

西藏冈底斯带措勤地区则弄群火山岩 锆石 U-Pb 年代学格架及构造意义*

朱弟成¹ 莫宣学^{1**} 赵志丹¹ 许继峰² 周长勇³ 孙晨光¹ 王立全³ 陈海红⁴ 董国臣¹ 周肃¹

ZHU DiCheng¹, MO XuanXue^{1**}, ZHAO ZhiDan¹, XU JiFeng², ZHOU ChangYong³, SUN ChenGuang¹, WANG LiQuan³, CHEN HaiHong⁴, DONG GuoChen¹ and ZHOU Su¹

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室, 广州 510640

3. 成都地质矿产研究所, 成都 610082

4. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, and School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China

4. The State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2008-01-14 收稿, 2008-02-19 改回.

Zhu DC, Mo XX, Zhao ZD, Xu JF, Zhou CY, Sun CG, Wang LQ, Chen HH, Dong GC and Zhou S. 2008. Zircon U-Pb geochronology of Zenong Group volcanic rocks in Coqen area of the Gangdese, Tibet and tectonic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3):401-412

Abstract Extensive Zenong Group volcanic rocks are zonedly E-W distributed in the middle-northern Gangdese, Tibet. Well-exposed Zenong Group volcanic rocks in Coqen, western Gangdese are selected for zircon U-Pb dating by using the SHRIMP II system at the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing and the LA-ICP-MS system at the China University of Geosciences, Wuhan to construct the geochronological framework of the Zenong Group volcanic activity for regional comparison. Most zircons separated from the Zenong Group volcanic rocks exhibit striped absorption and obvious oscillatory zoning, and a few ones show core-rim structure. One dacite sample and one rhyolite sample from the Zenong Group volcanic rocks overlying the Middle Permian Xiala Formation limestone in northwestern Daxiong, Coqen yield LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 130 ± 1 Ma and SHRIMP zircon U-Pb age of 129 ± 3 Ma, respectively. One dacite sample from the Zenong Group volcanic rocks underlying the clastic rocks of Lower Cretaceous Duoni Formation by fault contact in northeastern Daxiong, Coqen yields younger age cluster of 121 ± 1 Ma (include growth rim) and older age cluster of 131 ± 1 Ma (include core). One rhyolite sample from southwestern Coqen yields LA-ICP-MS U-Pb age of 111 ± 1 Ma, coeval with the emplacement age of granitoids in Coqen area. High-quality zircon U-Pb ages reported in this study indicate that the Zenong Group volcanism began at ca. 130 Ma, and ceased at ca. 110 Ma with a volcanic duration of ca. 20 Ma. Regional comparison indicates that the Zenong Group volcanism extending for ca. 1000 km E-W is synchronously commenced at ca. 130 Ma. Present geochronological age dates combined with the distribution of contemporaneous magmatism in a regional context suggest that the Early Cretaceous magmatism in the middle-northern Gangdese cannot be generated by the low-angle or flat-slab subduction of Neo-Tethyan oceanic crust.

Key words Zircon U-Pb geochronology; Zenong Group volcanic rocks; Coqen area; Gangdese; Tibet

* 国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2002CB412603)、国家 973 项目(2006CB701402)、国土资源部百名优秀青年科技人才计划项目、中国地质调查局青藏高原基础地质综合研究项目和中国科学院同位素年代学和地球化学重点实验室开放课题联合资助。

第一作者简介: 朱弟成, 男, 1972 年生, 博士, 副研究员, 主要从事青藏高原南部岩浆作用与地球动力学以及特提斯地质研究,

E-mail: dchengzhu@163.com

** 通讯作者: 莫宣学, 男, 1938 年出生, 教授, 博士生导师, 岩石学专业, E-mail: moxx38@yahoo.com

摘要 大规模的则弄群火山岩呈带状近东西向展布于西藏冈底斯带中北部地区。对出露状况较好的措勤地区则弄群火山岩进行了锆石 U-Pb 定年, 以建立其年代学格架便于区域对比。措勤地区则弄群火山岩多数锆石具有生长振荡环带, 部分锆石显示核边结构。在措勤达雄西北部上覆于中二叠统下拉组灰岩的 1 件则弄群英安岩样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 130 ± 1 Ma, 1 件则弄群流纹岩样品的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 129 ± 3 Ma; 在措勤达雄北东部与下白垩统多尼组碎屑岩呈断层接触的 1 件则弄群英安岩样品中的锆石具有两组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄, 最年轻的一组(包括增生边)为 121 ± 1 Ma, 较老的一组(包括核部)为 131 ± 1 Ma; 在措勤西南部 1 件则弄群流纹岩样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 111 ± 1 Ma, 与措勤地区花岗岩类的侵位时代相当。这些高质量的锆石 U-Pb 年代学数据表明, 措勤地区的则弄群火山作用很可能开始于约 130 Ma, 停息于约 110 Ma, 持续时间约 20 Ma。区域对比表明, 东西延伸约 1000 km 的则弄群火山作用同时发生在约 130 Ma。区域上目前的年代学数据结合同时代岩浆作用的分布特征表明, 冈底斯带中北部地区早白垩世岩浆作用不太可能由新特提斯洋壳向北的低角度或平板俯冲产生。

关键词 锆石 U-Pb 年代学; 则弄群火山岩; 措勤地区; 西藏冈底斯

中图法分类号 P588.141; P597.3

本文涉及的西藏冈底斯带是指位于南侧的印度河-雅鲁藏布缝合带(IYZSZ)与北部的班公湖-怒江缝合带(BNSZ)之间的近东西向的狭长地域, 长约 2500 km, 南北宽 150 ~ 300 km, 面积达 $4.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的巨型构造-岩浆带。冈底斯带广泛分布着早白垩世岩浆岩(图 1), 前人的研究主要集中在冈底斯带中南部地区(常承法和郑锡澜, 1973; 周云生等, 1981; Coulon *et al.*, 1986; Pearce and Mei, 1988; 李才等, 2003; 翟庆国等, 2005; 和钟铨等, 2005, 2006), 对该带中北部地区大面积出露的早白垩世岩浆岩(图 1), 目前只有有限的高质量年代学数据(朱弟成等, 2008), 对其地球动力学背景还存在由新特提斯洋壳北向低角度俯冲产生(Coulon *et*

al., 1986; Kapp *et al.*, 2003, 2005, 2007; Ding *et al.*, 2003; Ding and Lai, 2003; Leier *et al.*, 2007) 和与班公湖-怒江洋壳向南的俯冲作用有关(Hsü *et al.*, 1995; 潘桂棠等, 1983, 1997, 2004, 2006; 莫宣学等, 2004, 2005; 朱弟成等, 2006) 等激烈争论。造成这些争论的最重要原因, 在很大程度上与对该带早白垩世岩浆岩的年代学、地球化学性质的认知程度较低有关。本文主要目的是, 报道冈底斯带中北部地区出露状况较好的措勤地区则弄群火山岩的锆石 U-Pb 年代学数据, 建立措勤地区则弄群火山岩的年代学格架, 简略讨论它们对研究冈底斯带早白垩世岩浆作用地球动力学背景的意义。

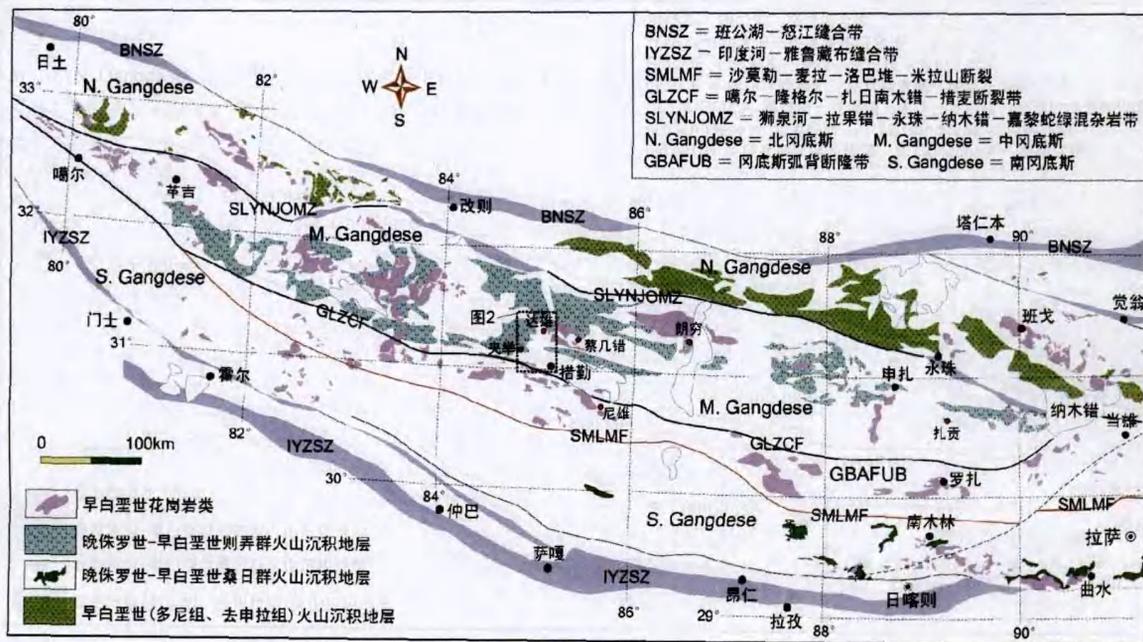


图 1 西藏冈底斯带早白垩世岩浆岩分布图(修改自朱弟成等, 2008)

