

新疆东准地区卡拉麦里蛇绿岩带中两类金矿床的可能成因

聂晓勇¹, 宋谢炎², 章文忠¹, 吴德华¹, 刘涛¹

(1 中国人民武装警察部队黄金第八支队, 新疆 乌鲁木齐 830057; 2 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

摘要 卡拉麦里蛇绿岩带中主要存在两类金矿床, 即火山碎屑-沉积建造类和蛇绿岩杂岩建造类, 可能分别代表了卡拉麦里金矿带中的两期成矿: 早期为洋壳俯冲过程中深成热液的产物, 晚期则与区域构造运动对早期形成的蛇绿岩相关富金地体的改造有关, 它们最初成矿物质一致, 均与卡拉麦里蛇绿岩带中相关深成岩石组合有关。

关键词 地质学; 金矿; 蛇绿岩; 成矿期; 卡拉麦里

卡拉麦里金成矿带为新疆北部重要的金成矿带之一, 近年来该区相继发现了一批金矿床, 如双泉、南明水、柳树泉等, 显示出较大的找矿潜力和研究意义。不同的人对卡拉麦里金成矿带划分的范围不同, 本次研究涉及的卡拉麦里金成矿带仅限于卡拉麦里大断裂与清水-苏吉泉大断裂之间的地带。带中金矿床(体)主要赋存于浅变质晚古生代碎屑岩或强应变构造带脆-韧性变形部位, 金矿床(点)具有分段集中, 并且与蛇绿岩“形影不离”的特征。前人根据金矿床的赋矿地层(或构造)将其划分为变质碎屑岩型或韧性剪切带型, 但这两种划分方案并不能较好的指导地质找矿, 即变质碎屑岩和剪切带的分布并不能较好吻合带中金矿床(点)的空间位置, 也不能较好地解释带中金矿床的分布规律(金矿床分段集中, 与蛇绿岩“形影不离”)。本文通过带中典型金矿床地质地球化学特征的研究, 并结合蛇绿岩和区域构造体系演化的最新研究成果, 讨论卡拉麦里金成矿带中金矿床的成矿物质和成矿流体来源, 以此总结成矿规律和找矿标志, 进而指导该区进一步的矿地质找矿工作。

1 卡拉麦里蛇绿岩带

蛇绿岩代表了古老大洋岩石圈的碎片。Steinman于1927年首先提出蛇绿岩的概念, 1972年Penrose会议后其定义逐渐得到完善, 即蛇绿岩是一种特殊的超镁铁质和镁铁质岩组合, 由底向上层序为: ①超镁铁质杂岩: 不同比例的方辉橄榄岩、二辉橄榄岩和纯橄榄岩, 通常具有变质组构, 轻微蛇纹石化; ②辉长岩类杂岩: 常具有堆晶结构, 经常含有堆晶橄榄岩和辉石岩, 但较少变形; ③镁铁质席状岩墙杂岩; ④镁铁质火山杂岩通常呈枕状, 伴生岩石包括: 上覆沉积岩系(燧石岩、薄层页岩和少量灰岩)、与纯橄榄岩伴生的豆荚状铬铁矿和钠质长英质岩浆岩。

卡拉麦里蛇绿岩带位于准噶尔盆地东北缘, 西起清水泉, 向东经平顶山、苦水、六棵树、苏吉泉和南明水等地, 延至塔克扎勒地区, 断续出露长达243 km, 宽3~5 km, 最宽处达13 km。主要存在于造山带走向相同、产状陡倾的大断裂带之中, 其构造侵位涉及的最新地层是下石炭统的南明水组, 南明水组不整合于蛇绿岩之上, 表明卡拉麦里缝合带中蛇绿岩的构造侵位发生于南明水组之前, 这个侵位事件被认为是准噶尔板块(哈萨克斯坦板块)和西伯利亚板块碰撞造成的结果(李锦铁等, 1990; 2006)。卡拉麦里蛇绿

