

三江上叠裂谷盆地人支雪山组火山岩锆石 U-Pb 定年与地质意义

王保弟, 王立全, 王冬兵, 张万平

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要:三江上叠裂谷盆地人支雪山组火山岩是赋存火山成因块状硫化物矿床(VHMS)的重要层位,但其形成时代一直存在着争议。本文对几家顶一带人支雪山组火山岩进行了 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年代学研究,结果显示,两件流纹岩样品中锆石 23 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 247.4 ± 2.1 Ma 和 249.1 ± 1.6 Ma, 因此人支雪山组火山岩形成于早三叠世(249~247 Ma)。地球化学资料表明,人支雪山组火山岩形成于一个伸展的地球动力学背景,由此本文认为金沙江结合带在早三叠世已进入弧-陆碰撞后的伸展时期。

关键词: U-Pb 年代学; 碰撞后伸展; 块状硫化物矿床; 人支雪山组; 上叠裂谷盆地

中图分类号: P588.14⁺1; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)01-0025-09

Zircons U-Pb dating of volcanic rocks from Renzhixueshan Formation in Shangdie rift basin of Sanjiang area and its geological implications

WANG Bao-di, WANG Li-quan, WANG Dong-bing and ZHANG Wan-ping

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

Abstract: It is generally accepted that the volcanics-hosted massive sulfide deposits were widely derived from the marine settings, such as island arc, back-arc basin, mid-ocean ridges, and intraplate spreading centers. Different tectonic regimes are typically marked by changes in the composition of the associated marine volcanic rocks and different ore mineral assemblages in volcanic massive sulfide deposits. Volcanic rocks from Renzhixueshan Formation in Shangdie rift basin of Sanjiang is an important layer hosting volcanic massive sulfide deposits. However, the time of their formation has been controversial. The major rock types of Renzhixueshan Formation are basalt, rhyolites and bimodal volcanic rocks. LA-ICPMS U-Pb zircon dating of two rhyolite samples from Renzhixueshan Formation in Jijiading area yields concordant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of 247.4 ± 2.1 Ma and 249.1 ± 1.6 Ma, respectively, implying that these rocks were erupted in early Triassic (249~247 Ma). The geochemical and isotopic characteristics indicate that the basaltic volcanic rocks were probably produced by partial melting of an enrichment mantle. The similar Sr-Nd isotopic compositions of rhyolite to the basalt suggest that they were probably triggered by the same tectonic event. These characteristics of volcanic rocks in Renzhixueshan Formation suggest that they were probably formed in an extending dynamic settings. Therefore, the authors hold that Jinshajiang suture had already been an extending setting after the arc-continental collision during the early Triassic in the Jijiading area of east Tibet. At the same time, the extensional settings probably played an important

收稿日期: 2010-07-25; 修订日期: 2010-09-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2009CB421003); 国家自然科学基金(41073033, 40872055); 中国地质调查局项目(1212010610101)

作者简介: 王保弟(1975-), 男, 博士, 从事青藏高原地质研究, E-mail: baodiwang@163.com

role in the formation of volcanics-hosted massive sulfide deposits in the Jinsha orogenic belt.

Key words: U-Pb chronological data; post-collision extension; volcanic massive sulfide deposits; Renzhixueshan Formation; Shangdie rift basin

典型火山成因块状硫化物矿床(VHMS)广泛产于岛弧、弧后盆地、洋中脊、板内扩张中心等环境的海相火山岩区,不同的构造环境造就不同的海相火山岩组合,从而产生 VHMS 的矿化组合不同(Franklin *et al.*, 1981; Lydon, 1988)。最近研究表明造山带碰撞后地壳伸展背景也是火山成因块状硫化物矿床的重要成矿环境(王立全, 2002a)。VHMS 型矿床是三江特提斯成矿域重要的成矿类型之一。云南德钦鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地位于金沙江弧-陆碰撞结合带与昌都稳定陆块之间的活动边缘火山岩带中,属江达-德钦-维西火山岩带的中段(王立全等, 2002b),其中发育鲁春锌-铜-铅(银)多金属矿床、红坡牛场铜-金多金属矿床、足那铅锌银多金属矿床、老君山铅锌银矿床等,显示出很大的成矿潜力。

目前对于该地区赋矿火山岩研究相对较弱,前人已经获得相关 Rb-Sr 法同位素年龄为 224、238.9、187 和 236 Ma(王立全等, 2002a, 2002b; 李定谋等, 2002),由此确认三江地区在晚三叠世时属于碰撞后伸展阶段。由于这些赋矿火山岩存在不同程度的热液蚀变,可能导致赋矿岩石的 Rb-Sr 同位素体系发生改变,很难满足 Rb-Sr 同位素体系同源同时的必要条件,因此封闭温度和热液蚀变都可能影响其 Rb-Sr 同位素年龄。一般认为,锆石的 U-Pb 同位素体系封闭温度最高($>700^{\circ}\text{C}$),不易遭受后期地质热事件的干扰,其 U-Pb 同位素年龄可以代表岩浆冷却结晶的地质年代,而其他方法的同位素年龄往往只能代表岩石的冷却年龄或蚀变年龄。到目前为止,这些赋矿火成岩的形成时代没有一个锆石同位素年龄限制,这大大制约了 VHMS 型矿床成矿地质背景的研究。另一方面,金沙江结合带是昌都地块和中咱微陆块之间一条重要的板块结合带(潘桂棠等, 2004),但对洋盆何时由俯冲消减转化为碰撞的背景研究相对比较薄弱,也存在着争议。一些研究者依据金沙江结合带西段哈秀石英闪长岩体角闪石 Ar-Ar 年龄 216.4 Ma 的研究结果,认为金沙江结合带在晚三叠世板块碰撞作用仍然没有开始,洋壳的俯冲作用仍在继续(陈文等, 2005);也有研究者依据上述 Rb-Sr 法对人支雪山组火山岩的研究,结合火成岩的地球化学特征认为三江地区的后碰撞伸展期发

