

文章编号:1006-544X(2003)01-0018-08

# 甘肃公婆泉铜矿化集中区火山岩的地球化学特征

宋慈安<sup>1</sup>, 雷良奇<sup>1</sup>, 杨启军<sup>1</sup>, 王德润<sup>2</sup>, 杨云松<sup>2</sup>

(1. 桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004; 2. 甘肃有色地质勘查局, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 公婆泉铜矿化集中区产出中性—基性和中酸性两大类型火山岩. 前者稀土元素总量低, 轻度富集轻稀土, 弱钨亏损, 轻、重稀土分馏均不明显, 亲石元素的强不相容元素及 Ce, Sm 富集, 而 Nb, Ta 亏损, Th/Yb, Hf/Th, La/Ta, Ti/Zr 和 K\* 分别为 0.7~1.4, 1.3~1.6, 33~50, 34~83 和 14~20; 后者稀土元素轻稀土富集, 弱—强钨亏损, 轻稀土分馏较明显而重稀土分馏不明显, 强不相容元素富集, 而 Nb, P, Ti 等亏损, Ti/Zr, Hf/Nb 和 K\* 值分别为 38~50, 1.1~2.5 和 4.5~26. 它们属于岛弧型钙碱性玄武岩—安山岩—流纹岩产出的构造环境, 由地幔楔形源区玄武岩浆结晶分异演化形成. 各类火山岩特别是钾质中酸性火山岩中成矿元素 Cu 及其主要伴生元素 Au, Ag, Pb, Zn 和 As 等富集, 说明其受到了成岩后火山或次火山热液的叠加作用.

**关键词:** 地球化学特征; 火山岩; 铜矿化集中区; 甘肃

**中图分类号:** P584; P588.14

**文献标识码:** A<sup>①</sup>

## 1 地质背景

公婆泉矿化集中区地处甘肃省肃北蒙古族自治县马鬃山镇, 面积约 105 km<sup>2</sup>. 大地构造位置位于塔里木—中朝板块中段北缘过渡类型区破城山—鹰嘴红山大陆坡 (←~S)、岛弧 (S)、及洋缘火山带 (O<sub>2</sub>) 窑洞努如—公婆泉岛弧带东端公婆泉大山穹隆上<sup>[1-3]</sup>. 在志留纪, 北部的哈萨克斯

坦板块向南部塔里木—北山板块的俯冲作用, 造成了本区大规模火山弧火山岩及其有关矿床的形成<sup>[4,5]</sup>. 区内出露地层主要为中上志留统公婆泉群 (S<sub>2-3gn</sub>), 为一套浅海相火山沉积岩系 (表 1). 自加里东晚期、海西期至印支期岩浆活动频繁<sup>[6,7]</sup>. 矿床类型主要为次火山斑岩型, 次为火山热液型及火山沉积改造型铜矿.

表 1 公婆泉群火山沉积岩系层序和喷发旋回

Table 1 Volcano-sedimentary series sequence and volcano-eruption cycles of Gongpoquan group

层序	喷发旋回	岩石组合
上亚群	第 3 旋回	玄武安山质火山角砾岩、熔岩及凝灰岩夹薄层大理岩及生物碎屑灰岩
中亚群	第 2 旋回	粗安岩, 粗面岩, 流纹岩, 次英安斑岩, 花岗闪长斑岩
	第 2 亚旋回	安山岩, 英安岩, 流纹岩
	第 1 亚旋回	安山岩, 英安质火山角砾岩
下岩组	第 1 旋回	玄武岩, 玄武安山岩, 安山质火山集块角砾熔岩及凝灰岩
下亚群		安山质凝灰岩、硅质板岩、千枚岩

① 据甘肃冶金地质勘探公司四队, 甘肃省肃北县公婆泉铜矿评价报告, 1980.

① 收稿日期: 2001-12-30; 修订日期: 2002-08-14

基金项目: 国家计委“九五”科技找矿项目 (JG9471901)

作者简介: 宋慈安 (1948-), 男, 副教授, 地球化学专业.

## 2 岩石学特征

该区火山岩可分为中性—基性和中酸性火山岩两大类。

### 2.1 第 I 类型: 中性—基性火山岩

为玄武岩—玄武安山岩—玄武粗安岩—安山岩类。发育较广泛,区内各地均有分布,厚度亦较大。常产于中酸性火山岩的底部或与钠质火山岩呈互层状产出,为中晚志留世早期(第1旋回)或最晚期(第3旋回)的产物。其岩相自下而上,由火山集块岩、熔岩、凝灰岩、沉凝灰岩及含凝灰质的沉积岩到大理岩,形成完整的韵律。其中玄武岩、玄武安山岩及安山岩等熔岩,为深绿色—灰绿色,块状、杏仁状构造,交织状、斑状基质交织状结构。矿物成分主要由中长石—拉长石、单斜辉石及变质的钠长石、阳起石、绿泥石、绿帘石、方解石组成。绿片岩相变质强烈。