岩与中泥盆世弧前沉积物组成混杂体, 根据其中最新的斜长花岗岩的373 Ma的锆石SHRIMP年龄(唐红峰等, 2007), 可认为其形成时代为泥盆纪。

卡拉麦里蛇绿岩主要由强蛇纹岩化的变质橄榄岩、辉长质堆晶岩、浅色岩、辉绿岩、基性熔岩和硅质岩等岩块构成(李锦轶, 1995)。变质橄榄岩出露面积累计约80 km², 其中含有扁豆状铬铁矿。堆晶岩以条带状辉长岩为主, 次为橄榄辉石岩、橄长岩、块状辉长岩和斜长岩, 可见它们岩性沿走向明显变化。浅色岩以斜长花岗岩为主, 次为石英闪长岩, 它们与变质橄榄岩、辉长岩和基性熔岩等岩块伴生, 可能为辉长岩同源的基性岩浆结晶分异后的产物(唐红峰等, 2007)。辉绿岩出露较少, 或呈岩块产出, 或呈岩墙侵入基性熔岩和变质橄榄岩中。基性熔岩(玄武岩)分布较广, 呈大小不同的岩块与上述各种类型的岩石共生, 同时也伴生一些较深水沉积物, 以紫红硅质岩为主, 次为灰色硅质岩和杂色硅质岩。卡拉麦里蛇绿岩除变质橄榄岩外, 其火成岩主要包括两类基性火成岩: 第I类以辉绿岩和玄武岩为主, 兼具有洋中脊玄武岩(MORB)和岛弧玄武岩(IAB)的特征, 岩石地球化学特征表现为轻稀土(LREE)亏损、平坦, 是洋脊俯冲的产物; 第II类以辉长岩为代表轻稀土(LREE)富集, 不同程度的亏损高场强元素(HFSE)而富集大离子亲石元素(LILE), 类似于正常的岛弧玄武岩, 来自正常的弧下交代地幔熔融(刘希军等, 2007)。

2 卡拉麦里金矿带的地质特征

卡拉麦里金矿带NW-SE向展布, 被卡拉麦里和清水-苏吉泉两个高角度逆冲断裂所夹持, 该带主要由强烈变形的古生代地层(主要包括中泥盆统平顶山组和下石炭统南明水组、清水组)和严格受断裂控制的超基性岩体构成, 为一蛇绿混杂岩带, 并具有大型推覆构造的特点。晚期岩浆活动包括钙碱性岩浆岩和偏碱性岩浆岩(喻亨祥, 1998; 刘家远, 1999), 主要分布于卡拉麦里金矿带两侧。钙碱性岩浆岩包括不整合覆盖于平顶山组的陆相中酸性火山岩和与区域构造线一致的花岗闪长岩、闪长岩和辉石闪长岩岩株、岩脉, 偏碱性岩浆岩以老鸦泉-黄羊山岩基为代表的钾长花岗岩和黑云母花岗岩。卡拉麦里成矿带的构造以一系列NW-SE向不同级别的断裂和褶皱为特征, 这些断裂和褶皱共同组成了卡拉麦里强应变构造带。

卡拉麦里成矿带内金矿点星罗棋布, 成型或初具规模的金矿床有双泉、苏吉泉、柳树泉、南明水等。这些金矿床(点)在带中分布并不均匀, 往往成矿点群出现, 从西到东分别有: 小红山矿点群、清水矿点群、六棵树矿点群和南明水矿点群, 它们共同的特点就是与蛇绿岩块“形影不离”(图1)。根据赋矿围岩的不同, 可将金矿床(点)分为两类, 即火山碎屑-沉积建造类和蛇绿岩杂岩建造类, 前者包括双泉、清水等, 后者以南明水、柳树泉、金水泉等为代表。

