

安徽沙溪斑岩铜(金)矿床矿化小 岩体的形成条件^①

任启江 邱检生 徐兆文 张重泽
方长泉 杨荣勇

(南京大学地球科学系)

内容提要:各种数据资料证明沙溪斑岩铜(金)矿床成矿物质主要来自岩浆热液。矿化斑岩体的特征应包括与矿化有一定内在联系的岩体的各种特点,特别是岩浆期后热液活动的特点。根据岩体的形态、产状和形成方式,岩浆体系的物理化学性质,以及岩浆期后热液活动的特征,推断矿化斑岩体形成的充分且必要条件是:岩浆-热液体系极端远离平衡态;岩浆-热液体系的物理化学性质使其能够提供足够的成矿物质;岩浆热液体系具有半封闭性,一方面不断与环境(岩浆源、围岩、地下水)进行物质与能量交换,另一方面成矿物质又要相对集中不被逸散。

主题词:斑岩铜(金)矿床 岩浆热液 矿化斑岩 非平衡态

我国的斑岩铜矿可在三种不同的热液系统中形成,即地下水为主导的热液体系,岩浆流体—地下水对流体系和岩浆热液体系^[1]。安徽沙溪斑岩铜(金)矿床是岩浆热液成矿的典型矿例,对沙溪含矿斑岩体特征及其形成条件的研究具有一定的理论和实际意义。

沙溪斑岩铜(金)矿床位于庐枞盆地外缘,地处郯庐断裂带内,在郯庐断裂西界断层罗

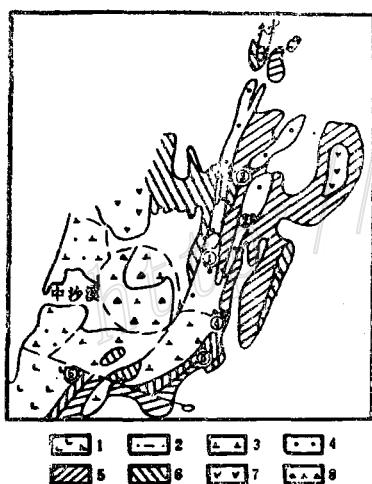


图 1 沙溪地区地质略图

(参照董树文原图增改)

1—辉石闪长岩; 2—角闪闪长玢岩; 3—闪长玢岩; 4—石英闪长斑岩; 5—J₁-J₃沉积岩; 6—S₁-S₂沉积岩; 7—中生代火山岩; 8—次火山闪长玢岩; ①—铜泉山; ②—凤台山; ③—棋盘山; ④—龙头山; ⑤—断龙颈; ⑥—菖蒲山

Fig1. Sketch geological map of Shaxi area.

1—Pyroxene diorite; 2—Amphibole diorite porphyrite;
3—Diorite porphyrite; 4—Quartz diorite porphyry;
5—J₁-J₃ sedimentary rocks; 6—S₁-S₂ Sedimentary rocks;
7—Mesozoic volcanic rocks; 8—Subvolcanic diorite
porphyrite; ①—Tongquanshan; ②—Fengtaishan;
③—Qipanshan; ④—Longtoushan; ⑤—Duanlongjing;
⑥—Changpushan.

河—裴岗断裂以西,主干断裂以东。矿区内出露地层有石炭系高家边组、坟头组碎屑岩,下

① 国家自然科学基金资助课题

侏罗统磨山组及中侏罗统罗岭组沉积碎屑岩，上侏罗统龙门院组火山岩及白垩系杨湾组和宣南组砂砾岩（图1）。矿石为细脉浸染状，矿体局限于岩枝状闪长玢岩—石英闪长斑岩小岩体附近，具明显的矿化蚀变分带性（类似于闪长岩模式）。规模为中型，伴生金可综合利用，矿石中贫钼，是产于大陆内部断裂活动带中的斑岩铜（金）矿床^①。

一、岩浆热液成矿的证据

沙溪斑岩铜（金）矿床成矿物质主要来源于岩浆流体的直接和间接证据如下：

1. 矿化严格受特殊的侵入岩相控制：根据大量的野外和室内工作，我们初步确定沙溪一带的岩枝状中性侵入杂岩体是11次侵入活动的产物，其形成过程十分复杂，与斑岩铜（金）矿化有关的主要是石英闪长斑岩，90%的工业矿体均局限于石英闪长斑岩内，呈细脉浸染状出现，其余10%的工业矿体也局限于这类岩体附近，远离石英闪长斑岩则矿化消失，其他类型侵入岩与矿化无直接的关系（表1）。

表 1 沙溪地区侵入岩顺序
Table 1. Intrusive sequence of various intrusive rocks in Shaxi area

