

文章编号:0258-7106(2005)02-0168-10

阿尔金北缘大平沟金矿床成因*

陈柏林¹,杨屹²,王小凤¹,杨风²,王克卓²,陈宣华¹,陈正乐¹,李学智²

(1 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;2 新疆地质调查院第一地质调查所,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要 大平沟金矿是阿尔金北缘地区近年来新发现的一个中型金矿床。它受韧性剪切带构造的控制,矿化类型为蚀变糜棱岩型夹少量钾长石石英脉型。文章通过地质地球化学的研究,探讨了该矿床的成因。稀土元素、硫同位素、铅同位素和锆同位素地球化学特征反映成矿物质主要来源于变质岩;流体包裹体和氢氧同位素反映成矿流体主要来源于变质水,有少量重熔岩浆水和大气降水的混入,成矿温度 198~290℃,成矿流体密度 0.791~0.971 g/cm³;盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) = 2.03\% \sim 5.5\%$,成矿压力 $(420 \sim 720) \times 10^5 \text{ Pa}$,成矿深度为 1.61~2.68 km。石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄表明成矿时代为加里东期。大平沟金矿床属于中温动力变质热液成因矿床。

关键词 地质学;动力变质热液型;成因;加里东期;大平沟金矿床;阿尔金北缘地区

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

阿尔金北缘地区在阿尔金北东向构造带与北祁连构造带西段的交汇复合部位,北接塔里木地块南缘。阿尔金断裂带和阿尔金地区的区域构造演化已经成为近十多年来的研究热点,并取得了重要的研究成果(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;崔军文等,1999;许志琴等,1999;周勇等,1999;张建新等,1998;Yin et al., 1999;2002;陈宣华等,2002;Cowgill et al., 2003)。相对来说,对阿尔金北缘地区的金矿床所开展的研究历史则很短,近 5 年来才有相关的报道(杨风等,2001;李学智等,2002;陈柏林等,2002a;2002b)。

大平沟金矿床位于新疆维吾尔自治区若羌县,是近年来在阿尔金北缘地区新发现的一个中型金矿床,受到多方的关注和重视。一些学者在大平沟金矿床开展了相关的研究,杨风等(2001)最早对其成因进行了初步探讨;陈柏林(2002a;2002b)首次确认其属于韧性剪切带型金矿床,并进行了硫同位素特征及其示踪分析;李学智等(2002)对该金矿床的矿石特征和金的赋存状态进行了研究;陈宣华等(2002)认为它是受中生代伸展构造控制的金矿床。上述研究无疑加深了人们对该金矿床的认识,也为

该地区进一步找矿提供了一定的依据,但是由于缺乏较全面的地质地球化学综合分析和同位素年代学测试资料,因此有些研究和认识值得商榷,如杨风等(2001)认为该金矿床形成于印支期仅仅是根据相邻地区个别岩体时代(200 Ma)推断的,没有直接的年代学证据;陈宣华等(2002)认为受中生代(200~180 Ma)伸展构造控制,也只是根据该金矿床位于伸展断裂下盘的空间关系,而无其他依据。新近的测年数据显示,两者时差近 300 Ma,存在明显的矛盾。

矿床形成的实质是地壳中元素在地质作用影响下从分散到聚集的地球化学过程,其中成矿物质来源、成矿流体来源、成矿时代及主要控矿因素是矿床成因研究的主要内容。确定金矿床的成因对探讨成矿机制、建立成矿模式和找矿预测都具有重要的意义。

本文在重新认识大平沟金矿床成矿地质背景的基础上,依据成矿的地球化学特征(包括稀土元素、硫、铅、锆、氢氧同位素)及流体包裹体特征,着重分析了成矿物质和流体来源,确定了金矿床的成矿时代,并探讨了矿床的成因。

* 本文受中国地质调查局国土资源调查项目(K1.1.2.3)和(200110000001-5)及国家 305 项目(96-915-06-01)联合资助

第一作者简介 陈柏林,男,1962 年生,研究员,主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。通讯地址:100081,北京市海淀区民族学院南路 11 号中国地质科学院地质力学研究所;电话:68486764;E-mail: cblh6299@263.net。

收稿日期 2004-05-14;改回日期 2004-10-25。张绮玲编辑。

1 矿床地质概要

大平沟金矿床产出的大地构造位置处于青藏高原北缘,阿尔金走滑断裂系北段与祁连山西段交汇复合部位,区域上属于阿尔金北缘构造带中段的太古界隆起区。该区在新元古代为古陆,早古生代陆块裂解,进入板块构造演化阶段,奥陶纪以出现较大面积深海火山岩为特征,早古生代末期的加里东期,本区进入板块俯冲阶段,最后发生板块碰撞。伴随着板块碰撞作用,该区发生了大规模的岩浆活动、地壳缩短和韧性剪切变形(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;崔军文等,1999)。

区域上主要出露新太古界、古元古界、蓟县系、青白口系、下古生界、中生界和新生界,以及早古生代岩浆岩、晚古生代花岗岩类等。同时,阿尔金北缘地区韧性变形比较明显,韧性剪切带是一种重要的构造形式,另有晚期脆性断裂发育(图 1)。

从大平沟金矿床的产出部位上分析,它受阿尔金北缘韧性剪切带的控制,也是目前在韧性剪切带中发现的规模最大的金矿床(陈柏林等,2002)。

大平沟金矿区地层主要为太古界达格拉格布拉克群(Ardg)中深变质岩,出露面积占 80% 以上,其次是加里东期钾长花岗岩(图 2)。太古界达格拉格布拉克群的主要岩性为褐灰-褐红色变粒岩、灰绿色变粒岩夹片岩、灰绿色片岩夹变粒岩,岩层倾向南,倾角 68~75°,其中褐红色钾长变粒岩是含金韧性剪切带和金矿体的直接围岩。

矿区东南角出露的钾长花岗岩(原来定为海西期),陈宣华等(Chen et al., 2004)通过与大平沟西花岗岩(485 Ma)和区域上花岗岩的岩性和岩石地球化学对比分析,确定其为加里东期,出露面积 5% 左右,肉红色,中粗粒结构,矿物以钾长石为主,含量为 75%~80%。钾长花岗岩与发生韧性变形的达格拉格布拉克群(Ardg)中深变质岩呈侵入接触关系,局部有一些弱变形(图 2)。

韧性剪切带发育于褐红色钾长变粒岩中,占矿区面积的 10% 左右。韧性剪切带呈 NWW 走向,倾向 SSW,倾角 65~85°,岩石普遍发生糜棱岩化和构造动力退变质作用,形成各种糜棱岩和绢云母绿泥石片岩等。同时,矿区内还发育 2 条 NEE 向(F_1 和 F_2) 和 1 条 NW 向(F_3) 脆性断裂。

