庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约*

周涛发[1,2] 范裕[1] 袁峰[1] 宋传中[1] 张乐骏[1,3] 钱存超[4] 陆三明[4] David RC[3]

ZHOU TaoFa[1,2], FAN Yu[1], YUAN Feng[1], SONG ChuanZhong[1], ZHANG LeJun[1,3], QIAN CunChao[4], LU SanMing[4] and David RC[3]

1. 合肥工业大学资源与环境工程学院,合肥 230009
2. 中国科学院矿产资源研究重点实验室,北京 100029
3. Centre of Excellence in Ore Deposits (CODES), University of Tasmania, Private Bag 79, Hobart, Australia
4. 安徽省公益性地质项目管理中心,合肥 230001
1. *School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei* 230009, *China*
2. *Key Laboratory of Mineral Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029, *China*
3. *Centre of Excellence in Ore Deposit (CODES), University of Tasmania, Private Bag* 79, *Hobart, Australia*
4. *Public Geological Survey Management Center of Anhui Province, Hefei* 230001, *China*

2010-07-03 收稿, 2010-08-22 改回.

Zhou TF, Fan Y, Yuan F, Song CZ, Zhang LJ, Qian CC, Lu SM and David RC. 2010. Temporal-spatial framework of magmatic intrusions in Luzong volcanic basin in East China and their constrain to mineralizations. *Acta Petrologica Sinica*, 26(9):2694 – 2714

Abstract Luzong Mesozoic volcanic basin is located in the Lower Yangtze River fault-depression zone, where is the north margin of the Yangtze block. The volcanic and intrusive plutons occur widely in Luzong basin, including four formations of volcanic rocks, such as, Longmenyuan Formation, Zhuanqiao Formation, Shuangmiao Formation and Fushan Formation and 34 intrusive plutons. Based on detailed field geological work and our former geochronology research on five plutons such as Bajiatan pluton, Chengshan pluton, Huashan pluton, Huangmeijian pluton and Zongyang pluton, we further carried out systematic geology and geochronology study of intrusive plutons in the Luzong Basin. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for 15 plutons has been carried out, which yield the ages of Huangtun pluton (134.4 ± 2.2Ma), Yueshan pluton (132.7 ± 1.5Ma), Bamaoshan pluton (132.7 ± 1.9Ma), Jianshan pluton (132.0 ± 1.3Ma), Xiewani pluton (131.6 ± 1.1Ma), Longqiao pluton (131.1 ± 1.5Ma), Jiaochong pluton (129.6 ± 1.3Ma), Tudishan pluton (127.4 ± 2.8Ma), Fenghuangshan pluton (128.4 ± 0.9Ma), Luolin pluton (126.3 ± 2.0Ma), Longwangjian pluton (126.5 ± 1.5Ma), Xiaolin pluton (126.2 ± 1.8Ma), Dagangyao pluton (125.9 ± 1.3Ma), Batan pluton (125.1 ± 1.1Ma), Maowangmiao pluton (123.9 ± 1.9Ma), respectively. The epoch of plutons in the Luzong basin is 134 ~ 123Ma. According to the epoch and geological characteristics, the intrusive rocks in the Luzong basin can be divided into two stages. The early stage monzonite-diorite plutons outcrop in the north part of the Luzong basin with epoch of 134 ~ 130Ma, are controlled by NNE orient structures and volcano-structure and have close relationship with Longmenyuan and Zhuanqiao cycle volcanic activity. The late stage intrusive plutons have two types. One type is syenite and outcrops in the south part of the Luzong basin, whose epoch is 129 ~ 123Ma. Those syenite plutons are mainly controlled by NNE orient structures or volcano-structure and share close relationship with Shuangmiao and Fushan cycle volcanic activity. The other type is A-type granites and outcrops in the southeast margin of the basin, whose epoch is 126 ~ 123Ma. Those A-type granites are controlled by regional NNE deep faults and have no relationship with the basin volcano-structures. The iron, copper, gold, lead, zinc and uranium deposits in the study area related to magmatic activities can be classified into three metallogenic seiries. The monzonite-diorite plutons have close relationship with Luohe, Nihe and Longqiao iron deposits, Yueshan lead

* 本文受国家自然科学基金项目(40830426、40803015、40772131)、国家深部探测技术与实验研究专项第三项目(SinoProbe-03)、安徽省地质勘查专项费项目(2005-51、2007-1)、中国科学院矿产资源研究重点实验室开放课题、澳大利亚塔斯马尼亚大学国家优秀矿床研究中心科研基金(CODES2009P2-3)和新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10 – 0324)联合资助.

第一作者简介: 周涛发,男,1964 年生,教授、博士生导师,主要从事矿床学、地球化学和矿山环境等方面的教学和科研工作,E-mail: tfzhou@hfut.edu.cn

and zinc deposit and Jingbian and Bamaoshan copper deposits. The syenite plutons have close relationship with Makou and other iron deposits. The A-type granites have close relationship with No. 3440 and other gold uranium deposits. Regionally, there are three periods (145 ~ 136Ma, 135 ~ 127Ma, 126 ~ 123Ma) of magmatic and ore-forming activities in the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt. The intrusive plutons in the Ning-Wu basin were the products of the second and third period magmatic activity and obviously later than the first period high-K calc-alkaline intrusions related to skarn-porphyry Cu-Au mineralizations in the uplift areas in the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt. The intrusive plutons in Luzong volcanic basin were thought to be formed under regional lithospheric extension and thinning environment which has great significance for further research and exploration.

Key words Cretaceous Intrusive rocks; Ziron U-Pb geochronology; Framework of magmatic activity; Metallogenic seiries; Luzong basin; Middle-Lower Yangtze River Valley

摘 要 庐枞中生代火山盆地位于长江中下游断陷带内,地处扬子板块的北缘。庐枞盆地内火山岩和侵入岩分布广泛,包括龙门院、砖桥、双庙和浮山四组火山岩以及34个侵入岩体。本次工作在详细野外地质调查的基础上,结合作者已有的5个岩体(巴家滩岩体、城山岩体、花山岩体、黄梅尖岩体和枞阳岩体)年代学的研究工作,系统开展了盆地侵入岩体的年代学和时空分布特征研究。通过侵入岩锆石LA-ICP-MS U-Pb定年方法,本次研究确定庐枞盆地内15个主要侵入岩体的成岩时代分别为:黄屯岩体134.4±2.2Ma、岳山岩体132.7±1.5Ma、拔茅山岩体132.7±1.9Ma、尖山岩体132.0±1.3Ma、谢瓦泥岩体131.6±1.1Ma、龙桥岩体131.1±1.5Ma、焦冲岩体129.6±1.3Ma、土地山岩体127.4±2.8Ma、凤凰山岩体128.4±0.9Ma、罗岭岩体126.3±2.0Ma、龙王尖岩体126.5±1.5Ma、小岭岩体126.2±1.8Ma、大缸窑岩体125.9±1.3Ma、巴坛岩体125.1±1.1Ma、毛王庙岩体123.9±1.9Ma。从而得出庐枞盆地内侵入岩的成岩时代界于134~123Ma之间,属于早白垩世,并进一步将庐枞盆地内侵入岩划分成2期,其中早期侵入岩主要为二长岩和闪长岩类,主要分布在盆地北部,与龙门院旋回和砖桥旋回火山活动关系密切,岩体侵位受火山机构和北东向构造联合控制,成岩时代为134~130Ma;晚期侵入岩还可分为两类,第一类主要为正长岩类,分布在盆地南部,主要受盆地内火山机构和北北东向断裂控制,侵入活动与双庙旋回和浮山旋回火山岩浆活动相对应,成岩时代为129~123Ma;第二类主要为A型花岗岩,分布于盆地东南缘,成岩时代为126~123Ma,主要受区域北北东向大断裂控制,而与盆地火山机构无关。庐枞盆地内与岩浆岩有关的铁、铜、金、铅、锌、铀矿床可划分为3个成矿系列,其中砖桥旋回形成的二长岩类与罗河、泥河和龙桥等铁矿床、岳山铅锌矿床及井边和拔茅山铜矿床关系密切,双庙旋回形成的正长岩类与马口等铁矿床关系密切,而晚期的A型花岗岩与3440矿床等金、铀矿化关系密切。长江中下游地区燕山期存在145~136Ma、135~127 Ma、126~123 Ma等三期成岩(成矿)作用,庐枞盆地内侵入岩对应于该区域第二和第三期岩浆活动的产物,其形成时代明显晚于长江中下游成矿带断隆区内与斑岩型-矽卡岩型铜(铁)、金矿床有关的高钾钙碱性岩体(第一期)。庐枞盆地内侵入岩形成于区域岩石圈伸展的构造环境。

关键词 白垩纪侵入岩;成岩时代;时空格架;成矿系列;庐枞盆地;长江中下游

中图法分类号 P597.3

庐枞中生代火山盆地位于长江中下游断陷带内,地处扬子板块的北缘,郯庐断裂带的南段(图1),是长江中下游成矿带中最重要的中生代火山岩盆地和矿集区之一(常印佛等,1991;翟裕生等,1992;唐永成等,1998;周涛发等,2000,2008;毛景文等,2004;吕庆田等,2004;董树文等,2007)。盆地内火山岩分布广泛,出露面积约800km^2,有侵入岩体34个,单个岩体出露面积0.1~50km^{2}不等。庐枞盆地的地质研究工作始于20世纪60年代,随着盆地内一系列铁铜多金属矿床的发现和勘探,相关基础地质和成岩成矿作用研究也广泛开展(吴利仁,1984;任启江等,1991;孙冶东等,1994;刘洪等,2002;Wang *et al.*,2006;周涛发等,2007;Zhou *et al.*,2008;刘珺等,2007;袁峰等,2008;谢智等,2007;范裕等,2008)。庐枞盆地内火山岩的研究程度较高,火山岩时空格架已经建立(周涛发等,2008),火山岩的岩石学、地球化学特征及火山岩的源区、演化、深部过程等方面研究已取得重要进展(任启江等,1991;袁峰等,2008),但与之相比,盆地内侵入岩的相关研究工作则相对薄弱,前人曾对盆地内主要侵入岩进行了K-Ar、Rb-Sr等同位素测年,并结合岩体侵入关系初步确定了侵入岩的期次,但由于传统测试方法误差较大,岩体的形成时代和岩浆活动期次划分一直存在争议,只具有参考价值。近年来,周涛发等(2007)和范裕等(2008)通过锆石LA-ICP-MS定年确定了盆地内5个重要岩体如巴家滩岩体,城山岩体、花山岩体、黄梅尖岩体和枞阳岩体的成岩时代,并讨论了这些岩体的成岩机制,但迄今的工作仍无法完整揭示整个庐枞盆地众多侵入岩的形成时代、成因及其与成矿的关系,庐枞盆地内众多侵入岩的精确成岩时代、岩体期次还有待更多的高精度年代学数据制约。同时,盆地内不同旋回火山岩和侵入岩的时间关系尚缺乏深入系统的年代学研究工作和精确的年代学数据支持,火山岩和与侵入岩之间的成因及演化关系尚不清晰,盆地内侵入岩形成的动力学背景,深部过程以及岩浆作用与成矿作用的关系等研究也亟待加强。为此,本文在作者已有相关研究工作的基础上,以庐枞盆地内侵入岩为主要研究对象,通过深入细致的野外地质工作,应用LA-ICP MS同位素测年方法对庐枞盆地内除上述巴家滩岩体等5个岩体之外的另外15个较重要的侵入岩体进行了锆石U-Pb精确定年,结合已有的研究工作划分了庐

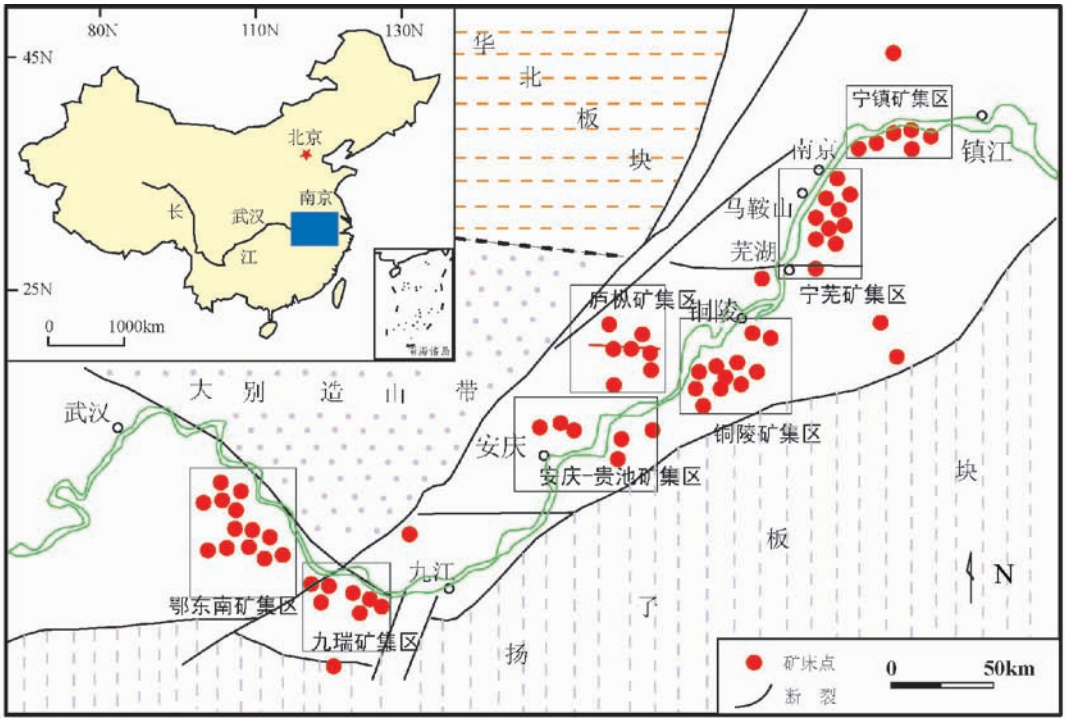


图 1 长江中下游成矿带主要矿集区和矿床分布略图(据翟裕生等,1992;Pan and Dong,1999 改绘)

Fig. 1 Sketch map showing distribution of main metallogenic provinces and deposits in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River (after Zhai *et al.*, 1992; Pan and Dong,1999)

枞盆地内侵入岩的成岩期次,并结合火山岩的形成时代(周涛发等,2008),重新厘定了庐枞盆地内岩浆岩的时空格架,并在此基础上探讨庐枞盆地岩浆岩对成矿作用的制约,为探讨庐枞盆地等断凹区以及长江中下游成矿带岩浆岩及金属矿床的时空分布规律及其与深部过程的耦合关系研究提供了新的证据。

1 庐枞盆地地质概况

庐枞盆地位于安徽省庐江县(庐)和枞阳县(枞)之间,为 4 组深大断裂所控制(图 2),盆地基底东浅西深,属于继承式的中生代陆相盆地(任启江等,1991),火山岩出露面积约 800km^2。出露的沉积地层主要为中侏罗统罗岭组(J_{2l})陆相碎屑沉积岩,与火山岩系呈不整合接触。火山岩由老至新分为龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组,4 组火山岩在空间上大致呈同心环状分布,自盆地边缘至盆地中心依次出露龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组,各组之间均为喷发不整合接触(任启江等,1991;周涛发等,2008),构成 4 个旋回。各旋回的火山活动均由爆发相开始,此后溢流相逐渐增多,最后以火山沉积相结束,喷发方式由裂隙-中心式向典型的中心式喷发演化。火山岩类由熔岩、碎屑熔岩、火山碎屑岩及次火山岩组成,火山碎屑岩的总量高于熔岩类。其中,龙门院组主要分布在盆地边缘,以角闪粗安岩为特征岩性标志;砖桥组主要分布在庐枞火山岩盆地中部,以辉石粗安岩为特征岩性标志,构成了庐枞盆地火山岩的主体部分;双庙组主要分布在庐枞盆地中部和南部,以粗面玄武岩为特征岩性标志;浮山组仅在庐枞盆地中部仅零星分布,出露面积较小,以粗面质火山岩为主(图 2)。

