

甘肃北山公婆泉斑岩型铜矿地质特征 及成矿流体包裹体研究

郭小宝^{1,2}, 余吉远², 校培喜²

(1. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:公婆泉铜矿位于甘肃-蒙古-北山斑岩铜矿成矿带公婆泉岛弧区,为典型的斑岩型铜矿,赋矿围岩主要为英安斑岩、花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩。矿石矿物主要有黄铜矿和斑铜矿,其次有少量的黄铁矿、闪锌矿、方铅矿以及蓝辉铜矿等。对含矿石英脉中流体包裹体研究表明,公婆泉铜矿主要有4类流体包裹体:纯气相包裹体(I型)、纯液相包裹体(II型)、原生富液相气液两相包裹体(IIIa型)以及次生富液相气液两相包裹体(IIIb型)。其中与成矿密切相关的为原生富液相气液两相包裹体(IIIa型)。该类包裹体的均一温度集中在100~260℃,盐度在0.18%~9.98%(Na-Cl_{eq}),密度为0.75~1.0 g/cm³;激光拉曼探针分析表明,液相成分以H₂O为主,气相成分以H₂、N₂以及CH₄为主。成矿流体具有中低温、低盐度以及低密度的流体特征。斑岩的上升侵位为矿床的形成奠定了物质基础——Cu、S。斑岩分异出成矿流体沿早期断裂系统向上运移发生减压沸腾导致相态分离,从而造成Cu发生沉淀。因此,减压沸腾可能是导致流体中金属卸载的主要原因。

关键词:矿床地质;流体包裹体,公婆泉铜矿;甘肃北山

中图分类号:P618.41

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2015)01-0091-10

Study on Ore-forming Fluid Inclusions and Geological Characteristics of the Gongpoquan Porphyry Copper Deposit in Beishan, Gansu Province

GUO Xiaobao^{1,2}, YU Jiyuan², XIAO Peixi²

(1. School of Earth and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, Beijing, China;

2. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710045, Shaanxi, China)

Abstract: Gongpoquan copper deposit is a typical porphyry copper deposit located in the Gongpoquan island arc zone of Gansu-Mongolia-Beishan porphyry copper metallogenic belt. The host rocks are characterized by dacite porphyry, granodiorite porphyry and quartz diorite porphyrite. The ore minerals mainly consist of chalcopyrites and bornites, with few pyrites, sphalerites, galenas and digenites etc. The study of fluid inclusions in the ore-bearing vein-quartz concludes four types of fluid inclusions namely pure vapor inclusions (I-type), pure aqueous inclusions (II-type), nature aqueous-rich gas-liquid two phase inclusions (IIIa-type) and secondary aqueous-rich gas-liquid two phase inclusions (IIIb-type). The mineralization is closely related to nature aque-

投稿日期:2014-12-12;修回日期:2015-02-08

基金项目:青年基金项目“中天山构造带阿拉塔格环状杂岩体成因研究”(41202045)和牛圈子等6幅1:5万区域地质调查项目(12120113046400)联合资助

作者简介:郭小宝(1986-),男,陕西渭南人,在读硕士,矿物学、岩石学、矿床学。E-mail:371752624@qq.com

ous-rich gas-liquid two phase inclusions, i. e. IIIa-type. This kind of fluid inclusions have homogenization temperature of $103 - 250^{\circ}\text{C}$, salinity of $0.18\% - 9.98\%$ (NaCl_{eq}), and density of $0.75 - 1.0\text{g}/\text{cm}^3$, which shows that the ore-forming fluid is mesothermal, with low salinity and low density. Laser-Raman microspectroscopy analyses reveal that the liquid phase is mainly composed of H_2O , and the vapor phase of H_2 , N_2 and CO_2 . The rising and emplacement of porphyry provided ore-forming materials such as Cu and S for the formation of the copper deposit. Due to late tectonic activity, the porphyry became mobilized and generated ore-forming fluid through differentiation, the decompressing boiling of which resulted in separation of phases while migrating upward, and then Cu precipitated. Therefore, the decompressing boiling might be mainly responsible for the precipitation of metal in fluid.

Keywords: ore geology; fluid inclusions; Gongpoquan copper deposit; Beishan of Gansu

公婆泉铜矿是 20 世纪 50 年代在北山地区发现的斑岩型矿床,也是我国西北地区最重要的金属矿床之一(江思宏,2002)。前人对公婆泉铜矿开展了较为详细的工作(左国朝,1994;王大为,1995;龚全胜,2000)。但是,对其矿床成因及其成矿模式一直存在认识上的分歧,如:①芮宗瑶等(1984)认为该矿床赋矿的石英闪长玢岩、英安斑岩和花岗岩闪长斑岩为俯冲过程中同期同源异相的产物。②李奋其等(2003)研究表明英安斑岩为俯冲期产物,而其余围岩为后碰撞阶段的产物。流体包裹体研究一直是查明斑岩型矿床成因最有效的手段之一(芮宗瑶等,1984,2003;Candela et al., 1986;Ulrich et al., 2001),这是因为与浅位岩浆结晶作用相关的热液流体的活动是导致金属沉淀的关键因素,矿物中捕获的流体包裹体能够很好的指示流体成矿的全过程,通过流体包裹体的研究可获得成矿流体特征、演化规律和成矿机制等方面的重要信息(卢焕章等,2000)。然而矿床流体包裹体的研究仅仅局限于王大为(1995)在论文中的初步探讨,因此系统的开展流体包裹体研究非常必要。笔者拟以该矿床的地质研究为基础,通过系统的岩相学观察、显微测温研究以及激光拉曼等分析,试图揭示矿床地质和成矿流体的特征,为甘肃北山地区铜矿勘查提供新的参考。

1 区域地质概况

公婆泉铜矿位于甘肃—蒙古—北山斑岩铜矿成

矿带,构造上属于中亚造山带中段公婆泉岛弧,夹持于月牙山—小红山—小黄山断裂和旱山—明水断裂之间(左国朝等,2003)。这两个断裂之间存在着一系列的蛇绿岩,代表着早期大洋残片,而公婆泉岛弧实质上是洋盆消减闭合过程中形成的岛弧,是北山地区重要的铜矿成矿带(王大为,1995)。该成矿带上发现了公婆泉铜矿、红柳沟铜矿、勒巴泉铜矿以及大口子铜矿点等。这些与岩浆侵入活动有关的铜矿床的分布均受控于一条南东延伸的深断裂带(图 1),构成一个长条状的铜矿矿集区。沿该条断裂带出露辉长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩,反应它属于一个切穿壳层的深断裂(许荣科等,2010)。

