

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2022.10.003

西藏中部中仓地区玄武岩锆石 U-Pb 年龄与岩石地球化学特征:对狮泉河-纳木错弧后洋盆演化的制约

吴浩^{1,2}, 林兆旭¹, 姜子崎¹, 王崇浩¹, 郑鑫¹, 仰睿¹WU Hao^{1,2}, LIN Zhaoxu¹, JIANG Ziqi¹, WANG Chonghao¹, ZHENG Xin¹, YANG Rui¹

1. 有色金属矿产勘查与资源高效利用省部共建协同创新中心/桂林理工大学, 广西 桂林 541004;

2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061

1. Collaborative Innovation Center for Exploration of Nonferrous Metal Deposits and Efficient Utilization of Resources in Guangxi/Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China

摘要: 狮泉河-纳木错混杂带的构造属性和演化时限一直存在较大的争议, 其研究对认识青藏高原早期形成与演化具有重要的意义。对西藏中仓蛇绿混杂岩中发育的玄武岩端元进行了系统的岩石学、地质年代学和地球化学研究, 以揭示其形成时代、岩石成因及构造意义。中仓玄武岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为 115.7 ± 2.0 Ma, 与区域上辉长岩的形成时代一致。玄武岩整体具有相对平坦的球粒陨石标准化稀土元素配分曲线, 与洋中脊玄武岩相似, 且显示 Th 的富集和 Nb、Ta 的亏损。研究认为, 中仓玄武岩起源于受俯冲沉积物改造的尖晶石橄榄岩地幔部分熔融, 形成于弧后扩张脊环境。结合区域上同时期辉长岩的研究结果, 认为狮泉河-纳木错混杂带是中生代弧后洋盆消亡的残迹, 是班公湖-怒江洋南向俯冲, 引发弧后拉张的产物。

关键词: 西藏中部; 狮泉河-纳木错混杂带; 玄武岩; 早白垩世; 弧后扩张; 地质调查工程

中图分类号: P588.14⁺5; P595; P597⁺.3 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2022)10-1728-12

Wu H, Lin Z X, Jiang Z Q, Wang C H, Zheng X, Yang R. Zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of basalts in Zhongcang area, central Tibet: constraints on the evolution of Shiquan River-Namu Co back-arc basin. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(10): 1728-1739

Abstract: Tectonic attribute and evolution history of Shiquan River-Namu Co mélange zone have been controversial for a long time. This paper deals with the petrology, geochronology, and geochemistry of the basalts from the Zhongcang ophiolite mélange, in order to reveal its formation age, petrogenesis and tectonic significance. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Zhongcang basalt is 115.7 ± 2.0 Ma, which is consistent with the formation age of gabbro in the region. The Zhongcang basalts have a relatively flat REE distribution curve, similar to the mid-ocean ridge basalt (MORB). Furthermore, these samples show Th enrichment and Nb, Ta depletion. It is proposed that the Zhongcang basalts were derived by partial melting of the spinel peridotite mantle, which was modified by subduction sediments, in the back-arc basin spreading center. Combined with the study of the regional gabbros, our research favors that the Shiquan River-Namu Co mélange zone represents the remnant of a Mesozoic back-arc basin, which was produced by the back-arc rifting in response to the southward oceanic subduction of Bangong-Nujiang Tethyan Ocean.

收稿日期: 2020-11-03; 修订日期: 2021-06-25

资助项目: 中国地质调查局项目《藏西北铜多金属资源基地综合调查评价》(编号: DD20190167)、桂林理工大学人才引进科研启动项目(编号: RD2000002384)、广西中青年教师基础能力提升项目《藏北多龙矿集区成矿期高硅流纹岩成因及其构造意义》(编号: 2021KY0249)

作者简介: 吴浩(1989-), 男, 副教授, 从事岩石大地构造研究。E-mail: wuhaojlu@126.com

Key words: Central Tibet; Shiquan River–Namu Co mélangé zone; basalt; Early Cretaceous; back–arc extension; geological survey engineering

蛇绿岩是古大洋岩石圈或古洋壳在造山带中的残留,是重大地质界线的重要岩石学标志。蛇绿岩的发现通常指示古大洋的存在,而其本身更是研究洋–陆转换过程、反演区域构造演化史的关键^[1–3]。青藏高原是全球特提斯造山带研究的核心区域,记录了古生代以来原特提斯洋、古特提斯洋、新特提斯洋等不同时期特提斯洋的演化过程,并由此形成了青藏高原上多个板块缝合带和广泛发育的蛇绿岩。

狮泉河–纳木错混杂带位于青藏高原南部、拉萨地块内部,主要由蛇绿岩、火山岩浆弧、深海复理石沉积等构造杂岩块组成,近东西向沿狮泉河、拉果错、阿索、永珠、纳木错、嘉黎一带出露,延伸上千千米。狮泉河–纳木错混杂带的研究程度较低,其构造属性和演化时限一直存在较大的争议,不同学者先后提出了不同的观点,现阶段对其构造属性的认识主要有以下 3 种:①班公湖–怒江缝合带的构造推覆体^[3–4];②班公湖–怒江洋俯冲形成的弧后洋盆^[6–7];③代表独立演化的洋盆^[8–10]。这些争议直接

制约了对拉萨地块中生代构造演化史的认识。

本次对中仓蛇绿岩中玄武岩单元进行了岩石学、年代学、全岩地球化学和锆石原位 Hf 同位素研究,确定其形成时代、岩石成因和构造背景。在此基础上,结合区域上现有的研究资料,进一步探讨狮泉河–纳木错混杂带的构造属性及其所代表洋盆的演化时限,为揭示拉萨地块晚中生代构造演化过程提供新的约束。

1 地质概况

青藏高原位于中国西部,从南至北分别由喜马拉雅地块、拉萨地块、羌塘地块和松潘–甘孜板块组成。其中,拉萨地块夹持于班公湖–怒江缝合带和印度–雅鲁藏布缝合带之间,又被狮泉河–纳木错混杂岩带和洛巴堆–米拉山断裂带划分为南拉萨、中拉萨和北拉萨地块^[11]。研究区大地构造位置南接狮泉河–纳木错混杂带,北跨班公湖–怒江缝合带(图 1–a)。研究区地层复杂,主要发育三叠系灰岩、侏罗系砂岩、下白垩统灰岩和火山岩,以及上白垩统砾岩。

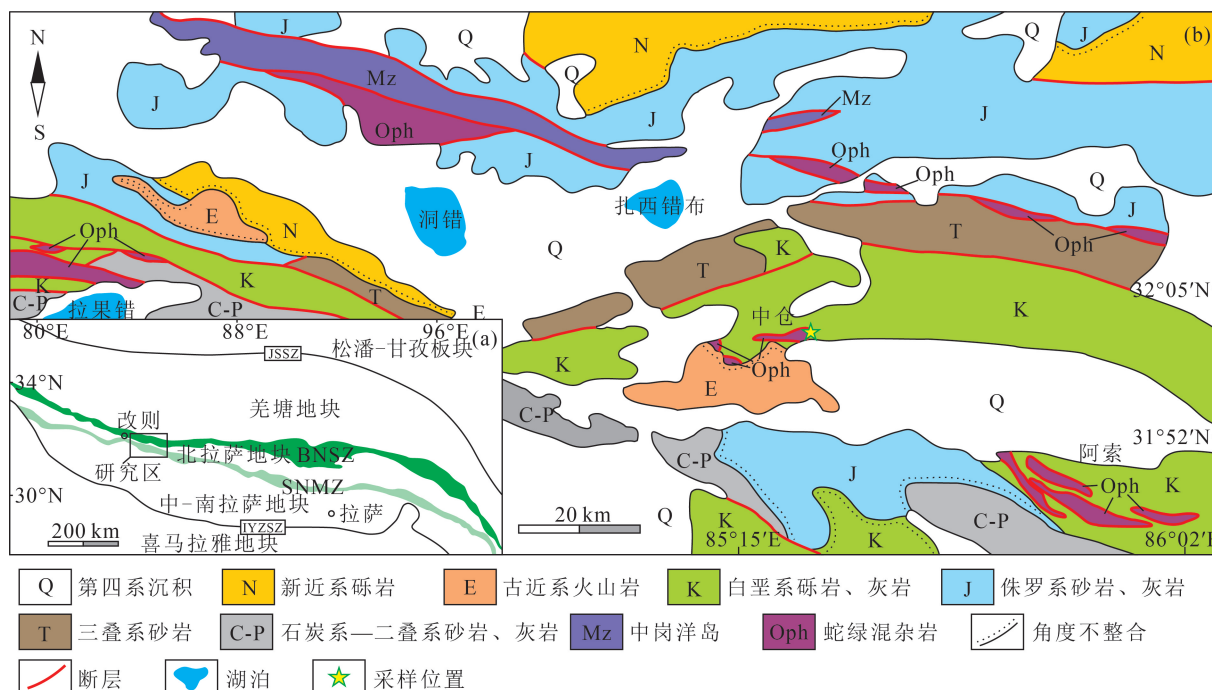


图 1 拉萨地块构造划分图(a)和研究区地质简图(b)^[6]

