

文章编号:1005-6157(2011)02-0105-9

铜陵矿集区深部找矿工作的一些思考

张 达¹, 吴淦国¹, 杜建国², 阙朝阳³, 刘文灿¹, 许 卫², 谭捍东¹,
狄永军¹, 马先平³, 张志辉¹

(1 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2 安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001; 3 铜陵紫金山矿业有限公司, 安徽 铜陵 244100)

摘 要: 铜陵矿集区深部结构特征为该区大规模成岩成矿作用奠定了良好的基础, 浅表已发现的矿床只是矿集区成矿系统的一部分。除此之外, 深部还应有多多个可以找寻的矿床(矿体)的富集空间。与成矿相关的花岗岩研究表明, 铜陵矿集区可能存在与宁芜火山盆地同期的成岩成矿作用, 是铜陵矿集区找矿的新方向。铜陵矿集区奥陶系灰岩中铜金矿化作用的初步研究表明, 除传统矿床类型外, 前泥盆纪地层中的成矿作用应该在今后的找矿工作中得到关注。覆盖区成矿预测初步研究表明, 铜陵矿集区向斜核部及褶皱倾伏端等地段具有与已知典型矿床相似的成矿条件。铜陵矿集区的进一步找矿工作应该在上述地段运用矿田构造系统分析、深部地球物理探测和工程验证等方法逐步展开。

关键词: 铜陵矿集区; 深部找矿; 中生代侵入岩; 下奥陶统; 覆盖区

中图分类号: P624; P618

文献标志码: A

0 引言

铜陵矿集区是我国重要的有色金属基地,“古铜官山”的铜矿开采可追溯到春秋时代。自上世纪中叶,以安徽省地矿局321地质队为代表的有关地勘单位在铜陵地区开展了大量矿产地质调查和勘查工作,历经数十年,先后探明了以铜官山铜矿、狮子山铜矿、凤凰山铜矿、新桥铜(硫、铁、金、银)矿、冬瓜山铜矿、天马金矿等为代表的一大批大-中型矿床,主要矿种为Cu、Fe、S、Au、Ag等。2000年以来,又相继发现了朱家冲、姚家岭及舒家店铜(金)铅锌矿床,老矿山及一批以往工作程度较低的地区也正在开展深部和外围的找矿工作。铜陵矿集区几十年来的找矿过程表明,取得找矿突破主要与成矿作用的认识、工作程度的提高以及方法的更新密切相关,经历了从“接触交代矽卡岩型”到“层控矽卡岩型”铜矿认识上的突破、“铁帽型”和矽卡岩型金矿及斑岩型铜钼矿类型的发现等不同的阶段。在长期积累的基础上不断总结出

“层控-矽卡岩型”矿床理论、“一断裂,二序列,三环境,四层位”成矿规律、“多层楼”、“三位一体”以及与花岗岩有关的“斑岩-矽卡岩-Manto矿床”等成矿模式(刘湘培等,1988;常印佛等,1991,1996;储国正等,1992a,b;黄许陈等,1993;唐永成等,1998,Pan et al.,1999)。在地质工作程度方面,铜陵矿集区是1:20万、1:5万区域地质调查、1:5万三维立体填图工作最早的示范地区之一。各种比例尺的地物化遥工作广泛而深入。不仅如此,铜陵矿集区也是一批新的找矿方法手段及高精度的深部探测工作的试点地区。这些不同类型工作的开展不仅使该区成矿作用及成矿模式得到了验证,而且也为进一步找矿提供了新的线索和靶区。

尽管铜陵矿集区地质工作程度总体较高,但对于区域火山盆地边缘、向斜核部、褶皱倾伏端以及基底地层等部位所开展的相关地质工作则显得较为薄弱。一些基础地质问题如铜陵矿集区深部结构特征、与成矿关系密切的岩浆作用的形成演化特征、宁芜火山-侵入岩浆成矿系统对该区的影响及覆盖区找矿方法探索等方面还需进一步深化,这些问题的

收稿日期:2011-05-17

基金项目:全国危机矿山接替资源找矿项目(20089938),111计划(B07011)。

作者简介:张达(1967-),男,湖北孝感人,教授,博导,现主要从事区域地质、构造地质及矿田构造研究工作。

解决对于在铜陵矿集区开展深部找矿具有重大的理论与实际应用意义。

针对以上问题,在前人工作的基础上,通过在铜陵矿集区实施“973”课题、危机矿山找矿预测项目以及与矿山企业合作开展成矿预测等方面的工作,针对铜陵矿集区深部构造背景、典型矿床成因及成矿模式、重点地段地球物理探测等方面开展了综合研究工作,并获得了一些有关深部及外围找矿的一些初步认识,旨在为铜陵矿集区乃至长江中下游地区的深部找矿工作提供一些参考。本文结合在铜陵矿集区开展的基础地质及找矿预测工作方面的进展,通过学习常印佛先生建立的长江中下游地区成矿理论和找矿勘查理论方法,谈一谈对该区深部及外围找矿工作的体会与思考。

1 深部成矿构造背景的认识

铜陵矿集区的深部结构特征主要与深部不同层次的岩石圈构造分层作用相关(吴淦国等, 2003)。构造分层作用对成岩及成矿作用具有明显的控制作用。孙岩认为下扬子地区层滑断裂对矿床的控制满足“地层—矿层—断层”三统一的控矿模式,并强调层滑断层系统和矿床形成的时空耦合关系(孙岩等, 1997)。储国正等研究了顺层滑动构造对狮子山矿田“多层楼”矿床的控制(储国正等, 1992b)。刘文灿等强调铜陵地区基底滑脱面对盖层构造系统的控制(刘文灿等, 1996)。

