

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.208



浙西北地区晚中生代花岗岩的岩石成因

唐增才^{1,2}, 周汉文², 胡开明¹, 陈忠大¹, 吴小勇¹, 胡文杰^{1,2}
董学发¹, 赵旭东¹, 余盛强¹, 张建芳¹

1. 浙江省地质调查院, 浙江杭州 311203

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要:浙西北地区晚中生代处于环太平洋活动大陆边缘,区内岩浆侵入活动强烈,发育I型和铝质A型两类花岗岩,前者又分为低分异I型(简称I型)和高分异I型花岗岩两种,形成时限为中侏罗世—早白垩世早期(172~135 Ma),其中高分异I型花岗岩集中于早白垩世早期(147~135 Ma);铝质A型花岗岩形成于早白垩世中期(135~123 Ma)。同位素地球化学研究表明,中侏罗世—早白垩世早期I型花岗岩($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i值为0.707 004~0.711 896, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-6.70~-2.00, 锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为-5.08~-1.67, T_{DM}^{C} 值为1 162~1 358 Ma,系古太平洋板块俯冲挤压的构造环境下,少量幔源物质沿变向俯冲引起的板片裂隙(窗)与下地壳重熔岩浆混合作用的产物;晚侏罗世末期—早白垩世早期高分异I型花岗岩($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i为0.706 890~0.709 880, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-6.80~-4.50, 锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为-6.59~-5.23, T_{DM}^{C} 为1 350~1 423 Ma,是古太平洋板块撤离机制下挤压向伸展转换的产物,系软流圈上涌诱发的幔源基性岩浆与中元古代地壳物质的部分熔融形成长英质岩浆混合并经高程度分异演化形成;早白垩世中期铝质A型花岗岩($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i值为0.703 503~0.710 171, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-8.90~-0.30, 锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为-9.70~2.48, T_{DM}^{C} 值为734~1 593 Ma,为岩石圈持续减薄机制下,越来越多的幔源物质(或新生地壳)涌入深部长英质岩浆房混合形成。

关键词:动力学背景;岩石成因;地球化学;花岗岩;晚中生代;浙西北。

中图分类号: P51; P54; P59

文章编号: 1000-2383(2019)04-1278-17

收稿日期: 2018-04-12

Petrogenesis of Late Mesozoic Granites in Northwest Zhejiang

Tang Zengcai^{1,2}, Zhou Hanwen², Hu Kaiming¹, Chen Zhongda¹, Wu Xiaoyong¹, Hu Wenjie^{1,2},
Dong Xuefa¹, Zhao Xudong¹, Yu Shengqiang¹, Zhang Jianfang¹

1. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, China

2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The strong Late Mesozoic magmatic intruding events happened in Northwest Zhejiang area, which is located in the active western Pacific margin. The granites are classified as I- and aluminous A-types, and the former is further divided into I-type and highly fractionated I-type granites. The I-type granites of Mid-Late Jurassic to early Early Cretaceous(172-135 Ma) have the initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios ranging from 0.707 004 to 0.711 896, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values from -6.70 to -2.00, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values from -5.08 to -1.67, indicating that these granites are originated from mixing between remelted Meso-Neoproterozoic Jiangnan island arc and little mantle materials rose along slab crack. The formation of these granites may be closely related to the subduction of Paleo-Pacific plate. The highly fractionated I-type granites in the early Early Cretaceous(147-135 Ma) have the initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio ranging from 0.706 890 to 0.709 880, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values from -6.80 to -4.50, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values from -6.59 to -5.23, suggesting that they are the products of magma mixing by remelting crustal materials of the Meso-Neoproterozoic and rising

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(Nos. 1212011120834, 1212011220527, 12120114068901); 浙江省国土资源厅项目(Nos. 2007002, 2010001, 2014004)。

作者简介: 唐增才(1980-),男,高级工程师,长期从事基础地质及找矿工作。ORCID: 0000-0001-6160-2054. E-mail: zjgztzc@163.com

引用格式: 唐增才,周汉文,胡开明,等,2019.浙西北地区晚中生代花岗岩的岩石成因.地球科学,44(4):1278-1294.

mantle mafic magma due to asthenosphere uplifting. It also indicates that the tectonic environment transformed from compression to extension in this period. The A-type granites of middle Early Cretaceous(135–123 Ma) have the initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios ranging from 0.703 503 to 0.710 171, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values from -8.90 to -0.30, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values from -9.70 to 2.48, indicating that the magma during Middle-Early Cretaceous was mainly originated from remelting of the Meso-Neoproterozoic crustal materials, mixed by more and more mantle materials, in an extension setting.

Key words: tectonic dynamic setting; petrogenesis; geochemistry; granite; Late Mesozoic; Northwest Zhejiang.

浙西北地区晚中生代处于环太平洋活动大陆边缘, 岩浆侵入活动强烈, 与成矿作用关系密切. 近年来, 继建德岭后海底喷流沉积一后期热液改造型铜矿(贾少华等, 2014)、漓渚和闲林矽卡岩型钼铁矿(张建芳等, 2013; 唐增才等, 2014, 2016)之后, 地质找矿取得了持续进展, 新发现了常山岩前岩浆热液型钨锡矿(王科强, 2015)、开化桐村、淳安大铜坑斑岩型铜钨钼矿(邱骏挺等, 2011; Zeng *et al.*, 2012; 胡开明等, 2016)、银山中低温热液型银铅锌矿(何国

锦等, 2011; 胡逸洲等, 2013)、安吉港口矽卡岩型铜钨多金属矿(谢玉玲等, 2012a, 2012b; 唐燕文等, 2012, 2013)、临安千亩田岩浆热液型钨铍矿等中型矿床(黄国成等, 2012a, 2012b).

为进一步指导浙西北地区“十三五”地质找矿, 加强区内成矿地质条件的综合分析显得日趋重要, 尤其是晚中生代与成矿作用有关的花岗岩的研究总结更为迫切. 本文在收集整理区内晚中生代花岗岩调查研究资料的基础上, 综合岩石岩性岩相组合特

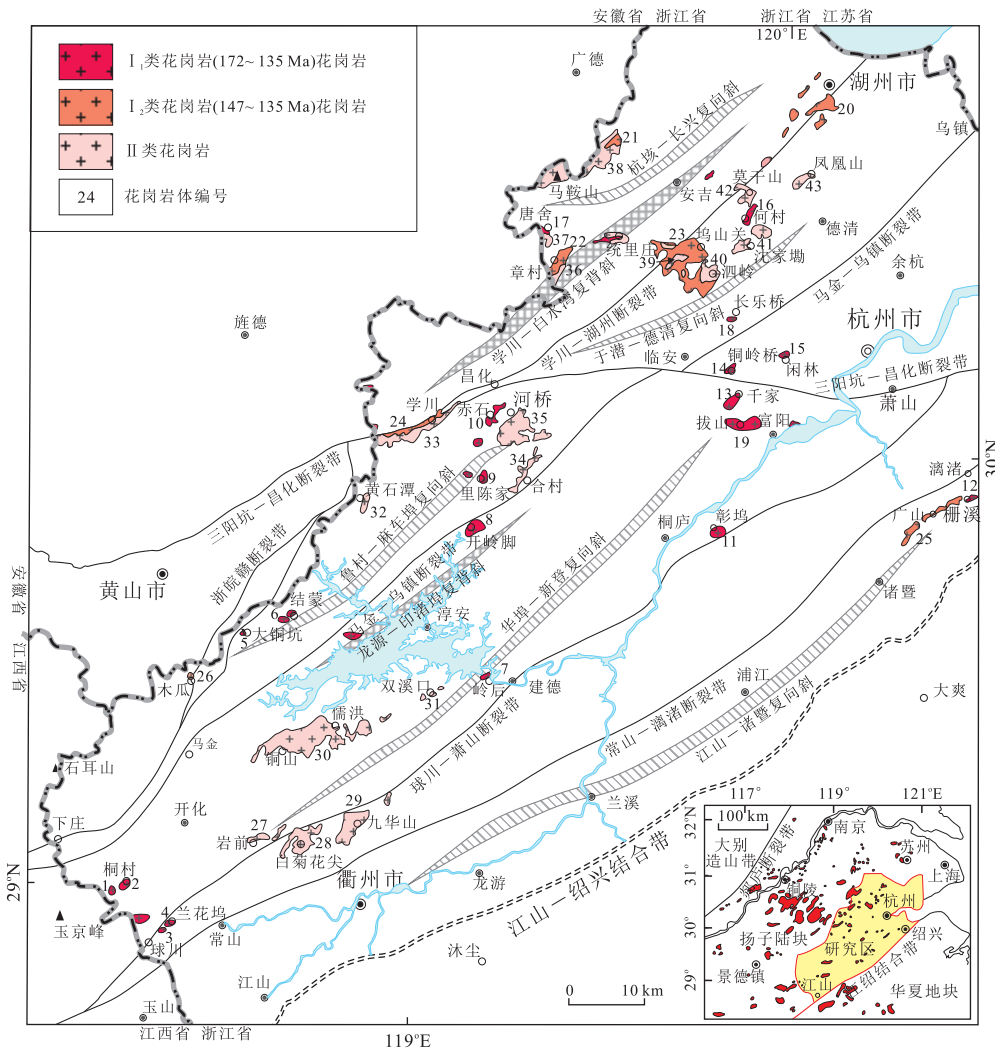


图 1 浙西北地区晚中生代花岗岩分布
Fig.1 Distribution of Late-Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

表 1 浙西北地区晚中生代花岗岩成岩年龄

Table 1 The formation age of the Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

成岩阶段及分类	岩体位置	编号	测试对象	成岩年龄(Ma)	测试方法	资料来源
中晚侏罗世—早白垩世早期	I 型 I ₁ 类	1	花岗斑岩	167.6~155.6	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	邱骏挺等,2011
		1	花岗斑岩	168.7~162.6	锆石 U-Pb SHRIMP	王科强,2015
		2	花岗闪长岩	165.7~162.1	锆石 U-Pb SHRIMP	王科强,2015
		3	花岗斑岩	172.0±3.4	锆石 U-Pb SHRIMP	浙江省第三地质大队 ^①
		4	花岗闪长岩	162.3±0.9	锆石 U-Pb SHRIMP	浙江省第三地质大队 ^①
		5	花岗闪长岩	148.3±1.9	锆石 U-Pb SHRIMP	胡开明等,2016
		6	花岗闪长岩	147.3±1.0	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Li <i>et al.</i> ,2013
		7	花岗闪长岩	169.9±1.4	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	贾少华等,2014
		7	花岗闪长岩	162.9±1.9	锆石 U-Pb SHRIMP	王科强,2015
		8	花岗闪长岩	151±3	锆石 U-Pb SHRIMP	汪建国等,2010
		9	花岗闪长岩	148±2	锆石 U-Pb SHRIMP	汪建国等,2010
		10	花岗闪长岩	147.2±1.0	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Wu <i>et al.</i> ,2012
		11	花岗闪长岩	159.7±2.6	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才,2016
		12	花岗闪长岩	150.1±2.6	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	顾明光等,2011
		13	花岗闪长岩	146.8±2.1	锆石 U-Pb SHRIMP	唐增才等,2016
		14	花岗闪长岩	144.9±1.5	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	刘荣,未发表
		15	花岗闪长岩	151.8±2.2	锆石 U-Pb SHRIMP	唐增才等,2014
		16	石英二长岩	149.2±1.1	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才等,2018
		高分异 I 型 I ₂ 类	17	二长花岗岩	140.4±3.3	锆石 U-Pb LA-ICP-MS
18	二长花岗岩		138.8±1.9	锆石 U-Pb SHRIMP	唐增才等,2016	
19	二长花岗岩		137.3±1.7	锆石 U-Pb SHRIMP	唐增才等,2016	
20	二长花岗岩		137.4±1.2	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才等,2018	
21	二长花岗岩		138.0~129.7	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	陈芳等,2014;张建芳等,2015	
22	二长花岗岩		145.1~144.2	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	张建芳等,2017	
23	二长花岗岩		141.0~139.2	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐燕文等,2013	
24	二长花岗岩		136.8±1.9	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Wu <i>et al.</i> ,2012	
25	花岗岩		147.2±1.7	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	顾明光等,2011	
26	花岗斑岩		142.2±1.2	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	厉子龙等,2013	
早白垩世中期	铝质 A 型 II 类	27	二长花岗岩	127±2	锆石 U-Pb SHRIMP	王科强,2015
		27	二长花岗岩	128.5±1.9	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才,2016
		28	正长花岗岩	125.6±3.2	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Wong <i>et al.</i> ,2009
		29	正长花岗岩	135.1~132.4	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Yang <i>et al.</i> ,2012
		30	二长花岗岩	128.5±2.4	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Jiang <i>et al.</i> ,2011
		30	二长花岗岩	132±1	锆石 U-Pb SHRIMP	王科强,2015
		31	二长花岗岩	130.4±1.1	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才等,2017
		32	二长花岗岩	125.8±1.4	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Li <i>et al.</i> ,2013
		33	正长花岗岩	125.5~123.5	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	黄国成等,2012a
		34	二长花岗岩	129.2±1.4	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Wu <i>et al.</i> ,2012
		35	二长花岗岩	126.8±1.6	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Wu <i>et al.</i> ,2012
		36	正长花岗岩	131.7~130.8	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	张建芳等,2017
		37	正长花岗岩	131.4±2.4	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Wu <i>et al.</i> ,2012
		38	二长花岗岩	130~127	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	Wu <i>et al.</i> ,2012
		39	正长花岗岩	134.5~133.9	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	谢玉玲等,2012b
40	正长花岗岩	131.3±1.7	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才等,2018		
41	正长花岗岩	133.6±0.95	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才等,2018		
42	正长花岗岩	128.1±2.1	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	章邦桐等,2012		
43	正长花岗岩	131.7±1.5	锆石 U-Pb LA-ICP-MS	唐增才等,2018		