庐枞盆地内部有 34 个侵入岩岩体分布(安徽省地勘局 327 地质队,1981①,1985②,1988③,1994④),侵入岩体的形成与区域火山活动有着极为密切的关系(图 2),这些岩体按岩性可主要分为 3 种,一种为二长岩体,主要分布在盆地的北部,出露面积较大岩体有巴家滩岩体,龙桥岩体和罗岭岩体等,第二种为正长岩体,出露面积较大岩体有土地山岩体、凤凰山岩体等,第三种为 A 型花岗岩,出露面积较大岩体有城山岩体,花山岩体、黄梅尖岩体等(周涛发等,2007;范裕等,2008)。

2 岩体地质特征

在我们已发表的 5 个岩体(巴家滩岩体,城山岩体、花山

① 安徽省地勘局 327 地质队. 1981. 矾山镇幅、将军庙幅 1∶50000 区域地质调查报告

② 安徽省地勘局 327 地质队. 1985. 义津桥幅、枞阳县幅、汤沟镇幅 1∶50000 区域地质调查报告

③ 安徽省地勘局 327 地质队. 1988. 盛桥幅、槐林咀幅、石涧埠幅、庐江县幅、开城桥幅 1∶50000 区域地质报告

④ 安徽省地勘局 327 地质队. 1994. 牛埠幅、周潭幅 1∶50000 区域地质报告

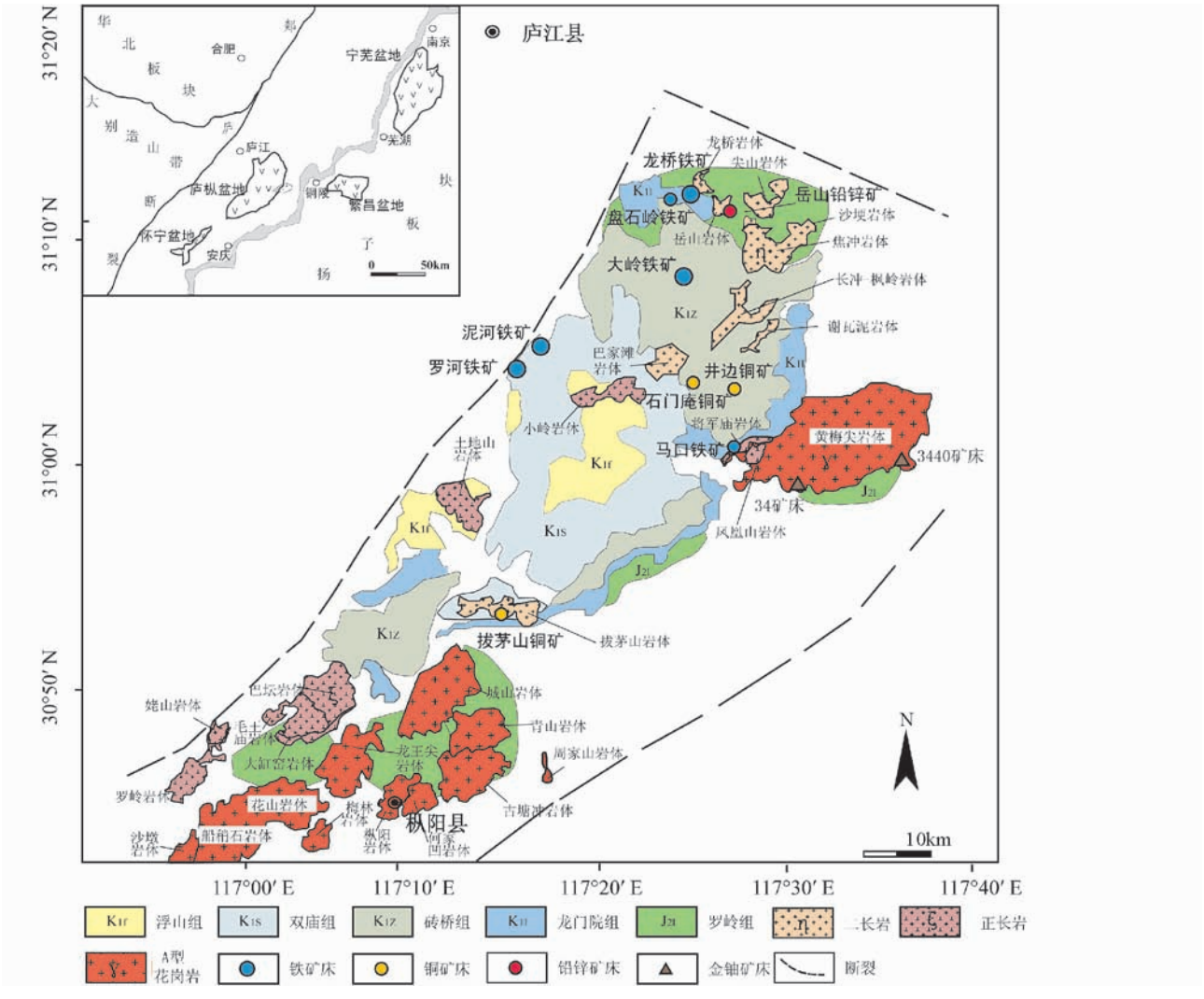


图 2 庐枞盆地地质略图

Fig. 2 Geological sketch map of Luzong volcanic basin

表 1 庐枞盆地内侵入岩的采样位置及岩性特征表

Table 1 The locations and lithology of the samples of intrusions in Luzong bsain

编号	岩体名称	样品号	采样坐标	主要岩性	编号	岩体名称	样品号	采样坐标	主要岩性
1	黄屯岩体	L03-01	0547091,3443245	闪长玢岩	9	土地山岩体	L24-01	0524746,3421432	石英正长斑岩
2	岳山岩体	YSK-01	0548146,3444904	二长斑岩	10	罗岭岩体	L10-01	0504198,3400780	石英正长岩
3	拨茅山岩体	L51-03	0527663,3413713	二长岩	11	龙王尖岩体	L31-01	0514540,3401017	石英正长岩
4	尖山岩体	LJS-01	0551116,3443554	黑云母二长岩	12	小岭岩体	L36-01	0532640,3424626	正长岩
5	谢瓦泥岩体	L48-01	0551216,3437004	辉石二长岩	13	大缸窑岩体	L21-01	0513889,3403944	正长岩
6	龙桥岩体	L14-01	0540497,3444179	二长岩	14	巴坛岩体	L18-01	0516566,3406850	石英正长岩
7	焦冲岩体	L20-01	0551469,3443177	二长岩	15	毛王庙岩体	L11-02	0514908,3406052	石英正长岩
8	凤凰山岩体	L35-01	0546401,3424669	石英正长斑岩					

岩体、黄梅尖岩体和枞阳岩体)定年工作的基础上,本次工作对庐枞盆地内另外所有 29 个岩体进行了详细的野外观察并采集了新鲜的岩石样品,并在室内系统岩矿鉴定基础上,从中选取 15 个代表性岩体进行定年工作,开展定年工作的岩体名称,样号,采样坐标和主要岩性见表 1。上述 29 岩体的空间分布特征见图 2(已定年的 5 个岩体特征参见周涛发等(2007)和范裕等(2008)),岩体地质特征简述如下:

(1)黄屯岩体 黄屯岩体出露于庐枞盆地北部黄屯镇附近,呈岩株状产出,北东向展布,在平面上呈不规则形,出露面积约 0.9km^2(图 2),岩体侵入的围岩为龙门院组火山岩

(K_{1z})。黄屯岩体的主要岩性为闪长玢岩,似斑状结构。岩石的斑晶主要为斜长石,约占斑晶总量的80%,其次为钾长石。斜长石呈板状、柱状半自形粒状,一般粒径0.2~1.2mm,具不同程度的绢云母化和泥化;岩石中暗色矿物较少,有少量的黑云母和角闪石,大多已经绿泥石化。基质主要是由细小的长石和一些隐晶质矿物组成。

(2)岳山岩体 岳山岩体位于庐枞盆地东北部黄屯镇以东,呈岩株产出(图2),出露面积约2km^2,岩体侵入的围岩为砖桥组火山岩(K_{1z})。岳山岩体的主要岩性为二长斑岩,斑状结构。矿物成分主要为斜长石、钾长石及微斜长石,斜长石常以中、更长石为主,暗色矿物主要为角闪石,次为黑云母和辉石。斑晶含量30%~40%,斜长石斑晶呈自形板状,大小0.5~2mm,聚片双晶发育,部分斜长石有钾质边,钾长石呈半自形、他形晶,可见聚片双晶,一般晶径1~2mm左右,角闪石斑晶和黑云母斑晶少量,角闪石呈长柱状。基质呈微晶交织结构,残余微晶交织结构、显微鳞片状变晶结构,基质主要成分为斜长石。

(3)拔茅山岩体 拔茅山岩体位于盆地中部项浦镇附近,呈岩株状产出(图2),东南向展布,在平面上以长条状,出露面积约4.0km^2,岩体侵入围岩为砖桥组(K_{1z})和双庙组火山岩(K_{1s})。拔茅山岩体的主要岩性为二长岩,全晶质二长结构。岩石的主要矿物为斜长石(40%),微斜长石(40%),以及少量普通辉石、普通角闪石等暗色矿物(20%)组成。斜长石粒径2~3mm,自形、半自形板状,具不同程度的绢云母化和泥化;可见自形斜长石和自形、半自形暗色矿物被他形碱性长石所包裹,呈典型的二长结构。

(4)尖山岩体 尖山岩体位于庐枞盆地东北部黄屯镇以南2km,呈岩株状产出(图2),北东向展布,在平面上呈不规则椭圆形,出露面积约2.0km^2,岩体侵入围岩为砖桥组(K_{1z})。尖山岩体的主要岩性为黑云母二长岩,全晶质二长结构。斜长石(50%),钾长石(40%),黑云母(5%~8%)及其它暗色矿物(2%~3%)。斜长石呈半自形-自形粒状结构,双晶极为发育,主要为聚片双晶,其次为钾长石,双晶不发育,呈半自形-他形。黑云母呈半自形-自形粒状结构,多已蚀变。

(5)谢瓦泥岩体 谢瓦泥岩体位于庐枞盆地北东端,大关镇东1km的庙岗村附近,呈岩枝状产出(图2),东南向展布,在平面上呈长条状,出露面积约4.0km^2,岩体侵入围岩为砖桥组火山岩(K_{1z})。谢瓦泥岩体的主要岩性为辉石二长岩,全晶质二长结构。岩石的主要矿物为钾长石(50%)、斜长石(45%)和辉石(3%~5%)。钾长石呈半自形-自形粒状板状晶体,双晶不发育,斜长石呈自形至半自形粒状结构,可见聚片双晶。岩石中辉石呈半自形粒状,颗粒较细,多蚀变成绿泥石。

(6)龙桥岩体 龙桥岩体位于庐枞盆地北缘,龙桥镇附近,呈岩珠状产出,平面上呈复合形态,出露面积约3.7km^2,岩体侵入围岩为砖桥组火山岩(K_{1z})。龙桥岩体的主要岩性为二长岩,半自形等粒结构,全晶质二长结构。岩石的主要矿物为斜长石(50%),微斜长石(45%),以及少量普通辉石、普通角闪石等暗色矿物(5%)组成。斜长石粒径2~3mm,自形、半自形板状,具不同程度的绢云母化和泥化;可见自形斜长石和自形、半自形暗色矿物被他形碱性长石所包裹,呈典型的二长结构。

(7)焦冲岩体 焦冲岩体位于庐枞盆地北东端,西元镇以东0.5km,呈岩株产出(图2),平面上形态不规则状,出露面积约9km^2,岩体侵入围岩为砖桥组火山岩(K_{1z})。焦冲岩体的主要岩性为二长岩,半自形粒状结构。二长岩,全晶质二长结构。岩石的主要矿物为斜长石(40%),微斜长石(40%),以及少量普通辉石、普通角闪石等暗色矿物(20%)组成。斜长石粒径2~3mm,自形、半自形板状,具不同程度的绢云母化和泥化;可见自形斜长石和自形、半自形暗色矿物被他形碱性长石所包裹,呈典型的二长结构。暗色矿物多发生强烈的绿泥石化,另有少量的磁铁矿呈星点状分布。

(8)凤凰山岩体 凤凰山岩体位于庐枞盆地东南部马鞍山水库附近,呈岩株状产出(图2),东西向展布,在平面上呈长条形,出露面积约8.7km^2。岩体侵入的围岩为中侏罗统罗岭组(J_{2l})。凤凰山岩体主要岩性为石英正长斑岩,似斑状结构。岩石的主要矿物为正长石85%、条纹长石5%、石英10%。正长石呈他形斑状晶形,泥化较发育,粒径0.3~1mm,条纹长石含量较少,聚片双晶发育,石英他形粒状,充填于长石颗粒间隙中,粒径为0.5mm。

(9)土地山岩体 土地山岩体产于庐枞盆地西部浮山破火山口内,呈岩株状产出(图2),在平面上呈半环状分布,受破火山口的环状断裂控制,出露面积约2.3km^2。土地山岩体岩性主要为石英正长斑岩,斑状结构。岩石中斑晶约占30%,斑晶主要矿物为石英(15%)和正长石(15%)。正长石呈半自形-他形晶,粒径0.5~5mm,石英他形粒状发育,粒径0.2~1mm。基质有细粒石英、极细粒的长石和隐晶质的矿物组成。

(10)罗岭岩体 罗岭岩体位于庐枞盆地中部罗家岭附近,呈岩株状产出(图2),北东向展布,平面形态为不规则椭圆状,出露面积约2.7km^2。岩体侵入围岩为中侏罗统罗岭组地层(J_{2l})。罗岭岩体的主要岩性为石英正长岩,半自形粒状结构。岩石的主要矿物为斜长石(40%),条纹长石(50%),以及少量普通角闪石(10%)组成。斜长石粒径2~3mm,自形半自形板状,具不同程度的绢云母化和泥化;可见自形斜长石和自形、半自形暗色矿物被他形碱性长石所包裹,呈典型的二长结构。暗色矿物以黑云母为主,呈半自形片状。

(11)龙王尖岩体 龙王尖岩体位于庐枞盆地南部枞阳县龙王尖镇附近,呈岩株状产出(图2),北东向展布,在平面上呈不规则椭圆形,出露面积约17km^2,岩体侵入围岩为中侏罗统罗岭组(J_{2l})。龙王尖岩体岩性主要为石英正长岩,半自形粒状结构。岩石中主要矿物为正长石(60%)、条纹长石

(25%)、石英(10%)、黑云母(3%)。正长石呈半自形-他形晶,粒径0.5~5mm,多发生了较强的绢云母化;条纹长石呈半自形板状,粒径2mm,发育绢云母化,依稀可见聚片双晶结构;石英主要呈他形充填在长石颗粒间隙中,粒径0.2~1mm;暗色矿物多发生强烈的绿泥石化,另有少量的磁铁矿呈星点状分布。

(12)小岭岩体 小岭岩体位于庐枞盆地中部吴家院附近,呈岩株状产出(图2),在平面上呈半环状分布,受破火山口的环状断裂控制,出露面积约2.3km^2。岩体侵入于小岭火山口中心,围岩为浮山组火山岩(K_{1f})。小岭岩体的主要岩性为正长岩,似斑状结构。主要矿物为正长石(85%),斜长石(10%),其次有少量的石英和暗色矿物。正长石呈半自形-他形晶,粒径0.5~5mm;斜长石粒径2~3mm,自形半自形板状。可见少量的黑云母,呈半自形柱状。

(13)大缸窑岩体 大缸窑岩体位于庐枞盆地南部枞阳县大缸窑镇附近,呈环状岩墙产出(图2),岩体出露面积约5km^2,围岩为砖桥组火山岩(K_{1z})。大缸窑岩体的主要岩性为正长岩,自形至半自形粒状结构。主要矿物为条纹长石(70%)、石英(20%)、斜长石(8%)及少量黑云母等(<2%。条纹长石呈半自形、他形晶,可见聚片双晶,一般晶径1~2mm左右、最大达3mm左右。斜长石粒径2mm~3mm,自形半自形板状,具不同程度的绢云母化,泥化;石英主要为他形晶,晶径约0.2~0.5mm,最大可达2mm。黑云母呈片状充填。

