

# 扬子地块西缘新元古代镁铁-超镁铁质岩研究进展

朱维光<sup>1,2</sup>, 刘秉光<sup>3</sup>, 邓海琳<sup>1</sup>, 钟 宏<sup>1</sup>, 李朝阳<sup>1</sup>, 皮道会<sup>1,2</sup>, 李志德<sup>4</sup>, 覃 喻<sup>5</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所矿床地球化学重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029; 4. 中国地质大学, 武汉 430074; 5. 四川冶金地勘局 601 队, 四川 攀枝花 617027

**摘 要:** 扬子地块西缘新元古代岩浆活动非常强烈, 花岗岩广布。最近研究表明, 该区还有较大规模的新元古代基性岩浆活动。本文着重总结和评述了扬子地块西缘的新元古代镁铁-超镁铁质岩的最新研究成果, 认为这一期岩浆活动是由约 0.95~0.90 Ga 造山带的岩浆活动和 0.86~0.74 Ga 非造山的岩浆活动组成, 反映了从岛弧到板内裂谷的构造演化模式。

**关 键 词:** 镁铁-超镁铁质岩; 新元古代; 扬子地块西缘

**中图分类号:** P588.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2004)03-0255-09

华南地块分扬子地块和华夏地块; 其界限由板溪群南缘和同时代的地层单元所限定。Hsü 等<sup>[1]</sup>认为这两个地块在三叠纪时发生碰撞。但十多年来对扬子地块南缘和东南缘的花岗岩和蛇绿岩地质年代学、地球化学和同位素研究表明, 这两个地块是新元古代大陆碰撞的结果<sup>[2~9]</sup>。扬子地块南缘的细粒碎屑沉积物的钨同位素研究也为支持这一时期的大陆碰撞提供了制约<sup>[10]</sup>。

近年来, 有学者将扬子地块和华夏地块新元古代碰撞与新元古代 Rodinia 超大陆的重建联系在一起<sup>[11,12]</sup>。在 Rodinia 超大陆形成的聚合时间上已基本取得共识, 赣东北<sup>[4]</sup>、皖南<sup>[2]</sup>和桂北蛇绿岩<sup>[13]</sup> (约 1.0 Ga) 被认为是扬子地块和华夏地块碰撞缝合带的标志, 时代上与全球 Grenvillian 造山带也基本一致, 反映华南 Rodinia 超大陆形成的时间。但对 Rodinia 超大陆裂解期间形成的岩浆岩的成因和构造背景还有许多争议, 目前大多数学者认为地幔柱是导致华南新元古代 Rodinia 超大陆裂解的一个重要原因<sup>[11~20]</sup>, 但也有相当一部分学者主张岛弧是导致华南新元古代 Rodinia 超大陆裂解的重要原因<sup>[21~26]</sup>。

扬子地块西缘新元古代岩浆活动非常强烈, 广

泛分布新元古代花岗岩, 其分布与康定裂谷范围一致, 其成因对研究 Rodinia 超大陆的演化有重要意义<sup>[27]</sup>。最近研究表明, 扬子地块西缘也存在较大规模的新元古代基性岩浆活动<sup>[21,23,28]</sup>, 这为研究华南新元古代镁铁-超镁铁质岩的地球化学特征及构造背景提供了新的线索和理想场所。

## 1 扬子地块西缘新元古代岩浆活动

近年来, 我国学者对华南新元古代非造山岩浆活动研究取得了重要进展, 指出地幔柱是导致华南新元古代 Rodinia 超大陆裂解的重要原因。

扬子地块西缘新元古代岩浆岩有花岗岩、花岗闪长岩、英云闪长岩、闪长岩、辉长岩、镁铁质岩墙和小的超镁铁质岩体。火成岩杂岩体基本上沿康定裂谷连续分布, 而且镁铁质岩石与花岗质岩石是同时形成的<sup>[17]</sup>。根据这些岩石或侵入体的年龄相对于裂谷事件可分为两组: 较早组 (前裂谷期, 传统上称为“晋宁期岩浆活动”) 的年龄主要集中在 830~820 Ma, 通常被裂谷层位所覆盖<sup>[18]</sup>; 较晚组 (同裂谷期, 传统上称为“澄江期岩浆活动”), 通常侵入到裂谷层位中<sup>[17]</sup>。

康定裂谷是南北延伸破坏的新元古代大陆裂

收稿日期: 2004-04-17 收到, 05-13 改回

基金项目: 中国科学院知识创新工程 (KZCX2-101 与 KZCX3-SW-125) 和国家重点基础研究发展规划项目 (G1999013207) 资助

第一作者简介: 朱维光 (1968 - ), 男, 在读博士生, 地球化学专业, E-mail: wgzhu\_gy@163.com.