注:①浙江省第三地质大队,2013,江绍拼合带中西段铜多金属矿床区域成矿规律研究与成矿预测;②浙江省地质调查院,2015,浙江 1:5 万杭垓、仙霞、船村幅区域地质矿产调查成果报告。

征和高精度锆石 U-Pb 年代学数据分析,区内中、晚侏罗世—早白垩世早期(172~135 Ma)多形成石英闪长岩—石英二长岩—花岗闪长岩组合,而早白垩世中期(135~123 Ma)则形成二长花岗岩—正长花

岗岩组合,结合岩石地球化学、Sr、Nd、Hf 同位素地球化学特征,探讨了不同岩浆活动阶段的构造动力学背景.

1 地质背景

浙西北地区位于下扬子陆块东南缘,南东侧以江山—绍兴结合带为界与华夏地块相接,北西侧以浙皖赣逆冲推覆构造带与江南古陆相邻.据不完全统计,区内晚中生代花岗岩体近百个,出露总面积约1 000 km².岩石岩性有石英闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩、细粒花岗岩、花岗斑岩等,既有岩性单一的呈岩株(枝、瘤)状产出的小岩体,也有呈岩基状产出的岩性复杂的复式岩体.岩体就位受区域构造的制约,多数沿北东向断裂分布(图 1).

2 花岗岩时空格架

近年来,众多地质学家对浙西北地区晚中生代花岗岩进行了系统的年代学、地球化学研究,取得了一批高精度锆石 U-Pb 测年数据(表 1).

本次研究结合浙西北地区晚中生代岩浆侵入活动时序与岩浆侵入活动特点,将区内晚中生代岩浆活动划分为中晚侏罗世—早白垩世早期(172 ~

135 Ma)和早白垩世中期(135~123 Ma)两个阶段.

如图 1 所示,浙西北地区中、晚侏罗世—早白垩世早期(172~135 Ma)花岗岩多沿北东向断裂分布(如常山兰花坞、桐庐彰坞花岗闪长岩沿球川—萧山断裂产出),部分岩体侵入北东向复式褶皱中(如建德岭后、淳安结蒙花岗闪长岩分别侵入鲁村—麻车埠复向斜、华埠—新登复向斜),随时间推移,花岗岩侵入活动空间逐渐往北西方向迁移,绝大多数岩体分布于马金—乌镇断裂北西侧(如淳安木瓜花岗斑岩,安吉唐舍、章村、坞山关二长花岗岩),且以三阳坑—昌化断裂带分布居多(如临安学川二长花岗岩、余杭铜岭桥、闲林和富阳千家花岗闪长岩);早白垩世中期(135~123 Ma)花岗岩部分延续了早期的空间位置,如安吉坞山关、马鞍山、唐舍、章村等岩体,另一部分则多夹持于浙皖赣断裂或学川—湖州断裂与常山—漓渚断裂之间呈带状分布,如常山岩前、淳安儒洪、临安河桥二长花岗岩及余杭泗岭、德清沈家壩、湖州凤凰山正长花岗岩等.

3 地球化学特征

浙西北地区花岗岩演化具有一定的规律性,从早到晚总体呈现出石英闪长岩→石英二长岩→花岗闪长岩→二长花岗岩→正长花岗岩的正常演化规

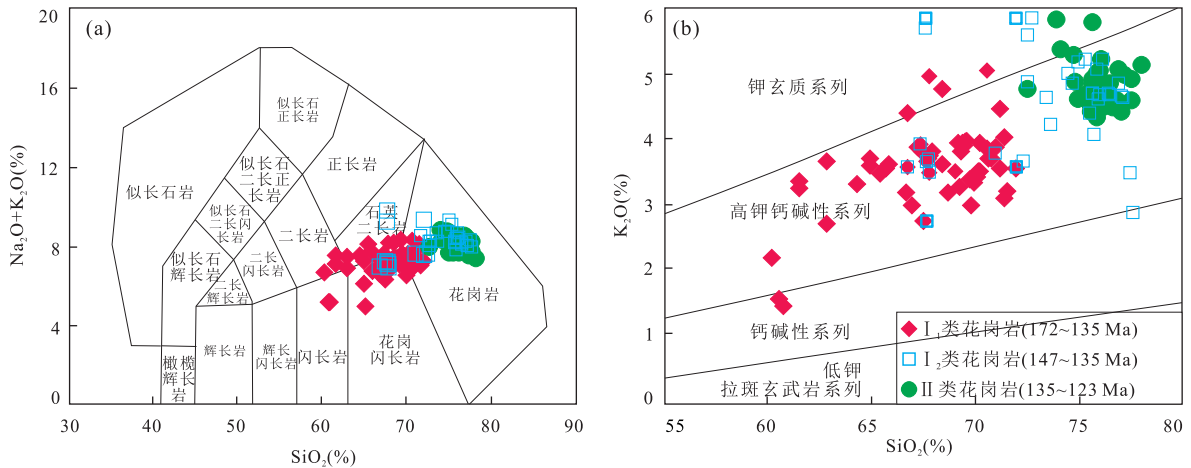


图 2 浙西北地区晚中生代花岗岩 Na₂O+K₂O—SiO₂ (a) 及 K₂O—SiO₂ (b) 图解

Fig.2 Na₂O+K₂O vs. SiO₂ diagram (a) and K₂O vs. SiO₂ diagram (b) for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang 据 Rickwood(1989). I₁ 类花岗岩(172~135 Ma)引自唐燕文等(2012)、张建芳等(2013)、厉子龙等(2013)、Li *et al.* (2013)、王科强(2015)、胡开明等(2016)、唐增才等(2014, 2016, 2018)、唐增才(2016)、浙江省第三地质大队(2013, 江绍拼合带中西段铜多金属矿床区域成矿规律研究与成矿预测)、浙江省地质调查院(2015, 浙江 1:5 万杭垓、仙霞、船村幅区域地质矿产调查成果报告)、浙江省地质调查院(2011, 淳安唐村—临歧地区区域地质矿产调查成果报告)和浙江省地质调查院(2014, 开化杨林—淳安叶村地区矿产远景调查成果报告); I₂ 类花岗岩(147~135 Ma)引自张建芳等(2013)和唐增才(2016); II 类花岗岩(135~123 Ma)引自 Jiang *et al.* (2011)、Li *et al.* (2013)、张建芳等(2015)和唐增才等(2016, 2017, 2018)

律,岩石地球化学特征也明显不同。

3.1 主量元素

在主量元素方面,浙西北地区中、晚侏罗世—早白垩世早期(172~135 Ma)花岗岩表现为 I_1 、 I_2 两类特征。 I_1 类花岗岩包括常山兰花坞、建德岭后、淳安开岭脚、里陈家、结蒙、大铜坑、桐庐彰坞、富阳千家、余杭闲林、临安赤石、德清何村、绍兴栅溪花岗闪长岩,德清何村石英二长岩,绍兴栅溪、富阳千家、余杭闲林石英闪长岩及开化桐村二长花岗岩、安吉唐舍、余杭长乐桥、富阳拔山二长花岗岩(斑)岩(图 2a)。岩石 SiO_2 含量为 60.16%~71.97%,平均值 67.66%; Al_2O_3 含量为 13.04%~17.43%,平均值 14.78%; P_2O_5 含量为 0.08%~0.28%,平均值 0.15%; K_2O+Na_2O 含量为 4.96%~8.96%,平均值 7.16%; K_2O 为 1.48%~4.77%,平均值 3.67%; K_2O/Na_2O 比值为 0.40~1.41,平均值 1.09。岩石铝饱和指数 A/CNK 值为 0.82~1.29,多数为准铝质—弱过铝质,少数为强过铝质特征;属高钾钙碱性系列(图 2b);里特曼指数(σ)为 0.62~6.06,赖特碱度率(A.R)为 1.72~3.12,镁指数($Mg^{\#}$)为 36~61,岩石分异指数 $DI=68.07\sim84.59$ 。 I_2 类花岗岩包括晚侏罗世—早白垩世早期(147~135 Ma)诸暨广山、淳安木瓜花岗岩、临安学川、安吉

坞山关、马鞍山、章村、湖州康山二长花岗(斑)岩。岩石 SiO_2 含量为 67.34%~77.15%,平均值 72.27%; Al_2O_3 含量为 12.12%~16.51%,平均值 13.49%; P_2O_5 含量为 0.01%~0.23%,平均值 0.09%; K_2O+Na_2O 含量为 6.90%~9.77%,平均值 8.11%; K_2O 含量为 4.08%~6.17%,平均值 4.51%; K_2O/Na_2O 比值为 0.57~2.57,平均值 1.30。铝饱和指数 A/CNK 值为 0.93~1.15,多数为准铝质—弱过铝质,少量表现为强过铝质特征,属高钾钙碱性系列(图 2b);里特曼指数(σ)为 1.86~2.71,赖特碱度率(A.R)为 3.19~6.24,镁指数($Mg^{\#}$)为 6~49,分异指数 $DI=73.53\sim96.52$ 。

早白垩世中期(135~123 Ma) II 类花岗岩包括常山岩前、淳安儒洪、双溪口、黄石潭、安吉马鞍山二长花岗(斑)岩,及衢州九华山、常山白菊花尖、临安夏色岭、河桥、余杭泗岭、德清沈家坎、凤凰山正长花岗岩等,主量元素特征与 I_2 类花岗岩基本类似(图 2a)。岩石 SiO_2 含量为 72.50%~78.03%,平均值 75.90%; Al_2O_3 含量为 11.50%~13.06%,平均值 12.29%; P_2O_5 含量为 0.01%~0.08%,平均值 0.02%; K_2O+Na_2O 含量为 7.40%~8.83%,平均值 8.22%; K_2O 含量为 4.35%~5.95%,平均值 4.83%; K_2O/Na_2O 比值为 1.09~2.27,平均值 1.46。

