

doi: 10.12029/gc20170410

郭爱民, 陈必河, 陈剑锋, 周超, 司程山, 郑正福. 2017. 南岭诸广山北体复式花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及多期岩浆活动[J]. 中国地质, 44(4): 781-792.

Guo Aimin, Chen Bihe, Chen Jianfeng, Zhou Chao, Si Chengshan, Zheng Zhengfu. 2017. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of granitoids from northern Zhuguangshan granitic composite batholith, Hunan Province[J]. Geology in China, 44(4): 781-792(in Chinese with English abstract).

南岭诸广山北体复式花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 及多期岩浆活动

郭爱民¹ 陈必河¹ 陈剑锋^{1,2} 周超¹ 司程山¹ 郑正福¹

(1. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410116; 2. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 诸广山复式花岗岩基位于湘、赣、粤三省交界处, 是南岭花岗岩的重要组成部分, 由南体和北体组成, 出露面积大于 5000 km², 形成于加里东期、印支期、燕山期 3 个时代。通过对诸广山北体 3 期花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 结果表明, 加里东期花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(414.5±4.5)Ma ($n=13$, MSWD=0.52)、(417.3±4.8)Ma ($n=12$, MSWD=0.84), 形成于晚志留世末。印支期黑云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(207.5±2.7)Ma ($n=10$, MSWD=1.6), 形成于晚三叠世末。燕山期二云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(148.2±1.7)Ma ($n=13$, MSWD=0.93), 形成于晚侏罗世。该成果为南岭地区构造-岩浆演化及成矿作用研究, 提供了重要的花岗岩年代学依据。

关键词: 花岗岩; 锆石 U-Pb; SHRIMP; 诸广山; 南岭

中图分类号: P597.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)04-0781-12

Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of granitoids from northern Zhuguangshan granitic composite batholith, Hunan Province

GUO Aimin¹, CHEN Bihe¹, CHEN Jianfeng^{1,2}, ZHOU Chao¹, SI Chengshan¹, ZHENG Zhengfu¹

(1. Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410116, Hunan, China; 2. School of Geoscience and InfoPhysics, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: Zhuguangshan granitic composite batholith situated in Hunan-Jiangxi-Guangdong border area is an important part of Nanling large granite province, with the total area of northern and southern body being greater than 5000 km². The results of zircon SHRIMP U-Pb geochronology of granitoids of northern Zhuguangshan show that the granitic body was formed in three periods with ages varying from the Caledonian through Indosinian to Yanshannian. Caledonian granodiorite was formed in late Silurian

收稿日期: 2016-03-24; 改回日期: 2016-07-18

基金项目: 中国地质调查局项目“南岭成矿带中西段地质矿产调查”(121201009000150002)、“湖南桂东地区矿产远景调查”(矿调[2005]12-8号)、“湘东地区花岗岩与成矿关系研究”(1212011220520)及“湖南浣溪地区 1:5 万地质矿产综合调查”(12120115029301)联合资助。

作者简介: 郭爱民, 男, 1964 年生, 研究员级高级工程师, 从事地质矿产调查及勘查工作; E-mail: gamcz2003@163.com。

period, Indosinian biotite adamellite was formed in late Triassic period and Yanshannian dimicaceous adamellite was formed in late Jurassic period, with SHRIMP zircon U-Pb ages being (414.5 ± 4.5) Ma, (417.3 ± 4.8) Ma, (207.5 ± 2.7) Ma, and (148.2 ± 1.7) Ma respectively. The results obtained by the authors provide important geochronologic basis for the study of geology and mineralization in this area.

Key words: granite; zircon U-Pb; SHRIMP; Zhuguangshan; Nanling

About the first author: GUO Aiming, male, born in 1964, senior engineer, engages in geological and mineral resources survey and exploration work; E-mail: gamcz2003@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 121201009000150002; No. [2005]12-8; No. 1212011220520; No.12120115029301).

1 引 言

南岭地区是中国有色金属和稀有金属矿的重要矿集区,花岗岩与成矿的关系密切(华仁民等,1999;陈必河等,2004;柏道远等,2005;肖庆辉等,2005)。长期以来,该地区花岗岩一直受到重视和研究(马铁球等,2006;柏道远等,2007a;伍光英等,2008),并取得了重要成果和进展。前人研究表明,南岭花岗岩可分为加里东期、印支期、燕山期(湖南省地质矿产局,1988;1995),其中,燕山期花岗岩与钨锡多金属成矿关系最为密切(陈必河等,2001;伍光英等2005;柏道远等,2007b;Chen W F et al., 2007;程顺波等,2013)。然而,以往花岗岩的研究主要集中在交通方便地区。位于南岭东段湘赣粤三省交界处的诸广山复式花岗岩体,研究程度却较薄弱,尤其是花岗岩体形成时代研究程度较低,缺乏系统的高精度测年资料限定。诸广山复式岩体由南体和北体组成,其中,北体较南体研究程度更低。在以往的研究中,诸广山岩体虽然取得了较多的同位素测年资料^①,初步划分和圈定了加里东期、印支期、燕山期花岗岩的形成时代和分布范围。但是,这些测年资料主要来自微量锆石U-Pb法、全岩-单矿物K-Ar法及Rb-Sr法(邓访陵,1987),测年精度较低,甚至同一岩体或同一地点,因测试方法的不同,出现较大误差的测年结果。近几年,邓平等(2011、2012)对诸广山南体进行花岗岩锆石SHRIMP U-Pb定年,获得燕山期花岗岩年龄为 (154 ± 1) Ma、 (156 ± 2) Ma、 (160 ± 2) Ma,印支期为 (231 ± 2) Ma、 (236 ± 2) Ma、 (239 ± 5) Ma,确定了部分花岗岩形成于中三叠世和晚侏罗世。赵逸志等(2013)在诸广山北体,获得锆石SHRIMP U-Pb年龄为 (432 ± 2) Ma、 (443 ± 4) Ma,确定了早志留世花岗

岩的存在。然而,上述研究成果存在精度较低或不够系统等问题。本文在前人工作的基础上,结合项目研究,报道诸广山北体3期花岗岩锆石SHRIMP U-Pb测年结果,并对其地质意义进行探讨。

2 地质背景与岩体地质

诸广山北体位于湖南和江西两省的交界处,南岭成矿带东北部桂东—汝城隆起区(湖南省地质矿产局,1988;地质矿产部南岭项目花岗岩专题组,1989)。区内出露地层主要为南华系—奥陶系复理石浅变质砂岩夹板岩,少量为中泥盆统浅海陆棚相碎屑岩夹碳酸盐岩和侏罗系陆湖相碎屑岩(图1)。诸广山岩体出露面积约5000余 km^2 ,呈规模巨大的复式岩基产出,与钨锡铀稀土成矿关系密切。主要岩性为花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩。另有少量的细粒花岗岩、煌斑岩、云煌岩、辉绿岩等。根据野外观察和同位素测年资料,将诸广山岩体分为加里东期、印支期、燕山期3个时代。加里东期花岗岩分布于研究区的中部,侵入于新元古代至早古生代地层中,与泥盆系跳马涧组为沉积接触关系,分为6个侵入次,不同侵入次岩体之间呈涌动或脉动接触关系。印支期花岗岩分布于研究区北部,侵入于寒武纪地层和加里东期花岗岩中,由5个侵入次组成,之间的接触关系多为脉动接触。燕山期花岗岩出露于研究区的南部,侵入于古生代地层和加里东期及印支期花岗岩中,主要岩性为二云母二长花岗岩,与区内钨锡多金属成矿关系密切。

