# 安徽庐枞盆地与正长岩有关的成矿作用

张舒<sup>1,2)</sup>,吴明安<sup>1)</sup>,汪晶<sup>1)</sup>,李小东<sup>1)</sup>,赵文广<sup>1)</sup>,魏国辉<sup>1)</sup>

1) 安徽省地质调查院,合肥,230001;2) 合肥工业大学资源与环境工程学院,合肥,230009

内容提要:安徽庐枞盆地位于长江中下游成矿带内,定位于扬子板块、华北板块与大别造山带之间,为一中生 代陆相火山岩断陷盆地。庐枞盆地内广泛发育中生代岩浆活动,包括龙门院、砖桥、双庙、浮山4个旋回的火山岩 及同期次侵入的中酸性岩体。盆地中成矿作用类型丰富,矿种多样,与龙门院旋回有关的潜火山热液型铅锌矿床、 与砖桥旋回有关的玢岩型铁矿床是盆地中重要的成矿作用系列,以往工作较为全面地对这两个成矿系列进行了研 究。随着近几年找矿工作的突破,盆地中与正长岩类有关的铁氧化物-铜-铀矿床逐渐受到重视。本文以深部探测 ZK01 孔深部铀矿化、马口铁矿、黄梅尖岩体周边铀矿床为研究对象,初步探讨区域与正长岩类有关的铁氧化物-铜-铀矿化系列,为庐枞整装勘查区找矿工作提供新思路、新方向。

关键词: 庐枞盆地; 正长岩; 铁氧化物-铜-铀矿化; 深部探测

安徽庐枞(庐江一枞阳)盆地位于长江中下游断 陷带内,北临华北板块,西接郯庐断裂带(图 1a),是 一个中生代陆相火山岩断陷盆地。庐枞盆地构造特 征复杂、岩浆-成矿作用活跃,区内广泛发育与火山-潜火山岩及侵入岩有关的铁、铜、铅锌、明矾石矿床, 是长江中下游成矿带中7个重要的矿集区之一(毛 建仁等,1990;常印佛等,1991;任启江等,1991;翟裕 生等,1992; 唐永成等,1998; 倪若水等,1998; Pan and Dong, 1999)。近年来, 包括庐枞盆地在内的长 江中下游成矿带科研工作取得了丰硕的成果,系统 地划分了区内的成矿系列:① 与高钾钙碱性岩浆活 动有关的斑岩-砂卡岩型 Cu-Mo-Au 矿床,以铜陵矿 集区为代表(储国正等,1990;吴淦国等,2008;毛景 文等,2004,2009);② 与橄榄安粗质岩浆活动有关 的玢岩型 Fe-S-P 矿床,以宁芜、庐枞盆地为代表(宁 芜玢岩铁矿编写组,1978;任启江等,1991;周涛发 等,2010;赵文广等,2011);③ 与 A 型花岗岩有关的 铁氧化物-铜-铀矿床(陈一峰,1994;郑永飞等, 1995,1997;陈一峰等,1996;周涛发等,2008a,2012; 范裕等,2008)。作为长江中下游成矿带的优势矿 种,前两种成矿系列研究程度较高,近年来,发育在 A型花岗岩、(石英)正长岩等碱性岩中的铁氧化物- 铜-铀矿床逐步受到矿床研究领域的重视,如对与黄 梅尖正长岩、邻区的大龙山岩体有关的铀矿床研究 (陈一峰,1994;郑永飞等,1995,1997;陈一峰等, 1996)、对庐枞盆地南部发育于正长岩中的马口铁矿 研究(周涛发等,2012)。

Sinoprobe 深部探测技术与实验研究专项在庐 枞矿集区施工的深部验证钻孔,揭示了盆地内部 1400m之下正长岩中的铜一铀矿化,结合黄梅尖 (石英)正长岩体周边的铀矿化,显示出区域正长岩 的铜一铀成矿潜力。同时, 庐枞盆地南部的马口铁 矿,其类似于"玢岩型铁(硫)矿"的磷灰石-阳起石-磁铁矿矿物组合、赋矿围岩为正长岩的特征,使其成 为长江中下游一种独特的矿床类型(周涛发等, 2012)。庐枞盆地中这类与正长岩类有关的铁氧化 物-铜-铀矿化系列已逐步受到重视,并可能为庐枞 矿集区未来重要的找矿方向,实现找矿突破(周涛发 等,2008a,2012;常印佛等,2012)。因此,系统地总 结庐枞地区与正长岩有关的矿化类型,明确矿化特 征与矿床成因,对于指导庐枞盆地乃至长江中下游 的深部找矿工作,丰富区域成矿类型有着积极的意 义。本文以验证钻孔 ZK01 深部矿化、马口铁矿等 矿化线索为研究对象,对区域与正长岩有关的铁氧

注:本文为国家"深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe)"第三项目"深部矿产资源立体探测技术及实验研究"第四课题(编号 SinoProbe-03-04)、中国地质调查局项目(编号 1212011120862)、中国地质科学院地质研究所合作研究专题(编号 DD01-16)共同资助的成果。 收稿日期:2014-02-15;改回日期:2014-02-25;责任编辑:周健。

作者简介:张舒,男,1986年生。在读博士研究生,主要从事固体矿产勘查及科研工作。Email:zs-1638610@163.com。



图 1 庐枞地区地质矿产图(据任启江等,1991;吕庆田等,2011;Lü et al.,2013 修改)

Fig. 1 The geological map of Luzong basin (after Ren et al., 2011; Lü et al., 2011,2013) 1一早白垩世浮山旋回;2一早白垩世双庙旋回;3一早白垩世砖桥旋回;4一早白垩世龙门院旋回;5一中侏罗世罗岭组;6一闪长岩类;7一二长 岩类;8一碱性正长岩类;9一具 A 型花岗岩特征的正长岩类;10一钾长花岗岩类(具有 A 型花岗岩特征);11一推测的基底断裂及编号;12一铁 矿床;13一铜矿床;14一铅锌矿床;15一铀矿床;16一验证钻探刘屯 ZK01 孔孔位;①一滁河断裂;②一庐江-皇姑闸-铜陵拆离断层;③一沿江断 裂带;④一陶家湾-施家湾断裂;⑤—罗河-缺口断裂;⑥—义津-陶家巷断裂;⑦—塘家园-砖桥断裂;⑧—枞阳-黄屯断裂 1—Early Cretaceous Fushan Formation; 2—Early Cretaceous Shuangmiao Formation; 3—Early Cretaceous Zhuanqiao Formation; 4—Early Cretaceous Longmenyuan Formation; 5—middle jurassic Luoling Formation; 6—diorite; 7—syenite; 8—alkaline syenite; 9—syenite of characteristics of A-type granites; 10—moyite; 11—basement fault; 12—iron deposit; 13—copper deposit; 14—lead and zinc deposit; 15 urianiun deposit; 16—location of ZK01; ①—Chuhe fault; ②—Lujiang-Huanggutun-Tongling detach fault; ③—Changiang fault zone; ④— Tanjiawan-Shijiawan fault; ⑤—Luohe-Quekou fault; ⑥—Yijin-Taojiaxiang fault; ⑦—Tangjiayuan-Zhuanqiao fault; ⑧—Zongyang-Huangtun fault