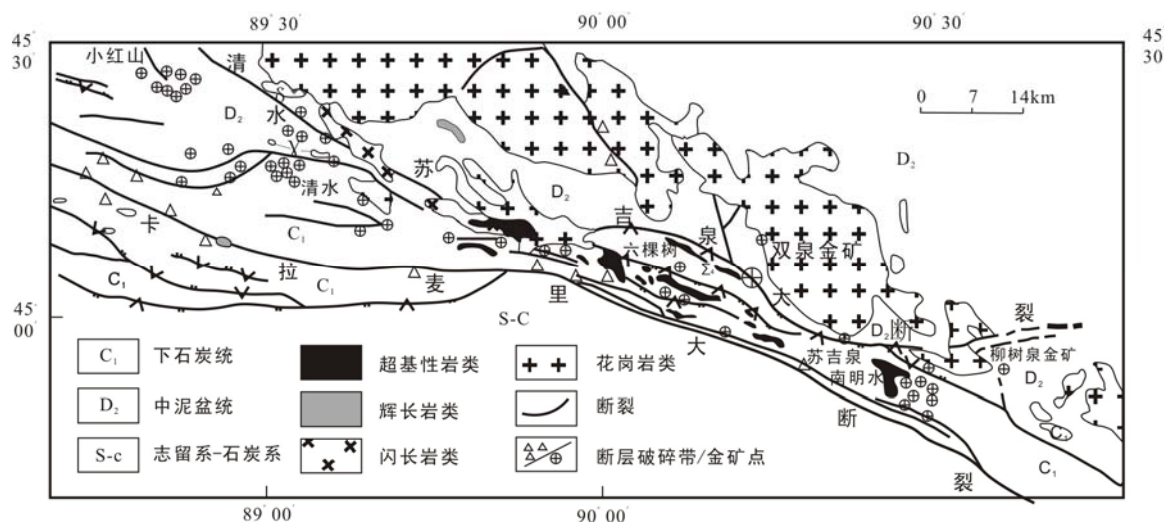


图1 卡拉麦里成矿带地质图

2.1 火山碎屑-沉积建造类（双泉金矿）

双泉金矿处于卡拉麦里金矿带中段，即清水-苏吉泉断裂上、清水-南明水褶皱束中。赋矿地层为下石炭统南明水组（ C_{1n} ），主要由粉砂岩和炭质粉砂岩，夹砾岩、长石砂岩、凝灰砂岩、凝灰岩组成（图2）。

