凤凰山矿田成矿地质条件和控矿因素分析

邵拥军[1,2],彭省临[1],刘亮明[1],吴淦国[2]

(1. 中南大学 地学与环境工程学院,湖南 长沙,410083;
2. 中国地质大学 地球科学与资源学院,北京,100083)

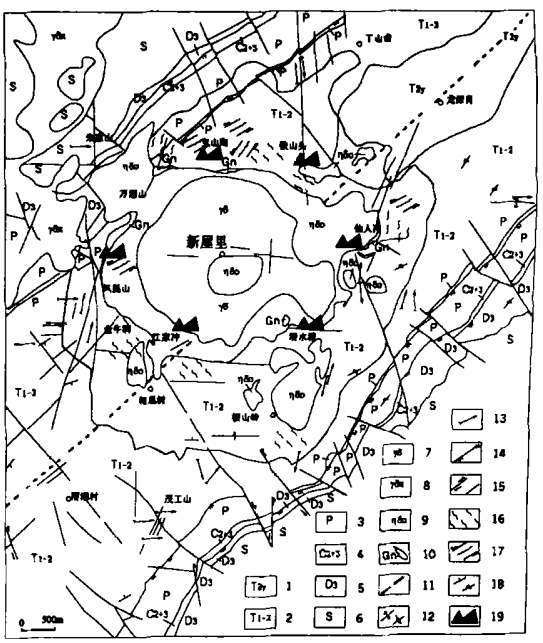
摘要:讨论了地层、构造、岩浆岩与成矿的关系,指出矿田内与成矿有关的地层主要为三叠系下统南陵湖组(T_{1n})和龙山组(T_{1h}).研究结果表明:主要控矿构造为处于接触带内的走向北北东、北北西和北西向的脆性扩容断裂,它们之间的相互追踪而构成的"之"字形断裂组合是矿体赋存的主要场所;成矿岩体主要为复式岩体中的花岗闪长岩和石英二长闪长斑岩,来源于统一的深部岩基,属来自幔源的中酸性钙碱性岩石,发育有各种类型的强烈的蚀变作用,具有形成矽卡岩型矿床和斑岩型矿床的巨大潜力;岩浆带来了大量的成矿流体、成矿物质和巨大的热能,是成矿最重要的因素,构造为岩浆的侵位和就位以及成矿流体的运移和沉淀提供了通道和场所;地层主要以其有利的岩性参与了成矿活动,三者的耦合作用,导致各种不同类型矿床(体)的形成;矿床(体)是岩浆-热液、地层、构造综合作用和有机组合的产物.

关键词:断裂;岩基;凤凰山矿田
中图分类号:P61 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-9792(2003)05-0562-05

凤凰山矿田位于铜陵市东南约 35 km 的凤凰山新屋里盆地,盆地中心为燕山晚期的凤凰山岩体[1],主要由花岗闪长岩和石英二长闪长斑岩组成.盆地四周主要为二叠系至三叠系的碳酸盐岩地层.围绕岩体沿接触带产出有凤凰山、宝山陶、铁山头、仙人冲、清水塘和江家冲多个铜矿床,其中只有凤凰山矿床达到了中型规模(见图 1).

1 地层及其与成矿的关系

凤凰山矿田出露的地层主要为三叠系中、下统.从控矿层位上看,本区的铜矿体主要受 T_{1n}地层控制,其次受 T_{1h}控制,但从矿体定位机制上分析,这种地层与矿体定位空间的关系并不完全是地层本身所造成的,而主要是由于构造和岩体的侵位作用使得三叠系下统南陵湖组正好处于一种有利于成矿的空间位置.其主要原因为:本区地层中成矿元素的含量高低与地层中矿体并没有对应关系[2],主要是以其有利的岩性(不纯灰岩)参与成矿作用的.尽管从宏观上来看,矿体主要产在南陵湖组中,但地质调查结果表明,矿体产出的位置实际上还是接触带或靠