矿区内主要分布志留系火山—沉积岩系,早白垩世、第四纪陆相沉积岩围绕在周边,志留系分为下统和中—上统公婆泉群,下志留统分为 2 个岩组:第一岩性组为钙质砾岩、钙质砂岩、粉砂岩、安山岩、玄武岩夹大理岩透镜体;第二岩性组为安山岩、玄武安山岩、安山质火山角砾岩夹凝灰质砂岩、粉砂岩、薄层玄武岩及大理岩透镜体。此岩性组中有铜矿化,是火山热液型铜矿含矿层位。中上志留统公婆泉群划分为 3 个岩性组:第一岩组由安山质角砾熔岩、集块岩、安山质凝灰熔岩夹安山岩组成;第二岩组为英安岩、英安质角砾熔岩、凝灰熔岩、石英安山岩、安山岩夹大理岩、硅质岩,见铜矿化,含矿斑岩多侵位于该组中;第三岩组有安山岩夹安山质角砾熔岩、凝灰岩和大理岩,底部有薄层砾岩,本组形成铜矿(化)点,为火山热液型铜矿含矿层位。

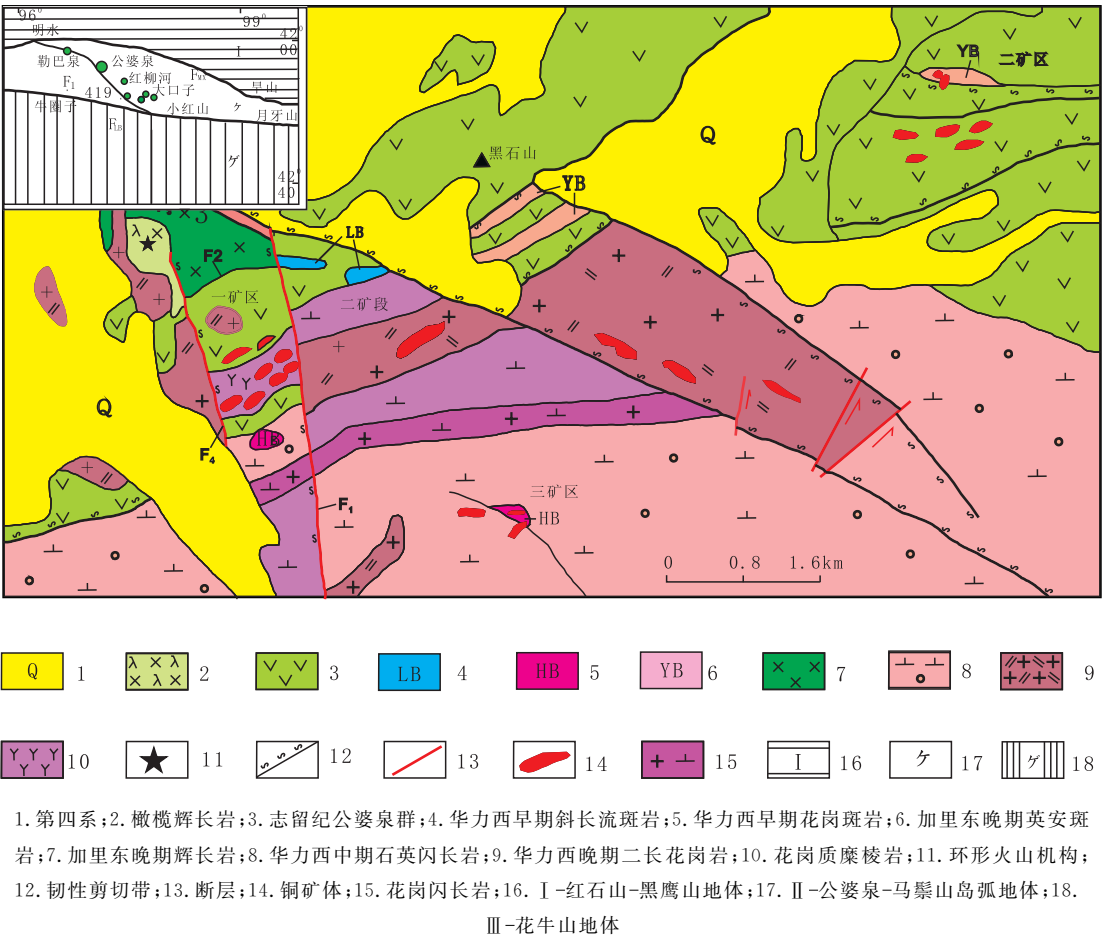


图 1 甘肃北山公婆泉斑岩型铜矿床矿区地质概况(据酒泉地质矿产调查队,1996 年资料修编)

Fig. 1 Simplified geological map of the Gongpoquan porphyry copper deposit, Beishan, Gansu

2 矿床地质特征

2.1 矿体空间分布

该矿床由一矿区、二矿区以及三矿区组成,矿田面积为 105 km²,3 个矿区独立分布(图 1)。发现矿体有 150 余条,其中 77 个矿体产在花岗闪长斑岩中,27 个产在英安斑岩中,50 个矿体产在石英闪长玢岩体中。矿体长几十至百余米,倾斜延伸大于 100 m,最大 1 100 m。铜的品位在 0.56%~2.92%。矿体一般为西北走向,成群出现,向西南陡倾,以细脉状为主,其次为透镜状、似脉状和脉状。

