

## 安徽贵池地区燕山期岩浆岩与铜金钼成矿关系： 来自地质-地球化学-地球物理证据

杨晓勇<sup>1</sup>, 古黄玲<sup>1</sup>, 严志忠<sup>2</sup>, 吕启良<sup>2</sup>, 段留安<sup>1,3</sup>, 邓江洪<sup>2</sup>,  
朱永胜<sup>2</sup>, 汪梅生<sup>2</sup>, 赵德奎<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学 地球和空间科学学院, 安徽 合肥 230026; 2. 安徽省地质矿产勘查局 324 地质队,  
安徽 池州 247100; 3. 中国人民武装警察部队黄金第七支队, 山东 烟台 264004)

**摘要:**安徽贵池地区是长江中下游成矿带的重要组成部分, 区内金、银、铜、钼、硫等矿产资源丰富。系统研究了贵池地区地质、岩浆岩、地球化学-地球物理等特征与金银多金属矿床的成矿关系, 对抛刀岭金矿、乌石金及多金属矿、朱家冲金矿、铜山铜矿等多金属矿进行详细分析, 总结各岩体的地球化学属性, 并对贵池地区斑岩型矿床进行了重点研究, 分析其成矿专属性。将贵池地区成岩成矿时间划分为两期: 第一期是 140 Ma 左右的岩浆活动及成矿作用, 为早白垩世(燕山早期), 主要与铜金矿床有关; 第二期是 125 Ma 左右的岩浆活动及成矿作用, 主要与钼(铜)矿床(化)有关。这两期岩浆活动及成矿作用包括高钾钙碱性、碱性两个成岩系列, 岩石类型以中酸性—酸性花岗闪长岩、花岗岩为主, 与长江中下游地区其他矿集区的成矿作用类似。将地质标志、地球物理标志以及地球化学标志结合, 建立了该区找矿标志, 从而有助于区内金、银(铅锌)及铜钼等金属矿成矿理论的丰富及成矿规律的认识, 为区内找矿突破提供科学依据。

**关键词:**成矿规律; 燕山期; 地球物理; 地球化学; 岩浆岩; 埃达克岩; 贵池地区; 长江中下游成矿带  
**中图分类号:** P588.12<sup>+</sup>1; P597<sup>+</sup>.3 **文献标志码:** A

## Metallogenic Relationship Between Yanshanian Magmatic Rocks and Cu-Au-Mo Deposits in Guichi Area of Anhui: Evidences from Geological-geochemical-geophysical Characteristics

YANG Xiao-yong<sup>1</sup>, GU Huang-ling<sup>1</sup>, YAN Zhi-zhong<sup>2</sup>, LU Qi-liang<sup>2</sup>, DUAN Liu-an<sup>1,3</sup>,  
DENG Jiang-hong<sup>2</sup>, ZHU Yong-sheng<sup>2</sup>, WANG Mei-sheng<sup>2</sup>, ZHAO De-kui<sup>2</sup>

(1. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, Anhui, China;  
2. No. 324 Geological Team, Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Chizhou 247100, Anhui, China;  
3. No. 7 Gold Geological Party of Chinese People's Armed Police Force, Yantai 264004, Shandong, China)

**Abstract:** Guichi area in Anhui is one of the most important Cu-Au deposits in the Middle-lower Yangtze metallogenic belt, which is rich in gold, silver, copper, molybdenum, sulfur and other mineral resources. The metallogenic relationships among the geology, magmatic rocks, geochemistry-geophysics, other geological features and Au-Ag polymetallic deposits were systematically studied; Paodaoling gold deposit, Wushi gold and polymetallic deposits, Zhujiachong gold deposit, Tongshan Cu-Au deposit were analyzed in detail, and the geochemical

收稿日期: 2016-03-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41173057, 41372087); 安徽省国土资源科技项目(2014-K-04)

作者简介: 杨晓勇(1964-), 男, 安徽颍上人, 教授, 博士研究生导师, 理学博士, E-mail: xyyang555@163.com。

characteristics of related magmatic rocks were summarized; furthermore, the porphyry types of deposits and the metallogenic specialization were analyzed particularly. Together with the published chronological data, the diagenetic mineralization in Guichi area can be divided into two phase. One is at  $\sim 140$  Ma, the Early Cretaceous (Early Yanshanian), which is related to Cu-Au deposit; another is at  $\sim 125$  Ma, related to Mo (Cu) deposit (mineralization). The two phases include high-potassium calc-alkaline and alkaline series, mainly as intermediate acid-acid granodiorite and granite, similar to other ore clusters in the Middle-lower Yangtze metallogenic belt. Combined with geological, geophysical and geochemical information, the prospecting characteristics of ore exploration are established. Moreover, it is helpful to deepen the metallogenic theory of metals such as Au, Ag (Pb-Zn) and Cu-Mo, and the metallogenic regularities, providing a scientific basis for ore prospecting breakthrough in Guichi area.

**Key words:** metallogenic regularity; Yanshanian; geophysics; geochemistry; magmatic rock; adakite; Guichi area; Middle-lower Yangtze metallogenic belt

## 0 引言

安徽贵池地区是长江中下游成矿带的重要组成部分,区内铜、铁、金、硫等矿产资源丰富。近年来,区内相继发现了抛刀岭(铺庄)、西冲、鸡金山、朱家冲等多处独立(或共伴生)的金矿床(点),显示出良好的成矿潜力和找矿前景。开展贵池及邻区的金、银(铅锌)及铜钼矿床的深入研究,不仅丰富了该区金矿成矿理论,同时拓展了金、银(铅锌)及铜钼矿床找矿类型和找矿思路,因此具有重要的理论和实际意义。特别是近年来在安徽省池州市抛刀岭金矿的勘探突破,显示贵池地区在金矿找矿上具有巨大的前景,有益于开展本区的构造-岩浆-金矿成矿作用与预测研究,有助于深化对贵池乃至皖南地区金及多金属矿成矿规律的认识,为区域金及多金属矿找矿突破奠定基础。本文系统研究贵池地区地质、岩浆岩、地球物理等特征与金银多金属矿床的成矿关系,重点对抛刀岭金矿、乌石金及多金属矿、朱家冲金矿、铜山铜矿等多金属矿床进行详细分析,总结各有关岩体的地球化学属性;对贵池地区铜金钼矿区的物化探异常及岩浆岩进行重点研究,分析其成矿规律;对贵池地区成岩成矿时间进行划分,并对抛刀岭金矿、乌石金及多金属矿、朱家冲金矿、铜山铜矿等多金属矿床的含矿岩浆岩进行地球化学特征总结,找出岩浆岩成矿专属性,结合物化探异常总结该区成矿规律。

## 1 区域地质背景

贵池地区构造位置处于扬子陆块北缘,按造山带的观点,属扬子陆块(I)下扬子前陆带(II)与江

南隆起带(II)之间的过渡区,可分为江南前陆反向褶冲带(III)和江南过渡带(III)两个三级构造单元。

区内主要发育由南华纪一早三叠世地层所构成的盖层。受早三叠世末( $T_1$ )印支运动的影响,NE向褶皱构造及伴生断层发育。在燕山期( $J_3-K_2$ )受到滨太平洋构造域应力场的影响和改造作用下,在NE向褶皱构造的基础上,盖层叠加了NNE向褶皱及以NNE向为主的新断裂系统,并伴随大量的岩浆活动,形成区内复杂的断褶构造-岩浆岩体系(图1)。

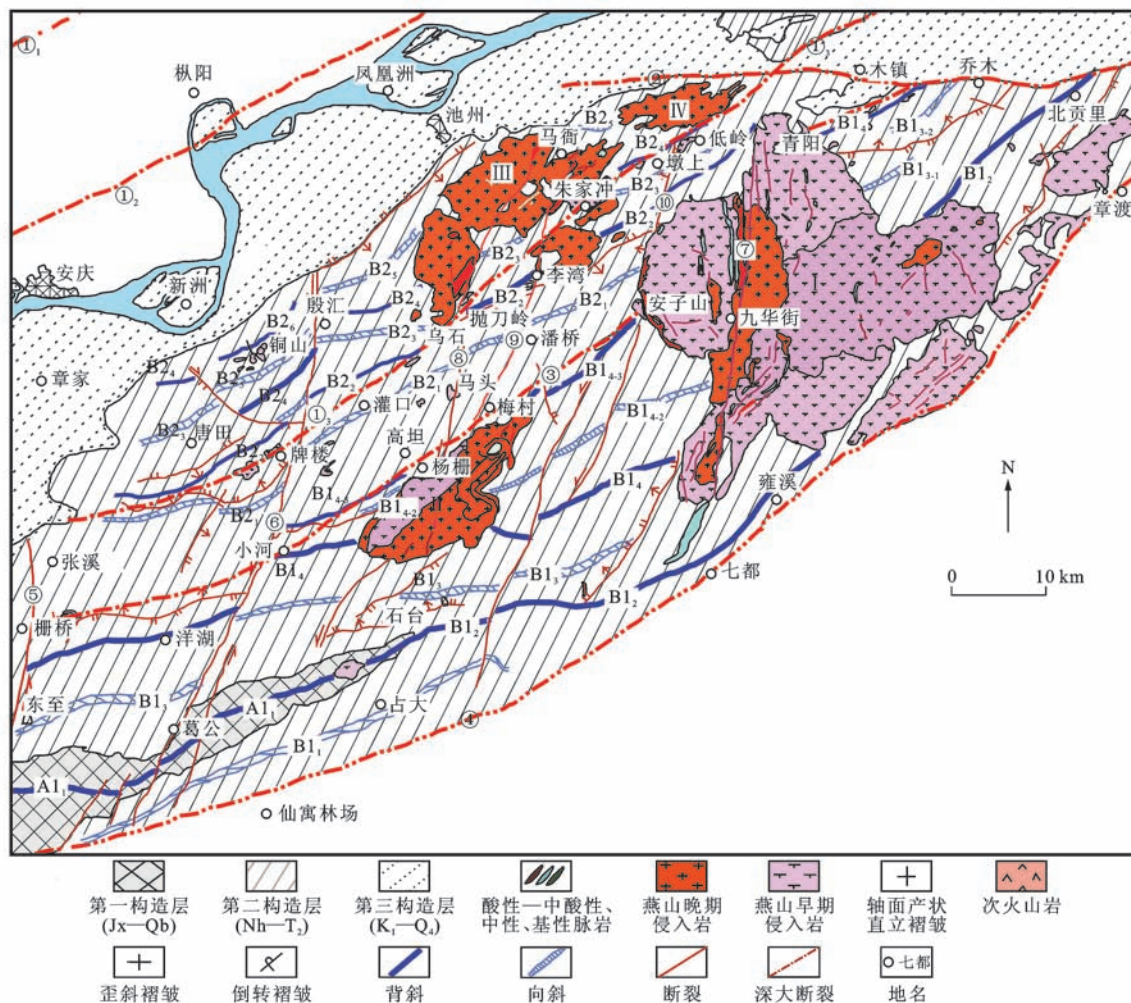
### 1.1 区域地层

区域地层大致沿东至—高坦—青阳一带(高坦断裂)以北属扬子地层分区,石台七都—雍溪一带(江南断裂)以南属江南地层分区,二者之间称之为“江南过渡带”,地层岩石特征也具过渡性。

贵池成矿区处于江南断裂以北至长江以南地区,区内除缺失早中泥盆世、晚三叠世及侏罗纪地层外,南华系一早三叠世其他地层均有出露。高坦断裂以南主要出露早古生代地层,沿谭山穹窿周边出露少量南华纪地层;高坦断裂以北主要为志留纪—早三叠世地层,沿张溪—墩上断裂东段出露寒武纪—奥陶纪地层;白垩纪—新生代地层主要沿长江南岸零星分布。区域地层总体沿NW—SE向展布,并呈渐老趋势。

### 1.2 区域构造

受大别造山带、江南隆起带的共同影响,江南反向褶冲带及江南过渡带的主要构造形迹为印支运动形成的线性褶皱和逆冲断层。一系列近平行排列的NE向褶皱形迹十分醒目,与NE、NNE(近SN)向断层交织成清晰的“菱形”网络系统一起共同形成区