化物-铜-铀矿化进行初步总结,通过室内外综合研究、矿床地球化学、包裹体测温等手段,对矿化特征 及成因进行探讨。

## 1 区域地质背景

大地构造位置上, 庐枞盆地位于扬子板块北缘, 郯庐断裂带东侧, 是长江中下游断陷带内一北东向 的不对称耳状盆地。庐枞盆地构造活动强烈,主要 有北东向、北西向、近南北向和东西向四个系统的深 大断裂,不同方向的断裂构成了区内独特的网络状 断裂构造体系,基底断裂带控制了庐枞盆地中生代 构造、岩浆及成矿作用的系统格架(任启江等, 1991)。

庐枞盆地中的岩石地层单元大体可划分为两个

部分:一是前寒武纪的变质结晶基底,二是寒武系以 来的沉积盖层(常印佛等,1991;任启江等,1991)。 根据岩性及构造背景的不同,沉积盖层也可以进一 步划分为:寒武系至中侏罗统的火山岩盆地直接基 底、下白垩统的火山岩盖层。盆地内下白垩统火山 岩地层由四个火山岩旋回构成,由老到新依次为龙 门院旋回、砖桥旋回、双庙旋回及浮山旋回,四个火 山岩旋回基本呈同心环带状分布,并均以爆发相开 始,溢流相结束(任启江等,1991;周涛发等,2008b; 袁峰等,2008)。从岩石地球化学特征上,四个旋回 总体为一套向富碱方向演化的橄榄安粗岩系列岩 石,浮山旋回为一套碱性岩,并有响岩的产出(于学 元和白正华,1981;任启江等,1991;袁峰等,2008)。

庐枞盆地共有 34 个侵入体出露地表(周涛发 等,2007,2010),侵入体的分布受到基底构造、火山 构造的共同控制,大体表现出北东向分布的特征。 已知的侵入体多分布于盆地的南缘及北东缘区域, 岩性以二长-正长岩、钾长花岗岩为主。但随着庐 枞盆地深部找矿工作的开展,安徽省地矿局、中国地 质科学院等生产科研单位在盆地中北部施工了大量 的超 1000m,甚至超 3000m 的钻孔,这些钻孔揭示 了盆地中北部火山岩盖层之下,广泛分布有正长-二长质侵入体,其分布范围可能覆盖盆地绝大部分 区域。

庐枞盆地成矿作用集中爆发在早白垩世,按成 矿作用的时间与类型大致可以分为:① 龙门院旋回 与火山气热液作用有关的 Pb、Zn、Ag 成矿系列,如 岳山铜铅锌矿床;② 砖桥旋回与火山-潜火山岩活 动有关的玢岩型铁硫矿,如泥河铁矿等;③ 砖桥旋 回与潜火山热液活动有关的脉状铜矿床,如井边铜 矿等。目前,随着庐枞新一轮深部找矿工作的突破, 人们逐渐认识到盆地中还应存在第四个成矿系列 (周涛发等,2012;常印佛等,2012),即:④ 与正长岩 类岩有关的 Fe-Cu-U 成矿系列,如马口铁矿、34 铀 矿、刘屯 ZK01 深部正长岩铜铀矿化。

## 2 庐枞盆地正长质侵入岩特征

庐枞盆地中生代岩浆的侵入活动主要集中在早 白垩世,活动起止时间约为134~124Ma按照岩石 的矿物成分特征,庐枞地区的深成侵入体可划分为 闪长岩、二长岩、(石英)正长岩、花岗岩四个类型。 前人对深成侵入体的分布规律、成岩时代、岩石地球 化学特征及与之相关的矿化类型进行过详细的论述 (毛建仁等,1990;周涛发等,2007,2008b,2010, 2012;范裕等,2008;曾键年等,2010;张乐骏等, 2010;覃永军等,2010;薛怀明等,2010;Zhou et al.,2011;张乐骏,2011)。

庐枞盆地正长质岩浆分布较为广泛,占已知岩体的半数以上,根据近年来地质勘查项目在庐枞地 区施工的超 1000m 钻孔资料,庐枞盆地 1000~ 1200m 之下分布大面积的正长岩岩基,可能存在正 长质"岩浆海"。根据岩石地球化学性质,庐枞盆地 正长岩可划分两个系列,一类是具有碱性岩特征的 正长岩,另一类是具有 A 型花岗岩特征的正长岩 (曹毅等,2008;李洪英等,2009;向文帅等,2009;周 涛发等,2010;张乐骏,2011)。

碱性正长岩主要呈北东向带状分布于庐枞盆地 内部,受到盆地基底断裂与基底隆起带的共同控制, 形成时间集中在 125~131Ma 之间(周涛发等, 2010)<sup>•</sup>,与庐枞盆地晚期火山活动(双庙旋回、浮山 旋回)的时间(127~130Ma)(袁峰等,2008)基本一 致,说明了该期次岩浆活动可能与庐枞盆地晚期火 山活动相对应。碱性正长岩与晚期火山岩具有相似 的岩石地球化学特征,中-高硅、高碱、准铝质,相对 庐枞盆地闪长-二长质岩石,岩浆开始向富硅、富碱 质的方向演化。与本期次岩浆活动有关的矿化主要 包括铁氧化物-铜-铀矿化(曹毅等,2008;李洪英等, 2009;向文帅等,2009;张乐骏,2011)。

具有 A 型花岗岩特征的正长岩主要分布在庐 枞盆地东南缘,具有北东向分布的特征,受到沿江断 裂带的控制,形成时间集中在 124~126Ma(周涛发 等,2010)。岩石地球化学特征上,该套正长岩具有 高硅、高碱、高铝一准铝质、强 Eu 负异常的特点,与 典型 A 型花岗岩一致,下文中统一简称为 A 型花岗 岩。该套岩石形成于长江中下游地壳伸展阶段,而 与庐枞盆地的构造活动无关(范裕等,2008;周涛发 等,2010)。目前在该类型的岩石中主要发育与岩浆 热液有关的铀矿化、破碎带热液充填型铜矿化及马 口脉状磁铁矿。

# 3 与碱性正长岩有关的铁-铜-铀矿化

以往的地质工作中, 庐枞盆地发现的与碱性正 长岩有关的矿化主要集中在玢岩型铁硫矿深部的正 长岩中, 如龙桥铁矿及杨山铁矿的钻孔深部均在正 长岩中发现了铁矿化(汪祥云等, 1991; 柏绍民 等<sup>9</sup>)。近期在正长岩中发现了铁-铜-铀矿化的新线 索, 如深部探测刘屯 ZK01 孔深部正长岩中发育的 铀-铜矿化(图 2b)、 何家大岭铁矿深部正长岩中的



