

胶东乳山钠长浅粒岩型 金矿床地质地球化学研究^①

杨敏之 黄国君

(冶金部天津地质研究院)

提 要 唐家沟—芦家钠长浅粒岩型金矿床是胶东牟平—乳山金矿带内新发现的金矿床类型。通过对金矿床产出地质背景、含金钠长浅粒岩系层位、层序、原岩建造类型、控矿地质条件、围岩蚀变、矿石类型、矿石矿物、包体物理化学、同位素地球化学的研究,阐述了唐家沟—芦家金矿床的形成机理和成矿物质来源。建立了两期一位的成矿模式。确定了该类型金矿床为层控—热液叠加改造型金矿床。并指出了找矿方向。

关键词 含金钠长浅粒岩 角斑岩 两期一位 成矿机理 矿床类型 找矿方向

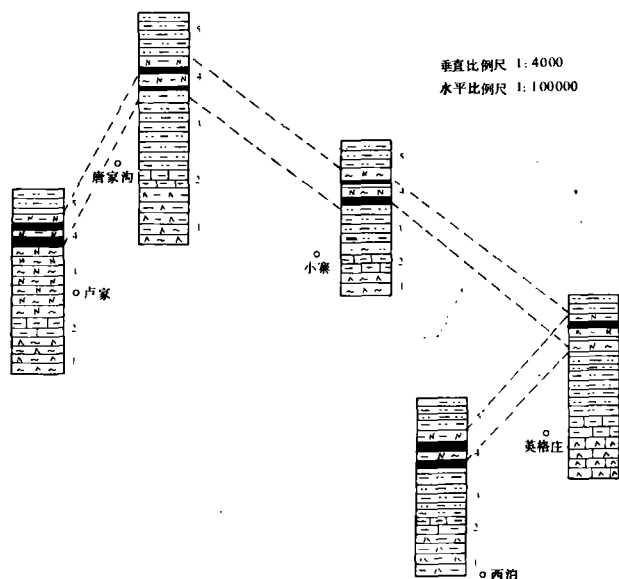
唐家沟—芦家金矿床是胶东牟平—乳山金矿带西部产于太古界胶东群变质岩系内有代表性的金矿床。位于昆嵛山复背斜西南部的唐家沟—青虎山断裂带内。受北 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 东和北 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 东两组构造的控制。唐家沟—八甲—卢家金矿带长25公里,出露在125平方公里范围内。唐家沟金矿床在含矿岩系、控矿地质条件、成矿期次、成矿物理化学条件、成矿物质演化上都具有独自的特点。该金矿床地质、地球化学的研究,有助于区域和深部金矿床的找矿和成矿预测。

1 含金钠长浅粒岩系的层位、岩石类型及含矿性

含金钠长浅粒岩系产出于胶东群鲁家乔组上部岩段。主要由绢云浅粒岩、钠长浅粒岩夹石英绢云片岩、黑云母石英片岩组成。其上为黑云变粒岩、黑云片岩和二云片岩,其下为黑云变粒岩、大理岩和斜长角闪岩。含金钠长浅粒岩系厚130~210m(据乳山车道—松椒、初家沟—王格庄、午极—鲁家乔地质剖面观测)。含金—黄铁矿的钠长浅粒岩厚10~25m(据钻孔和坑道地质资料)。出露在唐家沟、芦家、小寨、英格庄、西泊一带、面积200km²(图1)。钠长浅粒岩的K-Ar同位素年代测定为 709.5 ± 16.42 百万年(区域变质年龄)和1018.50百万年(区域变质年龄)。

^① 国家自然科学基金资助项目 9488010

钠长浅粒岩走向北 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 东、倾向南东 $\angle 40^{\circ}\sim 55^{\circ}$ ，具有区域性的分布。



说明: 1. 胶东群鲁家夼组斜长角闪岩 2. 大理岩 3. 黑云变粒岩 4. 含金钠长浅粒岩 5. 黑云变粒岩

图 1 山东乳山含金钠长浅粒岩系区域层位、层序柱状对比图

Fig. 1 Regional horizons of Au-bearing albite leptynite in plagioclase amphibolite

化学分析(表 1), 利用 $al-alk-c$, $al-alk$, $TiO_2-MnO-P_2O_5$, Na_2O-K_2O 图解进行了原岩及其古环境的恢复, 确定钠长浅粒岩的原岩为一套岛弧型的角斑岩, 角斑—凝灰岩。与下部黑云变粒岩、斜长角闪岩层位原岩类型相对比, 该变质岩系从下到上为一套细碧—角斑岩组合, 属正向的火山喷发旋回。钠长浅粒岩的稀土元素分析结果和分布模式(表 2、图 2)表明为偏碱质的酸性火山岩——角斑岩类火山岩的稀土配分模式。Eu 明显亏损。

表 1 胶东乳山地区钠长浅粒岩岩石化学分析结果

Table 1 Petrochemistry of albite leptynite

序号	编号	岩石名称	层位时代	采样地点	原岩名称	岩石化学全分析结果%														资料来源
						SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	TiO ₂	CO ₂	H ₂ O ⁺	P ₂ O ₅	总量	
1	芦—12	钠长浅粒岩	胶东群上部层位	芦家	角斑岩	66.82	19.45	0.12	10.44	0.25	0.18	0.56	0.29	0.01	0.33	0.31	1.05	0.30	100.08	本文
2	芦—011	钠长浅粒岩	胶东群上部层位	芦家	角斑岩	66.77	19.41	0.14	10.28	0.25	0.05	0.44	0.40	0.03	0.39	0.12	1.21	0.23	99.72	本文
3	T—03	钠长浅粒岩	胶东群上部层位	唐家沟	石英角斑岩	70.92	14.61	0.78	7.20	2.07	0.23	0.60	0.55	0.05	0.13	2.05	0.59	0.21	100.01	本文
4	英—001	钠长浅粒岩	胶东群上部层位	英格庄	角斑岩	64.95	19.93	1.38	8.12	1.86	0.18	0.24	0.27	0.01	0.26	1.49	0.56	0.01	99.26	本文
5	白—02	角斑岩	中寒武统	甘肃白银厂	角斑岩	67.35	13.39	1.07	3.84	2.62	2.13	1.76	3.23	0.09	0.46	1.95	1.70	0.14	99.73	[3]
6	西—01	角斑岩	元古代	浙江西袁	角斑岩	64.28	14.89	0.85	4.56	2.67	2.98	2.53	3.48	0.10	0.64	0.82	2.44	0.25	100.50	[1]

