

泰国北部清孔地区弧火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

钱 鑫¹, 韦 红¹, 王岳军², Chongpan Chonglakmani³,
Denchok Monjai³, 冯庆来^{1*}

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640

3. School of Geotechnology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

摘要: 泰国北部清孔地区存在着大量的火山岩, 前人将其划归二叠纪—三叠纪。运用 LA-ICP-MS 的方法, 对清孔地区代表性的火山岩进行了锆石 U-Pb 年代学研究。其中 Doi Yao 带玄武质安山岩 TL-1-B 和 TL-31-B 锆石年龄分别为 241.1 ± 6.9 Ma 和 241.1 ± 3.9 Ma, Doi Khun Ta Khuan 带流纹岩 TL-32-B₁ 锆石年龄为 238.0 ± 8.9 Ma, 三者均为中三叠世早期。这组 U-Pb 同位素年龄与云南景洪地区和泰国南邦地区的弧火山形成年龄相近, 指示泰国北部清孔地区火山岩带从南邦地区, 经清孔地区, 向北延伸到了景洪地区的澜沧江弧火山岩带。另外, 研究区还发现 $(1885 \pm 16 \sim 1323 \pm 13)$ Ma 的 U-Pb 同位素年龄, 表明该区存在古元古代—中元古代的基底。

关键词: 弧火山岩; 锆石 U-Pb 年龄; 中三叠世早期; 地质年代学; 泰国北部。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2012)S2-0195-09

收稿日期: 2012-06-15

Zircon U-Pb Age and Geological Significance of Arc-Volcanic Rocks in Chiang Khong, Northern Thailand

QIAN Xin¹, WEI Hong¹, WANG Yue-jun², Chongpan Chonglakmani³, Denchok Monjai³, FENG Qing-lai^{1*}

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

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. School of Geotechnology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

Abstract: There are a lot of volcanic rocks in Chiang Khong area of northern Thailand and they were dated to the Permian and Triassic by the way of the regional geology. The zircon U-Pb geochronology of the volcanic rocks is studied by the method of LA-ICP-MS. The zircon ages of two basaltic andesite samples, TL-1-B and TL-31-B, from the Doi Yao zone are 241.1 ± 6.9 Ma and 241.1 ± 3.9 Ma respectively. The rhyolite from the Doi Khun Ta Khuan zone, TL-32-B₁ is with the zircon age of 238.0 ± 8.9 Ma. The zircon ages of the three samples belong to early Middle Triassic and can be compared with the zircon ages from the arc-volcanic rocks in Lampang area, northern Thailand and in Jinghong area, southwestern Yunnan, which indicates that the Chiang Rai arc-volcanic rock belt can be linked with the Lancangjiang arc-volcanic rock belt in southwestern Yunnan. In addition, zircon ages from 1885 ± 16 Ma to 1323 ± 13 Ma are discovered in this study, which indicates the existence of the Early Proterozoic-Mesoproterozoic basement in northern Thailand.

Key words: arc-volcanic rocks; zircon U-Pb age; Early Middle Triassic; geochronology; northern Thailand.

基金项目: 国家自然科学基金(Nos. 41172202, 41190073); 中国地质调查局(No. 1212011121256); 地质过程与矿产资源国家重点实验室项目(No. MSFGPMR201202).

作者简介: 钱鑫(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事历史大地构造研究。* 通讯作者: 冯庆来, E-mail: qinglaifeng@cug.edu.cn

0 前言

东南亚以及毗邻的中国云南保存较好的古特提斯演化记录,一直是研究古特提斯构造演化的重要场所,国内外学者已经进行了大量调查研究.然而,关于滇西古特提斯构造带与东南亚的对比,仍存在很大分歧:研究泰国古特提斯演化的地质学者中,主流倾向认为难河—程逸构造带为古特提斯主洋盆,且认为与云南境内的澜沧江构造带相连(Metcalf, 1988; Bunopas, 1994; Hada *et al.*, 1999; Ueno and Hisada, 1999; Ferrari *et al.*, 2008; Sone and Metcalfe, 2008),但研究滇西古特提斯构造带的学者发现昌宁—孟连构造带作为滇西古特提斯主洋盆,向南穿过缅甸东部,延伸到泰国北部的芳县和清迈地区,澜沧江构造带可以与清莱火山岛弧带对比(Wu *et al.*, 1995; 钟大赉, 1998; 冯庆来等, 2004, 2008; Metcalfe, 2002; Feng *et al.*, 2005; Shen *et al.*, 2009; 沈上越等, 2010, 2011).产生上述分歧的主要原因是人们对泰老缅交界的“金三角”地区基本地质构造缺乏了解.为此,近年来笔者在泰国、老挝、缅甸和中国 4 国交界地区开展了地质调查和构造带对比研究,本文关于清孔地区火山岩锆石 U-Pb 同位素年代学研究就是这项研究成果之一.

1 地质背景及岩相学特征

研究区位于泰国北部汤县—清孔地区,距离南邦火山岩带约 100 km,区内存在两条北东向的山脉,分别是 Doi Yao 带和 Doi Khun Ta Khuan 带(图 1).而清孔火山岩就沿着这 2 条山脉分布,其中 Doi Yao 带火山岩沿湄公河出露,Doi Khun Ta Khuan 带火山岩则与之近平行分布.前人将其火山岩的时代划归为二叠纪—三叠纪,并认为 Doi Yao 带和 Doi Khun Ta Khuan 带的火山岩是同时期产物(Panjasawatwong *et al.*, 2003). Barr *et al.* (2006)对该处的火山岩组合进行了系统的野外描述和岩相学研究,该火山岩带属于清莱火山岛弧带的一部分,并确定 Doi Yao 带和 Doi Khun Ta Khuan 带火山岩时代相同,岩性从基性—酸性均有出露,主要由玄武质安山岩、安山岩、凝灰岩和流纹岩组成.其中玄武质安山岩主要为深灰绿色,块状,表面具有球状风化壳,其风化壳为淡绿色,主要分布在汤县附近及其公路边;安山岩为深灰色—棕色,呈层状分布,颗粒较粗,其中夹有火山角砾,成分主要为流纹