### 2.2 第 II 类型: 中酸性火山岩

该类型按钾钠含量比例又可分为钠质的、正常的和钾质的3个亚类。

(1) II-1 亚类: 钠质的中酸性火山岩。为钠质的粗安岩—英安岩—酸性火山岩类。主要发育于区内的中北部。形成于中基性火山喷发之后(第2旋回第1亚旋回),其岩相自下而上,由火山集块岩、火山角砾岩、熔岩、凝灰岩、沉凝灰岩、含凝灰质的各种砂岩、板岩到含赤铁矿硅质岩、铁矿层或不纯灰岩,形成完整的韵律。熔岩呈灰色或黑灰色,块状构造,斑状结构。斑晶含量约5%,主要为钠长石—奥长石;基质结构多样,如球粒玻质、微晶粗面、微晶交织等结构,主要由微晶长英质、赤铁矿、磁铁矿及少量角闪石、绿泥石、黑云母组成。岩石受变质程度较低。

(2) II-2 亚类: 正常的中酸性火山岩。为英安岩—流纹岩类。主要发育于区内的东北部,分布较少。形成于钠质火山岩之后(第2旋回第2亚旋回),无明显的岩相喷发韵律。岩石以熔岩为主,含有少量具碎裂角砾状构造的火山角砾岩。熔岩主要为流纹岩,流纹状构造及碎裂状构造,斑状结构。斑晶含量5%~10%,主要为奥长石;基质为微晶交织或玻璃结构,主要由微晶钾长石、玻璃质、粉尘状赤铁矿组成。这类岩石常为火山热液型铜矿的围岩,绿泥石、白云母、黄铁矿、

黄铜矿石英脉常沿其裂隙充填形成网脉状矿石。

(3) II-3 亚类: 钾质的中酸性火山岩。为钾质的粗安岩—英安岩—粗面英安岩—粗面岩—花岗闪长斑岩—次英安斑岩类,主要发育于区内中部特别是公婆泉斑岩型铜矿床地段。形成于钠质火山岩之后(第2旋回第3亚旋回),其岩相自下而上,由火山角砾岩、粗面质熔岩、粗面质凝灰岩到角岩化凝灰板岩和粉砂岩,形成完整的韵律。岩石呈灰色,块状构造,部分熔岩具杏仁构造,斑状结构。斑晶含量多达20%~50%,主要为钾长石及少量奥长石。基质为微晶或隐晶质结构,主要由隐晶长英质、微晶黑云母、磁铁矿、绿泥石组成。岩石普遍遭受青盘岩化。火山岩熔岩和凝灰岩分布区有花岗闪长斑岩和次英安斑岩等次火山岩的侵入,为斑岩型铜矿的主要含矿岩类。岩石为块状构造、斑状结构。斑晶含量20%~40%,主要为奥中长石、钾长石和石英;基质为细粒微晶(花岗闪长斑岩)或隐晶(次英安斑岩)结构,主要由长英质、黑云母及角闪石组成。岩石普遍遭受青盘岩化、黑云母化和硅化,矿化地段还受到强烈的钾长石化、次生石英岩化、绢云母—白云母化及电气石化等。

## 3 地球化学学特征

### 3.1 岩石化学

由表2、图1、图2和图3可见,本区的岩石化学具如下特征:(1)与中国(东部)大陆裂谷型玄武岩<sup>[8]</sup>相比,玄武岩的SiO<sub>2</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>明显偏高,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,FeO,Na<sub>2</sub>O和K<sub>2</sub>O明显偏低,而与岛弧靠外侧高铝玄武岩<sup>[9]</sup>的特征有点相似;与中国英安岩和粗面岩<sup>[10]</sup>相比,二者的SiO<sub>2</sub>均偏高,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和FeO偏低,而MgO和CaO前者偏低,后者偏高;与中国流纹岩<sup>[10]</sup>相比,流纹岩的MgO,CaO及Na<sub>2</sub>O偏高,FeO和K<sub>2</sub>O偏低。总体上SiO<sub>2</sub>变化幅度为47.07%~73.21%,基本属于钙碱系列变化范围。(2)FAM图解显示了火山岩的钙碱系分异趋势,即岩系成分变异线基本上是垂直FM边并指向A端的<sup>[11]</sup>,但MgO含量变化相对较大,而(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO)含量变化相对较小,故变异线较为平缓。(3)火山岩皮科克钙碱系数为57,属钙碱性岩系。(4)按 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ,

