

doi:10.3799/dqkx.2017.076

藏南仲巴地体早奥陶世构造—热事件及其地质意义

刘 强^{1,2,3}, 邓玉彪^{1,2}, 向树元^{1,2}, 李华亮⁴

1. 中国地质大学全球大地构造中心, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
3. 中国地质调查局青藏高原地质研究中心, 四川成都 610081
4. 东华理工大学地球科学学院, 江西南昌 330013

摘要: 仲巴地体是雅鲁藏布江缝合带西段南北蛇绿岩带之间的重要构造单元, 目前对其是否存在早古生代构造—热事件记录及构造属性判别尚不明确。通过野外观测、岩石地球化学研究和年代学分析, 在仲巴地体中段的公珠错一带识别出一套侵入到黑云斜长片麻岩中的片麻状二长花岗岩, 其锆石 U-Pb 年龄为~478 Ma, 表明岩石形成时代为早奥陶世; 该套花岗岩具有高 Si、富 Al 和总碱含量较高的特点, 铝饱和指数 A/CNK=1.13~1.20, 富集大离子亲石元素 Rb、K, 相对亏损 Ba、Sr、Nb、Ti 等, 属于钙碱性强过铝质花岗岩。这是首次在雅鲁藏布江缝合带西段仲巴地体内部识别出代表早奥陶世构造—热事件的地质记录, 该套花岗岩形成过程与原特提斯洋向冈瓦纳大陆北缘俯冲结束后的上地壳熔融相关, 证明仲巴地体在早古生代应为东冈瓦纳大陆北缘的组成部分。

关键词: 片麻状二长花岗岩; 仲巴地体; 雅鲁藏布江缝合带; 藏南; 岩石学。

中图分类号: P56

文章编号: 1000-2383(2017)06-0881-10

收稿日期: 2016-12-30

Early Ordovician Tectono-Thermal Event in Zhongba Terrane and Its Geological Significance

Liu Qiang^{1,2,3}, Deng Yubiao^{1,2}, Xiang Shuyuan^{1,2}, Li Hualiang⁴

1. Center for Global Tectonics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. Research Center for Tibetan Plateau Geology, China Geological Survey, Chengdu 610081, China
4. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China

Abstract: The Zhongba terrane is an important tectonic unit sandwiched between the northern and the southern ophiolitic sub-belts in the western segment of the Yarlung Zangbo Suture Zone (YZSZ), Southwest Tibet. Currently it is still unclear as to whether there exists the Early Paleozoic tectono-thermal events in this terrane as well as its tectonic affinity. Based on field and petrological investigations, a suite of gneissic monzogranite that intruded into a biotite plagioclase gneiss was recognized near the Gongzhu Co area in the middle part of the Zhongba terrane in this study. U-Pb dating of zircon from the monzogranite yielded ages of ~478 Ma, indicating the deformation age for such rock at the Early Ordovician. These monzogranites are characterized by high Si and Al, relatively high contents of total alkalis, A/CNK=1.13-1.20, enrichment of large lithophile elements of Rb and K and depletion of Ba, Sr, Nb and Ti, which should be calc-alkalic alkaline, strong peraluminous granite. To our knowledge, this represents the first report of the Early Ordovician tectono-thermal events taken place within the Zhongba terrane from the western YZSZ. These gneissic monzogranites were formed by the upper crustal melting after subduction of the Proto-Tethys Ocean to the northern margin of the Gondwana supercontinent, and suggesting that the Zhongba terrane should belong to the northern margin of the eastern Gondwana supercontinent at the Early Paleozoic.

Key words: gneissic monzogranite; Zhongba terrane; Yarlung Zangbo Suture Zone; Southwest Tibet; petrology.

基金项目: 中国地调局青藏高原地质研究中心开放课题(Nos.21201010000150014-28, 21201010000150014-29); 西藏1:5万公珠错东地区4幅区域地质矿产调查项目(No.1212011221066); 国家自然科学基金项目(Nos.41603031, 41272078)。

作者简介: 刘强(1978-), 男, 副教授, 主要从事区域构造与高温高压实验的教学与研究工作。ORCID: 0000-0002-9674-4906. E-mail: liuqiang@cug.edu.cn

引用格式: 刘强, 邓玉彪, 向树元, 等, 2017. 藏南仲巴地体早奥陶世构造—热事件及其地质意义. 地球科学, 42(6): 881-890.

0 引言

近年来研究显示,青藏高原南部广泛存在着早古生代的构造—岩浆—变质事件,其主要地质记录表现为喜马拉雅造山带、拉萨地块和南羌塘地块等构造单元中的寒武纪—奥陶纪构造—岩浆事件(许志琴等, 2005; Quigley *et al.*, 2008; 解超明等, 2010; Spencer *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2012; 辜平阳等, 2013; 董昕和张泽明, 2015; 苟正彬等, 2015; Hu *et al.*, 2015; 陈加杰等, 2016; Liu *et al.*, 2016), 这被视为研究东冈瓦纳大陆聚合过程与原特提斯洋构造演化的重要窗口(Cawood *et al.*, 2007; Zhu *et al.*, 2012)。目前,人们对这一重大地质过程的时限、作用机制及效应(如原始喜马拉雅山形成过程)等方面尚存在一定分歧,如对构造背景的认识存在冈瓦纳大陆聚合过程的泛非造山作用(如许志琴等, 2005; 李才等, 2010)与原特提斯洋俯冲下安第斯型造山作用间的差别(Wang *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2014)。区域研究资料表明,藏南寒武纪—奥陶纪的构造—岩浆记录主要沿喜马拉雅山山链呈近东西向展布(东构造结—印度 Mandi)(Zhang *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2012), 影响范围广泛,而喜马拉雅地块与拉萨地块之间的雅鲁藏布江缝合带(Yarlung Zangbo

Suture Zone, YZSZ)的研究资料则相对缺乏(Hébert *et al.*, 2012; 刘飞等, 2015)。Zhang *et al.* (2014)对 YZSZ 中段夏如花岗岩进行研究,在 YZSZ 内发现代表早古生代构造—岩浆事件的强过铝 S 型花岗岩。该研究的启示意义在于,这类地质记录在近 2 000 km 的 YZSZ 是否普遍存在,其表现形式是什么,不同区段是否存在差别? 在 YZSZ 西段,仲巴地体是达机翁—萨嘎蛇绿混杂岩带(北亚带)和达巴—休古嘎布蛇绿岩带(南亚带)之间的重要地质单元,主体为一套震旦—寒武纪变质岩系和奥陶—三叠纪稳定型海相沉积地层。限于区域地质研究程度,目前人们对仲巴地体的岩浆活动、构造属性及结晶基底等基础地质问题的认识尚不明确。本研究通过野外地质调查和室内测试分析,在仲巴地体中段公珠错地区识别出一套形成于早奥陶世的片麻状花岗岩,这对于确定 YZSZ 西段早古生代构造—热(岩浆)事件的表现形式及明确仲巴地体的构造属性具有重要地质意义。