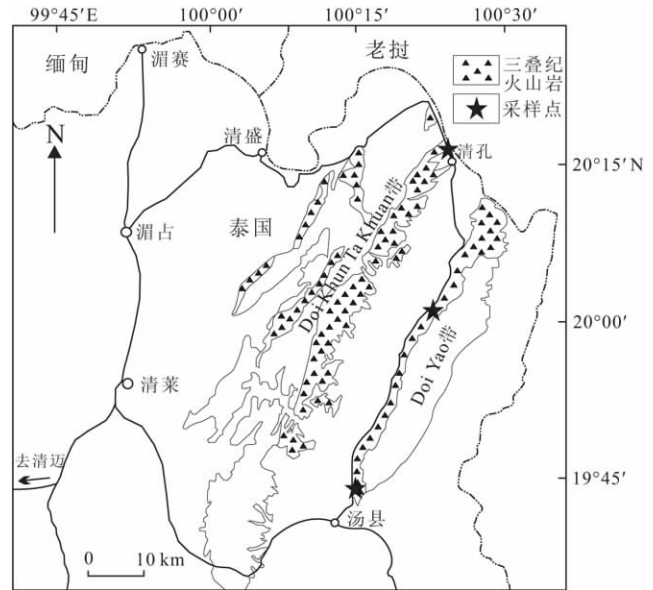


图 1 研究区地理位置图和采样点

Fig. 1 Sketch map of the studied area and sampling sites

质,在汤县—清孔公路均有出露;凝灰岩和流纹岩分布较广,在整个清孔火山岩带均有分布,出露较好的是在清孔码头附近以及汤县—清孔公路边,岩石为淡紫色—灰色,其中流纹岩可见斜长石斑晶,野外观察呈块状分布. Barr *et al.* (2006)在汤县—清孔的公路边采获的流纹质凝灰岩中获得了一组锆石 U-Pb 同位素年龄,为中三叠世早期.与南邦地区的 Doi Luang 带获得流纹岩锆石年龄相近,均为中三叠世,其地球化学特征也与南部南邦地区 Doi Luang 带内的流纹岩相似.并且对比了南邦地区的火山岩带与清孔地区的火山岩带,发现两者具有相似的岩石组合类型,为一套中基性—酸性火山岩(Barr *et al.*, 2000, 2006).

虽然前人在此做了很多岩相学上的研究,但是还是缺少必要的地质时代,因此为了深入研究这套火山岩的地质时代,笔者采集了 3 件锆石 U-Pb 同位素年代学研究样品.其中 2 件样品(TL-1-B 和 TL-31-B)采自东部 Doi Yao 带,1 件(TL-32-B₁)采自西部 Doi Khun Ta Khuan 带.样品 TL-1-B 采样点位于汤县北部大型采石场内,为深灰绿色块状玄武质安山岩,岩石非常新鲜,镜下特征为细晶—隐晶质结构,斑晶主要由斜长石及不透明矿物组成,基质由微晶斜长石、角闪石及玻璃质组成.样品 TL-31-B 采样点为汤县到清孔新修公路旁,地理坐标为(20°00′39.54″N, 100°21′27.05″E).该露头风化较强,褪色明显,为淡绿色块状玄武质安山岩.样品 TL-32-B₁ 采自清孔城边的码头旁,岩石非常新鲜,

为淡紫色,斑状结构,流纹构造,显微镜下发现斑晶主要为碱性长石,基质主要由微晶斜长石、石英和少量的绿泥石组成,矿物部分定向排列,显示流纹构造.本文所研究的岩石样品与 Barr *et al.* (2006) 研究样品同属清孔火山岩带.

2 分析方法

将野外采集的新鲜样品用干净水清洗,除去表面杂物,送由廊坊诚信地质服务公司进行锆石分选,将锆石颗粒制成环氧树脂浇注的样品靶,待固化后,将靶面磨光露出锆石,通过反射光、投射光和阴极发光确定待测分析点位置.锆石样品靶的制备与 SHRIMP 定年锆石样品制备方法基本相同(宋彪等,2002).

锆石阴极发光(CL)图像和定年测试均在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成.阴极发光(CL)图像在电子探针室完成.实验仪器为 JXA-8100 电子探针仪,加速电压 15 kV,工作电流 20 nA,束斑直径 1 μm ,实验环境温度 21 $^{\circ}\text{C}$.定年测试在 LA-ICP-MS 实验室完成,激光剥蚀系统为 GeoLas2005,ICP-MS 为 Agilent 7700,激光剥蚀过程中采用氦气作载气,分析采用激光剥蚀孔径 32 μm ,激光脉冲为 6 Hz,能量 50 mJ.实验采用 He、Ar 作为剥蚀物质的载气.锆石年龄采用 91500 线性内插的方式进行了校正(Liu *et al.*, 2010),锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据(Wiedenbeck *et al.*, 1995),元素含量校正用美国国家标准物质局研制的人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 为外标(Pearce *et al.*, 1997), ^{29}Si 为内标.每完成 5~6 个测点的样品测定,加测标样一次.对测试数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSData-Cal 8.3(Liu *et al.*, 2010)完成.详细的仪器操作条件和数据处理方法同(Liu *et al.*, 2010).普通 Pb 校正采用 Andersen 的方法进行(Adersen, 2002).单个数据点的误差均为 1σ ,样品年龄加权平均值的误差为 2σ ,锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Ludwig 的 Isoplot 程序(Ludwig, 2003)完成.

3 锆石 U-Pb 分析年龄结果

所有锆石测试点均位于锆石的环带部位,测试

结果见表 1.由于小于 1 000 Ma 锆石年龄因放射性成因 ^{207}Pb 含量较少,分析中容易产生较大的误差,所以采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,大于 1 000 Ma 则采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄.根据区域地层特征,前人将本文研究样品地质时代归为二叠纪—三叠纪.