侵入顺序	岩石类型	确定顺序的依据	与成矿关系
	黑云母辉石闪长岩	根据矿物成分、结构构造特征及被其他岩体穿插，推测其形成最早	成矿前
早 晚	斑状石英闪长岩	该岩体自中心向边缘岩相有变化，中心部位为等粒结构，斑晶稀少，向边缘斑晶增多，黑云母斑晶含量增加，过渡为黑云母闪长斑岩，从沙溪61线剖面上，可看出其侵位早于石英闪长斑岩	略早于成矿期
	石英闪长斑岩	穿插并包裹石英闪长岩	成矿期与成矿关系密切
	中斑角闪闪长玢岩	穿插并包裹石英闪长岩	略晚于成矿期
	粗斑闪长玢岩	从蚀变特征判断，其生成晚于石英闪长斑岩、矿化弱	略晚于成矿期
	中斑闪长玢岩	见呈脉状穿插并包裹石英闪长斑岩，破坏矿体	成矿后
	侵入角砾岩及爆发侵入角砾岩	角砾成分中有前述各类侵入岩，胶结物为闪长玢岩类	成矿后
	细斑闪长玢岩	与石英闪长斑岩呈侵入接触，晚于侵入角砾岩	成矿后
	黑云母二长斑岩	呈岩舌状穿插石英闪长斑岩，蚀变弱，无矿化	成矿后
	脉岩	穿插于各类侵入体中，基性岩脉，早于酸性岩脉	成矿后

2. 工业矿体赋存部位与钾硅酸盐蚀变带或钾硅酸盐+青磐岩叠加蚀变带一致，在石英绢云母化带及青磐岩化带无工业矿体（图2），此与德兴和多宝山斑岩铜矿不同。从国内外已发表的成矿流体氢、氧同位素数据可知，钾硅酸蚀变主要由岩浆流体作用所致，这与成矿实验和理论推导的结果完全吻合（Burnham, 1979）。

3. 根据对矿脉中石英及石英中流体包裹体氢、氧、碳同位素组成分析结果（表2），当热液温度为320—380℃时， $\delta D_{H_2O}(SMOW)$ 为-72—-82‰， $\delta^{18}O_{H_2O}(SMOW)$ 为4—

① 南京大学地球科学系，1990，庐枞地区铜、硫、金矿床成矿预测，七五科技攻关专题报告

4.64‰, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -5.27—6.53‰, 与该温度下的岩浆流体的同位素组成基本一致。岩浆

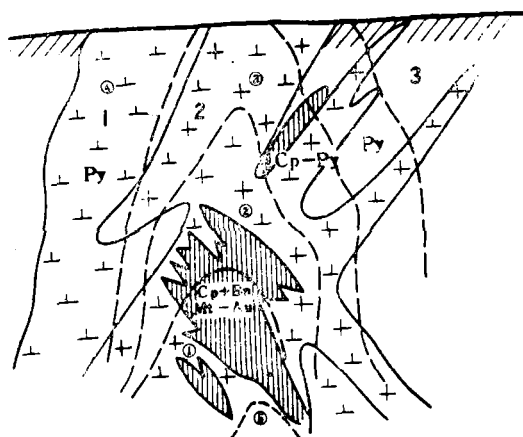


图 2 沙溪矿床蚀变分带模式图

1—闪长岩; 2—石英闪长斑岩; 3—砂页岩; ①—钾硅酸盐化带;
②—钾硅酸盐-青磐岩化叠加带; ③—石英绢云母化带; ④—青
磐岩化带; ⑤—钠-更长石带; Cp—黄铜矿; Py—黄铁矿; Mt—
磁铁矿; Bn—斑铜矿

Fig. 2. Alteration zoning model for the Shaxi ore deposit
1—Diorite; 2—Quartz diorite porphyry; 3—Sandstone-shale;
①—Potash silicate alteration zone; ②—Superimposed potash
silicate propylitic zone; ③—Phyllic zone; ④—Propylitic
zone; ⑤—Albite oligoclase zone. Cp—Chalcopyrite; Py—Pyrite;
Mt—Magnetite; Bn—Bornite.

流体若与石英达到同位素平衡, 则在该温度下的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值应为 4—5.3‰左右, 视初始流体的氧同位素组成而定。

4. 根据对矿区蚀变岩全岩氧同位素测试结果, 进行了水/岩比值计算, 只有假定初始水为岩浆水, 才能计算出水/岩比值为正值, 得到合理的结果。反之, 若成矿热液系天水或以天水为主, 则不可能出现表 3 所列的蚀变岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 计算出的水/岩比值将全部为负值, 得到不合理的结果。水/岩比值计算公式:

$$\text{水/岩石} = \frac{\delta_{\text{岩}}^* - \delta_{\text{岩}}^{\text{初}}}{\delta_{\text{水}}^* - \delta_{\text{水}}^{\text{初}}}$$

(Taylor, 1979)

($\delta_{\text{岩}}^{\text{初}}$ 值为庐枞地区 15 个闪长岩和正长岩 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值 7.64‰, $\delta_{\text{水}}^* = 4.63$