3 样品特征

为了精确测定该地区花岗岩的形成时代,分别

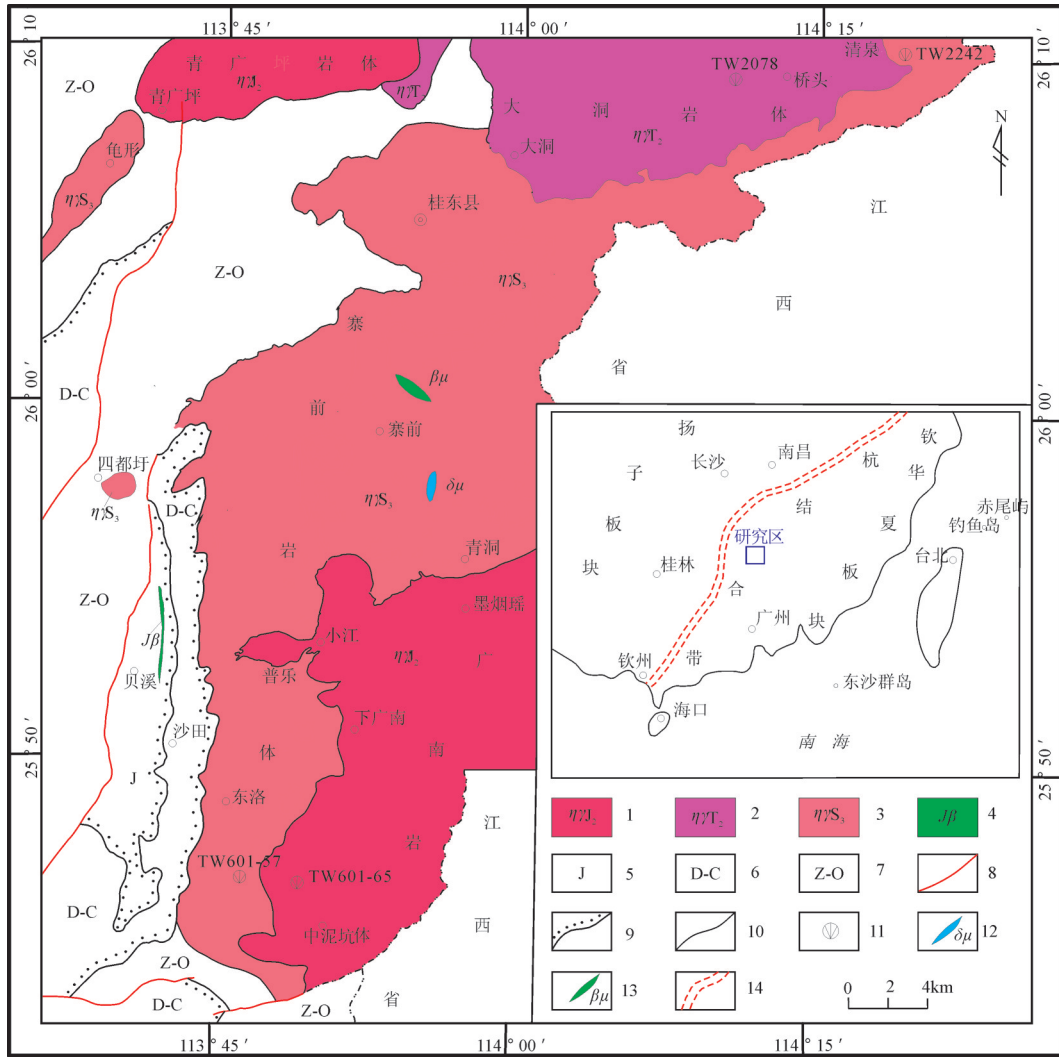


图1 诸广山花岗岩北体地质简图

1—侏罗纪黑云母二长花岗岩;2—三叠纪黑云母二长花岗岩;3—志留纪黑云母二长花岗岩;4—侏罗系粗玄武岩;5—侏罗系;6—泥盆系—石炭系;7—震旦系—奥陶系;8—断层;9—不整合界线;10—地质界线;11—锆石 SHRIMP 年龄采样点;12—闪长玢岩脉;13—辉绿岩脉;14—板块结合带

Fig-1 Geological sketch map of northern Zhuguangshan granitic composite

1—Jurassic biotite adamellite; 2—Triassic biotite adamellite; 3—Silurian biotite adamellite; 4—Jurassic basalt; 5—Jurassic; 6—Devonian-Carboniferous; 7—Sinian-Ordovician; 8—Fault; 9—Unconformity; 10—Geological boundary; 11—Sampling point for zircon SHRIMP dating; 12—Diorite porphyrite dikes; 13—Diabase dikes; 14—Junction of plates

对3期不同时代花岗岩采集了4件样品,进行锆石 SHRIMP U-Pb 测年。其中,加里东期花岗岩2件,印支期和燕山期花岗岩各1件。

TW2242 样品采于桂东县清泉镇,坐标北纬 26° 09'32", 东经 114° 11'12"。主要岩性为细中粒—中粒角闪石黑云母花岗岩闪长岩。岩石为中粒—细中粒结构。斜长石呈板柱状,具环带结构,环带内部 An 值 42~46, 边部 An 值 29~42, 属中长石类。钾长石呈半

自形板柱状或他形板状,斑晶包含有斜长石、石英等细小嵌晶,具格子状双晶和卡氏双晶,钠长石微纹发育差,呈点滴状或短线条纹, (-)2V=80°~84°, Ng∧L(010)=12°~14°, 属最大微斜长石。石英为粒状,部分为聚晶,具波状消光。暗色矿物以黑云母为主,普通角闪石少量。岩体中暗色微粒包体发育,形态各异,一般呈椭圆状、弥散状、长条状、条带状。包体成分复杂,主要为石英闪长质—英云闪长

质,部分为闪长质,少数为石英二长质和黑云母长石角岩包体。副矿物为锆石、磷灰石、磁铁矿、榍石等组合。锆石晶形较完整,呈短柱状、板柱状,个别呈长柱状,环带较清楚(图2),显示出岩浆锆石特征。

TW601-57样品采于桂东县沙田镇,坐标东经113°51'21",北纬25°46'57"。主要岩性为中粒-粗中粒少斑状角闪石黑云母二长花岗岩。斑晶主要为钾长石、斜长石、黑云母和角闪石。其中钾长石斑晶呈板柱状,2V值为64~77°。黑云母斑晶自形程度较好,呈片状,片径2~4 mm。普通角闪石斑晶呈黑色,长柱状。基质主要为中粒结构,部分达粗中粒结构,由钾长石、斜长石、石英、黑云母和角闪石组成。斜长石环带发育。环带中心An值39~45,边部An值21~34。岩体中含少量暗色微粒包体、呈椭圆状、大小3~6 cm,主要成分为石英闪长岩-英云闪长岩,部分为闪长岩。相对TW2242样品,本样品锆石粒度稍粗,晶形呈柱状、板柱状,环带较宽(图3),应为岩浆锆石。

