

# 甘肃西和县大桥金矿床的成因研究\*

刘月高<sup>1</sup>, 吕新彪<sup>1,2,\*</sup>, 张振杰<sup>1</sup>, 尤关进<sup>3</sup>, 曹晓峰<sup>1,2</sup>, 王玉奇<sup>1</sup>, 刘 阁<sup>1</sup>

(1 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 2 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074; 3 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要** 大桥金矿床位于岷县北-宕昌北大断裂与窑上-石峡大断裂之间。金矿化严格受三叠系下部建造层下岩性段(T<sub>3</sub><sup>a-1</sup>)硅质角砾岩的控制。硅质角砾岩呈层状产出, 层位稳定。矿石为有机质含量高并具有黄铁矿化的硅质角砾岩, 其黄铁矿环带发育。硅质角砾岩和纹层状硅质岩在稀土元素配分图上未表现出热水沉积的特征, 其 Fe/Ti-Al/(Al+Fe+Mn) 图解及 SiO<sub>2</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 呈负相关以及 Sr/Ba 值小于 1 说明, 硅质角砾岩和纹层状硅质岩为陆源碎屑沉积成因, 进而表明, 大桥金矿床不是热水沉积型金矿床。依据环带状黄铁矿和脉状黄铁矿的发育及其高 Co/Ni 值, 可以判断在该矿床形成过程中, 热液起到重要作用。黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 4.21‰~9.82‰, 说明其硫来自岩浆硫与地层硫的混合或变质流体。矿石内石英脉中流体包裹体的均一温度为 270~310℃, 属于中温范围, 而硅质角砾岩的元素聚类分析表明 Au 与低温元素 Hg、As 密切相关, 说明温度降低可能是成矿机制之一。大桥金矿床应属于中-低温热液型金矿床。

**关键词** 地质学, 硅质角砾岩, 环带状黄铁矿, 热水沉积型金矿床, 中-低温热液型金矿床, 西秦岭, 甘肃

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

## Genesis of Daqiao gold deposit in Xihe County, Gansu Province

LIU YueGao<sup>1</sup>, LÜ XinBiao<sup>1,2</sup>, ZHANG ZhenJie<sup>1</sup>, YOU GuanJin<sup>3</sup>, CAO XiaoFeng<sup>1,2</sup>,  
WANG YuQi<sup>1</sup> and LIU Ge<sup>1</sup>

(1 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3 Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

### Abstract

The Daqiao gold deposit lies between the Minxian-Dangchang fault and the Yaoshang-Shixia fault. Its gold mineralization exists in the lower lithologic member of lower Triassic formation bed, in which the siliceous breccia presents itself in the bedded form. Ores are pyritized siliceous breccia with high organic carbon content, and pyrite zones are well developed. Siliceous breccia and layered siliceous rocks do not show characteristics of hot-water sedimentary origin in REE patterns. The features of the Fe/Ti-Al/(Al+Fe+Mn) diagram and the phenomena that SiO<sub>2</sub> is negatively correlated with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Sr/Ba<1 indicate that siliceous breccia and lamellar siliceous rocks are clastic sediments. The authors thus hold that the Daqiao gold deposit is not of the hot-water sedimentary type. Zonal pyrite, well developed pyrite veins and high Co/Ni ratios suggest that hydrothermal solution played an important role in the formation of the ore deposit.  $\delta^{34}\text{S}$  values of pyrites are in the range of

\* 本文得到地质过程与矿产资源国家重点实验室自主项目“西秦岭地区构造-岩浆活动与成矿作用”资助

第一作者简介 刘月高,男,1988年生,在读硕士研究生,矿产普查与勘探专业。Email: liuyuegao@cug1@qq.com

\*\* 通讯作者简介 吕新彪,男,1962年生,教授,博士生导师,从事矿床学、矿产普查与勘探研究。Email: luxb@cug.edu.cn

收稿日期 2010-12-21; 改回日期 2011-09-05。许德焕编辑。

4.21‰~9.82‰, implying that the sulfur fluids were derived from mixed magmatic and stratigraphic sulfur or from metamorphic fluids. The homogenization temperature of fluid inclusions in quartz is mainly between 270℃ and 310℃, belonging to medium temperature. Cluster analysis of siliceous breccia elements shows that Au is closely related to low temperature elements Hg and As, suggesting that the decrease of temperature might have been one of the mechanisms for gold mineralization. The Daqiao gold deposit is a middle-low temperature hydrothermal gold deposit.

**Key words:** geology, siliceous breccia, zonal pyrite, hot-water sedimentary gold deposit, middle-low temperature hydrothermal gold deposit, West Qinling, Gansu Province

大桥金矿床位于甘肃省陇南市西和县城南 55 km 处,是甘肃地质调查院通过化探异常查证在西秦岭东段发现的一种新类型的金矿床。对其成矿条件和矿床成因进行研究,不仅可以从理论上加深对该矿床的认识,丰富西秦岭地区金矿成矿理论,而且可为在矿区外围寻找同类型金矿床提供科学依据。本文在成矿地质背景及岩相学研究的基础上,结合稀土元素地球化学、矿石的硫同位素、流体包裹体测温 and 黄铁矿的电子探针分析,讨论了该新类型金矿床的成因。

## 1 成矿地质背景

大桥金矿床位于西秦岭造山带东段,夏河-礼县及碌曲-成县逆冲推覆构造带的交叉部位,其北有岷县北-宕昌北深大断裂,窑上-石峡大断裂穿过矿区(图 1 中的  $F_9$ )。岷县北-宕昌北深大断裂以北出露的地层主要为中泥盆统西汉水群( $D_{2,xh}$ ),为一 NNE 向的单斜构造。窑上-石峡大断裂与岷县北-宕昌北深大断裂之间的地区,出露的地层主要为三叠系(T),归属于留凤关群。区域内的侵入岩主要有小金厂印支期角闪石英闪长岩和转庙子印支期花岗闪长岩。

大桥金矿区出露的地层主要为中-上石炭统和三叠系(图 1)。

中-上石炭统( $C_{2,3}$ )主要出露在矿区的东部和南部,呈 NEE 向展布,是矿体的底板(图 2、图 3),主要岩性为灰白色—深灰色厚层状灰岩。

三叠系(T)可细分为 3 个建造层:下部建造层( $T^a$ )、中部建造层( $T^b$ )和上部建造层( $T^c$ )。下部建造层按岩性组合可分上、下 2 个岩性段。矿区内仅见下部建造层的下岩性段( $T^{a-1}$ ),分布在矿区的中部,呈 NEE 向展布,向西厚度逐渐变薄,主要岩性为硅质角砾岩、纹层状硅质岩、薄层灰岩、钙质板岩、厚

层灰岩、碳质板岩。其中的硅质角砾岩、硅质岩是该区的主要含矿层位。

矿区总体为一复式背斜的北翼,中-上石炭统厚层灰岩构成该复式背斜的核部。NNE 向的窑上-石峡大断裂( $F_9$ )穿过矿区,其西北侧为三叠系,东南侧为中-上石炭统(图 1)。此外,矿区内还发育一些小断裂。

矿区内的地层构成一次级背斜,其总体轴向为 NE 向,向北东倾伏,倾伏角 15~25°。矿区节理产状统计的玫瑰花图显示出,其主应力方向为 NW 向,与矿区褶皱轴向是一致的。矿体多赋存于褶皱的转折端,表明大桥金矿床具有在构造应力作用下在低压虚脱部位成矿的特点。

矿区内见有 12 条(黑云母)花岗闪长岩脉。岩脉走向以 NE 向为主,呈透镜状产出,多顺硅质岩层侵入。脉岩遭受韧性应力的改造而变形,常具有定向构造和糜棱岩化。

## 2 矿床地质

### 2.1 矿体特征

金矿体主体呈 NNE 向展布,严格受硅质角砾岩的控制,与中-上石炭统接触的硅质角砾岩是主要的赋矿层位(图 2、图 3)。

矿体总的为一向北东倾伏的很宽缓的复式背斜,沿走向变化较小,产状较为稳定。矿体的主要形态为似层状、板状、透镜状,沿走向和倾向具膨大缩小、分枝复合现象(图 2、图 3),其出露地表部分因受地形切割和断裂的影响,被分割成数块。

### 2.2 矿石类型及矿物组成

大桥金矿床矿石的自然类型单一,按碎屑成分和组构可分为:硅质角砾岩型金矿石(图 4A、4B、4C)、复成分角砾岩型金矿石和品位较差的纹层状硅质岩型矿石(图 4D)。

