

阿尔泰原生金矿成矿物质来源探讨^①

朱韶华 董永观^②

(地质矿产部南京地质矿产研究所·南京)

提 要 本文主要探讨新疆阿尔泰地区多拉纳萨依、沙尔布拉克等成型金矿床的成矿物质来源。从金元素在矿体及围岩中的地球化学性质,黄铁矿含金性及Q型聚类分析,成矿流体化学成分特征三个方面探讨了矿床的成矿物质来源;从成矿流体的氢氧同位素方面探讨了成矿溶液的来源,从而得出区内金矿成矿元素主要来源于围岩;成矿流体具多来源,但富矿体形成阶段以大气降水为主的结论。

关键词 金矿床 物质来源 阿尔泰

1 金矿床基本特征

中国阿尔泰地区大地构造位置为华力西期准噶尔-北天山洋壳板块向西伯利亚陆壳板块俯冲形成的大陆活动边缘区,类似于今日西太平洋岛弧系。该区可分为乌伦古河海沟,喀拉通克岛弧,克兰弧后盆地,可可托海陆缘深成岩浆弧和诺尔特板内火山断陷盆地五个次一级的大地构造单元^[1]。每一单元均伴生各具特色的成矿带,即乌伦古河铬、钴、镍、铜、金成矿带;喀拉通克铜、镍、金、铁成矿带;克兰铁、铜、铅、锌、金成矿带;可可托海稀有金属、白云母、宝石、钨、锡、金成矿带;诺尔特铅、锌、金、砷、锑、钨、锡成矿带。该区,包括相应成矿带被总称为额尔齐斯构造岩浆成矿域^[1]。

区内金矿,以其产出地质-构造环境-围岩条件为主要要素,以矿体产状、矿物共生组合,围岩蚀变及地球化学特征为次要依据分成五大类。各类矿床主要地质特征见表1。虽然各类矿床产出地质环境、矿体产状、围岩等各有差异,但均表现为多期多阶段性。热液期一般可分成碱质交代阶段、氧化物阶段、硫化物阶段和碳酸盐阶段等矿化阶段。金主要呈自然金、金银矿、银金矿、碲金矿、针碲金银矿等独立矿物,以显微、超显微状分布于黄铁矿、褐铁矿、毒砂、黄铜矿、磁黄铁矿等载金矿物的细小孔隙或晶隙中,或呈包体状包于其中。围岩均遭受了不同程度中低温热液蚀变,大多数矿床见蚀变分带。主成矿阶段的成矿温度在160~300℃范围;成矿压力为7.34~70.30MPa,相应成矿深度是185~1780m。成矿流体化学成分以 Ca^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 HCO_3^{-} 、

① “七五”国家重点科技攻关项目——“三〇五”项目I₃课题部分研究成果

② 参加该部分工作的还有顾巧根、周维康、欧沛宁、肖惠良等

SO₄²⁻、CO 为主;盐度在 5~10wt%NaCl 间;氧逸度(lgfo₂)在-25.0~-59.83 间;硫逸度(lgfs₂)
在-6.0~-18.0 间,矿床是在富碱质元素的中性-弱碱性强还原中低温低压环境中成矿的。

