

南岭中段骑田岭花岗岩基的锆石 U-Pb 年代学格架

朱金初^{*}, 王汝成, 张佩华, 谢才富, 张文兰, 赵葵东, 谢磊, 杨策, 车旭东, 于阿朋, 王禄彬

内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093

* E-mail: jczhu@nju.edu.cn

收稿日期: 2009-03-23; 接受日期: 2009-05-26

国家自然科学基金(批准号: 40730423, 40373014)和中国地质调查局调查项目(编号: 1212010632100)资助

摘要 骑田岭花岗岩体位于南岭中段, 湖南省南部, 总出露面积约 520 km². 根据本文已获得的 25 个及其他作者已发表的 7 个有效和相互协调的单颗粒锆石 U-Pb 定年数据, 结合地质学、岩石学和空间分布等特征, 认为骑田岭岩体是一个燕山早期多阶段形成的复式岩基, 主要可分成 3 个侵入阶段: 第一阶段, 侵位于 163~160 Ma, 峰值在 161 Ma 左右, 主要为角闪石黑云母二长花岗岩, 有时为黑云母二长花岗岩, 出露面积约占 45%, 分布在岩体东部、北部和西部的靠边缘部位, 可进一步分解为菜岭、江口、竹枳水、蒋家洞和安源等岩体; 第二阶段, 侵位于 157~153 Ma, 峰值在 157~156 Ma, 主要为黑云母花岗岩, 有时含不同数量角闪石, 出露面积约占 40%, 主要分布在岩体的中部和南部, 可进一步分解为芙蓉、将军寨、廖家洞和将军石等岩体; 第三阶段, 侵位于 150~146 Ma, 峰值在 149 Ma 左右, 主要为细粒(有时含斑)黑云母花岗岩, 出露面积约占 12%, 分布在岩体的中南部位, 可进一步分解为荒塘岭、大山里和仙鹤抱蛋等岩体. 其中前两个阶段花岗岩构成岩基的主侵入相, 第三阶段花岗岩为补充侵入相. 另有一些侵入到第一阶段和第二阶段岩体中的细粒花岗岩岩瘤(如回头湾、龙渡岭、屋场坪)和岩脉, 出露面积约占 3%, 在岩基范围内零散分布, 其侵位年龄主要在第二阶段花岗岩的范围内, 他们是侵入到早些时间已固结岩石裂隙空间的晚阶段侵入相. 根据不同阶段花岗岩结晶年龄的时间差和他们之间明显的侵入接触关系和冷凝-烘烤现象, 可以认为, 从骑田岭花岗岩基侵位、冷却、结晶、固结到产生裂隙的时间, 不会超过 2~6 Ma. 中晚侏罗世在骑田岭及其周边的南岭地区, 广泛发育同时代的花岗质和中基性岩浆活动, 反映了燕山早期是本区岩浆活动的高峰期, 此时本区处于大陆内部岩石圈伸展、减薄的构造环境, 壳幔相互作用对本区花岗岩的形成有至关重要的影响.

关键词

南岭
骑田岭
花岗岩复式岩基
单颗粒锆石 U-Pb
定年
期次划分
岩体分解

骑田岭花岗岩体是南岭花岗岩的代表性岩体之一, 它位于南岭中段, 湖南省南部, 郴州市西南约 20 km 处, 属郴县、宜章和桂阳三县境内. 整个岩体呈等轴状, 边界近于圆形, 总出露面积约 520 km². 由于

在骑田岭岩体周围不远的范围内, 早就发现了很多大型至超大型有色金属和稀有金属矿床, 其中包括柿竹园钨锡钼铋矿、瑶岗仙钨钼矿、宝山铅锌矿、黄沙坪铅锌钨钼矿、香花岭锡钨铅锌铋钼矿等, 骑田岭

岩体东北缘产有新田岭钨矿, 南缘产有安源、淘锡窝等锡矿, 十余年前又在岩体内部发现了大型的芙蓉锡矿, 有关骑田岭花岗岩体的地质、地球化学、年代学、岩石成因和成矿关系等问题, 一直吸引着广大地质勘探工作者和研究人员的密切关注。

本文作者近年来在骑田岭花岗岩地区围绕地质年代学、岩石学、地球化学和成矿关系等主要领域, 进行了较系统的野外地质和室内分析测试工作。本文主要报道已完成的单颗粒锆石 U-Pb 定年分析结果, 并参考其他研究者已发表的数据和地质资料, 结合地质学、岩石学和空间分布等特征, 讨论骑田岭花岗岩复式岩基的锆石 U-Pb 年代学格架, 侵入期次的划分和岩体的进一步分解问题。有关对岩体岩石学、地球化学和成岩成矿关系等方面的认识, 将在后续的论文中逐步发表。

1 地质构造背景和年代学研究概况

在大地构造上, 骑田岭花岗岩基位于华南湘桂粤北海西印支凹陷区内, 两条深大断裂在此交汇, 一条是NE向的茶陵-郴州-临武深大断裂带, 它控制了NE向的Nd模式年龄低值带^[1,2]和含锡钨A型花岗岩带^[3]的分布, Wang等^[4]根据断裂带东西两侧中生代玄武岩常量元素、微量元素和同位素地球化学特征等方面的系统差别, 提出该断裂带是扬子陆块和华夏陆块在新元古代的岩石圈界线; 另一条是九嶷山-骑田岭-九峰山深断裂带, 它控制了南岭燕山早期东西向花岗岩带北带(九嶷山-骑田岭-九峰山)花岗岩体的分布^[5]。附近出露的地层为以边缘海槽盆相砂泥质岩石为主的震旦系-志留系和以浅海台地相碳酸盐岩为主的泥盆系-中三叠统, 在一些受深断裂控制的断陷盆地中, 发育上三叠统-侏罗系和白垩系-上第三系的陆相沉积岩。

骑田岭花岗岩体是一个多阶段侵入的复式岩基, 被它侵入的最新地层为下三叠统大冶灰岩, 在岩体南侧不远处的下白垩统红层中, 含岩性与骑田岭主侵入体岩性相当的花岗岩砾石及花岗质碎屑岩夹层, 据此可以认定, 骑田岭主侵入体的侵位时间, 在早三叠世与早白垩世之间, 但具体时间仍难以确定。广东省地质局南岭区域地质测量普查大队^[6]最早研究了骑田岭花岗岩体的侵位年龄, 认为它是南岭地区最有代表性的燕山早期花岗岩之一, 形成于晚侏罗世

之后和早白垩世之前。

中国科学院地质研究所的全国同位素地质年龄数据汇编小组^[7]最早用体积法测得了—个年龄值为204 Ma的黑云母K-Ar数据, 样品取自岩体东北部竹枳水村附近的黑云母花岗岩。李璞等^[8]在1963年发表了国内第一批用K-Ar法测定的内蒙和南岭伟晶岩和花岗岩的年龄数据, 骑田岭岩体的竹枳水花岗岩亦在名单之中, 其公布的年龄值为186 Ma。此后, 从1963至1975年, 中国科学院地球化学研究所、核工业部第三研究所和宜昌地质矿产研究所等又测得了几个黑云母K-Ar及锆石和独居石的常规U-Pb年龄数据, 但变化范围较大^[8-10]。总的说来, 在过去涉及有关骑田岭主侵入阶段花岗岩(指岩体中在出露面积上为主的和在时间上被晚阶段细粒花岗岩切穿的中粗粒至中细粒斑状花岗岩)年龄的文献中, 大多把它看作是印支期的产物^[11-14], 亦有少数认为是早侏罗世的^[15]。

20世纪80年代后期, 湘南地质队用超单元填图法, 在骑田岭花岗岩体地区进行了1:5万区域地质调查(永春幅和宜章幅), 识别出90多个不同产状和大小不等的侵入体(岩株、岩瘤、岩脉), 并结合在1989~1990年完成的3条全岩Rb-Sr等时线(133~161 Ma)和4个锆石常规U-Pb法年龄(142~161 Ma)等数据, 将骑田岭岩体划分成菜岭和芙蓉两个超单元, 其中菜岭超单元属印支期, 它可进一步划分为枫树下、樟溪水、两口塘和青山里4个单元; 芙蓉超单元属燕山期, 它可进一步划分为礼家洞、五里桥、南溪、将军寨、荒唐岭和回头湾等6个单元。此后还有更晚阶段的超酸性花岗质岩脉, 未建立单元^[16,17]。1991年以前骑田岭花岗岩基的同位素年龄测定结果列于表1。由表1可见, 由于不同的定年方法具有各自的特点和测定仪器性能的局限性, 且样品采自岩基的不同期次和不同部位, 样品的测定在不同的实验室进行, 导致了年龄的测定值有较大的差异和对骑田岭花岗岩体形成年龄的不同认识。

1991~2001年, 国内基本上没有出现有关骑田岭花岗岩地质年龄的文献。21世纪初, 随着骑田岭岩体内部大型芙蓉锡矿的被证实和分析测试技术的进步, 人们开始了对骑田岭花岗岩及相关矿床的全面地质地球化学研究, 其中包括: 郑基俭等^[18]、柏道远等^[19]、朱金初等^[20]、邓希光等^[21]研究了骑田岭花岗

表 1 1991 年以前骑田岭花岗岩基的同位素年龄测定结果

样品号	采样地点	岩性	采样人	测定单位	测定年份	测定方法	测定结果 /Ma	资料来源
HNH-7/1	竹枳水	花岗岩	王联魁	中国科学院地球化学研究所	1961	黑云母 K-Ar	204	文献[7]
HNH-7/1	竹枳水	花岗岩	王联魁	中国科学院地球化学研究所	1961	黑云母 K-Ar	186	文献[8]
IV-5558	黄茅才口水	花岗岩	湖南区测队	中南地质矿产研究所	1964	黑云母 K-Ar	158	文献[7]
IV-5531-14A	宜章	中细粒花岗岩	湖南区测队	中国科学院地球化学研究所	1965	常规独居石 U-Pb	75	文献[7]
IV-5562-A	宜章大山里	不详	湖南区测队	中国科学院地球化学研究所	1965	常规独居石 U-Pb	113	文献[7]
IV-5562-C	宜章大山里	不详	湖南区测队	中国科学院地球化学研究所	1965	常规独居石 U-Pb	163	文献[7]
P-1540	永春东 200 m	中粗粒角闪黑云花岗岩		核工业部第三研究所	1972	黑云母 K-Ar	214	文献[9]
K30-1	黄岑水库大庙脚	中粒黑云母花岗岩		中南地质矿产研究所	1974	黑云母 K-Ar	158	文献[9]
K30-2	黄岑水库大庙脚	花岗岩		中南地质矿产研究所	1975	常规锆石 U-Pb	157	文献[9]
Hγπ-1	良田立出塘	花岗岩中的小侵入体	湖南区测队	宜昌地质矿产研究所	1977	钾长石 K-Ar	118	文献[10]
IV-5562-B	大山口	中细粒少斑状花岗岩	湖南区测队	宜昌地质矿产研究所	1963	常规锆石 U-Pb	217	文献[16,17]
IV-5531-14B	荒唐岭	中细粒少斑状花岗岩	湖南区测队	宜昌地质矿产研究所	1963	常规独居石 U-Pb	174	文献[16,17]
3848	菜岭附近	中粒斑状角闪黑云花岗岩	湖南区测队	宜昌地质矿产研究所	1975	常规独居石 U-Pb	265	文献[16,17]
TW1	五里桥	中粒斑状角闪黑云花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1989	全岩 Rb-Sr	144±6	文献[16,17]
TW4	安乐洞	中粒斑状角闪黑云花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1989	全岩 Rb-Sr	133±9	文献[16,17]
TW9	板壁岭	细中粒斑状角闪黑云花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1989	全岩 Rb-Sr	161±11	文献[16,17]
TW2	磨池水	中粒斑状角闪黑云花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1990	常规锆石 U-Pb	158	文献[16,17]
TW4	南溪泥湾	中粒斑状角闪黑云花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1990	常规锆石 U-Pb	151	文献[16,17]
TW6	江口荒田冲	中粒斑状角闪黑云母花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1990	常规锆石 U-Pb	161	文献[16,17]
TW8	月峰马岭	中粒斑状角闪黑云花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1990	常规锆石 U-Pb	112	文献[16,17]
永 TW98	荒唐岭	中细粒少斑状黑云母花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1990	全岩 K-Ar	92	文献[16,17]
永 TW1041	永春横板上	中细粒少斑状黑云母花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1990	全岩 K-Ar	119	文献[16,17]
永 TW1536	菜岭枫树下	细中粒斑状角闪黑云花岗岩	湘南地质队	宜昌地质矿产研究所	1990	全岩 K-Ar	101	文献[16,17]

岩的岩石学和地球化学特征,证明了该花岗岩体属铝质A型,讨论了他们的成因机制.郑基俭等^[18]、王登红等^[22]、毛景文等^[23]、蔡景辉等^[24]、蒋少涌等^[25]、李华芹等^[26]、彭建堂等^[27]、Li 等^[28]、毕献武等^[29]研究了骑田岭花岗岩的成矿关系等问题.

在地质年代学方面,朱金初等^[30,31]、付建明等^[32]、李金冬等^[33]、李华芹等^[26]和赵葵东等^[34]先后发表了骑田岭不同地段主体花岗岩的 9 个锆石U-Pb 年龄数据(详见下文);刘义茂等^[35]测得骑田岭主体花岗岩中 3 个钾长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄在 $(139.6 \pm 2.8) \sim (144.9 \pm 2.9)$ Ma 之间;毛景文等^[23]和彭建堂等^[27]发表了骑田岭岩体中 1 个新鲜未蚀变花岗岩中黑云母和 7 个蚀变花岗岩中白云母和金云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄数据,其中芙蓉镇附近主体花岗岩中黑云母的年龄为 (157.5 ± 0.3) Ma, 淘锡窝和三门口 4 个云英岩中白云母的年龄为在 $(160.1 \pm 0.9) \sim (154.8 \pm 0.6)$ Ma 之间, 19 号矿脉附近 3 个金云母的年龄在 $(157.3 \pm 1.0) \sim (150.6 \pm 1.0)$ Ma 之间,这些云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄数据与前人和本文测得的这些花岗岩的锆石U-Pb 年龄范围基本一致;此外,朱金初等^[30]、李华芹等^[26]、毛景文等^[23]、彭建堂等^[27]还分别完成了一些全岩Rb-Sr 定年或 Ar/Ar 法成矿年龄等测定.

2002~2005 年,湖南省地质调查院^[36]组织了郴州市幅 1:25 万区域地质调查项目,对骑田岭花岗岩复式岩体重新进行了时代与单元划分,分别厘定了中侏罗世和晚侏罗世 2 个序列 7 个单元,其中中侏罗世骑田岭花岗岩序列组成骑田岭花岗岩复式岩体的主体,并从早到晚划分为 6 个单元,分别为黄家湾单元、仰天湖单元、廖家洞单元、大山里单元、南溪单元和陈家单元,晚侏罗世有 1 个单元,即荒唐岭序列之回头湾单元,并在湘南地质队单元超单元划分的基础上,做了一些修改.

2 采样和分析方法

为研究骑田岭花岗岩基的地质年代学等问题,在进行了大量野外地质调查的基础上,采集了不同地段、不同期次和不同岩性的样品,并将其中最具有代表性的样品进行了锆石分选和单颗粒锆石 U-Pb 年龄测定.

在精选供 U-Pb 年龄分析用的锆石晶体以前,先将新鲜的岩石样品破碎至 0.3 mm 以下,用常规的人

工淘洗和电磁选方法富集锆石,再在双目显微镜下用手工方法逐个精选锆石颗粒,未用任何化学试剂.所有样品的绝大多数锆石为自形柱状晶体,在阴极发光图上显示震荡生长环带等岩浆成因结构特征.

本文作者先后测定了 25 个样品的锆石U-Pb 年龄,其中 1 个样品(QT-38)在 2002 年在宜昌地质矿产研究所用熔融法测定,其余 24 个样品锆石原位微区分析在 2004~2008 年分 5 批分别在中国地质科学院北京离子探针中心、西北大学大陆动力学国家重点实验室和南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成,其中:QT-85, QT-87, QT-72, QT-65, QT-55, QT-94, QT-96, QT-34 和 QT-66 等 9 个锆石样品的 SHRIMP U-Pb 年龄分析分别在 2004 年 5 月和 2007 年 7 月在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP-II 仪器上完成,先将锆石样品与标样锆石 TEM(年龄为 (416.8 ± 1.1) Ma)在玻璃板上用环氧树脂固定,抛光,使锆石内部暴露,进行透射光和反射光下照相,并用阴极发光扫描电子显微镜照相,以了解锆石的内部结构,在反复对比这些照片的基础上选出最理想的供分析的锆石颗粒.年龄测试时束斑直径为 20 μm ,分析流程和原理可参考 Compston 等^[37]、Black 等^[38]和简平等^[39].

QT-73, QT-5, QT-63 和 QT-66 等 4 个锆石样品的 LA-ICP-MS 法年龄测定于 2005 年 5 月在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,分析仪器为 ELAN6100DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas-193 型激光剥蚀系统. QT-110, QT-95, QT-62, QT-52, QT-91, QT-38-3, QT-122, QT-108, QT-105, QT-123 和 QT-67 等 11 个锆石样品的 LA-ICP-MS 法年龄测定分别于 2008 年 5 和 12 月在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成,分析仪器为 Agilent 7500a 型质谱仪和 UP-213 型激光剥蚀系统.两个实验室中测试时激光束斑直径为 30~38 μm .具体分析步骤和数据处理方法可参考 Jackson 等^[40]、袁洪林等^[41]和禹尧等^[42].