—1.10‰, 按蚀变带选取相近的石英脉体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值, $\delta_{\text{水}}^{\text{初}} = 7\text{‰}$)

表 2 沙溪矿区石英的氢、氧、碳同位素组成(‰)

Table 2. Hydrogen, oxygen and carbon isotopic composition of quartz and its fluid inclusions in Shaxi ore district (in ‰)

矿化期	样号	取样位置	矿物组合	矿物	温度 (°C)	矿物 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	包裹体水 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$	包裹体 CO_2 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	计算平衡水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
成矿期	Sx-175	ZK205, 520m	Py-Mu-Qz	Qz	320	10.24			4.03
	Sx-320	ZK901, 504.1m	Cp-Py-Qz	Qz	380	9.16			4.64
	Sx-128	ZK107, 456.1m	Mo-Cp-Qz	Qz	340	9.59			4.00
	Sx-214-1	ZK501, 420m	Bn-Cp-Qz	Qz	360	9.08	-72	-6.53	4.04
	Sx-313	ZK901, 481.9m	Cp-Py-Bn-Qz	Qz	320		-82	-5.27	
成矿后	Sx-306	ZK901, 464.1m	Gy-Py-Qz	Qz	300	7.99			1.10

测试单位: 南京大学地球科学系中心实验室 注: Mo—辉钼矿、Gy—石膏、Mu—硬石膏, Qz—石英, 其余矿物代号与图 2 同

5. 沙溪矿床中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 -0.8—+3.9‰, 接近陨硫硫的特征, 用矿物平衡分馏体系图解法 (Pickney, 1976; Field, 1976), 求得沙溪矿床成矿流体总硫的 $^{34}\text{S}_{\text{SS}}$ 值为 1.3‰, 表明硫来自深部均一硫源, 此亦不与成矿流体以岩浆热液为主相矛盾。

表3 沙溪矿区蚀变岩全岩氧同位素组成及热液体系水/岩比值
Table 3. Oxygen isotopic composition of whole altered rocks and water/rock ratios
of hydrothermal system in Shaxi ore district

蚀变带	样号	取样位置		全岩 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ (‰)	水/岩比值计算结果	
		钻孔号	深度(m)		初始水为岩浆水	初始水为天水
青磐岩化带	Sx-255	ZK903	227	9.40	0.30	—
石英-绢云母化带	Sx-095	ZK104	135	8.31	0.20	—
	Sx-191	ZK502	462	9.30	0.55	—
	Sx-220	ZK504	376	9.60	0.20	—
	Sx-431	ZK1305	64	8.51	0.65	—
钾硅酸盐-青磐岩 化叠加蚀变带	Sx-309	ZK101	415	11.56	1.63	—
	Sx-125	ZK107	397	9.56	0.80	—
	Sx-227	ZK501	490	8.66	0.43	—
	Sx-447	ZK1305	341	9.84	0.92	—
	Sx-087	ZK105	430	8.93	0.54	—
钾硅酸盐化带	Sx-041	ZK101	506	10.54	1.20	—
	Sx-065	ZK103	331	10.81	1.32	—
	Sx-454	ZK1305	450	9.89	0.94	—
	Sx-461	ZK1305	506	9.10	0.61	—

测试单位: 南京大学地球科学系中心实验室

6. 近矿体处出现总面积达7km²的铜的正异常, 在其外围尚无铜的“负异常”晕发现。

二、矿化岩体的特征及其形成条件

矿化岩体特征不仅包括岩体的矿物-岩石-地球化学特征, 而且还应考虑其规模、形态、产状、侵位方式以及岩浆期后热液活动的主要特点, 只有根据这些综合特征才能认识矿化斑岩体的形成条件和成矿机制。

(一) 岩体的形态、产状和侵位方式 与矿化有关的中性杂岩体为一近SN向的岩枝, 长约7km, 宽约0.2—0.7km(图1)。按地质和重、磁资料, 在岩枝的南端有一隐伏的岩株, 位于福泉山—凤台山—中沙溪之间, 其轴向为NE—NNE向, 面积约为5—8km²。在中沙溪以南的菖蒲山一带的大岩体轴向为NNW向(面积约10—12km²), 似与矿化无直接成因联系, 矿化斑岩具有上小下大的特殊形态(图3), 此与德兴斑岩铜矿矿化岩体产状、形态可相类比。

矿化有关杂岩体沿J₁—J₂与S₁—S₂之间的不整合及断裂破碎带侵位(图1)、接触带呈犬牙交错状, 出现大量沿层理分布的小岩枝及层状贯入体, 岩体与围岩界线清楚, 有时见侵入角砾岩, 具明显被动侵位特征, 杂岩体系多阶段多次侵入活动的产物, 并有爆发侵入角砾岩出现(表1)。这些特征是国内外绝大多数有较重要经济价值的斑岩铜矿矿化岩体的共性, 表明矿化斑岩体是在特定的地质环境下在强度适宜的区域构造应力场中侵位的。

