

文章编号: 0258-7106 (2000) 03-0211-11

# 青海滩间山金矿床地质地球 化学及成因机制

崔艳合 张德全 李大新 顾光先 丰成友

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**提 要:** 滩间山金矿床位于柴达木盆地北缘中西段。金矿体产于万洞沟群碳质千枚岩-片岩地层中, 受同碰撞造山期构造岩浆活动控制。岩石地球化学特征显示, 酸性-偏碱性岩脉中 Au 与 As 同步富集。矿床中成矿元素之间的相关性表明, Au 主要来自岩浆热液。稳定同位素组成表明, 矿床中的硫、碳、铅以及流体中的水主要来自岩浆。矿床地质特征及同位素地质年代学结果显示, 矿床形成于晚华力西期。

**关键词:** 金矿床 地质 地球化学 成因机制 青海滩间山

**中图法分类号:** P618.51 **文献标识码:** A

滩间山金矿床位于柴达木盆地北缘中西段, 产于万洞沟群 (时代尚有争议) 碳质千枚岩-片岩地层中, 受中生代构造岩浆活动控制。该矿床是目前柴达木盆地北缘最具规模的金矿床, 对它的深入解剖, 可为在该区寻找同类型金矿床提供重要的理论依据。

## 1 矿区地质

### 1.1 地层

矿区出露地层绝大部分为万洞沟群, 该地层为一套遭受区域变质及动力变质的碳泥质碎屑岩及富镁碳酸盐岩建造, 总体上呈 NW 向展布 (图 1)。

万洞沟群地层分上、下两个岩组: 下岩组由厚层状白云石大理岩和条带状白云石大理岩组成, 上部有碳质绢云千枚岩夹层; 上岩组主要为灰黑色含碳“斑点状”千枚岩-片岩类岩石, 上部夹有结晶灰岩。上岩组碳质千枚岩-片岩地层是该区重要的容矿地层。

据区域资料, 万洞沟群地层 Au 含量较低 (上段  $\bar{X}_{Au} = 1.04 \times 10^{-9}$ , 下段  $\bar{X}_{Au} = 1.0 \times 10^{-9}$ ), 含量变化也较小 (上段 Au 含量变异系数  $V_{Au} = 1.76$ , 下段  $V_{Au} = 1.75$ ), 表明万洞沟群建造的形成过程 (沉积及后期变质) 几乎未伴有金矿化作用。

### 1.2 构造

区内构造活动强烈, 主要表现为地层的褶皱、岩石的片理化以及断裂活动。

基金项目: “九五”地矿部科技攻关项目 (95-02-005)

第一作者简介: 崔艳合 (1962—), 男, 河北昌黎县人, 1987 年获硕士, 副研究员, 现从事矿床地质研究工作

收稿日期: 1999-09-23, 修订日期: 2000-05-08

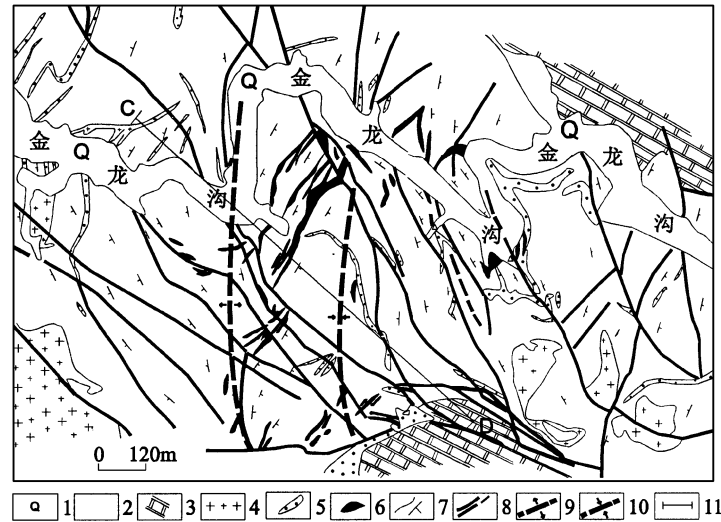


图1 滩间山金矿区地质略图

1—第四系；2—碳质千枚岩-片岩；3—大理岩；4—斜长花岗斑岩；5—岩脉；6—矿体；  
7—地质界线及产状；8—断层；9—背斜轴；10—向斜轴；11—勘探线

Fig. 1. Geological sketch map of the Tanjianshan gold ore district.

1—Quaternary; 2—Carbonaceous phyllite and schist; 3—Marble; 4—Plagiogranite porphyry; 5—Dyke;  
6—Ore body; 7—Geological boundary and attitude; 8—Fault; 9—Antiformal axis; 10—Synformal axis;  
11—Exploration line.

