

文章编号: 1009-3850(2001)03-0048-12

四川锦屏山地区金矿矿源层及成矿模式

李 生

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 笔者通过对四川锦屏山地区金元素的背景分析, 总结了该区金矿的同位素特征, 并初步分析了该区金矿的流体包裹体特征, 讨论了该金矿矿集区的矿源层, 提出了该金矿矿集区受伸展-推覆构造的滑移带——褶皱层控制及从矿源、热源、热液源、成矿通道和成矿场所等方面探讨了其成矿模式, 指出了该区金矿的找矿方向及找矿层次。

关 键 词: 矿源层; 矿集区; 褶皱层; 拆离带

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

The source beds and mineralization model for the gold deposits in the Jinpingshan area, Sichuan

LI Sheng

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: The characteristics of stable isotopes and fluid inclusions from the gold deposits in the Jinpingshan area, Sichuan are outlined in the light of the background analysis of the element Au. The spatial distribution of the gold deposits in this area is apparent to be controlled by the ductile shear zones of folded beds, i. e. the slip surfaces of the stretching and nappe structures in the gold mineralization areas. The mineralization model is summarized on the basis of the tectonic settings, ore sources, thermal sources, hydrothermal sources, ore channels and metallogenic sites of the gold deposits. According to the mineralization model, the exploration prospects of the gold

deposits are tentatively proposed in this paper.

Key words: source bed; mineralization area; folded bed; detachment zone

多年来金矿的成因问题一直为众多学者所重视,成因理论最终是用于指导找矿,正确的理论使找矿柳暗花明,错误的理论将使找矿误入歧途。金矿成因问题,主要是研究金矿的物质来源和富集定位。无论 20 世纪 40 年代的深成说,50 年代的岩浆分异说,从 70 年代的侧分泌说到 80 年代的层控金矿模式,还是张秋生(1988)提出的大陆地壳内 4.5~4.9km 下部存在液态矿源层假说,但讨论得最多的是矿床的物质来源,主要是温度、压力、溶液组分、浓度、pH 值、氧逸度和围岩环境对金迁移沉淀的影响,这些都是金迁移沉淀的外因。而对金与介质的地球化学性状和围岩的内在环境是金迁移沉淀的内因。实际上,金的原始来源只有一个,即来自上地幔,同时金的后生作用,地球的演化又对金的物质来源赋予了更为广泛的基础。不同的金矿其物质来源有壳源和幔源,而壳源最初还是来自幔源。有沉积建造源、变质

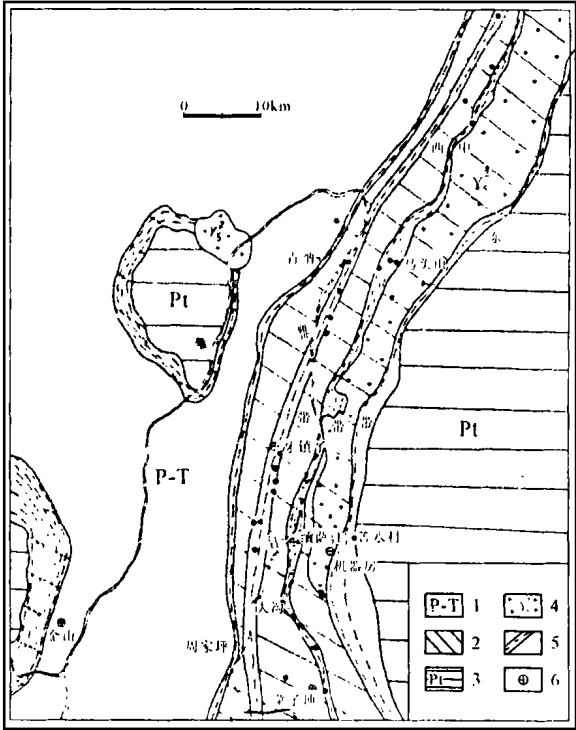


图 1 四川锦屏山地区地质矿产略图

1. 伸展-推覆盖层; 2. 拆离带; 3. 结晶基底(康定杂岩和里伍堆垛层); 4. 燕山期花岗岩; 5. 韧性剪切带; 6. 金矿床(点)

Fig.1 Sketch to show the distribution of the geological tectonics and mineral resources in the Jinpingshan area, Sichuan

1= stretching-nappe cover; 2= detachment zone; 3= crystalline basement (Kangding Complexes and Liwu stacks); 4= Yanshanian granite; 5= ductile shear zone; 6= gold deposit (mineralized locality)

改造源、岩浆源,而最初是来自地幔的脱气作用,即地球自身的分异演化。由于金为不相容元素(Ringwood, 1973),也因为金为挥发性元素(从柏林, 1978)^[1], 所以是地球层圈分异演化的结果, 这里就有个时间概念问题, 以地球的整个演化历史来看, 所有金都来上地幔; 而对某个矿的某一成矿期, 或许就是来自岩浆、沉积地层、变质改造等之一或者几种来源兼而有之。基于此, 笔者在研究众多学者的研究论述之后, 以四川锦屏山地区为例, 讨论金矿成因问题。