#### 图 2 庐枞盆地深部正长岩及二长岩岩石特征照片

Fig. 2 The photographs of the syenite and monzonite in Luzong basin

(a)一何家大岭深部正长岩体中脉状充填铁矿化,具有磁铁矿-硬石膏-透辉石的矿物组合;(b)一深部探测验证孔 ZK01 深部 1200m 黄铜 矿化,黄铜矿伴生黄铁矿、石英以脉状形式充填产出;(c)一深部探测验证孔 ZK01 深部 1700m 黄铜矿化,黄铜矿伴生黄铁矿、石英、电气石 以脉状、团块状形式充填产出;(d)一深部探测 ZK01 验证孔 1710m 处正长岩岩芯手标本照片;(e)一深部探测 ZK01 验证孔 1710m 处正长 岩薄片正交镜下特征;(f)一深部探测 ZK01 验证孔 2010m 处黑云母二长岩岩芯手标本照片;(g)一深部探测 ZK01 验证孔 2010m 处黑云 母二长岩薄片正交镜下特征;(h)一深部探测 ZK01 验证孔 1507m 处正长岩硅化蚀变;(i)一深部探测 ZK01 验证孔 1527m 处正长岩发育 电气石脉;Kf一钾长石;Pl一斜长石;Q一石英;Bi一黑云母

(a)—Vein iron mineralization in the syenite of Hejiadaling deposite with magnetite-gypsum-diopside mineral association; (b)—vein copper mineralization in syenite of ZK01 1200m depth; (c)—copper mineralization in syenite of ZK01 1700 m depth; (d)—syenite of ZK01 1710m depth; (e)—characteristics of syenite under microscope; (f)—monzonite of ZK01 2010m depth; (g)—characteristics of monzonite under microscope; (h)—silicification in syenite of ZK01 1507 m depth; (i)—tourmaline vein of ZK01 1527m depth; Kf—K-feldspar; Pl— plagioclase; Q—quartz; Bi—biotite

铁矿化(图 2a)。根据矿种及矿化类型可划分为两 类:① 以脉状充填成矿作用为主的铁铜矿化;② 以 微细粒浸染状成矿作用为主的铀矿化。

### 3.1 以脉状充填成矿作用为主的铁铜矿化

与碱性正长岩有关的铁矿化主要发育在庐枞盆 地玢岩型铁硫矿深部正长岩岩基顶部,赋矿正长岩 顶部发育构造破碎,裂隙中充填铁矿化脉体,矿脉具 有典型的磁铁矿一透辉石一硬石膏(磷灰石)玢岩铁 矿矿化组合。含矿脉体与围岩接触界面截然,围岩 无明显的蚀变(图 2a),显示出热液充填成矿的特点 (汪祥云等,1991;柏绍民等<sup>9</sup>)。这类正长岩一般与 赋矿闪长玢岩的成岩时代较为接近,其中发育的脉 状磁铁矿化可能是玢岩型铁矿成矿末期的产物,正 长岩侵位于赋矿闪长玢岩体底部,提供热源,使得早 期玢岩体中的矿质再活化,在流体的驱动下于正长 岩顶部的构造裂隙中充填成矿。

2014 年

与碱性正长岩有关的铜矿化与铁矿化较为类 似,矿化均表现出热液充填成矿的特征,黄铜矿多与 方解石、石英形成不规则细脉充填于正长岩中的构造裂隙中,赋矿围岩正长岩基本无蚀变(图 2b、c)。

## 3.2 以微细粒浸染状成矿作用为主的铀矿化

深部探测项目在庐枞盆地中部石门庵西南 900 m 处施工 ZK01 孔,孔深 2012.35 m。钻孔 2~ 1469.81 m 主要为砖桥组火山岩;1488.84~ 1603.35 m 为火山岩地层与下伏岩体的接触带; 1603.35~2012.35 m 为岩体,自上而下依次为(石 英)正长岩、石英二长岩、黑云母石英二长岩,相互之 间为渐变过渡关系。本孔自 1490 m 以下出现明显 的放射性异常,铀矿化明显。

## 3.2.1 正长一二长岩地质特征

ZK01 孔深部正长岩体与上覆砖桥组火山岩呈 侵入接触关系,部分正长岩呈岩枝、岩脉穿插到砖桥 组地层中,说明正长岩的形成时代晚于砖桥组地层 的形成时间 134.1±1.6 Ma(周涛发等,2008)。正 长岩与下伏的二长岩之间没有明显的侵入接触界 线,两者为渐变的过渡关系。

正长岩新鲜面多呈肉红色,中粗粒全晶质结构, 块状构造。矿物成分以钾长石为主(±70%),斜长 石次之(20%~25%),石英含量在5%~10%之间, 局部石英含量增高,可定名为石英正长岩(图 2d、 e)。黑云母二长岩新鲜面呈灰白色,中粗粒全晶质 结构,块状构造,矿物成分包括钾长石(±40%)、斜长 石(±40%)、黑云母(10%~15%)及少量的石英 (±5%),副矿物以自形一半自形辉石为主(图 2f、g)。

正长岩、二长岩均发育电气石化、硅化蚀变,局 部有绿泥石化及绢云母化蚀变,铀矿化较强部位,岩 石蚀变程度一般较强。底部黑云母二长岩蚀变较 弱,仅局部裂隙中发育电气石化及硅化。岩石中可 见少量他形细粒黄铁矿不均匀分布,此外局部岩石 中可见斑点状黄铜矿零星分布。

本次研究及深部探测 Sinoprobe-03-06 项目组 对刘屯 ZK01 孔中正长岩、二长岩的形成时代进行 了锆石 U-Pb 定年工作。正长岩获得了两个年龄结 果,分别为 132±1.0Ma<sup>®</sup>、130.95±0.56Ma(贾丽 琼等,2014);二长岩锆石 U-Pb 测年结果为 130.88 ±0.41Ma(贾丽琼等,2014)。反映了孔中正长一二 长质岩体的形成年龄约为 130~132 Ma,与盆地中 地表出露的正长一二长岩形成时代一致。

## 3.2.2 地球化学特征

庐枞地区部分正长岩具有 A 型花岗岩的地球 化学特征,属于受沿江断裂带控制的江北 A 型花岗 岩带。ZK01 孔中正长岩锆石 U-Pb 年龄为 129~ 132Ma,并不能从时间上判别其构造及岩石性质归属。本次工作选取了ZK01孔深部正长岩、二长岩, 马口铁矿的赋矿围岩凤凰山正长岩,进行了主量、微 量元素分析测试工作,结合黄梅尖岩体的地化数据 (范裕等,2008),对岩石系列进行探讨。全岩主量元 素分析方法为XRF,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与FeO含量由湿化学法分 析,微量元素分析方法为ICP-MS,主量元素及刘屯 ZK01孔中岩石微量元素含量测定由核工业地质研究 所测试中心完成,凤凰山岩体微量元素由中国地质大 学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

从表1可以看出,从二长岩类向碱性正长岩及 A花岗岩演化,Si<sub>2</sub>O的含量逐渐上升,全碱(Na<sub>2</sub>O +K<sub>2</sub>O)含量也有上升的趋势,但CaO的含量却逐 渐降低,显示出岩浆具有向富硅富碱方向演化的趋 势。分异指数(DI)的逐渐升高、固结指数(SI)的逐 渐降低,说明A型花岗岩是岩浆演化后期的产物, 具有较高的分异度。从A/NK-A/CNK 图解中(图 3),可见正长岩类主要表现出过铝质的特征。