(二) 侵入岩的岩石化学特征 与邻近地区中生代侵入岩相比, 沙溪地区的侵入岩以较

低的SiO₂和K₂O+Na₂O、K₂O/Na₂O及较低的里特曼指数为特征(表4),尽管沙溪地区侵入岩

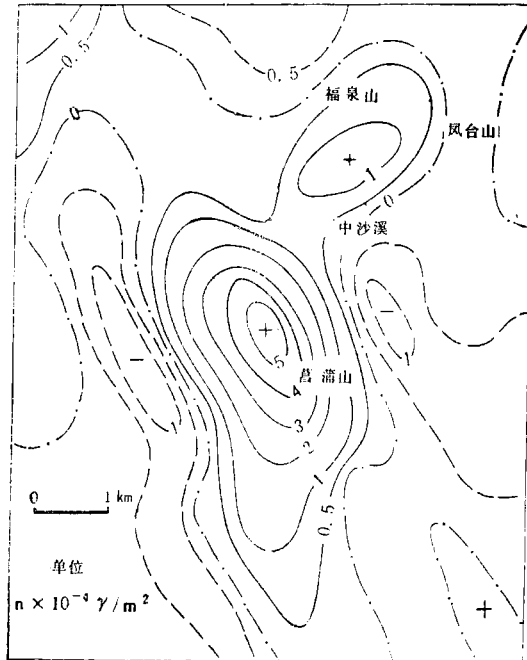


图 3 菖蒲山—沙溪一带ΔZ₁异常图
(垂向三次导数上延1km, 据地矿部第一物探大队资料, 1984)
Fig. 3. ΔZ₁ Anomaly diagram of Changpushan-Shaxi area.

的岩石化学成分变化范围很大(表5),但是不同地段的主要岩性相对稳定(矿体集中部位除外),从矿区外的菖蒲山至龙头山、断龙颈、狮子山、铜泉山、凤台山、棋盘山、虎皮山、石虎山到八字口(后三者位于矿区外),自南西向北东(参看图1),在长约7km的距离内侵入岩的SiO₂、K₂O+Na₂O、A·R(即碱度率=

$\frac{Al_2O_3 + CaO + (Na_2O + K_2O)}{Al_2O_3 + CaO - (Na_2O + K_2O)}$)及FL

(即长英指数= $\frac{Na_2O + K_2O}{Na_2O + K_2O - CaO}$

×100%)值有规律的变化(图4、图5)。最重要的工业矿体位于铜泉山—狮子山一带,这里虽然各类侵入岩均可出现,岩性复杂,但是与矿化关系最密切的石英闪长斑岩其岩石化学成分接近沙溪一带侵入

表 4 宁芜、庐枞、大别山、沙溪地区各类侵入岩岩石化学主要参数对比

Table. 4 Petrochemical parameters of various intrusive rocks from Nanjing-Wuhu, Lujiang-Zhongyang, Dabeishan and Shaxi areas

地 区	统计数	SiO ₂		K ₂ O+Na ₂ O		K ₂ O/Na ₂ O		RI		τ	
		$\bar{x}$	δ	$\bar{x}$	δ	$\bar{x}$	δ	$\bar{x}$	δ	$\bar{x}$	δ
宁芜	24	61.90	8.06	7.90	1.15	0.95	0.76	4.36	2.48	25.11	15.90
庐枞	27	60.86	3.87	10.81	1.45	1.32	0.55	6.71	1.28	20.68	5.41
大别山	21	67.08	6.01	8.30	1.24	1.26	0.22	3.04	0.97	36.02	22.07
沙溪	29	59.18	4.00	6.74	0.83	0.56	0.36	2.99	0.96	22.38	7.37

