

九江—瑞昌地区铜矿床成矿地质特征

邱小平 裴荣富 季克俭 吴学汉

(中国地质科学院矿床地质研究所)

内容提要: 本文以江西武山铜矿床为实例,探讨了热液矿床成矿作用某些方面的问题。同熔岩浆同化大量古老基底岩石物质后,侵位至浅层时驱动地下水循环,造成志留系围岩即矿源层的广泛钾硅化蚀变和退色,出现成矿元素近矿地球化学降低场。其中析出的铜质随热液循环系统流经斑岩体中心而被加热蒸发浓集,形成含矿热液,并在有利成矿部位形成不同类型的矿床。文中强调了钾化蚀变在铜质迁移富集和成矿过程中的重要作用,当含矿热液钾离子浓度超过一定值时,铜质又可直接在斑岩体中沉淀形成斑岩铜矿。古铅和古锶同位素、氢、氧和碳同位素组成特征有力支持了这一推论。

关键词: 地球化学场 古铅和古锶同位素 环形构造 含矿热液对流循环系统 元素相容性

九江—瑞昌地区位于扬子准地台下扬子台褶带西部,淮阳隆起与江南隆起之间的湖口—瑞昌古生代拗陷带。带内主要沉积有古生代和中生代碳酸盐岩和砂页岩。其中泥盆系五通组砂岩局部含结核状黄铁矿;志留系砂页岩厚度巨大,且铜含量较高。主要不整合面在上志留统与上泥盆统及上泥盆统与中下石炭统之间。三叠纪末本区整体褶皱上升成陆^[1]。

本区构造为北东东向褶皱组成的复向斜和两套棋盘格状断裂及环形构造(图1)。第一套棋盘格状构造由NE、NW向压扭断裂和南北向张裂构成,为基底东西向构造的继承断裂,切割深(沿断裂有基性岩穿入),控制九瑞矿田的展布。第二套棋盘格状构造包括NEE向褶皱和纵向断裂、横张断裂及扭裂,属盖层构造,控制矿床的分布。遥感航卫片判识的环形构造与航磁解释的隐伏岩体^①对应,为矿床分布区。

岩浆活动集中在印支旋回晚期与燕山旋回早中期(钾氩法年龄为205—98Ma),形成中酸性浅成、超浅成岩,还有些后期脉岩与基性喷出岩。

区内金属矿床主要有城门山、武山、丰山洞、丁家山等大中型铜多金属矿床和洋鸡山金矿床。

一、围岩成矿地球化学场

1977—1984年间笔者在九瑞地区选择了26条志留系剖面对铜含量进行系统采样分析,发现铜元素在矿区附近具低值异常特征^[3],随剖面与成矿岩体距离的减小依次出现铜元素区域正常场、降低场和矿化增高场(表1)。