1 地质概况及矿床特征

四川锦屏山地区位于扬子地台西缘与松潘-甘孜造山带和盐源-丽江台缘拗陷的结合部位, 为锦屏山伸展-推覆构造带。据研究, 该构造带具伸展-推覆构造的三构造层^[2]的典型特征, 即扬子地台结晶基底构造层, 盖层和褶皱层(拆离带和冲断带)(图1)。其多期次的构造岩浆热事件, 使矿质多次活化迁移聚集成矿, 是金、铜、稀土矿的重要产区。该区金矿空间展布明显地受到褶皱层的韧性剪切带控制, 为韧性剪切带型金矿床。金矿床(点)和金的地球化学异常浓集中心均产于韧性剪切带内或其近侧次级韧性剪切破碎蚀变带中, 形成呈北东向断续展布的区域金矿化带。金矿赋矿地层广泛和容矿岩石类型多样, 从震旦系灯影组、泥盆系到三叠系中均有金矿化产出。据其容矿岩石不同分为四亚类(表1)。

表 1 锦屏山地区金矿类型及特征

Table 1 Types of the gold deposits in the Jinpingshan area, Sichuan

	亚类型	矿物组合	元素组合	矿 例
韧性剪切带型金矿	基性超基性岩型金矿床	磁黄铁矿、黄铁矿、Au-Ag 矿、黄铜矿、石英、方解石、绿泥石	Au、Cu、Ni、Ag、Pt 族	木里金山金矿床
	中性酸性破碎蚀变岩型金矿床	黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿、自然金、石英	Au、Ag、Cu、Pb、Zn	冕宁机器房金矿床
		黄铁矿、黝铜矿、黄铜矿、方铅矿、自然金、石英	Au、Cu、Pb、Ag	冕宁缅萨洼金矿床
	绿片岩型金矿床	黄铁矿、黝铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、自然金、白云石、石英	Au、Cu、Pb、Sb、Ag、As	冕宁茶铺子金矿床
	碳酸盐型金矿床	黄铁矿、自然金、硫酸盐、重晶石	Au、Ag、Pb、Zn、Cr、Ni	西昌菜子地金矿床 大沟金矿

2 四川锦屏山地区金的丰度

2.1 扬子地台西缘结晶基底 Au 的丰度特征

扬子地台西缘结晶基底——康定杂岩,在一定程度上制约着该区金矿的产出位置。笔者在研究前人资料的基础上认为康定杂岩是该区金矿的矿源层之一。从表2,表3和图2可以看出,康定杂岩 Au 的丰度具有以下特征:

(1)康定杂岩中岩石类型复杂,各类岩石含金性不均一,从 $(1.0\sim 25.0)\times 10^{-9}$ 不等。不同性质、不同方向的断裂带其含金性也极不均一,其中以北北东向断裂带含 Au 最高,达 33.69×10^{-9} 。造成这种地层岩石及断裂带含金性不均一的因素是极其复杂的,如样品的代表性,多期次地质作用的影响等。因此,表2和表3仅代表含金的总趋势,而具体到某一种岩石的含金性,笔者认为它并不具代表性,不能代表康定杂岩 Au 的丰度。

表 2 康定杂岩各岩类金的特征值(据毛玉元, 1988)

Table 2 Characteristic values of gold from different rocks in the Kangding Complexes Sichuan (after Mao Yuyuan, 1988)

岩石类型	样品数	金的特征值($w(\text{Au})/10^{-9}$)		
		变化范围	平均值	均方差
斜长角闪石	51	1.0~15.5	4.03	2.45
变粒岩	11	1.0~4.0	2.17	0.89
碳质绢云石英片岩及变质砂砾岩	7	3.0~7.5	4.40	1.54
混合岩化斜长角闪岩	3	4.0~4.5	4.27	0.25
混合片麻岩	38	1.0~6.0	3.70	0.96
混合花岗岩	14	1.5~10.0	4.74	2.38
角砾状/条带状混合岩	12	2.0~6.0	3.94	1.20
闪长质混合岩	12	1.0~3.5	1.75	0.67
花岗质混合岩	10	1.7~7.0	4.27	1.95
变质纹岩、凝灰岩	8	1.0~7.5	3.56	2.14
细粒大理岩	5	3.0~10.0	4.50	3.26
花岗闪长岩	35	2.0~25.0	6.14	6.53
石英闪长岩	44	0.5~16.0	3.60	3.30

(2)图 2 表明康定杂岩 Au 的背景值为 $(0.4 \sim 0.8) \times 10^{-9}$, 这为水系沉积物的测量值, 具有均化作用, 具普遍性和代表性。加之金的水系流长不远(一般不超过1km), 故其总趋势代表 Au 的背景丰度, 所以测区康定杂岩的Au的背景值应为 $(0.4 \sim 0.8) \times 10^{-9}$ 。目前康定杂岩中 Au 的丰度已不是初始丰度, 而是经过一系列后期变质变形后的剩余量。可以认为初始值的相当一部分已活化迁移并富集成矿。正是 Au 的迁出才为较晚期的成矿提供了矿源, 而那些本身丰度较高的层位则是Au的受体而非排出体。