表 1 阿尔泰各类原生金矿主要地质特征

Table 1 Main geological characteristics of primary gold deposits in Altai

代号	矿床类型	构造背景	矿体形态	主要矿石矿物	地化标志	典型矿床
I	产于前寒武纪变质岩系中的金矿	西伯利亚板块边缘,加里东期花岗岩体附近	脉状、似层状	石英、绢云母、黄铁矿	Au+Ag+As+W+Bi+Cu	科克库斯(点);阿祖拜(点)
II	产于古生代浊积岩或碳质细碎屑岩中的金矿	大陆隆起边缘弧后盆地;深海槽或各类水盆地	脉状、网脉状、透镜状	石英、绢云母、黄铁矿、毒砂	Au+As	沙尔布拉克;多拉纳萨依早阶段
III	产于火山岩中的金矿	海沟、岛弧、弧后盆地、板内火山断陷盆地	脉状、细脉浸染状、似层状	石英、绿泥石、黄铁矿(中基性火山岩);石英、冰长石、绢云母、毒砂、黄铁矿(中酸性火山岩)	Au+Cu(中基性火山岩);Au+As+Sb+Pb+W(中酸性火山岩)	马热勒铁、阿克希克、阿舍勒(伴生)、乔夏哈拉(中基性火山岩);阿克提什坎、托格尔托别(中酸性火山岩)
IV	产于中浅成脉岩、浅成-超浅成岩中的金矿	陆缘岩浆弧、岛弧后盆地	脉状、细脉浸染状	石英、绢云母、钠长石、黄铁矿、辉铜矿、磁黄铁矿	Au-W(脉岩);Au-Cu(斑岩)	多拉纳萨依、赛都、布托别山等
V	产于深成岩浆岩中的金矿	陆缘深成岩浆弧、岛弧、弧后盆地	脉状、浸染状	石英、绢云母、绿泥石、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿	Au	扎河坝、塔斯特、阿克塔斯

2 成矿元素来源

2.1 金元素在矿体和围岩中的地化特征

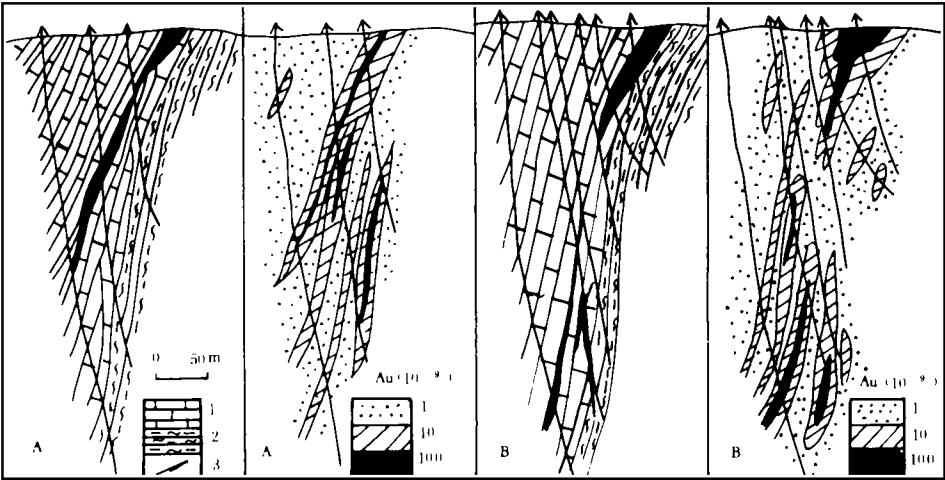
我们曾于 1987 年在阿尔泰地区 EW 方向五条地质剖面上对各时代地层的含金性作了系统采样和测试,结果见表 2。由表可知,中泥盆统和下石炭统两个层位金含量较高,分别为 1.491×10⁻⁹和 1.125×10⁻⁹。特别是中泥盆统不仅金含量最高,金元素含量的变异系数也高,为 157.97,数据离散度高,表明金元素在该地层中比较活跃,活化、迁移、富集程度颇强,完全可提供成矿所需的金源。事实上,中泥盆统和下石炭统是区内金矿床重要的赋矿层位,目前已发现的金矿床均与这两个层位有关。

表 2 阿尔泰地区各时代地层中金元素含量特征参数
Table 2 Parameters and gold contents of different stratum in Altai

地层时代	前震旦系 (AnZ)	震旦系 (Z)	上奥陶统 (O ₃)	志留系 (S)	下泥盆统 (D ₁)	中泥盆统 (D ₂)	上泥盆统 (D ₃)	下石炭统 (C ₁)	下二叠统 (P ₁)
样品数	33	8	5	5	2	44	17	24	4
金平均含量 (10 ⁻⁹)	0.458	0.400	0.320	0.360	0.250	1.491	0.782	1.125	0.375
标准离差	0.347	0.239	0.110	0.134	0.071	2.355	0.662	1.549	0.050
变异系数	75.91	59.76	34.23	37.27	28.28	157.97	84.57	37.66	13.33

