

滇西双江县勐库地区湾河蛇绿混杂岩的形成时代、岩石地球化学特征及地质意义

刘桂春^{1,2}, 孙载波¹, 曾文涛¹, 冯庆来², 黄亮¹, 张虎¹

(1. 云南省地质调查院, 云南 昆明 650216; 2. 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)

摘要: 在铜厂街蛇绿混杂岩带东侧的湾河-勐库-大南美一线新近厘定了一条早古生代的蛇绿混杂岩——湾河蛇绿混杂岩。现存岩石有多硅白云母石英片岩、绿片岩-斜长角闪片岩、英云闪长岩-斜长岩、纹层状斜长角闪岩-变质堆晶辉长岩、退变质榴辉岩等。代表了蛇绿岩套的远洋沉积、洋底玄武岩、浅色岩系、镁铁质堆晶杂岩、高压-超高压变质岩。在双江县勐库乡北忙那河剖面上的堆晶斜长岩中获得了 470.8 ± 5.3 Ma 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄值, 表明湾河蛇绿混杂岩形成于早古生代。本文以忙那河剖面上的资料为例, 详细介绍了湾河蛇绿混杂岩中岩浆岩的主量元素、稀土元素及微量元素地球化学特征。研究表明, 其可划分为 2 类: ① 浅色岩系, 其 $\text{SiO}_2 = 57.00\% \sim 69.68\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 1.36\% \sim 6.38\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.26\% \sim 2.45\%$, 平均 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 10.12$, 为典型的钠质花岗岩, 具有 LREE 强烈富集的“L”型稀土元素配分曲线, 主要为斜长岩-英云闪长岩。② 基性岩类, 其 $\text{SiO}_2 = 48.72\% \sim 53.72\%$, $\text{TiO}_2 = 0.75\% \sim 1.96\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.45\% \sim 1.29\%$, 具有 LREE 亏损-弱富集的稀土元素配分曲线, 与洋脊-准洋脊型玄武岩相当。在 Hf-Th-Nb-Nb-Zr-Y 图解中, 样品落在洋脊玄武岩区(MORB)-岛弧钙碱性玄武岩区(CBA)/火山弧玄武岩区。从总体上看, 忙那河剖面上的样品具有洋脊-准洋脊玄武岩的特点, 同时又具有一些弧火山岩的特征, 类似所谓的弧前玄武岩, 或类洋中脊玄武岩, 暗示了昌宁-孟连构造带上的原特提斯大洋盆地在早奥陶世晚期达到了鼎盛, 开始出现了洋壳的俯冲消减作用。随后, 沿铜厂街-牛井山一线的古特提斯洋盆迅速扩张, 完成了从原特提斯洋向古特提斯洋的继承性演化。

关键词: 湾河蛇绿混杂岩; 类洋中脊玄武岩; 原特提斯洋; 古特提斯洋; 继承性演化

中图分类号: P595; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)02-0163-12

The age of Wanhe ophiolitic mélange from Mengku area, Shuangjiang County, western Yunnan Province, and its geological significance

LIU Gui-chun^{1,2}, SUN Zai-bo¹, ZENG Wen-tao¹, FENG Qing-lai², HUANG Liang¹ and ZHANG Hu¹

(1. Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650216, China; 2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The Wanhe ophiolitic mélange is redefined along the Wanhe-Mengku-Dananmei line. It is located on the eastern side of the Tongchangjie ophiolitic mélange of Paleotethys in southwestern Yunnan Province. The rocks are composed of phengite-bearing quartz schist, green-schist and amphibolite schist, tonalite and plagioclase, laminated amphibolite and gabbros, and retrograded eclogite, respectively equivalent to pelagic sediments, sea-floor basalt, leucocrate, mafic cumulate rock and HP-UHP pyroclite in the ophiolite suite. The LA-ICP-MS U-Pb zircon age of 470.8 ± 5.3 Ma indicates that the Wanhe ophiolitic mélange was formed in Early Paleozoic. Based on cumulate plagioclase in Mannahe section at northern Mengku Town in Shuangjiang County,

收稿日期: 2016-06-15; 接受日期: 2017-02-07

基金项目: 云南区域地质调查片区总结与服务产品开发(DD20160345-02); 云南省科技领军人才培养计划项目(2013HA001); 中国地质调查局地质调查项目(12120114014601); 国家自然科学基金项目(41672222)

作者简介: 刘桂春(1982-), 男, 工程师, 博士研究生, 从事区域地质调查工作, E-mail: liuguichun15@sina.com。

the authors described the characteristics of major elements, REE and trace elements from igneous rocks in the Wanhe ophiolitic mélange. All igneous rocks could be divided into two types: ① leucorate, with the data $\text{SiO}_2 = 57.00\% \sim 69.68\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 1.36\% \sim 6.38\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.26\% \sim 2.45\%$, and average $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 10.12$, thus belonging to typical sodium granite with rich LREE and “L” distribution patterns. ② basic rocks, with the data $\text{SiO}_2 = 48.72\% \sim 53.72\%$, $\text{TiO}_2 = 0.75\% \sim 1.96\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.45\% \sim 1.29\%$, and depleted-slightly enriched LREE distribution patterns, similar to features of MORB or E-MORB; in the diagrams of Th-Hf-Nb and Nb-Zr-Y, the samples fall into MORB-CBA/arc-volcanic basalt. On the whole, the samples from Mangnahe section at northern Mengku Town in Shuangjiang County correspond to MORB or E-MORB and, what is more, there exist some arc-volcanic characteristics, which are similar to features of FAB (forearc basalt), or MORB-like basalt. H-Mg and Nb-rich basalt indicates that Proto-Tethys Ocean experienced its peak of development in late Early Ordovician, followed subsequently by ocean crust's subduction in Changning-Menglian tectonic belt. Afterwards, Paleotethys Ocean accomplished inheritance evolution from Proto-Tethys Ocean through the rapid spreading of Mid Ocean Ridge along Tongchangjie to Niujingshan area.

Key words: Wanhe ophiolitic mélange; MORB-like basalt; proto-Tethys Ocean; Paleotethys Ocean; inheritance evolution

Fund support: District Summary and Service Product Development of Yunnan Region Geologic Survey (DD20160345-02); Yunnan Science and Technology Leader Training Program(2013HA001); China Geological Survey Project(12120114014601); China Natural Science Foundation(41672222)

众所周知,滇西地区昌宁-孟连构造带被国内外的许多专家、学者认为是滇西地区晚古生代古特提斯洋盆的主洋盆(刘本培,1992;刘本培等,1993; Metcalfe,1994;莫宣学等,1998;钟大赉,1998;崔春龙等,1999),并从沉积作用、岩浆作用等诸多方面提供了详实的证据;普遍认为铜厂街蛇绿混杂岩代表了这一洋盆关闭后的残迹(李静,2003;云南省地质调查院,2003^①;段向东,2013)。同时也有许多学者认为该区域存在原特提斯洋盆(莫宣学等,1993,1998;潘桂棠等,1996,1997),但对该地区原特提斯洋盆的表现形式、原特提斯洋盆何时打开?原特提斯洋盆与古特提斯洋盆的演化关系等诸多基础性问题一直鲜有研究者提及。

近些年来,在滇西地区发现了越来越多的早古生代火山-沉积作用、中酸性岩浆侵入作用记录;在云县-澜沧一带发现了早古生代岛弧型火山岩(沈上越等,2008; Nie *et al.*, 2015),及具有 N-MORB 型地球化学性质的辉长岩(王保弟等,2013);在保山地块周边发现有早古生代中酸性岩浆的侵入及喷出活动的记录(Chen *et al.*, 2007; Song *et al.*, 2007; 董美玲等,2012; Dong *et al.*, 2013; 李再会等,2013)。这些信息都显示了在滇西昌宁-孟连构造带

上应该存在着一套与早古生代洋盆演化相关的物质记录,但其中最关键的、代表洋盆关闭后的残迹——早古生代蛇绿岩带一直未能找到,成为深化滇西地区大地构造演化研究的瓶颈。

近年来的 1:5 万区域地质调查工作中,对前人厘定的湾河蛇绿混杂岩进行了详细的分解、追索填图,认为湾河蛇绿混杂岩向北至少可延伸 10 余千米至嘎告一带;且向北至云县头道水附近仍有出露,并还有继续向北延伸的趋势(图 1)。同时,在控角、那卡河等地的湾河蛇绿混杂岩中发现了多个规模不等的退变质榴辉岩构造岩片(李静等,2015)。

本文是在野外地质调查及初步的岩相学研究的基础上,对湾河蛇绿混杂岩的同位素年代学、岩石地球化学特征进行初步研究,讨论其形成的大地构造背景、与铜厂街蛇绿混杂岩的关系,及其在滇西地区大地构造演化研究中的意义。

1 区域地质背景

滇西双江县湾河蛇绿混杂岩为 1:25 万临沧、滚龙幅发现并命名(云南省地质调查院,2003^①),主要出露于双江县湾河-银厂河一带,南北延伸约 25 km,

① 云南省地质调查院. 2003. 云南 1:25 万临沧幅、滚龙幅区域地质调查报告.