大量深部探测成果证明,铜陵矿集区自软流圈顶面始,岩石圈存在多个明显的构造拆离面:深部巨型构造拆离面(岩石圈与软流圈之间的过渡带和壳幔之间的莫霍面(层))、中深部大型构造拆离面(中上地壳界面附近)及中浅部中型构造拆离滑移面(基底与盖层滑脱带)及中小型构造拆离滑脱面(盖层内部多层次滑脱面)。依据铜陵矿集区岩石圈物质组成及不同层次构造变形特征分析,可以得出中小型构造拆离滑脱面基本对应区域脆性变形层次;在其之下存在较宽的由中深部大型构造拆离面及中浅部中型构造拆离滑移面组成的韧性转换带,这种转换带的存在对于岩石圈应力由深部向浅部的传递起着重要的作用;深部巨型构造拆离面属于深部粘塑性变形层次。

陈沪生等(1988)根据长江中下游地区区域地质研究对比分析结合在扬子地区开展的地震测深成果,认为壳幔之间的莫霍面(层)和岩石圈底部界面(岩石圈与软流圈之间的过渡带)是控制巨大圈

层滑移(拆离)运动的两个十分重要的滑移面和均衡调节层(L面(层)及M面(层))。吕庆田等(2003)在铜陵矿集区开展了深地震反射剖面研究,显示出该区下地壳表现为“层状”强反射,“层状”岩石圈表现为三个大的构造拆离面:莫霍面与下地壳之间的拆离面(M面)、下地壳与上地壳之间的拆离面(C面)以及沉积盖层与变质基底之间拆离面(G面)。并且铜陵、九瑞等地区对应莫霍面隆升区,莫霍面最小深度为30~31km。大别山、皖南等地对应于莫霍面沉降区,莫霍面深度最大达36.5km。

铜陵矿集区基底与盖层之间以及盖层内部存在的多层次、多方向、多级别的滑脱断裂是构造分层作用的具体表现。印支期伊始受到区域近南北向的左旋剪切应力场的作用,由于基底和盖层之间存在一条重要的基底滑脱面,加上盖层中不同岩层的岩石物理性质差异及早期存在的东西向基底断裂带的限制作用,本区乃至下扬子地区广泛发育北东向的S状隔档式褶皱群(图1)。在S状褶皱形成过程中,除形成横向、斜向等陡倾角的伴生断层外,沿岩层的岩性突变界面(主要为平行不整合面)发生顺层剪切滑动,形成多层层间滑动断层,即所谓的“层间剥离”构造。由于后期构造变形的叠加与复合,沿顺层滑动断层发生多次剪切滑动,构造变形不断迁移、扩展,岩石破碎强烈,从而发展成为复杂的层间滑脱构造带。这些构造主要集中于上泥盆统五通组(D₃w)—三叠系中统(T₂)之间的岩层中,构成多层顺层滑脱构造,多数滑脱构造是沿原生沉积间断面或岩性突变界面发育,其中最具规模的是泥盆系上统五通组石英砂岩与石炭系中上统灰岩之间的滑脱构造。这些构造同时受到铜陵矿集区多期次的构造变形复合作用,使构造滑动面发生改造,其中与北东向的左旋压扭变形的复合使区域滑脱面发生波状起伏直至平面及剖面上都表现为S状;与区域东西向褶皱的叠加复合使早期北西—南东方向的滑动出现近南北向的滑动,从而在滑动面上褶皱核部出现“双向虚脱”现象,在狮子山矿田表现为“多层楼式”的滑脱构造特征;与北北东向断裂系统的复合使北东向的层间滑脱断裂向深部出现小角度的切穿地层现象,成为沟通深部岩浆及矿液的通道。

岩石圈构造分层作用对矿集区成矿成矿有明显的控制作用。岩石圈与软流圈之间存在强烈的构造拆离面(80~100km)导致岩石圈在铜陵矿集区于140Ma左右发生底侵作用和原始碱性玄武岩浆上涌



图1 铜陵矿集区地质矿产略图

Fig.1 Sketch showing geology and mineral resources in the Tongling ore concentration area

(42~48km);壳幔边界存在高低速互层物质组成的莫霍层发生过较大规模的滑移(拆离)(32km),导致壳层断裂深切壳幔边界,勾通玄武岩浆的上侵,大约在深处,构成深位岩浆房;位于壳幔边界以上的深变质岩系及浅变质岩系(15~24km)是一段范围较广的粘塑性向韧脆性变形层次的过渡地带,深部岩浆受深变质作用强烈的同化混染形成高钾钙碱性中酸性岩在张性构造环境的进一步驱动下,岩浆上升致上地壳基底与盖层之间拆离滑脱面上,形成浅部岩浆房(9~15km);进入到盖层沉积岩系,构造分层作用使多层次的层间滑脱构造异常发育(4~6km),形成多层次有利于岩浆侵位及成矿作用的空间,发生成矿热液的运移与沉淀。在不同的部位形成层控矽卡岩型、沉积热液叠加改造型、似层状矽卡岩型、接触交代型、热液脉型及斑岩型铜、金、硫、铁等矿床。如铜陵矿集区五通组顶部和石炭系底部原生沉积黄铁矿层,经后来的热液成矿活动的叠加改造,成矿热液主要沿 D_3w-C_{2+3} 层间滑脱构造运移,矿液交代改造了原生沉积黄铁矿层,以叠加改造作用为主形成层控矽卡岩型矿床,如冬瓜山、新桥、天马山等铜、金、硫矿床均属此类。多方向层间滑脱构造的相互复合是控制本区“多层楼”矿床的主要控矿形式。本区北东向的层间滑脱

构造普遍发育,在滑脱构造形成后期又受到东西向褶皱的叠加作用。东西向褶皱叠加后也会导致南北向的层间滑动,因此两个方向的滑脱作用导致褶皱的层滑空间增大,利于矿液的运移及沉淀。进而出现多层成矿空间,在铜官山、狮子山及新桥矿田中都有此种类型的矿床。

