长江中下游成矿带深部找矿思路探讨

真允庆[1,2,3],丁梅花[1,2],戴宝章[4],袁 杰[1,2],花林宝[1,4,5],
李忠华[1,2,4],赵理芳[1,2],郝红蕾[1,2],陈国衡[1,2]

(1. 江苏省有色金属华东地质勘查局,南京 210093; 2. 江苏省有色金属华东地质勘查局 814 队,江苏 镇江 212005; 3. 中国冶金地质勘查工程局三局,太原 030002; 4. 南京大学 地球科学系,南京 210093; 5. 江苏华东有色矿业发展有限公司,南京 210007)

摘 要: 长江中下游成矿带的探明资源已开采殆尽,深部找矿(-500～-2 000 m)应是当务之急。根据勘查与开采资料的综合研究,该区的控矿条件可概括为:岩石圈减薄事件是成矿作用的重要前提,燕山期强烈的构造-岩浆活动是区域成矿的主要关键,地表断裂构造样式是深部构造的响应,前陆盆地沉积建造是成矿作用的优越围岩条件,铁、铜矿床的岩浆岩蚀变特点明显不同,埃达克质岩可视为找铜矿床的间接标志。对于今后深部找矿提出 4 个思路:①火山岩盆地下部的深部找矿思路;②目标地层的深部找矿思路;③复合类型矿床的深部找矿思路;④接触带"多台阶"的深部找矿思路。

关键词: 燕山期构造-岩浆活动;铁、铜夕卡岩-斑岩型矿床;深部找矿;长江中下游成矿带
doi: 10.3969/j.issn.1001-1412.2009.03.001
中图分类号: P612;P618.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-1412(2009)03-0179-10

0 引言

长江中下游成矿带是我国东部铁、铜、金及多金属矿产的重要基地,素有"工业走廊"的美誉。经过半个多世纪的勘查和开采,地表以下 500 m 范围内的资源基本查明,区内不少中、小型矿山的保有储量接近枯竭,接替资源贫乏,有的甚至面临关闭,形势相当严峻。为了落实生产矿山的后续资源,保证长三角经济区的持续发展,尽快开展已有成矿区带的深部(-500～-2 000 m)接替资源找矿是地质勘查界的首要任务。

本文从概述区域成矿背景和归纳主要控矿条件入手,运用新的成矿理论,紧密联系实际,分析深部地质条件及控矿因素,提出进一步找矿的思路和方法,试图起到抛砖引玉的作用。不当之处,在所难免,诚恳欢迎批评指正。

1 区域地质成矿背景

长江中下游成矿带是指西自湖北武汉、东至江苏苏州的长江流域两侧地区,全长约 600 km,东距太平洋板块俯冲带约 400～700 km,为华北板块与扬子板块的碰撞造山带之东南侧的扬子板块北部。本区西部紧邻大别—苏鲁造山带,东连江南造山带,是我国东部中生代构造—岩浆—成矿活动最活跃的地区之一。

本区从基底时代来看,长江北岸为新太古代,U-Pb 法等时线年龄为(2 509 ±34) Ma,被称为"皖东式"基底;而长江以南的基底岩石 Sm-Nd 法年龄为 1 995 Ma,称之为"董岭式"基底,为古元古代造山带,两者之间存在明显的时间差距。从莫霍面分布特征来看,大别、皖南、幕阜等山区为地幔拗陷区,而鄱阳、嘉兴平原为幔隆区,沿江区域对应于莫霍面上隆带(幔隆带)。现今莫霍面界面的轮廓是中、新

收稿日期: 2008-11-27 **改回日期**: 2009-07-10
基金项目: 江苏省自然科学基金项目"长江中下游地区铁、铜、硫、金矿床成矿规律与成矿预测研究"(项目编号:BK2008026)资助。
作者简介: 真允庆(1932-),男,江苏镇江人,教授级高级工程师,矿床学专业。通信地址:江苏省镇江市朱方路 227 号,江苏省有色金属华东地质勘查局 814 队;邮政编码:212005;E-mail:zhenyunqing.1932@yahoo.com.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

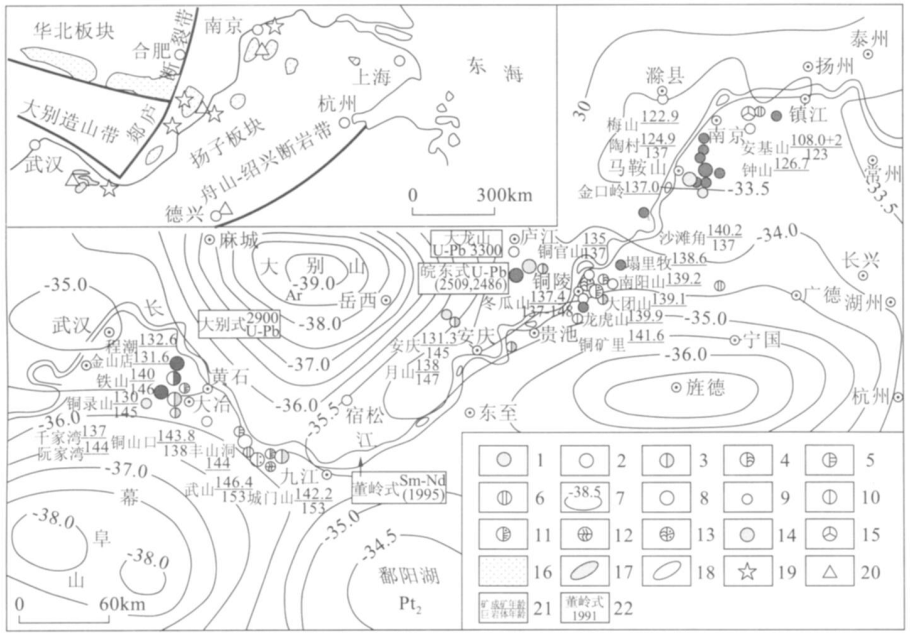


图 1　长江中下游铁、铜成矿带幔根构造与矿产分布示意图(据文献[1,2,8,24]修改)

Fig 1. Sketching map of mantle-rooted structure and the distribution of mineral resources of the iron-copper belt in the middle and lower reaches of the Yangtze River

1. 铁 2. 铜 3. 铜铁 4. 铜金 5. 铜钨 6. 铜钼 7. 莫霍面深度/ km 8. 大型 9. 中型 10. 钼 11. 铜硫 12. 金银 13. 金硫 14. 黄铁矿 15. 多金属 16. 橄榄安粗岩 17. 侏罗-白垩纪类埃达克岩 18. 白垩纪 A 型花岗岩或类埃达克岩 19. 浅成低温热液铜(金)矿床 20. 斑岩型铜(金)矿床 21. 成矿年龄/岩体年龄 22. 结晶基底年龄