(14)巴坛岩体 巴坛岩体位于庐枞盆地西南部枞阳县盘洼附近,呈小岩株状产出(图2),在平面上形态呈不规则状,出露面积约5.5km^2,围岩为中侏罗统罗岭组(J_{2l})。巴坛岩体的岩性主要为石英正长岩,自形至半自形粒状结构。岩石的主要矿物为正长石(60%)、斜长石(20%)、石英(10%)和角闪石(10%)。正长石呈他形粒状,粒径0.5~3mm,斜长石呈半自板状,粒径1.5mm;石英呈他形粒状,粒径1mm,充填于长石颗粒间隙中;角闪石呈他形粒状,粒径0.5~1mm,此外还有少量的黑云母。

(15)毛王庙岩体 毛王庙岩体位于庐枞盆地南部罗家岭镇附近,呈岩枝状产出(图2),在平面上呈北东向展布,出露面积约19.5km^2,岩体侵入于中侏罗统罗岭组地层(J_{2l})。毛王庙岩体主要岩性为石英正长岩,中粗粒结构,块状构造,偶见暗色岩石包体。岩石的主要矿物成分为正长石(80%)、斜长石(10%)、石英(8%)及少量黑云母等(<1%)。正长石呈他形粒状分布,粒径0.5~3mm,部分发生绢云母化;斜长石含量较少,粒径1~3mm,自形半自形板状,部分高岭土化;石英呈他形颗粒,粒径0.2~0.8mm,充填于长石颗粒间隙中;暗色矿物以黑云母为主,呈半自形片状。

(16)其它岩体

① 沙埂岩体、长冲-枫岭岩体 沙埂岩体和长冲-枫岭岩体岩性相似,位于庐江县新华水库附近,受北东向构造断裂控制,主要岩性为石英正长斑岩,产于焦冲岩体-沙埂岩体,长冲-枫岭岩带之上,前人研究认为沙埂岩体和长冲-枫岭岩体和焦冲岩体在深部可能相连,推测上述两个岩体与焦冲岩体成岩时代相近。

② 官山岭岩体、金鸡山岩体、严河庄岩体和将军庙岩体 官山岭岩体主要岩性为正长岩,金鸡山岩体主要岩性为石英正长斑岩,严河庄岩体主要岩性为石英正长斑岩,3个岩体出露于枞阳县抱龙山附近(图2),均受北东东向断裂控制,为凤凰山岩体的东延部分。将军庙岩体岩性为石英正长岩,为黄梅尖岩体的西延部分,上述4个岩体成岩时代与凤凰山岩体相近。

③ 何家凹岩体、船稍石岩体、青山岩体、沙墩岩体和范庄岩体 何家凹岩体岩性为石英正长岩,船稍石岩体岩性为石英正长岩,青山岩体岩性为石英正长岩,沙墩岩体岩性为黑云母石英正长岩,范庄岩体岩性为正长斑岩,均受北东东向断裂控制,产在大龙山岩体-城山岩体-黄梅尖岩体之岩带上,呈岩株状产出(图2),前人(任启江等,1991;郑永飞等,1995;赵振华和涂光炽,2003)等研究均表明该岩带为同一次岩浆活动的产物,因此推测上述5个岩体成岩时代与城山岩体,黄梅尖岩体相近。

④ 梅林岩体、古塘冲岩体和周家山岩体 梅林岩体岩性为钾长花岗岩,古塘冲岩体岩性为斑状钾长花岗岩,周家山岩体岩性为斑状钾长花岗岩,与枞阳钾长花岗岩体在空间上密切共生(图2),岩性均为钾长花岗岩,是庐枞盆地最晚期的岩浆活动,上述3个岩体成岩时代与枞阳岩体相近。

3 测试方法及定年结果

3.1 测试方法

用于锆石年代学测试的样品首先经过破碎,经浮选和电磁选等方法挑选出单颗粒锆石,然后在双目镜下挑纯,选样工作在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。手工挑出晶形完好、透明度和色泽度好的锆石,粘于环氧树脂表面,经抛光后进行透射光和反射光照相,据此选择晶体特征良好的锆石进行阴极发光(CL)分析(图3),然后根据阴极发光照射结果选择典型的岩浆锆石进行LA-ICP-MS测年分析,锆石的CL图像和U-Pb年龄测定分别在澳大利亚塔斯马尼亚大学国家优秀矿床研究中心(CODES of Excellence, University of Tasmania)电子探针分析室和LA-ICP-MS室完成。U-Pb年龄测定所用仪器为HP4500型四极杆质谱仪和德国MicroLas公司生产的GeoLas200M型激光剥蚀系统。采用He作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质NIST SRM610进行仪器最佳化。

锆石U-Pb年龄分析采用的光斑直径为30μm,并采用国际标准锆石91500作为外标标准物质,外标校正方法为每隔4~5个样品分析点测一次标准,保证标准和样品的仪器条件完全一致。样品的同位素数据处理采用Glitter(4.0版)软件进行,普通铅校正采用Andersen的方法(Andersen,2002),年龄计算及谐和图的绘制采用Isoplot(3.23版)进行(Ludwig,



图 3 庐枞盆地侵入岩样品部分阴极发光(CL)图像及测试位置

Fig. 3 Cathodeluminescence(CL) images of selected zircons for the intrusions from Luzong basin

2003),测试中的误差标准为1σ,实验详细的流程参见 Black *et al.*(2004)。剔除了古老锆石及异常的锆石年龄,有效的测试数据为157个(见附表)。

3.2 锆石 U-Pb 同位素定年结果

庐枞盆地中侵入岩的锆石为无色透明或浅黄色,结晶较好,呈典型的长柱状晶形。锆石中的 Th/U 比值可以指示锆石的成因(附表),岩浆锆石的 Th/U 比值一般大于0.1,而变质锆石的 Th/U 比值一般小于0.1(Belousova *et al.*,2002)。庐枞盆地花岗岩体锆石中 Th/U 比值变化范围在0.86~2.42之间,均远高于0.1,属于典型的岩浆成因锆石。由锆石的阴极发光图像可以看出,所有的锆石均具有清晰的内部结构和典型的岩浆震荡环带,不具有核-幔结构,无后期变质壳,表明这些锆石是岩浆形成后一次结晶形成的,应代表的是岩浆冷却结晶及岩体侵位的时代。

15个岩体的锆石 LA-ICPMS 的 U-Pb 定年结果如下(图4):黄屯岩体(L03-01,闪长玢岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为134.4±2.2Ma(1σ,MSWD=1.8);岳山岩体(YSK-01,二长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为132.7±1.5Ma(1σ,MSWD=0.33);拔茅山岩体(L51-03,二长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为132.7±1.9Ma(1σ,MSWD=0.68);尖山岩体(LJS-01,黑云母二长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为132.0±1.3Ma(1σ,MSWD=1.15),谢瓦泥岩体(L48-01,辉石二长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为131.6±1.1Ma(1σ,MSWD=0.42);龙桥岩体(L14-01,正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为131.1±1.5Ma(1σ,MSWD=1.9);焦冲岩体(L20-01,石英正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为129.6±1.3Ma(1σ,MSWD=0.57);土地山岩体(L24-01,石英正长斑岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为127.4±2.8Ma(1σ,MSWD=0.26);凤凰山岩体(L35-01,石英正长斑岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为128.4±0.9Ma(1σ,MSWD=0.96),罗岭岩体(L10-01,石英正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为126.3±2.0Ma(1σ,MSWD=1.7);龙王尖岩体(L31-01,石英正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为126.5±1.5Ma(1σ,MSWD=0.70);小岭岩体(L36-01,正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为126.2±1.8Ma(1σ,MSWD=1.2);大缸窑岩体(L21-01,正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为125.9±1.3Ma(1σ,MSWD=0.55),巴坛岩体(L18-01,石英正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为125.1±1.1Ma(1σ,MSWD=1.4);毛王庙岩体(L11-02,石英正长岩)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为123.9±1.9Ma(1σ,MSWD=0.70);上述年龄均代表了这些岩体的侵位时代。以上测试结果显示,庐枞盆地侵入岩年龄变化范围在134~123Ma之间。

4 讨论

4.1 庐枞盆地侵入岩的形成时代

前人在20世纪80~90年代已对庐枞盆地分布的侵入岩已进行过一些同位素测年工作,但由于早期测年方法多为传统的 K-Ar、Rb-Sr 方法(任启江等,1991;杨荣勇等,1996;邢凤鸣和徐祥,1999),所得年龄的误差值较大,不同学者得到同一岩体的同位素年龄也千差万别,如黄梅尖岩体的30余个同位素的年龄值范围为85~133Ma,枞阳岩体的同位素年龄值范围为110~157Ma,上述 K-Ar、Rb-Sr 同位素年龄测定值极不统一,变化范围极大,且许多年龄值和地质事实相矛盾,基本不具有参考价值。近年来,随着单颗粒锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法的广泛应用,周涛发等(2007)通过锆石 SHRIMP 定年获得庐枞盆地内巴家滩辉石二长岩体的年龄为133.5±0.5Ma;范裕等(2008)通过锆石 LA-ICP-MS 定年获得城山岩体、花山岩体、黄梅尖岩体和枞阳岩体的形成年龄分别为126.5±2.1Ma、126.2±0.8Ma、125.4±1.7Ma 和124.8±2.2Ma。上述工作对庐枞盆地侵入岩的年龄进行了一定的限定,但上述研究工作仅限于盆地内若干的岩体,尚不能全面准确厘定庐枞盆地侵入岩的形成时代。因此,本次工作系统采集了庐枞盆地内侵入岩代表性样品,得到了另外15个重要侵入岩体的年龄变化范围在134~123Ma之间(表2),该结果较以往数据的系统性和可靠性有显著提高,证据如下:

(1)黄屯岩体的地质特征表明该岩体为龙门院旋回岩浆活动的产物,本次工作测得黄屯岩体的年龄为134.4±2.2Ma,与龙门院组上段火山岩年龄(134.8±1.8Ma)(周涛发等,2008)在误差范围内一致,与地质特征吻合。

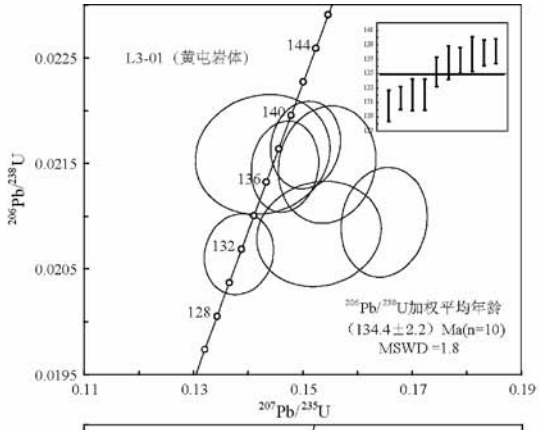
(2)庐枞盆地北部产出的二长岩类岩体,如岳山岩体、拔茅山岩体、龙桥岩体、尖山岩体、谢瓦泥岩体和焦冲岩体,为砖桥旋回晚期岩浆活动的产物,本次工作测得上述岩体的年龄为132~130Ma,与砖桥组旋回火山活动时间134~130Ma(周涛发等,2008)相近,与地质特征吻合。

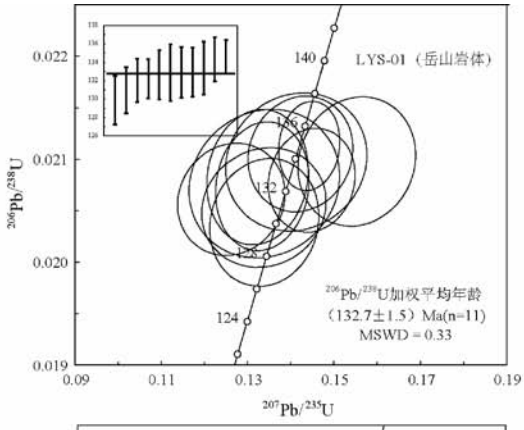
(3)庐枞盆地西南部产出的正长岩类岩体,如以巴坛岩体、大缸窑岩体、罗岭岩体、龙王尖岩体和凤凰山岩体,为双庙旋回和浮山旋回岩浆活动的产物,本次工作测得上述岩体的年龄为128~123Ma,晚于双庙组火山岩年龄之间(130.5±0.8Ma)(周涛发等,2008),与地质特征吻合。

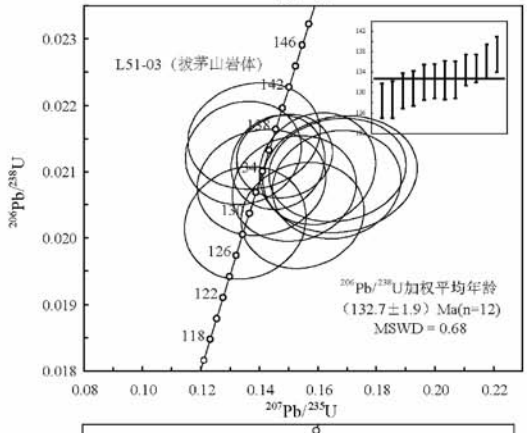
(4)庐枞盆地西南部的毛王庙岩体、巴坛岩体和大缸窑岩体在空间上关系密切,野外地质研究表明它们为相近时间岩浆活动的产物,本次工作测得上述三个岩体的年龄分别为123.9±1.9Ma、125.4±1.1Ma 和125.9±1.3 在误差范围内完全一致,和地质特征吻合。

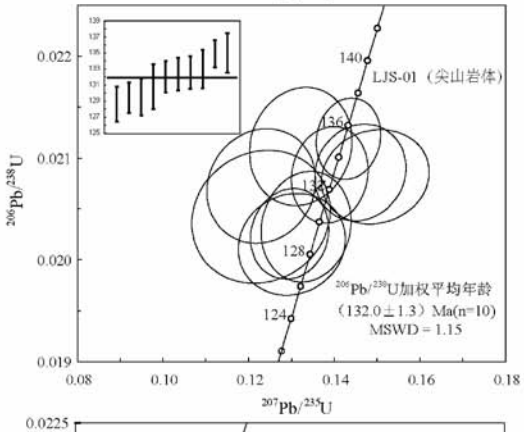
(5)庐枞盆地西部的土地山岩体产于浮山破火山口内,盆地中部小岭岩体侵入于小岭火山口中心,侵入围岩均为浮山组火山岩,受破火山口的环状断裂控制,为浮山旋回岩浆活动的产物,本次工作测得土地山岩体的年龄为127.4±2.8Ma,小岭岩体的年龄为126.2±1.8Ma,与浮山组火山岩年龄相近(127.1±1.2Ma)(周涛发等,2008),与地质特征吻合。

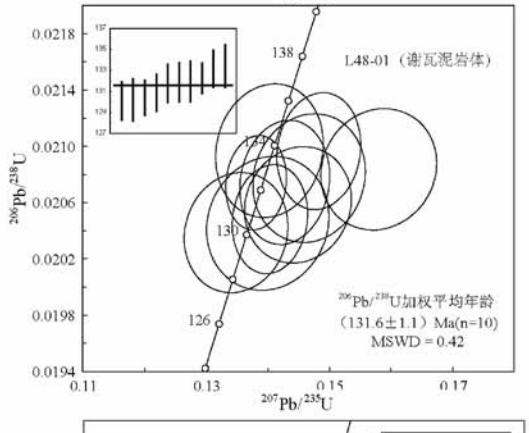
上述证据表明,本次年代学工作得到的年龄数据的可信

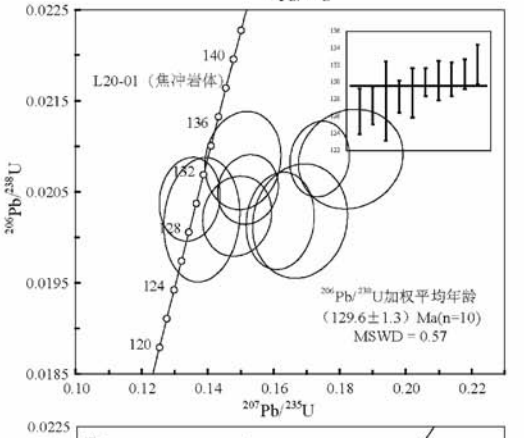

L3-01（黄屯岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（134.4±2.2）Ma(n=10)
MSWD=1.8
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$