Fig. 1 Tectonic subdivision of the Lhasa Terrane(a) and simplified geological map of the study area(b)

JSSZ—金沙江缝合带;BNSZ—班公湖–怒江缝合带;SNMZ—狮泉河–纳木错混杂带;IYZSZ—印度河–雅鲁藏布江缝合带

此外,研究区多处见有蛇绿混杂岩及洋岛岩石组合出露,可以划分为南北 2 个亚带,其中北侧出露洞错蛇绿岩和中岗洋岛,归属于班公湖-怒江缝合带,而南侧出露的拉果错、中仓和阿索蛇绿岩,是狮泉河-纳木错混杂带的重要组成部分(图 1-b)。

中仓蛇绿岩是 1:50 000 达查沟地区区域地质调查新识别的一套蛇绿岩,整体出露于尼玛县中仓乡以南约 500 m,属于狮泉河-纳木错混杂带的西段,其西连拉果错蛇绿岩,东接阿索蛇绿岩。中仓蛇绿岩整体呈近东西向展布,长约 8 km,宽约 1.5 km,岩性单元包括玄武岩、变质橄榄岩、堆晶辉长岩和辉长岩墙,蛇绿岩整体呈构造岩块出露于下白垩统郎山组灰岩之上。本次研究的玄武岩出露于中仓蛇绿岩东侧,野外出露较差,受后期风化破碎的影响较强,局部见较好的基性岩露头。该玄武岩呈墨绿色,块状构造(图 2-a),间隐结构(图 2-b),矿物成分主要为细条状或针状斜长石、辉石和少量橄榄石,粒度在 0.1~0.2 mm 之间。

2 测试方法

样品锆石的分选在河北省区域地质调查所实验室用常规方法进行,阴极发光(CL)照相在北京大学物理学院完成,锆石透射光、反射光显微照相及锆石 LA-ICP-MS 原位分析均在中国地质大学(北京)地学实验中心完成。分析所选点以阴极发光图像所揭示的锆石内部结构为依据。采用美国 Agilent 科技有限公司的 7500a 型 ICP-MS,激光剥蚀系统为美国 New Wave 贸易有限公司的 UP193SS

型,深紫外(DUV)193 nm、ArF 准分子激光剥蚀系统。激光束斑直径为 36 μm 。实验采用氦为载气,流速 0.7 L/min,年龄计算时以标准锆石 91500 为外标进行同位素比值校正,标准锆石 TEM(417 Ma)做监控盲样。最后采用 Glitter 4.4 软件对同位素数据进行处理,用 Isoplot 程序进行锆石年龄加权平均值计算及谐和图的绘制^[12]。

地球化学样品在河北省地质调查研究院实验室无污染碎至 200 目,具体元素的测试分析在中国地质大学(北京)地学实验中心完成,主量元素分析测试仪器为 PS-950 等离子体光谱仪;微量元素分析采用 ICP-MS 法测试,实验仪器型号为美国 Agilent 7500a ICP-MS、美国 Millipore 公司的 Milli-QElement 去离子水纯水机,详细的分析方法见文献^[13]。

原位微区锆石 Hf 同位素测试在中国科学院青藏高原研究所实验室利用 LA-MC-ICP-MS 完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005 (Lambda Physik, 德国),MC-ICP-MS 为 Neptune Plus (Thermo Fisher Scientific, 德国)。分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、同位素质量分馏校正)采用软件 ICPMSDataCal 完成^[14]。

3 测试结果

3.1 锆石 U-Pb 定年

本次对 1 件玄武岩样品进行了锆石 U-Pb 同位素定年,共获得 16 个有效测点(表 1)。锆石多为椭

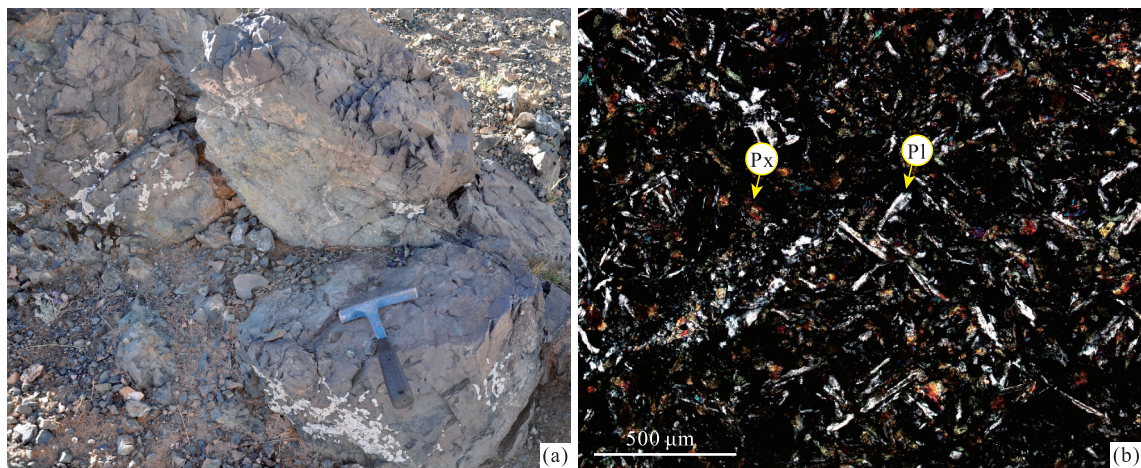


图 2 中仓玄武岩野外照片(a)和显微镜下照片(b,单偏光)

Fig. 2 Field(a) and petrographic(b) photographs of Zhongcang basalts

Px—辉石;Pl—斜长石

表 1 中仓玄武岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating for Zhongcang basalts

点号	元素含量/ 10^{-6}			同位素比值						年龄/Ma					
	Th	U	Pb	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
01	129	228	4.65	0.56	0.04830	0.0049	0.1209	0.0120	0.01815	0.0004	114	184	116	11	116
02	181	307	6.45	0.59	0.04836	0.0048	0.1246	0.0120	0.01868	0.0004	117	181	119	11	119
03	158	275	5.59	0.58	0.04833	0.0044	0.1204	0.0110	0.01807	0.0004	115	163	115	10	115
04	119	183	3.86	0.65	0.04835	0.0055	0.1232	0.0140	0.01847	0.0005	116	194	118	12	118
05	114	192	3.77	0.59	0.04826	0.0063	0.1156	0.0150	0.01737	0.0004	112	236	111	13	111
06	161	226	4.87	0.71	0.04848	0.0055	0.1224	0.0140	0.01830	0.0004	123	211	117	12	117
07	148	202	4.12	0.73	0.04835	0.0063	0.1157	0.0150	0.01735	0.0004	116	240	111	14	111
08	87	165	3.50	0.53	0.04824	0.0076	0.1260	0.0200	0.01894	0.0005	111	265	121	18	121
09	52	108	2.27	0.48	0.04858	0.0130	0.1251	0.0330	0.01866	0.0006	128	416	120	30	119
10	83	129	2.52	0.65	0.04835	0.0100	0.1137	0.0240	0.01705	0.0005	116	340	109	22	109
11	88	156	3.01	0.56	0.04824	0.0091	0.1165	0.0220	0.01752	0.0005	111	303	112	20	112
12	340	459	10.2	0.74	0.04838	0.0038	0.1259	0.0097	0.01886	0.0004	118	135	120	9	120
13	84	175	3.68	0.48	0.04850	0.0091	0.1252	0.0230	0.01871	0.0006	124	301	120	21	119
14	82	151	2.97	0.54	0.04834	0.0091	0.1163	0.0220	0.01745	0.0005	116	297	112	20	112
15	184	273	5.72	0.67	0.04830	0.0067	0.1210	0.0170	0.01817	0.0005	114	241	116	15	116
16	231	255	5.92	0.91	0.04820	0.0073	0.1236	0.0190	0.01860	0.0004	109	263	118	17	119