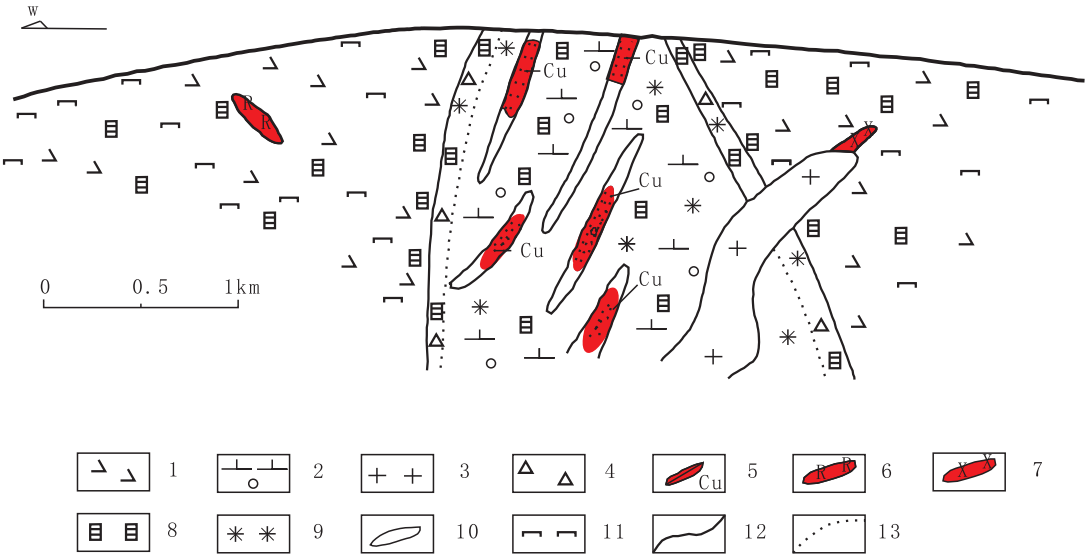
2.2 围岩蚀变

矿区围岩蚀变发育且强烈,围岩蚀变分带比较明显,以赋矿斑岩体为中心,向外依次主要可分为 3 个蚀变带:绢英岩化带、黑云母-石英-钾长石化带、青磐岩化带,蚀变带中均出现黄铁矿化(图 2)。其

特征为:①绢英岩化带位于蚀变带的中央部位,铜矿体主要赋存于该蚀变带,其岩性是由石英、绢云母组成的蚀变岩石(图 3a)。②黑云母-石英-钾长石化带面积较大,在石英闪长玢岩中发育,包裹了绢英岩化带及矿体。③青磐岩化分布范围广,也是离矿体最远的一个蚀变带,其主要发育于志留纪火山岩(以安山岩为主)中,属中低温热液蚀变范畴。

2.3 矿石特征

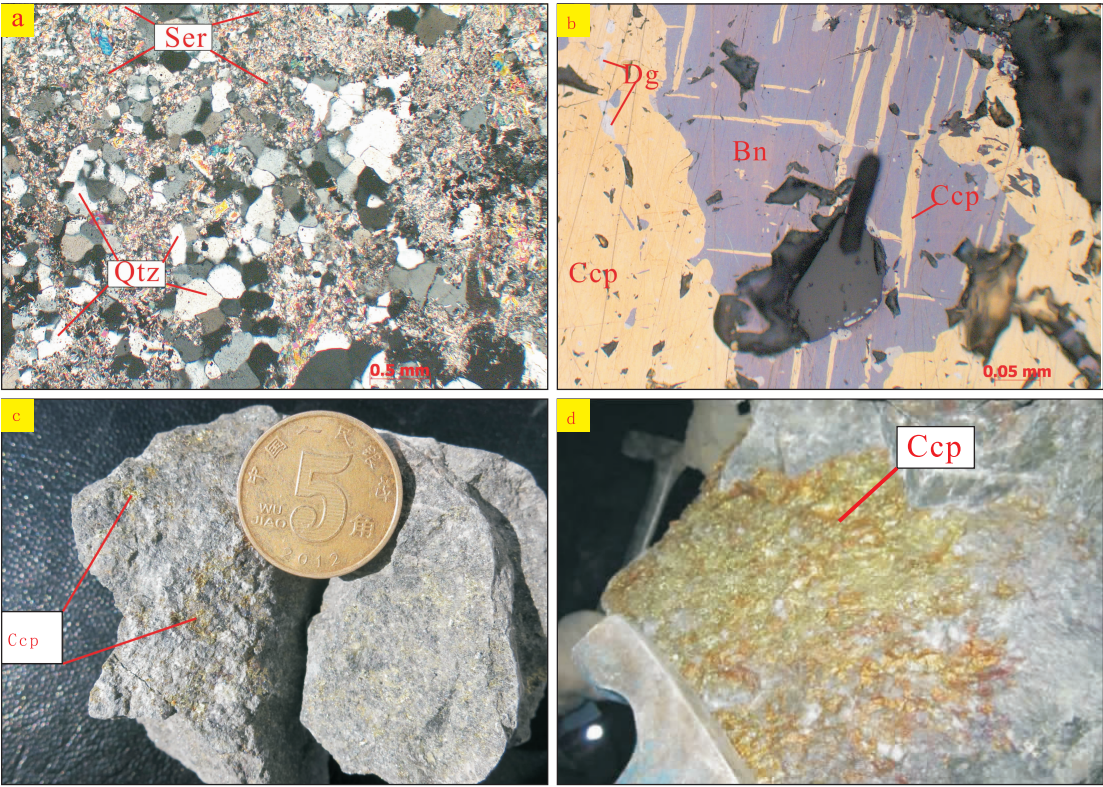
矿石矿物分为金属矿物和脉石矿物:金属矿物主要有黄铜矿和斑铜矿(图 3b),其次有少量的蓝辉铜矿、黄铁矿、方铅矿及赤铁矿;脉石矿物有石英、绢云母、斜长石、红金石等。矿石结构主要有斑状结构、霏细结构、穿插结构和钟乳状结构 4 种类型;矿石构造主要为浸染状和团块状。此外,部分为网脉状、角砾状、和环带状。根据矿石矿物组成和矿石结构构造,将矿石分为浸染状矿石(图 3c)和块状矿石(图 3d)。



1. 志留纪火山岩(以安山岩为主);2. 石英闪长玢岩;3. 花岗岩;4. 侵入角砾岩;5. 铜矿体;6. 火山热液铜矿体;
7. 矽卡岩型铜矿体;8. 黄铁矿化;9. 黑云母-石英-钾长石化;10. 绢英岩化;11. 青磐岩化;12. 界限;13. 渐变界限

图 2 公婆泉斑岩型铜矿蚀变分带图(据酒泉地质矿产调查队 1996 年资料修编)