1—三叠系中统月山组;2—三叠系中、下统;3—二叠系;4—石炭系中上统;5—泥盆系上统;6—志留系;7—花岗闪长岩;8—花岗闪长斑岩;9—石英二长闪长岩;10—铁帽;11—复式向斜轴;12—小型向斜/背斜;13—A 线理;14—层间滑脱构造;15—平移断层/断层;16—韧性剪切带;17—流变褶皱;18—地层正常产状/倒转产状;19—铜矿床

图 1 凤凰山矿田构造纲要及矿床分布图

收稿日期:2003-04-22
基金项目:国家"973"计划项目(G1999043206);国家"十五"科技攻关项目(2001BA609A-06-02)
作者简介:邵拥军(1972-),男,山西宁武人,中南大学博士,中国地质大学博士后,从事地球化学和矿床学研究.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

近接触带,远离接触带的纯地层中目前还没有发现矿体. 此种现象可能与其处于凤凰山向斜的核部有关,凤凰山岩体恰好侵位于此,南陵湖组灰岩具有较大的厚度(> 450 m) ,并且处于向斜的核部限制了其他有利地层矿床(体) 在较浅部位的形成和出露. 可见,地层的控制作用主要以其有利的岩性(不纯灰岩) 以及通过地层的力学和化学性质的空间变化来影响含矿构造的力学性质、几何性质和化学环境的变化,从而间接影响矿质的沉淀和矿石的定位.

2　矿田构造特征及其控矿分析

2.1　矿田构造特征

从地壳演化规律来看,本区经历了前地槽、地槽、地台和地洼 4 个大地构造演化阶段,因而经历了多期构造运动,尤以印支运动和燕山运动对本区的构造格局影响最大[3,4]. 在多次构造运动的影响下,区域应力场也发生了多次转变,由早期的北东向转变为中期的东西向再到晚期的北北东向,造成了本矿田多种构造系统并存复合的复杂构造格局. 根据构造变形与成岩、成矿作用的时空关系,将本区构造划分为成矿前构造、成矿期构造和成矿后构造. 它们由不同的构造系统组成.

成矿前构造系统主要由印支期北东向构造及燕山期东西向和南北向构造所组成. 前者由凤凰山复式向斜及其伴生断裂组成;后者由东西向断裂、东西向中、小型褶皱及南北向断裂组成. 从构造特征和区域构造演化来分析,这一构造系统最早形成于印支期,经过燕山期东西向和南北向构造的叠加得到进一步强化,最后在燕山晚期岩浆侵位过程中,在相同的构造应力场作用下继续强化.

成矿期构造系统主要以燕山晚期伴随强烈岩浆活动的北北东向构造为主,同时由于岩体侵位所带来的动力作用和热力作用的影响,使之呈现出非常复杂的特征. 北北东向主干断裂及其伴生的北北西向和北东东向 2 组共轭断裂共同组成重要的控矿、储矿构造. 在凤凰山岩体的西侧,北北东向主干断裂及北北西向、北东东向两组共轭断裂由北向南首尾相接,构成一向外凸出的弧形,与早期的构造复合控制了岩体侵位的边界及凤凰山铜矿体的就位(见图 1) . 由于这一构造系统的形成既受到区域构造应力场的作用,又受到岩体热气球膨胀侵位作用的影响[2,5-7],因而其特征最复杂,同时也与成矿的关系最密切,成矿构造的主体都可划入这一构造系统.

成矿后构造系统以北北东向、北西向、东西向及南北向等几组压剪性断裂构造及其相伴的节理构造为代表. 以脆性破裂为主,对岩体、矿体具有明显的切割破坏作用,其中,北西向断层因其常产于接触带附近,因而对矿体的破坏作用最明显.

2.2　构造控矿分析

2.2.1　控矿构造的类型

本矿田各矿床除宝山陶为构造裂隙充填型矿床外,其余均为矽卡岩型矿床,分布在岩体周围接触带内,主矿体与接触带内的交代矽卡岩带一致. 这些接触带与铜陵地区的普遍规律一致,也可分为简单侵入接触带和侵入接触-断裂带 2 种,而后者恰恰是矿田内大多数矿体的主要控矿构造. 矿田内规模最大的凤凰山铜矿产于岩体西、南西侵入接触-断裂带内. 主要矿体有 4 个,其中 I号和 II号矿体受北西向断裂与接触带的复合控制, III号和 IV号矿体受北北西向断裂与接触带的复合控制. 另外,仙人冲铜矿和清水塘铜矿也具有类似的特点,说明矿田内矿体的产出受岩体接触带和断裂构造的双重控制,控矿构造类型为岩体侵入接触-断裂带控矿构造.

