

山西省堡子湾金矿地质特征^①

李景云

聂维清

张维根

(冶金部第三地勘局, 太原)

(山西矿业学院, 太原)

(冶金部第三地勘局, 太原)

提 要: 目前在晋北及晋蒙交界地区已发现数十个规模不等的类似角砾岩筒, 均含金、银多金属矿化, 已探明的有大型银矿、中型金或金银矿。研究表明, 堡子湾金矿是一个与海西晚期中酸性次火山岩有成因联系的隐爆角砾岩筒型热液金矿, 成矿母岩为二长花岗斑岩。

主题词: 金矿 地质特征 山西省堡子湾

在晋北及晋蒙交界地区先后发现数十个类似的规模不等的隐爆角砾岩筒, 而且几乎均伴有金银多金属矿化, 已探明的有大型银矿床、中型金或金银多金属矿床。同时, 晋蒙交界地区及其以北的角砾岩筒主要与海西晚期中酸性次火山岩有关(如堡子湾、九对沟等), 以南的晋北地区仅与燕山期中酸性次火山岩有关(如耿庄、后峪、支家地、庄旺等)。因此, 研究这类矿床的地质特征具有一定的理论意义和实际意义。

1 成矿地质背景

该金矿床位于华北地台北缘内蒙地轴与山西断隆的交接部位, 其基底构造以多组断裂发育为主。邢集善(1989)^[1]的重力资料, 反映出大同一阳高一线存在北东东向深断裂, 其次级断裂带也呈北东东向展布。该金矿即位于青尖坡—羊瓜沟—大岔沟近东西向的构造-岩浆岩带的西端(图 1)。

区域地层主要为太古宙集宁群麻粒岩相深变质岩系, 其原岩为基性-中酸性火山喷发产物夹硅铁质沉积物, 并有少量碎屑和化学沉积岩, 其中部分基性岩具大洋拉斑玄武岩性质及原始幔源岩浆特征。

区域岩浆活动以海西晚期中酸性浅成-超浅成小侵入体(次火山岩体)为主, 呈岩株、岩墙或岩筒产于集宁群内, 其岩石类型有石英二长斑岩、二长花岗斑岩和石英斑岩等。这些岩体多伴生隐爆角砾岩体。

定量分析表明, 区内各地质体的成矿微量元素含量较高, 如 Au 的平均含量为 12.79×10^{-9} (64 件样品), 其中麻粒岩含 Au 丰度为 6.63×10^{-9} (28 件样品), 石英二长斑岩为 8.63

① 该文为国家黄金基金资助的《山西省阳高县堡子湾金矿床成矿规律研究》项目的一部分

李景云, 男, 39 岁, 高级工程师, 多年从事金属矿床地质研究。邮政编码: 030002

1995-8-28 收稿, 1996-5-2 修改回

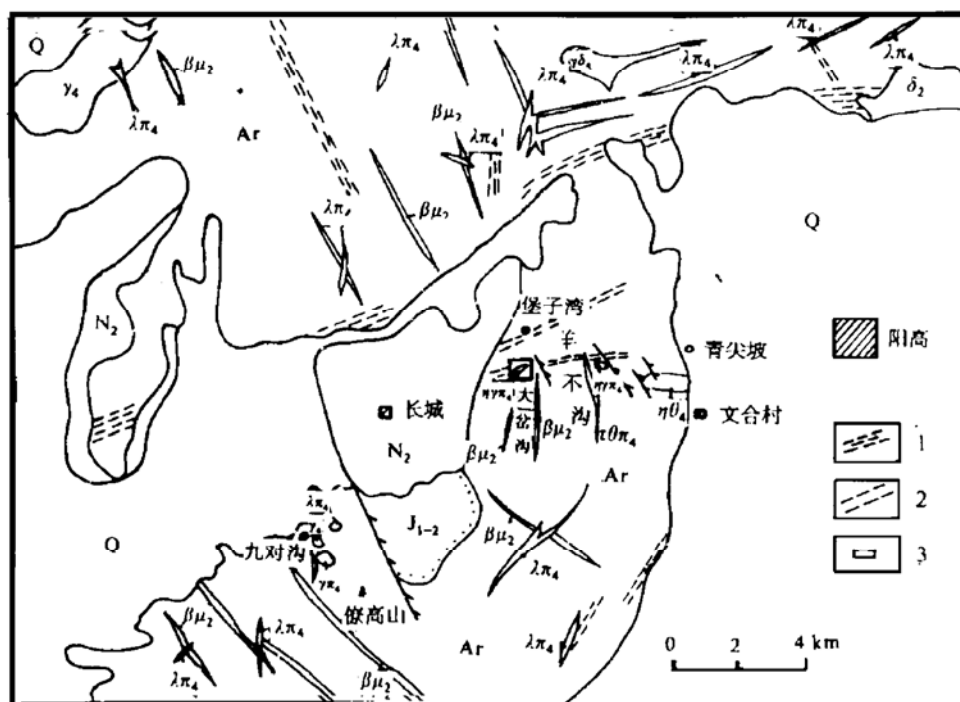


图 1 堡子湾地区区域地质图

Q—第四系；N₂—上第三系；J—侏罗系；Ar—太古宙集宁群；βμ₂—吕梁期辉绿岩；δ₂—变闪长岩；γ₄—花岗岩；η₀₄—石英二长岩；ηγπ₄—二长花岗斑岩；λπ₄—石英斑岩；τθπ—长石石英斑岩；γπ₄—花岗斑岩；1—一级破碎带；2—次级破碎带；3—堡子湾金矿区

Fig. 1. Diagrammatic regional geological map of Baoziwan area.

Q—Quaternary; N₂—Neogene; J—Jurassic; Ar—Archean Jining Group; βμ₂—Diabase of Luliang period; δ₂—Metadiorite; γ₄—Granite; η₀₄—Quartz monzonite; ηγπ₄—Adamellite porphyry; λπ₄—Quartz porphyry; τθπ—Feldspar-quartz porphyry; γπ₄—Granite porphyry; 1—First-order shatter zone; 2—Second-order shatter zone; 3—Baoziwan gold ore district.

