

云南中甸地区翁水晚三叠世火山岩地球化学特征及其构造意义*

陈玲^{1,2} 许继峰^{1**} 陈建林¹ 任江波³ 黄肖潇^{1,2}

CHEN Ling^{1,2}, XU JiFeng^{1**}, CHEN JianLin¹, REN JiangBo³ and HUANG XiaoXiao^{1,2}

1. 同位素地球化学国家重点实验室, 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

2. 中国科学院大学, 北京 100039

3. 广州海洋地质调查局, 广州 510075

1. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China

2012-11-20 收稿, 2013-01-23 改回.

Chen L, Xu JF, Chen JL, Ren JB and Huang XX. 2013. The geochemical characteristics of Late-Triassic volcanic rocks from Wengshui in Zhongdian area, Yunnan and tectonic significant. *Acta Petrologica Sinica*, 29(4):1156 – 1166

Abstract It has not been reported at present of arc magmatic activities for Late Triassic in northern zhongdian arc of Sanjiang tectonic belt. Our petrological and chronological researches show that the intermediate-acid magmatic activity of Indosinian developed in Wengshui areas of Zhongdian arc; zircon U-Pb dating indicates that the volcanic rocks in Wengshui area were erupted at 211.1 ± 1.5 Ma, which is similar to ages of other Indosinian volcanic rocks and ore-bearing porphyric rocks in southern Zhongdian area. The Wengshui volcanic rocks mainly consist of andesites and show depletion of high field strength elements such as Nb, Ta, Ti similar to arc volcanic rocks. Compared with Lannitang-Langdu andesites from southern area of Zhongdian arc, the both clearly show compositional signature of an arc volcanic rock. Combining their age and tectonic background, we conclude that Wengshui andesites, Lannitang-Langdu andesites and ore-bearing porphyric rocks from Zhongdian area were most likely formed by a same tectono-magmatic event, which were generated by westward subduction of the Ganzi-Litang in Late-Triassic.

Key words Geochemistry; Volcanic rock; Arc magma; Wengshui; Zhongdian arc; Yunnan

摘要 “三江”构造带中甸弧北部的印支期岩浆活动目前尚无正式的研究报道。本文的岩石学及年代学的研究表明, 中甸弧北部的翁水地区存在印支期中酸性岩浆活动, 锆石 U-Pb 定年结果显示这些火山岩在 211.1 ± 1.5 Ma 喷发, 与该地区的印支期火山岩与斑岩矿床的成矿斑岩的形成时代一致。翁水安山岩岩石地球化学特征显示其以中性的安山岩为主, 具有亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素的典型岛弧岩浆成分特征。与同一构造单元内中甸弧南部的烂泥塘-浪都安山岩进行主、微量元素的对比研究发现, 两者均具有正常岛弧火山岩的成分组成特征。结合其形成时代和构造背景, 初步认为中甸弧北部的翁水和南部的烂泥塘-浪都安山岩以及该区域的成矿斑岩很可能形成于同一构造-岩浆事件, 都是甘孜-理塘洋晚三叠世俯冲作用的岩浆产物。

关键词 地球化学; 火山岩; 岛弧岩浆岩; 翁水; 中甸弧; 云南

中图法分类号 P588.144; P597.3

* 本文受国家 973 项目(2009CB421004)、国家自然科学基金项目(40872055、40930316)和中国地质调查局项目(1212010818098)联合资助。

第一作者简介: 陈玲, 女, 1989 年生, 硕士生, 地球化学专业, E-mail: cling890821@163.com

** 通讯作者: 许继峰, 男, 研究员, 主要从事特提斯地质和成矿、青藏高原中-新生代火山岩等研究, E-mail: jifengxu@gig.ac.cn

1 引言

中甸弧位于义敦弧南段,是“三江”成矿带的重要组成部分(曾普胜等,2004),目前普遍认为是印支期甘孜-理塘洋西向俯冲作用形成的。作为我国又一重要的铜多金属成矿带(李文昌等,2011;李建康等,2007),该构造单元不仅在南部产出了普朗斑岩型铜矿、雪鸡坪斑岩型铜矿、浪都砂卡岩型铜矿等矿床,近年来在其北部的翁水地区等也相继报道了如休瓦促钨钼矿、帕纳牛场锑矿、亚杂铜铅锌矿等矿床(李建康等,2007;李文昌等,2009,2011),该地区的岩浆作用和成矿过程已引起国内外地学界的广泛关注。

中甸地区发育多期次的构造运动并伴随多期次的岩浆活动,其岩浆活动大体可分为:印支期、燕山期、喜山期。其中以印支期的岩浆活动分布范围最广,已知形成的矿床(点)最多。前人已有许多关于印支期火山岩的岩石学、地球化学、构造背景,以及相关矿床的矿床学和年代学的研究(Zeng *et al.*, 2004; 曾普胜等, 2003, 2004, 2006; 林清茶等, 2006; Reid *et al.*, 2007; 王守旭等, 2007; Chen *et al.*, 2008; 郭欣等, 2009; 刘学龙, 2009; 曹殿华等, 2009; 庞振山等, 2009; 李文昌等, 2009, 2011; 陈建林等, 2010; Li *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2011; 王新松等, 2011; 任江波, 2011; 任江波等, 2011a, b; 黄肖潇等, 2012)。然而,目前的研究主要集中在中甸弧南部普朗-雪鸡坪地区,对于中甸弧北部的翁水地区目前尚无深入研究的报道,目前尚不清楚该区域是否也存在印支期的岩浆活动。此外,将同一构造单元内南部与北部的火山岩进行对比研究对于理解中甸弧的动力学机制以及岩浆演化过程是非常必要的。本文对中甸弧北部翁水地区的火山岩进行了详细的地球化学和年代学研究,并与中甸弧南部烂泥塘-欠星-浪都火山岩剖面(简称为烂泥塘-浪都火山岩)的研究结果加以对比,以期更好地理解中甸弧的构造演化过程。

2 区域地质背景

中甸弧(义敦弧南段)与义敦弧具有相近的构造演化过程(侯增谦等,2001),其东部和南部是甘孜-理塘板块结合带;西部是近南北向的乡城-格咱断裂,往南南东方向延伸到土官村一带与甘孜-理塘结合带相接(图1b)(杨岳清等,2002),总体呈北西向展布。中国西南“三江”地区的义敦弧在构造上夹持于西侧羌塘地体、北东侧松潘-甘孜地体和南东侧的华南(扬子)地体之间,东以甘孜-理塘缝合带为界,西以金沙江缝合带为限(图1a)(侯增谦等,2004)。该地区经历了印支期大规模俯冲造山作用(238~210Ma)、燕山期碰撞造山和造山后伸展作用(208~73Ma)、喜山期陆内汇聚和大规模剪切平移作用(65~15Ma)三大阶段(杨岳清等,2002;侯增谦等,2004),与之相对应的发育三期岩浆活动。

印支期发育一套玄武岩-安山岩及中酸性浅成-超浅成斑(玢)岩。燕山期侵入岩主要有热林和休瓦促花岗岩岩体,岩性为似斑状黑云二长花岗岩(杨岳清等,2002),喜山期的岩浆活动则较不发育。

区域出露地层由老到新主要有中二叠统聂耳堂刀组,分布于东南部,岩性为板岩加少量玄武岩、凝灰岩及灰岩;上三叠统曲嘎寺组、图姆沟组和喇嘛垭组,其中曲嘎寺组由复理石砂板岩、碳酸盐岩夹中基性火山岩组成;图姆沟组主要由砂板岩夹中-酸性火山岩构成,分布范围和厚度大于曲嘎寺组;喇嘛垭组主要分布于中甸弧北部,以厚层块状大砾岩的出现为特征,岩性为粉砂质板岩和层状细-中粒石英砂岩(杨岳清等,2002;任涛等,2011)。