Fig. 2 Zoned profile of altered rocks of porphyry copper deposit



a. 产于绢英岩化带中的绢英岩;b. 黄铜矿在斑铜矿中呈叶片状固溶体分离结构;c. 浸染状黄铜矿矿石;
d. 块状黄铜矿矿石; Ser. 绢云母;Qtz. 石英;Ccp. 黄铜矿;Bn. 斑铜矿;Dg. 蓝辉铜矿

图 3 公婆泉铜矿矿石及光薄片

Fig. 3 Photos of mineral in the Gongpoquan copper deposit

3 流体包裹体岩相学及显微测温研究

3.1 样品采集与测试方法

本次研究样品采自公婆泉铜矿绢英岩化带中的含矿石英脉。将样品磨制成 0.2 mm 厚的双面抛光薄片,在显微镜下进行仔细的矿相学和流体包裹体岩相学观察,然后选择代表性的薄片进行系统的包裹体显微测温研究和激光拉曼探针分析。

流体包裹体显微测温研究在中国地质调查局西安地质调查中心采用英国产 Linkam MDS600 型冷热台完成。仪器经过人工合成流体包裹体标准样品的标定,测定温度范围为 $-196\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$;在 $-100\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内测温精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $25\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在流体包裹体测温过程中,升温速度一般为 $0.2\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,水溶液包裹体在接近冰点时升温速率降至 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,在接近均一温度时升温速率降至 $0.2\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,以准确记录相转变过程。

3.2 流体包裹体岩相学

镜下系统的岩相学观察可见石英中流体包裹体较为发育(图 4)。根据 Roedder 等提出的流体包裹体在室温下相态分类准则,将公婆泉铜矿床流体包裹体划分为 4 类,现分述如下。

I 型:纯气相包裹体(V),呈单一气相,轮廓呈黑色,中间呈亮白色,体积较小,长轴一般为 $1\sim 4\text{ }\mu\text{m}$,大部分呈现椭圆、圆状及少量不规则状,分布于主矿物中,成群出现且穿插不同的石英颗粒,为次生包裹体(图 4a)。

II 型:纯液相包裹体(L),呈单一液体,体积一般较小,最大长轴 $<4\text{ }\mu\text{m}$,一般为 $1\sim 3\text{ }\mu\text{m}$ 。大部分呈现孤立的椭圆、圆状,也可见条状、月芽状以及不规则形状。此类包裹体数量大,一般成群出现在石英中,为原生包裹体(图 4b)。

III 型:富液相气液两相包裹体(L+V),呈气-液两相,加热均一到液体。此类包裹体在石英中分布最广,数量最多。根据流体包裹体成因分类(卢焕章等,2004)又可细分为原生富液相气液两相包裹体(III a 型)以及次生富液相气液两相包裹体(III b 型)。III a 型:气液比变化于 $10\%\sim 30\%$,大小在 $2\sim 6\text{ }\mu\text{m}$,以圆、椭圆形为主,也可见到不规则状产出。该类包裹体为常见的包裹体类型,孤立分布,数量极

多,为原生包裹体,同时也是与该矿床关系最为密切的流体包裹体(图 4c)。III b 型:气液比变化于 $10\%\sim 25\%$,大小在 $2\sim 15\text{ }\mu\text{m}$,以不规则形状产出。该类包裹体分布非常规律,密集排列成脉状穿插不同石英颗粒(图 4d),为典型的次生包裹体(图 4e、图 4f)。

3.3 流体包裹体显微测温

大量的镜下观测数据表明,公婆泉铜矿存在于含矿石英脉中的原生流体包裹体代表了该矿床的成矿流体。在详细的岩相学观察基础上,对 III a 型包裹体进行了显微测温研究。测温结果见表 1。样品的均一温度(T_h)变化范围介于 $100\sim 260\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均为 $162\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。结合数据分析直方图(图 5)可得,含矿石英流体包裹体的均一温度峰值在 $140\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$;冰点温度(T_f)测试结果见表 1。根据(Potter 等,1978)提出的 $\text{HO}_2\text{-NaCl}$ 体系盐度-冰点公式 $W=0.00+1.78T_f-0.044\ 2T_f^2+0.000\ 557T_f^3$ (W 为 NaCl 的重量百分比, T_f 为冰点温度)以及(Bondnar 等,1993)总结出的盐度-冰点关系表,计算得出含矿石英脉中流体包裹体盐度为 $0.18\%\sim 9.98\%$,均值为 3.36% 。结合数据分析直方图(图 6)可得,含矿石英流体包裹体的盐度峰值在 $2.0\%\sim 6.0\%$,反应出低盐度流体特征。

4 流体包裹体激光拉曼探针分析

单个流体包裹体的激光拉曼探针分析在西安地质矿产研究所实验检测中心用英国 Renshaw 公司生产的 inVia 型(仪器编号 SX-51)激光拉曼探针完成。实验条件:温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$,Ar 离子激光器(波长 514.5 nm),激光功率 20 mW ,扫描速度 $10\text{ 秒}/6\text{ 次}$ 叠加,狭缝 $20\text{ }\mu\text{m}$,湿度 65% 。

对 III a 型包裹体进行激光拉曼探针分析表明,液相成分以 H_2O 为主;气态成分以 H_2 、 N_2 、 CH_4 为主。另外,还有少量的 CO_2 、 H_2S 等。检测到还原性气体表明,成矿流体为一套还原性质的热液。