注:数据由中国地质大学(北京)地学实验中心测定

圆状,长在 $50\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 之间,长宽比介于 $1:1\sim 2:1$ 之间,锆石 Th/U 值在 $0.48\sim 0.91$ 之间,与典型岩浆成因的锆石相似^[15]。16 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄范

围为 $109\sim 121\text{ Ma}$ 。在置信度为 95% 时的年龄加权平均值为 $115.7\pm 2.0\text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=2.0, n=16$) (图 3-a),为早白垩世晚期,代表了岩浆的结晶时

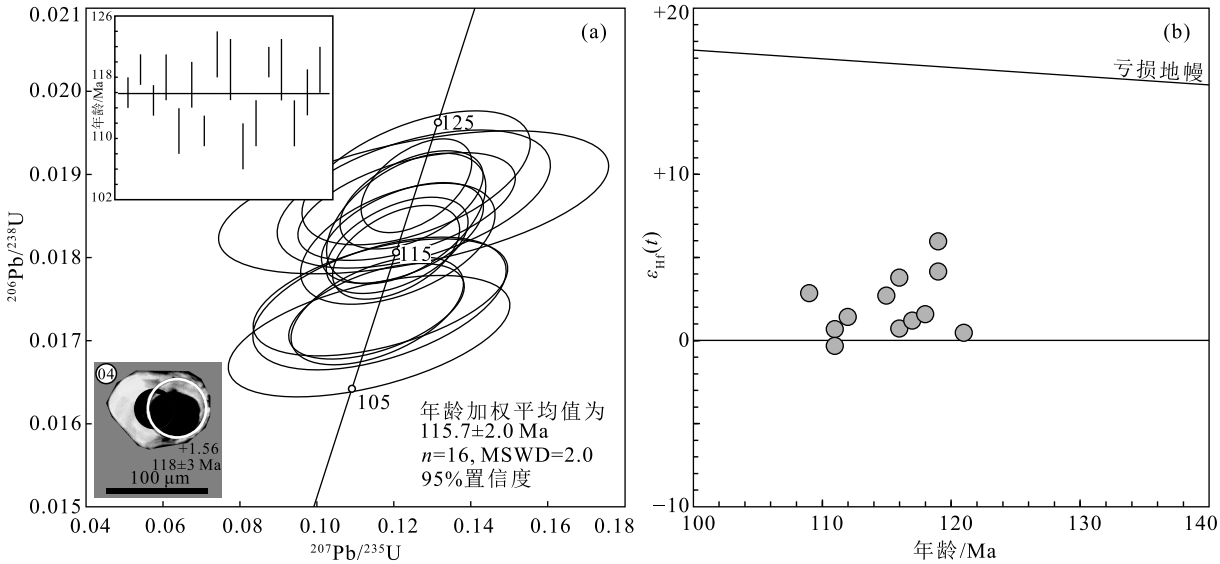


图 3 中仓玄武岩锆石 U-Pb 谐和年龄图(a)和年龄- $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 图(b)

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagram(a) and age- $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ diagram(b) of Zhongcang basalts

代。该年龄与中仓蛇绿混杂岩中辉长岩样品的形成时代一致^[6-7]。

3.2 全岩地球化学

本次采集 9 件玄武岩样品进行全岩地球化学的分析,全岩元素含量数据见表 2。玄武岩主量和微量元素含量如下:SiO₂ 含量为 48.2%~51.8%,Al₂O₃ 为 14.7%~16.0%,MgO 为 4.93%~7.22%,Na₂O 为 3.89%~5.46%,K₂O 为 0.21%~0.50%,TiO₂ 为 1.78%~2.06%。在 Nb/Y-Zr/TiO₂ 岩石分类图解(图 4-a)中,样品点落在玄武岩区域;在(Na₂O+K₂O)-TFeO-MgO (AFM)图解(图 4-b)中,样品点均落在钙碱性系列。

中仓玄武岩的稀土元素含量较低,在球粒陨石标准化稀土元素配分图上呈较平坦的曲线(图 5-a),整体显示为轻稀土元素略弱富集型,(La/Yb)_N=1.13~1.87,具有弱负 Eu 异常(Eu/Eu^{*}=0.80~0.93)。微量元素原始地幔标准化图解(图 5-b)显示,大离子亲石元素 Th、U 富集,并具有 Ba、Nb、Ta 的亏损。

3.3 锆石 Hf 同位素

对 16 个获得谐和年龄的锆石进行 Hf 同位素测试(表 3),剔除 3 个¹⁷⁶Yb/¹⁷⁷Hf 和¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf 值较高的点(点号 12、13、16),其余测点的¹⁷⁶Yb/¹⁷⁷Hf 值在 0.049756~0.075255 之间,¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf 值在 0.000904~

表 2 中仓玄武岩主量与微量元素分析结果
Table 2 Major and trace element compositions for Zhongcang basalts

样品号	T26H1	T26H2	T26H3	T26H4	T26H6	T7H4	T7H5	T7H6	T7H7	样品号	T26H1	T26H2	T26H3	T26H4	T26H6	T7H4	T7H5	T7H6	T7H7
SiO ₂	48.6	50.4	48.2	50.2	50.3	51.8	51.8	50.0	50.7	Nb	6.44	5.58	6.19	6.40	5.88	6.70	6.65	6.29	5.80
TiO ₂	1.78	1.86	1.94	1.90	1.86	1.93	2.06	1.96	1.79	Cs	7.02	9.29	13.81	16.9	10.9	4.55	3.58	17.4	5.95
Al ₂ O ₃	15.5	15.2	16.0	15.1	15.2	15.1	14.7	15.4	15.1	Ba	45.7	47.0	53.2	58.5	45.1	28.1	37.3	71.7	44.8
Fe ₂ O ₃	11.5	10.8	11.2	10.9	10.8	9.9	11.7	11.0	11.0	La	9.89	8.56	10.2	9.71	9.20	10.3	10.8	8.52	8.28
MnO	0.18	0.21	0.22	0.22	0.21	0.16	0.18	0.16	0.18	Ce	28.8	23.1	27.2	26.3	24.8	26.1	27.8	23.4	21.9
MgO	7.22	6.53	6.71	6.51	6.59	5.00	4.93	5.78	5.82	Pr	4.44	3.47	4.05	3.95	3.72	3.76	4.04	3.51	3.19
CaO	9.21	9.61	9.69	9.41	9.36	6.72	6.10	8.67	8.74	Nd	21.4	16.6	19.1	18.9	17.8	17.4	18.9	16.8	15.2
Na ₂ O	4.39	3.89	4.35	4.14	4.01	5.46	4.93	4.17	4.03	Sm	6.62	5.06	5.68	5.76	5.35	5.19	5.46	5.02	4.54
K ₂ O	0.50	0.37	0.34	0.35	0.37	0.21	0.31	0.40	0.27	Eu	2.01	1.67	1.95	1.91	1.79	1.51	1.69	1.71	1.55
P ₂ O ₅	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.22	0.24	0.23	0.20	Gd	8.85	6.61	7.33	7.50	6.99	6.48	6.72	6.28	5.67
烧失量	1.58	1.49	1.74	1.67	1.69	3.04	2.52	1.76	1.82	Tb	1.55	1.13	1.26	1.28	1.19	1.10	1.13	1.07	0.96
总计	100.73	100.60	100.74	100.60	100.60	99.49	99.46	99.57	99.56	Dy	10.4	7.46	8.27	8.51	7.89	7.08	7.30	7.01	6.20
Li	19.4	16.0	19.7	17.6	16.6	7.7	12.5	11.1	4.4	Ho	2.31	1.61	1.77	1.83	1.71	1.50	1.54	1.47	1.31
Sc	46.9	41.3	45.0	45.0	43.9	38.2	36.1	40.9	39.4	Er	6.69	4.57	5.04	5.21	4.80	4.37	4.47	4.26	3.80
V	289	256	279	283	273	266	274	281	258	Tm	0.96	0.64	0.70	0.72	0.67	0.62	0.64	0.61	0.54
Cr	224	55.0	53.0	53.7	56.7	36.1	21.0	68.1	82.4	Yb	6.27	4.13	4.56	4.75	4.39	4.00	4.14	3.90	3.43
Co	47.6	44.7	45.7	47.0	45.6	37.6	31.7	33.5	33.5	Lu	0.92	0.59	0.66	0.68	0.63	0.60	0.62	0.58	0.52
Ni	76.8	40.3	41.0	42.0	40.8	28.8	19.3	47.0	32.7	Hf	5.22	3.69	4.03	4.21	3.87	4.03	4.17	3.66	3.43
Cu	13.5	114	105	126	112	271	45.5	26.7	50.1	Ta	0.58	0.35	0.38	0.56	0.42	0.45	0.43	0.39	0.42
Zn	91.9	84.8	206	239	100.3	98.7	60.5	52.8	74.3	Pb	1.01	0.97	0.91	1.07	0.94	0.95	1.15	1.16	1.18
Ga	24.2	21.0	22.9	22.9	21.8	16.9	17.5	19.7	18.1	Th	0.44	0.79	0.95	0.99	0.91	2.59	2.62	0.80	1.89
Rb	15.9	10.2	10.2	10.8	11.0	6.57	8.61	12.8	8.21	U	0.26	0.30	0.35	0.36	0.33	0.55	0.55	0.20	0.41
Sr	214	256	325	312	274	185	202	253	208	Eu/ Eu [*] (La/ Yb) _N	0.80	0.89	0.92	0.89	0.89	0.80	0.85	0.93	0.93
Y	54.0	37.6	41.5	42.1	39.3	41.1	42.3	40.0	35.3		1.13	1.49	1.60	1.47	1.50	1.84	1.87	1.57	1.73
Zr	217	160	175	180	165	173	176	164	144										

