

铜陵凤凰山铜矿南区构造地球化学异常的确定与评价

赖健清, 彭省临, 杨 牧, 邵拥军, 杨 斌

(中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083)

[摘 要] 凤凰山铜矿南区花岗闪长岩体与大理岩接触带附近的构造地球化学特征表明存在多个总体, 即岩体、未受明显热液蚀变的大理岩和蚀变矿化大理岩, 岩体与大理岩的 Cu 异常下限分别是 562×10^{-6} 和 51×10^{-6} 。构造地球化学 Cu 等值线上得到的贯穿岩体的大面积高值区只是一种虚假异常, 实际上反映了岩体的高背景值。通过标准化处理后得到 Cu 的标准化参数 S , 以 $S = 1.654$ (即总体累积概率 95%) 为异常下限, 圈定了 3 个异常区, 其中中部异常区沿外接触带分布长达近千米, 宽数百米, 具有蚀变、角砾岩化及方铅矿细脉等特征, 是重要的找矿靶区。

[关键词] 构造地球化学 找矿预测 异常 凤凰山铜矿 铜陵

[中图分类号] P618.41; P632 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)04-0051-05

0 引言

地球化学背景值与异常的确定是勘查地球化学的一个基本问题, 也是地球化学方法用于矿产勘查时决定成败的一个关键性环节。传统的背景值和异常下限的确定方法主要有长剖面法、作图法和计算法等。但不管哪种方法, 其前提都是具有统一的地质地球化学背景, 样品来自同一个地球化学总体, 或者以化探数据服从正态或对数正态分布为假设前提。在原生晕找矿中使用浓度克拉克值以及在土壤测量和水系沉积物测量中使用均值加 n 倍标准差的方法划分背景与异常虽然在理论上有牵强之处, 但在实际生产中是可行的^[1]。可是, 地球化学背景场并不是光滑的平面或曲面, 因此许多学者先后提出各种修正的方法。20 世纪 80 年代以来, 随着分形科学的发展, 许多地球化学家认为地球化学场的元素分布具有标度不变性, 即服从分形分布^[2], 并提出了许多利用分形确定地球化学异常下限的方法^[3-4]。从多重分形的理论出发, Cheng Qiuming 等^[5]证明了背景值常常服从正态和对数正态分布, 而异常值服从分形或多重分形分布。龚庆杰等^[6]则从地球化学场元素的分布形式出发, 探讨了理论分布形式的频率与含量双对数坐标图示特征, 提出

了一种确定地球化学异常下限的图示方法。

构造地球化学是一门介于构造地质学与地球化学之间的新兴边缘学科, 是专门研究构造作用过程中化学元素的时空分布、演化规律和成因联系的科学^[7-8]。大比例尺(如矿区范围)构造地球化学研究主要涉及构造流体活动过程中的元素活动和再分配作用, 既能提供原生岩石的地球化学信息, 又能有效地提供深部成矿作用的信息, 对深部成矿地球化学信息起到放大的作用, 因此成为地球化学找矿中的一种重要的新方法。构造地球化学数据处理和异常提取同样是这一方法成功与否的一个关键。由于矿区范围内采样的密度较大, 可能有多种岩石类型占了样品的主导类型, 因而造成多背景的现象。用传统的方法确定背景和异常下限可能造成背景值虚高而丢失异常, 或者背景偏低而出现大面积的虚假异常。文章通过对铜陵凤凰山铜矿外围找矿实例的分析, 探讨解决这一问题的途径, 并对找矿目标区的构造地球化学异常进行综合评价。