5 讨论

5.1 成矿物质来源

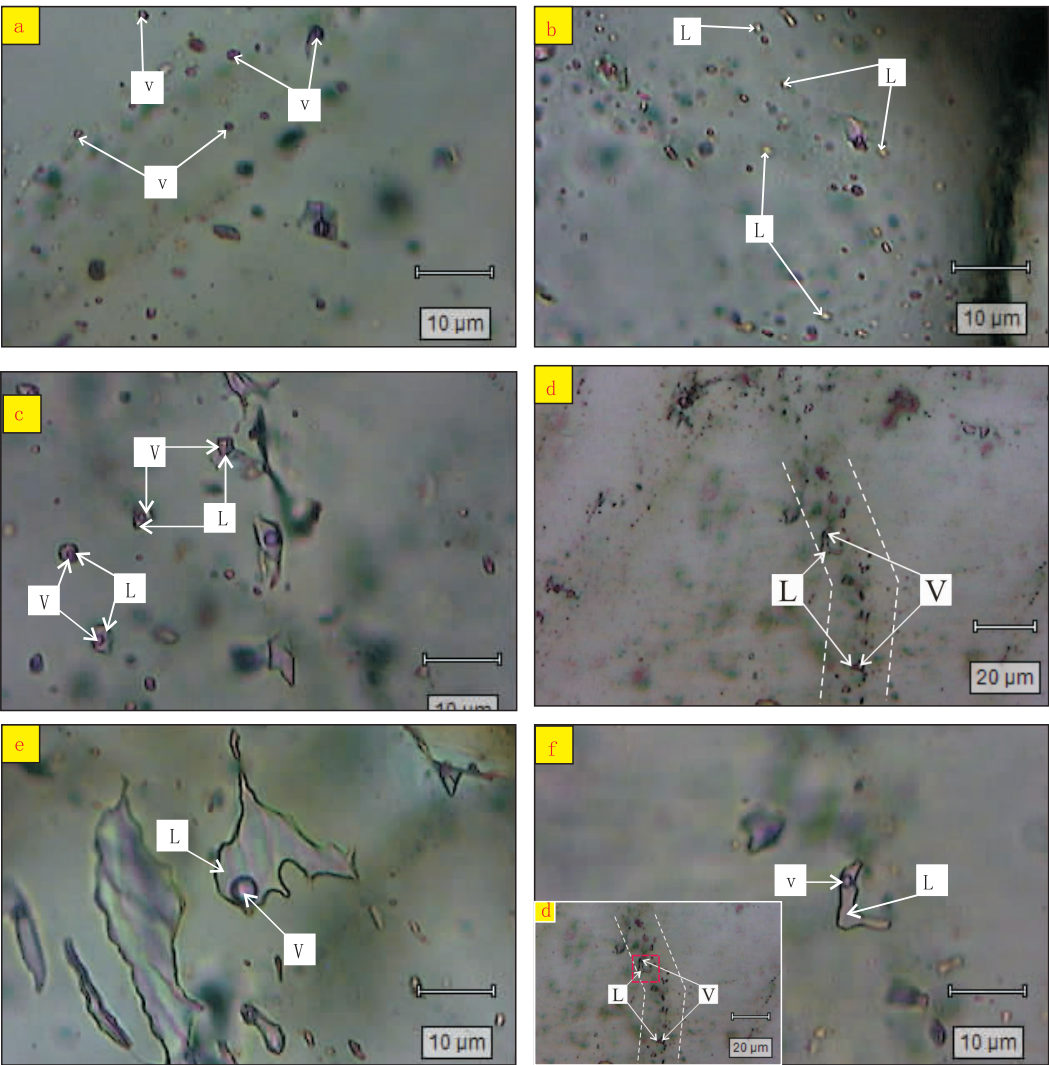
5.1.1 铜的来源

Cu 金属的来源是该斑岩型铜矿成矿作用的关

表 1 公婆泉铜矿含矿石英脉中流体包裹体显微测温结果

Tab.1 Microthermometric results of the fluid inclusions in vein - quartz,Gongpoquan copper deposit

样品 编号	寄主 矿物	包裹体 大小 (μm)	充填度 (%)	均一温 度 T_h (℃)	冰点温 度 T_f (℃)	盐度 W (NaCl _{eq.}) (%)	样品 编号	寄主 矿物	包裹体 大小 (μm)	充填度 (%)	均一温 度 T_h (℃)	冰点温 度 T_f (℃)	盐度 W (NaCl _{eq.}) (%)
L1-1	石英	7	65	193.9	-2.5	4.18	L5-2	石英	8	66	199.6	-2.7	4.49
L1-1	石英	15	65	192.7	-2.5	4.18	L5-2	石英	10	66	197.6	-2.5	4.18
L1-1	石英	6	60	192.4	-2.4	4.03	L5-2	石英	8	75	195.3	-2.4	4.03
L1-1	石英	7	65	177.9	-2.2	3.71	L5-2	石英	7	76	194.3	-2.3	3.87
L1-1	石英	6	64	180.6	-2.3	3.87	L6-1	石英	5	66	189.9	-3.5	5.71
L1-2	石英	6	67	192.7	-3.4	5.56	L6-1	石英	7	65	188.1	-3.3	5.41
L1-2	石英	6	86	191.4	-3.4	5.56	L6-1	石英	7	67	164.1	-3.3	5.41
L1-2	石英	5	80	188.9	-2.3	3.87	L6-1	石英	6	56	163.3	-3.0	4.96
L1-2	石英	5	64	168.8	-2.2	3.71	L7-1	石英	6	78	140.2	-1.3	2.24
L1-2	石英	7	67	164.8	-2.2	3.71	L7-1	石英	6	79	141.3	-1.2	2.07
L1-2	石英	6	56	164.2	-2.2	3.71	L7-1	石英	8	76	144.8	-0.9	1.57
L2-1	石英	17	65	249.5	-2.6	4.34	L7-1	石英	5	75	147.0	-0.8	1.40
L2-1	石英	13	60	249.3	-2.5	4.18	L7-1	石英	9	75	148.6	-0.7	1.23
L2-1	石英	8	60	232.3	-2.9	4.80	L7-1	石英	5	77	150.2	-0.7	1.23
L2-1	石英	8	56	231.9	-2.7	4.49	L7-2	石英	8	70	117.5	-0.1	0.18
L3-1	石英	7	67	154.8	-3.7	6.01	L7-2	石英	7	70	117.8	-0.1	0.18
L3-1	石英	5	60	154.2	-4.6	7.31	L7-2	石英	4	75	118.6	-0.2	0.35
L3-1	石英	4	70	142.7	-4.9	7.73	L7-2	石英	5	77	121.1	-0.3	0.53
L3-1	石英	4	67	143.3	-4.4	7.02	L7-2	石英	6	74	123.7	-0.5	0.88
L3-1	石英	3	65	155.5	-5.0	7.86	L8-1	石英	5	75	158.8	-1.2	2.07
L3-1	石英	7	64	155.2	-5.0	7.86	L8-1	石英	5	75	161.8	-1.3	2.24
L3-2	石英	8	80	202.0	-6.6	9.98	L8-1	石英	4	60	162.7	-1.5	2.57
L3-2	石英	9	75	201.9	-6.6	9.98	L8-1	石英	7	75	164.1	-1.6	2.74
L3-2	石英	5	67	200.1	-6.2	9.34	L8-1	石英	15	67	165.2	-1.6	2.74
L3-2	石英	5	66	195.3	-6.2	9.34	L8-2	石英	6	65	167.4	-1.3	2.24
L3-2	石英	5	65	196.3	-5.9	9.08	L8-2	石英	8	66	163.7	-1.4	2.41
L3-2	石英	6	65	200.0	-5.9	9.08	L8-2	石英	8	65	162.0	-1.5	2.57
L4-1	石英	4	64	155.9	-3.3	5.41	L8-2	石英	12	68	158.1	-1.6	2.74
L4-1	石英	3	72	157.0	-3.1	5.11	L8-2	石英	11	68	157.1	-1.8	3.06
L4-1	石英	4	72	157.4	-2.9	4.80	L9-1	石英	5	77	120.2	-2.9	4.80
L4-1	石英	4	74	158.3	-2.7	4.49	L9-1	石英	4	59	154.8	-2.9	4.80
L4-1	石英	4	65	159.1	-2.7	4.49	L9-1	石英	6	60	154.6	-2.3	3.87
L5-1	石英	6	64	122.6	-0.1	0.18	L9-1	石英	7	67	151.9	-2.2	3.71
L5-1	石英	7	76	123.9	-0.1	0.18	L9-1	石英	7	60	152.4	-2.0	3.39
L5-1	石英	5	65	103.1	-0.1	0.18	L10-1	石英	7	70	111.7	-0.8	1.40
L5-1	石英	7	66	105.9	-0.1	0.18	L10-1	石英	4	67	113.7	-1.2	2.07
L5-1	石英	5	76	124.5	-0.2	0.35	L10-1	石英	8	77	113.5	-1.2	2.07
L5-1	石英	12	65	105.9	-0.1	0.18	L10-1	石英	6	65	111.7	-1.2	2.07
L5-2	石英	5	67	200.2	-2.8	4.65	L10-1	石英	12	76	111.3	-0.7	1.23