3 样品采集、处理及分析方法

翁水地区位于中甸弧西北部,香格里拉县东北部。该区山顶出露剖面下部主要为图姆沟组的砂板岩、安山岩、英安岩夹火山碎屑岩,上部覆盖沉积岩,其间可见闪长玢岩脉出露。本文选取翁水河边山下至山顶的纵剖面(对应的样品名称为WS-08、09、10、11、13)以及岔路口处(28°23'08"N, 99°54'23"E)(对应的样品名称为WS-01、02、03、06、07)共10件样品作为主要研究对象,根据其颜色和岩相学特点,所有样品分为两类。一类为灰黑色安山岩(如WS-01、02、03、07、08、09、11、13),具典型的安山结构,斑晶含量在15%左右,斑晶大小约0.5~4mm,主要有斜长石、黑云母、石英和少量的角闪石,斜长石无色,板条状,普遍发育聚片、卡式双晶,环带结构较明显;黑云母呈片状、柱状;石英无色,他形粒状;角闪石褐色,隐约见两组解理;基质由微晶斜长石、玻璃质和隐晶质组成,微晶斜长石呈半定向-定向排列。另一类为灰白色安山岩(如WS-06、10),斑状结构,斑晶含量在20%左右,斑晶大小约0.5~2mm,其与上述灰黑色安山岩的区别主要在基质,基质为微晶长英质矿物,颗粒在0.05mm左右。两类样品均发生了不同程度的蚀变,部分矿物发生变形,角闪石与黑云母普遍发生绿泥石、绿帘石及碳酸盐蚀变(图2)。

选取新鲜和弱蚀变的样品,去除风化部分,将其粉碎至1~5mm大小,用3%的HCl和去离子水多次超声浸泡和清洗直至无气泡产生。将样品用去离子水冲洗干净,烘干后粉碎至200目,用于化学分析。主、微量元素分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。主量元素采用碱熔玻璃片法,测试仪器为Rigaku 100e型荧光光谱(XRF);微量元素采用高温高压消解,利用Perjub-Ekmer Sciex Elan 6000型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析。主量元素的分析精度优于5%,微量元素的分析精度优于10%。具体分析方法见(Chen *et al.*, 2010)。

锆石阴极发光(CL)显微照相和激光剥蚀等离子质谱(LA-ICPMS)锆石U-Pb定年由广州地化所同位素地球化学

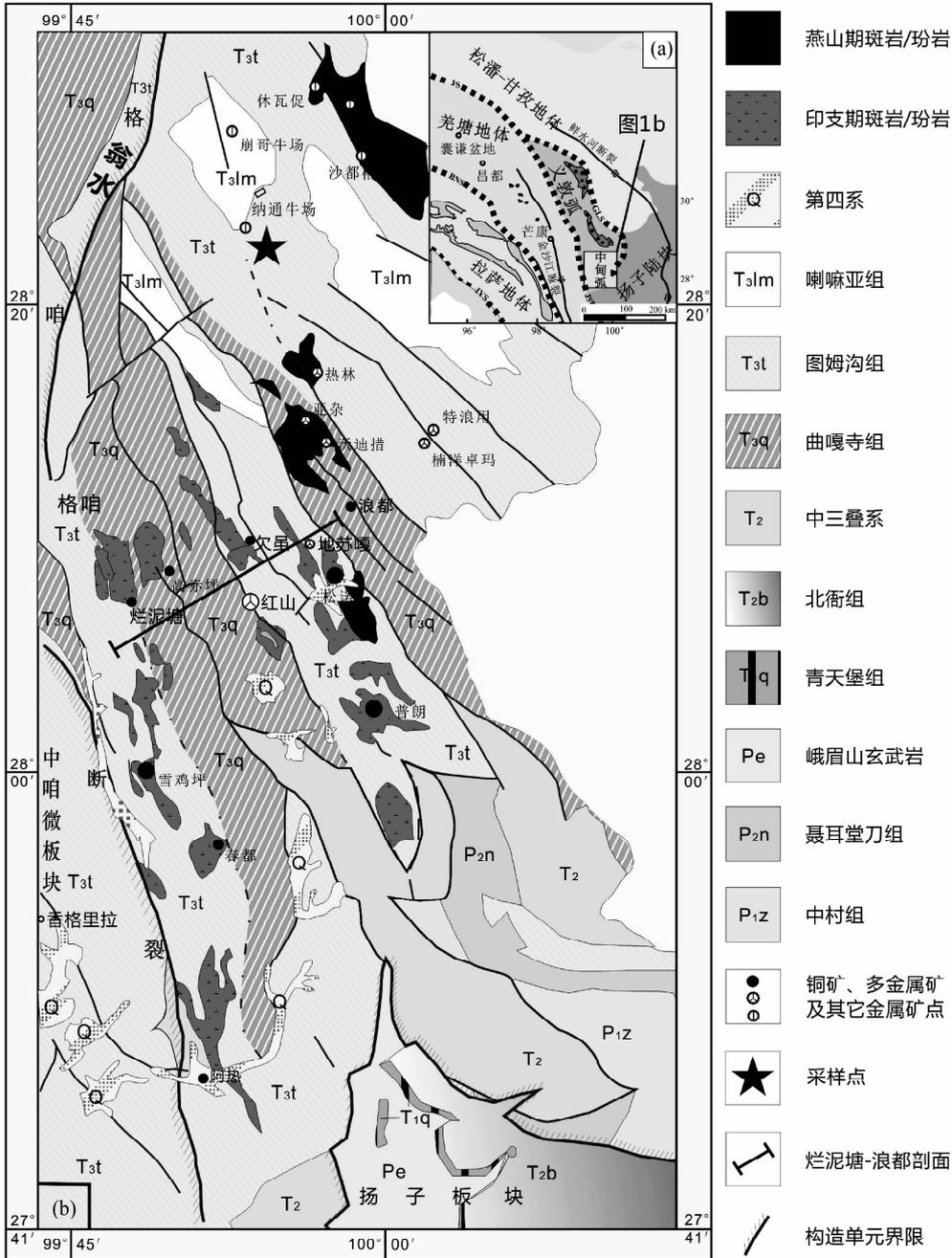


图1 中甸弧大地构造位置(a, 据任江波, 2011)和地质简图(b, 据任江波等, 2011a)

Fig. 1 Geotectonic location map of the studied area (a, after Ren, 2011) and simplified geological map (b, after Ren *et al.*, 2011a) in Zhongdian arc

国家重点实验室完成。阴极发光图像在 JEOL JXA-8100 型电子探针分析仪上完成, 锆石 U-Pb 定年测试所用的激光剥蚀系统为 193nm ArF-excimer 激光器的 RESOLUTION M-50, 激光束直径为 31 μ m, 采用 He 作为剥蚀物质的载体, 以锆石 Temora 作为外标分别对锆石样品的年龄进行校正, 以 ²⁹Si 作为内标校正实验中的信号漂移。实验获得数据采用 ICPMSDataCal 软件进行处理 (Liu *et al.*, 2008, 2010), 最后利用 Ludwig 的 Isoplot 3.0 完成加权平均年龄与谐和图的绘

制 (Ludwig, 2003)。

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 年龄

翁水 WS-01 样品的锆石阴极发光图像显示 (图 3a), 锆石的自形程度较好, 长宽比为 1 : 1.5 ~ 1 : 2, 长 80 ~ 150 μ m, 具有明显的振荡环带结构。锆石分析测试的结果显