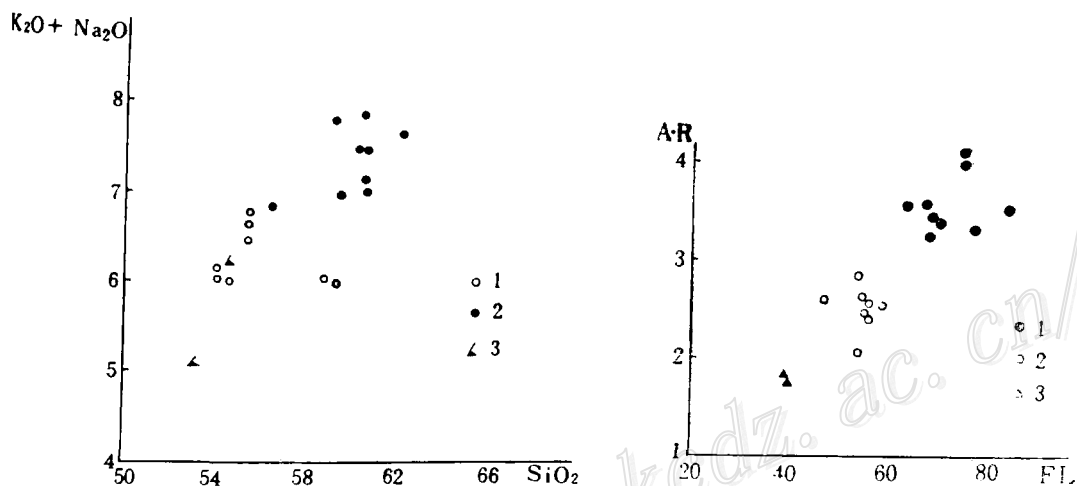
(三) 岩浆体系的物理化学性质 与矿化有关的石英闪长斑岩锆石中熔融包体的均一温度为860—940℃, 根据熔融实验确定石英闪长斑岩的初熔温度为750℃(水压1500×10⁵Pa, 据王实、1989)。沙溪闪长斑岩中角闪石按探针分析结果属钙质闪石亚族、镁绿钙闪石类

表 5 沙溪一带侵入岩岩石化学成分(%)

Table 5. Petrochemical composition of intrusive rocks in Shaxi area

岩 性	统计数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	资料来源
黑云母辉石闪长岩	2	53.92	0.78	17.36	3.48	4.53	0.13	2.66	8.93	3.84	1.85	0.49	冶金部地质研究所 本文
角闪闪长玢岩	6	54.88	0.62	16.06	2.84	4.03	0.08	3.57	5.62	4.51	1.85	0.36	安徽省327地质队
石英闪长斑岩	10	60.07	0.52	16.54	2.43	3.00	0.04	1.95	3.14	5.40	2.01	0.25	安徽省327地质队 本文
黑云母闪长斑岩	7	63.48	0.42	14.74	2.66	2.00	0.04	1.68	1.84	3.86	2.72	0.22	安徽省327地质队
黑云母花岗斑岩	1	68.54	0.35	13.35	3.43	2.71	0.05	1.01	1.55	4.16	4.02	0.14	安徽省327地质队

本文数据由南京大学地球科学系中心实验室测试

图 4 沙溪一带侵入岩SiO₂-(K₂O+Na₂O)变异图(左图)

1—菖蒲山; 2—断龙颈—龙头山; 3—铜泉山—石虎山

Fig. 4. SiO₂ versus K₂O+Na₂O diagram of intrusive rocks from Shaxi area (left).

1—Changpushan; 2—Duanlongjing—Longtoushan; 3—Tongquanshan—Shihushan.

图 5 沙溪一带侵入岩FL-A·R变异图(右图)

1—菖蒲山; 2—断龙颈—龙头山; 3—铜泉山—石虎山

Fig. 5. FL versus A·R diagram of intrusive rocks from Shaxi area(right).

1—Changpushan; 2—Duanlongjiang—Longtoushan; 3—Tongquanshan—Shihushan.

(表6), 角闪石(Na+K)_A值为0.51—0.61, 表明岩浆体系具较高的氧化状态, 而德兴的花岗闪长斑岩(Na+K)_A=0.31—0.38, 处于更强的氧化状态^[2]。沙溪闪长玢岩中角闪石的Al^{IV}远高于德兴花岗闪长斑岩, 表明这类岩体是在温度较高, SiO₂活度较低的岩浆体系中形成的。按黑云母化学成分(表7)沙溪矿区闪长玢岩—石英闪长斑岩中黑云母属于镁质黑云母, 其Mg²⁺/(Mg²⁺+Fe²⁺+Mn²⁺)比值为0.64, 与国外、国内斑岩铜矿的矿化岩体的上述

表 6 沙溪矿区闪长玢岩中角闪石的化学成分

Table 6. Chemical composition of amphibole from diorite porphyrite in the Shaxi ore district

样 号	化 学 成 分 (wt%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Sx-380	42.88	9.57	1.28	18.82	11.45	0.37	11.65	1.78	0.49
Sx-033	43.05	7.67	0.91	15.36	13.15	0.44	10.97	1.33	0.58

样 号	离 子 系 数										
	Si ⁴⁺	Al ³⁺	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti ⁴⁺	Fe ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Sx-380	6.48	1.70	1.52	0.18	0.29	2.38	2.58	0.05	1.88	0.52	0.09
Sx-033	6.72	1.41	1.28	0.13	0.21	2.01	3.06	0.06	1.83	0.40	0.12

测试单位：南京大学地球科学系中心实验室

表 7 各地区斑岩铜矿有关侵入岩原生黑云母化学成分

Table 7. Chemical composition of biotite from intrusive rocks related to porphyry copper deposits in the world