TW2078样品采于桂东县桥头镇,坐标东经114°06'16",北纬26°08'50"。主要岩性为中粗粒斑状黑云母二长花岗岩。斑晶含量10%~15%,主要为钾长石,其次为由多粒石英聚集在一起的石英聚晶。基质以中粗粒为主。钾长石呈柱状、板柱状,斑晶内包含有斜长石、石英、黑云母晶体,个别还有

钾长石晶粒,有些在斑晶边部呈环圈状规则嵌布,具卡氏双晶和格子状双晶;钠长石条纹发育,呈线纹状、斑块状、云朵状,部分明显为交代成因;斜长石呈柱状,为更长石(An=26),大多具环带结构。黑云母呈片条状,Ng为暗褐色,Np为浅褐黄色。白云母呈板片状,片径大小2~4 mm,少数交代黑云母和长石。副矿物达25种以上,平均含量52 g/t,主要副矿物组合为钛铁矿、锆石、磷灰石和电气石,其次是微量的石榴石、白钨矿及铌钽铁矿。锆石以普通锆石为主,含量较高,达37.57 g/t,褐色-浅褐色,裂纹发育,透明度差,多为半透明。晶体形态有两种,一是由柱面(110)、(100)和锥面(111)、偏锥面(131)、(311)组成复杂晶体;另一种晶形简单。在锆石CL图上,部分锆石裂纹较发育,环带较模糊(图4)。

TW601-65样品采于桂东县东洛镇,坐标东经113°51'59",北纬25°46'55"。主要岩性为中粒少斑状二云母二长花岗岩,似斑状结构,块状构造。斑晶含量5%左右,主要成分为钾长石、斜长石及石英。钾长石斑晶呈柱状及板柱状,具卡氏双晶,部分具格子状双晶,微纹发育,呈斑块状,线纹状及补丁状。斜长石斑晶呈板柱状,环带发育。石英斑晶呈它形粒状,见波状消光等变形亚颗粒,边缘因基质矿物突入而显不整齐,粒度大小在5~6 mm。基