* 天津地质研究院分析室分析

钠长浅粒岩内金的含量变化(表3)表明区域上该岩石内金的浓度克拉克值均较高,为30~140。而唐家沟—芦家一带的钠长浅粒岩Au的品位有的已达到工业品位(4.52~7.64克/吨)可成为金矿床。

表2 胶东乳山胶东群上部岩段钠长浅粒岩内稀土元素含量·变化表

Table 2 Variation of REE in albite leptynite

序 号	样品 编号	岩石名称	稀土元素含量(ppm)														LREE	MREE	HREE	δCe	δEu	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Ey	Tm	Yb	Lu								Y
1	芦-011	钠长浅粒岩	40	70	8.8	24	5.2	0.61	5.4	1.1	8.5	1.9	5.0	0.86	5.6	0.62	60	142.8	20.8	14.0	0.78	0.39	4.24	4.81
2	芦-12	钠长浅粒岩	31	58	6.6	21	3.4	0.52	4.0	0.86	5.9	1.4	3.8	0.70	3.80	0.48	46	116.6	14.7	10.2	0.85	0.48	4.85	5.70
3	T-03	钠长浅粒岩	13	20	4.2	12	1.7	0.34	1.30	0.34	0.96	0.40	0.64	0.29	0.85	0.14	8.4	49.2	4.6	2.3	0.56	0.79	9.02	4.78
4	格-001	钠长浅粒岩	21	41	50	12	2.8	0.53	3.0	0.46	4.0	0.67	1.80	0.26	1.50	0.18	19	78.0	10.8	4.4	0.85	0.63	8.30	4.69

* 天津地质研究院分析室分析

表3 胶东乳山胶东群钠长浅粒岩内金的含量·及浓度克拉克值表

Table 3 Au contents and concentration Clark values of albite leptynite of Jiaodong Group

样品编号	T—05	T—03	C—04	C—02	上—02	T60—3	芦—011	芦—012	芦—02	芦—08	芦—12
岩石名称	钠长浅粒岩	硅化钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩	钠长浅粒岩
地点	唐家沟	唐家沟	鹊山	鹊山	上刘家	唐家沟	芦沟	芦沟	芦沟	芦沟	芦沟
金的含量 ppm	0.031	0.001	0.026	0.021	0.039	0.12	0.13	0.56	0.17	0.12	0.041
浓度克拉克值	7.75	0.25	6.50	5.25	9.75	30.00	32.5	140	42.50	30.00	10.25

* 天津地质研究院分析室分析

2 金矿床地质、地球化学特征

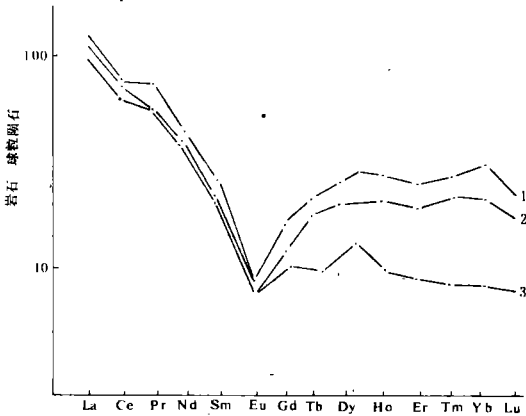
2.1 矿体的地质产状

唐家沟—芦家金矿床的矿体有两种地质产状:一是沿钠长浅粒岩层位成层状矿体出现。矿体与围岩呈过渡关系,矿体延长500~1550米,厚4~10米,最大厚度20米,品位3~7克/吨,芦家最为发育;一是沿北5°~15°东的压扭性断裂带呈脉体出现,切穿钠长浅粒岩及层状矿体,矿体长70~400米,厚0.7~6米,平均品位7~17克/吨,最高达100克/吨,唐家沟金矿东清矿段—60米中段105线附近最为发育(图3)。

2.2 成矿期、成矿阶段(图4)

据唐家沟—90米、—60米、—30米、0米、+30米、+48米及地表和芦家+10米、+30米及地表的地质观察,表明唐家沟—芦家金矿床具两种地质产状的金矿体属于两期成矿作用。第

一期为钠长浅粒岩内的含金黄铁矿层状矿体,矿体与钠长浅粒岩成渐变关系,含金黄铁矿的钠长浅粒岩就是工业金矿体,被闪斜煌斑岩和云煌岩脉穿切,是元古代区域变质作用形成的,时代为 1018.50 百万年(含矿钠长岩全岩 K—Ar 法测定),形成温度为 350~450℃(据绿泥石—绢云母、绢云母内 K—Na 地质温度计测定)。第二期矿体呈脉状为含金黄铁矿石英脉、含金黄铁矿—多金属石英脉,形成时代为 130.75 ± 3.22 百万年和 118.40 ± 3.22 百万年(据硅化绢云母化钠长浅粒岩、绢英岩全岩 K—Ar 法年龄测定),是中生代白垩世成矿期的产物,被云煌岩穿切。第二期脉状含金多金属石英脉穿切第一期层状含金黄铁矿矿体,两者在地质产状、矿物组合、形成温度、矿石类型、矿石结构、以及矿石化学成分上均有明显的差异(表 4)。



