

安徽铜陵矿集区中生代侵入岩体年代学研究及其成矿指示意义

施珂^{1,2)}, 杜建国¹⁾, 万秋¹⁾, 陈芳¹⁾, 蔡杨¹⁾, 曹荆亚^{1,2)},
吴礼彬¹⁾, 王利民¹⁾, 谭德兴¹⁾

1) 安徽省地质调查院(安徽省地质科学研究所), 合肥, 230001; 2) 中国科学技术大学, 合肥, 230026

内容提要:基于前人在铜陵矿集区获得的大量高精度同位素定年数据,本文补充测定了研究程度相对较低的棋子坑、瑶山、荷花塘等11个小型侵入体的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄,年龄分布在147~131 Ma之间。通过对区内成岩-成矿时代进行系统分析,提出了该区为一燕山期陆内“瞬时大规模成矿作用”形成的大型矿集区。区内燕山期成矿岩体主要包括花岗闪长岩类、石英(二长)闪长岩类和辉石(二长)闪长岩类等3类中酸性侵入岩,其成岩时代主要集中在152~130 Ma之间,其中,花岗闪长岩集中在148~137 Ma、石英(二长)闪长岩在152~130 Ma、辉石(二长)闪长岩在150~134 Ma,区内主要矿床中获得的辉钼矿Re-Os成矿年龄分布在141~137 Ma,成岩与成矿时代相差约10 Ma以内,且成矿年龄具有自东向西逐渐变新的特征,区内相邻矿田成矿时代相差2 Ma左右。铜陵矿集区在141~137 Ma的短时限内三次幕式大规模成矿作用为全球陆内岩浆成矿作用中所罕见。

关键词:铜陵矿集区;中酸性侵入岩类;成岩-成矿时代;瞬时大规模成矿作用

铜陵矿集区是长江中下游成矿带中地质研究程度较高地区之一,在面积约1000 km²的范围之内,大一中型铜金多金属矿床群集,形成了以燕山期岩浆成矿作用为主的大型矿集区。有关铜陵矿集区岩浆成矿作用研究一直经久不衰,发表的专著、论文不胜枚举(Chang Yinfo et al., 1991; Xing Fengming and Xu Xiang, 1996; Cheng Jiangfeng et al., 1985; Tang Yongcheng et al., 1998; Zhou and Li, 2000; Wu et al., 2000; Wang Qiang et al., 2003; Du Yangsong et al., 2007; Di Yongjun et al., 2005; Xie Jiancheng et al., 2008; Xie et al., 2009; Xu Xiaochun et al., 2012; Xie Jiancheng, 2012; Hu Le et al., 2018; Xu Xiaochun et al., 2018),尤其进入21世纪以来,随着测试方法技术的进步,针对铜陵矿集区分布的侵入岩和典型矿床获得了大量的高精度同位素定年数据,为矿

集区成因和岩浆成岩-成矿时代的精确厘定奠定了重要基础。然而对于区内岩浆岩时代间的细微差异、岩浆岩形成的幕次划分及不同岩浆活动幕次与成矿作用的对应关系,研究相对薄弱。本文在充分收集整理铜陵矿集区成岩、成矿同位素年龄数据的基础上,补充测定了棋子坑、瑶山、荷花塘等11个小岩体的锆石U-Pb同位素年龄,为该区成岩时代提供更加丰富的同位素年代学信息,旨在更加全面系统的探讨铜陵地区成岩与成矿的耦合关系。

1 区域成矿背景

长江中下游成矿带包含了7个大型矿集区,从北东到南西依次为宁镇(Cu-Fe-Pb-Zn)、宁芜(Fe)、铜陵(Cu-Au-Pb-Zn)、庐枞(Fe-Cu)、安庆-贵池(Cu-Fe)、九瑞(Cu-Au)和鄂东(Fe-Cu)(Liu Xiangpei et al., 1988; Chang Yinfo et al., 1991)。长江中下游

注:本文为安徽省国土资源科技项目(编号2016-K-3)及中国地质调查局项目(编号12120115030201)资助成果。

收稿日期:2018-03-12;改回日期:2018-06-05;网络发表日期:2018-12-20;责任编辑:周健。

作者简介:施珂,男,1989年生。博士研究生,工程师,从事矿床学研究。Email:563835955@qq.com。通讯作者:杜建国,男,1962年生。教授级高级工程师,长期从事矿床学、区域成矿研究。Email:ahdujianguo@126.com。

引用本文:施珂,杜建国,万秋,陈芳,蔡杨,曹荆亚,吴礼彬,王利民,谭德兴. 2019. 安徽铜陵矿集区中生代侵入岩体年代学研究及其成矿指示意义. 地质学报, 93(5):1096~1112, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019037.

Shi Ke, Du Jianguo, Wan Qiu, Chen Fang, Cai Yang, Cao Jingya, Wu Libin, Wang Limin, Tan Dexing. 2019. Chronology study of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling ore-cluster region, Anhui, and its metallogenic significance. Acta Geologica Sinica, 93(5):1096~1112.

成矿带 7 个矿集区在第一找矿空间(0~500m)的主要容矿、控矿层各有不同,从与构造、地层和岩浆岩的关系,可大致分为三类,一类是断陷火山-沉积盆地(简称盆地区),主要为与橄榄安粗岩系列火山-潜火山-浅成侵入岩有关的铁、铜矿床,如庐枞和宁芜矿集区,主要容矿层为早白垩世砖桥组(庐枞)、大王山组(宁芜);二是产于断块褶皱隆起区(简称隆起区),主要为与高钾钙碱性系列侵入岩有关的铜、金矿集区,如铜陵、九瑞、贵池和宁镇矿集区,主要容矿层为老虎洞组-东马鞍山组之间;三是隆起和坳陷过渡区(简称过渡区),如安庆、鄂东南矿集区,主要容矿层为中三叠统东马鞍山组。由于长江中下游成矿带具有统一的盖层沉积演化史,分布稳定,大范围具有可对比性,而且中生代岩浆活动强烈,并贯穿于各构造地层单元,三类矿集区在晚三叠世以前具有相同的成矿地质环境,应该发育相同的成矿系统,晚三叠世以后由于隆坳格局和剥蚀深度的变化,才出现了形式上与隆起和坳陷关系密切的 3 类矿集区。

铜陵矿集区是第二类矿集区的典型代表,该区位于下扬子拗陷带的中段,其四周由中生代盆地所围限的一断块隆起(图 1)。区内出露岩石地层为早志留世一中三叠世海相沉积的碎屑岩-碳酸盐岩建造组合,主要控矿层位为晚石炭世一中三叠世碳酸盐岩夹碎屑岩建造;在铜陵矿集区南部地表及深部钻孔揭示有奥陶纪地层存在,地表多以构造岩片、岩块沿断裂产出,钻孔所见奥陶纪地层多属中、下奥陶统,其与志留纪地层之间存在地层缺失,表明二者之间为一对成矿有利的构造界面和 Si/Ca 界面,也是区内下步探索的重要目标。区内构造较复杂,盖层构造线总体走向为北东向,褶皱以背斜、向斜相间产出,背斜形态较紧闭、向斜宽缓,具有“隔挡式”褶皱的特点,背斜构造轴面多倾向北西,其南翼多出现倒转,背斜转折端多位于北部,南部相对开阔,显示整个“断隆”向北倾伏、南部隆升;区内断裂构造以北东向、北西向为主,次为近南北向、北北东向,前者是区内主要控岩控矿构造,其中北东向顺层断裂、层间滑

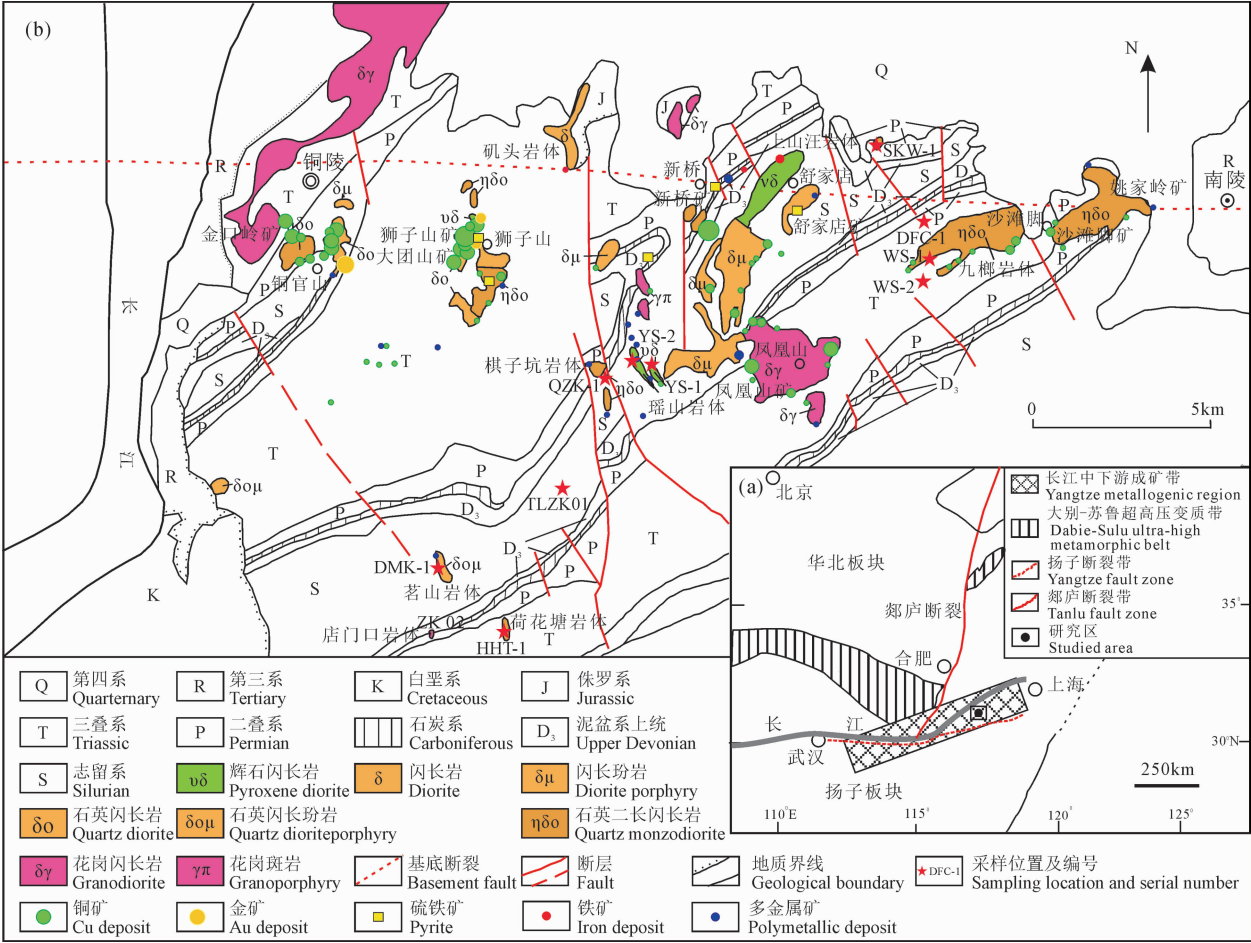


图 1 铜陵矿集区地质略图(转引自谢建成等,2012)
Fig. 1 Geological sketch map of the Tongling metallogenic district (after Xie et al. , 2012)

脱带是区内重要的赋矿构造。据前人研究(Chang Yinfo et al., 1991; Chu Guozheng et al., 1995; Tang Yongcheng et al., 1998),在铜官山—狮子山—新桥—姚家岭存在东西向基底断裂是区内重要的控岩控矿断裂,沿该断裂带与盖层北东向褶皱构造交汇部位是区内岩浆活动中心和矿田产出位置。

2 区域岩浆岩基本特征

铜陵地区岩浆活动十分强烈,地表出露的小岩体共 76 个(图 1b),多呈中—浅成相的岩滴、岩株、岩枝产出,剥蚀程度较浅,地表出露面积一般在 1~3km²,最小不足 0.1km²,最大的凤凰山岩体,出露面积仅约 10km²。从岩体分布的范围来看,小岩体多集中成群成带分布,大体在铜官山、狮子山、新桥—舒家店—凤凰山、桥头杨—沙滩脚等地形成几个集中分布的岩体群,总体呈带状产出,明显受基底东西向构造控制,这种宏观分布特征与区内矿化集中区一致。从出露岩体总体展布形态来看,长轴总体以北东向为主,少数岩体呈北西向、北北西向、北北东向或近南北向,岩体长轴呈北东向展布的小岩体主要见于铜官山、桥头杨、沙滩脚、戴家汇等地,呈北北西向的小岩体主要分布在狮子山以北、矾头山及寨山一带,集中于中部地区;呈北西向的小岩体主要分布在金口岭、焦冲—狮子山、六丰山等地;呈北北东向的小岩体主要分布在西湖、顺安、天马山—虎山、舒家店—新桥头一带,其他还有一些呈南北、东西向分布的小岩体;这些岩体的长轴方向与本区地表发育的不同方向、不同性质的褶皱构造断裂构造相对应,说明表层岩体侵位主要受盖层褶皱、断裂控制。

在铜陵矿集区,通过地质-重力-磁测-电(CSAMT)三维综合反演(Lan Xueyi et al., 2015),在区内圈定岩体群 20 多个。大多数岩体分布于东西向展布的铜陵-南陵深断裂控制的岩浆成矿带之上,控制着铜陵地块内的铜官山矿田、狮子山矿田、新桥矿田、凤凰山矿田、沙滩脚矿田等主要铜金(铁)矿产的分布,少数分布于铜陵地块南侧的五贵桥、天门山一带。岩体总体呈近东西向或北西向展布,与区域构造格架相对应,显示其受深部构造断裂控制。区内深、中、浅三个层次的构造控岩机制构成了岩体空间形态,显示深部隐伏岩基、中部岩浆柱与浅部小岩株;而且较深层次的侵入体多形成“似层状”岩体,中—浅层位的侵入体多成为“柱体”岩体,而在超浅成或近地表条件下形成的侵入体多呈瘤状、“蘑菇