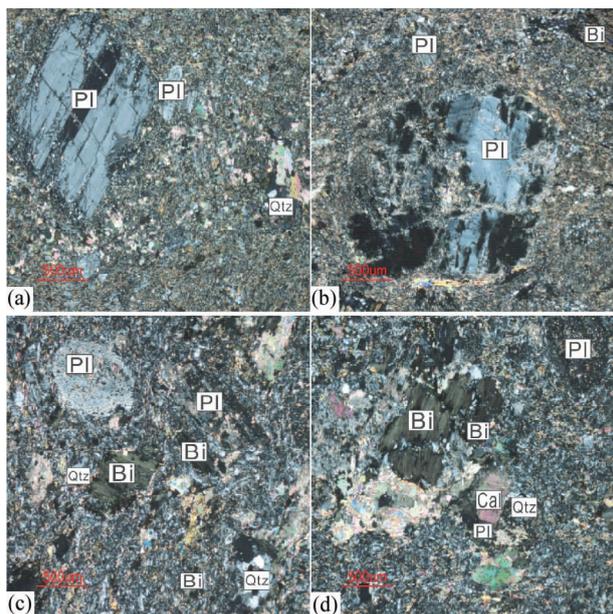


图2 翁水灰黑色安山岩(a,b)和灰白色安山岩(c,d)镜下鉴定特征

正交偏光. Qtz-石英; Pl-斜长石; Bi-黑云母; Cal-碳酸盐化

Fig.2 Microphoto of andesites in Wengshui

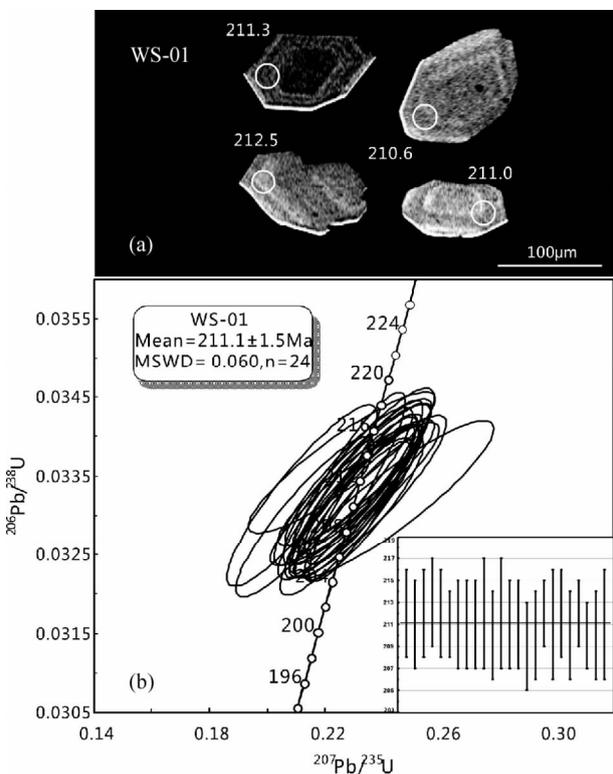


图3 翁水安山岩(WS-01)锆石阴极发光(CL)图像(a)和加权平均年龄及U-Pb年龄谐和图(b)

Fig.3 The cathodoluminescence (CL) image (a) and weighted average age, U-Pb concordant diagram (b) for zircon of andesite (WS-01) in Wengshui

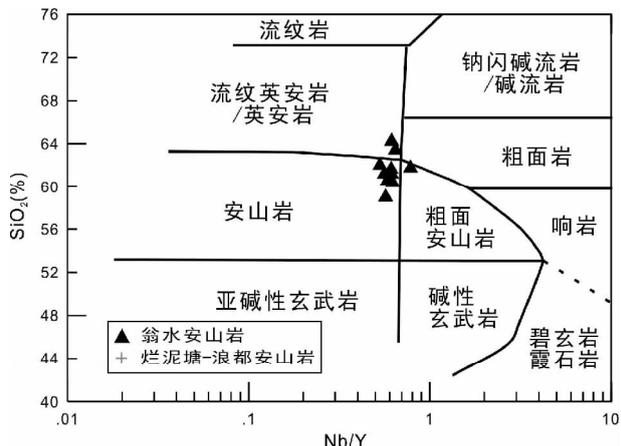


图4 中甸弧印支期火山岩 SiO₂-Nb/Y 图(据 Winchester and Floyd, 1977)

图5~图9的数据来源和图例同此图

Fig. 4 SiO₂-Nb/Y diagram for Indosinian lavas in Zhongdian arc (after Winchester and Floyd, 1977)

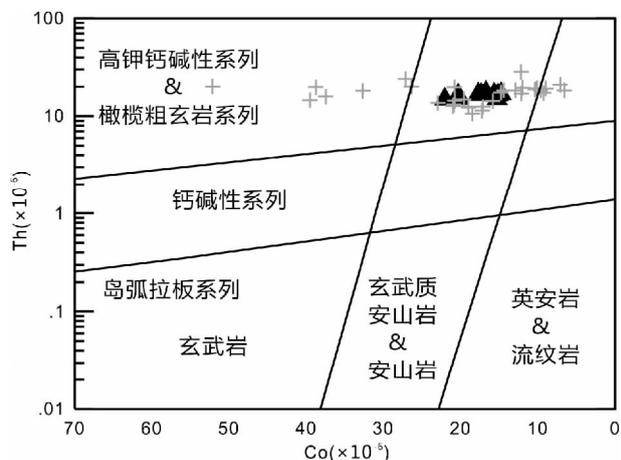


图5 中甸弧印支期火山岩 Th-Co 图(据 Hastie et al., 2007)

Fig.5 Th-Co diagram for Indosinian lavas in Zhongdian arc (after Hastie et al., 2007)

示 REE 呈强烈的右倾式, 具有较高的 Th/U 比值, 该值远大于变质锆石的 Th/U 比值 (<0.07), 指示其为典型的岩浆成因锆石 (Hoskin and Schaltegger, 2003)。样品 24 个分析点(表 1), Th 含量为 $160 \times 10^{-6} \sim 683 \times 10^{-6}$, U 含量为 $208 \times 10^{-6} \sim 582 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.73 ~ 1.20, 他们均落在谐和线上或其附近(图 3b)。²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 $211.1 \pm 1.5\text{Ma}$ (MSWD=0.06)(图 3b), 该年龄代表翁水安山岩的喷发年龄。

4.2 全岩地球化学

样品的主、微量元素分析数据见表 2。手标本及镜下观

表1 中甸弧翁水地区安山岩 (WS-01) 的锆石 U-Pb 定年分析结果表

Table 1 U-Pb zircon dating results of andesite (WS-01) from Wengshui area in Zhongdian arc

测点号	元素含量 ($\times 10^{-6}$)		元素 比值	同位素比值						年龄 (Ma)			
	Th	U		$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$
1	389	368	1.06	0.05119	0.00334	0.23240	0.01419	0.03346	0.00066	212.2	11.7	212.2	4.1
2	268	261	1.03	0.04992	0.00391	0.23038	0.01926	0.03327	0.00060	210.5	15.9	211.0	3.7
3	284	269	1.06	0.04989	0.00344	0.23159	0.01665	0.03351	0.00060	211.5	13.7	212.5	3.8
4	160	208	0.77	0.04819	0.00441	0.22586	0.02133	0.03367	0.00059	206.8	17.7	213.5	3.7
5	322	360	0.89	0.04951	0.00348	0.22634	0.01577	0.03337	0.00066	207.2	13.1	211.6	4.1
6	683	582	1.17	0.05017	0.00255	0.23198	0.01261	0.03333	0.00054	211.8	10.4	211.3	3.4
7	228	266	0.85	0.05098	0.00364	0.23486	0.01791	0.03324	0.00068	214.2	14.7	210.8	4.2
8	283	349	0.81	0.05014	0.00310	0.23155	0.01461	0.03324	0.00069	211.5	12.0	210.8	4.3
9	507	443	1.14	0.05057	0.00287	0.23392	0.01334	0.03327	0.00059	213.4	11.0	211.0	3.7
10	193	262	0.73	0.04975	0.00369	0.23170	0.01724	0.03349	0.00074	211.6	14.2	212.3	4.6
11	405	441	0.92	0.04946	0.00333	0.22881	0.01602	0.03306	0.00071	209.2	13.2	209.7	4.5
12	408	500	0.82	0.04897	0.00278	0.22785	0.01319	0.03341	0.00076	208.4	10.9	211.9	4.8
13	518	433	1.20	0.05068	0.00280	0.23328	0.01233	0.03322	0.00070	212.9	10.2	210.7	4.4
14	183	234	0.78	0.05281	0.00510	0.24375	0.02293	0.03320	0.00066	221.5	18.7	210.6	4.1
15	372	378	0.98	0.04674	0.00350	0.21309	0.01574	0.03298	0.00067	196.1	13.2	209.2	4.2
16	227	288	0.79	0.05038	0.00287	0.22970	0.01307	0.03307	0.00057	210.0	10.8	209.7	3.5
17	410	372	1.10	0.05000	0.00392	0.23093	0.01788	0.03341	0.00053	211.0	14.7	211.8	3.3
18	178	208	0.85	0.04702	0.00387	0.21204	0.01710	0.03325	0.00076	195.3	14.3	210.9	4.8
19	347	332	1.04	0.05066	0.00355	0.23264	0.01574	0.03347	0.00062	212.4	13.0	212.3	3.8
20	305	359	0.85	0.05097	0.00294	0.23345	0.01363	0.03308	0.00060	213.0	11.2	209.8	3.8
21	337	332	1.01	0.05040	0.00289	0.23210	0.01305	0.03344	0.00053	211.9	10.8	212.0	3.3
22	269	277	0.97	0.05021	0.00299	0.22928	0.01351	0.03318	0.00053	209.6	11.2	210.4	3.3
23	232	271	0.86	0.05002	0.00326	0.22927	0.01522	0.03317	0.00064	209.6	12.6	210.3	4.0
24	209	244	0.86	0.05066	0.00392	0.23051	0.01746	0.03333	0.00076	210.6	14.4	211.3	4.8