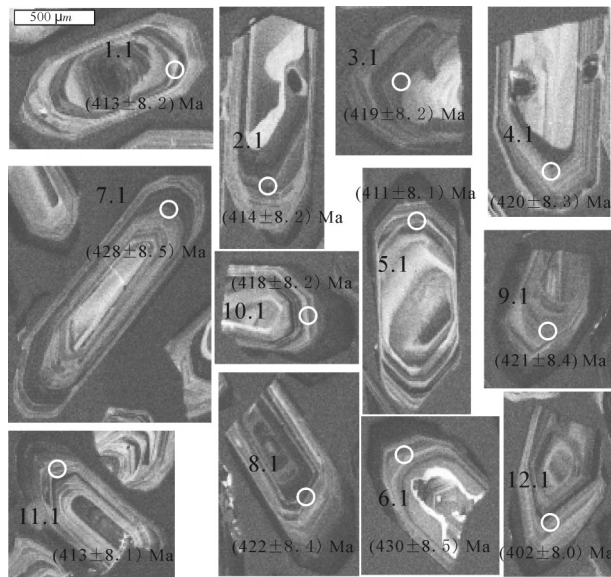


图2 样品TW2242锆石CL图及年龄值
Fig.2 CL image of zircons from TW2242

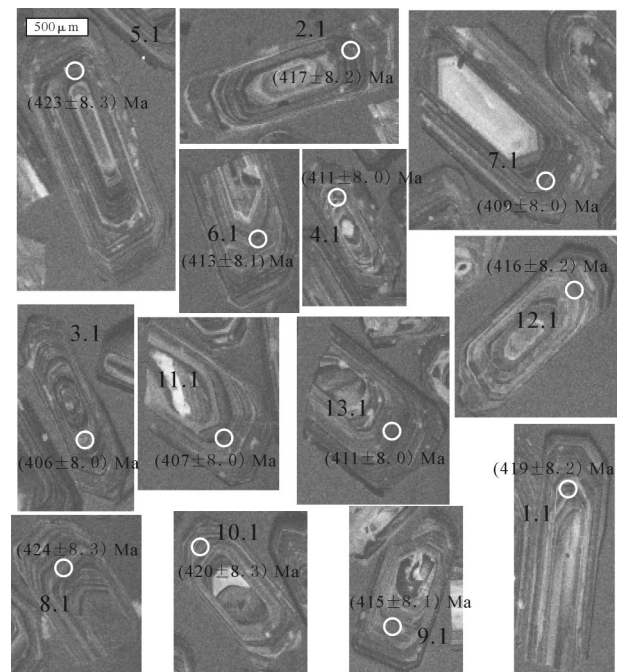


图3 样品TW601-57锆石CL图及年龄值
Fig.3 CL image of zircons from TW601-57

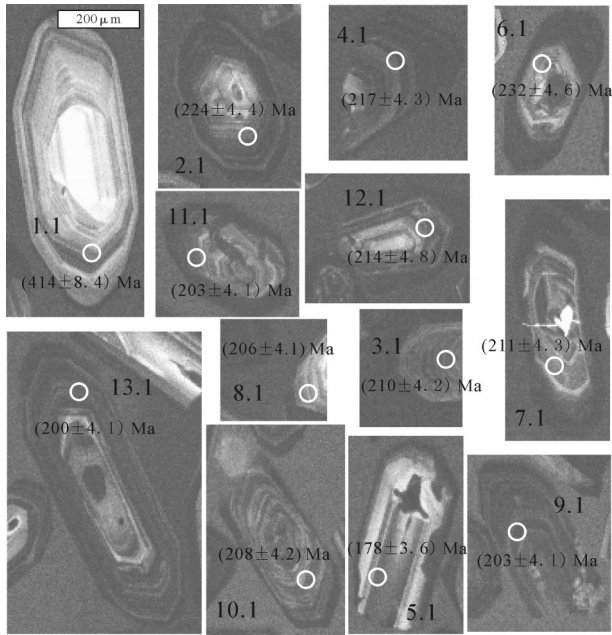


图4 样品TW2078锆石CL图及年龄值
Fig.4 CL image of zircons from TW2078

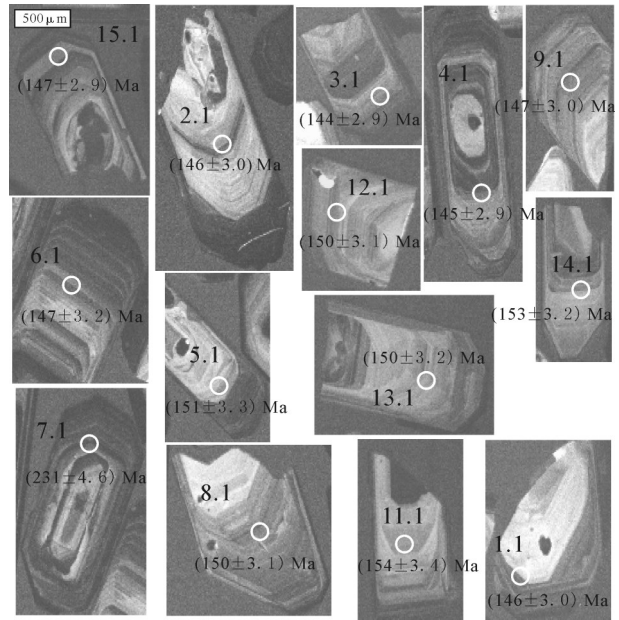


图5 样品TW601-65锆石CL图及年龄值
Fig.5 CL image of zircons from TW601-65

质具中粒花岗结构或显微文象结构,由微斜微纹长石、斜长石、石英、黑云母、白云母等组成。斜长石呈半自形柱状,具环带2~3环,内部常沿解理出现白云母-绢云母化;石英呈他形粒状,常为连晶,具波状消光;黑云母呈他形-半自形板片状或为聚晶,蚀变后成白云母和绿泥石;白云母呈板状,常交代黑云母。岩体中含有暗色微粒包体,但数量少,个体小,近圆形,成分大多数为闪长质。岩石中副矿物达十多种,主要有磷灰石、黑钨矿、变生锆石和晶质铀矿,占总量的90%以上。以组合复杂、变化大,挥发分矿物、稀有、稀土和铀钍矿物组合为特征。锆石无色透明,少部分呈浅淡黄色,短柱状晶形,环带较清楚,具岩浆锆石特征(图5)。

4 分析方法

样品均采自于新鲜基岩。用常规的人工方法分选出锆石单矿物,在双目镜下挑选出无裂隙、无包裹体、干净透明、晶型完好的锆石。然后与标准锆石 TEM(417Ma)一起制作成环氧树脂制靶。详细的制靶方法见宋彪等(2002)和陈必河等(2007)介绍。CL图像在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完成。锆石U-Th-Pb同位素测年在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成。分析原理及

流程见宋彪等(2002)。原始数据计算和U-Pb谐和图绘制使用SQUID(1.02)和ISOPLLOT程序。普通铅根据实测 ^{204}Pb 进行校正。诸广山北体花岗岩 SHRIMP U-Pb 测年共4个样品,分析结果列入表1。

5 分析结果

从表1可以看出4个样品具有如下特点:

TW2242样品共分析了12个点,在谐和图上集中分布于一致曲线上下或附近(图6), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为408~468 Ma,加权平均值(417.3±4.8)Ma($n=12$, MSWD=0.84)。表明岩体形成于晚志留世。

TW601-57样品共分析了13个点,在谐和图上集中分布于一致曲线上下或附近(图7), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为406~423 Ma,加权平均值(414.5±4.5)Ma($n=13$, MSWD=0.52),与TW2242样品测年结果(417.3±4.8)Ma相吻合,为晚志留世产物。

TW2078样品共分析了14个点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为178~414 Ma。其中,78-1.1 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄达414 Ma,明显离群于其他锆石年龄,应为加里期的捕虏锆石。其中1.1点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄224 Ma,78-6.1 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄232 Ma,年龄值偏大,可能与测试点偏锆石中心,有老锆石成分的参与有关。78-5.1 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄178 Ma,可能是测试点太靠锆石边

表 1 塔广山北体花岗岩锆石 SHRIMP U-Th-Pb 同位素分析结果
 Table 1 SHRIMP zircon U-Th-Pb isotopes results for the granitic plutons of the northern Zhuguangshan composite

测点号	含量/ 10^{-6}		同位素比值				表面年龄/Ma							
	U	Th	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	%	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	(1σ)	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	(1σ)	
TW2242-1.1	320	67	0.22	1.8	0.496	2.7	0.0661	2.1	412.9	8.2	386	40	412	17
TW2242-2.1	436	126	0.30	1.4	0.505	2.5	0.0663	2.0	413.9	8.2	422	32	416	12
TW2242-3.2	520	43	0.09	1.2	0.502	2.4	0.0671	2.0	418.7	8.2	382	27	409	19
TW2242-4.1	651	84	0.13	0.89	0.510	2.2	0.0672	2.0	419.5	8.3	414	20	436	13
TW2242-5.1	506	164	0.33	2.0	0.512	2.9	0.0658	2.0	410.8	8.1	468	45	441	15
TW2242-6.1	311	50	0.17	1.4	0.525	2.5	0.0690	2.1	430.3	8.5	418	31	445	15
TW2242-7.1	385	124	0.33	2.2	0.517	3.0	0.0686	2.0	428.0	8.5	398	50	434	16
TW2242-8.1	358	170	0.49	1.5	0.510	2.5	0.0676	2.0	421.9	8.4	398	34	429	11
TW2242-9.1	308	42	0.14	2.0	0.519	2.9	0.0675	2.1	421.0	8.4	442	45	411	25
TW2242.10.1	437	74	0.17	1.5	0.495	2.5	0.0670	2.0	417.8	8.2	354	34	436	18
TW2242.11.1	658	522	0.82	1.3	0.508	2.4	0.0662	2.0	413.4	8.1	437	30	408	9
TW2242.12.1	385	48	0.13	1.5	0.489	2.5	0.0644	2.1	402.4	8.0	417	33	413	28
TW601-57-1.1	712	248	0.36	1.6	0.513	2.6	0.0671	2.0	418.7	8.2	432	37	407	12
TW601-57-2.1	1071	317	0.31	1.3	0.506	2.4	0.0669	2.0	417.3	8.2	408	28	412	11
TW601-57-3.1	901	280	0.32	2.2	0.497	3.0	0.0651	2.0	406.4	8.0	426	49	401	14
TW601-57-4.1	616	315	0.53	1.0	0.498	2.3	0.0658	2.0	410.6	8.0	408	23	405	10
TW601-57-5.1	490	113	0.24	1.2	0.525	2.4	0.0679	2.0	423.4	8.3	456	28	465	13
TW601-57-6.1	738	216	0.30	0.82	0.507	2.2	0.0662	2.0	413.3	8.1	433	18	419	10
TW601-57-7.1	1504	448	0.31	1.4	0.494	2.4	0.0654	2.0	408.5	8.0	405	31	402	10
TW601-57-8.1	813	301	0.38	0.91	0.526	2.2	0.0680	2.0	423.9	8.3	456	20	437	10
TW601-57-9.1	714	213	0.31	1.1	0.503	2.3	0.0665	2.0	414.7	8.1	408	25	413	10
TW601-57-10.1	1002	175	0.18	0.85	0.519	2.2	0.0673	2.1	419.6	8.3	450	19	420	11
TW601-57-11.1	812	245	0.31	1.1	0.494	2.3	0.0651	2.0	406.7	8.0	414	26	399	10
TW601-57-12.1	451	136	0.31	1.7	0.500	2.6	0.0668	2.0	416.7	8.2	383	37	419	13
TW601-57-13.1	1059	260	0.25	1.0	0.497	2.3	0.0659	2.0	411.3	8.0	400	24	409	10

