

西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩 锆石 U-Pb 年龄及地球化学

张予杰¹ 刘伟^{1,2} 朱同兴¹ 安显银¹ 廖忠礼¹

(1.中国地质调查局成都地质调查中心,四川成都 610081;

2.中国科学技术大学地球和空间科学学院,安徽合肥 230026)

摘要:对中冈底斯带北部申扎县买巴地区广泛分布于石炭—二叠纪地层中的中、酸性侵入岩进行了研究,获得其中的花岗岩和石英二长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄值分别为 (110.8 ± 0.9) Ma 和 (111.0 ± 1.1) Ma,二者在误差范围内一致,表明其应该为同一期岩浆活动的产物。其总的地球化学特征是 SiO_2 含量较高,而且均为铝质过饱和 ($A/CNK=1.05 \sim 1.38$),并且富集 Al、Th、LREE 等元素,其中 Th 丰度为 $14.8 \times 10^{-6} \sim 28.4 \times 10^{-6}$,暗示它们很可能与中上地壳物质有关;与上部陆壳及中冈底斯带 110 Ma 时地壳物质发生脱水重熔形成的则弄群酸性火山岩具有非常相似的蛛网图曲线,表明其可能为地壳物质脱水发生重熔有关。结合冈底斯带中北部地区广泛分布 130~110 Ma 则弄群、多尼组等火山岩分析,认为西藏申扎县买巴地区早白垩世 110 Ma 左右中、酸性侵入岩是班公湖—怒江洋盆南向俯冲消减的产物。

关键词:早白垩世;U-Pb 年龄;冈底斯带;石英二长岩;花岗岩;买巴

中图分类号:P597;P588.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)01-0050-11

青藏高原隶属于特提斯构造域,被誉为大陆动力学研究的天然实验室。在青藏高原的两大研究主题——特提斯演化与高原隆升的研究中,岩浆岩石学领域的研究做出了重要的贡献^[1]。

位于高原中南部的冈底斯带(相当于传统的拉萨地块/地体)保存有丰富的特提斯洋演化的物质记录,包括东西向大面积分布的中生代岩浆岩,为青藏高原尤其是冈底斯带在中生代的构造演化研究提供了很好的载体。尽管目前针对冈底斯带中生代的岩浆岩研究取得了较大进展^[2-9],但对于该带中北部岩浆岩成因和构造动力学背景的认识还存在分歧。其成因主要有以下几种观点:冈底斯与羌塘地块碰撞增厚的下地壳重熔^[10-11];新特提斯洋的低

角度平板俯冲^[12];班公湖—怒江洋向南俯冲^[13-14]及断离^[15-20],也有学者提出中北部部分早白垩世岩浆岩与 Slainajap 洋南向俯冲有关^[21]。导致这些分歧出现的原因,在一定的程度上还是由于对整个冈底斯带中生代岩浆岩缺乏系统的、高质量的年代学和地球化学数据约束。

鉴于此,本文以前人较少涉及的冈底斯带中北部申扎县买巴地区早白垩世中、酸性侵入岩作为研究对象,对其进行精确的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年。同时结合地球化学数据,初步讨论了其岩石成因和大地构造背景。这为研究整个冈底斯带中生代构造演化提供了新的资料,尤其对认识冈底斯带中北部早白垩世岩浆活动具有重要的意义。

收稿日期:2013-05-07;改回日期:2013-10-28

基金项目:中国地质调查局项目(1212011121257)和国家自然科学基金项目(41272091)联合资助。

作者简介:张予杰,男,1978年生,工程师,主要从事青藏高原基础地质研究;E-mail:zebiac@163.com。

通讯作者:刘伟,男,1983年生,工程师,主要从事地球化学研究;E-mail:liuwei12@mail.ustc.edu.cn。

1 区域地质概况和样品描述

冈底斯带是指位于青藏高原南部的雅鲁藏布江缝合带(IYS)与北部的班公湖—怒江缝合带(BNS)之间长约2500 km,南北宽150~300 km,面积达 $4.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 近东西向的巨型构造岩浆岩带,是整个青藏高原岩浆作用最为发育的地区。以麦拉—洛巴堆—米拉山断裂(MLMF)、隆格尔—措麦断裂带(LCF)和狮泉河—纳木措蛇绿混杂岩带(SNS)为界,自北往南分为:北冈底斯(N.G),中冈底斯(M.G),冈底斯弧背断隆带(GRUB),南冈底斯(S.G)(图1)^[21]。冈底斯带中北部中生代岩浆岩主要有则弄群火山岩、多尼组火山岩、去申拉组火山岩以及中、酸性侵入岩。中冈底斯北部申扎县买巴地区早白垩世晚期中酸性侵入岩大部分分布于石炭—二叠纪地层中,使沉积地层均有轻微的热接触变质作用并伴随着轻微的硅化。内接触带岩石粒度相对较细,形成冷凝边,其中也常见有石炭系砂岩的大小不等的捕虏体。石炭—二叠纪地层中也常见有花岗岩细脉贯入。晚白垩世花岗岩部分被古近系林子宗群和新近系乌郁群火山岩所覆盖,它们之间均为火山沉积不整合接触关系。在花岗岩边部可见有不明显的风化面,常有褐铁矿化的铁染现象,在火山岩的底部接触面附近,见有少量花岗岩砾石存在于火山岩中,火山岩与花岗岩的接触面不平整,这些均是花岗岩遭风化作用的结果。

本文所研究的买巴地区位于中冈底斯(M.G)中北部,区域上主要由泥盆系达尔东组(D_{1d})、查果罗玛组(D_{2-3c})、石炭系永珠组(Cy)、二叠系拉嘎组(P_{1l})以及中、新生代岩浆岩组成。本文所研究的早白垩世花岗岩和石英二长岩与永珠组为侵入接触(图2)。

为准确了解永珠组中侵入岩的形成时代、地球化学特征,本次工作从野外采集的样品中挑选出新鲜、弱蚀变的6件样品进行主量、微量元素分析,并挑选了2件样品进行锆石U-Pb年代学研究,具体采样位置见图1和图2。

2 分析方法

用于测年的岩浆岩样品锆石的分选在河北省廊坊区域地质调查研究院完成。在双目镜下挑选

出晶形和透明度较好的锆石颗粒,将它们粘贴在环氧树脂表面,抛光后对锆石进行透射光、反射光和阴极发光显微照相。锆石阴极发光(CL)显微照相和LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb同位素年龄分析均在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行。其中锆石阴极发光(CL)显微照相在JXA-8100电子探针仪器上完成,加速电压为15 kV,工作电流为20 nA,束斑直径1 μm 。激光剥蚀系统为GeoLas2005,ICP-MS为Agilent 7500a。详细的仪器操作条件和数据处理方法见Liu et al.^[22-23],锆石U-Th-Pb分析结果见表1。

样品主量元素和微量元素含量由国土资源部西南矿产资源监督检测中心完成。其中主量元素使用X射线荧光法测定,分析误差优于5%。微量元素分析所用仪器为等离子质谱(X-series),分析精度:当元素含量大于 10×10^{-6} 时,精度优于5%,当含量小于 10×10^{-6} 时,精度优于10%。分析结果见表2。