察显示, 10 件翁水安山岩样品均发生了不同程度的蚀变, 烧失量较大(2.40% ~ 4.49%), 故不宜采用活动性元素(如 Rb, Sr, Ba, K, Na 等)来进行相关解释和判别。一般情况下, 高场强元素(如 Nb, Ta, Ti, Zr 和 Hf 等)、相容元素(Cr, Ni)和稀土元素(REE)等受到蚀变作用的影响较小, 可用来讨论蚀变岩石的类型和成因(Winchester and Floyd, 1977; Hastie *et al.*, 2007)。因此, 本文主要采用蚀变过程中的不活动元素来展开讨论。

扣除烧失量计算到 100% 后, 样品的 SiO_2 含量为 59.0% ~ 64.2%, 在 SiO_2 -Nb/Y 图解中(图 4), 除样品 WS-08 和 WS-13 落入英安岩或流纹英安岩的区域, 其他均落入安山质岩石的区域。而除 WS-02 落入粗面安山岩区域, 其他均落入亚碱性区域。在 Th-Co 图解中(图 5), 翁水和烂泥塘-浪都安山岩所有样品均落入高钾钙碱性系列与橄榄粗玄武岩系列(未发表数据)。在 Harker 图中(图 6), 翁水和烂泥塘-浪都安山岩的 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 、CaO、MgO 与 SiO_2 有一定的负相关性, Al_2O_3 、 TiO_2 、 Na_2O 与 SiO_2 无明显的相关性。

翁水地区安山岩富集轻稀土元素 [$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 15.6 \sim 19.2$], Eu 显示微弱的负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.70 \sim 0.93$) (图 7a)。

在原始地幔标准化微量元素蛛网图上, 样品富集 Th, 亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素(图 7b)。在稀土配分模式图和蛛网图中, 翁水与烂泥塘-浪都安山岩两者具有一致的配分模式。

4.3 地球化学特征对比

通过上述主、微量元素的研究发现, 翁水安山岩具有较高的 SiO_2 (>59%) 含量, 低的 TiO_2 (<0.78%) 含量, 高的 $\text{Mg}^{\#}$ (>41.0, 平均值为 55.4); 烂泥塘-浪都安山岩具有较高的 SiO_2 (除个别外均 >56%, 平均值为 61.4) 含量, 较低的 TiO_2 (平均值为 1.0%) 含量, 较高的 $\text{Mg}^{\#}$ (平均值为 49.8); 并且两者均显示出无至微弱的 Eu 负异常 (δEu 平均值分别为 0.82 和 0.86), 轻重稀土较明显分异; 富集 Th, 亏损 Nb、Ta、Ti、Zr、Hf 等高场强元素的特点。

在 La/Sm-La/Nb 图解上, 两者都未显示陆壳物质混染的趋势(图略)。因此, Nb、Ta、Ti 等高场强元素的亏损以及较低的 TiO_2 含量暗示两者具有岛弧岩浆的典型成分特征。结合 Harker 图解中, 两者一致的变化趋势和分布范围, 上述特征可能暗示两者经历了相似的演化过程。

表2 中甸弧翁水地区火山岩代表性样品的主量(wt%)、微量($\times 10^{-6}$)元素分析结果Table 2 Major (wt%) and trace element ($\times 10^{-6}$) analyzing results for representative samples of volcanic rocks from Wengshui area in Zhongdian arc

Sample	WS-01	WS-02	WS-03	WS-07	WS-08	WS-09	WS-11	WS-13	WS-06	WS-10
SiO ₂	56.66	59.01	59.38	57.92	63.34	60.22	61.05	64.17	59.61	61.52
TiO ₂	0.66	0.72	0.71	0.69	0.71	0.78	0.72	0.74	0.60	0.73
Al ₂ O ₃	16.14	16.20	15.41	14.79	14.69	14.55	15.64	15.85	14.97	15.49
Fe ₂ O ₃ ^T	6.14	5.27	6.38	5.66	5.40	6.96	6.19	6.00	5.63	6.25
MnO	0.11	0.08	0.10	0.10	0.08	0.11	0.10	0.07	0.10	0.10
MgO	3.05	2.58	3.26	3.87	3.86	4.81	3.10	1.79	3.49	3.04
CaO	4.61	3.32	3.99	5.53	4.19	4.88	4.51	2.83	3.98	4.48
Na ₂ O	2.84	3.20	3.55	2.81	2.60	2.22	2.11	2.76	2.85	2.15
K ₂ O	5.29	4.70	3.76	3.59	4.59	4.60	5.94	5.18	4.50	5.57
P ₂ O ₅	0.55	0.51	0.56	0.67	0.47	0.67	0.50	0.52	0.44	0.52
LOI	3.61	4.03	2.45	4.06	2.56	2.63	2.40	2.94	3.49	4.49
Total	99.66	99.63	99.56	99.71	102.48	102.43	102.24	102.84	99.65	104.34
Sc	19.0	19.0	20.3	24.1	22.5	30.1	22.3	23.3	18.5	22.7
V	153	168	171	165	161	208	188	163	153	195
Cr	59.8	90.8	88.0	101	111	187	90.1	89.7	103	122
Co	15.2	14.8	17.7	20.3	16.7	22.1	17.4	15.7	15.3	20.3
Ni	14.2	12.9	15.2	22.3	20.1	24.7	15.3	13.0	15.0	17.1
Cu	71.4	46.3	45.3	98.9	34.9	61	78.2	55.9	49.3	95.1
Rb	171	116	136	124	172	164	201	160	128	155
Sr	1105	997	1561	932	966	1040	1110	559	861	923
Y	17.3	13.1	18.0	16.2	15.5	16.3	17.0	17.5	15.3	16.9
Zr	156	156	188	139	137	162	153	149	142	146
Nb	9.87	10.2	10.1	9.45	9.97	10.2	10.5	10.7	8.09	10.4
Ba	2231	2341	1741	2115	1622	1921	2255	2274	2328	2166
La	38.3	36.5	38.4	33.4	36.8	36.7	37.8	37.4	38.4	37.6
Ce	75.1	70.9	75.1	66.3	70.9	74.3	76.1	75.1	72.7	76.1
Pr	9.28	8.70	9.30	8.31	8.37	8.94	9.11	9.06	8.76	9.24
Nd	35.0	33.2	35.7	32.6	33.1	37.0	36.9	36.0	32.6	36.5
Sm	6.90	6.32	6.97	6.35	6.09	7.05	6.80	6.73	6.27	6.86
Eu	1.85	1.64	1.78	1.69	1.41	1.43	1.41	1.39	1.75	1.36
Gd	5.73	5.02	5.78	5.20	4.57	4.93	5.20	5.22	5.28	5.17
Tb	0.75	0.60	0.75	0.68	0.62	0.66	0.73	0.69	0.67	0.69
Dy	3.57	2.73	3.64	3.32	3.37	3.50	3.70	3.72	3.15	3.64
Ho	0.66	0.47	0.67	0.59	0.64	0.67	0.69	0.68	0.56	0.70
Er	1.74	1.33	1.78	1.63	1.64	1.66	1.77	1.74	1.54	1.74
Tm	0.25	0.20	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25	0.22	0.25
Yb	1.58	1.37	1.66	1.54	1.46	1.44	1.54	1.54	1.47	1.60
Lu	0.25	0.20	0.25	0.23	0.24	0.24	0.25	0.25	0.23	0.26
Hf	4.31	4.44	5.12	4.07	3.77	4.29	4.22	4.06	3.93	3.92
Ta	0.76	0.79	0.78	0.71	0.73	0.69	0.78	0.77	0.65	0.74
Pb	55.0	115	18.7	6.36	9.86	8.79	11.5	6.68	25.5	57.9
Th	16.4	16.9	16.8	15.2	17.4	14.9	16.6	16.7	15.0	16.4
U	3.92	4.00	3.84	4.17	4.57	4.31	3.96	3.56	3.67	4.10