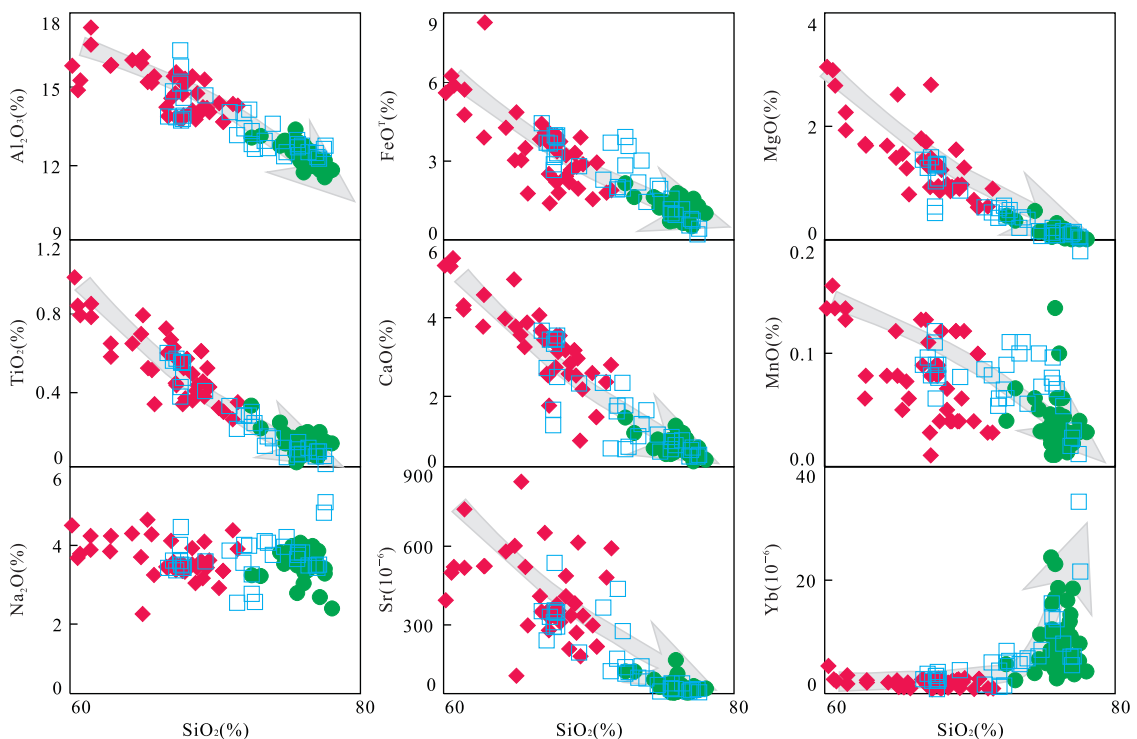


图 3 浙西北地区晚中生代花岗岩 Harker 图解

Fig.3 Harker diagrams for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

数据来源同图 2

铝饱和指数 A/CNK 值为 0.94~1.23,多数为准铝质一弱过铝质,少量表现为强过铝质特征,属高钾钙碱性系列(图 2b);里特曼指数(σ)为 1.56~2.51,赖特碱度率(A.R)为 3.18~5.13,镁指数($Mg^{\#}$)为 2~30,分异指数 $DI=88.95\sim96.68$.

从早期至晚期,浙西北地区晚中生代花岗岩化学成分总体表现为 SiO_2 含量增高, K_2O 含量亦随之升高(图 2b), Na_2O 含量变化不明显,而 Al_2O_3 、 TiO_2 、 FeO^T 、 MnO 、 MgO 、 CaO 等含量降低(图 3),总体显示从中酸性 \rightarrow 酸性演化的规律特征;与此同时, K_2O/Na_2O 、碱度率(A.R)逐步升高,由钙碱性系列向碱性系列演化(图 4a);分异指数(DI)、镁铁指数(MF)、固结指数(SI)降低,具有向酸性及偏碱性方向演化趋势;A/NK 值亦随 A/CNK 值的增加而逐渐减小(图 4b).

3.2 稀土元素

在稀土组成方面,中、晚侏罗世一早白垩世早期(172~135 Ma)花岗岩同样表现为两类特征. I_1 类花岗岩稀土总量 $\sum REE=37.61\times 10^{-6}\sim 231.27\times 10^{-6}$,轻重稀土分异明显,LREE/HREE 为 7.02~25.38, $La_N/Yb_N=5.94\sim 53.92$, δEu 为 0.54~1.04,具有弱至中等程度的负偏异常,稀土配分曲线具有向右弱倾的特征(图 5a). I_2 类花岗岩 $\sum REE=94.24\times 10^{-6}\sim 290.00\times 10^{-6}$,轻重稀土分异不明显,LREE/HREE 为 1.82~9.01, $La_N/Yb_N=1.12\sim 8.46$, δEu 为 0.03~0.58,具有中等至强烈程度的负偏异常,稀土配分曲线具有“V”型的特征(图 5c). II 类花岗岩与 I_2 类稀土组成特征相似, $\sum REE=114.9\times 10^{-6}\sim 441.41\times 10^{-6}$,轻重稀土分异不明

显,LREE/HREE 为 1.44~9.86, $La_N/Yb_N=0.71\sim 10.83$, δEu 为 0.02~0.28,亦表现为强烈的负偏异常,稀土配分曲线也具有“V”型的特征(图 5c).

I_1 类、 I_2 类和 II 类花岗岩稀土总量平均值分别为 152.29×10^{-6} 、 169.17×10^{-6} 和 245.36×10^{-6} ,呈显著升高趋势; I_1 类花岗岩 LREE/HREE 平均值 14.18, La_N/Yb_N 平均值 23.43, I_2 类花岗岩 LREE/HREE 平均值 4.16, La_N/Yb_N 平均值 3.19, II 类花岗岩 LREE/HREE 平均值 4.35, La_N/Yb_N 平均值 3.44,轻重稀土分异程度呈减弱态势; I_1 类花岗岩 δEu 为 0.50~1.02, I_2 类花岗岩 δEu 为 0.03~0.58, II 类花岗岩 δEu 为 0.02~0.28, δEu 负异常逐渐增强(图 5a,5c).

3.3 微量元素

在微量组成方面, I_1 类花岗岩具有较高的 Ba、Sr 含量 ($Ba=314\times 10^{-6}\sim 1\ 373\times 10^{-6}$, $Sr=71\times 10^{-6}\sim 731\times 10^{-6}$),较低的 Rb 含量 ($Rb=64.9\times 10^{-6}\sim 257\times 10^{-6}$),Sr/Y 比值为 7.19~92.33, Nb/Ta 比值为 9.00~22.64; I_2 类花岗岩具有较低的 Ba、Sr 含量 ($Ba=11.1\times 10^{-6}\sim 602\times 10^{-6}$, $Sr=8.11\times 10^{-6}\sim 134.13\times 10^{-6}$),较高的 Rb 含量 ($Rb=182\times 10^{-6}\sim 721\times 10^{-6}$),Sr/Y 比值为 0.11~6.00, Nb/Ta 比值为 4.40~19.52; II 类花岗岩同样具有较低的 Ba、Sr 含量 ($Ba=8.20\times 10^{-6}\sim 371\times 10^{-6}$, $Sr=2.99\times 10^{-6}\sim 88.9\times 10^{-6}$),较高的 Rb 含量 ($Rb=222\times 10^{-6}\sim 743\times 10^{-6}$),Sr/Y 比值为 0.02~1.70, Nb/Ta 比值为 4.78~14.82.在蛛网图(图 5b, 5d)上, I_1 类显示弱富集 K、Rb 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素,相对富集 U、

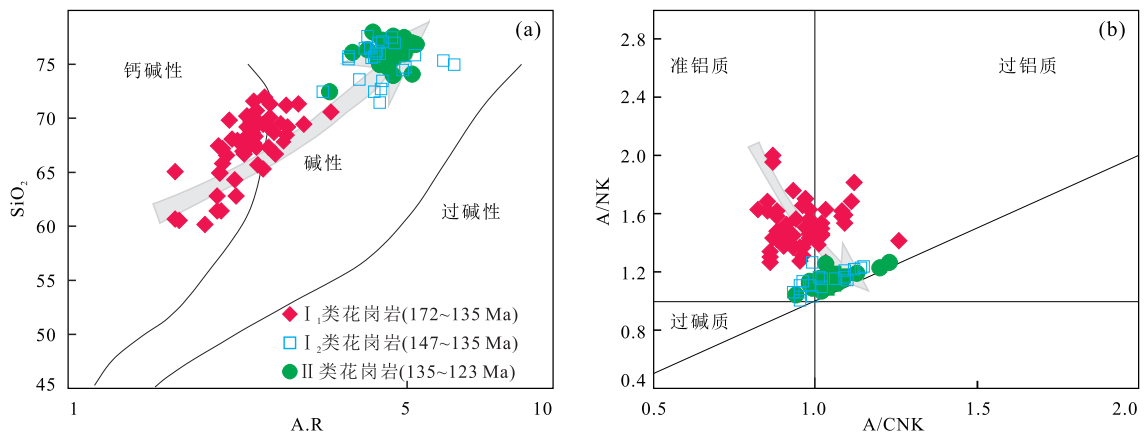


图 4 浙西北地区晚中生代花岗岩 A.R.— SiO_2 (a)及 A/CNK—A/NK (b)图解

Fig.4 SiO_2 vs. A.R diagram (a) and A/CNK vs. A/NK diagram (b) for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

图 a 据 Wright(1969);图 b 据 Maniar(1989).数据来源同图 2

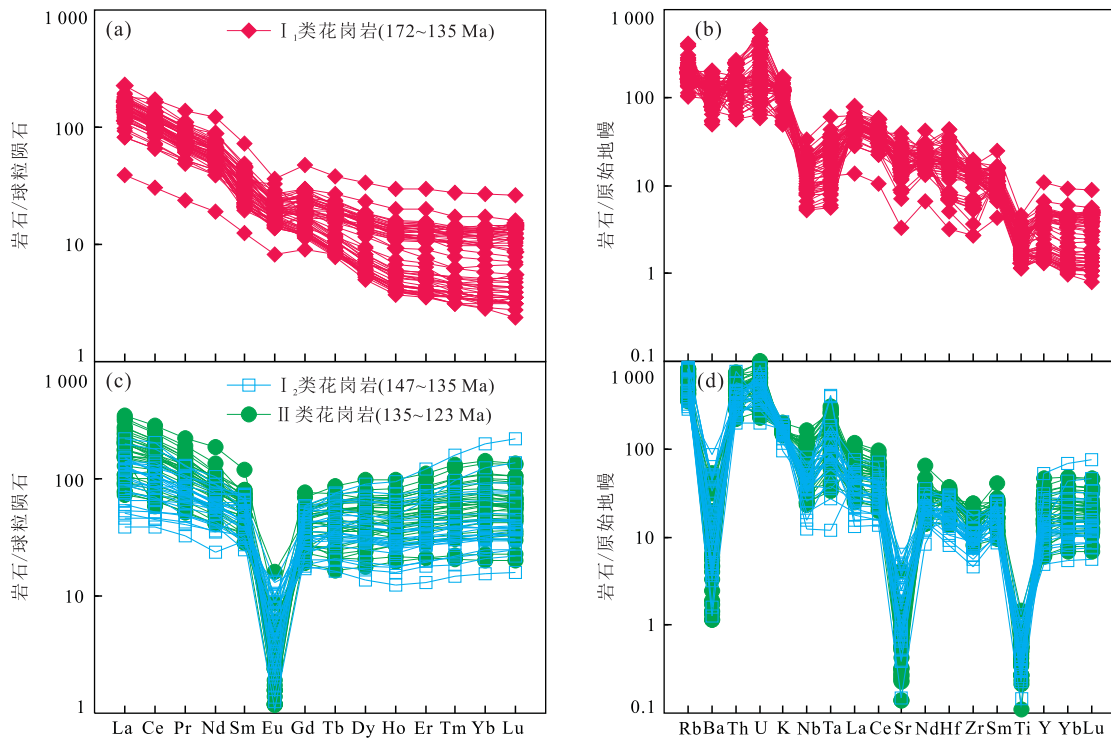


图 5 浙西北地区晚中生代花岗岩稀土元素球粒陨石标准化曲线(a,c)和微量元素蛛网图(b,d)