表2 火山岩岩石化学成分平均含量

Table 2 Chemical component mean contents in volcano rocks

 $w_B/\%$ 

序号	类型	岩性	样数	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 <sub>2</sub>
1		玄武岩	5	49.25	1.18	17.10	5.30	3.80	0.13
2		玄武集块熔岩	1	47.07	0.90	16.64	4.57	4.16	0.21
3	I	玄武凝灰岩	1	52.29	0.80	16.87	3.36	3.32	0.31
4		玄武粗安岩	2	50.23	0.68	20.71	2.48	4.43	0.18
5		平均	9	49.65	1.10	17.50	4.36	3.88	0.17
6		粗安岩	1	60.00	0.55	16.57	3.08	2.55	0.14
7		英安岩	1	66.65	0.85	14.20	3.48	1.14	0.05
8	II-1	粗面岩	2	67.13	0.95	14.98	3.08	0.88	0.10
9		流纹岩	3	73.21	0.57	13.21	1.65	0.72	0.04
10		平均	7	68.64	0.71	14.43	2.52	1.15	0.07
11		英安岩	2	66.35	0.81	11.92	3.28	0.79	0.10
12	II-2	流纹岩	2	71.36	0.58	12.61	2.64	0.51	0.05
13		平均	4	68.85	0.95	12.26	2.96	0.65	0.07
14		粗安岩	8	61.15	0.72	15.50	3.81	2.27	0.19
15		英安岩	1	64.23	0.87	14.84	3.06	1.51	0.13
16	II-3	粗面岩	2	67.96	0.53	14.33	2.06	1.96	0.15
17		次英安斑岩	2	63.38	0.77	15.69	4.52	0.89	0.10
18		花岗闪长斑岩	1	65.85	0.58	15.07	2.37	1.76	0.11
19		平均	14	64.00	0.69	15.07	3.36	1.64	0.17
序号	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	挥发分	合计	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>
1	7.82	8.75	3.32	0.80	0.14	1.62	0.68	99.89	0.12
2	6.78	12.35	2.71	1.40	0.21	1.98	0.65	99.63	0.08
3	8.95	6.91	4.11	0.48	0.01	1.89	0.26	99.56	0.13
4	5.86	5.03	4.46	1.17	0.16	3.39	0.78	99.56	0.20
5	7.59	8.35	3.28	0.88	0.17	2.05	0.64	99.62	0.16
6	3.31	2.95	4.56	2.05	0.11	2.49	1.19	99.55	0.26
7	2.03	3.35	6.24	0.13	0.26	0.27	0.64	99.29	0.31
8	0.99	2.22	6.90	0.50	0.22	1.03	0.54	99.52	0.16
9	0.41	1.95	6.32	0.32	0.11	0.37	0.75	99.63	0.11
10	1.22	2.41	6.22	0.59	0.16	0.85	0.84	99.81	0.18
11	0.55	5.88	4.11	2.22	0.21	0.84	2.11	99.17	0.30
12	0.37	2.32	3.85	3.49	0.11	0.47	1.12	99.48	0.21
13	0.46	4.10	3.98	2.85	0.16	0.65	0.66	99.60	0.26
14	1.55	2.66	1.56	7.63	0.17	1.94	0.62	99.77	0.21
15	1.14	4.28	2.69	3.62	0.17	1.95	1.09	99.58	0.35
16	1.23	1.84	1.44	6.57	0.10	0.97	0.51	99.65	0.24
17	1.33	2.69	2.34	4.92	0.16	1.61	0.69	99.09	0.42
18	1.79	3.34	2.46	4.02	0.12	1.50	0.60	99.57	0.15
19	1.55	2.71	1.80	6.54	0.15	1.47	0.65	99.80	0.21

测试单位: 中国科学院高能物理研究所技术应用部地质组,1996.

基性火山岩主要属钠质火山岩,中酸性火山岩明显可分为钠质的、正常的和钾质的火山岩.

### 3.2 稀土元素

由表3、图4可见:(1)中基性火山岩稀土总量、轻稀土富集及铈亏损程度和配分曲线向右倾斜程度均低于中酸性火山岩,具明显低总量、轻度富集轻稀土、弱铈亏损、近平坦型配分曲线及

轻重稀土分馏均不明显的特征,与岛弧玄武岩极为相似.(2)中酸性火山岩均具有不同程度的轻稀土富集、铈亏损、配分曲线右倾斜及轻稀土分馏较明显而重稀土分馏不明显的特征,与岛弧安山岩相似<sup>[12,13]</sup>.(3)从钠质→正常→钾质中酸性火山岩轻稀土富集程度增大,轻稀土富集与岩石K含量呈明显的正比关系;铈亏损程度除钠质中

酸性火山岩中英安岩和流纹岩外较为明显外，其它岩石类型属弱—中等亏损。(4) 钾质中酸性火山岩同侵入其中的含矿的次英安斑岩和花岗闪长斑岩稀土分配型式极为相似，它们应属于同一时期不同阶段岩浆分异的产物。

### 3.3 亲石元素

由表4、图5可见：(1) 中基性火山岩的亲石元素各特征值均符合岛弧钙碱性玄武岩判别指标，比值蛛网图也表现出火山弧玄武岩的强不相容元素(大离子亲石元素) Sr, K, Rb, Ba 和 Th 富集