谷<sup>[14,16,17,20]</sup>,是在强烈变形和变质的中元古代地层(苏雄/开建桥组);中下部地层约为  $815 \pm 12$  Ma,中上的准平原顶部发展起来的。裂谷层位的年龄(苏部地层为  $803 \pm 12$  Ma<sup>[16]</sup>。

表1 扬子地块西缘新元古代岩浆岩的同位素年龄

Table 1 Isotopic ages from Neoproterozoic igneous rocks on the western margin of the Yangtze craton

岩体	样号	时代(Ma)	测年方法	文献	
I	丹巴贡才花岗岩体	Gc1	$824 \pm 14$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[21]
			$864 \pm 8$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[21]
	丹巴格宗花岗岩体	Gc7	$864 \pm 26$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[30]
			$829 \pm 9$	U-Pb upper intercept	[31]
	石棉扁路岗花岗岩体		$876 \pm 40$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[32]
	石棉田湾闪长岩体		$823 \pm 12$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[32]
	盐边关刀山花岗岩体		$857 \pm 13$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[33]
云南峨山花岗岩体		$819 \pm 8$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[18]	
II	丹巴东谷花岗岩体		$798 \pm 24$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[30]
		康定下索子花岗岩体		$805 \pm 15$	单颗粒锆石 U-Pb 法
	康定花岗质杂岩	98KD36	$768 \pm 7$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[17]
		98KD24	$755 \pm 6$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[17]
		98KD70	$751 \pm 10$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[17]
		Kd11	$795 \pm 13$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[21]
		Kd35	$796 \pm 14$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[21]
		Kd2	$797 \pm 10$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[21]
	石棉花岗岩体 (也称大相岭或黄草山花岗岩体)		$809 \pm 22$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[34]
			$786 \pm 36$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[29]
	米易-渡口花岗质杂岩	99KD34	$775 \pm 8$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[17]
Meta-7		$764 \pm 9$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[21]	
同德闪长岩	01KD72	$813 \pm 14$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[35]	
云南元谋花岗岩体	Zb-18	$746 \pm 13$		[21]	
III	川西苏雄组火山岩	98KD76	$803 \pm 12$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[16]
IV	石棉镁铁-超镁铁质岩体		$938 \pm 30$	Sm-Nd 等时线年龄	[36]
			$906 \pm 46$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[37]
	石棉大水沟斜长角闪岩		$937 \pm 106$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[38]
V	高家村镁铁-超镁铁质杂岩体		$840 \pm 5$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[28]
	桥头镁铁-超镁铁质杂岩体		$853 \pm 42$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[24]
	石棉冷碛辉长岩体		$808 \pm 12$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[27]
	沙坝辉长岩体	98KD104	$752 \pm 12$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[17]
		98KD111	$752 \pm 11$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[17]
	同德辉长岩	99KD36	$820 \pm 13$	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	[35]
丹巴汉牛大桥变质玄武岩		$736 \sim 800$	单颗粒锆石 U-Pb 法	[32]	

注: I 前裂谷期花岗岩; II 同裂谷期花岗岩; III 同裂谷期流纹岩; IV 950~900 Ma 镁铁-超镁铁质岩; V 与裂谷事件有关的镁铁-超镁铁质岩

### 1.1 酸性岩浆活动

1.1.1 花岗岩类 扬子地块西缘北起四川丹巴,南至云南峨山,南北延伸近千公里,花岗岩岩体达 60 多个<sup>[29]</sup>。

区内前裂谷期花岗岩主要有丹巴贡才花岗岩体<sup>[21]</sup>、丹巴格宗花岗岩体<sup>[21,30,31]</sup>、石棉扁路岗花岗岩体<sup>[32]</sup>、石棉田湾闪长岩体<sup>[32]</sup>、盐边渔门关刀山花岗岩体<sup>[3,33]</sup>、云南峨山花岗岩体<sup>[18]</sup>等(表1)。同裂谷期花岗岩主要有丹巴东谷花岗岩体<sup>[30]</sup>、康定下索子花岗岩体<sup>[29]</sup>、康定花岗质杂岩体<sup>[17,21]</sup>、石棉花岗岩体(也称大相岭或者黄草山花岗岩体)<sup>[29,34]</sup>、米易-

渡口花岗质杂岩体<sup>[17,21]</sup>、同德闪长岩体<sup>[35]</sup>、云南元谋花岗岩体<sup>[21]</sup>等(表1)。

1.1.2 流纹岩类 川西地区早震旦世苏雄组火山岩以流纹岩为主,夹少量玄武岩,其中流纹岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $803 \pm 12$  Ma(表1),代表火山岩的喷出年龄<sup>[16]</sup>;表明苏雄组火山岩属于同裂谷期火山岩。

### 1.2 基性岩浆活动的表现

扬子地块西缘新元古代镁铁-超镁铁质岩主要分布于盐边岩带中,由高家村镁铁-超镁铁质杂岩体、含铜镍硫化物矿床的冷水箐镁铁-超镁铁质杂岩

体及邻近数十个小杂岩体组成;高家村杂岩体以北约 10 km 处有玄武岩(荒田火山岩)并有大量辉绿质岩墙(荒田-双龙基性岩墙群)出露。此外,扬子地块西缘北部康定—泸定—石棉一带还出露一些镁铁-超镁铁质杂岩体、基性岩脉和少量玄武岩。