图中显示了西藏冈底斯带的 4 个构造单元(Zhu *et al.*, 2008a)和本文研究区位置

Fig. 1 Distribution of the Early Cretaceous magmatic rocks in the Gangdese, Tibet

表 1 冈底斯带措勤地区则弄群火山岩锆石 U-Pb 定年样品的基本特征

Table 1 General feature of the dated samples of the Zenong Group volcanic rocks in Coqin area of the Gangdese, Tibet

样品编号	DX1-1	DX2-1	DX13-1	DX21-1
采样位置	N31°27'35.2" E84°55'58.2" H5302m	N31°27'30.6" E84°56'04.5" H5303m	N31°30'04.8" E85°10'43.0° H5199m	N31°00'00.1" E85°07'01.4" H4714m
岩石类型	紫红色流纹岩	灰绿色英安岩	灰绿色英安岩	灰绿色流纹岩
产出状态	角度不整合于中二叠统下拉组灰岩之上	距离样品 DX1-1 约 20m	与下白垩统多尼组碎屑岩呈断层接触	呈孤岛状出露于措勤县城南西约 5km
结构构造	斑状结构	斑状结构	斑状结构	斑状结构
斑晶矿物	石英(10%) + 钾长石(5%) + 斜长石(<2%)	斜长石(20%) + 钾长石(5%) + 石英(5%) + 黑云母(5%)	斜长石(15%) + 钾长石(5%) + 石英(10%) + 黑云母(3%)	石英(25%) + 斜长石(12%) + 钾长石(8%)
主要基质矿物	细粒石英(20%) + 长英质火山玻璃(>50%) + 绢云母(5%)	微晶石英(15%) + 长英质火山玻璃(40%) + 绿泥石(5%) + 绢云母(3%)	微晶石英(20%) + 长英质火山玻璃(35%) + 绢云母(8%)	微晶石英(15%) + 长英质火山玻璃(25%) + 绿帘石(8%) + 绢云母(5%)
锆石特征	自形到半自形,见清楚的生长韵律或振荡环带,极少数锆石显示核-边结构	自形到半自形,见清楚的生长韵律或振荡环带,极少数锆石显示核-边结构	自形到半自形,见清楚的生长韵律或振荡环带,部分锆石显示清楚的灰白色生长边和灰色内核	自形到半自形,生长韵律或振荡环带清晰,部分锆石显示核-边结构
其它特征	石英斑晶见熔蚀港湾状边缘			石英斑晶见熔蚀港湾状边缘

1 地质概况和样品描述

西藏冈底斯带则弄群火山-沉积地层从东到西呈面状展布于噶尔-隆格尔-扎日南木错-措麦断裂带(GLZCF)和狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎蛇绿混杂岩带(SLYNJOMZ)之间的中冈底斯带,东西延伸达 1000km,南北宽数公里到数十公里(图 1)。垂向上,则弄群火山-沉积地层下部主要为火山熔岩夹火山碎屑岩,上部主要为沉积火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩、正常火山质砂砾岩夹火山熔岩和火山碎屑岩,平均厚度超过 1000m(朱弟成等, 2006)。在该带西部措勤地区,则弄群火山岩出露状况较好^①。在达雄镇北西约 15km 处(图 2a),可见则弄群火山岩角度不整合于中二叠统下拉组灰岩之上(图 2b);在达雄镇北东约 30km 处,可见则弄群火山岩与下白垩统多尼组火山-沉积地层呈断层接触;在措勤县城南西约 5km 处,可见呈孤岛状出露的则弄群火山岩(图 2a)。在这些地区采集了 4 件火山岩样品进行锆石 U-Pb 同位素定年,具体采样位置、岩石类型、矿物组合及结构等特征见表 1 和图 2b。

2 分析方法

锆石采用常规方法将样品粉碎,并用浮选和电磁选方法进行分选,再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗

粒,然后将它们粘贴在环氧树脂表面,抛光后将锆石进行透射光、反射光和阴极发光显微照相。锆石阴极发光(CL)显微照相在中国科学院地质与地球物理研究所的 Cameca 电子探针仪器上完成,分析电压为 15kV,电流为 4nA。通过对阴极发光图像分析,选择吸收程度均匀的区域进行分析。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄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。分析仪器为 Elan 6100DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统,激光器为 193nm ArF 准分子激光器。激光剥蚀斑束直径为 32 μ m,激光剥蚀深度为 20~40 μ m。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作为外标,²⁹Si 作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER (4.0 版,Macquarie University)软件,并采用 Anderson (2002) 软件对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及协和图采用 ISOPLOT (2.49 版)(Ludwig, 2003) 软件完成。详细的实验原理和流程及仪器参数见 Yuan *et al.* (2004)。

为进一步核实则弄群底部火山岩的年龄,除对采集自则弄群底部的火山岩样品 DX2-1 进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年外,本文还对样品 DX1-1 进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年。

^① 刘登忠,陶晓风,马润则,石和,朱利东,胡新伟. 2003. 中华人民共和国 1:25 万区域地质调查报告措勤县幅

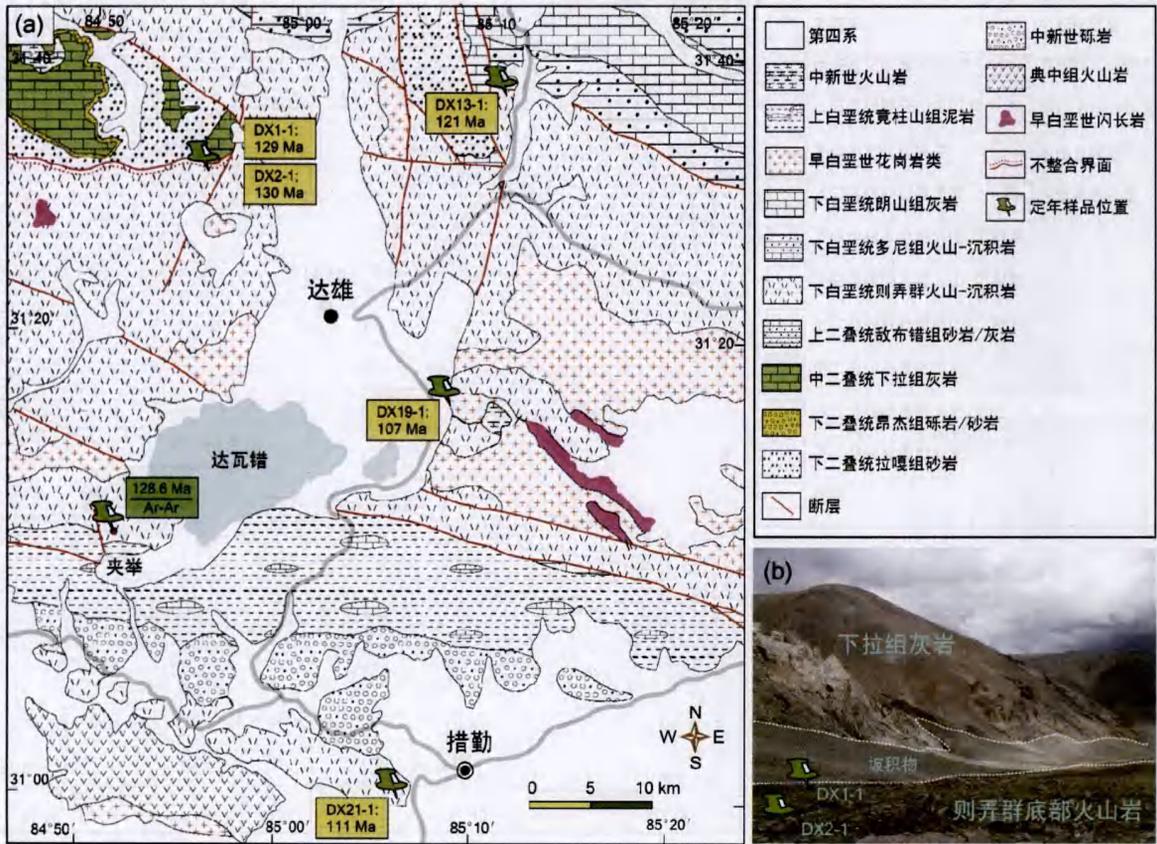


图2 西藏冈底斯带措勤地区地质图(据刘登忠等,2003,1:25万措勤县幅区域地质调查报告)
a-标注了锆石 U-Pb 定年样品的位置和年代学数据; b-野外观察到的则弄群底部火山岩与下伏中二叠统下拉组灰岩的接触关系(达雄北西约 15km 处,镜头朝北)