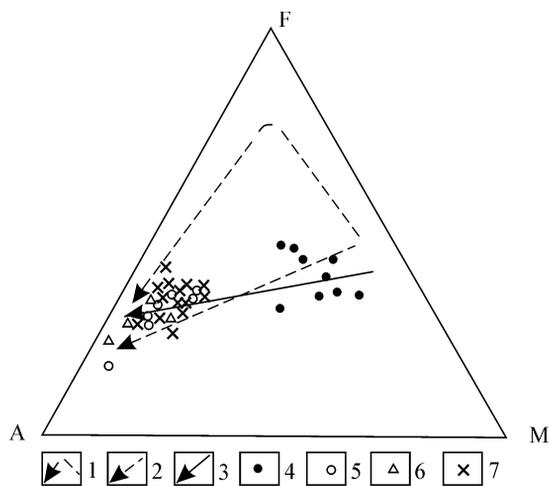


图1 火山岩 FAM 图解

Fig. 1 FAM diagram in volcano rocks

1—拉斑系 (TH) 分异趋势；2—钙碱系 (CA) 分异趋势 (1, 2 据文献 [11])；3—本区火山岩分异趋势；4—I 类型火山岩投影点；5—II - 1 类型火山岩投影点；6—II - 2 类型火山岩投影点；7—II - 3 类型火山岩投影点

的大隆起和 Ce, Sm 富集的小隆起，而非活动性元素 Nb、Ta 亏损的特征。(2) 中酸性火山岩的亲石元素特征值基本符合岛弧安山岩—流纹岩判别指标，比值蛛网图也表现出火山弧安山岩—流纹岩的强不相容元素(除 Sr) 的富集，而 Ti, P, Nb 亏损的特征。地幔楔形区形成的玄武质岩浆钙钛矿、榍石和磷灰石等矿物的结晶分异导致其残余中酸性岩浆中 Ti, P 的亏损, Nb 的亏损则可能是原始玄武质岩浆自身就亏损的缘故<sup>[13]</sup>。因此，本区中基性火山岩和中酸性火山岩的形成是来自同一岩浆源——地幔楔形源区玄武质岩浆结晶分异演化的结果。(3) K\* 值反映出无论是中基性还是中酸性火山岩均表现出与削减作用有联系的 K 富集型岛弧火山岩的特征，其中钾质中酸性火山岩富 K 更为强烈。(4) 钾质中酸性火山岩同侵入其中的含矿次英安斑岩和花岗闪长斑岩亲石元素比值蛛网图极为相似，也说明它们应属于同一时期不同阶段岩浆分异的产物。

### 3.4 成矿及其伴生元素

由表5可见，各类火山岩中成矿元素 Cu 及其主要伴生元素 Au, Ag, Pb, Zn 和 As 等相对于区域志留系沉积—火山岩系都有不同程度的富集，说明该区火山岩系上述元素相对于区域形成了一个高的背景，是成矿的有利地区。各类火山岩中成矿元素在钾质中酸性火山岩中富集最为明显，说明这套岩石同成矿的关系最为密切。另外，对

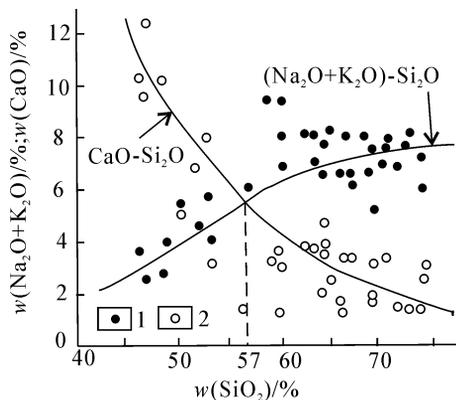


图2 火山岩钙碱系数图

Fig. 2 Diagram of calc - alkaline index in volcano rocks

1—(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) - SiO<sub>2</sub> 投影点；2—CaO - SiO<sub>2</sub> 投影点

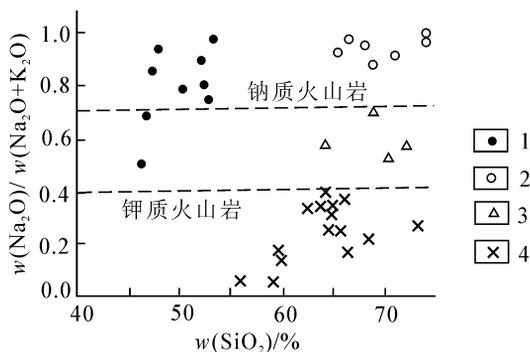


图3 火山岩 Na<sub>2</sub>O / (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) 比值分类

Fig. 3 Sorts of Na<sub>2</sub>O / (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) ratio in volcano rocks