生在晚三叠世(王立全等, 2002a),但是这些 Rb-Sr 年龄本身不能代表火成岩的岩浆结晶地质年龄,依此年龄结果推出的结论就值得商榷。本文通过对德钦县南侧几家顶一带 VHMS 型矿床的赋矿地层单位人支雪山组的火成岩进行 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年代学研究,以期精确限定火山岩的形成时代,并讨论其成岩与成矿的地球动力学背景,其结果对整个三江地区造山带构造演化过程的认识和成矿作用的分析都有重要的意义。

1 地质背景及地质概况

金沙江造山带是特提斯巨型造山带中的一个重要造山带,是二叠纪洋内弧和陆缘弧于早中三叠世拼贴碰撞而成的复杂造山带。造山带东部以金沙江-红河断裂带为界,与裂离于扬子大陆西缘的中咱微陆块相接,造山带西部增生于昌都-思茅微陆块东缘(王立全等, 2002a)。金沙江造山带宽 60 余 km,长上千 km,自东向西分 3 个次级构造单元:金沙江弧-陆碰撞结合带、上叠裂谷带和江达-德钦-维西陆缘火山弧带(王立全等, 1999),再向西为昌都微陆块,中间为澜沧江结合带分割(图 1a)。金沙江弧-陆碰撞结合带宽 20~40 km,长千余 km,沿此带断续分布蛇绿岩和蛇绿混杂岩,其中混杂有来自中咱微陆块的二叠纪灰岩构造块体,并被晚三叠世红层不整合覆盖。江达-德钦-维西陆缘火山弧带主要由二叠纪火山-沉积岩构成,北至江达以北地区,南达维西以南,长数百 km;弧火山岩系依次发育拉斑玄武岩系列、钙碱性系列和钾玄岩系列,火山岩性质标志着岛弧产生-发展-成熟的完整过程。上叠裂谷盆地叠生于江达-德钦-维西陆缘弧上,南段裂谷盆地的下部为晚三叠世早期的半深海环境的玄武岩-流纹岩双峰式火山岩系和硅质岩、浊积岩和细碎屑岩系,上部为晚三叠世中晚期的钙碱性中酸性火山岩系和含大量石膏层的碎屑岩系(王立全等, 1999, 2001);北段裂谷盆地的下部为晚三叠世海相枕状玄武岩系和一套砂板岩夹灰岩组成的浅海相-半深海相复理石沉积,上部产出一套钙碱性中酸性火山岩系和碳酸盐岩-砂板岩系,显示浅水环境特征。昌都微陆块分