为临沧花岗岩基内的一个巨大捕虏体；并认为是铜厂街蛇绿混杂岩经构造改造、花岗岩浆顶托等作用形成的构造岩片。

2014~2016 年，云南省地质调查院在进行“云南 1:5 万耿马县、香竹林、勐库等 7 幅区域地质调查”项目的工作中，对蛇绿混杂岩按照岩石成因组合进行

填图，并进行了较为系统的野外追索、剖面测制。初步的野外研究表明，湾河蛇绿混杂岩与铜厂街蛇绿混杂岩在空间分布、物质组成、成矿作用、形成年代上都存在一定差异，应该分别代表了早古生代、晚古生代两个不同地史时期的洋盆残留的产物(图 1)。

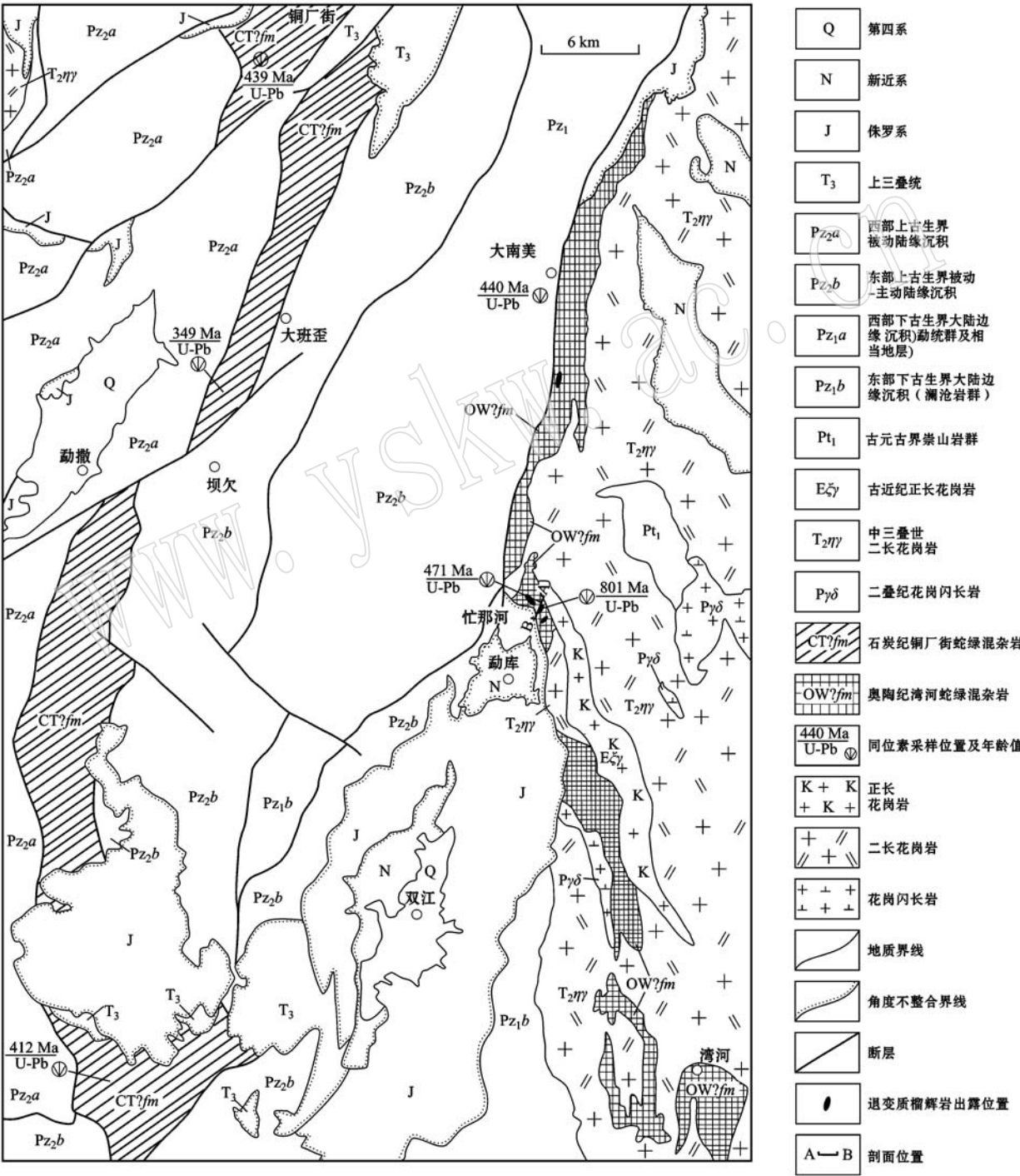


图 1 研究区地质简图
Fig. 1 Geological map of the study area

本次测制了忙那河剖面(PM29),对湾河蛇绿混杂岩进行研究。该剖面混染岩主要岩石类型有层状-纹层状斜长角闪岩-堆晶辉长岩、绿片岩-斜长角闪片岩、斜长岩-英云闪长岩、多硅白云母石英片岩,偶见退变质榴辉岩岩片(图 2)。部分地段构造改造较为强烈,总体上属一套浅变质、局部强变形的镁铁质堆晶杂岩-洋底玄武岩组合;多硅白云母石英片岩的原岩很可能是远洋硅-泥质沉积,并经历了高压-超高压变质作用的改造(李静未发表资料)。从总体上看,忙那河剖面的下部以变质辉长岩、斜长角闪岩等

基性岩类为主,偶见退变质榴辉岩残片,向上斜长岩、英云闪长岩等浅色岩系逐渐增加,并出现一些多硅白云母石英片岩构造透镜体。按照标准蛇绿岩套的成因类型进行恢复,其原岩可能包括了高压-超高压地幔岩、镁铁质堆晶杂岩、浅色岩系、洋底玄武岩、远洋硅-泥质沉积等单元。用于同位素年代学研究的样品为剖面中部第 17 层的堆晶斜长岩,位于一个由下至上镁铁质等暗色矿物逐渐减少、长英质矿物逐渐增加的火成堆积层序的上部(图 3)。

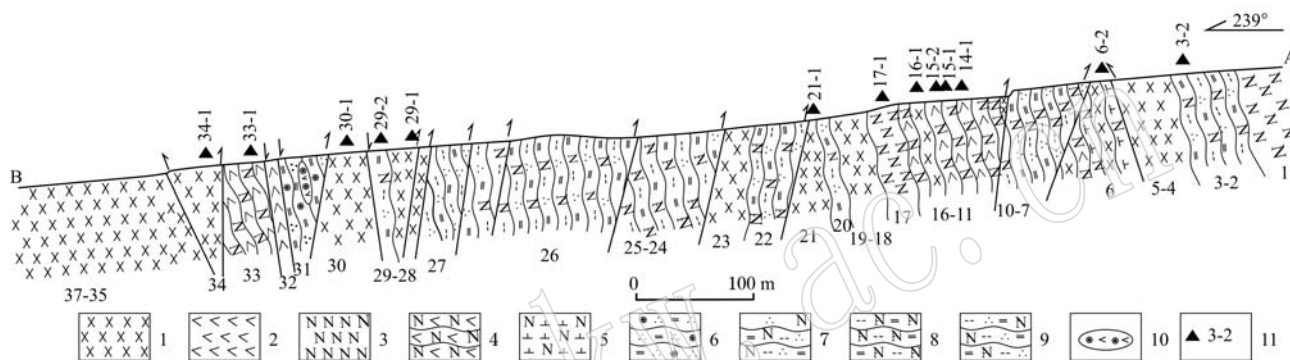


图 2 忙那河湾河蛇绿混杂岩剖面图

Fig. 2 Geological cross section of the Wanhe ophiolite mélange along Mangna River