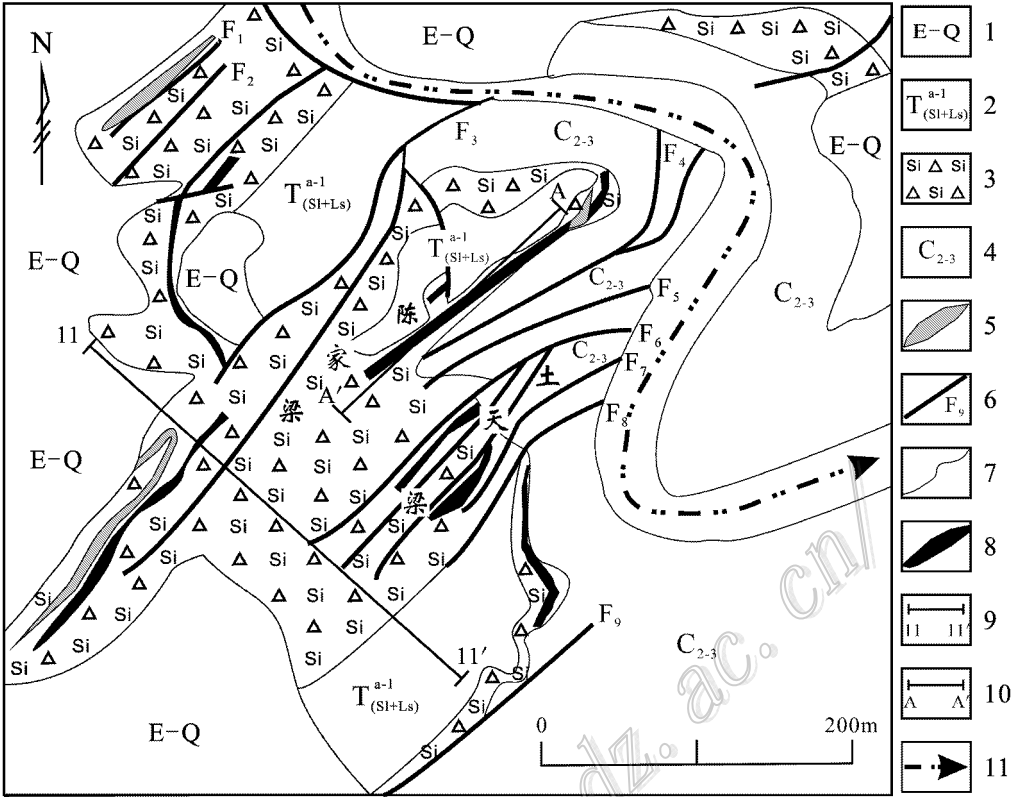


图 1 大桥金矿区地质简图(据尤关进等 2009 修改)

1—第四系-新近系残坡积层;2—三叠系下部建造层下岩性段板岩夹薄层灰岩;3—三叠系下部建造层下岩性段硅质角砾岩;4—中-上石炭统中-厚层灰岩;5—矿体;6—断裂及其编号;7—地层界线;8—花岗闪长岩;9—11 号勘探线(见图 2);10—主矿体剖面线(见图 3);11—西汉水及流向

Fig. 1 Simplified geological map of the Daqiao gold deposit(modified after You et al. ,2009)

1—Quaternary-Neogene residual diluvial layer ;2—Slate intercalated with thin-layer limestone of lower lithological member of Triassic lower formation bed ;3—Siliceous breccia of lower lithological member of Triassic lower formation bed ;4—Upper-Middle Carboniferous thick layer limestone ;5—Ore body ;6—Fault and its serial number ;7—Stratigraphic boundary ;8—Granodiorite ;9—No. 11 exploration line( see Fig. 2 );10—Longitudinal geological section of the main ore body( see Fig. 3 );11—Xihan River and its direction

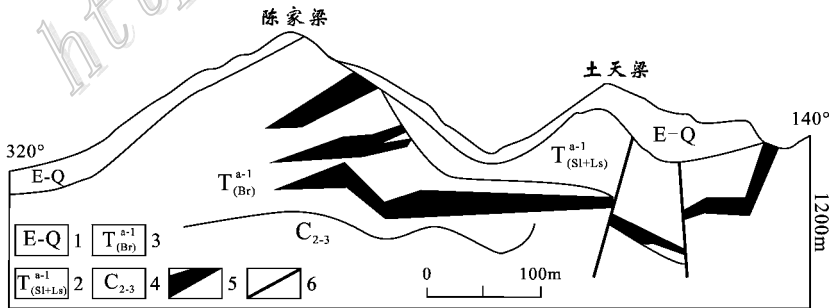


图 2 大桥金矿床 11 号勘探线剖面图(据尤关进等 2009)

1—第四系-新近系残坡积层;2—三叠系下部建造层下岩性段板岩夹薄层灰岩;3—三叠系下部建造层下岩性段硅质角砾岩;4—中-上石炭统中-厚层灰岩;5—矿体;6—断裂及其编号

Fig. 2 Geological section along No. 11 exploratory line of the Daqiao gold deposit(after You et al. ,2009)

1—Quaternary-Neogene residual diluvial layer ;2—Slate intercalated with thin-layer limestone of lower lithological member of Triassic lower formation bed ;3—Siliceous breccia of lower lithological member of Triassic lower formation bed ;4—Upper-Middle Carboniferous thick-layer limestone ;5—Ore body ;6—Fault and its serial number

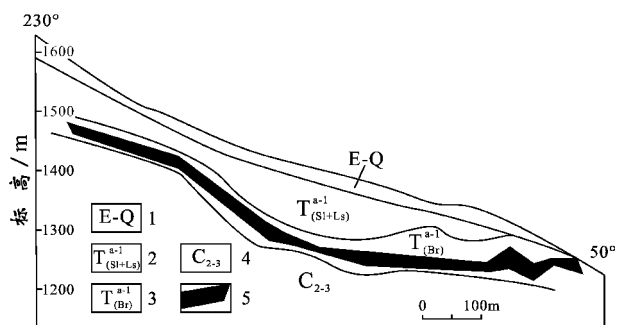


图3 大桥金矿床主矿体纵剖面示意图

(据尤关进等, 2009)

1—第四系—新近系残坡积层; 2—三叠系下部建造层下岩性段板岩夹薄层灰岩; 3—三叠系下部建造层下岩性段硅质角砾岩; 4—中-上石炭统中-厚层灰岩; 5—矿体

Fig. 3 Longitudinal geological section of the main ore body of the Daqiao gold deposit (after You et al., 2009)

1—Quaternary-Neogene residual diluvial layer; 2—Slate intercalated with thin-layer limestone of lower lithological member of Triassic lower formation bed; 3—Siliceous breccia of lower lithological member of Triassic lower formation bed; 4—Upper-Middle Carboniferous thick-layer limestone; 5—Ore body

黄铁矿是该矿区矿石内最主要的金属矿物, 占90%以上, 还含少量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、硫锑铅矿、脆硫锑铅矿等, 但未见毒砂。脉石矿物主要为石英, 还含有方解石、萤石、绿帘石、绢云母等。

### 2.3 矿石构造与结构

该区内, 矿石构造主要有角砾状构造(图4A、4C)、网脉状构造(图4B)、条带状构造、孔洞状构造、纹层状构造(图4D)、块状构造、浸染状构造等。

矿石结构主要有自形、半自形晶粒状结构、碎裂结构(图4E)、热液脉状结构(图4F、图10C、图11A、图11D、图11E)、环带结构(图10A、图10B、图10D、图11C)、气孔状结构、交代残余结构、假象结构、包含结构、皮壳状结构、内部加大边结构等。

### 2.4 矿石化学成分

硅质角砾岩型矿石的元素含量分析表明其为低品位矿石(表1), 伴生有益组分银。其 $w(C_{\text{全}})$ 为1.06%,  $w(C_{\text{有机}})$ 为0.7%(表1), 有机碳含量高是该类矿石的一个重要特征。硅质角砾岩的颜色可大体反映出其有机质的含量, 深黑色硅质角砾岩(4件)的 $w(\text{Au})$ 为4.03 g/t, 明显高于灰色的硅质角砾岩[12件,  $w(\text{Au})$ 为2.01 g/t], 据此可推断, 地层中的有机碳是金富集的有利条件。

硅质角砾岩内18种元素的聚类分析表明, Au

与Hg、Ag、As密切相关(图5), 显示出低温成矿的特征。

### 2.5 围岩蚀变

矿区内的围岩蚀变有黄铁矿化、硅化、碳酸盐化、绢云母化、萤石化。其中, 黄铁矿化、硅化与金矿化关系密切。

黄铁矿化在含矿硅质角砾岩、围岩、花岗闪长岩内均较发育。黄铁矿的含量为1%~2%, 粒径为0.1~2.0 mm, 呈细脉状(图10C)、稀疏星点状或浸染状分布, 具自形的三角形、四边形和多边形切面。

硅化主要发育于硅质角砾岩、硅质岩中, 以脉宽1~2.5 mm的石英脉以及胶结物中石英微晶的形式存在。

### 2.6 流体包裹体特征

在该矿区, 石英内的流体包裹体有原生的和次生的。原生包裹体主要分布于石英脉中和石英斑晶的中央, 次生包裹体主要沿石英裂隙分布。

原生包裹体按相态可分为 $\text{CO}_2$ 三相包裹体、气液两相包裹体、纯液相包裹体。纯液相包裹体形态主要为不规则和近圆状, 无色, 大小1~5  $\mu\text{m}$ 。气液两相包裹体多呈椭圆状, 次为柱状、长条状, 大小为2~5  $\mu\text{m}$ , 气相分数为30%左右, 均一温度大部分(70%)为270~310℃。 $\text{CO}_2$ 三相包裹体的形态多样, 椭圆状、柱状、不规则状均有, 气泡颜色为浅灰色-灰色, 气相和液相 $\text{CO}_2$ 与盐水溶液的比例为1:(2~3):(3~5), 大小为2~5  $\mu\text{m}$ , 呈群状或孤立分布, 不完全均一温度为26℃左右, 完全均一温度大多(70%)为265~300℃。

### 2.7 金的赋存状态

金主要以自然金和银金矿的形式产出。自然金常呈板片状、麦粒状、浑圆状、尖角粒状及枝杈状等, 粒径为1~70  $\mu\text{m}$ , 嵌布粒度属中细微粒类型。主要载金矿物为石英、褐铁矿、闪锌矿、黄铁矿和碳质等。

