矿石与岩体(脉)相比,其稀土元素分馏程度更为相近,更为稳定;La/Sm 比值(富碱岩类为 6.05~27.89,矿石为 2.65~22.73)变化范围相似,二者总体的分馏程度仍很相似,无本质上的差别;金矿石与富碱岩类的 $\delta(\text{Eu})$ 值相似,但相对亏损或富集的程度均增大,而矿石的 $\delta(\text{Ce})$ 值均小于 1,与富碱岩体不同,表现出整体亏损的现象,其亏损的程度也比富碱岩体高,突出反映了成矿热流体的活动性远比岩浆的活动性大,受到其他组分影响而发生变化的可能性增大。

从稀土元素的配分曲线对比可以看出,同一地区的矿石与富碱岩类相比曲线相对平缓,且均位于富碱岩类配分曲线的下方,其一致性(曲线形态)变化要比富碱岩类复杂一些,但总体配分形式二者相似。稀土配分曲线的变化特点表明富碱岩类与成矿流体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,既体现了二者共同源于地球深部(地幔)的特点,又反映了由于岩浆和流体的性质、组成、演化途径和方式、活动范围等不同而形成了相对较高 REE 含量和分异稍强的富碱岩体以及相对较低 REE 含量和分异相对稳定的成矿热液。

以上分析,可以总结出区内富碱岩体成岩与矿

床成矿物质依存性的如下结论:

①滇西北地区喜山期富碱岩体是同源岩浆岩演化的产物,岩浆是源区物质熔融形成,其地球化学特征在具有较为明显的壳源特征的同时,又具有强烈的幔源色彩,根据区内的壳幔结构进行对比分析认为,这一岩浆源区可能是壳幔混合带。②引起源区岩石熔融的流体主要以幔源为主,而这些流体同时也是成矿流体的主要组成部分。由于成矿物质并不源于地层和成岩后的岩石,从流体起源及其演化经历可以推断主要矿质应是以幔源为主。大量的研究也已表明,源于地幔的深部流体恰好具有富含碱质和矿质的特点。当然在流体致浆过程中,浆源地(壳幔混合带)的矿质也可能加入到流体中。③流体成浆后,即随着岩浆演化而演化。由于金的亲碱性流体性质,而一直随流体活动,从流体成浆-演化(流体与岩浆共存)-岩浆成岩和流体从岩浆析出,流体中的矿质得到聚集而演变为成矿溶液,在岩浆成岩的同时或稍后,迁移到合适位置形成矿床(矿化)。④由于流体的活动和演化时间、范围均比岩浆大,正如上面所分析的,其性质、成分、元素和同位素地球化学特征等也要比岩浆岩要复杂。由此可以看出与富碱岩浆有关的金矿床成矿作用有两个方面:一为使分散在流体-岩浆系统中的矿质在岩浆演化过程中得到高度聚集,最终使含矿流体演变为富矿流体。经过这一过程的流体在数量上可能减少,但在金的聚集程度上却是大大增加了;二是岩浆的上升与演化是流体上升及运移到合适部位成矿的载体。

3.2.3 成岩成矿作用的内在关联

金矿成矿作用是伴随着富碱岩浆成岩作用进行的,它们是同一系统中密不可分的两个方面。成岩作用的特点在很大程度上决定了区域成矿特征。

(1) 从成岩演化的角度,表面看来,区内与矿化有关的富碱岩体(脉)类型并不完全相同,如在北衙、姚安和剑川等区主要为正长斑岩类,马厂箐、宁蒗、三坝等区主要为花岗斑岩和二长斑岩类,而甯哥、永平等区主要为辉石正长斑岩和黑云母正长斑岩。但如从岩浆演化的多阶段性分析,便可以发现这些与金矿化关系密切的岩类均为同一岩浆演化系列中晚期的产物。虽然岩体岩石化学特征(参数)在绝对数值上并不完全一致,但如将它们置于岩浆岩演化系统中分析,便可以发现它们是处在相似的演化过程中相似的阶段,其相对变化仍是一致的,特别是在全碱含量(8%~12%)和 K/Na 值(1.01~3)以及分异指数(7090)等方面在全区表现出较好的一致性,过大或