铜陵矿集区以上深部结构特征及控岩控矿作用表明,深部不同层次的分层作用为大规模成矿作用提供了良好的空间及矿液运移的通道。铜陵矿集区地壳浅部的矿产勘查成果论证了以上认识。由于矿集区多层次的构造分层作用形成的构造-岩浆-成矿系统在中上地壳广泛存在,地壳浅表已发现的矿床仅占该成矿系统的极少部分,深部还应有多多个矿产富集空间。因此在铜陵矿集区以寻找“第二找矿空间”为主要目的而开展的“深部找矿”工作应该是今后进一步扩大远景的主要方向。

2 中生代成矿花岗岩年代学新进展

铜陵地区是长江中下游铁铜多金属成矿带的一个重要矿集区,以发育与成矿密切相关中生代中酸性岩浆岩为显著特征,形成了铜官山、狮子山、新桥及凤凰山等典型铁铜硫金矿田。研究表明铜陵矿集区成矿岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄大多集中

140Ma ~150Ma之间(Wu et al., 2008), Cu(Mo)-Fe-S-Au矿床的Re-Os同位素年龄为134~143 Ma(毛景文等, 2004)。因此得出铜陵地区成岩成矿作用时代都为晚侏罗世晚期, 而早白垩世成矿作用(122.9~124.9±0.3Ma)则迁移至铜陵矿集区以北的宁芜-庐枞断陷火山盆地中(余金杰等, 2002), 形成了铜陵及宁芜地区两套不同的成矿系统。铜陵紫金矿业有限公司委托中国地质大学(北京)开展焦冲金硫多金属矿床成矿条件及找矿方向研究, 通过对与成矿相关的花岗闪长斑岩开展锆石LA-ICPMS U-Pb同位素年代学研究, 得出铜陵地区存在与宁芜火山盆地成矿时代相近的早白垩世成矿岩体。

焦冲矿区侵入岩体主要为花岗闪长斑岩、辉石二长闪长岩和闪长岩, 钻孔可见辉绿玢岩及煌斑岩脉。其中花岗闪长斑岩与成矿关系密切(图2)。花岗闪长斑岩分布于矿区南部, 地表呈长条状, 走向北东, 倾向南东, 从背斜南东翼轴部贯入, 呈岩枝状产出。在矿区深部中段, 岩体呈圆形或椭圆形, 侵入二叠系及三叠纪地层, 其中包括下二叠统栖霞组灰岩。

利用LA-MC-ICPMS系统开展了焦冲金硫多金属矿床花岗闪长斑岩体的锆石U-Pb同位素测年。其中主要对花岗闪长斑岩中四组形态的锆石开展了测年工作, 分析了40个不同类型锆石颗粒, 其中16个颗粒的分析结果在谐和图上组成密集的一簇, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为128 ± 2 Ma, 方差5.0。获得这一年年龄数据的锆石颗粒都为以上分析中的第一组岩浆锆石, 应该代表焦冲矿区花岗闪长斑岩的结晶年龄。从锆石年代学测试数据以及对这些数据的分析结果图谐和图上, 还获得该岩体中不同时代的锆石年代学信息, 主要包括新太古代—中元古代的多个不一致年龄、新元古代6个一致年龄、中晚石炭世4个一致年龄。

根据已获得的高精度年代学数据分析, 铜陵地区与成矿相关岩体的成岩年代大部分集中在140~150Ma, 为晚侏罗世末或早白垩世早期。与铜陵地区辉钼矿的Re-Os年龄137.0±0.19~141.9 ± 0.4 Ma(毛景文等, 2004)相吻合。并因此认为铜陵地区中生代成岩成矿作用主要集中在晚侏罗世中晚期, 而早白垩世成岩成矿作用则位于相邻的宁芜火山

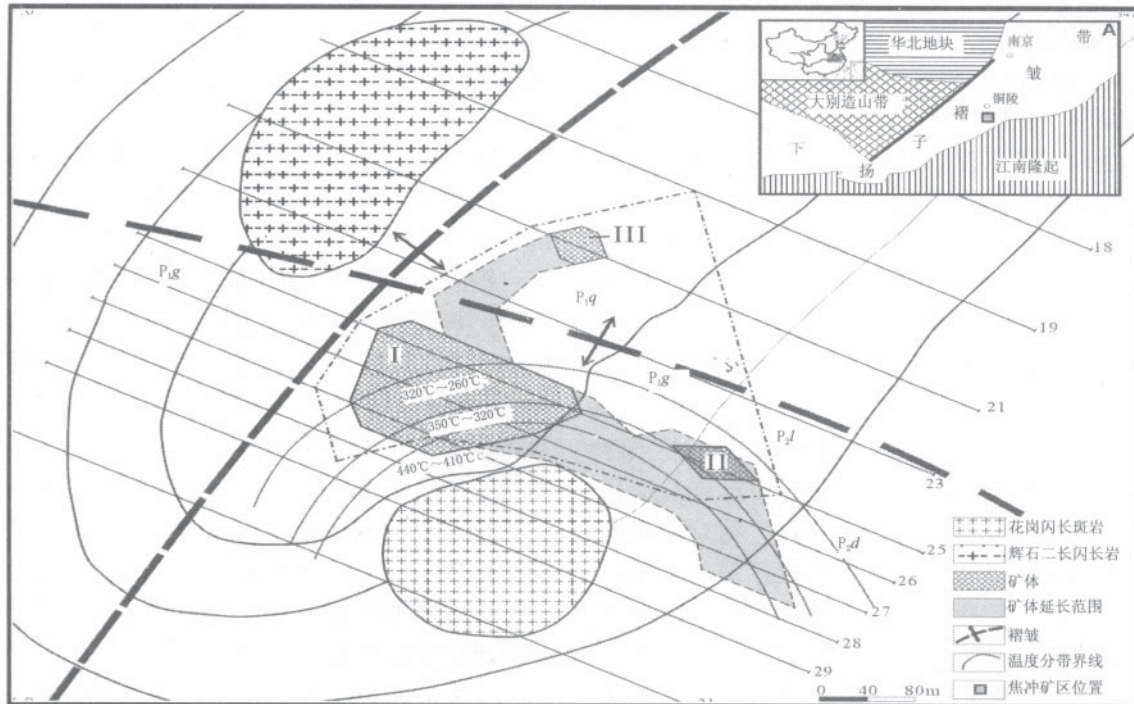


图2 铜陵焦冲金硫矿区地质略图
Fig.2 Geological sketch of the Tongling Jiaochong gold-sulphur mining area