① 据赣西北地质大队物化探分队资料

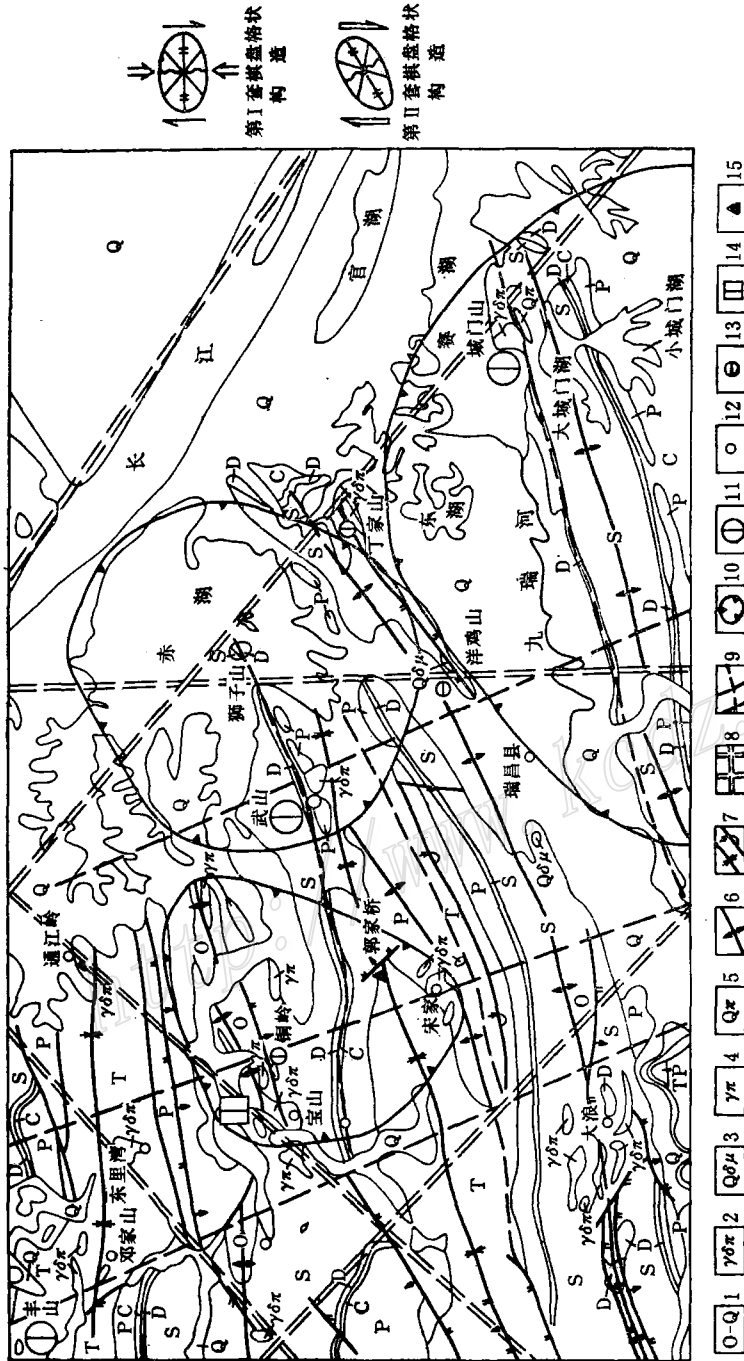


图 1 江西省九江—瑞昌地区地质构造简图

1—地层代号; 2—花岗岩长斑岩; 3—石英闪长玢岩; 4—花岗岩; 5—石英斑岩; 6—背斜; 7—向斜; 8—第一套棋盘格状构造; 9—第二套棋盘格状构造; 10—环形构造; 11—环状矿床; 12—铜矿床; 13—金矿床; 14—白云岩矿床; 15—黄铁矿矿点

Fig. 1. Generalized geological-structural map of Jiujiang—Ruichang area, Jiangxi province.
 1. Symbols for strata; 2. Granodiorite porphyry; 3. Quartz diorite porphyry; 4. Granite porphyry; 5. Quartz porphyry; 6. Anticlines; 7. Synclines; 8. First chessboard structure; 9. Second chessboard structure; 10. Ring-shaped structures; 11. Copper deposits; 12. Copper occurrence; 13. Gold deposit; 14. Dolomite deposit; 15. Pyrite occurrence.

表 1 九江—瑞昌地区志留系平均铜含量(ppm)

Table 1. Average copper contents of Silurian strata in Jiujiang-Ruichang area (in ppm)

剖面名称	贡山	八角岭	毛桥	新市	大店	五泉电站	桂家村	武山40线	武山北副井	零米段西井	云池口	武山西公路	笔架山	红卫水库
与矿床距离(km)	5.3	7.0	9.0	12.5	34	46	10	0.6	0.8	1.0	1.5	1.9	3.5	5.0
上志留统样品数		13	7	6	9		10	5	10	2	3	12	2	10
平均值		57.15	50.4	40.3	49.9		50.2	29.2	41.9	43.5	20.7	36.6	46.5	37.19
中志留统样品数	2	10	7	7	6	7	6	4	3		1	7	3	8
平均值	65.5	46.9	54.4	45.4	45.5	50.1	62.7	29.25	51.0		40	46.86	47.3	49.1
总平均值	65.5	52.65	52.4	43.0	48.1	50.1	54.9	29.22	44.0	43.5	25.5	40.39	47.0	42.05
地球化学场	区域正常场							武山降低场						

剖面名称	贡山	黄家	枫林	紫荆山	城门坝	城门山129钻孔	城门山718钻孔	何家祠	五泉电站	武山东风井	武山-40m主巷	城门山718钻孔	城门山11线	星明机械厂
与矿床距离(km)	5.3	3.1	6.7	2.5	0.5	0.5	0.5	18	46	0.3	0.5	0.5	0.2	18.0
上志留统样品数	9	9	7	3	3	1	1	7	6	2	2	1	4	6
平均值	43.0	44.56	33.9	52.0	33.0	38.0	35.0	40.0	33.2	280.5	330.0	357.0	337.75	80.2
中志留统样品数		6						6						7
平均值		31.2						38.3						73.6
总平均值	43.0	39.0	33.9	52.0	33.0	38.0	35.0	39.23	33.2	280.5	330.0	357.0	337.75	76.6
地球化学场	武山降低场	丰山洞降低场		城门山降低场			降低场		矿化增高场					

北京铀矿研究所用电感耦合等离子光谱法分析

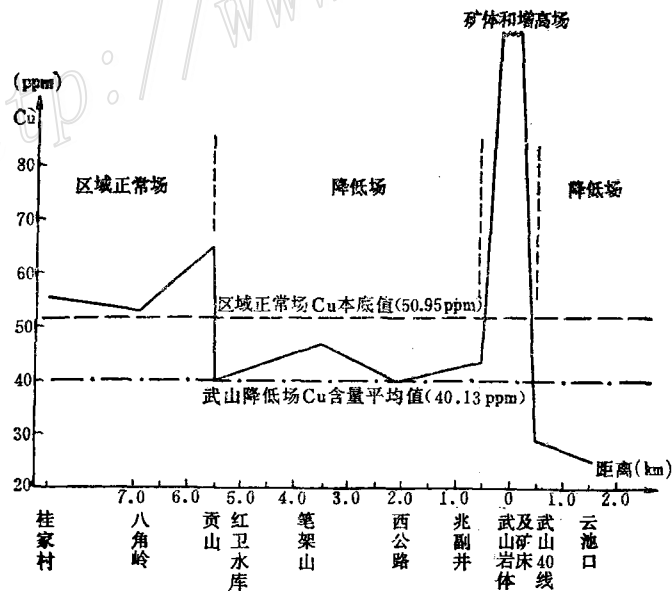


图 2 武山矿区志留系铜含量变化曲线

Fig. 2. Variation in copper content of Silurian strata in the Wushan ore district.