过小均不利于金矿化,体现了较强的岩浆岩成矿专属性特征。

(2) 成岩的多阶段性还决定了成矿的多阶段性。由于复式岩体是岩浆在同一位置多次侵位的结果,故而复式岩体有利于成矿,同时其矿化元素的组合也更为复杂。从岩浆活动方式看,早期呈较大岩体形式产出的杂岩体往往于金成矿不利,而成矿主要同较小规模的岩体(脉)相关,成岩方式和岩体的产状,基本上决定了金矿矿化型式和矿体(脉)的形态、产状以及相关的地质特征,进而影响了矿化类型组合、矿石特征和蚀变分带形式等。前面我们谈到的随着岩浆演化的不断进行,原先源于深部地幔的富含碱质和矿质的含矿流体,经由岩浆多阶段演化,演变为(多期)成矿流体,最后脱离岩浆体系成矿,实际上也体现了成岩成矿的内在关联性。岩浆演化、成岩的过程既是流体通过岩浆载体上升的过程,同时又是其中矿质得以聚集的过程。此外,由于流体和岩浆一起活动,还使得流体在上移过程中不至于过早和过快地分散,同时由于流体和岩浆的不断相互作用,使得流体活动性(能量和动力)增强,获取和聚集矿质的能力不断提高。

从岩浆多阶段演化特征出发,结合金在岩浆演化过程中不同阶段所表现出的性状^[19],对于金而言,与多阶段演化岩浆活动相关的成矿作用最有利的时机应是岩浆演化的中晚阶段,因为这时流体的数量和其中矿质的丰度会得到最佳结合,过早(一般矿质的聚集程度有限)或过晚(一般流体的数量有限)都不利于形成规模矿化。但不具多阶段演化特征的岩浆体系则可能不一样,在这样的岩浆体系中,一般成矿作用主要发生在岩浆期后,只有这时成矿流体的质和量能够较好的满足需要。

3.3 滇西北与富碱岩体(脉)有关的金矿床系列

由上讨论可以看出,区内与富碱岩体(脉)及与有关的金矿床具有如下区域性特点:

(1) 受统一的构造体系所控制,区域富碱岩浆活动的产物(岩体/脉)和与之相关的金成矿作用产物(矿床/点)具有相同的空间分布规律(一致的岩/矿带和岩/矿体集中区),在时间上均与同源多阶段岩浆演化的中晚期产物相同或稍后。

(2) 致浆流体和成矿流体具有大致相似的初始来源,即均源于地幔富碱(矿)质的流体。这种流体也是由于区域深部近 EW 构造的重新活动而向上迁移,当它们上升至壳幔混合带时,导致了壳幔混合带岩石的部分熔融,形成富碱岩浆房。流体同岩浆熔

融区内的物质存在物质上的交换,以致在其后的岩浆演化过程中,原始地幔流体的特征发生不同程度的改变。

(3) 作为主要矿质的金可能主要源于地球深部(地幔),但在岩浆源区,由于流体与岩浆的相互作用,也不可避免有岩浆源区的矿质加入其中。但在岩浆-流体演化并上侵的过程中,其途中物质(地层/岩石)加入体系的程度则十分有限。

(4) 区内不同岩/矿体集中区内金矿成矿的总体特征是一致或相似的。它们从总体上体现了一个与同源富碱岩浆多阶段演化相关的成矿系列。成矿元素组合及其变化、热液蚀变特征(类型的分带)、矿床体的产出形式等都体现了受岩浆演化特点所控制,与相关地区内岩浆活动的阶段性、产出状态、时间和空间上的整体变化、物质成分上的演化(不同岩性)、侵位的时间和深度等相关,形成了多个具有内在联系的矿化谱系。