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns (a,c) and trace element spider diagrams (b,d) for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

标准值据 Sun and McDonough(1989);数据来源同图 2

Hf、Zr 的特点; I_2 类和 II 类花岗岩弱富集 K、Rb, 强亏损 Ba、Sr 等大离子亲石元素, 相对亏损 Nb、Ti 等高场强元素, 少量岩石仍然具有 Nb、Ta 凹槽。

随着时间的推移, 花岗岩 Sr、Yb 含量发生明显变化(图 3), Sr/Yb 比值显著降低。 I_1 类花岗岩 Sr 含量为 $71 \times 10^{-6} \sim 731 \times 10^{-6}$, Yb 含量为 $0.48 \times 10^{-6} \sim 4.60 \times 10^{-6}$, Sr/Yb 比值介于 $67 \sim 1\,132$, 平均值为 414; I_2 类花岗岩 Sr 含量为 $8.11 \times 10^{-6} \sim 134.13 \times 10^{-6}$, Yb 含量为 $2.65 \times 10^{-6} \sim 15.9 \times 10^{-6}$, Sr/Yb 比值介于 $1.09 \sim 50.92$, 平均值为 9.02; II 类花岗岩 Sr 含量为 $2.99 \times 10^{-6} \sim 88.9 \times 10^{-6}$, Yb 含量为 $0.52 \times 10^{-6} \sim 16.4 \times 10^{-6}$, Sr/Yb 比值介于 $0.18 \sim 59.62$, 平均值为 9.40。

3.4 Sr、Nd、Hf 同位素

Sr、Nd 同位素组成方面(附表 1), 浙西北地区 I_1 类花岗岩 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 $0.707\,004 \sim 0.711\,896$, 平均为 $0.709\,965$; $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 $-6.70 \sim -2.00$, 平均 -5.09 (Li *et al.*, 2013; 王科强, 2015); I_2 类花岗岩 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 $0.706\,890 \sim 0.709\,880$, 平均 $0.708\,510$; $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 $-6.80 \sim -4.50$, 平均 -5.90 (张建芳等, 2017; 浙江省地质调查院, 2015, 浙江 1:

5 万杭垓、仙霞、船村幅区域地质矿产调查成果报告); II 类花岗岩 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 $0.703\,503 \sim 0.710\,171$, 平均 $0.707\,146$; $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 $-8.90 \sim -0.30$, 平均 -4.00 (Jiang *et al.*, 2011; Wong *et al.*, 2011; 章邦桐等, 2012; Li *et al.*, 2013; 浙江省地质调查院, 2015, 浙江 1: 5 万杭垓、仙霞、船村幅区域地质矿产调查成果报告)。在 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i - t 图解(图 6a)上, I_1 和 I_2 类花岗岩靠近壳幔源混合型与下部壳源型界线附近, II 类花岗岩落入壳幔源混合型与下部壳源型区域; 在 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ - t 图解(图 6b)中, II 类花岗岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 较于 I_1 和 I_2 类花岗岩明显上升; 在 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ - ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 图解(图 6c, 6d)中, 岩浆源区显示为以壳源(江南造山带东部地壳)为主的壳幔混合源, 且随时间推移, 参与成岩的幔源物质愈发增多。

Hf 同位素组成方面(附表 1, 图 7), 晚侏罗世德清何村石英二长岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-3.79 \sim -1.67$, Hf 同位素地壳模式年龄 (T_{DM}^{C}) 为 $1\,162 \sim 1\,279$ Ma (唐增才等, 2018); 桐庐彰坞花岗闪长岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-5.08 \sim -2.33$, T_{DM}^{C} 为 $1\,202 \sim 1\,358$ Ma (唐增才, 2016); 早白垩世早期湖州康山花岗岩锆石

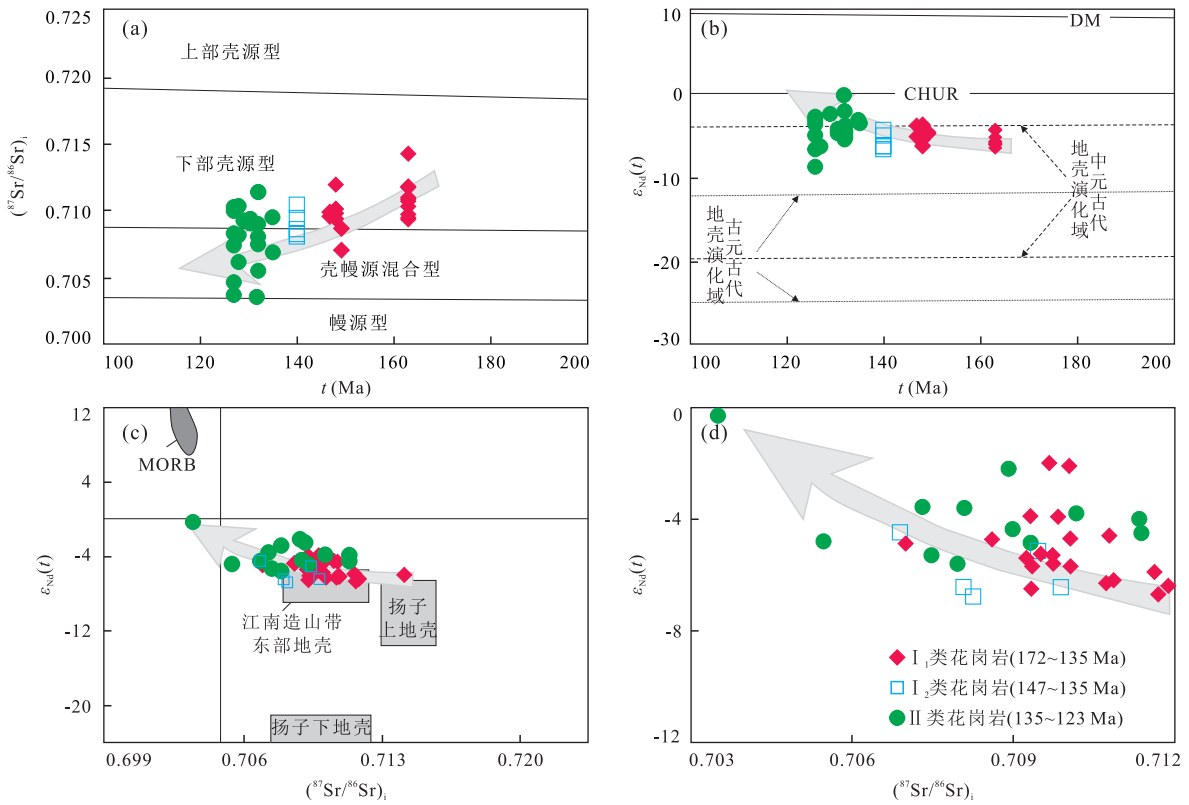


图 6 浙西北地区晚中生代花岗岩 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i-t$ 和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)-t$ 图解

Fig.6 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i-t$ diagram and $\epsilon_{\text{Nd}}(t)-t$ diagram for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

MORB 据夏林圻等(2004); 扬子下地壳、江南造山带东部地壳据 Jiang *et al.*(2011)和 Wang *et al.*(2012); 扬子上地壳据王元龙等(2004)

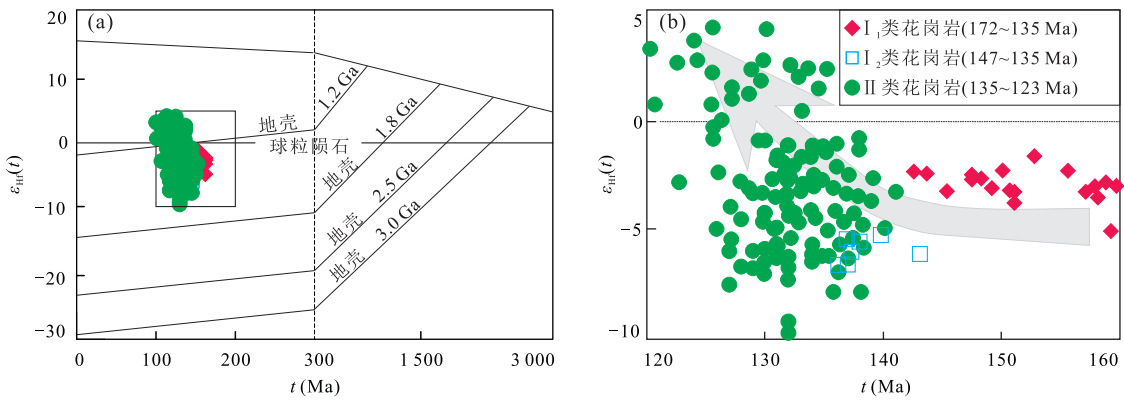


图 7 浙西北地区晚中生代花岗岩 Hf 同位素演化图解

Fig.7 Hf isotopic diagram for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-6.59 \sim -5.23$, T_{DM}^{C} 为 $1\ 350 \sim 1\ 423$ Ma (唐增才等, 2017); 早白垩世中期淳安儒洪二长花岗岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-6.00 \sim -0.70$, T_{DM}^{C} 为 $1\ 230 \sim 1\ 570$ Ma (Jiang *et al.*, 2011); 双溪口花岗岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-4.66 \sim -2.50$, T_{DM}^{C} 为 $1\ 192 \sim 1\ 311$ Ma (唐增才等, 2017); 常山白菊花尖花岗岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-0.52 \sim 4.23$, T_{DM}^{C} 为 $734 \sim 948$ Ma (Wong *et al.*, 2009); 衢州九华山花岗岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-6.80 \sim -0.80$,

T_{DM}^{C} 为 $1\ 211 \sim 1\ 592$ Ma (Yang *et al.*, 2012); 临江河桥二长花岗岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-9.7 \sim -3.4$, T_{DM}^{C} 为 $1\ 238 \sim 1\ 593$ Ma (Hu *et al.*, 2017); 余杭泗岭花岗岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-1.94 \sim 1.42$, T_{DM}^{C} 为 $975 \sim 1\ 161$ Ma; 德清沈家塍花岗岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-4.24 \sim -1.37$, T_{DM}^{C} 为 $1\ 131 \sim 1\ 287$ Ma; 湖州凤凰山正长花岗岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $1.17 \sim 2.48$, T_{DM}^{C} 为 $915 \sim 986$ Ma (唐增才等, 2018).

