

西藏冈底斯带那曲地区中生代火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地质意义

李奋其, 刘 伟, 耿全如

成都地质矿产研究所, 四川成都 610082

摘 要: 大规模的早白垩世火山岩呈孤岛状广泛展布于冈底斯北部地区。1: 25 万区域地质调查在那曲地区圈定出晚白垩世、中-晚侏罗世火山岩。在充分研究前人资料的基础上, 对出露状况较好的那曲县城晚白垩世火山岩、哈尔麦中-晚侏罗世火山岩进行了野外调研, 它们均为安山质火山岩系, 均与一套黑色砂板岩呈角度不整合接触, 同时对其进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 便于进行区域对比。那曲地区的中生代火山岩多数锆石具有生长环带, 部分锆石显示核边结构。采自那曲东县城、哈尔麦的 2 件安山岩样品的年龄分别为 116.3 ± 1.4 Ma、 111.37 ± 0.73 Ma, 它们的形成时代基本一致, 应该为同一地质事件的产物。区域对比表明, 早白垩世火山作用是北冈底斯带最为强烈的一次火山活动, 其活动时间大致在 110 Ma 左右, 之后是早白垩世岛弧型深成中酸性侵入活动。冈底斯北带早白垩世火山作用究竟与狮泉河-嘉黎大洋俯冲有关, 还是与班公湖-怒江洋壳俯冲有关, 目前尚难定论。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄; 早白垩世火山岩; 那曲地区; 西藏冈底斯

中图分类号: P588.144; P597.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2010)06-781-10

Zircon LA-ICP-MS U-Pb Ages of the Mesozoic Volcanic Rocks in Nagqu Area of Gangdise in Tibet and Their Geological Significance

LI Fen-qi, LIU Wei, GENG Quan-ru

Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu, Sichuan 610082

Abstract: Island-like early Cretaceous volcanic rocks are extensively distributed in northern Gangdise, Tibet. Regional geological survey at the scale of 1:250000 has mapped the late Cretaceous and middle-late Jurassic volcanic rocks in Nagqu area. Based on geological data available, the authors investigated the late Cretaceous and the middle-late Jurassic volcanic rocks which are well exposed respectively in Nagqu County town and Haermai Village. They both are andesitic volcanic rocks and exhibit angular unconformity with the underlying bed composed of black sandy slate. Meanwhile, they were sampled to perform zircon U-Pb dating by using the LA-ICP-MS system at the State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources in Wuhan for regional comparison. Most zircons separated from these volcanic rocks exhibit striped absorption and obvious oscillatory zoning, with a few ones showing the core-rim structure. The ages of two andesite samples collected respectively from eastern Nagqu and Haermai are 116.3 ± 1.4 Ma and 111.37 ± 0.73 Ma, suggesting that the volcanic rocks were formed basically at the same time. Regional comparison shows that early Cretaceous volcanism might have been the strongest one in northern Gangdise, with its activation time being 110 Ma or so, and the strong emplacement of early Cretaceous island-arc granitoids took place subsequently. The problem whether the early Cretaceous volcanism resulted from Shiquanhe-Lhari ocean subduction or from Bangong Co-Nujiang ocean subduction requires further study for final conclusion.

本文由中国地质调查局项目“雅鲁藏布江成矿带基础地质综合研究”(编号: 1212010818016)资助。

收稿日期: 2010-03-26; 改回日期: 2010-07-20。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 李奋其, 男, 1966 年生。博士, 副研究员。从事青藏高原基础地质研究。通讯地址: 610082, 成都市一环路北三段 2 号。

E-mail: lifenqi2009@sina.com。

Key words: zircon U-Pb age; early Cretaceous volcanic rocks; Nagqu area; Gangdise, Tibet

本文涉及的西藏冈底斯带是指位于其南侧的印度河-雅鲁藏布江缝合带(IYSZ)与北部的班公湖-怒江缝合带(BNSZ)之间的狭长地域,东西长逾 2500 km,南北宽达 150~450 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侏罗-白垩纪火山岩(图 1),前人的研究主要集中在狮泉河-嘉黎蛇绿混杂岩带(SJMO)以南的冈底斯中南部地区(常承发等, 1973; 周云生等, 1981; Coulon et al., 1986; 李才等, 2003; 翟庆国等, 2005; Wang, 2000),认为分布在拉萨地块南部的桑日群和叶巴组火山岩为新特提斯洋向北俯冲消减的产物,认为分布于中部的则弄群火山岩可能与班公湖-怒江特提斯洋壳向南的俯冲作用有关(朱弟成等, 2006, 2008)。冈底斯北带即狮泉河-嘉黎蛇绿混杂岩带与班公湖-怒江缝合带之间的区域,早白垩世火山岩较为发育,但很少受到地质研究者关注,同位素年龄约束程度也极低。近年来,随着 1:25 万区域地质调查的相继开展,以及在革吉、改则、色林错、纳木错、比如等地圈定了规模宏大的早白垩世火山岩,冈底斯北带的中生代火山作用陆续引起人们的关注;它们或被认为

是与班怒洋俯冲有关的弧火山岩(西藏自治区地质调查院, 2005a; 吉林省地质调查院, 2003; 四川省地质调查院, 2006),或被认为与新特提斯洋向南俯冲造成的拉萨地块北部的陆内伸展作用有关(Zhang et al., 2004; 康志强等, 2009),或被认为是冈底斯与羌塘地块碰撞过程中增厚下地壳的重熔造成的(Xu et al., 1985; Pearce et al., 1988);还有人认为,狮泉河-嘉黎洋壳双向俯冲作用,在南部形成以则弄群为代表的火山岩,北部形成以多尼组为代表的火山岩(袁四化, 2009)。另外, 1:25 万区域地质调查在那曲、边巴和那曲哈尔麦乡等地发现一系列孤岛状展布的安山质火山岩(西藏自治区地质调查院, 2005b, 2005c),前两者本文称为那曲火山岩,前人将其定为晚白垩世宗给组;后者本文称为哈尔麦火山岩,前人将其归为拉贡塘组火山岩(图 1);总之,它们对研究冈底斯北部地区地质构造演化具有重要意义。本文主要目的是,报道前人在冈底斯北带那曲地区圈定的那曲火山岩、哈尔麦火山岩的 U-Pb 年代学数据,并进行区域对比,简要讨论它们对研究冈底斯北带中生代岩浆作用对地球动力学背景的意义。