①为长江断裂带；①<sub>1</sub>为老牛集—小横山断裂；①<sub>2</sub>为枞阳—汤沟断裂；①<sub>3</sub>为马鞍山—东流断裂；②为周王断裂；③为高坦断裂；④为江南断裂；⑤为东至断裂；⑥为殷汇—葛公断裂；⑦为九华山断裂；⑧为马头—杨栅断裂；⑨为马衙—梅村断裂；⑩为低岭—安子山断裂；A为基底褶皱(前Nh)；A<sub>1</sub>为黄花尖背斜；B为盖层褶皱(Nh—T)；B<sub>1</sub>为七都复背斜；B<sub>11</sub>为占大向斜；B<sub>12</sub>为葛公—雍溪背斜；B<sub>13</sub>为东至—杨田埂向斜；B<sub>14</sub>为三岗尖—杨美桥背斜；B<sub>2</sub>为贵池复向斜；B<sub>21</sub>为牌楼—潘桥向斜；B<sub>22</sub>为白笏—铜关里背斜；B<sub>23</sub>为杨北寨—墩上向斜；B<sub>24</sub>为吴田—洞里章背斜；B<sub>25</sub>为涓桥向斜；I为青阳岩体；II为谭山岩体；III为花园坝岩体；IV为茅坦岩体；图件引自文献[1]，有所修改

图 1 安徽贵池地区地质构造-岩浆岩略图

Fig. 1 Geological Map of Guichi Area in Anhui Showing the Tectonic Structure and Magmatic Rocks

内构造基本格架。区域上由南向北依次有太平复向斜、七都复背斜、贵池复向斜、铜陵复向斜及安庆复背斜。贵池成矿区主体为贵池复向斜(B<sub>2</sub>)和七都复背斜(B<sub>1</sub>)，北隔周王断裂与铜陵复向斜相接，南隔江南断裂与江南隆起之太平拗褶带相连。

贵池成矿区褶皱主要为印支期产物，强烈的造山运动使南华纪—早三叠世地层全部卷入褶皱变形，多为紧闭的背、向斜相间的复式褶皱样式，自南而北变形呈逐渐增强趋势，南部褶皱多较宽缓，北部褶皱相对紧闭。受后期构造活动的叠加改造，褶皱轴迹自西南向东北从NEE向渐渐朝NE向偏转。

经历多期次的构造运动，区域上时代不同、方向性质各异的断层十分发育，形成复杂的断裂构造网

络。NE向断裂(带)及伴生构造构成了区域上的主要构造面貌，如长江深断裂、高坦断裂、江南深断裂等；它们形成时代早，活动时间长，活动有多期并在不同时代表现出不同的方式。其次为NW向(桐城—铜陵)及近EW向(周王)断层，它们共同构成区域构造(或次级)单元的边界。

(1)长江断裂带：常印佛等通过对区内沉积相、岩浆活动、深部地球物理等的综合分析，认为长江断裂带是坳陷内经长期发展最后形成于中生代的具有深断裂性质的破碎带，对前陆盆地内的岩浆活动、大型矿集区的形成具有重要控制作用<sup>[2]</sup>。唐永成等认为其是由NE向怀宁—全椒断裂、马鞍山—东流断裂及NWW向桐城—铜陵断裂追踪而形成的，是控



制下扬子拗陷岩浆活动与成矿作用的断裂带<sup>[3]</sup>。李曙光结合区内中、新生代火成岩同位素地球化学资料,明确提出沿长江一线是华北与扬子陆块的深部缝合带位置<sup>[4]</sup>。邓晋福等根据江南、江北及沿江地区变质基底类型的变化,认为沿江地区可能是元古宙造山带一种“古岩石圈尺度的不连续”,燕山期大规模的岩浆-构造-成矿活动代表了古岩石圈尺度不连续的再活化<sup>[5-6]</sup>。

贵池成矿区位于长江断裂带东南侧,马鞍山—东流断裂从中部经过,区内称张溪—墩上断裂(图1)。该区表现为由数条断裂组成的断层带状,断续出露长度约100 km,对应断裂带部位重磁交变带特征明显。沿断层带,岩石破碎强烈,发育构造角砾岩、碎裂岩等,宽数米至数十米不等,总体中部宽、两端窄。断层带纵切贵池背向斜带,造成褶皱轴向偏转,两翼、核部地层多不连续。乌石—墩上一带多处地层不协调产出,部分奥陶纪、寒武纪地层呈构造透镜体或构造夹块产出。乌石—许桥一带切割了花园坳复式岩基,沿断层带充填有石英正长岩、石英正长斑岩、花岗斑岩脉等,乌石NW向钾长斑岩脉尤为发育,形成脉岩群。安徽省地质矿产勘查局推测断层活动始于喜山早期,后期活动较强<sup>[7]</sup>。

(2)周王断裂带:西起安徽省池州市区,经青阳县木镇,向东经南陵县烟墩镇、宣城市周王镇后延伸至浙江省(图1)。据物探资料,推测断裂总体走向近EW,断面向北陡倾。根据岩相古地理资料,周王断裂带沿石台—黄山一线EW向凹陷叠加于早期NE向拗陷之上,至早志留世拗陷持续下降,深达1400 m,说明断裂此时已经形成。断裂主要活动时期在中生代,印支期碰撞阶段可能表现为NE向右行性质,盖层褶皱轴向近断裂处均由NE向转成EW向。断裂西段安徽省池州市区一带在一定程度上控制了长江南岸一带古新世盆地的形成和发展,并造成近断裂处盖层褶皱轴向也由NE向转成近EW向<sup>[8]</sup>。

(3)高坦断裂带:属于崇阳—常州断裂带的中段(图1),区域上处于明显的航磁、重力梯度带。断层两侧地层、褶皱、岩浆岩分布地质特征及地球化学场特征均存在明显差异。

高坦断裂带自安徽省东至县查册桥,经池州市贵池区的高坦、梅村、安子山,向东越过青阳岩体,与周王断裂相接,出露长约70 km,总体走向55°~60°,倾向NW。西部受葛公、东至断裂影响,成为数条不连续的断裂带。该断裂形成于加里东运动早期,早古生代为江南过渡带与下扬子沉积相的界线;

印支期为扬子陆块北缘的主缩短带;燕山期早期为区内控岩构造,晚期在张性机制下沿断裂带产生滑覆构造带<sup>[9]</sup>。

通过已有的年代学和地球化学资料(表1),归纳出两期主要的岩浆事件,并对应于相关的多金属矿化。第一期是140 Ma左右的岩浆活动及成矿作用,第二期是125 Ma左右的岩浆活动及成矿作用,包括高钾钙碱性、碱性两个成岩系列,岩石类型以中酸性—酸性花岗闪长岩、花岗岩为主;前者多为铜金矿床,后者多为钼(铜)矿床(化),与长江中下游地区其他矿集区的成矿作用有类似之处。上述岩体空间上明显受到大型断裂带控制,呈带状分布,大致以高坦断裂为界分为南、北两个岩浆岩带。

### 1.3 岩浆岩分布

区域上岩浆岩分布较广泛,主要为中—浅成侵入岩和火山喷出岩,形成时代相对集中于新元古宙和晚中生代两个构造-岩浆活动阶段。新元古宙岩浆岩分布于江南隆起区内,侵入岩以中酸性花岗闪长岩类为主,火山喷出岩则主要为中基性火山岩类及辉长岩-中酸性岩的复合岩墙群。晚中生代中酸性侵入岩则遍布发育于各构造单元,火山岩集中于下扬子拗陷带的庐枞和繁昌两个火山构造洼地中,贵池地区火山喷出岩不发育,仅六峰山(李湾)—乌石一带零星见有小规模次火山岩。

岩浆岩南带沿高坦断裂带南侧分布,多为主动侵位的大型岩基,但数量较少,代表性复式岩体有青阳—九华山岩体(面积为506 km<sup>2</sup>)和谭山岩体(140 km<sup>2</sup>)。青阳岩体为贵池地区最大的岩基,形成于燕山早期,谭山及其他岩体主要形成于燕山晚期。岩浆岩北带大致沿牌楼—墩上一线分布,受控于张溪—墩上断裂,岩体数量较多,一般规模较小,规模较大的复式岩体有花园坳(面积为220 km<sup>2</sup>)和茅坦(30 km<sup>2</sup>),其中花园坳复式岩基面积最大,几乎占到贵池复向斜1/5的面积。

根据贵池地区侵入岩的形成背景、岩石类型、岩石地球化学特征,将其划分为扬子型和江南型两个超单元组合,并依等级体制、时间演化顺序进一步划分超单元、单元和侵入体(表2)。划分大致以高坦断裂带为界,西北侧为扬子型侵入岩,东南侧为江南型侵入岩。

贵池地区金、银(铅锌)及铜钼等多金属矿(化)多与早白垩世(137~145 Ma)侵入的中酸性岩浆岩相关,如安徽省东至县花山,池州市贵池区马石、马头、乌石、燕子坑、白虎山、老虎尖、枫庄、六峰山、铜山、

表 1 贵池地区主要侵入岩同位素年龄分析结果

Tab. 1 Analysis Results of Main Intrusions Isotopic Ages in Guichi Area

岩体名称(单元)	岩石类型	对应矿产	年龄/Ma	测定方法	资料来源
小丁冲	花岗闪长岩	铜、金	145.0	Rb-Sr 等时线	[10]
铜山	花岗闪长斑岩	铜、金	139.0		
许桥	石英闪长岩	铜、金	139.0	K-Ar	
小河王	辉石石英闪长岩	铜、金	135.0		
安子山	花岗闪长斑岩	铜、金	137.0	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	[11]
抛刀岭	英安玢岩	金(硫)	141.0	锆石 U-Pb	[12]
乌石	花岗闪长斑岩	铜、金	140.0	锆石 U-Pb	
铜铃坡	花岗闪长斑岩	铜、金	148.0	锆石 U-Pb	
花山	花岗闪长岩	铜、金	141.0	锆石 U-Pb	
马石	花岗闪长斑岩	铜、金	137.0	锆石 U-Pb	
	花岗闪长斑岩		140.0	锆石 U-Pb	
青阳	花岗闪长岩	钼、铜、金	137.0	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	[13]
	二长花岗岩		137.0	Rb-Sr 等时线	[14]
九华山	碱长花岗岩	钼、铜	120.0		
	钾长花岗岩		123.0	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	[13]
谭山	钾长花岗岩	钼、铜			
花园坝	钾长花岗岩		124.5	锆石 U-Pb	[15]
巴山	钾长花岗(斑)岩	钼、铜	110.0	Rb-Sr	[16]
李湾	花岗闪长斑岩	铅、锌、铜、金	122.0	锆石 U-Pb	[1]
杨山	钾长花岗岩	铅、锌、铜、金	125.0	锆石 U-Pb	

注:限于测试方法,推测小河王岩体年龄约为 140 Ma。

表 2 贵池地区侵入岩岩石谱系单位

Tab. 2 Rock Hierarchical Units of Intrusions in Guichi Area

时代	超单元组合	超单元	单元	单元代号	岩石类型	主要岩体
早白垩世	江南型	黄山	贡阳山	K <sub>1</sub> χγG	碱长花岗岩	花台、天台
			云谷寺	K <sub>1</sub> ξγY	钾长花岗岩	肖坑、谭山、八都岗
青阳		上荪荻	J <sub>3</sub> K <sub>1</sub> ηγS	二长花岗岩	东堡、喇叭河	
		庙前	J <sub>3</sub> γδM	花岗闪长岩	柯村、芦家、平山岗、桥头店、七都	
早白垩世	扬子型	大龙山	黄梅尖	K <sub>1</sub> ξ <sub>0</sub> H	石英正长岩	同心郭、义湖山
茅坦			K <sub>1</sub> ξγM	钾长花岗岩	茅坦、柯家山、马衙桥、五岭、巴山、大叶村、花园坝	
晚侏罗世		贵池	低岭	J <sub>3</sub> ξ <sub>0</sub> δD	石英正长闪长岩	灰山、低岭
			小河王	J <sub>3</sub> δ <sub>0</sub> μX	石英闪长玢岩	小河王、乌龙山、南泉鲍、燕子坑、东风岭、周冲、北山蓬、青山、小丁冲、茗山、杨北寨(沙山)、大丁冲
			铜山	J <sub>3</sub> γδπT	花岗闪长斑岩	铜山、白虎山、马头、栗子坑、佳山、马石、牌楼、花山、老虎尖、枫庄、六峰山、横桥徐、牛背脊
		铜官山	凤凰山	J <sub>3</sub> γδF	花岗闪长岩	东湖、许家桥

牛背脊及安子山岩体等多属深熔高钾钙碱性闪长岩系列,岩石类型主要为花岗闪长岩类,如花岗闪长斑岩、花岗闪长玢岩、石英闪长玢岩。

1.4 地球物理特征

贵池地区南部位于石台(皖南)与枞阳—汤沟

南、北两个高磁力正异常之间的磁力负异常带,大致以墩上一张溪断裂一线为中心,总体呈 NE 向,向 NW 和 SE 航磁逐渐增强。重力异常则大致以墩上一张溪断裂为界,NW 向重力高,SE 向重力低。同时,受较大规模的岩浆岩及断裂带影响,磁力、重