样品分布区	化 学 成 分 (wt%)									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
沙溪侵入岩(9)	36.44	3.54	14.24	15.63	0.09	15.76	0.11	0.45	8.83	2.74
西南太平洋岛弧地区(33)	38.08	3.82	14.17	16.07	0.21	14.69	0.17	0.16	8.78	2.82
北美大陆边缘(35)	37.79	4.20	13.59	15.12	0.20	14.94	0.07	0.22	9.36	2.86
中国斑岩铜钼矿(33)	36.59	3.66	14.01	12.95	0.24	14.46	0.83	0.40	7.74	2.83

样品分布区	离 子 系 数									资料来源
	Al ³⁺	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
沙溪侵入岩(9)	1.26	1.26	0	0.98	0.01	1.77	0.01	0.85	0.07	本 文
西南太平洋岛弧地区(33)	1.24	1.18	0.06	1.00	0.01	1.62	0.01	0.83	0.02	刘孝善等, 1985
北美大陆边缘(35)	1.25	1.14	0.11	0.82	0.02	1.63	0.07	0.75	0.06	
中国斑岩铜钼矿(33)	1.28	1.17	0.11	0.84	0.02	1.67	0.07	0.76	0.06	

本文硅酸盐分析由南京大学地球科学系中心实验室测试

值相近^①, 表明这类岩浆体系具较高的温度、氧逸度及一定的Mg/Fe比值。黑云母的Al^{IV}值很低, 反映岩体的定位深度浅。由于闪长玢岩-石英闪长斑岩中有含水矿物黑云母及角闪石呈斑晶出现, 表明岩浆体系的 f_{H_2O} 当在 5×10^5 Pa以上(Holland, 1972)^[5]。沙溪地区矿化有关侵入岩岩浆体系的上述特征与斑岩铜(金)矿床岩浆热液体系的形成有一定的内在联系。

(四) 岩浆期后热液活动的特征 出现于矿化斑岩体内、外的岩浆期后热液活动具有以下特点:

1. 成矿热液体系的深度较浅: 矿化斑岩体的侵位深度浅, 基质呈微晶, 石英斑晶有熔蚀, 出现爆发侵入角砾岩, 外围有近成矿期火山岩分布。按矿脉中硫化物硫同位素平衡温度与均一温度的差值估算成矿热液体系的静岩压力为 $(910 \pm 100) \times 10^5$ Pa, 根据盐度-温度-密度

表 8 沙溪与德兴矿区石英中流体包裹体的液相成分($\mu\text{g}/10\text{g}$)对比表

Table 8. Chemical composition of fluid inclusions in quartz from Shaxi and Dexing ore districts

矿区	样号	样品特征	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	HCO ⁻	F ⁻
沙溪	Sx-109	Py-Gy, Cal-Qz	6.83	36.43	7162.13	14.96		146.71	85.23
	Sx-128	MoS ₂ -Py-Qz	14.84	32.76	2258.64	121.02	1.54	163.80	6.55
	Sx-175	Py-Qz	20.82	27.86	2191.78	168.72	5.21	153.56	17.61
	Sx-214-1	Cp-Bn, Cal-Qz	50.97	42.34	1513.93	21.27	16.38	72.71	25.39
	Sx-313	Cp-Bn-Qz	34.10	15.62	668.54	133.98	0.38	69.24	11.34
	Sx-320	Cp-Qz	27.97	18.74	720.72	44.98	0.24	32.31	3.81
德兴	D-5(2)	Cp-Py-Qz	66.36	49.97	186.78	114.07		126.57	10.44
	D-17(2)	无矿化	7.81	13.59	10.41	0.43	1.74	30.94	2.46
	D-20(1)	Cp-Py-Qz	89.92	95.79	433.06	117.94	0.73	232.31	32.66
	D-21	Py-Cp(?) -Qz	20.64	60.63	276.06	47.95		108.79	9.03
	D-23(2)	Py-Cp(?) -Qz	36.05	70.95	8.16	10.93	0.33	56.76	3.43
矿区	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	K ⁺ /Na ⁺	K ⁺ + Na ⁺	F ⁻ /Cl ⁻	含盐度(%)	Qz脉Au含量(ppb)	备注
沙溪	27.00	4013.23		0.19	43.26	3.16	10.56	143	成矿后
	9.64	6964.76		0.45	47.60	0.68	11.16	61.5	成矿期
	44.55	1779.18		0.75	48.68	0.40	11.05	121	成矿期
	27.21	1127.95		1.20	93.31	0.93	20.49		成矿期
	6.08	264.73		2.18	49.72	1.86	10.48	650	成矿期
	2.38	2270.64		1.49	46.71	1.60	10.10	400	成矿期
德兴	27.24	116.33		1.33	116.33	0.38	25.37	590	成矿期
	6.36	28.92	0.75	0.57	21.4	0.39	4.9	11.3	成矿后
	18.35	291.77		0.94	185.71	1.78	41.51	48	成矿期
	36.12	204.90	1.78	0.34	81.27	0.25	19.34	78	成矿期
	6.36	134.23		0.51	107.00	0.54	24.91	43	成矿期