1 矿区地质背景

凤凰山铜矿位于安徽省铜陵市, 是长江中下游铜铁成矿带铜陵矿集区东南边缘的一个中型铜铁多金属矿床。该矿床位于新屋里复式向斜的中段核

[收稿日期] 2006-06-05; **[修订日期]** 2006-10-08。

[基金项目] 国家“十五”科技攻关项目(编号: 2001BA609A-06, 2004BA615A-02)资助。

[第一作者简介] 赖健清(1964 年—), 男, 1995 年毕业于中南工业大学, 获博士学位, 教授, 现主要从事矿产地质与环境地质领域的教学和科研工作。

部,矿区出露地层主要为三叠系南陵湖组条带状灰岩和东马鞍山组白云质灰岩,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^[9],呈岩株状产于新屋里向斜核部,平面上呈椭圆形,面积近 10km²。岩体与围岩呈明显的侵入接触,接触面产状及形态随岩体部位不同和深度变化有明显的差异。岩石类型主要为花岗闪长斑岩和石英二长闪长岩,沿岩体的接触带分布有一系列的磁铁矿-菱铁矿-铜、金矿床,目前已发现的矿床主要有凤凰山、宝山陶、铁山头、仙人冲、清水塘和江家冲等。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。根据钻孔和坑道揭露情况,矿体内部及其附近发育有强烈的钾化、石英-绢云母化、绿泥石化等,外围发育强烈的绿泥石化;地表也可发现各种蚀变、铁帽和孔雀石化等。

文章所涉及的研究区位于岩体南部,主要出露花岗闪长岩体和大理岩(图 1),还有正长岩、辉绿玢岩等后期岩脉,发育硅化、钾化、夕卡岩化和黄铁绢英岩化等蚀变和接触交代变质作用。江家冲附近有小型铜矿床,外接触带地表常见石英方铅矿细脉。

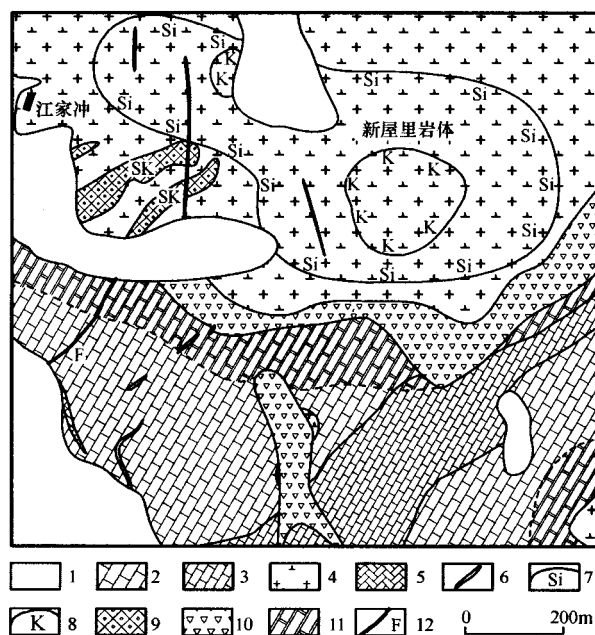


图 1 凤凰山铜矿南区地质简图

1—第四系(Q);2—南陵湖组灰岩(T_{1n});3—东马鞍山组白云岩(T_{2d});4—花岗闪长岩(γδ);5—正长斑岩(ξπ);6—辉绿岩脉(βπ);7—硅化带;8—钾化带;9—夕卡岩(SK);10—角砾状大理岩(Mbr);11—大理岩(Mb);12—构造破碎带

2 构造地球化学采样及 Cu 分布特征

凤凰山铜矿南区新屋里岩体南部接触带附近约 1.0km² 的范围内布置东西向测线,线距 100m,采样点根据实际情况不规则布置,控制平均点距为 100m。每个测点在 4m² 范围内采集未风化的构造裂隙填充物(通常为含方铅矿、黄铁矿的方解石脉体,或为碎屑填充物)、蚀变岩石小样 5~10 件,组合成一个样品。采样时避开后期正长岩脉和辉绿岩脉。样品重量在 1000g 左右,全样粉碎筛分,留 100g 破碎到 200 目,部分送测试,尾样存留。

全部样品 98 件,测试了 Cu、Pb、Zn、Ag、Au 等多元素。数据统计结果见表 1,各元素的均值和中值偏离很远,且为明显的左偏(均值大于中值),不具正态分布特征。