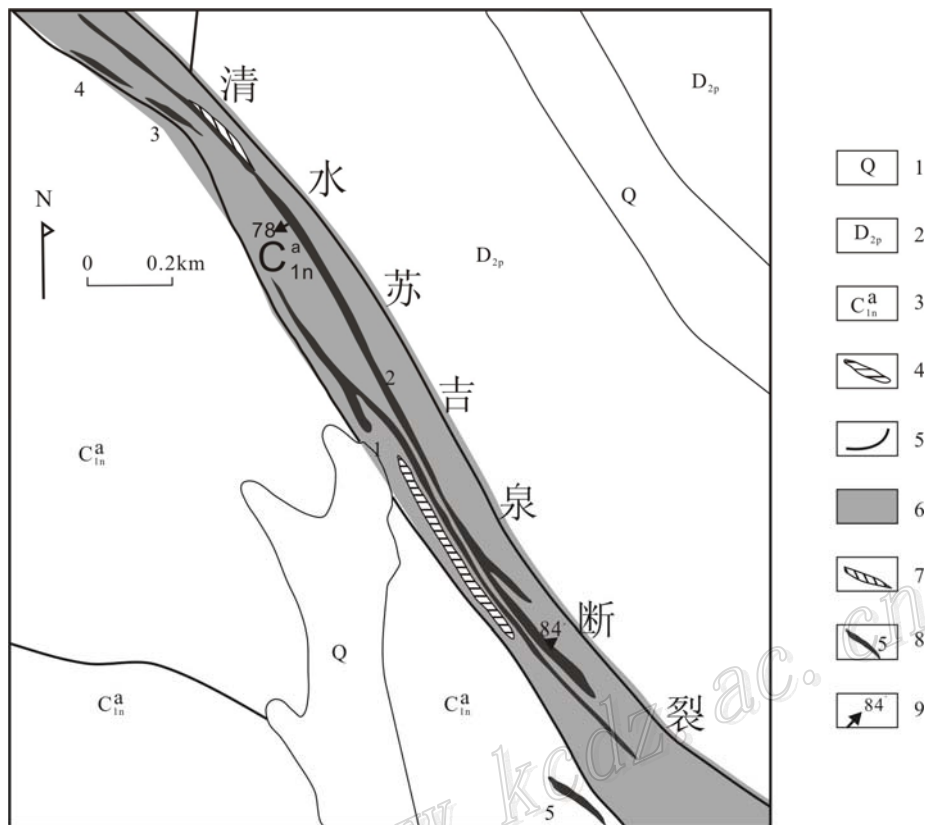


图2 双泉金矿床地质简图

1—第四系；2—中泥盆统平顶山组；3—下石炭统南明水组下亚组；4—超基性岩；5—断裂；6—剪切带；7—石英碳酸盐脉；

8—矿脉及编号；9—倾向及倾角

双泉金矿区共发现多条富金矿脉，矿脉呈雁列阵状赋存于韧性剪切带的次级剪切构造和R剪裂隙中（路彦明等，2007）或呈网脉状赋存于脆性裂隙中。其中以2号脉规模最大，含金石英细脉和细脉浸染状矿体常呈透镜状、板片状顺沿糜棱面理分布，或者与糜棱面理和C面理呈一定的几何关系，细脉浸染状矿体常位于含金石英细脉边缘。围岩蚀变类型主要有绿泥石化、碳酸盐化、硅化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化等，蚀变分带不明显。矿化阶段可划分为3个阶段：第Ⅰ阶段为磁黄铁矿阶段，岩石糜棱岩化或强烈片理化，该阶段最初形成含金磁黄铁矿，局部被含金黄铁矿和毒砂所代替（图3a），金为分布于硫化物晶格内的不可见金，是金的初步富集阶段；第Ⅱ阶段为石英-毒砂-黄铁矿阶段，形成各种韧-脆性变形构造及雁列状透镜状、脉状石英等充填脉，剪切作用的持续进行使矿物遭受压碎作用，石英细粒化成糖粒状（图3b），成为金矿物的有利储集体。该阶段的热液作用导致早期的含金硫化物分解，不可见金在有利部位富集为可见金（图3c、d、e）；第Ⅲ阶段为自然金-多金属硫化物或硫盐（毒砂、黄铜矿、黝铜矿）阶段，大量后期张性裂隙形成，前期形成的金矿化发生原位重新活化，矿物组合更复杂，形成粒度较粗的金（图3f）。矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值为3.54‰~10.68‰，属于混染硫，成矿流体为变质水。