1—堆晶辉长岩; 2—角闪岩; 3—斜长岩; 4—斜长角闪岩; 5—英云闪长岩; 6—含石榴白云石英片岩; 7—二云石英片岩;

8—二云钠长片岩; 9—二云钠长石英片岩; 10—退变质榴辉岩透镜体; 11—采样位置及编号

1—cumulate gabbro; 2—hornblende; 3—plagioclase; 4—amphibolites; 5—tonalite; 6—garnet-bearing muscovite quartz schist; 7—two mica quartz schist; 8—two mica albite schist; 9—two mica albite quartz schist; 10—retrograded eclogite lens; 11—sampling location and its serial number



图 3 进行同位素年代学测试的斜长岩野外产状

Fig. 3 Field attitude of plagioclase for geochronology

其余用于主元素、稀土元素及微量元素地球化学研究的样品大致均匀分布于整条剖面上(图 2)。现存岩石类型包括堆晶辉长岩、斜长角闪岩、斜长岩、变质辉长岩、斜长角闪片岩、绿帘钠长片岩等(表 2)。

2 样品分析方法

锆石单矿物分选在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司实验室完成,在严格避免污染的条件下,采用常规重力及电磁分选,然后在双目镜下手工挑纯。制靶后的锆石在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验的 HITACHI S3000-N 型扫描电子显微镜上进行阴极发光(CL)观察,并利用 LA-ICP-MS 对锆石微区 U-Pb 同位素测定和锆石的微量元素含量同时分析完成,激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a 型。详细的仪器操作条件和数据处理方法同相关文献(Liu *et al.*, 2007, 2010)。数据校正采用锆石 91500 参数(Liu *et al.*, 2010),年龄计算采用 ICP-MS DataCa 完成,谐和图绘制和加权平均年龄计算均采用 Isoplot/Ex-ver3(Ludwig, 2003)完成。

主量元素和微量元素在中国地质大学(武汉)地

质过程与矿产资源国家重点实验完成。主量元素采用 XRF 法、微量元素采用 ICP-MS 测定。微量元素样品在高压溶样弹中用 HNO_3 和 HF 混合酸溶解 2 天后,用 VG Plasma-Quad Excell ICP-MS 方法测试完成,详细的分析流程见 Liu 等(2008)。

3 锆石 U-Pb 年代学

用于同位素年代学研究的锆石采自剖面 17 层的堆晶斜长岩,锆石颗粒普遍较小(图 4),大多数为

50~120 μm , 多为柱状自形晶,长/宽 = 1:1~2:1。绝大多数颗粒内部具有与晶体边界一致的岩浆结晶震荡 CL 环带,环带总体上较宽;在 8、10、12、24 等部分颗粒中还发育有扇面现象,它是同一时期不同晶体生长面上成分的差异造成的;多数锆石在核部、幔部均可包含一些具有明显岩浆结晶震荡 CL 环带的继承性锆石;少数颗粒的核部继承性锆石中 CL 环带发育较弱,可能受后期变质作用影响,可能属古老岩浆成因的继承锆石,以 20、22 号样品最为典型(图 4)。部分颗粒边部发育有 5~10 μm 宽的变质增长边。

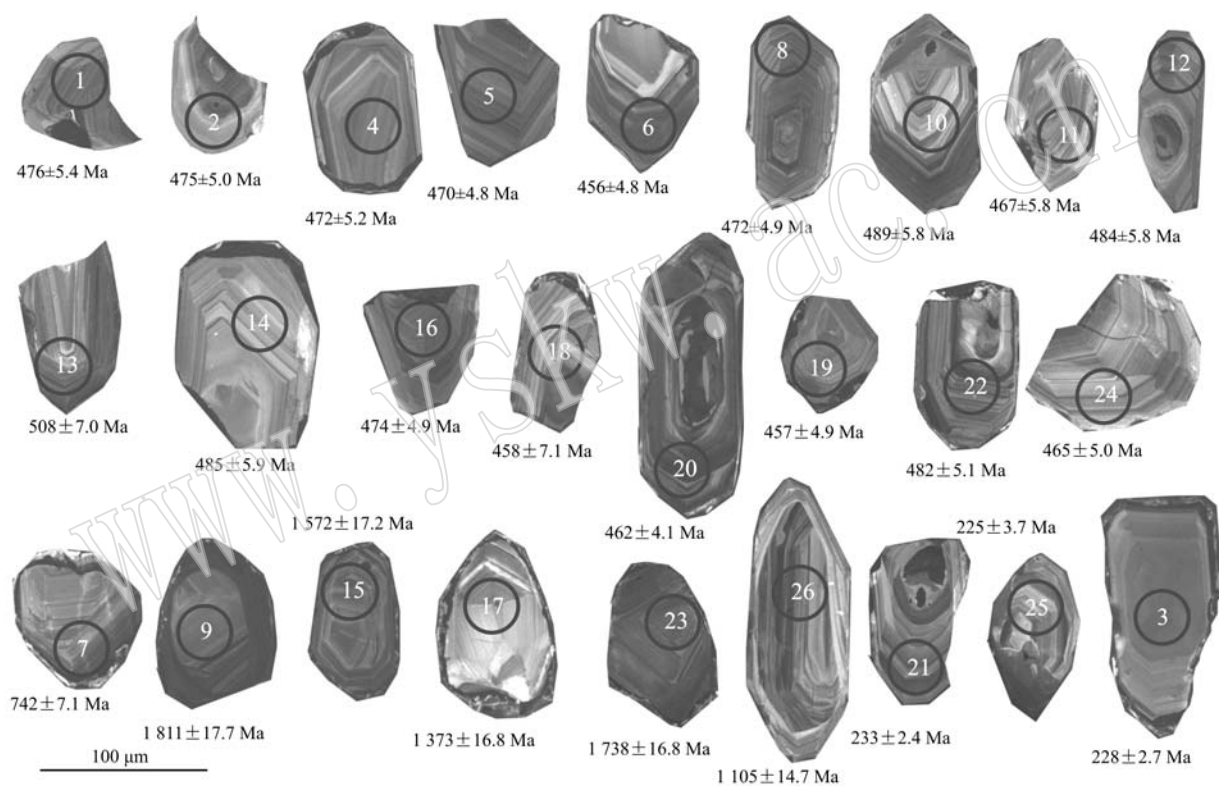


图 4 湾河蛇绿混杂岩中斜长岩的锆石 CL 图像

Fig. 4 CL images of zircons from plagioclase of Wanhe ophiolitic mélange

本次共进行了 26 个锆石颗粒的测定,其中 3 个颗粒给出了 225~233 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄,加权平均值为 229.6 ± 9 Ma; 6 个颗粒给出了 742~1821 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄;其余的 17 个颗粒给出了 456~508 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄(表 1),加权平均值为 470.8 ± 5.3 Ma, MSWD=3.6(图 5)。

第 1 组年龄值与区域上规模巨大的临沧花岗岩基的同碰撞型二长花岗岩的侵位时代基本一致,应属这次构造-热事件的反映;第 2 组年龄跨度较大,应属岩浆作用过程中捕获的不同时期的古老锆石;

第 3 组年龄值较为集中,应该代表了斜长岩结晶的年龄。

一般认为,岩浆成因锆石的 Th/U 比值大于 0.3,且 Th 和 U 之间具有明显的正相关性,而变质重结晶锆石 Th/U 比值则小于 0.1(Hoskin and Black, 2000; 吴元保等, 2004)。按照这一判别准则,除 26 号颗粒的 Th/U 为 0.19,不能判断外,其余 25 个颗粒的 Th/U=0.35~1.46,均属岩浆锆石。目前的锆石同位素年代学研究中,对锆石成因的复杂性以及锆石 U-Pb 同位素体时钟体系在后期构造-热事