区域正常场铜含量背景值为50.95 ppm；武山降低场铜含量平均值为40.13 ppm；城门山降低场为41.12 ppm；丰山洞降低场为37.52 ppm。

图2显示了武山矿床围岩志留系中铜含量的规律性变化：以矿床为中心，向外依次为矿化增高场、降低场和正常场。与正常场比较，矿化增高场中铜含量增加幅度大，但范围小；而降低场降低幅度小，范围却很大（平均半径5.3 km）。两者有密切的依存关系。

二、侵入体岩相带

九瑞地区的侵入体呈岩株、岩枝、岩墙和岩脉产出，较大者都是岩浆多次侵位形成的复式岩体，并具有明显的岩相分带。如武山岩体由中心相至边缘相， SiO_2 、 FeO 、 K_2O 、 Na_2O 、 MgO 、 F 、 S 、 H_2O^+ 的含量渐低，而 Cl 、 CO_2 、 P_2O_5 、 CaO 、 MnO 含量却递增，斜长石牌号也逐渐增大，基质与斑晶斜长石牌号差值则减小（表2、3），围岩残留体增多。

武山斑岩体具有明显岩相分带和似斑状结构，表明岩浆同化力强，岩浆体容积大，表面积小，因而冷却慢，对热液系统有较大的驱动力。

表2 武山花岗闪长斑岩相带
Table 2. Petrofacies zones of Wushan granodiorite porphyry

相带	中心相	过渡相	边缘相
斑晶组成	斜长石、石英、钾长石、黑云母、角闪石、钠长石	斜长石、角闪石、石英、黑云母	斜长石、钙铁辉石、绿帘石、透辉石、阳起石、角闪石
最多的暗色矿物及其相对含量	黑云母；黑云母多于角闪石	角闪石；角闪石多于黑云母	钙铁辉石、绿帘石；辉石多于角闪石
斑基比	>1.0	0.5—1.0	<0.5
斑晶平均粒度 (mm)	4.5	2.6	2.0
基质平均粒度 (mm)	0.18	0.10	0.05
斑晶斜长石牌号	22	25	32
基质斜长石牌号	15		31
石英斑晶含量 (%)	5	3	0

表3 武山岩体各相带化学成分(%)
Table 3. Chemical composition of various petrofacies zones in Wushan intrusive body (in percentage)

样号	相带	SiO_2	FeO	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	H_2O^+	CO_2	F	Cl	S	P_2O_5
W323	中心相	66.84	1.34	0.02	3.00	1.61	3.85	4.15	1.16	0.71	0.099	0.008	0.39	0.18
W328	过渡相	66.58	1.11	0.03	3.37	1.48	3.85	4.05	0.78	0.88	0.078	0.018	0.32	0.23
W310	边缘相	66.24	1.08	0.03	3.81	1.49	3.23	3.81	0.26	1.57	0.069	0.016	0.17	0.23

测试单位：中国地质科学院测试技术研究所

三、接触变质与围岩蚀变

九瑞地区成矿岩体及其围岩普遍经受热液蚀变和接触变质,主要有矽卡岩化、硅化、钾化、绿泥石化和碳酸盐化、大理岩化、角岩化,岩体局部还发育沸石化和高岭土化。与成矿密切相关的是矽卡岩化、硅化和钾化。

矽卡岩化:武山矽卡岩带呈环状围绕斑岩体,剖面上呈弯曲带状,延深至-1000m以下。矽卡岩是重要的赋矿岩石,由钙铝—钙铁榴石、透辉石、透闪石、硅灰石、硬石膏、方解石、石英和金属硫化物组成。矽卡岩中氧化铁($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$)含量远比花岗岩和大理岩高,常大于25%。这种高铁、氧含量的矽卡岩的形成与“双交代”理论不相符^[2]。曾被认为的“内矽卡岩”实是斑岩体的边缘相(厚度为正矽卡岩的1/4),含较多钙铁辉石、绿帘石、透辉石等暗色矿物,斜长石斑晶未见交代迹象,与基质石英呈镶嵌关系;这种岩石无石英斑晶,斜长石牌号却具有最高值(表2),显然是岩浆期同化灰岩的产物。

硅化:面型蚀变,广泛发育于岩浆岩和各种围岩中,表现为原岩中石英颗粒的次生加大和石英脉的增多。城门山斑岩体中心出现的次生石英岩硅化核,是斑岩型铜钼矿的赋矿岩石。

钾化:包括钾长石化、黑云母和绢云母化。前两者以细粒集合体或细脉状为主,仅发育于岩浆岩和角岩中;后者普遍发育于岩浆岩和砂页岩围岩中。强绢云母化蚀变岩,原岩中斜长石全部被交代,或胶结物全部蚀变为绢云母,含量达30%。志留系砂页岩的硅化-绢云母化带与铜降低场近于吻合,是铜降低场的指示标志。