说明: 1. 芦-12; 钠长浅粒岩 2. 芦-12; 钠长浅粒岩 3. 河-001; 钠长浅粒岩

图 2 山东乳山唐家沟—芦家钠长浅粒岩稀土元素分布模式图

Fig. 2 REE pattern of Tangjiagou—Lujia albite leptynite

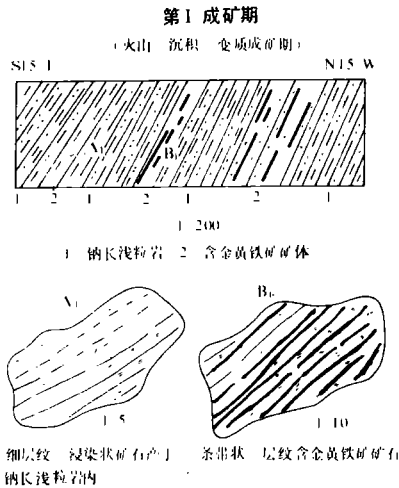


图 3a 山东乳山芦家金矿体槽探索描简图

Fig. 3a Trench sketch of Au—body of Lujia Mine

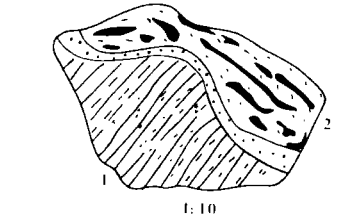
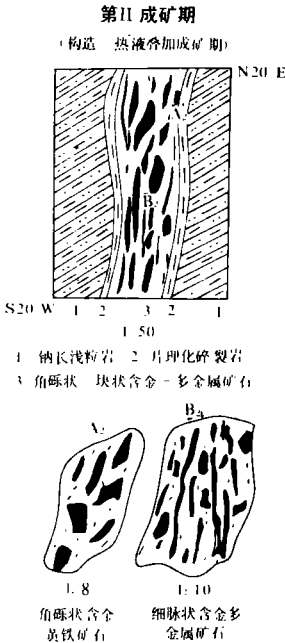


图 3c I、II 两期矿石叠加在一起的矿石

Fig. 3c Superposition of two episodes of ore

图 3b 山东乳山唐家沟—60 米 105 线矿体顶板图

Fig. 3b Map showing upper wallrock in 105 line of Tangjiagou Mine

图 4 胶东乳山唐家沟金矿床成矿期、成矿阶段图解
Fig. 4 Metallogenic episodes and stages of Tangjiagou Au—deposit

成矿期	第Ⅰ成矿期		第Ⅱ成矿期		
成矿时代	晚太古宙	元古宙	中生代早白垩纪		
阶段 矿物	矿源层形成	变质作用阶段	1. 石英—黄铁矿	2. 黄铁矿—多金属	3. 碳酸盐阶段
自然金	——	——			
银金矿	——	——	——	——	
金银矿				——	——
粗晶黄铁矿		——	——		
细晶黄铁矿		——	——	——	——
黄铜矿		——		——	
闪锌矿				——	
方铅矿				——	——
磁黄铁矿		——	——		
钠长石	——	——	——		
绢云母		——	——		
石墨		——	——		
镁铁绿泥石			——		
磁铁矿		——			
含铬白云母		——	——		
方解石		——			——
变质石英		——			
热液石英			——	——	——
形成温度		450~330℃	260℃	230~220℃	150~180℃
矿石组构	细层纹马尾线状 浸染状	变晶结构、揉皱构造、 条带状构造	角砾状构造。	脉状构造 梳状构造	晶洞状构造 脉状构造

2.3 围岩蚀变

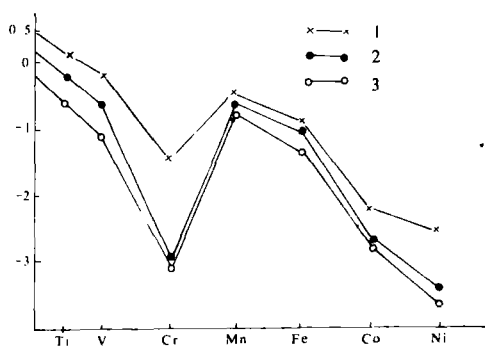
沿钠长浅粒岩层产出的层状矿体从围岩到矿体、变晶石英、重结晶再生石英、细鳞片状绢云母增多,不具蚀变分带现象。而第二期形成的含金石英黄铁矿矿脉、含金石英多金属矿脉与围岩的关系为:从围岩到矿体由新鲜钠长浅粒岩→硅化绢云母化浅粒岩→黄铁绢英岩→金—石英黄铁矿脉或金—石英多金属矿脉,出现蚀变岩带。其中,钠长石(钠更长石)蚀变为 2M 型绢云母,细粒石英→再生石英→脉石英。近矿体的黄铁绢英岩是经 K₂O(0.78%→3.38%)、SiO₂(66.77%→70.02%)、H₂O⁺(0.59%→0.88%)、铁族元素(Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni)(图 5)

以及稀土(ΣREE , 80.21ppm $\rightarrow$ 171.64ppm)的加入和 Na_2O (10.28% $\rightarrow$ 2.74%)、 CaO (6.11% $\sim$ 3.25%)及 Sr^{2+} (520ppm $\rightarrow$ 105ppm)的淋失的碱性交代作用形成的。

2.4 矿石类型、结构构造和矿石化学组成

第Ⅰ期成矿出现的矿石类型有层纹状构造、马尾状构造、浸染状构造、细条带状构造、自形一半自形变晶结构的含金黄铁矿矿石、多元素分析 $\text{Au}/\text{Ag}=0.39\sim 3.42$, $\text{Co}/\text{Ni}=0.43\sim 24.45$ (表4)。