1 地质背景与样品特征

仲巴地体是 YZSZ 西段的主要地质单元,其东西延伸约 400 km,南北宽约 30 km,南北部分别为穷果—门士(YZSZ 北亚带)和札达—仲巴—查藏

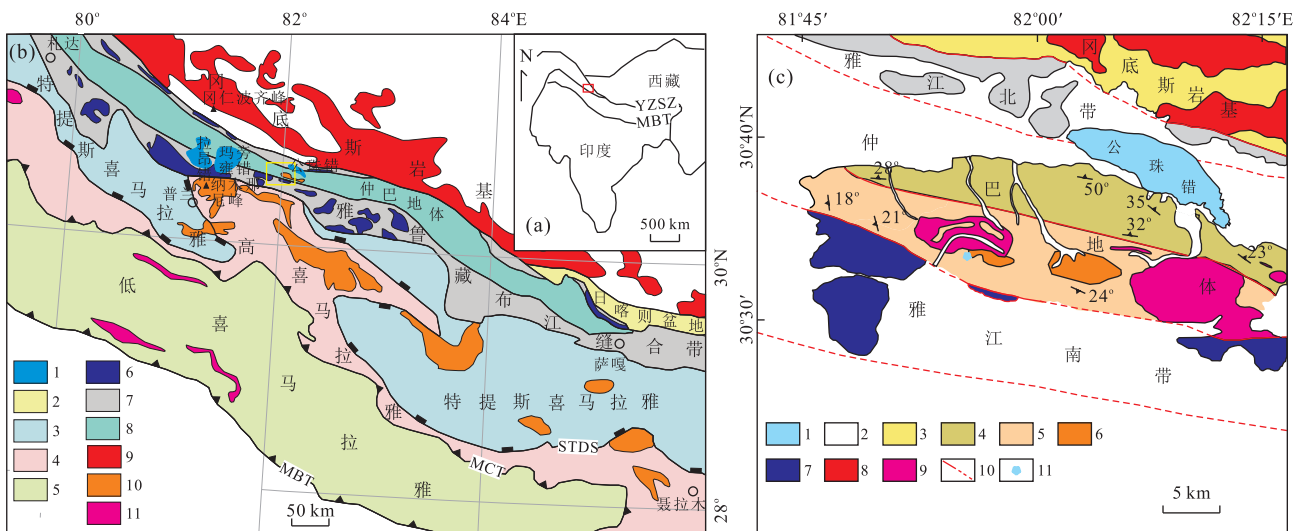


图 1 藏南仲巴地体区域构造位置(a, b)与研究区地质简图(c)

Fig.1 Regional tectonic map of the Zhongba terrane, southern Tibet (a, b) and simplified geological map of the Gongzhu Co area (c)
 图 b 中: 1.湖泊; 2.日喀则弧前盆地; 3.特提斯喜马拉雅带; 4.高喜马拉雅带; 5.低喜马拉雅带; 雅鲁藏布江缝合带; 6.侏罗纪—白垩纪蛇绿岩; 7.晚白垩纪蛇绿混杂岩; 8.仲巴地体:震旦—寒武系绿片岩相浅变质岩和奥陶—白垩系滨浅海相沉积岩; 9.冈底斯岩基; 白垩纪—新近纪火成岩; 10.新生代淡色花岗岩; 11.奥陶纪花岗岩; MBT.主边界逆冲断裂; MCT.主中央逆冲断裂; STDS.藏南拆离系; YZSZ.雅鲁藏布江缝合带;
 图 c 中: 1.湖泊; 2.第四系; 3.古近纪—新近纪砾岩; 4.石炭系钙质片岩、石英片岩、大理岩; 5.震旦—寒武系(?)黑云斜长片麻岩、长英质片岩; 6.奥陶纪片麻状二长花岗岩; 7.晚侏罗世—早白垩世蛇绿岩; 8.白垩纪—新近纪火成岩; 9.新生代淡色花岗岩; 10.主边界断裂; 11.样品位置。
 图 b 据刘飞等(2015)有修改;图 c 据 Pullen *et al.*(2011)有修改

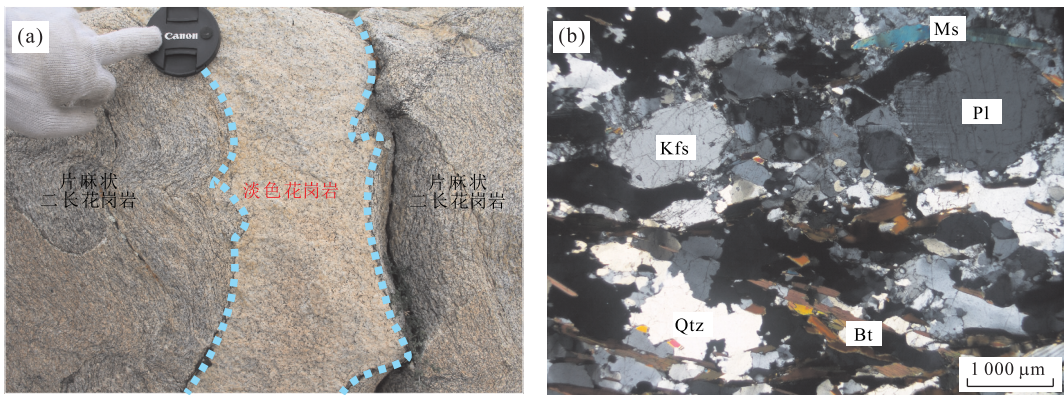


图 2 公珠错片麻状二长花岗岩的野外特征(a)与显微照片(b)

Fig.2 Field photos (a) and micrographs (b) of gneissic monzogranite from the Gongzhu Co area

Qtz.石英;Pl.斜长石;Kfs.钾长石;Bt.黑云母;Ms.白云母

(YZSZ 南亚带)两条主断裂限制,总体呈 NW-SE 向延伸狭长弧状展布(图 1a,1b).地体内主要为浅海台地相—台地边缘相碎屑岩、泥页岩、碳酸盐岩互层的稳定型沉积地层,主体构造样式为巨型复式背斜.鉴于仲巴地体内未发现有与聂拉木群相当的古老结晶岩系,李祥辉等(2014)建议使用“仲巴微地体”来描述其构造属性.

本次研究区位于仲巴地体中段公珠错南部的沟谷区域(又称 Xiao Gurla; Pullen *et al.*, 2011),其主要岩石类型为黑云斜长片麻岩、石英片岩、大理岩、钙质片岩和千枚岩等;其主体构造形态呈穹窿状特征,长轴方向与近 EW 向 YZSZ 近于一致(Pullen *et al.*, 2011),黑云斜长片麻岩位于穹窿核部位置,被片麻状二长花岗岩、淡色花岗岩(二云母花岗岩为主)侵入(图 1c),南侧与雅鲁藏布江缝合带南带蛇绿混杂岩呈断层接触.