上述数据表明,中、晚侏罗世—早白垩世早期(172~135 Ma)花岗岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-6.59 \sim -1.67$, T_{DM}^{C} 为 1162~1423 Ma;早白垩世中期花岗岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $-9.70 \sim 2.48$, T_{DM}^{C} 为 734~1593 Ma,指示浙西北地区晚中生代花岗岩可能由中—新元古代物质部分熔融产生的长英质岩浆与幔源岩浆(或新生地壳)在深部岩浆房混合形成,且 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值由负值向正值转变,同样表明岩浆演化过程中有越来越多的幔源岩浆(或新生地壳)参与成岩。

4 岩石成因与构造环境

4.1 岩石成因类型

浙西北地区晚中生代 I_1 类、 I_2 类和 II 类花岗岩 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 比值分别集中于 1.50~5.47、3.02~

33.30 和 5.33~87.64 区间,平均值分别为 2.80、9.22 和 21.65, I_1 类花岗岩比值与全球 I 型(2.27)、S 型(2.38)相近, I_2 类和 II 类花岗岩则与高分异 I 型花岗岩和 A 型花岗岩范围相近(Whalen *et al.*, 1987)。在判别图解中, I_1 类花岗岩落入 I 型花岗岩区域(图 8a)或未(低)分异 I 型和 S 型花岗岩范围(图 8c, 8d)。实验研究表明,在准铝质到弱过铝质岩浆中,磷灰石的溶解度很低,并在岩浆分异过程中随 SiO_2 的增加而降低;而在强过铝质岩浆中,磷灰石溶解度变化趋势与此相反(Wolf and London, 1994)。 I_1 类花岗岩 P_2O_5 含量随 SiO_2 的增高而降低(图 8b),表明其属 I 型花岗岩,与岩石中未见刚玉、堇青石等 S 型花岗岩标志性矿物一致。在 SiO_2 — $\text{FeO}^{\text{T}}/(\text{FeO}^{\text{T}}+\text{MgO})$ 图解(图 8a)中, I_2 类和 II 类花岗岩多落入 I 型、S 型和 A 型花岗岩重叠区域;而

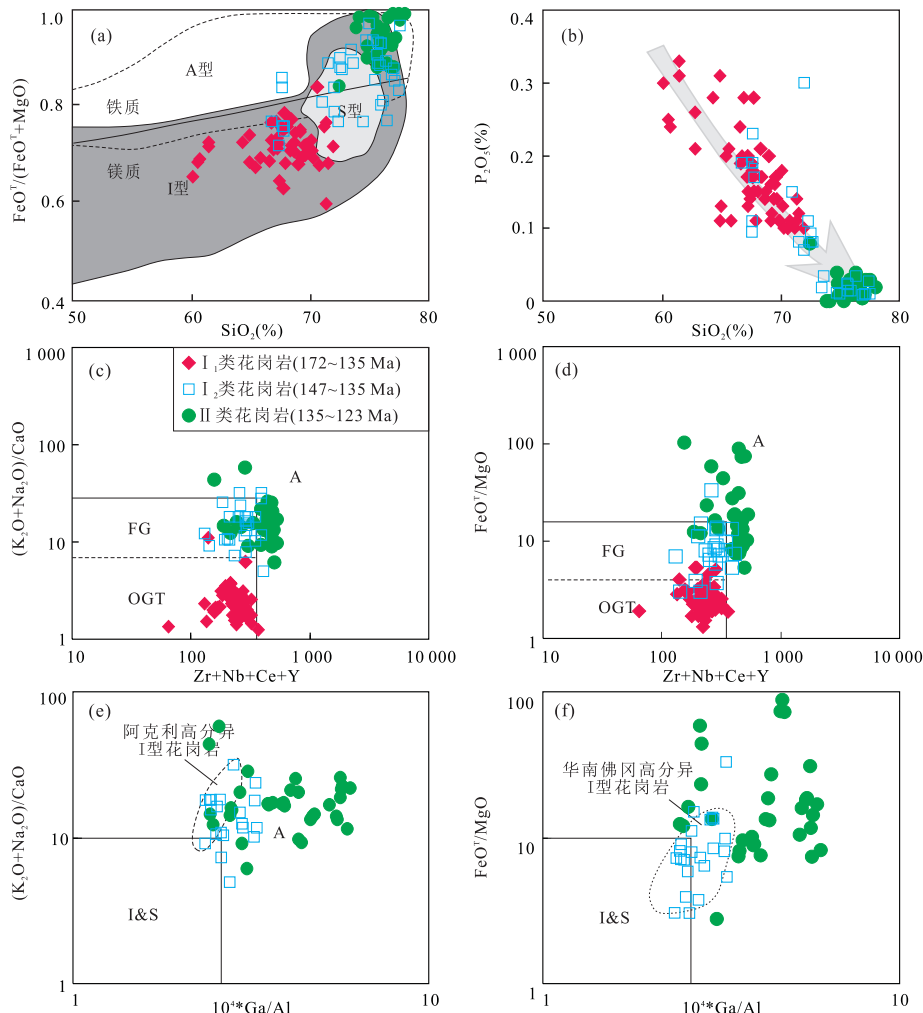


图 8 浙西北地区晚中生代花岗岩成因类型判别图解

Fig.8 Origin and classification diagrams for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

图 a 据 Frost *et al.*(2001);图 b 据 Wolf and London(1994);图 c~f 据 Whalen *et al.*(1987)

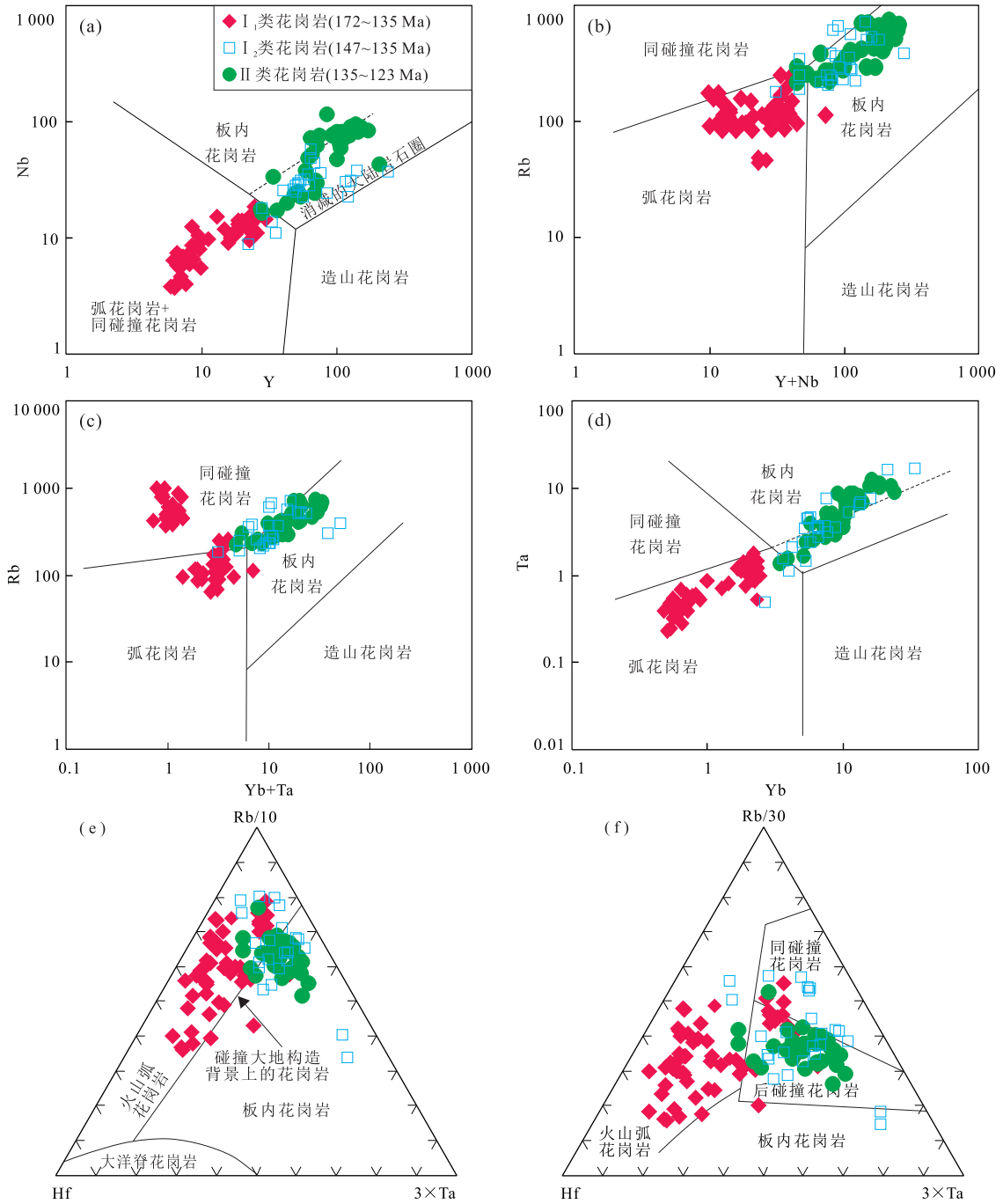


图 9 浙西北地区晚中生代花岗岩构造环境判别图解

Fig.9 Discrimination diagrams of tectonic setting for Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

图 a~d 据 Pearce *et al.*, (1984); 图 e, f 据 Harris *et al.*, (1986)

在 $(Zr + Nb + Ce + Y) - FeO^T/MgO$ 和 $(K_2O + Na_2O)/CaO - (Zr + Nb + Ce + Y)$ 图解中, I₂ 类花岗岩(诸暨广山、淳安木瓜花岗岩和临安学川、马鞍山及湖州康山二长花岗岩)均落入高分异 I 型花岗岩范围,而 II 类花岗岩则落入 A 型花岗岩区域(图 8c, 8d); 在 $10^4 * Ga/Al - FeO^T/MgO$ 和 $10^4 * Ga/Al - (K_2O + Na_2O)/CaO$ 图解中,前者与阿克利、

华南佛冈高分异 I 型花岗岩范围(图 8e, 8f)大致重合(Whalen *et al.*, 1987; Li *et al.*, 2007; Ju *et al.*, 2017),后者依然落入 A 型花岗岩区域.与此同时,前者 Rb/Ba 随 $Zr + Ce + Y$ 的增高而降低,显示高分异 I 型花岗岩的特征(Whalen *et al.*, 1987);此外, A 型花岗岩一般具有高温的特点(吴福元等, 2007, 2017),而 I₂ 类花岗岩形成温度(753 ~

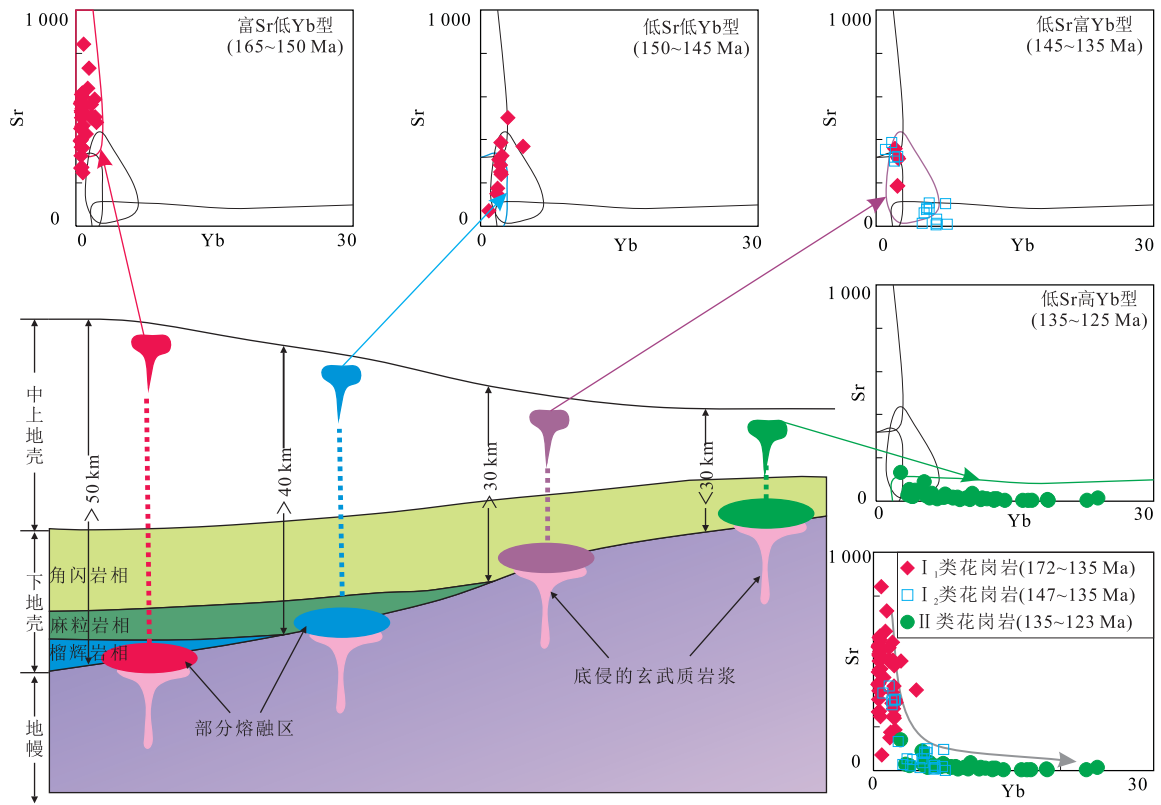


图 10 浙西北地区晚中生代花岗岩形成深度

Fig.10 Formation depth diagrams of the Late Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

