浙赣皖相邻区富金斑岩体系成矿物理化学及物源*

Metallogenetic Physical Chemistry and Matter Source of Rich-Gold Porphyry Ore Systems in Neighbouring Area of Zhejiang-Jiangxi-Anhui Provinces

刘红樱[1,2] 谢志仁[1] 戚建中[2]

（1 南京师范大学地理科学学院，江苏 南京 210097；2 南京地质矿产研究所，江苏 南京 210016）

Liu Hongying[1,2]，Xie Zhiren[1] and Qi Jianzhong[2]

（1 College of Geography Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, Jiangsu, China；
2 Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

摘 要 将区内与燕山早期Ⅰ型中酸性岩浆岩类有关的铜金系列各种不同类型的金属矿床视为含金斑岩成矿体系的某个组成部分。研究表明： 富金斑岩体系成矿温度为 77～447℃、成矿压力 19×10^5～789×10^5 Pa（相当于 73～2978.5 m 的深度），显示出富金斑岩体系成矿温压变化较大的特点。体系成矿流体 $w(NaCl_{eq})$为 0.1%～21.2%，主要为中低盐度成矿流体；成矿流体相对高 Ca^{2+}、HCO_3^-和 H_2O，且 $HCO_3^->SO^{2-}_4>Cl^->F^-$。体系成矿流体物理化学特征参数相差较大，总体是 $F^-/Cl^-<1$，$CO_2/H_2O\leq1$。成矿流体 pH 值显示其为酸-弱碱性，fO_2($10^{-35.7}$-$10^{-61.8}$Pa)、Eh 值(-0.34～-2.02) 低，成矿环境为还原环境，但不同矿区或同一矿区不同期次的成矿流体差别较大，总体随温度下降而降低。成矿物质显示为混合源，但不同矿床及同一矿床的不同成矿期次，混合的比例有所不同。

关键词 富金斑岩体系 成矿物理化学条件 物资来源 浙赣皖相邻区

1 地质背景

浙赣皖相邻区属江南复合地体，包括九岭、怀玉地体各一部分(舒良树等，1995)，北以江南断裂为界与下扬子地体毗邻，南以江绍断裂为界与赣中—粤北地体接壤。

巨厚的震旦纪以前的地层以赣东北蛇绿混杂岩带为界，东、西两部分存在着明显的差异。其西，九岭地体为一中元古代岛弧，自下而上为:①基底双桥山群 Pt_2sh（赣）：下亚群为一套石英砂岩-砂岩-页岩和钙质页岩组成的被动陆缘复理石建造，受变质而成千枚岩，上亚群为玄武岩-细碧岩-角斑岩-火山碎屑岩组成的岛弧型火山岩建造（对应的皖上溪群主要为具有复理石韵律的砂泥质建造，上覆有两层厚百米的硅质岩-大谷运组）；②修水群 $Pt_{2-3}x$。其东，怀玉地体为—晚元古代岛弧，自下而上为: ①平水组 Pt_2p 基性火山岩仅有局部出露；②基底骆家门组 $Pt_{2-3}l$（浙）：由细碧角斑岩建造和复理石建造组成(周国庆等，1998；汪新等，1989) (赣溆工群 $Pt_{2-3}q$ 为深水浊积岩、拉斑玄武岩和蛇绿岩套，皖周家村组 $Pt_{2-3}zh$)；③虹赤组 Pt_3h+上墅组 Pt_3sh(浙)（赣登山群 Pt_3dn，皖井潭组 Pt_3qn (安徽)：由浊积岩和玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩组成岛弧型岩石组合（马荣生等，1990）。

震旦纪至早三叠世地层柱主要由海相地层的海侵海退序列组成。中生代地层分布零星。

燕山早期主要岩体有铜厂、富家坞、朱砂红、桐村、程家—姚家、鹅湖、太平、黟县、旌德等，同位素年龄 172～137 Ma（樊键强，1990；叶松等，1998）。岩石类型主要为花岗闪长岩、二长花岗岩。燕山晚期主要岩体有大茅山、里山岭、铜山、顺溪、河桥、黄山、伏岭等，同位素年龄 150～87 Ma。大多呈较大岩基产出，岩石类型主要为黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩。

区内与燕山早期Ⅰ型中酸性岩浆岩类有关的铜金系列各种不同类型的金属矿床如游汀、小贺、韩村、杭坑、金山、大麦坞、寺前等均可视为含金斑岩成矿体系的某个组成部分。

* 本文系中国地质调查局地质调查项目“浙赣皖相邻区综合找矿预测与突破”（19991020128003）的部分成果
第一作者简介 刘红樱，男，1966 年生，博士后，副研究员，从事地球化学和区域成矿规律研究。