(3)讨论矿源层的特征时, 传统的观点把丰度作为决定因素来考虑, 认为只有在丰度值高的地区才是金的成矿远景区。我们在研究前人资料基础上认为 Au 丰度值高只是成矿的有利因素, 但不是决定因素。正如以前化探异常查证选点以高(异常梯度值高), 大(异常面积大), 全(元素组合全)为优先选择原则, 但效果不一定理想, 而异常值低的却找到了大金矿(四川嘎拉金矿床)。从世界和我国对含金岩系大量分析测试数据(表 3)^[3]来看: ①绝大部分样品金的质量分数低于 Taylor 和 McLennan 大陆地壳丰度估计值(3×10^{-9})。②随着高灵敏度金的分析方法以及我国大面积化探数据的积累, 对金的地壳丰度值提出了新的估计值来看 $(1.9 \sim 2.0) \times 10^{-9}$ (黎彤, 1992), 也有人提出上地壳 Au 丰度为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-9}$ (戴问天, 1991)^[4]。

(4)从图 2 中可见康定杂岩中 Au 的丰度值为 $(0.4 \sim 0.8) \times 10^{-9}$, Au 在热液作用和不同构造成矿期很易多次活化迁移、沉淀。而金的活化受变价元素和络阴离子等的共同影响。在流体-岩石相互作用过程中, 金活化进入热液而迁移。Au要富集成矿石, 而非一次地质作用就能形成。漫长的地质演化史对金矿床的形成具有不可忽略的作用。在漫长的地质作用过程中, 多次变质变形、混合岩化及岩浆熔融等后期作用相互叠加、改造和相互继承, 最终在

某一时期富集成矿。在变质变形岩浆熔融过程中,随着变质程度加深,金从深变质相向浅变质相迁移,金则富集于绿片岩相,弱变质相对金的迁移形成一个屏障(温度障),混合岩化过程导致金等成矿元素贫化。康定杂岩经历了较强变质变形作用,达角闪岩相-麻粒岩相及混合岩化(刘俨然,1988),所以金已被大量迁出。构造作用的某些应力集中部位使金得到浓集(表4)。总体说来康定杂岩中Au已被大量迁出,所以其现有丰度较低。

表3 世界各地含金岩系金丰度值特征

Table 3 Gold abundances in the gold-bearing rock series in several parts of the world

地 区	主 要 岩 类	样 数	变 化 范 围 几何平均值(10 ⁻⁹)
前苏联科拉半岛	片状斜长角闪岩、二云母片麻岩、石榴云母片麻岩、含铁石英岩	122	$\frac{0.3 \sim 80.0}{3.65}$
加拿大安大、略卡卡其湖绿岩带	铁镁长英质火山岩、铁镁超铁镁火山岩、沉积岩	166	$\frac{0.09 \sim 17.75}{0.98}$
南非贝林圭、巴顿等绿岩带	玄武岩、拉斑玄武岩、蛇纹岩、科马提岩、含铁石英岩	284	$\frac{0.10 \sim 66.70}{1.80}$
河南小秦岭一带 (太华群)	斜长角闪片麻岩、条痕状混合岩均质混合岩、石英岩	126	$\frac{0.18 \sim 5.80}{0.69}$

表4 康定杂岩中的断裂特征及含金统计(据毛玉元,1988)

Table 4 Fault characteristics and gold contents in the Kangding Complexes (after Mao Yuyuan, 1988)

断裂走向	SN	NNW	NNE	NE	NW	EW
断裂力学性质	压性	压扭性	压扭性	压扭性	压扭性	张性
断裂破碎带宽度 (m)	0.5, > 1 5~1	< 0.5, 1 0.5~1	< 0.5, > 1 0.5~1	< 0.5, > 1 0.5~1	< 0.5, > 1 0.5~1	
断裂条数	4, 3 1	2, 5 7	7, 10 7	3, 7 4	0, 5 1	3, 3 0
w(Au)/10 ⁻⁹	4.0, 3.33 4.5	3.25, 28.21 6.28	7.57, 61.67 19.85	7.83, 3.29 4.75	3.0, 4.0	4.0, 3.5
断裂总数	8	14	24	14	6	6
平均含金量 (10 ⁻⁹)	3.80	13.69	4.68	3.83	3.75	

2.2 锦屏山伸展-推覆盖层中Au的丰度特征

青纳断裂以西锦屏山伸展-推覆盖层受拉伸挤压,褶皱构造发育,但其总体变质程度低。因此,在该推覆体中Au几乎未活化迁移,基本保持原始丰度。推覆体主要由陆源碎屑岩(浊积岩)、滑塌堆积砾屑灰岩和凝灰质砾屑灰岩,以及玄武岩、灰岩等组成。盖层中Au丰度值在(1.6~2.0)×10⁻⁹之间变化。金的物源区为结晶底及其古生代盖层,盖层中Au元素含量很少受后期变质变形的影响。实际上,盖层对下部Au的活化迁移起到了屏蔽盖层作用,Au在下部层位有利于成矿。也就是金在深部活化,沿褶皱层迁移,遇到上覆盖层阻挡而不能向上迁移。而盖层本身的温压不足以使金活化(金活化迁移的温压条件与绿片岩相相同)。