3 测定结果和数据可信度分析

本文作者等已完成的 25 个样品的锆石 U-Pb 定年结果及样品的岩性、采样地点、经纬度和测定方法列于表 2,其他研究者已发表的 7 个锆石 U-Pb 定年结果亦列入其中,样品顺序按期次先后和岩体分解次序排列.在本文作者完成的分析数据中,除 2 个样品

表 2 骑田岭花岗岩基的单颗粒锆石 U-Pb 年龄测定结果

序号	样品号	侵入阶段	岩体名称	岩性	采样地点	经纬度	年龄/Ma	(点数) MSWD	分析方法和地点	资料来源
1	QT-38	—	菜岭	中细粒斑状角闪黑云花岗岩	人形电站	112°59'11"E, 25°32'59"N	161±2		熔融法, 宜昌	文献[30]
2	D220-1	—	菜岭	中细粒斑状角闪黑云花岗岩	人形电站		160±2	(5)2	SHRIMP, 北京	文献[32]
3	QT-73	—	菜岭	中粒少斑状黑云母花岗岩	何家垄东		161±1	(9)0.63	LA-ICP-MS, 西安	本文
4	QT-110	—	江口	中细粒斑状角闪黑云花岗岩	白石岭村南	112°56'14"E, 25°38'36"N	161±2	(8)0.40	LA-ICP-MS, 南京	本文
5	QT-85	—	江口	细粒黑云花岗岩	新田岭矿区	112°56'17"E, 25°39'26"N	163±3	(9)0.75	SHRIMP, 北京	本文
6	QT-87	—	竹枳水	中粒斑状黑云母花岗岩	竹枳水村北	112°53'59"E, 25°36'37"N	160±3	(12)3.8	SHRIMP, 北京	文献[29]
7	QT-5	—	蒋家洞	中细粒斑状黑云母花岗岩	杨柳水		162±2	(13)6.6	LA-ICP-MS, 西安	本文
8	QT-63	—	安源	中粗粒斑状角闪黑云花岗岩	五里桥东		163±2	(11)3.0	LA-ICP-MS, 西安	本文
9	QT-95	—	安源	中粒斑状角闪黑云母花岗岩	安源东	112°47'45"E, 25°27'22"N	161±2	(11)0.10	LA-ICP-MS, 南京	本文
10	QT-72	二	芙蓉	中粒斑状(角闪)黑云母花岗岩	上茶元头北	112°51'02"E, 25°32'05"N	157±3	(9)0.68	SHRIMP, 北京	本文
11	QT-94	二	芙蓉	中细粒小斑状黑云母花岗岩	安乐洞南	112°50'15"E, 25°31'18"N	157±4	(6)4.6	SHRIMP, 北京	本文
12	FB13	二	芙蓉	(角闪石)黑云母花岗岩	白蜡水		155±6	(9)1.13	SHRIMP, 北京	文献[26]
13	FB12	二	芙蓉	(角闪石)黑云母花岗岩	白蜡水		156±5	(12)1.14	SHRIMP, 北京	文献[26]
14	FR-43	二	芙蓉	(角闪石)黑云母花岗岩	白蜡水		156±1	(10)1.7	SHRIMP, 北京	文献[34]
15	FR-63	二	芙蓉	(角闪石)黑云母花岗岩	白蜡水		157±1	(11)1.7	SHRIMP, 北京	文献[34]
16	QT-62	二	芙蓉	中粒斑状角闪黑云花岗岩	永春镇东	112°53'34"E, 25°32'24"N	155±1	(18)0.21	LA-ICP-MS, 南京	本文
17	YC-1	二	芙蓉	中粒斑状角闪黑云花岗岩	永春镇东		157±2	(7)1.3	SHRIMP, 北京	文献[33]
18	QT-55	二	将军寨	中粒斑状黑云母花岗岩	黄岑水库东	112°55'13"E, 25°27'58"N	156±4	(11)2.1	SHRIMP, 北京	本文
19	QT-52	二	将军寨	中粒斑状黑云母花岗岩	志山坪南		156±1	(16)0.23	LA-ICP-MS, 南京	本文
20	QT-65	二	廖家洞	中细粒少斑状黑云母花岗岩	廖家洞南	112°51'04"E, 25°27'40"N	153±3	(11)0.90	SHRIMP, 北京	本文
21	QT-91	二	将军石	中粒斑状黑云母花岗岩	中冲	112°50'03"E, 25°36'18"N	155±1	(18)0.74	LA-ICP-MS, 南京	本文
22	QT-34	二	回头湾	细粒黑云母花岗岩	回头湾村东		154±3	(7)1.17	SHRIMP, 北京	本文
23	QT-122	二	龙渡岭	细粒黑云母花岗岩	杨柳水附近	112°47'33"E, 25°34'27"N	156±1	(19)0.75	LA-ICP-MS, 南京	本文
24	QT-96	二	屋场坪	细粒黑云母花岗岩	屋场坪西南	112°48'10"E, 25°26'49"N	156±4	(9)6.0	SHRIMP, 北京	本文
25	QT-38-3	二	岩脉	细粒电气石花岗岩	人形电站	112°59'11"E, 25°32'59"N	154±1	(16)0.14	LA-ICP-MS, 南京	本文
26	QT-108	二	岩脉	细粒黑云母花岗岩	白蜡水	112°49'43"E, 25°28'42"N	154±1	(19)0.25	LA-ICP-MS, 南京	本文
27	QT-105	三	荒唐岭	细粒黑云母花岗岩	黑山里西	112°53'08"E, 25°28'13"N	149±1	(12)0.48	LA-ICP-MS, 南京	本文
28	QT-66	三	大山里	细粒斑状黑云母花岗岩	大山里南	112°50'52"E, 25°26'48"N	149±3	(7)0.98	SHRIMP, 北京	本文
29	QT-66	三	大山里	细粒斑状黑云母花岗岩	大山里南	112°50'52"E, 25°26'48"N	147±1	(6)1.5	LA-ICP-MS, 西安	本文
30	QT-123	三	仙鹤抱蛋	细粒少斑状黑云母花岗岩	龙凤山	112°50'47"E, 25°32'04"N	150±1	(15)0.39	LA-ICP-MS, 南京	本文
31	QT-67	三	岩脉	花岗质霏细斑岩	白蜡水		147±1	(16)0.26	LA-ICP-MS, 南京	本文
32	D212	三	岩脉	花岗斑岩	42号矿体	112°50'19"E, 25°27'54"N	146±5	(11)1.76	SHRIMP, 北京	文献[26]

(QT-38, QT-87)的分析数据已经发表外^[30,31], 其余 23 个分别用SHRIMP法(8 个)和LA-ICP-MS法(15 个)测定的数据均未发表过, 用SHRIMP法和LA-ICP-MS法测定的原始数据分别列于网络版的附表 1 和 2 中, 普通Pb含量用 ^{204}Pb 的实验值进行校正. 由于这些数据所占篇幅较大, 感兴趣的读者可在网上查询附表 1 和 2(<http://earth.scichina.com>).

用 SHRIMP 法测定的样品中代表性锆石颗粒的阴极发光图像(CL images)见图 1, 所有 24 条用不同方法测定的锆石样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和曲线见图 2, 图中前 9 条曲线为 SHRIMP 分析结果, 后 15 条曲线为 LA-ICP-MS 分析结果, 网络版附表 1 和 2 中样品的排列次序与图 2 相同.

绝大多数在北京离子探针中心用SHRIMP方法完成的分析中, 除个别点号以外, 几乎所有数据点都投影在谐和曲线上或谐和曲线附近, 表明这些锆石颗粒在形成后的U-Pb同位素体系是基本封闭的, 没有U或Pb同位素的明显丢失或加入. 有两个情况必须

说明: 第一, 在分析过程中, 发现某些细粒花岗岩中的锆石由于放射性元素含量太高而导致U-Pb平衡破坏, 造成数据朝不同方向偏离, 因而无法获得合理有效数据, 在这种情况下, 作分析失败处理; 第二, 在部分用LA-ICP-MS法完成的分析中, 有些样品的投影点在谐和线右侧呈水平方向的线状分布, 如 QT-38-3, QT-123, QT-67, QT-73, QT-5, QT-63 和 QT-66 等样品(图 2), 这种分布形式主要与 ^{207}Pb 信号偏低难以测准因而误差较大有关, 造成用 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 算得的表面年龄数据往往有不同程度的偏高, 但它并不影响 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值, 因此, 它不同于发生过Pb丢失的分布形式^[41,43]. 由于用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 算得的表面年龄数据仍比较稳定, 且其平均值与用SHRIMP法分析的结果可以相互对比, 说明在锆石晶体形成后U-Pb同位素体系是基本封闭的, 没有U或Pb的明显丢失.

为了解和讨论本文分析数据的有效性和可靠性, 将个别样品在不同的实验室用不同的方法分析的结果, 不同研究者在同一地点采样、但在不同实验室的

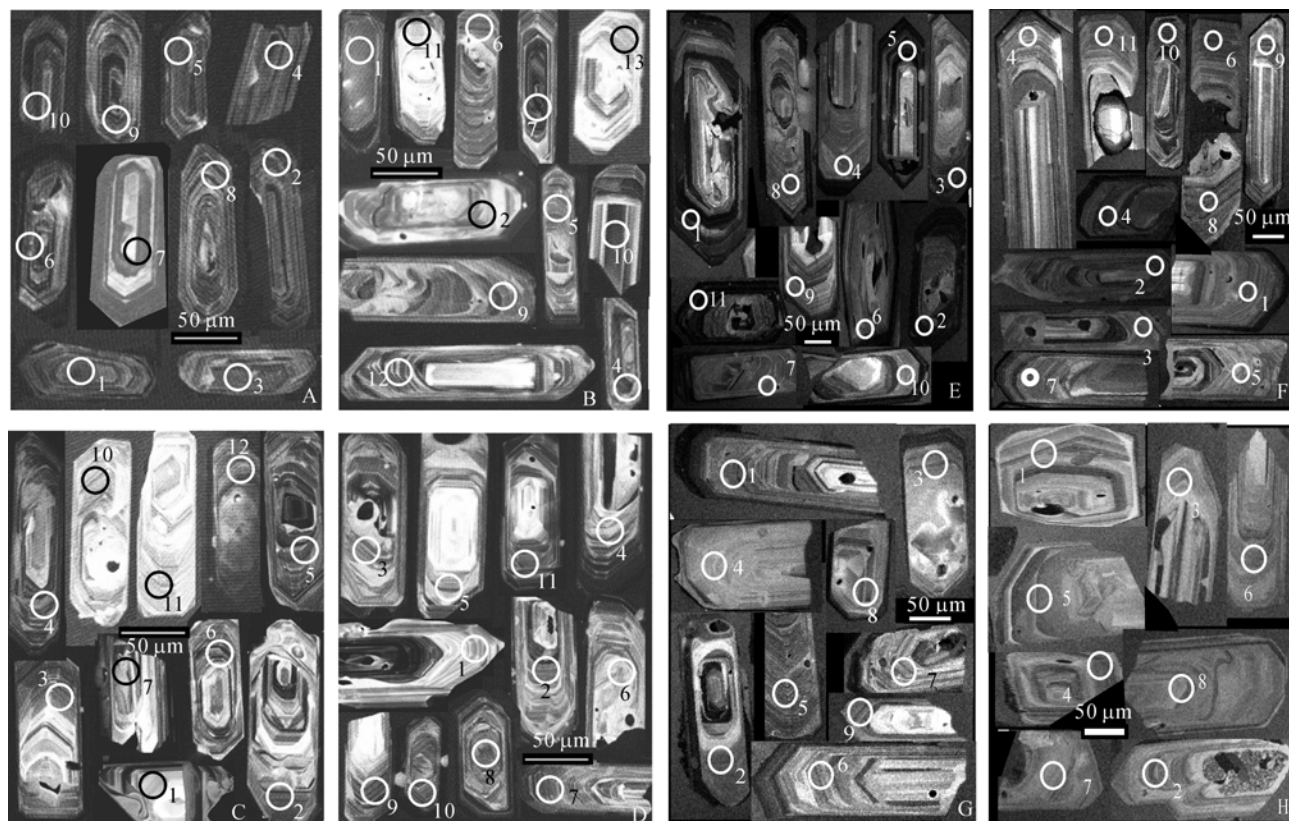
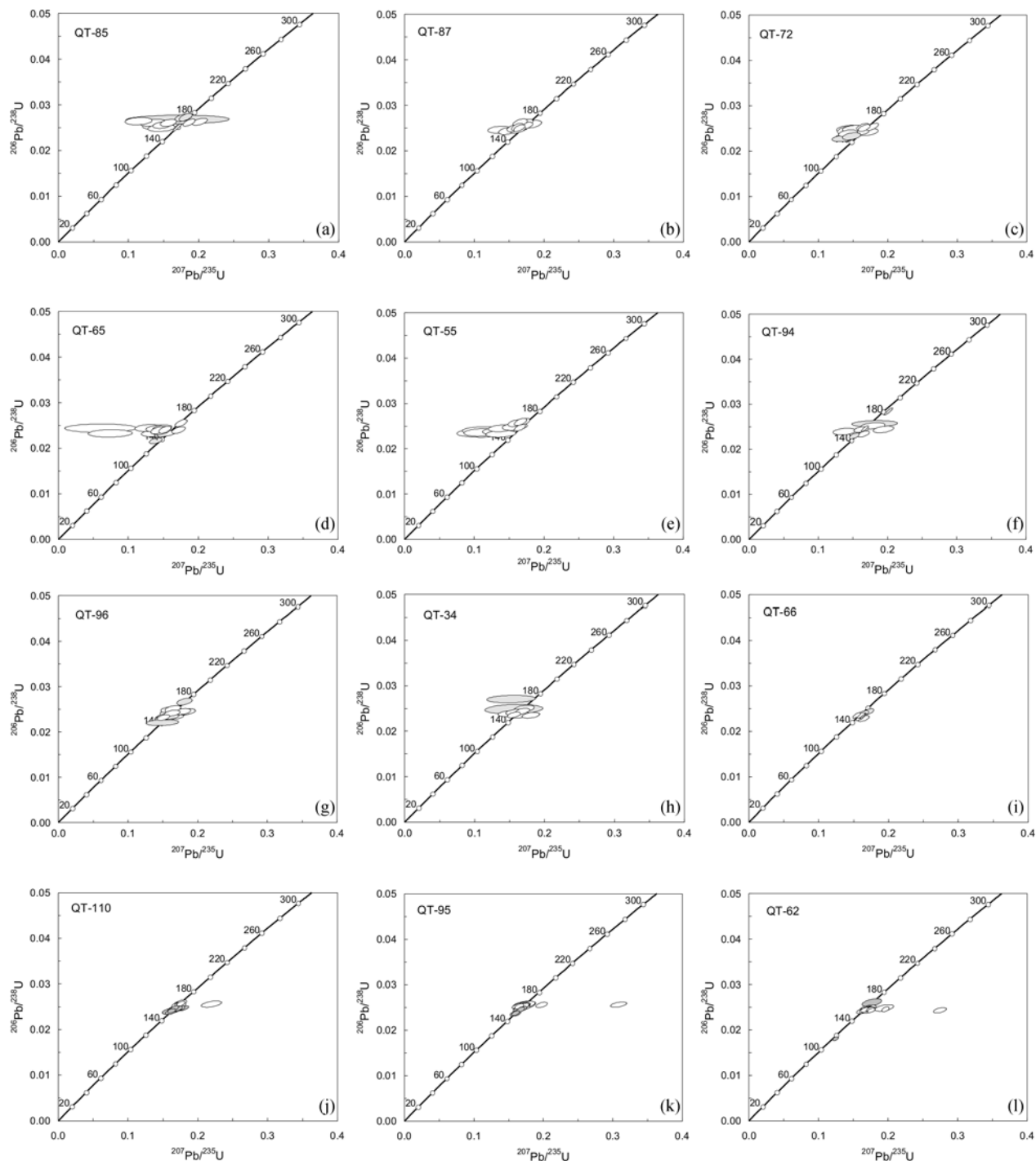


图 1 骑田岭花岗岩基部分样品中锆石颗粒的阴极发光(CL)图像
样品号: A, QT-85; B, QT-72; C, QT-65; D, QT-55; E, QT-94; F, QT-96; G, QT-34; H, QT-66



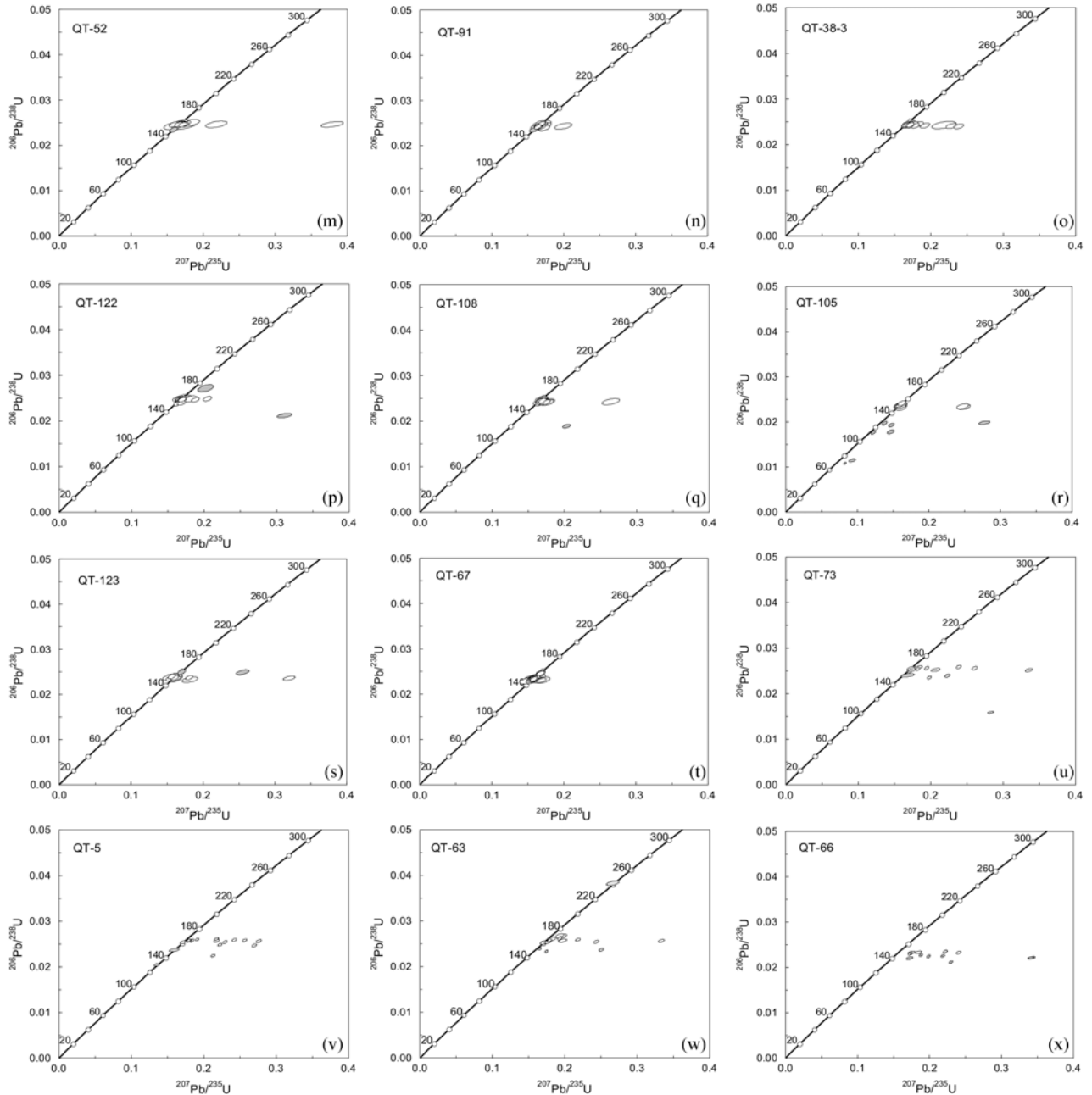


图 2 骑田岭花岗岩基 24 个样品锆石 U-Pb 定年的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图

阴影的数据点未参加平均值计算. 置信度均为 95%. (a) 平均年龄(163 ± 3) Ma, 9 个测点, MSWD=0.75; (b) 平均年龄(160 ± 3) Ma, 12 个测点, MSWD=3.8; (c) 平均年龄(157 ± 3) Ma, 9 个测点, MSWD=0.68; (d) 平均年龄(153 ± 3) Ma, 11 个测点, MSWD=0.90; (e) 平均年龄(156 ± 4) Ma, 11 个测点, MSWD=2.1; (f) 平均年龄(157 ± 4) Ma, 6 个测点, MSWD=4.6; (g) 平均年龄(156 ± 4) Ma, 9 个测点, MSWD=6.0; (h) 平均年龄(154 ± 3) Ma, 7 个测点, MSWD=1.17; (i) 平均年龄(149 ± 3) Ma, 7 个测点, MSWD=0.98; (j) 平均年龄(161 ± 2) Ma, 8 个测点, MSWD=0.40; (k) 平均年龄(161 ± 2) Ma, 11 个测点, MSWD=0.097; (l) 平均年龄(155 ± 1) Ma, 18 个测点, MSWD=0.21; (m) 平均年龄(156 ± 1) Ma, 16 个测点, MSWD=0.23; (n) 平均年龄(155 ± 1) Ma, 18 个测点, MSWD=0.74; (o) 平均年龄(154 ± 1) Ma, 16 个测点, MSWD=0.14; (p) 平均年龄(156 ± 1) Ma, 19 个测点, MSWD=0.75; (q) 平均年龄(154 ± 1) Ma, 19 个测点, MSWD=0.25; (r) 平均年龄(149 ± 1) Ma, 12 个测点, MSWD=0.48; (s) 平均年龄(150 ± 1) Ma, 15 个测点, MSWD=0.39; (t) 平均年龄(147 ± 1) Ma, 16 个测点, MSWD=0.26; (u) 平均年龄(161 ± 1) Ma, 9 个测点, MSWD=0.63; (v) 平均年龄(162 ± 2) Ma, 13 个测点, MSWD=6.6; (w) 平均年龄(163 ± 2) Ma, 11 个测点, MSWD=3.0; (x) 平均年龄(147 ± 1) Ma, 6 个测点, MSWD=1.5

分析结果, 以及分析结果与地质依据如穿插关系等进行了对比. 例如:

(1) 样品 QT-62, 从永春镇东约 500 m 的公路旁采集, 本文用 LA-ICP-MS 法测定的结果为 (155 ± 1) Ma, $n=18$, MSWD=0.21; 李金冬等^[33]用 SHRIMP 法测定的结果为 (157 ± 2) Ma, $n=7$, MSWD=1.3.