据张旗等(2006,2010);数据来源同图 2

834 °C, 平均温度 788 °C) 明显低于 II 类花岗岩的形成温度(794~887 °C, 平均温度 844 °C), 两者相差近 60 °C(唐增才, 2016), 也表明它们分属高分异 I 型和铝质 A 型花岗岩。

综上所述, 浙西北地区晚中生代花岗岩可分为 I 型花岗岩(I₁类)、高分异 I 型花岗岩(I₂类)和铝质 A 型花岗岩(II 类)等 3 种成因类型, 前两类(I₁类和 I₂类)花岗岩的形成时限分别在 172~135 Ma 和 147~135 Ma 之间, 第 3 类(II 类)则形成于 135~123 Ma 之间(表 1)。

4.2 构造环境

近年研究表明, 华南中侏罗世(约 165±5 Ma) 进入太平洋构造域的活动大陆边缘挤压造山阶段(邢光福等, 2008; 张岳桥等, 2009)。研究区中、晚侏罗世(172~147 Ma) 花岗岩在构造判别图上主要分布于同碰撞和岛弧花岗岩区(图 9), 表明其源区受到了古太平洋板块俯冲的影响, 与华南地区在 150 Ma 所处的构造格局相一致。Sr、Nd、Hf 同位素研究结果也表明其可能与来自与古太平洋的变向俯冲有一定的关系, 为少量幔源物质沿变向俯冲引起的板片裂隙(窗)与中、新元古代江南火山弧重熔岩

浆混合作用的产物。在 145 Ma 左右, 华南进入太平洋构造域由挤压向伸展扩张的转换期(Li, 2000; 华仁民等, 2003; 毛建仁等, 2009; 曹正琦等, 2017)。浙西北地区早白垩世早期(147~135 Ma) 花岗岩分别落于弧花岗岩和板内花岗岩或后碰撞花岗岩区域(图 9), 这与华南地区早白垩世遭受后造山拉张裂解作用导致软流圈上涌和岩石圈伸展减薄机制相吻合(Wu *et al.*, 2012)。软流圈上涌诱发的幔源基性岩浆底侵于地壳下部, 在断裂引起的减压作用和幔源基性岩浆底侵作用带来足够热量的影响下, 促使了中元古代地壳物质的部分熔融形成长英质岩浆, 其中部分与少量沿裂隙上升的幔源岩浆(或新生地壳熔融岩浆)混合, 形成分异度低的余杭长乐桥、富阳拔山、安吉唐舍、坞山关等 I 型花岗岩; 另一部分则经高程度分异演化形成诸暨广山、淳安木瓜花岗岩、临安学川、湖州康山、安吉马鞍山、坞山关等高分异 I 型花岗岩, 它们的出现有可能标志着构造环境由挤压向伸展转变的开始。至早白垩世中期(135~123 Ma), 浙西北地区处于强烈裂解和岩石圈伸展减薄的构造环境(李福林等, 2011a, 2011b; Jiang *et al.*, 2011), 与区内铝质 A 型花岗岩的出现相耦

合。该时期花岗岩多落入后碰撞花岗岩区域(图9),暗示其形成可能与岩石圈伸展减薄机制下软流圈上涌诱发的幔源基性岩浆底侵于地壳下部,促使了中、新元古代地壳物质的部分熔融形成长英质岩浆有关,并与其诱发越来越多的幔源物质(或者新生地壳熔融岩浆)涌(或混)入深部长英质岩浆房发生混合,进而形成常山岩前、淳安儒洪、双溪口、黄石潭、临安河桥、余杭西岭、德清沈家壩和凤凰山等花岗岩。

张旗等(2006,2010)依据熔体和残留相平衡理论,提出利用岩石微量元素 Sr、Yb 值判断花岗岩形成时的地壳厚度。晚中生代以来,浙西北地区从早至晚分别形成富 Sr 低 Yb、低 Sr 低 Yb、低 Sr 富 Yb、低 Sr 高 Yb 共 4 种类型花岗岩,反映岩浆源区从早至晚经历了由深变浅的演变过程(图10)。这一转换过程与浙皖赣地区晚中生代与古太平洋俯冲相关的活动大陆边缘构造演化模式相耦合(Campbell and Sewell,1997;Zhou and Li,2000;Zhou *et al.*,2006;Hafizullah *et al.*,2018),即岩浆源区深度的演变可能与古太平洋板块俯冲、板块后撤(挤压向伸展转变)、弧后伸展等构造机制转换相互对应(Li,2000;Wu *et al.*,2012;张俊杰等,2012;周翔等,2012;唐增才等,2016)。

综上所述,浙西北地区晚中生代花岗质岩浆源区由深变浅,分别形成 I 型花岗闪长岩—二长花岗岩组合(172~147 Ma)、高分异 I 型花岗岩(147~135 Ma)及铝质 A 型二长花岗岩—正长花岗岩组合(135~123 Ma),表明其晚中生代可能先后经历了中、晚侏罗世(172~147 Ma)古太平洋板块向华南板块俯冲、早白垩世早期(147~135 Ma)挤压向伸展扩张的转换和早白垩世中期(135~123 Ma)弧后伸展 3 个构造发展阶段。

5 结论

浙西北地区晚中生代形成 I 型、高分异 I 型和铝质 A 型共 3 类花岗岩。前者形成于中侏罗世—早白垩世早期(172~135 Ma),后者形成于早白垩世早中期(135~123 Ma),高分异 I 型花岗岩主要形成于晚侏罗世末期至早白垩世早期(147~135 Ma)。从早期至晚期,岩石由钙碱性系列向碱性系列演化,表现出轻重稀土分异程度逐步减弱, δEu 负异常逐渐增强,Sr/Yb 比值和($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 逐渐降低, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值逐渐升高等特征。

浙西北地区晚中生代(172~123 Ma)期间,先

后形成富 Sr 低 Yb、低 Sr 低 Yb、低 Sr 富 Yb、低 Sr 高 Yb 共 4 种类型花岗岩,反映岩浆源区经历了由深变浅的演变过程。

浙西北地区晚中生代经历了古太平洋板块向华南板块俯冲(172~147 Ma)、挤压向伸展扩张的转换(147~135 Ma)和岩石圈减薄(135~123 Ma)3 个构造发展阶段。晚侏罗世末期高分异 I 型花岗岩的首现,可能拉开了构造环境由挤压向伸展机制转换的序幕;早白垩世早期(135 Ma)铝质 A 型花岗岩的出现,则标志着弧后伸展机制的形成。

致谢:审稿专家提出的修改意见对改进文章质量起了重要作用,在此表示衷心的感谢。谨以此篇向为浙江基础地质事业作出卓越贡献的袁强先生和许红根先生致敬!

附表 1 见本刊官网(<http://www.earth-science.net>)。

References

- Campbell, S. D. G., Sewell, R. J., 1997. Structural Control and Tectonic Setting of Mesozoic Volcanism in Hongkong. *Journal of the Geological Society*, 154 (6): 1039 — 1052. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.6.1039>
- Cao, Z. Q., Cai, Y. T., Zeng, Z. X., et al., 2017. Discovery of Neoproterozoic A-Type Granite in Northern Yangtze Craton and Its Tectonic Significance. *Earth Science*, 42 (6): 957—973 (in Chinese with English abstract).
- Chen, F., Wang, D. H., Du, J. G., et al., 2014. Geochemical Characteristics and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Liucun Monzogranite in Ningguo, Anhui Province and Their Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 88 (5): 869—882 (in Chinese with English abstract).
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., et al., 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 42 (11): 2033 — 2048. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>
- Gu, M. G., Feng, L. X., Hu, Y. H., et al., 2011. LA-ICP-MS U-Pb Dating of Zircons from Guangshan and Zhaxi Plutons in Shaoxing Area, Zhejiang Province: Constraint on the Ore-Forming Epoch of the Lizhu Iron Ore Deposit. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1212—1219 (in Chinese with English abstract).
- Hafizullah, A. A., Ma, C. Q., Wang, L. X., et al., 2018. Petrogenesis and Tectonic Implications of Peralkaline A-Type Granites and Syenites from the Suizhou-Zaoyang Region, Central China. *Journal of Earth Science*, 29 (5): 1181 — 1202. <https://doi.org/10.1007/s12583-018-0877-2>

- Harris, N. B. W., Pearce, J. A., Tindle, A. G., 1986. Geochemical Characteristics of Collision-Zone Magmatism. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1): 67–81. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1986.019.01.04>
- He, G. J., Yang, X. C., Wu, G. M., et al., 2011. A Study of Ore Mineral Characteristics and Metallogenic Stages of the Yinshan Ag-Pb-Zn Polymetallic Ore Deposit, Northwest Zhejiang Province. *Acta Geoscientica Sinica*, 32(3): 304–312 (in Chinese with English abstract).
- Hu, K. M., Tang, Z. C., Meng, X. S., et al., 2016. Chronology of Petrogenesis and Mineralization of the Datongkeng Porphyry W-Mo Deposit in West Zhejiang. *Earth Science*, 41(9): 1435–1450 (in Chinese with English abstract).
- Hu, Q. H., Yu, K. Z., Liu, Y. S., et al., 2017. The 131–134 Ma A-Type Granites from Northern Zhejiang Province, South China: Implications for Partial Melting of the Neoproterozoic Lower Crust. *Lithos*, 294–295: 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.09.016>
- Hu, Y. Z., Li, Z. L., Mao, J. R., et al., 2013. Ore Texture and Structure and Compositions of Yinshan Polymetallic Ore Deposit in Chun'an County from the Northwestern Zhejiang Province of the Southeastern China and Its Implication for Mineralized Mechanism. *Acta Petrologica Sinica*, 29(10): 3623–3636 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., Chen, P. R., Zhang, W. L., et al., 2003. Metallogenic Systems Related to Mesozoic and Cenozoic Granitoids in South China. *Sciences in China (Series D)*, 33(4): 335–343 (in Chinese).
- Huang, G. C., Wang, D. H., Wu, X. Y., 2012a. Characteristics and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology Study of Metallogenic Intrusion in the Xiaseling Tungsten Deposit in Lin'an, Zhejiang Province. *Rock and Mineral Analysis*, 31(5): 915–921 (in Chinese with English abstract).
- Huang, G. C., Wang, D. H., Wu, X. Y., 2012b. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Granite from the Qianmutian Tungsten-Beryllium Mine in Lin'an, Zhejiang Province and Its Significance in Regional Exploration. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 392–398 (in Chinese with English abstract).
- Jia, S. H., Zhao, Y. Y., Wang, Z. Q., et al., 2014. Zircon U-Pb Dating and Geochemical Characteristics of Granodiorite-Porphyry in the Linghou Copper Deposit, Western Zhejiang, and Their Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 88(11): 2071–2085 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y. H., Zhao, P., Zhou, Q., et al., 2011. Petrogenesis and Tectonic Implications of Early Cretaceous S- and A-Type Granites in the Northwest of the Gan-Hang Rift, SE China. *Lithos*, 121(1–4): 55–73. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.10.001>
- Ju, Y. J., Zhang, X. L., Lai, S. C., et al., 2017. Permian-Triassic Highly-Fractionated I-Type Granites from the Southwestern Qaidam Basin (NW China): Implications for the Evolution of the Paleo-Tethys in the Eastern Kunlun Orogenic Belt. *Journal of Earth Science*, 28(1): 51–62. <https://doi.org/10.1007/s12583-017-0745-5>
- Li, F. L., Xie, Y., Zhou, H. W., et al., 2011a. Petrogenesis and Geodynamic Setting of Early Cretaceous Dykes in the Chun'an Area, Zhejiang Province. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 31(3): 55–65 (in Chinese with English abstract).
- Li, F. L., Zhou, H. W., Tang, Z. C., et al., 2011b. U-Pb Ages, Geochemistry and Tectonic Implications of Mafic Dyke Swarms in Mugua, Chun'an County, Zhejiang Province. *Geochimica*, 40(1): 22–34 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., 2000. Cretaceous Magmatism and Lithospheric Extension in Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(3): 293–305. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(99\)00060-7](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(99)00060-7)
- Li, X. H., Li, W. X., Li, Z. X., 2007. On the Genetic Classification and Tectonic Implications of the Early Yanshanian Granitoids in the Nanling Range, South China. *Chinese Science Bulletin*, 52(14): 1873–1885. <https://doi.org/10.1007/s11434-007-0259-0>
- Li, Z. L., Zhou, J., Mao, J. R., et al., 2013. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of Two Episodes of Granitoids from the Northwestern Zhejiang Province, SE China: Implication for Magmatic Evolution and Tectonic Transition. *Lithos*, 179: 334–352. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.07.014>
- Li, Z. L., Zhou, J., Mao, J. R., et al., 2013. Age and Geochemistry of the Granitic Porphyry from the Northwestern Zhejiang Province, SE China, and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 29(10): 3607–3622 (in Chinese with English abstract).
- Maniar, P. D., Piccoli, P. M., 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635–643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<0635:tdog>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<0635:tdog>2.3.co;2)
- Mao, J. R., Yutaka, T., Li, Z. L., et al., 2009. Correlation of Meso-Cenozoic Tectono-Magmatism between SE China and Japan. *Geological Bulletin of China*, 28(7): 844–856 (in Chinese with English abstract).
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G., 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956–983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>