岩石化学资料^①表明:斑岩体含钾量或钾化强度与围岩岩性和斑岩体规模有关。出露于志留系砂页岩中或近旁的较大斑岩体,钾化较强, K_2O 含量大于3%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值大于0.8;出露在巨厚碳酸盐岩中的斑岩或小规模岩体,钾化弱, K_2O 低于3%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值小于0.8。据地层化学分析资料^①,志留系砂岩 K_2O 平均含量为1.5%,页岩为4.02%,而碳酸盐岩均在0.07%以下,相差数十倍。因此,热容量大、同化力强的侵入体可从志留系获取钾等物质。

四、矿床特征

九瑞地区金属矿床类型有层状含铜黄铁矿矿床、矽卡岩铜矿床、斑岩型铜钼矿床和角砾岩型铜矿床。它们是在同一成矿作用、不同地质环境下形成的“多位一体”的系列矿床。

1. 层状含铜黄铁矿矿床

该类矿床赋存于成矿岩体周围一定距离内的五通砂岩与黄龙灰岩间之不整合面及其附近。矿体近于顺层分布,长2000m以上。矿石类型有含铜黄铁矿、含铜碳酸盐岩,含铜高岭土和铜矿化砂岩等。金属矿物组合为黄铜矿、黄铁矿、白铁矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿及少量铜蓝、砷黝铜矿。其生成顺序为粗粒黄铁矿→辉钼矿→闪锌矿、黄铜矿→方铅矿

① 邱小平,1984,江西九江瑞昌地区铜等矿产成矿规律及预测(硕士论文)

→细微粒黄铁矿。铜矿化晚于早期黄铁矿，与铅锌矿化大致同时。

层状矿床中部（靠近斑岩处）为铜矿体，两侧局部变为铅锌矿体，往深部钼矿化增强，表现出由温度梯度造成的水平和垂直矿化分带。

矿体浅部铜、砷元素次生富集明显，辉铜矿、斑铜矿、砷黝铜矿等次生矿物增多；伴生金也富集，矿石平均含金0.66 g/t，最高达29 g/t。金与砷相关性强，高含量中心几乎吻合。

2. 矽卡岩铜矿床

矿床产于接触带呈环状，矿体延深逾100 m，小矿体为透镜状，捕虏体中矿体在400 m深度以下尖灭。矿物成分与层状矿体相似，但颗粒较粗，脉石矿物以石榴子石，方解石居多。

3. 斑岩型铜钼矿床

矿床产于斑岩体内，伴随强烈的钾硅化蚀变，矿体呈脉状、囊状和透镜状，具细脉浸染状或粗脉状构造。主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿和辉钼矿。城门山斑岩型矿化有两期：第一期铁铜矿化，主岩为花岗闪长斑岩；第二期主岩为石英斑岩，不仅改造了先成的斑岩铜矿，并叠加了钼铜矿化。石英斑岩成岩深度小，未能形成矽卡岩及与其有关的矿化。

4. 角砾岩型铜（钼、金）矿床

城门山石英斑岩和洋鸡山石英闪长玢岩都具隐爆角砾岩特征和强钾硅化蚀变。铜、金、钼的金属矿物呈细脉状或浸染状分布在胶结物中，也有些早期铜矿石角砾，显示多期矿化特征。

五、矿床地球化学

1. 蚀变岩浆岩化学元素相关性

据武山和城门山8个蚀变岩浆岩样品等离子光谱定量分析资料^①统计分析，按元素的相关系数（表4）分为四个组合：（1）铝-铁-钙-镁-钠-钛-锰-磷-铍-锆-锂-镍-锶-钒；（2）铜-钾-铅；（3）钼-钡-钍-钠；（4）镧-铈-铈-钆-铈。与成矿关系密切的为第二、三组合。

铜-钾-铅组合：三元素呈显著正相关，铜与钾相关系数达0.857。它们与造岩元素都呈负相关，表明其晶出晚于造岩元素，大部分可能是在岩浆固结成岩以后进入固相的，这与铜常在钾化蚀变岩中富集的地质事实吻合。

钼-钼-钍-钠组合：属热液蚀变岩中富集元素，互为正相关，指示钼矿化与钠（钡）交代相伴随。钼、钼、钍含量还与深度呈正相关，即钼矿化在深部加强。城门山斑岩型钼矿体均产在铜矿体下盘或斑岩体深处；武山岩体钻孔深度大于700m的样品，钼含量为56.9—256.5 ppm，平均值为163.4 ppm，比浅部斑岩样品高数十倍。

铜矿石中钾、钠含量极微，分别在检出限0.2%和0.05%以下，与成矿岩体的高钾含量有显著差别。曾有实验证明铜矿化与钾交代的关系（杨家琛，1980）：在超临界状态，当KCl浓度增高到3—9%时，溶液对铜元素的溶解能力大大加强，但当KCl浓度大于9%时，则浓度越大，溶液对铜的迁移能力越小。一定浓度（大于0.25 mol/kg）的Mg²⁺、Fe²⁺、Ca²⁺

① 邱小平1984年资料（硕士论文）

都使铜的迁移量降低，浓度越大，越不利于铜的迁移。

武山岩体多相包裹体石盐子晶熔化温度为290—330℃，对应盐度为37—41% NaCl (马承安, 1983)，但无钾盐子晶。城门山岩体多相包裹体溶液含KCl 14—17%，NaCl 35—45% (谢奕汉, 1983)。所以，含一定浓度K⁺、Na⁺的溶液是铜元素迁移的矿化剂。若使含矿溶液中铜质沉淀，需要在高Ca²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺介质环境中去K⁺、Na⁺，或者溶液KCl浓度超过9%时才能进行。由于本区接触带砂卡岩和上泥盆统与中石炭统之间不整合面富Ca²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺的碱性还原环境具备了这种成矿条件，铜质才得以沉淀成矿。斑岩体中心的钾

