

安徽铜陵凤凰山铜矿床地球化学特征及其意义

毛政利, 赖健清, 彭省临, 邵拥军, 杨 斌

(中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083)

[摘 要]通过对凤凰山铜矿床化探样品测试数据的系统分析研究,初步确定了本矿床在成矿作用过程中至少经历了两次大的热液流体活动:第一次是花岗闪长岩的侵入,不仅是岩浆热液使成矿元素迁移富集,而且在岩体侵入过程中强大热能的驱动下地层中的大气水参与流体的对流循环,使地层中的成矿元素被迁移;第二次是石英二长闪长岩的侵入,它在带来大量成矿物质的同时,也使地层中、特别是前期花岗闪长岩中的成矿元素在大气水的对流循环作用下被迁移并在岩体边缘及附近富集成矿。

[关键词]地球化学 流体活动 对流循环 凤凰山

[中图分类号]P618.41 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2004)02-0028-04

凤凰山铜矿床成因的认识由早期的夕卡岩型^[1]到层控夕卡岩型^[2],再到沉积-热液改造型^[3],近年来又发现了斑岩型铜矿床^[4],基本涵盖了铜陵矿集区主要的矿床成因类型。同时,众多研究者从多种角度研究了燕山期岩浆热液流体系统在成矿过程中的作用^[5-10]。本文从地球化学的角度,具体讨论凤凰山铜矿床成矿元素在燕山期热液流体系统作用下的迁移富集过程。

1 矿区地质背景

凤凰山铜矿床位于新屋里复式向斜的中段核部,矿区出露的地层主要为三叠系条带状灰岩和白云质灰岩,靠近岩体者都已变成大理岩。岩浆岩很发育,主要为新屋里岩体。为花岗质岩浆多次涌动侵入形成的复式岩体,在平面上呈椭圆形,面积近10 km²,呈岩株状产于新屋里向斜核部。岩体与围岩呈明显的侵入接触,北部铁山头、宝山陶一带,接触面向北陡倾,倾角70°~80°,接触面平直;东部仙人冲一带,接触面倾向东,倾角较陡,一般在45°~82°之间;南部清水塘一带向南缓倾,倾角35°左右;西部及西南部药园山、相思树一带产状变化复杂,部分地段超覆于围岩之上。上述产状反映了岩体接触面整体倾向围岩,仅局部(药园山一带)倾向岩体,使岩体超覆于围岩之上,这也说明了岩体是由北东向南西向上侵位的,西南部的超覆地段即为岩体侵

位的前缘。岩石类型主要为花岗闪长岩和石英二长闪长岩,据研究^[11],花岗闪长岩与石英二长闪长岩为不同期次的产物,花岗闪长岩先期侵入结晶,而后石英二长闪长斑岩再次侵入。沿岩体的接触带分布有一系列的矿床,目前已发现的矿床主要有凤凰山铜矿(又称药园山铜矿)、宝山陶、铁山头、仙人冲、清水塘和江家冲等铜矿床。矿体主要呈似“板状”和“不规则透镜状”产于新屋里岩体与三叠系灰岩间的接触带上,为夕卡岩-斑岩型,受接触带和断裂构造的复合控制(图1)。

2 化探数据采集

样品采集布置在凤凰山铜矿床南部,分两部分,一部分是地表,在凤凰山铜矿床南100 m以外的400×800 m²的矩形区域内,以200 m线距、20 m点距取原岩样品;另一部分是地下,在地表采样区中部的55勘探线,55勘探线在地表以下370 m左右有新发现的斑岩型矿体产出,利用已有的坑道和钻探验证工程进行系统的采样。共采集原岩样品217件,其中地表85件,55线剖面132件,化验了Cu、Pb、Mn、Cr、Ni、Be(W)、Mo、Sn、V、Ag、Ti、Zn、Co、Ba、Sr、As、Sb、Bi、Au等19个元素的含量。