状”甚至漏斗状,深部与中浅部岩体形态结构存在较大的差异。

铜陵矿集区内与成矿有关的燕山期中酸性侵入体主要包括花岗闪长岩类、石英(二长)闪长岩类、辉石(二长)闪长岩类等 3 类侵入体(Xing Fengming et al., 1996; Wu Cailai et al., 2013; Xu Xiaochun et al., 2012),此外,尚见花岗斑岩、闪长玢岩、辉绿岩等呈岩脉、岩墙状产出。不同的岩石类型具有如下分布特征(图 1b):①辉石闪长岩-辉石二长闪长岩组合:主要分布于小铜官山、鸡冠山、白芒山、狮子山、杉木岭、舒家店、湖城涧、余村、老山、斗蓬山、曹山等地。该组合主要岩石类型为辉石闪长(玢)岩、辉石二长闪长(玢)岩,与本区金、铜矿有着密切的关系。②石英闪长岩-石英二长闪长岩组合:该组合主要岩石类型为石英二长闪长岩、石英闪长岩、闪长岩和闪长玢岩,沿铜陵-南陵断裂广泛分布,是铜陵地区最主要的岩浆岩,主要与铜金矿关系密切。③花岗闪长岩组合:该组合主要岩石类型为花岗闪长岩和花岗闪长斑岩。其主要与铜矿、多金属矿关系密切(Xie Jiancheng et al., 2008)。

主要侵入体被分为两个岩石系列(Xing Fengming et al., 1996; Wu Cailai et al., 2013),一是与高钾钙碱性中酸性花岗闪长岩、辉石二长闪长岩等有关的矽卡岩型-斑岩型-热液型矿床成矿亚系列;二是与偏基性石英(二长)闪长岩、二长岩等橄榄安粗岩系列侵入岩有关矿床成矿亚系列。而 Xu Xiaochun et al. (2012)根据 Q-A-P 图解以及岩石地球化学变化等特征确定区内三类主要侵入岩均属中酸性闪长质岩石和亚碱性高钾钙碱性系列。在岩浆与成矿关系中出现专属性特点,花岗闪长岩主要形成铜、铅锌矿,石英(二长)闪长岩为铜、铁矿,辉石二长闪长岩则主要为铜、金矿化。

3 矿床空间分布特征

铜陵矿集区主要是一与燕山期岩浆成矿作用有关的金属矿密集分布区,主要矿田、矿床多围绕侵入岩岩体群、岩体周边产出,形成了铜官山(Cu、Au、Fe)、狮子山(Cu、Au、S、Pb、Zn)、新桥-舒家店(Cu、S、Au)、凤凰山(Cu、Au、Fe)、姚家岭(Zn、Pb、Au、Cu)等五个矿田,其矿床成因类型以矽卡岩型(包括层控矽卡岩型、接触交代型、岩浆矽卡岩型、角砾岩筒型)、斑岩型、热液型(包括沉积热液叠改型)。

区内矿田、矿床在空间分布上,总体出现“东西成带、北东成行”的特征。在东西分布上,自西向东

由铜官山—狮子山—新桥—姚家岭等矿田、矿床构成了近东西向的中央轴带,其矿床成因类型主要为矽卡岩型、斑岩型,显示以岩浆成矿作用为主,矿床围绕侵入体出现。中央轴带南北两侧逐渐变为铅锌为主的水平矿化分带,矿床成因类型以热液型居多,矿床主要受断裂构造、层间构造控制。北带有叶山、张家冲、山堪汪等铅锌矿,南带有荷花山、南陵湖、渭湖铅锌矿等。区内盖层褶皱、断裂构造主要为北东向,矿田内的矿床就位也主要呈北东向展布,在区内铜官山背斜、青山背斜、舒家店背斜、戴公山背斜以及新屋里向斜轴部与东西向基底构造耦合部位,正是区内岩体群和矿田集中产出部位,矿田内矿床沿背斜轴带产出,受地层控制明显。

从区内矿床分布与褶皱、断裂构造关系可以概括出区内控矿构造系统特征。虽然它们形成时代不同,但在燕山期对成矿作用存在直接的影响,基底东西向断裂控制了岩浆活动通道,盖层(浅层)的北东向褶皱和北东向、北西向、南北向断裂直接控制了岩体、矿床出现位置。因此,基底构造与浅表构造耦合共同控制了区内岩浆成矿系统的范围与次级成矿系统位置。

4 样品分析与测试结果

4.1 样品位置与分析方法

本次工作采集了缪家、棋子坑、瑶山、马山等岩体的石英二长闪长岩、石英闪长岩、花岗斑岩及花岗闪长岩样品,样品较为新鲜,具体采样位置见图 1b。

LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所 LA-MC-ICP-MS 实验室完成,锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。所用激光剥蚀斑束直径为 25 μ m,频率为 10Hz,能量密度约为 2.5J/cm²,以 He 为载气。信号较小的 ²⁰⁷Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁴Pb (²⁰⁴Hg)、²⁰²Hg 用离子计数器(multi-ion-counters)接收,²⁰⁸Pb、²³²Th、²³⁸U 信号用法拉第杯接收,实现了所有目标同位素信号的同时接收并且不同质量数的峰基本上都是平坦的,进而可以获得高精度的数据。均匀锆石颗粒 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁶Pb/²³⁸U、²⁰⁷Pb/²³⁵U 的测试精度(2 σ)均为 2% 左右,对锆石标准的定年精度和准确度在 1% (2 σ)左右。激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,数据分析前用锆石 GJ-1 进行调试仪器,使之达到最优状态,锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标,U、Th 含量以锆石 M257(U: 923 $\times 10^{-6}$;

Th: 439 $\times 10^{-6}$; Th/U: 0.475, Nasdala et al., 2008)为外标进行校正。测试过程中在每测定 5~7 个样品前后重复测定两个锆石标准,对样品进行校正,并测量一个锆石标准 Plesovice,观察仪器的状态以保证测试的精确度。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Liu et al., 2010),测量过程中绝大多数分析点 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb>1000,未进行普通铅校正,²⁰⁴Pb 由离子计数器检测,²⁰⁴Pb 含量异常高的分析点可能受包体等普通 Pb 的影响,对 ²⁰⁴Pb 含量异常高的分析点在计算时剔除,锆石年龄谐和和图用 Isoplot 3.0 程序获得。详细实验测试过程可参见 Hou Kejun et al. (2009)。样品分析过程中, Plesovice 标样作为未知样品的分析结果为 337.3 $\pm$ 1.1Ma(n=5,2 σ),对应的年龄推荐值为 337.13 $\pm$ 0.37Ma(2 σ)(Sláma et al., 2008),两者在误差范围内完全一致,测试数据精度良好。

4.2 测试结果

本次测试了区内部分岩体的锆石 U-Pb 年龄,具体数据见表 1。其中花岗斑岩 1 个,为瑶山岩体(YS-2,图 2),测试结果为 131.74 $\pm$ 0.31Ma;花岗闪长岩 1 个,为店门口岩体(ZK02,图 3),测试结果为 137.42 $\pm$ 0.3Ma;石英闪长岩 1 个,为茗山岩体(DMK-1,图 4),测试结果为 140.18 $\pm$ 0.38Ma;石英二长闪长岩 8 个,包括棋子坑(QZK-1,图 5a)、瑶山(YS-1,图 5b)、荷花塘(HHT-1,图 5c)、九榔(DFC-1、WS-1、WS-2,图 5d、e、f)、上山汪(SKW-1,图 5g)及上山缪岩体(SHSHM-1,图 5h),形成时代自 133.77 $\pm$ 0.39Ma 至 147.66 $\pm$ 0.23Ma。

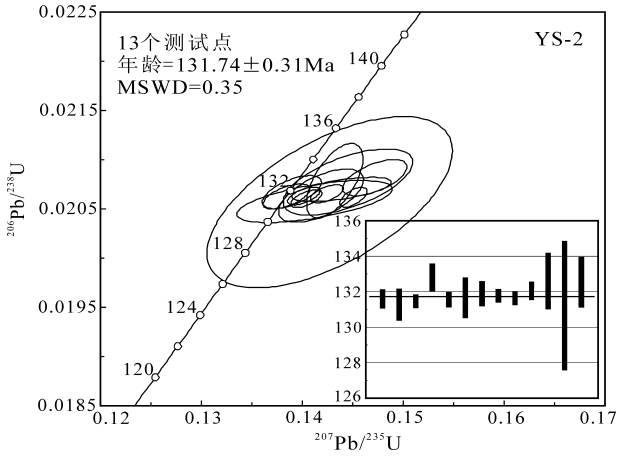


图 2 铜陵矿集区花岗斑岩(瑶山岩体)锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 2 The LA-ICPMS U-Pb concordia diagrams of zircons of the Yaoshan granite porphyry in Tongling metallogenic district

表 1 铜陵矿集区侵入岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年分析结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb isotopic data of intrusives in the Tongling ore concentration area

测点	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	
	(×10 ^{−6})			比值	1δ	比值	1δ	比值	1δ	年龄 (Ma)	1δ	年龄 (Ma)	1δ	年龄 (Ma)	1δ
YS-2-1	278.83	216.35	1.29	0.04870	0.00052	0.13843	0.00153	0.02063	0.00008	131.57	28.70	131.65	1.36	131.62	0.53
YS-2-2	333.07	263.32	1.26	0.04978	0.00177	0.14121	0.00508	0.02058	0.00014	183.42	83.32	134.12	4.52	131.30	0.89
YS-2-3	459.76	289.47	1.59	0.04946	0.00037	0.14040	0.00102	0.02060	0.00006	168.60	18.52	133.40	0.91	131.47	0.37
YS-2-4	453.15	328.77	1.38	0.05130	0.00077	0.14717	0.00212	0.02082	0.00012	253.77	33.33	139.41	1.87	132.83	0.77
YS-2-5	751.12	575.49	1.31	0.05105	0.00034	0.14506	0.00088	0.02062	0.00007	242.66	14.81	137.54	0.78	131.57	0.42
YS-2-6	603.29	305.48	1.97	0.04990	0.00104	0.14187	0.00277	0.02064	0.00018	190.82	48.14	134.71	2.47	131.67	1.13
YS-2-7	459.48	310.50	1.48	0.04880	0.00073	0.13898	0.00193	0.02067	0.00011	138.98	35.18	132.13	1.72	131.90	0.70
YS-2-8	1197.14	627.14	1.91	0.05001	0.00034	0.14244	0.00108	0.02066	0.00006	194.53	12.03	135.22	0.96	131.80	0.38
YS-2-9	428.91	380.61	1.13	0.04928	0.00035	0.14016	0.00107	0.02063	0.00006	161.20	16.67	133.19	0.95	131.65	0.38
YS-2-10	508.36	255.63	1.99	0.05030	0.00094	0.14390	0.00324	0.02070	0.00008	209.33	42.58	136.51	2.88	132.07	0.51
YS-2-11	441.18	339.92	1.30	0.04998	0.00069	0.14321	0.00184	0.02079	0.00025	194.53	36.10	135.90	1.64	132.63	1.58
YS-2-13	2290.35	802.03	2.86	0.05029	0.00142	0.14272	0.00801	0.02057	0.00057	209.33	64.80	135.46	7.12	131.25	3.63
YS-2-18	175.41	242.07	0.72	0.05049	0.00148	0.14453	0.00424	0.02077	0.00022	216.74	68.51	137.07	3.76	132.55	1.40
Zk02-3	281.23	252.77	1.11	0.05047	0.00039	0.14358	0.00109	0.02064	0.00006	216.74	18.51	136.22	0.97	131.72	0.37
Zk02-4	694.48	451.68	1.54	0.04879	0.00053	0.13895	0.00149	0.02066	0.00010	200.08	21.30	132.11	1.33	131.83	0.61
Zk02-6	1031.57	541.19	1.91	0.05101	0.00027	0.14538	0.00079	0.02067	0.00004	242.66	12.96	137.83	0.70	131.91	0.28
Zk02-8	1117.44	596.64	1.87	0.04962	0.00028	0.14088	0.00083	0.02059	0.00007	176.01	12.96	133.83	0.74	131.40	0.41
Zk02-11	412.97	347.34	1.19	0.04959	0.00034	0.14155	0.00106	0.02070	0.00007	176.01	12.04	134.43	0.94	132.10	0.42
Zk02-15	287.18	259.94	1.10	0.05109	0.00036	0.14530	0.00101	0.02063	0.00005	255.62	16.67	137.75	0.90	131.66	0.34
Zk02-16	426.90	334.06	1.28	0.04913	0.00028	0.13929	0.00082	0.02057	0.00008	153.79	14.81	132.41	0.73	131.28	0.48
Zk02-17	720.90	412.93	1.75	0.04868	0.00035	0.13826	0.00100	0.02060	0.00006	131.57	13.89	131.49	0.89	131.46	0.39
Zk02-19	435.43	301.75	1.44	0.04963	0.00091	0.14011	0.00247	0.02048	0.00009	176.01	10.18	133.14	2.20	130.70	0.58
Zk02-20	170.31	175.12	0.97	0.05067	0.00042	0.14347	0.00119	0.02056	0.00009	233.40	25.00	136.13	1.05	131.17	0.55
DMK-1-1	406.29	354.63	1.15	0.05049	0.00034	0.15309	0.00105	0.02200	0.00007	216.74	10.18	144.63	0.92	140.26	0.41
DMK-1-2	378.50	277.98	1.36	0.05079	0.00298	0.15324	0.00929	0.02188	0.00005	231.55	130.54	144.77	8.18	139.53	0.33
DMK-1-3	320.11	274.79	1.16	0.04901	0.00041	0.14821	0.00126	0.02193	0.00007	150.09	20.37	140.33	1.12	139.87	0.43
DMK-1-4	447.93	384.63	1.16	0.05034	0.00074	0.14914	0.00086	0.02149	0.00020	209.33	39.81	141.15	0.76	137.06	1.27
DMK-1-5	189.60	191.30	0.99	0.05086	0.00220	0.15570	0.00590	0.02224	0.00024	235.25	99.99	146.94	5.18	141.79	1.49
DMK-1-6	445.80	338.07	1.32	0.05056	0.00291	0.15453	0.00896	0.02218	0.00046	220.44	133.32	145.90	7.88	141.39	2.92
DMK-1-7	706.66	454.62	1.55	0.05119	0.00133	0.15680	0.00413	0.02221	0.00011	250.07	61.10	147.90	3.63	141.64	0.67
DMK-1-9	269.94	242.58	1.11	0.05034	0.00121	0.15216	0.00361	0.02193	0.00020	209.33	55.55	143.82	3.18	139.83	1.24
DMK-1-12	393.75	318.63	1.24	0.04980	0.00042	0.15149	0.00117	0.02207	0.00008	187.12	20.37	143.23	1.03	140.75	0.47
DMK-1-13	361.12	281.65	1.28	0.05013	0.00044	0.15192	0.00139	0.02198	0.00010	211.19	15.74	143.60	1.23	140.19	0.63
DMK-1-14	558.97	323.34	1.73	0.05116	0.00044	0.15454	0.00123	0.02193	0.00010	255.62	52.77	145.91	1.08	139.82	0.61
DMK-1-15	228.37	222.97	1.02	0.05081	0.00081	0.15325	0.00239	0.02189	0.00015	231.55	69.43	144.77	2.10	139.62	0.98
DMK-1-17	569.84	406.71	1.40	0.05040	0.00023	0.15261	0.00079	0.02198	0.00009	213.04	11.11	144.21	0.70	140.15	0.57
DMK-1-18	402.44	367.36	1.10	0.05112	0.00034	0.15567	0.00102	0.02210	0.00010	255.62	14.81	146.90	0.90	140.94	0.61
DMK-1-19	723.78	430.90	1.68	0.04993	0.00022	0.15082	0.00076	0.02192	0.00007	190.82	11.11	142.63	0.67	139.76	0.44
DMK-1-20	549.35	338.66	1.62	0.05129	0.00033	0.15632	0.00105	0.02211	0.00007	253.77	47.22	147.48	0.92	140.99	0.42
QZK-1-1	1024.65	680.87	1.50	0.04910	0.00026	0.14139	0.00074	0.02089	0.00005	153.79	12.96	134.28	0.66	133.28	0.34
QZK-1-2	1603.48	781.11	2.05	0.04954	0.00028	0.14275	0.00083	0.02090	0.00008	172.31	10.19	135.49	0.74	133.36	0.49
QZK-1-3	1305.01	706.20	1.85	0.05118	0.00044	0.14799	0.00131	0.02098	0.00009	250.07	52.77	140.14	1.16	133.82	0.54
QZK-1-4	1530.20	783.25	1.95	0.04929	0.00026	0.14238	0.00086	0.02095	0.00006	161.20	12.96	135.16	0.76	133.65	0.39
QZK-1-5	1722.96	862.11	2.00	0.05076	0.00023	0.13607	0.00083	0.01944	0.00007	231.55	9.26	129.54	0.74	124.12	0.47
QZK-1-6	781.31	514.36	1.52	0.04977	0.00033	0.14445	0.00102	0.02106	0.00008	183.42	14.82	137.00	0.90	134.34	0.52
QZK-1-7	1773.97	860.65	2.06	0.04897	0.00023	0.14114	0.00072	0.02091	0.00007	146.38	16.66	134.06	0.64	133.40	0.46
QZK-1-8	971.95	650.63	1.49	0.04907	0.00026	0.14121	0.00084	0.02087	0.00006	150.09	12.96	134.12	0.74	133.16	0.38
QZK-1-10	961.96	601.51	1.60	0.05017	0.00033	0.14541	0.00122	0.02101	0.00008	211.19	14.81	137.85	1.08	134.04	0.54
QZK-1-11	966.62	580.61	1.66	0.04967	0.00024	0.14394	0.00067	0.02104	0.00007	188.97	11.11	136.55	0.59	134.21	0.45
QZK-1-12	1132.84	646.42	1.75	0.05079	0.00156	0.14427	0.00242	0.02062	0.00029	231.55	67.58	136.84	2.14	131.56	1.85
QZK-1-13	1525.32	813.11	1.88	0.04937	0.00020	0.13162	0.00057	0.01934	0.00005	164.90	4.63	125.55	0.51	123.50	0.32
QZK-1-14	377.93	320.18	1.18	0.05044	0.00031	0.14716	0.00102	0.02117	0.00008	216.74	8.33	139.40	0.90	135.03	0.53
QZK-1-15	2094.46	885.16	2.37	0.05058	0.00018	0.14712	0.00076	0.02110	0.00008	220.44	9.26	139.37	0.67	134.59	0.48
QZK-1-16	965.63	496.17	1.95	0.04959	0.00045	0.15163	0.00151	0.02218	0.00009	176.01	22.22	143.35	1.33	141.39	0.59
QZK-1-17	1204.08	749.04	1.61	0.05003	0.00021	0.13473	0.00060	0.01954	0.00004	194.53	9.26	128.34	0.53	124.73	0.26
QZK-1-20	1016.27	688.64	1.48	0.04935	0.00022	0.13280	0.00067	0.01952	0.00006	164.90	11.11	126.61	0.60	124.61	0.35