表 5 方差极大旋转因子模型
Table 5. Varimax factor loadings

元 素	Cu	Pb	Zn	Ti	V	Cr	Co	Ni
F ₁	0.634	-0.061	-0.002	-0.120	0.035	-0.116	0.868	0.907
F ₂	-0.013	0.628	-0.232	0.609	0.896	0.300	0.093	-0.085
F ₃	-0.124	-0.139	-0.087	-0.055	0.066	-0.258	0.003	0.024
F ₄	0.514	-0.556	0.196	-0.339	-0.060	-0.335	0.298	-0.256
F ₅	0.199	-0.490	0.856	-0.100	0.002	-0.201	-0.164	-0.099

元 素	Mn	Sr	Ba	$\frac{Co}{Ni}$	$\frac{Sr}{Ba}$	$\frac{Pb \times Zn}{Co \times Ni}$	特征值	累积方 差贡献
F ₁	0.122	0.012	0.331	0.020	-0.092	-0.134	2.163	20.0%
F ₂	0.751	0.053	-0.346	0.029	0.076	0.132	2.117	36.8%
F ₃	0.155	0.972	-0.121	-0.111	0.957	0.036	2.031	50.3%
F ₄	0.433	-0.018	0.039	0.871	-0.026	-0.229	2.001	62.7%
F ₅	0.135	0.028	0.332	-0.088	-0.158	0.816	1.926	73.1%

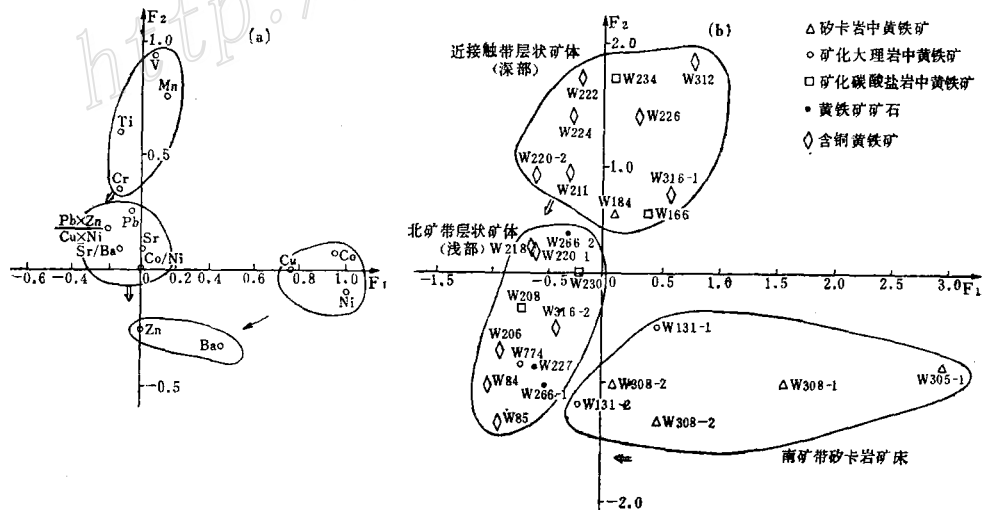


图 3 变量因子载荷图 (a) 及样品因子得分图 (b)
Fig. 3. Factor loadings of variables(a) and factor scores of samples(b).

硅化蚀变带, KCl 浓度超过9%时, 铜质亦可沉淀形成斑岩型矿床, 如城门山矿床。

2. 黄铁矿的微量元素地球化学

对武山矿区28个黄铁矿单矿物分析数据^①进行了因子分析, 结果如表5和图3。

样品的地质产状与元素组合有明显的因子对应关系(图3)。矽卡岩型铜矿床对应铜-钴-镍组合和锌-钼组合, 即由深源高温元素演变到中温热液元素组合; 层状含铜黄铁矿矿床对应铅-锶组合, 即中低温热液元素组合; 层状矿体沿倾向向深部近接触带部分对应钒-锰-钛-铬高温活动性深源元素组合。

武山矿区层状矿体与矽卡岩矿体中黄铁矿的微量元素组成的差异, 反映二者形成时受岩浆岩和地层的混染程度不同。

六、同位素地球化学

1. 硫同位素

武山矿区各种矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值多为 -2.9 — $+1.9\%$, 离散度小, 近于零值, 为深源硫。但五通砂岩中结核状黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -17.6 — -35.3% , 属生物改造成因硫。

2. 铅同位素

武山矿区的方铅矿和部分黄铁矿的铅同位素模式年龄为344—441 Ma, 相当于成矿围岩志留系和泥盆系的时代(表6)。斑岩中心相钾长石大斑晶分散铅的模式年龄为558.4 Ma, 远比斑岩年龄(钾氩法年龄为165 Ma)和围岩时代老, 属古铅成分。铅同位素组成表明矿石铅主要来源于围岩地层, 斑岩体部分铅来自古老基底, 而矽卡岩矿体成矿时有放射成因铅的加入。