本次所取的化探样品尽管是在一个矿区的小范围内采集,但样品采集区域内的岩性变化大,主要有大理岩、花岗闪长岩、石英二长闪长岩、正长斑岩、夕

[收稿日期]2003-03-21; **[修订日期]**2003-05-02; **[责任编辑]**余大良。

[基金项目]国家“十五”科技攻关项目(编号:2001BA609A-06)资助。

[第一作者简介]毛政利(1967年-),男,2001年毕业于中南大学,获硕士学位,在读博士生,高级工程师,现主要从事GIS与矿床定位预测研究工作。

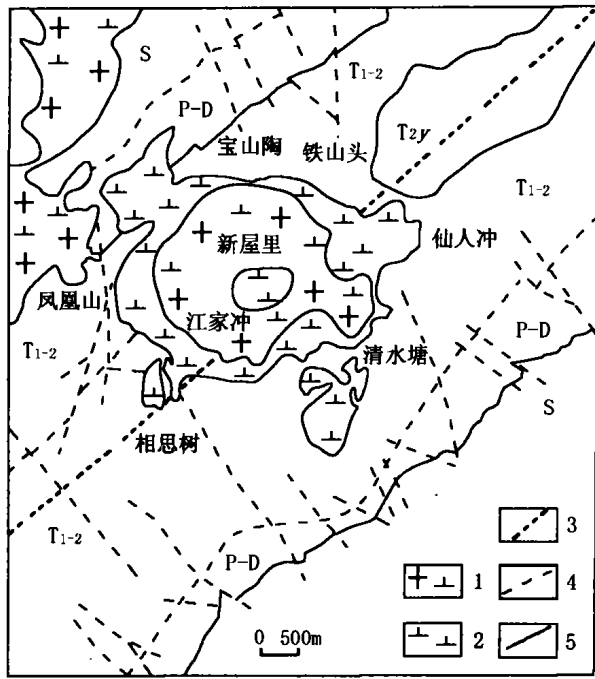


图1 凤凰山铜矿床地质略图

1—花岗闪长岩;2—石英二长闪长岩;3—复式向斜枢纽;4—断层;5—地质界线; T_{1-2} —三叠系中统月山组; T_{1-2} —三叠系中下统; $P-D$ —二叠—泥盆系

卡岩等;另一方面,针对具体情况,在55线已揭露有斑岩型的工业铜矿体,而地表未出露有工业矿体。

因此,根据样品采集地点及岩性,把样品分为:地表大理岩、地表花岗闪长岩、地表石英二长闪长岩、55线大理岩、55线花岗闪长岩、55线石英二长闪长岩、55线夕卡岩等七类分别分析。

3 数据处理及其地球化学特征分析

在以上分类的基础上,计算了各地质体中微量元素浓度克拉克值 K (表1),它反映了元素在地质体中的集中与分散程度。浓度克拉克值大于1,说明该元素在该地质体中相对集中,小于1则说明其相对分散。根据浓度克拉克值的大小将元素的富集程度分4类: $1.2 \leq K < 4$ 为弱富集, $4 \leq K < 12$ 为中等富集, $K \geq 12$ 为强富集。本区各地质体中微量元素的富集特征见表2。

在各地质体中,元素 Bi 均显示出强富集的特征, Pb 、 Cr 、 Zn 等则表现为弱富集的特点。主要成矿元素 Cu ,除地表大理岩外,均显示出不同程度的富集,特别是在55线的石英二长闪长岩中, Cu 表现出极强的富集特征; Ag 、 Au 元素的富集特征与 Cu 相似,它在55线的石英二长闪长岩、55线大理岩中表现为强富集的特点;而且, Ag 、 Au 与 Cu 具有同步富集的特征,即在大多数地质体中, Ag 、 Au 与 Cu 都处