3 分析结果

3.1 锆石U-Pb年龄

本文用于测年的样品花岗岩SZ17-1和石英二长岩SZ24-1的锆石特征十分相似,CL图像均显示锆石多呈自形一半自形,部分锆石显示核-边结构,多呈长柱状,具有明显的振荡环结构(图3-a,b)。样品SZ17-1的Th/U比值介于0.60~1.09,样品SZ24-1的Th/U比值介于0.63~1.40,均高于变质成因锆石(通常 < 0.1),而与岩浆锆石成因一致(> 0.1),属典型的岩浆成因锆石^[24]。花岗岩样品的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄范围108~116 Ma,其²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄值为 $(110.8 \pm 0.9) \text{ Ma}$ (95%置信度)(图3-c)。石英二长岩样品的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄范围107~114 Ma,其²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄值为 $(111.0 \pm 1.1) \text{ Ma}$ (95%置信度)(图3-d)。两件样品的锆石U-Pb年龄在误差范围内基本一致。

3.2 主量元素

在全碱对SiO₂图解(图4-a)上,6件样品均属亚碱性系列,其中有4件落在花岗岩区域内,另外2件落在石英二长岩区域内。4件花岗岩样品的烧失量较小,介于0.84%~1.15%,平均0.98%,表明样品比较新鲜。SiO₂含量较高,均大于75%,最高达

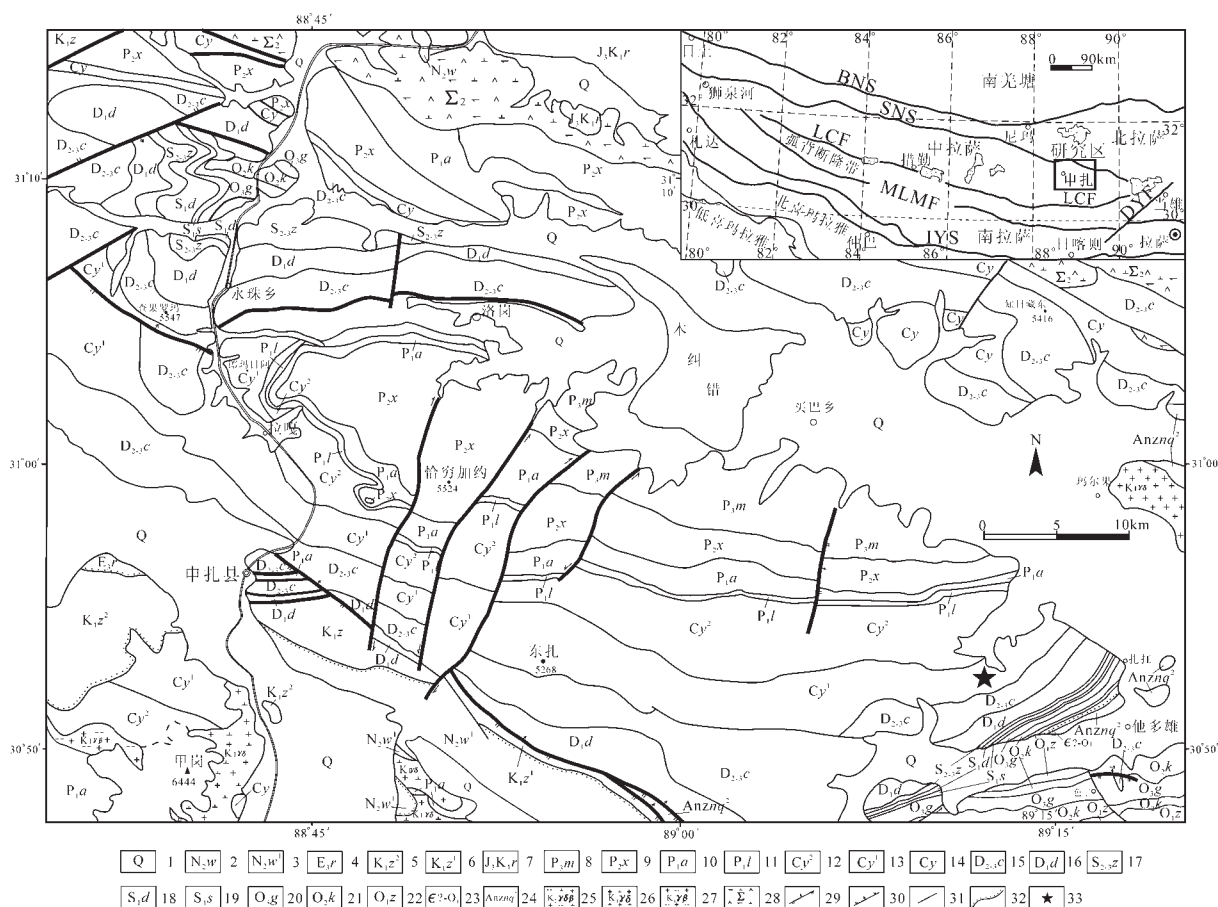


图1 研究区地质简图(据1:25万申扎县幅^①改绘)

1—第四系堆积物;2—乌郁群碎屑岩夹火山岩;3—乌郁群一段碎屑岩;4—日贡拉组粉砂岩;5—则弄群二段灰岩;6—则弄群一段火山岩;7—日拉组粗碎屑岩;8—木纠错组白云岩;9—下拉组灰岩;10—昂杰组灰岩及粉砂岩;11—拉嘎组杂砾岩;12—永珠组上段细碎屑岩夹灰岩;13—永珠组下段细碎屑岩;14—永珠组碎屑岩;15—查果罗玛组灰岩;16—达尔东组钙质泥岩与生屑灰岩;17—扎弄俄玛组碎屑岩;18—德悟卡下组碎屑岩;19—申扎组碎屑岩;20—刚木桑组泥晶灰岩;21—柯尔多组灰岩;22—扎扛组页岩;23—寒武系?—下奥陶统火山碎屑岩;24—念青唐古拉群二段浅变质岩;25—黑云母花岗岩闪长岩;26—花岗岩闪长岩;27—黑云母花岗岩;28—超基性岩;29—逆断层及倾向;30—正断层及倾向;31—性质不明断层;32—不整合接触界线;33—采样位置;
BNS—班公湖—怒江缝合带;SNS—狮泉河—纳木错缝合带;IYS—印度河—雅鲁藏江缝合带;LCF—隆格尔—措麦断裂带;
MLMF—麦拉—洛巴堆—米拉山断裂带;DYF—当雄—羊八井断裂

Fig.1 Simplified geological map of the study area (modified after Geological Map of Shenzha Sheet (1:250000) by Institute of Geological Survey of Jilin University)