2　富金斑岩体系成矿物理化学条件

2.1　成矿温压条件

富金斑岩体系成矿温度为 77～447℃、成矿压力 19×10^5～789×10^5 Pa，显示出富金斑岩体系成矿温压变化较大的特点（表 1）。以岩石密度 2.7 g/cm^3 计算，相当于 73～2978.5 m 的深度。其中次火山爆发角砾岩型、剪切带脉型成矿温压偏高；斑岩型、高中温热液型成矿温度（77～425℃）变化大。

表 1　部分富金斑岩体系有关矿床成矿温度、压力、盐度、pH 和气相成分

矿床(点)	类型	温度/℃（均值）	最小捕获压力（均值）	$w(NaCl_{eq})$/‰（均值）	pH	总盐度	气相成分/ (ml/100g)			$\frac{CO_2}{H_2O}$	资料来源
							CO	CO_2	H_2O*		
铜厂	斑岩型	190～425			4.7	50.5		5.18			①③④⑤
桐村		119～292（167）	53～196	0.2～10.0（3.4）							本文
铜山		130～274（203）	42～289（181）	5.6～10.8（8.0）							本文
大溪边		125～368（219）	19～387（231）	4.0～18.5（9.9）							本文
吉蒙	矽卡岩型	295～447（324）									②
里山岭		134～417（254）	127～663（244）	8.0～16.8（10.6）							本文
王坊		111～282（178）	13～276（55）	0.9～16.2（11.0）							本文
金鸡岩	次火山爆发角砾岩型	180～340	454	13.6							⑤
银山		155～425（283）	296～592	10～14.5	4.8	39.0	1.54	35.3	58.32	0.61	①⑤⑥
杭坑	岩脉型	97～275（192）	30～247（136）	3.2～13.6（7.0）	8.3	8.10	15.2	18.3	214.8	0.09	本文
韩家	高中温热液型	185～298（232）	31～249（137）	4.1～21.2（12.3）							本文
小贺		178～304（208）	65～263（119）	1.2～13.0（3.0）							本文
游汀		77～366（214）	19～246（115）	0.7～7.8（3.3）	8.2	6.36	13.4	9.3	135.8	0.26	本文
金山	剪切带脉型	140～380（260）	493～789	15.3～16.5	5.3	37.5		22.6	59.87	1.02	①⑤⑥⑦⑧
摇石头	蚀变破碎带型	240	414								⑤
尖峰岗		115～290（167）	84～268（97）	0.2～0.9（0.5）							本文
寺前		127～275（216）	59～213（138）	1.4～13.6（5.1）							本文
大坝底	热液石英脉型	128～185（161）	39～251（160）	0.2～4.4（1.9）							本文
大麦坞	中低温热液型	114～205（148）	58～269（147）	0.10.7（0.38）	8.1	0.83	11.3	14.8	497.7	0.02	本文
罗店	热泉型	120～195									⑤

注: 最小捕获压力单位为 10^5Pa; H_2O*单位为 mg/100g；资料来源据：①周子英,符鹤琴等， 1990，江西东北部金矿成矿条件及成矿预测；②浙江省物化探勘查院，1989，浙西夕卡岩型热液矿床成矿系列综合信息成矿预测及方法研究；③朱训，1983；④郭新生，1999，⑤戚建中，1998；⑥吴志军，1998；⑦杨卫明，2000；⑧朱恺军，1991

热液石英脉型、中低温热液型和热泉型金矿（成矿温度 114～205℃）具中低温浅成、低盐度成矿的特点。如游汀金矿成矿温度为 77～366℃，峰值为 80℃、125℃、235℃(主要)、315℃，显示 4 期成矿。

夕卡岩型、蚀变破碎带型成矿温压变化均大。如吉蒙矿区闪锌矿爆裂温度：395～447℃，属高温成矿，与夕卡岩型矿床金属矿物的形成温度区间一致。晚期热液蚀变(滑石化、蛇纹石化等)温度较低。由于程家、姚家岩体出露面积较小，中等剥蚀，中细粒结构，边缘具斑状结构，斜长石发育聚片双晶和环带构造，有大量晶洞和晶簇、夕卡岩中矿物组合有硅灰石，因而推断成矿压力不大，深度～3 km。