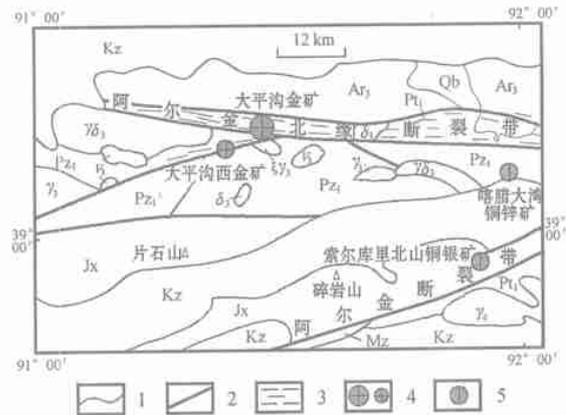


图 1 阿尔金北缘地区区域构造及矿床(点)分布图
(据 1:20 万索尔库里幅地质图和本文资料编制)

Kz—新生界砂岩、泥岩和松散冲洪积物;Mz—中生界砾岩、砂岩夹煤层;Pz₁—下古生界火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩;Qb—青白口系片理化砂岩和含砾砂岩;Jx—蓟县系浅变质碎屑岩和白云岩;Pt₁—古元古界角闪片岩及大理岩;Ar₃—新太古界石英片岩及片麻岩;γ₄—海西期花岗岩;γπ₄—海西期花岗岩斑岩脉;ξγ₃—加里东期钾长花岗岩;γ₃—加里东期花岗岩;γδ₃—加里东期花岗闪长岩;δ₃—加里东期闪长岩;γ₃—新元古代辉长岩;1—地质界线;2—断裂;3—韧性剪切带;4—金矿床(点);5—铜多金属矿床

Fig. 1 Tectonic map of northern Altun area, northwest China, showing the distribution of ore deposits (spots)

Kz—Cenozoic sandstone, mudstone, alluvium and proluvium; Mz—Mesozoic conglomerate, sandstone and coal seam; Pz₁—Lower Paleozoic volcanic rock, clastic rock and carbonatite; Qb—Qingbaikou System schistosity sandstone, gravel-bearing sandstone; Jx—Jixian System epi-metamorphic clastic rock and dolostone; Pt₁—Lower Proterozoic hornblende schist and marble; Ar₃—Neo-Archaeozoic quartz schist and gneiss; γ₄—Hercynian granite; γπ₄—Hercynian granite porphyry; ξγ₃—Caledonian moyite; γ₃—Caledonian granite; γδ₃—Caledonian granodiorite; δ₃—Caledonian diorite; γ₃—Neo-Proterozoic gabbro; 1—Geological boundary; 2—Fault; 3—Ductile shear zone; 4—Gold deposit (ore spot); 5—Copper-poly-metallic ore deposit

值得指出的是,虽然矿区内加里东期钾长花岗岩体与含金韧性剪切带呈断裂接触(图 2),但是可以确定其与韧性变形和金矿化是相关的。主要依据是:①虽然较大的钾长花岗岩体与钾长变粒岩呈侵入接触,变形较弱,但是一些规模比较小的钾长花岗岩脉在变形钾长变粒岩中沿片理构造发育,两者呈渐变关系,具重熔混合成因特点;②在韧性剪切带内也可见钾长花岗岩小脉沿片理侵位于蚀变糜棱岩中(图 2 中部偏东);③虽然矿区东南角钾长花岗岩与含金韧性剪切带及金矿体呈断裂直接接触,但是考

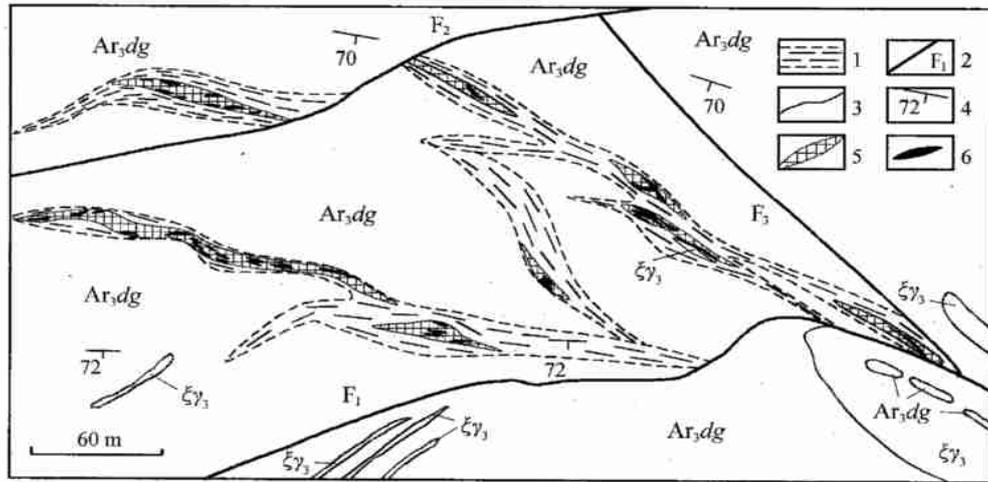


图 2 大平沟金矿床地质图

$Ar_3 dg$ —新太古界达格拉格布拉克群; $\xi\gamma_3$ —加里东期钾化花岗岩; 1—韧性剪切带; 2—晚期脆性断裂; 3—地质界线; 4—产状;
5—蚀变糜棱岩型金矿(化)体; 6—钾长石石英脉型富矿体

Fig.2 Geological map of the Dapinggou gold deposit, north west China

$Ar_3 dg$ —Neo-Archaeozoic Dagelagebulake Group; $\xi\gamma_3$ —Caledonian moyite; 1—Ductile shear zone; 2—Late brittle fault; 3—Geological boundary;
4—Attitude; 5—Altered mylonite type gold orebody; 6—K-feldspar quartz vein type gold orebody

考虑 F_1 的左行位移, 原来钾长花岗岩位于含金韧性剪切带及金矿体的南侧并相距一定的距离, 这符合一般中低温热液矿床中岩体与矿体空间关系的规律; ④金矿石的稀土元素特征与加里东期钾长花岗岩非常相似(后文); ⑤成岩时代与成矿时代吻合(后文)。同时, 加里东期花岗岩、钾长花岗岩和花岗闪长岩在矿区西侧及整个阿尔金北缘地区比较发育, 其中距大平沟不到 5 km 的大平沟西花岗岩年龄为 $(485 \pm 10) \text{ Ma}$ (Chen et al., 2004), 并有大平沟西金矿点与该岩体伴生。