5 讨论

5.1 成岩时代

前人在对中甸弧印支期中酸性浅成-超浅成斑(玢)岩的研究中报道了不同的全岩 Rb-Sr、单矿物 K-Ar/Ar-Ar (钾长

石、云母和角闪石)和锆石 U-Pb 年龄。然而,这些火山岩均经历广泛的热液蚀变,从而使 K-Ar 和 Rb-Sr 同位素体系容易受后期热事件的影响而置信度不高。相反,锆石 U-Pb 同位素体系较稳定而具有更精确的年龄。最近几年高精度的锆石和 Ar-Ar 定年都显示出中甸地区的岩浆活动形成在晚三叠世(曾普胜等, 2003; 林清茶等, 2006; 李文昌, 2007;

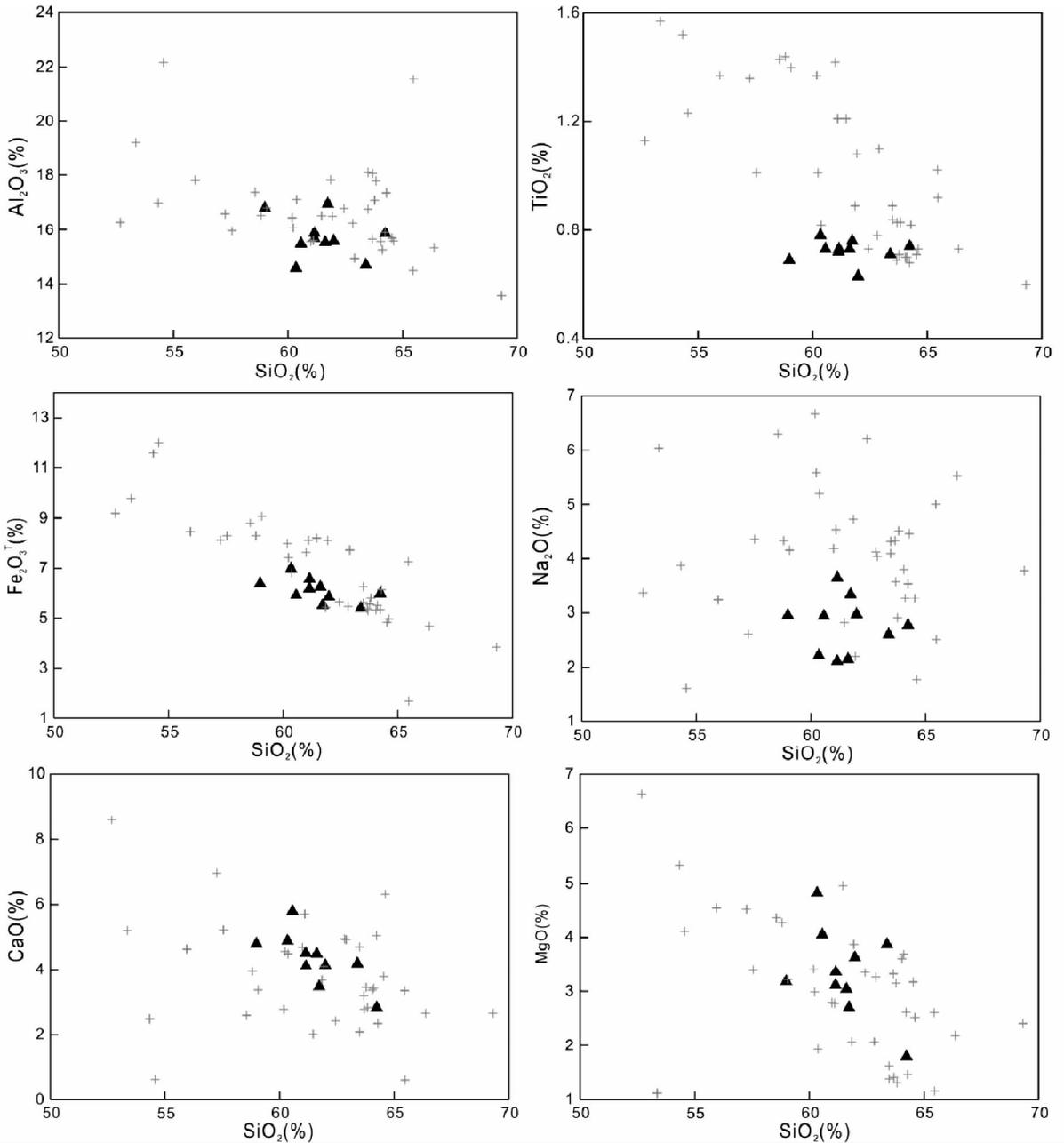


图6 中甸弧印支期火山岩 Harker 图

Fig. 6 Harker diagrams for Indosinian lavas in Zhongdian arc

曹殿华等, 2009; 庞振山等, 2009; 李文昌等, 2009, 2011; 任江波, 2011; 任江波等, 2011b; 黄肖潇等, 2012), 峰值年龄为 215Ma 左右(任江波, 2011; 黄肖潇等, 2012), 与整个义敦弧岩浆活动的高峰期相吻合(侯增谦等, 2001)。

中甸地区广泛分布有晚三叠世以安山岩为主的钙碱性玄武岩和安山岩, 它们分别产出在曲嘎世组和图姆沟组地层中。其中, 安山岩主要分布在欧塞拉、总都变、迈东存、烂泥塘、霍迭喀、地苏嘎、欠虽和普朗地区(曾普胜等, 2006)。任江波(2011)测得中甸弧南部红山安山岩的形成年龄为 $213.4 \pm 2.2\text{Ma}$ (MSWD = 1.08), 与本研究测得的中甸弧北

部翁水安山岩(W S-01)的形成年龄 $211.1 \pm 1.5\text{Ma}$ (MSWD = 0.06) 比较接近, 两者均位于甘孜-理塘洋的俯冲时限(237 ~ 206Ma)范围内(侯增谦等, 2004), 再次证明了中甸地区发育晚三叠世的火山岩活动, 且火山岩与该区域的印支期成矿斑岩都是同时期形成的。

5.2 成因探讨

中甸弧印支期火山岩 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 、CaO 与 SiO_2 负相关性的变化(图6)可能暗示其在演化过程中经历了某种程度上的分离结晶作用。然而, Eu 微弱的负异常, 说明岩浆源区的

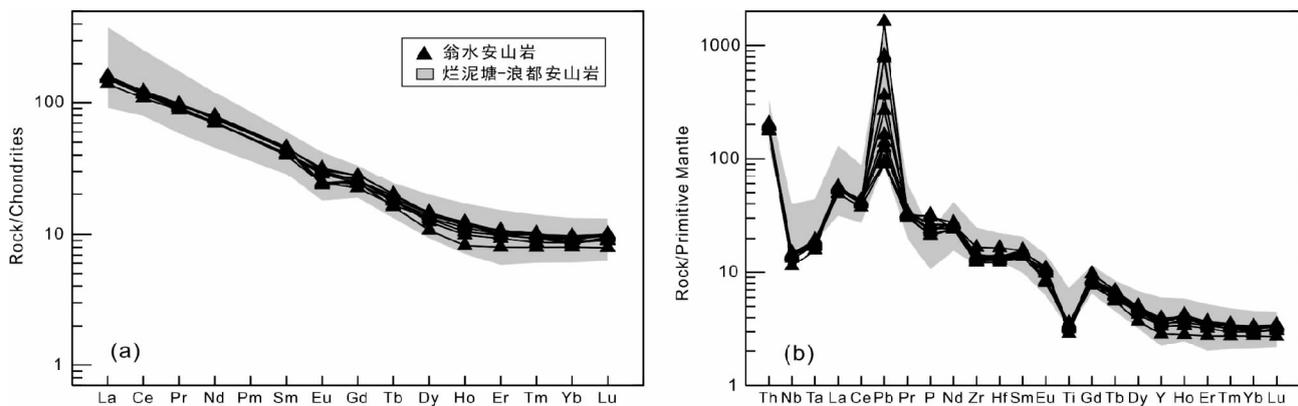


图7 中甸弧印支期火山岩球粒陨石标准化配分曲线(a)和微量元素原始地幔标准化配分曲线(b) (标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig.7 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider patterns (b) for Indosinian lavas in Zhongdian arc (normalized values after Sun and McDonough, 1989)