金的赋存状态主要有:

单体金 以自然金形式存在于沉积碎屑颗粒间;

包裹金 以自然金和银金矿形式分布于石英、黄铁矿、褐铁矿和闪锌矿的晶体中;

粒间金 以自然金形式分布于石英和褐铁矿的晶粒间(图6);

裂隙金 以自然金形式充填于石英裂隙中;

次显微金 自然金以次显微形式存在于碳质等介质中(据尤关进等, 2009)。

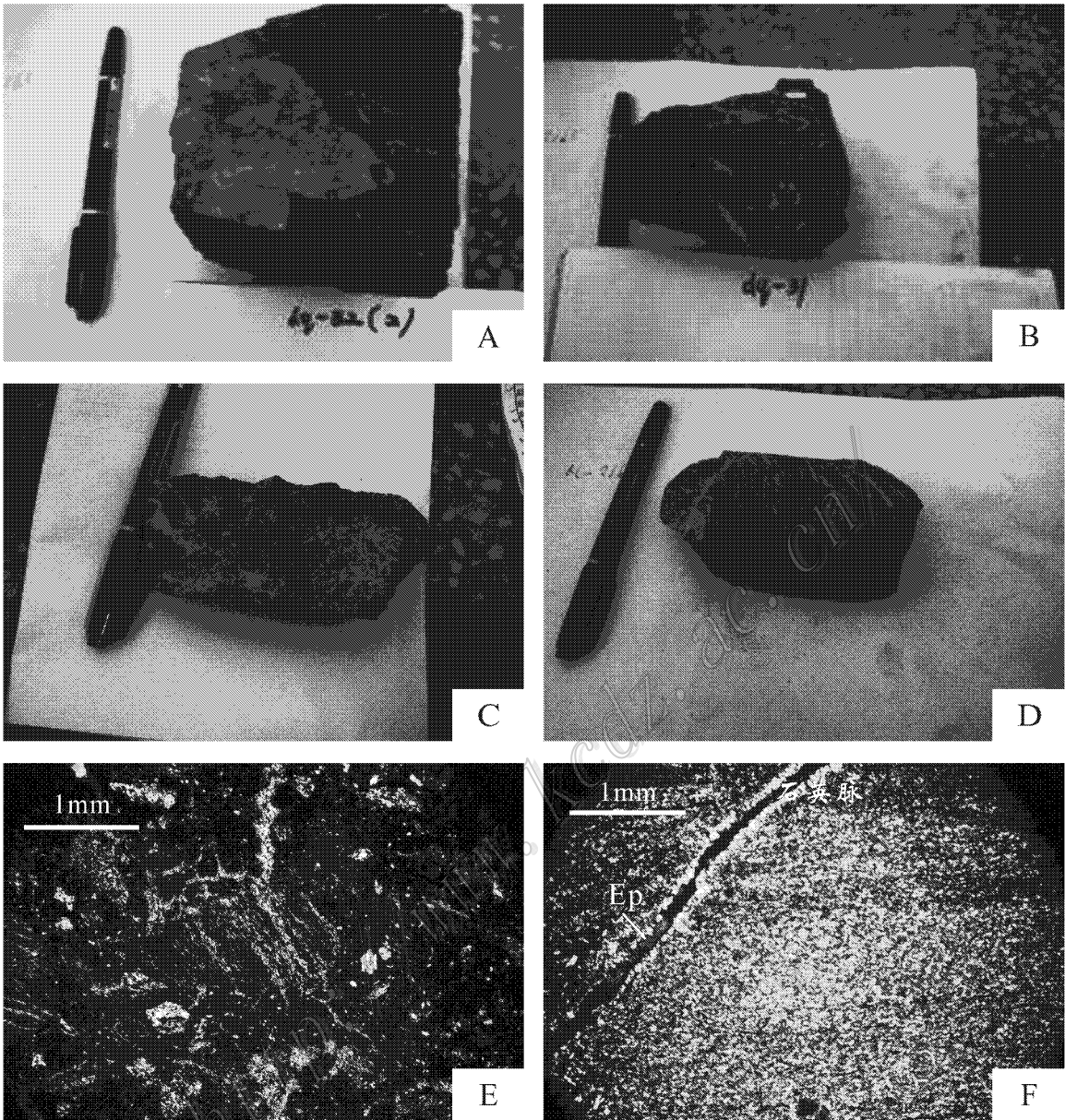


图 4 大桥金矿床矿石的结构与构造

A. 硅化的硅质角砾岩；B. 含石英细脉的硅质角砾岩；C. 浅灰色的硅质角砾岩；D. 纹层状硅质岩；E. 硅质角砾岩中的具有纹层状结构的角砾；F. 含绿帘石的石英细脉切穿纹层状硅质岩的纹层

Fig. 4 Structure and texture of ores from the Daqiao gold deposit

A. Silicified siliceous breccia；B. Siliceous breccia containing quartz veinlets；C. Light gray siliceous breccia；D. Layered siliceous rock；E. Breccia with lamination structure in siliceous breccia；F. Epidote-bearing quartz veinlet cutting through the lamination of layered siliceous rock

表 1 大桥金矿床硅质角砾岩型矿石的成分

Table 1 Composition of siliceous breccia ore from the Daqiao gold deposit

	$\mu(B)\times 10^{-6}$									
	Au	Au	Mo	Ba	Sr	Ni	Co	Rb	Sn	
17 件样品	2.37	4.67	4.01	131.65	150.78	34.46	4.81	77.30	4.47	19.75
	$\mu(B)\times 10^{-6}$								$\mu(C)\%$	
	Pb	Zn	W	As	Sb	Bi	Hg	Cs	C <sub>全</sub>	C <sub>有机</sub>
17 件样品	70.42	51.96	4.08	250.38	251.33	0.38	43.65	10.01	1.06	0.70

注：C<sub>全</sub>、C<sub>有机</sub>的数据据甘肃地质调查院 305 项目组，其余数据为本文。测试单位：湖北省地质矿产局鄂东北地质大队。

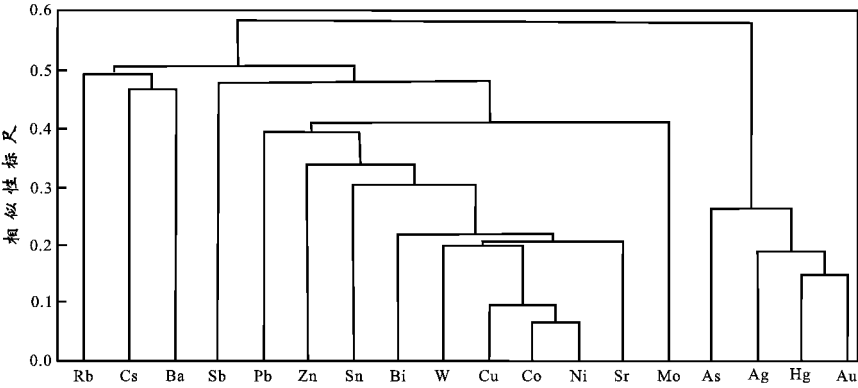


图 5 大桥金矿床硅质角砾岩多元素聚类分析

Fig. 5 Multi-element cluster analysis of siliceous breccia from the Daqiao gold deposit

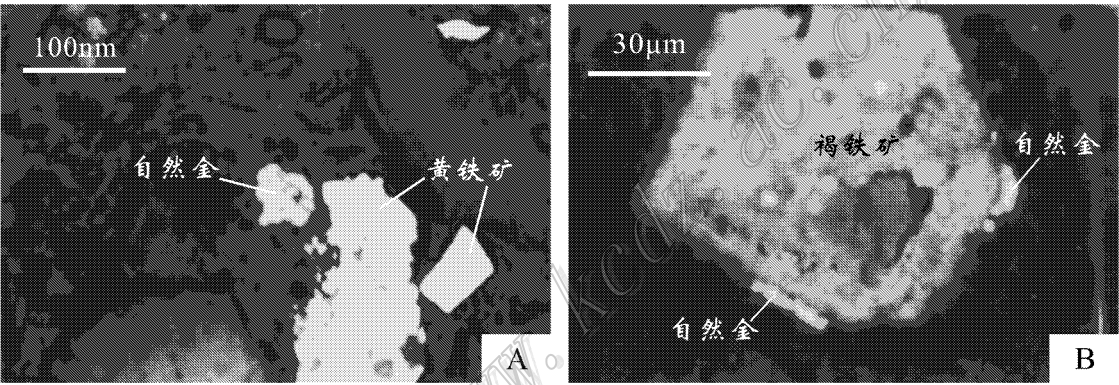


图 6 大桥金矿床内金的赋存状态(据齐瑞荣 2008)

A. 黄铁矿边部的自然金 ; B. 褐铁矿边部的自然金

Fig. 6 Modes of occurrence of gold in the Daqiao gold deposit

A. Natural gold at the edge of pyrite ; B. Natural gold at the edge of limonite

### 3 矿床成因

#### 3.1 硅质角砾岩成因

矿区内的金矿体严格受硅质角砾岩的控制。国外已发现了赋存于硅质岩中的金矿床(陈柏林, 2001);国内有关赋存于硅质岩内金矿床(Liu et al, 1998;汪东波, 1999;姚仲友, 1994;应汉龙等, 1999;谢桂青等, 2002)的研究表明,其多与热水沉积作用密切相关。鉴于大桥金矿区内矿体严格受硅质岩的控制,故硅质岩的成因对于判断矿源尤为重要。