大平沟金矿属于受阿尔金北缘韧性剪切带控制的蚀变糜棱岩型夹少量钾长石石英脉型金矿床。在矿区范围内韧性剪切带的控矿作用表现为: ①韧性剪切带及其演化过程中形成的韧-脆性剪切带是唯一的赋矿构造; ②韧性剪切带及其演化形成的韧脆性变形带控制了金矿化带及金矿体的形态、产状和分布; ③受韧脆性-脆性构造变形特点的制约, 金矿化以蚀变糜棱岩型为主, 少量为石英脉型; ④韧性剪切带中钾长石石英脉型金矿体的分布主要以与糜棱岩面呈小角度的 P 型、与剪切带边界平行的 D 型为主(陈柏林等, 2002)。

金矿石以变晶结构、交代结晶结构为主, 具有细脉状、浸染状、片状和条带状构造, 金矿物以自然金

为主, 且自然金成色较高, 反映出成矿时代偏老、与太古代变质岩关系密切的特点(李学智等, 2002)。同时含金钾长石石英脉中的石英没有梳状构造、石英颗粒边界不规则或呈港湾状, 并有明显的变形, 说明矿化和石英脉形成时没有明显偏张性的构造动力学环境, 矿化形式以交代为主, 石英脉为交代成因。

2 成矿物质来源

2.1 稀土元素特征及其反映的成矿物质来源

大平沟金矿 D7 剖面上变粒岩、矿化糜棱岩、条带状含金钾长石石英脉和无矿石英脉的稀土元素分析结果和稀土元素特征参数见表 1。其球粒陨石标准化稀土配分型式见图 3。

在稀土元素总量上, 钾长变粒岩最高, 为 421.57×10^{-6} , 随着变形和片理化加强, 稀土元素总量减少, 含金蚀变糜棱岩中 ΣREE 209.72×10^{-6} , 在含金钾长石石英脉中更少, 为 36.55×10^{-6} , 而在无矿石英脉中, ΣREE 仅为 8.572×10^{-6} 。从主要相关参数分析, 含金钾长石石英脉和矿化糜棱岩与围岩(钾长变粒岩)的稀土配分模式具有相似性, 它们都具有轻稀土强烈富集、Eu 异常和 Ce 异常不明显等特征。同时, 含金钾长石石英脉、蚀变矿化糜棱岩与围岩

表 1 大平沟金矿床矿石和围岩稀土元素分析结果和特征参数

Table 1 REE contents and parameters of ores and wall rocks from the Dapinggou gold deposit

序号	样品号	岩石名称	$w_B/10^{-6}$														
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
1	D7-1	钾长变粒岩	109.4	185.5	18.02	75.55	11.21	2.6	8.76	0.94	4.77	0.87	2.12	0.25	1.46	0.12	18.52
2	D7-10	含金蚀变糜棱岩	41.96	115.5	6.98	30.32	4.63	1.18	3.71	0.48	2.48	0.42	1.07	0.12	0.75	0.12	9.2
3	D7-11	条带状含金钾长石英脉	9.83	14.8	1.86	6.55	1.1	0.37	0.92	0.1	0.47	0.09	0.2	0.03	0.2	0.03	2.09
4	D7-14	无矿石英脉	1.48	4.69	0.36	1.34	0.25	0.05	0.2	0.03	0.1	0.016	0.035	0.004	0.013	0.004	0.36
5	D38-1	钾长花岗岩	32.70	55.61	4.81	18.37	2.65	0.59	2.98	0.35	1.43	0.31	0.87	0.16	0.65	0.10	

序号	样品号	岩石名称	Σ REE	LREE/HREE (La/Yb) _N	(Yb/Lu) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	La/Tb	(Sm/Nd) _N	δ Eu	δ Ce	
1	D7-1	钾长变粒岩	421.57	39.04	50.52	2.02	6.14	4.84	18.18	0.45	0.80	1.01
2	D7-10	含金蚀变糜棱岩	209.72	37.55	37.72	1.02	5.70	3.99	13.66	0.46	0.87	1.62
3	D7-11	条带状含金钾长石英脉	36.55	31.63	33.14	1.09	5.62	3.71	15.36	0.50	1.12	0.83
4	D7-14	无矿石英脉	8.572	41.44	76.75	0.53	3.72	12.41	7.71	0.56	0.68	1.55
5	D38-1	钾长花岗岩	121.67	30.47	33.93	1.24	7.76	3.71	14.91	0.43	0.64	1.07

注：国家地质实验测试中心测试。1、2、5 为等离子光谱分析，3、4 为等离子质谱分析， Σ REE 单位为 10^{-6} ，比值单位为 1。

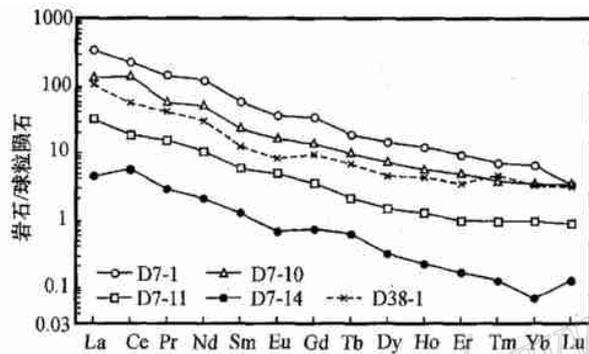


图 3 大平沟金矿矿石和围岩稀土配分模式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of ores and rocks from the Dapinggou gold deposit, Xingjiang, northwest China

(钾长变粒岩)之间的稀土元素相关参数具有相似的变化趋势,这说明它们具有同源性,但无矿石英脉的稀土元素相关参数显示出不同的变化趋势。所以,稀土元素特征反映大平沟金矿的成矿物质主要来源于本区新太古代深变质岩——钾长变粒岩,而无矿石英脉明显不同于矿化糜棱岩和含金钾长石石英脉,具有不同的演化历史,可能属于另一次地质作用的产物。

同时,钾长花岗岩的稀土元素特征介于矿化糜棱岩与含金钾长石石英脉之间(图 3),各特征参数也非常相似(表 1),显示了它们的同源性特点,而与无矿石英脉之间差异比较大。这说明钾长花岗岩的形成与本区加里东期板块碰撞条件下大规模韧性变形和地壳局部重熔密切相关。

2.2 铅同位素特征

从表 2 中可以看出,大平沟金矿床矿石铅同位素的单阶段模式年龄变化很大,甚至出现负值,说明大平沟金矿床矿石的铅是异常铅,是多阶段演化成因的。同时,在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 物源环境演化趋势图中,大平沟金矿 3 个样品的投影点位于上地幔与上地壳之间的造山带附近,且偏向上地壳一侧(图 4),反映出本区铅来源具造山带特色(即幔源物质和壳源物质不同程度混染而成),铅的来源不单一的特征说明大平沟金矿床的源岩是比较复杂的。这与大平沟金矿床与发育于太古代钾长变粒岩中的韧性剪切带具有成因联系的事实相吻合。