×10⁻⁹ (4 件样品)，二长花岗斑岩最高，为 34×10⁻⁹ (20 件样品)。

2 矿床地质特征

2.1 成矿岩浆岩

石英二长斑岩和二长花岗斑岩是矿区内主要岩浆岩类型，呈岩墙状侵位于东西向构造破碎带，东西长 1000 m 以上，南北宽 60~200 m。石英二长斑岩体位于该岩带之东，与二长花岗斑岩体在地表不连接，但据钻孔资料，它们在深部为一个岩体，且二长花岗斑岩为石英二长斑岩体的边缘相，可能为同源不同阶段的岩浆演化产物。石英斑岩呈脉状产出，在钻孔岩心中可见二长花岗斑岩内有石英斑岩捕虏体，表明石英斑岩形成要早。侵入岩体时代难以与地层接触关系确定，经二长花岗斑岩和石英二长斑岩全岩 K-Ar 法同位素年龄测定为 245×10⁶ a 左右，可能属海西晚期^[2]。

另外，在矿区钻孔内见到穿切上述岩体的花岗斑岩岩脉，经 Rb-Sr 同位素年龄测定，其等时年龄为 (105±6) ×10⁶ a，应属燕山期。

从二长花岗斑岩的含金丰度、稀土元素地球化学特征、硫同位素组成，以及岩体与金矿体的空间关系等方面（见后文）可以认为，与该金矿有成因联系的为二长花岗斑岩。二长花岗斑岩中的斜长石有序度在 0.0~0.5 之间，属无序—低序状态，说明岩浆冷凝速度较快，或岩浆侵入深度近地表。

二长花岗斑岩和石英二长斑岩的岩石化学成分（表 1）反映出岩石属正常系列和铝过饱和系列；碱度率大于 1，属钙碱性花岗岩；SiO₂ 含量为 65%~69%，岩体边部及近地表 SiO₂ 含量增高；Na₂O+K₂O 含量为 6.12%~10.18%，一般 K₂O>Na₂O。

表 1 堡子湾地区花岗岩类化学成分

Table 1. Chemical composition of granitoids in the Baoziwan area

样号	岩石名称	氧化物含量(%)									
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
YQ08	二长花岗斑岩	66.48	0.11	18.16	2.78	0.49	0.04	1.60	0.19	5.92	0.20
YQ10	二长花岗斑岩	65.67	0.33	14.47	0.88	1.69	0.05	1.28	2.87	2.64	4.11
7-5 ^①	二长花岗斑岩	67.50	0.25	14.03	1.21	1.85	0.04	1.40	0.57	6.40	2.75
YQ03	二长花岗斑岩	68.76	0.29	15.47	1.82	0.52	0.04	0.61	0.91	5.12	3.17
V-3 ^①	二长花岗斑岩	68.82	0.06	14.71	1.38	2.42	0.04	0.89	0.58	4.90	3.85
YQ01	石英二长斑岩	69.03	0.29	15.63	1.64	0.88	0.03	0.81	0.95	4.91	4.32
H164 ^①	石英二长斑岩	67.50	0.50	15.93	2.06	1.05	0.08	0.44	0.61	4.10	6.08

样号	岩石名称	氧化物含量(%)									
		P ₂ O ₅	F	Cl	SO ₃	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	烧失	总和	
YQ08	二长花岗斑岩	0.07	0.36	0.006	0.37	0.21	2.76	0.42		100.17	
YQ10	二长花岗斑岩	0.13	0.09	0.010	0.98	2.76	2.09	0.23		100.28	
7-5 ^①	二长花岗斑岩	0.09					0.96		3.39	99.48	
YQ03	二长花岗斑岩	0.09	0.06	0.006	0.63	0.83	0.95	0.29		99.57	
V-3 ^①	二长花岗斑岩	0.02					0.81		1.01	98.68	
YQ01	石英二长斑岩	0.14	0.10	0.014	0.11	0.21	0.68	0.16		99.90	
H164 ^①	石英二长斑岩	0.18					1.30		1.33	99.86	

中国地质科学院矿床地质研究所分析（1993 年）；①《山西省区域地质志》，1989 年；样品产地：YQ08—堡子湾 17 线地表；YQ10—堡子 1405 坑道；7-5—大岔沟；YQ03、V-3—羊爪沟；YQ01、H164—青尖坡

表 2 堡子湾地区花岗岩类微量元素含量 (10⁻⁶)

Table 2. Minor element contents of granitoids in the Baoziwan area

岩 元 石 素	Au	Ag	As	Hg	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	Ti
二长花岗斑岩 (20 件)	34.00	2.87	13.11	0.032	284.4	80.25	159.85	4.68	6.51	49.75
石英二长斑岩 (4 件)	8.63	0.78	2.49	0.02	52.75	81.00	43.75	20.65	0.91	147.50

岩 元 石 素	Mn	W	Ni	Cr	V	Co	B	Sn	Sb
二长花岗斑岩 (20 件)	1417.5	99.65	49.10	159.00	180.50	22.65	20.55	4.63	0.60
石英二长斑岩 (4 件)	3.50	262.50	12.85	32.75	48.50	35.38	7.05	1.75	1.63

由冶金部第三地勘局中心实验室测定（1992 年）；Au、Ag 为原子吸收分析，其余为光谱定量分析；Au 单位为 10⁻⁹

岩石微量元素（表 2）除 Ti、Ni、Co 含量低于地壳丰度值外，其余元素均高于地壳丰度值 1.3~66.4 倍，Au 为地壳丰度值 9 倍。基性元素 Ti、Mn、Ni、Cr、V、Co 等含量高于同类花岗岩 2~6 倍，这可能与岩浆上侵同化混染围岩成分有关。

岩石稀土元素含量及特征值（表 3）： ΣREE 为 $129.94\times10^{-6}\sim178.04\times10^{-6}$ ， LREE/HREE 为 $6.82\sim11.85$ ， δEu 为 $0.685\sim0.894$ ， $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $18.05\sim46.79$ ， Eu/Sm 为 $0.20\sim0.25$ 。稀土元素资料表明，本区花岗岩类岩浆以下地壳为主，同时 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值也表明岩浆成分有较强的分异，显示壳内熔融的特征。岩石硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $+2\text{‰}\sim-2\text{‰}$ ，具深源硫特点。

表 3 堡子湾矿区岩矿稀土元素及特征值

Table 3. REE contents and characteristic values of rocks and ores from the Baoziwan ore district

样号	稀 土 元 素 含 量 (10^{-6})														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Cd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	La	Y
2	25.70	53.10	5.50	25.90	4.49	1.32	3.09	0.42	2.06	0.37	1.02	0.15	0.96	0.10	9.41
3	32.70	71.20	7.47	35.90	6.67	1.34	4.92	0.78	2.68	0.37	1.27	0.10	0.94	0.10	11.60
8	30.40	60.60	6.57	30.30	5.04	1.27	3.32	0.42	1.76	0.34	0.92	0.14	0.64	0.10	7.55
9	27.90	54.10	5.15	22.70	3.47	0.79	2.34	0.40	1.70	0.36	0.97	0.14	0.88	0.10	8.94
10	43.20	73.80	6.23	26.00	3.96	0.86	2.40	0.37	1.48	0.28	0.69	1.00	0.62	0.11	6.95
11	43.20	75.60	6.67	28.00	4.42	1.00	2.95	0.37	2.08	0.37	1.04	0.14	0.92	0.16	10.00
12	20.80	42.90	4.90	24.90	5.73	1.59	9.81	1.57	10.40	2.21	5.84	0.82	5.82	0.49	54.50
样号	ΣREE (10^{-6})			$\frac{\text{LREE}}{\text{HREE}}$			δEu			$(\frac{\text{La}}{\text{Yb}})_{\text{N}}$			$\frac{\text{Eu}}{\text{Sm}}$		
2	133.59			6.5989			0.9725			18.0487			0.2939		
3	1781.04			6.8225			0.6854			23.4533			0.2009		
8	149.37			8.8334			0.8938			32.0242			0.2519		
9	129.94			7.2084			0.8012			21.3750			0.2276		
10	167.05			11.850			0.7913			46.7961			0.2172		
11	176.92			8.8125			0.7989			31.6577			0.2262		
12	191.74			1.1088			0.6432			2.6559			0.2775		