样品 TL-1-B 中,锆石粒径为 30~120 μm ,平均粒径较小,长宽比为 1.5 : 1~3 : 1.13 个测试点的 U-Pb 同位素年龄均在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ~ $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和曲线上(图 2),其中 7 个测试点 Th 含量变化于 66~1 309 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,U 变化于 1 023~2 608 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,Th/U 比值为 0.03~0.63,大部分都大于 0.4,且具有岩浆锆石典型的震荡环带(图 3),其中一个测试点的 Th/U 偏小,可能是由于其具有异常的 Th/U 比值(吴元保和郑永飞, 2004).加权平均年龄为 241.1 \pm 6.9 Ma(MSWD=0.27),相当于中三叠世早期.其他 6 个年龄从 387 \pm 10~276 \pm 5 Ma,年龄相对偏老,说明这些锆石是继承锆石或者捕掳锆石(吴元保和郑永飞, 2004),可能由于后期的岩浆喷发所带入.

样品 TL-31-B 中,锆石粒径位于 40~150 μm 之间,平均粒径较小,长宽比为 1.5 : 1~3 : 1.21 个测试点的 U-Pb 同位素年龄均在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ~ $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和曲线上(图 2),21 个测试点 Th 含量变化于 173~2 388 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,U 变化于 270~3 704 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,Th/U 比值为 0.44~1.10,都大于 0.4,且具有岩浆锆石典型的震荡环带(图 3).加权平均年龄为 241.1 \pm 3.9 Ma(MSWD=0.51),相当于中三叠世早期.所以,无论锆石特点,还是锆石 U-Pb 同位素年龄,样品 TL-31-B 都可以很好地与样品 TL-1-B 对比.

样品 TL-32-B₁ 中,锆石粒径为 40~120 μm ,平均粒径较小,长宽比为 1.5 : 1~2.5 : 1.17 个测试点的 U-Pb 同位素年龄均在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ~ $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和曲线上(图 2),其中 9 个测试点 Th 含量变化于 137~897 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,U 变化于 265~568 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,Th/U 比值为 0.39~1.20,大部分都大于 0.4,且具有岩浆锆石典型的震荡环带(图 3).加权平均年龄为 238.0 \pm 8.9 Ma(MSWD=3.1),相当于中三叠世早期.其他 8 个年龄从 1 885 \pm 16~1 323 \pm 13 Ma,年龄较老,说明这些锆石是继承锆石或者捕掳锆石(吴元保和郑永飞, 2004),表明该区存在古元古代—中元古代的基底(从柏林等,1993;Bodet and Schärer, 2000),可能由于后期的岩浆喷发所带入.

表 1 泰国北部清孔地区火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data of volcanic rocks in Chiang Khong area of northern Thailand