Fig. 2 Geological map in Coqen area of the Gangdese, Tibet^①

将从该样品挑选出的锆石与标准锆石(TEM,417Ma)一起粘贴,制成环氧树脂样品靶,打磨抛光并使其露出中心部位,进行反射光、透射光和阴极发光显微照相,阴极发光在中国地质科学院地质研究所电子探针室完成。SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院地质研究所 SHRIMP-II 离子探针仪上进行。束斑平均大小为 30 μ m,为了尽量降低锆石表面普通 Pb 和镀金过程中的污染,测定过程中先将束斑在 120 μ m 范围内扫描 3~5min,具体测试条件及流程见宋彪等(2002)。由于该样品的²⁰⁷Pb 含量较低,利用实测²⁰⁸Pb 进行普通铅校正。单个测试数据误差和²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值误差均为 1 σ ,MSWD 采用 2 σ 计算。对年轻的岩浆锆石(<1000Ma),采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,对较老的继承锆石(>1000Ma),采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄。

3 分析结果

西藏冈底斯措勤地区则弄群火山岩 4 件样品的部分代表性锆石的阴极发光(CL)图像和 U-Pb 年龄谐和图见图 3,

分析数据见表 2 和表 3。

样品 DX1-1 中的锆石显示长柱状或短柱状的自形到半自形晶形,见清楚的生长韵律或振荡环带,极少数锆石显示核-边结构(图 3a)。7 个测点的 Th/U 比值介于 0.74~1.18 之间,该比值高于变质成因锆石(通常 <0.1)而与岩浆锆石成因一致(>0.1, Hoskin and Black, 2000)。7 个测点显示的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄范围为 126~133Ma,在置信度 95% 时的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄值为 129 \pm 3Ma (MSWD = 0.5)(图 3b),代表了该流纹岩样品的形成时代。

样品 DX2-1 中的锆石特征与样品 DX1-1 相似,均为长柱状或短柱状的自形到半自形晶,见清楚的生长韵律或振荡环带,极少数锆石显示核-边结构(图 3c)。30 个测点的 Th/U 比值介于 0.57~1.34 之间,表明它们属岩浆锆石成因(Hoskin and Black, 2000)。其中 27 个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和年龄范围为 126~135Ma,在置信度 95% 时的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄值为 130 \pm 1Ma (MSWD = 1.5)(图 3d),代表了该英安岩样品的形成时代。

样品 DX13-1 中的锆石也具有自形到半自形晶特点,见

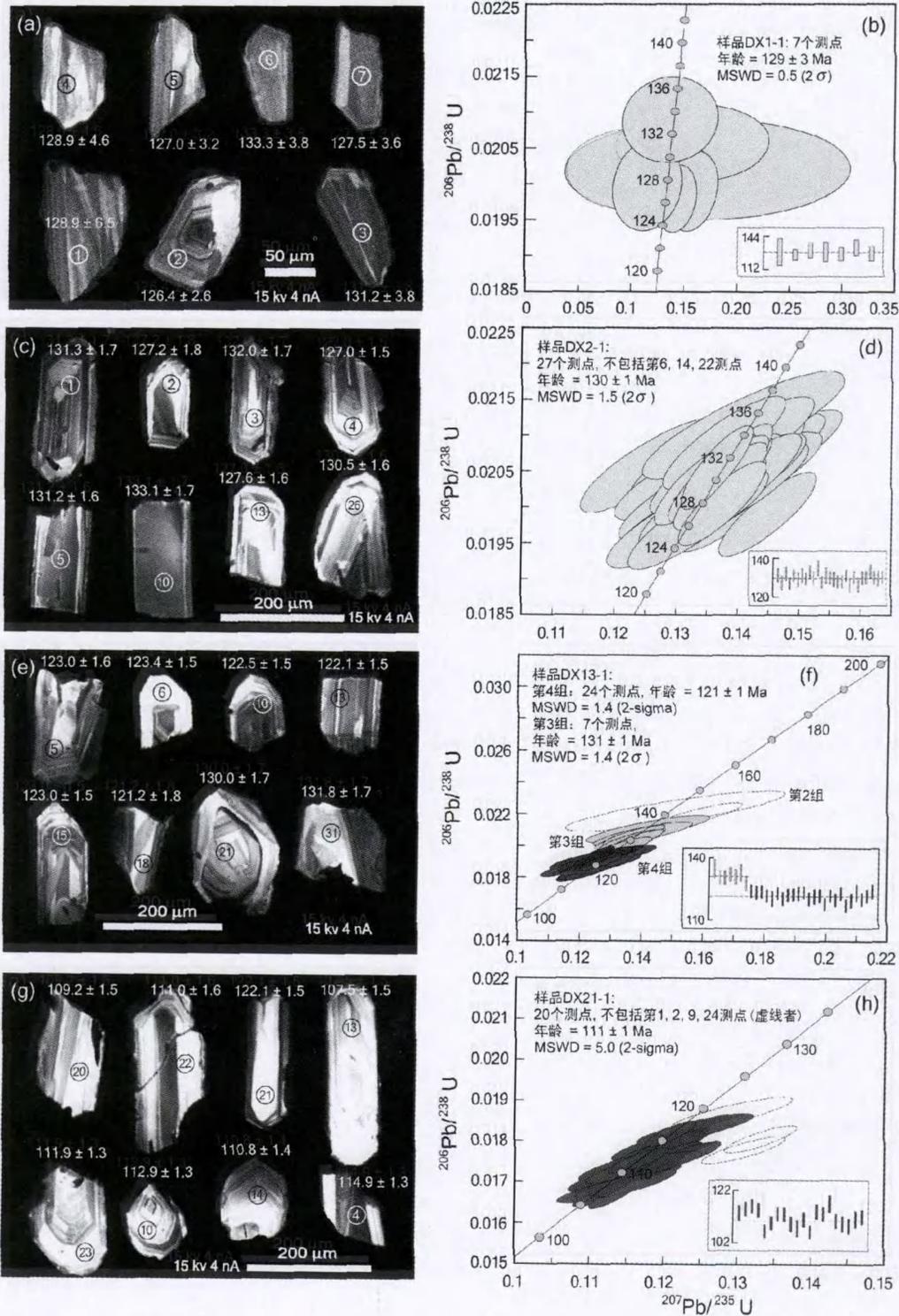


图3 西藏冈底斯带措勤地区则弄群火山岩定年样品中的锆石 CL 图像和谐图

样品 DX1-1 为 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 其它 3 件样品为 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images and concordia plots of SHRIMP zircon U-Pb dating for the Zenong Group volcanic rocks in Coqen area of the Gangdese, Tibet

表2 冈底斯措勤地区则弄群底部流纹岩样品(DX1-1)的SHRIMP 锆石 U-Pb 定年分析结果

Table 2 SHRIMP zircon U-Pb analysis data of the rhyolite sample from the lowermost Zenong Group in Coqen area of the Gangdese, Tibet