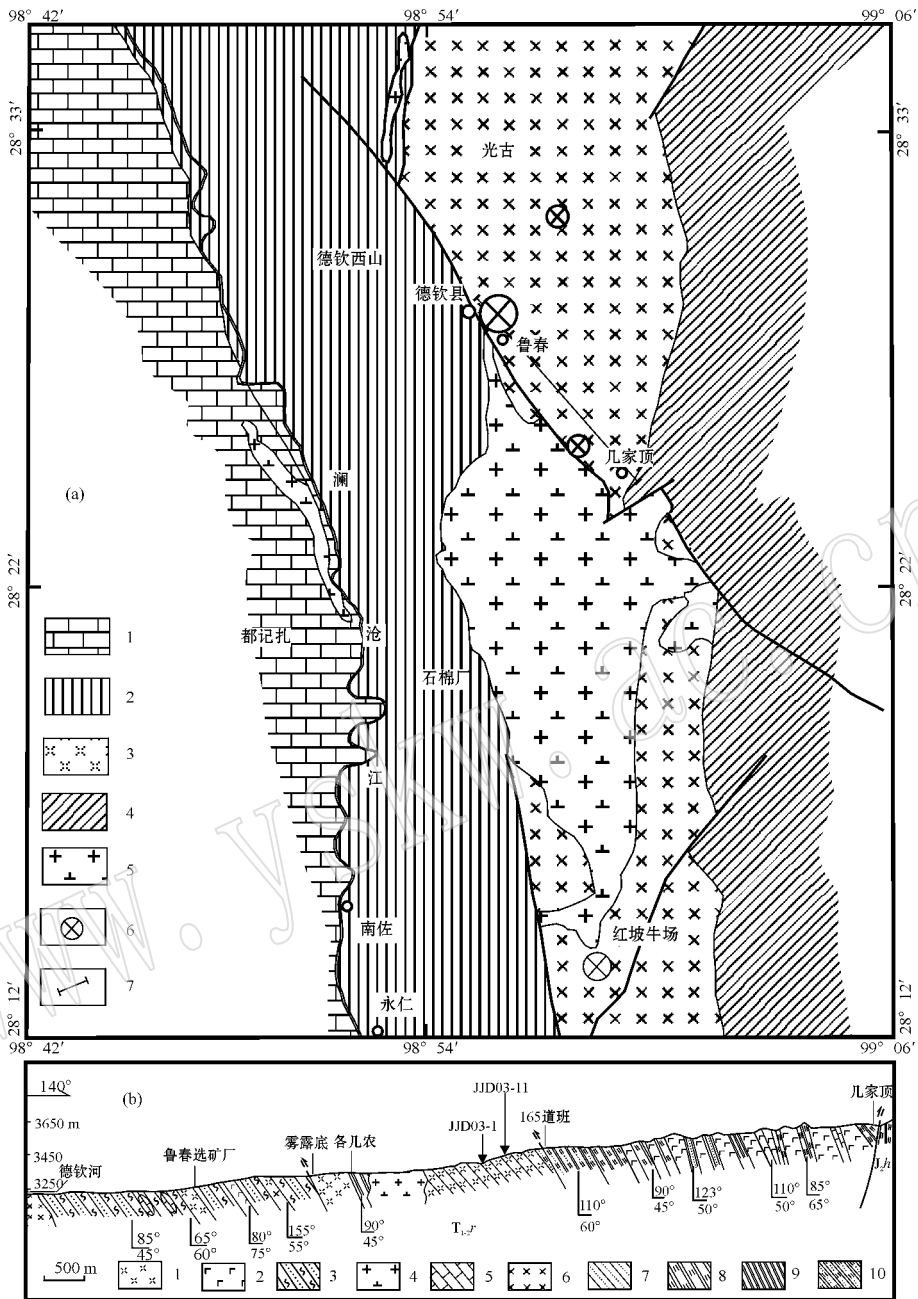


图 1 鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地地质-构造简图[据王立全等(2002b)修改]

Fig. 1 Geological and tectonic sketch map of the Shangdie rifting basin in Luchun-Hongponiuchang area (modified after Wang Liqun et al., 2002b)

a: 1—昌都微陆块; 2—江达-德钦-维西二叠纪陆缘火山弧带; 3—鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地; 4—金沙江弧-陆碰撞结合带; 5—印支期花岗岩闪长岩体; 6—铜铅锌(银)多金属矿床; 7—路线剖面位置; b: 1—流纹岩; 2—玄武岩; 3—砂泥质板岩; 4—花岗闪长岩; 5—碳酸盐岩; 6—辉长岩; 7—砂岩及砂质泥岩; 8—凝灰岩; 9—硅质岩; 10—凝灰质砂岩

a: 1—Changdu stable block; 2—Jiangda-Deqin-Weixi Permian continental marginal arc; 3—Luchun-Hongponiuchang Triassic Shangdie rifting basin; 4—Jinshajiang suture triggered by arc-continent collision; 5—Indosinian granodiorite body; 6—Cu-Pb-Zn (Ag) polymetallic deposit; 7—section location; b: 1—rhyolite; 2—basalt; 3—argillaceous slate; 4—granodiorite; 5—carbonate rocks; 6—gabbro; 7—sandstone and argillite; 8—tuff; 9—quartzite; 10—tuffaceous sandstone

别由中新元古代和早古生代构成结晶基底和褶皱基底,晚古生代—中生代为相对稳定的盖层系统。

鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地,是一个呈近南北向展布的狭长带状沉积盆地(图1)(潘桂棠等,

2004),已成为金沙江造山带中重要的赋矿盆地,在盆地形成演化的不同阶段形成了不同类型的矿床,如鲁春锌-铜-铅(银)多金属矿床和红坡牛场铜-金多金属矿床形成于上叠裂谷盆地的拉张裂离阶段,而楚格扎铁-银多金属矿床和里仁卡石膏矿床则形成于裂谷盆地的闭合消亡阶段(王立全等,1999,2000)。

人支雪山组为鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地沉积物堆积的主体,分为3个岩性段。一段主要为一套基性火山岩(玄武岩)火山碎屑岩、碎屑岩夹碳酸盐岩及凝灰质硅质岩组台。二段下部主要由一套灰色薄层钙质绢云板岩-绿泥绢云板岩-绢云绿泥板岩(砂泥质复理石)薄层泥质灰岩、灰质泥岩(灰泥建造)夹玄武岩、流纹岩和中-厚层状灰岩透镜体(滑塌体)构成,有多层矿化体分布;上部主要由灰绿色-墨绿色片理化绿泥板岩(原岩为火山凝灰岩)夹泥质条带灰岩透镜体和上部的灰色薄层钙质绢云板岩、碳质板岩、砂质板岩、泥质灰岩-灰质泥岩构成,其中夹有多层流纹岩,为VHMS型矿床赋矿的主体,矿体呈多层状赋存于中下部的绿泥石岩中。三段主要由一套浅灰白色流纹岩为主夹薄层钙质绢云板岩、砂质板岩、碳质板岩构成(王立全等,2001)。

本次用于定年的两件样品主要采自德钦县南几家顶一带的人支雪山组(图1b),岩性皆为流纹岩,产出不同层位,岩石蚀变较弱,相对较新鲜。岩石呈斑状结构,流纹构造、块状构造,基质为霏细结构或显微花岗岩结构。斑晶含量为10%~15%以上,以石英、长石为主。基质由微晶-隐晶质长英质矿物和绢云母、绿泥石、绿帘石及少量磁铁矿(褐铁矿)、磷灰石、榍石、锆石等组成。