续表 1

测点	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	
	(×10 ⁻⁶)			比值	1δ	比值	1δ	比值	1δ	年龄 (Ma)	1δ	年龄 (Ma)	1δ	年龄 (Ma)	1δ
YS-1-1	146.50	681.98	0.21	0.05023	0.00028	0.16004	0.00086	0.02312	0.00006	205.63	11.11	150.74	0.75	147.35	0.38
YS-1-2	215.29	447.39	0.48	0.05010	0.00035	0.16067	0.00106	0.02328	0.00007	198.23	16.66	151.29	0.93	148.36	0.43
YS-1-3	121.64	366.06	0.33	0.05089	0.00035	0.16268	0.00110	0.02319	0.00006	235.25	14.81	153.04	0.96	147.80	0.39
YS-1-4	106.74	410.36	0.26	0.04997	0.00029	0.15965	0.00090	0.02318	0.00007	194.53	8.33	150.39	0.79	147.74	0.43
YS-1-7	221.40	451.23	0.49	0.04924	0.00069	0.15712	0.00247	0.02314	0.00013	166.75	33.33	148.18	2.17	147.45	0.83
YS-1-8	131.26	466.93	0.28	0.04913	0.00037	0.15679	0.00131	0.02314	0.00009	153.79	13.89	147.89	1.15	147.50	0.56
YS-1-9	124.47	569.38	0.22	0.04952	0.00030	0.15759	0.00106	0.02309	0.00009	172.31	10.19	148.59	0.93	147.14	0.58
YS-1-10	287.33	697.97	0.41	0.04929	0.00026	0.15747	0.00094	0.02317	0.00008	161.20	11.11	148.49	0.82	147.65	0.48
YS-1-11	96.48	378.35	0.26	0.05157	0.00038	0.16422	0.00111	0.02313	0.00009	264.88	16.67	154.39	0.97	147.39	0.54
YS-1-13	306.24	664.29	0.46	0.04918	0.00028	0.15730	0.00094	0.02320	0.00007	166.75	12.96	148.33	0.82	147.84	0.45
YS-1-14	199.59	517.68	0.39	0.04947	0.00031	0.15840	0.00104	0.02322	0.00008	168.60	8.33	149.30	0.91	148.01	0.47
YS-1-15	96.63	341.66	0.28	0.04989	0.00033	0.15936	0.00109	0.02317	0.00008	190.82	14.81	150.14	0.96	147.67	0.49
YS-1-16	46.12	193.41	0.24	0.05113	0.00231	0.16235	0.00685	0.02304	0.00020	255.62	103.69	152.76	5.99	146.85	1.29
YS-1-17	99.78	426.35	0.23	0.04997	0.00030	0.15970	0.00097	0.02318	0.00006	194.53	8.33	150.44	0.85	147.75	0.37
YS-1-18	52.27	349.26	0.15	0.05137	0.00036	0.16367	0.00105	0.02313	0.00007	257.47	14.81	153.91	0.92	147.43	0.47
YS-1-19	82.27	408.01	0.20	0.04993	0.00034	0.15911	0.00111	0.02312	0.00008	190.82	16.66	149.92	0.97	147.34	0.52
YS-1-20	50.54	431.39	0.12	0.04900	0.00088	0.15542	0.00219	0.02302	0.00034	146.38	42.59	146.69	1.93	146.69	2.13
HHT-1-1	181.78	175.34	1.04	0.05157	0.00042	0.16000	0.00127	0.02251	0.00006	264.88	13.89	150.70	1.11	143.50	0.37
HHT-1-2	268.36	232.92	1.15	0.05142	0.00037	0.15834	0.00109	0.02235	0.00007	261.18	16.67	149.25	0.96	142.46	0.42
HHT-1-3	432.61	311.04	1.39	0.05095	0.00031	0.15791	0.00088	0.02250	0.00007	238.96	10.19	148.87	0.77	143.43	0.43
HHT-1-4	486.91	485.67	1.00	0.05023	0.00038	0.15407	0.00114	0.02225	0.00007	205.63	23.14	145.50	1.00	141.87	0.47
HHT-1-5	552.92	428.40	1.29	0.05004	0.00026	0.15439	0.00082	0.02239	0.00007	198.23	12.96	145.78	0.73	142.72	0.41
HHT-1-7	431.32	283.93	1.52	0.05096	0.00030	0.15642	0.00096	0.02228	0.00009	238.96	10.19	147.57	0.84	142.05	0.57
HHT-1-8	466.64	275.87	1.69	0.05010	0.00031	0.15382	0.00096	0.02228	0.00008	198.23	14.81	145.28	0.85	142.08	0.53
HHT-1-9	326.97	235.49	1.39	0.04978	0.00037	0.15283	0.00120	0.02227	0.00008	183.42	21.29	144.41	1.05	142.01	0.49
HHT-1-10	318.14	190.34	1.67	0.05160	0.00063	0.16008	0.00193	0.02251	0.00010	333.39	27.78	150.77	1.69	143.48	0.62
HHT-1-11	263.48	208.37	1.26	0.05017	0.00160	0.15441	0.00461	0.02234	0.00022	211.19	74.06	145.80	4.06	142.41	1.41
HHT-1-12	297.26	259.64	1.14	0.04979	0.00057	0.15374	0.00194	0.02239	0.00008	187.12	23.14	145.20	1.71	142.72	0.52
HHT-1-13	149.03	154.01	0.97	0.05147	0.00042	0.15922	0.00132	0.02245	0.00008	261.18	18.52	150.02	1.16	143.11	0.53
HHT-1-14	467.52	376.51	1.24	0.04991	0.00042	0.15262	0.00145	0.02217	0.00008	190.82	18.51	144.22	1.28	141.37	0.51
HHT-1-15	215.83	182.79	1.18	0.05005	0.00047	0.15317	0.00145	0.02220	0.00007	198.23	22.22	144.71	1.28	141.56	0.42
HHT-1-17	421.45	261.78	1.61	0.04928	0.00044	0.15111	0.00137	0.02224	0.00007	161.20	25.00	142.89	1.21	141.83	0.43
HHT-1-18	156.47	167.29	0.94	0.04904	0.00065	0.15009	0.00221	0.02220	0.00014	150.09	36.11	141.99	1.96	141.52	0.89
HHT-1-19	428.67	372.37	1.15	0.05130	0.00350	0.15629	0.00695	0.02213	0.00053	253.77	183.31	147.45	6.10	141.13	3.34
HHT-1-20	409.71	256.13	1.60	0.05050	0.00085	0.15562	0.00303	0.02235	0.00028	216.74	34.25	146.86	2.66	142.49	1.78
DFC-1-1	599.52	654.91	0.92	0.04920	0.00022	0.15271	0.00079	0.02252	0.00008	166.75	11.11	144.30	0.70	143.54	0.49
DFC-1-2	289.16	396.85	0.73	0.04968	0.00046	0.15441	0.00157	0.02254	0.00008	188.97	22.22	145.80	1.38	143.69	0.47
DFC-1-3	240.37	432.07	0.56	0.04963	0.00027	0.15397	0.00083	0.02251	0.00007	176.01	12.96	145.41	0.73	143.51	0.42
DFC-1-4	232.27	392.48	0.59	0.04979	0.00028	0.15390	0.00085	0.02243	0.00006	183.42	12.96	145.35	0.75	142.99	0.39
DFC-1-5	980.36	938.33	1.04	0.04903	0.00084	0.14982	0.00270	0.02216	0.00008	150.09	38.89	141.75	2.39	141.31	0.51
DFC-1-6	506.28	605.51	0.84	0.04904	0.00053	0.15033	0.00157	0.02224	0.00021	150.09	25.93	142.20	1.38	141.78	1.34
DFC-1-7	661.22	805.41	0.82	0.05076	0.00280	0.15606	0.00560	0.02232	0.00043	231.55	127.76	147.25	4.92	142.33	2.74
DFC-1-8	515.01	485.18	1.06	0.04922	0.00022	0.15178	0.00069	0.02238	0.00007	166.75	11.11	143.48	0.61	142.66	0.46
DFC-1-9	590.88	536.37	1.10	0.04956	0.00025	0.15311	0.00081	0.02242	0.00008	176.01	12.96	144.66	0.72	142.91	0.51
DFC-1-10	334.65	398.95	0.84	0.04986	0.00041	0.15349	0.00139	0.02233	0.00012	187.12	18.52	144.99	1.22	142.36	0.77
DFC-1-12	335.31	430.06	0.78	0.05068	0.00029	0.15756	0.00087	0.02256	0.00007	233.40	12.96	148.56	0.76	143.81	0.45
DFC-1-14	244.55	316.18	0.77	0.04968	0.00153	0.15300	0.00449	0.02234	0.00033	188.97	72.21	144.56	3.96	142.46	2.08
DFC-1-15	266.71	400.76	0.67	0.04894	0.00050	0.15168	0.00150	0.02248	0.00013	146.38	24.07	143.40	1.32	143.34	0.85
DFC-1-16	36.12	216.22	0.17	0.05118	0.00036	0.15825	0.00102	0.02246	0.00011	250.07	16.67	149.17	0.90	143.22	0.67
DFC-1-18	155.22	345.64	0.45	0.04986	0.00028	0.15463	0.00088	0.02250	0.00006	187.12	17.59	145.99	0.77	143.44	0.38
DFC-1-19	819.19	745.57	1.10	0.04902	0.00140	0.15094	0.00368	0.02233	0.00010	150.09	66.66	142.74	3.25	142.39	0.64
DFC-1-20	203.64	316.51	0.64	0.05015	0.00038	0.15529	0.00120	0.02246	0.00009	211.19	18.51	146.57	1.05	143.20	0.59
WS-1-1	485.42	674.20	0.72	0.05116	0.00026	0.15254	0.00079	0.02165	0.00008	255.62	12.96	144.15	0.69	138.04	0.53
WS-1-2	241.32	371.92	0.65	0.05081	0.00038	0.15121	0.00119	0.02160	0.00010	231.55	16.66	142.98	1.05	137.73	0.64
WS-1-3	723.47	597.31	1.21	0.04933	0.00039	0.14527	0.00114	0.02136	0.00006	164.90	21.30	137.73	1.01	136.26	0.36
WS-1-4	337.50	525.91	0.64	0.05135	0.00042	0.15219	0.00112	0.02151	0.00007	257.47	18.52	143.85	0.99	137.21	0.43
WS-1-5	128.29	234.02	0.55	0.05069	0.00138	0.14891	0.00374	0.02134	0.00026	233.40	62.95	140.95	3.30	136.15	1.66