注:由中国地质大学(北京)地质实验中心测定;主量元素含量单位为%,微量及稀土元素含量单位为 10⁻⁶

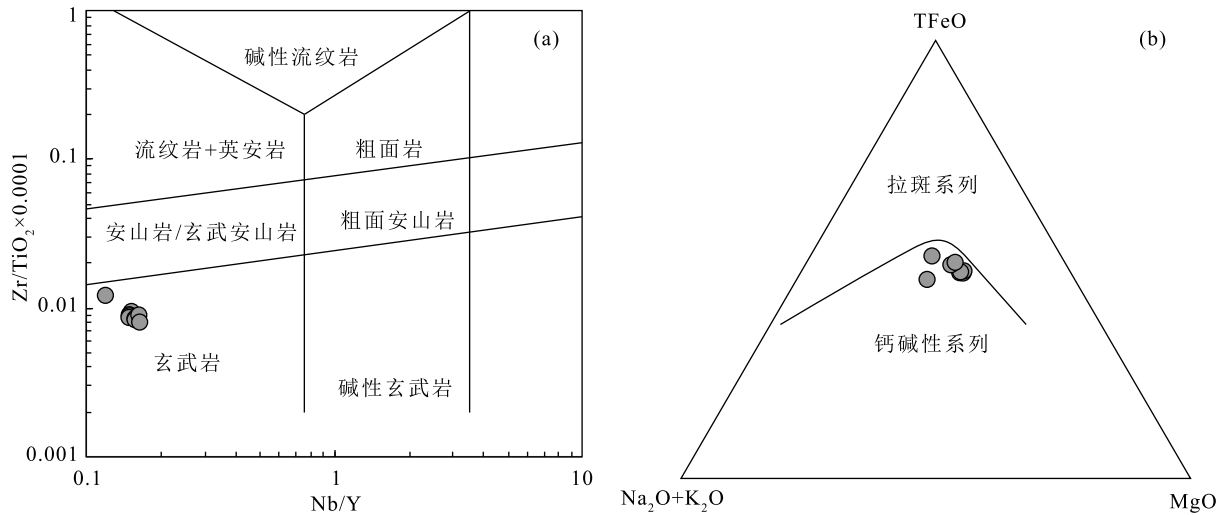


图 4 中仓玄武岩 Nb/Y-Zr/TiO₂图解(a)^[16]和(Na₂O+K₂O)-TFeO-MgO (AFM)图解(b)^[17]

Fig. 4 Nb/Y-Zr/TiO₂(a) and (Na₂O+K₂O)-TFeO-MgO(b) diagrams of Zhongcang basalts

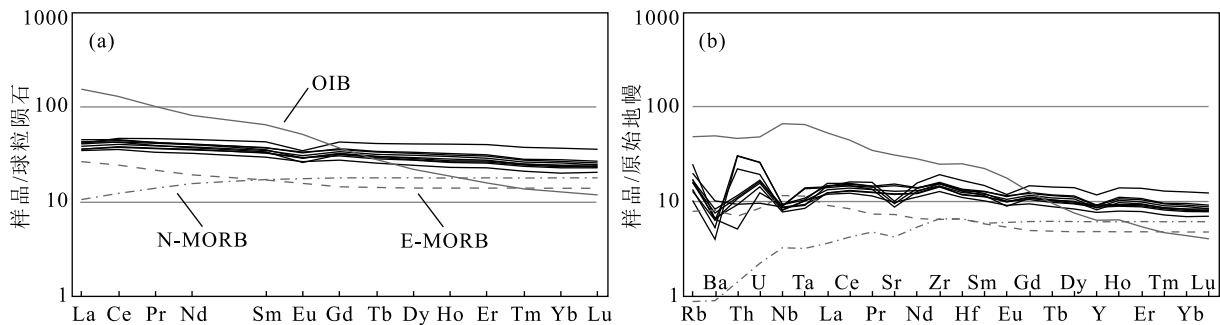


图 5 球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(a)和微量元素原始地幔标准化配分曲线(b) (标准化数据据参考文献[18])

Fig. 5 Chondrite-normalized REE(a) and primitive-mantle-normalized trace element(b) patterns of Zhongcang basalts

OIB—洋岛玄武岩; N-MORB—正常型洋中脊玄武岩; E-MORB—富集型洋中脊玄武岩

0.001536 之间,表明所测锆石放射成因 Hf 的积累很少^[19],可以使用测定的¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值(0.282693~0.282820)代替锆石的初始¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值。13 个测点 Hf 同位素地幔模式年龄 t_{DM1} 为 544~798 Ma。 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值变化范围较大,在 -0.34~5.96 之间(图 3-b)。

4 讨论

4.1 岩石成因

中仓玄武岩微量元素蛛网图显示 Nb、Ta 的弱亏损,以及与俯冲成因的相关性。俯冲沉积物熔体与板片分异流体的加入均能导致岩浆源区存在 Nb、Ta 亏损^[20-21],而板片分异流体具有较高的 Ba、

Rb、Sr、U 和 Pb 含量,俯冲沉积物熔体显示高的 Th 和轻稀土元素(LREE)含量^[22-23]。因此,受到俯冲流体影响的岩浆往往具有高的 U/Th 和 Ba/Th 值^[24],中仓玄武岩中的 Th 含量具有较大的变化范围,而 U/Th 和 Ba/Th 值较低,表明受到俯冲沉积物混染的影响(图 6)。

与原始玄武岩浆相比($MgO \geq 8\%$, $Ni > 400 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$, $Cr > 1000 \times 10^{-6}$)^[25-26],中仓玄武岩具有较低的 Mg、Cr、Ni 含量,暗示岩浆在成岩过程中经历了后期的分离结晶过程。在哈克图解中, MgO 与相容元素(Cr、Ni、Co、Sc)显示良好的正相关性(图 7),表明岩浆经历了橄榄石和单斜辉石的结晶分异作用。