2 测试方法

锆石的分选工作在廊坊诚信地质公司完成,锆石样品靶的制作过程与SHRIMP靶类似,不过由于激光的剥蚀深度较大,样品靶的抛光一般不能揭露到锆石中心面。在LA-ICPMS分析之前,在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学与地球化学重点实验室拍摄了阴极发光图像以揭示锆石内部结构,CL图像在JEOL JXA-8100型电子探针分析仪测试完成。

锆石微量元素含量和U-Pb同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用LA-ICP-MS同时分析完成。激光剥蚀系统为GeoLas 2005,ICP-MS为Agilent 7500a。

激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入ICP之前通过一个T型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度(Hu *et al.*, 2008)。每个时间分辨分析数据包括大约20~30 s的空白信号和50 s的样品信号。对分析数据的离线处理(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ICPMSDataCa(Liu *et al.*, 2008, 2010a)完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同Liu等(2008, 2010a, 2010b)。

U-Pb同位素定年中采用锆石标准91500作外标进行同位素分馏校正,每分析5个样品点,分析2次91500。对于与分析时间有关的U-Th-Pb同位素比值漂移,利用91500的变化采用线性内插的方式进行校正(Liu *et al.*, 2010a)。锆石标准91500的U-Th-Pb同位素比值推荐值据Wiedenbeck等(1995)。锆石样品的U-Pb年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用Isoplot/Ex-ver3(Ludwig, 2003)完成。

3 定年分析结果

人支雪山组两件流纹岩样品的锆石阴极发光图像显示,绝大多数锆石都是透明自形晶,棱柱状,长约50~200 μm ,长宽比在5:1~3:1,无色或浅黄色,都具有典型岩浆锆石的韵律环带(图2)。样品JJD03-1锆石具有变化的U、Th含量分别为 $211 \times 10^{-6} \sim 1.494 \times 10^{-6}$ 和 $84 \times 10^{-6} \sim 1.245 \times 10^{-6}$,具有典型岩浆锆石的Th/U比值(0.31~0.83)(表1)(Williams *et al.*, 1996)。锆石没有明显的老核,锆石中心与边部的年龄也几乎一致,锆石的LA-ICPMS U-Pb测年结果显示本样品中锆石23个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为257~242 Ma(表1),变化范围小,在一致曲线图中,数据点在误差范围内非常谐和(图3a),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 247.4 ± 2.1 Ma(MSWD=3.8, $n=23$),代表流纹岩的形成时代。

样品JJD03-11锆石的U、Th含量分别为 $208 \times 10^{-6} \sim 1.366 \times 10^{-6}$ 和 $90.5 \times 10^{-6} \sim 611 \times 10^{-6}$,含量变化也较大,也具有典型岩浆锆石的Th/U比值(0.35~0.64)(表1),其锆石23个分析点(包括锆石边部和核部)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为257~243 Ma(表1),变化范围小,在一致曲线图中,数据点成群分布(图3b),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 249.1 ± 1.6 Ma(MSWD

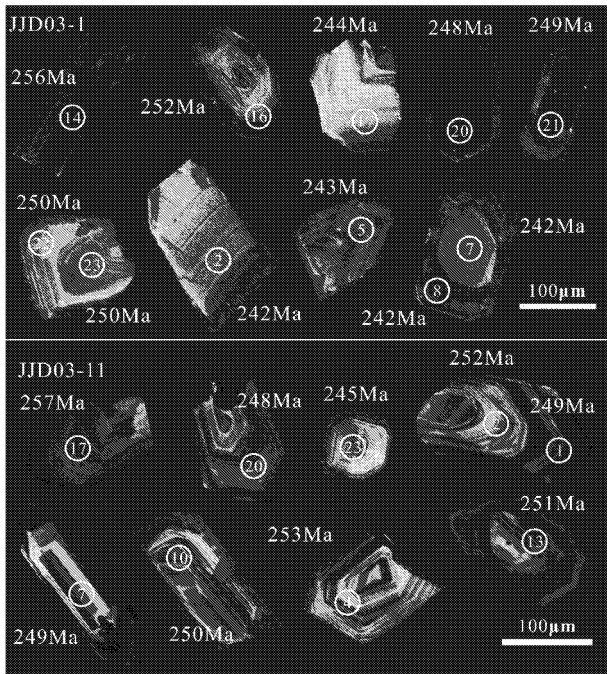


图 2 德钦县几家顶人支雪山组火山岩锆石 CL 图像、点号及²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄

Fig. 2 CL images, spots and ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages of zircons for rhyolites of Renzhixueshan Formation in Jijiading area, eastern Tibet

显示了近似的年龄 (249.1~247.4 Ma), 该年龄代表了人支雪山组火山岩的岩浆结晶时间。此年龄为昌都-兰坪盆地东侧陆缘火山弧中的岩浆活动提供了重要的年代学依据。