表6 武山矿区铅同位素组成
Table 6. Lead isotope composition of the Wushan ore district

样号	取 样 位 置	测定矿物	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	Φ 值年 龄 (Ma)
W161	北矿带-40m西穿8铅锌矿体	方铅矿	17.927	15.536	38.106	1.154	441
W205	ZK932-280m黄龙灰岩中铅锌矿石	方铅矿	18.133	15.651	38.529	1.159	430
W338	北矿带-80mCKE2-1中铅锌矿石	方铅矿	18.019	15.531	38.283	1.160	365.6
W342	北矿带-80mCKE7-1中铅锌矿石	方铅矿	17.862	15.477	37.761	1.153	419.1
W323	南矿带-40m穿19中心相花岗闪长斑岩	黄铁矿	18.002	15.524	37.991	1.160	371
W5	北矿带-40m1号矿体	黄铁矿	18.270	15.666	38.539	1.166	344
W142	南矿带-40m穿19南端矽卡岩	黄铁矿	18.953	15.735	38.386	1.205	-80.2
W203	ZK936-476m五通砂岩中结核状黄铁矿	黄铁矿	18.625	15.695	38.590	1.187	82.4
W323	南矿带-40m穿19中心相花岗闪长斑岩	长石斑晶	17.800	15.555	37.743	1.144	558.4

由中国地质科学院地质研究所测试; 年龄值按霍姆斯-豪特曼法计算

3. 锶同位素

武山斑岩体中心相锶同位素组成见表7。磷灰石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值可近似代表岩体初始锶比值, 属深源成因; 黑云母斑晶的年龄值为岩体成岩年龄; 钾长石大斑晶年龄值偏老, 与古

① 据中国地质科学院南京地质矿产研究所(1982年)直续光谱资料

铅对应, 属古锶成分, 表明部分锶也来自基底岩石。

4. 氢和氧的同位素组成

武山岩体氢和氧的同位素数据列于表 8。

由岩体中心相的石英和黑云母斑晶计算的同位素交换平衡水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 +6.1‰, δD 值为 -82‰, 属岩浆水范围^[6]。而岩体边部含矿石英脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 +3.5—+4.3‰, 平均值为 +3.9‰, 低于岩浆水的范围。

从岩体中心到边缘, 由岩浆期的石英斑晶到含矿石英脉, 外生水含量相对增加, 表明在

表 7 武山花岗闪长斑岩锶同位素组成
Table 7. Strontium isotope composition of Wushan granodiorite porphyry

样号	测定矿物	Rb	Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	年龄值 (Ma)
W323-1	黑云母	405.51	18.32	64.0154	0.83591	141.5
W323-2	长石大斑晶	198.86	1241.8	0.4631	0.70992	412
W323-3	磷灰石				0.7072	

由中国地质科学院地质研究所测试, 年龄值按 $t = \frac{1}{\lambda} \ln(1 + ^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Rb})$ 计算, $\lambda = 1.42 \times 10^{-11}$

表 8 武山花岗闪长斑岩氢和氧的同位素组成
Table 8. Hydrogen and oxygen isotope composition of Wushan granodiorite porphyry

样号	测定对象	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	同位素温度 $t_{\text{Q-Bi}}$ (°C)	均一温度 (°C)	备注
W323-1	黑云母	+7.1	-98		586		中国地质科学院 矿床地质研究所分析
W323-4	石英斑晶	+11.5		+6.1	586		
W323-5	长石石英包体水		-91				据南京地矿所
岩体边缘	石英脉	+9.3		+3.9		334—362	

注: $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为由石英计算的岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 采用的公式为: $1000 \ln \alpha_{\text{Q-H}_2\text{O}} = 2.51 \times 10^8 T^{-2} - 1.96$ (clayton, 1972, 500—700°C) 和 $1000 \ln \alpha_{\text{Q-H}_2\text{O}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ (clayton, 1972, 200—500°C)。 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为由黑云母计算的岩浆水的 δD , 采用公式为 $1000 \ln \alpha_{\text{Bi-H}_2\text{O}} = 22.4 \times 10^6 T^{-2} + 28.2 + (2x_{\text{Al}} - 4x_{\text{Mg}} - 68x_{\text{Fe}})$ (T. Su-zuoki, 1976) (Q代表石英, Bi代表黑云母)

表 9 武山矿区及外围碳酸盐岩的碳、氧同位素组成
Table 9. Carbon and oxygen isotope composition of carbonate rocks in Wushan ore district and its peripheral areas

样号	岩石	取样位置	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ (‰)	地球化学场
W112	茅口组黑色灰岩	亭子铺剖面	3.6	-6.9	正常场
W122	黄龙组灰色灰岩	红卫水库剖面	1.1	-1.2	正常场
W138	茅口组灰色结晶灰岩	南矿带0m西接触带外围	2.4	-7.9	降低场
W256	茅口组结晶灰岩	ZK4057-900m处	1.9	-9.7	降低场
W137	茅口组白色大理岩	南矿带0m西接触带	2.1	-11.1	矿化增高场
W161	铅锌矿石中方解石脉	北矿带-40m西8穿脉	0.5	-12.7	矿体

(由中国地质科学院矿床地质研究所七室分析)