生代以来区域性断块下沉所导致的结果[1,2],也是继承早期断裂构造的反映,故称其为"再活化造山带";地震资料证实,长江断裂具有超壳断裂性质。不难看出,长江中下游成矿带为通达地幔的岩石圈大尺度不连续(discontinuities)断裂构造带[3](图 1)。

因为大别—苏鲁造山带和太平洋板块俯冲影响,区域动力学特征表现为由挤压构造演化为伸展构造环境,从而诱发壳幔物质混合交换,导致广泛的以壳幔熔融成因的岩浆活动及其相关成矿作用,形成以透岩浆热液矿床为主的夕卡岩-斑岩型矿床系列。

2　主要控矿条件简述

为了开展深部找矿,必须运用新的成矿理论,紧密联系长江中下游成矿带的地质实际,作者认为,长江中下游成矿带为幔根构造控制其成矿作用[53]。现将主要的控矿条件简述如下:

2.1　岩石圈减薄事件是成矿作用的重要前提

扬子板块于三叠纪俯冲至华北板块之下,这也是本区岩石圈减薄的最早时限。燕山早期,因为太平洋板块(伊泽纳崎板块)向西俯冲,致使地壳大幅度增厚。根据中生代玄武岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为 +1.4～-9.75,说明来源于岩石圈地幔,可以推断中生代岩石圈厚度大于 80 km[4],也是形成埃达克质岩的地质条件之一,若以早-中白垩世碱性玄武岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为 +3.3～+7.4,平均值为 5.77,其源区为软流圈地幔,对应地壳厚度为 50～70 km[5],足以表明在新生代本区岩石圈(30～50 km)已有所减薄;而现在长江中下游地壳厚度为 30～32 km,又减薄了 10～20 km。另外,从下扬子地区发现中生代高镁火山岩[6]完全可以证实岩石圈减薄事件是因为下地壳拆沉,地温升高,导致软流圈岩浆上涌、底侵作用促使下地壳熔融,部分地壳丢失,形成软流圈地幔与上地壳直接接触[7],这是本区大规模断裂构造-岩浆活动-成矿作用事件的最根本原因之一。

2.2　强烈的火山-岩浆活动是区域成矿作用的主要关键

近年来,本区已测定大量高精度成矿年龄资料,阐明成矿时代具有突发性特点,主要集中在晚侏罗世—早白垩世。岩浆活动可分 3 期:早期为高钾钙碱性花岗岩系列,$^{40}Ar/^{39}Ar$ 法测定年龄为 139.8～135.8 Ma,是由辉长岩-闪长岩-石英闪长岩-花岗闪长岩组成,花岗岩类 K_2O 和 Sr 的质量分数较高,相对富集 LILE(包括 Ba,Th,U,K,LREE,Sr),HREE 亏损,贫 Y,均属于 I 型花岗岩(其中有 C 型埃达克质岩),其成因为壳-幔混合岩浆上升至地壳浅部,标志着一次重要的大陆生长事件[11];中期(早白垩世)为富钾钙碱性闪长岩类,见有辉石闪长玢岩、闪长玢岩及相应的火山岩,利用 SHRIMP 法和锆石 U-Pb 法获得的大王山组年龄(127 ±3) Ma,龙

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

王山组火山岩年龄(131 ±4) Ma[12],多为粗安岩(或橄榄安粗岩);晚期(晚白垩世)主要为 A 型花岗岩类,钾氩年龄为(110 ±9.7) Ma[13],岩性包括石英正长岩、正长石、石英二长岩、碱性花岗岩和相应的火山岩。

概括地讲,本区中生代大规模岩浆活动主要有两大岩石系列,即高钾钙碱性花岗岩系列和亚碱性 - 碱性花岗岩(火山岩)系列。前者侵入时代较早,为晚侏罗世 - 早白垩世,与钾质钙碱性花岗岩类有关的,以 Cu-Mo-Au 斑岩型 - 夕卡岩型矿床为主;与钠质钙碱性花岗岩类有关的,以 Fe-Cu-Au 夕卡岩型 - 斑岩型矿床为主。在火山岩盆地内,与中基性火山岩 - 次火山岩有关的,以玢岩型铁矿为主。据谢桂青等[10]研究,Fe-Cu-Mo-Au 矿床的成矿年龄为 137.3～144.9 Ma(表 1),而玢岩型铁矿稍晚,约(122.9 ±3)～(133.9 ±0.2) Ma,这与我国华北及邻区中生代大规模成矿期的第二期及第三期相当[14]。

2.3　浅部断裂构造样式是深部构造的响应

翟明国等(2001)从苏鲁超高压变质带的分析,认为华北胶辽陆块与扬子陆块的地表缝合线是在五莲断裂一线[15]。然而 Li(1994)根据南京以东为 EW 向航磁负异常特征提出,在早 - 中侏罗世,华南陆块的上、下陆壳发生分离,上地壳向北仰冲,推移至苏鲁超高压变质带北缘,下地壳则为俯冲,在华北陆壳岩石圈楔入,认为南京 —镇江一线为深部岩石圈缝合线[16]。Chun(1999)对江苏六合玄武岩地球化学研究,认为华北型岩石圈地幔并非扬子型[17],故支持郯庐断裂以东深部地缝合线为长江流域一线模型。因受郯庐断裂带左行走滑的影响,向北移动约 500 km[18],很明显南部在桐城、庐江一带,它被拖曳呈 NE 向,至南京以东转为 EW 走向。正因为晚侏罗 - 早白垩世期间相邻陆块俯冲与太平洋板块俯冲的双重地球动力学制约,深大断裂为 NNE-NE 与 EW 向组成的构造网络[19]。地表浅部燕山期火山 - 岩浆岩的分布无一不受两组棋盘格子式构造样式控制[1]。

2.4　前陆盆地沉积建造是成矿作用的优越围岩条件

从古地理、地史演变分析[20],长江中下游地区为前陆盆地,自古生代至三叠世,区内地壳处于稳定状态。早古生代,大致以崇阳 —宜城为界,分为南、北两个沉积区,北区是以陆源浅海 —滨海相碳酸盐沉积为主,而南区是以陆源深海硅质 - 碳质岩和碎屑岩为主。南区地层厚度 3 400～8 100 m,北区厚2 940～6 200 m,早古生代未发现明显的岩浆活动。至志留纪末期,全区地壳上升为陆地。泥盆纪转变为陆表海盆,地层厚度为 396～2 968 m,晚期为陆相碎屑沉积,假整合于下古生界之上。石炭纪主要为陆表浅海台地相碳酸盐沉积,唯独铜陵 —木镇 —载家汇一带有海西期喷流沉积。二叠纪继承了石炭纪沉积盆地的基本轮廓,并出现了海滨 - 海陆交替相沼泽含煤沉积。早三叠世则又为浅海相碳酸盐沉积;中 - 晚三叠世为海退沉积系列,有台地相蒸发白云岩和膏盐沉积、海陆互替层、沼泽相碎屑沉积。从本区各地的地层柱及地壳演化来看(图 2),其中碳酸盐岩层占了绝大部分,特别是三叠纪含膏盐层,无疑为燕山期岩浆活动和透岩浆成矿热液侵位提供了良好的成矿空间。如上所述,本区复理石沉积建造无疑为夕卡岩型 - 斑岩型矿床的成矿作用提供了不可缺少的地层条件。