1-Quaternary deposits; 2-Uyu Group clastics and volcanics; 3-First member of Uyu Group clastics; 4-Rigonla Formation silts; 5-Second member of Zenong Group limestone; 6-First member of Zenong Group volcanics; 7-Rila Formation coarse-grained clastics; 8-Mujiuco Formation dolomite; 9-Xiala Formation limestone; 10-Anji Formation limestone and silts; 11-Lagar Formation diamictites; 12-Upper member of Yongzhu Formation fine-grained clastics and limestone; 13-Lower member of Yongzhu Formation fine-grained clastics; 14-Yongzhu Formation clastics (undivided); 15-Chagoloma Formation limestone; 16-Dardong Formation calcilutite and bioclast limestone; 17-Zanonerma Formation clastics; 18-Dewukaxia Formation clastics; 19-Xainza Formation clastics; 20-Gangmusan Formation micrite; 21-Kerduo Formation limestone; 22-Zakang Formation shale; 23 Cambrian?-Lower Ordovician volcanoclastics; 24-Second Section of Nyainqentanghla Group epimetamorphic rocks; 25-biotite granodiorite; 26-Granodiorite; 27-Biotite granite; 28-Ultrabasic rocks; 29-Thrust fault and its dip; 30-Normal fault and its dip; 31-Unknown fault; 32-Unconformity; 33-Sampling location;
BNS-Bangong Co-Nujiang Suture; SNS-Shiquan River-Nam Co Suture; IYS-India-Yarlune Zangbo Suture;
LCF-Lunggar-Cuomai Faults; MLMF-Maila-Luobadui-Mila Mountain Faults; DYF-Damxung-Yangbajain Faults

① 吉林大学地质调查研究院. 中华人民共和国1:25万区域地质调查报告申扎县幅, 2003.

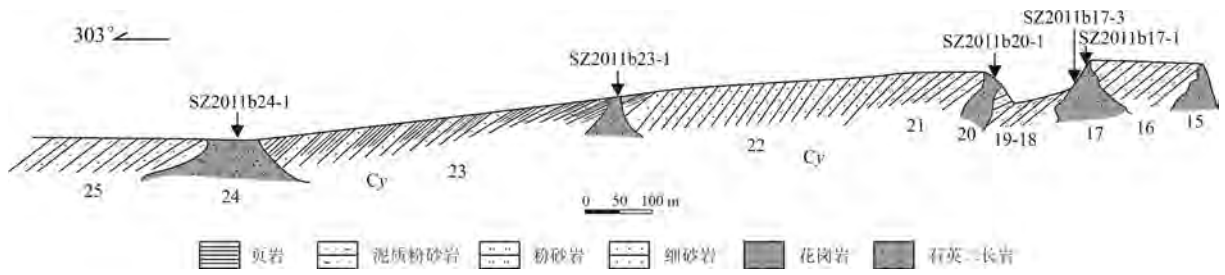


图2 西藏申扎买巴地区早白垩世石英二长岩与花岗岩侵入到石炭系永珠组地层剖面
Fig.2 Stratigraphic section of Carboniferous Yongzhu Formation with the intrusion of Early Cretaceous intrusive rocks in Maiba area, Xainza County, Tibet

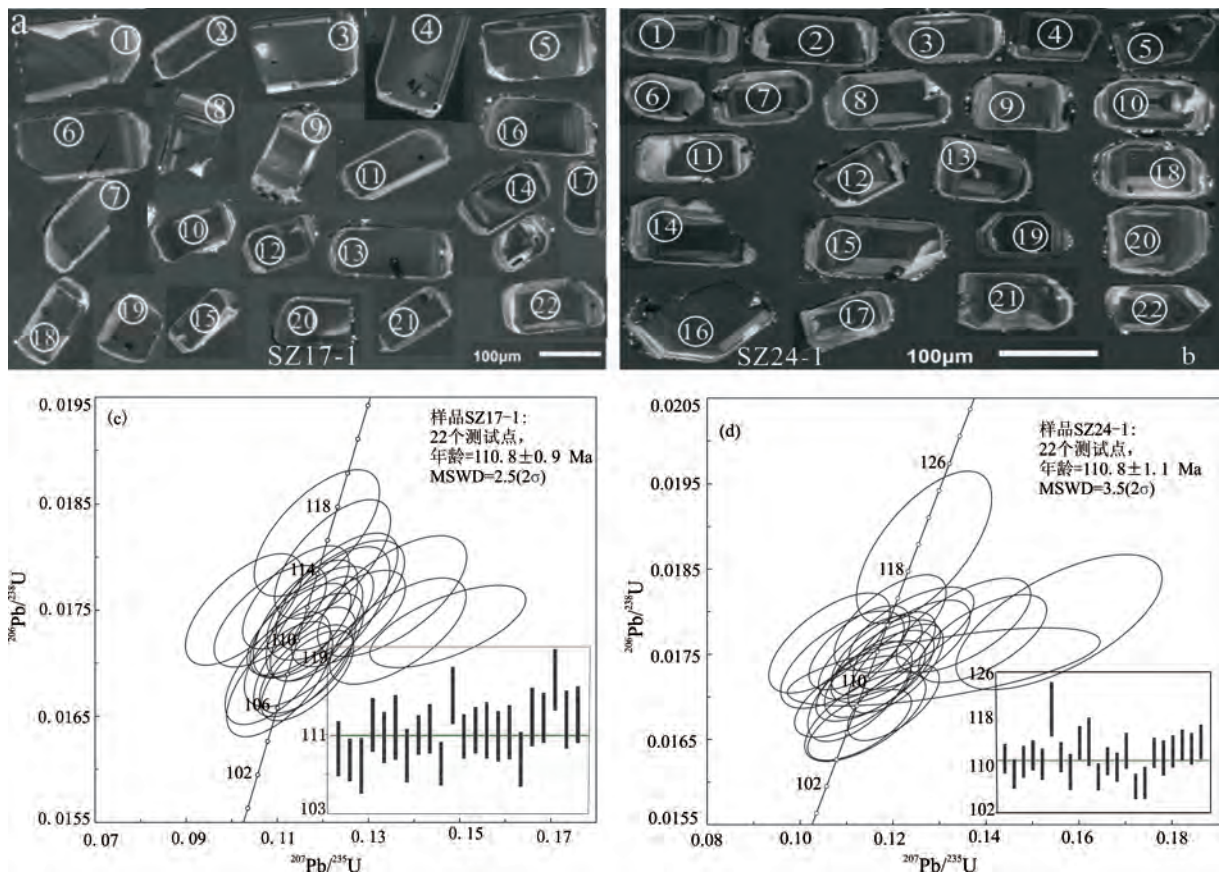


图3 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩定年样品中的锆石CL图像(a,b)和U-Pb谐和图(c,d)
Fig.3 Cathodoluminescence (CL) images (a,b) and Concordia diagrams of zircon U-Pb dating (c, d) for the Early Cretaceous Intrusive rocks in Maiba area, Xainza County, Tibet

表1 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩的锆石LA-ICP-MS U-Th-Pb分析结果
 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb analysis data of Early Cretaceous Intrusive rocks in Maiba area, Xainza county, Tibet