表 1 凤凰山铜矿南区构造地球化学元素含量统计结果

	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
样品数/件	98	98	98	98	98
含量最小值	5.6	10.6	25	0.154	0.11
含量最大值	2000	2000	1100	5	2210
均值	268.9	340.7	210.7	2.205	57.42
中值	88.95	75.8	83	1.265	3.15
标准差	483.4	576.2	290.4	1.985	242.2
变异系数	1.798	1.691	1.379	0.900	4.219

注:①元素含量值 2003 年由桂林矿产地质研究院分析测试中心测试,测试方法除 Au 为化学光谱法外,其余元素为直读光谱法;②少量数据超过检出限,按边界值参加统计;③元素含量单位 Au 为 10⁻⁹,其余为 10⁻⁶。

对测试数据取对数进行观察,图 2、图 3 分别为 Cu 以 10⁻⁶ 为单位取常用对数后按照全部样品(98 件)、花岗闪长岩(43 件)、大理岩(56 件)分别作的统计直方图和概率累积曲线图。图 2 表明,全部样品明显呈双峰态分布,可能包含两个以上对数正态总体;岩体样品基本呈对数正态分布;大理岩则显得比较复杂,似有双峰态。概率累积曲线图上,全岩样品构成一条近似直线,但在 $\lg Cu(/10^{-6}) = 1.606 \sim 1.886$ 的范围内有一个明显的间断(图 3a),这一间断基本上是花岗岩样品的下限(图 3b),而在大理岩样品中也能明显观察到(图 3c)。花岗岩样品除了头尾翘起以外,中部的线性较好,符合正态分布,累积概率 50% 处 $\lg Cu(/10^{-6})$ 的中值 $M = 2.22$,即 $M_{Cu} = 166 \times 10^{-6}$;拟合直线在累积概率为 84.1% 处 $\lg Cu(/10^{-6})$ 为 2.54,即标准差 $\sigma = 0.32$ 。若以 $\lg Cu(/10^{-6})$ 的 $M + 1.654\sigma = 2.75$ 或 Cu 含量为 562×10^{-6} 作为花岗闪长岩体的异常下限尚可接受,但作