李景云等采样；中国地质科学院矿床地质研究所测定（1993 年）；岩石名称：2 号样为原生矿石；3 号样为蚀变二长花岗岩斑岩；8 号样为二长花岗斑岩；10 号样为含矿二长花岗斑岩；11 号样为氧化矿石；12 号样为花岗斑岩

2.2 角砾岩体特征

该区广泛发育角砾岩体。角砾岩体呈北东东向带状分布，长约 1000 m，宽约 100 m，向南陡倾，延深大于 400 m，呈上窄下宽的不规则筒状，与围岩集宁群接触界线明显（图 2）。这些角砾岩除呈筒状产出外，在岩性上还具有一些独有特征：角砾成分以二长花岗斑岩和石英斑岩为主，角砾大小悬殊，有的为几厘米，有的达数十至百余厘米，多呈棱角状，但也有呈浑圆状的（这些浑圆状角砾与熔浆胶结物无明显界线）。胶结物主要为晶屑、浆屑等熔浆物质，胶结物显紊流构造。另外，角砾岩体内常发育一种“卵石岩墙”，即角砾岩脉，其卵石大小不一，磨圆度极佳，表面具压坑和擦痕。整个角砾岩体与二长花岗斑岩交织在一起。上述所有特征均表明这种角砾岩不是沉积成因，也不可能是断层成因抑或火山爆发成因，而只能表明它们是在封闭半封闭条件下，由次火山相（二长花岗斑岩）岩浆引起的隐蔽爆破作用所形成。按成因方式可将它们划分为爆破角砾岩、震碎角砾岩和热液注入角砾岩等。

爆破角砾岩为隐爆作用的直接产物，为角砾岩的主体，与二长花岗斑岩体紧密伴生，且

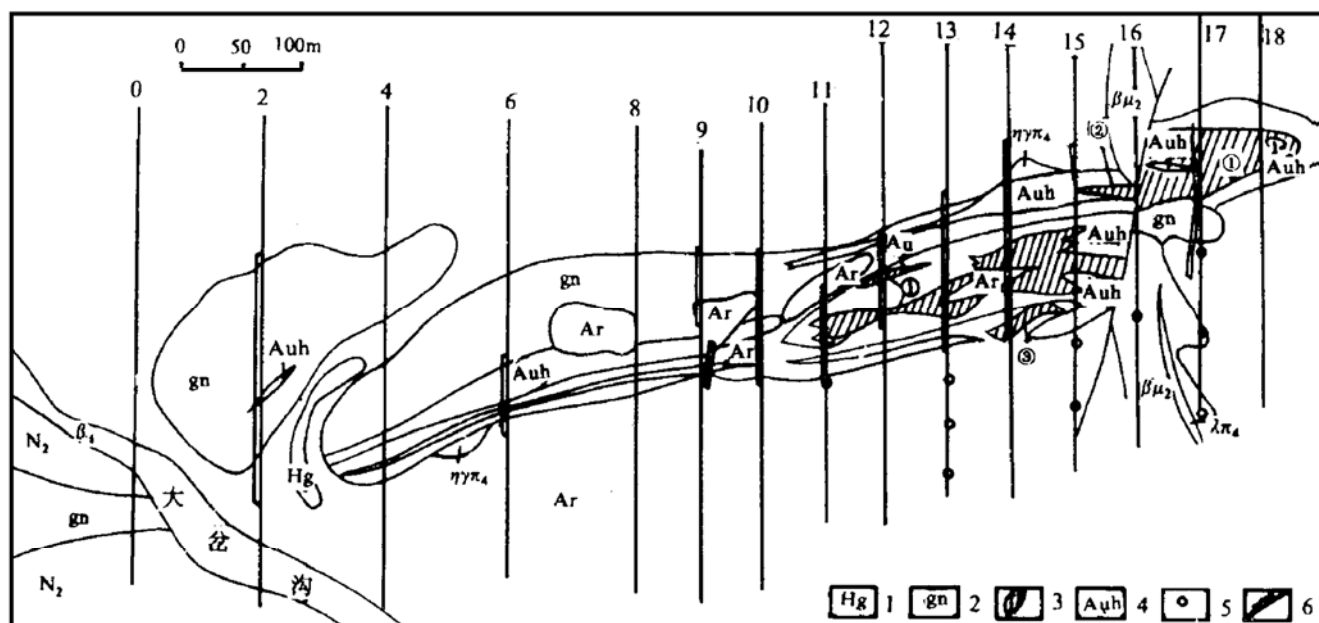


图2 堡子湾金矿区地质平面图

1—斜长角闪岩；2—角砾岩；3—金矿体及编号；4—金矿化；5—钻孔；6—探槽；其它同图1

Fig. 2. Geological plan of the Baoziwan gold ore district.

1—Plagioclase amphibolite; 2—Breccia; 3—Gold orebody and serial number; 4—Gold mineralization; 5—Drill hole; 6—Prospecting trench. Other symbols as for Fig. 1.