根据野外接触关系,片麻状二长花岗岩被淡色花岗岩侵入(图 2a).受构造变形影响,二长花岗岩边缘多发育糜棱岩化.岩石露头上呈灰色,新鲜面为灰白色,具变余花岗结构、片麻状构造,主要矿物组成为斜长石(35%~40%)、钾长石(25%~30%)、石英(30%~35%)、黑云母(~5%)、白云母(~2%)以及少量磁铁矿、磷灰石等(图 2b).斜长石多呈半自形板状,可见聚片双晶,粒径约为 0.2~3.0 mm,边缘及裂理中可见粘土化蚀变;钾长石呈半自形板状,边缘多蚀变为粘土矿物;石英呈他形颗粒(0.5~2.0 mm),黑云母多呈褐色片状,大小约 0.2~1.5 mm,多定向排列而构成片麻理(图 2b).本次采集片麻状二长花岗岩样品两件(2C-0 和 2C-2)和糜棱岩化样品一件(2C-1)进行测试分析.

2 分析测试方法

岩石全岩化学样品为 3 件(2C-0、2C-1 和 2C-2),分析测试工作在广州澳实矿物实验室完成.样品首先用无污染钵振动碾磨至 200 目粉末,主量元素测试方法采用偏硼酸锂熔融,X 荧光光谱仪分析(X-ray fluorescence, XRF),分析质量百分含量精度为 0.01%;微量元素测试方法是采用四酸消解,质谱/光谱仪综合分析;全岩稀土元素测试方法是采用硼酸锂熔融,等离子质谱仪定量分析;La、Ce 与 Y 的分析精度为 0.5×10^{-6} , Pb 与 Ni 为 5×10^{-6} , 其他元素为 0.05×10^{-6} , 分析结果见表 1.

岩石样品(2C-0 和 2C-1)的锆石挑样由廊坊诚信地质公司完成,锆石靶制作与阴极发光(cathodoluminescence, CL)在武汉上谱分析科技有限公司完成,锆石测试分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行,测试采用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, LA-ICP-MS)分析,ICP-MS(inductively coupled plasma mass spectrometry)为 Agilent 7500a,激光剥蚀斑束直径为 32 μm ,剥蚀深度为 20~40 μm ,氦气为载气,元素含量以国际标样 NIST610 玻璃为外标和 Si 内标进行计算,以标准锆石 91500 作为外标进行同位素分馏校正,每测试 6 个点测试 2 次标准锆石 91500,设备操作条件和数据处理(如 U-Th-Pb 同位素比值、U-Pb 年龄及元素含量)(ICPMSDataCal 软件)参考文献见 Liu *et al.*(2009, 2010),锆石加权平均年龄计算和谐和图绘制采用 Isplot 4.0 软件处理完成,分析结果见表 2.

表 1 公主错地区片麻状二长花岗岩主量(%)与微量元素(10^{-6})分析结果

Table 1 The results of major elements (%) and trace elements (10^{-6}) of gneissic monzonitic granite from the Gongzhu Co area

样品	2C-0	2C-1	2C-2
主量元素(%)			
SiO ₂	71.70	74.02	74.93
TiO ₂	0.45	0.23	0.25
Al ₂ O ₃	13.25	12.88	12.67
Fe ₂ O ₃	4.14	2.27	2.34
MnO	0.06	0.04	0.05
MgO	1.08	0.52	0.52
CaO	1.45	0.71	0.78
Na ₂ O	3.45	2.80	2.75
K ₂ O	2.52	5.09	4.65
P ₂ O ₅	0.25	0.16	0.16
LOI	0.72	0.50	0.66
Total	99.07	99.22	99.76
Mg [#]	37.81	34.80	34.12
微量元素(10^{-6})			
Sc	8.80	5.29	5.61
V	42.0	20.3	22.7
Cr	30.0	168.0	30.4
Co	6.60	2.99	2.39
Ni	24.10	11.00	6.31
Ga	20.9	16.9	16.8
Rb	286	388	414
Sr	49.20	32.60	30.51
Y	46.9	37.4	40.2
Zr	231.0	98.5	104.0
Nb	17.3	11.3	12.7
Cs	23.9	52.3	37.7
Ba	233	281	285
La	35.5	16.9	18.6
Ce	75.1	34.5	37.6
Pr	8.72	3.84	4.34
Nd	30.8	14.8	16.5
Sm	8.14	3.84	4.18
Eu	0.74	0.45	0.45
Gd	7.81	3.99	4.28
Tb	1.29	0.81	0.86
Dy	8.05	5.82	6.15
Ho	1.67	1.21	1.29
Er	5.14	3.47	3.81
Tm	0.72	0.56	0.64
Yb	4.42	3.82	4.47
Lu	0.65	0.52	0.60
Hf	6.60	3.23	3.40
Ta	1.64	1.82	2.11
Pb	19.3	26.1	22.6
Th	21.4	13.8	14.9
U	3.23	2.42	3.97

注:TFEO(as total iron) = FeO + 0.9 × Fe₂O₃; Mg[#] = 100 × Mg²⁺ / (Mg²⁺ + Fe²⁺); 主量元素为质量百分含量。

3 分析测试结果

3.1 岩石化学特征

测试结果显示,3件全岩样品的质量百分含量 SiO₂ 介于 71.70%~74.93%, Al₂O₃ 介于 12.67%~13.35%, Na₂O+K₂O 介于 6.07%~8.00% (表 1), K₂O/Na₂O 平均比值为 1.41; 铝饱和指数 A/CNK = 1.13~1.20 (A/CNK = Al₂O₃ / (CaO + Na₂O + K₂O)), 均大于 1.1; Mg[#] = 34.12~37.81 (Mg[#] = 100 × Mg²⁺ / (Mg²⁺ + Fe²⁺)), 里特曼指数 σ 为 1.23~2.00 ($\sigma = (Na_2O + K_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$), CIPW 标准矿物结果显示标准刚玉(C)分子含量为 1.27%~1.97%, 平均值为 1.55%。上述岩石化学特征显示,本次的花岗岩样品均属于钙碱性强过铝质花岗岩。全岩稀土元素(rare earth elements, REE)总量为 $94 \times 10^{-6} \sim 189 \times 10^{-6}$ (图 3), 轻重稀土比值为 3.67~5.34, (La/Yb)_N 为 2.98~5.76, (Gd/Yb)_N 为 0.79~1.46。球粒陨石标准化显示轻稀土元素(light rare earth elements, LREE)相对重稀土元素(heavy rare earth elements, HREE)富集, HREE 分馏不明显, Eu 负异常(图 3a), δ Eu 为 0.28~0.35, δ Ce 为 0.99~1.02。原始地幔标准化的微量元素显示富集大离子亲石元素 Rb、K, 亏损 Ba、Sr、Nb、Ti 等元素, Ti、Sr 元素亏损明显(图 3b)。