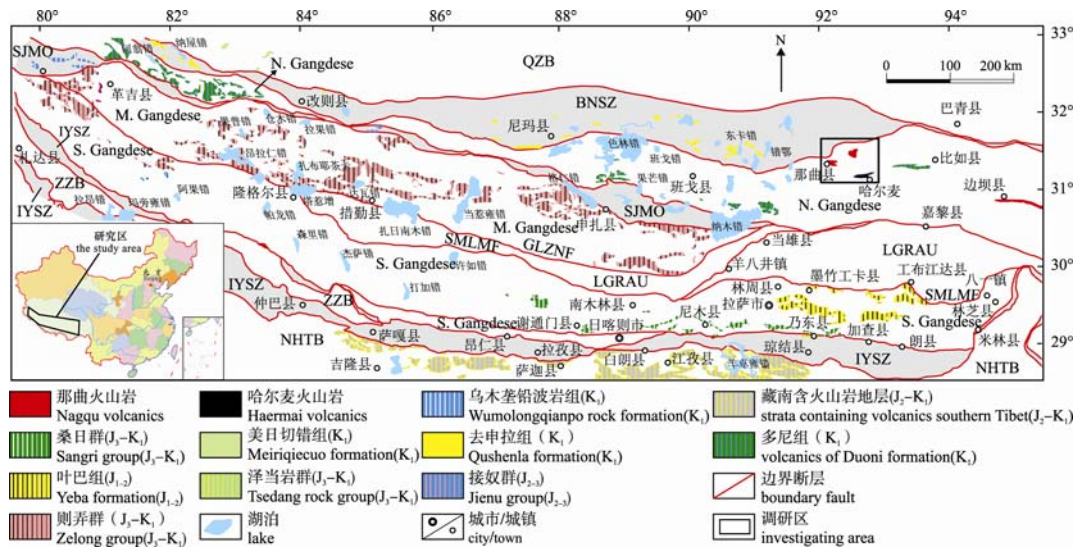


图 1 西藏冈底斯带中生代含火山岩地层分布图

Fig. 1 Distribution of Mesozoic volcanics-bearing strata in the Gangdise belt, Tibet

QZB-羌塘-左贡地块; BNSZ-班公湖-怒江缝合带; N.Gangdise-北冈底斯岩浆弧; SJMO-狮泉河-嘉黎蛇绿混杂岩带; M.Gangdise-中冈底斯火山弧带; LGRAU-隆格尔-工布江达弧背断隆带; S.Gangdise-南冈底斯岩浆弧; IYSZ-印度河-雅鲁藏布江缝合带; ZZB-仲巴-札达地块; NHTB-北喜马拉雅构造带; GLNF-噶尔-隆格尔-扎日南木错-纳木错断裂; SMLMF-沙莫勒-麦拉-洛巴堆-米拉山断裂

QZB-Qiangtang-Zogong block; BNSZ-Bangong-Nujiang suture zone; N.Gangdise- magma arc of northern Gangdise; SJMO-Shiquanhe-Lhari ophiolitic mélange belt; M.Gangdise- volcanics arc of middle Gangdise; LGRAU-Luggar-Gongbujiangda back arc uplift belt; S.Gangdise-magma arc of southern Gangdise; IYSZ-India River-Yarlung Zangbo suture zone; ZZB-Dongpa-Zanda block; NHTB-tectonic belt of northern Himalaya; GLNF-Gaer-Lunggar-Zhari Namco fault; SMLMF-Shamole-Maila-Luobadui-Milashan fault

1 地质背景和样品描述

西藏冈底斯带的晚白垩世火山岩赋存于宗给组中。该组零星分布于昂龙岗日-班戈-伯舒拉岭构造-岩浆带东部地区, 原义是指下部为河湖相碎屑岩, 上部为火山岩的一套地层(西藏自治区地质矿产局, 1997)。那曲火山岩是一套厚逾 535 m 的紫红色中性火山岩系, 面积逾 560 km²; 但由于第四系的掩盖, 造成它与早白垩世多尼组河湖相含煤碎屑岩的关系不清。样品采集于那曲—比如公路旁侧, 地理坐标: 30°12′51.6″N, 92°41′54″E; 该区基岩露头良好, 以安山岩、安山质岩屑火山角砾岩为主, 总体向北倾斜, 倾角约 30°±, 厚度大于 535 m; 样品岩石类型为安山岩, 斑状结构, 基质具交织结构, 块状构造; 斑晶为更长石(30%±), 半自形板状, 粒径 0.5~3 mm; 基质中, 更长石约占 52%±, 细小板条状, 不

规则分布, 间隙内充填褐铁矿、赤铁矿和方解石等矿物。哈尔麦火山岩发育于哈尔麦乡附近, 被认为夹于拉贡塘组砂板岩中(西藏自治区地质调查院, 2005c), 厚逾 3300 m, 出露面积 470 km²; 实地调研表明, 此套火山岩在地貌上表现为山峰、山脊, 岩石类型以安山岩、火山角砾岩和火山角砾凝灰岩为主, 向北倾斜, 倾角约 20°, 而地势相对低洼处则为褶曲较为强烈的砂板岩(图 2, 图 3), 与前人所谓的代表半深水-深水环境的拉贡塘组基本一致(西藏自治区地质矿产局, 1997); 因此, 此套火山岩的时代值得质疑。我们的样品采集于哈尔麦乡北西 4 km 处, 地理坐标: 30°12′51.6″N, 92°41′54″E; 岩石类型为紫红色安山岩, 斑状结构, 块状构造; 斑晶以更长石为主(25%±), 自形柱状, 粒径 0.5~2.5 mm; 基质中, 更长石约 50%±, 粒径 0.05~0.3 mm; 绢云母 20%±, 不均匀分布; 石英 4%±; 副矿物为磷灰石、褐铁矿。