主要分布于岩体的上部。在该类角砾岩体的中上部，矿化作用十分显著，多金属硫化物多沿其裂隙、孔隙交代充填，呈细脉、网脉状或团块状。爆破角砾岩为主要赋矿岩体，金矿体即产于其中。

震碎角砾岩是隐爆作用产生的爆破波对围岩冲击而形成的一种角砾岩，主要分布在角砾岩筒的边部，角砾成分大部为围岩集宁群麻粒岩，角砾棱角发育，无明显位移，具可拼性。震碎角砾岩带规模不大，矿化很弱。

热液注入角砾岩分布于岩筒的中上部。它呈或大或小的脉状体（岩墙）产出，其中含磨圆度极佳的“卵石”，成分以二长花岗斑岩为主，胶结物为硅质、碳酸盐，夹有岩浆碎屑及岩粉。热液注入角砾岩也是主要的含矿岩石。它是爆破作用后期阶段，部分尚未完全凝结的浆屑、岩屑和高温气液形成活动性很强的碎屑流，在一定的条件下，以涡旋状前进的移动方式“使劲”地挤入到围岩裂隙中，结果形成了磨圆度极佳的并具压坑和擦痕的“卵石”。

可见，岩浆作用、隐蔽爆破作用及其相关的成矿作用是紧密联系的连续过程，最终形成岩浆岩-角砾岩-矿石综合地质体^[3]。

2.3 矿床特征

矿体主要赋存于角砾岩体内部及其与围岩的接触带，其产状与角砾岩筒产状一致，呈北东东向展布，向南陡倾延深（图3）。在垂向上，由上至下矿床具明显的分带。分带标高大致在1450 m，以上为氧化矿带，以下为原生矿带，氧化矿带最大深度约40 m。矿体呈不规则复脉，分枝复合、尖灭再现普遍。目前共圈出三个金矿体，其中I号矿体规模最大，约占总储

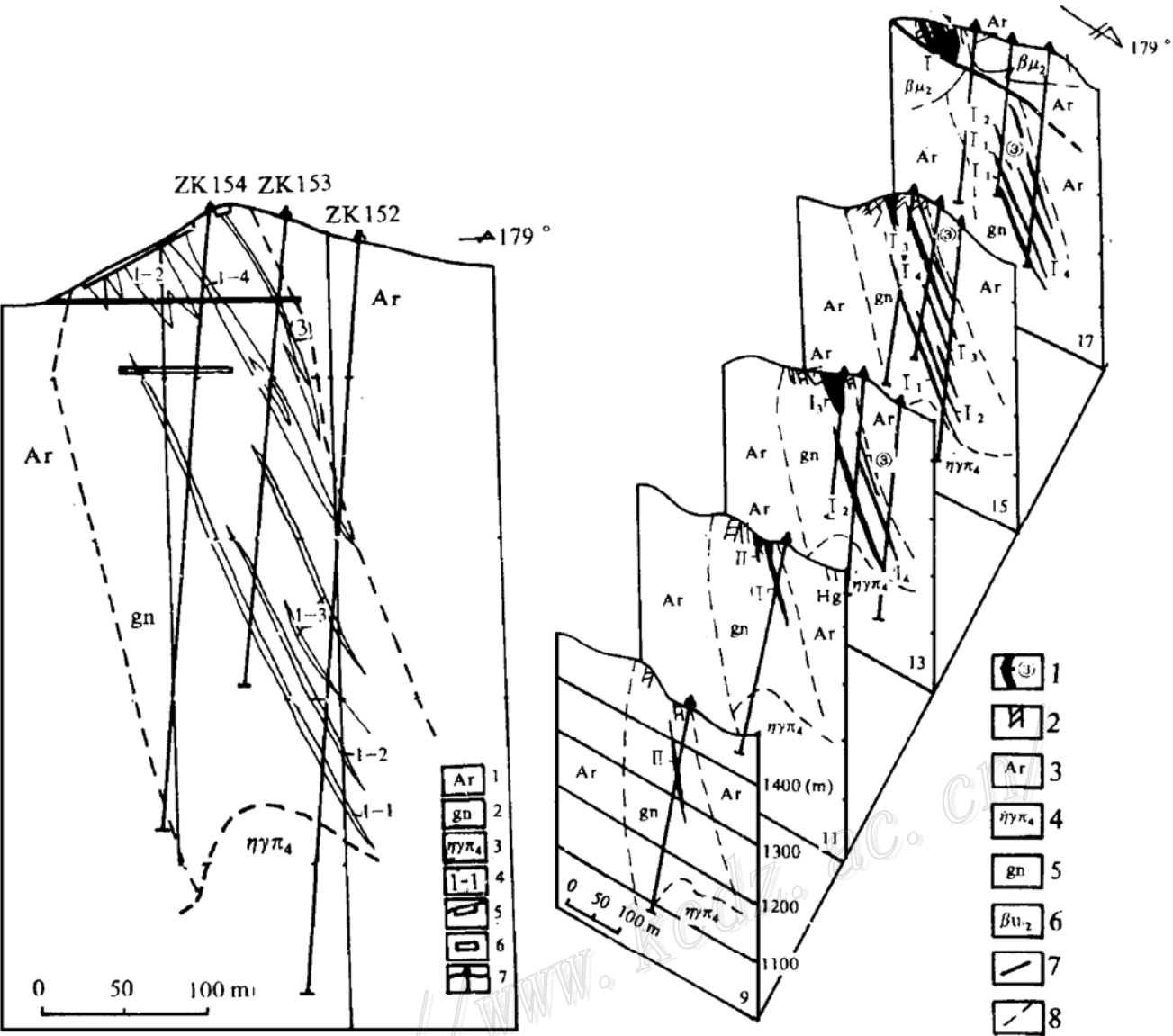


图 3 矿区第 15 线剖面图（左图）

1—麻粒岩；2—角砾岩体；3—二长花岗斑岩；4—金矿体及编号；5—探槽；6—坑道；7—钻孔

Fig. 3. Geological section along No. 15 line of the ore district (left) .

1—Granulite; 2—Breccia body; 3—Adamellite porphyry; 4—Gold orebody and serial number; 5—Pospecting trench; 6—Prospecting trench; 7—Drill hole.

图 4 堡子湾金矿联合剖面示意图（右图）

1—金矿体及编号；2—矿化体；3—麻粒岩；4—二长花岗斑岩；5—角砾岩；6—辉绿岩；7—断层；8—推测地层界线

Fig. 4. Combined geological sketch section of the Baoziwan gold deposit (right) .

1—Gold orebody and serial number; 2—Mineralized orebody; 3—Granulite; 4—Adamellite; 5—Brec-cia; 6—Dia-base; 7—Fault; 8—Inferred geological boundary.