这些岩石可分为两类:与造山运动有关的 950~900 Ma 镁铁-超镁铁质岩和与裂谷事件有关的镁铁-超镁铁质岩。前者包括石棉镁铁-超镁铁质岩体<sup>[36,37]</sup>与石棉大水沟斜长角闪岩(变质玄武岩)<sup>[38]</sup>等。后者主要有高家村镁铁-超镁铁质杂岩体及其相关的杂岩体与岩墙<sup>[28]</sup>、泸定桥头镁铁-超镁铁质杂岩体<sup>[24]</sup>、石棉冷碛辉长岩体<sup>[27]</sup>、沙坝辉长岩体<sup>[17]</sup>、同德辉长岩体<sup>[35]</sup>、康定花岗质杂岩中约 760 Ma 的基性岩脉<sup>[17]</sup>、川西地区早震旦世苏雄组中夹的少量玄武岩<sup>[16]</sup>、丹巴汉牛大桥变质玄武岩<sup>[32]</sup>等(表 1)。此外,泸定湾东岩体、水井湾岩体等也认为是新元古代晋宁期的镁铁-超镁铁质岩体<sup>[24]</sup>。

## 2 扬子地块西缘新元古代镁铁-超镁铁质岩

### 2.1 950~900 Ma 的镁铁-超镁铁质岩

代表性岩体石棉镁铁-超镁铁质岩体为蛇绿岩套的一部分<sup>[39~42]</sup>。“石棉蛇绿岩”由变质橄榄岩、辉长岩和玄武岩组成。石棉蛇绿岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为  $906 \pm 46$  Ma, Sm-Nd 等时线年龄为  $938 \pm 30$  Ma, 证实为新元古代基性岩浆活动的产物<sup>[36,37]</sup>。

沈渭洲等<sup>[36,37]</sup>认为“石棉蛇绿岩”形成于成熟的弧后盆地环境。主要依据:1)它与石棉花岗岩的接触关系说明形成于与裂谷有关的岩浆活动之前。2)辉长岩和玄武岩的微量元素分布型式和丰度均与 MORB 特征相似。在 Zr-TiO<sub>2</sub>、Zr-Zr/Y、Zr/4-Y-Nb×2、Th-Ta-Hf/3 等构造环境判别图上,玄武岩数据点均落入 MORB 区域。这些特征显示玄武岩主要与 MORB 具亲缘关系。3)石棉蛇绿岩具有高的  $\epsilon_{Nd}(t)$  正值(7.3~8.7)(表 2),反映来源于强烈亏损的地幔源区,没有明显受到地壳混染作用的影响。4)石棉蛇绿岩与 WPB、IAT 和 OIB 的差异比较明显。具有这种特征的蛇绿岩最可能形成于大洋环境,如洋中脊或成熟的弧后盆地,而与大陆及岛弧环境无关<sup>[13,41]</sup>。而且,区域上存在同期岛弧火山岩,如石棉大水沟斜长角闪岩<sup>[38]</sup>和天宝山组英安-

流纹质钙碱性火山岩<sup>[40,42]</sup>。

该成果表明“石棉蛇绿岩”的形成可以与扬子地块东南缘的 0.97~1.0 Ga 的晋宁期蛇绿岩系(赣东北、皖南和桂北)及扬子地块北缘西乡群(0.95~0.90 Ga)<sup>[19]</sup>相对比。从而表明扬子地块西缘在约 0.95~0.90 Ga 的晋宁期也可能是活动大陆边缘。

### 2.2 与裂谷事件有关的镁铁-超镁铁质岩

该类型有玄武岩、基性岩脉、辉长岩体和镁铁-超镁铁质杂岩体。

2.2.1 与裂谷事件有关的玄武岩 川西地区早震旦世火山岩主要分布在小相岭、大相岭、甘洛和西昌螺髻山等地,被划分为苏雄组和开建桥组。苏雄组的出露面积约 2630 km<sup>2</sup>,以酸性火山熔岩为主,下部和上部夹有数层玄武岩及少量火山碎屑岩。其中玄武岩主要分布在甘洛苏雄。苏雄组火山岩充填于康滇裂谷盆地的底部,呈角度不整合覆盖于前震旦纪基底上。

李献华等<sup>[16]</sup>认为这类岩石形成于板内裂谷环境,且很可能与地幔柱活动有关。主要依据有:1)在全碱-SiO<sub>2</sub>(TAS)图解和基性火山岩 TiO<sub>2</sub>-Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>分类图上,苏雄组的所有基性火山岩样品均落入碱性系列范围。2)大多数玄武岩为正的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值(5.0~6.0)(表 2),明显富集 Th、Ta、Nb、LREEs、Sr、P、Zr、Hf 与 Ti,平滑的 LREE 富集模式和“隆起”的微量元素蛛网图。这些特征与夏威夷洋岛玄武岩(OIB)和 Ethiopian 大陆溢流玄武岩(CFB)很相似。3)分异的玄武岩和粗面安山岩低的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值(1.7~2.4)(表 2)和 Nb-Ta 亏损是由于受镁铁质岩石圈和/或地壳物质的混染。4)双峰式火山岩主要形成于大陆裂谷环境<sup>[45]</sup>。苏雄组碱性玄武岩的特征也与高火山活动型(HV)裂谷火山岩<sup>[46]</sup>相似。现代 HV 型裂谷通常被认为与地幔柱活动有关。5)扬子地块西缘 HV 型裂谷及其中  $803 \pm 12$  Ma 的双峰式火山岩比推测的地幔柱活动(约 825 Ma 基性岩脉/岩席)晚约 20 Ma。可见,华南新元古代岩浆活动与北美新元古代裂谷岩浆活动(即约 780 Ma 地幔柱成因的岩墙群和 765~740 Ma 的裂谷火山岩)<sup>[47,48]</sup>非常相似,只是年龄相差了 40~50 Ma。从而进一步支持约 825 Ma 华南地幔柱模式。因此,康定裂谷被认为是新元古代 Rodinia 裂解期间由华南下部的地幔柱引起的大裂谷系统的一部分。