4 讨论

4.1 人支雪山组成岩地球动力学背景

金沙江造山带的 VHMS 型成矿作用主要发生于两个不同时代的海相火山岩区(王立全等, 2002a): 一个是巴塘-德钦二叠纪海相弧火山岩区, VHMS 矿床产于金沙江构造混杂岩带的洋内弧中, 赋存于岛弧钙碱性系列火山岩系顶部及其上覆硅质绢英板岩-变石英砂岩系和层状-似层状砂卡岩层中; 另一个是鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地, VHMS 型矿床主要赋存于双峰式组合的海相长英质火山岩系中。人支雪山组是第 2 类 VHMS 型矿床赋矿层位的主要地层单元。前人研究资料显示, 在三江多金属块状硫化物成矿带的典型矿床, 如鲁春锌-铜-铅(银)多金属矿床、足那铅锌银多金属矿床、老君山铅锌银矿床以及红坡牛场铜-金多金属矿床等, 矿体皆赋存于人支雪山组一段玄武岩与上部人支雪山组三段流纹岩中, 矿体呈多层状顺层分布。人支雪山组火山岩系已成为金沙江带 VHMS 型矿床的重要赋矿层位, 盆地中的火山活动导致海底喷流

= 1.6, m = 23) 代表火山岩的岩浆结晶时代。

由此可见, 本文获得两件样品的锆石为典型的岩浆锆石(图 2), 并且来自两个不同层位的样品都

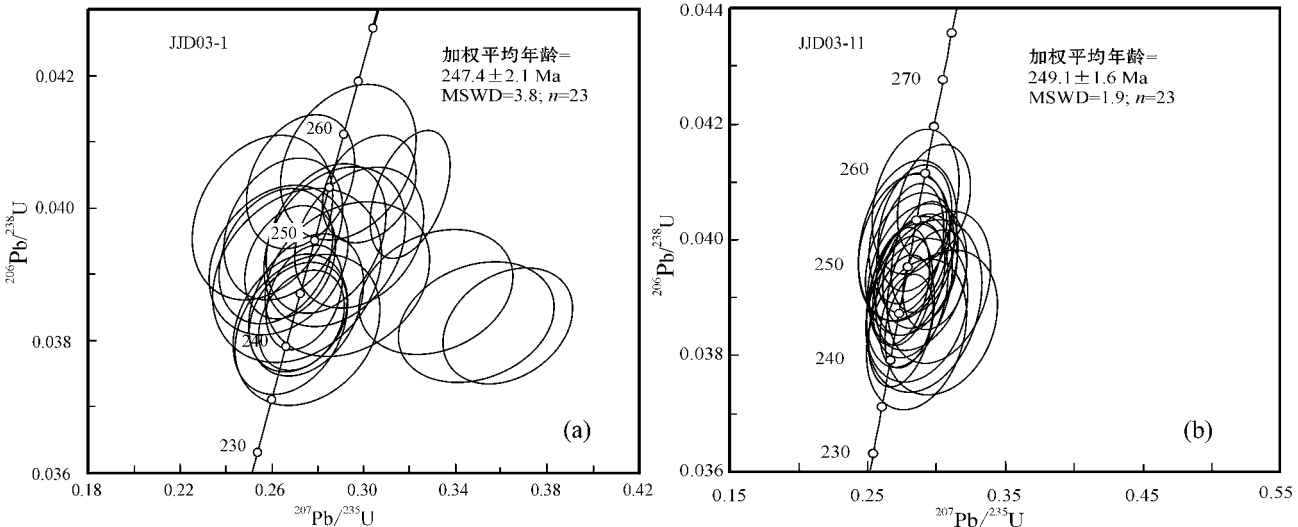


图 3 德钦县几家顶人支雪山组火山岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 U-Pb zircon concordia diagram for rhyolites of Renzhixueshan Formation in Jijiading area, eastern Tibet

表 1 德钦县几家顶人支雪山组流纹岩锆石 U-Pb 年龄分析数据

Table 1 U-Pb zircon dating results of rhyolites from Renzhixueshan Formation in Jijiading area, eastern Tibet