(2) 样品 QT-66. 从大山里村南河边采集, 本文用 SHRIMP 法测定的结果为 (149 ± 2) Ma, $n=7$, MSWD=0.98; 用 LA-ICP-MS 法测定的结果为 (147 ± 1) Ma, $n=6$, MSWD=1.5.

(3) 样品 QT-38, 从人形电站东侧河床中采集, 在宜昌地质矿产研究所获得的单颗粒锆石熔融法年龄为 (161 ± 2) Ma^[21]; 付建明等^[32]在基本同一地点取样用 SHRIMP 法测定的年龄为 (160 ± 2) Ma, $n=5$, MSWD=2.

(4) 样品 QT-55, 从宜章黄岑水库东南约 600 m 处采集, 本文用 SHRIMP 法获得的年龄为 (156 ± 4) Ma, $n=11$, MSWD=2.1; 中南地质矿产研究所于 1975 年在水库附近大脚庙采集的花岗岩用常规锆石 U-Pb 法获得的年龄为 157 Ma^[9].

(5) 对近 10 个侵入于主体花岗岩中的细粒花岗岩岩株、岩瘤和岩脉进行了锆石 U-Pb 定年测定, 结果表明, 他们的侵入年龄比寄主花岗岩的侵入年龄大多晚 2~6 Ma, 这从地质穿插关系的角度来说合理和相互协调的(详见本文第 4 节).

通过对这些数据的对比, 使我们有充分的理由相信, 本文作者获得的 25 个有效的年龄数据和其他研究者已发表过的 7 个年龄数据, 是可信的、在误差范围内基本一致的, 而且是相互协调和相互支持的.

4 锆石 U-Pb 年代学格架——期次划分和岩体分解

图 3 是根据上述 32 个近年获得的锆石 U-Pb 年龄数据, 加上 1991 年以前用常规锆石 U-Pb 法获得的与近年新数据相一致的 2 个年龄数据(表 1), 共 34 个数据, 画出的骑田岭花岗岩的锆石 U-Pb 年龄直方图(图 3). 从图中可以明显看出, 骑田岭花岗岩的结晶年龄数据 3 个数值范围, 他们分别代表了 3 个侵入阶段岩浆活动的时间.

根据现有 32 个有效和相互协调的锆石 U-Pb 定年数据, 结合地质学、岩石学和空间分布等特征, 可以

认定, 骑田岭岩基形成于中晚侏罗世, 他是一个燕山早期多阶段形成的复式岩基. 岩基的形成过程, 主要可以分成 3 个阶段: 第一阶段, 侵入于 163~160 Ma; 第二阶段, 侵入于 157~153 Ma; 第三阶段, 侵入于 150~146 Ma. 其中前两个侵入阶段是主侵入期, 第三个侵入阶段是补充侵入期. 每一阶段花岗岩都可进一步分解为若干个岩体. 骑田岭花岗岩基的期次划分和岩体分解见图 4, 图中还标出了测定样品点的位置和年龄值. 在划分岩体的界线时, 参考了湖南省湘南地质队^[16,17]和湖南省地质调查院^[36]在过去划分超单元和单元的界线资料, 部分亦作了修改.

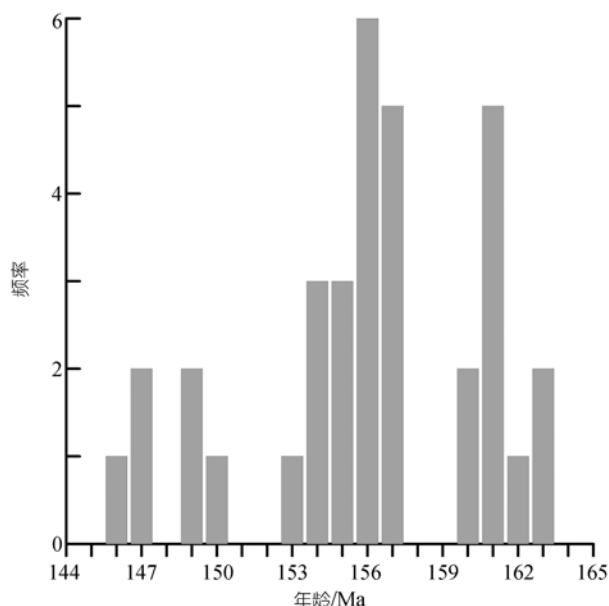


图 3 骑田岭花岗岩基的锆石 U-Pb 年龄数据直方图

4.1 第一阶段主侵入相中粗粒(中细粒)斑状花岗岩

骑田岭第一阶段花岗岩, 分布在岩体东部、北部和西部的靠边缘部位, 主要为中粗粒至中细粒斑状角闪石黑云母二长花岗岩, 有时为黑云母二长花岗岩, 出露面积约占整个岩基的 45%. 该阶段的年龄数据共 9 个, 年龄范围为 163~160 Ma, 峰值在 161 Ma 左右, 可进一步划分为菜岭、江口、竹枳水、蒋家洞和安源等岩体.

菜岭岩体, 分布在岩基的东部边缘, 岩体界限基本参照湘南地质队在 1991 年划分的菜岭超单元范围, 略有改动. 主要为灰色、浅灰色中粒至中细粒斑状角

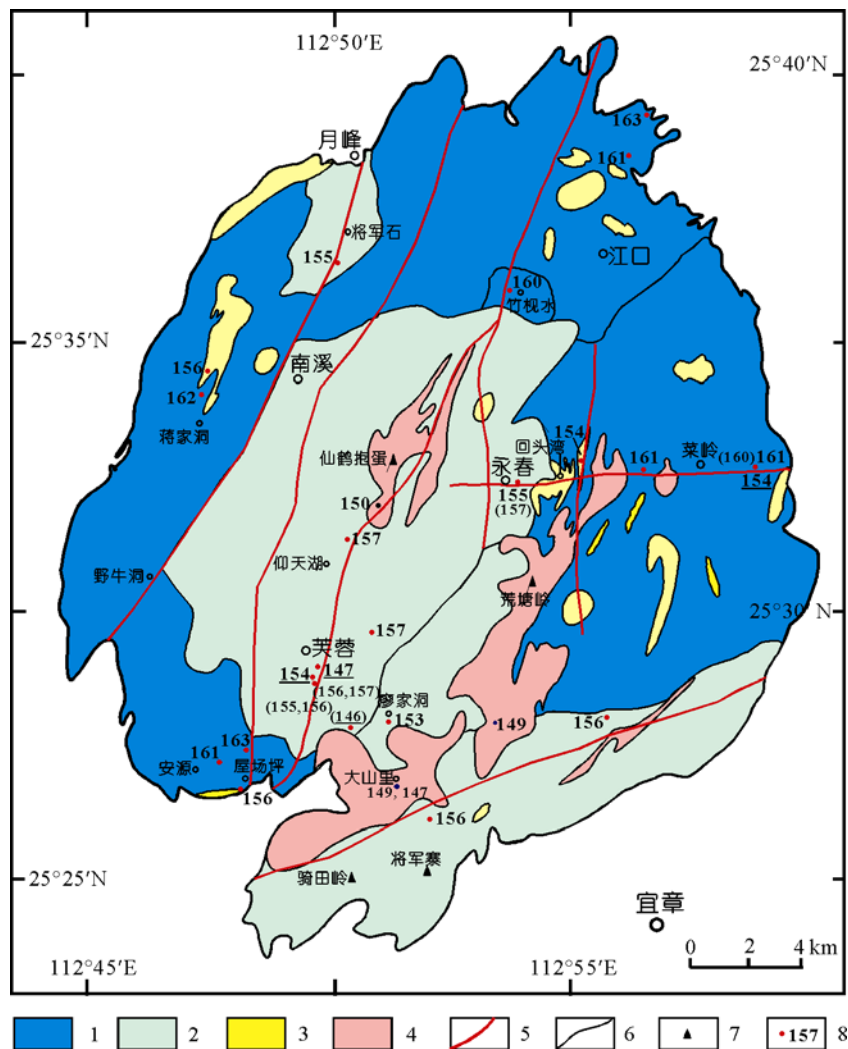


图 4 骑田岭花岗岩基期次划分和岩体分解图

1, 第一阶段主侵入相中粗粒至中细粒斑状角闪黑云二长花岗岩, 局部为黑云母花岗岩; 2, 第二阶段主侵入相中粒斑状黑云母花岗岩, 部分含角闪石; 3, 第二阶段细粒花岗岩岩瘤和岩脉; 4, 第三阶段补充侵入相细粒花岗岩; 5, 主要断裂; 6, 岩体界线; 7, 山峰; 8, 取样点位置和年龄值(Ma). 带括号的年龄值据其他作者已发表文献, 其余年龄值由本文作者测得. 有下划线者为岩脉的年龄值, 详见表 2 所示

闪黑云二长花岗岩, 局部见少量中粒黑云母花岗岩, 暗色闪长质微粒包体常见. 样品 QT-38, 从人形电站东侧河床中采集, 在宜昌地矿所测定的单颗粒锆石熔融法年龄为 $(161 \pm 2) \text{ Ma}$ ^[30]; 付建明等^[32]从基本上同一地点采样获得的 SHRIMP 年龄为 $(160 \pm 2) \text{ Ma}$, $n=5$, $\text{MSWD}=2$; 样品 QT-73, 采自何家垄村附近, 为中粒少斑状黑云母花岗岩, 用 LA-ICP-MS 法获得的年龄为 $(161 \pm 1) \text{ Ma}$; $n=9$, $\text{MSWD}=0.63$; 另外, 从樟溪水附近角闪黑云二长花岗岩获得的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(159 \pm 1) \text{ Ma}$ ^[28].

江口岩体, 分布在岩基的北部边缘, 东起菜岭岩体边界, 西至月峰-野牛洞深大断裂, 以浅灰色中粒至中细粒斑状角闪黑云二长花岗岩为主, 部分为黑云母花岗岩. 样品 QT-110, 采自白石岭村南, 为中细粒斑状角闪黑云二长花岗岩, 用 LA-ICP-MS 法获得的年龄为 $(161 \pm 2) \text{ Ma}$, $n=8$, $\text{MSWD}=0.40$. 样品中发现一颗继承锆石, 其 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 (2649 ± 31) 和 $(2665 \pm 17) \text{ Ma}$. 样品 QT-85, 采自新田岭矿区的宏鑫矿段, 为突入到沉积围岩的边缘相细粒黑云母花岗岩, 用 SHRIMP 法获得的年龄为

(163 ± 3) Ma, $n=9$, MSWD=0.75. 另外, 湖南省湘南地质队^[16,17]于 1990 年从江口荒田冲采集在宜昌所用常规锆石U-Pb法获得的年龄为 161 Ma, 于 1989 年从礼家洞板壁岭采样获得的全岩Rb-Sr等时线年龄为(161 ± 11) Ma.

竹枳水岩体, 范围较小, 分布在岩基的中北部, 为黑云母花岗岩, 有时含少量角闪石. 竹枳水花岗岩是骑田岭岩体中最早用黑云母K-Ar法测定年龄, 并据此曾长期认为整个骑田岭主体花岗岩属印支期^[7,8]. 1 个中粒斑状黑云母花岗岩样品(QT-87)的SHRIMP年龄为(160 ± 3) Ma, $n=12$, MSWD=3.8, 确定其为燕山早期^[31].

蒋家洞岩体, 分布在岩基的西部, 东起月峰-野牛洞断裂, 西至岩基的西部边界, 主要为浅灰色角闪黑云二长花岗岩和黑云母花岗岩. 月峰-野牛洞断裂是茶陵-郴州-临武深大断裂带的组成部分, 在遥感图上和地貌上有明显表现, 它切断骑田岭花岗岩, 并使其西侧明显向南位移. 1 个采自杨柳水村附近的浅灰色中细粒斑状黑云母花岗岩样品(QT-5), 其 LA-ICP-MS 法年龄为(162 ± 2) Ma, $n=13$, MSWD=6.6.

安源岩体, 分布在岩基的西南部, 主要为灰色至浅灰色中粗粒斑状角闪黑云二长花岗岩, 暗色闪长质微粒包体较多. 在五里桥东和安源以东公路旁采集的两个样品(QT-63 和 QT-95), 分别给出 LA-ICP-MS 年龄为(163 ± 2) Ma, $n=11$, MSWD=3.0 和(161 ± 2) Ma, $n=12$, MSWD=0.10.

4.2 第二阶段主侵入相花岗岩

4.2.1 第二阶段主侵入相中粗粒斑状花岗岩

骑田岭第二阶段主侵入相花岗岩, 分布在岩体中部和东南部, 主要为浅灰色斑状黑云母花岗岩, 有时含不同数量角闪石, 出露面积约占整个岩基的 40%. 据黄革非^[17]报道, 在宜章黄岑水库地段, 第二阶段的将军寨岩体明显侵入于第一阶段的菜岭岩体中, 在二者的接触处, 将军寨岩体一侧有冷凝边、伟晶岩团块及菜岭岩体的残留体, 而菜岭岩体一侧则可以见到烘烤现象, 表明二者之间有较长时差. 第二阶段的年龄数据共 12 个, 年龄值范围为 157~153 Ma, 峰值范围在 157~156 Ma, 至少可进一步分解为芙蓉、将军寨、廖家洞和将军石等岩体.

芙蓉岩体, 分布在岩基的中部, 主要为中粒斑状含角闪石的黑云母花岗岩和黑云母花岗岩. 李华芹等^[26]和赵葵东等^[34]在白蜡水锡矿附近获得了 4 个年龄范围为 155~157 Ma 的数据(分别为: (155 ± 6) Ma, $n=9$, MSWD=1.13; (156 ± 5) Ma, $n=12$, MSWD=1.14; (156 ± 1) Ma, $n=10$, MSWD=1.7; (157 ± 1) Ma, $n=11$, MSWD=1.7)), 李金冬等^[33]测得位于永春镇东的角闪石黑云母二长花岗岩的SHRIMP年龄为(157 ± 2) Ma, $n=7$, MSWD=1.3. 本文在芙蓉岩体范围内获得 3 个年龄数据: 其中样品 QT-62, 采自永春镇东公路边约 500 m 的浅灰色中粒斑状角闪黑云二长花岗岩(与李金冬等^[33]测定的样品应该是同一位置), 其 LA-ICP-MS 法年龄为(155 ± 1) Ma, $n=18$, MSWD=0.21; 样品 QT-72, 采自上茶元头村北公路旁, 为浅灰色中粒斑状含角闪石的黑云母花岗岩, 其SHRIMP年龄为(157 ± 4) Ma, $n=9$, MSWD=0.68; 样品 QT-94, 采自安乐洞南的 1430 高地, 为中细粒小斑状黑云母花岗岩, 其SHRIMP年龄为(157 ± 4) Ma, $n=6$, MSWD=4.6. 芙蓉岩体的锆石U-Pb年龄数据亦与毛景文等^[23]和彭建堂等^[27]测得的白蜡水地区含角闪石黑云母花岗岩的 2 个云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄(分别为(157.5 ± 0.3)和(157.3 ± 1.0) Ma)相一致.

将军寨岩体, 分布在岩基的东南部, 范围与湘南地质队划出的将军寨单元相同, 主要为浅灰色至浅肉红色中粒斑状黑云母花岗岩, 个别地段含角闪石. 本文获得了该岩体的两个年龄数据: 样品 QT-52, 采自志山坪水库南约 500 m 处, 为浅灰色中粒斑状黑云母花岗岩, 其 LA-ICP-MS 年龄为(156 ± 1) Ma, $n=16$, MSWD=0.23. 样品 QT-55, 采自黄岑水库东南约 600 m 处, 为浅肉红色中粒斑状黑云母花岗岩, 其SHRIMP年龄为(156 ± 4) Ma, $n=11$, MSWD=2.1. 中南地质矿产研究所在水库附近大脚庙采集了花岗岩样品, 于 1975 年测得其常规锆石U-Pb法年龄为 157 Ma, 两个采样点相距不远^[9].

廖家洞岩体, 岩体较小, 分布在芙蓉岩体的东南. 样品 QT-65, 为浅灰色中细粒少斑状黑云母花岗岩, 采自廖家洞村南, 其 SHRIMP 年龄为(153 ± 3) Ma, $n=11$, MSWD=0.90.

将军石岩体, 分布在岩基的西北部, 月峰-野牛洞断裂通过这里, 并将它一分为二. 样品 QT-91, 采

自中冲, 为浅肉红色中粒斑状黑云母花岗岩, 稍有蚀变, 其 LA-ICP-MS 年龄为 (155 ± 1) Ma, $n=18$, MSWD=0.74.

上述第一阶段和第二阶段花岗岩, 组成了骑田岭岩基的主侵入体.