1—I 类型火山岩；2—II - 1 类型火山岩；3—II - 2 类型火山岩；4—II - 3 类型火山岩

表3 火山岩稀土元素(平均值)的特征值<sup>①</sup>

Table 3 Eigenvalue of rare - earth elements (mean content) in volcano rocks

类型	岩性	样数	ΣREE <sup>②</sup>	ΣCe	ΣY	ΣCe/ΣY	La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	La <sub>N</sub> /Lu <sub>N</sub>	δ(Eu) <sup>③</sup>
I	中基性火山岩	7	39.89	33.87	6.02	6.62	2.90	3.03	0.87
II-1	钠质中酸性火山岩	6	74.56	65.83	8.73	7.54	5.55	6.05	0.60
II-2	正常中酸性火山岩	4	130.83	118.81	12.02	9.13	5.58	5.66	0.81
II-3	钾质中酸性火山岩	10	104.74	97.36	7.38	13.19	6.45	7.81	0.68

① 测试单位: 同表2; ② 元素含量单位 10<sup>-6</sup>; ③ δEu = Eu<sub>N</sub>/[(Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2]. N 为球粒陨石标准化, 球粒陨石元素丰度据文献[14].

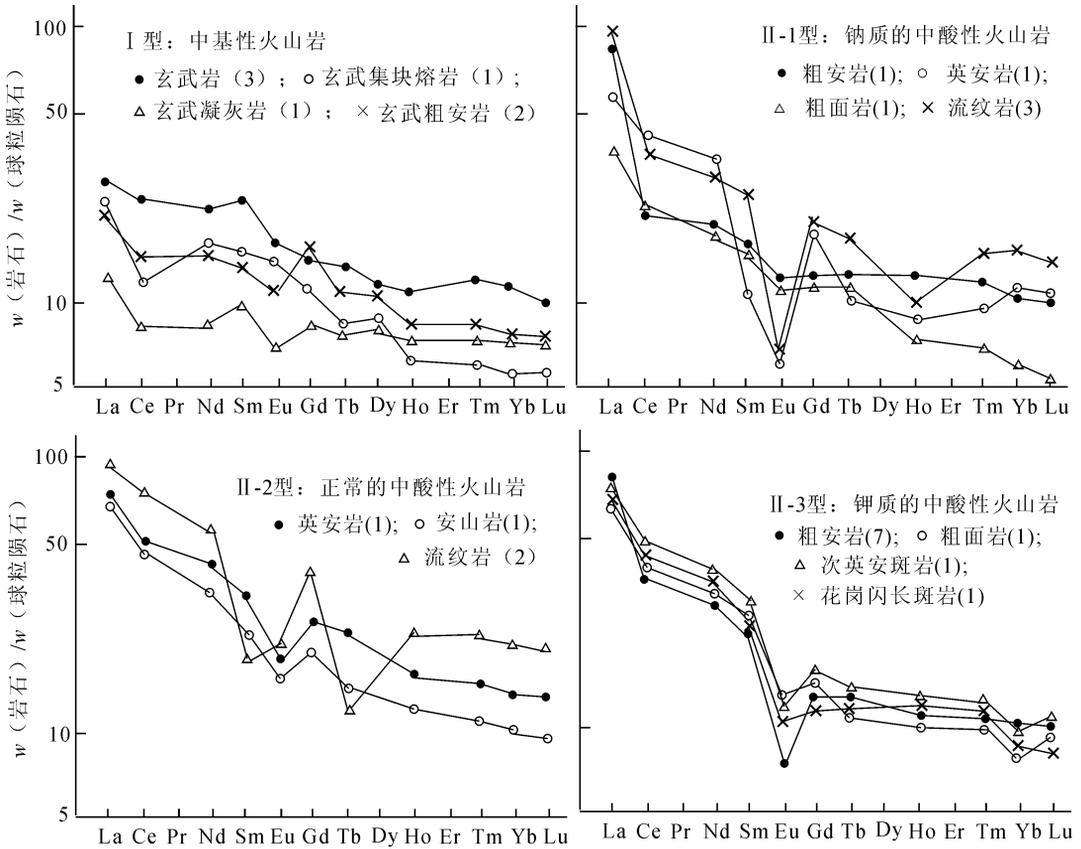


图4 火山岩球粒陨石标准化稀土分配型式

Fig. 4 Chondrite - normalized REE patterns in volcano rocks

注: 图中各岩石后面括号中的数据为样品个数

表4 火山岩亲石元素(平均值)的特征值<sup>①</sup>

Table 4 Eigenvalue of lithophile elements (mean content) of volcano rocks

类型	岩性	样数	Th/Yb	Hf/Th	La/Ta	Ti/Zr	Hf/Nb	K* <sup>②</sup>
I	中基性火山岩	7	0.7 ~ 1.4	1.3 ~ 1.6	33 ~ 50	34 ~ 83		14 ~ 20
II-1	钠质中酸性火山岩	6				41 ~ 50	1.7 ~ 2.0	4.8 ~ 12.6
II-2	正常中酸性火山岩	4				38 ~ 43	1.1 ~ 2.1	4.5 ~ 9.7
II-3	钾质中酸性火山岩	10				45 ~ 52	1.7 ~ 2.5	11 ~ 26
岛弧钙碱性玄武岩 <sup>③</sup>			>0.3	<8.0	≤50	<85		>2.8 <sup>④</sup>
岛弧安山岩						40 ~ 50	1.0 ~ 3.0	