分析点号	元素含量 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)				同位素比值						年龄 (Ma)					
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
					Ratio	1σ	Ratio	1σ	Ratio	1σ	Age	1σ	Age	1σ	Age	1σ
TL-1-B-1	127	580	1 384	0.42	0.057 59	0.003 43	0.303 53	0.019 01	0.037 49	0.000 55	514	112	269	15	237	3
TL-1-B-7	141	854	1 534	0.56	0.050 49	0.003 05	0.263 5	0.015 84	0.037 28	0.000 65	218	106	237	13	236	4
TL-1-B-8	118	678	1 184	0.57	0.053 64	0.003 93	0.280 7	0.019 56	0.038 09	0.000 62	356	129	251	16	241	4
TL-1-B-10	103	573	1 023	0.56	0.055 03	0.004 29	0.285 7	0.022 6	0.037 85	0.000 63	413	149	255	18	239	4
TL-1-B-12	138	322	2 426	0.13	0.053 98	0.002 27	0.335 93	0.014 98	0.044 26	0.000 71	370	72	294	11	279	4
TL-1-B-13	165	412	1 808	0.23	0.053 46	0.002 49	0.403 2	0.018 92	0.054 06	0.001 08	348	70	344	14	339	7
TL-1-B-14	147	821	1 299	0.63	0.053 12	0.003 49	0.294 14	0.019 29	0.039 26	0.000 65	334	119	262	15	248	4
TL-1-B-15	99.6	66.72	608	0.03	0.053 03	0.003 04	0.287 7	0.015 41	0.038 96	0.000 63	330	92	257	12	246	4
TL-1-B-16	68.2	308	480	0.64	0.049 77	0.006 73	0.303 37	0.040 44	0.044 21	0.001 02	184	279	269	32	279	6
TL-1-B-17	129.8	125	1 887	0.07	0.056 01	0.003 2	0.478 09	0.024 3	0.061 91	0.001 6	453	130	397	17	387	10
TL-1-B-18	250	1309	2 548	0.51	0.051 08	0.004 17	0.274 75	0.021 76	0.039 01	0.000 78	244	187	246	17	247	5
TL-1-B-19	153	363	1 900	0.19	0.060 13	0.003 28	0.364 63	0.018 32	0.043 75	0.000 73	608	79	316	14	276	5
TL-1-B-20	63.4	288	550	0.52	0.062 69	0.005 21	0.379 39	0.027 28	0.046 37	0.001 01	698	116	327	20	292	6
TL-31-B-1	87	408	530	0.77	0.055 7	0.003 98	0.306 65	0.021 21	0.040 05	0.000 67	440	125	272	16	253	4
TL-31-B-2	63	318	381	0.83	0.046 05	0.004 74	0.232 33	0.023 61	0.036 59	0.000 62	994	134	212	19	232	4
TL-31-B-3	79	383	434	0.88	0.053 67	0.007 86	0.278 63	0.040 33	0.037 65	0.000 85	357	321	250	32	238	5
TL-31-B-4	392	2186	3 704	0.59	0.050 93	0.001 7	0.271 47	0.008 76	0.038 39	0.000 39	238	55	244	7	243	2
TL-31-B-5	407	2388	3 664	0.65	0.052 5	0.001 91	0.282 24	0.010 29	0.038 57	0.000 42	307	63	252	8	244	3
TL-31-B-6	43	199	296	0.67	0.060 07	0.010 27	0.300 73	0.050 82	0.036 31	0.000 93	606	381	267	40	230	6
TL-31-B-7	36	200	312	0.64	0.057 08	0.003 96	0.294 33	0.019 98	0.037 4	0.000 83	495	110	262	16	237	5
TL-31-B-8	35	193	288	0.67	0.072 85	0.005 61	0.351 24	0.024 01	0.036 68	0.000 82	1 010	102	306	18	232	5
TL-31-B-10	72	357	808	0.44	0.055 26	0.003 26	0.287 18	0.016 03	0.038 5	0.000 65	423	95	256	13	244	4
TL-31-B-11	72	355	678	0.52	0.062 04	0.003 41	0.330 64	0.016 89	0.038 95	0.000 62	676	82	290	13	246	4
TL-31-B-12	32	173	270	0.64	0.077 11	0.006 81	0.390 24	0.031 13	0.038 16	0.000 85	1 124	124	335	23	241	5
TL-31-B-14	54	264	390	0.68	0.050 03	0.005 16	0.278 41	0.028 07	0.040 36	0.000 86	196	231	249	22	255	5
TL-31-B-15	218	1285	1 675	0.77	0.050 75	0.002 4	0.268 06	0.011 48	0.038 54	0.000 58	230	71	241	9	244	4
TL-31-B-16	236	1277	1 451	0.88	0.056 83	0.002 92	0.309 8	0.014 76	0.039 94	0.000 57	485	80	274	11	252	4
TL-31-B-17	77	365	828	0.44	0.052 14	0.002 74	0.266 03	0.014 02	0.037 62	0.000 81	292	81	240	11	238	5
TL-31-B-18	147	930	1 027	0.91	0.050 44	0.002 62	0.259	0.013 42	0.037 08	0.000 55	215	92	234	11	235	3
TL-31-B-19	52	261	341	0.77	0.056 04	0.008 79	0.286 08	0.043 42	0.037 02	0.001 48	454	348	255	34	234	9
TL-31-B-20	46	302	351	0.86	0.071 78	0.005 81	0.358 37	0.033 43	0.036 08	0.000 74	980	159	311	25	229	5
TL-31-B-21	191	990	2 020	0.49	0.050 34	0.001 89	0.275 06	0.009 89	0.039 33	0.000 46	211	62	247	8	249	3
TL-31-B-22	508	3194	2 910	1.1	0.052 69	0.001 78	0.276 47	0.008 61	0.037 87	0.000 42	315	50	248	7	240	3
TL-31-B-23	183	905	1 824	0.5	0.050 35	0.002 99	0.260 63	0.015 08	0.037 55	0.000 51	211	138	235	12	238	3
TL-32-B1-1	497	330	508	0.65	0.103 33	0.002 01	4.372 34	0.094 42	0.305 58	0.003 45	1 685	24	1 707	18	1 719	17
TL-32-B1-2	617	442	605	0.73	0.106 6	0.001 77	4.359 74	0.078 08	0.295 29	0.002 35	1 742	21	1 705	15	1 668	12
TL-32-B1-3	309	142	421	0.34	0.115 34	0.001 64	5.447 96	0.086 21	0.341 41	0.002 95	1 885	16	1 892	14	1 893	14
TL-32-B1-4	387	274	402	0.68	0.103 85	0.001 51	4.006 2	0.061 17	0.279 23	0.002 48	1 694	16	1 635	12	1 587	12
TL-32-B1-5	106	439	477	0.92	0.052 46	0.003 96	0.292 1	0.021 76	0.040 39	0.000 49	305	174	260	17	255	3
TL-32-B1-6	270	188	273	0.69	0.113 82	0.001 7	4.704 05	0.082 43	0.298 71	0.002 32	1 861	20	1 768	15	1 685	12
TL-32-B1-7	45	222	568	0.39	0.055 43	0.001 84	0.272 92	0.009 5	0.035 64	0.000 38	430	58	245	8	226	2
TL-32-B1-9	84	210	344	0.61	0.046 05	0.004 18	0.241 22	0.021 58	0.037 99	0.000 57	2 122	81	219	18	240	4
TL-32-B1-10	53	274	394	0.7	0.055 53	0.002 66	0.284 36	0.013 21	0.037 61	0.000 53	434	78	254	10	238	3
TL-32-B1-12	164	897	872	1.03	0.059 77	0.002 06	0.329 19	0.011 2	0.039 89	0.000 39	595	57	289	9	252	2
TL-32-B1-15	61	387	385	1.01	0.052 28	0.002 48	0.269 28	0.012	0.037 62	0.000 49	298	78	242	10	238	3
TL-32-B1-16	618	415	1 232	0.34	0.085 33	0.000 58	2.980 41	0.034 17	0.249 13	0.001 46	1 323	13	1 403	9	1 434	8
TL-32-B1-17	73	475	395	1.2	0.056 21	0.002 64	0.284 12	0.013 02	0.036 47	0.000 44	461	80	254	10	231	3
TL-32-B1-18	281	239	419	0.57	0.095 03	0.001 47	3.552 12	0.065 09	0.266 86	0.002 23	1 529	22	1 539	15	1 525	11
TL-32-B1-19	63	271	346	0.78	0.053 41	0.004 51	0.290 42	0.024 09	0.039 44	0.000 61	346	194	259	19	249	4
TL-32-B1-20	27	137	265	0.52	0.051 45	0.002 76	0.253 46	0.012 91	0.035 8	0.000 47	261	93	229	10	227	3
TL-32-B1-21	660	450	1 625	0.28	0.089 51	0.001 75	2.826 47	0.059 51	0.226 28	0.002 78	1 415	22	1 363	16	1 315	15