(据区内 5 条地质路线基岩测量结果,由张定源整理)

多拉纳萨依金矿是区内最重要金矿矿,赋矿层位为中泥盆统俄多克组。阿尔泰地区中泥盆统金元素的区域背景值为 1.45×10^{-9} ,而中泥盆统俄多克组第三岩性段(主要赋矿层位)金元素的背景值为 1.91×10^{-9} (施华生,1991)。对该矿 4 和 20 二条勘探线钻孔中金原生晕的系统研究表明^[2],金高异常呈带状与矿体吻合,受构造破碎蚀变带控制,蚀变带上盘为灰岩,下盘为绿泥石片岩或绿泥石千枚岩;距矿(化)体中心部位 25~50m 以外,与金高异常带相匹配存在一对称的金负异常带,即金亏损带,该带宽 30~60m,金含量 1×10^{-9} 左右,最低仅 0.6×10^{-9} ,比该地层金背景值(1.91×10^{-9})亏损了一半以上,产生了以矿体为中心的金地球化学贫化-富



1. 灰岩 2. 绿泥石片岩或绿泥石千枚岩 3. 金矿化体

图 1 多拉纳萨依金矿 4 线、20 线金原生晕异常图

(A、A' 图 4 线;B、B' 图 20 线。A、B 图为地质剖面;A'、B' 图为原生晕异常图。)

Fig. 1 Primary halo of gold in line 4 and 20 in Duolanasayi

集共轭现象(图 1)。相似情况在阿克塔斯金矿钻孔剖面中也被发现。

在阿尔泰北部高山区,产于火山岩中的阿克提什坎、托格尔托别等金矿(点)含矿层位是下石炭统红山嘴组 a、b 两段^[3]。该两段地层金的背景值是区内最高值,分别为 $(3.13\sim 6.79)\times 10^{-9}$ 和 $(1.00\sim 5.06)\times 10^{-9}$ 。其变异系数相应是 331.15 和 315.72,数据离散程度很高。在阿克提什坎金矿,围岩见明显蚀变分带。与围岩蚀变分带同步,金及相关元素显现贫化-富集共轭现象。从未蚀变火山岩→青盘岩化带→含矿黄铁绢英岩化带,金元素含量变化规律为 $(3.13\sim 6.79)\times 10^{-9}\rightarrow 1.66\times 10^{-9}\rightarrow 238.5\times 10^{-9}$ 。特别是从 80 多 m 宽的青盘岩化带到黄铁绢英岩化带,金元素含量亏损了近一半,其亏损的金元素总量一定非常可观。另外,伴随金元素在青盘岩化带中的亏损,在黄铁绢英岩化带中的富集,常量和微量元素也大量带进带出。据巴尔特氧法,从青盘岩化带到黄铁绢英岩化带带进元素有 Si(+118)、K(+81)、Al(+65)和 Ag、As、F、Cl 等,带出元素有 Ca(-74)、Mg(-31)、CO₂(-131)以及 Cu、Pb、Zn 等。更有趣的是在黄铁绢英岩化带,这个金元素的高含量带中,金与砷、锑同步形成二次贫化-富集[图 2]。该贫化带宽 4~20m,金含量一般为 $(10\sim 20)\times 10^{-9}$,最低仅 1.45×10^{-9} ;As,约 20×10^{-6} ;Sb,约 5.0×10^{-6} 。而黄铁绢英岩化带本身金、砷、锑平均含量分别为 238.5×10^{-9} , 1108.9×10^{-6} 和 10.76×10^{-6} (据 84 个连续刻槽样的加权平均)。这种现象在阿尔泰原生金矿中普遍存在。显然,这种金及相关元素在矿体围岩中的贫化-富集共轭现象及这种现象在同一矿床同一剖面中不同层次的多次出现为矿床的成矿物质主要来源于围岩和矿床是围岩中金元素多次活化、迁移、富集成矿的认识提供了重要的依据。^[4,5]