岩浆冷却与成矿过程中存在岩浆水与外生水混合的对流循环系统。

5. 碳和氧的同位素组成

武山矿区及外围碳酸盐岩在铜元素地球化学场中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和 $\delta^{13}\text{C}$ 值具相应变化规律(表9), 表明在岩浆冷却与成矿过程中, 愈靠近斑岩和矿体, 外生水循环愈激烈, 来自雨水的 ^{16}O 和 ^{12}C 等轻同位素不断进入成矿热液循环系统, 导致矿体和近矿碳酸盐岩的重同位素相对亏损。

七、成矿物质来源探讨

1. 同熔岩浆

九瑞地区岩浆岩属深源物质同熔成因, 铜含量在地壳深部略高于地壳浅部。 Cu^+ 的八面体稳定能和八面体择位能均为零, 通常不在岩浆早期进入造岩矿物晶格, 而趋于在复式岩体的晚期岩石中富集。L.R.Wager (1951)对东格陵兰斯盖嘎岩体的研究证明铜在晚期熔体中可富集到原始熔浆浓度的3.8倍^[5]。

2. 基底岩石

本区南部、东部地区和德兴地区, 广泛出露寒武纪和前寒武纪地层, 含铜量较高(40—60ppm, 芮宗瑶), 东邻郭家桥砂岩铜矿发现震旦系同生铜矿层。在岩浆侵位同化基底岩石时, 首先汲取其中的铜、钾、钼等不相容元素以及古铅和古锑同位素。基底岩石巨厚, 又富铜质, 通过岩浆同化作用, 也能提供部分成矿物质。

3. 浅层围岩

志留系在本区厚度大, 含铜背景值高, 矿床附近出现铜元素降低场。以武山矿区为例, 志留系厚1640 m, 降低场长度 2×5300 m (图2), 地层平均倾角 40° , 成矿深度推定为1500 m, 砂页岩平均密度为 2.6 t/m^3 , 降低场与正常场铜含量差值为10.82ppm, 由此计算出志留系板状体降低场汲出114万吨铜金属量。这些由热液对流循环系统汲出的铜质就是矿床的组成部分^[4]。

八、成矿模式讨论

九瑞地区所有内生金属矿床都与岩浆岩有不可分离的空间关系, 岩浆作用是成矿的必要条件。岩浆热驱动外生水与岩浆水共同对流循环, 汲取志留系围岩和岩浆岩本身的铜、钾等物质, 形成含矿热液。热液阶段早期, 由于氟、氯等挥发分含量高, 热液呈酸性; 当KCl浓度为3—9%时, 铜在热液中的溶解加速并以 $\text{K}_2[\text{CuCl}_4]$ 等络合物形式迁移。含矿热液流经岩体中心附近被加热而沸腾, 成矿溶液浓缩, 同时斑岩体捕获热液形成高盐度多相包体群(沸腾包裹体群)。当液缩的含矿热液运移到矽卡岩带或五通组与黄龙组间不整合面时, 由于温度降低, 矽卡岩或碳酸盐岩中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 和 CO_3^{2-} 、 HCO_3^{2-} 等离子的加入, 含矿热液逐渐变为碱性, 对铜的迁移能力减弱。随着铜络合离子的分解和脱钾作用发生, 热液中硫的性状也由 $[\text{H}_2\text{S}]$ 、 SO_4^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 HS^- 转变为 S^{2-} 和 $[\text{S}_2]^{2-}$, 与铜等金属离子结合沉淀出大量硫化物矿石。在岩体接触带形成矽卡岩型铜矿带, 不整合面则形成层状含铜黄铁矿带(图4)。

如果岩浆含热量足够大或岩浆再次侵位（城门山石英斑岩），使含矿热液持续循环沸腾，其KCl浓度大于9%时，铜质可直接在岩体中心钾化带沉淀形成斑岩型铜矿床，如城门山铜矿床。

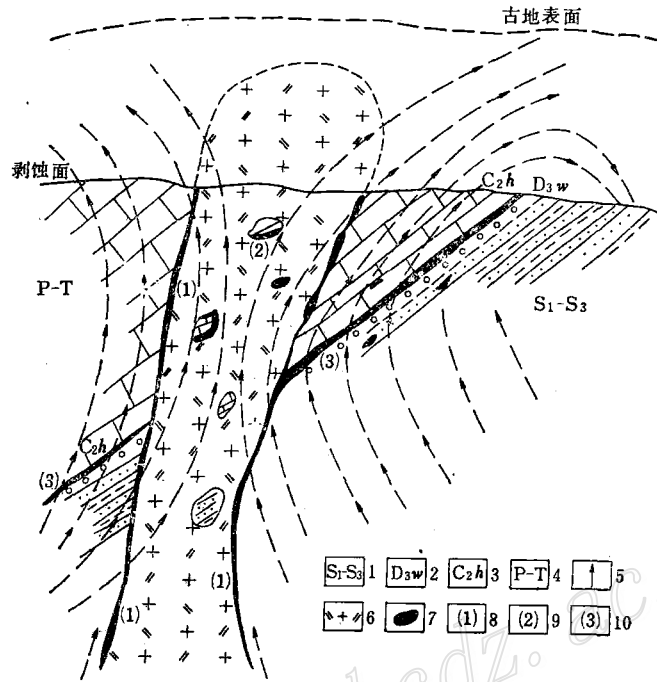


图4 九江—瑞昌地区成矿模式简图

1—志留系；2—泥盆系五通组；3—石炭系黄龙组；4—二叠系至三叠系；5—含矿热液运移路线；6—斑岩体；7—矿体；8—矽卡岩矿带；9—捕虏体矿体；10—层状含铜黄铁矿带

Fig. 4. Generalized metallogenic model for Jiujiang—Ruichang area.