力等值线均发生扭曲变形,局部形成次级重力、磁力异常。其分布特征总体与区内沉积岩盖层及岩浆岩的分布相吻合。

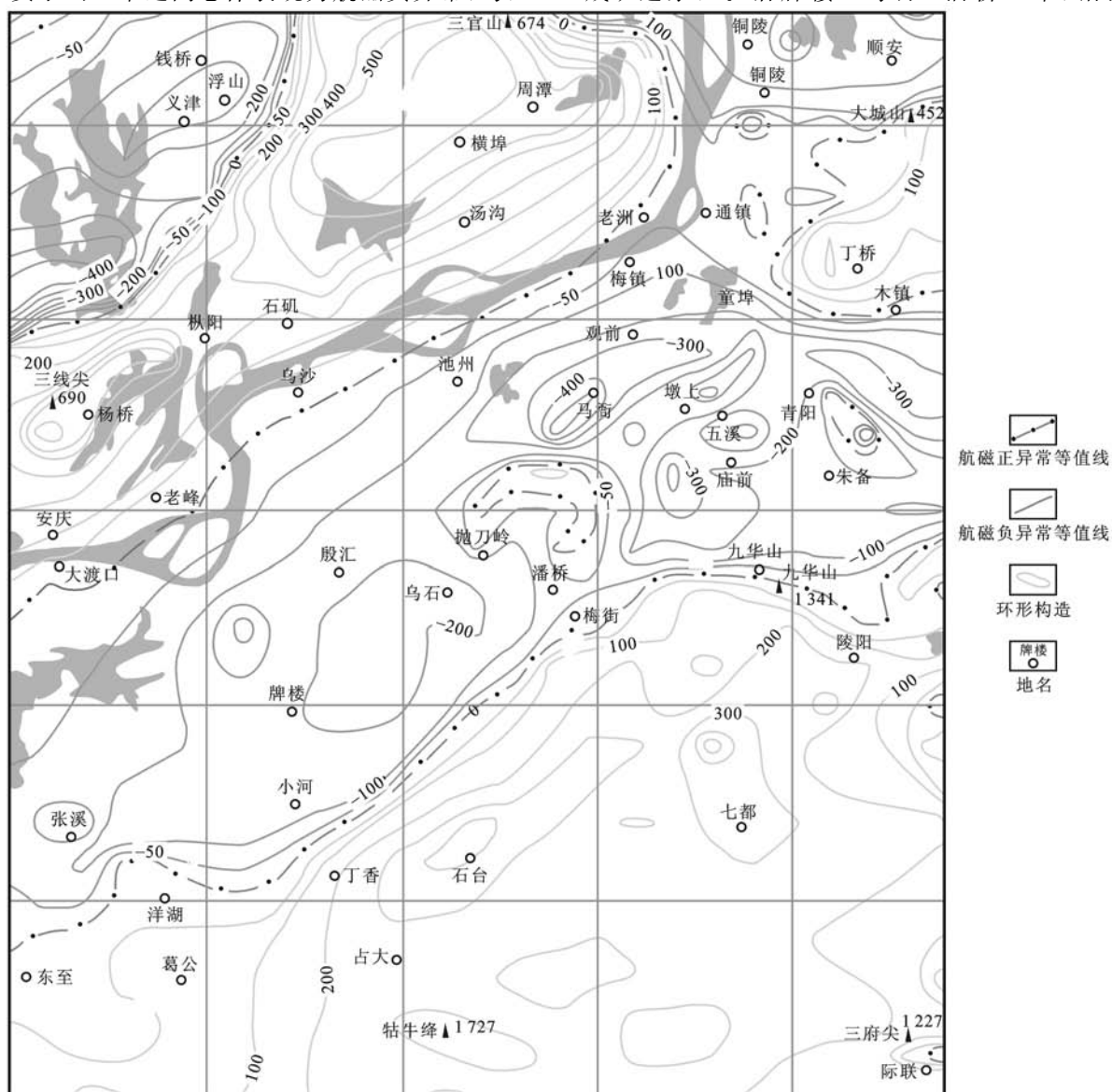
贵池成矿区磁力、重力异常分布大致以墩上一张溪断裂和高坦断裂为界划分为北、中、南3条带(图2、3)。北带为长江以北至张溪—牌楼—墩上一带,表现为磁力负、重力低正异常;中带介于墩上一张溪断裂和高坦断裂之间,表现为磁力负、重力低负异常;南带位于高坦断裂以南,为磁力正、重力高负异常。

据贵池地区1:50 000航磁 $\Delta T$ 平面等值线图,沿长江南岸安徽省池州市区—牛头山一带与高坦—安子山一带之间总体表现为航磁负异常,与区

域航磁相符,中东部以花园巩岩体为中心形成一个朝SW向开口的半环形正异常,环东南与石台—陵阳以南航磁正异常相接,形如一个巨大的“Z”形。与花园巩岩基出露情况比较,航磁异常中心稍偏南,说明岩体中心位置偏南,与墩上一张溪断裂带吻合。

### 1.5 多元素化探组合特征

据安徽省1:500 000区域化探综合异常资料,贵池成矿区处于东至—石台—青阳钼高背景区( $Mo$ 质量分数不低于 $1.5 \times 10^{-6}$ ),其总面积超过3 200 km<sup>2</sup>(图4)。钼高背景区东段与牌楼—潘桥—青阳银高背景区重叠,同时伴生金、铜、铅、锌、钨等多金属异常,为长江中下游地区重要的铜、金、钨、钼多金属成矿远景区。沿牌楼—乌石—潘桥一带,钼、钨、

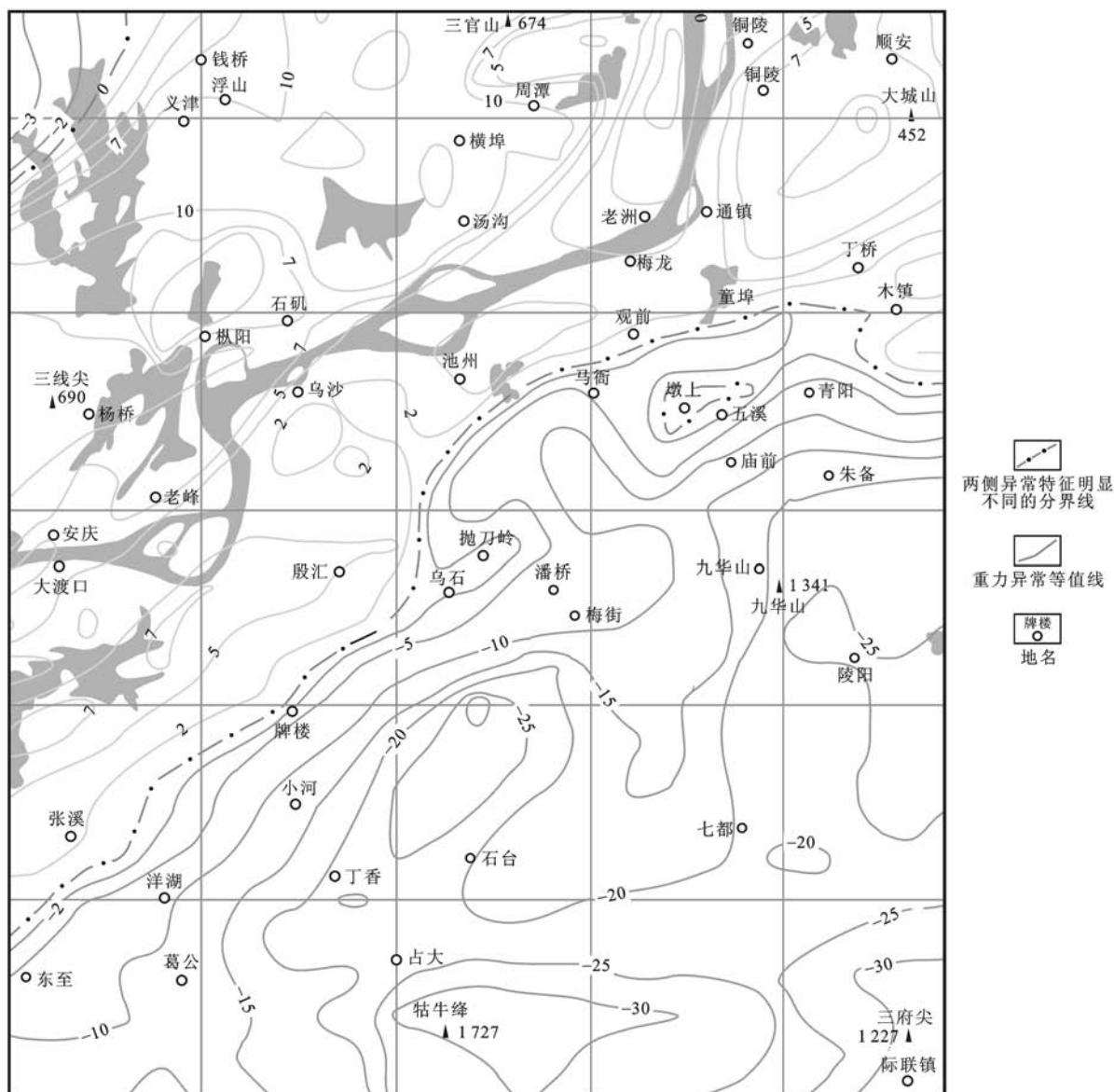


图件引自文献[17],有所修改

图2 安徽沿江地区航磁异常图

Fig. 2 Aeromagnetic Anomaly Map Along Yangtze River in Anhui





图件引自文献[18],有所修改

图3 安徽沿江地区重力异常图

Fig.3 Gravity Anomaly Map Along Yangtze River in Anhui

金、银重叠较好,为贵池地区较好的金多金属找矿远景区域。

综合区域 1:200 000 及 1:50 000 化探成果资料,区内化探综合异常与区域构造线基本一致,总体呈 NE 向分布(图 5)。其中,沿牌楼—乌石—墩上一低岭一带分布有 Hs07(大王庙)、Hs08(低岭)、Hs16(自来山)、Hs24(乌石)、Hs37(牌楼)等综合异常,其共同特点是主要成矿元素 Au 均具二级浓度异常,异常分布与墩上一张溪断裂走向基本相当,且与沿线一系列的航磁异常相对应。

异常 Hs07(大王庙):位于贵池背向斜带的吴田铺—洞里章背斜东北段,出露地层从奥陶系至志留系下统异常区见有多处小岩体分布,中酸性小岩体

与奥陶系灰岩接触带具矽卡岩化。在该异常区东北部与西南部分别有灰山铁矿与罗汉尖铅锌矿。主要成矿元素有 Cu(Ⅲ)、Pb(Ⅲ)、Ag(Ⅲ)、Zn(Ⅱ)、Au(Ⅱ),伴生异常元素有 Sb、Cd、Bi、As。异常元素组合丰富,异常强度大,浓集中心明显,主要指示元素浓度梯度变化明显,异常组合具铅锌、铜、金矿化元素组合特征;该异常为一明显的多金属矿化异常。

异常 Hs08(低岭):地处贵池背向斜带吴田铺—洞里章背斜东北段,出露地层主要为奥陶系、志留系,内有铜金矿点一处。主要成矿元素有 Cu(Ⅱ)、Ag(Ⅱ)、Pb(Ⅱ)、Zn(Ⅰ),伴生异常元素有 Sb、W、As。异常浓集中心明显,主要成矿及伴生元素异常强度较高。浓度分带明显,异常初查发现铁帽样品 Au 含量(质