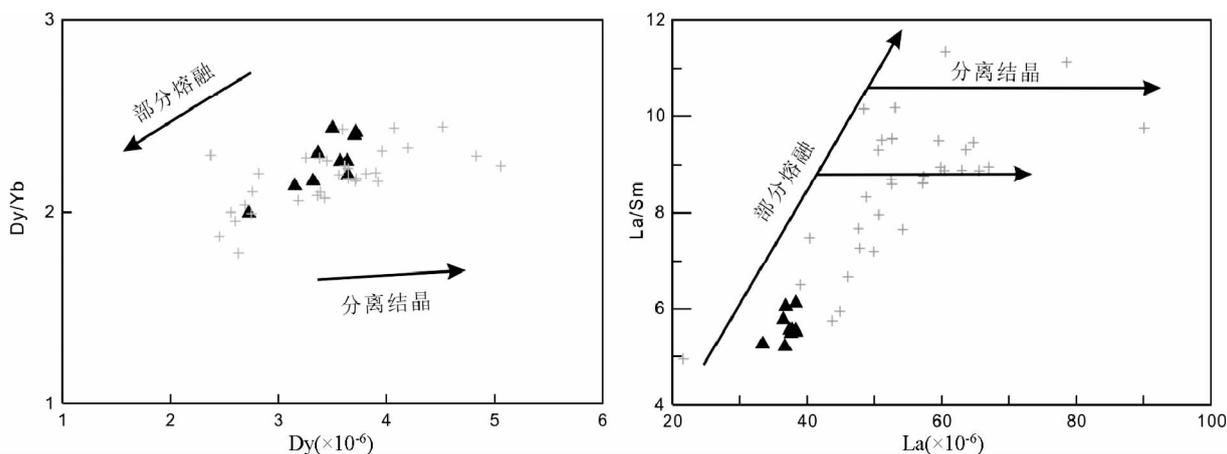


图8 中甸弧印支期火山岩 Dy/Yb-Dy 与 La/Sm-La 图 (据 Wang *et al.*, 2011)

Fig.8 Dy/Yb-Dy and La/Sm-La diagrams for Indosinian lavas in Zhongdian arc (after Wang *et al.*, 2011)

残留相中或分异的岩浆房中可能不含斜长石。此外,含钛矿物的分离可能造成 TiO_2 随 SiO_2 的增加而减少,且翁水和烂泥塘-浪都安山岩 Nb 和 Ta 的负异常与高的 Nb/Ta 比值(分别为 12.5 ~ 14.7, 10.6 ~ 16.6)可能反映了残留相中金红石、榍石的存在。但除个别外,中甸弧印支期火山岩 Nb/La(0.21 ~ 0.42)相对于 TiO_2 (0.6 ~ 1.6) 几乎没有变化,暗示 Nb-Ta 的负异常可能反映源区的特征而非分离结晶作用的结果(Huang *et al.*, 2009)。这些火山岩在 Dy/Yb 与 Dy 以及 La/Sm 与 La 的图上清晰的展示了部分熔融的趋势(图8),说明部分熔融作用而非分离结晶作用是中甸弧印支期火山岩形成的主要过程。

在 Th-Ta-Hf/3 图中(图9),翁水与烂泥塘-浪都安山岩均落入岛弧玄武岩的区域,而在 Zr/Y-Zr 图中,两者大部分落入大陆弧的区域,这表明两者都形成于一个大陆弧环境的构造背景下;结合翁水与烂泥塘-浪都安山岩相近的形成时代及相似的地球化学特征,认为它们很可能为同一构造-

岩浆事件的产物,是被流体交代的地幔楔,在后期发生部分熔融的产物。

5.3 构造背景

义敦弧位于金沙江缝合带和甘孜-理塘缝合带之间,因此义敦弧翁水地区的形成构造背景或许与这两者存在一定的联系。金沙江的形成演化历史和俯冲方向目前仍存在较大的争议。大多数学者认为,金沙江洋是在泥盆纪-石炭纪的过渡阶段开始打开,在早二叠世-晚二叠世的分界处开始俯冲(侯增谦和莫宣学, 1991; 莫宣学等, 1993; Wang *et al.*, 2000; 曲晓明和侯增谦, 2002); 对于俯冲的方向,一些学者认为金沙江洋壳为向东俯冲(张之孟和金蒙, 1979; Reid *et al.*, 2005), 但多数研究者倾向于向西俯冲(莫宣学等, 1993; 侯增谦和莫宣学, 1991; Wang *et al.*, 2000; 曲晓明和侯增谦, 2002), 他们认为甘孜-理塘洋盆是由于扬子地块西缘受到金沙江洋盆的强烈牵拉而在甘孜-理塘一带发生

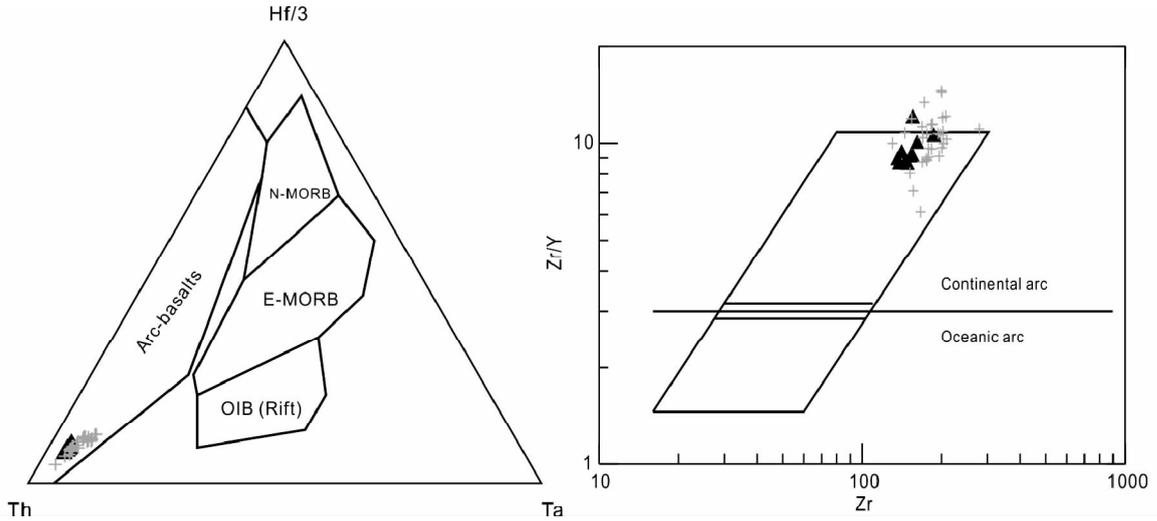


图9 中甸弧印支期火山岩 Th-Ta-Hf/3 与 Zr/Y-Zr 判别图 (据 Wood, 1980; Pearce, 1983)

N-MORB-正常的大洋中脊玄武岩; E-MORB-富集型大洋中脊玄武岩; OIB (Rift)-洋岛玄武岩 (裂谷); Arc-basalts-岛弧玄武岩; Continental arc-大陆弧; Oceanic arc-大洋弧

Fig. 9 Th-Ta-Hf/3 and Zr/Y-Zr discrimination diagrams for Indosinian lavas in Zhongdian arc (after Wood, 1980; Pearce, 1983)