2.2.2　控矿构造的性质

矿体常发育于岩体接触变质晕范围内的断层破碎带中,表现出明显的沿扩容性脆性断裂充填的矿化特征. 分析矿田构造特征可知,这种扩容性断裂主要是由北西向的横向张性断裂和北北东向的断裂(伴生北北西向和北东东向共轭断裂) 活动诱发而形成的. 此外,接触带作为构造变形的薄弱带和物理化学环境的急剧过渡带,也是这种脆性扩容断裂产生和矿体富集于此的重要影响因素.

2.2.3　控矿构造的产状

含矿断裂在走向上主要沿北北东、北北西、北东东和北西向分布,目前已发现的矿体中,规模最大的属北北西走向的凤凰山铜矿的 II号矿体,其次为北西向和北北东向,与矿田成矿期构造特征相吻合.

从剖面上来看,当断裂构造倾向岩体(倾向东) 时,有利于成矿;倾向围岩(倾向西) 时,则不利于成矿. 倾向东的断裂构造常造成上盘的岩体超覆于围岩之上,因而对矿液的充分交代十分有利,这也是矿田内凤凰山铜矿规模最大的原因.

2.2.4　控矿构造的组合

位于矿田西侧的凤凰山铜矿控矿断裂的走向从北往南是逐渐过渡的,从北东 - 北北东 - 近南北 - 北北西 - 北西,呈弧形分布,从而也导致矿体沿控矿断裂呈弧形分布. 这种弧形断裂是追踪两剪切裂隙形成的张性断裂,即在北部是追踪北北东和北北西向断裂

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的结果,在南部是追踪北北西和北西向断裂的结果. 追踪断裂显张性,还保持有原有断裂的左行特征,与区域应力场特征相吻合. 由于区域主压应力的方向为北西西向(最大挤压面为北北东向),因而造成了南部矿体的规模比北部要大得多. 这种追踪的控矿断裂,在剖面上局部表现为锯齿状,整体呈现为"之"字形,在其交叉复合部位,矿体规模明显变大.

3 凤凰山岩体的特征及其与成矿的关系

3.1 岩体的地质地球化学特征

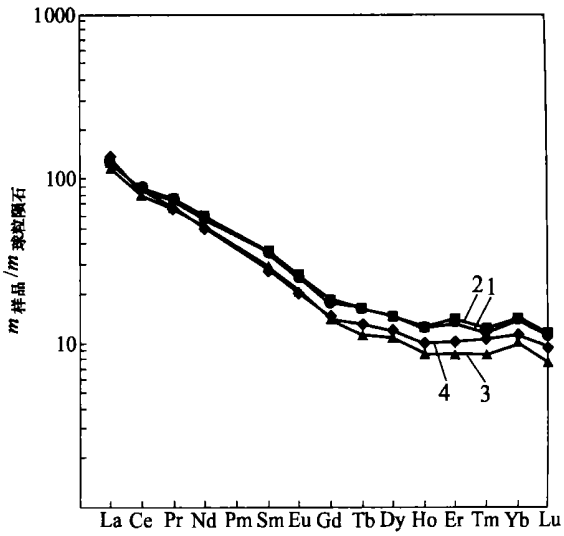
凤凰山岩体主要由花岗闪长岩、石英二长闪长斑岩和花岗斑岩、闪长岩、正长斑岩及辉绿岩等组成,形成于燕山晚期[1]. 野外地质调查结果表明,成矿主要与花岗闪长岩和石英二长闪长斑岩有关,其余均为晚期脉岩,与成矿岩体均具有明显的穿插关系.

