

# 八卦庙金矿床中含金石英脉的地球化学特征及意义

郑作平 于学元

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

**主题词** 含金石英脉 地球化学 八卦庙金矿床 秦岭

**提 要** 八卦庙金矿床是分布于秦岭造山带中的一种中高温碳酸盐型热液金矿床。石英是其主要的脉石矿物之一,与金矿化密切相关。根据含金石英脉的产状可将其分为三种类型:①顺层石英脉;②含铁白云石石英脉;③NE 向节理石英脉。它们在微量元素和稀土元素的组成特征上有一定的差异,分别形成于金的不同成矿阶段,是金在成矿作用过程中演化的产物。同时,为八卦庙金矿的成矿提供了条件。石英中包裹体测温结果为八卦庙金矿床的中温成因提供了证据。

八卦庙金矿床是南秦岭地区在 80 年代初发现的一类新的中高温碳酸盐型热液金矿床<sup>[1]</sup>。自 90 年代初开始研究,目前对该金矿床的地质背景、控矿因素、成矿机理等已有了一定的认识<sup>[2-4]</sup>。石英是八卦庙金矿床的主要脉石矿物之一,与金矿化的关系十分密切。本文旨在系统总结八卦庙金矿床中含金石英脉的地球化学特征,在此基础上探讨金矿床的成因。

## 1 八卦庙金矿床的矿床地质特征

八卦庙金矿床位于南秦岭海西-印支褶皱带凤太多金属成矿带中部,其赋矿围岩是中泥盆统星红铺组浅变质的细碎屑岩,岩性主要是含碳质、钙质的绢云母千枚岩。矿体的总体展布方向与地层一致。主矿体(北矿带)位于八卦庙-黑湾复式向斜中(图 1)。矿体沿断裂破碎带分布,晚期 NE 向构造对矿体的富集起促进作用。沿断裂分布有钠长细晶岩脉等酸性脉体,与矿体的关系还不十分清楚。矿区内广泛发育各种蚀变作用,与金矿化有关的热液蚀变类型有硅化、铁白云石化、绢云母化、绿泥石化和磁黄铁矿-黄铁矿化。金矿石有二种类型:一类是在破碎带由强烈蚀变的围岩组成;另一类则由含金铁白云石石英脉组成。矿石矿物主要有磁黄铁矿、黄铁矿、白铁矿,少量的黄铜矿、闪锌矿、银金矿等;脉石矿物有石英、绢云母、铁白云石、绿泥石、黑云母、钠长石及方解石等。矿石结构为他形粒状、不规则胶状等,构造则以浸染状、细脉状、网脉状、团块状、条带状为主。

## 2 含金石英脉的产状特征

含金石英脉在八卦庙金矿床中分布十分广泛,主要有三种产状类型:(1)顺层石英脉,产

状与赋矿地层一致。这类石英脉规模巨大, 含金量较低, 金的丰度变化范围为  $0.04 \times 10^{-6} - 5.64 \times 10^{-6}$ , 平均  $1.23 \times 10^{-6}$  (20 个样品平均), 不能单独构成矿体, 但在一定的条件下也可成为矿体; (2) 含铁白云石石英脉, 产状的变化较为复杂, 它既可以是金在主成矿期沿构造裂隙贯入的, 也可以是金在主成矿期成矿流体对早期形成的石英脉的改造的结果。它是八卦庙金矿体的重要组成部分, 其含金量较顺层石英脉有显著的增高。金的丰度变化范围是  $1.12 \times 10^{-6} - 9.65 \times 10^{-6}$ , 平均  $7.5 \times 10^{-6}$  (15 个样品平均)。(3) NE 向节理石英脉, 这是一组构造成因的细小石英脉, 它突出的特点是规模小、含金量高, 一般为  $0.2 \times 10^{-6} - 29.70 \times 10^{-6}$ , 平均  $14.17 \times 10^{-6}$  (17 个样品平均)。由于它的规模较小, 不能独立构成矿体。这三种不同产状的含金石英脉分别与金的三个阶段成矿作用相对应<sup>[1]</sup>。