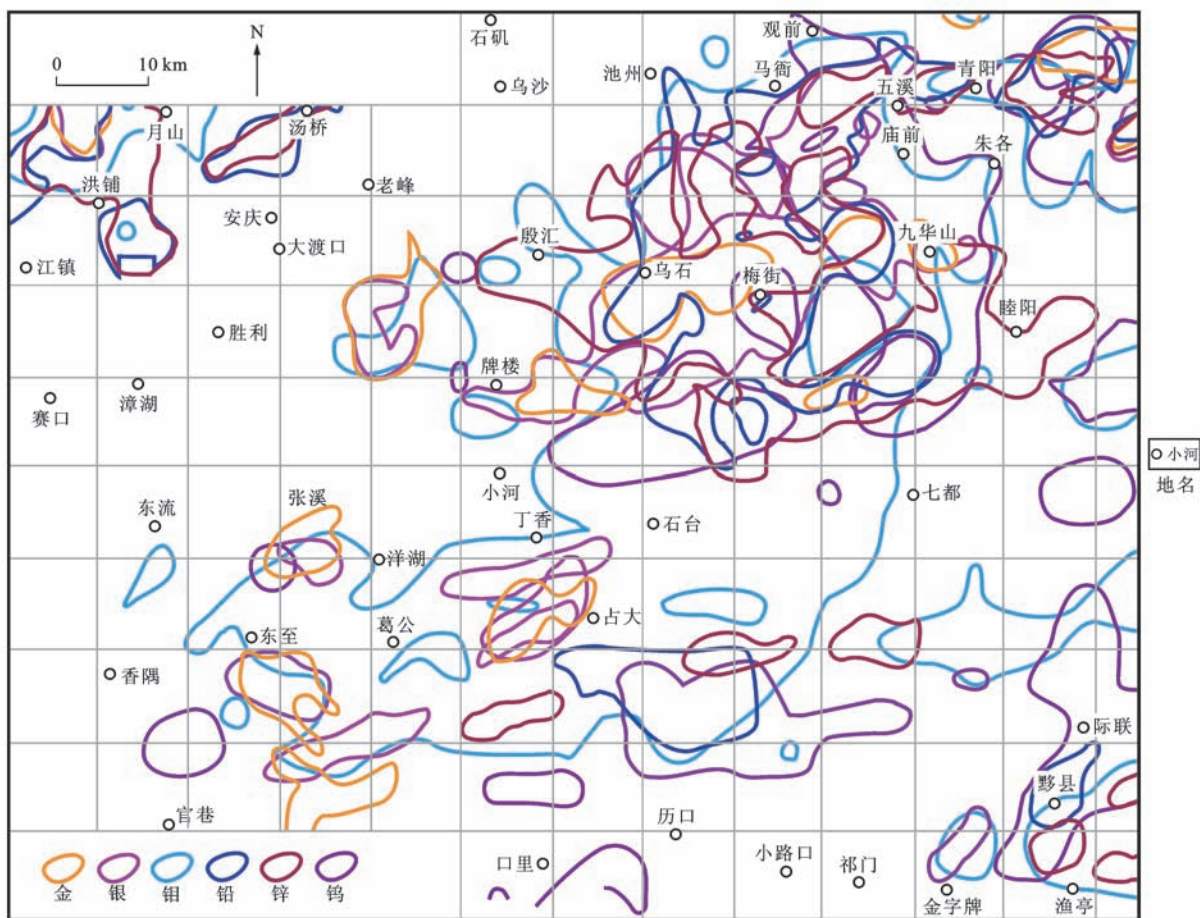


图 4 东至一石台一青阳地区成矿元素化探综合异常

**Fig. 4 Multi-geochemical Anomaly Map of Metallogenic Elements in Dongzhi-Shitai-Qingyang Area**

量分数,下同)达  $4.3 \times 10^{-6}$ 。

异常 Hs16(自来山):地处后笏—铜关里背斜中段,主要出露奥陶系、志留系地层,东北部为巴山岩体,接触带上发育有大理岩化、矽卡岩化等蚀变。区内有铜矿点两处,铅锌矿点一处,铁矿点一处。主要成矿元素有 Cu(Ⅱ)、Pb(Ⅲ)、Ag(Ⅲ)、Zn(Ⅱ)、Au(Ⅱ),伴生异常元素有 Sb、As、Hg、W、Bi、Cd。主要成矿指示元素异常强度高,规模大,异常浓集中心基本一致,仅 Cu 元素向李湾稍有偏移;该异常客观反映了区内已知的矿点,但异常范围大,强度高,且异常区成矿地质条件有利。因此,该异常区存在较好的成矿远景。

异常 Hs24(乌石):位于白笏—铜关里背斜中段,出露地层为志留系、泥盆系,区内有花岗斑岩和石英正长岩脉群分布。主要成矿元素有 Au(Ⅱ),伴生异常元素 Bi、As。异常元素组合不多,为一单点异常,Au 元素异常具一定强度与规模;此异常性质目前尚难断定,有形成金矿的可能。

异常 Hs37(牌楼):地处白笏—铜关里背斜西

段,出露地层主要为志留系,区内有燕山中期石英闪长玢岩岩体,且岩体与围岩接触带上硅化强烈。主要成矿元素有 Au(Ⅱ)、Cu(Ⅰ)、Ag(Ⅰ)、Pb(Ⅰ),伴生异常元素有 Sb、As、Hg。各元素异常浓集中心基本一致,Au 元素异常具一定规模;异常具金矿化元素组合特征。

## 1.6 区域矿产特征

本区主要金属矿产有金、钨、钼、铅、锌、银、锑、铜等,矿化类型有矽卡岩型、斑岩型、热液型、风化淋滤型(表 3)<sup>[19-20]</sup>。受大型构造影响,本区矿产资源表现出明显的带状分布特征,而多组断裂交汇处为成矿重点区域。重要的大中型矿床有黄山岭铅锌矿、桂林郑钼多金属矿、铜山铜矿、抛刀岭金矿及马头钼矿等。沿墩上一张溪断裂分布的金矿有抛刀岭、朱家冲、云山、低岭、童埠等(图 6)。

## 2 典型矿床特征

### 2.1 抛刀岭金矿

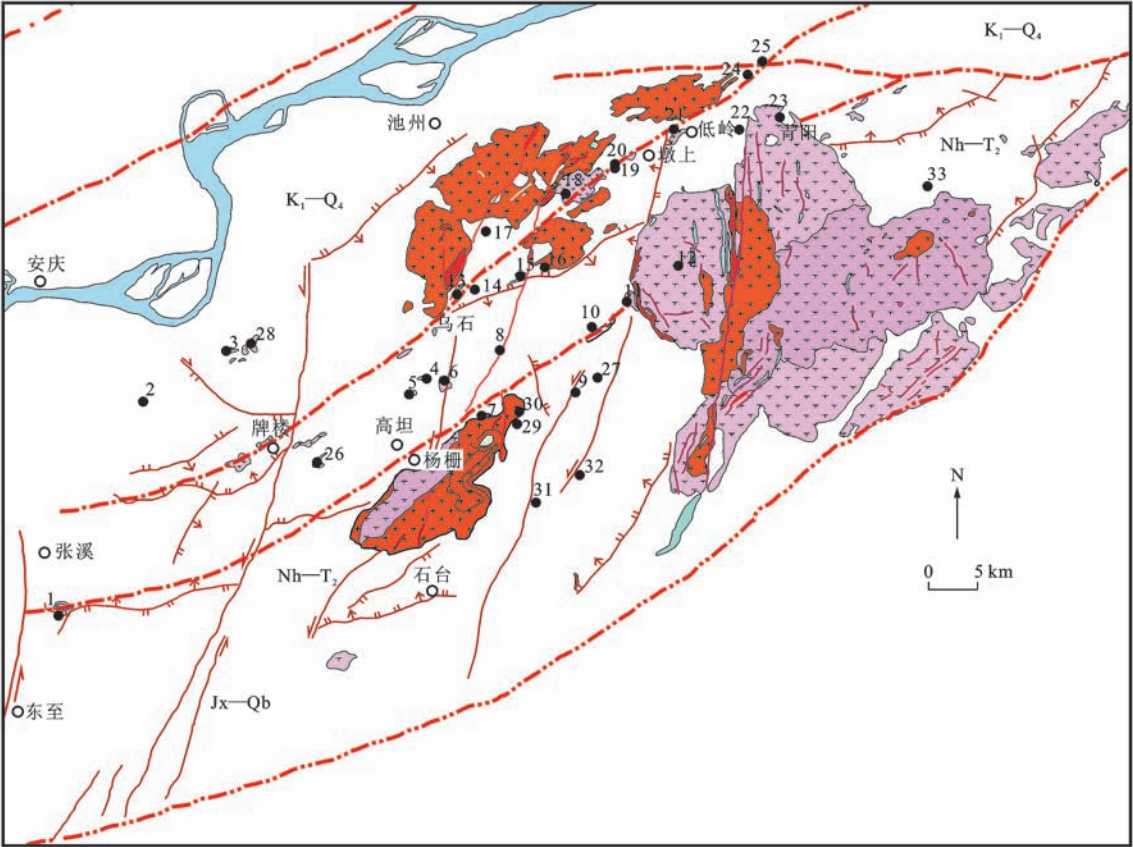
# 抛刀岭金矿主体产在早白垩世岛弧背景下的英





表 3 贵池地区主要矿床类型  
Tab. 3 Major Deposit Types in Guichi Area

矿床类型		主要控矿因素	矿石组分	矿体产状	实例
矽卡岩型	层控式	S—O 间剥离面桐梓组泥灰岩、石英闪长玢岩、钾长石、深部花岗岩	Pb、Zn、Cu、Ag、Mo	整合型	黄山岭铅锌矿
	接触式	接触带+断裂带、白云岩、花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩	Fe、Pb-Zn-(Ag)、Cu-Mo-W、Pb-Zn-Cu-(Ag)	不整合型	桐坑、丁冲坡、安子山、姚家、鸡头山、李湾、低岭、桐子山、东湖、铜铃坡
	复合式	接触+层控,栖霞组灰岩与岩体接触带,黄龙组、船山组灰岩和白云岩形成层状(层控)矿体	Cu-Fe-S-(Au、Ag)-Mo	不整合型-整合型	铜山铜矿
斑岩型		二构造单元结合部基底断裂旁侧,花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、英安玢岩	Cu-Mo-(Au、Ag)	不整合型	安子山—牛背脊、马石、马头、抛刀岭、桂林郑、乌石
低温热液型		NE 向剪切断裂背斜构造,花岗闪长斑岩-石英闪长玢岩,层间剥离面积构造裂隙带	Pb-Zn-Cu-Ag, Fe-S-(Pb、Zn), Au-Ag-Cu、Mo、Pb-Zn-Cu-Ag, Cu-Fe-(Au、Ag)Fe-Au	不整合型-整合型	官冲、自来山、枫树岭、李湾、朱家冲、许桥、低岭、滴水崖、花山
风化淋滤型		D—C 界面及层间断层	Cu-Fe-(Au、Ag)Fe-Au	整合型	六峰山、马头、跃进山、锈水壕