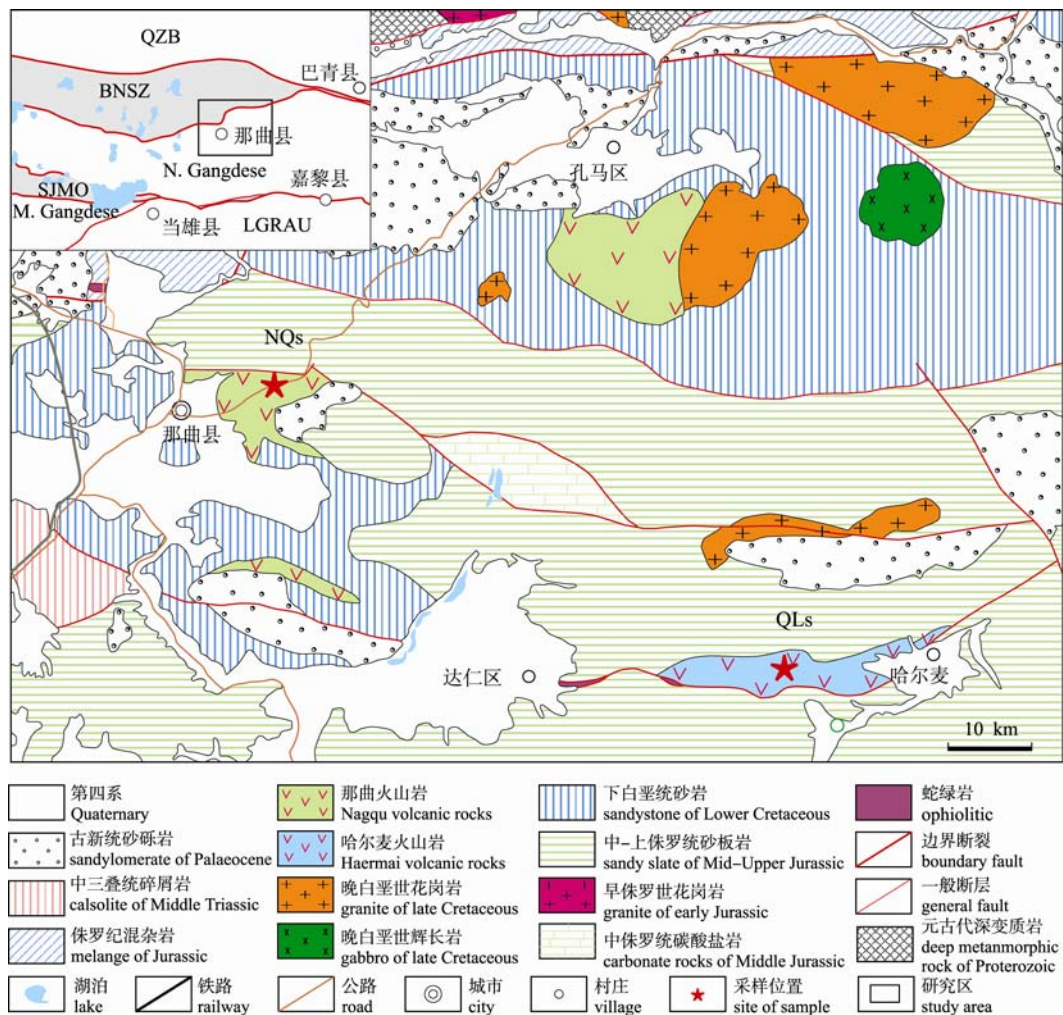


图 2 西藏冈底斯带那曲地区地质图(据西藏自治区地质调查院, 2006)

Fig. 2 Geological map of Nagqu area in Gangdise, Tibet (after Tibet Geological Survey, 2006)

NQs-那曲火山岩的样品代号; QLs-哈尔麦火山岩的样品代号; 其余代号同图 1

NQs-sample code of Nagqu volcanics; QLs-sample code of Haermai volcanics; other codes as for Fig.1

在边巴县之西的冈底斯北带,迄今未见到晚白垩世、中-晚侏罗世火山岩。该区广泛发育的早白垩世火山-沉积岩系在改则县城之东被称为多尼组,它是一套海陆交互相或河湖相地层,该组的火山岩成片、成带的分布于纳木错北岸、果芒错一带,主要为紫红色安山岩、火山角砾岩和安山质凝灰岩;但在改则之西,它被称为下白垩统去申拉组,火山活动远较东部广泛(图 1),火山岩类型主要为安山岩、玄武质和安山质火山角砾岩。可见,那曲地区的中生代火山岩与区域上的早白垩世火山岩具有较大的相似性。

2 分析方法

所采的测年样品在成都地质矿产研究所采用常规方法粉碎至 80~100 目,按常规方法分选后在双目镜下分类挑选,得到 >200 粒锆石后,再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部暴露,然后进行锆石显微(反射光和投射光照相)、阴极发光(CL)显微图像研究及 LA-ICP-MS 分析。锆石的阴极发光(CL)显微照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 Cameca 电子探针仪器上完成,分析电压 15 KV,电流为 19 nA。

LA-ICP-MS 锆石原位微区 U-Pb 定年及微量元素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完成。ICP-MS 为 Agilent 7500a,激光剥蚀系统为配备有 193 nm ArF 准分子(Excimer)激光器的 GeoLas 2005。分析中采用的激光斑束直径

为 30 μm ,以氦气作为剥蚀物质的载气,同位素组成用标准锆石 91500 作为外标进行校正,元素含量用 NIST610 作外标、Zr 作内标进行校正。锆石测定点的 Pb 同位素比值、U-Pb 表面年龄和微量元素含量采用 ICPMSDataCal 3.5 程序计算(Liu et al., 2008)。锆石加权平均年龄的计算及谐和图的绘制采用 ISOPLOT 3.0 程序(Ludwig, 2003)。

3 分析结果

西藏冈底斯那曲地区中生代火山岩 2 件样品的部分代表性锆石的阴极发光(CL)图像见图 4, 锆石 U-Pb 年龄图见图 5, 分析结果见表 1、表 2。

样品 NQs 中的锆石显示短柱状或长柱状的半自形到自形的晶形,见清楚的生长韵律或振荡环带,部分样品显示核-边结构(图 3a、3b)。1~23 号测点的 Th/U 比值介于 0.65~1.21 之间,该比值高于变质成因的锆石(通常 < 0.1)而与岩浆成因锆石一致(> 0.1, Hoskin et al., 2000); 23 个测点显示的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化范围在 115~126 Ma 之间,在置信度 95% 时的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 116.3 ± 1.4 Ma (MSWD=4.4)(图 5a),代表了安山岩的成岩时代。第 24 号测点位于核部, Th/U 比值 0.0756,与变质成因锆石一致, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 1215 Ma; 第 25 号测点亦位于核部,但 Th/U 比值与岩浆成因锆石相似(0.659), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 1772 Ma; 这些信息很可能暗示着安山岩浆上侵过程中捕获了元古代物质。

样品 QLs 中的锆石普遍较大,以短柱状自形晶为主,显示明显的生长韵律或振荡环带,具有非常清楚的灰白色生长边和灰色内核(图 4c、4d)。26 个测点的 Th/U 比值介于 0.60~1.35 之间,属岩浆成因锆石(Hoskin et al., 2000),这些测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化范围在 107~116 Ma 之间,在置信度 95% 时的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 111.37 ± 0.73 Ma (MSWD=2.8)(图 5b),代表了安山岩的成岩时代。