① 测试单位和元素含量单位同表2; ② K\* = K<sub>N</sub>/[(Ta<sub>N</sub> + La<sub>N</sub>)/2], N 为原始地幔标准化(原始地幔元素丰度据文献[15]); ③ 岛弧钙碱性玄武岩和安山岩的判别指标<sup>[16]</sup>; ④ 岛弧钙碱性玄武岩的判别指标<sup>[13]</sup>.

元素在火山岩中概率分布特征研究表明, 成矿元素 Cu 及 Au, Ag, Pb, Zn 和 As 在各类岩石中的含量均以不同程度的偏度和峰度呈偏对数正态或双峰式分布, 尤以钾质中酸性火山岩最为明显, 说明这些元素在成岩后都有一定程度的叠加<sup>[18]</sup>, 是成岩后火山或次火山热液作用的结果。

## 4 结 论

(1) 公婆泉矿化集中区产出中基性和中酸性两大类型火山岩。中基性火山岩为玄武岩 - 玄武安山岩 - 玄武粗安岩 - 安山岩类; 中酸性火山岩

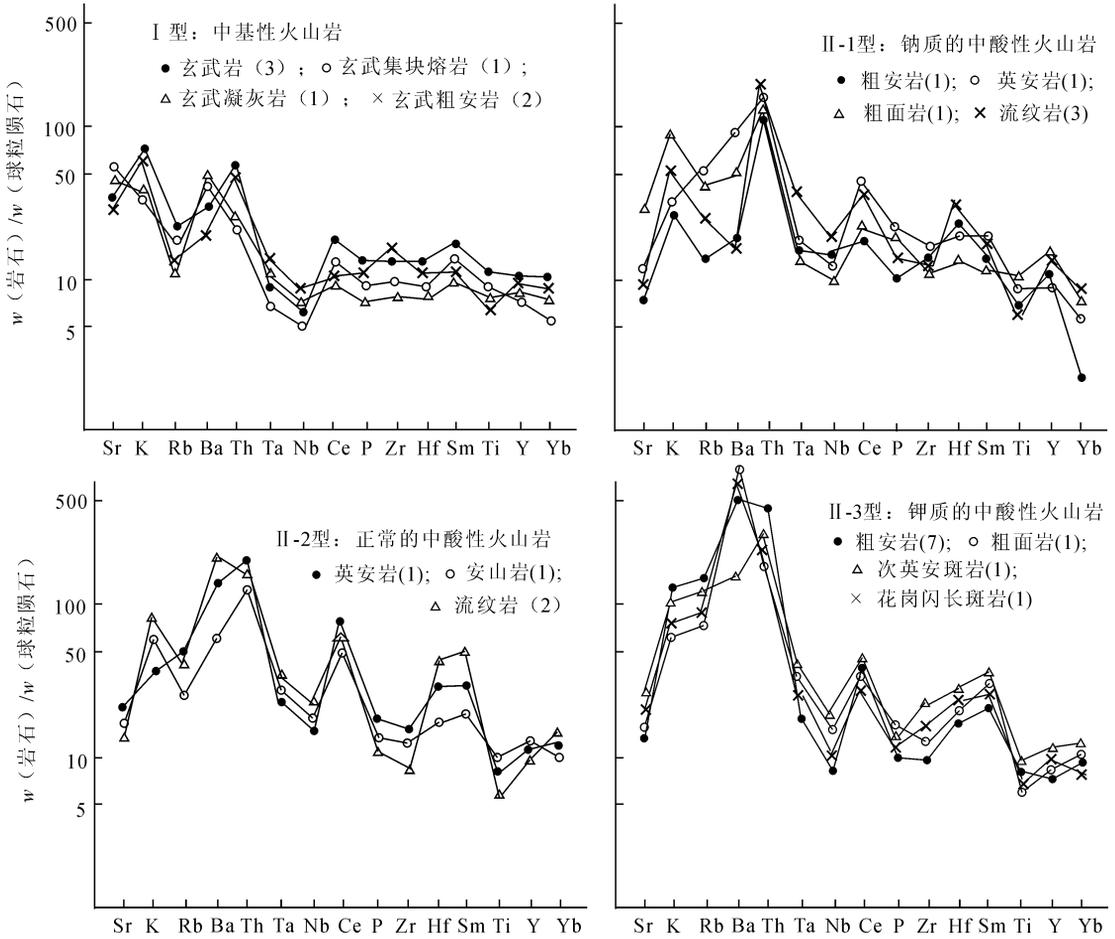


图 5 火山岩球粒陨石标准化亲石元素蛛网图

Fig. 5 Cobweb diagram of chondrite - normalized lithophile elements in volcano rocks