3.2 锆石 U-Pb 测年

样品 2C-0 中所挑选的锆石呈浅棕色, 呈自形一半自形短柱状, 粒径在 100~200 μ m。CL 图像显示(图 4a), 多数锆石具有核边结构, 核部为残留继承核, 多呈不规则棱角状和椭圆状, 边部全部发育细密的振荡环带, 部分锆石出现极窄的增生边。样品 2C-1 中的锆石呈无色透明, 呈半自形长柱状、短柱状, 粒径在 100~250 μ m, 多数锆石具有核边结构(图 4b), 少数无继承核, 多数发育极窄且不连续的变质增生边, 锆石边部和无继承核锆石发育细密的振荡环带, 显示出岩浆锆石特征(吴元保和郑永飞, 2004)。

样品 2C-0 的锆石中(26 个测点, 继承核 10 个, 边部 16 个)获得 26 个谐和年龄(表 2)。其中, 继承核的 Th/U = 0.07~1.19, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄变化范围为 532~2 185 Ma。锆石边部²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 470~488 Ma, 加权平均年龄为 478.2 ± 2.3 Ma (MSWD = 1.3, 置信度为 95%) (图 5a, 表 2), Th/U = 0.1~0.2, HREE 相对富集, Eu 负异常和不同程度 Ce 正异常(图 5b), 表明该年龄为岩浆结晶年龄。样品 2C-1 锆石边部和无继承核锆石中获得 3 组谐和年龄

表 2 公主错地区片麻状二长花岗岩(2C-0、2C-1)单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素结果
Table 2 The results of the LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating for the single-grain zircon from the Gongzhu Co area

测点编号	Pb(10 ⁻⁶)	Th(10 ⁻⁶)	U(10 ⁻⁶)	Th/U	同位素比值					同位素年龄(Ma)						
					²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	$\pm 1\sigma$
2C-0(第 1~10 行为锆石继承核,第 11~26 行为锆石边部)																
1	74.3	82.9	623	0.13	0.063 0	0.002 0	0.782 2	0.017 6	0.089 6	0.000 7	709	55.0	587	10.0	553	4.0
2	503.0	410.0	906	0.45	0.081 3	0.002 0	2.332 0	0.044 4	0.206 8	0.001 9	1 229	36.0	1 222	14.0	1 212	10.0
3	75.7	69.3	359	0.19	0.067 2	0.002 0	1.165 9	0.028 4	0.125 5	0.001 2	843	52.0	785	13.0	762	7.0
4	289.0	288.0	242	1.19	0.080 2	0.002 0	2.379 0	0.057 9	0.213 9	0.001 8	1 267	50.0	1 236	17.0	1 250	10.0
5	44.3	58.1	413	0.14	0.060 6	0.002 0	0.724 6	0.022 6	0.086 0	0.001 0	633	60.0	553	13.0	532	6.0
6	178.0	152.0	240	0.64	0.078 1	0.002 0	2.283 8	0.054 2	0.210 3	0.002 0	1 150	46.0	1 207	17.0	1 230	10.0
7	404.0	225.0	280	0.80	0.119 6	0.002 0	5.578 1	0.107 4	0.335 4	0.002 6	1 950	34.0	1 913	17.0	1 865	13.0
8	244.0	171.0	206	0.83	0.105 6	0.003 0	3.270 1	0.090 6	0.222 1	0.002 5	1 726	50.0	1 474	22.0	1 293	13.0
9	578.0	78.8	1 112	0.07	0.178 2	0.004 0	10.020 0	0.220 3	0.403 4	0.003 5	2 636	36.0	2 437	20.0	2 185	16.0
10	165.0	225.0	354	0.63	0.070 6	0.002 0	1.338 1	0.036 2	0.136 4	0.001 9	946	52.0	862	16.0	824	11.0
11	76.1	84.5	897	0.99	0.057 0	0.001 0	0.608 6	0.015 2	0.076 9	0.000 6	500	56.0	483	10.0	477	4.0
12	82.7	81.8	1 038	0.08	0.056 2	0.001 0	0.604 2	0.014 4	0.077 3	0.000 7	457	50.0	480	9.0	480	4.0
13	54.7	82.9	514	0.16	0.056 9	0.002 0	0.605 9	0.016 6	0.076 8	0.000 8	487	59.0	481	11.0	477	5.0
14	79.7	114.0	730	0.16	0.057 4	0.001 0	0.617 4	0.014 4	0.077 5	0.000 6	506	57.0	488	9.0	481	4.0
15	215.0	507.0	722	0.70	0.054 6	0.001 0	0.585 6	0.015 2	0.077 4	0.000 7	394	55.0	468	10.0	481	4.0
16	88.7	92.0	1 085	0.08	0.055 5	0.001 0	0.582 4	0.013 7	0.075 7	0.000 6	432	47.0	466	9.0	470	4.0
17	163.0	103.0	2 393	0.04	0.055 8	0.001 0	0.609 4	0.011 3	0.078 6	0.000 6	443	8.0	483	7.0	488	4.0
18	67.2	118.0	555	0.21	0.054 7	0.002 0	0.575 1	0.015 3	0.076 0	0.000 7	467	61.0	461	10.0	472	4.0
19	51.5	75.9	467	0.16	0.055 6	0.002 0	0.586 8	0.015 8	0.076 1	0.000 7	435	59.0	469	10.0	473	4.0
20	55.2	78.0	487	0.16	0.056 2	0.002 0	0.602 4	0.017 7	0.077 2	0.000 8	461	67.0	479	11.0	480	5.0
21	94.8	104.0	1 084	0.10	0.055 9	0.001 0	0.596 1	0.013 5	0.076 6	0.000 5	450	50.0	475	9.0	475	3.0
22	74.1	78.1	841	0.09	0.058 6	0.002 0	0.632 6	0.015 8	0.077 4	0.000 6	554	57.0	498	10.0	481	4.0
23	52.4	60.2	571	0.11	0.056 9	0.002 0	0.608 7	0.016 5	0.077 0	0.000 7	487	57.0	483	10.0	478	4.0
24	63.4	55.3	839	0.07	0.057 3	0.002 0	0.613 0	0.015 7	0.077 3	0.000 7	506	53.0	485	10.0	480	4.0
25	77.3	82.9	894	0.09	0.058 5	0.001 0	0.620 8	0.014 7	0.076 7	0.000 6	546	52.0	490	9.0	477	4.0
26	70.0	91.6	676	0.14	0.055 9	0.001 6	0.598 2	0.016 9	0.077 3	0.000 7	456	63.0	476	10.7	480	3.9
2C-1(第 1 行为锆石继承核,第 2~18 行为锆石边部,第 19~21 行为暗灰色锆石边缘部位)																
1	191.0	203.0	1 029	0.20	0.069 6	0.001 2	1.225 2	0.022 3	0.126 9	0.001 2	917	34.1	812	10.2	770	6.9
2	129.0	219.0	1 249	0.18	0.056 8	0.001 2	0.607 0	0.013 8	0.076 9	0.000 7	487	46.0	482	9.0	477	4.0
3	151.0	258.0	1 478	0.17	0.055 6	0.001 0	0.595 3	0.011 4	0.077 1	0.000 6	439	43.0	474	7.0	479	4.0
4	99.0	162.0	1 048	0.16	0.053 5	0.001 4	0.569 4	0.016 6	0.076 9	0.000 9	350	61.0	458	11.0	478	5.0
5	165.0	197.0	2 067	0.10	0.053 9	0.001 0	0.575 0	0.010 8	0.077 0	0.000 7	369	41.0	461	7.0	478	4.0
6	178.0	239.0	2 031	0.12	0.060 6	0.003 0	0.623 2	0.016 6	0.077 1	0.001 0	633	103.0	492	10.0	479	6.0
7	104.0	177.0	1 023	0.17	0.056 4	0.001 4	0.602 4	0.017 4	0.077 0	0.001 2	478	54.0	479	11.0	478	7.0
8	112.0	190.0	1 123	0.17	0.055 0	0.001 6	0.581 0	0.016 8	0.077 1	0.001 1	413	67.0	465	11.0	479	7.0
9	133.0	195.0	1 384	0.14	0.055 6	0.001 2	0.590 2	0.013 0	0.076 8	0.000 7	435	48.0	471	8.0	477	4.0
10	108.0	186.0	1 059	0.18	0.054 7	0.001 5	0.579 1	0.015 4	0.076 9	0.000 9	467	61.0	464	10.0	478	5.0
11	85.0	179.0	1 662	0.11	0.054 1	0.000 9	0.578 4	0.011 3	0.077 2	0.000 9	372	34.0	473	7.0	479	5.0
12	80.0	122.0	855	0.14	0.055 4	0.001 5	0.588 2	0.015 5	0.076 9	0.000 6	428	59.0	470	10.0	478	4.0
13	99.0	121.0	1 212	0.10	0.052 7	0.000 9	0.565 8	0.011 0	0.077 3	0.000 7	317	44.0	455	7.0	480	4.0
14	128.0	206.0	1 309	0.16	0.053 9	0.001 1	0.578 2	0.012 2	0.077 4	0.000 6	365	48.0	463	8.0	481	4.0
15	182.0	341.0	1 563	0.22	0.054 3	0.001 1	0.576 7	0.011 0	0.076 8	0.000 5	383	44.0	462	7.0	477	3.0
16	111.0	204.0	992	0.21	0.056 4	0.001 4	0.601 9	0.015 5	0.076 8	0.000 7	478	52.0	478	10.0	477	4.0
17	143.0	217.0	1 639	0.13	0.053 4	0.000 7	0.571 2	0.010 1	0.077 0	0.001 0	346	27.0	459	7.0	478	6.0
18	157.0	273.0	1 541	0.18	0.055 0	0.001 1	0.585 9	0.011 2	0.076 9	0.000 7	413	44.4	468	7.2	478	4.4
19	672.0	297.0	11 972	0.02	0.053 8	0.000 7	0.521 6	0.007 8	0.069 8	0.000 6	365	25.0	426	5.0	435	4.0
20	490.0	266.0	7 980	0.03	0.054 2	0.000 5	0.526 6	0.006 7	0.069 9	0.000 6	389	53.0	430	5.0	435	4.0
21	541.0	315.0	8 649	0.04	0.054 2	0.001 0	0.552 8	0.011 1	0.073 3	0.000 6	389	41.0	447	7.0	456	3.0