断离形成的。金沙江的最终闭合普遍认为是在早-中三叠世,且不会晚于中三叠世 (Wang *et al.*, 2000; Reid *et al.*, 2005)。

潘桂堂等(2005)根据地层及古生物的研究认为,甘孜-理塘洋盆于晚二叠世开启,自南而北逐渐打开,洋盆主体形成时代为早三叠世-晚三叠世早期,洋壳俯冲于晚三叠世(中期),闭合于晚三叠世末期,在其西侧形成义敦弧带。另外,侯增谦等(2004)认为甘孜-理塘洋盆于早二叠世至早三叠世打开,其向西俯冲的高峰时间在中三叠世晚期;最新的研究结果也认同西金沙江-甘孜-理塘缝合带的闭合是西金沙江南向与甘孜-理塘洋西向俯冲作用的结果 (Yang *et al.*, 2012)。

本文的火山岩年龄及前人的中甸弧印支期中酸性侵入岩体的成岩时代的峰值在 215Ma 左右 (任江波, 2011; 黄肖潇等, 2012),与义敦弧花岗岩岩浆活动的高峰期一致 (侯增谦等, 2001),其活动时限也与义敦弧晚三叠世的弧火山岩相当,都分布在 228 ~ 213Ma。由此可知,它们均位于甘孜-理塘洋壳向西俯冲的时限 (237 ~ 206 Ma) 范围内 (Yang *et al.*, 2012; 侯增谦等, 2001, 2004),大部分晚于金沙江洋盆的闭合时限。再结合翁水安山岩形成的时代,我们认为翁水安山岩是晚三叠世诺利克期甘孜-理塘洋俯冲造山作用引发的岩浆活动的产物。

6 结论

(1) 高精度的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年,获得翁水安山岩的形成时代为 211.1 ± 1.5 Ma,表明中甸地区火山岩形成在晚三叠世,与该地区的成矿斑岩的形成时代相一致。

(2) 中甸弧翁水与烂泥塘-浪都安山岩具有典型岛弧火

山岩的成分特征,两者为同一构造-岩浆事件的产物,很可能是晚三叠世甘孜-理塘洋俯冲作用的岩浆活动产物。

致谢 云南省地质调查局李文昌教授和张世权高级工程师在样品采集等野外工作中给予了大量指导与帮助,笔者在此表示衷心感谢。

References

- Cao DH, Wang AJ, Huang YF *et al.* 2009. SHRIMP geochronology and Hf isotope composition of zircons from Xuejiping porphyry copper deposit, Yunnan Province. *Acta Geologica Sinica*, 83 (10): 1430 - 1435 (in Chinese with English abstract)
- Chen JL, Xu JF, Wang BD *et al.* 2010. Origin of Cenozoic alkaline potassic volcanic rocks at KonglongXiang, Lhasa terrane, Tibetan Plateau; Products of partial melting of a mafic lower-crustal source? *Chemical Geology*, 273 (3-4): 286 - 299
- Chen JL, Xu JF, Ren JB *et al.* 2011. Geochemical differences between the subduction- and collisional-type ore-bearing porphyritic rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 27 (9): 2733 - 2742 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZQ, Huang JN and Liang Z. 2008. Geochemical characteristics and zonation of primary halos of Pulang porphyry copper deposit, northwestern Yunnan Province, southwestern China. *Journal of China University of Geosciences*, 19 (4): 371 - 377
- Guo X, Du YS, Pang ZS *et al.* 2009. Characteristics of the ore-forming fluids in alteration zones of the Pulang porphyry copper deposit in Yunnan Province and its metallogenic significance. *Geoscience*, 23 (3): 465 - 471 (in Chinese with English abstract)
- Hastie AR, Kerr AC, Pearce JA and Mitchell SF. 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*, 48 (12): 2341 - 2357
- Hoskin PWO and Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53 (1): 27 - 62
- Hou ZQ and Mo XX. 1991. The evolution of Yidun island-arc and implications in the exploration of Kuroko-type volcanogenic massive

- sulphide deposits in Sanjiang area, China. *Earth Science*, 16(2): 154 – 164 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Qu XM, Zhou JR *et al.* 2001. Collision-orogenic processes of the Yidun arc in the Sanjiang Region; Record of granites. *Acta Geologica Sinica*, 75(4): 484 – 497 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Yang YQ, Qu XM *et al.* 2004. Tectonic evolution and mineralization systems of the Yidun arc orogen in Sanjiang region, China. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 109 – 120 (in Chinese with English abstract)
- Huang XL, Xu YG, Lan JB *et al.* 2009. Neoproterozoic adakitic rocks from Mopanshan in the western Yangtze Craton: Partial melts of a thickened lower crust. *Lithos*, 112(3–4): 367 – 381
- Huang XX, Xu JF, Chen JL *et al.* 2012. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of two periods of intermediate-acid intrusive rocks from Hongshan area in Zhongdian arc. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1493 – 1506 (in Chinese with English abstract)
- Li JK, Li WC, Wang DH *et al.* 2007. Re-Os dating for ore-forming event in the late of Yanshan Epoch and research of ore-forming regularity in Zhongdian Arc. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2415 – 2422 (in Chinese with English abstract)
- Li WC. 2007. The tectonic evolution of the Yidun island arc and the metallogenic model of the Pulang porphyry copper deposit, Yunnan, SW China. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English summary)
- Li WC, Yin GH, Lu YX *et al.* 2009. The evolution and ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic evidence of the Pulang complex in Zhongdian. *Acta Geologica Sinica*, 83(10): 1421 – 1429 (in Chinese with English abstract)
- Li WC, Zeng PS, Hou ZQ *et al.* 2011. The Pulang porphyry copper deposit and associated felsic intrusions in Yunnan Province, Southwest China. *Economic Geologists*, 105(1): 79 – 92
- Li WC, Yin GH, Yu HJ *et al.* 2011. The porphyry metallogenesis of Geza volcanic magmatic arc in NW Yunnan. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9): 2541 – 2552 (in Chinese with English abstract)
- Lin QC, Xia B and Zhang YQ. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the syn-collisional Xuejiping quartz diorite porphyrite in Zhongdian, Yunnan, China, and its geological implications. *Geological Bulletin of China*, 25(1–2): 133 – 137 (in Chinese with English abstract)
- Liu XL. 2009. Zhongdian island arc magmatic rocks geochemical characteristics and porphyry copper mineralization. Master Degree Thesis. Kunming: Kunming University of Science and Technology (in Chinese with English summary)
- Liu YS, Hu ZC, Gao S *et al.* 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257(1–2): 34 – 43
- Liu YS, Gao S, Hu ZC *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
- Ludwig KR. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. California: Berkeley Geochronology Center
- Mo XX, Lu FX, Hou ZQ *et al.* 1993. Sanjiang Tethyan Volcanism and Related Mineralization. Beijing: Geological Publishing House, 266 – 267 (in Chinese)
- Pan GT, Ding J, Wang LQ *et al.* 2005. The 1:1500000 Geological Map Specification of Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Area. 3. Chengdu: Chengdu Map Publishing House, 266 – 267 (in Chinese)
- Pang ZS, Du YS, Wang GW *et al.* 2009. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages, geochemistry and its implication of the Pulang complex in Yunnan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 159 – 165 (in Chinese with English abstract)
- Pearce JA. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth CJ and Norry MJ (eds.). *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Nantwich Cheshire: Shiva Publications, 230 – 249
- Qu XM and Hou ZQ. 2002. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of the Panyong pillow basalt: Implication for the evolution relationship between the Jinshajiang and Garze-Litang suture zones. *Geological Review*, 48(Suppl.): 115 – 121 (in Chinese with English abstract)
- Reid AJ, Wilson CJL and Liu S. 2005. Structural evidence for the Permo-Triassic tectonic evolution of the Yidun Arc, eastern Tibetan Plateau. *Journal of Structural Geology*, 27(1): 119 – 137
- Reid AJ, Wilson CJL, Liu S *et al.* 2007. Mesozoic plutons of the Yidun arc, SW China: U/Pb geochronology and Hf isotopic signature. *Ore Geology Review*, 31(1–4): 88 – 106
- Ren JB. 2011. The chronology, geochemistry and mineralizing significance of porphyry copper deposits in Zhongdian island arc. Master Degree Thesis. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English summary)
- Ren JB, Xu JF, Chen JL *et al.* 2011a. Geochemistry and petrogenesis of Pulang porphyries in Sanjiang region. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(4): 581 – 592 (in Chinese with English abstract)
- Ren JB, Xu JF and Chen JL. 2011b. Zircon geochronology and geological implications of ore-bearing porphyries from Zhongdian arc. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9): 2591 – 2599 (in Chinese with English abstract)
- Ren T, Zhong H, Chen JF *et al.* 2011. Geochemical characteristics of the Langdu high-K intermediate-acid intrusive rocks in the Zhongdian area, Northwest Yunnan Province, P. R. China. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(1): 43 – 54 (in Chinese with English abstract)
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Oceanic Basins*. Geological Society, London, Special Publication, 42(1): 313 – 345
- Wang BQ, Zhou MF, Li JW *et al.* 2011. Late Triassic porphyritic intrusions and associated volcanic rocks from the Shangri-La region, Yidun terrane, eastern Tibetan Plateau: Adakitic magmatism and porphyry copper mineralization. *Lithos*, 127(1–2): 24 – 38
- Wang SX, Zhang XC, Qin CJ *et al.* 2007. Fluid inclusions in quartz veins of Pulang porphyry copper deposit, Zhongdian, northwestern Yunnan, China. *Geochimica*, 36(5): 467 – 478 (in Chinese with English abstract)
- Wang XF, Metcalfe I, Jian P *et al.* 2000. The Jinshajiang-Ailaoshan suture zone, China: Tectonostratigraphy, age and evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6): 675 – 690
- Wang XS, Bi XW, Leng CB *et al.* 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of granite porphyry in the Hongshan Cu-polymetallic deposit, Zhongdian, Northwest Yunnan, China and its geological implication. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(3): 315 – 321 (in Chinese with English abstract)
- Winchester JA and Floyd PA. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325 – 343
- Wood DA. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50(1): 11 – 30
- Yang TN, Hou ZQ, Wang Y *et al.* 2012. Late Paleozoic to Early Mesozoic tectonic evolution of northeast Tibet: Evidence from the Triassic composite western Jinsha-Garze-Litang suture. *Tectonics*, 31(4): 1 – 20
- Yang YQ, Hou ZQ, Huang DA *et al.* 2002. Collision orogenic process and magmatic metallogenic system in Zhongdian arc. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(1): 17 – 24 (in Chinese with English abstract)
- Zeng PS, Mo XX, Yu XH *et al.* 2003. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, northwestern Yunnan. *Mineral Deposits*, 22(4): 393 – 400 (in Chinese with English abstract)
- Zeng PS, Hou ZQ, Wang HP *et al.* 2004. Re-Os dating of the Pulang porphyry copper deposit in Zhongdian, NW Yunnan, and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 604 – 609
- Zeng PS, Wang HP, Mo XX *et al.* 2004. Tectonic setting and prospects