表 1 湾河蛇绿混杂岩中斜长岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data from accumulate plagioclase of Wanhe ophiolitic mélange

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
					1σ		1σ		1σ		1σ		1σ		1σ	
01	96	172	352	0.49	0.057 1	0.001 5	0.606 9	0.016 5	0.076 7	0.000 9	498	59.3	482	10.4	476	5.4
02	74	130	274	0.48	0.056 5	0.001 8	0.596 3	0.018 3	0.076 5	0.000 8	472	72.2	475	11.7	475	5.0
03	113	443	668	0.66	0.053 0	0.001 7	0.264 8	0.009 0	0.036 0	0.000 4	328	74.1	239	7.2	228	2.7
04	163	323	405	0.80	0.055 8	0.001 5	0.587 0	0.014 9	0.075 9	0.000 9	456	57.4	469	9.5	472	5.2
05	129	227	415	0.55	0.055 9	0.001 6	0.586 3	0.015 9	0.075 6	0.000 8	456	63.0	468	10.2	470	4.8
06	201	386	526	0.73	0.058 5	0.001 7	0.597 0	0.017 6	0.073 3	0.000 8	546	63	475	11.2	456	4.8
07	313	348	488	0.71	0.065 4	0.001 5	1.107 3	0.023 9	0.121 9	0.001 2	787	48.1	757	11.5	742	7.1
08	144	259	465	0.56	0.057 0	0.001 3	0.601 8	0.014 3	0.076 0	0.000 8	500	51.8	478	9.1	472	4.9
09	472	220	261	0.84	0.109 1	0.001 9	4.953 3	0.103 7	0.326 4	0.004 3	1 787	31.6	1 811	17.7	1821	20.7
10	71	124	199	0.62	0.056 0	0.001 8	0.610 5	0.019 4	0.078 8	0.001 0	454	65.7	484	12.3	489	5.8
11	118	215	282	0.76	0.056 9	0.001 8	0.592 2	0.019 6	0.075 2	0.001 0	487	77	472	12.5	467	5.8
12	154	254	435	0.58	0.059 3	0.001 5	0.640 0	0.016 7	0.078 0	0.001 0	589	53.7	502	10.3	484	5.8
13	73	123	228	0.54	0.055 5	0.001 8	0.629 8	0.020 5	0.082 0	0.001 2	432	70.4	496	12.8	508	7.0
14	83	148	215	0.69	0.054 3	0.001 7	0.583 8	0.017 5	0.078 1	0.001 0	389	63.9	467	11.2	485	5.9
15	448	245	333	0.74	0.100 1	0.002 0	3.703 7	0.079 9	0.266 5	0.003 6	1 628	36.0	1 572	17.3	1 523	18.2
16	131	231	494	0.47	0.054 1	0.001 3	0.573 9	0.014 9	0.076 3	0.000 8	376	55.6	461	9.6	474	4.9
17	421	272	187	1.46	0.085 7	0.002 0	2.867 0	0.063 9	0.241 3	0.002 4	1 331	44.4	1 373	16.8	1 393	12.4
18	71	127	265	0.48	0.057 6	0.002 1	0.585 9	0.020 5	0.073 6	0.001 2	522	80.4	468	13.1	458	7.1
19	162	296	556	0.53	0.057 0	0.001 5	0.581 0	0.015 4	0.073 5	0.000 8	500	57.4	465	9.9	457	4.9
20	447	846	941	0.90	0.055 6	0.001 1	0.575 3	0.012 0	0.074 3	0.000 7	435	44.4	461	7.7	462	4.1
21	51	180	511	0.35	0.049 5	0.001 4	0.251 9	0.007 1	0.036 7	0.000 4	172	68.5	228	5.7	233	2.4
22	209	385	463	0.83	0.061 0	0.001 9	0.655 7	0.019 3	0.077 6	0.000 9	639	69.3	512	11.9	482	5.1
23	512	236	298	0.79	0.103 0	0.001 9	4.540 9	0.085 3	0.316 3	0.003 3	1 680	28.9	1 738	15.7	1 772	16.3
24	70	119	280	0.42	0.058 0	0.001 5	0.602 2	0.015 5	0.074 9	0.000 8	528	54.6	479	9.8	465	5.0
25	51	193	398	0.49	0.051 0	0.001 8	0.250 4	0.008 9	0.035 6	0.000 6	239	83	227	7.2	225	3.7
26	130	68	363	0.19	0.075 7	0.001 5	1.967 7	0.042 8	0.186 5	0.002 2	1 088	38.9	1 105	14.7	1 102	12.1

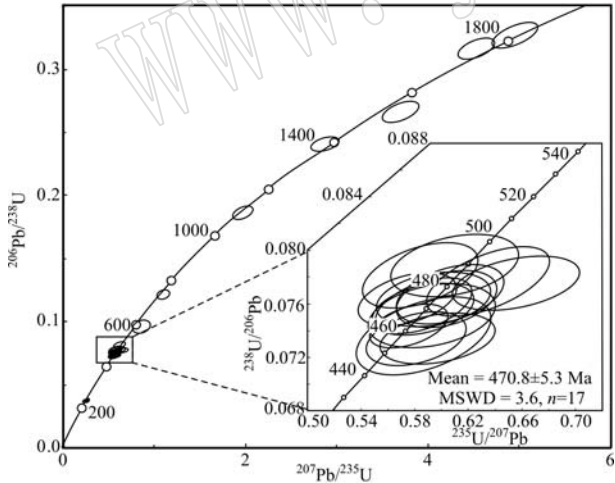


图 5 湾河蛇绿混杂岩中斜长岩的锆石 U-Pb 年龄协和图
Fig. 5 Zircon U-Pb concordia from plagioclase of Wanhe ophiolitic mélange

件中的“重置”往往认识不足,解释不尽合理。本例中第 1 组、第 3 组锆石的 $\text{Th}/\text{U}=0.35\sim0.66$,按前述判定准则均属岩浆锆石,即在一块 3 kg 的岩石样品上有 $t_1=470.8\pm5.3\text{ Ma}$, $t_2=229.5\pm9\text{ Ma}$ 两期

岩浆锆石,暗示斜长岩经历了两次岩浆过程,显然不符合逻辑,也与已知的地质事实不符。第 1 组年龄值应该解释为由 t_1 至 t_2 时刻通过 U 的放射性衰变积累的放射成因铅由于 t_2 时刻的构造-热事件的扰动而全部丢失,目前测定的放射成因铅是 t_2 之后积累的,相应的年龄值为 t_2 构造-热事件结束、锆石 U-Pb 同位素时钟开始“重启”的时间。如果构造热-事件的扰动较弱,早期积累的放射成因铅仅是部分丢失,则所获年龄将是介于早期岩浆结晶年龄与后期构造-热事件年龄之间的某个无任何地质意义的数值。

综上所述,470.8 Ma 的年龄值应属湾河蛇绿混杂岩中堆晶斜长岩的成岩年龄,在北部大南美一带湾河蛇绿混杂岩中的绿片岩中也获得了 440 Ma 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄。表明湾河蛇绿混杂岩总体上形成于早古生代,其代表了昌宁-孟连构造带上早古生代洋盆闭合后的残迹;这一新认识为滇西特提斯构造演化研究开辟了一个新的领域和方向,也为这一地区早古生代地史时期的成矿地质背景研究提供了素材。

4 地球化学特征

4.1 主量元素

忙那河剖面各类岩石的主量元素分析结果按 11 项氧化物标准化并进行全铁的调整后的数值如表 2 所示,结合微量元素分析成果(表 2),可划分为两类岩石:①以 PM29-6-2、PM29-15-2、PM29-17-1、PM29-29-2 为代表,其 $\text{SiO}_2 = 57.00\% \sim 69.68\%$, $\text{MgO} = 2.75\% \sim 3.85\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3.81\% \sim 6.64\%$,平均 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 10.12$,为典型的钠质花岗岩,属蛇绿混杂岩中的浅色岩系。从野外地质产状分析,大多数为堆晶成因,少数可能为成岩过程中形成的浅色脉体(PM-029-15-2),属岩浆冷凝共结成因;②其余样品的 $\text{SiO}_2 = 47.51\% \sim 53.72\%$,属基性岩类,其绝大多数样品 $\text{MgO} = 5.51\% \sim 7.78\%$, $\text{TiO}_2 = 0.75\% \sim 1.96\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.45\% \sim 1.60\%$,类似于大洋低钾拉斑玄武岩;但其 Al_2O_3 普遍较高($14.67\% \sim 16.88\%$),接近岛弧环境中常见的高铝玄武岩($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 17\%$);其 $\text{Mg}^\# = 54 \sim 69$,属分异演化程度较低的岩浆。在 $\text{SiO}_2 - \text{FeO}_t/\text{MgO}$ 图解中,①类岩石全部落入钙碱性系列范围内(图 6);而②类岩石显示出钙碱性和拉斑质双重性质特征(图 6)。