点号	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
				比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	/Ma	1 σ	/Ma	1 σ	/Ma	1 σ	/Ma	1 σ
SZ17-1-1	1149	1849	0.62	0.04858	0.00217	0.1158	0.0053	0.01712	0.00022	0.00550	0.00018	128	106	111	5	109	1	111	4
SZ17-1-2	2028	2963	0.68	0.04944	0.00183	0.1163	0.0042	0.01694	0.00017	0.00524	0.00014	169	87	112	4	108	1	106	3
SZ17-1-3	1809	2485	0.73	0.04790	0.00212	0.1105	0.0048	0.01685	0.00022	0.00529	0.00014	95	100	106	4	108	1	107	3
SZ17-1-4	1107	1571	0.70	0.04223	0.00214	0.1026	0.0052	0.01751	0.00021	0.00538	0.00016	-	-	99	5	112	1	108	3
SZ17-1-5	1348	1844	0.73	0.05729	0.00266	0.1365	0.0061	0.01730	0.00020	0.00566	0.00018	502	106	130	5	111	1	114	4
SZ17-1-6	1422	1963	0.72	0.05057	0.00229	0.1211	0.0055	0.01746	0.00026	0.00502	0.00017	220	101	116	5	112	2	101	4
SZ17-1-7	1992	2523	0.79	0.04971	0.00195	0.1160	0.0046	0.01701	0.00021	0.00526	0.00014	189	123	111	4	109	1	106	3
SZ17-1-8	4448	4067	1.09	0.06140	0.00288	0.1474	0.0070	0.01735	0.00016	0.00563	0.00015	654	100	140	6	111	1	114	3
SZ17-1-9	1345	2033	0.66	0.04560	0.00224	0.1084	0.0050	0.01744	0.00020	0.00544	0.00017	-	-	105	5	111	1	110	3
SZ17-1-10	2342	3882	0.60	0.04999	0.00183	0.1166	0.0042	0.01688	0.00017	0.00514	0.00014	195	85	112	4	108	1	104	3
SZ17-1-11	1622	2130	0.76	0.04919	0.00216	0.1221	0.0052	0.01798	0.00023	0.00561	0.00019	167	104	117	5	115	1	113	4
SZ17-1-12	2103	3351	0.63	0.04757	0.00187	0.1148	0.0047	0.01732	0.00018	0.00563	0.00015	80	89	110	4	111	1	114	3
SZ17-1-13	1882	2936	0.64	0.05202	0.00214	0.1256	0.0051	0.01742	0.00019	0.00539	0.00014	287	93	120	5	111	1	109	3
SZ17-1-14	2380	2476	0.96	0.04871	0.00204	0.1162	0.0047	0.01742	0.00023	0.00553	0.00014	200	98	112	4	111	1	111	3
SZ17-1-15	2728	3966	0.69	0.04962	0.00180	0.1186	0.0041	0.01732	0.00020	0.00550	0.00015	176	81	114	4	111	1	111	3
SZ17-1-16	1520	2239	0.68	0.04882	0.00233	0.1176	0.0055	0.01739	0.00022	0.00564	0.00018	139	111	113	5	111	1	114	4
SZ17-1-17	1437	2525	0.57	0.04657	0.00199	0.1101	0.0047	0.01695	0.00022	0.00544	0.00018	33	94	106	4	108	1	110	4
SZ17-1-18	1903	2169	0.88	0.05551	0.00290	0.1352	0.0067	0.01763	0.00023	0.00590	0.00019	432	112	129	6	113	1	119	4
SZ17-1-19	1653	2285	0.72	0.04659	0.00193	0.1141	0.0048	0.01762	0.00020	0.00547	0.00016	28	96	110	4	113	1	110	3
SZ17-1-20	1872	2388	0.78	0.04617	0.00203	0.1187	0.0056	0.01823	0.00024	0.00565	0.00016	6	104	114	5	116	2	114	3
SZ17-1-21	1120	1831	0.61	0.05046	0.00252	0.1228	0.0062	0.01759	0.00023	0.00541	0.00019	217	117	118	6	112	1	109	4
SZ17-1-22	1505	1856	0.81	0.05035	0.00225	0.1231	0.0055	0.01767	0.00023	0.00519	0.00016	213	108	118	5	113	1	105	3
SZ24-1-01	2002	2520	0.79	0.04852	0.00196	0.1184	0.0048	0.01742	0.00020	0.00535	0.00013	124	92	114	4	111	1	108	3
SZ24-1-02	1306	2005	0.65	0.04696	0.00213	0.1113	0.0051	0.01701	0.00020	0.00532	0.00017	56	98	107	5	109	1	107	3
SZ24-1-03	2643	3416	0.77	0.05006	0.00179	0.1206	0.0042	0.01733	0.00021	0.00509	0.00013	198	79	116	4	111	1	103	3
SZ24-1-04	3112	3402	0.91	0.04859	0.00195	0.1179	0.0046	0.01751	0.00020	0.00528	0.00014	128	94	113	4	112	1	106	3
SZ24-1-05	2707	2936	0.92	0.04874	0.00202	0.1170	0.0048	0.01727	0.00021	0.00555	0.00016	200	98	112	4	110	1	112	3
SZ24-1-06	2161	3428	0.63	0.04958	0.00205	0.1267	0.0059	0.01876	0.00037	0.00611	0.00031	176	129	121	5	120	2	123	6
SZ24-1-07	1735	2328	0.75	0.04763	0.00194	0.1151	0.0045	0.01746	0.00020	0.00579	0.00017	80	96	111	4	112	1	117	3
SZ24-1-08	2030	2374	0.86	0.04781	0.00200	0.1129	0.0046	0.01706	0.00024	0.00546	0.00016	100	87	109	4	109	2	110	3
SZ24-1-09	2506	1785	1.40	0.05511	0.00261	0.1351	0.0059	0.01784	0.00023	0.00583	0.00015	417	107	129	5	114	1	117	3
SZ24-1-10	1329	1707	0.78	0.06338	0.00374	0.1557	0.0091	0.01788	0.00032	0.00645	0.00024	720	126	147	8	114	2	130	5
SZ24-1-11	3430	4059	0.85	0.05098	0.00187	0.1201	0.0040	0.01693	0.00018	0.00547	0.00013	239	85	115	4	108	1	110	3
SZ24-1-12	2098	3229	0.65	0.05442	0.00594	0.1309	0.0137	0.01735	0.00019	0.00568	0.00015	387	246	125	12	111	1	115	3
SZ24-1-13	1466	2242	0.65	0.04847	0.00211	0.1152	0.0048	0.01719	0.00019	0.00544	0.00019	124	102	111	4	110	1	110	4
SZ24-1-14	1316	1976	0.67	0.04388	0.00221	0.1063	0.0053	0.01763	0.00024	0.00560	0.00017	-	-	103	5	113	2	113	3
SZ24-1-15	2106	2491	0.85	0.04850	0.00196	0.1128	0.0046	0.01667	0.00017	0.00519	0.00014	124	92	109	4	107	1	105	3
SZ24-1-16	1519	2093	0.73	0.04908	0.00233	0.1140	0.0053	0.01677	0.00021	0.00539	0.00018	150	113	110	5	107	1	109	4
SZ24-1-17	4034	3004	1.34	0.04664	0.00195	0.1127	0.0044	0.01758	0.00020	0.00546	0.00015	32	96	108	4	112	1	110	3
SZ24-1-18	1427	2009	0.71	0.04518	0.00230	0.1091	0.0054	0.01744	0.00023	0.00528	0.00016	-	-	105	5	111	1	106	3
SZ24-1-19	2092	2583	0.81	0.05143	0.00221	0.1240	0.0051	0.01761	0.00021	0.00553	0.00015	261	100	119	5	113	1	111	3
SZ24-1-20	1903	2368	0.80	0.05038	0.00231	0.1239	0.0055	0.01779	0.00020	0.00541	0.00015	213	110	119	5	114	1	109	3
SZ24-1-21	2233	2885	0.77	0.05621	0.00210	0.1393	0.0056	0.01768	0.00021	0.00550	0.00014	461	83	132	5	113	1	111	3
SZ24-1-22	1863	2636	0.71	0.04842	0.00207	0.1194	0.0049	0.01787	0.00023	0.00567	0.00016	120	100	115	4	114	1	114	3