演化至中生代,火山活动剧烈,主要在沿江地带的断陷盆地及其两侧的上叠式断陷盆地,沉积有侏罗纪 —白垩纪巨厚的陆相火山岩系,并有次火山岩侵入,产生玢岩型铁矿床及铜、硫、金(脉状)及非金

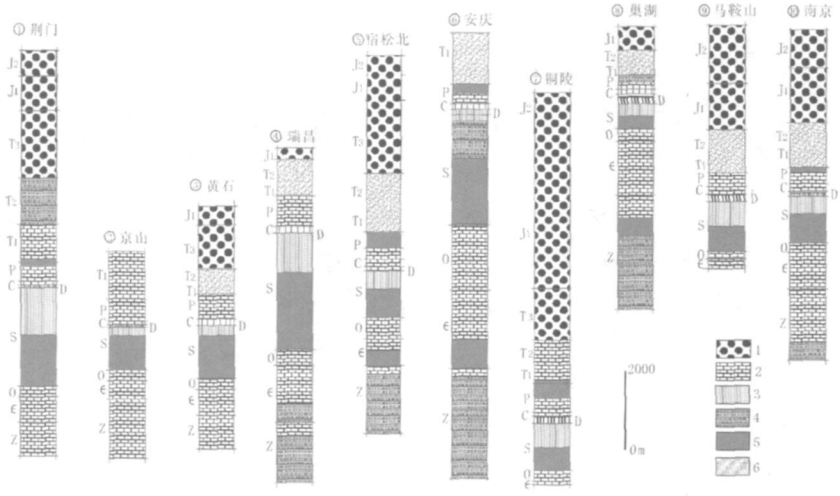


图 2　长江中下游地区震旦纪-侏罗纪地层柱状图[20]

Fig. 2　Lithology and thickness of Sinian to Jurassic strata in the middle and lower reaches of Yangtze River

1. 前陆盆地碎屑岩 2～5. 被动陆缘岩系(2. 碳酸盐岩 3. 石英砂岩 4. 复理石 5. 页岩和泥岩) 6. 早三叠世被动陆缘岩系与中三叠世前陆盆地岩系未分

地层柱编号及位置见图 1

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

属矿产。经喜山期运动造成了盆、山相间的格局。在南黄海盆地并有苏北油田分布,可能是与新生代玄武质岩浆活动有关。

2.5 控制铁、铜矿床的岩浆岩具有明显区别

本区与铁、铜矿床相关的岩浆岩具有明显的差别。铁矿是与钠化(钠长石化)有关,铜矿则与钾化(钾长石化、黑云母化)有关。现将与矿化关系密切的闪长岩类 An-Ab-Or-H_2O 体系和 Q-Ab-Or-H_2O 体系绘于图 3。从演化趋势得知,与铁矿有关的富钠闪长岩均集中在图 3a 的近 Ab 端点区域内,显示富钠长石的特征,其温度约为 650 ℃, 含水较高(> 2 %)。在相对密封条件下,富钠的中基性岩浆中富含蒸气和超临界水,因此提高了水压($P_{水}$),故使岩浆的固相线温度急剧下降(图 3a),有利于分异作用,促进了磁铁矿在岩浆中的分离。残余岩浆中钠组分显著增加,或者与透岩浆热液中富铁成分有关。可作为矿浆—热液型铁矿床的重要指示性标志[2]。

与铜矿有关的高钾闪长岩类岩石,其成分投影点集中分布在富碱长石和石英的区域内(图 3b),可能是由于加入了含水钾硅铝质成分,引起不平衡演化有关。随着这一不平衡演变,在相对封闭条件下,水分增高,提高了水压($P_{水}$),温度急剧下降。如武山花岗闪长岩的初熔温度 775～930 ℃,延长了岩浆结晶路线,有利于充分地分异,促进了分散在岩浆中的 Cu 和其他成矿元素运移至成矿热液中,有利于铜质沉淀成矿[2]。

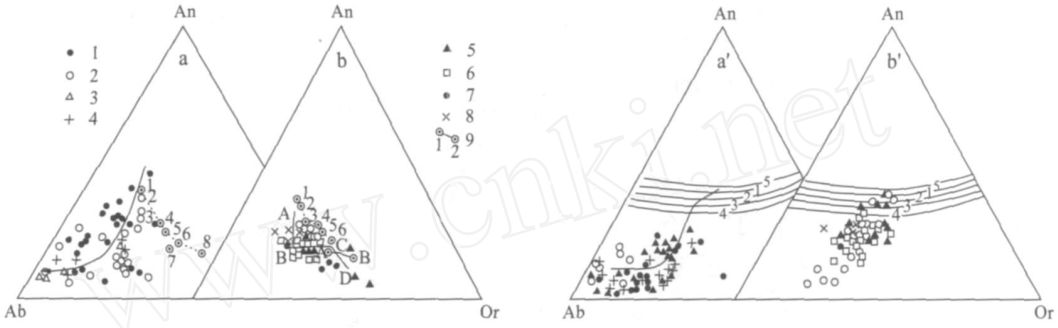


图 3 与铁矿有关的富钠闪长岩类和与铜矿系列有关的高钾闪长岩类的 An - Ab - Or - H_2O 及 Or - Ab - Q - H_2O 演化趋势(根据文献[2]综合)

Fig. 3 The An-Ab-Or-H_2O (a, a') and the Or-Ab-Q-H_2O (b, b') plots showing different evolutionary trends for Na-rich diorite related to iron deposits and high-K diorite related to copper deposits

a 图和 a'图:①宁芜地区岩体 ②鄂东南地区岩体 ③宁镇地区岩体 ④安庆地区岩体

b 及 b'图中:⑤赣西北地区岩体 ⑥安徽沿江地区岩体 ⑦鄂东南地区岩体 ⑧宁镇地区岩体 ⑨岩体演化趋势线

1. 闪长岩 2. 石英闪长岩 3. 花岗闪长岩 4. 二长岩 5. 石英二长岩 6. 正长岩 7. 花岗岩 8. 粗面岩

b 图中 A-B, C-D 为武山岩体岩浆演化趋势线

2.6 埃达克质岩可视为找铜的间接标志

本区赋存的斑岩铜矿床与花岗闪长斑岩在时空上密切相关,其化学成分列于表 1,有下列几点特征[21-24]:

(1) $w(SiO_2)$ = 58.80 %～65.81 %,为中酸性浅成相岩浆岩,属于高钾钙碱性岩石系列,其中殷祖花岗闪长岩为无矿岩体,但 $w(SiO_2)$ 变化不大(62.28 %～64.53 %)。

(2) $w(Al_2O_3)$ 较高(14.45 %～17.45 %),高 Sr, $w(Sr) > 400 \times 10^{-6}$ (490×10^{-6}～1491×10^{-6}),高 Na_2O/K_2O 比值(1.02～3.54),高 Sr/Y 比值(11.52～99)。唯独殷祖岩体的 Sr/Y 比值(39～46)变化不大。

(3) 低 Y($w(Y) = 7.5 \times 10^{-6}$～$13.57 \times 10^{-6}$)、低 Yb($w(Yb) = 0.8 \times 10^{-6}$～$1.73 \times 10^{-6}$)。而无矿的殷祖岩体中 Y 和 Yb 变化甚小($w(Y) = 13.31 \times 10^{-6}$～$15.93 \times 10^{-6}$, $w(Yb) = 1.3 \times 10^{-6}$～$1.47 \times 10^{-6}$)。

(4) Eu 为弱异常(δ_{Eu} 为 0.75～1.11),REE 强亏损,具有惊人的相似性。

(5) 不相容元素(Nb, Ta, Ti),亲石元素如 Pb, Ba, Th, La, Ge, Sr 和 Nb 呈富集状态。

(6) $Mg^{\#}$ 并不高(48.54～52),无矿殷祖岩体 $Mg^{\#}$ 更低(37～41),这种低 $Mg^{\#}$ 富钾,可能是因下地壳底侵玄武岩部分熔融或拆沉 - 熔融幔壳的原因,为钾熔体的混合分异作用和混染过程的反映。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　长江中下游斑岩铜矿容矿斑岩的岩石地球化学主要参数及地质年龄[21-24]

Table1　The analytic results of major and trace elements and chronology for porphyry copper deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River

序号	矿床(岩体)	主要容矿斑岩	w_B/ %		Na_2O/ K_2O	$Mg^{\#}$	w_B/ 10^{-6}
			SiO_2	Al_2O_3			Sr
1	沙溪铜矿[20]	石英闪长斑岩(4)	58.86～61	14.45～17.45	1.14～3.54	42～52	490～1491
2	封山洞铜矿[21]	花岗闪长斑岩(2)	64.19～65.57	14.94	1.02～1.06	50～52	626～686
3	安基山铜山[22]	花岗闪长斑岩(3)	64.89～65.12	14.84～15.6	1.47～1.72	38.54	822～972
4	铜山口铜矿[24]	花岗闪长斑岩(8)	65～65.81	14.79～15.23	1.09～1.30	46～50	869～1048
5	殷祖岩体[24]	花岗闪长岩(无矿) (6)	63.48～64.53	16.01～16.63	1.35～1.56	37～41	519～662

序号	w_B/ 10^{-6}		Sr/ Y	La/ Yb	Eu/ Eu *	$^{87}Sr/^{86}Sr$	年龄/ Ma
	Y	Yb					
1	9～17	0.8～1.73	28.8～16.57	11.52～16.37	0.72～1.13	0.7052	126.8 ±1.0
2	11.23～13.57	1.04～1.13	50.6～- 55.7	22.55～28.6	0.92～0.98	0.7069	130
3	7.5～10.4	0.8～1.06	51.3～120	28.69～31.21	1.03 - ～1.15		106～123
4	10.57～12.86	0.99～1.15	67 - 99	29～46	0.99～1.03	0.706～0.7062	150
5	13.31 - 15.93	1.30～1.47	39～46	16～24	0.90～0.99	0.7065～0.7079	150

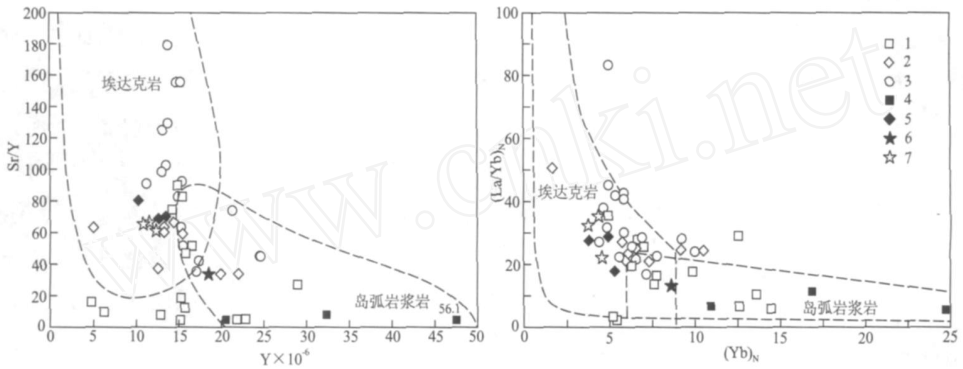


图 4　鄂东南地区侵入岩的 Sr/ Y - Y 和(La/ Lb)$_N$ - Yb$_N$ 图解[25]

(底图据 Defant and Drummond ,1990)

Fig. 4　Sr/ Y versus Y V (La/ Yb)$_N$- Yb$_N$ diagram for Late Mesozoic granitoids from the Southeast Hubei Province

(7)强亏损 HREE 与 Y 的中酸性火成岩是研究熔体与地幔橄榄岩相互作用的岩石"探针"[25]。从图 4 可见,鄂东南和长江中下游一样,并非全是埃达克质岩,而是与岛弧型岩浆岩共生。再从全区中酸性岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ - $^{87}Sr/^{86}Sr$ 图解(图 5)可以得知,投影点均在斜线两侧,与南扬子区地壳成因显然不同,是与下地壳的拆沉作用成因有关。本区强烈亏损 HREE 的埃达克质岩是在增厚的下地壳与地幔(橄榄岩)熔融,$f(O_2)$增高,角闪岩向橄榄岩发生转变,角闪岩脱水,释放出流体有利于铜(金)物质运移[26]。由上述含矿与无矿岩石的对比可见,二者虽有很多相似,但亦有不同之处,而且识别埃达克质岩主要根据岩石化学成分。现在寻找斑岩型铜矿的野外宏观找矿标志主要依靠蚀变分带的特征,所以本文支持将研究埃达克质岩作为间接的找矿标志[27]。

3　几种深部找矿思路的探讨

综上所述,长江中下游成矿带的铁、铜、金及多金属矿床均与晚侏罗世 - 早白垩世的中酸性富钾钙碱性或钙碱性岩浆的活动有关,应属于透岩浆成矿流体系列的热液矿床。基于这一矿床学理论为前提研究深部找矿问题。