2.2 黄铁矿提供的成矿元素来源信息

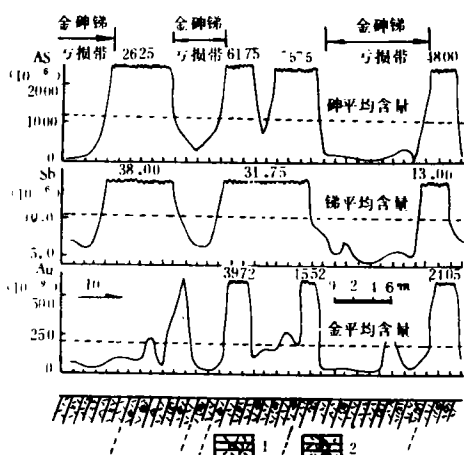
表 3 国内外一些金矿围岩中的黄铁矿含金性

Table 3 Gold contents of pyrites in wallrock of some gold deposits

矿区名称	围岩岩性	全岩金含量(10^{-9})	围岩中黄铁矿金含量(10^{-6})	资料来源
多拉纳萨依	黑云母斜长花岗岩	9.90	0.69 ⁽¹⁾	本文
	角 岩	1.06	6.00 ⁽²⁾	本文
	千枚岩	0.98	4.25	本文
	灰 岩	1.60	0.12	本文
	大理石	0.17	0.5	本文
科特斯(美)	罗伯兹山石灰岩		0.6	V. F. Hoilister
兰 德(南非)	?		0.18	R. W. Boyle
科巴尔特区(加)	含黄铁矿石英片岩		0.16	R. W. Boyle
基诺山(加)	千枚岩和片岩		0.06~1.9	R. W. Boyle
沃尔顿(加)	页 岩		<0.02~0.17	R. W. Boyle
八宝山(中国浙江)	片麻岩		0.26	郑人来

(1)该样为钠长石花岗岩 (2)岩石已强烈蚀变
测试单位:南京地矿所实验室化学分析组 测试时间:1989 年。

一般认为,围岩中的金分易释放金和不易释放金两类^[6]。赋存于黄铁矿中的金经过不很强的地质作用就可活化出来,应属易释放金类。金矿的主成矿元素——金来源于围岩是指矿体中的金来源于围岩中象黄铁矿中的金这样的易释放金类。对多拉纳萨依金矿各类围岩中黄铁矿



1. 黄铁绢英岩化凝灰熔岩 2. 毒砂黄铁绢英岩化凝灰熔岩

图2 阿克提什坎金矿2号探槽地质地化联合剖面图

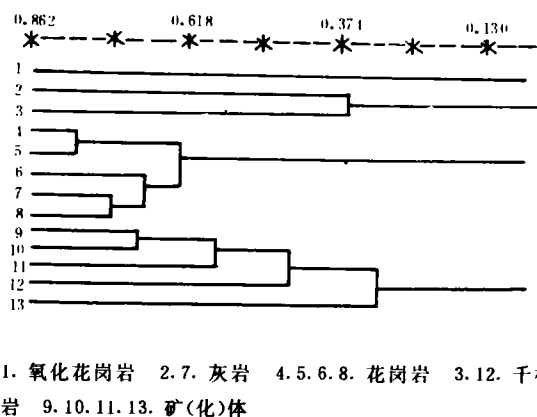
Fig. 2 Geology-geochemistry section for test trench 2 in Aketisekan

的活化迁移有关。

2.3 成矿流体化学成分提供的物质来源信息

区内八个金矿主成矿阶段54个石英包裹体成分测定结果见表4。表4中与成矿物质来源有关的信息主要有两点。其一,成矿流体液相成分中有大量不应在岩浆期后热液中大量出现的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 离子。三者占液相成分总量60%以上, HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 甚至占阴离子成分90%以上。如钙离子在岩浆结晶作用,特别是在中酸性岩浆结晶作用中极易在晶格中富集,早期就应消耗殆尽。因此,含水岩浆结晶过程只能分异出富钾钠的热液,不能出现富钙的流体^[10]。所以,本区金矿床中大量钙离子在成矿流体中出现只能解释为成矿流体