表2 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩主量元素(%)、微量元素和稀土元素(10^{-6})分析结果
Table 2 The whole rock analyses of major(%), trace, rare-earth elements(10^{-6}) of Intrusive rocks in Maiba area, Xainza county, Tibet

样品号	SZ17-1	SZ17-2	SZ17-3	SZ20-1	SZ24-1	SZ24-2
岩性	花岗岩			石英二长岩		
SiO ₂	76.55	77.73	77.60	76.48	63.87	63.64
Al ₂ O ₃	12.88	11.84	12.36	12.78	14.86	14.84
Fe ₂ O ₃	1.28	1.91	0.41	0.91	3.13	2.94
FeO	0.14	0.19	0.29	0.26	3.91	4.25
CaO	0.12	0.11	0.11	0.09	1.00	1.57
MgO	0.17	0.21	0.25	0.12	0.62	0.58
K ₂ O	2.63	2.28	3.09	2.70	4.38	4.25
Na ₂ O	4.94	4.37	4.64	5.55	3.72	3.73
TiO ₂	0.09	0.09	0.07	0.08	0.64	0.64
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.02	0.02	0.20	0.19
MnO	0.01	0.02	0.01	0.01	0.10	0.13
灼失	0.84	1.15	0.99	0.92	2.24	2.58
Mg [#]	31.73	28.18	49.67	25.58	17.73	16.10
总量	99.67	99.91	99.83	99.92	98.67	99.34
Sc	2.78	2.97	1.74	2.66	31.24	30.41
Ti	503	526	408	515	3853	3720
V	2.60	5.72	3.07	4.38	7.56	6.63
Cr	17.5	15.6	19.7	23.2	21.5	22.1
Mn	102	148	48.4	53.9	846	1005
Co	0.98	1.36	0.539	0.579	4.31	4.04
Ni	7.68	6.67	7.91	10.91	8.30	9.63
Cu	2.17	3.64	2.57	4.41	11.1	10.9
Zn	50.0	45.9	29.4	14.7	90.4	87.5
Ga	20.8	18.8	22.2	20.3	22.4	21.2
Ge	1.60	2.19	1.93	1.56	1.91	1.83
Rb	81.6	86.5	235	73.7	143	137
Sr	29.3	31.3	27.6	37.6	107	117
Y	48.1	51.7	48.6	49.3	38.8	37.9
Zr	215	215	187	216	447	445
Nb	17.9	17.2	16.9	18.2	12.3	12.3
Cs	1.37	3.23	3.39	2.98	2.47	2.22
Ba	261	307	1062	344	1670	1522
La	32.9	44.2	17.4	25.3	39.5	40.2
Ce	70.6	100	42.8	57.1	84.3	88.2
Pr	8.84	11.96	5.92	7.60	10.45	10.48
Nd	32.2	44.1	23.1	28.1	40.4	41.0
Sm	6.92	9.79	6.30	6.63	8.32	7.97
Eu	0.097	0.143	0.129	0.091	2.857	2.808
Gd	6.94	9.23	6.76	6.46	7.83	7.67
Tb	1.24	1.53	1.26	1.27	1.23	1.20
Dy	8.56	9.39	8.57	8.76	7.22	7.21
Ho	1.87	2.06	1.95	1.92	1.52	1.51
Er	5.35	5.66	5.39	5.29	4.09	4.11
Tm	0.774	0.829	0.817	0.774	0.599	0.609
Yb	5.06	5.22	5.33	5.17	3.93	3.95
Lu	0.755	0.815	0.787	0.758	0.649	0.640
Hf	7.09	7.19	7.01	7.23	8.70	8.71
Ta	1.51	1.49	1.62	1.55	0.990	0.965
Pb	16.8	10.6	18.5	5.7	26.7	26.5
Th	27.1	28.4	25.6	26.5	15.0	14.8
U	4.53	4.92	5.21	4.41	3.56	3.52
ΣREE	230.2	297.0	175.2	204.5	251.7	255.4
A/CNK	1.15	1.20	1.11	1.05	1.17	1.09
(La/Yb) _N	4.67	6.07	2.34	3.52	7.21	7.32
δEu	0.04	0.05	0.06	0.04	1.08	1.10

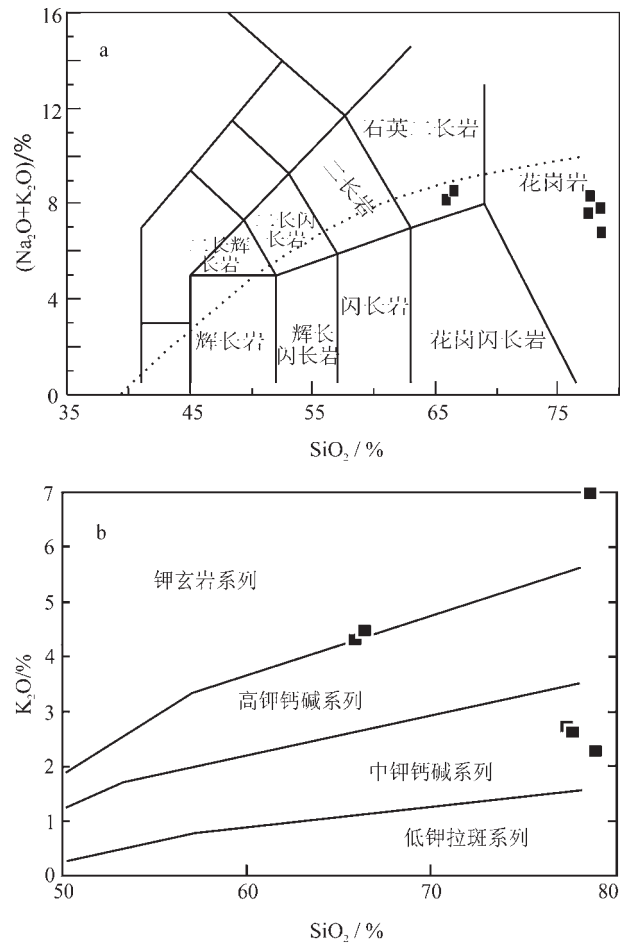


图4 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩TAS分类(a)及SiO₂-K₂O图(b)

Fig.4 TAS classification (a) and SiO₂ versus K₂O diagram (b) for Early Cretaceous intrusive rocks in Maiba area, Xainza County, Tibet