量的 87%。该矿体的特点是（图 4）：东端仰起，厚度大（平均 21.46 m），品位相对较富（平均品位为 7.74 g/t），长约 200 m，以氧化矿体为主；西段（10~16 勘探线）向西倾伏，厚度变小（平均厚度为 7.93 m），夹层增多，品位降低（平均为 5.75 g/t），且品位变化大，长约 300 m，见矿控制深度达 350 m。

组成矿石的金属矿物已知有 20 余种。金矿物主要为银金矿和自然金, 银矿物为辉银矿、自然银。原生矿石主要有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿, 次为砷黝铜矿、辉铜矿、斑铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿等。脉石矿物以石英、斜长石、钾长石为主, 其次为绢云母及碳酸盐类。氧化矿石的主要金属矿物为褐铁矿, 次为赤铁矿、磁铁矿, 少量黄铁矿、自然铜、辉铜矿和锰矿物; 脉石矿物为石英、绢云母、长石、水白云母及绿泥石, 少量重晶石及碳酸盐矿物等。

矿石结构: 黄铁矿为自形一半自形粒状, 黄铜矿为他形粒状, 金银矿物具嵌金、包含结构, 多金属硫化物具固熔体分离结构和共结结构, 另外还见溶蚀交代结构和压碎碎裂结构等。

矿石构造主要有角砾状、细脉-网脉状、浸染状、蜂窝状及土状等, 富金矿石主要呈细脉-网脉、浸染状构造。

该矿床金矿物粒度较小, 主要为显微金, 一般粒径小于 0.074 mm, 所见自然金最大粒径为 0.164 mm。银金矿最大粒径为 0.216 mm, 最小粒径小于 0.0005 mm。金的粒度分布见表 4。

金矿物主要以晶隙金为主, 其次为裂隙金, 包裹金所占比例很小, 主要嵌布于黄铁矿、褐铁矿、含硫化物、石英及方铅矿内 (表 5)。金与黄铁矿关系最密切, 绝大多数包裹金、裂隙金均镶嵌于黄铁矿中。硫化物与金的密切程度顺序为: 黄铁矿 > 黄铜矿 > 方铅矿 > 砷黝铜矿 > 闪锌矿。

表 4 原生金与表生金粒度分布对比

Table 4. Comparison in grain size between primary gold and supergene gold

统计类型	金矿类型	粒度范围 (mm)	占有率 (%)	粒 级
按颗粒百分数	原生金	0.037~0.005	84.19	微粒—细粒
	表生金	0.020~0.100	87.90	中粒—细粒
按金含量	原生金	0.020~0.100	83.36	中粒—细粒
	表生金	0.037~0.200	88.74	中粒—细粒

表 5 金矿物的嵌连关系

Table 5. Embedding and association relationship of gold minerals

矿石类型	嵌连关系	与矿物关系	含量 (%)
原生矿	包裹金	主要在黄铁矿中, 少量在方铅矿中	1.71
	晶嵌金	主要与黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、砷黝铜矿、闪锌矿伴生	71.48
	裂隙金	在黄铁矿中	25.81
	脉石中的金	脉石矿物之间隙	1.00
表生矿	包裹金	褐铁矿中, 少量在石英中	14.63
	晶隙金	褐铁矿及脉石矿物晶隙间	85.37

对不同载体矿物中金矿物电子探针多点分析表明, 金矿物主要为金-银固熔体系列矿物。

氧化矿石金矿物成色为 879~976, 平均 841; 原生矿石中金的成色为 834~950, 平均 819。与晋北燕山期次火山岩有关金矿床金的成色相比, 明显偏高。

根据矿石矿物的组合、结构构造及生成温度(见后文), 可将该金矿成矿期次划分为热液期和表生期。热液期又划分为三个成矿阶段: I. 含金-黄铁矿(黄铜矿)阶段, 形成包含有微细粒自然金的黄铁矿化; II. 金(银)-多金属硫化物阶段, 为主要的金矿化富集阶段, 该阶段可再细分为金银-黄铁矿-铜砷-铅锌阶段(II₁)和银砷-铅锌-碳酸盐阶段(II₂); III. 银金-铅锌-碳酸盐阶段, 为金的次要富集阶段。表生期, 金主要以风化残留的形式再次富集。

矿床的围岩蚀变现象普遍, 有钾长石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化、黄铁矿化、绿泥石化及泥化。其中与成矿作用有关的主要为硅化、绢云母化、黄铁矿化和碳酸盐化, 而表生期成矿作用主要与风化淋滤形成的高岭土化、伊利石化和泥化有关。

硅化发育十分广泛, 可分为早中晚三期, 以晚期硅化与金矿化关系密切。SiO₂ 一般由热液带入, 形成颗粒细小的暗灰色石英集合体, 常与绢云母化、黄铁矿及多金属硫化物伴生。

绢云母化分布面积也广, 早期绢云母化主要为侵入体自交代蚀变, 产生极细的鳞片隐晶质集合体; 晚期绢云母化为含矿热液交代所产生, 多呈细小鳞片状, 与成矿关系密切。

黄铁矿化在热液蚀变的各阶段都能产生, 早期黄铁矿呈自形程度较好的星散浸染状, 与金矿化关系不大; 中期黄铁矿呈细粒集合体, 以五角十二面体为主, 少数为立方体, 与绢云母化、硅化及碳酸盐化伴生, 分布于蚀变角砾岩体的裂隙中, 与金矿化关系密切; 晚期黄铁矿粒度较粗, 分布于碳酸盐-石英脉中, 伴有铅锌矿化, 而金矿化较弱。碳酸盐化主要形成于成矿作用的晚期或期后阶段, 以铁白云石、菱铁矿和方解石形式存在, 常伴有石英、黄铁矿和少量闪锌矿、方铅矿, 呈脉状、团块状产出, 形成弱的金银矿化。

泥化主要发生在表生作用下, 其矿物组成为高岭石、伊利石和明矾石等, 与次生富集金矿化关系密切, 尤其在角砾岩体氧化带, 当泥化与褐铁矿伴生时常有金的富集。

上述围岩蚀变有一定的分带性: 在横向上, 从矿体向两侧, 一般依次为绢云母化、硅化、(碳酸盐化)→(绿泥石化)、硅化、绢云母化→钾长石化; 在垂向上, 上部氧化带为泥化(高岭石、伊利石化), 向下原生带依次为碳酸盐化、硅化→绢云母化、硅化、(碳酸盐化)→绢云母化。

3 矿床地球化学特征

3.1 微量元素分布特征

在矿床的原生矿带和氧化矿带, 矿石多元素统计分析表明, 微量元素有如下分布规律: 原生矿带中与金相关的元素有 Hg、Pb、Cu、Mn、Ni、Ag、Zn、As、Sb、B、V。经 R 型点群分析, 三类元素组合中, Au、Cu、As、Sb、Pb、Zn、Hg、Ag 组合相关性较强, 是原生矿带的直接指示元素。氧化矿带中, 与 Au 相关的元素组合为 Pb、W、Sn、Ni、Mo、B、Bi、Ag、Ti、As、Sb、Hg、Cu、Mn、Cr、Co、Zn, 其中 Pb、W、Sb 与 Au 的相关性十分显著, 并经 R 型点群分析, 其特征的元素组合为 Pb、W、Sn、Cu、Mn、Cr、Co、Zn、Ni, 可作为氧化矿带的直接指示元素。