a. 纯气相包裹体(I型);b. 纯液相包裹体(II型);c. 原生富液相气液两相包裹体(III a型);
d. III b型包裹体呈线状排列;e,f. 次生富液相气液两相包裹体(III b型);L. 液相;V. 气相

图 4 公婆泉铜矿流体包裹体显微照片

Fig. 4 Micrographs of the fluid inclusion in Gongpoquan copper deposit

键问题之一。江思宏等(2002)对铜矿石的 Pb 和 Nd 同位素示踪表明:成矿物质主要来自于斑岩体,含矿斑岩体在上侵过程中从地幔中带来了大量的成矿物质——Cu。游小毛(1999)以微量元素和稀土元素地球化学为手段,对公婆泉铜矿区斑岩岩浆起源进行了研究,研究表明,该矿区斑岩岩浆系统为地幔岩派生的产物,但混杂了陆壳物质,岩浆起源属幔壳混合源,且斑岩铜矿工业矿体主要赋存于斑岩岩体内,矿体产状与岩体产状一致,矿体与围岩界限呈渐变关系,可推断斑岩岩浆提供了成矿物质——Cu。袁利东等(2010)通过对微量元素地球化学特征研究,认为与世界花岗岩(酸性岩)相比,公婆泉的

花岗闪长斑岩相对亏损 Sr、Zr、Ga、Be 等,明显富集 Ba、Pb、Zn、Cu、Ni、V、Cr、Co 等元素,即相对富集亲铜元素和亲铁元素,其中以 Cu 的富集程度最高,达 20 倍,构成了以富铜为主的花岗闪长斑岩。英安斑岩中的微量元素含量与花岗闪长斑岩相比,Ba、Sr 和亲铁元素(Ni、V、Cr、Co)含量较高,而亲铜元素含量较低。尽管如此,其 Cu 含量仍为世界花岗岩(酸性岩)铜含量的 9 倍,是地壳克拉克值(Cu 的地壳克拉克值为 63×10^{-6})的 3 倍,这说明该矿床斑岩体均具有较高的铜含量背景,可为斑岩铜矿的形成提供充足的物质来源。综合以上结论,笔者认为,来自地幔岩浆在上升时混杂了陆壳物质,幔壳混合岩浆在

侵位时带来了大量的 Cu 元素,为以后富集成矿奠定了物质基础。因此,区域上寻找类似的斑岩型铜矿床,首先应加强对类似斑岩体的研究与寻找。

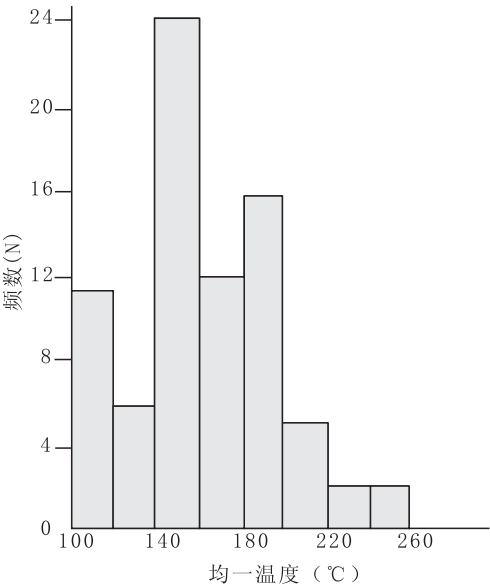


图 5 公婆泉铜矿石英中流体包裹体均一温度直方图
Fig. 5 A homogenization temperature histogram of the fluid inclusions in the vein - quartz, Gongpoquan deposit

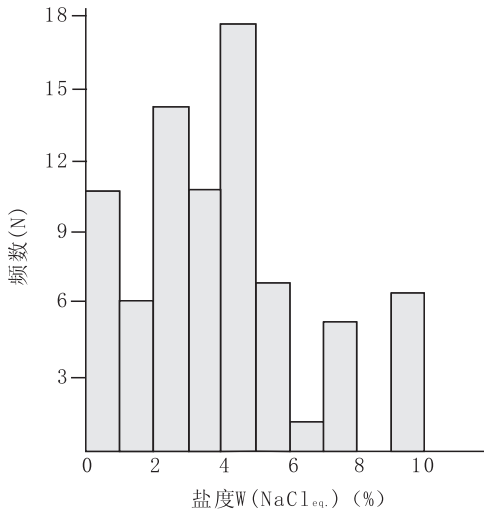


图 6 公婆泉铜矿石英中流体包裹体盐度直方图
Fig. 6 A salinity(W) histogram of the fluid inclusion in the vein - quartz, Gongpoquan deposit