注: 图中各岩石后面括号中的数据为样品个数

表 5 火山岩成矿及其伴生元素的平均含量<sup>①</sup>

Table 5 Mean content of metallogenic and associated elements in volcano rocks

序号 <sup>②</sup>	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Mo	Bi	Sn	W	B	Cr	Co	Ni
1	3.90	0.38	147	35	117	10.8	1.07	0.37	1.47	0.81	11	82	20	35
2	1.76	0.31	102	23	74	6.3	0.85	0.31	1.45	1.17	9	25	11	13
3	1.14	0.19	55	63	137	7.1	0.36	0.31	1.42	1.94	9	27	10	12
4	2.28	0.61	200	255	203	6.6	1.21	0.30	1.73	2.17	7	36	10	12
5	0.66	0.08	36	21	97	5.2	0.55	0.31	1.82	1.68	13	120	19	29

$w_B / 10^{-6}$

① 测试单位: 桂林矿产地质研究院测试分析中心, 1996; ② 1— I 型中基性火山岩 (包括玄武岩、玄武粗安岩、玄武安山岩、玄武集块熔岩、玄武凝灰岩和玄武安山质火山角砾岩共 36 件); 2— II - 1 型钠质中酸性火山岩 (包括粗安岩、英安岩、粗安岩、安山质英安岩火山角砾岩及流纹岩共 29 件); 3— II - 2 型正常中酸性火山岩 (包括英安岩、安山岩、流纹岩共 21 件); 4— II - 3 型钾质中酸性火山岩 (包括粗安岩、粗面岩及石英粗面岩 23 件); 5— 区域志留系火山岩系<sup>[17]</sup>

分为钠质的(钠质的粗安岩-英安岩-酸性火山岩类)、正常的(英安岩-流纹岩类)和钾质的(钾质的粗安岩-英安岩-粗面英安岩-粗面岩-花岗闪长斑岩-次英安斑岩类)中酸性火山岩3个亚类。

(2) 火山岩总体上  $\text{SiO}_2$  变化幅度为 47.07%~73.21%, FAM 图解中岩系成分变异线基本上垂直 FM 边并指向 A 端, 皮科克钙碱系数为 57, 故本区火山岩属于钙碱性岩系。按  $w(\text{Na}_2\text{O}) / (w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}))$ , 基性火山岩主要属钠质火山岩, 中酸性火山岩明显可分为钠质的、正常的和钾质的火山岩。

(3) 中基性火山岩稀土元素总量低, 轻度富集轻稀土, 弱铕亏损, 分配曲线为近平坦型, 轻重稀土分馏均不明显; 亲石元素比值蛛网图表现为 Sr, K, Rb, Ba, Th, Ce, Sm 富集, 而 Nb, Ta 亏损; Th/Yb 为 0.7~1.4, Hf/Th 为 1.3~1.6, La/Ta 为 33~50, Ti/Zr 为 34~83,  $K^*$  为 14~20。中酸性火山岩稀土元素轻稀土富集, 弱-强铕亏损, 分配曲线右倾斜, 轻稀土分馏较明显而重稀土分馏不明显; 亲石元素比值蛛网图表现为强不相容元素(除 Sr)的富集而 Nb, P, Ti 等亏损; Ti/Zr 为 38~50, Hf/Nb 为 1.1~2.5,  $K^*$  值为 4.5~26。以上特征说明本区中基性和中酸性火山岩属于岛弧型钙碱性玄武岩-安山岩-流纹岩产出的构造环境, 它们的形成是来自地幔楔形源区玄武岩浆结晶分异演化的结果。

(4) 钾质中酸性火山岩同侵入其中的含矿次英安斑岩和花岗闪长斑岩稀土分配型式和亲石元素蛛网图极为相似, 它们应属于同一时期不同阶段岩浆分异的产物。

(5) 各类火山岩特别是钾质中酸性火山岩中成矿元素 Cu 及其主要伴生元素 Au, Ag, Pb, Zn 和 As 等相对于区域志留系沉积-火山岩系富集, 其含量呈偏对数正态或双峰式概率分布, 说明本区这些元素受到了成岩后火山或次火山热液的叠加作用。

## 参考文献:

[1] 左国朝, 何国琦. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京

大学出版社, 1990. 3-20.