注:同位素比值和年龄误差均为 1σ 。

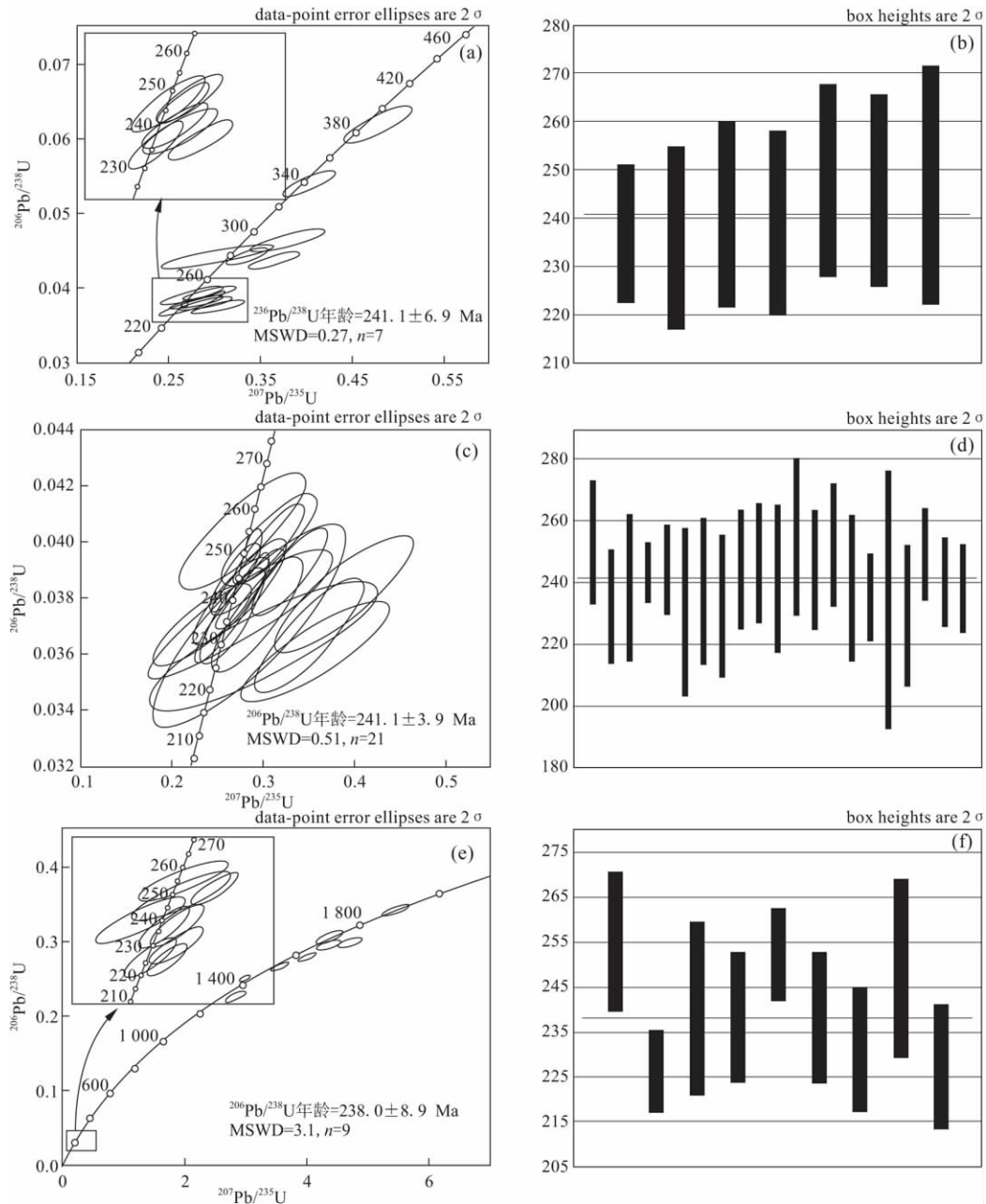


图 2 泰国北部清孔地区弧火山岩的锆石 U-Pb 年龄谐和图和数据离群性特征

Fig. 2 U-Pb Concordia diagrams of zircons from the Chiang Khong volcanic rocks in north Thailand

a, b. TL-1-B, 玄武质安山岩; c, d. TL-31-B, 风化的玄武质安山岩; e, f. TL-32-B₁, 流纹岩

4 讨论

4.1 弧火山岩形成时代

本次研究样品 TL-1-B、TL-31-B、TL-32-B₁ 分别给出了 241.1 ± 6.9 Ma、241.1 ± 3.9 Ma 和 238.0 ± 8.9 Ma 3 组主要的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄。241.1 ± 3.9 Ma 和 241.1 ± 6.9 Ma 误差范围一致,代表了玄武质安山岩的形成年龄,238.0 ± 8.9 Ma 代表了流纹岩的形成年龄,同时这 3 个年龄也

大致确定了清孔地区弧火山岩的形成时代,说明玄武质安山岩和流纹岩是同时期产物,均为中三叠世早期。

4.2 与南邦地区火山岩带对比

近十几年来,在泰国北部相继发现和识别出了蛇绿岩、构造混杂岩和洋脊/洋岛/弧火山岩,以及弧花岗岩。记录了晚古生代末该区存在古特提斯洋消减和陆陆(弧)碰撞作用,尽管对其俯冲碰撞时限还没有很好地限定,但是素可泰—清迈巨型南北向花