4.2 稀土元素

本次采获的样品普遍遭受了绿片岩相、低角闪岩相的区域变质作用,根据 Grauch(1989)的研究表明,不同变质条件下形成的各类变质岩的 REE 配分模型与未受变质的原岩一致,基本排除了变质作用对 REE 地球化学性质的影响。 Zr 、 Hf 、 Nb 、 Ta 和 P 等高场强元素在变质过程中属非活动性元素。因此,本文不考虑双江变质蛇绿混杂岩这些元素受变质作用,对于上述元素在讨论原岩地球化学性质和进行相应的环境判别是可信的。

各类样品的稀土元素总量较低, $\sum \text{REE} = 21.74 \times 10^{-6} \sim 253.38 \times 10^{-6}$,但 $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}$ 变化较大($1.37 \sim 8.17$); $\delta \text{Ce} = 1.01 \sim 1.07$,浅色岩系的 $\delta \text{Eu} = 0.65 \sim 0.75$,其余基性岩类的 $\delta \text{Eu} = 0.89 \sim 1.43$ 。球粒陨石标准化的配分曲线类型与主元素分类具有一定的对应关系。①浅色岩系的稀土元素配分曲线表现为轻稀土元素明显富集的“L”型配分曲

线(图 7 右),其 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 2.14 \sim 3.89$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.89 \sim 1.86$,表明轻稀土元素的分馏程度较高,而重稀土元素的分馏程度较低;基性岩类中的 PM029-21-1 号样品具有与浅色岩系类似的配分曲线(图 7b);②基性岩类的稀土元素配分曲线除以上提及的 2 件样品外,其余 6 件样品大致可分为两类:一类以 PM029-14-1、PM029-34-1 为代表,稀土元素总量较低($21.74 \times 10^{-6} \sim 36.86 \times 10^{-6}$),曲线总体向左缓倾,轻稀土元素亏损,其 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 0.68 \sim 0.85$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.75 \sim 0.80$,正铕异常明显, $\delta \text{Eu} = 1.13 \sim 1.43$;另一类以 PM029-15-1、PM029-16-1、PM029-30-1、PM029-33-1 为代表,曲线总体向右缓倾,轻稀土元素弱富集,其 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 1.02 \sim 1.63$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.75 \sim 0.90$,总体上中稀土元素略亏损。

基性岩类的稀土元素配分曲线上 Gd 呈负异常 Nd、Er 略负/正异常,其余元素呈弧形上凸,尤其 Eu 正异常明显。这一特征通常出现在一些高度演化的稀有金属花岗岩、热液蚀变的岩石中,暗示了湾河蛇绿混杂岩中的闪石类矿物可能是岩石与海水之间在低温-低压条件下相互作用的产物。

4.3 微量元素

从微量元素特征上看,①浅色岩系的 Cr($35.5 \times 10^{-6} \sim 148 \times 10^{-6}$)、Ni($15.4 \times 10^{-6} \sim 69.3 \times 10^{-6}$)等强相容元素含量较低;高场强元素 Zr($124 \times 10^{-6} \sim 309 \times 10^{-6}$)、Th($7.84 \times 10^{-6} \sim 19.80 \times 10^{-6}$)、Ta($1.08 \times 10^{-6} \sim 2.50 \times 10^{-6}$)、Hf($3.90 \times 10^{-6} \sim 8.56 \times 10^{-6}$)、Nb($11.8 \times 10^{-6} \sim 30.5 \times 10^{-6}$)等含量较高。②基性岩类的 Cr($152 \times 10^{-6} \sim 469 \times 10^{-6}$)、Ni($51.8 \times 10^{-6} \sim 197 \times 10^{-6}$)等强相容元素含量介于二者之间;且亏损高场强元素 Zr($33.7 \times 10^{-6} \sim 141 \times 10^{-6}$)、Th($0.71 \times 10^{-6} \sim 9.47 \times 10^{-6}$)、Ta($0.42 \times 10^{-6} \sim 0.88 \times 10^{-6}$)、Hf($1.54 \times 10^{-6} \sim 4.30 \times 10^{-6}$)、Nb($1.68 \times 10^{-6} \sim 10.0 \times 10^{-6}$),而富集大离子亲石元素 Rb($15.8 \times 10^{-6} \sim 73.3 \times 10^{-6}$)、Ba($68.4 \times 10^{-6} \sim 519 \times 10^{-6}$)等。

在原始地幔标准化的微量元素比值蛛网图上(图 8),②基性岩类的曲线表现为 Sr、Rb、Ba、Th、U、Ta 的富集明显,而 Nb-Sm 总体上较为平坦,大致为标准洋脊玄武岩的 0.5~4 倍,类似于过渡型洋脊玄武岩。

表 2 湾河蛇绿混杂岩各类岩石的主量($w_B/\%$)、微量($w_B/10^{-6}$)元素分析结果

Table 2 Major oxides ($w_B/\%$) and element ($w_B/10^{-6}$) abundances for the Wanhe ophiolitic mélange