4 地质意义

4.1 年代学格架

用于 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年的 2 件样品分别来自那曲县城东、哈尔麦北部的紫红色中性火山岩建造中,这 2 个地区的火山岩分别角度不整合于中-晚侏罗世拉贡塘组砂板岩、早白垩世多尼组灰白色河湖相碎屑岩建造之上,它们的岩石类型基本一致,这种构造-地层关系指示了这里的火山岩应该代表了那曲地区中生代火山活动的重要记录。本文用



图 3 那曲地区中生代火山岩地貌景观
Fig. 3 Landscape of Mesozoic volcanic rocks in Nagqu area

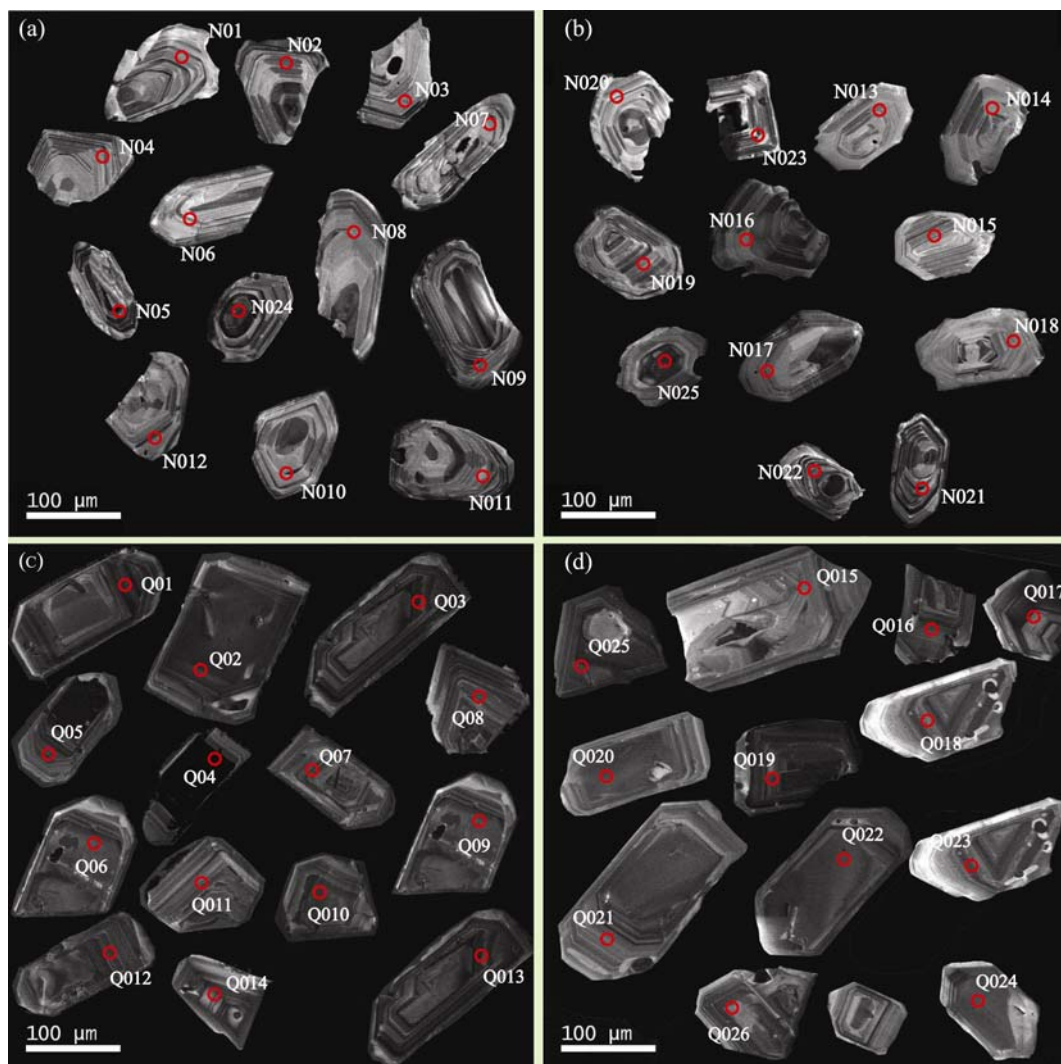


图 4 西藏冈底斯那曲地区中生代火山岩定年样品的 CL 图像

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images of Mesozoic volcanic rocks in Nagqu area of Gangdise, Tibet

(a)、(b)为 NQs 样品, (c)、(d)为 QLs 样品

(a) and (b) are NQs samples, whereas (c) and (d) are QLs samples.

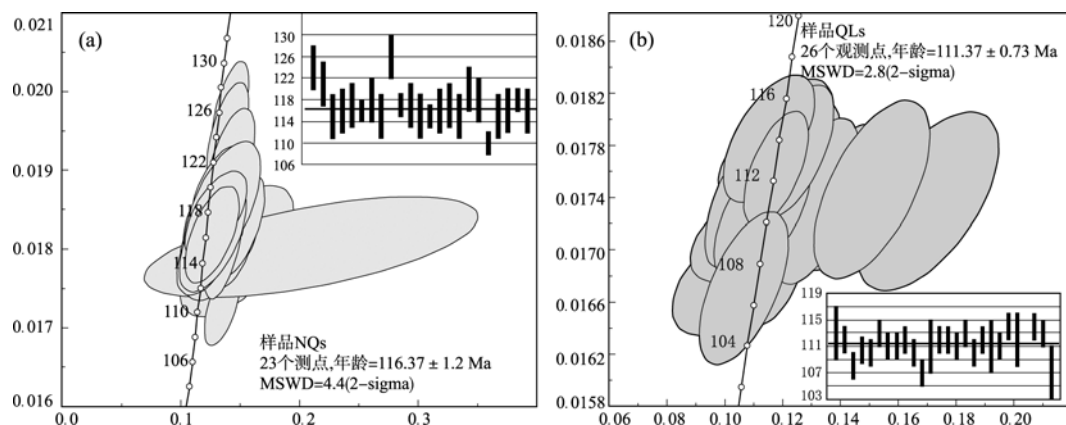


图 5 西藏冈底斯那曲地区中生代火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄图

Fig. 5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram of Mesozoic volcanic rocks in Nagqu area of Gangdise, Tibet

a-那曲火山岩; b-哈尔麦火山岩

a-Nagqu volcanic rock; b-Haermai volcanic rock

表 1 那曲火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of volcanic rocks in Nagqu area