岩区, 与成矿相关的火山岩SHRIMP锆石U-Pb年龄127~131 Ma(张旗等, 2003), 宁芜玢岩铁矿成矿年龄为122.9±0.2, 124.9±0.3Ma(钠长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

法, 余金杰等, 2002)。

焦冲矿区花岗闪长斑岩与金硫多金属成矿作用密切相关。花岗闪长斑岩锆石U-Pb同位素LA-MC-

ICPMS分析结果表明铜陵地区除存在晚侏罗世末与成矿相关的高钾钙碱性侵入

岩浆作用外,还应有一期早白垩世与金硫成矿相关的岩浆侵入作用。其形成时代为 $128 \pm 2\text{Ma}$,与宁芜火山岩 $127 \sim 131\text{Ma}$ 形成时代一致。

吴淦国等(2008)根据成矿岩体的锆石SHRIMP U-Pb年龄提出铜陵矿集区构造和岩浆演化的动力学模型。早中侏罗世Izanagi板块向欧亚板块俯冲而导致地壳增厚,导致岩石圈拆沉并发生玄武质岩浆底侵,而引起下地壳熔融产生花岗质岩浆。之后发生的岩石圈伸展作用导致晚侏罗世(约 $150 \sim 140\text{Ma}$)岩浆侵入作用发生在铜陵地区,而早白垩世(约 $130 \sim 120\text{Ma}$)间的岩浆作用则迁移至宁芜地区,形成晚白垩世火山盆地。焦冲矿区花岗闪长斑岩的同位素年龄结果表明早白垩世除宁芜地区的岩浆作用之外,铜陵地区还存在由于持续的岩石圈伸展作用而导致的与成矿相关的岩浆侵入活动。

通过对焦冲矿区与成矿相关的花岗闪长斑岩开展的年代学研究,表明铜陵地区除晚侏罗世(约 $140 \sim 150\text{Ma}$)与大规模成矿作用相关的高钾钙碱性岩浆作用外,还存在一期早白垩世($128 \pm 2\text{Ma}$)与金硫多金属成矿作用相关的岩浆活动。如果在铜陵矿集区确实存在与宁芜火山盆地同期的成岩成矿作用,则表明宁芜矿集区大规模成岩与成矿作用在铜陵矿集区也有表现,为铜陵矿集区铜多金属找矿提供有新的方向。

3 早古生代地层铜金矿化的启示

铜陵矿集区经历了前震旦纪基底形成阶段、震旦纪一早三叠世的盖层发育阶段及中三叠世—新生代以断块构造为主的板内变形阶段。晋宁运动后的沉积盖层是区内的主要出露地层,厚度巨大,是铜、硫、金等矿床的主要容矿围岩。长期以来,铜陵地区找矿工作主要集中在赋矿围岩为晚古生代—中生代地层的区域。早古生代甚至前寒武纪地层出露有限且矿化作用没有较强的显示,因此前泥盆纪地层找矿工作进展较慢。近年来,铜陵紫金矿业有限公司在铜陵金牛山一带开展矿产勘查工作,初期主要针对地表褐铁矿风化层中的金矿化,为了控制金矿化带的深部延伸情况,在部分勘探线上实施了浅钻,发现了不同于志留系岩性的深部地层,即以灰岩为主的奥陶纪地层。在进行少量地球物理工作的基础上,选择有利地段进行了深孔揭示,于大理岩中发现了铜金矿化现象。为了进一步确定深部

矿化的分布机理、矿化成因,铜陵紫金矿业有限公司与中国地质大学(北京)合作在该区组织开展了大极距循环电法扫面、激电测深及可控源音频大地电磁测深工作。并开展了地表蚀变矿化填图及矿床地质物征研究工作,对主要的控矿构造、蚀变矿化特征进行了初步研究。

金牛山铜金矿区位于永村桥背斜南西段南翼一次级褶皱隆起上。该隆起地表地层主要为下志留统高家边组,以低角度向四周倾斜。倾角一般在 $9^\circ \sim 52^\circ$,以 $0^\circ \sim 10^\circ$ 及 20° 左右居多。总体上形成一个北东侧较缓、南西侧较陡的一个小规模穹窿。该穹窿构造的形成受两种因素影响,一是永村桥背斜形成过程中金牛山一带志留纪地层发生小规模褶皱而形成局部高地,同时抬高了深部奥陶纪地层;二是该处深部由于岩体侵位而使上覆地层中心发生隆升,从而形成穹窿构造。因此由于抬升而至部分志留纪地层遭到后期剥蚀而变薄,奥陶系灰岩地层较容易揭露。

赋矿围岩主要为志留系下统高家边组(S_1g),岩性为黄绿至深灰色薄至中厚层细砂岩、粉砂岩、粉砂质页岩及页岩互层,夹碳质泥岩。奥陶系下统红花园组(O_1h),岩性为灰、深灰色中厚层含燧石结核砂屑、生物屑灰岩、白云质灰岩。