褶皱构造有两组：一组是NW向复式向斜构造，核部主要为万洞沟群上岩组碳质千枚岩-片岩地层，两翼为下岩组白云质大理岩。伴随该向斜的形成，岩层发生同方向片理化，并在千枚岩-片岩中形成了由石榴石变斑晶等组成的“斑点”；另一组褶皱为近SN向层间背向形构造，伴随该组褶皱的形成，产生了近SN向片理化带。NW向复式向斜及同方向片理化带形成于加里东期，而近SN向层间褶皱及同方向片理化带形成于华力西期。早期片理化带（韧性剪切带）的复活部位、晚期片理化带的脆性破裂带以及近SN向层间褶皱的轴面断裂（或劈理）及层间虚脱部位（或层间滑脱带）（图2）是矿区重要的容矿构造。

断裂构造有NW向、NNE向及近EW向3组（图1）。其中NNE向（及近SN向）断裂规模相对较小，多为轴面断裂或褶皱翼部的层间走滑断裂，是区内重要的控矿及容矿断裂。

### 1.3 岩浆岩

矿区的岩浆岩主要为华力西期中酸性侵入岩。岩石类型有斜长花岗斑岩、花岗斑岩、花岗细晶岩、斜长细晶岩、闪长玢岩或闪长细晶岩及云煌岩。斜长花岗斑岩呈小侵入体产出，是滩间山斜长花岗斑岩体在矿区出露的部分。脉岩大都发生蚀变，有的受构造运动影响而发生弯曲、揉皱。脉岩发生蚀变、矿化后，形成脉岩型金矿体。

据区域资料，矿区华力西期侵入岩成矿元素的平均含量低于克拉克值，且含量变化小。唯独斜长花岗斑岩Au含量相对较高（均值 $\bar{X}_{Au} = 2.54 \times 10^{-9}$ ），而且As含量也相应较高（ $\bar{X}_{As} = 9.65 \times 10^{-6}$ ）。此外，从图3可以看到，脉岩中从基性到中性至偏碱性，Au、As含量依次同步递增。反映了矿区斜长花岗斑岩类中酸性岩极可能构成Au的源区。

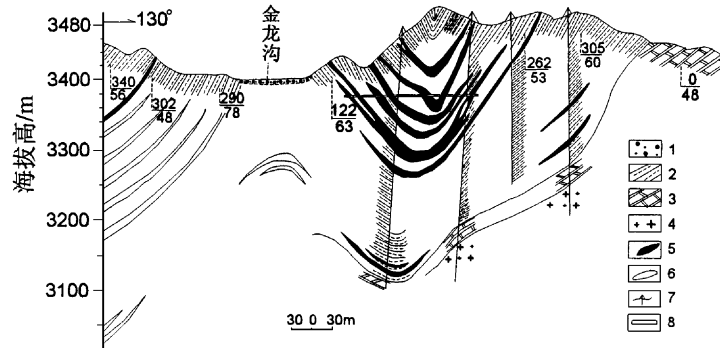


图 2 滩间山金矿 C-D 剖面图

1—第四系洪积物; 2—碳质千枚岩; 3—白云质大理岩; 4—花岗斑岩; 5—金矿体; 6—推测金矿体; 7—钻孔; 8—穿脉

Fig. 2. Geological section along C-D line of the Tanjianshan gold deposit.

1—Quaternary diluvium; 2—Carbonaceous phyllite; 3—Dolomitic marble; 4—Granite porphyry; 5—Gold orebody; 6—Deduced gold orebody; 7—Drill hole and serial number; 8—Vein-penetrating gallery and serial number.

## 2 矿床地质

主要工业矿体呈 NNE 向展布, 少数矿体呈 NW 向展布。矿体形态多呈似层状、脉状及透镜状 (图 1 和图 2), 与蚀变围岩无明显界线, 呈渐变过渡关系。

矿石主要为构造蚀变岩型, 依蚀变原岩的不同又可分为蚀变碳质千枚岩-片岩型和蚀变脉岩型。

矿石矿物主要有自然金、银金矿、毒砂、含砷黄铁矿等; 脉石矿物主要为石英、绢云母、绿泥石、绿帘石、白云石等。

矿石的结构主要为自形—半自形立方体及五角十二面体粒状结构、环边及环带结构、筛状包含结构等; 矿石构造主要为浸染状构造、眼球状团块状构造及细脉-网脉状构造等。

矿床的围岩蚀变主要为容矿岩石 (碳质千枚岩-片岩) 的黄铁矿化、硅化、绢云母化及少量碳酸盐化, 围岩中的暗色矿物多发生绿泥石化和绿帘石化。矿体、蚀变岩及未蚀变围岩之间为渐变过渡关系。

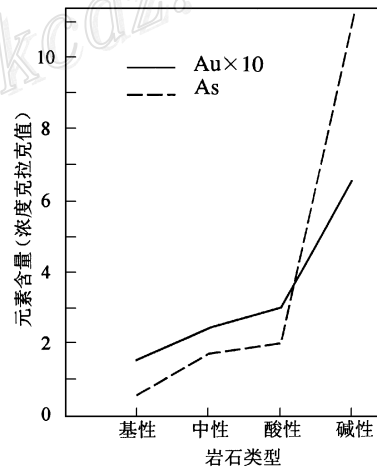


图 3 滩间山金矿区域脉岩 Au、As 含量与其克拉克值之比 (浓度克拉克值) 随岩石类型变化图

Fig. 3 Diagram showing concentration clarkes of Au, As relative to types of the regional dykes in the Tanjianshan gold district.