2.3 锦屏山伸展-推覆褶皱叠层中Au的丰度特征

该褶皱叠层是成矿最有利地段,出露地层为震旦系-三叠系,由砂板岩、灰岩、白云岩和玄

武岩组成。另外,有燕山期至喜马拉雅期花岗岩侵入。褶皱层由数条北北东,向南转为北北西的弧形韧、脆-脆性剪切带构成,即牦牛坪-木里乡-三合乡韧-脆性剪切带(东带);马头山-里庄-大沟脆-韧性剪切带(中带);棉纱湾-茶铺子-松林坪韧性剪切带(西带)。这一系列韧性剪切带为金的活化迁移,成矿提供了动力、通道和场所,使深部结晶基底活化的金得以转移至该构造带内。而花岗岩浆作用也为金的活化、迁移提供了热动力。因此,该褶皱层内金含量普遍较高,其背景值在 $(3.2\sim6.4)\times10^{-9}$ 之间变化,若将已知矿床的金含量计算在内,则可达 10×10^{-9} 左右。该区二叠系大石包组(前人称三叠系盐塘组)玄武岩和绿片岩,泥盆纪灰岩及震旦系灯影组白云岩为该区成矿的矿源层。笔者研究认为,该区上述地层中Au的丰度值是地壳克拉克值的几倍至数十倍(表5),显然它们已是金的受体而非排出体。较高的Au丰度值不应是原始丰度,可能为叠加有沿韧性剪切带活化迁移而来的Au。该带易成矿的原因主要为:①韧性剪切作用所形成的温度和压力一方面对金的活化有利,另一方面对Au的络合物的稳定性具有决定性的作用;②韧性剪切带为深部活化的金的迁移提供了通道。韧性剪切作用使岩石产生糜棱岩化,裂隙增多,对金的活化、渗透和扩散极为有利;③韧性剪切带的次级带/浅层带是金矿富集的有利场所。金的富集与成矿过程及热液中迁移Au的络阴离子、pH值、 E_h 值、围岩环境、温度、压力等有利条件密切相关,含金热液在达到上述有利容矿空间以后,可因围岩环境、pH值、 E_h 值、络合金的络阴离子浓度,以及温压等条件的改变。使金络合物稳定条件遭破坏,进而导致金的沉淀析出并富集成矿。

表5 冕西-锦屏山地区主要岩类金含量($w(\text{Au})/10^{-6}$)

Table 5 Gold contents in the main rocks from the West Mianning Jingshan area, Sichuan ($w(\text{Au})/10^{-6}$)

岩 类	绿片岩大石包组	钾长花岗岩	酸性火山岩	玄 武 岩	变质碎屑岩	碳酸盐岩	石英闪长岩
茶铺子	0.038(148)	—	—	0.021(10)	—	0.095	0.16
机器房	—	0.31(63)	—	—	—	—	—
菜子地	—	0.029	0.012(3)	—	0.07(165)	0.012(107)	
地壳平均值	0.0036	0.0017	0.0015	0.0026	0.0132~0.057	0.0039	0.0032

括号内数字为样品数

3 成矿流体特征

3.1 稳定同位素特征

(1)通过矿物 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 和包裹体 d_{SMOW} 测定。根据麦蒂斯(Malthews, 1979)的白云石-水之间的氧同位素分馏方程和参数,由矿物形成温度可计算出与矿物平衡的介质水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值(图2)。由图2可知,产于绿片岩中的茶铺子金矿流体投点位于变质水范围内,有部分重叠于岩浆水,反映其成矿热液为以变质热液为主的混合源。产于斜长细晶岩和糜棱岩中的缅萨洼金矿流体投点位于地热水范围,且离雨水线很近, d_{SMOW} 值与当地燕山期大气降水值相似,说明其介质主要来源于大气降水的地热卤水。

(2)该区各金矿床(点)硫同位素组成特征(图3)表明:①产于基性岩中的金山金矿床,显示其硫源自围岩地层(P_2)的有机质及火山变质热液的特点;②产于韧性剪切带绿片岩系中的茶铺子金矿床,其含金的五角十二面体黄铁矿及绿片岩中所含硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值具正态分布特征,其峰值为 $5.7\text{‰}\sim7.5\text{‰}$,说明其硫源自幔源的变质基性岩与咱里岩组、冷竹关岩组

有关,它与立方体黄铁矿(-19.5‰~5.4‰)外围二叠系玄武岩(11.8‰)以及燕山期花岗岩中的硫化物(0~21.4‰)的 $\delta^{34}\text{S}$ 值迥然不同;③产于韧性剪切带破碎蚀变斜长细晶岩和花岗岩中的金矿——缅萨洼、机器房矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均小于5‰,且多数集中在0线附近,显示其流源与基性岩浆热液或深部重熔岩浆有关,即与咱里岩组和冷竹关岩组有关;④产于韧性剪切带碳酸盐岩中的菜子地金矿床,其硫同位素组成,一方面具沉积源的特点,另一方面又显示出壳源混合岩浆热液的特征。