5.1.2 硫的来源

对于铜矿 S 的来源,袁利东等(2010)对斑岩型铜矿中黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿硫同位素组成的研究,黄铜矿的均值 $\delta^{34}\text{S}=1.9\text{‰}$,黄铁矿的均值 $\delta^{34}\text{S}=2.7\text{‰}$,斑铜矿的均值 $\delta^{34}\text{S}=-7.7\text{‰}$,与王大为等

(1995)、左国朝等(1998)的研究结果一致。对大多数岩浆岩来讲,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $0\pm5\text{‰}$ 范围内表明硫主要来自岩浆岩,或直接来自岩浆热液,或通过对岩浆硫化物的溶解。因此笔者认为,公婆泉铜矿硫源主要来自岩浆热液。

5.2 成矿流体的性质

前人对公婆泉铜矿在流体包裹体的研究仅仅局限于王大为(1995)的初步探讨,因此关于铜矿流体包裹体的资料相对较少,笔者结合现有研究资料,通过大量测试数据对成矿流体的性质进行分析:公婆泉铜矿与成矿有关的流体包裹体的均一温度变化范围在 $100\sim260\text{ }^{\circ}\text{C}$,峰值在 $140\sim200\text{ }^{\circ}\text{C}$,这与王大为(1995)所测数据基本吻合,说明为中低温的成矿流体。根据 Bondnar(1993)总结出的盐度-冰点关系表,计算得出含石英脉中流体包裹体盐度为 $0.18\%\sim9.98\%$,均值为 3.36% ,峰值在 $2.0\%\sim6.0\%$,说明成矿流体为低盐度流体。对测试数据,利用以均一温度和盐度为坐标的 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系的 $W-T-\rho$ 相图(图 7)得到密度范围为 $0.75\sim1.0\text{ g/cm}^3$,与前人所测数据 $0.8\sim0.9\text{ g/cm}^3$ 基本一致,反映出低密度流体特征。根据前人对含石英中的 H-O 同位素测定,样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值介于 $8.8\text{‰}\sim14.9\text{‰}$, δD 值介于 $-87.8\text{‰}\sim-65.6\text{‰}$,与典型岩浆水氢氧同位素组成($\delta\text{D}=-80\text{‰}\sim-40\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}=7\text{‰}\sim10\text{‰}$)相近,具有典型的岩浆流体特征。根据以上结论得出,公婆泉铜矿成矿流体是由岩浆分异的具有中低温、低盐度以及低密度特征的流体。

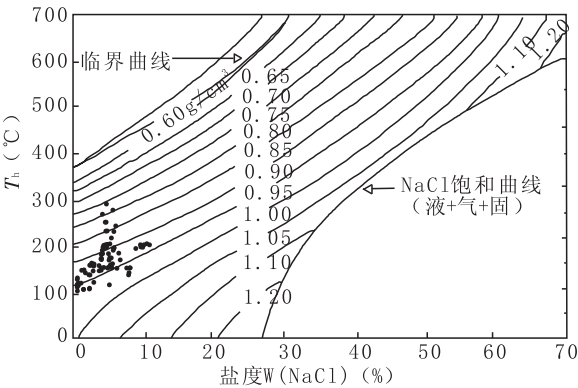


图 7 公婆泉铜矿流体包裹体 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系的 $T-W-\rho$ 相图(据 Bodnar, 1983)

Fig. 7 Phase diagram of $T-W-\rho$ for $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ system of fluid inclusions in Gongpoquan deposit

5.3 沸腾作用与成矿机制

关于公婆泉铜矿的矿床类型,前人(王大为,1995;游小毛,1999,2001;宋慈安,2003;聂凤军,2000;许荣科等,2011)认为矿区内斑岩岩浆来自于地幔,在上升、演化及侵位的过程中带来了大量的成矿物质 Cu 和 S;斑岩铜矿工业矿体主要赋存于斑岩岩体内,矿体产状与岩体产状一致,矿体与围岩界线呈渐变关系,并且具有典型的斑岩型铜矿的蚀变分带特征。与经典矿床学教材(袁见齐等,1987;翟裕生等,2011)相符。然而对于矿床的成矿机制及过程的论述尚显薄弱。

通过综合分析,笔者认为,公婆泉铜矿为典型的斑岩型矿床,其成矿机制与成矿过程如下:成矿流体从深部向地表上升时要经历一个降压过程,当围岩压降低到该流体的饱和气体压力时,就会产生沸腾,沸腾作用引起相的分离是金属沉淀的主要原因。(Pichavant et al.,1982)。

公婆泉地区斑岩岩浆在上升、侵位时带来了成矿物质 Cu、S,斑岩分异出成矿流体并沿着矿区早期构造断裂系统上升运移,由于压力突然释放造成原始流体发生减压沸腾导致相态分离,从而造成 Cu 发生沉淀。因此,减压沸腾可能是导致流体中金属卸载的主要原因。

6 结论

(1)公婆泉铜矿属于典型的斑岩型铜矿床,赋矿围岩主要为英安斑岩、花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩;围岩蚀变分带明显,以赋矿斑岩体为中心,向外依次主要可分为 3 个蚀变带:绢英岩化带、黑云母-石英-钾长石化带、青磐岩化带,蚀变带中均出现黄铁矿化。

(2)铜矿的含矿石英脉中广泛发育 4 类流体包裹体:纯气相包裹体(I 型)、纯液相包裹体(II 型)、原生富液相气液两相包裹体(III a 型)以及次生富液相气液两相包裹体(III b 型)。其中与成矿密切相关的是 III a 型包裹体均一温度集中在 100~260℃,盐度在 0.18%~9.98% NaCl_{eq},密度为 0.75~1.0 g/cm³。激光拉曼探针分析表明,液相成分以 H₂O 为主,气相成分以 H₂、N₂ 以及 CH₄ 为主。