含金性分析(表3)表明,黄铁矿含金在 $(0.12 \sim 6.0) \times 10^{-9}$ 间,比国内外一些成矿物质公认为来源于围岩的著名金矿围岩中黄铁矿含金值大的多。^[7~9]这样是否可推测该矿各类围岩均是成矿物质来源的母岩?其中,千枚岩是矿体直接围岩,黄铁矿含金量在所有围岩中最高,是否能认为千枚岩是成矿物质来源的直接母岩。答案应该是肯定的。据对围岩和矿体中黄铁矿成分的Q型聚类分析(图3,以Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Te、Se、Fe、Mn、Ti、V、B、Cr、Ni、Co、Sr、S18种元素为聚类指数)表明矿化体中的黄铁矿主要与直接围岩——千枚岩中的黄铁矿关系密切,与其它围岩中的黄铁矿关系不大。这为成矿物质主要来源于矿体直接围岩——绿泥石千枚岩提供了重要的证据。当然,这不能排除其它岩类,特别是岩浆岩提供矿源的可能性,的确矿区内黑云母斜长花岗岩金含量是各类围岩之最,但这正可能与该类岩石中不易释放金的高含量,或岩体中金元素没有进行充分



1. 氧化花岗岩 2. 7. 灰岩 4. 5. 6. 8. 花岗岩 3. 12. 千枚岩 9. 10. 11. 13. 矿(化)体

图3 多拉纳萨依金矿各类岩石中黄铁矿Q型聚类谱系图(据欧沛宁)

Fig. 3 Q-type classified pedigree chart of pyrites in Duolanasayi

在环流过程中淋滤出围岩中钙离子的结果,即钙离子主要来源于围岩。其二,成矿流体成分与矿体围岩性质有关,如扎河坝金矿主要产于高铁镁质的超基性岩体附近,成矿流体中镁离子含量相对较高。塔斯特金矿产于钾长花岗岩和二长花岗岩组成的复式岩体的破碎蚀变带中,成矿流体中钾离子含量亦较高。多拉纳萨依金矿、阿克提什坎金矿成矿流体中除大量钙离子外,还有大量的钾离子,也与矿区内强烈的钾化相符。

3 成矿溶液的来源

金矿体石英包裹体中水的氢氧同位素测定是目前解决成矿流体中水来源的有效办法。

表 4 阿尔泰原生金矿矿石石英包裹体液相成分

Table 4 Liquid contents of quartz inclusion of ore in Altai

单位: 10^{-6}

矿床名称	矿体围岩	样品数	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Cl ⁻
扎河坝	基性—超基性岩体与闪长岩的破碎蚀变带中	3	1021	1758	23114	3190	34913	14161	1585	4197
马热勒铁	安山玄武岩	9	220	1533	6176	474	16213	7557	547	1246
阿克塔斯	斜长花岗岩与千枚岩的接触带中	1	229	1490	7670	2980	13500	14200	1490	1720
塔斯特	碱性花岗岩破碎蚀变带中	3	2133	1167	766	227	5584	4104	454	3217
阿克西克	海相中基性火山岩	23	5866	4133	11030	1523	30970	8611	10510	2447
沙尔布拉克	凝灰质砂岩	1	256	641	5769	538	6770	5640	410	2100
多拉纳萨依	灰岩和千枚岩的接触带中	13	3954	1242	25310	1860	31639	10605	7152	3035
阿克提什坎	陆相中酸性火山岩	1	18728	8193	11119	2926	139287	16388	2926	3511

测试单位:南京大学岩矿测试中心 测试者:赵梅芳

本区主要金矿床主成矿阶段 43 个氢氧同位素组成见表 5、图 4、5。由图表可知,石英的 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 值在 8.90~23.50 间,计算的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ 值在 -7.56~+11.33 范围内(因成矿温度在 160~380℃ 间,成矿盐度在 3.37~18.00wt%NaCl 间,用张理刚 1989 年公式计算^[11])。实测的包裹体中水的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ 值在 -37.0~-142.6 范围内。其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值的极差为 18.89‰, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值的极差为 -105.6‰,两者变化范围均很大,说明区内金成矿作用复杂,成矿流体多源。本区氢氧同位素另一个基本特征为从成矿早阶段到成矿晚阶段 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值呈下降趋势, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值有升有降。如马