地表高家边组发生较强烈的蚀变及角砾岩化。地表分布有大小不等的角砾岩带约19条,角砾岩带总体为北西或北西西向,倾向各异,倾角从直立至缓倾斜都有存在。规模较大角砾岩走向上约 $800 \sim 1000\text{m}$,宽 $10 \sim 20\text{m}$,规模较小角砾岩带长度仅几米,宽度小于 1m 。角砾岩带几乎都发生硅化或褐铁矿化,部分硅化褐铁矿化角砾岩带含金。含金角砾岩带呈近东西向展布,倾角约 $50^\circ \sim 80^\circ$,向下延伸约 $15 \sim 20\text{m}$ 不等。角砾岩大多在位于砂岩与灰岩界面附近逐渐尖灭。

地表蚀变作用比较强烈,有硅化、褐铁矿化及黄铁矿化等。强硅化、黄铁矿化主褐铁矿化都发生在研究区中部。地表蚀变总体上表现为一环带。奥陶纪灰岩中见有不同程度的大理岩化蚀变现象。蚀变较浅者,则为大理岩化灰岩,呈灰白色;蚀变强烈者则成为大理岩,且粒度差别较大,有细粒、中粗粒以及粗粒大理岩。已有的金铜矿化现象与大理岩关系密切。

在矿区深约 400m 处下奥陶系红花园组地层中发现近 1m 厚的铜金矿化体。从钻孔岩芯中可以看到矿体主要赋存于大理岩中的破碎带角砾岩带中,角

砾岩中蚀变明显,硅化、黄铁矿化发育。主要矿石矿物为磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿、黄铜矿及含金矿物,矿石矿物含量占65%。脉石矿物为石英及方解石,占35%。金属矿物含量由高到低依次为:磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿、黄铜矿。矿物生成的先后顺序大致如下:毒砂、黄铁矿→黄铜矿、赋金矿物→磁黄铁矿、石英。

矿床形成的初步模式为:位于永村桥背斜南翼一小隆起上的金牛山矿区,燕山期区域NW-SE向挤压致使奥陶系灰岩抬升,并使志留系高家边组砂岩发生NE-SW向伸展而形成北西向张性裂隙。深部奥陶系灰岩先期形成的大量溶洞随着抬升,并在抬升

为铜陵矿集区深部找矿工作提供了一些新的线索,即深部除了寻找现有层控砂卡岩、斑岩型等类型的铜铁金钼矿床处,还要注意早古生代甚至基底地层等新层位新类型矿床,这些部位的成矿也是深部第二富矿空间的重要组成部分。

4 覆盖区深部找矿方向

铜陵矿集区金口岭向斜及铜官山背斜北东倾伏端部位,以及位于铜官山与狮子山矿田之间的陶家山向斜部大都被第四系沉积物所覆盖。几十年以来,针对铜官山及狮子山矿田的找矿工作程度较高,而位居其间的覆盖区找矿工作一直未有大的进展。由于已发现的矿田与覆盖区深部成矿地质条件基本相似,加之区域物化探异常在覆盖区也有程度不同的表现,因此覆盖区深部应该有与铜陵矿集区主要矿床类型一致的成矿作用。为了探寻褶皱倾伏端和向斜核部成矿作用特征,中国地质大学(北京)与安徽省地质调查院、铜陵有色集团在铜陵西湖一带开展了危机矿山矿产预测工作。通过对铜陵西湖及相邻区前人工作成果的总结,结合地质填图、矿田构造调查、典型矿床研究,以及多种地球物理勘查技术的应用,对与西湖预测区相邻的典型矿田构造进行了总结分析,结合地球物理探测成果建立了该区找矿预测模型。

经过地表调查及钻探工程揭露,覆盖区深部除缺失下、中泥盆统外,从志留系至三叠系成矿关系较密切的层序齐全。构造方向总体呈北东向,并叠加有北西向、东西向、北北东向等构造。其中最瞩目的褶皱构造自北西至南东依次有金口岭向斜、铜官山背斜、陶家山向斜、青山背斜和朱村向斜。区内中生代高钾钙碱性花岗岩主要有谢家垅石英闪长岩岩体、龙山东闪长岩岩体、龙山西闪长斑岩岩体、大龙山闪长斑岩岩体、虎山角闪闪长岩岩体、天鹅抱蛋闪长岩岩体、老鸦岭闪长岩岩体。以上特征表明,铜陵矿集区覆盖区成矿地质条件与已发现的典型矿田类似,应该具有较好的找矿前景。

张家村预测区位于陶家山向斜内,夹于铜官山背斜和青山背斜之间,地表除西部长龙山—乌木山有部分露头外,大部为第四系掩盖,以往几乎未开展过地质勘查工作。该区具弱的重、磁异常,呈不规则的椭圆状,其特征类似于狮子山矿田特征。由于覆盖严重,只在东部见到青山背斜北西翼地层,在西部长龙山—乌木山有部分晚古生代地层出露,陶家山向斜的空间形态和两侧的复式背斜展布相