续表1

测点号	含量/ 10^{-6}		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		同位素比值		表面年龄/Ma							
	U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$	%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	(1σ)				
TW2078-1.1	600	43	34.1	0.07	0.05750	1.8	0.525	2.8	0.0663	2.1	413.6	8.4	39	527	46	
TW2078-2.1	3912	177	120	0.05	0.04970	2.2	0.2420	2.9	0.03535	2.0	223.9	4.4	179	50	195	39
TW2078-3.1	1056	309	29.9	0.30	0.05180	3.0	0.2362	3.6	0.03304	2.0	209.5	4.2	279	69	215	10
TW2078-4.1	3368	158	99.1	0.05	0.05071	0.90	0.2397	2.2	0.03429	2.0	217.3	4.3	227	21	229	14
TW2078-5.1	664	990	16.0	1.54	0.04995	1.5	0.1933	2.5	0.02807	2.0	178.4	3.6	193	35	174	4
TW2078-6.1	2005	307	63.4	0.16	0.05010	1.7	0.2534	2.6	0.03669	2.0	232.3	4.6	200	40	218	10
TW2078-7.1	621	184	17.8	0.31	0.05240	6.1	0.240	6.4	0.03326	2.1	210.9	4.3	302	138	226	19
TW2078-8.1	905	258	25.3	0.29	0.05213	1.3	0.2338	2.4	0.03253	2.0	206.4	4.1	291	31	209	6
TW2078-9.1	1926	388	52.8	0.21	0.05175	1.7	0.2282	2.6	0.03198	2.0	202.9	4.0	274	38	210	8
TW2078-10.1	1255	493	35.3	0.41	0.05360	2.3	0.2426	3.1	0.03281	2.0	208.1	4.2	356	53	234	7
TW2078-11.1	1183	232	32.4	0.20	0.05390	2.7	0.2381	3.3	0.03203	2.0	203.2	4.1	368	60	222	12
TW2078-12.1	3439	861	112	0.26	0.05790	15	0.269	15	0.03372	2.3	213.8	4.8	525	331	258	82
TW2078-13.1	1929	198	52.0	0.11	0.05170	2.9	0.2239	3.5	0.03143	2.1	199.5	4.1	270	66	230	22
TW2078-14.1	2288	317	64.0	0.14	0.05141	0.97	0.2311	2.2	0.03260	2.0	206.8	4.1	259	22	213	7
TW601-65-1.1	707	327	13.9	0.48	0.04800	3.6	0.1513	4.1	0.02288	2.1	145.8	3.0	97	84	147	5
TW601-65-2.1	533	260	10.5	0.50	0.04620	3.5	0.1457	4.1	0.02288	2.1	145.8	3.0	6	85	142	5
TW601-65-3.1	840	392	16.3	0.48	0.05078	1.5	0.1586	2.6	0.02265	2.1	144.4	2.9	231	35	151	4
TW601-65-4.1	1041	560	20.4	0.56	0.04830	2.4	0.1517	3.2	0.02276	2.0	145.1	2.9	116	57	146	4
TW601-65-5.1	246	120	5.02	0.50	0.04730	6.0	0.1545	6.4	0.02369	2.2	150.9	3.3	64	142	147	8
TW601-65-6.1	884	392	17.5	0.46	0.04964	1.6	0.1574	2.7	0.02300	2.2	146.6	3.2	178	38	147	4
TW601-65-7.1	1397	309	43.8	0.23	0.05265	1.6	0.2651	2.6	0.03652	2.0	231.2	4.6	314	38	162	8
TW601-65-8.1	412	208	8.34	0.52	0.05020	2.1	0.1633	3.0	0.02360	2.1	150.3	3.1	204	49	152	4
TW601-65-9.1	458	221	9.12	0.50	0.04840	2.9	0.1543	3.5	0.02311	2.1	147.3	3.0	120	67	147	5
TW601-65-11.1	224	94	4.67	0.43	0.04530	8.3	0.151	8.6	0.02415	2.2	153.8	3.4	-37	201	145	12
TW601-65-12.1	355	163	7.22	0.47	0.04580	2.7	0.1486	3.5	0.02355	2.1	150.0	3.1	-15	66	141	5
TW601-65-13.1	303	158	6.14	0.54	0.04580	5.3	0.1483	5.7	0.02348	2.1	149.6	3.2	-13	127	144	7
TW601-65-14.1	226	105	4.66	0.48	0.04900	3.1	0.1620	3.7	0.02396	2.1	152.6	3.2	150	72	161	6
TW601-65-15.1	1030	387	20.4	0.39	0.04720	2.5	0.1496	3.2	0.02299	2.0	146.6	2.9	59	59	144	5

注:表内单个数据点误差为 1σ 。

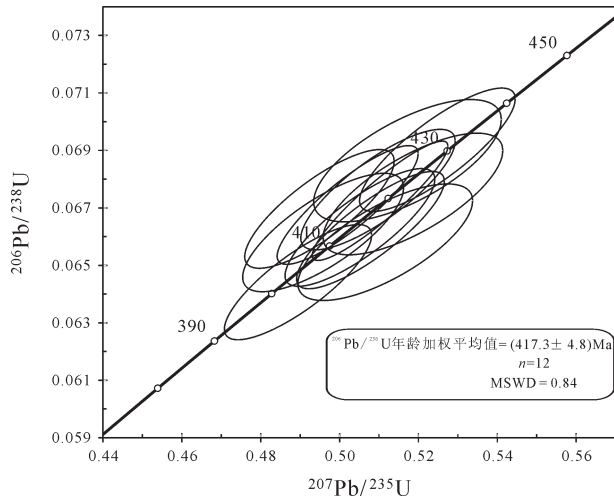


图6 TW2242 锆石 U-Pb 年龄图
Fig.6 U-Pb concordia diagram of zircons from TW2242

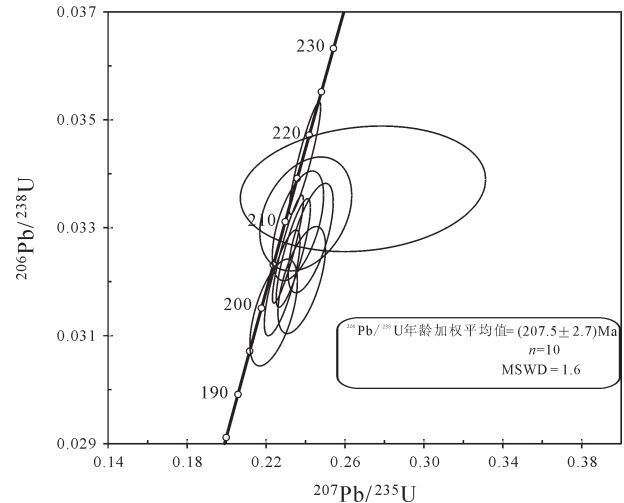


图8 TW2078 锆石 U-Pb 谐和图
Fig.8 U-Pb concordia diagram of zircons from TW2078

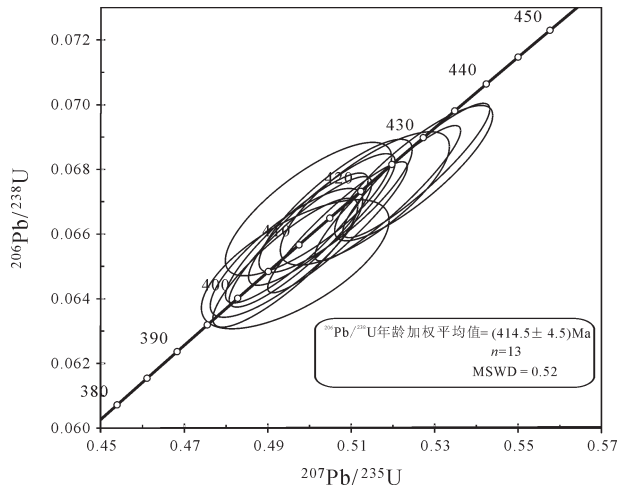


图7 TW601-57 锆石 U-Pb 谐和图
Fig.7 U-Pb concordia diagram of zircons from TW601-57

缘或边缘有一圈后期次生边,使锆石年龄值偏小。排除以上4个锆石测年点年龄值后,其余10个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为200~217Ma,在一致曲线图上集中分布于一致曲线上下或附近(图8),加权平均值 $(207.5\pm 2.7)\text{Ma}$ ($n=10$, $\text{MSWD}=1.6$),形成于晚三叠世,属印支期的产物。