(3)茶铺子金矿床的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均为4.58; $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 值为88.80~89.41,表明成矿溶液中的碳的来源与矿区基性火山岩值为结晶灰岩和大理岩的 $\delta^{13}\text{C}$ (1.08‰)值不同,已有的碳同位素数据都落在变质水范围内($\delta^{13}\text{C}$ 值为16‰~1‰),但其变化范围狭窄,部分与原生碳或火成碳酸岩的碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$ 值为5.0‰~8.0‰)重合。

3.2 流体包裹体特征

据刘诚(1990)对茶铺子金矿床矿物包裹体的研究表明,其液相中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO 浓度较高,而气相成分中 CO 、 CH_4 和 N_2 含量较高, CO_2 相对较低,还原参数(还原性气体与氧化性气体的摩尔分数,李秉伦,1982,1983)介于0.64~1.71之间,平均为1.26,表明为强还原性介质。对两期成矿流体包裹体资料的计算表明,主期成矿温度为255℃,压力为 $0.4\times 10^8\text{Pa}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为2.22‰,成矿流体密度为0.81;晚期成矿温度为95℃,压力为 $0.2\times 10^8\text{Pa}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为1.5‰,成矿流体密度为0.96。根据我们对几个金矿床的流体包裹体测定资料表明,区内受韧性剪切带控制的金矿床(点)包裹体以中低温、低-高盐度、沸腾、富钾为特征。本区金矿床流体包裹体具有多期性,所反映的成矿物理化学条件特征是:早期

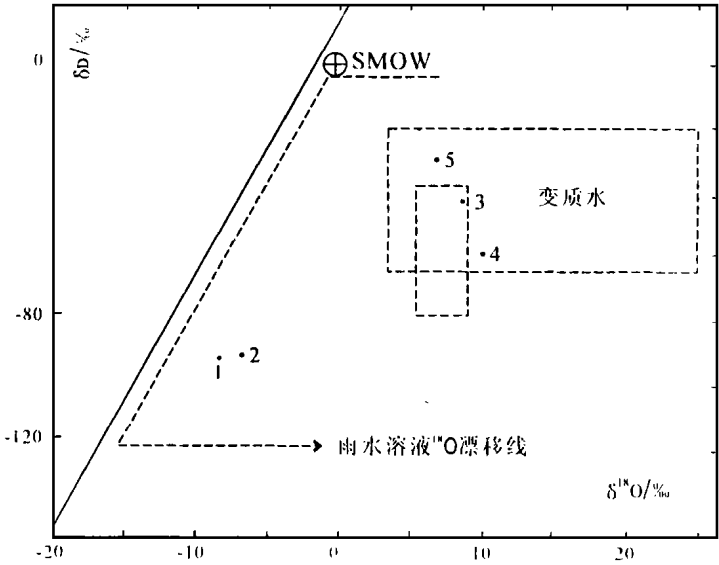


图2 成矿流体的 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解(据 Tolvor, 1979)

1, 2. 缅萨洼; 3, 4, 5. 茶铺子金矿

Fig. 2 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ diagram for ore fluids (after Tolvor, 1979)

1 and 2=Miansawa gold deposit; 3, 4 and 5= Chapuzi gold deposit

低盐度(5%)、高压(0.9~1×10⁸Pa)、中温(180~120℃);中期低盐度(2%)、中压(0.4~0.6×10⁸Pa)、低温(130~140℃);晚期高盐度(32%)、低压(0.18~0.17×10⁸Pa)、中温(210~240℃;最后一期次生(构造)包裹体的温度较高(310~320℃),包裹体具定向排列。包裹体具沸腾现象。茶铺子金矿主要是早中期、菜子地金矿具有早、晚、次生期;缅萨洼、里庄金矿则为早中期;箐水村矿点则是早、中、晚三期都有。