在主量元素特征上,A型花岗岩与其他类型岩 浆岩有着显著的区别,具有亏损Ca、Mg,高Fe/Mg、 KN/A比值的特征(Whelan, 1987; Eby, 1990, 1992),Whalen(1987)提出以NK/A=0.85和ALK =8.5%作为判别A型花岗岩的下限条件。黄梅尖 正长岩与凤凰山正长岩主量元素的特征均与上述标 准一致。岩石的微量元素特征是判别A型花岗岩 的重要手段,由图4可见,凤凰山与黄梅尖岩体均投 点于A型花岗岩的区域,而刘屯ZK01孔深部的正





长岩落入 I&S 型花岗岩区域。

## 3.2.3 铀矿化特征

刘屯 ZK01 孔施工过程中,中国地质科学院地 球物理地球化学勘查技术研究所对钻孔进行了井中 物探测量工作,自然伽马测井结果显示钻孔深部 1400 m 以下至 1800 m 的正长岩中,具有较高的放 射性异常表现<sup>9</sup>。

本次工作对全孔段岩芯进行了系统的光谱样采 集工作,样品采集标准为间隔 10 m 连续取样,保证 了样品具有代表性,光谱样分析工作由安徽省地质 实验研究所完成。分析结果显示,整孔 U 元素平均 含量为 9.6×10<sup>-6</sup>,自 1490 m 之后至 1800 m 明显 较高,最高值可达 62.1×10<sup>-6</sup>(1571~1579 m)(图 5)。赋矿岩石以正长岩为主,铀矿化段岩石无明显 破碎,蚀变以电气石化、少量硅化为主(图 2h、i)。

利用电子探针技术,对 U-Th 的赋存状态及富 集成因进行了初步的研究<sup>®</sup>,分析结果表明 U-Th 主要以独立矿物及类质同象两种形式产出。Th 的 独立矿物主要为钍石、铀钍矿,类质同象赋存于铀钛 矿、锆石、金红石、磷灰石、榍石、长石;U 的独立矿



图 5 刘屯 ZK01 孔 U 元素含量与深度直方图 Fig. 5 The uranium contents of Liutun ZK01 drilling

Ę	52	5

岩体名称	刘屯 ZK01			凤凰山岩体		黄梅尖岩体	
样品号	C-ZK01-04	C-ZK01-05	C-ZK01-03	C-ZK01-06	FHS-05	FHS-06	HMJ-01
岩性	二长岩	二长岩	正长岩	正长岩	正长岩	正长岩	正长岩
岩石系列		二长	岩类	•	碱性正长岩		A 型花岗岩
$SiO_2$	56.48	55.30	65.61	60.68	62.11	62.23	65.81
${ m TiO_2}$	0.80	0.93	0.85	0.58	0.63	0.38	0.48
$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	18.86	17.24	18.47	18.32	17.89	18.22	15.65
MnO	0.08	0.16	0.02	0.13	0.07	0.06	0.22
MgO	1.60	2.70	0.49	1.03	0.27	0.82	0.52
CaO	3.26	5.51	1.09	2.48	0.26	1.17	0.87
$Na_2O$	5.29	4.76	8.60	5.46	2.81	5.46	5.36
$K_2O$	4.93	4.48	1.86	5.51	10.27	6.96	6.27
$P_2O_5$	0.40	0.52	0.12	0.19	0.09	0.01	0.20
FeO	2.13	2.78	0.33	1.10	0.16	0.92	1.02
$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	3.42	4.41	0.80	1.76	3.48	0.60	2.70
Loss	2.45	0.88	1.67	2.58	1.86	2.90	_
total	99.70	99.67	99.91	99.81	99.90	99.73	99.10
DI	75.46	66.27	91.13	82.72	92.10	90.25	92.00
SI	9.25	14.20	4.03	6.95	1.60	5.56	3.29
A/NK	1.34	1.36	1.14	1.22	1.13	1.10	1.00
A/CNK	1.11	0.97	1.08	1.06	1.12	1.04	0.95
Y	23.90	26.00	5.35	16.50	28.92	36.95	33.10
Zr	146.00	146.00	183.00	133.00	525.43	909.54	691.80
$K_2O + Na_2O/CaO$	3.13	1.68	9.60	4.42	50.89	10.62	13.37
NK/A	0.75	0.74	0.88	0.75	0.88	0.91	1.00
ALK	10.22	9.24	10.46	10.22	13.08	12.42	11.63

表 1 庐枞盆地中代表性岩体主量(%)和微量元素(imes10 $^{-6}$ )数据

Table 1 The major (%) and trace elements contents ( $\times 10^{-6}$ ) of the typical intrusions in Luzong basin

注:DI-分异指数;SI-固结指数;A/NK=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)<sub>原子量比值</sub>;A/CNK=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O+CaO)<sub>原子量比值</sub>。

物主要为铀钍矿、铀钛矿、晶质铀矿,类质同象赋存 于锆石、金红石、钛铁矿、榍石、钾长石。铀矿化的形 成可能经历了早期的岩浆分异富集及后期岩浆热液 交代进一步富集两个阶段,电气石脉体的出现证实 了岩浆期后强烈的热液活动,正长岩中大量 U-Th 矿物产出于后期脉体中或与钠化、电气石化、硫酸盐 化的蚀变伴生的特征,也反映了热液活动对铀矿化 的贡献。

# 4 与 A 型花岗岩有关的铁-铀矿化

在庐枞地区乃至整个长江中下游成矿带,与A 型花岗岩有关的矿化,一直以来鲜有报道。陈一峰 等(1994,1996)对庐枞盆地东南缘黄梅尖及城山正 长岩体内外带产出的铀矿化成矿背景、矿化规律进 行了详细的总结。郑永飞等(1995,1997)对与铀矿 化有关的安庆地区大龙山正长岩体及黄梅尖正长岩 体的热冷却史进行了研究,并探讨了其与铀矿化的 成因联系。稽福元等(1992)<sup>•</sup>对安徽省沿江及江南 地区中酸性侵入岩,包括庐枞地区的A型花岗岩, 风化壳中离子吸附型稀土资源进行了综合研究。周 涛发等(2012)对赋存于正长岩体中的马口铁矿进行 了矿床地质特征、成矿流体及成矿年代学的研究工 作。本次工作将以前人的工作为基础,在补充部分 分析测试研究之后,着重探讨与黄梅尖、凤凰山岩体 有关的铁一铀矿化。

#### 4.1 与 A 型花岗岩有关的铁矿化

马口铁矿是庐枞盆地南部凤凰山正长岩体中发现的一种新类型矿床(周涛发等,2012)。矿床总体 上为一出露地表的呈北西向展布的脉状磁铁矿床, 北西向的构造破碎带严格控制了矿体的产出状态。 矿体以网脉状、脉状为主,矿石类型主要包括石英磁 铁矿(黄铁矿)矿石(图 6b)和磁铁矿矿石(图 6a)。