编号	$\omega_{\text{Pb}}/10^{-6}$			Th/U			同位素比值						年龄/Ma				
	Pb	Th	U	Th/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	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
样品编号: JJD03-1																	
1	15.86	173	370	0.47	0.0621	0.0026	0.3317	0.0138	0.0388	0.0004	680	90	291	10	245	2	
2	12.95	138	325	0.43	0.0525	0.0024	0.2753	0.0130	0.0382	0.0005	306	106	247	10	242	3	
3	10.50	125	253	0.50	0.0508	0.0029	0.2707	0.0151	0.0390	0.0005	232	133	243	12	247	3	
4	24.84	244	620	0.39	0.0507	0.0020	0.2679	0.0103	0.0383	0.0004	228	58	241	8	242	3	
5	32.18	327	797	0.41	0.0513	0.0017	0.2713	0.0088	0.0384	0.0003	254	78	244	7	243	2	
6	20.36	261	457	0.57	0.0661	0.0026	0.3493	0.0139	0.0383	0.0004	809	88	304	10	242	2	
7	29.86	222	720	0.31	0.0691	0.0023	0.3632	0.0116	0.0382	0.0004	902	69	315	9	242	2	
8	42.22	479	1129	0.42	0.0516	0.0015	0.2726	0.0077	0.0383	0.0003	265	67	245	6	243	2	
9	9.92	110	239	0.46	0.0550	0.0028	0.2928	0.0147	0.0390	0.0005	413	112	261	12	246	3	
10	20.20	295	469	0.63	0.0482	0.0019	0.2614	0.0102	0.0393	0.0004	109	91	236	8	249	3	
11	12.31	180	283	0.63	0.0489	0.0024	0.2627	0.0125	0.0392	0.0005	143	110	237	10	248	3	
12	16.34	222	380	0.58	0.0487	0.0020	0.2647	0.0106	0.0397	0.0004	200	96	238	9	251	3	
13	67.1	1245	1494	0.83	0.0510	0.0012	0.2738	0.0069	0.0387	0.0003	239	58	246	5	245	2	
14	19.27	188	465	0.40	0.0487	0.0017	0.2723	0.0097	0.0404	0.0004	132	79	245	8	256	3	
15	13.82	150	324	0.46	0.0522	0.0021	0.2931	0.0122	0.0407	0.0005	300	94	261	10	257	3	
16	8.79	96.5	211	0.46	0.0464	0.0023	0.2556	0.0126	0.0399	0.0005	17	115	231	10	252	3	
17	12.06	124	304	0.41	0.0518	0.0020	0.2747	0.0103	0.0386	0.0004	276	91	246	8	244	3	
18	80.3	472	1084	0.44	0.0573	0.0013	0.3203	0.0072	0.0402	0.0004	506	50	282	6	254	2	
19	39.83	428	922	0.46	0.0539	0.0015	0.3024	0.0084	0.0403	0.0003	369	63	268	7	255	2	
20	23.80	234	584	0.40	0.0493	0.0016	0.2677	0.0081	0.0392	0.0004	161	74	241	7	248	2	
21	9.76	83.6	243	0.34	0.0526	0.0023	0.2873	0.0127	0.0394	0.0005	309	100	256	10	249	3	
22	10.30	110	247	0.45	0.0518	0.0020	0.2834	0.0108	0.0396	0.0005	280	89	253	9	250	3	
23	11.56	150	264	0.57	0.0543	0.0021	0.2979	0.0116	0.0396	0.0004	383	89	265	9	250	3	

续表 1
Continued Table 1

编号	$\omega_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	Th		U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ			
样品编号: JJD03-11															
1	26.85	268	701	0.38	0.0512	0.0019	0.2788	0.0104	0.0393	0.0004	250	250	8	249	2
2	14.66	160	377	0.42	0.0500	0.0025	0.2747	0.0136	0.0399	0.0005	195	246	11	252	3
3	52.0	514	1366	0.38	0.0507	0.0016	0.2747	0.0085	0.0391	0.0004	228	246	7	247	2
4	25.07	346	607	0.57	0.0499	0.0020	0.2774	0.0116	0.0400	0.0005	191	249	9	253	3
5	13.18	128	351	0.36	0.0538	0.0030	0.2839	0.0149	0.0384	0.0005	361	254	12	243	3
6	25.66	284	676	0.42	0.0513	0.0020	0.2728	0.0099	0.0386	0.0005	254	245	8	244	3
7	11.95	156	295	0.53	0.0527	0.0029	0.2843	0.0148	0.0394	0.0005	317	254	12	249	3
8	15.40	167	401	0.42	0.0520	0.0022	0.2809	0.0119	0.0392	0.0005	283	251	9	248	3
9	8.00	90.5	208	0.44	0.0538	0.0032	0.2891	0.0173	0.0389	0.0006	365	258	14	246	4
10	12.91	153	326	0.47	0.0519	0.0026	0.2802	0.0138	0.0396	0.0005	283	251	11	250	3
11	29.7	455	710	0.64	0.0510	0.0020	0.2827	0.0109	0.0402	0.0004	239	253	9	254	3
12	21.11	273	541	0.51	0.0527	0.0021	0.2862	0.0111	0.0395	0.0004	322	256	9	250	2
13	27.76	267	729	0.37	0.0526	0.0017	0.2885	0.0094	0.0397	0.0004	322	257	7	251	2
14	32.18	342	833	0.41	0.0507	0.0018	0.2791	0.0100	0.0399	0.0005	228	250	8	252	3
15	12.19	130	317	0.41	0.0557	0.0029	0.3000	0.0154	0.0392	0.0005	439	266	12	248	3
16	18.19	183	457	0.40	0.0503	0.0023	0.2830	0.0129	0.0407	0.0005	209	253	10	257	3
17	33.39	295	841	0.35	0.0525	0.0019	0.2966	0.0109	0.0407	0.0004	309	264	9	257	3
18	17.16	176	446	0.39	0.0513	0.0023	0.2768	0.0121	0.0391	0.0005	254	248	10	247	3
19	32.85	326	843	0.39	0.0565	0.0033	0.3017	0.0167	0.0386	0.0005	478	268	13	244	3
20	34.36	389	885	0.44	0.0498	0.0016	0.2714	0.0089	0.0392	0.0004	83	244	7	248	3
21	16.38	208	399	0.52	0.0505	0.0029	0.2774	0.0146	0.0400	0.0006	217	249	12	253	4
22	40.8	611	987	0.62	0.0543	0.0017	0.2971	0.0095	0.0393	0.0004	387	264	7	249	2
23	16.43	234	408	0.57	0.0530	0.0029	0.2841	0.0152	0.0388	0.0005	328	254	12	245	3