### 3 矿床地球化学

#### 3.1 成矿元素地球化学

从表1可见, 滩间山金矿床蚀变千枚岩、片岩及同类型矿石中 Au 与 As ( $R_{Au-As} = 0.9437$ )、Sb ( $R_{Au-Sb} = 0.9082$ ) 呈密切正相关关系; As 与 Mo ( $R_{As-Mo} = 0.9945$ )、Sb 与 Mo ( $R_{Sb-Mo} = 0.9364$ ) 呈密切正相关关系, 表明在成矿作用过程中 As 与 Sb 是 Au 迁移富集的矿化剂, 即 Au 主要以 Au-As 或 Au-Sb 络离子的形式迁移。另一方面 As、Sb 代表了相对低温的成矿条件, 说明蚀变千枚岩、片岩中的 Au 已相对远离了源区。Mo 与 As、Sb 的密切正相关关系, 表明 Mo 可能与 Au 同源, 加之 Mo 多代表岩浆成矿的特征, 所以 Au 应来自岩浆热液。其它元素中 Se 与 Te 的密切正相关 ( $R_{Se-Te} = 0.8753$ ) 是因两元素在周期表中共处一族, 有类似的地球化学行为。

表1 滩间山金矿蚀变千枚岩、片岩(含部分矿石)成矿元素相关矩阵

Table 1. Correlation matrix of ore-forming elements in altered phyllite and schist (including some ores) of the Tanjianshan gold deposit

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Bi	Mo	As	Sb	Se	Te
Au	1.000												
Ag	-0.0407	1.0000											
Cu	0.5956	-0.3151	1.0000										
Pb	-0.1912	0.6078	-0.2804	1.0000									
Zn	-0.3013	-0.1881	-0.1880	0.5355	1.0000								
W	-0.4845	-0.4851	0.2089	-0.8266	-0.6694	1.0000							
Sn	-0.4845	0.0735	-0.1589	0.5984	0.7948	-0.8913	1.0000						
Bi	-0.4497	0.2037	-0.1924	0.7995	0.8532	-0.8192	0.8020	1.0000					
Mo	0.4297	-0.1953	0.7479	-0.3499	-0.4745	0.5221	-0.6141	-0.5643	1.0000				
As	0.9437	-0.0954	0.7247	-0.2920	-0.4873	0.4713	-0.6087	-0.5470	0.9945	1.0000			
Sb	0.9082	0.1364	0.7059	-0.1935	-0.5562	0.3438	-0.5626	-0.5113	0.9364	0.9648	1.0000		
Se	-0.4796	0.5376	-0.0977	0.7166	0.4862	-0.8939	0.7877	0.7954	-0.5722	-0.5237	-0.3491	1.0000	
Te	-0.2603	0.7007	-0.2570	0.7337	0.4850	-0.8639	0.6227	0.7264	-0.4999	-0.4233	-0.2396	0.8753	1.0000

相关性临界值:  $R_{0.05} = 0.755$

$R_{0.01} = 0.875$

从表2可见, 华力西期侵入岩中的 Au 只与 Mo ( $R_{Mo-Au} = 0.7974$ )、Ag ( $R_{Au-Ag} = 0.4693$ ) 呈密切和较密切正相关关系, 进一步说明 Au (Ag) 与 Mo 同源自岩浆热液的特点。另外, W 与 Cu、Pb ( $R_{W-Cu} = 0.6275$ 、 $R_{W-Pb} = 0.5239$ ) 的密切正相关关系表明它们具有共同的地球化学迁移方式, As、Sb、Hg 三元素之间的密切正相关关系 ( $R_{As-Sb} = 0.9799$ 、 $R_{As-Hg} = 0.9574$ 、 $R_{Sb-Hg} = 0.9212$ ) 代表了岩浆热液中的低温组分, 易于迁移, 暗示蚀变千枚岩-片岩型矿石中 Au 与 As、Sb 一道来自岩浆热液, 是华力西期同碰撞造山作用的伴生产物。

表 2 滩间山金矿华力西期侵入岩 (含部分脉岩型矿石) 成矿元素相关矩阵

Table 2. Correlation matrix of ore-forming elements in Hercynian intrusions (including some dyke ores) of the Tanjianshan gold deposit