(5) 滇西北地区与喜山期富碱岩体(脉)有关的以金为主的铜铅锌银元素等矿化在矿化方式组合、矿化类型组合、成矿元素组合、矿床地质特征等方面各具特点,实际上是由各成矿集中区内特定的成矿地质条件所决定的。它们受同一构造体系所控制,与同期多阶段的富碱岩浆活动有成因上的关联,不同地区矿化作用的特殊性所反映的只是在整体矿化系列或谱系中的某特定阶段、矿质沉淀富集的特定位、矿化发生的特定时间等不同,同特定岩浆演化阶段的属性相对应和关联。实际上,一个完整或部分完整的矿化系列(谱系)也可以同时出现在同一个矿化集中区,如姚安、北衙和马厂箐等,它体现了从区域到矿化集中区成矿特征似相似性(分形)的特点。

由上讨论不难看出,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条件下,由相同或相似的成矿作用形成的。其金成矿和矿床(体)产出均受到富碱岩浆和区域以近 EW 向隐伏构造活动为主的构造等因素控制,因而是一个成矿系列,我们将其称之为滇西北地区与喜山期富碱岩浆活动有关的金矿成矿系列。

4 滇西北喜山期富碱岩浆活动及相关金矿床区域成矿模式

综上所述,我们可以对区内喜山期富碱岩浆活

动及相关金矿形成从成浆和成岩成矿两个角度,建立区域成矿模式。

在经过整个地史时期板块的多次开合作用之后,本区至喜山期已形成了一个相对统一的陆块。新生代在区域多个板块的相互作用下,大约在5030 Ma时,形成了一系列的近EW向隐伏构造带,控制了区域富碱岩浆活动和相关金矿床的展布。岩浆源于下地壳或壳幔过渡带,是由于深部流体(地幔富碱质流体)经包括近EW隐伏构造在内的深大断裂上升注入该带之后并引起该区岩石部分熔融或碱交代形成的。另一方面,从深部上升的地幔流体其本身含有成矿物质。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,又获得了一定量的包括铜、钼、铅、锌、金等在内的成矿物质,成为含矿热流体。在岩浆多阶段上侵过程中,与岩浆共存的含矿热流体也伴随岩浆演化并一起上升。在流体和(或)岩浆上升过程中,沿途可能有少量矿质加入其中参与循环。当流体或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,在岩浆演化的中晚阶段,蚀变和矿化作用开始发生。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,可伴有金的沉淀,后期矿化则主要发生在距离岩体不远的区域,特别是接触带部位,矿化主要以金为主。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。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^[20,21],因而形成了成矿主要与中晚岩浆活动产物有关的特征。这一成矿过程是滇西北地区最重要的成矿事件之一,并由此形成了本区独具特色的与富碱岩浆活动有关的金矿床。

注:由于篇幅所限,文中省略了大量相关图件,特此说明。

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.

- [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].见:中国地质学会.“九五”全国地质科技重成果论文集[C].北京:地质出版社,2000.
- [4] 葛良胜,杨嘉禾.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(科研报告)[R].廊坊:武警黄金地质研究所,1999.
- [5] 云南省地矿局.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,(2).
- [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,(2).
- [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,(2).
- [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,(3).
- [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,(2).
- [11] 毕献武,胡瑞忠,Comell 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,(3).
- [12] 杨岳清.中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统[J].地球学报,2002,(1).
- [13] 云南省地质科学研究所.滇西三江地区和台湾地区喜山期成矿作用及其对比(科研报告)[R].昆明:云南省地质矿产勘查局,1999.
- [14] 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,(4).
- [15] 中国人民武装警察部队黄金十三支队.云南祥云马厂箐矿床地质特征及找矿预测研究(科研报告)[R].北京:武警黄金指挥部,1993.
- [16] 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.
- [17] 西南地勘局昆明地质调查所.滇西北与碱性火山次火岩有关的岩金成矿规律及成矿预测(科研报告)[R].成都:四川省冶金地质勘查局,1992.
- [18] 吕伯西,王增,张能德,等.三江地区花岗岩类及其成矿专属性,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)[M].北京:地质出版社,1993.
- [19] 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,(3).
- [20] 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,1998,2.
- [21] 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,(2).