综上所述,研究区金矿床的矿质及搬运矿质的介质其来源是复杂的,但都有变质作用的痕迹,物源具混合源壳源、幔壳及壳-幔的特征。这些反映结晶基底的组成较复杂,应是以康

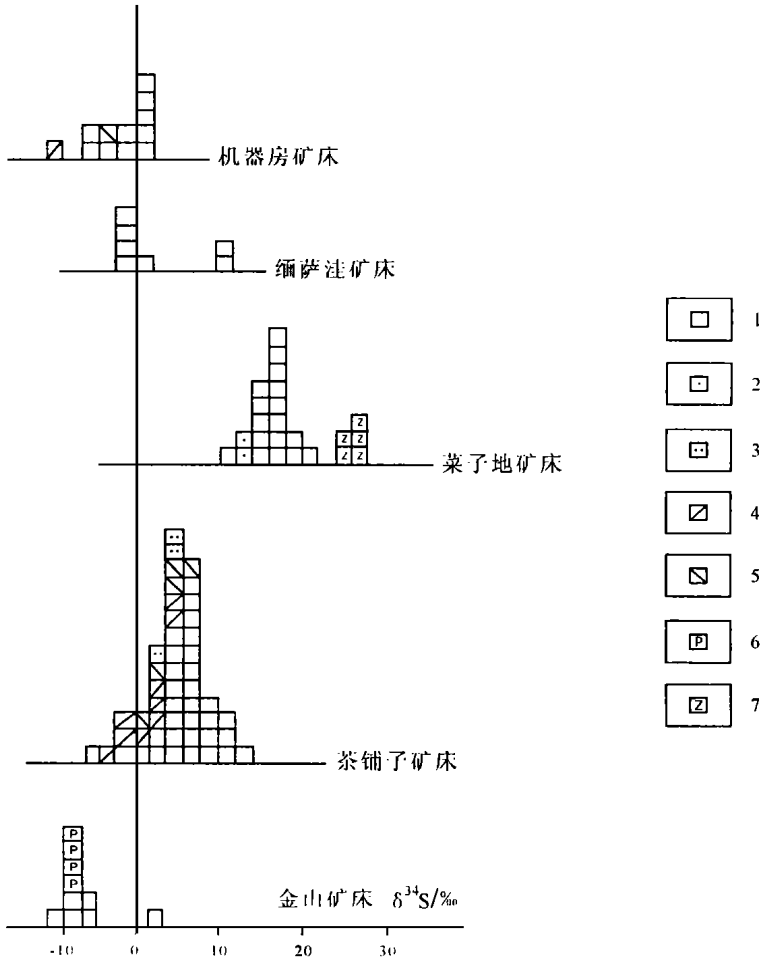


图 3 四川锦屏山地区金矿硫同位素直方图

1. 黄铁矿; 2. 黄铜矿; 3. 黝铜矿; 4. 方铅矿; 5. 闪锌矿; 6. 磁黄铁矿; 7. 重晶石

Fig. 3 S isotope bar charts for the gold deposits in the Jinpingshan area, Sichuan

1= pyrite; 2= chalcopyrite; 3= tetrahedrite; 4= galena; 5= sphalerite; 6= pyrrhotite; 7= barite

定杂岩为代表的结晶基底原岩特征的反映。而流体则以热卤水为主,其形成后将基底中的矿质浸取出来,顺韧性剪切带迁移富集,对整个褶皱层产生矿化(特别是韧性剪切带的强应变带),局部特别富集而成矿体。

4 金矿成矿模式及找矿方向

根据以上资料,结合该区金矿床(点)产出地质构造背景,从矿源、热源、热液源^[5]、矿质迁移通道及成矿场所,总结出以下金矿成矿模式:

4.1 矿源

通过对现有资料的计算和统计表明:几乎所有类型的岩石均可能为金的成矿提供足够的金,也就是说任何一种岩石都可作为金矿的矿源层。前已述及,该区康定杂岩是其矿源层。假设其初始背景含量由 2×10^{-9} 变为现在的 $(0.4 \sim 0.8) \times 10^{-9}$,则每 1 km^3 岩石可提供3~4吨金源。所以康定杂岩可以为该区提供足够量的金源。

4.2 热源、热液源

锦屏山地区作为扬子地台西缘与松潘-甘孜结合带,其造山作用过程中高的热梯度(高热流值)、岩浆活动的热源和构造特别是韧性剪切作用产生的摩擦热为金的活化提供了足够热源。

岩石在变质变形过程中,由于矿物相的转变以及不同变形域(P-Q域)的形成,导致其中活动组分(H_2O 、S、 SiO_2 、 OH^- 等)迁出形成流体,而不活动组分(Zr、Ti、P和微量元素)富集的过程统称岩石脱液作用。这种脱液作用犹如拧紧湿毛巾一般,还伴有温度升高、矿物晶格破坏,在褶皱层中尤为显著。压力影构造是变形过程中岩石脱液作用的直接显微判据,而韧性剪切带中的石英脉和S-C组构中沿C面生长的石英羽晶等更是岩石脱液标志。随着温压的增高增大,岩石脱液程度将越来越完全,最后逐渐过渡为部分熔融(深熔作用)。应该说岩石脱液作用是部分熔融的前奏或特例,而部分熔融可看作广义的岩石脱液作用。古老克拉通——康定杂岩在变质变形过程中岩石发生脱液作用,为该区成矿提供了大量的成矿流体。当然由于是开放系统,也有大量的其他来源流体包括岩浆源和天水等。

4.3 金的活化

金由于其本身的原子结构、氧化-还原电位、化学性质和络阴离子特征决定了其主要亲变价元素和变价元素的盐类。金的活化受变价元素和络阴离子的共同影响。自然界中普遍存在S、 Cl^- 和 CO_2 ,这些均是极活跃的组分。岩石在脱液过程中,这些极活跃的组分优先脱液进入流体,因而,金也趋于热液,为亲液元素。Au在热液作用 and 不同构造成矿期很易多次活化、迁移、沉淀。而金的每一次活化-迁移-沉淀过程,都是自身变价的过程。也就是说,它必须升价活化形成络合物,然后降价沉淀,生成自然金。它们的每一次活化沉淀过程都是强烈的电子交换过程,都得引起与之伴生的其它一些元素发生价态的变化。所以金主要为亲变价元素,或变价元素的盐类。因为变价元素使Au活化成为可能,而阴离子使Au的迁移变为现实。此外,金的活化迁移还与温压条件、围岩环境等有关。