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Mo	As	Sb	Hg	Co	Ni
Au	1.0000											
Ag	0.4693	1.0000										
Cu	-0.0084	0.0825	1.0000									
Pb	0.1152	0.0472	0.3897	1.0000								
Zn	-0.1676	-0.0834	-0.2476	-0.1036	1.0000							
W	0.0547	0.2274	0.6275	0.5239	-0.1819	1.0000						
Mo	0.7974	0.2546	-0.0669	0.2583	-0.2137	0.0955	1.0000					
As	0.1956	0.2688	-0.1565	-0.0286	-0.1543	-0.0051	0.2805	1.0000				
Sb	0.2798	0.3575	-0.1027	0.0237	-0.1922	0.0786	0.3826	0.9799	1.0000			
Hg	-0.0763	0.1251	-0.1298	-0.0747	-0.1327	-0.0080	0.1064	0.9574	0.9212	1.0000		
Co	0.1219	-0.2711	-0.2890	-0.0851	-0.0854	-0.1346	0.1340	-0.1448	-0.1477	-0.0979	1.0000	
Ni	-0.0845	-0.2243	0.1054	0.2687	-0.1775	0.2258	0.1316	-0.1008	-0.0563	-0.0686	0.8032	1.0000

相关性临界值:  $R_{0.05} = 0.460$   
 $R_{0.01} = 0.590$

### 3.2 流体包裹体

本矿区石英流体包裹体有气体包裹体、气液包裹体、液体包裹体和  $\text{CO}_2$  包裹体。包裹体大小多在  $5 \sim 10 \mu\text{m}$  之间。石英流体包裹体的均一温度平均为  $232^\circ\text{C}$ ，黄铁矿的爆裂温度为  $278^\circ\text{C}$ ，因而判定成矿温度应为  $232 \sim 278^\circ\text{C}$ ，温度相对较低，与代表低温条件的 Au 的矿化剂元素 As、Sb、Hg 组合相符。成矿的盐度为  $0.16\% \sim 8.9\%$ ；估算成矿的压力为  $12.16 \sim 23.21 \text{ Pa}$ ；估算的成矿深度为  $0.6 \sim 1.0 \text{ km}$ ，属浅成金矿，这一特点与滩间山金矿的脉岩、斑岩岩浆热液成矿的特点相符。

成矿流体的成分以  $\text{H}_2\text{O}$  为主 (95% 左右)，气相成分以  $\text{CO}_2$  为主，其次为  $\text{CO}$  和  $\text{CH}_4$ 。成矿流体的离子组合为  $\text{Na}^+ \text{-K}^+ (\text{Ca}^{2+}) \text{-Cl}^- \text{-SO}_4^{2-} (\text{F}^-)$  型。成矿流体的氧逸度值 ( $\lg f_{\text{O}_2}$ ) 变化于  $-34 \sim -37$ ，具还原环境特征。

### 3.3 稳定同位素

(1) 硫同位素组成: 从图 4 可见，矿床硫同位素组成  $\delta^{34}\text{S}$  变化于  $3\permil \sim 10\permil$  之间，极个别为负值。这种硫同位素组成，显示其经历了相对均一化过程，具有岩浆硫的特征，由于其  $\delta^{34}\text{S}$  值相对正向偏离陨硫，具壳源岩浆硫的特征。硫同位素组成值的分布范围主要与花岗岩重叠 (图 5)，显示硫主要来自花岗质岩浆。个别样品  $\delta^{34}\text{S}$  为负值，表明在岩浆热液侵入碳质千枚岩-片岩中成矿时有变质岩 (或沉积岩) 硫的加入。

(2) 碳、氧和氢同位素: 滩间山金矿床碳同位素 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ) 变化于  $-12.9\permil \sim 3.2\permil$  之间，其范围未超出岩浆中二氧化碳的范围 (图 6)，因此其来源与矿区岩浆岩 (主要指侵入的斑岩) 同源。矿区石英流体包裹体水的投影散点 (图 7) 多落在变质水与岩浆水交汇区及附近，因此认为流体水的来源是岩浆水和变质水的混合，同时可能有少量天水的加入。

(3) 铅同位素: 矿区碳质片岩的铅同位素投影散点 (图 8) 落在远离正常铅同位素演化曲线范围，是异常铅的特征，与碳质片岩原岩形成时由于富含碳而富集了放射性同位素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{236}\text{U}$ ，因而 Pb 同位素组成中富含放射性成因铅有关；矿区闪长玢岩岩石铅同位素落在靠近正常铅演化曲线的异常铅区，表明其在侵位时混染了地层铅；矿区外围侵入岩 (石英闪长岩、斜长花岗斑岩、辉长岩) 铅同位素投影散点则位于正常铅演化曲线范围；从片岩型矿石、蚀变

围岩黄铁矿、脉状黄铁矿、片岩型矿石黄铁矿到闪长玢岩矿石、闪长玢岩矿石中黄铁矿，铅同位素投影点依次远离碳质片岩铅同位素投影区而向正常铅同位素演化曲线范围内的矿区外围侵入岩投影区靠近，表明矿石中的铅同位素既有碳质片岩中的异常铅，也有与侵入岩同源的正常铅。另外，黄铁矿的铅同位素组成比之其母体矿石的铅同位素组成更接近岩浆铅，考虑到矿床中金与黄铁矿密切伴生，因而进一步说明金主要来自岩浆热液。

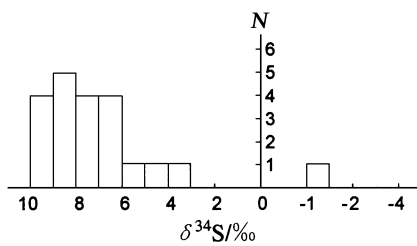


图4 滩间山金矿床硫同位素直方图  
Fig. 4. Sulfur isotope histogram of the Tanjianshan gold deposit.