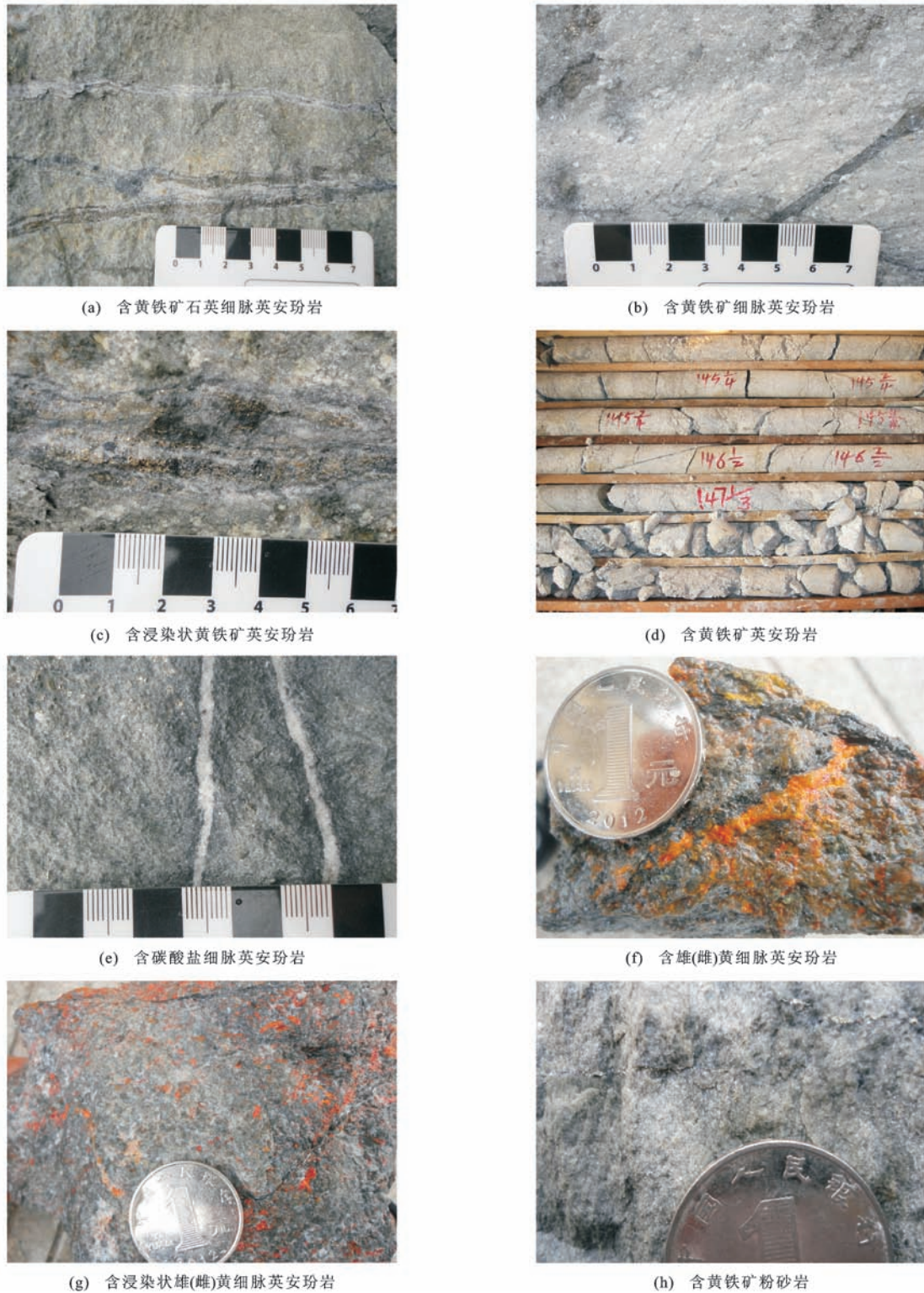


1 为花山锑金矿;2 为唐田金矿;3 为小河王金矿;4 为锈水壕金矿;5 为梅山铅锌矿;6 为马头斑岩钼矿;7 为梅村铅锌矿;8 为桃坡铅锌矿;9 为黄山岭铅锌矿;10 为牛背脊银多金属矿;11 为安子山铜钼多金属矿;12 为英窠尖铜矿;13 为抛刀岭金矿;14 为铜山排铜矿;15 为婆猪形铁矿;16 为李湾铜多金属矿;17 为六峰山铜矿;18 为朱家冲金矿;19 为许桥银矿;20 为乌谷墩铜多金属矿;21 为云山金矿;22 为石板桥铜钼矿;23 为高家塆白钨矿;24 为盛公山金多金属矿;25 为童埠金矿;26 为马石斑岩铜钼矿;27 为桂林郑钼多金属矿;28 为铜山铜矿;29 为大石门铅锌矿;30 为桐木坑磁铁矿;31 为宝树尖铜多金属矿;32 为桐子山铜多金属矿;33 为百丈岩钼矿;图例参见图 1

图 6 贵池地区主要金属矿产分布  
Fig. 6 Distribution of Main Metal Minerals in Guichi Area

下盘零星分布规模小且连续性差的矿体,这些均属  
段留安等对抛刀岭一带的含矿斑岩体及不含矿  
矿区小矿体。岩体开展了锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学研





图件引自文献[21],有所修改

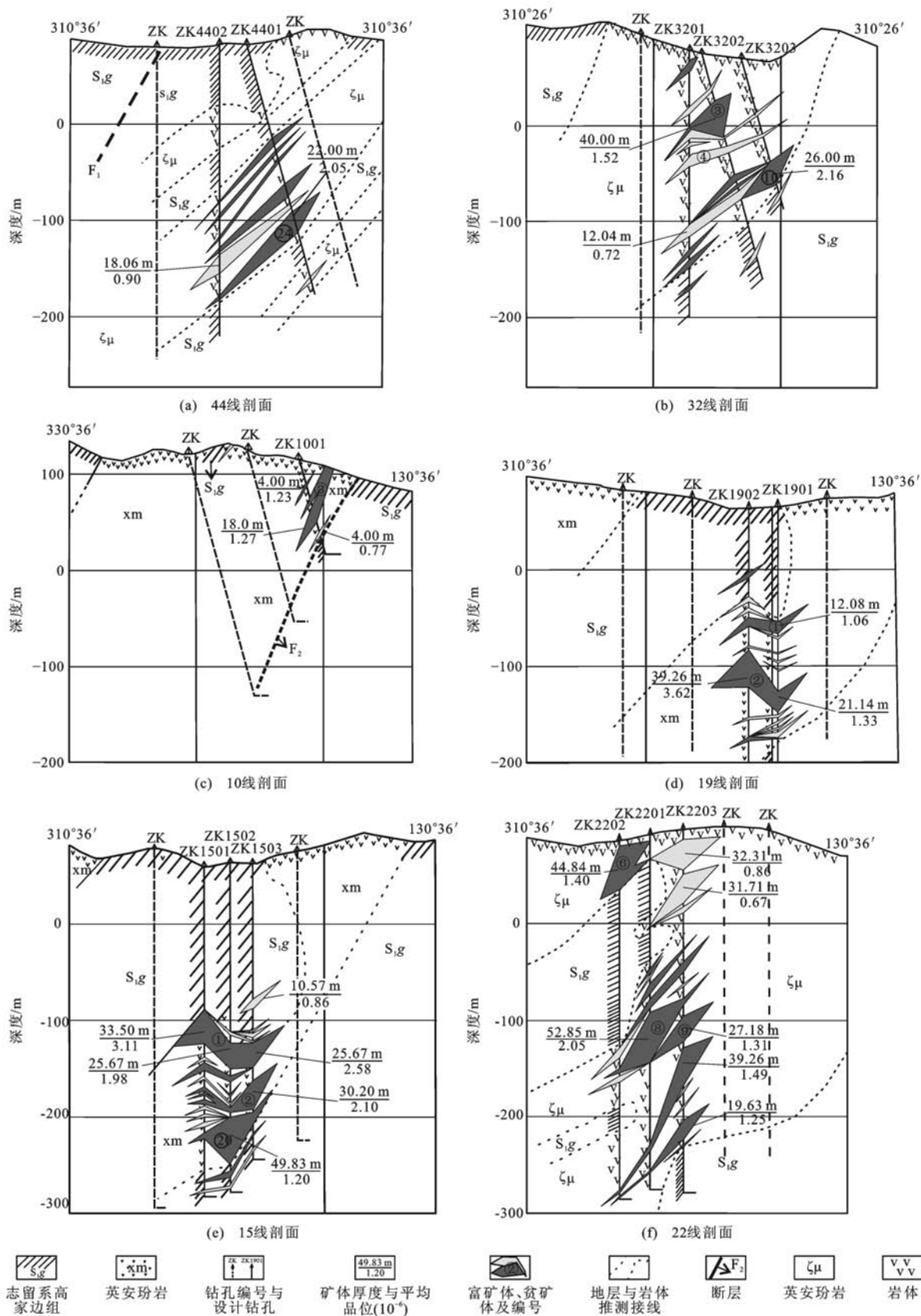
图 7 抛刀岭金矿各类蚀变矿化岩石照片

Fig. 7 Photos of Altered Rocks with Mineralization in Paodaoling Gold Deposit

究,发现含矿(化)斑岩体成岩年龄为 141 Ma,不含矿岩体年龄为 120~124 Ma<sup>[12]</sup>。含矿(化)斑岩与不含矿岩体全岩地球化学特征相比表明:前者富集大离子亲石元素,亏损高场强元素,Eu 负异常弱,稀

土元素配分模式与典型岛弧岩浆岩相似,后者则更富碱,富集高场强元素,Eu 负异常明显,轻、重稀土元素分异弱于前者;前者的锆石  $Ce^{4+}/Ce^{3+}$  值(平均值为 528)、Eu/Eu\* 值(平均值为 0.58)明显高于后





图件引自文献[21],有所修改

图 8 抛刀岭金矿勘探剖面

Fig. 8 Typical Cross Sections of Paodaoling Gold Deposit

者,而锆石 Ti 温度计则显示前者形成温度(均值为 652 ℃)低于后者(均值为 722 ℃),说明抛刀岭一带含矿(化)斑岩体源区具有高氧逸度、富水特征。进一步研究表明,抛刀岭一带与长江中下游成矿带中生代大规模成岩成矿一致,先是在约 140 Ma 经历了古太平洋板块俯冲,20 Ma 后又经历了太平洋板块后撤引起的弧后拉张背景,统一于晚侏罗世至早白垩世中国东部区域性构造体制转换和调整的大背景中。

## 2.2 乌石金及多金属矿

乌石金及多金属矿区异常带分布与地质构造线展布基本一致。主体沿次粗面岩与花岗闪长斑岩体接触带分布,形态呈似哑铃状,两端宽中间窄,走向 NE35°。1:10 000 区域地质调查土壤测量成果显示区内 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等主要成矿元素均有一定异常。从区内不同岩石类型中 Au 元素的平均含量来看,花岗闪长斑岩中 Au 元素含量最高,砂岩、

粉砂岩次之,次粗面岩最低,推测 Au 元素异常由花岗闪长斑岩体局部矿化或沿花岗闪长斑岩与砂岩接触带矿化引起的。

已完成的钻孔 ZK1601 位于矿区的西北角,在地表见志留纪砂岩,发育青磐岩化和黄铁矿化,局部黄铁矿化十分强烈。钻孔见花岗闪长斑岩,含大量黄铁矿化,一般 S 元素含量为 3%~5%,多处大于 10%,达到硫铁矿的工业品位;于 400 m 深度处仍见黄铁矿化砂岩,局部见很好的黄铜矿化和强硅化(图 9),在岩体内部发现一条含银铅锌矿脉和隐爆角砾岩,含 Pb、Zn、Au、Ag、Cu 元素的品位分别为 0.81%、3.05%、 $0.40 \times 10^{-6}$ 、 $144.9 \times 10^{-6}$  和 0.24%,另发现品位高于  $0.3 \times 10^{-6}$  的金矿化体 4 条,最高品位为  $0.46 \times 10^{-6}$ ,Ag 为  $144 \times 10^{-6}$ ,并伴生铜、铅、锌矿化。安徽省池州市乌石矿床是一个典型的斑岩型矿化类型,预测铜金属量及伴生 Au、Ag、Pb、Zn 等元素具有一定规模。



(a) 花岗闪长斑岩

(b) 角砾状花岗闪长斑岩,砾间为含金黄铁矿脉

(c) 花岗闪长斑岩,含金黄铁矿化

图 9 乌石金及多金属矿钻孔岩芯照片

Fig. 9 Photos of Drilling Cores in Wushi Gold and Polymetallic Deposits

## 2.3 朱家冲金矿

朱家冲金矿赋存于许桥岩体( $\gamma\delta_{53-2}$ )内部,岩体围岩为志留纪地层。控矿构造为剪切破碎带,该带总体走向 315°,宽度约 600 m,延长约 3 000 m,在矿区约 1 600 m,是主要的导矿、控矿构造。剪切带内部呈雁列式分布着产状基本相同的小型破碎带近百条,其形态单一,规模较小,一般长数十米至数百米,倾向 205°~230°,倾角 65°~82°。矿(化)体均分布于这组破碎带中,形成的雁列式矿脉群不等距分布于剪切破碎带内,沿矿脉走向和倾向均有分支、复合与尖灭再现。

矿区已知金及多金属矿体 9 个,金矿化体 19 个,单个矿(化)体规模不大,一般长数十米至百余米,矿

体厚度一般为 0.2~2.0 m。I 号矿体(主矿体)已控制走向长约 770 m,延深为 90 m,平均厚度约 0.75 m。矿体呈似层状、扁平透镜状,走向约 310°,倾向 SW,倾角 60°~82°。主要矿石类型含金碎裂蚀变岩,矿石矿物主要有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿,少量白钨矿、辉钼矿、黝铜矿、自然金、自然银、银金矿等,浅表氧化带有褐铁矿、赤铁矿等。脉石矿物主要为石英、绢云母、斜长石、钾长石,少量方解石、斜黝帘石、绿泥石、纤闪石、毒砂、黏土矿物等。矿石结构包括半自形—自形粒状、他形粒状晶体结构,交代、固溶体分离结构及碎裂结构、交代网脉结构等;矿石构造主要有块状、角砾状及浸染状构造等。矿石有用组分 Au、Ag、Pb、Zn 和 Cu 元素平均含量分别为  $5.19 \times 10^{-6}$ 、

$132 \times 10^{-6}$ 、1.01%、1.05%和0.31%。

矿体围岩为花岗闪长斑岩,呈灰白至肉红色,具连斑结构、斑状结构;斑晶占60%~70%,主要为斜长石、钾长石、黑云母、角闪石等;基质约占30%,由微晶石英、斜长石、黑云母、角闪石组成。近矿(2~10 m深度处)围岩伴有一定程度的金、银矿化,局部形成矿体(Au含量为 $(0.00 \sim 1.33) \times 10^{-6}$ ,Ag含量为 $(2.7 \sim 16.7) \times 10^{-6}$ ),明显表现出距矿体愈近品位愈高,数米至十余米后趋于0。主要蚀变有硅化、绢云母化、钾化、碳酸盐化。