3.1　火山盆地下部的深部找矿思路

本区自东至西,有长荡湖、溧阳、句容、溧水、上党、扬中、宁芜、繁昌、滁县、庐枞、怀宁及金牛盆地。这些盆地多属于走滑 - 伸展型盆地。其形成与深部过程存在着明显的必然联系和耦合关系。盆地内火山岩的年龄为(127 ±3)～(131 ±4) Ma,最近已知宁

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

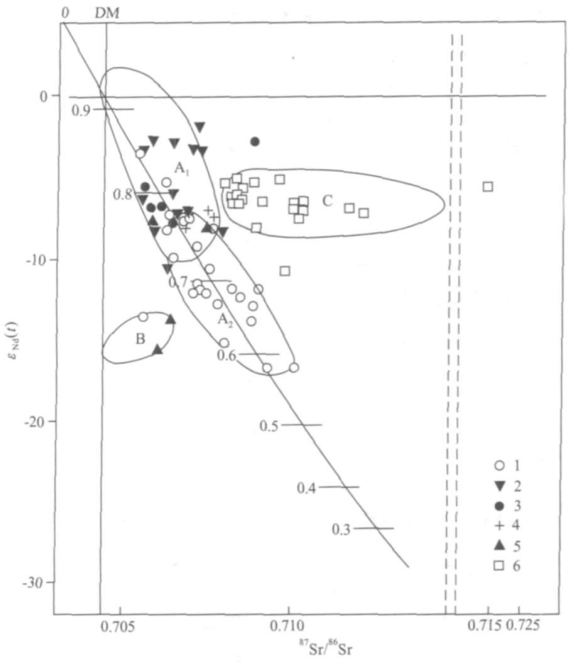


图 5 长江中下游晚中生代岩浆岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ - $^{87}Sr/^{86}Sr$ 图解
(据邢凤鸣等,1996)

Fig. 5 The $\varepsilon_{Nd}(t)$ - $^{87}Sr/^{86}Sr$ diagram of late Mesozoic magmatic rocks in the middle and lower reaches of the Yangtze River

芜盆地中玢岩铁矿成矿年龄 122.9 Ma,晚于山岭区的夕卡岩-斑岩型铁铜矿床(139.3—144.9 Ma),而且上述中新生代火山盆地均有区域性断裂通过,有利于岩浆的活动。火山岩盆地的基岩多半为古生界,具备成矿的地质条件,因此目前可视为深部找矿的"处女地"。陈毓川和 Ishihara 不约而同地强调,在宁芜—庐枞火山盆地下部可能找到铜陵式铜、金矿床[8]。

3.2 目标地层的深部找矿思路

显而易见,本区所赋存的金属矿床皆与透岩浆流体成矿作用有关。也就是说深部成矿流体在上升迁移过程中,如遇碳酸盐岩或富钙质围岩时,经双交代作用或矿浆流体充填,即可形成夕卡岩型或玢岩型铁、铜矿床。以往勘查和开采的矿床的围岩多半为上古生界-中生界,即所谓的"二龙、二王"(黄龙组(C_{2-3})、青龙组(T_1q)的碳酸盐岩和龙王山组(J_3l)与火王山组(J_3d)的含钙火山岩)地层占很大的比例,勘探深度较浅(大部为 - 800 m 以内)。真允庆等(2008)在研究"郯庐断裂南段构造演化与邻区成矿(藏)作用"时认为,鲁西成矿带的莱芜钢铁沟辉石闪长岩的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 等时线年龄为(132.8 ±0.3) Ma,江苏利国铁矿闪长玢岩的年龄为(131.1 ±3.4) Ma,而且毗邻的滁县夕卡岩铜矿、江苏六合冶山铁矿的岩浆岩皆为燕山期火成岩,其围岩分别为寒武系和震旦系碳酸盐岩①。而本区下古生界中虽已发现有矿化现象(常印佛等,1991),但勘探程度很低,故深部还存在找矿潜力。正如毛景文等(2003)所提出"长江中下游成矿带的地球动力学与华北克拉通基本一致",因此在深部寻找"邯邢式铁矿"或"滁县式铜矿"完全是有可能的。

3.3 复合类型矿床的深部找矿思路

铜矿矿集区内,很多夕卡岩铜矿床(如松树山、冬瓜山、新桥、时门口)主要产在石炭纪黄龙组碳酸盐岩与燕山期花岗闪长岩的接触带,即所谓"层控型夕卡岩矿床"(常印佛等 1983),其中块状硫化物主要由黄铁矿、胶黄铁矿组成,黄铜矿呈浸染状分布在矿层下部,上部见有方铅矿、闪锌矿与辉铜矿,发育有铁硅质岩、菱铁矿岩、重晶石岩和硬石膏岩等典型

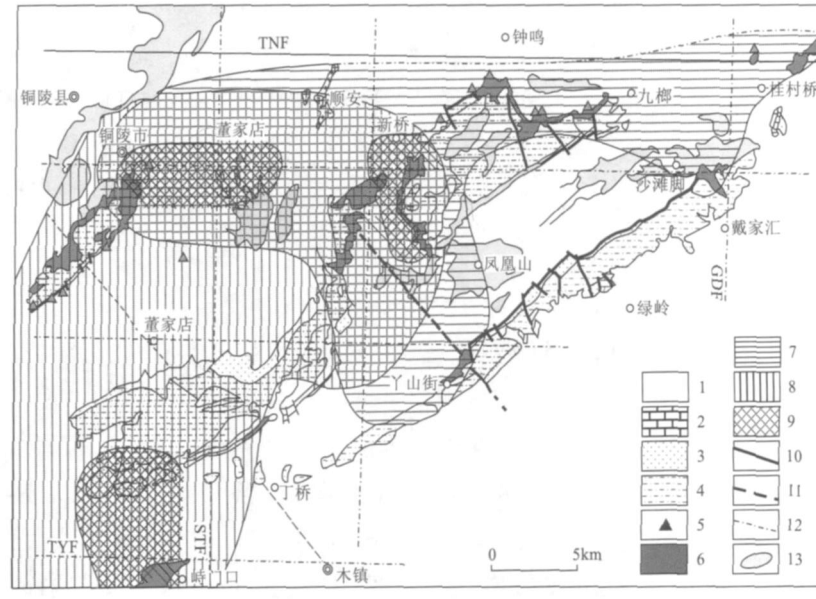


图 6 铜陵矿集区海西期喷流沉积旋回空间展布图
(据文献[35],略加修改)

Fig. 6 Distribution map of the Hercynian exhalative-sedimentary cycles in Tongling ore area