B. B. ПЕТРОВ (1975)在研究贝加尔-帕托姆地区区域变质岩中金含量变化时,发现金在变质到绿片岩相之前与原岩含量基本一致,即未活化转移,而到绿帘石-角闪岩相,含量增长到最大,此后当向角闪岩相、麻粒岩相过渡时,金含量逐步明显降低,说明金活化转移^[6]。

张本仁等(1980)对小秦岭地区斜长角闪岩进行浸取实验表明:在压力为 $500 \times 10^5 \text{ Pa}$ 条

件下,以酸性 3.4mol 氧化物溶液浸取,当温度小于 250℃时,岩石金含量无明显变化,但当温度升到 300℃时,原岩中金含量则随温度增高而降低,由原样的 $(6.8 \sim 18.0) \times 10^{-9}$ 降至 500℃时的 (1.5×10^{-9}) 。

П.С.ГЛЮК (1986)对小秦岭地区斜长角闪岩进行浸取实验表明:在压力为 100×10^6 Pa 时,在热梯度下(温度 800~820K,相当于绿片岩相),含纯水流体岩柱中金没有发生明显的再分配,岩石柱的变化也很小;而混有 NaCl 的岩柱中发生了明显再分配,从下往上迁移,在碳酸盐岩层中发生额外富集。而更上部新形成的石英脉不含金,同时原岩发生强烈的变化,页岩和砂岩发生了再结晶,岩柱下部发生了钠长石化,而上部则出现了硅化。该实验表明:在绿片岩相金的活化迁移不仅要有水,更要有有利于金搬运的外来物质(包括氯)的带入。同时岩石变质作用的发生也要有一些活动的阴阳离子的参与才能实现。

康定杂岩在变质变形过程中岩石发生脱液作用,携金流体从高级变质相(麻粒岩相等)向低级变质相(绿片岩相和角闪岩相)迁移。康定杂岩中的低背景 Au 则是这一脱液作用的结果,而褶皱层中的高背景则是脱液作用的接受体。

(1)在比绿片岩相带更低的变质相(表构相)带,岩石脱液作用。但由于温压条件不足以使黄铁矿等富金矿物分解或即便分解又无足以使金活化的温压条件,以及由于薄膜效应使阴离子滞溜,使得金未发生活化迁移,从而在绿片岩相形成一个对金而言的迁出障。

(2)在绿片岩相-角闪岩相(浅构相和中构相),富含水(结晶水)矿物转为少含水或不含水矿物,矿物结晶水变为自由水,同时含卤族元素、S 和 CO₂ 等的矿物也释出卤离子、H₂S 和 CO₂ 等,从而形成热液。这些矿物在脱液的同时也释放出矿物晶格上的金(主要是黄铁矿,这时黄铁矿不稳定,晶格被破坏)及裂隙金,这些金被岩石脱液形成的热液活化并结合成络合物,在静压作用下,在贯通的裂隙系统中迁移。金则在迁移过程中,在某种或某几种岩石(地层层位)(主要是富铁的或碳酸盐质的岩石)中沉淀并得到富集,在某些区段富集到够工业品位的程度(层控金矿床)。

(3)在角闪岩相以上的变质相(深构相)带,由于岩石脱液作用而金被活化,并在 Soret 效应为迁移机制,向绿片岩相-角闪岩相(浅构相和中构相),迁移富集,并在绿片岩相-角闪岩相(浅构相和中构相)的总体温度压力范围内重演(2)的过程,为金矿的形成提供更多的金矿质和热液。

岩石变质作用与岩石脱液历史同时计时,但只有当岩石变质达绿片岩相-角闪岩相(浅构相和中构相)范围时,岩石的金才开始活化。因此,金的迁移富集是与绿片岩相同时计时的。

4.4 矿质迁移通道和成矿场所

(1)首先将金搬入地表的是断裂。断裂构造使不透水层破坏,也由于断裂摩擦使温度障破坏,从而 CO₂、H₂O 和 S 在其中达到高度富集,于是化学平衡发生强烈变动导致活化的金、银和其它金属一道,沿侧向和垂向移动到低压膨胀带中。这些低压膨胀带位于断裂带的结合部及其它出现扭曲带和空隙的构造部位,形成金矿床(机器房金矿、菜子地金矿)。

(2)伸展和推覆是造山作用的两种主要表现形式,变质穹隆是伸展作用的主要表现形式之一,具有三层模式:基底、盖层和拆离带^[2]。推覆体和滑覆体是推覆构造的具体表现,一般也具有三层模式:基座即原地岩片、冲断(褶)带和推覆体。单文琅和傅昭仁等在研究北京西山时提出了“褶皱层”的概念^[9],该概念较好的反映了伸展构造折离带的特征,同时笔者在研