表 3 中仓玄武岩锆石 Lu-Hf 同位素分析结果

Table 3 Zircon Lu-Hf isotopic compositions for Zhongcang basalts

测点	<i>t</i> /Ma	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	1δ	¹⁷⁶ Yb/ ¹⁷⁷ Hf	1δ	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf ^a	1δ	ε _{Hf} (0)	1σ	ε _{Hf} (<i>t</i>)	1σ	<i>t</i> _{DM1} /Ma	<i>t</i> _{DM2} /Ma	<i>f</i> _{Lu/Hf}
01	116	0.282723	0.000038	0.065919	0.000329	0.001417	0.000017	-1.73	1.44	0.71	1.45	758	1001	-0.96
02	119	0.282871	0.000036	0.055166	0.000345	0.001293	0.000008	3.51	1.36	5.96	1.37	544	708	-0.96
03	115	0.282779	0.000046	0.075255	0.000704	0.001463	0.000010	0.26	1.69	2.69	1.69	678	891	-0.96
04	118	0.282747	0.000046	0.056877	0.000363	0.001055	0.000004	-0.90	1.70	1.56	1.70	717	954	-0.97
05	111	0.282693	0.000040	0.064649	0.000563	0.001294	0.000024	-2.79	1.51	-0.34	1.51	798	1060	-0.96
06	117	0.282736	0.000041	0.054546	0.000297	0.001115	0.000006	-1.28	1.54	1.18	1.54	734	975	-0.97
07	111	0.282722	0.000113	0.069112	0.000684	0.001402	0.000021	-1.77	4.03	0.67	4.03	759	1003	-0.96
08	121	0.282716	0.000064	0.070293	0.000535	0.001242	0.000009	-2.00	2.33	0.45	2.33	765	1015	-0.96
09	119	0.282820	0.000045	0.070841	0.000938	0.001282	0.000015	1.69	1.68	4.14	1.69	617	810	-0.96
10	109	0.282782	0.000034	0.049756	0.000189	0.000904	0.000005	0.36	1.30	2.83	1.30	664	883	-0.97
11	112	0.282743	0.000039	0.063740	0.000514	0.001165	0.000011	-1.03	1.46	1.42	1.47	725	961	-0.96
12	120	0.282758	0.000062	0.100194	0.000470	0.002179	0.000019	-0.50	2.24	1.88	2.25	723	936	-0.93
13	119	0.283023	0.000055	0.090174	0.000801	0.001922	0.000014	8.89	2.01	11.29	2.02	332	410	-0.94
14	112	0.282743	0.000071	0.073608	0.000282	0.001536	0.000016	-1.02	2.56	1.41	2.56	731	962	-0.95
15	116	0.282809	0.000042	0.059731	0.000327	0.001052	0.000004	1.30	1.55	3.77	1.56	629	831	-0.97
16	119	0.283063	0.000167	0.137430	0.003880	0.002542	0.000088	10.29	5.93	12.64	5.94	279	334	-0.92

注:由武汉上谱分析科技有限责任公司测定;ε_{Hf}(0) = ((¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_s / (¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_{CHUR,0} - 1) × 10000; *f*_{Lu/Hf} = ((¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_s / (¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_{CHUR} - 1) / ((¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_s / (¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_{CHUR,0} - 1) × 10000; ε_{Hf}(*t*) = ((¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_s - (¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_s × (e^{λ*t*} - 1)) / ((¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_{CHUR,0} - (¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_{CHUR} × (e^{λ*t*} - 1)) - 1) × 10000; *t*_{DM1} = 1/λ × (1 + (¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_s - (¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_{DM}) / ((¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_s - (¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_{DM}); *t*_{DM2} = *t*_{DM1}(Hf) - (*t*_{DM1}(Hf) - *t*)((*f*_{cc} - *f*_s) / (*f*_{cc} - *f*_{DM})), (¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_s和(¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_s是样品的测量值;(¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_{CHUR} = 0.0332和(¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_{CHUR,0} = 0.282772;(¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf)_{DM} = 0.0384和(¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf)_{DM} = 0.28325; *f*_{cc} = -0.548(大陆地壳平均值), *f*_{DM} = 0.16, *t*为锆石年龄,λ = 1.865 × 10⁻¹¹ a⁻¹用于计算

中仓玄武岩无明显的轻、重稀土元素分馏,暗示其源区深度尚未达到石榴子石稳定区域。同时,玄武岩样品整体具有较低的 Nb/Y、Sm/Yb 和 La/Sm 值,指示其源区应为较浅的尖晶石橄榄岩地幔熔融区域,这与样品远离石榴子石橄榄岩地幔的结果一致(图 8)。此外,玄武岩较低的 La/Sm 值和较小的

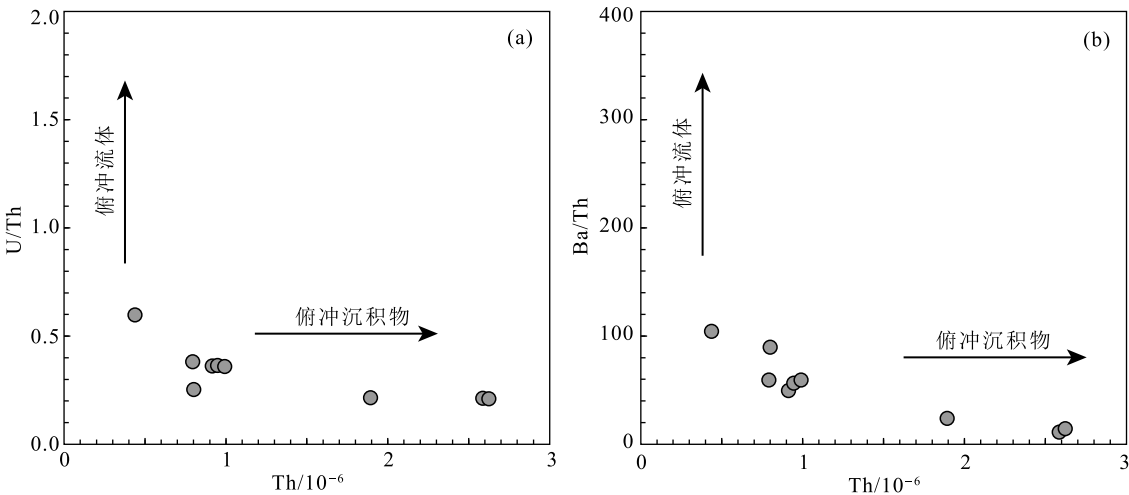


图 6 中仓玄武岩 Th-U/Th 图解(a)和 Th-Ba/Th 图解(b)^[24]