磁铁矿矿石中主要的金属矿物为磁铁矿,主要脉 石矿物为磷灰石、石英,少量云母及阳起石(图 6d),磁



#### 图 6 马口铁矿矿石特征

#### Fig. 6 The photographs of the ores of Makou iron deposit

(a) 一磁铁矿矿石特征,可见磁铁矿-磷灰石-阳起石组成脉体充填于正长岩裂隙中,与裂隙接触界面截然;(b) 一团块状石英磁铁矿(黄铁 矿)矿石;(c) 一矿石反射光镜下特征,可见磁铁矿黄铁矿脉体充填于钾长石裂隙中,钾长石中无金属硫化物;(d) 一正交镜下典型的磁铁 矿-磷灰石-阳起石三矿物组合; Kf 一钾长石; Pl 一斜长石; Mgt 一磁铁矿; Act 一阳起石; Ap 一磷灰石

(a)—Magnetite ore, magnetite-apatite-actinolite vein filling in the fractures of syenite; (b)—massive quartze-magnetite-pyrite ore; (c)—ore characteristics under microscope, magnetite-pyrite vein filling in the fractures of K-feldspar; (c)—the typical mineral association of magnetite-apatite-actinolite; Kf—K-feldspar; Pl—plagioclase; Mgt—magnetite; Act—actinolite; Ap—apatite

铁矿、磷灰石及阳起石的三矿物组合与宁芜盆地中典 型玢岩铁矿矿石矿物组合一致。石英-磁铁矿(黄铁 矿)矿石中主要的金属矿物为黄铁矿、磁铁矿,少量的 黄铜矿,脉石矿物以石英为主(图 6c)。石英-磁铁矿 (黄铁矿)矿石有交切磁铁矿矿石的现象,推断磁铁矿 矿石的形成早于石英-磁铁矿(黄铁矿)矿石。脉状矿 石与围岩的接触界面截然,蚀变晕较窄。

从矿床的野外地质特征及室内镜下显微特征分析,马口铁矿矿化以充填成矿作用为主,含矿热液沿 石英正长岩中的构造裂隙运移、沉淀,进而形成网脉 状矿体。马口铁矿的成矿期次可划分为热液期及表 生期两个期次。热液期可进一步划分为钾化阶段、 磁铁矿阶段、石英硫化物阶段、碳酸岩阶段。

本次工作对马口铁矿主成矿期磁铁矿阶段及石 英硫化物阶段的石英进行了包裹体研究工作。镜下 观察表明,马口铁矿磁铁矿阶段与石英硫化物阶段 的石英中的包裹体以气液两相为主,包裹体形态一 般为椭圆形、长条形、正方形和其他极其不规则的多 边形状,大小多集中在4μm×5μm。包裹体测温工 作在中国地质大学(北京)地球化学实验室完成,实 验流程为均一法测定均一温度和冷冻法测定冰点温 度。测试结果显示,马口主成矿期磁铁矿阶段成矿 温度主要集中在310~400℃之间,石英硫化物阶段 成矿温度主要集中在220~280℃之间,表现出流体 由高温向低温演化的趋势。

挑选了马口铁矿主成矿期石英样品,进行了 H-O 同位素测定工作,实验由核工业北京地质研究所 测试中心的 MAT 253 仪器完成。马口铁矿成矿流 体  $\delta^{18}$  O<sub>water</sub> 值在 0.00% 附近,而  $\delta$ D<sub>SMOW</sub> 值介于  $-80\% \sim -90\%$ 之间(表 2),将数据投点于  $\delta^{18}$  O<sub>\*</sub>-

527

δD<sub>\*</sub>图解中(图 7),均处于岩浆水与雨水之间的区域,表现出流体来源的多样性,早期可能以岩浆气液

为主,后期由于大气降水的加入,而使得流体的氢氧 同位素组成发生一定的偏移。

戉

Table 2 Hydrogen and oxygen isotope data of the Makou deposit

样号	采样位置	测定矿物	成矿阶段	δD <sub>1</sub> (‰)	$\delta^{18}O_{\Xi\overline{a}}(\%)$	$\delta^{18}\mathrm{O}_{\bigstar}(\%)$
MK-11	I 号矿体脉状矿石	石英	磁铁矿化阶段	-77.3	8.1	2.80
MK-12	Ⅰ号矿体脉状矿石	石英	磁铁矿化阶段	-76.4	8.6	3.30
MK-13	Ⅰ号矿体脉状矿石	石英	磁铁矿化阶段	-76.4	7.2	1.90

注: \data 18 O k 根据石英一水分馏方程 1000 Ina 石英一水=3.38×10<sup>6</sup> / T<sup>2</sup>-3.4 计算获得, T 采用 350 C。

表 3 马口铁矿硫同位素组成 Table 3 Sulfate isotope data of the Makou deposit

样号	采样位置	测定矿物	成矿阶段	$\delta^{34} S_{CDT}(\%)$
MK-01	Ⅰ号矿体脉状矿石	黄铁矿	磁铁矿化阶段	-0.14
MK-05	Ⅰ号矿体脉状矿石	黄铁矿	磁铁矿化阶段	-1.03
MK-08	Ⅰ号矿体脉状矿石	黄铁矿	磁铁矿化阶段	-0.83
MK-12	Ⅰ号矿体脉状矿石	黄铁矿	磁铁矿化阶段	-1.00





为进一步明确成矿物质的来源,项目组对马口 铁矿主成矿期黄铁矿的硫同位素进行了分析,测试 工作由中国科学院贵阳地球化学研究所 EA-IRMS 仪器分析完成。马口铁矿中硫同位素 δ<sup>34</sup> S 值集中 在-2‰~0‰之间(表 3),表现出岩浆来源的特征, 说明成矿物质可能来自于岩浆活动。

综合上述测试结果,判断马口铁矿的形成与岩 浆热液活动有直接的联系,岩浆活动对成矿物质与 成矿热液均有贡献。野外地质特征表明,马口铁矿 矿化受到构造控制,矿体与赋矿围岩接触界面截然, 推测赋矿岩体只为铁矿提供了赋矿空间,而与矿化 无成因联系,前人对马口铁矿成矿时代(127.3±0.8Ma)(周涛发等,2012)与凤凰山岩体的成岩时代(128.4±0.9Ma(周涛发等,2010),130±0.9Ma<sup>•</sup>)的测定结果也支持这一观点。将马口铁矿的成因与其东侧的黄梅尖岩体(成岩时代约为127Ma)的活动相联系,认为其代表了与A型花岗岩活动有关的Fe 矿化(周涛发等,2012)。

#### 4.2 与 A 型花岗岩有关的铀矿化

庐枞地区与A型花岗岩有关的铀矿化,主要集中分布在庐枞火山岩盆地的东南缘,沿着黄梅尖正 长岩体与枞阳正长岩体的内外带产出,庐枞盆地西 南缘安庆地区的大龙山石英正长岩体中也发育有铀 矿床。庐枞盆地中的铀矿化主要赋存于岩体外接触 带的砂岩中,时空及成因上均与正长岩体有着密切 的关系,划定为碱性岩(正长岩)外带型铀矿(陈一 峰,1994;陈一峰等,1996)。