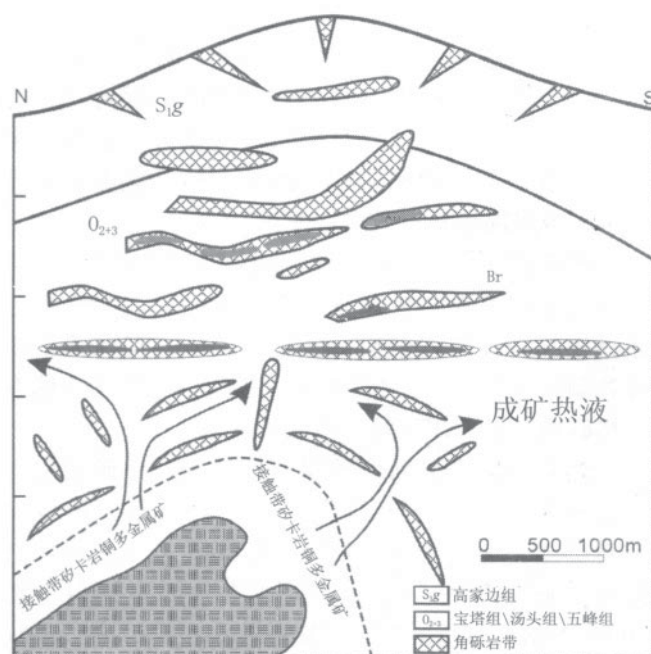


图3 金牛山矿区成因模式图

Fig.3 Genetic model pattern of the Jinniushan mining area

后形成大量孔隙,为后期成矿创造了空间。

根据该区地表硅化、黄铁矿化大面积环带状分布规律,可以推断金牛山矿区深部存在大型岩体。从深部灰岩大理岩化不均一分布的特点看,岩浆热液并不来自矿区的深部,而是从其也方向斜向运移至该区并造成了大理岩化时强时弱不均一分布特征。并在灰岩破碎带、角砾岩带、溶洞等处形成中低温热液脉型矿床。岩浆热液上升至志留系高家边组砂岩地层中,发生大面积蚀变,即出现强硅化面状蚀变。在张裂带形成破碎带蚀变岩,并形成金矿脉。

发生于奥陶纪地层中的成矿作用在皖南地区有一些小规模矿床存在,但在铜陵矿集区还是首次发现。虽然只是一些小规模异常或矿化体,但也

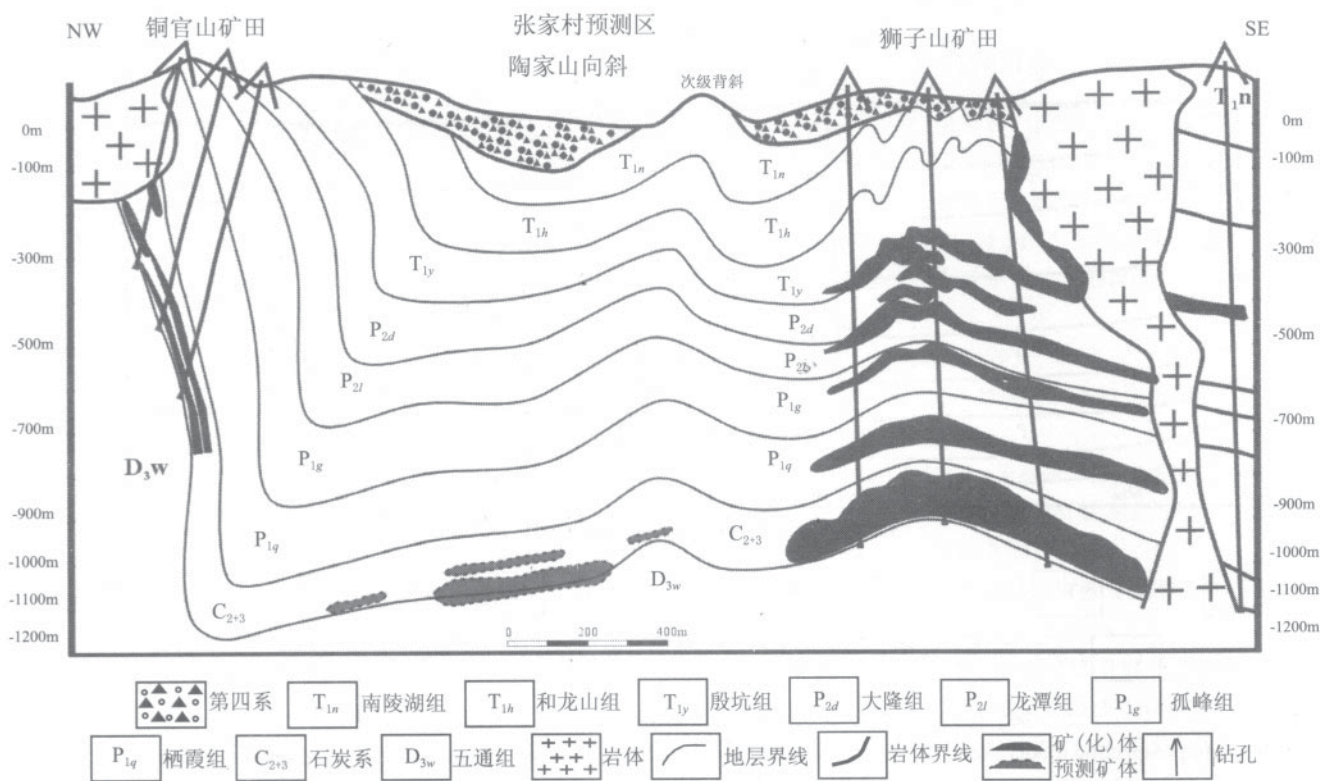


图4 铜陵矿集区陶家山向斜张家村一带深部找矿模式略图

Fig.4 Deep ore prospecting model sketch of the area around Zhangjia Village, Taojiashan syncline, Tongling ore concentration area

关。根据两侧背斜的地层组成特征,复式向斜核部由三叠系灰岩、泥质灰岩组成,褶皱轴线在平面上均呈S状展布,褶皱轴面在空间上呈麻花状曲面,即褶皱中段轴面近直立,两翼大致对称;南、北两段褶皱轴面分别倾向北西、南东,两翼不对称。复式向斜开阔,与紧闭背斜共同组成不规则的隔档式褶皱组合。

该区西部为铜官山背斜南东翼,近地表部位地层正常,倾角一般为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,深部倾角变陡,直至发生倒转。这种倒转现象在整个铜官山背斜南东翼有相同表现,结合钻孔资料及开采情况分析,大约距地表300m处背斜南东翼地层发生较为明显的倒转。例如天马金硫矿、黄狮涝金矿、大青山矿点等深部钻孔控制到了地层的倒转变化,控制矿体的主要地层即 D_3w 与 C_{2+3} 界面也发生了倒转。铜官山背斜南东翼地层深部发生倒转增加了深部找矿的复杂性。如果张家村预测区要寻找与天马山矿床相似的赋矿层位(D_3w - C_{2+3} 层间滑脱带),必须了解地层从倒转开始恢复正常的深度以及恢复正常后的主要赋矿部位 D_3w - C_{2+3} 层间界面的深度展布特征。