Fig. 6 Th-U/Th(a) and Th-Ba/Th(b) diagrams of Zhongcang basalts

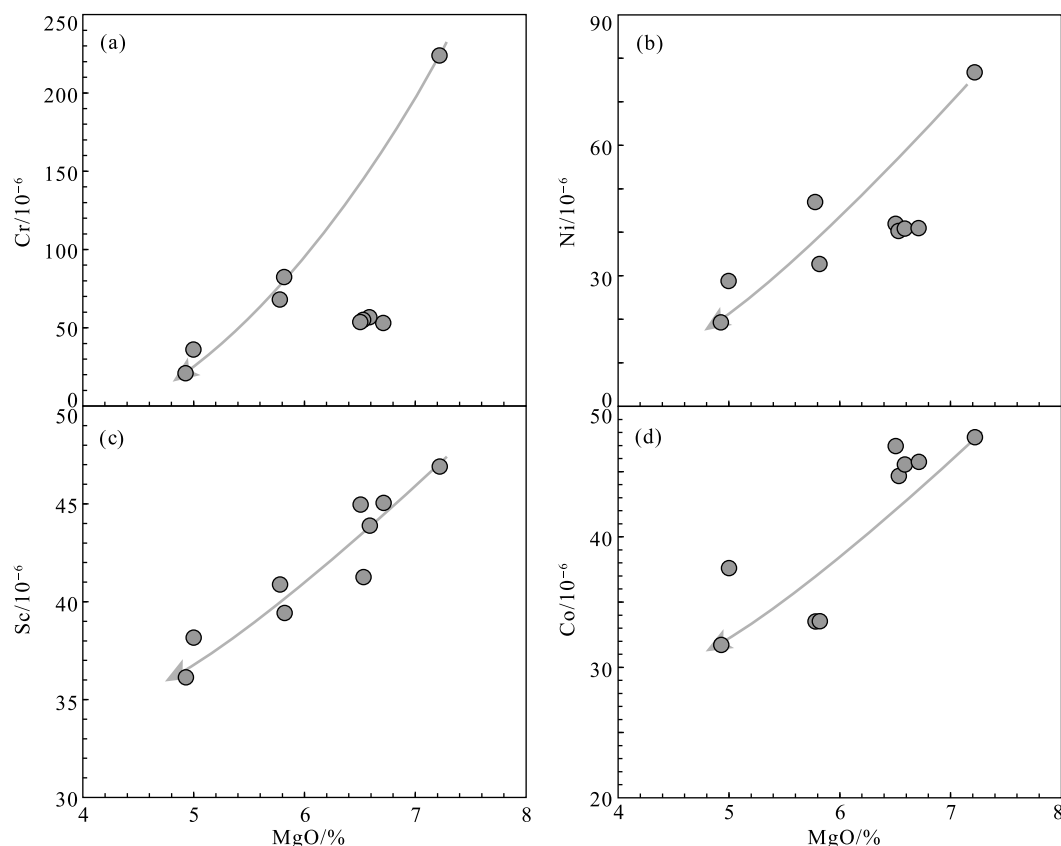


图 7 中仓玄武岩哈克图解

Fig. 7 Harker diagrams of Zhongcang basalts

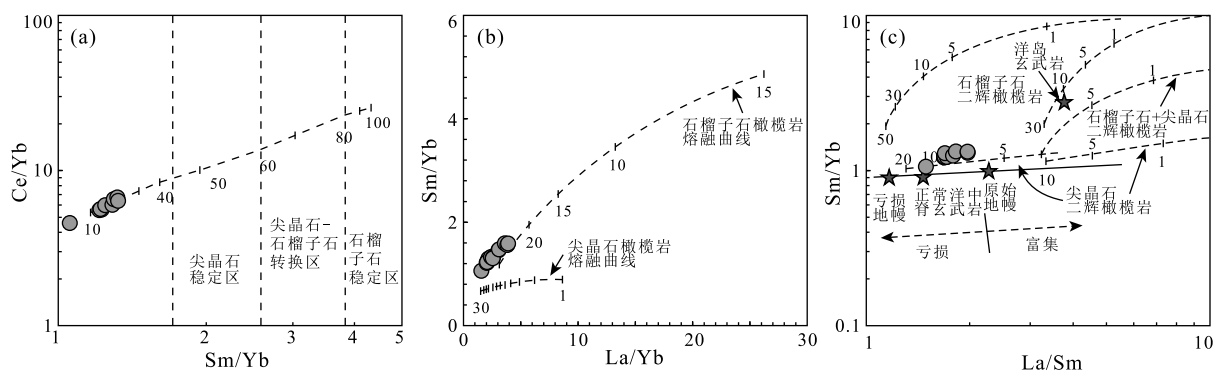
图 8 中仓玄武岩 Sm/Yb-Ce/Yb 图解 (a)^[27]、La/Yb-Sm/Yb 图解 (b)^[28] 和 La/Sm-Sm/Yb 图解 (c)^[29]

Fig. 8 Sm/Yb-Ce/Yb (a), La/Yb-Sm/Yb (b) and La/Sm-Sm/Yb (c) diagrams of Zhongcang basalts

$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值 (-0.34~5.96) 指示相对亏损的地幔源区。综上所述,笔者认为,中仓玄武岩起源于受俯冲沉积物改造的尖晶石橄榄岩地幔部分熔融,后期经历了一定程度的橄榄石和单斜辉石结晶分异作用。

4.2 构造背景

玄武岩轻稀土元素 (LREE) 略富集的特征明显不同于 LREE 亏损的正常型洋中脊玄武岩 (N-MORB) 和 LREE 强烈富集的洋岛玄武岩 (OIB), 而类似于富集型洋中脊玄武岩 (E-MORB), 然而

稀土元素总量明显高于富集型洋脊玄武岩,且稀土元素配分曲线比富集型洋脊玄武岩略平缓(图5)。微量元素原始地幔标准化图解整体显示较平坦的曲线,与洋中脊玄武岩(MORB)相似,其岩浆源区通常是洋中脊玄武岩、岛弧和弧后盆地玄武岩^[30]。尽管中仓玄武岩具有Th、U等大离子亲石元素富集,Nb、Ta元素亏损,显示岛弧玄武岩的亲缘性特征,但其较高的 TiO_2 含量(1.78%~2.06%)很难形成于岛弧环境,而与洋脊玄武岩更相似。

在玄武质岩石形成环境判别图解(图9-a、b、c)中,中仓玄武岩样品同时显示出洋中脊玄武岩与岛

弧玄武岩的某些相似性,而这种介于两者之间的地球化学特征通常是弧后盆地玄武岩的特点^[34]。在Y/15-La/10-Nb/8图解(9-d)中,中仓玄武岩落在弧后盆地玄武岩与板内玄武岩的交界处,显示出弧后盆地玄武岩的亲缘性。此外,弧后盆地系统由于受俯冲作用的影响,其MORB型的地幔源区往往受到俯冲流体或熔体的改造,这也合理地解释了玄武质岩浆源区中俯冲沉积物的物质来源。

近年来对狮泉河-纳木错混杂带上中仓^[6-7]、永珠^[36-37]、阿索^[38-39]等地区出露的蛇绿混杂岩的研究均表明,其成因与弧后洋盆演化密切相关。同时,

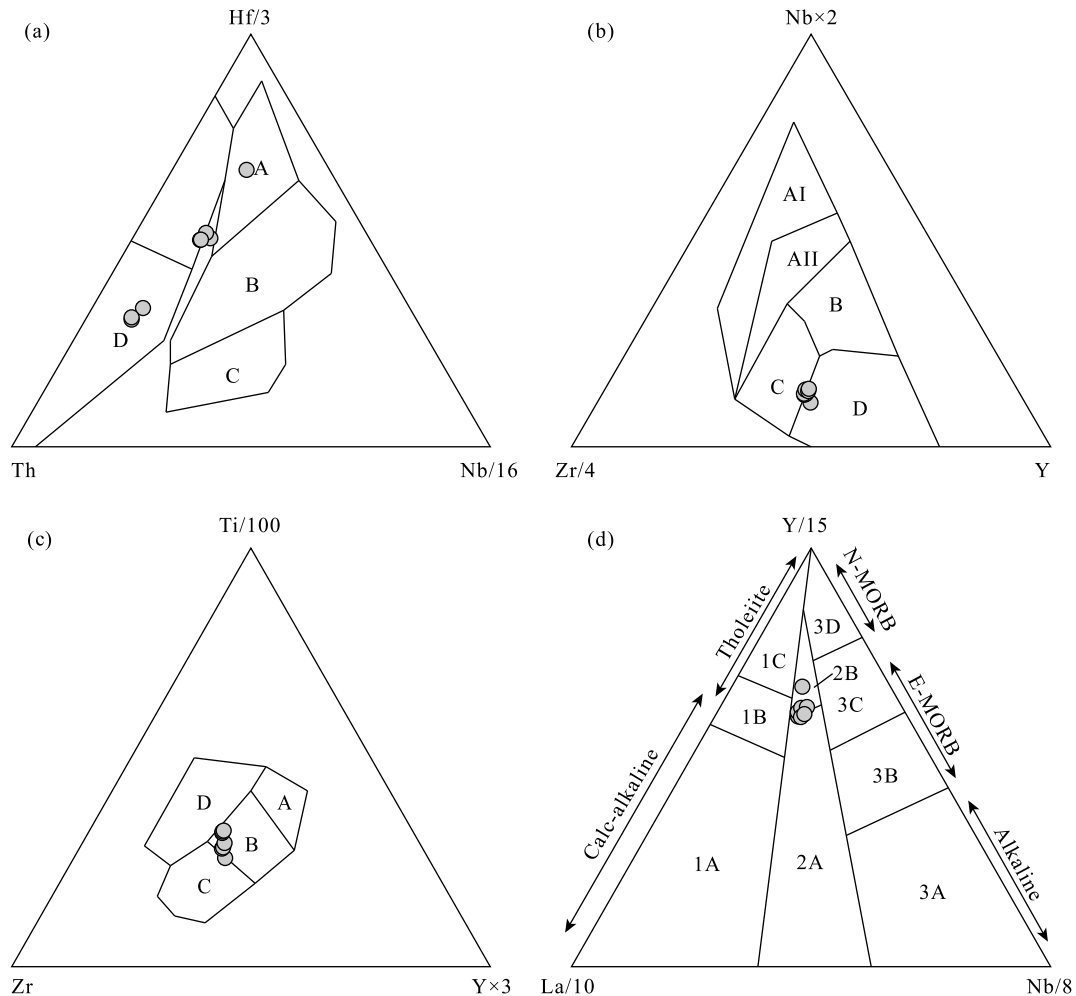


图9 中仓玄武岩构造环境判别图解

Fig. 9 Tectonic setting discrimination diagrams of Zhongcang basalts

a—Hf/3-Th-Nb/16 图解^[31]: A—正常洋脊玄武岩; B—富集型洋脊玄武岩—板内拉斑玄武岩; C—板内碱性玄武岩; D—岛弧钙碱性玄武岩; b—Nb×2-Zr/4-Y 图解^[32]: A I—板内碱性玄武岩; A II—板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩; B—富集型洋中脊玄武岩; C—板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩; D—正常型洋中脊玄武岩和火山弧玄武岩; c—Ti-Zr-Y 图解^[33]: A—岛弧拉斑玄武岩; B—洋中脊玄武岩、岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩; C—钙碱性玄武岩; D—板内玄武岩; d—Y/15-La/10-Nb/8 图解^[35]: 1A—钙碱性玄武岩; 1B—1A 和 1C 的重叠部分; 1C—火山弧拉斑玄武岩; 2A—大陆玄武岩; 2B—弧后盆地玄武岩; 3A—碱性玄武岩; 3B、3C—富集型洋中脊玄武岩; 3D—正常型洋中脊玄武岩