2.2.2 与裂谷事件有关的基性岩脉 康定杂岩体

表 2 扬子地块西缘新元古代镁铁质-超镁铁质岩的同位素资料

Table 1 Isotopic data from Neoproterozoic mafic-ultramafic rocks on the western margin of the Yangtze craton

岩体	年龄/Ma	样品号	岩性	$\epsilon_{Nd}(t)$	文献
石棉镁铁-超镁铁质岩体	938±30 <sup>[36]</sup> 或 906±46 <sup>[37]</sup>	9802	方辉橄榄岩	+7.3	[36]
		9905	方辉橄榄岩	+7.7	
		9906	石榴透辉岩	+8.7	
		9908	辉长岩	+7.6	
		9910	辉长岩	+7.6	
		9909	玄武岩	+8.6	
苏雄组碱性玄武岩	803±12	98KD78-1	玄武安山岩	+1.7	[16]
		99 KD21-1	碱性玄武岩	+2.4	
		99 KD22-4	碱性玄武岩	+5.0	
		99 KD22-5	碱性玄武岩	+5.3	
		99 KD22-8	碱性玄武岩	+6.0	
康定杂岩中的基性岩脉	760~740	01KD09		+3.1	[17]
		01KD11		+3.4	
		01KD15A		+0.9	
		01KD16		+2.8	
石棉冷碛辉长岩体	808±12	98KD61	辉长岩	-0.1	[27]
		98KD62	辉长岩	+0.6	
		98KD64	辉长岩	+3.6	
		98KD65	辉长岩	+4.4	
		98KD66	辉长岩	+4.4	
高家村镁铁-超镁铁质杂岩体	840±5	GJZ15	橄榄辉长苏长岩	+4.2	[28]
		GJZ7	橄长岩	+1.4	
		GJZ38	二辉角闪橄榄岩	+2.4	
		GJZ41	二辉角闪橄榄岩	+1.5	
		GJD1	角闪辉长岩	+1.5	
		GJD7	角闪辉长岩	+1.9	
桥头镁铁-超镁铁质杂岩体	853±42	9644-H	辉石橄榄岩	+2.9	[24]
		9644-I	辉长岩	+2.7	
		9645	角闪辉长岩	+3.1	
		9644-A	辉长岩	+2.5	

中出露一些基性岩脉,这些岩脉(或岩墙)被认为与康定裂谷中 760~740 Ma 的花岗闪长岩为同时代产物<sup>[17]</sup>。

地球化学和钨同位素特征表明,它们通常属于拉斑玄武质,并最可能是地幔柱成因<sup>[17]</sup>,主要依据:1)这些镁铁质岩墙具低的 Nb/Y 值(0.09~0.35)、中等含量的 TiO<sub>2</sub>(1%~1.5%)和相对平坦的 REE 模式。2)在 MORB 标准化的蛛网图上,拉斑玄武质的镁铁质岩墙的 Sr、K、Rb 和 Ba 含量表现出明显的变化,很可能是后来的蚀变所致。除了 Nb-Ta,不活动的元素的标准含量通常表现出从 Yb 到 Th 增的逐渐加。与 MORB 相比,富集 Th、LREE 和 HSE;且具高的 Zr/Y(4.7~6.6)和 Zr/Sm(30~37)值,这与板内拉斑玄武岩(Zr/Y>3.5, Zr/Sm≈30)相似,但明显不同于岛弧拉斑玄武岩(Zr/Y<3.5, Zr/Sm<20)<sup>[45,49]</sup>。3)这些岩脉显示不同

的地球化学特征:具明显 Nb-Ta 亏损和相对低的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值(0.9~3.1)(表 2)是板内玄武质岩浆遭受不同程度地壳混染的结果;另一种为最少地壳混染的样品,表现为相对高的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值(3.4)(表 2)和不明显的 Nb-Ta 亏损,微量元素分布模式与地幔柱成因的拉斑玄武岩非常相似,如夏威夷拉斑玄武岩、Karoo 溢流玄武岩和 Gairdner 岩墙群<sup>[50]</sup>。

2.2.3 与裂谷事件有关的辉长岩体 以冷碛辉长岩体为代表。该岩体出露于石棉花岗岩体北缘,包括冷碛村南面的两个辉长岩体,靠北的岩体为粗-中粒辉长岩,靠南的岩体为中-细粒辉长岩。

冷碛辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 808±12 Ma<sup>[27]</sup>,与石棉花岗岩(809±22 Ma<sup>[34]</sup>) 在误差范围是一致的,表明两者为同期岩浆活动产物。