测点	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	
	(×10 ⁻⁶)			比值	1δ	比值	1δ	比值	1δ	年龄 (Ma)	1δ	年龄 (Ma)	1δ	年龄 (Ma)	1δ
WS-1-6	249.62	369.50	0.68	0.05146	0.00078	0.15360	0.00260	0.02164	0.00012	261.18	30.55	145.08	2.29	138.04	0.75
WS-1-7	123.04	632.60	0.19	0.05107	0.00036	0.15198	0.00099	0.02160	0.00009	242.66	16.67	143.66	0.87	137.77	0.54
WS-1-8	212.59	406.65	0.52	0.05034	0.00157	0.14933	0.00283	0.02154	0.00039	209.33	39.81	141.32	2.50	137.35	2.49
WS-1-9	903.21	696.75	1.30	0.04991	0.00072	0.14684	0.00219	0.02134	0.00008	190.82	33.33	139.11	1.94	136.12	0.53
WS-1-12	398.92	471.58	0.85	0.04898	0.00036	0.14510	0.00108	0.02149	0.00006	146.38	18.52	137.58	0.96	137.06	0.38
WS-1-13	630.70	595.14	1.06	0.04890	0.00034	0.14402	0.00101	0.02136	0.00006	142.68	19.44	136.62	0.90	136.27	0.35
WS-1-15	62.55	163.31	0.38	0.05121	0.00054	0.15211	0.00154	0.02157	0.00008	250.07	21.30	143.78	1.36	137.56	0.48
WS-1-17	317.18	477.70	0.66	0.04984	0.00029	0.14665	0.00085	0.02136	0.00007	187.12	19.44	138.95	0.75	136.23	0.46
WS-1-19	277.25	788.20	0.35	0.04984	0.00025	0.14683	0.00074	0.02137	0.00005	187.12	11.11	139.11	0.66	136.32	0.32
WS-1-20	1093.29	825.94	1.32	0.04886	0.00036	0.14425	0.00117	0.02141	0.00007	142.68	21.30	136.82	1.04	136.57	0.43
WS-2-1	340.05	487.54	0.70	0.04954	0.00021	0.14697	0.00065	0.02152	0.00005	172.31	9.26	139.23	0.58	137.26	0.30
WS-2-2	536.67	408.87	1.31	0.04977	0.00047	0.14767	0.00136	0.02153	0.00007	183.42	22.22	139.85	1.21	137.29	0.43
WS-2-3	177.72	341.27	0.52	0.04979	0.00026	0.14763	0.00076	0.02152	0.00006	183.42	12.96	139.82	0.67	137.23	0.38
WS-2-4	137.87	284.23	0.49	0.05059	0.00033	0.15039	0.00093	0.02157	0.00006	233.40	16.66	142.26	0.83	137.58	0.37
WS-2-6	202.43	350.42	0.58	0.05004	0.00026	0.14899	0.00081	0.02160	0.00007	198.23	12.96	141.02	0.72	137.78	0.45
WS-2-7	217.79	325.89	0.67	0.05103	0.00034	0.15155	0.00086	0.02158	0.00010	242.66	12.04	143.28	0.76	137.66	0.60
WS-2-8	168.87	326.43	0.52	0.04962	0.00025	0.14755	0.00077	0.02157	0.00005	176.01	11.11	139.75	0.68	137.59	0.30
WS-2-10	290.05	431.16	0.67	0.04968	0.00025	0.14661	0.00080	0.02140	0.00006	188.97	11.11	138.91	0.71	136.52	0.37
WS-2-12	1314.09	1106.13	1.19	0.05126	0.00030	0.15243	0.00093	0.02157	0.00006	253.77	12.96	144.06	0.82	137.58	0.37
WS-2-13	596.35	499.59	1.19	0.04965	0.00037	0.14743	0.00122	0.02154	0.00009	188.97	16.67	139.64	1.08	137.36	0.54
WS-2-14	758.05	590.31	1.28	0.05050	0.00040	0.14872	0.00126	0.02136	0.00010	216.74	18.51	140.78	1.12	136.27	0.62
WS-2-16	192.62	308.00	0.63	0.05128	0.00186	0.15247	0.00605	0.02156	0.00025	253.77	87.95	144.09	5.33	137.49	1.58
WS-2-17	315.29	515.33	0.61	0.04947	0.00025	0.14589	0.00080	0.02139	0.00006	168.60	11.11	138.28	0.71	136.46	0.39
WS-2-18	423.20	554.74	0.76	0.05009	0.00042	0.14742	0.00131	0.02135	0.00006	198.23	13.89	139.63	1.16	136.15	0.35
WS-2-20	184.55	289.93	0.64	0.05138	0.00133	0.15223	0.00319	0.02150	0.00014	257.47	59.25	143.88	2.81	137.10	0.90
SKW-1-1	681.77	270.88	2.52	0.05115	0.00189	0.15390	0.00679	0.02181	0.00035	255.62	82.40	145.35	5.98	139.12	2.22
SKW-1-2	176.47	130.92	1.35	0.05010	0.00654	0.15773	0.02644	0.02219	0.00038	198.23	277.74	148.71	23.19	141.46	2.41
SKW-1-3	672.29	325.08	2.07	0.04910	0.00121	0.14978	0.00321	0.02215	0.00020	153.79	54.62	141.72	2.83	141.20	1.26
SKW-1-4	459.54	258.51	1.78	0.05150	0.00217	0.15679	0.00549	0.02214	0.00032	264.88	100.91	147.89	4.82	141.19	2.02
SKW-1-5	689.39	304.79	2.26	0.04880	0.00020	0.14796	0.00341	0.02199	0.00042	200.08	9.26	140.11	3.02	140.22	2.67
SKW-1-7	161.39	140.93	1.15	0.04929	0.00083	0.14971	0.00266	0.02203	0.00012	161.20	45.36	141.65	2.35	140.50	0.78
SKW-1-8	738.24	298.95	2.47	0.05050	0.00039	0.15296	0.00122	0.02198	0.00008	216.74	12.03	144.52	1.07	140.13	0.48
SKW-1-9	131.08	95.19	1.38	0.04968	0.00238	0.14970	0.00651	0.02191	0.00017	188.97	111.10	141.64	5.75	139.70	1.09
SKW-1-10	168.30	112.06	1.50	0.04944	0.00243	0.14832	0.00395	0.02185	0.00073	168.60	114.80	140.42	3.49	139.34	4.61
SKW-1-12	483.37	234.26	2.06	0.04910	0.00077	0.14838	0.00239	0.02192	0.00010	153.79	34.26	140.48	2.11	139.77	0.66
SKW-1-13	894.34	344.02	2.60	0.04879	0.00132	0.14740	0.00420	0.02190	0.00015	200.08	69.44	139.61	3.72	139.68	0.96
SKW-1-14	199.80	130.00	1.54	0.04888	0.00152	0.14890	0.00488	0.02207	0.00013	142.68	67.58	140.94	4.31	140.70	0.79
SKW-1-15	122.14	114.01	1.07	0.04891	0.00122	0.14829	0.00356	0.02202	0.00024	142.68	63.88	140.40	3.15	140.40	1.52
SKW-1-16	355.80	174.15	2.04	0.04919	0.00238	0.14896	0.00641	0.02199	0.00018	166.75	112.95	140.99	5.66	140.22	1.11
SKW-1-17	158.00	97.27	1.62	0.05018	0.00278	0.15280	0.00831	0.02209	0.00014	211.19	124.98	144.38	7.32	140.84	0.89
SKW-1-18	357.06	227.87	1.57	0.05071	0.00042	0.15356	0.00124	0.02198	0.00007	227.85	23.15	145.05	1.10	140.15	0.46
SKW-1-19	755.85	439.50	1.72	0.04984	0.00041	0.15119	0.00128	0.02201	0.00007	187.12	18.52	142.97	1.13	140.32	0.44
SKW-1-20	168.08	194.65	0.86	0.04881	0.00165	0.14717	0.00478	0.02189	0.00018	138.98	79.62	139.41	4.23	139.60	1.12
SHSHM-1-2	672.56	315.25	2.13	0.05129	0.00257	0.15693	0.00756	0.02220	0.00005	253.77	82.40	148.01	6.64	141.52	0.31
SHSHM-1-3	403.20	243.46	1.66	0.04916	0.00212	0.15156	0.00670	0.02236	0.00030	166.75	101.84	143.29	5.91	142.58	1.88
SHSHM-1-4	66.14	63.04	1.05	0.05092	0.00233	0.15666	0.00699	0.02234	0.00023	238.96	105.54	147.78	6.13	142.46	1.47
SHSHM-1-5	151.12	130.04	1.16	0.05116	0.00150	0.15632	0.00666	0.02214	0.00037	255.62	66.66	147.48	5.85	141.14	2.35
SHSHM-1-6	182.77	164.56	1.11	0.05153	0.00047	0.15720	0.00141	0.02215	0.00010	264.88	22.22	148.25	1.24	141.22	0.64
SHSHM-1-7	659.31	273.21	2.41	0.05030	0.00038	0.15336	0.00112	0.02212	0.00006	209.33	21.29	144.88	0.99	141.05	0.40
SHSHM-1-8	789.72	352.44	2.24	0.04906	0.00079	0.14933	0.00187	0.02210	0.00013	150.09	32.41	141.32	1.65	140.89	0.83
SHSHM-1-9	206.77	186.35	1.11	0.05034	0.00051	0.15312	0.00154	0.02208	0.00010	209.33	24.07	144.66	1.36	140.79	0.62
SHSHM-1-10	302.56	185.17	1.63	0.05090	0.00215	0.15545	0.00702	0.02214	0.00027	235.25	65.73	146.71	6.17	141.16	1.70
SHSHM-1-11	144.29	104.18	1.38	0.04888	0.00144	0.14948	0.00660	0.02216	0.00037	142.68	65.73	141.45	5.83	141.27	2.34
SHSHM-1-12	140.06	146.24	0.96	0.04915	0.00316	0.14973	0.01079	0.02207	0.00040	153.79	144.42	141.67	9.53	140.70	2.55
SHSHM-1-13	316.30	233.82	1.35	0.04962	0.00055	0.15149	0.00166	0.02215	0.00009	176.01	30.55	143.23	1.46	141.22	0.59
SHSHM-1-14	279.51	169.87	1.65	0.05128	0.00269	0.15775	0.00737	0.02233	0.00033	253.77	120.35	148.73	6.46	142.35	2.05
SHSHM-1-16	113.84	114.51	0.99	0.04834	0.00146	0.14839	0.00434	0.02227	0.00016	122.31	72.22	140.49	3.84	141.97	0.99
SHSHM-1-18	265.25	175.65	1.51	0.05044	0.00085	0.15380	0.00232	0.02214	0.00014	216.74	38.88	145.26	2.05	141.19	0.89

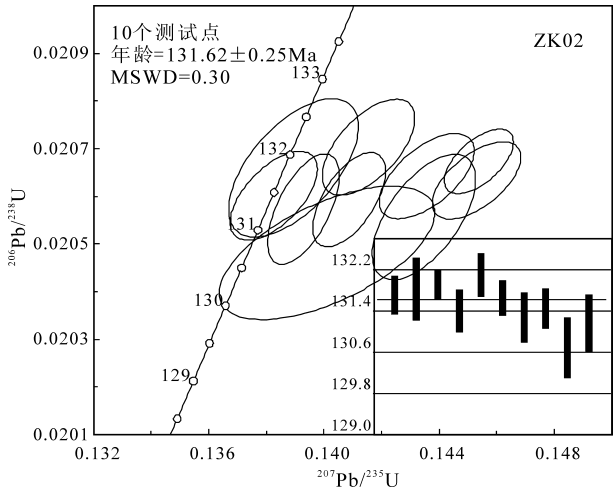


图 3 铜陵矿集区花岗闪长岩(店门口岩体) 锆石 U-Pb 年龄谱和图
Fig. 3 The LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of zircons of the Dianmenkou granodiorite in Tongling metallogenic district

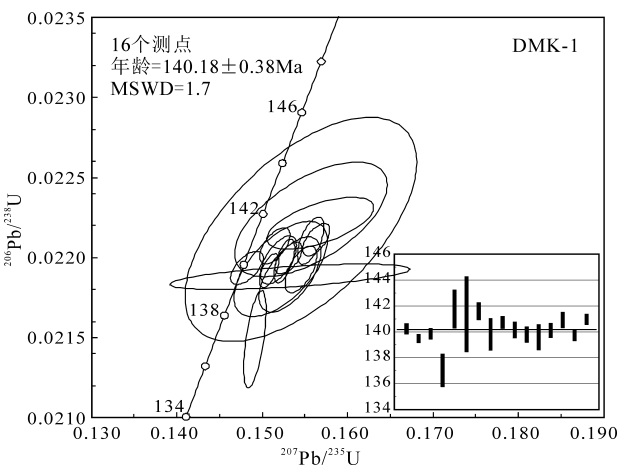


图 4 铜陵矿集区石英闪长岩(茗山岩体)锆石 U-Pb 年龄谱和图
Fig. 4 The LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of zircons of the Mingshan quartz diorite in Tongling metallogenic district