METALLOGENIC MODEL OF CENOZONIC ALKALI-RICH PORPHRIES-RELATED Au DEPOSITS IN NORTHWEST YUNNAN PROVINCE, CHINA

WU Yu-hai, GE Liang-sheng, XING Jun-bing, ZOU Yi-lin, GUO Xiao-dong, LI Zhen-hua

(*Geological institute of the Armal police forces, Langfang 065000, China*)

Abstract: The Cenozoic alkali-rich porphries were formed by partial melting (and/or alkali-metasomatism) of the source rocks in the deep-crust and upper-mantle by the mantle-derived hydrothermal alkali fluids migrated up along the deep faults (mainly about EW trend) and into the crust-mantle belt (mixed layer or transition zone). It is considered that the EW trend deep faults were the result of activation of ancient structures in the cenozoic special geological and geographical position as one of results of areal stress adjust, which are insidious faults. The fluids (it might contain some gold) continued to move up through melting body or accompanying the intrusion of the alkali-rich magma and obtained the gold of the rocks the fluids passed by metasomatism, extraction and remobilization and changed into ore-bearing hydrothermal fluid. When the hydrothermal fluid moved into some favorable space around the porphyry body (vein) in shallow part of crust, a series of gold (and other metal) deposits varied in types and size were formed. The metallogenic model of gold deposit related to Cenozoic alkali-rich porphries in north-western Yunnan province, is erected in this paper.

Key words: metallogenic system; alkali-rich porphries; Cenozoic; north western Yunnan province; E-W buried structure

欢迎订阅 2005 年《矿业快报》

邮发代号: 26-196

《矿业快报》是经国家新闻出版署批准公开发行, 马鞍山矿山研究院主办的全国性矿业类科技期刊, 中国核心期刊, 中国学术期刊、万方数据-数字化期刊群全文收录期刊。刊物汇集了大量的行业数据和项目信息, 文章内容贴近现场实际生产, 实用性强。主要报道内容: 近期国内外重大科技方针和产业政策; 国内外采、选、综合利用、环保等专业的技术进展情况; 现场实用技术; 新技术、新设备、新产品的开发与应用; 矿业数据, 国家矿山再建拟建项目信息, 市场动态, 专利简介, 供求信息等。

《矿业快报》现已覆盖全国冶金、煤炭、有色、黄金、化工、建材、核工业等系统, 发行量大、覆盖面广、渗透性强, 影响力大。

《矿业快报》为月刊, 国际标准大 16 开, 国际标准刊号 ISSN1009-5683, 国内统一刊号 CN34-1226/TD, 邮发代号 26-196, 每期定价 10.00 元(含邮资), 全年定价 120.00 元。读者可到当地邮局或直接在编辑部订阅。

《矿业快报》广告设计印刷精美, 价格合理, 效果突出, 是您在矿山行业树立品牌、扩大产品影响的最佳选择。广告客户除获得我们提供的产品推荐、项目咨询等信息服务外, 还可以得到在中国矿业 114 网站上进行同步宣传的超值服务。

地 址: 安徽省马鞍山市湖北路 9 号 158 号信箱(243004)

电 话: 0555-2404809

传 真: 0555-2475796

E-mail: kynet@mail.mas.ah163.net

开户行: 建行花山支行

帐 号: 01170051241002240

帐 户: 中钢集团马鞍山矿山研究院(注明《矿业快报》)