##### 3.1.1 稀土元素特征

由于热水沉积物的热水源中混入了向下渗透而后上升的海水,因此,热水沉积物能够保留海水固有

的 $\Sigma\text{REE}$ 低、Ce亏损等特点(Henderson, 1984)。热水成因的深海硅质岩具有Ce负异常, $\delta\text{Ce}$ 平均值为0.29;非热水成因的陆源硅质岩为Ce正异常, $\delta\text{Ce}$ 平均值为1.20(Simizu et al., 1977)。热水金属沉积物的 $\Sigma\text{REE}$ 低,Ce为负异常,HREE有富集趋势;非热水金属沉积物的 $\Sigma\text{REE}$ 高,Ce为正异常,HREE不富集。热水沉积岩在北美页岩标准化REE分布模式图上表现为Ce负异常、曲线向左倾斜的特征(Fleet, 1983)。大桥金矿区4个样品的 $\delta\text{Ce}$ 平均值为0.8955,远大于热水成因深海硅质岩的 $\delta\text{Ce}$ 平均值(0.29),接近非热水成因陆源硅质岩的 $\delta\text{Ce}$ 平均值(1.20)。该矿区内的硅质岩具有轻稀土元素富集的特征(图7细线,数据见表2),完全区别于热水沉积岩(图7粗线,数据见表2)。

表 2 硅质岩的稀土元素含量  
Table 2 REE content of siliceous rock

样品号	采样位置	岩性	$w(B)/(μg/g)$														数据来源
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
DQ-3	大桥金矿 TC12-8	硅质角砾岩	10.16	19.25	1.63	5.54	0.87	0.24	0.97	0.15	0.85	0.21	0.3	0.05	0.65	0.08	本文
DQ-5	大桥金矿 PD001-1183	硅质角砾岩	3.81	6.36	0.76	3	0.67	0.12	0.32	0.05	0.22	0.07	0.18	0.03	0.16	0.03	
DQ-6	大桥金矿 PD001-1188	硅质角砾岩	7.08	14.5	1.36	4.11	0.85	0.21	0.32	0.04	0.34	0.11	0.23	0.04	0.21	0.05	
DQ-7	大桥金矿 ZK001 地表	纹层状硅质岩	24.42	36.3	3.3	12	2.3	0.63	2.3	0.33	1.8	0.39	0.77	0.08	0.55	0.12	
M05	云南墨江金矿	硅质岩	0.13	0.14	0.05	0.29	0.29	0.06	0.36	0.02	0.1	0.05	0.09	0.04	0.17	0.05	应汉龙等,1999
M19		硅质岩	0.38	0.66	0.11	0.49	0.18	0.09	0.16	0.04	0.09	0.05	0.07	0.02	0.14	0.03	
M20		硅质岩	0.17	0.29	0.07	0.3	0.2	0.07	0.27	0.04	0.1	0.04	0.1	0.03	0.15	0.05	
		北美页岩	32	73	7.9	33	5.7	1.24	5.2	0.85	5.8	1.04	3.4	0.5	3.1	0.48	韩吟文等,2003

本文样品测试单位：湖北省地质矿产局鄂东北地质大队；测试仪器：OPTIMA 2100DV 型电感耦合等离子体发射光谱仪；执行规范：GB/T 17417.1-1998。



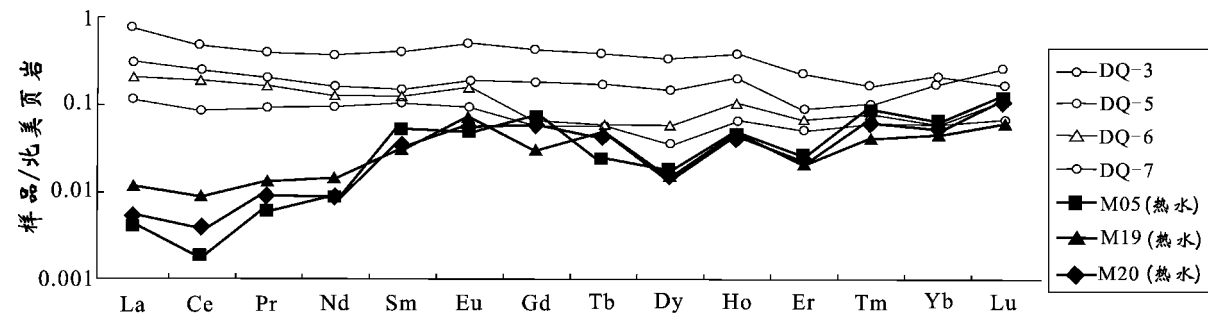


图 7 硅质岩 REE 的北美页岩标准化模式  
样品编号同表 2 ;北美页岩据韩吟文等 ,2003

Fig. 7 North American shale-normalized REE distribution patterns of Siliceous rock  
Sample number as for Table 2 ;North American shale after Han et al. , 2003

3.1.2 主量元素特征

Fe/Ti 与  $Al/(Al + Fe + Mn)$  的关系是根据现代海底含金属喷流沉积物的地球化学特征建立起来的 ,是用以判断沉积物是否为喷流成因的有效的地球化学参数。典型热水沉积物的 Fe/Ti 值和  $Al/(Al + Fe + Mn)$  值分别为大于 20 及小于 0.35(路远发等 ,1999 ;Bostorm ,1983 )。大桥金矿区 4 件硅质角砾岩样品的 Fe/Ti 值分别为 19.474、8.354、22.268、36.18(主量元素分析结果见表 3 ) ; $Al/(Al + Fe + Mn)$  值分别为 0.766、0.431、0.611、0.760 ,未显示出热水沉积成因。用 Fe/Ti- $Al/(Al + Fe + Mn)$  图解可进一步判别热水源物质与陆源物质的混合比例(路远发等 ,1999 )。本文通过与其他硅质岩对比发现 ,该矿区的样品与热水沉积成因硅质岩明显不同(图 8 ) ,可认为该矿区的硅质岩是以陆源碎屑或深海黏土沉积为主。在正常的沉积碎屑岩中 ,长石及黏土矿物( $Al_2O_3$ )的含量随着石英( $SiO_2$ )含量的增加而减少。由图 9 和表 3 可见 ,大桥金矿区硅质角砾岩的  $Al_2O_3$  与  $SiO_2$  呈负相关 ,表现出正常沉积碎屑岩的特征。

3.1.3 Sr/Ba 值

陆源碎屑沉积物在向海洋搬运的过程中 ,由于地球化学环境的变化 ,呈游离态搬运的 Sr 与 Ba 的地球化学行为会发生分异。就 Ba 而言 ,一方面 ,由于其具有较小的溶度积 ,当淡水与海水混合时 ,淡水中的  $Ba^{2+}$  与海水中的  $SO_4^{2-}$  结合 ,较易形成  $BaSO_4$  沉淀 ;另一方面 ,由于 Ba 的离子半径较大 ,具有比 Sr 小的水合能 ,易于被黏土矿物、胶体等吸附 ,使得陆相和海陆过渡相沉积物中 Ba 含量较高 ,而进入海洋中的 Ba 较少 ,导致海水中 Ba 含量远低于 Sr(海水中

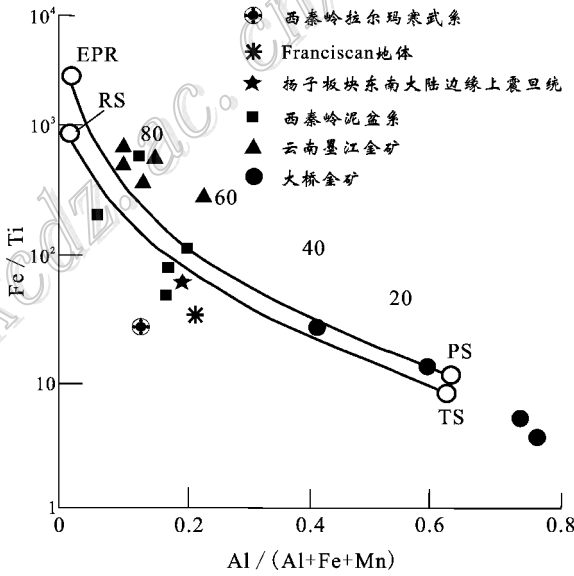


图 8 Fe/Ti- $Al/(Al + Fe + Mn)$  图解(据 Bostorm ,1983 )  
曲线代表东太平洋隆(EPR)和红海(RS)热水沉积物与陆源碎屑(TS)和深海粘土(PS)沉积物的混合曲线 ,图中数据为喷流沉积物所占的比例

Fig. 8 Diagram for Fe/Ti versus  $Al/(Al + Fe + Mn)$  (after Bostorm , 1983 )

Curve represents hot water sediment in the eastern Pacific Rise (EPR) and the Red Sea (RS) and terrigenous sediment (TS) and deep-sea clay sediment (PS) mixing curve. The data is the proportion of hot water sediment

$w(Ba)$  平均为 0.02 mg/kg , $w(Sr)$  平均为 7.668 mg/kg )。就 Sr 而言 ,一方面 ,它具有比 Ba 大的活动性 ,与 Ba 相比 ,被黏土矿物、胶体、有机质等吸附的机会也较少 ,在搬运过程中不易形成化学沉淀 ,因而 ,游离态的 Sr 大部分被搬运入海 ,使得海水中 Sr 含量远大于 Ba ,导致陆相沉积物相对富 Ba 贫 Sr ,而