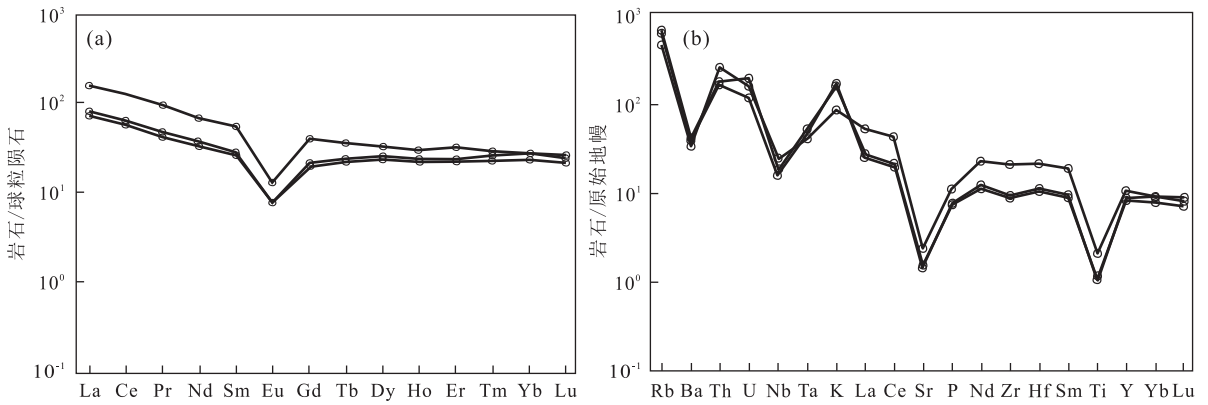


图 3 公珠错片麻状二长花岗岩样品稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive-mantle-normalized trace element spidergrams (b) of gneissic monzogranite samples from the Gongzhu Co area

球粒陨石和原始地幔标准化值据 Sun and McDonough(1989)

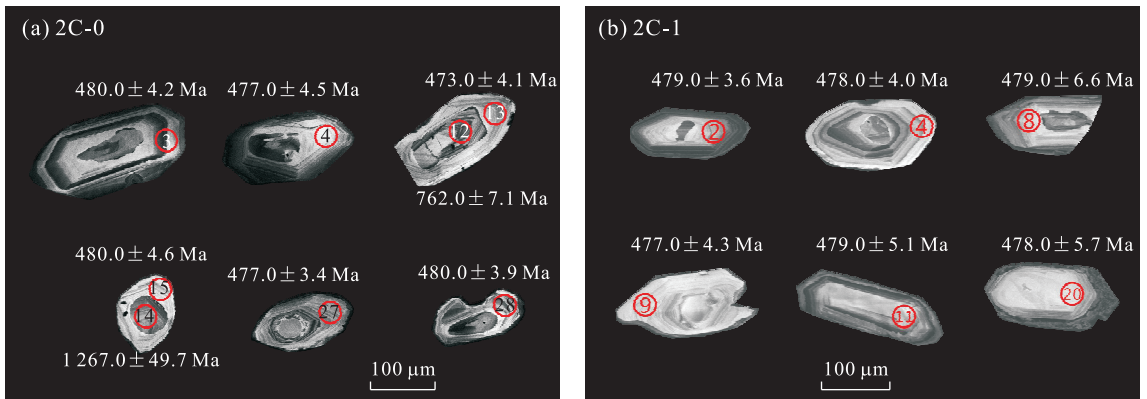


图 4 公珠错片麻状二长花岗岩样品中典型锆石的 CL 图像

Fig. 4 Representative CL images of zircons for gneissic monzogranite samples from the Gongzhu Co area