样品号 及岩性	PM029-3-2 (斜长角闪 片岩)	PM029-6-2 (英云闪长 岩)	PM029-14-1 (斜长角闪 片岩)	PM029-15-1 (斜长角闪 片岩)	PM029-15-2 (绿帘钠长 片岩)	PM029-16-1 (变质辉长 岩)	PM029-17-1 (变质堆晶 斜长岩)	PM029-21-1 (变质堆晶 辉长岩)	PM029-29-2 (变质堆晶 斜长岩)	PM029-29-2 (变质堆晶 辉长岩)	PM029-30-1 (变质堆晶 辉长岩)	PM029-33-1 (斜长角闪 岩)	PM029-34-1 (变质堆晶 辉长岩)
SiO ₂	51.99	65.60	51.93	53.72	69.68	49.22	57.00	49.99	63.56	50.65	49.52	48.72	
TiO ₂	0.75	0.86	0.80	1.37	0.58	1.32	0.69	0.99	1.85	1.25	1.96	1.16	
Al ₂ O ₃	16.88	14.08	16.14	14.67	12.08	16.20	17.38	16.86	12.97	16.17	15.51	15.30	
FeO _t	8.41	6.43	8.09	9.01	8.49	10.45	3.33	6.56	6.79	10.69	11.68	10.98	
MnO	0.15	0.10	0.18	0.17	0.28	0.15	0.06	2.39	0.15	0.16	0.19	0.18	
MgO	7.55	2.80	7.40	7.54	2.77	7.25	3.85	7.78	2.75	6.16	5.51	7.23	
CaO	10.60	3.72	10.80	8.40	1.88	10.96	10.83	12.38	6.84	10.10	11.19	12.53	
Na ₂ O	2.43	5.19	3.23	4.29	1.36	2.57	6.38	1.81	4.16	3.08	3.36	2.91	
K ₂ O	0.97	0.88	1.29	0.52	2.45	1.60	0.26	1.05	0.44	1.22	0.45	0.62	
P ₂ O ₅	0.14	0.19	0.04	0.16	0.20	0.11	0.16	0.17	0.25	0.27	0.22	0.12	
Mg [#]	65	49	65	63	44	59	72	69	52	56	54	60	
Cu	28.4	18.8	12.0	17.0	85.4	20.1	15.2	46.2	27.8	75.4	49.8	14.6	
Pb	27.5	7.64	27.5	5.82	19.7	6.36	4.98	8.13	4.00	4.22	3.09	4.02	
Zn	93.6	36.4	67.3	61.7	72.6	69.0	12.4	69.4	24.2	65.2	85.0	75.6	
Cr	296	35.5	363	152	109	421	148	327	87.2	318	286	469	
Ni	51.8	15.4	149	62.2	69.3	136	34.3	197	63.4	90.0	116	139	
Co	41.7	15.7	36.4	29.2	20.4	46.0	7.24	51.0	14.6	48.2	49.8	51.9	
Rb	68.6	21.3	65.9	22.8	14.7	73.7	17.0	53.4	21.0	43.0	15.8	27.8	
Sr	370	173	348	373	112	354	311	250	475	483	297	320	
Ba	78.2	221	519	120	265	463	34.8	171	81.6	394	158	68.4	
V	180	44.8	192	209	134	238	99.1	151	154	216	268	217	
Sc	46.0	21.0	48.8	47.9	9.80	56.5	22.2	42.7	17.8	50.2	54.6	52.6	
Nb	5.21	11.8	1.68	7.13	12.4	4.45	17.6	5.82	37.5	5.90	10.0	4.51	
Ta	0.62	1.08	0.42	0.72	1.19	0.60	1.60	0.84	2.50	0.64	0.88	0.58	
Zr	66.4	291	33.7	140	124	84.2	196	116	309	86.4	141	72.4	
Hf	2.32	8.56	1.54	4.30	3.90	2.95	5.87	3.60	8.34	2.84	4.15	2.44	
U	1.05	2.50	0.16	1.33	3.78	0.50	3.26	1.01	2.50	0.34	0.53	0.86	
Th	5.40	9.04	0.71	2.84	7.84	1.88	19.8	9.47	11.3	0.80	1.13	0.82	
La	15.3	24.9	2.19	10.4	21.0	5.85	34.9	16.4	46.8	6.88	7.55	2.68	
Ce	34.4	57.8	6.13	23.0	47.4	14.8	79.4	40.0	109	16.6	21.0	7.31	
Pr	3.84	6.57	0.88	2.77	4.60	1.98	8.06	3.91	11.5	2.20	2.88	1.14	
Nd	16.3	28.6	4.76	13.4	17.7	10.1	31.3	15.9	46.9	10.9	15.1	6.67	
Sm	3.52	7.32	1.63	4.02	3.40	3.22	6.13	3.52	9.39	3.29	4.65	2.49	
Eu	1.10	1.86	0.83	1.72	0.82	1.13	1.26	1.04	2.15	1.30	1.60	0.99	
Gd	3.32	7.80	1.93	4.55	3.16	3.68	5.54	3.56	8.39	3.70	5.12	2.88	
Tb	0.56	1.55	0.42	0.97	0.52	0.77	0.92	0.68	1.32	0.78	1.04	0.64	
Dy	3.60	10.8	3.05	7.04	3.34	5.47	5.78	4.89	7.80	5.34	7.38	4.57	
Ho	0.76	2.34	0.69	1.56	0.70	1.18	1.19	1.13	1.51	1.15	1.62	0.99	
Er	2.12	6.60	1.93	4.38	1.96	3.28	3.24	3.36	3.92	3.16	4.42	2.74	
Tm	0.34	1.06	0.32	0.72	0.32	0.53	0.51	0.57	0.58	0.50	0.71	0.44	
Yb	2.28	7.06	2.09	4.70	2.11	3.49	3.39	4.05	3.64	3.30	4.68	2.91	
Lu	0.33	0.97	0.29	0.64	0.30	0.47	0.45	0.58	0.48	0.45	0.66	0.41	
Y	18.2	56.4	16.1	37.2	17.4	28.2	28.8	29.0	35.8	27.3	38.6	23.6	
ΣLREE	74.46	127.05	16.42	55.31	94.92	37.08	161.05	80.77	225.74	41.17	52.78	21.28	
ΣHREE	13.31	38.18	10.72	24.56	12.41	18.87	21.02	18.82	27.64	18.38	25.63	15.58	
ΣREE	87.77	165.23	27.14	79.87	107.33	55.95	182.07	99.59	253.38	59.55	78.41	36.86	
δEu	0.97	0.75	1.43	1.23	0.75	1.00	0.65	0.89	0.73	1.14	1.00	1.13	
(La/Yb) _N	4.52	2.38	0.71	1.49	6.71	1.13	6.94	2.73	8.67	1.41	1.09	0.62	

5 讨论

通过本次野外地质调查及室内研究,表明湾河蛇绿混杂岩并非铜厂街蛇绿混杂岩经后期构造改造的产物,而是一条独立的早古生代蛇绿混杂岩,代表

了昌宁-孟连构造带内早古生代洋盆洋壳物质组成。其形成、发展演化历史比铜厂街蛇绿混杂岩要复杂、悠久。从目前已有的资料分析,其中包含了南华纪的古老洋壳残片-退变质榴辉岩(李静等,2015;孙载波等,2017),表明该洋盆最早可能形成于 Rodinia 超大陆的快速裂解时期,并持续稳定演化至中奥陶

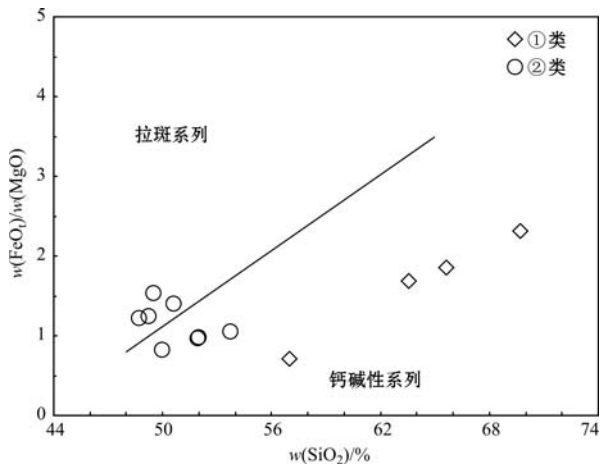


图 6 湾河蛇绿混杂岩 $\text{FeO}_t/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 图解
Fig. 6 $\text{FeO}_t/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ diagram of Wanhe ophiolitic mélange

世地史时期。这也暗示了分布于铜厂街蛇绿混杂岩与湾河蛇绿混杂岩之间的澜沧岩群并非前人认为的元古代基底岩系,而是与湾河蛇绿混杂岩相对应的大陆边缘沉积。近年来在临沧市大南美、澜沧县惠民、耿马县大兴等地的澜沧岩群的变质火山岩(绿片岩)中获得了一批 440 Ma、456 Ma、660 Ma 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄也佐证了这一推论。

从忙那河剖面(PM029)上的样品分析,在 $\text{TiO}_2-\text{FeO}/\text{MgO}$ 的地球化学判别图解中,上述②基性岩类的投影点全部落入洋脊、准洋脊玄武岩区(图 8a),表明这些岩石应形成于大洋中脊环境。但是在 Hf-Th-Nb 地球化学图解图 9a 中,基性岩多投影点落入了富集型洋脊玄武岩区(E-MORB)-岛弧钙碱性玄武岩区(CBA),浅色岩系岩石都落在岛弧钙碱性

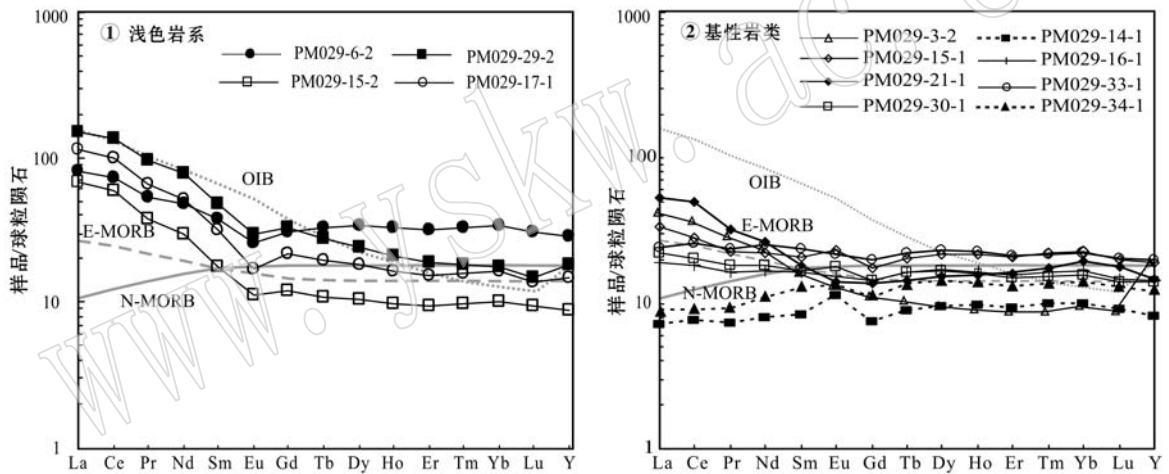


图 7 稀土元素配分模式图解
Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns for Wanhe ophiolitic mélange