- Qiu, J. T., Yu, X. Q., Zhang, D. H., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Tongcun Porphyry in Kaihua County, Western Zhejiang Province, and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 30 (9): 1360—1368 (in Chinese with English abstract).
- Rickwood, P. C., 1989. Boundary Lines within Petrologic Diagrams which Use Oxides of Major and Minor Elements. *Lithos*, 22 (4): 247—263. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(89\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0024-4937(89)90028-5)
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts; Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42 (1): 313—345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Tang, Y. W., Xie, Y. L., Li, Y. X., et al., 2012. Geochemical Characteristics and Zircon LA-ICP-MS U-Pb Ages of Quartz-Monzonite Porphyry in Anji Polymetallic Ore District of Zhejiang and Their Geological Implications. *Geoscience*, 26 (4): 647—655 (in Chinese with English abstract).
- Tang, Y. W., Xie, Y. L., Li, Y. X., et al., 2013. LA-ICP-MS U-Pb Ages, Geochemical Characteristics of the Zircons from Wushanguan Complex Body in Anji Mining Area, Northwestern Zhejiang and Their Geological Significances. *Geological Review*, 59 (4): 702—715 (in Chinese with English abstract).
- Tang, Z. C., 2016. Tectonic Dynamic Setting and Mineralization of the Mesozoic Granites in Western Zhejiang (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese with English abstract).
- Tang, Z. C., Chen, Z. D., Hu, W. J., et al., 2016. Geochronology and Geochemistry of Mesozoic Intrusive Rocks in the Yuhang-Lin'an-Fuyang Region, West Zhejiang and Their Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 90 (3): 451—467 (in Chinese with English abstract).
- Tang, Z. C., Dong, X. F., Hu, W. J., et al., 2014. SHRIMP Zircon U-Pb Dating of Xianlin Granodiorite Rock in Western Zhejiang and Their Geological Significance. *Geoscience*, 28 (5): 884—892 (in Chinese with English abstract).
- Tang, Z. C., Meng, X. S., Dong, X. F., et al., 2018. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotopic Compositions of the Late Mesozoic Intrusive Rocks in Northern Zhejiang: Implications for Genetic Evolution and Tectonic Environment. *Geotectonica et Metallogenia*, 42 (2): 403—419 (in Chinese with English abstract).
- Tang, Z. C., Wang, F. X., Dong, X. F., et al., 2017. Zircon U-Pb Age, Hf Isotope and Geochemistry of the Shuangxikou Granite in Western Zhejiang: Constraints on the Tin Mineralization. *Geotectonica et Metallogenia*, 41 (5): 879—891 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J. G., Wang, L. W., Chen, X. Y., et al., 2010. SHRIMP U-Pb Ages of Zircons from Kailingjiao and Lichenjiao Granodiorites in Western Zhejiang and Their Geological Implications. *Geology in China*, 37 (6): 1559—1565 (in Chinese with English abstract).
- Wang, K. Q., 2015. The Temporal and Spatial Evolution of the Mesozoic Granites and Its Relations to the Metallogenesis in Western Zhejiang Province (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. L., Shu, X. J., Xu, X. S., et al., 2012. Petrogenesis of the Early Cretaceous Adakite-Like Porphyries and Associated Basaltic Andesites in the Eastern Jiangnan Orogen, Southern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61: 243—256. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2012.10.017>
- Wang, Y. L., Wang, Y., Zhang, Q., et al., 2004. The Geochemical Characteristics of Mesozoic Intermediate-Acid Intrusives of the Tongling Area and Its Metallogenesis-Geodynamic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (2): 325—338 (in Chinese with English abstract).
- Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, B. W., 1987. A-Type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95 (4): 407—419. <https://doi.org/10.1007/bf00402202>
- Wolf, M. B., London, D., 1994. Apatite Dissolution into Peraluminous Haplogranitic Melts: An Experimental Study of Solubilities and Mechanisms. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 (19): 4127—4145. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90269-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90269-0)
- Wong, J., Sun, M., Xing, G. F., et al., 2009. Geochemical and Zircon U-Pb and Hf Isotopic Study of the Baijuehuajian Metaluminous A-Type Granite: Extension at 125—100 Ma and Its Tectonic Significance for South China. *Lithos*, 112 (3—4): 289—305. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.03.009>
- Wong, J., Sun, M., Xing, G. F., et al., 2011. Zircon U-Pb and Hf Isotopic Study of Mesozoic Felsic Rocks from Eastern Zhejiang, South China: Geochemical Contrast between the Yangtze and Cathaysia Blocks. *Gondwana Research*, 19 (1): 244—259. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.06.004>
- Wright, J. B., 1969. A Simple Alkalinity Ratio and Its Application to Questions of Non-Orogenic Granite Genesis. *Geological Magazine*, 106 (4): 370—384. <https://doi.org/10.1017/s0016756800058222>

- Wu, F. Y., Ji, W. Q., Sun, D. H., et al., 2012. Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotopic Compositions of the Mesozoic Granites in Southern Anhui Province, China. *Lithos*, 150: 6–25. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.03.020>
- Wu, F. Y., Li, X. H., Yang, J. H., et al., 2007. Discussions on the Petrogenesis of Granites. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1217–1238 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Liu, X. C., Ji, W. Q., et al., 2017. Highly Fractionated Granites: Recognition and Research. *Science China Earth Sciences*, 47(7): 745–765 (in Chinese).
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Xu, X. Y., et al., 2004. Carboniferous Tianshan Igneous Megaprovince and Mantle Plume. *Geological Bulletin of China*, 23(9–10): 903–910 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Y. L., Tang, Y. W., Li, Y. X., et al., 2012a. Magmatic Intrusive Series and Their Implication for the Ore Prospecting in Anji Exploration Area, Zhejiang Province. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10): 3334–3346 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Y. L., Tang, Y. W., Li, Y. X., et al., 2012b. Petrochemical and Petrographic Characteristics and Genesis of Wushanguan Complex Body in Anji Ore District, Zhejiang Province. *Mineral Deposits*, 31(4): 891–902 (in Chinese with English abstract).
- Xing, G. F., Lu, Q. D., Chen, R., et al., 2008. Study on the Ending Time of Late Mesozoic Tectonic Regime Transition in South China—Comparing to the Yanshan Area in North China. *Acta Geologica Sinica*, 82(4): 451–463 (in Chinese with English abstract).
- Yang, S. Y., Jiang, S. Y., Zhao, K. D., et al., 2012. Geochronology, Geochemistry and Tectonic Significance of Two Early Cretaceous A-Type Granites in the Gan-Hang Belt, Southeast China. *Lithos*, 150: 155–170. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.01.028>
- Zeng, Q. D., Wang, Y. B., Zhang, S., et al., 2012. Types, Features, and Prospecting Potential for Mesozoic Metal Ore Deposits in Zhejiang Province, Southeast China. *International Geology Review*, 54(9): 1031–1051. <https://doi.org/10.1080/00206814.2011.605836>
- Zhang, B. T., Wang, K. X., Ling, H. F., et al., 2012. Zircon U-Pb and Whole-Rock Rb-Sr Chronology, Sr-Nd-O Isotopes and Petrogenesis of the Moganshan Granite Pluton in the Zhejiang Province. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 31(4): 347–353, 368 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. F., Gong, R. J., Wang, L. W., et al., 2017. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of the Late Mesozoic Xianxia Rock in Zhejiang and Anhui Provinces and Diagenetic Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 91(1): 198–212 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. F., Wang, L. W., Chen, J. H., et al., 2015. Genesis of Highly Fractionated Ma'anshan Rock in Zhejiang and Anhui Provinces Constrained by U-Pb Zircon Geochronology and Geochemistry. *Earth Science*, 40(1): 98–114 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. F., Xie, H. S., Xu, X. M., et al., 2013. Geological and Geochemical Characteristics and Tectonic and Prospecting Significance of the Shanxi-Guangshan Intrusions in Lizhu Area, Zhejiang Province. *Geology in China*, 40(2): 403–413 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. J., Wang, G. J., Yang, X. Y., et al., 2012. The Petrogenesis of the Jingde Granodiorite and Its MMEs: Constraints from Geochemistry, Zircon U-Pb Dating and Hf Isotopic Compositions. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 4047–4063 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Jin, W. J., Li, C. D., et al., 2010. On the Classification of Granitic Rocks Based on Whole-Rock Sr and Yb Concentrations III: Practice. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3431–3455 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y., Li, C. D., et al., 2006. Granite Classification on the Basis of Sr and Yb Contents and Its Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2249–2269 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Q., Xu, X. B., Jia, D., et al., 2009. Deformation Record of the Change from Indosinian Collision-Related Tectonic System to Yanshanian Subduction-Related Tectonic System in South China during the Early Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 234–247 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X., Yu, X. Q., Yang, H. M., et al., 2012. Petrogenesis and Geochronology of the High Ba-Sr Kaobeijian Granodiorite Porphyry, Jixi County, South Anhui Province. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10): 3403–3417 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X. M., Li, W. X., 2000. Origin of Late Mesozoic Igneous Rocks in Southeastern China: Implications for Lithosphere Subduction and Underplating of Mafic Magmas. *Tectonophysics*, 326(3–4): 269–287. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00120-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00120-7)
- Zhou, X. M., Sun, T., Shen, W. Z., et al., 2006. Petrogenesis of Mesozoic Granitoids and Volcanic Rocks in South China: A Response to Tectonic. *Episodes*, 29(1): 26–33.