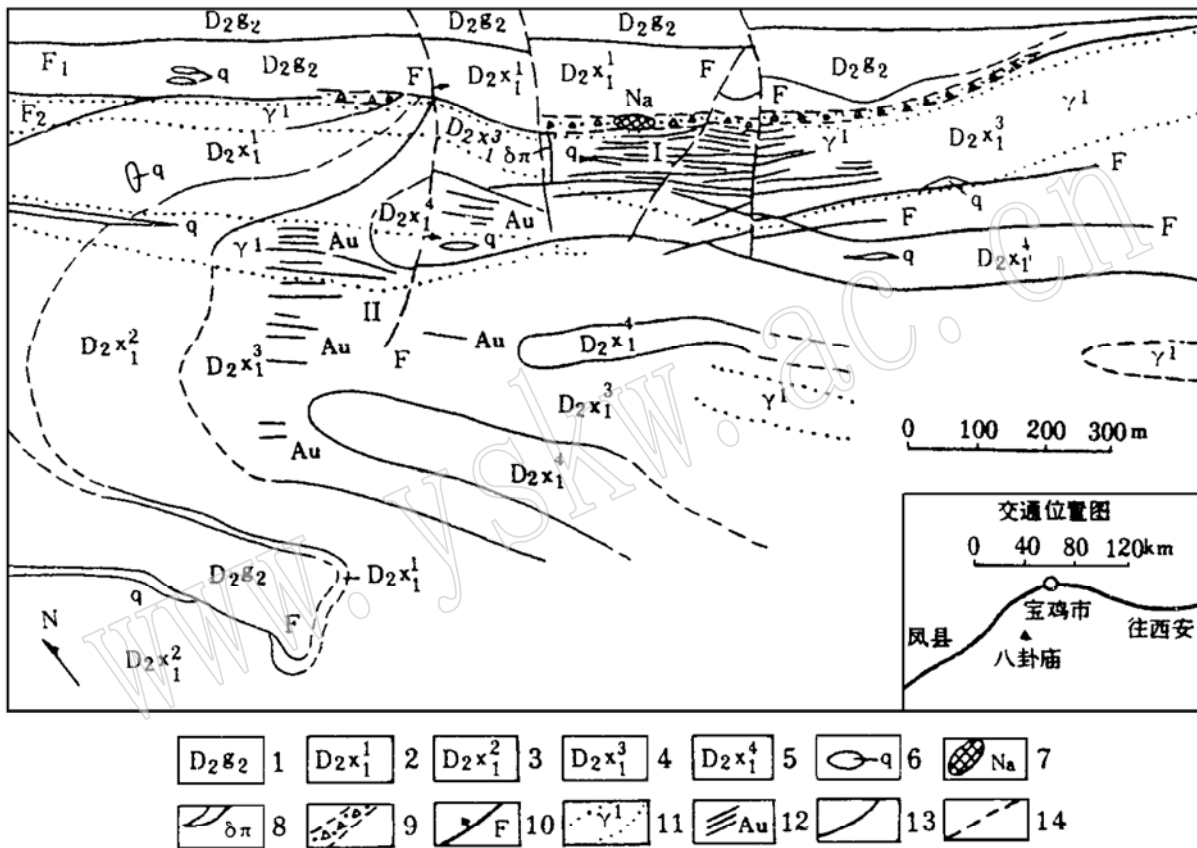


图1 八卦庙金矿床地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Baguamiao gold deposit

- 1—中泥盆统古道岭组上部; 2—中泥盆统星红铺组下段第一层; 3—中泥盆统星红铺组下段第二层;  
4—中泥盆统星红铺组下段第三层; 5—中泥盆统星红铺组下段第四层; 6—石英脉; 7—钠长细晶岩脉;  
8—蚀变闪长岩脉; 9—断层破碎带; 10—断裂; 11—石英脉破碎带; 12—金矿体; 13—地质界线;  
14—推测地质界线; I—北矿带; II—中矿带