(3)公婆泉铜矿成矿流体是由岩浆分异的具有中低温、低盐度以及低密度特征的流体。岩浆上升

侵位为铜矿富集奠定了物质基础。斑岩分异出成矿流体沿着早期断裂系统向上运移发生减压沸腾导致相态分离,从而造成 Cu 发生沉淀。因此,减压沸腾可能是导致流体中金属卸载的主要原因。

致谢:在野外及室内的工作中得到了中国地质调查局西安地质调查中心赵振明老师、王国强、过磊及卜涛的大力支持和帮助;中国地质调查局西安地质矿产研究所实验测试中心相关测试人员进行了辛勤劳作,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- 龚全胜,刘明强,梁明宏,等.北山造山带大地构造相及构造演化[J].西北地质,2003,36(1):11-17.
- GONG Quansheng, LIU Mingqiang, LIANG Minghong, et al. The tecton facies and tectonic evolution of Beishan orogenic belt, Gansu[J]. Northwestern Geology, 2003, 36(1):11-17.
- 江思宏,聂凤军,刘妍,等.北山公婆泉斑岩型铜矿床地球化学特征研究[J].地质地球化学,2002,30(2):25-33.
- JIANG Sihong, NIE Fengjun, LIU Yan, et al. Geochemical Features of The Gongpoquan Porphyry Copper Deposot in Beishan Area[J]. Geology Geochemistry, 2002, 30(2):25-33
- 左国朝,刘义科,刘春燕.甘新蒙北山地区构造格局及演化[J].甘肃地质学报,2003,12(1):1-15.
- ZUO Guochao, LIU Yike, LIU Chunyan. Framework and Evolution of The Tectonic Structure in Beishan Area Across Gansu Province, Xinjiang Autonomous Region and Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Acta Geologica Gansu, 2003, 12(1), 1-15
- 王大为,邹治平,李绍雄.甘肃公婆泉铜矿成矿地质特征及矿床成因[J].西北地质科学,1995,16(1):115-122
- WANG Dawei, ZOU Zhiping, LI Shaoxiong. On The Ore-forming Geological Features and Ore Deposit Genesis of Gonpoquan copper Deposit, Gansu Province[J]. Northwest Geoscience, 1995, 16(1):115-122.
- 芮宗瑶,黄崇珂,齐国明,等.中国斑岩铜(钼)矿床[M].北京:地质出版社,1984.
- RUI Zongyao, HUANG Chongke, QI Guoming, et al. Porphyry Mo(Cu) deposit of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.
- 芮宗瑶,李萌清,王龙生.从流体包裹体研究探讨金属矿床条件[J].矿床地质,2003,22(1):13-23.
- RUI Zongyao, LI Mengqing, WANG Longsheng. Approach

- to ore-forming conditions in light of ore fluid inclusions [J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(1): 13-23
- 许荣科, 鲁胜章, 李兴德, 等. 甘肃北山公婆泉铜矿矿集区成矿构造剖析及成矿预测[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(1): 93-101.
- XU Rongke, LU Shengzhang, LI Xingde, et al. Metallotectonic anatomy and metallogenic prognosis for ore-concentrated area of Gongpoquan copper deposit from Beishan area of Gansu Provicer[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(1): 93-101.
- 何养珍, 陈进平, 周继强. 甘肃公婆泉斑岩型铜矿床地球化学特征及找矿模式[J]. *桂林工学院学报*, 2000, 20(3): 232-237.
- HE Yangzhen, CHEN Jinping, ZHOU Jiqiang. Geochemical features and prospecting model of Gongpoquan porphyry-type copper deposit in Gansu[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2000, 20(3): 232-237.
- 戴霜, 任育智, 程彧, 等. 公婆泉铜矿岛弧型含矿斑岩地质地球化学特征[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(5): 100-107.
- DAI Shuang, REN Yuzhi, CHENG Yu, et al. The Ore-bearing Porphyry at Island-arc in The Gongpoquan Copper Deposit: Its geology and Geochemistry [J]. *Journal of Lanzhou University*, 2002, 38(5): 100-107.
- 张雨莲, 许荣科, 陕亮, 等. 北山公婆泉铜矿区域地质地球化学异常结构模式 [J]. *物探与化探*, 2009, 33(4): 401-406.
- ZHANG Yulian, XU Rongke, SHAN Liang, et al. Regional Geological Geochemical Structureal Model of The Gongpoquan Porphyry Copper Deposit in Beishan Area[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2009, 33(4): 401-406.
- 游小毛. 甘肃公婆泉铜矿地质特征及形成机制[J]. *华东地质学院报*, 2001, 24(1): 15-16.
- YOU Xiaomao. The Geological Characteristics and Metallogenic Mechanism of Gongpoquan Porphyry Copper Deposit in Gansu[J]. *Journal of East China Geological Institute*, 2001, 24(1): 15-16.
- 游小毛. 甘肃公婆泉铜矿区斑岩岩浆起源及成岩成矿大地构造背景[J]. *大地构造与成矿学*, 1999, 23(2): 167-171.
- YOU Xiaomao. Research on Magma origin and Minerogenetic Geotectonic Background of Porphyry in Gongpoquan Copper Ore District[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1999, 23(2): 167-171.
- 卢焕章, 郭迪江. 流体包裹体研究的进展和方向[J]. *地质论评*, 2000, 46(4): 385-392.
- LU Huanzhang, GUO Dijiang. Progress and Trends of Researches on Fluid Inclusions [J]. *Geological Review*, 2000, 46(4): 385-392.
- 宋慈安, 雷良奇, 杨启军, 等. 甘肃公婆泉铜矿矿化集中区火山岩的地球化学特征[J]. *桂林工学院学报*, 2003, 23(1): 18-25.
- SONG Cian, LEI Liangqi, YANG Qijun, et al. Geochemical characteristics in Gongpoquan copper mineralized province, Gansu[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2003, 23(1): 18-25.
- POTTER R W, CLYNNE M C. Solubility of Highly soluble Salts in Aqueous Media: Part1: NaCl, KCl, CaCl₂, Na₂SO₄, and K₂SO₄ Solubilities to 100°C[J]. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, 1978, 6: 701-705.
- BODNAR R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1993, 57(3): 683-684.
- ROEDDER, E. Fluid inclusions[J]. *Reviews in Mineralogy*, 1984, 12: 644.