表 3 硅质岩的主量元素含量

Table 3 Major element content of siliceous rock

样品号	采样位置	岩性	w(B)/%										数据来源	
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
DQ-3	大桥金矿 TC12-8	硅质角砾岩	82.72	0.55	8.99	1.72	0.32	0	0.45	0.17	0.12	1.06	0.03	本文
DQ-5	大桥金矿 PD001-1183	硅质角砾岩	95.79	0.03	1.07	0.4	0.6	0	0.16	0.11	0.09	0.23	0.01	
DQ-6	大桥金矿 PD001-1188	硅质角砾岩	93.85	0.06	2.1	0.39	0.55	0.008	0.12	0.28	0.1	0.41	0.01	
DQ-7	大桥金矿 ZK001 地表	纹层状硅质岩	86.89	0.32	6.39	0.88	0.58	0.005	0.24	0.17	0.16	1.79	0.04	
HQ-1	大桥金矿 PD001-1194	硅质角砾岩	93.6		0.32	3.25	0.91		0.28	0.2	0.076	0.21	尤关进等,2009	
HQ-2	大桥金矿 PD001-1181	硅质角砾岩	91.02		3.64	2.69	0.47		0.51	0.2	0.14	0.36		
HQ-3	大桥金矿 LT9	硅质角砾岩	86.1		5.02	4.38	1.16		0.48	0.78	0.13	0.36		
HQ-4	大桥金矿 TC3-1	硅质角砾岩	92.22		1.8	3.73	0.57		0.14	0.2	0.088	0.29		
HQ-5	大桥金矿 TC3-2	硅质角砾岩	89.87		4.06	3.9	0.4		0.14	0.2	0.13	0.35		
HQ-6	大桥金矿 TC16	硅质角砾岩	87.76		4.79	4.46	0.61		0.14	0.39	0.12	0.33		
HQ-7	大桥金矿 TC29	硅质角砾岩	90.96		2.93	4.14	0.53		0.35	0.2	0.097	0.33		
HQ-8	大桥金矿 TC29	硅质角砾岩	91.25		3.41	2.87	0.55		0.2	0.2	0.087	0.34		
HQ-9	大桥金矿 TC4-5	硅质角砾岩	87.99		4.91	4.04	0.91		0.23	0.2	0.13	0.34		
HQ-10	大桥金矿 LT6	硅质角砾岩	85.58		6.41	2.89	0.33		0.28	0.39	0.22	0.31		
西秦岭拉尔玛寒武系			94.21	0.07	0.24	0.07	1.23	0.04	0.05	0.9	0.13	0.06	0.11	刘家军等,1991
M03	云南墨江金矿	硅质岩	85.96	0.02	2.01	4.32	3.26	0.03	1.14	0.14	0.59	0.19	应汉龙等,1999	
M14		硅质岩	85.74	0.01	1.3	5.39	1.4	0.26	1.21	0.11		0.14		0.03
M05		硅质岩	86.49	0.02	1.31	5.28	1.17	0.02	1.15	0.05		0.11		0.01
M19		硅质岩	82.97	0.02	1.49	7.67	0.96	0.01	0.27	0.09		0.39		
M20		硅质岩	87.7	0.02	2.38	4	1.17	0.01	0.42	0.04		0.71		0.01
QD05		含矿的铁白云质硅质岩	66.29	0.05	0.51	0.26	7.65	0.27	1.03	3.42	1.58	0.1		0.01
BF50	含灰岩角砾硅质岩	69.56	0.01	1.39	1.07	4.65	0.12	2.82	8.12	0.05	0.4	0.03		
风太矿田			74.51	0.11	1.3	0.21	3.73	0.19	1.74	7.05	0.04	0.44	0.94	炎金才,1996
风太的铅铜山矿床			50.77	0.06	1.91	1.45	3.98	0.2	1.52	5	0.03	0.58		方维萱等,2000
风太盆地			76.84	0.09	1.67	2.03	3.41	0.13	1.29	4.66	0.07	0.5		薛春纪,1997
Franciscan 地体			92.63	0.09	1.41	2.67	0.26	0.8	0.33	0.11	0.16	0.42	0.03	Yamamoto, 1987
扬子板块东南大陆边缘上震旦统			95.58	0.03	0.61	0.45	1.26	0.12	0.13	0.18	0.03	0.1	0.09	彭军等,2007

本文样品测试单位：湖北省地质矿产局鄂东北地质大队；测试方法：SiO<sub>2</sub> 为动物胶凝聚重量法，CaO、MgO 为 EDTA 容量法，K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、MnO 为火焰原子吸收法，TiO<sub>2</sub> 为过氧化氢比色法，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为氟化钾取代-EDTA 容量法，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为磷钼蓝比色法，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO 为重铬酸钾容量法；执行标准：DGZ93-011。

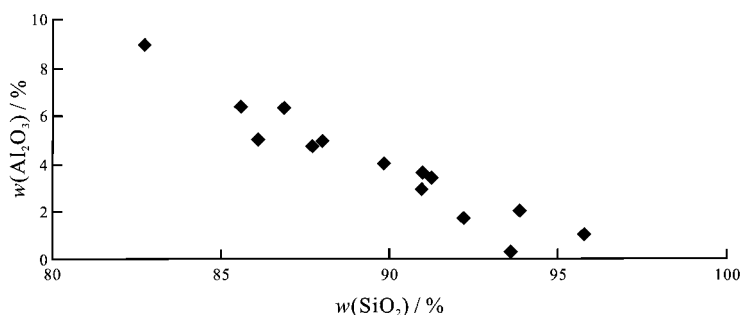


图9 大桥金矿区硅质岩的  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  负相关图

Fig. 9 Negative correlation of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in siliceous rock from the Daqiao gold deposit

海相沉积物相对富 Sr 贫 Ba, 因此, 在有大量陆源碎屑物质注入的沉积地带,  $\text{Sr}/\text{Ba}$  比值小于 1 (朱志军等 2010)。大桥矿区硅质角砾岩的  $\text{Sr}/\text{Ba}$  比值平均为 0.86, 可见其为陆源碎屑沉积成因。

### 3.2 黄铁矿标型

#### 3.2.1 黄铁矿的镜下特征

在大桥金矿区, 黄铁矿分布在含硅质角砾的灰岩、含角砾的硅质岩、硅质岩、钙质角砾灰岩及花岗闪长岩中。

在含硅质角砾的灰岩或含角砾的硅质岩中, 角砾以含有细小的环带状黄铁矿 (图 10A、图 10B) 和细小的他形黄铁矿 (图 10B) 为特征; 基质以含有细脉状黄铁矿 (图 10C) 及环带状黄铁矿 (图 10D) 和无环带的板状黄铁矿 (图 10E) 为特征。硅质岩中的黄铁矿分布在硅质岩角砾中 (图 10F) 或裂隙中和细小石英脉的边部 (图 11A)。钙质角砾灰岩的角砾中仅见有少量草莓状黄铁矿 (图 11B), 基质中发育有环带状黄铁矿 (图 11C), 局部可见草莓状黄铁矿, 黄铁矿多分布于岩石的微裂隙中 (图 11D) 或方解石脉的边缘 (图 11E)。粉砂岩中也可见少量环带状黄铁矿, 但其环带多不规则 (图 11F)。花岗闪长岩中的黄铁矿明显分为 2 个阶段, 一个阶段是粒径为 1 mm 左右的立方晶形碎裂状黄铁矿 (图 11G), 另一个阶段为粒度较小的呈放射状黄铁矿 (图 11H)。

总体来讲, 黄铁矿可以分为沉积期的和热液期的。沉积期的以草莓状黄铁矿为代表; 热液期的则有 2 个阶段, 第一阶段的黄铁矿相对自形, 第二阶段的黄铁矿以环带状黄铁矿的外环和细脉状黄铁矿为特征。

#### 3.2.2 黄铁矿的电子探针分析

在进行电子探针分析之前, 将样品磨制成厚度

约为  $100\ \mu\text{m}$  的探针片, 根据偏光显微镜下的特征选择被分析的样品。然后, 在探针片表面喷涂碳层, 在中国地质大学 (武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室进行 EMP 分析。分析所用仪器为 JEOL JXA-8100 电子显微探针仪; 测试条件为: 加速电压 20 kV, 电流 20 nA, 束斑直径  $5\ \mu\text{m}$ , 检测限优于  $100 \times 10^{-6}$ 。测试元素及所用标样为 As (As), S ( $\text{FeS}_2$ ), Fe ( $\text{FeS}_2$ ), Al (Al), Mn (Mn), Co (Co), Ni (Ni), Se (Se), Sb (Sb)。对应的分析点号见图 10 和图 11, 分析结果见表 4。

黄铁矿的  $\text{Co}/\text{Ni}$  值具有指示矿床成因和成矿作用的标型意义。岩浆热液成因金矿床内黄铁矿的  $\text{Co}/\text{Ni}$  值大于 1 (周学武等, 1994)。宋学信等 (1986) 的研究表明, 沉积成因的黄铁矿具有最低的  $\text{Co}/\text{Ni}$  值, 一般为  $0.01 \sim 0.5$ ; 层控型 (沉积-改造型) 黄铁矿的  $\text{Co}/\text{Ni}$  值亦较低, 一般小于 1 或接近于 1; 热液型黄铁矿的  $\text{Co}/\text{Ni}$  值较高, 一般为  $1.2 \sim 32$ 。