在空间关系上,区域铀矿床、矿(化)点绝大多数 紧密依赖于正长岩体产出,并表现出岩体内部形成 铀异常、岩体外接触带形成工业矿体的特征。中侏 罗世罗岭组砂岩是含矿的主岩,砂岩较大的孔隙度 和裂隙度为含矿热液的运移与沉淀提供了空间。罗 岭组砂岩沿岩体周边分布时才有铀矿化产出,远离 岩体则无矿化,0~150 m接触带中的砂岩残留体是 富矿体的主要分布位置。

成矿时间上,黄梅尖岩体与砂岩接触带上一铀 矿中沥青铀矿 U-Pb 年龄为 114±2Ma(郑永飞等, 1995),庐枞盆地南西缘大龙山正长岩体与围岩接触 上一铀矿沥青铀矿 U-Pb 年龄为 110±6Ma(郑永飞 等,1997),与赋矿岩体缓慢冷却时限一致,可能与岩 浆期后热液活动有关。

成因上,正长岩体为铀矿的形成提供了成矿物 质、成矿热液及成矿空间。通过对岩体、砂岩及铀矿 Sr 同位素的研究(陈一峰,1994),显示岩体的侵入 使得罗岭组砂岩 Sr 同位素比值发生变化,沥青铀 矿、岩体及砂岩<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 趋于一致,反映了岩体与 铀矿化有密切物质联系,区域正长岩较高的铀背景 为后期热液活化迁移,富集成矿提供了铀源。朱杰 辰等(1992)、沈渭洲等(1988)对铀矿进行了包裹体 测温及脉石矿物氧同位素研究工作,结果显示成矿 热液为岩浆期后热液,与正长质岩浆活动及侵位后 冷却过程有成因联系。岩体的侵入活动使得接触带 上砂岩的孔隙度、裂隙度增加,为含矿热液的运移、 萃取成矿物质、矿质沉淀提供了良好的条件。

## 5 讨论

庐枞地区目前已发现的与正长岩有关的 Fe-Cu-U矿化可以化为分两个亚类:① 与盆地内部碱 性正长岩有关的 Fe-Cu-U 矿化;② 与盆地外缘 A 型花岗岩有关的 Fe-U 矿化。这类与正长岩有关的 矿化具有其自身鲜明的特征,是长江中下游成矿带 中一个新的矿化类型。这类矿床赋矿的碱性岩体、 Fe-Cu-U矿化组合,与目前国际上的 IOCG 型矿床 较为一致;部分矿床(马口铁矿、34 铀矿)的矿床地 质特征也与瑞典 Kiruna 地区(Hitzman, 1992)、智 利和秘鲁西海岸地区(Sillitoe, 2003)的 IOCG 型矿 床相类似;矿床形成于早白垩世板内伸展构造背景 之下,也符合 IOCG 矿床的成矿环境判别标准。从 构造背景、矿床地质特征上,庐枞地区这类与正长岩 有关的 Fe-Cu-U 矿床可与 IOCG 型矿床相类比(毛 景文等, 2008, 2012)。

目前还没有关于与盆地内部碱性正长岩有关的 Fe-Cu-U矿化年代学研究的报道,但从矿化特征上 来看,这类矿化具有典型的后生成矿作用特征,成矿 作用应稍晚于赋矿围岩的成岩时代,因此判断矿化 时代应晚于130Ma。与A型花岗岩有关的Fe-U矿 化时代已有同位素测年成果报道,Fe 矿成矿时代约 为127Ma(周涛发等,2012),U 矿化集中在114~ 110Ma(郑永飞等,1995,1997)。从成矿时代上,与 碱性正长岩有关的 Fe-Cu-U 矿化成矿时代可能早 于与 A 型花岗岩有关的 Fe-U 矿化。

近年来,利用测定金云母 Ar-Ar 及石英包裹体 中 Ar-Ar 含量,获得了一批庐枞地区成矿年龄数据 (张乐骏等,2010;张乐骏,2011;Zhou et al.,2011)。 综合前人工作成果,得出庐枞地区成矿作用发生时 限为:① 龙门院旋回与火山气热液作用有关的 Pb、 Zn、Ag 矿化形成时限应与龙门院旋回成岩时代一 致,约为134Ma;② 与砖桥旋回潜火山热液活动有 关的脉状铜矿床成矿时代为133Ma;③ 与砖桥旋回 末期潜火山岩活动有关的玢岩型铁硫矿成矿时代约 为131Ma。本次研究工作提出的与正长岩有关的 Fe-Cu-U矿化时代约为130~110Ma(郑永飞等, 1995,1997;周涛发等,2012),可能代表了区域上最 后一期的成矿作用。

中生代,长江中下游地区在构造体制由挤压向 引张转化的过渡环境中,形成了一系列与构造一岩 浆活动有关的矿床,早期(145~136Ma)构造机制以 走滑挤压作用为主,形成断隆区与高钾钙碱性岩系 有关的铜金矿化;中晚期(135~127Ma)逐步由挤压 向走滑引张过渡,形成了断凹区与橄榄安粗岩系有 关的铁硫矿化(毛建仁等,1990;唐永成等,1998;周 涛发等,2008;常印佛等,2012)。本次工作提出的与 正长岩有关的 Fe-Cu-U 矿化可能处于区域引张作 用的峰期(宋传中等,2010;常印佛等,2012)。

根据前人对庐枞地区不同类型岩体形成构造背 景的研究及相关的矿化系列,判断不同类型的矿床 空间分布也具有一定的规律:与火山-潜火山气热液 活动有关的脉状铜铅锌矿床主要呈北东向带状分布 于庐枞盆地中部,可能受到黄屯-枞阳基底断裂的控 制;与闪长玢岩体有关的铁硫矿呈北东向带状分布 于庐枞盆地北西缘,可能受到罗河-缺口断裂控制; 与盆地内部碱性正长岩有关的 Fe-U-Cu 矿化分布 规律还不是很清楚,但与 A 型花岗岩有关的 Fe-U 矿化分布于庐枞盆地南东缘,受到沿江断裂带的 控制。

基于前人对庐枞地区成矿作用的研究,结合本 次工作,初步建立一个庐枞地区与正长岩有关的 Fe-Cu-U矿的成矿模型(图 8)。

# 6 结论

(1)深部探测刘屯 ZK01 孔中新发现的正长岩 成岩时代约为 130~132Ma,具有富碱、过铝质的地 球化学特征,形成于盆地内部引张的构造背景下。 与其相关的铀矿化可能与岩浆分异所产生的热液富 集作用有关。