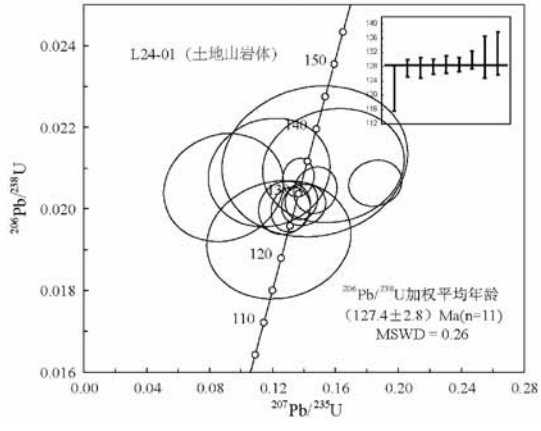

LYS-01（岳山岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（132.7±1.5）Ma(n=11)
MSWD=0.33
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$

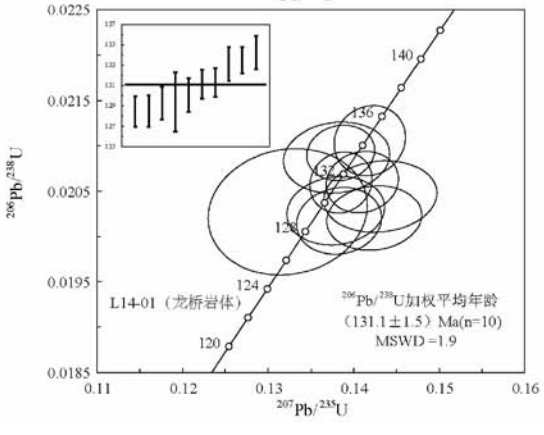

L51-03（坡茅山岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（132.7±1.9）Ma(n=12)
MSWD=0.68
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$


LJS-01（尖山岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（132.0±1.3）Ma(n=10)
MSWD=1.15
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$


L48-01（谢瓦泥岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（131.6±1.1）Ma(n=10)
MSWD=0.42
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$


L20-01（焦冲岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（129.6±1.3）Ma(n=10)
MSWD=0.57
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$


L24-01（土地山岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（127.4±2.8）Ma(n=11)
MSWD=0.26
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$


L14-01（龙桥岩体）
$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄
（131.1±1.5）Ma(n=10)
MSWD=1.9
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$

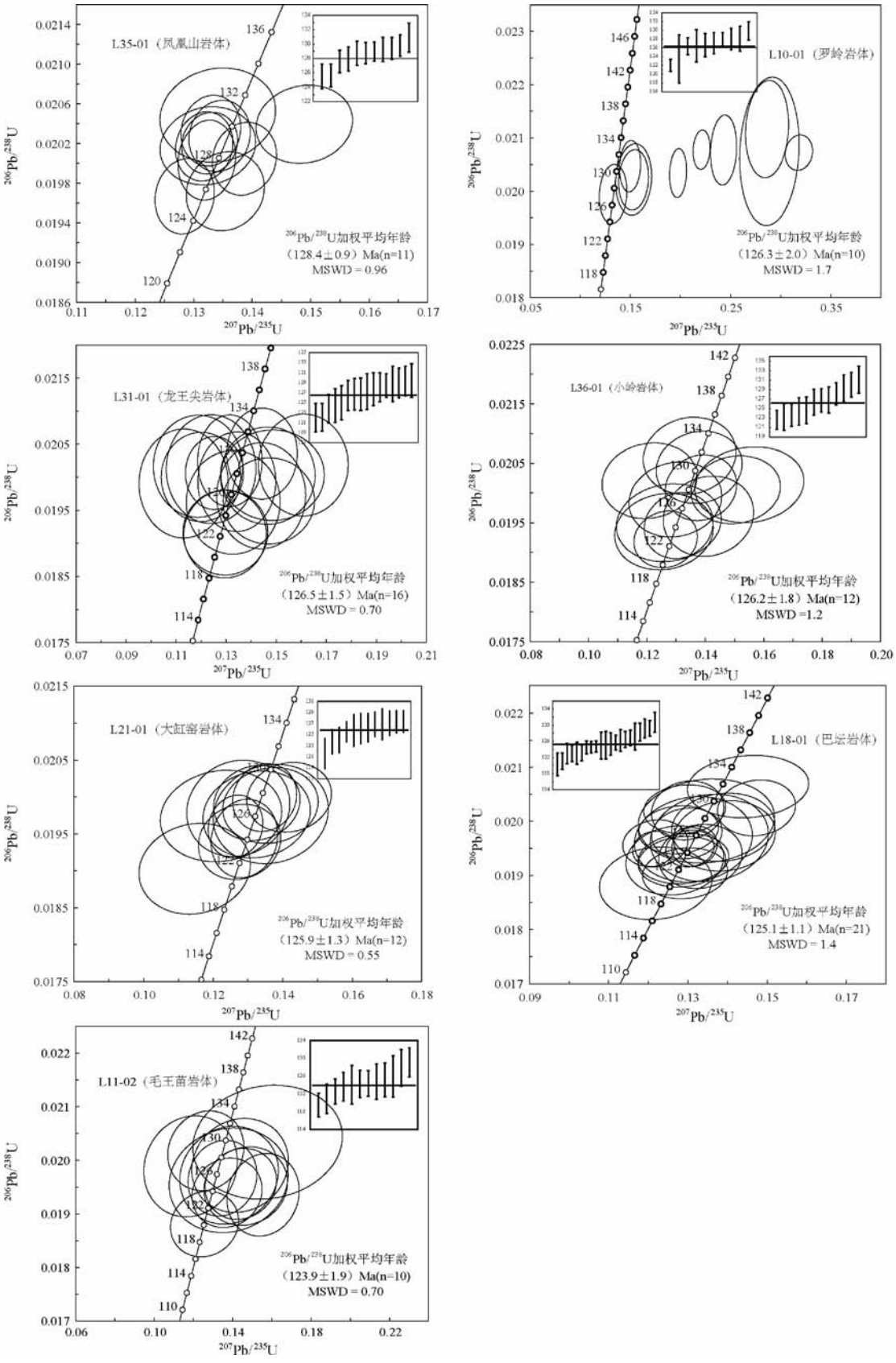


图 4　庐枞盆地侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4　LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram of the intrusions from Luzong basin

表 2 庐枞盆地岩浆岩期次划分表

Table 2 Periods classification of magmatic rocks in Luzong basin, east China

侵入岩期次	岩体(火山岩)名称及主要岩性	年龄(Ma)	划分依据	资料来源
晚期 A 型花岗岩	枞阳岩体(钾长花岗岩)	124.1±2.0	与枞阳岩体成岩时代相近	范裕等,2008
	梅林岩体(钾长花岗岩)			本文
	古塘冲岩体(钾长花岗岩)			本文
	周家山岩体(钾长花岗岩)			本文
	黄梅尖岩体(石英正长岩)	125.4±1.7		范裕等,2008
	花山岩体(石英正长岩)	126.2±0.8		范裕等,2008
	城山岩体(石英正长岩)	126.5±2.1		范裕等,2008
	何家凹岩体(石英正长岩)		产在大龙山岩体-城山岩体-黄梅尖岩体之岩带上,与花山岩体、城山岩体、黄梅尖岩体成岩时代相近	本文
	船稍石岩体(石英正长岩)			本文
	青山岩体(石英正长岩)			本文
	沙墩岩体(黑云母石英正长岩)			本文
	范庄岩体(正长斑岩)			本文
晚期正长岩	毛王庙岩体(石英正长岩)	123.9±1.9	与凤凰山岩体成岩时代相近	本文
	巴坛岩体(石英正长岩)	125.4±1.1		本文
	大缸窑岩体(正长岩)	125.9±1.3		本文
	龙王尖岩体(石英正长岩)	126.5±1.5		本文
	罗岭岩体(石英正长岩)	126.3±2.0		本文
	小岭岩体(正长岩)	126.2±1.8		本文
	土地山岩体(石英正长斑岩)	127.4±2.8		本文
	凤凰山岩体(石英正长斑岩)	128.4±0.9		本文
	将军庙岩体(含黑云母石英正长岩)			本文
	官山岭岩体(正长岩)			本文
	金鸡山岩体(石英正长斑岩)			本文
	严河庄岩体(石英正长斑岩)			本文
晚期火山岩	浮山组	127.1±1.2		周涛发等,2008
	双庙组	130.5±0.8		周涛发等,2008
早期二长岩(闪长岩)侵入岩	焦冲岩体(石英正长岩)	129.6±1.3	与焦冲岩体成岩时代相近	本文
	沙埂岩体(石英正长斑岩)			本文
	长冲-枫岭岩体(石英正长斑岩)			本文
	龙桥岩体(正长岩)	131.5±1.5		本文
	谢瓦泥岩体(辉石二长岩)	131.6±1.1		本文
	尖山岩体(黑云母二长岩)	132.0±1.3		本文
	拔茅山岩体(二长岩)	132.7±1.9		本文
	巴家滩岩体(辉石二长岩体)	133.6±0.5		周涛发等,2007
	岳山岩体(二长岩)	132.7±1.5		本文
	黄屯岩体(闪长玢岩)	134.4±2.2		本文
早期火山岩	砖桥组火山岩	134.1±1.6		周涛发等,2008
	龙门院组火山岩	134.8±1.8		周涛发等,2008

度和精度较高,可以区分相近的地质事件,为建立庐枞盆地侵入岩的时空格架提供了坚实的基础。

4.2 庐枞盆地侵入岩的时空格架

周涛发等(2008)通过锆石 LA-ICP-MS 定年获得庐枞盆地内四组火山岩龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组的形成时间分别为 134.8±1.8Ma、134.1±1.6Ma、130.5±0.8Ma 和 127.1±1.2Ma,结合本次工作及周涛发等(2007)、范裕等(2008)研究共获得的共 20 个侵入岩年龄,可以确定庐枞盆地中生代岩浆活动始于早白垩纪,盆地内岩浆活动起止时间约为 134~123Ma,盆地内火山岩与侵入岩是在相当短暂的地质时间内形成的。周涛发等(2008)根据庐枞盆地火山岩的测年结果,并结合野外地质证据,将盆地的火山岩浆活动划分成早晚两期,即早期的龙门院旋回和砖桥旋回火山活动,和晚期的双庙旋回和浮山旋回火山活动,两期火山活动的时间界线约为 130.5±0.8Ma。袁峰等(2008)通过对侵入岩和火山岩的地球化学特征研究,证实早、晚两期火山岩浆活动分别对应两期侵入岩浆活动,火山岩和侵入岩在物质来源,岩浆演化等方面具有很多相似性。范裕等(2008)通过对庐枞盆地南部枞阳岩体、花山岩体、城山岩体和黄梅尖岩体地球化学特征的研究,确定这类岩体为均为 A1 型花岗岩。基于上述研究成果,根据本次新获得的 15 个岩体的同位素

年代以及并结合火山岩和侵入岩的相互侵入地质关系,本文对庐枞盆地中侵入岩体进行了期次划分,具体划分结果见表2,建立了侵入岩的时空格架,取得如下主要认识:

(1)本次工作将庐枞盆地内侵入岩划分成早晚两期,早期侵入岩主要为二长岩和闪长岩类,以黄屯岩体、巴家滩岩体、焦冲岩体、龙桥岩体、谢瓦泥岩体、尖山岩体和拔茅山岩体为代表,成岩时代为 134 ~ 130Ma;晚期侵入岩分为两类,第一类主要为正长岩类,以巴坛岩体、大缸窑岩体、罗岭岩体、龙王尖岩体和凤凰山岩体等为代表,成岩时代为 129 ~ 123Ma;第二类主要为 A 型花岗岩,以枞阳岩体、花山岩体、城山岩体和黄梅尖岩体为代表,A 型花岗岩的成岩时代 126 ~ 123Ma。

(2)早期侵入岩体主要分布在庐枞盆地北部,侵入的围岩主要为砖桥组火山岩,侵入岩与砖桥旋回火山岩浆活动关系最为密切,岩体侵位受火山结构和北东向构造联合控制。早期岩体的成岩时代(134 ~ 130Ma)与早期火山岩浆活动(砖桥旋回和龙门院旋回)的时间(134 ~ 130Ma)一致或相近,说明早期侵入岩浆活动与龙王门院和砖桥旋回火山岩浆活动基本对应,二者应为同一岩浆活动不同形式的产物。

(3)晚期侵入岩主要分布在庐枞盆地南部和东南部,侵入围岩主要为前火山岩系的罗岭组沉积岩地层,大部分岩体与同期火山岩在空间上分离(仅个别岩体受火山机构控制),岩体的排列及长轴均为北东向者居多,尤其受盆地内黄屯-巴家滩-柳峰山-枞阳基底断裂控制,而受火山机构因素影响较小。晚期侵入岩体的成岩时代(129 ~ 123Ma)与晚期的双庙旋回和浮山旋回火山岩浆活动的时间(130 ~ 127Ma)相近,该阶段岩浆侵入活动可能与庐枞盆地晚期火山岩浆活动相对应。

(4)晚期侵入岩中部分岩体属 A 型花岗岩,均产于庐枞盆地东南缘,成岩时代 123 ~ 126Ma,以枞阳岩体,黄梅尖岩体等为代表,其形成时代稍晚于庐枞火山岩盆地最晚喷发的浮山组火山岩(127.1 ± 1.2Ma),而明显晚于庐枞盆地内龙门院组、砖桥组和双庙组火山岩以及早期二长岩侵入体的形成时代(134 ~ 130Ma),这类 A 型花岗岩的分布主要受区域北北东向长江深大断裂系控制,而与庐枞盆地的火山机构无关。因此,该阶段岩浆侵入活动可能与盆地内火山岩浆活动无直接成因联系。

4.3 岩浆岩对成矿的制约

庐枞盆地内产出一系列与岩浆岩有关的铁、铜、金、铅、锌、铀矿床,单个矿床的地质特征、成因及成矿模式研究已有研究工作(任启江等,1991,吴明安等,1996;黄清涛,1984;周涛发等,2008),但盆地内成矿系列的划分以及成岩成矿的时空关系研究尚有待进一步加强。前人通过庐枞盆地内矿化和蚀变现象与不同类型侵入岩的关系研究,确定盆地内的成矿作用主要发生在岩体侵位以后,侵入岩的成岩年龄可以近似代表矿床的成矿年龄(任启江等,1991;吴明安等,1996)。基于已有的部分矿床成矿年龄和本文最新的岩浆岩同位素年代学数据,本文对庐枞盆地内矿床的时空分布及其与岩浆岩的关系取得如下认识:

(1)矿床的时间分布特征:庐枞盆地内矿床均形成于早白垩世,其中主成矿时期对应早白垩世砖桥旋回,形成了盆地内主要的铁、铜、铅、锌矿床。如玢岩型矿床—罗河铁矿床和泥河铁矿床的成矿时代为131Ma(Zhou *et al.*, 2010);龙桥铁矿床中与成矿有关的龙桥岩体成岩年龄为 131Ma,矿床成矿年龄为 130.5Ma(Zhou *et al.*, 2010);热液脉型岳山铅锌矿床中含矿岩体(岳山岩体)的成岩年龄为 132Ma;热液脉型井边、石门庵、穿山洞等铜矿床中与成矿有关的二长岩体成岩年龄为 132Ma;这些矿床成矿作用均发生于砖桥旋回晚期。早白垩世双庙旋回为次成矿期,形成了一系列小型脉状铜矿床,如城山、巴坛、龙王尖等热液脉型铜矿床中含矿石英正长岩成岩年龄为 126 ~ 125Ma,具有类似陶村铁矿床和凹山铁矿床矿物组合特征(磁铁矿-磷灰石-阳起石)的马口热液脉型铁矿床所赋存的正长岩的成岩年龄为 128Ma。此外,盆地南缘还产出一系列金、铀矿床(点),如 3440 铀矿床(点),34 铀矿床(点),这类矿床与 A 型花岗岩(126 ~ 123Ma,范裕等,2008)关系密切。