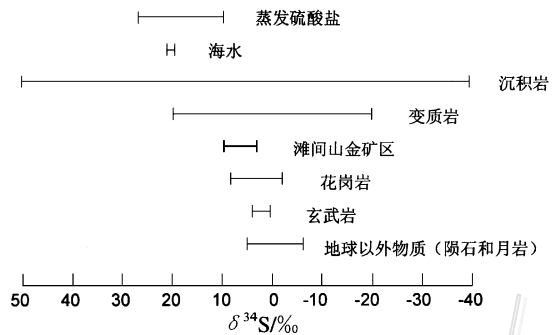


图5 滩间山金矿区与其它天然含硫物质硫同位素对比图  
Fig. 5. Correlation of  $\delta^{34}\text{S}$  values between the Tanjianshan gold ore district and other natural sulfur-bearing samples.

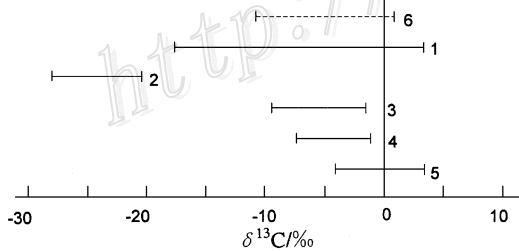


图6 滩间山金矿床与自然界其他物质  $\delta^{13}\text{C}$  对比图  
1—岩浆岩中氧化碳; 2—岩浆岩中还原碳;  
3—金刚石; 4—岩浆成因碳酸盐; 5—海相碳酸盐; 6—滩间山矿石及方解石  
Fig. 6. Correlation of  $\delta^{13}\text{C}$  between the Tanjianshan gold deposit and other natural samples.  
1—Oxidized carbon of magmatic rock; 2—Reduced carbon of magmatic rock; 3—Diamond; 4—Carbonatite; 5—Marine carbonate; 6—Gold ore and calcite of the Tanjianshan gold deposit.

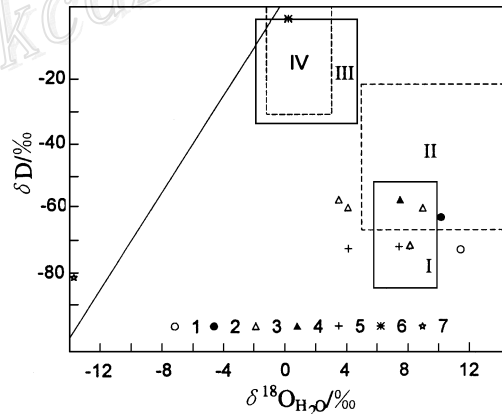


图7 滩间山金矿区成矿流体氢氧同位素组成范围  
I—岩浆水; II—变质水; III—原生水; IV—显生宙海水;  
1—变沉积岩; 2—黄铁矿石英脉; 3—碳酸盐石英脉; 4—岩浆热液脉; 5—区域石英脉; 6—现代海水; 7—嫩涝河水  
Fig. 7. Hydrogen and oxygen isotopic composition of ore fluids in the Tanjianshan gold district.  
I—Magmatic water; II—Metamorphic water; III—Primary water; IV—Phanerozoic sea water; 1—Metasedimentary rock; 2—Pyrite quartz vein; 3—Carbonate quartz vein; 4—Magmatic hydrothermal vein; 5—Regional quartz vein; 6—Modern sea water; 7—The Aolao River water.

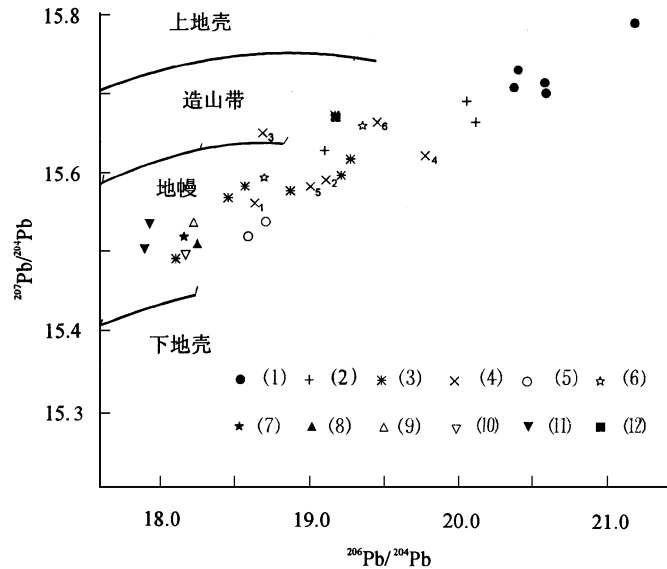


图 8 滩间山金矿床铅同位素组成图

(1) — 碳质片岩; (2) — 片岩型矿石; (3) — 片岩型矿石中黄铁矿; (4) — 黄铁矿: 1~3 为脉状黄铁矿; 4~6 为蚀变围岩中黄铁矿; (5) — 矿区闪长玢岩; (6) — 闪长玢岩型矿石; (7) — 闪长玢岩型矿石中黄铁矿; (8) — 矿区外围闪长玢岩; (9) — 矿区外围石英闪长岩; (10) — 矿区外围斜长花岗斑岩; (11) — 矿区外围辉长岩; (12) — 大理岩

Fig. 8.  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  versus  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  diagram of samples from the Tanjianshan gold deposit.