热液活动发生,在裂谷(陷)盆地的次级凹陷中形成半封闭-封闭条件下的“卤水池”,以喷流-沉积作用为主的方式形成 VHMS 型矿床(王立全等,2002b)。

王立全等(2001)曾对研究区人支雪山组火山岩系进行过详细的岩石地球化学研究,并认为晚三叠世早期火山岩系玄武岩和流纹岩组合形成“双峰式”火山岩系,其中玄武岩岩浆源区接近于 EM II 型富集地幔,流纹岩的 Sr-Nd 同位素组成与共生的拉斑玄武岩类似,认为其与玄武岩具有相似的岩浆源区和密切的成因关系。本研究未发表的地球化学数据也显示人支雪山组火山岩具有双峰式火山岩特征。该套火山岩的构造环境与岛弧火山岩有着较明显的差异,而具有洋脊或板内拉张和岛弧的混合特征,可能是金沙江洋壳俯冲消减、弧-陆碰撞作用之后,在陆缘火山弧及其边缘带中重新拉张、裂隙形成的产物,是一个引张式的火山裂谷盆地(王立全等,2001)。

上述资料表明,三江地区在人支雪山组火山岩活动时代发育了较广泛的伸展型岩浆活动与成矿作用,暗示此时期三江地区为伸展的地球动力学背景。

4.2 地质意义

金沙江蛇绿岩带沿金沙江展布,大地构造位置夹持于中咱地块和昌都地块之间,向南可与哀牢山蛇绿岩对比。一般认为金沙江古特提斯洋盆形成于晚石炭世,后来在金沙江蛇绿岩带及相关地层中发现了自早石炭世至晚二叠世的放射虫化石(吴浩若,1993;孙晓猛等,1995)。简平等(1999)对金沙江蛇绿岩带进行了同位素地质年代学研究,提出金沙江古特提斯洋盆的海底扩张始于早石炭世,可能延至晚石炭世。此外简平等(2003)利用 SHRIMP 方法精确测定了金沙江蛇绿岩带中的辉长岩和斜长岩,呈脉状产于辉长岩和变质辉橄岩中的斜长花岗岩以及呈岩株状侵入蛇绿岩中的花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄,获得滇西之用角闪辉长岩的年龄为 328 ± 8 Ma,书松斜长岩为 329 ± 7 Ma,白马雪山辉长岩为 $282 \sim 285$ Ma,并有 $375 \sim 352$ Ma 的锆石记录年龄,由此认为金沙江蛇绿岩浆活动可能始于晚泥盆世,同时获得娘九丁斜长花岗岩年龄为 285 ± 6 Ma,雪堆斜长花岗岩为 300 ± 5 Ma,认为是古特提斯洋壳俯冲消减事件的产物,另外在呈岩株状侵入蛇绿岩中的滇西吉义独花岗闪长岩中获得的年龄为 263 Ma,认为代表了金沙江蛇绿混杂岩的年代上限(简平等,2003)。从上述资料来看,金沙江结合带可能经历了泥盆纪—石炭纪的洋盆扩张历史,二叠纪时

为俯冲消减。

但是关于金沙江结合带闭合时间、何时进入碰撞时代一直众说纷纭,一些研究者依据在金沙江结合带西段哈秀岛弧型石英闪长岩体所获得的 216.4 Ma 角闪石 Ar-Ar 年龄,认为金沙江结合带在晚三叠世仍处于洋壳的俯冲阶段,板块碰撞作用仍然没有开始(陈文等,2005)。而大多数研究者认为金沙江洋盆形成时代为早石炭世—中二叠世,晚泥盆世具有洋盆的雏型,中二叠世是洋盆扩展的鼎盛时期,中二叠世晚期—晚二叠世俯冲消减,三叠纪弧-陆碰撞,晚三叠世闭合,其标志是蛇绿岩的定位和上三叠统甲丕拉组和石钟山组(T_3)磨拉石的不整合覆盖(王立全等,2002a;潘桂棠等,2010)。

本文研究的人支雪山组火山岩分布于金沙江结合带的西侧,形成时代 $249 \sim 247$ Ma,其地球化学特征明显具有双峰式火山岩的性质(王立全等,2002a,2002b;本研究未发表数据),总体反映其形成于伸展的地球动力学背景,可能是金沙江结合带弧-陆碰撞后伸展造山过程的产物,由此本文初步认为 $249 \sim 247$ Ma 时研究区已进入弧-陆碰撞后伸展的地质时期。

5 结论

(1) LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素年龄证实几家顶一带人支雪山组火山岩活动时代为 $249 \sim 247$ Ma。

(2) 区域上广泛分布双峰式岩石组合的人支雪山组火山岩形成于伸展的构造背景,揭示金沙江结合带在早三叠世已进入弧-陆碰撞后的伸展时期。

致谢 两名匿名审稿人在审稿中提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

References

- Chen Wen, Zhang Yan, Chen Kelong, *et al.* 2005. Tectonic discrimination and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Haxiu quartz diorite in Yushu, Qinghai Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24 (5): 393~396 (in Chinese with English abstract).
- Franklin J M, Lydon J W and Sangster D F. 1981. Volcanic-associated massive sulfide deposit[J]. *Economic Geology*, 75: 485~627.
- Hu Z C, Gao S, Liu Y S, *et al.* 2008. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 23: 1093~1101.
- Jian Ping, Liu Dunyi and Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP dating of Carboniferous Jinshajiang ophiolite in Western Yunnan and Sichuan:

- Geochronological constraints on the evolution of the Paleo-Tethys Oceanic Crust [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 217 ~ 230 (in Chinese with English abstract).
- Jian Ping, Wang Xiaofeng, He Longqing, *et al.* 1999. U-Pb zircon dating of anorthosite and plagiogranite from the Jinshajiang ophiolite belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(4): 590 ~ 593 (in Chinese with English abstract).
- Li Dingmou, Wang Liquan, Xu Tongrui, *et al.* 2002. Mineralization and exploration of the copper and gold deposits along the Jinshajiang structural zone, southwestern China [J]. Beijing: Geological Publishing House, 8 ~ 28 (in Chinese).
- Liu Y, Gao S, Hu Z, *et al.* 2010a. 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: 537 ~ 571.
- Liu Y, Hu Z, Zong K, *et al.* 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1 535 ~ 1 546.
- Liu Y S, Hu Z C, 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 [J]. *Chemical Geology*, 257: 34 ~ 43.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California.
- Lydon J W. 1988. Ore Deposit Models # 14: Volcanogenic Massive Sulphide Deposits Part 2: Genetic model [J]. *Geoscience Canada*, 15: 43 ~ 65.
- Pan Guitang, Ding Jun, Yao Dongsheng, *et al.* 2004. Geology Map of Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Areas [M]. Mapping Publishing House of Chengdu (in Chinese).
- Pan Guitang, Wang Liquan, Ding Jun, *et al.* 2010. Geology Map of Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Areas (new 1: M) (in Chinese) (in press).
- Sun Xiaomeng, Nie Zetong and Liang Dingyi. 1995. Determination of sedimentary environments and tectonic significance of silicites in Jinsha river belt, NW Yunnan [J]. *Geologica Review*, 41(2): 174 ~ 178 (in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Hou Zengqian, Mo Xuanxue, *et al.* 2002a. The post-collisional crustal extension setting: an important mineralizing environment of volcanic massive sulfide deposits in Jinsha orogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 541 ~ 556 (in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Li Dingmou, Guan Shiping, *et al.* 2001. The evolution of the Luchun-Hongponiuchang superimposed rifting basin, Deqin county, Yunnan Province [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 21(3): 81 ~ 89 (in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Li Dingmou, Guan Shiping, *et al.* 2002b. The Rb-Sr age determinations of the " bimodal " volcanic rocks in the Luchun-Hongponiuchang superimposed rift basin, Deqin, Yunnan [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 22(1): 65 ~ 71 (in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Pan Guitang, Li Dingmou, *et al.* 1999. The spatio-temporal framework and geological evolution of the Jinshajiang arc-basin systems [J]. *Acta Geologica Sinica*, 73(3): 206 ~ 218 (in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Pan Guitang, Li Dingmou, *et al.* 2000. The evolution and mineralization of the Jomda-Weixi continental marginal volcanic arc, southwestern China [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(2): 1 ~ 16 (in Chinese 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 [J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 19: 1 ~ 23.
- Williams I S, Buick A and Cartwright I. 1996. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynold Region, central Australia [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 14: 29 ~ 47.
- Wu Haoruo. 1993. The discovery of early Carboniferous deep-sea sediments in Jinsha River belt, NW Yunnan [J]. *Geological Sciences*, 28(4): 395 ~ 97 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈文, 张彦, 陈克龙, 等. 2005. 青海玉树哈秀岩体成因及⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学研究 [J]. *岩石矿物学杂志*, 24(5): 393 ~ 396.
- 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约 [J]. *地质学报*, 77(2): 217 ~ 230.
- 简平, 汪啸风, 何龙清, 等. 1999. 金沙江蛇绿岩中斜长岩和斜长花岗岩的 U-Pb 年龄及地质意义 [J]. *岩石学报*, 15(4): 590 ~ 593.
- 李定谋, 王立全, 须同瑞, 等. 2002. 金沙江构造带铜金矿成矿与找矿 [M]. 地质出版社, 8 ~ 28.
- 潘桂棠, 丁俊, 姚冬生, 等. 2004. 青藏高原及邻区地质图(1: 1 500 000) [M]. 成都地图出版社.
- 潘桂棠, 王立全, 丁俊, 等. 2010. 青藏高原及邻区地质图(1: 1 500 000) [新编] [M]. 出版中.
- 孙晓猛, 聂泽同, 梁定益. 1995. 滇西北金沙江带硅质岩沉积环境的确定及大地构造意义 [J]. *地质评论*, 41(2): 174 ~ 178.
- 王立全, 侯增谦, 莫宣学, 等. 2002a. 金沙江造山带碰撞后地壳伸展背景——火山成因块状硫化物矿床的重要成矿环境 [J]. *地质学报*, 76(4): 541 ~ 556.
- 王立全, 李定谋, 管士平, 等. 2001. 云南德钦鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地演化 [J]. *矿物岩石*, 21(3): 81 ~ 89.
- 王立全, 李定谋, 管士平, 等. 2002b. 云南德钦鲁春-红坡牛场上叠裂谷盆地“双峰式”火山岩的 Rb-Sr 年龄值 [J]. *沉积与特提斯地质*, 22(1): 65 ~ 71.
- 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 等. 1999. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化 [J]. *地质学报*, 73(03): 206 ~ 218.
- 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 等. 2000. 江达-维西陆缘火山弧的形成演化及成矿作用 [J]. *沉积与特提斯地质*, 20(2): 1 ~ 16.
- 吴浩若. 1993. 滇西北金沙江带早石炭世深海沉积的发现 [J]. *地质科学*, 28(4): 395 ~ 97.