约 300 件岩石地球化学样品的微量元素分析表明, 堡子湾金矿具有如下地球化学异常分带模式(图 5)。

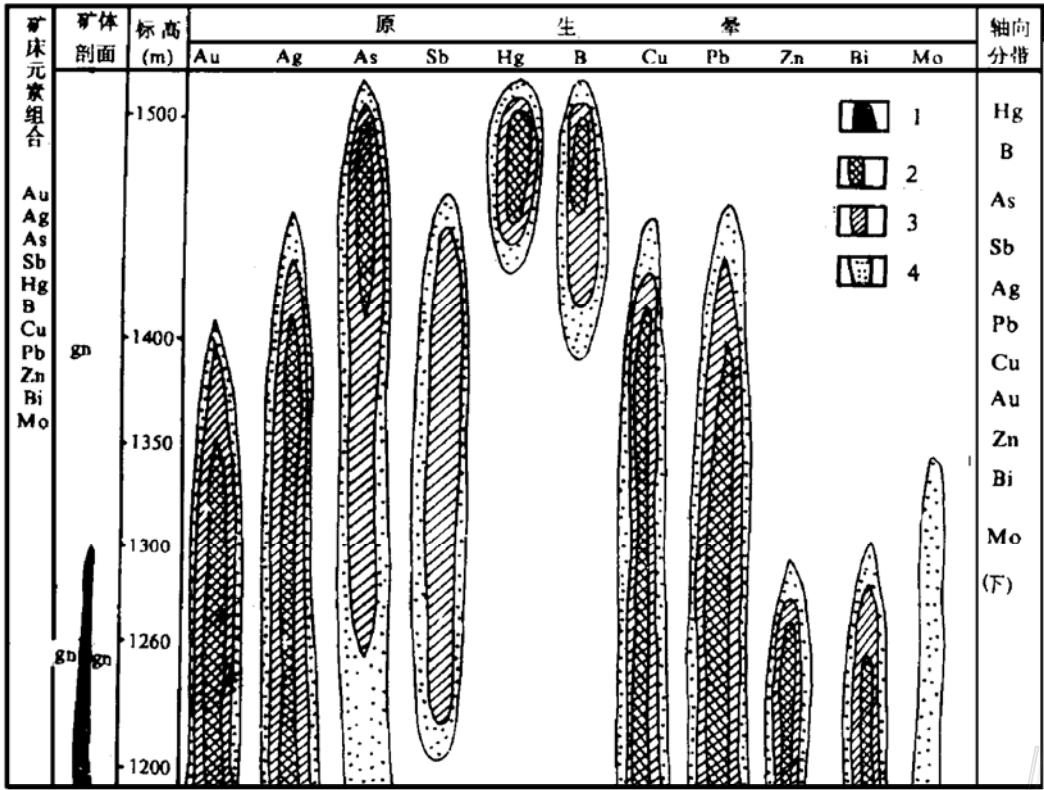


图 5 堡子湾金矿床地球化学异常模式图

1—矿体；2—内带；3—中带；4—外带

Fig. 5. Geological anomaly pattern of the Baoziwan gold deposit.

1—Orebody; 2—Inner zone; 3—Central zone; 4—Outer zone.

Au、Ag、Cu、Pb、Zn 的异常形态与矿体吻合，矿体部位均出现吻合程度较高的内带异常，矿体周围 Ag、Cu、Pb、Zn 异常发育，而且异常分布范围较宽；Sb、As 异常形态基本与 Ag、Pb、Cu 一致，与 Au 也基本吻合，Sb、As 由于迁移能力强，可在矿体上部较远处富集，反映前晕异常特征；Hg、B 为远程指示元素，多在矿体上部形成异常晕，为寻找隐伏矿体的最佳指示元素；Mo、Bi 多反映出矿体尾部晕，矿体部位多出现 Mo、Bi 的中带上部异常晕，是矿体尾晕指示元素。因此，可归纳为：矿体前缘指示元素为 Hg、B、As、Sb、Pb，其中 Hg、B 为较远程的指示元素；矿体中部指示元素为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn；矿体尾部指示元素为 Mo、Bi。

单矿物微量元素分析表明，黄铁矿 ($\text{Au } 1 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$)、方铅矿 (14×10^{-6})、黄铜矿 (3.5×10^{-6}) 有较高的金含量，而闪锌矿含金较低 (0.5×10^{-6})。黄铁矿的 Co 含量一般大于 100×10^{-6} ，平均 142×10^{-6} ，Co/Ni 比值为 $0.44 \sim 1.25$ ，多数小于 1。Co+Ni 含量与 Au+Ag 含量呈反比关系，例如，在含金性差 (小于 1×10^{-6}) 的几个样品中，Co+Ni 在 $360 \times 10^{-6} \sim 730 \times 10^{-6}$ 之间，平均 560×10^{-6} ；而在含金性好 (大于 1×10^{-6}) 的样品中，Co+Ni 在 $45 \times 10^{-6} \sim 390 \times 10^{-6}$ ，平均 290×10^{-6} 。

矿区黄铁矿的热电系数在 $-398.8 \sim +36.1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 之间，平均 $-210.8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。除极个别

为 P 型或 N+P 型外，其余均为 N 型（小于 $-50\text{ }\mu\text{V}/\text{C}$ ）。总的来讲，热电系数 α 值大于 $-200\text{ }\mu\text{V}/\text{C}$ ，N 型+P 型共存，是金矿化的标志。

3.2 稳定同位素

（1）硫同位素特征：30 件硫化矿物的硫同位素分析表明， $\delta^{34}\text{S}$ 在 $-3.2\text{‰}\sim+1.2\text{‰}$ 之间，极差为 4.4‰ ，均值为 0.26‰ 。其中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.6\text{‰}\sim+1.2\text{‰}$ ；方铅矿为 $-1.5\text{‰}\sim0.0\text{‰}$ ；闪锌矿为 $-1.3\text{‰}\sim+0.9\text{‰}$ ，黄铜矿为 $-3.1\text{‰}\sim+0.1\text{‰}$ 。硫同位素组成变化范围窄，在其直方图上塔式效应明显，与陨石硫特征相似，说明成矿物质主要来源于深源岩浆。由共生矿物对硫同位素组成计算了硫同位平衡温度：黄铁矿、黄铜矿组合生成温度为 $397\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，闪锌矿、方铅矿、黄铁矿组合形成温度为 $249\sim304\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，与包裹体测温数据基本一致。

（2）氢氧同位素特征：表 6 列入了该矿床石英氢氧同位素组成，其 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 $10.0\text{‰}\sim14.9\text{‰}$ 之间； δD 在 $-64\text{‰}\sim-90\text{‰}$ 之间，表明接近岩浆水并向变质水过渡，可能在岩浆上侵过程中同熔了地壳物质（麻粒岩），从中淬取了部分变质水。

表 6 堡子湾矿区石英氢氧同位素组成

Table 6. Hydrogen and oxygen composition of quartz from the Baoziwan ore district