2.3 硫同位素特征

大平沟金矿床硫同位素组成见表 3。

大平沟金矿床矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 介于 5.8‰~6.2‰之间,非常集中,说明硫源比较单一,成矿环境和成矿物理化学条件较为稳定。同时,大平沟金矿床内含硫矿物主要为黄铁矿,未发现硫酸盐矿物,表明成矿热液没有发生强烈的硫同位素分馏作用。从围岩蚀变看,主要是绢云母化、绿泥石化和硅化,反映成矿流体为弱酸性环境,而且从黄铁矿的结晶世代分析,含金石英脉中的黄铁矿最主要的是同一期结晶形成的,说明硫同位素在硫化物不同期次之间的分馏作用也比较弱,所以上述黄铁矿硫同位素组成可能非常接近成矿流体的硫同位素组成。该硫同位素组成正向偏离陨石较大,不是深源硫,主要为壳源硫,最可能来源于花岗岩或正变质岩,结合本地区地质演化和稀土元素特征等,可以认为大平沟金

表2 大平沟金矿床矿石黄铁矿的铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic composition of ores from the Dapinggou gold deposit

序号	样号	矿石类型	铅同位素组成			单阶段模式 年龄/Ma	源区特征参数			
			²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb		μ	V	w	k
1	D21-3	石英脉金矿石	19.1818 ± 13	15.6601 ± 12	38.7008 ± 31	- 325	9.52	0.069	35.34	3.71
2	D21-4	石英脉金矿石	18.4521 ± 12	15.6459 ± 19	38.1704 ± 46	189.7	9.54	0.069	36.90	3.87
3	D21-7	石英脉金矿石	18.5603 ± 55	15.7398 ± 56	38.4400 ± 14	226.4	9.72	0.070	38.36	3.95
平均值			18.7314	15.6819	38.4371		9.59	0.069	36.86	3.84

测试单位:中国地质科学院地质研究所;计算参数: A₀ = 9.307, B₀ = 10.294, λ = (1.55125, 9.84850, 0.49474) × 10⁻¹⁰ a⁻¹, T₀ = 4 430 Ma。

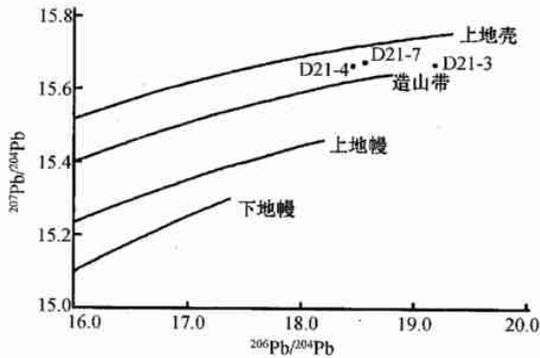


图4 大平沟金矿床矿石铅同位素投影图

Fig.4 Projection of lead isotope composition of ores from the Dapinggou gold deposit

表3 大平沟金矿床矿石硫同位素组成

Table 3 Sulfur isotopic composition of ores from the Dapinggou gold deposit

序号	样号	采样位置	矿石类型	测试矿物	δ ³⁴ S/ ‰
1	D21-3	I号矿体	含金石英脉	黄铁矿	+ 5.8
2	D21-4	I号矿体	含金石英脉	黄铁矿	+ 6.2
3	D21-7	I号矿体	含金石英脉	黄铁矿	+ 6.2

由中国科学院地质研究所测试,数据为相对于国际标准 CDT 之值。

矿床硫同位素主要来源于围岩——钾长变粒岩。

大平沟金矿床同阿尔金北缘地区其他金矿床相比,其 δ³⁴S 与祥云金矿(5.3 ‰ ~ 6.8 ‰)相似,但与红柳沟金矿(11.5 ‰)有明显差异,后者更富集重硫(陈柏林等,2002a)。同邻区金矿床相比,与北山地区热液石英脉型和韧性剪切带型金矿床的硫同位素组成(27个样品 δ³⁴S 平均 5.6 ‰,陈柏林等,2003)很相似,比受韧性剪切带控制,成矿物质具有深源特点的北祁连山西段金矿床(11个样品 δ³⁴S 平均 0.5 ‰,毛景文等,2000)富集重硫。因此,正变质岩硫(δ³⁴S + 4 ‰ ~ + 10 ‰)(张理刚等,1985)很可能是大平沟金矿床矿石中硫的主要来源。

2.4 锶同位素特征

锶同位素也是一个有效的物源“示踪剂”,已被广泛地用于研究矿床物质来源研究,大平沟金矿床初始锶比值(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)为 0.71006(后文石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素测试结果),明显大于 0.707,说明成矿物质主要来源于地壳物质,而非来源于上地幔,即来源于钾长变粒岩为主的太古代变质岩,这与稀土元素和硫同位素反映的成矿物质来源的认识是一致的。

2.5 氢氧同位素特征

大平沟金矿床氢氧同位素测定结果见表 4, δ¹⁸O_{石英} 为 11.2 ‰ ~ 12.5 ‰,与花岗岩(+ 7 ‰ ~ + 13 ‰)相当。相应包裹体水的氢同位素 δD 为 - 57 ‰ ~ - 59 ‰。

根据 Clayton 等(1972)给出的石英-水体系中氧同位素分馏随温度变化的关系式: δ¹⁸O_{石英} - δ¹⁸O_水 = A(10⁶ T⁻²) + B(当温度在 200 ~ 500 °C 时, A = 3.38, B = - 3.40),并由包体捕获温度求得的成矿流体中水的 δ¹⁸O_水 为 2.2 ‰ ~ 3.5 ‰,将其与相应的 δD 值投于 δD-δ¹⁸O 图上(图 5)可发现,投影点位于变质水为主体并与岩浆水混合流体之左侧,表明成矿流体以变质水(动力变质热液)为主,并有少量的岩浆水和大气降水混入。与国内其他金矿床相比,大平沟金矿床与福建肖板金矿床(陈柏林等,1998)非常相似;比治岭头金矿床(周俊发等,1996)受雨水影响小;比江西大背坞金矿床(王平安等,1998)受雨水影

表4 大平沟金矿床及有关矿床氢-氧同位素组成表

Table 4 H-O isotope composition of Dapinggou and other gold deposits

序号	样号	岩性	矿物	δ ¹⁸ O _{石英} / ‰	δ ¹⁸ O _水 / ‰	δD/ ‰
1	D6-3	石英脉	石英	+ 12.5	+ 3.5	- 59
2	D7-11	石英脉	石英	+ 11.4	+ 2.4	- 57
3	D7-15	钾长石石英脉	石英	+ 11.2	+ 2.2	- 57