### 3 微量元素地球化学

对第2类和第3类含金石英脉进行了微量元素地球化学研究。所涉及的微量元素主要有 Au、Ag、As、Sb、Bi、Hg、Rb、Sr、Ba、Co、Ni、V、Zr、Nb、Ta、Sc 等。表1给出了这些微量元素的分析结果。

由表1可见这两类含金石英脉的组成特点:(1) 含铁白云石石英脉, 微量元素组成的突出特点是亲硫元素的含量高, 显示金的成矿与这些元素密切相关。金的含量较低, 变化幅度

较小,也说明了该金矿属低品位的金矿,其亲硫元素的相对高含量可以作为成矿的指示元素;(2) NE 向节理石英脉,其突出特点是金的含量高,所分析样品的金含量都达到了金的工业品位。含金石英脉的亲硫元素含量比较高,它不仅远高于地壳和中国陆壳的相应值<sup>[5-6]</sup>,而且也高于秦岭地区中泥盆统地层中相应元素的丰度。这一方面说明金的成矿与这些微量元素的相关性使其具有指示意义,另一方面也反映出在成矿过程中,金与这些元素的地球化学的一致性。

表1 八卦庙金矿床中含金石英脉的微量元素分析数据( $\times 10^{-6}$ )

Table 1 Trace element contents of auriferous quartz veins in the Baguamiao gold deposit

	样号	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Rb	Sr	Ba	Co	Ni	V	Zr	Nb	Ta	Sc
第2类	B-12	4.14	2.72	1.3	3.1	5.31	0.07	65	78	64	8.1	35	7	65	1	2	3.02
	B-14	1.12	-	2.8	4.1	7.83	0.14	227	93	617	14	51	78	227	19	3	12.85
	B-45	9.37	5.70	3.0	3.0	6.16	0.075	63	113	38	9	31	7	63	4	2	1.54
第3类	B-21	7.78	10.00	0.8	7.5	7.16	0.112	47	56	7	9	19	1	47	1	1	0.47
	B-36	8.65	6.35	2.8	7.5	4.67	0.068	60	117	37	6	37	8	60	1	2	3.44
	B-39	8.65	6.35	2.8	7.5	4.67	0.068	60	117	37	6	37	8	60	1	2	3.44
D 2		0.003	0.08	7.8	0.56	0.31	0.048			387.6	12.2	29.9	61.7				
C 1		0.002	0.05	1.9	0.15	0.19	0.08	150	690	610	32	57	99	160	34	3.5	11
C 2		0.002	0.075	2.0	0.51	0.19	0.01	108	382	463	24.7	81	143	148	18.3	1.60	16

注:(1) D 2 指秦岭地区中泥盆统地层中元素的丰度,据文献[5];C 1 指地壳中元素的丰度,据文献[6];C 2 指中国陆壳中元素的丰度,据文献[6];

(2) 前六个元素的分析工作由中国科学院广州地化所完成,后十个元素由北京大学分析中心完成。

## 4 稀土元素地球化学

对三种不同产状的含金石英脉进行了稀土元素地球化学研究。表2给出了其稀土元素的分析数据及有关参数。据此数据做出了稀土元素球粒陨石标准化模式图(图2)。

表2 八卦庙金矿床中含金石英脉的稀土元素分析数据( $10^{-6}$ )