77.73%, 平均值达 77.09%; P₂O₅ 含量较低, 介于 0.01% ~ 0.02%。而石英二长岩的样品烧失量相对较高, 分别为 2.24%、2.58%, 表明其受到后期蚀变作用的影响, 其 SiO₂ 含量较花岗岩有很明显的减少, 分别只有 63.87%、63.64%, 其 P₂O₅ 含量有明显的增加, 分别为 0.20% 和 0.19%。

在 SiO₂-K₂O 图解中, 3 件样品属于中钾钙碱性系列, 另外 3 件落在钾玄岩系列(图 4-b)。另外, 由表 2 可知, 4 件花岗岩样品 K₂O 含量比 Na₂O 的低, 而 2 件石英二长花岗岩则相反, K₂O 含量比 Na₂O 明显高, 这可能是因为二长花岗岩的在蚀变过程中, Na 比 K 更容易丢失的原因造成的。所有 6 件样品均为

铝质过饱和($A/CNK=1.05 \sim 1.38$)。

3.3 微量元素

中冈底斯带买巴地区早白垩世花岗岩、石英二长岩的稀土元素总量变化于 $175 \times 10^{-6} \sim 297 \times 10^{-6}$,平均为 236×10^{-6} ,其稀土元素分布模式均为富LREE的右倾曲线(图5-a), $(La/Yb)_N$ 介于2.3~7.3。花岗岩样品 $\delta Eu = 0.04 \sim 0.06$,具有明显的铕负异常,而石英二长岩样品 δEu 分别为1.08和1.10,具有轻微的铕正异常。在微量元素蛛网图上(图5-b),中冈底斯带买巴地区花岗岩与石英二长岩均富集大离子亲石元素Rb、Th、U,明显亏损高场强元素Nb、Ta等,并具有显著的Sr负异常,这与成熟岛弧环境形成的火山岩具有相似分布形式,并且与中冈底斯带则弄群火山岩以及上地壳具有可比性;其Th含量较高,为 $14.8 \times 10^{-6} \sim 28.4 \times 10^{-6}$,大离子亲石元素的丰度较低($Nb=12.3 \times 10^{-6} \sim 18.2 \times 10^{-6}$; $Ta=0.965 \times 10^{-6} \sim 1.62 \times 10^{-6}$),与壳源熔体类似。

4 讨 论

冈底斯带的构造属性及其构造单元划分一直是青藏高原形成演化研究中最热门的重大基础地质问题。最近几年,随着西藏1:25万区域地质调查、矿产资源评价和一系列专项研究的完成,获得了许多新资料,取得了一系列的成果。尽管如此,整个冈底斯带地区仍有许多地质单元缺乏准确的年代学和地球化学数据。

4.1 形成时代

中冈底斯北部申扎地区的早白垩世晚期的中酸性侵入岩大都是分布于石炭—二叠纪地层中。本文所研究的申扎县买巴地区与石炭系永珠组(Cy)呈侵入接触的花岗岩、石英二长岩,前人研究较薄弱,少有高质量年代学数据的报道。仅在1:25万区域地质调查报告中,对其中的部分花岗岩样品利用K-Ar法获得的同位素年龄分别为93.54 Ma、80.0 Ma、74.5 Ma、70.6 Ma、69.1 Ma。本次研究得中冈底斯带申扎县买巴地区的2件样品U-Pb年龄分别为 (110.8 ± 0.9) Ma和 (111.0 ± 1.1) Ma,二者在误差范围内几乎一致,表明其应为同一期岩浆活动的产物,而且其锆石特征显示为典型的岩浆成因锆石,故该年龄可以代表该期侵入岩的结晶时代。这一年龄与冈底斯带中北部的措勤地区则弄群火山岩 (112.7 ± 1.0) Ma和 (108.6 ± 1.6) Ma^[13]以及措勤县南东尼雄花岗岩闪长岩 (108 ± 1) Ma^[8]的侵位时代在误差范围内基本吻合,表明该区域在110 Ma左右可能存在一次大规模的岩浆活动。这一时期措勤地区则弄群火山岩、申扎县买巴地区中酸性侵入岩以及措勤县南东尼雄侵入岩的岩浆源区和所经历的演化历史是否存在关联还需要更多的同位素和地球化学的制约。

4.2 岩石成因和构造背景

中冈底斯北部申扎县买巴地区中、酸性侵入岩(花岗岩、石英二长岩),其总的球化学特征是 SiO_2

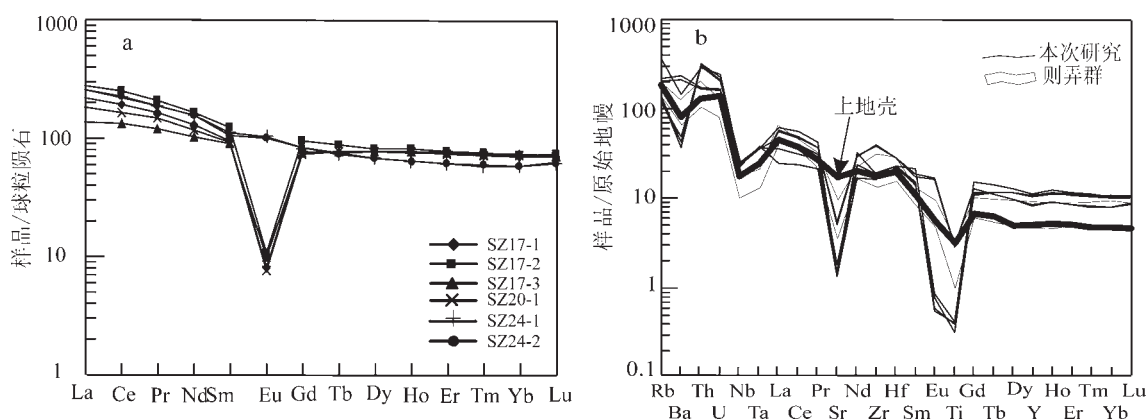


图5 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩REE分布模式(a, 标准化数据据Sun and McDonough, 1989)和微量元素蛛网图(b, 标准化数据据Sun and McDonough, 1989; 大陆上地壳数据据[26])

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a, after Sun and McDonough, 1989) and PM-normalized trace elements spider diagrams (b, after Sun and McDonough, 1989; Rudnick and Gao, 2003 and [26]) for the Early Cretaceous intrusive rocks in Maiba area, Xainza County, Tibet

含量较高,而且均为铝质过饱和($A/CNK=1.05 \sim 1.38$)。并且富集Al、Th、LREE等元素,其中Th丰度为 $14.8 \times 10^{-6} \sim 28.4 \times 10^{-6}$,暗示它们很可能与中、上地壳物质(Th分别为 6.5×10^{-6} 、 10.5×10^{-6})^[26]有关。而且这些中酸性侵入岩的微量元素分布形式与上陆壳的相似,还与中冈底斯带110 Ma时地壳物质发生脱水重熔形成的则弄群酸性火山岩的非常相似(图5-b)^[25]。在图5-a中,石英二长岩没有显著的Eu负异常,其岩浆应起源于深部地壳,但它们不具有埃达克岩的地球化学特征($Sr < 120 \times 10^{-6}$),因此不是来自加厚的下地壳环境。可能的解释是石英二长岩来源于基性岩浆演化,而花岗岩是同期的岩浆活动导致地壳的部分熔融产物。