测试单位: 南京大学地球科学系中心实验室 注: Cal—方解石, 其余矿物代号与图2同

① 刘孝善、吴澄宇, 1984, 斑岩铜钼矿床有关岩浆黑云母化学成分的差异及其地球化学意义。全国钼矿学术讨论会论文集, 河南地质增刊

与压力的关系,估算成矿体系的静岩压力为 $(600-1300) \times 10^5 \text{Pa}$,按地层厚度估算成矿时上覆岩层厚度为2.2—3km。已控制的矿化最大深度为800m。热液体系具一定的压力梯度。

2. 热液体系具较高的温度梯度:用三种方法(均一温度+压力校正、 $\text{K}^+-\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$ 离子平衡温度、硫化物对的硫同位素平衡温度)确定成矿温度320—498℃,根据不同深度下同—阶段石英的流体包裹体均一温度的差值,推算成矿期间的温度梯度为200℃/km。运用绿泥石地质温度计(Michelco the linean等,1986)

$$X = 4.17 \times 10^{-3}t - 8.26 \times 10^{-2}$$

表9 含脉率及金品位在不同深度上的变化

Table 9. Variation in abundance of ore-bearing fractures and gold grade at different depths

统计项目		<100m	100—200m	200—300m	300—400m	400—500m	500—600m	600—700m	>700m
含脉率	统计数	54	79	77	81	65	22	9	—
	均值	0.048	0.051	0.0545	0.0508	0.0796	0.098	0.075	—
	均方差	0.0342	0.0444	0.0566	0.0359	0.0787	0.0887	0.074	—
金品位 (g/t)	统计数	4	23	23	22	43	15	2	1
	均值	0.0233	0.142	0.3389	0.1208	0.3867	0.4424	0.125	0.086
	均方差	0.0167	0.139	0.3955	0.1239	0.4682	0.6325	0.125	—

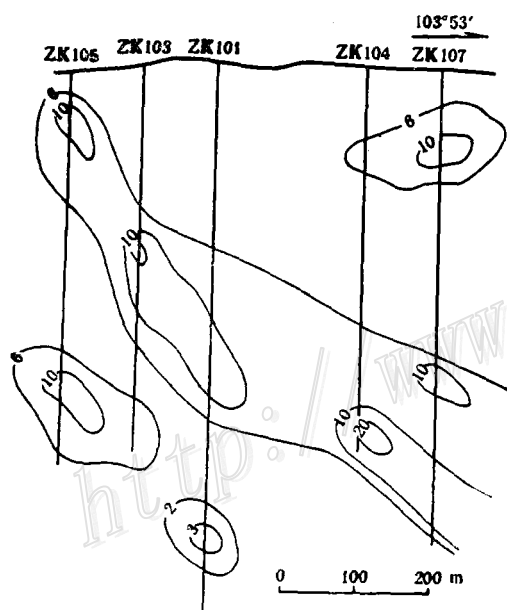


图6 沙溪矿区1线剖面含脉率等值线图

(图中数字为含脉率,单位%)

Fig. 6. Contour diagram along No. 1 exploratory line of the Shaxi ore district showing abundance of ore-bearing fractures.

(Numbers refer to abundance of ore-bearing fractures, in percentage).

X为绿泥石中四次配位铝的离子数,测得绿泥石的形成温度275—206℃,晚期热液体系的温度梯度为187℃/km。这些数据表明热液体系处于极端不平衡态,且在矿体根部1—2.5km以下将超过石英闪长斑岩的固相线温度,有可能出现熔体相。

3. 脉石英中发现有含石盐、钾盐的多相流体包裹体及有沸腾现象的流体包裹体,根据提取液的成分和用气相色谱法求得的含水量,从而计算出盐度为10—20.5 wt % NaCl,流体包裹体中 SO_4^{2-} 含量远高于德兴矿区^[3](表8),表明含矿热液较富 Cl^- 和 SO_4^{2-} 。

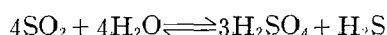
4. 矿化斑岩体内裂隙十分发育,含脉率(指脉体/岩石的体积百分比)与矿化有显著的正相关(表9)。从矿脉的产状和含脉率分布特征分析,含矿细脉的形成不仅与区域构造应力的诱发作用有关(表现为具有一定的主导方向),而且与强度适宜的水热爆发作用有关,这些裂隙形成于成矿过程中,