样号	Pb	Th	U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	
	(×10 ⁻⁶)			比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	(Ma)	1σ	(Ma)	1σ	(Ma)	1σ	(Ma)	1σ
N01	6.04	208	268	0.05226	0.0029	0.13842	0.00725	0.01943	0.00028	0.00617	0.00022	297	93	132	6	124	2	124	4
N02	4.00	147	179	0.05548	0.00383	0.14015	0.00869	0.01903	0.00031	0.0059	0.00024	432	109	133	8	121	2	119	5
N03	7.33	321	320	0.05369	0.00536	0.13347	0.01316	0.01803	0.00028	0.00564	0.00006	358	228	127	12	115	2	114	1
N04	5.44	193	256	0.05801	0.00327	0.14635	0.00815	0.01823	0.00029	0.00603	0.00021	530	95	139	7	116	2	121	4
N05	6.98	265	315	0.05258	0.005	0.13309	0.01248	0.01836	0.00029	0.00576	0.00007	311	217	127	11	117	2	116	1
N06	8.47	316	381	0.04741	0.00349	0.11881	0.00861	0.01817	0.00022	0.00578	0.00011	70	164	114	8	116	1	116	2
N07	7.18	246	323	0.04911	0.00398	0.1249	0.00998	0.01844	0.00025	0.00584	0.00009	153	183	120	9	118	2	118	2
N08	5.10	181	230	0.08575	0.02437	0.20936	0.05778	0.01802	0.00026	0.00605	0.00023	1333	579	193	49	115	2	122	5
N09	7.62	228	346	0.05256	0.00264	0.1403	0.0066	0.0197	0.00028	0.00595	0.0002	310	81	133	6	126	2	120	4
N10	6.51	226	299	0.04836	0.00086	0.12204	0.00159	0.0183	0.00022	0.00632	0.00024	117	43	117	1	117	1	127	5
N11	6.24	244	284	0.05839	0.00382	0.14642	0.00961	0.01828	0.00027	0.00589	0.00021	544	119	139	9	117	2	119	4
N12	4.75	167	216	0.05898	0.008	0.1461	0.01963	0.01797	0.00034	0.00556	0.00007	566	308	138	17	115	2	112	1
N13	8.08	302	395	0.04589	0.00216	0.11411	0.00532	0.01806	0.00021	0.00542	0.00017	-8	76	110	5	115	1	109	3
N14	11.52	446	559	0.05024	0.00246	0.12522	0.00623	0.01811	0.00025	0.00569	0.00016	206	90	120	6	116	2	115	3
N15	8.33	419	362	0.05567	0.00286	0.13982	0.00721	0.01835	0.00026	0.00529	0.00015	439	89	133	6	117	2	107	3
N16	6.01	245	278	0.05429	0.0028	0.13492	0.00683	0.01805	0.00028	0.00574	0.00017	383	86	129	6	115	2	116	3
N17	8.18	284	373	0.05097	0.00391	0.13162	0.00996	0.01873	0.00024	0.0059	0.00006	239	176	126	9	120	2	119	1
N18	4.33	160	192	0.05238	0.00526	0.13385	0.01322	0.01853	0.00034	0.00582	0.00008	302	230	128	12	118	2	117	2
N19	8.60	415	400	0.05643	0.00271	0.13393	0.0063	0.01729	0.00021	0.00544	0.00015	469	82	128	6	110	1	110	3
N20	6.42	327	271	0.04947	0.00464	0.12314	0.0114	0.01805	0.00026	0.00571	0.00008	170	213	118	10	115	2	115	2
N21	5.43	198	251	0.05031	0.00471	0.12586	0.01161	0.01814	0.00028	0.00572	0.00009	209	213	120	10	116	2	115	2
N22	7.00	238	318	0.05056	0.00429	0.12838	0.01076	0.01842	0.00023	0.00581	0.00007	221	193	123	10	118	1	117	1
N23	6.28	227	294	0.04995	0.00382	0.12521	0.00941	0.01818	0.00025	0.00574	0.00007	193	174	120	8	116	2	116	1
N24	140.73	53.1	702	0.08134	0.00155	2.35035	0.04863	0.20739	0.00247	0.0644	0.00187	1230	23	1228	15	1215	13	1261	36
N25	248.6	431	654	0.15327	0.00397	6.68746	0.15707	0.31646	0.00345	0.08854	0.00089	2383	45	2071	21	1772	17	1715	16

表 2 哈尔麦火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果
Table 2 LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of volcanic rocks in Haermai area

样号	Pb	Th	U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	
	(×10 ⁻⁶)			比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	(Ma)	1σ	(Ma)	1σ	(Ma)	1σ	(Ma)	1σ
Q01	10.81	333	551	0.04862	0.00308	0.11897	0.00749	0.0177	0.00025	0.00556	0.00021	130	115	114	7	113	2	112	4
Q02	18.20	734	863	0.05366	0.00226	0.12981	0.00535	0.0176	0.00017	0.00571	0.00013	357	75	124	5	112	1	115	3
Q03	14.79	436	594	0.04605	0.00457	0.107	0.01054	0.01685	0.00021	0.00543	0.00027		208	103	10	108	1	109	6
Q04	14.27	606	610	0.04605	0.00208	0.10968	0.00486	0.01727	0.00015	0.0056	0.00013		96	106	4	110.4	1	113	3
Q05	14.30	672	584	0.04744	0.00435	0.11245	0.01024	0.01719	0.00018	0.00546	0.00013	71	203	108	9	110	1	110	3
Q06	13.55	367	667	0.04686	0.00295	0.11466	0.00713	0.01775	0.00016	0.00565	0.00017	42	138	110	6	113	1	114	3
Q07	14.31	685	670	0.04392	0.00206	0.10407	0.00472	0.01735	0.0002	0.0054	0.00013	-75	75	101	4	111	1	109	3
Q08	23.28	840	1109	0.04959	0.00359	0.1184	0.00845	0.01732	0.00021	0.00547	0.00006	176	165	114	8	111	1	110	1
Q09	13.27	633	600	0.04922	0.00223	0.11887	0.00539	0.01752	0.00019	0.0056	0.00014	158	85	114	5	112	1	113	3
Q10	20.46	650	1052	0.04836	0.00174	0.11535	0.00408	0.01722	0.00017	0.00543	0.00014	117	64	111	4	110	1	109	3
Q11	21.9	1400	915	0.0505	0.0019	0.11746	0.00433	0.01681	0.00016	0.00533	0.00011	218	68	113	4	107	1	107	2
Q12	4.80	174	233	0.07199	0.00452	0.17017	0.01007	0.01737	0.00028	0.00543	0.00021	986	95	160	9	111	2	109	4
Q13	15.12	485	761	0.04795	0.00197	0.11628	0.00475	0.0176	0.0002	0.00562	0.00014	97	72	112	4	112	1	113	3
Q14	12.68	393	655	0.05179	0.00236	0.12317	0.00534	0.0175	0.00021	0.00543	0.00017	276	78	118	5	112	1	110	4
Q15	7.71	422	338	0.05913	0.00294	0.13963	0.00646	0.0174	0.00023	0.00537	0.00016	572	77	133	6	111	1	108	3
Q16	17.06	500	866	0.04998	0.00304	0.12152	0.00723	0.01763	0.00022	0.00557	0.00006	194	139	116	7	113	1	112	1
Q17	16.42	468	827	0.04889	0.00278	0.11654	0.00653	0.01729	0.00017	0.00547	0.00006	143	129	112	6	110	1	110	1
Q18	11.89	448	586	0.05214	0.00255	0.12496	0.00589	0.01753	0.00021	0.00556	0.00016	292	86	120	5	112	1	112	3
Q19	8.26	361	395	0.05551	0.00275	0.13111	0.00619	0.01737	0.00026	0.00547	0.00017	433	78	125	6	111	2	110	3
Q20	23.03	633	1171	0.04724	0.00296	0.11265	0.00691	0.01729	0.00022	0.0055	0.00013	62	139	108	6	111	1	111	3
Q21	26.53	789	1265	0.04605	0.00207	0.11338	0.00497	0.01786	0.00018	0.00573	0.00014		96	109	5	114	1	115	3
Q22	6.26	332	282	0.06372	0.00351	0.15059	0.00823	0.01746	0.00028	0.00535	0.00016	732	88	142	7	112	2	108	3
Q23	10.03	354	496	0.05101	0.00247	0.1233	0.00576	0.01775	0.00021	0.00572	0.00017	241	86	118	5	113	1	115	3
Q24	17.14	553	824	0.04665	0.00268	0.11482	0.00648	0.01785	0.0002	0.00568	0.00012	31	126	110	6	114	1	115	3
Q25	18.6	1064	792	0.04825	0.0019	0.11726	0.0046	0.01762	0.00018	0.00573	0.00013	112	71	113	4	113	1	116	3
Q26	19.04	540	880	0.04605	0.00284	0.10606	0.00635	0.0167	0.00024	0.00546	0.00023		135	102	6	107	2	110	5