第Ⅱ期成矿形成的矿石有脉状构造、梳状构造、晶洞簇状构造、交代—破碎角砾状构造,交代岛状结构、熔蚀残留结构的金—石英黄铁矿矿石、金黄铁矿—黄铜矿矿石、金黄铁矿—多金属矿石。矿石化学成分见表4, $\text{Au}/\text{Ag}=0.09\sim 1.78$, $\text{Co}/\text{Ni}=1.98\sim 5.64$, As 、 Sb 、 Bi 、 Cu 、 Pb 、 Zn 的含量均较高。



说明:1. 角砾岩化钠长浅粒岩(第Ⅱ期成矿围岩) 2. 绢云母钠长浅粒岩(第Ⅱ期成矿围岩) 3. 钠长浅粒岩(第Ⅰ期成矿围岩)

图5 山东乳山唐家沟金矿床围岩蚀变岩微量元素含量变化图解
Fig. 5 Micro-element variation in altered rocks of Au-deposit of Tangjiagou

表4 胶东乳山唐家沟—芦家钠长浅粒岩型金矿床主要矿石的多元素定量分析结果*表

Table 4 Major ore element analysis of Tangjiagou—Lujia albite leptynite

样品编号	矿石名称	成矿期	成矿阶段	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Bi (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Se (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Co/Ni	Au/Ag
芦-07	层纹马尾状黄铁矿矿石	I	I-1	1.1	0.34	55	0.75	0.91	33	76	0.8	0.008	0.0059	0.0005	0.434	3.24
芦-09	浸染细层纹状黄铁矿矿石	I	I-2	7.64	18.4	319	4.4	23	58	34	1.5	0.0047	0.0247	0.0175	1.71	0.42
T-90-1	细条带状黄铁矿矿石	I	I-2	1.54	4.24	582	1.3	19.4	120	22	8.6	0.11	0.0067	0.058	5.45	0.36
T-90-5	角砾状黄铁矿矿石	I	I-2	1.18	2.97	810	0.9	14.0	181	7.4	9.5	0.014	0.0077	0.0085	24.45	0.39
T60-10	致密块状黄铁矿矿石	II	II-1	4.52	2.54	2738	17.0	14.5	181	34	14	0.17	0.058	0.013	5.32	1.78
T90-4	细粒脉状黄铁矿矿石	II	II-1	27.9	38.5	1162	7.50	26.10	73	30	5.5	0.13	0.064	0.014	2.43	0.73
T90-6	脉状黄铁矿—多金属矿石	II	II-2	17.0	32.2	2764	14.6	12.5	26	4.9	1.8	0.10	0.078	2.14	5.31	0.53
Tsh-17	脉状石英—黄铁矿多金属矿石	II	II-3	16.5	13.0	2572	8.70	4.00	151	76	1.0	0.044	0.12	0.25	1.98	1.27
Tsh-19	脉状黄铁矿—多金属矿石	II	II-3	11.2	119	1522	50.7	14.6	85	44	7.8	0.28	8.07	7.98	5.64	0.09

* 天津地质研究院分析室分析

2.5 金银矿物及金矿物的嵌布形式

通过光片鉴定和电子探针分析、确定唐家沟—芦家金矿床内的金银矿物(表5)。自然金和银金矿形成于第Ⅰ成矿期, Au 的成色较高(692~836)、金银矿产出于第Ⅱ成矿期, Au 的成色较低(522~606)、银的成色高(452~367)。第Ⅰ期自然金、银金矿主要呈包体金(占50%)、部分呈裂隙金(占16%)、微粒金(34%)。第Ⅱ期金银矿主要呈裂隙金(占67%), 连生体金(与方铅矿、闪锌矿连生, 占33%)。

表 5 乳山唐家沟金矿床银金矿物的化学成分*表

Table 5 Chemical analysis of Ag-bearing Au minerals from Tangjiagou Mine

序号	样品号	矿物名称	成矿期 阶段	化学成分(重量%)						晶体化学式
				Au	Ag	Cu	As	Se	Te	
1	T ₁₁₀ -1-3	含银自然金	I-1	83.63	13.77	0	0	1.73	0.11	Au _{0.86} Ag _{0.14}
2	T ₉₀ -6-5	银金矿	I-2	69.24	28.23	0.01	0.05	1.47	0	Au _{0.71} Ag _{0.29}
3	Tsh-17-1	银金矿	II-1	64.25	33.74	0	0	1.47	0.18	Au _{0.66} Ag _{0.34}
4	T ₁₁₀ -20	银金矿	II-2	60.66	36.77	0	0.08	0	0.05	Au _{0.82} Ag _{0.38}
5	Ts-17-5	金银矿	II-2	52.21	45.22	0.02	0	1.13	0.01	Au _{0.54} Ag _{0.46}

* 天津地质研究院电子探针室分析

3 成矿的物理化学条件

3.1 石英包裹体的类型、特征及盐度变化

唐家沟金矿床两期金矿体矿石石英气液包裹体的特征见表 6。第 I 期成矿石英包体的类型以液相包体为主,形状浑圆细小不规则,盐度低。第二期成矿的石英包体以富 CO₂ 液态包体为主,有少量纯 CO₂ 包体、包体较大、盐度增高。

表 6 唐家沟金矿床两期含金黄铁矿—石英脉中石英气液包体*特征

Table 6 Inclusion features of quartz from Au-bearing pyrite-quartz vein of Tangjiagou Mine