中国地质科学院矿产资源研究所测试。

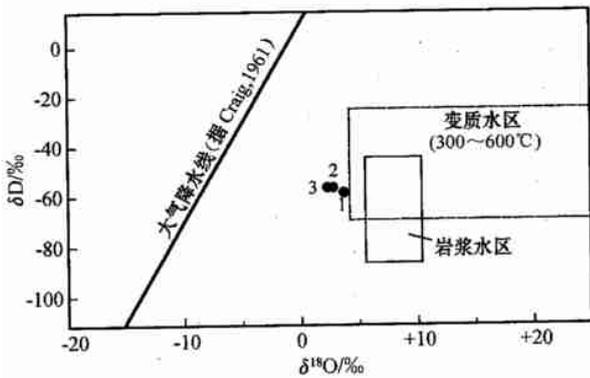


图 5 大平沟金矿床氢氧同位素投影图(底图据张理刚,1985,投影点序号同表 4)

Fig. 5 Diagram showing oxygen isotope and hydrogen isotope composition of ores from the Dapinggou gold deposit, Xinjiang (based on map by Zhang Ligang, 1985, serial number of the projected points as for Table 5)

响要大些,只是后者的 $\delta^{18}O$ 更高一些;北京得田沟金矿(李中坚等,1997)的岩浆水比例比本矿床要大得多,几乎无变质水的参与。

总之,大平沟金矿床成矿物质主要来源于区内太古代变质岩,成矿流体以变质水为主,有少量岩浆水的混入,并受到大气降水的影响,如果考虑到造山带地区岩浆属地壳重熔型的因素,则反映出成矿流体中变质水占明显优势的特征。

3 流体包裹体特征及成矿条件

流体包裹体是被封闭在矿物中的成矿流体,是

矿床成因研究的理想客体。对流体包裹体特征的研究,可以探讨矿床的成矿物化条件及热流体、热动力的来源。

3.1 石英流体包裹体一般特征

大平沟金矿钾长石石英脉型金矿石的石英样品中流体包裹体比较发育,但包裹体普遍很小,一般 $1 \sim 4 \mu m$,部分 $5 \sim 8 \mu m$,个别 $10 \sim 12 \mu m$ 。包裹体多密集成群,或沿微裂隙分布。包裹体形态以圆形、椭圆形为主。室温下都为气液两相,其气相百分数一般为 $10\% \sim 40\%$,部分更小。本区包裹体中 CO_2 含量普遍较低,说明成矿流体中 CO_2 的数量很少(明显不同于富含 CO_2 的北祁连山西段金矿床)。

3.2 均一温度

对所测包裹体的均一温度、盐度数据经换算可得流体密度、压力和捕获温度,其结果见表 5。

4 件样品 29 个均一温度测定值介于 $134 \sim 393 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间,各样品平均值分别为 $204 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $231 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $143 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $247 \text{ }^\circ\text{C}$,属中偏低的温度范围,在直方图上均一温度频数呈现出 2 个峰值,分别位于 $130 \sim 170 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $190 \sim 270 \text{ }^\circ\text{C}$ (图 6),表明成矿过程经历 2 个成矿阶段。

3.3 成矿流体密度和盐度

盐度是根据气-液包裹体水溶液的冷冻温度确定的,根据包裹体成分资料及矿石(指石英脉中)中方解石发育有限的事实,成矿流体按 $NaCl-H_2O$ 体系来处理,4 件样品的盐度 $w(NaCl_{eq})$ 均 $< 6\%$,较低的盐度表明不是地下热卤水或同生海水成矿,而与大多数中低温热液金矿(一般 $< 6\%$,极少超过 11%)相似。

表 5 大平沟金矿床成矿流体密度、压力和捕获温度

Table 5 Physical-chemical conditions for mineralization of the Dapinggou gold deposit

样号	测点	$t_h / \text{ }^\circ\text{C}$	$w(NaCl_{eq}) / \%$	$\rho / (\text{g} / \text{cm}^3)$	$p / 10^5 \text{ Pa}$	温度校正 值 / $^\circ\text{C}$	捕获温度 / $^\circ\text{C}$	平均捕获 温度 / $^\circ\text{C}$	平均形成 深度 / km
	1	268	3.34	0.791	280	22	290		
V3-1	3	164	3.01	0.924	530	48	212	234	1.77
	5	150	3.01	0.938	570	50	200		
D7-16	9	200	3.50	0.889	420	35	235	235	1.61
	10	200	2.03	0.879	420	35	235		
	4	134	5.35	0.971	720	64	198		
D6-5	5	158	5.35	0.950	680	58	216	205	2.68
	6	142	5.35	0.962	690	60	202		
	1	259	5.2	0.828	340	27	286		
D7-15	2	252	5.5	0.842	380	30	282	268	1.72
	3	247	3.81	0.835	470	38	285		
	4	167.7	5.5	0.939	600	52	219		

分析者:中国地质科学院矿产资源研究所流体包裹体实验室李荫清。

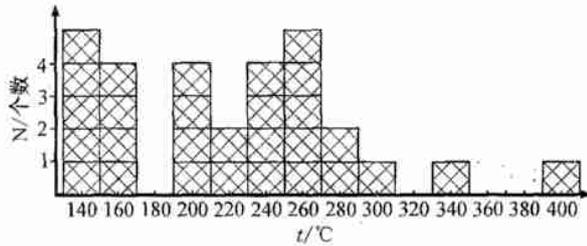


图6 大平沟金矿石英中流体包裹体均一温度频数直方图

Fig.6 Histogram showing inclusion homogenization temperature of quartz from the Dapinggou gold deposit

由包裹体均一温度和盐度计算出的本区成矿流体密度范围为 $0.791 \sim 0.971 \text{ g/cm}^3$, 平均为 0.897 g/cm^3 , 均小于 1.0 g/cm^3 。

盐度和密度数据反映出本区成矿流体以变质热液为主的特点。

3.4 成矿压力和成矿深度计算

运用何知礼(1982)所提出的5%、10%和20%的NaCl-H₂O体系相图,依据均一温度、盐度、密度可求得成矿流体包裹体形成时的压力,其结果为 $(280 \sim 720) \times 10^5 \text{ Pa}$ (表5),若按地压梯度 $(260 \times 10^5 \text{ Pa/km})$ 计,则成矿深度范围为 $1.08 \sim 2.77 \text{ km}$,主要成矿压力为 $(420 \sim 700) \times 10^5 \text{ Pa}$,主要成矿深度为 $1.61 \sim 2.68 \text{ km}$ 。从单个样品来看,D6-5的形成深度比较大,这与该样品石英的结构特点(交代结晶、颗粒比较小、不规则状-港湾状颗粒边界)相一致。

如果考虑流体包裹体压力代表的是矿物结晶时所捕获成矿流体的压力,而由于矿脉中矿物结晶作用发育于流体压力最低的时候,那么,按照陈柏林(2001)提出的脉状金矿床成矿深度估算方法,则成矿深度为 $3.59 \sim 6.00 \text{ km}$ 。这与含金钾长石石英脉中的石英具有一定的韧性变形特点是吻合的。