根据天马山金硫矿床深部矿化体分布规律表明-800m深地层仍为倒转。吕庆田等(2004)对铜陵狮子山地区开展了人工地震探测工作,认为在狮子

山一带在大约-1000m深度出现 D_3w - C_{2+3} 岩性分界面,且地层整体上较为平缓。据此可以推测在铜官山背斜南西段的东南翼深部地层由倒转恢复正常的深度至少超过-1000m。

预测区南部出露的中三叠统为一次级背斜,轴面走向北东,两翼较陡且南东翼地层倒转,次级背斜往北东方向延伸正好通过张家村预测区,其存在可能导致陶家山向斜核部的赋矿层位由于褶皱作用而抬升变浅,地下-900~-1000m可能出现赋矿的目标层位。

综合野外地质观察、已有矿山深部工程控制情况分析,并开展了1:10000大功率激电中梯剖面及可控源音频大地电磁测深测量,在此基础上提出该区深部构造及找矿模型供进一步找矿工作验证(图4)。

杨家村预测区位于北东向金口岭向斜的次级背斜轴部与谢家垅石英闪长岩体的复合部位;发育有石炭系、二叠系、三叠系的各组地层,地层中含有大量碳酸盐岩;谢家垅岩体也为北东向展布,岩性与金口岭和铜官山岩体岩性一致,与围岩呈侵入接触关系,围岩中见大理岩化现象;预测区内具有层控矽卡岩型矿床的岩浆岩与围岩,具备形成交代型矽卡岩型矿床的地质背景。该区有正磁异常分布,

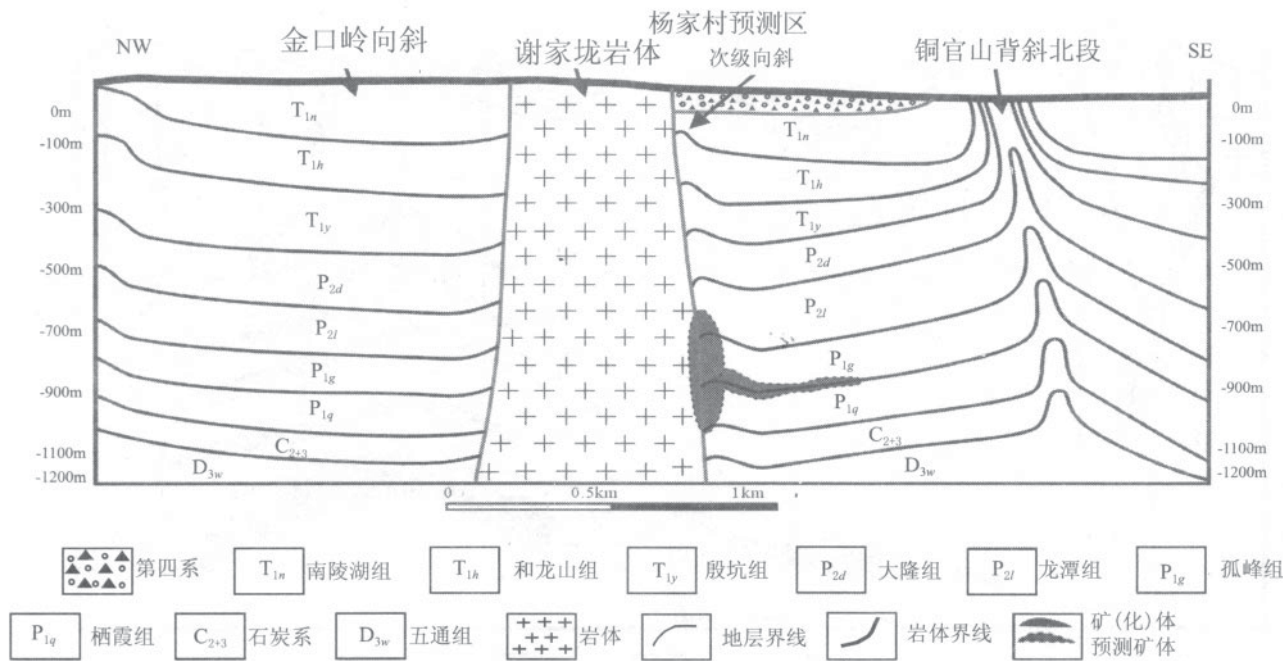


图5 铜陵矿集区铜官山背斜北东倾伏端杨家村一带深部找矿模式略图
Fig.5 Deep ore prospecting model sketch of the area around Yangjia Village, EN plunging crown of the Tongguanshan anticline, Tongling ore concentration area

局部重力异常呈北东向展布,推测应为岩体接触带中矿化蚀变带引起。

该区处于谢家垅岩体接触带、金口岭向斜中的次级背斜以及铜官山背斜北东段倾伏端。谢家垅岩体侵位于向斜中的次级背斜核部,使背斜出露不全。同时由于次级褶皱作用使向斜核部地层抬升而变浅。层间滑脱带、东西向构造复合、北北东向构造在该区也有表现,成为控矿构造的重要组成部分。

根据综合对比分析,杨家村一带的控矿构造为接触带构造系统+复式向斜中的次级背斜+S状褶皱倾伏端等复合型矿田构造格局,对于寻找矽卡岩型、层控矽卡岩型及中高温热液型矿床非常有利。同样通过上述地球物理探测方法,提出了杨家村预测区深部找矿模式(图5)可供进一步验证。

通过上述分析,虽然铜陵矿集区向斜核部或背斜倾伏端等覆盖区找矿工作进展不大,但我们认为覆盖区找矿的关键问题还应是控矿构造及赋矿层位的深部形态特征,因此借助矿田构造分析对比及深部地球物理探测,确定赋矿地层的分布规律,能够获得找矿工作的突破。