## 2.4 铜山铜矿

铜山铜矿出露有花岗闪长岩、矽卡岩和一些碳酸盐岩地层,属于露天开采的矿山。铜山铜矿位于长江深断裂南缘,矿区出露的地层主要有志留系、泥盆系、石炭系、二叠系和三叠系地层。其中,与矿化关系密切的地层主要有石炭系中统黄龙组( $C_2h$ )、石炭系上统船山组( $C_3c$ )、二叠系下统栖霞组( $P_1q$ )、二叠系下统孤峰组( $P_1g$ )等碳酸盐地层。与本区成矿作用密切相关的岩体是矿区范围内与燕山期岩浆侵入活动有关以及由于岩浆受对撞挤压上侵而形成的花岗闪长岩,其矿化较强烈,主要受断裂构造控制。岩体上侵后与碳酸盐地层接触交代作用强烈,接触带附近矽卡岩化发育,热液蚀变较强,主要有硅化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化和钾长石化等。

铜山岩体主要由花岗闪长岩组成,呈岩枝状,受控于NNW向与NW向共轭剪切断裂,其锐角等分线平行于最大压应力方向。岩体属燕山早期,年龄为134 Ma和145.1 Ma<sup>[2,22]</sup>,主要侵位于二叠系栖霞组灰岩中,岩石具斑状、似斑状结构,常被少量绢云母、纤闪石和碳酸盐交代,一般蚀变较弱。矽卡岩在本区极为发育,主要产于接触带,致密块状矽卡岩或石榴石矽卡岩最为发育,石榴石以钙铝-钙铁榴石为主,局部蚀变带可出现钙铁榴石或钙铝榴石。石榴石体积分数一般为70%~90%。

铜山岩体是长江中下游地区沿江岩浆岩主带中的含矿岩体之一,主要由石英闪长玢岩、石英二长斑岩和花岗闪长岩组成,与铜金矿化关系密切。铜山铜矿花岗闪长岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 $(146.3 \pm 3.2)$  Ma,形成于早白垩世,与长江中下游地区中生代大规模铜金矿事件时间一致。铜山地区辉钼矿 Re-Os 等时线年龄约为147.5 Ma<sup>[23]</sup>,与得到的铜山岩体花岗闪长岩侵位年龄一致,老于石英二长闪长岩侵位年龄 $((145.1 \pm 1.2)$  Ma)<sup>[23]</sup>,说明花岗闪长岩为铜山矽卡岩型矿床的主成矿岩体,与

成岩成矿有着密切的关系,它们为同期产物。全岩地球化学研究表明,该岩石为过铝质,富集大离子亲石元素(K、Rb、Pb)和轻稀土元素,亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti),具有埃达克岩地球化学特征,属于俯冲洋壳熔融型埃达克岩,与长江中下游埃达克质岩特征一致,暗示其起源于俯冲洋壳<sup>[22]</sup>。

## 3 岩浆岩与成矿特征

本区岩浆活动从印支期至燕山期均有发生,以燕山期为主。青阳岩体、谭山岩体、城安岩体、花园巩岩体都是呈大型岩基产出的复式岩体,分布于区内中东部,以上岩体除花园巩岩体外都被称为江南系列岩体,岩石类型主要为花岗闪长岩、二长花岗岩;花山岩体、马石岩体、马头岩体、牌楼岩体、铜山岩体等都是呈小岩株产出的岩体,主要岩石类型为花岗闪长斑岩,分布于高坦断裂两侧及以北地区,被称为扬子系列岩体;花园巩岩体为A型花岗岩类岩体,主要岩石类型为石英正长岩和碱(钾)长花岗岩。区内岩浆岩以硅过饱和及偏碱为主要特征。扬子系列中酸性石英闪长岩与花岗闪长斑岩等明显浓集Au、Ag、Cu、Sb、As、Zn、Mo等元素,且分布不均匀;而江南系列岩体微量元素相对较贫。扬子系列的花岗闪长斑岩(石英闪长玢岩、辉石闪长玢岩)小岩株、岩脉与矿化关系密切,而江南系列的花岗闪长岩(二长花岗岩及少量钾长花岗岩)大型深成岩基的成矿作用稍差<sup>[24-27]</sup>。

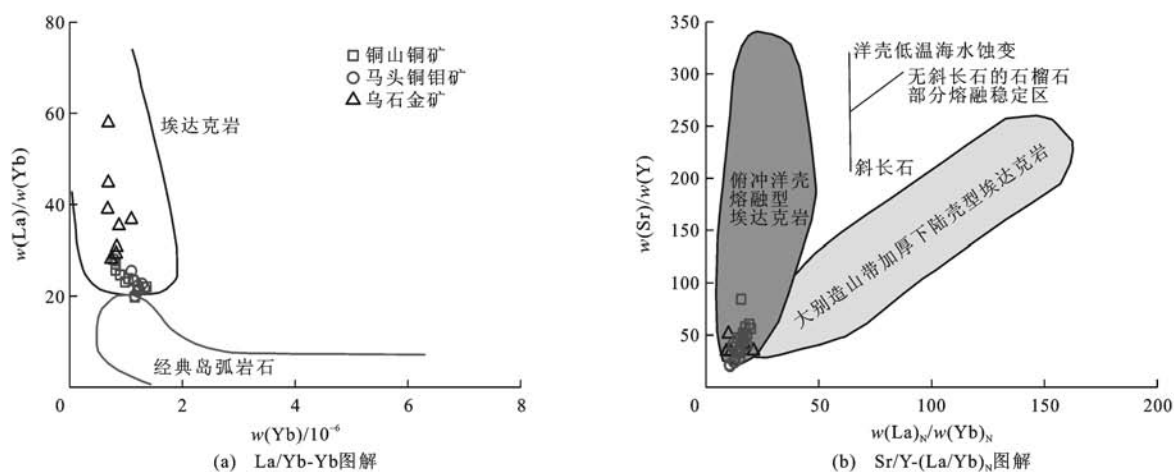
根据成岩成矿时间,将本区成矿系列划分为两期:第一期是140 Ma左右的岩浆活动及成矿作用,为早白垩世(燕山早期),主要以钙碱性壳幔同熔型闪长岩类岩体为主,产于高坦—安子山深断裂以北线形褶皱带内,成矿与高钾钙碱性闪长岩-花岗闪长(斑、玢)岩成岩系列的小岩体有关,主要与铜金成矿相关,代表性矿床有安子山铜钼矿床(矽卡岩型)、铜山铜矿床(矽卡岩型)、东湖铜矿床(矽卡岩型)、马头铜钼矿床(斑岩型)、抛刀岭金矿床(斑岩型);第二期是125 Ma左右的岩浆活动及成矿作用,岩石类型以陆壳改造型富硅富碱花岗岩为主,产于NNE向断裂带上,成矿与燕山晚期深熔改造型花岗岩有关,主要与钼、铜、铁、铅、锌成矿相关,代表性矿床有桂林郑钼矿(斑岩型)、李湾铜钼多金属矿(矽卡岩型)等。贵池地区燕山期成矿系列与长江中下游地区其他矿集区的成矿作用类似。

贵池地区主要金属矿产有金、钨、钼、铅、锌、银、锑、铜等,矿化类型有矽卡岩型、斑岩型、低温热液



型、风化淋滤型。研究表明,贵池地区马头铜钼矿、铜山铜矿、乌石金矿等含矿岩体具有埃达克质岩属性(图 10)<sup>[21-22, 28-29]</sup>。长江中下游地区埃达克岩成因主要受控于燕山晚期西太平洋板块俯冲至扬子地块

深部所导致的洋壳板片熔融作用,正是有洋壳俯冲的物质及所携带的大量流体参与,使得铜金物质在岩浆形成过程中带入浅部地壳,这也是该区铜金矿床的主要成因机制。



大别加厚下地壳埃达克质岩引自文献[30]~[33];洋壳板片而来埃达克岩引自文献[34]~[36];底图引自文献[34],有所修改;

$w(\cdot)$  为元素含量;  $w(\cdot)_N$  为元素含量球粒陨石标准化后的值

图 10 贵池地区主要铜金矿含矿岩体埃达克岩判别图解

Fig. 10 Discrimination Diagrams of Adakitic Rocks for Ore-bearing Intrusions of Main Cu-Au Deposits in Guichi Area

最近研究发现,埃达克岩(Adakite)或埃达克质岩(Adakitic Rock)与低温热液型和斑岩型金、铜、钼成矿作用有密切联系<sup>[37-40]</sup>。埃达克岩可以分为 O 型埃达克岩(与板块俯冲作用有关)和 C 型埃达克岩(下地壳熔融形成),它们都有利于形成斑岩型铜矿。有意义的是,世界级的斑岩型铜矿大多与 O 型埃达克岩有关,例如,智利 Ckuquicamata 铜金属量为  $6\,935 \times 10^4$  t, La Escondida 为  $2\,880 \times 10^4$  t, El Abra 为  $1\,450 \times 10^4$  t<sup>[40]</sup>。C 型埃达克岩也可以形成大型和超大型斑岩型铜矿,如中国江西德兴铜矿和西藏玉龙铜矿。

贵池地区大多数与成矿有关的中酸性侵入岩具有类似埃达克岩的地球化学特征,如马头、铜山、安子山、乌石等(图 10),即富集 Sr 而贫重稀土元素(如 Y 和 Yb),但它们具有负的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值和相对富集的初始 Sr 同位素比值( $>0.704$ )。大量的岩石化学数据显示,贵池地区铜金成矿岩浆岩具有埃达克质岩的特征。

尽管埃达克岩概念在引入中国岩石学界及其应用过程还存在一些不同意见,但是埃达克岩作为一种有效的地球化学指标,在中国东部燕山期岩浆岩与铜金矿床研究中已得到广泛应用。正是因为埃达克岩所具有的特殊地球化学性质,其有利于建立比较可靠的岩石学和矿床地球化学成因判别指标。在

新的形势和条件下开展相关区域内与埃达克岩有关的铜金成矿作用研究,有利于中国东部地区铜金矿床的勘探与寻找。

正确掌握岩浆岩的岩石地球化学内在的判别标志,合理运用判别铜金等成矿元素的岩浆岩元素地球化学特点以及岩浆-矿化氧逸度等指标,可以作为判别多金属成矿的新证据之一。

## 4 成矿规律与找矿标志

### 4.1 成矿规律

根据区域重力异常资料,安徽沿江地区地壳下存在一条平面上具喇叭状的地幔隆起带<sup>[2]</sup>,贵池地区对应于南侧幔坡,中生代地幔隆起,热流增高引起地壳拉张,厚度减薄,构造和岩浆活动活跃,成矿物质来源丰富,为地壳浅部成矿提供了十分有利的构造环境。地幔隆起(南侧幔坡)是本区构造、岩浆、矿产形成的最基本和最重要的地质背景。

本区矿产形成的诸多控制因素中,岩浆岩是决定性因素。扬子系列花岗闪长斑岩(石英闪长玢岩、辉石闪长玢岩)小岩株、岩脉与矿化关系密切。江南系列花岗闪长岩(二长花岗岩及少量钾长花岗岩)大型深成岩基的成矿作用较弱,区内 A 型花岗岩体(花园坝岩体)是沿江地区中生代岩浆活动最后阶段的产物,岩石偏碱性,成矿作用较差。区内断裂构造

发育,大型深部断裂构造为岩浆上侵提供通道,各层次的滑覆-拆离断层以及其他断裂构造控制了浅部的岩浆岩展布和矿体的赋存。地层对矿床的控制作用主要表现在矿化类型的差异,如志留系砂页岩地层易形成斑岩型和热液型矿化,奥陶系、石炭系碳酸盐岩地层易形成矽卡岩型和热液型矿化。

本区矿化强度总体没有铜陵地区高,区内又以高坦断裂为界,以北地区矿化强度高于以南地区。以北地区矿产主要为铜、金、银、铅、锌,主要矿床有铜山铜矿床(矽卡岩型、中型)、许桥银多金属矿床(岩浆期后中低温热液充填型、中型)、六峰山铜矿床(与风化淋滤有关的次生富集型、小型)、马头金矿床(铁帽型、小型)、抛刀岭金矿床(叠加斑岩型、大型)、马石铜钼矿(斑岩型、中型)。以南地区矿产主要为铅、锌、钼、金、银、锑,主要矿床有黄山岭铅锌矿床(矽卡岩-中低温热液叠加型、中型,包括桂林郑斑岩型钼矿、中型)、滴水崖铅锌矿床(热液型、小型)、东至县花山锑金矿床(热液型、小型)<sup>[24]</sup>。