TW601-65样品共分析了14个点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为144.4~231.2Ma。其中,65-7.1点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄达231Ma,明显离群于其它锆石年龄之外,应为印支期的俘虏锆石。除该点不参加年龄加权平均值计算,其余13个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为144.4~152.6

Ma,在一致曲线图上集中分布于一致曲线上下或附近(图9),加权平均值 $(148.2\pm 1.7)\text{Ma}$ ($n=13$, $\text{MSWD}=0.93$),表明岩体形成于晚侏罗世。

6 讨论

6.1 岩体形成时代与期次划分

野外观察和同位素测年结果表明,诸广山北体为由加里东期、印支期、燕山期岩石组成的复式岩体(彭雨春等,2011;陈迪等,2013;王磊等,2013;张义平等,2015)。前人虽然对花岗岩进行了多种方法的测年,但这些方法多存在不同的局限性,测年结果相差较大,甚至有些测年结果不能代表岩体的形成年龄。本文对不同时代花岗岩分别采集了4件锆石样品测年。锆石晶形较完整,在CL图像中,生长环带较清楚(图2、3、4、5),具有典型的岩浆结晶锆石特征(陈鸣,1989;赵逸志等,2013),所测样品的数据点大部分位于U-Pb谐和曲线或附近,数据可靠,代表岩体形成年龄,并明显分为3期。

(1)加里东期花岗岩:前人根据岩性差异和测年资料^①,将该期岩体分为桂东岩体和寨前岩体及东洛岩体。其中,桂东岩体主要岩性为石英闪长岩-花岗闪长岩,锆石U-Pb年龄为451~420Ma,认为岩体形成于早志留世,归属为桂东超单元。东洛岩体主体岩性为花岗闪长岩,锆石U-Pb年龄414~436Ma。寨前岩体由4个侵入次组成,主体岩性为二长花岗岩,锆石U-Pb年龄411~440Ma。根据测

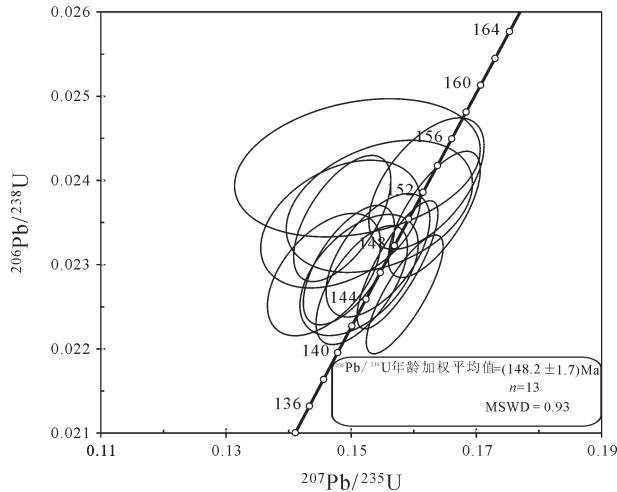


图9 TW601-65 锆石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 9 U-Pb age concordia diagram of zircons from TW601-65

年结果,前人将寨前岩体及东洛岩体形成时代定为中志留世。显然,上述测年结果数据变化较大,涵盖志留纪整个时期。造成测年数据变化较大的可能原因是测年样品中混入老锆石(继承性锆石),这与本文在挑锆石样品时,发现有不少继承性锆石的结果是一致的。本文采用锆石微区原位离子探针方法,分别对桂东岩体和寨前岩体 SHRIMP U-Pb 测年,结果分别为(417.3±4.8)Ma(样号 TW2242)和(414.5±4.5)Ma(样号 TW601-57),二者年龄相近,表明岩体均形成于晚志留世,而非前人所划分的岩体分别形成于早、中志留世。

(2)印支期花岗岩:已往在该期大洞岩体测得锆石 U-Pb 年龄为 220~233 Ma。本次测得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(207.5±2.7)Ma,岩体形成于晚三叠世末期。与前人测年结果差异较大,这可能与前人测年样品中混入有老锆石而又未剔除有关。与同期的邻近岩体,王仙岭岩体(235±1.3)Ma(郑佳浩等,2012),锡田岩体(228±2.5)Ma、(230±2.3)Ma(马铁球等,2005;付建明等,2009)相比,显然,大洞岩体形成时代较上述岩体晚大约 20 Ma。

(3)燕山期花岗岩:燕山期是南岭地区重要的成矿时期,与成矿关系十分密切。前人对该地区燕山期花岗岩进行了大量的测年研究,其中锆石 U-Pb 年龄为 161~136 Ma^①。本次锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(148.2±1.7)Ma。与铜山岭花岗岩体(147±4)Ma(魏道芳等,2007)等各测年数据相近。而比锡

田岩体内的小岩体测年结果(156±1.7)Ma(马铁球等,2005)、九嶷山燕山期花岗岩(156±2、157±1)Ma(付建明等,2004)稍晚,其形成时代为晚侏罗世。

6.2 地质意义

长期以来,该研究区花岗岩形成时代,一直是地质工作者关注和存在较大分歧的问题。20 世纪初,因工作程度低,测试手段有限,认为诸广山北体形成于燕山期。20 世纪 70 年代,湖南省地质局区测队在 1:20 万区调时,发现部分岩体与中泥盆统跳马涧组呈沉积接触关系,结合同位素年龄和岩体间的接触关系,诸广山北体分解为加里东期花岗岩和燕山期花岗岩(陈必河等,2004;马铁球等,2009;刘勇等,2010)。20 世纪 80 年代末,湖南省地矿局区测队在该地区进行 1:5 万区调时,根据岩体间的接触关系和同位素测年,发现了印支期花岗岩的存在。期间,又有部分学者和单位,对诸广山北体花岗岩岩石学和地球化学及花岗岩的形成年代进行了研究。但以往的花岗岩的测年方法,主要采用微量锆石 U-Pb 法、K-Ar 法、Ar-Ar 法、Rb-Sr 和 Sm-Nd 法,测年结果相差较大,甚至在同一采样位置上,因测年方法不一致,而出现不同的测年结果。本次采用高精度锆石微区离子探针测年,极大地提高了该岩体不同时代花岗岩的测年精度和可信度,确定了加里东期、印支期和燕山期花岗岩的形成年龄,为该地区构造-岩浆演化及地质找矿研究,提供了可靠的花岗岩年龄资料。

7 结 论

通过野外地质调查,结合前人资料,根据花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果,得出如下认识:

(1)诸广山北体为多期次岩浆活动组成的复式岩体,经历了加里东期、印支期和燕山期 3 期岩浆活动。高精度的锆石 SHRIMP U-Pb 测年资料,为该地区花岗岩的形成时代,提供了可靠的年龄证据。

(2)加里东期桂东岩体花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(417.3±4.8)Ma。东洛岩体花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄结果为(414.5±4.5)Ma,表明岩体均形成于晚志留世,而非形成于早、中志留世。

(3)印支期大洞岩体中粗粒斑状黑云母二长花岗岩,锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(207.5±2.7)Ma,形

成于晚三叠世末期。

(4)燕山期广南岩体中粒少斑状二云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(148.2±1.7)Ma, 形成时代为晚侏罗世。

致谢:成文过程中,中国地质科学院矿产资源所陈郑辉博士进行了指导,北京离子探针中心提供了帮助,编辑部老师对本文进行了认真审稿,提出了中肯意见,在此一并表示衷心感谢。

注释

①湖南省地质矿产局区域地质调查所. 1989. 1:5 万桂东—沙田幅区域地质调查报告[R]. 42-49.