2.2　成矿流体盐度

富金斑岩体系成矿流体盐度 $w(NaCl_{eq})$为 0.1%～21.2%（表 1）。主要为中低盐度成矿流体。次火山爆发角砾岩型、夕卡岩型、岩脉型的成矿流体盐度偏高；高中温热液型、蚀变破碎带型和斑岩型的盐度变化大；热液石英脉型、中低温热液型和热泉型的盐度低。

2.3　成矿流体成分

富金斑岩体系成矿流体相对高 Ca^{2+}(仅爆发角砾岩型高 K^+)、HCO_3^-和 H_2O。且 HCO_3^-＞SO_4^{2-}＞Cl^-＞F^-。

斑岩型的成矿流体高 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-，低 F^-、CO_2；阳离子含量高与斑岩岩浆关系密切。爆发角砾岩型的具高 K^+、F^-、CO_2，低 CO、H_2O 的特征。岩脉型的高 Mg^{2+}，CO、CO_2、H_2O 较高，低 Na^+；具高挥发分特点。高中温热液型的 Cl^-、SO_4^{2-}高，CO_2 低。剪切带脉型的富 Na^+、SO_4^{2-}，贫 Mg^{2+}、H_2O。中低温热液型的除 H_2O 外，所有气液相成分含量均最低，可能受大量稀释。从斑岩、爆发角砾岩、岩脉、高中温热液、剪切带脉到中低温热液型，其成矿流体 K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、HCO_3^-大致有降低的趋势（表 2）。

2.4　成矿流体物理化学特征参数

富金斑岩体系成矿流体物理化学特征参数都相差较大（表 2）。总体是 F^-/Cl^-＜1，CO_2/H_2O≤1。

表 2 部分富金斑岩体系有关矿床成矿流体成分及其特征参数

矿床	液相成分/%								K/Na$^+$	F$^-$/Cl$^-$	ΣM$^+$	ΣM$^-$	KN/MC	f_{O_2}/Pa	E_h 值	资料来源
	K$^+$	Na$^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO$_3^-$	F$^-$	Cl$^-$	SO$_4^{2-}$								
铜厂	2.78	1.73	4.10	0.56		0.04	1.38		1.61	0.03	9.17	1.42	0.97			①③④⑤
银山	4.19	0.30	1.70	0.42		0.34	0.47	0.52	14.0	0.72	6.61	1.33	2.12	$10^{-35.7}$	-0.34	①⑤⑥
杭坑	0.31	0.04	1.67	0.71	8.35	0.09	0.69	0.72	7.75	0.13	2.73	9.85	0.15	$10^{-56.0}$	-1.54	本文
游汀	0.16	0.32	1.43	0.33	6.98	0.10	1.31	2.13	0.46	0.08	2.08	10.34	0.40	$10^{-52.8}$	-1.58	本文
金山	0.52	1.35	0.81	0.13	1.08	0.05	0.20	1.67	0.37	0.26	2.81	3.00	1.95	$10^{-41.6}$	-2.02	①⑤⑥⑦⑧
大麦坞	0.02	0.02	0.21	0.04	0.62	0.03	0.38	0.47	1.00	0.08	0.29	1.50	0.16	$10^{-61.8}$	-1.42	本文

注：资料来源同表 1

斑岩型的成矿流体相对高ΣM$^+$、总盐度，低ΣM$^-$、F$^-$/Cl$^-$。爆发角砾岩型的具较高 K$^+$/ Na$^+$、F$^-$/ Cl$^-$、ΣM$^+$、KN/MC、总盐度、Eh 值，较低ΣM$^+$CO、H_2O 的特征。剪切带脉型的略高 KN/MC、CO_2/H_2O、总盐度，K$^+$/ Na$^+$、Eh 值低。岩脉型的较高 K$^+$/ Na$^+$、ΣM$^-$，低 KN/MC。如杭坑，石英脉充填于蚀变岩脉之中，其成矿流体 K$^+$/ Na$^+$>1，说明与围岩有一定关系，流体类型为 Ca^{2+}+Mg^{2+}+HCO$_3^-$+H_2O。高中温热液型的ΣM$^+$ 高，K$^+$/ Na$^+$低。从游汀样品的温度、CO_2／H_2O、ΣM±、KN/MC 的差别来看，分属两期，早期 Ca^{2+}、Mg^{2+}、HCO$_3^-$、Cl$^-$、ΣM±和总盐度等较高，说明来源较深的还原环境，流体类型为 Ca^{2+}+Mg^{2+}+HCO$_3^-$+Cl$^-$+H_2O+CO_2;而晚期 K$^+$、Na$^+$、K$^+$/Na$^+$较高,指示雨水的加入,流体类型为 Ca^{2+}+Na$^+$+HCO$_3^-$+Cl$^-$+H_2O。大麦坞等中低温热液型的 CO_2/H_2O、ΣM$^+$、ΣM$^-$、KN/MC、f_{O_2}、总盐度均最低，显示与地下水热液有关，流体类型 Ca^{2+}+Mg^{2+}+Cl$^-$+HCO$_3^-$+H_2O。