锆石中红色圆圈为激光剥蚀位置,内部数字为测点号,锆石外侧数字为对应测点的 U-Pb 年龄

(~770 Ma, 477~481 Ma 和 435~456 Ma)(21 个测点;表 2)。据锆石 CL 图像,770.0±6.9 Ma 应代表继承核年龄;第二组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 477~481 Ma (17 个测点),加权平均年龄为 478.2 ± 2.1 Ma (MSWD=0.07,置信度为 95%) (图 5c,表 2),Th/U=0.10~0.22, HREE 强烈富集,强烈 Eu 负异常和弱 Ce 正异常(图 5d),表明该年龄为岩浆结晶年龄;第 3 组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 456.0 ± 3.4 Ma、 435.0 ± 3.7 Ma 和 435.0 ± 3.9 Ma, Th/U=0.02~0.04,这 3 个位于锆石边部的测点年龄偏小,可能由于后期构造热事件中 Pb 丢失导致。

总体上,本研究获得两件片麻状二长花岗岩(2C-0 和 2C-1)形成年龄为~478 Ma,证实仲巴地体内存在早奥陶世构造-热事件的年代学记录。

4 讨论

YZSZ 西段的构造-岩浆活动记录主要分布于仲巴地体北部的冈底斯岩浆弧带,是燕山晚期-喜山早期、新特提斯洋俯冲削减及印度-欧亚板块碰撞过程的产物(如 Jiang *et al.*, 2014),仲巴地体主要出露震旦系-三叠系不同时代的沉积地层,岩浆活动微弱。本研究采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 方法,在仲巴地体中段公珠错一带获得片麻状二长花岗岩加权平均年龄为~478 Ma,代表岩浆结晶年龄。这一年龄与喜马拉雅地块内花岗岩形成时代(Cawood *et al.*, 2007; Quigley *et al.*, 2008)及 YZSZ 中段夏如片麻状花岗岩形成年龄(474~478 Ma)(Zhang *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2016)具有较好一致性,晚于北拉萨地块内部寒武纪火山岩年龄(~500 Ma)(Zhu *et al.*, 2012),这是

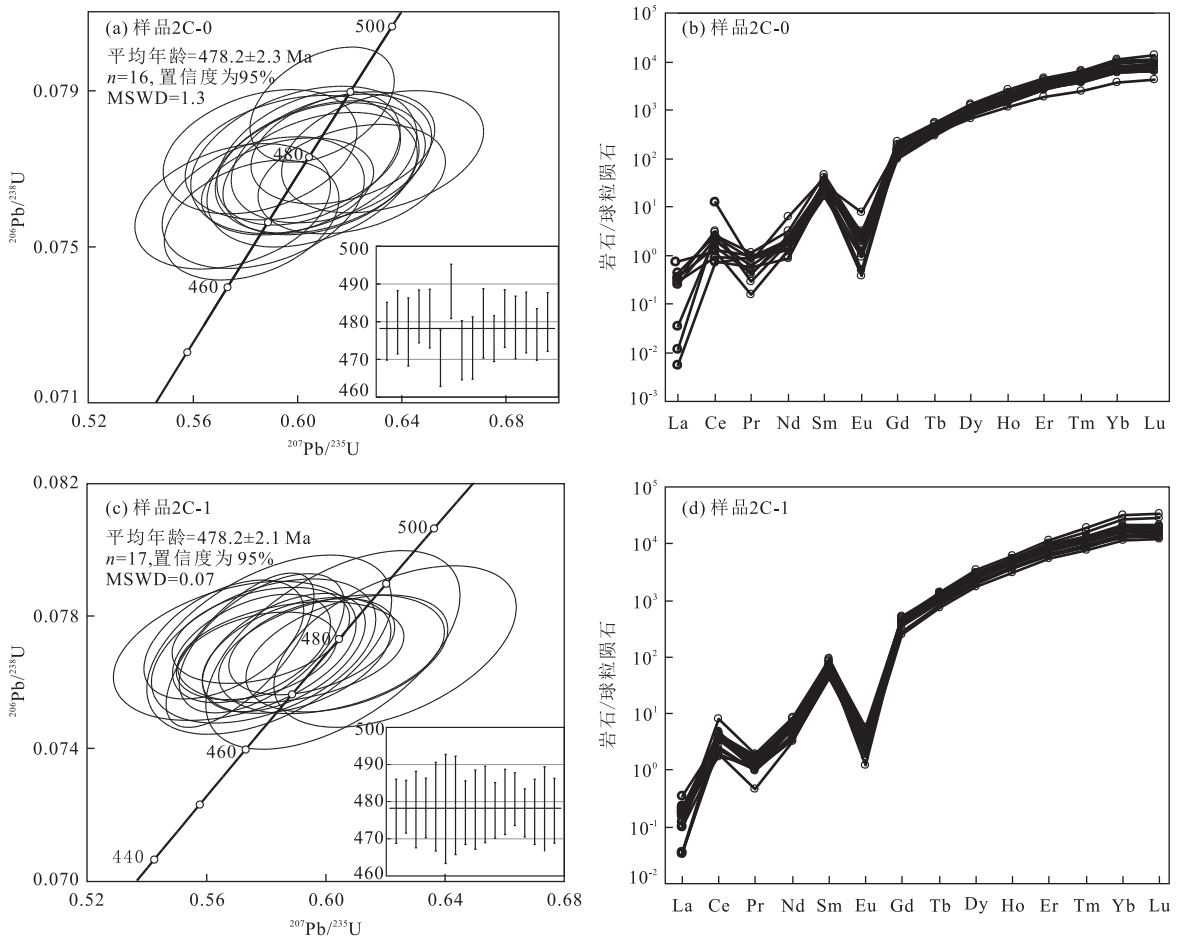


图 5 公珠错片麻状二长花岗岩样品(2C-0,2C-1)LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图(a,c)和稀土元素球粒陨石标准化配分图(b,d)

Fig.5 U-Pb concordia diagrams (a, c) and chondrite-normalized REE patterns (b, d) for zircon grains from gneissic monzogranite samples (2C-0,2C-1) in the Gongzhu Co area

球粒陨石标准化值据 Sun and McDonough(1989)

首次在仲巴地体内部识别出早奥陶世构造—热事件的地质记录,同时也是青藏高原南部早古生代构造—岩浆活动在喜马拉雅地块西部区域的重要表现形式之一。全岩地球化学特征显示,本研究的公珠错片麻状二长花岗岩属于强过铝质 S 型花岗岩,如在 Zr-TiO₂ 图解中(图略),样品位于 S 型花岗岩区内;在 (Nb+Y)-Rb(图略)图解中,样品落入 syn-COLG 区,显示出同碰撞花岗岩特征。根据样品 2C-0 锆石残留继承核年龄特征并结合全岩微量元素图解(如 Rb/Sr-Rb/Ba 图解,图略),可以确定该套片麻状花岗岩的源岩为变沉积岩。

根据前人构造—古地理重建结果(Kusky *et al.*, 2003; Cawood *et al.*, 2007; 李才等, 2008; Zhu *et al.*, 2012),东冈瓦纳大陆北缘的早古生代构造—岩浆—变质事件演化过程主要表现为:~530 Ma 原特提斯洋向东冈瓦纳大陆北缘俯冲形成主动大陆边缘;~510 Ma 俯冲洋壳板片回转,弧后扩张并形成