表1 各地质体中微量元素浓度克拉克值表

 $\omega(Au)/10^{-9}$, $\omega_B/10^{-6}$

	Cu	Pb	Mn	Cr	Ni	Mo	Sn	V	Ag	Ti	Zn	Co	Ba	Sr	As	Sb	Bi	Au
地壳丰度	维氏值 47.00	16.00	1000.00	83.00	58.00	1.10	2.50	90.00	0.07	4500.00	83.00	18.00	650.00	340.00	1.70	0.50	0.01	4.30
地表大理岩	平均值 19.29	16.37	591.34	9.67	2.79	0.30	0.60	11.14	0.17	439.85	47.13	1.90	408.07	1553.42	11.57	1.84	0.39	1.74
	K 值 0.41	1.02	0.59	0.12	0.05	0.27	0.24	0.12	2.44	0.10	0.57	0.11	0.63	4.57	6.81	3.68	42.93	0.40
地表花岗闪长岩	平均值 348.50	27.10	488.60	189.88	6.32	4.59	3.72	110.30	0.49	2745.20	53.40	12.88	388.00	668.72	18.80	1.36	0.94	21.10
	K 值 7.41	1.69	0.49	2.29	0.11	4.18	1.49	1.23	6.95	0.61	0.64	0.72	0.60	1.97	11.06	2.72	104.89	4.91
地表石英二长闪长岩	平均值 106.03	21.40	677.33	114.98	6.24	1.48	1.93	83.38	0.23	2449.17	114.83	9.84	415.67	387.23	8.76	1.24	0.92	9.32
	K 值 2.26	1.34	0.68	1.39	0.11	1.34	0.77	0.93	3.32	0.54	1.38	0.55	0.64	1.14	5.15	2.48	102.04	2.17
55线大理岩	平均值 449.59	30.13	1318.89	28.57	6.94	2.70	2.81	15.88	0.66	834.44	109.11	8.92	412.11	1389.09	7.30	0.87	1.78	63.32
	K 值 9.57	1.88	1.32	0.34	0.12	2.46	1.12	0.18	9.44	0.19	1.31	0.50	0.63	4.09	4.29	1.74	197.78	14.72
55线石英二长闪长岩	平均值 882.83	35.60	753.17	114.37	16.37	16.05	5.43	72.56	0.84	1839.45	174.73	24.90	477.95	920.83	17.94	1.95	3.05	128.92
	K 值 18.78	2.23	0.75	1.38	0.28	14.59	2.17	0.81	17	0.41	2.11	1.38	0.74	2.71	10.55	3.89	338.50	29.98
55线夕卡岩	平均值 463.95	38.61	2006.03	64.89	9.23	5.62	5.55	43.95	0.53	1512.27	97.09	11.64	228.85	331.67	15.02	2.99	3.88	28.06
	K 值 9.87	2.41	2.01	0.78	0.16	5.11	2.22	0.49	7.61	0.34	1.17	0.65	0.35	0.98	8.84	5.97	431.37	6.53
55线花岗闪长岩	平均值 65.80	17.00	563.50	182.10	6.53	1.04	1.45	44.95	0.08	1828.00	59.75	6.98	489.50	834.98	2.70	0.63	0.43	1.55
	K 值 1.40	1.06	0.56	2.19	0.11	0.95	0.58	0.50	1.15	0.41	0.72	0.39	0.75	2.46	1.59	1.27	47.78	0.36

原始数据由有色金属桂林矿产地质测试中心2002年11月30日测试。

表2 各地质体中微量元素的富集特征

地质体	弱富集元素 ($1.2 \leq K < 4$)	中等富集元素 ($4 \leq K < 12$)	强富集元素 ($K \geq 12$)
地表大理岩	Ag, Sb	Sr, As	Bi
地表花岗闪长岩	Pb, Cr, Sn, V, Sr, Sb	Cu, Mo, Ag, Au, As	Bi
地表石英二长闪长岩	Cu, Pb, Cr, Mo, Zn, Sb, Ag, Au	As	Bi
55线大理岩	Pb, Mn, Mo, Zn, Sb	Sr, Cu, Ag, As	Au, Bi
55线花岗闪长岩	Cu, Cr, Sr, As, Sb		Bi
55线石英二长闪长岩	Pb, Cr, Sn, Zn, Co, Sr, Sb		Cu, Mo, As, Ag, Au, Bi
55线夕卡岩	Pb, Mn, Sn	Cu, As, Ag, Au, Mo, Sb	Bi