分析点	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$ ($\pm\sigma$)	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ($\pm\sigma$)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ($\pm\sigma$)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ($\pm\sigma$)	误差
7 个测点的加权平均年龄为 $129 \pm 3\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.5$											
DX1-1-1.1	18.03	88	94	1.07	1.85	128.9 ± 6.5	49.50 ± 1.09	0.0620 ± 322	0.172 ± 89	0.02020 ± 44	0.043
DX1-1-2.1	2.67	583	688	1.18	10.20	126.4 ± 2.6	50.51 ± 0.81	0.0523 ± 44	0.143 ± 12	0.01980 ± 32	0.182
DX1-1-3.1	9.65	292	297	1.02	5.72	131.2 ± 3.8	48.63 ± 0.83	0.0560 ± 168	0.159 ± 48	0.02056 ± 35	0.056
DX1-1-4.1	10.36	167	124	0.74	3.23	128.9 ± 4.6	49.50 ± 0.94	0.0380 ± 160	0.107 ± 45	0.02020 ± 38	0.046
DX1-1-5.1	3.63	251	284	1.13	4.46	127.0 ± 3.2	50.25 ± 1.95	0.0574 ± 56	0.158 ± 16	0.01990 ± 38	0.188
DX1-1-6.1	6.77	203	153	0.75	3.90	133.3 ± 3.8	47.87 ± 0.91	0.0480 ± 106	0.137 ± 30	0.02089 ± 40	0.086
DX1-1-7.1	6.09	250	256	1.02	4.57	127.5 ± 3.6	50.10 ± 1.05	0.0418 ± 75	0.115 ± 22	0.01997 ± 42	0.111

注: Pb_c 和 Pb^* 分别代表普通铅和放射性成因铅。用 ^{208}Pb 校正普通铅。U-Pb 年龄及同位素比值误差均为 1σ 。表中表示的误差为最后 2~3 位数字。

清楚的生长韵律或振荡环带,部分锆石显示清楚的灰白色生长边和灰色内核(图 3e)。34 个测点的 Th/U 比值介于 0.41~1.35 之间,属岩浆锆石成因(Hoskin and Black, 2000)。这 34 颗锆石具有相对复杂的 U-Pb 同位素年龄,具体包括:① 第 25 测点具有 $1749 \pm 25\text{Ma}$ 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,很可能表明该英安质岩浆在形成或上升过程中捕获了古元古代物质;② 2 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 140~142Ma,在置信度 95% 时的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $141 \pm 3\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.1$);③ 7 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄范围为 127~134Ma,在置信度 95% 时的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $131 \pm 1\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.4$)(图 3f);④ 24 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄范围为 117~124Ma,在置信度 95% 时的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $121 \pm 1\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.4$)(图 3f)。值得指出的是,第三组谐和年龄与代表锆石灰白色内核的第 21 测点的谐和年龄完全一致(图 3e),第四组谐和年龄与代表锆石灰白色生长边的第 6 测点的谐和年龄完全一致(图 3e),这些事实很可能表明第四组谐和年龄代表了该样品的形成时代(即大约 121Ma),在此时期岩浆结晶过程中捕获了稍早期结晶的岩浆锆石(即大约 131Ma)。

样品 DX21-1 中的锆石显示长柱状或短柱状的自形到半自形晶形,生长韵律或振荡环带清晰,部分锆石显示核-边结构(图 3g)。24 个测点的 Th/U 比值介于 0.54~1.19 之间,暗示其岩浆锆石成因(Hoskin and Black, 2000)。在这 24 颗锆石中,第 9 测点具有 $1022.8 \pm 32.8\text{Ma}$ 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,很可能表明该流纹质岩浆在形成或上升过程中捕获了中元古代晚期物质;另外 20 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄范围为 106~117Ma,在置信度 95% 时的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $111 \pm 1.4\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 5.0$)(图 3h),代表了该流纹岩样品的形成时代。

4 讨论

4.1 措勤地区则弄群火山作用的年代学格架

用于 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年的流纹岩样品(DX1-1)和用于 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年的英安岩样品(DX2-1)采集自措勤县达雄镇北西约 15km(图 2a),在这里可以见到则弄群火山岩角度不整合地覆盖在中二叠统下拉组灰岩之上(图 2c),这种构造-地层关系指示这里的火山岩应该代表了则弄群火山作用的早期记录。本文用不同方法获得的两件则弄群底部火山岩样品的年龄数据在误差范围内是一致的(图 3b 和图 3d),表明措勤地区则弄群火山作用很可能开始于约 130Ma。

由于措勤地区则弄群火山-沉积地层与上覆地层多数呈断层接触或被中新世、第四纪沉积物覆盖(图 2a),这种构造-地层关系导致很难对则弄群火山作用时代的上限进行约束。幸运的是,本文采集自措勤县城南西约 5km 呈孤岛状产出的则弄群流纹岩样品(DX21-1)的锆石 U-Pb 同位素年龄(111Ma)与措勤地区达雄花岗闪长岩(图 2a, $107 \pm 1\text{Ma}$, 周长勇等, 2008)、蔡几错黑云角闪英云闪长岩($107 \pm 1\text{Ma}$)^①和措勤县南东尼雄花岗闪长岩($108 \pm 1\text{Ma}$, 作者未刊数据)(图 1)的侵位时代非常接近,这些新的高质量年代学数据很可能暗示措勤地区则弄群火山活动大约在约 110Ma 就停息下来,随后转入花岗岩类岩浆活动。

样品 DX13-1 采集自与下白垩统多尼组火山-沉积地层呈断层接触的则弄群火山岩(图 2a),该样品中最年轻的一组锆石 U-Pb 同位素年龄($121 \pm 1\text{Ma}$)代表了则弄群中期的火山活动,而较老的一组锆石 U-Pb 同位素年龄($131 \pm 1\text{Ma}$)指示在则弄群中期英安质岩浆形成过程中,捕获了则弄群早期火山作用过程中结晶出的岩浆锆石。

表 3 西藏冈底斯带西部措勤地区则弄群火山岩中的锆石 LA-ICPMS U-Pb 分析结果
Table 3 LA-ICPMS zircon U-Pb analysis data of the Zenong Group volcanic rocks in Coqen area of the Gangdese, Tibet