(1) — Carbonaceous schist; (2) — Mineralized schist; (3) — Pyrite of mineralized schist; (4) — Pyrite: 1~3. Veinlet pyrite, 4~6. Pyrite of altered host rocks; (5) — Dioritic porphyrite; (6) — Mineralized dioritic porphyrite; (7) — Pyrite of mineralized dioritic porphyrite; (8) — Dioritic porphyrite in the outskirts of the gold district; (9) — Quartz dioritic porphyrite in the outskirts of the gold district; (10) — Plagiogranitic porphyrite in the outskirts of the gold district;

(11) — Gabbro in the outskirts of the gold district; (12) — Marble in the gold district.

## 4 矿床成因及成矿机制

### 4.1 成矿物质来源

前文已述, 本矿床成矿流体中的水是变质水与华力西期岩浆水的混合; 矿石中的硫以花岗岩类岩浆硫为主, 有变质硫的混染; 矿石中的碳以岩浆碳为主; 矿石中的铅, 是岩浆铅与变质铅的混合; 华力西期岩浆岩中, 由基性到酸性至偏碱性, Au、As 含量同步递增, 而且元素之间的相关关系表明, Au 与 Mo 一道, 在 As 与 Sb 矿化剂的作用下, 沿脆性构造裂隙迁移到碳质千枚岩-片岩中淀积成矿, 即 Au 主要来自华力西期侵入岩。

### 4.2 成矿流体的类型与成矿条件

滩间山金矿床成矿流体是一种弱还原条件下的  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ (\text{Ca}^{2+}) - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  类型。成矿作用温度范围主要为 232~278℃; 流体的盐度为 0.16%~8.90%; 成矿压力为 12.16~23.21 MPa。基本上属于浅成中温热液型。

### 4.3 Au 的搬运形式和沉淀条件

(1) Au 的搬运形式: T M Seward(1973)<sup>[5]</sup>的实验资料表明,在碱性溶液中,  $Au_2(HS)_2S^{2-}$  络合物是 Au 的主要存在形式,在中性溶液中则以  $Au(HS)_2^-$  为主,在酸性溶液中可能有  $Au(HS)$  络合物存在。实验结果还表明,在中性至稍碱性环境下,溶液中含硫金络合物的溶解度最大。C A Wood 等 (1987)<sup>[7]</sup>指出,金是软金属离子,故在含硫溶液中可与软的二硫化物离子形成主要络合物  $Au(HS)_2^-$ 。D M Shenberger 和 H L Barnes (1989)<sup>[6]</sup>通过在给定温度 (150~ 350℃) 下对金在水溶硫化物溶液中溶解度的研究,认为  $Au(HS)_2^-$  具有最大的稳定性, Au 可以在热液中呈  $Au(HS)_2^-$  搬运。T M Seward (1973) 还指出,由于 Au 与 As、Sb 的地球化学联系,在浅成低温热液矿床中,砷硫及锑硫络合物即  $Au(AsS_2)^0$ 、 $Au(AsS_3)^{2-}$  和  $Au(Sb_2S_4)$  等也可能存在。博伊尔 (1984)<sup>[4]</sup>则指出, As、Sb 的强极化力以及  $Au^+$  的强变形性,使 As、Sb 与 Au 形成的络合物的稳定性大大提高。

滩间山金矿床黄铁矿是重要的载金矿物,其含量也较高,而且以蚀变碳质千枚岩-片岩为主的 Au 矿石中 Au 与 As、Sb 密切正相关,因而认为滩间山金矿床中 Au 的搬运形式主要为  $Au(HS)_2^-$ 、 $Au(AsS_2)^0$ 、 $Au(AsS_3)^{2-}$  和  $Au(Sb_2S_4)$  等。

(2) Au 的沉淀条件: 因为矿物的沉淀是其溶解的一种相反过程,而成矿流体中矿物的沉淀是以成矿元素及其络合配位体 (如  $HS^-$  等) 的饱和度及稳定性为先决条件的。引起含硫金络合物发生分解或其溶解度降低而发生沉淀的因素有: ① 温度的降低,使流体中含硫金络合物的溶解度降低,迫使 Au 沉淀。成矿过程中温度的降低,可认为是由成矿热流体因压力差沿裂隙向上迁移过程中,与冷的围岩发生热量交换所致。② 成矿流体体系的开放。体系的开放必然导致流体 S、As、Sb 组分的带出,随之使 Au、S、As、Sb 形成的络合物发生分解而使 Au 沉淀;体系的开放还使 Au 的硫、砷、锑络合物所在体系中的水向围岩渗透,使围岩发生蚀变的同时络合物浓度升高到饱和状态以上,因而使 Au 沉淀。另外,体系的开放还会导致变质岩中水的混入,使体系的 pH 值发生变化;体系的开放还会导致压力下降,这些变化都会使 Au 的络合物发生分解而沉淀。