越来越多的证据支持, 狮泉河-纳木错混杂带代表班公湖-怒江洋南向俯冲形成弧后洋盆消亡的遗迹, 结合中仓玄武岩显示的弧后扩张脊玄武岩的地球化学特征, 笔者认为狮泉河-纳木错混杂带是弧后洋盆消亡的遗迹, 而中仓玄武岩应该是早白垩世晚期弧后洋盆扩张过程中岩浆活动的产物。

4.3 对西藏中部构造-岩浆活动的指示

由于狮泉河-纳木错混杂带复杂的构造演化历史及对其认识的局限性, 导致该混杂带所代表的弧后洋盆的演化时限一直存有较大的争议。前人报道了大量的年龄和地球化学数据, 为研究该弧后洋盆的构造演化史提供了重要约束。

其中, 在狮泉河-纳木错混杂带中的辉长岩和堆晶辉长岩中获得了 189~180 Ma 的年龄信息, 表明该弧后洋盆的初始裂解不晚于早侏罗世^[40-41]。此外, 最近在混杂带内陆续识别出一套以玻安岩^[42]、高镁安山岩^[43-44]及 OIB 型岩石^[45]为主的岩石组合, 其形成时代集中于 165~160 Ma, 该套岩石组合与 Izu-Bonin-Mariana (IBM) 地区相似, 一般认为形成于洋盆初始俯冲背景下的弧前地区^[46-48]。同时, 该套岩浆弧与中拉萨地块北缘出露的晚侏罗世一早白垩世 (160~135 Ma) 岩浆岩构成了向南迁移的弧形岩浆活动, 指示弧后洋盆在晚侏罗世开启了南向俯冲消减过程^[49-50]。

中仓玄武岩的识别与研究为探讨弧后洋盆早白垩世晚期构造演化过程提供了重要的约束。最近, 在中仓和阿索地区蛇绿混杂岩中的堆晶辉长岩和辉长岩墙中先后获得了 119~113 Ma 的年龄^[6-7, 9-10], 指示该弧后洋盆在早白垩世晚期尚未消亡闭合。大量的岩浆岩年龄数据表明, 早白垩世晚期 (110 Ma) 西藏中部存在一期岩浆爆发事件, 研究认为其地球动力学机制与班公湖-怒江洋闭合后深部板片断离过程相关^[11, 51-52]。本文研究表明, 狮泉河-纳木错混杂带所代表的弧后洋盆在早白垩世晚期仍存有一定规模, 考虑到洋盆的俯冲极性为南向俯冲至中拉萨地块之下, 关于中拉萨地块早白垩世晚期岩浆活动的深部动力学机制是否为板片断离, 尚需进一步讨论。

5 结 论

(1) 锆石 U-Pb 定年结果表明, 西藏中部中仓玄武岩形成于 115.7 ± 2.0 Ma, 与中仓蛇绿岩中辉长

岩的形成时代一致。

(2) 中仓玄武岩具有相对平坦的稀土元素配分曲线, 并显示弱的 Nb、Ta 亏损, 研究认为其起源于受俯冲沉积物改造的尖晶石橄榄岩地幔部分熔融, 并经历了橄榄石和单斜辉石的分离结晶作用。

(3) 中仓玄武岩形成于弧后扩张脊环境, 进一步支持狮泉河-缝合带混杂带是弧后洋盆消亡的遗迹。中仓玄武岩的识别与研究表明, 弧后洋盆在早白垩世晚期仍在活动, 这为探讨拉萨地块早白垩世晚期构造-岩浆演化提供了新的指示。

致谢: 野外工作得到中国地质科学院地质研究所胡培远研究员、吉林大学李才和范建军教授等的帮助, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和全岩地球化学分析得到中国地质大学 (北京) 科学研究院的帮助, 在此一并致以真挚的谢意, 并感谢审稿专家的建议和意见。

参考文献

- [1] Coleman R. G. Ophiolite [M]. New York: Springer Verlag, 1977.
- [2] Coleman R. G. The ophiolite concept evolves [J]. Elements, 2014, 10 (2): 82-84.
- [3] 唐跃, 翟庆国, 胡培远, 等. 班公湖-怒江缝合带西段拉果错蛇绿岩中斜长岩成因及其对中特提斯洋演化的制约 [J]. 地质通报, 2021, 40(8): 1265-1278.
- [4] Girardeau J, Marcoux J, Allègre C. J., et al. Tectonic environment and Geodynamic significance of the Neo-Cimmerian Donqiao ophiolite, Bangong-Nujiang suture zone, Tibet [J]. Nature, 1984, 307 (5946): 27-31.
- [5] Kapp P, Murphy M. A., Yin A., et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of Western Tibet [J]. Tectonics, 2003, 22(4): 1029.
- [6] Xu M, Li C, Xu W, et al. Petrology, geochemistry and geochronology of gabbros from the Zhongcang ophiolitic mélange, central Tibet: Implications for an intra-oceanic subduction zone within the Neo-Tethys Ocean [J]. Journal of Earth Science, 2014, 25(2): 224-240.
- [7] 徐梦婧, 兰锐, 王沛, 等. 西藏中仓蛇绿混杂岩中辉长岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 天津城建大学学报, 2019, 25(2): 128-132.
- [8] Zeng Y. C., Xu J. F., Chen J. L., et al. Geochronological and geochemical constraints on the origin of the Yunzhug ophiolite in the Shiquanhe-Yunzhug-Namu Tso ophiolite belt, Lhasa Terrane, Tibetan Plateau [J]. Lithos, 2018, 300/301: 250-260.
- [9] 曾孝文, 王明, 范建军, 等. 青藏高原中部阿索蛇绿岩岩石学与同位素年龄 [J]. 地质通报, 2018, 37(8): 1492-1502.
- [10] 王保弟, 刘函, 王立全, 等. 青藏高原狮泉河-拉果错-永珠-嘉黎蛇绿混杂岩带时空结构与构造演化 [J]. 地球科学, 2020, 45(8): 2764-2784.
- [11] Zhu D. C., Zhao Z. D., Niu Y., et al. The Lhasa Terrane: record of a