LA-ICP-MS 方法获得的两件样品的年龄数据在误差范围内是一致的, 加权平均年龄分别为 116.3 ± 1.4 Ma 和 111.37 ± 0.73 Ma (图 5a、5b), 表明那曲地区最为强烈的中生代火山活动很可能开始于 110 Ma 左右。关于该区是否存在晚白垩世、中晚侏罗世火山活动, 值得进一步调查研究。

由于那曲地区的这些火山建造多呈孤岛状产出, 上覆地层或被剥蚀, 或被第四系掩盖(图 2), 这种构造-地层关系导致很难对该区早白垩世火山活动的上限进行年代学约束。研究区这些火山岩被 K-Ar 全岩年龄为 69.2 Ma 的花岗岩侵位, 但西藏地质调查院在研究区东部的比如地区、吉林省地质调查院在西部的色林错南岸花岗岩中分别获得了 88 Ma 的锆石 U-Pb 年龄、105 Ma 的 K-Ar 全岩年龄(西藏自治区地质调查院, 2005a; 吉林省地质调查院, 2003), 同时西藏地质调查院在研究区西邻的班戈一带的花岗闪长岩、英云闪长岩和石英闪长岩中分别获得了 118 Ma(K-Ar)、121 Ma(Sm-Nd)和 124 Ma(黑云母 K-Ar)年龄, 这些花岗岩年代学数据与本次获得的火山岩年龄较为接近, 可能暗示着那曲地区早白垩世火山活动持续时间较短, 随后转入大规模的花岗岩类岩浆活动(西藏自治区地质调查院, 2002)。

4.2 北冈底斯早白垩世火山作用的区域对比及意义

北冈底斯早白垩世火山岩成串珠状分布于革吉县物玛、申扎县雄梅、色林错南岸、纳木错北岸和比如一带, 年代学研究相对较少。1:25 万当雄幅在班戈且果村早白垩世多尼组底部流纹质晶屑熔岩中获得了 112.43 Ma 的 K-Ar 年龄和 114.2 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(中国科学院地质力学研究所, 2003), 袁四化在雄梅镇西南早白垩世多尼组英安岩获得了 115.7-114.3 Ma 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄(袁四化, 2009), 康志强等在达过村和尼玛的马跃乡的早白垩世分别获得了 116 Ma 和 115 Ma 的锆石 LA-ICP-MS 年龄(康志强等, 2009), 这些年龄与本文报道的那曲地区中生代火山岩相当, 表明 1:25 万那曲幅区域地质调查所谓的“中-晚侏罗世拉贡塘组火山岩”, 以及“晚白垩世宗给组火山岩”实为早白垩世火山岩, 同时也表明大约在 110 Ma 左右, 北冈底斯在东西绵延长约 1300 km 的范围内, 发生了广泛的火山活动。

早白垩世火山活动在北冈底斯中生代岩浆活动历史中占据重要地位, 但不排除有侏罗纪或晚白垩世火山活动的存在。关于此套火山岩系, 一些研究

者将其归为导源于新特提斯洋壳俯冲造成的拉萨地块北部的陆内伸展作用造成的(Zhang et al., 2004; 康志强等, 2009); 但其岩石地球化学特征均显示出弧火山岩的特征(西藏地质调查院, 2005a, b, c; 四川省地质调查院, 2006; 吉林省地质调查院, 2003; 中国地质科学院地质力学研究所, 2003), 且广泛发育中性火山岩类, 与裂谷环境的双峰式火山岩构成有较大的区别; 本文报道的那曲地区中生代火山岩锆石 U-Pb 年龄数据及区域对比结果表明, 在北冈底斯带发生了规模宏大的弧火山作用, 此种作用可能是在高角度俯冲环境下发生的, 因为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), 要么在俯冲板片前缘形成埃达克岩(Cutscher et al., 2000); 而那时南冈底斯带则为低角度或平板俯冲环境下发生的埃达克质火山作用和早白垩世花岗岩类的侵位(Coulon et al., 1986; Copeland et al., 1995; Kapp et al., 2005, 2007; Leier et al., 2007; 朱弟成等, 2008), 显然用新特提斯洋俯冲解释冈底斯北带早白垩世火山作用是有困难的。