## 5 成矿时代的厘定

### 5.1 地质依据

滩间山金矿中所有的矿体均产于万洞沟群上岩组碳质千枚岩、片岩中。容矿岩石除碳质千枚岩、片岩外,还有经构造破碎蚀变的华力西期中酸性脉岩 (少数为基性脉岩)。前者经历了区域 NW 向片理化带形成时期 (加里东晚期-华力西早期) 的变质作用, NNE 向片理化带形成时期 (华力西中期) 的变形作用以及华力西晚期的岩浆热液成矿作用,后者则主要经历了 NNE 向片理化带形成时期的变形作用以及华力西晚期的岩浆热液成矿作用。

赋矿层位万洞沟群上岩组下岩段地层在滩间山金矿区构成的大型层间拖褶皱构造控制了金矿床的定位,其翼部层间裂隙、片理化带及在后期复活形成的 NNE 向及 NW 向韧性断裂裂隙带和背形轴部轴面劈理带,以及在后期复活形成的近 SN 向断裂破碎带控制着主矿带矿体及零星矿体的形态、产状及分布。初步认为控矿构造的形成时期 (华力西中期?) 即矿床形成的时间下限。

### 5.2 同位素地质年代学



斜长花岗斑岩是矿区最大的中酸性岩体, 它吞侵了矿区 NNE 向褶皱构造带(图 1), 因而它的形成稍晚于 NNE 向片理化带的形成。闪长玢岩、云煌岩及细晶岩类岩脉发生蚀变时形成金矿体, 因而这类脉岩的形成时代更确切地代表了矿床形成的时间下限。花岗斑岩穿切了斜长细晶岩脉, 因而花岗斑岩的形成时代则代表了矿床形成的时间上限。斜长花岗斑岩的 K-Ar 年龄值为  $209.4 \times 10^6 \sim 309.87 \times 10^6$  a (表 3), Rb-Sr 年龄为  $330.03 \times 10^6$  a, 考虑到本区后期强烈的构造活动可能导致样品中 Ar 的散失而使其 K-Ar 年龄变小, 因而取  $330.03 \times 10^6$  a 为其形成年龄, 那么本区 NNE 向片理化带的形成时代可定为  $330.03 \times 10^6$  a 以前, 即华力西中期。构成脉岩型金矿体的云煌岩的年龄值 (K-Ar 年龄为  $288.9 \times 10^6$  a) 最小, 因而将其形成年龄定为成矿时代的时间下限, 花岗斑岩的 K-Ar 年龄值为  $234.4 \times 10^6 \sim 275.9 \times 10^6$  a, 其最高值  $275.6 \times 10^6$  a 可定为成矿时代的时间上限, 因而本矿床的形成时期为  $288.9 \times 10^6 \sim 275.9 \times 10^6$  a, 相当于华力西晚期。黄铁绢英岩化闪长玢岩的 K-Ar 年龄为  $294.29 \times 10^6$  a, 而蚀变花岗斑岩型金矿体的 K-Ar 年龄为  $268.94 \times 10^6$  a, 表明蚀变作用早于成矿, 同时进一步证明滩间山金矿床的形成时代为华力西晚期。矿床形成以后, 矿区仍有岩浆活动, 见有燕山期石英闪长岩玢岩侵入 (表 3)。

表 3 滩间山金矿主要侵入岩及矿石年龄数据

Table 3. Age data of main intrusive rocks and ores from the Tanjianshan gold deposit

侵入期 或矿石类型	岩石类型	产状	前人资料 (K-Ar 法, $t/10^6$ a)	本文资料		采样地点
				(Rb-Sr 法, $t/10^6$ a)	(K-Ar 法, $t/10^6$ a)	
燕山期	石英闪长玢岩	岩脉		$133.82 \pm 4.18$		金龙沟
华力西期	花岗斑岩	岩脉	$234.4 \pm 4.9$ $275.9 \pm 7.2$			香草沟
	云煌岩	岩脉	$288.9 \pm 7.3$			金龙沟
	闪长玢岩	岩脉	$289.6 \pm 6.0$			金龙沟
	斜长花岗斑岩	岩脉	$309.87 \pm 4.77$ $294.7 \pm 3.8$ $209.4 \pm 6.1$	$330.03 \pm 24.3$		滩间山岩体
	斜长或花岗细晶岩	岩脉	$294.6$ $308.8 \pm 5.4$			金龙沟
加里东期 片岩型矿石 脉岩型矿石	辉长岩	岩体	$581.2 \pm 16.9$			金龙沟沟口
	碳质片岩		$385.8$			金龙沟
	细晶岩		$282.8$			金龙沟
	蚀变花岗斑岩金矿石	岩脉			$268.94 \pm 4.31$	金龙沟
	黄铁绢英岩化闪长玢岩	岩脉			$294.29 \pm 4.39$	金龙沟