样品号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ *		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ *		Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ *		Pb ²⁰⁸ /Th ²³² *		Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ 年龄		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ 年龄		Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ 年龄		Pb ²⁰⁸ /Th ²³² 年龄			
				比值	($\pm 1\sigma$)	比值	($\pm 1\sigma$)	比值	($\pm 1\sigma$)	比值	($\pm 1\sigma$)	比值	($\pm 1\sigma$)	(Ma)	($\pm 1\sigma$)	(Ma)	($\pm 1\sigma$)	(Ma)	($\pm 1\sigma$)	(Ma)	($\pm 1\sigma$)
DX2-1: 27 个测点, 其中不包括测点 6, 14 和 22, 加权平均年龄为 130 ± 1 Ma, MSWD = 1.5																					
DX2-1-1	86	122	0.70	0.04438	0.00163	0.12597	0.00458	0.02058	0.00027	0.00610	0.00011	0.1	0.0	120.5	4.1	131.3	1.7	122.9	2.2		
DX2-1-2	128	200	0.64	0.04860	0.00201	0.13350	0.00546	0.01992	0.00028	0.00645	0.00014	128.6	94.7	127.2	4.9	127.2	4.9	127.2	1.8	130.0	2.8
DX2-1-3	64	98	0.66	0.05078	0.00173	0.14490	0.00491	0.02070	0.00027	0.00702	0.00012	230.8	76.9	137.4	4.4	132.0	1.7	141.3	2.4		
DX2-1-4	159	242	0.66	0.05286	0.00116	0.14505	0.00321	0.01990	0.00024	0.00635	0.00009	322.7	48.9	137.5	2.8	127.0	1.5	128.0	1.7		
DX2-1-5	280	264	1.06	0.04892	0.00101	0.13864	0.00291	0.02055	0.00025	0.00644	0.00008	143.9	47.8	131.8	2.6	131.2	1.6	129.8	1.6		
DX2-1-6	246	277	0.89	0.07015	0.00224	0.19806	0.00621	0.02047	0.00028	0.00787	0.00013	933	64	184	5	131	2	158	3		
DX2-1-7	109	132	0.83	0.04987	0.00186	0.13906	0.00513	0.02022	0.00028	0.00608	0.00011	188.8	84.7	132.2	4.6	129.1	1.8	122.4	2.3		
DX2-1-8	75	120	0.62	0.04879	0.00181	0.13844	0.00509	0.02058	0.00028	0.00634	0.00013	137.9	85.0	131.7	4.5	131.3	1.8	127.8	2.6		
DX2-1-9	186	301	0.62	0.04912	0.00109	0.13738	0.00309	0.02029	0.00025	0.00644	0.00009	153.3	51.2	130.7	2.8	129.5	1.6	129.8	1.8		
DX2-1-10	123	138	0.89	0.04890	0.00168	0.14064	0.00481	0.02086	0.00028	0.00665	0.00011	143.0	78.8	133.6	4.3	133.1	1.7	134.0	2.2		
DX2-1-11	119	208	0.57	0.04979	0.00166	0.13985	0.00462	0.02037	0.00027	0.00649	0.00012	185.0	75.8	132.9	4.1	130.0	1.7	130.9	2.5		
DX2-1-12	100	110	0.91	0.04840	0.00231	0.14109	0.00664	0.02114	0.00031	0.00710	0.00014	118.9	108.8	134.0	5.9	134.9	2.0	143.0	2.8		
DX2-1-13	212	216	0.98	0.05054	0.00131	0.13927	0.00363	0.01999	0.00025	0.00661	0.00009	219.7	59.1	132.4	3.2	127.6	1.6	133.1	1.8		
DX2-1-14	481	402	1.20	0.19293	0.00363	0.63311	0.01174	0.02380	0.00031	0.01333	0.00017	2767	31	498	7	152	2	268	3		
DX2-1-15	91	110	0.83	0.04841	0.00247	0.13723	0.00691	0.02056	0.00031	0.00661	0.00015	119.4	116.0	130.6	6.2	131.2	2.0	133.1	2.9		
DX2-1-16	124	139	0.89	0.04874	0.00117	0.13706	0.00332	0.02039	0.00025	0.00668	0.00009	135.6	55.4	130.4	3.0	130.1	1.6	134.6	1.8		
DX2-1-17	198	186	1.06	0.04859	0.00217	0.13564	0.00597	0.02025	0.00030	0.00636	0.00012	128.0	101.7	129.2	5.3	129.2	1.9	128.2	2.4		
DX2-1-18	185	185	1.00	0.04862	0.00151	0.13454	0.00417	0.02007	0.00026	0.00620	0.00009	129.3	71.5	128.2	3.7	128.1	1.7	124.9	1.9		
DX2-1-19	263	262	1.00	0.04981	0.00103	0.13772	0.00290	0.02005	0.00024	0.00643	0.00008	186.2	47.5	131.0	2.6	128.0	1.5	129.5	1.6		
DX2-1-20	835	624	1.34	0.04827	0.00080	0.13681	0.00237	0.02055	0.00024	0.00669	0.00008	112.7	38.9	130.2	2.1	131.2	1.5	134.8	1.6		
DX2-1-21	145	228	0.64	0.04863	0.00150	0.13258	0.00409	0.01977	0.00026	0.00610	0.00011	130.1	71.2	126.4	3.7	126.2	1.6	122.9	2.1		
DX2-1-22	143	140	1.02	0.05076	0.00247	0.15636	0.00749	0.02234	0.00035	0.00721	0.00015	230.1	108.8	147.5	6.6	142.4	2.2	145.3	3.1		
DX2-1-23	189	292	0.65	0.04807	0.00120	0.13504	0.00340	0.02038	0.00026	0.00653	0.00010	102.7	58.1	128.6	3.0	130.0	1.6	131.6	2.0		
DX2-1-24	286	353	0.81	0.04834	0.00197	0.13218	0.00532	0.01983	0.00028	0.00656	0.00013	116.0	93.4	126.1	4.8	126.6	1.8	132.2	2.6		
DX2-1-25	89	127	0.70	0.05032	0.00130	0.14144	0.00367	0.02039	0.00026	0.00649	0.00010	209.7	58.7	134.3	3.3	130.1	1.6	130.7	2.0		
DX2-1-26	103	166	0.62	0.04564	0.00105	0.12868	0.00300	0.02045	0.00025	0.00668	0.00010	0.1	33.3	122.9	2.7	130.5	1.6	134.6	1.9		
DX2-1-27	74	88	0.84	0.04790	0.00138	0.13794	0.00400	0.02089	0.00027	0.00642	0.00010	93.4	68.1	131.2	3.6	133.3	1.7	129.4	2.0		
DX2-1-28	159	147	1.09	0.04883	0.00121	0.13723	0.00343	0.02038	0.00026	0.00661	0.00009	139.7	57.2	130.6	3.1	130.1	1.6	133.1	1.8		
DX2-1-29	100	122	0.82	0.04957	0.00220	0.13884	0.00609	0.02032	0.00030	0.00627	0.00013	174.7	100.5	132.0	5.4	129.7	1.9	126.4	2.7		
DX2-1-30	169	156	1.08	0.04903	0.00140	0.13775	0.00394	0.02038	0.00026	0.00658	0.00010	149.3	65.7	131.0	3.5	130.0	1.7	132.6	1.9		

续表 3
Continued Table 3

Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ *	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ *	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ *	Pb ²⁰⁸ /Th ²³² *	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ 年龄 ($\pm 1\sigma$)	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ 年龄 ($\pm 1\sigma$)	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ 年龄 ($\pm 1\sigma$)	Pb ²⁰⁸ /Th ²³² 年龄 ($\pm 1\sigma$)									
DX13-1, 24 个测点加权平均年龄为 121 ± 1Ma, MSWD = 1.4; 另外 7 个测点加权平均年龄为 131 ± 1Ma, MSWD = 1.4																			
DX13-1-1	33	41	0.81	0.04942	0.00484	0.15128	0.01452	0.02220	0.00053	0.00833	0.00033	167.8	214.0	143.0	12.8	141.5	3.3	167.7	6.6
DX13-1-2	102	111	0.92	0.04903	0.00286	0.14243	0.00817	0.02107	0.00036	0.00703	0.00017	149.2	131.3	135.2	7.3	134.4	2.2	141.6	3.4
DX13-1-3	161	264	0.61	0.04704	0.00086	0.12582	0.00238	0.01940	0.00023	0.00619	0.00008	51.1	42.5	120.3	2.2	123.8	1.5	124.8	1.6
DX13-1-4	172	182	0.94	0.04916	0.00232	0.14068	0.00655	0.02075	0.00031	0.00654	0.00013	155.6	106.9	133.6	5.8	132.4	2.0	131.7	2.7
DX13-1-5	112	153	0.73	0.04829	0.00148	0.12825	0.00392	0.01926	0.00025	0.00609	0.00010	113.5	70.7	122.5	3.5	123.0	1.6	122.8	2.0
DX13-1-6	109	161	0.68	0.04858	0.00122	0.12943	0.00326	0.01932	0.00024	0.00608	0.00009	127.5	57.8	123.6	2.9	123.4	1.5	122.5	1.8
DX13-1-7	414	480	0.86	0.04995	0.00103	0.13086	0.00276	0.01900	0.00023	0.00608	0.00008	192.7	47.4	124.9	2.5	121.3	1.5	122.6	1.6
DX13-1-8	166	144	1.15	0.04872	0.00226	0.12622	0.00577	0.01879	0.00028	0.00597	0.00011	134.4	105.5	120.7	5.2	120.0	1.8	120.3	2.3
DX13-1-9	142	153	0.92	0.04950	0.00116	0.13941	0.00329	0.02043	0.00025	0.00642	0.00009	171.4	53.6	132.5	2.9	130.4	1.6	129.4	1.8
DX13-1-10	175	241	0.72	0.05017	0.00098	0.13267	0.00266	0.01918	0.00023	0.00593	0.00008	202.7	44.8	126.5	2.4	122.5	1.5	119.5	1.6
DX13-1-11	192	240	0.80	0.04889	0.00156	0.12669	0.00402	0.01879	0.00025	0.00582	0.00010	142.5	73.2	121.1	3.6	120.0	1.6	117.3	2.0
DX13-1-12	314	346	0.91	0.04928	0.00124	0.12974	0.00327	0.01909	0.00024	0.00633	0.00009	161.1	57.7	123.9	2.9	121.9	1.5	127.6	1.8
DX13-1-13	303	313	0.97	0.04855	0.00106	0.12805	0.00283	0.01913	0.00024	0.00631	0.00008	126.3	50.5	122.3	2.6	122.1	1.5	127.1	1.7
DX13-1-14	63	103	0.61	0.04867	0.00153	0.12872	0.00403	0.01918	0.00025	0.00605	0.00011	132.1	72.1	123.0	3.6	122.5	1.6	121.8	2.2
DX13-1-15	188	320	0.59	0.04923	0.00093	0.1308	0.00255	0.01927	0.00023	0.00626	0.00008	158.7	43.8	124.8	2.3	123.0	1.5	126.2	1.7
DX13-1-16	169	192	0.88	0.04961	0.00168	0.12866	0.00434	0.01881	0.00025	0.00607	0.00010	176.9	77.3	122.9	3.9	120.1	1.6	122.2	2.1
DX13-1-17	133	155	0.86	0.05266	0.00182	0.15973	0.00548	0.02200	0.00030	0.00783	0.00014	314.1	76.9	150.5	4.8	140.3	1.9	157.6	2.7
DX13-1-18	59	132	0.45	0.04805	0.00215	0.12571	0.00556	0.01897	0.00028	0.00617	0.00016	101.6	102.7	120.2	5.0	121.2	1.8	124.4	3.3
DX13-1-19	70	145	0.49	0.04930	0.00147	0.12898	0.00383	0.01897	0.00025	0.00635	0.00012	162.3	68.1	123.2	3.4	121.2	1.6	127.9	2.3
DX13-1-20	129	172	0.75	0.04830	0.00138	0.12251	0.00351	0.01840	0.00024	0.00584	0.00009	113.9	66.3	117.3	3.2	117.5	1.5	117.8	1.9
DX13-1-21	109	121	0.90	0.04873	0.00144	0.13684	0.00403	0.02036	0.00027	0.00632	0.00010	134.9	68.0	130.2	3.6	130.0	1.7	127.4	2.0
DX13-1-22	205	241	0.85	0.04868	0.00105	0.12746	0.00279	0.01899	0.00023	0.00624	0.00009	132.6	49.9	121.8	2.5	121.3	1.5	125.7	1.7
DX13-1-23	71	142	0.50	0.04789	0.00142	0.1234	0.00365	0.01869	0.00024	0.00624	0.00011	92.7	69.8	118.2	3.3	119.4	1.5	125.8	2.2
DX13-1-24	150	142	1.06	0.04857	0.00138	0.12861	0.00365	0.01920	0.00025	0.00618	0.00009	127.1	65.5	122.8	3.3	122.6	1.6	124.4	1.9
DX13-1-25	76	85	0.89	0.10703	0.00145	4.49495	0.06495	0.30459	0.00361	0.08891	0.00110	1749	24	1730	12	1714	18	1722	20
DX13-1-26	428	358	1.20	0.04833	0.00143	0.12187	0.00359	0.01829	0.00024	0.00572	0.00009	115.7	68.2	116.8	3.3	116.8	1.5	115.2	1.7
DX13-1-27	66	119	0.55	0.04635	0.00181	0.1192	0.0046	0.01865	0.00026	0.00610	0.00013	15.9	91.1	114.3	4.2	119.1	1.7	122.9	2.6
DX13-1-28	46	112	0.41	0.04825	0.00267	0.12813	0.00698	0.01926	0.00032	0.00753	0.00023	111.5	125.7	122.4	6.3	123.0	2.0	151.7	4.7
DX13-1-29	174	218	0.80	0.04946	0.00141	0.12802	0.00364	0.01877	0.00024	0.00605	0.00010	169.7	65.2	122.3	3.3	119.9	1.6	121.9	2.0
DX13-1-30	113	169	0.67	0.04869	0.00133	0.12752	0.00348	0.01900	0.00024	0.00607	0.00010	132.8	62.9	121.9	3.1	121.3	1.5	122.4	2.0