冈底斯北带的早白垩世火山岩绵延于狮泉河-嘉黎蛇绿混杂岩带(STOMZ)与班公湖-怒江缝合带(BNSZ)之间东西长达 1200 km 的范围内, 尤其是它具有典型的弧火山岩特征, 暗示着它们之间具有内在的联系。目前, 多数学者认为班公湖-怒江大洋于侏罗-白垩纪向南俯冲(Li et al. 1999; 潘桂棠等, 2006; 莫宣学等, 2005; 朱弟成等, 2006), 以及晚侏罗世末期闭合(曹圣华等, 2004)和早侏罗世末期闭合(邱瑞照等, 2004)等 3 种观点。至于狮泉河-嘉黎大洋, 学者们多倾向于侏罗纪就已打开, 早白垩世早期还在俯冲, 晚期闭合(郑守业等, 2006; 曹圣华等, 2004; 西藏自治区地质调查院, 2004; 袁四化, 2009); 但也有持向南俯冲(曹圣华等, 2004), 以及持双向俯冲两种观点(袁四化, 2009); 值得指出的是, 持双向俯冲观点者还指出, 在南部形成以则弄群为代表的火山岩系, 北部形成多尼组火山岩, 但二者在发生时代、喷发强度、东西延展长度等方面存在一定的差异(图 1)。总之, 冈底斯北带早白垩世火山作用地球动力学问题, 涉及到狮泉河-嘉黎蛇绿混杂岩带、班公湖-怒江缝合带形成演化的方方面面, 已超出研究范围, 有待进一步研究。

5 结论

(1) 2 件 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 结合野外实地调研表明, 那曲火山岩、哈尔麦火山岩均形成于早白垩世, 其成岩时代大致在 110 Ma 左右, 研究

区不存在晚白垩世, 或中-晚侏罗世火山岩。

(2) 区域对比表明, 冈底斯北带那曲地区的火山活动为早白垩世火山事件的产物, 是该区地质构造演化过程最为醒目的事件, 火山活动很可能发生于 110~120 Ma, 火山作用的发生或与狮泉河-嘉黎大洋, 或与班公湖-怒江大洋的俯冲作用有关, 其地球动力学背景有待进一步的年代学和地球化学研究。

参考文献:

- 曹圣华, 罗小川, 唐峰林, 陈鲁根. 2004. 班公湖-怒江结合带南侧孤盆时空结构与演化特征[J]. 中国地质, 31(1): 51-56.
- 常承发, 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[J]. 中国科学(D 辑), 2: 190-201.
- 吉林省地质调查院. 2003. 1: 25 万多巴幅区域地质调查报告[R]. 长春: 吉林省地质调查院.
- 康志强, 许继峰, 王保弟, 董彦辉, 王树庆, 陈建林. 2009. 拉萨地块北部白垩纪多尼组火山岩的地球化学: 形成的构造环境[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 34(1): 89-104.
- 李才, 王天武, 李惠民, 曾庆高. 2003. 冈底斯地区发现印支期巨斑状花岗岩闪长岩: 古特提斯造山存在的证据[J]. 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, 张风琴. 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[J]. 高校地质学报, 11(3): 281-290.
- 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[J]. 岩石学报, 22(3): 521-533.
- 邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 李金发, 肖庆辉, 蔡志勇. 2004. 西藏班公湖—怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定——兼论班公湖—怒江蛇绿岩带形成时代[J]. 中国地质, 31(3): 262-268.
- 四川省地质调查院. 2006. 1:25 万物玛幅区域地质调查报告[R]. 2006. 成都: 四川省地质调查院.
- 西藏自治区地质调查院. 2002. 1:25 万班戈幅区域地质调查报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质调查院.
- 西藏自治区地质调查院. 2004. 狮泉河幅、斯诺乌山幅区域地质调查报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质调查院.
- 西藏自治区地质调查院. 2005a. 1:25 万比如幅区域地质调查报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质调查院.
- 西藏自治区地质调查院. 2005b. 1:25 万边巴幅区域地质调查报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质调查院.
- 西藏自治区地质调查院. 2005c. 1:25 万那曲幅区域地质调查报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质调查院.
- 西藏自治区地质矿产局. 1997. 西藏自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 1-302.
- 袁四化. 2009. 中国地质科学院博士学位论文: 冈底斯带中段北部早白垩世火山岩及其大地构造意义[D]. 北京: 中国地质科学院.
- 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[J]. 地质通报, 24(3): 349-353.
- 郑守业, 许荣科, 马国桃, 高顺宝, 张刚阳, 马新民, 茨邛. 2006. 锆石 SHRIMP 年龄对狮泉河蛇绿岩形成和俯冲时间的约束

[J]. 岩石学报, 22(4): 875-904.

- 中国地质科学院地质力学研究所. 2003. 1: 25 万当雄幅区域地质调查报告[R]. 北京: 中国地质科学院.
- 周云生, 张旗, 梅厚均. 1981. 西藏岩浆活动和变质作用[M]. 北京: 科学出版社: 1-146.
- 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 许继峰, 周长勇, 孙晨光, 王立全, 陈海红, 董国臣, 周肃. 2008. 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[J]. 岩石学报, 24(3): 401-412.
- 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[J]. 岩石学报, 22(3): 534-546.

References:

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous Region. 1997. Stratigraphy (Lithostratic) of Xizang Autonomous Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-302.
- CAO Sheng-hua, LUO Xiao-chuan, TANG Feng-lin, CHEN Lu-gen. 2004. Time-space structure and evolution of the arc-basin system on the southern side of the Bangong Co-Nujiang junction zone[J]. Geology in China, 31(1): 51-56(in Chinese with English abstract).
- CHANG Cheng-fa, ZHENG Xi-lan. 1973. Discussion on the formation of western-eastern Ranges in Himalayas and Qinghai-Xizang Plateau and characteristics of geological structure in Everest region[J]. Science in China(Series D), 2: 190-201(in Chinese with English abstract).
- COPELAND P, HARRISON T M, PAN Y, KIDD WSE, RODEN M, ZHANG Y Q. 1995. Thermal evolution of the Gangdese batholith, southern Tibet: A history of episodic unroofing[J]. Tectonics, 14: 223-236.
- COULON C, MALUSKI H, BOLLINGER C, WANG S. 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, petrological characteristics and geodynamical significance[J]. Earth and Planetary Letters, 79: 281-302.
- CUTSCHER M A, MAURY R and EISSEN J P. 2000. Can slab melting be caused by flat subduction?[J]. Geology, 28(6): 535-538.
- HOSKIN PWO, BLACK L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. Journal of Metamorphic Geology, 18: 423-439.
- KANG Zhi-qiang, XU Ji-feng, WANG Bao-di, DONG Yan-hui, WANG Shu-qing, CHEN Jian-lin. 2009. Geochemistry of Cretaceous volcanic rocks of Duoni formation in northern Lhasa block: Discussion of tectonic setting[J]. Earth Science Journal of China University of Geoscience, 34(1): 89-104(in Chinese with English abstract).
- KAPP P, DECELLES P G, GEHRELS G E, HEIZLER M, DING L. 2007. Geological records of the Lhasa-Qiangtang and Indo-Asian collisions in the Nima area of central Tibet[J]. Geological Society of America Bulletin, 119: 917-932, doi: 10.1130/B26033.1
- KAPP P, YIN A, HARRISON T M, DING L. 2005. Cretaceous-Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet[J]. Geological Society of America Bulletin, 117(7/8): 865-878.