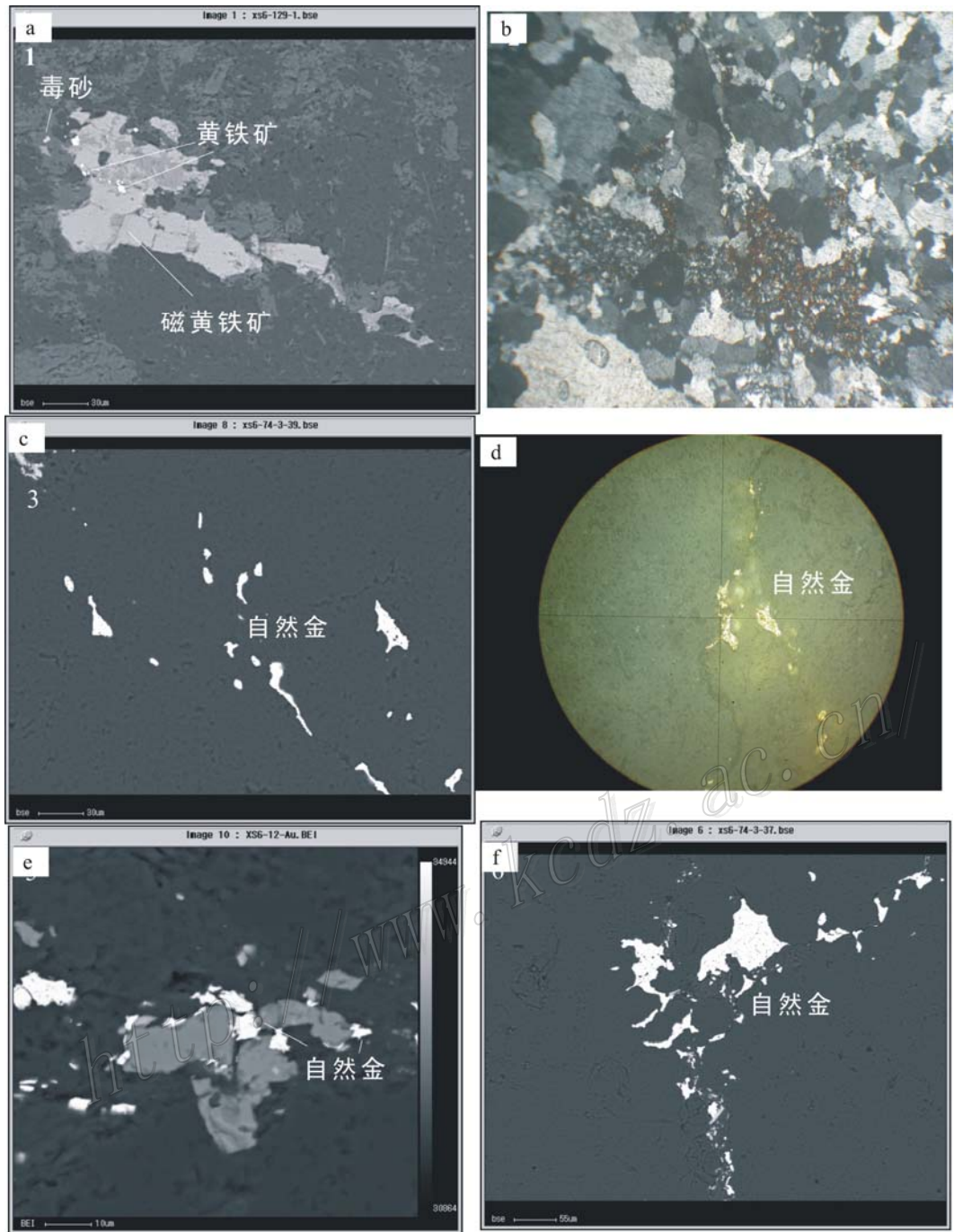


图3 双泉金矿床不同矿化阶段矿物组合和结构特征

2.2 蛇绿岩杂岩建造类（南明水金矿）

南明水金矿床位于卡拉麦里金矿带东南端。矿区出露地层为葡萄石-绿纤石相到绿片岩相的变质岩系。原岩为南明水组凝灰质砂岩、沉凝灰岩、凝灰岩、火山角砾岩等，另外玄武岩、辉绿岩或辉绿玢岩等基性岩发育。

矿(化)脉由石英脉及两侧破碎蚀变岩构成，出现在背斜轴部的辉绿岩或玄武岩中，而两翼火山碎屑-沉积岩(凝灰质粉砂岩)中石英脉极不发育（图4）。矿石类型可分为石英脉型和破碎蚀变型两种，石英脉型矿石，矿物以磁黄铁矿-方解石-黄铁矿-绢云母为主；破碎蚀变型金矿石，变余结构，块状或条带状构造。共生金属矿物主要以黄铁矿-磁黄铁矿-毒砂为主，自然金以粒状赋存于石英、黄铁矿等矿物晶粒间。围岩

蚀变强烈,由内向外对称分布:①中心带,由黄铁矿、磁黄铁矿、碳酸盐、绢云母组成;②内带,由碳酸盐、绢云母组成;③外带,即弱褪色蚀变带、蚀变矿物总量小于30%,原岩结构清楚。矿化阶段为:石英(白色;Au为 0.05×10^{-6});电气石-石英(多呈半自形和互嵌状;Au最高可达 20×10^{-6});毒砂-黄铁矿-磁黄铁矿-石英(乳白色;Au平均为 3.36×10^{-6});方解石-石英(多呈团块;Au为 $0.31 \times 10^{-6} \sim 0.49 \times 10^{-6}$)。305项目组^①测得南明水金矿脉中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为2.88‰~4.02‰,与自然界中铁镁质和超铁镁质岩石的变化范围(+3‰~0‰)接近,同时也接近于亏损地幔(MORB)的变化范围 $3 \pm 0.5\%$ (Sakai H., 1984)相似,显示出深源硫的特征。成矿流体表现为变质水(杨富全等, 2000)。