对于花岗闪长岩和石英二长闪长斑岩,一些研究者认为两者呈渐变关系,花岗闪长岩为复式岩体的中心相,石英二长闪长斑岩为边缘相,岩体是自边缘向中心分异演化的,早期单元为石英二长闪长斑岩,晚期单元为花岗闪长岩[1]. 通过对相思树-新屋里的地质剖面踏勘、钻孔 ZK3501 和 ZK10801 以及凤凰山铜矿 - 240 m, - 300 m, - 360 m 中段的详细地质观察[8],认为花岗闪长岩和石英二长闪长斑岩为 2 次岩浆侵入的产物,花岗闪长岩形成较早,石英二长闪长斑岩形成较晚,与整个铜陵地区岩浆活动的时间是一致的(花岗闪长岩岩浆活动时间为139.8～137.0 Ma,石英二长闪长岩岩浆活动时间为137.0～135.8 Ma)[9].

岩浆岩全岩分析和微量元素含量特征见表 1 和表 2(数据均自测于中国科学院贵阳地化所). 可见: Sr 平均含量为 766.02 $\times 10^{-6}$,远高于任何地壳岩石中的 Sr 含量,是岩浆来源于地幔的典型标志[10]; Rb, Ba, Th, Ta 等亲石元素均低于维氏值,Rb 和 Ba 亏损较多,Th 和 Ta 与维氏值相差不大,而且所有样品的 Th 含量远大于 Ta 含量. Brown 等通过研究岛弧花岗岩类岩石的地球化学特征与岩浆来源时认为,来自幔源的火成岩选择性地富集 Th 而非 Ta,而且一般贫 Rb 和 Ba,推知本区岩浆可能来源于深部的上地幔.

岩体 SiO_2 平均含量为 60.51 %,里特曼指数 σ 值为 1.99～3.19,属典型的中酸性钙碱性岩. 根据 B. Barbarin 的综合分类法[11],混合源钙碱性岩可分为 KCG 和 ACG 两类. KCG 贫 CaO 富 K_2O,主要来源于地壳;而 ACG 贫 K_2O 富 CaO,主要来源于地幔[12,13]. 本次工作测试的 6 个全岩样品的 CaO 含量平均为 6.02 %, K_2O 为 2.70 %,应属 ACG 岩类,从而也表明本区岩浆主要来源于幔源.

未蚀变岩体的稀土元素配分曲线均向右倾,属轻稀土富集型,花岗闪长岩和石英二长闪长斑岩的配分曲线几乎重合在一起,显示两者具有同源性(见图 2),与区域物探资料显示的铜陵地区的岩浆岩相吻合[14-16].



1 —Y3; 2 —76/116; 3 —BAN1; 4 —142/106

图 2 岩石稀土元素配分曲线

3.2 岩体与成矿的关系

铅同位素测试结果表明,矿石矿物(黄铁矿、黄铜矿)的铅同位素组成比较均一,与岩体中长石铅同位素组成非常类似,反映成矿物质可能主要来自岩浆岩[2].

岩体的微量元素定量分析结果显示(见表 1), Cu, Pb, Zn, Mo 等成矿元素均为维氏值的几倍至几十倍,尤其是在石英二长闪长斑岩中,Cu 含量明显偏高,变化范围为 218.13 $\times 10^{-6}$～453.83 $\times 10^{-6}$,为维氏值(21 $\times 10^{-6}$)的上百倍,显示出明显的富集性. 而 Pb, Zn, Mo 含量亦显示了一定的富集性,表明岩体富含成矿元素,与成矿的关系密切.

现有矿床均产于岩体四周的接触带上,是典型的矽卡岩型矿床,矿床的形成受成矿岩体的控制作用明显.