- [2] 左国朝, 金松桥, 冯铁全. 甘肃婆婆泉地区志留纪弧盆体系前寒武纪基底的发现及找矿意义[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 104-114.
- [3] 王大为, 邹治平, 李绍雄. 甘肃婆婆泉铜矿地质特征及矿床成因[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 115-122.
- [4] 王大为. 甘肃婆婆泉地区铜矿成矿地质条件与找矿预测研究(85-901-02-3-2 专题)[R]. 兰州: 甘肃有色地质勘查局, 1994.
- [5] 代双儿. 甘肃北山地区海相火山岩及其与铜多金属矿成矿关系研究(85-901-02-01 专题)[R]. 兰州: 甘肃有色地质勘查局, 1995.
- [6] 唐治乾. 甘肃婆婆泉铜矿古火山口控矿特征及其找矿意义[J]. 矿产与勘查, 1990, (6): 11-16.
- [7] 唐治乾. 甘肃婆婆泉地区铁铜矿床类型及成矿条件分析[J]. 西北地质, 1991, 12(2): 34-38.
- [8] 赵宗溥. 中国东部新生代玄武岩类岩石化学之研究[J]. 地质学报, 1956, 36(3): 316-359.
- [9] Kuno H. High-alumina Basalt[J]. J. Petrol., 1960, (1): 32-58.
- [10] 黎彤, 饶纪龙. 中国岩浆岩平均化学成分[J]. 地质学报, 1963, 43(3): 271-280.
- [11] Handman D W. Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks [M]. New York: McGraw-Hill Book Co. 1972. 129-134.
- [12] 袁忠信. 稀土元素及其在岩石成因研究上的应用简介[J]. 国外地质参考资料, 1981, (20): 1-13.
- [13] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 44-57.
- [14] Thompson R N. Magmatism in the British Tertiary volcanic province[J]. Scott. J. Geol., 1982, 18: 49-107.
- [15] Wood D A. A variably veined suboceanic upper mantle - genetic significance for midocean ridge basalts from geochemical evidence[J]. Geology, 1979, 7: 499-530.
- [16] Condie K C. Geochemical changes in basalts and andesites across the archaean - proterozoic Boundary: identification and significance[J]. Lithos, 1989, 23: 1-18.
- [17] 宋慈安, 雷良奇, 杨启军, 等. 甘肃婆婆泉铜矿区植物地球化学特征[J]. 地球化学, 2000, 29(4): 343-350.
- [18] 於崇文, 骆庭川, 鲍征宇, 等. 南岭地区区域地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 29-30, 52-55.

## Geochemical characteristics in Gongpoquan copper mineralized province, Gansu

SONG Ci-an<sup>1</sup>, LEI Liang-qi<sup>1</sup>, YANG Qi-jun<sup>1</sup>, WANG De-run<sup>2</sup>, YANG Yun-song<sup>2</sup>

(1. Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China ; 2. Gansu Nonferrous Metal Geoexploration Bureau, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** There are two types of rock series of neutral-basic and neutral-acidic volcanic rock in Gongpoquan copper areas. The neutral-acidic volcanic rocks are divided into three subtypes of sodal, normal and calic volcanic rock. In the neutral-basic volcanic rocks, the rare-earth elements are characterized by lower gross, little rich in light rare-earth elements, while light loss Eu, near plainness distribute curve and light and heavy rare-earth elements are all not evident to fractionation. The lithophile elements are characterized by in rich strong not consistent elements of Ce, Sm but loss Nb, Ta at cobweb diagram, and Th/Yb, Hf/Th, La/Ta, Ti/Zr and  $K^*$  are separately 0.7 ~ 1.4, 1.3 ~ 1.6, 33 ~ 50, 34 ~ 83 and 14 ~ 20. In the neutral-acidic volcanic rocks the rare-earth elements are characterized by rich light rare-earth, light—strong loss Eu, right incline distribute curve, and light rare-earth elements are evident but heavy rare-earth elements not evident to fractionation. The lithophile elements are characterized by rich strong not consistent elements (except Sr) but loss Nb, P, Ti at cobweb diagram, and Ti/Zr, Hf/Nb and  $K^*$  are separately 38 ~ 50, 1.1 ~ 2.5, 4.5 ~ 26. The formation of two types of volcanic rock in this province may be considered to be a result of crystallization-differentiation and evolution for basalt-magma which comes from mantle cuneiform section and is regarded as an island curve construction circumstance producing calc-alkaline basalt-andesite-liparite. The distribution pattern of REE and the cobweb diagram of lithophile elements of calic neutral-acidic volcanic rock are very similar to those of hypodacite-porphyry and granodiorite-porphyry. All volcanic rocks, especially calic neutral-acidic volcanic rock, show an obviously rich in metallogenetic element of Cu and associated Au, Ag, Pb, Zn and As etc. as compared with sedimentary-volcano series of regional Silurian system. Their contents are characteristic of leaning lognormal or bimodal probability distribution. This explains that the volcanic rocks get these elements from volcanic or subvolcanic hydrothermal superposition after they have been formed.

**Key words:** geochemical character; volcanic rock; copper; Gansu