3.5 捕获温度

以NaCl-H₂O体系,由上述均一温度、成矿流体形成压力可求得温度校正(22~64°C),并求得包裹体形成时的温度(即捕获温度),变化于198~290°C之间,并以198~235°C和285~290°C为2个峰值(表5)。捕获温度更接近于成矿温度。

上述分析表明,大平沟金矿床温度198~290°C,成矿流体密度为 $0.791 \sim 0.971 \text{ g/cm}^3$,盐度2.03%~5.5%,成矿压力为 $(420 \sim 720) \times 10^5 \text{ Pa}$,成矿深度为 $1.61 \sim 2.68 \text{ km}$ 。大平沟金矿床属于动力变质热液为主的中低温热液型矿床。

4 成矿时代

大平沟金矿床石英流体包裹体Rb-Sr等时线年龄为 $(487 \pm 21) \text{ Ma}$,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr初始值为 (0.71006 ± 0.00018) ,MSWD=0.8(杨屹等,2004)。

通常以石英脉为主的流体相中难以保证既要同位素均一化又要使Rb与Sr发生分异的条件,有关研究(姚海涛等,2001)认为长石、云母的存在有利于热液接触相中Rb与Sr发生分异。本研究中石英样品取自于含金的钾长石石英脉,可保证石英流体包裹体Rb-Sr等时线法年龄的可靠性。6个样品Rb/Sr的最大值与最小值之比为1.80,符合均一化流体中的同位素分异特点,相关系数为0.9999,MSWD值很小(杨屹等,2004)。这说明该等时线年龄可靠性高。

大平沟金矿床石英流体包裹体Rb-Sr等时线年龄 $[(487 \pm 21) \text{ Ma}]$ 与大平沟西黑云母花岗岩锆石U-Pb年龄 $[(485 \pm 10) \text{ Ma}]$,Chen et al.,2004]很接近,也与阿尔金山地区的苏吾什杰岩体花岗岩[Rb-Sr等时线年龄为 $(491.3 \pm 4.6) \text{ Ma}$]及初始⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值 (0.7117 ± 0.0001) (崔军文等,1999)相当,这说明大平沟金矿床的形成与本区早古生代构造岩浆活动具有同时代性,也与本区板块碰撞及大规模韧性剪切带的形成和演化时代相吻合。

5 矿床成因探讨

5.1 矿床成因分析

通过上述成矿物质来源、成矿流体来源、成矿条件和成矿时代的研究,对大平沟金矿床的成因可以作如下总结。

大平沟金矿床属于与新太古代深变质岩有关,受近东西向韧性剪切构造带控制的、以动力变质热液为主的中低温热液型矿床。

稀土元素指示金矿石与太古代变质岩具明显的同源性;硫同位素指示金矿石的硫来自正变质岩和部分花岗质岩浆岩;铅同位素说明矿石中的铅源属于造山带类型,即幔源与壳源的混合来源;锶同位素显示壳源为主。归结起来说明成矿物质主要来自于新太古代变质岩——钾长变粒岩。板块碰撞过程中伴随的陆壳岩石(钾长变粒岩等)的深层次韧性剪切变形引发的构造动力分异作用(动力变质热液)是成

矿流体的主要来源及成矿物质活化再富集的主要控制因素,含金石英脉中较多钾长石说明了这一点。加里东期中酸性岩浆岩是板块碰撞过程中高温高压条件下的洋壳(部分幔源岩石)和陆壳岩石(钾长变粒岩等)部分熔融形成,是成矿流体的补充来源,也是成矿作用的热动力及部分成矿物质的提供者。氢氧同位素特征指示成矿流体以变质水(动力变质热液)为主,有少量重熔岩浆水混入,并受到少量大气降水的影响。矿床形成时代为加里东期,成矿温度为 198 ~ 290 °C。成矿物质来源、成矿流体来源和成矿时代特点均与本区大地构造演化历史非常吻合。

5.2 成矿作用过程与演化

大平沟金矿床的成矿作用及保存剥露的演化过程如下。

本区在经历了新太古代—元古代的区域构造演化(褶皱、变质和岩浆活动)的基础上,在加里东期,随着该区大地构造的演化和发展,在本区发生了最后一次大规模的洋壳闭合和板块碰撞作用,引发区内强烈构造变形(深层次韧性剪切带)和岩浆活动,从而导致区域性变形变质(动力变质)作用和区域成矿作用的发生。

板块碰撞过程中的高温高压条件和强烈的韧性剪切变形过程使原来岩石中的金等成矿元素被充分活化,在韧性变形过程中形成动力变质热液和少量重熔型岩浆热液,并形成含金热液。这种含金热液沿着韧性构造变形带中的裂隙运移上升至适宜的构造部位交代糜棱岩或构造片岩,形成蚀变糜棱岩(构造片岩)型金矿床;当含金热液进入到地壳浅部的断裂破碎带时,则形成交代型石英脉矿体(比较少)。

在该金矿床形成后的近 300 Ma 的时间里,在晚古生代区域上出现短暂的弱裂陷作用(只发育至浅海或海陆交互环境),在加里东期,板块碰撞造山形成稳定的陆块之后,该区一直处于较为稳定的大地构造环境,使得大平沟金矿床得以保存。在距今 200 ~ 185 Ma 期间,该区经历了一次快速隆升过程(陈宣华等,2002),但金矿床仍然处于地下一定的深度,直到新生代,随着印亚板块碰撞、青藏高原的隆升及伴随的阿尔金山的隆升和剥蚀,大平沟金矿床最终达到目前的深度。

6 结 论

大平沟金矿床形成于早古生代加里东期板块碰

撞伴随的强烈韧性变形和重熔型花岗质岩浆活动过程中,是受板块碰撞及伴随的韧性剪切带控制的动力变质热液为主的中低温热液型金矿床。成矿物质主要来自于新太古代变质岩——钾长变粒岩,成矿流体以变质水(动力变质)来源为主,有少量重熔岩浆水和大气降水的混入,矿化年龄(487 ± 21) Ma,成矿温度为 198 ~ 290 °C。

大平沟金矿床成因与成矿时代的确定可以深化该区成矿规律的认识。在该区,应在与加里东期板块俯冲碰撞相伴生的韧性变形带发育和岩浆活动的部位(如红柳沟地区)进一步找金矿。金矿床与板块俯冲碰撞及伴生的韧性变形带和岩浆活动之间的密切关系,与目前全球主要金矿成矿带与板块(包括古板块)碰撞带一致的分布规律相吻合。