续表 3
Continued Table 3

样号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁶ *		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ *		Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ *		Pb ²⁰⁸ /Th ²³² *		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ 年龄		Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ 年龄		Pb ²⁰⁸ /Th ²³² 年龄			
				比值	($\pm 1\sigma$)	比值	($\pm 1\sigma$)	比值	($\pm 1\sigma$)	比值	($\pm 1\sigma$)	(Ma)	($\pm 1\sigma$)	(Ma)	($\pm 1\sigma$)	(Ma)	($\pm 1\sigma$)		
DX13-1-31	185	218	0.85	0.04842	0.00143	0.1379	0.00406	0.02066	0.00027	0.00659	0.00011	119.7	68.0	131.2	3.6	131.8	1.7	132.8	2.2
DX13-1-32	149	110	1.35	0.04844	0.00168	0.1366	0.00469	0.02045	0.00028	0.00639	0.00010	120.7	79.6	130.0	4.2	130.5	1.8	128.7	2.1
DX13-1-33	215	208	1.03	0.04889	0.00141	0.13428	0.00386	0.01992	0.00026	0.00628	0.00010	142.5	66.2	127.9	3.5	127.2	1.6	126.5	2.0
DX13-1-34	150	188	0.80	0.04920	0.00169	0.13098	0.00447	0.01931	0.00026	0.00592	0.00011	157.4	78.6	125.0	4.0	123.3	1.7	119.4	2.2
DX21-1: 20 个测点, 其中不包括测点 1, 2, 9 和 24, 加权平均年龄为 111 ± 1 Ma, MSWD = 5.0																			
DX21-1-1	129	138	0.93	0.05354	0.00131	0.13319	0.00326	0.01804	0.00022	0.00602	0.00008	351.7	54.5	127.0	2.9	115.3	1.4	121.3	1.6
DX21-1-2	109	144	0.76	0.05341	0.00153	0.13088	0.00373	0.01777	0.00022	0.00580	0.00009	346.3	63.6	124.9	3.4	113.6	1.4	117.0	1.8
DX21-1-3	116	136	0.85	0.04874	0.00146	0.11927	0.00355	0.01775	0.00022	0.00573	0.00009	135.3	69.0	114.4	3.2	113.4	1.4	115.5	1.8
DX21-1-4	360	305	1.18	0.04942	0.00093	0.12254	0.00234	0.01798	0.00021	0.00583	0.00007	167.7	43.4	117.4	2.1	114.9	1.3	117.5	1.4
DX21-1-5	236	291	0.81	0.04837	0.00089	0.12109	0.00226	0.01816	0.00021	0.00576	0.00007	117.5	42.7	116.1	2.1	116.0	1.3	116.1	1.4
DX21-1-6	112	114	0.98	0.04912	0.00131	0.12137	0.00323	0.01792	0.00022	0.00593	0.00008	153.4	61.4	116.3	2.9	114.5	1.4	119.5	1.6
DX21-1-7	303	321	0.94	0.04866	0.00108	0.11183	0.0025	0.01667	0.00020	0.00367	0.00006	131.3	51.6	107.6	2.3	106.6	1.3	74.0	1.2
DX21-1-8	650	783	0.83	0.04860	0.00088	0.11463	0.00212	0.01711	0.00020	0.00551	0.00007	128.4	42.2	110.2	1.9	109.3	1.3	111.1	1.4
DX21-1-9	35	43	0.80	0.07332	0.00121	1.80019	0.0305	0.17806	0.00208	0.05608	0.00069	1023	33	1046	11	1056	11	1103	13
DX21-1-10	183	224	0.82	0.04991	0.00103	0.12155	0.00254	0.01766	0.00021	0.00562	0.00007	190.9	47.5	116.5	2.3	112.9	1.3	113.3	1.5
DX21-1-11	154	287	0.54	0.05061	0.00127	0.12319	0.00308	0.01765	0.00022	0.00579	0.00009	223.1	56.9	118.0	2.8	112.8	1.4	116.7	1.9
DX21-1-12	326	322	1.01	0.04777	0.00143	0.11246	0.00334	0.01707	0.00022	0.00556	0.00008	86.9	70.4	108.2	3.1	109.1	1.4	112.1	1.7
DX21-1-13	169	199	0.85	0.04878	0.00210	0.11313	0.0048	0.01682	0.00024	0.00608	0.00012	137.3	98.3	108.8	4.4	107.5	1.5	122.4	2.4
DX21-1-14	239	300	0.80	0.04762	0.00140	0.11385	0.00334	0.01734	0.00022	0.00585	0.00009	79.9	69.2	109.5	3.0	110.8	1.4	117.9	1.8
DX21-1-15	595	505	1.18	0.04939	0.00083	0.11315	0.00195	0.01662	0.00019	0.00530	0.00006	166.2	38.7	108.8	1.8	106.2	1.2	106.9	1.3
DX21-1-16	195	197	0.99	0.04800	0.00132	0.118	0.00323	0.01783	0.00022	0.00570	0.00008	98.2	64.8	113.3	2.9	113.9	1.4	115.0	1.7
DX21-1-18	129	177	0.73	0.04852	0.00130	0.11826	0.00317	0.01767	0.00022	0.00563	0.00009	124.9	62.0	113.5	2.9	112.9	1.4	113.6	1.7
DX21-1-17	138	182	0.76	0.04936	0.00209	0.1244	0.00519	0.01828	0.00026	0.00599	0.00012	165.2	96.1	119.1	4.7	116.8	1.7	120.6	2.5
DX21-1-19	374	341	1.10	0.04805	0.00126	0.11433	0.00299	0.01726	0.00021	0.00562	0.00008	101.9	60.8	109.9	2.7	110.3	1.4	113.3	1.6
DX21-1-20	325	279	1.16	0.04928	0.00182	0.11614	0.00422	0.01709	0.00023	0.00556	0.00009	161.2	83.9	111.6	3.8	109.2	1.5	112.0	1.9
DX21-1-21	176	187	0.94	0.04983	0.00154	0.11649	0.00356	0.01696	0.00022	0.00547	0.00009	187.0	70.3	111.9	3.2	108.4	1.4	110.3	1.8
DX21-1-22	126	168	0.75	0.04921	0.00207	0.11786	0.00489	0.01737	0.00025	0.00599	0.00012	157.9	95.7	113.1	4.4	111.0	1.6	120.8	2.5
DX21-1-23	162	210	0.77	0.04838	0.00110	0.11678	0.00267	0.01751	0.00021	0.00558	0.00008	118.0	52.8	112.2	2.4	111.9	1.3	112.4	1.6
DX21-1-24	152	128	1.19	0.05024	0.00212	0.12929	0.00537	0.01866	0.00027	0.00617	0.00011	206.3	95.0	123.5	4.8	119.2	1.7	124.3	2.3