1. Silurian; 2. Devonian Wutong Formation; 3. Carboniferous Huanglong Formation; 4. Permian-Triassic; 5. Migration direction of ore-bearing hydrothermal solutions; 6. porphyry body; 7. Orebody; 8. Skarn ore zone; 9. Xenolithic ore zone; 10. Stratiform copper-bearing pyrite ore zone.

野外和室内工作得到江西省地矿局赣西北地质大队和中国地质科学院矿床地质研究所一室和十一室的许多同志的热情帮助，在此谨致以由衷地感谢。

参 考 文 献

- [1] 裴荣富、刘 瑛、吕凤翔 1985 再论大冶式铁矿 中国地质科学院矿床地质研究所刊 第3号
- [2] 季克俭、吴学汉、郭沪淇 1982 关于“似层状矽卡岩”铁矿成因问题的讨论 中国地质科学院矿床地质研究所刊 第2号
- [3] 季克俭、吴学汉、张国柄 1982 热液矿床的三源表成热液成矿模式 中国地质科学院矿床地质研究所刊 第3号
- [4] 季克俭、吴学汉 1984 关于德兴斑岩铜矿铜源的初步研究 矿床地质 第2期
- [5] 武汉地质学院 1979 地球化学 地质出版社
- [6] White, D. E., 1974, Diverse Origins of hydrothermal ore fluid, Econ. Geol., Vol. 69, No. 6, pp. 954—973.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COPPER METALLIZATION IN THE JIUJIANG—RUICHANG AREA, JIANGXI PROVINCE

Qiu Xiaoping, Pei Rongfu, Ji Kejian and Wu Xuehan

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract

The Jiujiang—Ruichang area is located in northwestern Jiangxi, along the western part of the minerogenic belt of middle—lower Yangtze Valley. In this area Ordovician to Triassic sediments are exposed, and NEE-folds, NW-compressive, NNW-tensile and NEE-compressive-shearing faults make up the major structures. Igneous rocks are mostly intermediate-acid epizonal intrusive bodies (Fig. 1).

The Wushan copper deposit is a typical one in the area, which consists of skarn-type and stratiform Cu-bearing pyrite-type orebodies. In addition to these types of orebodies, the Chengmenshan copper-molybdenum deposit has porphyry and breccia-pipe type orebodies.

Silurian strata, with a great thickness and an average copper content of 51ppm, is considered to be an ore source bed. Around the deposit, there is a copper-decreased field (Fig. 2). The copper which moved out of the decreased field is concentrated in the orebodies. Magmatic rocks that intruded into or near Silurian strata often have relatively high alkali content and K_2O/Na_2O ratio, and the potash alteration is intensely developed.

Magmatic rocks in the area are of co-melting type or mixed type. The magma assimilated a large quantity of country rock substances during its rising. The REE patterns of the magmatic rocks are characterized by high REE contents, absence of Eu anomalies and high LREE/HREE ratios (Fig. 4). Ancient lead and strontium isotope compositions are detected in the feldspar megaphenocryst of the granodiorite porphyry (Table 8, 9).

Before the complete cooling of the magmatic system, there existed a huge hydrothermal convective circulation system of magmatic water and supergenic water in the magmatic and country rocks, in which copper, potassium and other ore-forming substances derived from country rocks came into the intrusive body, and then got concentrated through heating, boiling and evaporating. When the ore-forming fluids flowed to the skarn zone or the

boundary between Wutong Group and Huanglong Group, the ore-forming substances precipitated as a result of the change in media (Fig. 5). If the concentration of potassium ion (K^+) exceeded the critical value ($KCl > 9\%$), copper and other ore substances might have deposited in magmatic rocks, forming porphyry type ore deposits.

Finally, this paper makes a metallogenic discriminant analysis of intrusive bodies, characteristic analysis of geological condition, and metallogenic prognosis for some prognostic units. As a result, some ore prospects are indicated.

中国地质学会矿床地质专业委员会通知

为纪念我国著名矿床地质学家谢家荣、孟宪民先生生前为发展我国矿床地质事业所作出的杰出贡献，为推动我国矿床地质工作的发展，鼓励中青年矿床地质工作者创造性地工作，为国民经济建设服务，中国地质学会矿床地质专业委员会特设立“谢家荣-孟宪民奖”（详细条例请见《矿床地质》1987年第3期和《中国地质》1987年第7期）。

本奖采取先由本人申请，并须有两名高级职称专家推荐，于1989年3月15日前向本委员会秘书处提交申请书和相应的技术材料及推荐人的书面意见各一式5份。申请表可向当地各省市自治区地质学会索取或直接向本委员会秘书处联系。

欢迎广大地质工作者积极参加，积极申请。

中国地质学会矿床地质专业委员会秘书处

1988年4月5日