于同一富集程度段上,或者它们的富集程度相差不大,说明了 Ag、Au 与 Cu 矿化的同步性。另一方面,55 线大理岩和 55 线夕卡岩显示出了以 Cu 为主的接触交代 Cu 多金属矿化的特点,而地表花岗闪长岩、55 线石英二长闪长岩和 55 线花岗闪长岩则显示出不同程度的以 Cu、Mo、Au 为主的斑岩型矿化特征;55 线大理岩和夕卡岩,相对于地表大理岩来说,其以 Cu 为主的接触交代型矿化作用很强,成矿元素得到了高度富集,而 55 线石英二长闪长岩中以 Cu、Mo、Au 为主的斑岩型矿化强度极大。

4 Cu 元素在各地质体中的含量及其迁移富集分析

矿田内地球化学异常是矿田范围内多次多阶段成矿作用的地球化学反映^[12],是由多次地质地球化学过程叠加形成的,并不能代表各地质体形成时的初始含量。本文采用地质统计学方法中的因子分析来区分同生场和叠加场。

由于在 55 线已经揭露了斑岩型铜矿的工业矿体,55 线的样品所受到的矿化作用影响要强一些。因此,在用因子分析方法区分同生场和叠加场时选择受矿化作用较弱的地表样品。

地表大理岩:Cu 平均含量为 19.29×10^{-6} ,远低于地壳同类岩石平均值 30×10^{-6} ,这也许是由于它的

原岩碳酸盐岩在沉积时 Cu 的含量就很低;但是,因为它是在矿区范围内,又位于新屋里岩体边缘,极有可能是在新屋里岩体侵入时,在变质作用过程中由于流体作用而使 Cu 元素被流体带出。用这类岩石的样品进行因子分析,Cu 的载荷比较高的主因子有 4、5、6,其中主因子 4 的载荷为 -0.274,它应代表碳酸盐岩在变质作用过程中 Cu 被流体迁移的过程。

地表花岗闪长岩:这类岩石样品的因子分析主要有 3 个主因子,分别代表 3 个主要地质地球化学过程,主因子 1 以 Cu、Pb、Mn、Mo、Sn、Ag、Bi、Au 等为主,代表岩体形成后期的流体成矿作用,Cu 的载荷为 0.749;主因子 2 以 Cr、Co、As 等为主,代表成岩作用,Cu 的载荷为 0.24;主因子 3 以 Ni、V、Ti、Sb 等为主,应代表后期石英二长闪长岩侵入时的叠加作用,Cu 的载荷为 -0.186。

地表石英二长闪长岩:这类岩石样品的因子分析主要有两个主因子,分别代表两个主要地质地球化学过程,主因子 1 以 Cu、Co、Cr、Sn、Sb、Ag、Au 等为主,代表岩体形成后期主要成矿作用,Cu 的载荷为 0.888;主因子 2 以 Ni、Ba、Co 等为主,代表成岩作用。

表 3 是根据地表岩石样品进行因子分析确定同生场以后计算出的各地质体的叠加场强度系数以及各地质体铜的富集特征。从表 3 可以看出:

表 3 各地质体中 Cu 的富集特征

岩石类型	地表大理岩	地表花岗闪长岩	地表石英二长闪长岩	55 线大理岩	55 线花岗闪长岩	55 线石英二长闪长岩	55 线夕卡岩
平均含量 $\omega_B/10^{-6}$	19.29	348.50	106.03	449.59	65.80	882.83	463.95
标准偏差	42.7	198.8	136.9	616.2	27.3	775.9	604.5
地壳同类岩石平均值 $\omega_B/10^{-6}$	30	20	35	30	20	35	
富集系数	0.65	17.43	3.03	14.99	3.29	25.22	
同生场 $\omega_B/10^{-6}$	24.7	83.53	38.69	24.7	83.53	38.69	
叠加场强度系数	0.79	4.17	2.74	18.20	0.79	22.82	