1. 二叠系-第四系碳酸盐岩、碎屑岩和火山岩 2. 上石炭统碳酸盐岩 3. 上泥盆统碎屑岩 4. 志留系碎屑岩 5. 海西期喷流沉积块状硫化物产出地 6. 海西期喷流沉积流体蚀变岩 7. 喷流沉积旋回 Ⅰ 8. 喷流沉积旋回 Ⅱ 9. 喷流沉积旋回 Ⅲ 10. 断裂 11. 同沉积断裂 12. 推测基底断裂 13. 燕山期花岗岩

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

喷流(气)岩。块状黄铁矿的 Re-Os 法同位素等时线年龄为(303 ±33) Ma[31],Rb-Sr 法等时线年龄(313.2 ±32.7) Ma[32],而黄龙组灰岩的形成时限为 312.5～307.5 Ma[33],由此得知,喷流成矿的时限很短,仅为 5 Ma[34,35]。

本区海西期喷流沉积旋回以新桥一带最为典型,可划分 3 个完整的喷流沉积旋回:下部为块状硫化物组合;中部为含黄铁矿、水蛋白石结核的纹层状泥岩与透镜状黄铁矿组合,上部为菱铁矿和硅铁质岩组合,构成块状硫化物→含黄铁矿泥岩→菱铁矿和硅铁质岩喷流沉积序列(图 6)。杨竹森等(2004)认为铜陵矿集区是受基底断裂和同生断裂交汇部位控制,成矿流体上升、运移主要分布在同生断裂的两侧,而海底喷流中心是与五通组砂岩的裂隙有关[35]。真允庆(1991)对海底热液成矿作用的研究认为,除了查明按不同矿物组成的喷流沉积建造之外,更要重视对海底火口网脉状及角砾岩筒型的成矿[36]。因此燕山期成矿与海西期喷流中心的叠合部位可能是成矿的最佳部位,如铜官山—狮子山一带,因基底隐伏断裂发育,加之燕山期岩浆岩剧烈活动,是深部找矿的有利地段。

依此类推,本区夕卡岩型与斑岩型矿床亦为同一成矿系列,两者常为共生或伴生关系,因此对深部找矿具有很重要的指导意义。

3.4　接触带"多台阶"的深部找矿思路

以往曾有人提出"长江中下游成矿带多层楼"的成矿模式,与本文所述之接触带"多台阶"深部找矿思路是大同小异。一般说来,高温的岩浆在上升、运移过程中,会对不同岩性围岩进行熔融、吞噬,常在页岩与碳酸盐岩互层处、地层不整合或假整合面附近形成凸凹不平的形态。真允庆[37,38]曾形象地将与成矿有关的小岩体称为"塔松状闪长岩岩株",实际就是意味着成矿接触带的"多台阶"形态。近年湖北大冶铁矿运用综合研究信息进行了深钻验证,在所谓"第三台阶"发现了厚大的铁矿体(储量在 1 200 万 t 以上),按此找矿实例,又对程潮、泽林—程潮、金山店及灵乡等铁矿进行了找矿预测,打开新的找矿思路,证实在老矿山深部具有良好的找矿前景[39]。

4　开展深部找矿的几点建议

近年来,对长江中下游成矿带的深部找矿已引起国内矿床学家及勘探界专家的高度重视,提出了很多值得重视的建议和预测,获得了大量的研究成果,这些都是很珍贵的信息。现对今后开展深部找矿工作提出几点建议,以供参考。

4.1　深部找矿的矿床学依据

金属矿产资源的形成与聚集是地球深部物质与能量交换及其深层动力过程的产物,岩石圈和软流圈系统与成矿环境密切相关[40]。不言而喻,本区的成矿背景是处于华北与扬子板块碰撞的活动造山带构造背景。由于地壳岩石圈大尺度减薄、燕山期突发性大灾变、壳幔混合形成 I型岩浆岩,进而引起成矿作用大爆发等地质事件,皆是深部找矿的理论基础。

无庸置疑,长江中下游成矿带的金属矿床皆为岩浆期后热液矿床系列,是以夕卡岩 - 斑岩型矿床为主。据顾连兴等[41]及肖新建等[42]研究,成矿流体在早期均以高温(> 450 ℃)、高盐度(w(NaCl) > 45 %)流体为特征;晚期有一定数量的雨水渗入,流体均呈沸腾状态,并携带铁、铜、金物质至地壳浅部卸载成矿就位。从地球化学原理分析,铁、铜、金等金属元素归根结底是来自深部地核及地幔。也就是罗照华等(2004)提出的透岩浆流体成矿作用,其成矿流体主要来自深部的独立流体系统,亦是岩浆快速上升侵位的动力,故有利于形成斑岩型矿床,如岩浆较慢速侵位,往往形成夕卡岩型、甚至远程热液型矿床。

很明显,本区很多金属矿床的接触围岩,皆与碳酸盐岩密切相关,常伴有夕卡岩。在大冶铁矿床、鸡冠咀金(铜)矿床、铜汞山铜(金)矿床、龙角山铜矿床、铜山口铜(金)矿床、铁子山铁矿床、封山洞铜(金)矿床、李家湾铜(金)矿床、鸡笼山金(铜)矿床、武山铜钼(金)矿床、城门山铜(金)矿床、安徽铜山铜(金)矿床,以及江苏玢岩型梅山铁矿均发现钙铁石榴石、阳起石和透辉石等夕卡岩矿物。这些夕卡岩矿物中,除含有气 - 液包裹体(均一温度 580～675 ℃)外,还有熔融包裹体(均一温度 890～1 115 ℃);前者可能为双交代产物,后者则是"岩浆成因夕卡岩"的直接证据,是因下地壳中有较多含羟基矿物与上地幔物质熔融有关。无疑为深部找矿提供了强有力的理论证据[45]。

4.2　深部找矿工作方法的建议

当今深部找矿应遵循"攻深找盲、探边摸底"的方针。建议可分两步:首先在区域内通过对重力场、地电场、地磁场、人工源地震勘探物理场观测进行反

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

演与物理 - 数字模拟[40],结合区域性深穿透地球化学勘查(运用金属元素活动态提取法(MOMEO)和动态地球气微金属测量法(NAMEG)等)探测资料,建立区域(或矿集区)的构造成矿模型,其目的有二:一是优选找矿靶区,二是了解深部地壳结构,即火山岩盆地下部的岩性分布、构造特征,以便布置深部找矿方法。