(2)矿床的空间分布特征:热液脉型铅锌矿床主要分布于庐枞盆地北部的黄屯镇附近,与二长岩有关的热液脉型铜矿床主要分布于庐枞盆地中东部的井边镇一带,玢岩型铁矿床主要分布于庐枞盆地北部的罗河镇附近和庐枞盆地北部的龙桥镇附近,而与正长岩体有关的热液脉型铜、铁矿床主要分布于庐枞盆地南部的城山-龙王尖一带,与 A 型花岗岩有关的金、铀矿则分布在盆地东南部的黄梅尖一带(图2)。

因此,根据本文建立岩浆岩时空格架、岩浆岩与矿床的时空关系(图2)和成因联系、已有典型矿床的地质特征、矿床成因以及区域矿床特征等,将庐枞盆地与岩浆岩有关的铁、铜、金、铅、锌、铀矿床初步划分为 3 个成矿系列:

① 砖桥旋回铁、铜、铅、锌成矿系列,主要包括三类矿床:Ⅰ. 热液脉型铅锌矿床:岳山铅锌矿床;Ⅱ. 玢岩型铁矿床,包括 4 类玢岩型铁矿床:(1)龙桥式铁矿床:龙桥铁矿床、马鞭山铁矿床;(2)罗河式铁矿床:罗河铁矿床、泥河铁矿床;(3)大岭式铁矿床:大岭铁矿床;(4)盘石岭式铁矿床:盘石岭铁矿床;Ⅲ. 热液脉型铜成矿系列:井边铜矿床、拔茅山铜矿床。

② 双庙旋回铁、铜成矿系列,主要包括两类矿床:Ⅰ. 与正长岩有关的铁矿床:马口铁矿床;Ⅱ. 与石英正长岩关的铜矿床:城山铜矿床、巴坛铜矿床、龙王尖铜矿床。

③ 与 A 型花岗岩有关的金铀成矿系列,主要为 3440 金铀矿床,34 金铀矿床。

4.4 区域岩浆岩形成时代对比

长期以来,长江中下游地区岩浆活动的时空格架一直是人们所关注的问题。本文收集了近年发表的长江中下游地

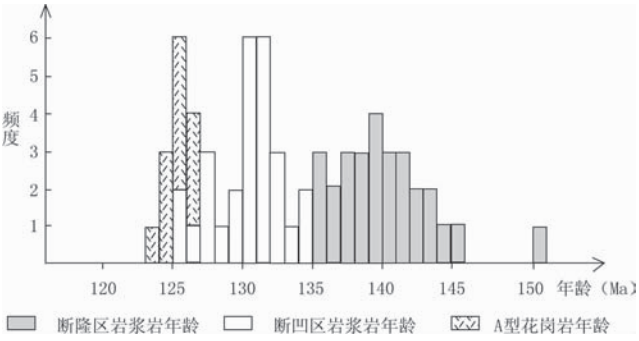


图 5 长江中下游成矿带岩浆岩年龄频谱图

资料据:张旗等,2003;王彦斌等,2004;徐夕生等,2004;张达等,2006;楼亚儿和杜杨松,2006;Xue *et al.*,2006;杜杨松等,2007;谢桂青等,2006; Xie *et al.*, 2007; Li *et al.*,2008,2009; Wang *et al.*, 2007; Zhou *et al.*,2008;范裕等,2008;徐晓春等,2008;王建中等,2008;张乐骏等,2008 和本文数据

Fig. 5 Age freguecy spectrum for magmatic rock in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River

区高精度的岩浆岩年龄(包括 SHRIMP 锆石 U-Pb 法、LA-ICP MS 锆石 U-Pb 法),并结合本次工作获得的庐枞盆地侵入岩的成岩时代(表2),分析表明(图5),长江中下游地区的岩浆活动在时空上表现出明显的分区性和演化趋势。145 ~ 136Ma 的岩浆活动主要发生在次级隆起区(或称断隆区,如铜陵、安庆地区等),是矽卡岩-斑岩型铜金矿化的主要时期(毛景文等,2004;周涛发等,2000;Zhou *et al.*, 2007;王彦斌等,2004;张达等,2006;张乐骏等,2008;蒋少涌等,2010);而 135 ~ 127Ma 的岩浆活动主要发生在次级凹陷区(或称断凹区,如庐枞盆地,宁芜盆地等),是铁矿化的主要时期(周涛发等,2008),之后的 A 型花岗岩集中形成于 126 ~ 123Ma,既可以产出于断隆区,又可以产出于断陷区(楼亚儿和杜杨松,2006;范裕等,2008;周涛发等,2008),与铀、金矿化有关。因此,长江中下游地区岩浆岩的形成时代分期集中在 145 ~ 136Ma、135 ~ 127 Ma、126 ~ 123 Ma 等三个时期,进一步验证了作者(周涛发等,2008)提出的长江中下游成矿带燕山期可能存在 3 期成岩成矿作用的认识。本次工作确定的庐枞盆地中侵入岩时代为 134 ~ 123Ma 左右,属于长江中下游成矿带第二和第三期岩浆作用产物(图 5)。长江中下游成矿带在此期间已进入快速伸展时期,导致了区内一系列 NNE 向断陷盆地的形成、强烈的岩浆活动和岩浆热液成矿作用,庐枞盆地内的侵入岩形成于深部软流圈上涌和岩石圈伸展-减薄环境(王元龙等,2001;Xie *et al.*, 2008;袁峰等,2008;周涛发等,2008;宋传中等,2010)。该认识对于区域构造-成矿分区和今后找矿勘查均具有重要借鉴意义。

5 结论

(1)庐枞盆地内新测定的 15 个重要侵入岩体的成岩时代分别为:黄屯岩体 134.4 ± 2.2Ma、岳山岩体 132.7 ± 1.5Ma、拔茅山岩体 132.7 ± 1.9Ma、龙桥岩体 131.1 ± 1.5Ma、尖山岩体 132.0 ± 1.3Ma、谢瓦泥岩体 131.6 ± 1.1Ma、焦冲岩体 129.6 ± 1.3Ma、土地山岩体 127.4 ± 2.8Ma、凤凰山岩体 128.4 ± 0.9Ma、罗岭岩体 126.3 ± 2.0Ma、龙王尖岩体 126.5 ± 1.5Ma、小岭岩体 126.2 ± 1.8Ma、大缸窑岩体 125.9 ± 1.3Ma、巴坛岩体 125.1 ± 1.1Ma 和毛王庙岩体 123.9 ± 1.9Ma,上述年龄均代表了这些岩体的侵位时代,庐枞盆地侵入岩形成于在 134 ~ 123Ma 之间。

(2)庐枞盆地内侵入岩浆活动可以分为早、晚两期:早期侵入岩主要为二长岩和闪长岩类,成岩时代为 134 ~ 130Ma;晚期侵入岩有分为两类,一类主要为正长岩类,成岩时代为 129 ~ 123Ma,另一类主要为 A 型花岗岩,成岩时代为 126 ~ 123Ma。

(3)早期岩体主要分布在庐枞盆地北部,与砖桥旋回火山活动关系密切,岩体侵位受火山结构和北东向构造联合控制。晚期正长岩类侵入岩主要分布在盆地南部和东南部,受火山机构和北北东向断裂控制,侵入活动应与双庙旋回和浮山旋回火山岩浆活动相对应。晚期的 A 型花岗岩产于盆地东南缘,分布受区域 NNE 向深大断裂控制,与火山机构无关。

(4)庐枞盆地与岩浆岩有关的铁、铜、金、铅、锌、铀矿床可划分为 3 个成矿系列,其中砖桥旋回的火山-侵入岩浆活动与矿化关系最为密切。

(5)长江中下游成矿带中,位于断凹区(如庐枞盆地)的侵入岩的形成时间明显晚于位于断隆区(如铜陵地区)高钾钙碱性侵入岩。长江中下游成矿带存在 3 期(145 ~ 136Ma、135 ~ 127Ma、126 ~ 123Ma)成岩成矿作用,庐枞盆地内的岩浆岩是区域第二和第三期岩浆作用的产物,形成于早白垩世中国东部岩石圈伸展的构造背景。

致谢 研究工作得到常印佛院士、唐永成、李建设、汪祥云和汤加富等专家的悉心指导和大力支持,野外工作得到安徽省地勘局 327 地质队的热情帮助,在此一并致以衷心的感谢。

References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb. Chemical Geology, 192:59 – 79

Belousova EA, Griffin WL, O'Reilly SY and Fisher NI. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. Contribution to Mineralogy and Petrology, 143:602 – 622

Black LP, Kamo SL and Allen CM. 2004. Improved ^{206}Pb/^{238}U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. Chemical Geology, 205(1):115 – 140

Chang YF, Liu XP and Wu YC. 1991. The Copper-Iron Belt of the Lower

and Middle Reaches of the Changjiang River. Beijing: Geological Publishing House, 71 – 76(in Chinese)

Dong SW, Zhang YQ, Long CX, Yang ZY, Ji Q, Wang T, Hu JM and Chen XH. 2007. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the Yanshan Movement. Acta Geologica Sinica, 81(11):1449 – 1461(in Chinese with English abstract)

Du YS, Li ST, Cao Y, Qin XL and Lou YE. 2007. UAFC-related origin of the Late Jurassic to Early Cretaceous intrusions in the Tongguanshan ore field, Tongling, Anhui Province, East China. Geoscience, 21(1):71 – 77(in Chinese with English abstract)

Fan Y, Zhou TF, Yuan F, Qian CC, Lu SM and David RC. 2008. LA-ICP MS zircon U-Pb ages of the A-type granits in the Lu-Zong (Lujiang-Zongyang) area and their significances. Acta Petrologica Sinica, 24(8):1715 – 1724(in Chinese with English abstract)

Huang QT. 1984. A brief discussion of on geology characteristics of Luohe iron deposit in Anhui Province. Mineral Deposits, 3(4):15 – 36

Jiang SY, Sun Y, Sun MZ, Bian LZ, Xiong YG, Yang SY, Cao ZQ and Wu YM. 2010. Reiterative fault systems and superimposed mineralization in the Jiurui metallogenic cluster district, Jiangxi Province, China. Acta Petrologica Sinica, 26(9):2751 – 2767 (in Chinese with English abstract)

Li JW, Zhao XF, Zhou MF, Vasconcelos P, Ma CQ, Deng XD, Sérgio de Souza Z, Zhao YX and Wu G. 2008. Origin of the Tongshankou porphyry-skarn Cu-Mo deposit, eastern Yangtze craton, Eastern China: Geochronological, geochemical, and Sr-Nd-Hf isotopic constraints. Mineralium Deposita, 43(3): 315 – 336

Li JW, Zhao XF and Zhou MF. 2009. Late Mesozoic magmatism from the Daye region, eastern China: U-Pb ages, petrogenesis, and geodynamic implications. Contribution to Mineralogy and Petrology, 157(3): 383 – 409

Liu H, Qiu JS, Luo QH, Xu SX, Li WL and Wang DZ. 2002. Petrogenesis of the Mesozoic potash-rich volcanic rocks in the Luzhong basin, Anhui Province: Geochemical constraints. Geochimica, 31(2):129 – 140 (in Chinese with English abstract)

Liu J, Zhou TF, Yuan F, Fan Y, Wu MA, Lu SM and Qian CC. 2007. Rock geochemistry and genesis of Bajiatan intrusion in the Lujiang-Zongyang volcanic basin, Anhui. Acta Petrologica Sinica, 23(10): 2615 – 2622 (in Chinese with English abstract)

Lou YE and Du YS. 2006. Characteristics and zircon SHRIMP U-Pb ages of the Mesozoic intrusive rocks in Fanchang, Anhui Province. Geochimica, 35(4):359 – 366(in Chinese with English abstract)

Ludwig KR. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1 – 70

Lv QT, Hou ZQ, Yang ZS and Shi DN. 2004. Upplating process and dynamics evolution mode in the Middle and Lower Reach of Yangtze River: Constrain of physical geography information. Science in China (Series D), 34 (9): 783 – 794 (in Chinese)

Mao JW, Holly S, Du AD, Zhou TF, Mei YX, Li YF, Zang WS and Li JW. 2004. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River belt and its implications for Mineralization. Acta Geologca Sinica, 78(1):121 – 131(in Chinese with English abstract)

Pan YM and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east central China: Intrusion-and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. Ore Geology Reviews, 15(4):177 – 241

Ren QJ, Liu XS, Xu ZW, Hu SX and Hu WX. 1991. Mesozoic Volcano-Tectonic Depression and Its Mineralizing Process in Lujiang-Zongyang Area, Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 206(in Chinese)

Song CZ, Lin SF, Zhou TF, Yan J, Ren SL, Li JH, Tu WC and Zhang Y. 2010. Mesozoic tectonic regime transition of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River and its adjacent area. Acta Petrologica Sinica, 26(9):2835 – 2849 (in Chinese with English abstract)

Sun YD, Yang RY, Ren QJ and Liu XS. 1994. Discussion on the characteristics and tectonic setting of the Mesozoic volcanic sequences in Lujiang Zongyang area. Acta Petrologica Sinica, 10(1):94 – 103 (in Chinese with English abstract)

Tang YC, Wu YC, Chu GZ, Xing FM, Wang YM, Cao FY and Chang YF. 1998. Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits in the along-Changjiang Area of Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House, 60 – 85(in Chinese)

Wang JZ, Li JW, Zhao XF, Qian ZZ and Ma CQ. 2008. Genesis of the Chaoshan gold deposit and the host intrusion, Tongling area: Constraints from $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages and elemental and Sr-Nd-O-C-S isotope geochemistry. Acta Petrologica Sinica, 24(8):1875 – 1888 (in Chinese with English abstract)

Wang Q, DerekA W, Xu JF, Zhao ZH, Jian P, Xiong XL, Bao ZW, Li CF and Bai ZH. 2006. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rock in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu-Au mineralization. Lithos, 89(3 – 4):424 – 446

Wang Q, Wyman DA, Xu JF, Zhao ZH, Jian P and Zi F. 2007. Partial melting of thickened or delaminated lower crust in the middle of eastern China: Implications for Cu-Au mineralization. The Journal of Geology, 115:149 – 161

Wang YB, Liu DY, Meng YF, Zeng PS, Yang ZS and Tian SH. 2004. SHRIMP U-Pb geochronology of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling ore district, Anhui. Chinese Geology, 25 (2):87 – 91 (in Chinese with English abstract)

Wang YL, Zhang Q and Wang Y. 2001. Geochemical characteristics of volcanic rock from Ningwu area, and its significance. Acta Petrologica Sinica, 17 (4): 565 – 575 (in Chinese with English abstract)

Wu LR. 1984. The Mesozoic-Cenozoic Volcanic Rocks in Eastern China and Its Vicinity. Beijing: Science Press, 1 – 287 (in Chinese)

Wu MA, Zhang QM and Wang XY. 1996. Longqiao Iron Deposit in Lujiang County, Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 192(in Chinese)

Xie GQ, Mao JW, Li RL, Zang ZS, Zhao WC, Qu WJ, Zhao CS and Wei SK. 2006. Metallogenic epoch and geodynamic framework of Cu-Au-Mo-(W) deposits in southeastern Hubei Province: Constraints from Re-Os molybdenite age. Mineral Deposits, 25(1): 43 – 52(in Chinese with English abstract)

Xie GQ, Mao JW and Li RL. 2007. Re-Os molybdenite and Ar-Ar phlogopite dating of Cu-Fe-Au-Mo (W) deposits in southeastern Hubei, China. Mineralogy and Petrology, 90: 249 – 270

Xie GQ, Mao JW, Li RL and Bierlein FP. 2008. Geochemistry and Nd-Sr isotopic studies of Mesozoic granitoids in the southeastern Hubei

Province, Middle-Lower Yangtze River belt, eastern China: Petrogenesis and tectonic setting. Lithos, 104:216 – 230.