Table 2 REE contents of auriferous quartz veins in the Baguamiao gold deposit

样号	第1类		第2类			第3类		
	B-49	B-50	B-12	B-14	B-45	B-21	B-36	B-39
La	4.30	2.87	6.92	1.37	0.82	0.80	2.89	2.59
Ce	7.04	5.01	12.49	2.80	2.05	1.92	6.04	5.55
Pr	1.20	0.98	1.71	0.36	0.32	0.32	0.93	0.86
Nd	3.52	3.27	6.45	1.85	1.33	1.53	4.33	3.97
Sm	0.78	1.03	1.65	0.70	0.52	0.44	1.33	1.13
Eu	0.21	0.35	0.50	0.25	0.17	0.10	0.32	0.18
Gd	0.80	1.29	3.30	1.26	0.88	0.56	1.41	1.19
Tb	0.17	0.20	0.64	0.24	0.16	0.08	0.22	0.18
Dy	0.93	1.14	4.55	1.73	1.12	0.43	1.29	0.96
Ho	0.19	0.18	1.07	0.45	0.27	0.09	0.31	0.23
Er	0.61	0.48	2.91	1.38	0.84	0.22	0.85	0.61
Tm	0.09	0.07	0.47	0.25	0.12	0.03	0.11	0.08
Yb	0.58	0.40	2.79	1.56	0.63	0.18	0.50	0.34
Lu	0.08	0.05	0.42	0.28	0.17	0.03	0.08	0.06
Y	5.50	4.81	32.91	13.02	6.81	0.93	6.82	4.81
$\Sigma$ REE	26.00	22.13	78.78	27.50	15.94	7.66	27.43	22.74
$\delta$ Eu	0.81	0.93	0.66	0.81	0.77	0.62	0.71	0.47
$\delta$ Ce	0.75	0.72	0.87	0.96	0.96	0.91	0.89	0.90
(La/Yb) <sub>N</sub>	5.00	4.83	1.67	0.59	1.54	3.00	3.90	5.14

注:稀土元素的分析由北京大学分析测试中心用等离子体法(ICP)完成,分析精度为 $\pm 10\%$ 。

#### 4.1 第1类含金石英脉

它的稀土元素球粒陨石标准化模式图(图2a)表现为轻重稀土元素具有一定分异的、出现微弱的Eu、Ce亏损的向右缓倾的特点。其稀土元素的组成为 $\Sigma$ REE值(22.13—26.00)  $\times 10^{-6}$ , 平均 $24.07 \times 10^{-6}$ ;  $\delta$ Eu值0.81—0.93, 平均0.87;  $\delta$ Ce值为0.72—0.75, 平均0.74;  $(La/Yb)_N$ 值4.83—5.00, 平均4.91。

#### 4.2 第2类含金石英脉

它的稀土元素球粒陨石标准化模式图(图2b)表现为轻重稀土元素分异极小的Eu负异常、极弱的Ce负异常的平缓过渡的特点。其稀土元素的组成为 $\Sigma$ REE值(15.94—78.78)  $\times 10^{-6}$ , 平均 $40.74 \times 10^{-6}$ ;  $\delta$ Eu值0.66—0.81, 平均0.74;  $\delta$ Ce值为0.87—0.96, 平均0.93;  $(La/Yb)_N$ 值0.59—1.67, 平均1.41。

#### 4.3 第3类含金石英脉

其稀土元素球粒陨石标准化模式图(图2c)表现为轻重稀土元素分馏较小的Eu亏损、Ce弱亏损的向右平缓过渡的特点。它的稀土元素总量较低, 轻重稀土分异较小。 $\Sigma$ REE为(7.66—27.43)  $\times 10^{-6}$ , 平均值 $19.23 \times 10^{-6}$ ;  $\delta$ Eu值0.47—0.71, 平均值为0.60;  $\delta$ Ce值0.90;  $(La/Yb)_N$ 值为3.00—5.14, 平均为4.03。