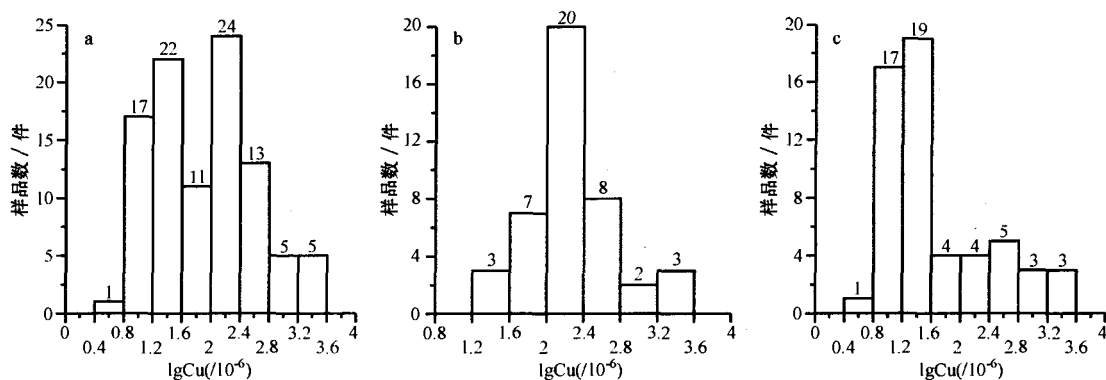


图2 凤凰山铜矿南区构造地球化学 Cu 的分布直方图

a. 全部样品; b. 岩体; c. 大理岩

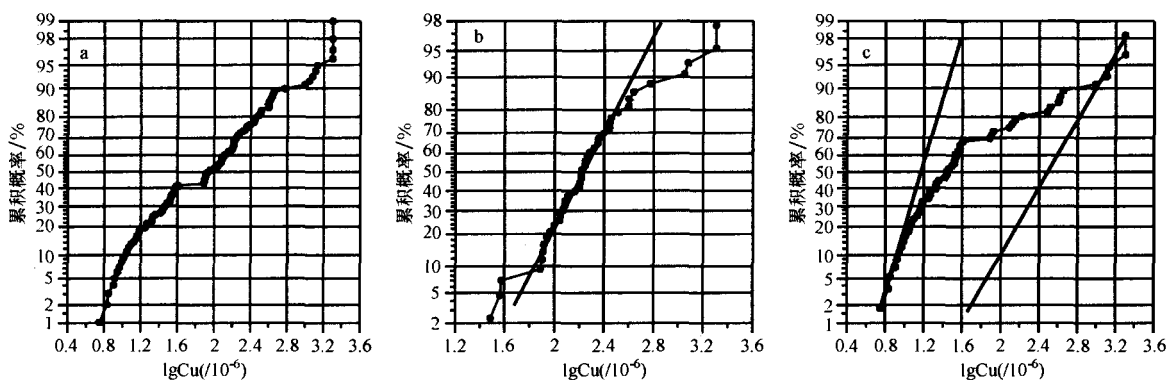


图3 凤凰山铜矿南区构造地球化学 Cu 的概率累积分布图

a. 全部样品; b. 岩体; c. 大理岩

为全区的异常下限显然是不合理的。

大理岩样品以 $\lg Cu (/10^{-6}) = 1.606 \sim 1.886$ 的间断分为两部分(图3c), 概率累积曲线各呈近似的直线段, 但斜率相差较大, 低值段明显陡于高值段, 分界点大致位于累积概率 70% 处。采用辛克莱 (1981)^[10] 的方法, 按照两个总体 7:3 的比例, 可以分解出图上的两条直线段, 分别代表两个基本上不重叠的对数正态总体。低值总体为受岩浆接触热变质作用而未受明显热液蚀变的大理岩, 基本上代表背景值, 该总体的 $\lg Cu (/10^{-6})$ 中值 $M = 1.26$, $\sigma = 0.27$, 异常下限定为 $M + 1.654\sigma = 1.71$ (即 Cu 含量 51×10^{-6})。高值总体样品分析值与花岗闪长岩体样品分析值的分布范围几乎完全吻合, 空间上样品分布的范围位于岩体的周围, 是岩浆活动热液蚀变矿化的结果, 应代表异常的主体。

3 异常圈定及评价

将样品的 Cu 测试值取常用对数绘成等值线图, 叠加在地质图上(图4)。从图上可见, 出现大范

围的高值区, 基本上贯穿整个岩体及其接触带。这种高值区并不能反映 Cu 的异常, 而只是由岩体中高背景值引起的。

因此, 作者认为研究区内的化探背景和异常的确定不可遵循统一的标准, 即在岩体分布区和大理岩分布区应该有不同的标准。岩体区按照花岗闪长岩的 $M + 1.654\sigma$ 为异常下限(累积概率 95%), 大理岩区以未受明显热液蚀变的岩石(低值总体)的 $M + 1.654\sigma$ 作为异常下限。为了统一标准, 引进一个标准化参数:

$$S = \frac{X_i - M_r}{\sigma_r}$$

式中: X_i 为样品的 Cu 分析值, 以 10^{-6} 为单位取常用对数; M_r 为不同岩石类型的中值, 岩体取 2.22, 大理岩取 1.26; σ_r 为不同岩石类型的标准差, 岩体取 0.32, 大理岩取 0.27。以标准化参数 S 做等值线图(图5), 取 $S = 1.654$ 为异常下限, 可圈定 3 个 Cu 标准化异常区。采用类似的方法, 做出 Pb、Zn、Ag、Au 的标准化参数 S 等值线图(图6)。