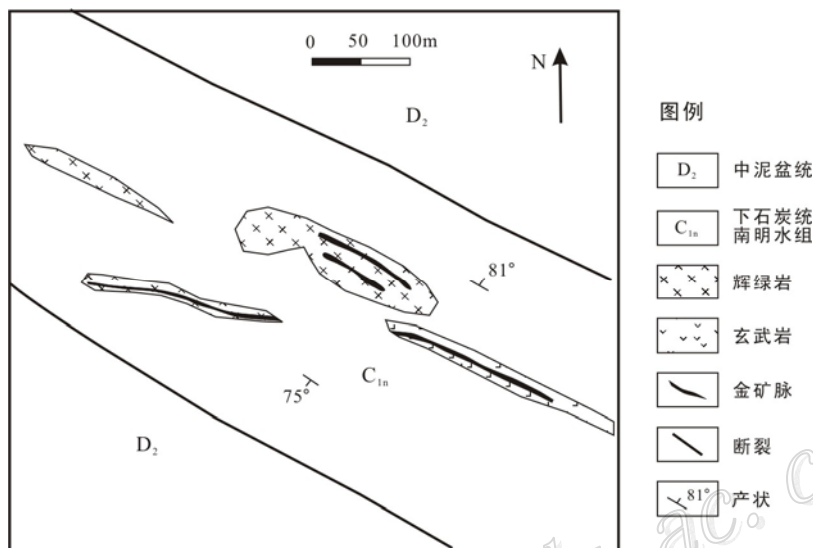


图4 南明水金矿床地质简图

3 讨论

3.1 成矿物源分析

综合前人对东准噶尔地区的地质演化和蛇绿岩带的研究,可以得出东准噶尔区域地质演化的大致情况。东准噶尔在前寒武纪和寒武纪分别经历了新疆北部统一的克拉通阶段和稳定盖层沉积阶段后,从早奥陶世开始,形成了分隔准噶尔板块与阿尔泰地块(西伯利亚板块增生边缘)的准噶尔洋(西与斋桑洋、东与南蒙古洋相通),并且发生了俯冲、碰撞、增生等过程(李华芹等, 1998; 李锦轶等, 2004; 肖文交等, 2006)。进入晚古生代(约早泥盆世初),卡拉麦里洋盆形成,早泥盆世末开始向北俯冲,北侧野马泉地块南缘形成弧前盆地、陆缘火山缘、弧后盆地。随后进入陆间残余海盆的发展过程(李锦轶, 1990; 张旺生, 1999),碰撞造山开始于早石炭世末,中石炭世初进入后期板内构造演化阶段。在不同的构造演化阶段,卡拉麦里带中岩石及地层伴随不同的构造变形类型及特征。如洋盆俯冲和碰撞造山阶段以挤压性剪切变形为主,此期间拉伸面理、紧闭线形褶皱形成;板内构造运动早期以走滑脆-韧性剪切变形为特征,发育一系列R节理、S-C面理、旋转碎斑系等;晚期变形为脆性剪切,在前期构造变形构造的基础上形成张性断裂、裂隙、膝折、共扼节理等。

双泉金矿床的各金矿化阶段的矿石和矿物组合,其特征完全符合Bonnemaison等(1990)提出剪切带金成矿作用的三阶段模式,变形构造特征经历挤压性剪切-走滑性脆、韧性剪切-脆性剪切三阶段,金矿化相应的经历了不可见金-微细粒金-粗粒金的富集过程。金矿化作为不同构造变形的产物,其不同阶段也完全受控于不同的区域构造运动演化阶段的成矿事件(表1)。从矿化过程可以看出,晚矿化阶段仅是对早阶段

^①305 项目组. 1994. 新疆东准卡拉麦里一带金矿成矿条件与靶区综合评价研究.

的改造叠加，甚至是原位上的，因此最初成矿物质来源于第Ⅰ阶段，而第Ⅰ阶段的成矿物质富集可能与碰撞造山或洋盆俯冲阶段的某个成矿事件有关。

表1 区域构造演化与金矿化阶段的关系

区域地质演化阶段	时代	带内构造变形特征	变形类型	金矿化
洋盆俯冲	泥盆纪-早石炭世初	挤压性剪切变形	面理、拉伸线理、紧闭线形褶皱	第Ⅰ阶段
碰撞造山	早石炭世-中石炭世	挤压性剪切变形	面理、拉伸线理、紧闭线形褶皱	第Ⅰ阶段
板内构造运动	中石炭世	走滑脆-韧性剪切变形	R节理、裂隙、“Z”字型剪切褶皱 S-C面理、旋转碎斑系、雁行状变形石英脉组合等	第Ⅱ阶段
板内构造运动	中石炭世	脆性剪切变形	张性断裂、裂隙、膝折、共扼节理	第Ⅲ阶段

据廖启林等，1999

碰撞造山阶段产物主要为陆相火山岩和残余海盆沉积物南明水组，前者多分布在缝合带两侧地块（或板块）的边缘，后者金的地球化学背景和变质岩相级别均较低，其提供物源和富集的可能极小。早期洋盆俯冲阶段的深成岩（或同期形成的热液地质体）具有较高的金的背景值（如表2），加上后期不同程度的变形变质和热液蚀变，如蛇纹石化、滑石菱镁片岩化、碳酸盐化等，具备提供物源和活化富集的优越条件。此期间的中泥盆统地层同样由于金的背景值低和变质程度低而提供金的能力较低。因此，卡拉麦里成矿带中金成矿的物质来源与早期蛇绿岩相关岩类关系更密切，这也很好解释卡拉麦里成矿带中金矿床（点）与蛇绿岩“形影不离”的分布特征。