由上可见,利用本文获得的锆石 U-Pb 年代学数据,基本可以构建起措勤地区则弄群火山作用的年代学格架,即它们很可能开始于约 130Ma,大约持续 20Ma 后,在约 110Ma 左右停息下来,随后发生花岗岩类的侵位。

4.2 中冈底斯带早白垩世火山作用的区域对比及意义

早期研究在达瓦错南西夹举则弄群下部的辉石安山岩中获得了 128.6Ma 的角闪石 Ar-Ar 年龄^②,在当惹雍错西岸郎穷则弄群下部之顶的角闪英安岩中获得 124.5Ma 的角闪石 Ar-Ar 年龄^③,在申扎扎贡则弄群下部安山岩中获得 128.5Ma 的角闪石 Ar-Ar 年龄^③(图 1),这些年龄与本文报道的措勤地区则弄群底部火山岩的年龄相当,表明大约在 130Ma 时,中冈底斯带基本同时发生了以则弄群火山作用为代表的东西延伸达 1000km 的同时代带状火山作用。

对冈底斯带中北部地区大规模的白垩纪岩浆作用,一些研究者将其归因于新特提斯洋壳向北以类似于现今安第斯地区(Allmendinger *et al.*, 1997)的低角度或平板俯冲(Coulon *et al.*, 1986; Copeland *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 2004; Kapp *et al.*, 2003, 2005, 2007; Leier *et al.*, 2007)。已有研究表明,由于低角度或平板俯冲要么形成隔热层不能产生岛弧岩浆(因不存在交代的软流圈地幔楔),要么在俯冲板片的前缘形成埃达克岩(Gutscher *et al.*, 2000)。另外,这些学者提出低角度或平板俯冲模型的重要证据,是认为南冈底斯带缺乏早白垩世岩浆岩(Kapp *et al.*, 2007 及该文参考文献)。然而本文报道的措勤地区则弄群火山岩高质量的锆石 U-Pb 年代学数据及区域对比结果表明,在中冈底斯带发生了规模宏大的以则弄群火山岩为代表的早白垩世岩浆活动(图 1),与中冈底斯带这些岩浆活动基本同期的是,在南冈底斯那时也发生了埃达克质火山作用(136.5Ma, Zhu *et al.*, 2008b)和早白垩世花岗岩类的侵位(朱弟成等, 2008)。仅仅从岩浆活动的年龄和分布特点来看,早白垩世时在冈底斯带下部就应该存在被俯冲板片流体交代的软流圈地幔,因此,利用新特提斯洋壳低角度或平板俯冲模式来解释冈底斯带白垩纪岩浆作用的地球动力学背景是有困难的。至于是否应该将冈底斯带中北部地区的白垩纪岩浆作用归因于冈底斯和羌塘地块碰撞过程中增厚下地壳的重熔(Xu *et al.*, 1985; Pearce and Mei, 1988)、冈底斯和羌塘地块碰撞后软流圈上涌引起的地壳熔融(Harris *et al.*, 1990)或班公湖-怒江洋壳的南向俯冲(莫宣学等, 2004, 2005; 潘桂棠等, 2006; 朱弟成等, 2006),还需要在积累更多高质量的年代学和地球化学数据后进行深入研究,这已不在本文的讨论范围之内。

5 结论

(1) SHRIMP 锆石 U-Pb 定年、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结合野外构造-地层关系表明措勤地区则弄群火山作用很

可能开始于约 130Ma, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结合花岗岩类岩浆活动的时代暗示措勤地区火山作用可能在 ~110Ma 停息下来,措勤地区则弄群火山作用持续时间约 20Ma。

(2) 区域对比表明大约在 130Ma 时,中冈底斯带基本同时发生了以则弄群火山作用为代表的大规模岩浆作用,它们不支持冈底斯带中北部地区早白垩世岩浆作用由新特提斯洋壳向北低角度或平板俯冲产生的地球动力学解释。

致谢 感谢河北省廊坊市区域地质调查研究所实验室李林庆主任在样品分离和挑选过程中给予的支持,同时感谢中国地质大学(武汉)刘勇胜教授、宗克清硕士在锆石 LA-ICP-MS 定年和中国科学院地质与地球物理研究所毛蓉、马玉光老师在锆石阴极发光照相过程中给予的帮助。感谢张宏飞教授的建设性评审意见!

References

- Allmendinger RW, Jordan TE, Kay SM and Isacks BL. 1997. The evolution of the Altiplano - Puna plateau of the central Andes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25: 139 - 174
- Anderson T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. *Chemical Geology*, 192: 59 - 79
- Chang CF and Zheng XL. 1973. Discussion on the formation of western-eastern ranges in Himalayas and Qinghai-Xizang Plateau and characteristics of geological structure in Everest region. *Science in China (Series D)*, 2: 190 - 201 (in Chinese)
- Copeland P, Harrison TM, Pan Y, Kidd WSF, Roden M and Zhang YQ. 1995. Thermal evolution of the Gangdese batholith, southern Tibet: A history of episodic unroofing. *Tectonics*, 14: 223 - 236
- Coulon C, Maluski H, Bollinger C and Wang S. 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: ³⁹Ar/⁴⁰Ar dating, petrological characteristics and geodynamical significance. *Earth and Planetary Science Letters*, 79: 281 - 302
- Ding L and Lai QZ. 2003. New geological evidence of crustal thickening in the Gangdese block prior to the Indo-Asian collision. *Chinese Science Bulletin*, 48(15): 1604 - 1610
- Ding L, Kapp P, Yin A, Deng WM and Zhong DL. 2003. Early Tertiary volcanism in the Qiangtang terrane of central Tibet: Evidence for a transition from oceanic to continental subduction. *Journal of Petrology*, 44: 1833 - 1865
- Gutscher MA, Maury R and Eissen JP. 2000. Can slab melting be caused by flat subduction? *Geology*, 28(6): 535 - 538
- Harris NBW, Inger S and Xu R. 1990. Cretaceous plutonism in central Tibet: An example of post-collision magmatism? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44: 21 - 32
- He ZH, Yang DM, Zheng CQ and Huang YC. 2005. Geochemistry of the Indosinian granitoids in the Mamba area, Gangdise belt, Tibet and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 24(4): 354

- ② 谢国刚, 邹爱建, 袁建芽, 廖思平, 李晓勇, 唐峰林, 徐祖丰, 陈振华, 罗小川, 徐银保, 肖业斌, 曹圣华, 黄传冠. 2003. 中华人民共和国 1: 25 万区域地质调查报告邦多区幅
- ③ 王天武, 程立人, 李才, 武世忠, 赵俊才, 和钟铎, 张予杰, 朱志勇, 杨德明. 2003. 中华人民共和国 1: 25 万区域地质调查报告申扎县幅