特征	第 I 期含金石英脉	第 II 期含金—黄铁矿—多金属矿脉
包裹体类型	1、液相包体:气液比 15~35% 2、含 CO ₂ 液态包体:22~23%	1、液相包体:气液比 15~20% 2、富 CO ₂ 液态包体:80~87% 3、纯 CO ₂ 包体:100%
包裹体形状	浑圆状、不规则状、细小团状、原生包体	近长方形、六边形、半自形—自形石英、沿裂隙出现次生包体。
包裹体大小	2×3.6μm~3.6×54μm 一般较小	7.2×3.6μm~14×9μm 一般较大
其他特征	石英多碎裂、具波状消光、石英呈变晶拉长、半定向分布,盐度低 7~8.2wt%/NaCl	晶簇状、梳状构造、自形晶石英、多出现含金黄铁矿—多金属—石英脉、盐度 9.7~10.2 (wt%/NaCl)
均一法测温	240~325℃	150~240℃

* 天津地质研究院包体实验室测定

3.2 石英包体的形成温度

据 70 个石英包体均一法测温结果表明第 I 期成矿温度为 240~325℃, 第 II 期成矿温度为 150~265℃, 围岩蚀变温度(据 89 个石英包体测温数据)为 220~280℃, 其中, 第 II 成矿期第 I 阶段成矿温度为 240℃, 第 II 阶段成矿温度为 212℃, 第 III 阶段成矿温度为 160℃。

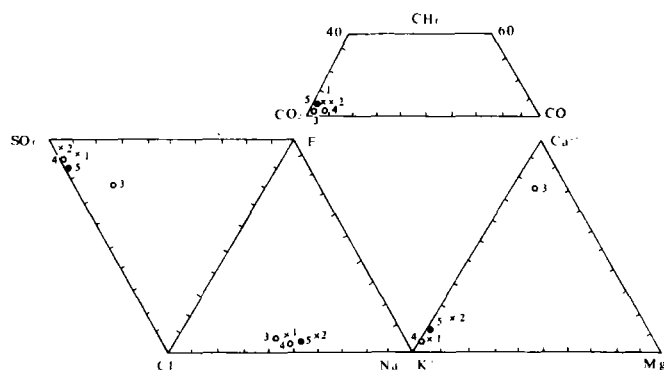
3.3 包体流体液相及气相成分

石英包体流体系统液相和气相成分测定结果(表 7、图 6)说明: 第 I、II 成矿期成矿的石英包体流体内均富含 CO_2 、 SO_4^{2-} 和 K^+ , 贫 F^- 、 Mg^{2+} 和 CH_4 、 CO 。石英包裹体流体物理化学特征参数, 从第 I 成矿期到第 II 成矿期, Eh、盐度、离子总浓度增加, 而 CO 、 Na/K 值减低(表 8), $\text{CO}_2/(\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O})$ 值的增加, 说明第 II 比第 I 成矿期在更氧化、更富 CO_2 的体系环境下形成的。包体的流体成分指示了成矿溶液类型主要为 $\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{K}^+-\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$ 型的弱酸性($\text{PH}=6.4$)溶液。

4 成矿物质来源

4.1 铅同位素组成及其源区特征

据对唐家沟金矿床第 II 成矿期矿石内方铅矿, 第 I 期含金黄铁矿钠长浅粒岩内钠长石和黄铁绢云岩内绢云母以及斜长角闪岩石内 Pb—Pb 同位素测定(表 9), 指示了第 II 期成矿的多金属矿石内的铅来源于下地壳, 而第 I 期含金钠长浅



说明: 1. 第 I 期硅化钠长浅粒岩 2. 第 II 期绢云母化浅粒岩 3. 第 I 期黄铁矿—石英脉 4. 第 II 期角砾岩化钠长浅粒岩 5. 第 II 期多金属—石英脉

图 6 山东乳山唐家沟金矿床石英包体成分变化图解

Fig. 6 Variation of Qtz inclusion composition of Tangjiagou Mine

粒岩和绢云母化钠长浅粒岩, 黄铁绢云岩岩石内的铅来源上地幔—造山带区(表 9、图 7)。这表明成矿物质来源于下地壳和上地幔两个源区, 指示了两期成矿的物质演化趋向。

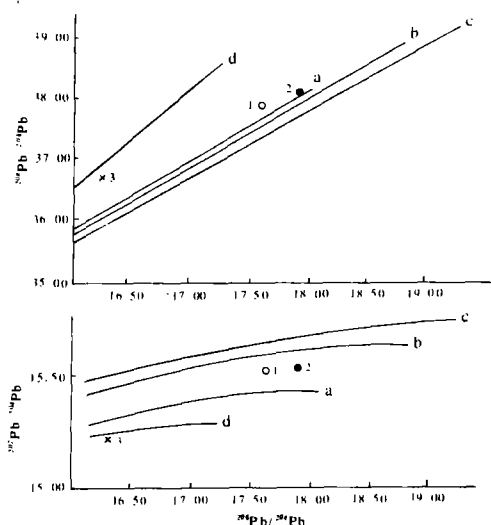
唐家沟金矿床第 I 和第 II 成矿期的 Pb—Pb 同位素组成的特征值 W 、 V 、 K_1 、 K_2 、 K_3 相比较差别较小, 指示了成矿物质的同源性趋向及其时间上演化的继承性。

4.2 氢氧同位素特征

第 II 期成矿形成的黄铁绢英岩内的绢云母、绢云母化钠长浅粒岩内的石英包体水和第 I 期成矿形成的石英包体水内的 $\delta D\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 组成测定(表 10)和 $\delta D\text{‰}-\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 图解(图 8)指示了: 第 I 期成矿物质热液流体为变质水—岩浆水为主, 第 II 期成矿物质热液流体中有大量大气降水的加入。

4.3 碳氧同位素特征(表 11)