大规模玄武质岩浆;~492 Ma 俯冲洋壳发生断离,在陆缘形成双峰式火山岩(Zhu *et al.*, 2012)。在晚寒武世—早奥陶世,随着洋壳俯冲消减结束,南羌塘、拉萨等地块与东冈瓦纳大陆北缘发生聚合碰撞(Cawood *et al.*, 2007),使得陆缘地壳发生加厚而导致上地壳物质重熔并形成过铝质花岗岩,缺乏同时期的弧火山岩或闪长岩。将本研究的公珠错片麻状二长花岗岩特征与雅江缝合带中段夏如状花岗岩(Zhang *et al.*, 2014)相结合,表明二者岩石学特征及形成时代具有一致性,显示与东冈瓦纳大陆北缘的上地壳熔融过程密切相关,而与泛非造山过程存在明显差异。本研究从构造—热事件的角度证明仲巴地体与南部喜马拉雅地块早古生代花岗岩地质特征具有一致性,表明仲巴地体的构造属性与喜马拉雅地块具有亲缘性,其在早古生代应为冈瓦纳大陆北缘的组成部分,这与前人碎屑锆石的研究认识(孙高远与胡修棉, 2012)相一致。在后期构造演化中,公

珠错二长花岗岩发生变形变质而形成片麻状构造,喜山期为淡色花岗岩所侵入,在平面构成穹隆样式构造(Pullen *et al.*, 2011; 王晓先等, 2016)。

值得注意的是,本次公珠错片麻状二长花岗岩围岩为较大面积的黑云斜长片麻岩(图 1c),这是仲巴地体内部较少出露的岩石类型,其碎屑锆石初步研究结果显示锆石继承核最小年龄为 626.0 ± 5.0 Ma 和 629.0 ± 6.4 Ma,表明其地层形成时代应在晚震旦世。目前,人们多将拉昂错西侧一带的震旦—寒武系的齐吾贡巴群作为仲巴地体内的最老地层,其主体岩性为一套缺乏年代学限制的钙质片岩和石英片岩(李祥辉等, 2014)。根据野外地质调查结果(图 1c),黑云斜长片麻岩在层位上相当于齐吾贡巴群下部,其变形变质程度较高且结晶程度较好,在今后研究中可考虑将其做为仲巴地体的结晶基底。

5 结论

(1) 仲巴地体中段公珠错一带出露有黑云斜长片麻岩、片麻状二长花岗岩和淡色花岗岩等岩石组合。本研究分析获得片麻状二长花岗岩的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 478 Ma,代表其形成年龄,这是首次在仲巴地体内部识别出代表早奥陶世构造—热事件的地质记录。

(2) 岩石地球化学特征显示,片麻状二长花岗岩具有强过铝质 S 型花岗岩的特征,其形成过程与原特提斯洋向冈瓦纳大陆北缘俯冲结束后的上地壳部分熔融相关。

(3) 仲巴地体在早古生代属于冈瓦纳大陆北缘组成部分,其构造属性与喜马拉雅地体具有亲缘性。

References

Cawood, P. A., Johnson, M. R. W., Nemchin, A. A., 2007. Early Palaeozoic Orogenesis along the Indian Margin of Gondwana: Tectonic Response to Gondwana Assembly. *Earth and Planetary Science Letters*, 255(1–2): 70–84. doi: 10.1016/j.epsl.2006.12.006

Chen, J. J., Fu L. B., Wei, J. H., et al., 2016. Geochemical Characteristics of Late Ordovician Granodiorite in Gouli Area, Eastern Kunlun Orogenic Belt, Qinghai Province: Implications on the Evolution of Proto-Tethys Ocean. *Earth Science*, 41(11): 1863–1882 (in Chinese with English abstract).

Dong, X., Zhang, Z. M., 2015. Cambrian Granitoids from the Southeastern Tibetan Plateau: Research on Petrology

and Zircon Hf Isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 31(5): 1183–1199 (in Chinese with English abstract).

Gou, Z. B., Zhang, Z. M., Dong, X., et al., 2015. Petrogenesis and Tectonic Significance of the Early Paleozoic Granitic Gneisses from the Yadong Area, Southern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 31(12): 3674–3686 (in Chinese with English abstract).

Gu, P. Y., He, S. P., Li, R. S., et al., 2013. Geochemical Features and Tectonic Significance of Granitic Gneiss of Laguigangri Metamorphic Core Complexes in Southern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 756–768 (in Chinese with English abstract).

Hébert, R., Bezard, R., Guilmette, C., et al., 2012. The Indus-Yarlung Zangbo Ophiolites from Nanga Parbat to Namche Barwa Syntaxes, Southern Tibet: First Synthesis of Petrology, Geochemistry, and Geochronology with Incidences on Geodynamic Reconstructions of Neo-Tethys. *Gondwana Research*, 22(2): 377–397. doi: 10.1016/j.gr.2011.10.013

Hu, P. Y., Zhai, Q. G., Jahn, B. M., et al., 2015. Early Ordovician Granites from the South Qiangtang Terrane, Northern Tibet: Implications for the Early Paleozoic Tectonic Evolution along the Gondwanan Proto-Tethyan Margin. *Lithos*, 220–223: 318–338. doi: 10.1016/j.lithos.2014.12.020

Jiang, Z. Q., Wang, Q., Wyman, D. A., et al., 2014. Transition from Oceanic to Continental Lithosphere Subduction in Southern Tibet: Evidence from the Late Cretaceous–Early Oligocene (~91–30 Ma) Intrusive Rocks in the Chanang-Zedong Area, Southern Gangdese. *Lithos*, 196–197: 213–231. doi: 10.1016/j.lithos.2014.03.001

Kusky, T. M., Abdelsalam, M., Tucker, R. D., et al., 2003. Evolution of the East African and Related Orogens, and the Assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, 123(2–4): 81–85. doi: 10.1016/s0301–9268(03)00062–7

Li, C., Wu, Y. W., Wang, M., et al., 2010. Significant Progress on Pan-African and Early Paleozoic Orogenic Events in Qinghai-Tibet Plateau—Discovery of Pan-African Orogenic Unconformity and Cambrian System in the Gangdise Area, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 29(12): 1733–1736 (in Chinese with English abstract).

Li, C., Zhai, Q. G., Dong, Y. S., et al., 2008. Oceanic Crust on the Northern Margin of Gondwana—Evidence from Early Paleozoic Ophiolite in Central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 27(10): 1605–1612 (in Chinese with English abstract).