5 讨论

5.1 区内岩浆活动年龄

铜陵矿集区地质研究程度较高,区内大部分侵入体都先后开展了同位素定年研究,虽然早期针对侵入体定年分析方法获得的年龄值精度不高,但也获得了岩浆活动的信息。近年来,一些学者利用高精度同位素测试方法获得了一批可信的成岩年龄以及岩浆深部作用过程等方面的丰富信息,为探索区内岩浆-成矿年代框架奠定了基础。从选取区内的

高精度侵入岩年龄(表 2),以及所对应的侵入岩类型,可以获得区内岩浆-成矿事件发生时间的重要信息。

从野外侵入关系及精确的同位素定年时代结果来看,区内侵入岩主要形成于晚侏罗世—早白垩世(152~126Ma)。从不同岩石类型的侵入岩同位素年龄分析结果来看(表 2),花岗闪长岩主要集中在 147~137 Ma、辉石二长闪长岩主要集中在 150~134 Ma、石英(二长)闪长岩主要集中在 152~130 Ma(Wang Yanbin et al., 2004; Di Yongjun et al., 2005; Xu Xisheng et al., 2004; Lu Sanming, 2007; Du Yangsong et al., 2007; Xu Xiaochun et al., 2008; Xie Jiancheng et al., 2008; Zhang Da et al., 2006; Wu Cailai et al., 2013; Li Mingze et al., 2016),其年龄大部分相近或有重合,显示区内岩浆活动较频繁及存在多位、多源岩浆房,以及岩浆混合作用的特点。

花岗闪长岩类(花岗闪长岩、花岗闪长斑岩等)(28 个样品数据):在区内主要矿田中均有出现,其主要年龄分布在 147.2~137.3Ma 之间,集中在 144~140Ma,最老年龄值 147.2±1.5Ma 采自于舒家店斑岩铜矿(Li Mingze et al., 2016)。在狮子山矿田的花岗闪长岩年龄值较集中,多在 141 Ma 左右,凤凰山矿田和姚家岭矿床内花岗闪长岩年龄则在 143Ma 左右。本次在铜陵南部含矿性较差的荷花塘岩体中,获得的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 142.44±0.36Ma,与狮子山、凤凰山、姚家岭矿床中年龄一致,显然 144~140Ma 为区内花岗闪长岩形成的主要时代(Liu Shaofeng, 2012; Zhong Guoxiong et al., 2014)。

石英(二长)闪长岩类:该类岩石是区内分布最广,年龄数据最多(37 个),年龄值分布范围也较宽,在 151.8~131.64 Ma 之间,出现 148~146 Ma、144~140 Ma、138~134 Ma 等 3 个峰值区间,最大年龄值样品采自于沙滩脚地区石英二长斑岩,年龄为 151.8 Ma(Di Yongjun et al., 2005)。本次在马山岩体采集 3 个样品(LA-ICP-MS 锆石 U-Pb)测定结果在 134.95±0.55~131.64±0.36 Ma 之间,为该类岩石类型中最为年轻的数据;在铜陵深部钻探验证孔中深部(石英二长闪长岩)采集的 2 件样品,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试结果为 147.17±0.28~145.86±0.78 Ma,与区内该类岩石中获取的第一组成岩较老的峰期年龄数据相近,代表了区内该类侵入体早期活动的记录。从该类岩石获取的年龄

表 2 铜陵矿集区侵入岩同位素年龄数据统计表						
Table 2 The isotope age data of intrusives in the Tongling ore concentration area						
矿田名称	采样地点	岩/矿石类型	测试对象	测试方法	年龄值(Ma)	资料来源
狮子山矿田	鸡冠石	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	136.1±3.0	Xie Jiancheng,2008
	鸡冠石	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	134.0±3.0	Lu Sanming,2007
	鸡冠山	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	142.3±1.2	Wu Cailai et al. ,2013
	青山脚	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	136.0±2.0	Lu Sanming,2007
	白芒山	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	139.0±2.0	Lu Sanming,2007
	白芒山	辉石二长闪长岩	黑云母	Ar-Ar	136.6±1.1	Wu Cailai,1995
	白芒山	辉石二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	144.8±1.1	Wu Cailai et al. ,2013
	白芒山	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	139.1±2.1	Xu Xiaochun et al. ,2008
	白芒山	辉石闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	139.9±1.9	Guo Weiming et al. , 2013
	包村	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	146.5±3.8	Wu Cailai et al. ,2013
	朝山	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	142.9±1.1	Wang Yanbin et al. , 2004
	冬瓜山	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	148.2±31.1	Zhang Da et al. ,2006
	冬瓜山	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	138.8±1.7	Guo Weiming et al. , 2013
	狮子山	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	138.4±1.7	Guo Weiming et al. , 2013
	西狮子山	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	135.1±3.3	Xie Jiancheng et al. ,2009
	胡村	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	140±2.6	Xu Xiaochun et al. ,2008
	胡村	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	140.9±1.2	Wu Cailai,2008
	新华山	花岗闪长岩	锆石	LA-ICPMS	141.0±4.5	Xie Jiancheng,2008
	南洪冲	花岗闪长岩	锆石	LA-ICPMS	141.9±4.5	Xie Jiancheng,2008
	南洪冲	花岗闪长岩	锆石	LA-ICPMS	141.2±1.6	Yang Xiaonan et al. ,2008
	向阳村	花岗闪长岩	锆石	LA-ICPMS	141.6±3.7	Xie Jiancheng,2008
	虎山	石英二长闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	145.3±1.3	Wu Cailai et al. ,2013
	虎山	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	142.3±1.2	Wu Cailai et al. ,2013
	焦冲	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	143.9±2.1	Wu Cailai et al. ,2013
	焦冲	辉石二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	137.0±1.7	Wu Cailai et al. ,2013
	荷花山	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	143.1±1.0	Wu Cailai et al. ,2013
铜官山矿田	小铜官山	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	139.5±2.9	Du Yangsong et al. ,2007
	铜官山	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	141.8±1.0	Wu Cailai et al. ,2010
	天鹅抱蛋	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	141.3±1.3	Wu Cailai et al. ,2010
	铜官山	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	137.5±1.1	Xu Xisheng,2004
	铜官山	微粒闪长岩包体	锆石	LA-ICP-MS	137.5±2.4	Xu Xisheng,2004
	小铜官山	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	142.8±1.8	Di Yongjun et al. ,2005
	铜官山	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	142.8±1.6	Wu Cailai et al. ,2013
	铜官山	石英二长闪长岩中包体	锆石	LA-ICP-MS	141.9±2.1	Wu Cailai et al. ,2013
	新桥	石英闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	141.6±1.1	Song Yang et al. ,2017
舒家店-新桥矿田	新桥	闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	129.95±0.6	Song Yang et al. ,2017
	矾头	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	140.0±2.2	Wang Yanbin et al. ,2004
	舒家店	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	141.0±2.1	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	142.4±0.7	Wu Cailai et al. ,2013
	舒家店	辉石二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	140.5±1.4	Lai Xiaodong,2012
	舒家店	辉石二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	139.2±2.1	Wang Shiwei et al. ,2011
	舒家店	辉石二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	144.8±1.4	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	146.9±1.8	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	147.0±2.2	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	石英闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	147.2±1.5	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	138±2.4	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS	130.8±1.9	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	长英质细晶岩	锆石	LA-ICP-MS	129.0±1.5	Li Mingze et al. ,2016
	舒家店	石英闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	143.7±1.7	Wang Shiwei et al. ,2016
	舒家店	辉石闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	139.8±1.6	Wang Shiwei et al. ,2016
	凤凰山	石英二长岩	锆石	SHRIMP	141.8±1.0	Qu Hongying et al. ,2010

续表 2

矿田名称	采样地点	岩/矿石类型	测试对象	测试方法	年龄值(Ma)	资料来源
凤凰山矿田	凤凰山	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	141.3±1.3	Qu Hongying et al. ,2010
	凤凰山	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	144.2±2.3	Di Yongjun et al. ,2005
	铁山头	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	142.8±1.3	Wu Cailai et al. ,2013
	仙人冲	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	141.3±1.5	Wu Cailai et al. ,2013
	丫山	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	143.7±1.3	Wu Cailai et al. ,2013
	丫山	花岗闪长岩(包体)	锆石	LA-ICP-MS	143.6±1.7	Wu Cailai et al. ,2013
	朱家山	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS	132.2±1.8	Wu Cailai et al. ,2013
	朱家山	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	143.4±3.5	Wu Cailai et al. ,2013
沙滩脚矿田	沙滩脚	石英二长斑岩	锆石	SHRIMP	151.8±2.6	Di Yongjun et al. ,2005
	沙滩脚	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	141.4±1.4	Wu Xingxing et al. ,2011
	沙滩脚	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	141.4±1.1	Liu Jianmin et al. ,2014
	沙滩脚	石英二长岩	锆石	LA-ICP-MS	138.7±2.1	Liu Jianmin et al. ,2014
	戴公山	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	144.1±1.5	Wu Cailai et al. ,2013
	戴公山	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	143.7±1.2	Wu Cailai et al. ,2013
	姚家岭	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	141.0±1.7	Liu Shaofeng,2012
	姚家岭	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	141.4±1.7	Zhong Guoxiong et al. ,2014
	小清塘	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	140.7±1.3	Liu Jianmin et al. ,2014
	小清塘	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	141.9±2.7	Liu Jianmin et al. ,2014
其他地区	棋子坑	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	133.77±0.39	本文
	瑶山	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	147.66±0.23	本文
	瑶山	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS	131.74±0.31	本文
	荷花塘	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	142.44±0.36	本文
	茗山	石英闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	140.18±0.38	本文
	九榔	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	137.14±0.30	本文
	九榔	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	136.80±0.37	本文
	上山汪	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	140.23±0.38	本文
	九榔	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	143.08±0.34	本文
	店门口	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	137.42±0.30	本文
	上山缪	石英二长闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	141.29±0.36	本文

表 3 铜陵矿集区矿石同位素年龄数据统计表

Table 3 The isotope age data of minerals in the Tongling ore concentration area

矿田名称	采样地点	岩/矿石类型	测试对象	测试方法	年龄值(Ma)	资料来源
狮子山矿田	冬瓜山	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	139.1±1.6	Lu Sanming,2007
	大团山	含铜硅质岩	辉钼矿	Re-Os	139.1	Mei Yanxiong et al. ,2005
	大团山	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	139.1±2.7	Mao Jingwen et al. ,2004
	龙虎山	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	139.02±0.34	Mao Jingwen et al. ,2003
铜官山矿田	金口岭	蚀变花岗闪长岩	辉钼矿	Re-Os	137.0±0.19	Zeng Pusheng,2003
舒家店-新桥矿田	新桥	矿石	硫铁矿	Re-Os	126.0±11	Xie Jiancheng et al. ,2009
	新桥	矿石	硫铁矿	Re-Os	120	Wang Yanbin et al. ,2004
	新桥	矿石	硫铁矿	Re-Os	138±2.6	Wang Yangyang et al. ,2015
	新桥	矿石	硫铁矿	Re-Os	393±4.0	Wang Yangyang et al. ,2015
	舒家店	矿石	辉钼矿	Re-Os	140.6±2.0	Wang Shiwei et al. ,2016
凤凰山矿田	南阳山	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	140.2±1.6	Mao Jingwen et al. ,2004
	南阳山	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	140.5±1.6	Mao Jingwen et al. ,2004
	南阳山	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	141.1±0.5	Mao Jingwen et al. ,2004
沙滩脚矿田	姚家岭	矿化花岗闪长斑岩	辉钼矿	Re-Os	141.4±2.4	Zhong Guoxiong et al. ,2014
	姚家岭	矿化花岗闪长斑岩	辉钼矿	Re-Os	142.5±1.6	Yin Yanrui et al. ,2016
	塌里牧	蚀变花岗闪长岩	辉钼矿	Re-Os	138.6±0.2	Zeng Pusheng,2003
	沙滩脚	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	140.7±1.6	Mao Jingwen et al. ,2003
	沙滩脚	含铜矽卡岩矿石	辉钼矿	Re-Os	141.9±0.4	Mao Jingwen et al. ,2003