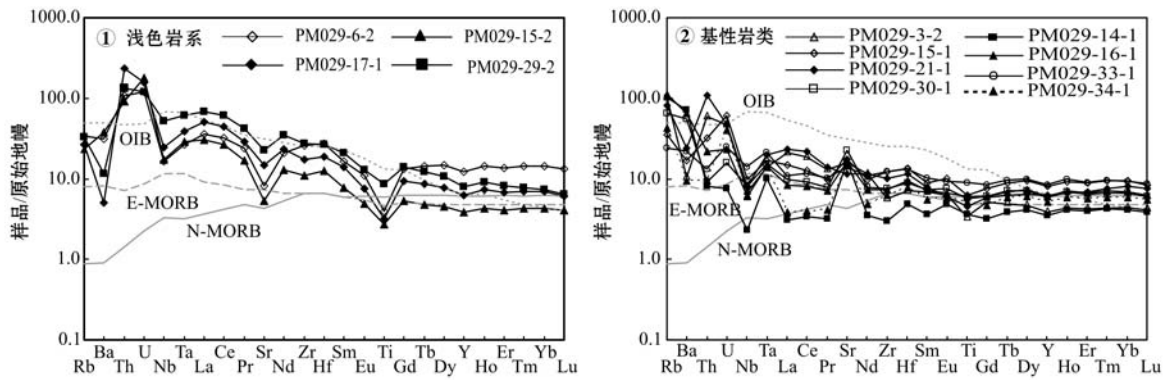


图 8 湾河蛇绿混杂岩微量元素蛛网图
Fig. 8 MORB-normalized trace elements spider diagram for the Wanhe ophiolitic mélange

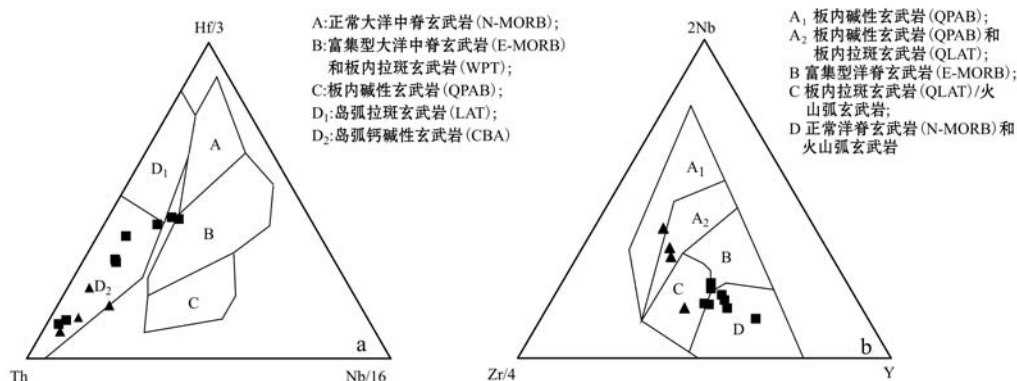


图 9 湾河蛇绿混杂岩 Hf/3 - Th - Nb/16(a) 和 2Nb - Zr/4 - Y(b) 判别图解(▲ 浅色岩系, ■ 基性岩类)

Fig. 9 Hf/3 - Th - Nb/16 (a) and 2Nb - Zr/4 - Y(b) diagrams of the Wanhe ophiolitic mélange(▲ leucorate, ■ basic rocks)

玄武岩区(CBA); Nb - Zr - Y 地球化学图解(图 9b)中, 基性岩点落在正常洋脊玄武岩(N-MORB)和富集型洋脊玄武岩(E-MORB)及火山弧玄武岩交点区附近; 即这些岩石具有洋中脊和岛弧的双重特性, 浅色岩系岩石都落在板内碱性玄武岩区(CBA)和板内拉斑玄武岩(WPT)区。基性岩的地球化学特征总体表现了洋中脊和岛弧的双重性质, 这一看似矛盾的结论, 实则代表了一种特殊的大地构造背景。而浅色岩可能受后期沉积混入作用影响所致。

随着近年来蛇绿岩研究水平的不断提高, 特别是西太平洋地区现代洋壳的研究, 对地质历史时期蛇绿混杂岩多样性的认识进一步完善(Yildirim and Harald, 2011)。弧前玄武岩(FAB)或类洋中脊玄武岩(MORB-like basalt)就是在研究 Mariana 弧前的火山熔岩时提出的一个术语, 其地球化学特征与洋脊、准洋脊玄武岩具有很多相似之处, 但明显形成于海沟向大陆一侧的俯冲带上盘环境, 代表了大洋构造体制向大陆构造体制转化的过渡带。弧前玄武岩或类洋中脊玄武岩的主元素成分变化很窄, 其 $\text{SiO}_2 = 49\% \sim 51\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14\% \sim 17\%$, $\text{CaO} = 10\% \sim 13\%$, $\text{MgO} = 4\% \sim 8\%$; $\text{TiO}_2 = 1.76\% \sim 2.10\%$ (与 MORB 平均值 1.5%) 相当(据肖庆辉口述资料)。从忙那河剖面(PM029)上的分析成果看(表 2), 它们与典型的弧前玄武岩, 或类洋中脊玄武岩在主元素上确实具有很大的相似性; 实际上在稀土元素及微量元素等方面也都具有很大的相似性。总而言之, 湾河蛇绿混杂岩(PM029)应属弧前玄武岩, 或类洋中脊玄武岩。

与典型地区的弧前玄武岩, 或类洋中脊玄武岩相比, 湾河蛇绿混杂岩也有自身的特点: 首先其为钙

碱性玄武岩系列, 而许多典型的弧前玄武岩、或类洋中脊玄武岩是拉斑玄武岩系列。另外从现有资料分析, 昌宁 - 孟连构造带内的铜厂街蛇绿混杂岩、湾河蛇绿混杂岩中 Sr、Rb、Ba、Th 等的富集可能主要是岩浆源区的固有特点(李静, 2003), 是南半球洋中脊玄武岩中 Dupal 异常的体现(尽管 Dupal 异常是用 Pb、Sr 同位素异常定义的, 但也有一些大离子亲石元素、高场强元素的富集); 而 Mariana 弧前玄武岩、阿根廷的 Cuyania 地体的弧前玄武岩中这些元素的富集被认为是由于洋壳-洋壳的俯冲消减作用导致的。

6 结论

(1) 湾河蛇绿混杂岩主体形成于早古生代, 在早奥陶世晚期(470.8 Ma)或更早就已经发生了俯冲消减作用。

(2) 昌宁 - 孟连构造带上的特提斯洋盆自 Rodinia 超大陆裂解时期就已形成, 至早奥陶世达到鼎盛, 忙那河剖面(PM029)上的样品记录了这一拉张 - 俯冲的转折过程。临沧花岗岩基中奥陶纪火山弧型花岗岩的发现(北邻 1:5 万蚂蚁堆幅资料), 勐海县惠民一带的晚奥陶世惠民组弧火山岩也是这一过程的忠实记录。

(3) 昌宁 - 孟连构造带上古特提斯洋盆对原特提斯洋盆的继承性演化是通过扩张脊的侧向迁移完成的, 不是原特提斯洋盆关闭后的再次打开。这一新认识是对威尔逊模式的有益补充。