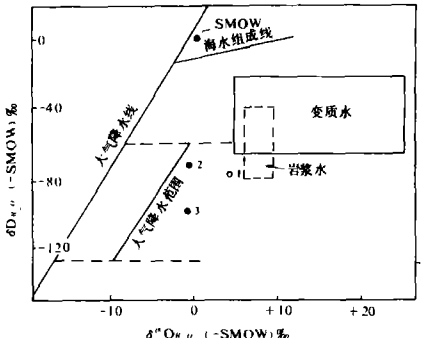
含矿钠长浅粒岩外围胶东群地层中大理岩中方解石内 $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 和第 II 期第 III 成矿阶



说明:1. 钠长浅粒岩内钠长石(第Ⅰ期成矿围岩) 2. 黄铁矿绢云母钠长浅粒岩内的绢云母(第Ⅰ期成矿矿石) 3. 多金属矿石内的方铅矿(第Ⅱ期成矿矿石) a. 地幔铅同位素演化曲线 b. 造山带铅同位素演化曲线 c. 上地壳铅同位素演化曲线 d. 下地壳铅同位素演化曲线

图7 山东乳山唐家沟金矿床围岩及矿石内铅同位素组成及源区特征图解

Fig. 7 Pb-isotope composition of Tangjiagou Au-deposit and Pb tectonic source



说明:1. 第Ⅰ期成矿石英-黄铁矿石英包体水 2. 第Ⅱ期绢英岩内石英包体水 3. 第Ⅲ期黄铁矿英岩内绢云母

图8 山东乳山唐家沟金矿床成矿热液中石英包体水、绢云母内氢氧同位素组成分布图

Fig. 8 H, O isotope distribution of water in qtz inclusion and sericite

段碳酸盐-石英脉内方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{‰}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$ 的组成表明大理岩碳、氧同位素物源为海洋沉积碳酸盐。热液矿脉方解石的物源为洋壳火山-沉积区,这说明热液矿脉方解石内碳、氧来源于胶东群大理岩。两者具有同源继承的关系,故唐家沟金矿床成矿物质来源于洋

壳火山岩发育区和洋壳碳酸盐沉积区。

表7 胶东乳山唐家沟金矿床石英包裹体气相、液相成分分析结果*表

Table 7 Analysis of gas and fluid facies of qtz inclusion of Tangjiagou

序号	样品编号	测定矿物	成矿期、阶段和矿石类型	气相成分含量(ppm)								液相成分含量(克/升)							压力(MPa)	温度(℃)
				H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	H ₂ O	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
1	T90-12	石英	Ⅰ-1阶段 钠长石-黄铁矿	0.08	0	0	0.66	0	1.89	37.78	1000.0	0.187	3.65	8.47	0.112	3.188	0.598	0.073	50.4	320
2	T90-10	石英	Ⅰ-2阶段 黄铁矿	0.134	0	0	1.31	0	3.16	53.98	1177.8	0.255	5.858	34.122	5.638	6.300	0.306	0.092	37.7	265
3	T90-7	石英	Ⅱ-1阶段 石英-黄铁矿	0.123	0	0	1.97	0	3.79	59.38	1069.8	0.30	7.50	52.4	7.22	7.27	0.43	0.090	45.4	280
4	T90-15	石英	Ⅱ-2阶段 黄铁矿-多金属矿	0.209	0	0	1.09	0	3.16	51.28	1170.8	0.256	3.84	62.59	3.16	4.19	0.97	0.08	29.8	227
5	T90-002	石英	Ⅱ-3阶段 石英多金属矿	0.094	0	0	0.87	0	3.79	43.18	1100.0	0.09	6.00	101.00	3.02	5.05	0.26	0.03	29.8	189

* 地矿部宜昌地质矿产研究所测定

4.4 硫同位素组成特征

唐家沟矿石中黄铁矿,方铅矿硫同位素测定(表12)表明两期成矿的黄铁矿内硫同位素组

成变化范围小, $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 集中于 8.33~8.90, 离散度为 3.2%, 说明两期成矿硫同位素来源的同源特征及硫同位素在该矿床形成过程中的稳定性。

由上所述, 唐家沟两期成矿物质来源具有同源性、继承性和一致性, 指示成矿物质来源于上地幔和下地壳两个源区物质的混合, 是源区物质从太古宙→元古代→中生代地质发展史中继承演化的结果, 成矿热液流体水主要是: (1) 大气降水; (2) 岩浆水; (3) 变质水三者的混合。

表 8 胶东乳山唐家沟金矿床石英包裹体成分物理化学特征参数*值表

Table 8 Physiochemical parametres of qtz inclusion of Tangjiagou Mine

序号	1	2	3	4	5
样品编号	T ₆₀ -12	T ₉₀ -10	T ₉₀ -7	Tsh-15	Tsh-002
测定矿物	石英	石英	石英	石英	石英
成矿期、阶段	I-1	I-2	II-1	II-2	II-3
盐度(wt%)	0.56	0.81	1.22	0.54	0.89
矿化度(克/升)	16.28	52.75	75.21	75.09	115.45
PH	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40
Eh	-0.40	-0.33	-0.28	-0.28	-0.23
R*	0.17	-0.21	0.24	0.24	0.24
logf _{H₂}	-0.48	-0.42	-0.31	-0.33	-0.65
logfc _{H₄}	-0.46	-0.34	-0.01	-0.52	-0.59
logfco	-0.25	-0.20	0.03	-0.30	-0.19
logfco ₂	0.77	0.75	0.94	0.63	0.59
logfO ₂	-64.98	-79.36	-91.91	-93.25	-112.60
Na/K	48.27	1.89	1.71	2.25	2.84
Na/(Ca+Mg)	7.70	23.85	21.80	6.60	28.33
F/Cl	0.10	0.08	0.07	0.12	0.03
CO ₂ /H ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
H	0.25	0.32	0.38	0.36	0.27
C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
O	1.84	1.81	1.76	1.81	1.79
S	0.09	0.25	0.34	0.48	0.94
Cl	0.11	0.12	0.13	0.08	0.14