References

- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, Wang Xianhui. 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A type granitic pluton, Southeast Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 255-272(in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Jia Baohua, Ma Tieqiu, Wang Xianhui, Zhang Xiaoyang, Chen Bihe. 2007a. Relationship of petro-geochemical characteristics to metallogenic capacity differences between Indosinian and Early Yanshanian granites in southeastern Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(5): 387-398(in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Zhou Liang, Ma Tieqiu, Wang Xianhui. 2007b. Genesis and tectonic setting of Indosinian granites in southeast Hunan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(3): 197-212 (in Chinese with English abstract).
- Chen Bihe, Jia Baohua, Liu Yaorong, Peng Xuejun, He Chunping. 2004. Sm-Nd isochron age of spinel-lherzolite xenoliths from Mesozoic volcanic rocks in the South Hunan and its geological significance[J]. *Geological Review*, 50(2): 180-183 (in Chinese with English abstract).
- Chen Bihe, Luo Zhaohua, Jiaobaohua, Liu Wei, Wei Yang, Han Yigui. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of igneous rocks from southern margin of the Alataw mountains, Xinjiang, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1756-1764(in Chinese with English abstract).
- Chen Bihe, Xiao Donggui, Zhou Guoxiang. 2001. Geological characteristics and related mineralization of the Shaoyang-Chenzhou granite belt in southern Hunan Province[J]. *Geological and Mineral Resources of South China*, (4): 58-61(in Chinese with English abstract).
- Chen Di, Ma Aijun, Liu Wei, Liu Yaorong, Ni Yanjun. 2013. Research on U-Pb chronology in Xitian Pluton of Hunan Province[J]. *Geoscience*, 27(4): 819-830(in Chinese with English abstract).
- Chen Ming. 1989. A preliminary study on the typomorphic characteristics of zircons in the middle segment of south Zuguangshan granite complex[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 9(3): 269-275(in Chinese with English abstract).
- Chen Weifeng, Chen Peirong, Zhou Xinmin, Huang Hongye, Ding Xing, Sun Tao. 2007. Single zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the Guandimiao and Wawutang granitic plutons in Hunan, south China and its petrogenetic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 81(1): 81-89.
- Cheng Shunbo, Fu Jianming, Ma Liyan, Jiang Guixi, Chen Xiqing, Lu Youyue, Tong Xirun. 2013. Indosinian metallogenic activity in Yuechengling-Miaoershan area, northeastern Guangxi: implications from zircon U-Pb ages and Hf isotopic constraint on ore-forming granites in Youmaling and Jiepai deposits[J]. *Geology in China*, 40(4): 1189-1201(in Chinese with English abstract).
- Den Fangling. 1987. Isotopic Geochronology of the southern Zhuguangshan granite batholith[J]. *Geochimica*, (2): 141-152(in Chinese).
- Deng Ping, Ren Jishun, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Sun Liqiang, Zhu Ba, Tan Zhengzhou. 2011. Yanshanian granite batholiths of Southern Zhuguang Mountain: SHRIMP Zircon U-Pb dating and tectonic implications[J]. *Geological Review*, 57(6): 881-888(in Chinese with English abstract).
- Deng Ping, Ren Jishun, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Sun Liqiang, Zhu Ba, Tan Zhengzhou. 2012. Indosinian granite batholiths of Southern Zhuguang Mountain: SHRIMP zircon U-Pb dating and tectonic implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 57(14): 1231-1241(in Chinese).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, Zhang Yeming, Peng Songbai. 2004. Shrimp U-Pb zircon dating of the Jiuyishan composite granite in Hunan and its geological significance[J]. *Geotectonics et Metallogenia*, 28(4): 370-378(in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Wu Shichong, Xu Deming, Ma Liyan, Cheng Shenbo, Chen Xiqing. 2009. Reconstraint from zircon SHRIMP U-Pb dating on the age of Magma intrusion and mineralization in Xitian Tungsten-tin Polymetallic Orefield, Eastern Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 1-7(in Chinese with English abstract).
- Granitoid Research Group of Nanling Project. 1989. *Geology of granitoids of Nanling Range and their petrogenesis and mineralization*[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Hua Renmig, Mao Jingwen. 1999. A preliminary discussion on the mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 300-308(in Chinese with English abstract).
- Hunan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. 1988. *Regional Geology of Hunan Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Hunan Institute of Regional Geological Survey. 1995. *The mineralization property and units-superunits partition of the*