of porphyry copper deposits in Zhongdian island arc belt. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(5): 535–540 (in Chinese with English abstract)

Zeng PS, Li WC, Wang HP *et al.* 2006. The indosinian Pulang superlarge porphyry copper deposit in Yunnan, China; Petrology and chronology. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 989–1000 (in Chinese with English abstract)

Zhang ZM and Jin M. 1979. Two kinds of melange and their tectonic significance in Xiangcheng-Derong area, southwestern Sichuan. *Scientia Geologica Sinica*, (3): 205–214

附中文参考文献

曹殿华, 王安建, 黄玉凤等. 2009. 中甸弧雪鸡坪斑岩铜矿含矿斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成. *地质学报*, 83(10): 1430–1435

陈建林, 许继峰, 任江波等. 2011. 俯冲型和碰撞型含矿斑岩地球化学组成的差异. *岩石学报*, 27(9): 2733–2742

郭欣, 杜杨松, 庞振山等. 2009. 云南普朗斑岩铜矿蚀变带成矿流体特征及其成矿意义. *现代地质*, 23(3): 465–471

侯增谦, 莫宣学. 1991. 义敦岛弧的形成演化及其对“三江”地区块状硫化物矿床的控制作用. *地球科学*, 16(2): 154–164

侯增谦, 曲晓明, 周继荣等. 2001. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录. *地质学报*, 75(4): 484–497

侯增谦, 杨岳清, 曲晓明等. 2004. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统. *地质学报*, 78(1): 109–120

黄肖潇, 许继峰, 陈建林等. 2012. 中甸岛弧红山地区两期中酸性侵入岩的年代学、地球化学特征及其成因. *岩石学报*, 28(5): 1493–1506

李建康, 李文昌, 王登红等. 2007. 中甸弧燕山晚期成矿事件的 Re-Os 定年及成矿规律研究. *岩石学报*, 23(10): 2415–2422

李文昌. 2007. 义敦岛弧构造演化与普朗超大型斑岩铜矿成矿模型. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学

李文昌, 尹光侯, 卢映祥等. 2009. 中甸普朗复式斑岩体演化及⁴⁰Ar-³⁹Ar同位素依据. *地质学报*, 83(10): 1421–1429

李文昌, 尹光侯, 余海军等. 2011. 滇西北格咱火山-岩浆弧斑岩成矿作用. *岩石学报*, 27(9): 2541–2552

林清茶, 夏斌, 张玉泉. 2006. 云南中甸地区雪鸡坪同碰撞石英闪长玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义. *地质通报*, 25(1–2):

133–137

刘学龙. 2009. 中甸岛弧岩浆岩地球化学特征及斑岩型铜矿成矿研究. 硕士学位论文. 昆明: 昆明理工大学

莫宣学, 路凤香, 侯增谦等. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿. 北京: 地质出版社, 266–267

潘桂堂, 丁俊, 王立全等. 2005. 青藏高原及邻区地质图(1:1500000)说明书. 3. 成都: 成都地图出版社, 75–76

庞振山, 杜杨松, 王功文等. 2009. 云南普朗复式岩体锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征及其地质意义. *岩石学报*, 25(1): 159–165

曲晓明, 侯增谦. 2002. 从潘拥枕状玄武岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄论金沙江缝合带和甘孜-理塘缝合带的演化关系. *地质评论*, 48(增刊): 115–121

任江波. 2011. 中甸岛弧成矿斑岩和矿床的年代学、地球化学研究. 硕士学位论文. 北京: 中国科学院研究生院

任江波, 许继峰, 陈建林等. 2011a. “三江”地区中甸弧普朗成矿斑岩地球化学特征及其成因. *岩石矿物学杂志*, 30(4): 581–592

任江波, 许继峰, 陈建林. 2011b. 中甸岛弧成矿斑岩的锆石年代学及其意义. *岩石学报*, 27(9): 2591–2599

任涛, 钟宏, 陈金法等. 2011. 云南中甸地区浪都高钾酸性侵入岩的地球化学特征. *矿物学报*, 31(1): 43–54

王守旭, 张兴春, 秦朝建等. 2007. 滇西北中甸普朗斑岩铜矿流体包裹体初步研究. *地球化学*, 36(5): 467–478

王新松, 毕献武, 冷成彪等. 2011. 滇西北中甸红山 Cu 多金属矿床花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义. *矿物学报*, 31(3): 315–321

杨岳清, 侯增谦, 黄典豪等. 2002. 中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统. *地球学报*, 23(1): 12–24

曾普胜, 莫宣学, 喻学惠等. 2003. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿. *矿床地质*, 22(4): 393–400

曾普胜, 王海平, 莫宣学等. 2004. 中甸岛弧带构造格架及斑岩铜矿前景. *地球学报*, 25(5): 535–540

曾普胜, 李文昌, 王海平等. 2006. 云南普朗印支期超大型斑岩铜矿床: 岩石学及年代学特征. *岩石学报*, 22(4): 989–1000

张之孟, 金蒙. 1979. 川西南乡城-得荣地区的两种混杂岩及其构造意义. *地质科学*, (3): 206–214