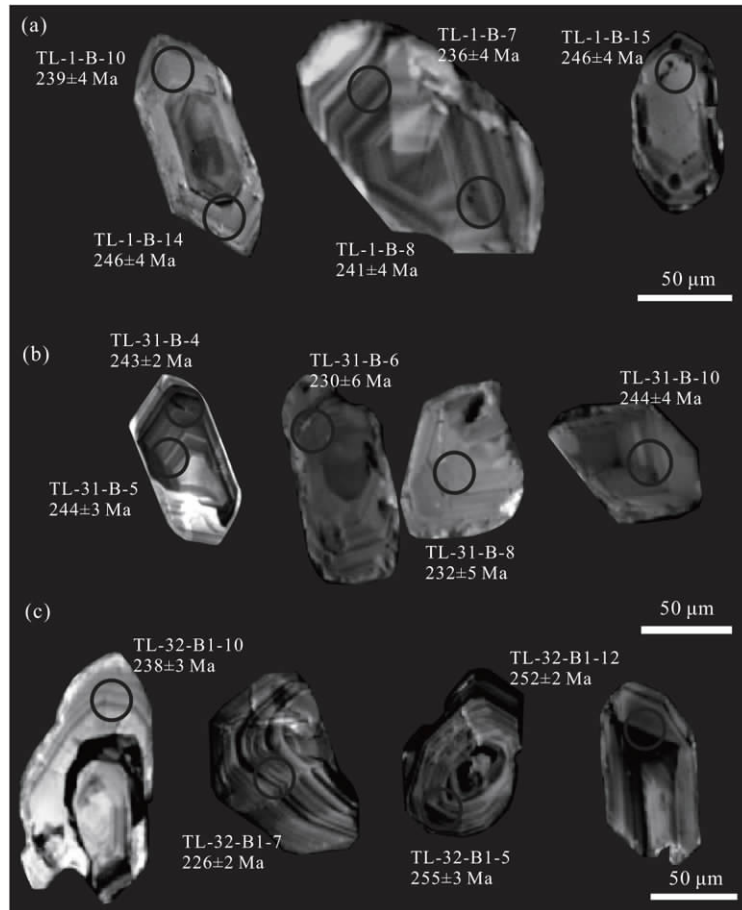


图 3 泰国北部清孔地区火山岩代表锆石阴极发光图像(CL)

Fig. 3 Representative CL images of the analyzed zircon from the Chiang Khong volcanic rocks in north Thailand

a. TL-1-B,玄武质安山岩;b. TL-31-B,风化的玄武质安山岩;c. TL-32-B₁,流纹岩

岗岩的三叠纪年龄(Mahawat *et al.*, 1990)以及晚古生代末区内构造—岩浆—沉积作用的演化,表明了该处存在特提斯洋的演化、消减和陆陆(弧)碰撞作用. 泰国北部清孔带和南邦带火山岩位于清迈洋脊/洋岛玄武带的东侧(Shen *et al.*, 2009),相当于因他暖带的东带(沈上越等, 2010),多数学者认为该带为晚二叠世—早三叠世的弧火山岩,有关该带与我国的连接,多认为与我国澜沧江地区的火山弧相对应(Yang *et al.*, 1994; Wu *et al.*, 1995; 潘桂棠等, 1997; Metcalf, 2002; Barr *et al.*, 2006; Feng *et al.*, 2005). 而其他学者则认为是难河—程逸缝合带与我国澜沧江带相连(Bunopas, 1994; Hada *et al.*, 1999; Ueno and Hisada, 1999; Sone and Metcalfe, 2008; Ferrari *et al.*, 2008).

清孔地区和南邦地区火山岩带都在素可泰地块之内, Barr *et al.* (2000、2006)分别对南邦地区 Doi Luang 带内的酸性火山岩以及清孔地区的中—酸性火山岩进行了研究(图 4),发现它们不仅具有相似

的火山岩组合,其稀土元素与微量元素非常相似并都具有弧火山岩特征,均形成于与俯冲有关的岛弧环境,所获得的南邦地区 240 ± 1 Ma 的流纹岩年龄和清孔地区 232.9 ± 0.4 Ma 的流纹质凝灰岩年龄也非常接近,证实了清孔火山岩带可以向南延伸至南邦火山岩带. 而我们这次所获得的清孔地区玄武质安山岩和流纹岩组合位于南邦弧火山岩带北东方向约 100 km(图 4),其岩石组合与南邦地区火山岩组合相同,所获得的锆石 U-Pb 年龄也正好对应南邦弧火山岩内流纹质凝灰岩锆石年龄,且和 Barr *et al.* (2006)清孔地区所获得流纹质凝灰岩锆石年龄相一致(图 4). 同样证明泰国境内的清孔弧火山岩带可以一直延伸到泰国南邦地区,都是属于活动大陆边缘弧火山岩.

4.3 与澜沧江火山岩带对比

前人对于云南境内澜沧江带的研究主要集中在澜沧江带南段云县和景洪邦沙地区的陆缘弧火山岩(莫宣学等, 1993; 潘桂棠等, 1997; 朱勤文等, 1998;

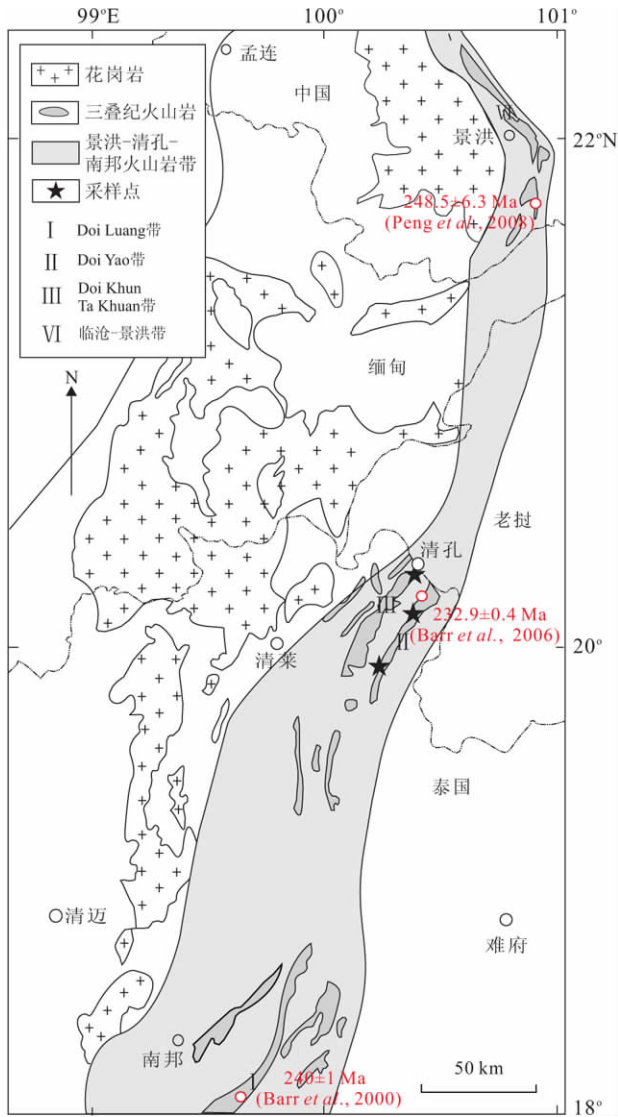


图 4 泰国北部清孔火山岩带位置

Fig. 4 Location of the Chiang Khong volcanic rocks in north Thailand

Peng, *et al.*, 2008),也是一套玄武岩—安山岩—流纹岩的组合,其岩石地球化学性质具有弧火山岩的特点,并认为时代为中三叠世—晚三叠世. Peng *et al.* (2008)对澜沧江带景洪地区忙怀组下段的安山岩进行了系统的地球化学、岩相学和年代学研究,发现其相关成分属于活动大陆边缘弧火山岩,且获得了 248.5 ± 6.3 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(图 4),认为这套火山岩形成于早三叠世,说明云南境内的古特提斯洋在中三叠世仍未闭合. Barr *et al.* (2000, 2006)也指出清孔地区弧火山岩和南邦地区弧火山岩的地球化学性质与临景洪地区忙怀组的弧火山岩类似,沈上越等(2010)同样对南邦地区和澜沧江带内的火山岩进行了对比研究,发现都具有