## 4.2 找矿标志

### 4.2.1 地质标志

下扬子拗陷褶皱带是贵池矿集区重要的成矿背景。本区与成矿密切相关的岩浆岩主要以燕山期中酸性同熔型钙碱性岩浆岩为主,岩性主要与花岗闪长斑岩、花岗闪长岩、石英闪长玢岩为主,如果岩体周围分布有碳酸盐地层,更有利于成矿。贵池地区燕山期大多数矿体主要赋存在岩体周围的三叠系、石炭系—二叠系及奥陶系碳酸盐地层中,当大理岩化、矽卡岩化、角砾岩化、石英岩化等叠加有硅化、黄铁矿化、高岭石化等热液蚀变时,其是成矿的有利地段。贵池地区主要聚矿场所有不同方向的构造交汇处、背斜倾伏端、层间构造、接触带-断裂复合构造、接触-圈闭构造、穹窿构造、密集裂隙构造、角砾岩筒等<sup>[20]</sup>,因此,这些构造区域是重要的成矿有利地段。

金铜矿化位于复合斑岩岩株中心,复合斑岩岩株在横剖面上呈环形到卵圆形,至少在2 km范围内基本上是直立的。这些岩株一般包含成矿期间和成矿晚期的两个相。这两个相含少量金和铜,因为它们是在蚀变-矿化过程中晚期侵位的。这些晚期斑岩脉通常沿先存岩株轴带侵入。矿化可能主要发育在岩株内(如格拉斯贝格),或者明显延伸到围岩中(如菲什湖、圣托马斯Ⅱ)。铜和金出现在钾硅酸盐蚀变中,并叠加在从现代地表到至少2 km深的中等泥质蚀变之上,而其他矿床则产在较老的“基底”岩石中。在斑岩型铜-金成矿系统内,金与铜密

切相关,而且一般是非线性的,特别是以铜为主的斑岩型矿床中,金与铜的关系更为密切。黑云母是普遍存在的钾硅酸盐蚀变矿物,并可能与钾长石和(或)阳起石伴生。绝大多数斑岩型铜金矿床都产有网状石英细脉,而且它们是含金和铜的主要载体。值得注意的是,绝大多数矿床中热液磁铁矿作为成矿前和成矿期金属细脉和浸染颗粒构成的矿石,占矿石总体积的5%以上。钾硅酸盐蚀变向外逐渐变为青磐岩化蚀变,绢云母化蚀变和(或)最内部的青磐岩化蚀变通常与黄铁矿晕吻合。少部分矿床最上部附近保存有泥质岩盖残余,说明矿床剥蚀程度较深。

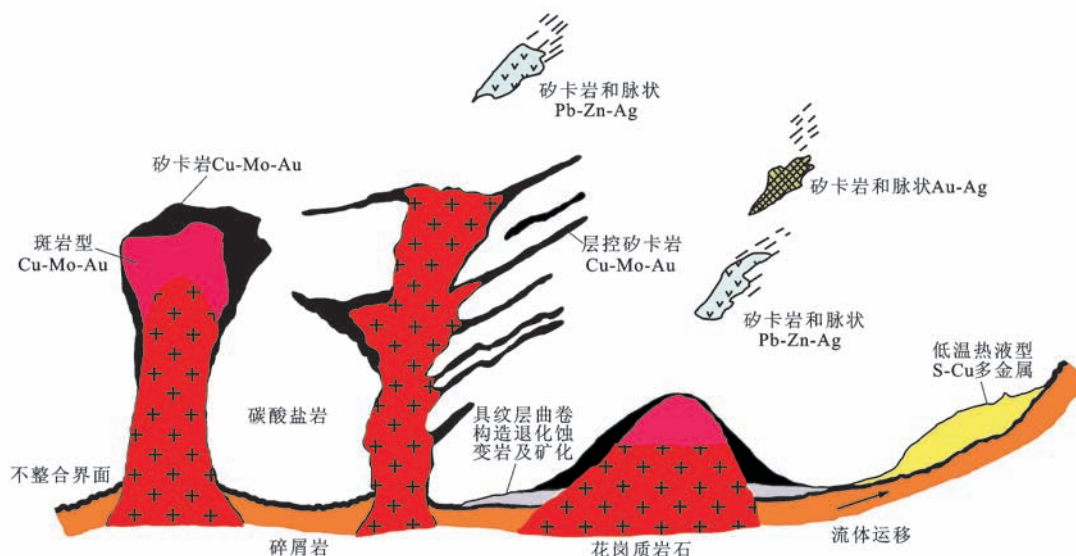
从空间上来看,斑岩型铜金矿床通常与矽卡岩型、低温热液型铜金矿床相连,如中国长江中下游地区(图11)。菲律宾的远东南矿床顶部产有一个高硫化低温热液金矿床,而矿床周围有4个低硫化低温热液金矿床产出。斑岩型矿床与低温热液型矿床在空间上存在叠置现象,即在低温热液型矿床下面可能有斑岩型矿床产出,这对于指导深部找矿具有重大意义。

对于野外地质工作者来说,斑岩型铜金矿床地质模型起着十分重要的作用。在斑岩型铜金矿床地质模型指导下,要充分注意蚀变及其分带现象,确定斑岩体系的存在,然后部署地球化学取样(通常是土壤测量和岩屑取样)。例如,印度尼西亚的格拉斯贝格矿床<sup>[41]</sup>和菲律宾的远东南铜金矿<sup>[42]</sup>就是依据斑岩型铜金矿床模型发现的。

### 4.2.2 地球物理标志

地球物理资料显示,贵池矿集区地壳上冲和俯冲的反射特征可能是华夏块体与扬子块体晋宁期发生板内碰撞的痕迹。本区存在“一盖多底”的崮岭—董岭式基底和江南式基底,两种基底以高坦断裂为分界线<sup>[43]</sup>。高坦断裂是一个深达地壳级的断裂,其南北两侧具有不同的重磁特征、电性结构特征和地震反射特征。该断裂可能是深部流体上涌的通道,岩浆和地幔热液沿断裂上涌并沿地层和裂隙侵入中上地壳,形成岩基或岩体,或与围岩发生强烈矿化作用形成贵池矿集区多金属矿床。

本区斑岩型铜金矿床都富含磁铁矿。这可能是由于富金斑岩成矿液体的岩浆处于较高的氧化状态,从而使斑岩型铜金矿床中磁铁矿含量升高;也可能是由于含矿流体上升过程中,全铁含量过低,而未能使磁铁矿形成主要热液矿物。尽管热液磁铁矿含量不能用来判别富金斑岩矿床,但这类磁铁矿的存在至少可以帮助确定斑岩系统是富含金的。值得注



图件引自文献[44],有所修改

图 11 长江中下游成矿带斑岩-砂卡岩型 Cu-Au-Mo-Fe 矿床模型

Fig. 11 Metallogenic Model of Porphyry-skarn Type of Cu-Au-Mo-Fe Deposit in Middle-lower

Yangtze River Metallogenic Belt

意的是,磁铁矿含量足以可利用航磁测量探测出来。近年来,一些研究表明,在阿根廷的下德拉阿伦布雷拉<sup>[45]</sup>、印度尼西亚的格拉斯贝格<sup>[41]</sup>和巴都希贾乌矿床<sup>[46]</sup>都存在明显的“牛眼状”磁力高异常。在巴布亚新几内亚的奥克特迪矿床发现过程中,最初检查化探异常时,在河床中发现了含黄铜矿的磁铁矿转石,从而确定了斑岩成矿系统。因此,利用磁铁矿或其形成的磁异常可以较有效地确定斑岩系统的存在。

对局部靶区的评价,地面磁法和激发极化法以及瞬变电磁法至关重要,有助于确定斑岩体以及矿床产出的具体部位。

#### 4.2.3 地球化学标志

铜金矿床上方通常不同程度地存在 Cu、Au、Mo、Ag、Zn、Pb、As、Hg、Sn、S 等元素的异常或元素组合异常。因此,对于未知区来说,水系沉积物地球化学测量方法是筛选靶区的有效方法,印度尼西亚的巴都希贾乌<sup>[46]</sup>、巴布亚新几内亚的比尼山等矿床的发现过程就是利用了这一方法。本区寒武系中下统地层为 As、Bi、Mo、Ba、Ni、Cr、V、Cu、Sb 等元素的高背景区,尤以下统黄柏岭组为甚,可以利用其无明显浓集中心等异常结构和无 Pb、Ag 元素高背景等元素组合特征正确区分矿致异常和高背景引起的异常。扬子系列中酸性石英闪长岩与花岗闪长斑岩等明显浓集 Au、Ag、Cu、Sb、As、Zn、Mo 等元素,既提供热源,又提供矿源,是本区找矿的重

要标志<sup>[24]</sup>。

## 5 结 语

(1)安徽贵池地区侵入岩种类繁多,大体上可分为江南型和扬子型。将贵池地区燕山期成岩成矿时间划分为两期:第一期是 140 Ma 左右的岩浆活动及成矿作用,为早白垩世(燕山早期),主要与铜金矿床有关;第二期是 125 Ma 左右的岩浆活动及成矿作用,包括高钾钙碱性、碱性两个成岩系列,岩石类型以中性—酸性花岗闪长岩、花岗岩为主,主要与钼(铜)矿床有关。

(2)贵池地区金、银(铅锌)及铜钼成矿主要受大地构造、侵入杂岩体、特定地层控制,矿体就位明显受区域断层的控制。

(3)燕山期中酸性—酸性岩浆岩、层间滑脱构造、有利成矿的碳酸盐地层、不同方向性质相异的构造结合部位是本区有利成矿的条件。

(4)贵池地区是长江中下游成矿带的重要组成部分,区内相继发现了铜山、抛刀岭(铺庄)、西冲、金鸡山、朱家冲等多处铜金多金属矿床(点),显示出良好的成矿潜力和找矿前景。

## 参 考 文 献 :

## References :

- [1] 段留安,古黄玲,杨晓勇,等.长江中下游贵池李湾铜多金属矿区岩浆岩年代学及 Hf 同位素地球化学研究[J].岩石学报,2015,31(7):1943-1961.



- DUAN Liu-an, GU Huang-ling, YANG Xiao-yong, et al. Chronology and Hf Isotopic Study of Igneous Rocks in the Liwan Cu-polymetal Deposit in Guichi Along the Middle-lower Yangtze River[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(7): 1943-1961.
- [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.
- CHANG Yin-fo, LIU Xiang-pei, WU Yan-chang. The Copper-iron Metallogenic Belt of the Middle-lower Yangtze River [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [3] 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.
- TANG Yong-cheng, WU Yan-chang, CHU Guo-zheng, et al. Geology of Copper (Gold) Deposit Along the Yangtze River, Anhui Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.
- [4] 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.
- LI Shu-guang. Infrastructure of Mesozoic Magmatic Rocks and Copper-iron Metallogenic Belt in the Middle and Lower Yangtze River Reaches[J]. *Geology of Anhui*, 2001, 11(2): 118-122.
- [5] 邓晋福, 吴宗絮. 下扬子克拉通岩石圈减薄事件与长江中下游 Cu-Fe 成矿带[J]. *安徽地质*, 2001, 11(2): 86-91.
- DENG Jin-fu, WU Zong-xu. Lithospheric Thinning Event in the Lower Yangtze Craton and Cu-Fe Metallogenic Belt in the Middle and Lower Yangtze River Reaches [J]. *Geology of Anhui*, 2001, 11(2): 86-91.
- [6] 杜建国, 戴圣潜, 莫宣学, 等. 安徽沿江地区燕山期火成岩成矿地质背景[J]. *地学前缘*, 2003, 10(4): 551-560.
- DU Jian-guo, DAI Sheng-qian, MO Xuan-xue, et al. Petrogenic and Metallogenic Settings of Area Along Yangtze River in Yanshanian, Anhui Province [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4): 551-560.
- [7] 安徽省地质矿产勘查局. 安徽省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province. The Regional Geology of Anhui Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [8] 王钢金. 从重磁场特征探讨江南断裂和周王断裂的性质[J]. *安徽地质*, 1993, 3(1): 71-76.
- WANG Gang-jin. Study on Properties of the Jiangnan and Zhouwang Faults Through Characteristic Analysis of Their Gravity and Magnetic Fields [J]. *Geology of Anhui*, 1993, 3(1): 71-76.
- [9] 聂张星, 李敏, 沈欢喜, 等. 安徽省东至地区金矿类型及找矿方向[J]. *安徽地质*, 2013, 23(2): 81-85.
- NIE Zhang-xing, LI Min, SHEN Huan-xi, et al. Gold Ore Types and Ore Prospecting Direction in the Dongzhi Area, Anhui Province [J]. *Geology of Anhui*, 2013, 23(2): 81-85.
- [10] 安徽省地质调查院. 1: 50 000 殷家汇幅区域地质调查报告[R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 1979.
- Geological Survey Institute of Anhui Province. Regional Geology Research Report of Yinjiahui Amplitude with the Scaling as 1: 50 000 [R]. Hefei: Geological Survey Institute of Anhui Province, 1979.
- [11] 安徽省地质研究所. 安徽贵池安子山铜钼矿床普查评价报告[R]. 合肥: 安徽省地质研究所, 1991.
- Anhui Institute of Geology. The Geological Census Evaluation Report of Anzishan Cu-Mo Deposit in Guichi, Anhui Province [R]. Hefei: Anhui Institute of Geology, 1991.
- [12] 段留安, 杨晓勇, 汪方跃, 等. 长江中下游成矿带贵池抛刀岭金矿含矿岩体年代学及地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2012, 28(10): 3241-3254.
- DUAN Liu-an, YANG Xiao-yong, WANG Fang-yue, et al. Geochemistry and Zircon U-Pb Age of Ore-bearing Porphyry in the Paodaoling Gold Deposit in Guichi, Middle-lower Yangtze Metallogenic Belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(10): 3241-3254.
- [13] 周泰禧, 陈江峰, 李学明. 安徽省印支期岩浆活动质疑[J]. *岩石学报*, 1988, 4(3): 46-53.
- ZHOU Tai-xi, CHEN Jiang-feng, LI Xue-ming. Has the Indo-Sinian Magmatism Occurred in Anhui Province? [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1988, 4(3): 46-53.
- [14] CHEN J F, ZHOU T X, FORLAND K A.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and Rb-Sr Geochronology of the Qingyang Batholith, Anhui Province, China [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1985, 4(3): 220-235.
- [15] 刘园园, 马昌前, 吕昭英, 等. 长江中下游贵池矿集区燕山期岩浆作用及其地质意义: 年代学、地球化学及 Sr-Nd-Hf 同位素证据[J]. *岩石学报*, 2012, 28(10): 3287-3305.
- LIU Yuan-yuan, MA Chang-qian, LU Zhao-ying, et al. Zircon U-Pb Age, Element and Sr-Nd-Hf Isotope Geochemistry of Late Mesozoic Magmatism from the Guichi Metallogenic District in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Region [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(10): 3287-3305.
- [16] 安徽省地质调查院. 1: 50 000 马衙桥幅区域地质调查报告[R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 1989.
- Geological Survey Institute of Anhui Province. 1: 50 000 Regional Geological Survey of the Mayaqiao Amplitude