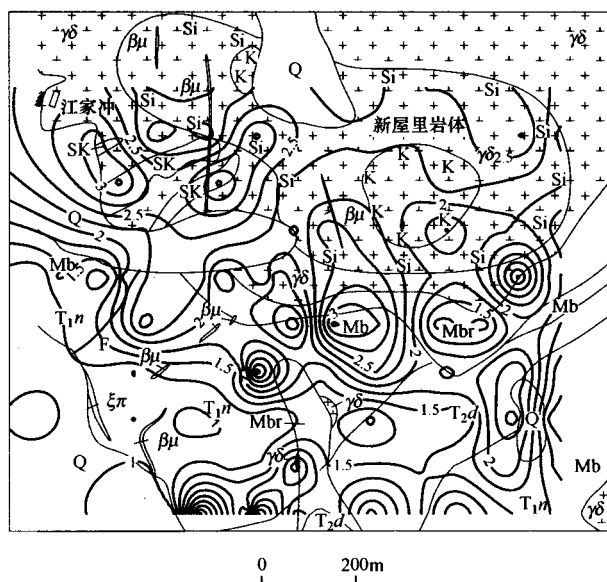


图4 凤凰山铜矿南区 Cu 对数等值线图

(底图由图1简化,Cu 含量以 10^{-6} 为单位取常用对数绘制等值线)

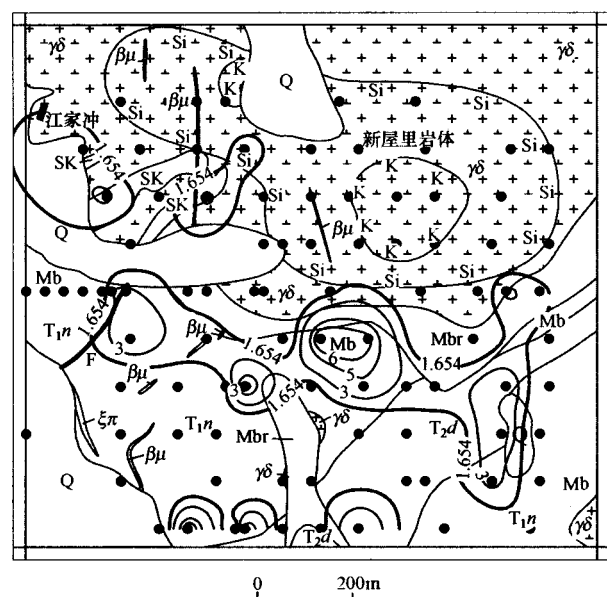


图5 凤凰山铜矿南区 Cu 标准化等值线及异常分布图

(底图由图1简化,Cu 等值线为分岩性的标准化值,以粗等值线 1.654 为边界圈定异常范围,实心圆点为样品位置)

对比图5与图6,5种主要成矿元素的异常位置大体相当,与Cu相比,Pb、Zn范围显大,而Ag、Au显小。根据凤凰山铜矿区矿体原生晕元素分带序列,Pb、Zn位于Cu的顶部,而Ag、Au位于底部^[11],说明这种异常型式反映Cu矿体的前缘晕。