未与地表连通,具有一定的封闭性,并且分布很不均匀(图6),出现这种特殊的含矿裂隙系统是含矿斑岩体的一个重要特征。

5. 矿化斑岩体内出现类似于闪长岩模式的矿化蚀变分带,斑岩体中的石英绢云母化带几乎无工业矿体(图2)。

三、斑岩体与成矿的关系及矿化斑岩的形成条件

斑岩铜矿得以形成的主要条件:一是铜和其他成矿物质要有足够的来源;二是进入热液体系的成矿物质不断聚集而不被分散。由于沙溪矿区以岩浆热液为主的流体相较富Cl,与其有关的岩浆体系也较富Cl,在这样的岩浆体系中流体相具有足够的萃取铜的能力(Holland, 1972; Candela等, 1986)^[5,6]。如果岩浆体系具有适宜的物理化学性质,一定的规模及有利的产状、形态和动力学环境,岩浆体系可以提供一定数量的铜。另外,由于沙溪与矿化有关的岩浆体系具较高的氧逸度,这将使岩浆中的硫更多地呈SO₂的形式,不断向上迁移(Burnham, 1979, 1981),使得体系具有充足的硫源。在高温时,流体相的S²⁻活度较低,当温度下降以后,由于SO₂水解:



一方面导致S²⁻活度增大,使含铜硫化物沉淀,同时又导致H⁺活度增加,降低了形成铜硫化物的能力,只有通过水/岩反应,发生氢交代作用(如形成黑云母、绢云母)才会维系体系的聚铜性。一旦H⁺活度足够高,使钾硅酸盐蚀变组合(钾长石等为主)不稳定,完全转变为石英绢云母化带时,铜矿化即基本结束。因此沙溪式斑岩铜矿的形成过程是一个由各种化学反应链“协和反馈”的非平衡过程。根据矿化岩体特征推断,成矿的岩浆-热液体系具有三个基本特点:(1)极端远离平衡态,矿化有关岩体的特殊形态、产状、侵位方式、多次的长期侵入活动、复杂的脉体交切关系和多期多阶段矿化,爆发侵入角砾岩的产生,热液体系高的温度梯度和一定的压力梯度……都是这种极端不平衡性的体现。而“不平衡是有序之源”,正是在这种极端远离平衡态的热液体系中出现了特殊的有序现象——矿化和蚀变分带性及各种地球化学分带性;(2)岩浆-热液体系的物理化学性质使其能够提供足够的成矿物质;(3)热液系统具有半封闭性,一方面要与环境(围岩、地下水、岩浆源)不断进行物质与能量交换^[4],但另一方面成矿物质又要相对集中,使来自大范围源区的成矿物质聚集于一个较小的矿化区间内不被逸散。上述条件实质上就是岩浆热液型斑岩铜矿矿化斑岩体形成的充分且必要条件,矿化斑岩体的特征实质上正是上述条件的体现。因此在鉴别和描述矿化斑岩体特征时也应综合考虑这些方面的内容。

参 考 文 献

- [1] 胡受奚等 1982 矿床学(第十一章) 火山作用有关矿床 地质出版社
- [2] 朱训、黄崇柯、芮宗瑶、周耀华、朱贤甲、胡淙声、梅占魁 1983 德兴斑岩铜矿 地质出版社
- [3] 芮宗瑶、黄崇柯、齐国明、徐珏、张洪涛 1984 中国斑岩铜(钼)矿床 地质出版社
- [4] 季克俭、吴学汉、张国柄 1989 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律 北京科学技术出版社
- [5] Holland, H. D., 1972, Granites solutions and base metal depositions. *Econ. Geol.*, Vol. 67, p. 281—301.
- [6] Candela, P. A. and Holland, H. D., 1986, A mass transfer model for copper and molybdenum in magmatic hydrothermal system: The origin of porphyry-type ore deposits. *Econ. Geol.*, Vol. 81, No. 1, p. 1—17.

FORMATION CONDITIONS OF THE MINERALIZED STOCK IN THE SHAXI PORPHYRY COPPER(GOLD) DEPOSIT, ANHUI PROVINCE

Ren Qijiang, Qiu Jiansheng, Xu Zhaowen, Zhang Chongze, Fang Changquan
and Yang Rongyong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu Province)

Abstract

Various data demonstrate that ore-forming material of the Shaxi porphyry copper (gold) deposits came mainly from magmatic hydrothermal solution. characteristics of the mineralized porphyry ought to include all the features related to mineralization of the stock, especially features of postmagmatic hydrothermal activities. Based upon the shape, mode of occurrence and emplacement form of the stock, physicochemical behaviors of the magmatic system, and properties of postmagmatic hydrothermal activities, the authors have deduced the prerequisite for the formation of the mineralized porphyry: the condition of the magmatic-hydrothermal system is extremely distant from the equilibrium state, sufficient ore-forming materials are supplied due to the favorable physicochemical properties of the magmatic-hydrothermal system; the hydrothermal system related to porphyry is half-closed, that is, on the one hand, it constantly exchanges materials and energy with surrounding media such as magma, wall rocks and ground water, and, on the other hand, the ore-forming materials should be relatively concentrated without dispersion.

<http://www.cnki.net>