4.2.2 第二阶段细粒相花岗岩

在第一阶段和第二阶段花岗岩中, 发现一些在岩基范围内零散分布的细粒花岗岩岩瘤和岩脉, 其结晶年龄在第二阶段花岗岩的年龄值范围内, 如回头湾、龙渡岭、屋场坪等岩瘤和一些岩脉, 出露面积约占整个岩基的 3%, 已获得 5 个年龄数据.

样品 QT-34, 采自回头湾村东深沟, 为浅棕红色细粒黑云母花岗岩, 湘南地质队原划归为回头湾单元, 侵入于第一阶段菜岭花岗岩体中, 其 SHRIMP 年龄为 (154 ± 3) Ma, $n=7$, MSWD=1.17, 比寄主花岗岩大约晚 6 Ma. 在回头湾村南河边采集了另一个回头湾单元的细粒花岗岩样品, 在年龄测定时因几乎所有锆石颗粒含 U 太高而无法获得有效数据, 导致分析结果失败; 样品 QT-122, 采自西部杨柳水村附近河边, 为灰白色细粒黑云母花岗岩, 属龙渡岭岩瘤, 其 LA-ICP-MS 年龄为 (156 ± 1) Ma, $n=19$, MSWD=0.75. 他侵入于第一阶段蒋家洞岩体中, 比寄主花岗岩晚 5~6 Ma; 样品 QT-96, 采自岩基西南部屋场坪西南, 这是一个岩基西南缘很小的小岩体(本文称屋场坪岩体), 为灰白色细粒黑云母花岗岩, 其 LA-ICP-MS 年龄为 (156 ± 4) Ma, $n=9$, MSWD=6.0. 他侵入于第一阶段安源岩体中, 比寄主花岗岩晚 5~6 Ma; 样品 QT-38-3, 采自岩基东部人形电站东侧河床, 为一细粒电气石花岗岩岩脉, 宽约 7 m, 走向 NW285°, 他侵入于第一阶段菜岭岩体中, 其 LA-ICP-MS 年龄为 (154 ± 1) Ma, $n=16$, MSWD=0.14, 比寄主花岗岩大约晚 6 Ma. 样品中发现 4 颗继承锆石, 其 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 (1573 ± 21) 和 (1963 ± 14) Ma; (953 ± 15) 和 (990 ± 19) Ma; (933 ± 13) 和 (955 ± 13) Ma; (814 ± 12) 和 (839 ± 14) Ma.

上述 4 个岩瘤和岩脉, 均切穿第一阶段主体花岗岩, 但年龄值均在第二阶段花岗岩的年龄范围内 ($156 \sim 154$ Ma), 比寄主花岗岩晚 5~6 Ma, 可能是在第二阶段花岗岩侵位时灌入到第一阶段花岗岩体中已

形成的开放裂缝空间的岩浆体.

另有一个样品, QT-108, 采自白蜡水矿区民营坑道, 为浅肉红色细粒花岗岩岩脉, 侵入于第二阶段的花蓉岩体中, 其 LA-ICP-MS 年龄为 (154 ± 1) Ma, $n=19$, MSWD=0.25, 比寄主花岗岩大约晚约 2~3 Ma, 显然是第二阶段花岗岩稍晚时间的侵入相.

由于这些岩瘤和岩脉与寄主花岗岩有明显的侵入接触关系, 边界一般比较平直, 延伸较远, 有时见冷凝边和对寄主早阶段花岗岩的热烘烤现象, 表明他们的侵位是在寄主花岗岩冷凝固结和产生裂隙空间后完成的. 他们与寄主岩石的锆石结晶年龄时间差, 从一个侧面反映了寄主花岗岩从侵位结晶、经冷凝固结、到产生裂隙所需要的时间.

4.3 第三阶段花岗岩

4.3.1 第三阶段补充侵入相细粒花岗岩

骑田岭第三阶段补充侵入相细粒花岗岩, 分布在岩基的中部和南部, 主要为浅肉红色至灰白色细粒(有时含斑)黑云母花岗岩, 出露面积约占整个岩基的 12%. 在接触关系上, 他们切穿第一阶段和第二阶段花岗岩. 对于该阶段的 3 个样品获得 4 个年龄数据, 其年龄范围为 150~147 Ma, 峰值在 149 Ma 左右, 至少可进一步分解为荒唐岭、大山里和仙鹤抱蛋等岩体, 他们是整个骑田岭复式岩基在深部分异演化后再上侵的补充侵入相花岗岩.

荒唐岭岩体, 位于岩体中部的荒唐岭、黑山里一带. 样品 QT-105, 采自黑山里西, 为浅灰色少斑状黑云母花岗岩, 其 LA-ICP-MS 年龄为 (149 ± 1) Ma, $n=12$, MSWD=0.48.

大山里岩体, 位于大山里村一带. 样品 QT-66, 采自大山里村南河边, 为浅肉红色细粒斑状黑云母花岗岩, 其 SHRIMP 年龄为 (149 ± 3) Ma, $n=7$, MSWD=0.98; LA-ICP-MS 年龄为 (147 ± 1) Ma, $n=6$, MSWD=1.5.

仙鹤抱蛋岩体, 位于骑田岭岩基中部, 侵入于第二阶段花岗岩的花蓉岩体中. 样品 QT-123, 采自龙凤山村附近, 为浅棕红色少斑状细粒黑云母花岗岩, 其 LA-ICP-MS 年龄为 (150 ± 1) Ma, $n=15$, MSWD=0.39. 样品中发现一颗继承锆石, 其 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 (425 ± 7) 和 (425 ± 10) Ma.

4.3.2 第三阶段细粒花岗岩斑岩岩脉

已发现 2 条与第三阶段花岗岩有关的岩脉, 他们侵入在第二阶段主体花岗岩中. 其一, 在白蜡水奇古岭见到的一条花岗质霏细斑岩岩脉, 宽 4.5 m, 含主体花岗岩角砾. 样品号 QT-67, LA-ICP-MS 年龄为 $(147 \pm 1) \text{ Ma}$, $n=16$, MSWD=0.26, 比寄主花岗岩大约晚 10 Ma, 可能是第三阶段花岗岩演化到后期灌入到已凝固结了的第二阶段花岗岩中开放裂缝空间的, 侵入时伴随有爆发角砾; 其二, 李华芹等^[26]测定的 42 号脉含矿斑岩, 样品号 D212, 其 SHRIMP 年龄为 $(146 \pm 5) \text{ Ma}$, $n=11$, MSWD=1.76. 该样品采集地点离第三阶段的大山里岩体很近, 可能同样与第三阶段花岗岩的岩浆活动有关.

5 讨论和主要结论

根据上述骑田岭花岗岩基的锆石 U-Pb 年龄数据和相关地质地球化学信息, 可以获得如下主要认识:

(1) 骑田岭花岗岩体是一个燕山早期的复式岩基, 其形成可主要分成 3 个侵入阶段: 第一阶段, 侵位于 163~160 Ma, 峰值在 161 Ma 左右, 主要为角闪石黑云母二长花岗岩, 有时为黑云母二长花岗岩, 出露面积约占整个岩基的 45%, 分布在岩体东部、北部和西部的靠边缘部位, 可进一步分解为菜岭、江口、竹枳水、蒋家洞和安源等岩体; 第二阶段, 侵位于 157~153 Ma, 峰值范围在 157~156 Ma, 主要为黑云母花岗岩, 有时含不同数量角闪石, 出露面积约占整个岩基的 40%, 主要分布在岩体的中部和南部, 可进一步分解为芙蓉、将军寨、廖家洞和将军石等岩体; 第三阶段, 侵位于 150~146 Ma, 峰值在 149 Ma 左右, 主要为细粒(有时含斑)黑云母花岗岩, 出露面积约占整个岩基的 12%, 主要分布在岩体的中南部位, 可进一步分解为荒唐岭、大山里和仙鹤抱蛋等岩体. 其中第一阶段花岗岩和第二阶段花岗岩是骑田岭花岗岩岩基的主侵入相, 第三阶段花岗岩是在深部岩浆房经过充分分异演化后上侵的补充侵入相. 另有一些侵入到第一阶段和第二阶段岩体中的细粒花岗岩岩瘤(如回头湾、龙渡岭、屋场坪)和岩脉, 出露面积约占 3%, 在岩基范围内零散分布, 其侵位年龄在第二阶段花岗岩的范围内, 他们是侵入到早些时间已固结的主体花岗岩裂隙空间中的晚阶段侵入相.

(2) 一个花岗岩体在侵位以后, 经冷却、结晶到固结和产生裂缝, 需要多少时间? 有关该领域的知识, 人们知之甚少. 虽然早在 70 多年以前就有人开始探索^[44~46], 并利用传热学理论, 根据岩浆体和围岩的热物理参数, 导出一些计算公式, 试图从定量的角度, 了解岩体的冷却和结晶历史, 并获得了一些成果, 但难以用实际检验, 因为它涉及很多变量和不确定因素, 包括熔体的初始温度和结晶温度、侵位深度、含水量、岩浆的结晶潜热、岩体的规模、围岩的温度和性质、岩浆和围岩的导热参数和渗透性等等. 由于采用方法、参数和公式的不同, 且不同研究者的研究目的和对象亦各不相同, 获得的计算结果也有较大差别. 例如: 张德全^[47]计算了北京房山花岗闪长岩体(出露面积约 10 km^2)从侵位时的初始岩浆温度(设定为 900°C)下降到岩体固结温度(设定为 600°C)的冷凝时间仅为 0.22~0.41 Ma; 章邦桐等^[48]计算了湘南金鸡岭花岗岩体(出露面积约 400 km^2)从岩浆初始温度(设定为 960°C)下降到结晶温度(设定为 600°C)所需的时间为 5.34 Ma, 由于结晶潜能的释放而使结晶过程增加的时间为 3.66 Ma, 由于熔体中 U, Th 和 K 等放射性元素的存在因放射热而将结晶时间延长的时间为 7.47 Ma, 其总和即从初始温度 960°C 下降到结晶温度 600°C 开始结晶、直到最后结晶过程完全结束所需的总时间长达 16.47 Ma.

在出露面积为 520 km^2 的骑田岭花岗岩基中, 与早阶段花岗岩体呈明显侵入接触关系且显示冷凝边-热烘烤现象的晚阶段花岗岩, 其锆石结晶年龄与前者相差 2~6 Ma, 这为我们提供了一个有关花岗岩基结晶速率较快的重要信息, 说明花岗岩浆在侵位以后, 从结晶到冷却固结并进一步产生裂缝的时间, 一般不会超过 2~6 Ma. 在这一时间范围内, 冷却固结的花岗岩中能由于冷凝收缩或新的构造运动而产生开放的裂缝空间, 并使此后的花岗质岩浆体, 以细粒花岗岩岩瘤或岩脉的形式, 灌入到已固结岩石的裂隙空间中去. 波罗的海地盾南部中元古宙的 Salmi 杂岩体提供了与本文十分相近的实例, 研究表明, 该地在 17 Ma (1547~1530 Ma) 的时间范围内, 发生了 6 个幕次的岩浆侵入活动, 其时间间隔在 $(3.4 \pm 1.5) \text{ Ma}$ 范围内, 结晶速率较快, 与锆石 U-Pb 年龄分析的精度 $\pm(1\sim 2) \text{ Ma}$ 差别不大^[49].

(3) 骑田岭岩基中绝大多数锆石样品为自形柱状晶体, 在阴极发光图像上显示震荡生长环带等岩浆成因结构特征, 部分在 1991 年以前用常规锆石 U-Pb 法测得的数据与本文给出的结果基本一致(见表 1), 说明在骑田岭大多数部位花岗岩中, 燕山早期的岩浆成因的锆石占据了绝对优势. 本文在 QT-110, QT-38-3, QT-123 等样品中发现了 6 颗不同年龄值的继承锆石颗粒或核, 其 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 (2649 ± 31) , (1573 ± 21) , (953 ± 15) , (933 ± 13) , (814 ± 12) 和 (425 ± 7) Ma. 付建明等^[32]、李金冬等^[33]、赵葵东等^[34]和李华芹等^[26]亦发现了一些 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分别为 2445, 1708, 1596, 927, 674, 609, 560, 414, 384 Ma 等数据的继承锆石, 在总共 15 个继承锆石数据中, 有 2 个数据落在新太古-古元古之交(分别为 2649 和 2445 Ma), 3 个数据落在古元古至中元古之初(1708~1573 Ma), 7 个数据落在新元古(953~560 Ma) 范围内, 3 个数据落在早古生代(425~384 Ma) 范围内, 反映了湘南地区基底岩石年龄结构的复杂性, 卷入熔融的源区岩石中, 不仅有古元古宙、中元古宙、新元古宙和加里东期的, 还可能新太古宙的.

(4) 近年来的精确年龄测定表明, 南岭地区广泛发育的大量大中型花岗岩体, 主要属燕山早期. 例如, 桂东北花山和姑婆山花岗岩体主侵入相花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄分别为 (162 ± 1) 和 (162 ± 4) Ma, 补充侵入相花岗岩的锆石 LA-ICP-MS 年龄为 $(151\sim 149)$ Ma^[50], 湘南九嶷山地区金鸡岭和西山花岗岩体的锆石 SHRIMP 年龄均为 (156 ± 2) Ma^[51], 九峰山岩体主侵入相两个锆石 LA-ICP-MS 年龄分别为 (167 ± 2) 和 (160 ± 1) Ma, 一个补充侵入相花岗岩的锆石 LA-ICP-MS 年龄为 (143 ± 1) Ma^[43,52], 粤西北大东山岩体主侵入相花岗岩的两个锆石 SHRIMP 年龄分别为 (165 ± 2) 和 (159 ± 2) Ma, 一个锆石 LA-ICP-MS 年龄为 (155 ± 1) Ma^[53,54], 粤北贵东岩体西部(长坪岩体)主侵入相花岗岩

的锆石 SHRIMP 年龄为 (158 ± 2) Ma, 热水岩体的 SHRIMP 年龄为 (164 ± 3) Ma^[55], 佛冈岩体 4 个主体花岗岩样品的 SHRIMP 年龄在 (159 ± 3) 至 (165 ± 2) Ma 范围内^[56], 这些锆石 U-Pb 年龄数据与本文研究的骑田岭花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄数据十分接近, 表明中晚侏罗世之交是南岭地区发生强烈花岗质岩浆活动的高峰时段.

在南岭地区在发育大量燕山早期花岗岩的同时, 还发育着相当规模的中基性岩浆活动. 如湘南宁远碱性玄武岩的全岩 Ar/Ar 年龄为 175 Ma^[57], 全岩 K/Ar 年龄为 164 Ma^[58], 道县高 Mg 玄武岩的全岩 Ar/Ar 年龄为 ~ 150 Ma^[57], 桂东北花山岩体东西两侧的牛庙闪长岩和同安石英二长岩的锆石 SHRIMP 年龄分别为 (163 ± 4) 和 (160 ± 4) Ma^[59], 湘南九嶷山地区砂子岭花岗闪长岩的 SHRIMP 年龄为 (157 ± 1) Ma^[51], 水口山闪长岩的锆石 SHRIMP 年龄为 (163 ± 2) Ma^[60], 宝山花岗闪长岩的锆石 SHRIMP 年龄为 (158 ± 2) Ma^[61], 铜山岭花岗闪长岩的锆石 SHRIMP 年龄为 (164 ± 2) Ma^[62], 广东从化乌石闪长岩的锆石 LA-ICP-MS 年龄为 (162.3 ± 1.3) Ma^[63].

这些基本同时代爆发的酸性和中基性岩浆活动, 共同反映了此时南岭中西段地区属华南大陆内部后造山阶段岩石圈伸展、减薄的构造环境, 软流圈地幔沿超壳深断裂的上涌和基性岩浆的底侵, 导致了强烈的壳幔相互作用, 它既可为下地壳的熔融提供必要的热能, 也可为新形成的花岗质熔浆加进新的来自深部的地幔物质组分.

骑田岭复式岩基的规模较大, 跨域的时间范围大约为 17 Ma, 其形成的地质过程是十分复杂的. 本文提出的锆石 U-Pb 年代学格架以及对期次划分和岩体分解等方面的认识, 还只是十分初步的, 很多问题还有待进一步探讨, 很多细节还有待进一步修正.

致谢 在野外工作中, 得到湘南地质勘察院黄革非、魏绍六、许以明、蓝晓明和侯茂松等高工的大力帮助; 锆石的 U-Pb 年龄测定在万渝生研究员、武兵高工等指导下完成; 匿名的评审专家提出了很多宝贵的修改意见, 在此一并表示衷心感谢.