样号	名称	测定矿物	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	平衡温度 (°C)
T9207	矿石	石英	12.9	-90	230
T132-1	矿石	石英	10.0	-66	307
T152-2	矿石	石英	14.9	-73	328
T133-1	矿石	石英	13.0	-64	163

李景云等采样，中国地质科学院矿床地质研究所测定（1993）

3.3 流体包裹体

主要研究了矿石中寄主于石英中的流体包裹体。其包裹体类型主要为液相（液+气）包裹体，其次为气相，少数为含子晶多相包裹体。包裹体大小一般为 $5\sim20\text{ }\mu\text{m}$ 。其均一温度为 $380\sim108\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，可划分出四个峰值区间： $380\sim320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $320\sim230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $230\sim160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $160\sim108\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，显示出由高温组向低温组演化，且与所划分的成矿阶段相对应。

包裹体盐度测试结果可分为两组：矿化花岗质角砾岩为 $20\sim25\text{ wt}\%\text{NaCl}$ ；富矿石为 $9.2\sim13.2\text{ wt}\%\text{NaCl}$ （主成矿阶段温度区间为 $320\sim230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。总体上说，该矿成矿流体属中等盐度。

表 7 列入了该矿床矿石中石英包裹体成分测定资料及特征值。由表可知，气相主要成分为 H_2O 及 CO_2 ，并含 H_2 、 N_2 、 CH_4 、 CO ，未检出 O_2 。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 为 $0.0027\sim0.049$ ，均值为 0.039 ，还原参数 R 为 $0.045\sim0.132$ ，均值 0.08 。这些资料表明属弱还原环境浅成热液。液相成分阳离子主要为 Na^+ 、 K^+ ，而 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 未检出，阴离子以富含 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为特征， F^- 含量较低，属 $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^-$ 型流体。

根据包裹体成分资料，利用卢焕章等（1990）^[4]介绍的计算方法，推算出矿液的 pH 值为 $4.25\sim4.91$ ，Eh 为 $-0.459\sim-0.598$ ， R 为 $0.045\sim0.132$ ，属偏酸性（弱酸性）弱还原条件。

表 7 堡子湾矿区石英包裹体气相及液相成分组成特征

Table 7. Gas and liquid composition of inclusions in quartz from the Baoziwan ore district

样号	摩 尔 百 分 含 量						$\frac{\text{CO}_2}{\text{H}_2\text{O}}$	$R=\frac{\text{H}_2+\text{CH}_4+\text{CO}}{\text{CO}_2}$	
	CO ₂	H ₂ O	H ₂	N ₂	CH ₄	CO			
T9207	3.193	96.519	0.116	0.110	0.038	0.023	0.033	0.055	
T133-1	2.604	96.895	0.215	0.158	0.043	0.086	0.027	0.132	
T132-1	4.638	94.953	0.156	0.201	0.045	0.208	0.049	0.088	
T152-2	4.476	95.183	0.147	0.021	0.043	0.011	0.047	0.045	
样号	液 相 (μg/g)					离 子 数 比			
	Na ⁺	K ⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	$\frac{\text{Na}^+}{\text{K}^+}$	$\frac{\text{Cl}^-}{\text{F}^-}$	$\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-}$	$\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-}+\text{F}^-}$ (%)
T9207	0.296	0.289	0.013	0.187	0.523	1.875	7.810	1.020	47.5
T133-1	0.600	0.563	0.029	0.118	1.618	1.807	2.209	5.001	77.5
T132-1	0.308	1.123	0.044	0.227	1.448	0.465	2.802	2.325	63.2
T152-1	4.447	7.402	0.152	7.895	6.274	1.018	28.068	0.291	20.3

李景云等采样, 中国地质科学院矿床地质研究所测定 (1993)

3.4 稀土元素地球化学特征

前已叙及, 堡子湾金矿成矿岩体的稀土元素地球化学特征 (表 3) 表明, 岩浆物质在上侵演化过程中有一定的分异作用, 而且从 Eu/Sm 比值 (0.20~0.25) 推测有一定的地壳成分的加入。

从成矿岩体及原生矿石、氧化矿石的稀土元素配分曲线图 (图略) 看, 其标准化后的曲线型式基本一致, 呈向右倾斜的平滑曲线, Eu 异常不明显或微弱亏损, 锯齿状起伏不明显, 表明在蚀变和成矿过程中, 稀土元素分异不强烈。稀土总量在成矿过程中略有富集。

在成因类型上, 相当于王中刚等^[5]对我国花岗岩类稀土元素地球化学特征分类中的壳幔型花岗岩。

4 矿床成因及成矿模式

根据该矿床的地质特征、岩矿微量元素、稳定同位素、包裹体和稀土元素地球化学的研究, 可以认为, 其成矿地质因素为构造-岩浆作用, 成矿母岩为海西晚期中酸性浅成-超浅成二长花岗斑岩, 在岩浆上侵过程中产生了强烈隐蔽爆破作用, 形成了空隙度大、渗透性好的角砾岩体, 岩浆期后含矿热液在角砾岩体有利部位充填、交代形成金矿体, 显示出浅成中 (低) 温热液成矿特征。因此, 堡子湾金矿床的成因类型应属于与次火山岩有关的中 (低) 温热液型矿床。其成矿模式见图 6。

热液成矿期: 早阶段——高温阶段, 形成金-黄铁矿 (黄铜矿) 组合, 围岩蚀变为硅化- (钾长石化、绢云母化), 为金矿化前奏; 中阶段——中温阶段, 形成金-黄铜矿-黄铁矿-方铅矿- (闪锌矿)-砷黝铜矿组合, 为主要成矿阶段, 围岩蚀变有硅化-绢云母化- (绿泥石-碳酸盐化); 晚阶段——低温阶段, 形成银金矿-黄铁矿-闪锌矿- (方铅矿)-碳酸盐-石英组合, 具低品位金矿化, 围岩蚀变为碳酸盐化 (硅化)。