5 结论

铜陵矿集区深部结构特征为该区大规模成岩

成矿作用奠定了良好的基础,浅表已发现的矿床只是矿集区成矿系统的一部分,除此之外,深部还应有多多个可以找寻的矿产富集空间。与成矿相关的花岗岩研究表明,铜陵矿集区可能存在与宁芜火山盆地同期的成岩成矿作用,是铜陵矿集区找矿的新方向。铜陵矿集区奥陶系灰岩中铜金矿化作用的初步研究表明除传统矿床类型外,前泥盆纪地层中的成矿作用应该在今后的找矿工作得到关注。覆盖区成矿预测初步研究表明,铜陵矿集区向斜核部及褶皱倾伏端等区域具有与已知典型矿田相似的成矿条件,进一步的找矿工作应该系统结合矿田构造分析与深部地球物理探测。

光阴似箭,岁月如梭。铜陵地区找矿工作已历经半个多世纪的风雨历程,在矿产勘查及成矿理论方面都获得了重大成果。这些成果的取得凝聚着长期在该区艰苦探索的老一辈地质学家智慧,也记录着一大批扎根于该区的地质工作者的辛勤工作的足迹。所有这些工作也必然成为铜陵矿集区深部找矿工作的重要基础,将引领着我们继续探索重要成矿带找矿工作的理论与方法。

致谢:多年来,我们在铜陵矿集区开展研究工作有幸得到常印佛院士的指导,常先生谦逊儒雅的风范、科学严谨的治学态度是我们永远的榜样。值此常印佛院士80华诞之际,谨祝常先生健康、快乐、长寿,

永葆学术的青春,并表达我们感激之情!

参考文献:

- [1] GanGuo Wu, Da Zhang, YongJun Di, WenShuan Zang, XiangXin Zhang, Biao Song and ZhongYi Zhang. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusives in the Tongling metallogenic cluster and its dynamic setting[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(7): 911~928.
- [2] Pan-Yuanming, Dong-Ping. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east central China; intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits[J]. Ore Geology Reviews. 1999, 15(4): 177~242.
- [3] 常印佛, 董树文, 黄德志. 论中一下扬子“一盖多底”格局与演化[J]. 火山地质与矿产, 1996, 17(1-2): 1~14.
- [4] 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.
- [5] 陈沪生. 扬子准地台下扬子盆地HQ-13地球物理-地质综合解释纲要[C]//中国南方油气勘查新领域探索论文集. 第2辑. 北京: 地质出版社. 1988.
- [6] 储国正, 李东旭. 顺层滑动构造对安徽狮子山矿田“多层楼”矿床的控制[J]. 现代地质, 1992, 6(4): 504~513.
- [7] 储国正. 铜陵狮子山矿田构造及其控岩控矿作用的研究[J]. 安徽地质, 1992, 2(2): 1~14.
- [8] 黄许陈, 储国正. 铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式[J]. 矿床地质, 1993, 12(3): 221~230, 252.
- [9] 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.
- [10] 刘湘培, 常印佛, 吴言昌. 论长江中下游地区成矿条件和成矿规律[J]. 地质学报, 1988, 62(2): 167~177.
- [11] 吕庆田, 侯增谦, 赵金花, 史大年, 吴宣志, 常印佛, 裴荣富, 黄东定, 匡朝阳. 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: 地球科学), 2003, (05): 442~449.
- [12] 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.
- [13] 孙岩, 舒良树, 刘德良. 论构造分层、流变分层和化学分层作用——以中下扬子区倾滑断裂系统为例[J]. 南京大学学报(自然科学), 1997, 33(1): 82~91.
- [14] 唐永成, 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.
- [15] 吴淦国, 张达, 臧文拴. 铜陵矿集区构造滑脱与分层成矿特征研究[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 300~308.
- [16] 余金杰, 毛景文. 宁芜玢岩铁矿钠长石Ar-Ar定年及意义[J]. 自然科学进展, 2002, 12(10): 1059~1063.
- [17] 张旗, 简平, 刘敦一, 等. 宁芜火山岩的锆石SHRIMP定年及其意义[J]. 中国科学(D), 2003, 33(4): 309~314.

SOME THOUGHTS ABOUT DEEP ORE-SEARCHING IN TONGLING ORE CONCENTRATION AREA

ZHANG Da¹, WU Gan-guo¹, DU Jian-guo², QUE Chao-yang³, LIU Wen-can¹, XU Wei²,
DI Yong-jun¹, TAN Han-dong¹, MA Xian-ping³, ZHANG Zhi-hui¹

(1. State Key Lab on Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;
2. Institute of Geological Survey of Anhui Province, Hefei, Anhui 230001, China; 3. Tongling Zijin Mining Ltd., Tongling, Anhui
244100, China)

Abstract: The deep structure of Tongling ore concentration area established favorable basis for large-scale diagenesis and metallogenesis in this area where the shallow discoverable ore deposits are only part of the cluster metallogenic system. Added to this, there should be many enrichment spaces of deposits or ore bodies for searching in depth. The study of granite related to mineralization suggested that, the Tongling ore concentration area may exist diagenesis and metallogenesis during the same time with Ningwu volcanic basin, which is considered to be new direction for further ore searching. The elementary study of copper and gold mineralization in Ordovician limestone indicated that besides the traditional deposit types, the metallogenesis in pre-Devonian layers should be paid attention in the future of ore-searching. Study of metallogenic prediction in overlay area shows that the places in the core of syncline and the plunge of fold have the same metallogenic conditions with the known typical deposits. The further ore prospecting in Tongling ore concentration area should focus on the above prediction area using the methods of ore-field systematic analysis, deep geophysical survey and engineering verification.

Key words: Tongling ore concentration area; deep ore prospecting; Mesozoic intrusives; Low Ordovician; overlay area