参考文献

- Gilder S A, Gill G, Coe R S, et al. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. *J Geol*

- phys Res, 1996, 101(B7): 16137—16154[doi]
- 2 Chen J F, Jahn B M. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 1998, 284: 101—133[doi]
 - 3 朱金初, 陈骏, 王汝成, 等. 南岭中西段燕山早期北东向含锡钨 A 型花岗岩带. *高校地质学报*, 2008, 14(4): 474—484
 - 4 Wang Y J, Fan W M, Guo F, et al. Geochemistry of Mesozoic mafic rocks adjacent to the Chenzhou-Linwu fault, South China: implications for the lithospheric boundary between the Yangtze and Cathaysia blocks. *Int Geol Rev*, 2003, 45: 263—286[doi]
 - 5 周新民, 主编. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 2007
 - 6 广东省地质局南岭区域地质测量普查大队. 南岭侵入岩初步综合研究报告. 北京: 地质出版社, 1959. 1—230
 - 7 全国同位素地质年龄数据汇编小组. 全国同位素地质年龄数据汇编(第一集). 1975
 - 8 李璞, 戴樟谟, 邱纯一, 等. 内蒙和南岭地区某些伟晶岩和花岗岩的 K-Ar 绝对年龄测定. *地质科学*, 1963, (1): 1—9
 - 9 全国同位素地质年龄数据汇编小组. 全国同位素地质年龄数据汇编(第二集). 1977
 - 10 全国同位素地质年龄数据汇编小组. 全国同位素地质年龄数据汇编(第三集). 1980
 - 11 贵阳地球化学研究所. 华南花岗岩类的地球化学. 北京: 科学出版社, 1979
 - 12 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系. 北京: 科学出版社, 1981
 - 13 地矿部南岭项目花岗岩专题组. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系. 北京: 地质出版社, 1989
 - 14 湖南省地矿局. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1988
 - 15 莫柱孙, 叶伯丹. 南岭花岗岩地质学. 北京: 地质出版社, 1980
 - 16 湖南省湘南地质队. 1:5 万区域地质调查报告(永春幅和宜章幅). 1991
 - 17 黄革非. 骑田岭复式岩体侵入时代讨论. *地质与勘探*, 1992, (11): 7—11
 - 18 郑基俭, 贾宝华. 骑田岭岩体的基本特征及其与锡多金属成矿作用关系. *华南地质与矿产*, 2001, (4): 50—57
 - 19 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(4): 255—272
 - 20 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 骑田岭岩体. 见: 周新民, 主编. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 2007. 520—533
 - 21 邓希光, 李献华, 刘义茂, 等. 骑田岭花岗岩体的地球化学特征及其对成矿的制约. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(2): 93—102
 - 22 王登红, 陈毓川, 李华芹, 等. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及其找矿意义. *地质通报*, 2003, 22(1): 50—56
 - 23 毛景文, 李晚峰, Lehmann B, 等. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质动力学意义. *矿床地质*, 2004, 23(2): 164—175
 - 24 蔡景辉, 韦昌山, 孙明慧, 等. 骑田岭白蜡水锡矿床成因探讨. *大地构造与成矿*, 2004, 28(1): 45—52
 - 25 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 等. 华南与花岗岩有关的一种新类型的锡成矿作用: 矿物化学、元素和同位素地球化学证据. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2509—2516
 - 26 李华芹, 路远发, 王登红, 等. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义. *地质论评*, 2006, 52(1): 113—121
 - 27 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 湖南芙蓉锡矿床的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄及其地质意义. *矿床地质*, 2007, (3): 237—248
 - 28 Li Z L, Hu R Z, Yang J S, et al. He, Pb and S isotopic constraints on the relationship between the A-type Qitianling granite and the Furong tin deposit, Hunan Province, China. *Lithos*, 2007, 97: 161—173[doi]
 - 29 毕献武, 李鸿莉, 双燕, 等. 骑田岭 A 型花岗岩流体包裹体地球化学特征. *高校地质学报*, 2008, 14(4): 539—548
 - 30 朱金初, 黄革非, 张佩华, 等. 湘南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究. *地质论评*, 2003, 49(3): 245—252
 - 31 朱金初, 张辉, 谢才富, 等. 湘南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和岩石学. *高校地质学报*, 2005, 11(3): 335—342
 - 32 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义. *中国地质*, 2004, 31(1): 96—100
 - 33 李金冬, 柏道远, 伍光英, 等. 湘南郴州地区骑田岭花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. *地质通报*, 2005, 24(3): 411—414
 - 34 赵葵东, 蒋少涌, 姜耀辉, 等. 湖南骑田岭岩体芙蓉超单元的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2611—2616
 - 35 刘义茂, 许继峰, 戴樟谟, 等. 骑田岭花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2002, 32(增刊): 41—49
 - 36 湖南省地质调查院. 1:25 万郴州市幅区域地质调查项目报告(2002—2005). 2005
 - 37 Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. *J Geol Soc Lond*, 1992, 149: 171—184[doi]
 - 38 Black L P, Kamo S L, Allen C M, et al. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. *Chem Geol*, 2003, 200(1-2): 155—170[doi]
 - 39 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特地斯洋盆演化的同位素年代学制约. *地质学报*, 2003, 77(2): 217—228
 - 40 Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to *in situ*

- U-Pb zircon geochronology. *Chem Geol*, 2004, (11): 47—69
- 41 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. *科学通报*, 2003, 48(14): 1511—1520
- 42 禹尧, 徐夕生. 长江中下游地区白垩纪富碱火山岩浆作用的研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 2009, 34(1): 105—116
- 43 陈培荣, 张敏, 陈卫锋. 九峰-诸广山岩体. 见: 周新民, 主编. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 2007. 533—549
- 44 Lovering T S. Theory of heat conduction applied to geological problems. *Bull Geol Soc Am*, 1935, 46: 69—94
- 45 Jaeger J C. Temperatures outside a cooling intrusive sheet. *Am J Sci*, 1959, 257(1): 44—54
- 46 Cathles L M. An analysis of the cooling of intrusives by ground water convection which includes boiling. *Econ Geol*, 1977, 72: 804—826[[doi](#)]
- 47 张德全. 关于热变质温度、岩浆温度、岩体冷凝时间的计算问题——以北京房山侵入体为例. *地质科技*, 1978, (5): 110—119
- 48 章邦桐, 吴俊奇, 凌洪飞, 等. U-Th-K 放射成因热对花岗岩冷却-结晶过程影响的计算及地质意义. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(2): 155—159
- 49 Amelin Y V, Larin A M, Tucker R D. Chronology of multiphase emplacement of the Salmi rapakivi granite-anorthosite complex, Baltic Shield: implications for magmatic evolution. *Contrib Mineral Petrol*, 1997, 127(4): 353—368[[doi](#)]
- 50 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 南岭西段花山-姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义. *岩石学报*, 2006, 22(9): 2270—2278
- 51 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义. *大地构造与成矿*, 2004, 28(4): 370—378
- 52 徐夕生, 邓平. 南岭地区基底变质岩的构造热事件叠加. 见: 周新民, 主编. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 2007. 49—73
- 53 黄会清, 李献华, 李武显, 等. 南岭大东山花岗岩的形成时代与成因——锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、元素和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学. *高校地质学报*, 2008, 14(3): 317—333
- 54 张敏, 陈培荣, 张文兰, 等. 南岭中段大东山花岗岩体的地球化学特征和成因. *地球化学*, 2003, 32(6): 529—539
- 55 沈渭洲, 凌洪飞, 邓平, 等. 贵东岩体. 见: 周新民, 主编. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 2007. 394—436
- 56 Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A-type granites from central Guangdong, SE China: a major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab? *Lithos*, 2007, 96: 186—204[[doi](#)]
- 57 Li X H, Chung S L, Zhou H W, et al. Jurassic intraplate magmatism in southern Hunan-eastern Guangxi: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, geochemistry, Sr-Nd isotopes and implications for the tectonic evolution of SE China. *Geol Soc London Spec Publ*, 2004, 226: 193—215[[doi](#)]
- 58 戴宝章. 湘南中生代基性岩浆活动的同位素年代学和地球化学研究. 博士学位论文. 南京: 南京大学, 2007
- 59 朱金初, 谢才富, 张佩华, 等. 桂东北牛庙闪长岩和同安石英二长岩: 岩石学, 锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和地球化学. *岩石学报*, 2005, 21(3): 665—676
- 60 马丽艳, 路远发, 梅玉萍, 等. 湖南水口山矿区花岗闪长岩中的锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2475—2482
- 61 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 等. 湖南宝山铜-钨多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2483—2492
- 62 Jiang Y H, Jiang S Y, Dai B Z, et al. Middle to late Jurassic felsic and mafic magmatism in southern Hunan province, southeast China: implications for a continental arc to rifting. *Lithos*, 2009, 107: 185—204[[doi](#)]
- 63 徐夕生, 鲁为敏, 范钦臣. 佛冈岩体. 见: 周新民, 主编. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 2007. 236—255

附表 1 骑田岭花岗岩 9 个锆石样品的 SHRIMP 年龄分析数据表

样品和 分析点号	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U	Th /ppm	$^{206}\text{Pb}^*$	^{232}Th / ^{238}U	校正的同位素比值						校正的年龄值/M a			
						$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ
QT85-1.1	1.28	1462	606	33.0	0.43	0.0436	5.7	0.1558	6.2	0.02594	2.5	165.1	± 4.0	152.8	± 8.3
QT85-2.1	0.96	1156	425	27.2	0.38	0.0473	5.0	0.1772	5.6	0.02715	2.5	172.7	± 4.2	160.9	± 9.6
QT85-3.1	2.07	1632	614	36.5	0.39	0.0420	7.0	0.147	7.4	0.02547	2.5	162.1	± 3.9	141	± 11
QT85-4.1	3.00	961	408	22.1	0.44	0.0374	12	0.134	12	0.02596	2.5	165.2	± 4.1	131	± 15
QT85-5.1	3.02	995	371	23.2	0.39	0.0313	14	0.113	14	0.02632	2.5	167.5	± 4.2	100	± 17
QT85-6.1	4.42	970	559	22.0	0.60	0.0405	13	0.141	13	0.02521	2.5	160.5	± 4.0	146	± 14
QT85-7.1	6.44	3029	976	74.2	0.33	0.046	36	0.169	36	0.02668	3.0	169.7	± 5.0	156	± 65
QT85-8.1	0.48	1234	505	28.9	0.42	0.0482	3.5	0.1806	4.3	0.02716	2.5	172.7	± 4.3	169.9	± 6.9
QT85-9.1	2.04	678	682	14.8	1.04	0.0426	11	0.146	11	0.02483	2.6	158.1	± 4.0	145.7	± 7.7
QT85-10.1	0.61	1791	987	40.3	0.57	0.0517	3.0	0.1855	3.9	0.02601	2.5	165.5	± 4.1	162.0	± 5.9
QT85-11.1	1.11	1520	1096	34.6	0.75	0.0556	3.9	0.2008	4.6	0.02619	2.5	166.6	± 4.0	178.0	± 6.1
QT85-12.1	0.22	6656	2953	143	0.46	0.04893	1.2	0.1681	2.8	0.02492	2.5	158.7	± 4.0	156.0	± 4.3
QT87-1.1	0.28	625	279	13.2	0.46	0.0477	4.9	0.1611	5.6	0.0245	2.6	156	± 4.0	159.6	± 7.6
QT87-2.1	0.75	545	216	11.7	0.41	0.0468	7.6	0.16	8	0.02479	2.6	157.8	± 4.1	152	± 12
QT87-3.1	0.56	1126	246	25.4	0.23	0.0457	4.4	0.1644	5.1	0.0261	2.5	166.1	± 4.1	154	± 12
QT87-4.1	0.83	609	217	13.6	0.37	0.0473	5.4	0.168	6	0.02576	2.6	163.9	± 4.2	153.1	± 9.6
QT87-5.1	0.39	678	291	14.6	0.44	0.0475	3.3	0.163	4.2	0.0249	2.5	158.6	± 4.0	153	± 5.7
QT87-6.1	0.91	242	114	5.39	0.49	0.0507	6.2	0.18	6.9	0.0257	2.8	163.6	± 4.5	167.5	± 9.4
QT87-7.1	0.51	631	252	14.2	0.41	0.0479	4.6	0.172	5.3	0.02602	2.6	165.6	± 4.2	165.1	± 8.0
QT87-8.1	0.69	563	239	12.2	0.44	0.0462	3.6	0.1601	4.4	0.02513	2.6	160	± 4.1	149.6	± 5.8
QT87-9.1	1.45	604	272	12.9	0.47	0.0395	9.9	0.134	10	0.02452	2.6	156.2	± 4.0	139	± 11
QT87-10.1	0.38	486	204	10.7	0.43	0.049	4.5	0.1716	5.2	0.0254	2.6	161.7	± 4.2	172.9	± 7.9
QT87-11.1	0.82	667	209	14	0.32	0.0435	6.3	0.145	6.8	0.0242	2.5	154.2	± 3.9	140	± 11
QT87-12.1	0.77	649	256	14	0.41	0.0456	5.1	0.1561	5.7	0.02484	2.6	158.2	± 4.1	145	± 9.7
QT72-1.1	1.25	665	452	13.9	0.70	0.0477	7.4	0.158	7.9	0.02405	2.6	153.2	± 3.9	148.1	± 7.7
QT72-2.1	0.00	732	342	15.9	0.48	0.0511	3.2	0.1779	4.1	0.02523	2.6	160.6	± 4.1	163.8	± 6.1
QT72-3.1	1.01	564	202	12.0	0.37	0.0421	7.8	0.142	8.4	0.02445	3.1	155.7	± 4.8	132	± 12
QT72-4.1	0.77	704	379	15.1	0.56	0.0435	7.5	0.149	7.9	0.02479	2.5	157.9	± 4.0	146.5	± 8.5
QT72-5.1	1.06	533	231	11.5	0.45	0.0419	9.2	0.143	9.6	0.02476	2.6	157.7	± 4.1	148	± 11
QT72-6.1	1.06	551	222	10.8	0.42	0.0431	9.2	0.135	9.5	0.02264	2.6	144.3	± 3.8	124	± 11
QT72-7.1	0.34	1283	428	27.6	0.34	0.0483	3.4	0.1661	4.2	0.02496	2.5	158.9	± 3.9	158.7	± 6.9
QT72-8.1	0.42	874	338	19.0	0.40	0.0474	3.9	0.1645	4.6	0.02518	2.5	160.3	± 4.0	151.9	± 6.9
QT72-9.1	0.75	467	200	9.74	0.44	0.0516	6.8	0.171	7.3	0.02407	2.6	153.3	± 4.0	158	± 11
QT72-10.1	0.95	799	639	16.0	0.83	0.0465	6.6	0.148	7.2	0.02313	2.8	147.4	± 4.0	139.7	± 6.1

续附表 1

样品和 分析点号	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U	Th /ppm	$^{206}\text{Pb}^*$	^{232}Th / ^{238}U	校正的同位素比值						校正的年龄值/Ma			
						$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ
QT72-11.1	0.87	333	140	13.6	0.43	0.0579	5.3	0.375	6.1	0.0470	3.0	296.2	± 8.7	293	± 19
QT72-12.1	1.05	546	246	10.9	0.46	0.0443	8.6	0.141	9.0	0.02302	2.6	146.7	± 3.8	138.7	± 10.0
QT72-13.1	0.84	579	220	11.9	0.39	0.0436	7.4	0.143	7.8	0.02379	2.6	151.6	± 3.9	130	± 10
QT72-14.1	5.37	259	161	5.43	0.64					0.02305	3.1	146.9	± 4.5	77	± 24
QT65-1.1	3.87	217	75	4.49	0.36	0.0224	36	0.072	36	0.02313	3.0	147.4	± 4.3	63	± 27
QT65-2.1	1.52	509	209	10.3	0.42	0.0441	14	0.141	14	0.02313	2.7	147.4	± 3.9	123	± 18
QT65-3.1	1.56	527	223	11.2	0.44	0.0376	11	0.126	12	0.02431	2.6	154.8	± 4.0	129	± 13
QT65-4.1	4.66	457	195	9.99	0.44	0.017	72	0.058	72	0.02427	3.1	154.6	± 4.7	81	± 36
QT65-5.1	0.29	600	219	13.1	0.38	0.0498	3.1	0.1741	4.0	0.02538	2.6	161.6	± 4.1	160.6	± 6.4
QT65-6.1	1.29	503	218	10.4	0.45	0.0429	5.3	0.1406	5.9	0.02378	2.6	151.5	± 3.9	132.2	± 6.0
QT65-7.1	1.17	431	209	9.05	0.50	0.0423	9.8	0.141	10	0.02415	2.6	153.8	± 4.0	138	± 11
QT65-8.1	0.92	627	262	13.2	0.43	0.0439	7.4	0.147	7.8	0.02422	2.6	154.3	± 3.9	137.3	± 9.9
QT65-9.1	0.51	382	145	7.81	0.39	0.0446	6.7	0.146	7.4	0.02370	3.2	151.0	± 4.7	146.1	± 7.2
QT65-10.1	0.84	512	230	10.6	0.46	0.0457	4.1	0.1509	4.8	0.02392	2.6	152.4	± 3.9	141.6	± 5.8
QT65-11.1	0.19	568	249	11.7	0.45	0.0518	3.8	0.1704	4.6	0.02385	2.6	151.9	± 3.9	155.2	± 7.5
QT65-12.1	0.24	730	325	13.5	0.46	0.0464	4.9	0.1375	5.5	0.02148	2.6	137.0	± 3.6	138.5	± 6.5
QT55-1.1	2.68	150	82	3.09	0.56	0.0337	27	0.109	27	0.02337	3.2	148.9	± 4.7	122	± 20
QT55-2.1	2.07	374	149	7.87	0.41	0.0337	23	0.112	23	0.02398	2.8	152.8	± 4.2	103	± 24
QT55-3.1	2.64	345	130	7.16	0.39	0.0331	17	0.107	18	0.02350	2.9	149.7	± 4.2	99	± 18
QT55-4.1	0.22	1302	582	27.5	0.46	0.0486	3.3	0.1645	4.1	0.02457	2.5	156.5	± 3.8	155.7	± 5.3
QT55-5.1	1.02	367	174	7.91	0.49	0.0458	9.1	0.157	9.5	0.02482	2.7	158.1	± 4.2	148	± 12
QT55-6.1	1.78	347	141	7.24	0.42	0.0405	14	0.133	14	0.02383	2.7	151.8	± 4.1	129	± 17
QT55-7.1	0.54	718	310	16.0	0.45	0.0464	3.7	0.1654	4.5	0.02585	2.5	164.5	± 4.1	152.8	± 6.9
QT55-8.1	1.24	633	334	13.4	0.55	0.0408	11	0.137	11	0.02440	2.6	155.4	± 4.0	132	± 11
QT55-9.1	0.44	687	261	15.3	0.39	0.0476	3.9	0.1690	4.8	0.02577	2.7	164.0	± 4.4	162.6	± 7.3
QT55-10.1	0.54	875	420	19.3	0.50	0.0450	5.3	0.1587	5.9	0.02556	2.5	162.7	± 4.0	149.0	± 7.5
QT55-11.1	1.31	578	250	11.7	0.45	0.0428	13	0.137	13	0.02323	2.7	148.0	± 3.9	127	± 15
QT-94-1.1	0.35	4447	635	93.8	0.15	0.05165	1.4	0.1747	2.6	0.02454	2.2	156.3	± 3.4	176.8	± 5.4
QT-94-2.1	5.09	4840	1463	106	0.31	0.0712	4.7	0.245	5.2	0.02493	2.2	158.7	± 3.5	246	± 15
QT-94-3.1	1.85	844	393	17.2	0.48	0.0662	2.8	0.2163	3.6	0.02370	2.3	151.0	± 3.4	186.2	± 6.1
QT-94-4.1	6.63	462	178	10.9	0.40	0.083	13	0.305	13	0.02660	2.6	169.2	± 4.3	270	± 34
QT-94-5.1	0.29	5545	1506	135	0.28	0.05320	1.1	0.2080	2.5	0.02836	2.3	180.3	± 4.0	189.1	± 5.0
QT-94-6.1	1.86	740	358	15.7	0.50	0.0693	5.2	0.236	5.8	0.02465	2.6	157.0	± 4.0	184.0	± 7.5
QT-94-7.1	3.09	597	248	12.6	0.43	0.0648	6.2	0.219	6.7	0.02453	2.5	156.2	± 3.9	219.7	± 9.2
QT-94-8.1	41.19	568	306	18.6	0.56	0.287	3.9	1.363	4.9	0.0344	2.9	218.3	± 6.3	1,017	± 58
QT-94-9.1	5.62	880	362	21.1	0.42	0.087	24	0.333	24	0.02784	2.4	177.0	± 4.1	320	± 84