1)地表大理岩 Cu 含量仅 19.29×10^{-6} ,而 55 线大理岩则为 449.59×10^{-6} ,这不仅说明了地表大理岩在成矿作用过程中 Cu 元素被迁移,而且说明了在 55 线,大理岩中的 Cu 得到了高强度的富集,其富集系数高达 14.99,叠加作用强度系数高达 18.2;它的标准偏差也较高,为 616.2,说明 55 线大理岩中 Cu 的矿化叠加作用是极不均匀的,有利于 Cu 在本区段富集成矿,是本区隐伏铜矿体的有利赋存部位之一。

2)地表花岗闪长岩和 55 线花岗闪长岩的含量差别更能说明一些问题,地表花岗闪长岩 Cu 平均含量有 348.50×10^{-6} ,而 55 线花岗闪长岩则为 65.80×10^{-6} ,同一区域同一期次侵入的花岗闪长

岩,它们的 Cu 含量的初始本底应该是相同的,即使有差别也不会有这么大,因此,可以认为,后期侵入的石英二长闪长岩,在其侵入过程中所产生的热流体活化了花岗闪长岩中的 Cu,并使其迁移出来,在成矿有利地段进一步富集成矿。地表花岗闪长岩相对远离石英二长闪长岩,所受到的地球化学作用相对较弱,因而 Cu 元素被活化迁移的量较少,而 55 线的花岗闪长岩相对距石英二长闪长岩较近,所受到的地球化学作用相对较强,因而 Cu 元素被活化迁移的量较大。

3)石英二长闪长岩中 Cu 的平均含量与花岗闪长岩刚好相反,地表仅为 106.03×10^{-6} ,而 55 线高达

882.83×10^{-6} , 其富集系数达 25.22, 叠加作用强度系数达 22.82, 标准偏差也有 775.9, 说明 55 线的石英二长闪长岩中 Cu 元素得到了高度富集, 这不仅是岩体本身富集了 Cu 元素, 而且, 后期叠加作用也使 Cu 的富集大大加强; 它的高的标准偏差指示了 Cu 的富集与叠加是极不均匀的, 有利于 Cu 在本区段富集成矿, 也是本区隐伏铜矿体的有利赋存部位之一。

4) 55 线夕卡岩的 Cu 平均含量为 463.95×10^{-6} , 标准偏差 604.5, 这也说明了 Cu 在夕卡岩中得到了富集, 而且富集也极不均匀, 有利于 Cu 的成矿, 亦为本区隐伏铜矿体的有利赋存部位之一。

谢学锦指出: 同生的原生异常的存在显示了岩体或岩层的含矿性。叠加的原生异常最主要的是热液矿床四周的热液渗滤晕, 这是成矿热液在沉积成矿时残余热液继续在成矿通道中运移, 在矿体前缘部位形成的^[13]。结合以上分析可知, 55 线的大理岩、夕卡岩和石英二长闪长岩, 以其高的成矿元素含量、标准差、富集系数和叠加强度系数, 均为本区隐伏铜矿体的有利赋存部位。这主要是由于后期石英二长闪长岩的侵入, 对前期形成的花岗闪长岩及地层产生强大的叠加改造作用, 因此, 在本区寻找隐伏铜矿体, 主要的有利部位应是石英二长闪长岩及其与花岗闪长岩、大理岩、夕卡岩接触带及其附近。