值得指出的是,由于本区遭受强烈韧性变形的新太古代深变质岩为钾长变粒岩,因而动力变质热流体中的钾质含量也较高,局部熔融形成的岩浆岩含有较多的钾长石,金矿化蚀变具有明显的钾化,并形成含金钾长石石英脉,这是大平沟金矿床与其他韧性剪切带型金矿床的不同之处。这一特点也从一个侧面反映了韧性变形过程可以导致变形岩石的物质调整,并发生构造动力分异,形成动力变质热液,这正是韧性剪切带型金矿床的成矿作用机制所在。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 941 (in Chinese with English abstract).
- Chen B L, Wu G G, Huang R S, et al. 1998. A discussion on the origin of Xiaoban gold deposit of Fujian [J]. Mineral Deposits, 17 (Supp.): 319 ~ 322 (in Chinese).
- Chen B L. 2001. Calculation of metallogenic depth of lode gold deposits from mineralization structure-dynamics [J]. Chinese Journal of Geology, 36 (3): 380 ~ 384 (in Chinese with English abstract).
- Chen B L, Wang K Z, Yang Y, et al. 2002a. A study on sulfur isotope and its tracer significance of copper and gold deposits in northern Altun area, northwestern China [J]. Mineral Deposits, 21 (Supp.): 357 ~ 360 (in Chinese).
- Chen B L, Wang X F, Chen X H, et al. 2002b. Analysis of ore-controlling structure of ductile shear zone type gold deposits in Northern Altun area, northwestern China [J]. Acta Geologica Sinica, 76 (2): 235 ~ 243 (in Chinese with English abstract).
- Chen B L, Wu G G, Ye D J, et al. 2003. Study on the ductile shear

- zone and the metallogenic dynamics of gold deposits in southern Beishan area[M]. Beijing: Seismological Press. 1 ~ 127 (in Chinese with English abstract).
- Chen X H, Yang F, Wang X F, et al. 2002. Detachment and gold deposit in north Altyn Tagh——an example study of Dapinggou gold deposit[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 32(2): 122 ~ 127 (in Chinese with English abstract).
- Chen X H, Wang X F, Geoge G, et al. 2004. Early paleozoic magmatism and gold mineralization in northern Altun, NW China[J]. Acta Geologica Sinica, 78(2): 515 ~ 523.
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. J. Geophys. Res., 77: 3057 ~ 3067.
- Cowgill E, Yin A, Harrison T M, et al. 2003. Reconstruction of the Altyn Tagh fault based on U-Pb geochronology: Role of back thrusts, mantle sutures, and heterogeneous crustal strength in forming the Tibetan Plateau[J/OL]. J. Geophys. Res., 108 (B7), 2346, doi: 10.1029/2002JB002080.
- Craig H. 1961. Isotopic variations in meteoric water[J]. Science, 133: 1702 ~ 1703.
- Cui J W, Tang Z M, Deng J F, et al. 1999. Altun fault system[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 249 (in Chinese with English abstract).
- He Z L. 1982. Inclusion mineralogy[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 304 (in Chinese with English abstract).
- Li X Z, Chen B L, Chen X H, et al. 2002. Ore feature and gold occurrence of Dapinggou gold deposit, Xinjiang, northwest China[J]. Geology and Prospecting, 38(5): 49 ~ 53 (in Chinese with English abstract).
- Li Z J, Chen B L, Dong F X, et al. 1997. The ore-bearing structures of gold deposits in the Qifengcha-Liulimiao area of Huairou, Beijing, and their further exploration[M]. Beijing: Beijing Sci. & Techn. Pub. House. 1 ~ 81 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z H, Yang J M, et al. 2000. Fluid inclusions of shear zone type gold deposits in the western part of north Qilianshan[J]. Mineral Deposits, 19(1): 9 ~ 16 (in Chinese with English abstract).
- Wang P A, Dong F X, Liu J M, et al. 1998. Geology and geochemistry of the Dabewu gold deposit, Jiangxi Province[J]. Mineral Deposits, 17(1): 57 ~ 69 (in Chinese with English abstract).
- Xu Z Q, Yang J S, Zhang J X, et al. 1999. A comparison between the tectonic units on the two sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing[J]. Acta Geologica Sinica, 73(3): 193 ~ 205 (in Chinese with English abstract).
- Yang F, Chen B L, Chen X H, et al. 2001. A discussion on the origin of Dapinggou gold deposit of Xinjiang, northwest China[J]. Geology and Resources, 10(3): 133 ~ 137 (in Chinese with English abstract).
- Yang Y, Chen X H, George G, et al. 2004. Early Paleozoic magmatism and gold metallogenesis in Altun mountains, Northwest China[J]. Mineral Deposits, 23(4): 464 ~ 472 (in Chinese with English abstract).
- Yao H T and Zheng H F. 2001. Comment on the reliability of Rb-Sr isochrone dating by using fluid inclusion in minerals[J]. Geochimica, 30(6): 207 ~ 211 (in Chinese with English abstract).
- Yin A, Gehrels G and Chen X. 1999. Evidence for 280km of Cenozoic left slip motion along the eastern segment of the Altyn Tagh fault system, western China[J]. Eos Trans. AGU, 80(17), Fall Meet. Supp., F1018.
- Yin A, Rumelhart P E, Butler R, et al. 2002. Tectonic history of the Altyn Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation[J]. Geological Society of America Bulletin, 114(10): 1257 ~ 1295.
- Zhang J X, Xu Z Q and Cui J W. 1998. Deformation partitioning of ductile transpressional zones: an example from the eastern segment of the Altun fault zone[J]. Geological Review, 44(4): 348 ~ 356 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L G. 1985. The application of the stable isotope to geology[M]. Xi'an: Shaanxi Sci. & Tech. Pub. House. 1 ~ 267 (in Chinese).
- Zhou J F and Qian J M. 1996. The metallogenic epoch of Zhilintou Au-Ag deposit, Zhejiang Province[J]. Geology of Zhejiang, 12(1): 60 ~ 66 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Y and Pan Y S. 1999. The initial shear sense of the Altun fault and its timing[J]. Geological Review, 45(1): 1 ~ 9 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈柏林, 吴淦国, 黄仁生, 等. 1998. 福建尤溪肖板金矿床成因探讨[J]. 矿床地质, 17(增刊): 319 ~ 322.
- 陈柏林. 2001. 从成矿构造动力学探讨脉状金矿床成矿深度[J]. 地质科学, 36(3): 380 ~ 384.
- 陈柏林, 王克卓, 杨屹, 等. 2002a. 阿尔金北缘地区铜金矿床硫同位素及其示踪意义初探[J]. 矿床地质, 21(增刊): 357 ~ 360.
- 陈柏林, 王小凤, 陈宣华, 等. 2002b. 阿尔金北缘地区韧性剪切带型金矿床构造控矿解析[J]. 地质学报, 76(2): 235 ~ 243.
- 陈柏林, 吴淦国, 叶得金, 等. 2003. 北山南带韧性剪切带构造与金矿成矿动力学[M]. 北京: 地震出版社. 1 ~ 127.
- 陈宣华, 杨风, 王小凤, 等. 2002. 阿尔金北缘地区剥离断层控矿和金矿成因[J]. 吉林大学学报(地学版), 32(2): 122 ~ 127.
- 何知礼. 1982. 包体矿物学[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 304.
- 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 1999. 阿尔金断裂系[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 249.
- 李学智, 陈柏林, 陈宣华, 等. 2002. 大平沟金矿床矿石特征与金的赋存状态[J]. 地质与勘探, 8(5): 49 ~ 53.
- 李中坚, 陈柏林, 董法先, 等. 1997. 北京怀柔崎峰茶-琉璃庙地区含