大桥矿床的黄铁矿多呈脉状分布在石英细脉和方解石细脉的边缘及矿物的裂隙中, 而且, 花岗闪长岩内发育有 2 期黄铁矿, 电子探针分析结果显示, 除草莓状黄铁矿的  $\text{Co}/\text{Ni}$  值小于 1 之外, 其余黄铁矿的  $\text{Co}/\text{Ni}$  值为  $1.092 \sim 5.375$ , 平均为 2.7。据此可以确定黄铁矿 (不包含草莓状黄铁矿) 的形成与热液作用密切相关。

综合黄铁矿的镜下特征及电子探针分析结果, 可将其分为沉积期 (草莓状黄铁矿形成)、热液期和表生期 (黄铁矿的褐铁矿化)。热液期分为 2 个阶段, 第一阶段表现为花岗闪长岩、矿石及围岩中颗粒较大的自形黄铁矿的形成, 第二阶段表现为环带状黄铁矿、细脉状黄铁矿、细小他形黄铁矿及花岗闪长岩中放射状黄铁矿的形成。

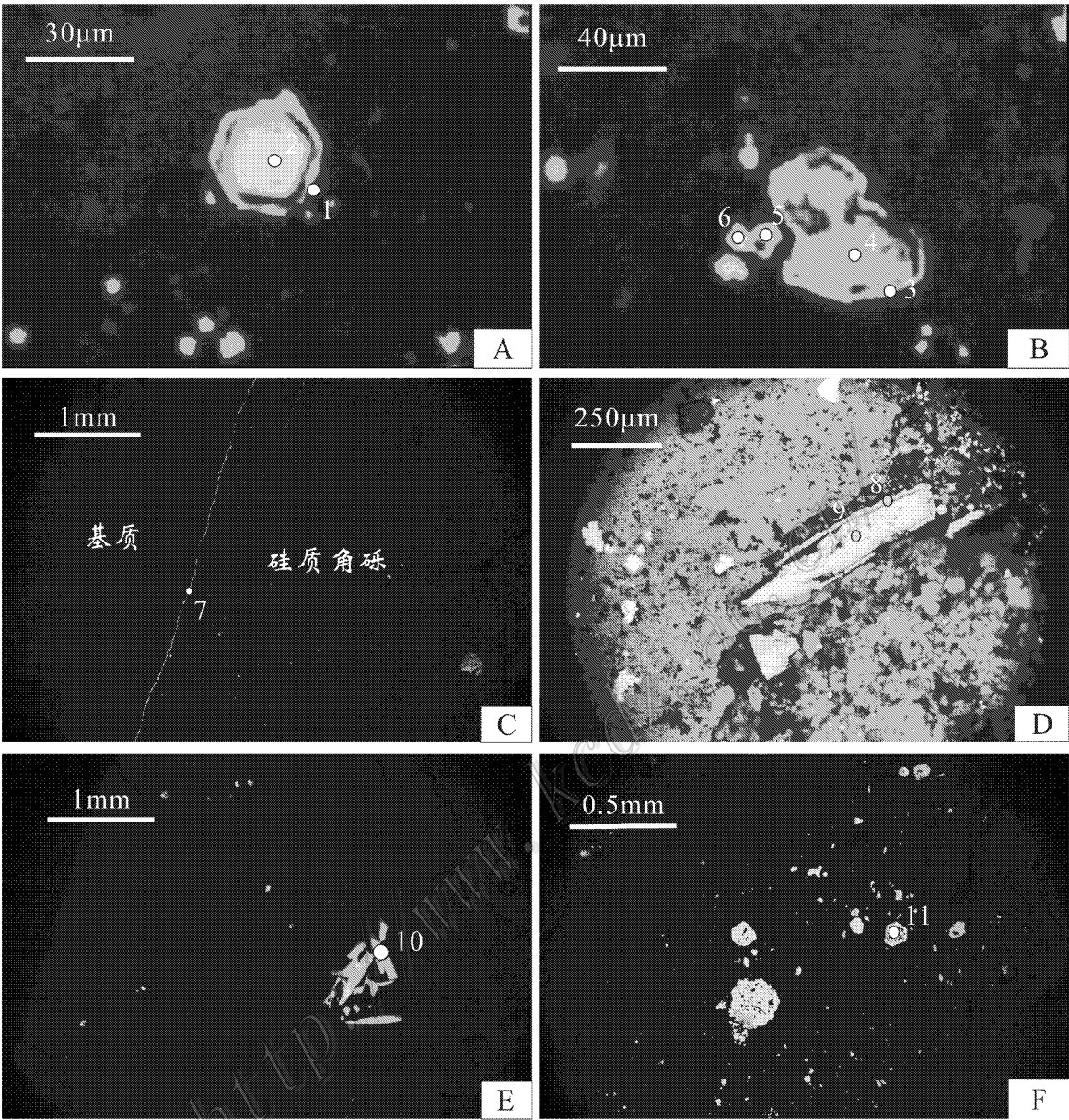


图 10 大桥金矿床内黄铁矿的偏光显微镜下特征及电子探针分析点位置(1)

A. 硅质角砾中的细小环带状黄铁矿(1,2)(单偏光);B. 硅质角砾中的细小环带状黄铁矿(3,4)和细小他形黄铁矿(5,6)(单偏光);C. 含硅质角砾灰岩中硅质角砾与基质交界处的细脉状黄铁矿(7)(自然光);D. 含硅质角砾灰岩基质中的环带状黄铁矿(8,9)(自然光);E. 含硅质角砾灰岩基质中的无环带板状黄铁矿(10)(自然光);F. 硅质岩角砾中的五角十二面体黄铁矿(11)(自然光)

Fig. 10 Features under polarizing microscope and position of electron microprobe analysis point of pyrite from the Daqiao gold deposit (1)

A. Small zonal pyrite in siliceous breccia(1,2)(plainlight);B. Small zonal pyrite(3,4) and small non-euhedral pyrite(5,6) in siliceous breccia (plainlight);C. Veinlet pyrite(7) at the junction of siliceous breccia and matrix in siliceous breccia limestone( natural light );D. Zonal pyrite(8,9) at matrix in siliceous breccia limestone( natural light );E. Non-zonal platy pyrite(10) at matrix in siliceous breccia limestone( natural light );F. Pentagonal dodecahedron pyrite(11) in siliceous breccia ( natural light )

3.3 硫同位素

对采自大桥金矿床的 12 件黄铁矿样品进行了硫同位素分析,其分布特征见图 12。这些样品的

$\delta^{34}\text{S}$  值为 4.21‰~9.82‰,变化范围较大,均值为 7.20‰,较为离散,说明其硫来自深部岩浆硫与地层硫的混合或变质流体。

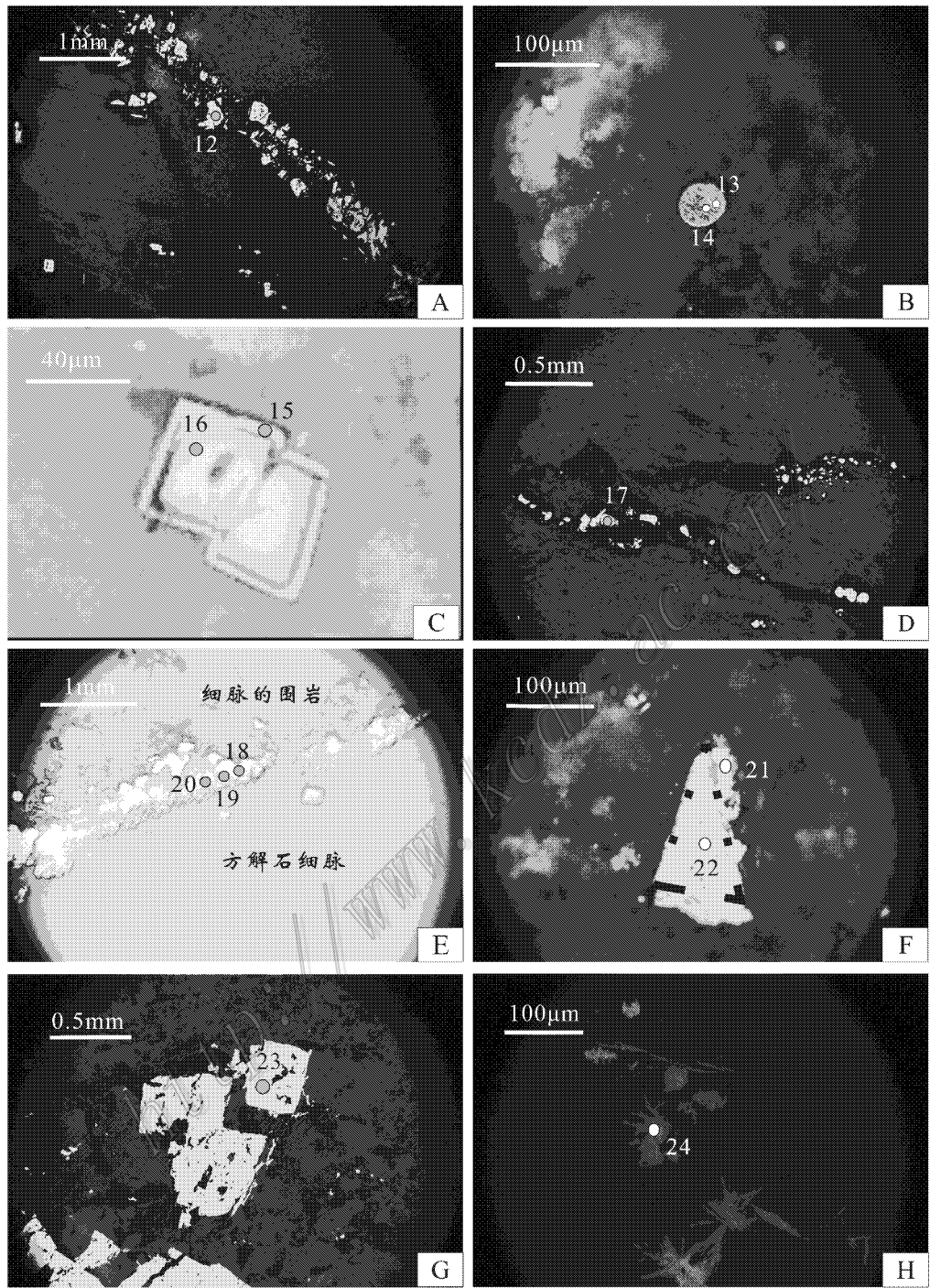


图 11 大桥金矿床内黄铁矿的偏光显微镜下特征及电子探针分析点位置(2)