从斑岩型、次火山爆发角砾岩型、岩脉型、高中温热液型、剪切带脉型到中低温热液型成矿流体，其ΣM$^+$有降低的趋势。成矿流体 pH 值显示其为酸-弱碱性。f_{O_2} ($10^{-35.7}$～$10^{-61.8}$ Pa)低，成矿环境为还原环境，还原条件是成矿流体稳定存在和成矿元素迁移的有利因素。f_{O_2}在不同矿区或同一矿区不同期次的成矿流体之间存在较大差别，但总体随温度下降而降低。通过包裹体气相平衡 CO+H_2O=CO_2+2H+2e 的 W. Nernst 公式(杨卫明，2000; 朱恺军等，1991)计算成矿流体的 E_h 值(-0.34～2.02)，成矿流体具有还原-较强的还原性质。

3 物质来源

3.1 成矿元素源

岩浆源和深部源。如吉蒙（夕卡岩型）的姚家程家两岩体属于 I 型中酸性深源浅成岩类，与 CuAu 成矿系列有关。其成矿元素含量比地壳丰度略高，岩体与夕卡岩型金属矿化具有同时、同空间的关系，矿化与地球化学晕围绕岩体形成分带。岩体与成岩的深部过程提供了主要的矿质。

地层源。如游汀、金山双桥山群含金 2.96×10^{-9}～6.90×10^{-9}，平均 3.94×10^{-9}，其 AS、Sb、B 是地壳丰度的 10～23 倍，且金与亲硫元素相关性强，赋存状态以硫化物中的分散金和吸附态金为主，活动

表 3 部分富金斑岩体系有关矿床氢、氧、硫、铅同位素组成

床(点)	$\delta^{18}O_{H_2O}$/‰	-δD_{H_2O}/‰	$\delta^{34}S$/‰	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	t / Ma	μ	资料来源
铜厂	-2.9～8.7 (4.4)		-4.0～13.5						①③～⑤
金鸡岩			3.13～3.82	18.0～18.1	15.5～15.6	38.1～38.3	182～342	9.3～9.4	⑤
银山	-0.1～11.3 (6.5)	28.5～77.7 (60.9)	-6.1～3.2	17.9～18.0	15.4～15.6	37.7～38.1	325～585	9.2～9.5	①④～⑤
杭坑	3.48	58.4							本文
吉蒙				18.28	15.75	38.88	440～554	9.8～10.4	本文
游汀	3.8～6.4 (5.1)	47.8～52.1 (49.0)		17.46	15.54	37.24	773～759	9.5～9.7	本文
金山	-1.3～8.6 (3.6)	43.6～72.8 (62.6)	2.8～5.9	17.73	15.56	37.86	335～748		①⑤～⑧
摇石头			2.24～2.62	18.05	15.51	38.12			⑤⑥
大麦坞	-6.94	62.2							本文
罗店				18.2～18.3	15.5～15.6	38.5～38.9			⑤

注：南京大学金属成矿作用国家重点实验室黄耀生分析；$\delta^{18}O_{H2O}$= $\delta^{18}O_{石英}$-3.306T^{-2}+2.71（Clayton R N et al.,1972）;资料来源同表１

性强，在一定的地质作用影响下可提供充足的金源。双桥山群为类绿岩带“矿源层”。其中的火山-碎屑物质富含金，其岩性复杂，岩相变化频繁，普遍含一定量炭质，具地球化学障作用；并相对富 Si、Ca、Mg、Fe、S 质，是导致金沉淀的有利条件；变质较浅，易于在后期剪切作用及叠加改造过程中发生金等成矿物质的重新富集。

3.2 水源

富金斑岩体系成矿流体的氢氧同位素组成（表 3）显示其为岩浆水、变质水、大气水的混合，但不同

矿床及同一矿床的不同成矿期次，混合的比例有所不同。大麦坞的大气水成分多。

3.3 铅源

铅源显示为一种混合铅（表 3）。吉蒙矿的铅同位素组成较高，μ值高、Th/U 值低，在铅构造模式图上落在上地壳演化线以上，显示铅源来自地壳物质或地层中的沉积物；矿石铅模式年龄(554 Ma)与围岩震旦纪灯影组(Z_2dn)时代相近或稍偏低，说明铅来自围岩，并有年轻地层铅的加入。