上述三类含金石英脉的稀土元素组成虽然比较相近, 但表现在其球粒陨石标准化模式图上仍存在一些差异, 说明其成因有所不同。

## 5 稳定同位素地球化学

矿物的稳定同位素地球化学研究可为矿物的成因提供有力的证据, 笔者仅对第2类含金铁白云石石英脉中的铁白云石进行了碳、氧同位素分析, 结果见表

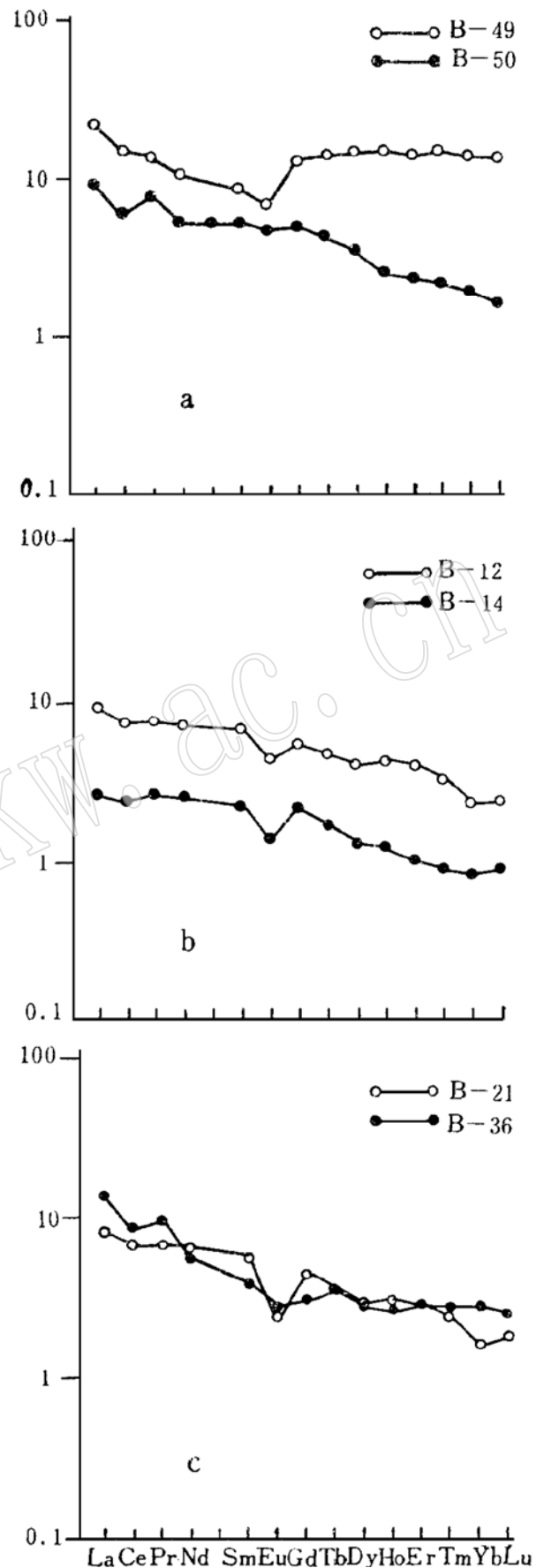


图2 八卦庙金矿床的稀土元素球粒陨石标准化模式图

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of auriferous quartz veins in Baguamiao gold deposit

a—第1类含金石英脉; b—第2类含金石英脉;

c—第3类含金石英脉

3. 由于铁白云石与石英共生, 因此, 铁白云石的成因特征也反映了含金石英脉的成因。

表3 八卦庙金矿床内铁白云石的碳、氧同位素分析结果(‰)

Table 3 Carbon and Oxygen isotope data of ankerite from the Baguamiao gold deposit(‰)

样号	矿物	产状	$\delta^{18}\text{O}$		$\delta^{13}\text{C}$
			PDB	SMOW	
B-12	铁白云石	脉状	-10.98	+19.64	-1.93
B-14	铁白云石	脉状	-11.08	+19.43	-2.14
B-23	铁白云石	脉状	-10.80	+19.73	-1.85
B-32	铁白云石	脉状	-10.96	+19.56	-2.01
B-39	铁白云石	脉状	-11.19	+19.32	-2.04
B-45	铁白云石	脉状	-11.17	+19.34	-2.22