岩浆侵入活动均发生在燕山晚期,成矿岩体和矿石铅同位素年龄研究显示两者在形成时间上总体

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　全岩分析及岩石化学特征表　　w/ %

成分	Y3 石英二长闪长斑岩	Y27 石英二长闪长斑岩	Y32 石英二长闪长斑岩	76/ 116 花岗闪长岩	142/ 106 花岗闪长岩	BAN1 石英二长闪长斑岩
SiO_2	55.92	58.19	60.54	65.97	63.02	59.41
TiO_2	0.77	1.05	0.82	0.57	0.72	0.77
Al_2O_3	18.65	19.13	17.48	16.30	18.63	18.63
Fe_2O_3	2.41	1.40	2.25	3.18	3.30	3.89
FeO	2.99	0.70	0.85	1.22	1.80	1.61
MnO	0.10	0.07	0.09	0.09	0.11	0.07
MgO	1.20	1.50	0.50	1.20	1.30	2.20
CaO	8.10	7.00	7.51	3.80	4.10	5.60
Na_2O	3.79	1.66	4.16	4.11	4.05	4.11
K_2O	2.84	8.60	2.67	2.67	2.45	2.86
P_2O_5	0.31	0.23	0.33	0.17	0.23	0.22

表 2　微量元素含量表　　$w/ 10^{-6}$

样品元素	Y3 石英二长闪长斑岩	Y32 石英二长闪长斑岩	76/ 116 花岗闪长斑岩	142/ 106 花岗闪长岩	BAN1 石英二长闪长斑岩	平均值	酸性岩 (维氏值)
Cu	442.08	218.13	55.70	13.90	453.83	236.73	21.00
Pb	13.56	37.47	23.20	45.59	42.95	32.55	21.00
Zn	72.71	168.36	104.54	188.55	268.51	160.53	61.00
Mo	1.22	2.03	1.61	1.20	3.99	2.01	1.10
Rb	76.43	71.92	92.88	104.76	83.50	85.89	200.00
Ba	719.36	621.65	825.42	816.94	684.25	733.5	830.00
Sr	1210.19	241.14	730.57	760.43	887.78	766.02	310.00
Ta	0.91	1.06	0.98	1.12	0.96	1.09	3.50
Th	9.38	15.27	9.84	10.87	11.54	11.38	18.00

是一致的(137 Ma). 矿化均是在与之有关的岩浆岩同时形成或稍后形成的[1,2].

凤凰山岩体来源于统一的岩基(深部岩浆房),深部岩浆的多次侵入活动,形成了多期次的岩浆岩,早期为花岗闪长岩,其后为石英二长闪长斑岩,最后为晚期的正长斑岩和辉绿岩等脉岩,构成了典型的复式岩体. 复式岩体的形成,标志着它们与深部岩浆房保持长期联系,导致岩浆多次侵位,成矿流体频繁活动和对流循环,具有巨大的成矿潜力.

花岗闪长岩广泛分布的矽卡岩化和大理岩化,显示岩体携带了大量的热能和成矿流体,具有强大的成矿潜力,是寻找矽卡岩型矿体最直接的找矿标志. 石英二长闪长斑岩具有典型的钾化、硅化、绢云母化、高岭土化和碳酸盐化. 其中钾化非常强烈,影响范围及深度也很大,呈面型分布,在钾化带上常叠加有硅化、绢云母化和碳酸盐化,几种蚀变叠加的地段常显示出较强的斑岩型矿化. 此外,在钾化带上还常叠加有强烈的黄铁矿化,黄铁矿晕呈面状分布,这不仅表明存在深部隐伏含矿斑岩体,而且还预示着本区除了已发现的矽卡岩型矿体外,在深部有可能存在更大的斑岩型矿体.

总之,凤凰山岩体与成矿关系密切,不仅提供了巨大的热能,而且带来了大量的成矿流体和成矿物质,具有很大的成矿潜力,不仅可以在其接触带上找到较富的矽卡岩型铜矿,而且在其边部的石英二长闪长斑岩体中同样有可能找到规模较大的斑岩型铜矿体.

4　结　论

a. 凤凰山矿田具有良好的成矿地质条件,具有寻找矽卡岩型矿体和斑岩型矿体的巨大潜力.

b. 岩浆-热液带来的成矿流体携带了大量的成矿物质,并为矿质的活化和运移提供了动力(巨大的热能),是成矿最关键的因素.

c. 地层中不纯灰岩参与了成矿活动,并对成矿方式和演化进程起了重要作用,是形成矽卡岩型矿体的必备条件;而构造则为岩浆的侵位和就位以及成矿流体的运移和沉淀提供了通道和场所,是成矿最重要的控制因素. 三者的耦合作用,导致各种不同类型矿床(体)的形成. 矿床(体)是岩浆-热液、地层、构造综合作用和有机组合的产物.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献:

[1] 闻 广,吴思本. 安徽铜陵凤凰山岩体若干特征与成矿关系[J]. 中国地质科学院院报,1983,(7):343-349.