在Rb/30-Hf-3Ta(图6)和(Y+Nb)-Rb图解(图7)上,有的样品落入板内花岗岩中,有的样品投在岛弧花岗岩区域。而且在(Y+Nb)-Rb上其所有点均落在110 Ma则弄群酸性火山岩附近^[25],更进一步表明可能二者的成因存在某种相似之处或者联系。在微量元素蛛网图中显示中冈底斯北部申扎县买巴地区早白垩世侵入岩明显具Nb、Ta、Ti亏损谷,表明其成因可能与俯冲作用有关^[27]。尽管具有这种成分特征的火山岩也能出现在大陆背景(古俯冲消减环境)之中,一种可能的解释是岩浆源区存

在角闪石、金红石难熔残余,在部分熔融过程中,Nb、Ta优先进入角闪石晶格,Ti进入金红石,从而使岩浆中的Nb、Ta、Ti亏损^[28]。

对于冈底斯中北部早白垩世岩浆作用的动力学背景,其中最经典的解释是Coulon等(1986)根据冈底斯带南部没有同期的岩浆作用,提出的新特提斯洋壳向北低角度或平板俯冲模型。但近年的研究表明,在冈底斯带南部存在大量的早白垩世岩浆岩^[6,19],因此无法用平板俯冲的模式对这些岩浆作用进行解释,由此可以认为冈底斯带中北部早白垩世岩浆岩不可能为新特提斯洋向北平板俯冲作用产生。

近年来班公湖—怒江缝合带的研究表明,110 Ma大约还残留有塔仁本洋岛和蛇绿岩^[19],表明当时班公湖—怒江结合带还未完全关闭,残余洋壳还处于削减状态,在早白垩世时并未形成大规模的碰撞造山作用,真正的碰撞应该是以竞柱山组磨拉石出现为标志^[16]。而拉萨地块的中北部地区广泛分布的130~110 Ma则弄群、多尼组等火山岩^[13-14,19,21],这些火山岩被认为与班公湖—怒江特提斯洋壳南向俯

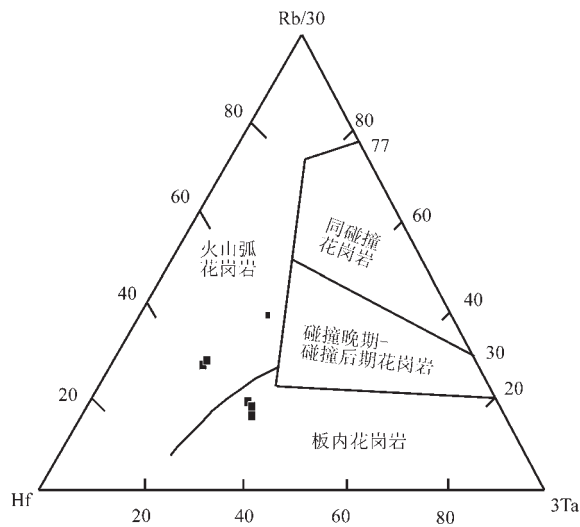


图6 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩 Rb/30-Hf-3Ta图解

Fig.6 Rb/30-Hf-3Ta diagram of the Early Cretaceous intrusive rocks in Maiba area, Xainza County, Tibet

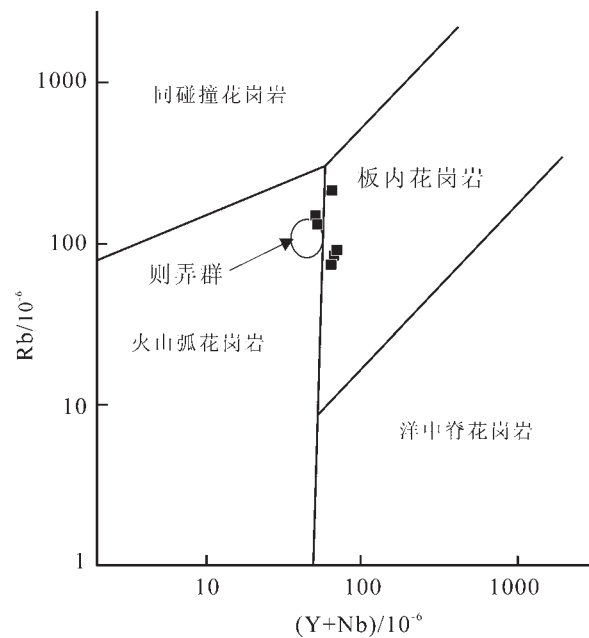


图7 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩(Y+Nb)-Rb图解(则弄群图据文献[25])

Fig.7 (Y+Nb)-Rb diagram of the Early Cretaceous intrusive rocks in Maiba area, Xainza County, Tibet

冲有关^[21]。本文申扎县买巴地区的石英二长岩属于高钾钙碱性系列,不是来自加厚的下地壳环境。最近的研究指出拉萨地块北缘中生代的构造演化与羌塘板块在140~110 Ma南向俯冲到拉萨地块有关,110 Ma可能代表俯冲板片的断裂时间^[29]。本文研究的石英二长岩有可能形成于俯冲洋壳断裂到陆-陆碰撞的转换期,笔者推测可能与永珠—纳木错蛇绿岩带的俯冲碰撞消减有关。

5 结 论

(1)中冈底斯带北部申扎县买巴地区与石炭—二叠纪地层侵入接触的中、酸性侵入岩根据LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄分析,年龄值约为110 Ma。

(2)中冈底斯带北部申扎县买巴地区早白垩世中、酸性侵入岩为班公湖—怒江洋盆南向俯冲消减的产物。

致谢:本文在撰写过程中,得到了中国地质调查局成都地质调查中心尹福光研究员和王保弟副研究员的支持和帮助,在锆石LA-ICP-MS定年过程中得到了中国地质大学(武汉)刘勇胜教授、胡光初教授给予的支持和帮助,在此深表谢意。

参考文献(References):