5 结论

综上所述, 凤凰山铜矿床在成矿作用过程中至少经历了两次大的热液活动。第一次是花岗闪长岩的侵入, 岩体在侵入过程中不仅带来了大量的成矿物质, 而且, 在岩体的热动力作用下, 使周围地层中的大气水向岩体运移, 形成以岩体为中心的汇聚式对流循环, 在对流循环过程中, 流体把地层中的成矿元素带出并迁移到岩体边缘, 使其富集。第二次是石英二长闪长岩的侵入, 其流体作用过程与花岗闪

长岩侵入时的流体作用过程相似, 不同的是, 此时的花岗闪长岩是围岩, 流体的对流循环也将其中的成矿元素带出并迁移到石英二长闪长岩体边缘而进一步富集成矿。

[参考文献]

- [1] 郭文魁. 论安徽铜官山铜矿成因[J]. 地质学报, 1957, 37(3): 317~322.
- [2] 常印佛. 关于层控夕卡岩型矿床[J]. 矿床地质, 1983, 2(1): 11~20.
- [3] 黄华盛, 师其政, 崔彬, 等. 铜官山铜矿床组合特征及成因[J]. 矿床地质, 1985, 4(2): 13~22.
- [4] 彭省临, 邵拥军, 刘亮明. 安徽铜陵凤凰山铜矿床成因新认识[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 443~446.
- [5] 俞沧海. 贵池铜山铜矿床成因探讨[J]. 地质与勘探, 2001, 37(2): 12~16.
- [6] Gu L X, Hu W X, He J X, et al. Regional variations in ore composition and fluid features of massive sulphide deposits in South China: Implications for genetic modeling [J]. Episodes, 2000, 23(2): 110~118.
- [7] Xiao Xinjian, Gu Lianxing and Ni Pei. Multi-episode boiling in the Shizishan copper-gold deposit at Tongling, Anhui Province: its bearing on ore formation [J]. Science in China (Series D), 2002, 45(1): 34~44.
- [8] 肖新建, 顾连兴, 倪培, 等. 铜陵地区海底喷流沉积 (SEDEX) 块状硫化物矿床成矿流体研究[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 491~494.
- [9] 杨竹森, 侯增谦, 蒙义峰, 等. 安徽铜陵矿集区流体系统与成矿[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 1080~1082.
- [10] 王训诚, 姜章平, 蒙义峰, 等. 铜陵地区构造流体体系初探[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 1045~1047.
- [11] 彭省临, 毛政利, 赖健清, 等. 安徽铜陵凤凰山矿区新屋里岩体岩石化学特征及成因分析 [M]. 2002 年湖南矿物岩石地球化学论丛. 长沙: 中南大学出版社. 2002, 30~33.
- [12] 史长义, 张金华. 大中型铜矿区域地球化学异常预测评价 [J]. 地质与勘探, 1998, 34(6): 24~39.
- [13] 谢学锦. 勘查地球化学: 发展史·现状·展望 [J]. 地质与勘探, 2002, 38(6): 1~9.

THE CHEMICAL CHARACTERISTICS AND SIGNIFICANCES OF THE FENGHUANGSHAN COPPER DEPOSIT IN TONGLING, ANHUI PROVINCE

MAO Zheng-li, LAI Jian-qing, PENG Sheng-lin, SHAO Yong-jun, YANG Bin

(College of Geosciences and Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract: By the systematical analysis on geochemical prospecting data in the Fenghuangshan copper deposit at Tongling of Anhui Province, it is preliminarily ascertained that the deposit had undergone at least two main hydrothermal activities during metallogenesis. The first activity is granodiorite magmatism, enabling metallogenic elements re-movement and concentration not only in magmatic fluid but also in strata, because the meteoric water in strata participated fluid convective circulation by the heat force provided by granodiorite magmatism. The second activity is quartzite monzoniorite magmatism, providing ore-forming materials and enabling metallogenic elements in strata, especial in granodiorite, activation, re-movement and concentration in rock mass boundary and nearby region by the convective circulation of meteoric water.

Key words: geochemistry, fluid activity, convective circulation, Fenghuangshan