续附表 1

样品和 分析点号	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U	Th /ppm	$^{206}\text{Pb}^*$	^{232}Th / ^{238}U	校正的同位素比值						校正的年龄值/Ma			
						$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	1σ
QT-94-10.1	2.00	662	241	14.6	0.38	0.0661	6.1	0.233	6.5	0.02554	2.3	162.6	± 3.7	210.3	± 8.7
QT-94-11.1	2.80	2218	1038	44.7	0.48	0.0557	5.4	0.177	5.9	0.02304	2.3	146.8	± 3.4	163.6	± 8.9
QT-96-1.1	2.44	542	222	11.1	0.42	0.0655	8.5	0.214	8.8	0.02374	2.4	151.3	± 3.6	194	± 12
QT-96-2.1	1.69	488	184	11.3	0.39	0.0629	3.4	0.2345	4.2	0.02707	2.4	172.2	± 4.0	218.3	± 8.5
QT-96-3.1	1.60	546	231	11.0	0.44	0.0561	4.8	0.1806	5.4	0.02333	2.3	148.7	± 3.4	171.6	± 8.2
QT-96-4.1	1.82	564	240	11.9	0.44	0.0611	4.5	0.206	5.1	0.02443	2.3	155.6	± 3.6	187.9	± 7.5
QT-96-5.1	2.33	477	194	10.1	0.42	0.0670	8.0	0.227	8.4	0.02460	2.6	156.7	± 4.1	203	± 15
QT-96-6.1	2.34	568	226	11.0	0.41	0.0681	8.8	0.211	9.1	0.02249	2.5	143.3	± 3.5	193	± 15
QT-96-7.1	1.38	796	328	16.9	0.43	0.0621	4.9	0.212	5.4	0.02468	2.3	157.2	± 3.5	184.5	± 8.7
QT-96-8.1	1.89	619	254	13.5	0.42	0.0557	6.2	0.194	6.7	0.02524	2.6	160.7	± 4.1	184	± 11
QT-96-9.1	2.32	724	311	14.9	0.44	0.0654	6.0	0.215	6.4	0.02385	2.3	152.0	± 3.5	196	± 14
QT-96-10.1	2.14	704	269	15.3	0.39	0.0629	5.4	0.220	5.9	0.02534	2.3	161.3	± 3.7	210.6	± 9.2
QT-96-11.1	2.91	571	237	12.3	0.43	0.0776	3.9	0.268	4.5	0.02508	2.3	159.7	± 3.7	226	± 19
QT-34-1.1	1.29	796	315	16.8	0.41	0.0558	8.6	0.187	8.9	0.02429	2.3	154.7	± 3.6	178	± 14
QT-34-2.1	1.27	708	252	14.5	0.37	0.0596	9.4	0.193	9.7	0.02352	2.4	149.8	± 3.5	162	± 17
QT-34-3.1	0.92	649	261	13.4	0.42	0.0615	6.0	0.203	6.4	0.02388	2.3	152.1	± 3.5	189	± 13
QT-34-4.1	3.28	169	74	3.86	0.45	0.075	20	0.265	21	0.02568	3.8	163.4	± 6.1	241	± 44
QT-34-5.1	0.75	538	225	11.8	0.43	0.0644	5.4	0.225	5.9	0.02536	2.4	161.5	± 3.8	202.3	± 9.2
QT-34-6.1	1.20	553	220	11.7	0.41	0.0666	7.9	0.224	8.2	0.02437	2.4	155.2	± 3.6	213	± 19
QT-34-7.1	1.10	860	314	18.3	0.38	0.0556	7.1	0.188	7.4	0.02451	2.3	156.1	± 3.6	174	± 13
QT-34-8.1	1.65	559	337	11.5	0.62	0.0580	14	0.189	14	0.02363	2.5	150.5	± 3.7	163	± 17
QT-34-9.1	1.98	304	109	7.49	0.37	0.0737	13	0.286	13	0.02813	2.6	178.9	± 4.6	298	± 37
QT66-1.1	0.66	681	290	13.5	0.44	0.0501	4.2	0.1582	4.8	0.02288	2.3	145.8	± 3.3	144.3	± 6.5
QT66-2.1	0.08	8498	3880	170	0.47	0.04976	0.73	0.1594	2.3	0.02323	2.2	148.0	± 3.3	145.1	± 4.4
QT66-3.1	1.48	1922	731	39.2	0.39	0.0475	4.0	0.1530	4.6	0.02337	2.2	148.9	± 3.3	147.0	± 7.2
QT66-4.1	0.67	1103	403	22.3	0.38	0.0488	3.5	0.1573	4.1	0.02339	2.3	149.0	± 3.3	145.7	± 6.3
QT66-5.1	1.12	569	270	11.7	0.49	0.0472	6.0	0.1541	6.4	0.02369	2.3	150.9	± 3.5	144.0	± 7.8
QT66-6.1	1.69	4213	1795	89.3	0.44	0.0541	5.8	0.181	6.2	0.02425	2.3	154.4	± 3.5	161	± 11
QT66-7.1	0.39	7032	1657	152	0.24	0.05091	1.1	0.1754	2.5	0.02500	2.3	159.2	± 3.6	457	± 16
QT66-8.1	1.75	487	227	9.61	0.48	0.0483	9.0	0.150	9.3	0.02257	2.4	143.9	± 3.4	134	± 11

附表 2 骑田岭花岗岩 15 个锆石样品的 LA-ICP-MS 年龄分析数据表^{a)}

样品号和 分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶		Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵		Pb ²⁰⁸ /Th ²³²		Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	1 σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	1 σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	1 σ	Pb ²⁰⁸ /Th ²³²	1 σ
QT110-01	0.04911	0.00159	0.02535	0.00041	0.17161	0.00556	0.00823	0.00063	153.3	73.99	161.4	2.56	160.8	4.82	165.6	12.62
QT110-02	0.05121	0.0017	0.02428	0.00039	0.17139	0.00566	0.00742	0.00062	250.1	74.82	154.6	2.46	160.6	4.91	149.5	12.51
QT110-03	0.05071	0.00126	0.02423	0.00037	0.16936	0.00435	0.00613	0.00038	227.4	56.39	154.3	2.35	158.9	3.78	123.5	7.58
QT110-04	0.04949	0.00149	0.02561	0.0004	0.17467	0.00531	0.00779	0.00053	171.2	68.86	163	2.51	163.5	4.59	156.8	10.72
QT110-05	0.1194	0.00215	0.02564	0.00039	0.42195	0.00818	0.0103	0.00046	1947.3	31.74	163.2	2.45	357.4	5.84	207.1	9.24
QT110-06	0.04847	0.00117	0.02501	0.00037	0.16712	0.00417	0.00788	0.0005	122	55.85	159.3	2.33	156.9	3.63	158.6	10.12
QT110-07	0.06272	0.00286	0.02525	0.00047	0.21828	0.00973	0.0085	0.00075	698.6	94.35	160.7	2.99	200.5	8.11	171	15.06
QT110-08	0.04994	0.00239	0.02424	0.00046	0.16685	0.00781	0.00796	0.00098	192.1	107.6	154.4	2.92	156.7	6.8	160.3	19.55
QT110-09	0.04933	0.00111	0.02513	0.00037	0.17095	0.00403	0.00803	0.00056	163.7	51.98	160	2.32	160.2	3.5	161.6	11.19
QT110-10	0.05052	0.0016	0.02402	0.00038	0.16729	0.00534	0.00713	0.00052	219.1	71.48	153	2.42	157.1	4.65	143.6	10.39
QT110-11	0.18283	0.00294	0.50811	0.00734	12.8085	0.22453	0.12067	0.00776	2678.7	26.37	2648.5	31.37	2665.7	16.51	2302.6	139.96
QT110-12	0.04982	0.00192	0.02497	0.00043	0.17152	0.00652	0.00664	0.00057	186.4	87.43	159	2.67	160.7	5.65	133.8	11.43
QT110-13	0.04919	0.00148	0.02432	0.00039	0.1649	0.00502	0.00672	0.00045	156.7	68.88	154.9	2.44	155	4.38	135.4	8.94
QT110-14	0.04922	0.00159	0.02348	0.00039	0.1593	0.0052	0.00591	0.00035	158.4	74.07	149.6	2.43	150.1	4.56	119.1	7.03
QT110-15	0.04977	0.00107	0.02535	0.00037	0.17396	0.00389	0.00745	0.00052	184.5	49.12	161.4	2.3	162.9	3.36	150	10.51
QT110-16	0.05259	0.00178	0.02431	0.00039	0.1763	0.00594	0.00742	0.00056	311.1	75.39	154.9	2.43	164.9	5.13	149.4	11.14
QT110-17	0.04916	0.00107	0.02436	0.00035	0.16512	0.00376	0.00757	0.0005	155.5	50.26	155.2	2.21	155.2	3.27	152.5	10.03
QT110-18	0.04908	0.00108	0.02372	0.00034	0.16052	0.00367	0.0075	0.00055	151.9	50.84	151.1	2.14	151.2	3.21	151	11.02
QT110-19	0.04879	0.00253	0.02364	0.00048	0.15901	0.00808	0.0067	0.0008	137.8	117.57	150.6	3	149.8	7.08	135	16
QT110-20	0.04919	0.00143	0.02428	0.00039	0.16464	0.00488	0.0058	0.00041	156.9	66.88	154.6	2.45	154.8	4.25	116.8	8.27
QT95-01	0.04994	0.00277	0.02536	0.00054	0.17466	0.00948	0.00523	0.00045	192.3	124.01	161.4	3.4	163.5	8.2	105.4	9.12
QT95-02	0.04925	0.00131	0.02373	0.00037	0.16111	0.0044	0.00663	0.00041	159.9	61.22	151.2	2.3	151.7	3.85	133.5	8.19
QT95-03	0.04917	0.00177	0.02448	0.00042	0.16592	0.00591	0.00656	0.00067	156	82.23	155.9	2.62	155.9	5.15	132.2	13.52
QT95-04	0.04946	0.00161	0.02523	0.0004	0.17207	0.00559	0.00717	0.00064	169.8	74.5	160.6	2.53	161.2	4.85	144.4	12.78
QT95-05	0.04982	0.00098	0.0244	0.00036	0.16762	0.00356	0.0063	0.00035	186.4	45.37	155.4	2.24	157.3	3.1	126.8	6.99
QT95-06	0.0495	0.00134	0.02524	0.00038	0.17229	0.0047	0.00729	0.00071	171.7	61.79	160.7	2.41	161.4	4.07	146.9	14.22
QT95-07	0.04949	0.00236	0.0248	0.00047	0.16925	0.00787	0.00705	0.00105	171.2	107.52	157.9	2.97	158.8	6.84	142	21.13
QT95-08	0.05013	0.00123	0.0246	0.00037	0.17	0.0043	0.00754	0.00066	201.1	56.07	156.6	2.33	159.4	3.73	151.7	13.28
QT95-09	0.04993	0.00251	0.02546	0.00051	0.17527	0.00857	0.00843	0.00149	191.9	112.77	162.1	3.18	164	7.41	169.6	29.93
QT95-10	0.04891	0.00299	0.02552	0.00052	0.17206	0.01029	0.00736	0.00098	143.6	137.43	162.4	3.28	161.2	8.92	148.2	19.68
QT95-11	0.05629	0.00154	0.02545	0.00039	0.19751	0.00546	0.00815	0.00054	463.2	60.07	162	2.45	183	4.63	164.1	10.82
QT95-12	0.04918	0.00109	0.02362	0.00035	0.16017	0.0037	0.00696	0.00043	156.6	50.9	150.5	2.19	150.9	3.24	140.2	8.65
QT95-13	0.04938	0.00177	0.02533	0.00042	0.17242	0.00611	0.00766	0.0009	165.9	81.86	161.2	2.67	161.5	5.29	154.3	17.96
QT95-14	0.04915	0.00192	0.02473	0.00042	0.16757	0.00644	0.00661	0.00067	154.9	88.84	157.5	2.66	157.3	5.6	133.3	13.38
QT95-15	0.0478	0.00123	0.0251	0.00038	0.16543	0.00438	0.00697	0.00046	88.4	61.06	159.8	2.38	155.4	3.81	140.3	9.23
QT95-16	0.08785	0.00217	0.02549	0.0004	0.30875	0.00766	0.01206	0.00099	1379.2	46.71	162.3	2.51	273.2	5.95	242.2	19.85

样品号和 分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb^{207}/Pb^{206}		Pb^{206}/U^{238}		Pb^{207}/U^{235}		Pb^{208}/Th^{232}		Pb^{207}/Pb^{206}	1σ	Pb^{206}/U^{238}	1σ	Pb^{207}/U^{235}	1σ	Pb^{208}/Th^{232}	1σ
QT95-17	0.04979	0.00115	0.02354	0.00034	0.16161	0.00386	0.00704	0.00047	185.2	53.01	150	2.16	152.1	3.38	141.8	9.41
QT95-18	0.04863	0.00274	0.02531	0.00053	0.16967	0.00924	0.00959	0.00189	129.9	127.3	161.1	3.32	159.1	8.02	193	37.82
QT95-19	0.04845	0.00268	0.02527	0.00053	0.16884	0.00906	0.00647	0.00118	121.5	125.37	160.9	3.34	158.4	7.87	130.3	23.65
QT95-20	0.04905	0.00125	0.02347	0.00036	0.1587	0.00415	0.00529	0.00038	150	58.73	149.5	2.26	149.6	3.64	106.6	7.71
QT62-01	0.0499	0.00227	0.02468	0.00046	0.16978	0.00756	0.00872	0.00087	190.1	102.67	157.1	2.89	159.2	6.56	175.6	17.33
QT62-02	0.04968	0.00161	0.02419	0.00039	0.16576	0.00534	0.00818	0.00069	180	73.76	154.1	2.44	155.7	4.65	164.8	13.86
QT62-03	0.05662	0.00273	0.02474	0.00048	0.19321	0.00906	0.00874	0.00082	475.9	104.05	157.6	3.01	179.4	7.71	175.8	16.42
QT62-04	0.05243	0.00098	0.02416	0.00035	0.17467	0.00355	0.00779	0.00042	304.4	42.12	153.9	2.2	163.5	3.06	156.9	8.44
QT62-05	0.05104	0.00145	0.02437	0.00039	0.17149	0.00496	0.00753	0.00052	242.8	64.08	155.2	2.45	160.7	4.3	151.5	10.48
QT62-06	0.05034	0.0011	0.02455	0.00038	0.17038	0.00398	0.00824	0.00051	210.8	49.85	156.4	2.38	159.7	3.45	165.9	10.13
QT62-07	0.05793	0.00094	0.02441	0.00037	0.19492	0.00365	0.00888	0.00043	526.7	35.34	155.4	2.31	180.8	3.11	178.7	8.61
QT62-08	0.0491	0.00269	0.02589	0.00055	0.17534	0.00937	0.00879	0.00157	152.6	123.58	164.8	3.43	164	8.1	176.8	31.42
QT62-09	0.04943	0.00132	0.02426	0.00041	0.16529	0.00463	0.00751	0.00077	168.3	61.26	154.5	2.58	155.3	4.04	151.3	15.5
QT62-10	0.04986	0.00146	0.02453	0.00042	0.16859	0.00509	0.00733	0.00078	188.7	66.77	156.2	2.65	158.2	4.42	147.6	15.58
QT62-11	0.05069	0.00123	0.02411	0.0004	0.16851	0.00434	0.00705	0.00044	226.6	54.95	153.6	2.49	158.1	3.77	142	8.8
QT62-12	0.05105	0.00106	0.02447	0.00037	0.17226	0.00383	0.00782	0.00041	243.2	47.19	155.9	2.3	161.4	3.32	157.4	8.18
QT62-13	0.04959	0.00139	0.02439	0.00039	0.16673	0.00478	0.00701	0.00051	175.6	64.21	155.3	2.48	156.6	4.16	141.2	10.14
QT62-14	0.04981	0.00097	0.01788	0.00028	0.12277	0.00265	0.00728	0.00052	186	44.69	114.2	1.76	117.6	2.39	146.7	10.43
QT62-15	0.04911	0.00138	0.02417	0.00039	0.16365	0.00469	0.00673	0.00049	153.2	64.66	154	2.43	153.9	4.09	135.6	9.93
QT62-16	0.04918	0.00105	0.02429	0.00037	0.16472	0.00373	0.00712	0.00047	156.6	49.19	154.7	2.3	154.8	3.26	143.4	9.34
QT62-17	0.05138	0.00089	0.02443	0.00038	0.17303	0.00346	0.00693	0.00039	258	39.47	155.6	2.38	162	3	139.6	7.82
QT62-18	0.04909	0.00192	0.02404	0.00044	0.16267	0.00627	0.00586	0.00071	152.1	89.27	153.2	2.75	153	5.47	118.1	14.2
QT62-19	0.05097	0.00107	0.02439	0.00039	0.17141	0.00396	0.00722	0.0005	239.3	47.77	155.4	2.48	160.6	3.43	145.3	10.01
QT62-20	0.08213	0.00178	0.02419	0.00038	0.27392	0.0062	0.012	0.00082	1248.5	41.66	154.1	2.38	245.8	4.94	241	16.36
QT52-01	0.0492	0.00157	0.02468	0.00039	0.16745	0.0053	0.00644	0.00052	157.5	72.9	157.2	2.43	157.2	4.61	129.8	10.45
QT52-02	0.11233	0.00302	0.02447	0.00043	0.37899	0.01012	0.00918	0.00046	1837.4	47.93	155.9	2.68	326.3	7.45	184.7	9.27
QT52-03	0.06421	0.00303	0.0245	0.00051	0.21688	0.00991	0.00852	0.00117	748.6	96.75	156	3.18	199.3	8.27	171.4	23.37
QT52-04	0.04895	0.00113	0.02332	0.00037	0.15736	0.00383	0.00414	0.00023	145.4	53.09	148.6	2.34	148.4	3.36	83.5	4.57
QT52-05	0.04922	0.00119	0.02449	0.00037	0.16619	0.00416	0.00654	0.00037	158.2	55.61	156	2.3	156.1	3.63	131.8	7.45
QT52-06	0.0525	0.00282	0.02481	0.00053	0.17958	0.00942	0.00484	0.00047	307.1	118.03	158	3.32	167.7	8.11	97.6	9.41
QT52-07	0.04923	0.00126	0.02461	0.00037	0.16707	0.00439	0.00667	0.00051	158.9	58.83	156.8	2.34	156.9	3.82	134.3	10.19
QT52-08	0.04994	0.00225	0.02465	0.00045	0.16973	0.0075	0.0072	0.00086	192	101.65	157	2.85	159.2	6.51	145	17.28
QT52-09	0.05063	0.00146	0.02446	0.00039	0.17072	0.00502	0.00563	0.00039	224.2	65.55	155.8	2.44	160	4.36	113.6	7.75
QT52-10	0.04874	0.00112	0.02451	0.00037	0.16469	0.00396	0.00518	0.00033	135.3	53.06	156.1	2.32	154.8	3.46	104.5	6.63
QT52-11	0.04906	0.0013	0.02464	0.00037	0.16666	0.00452	0.00722	0.00044	150.9	60.96	156.9	2.33	156.5	3.94	145.3	8.77
QT52-12	0.0505	0.00109	0.02443	0.00035	0.17012	0.00382	0.00688	0.00053	218.1	49.12	155.6	2.23	159.5	3.31	138.5	10.67