李献华等<sup>[27]</sup>认为该岩体形成于板内裂谷环境。

主要依据:1) 岩石化学特征总体上显示出弱碱性玄武岩的主量元素特征,与苏雄组碱性玄武岩相似,而明显不同于岛弧玄武岩和活动大陆边缘玄武岩。2) 显示两种不同的地球化学特征,一种样品的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值(0.2~0.6)明显低于苏雄碱性玄武岩(5.0~6.0)(表2),并普遍有 Nb-Ta 亏损,表明辉长岩浆在上升过程中受到富集岩石圈地幔(被年轻俯冲板块交代)和/或基性下地壳物质的混染。另一种样品没有受地壳混染样品, $\epsilon_{Nd}(t)$  值为 3.6~4.4(表2):微量元素丰度和分布特征总体上和苏雄碱性玄武岩类似,而不同于岛弧玄武岩。3) 元素和钕同位素地球化学特征表明冷碛辉长岩明显不同于典型的火山弧玄武岩,总体上类似于板内碱性玄武岩,但叠加了如 Nb-Ta 亏损等一些岛弧岩浆的特征。

#### 2.2.4 与裂谷事件有关的镁铁-超镁铁质杂岩体

该类型代表有盐边高家村镁铁-超镁铁质杂岩体和泸定桥头镁铁-超镁铁质杂岩体。高家村镁铁-超镁铁质杂岩体是扬子地块西缘新元古代最大的镁铁-超镁铁质似层状杂岩体,位于四川省原盐边县城南约 30 km 处,呈北西向展布,不规则椭圆形,南北长 9 km,东西宽 7.5 km,面积约 70 km<sup>2</sup>。四川地矿局 106 地质队<sup>[71]</sup>依据下盐边群火山岩中枕状熔岩及该岩体深成岩的组合,认为是元古代“盐边蛇绿岩”。前人的研究主要得到两种认识:认为高家村杂岩体是蛇绿岩的组成部分,但其构造环境有大洋盆地<sup>[42,52~53]</sup>、陆间裂谷<sup>[42,54]</sup>、弧前环境<sup>[40,55,56]</sup>和岛弧<sup>[57,58]</sup>等多种看法;认为不是蛇绿岩,而是中元古代末期或新元古代岛弧岩浆活动的产物<sup>[25,59,60]</sup>。

朱维光等<sup>[28]</sup>测得主体岩相带中角闪辉长岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 840±5 Ma,表明该岩体是新元古代基性岩浆活动的产物;并指出“盐边蛇绿岩”一说值得质疑,主要依据有:1) 高家村杂岩体与围岩(中元古代盐边群变质火山岩和片岩)呈明显的侵入接触,且高家村杂岩体为结晶分异明显的似层状侵入体。2) 区域上高家村深成岩与盐边群火山岩之间缺少典型的“席状岩墙群”;岩体深部也未见变质橄榄岩,岩体北部仅 10 多 km 处有大量的辉绿岩岩墙侵入盐边群粗-细粒玄武岩。3) 高家村杂岩体主体岩相的角闪辉长岩侵位年龄为 840±5 Ma,表明它与中元古代盐边群火山岩并无成因联系。盐边群火山岩具 LREE 富集的特征,明显不同于蛇绿岩中 LREE 亏损型的 N-MORB<sup>[35]</sup>。

高家村杂岩体的  $\epsilon_{Nd}$  值为 1.4~4.2<sup>[28]</sup>(表2),

在  $\epsilon_{Nd}-1/Nd^{[61]}$ 、 $\epsilon_{Nd}-La/Nb^{[62]}$  的关系图上,大多数样品具有较好的相关关系,反映岩浆曾受到地壳物质的明显混染。可见,地壳混染作用是造成该岩体具 Nb-Ta 亏损的重要原因。

许多地质现象表明,高家村杂岩体是在板内拉伸环境的产物,这些现象包括:岩体产状、上部的 Cu-Ni 硫化物矿化、东北侧冷水箐岩浆型 Cu-Ni 硫化物矿床的特征,以及北部近东西—北东向辉绿岩墙群的广泛出现。现有的地质和岩石元素与同位素地球化学资料也不支持扬子地块西缘存在更年轻的(860~750 Ma)岛弧的观点<sup>[27,33]</sup>。

根据以上讨论,本文认为高家村杂岩体很可能与 Rodinia 超级大陆下的一个超级地幔柱活动有关,由受地壳混染的板内玄武质母岩浆堆晶所成。

桥头镁铁-超镁铁质杂岩体位于四川泸定红军桥西侧,出露面积不足 0.5 km<sup>2</sup>。岩体主要由辉长岩类(辉长岩和少量橄榄辉长岩)组成,有少量辉石橄榄岩。单颗粒锆石 U-Pb 的上交点年龄为 853±42 Ma,为其形成时间<sup>[24]</sup>。