分析者: 中国科学院青海盐湖研究所同位素室

由表3不难看出, 铁白云石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值比较稳定, 变化范围小, 一般为+19.32‰—+19.73‰, 平均为19.51‰, 与双王金矿含金胶结物中的铁白云石的氧同位素值(19.23‰)比较接近, 而低于区域泥盆纪海相碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(22.95±2.51‰)。通常而言, 由于碳酸盐矿物的氧同位素变异是温度的函数, 温度愈高, 则 $\delta^{18}\text{O}$ 值愈低。依此类推, 本区铁白云石的形成温度必然较海相碳酸盐高。

铁白云石的碳同位素组成也比较稳定, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围为-1.85‰—-2.22‰, 平均为-2.06‰。此值低于海相碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(0.56±1.56‰), 较地幔碳酸盐(-5.1±1.4‰)和金伯利岩(-4.7±1.2‰)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值略高, 而与红海底层热卤水中溶解的无机碳的同位素组成(-3‰—5‰)和世界地热区 $\text{HCO}_3^-$ 的 $\delta^{13}\text{C}$ (-2‰—8‰)比较接近, 从而反映出本区的铁白云石为热液成因。

由上所述, 本区的铁白云石为热液成因, 是深部热液沿构造裂隙在特定地质条件下形成的。石英与其紧密共生, 也是热液作用的产物。这两种矿物的共生和实验资料<sup>[7]</sup>证明, 在热液作用过程中曾发生过沸腾作用, 促进了金的富集。由下述的矿物包裹体研究也可得出类似结论。

## 6 矿物包裹体的研究

### 6.1 包裹体特征

含金石英脉中包裹体发育, 数量多、类型多、形态复杂。包裹体的形态主要为多边形和不规则形。其大小为 $5 \times 5$ — $5 \times 15 \mu\text{m}$ 。包裹体以原生为主, 也有大量假次生的, 前两类含金石英脉中以原生包裹体为主, 而NE向节理石英脉则以次生包裹体为主。原生包裹体除正常的气液包裹体外, 还见含液态 $\text{CO}_2$ 的多相包裹体。气液包裹体中的气液比变化较大, 为15%—30%, 多数均一成液相, 均一成气相者亦常见。

### 6.2 包裹体测温

包裹体均一温度的范围较大, 变化范围为200—420℃, 多数集中于220—300℃, 平均256℃(见图3)。对应于三种不同产状的含金石英脉: 第1类含金石英脉, 温度最高, 形成温度区间为380—420℃; 第2类含金石英脉的均一温度则为220—310℃。这个温度与和其共

生的铁白云石包裹体所测的均一温度是非常接近的(245—290℃)<sup>[1]</sup>,说明它们是在同一成矿条件下形成的;第3类含金石英脉的均一温度最低,多在200℃左右。测温结果为八卦庙金矿床的中高温成因提供了证据。

## 7 讨论及结论

众所周知,含金石英脉的存在是热液型金矿床的一个普遍特征,对于八卦庙金矿床也是如此。石英是八卦庙金矿床中重要的脉石矿物之一,它与金矿化的关系十分密切。八卦庙金矿床中的含金石英脉可分为三种类型:顺层石英脉,与铁白云石共生的石英脉和NE向节理石英脉,它们是不同的成矿阶段内热液和构造共同作用的产物,这说明含金石英脉在金的成矿中起着非常重要的作用。

含金石英脉的地球化学研究表明,它们形成于不同的成矿阶段,是金在成矿过程中不断演化的产物。另一方面,从其形成温度看,由高温至中高温至中低温的变化趋势,说明八卦庙金矿床是中高温成因。在主成矿阶段,出现了与铁白云石共生的含金石英脉,说明成矿过程中热液体系出现了沸腾现象,而这个因素正是金在热液流体中发生富集和沉淀的最佳条件<sup>[7]</sup>。金矿化的早期阶段出现大规模的层间硅化,反映了构造强度较大。而在晚期出现的节理石英脉则可能是构造活动末期的产物。不同产状的含金石英脉的出现正是构造演化的结果,同时也是八卦庙金矿床金的成矿过程的典型标志。