- LEIER A L, KAPP P, DECELLES P G, GEHRELS G E. 2007. Lower Cretaceous strata in the Lhasa terrance, Tibet, with implications for understanding the early tectonic history of the Tibetan plateau[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 77: 809-825.
- LI Cai, WANG Tian-wu, LI Hui-min, ZENG Qing-gao. 2003. Discovery of Indosinian megap-orphyritic granodiorite in the Gangdese area: evidence for the existence of Paleogangdese[J]. *Geological Bulletin of China*, 22(5): 364-366(in Chinese with English abstract).
- LI Ting-dong, GAO Rui and WU Gong-jian. 1999. Lithospheric Evolution and Geodynamics Process of the Qinghai-Tibet Plateau: An Inspiration from the Yadong Golmud-Ejin Geoscience Transect[J]. *Acta Geologica Sinica*, 73(2): 173-180.
- LIU Yong-sheng, HU Zhao-chu, GAO Shan. 2008. In-situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257: 34-43.
- LUDWIG K R. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 1-70.
- MO Xuan-xue, DONG Guo-chen, ZHAO Zhi-dan, ZHOU Su, WANG Liang-liang, QIU Rui-zhao, ZHANG Feng-qing. 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of Granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for Crustal Growth and evolution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281-290(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, HOU Zeng-qian, ZHU Di-cheng, WANG Li-quan, LI Guang-ming, ZHAO Zhi-dan, GENG Quan-ru, LIAO Zhong-li. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-553(in Chinese with English abstract).
- PEARCE J A, MEI H. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotransverse Lhasa to Colmud[J]. *Royal Society of London Philosophical Transactions, Series A*, 327: 169-201.
- QIU Rui-zhao, ZHOU Su, DENG Jin-fu, LI Jin-fa, XIAO Qing-hui, CAI Zhi-yong. 2004. Dating of gabbro in the Shamalagou ophiolite in the western segment of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt, Tibet-with a discussion of the age of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt[J]. *Geology in China*, 31(3): 262-268(in Chinese with English abstract).
- The Geological Survey of Jilin Province. 2003. The Report of Regional geological survey of Duoba Sheet at the scale of 1:250000[R]. Changchun: The Geological Survey of Jilin Province(in Chinese).
- The Geological Survey of Sichuan Province. 2006. The Report of Regional geological survey of Oma Sheet at the scale of 1:250000[R]. Chengdu: The Geological Survey of Sichuan Province(in Chinese).
- The Geological Survey of Tibet Autonomous Region. 2002. The Report of Regional geological survey of Bankog Sheet at the scale of 1:250000[R]. Lhasa: The Geological Survey of Tibet Autonomous Region(in Chinese).
- The Geological Survey of Tibet Autonomous Region. 2004. The Report of Regional geological survey of Shichuanhe and Sinuowushan Sheet at the scale of 1:250000[R]. Lhasa: The Geological Survey of Tibet Autonomous Region(in Chinese).
- The Geological Survey of Tibet Autonomous Region. 2005a. The Report of Regional geological survey of Biru Sheet at the scale of 1:250000[R]. Lhasa: The Geological Survey of Tibet Autonomous Region(in Chinese).
- The Geological Survey of Tibet Autonomous Region. 2005b. The Report of Regional geological survey of Bianba Sheet at the scale of 1:250000[R]. Lhasa: The Geological Survey of Tibet Autonomous Region(in Chinese).
- The Geological Survey of Tibet Autonomous Region. 2005c. The Report of Regional geological survey of Nagqu Sheet at the scale of 1:250000[R]. Lhasa: The Geological Survey of Tibet Autonomous Region(in Chinese).
- The Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences. 2003. The Report of Regional geological survey of Damxung Sheet at the scale of 1:250000[R]. Beijing: The Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- WANG Jian-ping. 2000. Geological features of the Eastern Sector of the Bangong Co-Nujiang River Suture Zone: Tethyan Evolution[J]. *Acta Geologica Sinica*, 74(2): 229-235.
- XU R H, SCHÄRER U, ALLÈGRE C J. 1985. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block(Tibet): A geochronological study[J]. *Journal of Geology*, 93: 41-57.
- YUAN Si-hua. 2009. Chinese Academy of Geological Sciences Doctor' thesis: The Early Cretaceous volcanic rocks in north part of central segment of the Gangdese in the Tibet and its tectonic implications[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).
- ZHAI Qing-guo, LI Cai, LI Hui-min, WANG Tian-wu. 2005. U-Pb zircon age of leucogranite in the central Gangdese, Tibet, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(3): 349-353(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Kai-jun, XIA Bang-dong, WANG Guan-min, LI Yong-tie, YE He-fei. 2004. Early Cretaceous stratigraphy, depositional environments, sandstone provenance, and tectonic setting of central Tibet[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 116: 1202-1222, doi: 10.1130/B25388.1.
- ZHENG Shou-ye, XU Rong-ke, MA Guo-tao, GAO Shun-bao, ZHANG Gang-yang, MA Xin-min, CI Qiong. 2006. Ages of generation and subduction of Shiquan River ophiolite: Restriction from SHRIMP zircon dating[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 875-904.
- ZHOU Yun-sheng, ZHANG Qi, MEI Hou-jun. 1981. Magmatic activities and metamorphisms in Tibet[M]. Beijing: Science Press: 1-146(in Chinese).
- ZHU Di-cheng, MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, XU Ji-feng, ZHOU Chang-yong, SUN Chen-guang, WANG Li-quan, CHEN Hai-hong, DONG Guo-chen, ZHOU Su. 2008. Zircon U-Pb geochronology of Zenong Group volcanic rocks in Coqen area of the Gangdese, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 401-412(in Chinese with English abstract).
- ZHU Di-cheng, PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, WANG Li-quan, LIAO Zhong-li, ZHAO Zhi-dan, DONG Guo-chen, ZHOU Chang-yong. 2006. Late Jurassic Early Cretaceous geodynamic setting in middle northern Gangdese: new insights from volcanic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534-546(in Chinese with English abstract).