表 5 阿尔泰原生金矿主成矿阶段成矿溶液氢氧同位素组成

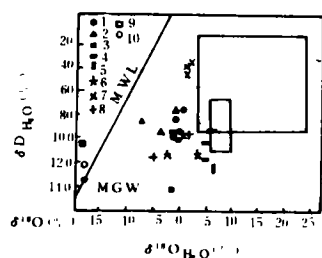
Table 5 H₂O isotopic composition of metallogenetic fluids in main metallogenetic stage

矿床名称	成矿阶段		样品数	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SiO}_2}(\text{‰})$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$		$\Delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$		资料来源	
				数据范围	均值	数值范围	均值	数值范围	均值		
扎河坝	石英-硫化物阶段		3	11.94 } 12.59	12.32	-0.94 } +0.83	+0.05	-70.9 } -93.6	-82.13	本文	
马热勒铁	碎裂状脉石英阶段		2	11.51 } 13.45	12.60	-0.76 } -1.96	-1.55	-96.9 } -98.6	-97.7	本文	
	石英-硫化物阶段		1	13.46	13.46	-1.75	-1.75	-142.6	-142.6	本文	
阿克塔斯	早期脉石英阶段		2	12.44 } 13.43	12.94	+6.02 } +4.63	+5.33	-96.30 } -108.00	-102.5	本文	
	石英-硫化物阶段		1	13.34	13.34	+4.38	+4.38	-120.30	-120.30	本文	
塔斯特	石英-硫化物阶段		3	2.40 } 7.70	5.47	-1.12 } -7.56	-4.14	-79.90 } -98.30	-89.03	本文	
阿克希克	石英-硫化物阶段		4	8.90 } 13.59	11.72	-2.51 } +3.25	+0.03	-99.8 } -117.4	-110.4	本文	
沙尔布拉克	石英-硫化物阶段		1	14.87	14.87	+6.15	+6.15	-126.2	-126.2	本文	
多拉纳萨依	主成矿阶段	第一组	2	18.30 } 16.96	17.63	-1.33 } +2.41	+0.54	-37.0 } -51.8	-44.4	本文	
				第二组		3		18.05 } 18.91			18.62
		第三组	10		15.68 } 23.50		18.83	+1.61 } +11.33	+5.57	-65.6 } -61.6	
				第四组	16	14.62 } 19.89		18.38		+2.07 } +9.16	+5.68
		阿舍勒 (伴生)	块状硫化物矿石			3	12.88 } 13.14		13.08	+1.57 } +2.12	
				阿克提什坎	石英-硫化物阶段		2	15.39 } 15.94		15.67	-6.15 } +0.40
		现代河水(别列孜克河水) 91年8月取样				1		—	-19.34		-104.4
		现代泉水(多拉纳萨依1号泉) 91年8月取样		1	—	-18.40		-121.5		本文	

测试单位:南京地矿所稳定同位素组

测试者:赵连才(氧同位素)、钱雅倩、黄土葆(氢同位素)。

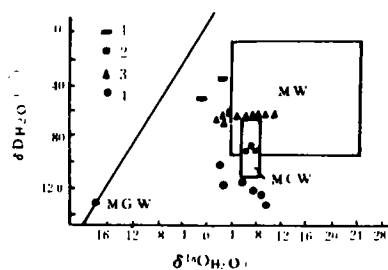
热勒铁金矿,从成矿早阶段到成矿晚阶段 δD_{H_2O} 值从 -97.7% 下降到 -142.6% , $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值从 -1.55% 下降到 -1.75% 。多拉纳萨依金矿, δD_{H_2O} 值从 -44.4% 下降到 -117.7% , $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值从 $+0.54\%$ 上升到 $+5.68\%$ 。这表明在长期复杂的成矿作用过程中成矿流体的水是富集 H, 逸失 D, 而氧同位素各矿区据各自的地质特征有各自的规律, 导致这种现象的因素显然是复杂的。