由上述可以看出,含金石英脉的形成与金矿化过程的关系是很密切的,它们是深部流体和构造共同作用下的产物。

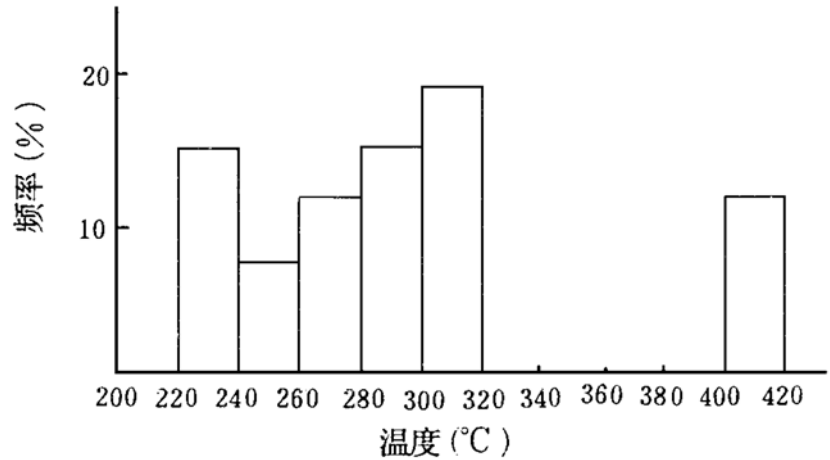


图3 八卦庙金矿床中含金石英脉包裹体的均一温度直方图

Fig. 3 Histogram showing homogenization temperature of inclusions in quartz veins from the Baguamiao gold deposit

## 参 考 文 献

- 1 于学元, 郑作平, 黄婉康等. 南秦岭金矿成矿特征. 北京: 科学出版社, 1994.
- 2 韦龙明, 曹远贵, 王民良. 陕西八卦庙金矿床地质特征及其成因分析. 见: 刘东生主编, 中国卡林型金矿床. 南京: 南京大学出版社, 1994, 286-305.
- 3 郑作平, 于学元, 陈繁荣. 八卦庙金矿成矿的地球化学制约因素. 地质地球化学, 1996.
- 4 郑作平, 于学元, 郭健. 八卦庙金矿地质及同位素研究. 陕西地质, 1994, (2): 22-31.
- 5 陕西地矿局第三地质队等. 陕西双王金矿床的地质特征及其成因. 西安: 陕西科技出版社, 1989, 59-67.
- 6 Li Tung. Element abundances of China's continental crust and its sedimentary layer and upper continental crust. Chinese Journal of Geochemistry, 1995, Vol. 14, 26-32.
- 7 郑作平, 于学元. 八卦庙金矿床铁白云石的特征兼论金矿的成因. 矿物岩石, 1995, (3): 32-36.

# Geochemistry of Auriferous Quartz Veins in the Baguamiao Gold Deposit

Zheng Zuoping Yu Xueyuan

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guangzhou 510640)

**Key words:** auriferous quartz vein; geochemistry; Baguamiao gold deposit; Qinling

## Abstract

The Baguamiao gold deposit is a sort of mesothermal-hypothermal carbonate type gold deposit. Quartz, one of the major gangue minerals, is closely related to gold mineralization. According to modes of occurrence, auriferous quartz veins might be divided into three types: (1) bedding quartz veins; (2) ferriferous dolomite quartz veins; (3) quartz veins along NE-trending joints. These types show certain differences in compositional characteristics of trace elements and rare earth elements and were formed respectively at different ore-forming stages of gold, being evolutionary products of gold in the process of ore-forming process. Thermometric measurements of inclusions in quartz have provided evidence for mesothermal-hypothermal origin of the Baguamiao gold deposit.