游汀 μ值中等，Th/U 值小于 4，在铅构造模式图上落在造山带和地幔演化线之间，说明成矿物质来自改造了的幔源地壳物质。矿石铅模式年龄(773 Ma 或 759 Ma)与围岩双桥山群岩石的区域变质年龄一致。而双桥山群含较多火山物质矿石铅与其岩石铅相似。说明铅可能来源于围岩。

4　富金斑岩体系的一般成因机制

构造-热事件产生岩浆-热液活动，热液流体在形成、运移、上升过程中，变质水、建造水和大气降水加入，从深部带来并从流经的岩石中汲取成矿物质。到达地表浅部，形成一个以岩浆前峰为中心，上达地表，侧向 5～10 km 的岩浆-热液系统。由于温压降低、化学条件改变，部分金与早期浸染状硫化物随岩浆冷凝而晶出。岩浆发生自变质作用，在接触带内外形成碱交代带，并伴有铜、金的沉淀；岩浆结晶晚期析出挥发组分大量聚集，从内到外进行蚀变交代，流体趋于酸性，形成面型和环状分带，成矿在这种交代过程中发生，形成班岩型伴生金矿。当岩浆期后热液遇到的是化学活性的岩石时，中等深度条件下发生接触渗滤交代或接触扩散交代，在岩体接触带和捕虏体处形成矽卡岩伴(共)生金矿；在距岩体较远的层间断裂等有利部位，形成远端夕卡岩金矿。浅部和近地表条件下热液爆发，导致压力骤降，伴热液爆发角砾岩的形成而成矿。岩浆活动加热的大气降水在岩浆作用的动力驱动下，沿岩体外接触带围岩的层间破碎带运移，中等深度条件下金铬合物分解沉淀富集，形成热液石英脉型金矿。含矿岩浆期后热液叠加在离岩体较远的韧性剪切带内或旁侧围岩张性构造中形成铅-锌矿床、远端中低温热液型金矿和汞、锑矿床。岩浆热液掺合大量大气降水上升至近地表浅部火山机构附近裂隙带，产生酸性淋滤带，形成石英-明矾石型浅成热液型金矿床；在距岩浆中心较远处，pH 较高，形成冰长石-绢云母型浅成热液型金矿。岩浆-热液系统的成矿是多期多阶段，脉动的。

参　考　文　献

樊键强. 1990. 论银山多金属矿床与铜厂铜矿田的成因联系及火山斑岩型成矿系列的成矿模式[J]. 华东矿产地质, 2:23～30.

郭新生, 季克俭, 黄　耀，等. 1999. 德兴斑岩铜矿成矿热液来源及其演化——花岗闪长斑岩的氧同位素制约[J].高校地质学报, 5(3):260～268.

马荣生, 王爱国. 1994. 皖南晚元古代碰撞造山带构造轮廓[J]. 安微地质, 4(1-2).54～61.

戚建中, 等.1998..断裂网络与金成矿体系[M]. 南京：江苏科技出版社.22～144.

舒良树,施央申,郭令智,等. 1995. 江南中段板块－地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京:南京大学出版社.9～31.

汪　新,马瑞士. 1989. 怀玉山蛇绿混杂岩及古碰撞缝合线的确定[J]. 南京大学学报(地球科学), (l,2): 72－81.

吴志军. 1998. 江西德兴银山多金属矿床稳定同位素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 17(1):28～30.

杨卫明,李昌存,韩秀丽. 2000. 金山金矿床流体包裹体研究[J]. 黄金, 21(6):9～11.

叶　松, 莫宣学. 1998. 江西德兴银山火山岩次火山岩带状岩浆房初步研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 23(3):257～261

周国庆. 1989. 赣东北元古代蛇绿岩和高温高压变质岩的发现及意义[J]. 南京大学学报(地球科学), (l,2):25～36.

朱恺军,范宏瑞. 1991. 江西金山金矿床层控成因的地质地球化学证据[J]. 地质找矿论丛, 6(4):18～27.

朱　训, 黄崇轲,芮宗瑶,等. 1983. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京:地质出版社. 358～558.

Clayton R N, et al. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. J. Geophys. Review, 77: 3057～3067.