值总体特征可见,其活动时间跨时最长、活动范围最广,出现的年龄峰值与另两类侵入岩年龄范围和出现的峰值一致。

辉石(二长)闪长岩类:仅分布在狮子山矿田、舒家店矿床等部分地区,该类岩石年龄数据相对较少(10个),年龄值在 148.2~136.6Ma 之间,主要分

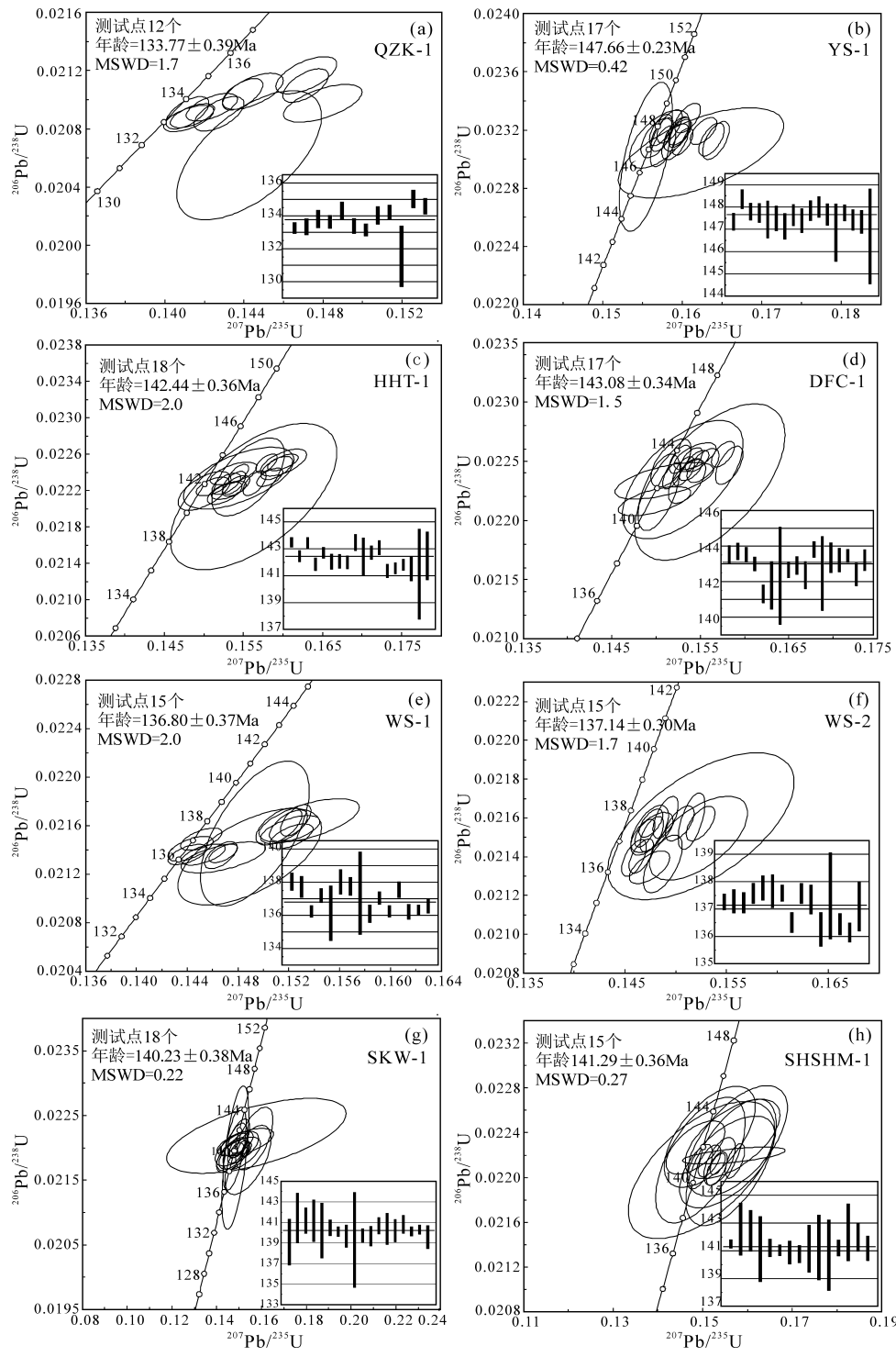


图 5 铜陵矿集区石英二长闪长岩(棋子坑等岩体)锆石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 5 The LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of zircons of the quartz monzodiorite in Tongling metallogenic district

布在 144~142Ma 和 139~137Ma 两个范围内,与区内花岗闪长岩的峰值范围基本一致。

其他岩类:区内其他岩石类型主要为花岗斑岩、石英闪长玢岩等,样品数相对较少(4 个)。花岗斑岩年龄数据低于区内三类主要类型侵入岩年龄,数值范围在 131.74~124Ma,显然属区内晚期岩浆活

动的产物;本次针对区内石英闪长玢岩采集样品分析,其成岩年龄为 137.3±2.9 Ma(LA-ICP-MS 锆石 U-Pb),与区域侵入岩年龄相近,为石英(二长)闪长岩同期的产物。

5.2 区内成矿年龄

由于区内辉钼矿是区内金属矿主成矿阶段的共

伴生矿物组合,其形成年龄多认为属成矿事件的重要记录。收集区内已有辉钼矿 Re-Os 年龄结果(表3),主要年龄值分布在 141~137Ma 之间(17个)(Mao Jingwen et al., 2003; Zeng Pusheng et al., 2003; Wang Yanbin et al., 2004; Wang Yangyang et al., 2015; Zhong Guoxiong et al., 2014; Duan Yanrui et al., 2016),其中有 2 个采自新桥硫铁矿的 Re-Os 年龄在 126~120 Ma 可能是后期矿化的叠加结果,并非区内铜、金矿主要成矿事件年龄记录。统计区内辉钼矿年龄,数据集中分布在 141 Ma、139 Ma、137 Ma 左右这 3 个年龄峰值,按照矿床成因类型统计,东部的姚家岭热液型矿床和凤凰山接触交代型矿床形成于 142~140 Ma 左右,狮子山矿田 3 个典型层控矽卡岩型矿床形成时间完全一致,均在 139 Ma 左右;铜官山矿田中典型接触交代型矿床(金口岭铜矿)形成于 137Ma 左右,与该区花岗闪长岩中角闪石 $\text{Ar}^{40}\text{-Ar}^{39}$ 的年龄吻合。从获得成矿事件年龄的区域分布特征分析,区内自东向西成矿年龄逐渐变新,且每个矿田成矿时代相差 2Ma 左右。有 2 个新桥矿床中的黄铁矿 Re-Os 年龄在 126~120 Ma 之间,其与长江中下游成矿带的大规模铁硫矿成矿事件一致,反映这次重要成矿作用对区内存在一定的影响。

5.3 区内不同成矿时代与成矿侵入体对应关系

在岩浆与金属成矿关系中,除岩浆作用融离、分异过程形成的金属矿床二者形成时间基本一致外,大多数金属矿床形成与岩浆期后的熔/流体分离之后的流体活动阶段有关,所以金属矿床形成年龄比岩浆结晶成岩时间滞后,至于滞后时间差范围有多大,尚有较大的争议。Wang Denghong et al. (2010) 对全国主要矿产地的成岩-成矿年龄进行统计,发现一些矿床出现比成岩年龄更老的成矿年龄,表明岩浆成岩-成矿具有复杂性和多解性。但是,大多数研究岩浆成岩-成矿作用的学者认为,岩浆成岩-成矿时代相差多在 10Ma 左右。Hua Renmin et al. (2005) 对南岭花岗岩成岩-成矿时间差研究认为,二者相差十几个百万年;李光来等(2012)对赣南樟东坑钨矿研究认为,花岗岩岩体型钨矿与石英脉型钨矿形成时代高度一致(154Ma);在长江中下游成矿带中,对鄂东南矿集区、九瑞矿集区的一些岩浆与成矿关系密切的典型矿床研究,也认为成岩-成矿二者时间一般相差在 10Ma 之内(Xie Guiqing et al., 2013; Cheng Zhihong et al., 2011);在铜陵矿集区,一些研究者也得出相同的认识(Wang Yanbin et

al., 2004; Du Yangsong et al., 2007; Wu Ganguo et al., 2008; Zhang Da et al., 2006; Wu Cailai et al., 2008, 2013),普遍认为所获得的成岩年龄基本上都代表了成矿年龄,或成矿年龄相较于成岩年龄略有滞后。但是,本区不同类型矿床内出现不同类型、不同时代的侵入体,一些矿体尚赋存在侵入体中,如区内舒家店斑岩型铜矿,矿体产于辉石(二长)闪长岩中,究竟是辉石(二长)闪长岩是成矿母岩还是寄主围岩,抑或是晚期岩浆活动成矿,尚有不同认识。而像狮子山矿田层控矽卡岩型、沉积热液叠改型矿床成矿又与哪些侵入体有关,也值得研究。因此,确定区内与成矿直接相关的岩体,这是区内尚值得研究的问题之一。

针对铜陵矿集区这种以斑岩型-矽卡岩型-热液型矿床为主要成因类型的矿集区,斑岩型、矽卡岩型矿床形成年龄与成矿有关的侵入体年龄更为接近。从区内获得的最早侵入岩年龄(151.8Ma)与获得最大的辉钼矿年龄(141.9Ma)和最小年龄(137Ma)比较,分别相差在 10Ma、15Ma 左右,也在正常的成岩-成矿时差估计范围之内。如果考虑不存在样品的代表性和分析误差因素影响,从区内三类侵入体的成岩年龄,并结合典型矿床研究结果,可以从三组成矿集中年龄初步确定其对应的成矿岩体类型。

(1)成矿年龄集中于 141Ma 左右的矿床主要在姚家岭热液型锌金矿、舒家店斑岩型铜矿和凤凰山接触交代型铜矿田。姚家岭热液型锌金多金属矿床产于花岗闪长岩捕虏体中,部分产于花岗闪长岩隐爆角砾岩体中,其成岩-成矿应该相对接近,从测定的结果也反映其成岩-成矿年龄一致,形成于 142~141Ma 的花岗闪长岩属成矿岩体无疑。舒家店斑岩型铜矿仅一个辉钼矿 Re-Os 年龄样品,其分析结果为 $140.6 \pm 2.0\text{Ma}$ (Lü Yuzhuo et al., 2011),也在该组成矿年龄范围之内。凤凰山矿田以接触交代型矿床为主,矿体多产于花岗闪长岩、石英(二长)闪长岩岩体与碳酸盐岩接触带部位,岩体成岩年龄也集中在 144~141Ma 之间(Wu Cailai et al., 2013),矿石辉钼矿 Re-Os 年龄集中于 141~140Ma,成岩-成矿年龄基本一致,成岩-成矿时间相差小于 5 Ma。

(2)成矿年龄在 139Ma 的矿床主要集中在以层控矽卡岩型、沉积热液叠改型为主的狮子山矿田和新桥铜硫矿床,取自冬瓜山、大团山、龙虎山等 4 个矿床 5 个辉钼矿 Re-Os 年龄样品分析结果集中在 $139 \pm 0.5\text{Ma}$ (Mao Jingwen et al., 2003; Lu Sanming, 2007),无疑它应是区内主成矿阶段的事

件年龄。在新桥铜硫矿床,岩石类型较单一,主要为石英(二长)闪长(斑)岩,其成岩年龄在 148~140Ma 之间,矿床中黄铁矿 Re-Os 年龄 $138\pm 26\text{Ma}$ (Wang Yangyang et al., 2015),基本可以断定该区铜硫矿化与石英(二长)闪长岩对应,成岩-成矿时间差异在 10Ma 范围,新桥矿床成岩-成矿时间相差较长,可能也是形成大型沉积热液叠加改造型矿床的主要原因。在狮子山矿田内,三类主要侵入岩类型都有产出,其成岩年龄值分布范围较广,如果考虑成矿年龄不应大于成岩年龄因素,排除 $<139\text{Ma}$ 年龄侵入体为该成矿事件的成矿岩体,区内花岗闪长岩的年龄普遍大于 139 Ma,集中在 139~141 Ma 之间,该类岩体也是区内的重要成矿(铜)岩体,可能在成岩-成矿时间上相较于矿集区东部的姚家岭、凤凰山地区滞后约 2Ma;在狮子山矿田尚有石英(二长)闪长岩、辉石(二长)闪长岩,在这两类侵入体中,在朝山、白芒山、冬瓜山三地的辉石(二长)闪长岩获得的锆石 U-Pb (SHRIMP) 的年龄数据在 148.2~139.0 Ma,目前已知该类侵入体主要与金矿成矿有关(Wu Cailai et al., 2013),应视为区内形成 139 Ma 中的金矿成矿岩体;石英(二长)闪长岩既有大于或小于 139 Ma 的年龄数据,在新桥铜硫矿床和铜官山矿田中该类岩体为主要成矿岩体,因此将该类岩体中大于或等于 139 Ma 可视为该区的主要成铜金铁(硫)岩体。据此,在狮子山矿田中 $>139\text{Ma}$ 的花岗闪长岩、石英(二长)闪长岩也应为成铜主要岩体。两类岩体最大成岩-成矿时间相差在 10Ma 之内。在狮子山矿田有三类侵入体在该区脉动式侵入、集中成矿,这是形成该区大型铜金矿田的重要原因之一。

(3)成矿年龄在 137 Ma 左右的年龄主要在铜官山矿田,该区主要为石英(二长)闪长岩分布区,铜矿直接产于岩体接触带中,成岩年龄相对集中在 142Ma 左右,该类侵入体成岩-成矿时间差也仅在 5Ma 左右。与狮子山矿田相比,其成矿时代晚约 2Ma。

(4)在新桥铜硫矿床中的黄铁矿 Re-Os 年龄中除获得 $138\pm 2.6\text{Ma}$ (Wang Yangyang et al., 2015) 的年龄数据外,尚有 393Ma 和 126~120Ma 的年龄数据,前者与控矿地层(晚石炭世)年龄吻合,证明区内海西期同生沉积成矿作用的存在,后者是叠加成矿作用的记录,其主成矿期年龄应在 $138\pm 26\text{Ma}$,而成矿在 126~120Ma 的年龄记录与区域铁硫矿大规模成矿作用关系值得下步深入研究。

由上基本可以厘定区内成岩-成矿演化特点,从区域空间分布上,自东向西沿中央轴带成岩-成矿年龄渐新,姚家岭锌金多金属矿、舒家店铜矿、凤凰山铜矿成矿时代为 141Ma→狮子山矿田、新桥铜硫矿为 139Ma→铜官山矿田为 137Ma,三组成矿年龄对应的成矿岩体主要为花岗闪长岩+石英(二长)闪长岩→花岗闪长岩+石英(二长)闪长岩+辉石(二长)闪长岩→石英(二长)闪长岩,与石英(二长)闪长岩有关的成矿作用在区域上普遍出现,各矿田、矿床内的成岩-成矿的时差多在 5 Ma 之内。而在岩浆活动记录中,从三类主要侵入体中已获得的最大的 $151.8\pm 2.6\text{Ma}$ 年龄值(沙滩脚石英二长斑岩)(Di Yongjun et al., 2005)与最小的 $131.64\pm 0.36\text{Ma}$ 年龄值(瑶山石英二长闪长岩)(本文),二者相差约 20Ma,表明区内岩浆活动时间跨时相对较长,而已获得的成矿年龄仅在 141~137 Ma,在跨时仅 4 Ma 时限内出现 3 次成矿事件,可称谓“瞬时大规模成矿”。

6 结论

(1)本次工作测得瑶山花岗斑岩体的年龄为 $131.74\pm 0.31\text{Ma}$;店门口花岗闪长岩体年龄为 $137.42\pm 0.3\text{Ma}$;茗山石英闪长岩体年龄为 $140.18\pm 0.38\text{Ma}$;棋子坑、瑶山、荷花塘、九榔上山汪及上山缪石英闪长岩体的年龄自 $133.77\pm 0.39\text{Ma}$ 至 $147.66\pm 0.23\text{Ma}$ 。与区内同类型岩石成岩时代一致。

(2)铜陵矿集区成岩-成矿时代沿中央轴带自东向西逐渐变新,主要矿田、矿床的成岩-成矿时差在 5Ma 之内,整个矿集区成矿时间发生在 141~137Ma 之间,在 4Ma 时间范围之内发生了三次幕式成矿,相邻矿田成矿时差在 2Ma 左右。这种大陆内短时间、大规模成矿鲜见于国内外文献报道。

(3)区内酸性侵入岩系列主要包括花岗闪长(斑)岩、石英(二长)闪长岩和辉石(二长)闪长岩三类,从成岩-成矿时间的先后顺序上也大致分为三个主幕:石英(二长)闪长岩+花岗闪长(斑)岩(第一幕,152~144Ma)→石英(二长)闪长岩+花岗闪长(斑)岩+辉石二长闪长岩(第二幕,144~140 Ma)→石英(二长)闪长岩(第三幕,140~137 Ma),三幕岩浆活动与三幕成矿作用可以对应。

(4)区内成岩年龄小于 137Ma 的侵入体一般与铜金矿关系不太密切,但从新桥矿床中发现 126~120Ma 成矿年龄数据,与长江中下游成矿带的铁硫

矿床形成时代一致,值得进一步研究。

致谢:本文是基于前人大量成果资料结合笔者等在区内工作资料撰写而成,在工作、成文过程中与常印佛院士、徐晓春教授等进行了讨论,在此致谢!