- 金构造与找矿研究[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 1 ~ 81 .
- 毛景文, 张作衡, 杨建民, 等. 2000. 北祁连山西段剪切带型金矿床成矿流体特征[J]. 矿床地质, 19(1): 9 ~ 16 .
- 王平安, 董法先, 刘建民, 等. 1998. 江西大背坞金矿床地质地球化学特征[J]. 矿床地质, 17(1): 57 ~ 69 .
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区地质志[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 941 .
- 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比如岩石圈剪切机制[J]. 地质学报, 73(3): 193 ~ 205 .
- 杨 风, 陈柏林, 陈宣华, 等. 2001. 阿尔金北缘大平沟金矿床成因初探[J]. 地质与资源, 10(3): 133 ~ 137 .
- 杨 屹, 陈宣华, George G, 等. 2004. 阿尔金山早古生代岩浆活动与金成矿作用[J]. 矿床地质, 23(4): 464 ~ 472 .
- 姚海涛, 郑海飞. 2001. 流体包裹体 Rb-Sr 等时线定年的可靠性[J]. 地球化学, 30(6): 507 ~ 511 .
- 张建新, 许志琴, 崔军文. 1998. 一个韧性转换挤压带的变形分解作用——以阿尔金断裂带东段为例[J]. 地质论评, 44(4): 348 ~ 356 .
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社. 1 ~ 267 .
- 周俊发, 钱建民. 1996. 洽岭头金银矿床的时代[J]. 浙江地质, 12(1): 60 ~ 66 .
- 周 勇, 潘裕生. 1999. 阿尔金断裂早期走滑运动方向及其活动时间探讨[J]. 地质论评, 45(1): 1 ~ 9 .

Origin of Dapinggou gold deposit in Northern Altun area, northwestern China

CHEN Bai-lin¹, YANG Yi², WANG Xiao-feng¹, YANG Feng², WANG Ke-zhuo², CHEN Xuan-hua¹,
CHEN Zheng-le¹ and LI Xue-zhi²

(1 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 2 Research Institute of Xinjiang Geological Survey,
Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract

The Dapinggou ore deposit, the only medium-size gold deposit recently found in northern Altun Mountain, is situated in Ruoqiang County, 620 km south-east-south of Urumqi. It is tectonically located in the northeastern margin of Qinghai-Tibet plateau, and also at the compounding site of Altun strike-slip fault and western Qilian-shan structural zone. Regionally it lies in the Archeozoic uplifted area within the middle part of northern Altun structural zone. The gold deposit is controlled by a ductile shear zone and characterized by altered mylonite-type mineralization intercalated with minor K-feldspar quartz vein-type mineralization. There mainly crop out meso-hypo-metamorphic rocks of Late Archeozoic Gelagebulake Group (Ar₃dg), with small amounts of Caledonian moyite. In this paper, the origin and ore-forming epoch of the gold deposit is determined on the basis of geological and geochemical studies. Characteristics and main parameters of REE in the altered mylonite type ore and K-feldspar quartz vein-type ore are identical with those of metamorphic rocks (K-feldspar gneiss), suggesting the same source. The $\delta^{34}\text{S}$ values (5.8‰ ~ 6.2‰) show an orthometamorphite-derived sulfur source. The average Pb isotopic contents of three samples from the Dapinggou gold deposit are $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.4371$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.6819$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.7314$, which implies that Pb of the ore came mostly from the orogenic belt, and was formed by the mixture of the crust-source lead and the mantle-source lead at a certain proportion. The initial strontium ratio [$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$] is 0.71006, also indicating that the ore-forming material might have been derived from the crust rocks. All the REE, sulfur, lead and strontium isotopic information shows that the source materials of the deposit were derived mainly from the metamorphic rocks (K-feldspar gneiss). On the other hand, the inclusion study and the average hydrogen-oxygen isotopic contents of three samples ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 2.7\text{‰}$, $\delta\text{D} = -58\text{‰}$) indicate that ore fluids came mainly from the dynamic metamorphic water source with an insignificant

influence of remelting magmatic water and meteoric water. The ore fluids are $0.791 \sim 0.971 \text{ g/cm}^3$ in density and $2.03\% \sim 5.5\%$ in salinity. The gold deposit was formed $1.61 \sim 2.68 \text{ km}$ below the surface with temperature of $198 \sim 290 \text{ }^\circ\text{C}$ and pressure of $(420 \sim 720) \times 10^5 \text{ Pa}$. Rb-Sr isochron age of the quartz fluid inclusion is $[(487 \pm 21) \text{ Ma}]$, indicating that mineralization occurred in Caledonian. It is therefore concluded that the Dapinggou gold deposit is a medium-temperature dynamic metamorphic hydrothermal type deposit.

Key words: geology, dynamic metamorphic hydrothermal type, origin, Caledonian, Dapinggou gold deposit, northern Altun Mountain

著名矿床地质学家裴荣富院士荣获 国际矿床成因协会终身荣誉奖

中国著名矿床地质学家、矿产勘查地质学家、中国地质科学院矿产资源研究所研究员、中国工程院院士和《矿床地质》顾问裴荣富先生,因其在担任“国际矿床成因协会(IAGOD)”主席和该协会的“矿床大构造(CTOD)”、“矿物共生(PAC)”2个专业委员会副主席,以及“国际矿床成因协会中国国家委员会”主任期间,在成矿学的国际学术交流方面有突出贡献,在第32届国际地质大会(IGC)于意大利召开期间,经该协会全体理事选举通过,特授予裴荣富先生国际矿床成因协会终身荣誉奖。

国际矿床成因协会(IAGOD)是与美洲“经济地质学家学会(SEG)”和欧洲“应用地质学会(SGA)”并列的国际矿床学界三大著名学术组织之一。自协会成立近半个世纪以来,只有10人获得过此终身荣誉奖。裴荣富先生是中国第一个获得此殊荣者,表明中国矿床地质学家的贡献得到了世界的肯定。

(矿产资源研究所科技处 供稿)