样品号和分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb^{207}/Pb^{206}		Pb^{206}/U^{238}		Pb^{207}/U^{235}		Pb^{208}/Th^{232}		Pb^{207}/Pb^{206}	1σ	Pb^{206}/U^{238}	1σ	Pb^{207}/U^{235}	1σ	Pb^{208}/Th^{232}	1σ
QT52-13	0.04984	0.00471	0.02431	0.0007	0.16711	0.01533	0.00929	0.00156	187.6	206.4	154.9	4.41	156.9	13.33	187	31.15
QT52-14	0.04675	0.00128	0.02448	0.00038	0.15773	0.00445	0.0052	0.00028	36.1	64.39	155.9	2.39	148.7	3.9	104.8	5.68
QT52-15	0.0491	0.0017	0.02494	0.00044	0.16882	0.00587	0.0039	0.00026	152.8	78.95	158.8	2.76	158.4	5.1	78.8	5.25
QT52-16	0.04894	0.00151	0.02408	0.00037	0.16248	0.00501	0.00756	0.00068	144.8	70.6	153.4	2.32	152.9	4.38	152.3	13.71
QT52-17	0.049	0.00126	0.02473	0.0004	0.16709	0.00447	0.00504	0.00036	148	59.27	157.5	2.52	156.9	3.89	101.5	7.3
QT91-01	0.04909	0.00101	0.02405	0.00036	0.16278	0.00358	0.00636	0.00032	152.2	47.6	153.2	2.24	153.1	3.13	128.2	6.39
QT91-02	0.04918	0.00088	0.02473	0.00035	0.16768	0.00328	0.00655	0.00029	156.3	41.39	157.5	2.23	157.4	2.86	132.1	5.88
QT91-03	0.04901	0.00091	0.02403	0.00035	0.16238	0.0033	0.0054	0.00023	148.2	43.11	153.1	2.21	152.8	2.88	108.8	4.61
QT91-04	0.05131	0.00188	0.02426	0.00044	0.1716	0.00627	0.00471	0.00033	254.9	81.94	154.5	2.75	160.8	5.43	95	6.71
QT91-05	0.04932	0.00103	0.02456	0.00036	0.16699	0.00368	0.00665	0.00039	163.2	48.15	156.4	2.24	156.8	3.2	133.9	7.84
QT91-06	0.05235	0.00163	0.02374	0.00039	0.17133	0.00533	0.00693	0.00062	300.7	69.35	151.2	2.43	160.6	4.62	139.6	12.46
QT91-07	0.04857	0.00114	0.02337	0.00034	0.15649	0.00379	0.00701	0.00052	127.3	54.53	148.9	2.14	147.6	3.33	141.2	10.38
QT91-08	0.04843	0.00123	0.02493	0.00037	0.16645	0.00432	0.00791	0.00065	120.6	58.95	158.7	2.34	156.3	3.76	159.3	13.12
QT91-09	0.04926	0.00104	0.02468	0.00037	0.16763	0.00377	0.00571	0.00031	160.4	48.86	157.2	2.31	157.4	3.28	115.1	6.14
QT91-10	0.04915	0.00135	0.02422	0.00037	0.16409	0.00456	0.0077	0.00061	155	62.92	154.3	2.31	154.3	3.98	154.9	12.33
QT91-11	0.04827	0.00148	0.02404	0.00037	0.15994	0.00494	0.00721	0.00043	112.3	70.87	153.1	2.34	150.7	4.32	145.1	8.63
QT91-12	0.04905	0.00135	0.02427	0.00037	0.16409	0.00459	0.00646	0.00041	150	63.45	154.6	2.33	154.3	4	130.2	8.28
QT91-13D	0.16988	0.0024	0.02838	0.00041	0.66478	0.01076	0.02584	0.001	2556.5	23.42	180.4	2.57	517.5	6.56	515.7	19.76
QT91-14	0.05948	0.0025	0.02418	0.00045	0.19821	0.00812	0.00714	0.00076	584.7	88.69	154	2.82	183.6	6.88	143.7	15.19
QT91-15	0.05026	0.00143	0.02397	0.00037	0.16612	0.00478	0.00676	0.00047	207	64.78	152.7	2.32	156	4.16	136.2	9.46
QT91-16	0.05001	0.00149	0.02446	0.00038	0.16862	0.00507	0.00659	0.00044	195.3	67.72	155.8	2.41	158.2	4.4	132.7	8.9
QT91-17	0.04948	0.00253	0.02468	0.00049	0.16836	0.00835	0.00914	0.00133	170.7	115.06	157.2	3.06	158	7.25	183.8	26.65
QT91-18	0.04947	0.00111	0.02409	0.00035	0.16432	0.00387	0.00637	0.00039	170.4	51.75	153.5	2.23	154.5	3.38	128.4	7.91
QT91-19	0.04939	0.00147	0.02463	0.00039	0.16773	0.00499	0.00746	0.00082	166.2	67.98	156.9	2.43	157.4	4.34	150.2	16.44
QT91-20	0.04914	0.00099	0.02439	0.00036	0.16521	0.00358	0.00581	0.00034	154.4	46.66	155.3	2.27	155.3	3.12	117.1	6.83
QT38-3-01	0.05007	0.00192	0.02447	0.00044	0.16892	0.00641	0.00767	0.0007	198.4	86.75	155.8	2.79	158.5	5.57	154.5	14.09
QT38-3-02	0.0506	0.00217	0.02429	0.00046	0.16945	0.00715	0.00901	0.00078	222.5	96.2	154.7	2.88	158.9	6.21	181.2	15.59
QT38-3-03	0.05103	0.00097	0.02418	0.00037	0.1701	0.00357	0.00742	0.00037	242.3	43.27	154	2.3	159.5	3.1	149.4	7.46
QT38-3-04	0.05035	0.00116	0.02412	0.00036	0.16741	0.00398	0.00758	0.00055	211.1	52.55	153.6	2.24	157.2	3.46	152.6	10.95
QT38-3-05	0.05039	0.00197	0.02421	0.00044	0.16814	0.0065	0.00781	0.00074	212.9	88.34	154.2	2.78	157.8	5.65	157.2	14.77
QT38-3-06	0.06885	0.00137	0.02396	0.00037	0.22739	0.00491	0.01018	0.00055	894.3	40.43	152.6	2.35	208	4.06	204.7	11.07
QT38-3-07	0.04954	0.00124	0.02418	0.00039	0.16513	0.0043	0.00742	0.00064	173.6	57.22	154	2.45	155.2	3.75	149.5	12.87
QT38-3-08	0.07225	0.00117	0.02387	0.00036	0.23776	0.00443	0.00977	0.00057	993.1	32.65	152.1	2.26	216.6	3.64	196.5	11.38
QT38-3-09	0.1552	0.00206	0.27631	0.00409	5.91174	0.09787	0.08103	0.00507	2404	22.41	1572.8	20.67	1963	14.38	1574.9	94.83
QT38-3-10	0.05026	0.00148	0.02424	0.0004	0.1679	0.00504	0.00718	0.00064	207	67.03	154.4	2.54	157.6	4.38	144.7	12.88
QT38-3-11	0.05756	0.00123	0.02405	0.00037	0.19079	0.00435	0.008	0.00038	512.6	46.71	153.2	2.32	177.3	3.71	161.1	7.59

样品号和 分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb^{207}/Pb^{206}		Pb^{206}/U^{238}		Pb^{207}/U^{235}		Pb^{208}/Th^{232}		Pb^{207}/Pb^{206}	1σ	Pb^{206}/U^{238}	1σ	Pb^{207}/U^{235}	1σ	Pb^{208}/Th^{232}	1σ
QT38-3-12	0.26468	0.00356	0.02412	0.00035	0.88005	0.01413	0.0467	0.00259	3274.8	20.98	153.6	2.18	641	7.63	922.6	50
QT38-3-13	0.05129	0.00102	0.02404	0.00036	0.16998	0.00363	0.0079	0.00041	253.9	45.05	153.1	2.24	159.4	3.15	159.1	8.25
QT38-3-14	0.06508	0.00345	0.02416	0.00055	0.21673	0.01115	0.00779	0.00095	776.9	107.71	153.9	3.49	199.2	9.31	156.8	19.07
QT38-3-15	0.06927	0.00165	0.13451	0.00208	1.28423	0.03126	0.04643	0.00547	906.8	48.26	813.5	11.81	838.7	13.9	917.2	105.68
QT38-3-16	0.05348	0.00103	0.024	0.00037	0.17695	0.00375	0.00803	0.00044	349.1	42.93	152.9	2.33	165.4	3.24	161.7	8.79
QT38-3-17	0.07264	0.00142	0.15581	0.00231	1.56044	0.03242	0.04987	0.00364	1004	39.28	933.4	12.86	954.6	12.85	983.6	70.02
QT38-3-18	0.05152	0.0018	0.02431	0.00042	0.17267	0.006	0.00868	0.00084	264	78.28	154.9	2.63	161.7	5.19	174.7	16.79
QT38-3-19	0.07517	0.0022	0.15933	0.00272	1.65115	0.04832	0.05541	0.00523	1073.1	57.63	953	15.1	990	18.51	1089.9	100.19
QT38-3-20	0.05371	0.00179	0.02427	0.00041	0.17974	0.00597	0.00929	0.00088	359	73.2	154.6	2.59	167.8	5.14	186.9	17.67
QT122-01	0.04949	0.00122	0.02442	0.00038	0.16662	0.00427	0.00725	0.00038	171	56.53	155.5	2.38	156.5	3.72	146	7.61
QT122-02	0.04994	0.00095	0.02465	0.00036	0.16968	0.00349	0.00561	0.0002	192.2	43.47	156.9	2.26	159.1	3.03	113	3.98
QT122-03	0.11359	0.00241	0.02629	0.00043	0.41167	0.0092	0.0118	0.00065	1857.6	37.85	167.3	2.72	350.1	6.62	237.1	12.96
QT122-04	0.10724	0.0022	0.02099	0.00032	0.31028	0.00664	0.01679	0.00116	1753	36.96	133.9	2.05	274.4	5.15	336.6	23.14
QT122-05	0.05965	0.00103	0.02472	0.00036	0.20328	0.00386	0.00593	0.00022	590.8	36.88	157.4	2.26	187.9	3.26	119.6	4.49
QT122-06	0.04964	0.00122	0.02449	0.00037	0.16758	0.00427	0.00632	0.00032	178.4	56.19	155.9	2.34	157.3	3.71	127.3	6.5
QT122-07	0.05391	0.00199	0.02704	0.00053	0.20099	0.00732	0.00179	0.00012	367.3	80.88	172	3.3	186	6.19	36.1	2.46
QT122-08	0.05095	0.00101	0.02381	0.00035	0.16723	0.00356	0.00642	0.00033	238.4	45.15	151.7	2.19	157	3.1	129.3	6.68
QT122-09	0.04975	0.00094	0.02453	0.00036	0.16822	0.00345	0.00684	0.00041	183.5	43.58	156.2	2.25	157.9	3	137.7	8.33
QT122-10	0.04912	0.00256	0.0248	0.00054	0.16798	0.00854	0.00206	0.00016	153.6	117.5	157.9	3.4	157.7	7.42	41.6	3.18
QT122-11	0.04949	0.00113	0.02443	0.00037	0.16665	0.00398	0.00728	0.00035	171.1	52.34	155.6	2.31	156.5	3.47	146.6	6.93
QT122-12	0.04947	0.00097	0.02464	0.00037	0.16802	0.00357	0.00451	0.00016	170.1	45.22	156.9	2.32	157.7	3.1	91	3.16
QT122-13	0.04973	0.00099	0.02366	0.00035	0.1622	0.00347	0.0067	0.00032	182.4	45.88	150.8	2.18	152.6	3.03	135.1	6.48
QT122-14	0.05521	0.00095	0.02451	0.00035	0.18654	0.00354	0.0068	0.00028	420.7	37.63	156.1	2.22	173.7	3.03	137.1	5.6
QT122-15	0.04866	0.00101	0.02499	0.00038	0.16764	0.00374	0.0045	0.00019	131.4	48.09	159.1	2.41	157.4	3.25	90.7	3.74
QT122-16	0.04941	0.00093	0.02458	0.00036	0.16747	0.00343	0.00627	0.00029	167.5	43.35	156.6	2.26	157.2	2.98	126.4	5.91
QT122-17	0.04876	0.00104	0.02469	0.00037	0.16595	0.00375	0.00703	0.00042	136.3	49.34	157.2	2.31	155.9	3.26	141.6	8.36
QT122-18	0.04928	0.00143	0.02453	0.00038	0.16665	0.00489	0.0074	0.00047	161.4	66.34	156.2	2.4	156.5	4.25	148.9	9.38
QT122-19	0.04921	0.00186	0.02478	0.00046	0.16803	0.00633	0.0064	0.00063	158	86.31	157.8	2.86	157.7	5.5	128.9	12.73
QT122-20	0.04944	0.00102	0.02463	0.00036	0.16788	0.00369	0.00733	0.00043	168.5	47.53	156.9	2.29	157.6	3.21	147.6	8.63
QT122-21	0.04919	0.00114	0.02466	0.00037	0.16723	0.00405	0.00676	0.00039	157	53.29	157	2.34	157	3.52	136.3	7.91
QT122-22	0.05281	0.00175	0.02467	0.00045	0.17967	0.00595	0.00243	0.00014	320.6	73.74	157.1	2.82	167.8	5.12	49	2.91
QT108-01	0.05029	0.00142	0.02434	0.00038	0.16874	0.00479	0.00663	0.00044	208.5	64.01	155	2.38	158.3	4.17	133.5	8.86
QT108-02	0.04961	0.00107	0.02411	0.00037	0.16489	0.00381	0.0071	0.0004	176.8	49.55	153.6	2.33	155	3.32	143	7.94
QT108-03	0.04933	0.00134	0.02449	0.00039	0.16658	0.00465	0.00716	0.00047	163.4	62.25	156	2.44	156.4	4.05	144.2	9.36
QT108-04	0.05084	0.00104	0.02398	0.00038	0.16806	0.00378	0.00725	0.00043	233.5	46.66	152.7	2.38	157.7	3.28	146.1	8.59
QT108-05	0.05022	0.00126	0.02419	0.00037	0.16747	0.0043	0.00718	0.00051	205.1	57.17	154.1	2.3	157.2	3.74	144.5	10.33

续附表 2

样品号和分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb^{207}/Pb^{206}		Pb^{206}/U^{238}		Pb^{207}/U^{235}		Pb^{208}/Th^{232}		Pb^{207}/Pb^{206}	1σ	Pb^{206}/U^{238}	1σ	Pb^{207}/U^{235}	1σ	Pb^{208}/Th^{232}	1σ
QT108-06	0.04901	0.00109	0.0243	0.00038	0.16418	0.00389	0.00702	0.00047	148.3	51.31	154.8	2.37	154.4	3.4	141.3	9.45
QT108-07	0.07912	0.00234	0.02414	0.00046	0.26333	0.00802	0.01095	0.00101	1175	57.41	153.8	2.88	237.3	6.45	220.2	20.27
QT108-08	0.05022	0.00092	0.02428	0.00037	0.1681	0.00344	0.00718	0.00044	205.3	41.94	154.6	2.32	157.8	2.99	144.7	8.8
QT108-09	0.05115	0.00118	0.02404	0.00037	0.16952	0.00411	0.00705	0.00066	247.4	52.44	153.2	2.33	159	3.57	141.9	13.21
QT108-10	0.049	0.00176	0.02466	0.00045	0.16657	0.00603	0.00719	0.00078	148.1	82.03	157	2.85	156.4	5.25	144.9	15.67
QT108-11	0.05057	0.0012	0.02424	0.00038	0.16901	0.0042	0.00737	0.00039	221.3	53.81	154.4	2.38	158.6	3.65	148.5	7.87
QT108-12	0.05249	0.0009	0.02403	0.00036	0.17387	0.00339	0.00738	0.00033	307	38.58	153	2.28	162.8	2.94	148.7	6.59
QT108-13	0.05321	0.00158	0.02395	0.00041	0.17565	0.00531	0.00842	0.00082	337.6	65.95	152.6	2.56	164.3	4.58	169.4	16.53
QT108-14	0.04996	0.00215	0.02403	0.00043	0.16554	0.00699	0.00728	0.00055	193.2	96.95	153.1	2.71	155.5	6.09	146.5	11.06
QT108-15	0.07811	0.00117	0.01872	0.00029	0.20163	0.00365	0.01342	0.00078	1149.8	29.38	119.6	1.83	186.5	3.08	269.4	15.54
QT108-16	0.05021	0.00139	0.02381	0.00037	0.16483	0.00463	0.00731	0.00051	204.8	62.82	151.7	2.36	154.9	4.03	147.1	10.23
QT108-17	0.05021	0.00166	0.02429	0.00043	0.16815	0.00565	0.00839	0.00079	204.8	74.91	154.7	2.74	157.8	4.91	168.9	15.85
QT108-18	0.04934	0.001	0.02435	0.00037	0.16562	0.00365	0.00799	0.00049	164.1	46.8	155.1	2.34	155.6	3.18	160.8	9.8
QT108-19	0.0506	0.00118	0.0241	0.00038	0.16812	0.00414	0.00776	0.00058	222.7	53.14	153.5	2.39	157.8	3.6	156.3	11.66
QT108-20	0.05271	0.0021	0.02406	0.00046	0.1748	0.00692	0.0081	0.00095	316.2	88.28	153.3	2.86	163.6	5.98	163.1	19.1
QT105-01	0.05054	0.00083	0.01752	0.00025	0.12206	0.00222	0.0089	0.00055	219.7	37.73	112	1.56	116.9	2.01	179.1	11.04
QT105-02	0.04919	0.00102	0.02396	0.00037	0.1625	0.00367	0.00865	0.00043	156.9	47.91	152.6	2.35	152.9	3.2	174	8.69
QT105-03	0.04907	0.00107	0.02367	0.00036	0.16011	0.00371	0.00776	0.00044	151	50.53	150.8	2.26	150.8	3.25	156.1	8.76
QT105-04	0.05014	0.00126	0.02335	0.00036	0.16137	0.00417	0.00821	0.0007	201.4	57.43	148.8	2.27	151.9	3.64	165.3	14.02
QT105-05	0.05057	0.00179	0.02311	0.00039	0.16114	0.00559	0.00998	0.00152	221.4	79.86	147.3	2.43	151.7	4.89	200.7	30.35
QT105-06	0.04947	0.00189	0.02353	0.00044	0.16051	0.00612	0.00812	0.0008	170.4	86.96	149.9	2.75	151.1	5.36	163.4	15.99
QT105-07	0.04912	0.00149	0.02358	0.00038	0.15965	0.00485	0.00791	0.00084	153.4	69.33	150.2	2.41	150.4	4.25	159.3	16.92
QT105-08	0.04996	0.00161	0.02345	0.00039	0.16147	0.00522	0.0082	0.00088	192.9	73.42	149.4	2.47	152	4.56	165.1	17.66
QT105-09	0.04902	0.00132	0.02353	0.00036	0.15904	0.00433	0.00832	0.00088	148.7	62.11	149.9	2.25	149.9	3.8	167.5	17.6
QT105-10	0.04813	0.00779	0.02181	0.0011	0.14432	0.02218	0.00982	0.00653	105.7	343.19	139.1	6.95	136.9	19.68	197.5	130.79
QT105-11	0.04953	0.0017	0.02345	0.00038	0.16012	0.00539	0.00818	0.00091	172.8	78.13	149.4	2.41	150.8	4.72	164.6	18.22
QT105-12	0.05609	0.00068	0.01069	0.00016	0.0827	0.0013	0.00574	0.00027	455.5	26.19	68.6	1.01	80.7	1.22	115.7	5.46
QT105-13	0.10253	0.00181	0.01968	0.00029	0.27817	0.00533	0.01987	0.00159	1670.5	32.34	125.6	1.83	249.2	4.24	397.7	31.57
QT105-14	0.07704	0.00161	0.02331	0.00038	0.24763	0.00563	0.01942	0.00169	1122.1	41.23	148.6	2.4	224.6	4.58	388.8	33.6
QT105-15	0.07827	0.00162	0.02317	0.00038	0.25004	0.00563	0.01054	0.0006	1153.6	40.55	147.7	2.39	226.6	4.57	211.9	12.05
QT105-16	0.05591	0.00079	0.01916	0.00029	0.1477	0.00254	0.00813	0.00045	448.5	30.64	122.3	1.81	139.9	2.25	163.7	9
QT105-17	0.05117	0.00073	0.01959	0.00028	0.13821	0.00235	0.00868	0.00053	248.4	32.62	125.1	1.8	131.4	2.1	174.7	10.58
QT105-18	0.06032	0.00119	0.01765	0.00028	0.14683	0.00319	0.00759	0.0008	615	41.9	112.8	1.78	139.1	2.82	152.9	16.13
QT105-19	0.05097	0.00141	0.02298	0.00039	0.16147	0.0046	0.01007	0.00124	239.2	62.46	146.5	2.46	152	4.02	202.6	24.9
QT105-20	0.05937	0.00207	0.01133	0.00023	0.09268	0.00332	0.00522	0.00112	580.5	74.1	72.6	1.45	90	3.09	105.3	22.54
QT123-01	0.04967	0.00153	0.02337	0.00039	0.16008	0.00499	0.00693	0.00056	179.7	70.24	148.9	2.44	150.8	4.37	139.5	11.27