References

- Chang Yinbo, Liu Xiangpei, Wu Yanchang. 1991. The Copper-iron Belt of the Middle and Lower Reaches of the Changjiang River. Beijing: Geological Publishing House, 1~370 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Li Xueming, Foland K A, Huang Chengyi, Lu Wei. 1993. Sr and Nd isotopic constraints on source regions of the intermediate and acid intrusions from southern Anhui Province. *Geochimica*, 3: 261~268 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhihong, Xing Guangfu, Guo Kunyi, Zeng Yong, Kuang Fuxiang, He Zhenyu, Ke Xue, Yu Minggang, Zhao Xilin, Zhang Yong. 2011. Zircon U-Pb ages of ore-bearing granitic bodies in northern Jiujiang-Ruichang metallogenic district of the mineralization belt of the Middle-Lower Reaches of the Yangtze River, and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 85(7): 1146~1158 (in Chinese with English abstract).
- Chu Guozheng, Huang Xuchen, Zhang Chenghuo, Zhou Jie, Wu Cailai, Li Dongxu, Huang Huasheng, Liu Wencan. 1995. Discussion on theore-control factors of the Tongling area, Anhui. *Geology of Anhui*, 5(1): 48~57 (in Chinese with English abstract).
- Di Yongjun, Wu Ganguo, Zhang Da, Song Biao, Zang Wenshuan, Zhang Zhongyi, Li Jinwen. 2005. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Xiaotongguanshan and Shatanjiao intrusions and its petrological implications in the Tongling area, Anhui. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 804 (in Chinese with English abstract).
- Du Yangsong, Liu Shunting, Cai Yi, Qin Xinlong, Lou Yaer. 2007. UFAC-related origin of the Later Jurassic to Early Cretaceous intrusions in the Tongguashan ore field Tongling Anhui Province, East China. *Geoscience*, 21(1): 71~77 (in Chinese with English abstract).
- Guo W M, Lu J J, Jiang S Y, Zhang R Q, Zhao Z J. 2013. Chronology, Hf isotopes, geochemistry, and petrogenesis of the magmatic rocks in the Shizishan ore field of Tongling, Anhui Province. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, (8): 1268~1286.
- Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting LA-ICP-MS. *Mineral Deposits*, 28(4): 481~492 (in Chinese with English abstract).
- Hu Le, Li Yike, Song Yang, Wang Anjian. 2018. Zircon U-Pb dating and mineral chemistry of the amphibole cumulates in Tongling, Anhui Province, and its implications for deep magmatism. *Acta Geologica Sinica*, 92(4): 704~721 (in Chinese with English abstract).
- Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, Lu Jianjun. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China. *Mineral Deposits*, 24(2): 99~107 (in Chinese with English abstract).
- Lan Xueyi, Du Jianguo, Yan Jiayong, An Ming, Wan Qiu, Guo Dong, Liao Mengqi, Wang Yunyun, Tao Long, Zhang Qisha, Zhang Shasha. 2015. 3D gravity and magnetic interactive inversion modeling based on prior information: A case study of the Tongling ore concentration area. *Chinese Journal of Geophysics*, 58(12): 4436~4449 (in Chinese with English abstract).
- Lai Xiaodong, Yang Xiaoyong, Sun Weidong, Cao Xiaosheng. 2012. Chronological-geochemical characteristics of the Shujiadian intrusion, Tongling ore cluster field: its significance to metallogenesis. *Acta Geologica Sinica*, 86(3): 470~485 (in Chinese with English abstract).
- Li Mingze, Wu Cailai, Lei Min, Gao Yuanhong, Wang Nan. 2016. Zircon U-Pb geochronology of intermediate-acid intrusions in the Shujiadian ore district of the Tongling ore concentration area. *Geology in China*, 43(5): 1514~1544 (in Chinese with English abstract).
- Lu Sanming. 2007. The magmatism and fluid mineralization in Shizishancopper-gold ore-field of Tongling, Anhui Province. A Dissertation Submitted to Hefei University of Technology For the Degree of Doctor of Philosophy, 1~158 (in Chinese with English abstract).
- Li Guanglai, Hua Renmin, Huang Xiaoe, Wei Xinglin, Qu Wenjun, Wang Xudong. 2012. Re-Os isotopic age of molybdenite from Xiatongling tungsten deposit, central Jiangxi Province, and its geological implications. *Mineral Deposits*, 30(6): 1075~1084 (in Chinese with English abstract).
- Lü Yuzhuo, Zhou Taofa, Yuan Feng, Fan Yu, Wang Shiwei. 2011. Re-Os isotopic age of the molybdenite from the schhujia deposit in the Tongling mining area, Anhui. *Acta Mineralogica Sinica*, (s): 621~622 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianmin, Yan Jun, Li Quanzhong, Song Chuanzhong, Liu Xiaoqiang, Xie Jiancheng. 2014. Zircon dating and petrogenesis of the Yaojialing intrusion in Tongling area. *Chinese Journal of Geology*, 49(2): 494~512 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shaofeng. 2012. The metallogenesis research of Yaojialing Zn-Au polymetallic deposit in Tongling, Anhui Province. A Dissertation Submitted to China University of Geosciences for Doctoral Degree (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiangpei, Chang Yinbo, Wu Yanchang. 1988. Metallogenic conditions and regularities in the middle and lower reaches of the Changjiang River. *Acta Geologica Sinica*, (2): 167~177 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. 2010a. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1-2): 537~571.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535~1546 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Wang Yitian, Niu Baogui. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 33(3): 289~299 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Stein H, Du Andao, Zhou Taofa, Mei Yanxiong, Li Yongfeng, Zang Wenshuan, Li Jingwen. 2004. Molybdenite Re-Os precise dating of molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 121~131 (in Chinese with English abstract).
- Mei Yanxiong, Mao Jingwen, Li Jinwen, Du Andao. 2005. Re-Os dating of molybdenite from stratiform skarn orebodies in the Datuanshan copper deposit, Tongling, Anhui Province, and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(4): 327~331 (in Chinese with English abstract).
- Meng Yifeng, Yang Zhusen, Zeng Pusheng, Xu Wenyi, Wang Xuncheng. 2004. Tentative temporal constraints of ore-forming fluid systems in Tongling metallogenic province. *Mineral Deposits*, 23(3): 271~280 (in Chinese with English abstract).
- Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, Mat tinson J M, Corfu F, Dor W, Kamo S L, Kennedy A K, Kronz A, Reiners P W, Frei D, Kosler J, Wan Y, Göt ze J, Häger T, Kröner A, Valley J. 2008. Zircon M257-a homogeneous natural reference material for the ion microp robe U-Pb analysis of zircon. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 32: 247~265.

- Qu Hongying, Pei Furong, Wang Yonglei, Li Jinwen. 2010. Re-Os dating of molybdenite from the Fenghuangshan skarn Cu deposit in Tongling, Anhui Province and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 785 ~ 796 (in Chinese with English abstract).
- Sláma J, Kosler J, Condon D J, Crowley J L, Gerdes A, Hanchar J M, Horstwood M S A, Morris G A, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett M N, Whitehouse M J. 2008. Plesovice zircon-A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249: 1 ~ 35.
- Song Yang, Du Yangsong, Zhang Zhiyu, Ma Hong, Zhu Xiaoqiang. 2017. Re-understanding of the geological and geochemical characteristics of the Mesozoic intrusive rocks from Tongling area of Anhui Province, and discussions on their genesis. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10): 3139 ~ 3169 (in Chinese with English abstract).
- Tang Yongcheng, Wu Yanchang, Chu Guozheng, Xing Fengming, Wang Yongmin, Cao Fenyang, Chang Yinfo. 1998. *Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits along the Yangtze River, Anhui Province*. Beijing: Geological Publishing House, 60 ~ 85 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenhui, Chen Yuchuan, Tang Juxing, Li Jiankang, Ying Lijuan, Wang Chenghui, Liu Shanbao, Li Lixing, Qin Yan, Li Huaqin, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Chen Wen, Zhang Yan. 2010. New data of the rock-forming and ore-forming chronology for China's Important mineral resources areas. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 1030 ~ 1040 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenghua, Xiong Xiaolin, Bao Zhiwei. 2003. Petrogenesis of the Mesozoic intrusion rocks in the Tongling area, Anhui Province, China and constraint to geodynamics process. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 46: 801 ~ 815.
- Wang Shiwei, Zhou Taofa, Yuan Feng, Fan Yu, Lv Yuzhuo. 2011. Geochronology and geochemical characteristics of the Shujiadian intrusion in Tongling, China. *Acta Geologica Sinica*, 85(5): 850 ~ 861 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shiwei, Zhou Taofa, Yuan Feng, Cao Xiaosheng, Wang Biao. 2012. Re-Os and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Shujiadian copper deposit in Tongling, China: Implications for regional metallogenesis. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10): 3170 ~ 3180 (in Chinese with English abstract).
- Wang S W, Zhou T F, Yuan F, Fan Y, Cooke D R, Zhang L J, Fu B a, White N C. 2016. Geochemical characteristics of the Shujiadian Cu deposit related intrusion in Tongling: Petrogenesis and implications for the formation of porphyry Cu systems in the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt, eastern China. *Lithos*, 252 ~ 253: 185 ~ 199.
- Wang Yanbin, Liu Dunyi, Zeng Pusheng, Yang Zhusen, Meng Yifeng, Tian Shihong. 2004. SHRIMP U-Pb geochronology of Xiaotongguanshan quartz_dioritic intrusions in Tongling district and its petrogenetic implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(4): 298 ~ 304 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yangyang, Xiao Yilin, Yang Xiaoyong. 2015. Re-Os isotope systematics and fluid inclusions of Xinqiao deposit in Tongling, the Middle-Lower Yangtze River metallogenic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 31(4): 1031 ~ 1039 (in Chinese with English abstract).
- Wu Ganguo, Zhang Da, Di Yongjun, Zang Wenshuan, Zhang Xiangyang, Song Biao, Zhang Zhongyi. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusives in the Tongling metallogenic cluster and its dynamic setting. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 38(5): 630 ~ 645 (in Chinese with English abstract).
- Wu C L, Wang F S, Hao M Y, et al. 2000. Geochronology of intermediate-acid intrusive rocks from Tongling, Anhui. *Continental Dynamics*, 5(1): 15 ~ 23.
- Wu Cailai, Dong Shuwen, Guo Heping, Guo Xiangyan, Gao Qianming, Liu Lianggen, Chen Qilong, Lei Min, Wooden J L, Mazadab F K, Mattinson C. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb dating of intrusive rocks and hypomagmatic process from Shizishan, Tongling. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1801 ~ 1812 (in Chinese with English abstract).
- Wu Cailai, Gao Qianming, Guo Heping, Guo Xiangyan, Liu Lianggen, Gao Yuanhong, Lei Min, Qing Haipeng, Chen Qilong. 2010. Zircon SHRIMP dating of intrusive rocks ore field in Tongling, Anhui from the Tongguashan China. *Acta Geologica Sinica*, 84(12): 1748 ~ 1758 (in Chinese with English abstract).
- Wu Cailai, Dong Shuwen, Guo Xiangyan. 2013. *Acid Intrusive Rocks in Chinese Tongling*. Beijing: Geological Publishing House, 1 ~ 220 (in Chinese with English abstract).
- Wu Xingxing, Yan Jun, Tang Yulu, Chu Xiaoqiang, Peng Ge. 2011. Geochronology and geochemistry of Shatanjiaogranodiorite from Tongling, Anhui Province. *J. Mineral. Petrol.*, 31(3): 75 ~ 82 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xisheng, Fan Qiancheng, O'Reilly S Y, Jiang Shaoyong, Griffin W L, Wang Rucheng, Qiu Jiansheng. 2004. U-Pb dating of zircons from quartz diorite and its enclaves at Tongguanshan in Anhui and its petrogenetic implication. *Chinese Science Bulletin*, 49(8): 2073 ~ 2082 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiaochun, Lu Sanming, Xie Qiaoqin, Bo Lin, Chu Guozheng. 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 ~ 509 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiaochun, Fan Ziliang, Wang Meng, Fu Zhongyang, He Jun, Xie Qiaoqin. 2018. Two types of zircons from the Jiaochong pyroxene diorite pluton in the Tongling area of Anhui Province and their geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 92(1): 28 ~ 40 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiaochun, Bai Ruyu, Xie Qiaoqin, Lou Jinwei, Zhang Zanzan, Liu Qineng, Chen Liwei. 2012. Re-understanding of the geological and geochemical characteristics of the Mesozoic intrusive rocks from Tongling area of Anhui Province, and discussions on their genesis. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10): 3139 ~ 3169 (in Chinese with English abstract).
- Xie Guiqing, Zhu Qiaoqiao, Yao Lei, Wang Jian, Li Wei. 2013. Discussion on regional metal mineral deposit model of Late Mesozoic Cu-Fe-Au polymetallic deposits in the Southeast Hubei Province. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 32(4): 418 ~ 426 (in Chinese with English abstract).
- Xie Jiancheng, Yang Xiaoyong, Du Jianguo, Sun Weidong. 2008. Zircon U-Pb geochronology of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling region: implications for copper-gold mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1782 ~ 1800 (in Chinese with English abstract).
- Xie J C, Yang X Y, Sun W D, Du J G, Xu W, Wu L B, Wang K Y, Du X W. 2009. Geochronological and geochemical constraints on formation of the Tongling metal deposits, middle Yangtze metallogenic belt, east-central China. *International Geology Review*, 51: 388 ~ 421.
- Xie Jiancheng, Yang Xiaoyong, Xiao Yilin, Du Jianguo, Sun Weidong. 2012. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive rocks from the Tongling ore cluster region: the metallogenic significance. *Acta Geologica Sinica*, 86(3): 423 ~ 459 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming, Xu Xiang. 1996. High-potassium calc-alkaline intrusive rocks in Tongling area, Anhui Province. *Geochimica*, 25(1): 29 ~ 38 (in Chinese with English abstract).
- Yin Yanduan, Hong Tianqiu, Jia Zhihai, Zhao Huan, Li Chao, Luo Lei, Huang Jainman. 2016. The Re-Os age of molybdenite and ore-forming material source from the Yaojialing Zn-Au

polymetallic deposit, Tongling. Geological Review, 62(1): 248 ~256. (in Chinese with English abstract).