Cu异常包含北、中、南3个异常区(图5),其中北部异常区由两个异常体组成,位于江家冲铜矿区,

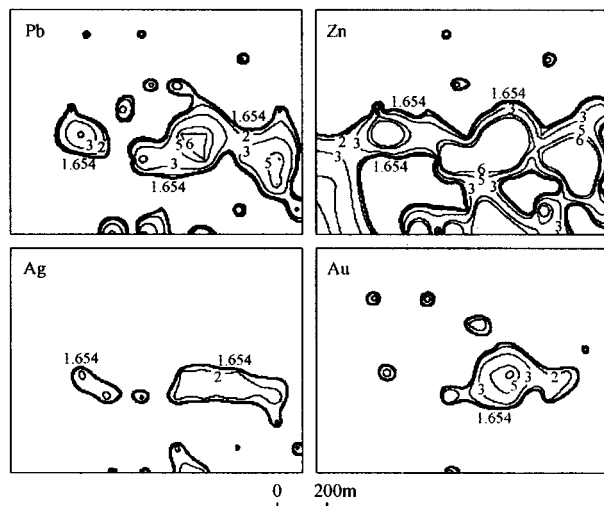


图6 凤凰山铜矿南区 Pb、Zn、Ag、Au 标准化等值线图

地表有硅化和夕卡岩,但在图6中未见相应的异常显示。该异常区与已知的江家冲小型夕卡岩型铜矿床非常吻合。

中部Cu异常区是一个连续范围较大的异常,东西向延伸近千米,南北宽100~200m,最宽处达400余米(图5)。该异常区是一个组合异常,伴随着不同程度的Pb、Zn、Ag、Au异常(图6),尤其Pb、Zn异常范围广、幅值高。异常由北西西向和北北东向两个构造组合而成,中西段受北西西向接触带控制,沿新屋里花岗闪长岩体与三叠系碳酸盐岩(变质为大理岩)接触带的外带分布;东段受北北东向断裂构造控制。由于风化强烈,地表未见岩体与大理岩的接触带露头,无法判断接触带的倾向和倾角,但可见沿接触带分布的角砾岩带。内带岩体中可见硅化、钾化和黄铁绢英岩化;外带大理岩中常见石英硫化物(黄铁矿、方铅矿等)细脉和孔雀石化。另一方面,异常区的地表为南陵湖组上部纯的碳酸盐岩,对成矿不利;但深度大约400m处即出现南陵湖组下部的不纯碳酸盐岩,是矿田内主要的含矿层位。因此,从地层、构造和岩浆活动等角度分析,该异常区具有很好的成矿地质条件和矿化显示,可以推断深部有良好的找矿空间,值得进一步解剖和验证。

南部异常区是单线异常,各种元素均有所显示,但异常点较分散,尚无法做出评价。附近地表有小岩体出露,应作进一步的研究。

[参考文献]

- [1] 陈明,李金春. 化探背景与异常识别的问题与对策[J]. 地质与勘探, 1999, 35(2): 26-29.
- [2] Turcotte D L. A fractal approach to the relationship between ore grade and tonnage [J]. Economic Geology, 1986, 81: 1528-

- 1532.
- [3] Allegre C J, Lewin E. Scaling laws and geochemical distributions [J]. *Earth and Planetary Letters*, 1995, 132: 1-13.
- [4] 李长江, 麻士华. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN [M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1-140.
- [5] Cheng Qiuming, Agterberg F P, Ballantyne S B. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 51: 109-130.
- [6] 龚庆杰, 张德会, 韩东昱. 一种确定地球化学异常下限的简便方法[J]. *地质地球化学*, 2001, 29(3): 215-220.
- [7] 陈国达, 黄瑞华. 关于构造地球化学的几个问题[J]. *大地构造与成矿学*, 1984, 8(1): 7-18.
- [8] 陈国达. 成矿构造研究法[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 147-151.
- [9] 毛政利, 赖健清, 彭省临, 等. 安徽铜陵凤凰山铜矿床地球化学特征及其意义[J]. *地质与勘探*, 2004, 40(2): 28-35.
- [10] 辛克莱 A J. 概率图在矿床勘探中的应用[M]. 赵鹏大, 等译. 北京: 地质出版社, 1981: 1-88.
- [11] 毛政利, 彭省临, 赖健清, 等. 铜陵凤凰山铜矿床斑岩型矿体原生叠加晕特征及其成矿预测意义[J]. *世界地质*, 2003, 22(4): 361-365.

DETERMINATION AND EVALUATION OF TECTONIC - GEOCHEMICAL ABNORMITIES IN THE SOUTHERN AREA OF FENGHUANGSHAN COPPER DEPOSIT, TONGLING

LAI Jian - qing, PENG Sheng - lin, YANG Mu, SHAO Yong - jun, YANG Bin

(School of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract: Tectonic - geochemical characters of the contact zone between granodiorite stock and marble in the southern area of the Fenghuangshan copper deposit exhibit mixture of intrusion, marbles with and without hydrothermal alterations. The anomaly thresholds of copper for granodiorite and marble are 562×10^{-6} and 51×10^{-6} , respectively. Isopleth map of tectonic - geochemical copper contents reveals a widely distributed high - value area throughout intrusive body, which represents a higher copper background of granodiorite rather than anomaly. Parameter S that standardize from Cu contents is used to determine three abnormal areas by a threshold value of 1.654. Among them, the central abnormal are, spreading near 1000m long and several hundred meters wide along the exozone, is characterize by wallrock alterations, brecciating and galena veinlets, and considered as a target area for copper prospecting.

Key words: tectonic - geochemistry, ore prospecting and prognosis, anomaly, Fenghuangshan copper deposit, Tongling