样品号和分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb^{207}/Pb^{206}		Pb^{206}/U^{238}		Pb^{207}/U^{235}		Pb^{208}/Th^{232}		Pb^{207}/Pb^{206}	1σ	Pb^{206}/U^{238}	1σ	Pb^{207}/U^{235}	1σ	Pb^{208}/Th^{232}	1σ
QT123-02	0.04916	0.00232	0.02355	0.00047	0.1597	0.00741	0.00711	0.00102	155.7	106.88	150.1	2.98	150.4	6.49	143.2	20.56
QT123-03	0.0471	0.00227	0.02366	0.0005	0.15349	0.00725	0.00177	0.00013	53.8	111.71	150.8	3.13	145	6.38	35.7	2.57
QT123-04	0.05668	0.00238	0.02313	0.00042	0.18071	0.00738	0.01027	0.00171	478.6	91.06	147.4	2.64	168.7	6.35	206.5	34.21
QT123-05	0.04992	0.0019	0.02325	0.00044	0.15999	0.00605	0.0019	0.00013	191.1	86.25	148.1	2.79	150.7	5.3	38.5	2.64
QT123-06	0.04732	0.00102	0.02384	0.00036	0.15556	0.00354	0.00549	0.00033	65	50.85	151.9	2.25	146.8	3.11	110.6	6.72
QT123-07	0.0539	0.01197	0.0297	0.00209	0.22113	0.046	0.00714	0.00481	366.5	435.53	188.7	13.11	202.9	38.25	143.9	96.61
QT123-08	0.09894	0.00151	0.02345	0.00033	0.31985	0.0055	0.02253	0.00177	1604.3	28.23	149.4	2.06	281.8	4.23	450.3	35.08
QT123-09	0.04919	0.00106	0.02353	0.00034	0.15957	0.00361	0.00731	0.00062	157	49.56	149.9	2.17	150.3	3.16	147.2	12.42
QT123-10	0.11667	0.00196	0.02747	0.00039	0.44187	0.00808	0.01909	0.00157	1905.9	29.89	174.7	2.44	371.6	5.69	382.2	31.13
QT123-11	0.04844	0.00108	0.02384	0.00037	0.15923	0.00376	0.00386	0.00015	120.9	51.79	151.9	2.31	150	3.3	77.8	3.09
QT123-12	0.04926	0.00094	0.02467	0.00037	0.16753	0.00348	0.00434	0.00017	160.4	43.8	157.1	2.33	157.3	3.02	87.5	3.51
QT123-13	0.05516	0.00089	0.02362	0.00033	0.17964	0.00323	0.00544	0.00019	418.4	35.36	150.5	2.1	167.8	2.78	109.6	3.89
QT123-14	0.05536	0.00164	0.06808	0.00121	0.51946	0.01557	0.00661	0.00046	426.4	64.21	424.6	7.29	424.8	10.41	133.2	9.21
QT123-15	0.04771	0.00132	0.02337	0.00039	0.15369	0.00438	0.00361	0.0002	83.9	65.48	148.9	2.43	145.2	3.86	72.9	3.93
QT123-16	0.04897	0.00172	0.02339	0.00042	0.15788	0.00556	0.00251	0.00013	146.4	80.57	149	2.66	148.8	4.88	50.8	2.68
QT123-17	0.04868	0.00127	0.02371	0.00039	0.15915	0.0043	0.00359	0.00021	132.6	60.22	151.1	2.44	150	3.77	72.5	4.26
QT123-18	0.07464	0.00175	0.02477	0.00038	0.25489	0.0061	0.00931	0.00065	1058.5	46.75	157.7	2.37	230.5	4.94	187.3	13.08
QT123-19	0.04892	0.00184	0.02376	0.00044	0.16024	0.00601	0.0031	0.00022	144	86.13	151.4	2.75	150.9	5.26	62.5	4.42
QT123-20	0.04802	0.00123	0.02402	0.00039	0.159	0.00424	0.00303	0.00017	98.9	60.92	153	2.47	149.8	3.71	61.2	3.47
QT67-01	0.05305	0.00134	0.0229	0.00034	0.16742	0.00432	0.00567	0.00034	331	56.34	146	2.14	157.2	3.76	114.3	6.91
QT67-02	0.0491	0.00157	0.02333	0.00039	0.15784	0.00506	0.00395	0.00024	152.7	73.17	148.7	2.43	148.8	4.44	79.7	4.85
QT67-03	0.0491	0.00127	0.02456	0.00036	0.16625	0.00435	0.00844	0.0007	152.5	59.41	156.4	2.25	156.2	3.79	169.9	13.99
QT67-04	0.04912	0.00093	0.02314	0.00032	0.15673	0.00315	0.00686	0.00042	153.7	43.72	147.5	2.01	147.8	2.77	138.2	8.39
QT67-05	0.04774	0.0029	0.02284	0.00053	0.15037	0.00887	0.00245	0.00023	85.5	138.8	145.6	3.32	142.2	7.82	49.5	4.66
QT67-06	0.04934	0.00102	0.02443	0.00035	0.1662	0.00361	0.006	0.00034	163.9	47.57	155.6	2.18	156.1	3.14	121	6.85
QT67-07	0.04881	0.00122	0.02327	0.00035	0.15659	0.00404	0.00582	0.00038	138.8	57.68	148.3	2.2	147.7	3.54	117.4	7.7
QT67-08	0.04907	0.00164	0.0228	0.00039	0.1542	0.00518	0.00349	0.00022	151.3	76.38	145.3	2.44	145.6	4.56	70.4	4.49
QT67-09	0.04907	0.00317	0.02341	0.00058	0.15834	0.00995	0.00321	0.00045	151.3	144.84	149.2	3.62	149.2	8.72	64.8	9.03
QT67-10	0.05326	0.00237	0.02294	0.00045	0.16845	0.0074	0.00344	0.0003	339.7	97.53	146.2	2.84	158.1	6.43	69.4	6.07
QT67-11	0.04907	0.00157	0.02303	0.0004	0.15577	0.00503	0.00294	0.00019	151	73.39	146.8	2.53	147	4.42	59.2	3.8
QT67-12	0.04855	0.00166	0.02322	0.00039	0.15542	0.00532	0.00541	0.00035	126	78.38	148	2.45	146.7	4.68	109	7.13
QT67-13	0.04935	0.00123	0.02444	0.00036	0.16631	0.00424	0.00742	0.00049	164.3	57.04	155.7	2.27	156.2	3.69	149.4	9.81
QT67-14	0.04929	0.00158	0.02303	0.00039	0.15647	0.00506	0.00501	0.00042	161.8	73.49	146.8	2.46	147.6	4.45	101.1	8.46
QT67-15	0.04873	0.00168	0.02312	0.00041	0.15534	0.00537	0.00302	0.0002	135	79.06	147.4	2.58	146.6	4.72	60.9	4.05
QT67-16	0.04919	0.00186	0.02327	0.00043	0.15783	0.00592	0.00361	0.0003	156.8	85.96	148.3	2.68	148.8	5.2	72.9	6.01
QT67-17	0.04902	0.00216	0.02357	0.00042	0.15927	0.00685	0.0072	0.00109	148.6	100.07	150.2	2.67	150.1	6	145.1	21.82

续附表 2

样品号和分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb^{207}/Pb^{206}		Pb^{206}/U^{238}		Pb^{207}/U^{235}		Pb^{208}/Th^{232}		Pb^{207}/Pb^{206}	1σ	Pb^{206}/U^{238}	1σ	Pb^{207}/U^{235}	1σ	Pb^{208}/Th^{232}	1σ
QT67-18	0.04917	0.001	0.02306	0.00035	0.15632	0.00341	0.00493	0.00035	156	47.07	147	2.19	147.5	3	99.5	6.97
QT67-19	0.04863	0.00189	0.02324	0.00044	0.15575	0.00603	0.0027	0.00021	129.9	89.18	148.1	2.74	147	5.29	54.5	4.18
QT73-1	0.05045	0.00113	0.02508	0.00025	0.17443	0.00347	0.00791	0.00008	216	53	160	2	163	3	159	2
QT73-2	0.13069	0.00127	0.01573	0.00015	0.28348	0.00266	0.00283	0.00002	2107	8	100.6	1	253	2	57.1	0.4
QT73-3	0.05192	0.0011	0.02563	0.00025	0.18344	0.00343	0.00805	0.00008	282	49	163	2	171	3	162	2
QT73-4	0.09741	0.00095	0.02501	0.00024	0.33585	0.00317	0.01433	0.00008	1575	8	159	2	294	2	288	2
QT73-5	0.06814	0.00071	0.0238	0.00023	0.22364	0.00226	0.00884	0.00005	873	9	152	1	205	2	178	1
QT73-6	0.05119	0.00192	0.02386	0.00025	0.16842	0.00608	0.00751	0.00008	249	89	152	2	158	5	151	2
QT73-7	0.05994	0.00135	0.02506	0.00025	0.20708	0.00416	0.00774	0.00007	601	50	160	2	191	4	156	1
QT73-8	0.04956	0.00116	0.0254	0.00026	0.17357	0.00366	0.00803	0.00007	174	56	162	2	163	3	162	1
QT73-9	0.06732	0.00066	0.02573	0.00025	0.23889	0.00227	0.01137	0.00007	848	9	164	2	218	2	229	1
QT73-10	0.0615	0.0006	0.0234	0.00023	0.19846	0.00187	0.00989	0.00006	657	9	149	1	184	2	199	1
QT73-11	0.05225	0.00051	0.02533	0.00024	0.18248	0.00174	0.00948	0.00006	296	10	161	2	170	1	191	1
QT73-12	0.0744	0.00074	0.02546	0.00025	0.26121	0.0025	0.01398	0.00009	1052	9	162	2	236	2	281	2
QT73-13	0.0554	0.00055	0.02547	0.00025	0.19458	0.00185	0.00987	0.00006	428	10	162	2	181	2	199	1
QT5-1	0.04911	0.00149	0.02354	0.00022	0.15937	0.00461	0.00745	0.00007	153	72	150	1	150	4	150	1
QT5-2	0.06572	0.00068	0.02532	0.00021	0.22962	0.00199	0.01174	0.00007	797	8	161	1	210	2	236	1
QT5-3	0.06905	0.0007	0.02235	0.00019	0.21293	0.00183	0.01331	0.00008	900	8	142	1	196	2	267	2
QT5-4	0.05208	0.00052	0.02569	0.00022	0.18462	0.00156	0.0098	0.00006	289	9	164	1	172	1	197	1
QT5-5	0.06063	0.00061	0.02603	0.00022	0.21782	0.00187	0.01121	0.00007	626	8	166	1	200	2	225	1
QT5-6	0.07251	0.00073	0.02568	0.00022	0.25689	0.0022	0.01365	0.00008	1000	8	163	1	232	2	274	2
QT5-7	0.0786	0.00079	0.0255	0.00022	0.2765	0.00237	0.01325	0.00008	1162	8	162	1	248	2	266	2
QT5-8	0.05179	0.00052	0.02563	0.00022	0.18311	0.00157	0.00984	0.00006	276	9	163	1	171	1	198	1
QT5-9	0.04836	0.001	0.0203	0.00018	0.13538	0.00255	0.00644	0.00005	117	50	130	1	129	2	129.6	1
QT5-10	0.05358	0.00053	0.02586	0.00022	0.19109	0.00162	0.00993	0.00006	353	9	165	1	178	1	200	1
QT5-11	0.05073	0.0005	0.02565	0.00022	0.17945	0.00153	0.01015	0.00006	229	9	163	1	168	1	204	1
QT5-12	0.0618	0.00092	0.02556	0.00022	0.21781	0.00267	0.00787	0.00007	667	33	163	1	200	2	158	1
QT5-13	0.07972	0.00079	0.02458	0.00021	0.27013	0.00231	0.01472	0.00009	1190	8	157	1	243	2	295	2
QT5-14	0.06831	0.00068	0.02577	0.00022	0.24262	0.00212	0.00962	0.00006	878	8	164	1	221	2	194	1
QT5-15	0.04925	0.00087	0.02523	0.00022	0.17132	0.00264	0.00798	0.00007	160	42	161	1	161	2	161	1
QT5-16	0.06536	0.00065	0.02474	0.00022	0.22285	0.00194	0.0137	0.00009	786	8	158	1	204	2	275	2
QT63-1	0.05039	0.0005	0.02378	0.0002	0.1656	0.0014	0.00836	0.00005	213	9	152	1	156	1	168	1
QT63-2	0.09473	0.00096	0.02551	0.00022	0.33387	0.00294	0.01229	0.00007	1523	8	162	1	293	2	247	1
QT63-3	0.05459	0.00055	0.02321	0.0002	0.175	0.00156	0.00851	0.00005	395	9	148	1	164	1	171	1
QT63-4	0.07708	0.00076	0.02358	0.00021	0.25103	0.00218	0.01034	0.00006	1123	8	150	1	227	2	208	1
QT63-5	0.0507	0.00118	0.03812	0.00035	0.26651	0.00572	0.01201	0.0001	227	55	241	2	240	5	241	2

样品号和分析点号	校正的同位素比值								校正的年龄值/Ma							
	Pb^{207}/Pb^{206}		Pb^{206}/U^{238}		Pb^{207}/U^{235}		Pb^{208}/Th^{232}		Pb^{207}/Pb^{206}	1σ	Pb^{206}/U^{238}	1σ	Pb^{207}/U^{235}	1σ	Pb^{208}/Th^{232}	1σ
QT63-6	0.05083	0.00103	0.02528	0.00024	0.17721	0.00317	0.00796	0.00007	233	48	161	1	166	3	160	1
QT63-7	0.06157	0.00065	0.02574	0.00024	0.21862	0.00219	0.01023	0.00006	659	10	164	2	201	2	206	1
QT63-8	0.07	0.0007	0.02529	0.00024	0.24418	0.00232	0.01051	0.00006	928	9	161	2	222	2	211	1
QT63-9	0.04951	0.00106	0.02512	0.00025	0.17148	0.00326	0.00794	0.00007	172	51	160	2	161	3	160	1
QT63-10	0.05074	0.00051	0.02562	0.00025	0.1792	0.00175	0.00791	0.00005	229	10	163	2	167	2	159	1
QT63-11	0.05595	0.00123	0.02558	0.00026	0.19738	0.00387	0.00797	0.00007	451	50	163	2	183	3	160	1
QT63-12	0.05273	0.00118	0.02661	0.00028	0.1935	0.00383	0.00835	0.00008	317	52	169	2	180	3	168	2
QT63-13	0.05376	0.00053	0.0261	0.00027	0.1932	0.00198	0.00833	0.00005	361	11	166	2	179	2	168	1
QT63-14	0.05094	0.00122	0.02594	0.00028	0.18223	0.00387	0.00817	0.00008	238	56	165	2	170	3	164	2
QT63-15	0.05371	0.00125	0.02655	0.0003	0.19662	0.00402	0.00831	0.00009	359	54	169	2	182	3	167	2
QT66-1	0.05712	0.00113	0.02191	0.00021	0.17258	0.00299	0.00681	0.00006	496	45	140	1	162	3	137	1
QT66-2	0.07561	0.00074	0.02311	0.00021	0.24083	0.00212	0.0117	0.00007	1085	8	147	1	219	2	235	1
QT66-3	0.05477	0.00053	0.02285	0.0002	0.17253	0.00151	0.00868	0.00005	403	9	146	1	162	1	175	1
QT66-4	0.0646	0.00063	0.02232	0.0002	0.19881	0.00173	0.01331	0.00008	761	9	142	1	184	1	267	2
QT66-5	0.0551	0.00054	0.02292	0.0002	0.1741	0.0015	0.00902	0.00005	416	9	146	1	163	1	181	1
QT66-6	0.06036	0.00061	0.02261	0.0002	0.18815	0.00168	0.0089	0.00005	617	9	144	1	175	1	179	1
QT66-7	0.07938	0.00077	0.02101	0.00018	0.23	0.00192	0.01028	0.00006	1182	8	134	1	210	2	207	1
QT66-8	0.11273	0.00117	0.02204	0.00019	0.34273	0.00311	0.01299	0.00008	1844	7	141	1	299	2	261	2
QT66-9	0.07076	0.00068	0.02241	0.00019	0.21879	0.0018	0.01113	0.00006	950	8	143	1	201	1	224	1
QT66-10	0.05776	0.00102	0.02319	0.0002	0.18466	0.00284	0.00719	0.00006	521	40	148	1	172	2	145	1
QT66-11	0.0548	0.00111	0.02315	0.0002	0.17492	0.00318	0.00723	0.00006	404	46	148	1	164	3	146	1
QT66-12	0.0689	0.00066	0.02337	0.0002	0.22232	0.00178	0.01042	0.00006	896	8	149	1	204	1	210	1
QT66-13	0.11251	0.00107	0.02198	0.00018	0.34149	0.00272	0.01263	0.00007	1840	7	140	1	298	2	254	1

a) 表中前 11 个样品在南京大学分析, 后 4 个样品在西北大学分析. 利用 ^{204}Pb 的实验值校正