- [1] 莫宣学. 青藏高原岩浆岩成因研究: 成果与展望[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1693-1703.
Mo Xuanxue. A review of genesis study on magmatic rocks of the Qinghai-Tibet Plateau: Achievements and remaining problems[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12): 1693-1703(in Chinese with English abstract).
- [2] 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 等. 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[J]. 地质通报, 2005, 24(4): 354-359.
He Zhonghua, Yang Deming, Zheng Changqing, et al. Geochemistry of the Indosinian granitoids in the Mamba area, Gangdise belt, Tibet and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(4): 354-359(in Chinese with English abstract).
- [3] 李才, 王天武, 李惠民, 等. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗岩: 古冈底斯造山的存在证据[J]. 地质通报, 2003, 22(5): 364-366.
Li Cai, Wang Tianwu, Li Huimin, et al. Discovery of Indosinian megaporphyritic granodiorite in the Gangdise area: Evidence for the existence of Paleo-Gangdise[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(5): 364-366(in Chinese with English abstract).
- [4] 李奋其, 刘伟, 耿全如. 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[J]. 地球学报, 2010, (6): 781-790.
Li Fenqi, Liu Wei, Geng Quanru. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of the Mesozoic volcanic rocks in Nagqu area of Gangdise in Tibet and their Geological Significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, (6): 781-790(in Chinese with English abstract).
- [5] 袁四化. 冈底斯带中段北部早白垩世火山岩及其大地构造意义[D]. 中国地质科学院博士论文: 2009, 1-125.
Yuan Sihua. The Early Cretaceous Volcanic Rocks in North Part of Central Segment of the Gangdise in the Tibet and Its Tectonic Implications[D]. Doctoral Dissertation of Chinese Academy of Geological Sciences, 2009, 1-125(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘伟, 李奋其, 杨晓勇, 等. 西藏南木林县罗扎地区早白垩世流纹岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1151-1161.
Liu Wei, Li Fenqii, Yang Xiaoyong, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of Early Cretaceous rhyolite in Luozha area of Namling County, Tibet[J]. Geology in China, 2012, 39(5): 1151-1161(in Chinese with English abstract).
- [7] 刘伟, 李奋其, 袁四化, 等. 西藏那曲南部早白垩世闪长玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2011, 30(7): 1043-1049.
Liu Wei, Li Fenqi, Yuan Sihua, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of Early Cretaceous ignimbrite in southern Nagqu, Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(7): 1043-1049(in Chinese with English abstract).
- [8] 周长勇, 朱弟成, 赵志丹, 等. 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[J]. 岩石学报, 2008, 24(2): 348-358.
Zhou Changyong, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, et al. Petrogenesis of Daxiong pluton in western Gangdise, Tibet: Zircon U-Pb dating and Hf isotopic constraints[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(2): 348-358(in Chinese with English abstract).
- [9] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia[J]. Geology, 2011, 39(8): 727-730.
- [10] Pearce J A, Houjun M. Volcanic rocks of the 1985 Tibet geotraverse: Lhasa to Golmud[C]//Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1988, 327(1594): 169-201.
- [11] Harris N, Inger S, Xu R H, et al. Cretaceous plutonism in Central Tibet: an example of post-collision magmatism?[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1990, 44(1): 21-32.
- [12] Kapp P, DeCelles P G, Gehrel G E, et al. Geological records of the Lhasa-Qiangtang and Indo-Asian collisions in the Nima area of central Tibet[J]. Geological Society of America Bulletin, 2007, 119(7-8): 917-933.
- [13] 刘伟, 李奋其, 袁四化, 等. 西藏中冈底斯带措勤地区则弄群熔结凝灰岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2010, 29(7): 1009-1016.

- Liu Wei, Li Fenqi, Yuan Sihua, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of ignimbrite from Zenong Group in Coqen area of the central Gangdese belt, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(7): 1009-1016(in Chinese with English abstract).
- [14] 康志强, 许继峰, 王保弟, 等. 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, 2009, 34(1): 89-104.
- Kang Zhiqiang, Xu Jifeng, Wang Baodi, et al. Geochemistry of Cretaceous Volcanic Rocks of Duoni Formation in Northern Lhasa Block: Discussion of Tectonic Setting[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2009, 34(1): 89-104(in Chinese with English abstract).
- [15] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 301(1): 241-255.
- [16] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 521-533.
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, et al. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(3): 521-533(in Chinese with English abstract).
- [17] 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等. 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[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1535-1550.
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Wang Liquan, et al. Tempo-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting-related issues[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(9): 1535-1550 (in Chinese with English abstract).
- [18] 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等. 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, 2008, 24(2): 1-12.
- Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, et al. Zircon U-Pb geochronology of Zenong Group volcanic rocks in Coqen area of the Gangdese, Tibet and tectonic significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(2): 1-12(in Chinese with English abstract).
- [19] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 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, 2006, 22(3): 534-546.
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdese: New insights from volcanic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(3): 534-546(in Chinese with English abstract).
- [20] Zhu D C, Chung S L, Mo X X, et al. The 132 Ma Comei-Bunbury large igneous province: Remnants identified in present-day southeastern Tibet and southwestern Australia[J]. Geology, 2009, 37(7): 583-586.
- [21] 康志强, 许继峰, 董彦辉, 等. 拉萨地块中北部白垩纪则弄群火山岩: Slainajap洋南向俯冲的产物?[J]. 岩石学报, 2008, 24(2): 303-314.
- Kang Zhiqiang, Xu Jifeng, Dong Yanhui, et al. Cretaceous volcanic rocks of Zenong Group in north-middle Lhasa block: Products of southward subducting of the Slainajap ocean?[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(2): 303-314(in Chinese with English abstract).
- [22] Liu Y, Gao S, et al. 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[J]. Journal of Petrology, 2010, 51(1-2): 537-571.
- [23] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [24] Wu Y B, Zheng Y F. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 49(15): 1554-1569.
- [25] 刘伟, 李奋其, 袁四化, 等. 西藏措勤地区则弄群火山岩源区—地球化学及Sr-Nd同位素制约[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(4): 367-376.
- Liu Wei, Li Fenqi, Yuan Sihua, et al. Volcanic rock provenance of Zenong Group in Coqen area of Tibet: Geochemistry and Sr-Nd isotopic constraint[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2010, 29(4): 367-376(in Chinese with English abstract).
- [26] Rudnick R L, Gao S. The Composition of the Continental Crust. In: Rudnick RL(ed). The Crust Vol. 3, Treatise on Geochemistry (eds. Holland HD and Turekian KK)[M], Elsevier, Oxford, 2003, 1-64.
- [27] Condie K C. Mantle Plume and Their Record in Earth History[M]. London: Cambridge University Press, 2001.
- [28] Rollison H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. London: Longman Group U K Ltd., 1993.
- [29] Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, Niu Yaoling, et al. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1429-1454.

Zircon U–Pb age and geochemistry of Early Cretaceous intrusive rocks in Maiba area of Xainza County, Tibet

ZHANG Yu-jie¹, LIU Wei^{1,2}, ZHU Tong-xing¹, AN Xian-yin¹, LIAO Zhong-li¹

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;

2. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, Anhui, China)

Abstract: In this paper, the authors studied the intrusive rocks widely distributed in Carboniferous – Permian strata in Maiba area of Xainza County within northern Middle Gangdise belt, and obtained the LA–ICP–MS zircon U–Pb age of 110.8 ± 0.9 Ma for granite and age of 111.0 ± 1.1 Ma for quartz monzonite, respectively. Both ages are consistent within the error range, suggesting that the granite and the quartz monzonite should be the product of the same magmatic activity. The intrusive rocks are characterized by high SiO₂, supersaturated aluminum (A/CNK=1.05–1.38), and enrichment of Al, Th, LREE, with Th abundance being 14.8×10^{-6} – 28.4×10^{-6} , implying that they are probably associated with the upper crust substances. Their cobweb curve is remarkably similar to that of the upper crust and acidic volcanic rocks resulting from crustal remelting of 110 Ma Zenong Group in Middle Gangdise belt. These data indicate that the intrusive rocks might be the remelting products caused by the dehydration of crustal materials.

Key words: Early Cretaceous; U–Pb age; Gangdise; quartz monzonite; granite; Maiba area

About the first author: ZHANG Yu-jie, male, born in 1978, engineer, mainly engages in basic geological study of the Tibetan Plateau; E-mail: zebiac@163.com.