表2 卡拉麦里地区主要地层和部分岩体含金背景值简表

类型	地层和岩石	平均值/ 10^{-9}
地层	下石炭统清水组	0.47
地层	下石炭统南明水组	1.39
地层	中泥盆统平顶山组	1.40
蛇绿岩相关岩石	辉长岩	11.5
蛇绿岩相关岩石	辉绿岩、辉绿玢岩	14.0
蛇绿岩相关岩石	玄武岩类*	2.5

3.2 成因模式

根据前人对区域大地构造演化的研究成果和卡拉麦里成矿带金矿床的成矿特征，特别是其中的典型金矿床特征，大致总结带中金矿床成因模式如下：

东准噶尔卡拉麦里地区洋盆俯冲阶段是一个洋壳俯冲与弧前拉张同时进行的过程（刘希军等，2007），来自地幔楔和MORB地幔上涌的深源物质，在洋壳俯冲过程中脱水产生的热液交代下，前者产生辉长岩为主的钙碱系列岩浆岩，后者产生玄武岩和辉绿岩等拉斑系列岩浆岩，这些岩浆岩的固结态或液态（经结晶分异的残留熔浆或晚期热液）是良好的富金地质体。洋壳脱水（还包括CO₂为主的脱气）作用为主的变质流体，溶解了这些富金地质体中的矿化剂元素S后，形成易于搬运Au的富硫的热液，成矿热液由于物化条件改变而沉淀富集于岩体的构造裂隙中。典型金矿床如南明水金矿的矿脉主要赋存于辉绿岩或玄武岩中，而南明水组火山碎屑-沉积岩（凝灰质粉砂岩）中石英脉极不发育；围岩蚀变带宽及分带明显；矿石矿物中高温热液矿物组合如电气石-磁黄铁矿-毒砂等；而流体水为变质水，矿化剂元素S为陨硫硫，具深源特征。这些特征说明了其金矿化为与洋壳俯冲有关的变质水与深源Au、S的共同成矿的可能，它略晚于洋壳俯冲中深成岩类的形成，代表了卡拉麦里蛇绿带中的早期与洋壳俯冲有关的金成矿（图5）。

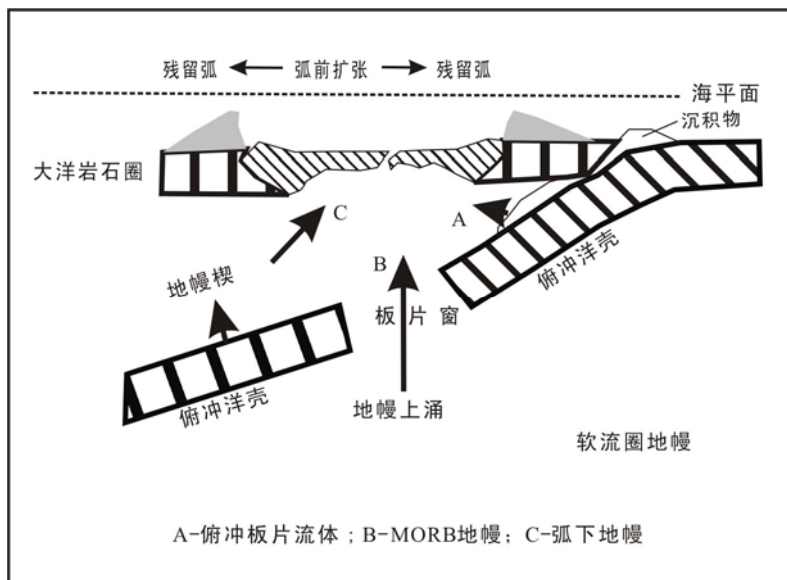


图5 卡拉麦里金矿带早期金成矿模式图 (据Thorkelson, 1996; 刘希军等, 2007修改)

晚期成矿是对洋壳俯冲过程形成的富金地体的改造成矿,其成矿过程可能与区域构造体制转换关系密切,其过程另文专述。成矿流体中有少量后期地层变质脱水和地层S混入,并有一定距离的迁离。金矿化的典型特征具分布范围广、蚀变范围明显和矿石矿物组合具中低温热液矿物组合。如双泉金矿床的金矿脉在早期形成的蛇绿岩块中和中泥盆统、下石炭统以陆源碎屑物为主的地层均有分布,蚀变带与围岩界线较明显,而矿石矿物组合以毒砂-黄铁矿等中低温组合为主。