- 359 (in Chinese with English abstract)
- He ZH, Yang DM, Zheng CQ and Wang TW. 2006. Isotopic dating of the Mamba granitoid in the Gangdese tectonic belt and its constraint on the subduction time of the Neo-Tethys. *Geological Review*, 52 (1): 100-106 (in Chinese with English abstract)
- Hoskin PWO and Black LP. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 18: 423-439
- Hsü KJ, Pan GT and Sengör AMC. 1995. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau: A working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis. *International Geology Review*, 37: 473-508
- Kapp P, DeCelles PG, Gehrels GE, Heizler M and Ding L. 2007. Geological records of the Lhasa-Qiangtang and Indo-Asian collisions in the Nima area of central Tibet. *Geological Society of America Bulletin*, 119: 917-932, doi: 10.1130/B26033.1
- Kapp P, Murphy MA, Yin A, Harrison TM, Ding L and Guo JR. 2003. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet. *Tectonics*, 22 (4): 1029, doi: 10.1029/2001TC001332
- Kapp P, Yin A, Harrison TM, Ding L. 2005. Cretaceous-Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet. *Geological Society of America Bulletin*, 117(7/8): 865-878
- Leier AL, Kapp P, DeCelles PG, Kapp P and Gehrels GE. 2007. Lower Cretaceous strata in the Lhasa terrane, Tibet, with implications for understanding the early tectonic history of the Tibetan plateau. *Journal of Sedimentary Research*, 77: 809-825
- Li C, Wang TW, Li HM and Zeng QG. 2003. Discovery of Indosinian megaporphyritic granodiorite in the Gangdese area: evidence for the existence of Paleo-Gangdese. *Geological Bulletin of China*, 22(5): 364-366 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 2003. Isoplot/Ex version 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 1-70
- Mo XX, Dong GC, Zhao ZD, Zhou S, Wang LL, Qiu RZ and Zhang FQ. 2005. Spatial and Temporal Distribution and Characteristics of Granitoids in the Gangdese, Tibet and Implication for Crustal Growth and Evolution. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281-290 (in Chinese with English abstract)
- Mo XX, Zhao ZD, Deng JF, Luo ZH, Yu XH, Guo TY, Zhou S and Dong GC. 2004. Mesozoic-Cenozoic igneous rocks in Tibetan Plateau as lithoprobe to the lithosphere. In: *Progress in Seismology and Physics of the Earth Interior in China* (Chen YT, Teng JW, Kan RJ and Wang CY) (eds). Beijing: Seismologic Press, 449-461 (in Chinese)
- Pan GT, Chen ZL, Li XZ, Yang YJ, Xu XS, Xu Q, Jiang XS, Wu YL, Luo JN, Zhu TX and Peng YM. 1997. Geological-tectonic evolution in the eastern Tethys. Beijing: Geological Publishing House, 1997 (in Chinese with English abstract)
- Pan GT, Mo XX, Hou ZQ, Zhu DC, Wang LQ, Li GM, Zhao ZD, Geng QR and Liao ZL. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-533 (in Chinese with English abstract)
- Pan GT, Wang LQ and Zhu DC. 2004. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 23(1): 12-19 (in Chinese with English abstract)
- Pan GT, Zheng HX and Xu YR. 1983. A preliminary study on Bangong Tso-Nujiang Suture. In: *Geological memoirs of Qinghai-Xizang Plateau (12)* (Editing committee of geological memoirs of Qinghai-Xizang) (eds). Beijing: Geological Publishing House, 229-242 (in Chinese)
- Pearce JA and Mei H. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud. *Royal Society of London Philosophical Transactions, Series A*, 327: 169-201
- Song B, Zhang YH, Wan YS and Jian P. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(sup.): 26-30 (in Chinese)
- Xu RH, Schärer U and Allègre CJ. 1985. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block (Tibet): A geochronological study. *Journal of Geology*, 93: 41-57
- Yuan HL, Gao S, Liu XM, Li HM, Gunther D and Wu FY. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353-370
- Zhai QG, Li C, Li HM and Wang TW. 2005. U-Pb zircon age of leucogranite in the central Gangdise, Tibet, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 24(3): 349-353 (in Chinese with English abstract)
- Zhang KJ, Xia BD, Wang GM, Li YT, Ye HF. 2004. Early Cretaceous stratigraphy, depositional environments, sandstone provenance, and tectonic setting of central Tibet. *Geological Society of America Bulletin*, 116: 1202-1222, doi: 10.1130/B25388.1
- Zhou CY, Zhu DC, Zhao ZD, Xu JF, Wang LQ, Chen HH, Xie LW, Dong GC and Zhou S. 2008. Petrogenesis of Daxiong pluton in western Gangdese, Tibet: zircon U-Pb dating and Hf isotopic constraints. *Acta Petrologica Sinica*, 24(2): 348-358 (in Chinese with English abstract)
- Zhou YS, Zhang Q and Mei HJ. 1981. Magmatic activities and metamorphisms in Tibet. Beijing: Science Press, 1-146 (in Chinese with English abstract)
- Zhu DC, Pan GT, Chung SL, Mo XX, Zhao ZD, Liao ZL, Wang LQ, Li GM and Dong GC. 2008a. SHRIMP zircon age and geochemical constraints on the origin of Early Jurassic volcanic rocks from the Yeba Formation, southern Gangdese in south Tibet. *International Geology Review*, 49: 50: 442-471
- Zhu DC, Pan GT, Mo XX, Wang LQ, Liao ZL, Zhao ZD, Dong GC and Zhou CY. 2006. Late Jurassic Early Cretaceous geodynamic setting in middle northern Gangdese: new insights from volcanic rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534-546 (in Chinese with English abstract)
- Zhu DC, Pan GT, Wang LQ, Mo XX, Zhao ZD, Zhou CY, Liao ZL, Dong GC and Yuan SH. 2008. Spatial and Temporal variations of the Mesozoic magmatic rocks in the Gangdese Belt, Tibet and discussion on geodynamic setting-related issues involved in their generation. *Geological Bulletin of China*, 27(9): (in press) (in Chinese with English abstract)
- Zhu DC, Pan GT, Zhao ZD, Lee HY, Kang ZQ, Liao ZL, Wang LQ, Li GM and Dong GC. 2008b. Early Cretaceous subduction-related adakite-like rocks in the Gangdese, south Tibet: products of slab melting and subsequent melt-peridotite interaction? *Journal of Asian Earth Sciences*, (in revision)

附中文参考文献

- 常承法, 郑锡澜. 1973. 中国西藏南部珠穆朗玛地区地质构造特征及其青藏高原东西向诸山系形成的探讨. *中国科学(D辑)*, 2: 190-201
- 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 黄映聪. 2005. 西藏冈底斯带门巴地区印支期花岗岩地球化学特征及其构造意义. *地质通报*, 24(4): 354-359
- 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 王天武. 2006. 冈底斯带门巴花岗岩同位素测年及其对新特提斯洋俯冲时代的约束. *地质评论*, 52(1): 100-106
- 李才, 王天武, 李惠民, 曾庆高. 2003. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗岩闪长岩: 古冈底斯造山的存在证据. *地质通报*, 22(5): 364

-366

- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张凤琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息. 高校地质学报, 11(3): 281-290
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 罗照华, 喻学惠, 郭铁鹰, 周素, 董国臣. 2004. 青藏高原中新世代火成岩的深部探针意义: 若干新成果与新认识. 见: 陈运泰, 滕吉文, 阚荣举, 王椿镛(主编), 中国大陆地震学与地球内部物理学研究进展. 北京: 地震出版社, 449-461
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 颜仰基, 许效松, 徐强, 江新胜, 吴应林, 罗建宁, 朱同兴, 彭勇民. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 1-218
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿全如, 廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化. 岩石学报, 22(3): 521-533
- 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 2004. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考. 地质通报, 23(1): 12-19
- 潘桂棠, 郑海祥, 徐耀荣. 1983. 初论班公湖-怒江结合带. 见: 青藏高原地质文集(12). 北京: 地质出版社, 229-242
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(增刊): 26-30
- 翟庆国, 李才, 李惠民, 王天武. 2005. 西藏冈底斯中部淡色花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 24(3): 349-353
- 周长勇, 朱弟成, 赵志丹, 许继峰, 王立全, 陈海红, 谢烈文, 董国臣, 周肃. 2008. 西藏冈底斯带西部达雄岩体的岩石成因: 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素约束. 岩石学报, 24(2): 348-358
- 周云生, 张旗, 梅厚均. 1981. 西藏岩浆活动和变质作用. 北京: 科学出版社, 1-146
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 王立全, 廖忠礼, 赵志丹, 董国臣, 周长勇. 2006. 冈底斯中北部晚侏罗世-早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束. 岩石学报, 22(3): 534-546
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 2008. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论. 地质通报, 27(9): (待发表)