Xie Z, Li QZ, Chen JF and Gao TS. 2007. The geochemical characteristics of the Early-Cretaceous volcanics in Luzhong region and their source significances. Geological Journal of China Universities, 13(2):235 – 249(in Chinese with English abstract)

Xing FM and Xu X. 1999. Magmatic Belt and Mineralization in Yangtze River Reaches of Anhui Province. Anhui: Anhui People Publication House, 1 – 170(in Chinese)

Xu XC, Lu SM, Xie QQ, Bai L and Chu GZ. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating for the magmatic rocks in Shizishan ore-field of Tongling, Anhui Province, and its geological implications. Acta Geologica Sinica, 82(4):500 – 510(in Chinese with English abstract)

Xu XS, Fan QC, O'Reilly SY, Jiang SY, Griffin WL, Wang RC and Qiu JS. 2004. U-Pb dating of zircons from quartz diorite and its enclaves at Tongguanshan in Anhui and its petrogenetic implication. Chinese Science Bulletin, 49(18):1883 – 1891(in Chinese)

Yang RY, Ren QJ, Xu ZW and Xu L. 1996. The Bajiatan volcanic dome in the Mesozoic volcanic terrain of the Lujiang-Zongyang area, Anhui Province. Geological Review, 42(2):136 – 143(in Chinese with English abstract)

Yuan F, Zhou TF, Fan Y, Lu SM, Qian CC, Zhang LJ, Duan C and Tang MH. 2008. Source, evolution and tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in Luzong basin, Anhui Province. Acta Petrologica Sinica, 24(8):1691 – 1702(in Chinese with English abstract)

Zhai YS, Yao SZ and Ling XD. 1992. Regularities of Metallogenesis for Copper (Gold) Deposits in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Area. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 120 (in Chinese)

Zhang D, Wu GG, Di YJ, Zang WS, Shao YJ, Yu XQ, Zhang XX and Wang QF. 2006. Emplacement dynamics of Fenghuangshan pluton (Tongling, Anhui Province): Constraints from U-Pb SHRIMP dating of zircons and structural deformation. Earth Science, 31(6):823 – 830(in Chinese with English abstract)

Zhang LJ, Zhou TF, Fan Y and Yan F. 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of Yueshan intrusion in the Yueshan ore field, Anhui, and its significance. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1725 – 1732(in Chinese with English abstract)

Zhao ZH and Tu GC. 2003. Super-Large Deposits in China (Ⅱ). Beijing: Science Press, 1 – 267 (in Chinese)

Zheng YF, Fu B and Gong B. 1995. The thermal history of the Huangmeijian intrusion in Anhui and its relation to mineralization: Isotopic evidence. Acta Geologica Sinica, 69(4): 337 – 349(in Chinese with English abstract)

Zhou TF, Yue SC, Yuan F, Liu XD and Zhao Y. 2000. Two series of copper-gold deposits in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area (MLYRA) and the hydrogen, oxygen, sulfur and lead isotopes of their ore-forming hydrothermal systems. Science in China (Series D), 30(Supp.):122 – 128 (in Chinese)

Zhou TF, Yuan F, Yue SC, Liu XD, Zhang X and Fan Y. 2007. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn-and vein-type deposits, Anhui Province, South China. Ore Geology Reviews, 31(2):279 – 303

Zhou TF, Song MY, Fan Y, Yuan F, Liu J, Wu MA, Qian CC and Lu SM. 2007. SHRIMP U-Pb Chronology of the Bajiatan intrusion in the Luzong basin, Anhui, and its significance. Acta Petrologica Sinica, 23(10):2379 – 2386(in Chinese with English abstract)

Zhou TF, Fan Y, Yuan F, Lu SM, Shang SG, David RC, Sebastien M and Zhao GC. 2008. Geochronology of the volcanic rocks in the Lu-Zong (Lujiang-Zongyang) basin and its significance. Science in China (Series D), 51(10):1470 – 1482

Zhou TF, Fan Y and Yuan F. 2008. Progress on petrogensis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1665 – 1678(in Chinese with English abstract)

Zhou TF, Wu MG, Fan Y, Duan C, Yuan F, Zhang LJ, Liu J and Qian B. 2010. A Geological and geochemical characteristics of the Longqiao iron deposit in the Lu-Zong continental volcanic basin of the Middle-Lower Yangtze (Changjiang) River Valley, East China. Ore Geology Review (in press)

附中文参考文献

常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京:地质出版社,71 – 76

董树文,张岳桥,龙长兴,杨振宇,季强,王涛,胡建民,陈宣华. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释. 地质学报,81(11): 1449 – 1461

杜杨松,李顺庭,曹毅,秦新龙,楼亚儿. 2007. 安徽铜陵铜官山矿区中生代侵入岩的形成过程——岩浆底侵、同化混染和分离结晶. 现代地质,21(1):71 – 77

范裕,周涛发,袁峰,钱存超,陆三明,David RC. 2008. 安徽庐江-枞阳地区 A 型花岗岩的 LA-ICP MS 定年及其地质意义. 岩石学报,24(8):1715 – 1724

黄清涛. 1984. 论罗河铁矿床地质特征及矿床成因. 矿床地质,3(4):15 – 36

蒋少涌,孙岩,孙明志,边立曾,熊永根,杨水源,曹钟清,吴亚民. 2010. 江西九瑞矿集区叠合断裂系统和叠加成矿作用. 岩石学报,26(9):2751 – 2767

刘洪,邱检生,罗清华,徐夕生,凌文黎,王德滋. 2002. 安徽庐枞中生代富钾火山岩成因的地球化学制约. 地球化学,31(2): 129 – 140

刘珺,周涛发,袁峰,范裕,吴明安,陆三明,钱存超. 2007. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的岩石地球化学特征及成因. 岩石学报,23(10):2615 – 2622

楼亚儿,杜杨松. 2006. 安徽繁昌中生代侵入岩的特征和锆石 SHRIMP 测年. 地球化学,35(4):359 – 366

吕庆田,侯增谦,杨竹森,史大年. 2004. 长江中下游地区的底侵作用及动力学演化模式:来自地球物理资料的约束. 中国科学(D 辑),34(9):783 – 794

毛景文,Holly S,杜安道,周涛发,梅燕雄,李永峰,藏文栓,李进文. 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

任启江,刘孝善,徐兆文,胡受奚,胡文瑄. 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 – 206

宋传中,Lin SF,周涛发,闫峻,任升莲,李加好,涂文传,张妍. 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

孙冶东,杨荣勇,任启江,刘孝善. 1994. 安徽庐枞地区中生代火山岩

系的特征及其形成的构造背景. 岩石学报,10(1):94 – 103
唐永成,吴言昌,储国正,邢凤鸣,王永敏,曹奋扬,常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京:地质出版社,60 – 85
王建中,李建威,赵新福,钱壮志,马昌前. 2008. 铜陵地区朝山矽卡岩型金矿床及含矿岩体的成因:$^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄、元素地球化学及多元同位素证据. 岩石学报,24(8):1875 – 1888
王彦斌,刘敦一,蒙义峰,曾普胜,杨竹森,田世洪. 2004. 安徽铜陵新桥铜-硫-铁-金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石 SHRIMP 年代学及其意义. 中国地质,25(2):87 – 91
王元龙,张旗,王焰. 2001. 宁芜火山岩的地球化学特征及意义. 岩石学报,17(4): 565 – 575
吴利仁. 1984. 华东及邻区中、新生代火山岩. 北京: 科学出版社,1 – 287
吴明安,张千明,汪祥云. 1996. 安徽庐江龙桥铁矿. 北京:地质出版社,1 – 192
谢桂青,毛景文,李瑞玲,张祖送,赵维超,屈文俊,赵财胜,魏世昆. 2006. 鄂东南地区 Cu-Au-Mo-(W)矿床的成矿时代及其成矿地球动力学背景探讨:辉钼矿 Re-Os 同位素年龄. 矿床地质,25(1):43 – 52
谢智,李全忠,陈江峰,高天山. 2007. 庐枞早白垩世火山岩的地球化学特征及其源区意义. 高校地质学报,13(2):235 – 249
邢凤鸣,徐祥. 1999. 安徽扬子岩浆岩带与成矿. 合肥:安徽人民出版社,1 – 170
徐夕生,范钦成,O'Reilly SY,蒋少涌,Griffin WL,王汝成,邱检生. 2004. 安徽铜官山石英闪长岩及其包体锆石 U-Pb 定年与成因探讨. 科学通报,49(18):1883 – 1891
徐晓春,陆三明,谢巧勤,柏林,储国正. 2008. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其成因意义. 地质学报,82(4):500 – 510
杨荣勇,任启江,徐兆文,徐立. 1996. 安徽庐枞地区中生代火山岩区巴家滩火山穹隆的研究. 地质论评,42(2):136 – 143
袁峰,周涛发,范裕,陆三明,钱存超,张乐骏,段超,唐敏慧. 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
翟裕生,姚书振,林新多. 1992. 长江中下游地区铁铜矿床. 北京:地质出版社,1 – 120
张达,吴淦国,狄永军,臧文拴,邵拥军,余心起,张祥信,汪群峰. 2006. 铜陵凤凰山岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄与构造变形及其对岩体侵位动力学背景的制约. 地球科学,31(6):823 – 830
张乐骏,周涛发,范裕,袁峰. 2008. 安徽月山岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义. 岩石学报,24(8):1725 – 1732
赵振华,涂光炽. 2003. 中国超大型矿床(II). 北京:科学出版社,1 – 267
郑永飞,傅斌,龚冰. 1995. 安徽黄梅尖岩体热历史及其与成矿关系. 地质学报, 69(4):337 – 349
周涛发,岳书仓,袁峰,刘晓东,赵勇. 2000. 长江中下游两个系列铜、金矿床及其成矿流体系统的氢、氧、硫、铅同位素研究. 中国科学(D 辑),30(增刊):122 – 128
周涛发,宋明义,范裕,袁峰,刘珺,吴明安,钱存超,陆三明. 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. 2008. 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

附表 庐枞盆地侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学分析结果

Appendix Table LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data for intrusions in Luzong basin

分析点	U ($\times10^{-6}$)	Th ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$	
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ
L03-01								黄屯岩体									
L3-01-1	724	2001	0.36	0.0765	0.0032	0.2267	0.0086	0.02119	0.00034	0.00739	0.00012	130.5	2.2	137.5	4.9	148.8	2.4
L3-01-2	1989	4642	0.43	0.0493	0.0016	0.1383	0.0042	0.02064	0.00025	0.00642	0.00008	131.6	1.6	131.5	4.0	129.3	1.6
L3-01-3	1516	2689	0.56	0.0581	0.0021	0.1649	0.0052	0.02094	0.00034	0.00658	0.00010	132.1	2.2	155.0	4.9	132.6	2.0
L3-01-4	745	1446	0.51	0.0538	0.0026	0.1530	0.0075	0.02083	0.00033	0.00664	0.00011	132.1	2.1	144.6	7.1	133.8	2.2
L3-01-5	1607	6159	0.26	0.0640	0.0036	0.1927	0.0115	0.02162	0.00031	0.00667	0.00011	135.2	2.0	178.9	10.7	134.4	2.2
L3-01-6	1058	1533	0.69	0.0522	0.0020	0.1544	0.0059	0.02149	0.00037	0.00671	0.00012	136.5	2.3	145.8	5.6	135.2	2.4
L3-01-7	3282	8916	0.37	0.0498	0.0015	0.1467	0.0041	0.02147	0.00028	0.00657	0.00007	136.8	1.8	139.0	3.9	132.4	1.4
L3-01-8	491	480	1.02	0.0487	0.0028	0.1426	0.0081	0.02159	0.00037	0.00683	0.00016	137.7	2.4	135.4	7.7	137.6	3.2
L3-01-9	2092	5217	0.40	0.0509	0.0015	0.1505	0.0042	0.02167	0.00027	0.00675	0.00009	137.9	1.7	142.4	4.0	136.0	1.8
L3-01-10	2487	8201	0.30	0.0580	0.0022	0.1773	0.0068	0.02191	0.00027	0.00698	0.00010	138.1	1.7	145.7	6.4	140.6	2.0
YSK-01								岳山岩体									
YSK-01-1	290	365	0.79	0.0501	0.0031	0.1339	0.0083	0.02039	0.00041	0.00637	0.00016	129.9	2.6	127.6	7.9	128.3	3.2
YSK-01-2	175	128	1.37	0.0489	0.0037	0.1338	0.0095	0.02053	0.00038	0.00631	0.00023	131.0	2.5	127.5	9.1	127.1	4.6
YSK-01-3	251	225	1.11	0.0456	0.0030	0.1262	0.0082	0.02061	0.00036	0.00649	0.00018	132.0	2.3	120.7	7.8	130.8	3.6
YSK-01-4	476	777	0.61	0.0516	0.0024	0.1448	0.0066	0.02080	0.00033	0.00645	0.00011	132.2	2.1	137.3	6.3	130.0	2.2
YSK-01-5	414	702	0.59	0.0467	0.0024	0.1334	0.0071	0.02074	0.00041	0.00645	0.00012	132.6	2.7	127.1	6.8	130.0	2.4
YSK-01-6	128	112	1.14	0.0464	0.0040	0.1339	0.0115	0.02076	0.00048	0.00658	0.00027	132.9	3.1	127.6	11.0	132.6	5.4
YSK-01-7	268	395	0.68	0.0485	0.0029	0.1323	0.0077	0.02083	0.00043	0.00640	0.00016	132.9	2.8	126.2	7.3	128.9	3.2
YSK-01-8	236	325	0.73	0.0542	0.0033	0.1553	0.0090	0.02098	0.00041	0.00660	0.00015	132.9	2.7	146.6	8.5	133.0	3.0
YSK-01-9	174	206	0.84	0.0513	0.0041	0.1413	0.0108	0.02097	0.00044	0.00637	0.00017	133.4	2.9	134.2	10.3	128.3	3.4
YSK-01-10	290	412	0.70	0.0485	0.0028	0.1423	0.0080	0.02105	0.00037	0.00648	0.00013	134.3	2.4	135.1	7.6	130.6	2.6
YSK-01-11	880	1080	0.82	0.0501	0.0016	0.1443	0.0047	0.02113	0.00029	0.00676	0.00010	134.6	1.8	136.9	4.5	136.2	2.0
L51-01								拔茅山岩体									
L51-01-1	88.0	65.4	1.35	0.0572	0.0052	0.1548	0.0139	0.02034	0.00053	0.00748	0.00037	128.4	3.4	146.1	13.1	150.6	7.5
L51-01-2	100	106	0.95	0.0517	0.0053	0.1352	0.0137	0.02023	0.00056	0.00696	0.00028	128.6	3.6	128.8	13.0	140.2	5.6
L51-01-3	94.6	81.9	1.16	0.0632	0.0059	0.1664	0.0145	0.02081	0.00054	0.00643	0.00029	130.3	3.5	156.3	13.6	129.5	5.8
L51-01-4	102	79	1.29	0.0581	0.0057	0.1520	0.0140	0.02075	0.00052	0.00680	0.00030	130.8	3.4	143.7	13.2	137.0	6.0
L51-01-5	97.0	80.4	1.21	0.0542	0.0064	0.1407	0.0145	0.02084	0.00053	0.00691	0.00029	132.0	3.5	133.7	13.8	139.2	5.8
L51-01-6	134	117	1.15	0.0603	0.0060	0.1667	0.0155	0.02103	0.00051	0.00684	0.00029	132.2	3.4	156.6	14.6	137.8	5.8
L51-01-7	98.2	77.4	1.27	0.0562	0.0060	0.1675	0.0174	0.02096	0.00058	0.00717	0.00032	132.5	3.8	157.2	16.3	144.4	6.4
L51-01-8	106	112	0.95	0.0593	0.0053	0.1599	0.0132	0.02104	0.00056	0.00677	0.00023	132.5	3.6	150.6	12.4	136.4	4.6
L51-01-9	196	208	0.94	0.0515	0.0040	0.1464	0.0105	0.02114	0.00047	0.00682	0.00018	134.4	3.0	138.7	9.9	137.4	3.6
L51-01-10	157	129	1.22	0.0527	0.0044	0.1486	0.0108	0.02124	0.00042	0.00698	0.00024	134.8	2.7	140.7	10.2	140.6	4.8
L51-01-11	149	187	0.80	0.0467	0.0047	0.1345	0.0130	0.02128	0.00051	0.00672	0.00020	136.1	3.3	128.1	12.4	135.4	4.0
L51-01-12	100	105	0.96	0.0483	0.0053	0.1381	0.0149	0.02154	0.00053	0.00676	0.00026	137.4	3.5	131.4	14.2	136.2	5.2
L20-01								尖山岩体									
LJS-01-01	481	346	1.39	0.0484	0.0031	0.1301	0.0083	0.02015	0.00033	0.00651	0.00017	128.7	2.2	124.2	7.9	131.2	3.4
LJS-01-2	390	310	1.26	0.0520	0.0043	0.1435	0.0109	0.02037	0.00045	0.00679	0.00022	129.4	2.9	136.2	10.3	136.8	4.4
LJS-01-3	647	615	1.05	0.0476	0.0023	0.1296	0.0060	0.02026	0.00029	0.00633	0.00014	129.4	1.9	123.7	5.7	127.5	2.8