究四川锦屏山地区推覆构造中发现这一构造层在推覆构造的根带也同样发育。因此,提出用“褶皱层”表示伸展-推覆构造的滑移带的共同构造群落,而具体到伸展构造则称拆离带,推覆构造中则称冲断(褶)带。因此,“褶皱层”是伸展-推覆构造的滑移面,也是成矿流体运移和成矿作用物理化学场的转移面。①褶皱层一方面将幔源流体与克拉通流体和地表水连通混合,另一方面其剪切热进一步活化剪切带的金并使其沿剪切带迁移;②褶皱层之脆韧性剪切带或次级构造、或沿花岗岩或辉绿岩边部成为金矿沉淀成矿的最有利场所;③伸展-推覆构造的褶皱层无论从运动学条件还是热力学因素方面,都是有利于含矿热液的充填和成矿的。茶铺子金矿由于韧性剪切的应力聚集而导致突然释放,使原在压性结构面开裂,造成岩石脆性破裂,其宏观证据为热液矿脉两侧普遍发育的围岩破碎角砾,并被矿化石英(有时见方解石)脉胶结的角砾构造,以及石英脉贯入两侧碎裂围岩裂隙中的现象,同样的事实在缅甸、机器房、金山金矿区也常见到。含矿的脆性破裂对成矿反应体系产生两种作用:形成扩容空间和造成瞬间的压力梯度,使矿液迅速上侵和充填。热液成矿压力梯度具有重要的探矿意义;巨大的压力梯度使具有一定穿透深度、能够勾通深部矿液的主韧性剪切主应变带成为导矿构造,并使矿液上侵充填扩容空间,在脆性次级破碎带中,由于压力、扩容和温度的骤然下降,成矿反应中的 H_2S 等溶解气相逸出,导致 SiO_2 溶解度降低和硫化物矿的沉淀析出,形成含金黄铁石英脉(机器房、缅甸、菜子地金矿)。当然也可因矿液上侵遇大量消耗 H_2S 等溶解气体的围岩而导致形成含金黄铁石英脉(大沟金矿的矿体产于赤铁矿体中)。包裹体资料提供的微观证据显示含矿石英脉中普遍存在沸腾包裹体和气液包裹体。脆性次级破裂是重要的构造动力学机制,其控矿意义在于形成容矿空间,导致深部矿液迅速上侵、充填和矿液沸腾,这是热液沿构造裂隙运输的主要动力和作用方式。因此,次级脆性韧性破裂构造是金矿沉淀的关键。④伸展-推覆构造的盖层,因其温压条件,其与拆离带的界面是金矿流体和成矿物理化学场的转移面。其本身的温压又不足以使金活化,故其对金矿成因是起屏蔽盖层作用。

(3)小的侵入体及其边部形成的构造破碎带也成为金的搬运通道和成矿场所(木里金山金矿)。大的花岗岩基(广义花岗岩)则因形成深度大,热释量大而活化围岩(矿源层)的金,在围岩中构造破碎带的适合场所形成金矿床(机器房、缅甸、茶铺子金矿)。

(4)火山岩则因金(来自围岩矿源层)一起喷出地表,不易成矿。而在喷出火山岩为屏蔽层(阻挡层)下,沿火山颈及破碎带上来的含金热液却在屏蔽层下的有利场所成矿(日本菱刈金矿;云南、贵州也找到了这种大中型金矿,如大厂、戈塘、玉湖、紫水幽等金矿)。锦屏山地区晚二叠世玄武岩的火山口和火山管道附近将是极有利的成矿场所之一。

4.5 找矿方向

基于上述模式,该区找金有三个层次:①在结晶基底的构造有利部位,但一般是石英脉型金矿,其规模不大,但矿体很富(如康定大渡河两岸的金矿);②在锦屏山伸展-推覆盖层中找金希望不大,不可能找到大金矿,除非有侵入体出现;③在褶皱层中找金则大有作为,并注意在次级脆韧性剪切带和围岩环境适合金沉淀的部位以及二叠系火山口附近。

本文的编写应用了扬子西缘项目二级课题“里庄木里韧性剪切带及其对金矿控矿作用”和1:5万区调“保波、洼里两幅联测”、“里庄、腊窝乡两幅联测”及1:20万“金矿幅”和“冕宁幅”两幅区域化探的部分资料,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 从柏林. 岩浆活动与火成岩组合[M]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [2] 陈智梁. 大陆造山带的伸展构造[J]. 四川地质学报, 1990, 10(4): 217—229.
- [3] 马振东. 东秦岭及邻区岩石圈金的丰度特征及与成矿的关系[J]. 地球科学, 1994, 19(3): 353—363.
- [4] 戴问天. 上陆壳金丰度: 1~1.5ppb[J]. 地质与勘探, 1991, 27(4): 54—57.
- [5] 季克俭, 吴学汉, 张国炳. 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1989.
- [6] 单文琅, 傅昭仁, 等. 北京西山的褶皱层与“顺层”固态流变构造群落[J]. 地球科学, 1984, (2): 33—41.

关于本刊加入“万方数据——数字化期刊群”的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化, 推进科技信息交流的网络化进程, 我刊现已入网“万方数据——数字化期刊群”, 所以, 向本刊投稿并录用的稿件文章, 将一律由编辑部统一纳入“万方数据——数字化期刊群”, 进入因特网提供信息服务。凡有不同意见者, 请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬, 不再另付。

“万方数据——数字化期刊群”是国家“九五”重点科技攻关项目。本刊全文内容按照统一格式制作, 读者可上网查询浏览本刊内容, 并征订本刊。

刊物网址为: <http://www.wanfangdata.com.cn>

<http://www.periodicals.com.cn> 或 <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>

《沉积与特提斯地质》编辑部

2001 年 8 月