致谢 云南省地质调查院李静教授级高工认真审阅本文并提出了许多宝贵的修改意见; 云南省地

质调查局包钢教授级高工和云南省地质矿产调查局张志斌教授级高工对野外调查工作进行了指导, 云南省地质调查院周坤、樊岳华、徐桂香等同志参加了剖面测制及样品采集、薄片鉴定等工作, 在此一并表示诚挚的谢意。

References

- Chen Fukun, Li Xianghui, Wang Xiuli, *et al.* 2007. Zircon age and Nd-Hf isotopic composition of the Yunnan Tethyan belt, southwestern China[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 96(6): 1179~1194.
- Cui Chunlong, Zeng Yunfu, Duan Lilan, *et al.* 1999. Is there A Late Paleozoic Great Ocean in Changning- Menglian Belt, Western Yunnan, China? [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(2): 176~182 (in Chinese with English abstract).
- Dong Meiling, Dong Guochen, Mo Xuanxue, *et al.* 2012. Geochronology and geochemistry of the Early Palaeozoic granitoids in Baoshan block, western Yunnan and their implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1453~1464 (in Chinese with English abstract).
- Dong Meiling, Dong Guochen, Mo Xuanxue, *et al.* 2013. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of granites in the Baoshan Block, Western Yunnan: Implications for Early Paleozoic evolution along the Gondwana margin[J]. *Lithos*, 179: 36~47.
- Duan Xiangdong. 2013. The Basin Evolution Studies of the Changning-Menglian Zone in the Gengma Area, Southwestern Yunnan[D]. China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Hoskin P W O and Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. *J. Metamorph Geol.*, 18(4): 423~439.
- Li Jing. 2003. Petrologic Study to Carboniferous Niujiangshan ophiolite melange from Shuangjiang County, Yunnan Province, China[D]. Master's degree thesis, Kunming University of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Li Jing, Sun Zaibo, Xu Guixiang, *et al.* 2015. Firstly discovered garnet-amphibolite from Mengku area, Shuangjiang County, Western Yunnan Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(4): 421~424 (in Chinese with English abstract).
- Li Zaihui, Lin Shiliang, Cong Feng, *et al.* 2013. Magmatism and geochemistry of the Early Paleozoic of the Tengchong-Baoshan Block, Western Yunnan, China: Implications for petrogenesis and tectonics [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 32(6): 689~703 (in Chinese with English abstract).
- Liu Benpei. 1992. *Sedimentary Geology of Continental Margin* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press.
- Liu Benpei, Feng Qinglai, Fang Nianqiao, *et al.* 1993. Tectonics evolution of palaeo-Tethys poly-island-ocean in Changning-Menglian and Lancangjiang belts, southwestern Yunnan, China[J]. *Earth Sciences*, 18(5): 529~539 (in Chinese with English abstract).
- Liu Ye, Liu Xiaoming, Hu Zhaochu, *et al.* 2007. Evaluation of accuracy and long-term stability of determination of 37 trace elements in geological samples by ICP-MS[J]. *Acta Petrologica Science Frontiers*, 9(3): 161~171.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, *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 of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51(1/2): 537~571.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, *et al.* 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257(1/2): 34~43.
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Geochronology Center Special Publication, Berkeley, 41~70.
- Grauch R I. 1989. Rare earth elements in metamorphic rocks[A]. Lipin B R and McKay G A. *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*[C]. Reviews in Mineralogy Vol. 21, Washington D C: Mineralogical Society of America, 147~167.
- Metcalf I. 1994. Gondwanaland origin, dispersion, and accretion of East and Southeast Asian continental terranes[J]. *J. South Am. Earth Sci.*, 7: 333~347.
- Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, *et al.* 1993. *Volcanism and Metallogenesis of Sanjiang Tethys* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~267 (in Chinese).
- Mo Xuanxue, Shen Shangyue, Zhu Qinwen, *et al.* 1998. *Volcanics-ophiolite and Mineralization of Middle-Southern Part in Sanjiang Area of Southwestern China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 44~47 (in Chinese with English abstract).
- Nie Xiaomei, Feng Qinglai, Qian Xin, *et al.* 2015. Magmatic record of Prototethyan evolution in SW Yunnan, China: Geochemical, zircon U-Pb geochronological and Lu-Hf isotopic evidence from the Huimin metavolcanic rocks in the southern Lancangjiang zone[J]. *Gondwana Research*, 28(2): 757~768.
- Pan Guitang, Cheng Zhiliang, Li Xingzhen, *et al.* 1996. Models for the evolution of the Polyarc-basin systems in eastern Tethys [J]. *Lithofacies and Paleogeography*, 16(2): 52~65 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- Pan Guitang, Cheng Zhiliang, Li Xingzhen, *et al.* 1997. Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Shen Shangyue, Feng Qinglai, Wei Qirong, *et al.* 2008. New evidence for the original tethysan island arc volcanic rocks in the Southern Segment of Southlancangjiang belt[J]. J. Mineral Petrol., 28(4): 59~63(in Chinese with English abstract).
- Song Shuguang, Ji Jianqing, Wei Chunjing, *et al.* 2007. Early Paleozoic granite in Nujiang River of northwest Yunnan in southwestern China and its tectonic implications[J]. Chinese Science Bulletin, 52(17): 2 402~2 406.
- Sun Zaibo, Li Jing, Zhou Kun, *et al.* 2017. Geochronology, petrogeochemistry and geological implications of the retrograde metamorphism eclogite in the Mengku district, Shuangjiang city, western Yunnan province, China[J]. Geoscience (in Chinese with English abstract) (in press).
- Wang Baodi, Wang Liquan, Pan Guitang, *et al.* 2013. U-Pb zircon dating of Early Paleozoic gabbro from the Nantinghe ophiolite in the Changning-Menglian suture zone and its geological implication[J]. Chinese Science Bulletin, 58(8): 920~930.
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 49(15): 1 554~1 569.
- Yildirim Dilek and Harald Furnes. 2011. Ophiolite genesis and global tectonic: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere[J]. Geological Society of America Bulletin, 123: 387~411.
- Zhong Dalai. 1998. Paleo-Tethyan Orogenic Belt in the Western Parts of the Sichuan and Yunnan Provinces[M]. Beijing: Science Press, 1~231(in Chinese).
- 代大洋吗? [J]. 沉积学报, 17(2): 176~182.
- 董美玲, 董国臣, 莫宣学, 等. 2012. 滇西保山地块早古生代花岗岩类的年代学、地球化学及意义[J]. 岩石学报, 28(5): 1 453~1 464.
- 段向东. 2013. 滇西南耿马地区昌宁-孟连带盆地演化研究 [D]. 中国地质大学(武汉)(博士论文).
- 李 静. 2003. 云南省双江县牛井山蛇绿混杂岩的岩石学研究 [D]. 昆明理工大学(硕士论文).
- 李 静, 孙载波, 徐桂香, 等. 2015. 滇西双江县勐库地区榴闪岩的发现与厘定[J]. 矿物学报, 35(4): 421~424.
- 李再会, 林仕良, 丛 峰. 等. 2013. 滇西腾冲-保山地块早古生代岩浆作用和地球化学: 岩石成因和构造背景[J]. 矿物岩石地球化学通报, 32(6): 689~703.
- 刘本培. 1992. 古大陆边缘沉积地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 刘本培, 冯庆来, 方念乔. 1993. 滇西南昌宁-孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化[J]. 地球科学, 18(5): 529~539.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 莫宣学, 沈上越, 朱勤文. 1998. 三江中南段火山岩-蛇绿岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 等. 1996. 东特提斯多弧-盆系统演化模式[J]. 岩相古地理, 2(16): 52~65.
- 潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 沈上越, 冯庆来, 魏启荣, 等. 2008. 南澜沧江带南段原特提斯岛弧火山岩新证据[J]. 矿物岩石, 4(28): 59~63.
- 孙载波, 李 静, 周 坤, 等. 2017. 滇西双江勐库地区退变质榴辉岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. 现代地质(待刊).
- 王保弟, 王立全, 潘桂棠, 等. 2013. 昌宁-孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J]. 科学通报, 58(4): 344~354.
- 钟大赉. 1998. 川滇西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1~231.

附中文参考文献

崔春龙, 曾允孚, 段丽兰, 等. 1999. 滇西昌宁-孟连带存在一个古生