* 应用包体成分物化参数微机计算处理程序求得^[4]

$$\text{※} R(\text{还原参数}) = \frac{N_{\text{H}_2} + N_{\text{CO}} + N_{\text{CH}_4}}{N_{\text{CO}_2}} \quad N: \text{气体的克分子数。}$$

表 9 唐家沟金矿床铅同位素组成及源区特征值表*

Table 9 Pb-isotope composition of Tangjiagou Au deposit and the pb tectonic source value

顺序号	样品号	样品名称	产出岩石、矿石	铅同位素组成			模式年龄		特征值**					
				$\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}}$	$\frac{207\text{Pb}}{204\text{Pb}}$	$\frac{208\text{Pb}}{204\text{Pb}}$	φ 值	年龄值 (Ma)	μ	ν	ω	K_1	K_2	K_3
3	Ts-19	方铅矿	第Ⅰ期钠长石-黄铁矿矿石	16.357	15.220	36.572	0.699	1214	8.5498	0.0620	36.997	4.327	596.73	4.188
1	T90-7a	钠长石	钠长浅粒岩	17.632	15.445	37.925	0.619	541	8.8160	0.0639	37.293	4.230	583.62	4.094
2	Tsh-15	绢云母	第Ⅰ期黄铁绢英岩	17.921	15.512	38.012	0.606	413	8.9215	0.0647	36.653	4.108	566.507	3.976
	Tsh-11	斜长角闪岩	胶东群斜长角闪岩	17.349	15.545	38.157	0.653	854	9.0253	0.0655	41.234	4.569	629.527	4.422

* 天津地质研究院同位素地质室测定 * $\mu = \frac{238\text{U}}{204\text{Pb}}$ $\nu = \frac{235\text{U}}{204\text{Pb}}$ $\omega = \frac{232\text{Th}}{204\text{Pb}}$
 $K_1 = \frac{232\text{Th}}{238\text{U}}$ $K_2 = \frac{232\text{Th}}{235\text{U}}$ $K_3 = \text{Th/U}$

表 10 山东乳山唐家沟金矿床绢云母、石英包体水的氢氧同位素*组成表

Table 10 Isotope composition of H and O from qtz inclusion water and sericite

序号	样品编号	测定矿物	产出矿石、岩石	$\delta\text{D}_{\text{石英水}}\%$	$\delta\text{D}_{\text{绢云母}}\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英水}}\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{绢云母}}\%$	温度℃
1	T90-10	石英	第Ⅰ期 石英黄铁矿矿石	-73.4		12.19	3.87		263
2	T60-12	石英	第Ⅰ期 绢云母化钠长浅粒岩	-70.5		8.75	-2.23		310
3	Tsh-15	绢云母	第Ⅰ期 黄铁绢英岩		-95.6		-2.07	6.39	280

* 由地矿部宜昌地质矿产研究所测定
 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Min}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.2 \times 10^6 \text{T}^{-2} - 2.00$ (诺斯罗普, 1966)
 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Q}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.34 \times 10^6 \text{T}^{-2} - 3.31$ (Matsuhisa, 1979)

表 11 山东乳山唐家沟金矿床不同产状方解石碳、氧同位素*组成表

Table 11 Isotope composition of C and O from calcite

样品编号	测定矿物	产出岩石、矿石	$\delta^{13}\text{C}\%$ —PDB	$\delta^{18}\text{O}\%$ —PDB	$\delta^{18}\text{O}\%$ —SMOW
T60-1	方解石	大理岩	0.24	-17.61	11.93
T60-9	方解石	第Ⅰ期 第三阶段方解石-黄铁矿矿石	-4.36	-10.72	19.03

* 由地矿部宜昌地质矿产研究所测定

表 12 唐家沟金矿床硫同位素分析结果

Table 12 S—Isotope analysis

样品号	T _{sh-18}	T ₉₀₋₁₀	T ₉₀₋₅	T ₉₀₋₁₀	T ₉₀₋₁	T _{sh-19}	T _{sh-10}
测定矿物	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	方铅矿	黄铁矿
成矿期	第Ⅰ期	第Ⅰ期	第Ⅰ期	第Ⅰ期	第Ⅰ期	第Ⅰ期	第Ⅰ期
成矿阶段	细粒黄铁矿阶段	变斑晶黄铁矿阶段	石英—黄铁矿阶段	灰色石英—黄铁矿阶段	碳酸盐—石英阶段	石英多金属阶段	黄铁矿多金属阶段
$\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ —CDT	8.90	8.81	8.63	8.64	8.33	8.39	8.62

* 地矿部宜昌地质矿产研究所测定

表 13 唐家沟—芦家 两期成矿的地质、地球化学特征

Table 13 Geological and geochemical features of Tangjiagou—Lujia metallogenic episodes

成矿期 主要特征	第Ⅰ期 矿源层—区域变质成矿期	第Ⅱ期 热液叠加—改造作用成矿期
产出构造	北 40°~60°东 倾向南东 $\angle$ 60°~65°	北 5°~15°东压扭性断裂带 南东 $\angle$ 70°~75°
矿体形态	沿层分布、饼群状	脉状、透镜体状
同位素年代 K—Ar 稀释法	14 亿年、7 亿年	130 百万年、118 百万年
矿石类型	细粒黄铁矿矿石 钠长石、细粒黄铁矿矿石	角砾状石英—黄铁矿矿石 石英—多金属矿石
结构 构造	细层纹构造、皱纹状构造、 变斑晶结构、浸染状构造	角砾状构造、脉状构造 斑杂状构造、自形晶—半自形晶结构
围岩蚀变	重结晶作用、绢云母—钠长石变晶带	出现绢云母化、钠长石化、硅化及石墨化
成矿温度	350~450℃ (绢云母 K—Na 地质温度计)	250~150℃ (石英包体均—法测温)
成矿阶段	1、细晶黄铁矿阶段 2、变晶黄铁矿阶段	1、石英—黄铁矿阶段 2、石英—多金属阶段 3、碳酸盐阶段
金矿物	银金矿、含银自然金	金银矿、银金矿
Au 品位	3~7g/t	7~17g/t
包体类型	液相包体为主	含 CO ₂ 液态包体为主
矿石主要元素	Au、Ni、Co、Se	Au、Ag、Cu、Pb、Zn