- tude[R]. Hefei: Geological Survey Institute of Anhui Province, 1989.
- [17] 安徽省地质矿产勘查局. 安徽省 1 : 500 000 航磁异常图[R]. 合肥: 安徽省地质矿产勘查局, 1989.  
Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province. 1 : 500 000 Aeromagnetic Anomaly Map of Anhui Province [R]. Hefei: Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, 1989.
- [18] 安徽省地质矿产勘查局. 安徽省 1 : 500 000 基岩地质图[R]. 合肥: 安徽省地质矿产勘查局, 1986.  
Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province. 1 : 500 000 Batholith Geological Map of Anhui Province [R]. Hefei: Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, 1986.
- [19] 谢齐文, 邱瑞龙, 陈益华, 等. 安徽省贵池市东部成矿地质条件及铜金银多金属矿产资源预测研究[R]. 合肥: 安徽省地质矿产勘查局, 1995.  
XIE Qi-wen, QIU Rui-long, CHEN Yi-hua, et al. Metallogenic Geological Conditions and Copper-gold Polymetallic Mineral Resources Prediction of Eastern Guichi area, Anhui Province [R]. Hefei: Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, 1995.
- [20] 姚孝德, 谭德兴, 陈芳. 安徽省池州地区区域成矿模式[J]. 安徽地质, 2013, 23(3): 200-204.  
YAO Xiao-de, TAN De-xing, CHEN Fang. Regional Metallogenic Models for the Chizhou Area, Anhui Province [J]. Geology of Anhui, 2013, 23(3): 200-204.
- [21] 段留安, 杨晓勇, 汪方跃. 长江中下游成矿带抛刀岭大型斑岩型金矿特征及找矿前景[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(1): 161-170.  
DUAN Liu-an, YANG Xiao-yong, WANG Fang-yue. Characteristics and Prospects of Paodaoling Large Porphyry Gold Deposit in the Middle-lower Yangtze River Metallogenic Belt [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2014, 36(1): 161-170.
- [22] 余良范, 毛丽达·尼合买提, 古黄玲, 等. 安徽铜山铜(金)矿床锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素地球化学[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(1): 152-160.  
YU Liang-fan, NIHEMAITI Maolida, GU Huang-ling, et al. Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotopic Geochemistry of the Tongshan Cu(Au) Deposit in Anhui [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2014, 36(1): 152-160.
- [23] 张智宇. 安徽铜山矽卡岩铜矿床特征与成因[D]. 北京: 中国地质大学, 2011.  
ZHANG Zhi-yu. Characteristic and Genesis of Tongshan Skarn-type Copper Deposit in Anhui Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2011.
- [24] 董胜. 安徽省贵池地区区域地球化学特征及找矿意义[J]. 物探与化探, 2006, 30(3): 215-223.  
DONG Sheng. Regional Geochemical Characteristics of Guichi Area in Anhui Province and Their Ore-prospecting Significance [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2006, 30(3): 215-223.
- [25] 聂张星, 石磊, 古黄玲, 等. 皖南东至查册桥金矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其成矿意义[J]. 地质学报, 2016, 90(6): 1146-1166.  
NIE Zhang-xing, SHI Lei, GU Huang-ling, et al. U-Pb Zircon Geochronology of Magmatic Rocks from the Zhaceqiao Gold Deposit in the Dongzhi Area, South Anhui Province and Its Metallogenic Significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(6): 1146-1166.
- [26] 王洋洋, 肖益林, 杨晓勇. 长江中下游成矿带铜陵新桥矿床 Re-Os 同位素及流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2015, 31(4): 1031-1039.  
WANG Yang-yang, XIAO Yi-lin, YANG Xiao-yong. Re-Os Isotope Systematics and Fluid Inclusions of Xinqiao Deposit in Tongling, the Middle-lower Yangtze River Metallogenic Belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(4): 1031-1039.
- [27] 刘一男, 范裕, 严四华, 等. 长江中下游成矿带安庆—贵池矿集区五横岩体的成岩年代和区域岩浆活动演化研究[J]. 岩石学报, 2014, 30(4): 1117-1129.  
LIU Yi-nan, FAN Yu, YAN Si-hua, et al. Petrogenesis Chronology and Evolution of Regional Magmatic Activity Study of Anqing-Guichi Ore Deposit Concentrated Area in the Middle-lower Reaches of Yangtze River Metallogenic Belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(4): 1117-1129.
- [28] ZHU Z Y, JIANG S Y, HU J, et al. Geochronology, Geochemistry, and Mineralization of the Granodiorite Porphyry Hosting the Matou Cu-Mo( $\pm$ W) Deposit, Lower Yangtze River Metallogenic Belt, Eastern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 79(5): 623-640.
- [29] ZHANG Z Y, DU Y S, TENG C Y, et al. Petrogenesis, Geochronology, and Tectonic Significance of Granitoids in the Tongshan Intrusion, Anhui Province, Middle-lower Yangtze River Valley, Eastern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 79(5): 792-809.
- [30] PETFORD N, ATHERTON M. Na-rich Partial Melts from Newly Underplated Basaltic Crust: The Cordillera Blanca Batholith, Peru [J]. Journal of Petrology, 1996, 37(6): 1491-1521.
- [31] WANG Q, WYMAN D A, XU J F, et al. Early Cretaceous Adakitic Granites in the Northern Dabie Com-

- plex, Central China: Implications for Partial Melting and Delamination of Thickened Lower Crust [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007, 71(10): 2609-2636.
- [32] HUANG F, LI S G, DONG F, et al. High-Mg Adakitic Rocks in the Dabie Orogen, Central China: Implications for Foundering Mechanism of Lower Continental Crust [J]. *Chemical Geology*, 2008, 255(1/2): 1-13.
- [33] ZHAO J H, ZHOU M F. Neoproterozoic Adakitic Plutons in the Northern Margin of the Yangtze Block, China: Partial Melting of a Thickened Lower Crust and Implications for Secular Crustal Evolution [J]. *Lithos*, 2008, 104(1/2/3/4): 231-248.
- [34] DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of Some Modern Arc Magmas by Melting of Young Subducted Lithosphere [J]. *Nature*, 1990, 347: 662-665.
- [35] STERN C R, KILIAN R. Role of the Subducted Slab, Mantle Wedge and Continental Crust in the Generation of Adakites from the Andean Austral Volcanic Zone [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1996, 123(3): 263-281.
- [36] AGUILLON-ROBLES A, CALMUS T, BENOIT M, et al. Late Miocene Adakites and Nb-enriched Basalts from Vizcaino Peninsula Mexico: Indicators of East Pacific Rise Subduction Below Southern Baja California? [J]. *Geology*, 2001, 29(6): 531-534.
- [37] DEFANT M J, 许继峰, KEPEZHINSKAS P, 等. 埃达克岩: 关于其成因的一些不同观点 [J]. *岩石学报*, 2002, 18(2): 129-142.
- DEFANT M J, XU Ji-feng, KEPEZHINSKAS P, et al. Adakites: Some Variations on a Theme [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(2): 129-142.
- [38] THIEBLEMONT D, STEIN G, LESCUYER J L. Epithermal and Porphyry Deposits: The Adakite Connection [J]. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series II A, Earth and Planetary Science*, 1997, 325(2): 103-109.
- [39] OYARZUN R, MARQUEZ A, LILLO J. Giant Versus Small Porphyry Copper Deposits of Cenozoic Age in Northern Chile: Adakitic Versus Normal Calc-alkaline Magmatism [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36(8): 794-798.
- [40] BELLON H, YUMUL J G P. Miocene to Quaternary Adakites and Related Rocks in Western Philippine Arc Sequences [J]. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series II A, Earth and Planetary Science*, 2001, 333(6): 343-350.
- [41] 张伟波, 聂凤军, 王立胜, 等. 印度尼西亚格拉斯贝格铜金矿床研究新进展 [J]. *地质科技情报*, 2013, 32(5): 112-117.
- ZHANG Wei-bo, NIE Feng-jun, WANG Li-sheng, et al. New Research Progresses on the Grasberg Cu-Au Deposits in Papua, Indonesia [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(5): 112-117.
- [42] 罗明强. 菲律宾斑岩型铜矿成矿背景 [J]. *河南理工大学学报: 自然科学版*, 2011, 30(1): 47-54.
- LUO Ming-qiang. Porphyry-type Copper Deposits Geodynamic Setting in Philippines [J]. *Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science*, 2011, 30(1): 47-54.
- [43] 邵陆森, 刘振东, 吕庆田, 等. 安徽贵池矿集区深部精细结构: 来自综合地球物理探测结果的认识 [J]. *地球物理学报*, 2015, 58(12): 4490-4504.
- SHAO Lu-sen, LIU Zhen-dong, LU Qing-tian, et al. Deep Fine Structure of Guichi Ore Concentrated Area: The Understanding of the Integrated Geophysical Detection Results [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2015, 58(12): 4490-4504.
- [44] 毛景文, 邵拥军, 谢桂青, 等. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型 [J]. *矿床地质*, 2009, 28(2): 109-119.
- MAO Jing-wen, SHAO Yong-jun, XIE Gui-qing, et al. Mineral Deposit Model for Porphyry-skarn Polymetallic Copper Deposits in Tongling Ore Dense District of Middle-lower Yangtze Valley Metallogenic Belt [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(2): 109-119.
- [45] 陈玉明, 杨汇群. 阿根廷的矿产资源和矿业开发 [J]. *国土资源情报*, 2015(2): 14-20.
- CHEN Yu-ming, YANG Hui-qun. Mineral Resources and Mineral Development in Argentina [J]. *Land and Resources Information*, 2015(2): 14-20.
- [46] 朱章显, 杨振强, 姚华舟, 等. 东南亚巽他群岛埃达克岩的分布及斑岩型铜(金)矿成矿预测的地质准则 [J]. *地质通报*, 2009, 28(2/3): 333-342.
- ZHU Zhang-xian, YANG Zhen-qiang, YAO Hua-zhou, et al. Distribution of Adakite and Adakite-like Rocks and Geochemical Criteria for Exploration in Epithermal and Porphyry Deposits, Sunda Islands, Southeast Asia [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(2/3): 333-342.