沈渭洲等<sup>[24]</sup>认为该岩体形成于岛弧环境。主要依据是:1) 辉长岩类以高铝为特征,这是岩浆起源于活动大陆边缘(或岛弧环境)的一个标志<sup>[63]</sup>。2) 在 MORB 标准化的蛛网图上 Nb、Ta、P 和 Ti 亏损较明显。这个特征体现出与板块俯冲作用有关而明显不同于 MORB 和 OIB,反映其地幔源区已受到从俯冲板块(特别是沉积物)释放出来的硅酸盐熔体的交代作用的影响。其微量元素的分布型式与被认为是岛弧成因的埃及 El-Aradya 地区新元古代辉长岩<sup>[64]</sup>十分相似。3) 玄武岩类岩石的 Th-Ta-Hf/3 和 Zr/4-Y-Nb×2 等图解基本上都投影于岛弧拉斑玄武岩区域。

该岩体的  $\epsilon_{Nd}$  值为 2.5~3.1<sup>[24]</sup>(表2),在  $\epsilon_{Nd}-1/Nd^{[61]}$ 、 $\epsilon_{Nd}-La/Nb^{[62]}$  关系图上大多具有较好的相关关系,反映岩浆曾受到地壳物质的明显混染。可见,地壳混染作用是造成该岩体的岩石具 Nb-Ta 亏损的重要原因。

### 3 主要认识

(1) 扬子地块西缘新元古代存在较大规模的基性岩浆活动。950~900 Ma 的石棉镁铁-超镁铁质岩体及其同时代的火山岩产于活动大陆边缘或岛弧环境。而 860~740 Ma 的基性岩浆活动多与板内裂谷活动有关,很可能是 Rodinia 超大陆下 860~

740 Ma 超级地幔柱引起。

(2) 扬子地块西缘 950~900 Ma 的镁铁-超镁铁质岩来源于强烈亏损的地幔源区。而 860~740 Ma 的镁铁-超镁铁质岩与夏威夷洋岛玄武岩 (OIB) 和 Ethiopian 大陆溢流玄武岩 (CFB) 很相似, 来源于似 OIB 的地幔源区。

(3) 扬子地块西缘新元古代岩浆活动是由约 0.95~0.90 Ga 造山带的岩浆活动和 0.86~0.74 Ga 非造山的岩浆活动组成。造山运动的结束代表华南 Rodinia 超大陆最终形成, 而非造山运动代表华南 Rodinia 超大陆裂解的时间。这两种不同的岩浆活动代表华南新元古代的重要构造事件的转变。

**致谢** 本文在涂光炽院士的指导下完成。在成文过程李献华研究员和张乾研究员、刘玉平副研究员和张兴春副研究员提出了很多建设性的意见。特此致谢。

#### 参考文献 (Reference):

- [1] Hsü K J, Li J L, Chen H, Wang Q, Sun S, Sengor A M C. Tectonics of South China: Key to understanding West Pacific geology[J]. *Tectonophy*, 1990, 183: 9-39.
- [2] 周新民, 邹海波, 杨杰东, 王银喜. 安徽歙县伏川蛇绿岩套的 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. *科学通报*, 1989, 34(16): 1243-1245.  
Zhou Xinmin, Zou, Haibo, Yang Jiedong, Wang Yinxi. Sm-Nd isochronous age of Fuchuan ophiolite suite in Shexian county, Anhui Province, and its geological significance. *Chin. Sci. Bull.*, 1989, 34, (16): 1243-1245. (in Chinese)
- [3] 徐备, 乔广生. 赣东北晚元古代蛇绿岩的 Sm-Nd 同位素年龄及原始构造环境[J]. *南京大学学报 (地球科学)*, 1989, (3): 108-114.  
Xu Bei, Qiao Guangsheng. Sm-Nd isotopic age of the Late Proterozoic ophiolite suite in northeastern Jiangxi Province and its primary tectonic environment[J]. *J. Nanjing University (Earth Sciences)*, 1989, (3): 108-114. (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhou G Q, Zhao J X. Sm-Nd isotopic systematics of the NE Jiangxi ophiolite (NEJXO), SE margin of the Yangtze Craton, south China[J]. *Chin. Sci. Bull.*, 1991, 36: 1374-1379.
- [5] Chen J F, Foland K A, Xing F M, Xu X, Zhou T X. Magmatism along the southeastern margin of the Yangtze Block, Precambrian collision of the Yangtze and Cathaysia blocks of China[J]. *Geology*, 1991, 19: 815-818.
- [6] 邢凤鸣, 徐祥, 陈江峰, 周泰禧, Foland K A. 江南古陆东南缘晚元古代大陆增生史[J]. *地质学报*, 1992, 66(1): 59-72.  
Xing Fengming, Xu Xiang, Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Foland K A. The late Proterozoic continental accretionary history of the southeastern margin of the Yangtze platform[J]. *Acta Geol. Sin.*, 1992, 66(1): 59-72. (in Chinese)
- [7] Li X H, Zhou G Q, Zhao J X, Fanning C M, Compston W. SHRIMP ion microprobe zircon age and Sm-Nd isotopic characteristics of the NE Jiangxi ophiolite and its tectonic implications[J]. *Chinese J. Geochemistry*, 1994, 13: 317-325.
- [8] Li X H, Zhao J X, McCulloch M T, Zhou G Q, Xing F M. Geochemical and Sm-Nd isotopic study of late Proterozoic ophiolites from southeastern China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Precambrian Res.*, 1997, 81: 129-144.
- [9] Li X H. Geochemical and Sm-Nd isotopic study of the Longsheng ophiolite from the southern margin of Yangtze Craton; Implications for Proterozoic tectonic evolution in SE China[J]. *Geochem. J.*, 1997, 31: 323-337.
- [10] Li X H, McCulloch M T. Sefular variations in the Nd isotopic composition of late Proterozoic sediments from the southern margin of the Yangtze Block; Evidence for a Proterozoic continental collision in SE China[J]. *Precamb. Res.*, 1996, 76: 67-76.
- [11] Li Z X, Zhang L, Powell C M. South China in Rodinia; part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia? [J]. *Geology*, 1995, 23: 407-410.
- [12] Li Z X, Zhang L, Powell C M. Positions of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia [J]. *Aust. J. Earth Sci.*, 1996, 43: 593-604.
- [13] 甘晓春, 李献华, 赵凤春, 王海波. 广西龙胜丹洲群细碧岩 U-Pb 及 Sm-Nd 等时线年龄[J]. *地球化学*, 1996, 25(3): 270-276.  
Gan Xiaochun, Li Xianhua, Zhao Fengbo, Wang Haibo. U-Pb zircon and Sm-Nd isotopic ages of spilites from Danzhou Group, Longsheng, Guangxi[J]. *Geochimica*, 1996, 25(3): 270-276. (in Chinese with English abstract)
- [14] Li Z X, Li X H, Kinny P D, Wang J. The breakup of Rodinia; Did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1999, 173: 171-181.
- [15] Li Z X, Li X H, Zhou H, Kinny P D. Grenvillian continental collision in South China; New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. *Geology*, 2002, 30: 163-166.
- [16] Li X H, Li Z X, Zhou H, Liu Y, Kinny P D. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangding Rift of South China; Implications for the initial rifting of Rodinia[J]. *Precamb Res.*, 2002, 113: 135-155.
- [17] Li Z X, Li X H, Kinny P D, Wang J, Zhang S, Zhou H. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents; Evidence for a superplume that broke up Rodinia[J]. *Precamb. Res.*, 2003, 122: 85-109.