Li, X. H., Wang, C. S., Li, Y. L., et al., 2014. Definition and Composition of the Zhongba Microterranes in Southwest

- Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 88 (8): 1372—1381 (in Chinese with English abstract).
- Liu, F., Yang, J. S., Lian, D. Y., et al., 2015. Genesis and Characteristics of the Western Part of the Yarlung Zangbo Ophiolites, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 31 (12): 3609—3628 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y., Gao, S., Hu, Z., et al., 2009. Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51 (1—2): 537—571. doi: 10.1093/petrology/egp082
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Zong, K. Q., et al., 2010. Reappraisal and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55 (15): 1535—1546. doi: 10.1007/s11434—010—3052—4
- Liu, Z. C., Wu, F. Y., Ding, L., et al., 2016. Highly Fractionated Late Eocene (~35 Ma) Leucogranite in the Xiaru Dome, Tethyan Himalaya, South Tibet. *Lithos*, 240—243: 337—354. doi: 10.1016/j.lithos.2015.11.026
- Pullen, A., Kapp, P., DeCelles, P. G., et al., 2011. Cenozoic Anatexis and Exhumation of Tethyan Sequence Rocks in the Xiao Gurla Range, Southwest Tibet. *Tectonophysics*, 501 (1—4): 28—40. doi: 10.1016/j.tecto.2011.01.008
- Quigley, M. C., Liangjun, Y., Gregory, C., et al., 2008. U-Pb SHRIMP Zircon Geochronology and *T-t-d* History of the Kampa Dome, Southern Tibet. *Tectonophysics*, 446 (1—4): 97—113. doi: 10.1016/j.tecto.2007.11.004
- Spencer, C. J., Harris, R. A., Dorais, M. J., 2012. Depositional Provenance of the Himalayan Metamorphic Core of Garhwal Region, India: Constrained by U-Pb and Hf Isotopes in Zircons. *Gondwana Research*, 22 (1): 26—35. doi: 10.1016/j.gr.2011.10.004
- Sun, G. Y., Hu, X. M., 2012. Tectonic Affinity of Zhongba Terrane: Evidences from the Detrital Zircon Geochronology and Hf Isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (5): 1635—1646 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalt; Implication for Mantle Composition and Processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., *Magmatism in the Ocean Basins*. *Geological Society, Special Publications, London*, 42: 313—345.
- Wang, X. X., Zhang, J. J., Santosh, M., et al., 2012. Andean-Type Orogeny in the Himalayas of South Tibet; Implications for Early Paleozoic Tectonics along the Indian Margin of Gondwana. *Lithos*, 154: 248—262. doi: 10.1016/j.lithos.2012.07.011
- Wang, X. X., Zhang, J. J., Wang, J. M., 2016. Geochronology and Formation Mechanism of the Paiku Granite in the Northern Himalaya, and Its Tectonic Implications. *Earth Science*, 41 (6): 982—998 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49 (16): 1589—1604 (in Chinese).
- Xie, C. M., Li, C., Su, L., et al., 2010. LA-ICP-MS U-Pb Dating of Zircon from Granite-Gneiss in the Amdo Area, Northern Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 29 (12): 1737—1744 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Yang, J. S., Liang, F. H., et al., 2005. Pan-African and Early Paleozoic Orogenic Events in the Himalaya Terrane: Inference from SHRIMP U-Pb Zircon Ages. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (1): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. Z., Li, F. Q., Li, Y., et al., 2014. Early Ordovician Strongly Peraluminous Granite in the Middle Section of the Yarlung Zangbo Junction Zone and Its Geological Significance. *Science China: Earth Sciences*, 57 (4): 630—643. doi: 10.1007/s11430—013—4721—3
- Zhang, Z. M., Dong, X., Santosh, M., et al., 2012. Petrology and Geochronology of the Namche Barwa Complex in the Eastern Himalayan Syntaxis, Tibet: Constraints on the Origin and Evolution of the North-Eastern Margin of the Indian Craton. *Gondwana Research*, 21 (1): 123—137. doi: 10.1016/j.gr.2011.02.002
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2012. Cambrian Bimodal Volcanism in the Lhasa Terrane, Southern Tibet; Record of an Early Paleozoic Andean-Type Magmatic Arc in the Australian Proto-Tethyan Margin. *Chemical Geology*, 328: 290—308. doi: 10.1016/j.chemgeo.2011.12.024

附中文参考文献

- 陈加杰, 付乐兵, 魏俊浩, 等, 2016. 东昆仑沟里地区晚奥陶世花岗岩闪长岩地球化学特征及其对原特提斯洋演化的制约. *地球科学*, 41 (11): 1863—1882.
- 董昕, 张泽明, 2015. 青藏高原东南部寒武纪花岗岩类: 岩石学和锆石 Hf 同位素研究. *岩石学报*, 31 (5): 1183—1199.
- 苟正彬, 张泽明, 董昕, 等, 2015. 藏南亚东地区早古生代花岗岩质片麻岩的成因与构造意义. *岩石学报*, 31 (12): 3674—3686.
- 辜平阳, 何世平, 李荣社, 等, 2013. 藏南拉轨岗日变质核杂岩核部花岗岩质片麻岩的地球化学特征及构造意义. *岩石学报*, 29 (3): 756—768.
- 李才, 吴彦旺, 王明, 等, 2010. 青藏高原泛非—早古生代造山

事件研究重大进展:冈底斯地区寒武系和泛非造山不整合的发现.地质通报,29(12):1733-1736.

李才,翟庆国,董永胜,等,2008.冈瓦纳大陆北缘早期的洋壳信息——来自青藏高原羌塘中部早古生代蛇绿岩的依据.地质通报,27(10):1605-1612.

李祥辉,王成善,李亚林,等,2014.仲巴微地体之定义及构成.地质学报,88(8):1372-1381.

刘飞,杨经绥,连东洋,等,2015.西藏雅鲁藏布江缝合带西段南北亚带蛇绿岩的成因探讨.岩石学报,31(12):3609-3628.

孙高远,胡修棉,2012.仲巴地体的板块亲缘性:来自碎屑锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素的证据.岩石学报,28(5):

1635-1646.

王晓先,张进江,王佳敏,2016.北喜马拉雅佩枯花岗岩年代学、成因机制及其构造意义.地球科学,41(6):982-998.

吴元保,郑永飞,2004.锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约.科学通报,49(16):1589-1604.

解超明,李才,苏黎,等,2010.藏北安多地区花岗片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年.地质通报,29(12):1737-1744.

许志琴,杨经绥,梁凤华,等,2005.喜马拉雅地体的泛非-早古生代造山事件年龄记录.岩石学报,21(1):1-12.

《地球科学》

2017 年 7 月 第 42 卷 第 7 期 要目预告

南方复杂地区页岩气差异富集关键技术	解习农等
我国南方海相页岩气富集高产主控因素分析及前景预测	翟刚毅等
上扬子地区五峰-龙马溪组页岩层序地层及演化模式	郭旭升等
我国海相富有机质页岩的生气机理	张 莉等
贵州岑巩 TX1 井牛蹄塘组页岩压裂效果评价	王玉芳等
渝东南下志留统龙马溪组页岩岩相特征及其对孔隙结构的控制	李 卓等
页岩油气富集的控制因素及认识误区:以美国、阿根廷和中国典型页岩为例	蒋 恕等
川东焦石坝地区页岩气特征及其意义	林俊峰等