(2)凤凰山岩体具有富硅、铝过饱和、富碱质的 特征,通过相关图解判断其属于 A 型花岗岩,形成 于区域拉张的构造背景。岩体中赋存的马口铁矿主 成矿期温度约为 310~400℃,属于中高温矿床; H-O同位素及 S 同位素特征显示,岩浆活动为矿化 提供了热液及矿质,马口铁矿的形成可能与 A 型花 岗质岩浆活动有关。

(3) 庐枞地区与正长岩有关的 Fe-Cu-U 矿化主要发育在岩体内部及其与围岩的接触带上, 矿床的



图 8 庐枞地区中生代与正长岩有关的 Fe-Cu-U 矿床成矿模式图

Fig. 8 The metallogenic model of the iron oxide-copper-uranium(gold) deposits related with Mesozoic syenite in Luzong basin 1—早白垩世浮山旋回;2—早白垩世双庙旋回;3—早白垩世砖桥旋回;4—早白垩世龙门院旋回;5—K-Q沉积地层;6—J-T 砂岩地层;7—周冲村组灰岩地层;8—闪长质侵人岩;9—粗安斑岩;10—正长质侵人岩;11—A 型花岗岩;12—隐爆角砾岩筒;13—磁铁矿矿体;14—脉状铜矿体;15—铀矿化;16—断层;①—盆地内部正长岩中发育的脉状铁矿化;②—盆地内部受断裂控制的脉状铜矿;③—盆地内部与正长岩有关的铀矿化;④—发育在盆地外缘 A 型花岗岩中的受到断裂带控制的脉状铁矿化;⑤—发育在盆地外缘 A 型花岗岩及与其接触的砂岩中的铀矿化;⑥—玢岩型铁矿化,盆地中的玢岩型铁矿化主要发育在闪长玢岩体与火山岩地层及基底地层的接触带部位,闪长玢岩穹窿是主要的控矿构造, 矿化以含矿火山-潜火山高温气热液交代充填为主,矿石具有典型的透辉石-硬石膏-磁铁矿矿物组合,详细论述参见宁芜玢岩铁矿编写小组(1978),任启江等(1991),范裕等(2012)

1—Early Cretaceous Fushan Formation; 2—Early Cretaceous Shuangmiao Formation; 3—Early Cretaceous Zhuanqiao Formation; 4—Early Cretaceous Longmenyuan Formation; 5—sediments of Middle Cretaceous to Quaternary; 6—sandstone of Jurassic to Triassic; 7—limestone of Zhouchongcun Formation; 8—diorite; 9—trachytic andesitic porphyry; 10—syenite; 11—A-type granite; 12—hidden explosive breccias; 13—magnetite ore body; 14—copper vein ore body; 15—uranium mineralization; 16—faults; ①—vein iron mineralization in the syenite of Luzong basin; ②—vein copper deposits controlled by faults in the basin; ③—uranium mineralization related with syenite in the basin; ④—vein iron mineralization occurred in the contact zone between A-type granite and sandstone; ⑥—porphyry iron deposits, detailed description after Ningwu Project Group (1978), Ren et al. (1991), Fan et al. (2012)

形成与岩浆活动有直接的成因联系。按照正长岩的 成岩背景、地球化学性质及相关的矿化类型,可以化 为分两个亚类,与盆地内部碱性正长岩有关的 Fe-Cu-U矿化;与盆地外缘 A 型花岗岩有关的 Fe-U。 矿化时限约为 130~110Ma,形成于中生代区域挤 压向引张过渡末期强烈的伸展构造背景下,矿化特 征可与 IOCG 型矿床类比。

**致谢:**成文过程中得到合肥工业大学周涛发教 授的悉心指导与帮助,匿名审稿人对本文提出了宝 贵的修改意见,在此深表感谢!

#### 注 释

- ●安徽庐枞地区构造、岩浆演化与成矿作用关系 2012 年度成果报告. 安徽省地质调查院内部资料.
- 2柏绍民,等. 2001. 安徽省庐江县杨山铁矿补勘报告. 安徽省地质 资料馆馆藏资料.
- ❸SinoProbe-03-06项目组. 2013. 重要异常的钻探验证及金属垂向 分布规律研究. 汇报材料.
- ●稽福元,等. 1992. 安徽省离子吸附型稀土资源远景调查研究报

告. 安徽省地质资料馆馆藏资料.

#### 参考文献

- 曹毅,杜杨松,蔡春麟,等.2008.安徽庐枞地区 A 型花岗岩类及其 岩石包体:在碰撞后岩浆演化过程中的意义.高校地质学报,14 (4):565~576.
- 常印佛,刘湘培,吴言昌,等. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社:1~359.
- 常印佛,周涛发,袁峰. 2012. 复合成矿与构造转换——以长江中下 游成矿带为例. 岩石学报,28(10):3067~3075.
- 陈一峰. 1994. 庐枞地区铀成矿规律探讨. 铀矿地质,10(4):193 ~203.
- 陈一峰,马昌明,樊焕新. 1996. 庐枞地区铀成矿的区域地质背景研 究. 铀矿地质,12(2):75~82.
- 储国正,黄许陈,张成火,等. 1990. 安徽铜陵地区成矿控制因素的 探讨. 安徽地质,5(1):47~58.
- 范裕,周涛发,袁峰,等. 2008. 安徽庐江一枞阳地区 A 性花岗岩的 LA-ICP-MS 定年及其地质意义. 岩石学报,24(8):1715 ~1724.
- 范裕,周涛发,郝麟,等. 2012. 安徽庐枞盆地泥河铁矿矿床成矿流 体特征及其对矿床成因的指示. 岩石学报,28(10):3113

 $\sim$  3124.