5 矿床成因、成矿模式

关于唐家沟金矿的成因问题,前人有两种认识:a. 混合岩化热液石英脉型金矿床;b. 岩浆热液石英脉型金矿床(深部有隐伏岩体)。通过工作我们认为唐家沟金矿床是层控—热液叠加

改造型金矿床,是两期成矿作用继承演化形成的。成矿物质来源有三元:a、胶东群含金钠长浅粒岩系(主要第Ⅰ期成矿);b、壳下热液流体(主要第Ⅱ期成矿);c、大气降水(主要第Ⅱ期成矿)。

两期一位成矿模式:从地壳物质演化、地壳构造运动、区域变质作用、岩浆作用继承发展的观点来看,唐家沟金矿床形成于胶北地块前寒武结晶基底 NEE 向构造活动带和中生代大陆边缘 NNE 向压扭性断裂构造活动带的复合汇聚处。该矿床的形成主要经历了两个成矿作用期。第Ⅰ期为矿源层形成—区域变质作用成矿期,经过胶东运动(20 亿年),粉子山运动(16 亿年)及蓬莱运动(6 亿年),使矿源层中的金部分活化、迁移富集、形成浸染状、层纹状含金—黄铁矿钠长浅粒岩金矿体,矿体的走向与前寒武纪基底构造形迹密切相关,金品位一般为 3~7g/t。

第Ⅱ期是中生代白垩世(130~118 百万年)沿 NNE 向压扭性断裂构造活动带的热液叠加改造成矿作用,形成含金黄铁矿矿脉及含金石英—多金属矿脉。金品位一般为 7~17g/t。

在燕山运动晚期白垩世,壳下含矿热液流体作用于含金的钠长浅粒岩系,Au 以 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$, $\text{Au}(\text{HS})\text{Cl}^-$, AuCl_2^- 的络合物形式进入流体溶液进行搬运,在大气降水大量加入,温度降低(300~200℃), fs_2 、 ΣS 减小,pH 值降低,溶液 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 离子的加入,使金的络合物发生分解, $\text{Au}(\text{HS})_2^- + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Au} \downarrow + \text{FeS}_2 \downarrow + 2\text{H}^+$,最后形成金矿床(表 13)。

6 找矿方向

唐家沟式钠长浅粒岩型金矿床主要的找矿前提是:a、胶东群含金钠长浅粒岩系是本区主要含金层位、沿层位进行找矿;b、区域上前寒武纪结晶基底北东东向构造与中生代北北东向构造复合处;c、区域及矿区深部原生晕地球化学异常地区、地段。指示矿化异常的主要元素组合是 Au、Ag、As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Se;d、浅色蚀变岩带及角砾岩带发育地区;硅化绢云母化带、铬云母化带;e、铁帽发育地段。

据此,指出了三个成矿远景区:a、八甲—唐家沟—芦家深部;b、西泊—英格庄;c、巫山西山。其中唐家沟深部,芦家深部已得到验证,成矿远景乐观。

参考文献

- 1 祁崧等. 浙江西裘细碧角斑岩的成因与相关幔源花岗岩类的特征. 岩石矿物学杂志, 1986, 5(4)
- 2 蒋心明等. 白银厂中部成矿带稀土元素地球化学特征的研究. 地质找矿论丛, 1986, 1(3)
- 3 蒋心明等. 白银地区细碧石英角斑岩地球化学特征—兼谈白银板块构造环境. 岩石矿物学杂志, 1988, 7(3)
- 4 王真光等. 矿物包体成分物理化学参数的计算机程序. 矿产地质动态, 1988, (1)28~35

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF ALBITE-LEPTYNITE-TYPED Au DEPOSIT IN TANGJIAGOU—LUJIA AREA, SHANDONG PROVINCE

Yang Minzhi Huang Guojun

(Tianjin Geological Academy MMI)

Abstract

Albite—leptynite—typed Au deposit is a new type recently discovered in Muping—Rushan Au ore belt. This paper presents the results of horizon, sequence, protomylonite type of the leptynite and, background, wall rock alteration, ore types, ore minerals, control factors of the deposits, and results of inclusion and isotopes. On the basis of the results ore genesis and source are drawn out. And metallogenic model of two mineralization episodes and one locality of Au ore emplacement is established, i. e. the 1st episode of regional metamorphism metallogenesis from Jiaodong Movement (2.0 Ga), Fenzishan Movement (1.6 Ga) to Penglai Movement (0.6 Ga) during which part of Au in the source bed was mobilized, transported and enriched to form as disseminated and lamellar Au—bearing pyrite albite leptynite ore body (3—7g/t); the 2nd episode of hydrothermal overprinting and reworking metallogenesis on the 1st in Cretaceous Epoch along NNE compression—torsion fractures during which Au—bearing pyrite ore veins and Au—bearing quartz ore veins (7—17g/t) were formed; and one locality is the intersection and coincidence of NEE fractures in Pre—Cambrian basement and NNE compression—torsion fracture zones at continental margins.

Potential targets are predicted, such as deep level of Bajia—Tangjiagou—Lujia Area, Xibo—Yinggezhuang, Wushan—Xishan Areas. Ore bodies have been encountered at deep level of Tangjiagou and Lujia by drilling.