其次,目前对铜陵矿集区已取得很多高科技、高精度的研究成果。如运用深地震反射剖面研究初步了解复杂地壳结构形态[44],对狮子山金属矿地震反射研究结果,不仅探测黄龙灰岩与五通组接触层的深度和展布,为隐伏矿预测提供依据,而且查明奥陶系灰岩顶面(约 3 km)和其底面形态表现为背斜[45],为预测寻找"邯邢式铁矿"提供了线索;对我国东部"第二富集带"寻找层控矿床具有潜在的应用价值[46];再如,采用铜陵矿集区遥感蚀变异常分析方法[47],与海西期喷流沉积旋回空间分布特点(图 6)、燕山期中酸性岩浆岩分布特征进行对比研究,获得深部找矿的信息,而且与地表蚀变 - 流体填图对比,并划分 4 个流体系统、7 个流体子系统、18 个流体单元,优选出铜官山、狮子山—五贵桥、凤凰山—沙滩脚及舒家店 4 个流体活动中心区[48];另外,毛政利等(2008)[49]对铜陵凤凰山提出多元地学信息预测方法,综合集成并利用具有较强的非线性拟合功能的 BP 人工神经网络,建立多元综合集成的成矿预测。凡此种种均为深部找矿提出极其珍贵的依据,这里就不再一一列举。总之,采用"专家系统"在综合建立"四维"成矿模式的指引下,将会取得事半功倍的找矿效果。

因为本区处在城市建筑与工业矿山密集,铁路、高压线纵横干扰,无疑会影响物、化探的地质解释和找矿信息,为此建议推广铜录山铜矿运用 CSAMT(可控源音频大地电磁法)及 EH4(MT、AMT 和 CSAMT 三种电法仪器结合体,属于可控源与天然场源相结合的一种电磁测深系统)已取得良好效果的找矿经验[50],以及在大冶运用小波频谱分析寻找深部铁矿的找矿方法[51]。

5 结束语

从成矿学理论、地质勘查、采矿实践和科研的成果分析,证明长江中下游成矿带深部找矿是具有很大潜力的。现今所提出的各种深部找矿思路,仅是战略性预测,关键还在于如何运用具有针对性的综合方法和科学手段去验证,促使深部找矿有所突破。因此非常有必要开展新一轮的区域找矿战略选区研究,同时开展以深部评价理论和技术方法为重点的综合性研究工作[52]。

致谢:在研究和撰写过程中,承蒙 4 位博导:中国地质大学罗照华教授,南京大学顾连兴教授、石家庄经济学院牛树银教授、中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员的热情指导;江苏有色地勘局唐俊华博士、中国地质科学院矿床资源研究所谢桂青博士对初稿提出了宝贵意见,在此谨表谢忱。

①真允庆,花宝林,曾朝伟等。郯庐断裂带南段构造演化与邻区成矿(藏)作用。地质科学,(待刊稿)。

参考文献:

[1] 翟裕生,姚书根,林新多,等. 长江中下游地区铁矿(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社,1992:1-233.

[2] 常印佛,刘湘培,吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京:地质出版社,1991:1-256.

[3] 邓晋福,罗照华,苏尚国,等. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京:地质出版社,2004:1-214.

[4] 杨祝良,浙东中. 新生代玄武岩起源演化分地幔交代作用[J]. 火山地质与矿产,1993,14(3):7-20.

[5] Livaceari R F,Perry F V,Han S L. Isotopic evidence for preservation of cordilleran lithospheric mantle during the Sevier-Laramide orogeng west United States[J]. Geology,1993,21:719-722.

[6] XU J F,Shinjo S,Defant M J,*et al*. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Niingzhen area of East China; Partial melting of delaminated lower continental crust ? [J]. Geology,2002,30:1111-1114.

[7] 吴福元,葛文春,孙德有,等. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. 地学前缘,2003,10(3):51-60.

[8] 毛景文,Holly STEIN,杜安道,等. 长江中下游地区铜、金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报,2004,78(1):121-131.

[9] 毛景文,谢桂青,张作衡,等. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报,2005,21(1):169-188.

[10] 谢桂青,毛景文,李瑞玲,等. 鄂东南地区 Cu-Au-Mo-(W)矿床的成矿时代及其成矿地球化学动力学背景探讨:辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. 矿床地质,2006,25(1):43-52.

[11] 肖庆辉,邱瑞照,邢作云,等. 花岗岩成因研究前沿的认识[J]. 地质论评,2007,53(增刊):17-27.