续附表

Continued Appendix Table

分析点	U ($\times10^{-6}$)	Th ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$	
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ
L20-01								尖山岩体									
LJS-01-4	652	580	1.12	0.0499	0.0026	0.1334	0.0070	0.02033	0.00036	0.00666	0.00014	129.5	2.3	127.1	6.7	134.2	2.8
LJS-01-5	223	159	1.41	0.0456	0.0040	0.1229	0.0107	0.02042	0.00043	0.00599	0.00025	130.8	2.8	117.7	10.2	120.7	5.0
LJS-01-6	478	328	1.46	0.0533	0.0030	0.1496	0.0083	0.02082	0.00031	0.00648	0.00019	132.0	2.0	141.6	7.9	130.6	3.8
LJS-01-7	441	296	1.49	0.0527	0.0028	0.1461	0.0070	0.02086	0.00031	0.00657	0.00018	132.4	2.0	138.5	6.6	132.4	3.6
LJS-01-8	656	462	1.42	0.0507	0.0023	0.1390	0.0059	0.02083	0.00031	0.00649	0.00016	132.6	2.0	132.2	5.6	130.8	3.2
LJS-01-9	323	258	1.25	0.0440	0.0030	0.1230	0.0084	0.02073	0.00037	0.00612	0.00019	133.0	2.4	117.8	8.0	123.3	3.8
LJS-01-10	1361	924	1.47	0.0501	0.0018	0.1433	0.0050	0.02119	0.00026	0.00675	0.00011	134.9	1.7	136.0	4.7	136.0	2.2
LJS-01-11	321	216	1.49	0.0468	0.0028	0.1322	0.0079	0.02111	0.00038	0.00622	0.00023	135.0	2.5	126.1	7.5	125.3	4.6
LJS-01-12	279	190	1.47	0.0392	0.0044	0.1104	0.0129	0.02132	0.00054	0.00708	0.00029	137.6	3.5	106.3	12.4	142.6	5.8
L48-01								谢瓦泥岩体									
L48-01-1	912	758	1.20	0.0488	0.0021	0.1348	0.0055	0.02039	0.00028	0.00637	0.00012	130.1	1.8	128.4	5.2	128.3	2.4
L48-01-2	683	535	1.28	0.0507	0.0024	0.1400	0.0065	0.02045	0.00031	0.00682	0.00016	130.2	2.0	133.0	6.2	137.4	3.2
L48-01-3	1689	1256	1.34	0.0505	0.0016	0.1403	0.0040	0.02048	0.00026	0.00633	0.00009	130.4	1.6	133.3	3.8	127.5	1.8
L48-01-4	883	674	1.31	0.0515	0.0020	0.1449	0.0057	0.02058	0.00027	0.00652	0.00013	130.9	1.8	137.4	5.4	131.4	2.6
L48-01-5	794	682	1.16	0.0558	0.0023	0.1580	0.0062	0.02084	0.00028	0.00636	0.00013	131.8	1.8	149.0	5.8	128.1	2.6
L48-01-6	1116	857	1.30	0.0516	0.0018	0.1427	0.0048	0.02074	0.00029	0.00656	0.00011	131.9	1.9	135.4	4.6	132.2	2.2
L48-01-7	861	445	1.94	0.0522	0.0022	0.1467	0.0060	0.02077	0.00030	0.00662	0.00016	132.0	1.9	139.0	5.7	133.4	3.2
L48-01-8	2577	1725	1.49	0.0492	0.0012	0.1381	0.0032	0.02074	0.00022	0.00655	0.00008	132.2	1.4	131.4	3.0	132.0	1.6
L48-01-9	1002	690	1.45	0.0524	0.0017	0.1483	0.0045	0.02097	0.00027	0.00687	0.00012	133.1	1.8	140.4	4.3	138.4	2.4
L48-01-10	692	486	1.42	0.0509	0.0023	0.1402	0.0057	0.02097	0.00031	0.00675	0.00013	133.4	2.0	133.2	5.4	136.0	2.6
L14-01								龙桥岩体									
L14-01-01	3058	2578	1.19	0.0518	0.0013	0.1424	0.0037	0.02020	0.00023	0.00671	0.00008	128.5	1.5	135.2	3.5	135.1	1.6
L14-01-02	3073	2343	1.31	0.0501	0.0012	0.1383	0.0033	0.02017	0.00024	0.00675	0.00009	128.5	1.6	131.5	3.1	135.9	1.8
L14-01-03	2779	2220	1.25	0.0497	0.0014	0.1379	0.0038	0.02028	0.00025	0.00642	0.00009	129.3	1.6	131.2	3.6	129.4	1.9
L14-01-04	8774	3861	2.27	0.0484	0.0020	0.1323	0.0061	0.02027	0.00046	0.00685	0.00016	129.4	2.9	126.2	5.8	137.9	3.2
L14-01-05	2012	1384	1.45	0.0510	0.0015	0.1431	0.0044	0.02044	0.00026	0.00669	0.00009	130.1	1.7	135.8	4.1	134.9	1.9
L14-01-06	5820	1696	3.43	0.0505	0.0011	0.1410	0.0028	0.02060	0.00022	0.00686	0.00010	131.2	1.4	133.9	2.7	138.2	1.9
L14-01-07	10608	2586	4.10	0.0493	0.0007	0.1385	0.0024	0.02060	0.00022	0.00675	0.00009	131.3	1.4	131.7	2.3	136.0	1.8
L14-01-08	1768	1359	1.30	0.0488	0.0014	0.1380	0.0041	0.02087	0.00026	0.00640	0.00010	133.1	1.7	131.3	3.9	128.9	2.0
L14-01-09	9202	2760	3.33	0.0487	0.0009	0.1385	0.0026	0.02092	0.00020	0.00685	0.00008	133.5	1.3	131.7	2.5	138.0	1.7
L14-01-10	6755	2987	2.26	0.0491	0.0009	0.1419	0.0028	0.02106	0.00026	0.00665	0.00007	134.3	1.6	134.7	2.6	134.0	1.5
L20-01								焦冲岩体									
L20-01-1	586	685	0.85	0.0623	0.0036	0.1680	0.0095	0.02018	0.00041	0.00579	0.00020	126.6	2.7	157.7	8.9	116.7	4.0
L20-01-2	749	869	0.86	0.0580	0.0025	0.1619	0.0068	0.02018	0.00035	0.00548	0.00012	127.3	2.2	152.4	6.4	110.5	2.4
L20-01-3	467	386	1.21	0.0877	0.0101	0.2489	0.0291	0.02106	0.00072	0.00889	0.00041	127.8	4.7	125.7	6.4	128.9	4.3
L20-01-4	587	635	0.92	0.0536	0.0025	0.1489	0.0069	0.02023	0.00029	0.00643	0.00013	128.3	1.9	140.9	6.5	129.5	2.6
L20-01-5	413	329	1.26	0.0494	0.0028	0.1382	0.0076	0.02019	0.00045	0.00644	0.00018	128.7	2.9	131.4	7.2	129.7	3.6
L20-01-6	894	903	0.99	0.0546	0.0023	0.1522	0.0060	0.02053	0.00025	0.00657	0.00012	130.0	1.6	143.9	5.7	132.4	2.4
L20-01-7	343	362	0.95	0.0659	0.0039	0.1833	0.0104	0.02086	0.00036	0.00644	0.00020	130.2	2.3	170.9	9.7	129.7	4.0

续附表

Continued Appendix Table

分析点	U ($\times10^{-6}$)	Th ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$	
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	年龄 (Ma)	1σ	年龄 (Ma)	1σ	年龄 (Ma)	1σ
L20-01								焦冲岩体									
L20-01-8	614	511	1.20	0.0483	0.0022	0.1346	0.0061	0.02042	0.00030	0.00585	0.00014	130.4	2.0	128.2	5.8	117.9	2.8
L20-01-9	942	1184	0.80	0.0616	0.0022	0.1739	0.0060	0.02086	0.00027	0.00576	0.00013	130.9	1.8	162.8	5.6	116.1	2.6
L20-01-10	461	373	1.23	0.0539	0.0029	0.1507	0.0076	0.02084	0.00036	0.00658	0.00016	132.1	2.3	142.5	7.2	132.6	3.2
L24-01								土地山岩体									
L24-01-1	50.6	123	0.41	0.0544	0.0137	0.1241	0.0302	0.01925	0.00096	0.00630	0.00047	122.0	6.4	118.8	28.9	126.9	9.5
L24-01-2	396	297	1.33	0.0485	0.0030	0.1315	0.0082	0.01998	0.00036	0.00636	0.00018	127.6	2.3	125.4	7.8	128.1	3.6
L24-01-3	237	533	0.45	0.0490	0.0042	0.1276	0.0109	0.02003	0.00043	0.00618	0.00014	127.8	2.8	121.9	10.4	124.5	2.8
L24-01-4	344	519	0.66	0.0500	0.0034	0.1397	0.0093	0.02010	0.00033	0.00632	0.00015	128.0	2.2	132.8	8.8	127.3	3.0
L24-01-5	309	658	0.47	0.0672	0.0041	0.1854	0.0112	0.02063	0.00037	0.00627	0.00017	128.6	2.4	172.7	10.4	126.3	3.4
L24-01-6	618	466	1.33	0.0498	0.0025	0.1383	0.0068	0.02019	0.00030	0.00673	0.00015	128.7	2.0	131.5	6.5	135.6	3.0
L24-01-7	395	536	0.74	0.0524	0.0035	0.1473	0.0091	0.02046	0.00038	0.00611	0.00016	129.9	2.4	139.5	8.6	123.1	3.2
L24-01-8	39.1	61.6	0.63	0.0497	0.0125	0.0888	0.0251	0.02052	0.00087	0.00670	0.00041	130.8	5.9	136.4	4.4	135.0	8.3
L24-01-9	41.4	60.0	0.69	0.0640	0.0120	0.1587	0.0298	0.02106	0.00092	0.00578	0.00040	131.8	6.1	149.6	28.1	116.5	8.1
L24-01-10	48.7	75.4	0.65	0.0547	0.0147	0.1179	0.0255	0.02089	0.00088	0.00639	0.00037	132.3	6.0	113.2	24.5	128.7	7.5
L24-01-11	684	1109	0.62	0.0490	0.0024	0.1363	0.0066	0.02076	0.00031	0.00655	0.00009	132.4	2.0	129.7	6.3	132.0	1.8
L24-01-12	23.9	30.1	0.76	0.0633	0.0170	0.1470	0.0389	0.02116	0.00122	0.00666	0.00048	132.5	8.1	139.3	36.9	134.2	9.7
L11-01								凤凰山岩体									
L11-01-1	1484	1250	1.19	0.0509	0.0019	0.1354	0.0044	0.01972	0.00026	0.00611	0.00011	125.5	1.7	128.9	4.2	123.1	2.2
L11-01-2	3542	3490	1.01	0.0480	0.0013	0.1285	0.0034	0.01967	0.00025	0.00619	0.00008	125.6	1.6	122.7	3.2	124.7	1.6
L11-01-3	2903	2488	1.17	0.0510	0.0013	0.1387	0.0036	0.02005	0.00024	0.00626	0.00009	127.6	1.5	131.9	3.4	126.1	1.8
L11-01-4	3119	2575	1.21	0.0481	0.0012	0.1322	0.0033	0.02003	0.00027	0.00617	0.00008	127.9	1.7	126.1	3.1	124.3	1.6
L11-01-5	990	562	1.76	0.0489	0.0020	0.1324	0.0054	0.02018	0.00026	0.00652	0.00014	128.7	1.7	126.3	5.1	131.4	2.8
L11-01-6	3333	2588	1.29	0.0485	0.0012	0.1318	0.0033	0.02017	0.00023	0.00631	0.00008	128.8	1.5	125.7	3.1	127.1	1.6
L11-01-7	3604	2668	1.35	0.0484	0.0012	0.1327	0.0032	0.02020	0.00020	0.00621	0.00008	129.0	1.3	126.5	3.1	125.1	1.6
L11-01-8	1150	706	1.63	0.0540	0.0020	0.1489	0.0054	0.02039	0.00026	0.00649	0.00013	129.3	1.7	140.9	5.1	130.8	2.6
L11-01-9	2693	2209	1.22	0.0486	0.0014	0.1344	0.0035	0.02028	0.00024	0.00639	0.00009	129.4	1.5	128.0	3.3	128.7	1.8
L11-01-10	3376	3160	1.07	0.0482	0.0012	0.1329	0.0034	0.02033	0.00024	0.00637	0.00007	129.8	1.5	126.7	3.2	128.3	1.4
L11-01-11	692	376	1.84	0.0476	0.0024	0.1341	0.0065	0.02049	0.00031	0.00631	0.00018	130.9	2.0	127.8	6.2	127.1	3.6
L10-01								罗岭岩体									
L10-01-1	6646	2995	2.22	0.1107	0.0029	0.3184	0.0090	0.02072	0.00022	0.01385	0.00038	122.0	1.4	141.7	7.9	167.0	7.6
L10-01-2	3687	6193	0.60	0.1027	0.0055	0.2888	0.0197	0.02075	0.00092	0.00792	0.00042	123.4	5.5	157.6	7.6	159.5	8.5
L10-01-3	3256	1264	2.58	0.0698	0.0020	0.1978	0.0056	0.02034	0.00030	0.00833	0.00018	126.4	1.9	138.3	5.2	167.7	3.6
L10-01-4	3146	5851	0.54	0.0995	0.0048	0.2865	0.0142	0.02117	0.00060	0.00635	0.00019	126.5	3.7	155.8	5.7	127.9	3.8
L10-01-5	2702	1312	2.06	0.0845	0.0031	0.2431	0.0085	0.02077	0.00044	0.00830	0.00024	126.6	2.7	141.0	7.7	167.1	4.8
L10-01-6	314	730	0.43	0.0500	0.0036	0.1331	0.0091	0.01995	0.00037	0.00644	0.00015	127.1	2.4	126.9	8.7	129.7	3.0
L10-01-7	3504	3033	1.16	0.0765	0.0019	0.2212	0.0056	0.02078	0.00024	0.00777	0.00019	128.0	1.5	142.9	5.1	156.4	3.8
L10-01-8	729	1208	0.60	0.0549	0.0036	0.1535	0.0098	0.02021	0.00037	0.00656	0.00016	128.0	2.4	145.0	9.3	132.2	3.2
L10-01-9	267	578	0.46	0.0546	0.0042	0.1535	0.0118	0.02022	0.00044	0.00680	0.00016	128.1	2.9	145.0	1.1	137.0	3.2
L10-01-10	628	908	0.69	0.0534	0.0025	0.1500	0.0069	0.02047	0.00032	0.00620	0.00014	129.9	2.1	141.9	6.5	124.9	2.8
L10-01-11	10445	9183	1.14	0.0536	0.0014	0.1514	0.0041	0.02049	0.00025	0.00646	0.00009	129.9	1.6	143.1	3.9	130.2	1.8
L10-01-12	459	637	0.72	0.0462	0.0030	0.1367	0.0090	0.02095	0.00035	0.00677	0.00016	134.1	2.3	130.1	8.6	136.4	3.2