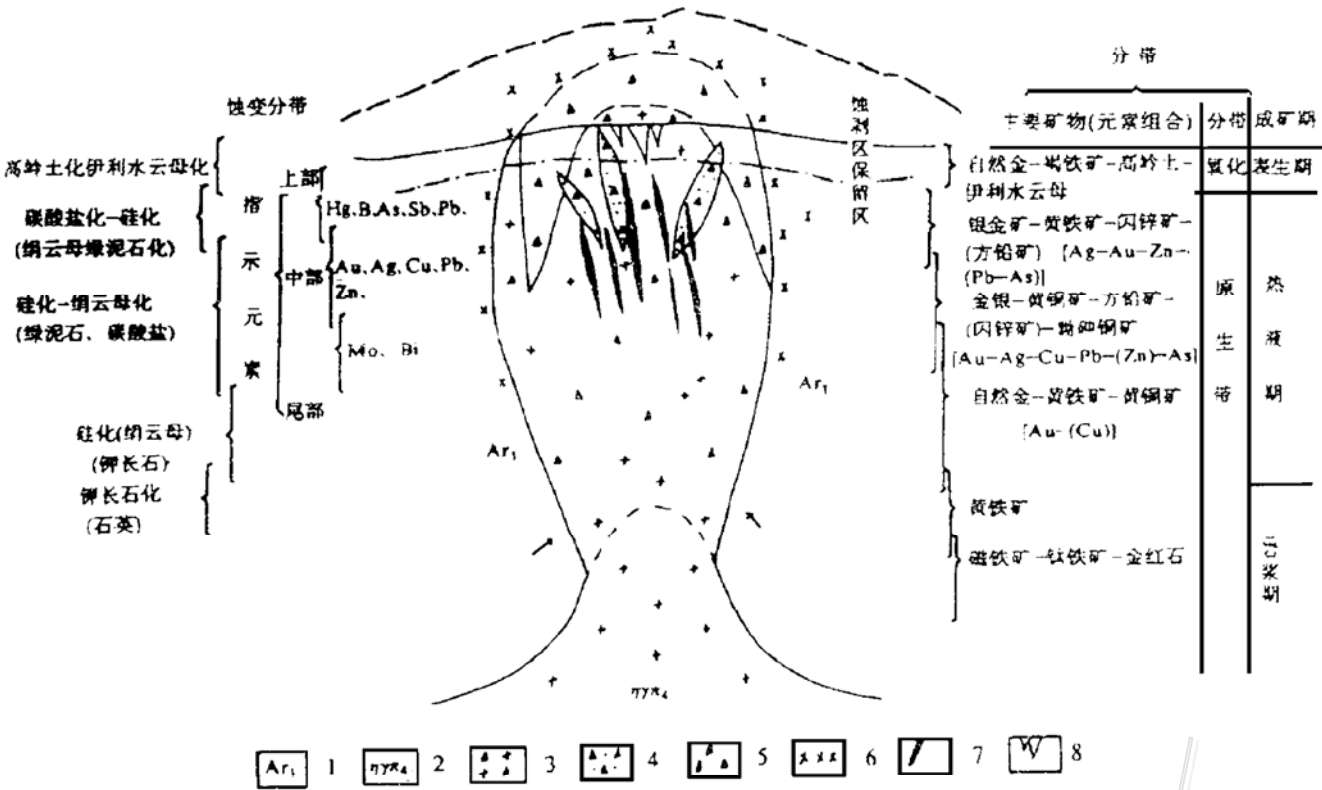


图 6 堡子湾金矿床成矿模式图

1—太古界麻粒岩；2—海西期二长花岗斑岩；3—岩浆爆破角砾岩；4—热液注入角砾岩；5—坍塌角砾岩；6—震碎角砾岩；7—原生矿体；8—氧化矿体

Fig. 6. Metallogenic model of the Baoziwan gold deposit.

1—Archean granulite; 2—Hercynian adamellite porphyry; 3—Magmatic explosion breccia; 4—Hydrothermal in-jec-tion breccia; 5—Collapse breccia; 6—Shatter breccia; 7—Primary orebody; 8—Oxidized orebody.

表生期：次生风化淋滤形成金-褐铁矿-高岭石-伊利石组合，金发生再生富集，围岩蚀变
为高岭石-伊利石化。

矿体主要赋存于隐爆角砾岩体的中、上部和热液注入角砾岩体中。矿化呈浸染-稠密浸染
状，细脉-网脉状和团块状。矿石为金-多金属硫化物型。在地表氧化带，形成角砾状、网状、
蜂窝状、土状等矿石构造，矿石属金-褐铁矿型。

热液成矿作用形成矿体头晕元素为 Hg、B、As、Sb、Pb；中部矿晕为 Au、Ag、Cu、Pb、
Zn；尾晕为 Mo、Bi。

参 考 文 献

1 邢集善，姚典群，黎明．试从地球物理资料论山西地堑系的构造特征．山西地质，1989，(2)：95～110
2 山西省地质矿产局．山西省区域地质志．北京：地质出版社，1989，352，408～410
3 张维根．山西耿庄金银矿区隐爆角砾岩研究．岩石学报，1988，(3)：79～87
4 卢焕章，李秉伦，沈 等．包裹体地球化学．北京：地质出版社，1990，149～150，156～159
5 王中刚，于学元，赵振华等．稀土元素地球化学．北京：科学出版社，1989，76～93

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE BAOZIWAN GOLD DEPOSIT, SHANXI PROVINCE

Li Jingyun¹, Nie Weiqing², Zhang Weigen¹

(1: No. 3 Geological Exploration Bureau, Ministry of Metallurgical Industry, Taiyuan 030002; 2: Shanxi Institute of Mining Industry, Taiyuan 030000)

Key words: gold deposit, geological characteristics, Baoziwan, Shanxi Province

Abstract

The Baoziwan gold deposit is a crypoexplosion breccia pipe type hydrothermal gold deposit genetically related to Late Hercynian intermediate-acid subvolcanic rocks, with the parent rock being adamellite porphyry. During the activity of adamellite magma, intense cryptoexplosion took place, forming a steeply southward dipping breccia pipe 1000m in length, 100m in width, and over 400m in downward extension. Gold orebodies occur in the contact zone between the breccia pipe and its wall rocks. Metallogenic temperatures are mainly 320~230°C, salinities of ore-forming fluids are 9.2~13.2 wt%NaCl, pH values of ore fluids are 4.25~4.91, Eh values are -0.459~-0.598, and R (reduction parameters) are 0.045~0.132. Gas components of inclusions consist mainly of H₂O and CO₂, and also contain H₂, N₂, CH₄ and CO, with CO₂/H₂O ratios averaging 0.039; in liquid phase, cations are mainly Na⁺ and K⁺, whereas anions are mainly SO₄²⁻ and Cl⁻. As for hydrogen and oxygen isotopic compositions, $\delta^{18}\text{O}$ and δD are 10.0‰~14.9‰ and -64‰~-90‰ respectively. $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfide minerals are -3.2‰~+1.2‰, with the maximum difference being 4.4‰. Up till now, scores of similar breccia pipes have been discovered in northern Shanxi as well as along the border area between Shanxi and Inner Mongolia. These pipes almost unexceptionally contain gold-silver mineralizations, among which some have proved to be large-sized silver deposits, and some have turned out to be medium-sized gold or gold-silver deposits. It is worth noticing that breccia pipes along the Shanxi-Inner Mongolia border area and north of this area are mainly related to Hercynian intermediate-acid subvolcanic rocks, whereas those in northern Shanxi to the south of this area are merely associated with intermediate-acid subvolcanic rocks.