Yang Xiaonan, Xu Zhaowen, Xi Sheng, Lin Hongfei, Liu Suming, Zhang Jun, Li Haiyong. 2008. Zircon U-Pb geochronology and its implication for the temperature of Yanshanian magma in Tongling, Anhui Province. Acta Geologica Sinica, 82(4): 510 ~516 (in Chinese with English abstract).

Zeng Pusheng, Yang Zhusen, Meng Yifeng, Pei Rongfu, Wang Yanbin, Wang Xuncheng, Xu Wenyi, Tian Shihong, Yao Xiaode. 2003. Temporal-spatial configuration and mineralization of Yanshanian magmatic fluid systems in Tongling ore concentration area, Anhui Province. Mineral Deposits, 23 (3): 298 ~ 309 (in Chinese with English abstract).

Zhang Da, Wu Ganguo, Di Yongjun, Zang Wenshuan, Shao Yongjun, Yu Xinqi, Zhang Xiangyang, Wang Qunfeng. 2006. Emplacement dynamics of Fenghuangshan pluton (Tongling, Anhui Province): constraints from U-Pb SHRIMP dating of zircons and structural deformation. Earth Sci.-J. China Univ. Geosci, 31(6): 823~829 (in Chinese with English abstract).

Zhou X M, Li W X. 2000. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China, implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magma. Tectonophysics, 326: 269 ~278.

Zhong Guoxiong, Zhou Taofa, Yaun Feng, Jiang Qisheng, Fan Yu, Zhang Dayu, Huang Jianman. 2014. LA-ICPMS U-Pb zircon age and molybdenite Re-Os dating of Yaojialing large zinc-gold polymetallic deposit, Tongling, Anhui Province, China. Acta Petrologica Sinica, 30 (4): 1075 ~ 1086 (in Chinese with English abstract).

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,1~370.

陈江峰,周泰禧,李学明, Foland K A,黄承义,卢伟. 1993. 安徽南部燕山期中酸性侵入岩的源区锶、钕同位素制约. 地球化学,3: 261~268.

陈志洪,邢光福,郭坤一,曾勇,匡福祥,贺振宇,柯学,余明刚,赵希林,张勇. 2011. 长江中下游成矿带九瑞矿集区(北部)含矿岩体的锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 地质学报, 85 (7): 1146 ~1158.

储国正,黄许陈,张成火,周捷,吴才来,李东旭,黄华盛,刘文灿. 1995. 安徽铜陵地区成矿控制因素的探讨. 安徽地质, 5(1): 48 ~57.

狄永军,吴淦国,张达,宋彪,臧文拴,张忠义,李进文. 2005. 铜陵地区小铜官山和沙滩脚岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究及其岩石学意义. 地质学报, 79(6): 804.

杜杨松,李顺庭,曹毅,秦新龙,楼亚儿. 2007. 安徽铜陵铜官山矿区内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.

侯可军,李延河,田有荣. 2009. LA-MC-CP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质, 28(4): 481~492.

胡乐,李以科,宋扬,王安建. 2018. 安徽铜陵角闪石堆积岩锆石 U-Pb 年代学、矿物化学及其对深部岩浆作用的启示. 地质学报, 92(4): 704~721.

华仁民,陈培荣,张文兰,陆建军. 2005. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用. 矿床地质, 24(2): 99~107.

兰学毅,杜建国,严加水,安明,万秋,郭冬,廖梦奇,王云云,陶龙,张启燕,张莎莎. 2015. 基于先验信息约束的重磁三维交互反演建模技术——以铜陵矿集区为例. 地球物理学报, 58(12): 4436 ~4449.

赖小东,杨晓勇,孙卫东,曹晓生. 2012. 铜陵舒家店岩体年代学、岩石地球化学特征及成矿意义. 地质学报, 86(3): 470~485.

李名则,吴才来,雷敏,邵源红,王楠. 2016. 铜陵矿集区舒家店矿区内酸性侵入岩锆石 U-Pb 年代学研究. 中国地质, 43(5): 1514 ~1544.

李光来,华仁民,黄小娥,韦星林,屈文俊,王旭东. 2012. 赣中下桐岭钨矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 矿床地质, 30(6): 1075 ~1084.

吕玉琢,周涛发,袁峰,范裕,王伟伟. 2011. 安徽铜陵矿集区舒家店矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄. 矿物学报, (增刊): 621~622.

刘健敏,闫峻,李全忠,宋传中,刘晓强,谢建成. 2014. 铜陵姚家岭岩体的锆石定年和岩石成因. 地质科学, 49(2): 494~512.

刘绍锋. 2012. 安徽铜陵姚家岭锌金多金属矿床成矿作用研究. 北京: 中国地质大学博士学位论文, 1~139.

刘湘培,常印佛,吴言昌. 1988. 论长江中下游地区成矿条件和成矿规律. 地质学报, (2): 167~177.

陆三明. 2007. 安徽铜陵狮子山铜金矿田岩浆作用和流体成矿. 合肥: 合肥工业大学博士学位论文, 1~158.

毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示. 中国科学(D 辑), 33(4): 289~299.

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

梅燕雄,毛景文,李进文,杜安道. 2005. 安徽铜陵大团山铜矿床层状矽卡岩矿体中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其地质意义. 地球学报, 26(4): 327~331.

蒙义峰,杨竹森,曾普胜,徐文艺,王训成. 2004. 铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定. 矿床地质, 23(3): 271~280.

瞿弘滢,裴荣富,王永磊,李进文. 2010. 安徽铜陵凤凰山矽卡岩型铜矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义. 岩石学报, 26 (3): 785~796.

宋扬,杜杨松,张智宇,马宏,朱晓强. 2017. 安徽铜陵新桥铜—硫—铁矿床矽卡岩体的矿物学和锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. 地质科技情报, 36(01): 33~40.

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.

王登红,陈郑辉,陈毓川,唐菊兴,李建康,应立娟,王成辉,刘善宝,李立兴,秦燕,李华芹,屈文俊,王彦斌,陈文,张彦. 2010. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据. 地质学报, 84(7): 1030~1040.

王强,许继峰,赵振华,熊小林,包志伟. 2003. 安徽铜陵地区燕山期侵入体的成因及其对深部动力学过程的制约. 中国科学(D 辑), 33(4): 323~334.

王伟伟,周涛发,袁峰,范裕,吕玉琢. 2011. 铜陵舒家店岩体的年代学和地球化学特征研究. 地质学报, 85(5): 849~861.

王伟伟,周涛发,袁峰,范裕,曹晓生,王彪. 2012. 铜陵舒家店斑岩铜矿成矿年代学研究及其成矿意义. 岩石学报, 28(10): 3170 ~3180.

王彦斌,刘墩一,曾普胜,杨竹森,梅燕雄,田世洪. 2004. 铜陵地区小铜官山石英闪长岩锆石 SHRIMP 的年龄及其成因指示. 岩石矿物学杂志, 23(4): 298~304.

王洋洋,肖益林,杨晓勇. 2015. 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. 岩石学报, 31(4): 1031~1039.

吴淦国,张达,狄永军,臧文拴,张祥信,宋彪,张忠义. 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.

吴才来,董树文,国和平,郭祥炎,高前明,刘良根,陈其龙,雷敏, Wooden J L, Mazadab F K, Mattinson C. 2008. 铜陵狮子山地区中酸性侵入岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及岩浆作用的深部过程. 岩石学报, 24(8): 1801~1812.

吴才来,高前明,国和平,郭祥炎,刘良根,邵源红,雷敏,秦海鹏,陈其龙. 2010. 铜陵地区铜官山矿田侵入岩锆石 SHRIMP 定年. 地质学报, 84(12): 1748~1758.

吴才来,董树文,郭祥炎,等. 2013. 中国铜陵中酸性侵入岩. 北京: 地质出版社, 1~220.

吴星星,闫峻,唐裕禄,初晓强,彭戈. 2011. 安徽铜陵沙滩脚岩体年代学及地球化学特征. 矿物岩石, 31(3): 75~82.

徐夕生,范钦成, O'Reilly S Y, 蒋少涌, Griffin W L, 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(8): 1883~1890.

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): 500~509.

徐晓春, 白茹玉, 谢巧勤, 楼金伟, 张赞赞, 刘启能, 陈莉薇. 2012. 安徽铜陵中生代侵入岩地质地球化学特征再认识及成因讨论. 岩石学报, 28(10): 3139~3169.

徐晓春, 范子良, 王蒙, 傅仲阳, 何俊, 谢巧勤. 2018. 安徽铜陵焦冲辉石闪长岩体中的两类锆石及其地质意义. 地质学报, 92(1): 28~40.

谢桂青, 朱乔乔, 姚磊, 王建, 李伟. 2013. 鄂东南地区晚中生代铜铁金多金属矿的区域成矿模型探讨. 矿物岩石地球化学通报, 32(4): 418~426.

谢建成, 杨晓勇, 杜建国, 孙卫东. 2008. 铜陵地区中生代侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及 Cu-Au 成矿指示意义. 岩石学报, 24(8): 1782~1800.

谢建成, 杨晓勇, 肖益林, 杜建国, 孙卫东. 2012. 铜陵矿集区中生代侵入岩成因及成矿意义. 地质学报, 86(3): 423~459.

邢凤鸣, 徐祥. 1996. 铜陵地区高钾钙碱系列侵入岩. 地球化学, 25(1): 29~38.

殷延端, 洪天求, 贾志海, 等. 2016. 铜陵姚家岭锌金多金属矿的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及成矿物质来源. 地质论评, 62(1): 248~256.

杨小男, 徐兆文, 徐夕生, 凌洪飞, 刘苏明, 张军, 李海勇. 2008. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 U-Pb 年龄意义. 地质学报, 82(4): 510~516.

曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 裴荣富, 王彦斌, 王训诚, 徐文艺, 田世洪, 姚孝德. 2003. 安徽铜陵矿集区燕山期岩浆流体系统时空结构及成矿. 矿床地质, 23(3): 298~309.

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-中国地质大学学报, 31(6): 823~829.

钟国雄, 周涛发, 袁峰, 蒋其胜, 范裕, 张达玉, 黄建满. 2014. 安徽铜陵姚家岭锌金多金属矿床成岩成矿年代学研究. 岩石学报, 30(4): 1075~1086.

Chronology study of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling ore-cluster region, Anhui, and its metallogenic significance

SHI Ke^{1,2)}, DU Jianguo^{*1)}, WAN Qiu¹⁾, CHEN Fang¹⁾, CAI Yang¹⁾,
CAO Jingya^{1,2)}, WU Libin¹⁾, WANG Limin¹⁾, TAN Dexing¹⁾

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

2) School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026

* Corresponding author: ahdujianguo@126.com

Abstract

Based on a large number of highly-precise dating data obtained for the Tongling district, this study carried out the supplementary LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for 11 samples from small intrusive rocks in Qiziken, Yaoshan and Hehuatang, etc. which are poorly studied. The ages obtained in this study are distributed mainly between 147 Ma and 131 Ma. Systematic study of rock-and ore-forming ages suggests that this district is a large ore cluster area resulted from the Yanshanian intracontinental instantaneous large scale mineralization. The ore-forming intrusive rocks in the study area are mainly composed of granodiorite, quartz diorite (monzobiorite), and pyroxene diorite (monzobiorite), and rock-forming ages range from 148 Ma to 137 Ma, from 152 Ma to 130 Ma, and from 150 Ma to 134 Ma, respectively, with the rock-forming age mainly from 152 Ma to 130 Ma. The Re-Os isotopic ages of molybdenite from the important deposits in the Tongling area mainly range from 141 Ma to 137 Ma. The difference between the rock- and ore-forming ages was less than 10 Ma, and the difference of ore-forming ages of adjacent ore-field was less than 20 Ma, with ore-forming ages gradually becoming young from east to west. The three episodic large scale mineralization in the Tongling ore cluster area occurring within the short interval of ages (141~137 Ma) is rare in the global intracontinental magmatic mineralization.

Key words: Tongling metallogenic district; intermediate-felsic intrusive rocks; rock-and ore-forming ages; instantaneous large scale mineralization