1. 扎河坝金矿 2. 塔斯提金矿 3. 马热勒铁金矿 4. 阿克塔斯金矿 5. 沙尔布拉克金矿 6. 阿克希克金矿 7. 阿舍勒伴生金矿 8. 阿克提什坎金矿 9. 现代河水 10. 现代泉水

图 4 阿尔泰原生金矿氢氧同位素组成

Fig. 4 H₂O isotopic composition of primary gold deposits in Altai



1. 第一组 2. 第二组 3. 第三组 4. 第四组
MCW—"MC"型花岗岩初始岩浆水 MW—变质水
MWL—大气降水线 MGW—中生代局部大气降水

图 5 多拉纳萨依金矿氢氧同位素组成

Fig. 5 H₂O isotopic composition of Duolanasayi gold deposit

多拉纳萨依金矿是区内最重要金矿。该矿热液期成矿溶液水介质 21 个氢氧同位素明显可分成四组, 分别与该矿的变质-天水热液阶段(第一组), 岩浆热液阶段(第二组), 变质热液阶段(第三组)和地热水循环阶段相对应(图 5、表 5)。各组样品含金性第一组平均为 0.68g/t ; 第二组, 1.79g/t ; 第三组, 9.02g/t ; 第四组, 17.49g/t 。这表明多拉纳萨依金矿的形成是复杂的, 热液成矿期成矿溶液介质水经历了变质水和大气降水的混合水、岩浆水、变质水(含少量岩浆水和大气降水)、大气降水四个阶段。第三、四阶段是主成金阶段, 而富矿体形成主要与第四阶段——地热水循环阶段有关。该组氢氧同位素特征是 δD_{H_2O} 越小, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 越大, 样品金品位越高。 δD_{H_2O} 值最低达 -132.2% , 相应 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值 $+9.16\%$ 。金品位最高可达 57.91g/t 。在图 5 中该组投点向右下方“漂移”。众所周知, 大气降水热液成矿体系的主要特征是: δD_{H_2O} 值小于 -90% ; $\delta^{18}O_{H_2O}$ 小于 $+3\%$; 蚀变体系明显, 但 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值大于 $+3\%$, 甚至大于 $+5\%$ 也不能轻易否定大气降水成分, 还应考虑 W/R 值和围岩是否富 ^{18}O , 若富 ^{18}O , 即使大气降水热液, 其 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值也完全应大于 $+5\%$ [10]。目前我国“卡林”型金矿围岩一般均富 ^{18}O , 大气降水与围岩同位素平衡交换后, 使 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值变大, 如板其 ($\delta^{18}O_{H_2O}$ 值 $-1 \sim +9$)、丫他 ($+3\% \sim +11\%$)、二台子 ($+3\% \sim +10\%$) 金矿等。众多学者系统研究后均认为这些矿床成矿流体水介质主要由大气降水组成(李存登, 1987; 金勤海, 1987; 徐国风, 1986; 姜信顺, 1988 等)。在多拉纳萨依地区石灰岩 $\delta^{18}O$ 值为 28.88% , 白云岩, 27.55% 大理岩, 27.75% , 均高于同一地质期同类岩石 $1 \sim 7$ 个千分点 [12], 即矿区围岩特富 ^{18}O 。这类岩石当遭受大气降水热液淋滤时发生的同位素平衡交换必使

热液中 $\delta^{18}\text{O}$ 含量增高, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值发生增高漂移作用,而D必在贫D围岩中滞留使热液中D含量减少, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值变小。该结论也被我们1991年8月采集的流经矿区的别列孜克河水和距河南岸约5km的多拉纳萨依一号泉水(金矿主矿体就在河和泉之间)的氢氧同位素的测试结果所证实。因为该区干旱少雨,泉位于切割河床的南北向断裂带中,研究表明河水只能是泉水的唯一来源。河水沿断裂带流经5km长的富 ^{18}O 、贫D的围岩后, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值上升了约1个千分点, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值下降了约17个千分点。显然,这种平衡交换越彻底,热液获取 ^{18}O 就越多,逸失D也越多,从围岩活化到热液中的成矿元素也越多,形成了 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 越大, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 越小,样品金品位越高的有趣地质现象。这是成矿溶液以大气降水为主,成矿元素主要来源于围岩的重要证据。