- microcontinent and its histories of drift and growth. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 301: 241–255.
- [12] Ludwig K R. Isoplot/Ex, version 3, a geochronological toolkit for microsoft excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center Special Public, 2003.
- [13] 于红. 陕西商南松树沟橄榄岩矿物地球化学特征及成因机理示踪[D]. 中国地质大学(北京) 硕士学位论文, 2011.
- [14] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U–Pb isotope and trace element analyses by LA–ICP–MS[J]. *Chinese Science Bulletin* 2010, 55: 1535–1546.
- [15] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U–Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 8: 1589–1604.
- [16] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1976, 28(3): 459–469.
- [17] Irvine T N, Baragar W R. A Guide to the Chemical Classification of the Common Igneous Rocks[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1971, 8: 523–548.
- [18] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and processes[C]// Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society London Special Publications, 1989, 42: 313–345.
- [19] 吴福元, 李献华, 郑永飞, 等. Lu–Hf 同位素体系及其岩石学应用[J]. *岩石学报*, 2007, 23(2): 185–220.
- [20] Elburg M A, van Bergen M, Hoogewerff J, et al. Geochemical trends across an arc–continent collision zone: magma sources and slab–wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66: 2771–2789.
- [21] Guo Z F, Hertogen J, Liu J Q, et al. Potassic magmatism in western Sichun and Yunnan Provinces, SE Tibet, China: petrological and geochemical constraints on petrogenesis [J]. *Journal of Petrology*, 2005, 46: 33–78.
- [22] Hawkesworth C, Turner S, Peate D, et al. Elemental U and Th variations in island arc rocks: implications for U–series isotopes [J]. *Chemical Geology*, 1997, 139: 207–221.
- [23] Guo Z F, Wilson M, Liu J Q. Post–collisional adakites in south Tibet: products of partial melting of subduction–modified lower crust [J]. *Lithos*, 2007: 96: 205–224.
- [24] Pearce J A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust [J]. *Lithos*, 2008, 100(1/4): 14–48.
- [25] Frey F A, Green D H, Roy S D. Integrated models of basalt petrogenesis: A study of quartz tholeiites to olivine melilitites from south eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data [J]. *Journal of Petrology*, 1978, 19(3): 463–513.
- [26] Wilkinson J F G, Le Maitre R W. Upper mantle amphiboles and micas and TiO_2 , K_2O , and P_2O_5 abundances and $100\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ratios of common basalts and andesites: Implications for modal mantle metasomatism and undepleted mantle compositions [J]. *Journal of Petrology*, 1987, 28(1): 37–73.
- [27] Ellam R M. Lithospheric thickness as a control on basalt geochemistry [J]. *Geology*, 1992, 20(2): 153–156.
- [28] Xu Y G, Ma J L, Frey F A, et al. Role of lithosphere asthenosphere interaction in the genesis of Quaternary alkali and tholeiitic basalts from Datong, western North China Craton [J]. *Chemical Geology*, 2005, 224(4): 247–271.
- [29] Aldanma Z E, Pearce J A, Thirlwall M F, et al. Petrogenetic evolution of Late Cenozoic, post–collision volcanism in western Anatolia, Turkey [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2000, 102(1/2): 67–95.
- [30] Fretzdorff S, Livermore R A, Devey C W, et al. Petrogenesis of the back–arc east scotia ridge, south Atlantic ocean [J]. *Journal of Petrology*, 2002, 43(8): 1435–1467.
- [31] Meschede M. A method of discriminating between different types of mid–ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram [J]. *Chemical Geology*, 1986, 56(3/4): 207–218.
- [32] Pearce J A, Peate D W. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas [J]. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 1995, 23: 251–285.
- [33] Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1973, 19(2): 290–300.
- [34] Hollings P, Kerrich R. Geochemical systematics of tholeiites from the 2.86 Ga Pickle Crow Assemblage, northwestern Ontario: arc basalts with positive and negative Nb–Hf anomalies [J]. *Precambrian Research*, 2004, 134: 1–20.
- [35] Cabanis B, Lecolle M. The La/10–Y/15–Nb/8 Diagram: A Tool for Discrimination Volcanic Series and Evidencing Continental Crust Magmatic Mixtures and/or Contamination [J]. *Compte Rendus de l'Academie des Sciences, Seris II, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 1989, 309(20): 2023–2029 (in French).
- [36] 王永胜, 曲永贵, 吕鹏, 等. 西藏永珠蛇绿岩带地质特征 [J]. *吉林地质*, 2003, 22(2): 1–14.
- [37] 朱志勇. 西藏永珠–纳木错蛇绿岩地球化学特征及其构造环境 [D]. 吉林大学硕士学位论文, 2014.
- [38] 曾孝文, 王明, 李航, 等. 西藏中部狮泉河–纳木错蛇绿岩带的构造属性——来自阿索混杂岩带岛弧玄武岩的地球化学制约 [J]. *地质通报*, 2021, 40(8): 1291–1301.
- [39] 唐峰林, 黄建村, 罗小川, 等. 藏北阿索构造混杂岩的发现及其地质意义 [J]. *东华理工学院学报*, 2004, 27(3): 245–250.
- [40] 张璋, 周诗, 耿全如, 等. 狮泉河蛇绿混杂岩带早侏罗世辉长岩锆石年代学及地质意义 [J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(19): 7579–7588.
- [41] 康晓波, 冯士彬, 刘世朝, 等. 西藏日土县狮泉河蛇绿混杂岩锆石 U–Pb 年龄及构造意义 [J]. *四川有色金属*, 2019, 4: 22–26.
- [42] Ma Y L, Zhong Y, Furnes H, et al. Origin and tectonic implications of boninite dikes in the Shiquanhe ophiolite, western Bangong Suture, Tibet [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2021, 205: 104594.
- [43] Liu W L, Huang Q T, Gu M, et al. Origin and tectonic implications of the Shiquanhe high–Mg andesite, western Bangong suture, Tibet [J].

- Gondwana Research, 2018, 60: 1-14.
- [44] Li H, Wang M, Zeng X W, et al. Generation of Jurassic high-Mg diorite and plagiogranite intrusions of the Asa area, Tibet: Products of intra-oceanic subduction of the Meso-Tethys Ocean [J]. Lithos, 2020, 362/363: 105481.
- [45] 李志军, 李晨伟, 高一鸣, 等. 西藏狮泉河蛇绿岩中侏罗世晚期 (ca. 163Ma) OIB 型辉绿岩及高镁闪长岩年代学及地球化学特征: 早期洋壳俯冲产物? [J]. 岩石学报, 2019, 35(3): 816-832.
- [46] Stern R J, Bloomer S H. Subduction zone infancy: Examples from the Eocene Izu-Bonin-Mariana and Jurassic California arcs [J]. Geological Society of America Bulletin, 1992, 104: 1621-1636.
- [47] Stern R J, Reagan M, Ishizuka O, et al. To understand subduction initiation, study forearc crust: To understand forearc crust, study ophiolites [J]. Lithosphere, 2013, 4(6): 469-483.
- [48] Ishizuka O, Tani K, Reagan M K. Izu-Bonin-Mariana forearc crust as a modern ophiolite analogue [J]. Elements, 2014, 10: 115-120.
- [49] Wu H, Fan J J, Jiang Z Q, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous magmatic activity in the Central Lhasa Terrane: Petrogenesis and implications for the initial subduction of the Slainajap oceanic lithosphere [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2021, 573: 110438.
- [50] 赵守仁, 岳黎璋, 吴喆. 西藏麻米地区晚侏罗世—早白垩世侵入岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其对班-怒特提斯洋俯冲过程的制约 [J]. 地质通报, 2022, 41(8): 1342-1357.
- [51] Wu H, Sun S, Liu H, et al. An Early Cretaceous slab window beneath central Tibet, SW China: Evidence from OIB-like alkaline gabbros in the Duolong area [J]. Terra Nova, 2019, 31(1): 67-75.
- [52] Wu H, Chen J, Wang Q, et al. Spatial and temporal variations in the geochemistry of Cretaceous high-Sr/Y rocks in Central Tibet [J]. American Journal of Science, 2019, 319(2): 105-121.

《地质通报》第 41 卷第 11 期要目预告

再造西南“三江”造山带洋陆转换过程中的构造与古地理	尹福光等
西藏纳如松多矿区晚白垩世石英闪长岩锆石原位 Hf-O 同位素特征与岩石成因	龚雪婧等
藏东吉塘群黑云二长片麻岩锆石 U-Pb 年代学及地质意义	张力文等
北天山前陆冲断带山麓背斜带新发现反冲断层陡坎及相关的活动褶皱陡坎	姚远等
准噶尔盆地东缘中-晚侏罗纪细碎屑岩微量、稀土地球化学特征及其古沉积环境意义	程先钰等
北秦岭碾道奥陶纪碱性正长岩的厘定及对早古生代构造演化的制约	翟文建等
南秦岭镇安西部晚三叠世煌斑岩脉地球化学特征及其地质意义	孙万龙等
海南岛北部晚新生代沉积物 Sr-Nd 同位素组成及其物源示踪	张磊等
福建三明地区第四纪地层序列	赵举兴等
河谷平原跨区域工程地质层序厘定与平面分区方法研究——以安徽沿江地区为例	杨洋等
闽中梅仙矿集区丁家山铅锌矿床成矿时代厘定及其地质意义	肖晓牛等
带状热储地热田温度场特征及控热因素——以湖南省汝城县热水圩地热田为例	赵宝峰等
西昆仑玛尔坎苏锰矿带晚石炭世岩相古地理特征及其对成矿的控制	张帮禄等
辽宁白云金矿流体包裹体研究: 对流体演化及成矿机制的指示	贾宏翔等
陕西安塞首次发现中侏罗世晚期恐龙足迹	李欣伟等