附中文参考文献

曹正琦, 蔡逸涛, 曾佐勋, 等, 2017. 扬子克拉通北缘新元古代

- A型花岗岩的发现及大地构造意义.地球科学,42(6):957-973.
- 陈芳,王登红,杜建国,等,2014.安徽宁国刘村二长花岗岩地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义.地质学报,88(5):869-882.
- 顾明光,冯立新,胡艳华,等,2011.浙江绍兴地区广山-栅溪岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年:对漓渚铁矿成矿时代的限定.地质通报,30(8):1212-1219.
- 何国锦,杨晓春,吴光明,等,2011.浙江西北银山银铅锌多金属矿床矿石矿物特征及成矿期次初步研究.地球学报,32(3):304-312.
- 胡开明,唐增才,孟祥随,等,2016.浙西大铜坑斑岩型钨钼矿床成岩成矿年代学.地球科学,41(9):1435-1450.
- 胡逸洲,厉子龙,毛建仁,等,2013.浙西北淳安银山地区银铅锌矿床矿石结构构造、矿石成分及成矿机制.岩石学报,29(10):3623-3636.
- 华仁民,陈培荣,张文兰,等,2003.华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统.中国科学(D辑),33(4):335-343.
- 黄国成,王登红,吴小勇,2012a.浙江临安夏色岭钨矿含矿岩体特征及 LA-ICP-MS 锆石铀-铅年代学研究.岩矿测试,31(5):915-921.
- 黄国成,王登红,吴小勇,2012b.浙江临安千亩田钨铍矿区花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及对区域找矿的意义.大地构造与成矿学,36(3):392-398.
- 贾少华,赵元艺,王宗起,等,2014.浙江建德岭后铜矿花岗岩闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其意义.地质学报,88(11):2071-2085.
- 李福林,谢瑜,周汉文,等,2011a.浙江淳安早白垩世脉岩地球化学特征及成岩动力学背景.矿物岩石,31(3):55-65.
- 李福林,周汉文,唐增才,等,2011b.浙江淳安木瓜基性岩墙群 U-Pb 年龄、地球化学特征及意义.地球化学,40(1):22-34.
- 厉子龙,周静,毛建仁,等,2013.浙西北木瓜燕山期花岗岩斑岩的定年、地球化学特征及其地质意义.岩石学报,29(10):3607-3622.
- 毛建仁,高桥浩,厉子龙,等,2009.中国东南部与日本中-新生代构造-岩浆作用对比研究.地质通报,28(7):844-856.
- 邱骏挺,余心起,张德会,等,2011.浙西开化地区桐村花岗岩斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义.地质通报,30(9):1360-1368.
- 唐燕文,谢玉玲,李应栩,等,2012.浙江安吉多金属矿区石英二长斑岩岩石化学特征和锆石 U-Pb 年龄及其地质意义.现代地质,26(4):647-655.
- 唐燕文,谢玉玲,李应栩,等,2013.浙江安吉多金属矿区坞山关杂岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义.地质论评,59(4):702-715.
- 唐增才,2016.浙西地区中生代花岗岩成矿作用及其动力学背景(硕士学位论文).武汉:中国地质大学(武汉).
- 唐增才,陈忠大,胡文杰,等,2016.浙西余杭、临安和富阳交界区中生代侵入岩年代学、地球化学特征及其地质意义.地质学报,90(3):451-467.
- 唐增才,董学发,胡文杰,等,2014.浙西闲林岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义.现代地质,28(5):884-892.
- 唐增才,孟祥随,董学发,等,2018.浙北地区晚中生代侵入岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素地球化学:成因演化过程及其构造环境示踪.大地构造与成矿学,42(2):403-419.
- 唐增才,汪发祥,董学发,等,2017.浙西双溪口花岗岩锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素组成和地球化学特征:对 Sn 成矿作用的制约.大地构造与成矿学,41(5):879-891.
- 汪建国,汪隆武,陈小友,等,2010.浙西开岭脚和里陈家花岗岩闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义.中国地质,37(6):1559-1565.
- 王科强,2015.浙西地区中生代花岗岩类时空演化特征及其成矿作用(博士学位论文).北京:中国地质大学(北京).
- 王元龙,王焰,张旗,等,2004.铜陵地区中生代中酸性侵入岩的地球化学特征及其成矿-地球动力学意义.岩石学报,20(2):325-338.
- 吴福元,李献华,杨进辉,等,2007.花岗岩成因研究的若干问题.岩石学报,23(6):1217-1238.
- 吴福元,刘小驰,纪伟强,等,2017.高分异花岗岩的识别与研究.中国科学(D辑),47(7):745-765.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等,2004.天山石炭纪大火成岩省与地幔柱.地质通报,23(9-10):903-910.
- 谢玉玲,唐燕文,李应栩,等,2012a.浙江安吉铅锌多金属矿床岩浆侵位序列与成矿控制.岩石学报,28(10):3334-3346.
- 谢玉玲,唐燕文,李应栩,等,2012b.浙江安吉铅锌多金属矿区细粒花岗岩的岩石化学、年代学及成矿意义探讨.矿床地质,31(4):891-902.
- 邢光福,卢清地,陈荣,等,2008.华南晚中生代构造体制转折结束时限研究——兼与华北燕山地区对比.地质学报,82(4):451-463.
- 章邦桐,王凯兴,凌洪飞,等,2012.浙江莫干山花岗岩体锆石 U-Pb、全岩 Rb-Sr 年代学、Sr-Nd-O 同位素地球化学及成因研究.矿物岩石地球化学通报,31(4):347-353,368.
- 张建芳,龚瑞君,汪隆武,等,2017.浙皖晚中生代仙霞岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学及成岩地质意义.地质学报,91(1):198-212.
- 张建芳,汪隆武,陈津华,等,2015.锆石 U-Pb 年代学和地球化学对浙皖马鞍山高分异岩体成因的约束.地球科学,40(1):98-114.

张建芳,解怀生,许兴苗,等,2013.浙江漓渚地区栅溪—广山岩体地质地球化学特征、构造及找矿意义.中国地质,40(2):403—413.

张俊杰,王光杰,杨晓勇,2012.皖南旌德花岗闪长岩与暗色包体的成因:地球化学、锆石 U-Pb 年代学与 Hf 同位素制约.岩石学报,28(12):4047—4063.

张旗,金惟俊,李承东,等,2010.三论花岗岩按照 Sr-Yb 的分类:应用.岩石学报,26(12):3431—3455.

张旗,王焰,李承东,等,2006.花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义.岩石学报,22(9):2249—2269.

张岳桥,徐先兵,贾东,等,2009.华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录.地学前缘,16(1):234—247.

周翔,余心起,杨赫鸣,等,2012.皖南绩溪县靠背尖高 Ba-Sr 花岗闪长斑岩年代学及其成因.岩石学报,28(10):3403—3417.

《地球科学》

2019 年 5 月 第 44 卷 第 5 期 要目预告

河南省嵩山区元古代嵩山群底部的主滑脱带	索书田等
铜官山 S 状背斜构造综合解析	李东旭等
论大地构造学的发展	万天丰
大陆伸展构造综述	张进江等
中国东部中、新生代软流圈上涌与构造—岩浆—矿集区	邢集善等
兴蒙造山带的基底属性与构造演化过程	许文良等
蛇绿混杂岩就位机制及其大地构造意义新解:基于残余洋盆型蛇绿混杂岩构造解析的启示	王国灿等
喜马拉雅造山带两种不同类型榴辉岩与印度大陆差异性俯冲	张泽明等

附表 1 浙西北地区晚中生代花岗岩 Sr-Nd-Hf 同位素组成

Appendix table 1 Sr-Nd and zircon Hf isotopic compositions of the Late-Mesozoic granites in Northwest Zhejiang

岩体名称及编号	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}\pm 2\sigma$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}\pm 2\sigma$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	$T_{\text{DM}}(\text{Nd})(\text{Ma})$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$T_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Hf})(\text{Ma})$	资料来源
开化桐村花岗斑岩 1	0.956 90~1.216 43	0.709 82±6~0.712 05±4	0.709 25~0.710 05	0.146 13~0.148 26	0.512 29±6~0.512 48±5	-5.7~-2.0	1 115~1 417			王科强, 2015
开化桐村花岗闪长岩 2	0.164 08	0.711 12±6~0.712 09±4	0.710 74~0.711 71	0.137 63	0.512 23±4~0.512 34±19	-6.7~-4.6	1 328~1 496			
淳安大铜坑花岗闪长岩 5	3.230 0~3.585 7	0.714 891±10~0.719 142±12	0.709 327~0.711 896	0.123 336~0.132 171	0.512 238±15~0.512 369±12	-6.5~-3.9	1 320~1 770			Li <i>et al.</i> , 2013
淳安结蒙花岗闪长岩 6	3.234 4~3.889 9	0.716 594±11~0.718 313±11	0.709 744~0.710 074	0.129 590~0.131 469	0.512 302±12~0.512 331±13	-5.3~-4.7	1 490~1 570			
桐庐彰坞花岗闪长岩 11								-5.08~-2.33	1 202~1 358	唐增才, 2016
富阳千家花岗闪长岩 13	0.559 47~0.658 43	0.710 900±10~0.711 011±14	0.709 524~0.709 842	0.118 967~0.114 644	0.512 290±8~0.512 362±8	-5.3~-3.9	1 258~1 366			
德清何村石英二长岩 16	0.617 19~0.679 64	0.708 311±14~0.710 055±10	0.707 004~0.708 616	0.117 984~0.121 951	0.512 315±9~0.512 319±9	-4.9~-4.7	1 325~1 337	-3.79~-1.67	1 162~1 279	唐增才等, 2018
湖州康山二长花岗岩 20								-6.59~-5.23	1 350~1 423	唐增才等, 2018
安吉马鞍山二长花岗岩 21	3.224 87	0.714 31	0.708 25	0.119 25	0.512 22	-6.8	1 477			张建芳等, 2017
安吉章村二长花岗岩 22	0.590 41~1.635 35	0.710 68~0.711 42	0.708 070~0.709 460	0.113 50~0.117 52	0.512 23~0.512 30	-6.4~-5.1	1 356~1 459			张建芳等, 2017
安吉坞山关二长花岗岩 23	0.862 49	0.708 56	0.706 89	0.105 43	0.512 33	-4.5	1 293			浙江省地质调查院 ^①
衢州白菊花尖正长花岗岩 28				0.158 467	0.512 472±14	-2.6	1 489	-0.52~4.23	734~948	Wong <i>et al.</i> , 2009
衢州九华山正长花岗岩 29	23.70	0.752 848±2	0.707 309	0.128 0~0.183 0	0.512 374±10~0.512 424±11	-4.5~-3.6	1 219~1 296	-6.9~-0.8	1 211~1 592	Yang <i>et al.</i> , 2012
淳安铜山二长花岗岩 30	18.107~23.674	0.741 159±4~0.752 314±3	0.707 96~0.708 91	0.105 9~0.168 6	0.512 303±4~0.512 488±6	-5.6~-2.2	1 105~1 376	-6.0~-0.7	1 230~1 570	Jiang <i>et al.</i> , 2011
淳安双溪口二长花岗岩 31	7.458 8~7.940 0	0.723 103±13~0.723 657±10	0.708 986~0.708 321	0.106 948~0.107 153	0.512 313±10~0.512 338±7	-4.9~-4.4	1 280~1 320	-4.7~-2.5	1 192~1 311	唐增才等, 2017
淳安黄石潭二长花岗岩 32	34.954 7	0.772 768±11	0.710 171	0.141 932~0.146 582	0.512 374±13~0.512 413±12	-4.3~-3.5	1 570~1 700			Li <i>et al.</i> , 2013
临安河桥二长花岗岩 35								-9.7~-3.4	1 238~1 593	Hu <i>et al.</i> , 2017
安吉章村正长花岗岩 36	10.313 6~13.622 8	0.724 03~0.729 20	0.703 60~0.704 55	0.117 45~0.125 07	0.512 11~0.512 31	-8.9~-5.1	1 342~1 648			张建芳等, 2017
余杭泗岭正长花岗岩 40								-1.94~1.42	975~1 161	唐增才等, 2018
德清沈家塍正长花岗岩 41								-4.24~-1.37	1 131~1 287	
德清莫干山正长花岗岩 42	1.469	0.711 415±17	0.708 58	0.113 5	0.512 37±17	-3.8	1 237			章邦桐等, 2012
湖州凤凰山正长花岗岩 43	37.554 2	0.773 961±12	0.703 503	0.142 170	0.512 576±8	-0.3	950	1.17~2.48	915~986	唐增才等, 2018

注：岩体编号与图 1、表 1 一致；^①浙江省地质调查院,2015,浙江 1:5 万杭垓、仙霞、船村幅区域地质矿产调查成果报告。