## 6 矿床成因机制

滩间山金矿床位于柴达木盆地北缘中西段。加里东晚期至华力西早期, 在区域近 SN 向压应力作用下形成 NW 向复式向斜构造及同方向片理化带; 华力西早期, 压应力方向转为 NW-SE 向, 在滩间山地区形成 NNE 向层间褶皱构造及同方向展布的片理化带, 同时斜长花岗斑岩侵位, 而且派生的细晶岩脉沿 NNE 向褶皱的层间滑脱断裂、褶皱轴面劈理带及复活的 NW 向、NNE 向断裂侵位; 华力西晚期, 构造进一步活动, 细晶岩类脉岩与地层同步褶皱; 岩浆

期后热液将 Au、As、Sb、Pb、S、C、H<sub>2</sub>O 等组分带入 NNE 向脆性破裂带, 与高渗透的碳质千枚岩-片岩等围岩发生热、组分的交换, 随着物理化学条件 (温度降低、Eh 升高、压力下降等) 的变化, Au-S-As-Sb 络合物发生分解, Au 淀积成矿, 形成了浅成中温热液蚀变岩型金矿床。

本文的研究工作自始至终都得到了青海省地矿局总工程师家祺先生、科技处以及第一地质勘查大队的领导及同事们支持和帮助, 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 于凤池等. 青海滩间山金矿床地质特征和控矿因素分析 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (1): 47~ 56.
- 2 阿延寿. 滩间山金矿田构造轮廓及控矿构造特征 [J]. 青海地质, 1997, 6 (1): 28~ 33.
- 3 国家辉. 滩间山金矿田成矿作用演化及成因类型 [J]. 青海地质, 1998, 7 (1): 37~ 42.
- 4 R. W. 博伊尔 (加). 金的地球化学及金矿床 [M] (中译本). 马万均, 王立文, 罗永国等译. 北京: 地质出版社, 1984.
- 5 Seward T M. Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1973, 37: 379~ 399.
- 6 Shenberger D M, Barnes H L. Solubility of gold in aqueous sulfides solution from 150°C to 350°C [J], *Geochimica et cosmochimica Acta*. 1989, 53 (2): 269~ 278.
- 7 Wood C A, Creerak D A, Brocsik M P. Solubility of the assemblage pyrite-pyrrhotite-magnetite-sphalerite-galena-goldstibnite-bismuthinite-argentite-molybdenite in H<sub>2</sub>O-NaCl-CO<sub>2</sub> solutions from 200°C to 300°C [J]. *Econ. Geol.*, 1987, 82 (7): 1864~ 1884.

<http://www.kcdz.ac.cn/>

## GEOLOGY, GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF THE TANJIANSHAN GOLD DEPOSIT, QINGHAI PROVINCE

Cui Yanhe, Zhang Dequan, Li Daxin, Gu Guangxian, Feng Chengyou

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

**Key words:** Tanjianshan gold deposit, geology, geochemistry, genesis

### Abstract

The Tanjianshan gold deposit is located in the central and west part of the northern margin of Qaidam basin. Most gold orebodies are controlled by structural activity and magmatic intrusion and occur in carbonic phyllite and schist of Wandongou Formation, which is characterized by relatively low and rather constant Au content ( $X_{Au} = 1.04 \times 10^{-9}$  and  $V_{Au} = 1.76$  in the upper part;  $X_{Au} = 1.0 \times 10^{-9}$  and  $V_{Au} = 1.75$  in the lower part). The plagioclase granitophyre has comparatively high Au ( $2.54 \times 10^{-9}$  on average) and As ( $9.65 \times 10^{-6}$  on average), being probably the source of gold. The correlation of ore-forming elements of the deposit also implies that most gold came from magma. Stable isotope constituents of the deposit indicate that sulfur ( $\delta^{34}S = 3\text{‰} \sim 10\text{‰}$ ), carbon ( $\delta^{13}C_{PDB} = -12.9\text{‰} \sim 3.2\text{‰}$ ), lead and water of ore-forming fluids were also mostly derived from magma.

Besides carbonic phyllite and schist, the host rocks of the deposit are mostly Hercynian intermediate-acid dykes together with a few basic dykes. Plagioclase granitophyre of the Tanjianshan gold deposit has K-Ar ages of  $209.4 \times 10^6 \sim 309.87 \times 10^6$  a, and a Rb-Sr age of  $330.03 \times 10^6$  a. The phyllic diorite has a K-Ar age of  $294.29 \times 10^6$  a, while the altered granitophyre gold ore has a K-Ar age of  $268.94 \times 10^6$  a. It is deduced that alteration took place earlier than mineralization in the Tanjianshan gold deposit, and orebodies were formed in Late Hercynian period. The Tanjianshan gold deposit is of the mesothermal altered rock type.