[12] 张旗,简平,刘敦一,等. 宁芜火山岩锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 中国科学(D 辑),2003,33(4):309-314.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[13] 唐永城, 吴言昌, 储国正, 等. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 239-243.
[14] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学, 2003,33(4): 289-299.
[15] 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用[J]. 中国科学(D 辑),2001, 31(7): 545-552.
[16] Li Z X. Collision between the North and South China Blocks: a crustal-detachment model for the suturing in the region east of the Tanlu fault [J]. Geology, 1994,22: 739-742.
[17] Chang S L. Trace element and isotope characteristics of Cenozoic basalts around the Tanlu with implications for the Eastern Plate Boundary between North and South China [J]. The Journal of Geology, 1998, 107: 301-312.
[18] 徐嘉炜, 马国峰. 郯庐断裂研究的十年回顾[J]. 地质论评, 2001, 28: 316-322.
[19] 李曙光. 长江中下游中生代岩浆岩及铜铁成矿带的深部构造背景[J]. 安徽地质, 2001, 11(2): 118-122.
[20] 李锦轶. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式 ——长江中下游地区震旦纪—侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 27-34.
[21] 王强, 赵振华, 熊小林, 等. 底侵玄武岩下地壳的熔融: 来自安徽 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据[J]. 地球化学, 2001, 30(4): 353-362.
[22] 王强, 赵振华, 许继峰, 等. 扬子地块东部燕山期埃达克岩质(adakite-like)岩与找矿[J]. 中国科学(D 辑),2002,32(增刊):127-136.
[23] 许继峰, 王强, 徐义刚, 等. 宁镇地区中生代安基山中酸性侵入岩的地球化学:亏损重稀土和钇的岩浆产生的限制[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 576-587.
[24] 王强, 赵振华, 许继峰, 等. 鄂东南铜山口、殷祖埃达克岩质(adakite)侵入岩的地球化学特征对此:拆沉下地壳熔融与斑岩铜矿的成因[J]. 岩石学报,2003,(埃达克岩与成矿专辑): 351-360.
[25] 王强, 许继峰, 赵振华. 强烈亏损重稀土元素的中酸性火成岩(或埃达克质岩)与 Cu,Au 成矿作用[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 561-572.
[26] Wang Q, Zhao Z H, Xu J E,*et al*. Petrology and metallogenesis of the Yanshanian adakite-like rocks in the Eastern Yangtze Block[J]. Science in China (Series D), 2003, 46(Sup.): 164-176.
[27] 冷成彪, 张兴春, 陈衍景, 等. 中国斑岩铜矿与埃达克(质)岩关系探讨[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 199-210.
[28] 解习农. 中国东部中新生带盆地形成演化与深部过程的耦合关系[J]. 地学前缘, 1998, 5(增刊): 162-165.
[29] 罗照华, 莫宣学, 卢欣祥, 等. 透岩浆流体成矿作用 ——理论分析与野外证据[J]. 地学前缘,2007, 14(3): 165-183.
[31] 蒙义峰, 杨竹森, 曾普胜, 等. 铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定[J]. 矿床地质, 2004,23(3): 271-280.
[32] 谢华光, 王文斌, 李文达. 安徽新桥铜硫矿床成矿时代及成矿物质来源[J]. 火山地质与矿产, 1995, 16(2): 101-107.
[33] 李儒峰, 刘本培, 赵澄林. 扬子板块石炭纪沉积层及其全球性对比研究[J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 23-28.
[34] 吕庆田, 杨竹森, 严加永, 等. 长江中下游成矿带深部成矿潜力找矿思路与初步尝试 ——以铜陵矿集区为实例[J]. 地质学报, 2007, 81(7): 865-881.
[35] 杨竹森, 侯增谦, 蒙义峰,等.安徽铜陵矿集区海西期喷流沉积流体系统时空结构[J]. 矿床地质, 2004, 23(3): 221-297.
[36] 真允庆. 海底热液成矿作用[J]. 矿产与地质, 1981, 5(22): 15-20.
[37] 真允庆, 陈金欣. 宁镇地区多金属成矿带硫、铅同位素组成及其地质意义[J].地质与勘探,1986,(11): 271-276
[38] 真允庆. 华北夕卡岩型铁矿成矿带与板块构造关系的探讨[J]. 地质科技, 1978(5): 72-79.
[39] 王瑜, 李郎田, 苏昭明. 鄂东南铁矿成矿地质特征与找矿预测[J]. 地质与勘探, 2007, 43(1): 17-25.
[40] 滕吉文. 强化开展地壳内部第二深度空间金属矿产资源地球物理找矿、勘探和开发[J]. 地质通报, 2006, 25(7): 767-771.
[41] 顾连兴, 陈培荣, 倪培, 等. 长江中下游燕山期热液铜 - 金矿床成矿流体[J]. 南京大学学报, 2002,38(3): 392-407.
[42] Xiao Xinjian, Gu Lianxing, Ni Pei. Multi-episode fluid boiling in the Shizishan copper-golddeposit Tongling, Anhui Province: its bearing on ore formation[J]. Science in China(D), 2002, 45(1): 34-44.
[43] 赵斌, 赵劲松, 李兆麟, 等. 大冶—九江地区 Fe, Cu(Au)和 Au(Cu)矿床夕卡岩矿物里的熔融包裹体特征[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(7): 550-561.
[44] 吕庆田, 侯增谦, 赵金花, 等. 深地震反射剖面揭示的铜陵矿集区复杂地壳结构形态[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(5): 442-449.
[45] 吕庆田, 侯增谦, 史大年, 等. 铜陵狮子山金属矿床地震反射结果及对区域找矿的意义[J]. 矿床地质, 2004, 23 (3): 390-398.
[46] 吕庆田, 史大年, 赵金花, 等. 深部矿床勘查的地震学方法: 问题与前景 ——铜陵矿集区的应用实例[J]. 地质通报, 2005, 24(3): 211-218.
[47] 叶珂, 杨斌, 王雄军, 等. 铜陵矿集区遥感蚀变异常分析与找矿预测[C] //陈毓川. 主攻深部,挺进西部,放眼世界 ——第九届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 2008:632-633.
[48] 蒙义峰, 侯增谦, 杨竹森, 等. 安徽铜陵地区蚀变 ——流体填图方法的探讨[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 105-110.
[49] 毛政利, 刘之葵, 赖健清, 等. 铜陵凤凰山铜矿区多源信息综合集成成矿预测模型探讨[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(1): 58-61.
[50] 彭省临, 张建东, 赖健清, 等. 危机矿山深部找矿理论与方法研究[C] //陈毓川,薛春纪,张长青. 主攻深部,挺进西部,放眼世界 ——第九届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 2008:656-657.
[51] 李媛媛,杨宇山,刘天佑.磁异常复小波谱分析方法在矿山接替资源勘查中的应用[C] //陈毓川,薛春纪,张长青. 主攻深部,挺进西部,放眼世界 ——第九届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 2008:598-600.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[52] 王登红, 许建祥, 张家青, 等. 华南深部找矿有关问题探讨[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 865-872.

[53] 真允庆, 束乾安, 戴宝章, 等. 长江中下游成矿带的幔根构造与深部找矿[J]. 地质调查与研究, 2009, 32(2): 105-116.

DISCUSSION ON DEEP ORE PROSPECTING IN THE MIDDLE AND LOWER REACHES OF YANGTZE RIVER MINERALIZATION BELT

ZHEN Yun-qing[1,2,3], DING Mei-hua[1,2], DAI Bao-zhang[4], YUAN Jie[1,2], HUA Lin-bao[1,4,5]
LI Zhong-hua[1,2,4], ZHAO Li-fang[1,2], HAO Hong-lei[1,2], CHEN Guo-heng[1,2]

(1. Eastern China Geological & Mining Organization for Non-ferrous Metals in Jiangsu Province, Nanjing 210007, China; 2. Team 814, Eastern China Geological & Mining Organization for Non-ferrous Metals in Jiangsu Province, Zhenjiang 212005, Jiangsu, China;
3. No. 3 Bureau, China Exploration & Engineering Bureau, Taiyuan 030002, China;
4. Department of Earth Sciences, Nanjing University Nanjing 210093, China;
5. Easter China (Jiangsu)) Non-ferrous ore Industry Corp. Ltd, Nanjing 210007, China)

Abstract: The proven mineral resources above elevation of -500～-2000m at the ore belt of middle and lower Yangtze river have almost been exhausted and is urgent the ore prospecting to depth in the belt. Comprehensive study on geological exploration and mining for more than latest half century shows that the ore control factors are as follows: lithosphere thinning that is the prerequisite of mineralization; strong Yanshanian (J_3-K_{2-3}) tectonic-magmatic activities that are the key to regional mineralization; surfacial fractural pattern that is expression of the deep structural activity; sedimentary formations in foreland basin that is favorable host rocks of ore deposit; various wall rock alteration patterns of Fe, Cu ore deposits of which adakite is the indirect mark for Cu ore prospecting. Four philosophical ideas for further prospecting target depth are pointed out: (1) to depth beneath of volcanic basins, (2) to depth of the target strata, (3) to depth of the complex ore deposits, (4) to depth of the multi-stepped contact zones.

Key Words: Yanshanian tectonic-magmatic activity; iron, copper skarn-porphyry-type deposit,; deep ore prospecting,; mineralization belt of the middle and lower reaches of Yangtze River

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net