[2] 彭省临,刘亮明,邵拥军. 凤凰山矿区深部及边部找矿预测研究报告[R]. 长沙:中南大学地学与环境工程学院,2000.

[3] SHAO Yong-jun, PENG Sheng-lin, LIU Liang-ming. A simple analysis of the geotectonic evolutional characters of Tongling area, Anhui [J]. Geotectonica and Metallogenia, 25(1-2):76-79.

[4] 邵拥军,彭省临. 安徽铜陵地区大地构造演化特征[J]. 2002 湖南矿物岩石地球化学论丛. 戴塔根. 长沙:中南大学出版社,2002:172-174.

[5] 张达,吴淦国,李东旭. 铜陵凤凰山岩体接触带构造变形特征[J]. 地学前缘,2001,(3):223-229.

[6] 张达,李东旭. 铜陵凤凰山岩体侵位构造变形特征[J]. 地球学报,1999,20(3):239-245.

[7] 刘文灿, 高德臻, 储国正. 安徽铜陵地区构造变形分析及成矿预测[M]. 北京:地质出版社,1996.

[8] 彭省临,邵拥军,刘亮明. 安徽铜陵凤凰山铜矿矿床成因新认识[J]. 矿床地质,2002,21(增刊):443-446.

[9] 吴才来,周若,黄许陈. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究[J]. 岩石矿物学杂志,1996,15(4):299-306.

[10] McCulloch M T, Jaques A L, Lewis J D. Nd and Sr Iatope in kimberlites and lamproites from western Australia: an enriched mantle origin [J]. Nature, 1983, 302 (31):658-671.

[11] Barbarin B. A review of the relationship between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. Lithos, 1999,(6):483-492

[12] Giret A. Typology, evolution and origin of the Kerguelen Plutonic Series [J]. Geol J, 1990,(25):526-538.

[13] Depaolo D J, Farmer G l. Istopic data bearing on the origin of Mesozoic and Tertiary granitic rocks in the western United States [J]. Phil Trans R Soc, 1984,(310):823-835.

[14] 常印佛,刘湘培,吴言昌. 长江中下游铁铜成矿带[M]. 北京:地质出版社,1991.

[15] 翟裕生,姚书振,林新多,等. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社,1992.

[16] 唐永成,吴言昌,储国正,等. 安徽沿江地区铜多金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1998.

Analysis of the geological condictions of mineralization and the ore-control factors in Fenghuangshan field

SHAO Yong-jun[1,2], PENG Sheng-lin[1], LIU Liang-ming[1], WU Gan-guo[2]

(1. School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Geoscience and Resources College, China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper discusses the relationship between mineralization and strata, structure, magmatite. The strata concerned with mineralization are Nanlinghu group (T_{1n}) and Helangshan group (T_{1h}) of lower Triassic. The main ore-controlling structures are brittle dilational faults in the contact zone, which strike along eastnorth by north, westnorth by north and westnorth directions. These faults track one another and form the zigzag fault assemblag which is the main place for hosting orebodies. The mineralization is mainly concerned with granodiorite and quartz monzodiorite porphyry of complex rockbody. Both of them come from the unite deep-seated batholith, belonging to mid-acid calc-alkaline rock from the upper mantle. All kinds of alterations concerned with rockbodies are very strong, showing enormous potential for skarn and porphyry mineralization. The magma is the most important factor for taking a lot of metallogenic fluid, metallogenic material and enormous thermal energy. The structure provides the passage and place for uplifting, locating of magma and migrating, precipitating of metallogenic fluid. The strata takes part in the mineralization by means of its favorable lithologic character. Their mutual combining effects result in the formation of all different kinds of ore deposits. The ore deposit is the common product of magma, strata and structure.

Key words: fault; batholith; Fenghuangshan ore field

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net