由于两期成矿的成矿物质可能最初来源于洋壳俯冲的深成岩类,两期形成金矿床(点)具有重叠复合的特征,它们共同的特点是集中分布于这些深成岩类的周围。这些深成岩类由于洋壳俯冲过程各段俯冲的速率和弧下板片窗(开启宽度差异)决定了卡拉麦里蛇绿岩横向分布的不均,进一步决定了卡拉麦里带中金矿床(点)的分段集中。

4 结 论

(1) 卡拉麦里蛇绿岩带中金成矿可能主要有两期,早期与俯冲洋壳过程中岩浆活动有关的变质热液有关,晚期与区域构造体制转换形成的变质热液有关,各自的典型代表为南明水、双泉金矿床。

(2) 找矿工作中,蛇绿岩中深成岩浆岩组合是两期成矿远景规划的找矿基础,这些岩石组合的空间分布在区域重磁异常中和遥感解译的环形构造中均有特殊显示。早期成矿为深成中高温热液成矿,其找矿标志应集中于蛇绿岩体中宽大和分带明显的围岩蚀变带,以及热液脉中具高温高压特征的矿石矿物组合。晚期成矿主要由于构造作用叠加于早期蛇绿岩体或矿化体,构造标志是由于断裂和褶皱引起的蛇绿岩带的形态和产状要素在平面和垂向上发生剧烈变化地段。蚀变标志是蛇纹石化、滑石菱镁片岩化及碳酸盐化等。

参 考 文 献

- 李华芹, 谢才富, 常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社. 1-264.
- 李锦轶, 何国琦, 徐 新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报, 80(1): 148-168.
- 李锦轶, 肖序常, 汤耀庆, 等. 1990. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评, 36(4): 305-316.

- 李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. 岩石学报, 11(增刊): 73-84.
- 李锦轶. 2004. 新疆东部古元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. 地质论评, 50(3): 304-322.
- 廖启林, 等. 1999. 准噶尔北部主要金矿类型及其成矿环境初探[J]. 贵金属地质, 8(3): 163-170.
- 刘家远, 喻亨祥, 吴郭泉. 1999. 新疆东准噶尔两类碱性花岗岩及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 18(2): 89-94.
- 刘希军, 许继峰, 等. 2007. 新疆东准噶尔克拉麦里蛇绿岩地球化学: 洋脊俯冲的产物[J]. 岩石学报, 23(7): 1591-1601.
- 路彦明, 赵 军, 陈 祥, 张 栋. 2007. 东准噶尔双泉地区韧-脆性剪切带与金矿成矿[J]. 新疆地质, 25(2): 164-168.
- 唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 侯广顺, 王彦斌. 2007. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石U-Pb年龄及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 31(1): 110-117.
- 肖文交, 韩春明, 袁 超, 陈汉林, 孙 敏, 林寿发, 厉子龙, 毛启贵, 张继恩, 孙 枢, 李继亮. 2006. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J]. 岩石学报, 22(5): 1438-1447.
- 杨富全, 吴 海. 2000. 新疆东准噶尔金矿成因类型及地质特征[J]. 地质找矿论丛, 15(1): 39-45.
- 喻亨祥, 吴郭泉, 刘家远. 1998. 新疆东准噶尔地区两类花岗岩与两个成矿系列[J]. 大地构造与成矿学, 22(2): 119-127.
- 张旺生, 高怀忠. 1999. 新疆东准卡拉麦里造山带的陆间残余海盆[J]. 地学前缘, 6(4): 294页.
- Bonnemaïson M and Moacoux E. 1990. Auriferous mineralization in some shear-zones: A three stage model of metallogenesis[J]. Mineralium Depositata, 25(2): 96-104.
- Sakai H, Des Maris DJ, Ueda A and Moore J G. 1984. Concentrations and isotope ratios of carbon, nitrogen and sulfur in ocean-floor basalts and volcanic gases at Kilauea volcano, Hawaii[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 48: 2433-2441.
- Thorkelson D J. 1996. Subduction of diverging plates and the principles of slab window formation[J]. Tectonophysics, 255: 47-63.

<http://www.kcdz.ac.cn/>