- [18] Li X H, Li Z X, Ge W, Zhou H, Li W X, Liu Y, Wingate M T D. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. *Precamb. Res.*, 2003, 122: 45—83.
- [19] Ling W, Gao S, Zhang B R, Li H M, Liu Y. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze Craton, South China: Implications for amalgamation and break-up of the Rodinia supercontinent [J]. *Precamb. Res.*, 2003, 122: 111—140.
- [20] 凌文黎, 王歆华, 程建萍. 扬子北缘晋宁期望江山基性岩体的地球化学特征及其构造背景 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20: 218—221.  
Ling Wenli, Wang Xinhua, Cheng Jianping. Geochemical features and its tectonic implication of the Jinning Wangjiangshan gabbros in the north margin of Yangtze Block [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20: 111—140. (in Chinese with English abstract)
- [21] Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, Li Y Q, Ding J. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, 196: 51—67.
- [22] Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, Malpas J, Leshner C M. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the Northern margin of South China: Implications for the accretion of Rodinia [J]. *J. Geol.*, 2002, 110: 611—618.
- [23] 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, Malpas J. 华南在 Rodinia 古陆中的位置的讨论——扬子地块西缘变质-岩浆杂岩的证据及其与 Seychelles 地块的对比 [J]. *地学前缘*, 2002, 9(4): 49—50.  
Yan Danping, Zhou Meifu, Song Honglin, Malpas J. Where was South China located in the reconstruction of Rodinia? [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 49—50. (in Chinese with English abstract)
- [24] 沈渭洲, 高剑峰, 徐士进, 周国庆. 扬子板块西缘泸定桥头基性杂岩体的地球化学特征和成因 [J]. *高校地质学报*, 2002, 8(4): 380—389.  
Shen Weizhou, Gao Jianfeng, Xu Shijin, Zhou Guoqing. Geochemical characteristics and genesis of the Qiaotou basic complex, Kuding county, western Yangtze Block [J]. *Geol. J. China Universities*, 2002, 8(4): 380—389. (in Chinese with English abstract)
- [25] 沈渭洲, 高剑峰, 徐士进, 谭国全, 杨铸生, 杨七文. 四川盐边冷水箐岩体的形成时代和地球化学特征 [J]. *岩石学报*, 2003, 19(1): 27—37.  
Shen Weizhou, Gao Jianfeng, Xu Shijin, Tan Guoquan, Yang Zhusheng, Yang Qiwen. Format on age and geochemical characteristics of the Lengshuiqing body, Yanbian, Sichuan Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(1): 27—37. (in Chinese with English abstract)
- [26] 周金城, 王孝磊, 邱检生, 高剑峰. 桂北中-新元古代镁铁质-超镁铁质岩的岩石地球化学 [J]. *岩石学报*, 2003, 19(1): 9—18.  
Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng, Gao Jianfeng. Litho-geochemistry of Meso- and Neoproterozoic mafic-ultramafic rocks from northern Guangxi [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(1): 9—18. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李献华, 李正祥, 周汉文, 刘颖, 梁细荣. 川西新元古代玄武质岩浆岩的锆石 U-Pb 年代学、元素和 Nd 同位素研究: 岩石成因与地球动力学意义 [J]. *地学前缘*, 2002, 9(4): 329—338.  
Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, Liu Ying, Liang Xirong. U-Pb zircon geochronological, geochemical and Nd isotopic study of Neoproterozoic basaltic magmatism in western Sichuan: Petrogenesis and geodynamic implications [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 329—338. (in Chinese with English abstract)
- [28] Zhu W G, Deng H L, Liu B G, Li C Y, Qin Y, Luo Y N, Li Z D, Pi D H. The age of the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusive complex in the Yanbian area, Sichuan Province: Geochronological constraints by U-Pb dating of single zircon grains and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of horblende [J]. *Chin. Sci. Bull.*, 2004, 49(10): 1077—1085.
- [29] 沈渭洲, 李惠民, 徐士进, 王汝成. 扬子地块西缘黄草山和下索子花岗岩体锆石 U-Pb 年代学研究 [J]. *高校地质学报*, 2000, 6(3): 412—416.  
Shen Weizhou, Li Huimin, Xu Shijin, Wang Rucheng. U-Pb chronological of zircons from the Huangcaoshan and Xiasuozi granites in the western margin of Yangtze Plate [J]. *Geol. J. China Universities*, 2000, 6(3): 412—416. (in Chinese with English abstract)
- [30] 徐士进, 王汝成, 沈渭洲, 钟宏, 陆建军, 侯立伟, 付小方, 黄明华, 杨杰东, 王银喜, 陶仙聪. 松潘-甘孜造山带中晋宁期花岗岩的 U-Pb 和 Rb-Sr 同位素定年及其大地构造意义 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1996, 26(1): 52—58.  
Xu Shijin, Wang Rucheng, Shen Weizhou, Zhong Hong, Lu Jianjun, Hou Liwei, Fu Xiaofang, Huang Minghua, Yang Jiedong, Wang Yinxi, Tao Xiancong. U-Pb and Rb-Sr isotopic dating of the Jinning granites in the Songpan-Ganzi orogenic belt and tectonic significance [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26: 52—58. (in Chinese)
- [31] Roger F, Calassou S. U-Pb geochronology on zircon and isotopic geochemistry (Pb, Sr and Nd) of the basement in the Songpan-Ganze fold belt (China) [J]. *C. R. Acad. Sci. Paris, Series II a*, 1997, 324: 819—826.
- [32] 郭建强, 游再平, 杨军, 沈渭洲, 徐士进, 王汝成. 川西石棉地区田湾与扁路岗岩体的锆石 U-Pb 定年 [J]. *矿物岩石*, 1998, 18(1): 91—94.  
Guo Jianqiang, You Zaiping, Yang Jun, Shen Weizhou, Xu Shijin, Wang Rucheng. Studying of the U-Pb dating of zircon in Tianwan and Pianlugang bodies from Shimian area, west Sichuan [J]. *J. Mineral. Petrol.*, 1998, 18(1): 91—94. (in Chinese with English abstract)