- 贾丽琼,徐文艺,吕庆田,等. 2014. 庐枞盆地砖桥地区科学深钻火 成岩 LA-MC-ICP MS 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学特征. 岩石学报,待刊.
- 李洪英,张荣华,胡书敏. 2009. 庐枞盆地正长岩类地球化学特征及 成因探讨. 吉林大学学报(地球科学版),39(5):839~848.
- 吕庆田,史大年,汤井田,等. 2011. 长江中下游成矿带及典型矿集 区深部结构探测——SinoProbe-03 年度进展综述. 地球学报, 32(3):257~268.
- 毛建仁,苏郁香,陈三元,等. 1990. 长江中下游中酸性侵入岩与成 矿.北京:地质出版社,1~191.
- 毛景文, Holly S, 杜安道, 等. 2004. 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. 地质学报, 78(1):121 ~131.
- 毛景文,余金杰,袁顺达,等. 2008. 铁氧化物-铜-金(IOCG)型矿床: 基本特征、研究现状与找矿勘查. 矿床地质,27(3):267~278.
- 毛景文,邵拥军,谢桂青,等. 2009. 长江中下游成矿带铜陵矿集区 铜多金属矿床模型. 矿床地质,28(2):109~119.
- 毛景文,段超,刘佳林,等. 2012. 陆相火山-侵入岩有关的铁多金属 矿成矿作用及矿床模型——以长江中下游为例. 岩石学报,28 (1):1~14.
- 倪若水,吴其切,岳文浙,等. 1998. 长江中下游中生代陆相盆地演 化与成矿作用.上海:上海科学技术文献出版社,1~118.
- 宁芜玢岩铁矿编写组. 1978. 宁芜玢岩铁矿. 北京:地质出版社,1 ~320.
- 任启江,刘孝善,徐兆文,等. 1991. 安徽庐枞中生代火山构造洼地 及其成矿作用. 北京:地质出版社,1~145.
- 沈渭洲,张祖还,章邦桐. 1988. 华南某些花岗岩型铀矿床的同位素 地质研究. 地质学报,62(1):51~62.
- 宋传中,Lin S F,周涛发,等. 2010. 长江中下游及其邻区中生代构 造体制转换. 岩石学报,26(9):2835~2849.
- 覃永军,曾键年,曾勇,等. 2010. 安徽南部庐枞盆地罗河一泥河铁 矿田含矿辉石粗安玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质 意义. 地质通报,29(6):851~862.
- 唐永成,吴言昌,储国正,等. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床 地质. 北京:地质出版社,1~359.
- 汪祥云,等. 1991. 安徽省庐江县龙桥铁矿勘探地质报告. 安徽省地 质资料馆馆藏资料.
- 吴淦国,张达,狄永军,等. 2008. 铜陵矿集区侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其深部动力学背景. 中国科学(D辑),38(5):630 ~645.
- 向文帅,杜杨松,曹毅. 2009. 庐枞地区 A 型花岗岩与橄榄安粗岩系 研究. 矿物岩石,29(3):36~42.
- 薛怀民,董树文,马芳,等. 2010. 长江中下游地区庐(江)一枞(阳) 和宁(南京) - 芜(湖)盆地内与成矿有关的潜火山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报,26(9):2653~2664.
- 于学元,白正华. 1981. 庐枞地区安粗岩系. 地球化学,5(1):57 ~65.
- 袁峰,周涛发,范裕. 2008. 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及 形成背景. 岩石学报,24(8):1691~1702.

- 曾键年,覃永军,郭坤一,等. 2010. 安徽庐枞盆地含矿岩浆岩锆石 U-Pb年龄及其对成矿时限的制约. 地质学报,84(4):466 ~478.
- 翟裕生,姚书振,林新多,等. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿 规律.北京:地质出版社,12~35.
- 张乐骏,周涛发,范裕,等. 2010. 安徽庐枞盆地井边铜矿的成矿时 代及其找矿指示意义. 岩石学报,26(9):2729~2738.
- 张乐骏. 2011. 安徽庐枞盆地成岩成矿作用研究. 合肥工业大学博 士学位论文,1~239.
- 赵文广,吴明安,张宜勇,等. 2011. 安徽省庐江县泥河铁硫矿床地 质特征及成因初步分析. 地质学报,85(5):789~802.
- 郑永飞,傅斌,龚冰,等. 1995. 安徽黄梅尖岩体热力是及其与成矿 关系:同位素证据. 地质学报,69(4):337~348.
- 郑永飞,魏春生,王峥嵘,等. 1997. 大龙山岩体冷却史及其成矿关 系的同位素研究. 地质科学,32(4):645~657.
- 周涛发,宋明义,范裕,等. 2007. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的年 代学研究及其意义. 岩石学报,23(10):2379~2386.
- 周涛发,范裕,袁峰. 2008a. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究 进展. 岩石学报,24(8):1665~1678.
- 周涛发,范裕,袁峰,等. 2008b. 安徽庐枞(庐江-枞阳)盆地火山岩 的年代学及其意义. 中国科学(D辑),38(11):1342~1353.
- 周涛发,范裕,袁峰,等. 2010. 庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对 成矿的制约. 岩石学报,26(9):2694~2714.
- 周涛发,王彪,范裕,等. 2012. 庐枞盆地与 A 型花岗岩有关的磁铁 矿-阳起石-磷灰石矿床——以马口铁矿床为例. 岩石学报,28 (10):3087~3098.
- 朱杰辰,郑懋公,营俊龙,等. 1992. 大龙、昆山铀矿稳定同位素地质 特征研究. 铀矿地质,8:338~347.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26: 115~134.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20: 641~644.
- Hitzman M W, Oreskes N, Einaudi M T. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron xide (Cu-U-Au-REE) deposits. Precambrian Research, 54 (1~4): 241 ~287.
- Maniar PD, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101: 645  $\sim$  643.
- Sillitoe. 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: An Andean view. Mineralium Depositia, 38: 787~812.
- Whalen J B. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology, 95: 407~419.
- Zhou T F, Wu M A, Fan Y, et al. 2011. Geological, geochemical characteristics and isotope systematics of the Longqiao iron deposit in the Lu-Zong volcano-sedimentary basin, Middle-Lower Yangtze (Changjiang) River Valley, Eastern China. Ore Geology Review, 43: 154~169.

## The Mineralization Related with the Syenite in Luzong Basin, Anhui Province

ZHANG Shu<sup>1,2)</sup>, WU Mingan<sup>1)</sup>, WANG Jing<sup>1)</sup>, LI Xiaodong<sup>1)</sup>, ZHAO Wenguang<sup>1)</sup>, WEI Guohui<sup>1)</sup>

1) Geological Survey of Anhui Province, Hefei, 230001;

2) School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, 230009

#### Abstract

Luzong basin located in the Middle-Lower Yangtze River metallogenic belt is a Mesozoic terrestrial volcanic basin. Tectonically, Luzong basin is located among the Yangtze Plate, North China Plate and Dabie Orogeny. The volcanic rocks and synchronous intrusions occur widely in the basin, including four groups of volcanic rocks, such as Longmengyuan Group, Zhuanqiao Group, Shuangmiao Group and Fushan Group. The mineralization in the basin is of various series, including the lead-zinc deposits related with Longmengyuan Group and the porphyrite-type iron deposits related with Zhuanqiao Group. Recently, the researches begin to focus on the iron oxide-copper-uranium mineralization with syenite. Based on the study of Makou iron deposit, the uranium mineralization in the ZK01 drilling and the uranium deposits around Huangmeijian intrusion, we systematically conclude the geological characteristics and the genesis of the iron oxide-copper-uranium mineralization with syenite in Luzong region. The iron dioxide-copperuranium mineralization occurred in the inner syenite intrusions and the contact zone, which has genetic relationship with the Cretaceous magmatism. According to the tectonic background and geochemical characteristics, the iron dioxide-copper-uranium mineralization in Luzong basin can be classified into two types, including iron dioxide-copper-uranium mineralization related with the alkaline syenite and iron dioxide-copper mineralization related with A-type granite. The iron dioxide-copper-uranium mineralization related with the alkaline syenite locates in the inner Luzong basin, whereas iron dioxide-copper mineralization related with A-type granite locates at the southeast boundary of Luzong basin. The age of iron dioxide-copper-uranium mineralization ranges from 130Ma to 110Ma when the region is in extensional setting. The mineralization similar with the IOCG type deposits probably represents the latest stage of mineralization in Luzong region and middle-lower reachers of Yangtze River metallogenic belt.

Key words: Luzong basin; syenite; iron oxide-copper-uranium mineralization; SinoProbe