弧火山岩特征,并且各地区的弧火山岩在地球化学上都具有相似性.而这次笔者所获得的玄武质安山岩和流纹岩组合与云南境内澜沧江弧火山岩组合相似,均为同一套中基性—酸性火山岩组合,并且锆石 U-Pb 年龄与澜沧江带景洪地区忙怀组下段的安山岩相一致,证明泰国境内的清孔弧火山岩带一直可以延伸到云南境内的澜沧江弧火山岩带.

4.4 元古代基底

在锆石样品(TL-32-B₁)中,笔者获得了 8 个较老年龄,为 $1885 \pm 16 \sim 1323 \pm 13$ Ma,是首次在泰国北部地区获得古元古代—中元古代的年龄,为捕掳锆石年龄,是由于后期的岩浆喷发所带入.说明在泰国北部地区存在古元古代—中元古代的基底.同样 Bodet and Schärer(2000)对采自怒江、湄公河、红河中流沙中的碎屑锆石进行了 U-Pb 定年研究,获得了 2.3~2.2 Ga、2.0~1.9 Ga、和 1.2~1.1 Ga 的前寒武年龄,证实整个东南亚地区存在较老的基底年龄.而我们此次获得的前寒武年龄正好能与之对应,暗示区内可能存在与扬子周边相似的元古代基底且经过后期的构造热事件改造(从柏林等, 1993; Bodet and Schärer, 2000).

5 结论

泰国清孔地区玄武质安山岩、风化的玄武质安山岩和流纹岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 241.1 ± 6.9 Ma、 241.1 ± 3.9 Ma 和 238.0 ± 8.9 Ma,代表了玄武质安山岩和流纹岩的形成年龄,表明玄武质安山岩和流纹岩都形成于同一时期,都是中三叠世早期.经过对比,证明泰国境内清孔弧火山岩带向南可以一直延伸到南邦弧火山岩带,向北可以延伸到云南境内的临沧—景洪弧火山岩.这些 U-Pb 锆石同位素年龄资料对进一步研究古特斯洋在滇西及东南亚的分布和演化具有重要的意义.此外,本次研究还发现研究区存在($1885 \pm 16 \sim 1323 \pm 13$)Ma 的年龄,表明该区存在古元古代—中元古代的基底.

References

- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192 (1-2): 59-79. doi: 10.1016/S0009-2541(02)00195-X
- Barr, S. M., Macdonald, A. S., Dunning, G. R., *et al.*, 2000. Petrochemistry, U-Pb (zircon) age, and palaeotectonic

- setting of the Lampang volcanic belt, northern Thailand. *Journal of the Geological Society*, 157(3): 553—563. doi:10.1144/jgs.157.3.553
- Barr, S. M., Macdonald, A. S., Ounchanum, P., et al., 2006. Age, tectonic setting and regional implications of the Chiang Khong volcanic suite, northern Thailand. *Journal of the Geological Society*, 163: 1037—1046. doi:10.1144/0016-76492005-118
- Bodet, F., Schärer, U., 2000. Evolution of the SE-Asian continent from U-Pb and Hf isotopes in single grains of zircon and baddeleyite from large rivers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(12): 2067—2091. doi:10.1016/S0016-7037(00)00352-5
- Bunopas, S., 1994. The regional stratigraphy, paleogeographic and tectonic events of Thailand and continental Southeast Asia. In: Angsuwathana, P., Wongwanich, T., Tansathien, W., et al., eds., Proceedings of the international symposium on stratigraphic correlation of Southeast Asia. Department of Mineral Resources of Thailand and Thai Working Group of IGCP 306, Bangkok, 2—24.
- Cong, B. L., Wu, G. Y., Zhang, Q., et al., 1993. Petrotectonic evolution of the Tethys zone in western Yunnan, China. *Science in China (Ser. B)*, 23(11): 1201—1207 (in Chinese).
- Feng, Q. L., Chonglakmani, C., Helmcke, D., et al., 2005. Correlation of Triassic stratigraphy between the Simao and Lampang-Phrae basins; implications for the tectono-paleogeography of Southeast Asia. *Journal of the Asian Earth Sciences*, 24(6): 777—785. doi:10.1016/j.jseaes.2004.11.008
- Feng, Q. L., Chongpan, C., Dietrich, H., et al., 2004. Long-lived paleotethyan pelagic remnant inside Shan-Thai Block; Evidence from radiolarian biostratigraphy. *Science in China (Ser. D)*, 47(12): 1113—1119. doi:10.1360/03yd0085
- Feng, Q. L., Yang, W. Q., Shen, S. Y., et al., 2008. The Permian seamount stratigraphic sequence in Chiang Mai, North Thailand and its tectogeographic significance. *Science in China (Ser. D)*, 51(12): 1768—1775. doi:10.1007/s11430-008-0121-5
- Ferrari, O. M., Hochard, C., Stampfli, G. M., 2008. An alternative plate tectonic model for the Palaeozoic-Early Mesozoic Palaeotethyan evolution of Southeast Asia (northern Thailand-Burma). *Tectonophysics*, 451(1—4): 346—365. doi:10.1016/j.tecto.2007.11.065
- Hada, S., Bunopas, S., Ishii, K., et al., 1999. Rift-drift history and the amalgamation of Shan-Thai and Indochina/East Malaya Blocks. In: Metcalfe, I., Ren, J., Charvet, J., eds., Gondwana dispersion and Asian accretion: IGCP 321 Final Results Volume. A. A. Balkema, Rotterdam, 67—87.
- Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1—2): 537—571. doi:10.1093/petrology/egp082
- Ludwig, K. R., 2003. User's manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Geochronology Center Special Publication, Berkeley.
- Mahawat, C., Atherton, M. P., Brotherton, M. S., 1990. The Tak batholith, Thailand; the evolution of contrasting granite types and implications for tectonic setting. *Journal of Southeast Asia Earth Sciences*, 4(1): 11—27. doi:10.1016/0743-9547(90)90021-5
- Metcalfe, I., 1988. Origin and assembly of Asian continental terranes. *Geological Society London, Special Publication*, 37: 101—118. doi:10.1144/GSL.SP.1988.037.01.08
- Metcalfe, I., 2002. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(6): 551—566. doi:10.1016/S1367-9120(02)00022-6
- Mo, X. X., Lu, F. X., Shen, S. Y., et al., 1993. Tethysan volcanism and metallogenesis in the Sanjiang region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Pan, G. T., Chen, Z. L., Li, X. Z., et al., 1997. Geological-tectonic evolution in the eastern Tethys. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Panasawatwong, Y., Phajuy, B., Hada, S., 2003. Tectonic setting of the Permo-Triassic Chiang Khong volcanic rocks, northern Thailand based on petrochemical characteristics. *Gondwana Research*, 6(4): 743—755. doi:10.1016/S1342-937X(05)71021-2
- Pearce, N. J. G., Perkins, W. T., Westgate, J. A., et al., 1997. A compilation of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference materials. *Geostandards Newsletter*, 21(1): 115—144. doi:10.1111/j.1751-908X.1997.tb00538.x
- Peng, T. P., Wang, Y. J., Zhao, G. C., et al., 2008. Arc-like volcanic rocks from the southern Lancangjiang zone, SW China; geochronological and geochemical constraints on their petrogenesis and tectonic implications. *Lithos*, 102(1—2): 358—373. doi:10.1016/j.lithos.2007.08.012