A. 硅质岩内石英细脉边缘的脉状黄铁矿(12)(单偏光);B. 钙质角砾灰岩角砾中的草莓状黄铁矿(13、14)(单偏光);C. 钙质角砾灰岩基质中的环带状黄铁矿(15、16)(自然光);D. 分布在岩石微裂隙中的黄铁矿(17)(自然光);E. 分布在方解石脉旁的黄铁矿(18、19、20)(不完全正交);F. 粉砂岩中的环带状黄铁矿(21、22)(自然光);G. 花岗闪长岩中颗粒较大的自形黄铁矿(23)(自然光);H. 花岗闪长岩中的细小呈放射状黄铁矿(24)(自然光)

Fig. 11 Features under polarizing microscope and position of electron microprobe analysis point of pyrite from the Daqiao gold deposit(2)

A. Pyrite vein(12)at the marginal of quartz veinlet in siliceous rocks(plainlight);B. Strawberry pyrite(13,14)in calcareous breccia limestone (plainlight);C. Zonal pyrite(15,16)at matrix in calcareous breccia limestone (natural light);D. Pyrite(17)in micro-cracks( natural light); E. Pyrite(18,19,20)beside calcite(not entirely orthogonal);F. Zonal pyrite(21,22)in siltstone(natural light);G. Particles of larger and euhedral pyrite(23)in granodiorite (natural light);H. Small radial pyrite(24)in granodiorite(natural light)

表 4 大桥金矿床内黄铁矿的电子探针分析  
Table 4 Electron microprobe analyses of pyrites from the Daqiao gold deposit

顺序号	采样位置	岩性	$\mu\text{g(B)} \times 10^{-6}$								Co/Ni
			As	S	Fe	Al	Co	Ni	Se	Sb	
1	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩		53.798	45.549	0.022	0.093	0.071			1.31
2	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩	1.537	38.001	33.604	0.587	0.088	0.065		0.213	1.354
3	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩	2.997	52.434	43.262	0.022	0.109	0.024		0.052	4.542
4	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩	1.567	40.603	36.992	0.375	0.085	0.042	0.04	0.258	2.024
5	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩	0.008	0.012	0.062	0.193		0.033			
6	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩	0.209	39.869	36.168	0.409	0.074	0.029		0.01	2.552
7	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩	2.198	52.088	44.279	0.043	0.085	0.069		0.144	1.232
8	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩		53.672	45.623	0.029	0.08	0.037			2.162
9	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩	2.829	49.985	43.763	0.04	0.11	0.08		0.049	1.375
10	zk7106-16 层	含硅质角砾的灰岩		53.168	46.231	0.079	0.082	0.022			3.727
11	zk1104-11 层	硅质角砾岩		53.518	45.737	0.042	0.082	0.035			2.343
12	zk5505-11 层	含石英脉的硅质岩		52.921	45.834	0.026	0.103	0.19	0.008		0.542
13	zk7106-8 层	钙质角砾硅质岩	0.085	52.176	44.819	0.087	0.154	0.173			0.89
14	zk7106-8 层	钙质角砾硅质岩	0.048	50.92	44.676	0.091	0.138	0.164			0.841
15	zk3902-24 层	角砾灰岩		52.295	46.468	0.03	0.089	0.024			3.708
16	zk3902-24 层	角砾灰岩	0.95	53.184	44.625	0.031	0.083	0.076			1.092
17	zk7106-4 层	角砾灰岩		53.222	45.921	0.126	0.082	0.016			5.125
18	zk1104-6 层	含方解石脉的灰岩		52.538	46.674	0.03	0.096	0.029	0.016		3.31
19	zk1104-6 层	含方解石脉的灰岩	0.012	53.287	46.177	0.035	0.092	0.027			3.407
20	zk1104-6 层	含方解石脉的灰岩		52.905	46.683	0.032	0.09	0.017			5.294
21	zk5505-13 层	粉砂岩		50.38	45.879	0.407	0.086	0.016			5.375
22	zk5505-13 层	粉砂岩		53.097	46.315	0.039	0.097	0.029			3.345
23		花岗岩闪长岩	0.521	52.838	45.596	0.044	0.075	0.031		0.192	2.419
24		花岗岩闪长岩	0.611	52.609	46.143	0.035	0.099	0.024			4.125

测试单位：中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室 测试仪器：JEOL JXA-8100 电子显微探针仪；测试条件：加速电压 20 kV，电流 20 nA，束斑直径 5  $\mu\text{m}$ 。检测限优于  $100 \times 10^{-6}$ 。

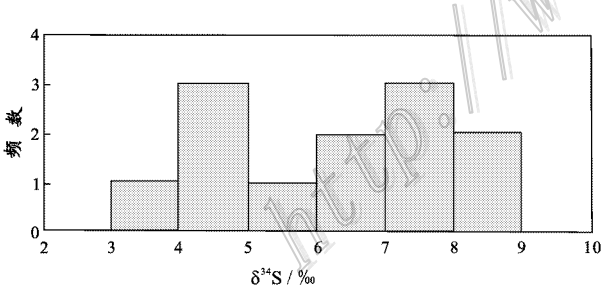


图 12 大桥金矿床内黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值的分布特点  
Fig. 12 Distribution of  $\delta^{34}\text{S}$  of pyrites from the Daqiao gold deposit

4 讨 论

4.1 成矿环境

大桥金矿床的金矿体总体呈 NNE 向展布，严格受硅质角砾岩的控制，因此，硅质岩的成因是揭示成矿环境的关键。结合稀土元素、主量元素及 Sr/Ba 值，可以看出大桥金矿床的硅质岩是陆源碎屑沉积，

该矿区内的地层属于三叠系留凤关群，这与早三叠世留凤关群浊积岩的物源区以陆壳为主(赖旭龙等，1994)的地质事实是一致的，排除了该矿床形成于热水沉积环境的可能性。

4.2 热液作用

图 10A 至图 10E 等类型的黄铁矿在三叠系下部建造层( $T^a$ )的硅质角砾岩与底板灰岩的界面附近尤为发育，该处的硅质角砾为构造角砾，角砾外部存在细脉状黄铁矿(图 10C)和环带状黄铁矿(图 10A、图 10B)，说明在构造运动形成角砾的同时或之后，有热液活动，这也与硅质岩内多见黄铁矿分布于微裂隙中(图 10F、11C)的基本事实相吻合。

构造成因的硅质角砾的内部可见细小的环带状黄铁矿(图 10A)和他形黄铁矿(图 10B)，花岗岩闪长岩内有碎裂状的自形黄铁矿(图 11G)，这些黄铁矿均为热液成因，说明在角砾未碎裂之前存在一个阶段的热液作用。

黄铁矿是大桥金矿区最主要的金属矿物，高品位的矿石伴随有相对强烈的黄铁矿化。包裹金以自

然金和银金矿的形式分布于石英、黄铁矿、褐铁矿和闪锌矿的晶体中,粒间金以自然金的形式分布于石英和褐铁矿的晶粒间,可见热液成因黄铁矿的形成伴随着金的富集作用。

矿石中石英脉内流体包裹体的均一温度为 270~310℃,属于中温范围,这与矿石中发育中温矿物绿帘石(图 4F)相一致。硅质角砾岩的元素聚类分析表明,Au 与低温元素 Hg、As 密切相关,说明温度降低可能是成矿机制之一。笔者据此认为,大桥金矿床应属于中-低温热液型金矿床。

由于本文未曾对大桥金矿床的成矿年龄及脉岩的形成年龄进行测试,故不能确定该区内花岗闪长岩脉与成矿的确切关系。不过,尤关进等(2009)的研究表明,在大桥金矿区内,脉岩本身很少成矿,其围岩的金含量也无明显富集的特征,远离矿体的脉岩的金含量明显低于近矿脉岩的金含量,但略高于或相当于三叠系地层的背景值( $8.7 \times 10^{-9} \sim 27.5 \times 10^{-9}$ ),说明花岗岩侵入所提供的热源促进了成矿物质的活化。其硫同位素特征说明,硫来自深部岩浆硫与地层硫的混合或变质流体,即热液的性质是岩浆热液还是变质热液仍不明确,需要做进一步的工作。

## 5 结 论

(1)大桥金矿床的硅质角砾岩不是热水沉积成因,该矿床也不是热水沉积型金矿床,而是中-低温热液型金矿床。

(2)地层中的有机碳是金富集的有利条件;硅化和黄铁矿化是指示矿体的重要蚀变;褶皱的转折端是矿体赋存的优选位置。

志 谢 黄铁矿电子探针分析得到中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室郑曙老师的详尽指导与帮助;中国地质大学(武汉)陆建培老师、廖群安老师、李飞、李鹏对矿物的准确鉴定及文章的改进给予了很多支持与帮助,在此表示衷心感谢。

## References

Bostorm K. 1983. Genesis of ferromanganese deposits: Diagnostic criteria for recent and old deposits[ A ]. In : Rona P A et al. , eds. Hy-

drothermal processes at seafloor spreading centers[ M ]. New York : Plenum-Press. 473-483.