- granitic in Hunan Province[J]. Beijing: Geology of Hunan, 8 (supp.): 1-84 (in Chinese).
- Liu Yong, Xiao Qinghui, Geng Shufang, Wang Xiaoxia, Chen Bihe. 2010. Magmatic mingling origin of adamellite: zircon U-Pb dating and Hf isotopes evidence of microgranular dioritic enclaves and host rocks from Yangtianhu adamellite of Qitianling, South China[J]. Geology in China, 37(4): 1081-1091 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1999. User's manual for Isoplot/Ex, Version 206: a geochronological toolkit for microsoft excel[M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 1a:49.
- Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, Kuang Jun, Wang Xianhui. 2005. Zircon SHRIMP dating of the Xitian granite pluton, Chaling, South-eastern Hunan and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 24(5): 415-419 (in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Chen Lixin, Bai Daoyuan, Zhou Kejun, Li Gang, Wang Xianhui. 2009. Zircon SHRIMP dating and geochemical characteristics of Neoproterozoic granites in southeastern Hunan[J]. Geology in China, 36(1): 65-73(in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Kuang Jun, Bai Daoyuan, Wang Xianhui. 2006. Geochemical characteristics and tectonic setting of the Early Yanshanian South Zhuguangshan granite in the central segment of the Nanling Mountains[J]. Geology in China, 33(1): 119-131 (in Chinese with English abstract).
- Peng Yuchun, Ma Tieqiu, Li Yingqi, Zhou Kejun, Bai Daoyuan. 2011. Zircon SHRIMP dating and geochemical characteristics of Taohuashan granites in Huarong County, northern Hunan [J]. Geology in China, 38(2): 271-281 (in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, Jian Ping. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP Dating [J]. Geological Review, 48(Supp.): 26-30 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lei, Long Wenguo, Zhou Dai. 2013. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of Caledonian granites from Precambrian basement in Yunkai area and its geological implications[J]. Geology in China, 40(4): 1016-1029 (in Chinese with English abstract).
- Wei Daofan, Bao Zhengyu, Fu Jianming. 2007. Geochemical characteristics and zircon SHRIMP U-Pb dating of the Tongshang granite in Hunan Puovince, South China[J]. Geotectonics et Metallogenia, 31(4): 482-489 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guangying, Ma Tieqiu, Feng Yanfang, Yan Quanren, Liu Fuguo, Bai Daoyuan. 2008. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Caledonian Wanyangshan granite in the Nanling Mountains, South China[J]. Geology in China, 35(4): 608-617 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guangying, Pan Zhongfang, Li Jindong, Xiao Qinghui, Che Qianjian. 2005. Geological and geochemical characteristics of the Dayishan granitoids in southern Hunan and their relations to mineralization[J]. Geology in China, 32(3): 434-442(in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Deng Jinfu, Li Yandong, Mo Xuanxue, Hong Dawei, Lu Xinxiang, Wang Tao, Wu Fuyuan, Xie Caifu. 2005. Granitoids and continental crustal growth modes in China[J]. Geology in China, 32(3): 343-352(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yiping, Zhang Jing, Chen Bihe, Wang Zongxiu, Zhang Beihang, Zhao Heng. 2015. Geochronology of Baimashan granitic composite batholith of Hunan Province and its constraints on the timing of regional deformation [J]. Acta Geologica Sinica, 89(1): 1-17 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yizhi, Chen Bingfang. 2013. Discussion on geology of Guidong-Zhuguangshan massif and U-Pb Age of zircon. 35(2): 72-76(in Chinese with English abstract).
- Zheng Jia, Guo Chunli. 2012. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotopes of the Wangxianling granitic intrusion in South Hunan Province and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(1): 75-90(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 柏道远, 陈建超, 马铁球, 王先辉. 2005. 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[J]. 岩石矿物学杂志, 24(4): 255-272.
- 柏道远, 贾宝华, 马铁球, 王先辉, 张晓阳, 陈必河. 2007a. 湘东南印支期与燕山早期花岗岩成矿能力差异与岩石地球化学特征关系探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 26(5): 387-398.
- 柏道远, 周亮, 马铁球, 王先辉. 2007b. 湘东南印支期花岗岩成因及构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 26(3): 197-212.
- 陈必河, 贾宝华, 刘耀荣, 彭学军, 贺春平. 2004. 湘南中生代火山岩中尖晶石二辉橄榄岩包体 Sm-Nd 等时线年龄及地质意义[J]. 地质论评, 50(2): 180-183.
- 陈必河, 罗照华, 贾宝华, 刘伟, 魏阳, 韩以贵. 2007. 新疆阿拉套山南缘岩体锆石 SHRIMP 年代学研究[J]. 岩石学报, 23(7): 1756-1764.
- 陈必河, 肖冬贵, 周国祥. 2001. 湖南邵阳—郴州北西向构造带花岗岩成岩与成矿[J]. 华南地质与矿产, (4): 58-61.
- 陈迪, 马爱军, 刘伟, 刘耀荣, 倪艳军. 2013. 湖南锡田花岗岩体锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 现代地质, 27(4): 819-830.
- 陈鸣. 1989. 诸广山岩体南体中段花岗岩类锆石标型特征初步研究[J]. 矿物学报, 9(3): 269-275.
- 程顺波, 付建明, 马丽艳, 蒋桂新, 陈希清, 卢友月, 童喜润. 2013. 桂东北越城岭—苗儿山地区印支期成矿作用: 油麻岭和界牌矿区成矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J]. 中国地质, 40(4): 1189-1201.
- 邓访陵. 1987. 诸广山花岗岩复式岩基南部的同位素地质年代学[J]. 地球化学, (2): 141-152.
- 邓平, 任纪舜, 凌洪飞, 沈渭洲, 孙立强, 朱捌, 谭正中. 2011. 诸广山

- 南体燕山期花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地质论评, 57(6): 881-888.
- 邓平, 任纪舜, 凌洪飞, 沈渭洲, 孙立强, 朱捌, 谭正中. 2012. 诸广山南体印支期花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 科学通报, 57(14):1231-1241.
- 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系[M]. 北京: 地质出版社.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 2004. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 28(4): 370-378.
- 付建明, 伍式崇, 徐德明, 马丽艳, 程顺波, 陈希清. 2009. 湘东锡田钨锡多金属矿区成岩成矿时代的再厘定[J]. 华南地质与矿产, (3): 1-7.
- 湖南省地质矿产局. 1995. 湖南省单元-超单元划分及其成矿专属性[J]. 湖南地质(增刊): 1-84.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 18(4): 300-308.
- 刘勇, 肖庆辉, 耿树方, 王晓霞, 陈必河. 2010. 骑田岭花岗岩体的岩浆混合成因: 寄主岩及其暗色闪长质微细粒包体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据[J]. 中国地质, 37(4): 1081-1091.
- 马铁球, 柏道远, 邝军, 王先辉. 2005. 湘东南茶陵地区锡田岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 24(5): 415-419.
- 马铁球, 陈立新, 柏道远, 周柯军, 李纲, 王先辉. 2009. 湘东北新元古代花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 中国地质, 36(1): 65-73.
- 马铁球, 邝军, 柏道远, 王先辉. 2006. 南岭中段诸广山南体燕山早期花岗岩地球化学特征及其形成的构造环境分析[J]. 中国地质, 33(1): 119-131.
- 彭雨春, 马铁球, 李英奇, 周柯军, 柏道远. 2011. 湘北华容地区桃花山花岗岩体年代学及地球化学特征[J]. 中国地质, 38(2): 271-281.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26-30.
- 王磊, 龙文国, 周岱. 2013. 云开地区加里东期花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 40(4): 1016-1029.
- 魏道芳, 鲍征宇, 付建明. 2007. 湖南铜山岭花岗岩体的地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年[J]. 大地构造与成矿学, 31(4): 482-489.
- 伍光英, 马铁球, 冯艳芳, 闫全人, 刘富国, 柏道远. 2008. 南岭万洋山加里东期花岗岩地质地球化学特征及其成因[J]. 中国地质, 35(4): 608-617.
- 伍光英, 潘仲芳, 李金冬, 肖庆辉, 车勤建. 2005. 湘南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 中国地质, 32(3): 434-442.
- 肖庆辉, 邱瑞照, 邓晋福, 李延栋, 莫宣学, 洪大卫, 卢欣详, 王涛, 吴福元, 谢才富. 2005. 中国花岗岩与大陆地壳生长方式初步研究[J]. 中国地质, 32(3): 343-352.
- 张义平, 张进, 陈必河, 王宗秀, 张北航, 赵衡. 2015. 湖南白马山复式花岗岩基年代学及对区域构造变形时间的约束[J]. 地质学报, 89(1): 1-17.
- 赵逸志, 陈秉芳. 2013. 桂东一诸广山岩体地质、锆石 U-Pb 年龄探讨[J]. 甘肃冶金, 35(2): 72-76.
- 郑佳浩, 郭春丽. 2012. 湘南王仙岭花岗岩体的锆石 U-Pb 年代学、地球化学、锆石 Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 28(1): 75-90.