4 结 论

根据上面论述可得出如下结论:

(1)阿尔泰地区中泥盆统和下石炭统两个层位金元素含量较高,金元素含量的变异系数也高。金元素在该两个层位中比较活跃,活化、富集程度颇强。目前该区发现的金矿床均与这两个层位有关。

(2)区内金矿以矿体为中心存在一金元素与砷、锑等相关元素同步的地球化学贫化-富集共轭现象,即在矿(化)体附近出现元素的负异常带。元素含量的这种分带规律还与围岩蚀变分带相匹配,在同一矿床同一剖面中不同层次的多次出现。这是成矿物质主要来源于围岩和围岩中成矿组分多次活化、运移、富集成矿的重要证据。

(3)多拉纳萨依金矿围岩中黄铁矿含金性较高,矿体直接围岩——千枚岩中黄铁矿含金性更高。对矿体和各种围岩中13个黄铁矿做的Q型聚类表明矿体中黄铁矿与直接围岩——千枚岩中黄铁矿关系密切。这是成矿物质主要来源于矿体直接围岩的重要佐证。

(4)区内金矿成矿流体中含有大量的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 离子,而且成矿流体成分与矿体直接围岩性质有关,也表明成矿物质来源于矿体围岩。

(5)成矿流体的氢氧同位素值变化范围很大,从成矿早阶段到成矿晚阶段氢同位素值呈下降趋势。在多拉纳萨依地区地热水循环阶段中, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值越小, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值越大,样品金品位越高。这表明区内金成矿作用复杂,成矿流体多源,在富矿体形成阶段成矿流体以大气降水为主。

总之,区内金矿成矿物质具多来源,但主要来源于围岩;成矿流体也具多来源,但富矿体形成阶段以大气降水为主。

参考文献

- 1 芮行健,朱韶华,刘杭娟.新疆阿尔泰原生金矿基本特征及区域成矿模式.地质论评,1993,39(2)
- 2 张定源等.多拉纳萨依金矿床地球化学晕的数据处理及其找矿意义.南京地质矿产研究所所刊,1988,9(3)
- 3 朱韶华等.阿克提什坎金矿的发现及基本特征.南京地质矿产研究所所刊,1991,12(2)

- 4 马东升等. 江南金成矿带层控金矿的地球化学特征和成因研究. 中国科学, B 辑, 1991, (4): 424~433
- 5 刘英俊等. 论江南型金矿床的成矿作用地球化学. 桂林冶金地质学院学报, 1991, 11(2)
- 6 Boyle R W. The geochemistry of gold and its deposits. Canada Geol. Survey Bull, 1979, 280, 584
- 8 博伊尔 R W. 黄金开发史和金矿床成因. 原子能出版社, 1991
- 9 徐国风等. 论浙江火山岩区金银矿床的成矿物质来源. 地球科学, 1987, (4)
- 10 季克俭等. 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律. 北京科学技术出版社, 1989
- 11 张理刚. 成岩成矿理论与找矿. 北京工业大学出版社, 1989
- 12 王英华等. 华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学. 地震出版社, 1988
- 13 许静. 金的矿源层讨论. 地质论评, 1992, 38(4)

RESEARCH ON THE SOURCE OF METALLOGENIC MATERIAL FOR THE PRIMARY GOLD DEPOSITS IN ALTAI

Zhu Shaohua Dong Yongguan

(Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016)

Abstract

This paper deals with source of gold in the gold deposits in Altai Area. Results obtained show that gold contents are high and variable. Coefficients are higher for Middle Devonian and Lower Carboniferous stratum. Enrichment and poorness of gold are coupled about ore bodies with alteration zonation. Data of pyrite with high gold value within ore body are closely related to those within the direct wallrock. Ore fluid is rich in Ca^{++} , HCO_3^- and SO_4^{--} et. al., and similar chemically to wallrock. All the results suggest that ore materials are mainly derived from wallrock.