续附表

Continued Appendix Table

分析点	U ($\times10^{-6}$)	Th ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$	
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ
L31-01								龙王尖岩体									
L31-01-1	93	108	0.86	0.0501	0.0041	0.5368	0.0615	0.01914	0.00044	0.00658	0.00018	122.0	2.8	123.3	10.0	132.6	3.6
L31-01-2	90	101	0.90	0.0502	0.0044	0.4813	0.0537	0.01916	0.00042	0.00632	0.00021	122.1	2.8	123.0	14.5	127.3	4.2
L31-01-3	85	68	1.24	0.0586	0.0050	0.1295	0.0109	0.01964	0.00043	0.00656	0.00022	123.8	2.8	123.6	10.4	132.2	4.4
L31-01-4	93	88	1.06	0.0539	0.0051	0.1297	0.0112	0.01962	0.00052	0.00650	0.00025	124.4	3.4	123.8	10.7	131.0	5.0
L31-01-5	112	115	0.98	0.0545	0.0045	0.1470	0.0121	0.01972	0.00053	0.00631	0.00019	124.9	3.4	139.3	11.5	127.1	3.8
L31-01-6	74	66	1.11	0.0577	0.0057	0.1754	0.0161	0.02003	0.00045	0.00674	0.00025	126.4	3.0	164.1	15.1	135.8	5.0
L31-01-7	125	158	0.79	0.0555	0.0049	0.1328	0.0124	0.02002	0.00049	0.00640	0.00018	126.7	3.1	126.6	11.8	128.9	3.6
L31-01-8	91	86	1.06	0.0518	0.0040	0.1440	0.0117	0.01993	0.00050	0.00652	0.00024	126.7	3.2	136.6	11.1	131.4	4.8
L31-01-9	68	67	1.02	0.0475	0.0052	0.2420	0.0167	0.01991	0.00054	0.00626	0.00025	127.2	3.5	134.1	15.2	126.1	5.0
L31-01-10	117	133	0.87	0.0558	0.0042	0.1486	0.0136	0.02019	0.00051	0.00645	0.00020	127.7	3.3	140.7	12.9	130.0	4.0
L31-01-11	91	89	1.02	0.0461	0.0042	0.1467	0.0125	0.02001	0.00045	0.00599	0.00023	128.1	2.9	139.0	11.8	120.7	4.6
L31-01-12	156	154	1.01	0.0466	0.0031	0.1342	0.0103	0.02007	0.00036	0.00636	0.00016	128.4	2.4	127.9	9.8	128.1	3.2
L31-01-13	94	93	1.01	0.0468	0.0045	0.1830	0.0160	0.02012	0.00054	0.00640	0.00022	128.7	3.5	170.6	14.9	128.9	4.4
L31-01-14	175	181	0.97	0.0504	0.0033	0.1130	0.0118	0.02025	0.00046	0.00654	0.00016	128.9	2.9	108.7	11.4	131.8	3.2
L31-01-15	133	141	0.94	0.0523	0.0035	0.1608	0.0118	0.02036	0.00045	0.00632	0.00020	129.3	2.9	151.4	11.1	127.3	4.0
L31-01-16	77	79	0.98	0.0443	0.0045	0.1199	0.0105	0.02017	0.00051	0.00645	0.00022	129.4	3.3	115.0	10.1	130.0	4.4
L31-01-17	106	123	0.86	0.0530	0.0038	0.1253	0.0077	0.02052	0.00045	0.00655	0.00020	130.2	2.9	119.9	7.4	132.0	4.0
L31-01-18	157	171	0.92	0.0458	0.0033	0.2764	0.0188	0.02038	0.00051	0.00661	0.00018	130.5	3.3	147.8	16.9	133.2	3.6
L31-01-19	93	108	0.86	0.0501	0.0041	0.1240	0.0118	0.01914	0.00044	0.00658	0.00018	122.0	2.8	118.7	11.3	132.6	3.6
L31-01-20	90	101	0.90	0.0502	0.0044	0.1315	0.0085	0.01916	0.00042	0.00632	0.00021	122.1	2.8	125.4	8.1	127.3	4.2
L31-01-21	85	68	1.24	0.0586	0.0050	0.1443	0.0093	0.01964	0.00043	0.00656	0.00022	123.8	2.8	136.9	8.8	132.2	4.4
L36-01								小岭岩体									
L36-01-1	374	408	0.92	0.0493	0.0030	0.1265	0.0072	0.01922	0.00031	0.00615	0.00015	122.6	2.0	120.9	6.9	123.9	3.0
L36-01-2	149	139	1.07	0.0507	0.0044	0.1259	0.0111	0.01935	0.00042	0.00638	0.00022	123.2	2.8	120.4	10.6	128.5	4.4
L36-01-3	358	399	0.90	0.0520	0.0032	0.1309	0.0078	0.01945	0.00037	0.00651	0.00015	123.7	2.4	124.9	7.4	131.2	3.0
L36-01-4	175	164	1.07	0.0534	0.0038	0.1410	0.0102	0.01961	0.00045	0.00636	0.00021	124.4	2.9	133.9	9.7	128.1	4.2
L36-01-5	153	153	1.00	0.0480	0.0045	0.1275	0.0118	0.01950	0.00043	0.00621	0.00022	124.6	2.8	121.8	11.3	125.1	4.4
L36-01-6	144	125	1.15	0.0623	0.0055	0.1551	0.0124	0.02014	0.00042	0.00696	0.00024	126.3	2.8	146.4	11.7	140.2	4.8
L36-01-7	208	223	0.93	0.0567	0.0042	0.1504	0.0101	0.02005	0.00038	0.00655	0.00019	126.7	2.5	142.3	9.6	132.0	3.8
L36-01-8	189	169	1.12	0.0495	0.0041	0.1298	0.0104	0.01989	0.00042	0.00609	0.00019	126.8	2.7	123.9	9.9	122.7	3.8
L36-01-9	394	508	0.78	0.0492	0.0029	0.1385	0.0081	0.02009	0.00036	0.00637	0.00015	128.1	2.4	131.7	7.7	128.3	3.0
L36-01-10	159	136	1.17	0.0463	0.0043	0.1209	0.0107	0.02021	0.00042	0.00652	0.00022	129.3	2.8	115.9	10.3	131.4	4.4
L36-01-11	236	271	0.87	0.0508	0.0035	0.1379	0.0097	0.02043	0.00040	0.00664	0.00015	130.0	2.6	131.2	9.2	133.8	3.0
L36-01-12	181	172	1.05	0.0518	0.0047	0.1346	0.0105	0.02063	0.00043	0.00646	0.00021	131.1	2.8	128.2	10.0	130.2	4.2
L21-01								大缸窑岩体									
L21-01-1	163	196	0.83	0.0480	0.0049	0.1147	0.0106	0.01903	0.00041	0.00637	0.00021	121.6	2.7	110.3	10.2	128.3	4.2
L21-01-2	380	420	0.90	0.0491	0.0032	0.1276	0.0078	0.01939	0.00034	0.00634	0.00013	123.7	2.2	121.9	7.5	127.7	2.6
L21-01-3	441	246	1.79	0.0486	0.0024	0.1290	0.0063	0.01944	0.00035	0.00618	0.00018	124.1	2.3	123.2	6.0	124.5	3.6
L21-01-4	950	931	1.02	0.0460	0.0019	0.1265	0.0052	0.01960	0.00028	0.00648	0.00011	125.5	1.8	120.9	5.0	130.6	2.2

续附表

Continued Appendix Table

分析点	U ($\times10^{-6}$)	Th ($\times10^{-6}$)	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$	
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	年龄 (Ma)	1σ	年龄 (Ma)	1σ	年龄 (Ma)	1σ
L21-01								大缸窑岩体									
L21-01-5	194	224	0.87	0.0512	0.0044	0.1366	0.0109	0.01977	0.00044	0.00634	0.00022	125.8	2.9	130.0	10.4	127.7	4.4
L21-01-6	170	186	0.92	0.0480	0.0048	0.1222	0.0115	0.01974	0.00041	0.00630	0.00022	126.1	2.7	117.1	11.0	126.9	4.4
L21-01-7	224	320	0.70	0.0480	0.0040	0.1325	0.0102	0.01976	0.00039	0.00640	0.00018	126.2	2.5	126.3	9.7	128.9	3.6
L21-01-8	344	360	0.95	0.0488	0.0032	0.1365	0.0090	0.01989	0.00034	0.00639	0.00016	126.9	2.2	129.9	8.6	128.7	3.2
L21-01-9	192	222	0.86	0.0472	0.0038	0.1272	0.0098	0.01985	0.00043	0.00623	0.00020	126.9	2.8	121.6	9.4	125.5	4.0
L21-01-10	385	313	1.23	0.0488	0.0031	0.1326	0.0082	0.01992	0.00034	0.00670	0.00018	127.1	2.2	126.4	7.8	135.0	3.6
L21-01-11	489	444	1.10	0.0504	0.0031	0.1419	0.0080	0.02000	0.00031	0.00673	0.00014	127.3	2.0	134.7	7.6	135.6	2.8
L21-01-12	570	504	1.13	0.0495	0.0024	0.1348	0.0061	0.01999	0.00030	0.00661	0.00014	127.5	2.0	128.4	5.8	133.2	2.8
L18-01								巴坛岩体									
L18-01-1	94	92	1.01	0.0492	0.0040	0.1219	0.0094	0.01885	0.00044	0.00611	0.00020	120.3	2.9	116.8	9.0	123.1	4.0
L18-01-2	217	262	0.83	0.0518	0.0029	0.1293	0.0071	0.01904	0.00031	0.00631	0.00012	121.1	2.0	123.5	6.8	127.1	2.4
L18-01-3	174	234	0.74	0.0524	0.0029	0.1332	0.0070	0.01935	0.00039	0.00635	0.00012	123.0	2.5	127.0	6.7	127.9	2.4
L18-01-4	231	277	0.83	0.0479	0.0029	0.1285	0.0073	0.01925	0.00031	0.00608	0.00013	123.0	2.0	122.7	7.0	122.5	2.6
L18-01-5	187	134	1.40	0.0487	0.0030	0.1267	0.0081	0.01928	0.00042	0.00626	0.00017	123.0	2.7	121.1	7.7	126.1	3.4
L18-01-6	198	150	1.32	0.0491	0.0029	0.1289	0.0075	0.01931	0.00031	0.00608	0.00015	123.2	2.0	123.1	7.2	122.5	3.0
L18-01-7	781	816	0.96	0.0500	0.0015	0.1317	0.0038	0.01954	0.00025	0.00629	0.00009	124.5	1.6	125.6	3.6	126.7	1.8
L18-01-8	756	738	1.02	0.0481	0.0015	0.1305	0.0040	0.01950	0.00022	0.00623	0.00008	124.6	1.4	124.5	3.8	125.5	1.6
L18-01-9	905	910	0.99	0.0469	0.0015	0.1214	0.0035	0.01949	0.00021	0.00632	0.00008	124.7	1.4	116.3	3.4	127.3	1.6
L18-01-10	96	82	1.16	0.0524	0.0042	0.1314	0.0098	0.01967	0.00052	0.00625	0.00021	125.0	3.4	125.4	9.3	125.9	4.2
L18-01-11	135	169	0.80	0.0529	0.0040	0.1354	0.0098	0.01969	0.00053	0.00612	0.00020	125.0	3.4	128.9	9.3	123.3	4.0
L18-01-12	157	146	1.08	0.0522	0.0033	0.1392	0.0085	0.01973	0.00043	0.00612	0.00018	125.4	2.8	132.3	8.1	123.3	3.6
L18-01-13	270	236	1.15	0.0447	0.0020	0.1218	0.0054	0.01959	0.00029	0.00662	0.00014	125.7	1.9	116.7	5.2	133.4	2.8
L18-01-14	184	245	0.75	0.0534	0.0034	0.1389	0.0086	0.01989	0.00042	0.00634	0.00013	126.2	2.7	132.1	8.2	127.7	2.6
L18-01-15	279	355	0.78	0.0468	0.0021	0.1297	0.0059	0.01978	0.00031	0.00631	0.00013	126.5	2.0	123.8	5.6	127.1	2.6
L18-01-16	287	368	0.78	0.0471	0.0025	0.1276	0.0066	0.01984	0.00029	0.00634	0.00013	126.9	1.9	121.9	6.3	127.7	2.6
L18-01-17	89	112	0.80	0.0517	0.0044	0.1347	0.0113	0.02001	0.00051	0.00627	0.00019	127.2	3.3	128.3	10.8	126.3	3.8
L18-01-18	261	175	1.49	0.0541	0.0024	0.1473	0.0065	0.02025	0.00034	0.00608	0.00014	128.3	2.2	139.5	6.2	122.5	2.8
L18-01-19	301	393	0.77	0.0467	0.0022	0.1299	0.0060	0.02020	0.00036	0.00650	0.00012	129.2	2.3	124.0	5.7	131.0	2.4
L18-01-20	225	242	0.93	0.0474	0.0024	0.1292	0.0068	0.02023	0.00030	0.00637	0.00014	129.3	1.9	123.4	6.5	128.3	2.8
L18-01-21	147	221	0.67	0.0546	0.0040	0.1452	0.0101	0.02064	0.00038	0.00620	0.00014	130.7	2.5	137.7	9.6	124.9	2.8
L11-02								毛王庙岩体									
L11-02-1	214	330	0.65	0.0527	0.0050	0.1257	0.0115	0.01881	0.00040	0.00652	0.00017	119.5	2.7	120.2	11.0	131.4	3.4
L11-02-2	146	172	0.85	0.0656	0.0056	0.1555	0.0122	0.01936	0.00051	0.00642	0.00020	120.9	3.3	146.8	11.5	129.3	4.0
L11-02-3	272	531	0.51	0.0569	0.0052	0.1372	0.0118	0.01939	0.00043	0.00619	0.00014	122.5	2.8	130.5	11.2	124.7	2.8
L11-02-4	147	168	0.87	0.0550	0.0053	0.1467	0.0140	0.01952	0.00048	0.00602	0.00022	123.6	3.2	139.0	13.3	121.3	4.4
L11-02-5	94	113	0.83	0.0565	0.0086	0.1380	0.0200	0.01963	0.00064	0.00636	0.00029	124.1	4.3	131.3	19.0	128.1	5.8
L11-02-6	178	230	0.77	0.0570	0.0054	0.1348	0.0116	0.01967	0.00047	0.00641	0.00020	124.2	3.1	128.4	11.0	129.1	4.0
L11-02-7	214	305	0.70	0.0520	0.0043	0.1442	0.0120	0.01956	0.00044	0.00620	0.00018	124.3	2.8	136.8	11.4	124.9	3.6
L11-02-8	98	131	0.74	0.0558	0.0072	0.1382	0.0166	0.01972	0.00060	0.00600	0.00027	124.8	4.0	131.4	15.8	120.9	5.4
L11-02-8	93	95	0.98	0.0605	0.0070	0.1437	0.0163	0.01990	0.00058	0.00581	0.00030	125.2	3.8	136.3	15.5	117.1	6.0
L11-02-9	60	64	0.94	0.0724	0.0109	0.1578	0.0252	0.02034	0.00070	0.00685	0.00042	125.9	4.7	148.8	23.8	138.0	8.5
L11-02-10	111	177	0.63	0.0432	0.0058	0.1186	0.0158	0.01989	0.00062	0.00618	0.00023	127.8	4.1	113.8	15.2	124.5	4.6
L11-02-11	167	219	0.76	0.0469	0.0048	0.1264	0.0129	0.02018	0.00049	0.00624	0.00018	129.0	3.2	120.9	12.3	125.7	3.6