- Shen, S. Y., Feng, Q. L., Yang, W. Q., et al., 2010. Characteristics of the oceanic island-type volcanic rocks in the Chiang Mai zone, northern Thailand. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 30(1): 26–30 (in Chinese with English abstract).
- Shen, S. Y., Feng, Q. L., Yang, W. Q., et al., 2011. Study on arc volcanic rocks from the Chiang Rai-Lampang belt in northern Thailand. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 31(1): 22–26 (in Chinese with English abstract).
- Shen, S. Y., Feng, Q. L., Zhang, Z. B., et al., 2009. Geochemical characteristics of the oceanic island-type volcanic rocks in the Chiang Mai zone, northern Thailand. *China. J. Geochem*, 28(3): 258–263. doi: 10.1007/s11631-009-0258-8
- Sone, M., Metcalfe, I., 2008. Parallel Tethyan Sutures in mainland Southeast Asia: new insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny. *C. R. Geoscience*, 340(2–3): 166–179. doi: 10.1016/j.crte.2007.09.008
- Song, B., Zhang, Y. M., Wan, Y. S., et al., 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(Suppl.): 26–30 (in Chinese with English abstract).
- Ueno, K., Hisada, K., 1999. Closure of the Paleo-Tethys caused by the collision of Indochina and Sibumasu. *Chikyū Monthly*, 21: 832–839 (in Japanese with English abstract).
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., et al., 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1): 1–23. doi: 10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x
- Wu, H. R., Boulter, C. A., Ke, B. J., et al., 1995. The Changning-Menglian suture zone: a segment of the major Cathaysian-Gondwana divide in Southeast Asia. *Tectonophysics*, 242(3–4): 267–280. doi: 10.1016/0040-1951(94)00210-Z
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(15): 1554–1569. doi: 10.1007/BF03184122
- Yang, K. H., Mo, X. X., Zhu, Q. W., 1994. Tectono-volcanic belts and Late Paleozoic-Early Mesozoic evolution of southwestern Yunnan, China. *Journal of South-East Asian Earth Sciences*, 10(3–4): 245–262. doi: 10.1016/0743-9547(94)90024-8.
- Zhong, D. L., 1998. The paleotethys orogenic belt in west of Sichuan and Yunnan. Science Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhu, Q. W., Zhang, S. Q., Tan, J., 1999. Magmatic genesis of volcanic rocks of southern Lancangjiang convergent margin-magmatic about ocean ridge, ocean island and island arc. *Geosciences*, 13(2): 137–142 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等, 1993. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化. *中国科学(B辑)*, 23(11): 1201–1207.
- 冯庆来, Chonglakmani, C., Helmcke, D., 等, 2004. 泰国西北部掸泰地块内部古特提斯远洋残迹: 放射虫生物地层学证据. *中国科学(D辑)*, 34(5): 429–435.
- 冯庆来, 杨文强, 沈上越, 等, 2008. 泰国北部清迈地区海山地质序列及其构造古地理意义. *中国科学(D辑)*, 38(11): 1354–1360.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等, 1993. 三江特提斯火山作用与成矿. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等, 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社.
- 沈上越, 冯庆来, 杨文强, 等, 2010. 泰国北部清迈带洋岛型火山岩特征研究. *矿物岩石*, 30(1): 26–30.
- 沈上越, 冯庆来, 杨文强, 等, 2011. 泰国北部清莱—南邦带弧火山岩特征研究. *矿物岩石*, 31(1): 22–26.
- 宋彪, 张玉梅, 万渝生, 等, 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及其相关现象讨论. *地质评论*, 48(增刊): 26–30.
- 吴元保, 郑永飞, 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589–1604.
- 钟大赉, 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社.
- 朱勤文, 张双全, 谭劲, 1999. 南澜沧江结合带火山岩岩浆成因—洋脊/洋岛与弧岩浆作用的性质. *现代地质*, 13(2): 137–142.