Chen B L. 2001. The progress of the study of gold deposits and gold metallogeny[ J ]. Geological Review , 47( 1 ): 111-112 ( in Chinese with English abstract ).

Fang W X, Liu F J, Hu R Z and Huang Z Y. 2000. The characteristics and diagenetic-metallogenic pattern for cherts and siliceous ferrodolomites from Fengtai apart-pull basin, Qinling orogeny[ J ]. Acta Petrologica Sinica, 16( 4 ): 700-710 ( in Chinese with English abstract ).

Fleet A J. 1983. Hydrothermal and hydrogenous ferromanganese deposits[ A ]. In : Rona P A, et al. ed. Hydrothermal process at sea floor spreading centers[ M ]. New York : Plenum-Press. 537-570.

Han Y W, Ma Z D, Zhang H F, Zhang B R, Li F L, Gao S and Bao Z Y. 2003. Geochemistry[ M ]. Beijing : Geol. Pub. House. 198-199 ( in Chinese ).

Henderson P. 1984. Rare earth elements geochemistry[ M ]. New York : Elsevier Science Publishers. 195-211.

Lai X L, Yin H F and Yang F Q. 1995. Reconstruction of the Qinling Triassic paleo-ocean[ J ]. Earth Science, 20( 6 ): 648-656 ( in Chinese with English abstract ).

Liu F J. 2001. The Minerotect analysis and metallogenic mode studying of the hydrothermal sedimentation gold-polymetal ore formation in Fengtai mine gather region in the Devonian in Qinling ( dissertation for master degree )[ D ]. Xi ' an : Northwest University. 28-35 ( in Chinese with English abstract ).

Liu J J and Zheng M H. 1991. Cherts new causes : Hot water deposition [ J ]. Acta Geologica Sichuan, 11( 4 ): 251-255 ( in Chinese with English abstract ).

Liu J J, Zheng M H, Gu X X, et al. 1998. The microdisseminated gold deposits of exhalative genesis in southern Guizhou, China[ J ]. Chinese Science Bulletin, 43( 1 ): 85-86.

Lu Y F, Chen K X and Zhan M G. 1999. Geochemical evidence of ore-bearing skarns genesis in Yangla[ J ]. Earth Science, 24( 3 ): 298-303 ( in Chinese with English abstract ).

Peng J, Yi H S and Xia W J. 2000. Geochemical criteria of the upper Sinian hydrothermal chert on the southeast continental margin of the Yangtze plat[ J ]. Journal of Chendu University of Technology, 27( 1 ): 9-12 ( in Chinese with English abstract ).

Qi R R. 2008. The geological features of the Daqiao Au deposit in the Xihe area, Gansu Province( dissertation for master degree )[ D ]. Supervisor: Lü X B, Ye D J. Wuhan : China University of Geosciences. 1-25 ( in Chinese with English abstract ).

Simizu H and Masuda A. 1977. Cerium in chert as an indication of marine environment of formation[ J ]. Nature, 266 : 346-348.

Song X X and Zhang J K. 1986. Minor elements in pyrites of various genetic types from China[ J ]. Bulletin of Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, ( 2 ): 166-170 ( in Chinese with English abstract ).

Wang D B. 1999. The relation of sedimentary-exhalation to gold mineralization[ J ]. Geology and Prospecting, 35( 1 ): 1-5 ( in Chinese with English abstract ).

- Xie G Q, Hu R Z, Fang W X and Qi L. 2002. Evidence for geology and geochemistry of hydrothermal exhalative genesis from Mojiang gold deposit, Yunnan[ J ]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20( 3 ): 387-393 ( in Chinese with English abstract ).
- Xue C J. 1997. Devonian hot water deposition in Qinling area[ J ]. Xi ' an : Xi ' an Cartographic Pub. House. 49-112 ( in Chinese with English abstract ).
- Yamamoto K. 1987. Geochemical characteristics and deposition environment of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes[ J ]. *Sedimentary Geology*, 52 : 65-108.
- Yao Z Y. 1994. A preliminary discussion on geological characteristics and genesis of the Laerma gold deposit in Luqu County, Gansu Province[ J ]. *Mineral Deposits*, 13( 1 ): 19-27 ( in Chinese with English abstract ).
- Yan J C. 1996. Geochemistry characteristics of siliceous rocks of the hot-water sedimentary from Qinling Devonian[ J ]. *Northwestern Geology*, 17( 1 ): 31-36 ( in Chinese with English abstract ).
- Ying H L, Cai X P, Liu B G. 1999. Geochemical features and formation of auriferous cherts in Mojiang gold mine, Yunnan[ J ]. *Geochimica*, 28( 4 ): 310-314 ( in Chinese with English abstract ).
- You G J and Zhang Z P. 2009. Geological characteristics of Daqiao gold deposit in Gansu Province and it ' s significance in prospecting for gold deposit[ J ]. *Gansu Geology*, 18( 4 ): 1-8 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhou X W, Shao J L, Bian Q J. 1994. Study on typomorphic characteristics of pyrite from Dongbeizhai gold deposit, Sichuan Province[ J ]. *Earth Science*, 19( 1 ): 52-55 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhu Z J, Chen H D, Lin L B and Fan Y. 2010. Signification and characteristic of the trace element ratios of the sandstone in Silurian Xiaheba Formation in Southeastern Sichuan Province and Western Hunan Province[ J ]. *Geological Science and Technology Information*, 29( 2 ): 25-26 ( in Chinese with English abstract ).
- 方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 黄转莹. 2000. 凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩-硅质岩特征[ J ]. *岩石学报*, 16( 4 ): 700-710.
- 韩吟文, 马振东, 张宏飞, 张本仁, 李方林, 高山, 鲍征宇. 2003. 地球化学[ M ]. 北京: 地质出版社. 198-199.
- 赖旭龙, 殷鸿福, 杨逢清. 1995. 秦岭三叠纪古海洋再造[ J ]. *地球科学*, 20( 6 ): 648-656.
- 刘方杰. 2001. 秦岭泥盆纪凤太矿集区热水沉积金多金属矿石建造的成矿建造分析及成矿模式研究[ D ]. 西安: 西北大学. 28-35.
- 刘家军, 郑明华. 1991. 硅质岩的新成因——热水沉积作用[ J ]. *四川地质学报*, 11( 41 ): 251-255.
- 路远发, 陈开旭, 战明国. 1999. 羊拉地区含矿砂卡岩成因的地球化学证据[ J ]. *地球科学*, 24( 3 ): 298-303.
- 彭军, 伊海生, 夏文杰. 2000. 扬子板块东南大陆边缘上震旦统热水成因硅质岩的地球化学标志[ J ]. *成都理工学院学报*, 27( 1 ): 9-12.
- 齐瑞荣. 2008. 甘肃西和县大桥金矿床地质特征[ 硕士论文 ][ D ]. 导师: 吕新彪, 叶得金. 武汉: 中国地质大学. 1-25.
- 宋学信, 张景凯. 1986. 中国各种成因黄铁矿的微量元素特征[ J ]. *中国地质科学院矿床地质研究所刊* ( 2 ): 166-170.
- 汪东波. 1999. 沉积喷流作用与金矿化的关系[ J ]. *地质与勘探*, 35( 1 ): 1-5.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 方维萱, 漆亮. 2002. 云南墨江金矿热水喷流沉积成岩成矿的地质地球化学证据[ J ]. *沉积学报*, 20( 3 ): 387-393.
- 薛春纪. 1997. 秦岭泥盆纪热水沉积[ J ]. 西安: 西安地图出版社. 49-112.
- 姚仲友. 1994. 甘肃碌曲拉尔玛金矿地质特征及成因探讨[ J ]. *矿床地质*, 13( 1 ): 21-22.
- 炎金才. 1996. 秦岭泥盆系热水沉积硅质岩的地球化学特征[ J ]. *西北地质*, 17( 1 ): 31-36.
- 应汉龙, 蔡新平, 刘秉光. 1999. 云南墨江金矿床含金硅质岩的地球化学特征和成因[ J ]. *地球化学*, 28( 4 ): 310-314.
- 尤关进, 张忠平. 2009. 甘肃大桥金矿地质特征及其发现的意义[ J ]. *甘肃地质*, 18( 4 ): 1-8.
- 周学武, 邵洁涟, 边秋娟. 1994. 四川松潘东北寨金矿黄铁矿标型特征研究[ J ]. *地球科学*, 19( 1 ): 52-55.
- 朱志军, 陈洪德, 林良彪, 范昱. 2010. 川东南湘西地区志留系小河坝组砂岩微量元素地球化学特征及意义[ J ]. *地质科技情报*, 29( 2 ): 25-26.

#### 附中文参考文献

陈柏林. 2001. 金矿床和金成矿作用研究进展[ J ]. *地质论评*, 17( 1 ): 111-112.