- [33] Li X H, Li Z X, Zhou H, Liu Y, Liang X R, Li X W. SHRIMP U-Pb zircon age, geochemistry and Nd isotope of the Guandaoshan pluton in SW Sichuan: Petrogenesis and tectonic significance[J]. Science in China( Series D), 2003, 46 (Supplement): 73-83. (in Chinese)
- [34] 马国干, 张自超, 李华芹. 扬子地台震旦系同位素年代地层学的研究[J]. 宜昌地质矿产研究所所刊, 1989, (14): 83-124.  
Ma Guogan, Zhang Zichao, Li Huaqin. A geochronostratigraphical study of the Sinian System in Yangtze Platform[J]. Bull. Yichang Inst. Geol. Miner. Res., 1989, (14): 83-124. (in Chinese)
- [35] Sinclair J A. A re-examination of the "Yanbian ophiolite suite": Evidence for western extension of the Mesoproterozoic Sibao orogen in South China[J]. Geol. Soc. Aust. Abst., 2001, 65: 99-100.
- [36] Shen W Z, Xu S J, Gao J F, Yang Z S, Yang Q W. Sm-Nd dating and Nd-Sr isotopic characteristics of the Shimian ophiolite suite, Sichuan Province[J]. Chin. Sci. Bull., 2002, 47: 1897-1901.
- [37] 沈渭洲, 高剑锋, 徐士进, 李惠民, 周国庆, 杨铸生, 杨七文. 四川石棉蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质论评, 2003, 49(1): 17-27  
Shen Weizhou, Gao Jianfeng, Xu Shijin, Li Huimin, Zhou Guoqing, Yang Zhusheng, Yang Qiwen. Geochemical characteristics of the Shimian ophiolite, Sichuan Province and its tectonic significance[J]. Geol. Review, 2003, 49(1): 17-27. (in Chinese with English abstract)
- [38] Xu S J, Shen W Z, Wang R C, Lu J J, Chen X M, Nie G P, Lin Y P. U-Pb dating of zircon grains from the ore-bearing plagioclase amphibolite in the Dashuigou Fe deposit[J]. Chin. Sci. Bull., 1998, 43(17): 1486-1489.
- [39] 曾宪教, 徐先哲, 杨七文, 袁藺平. 四川石棉镁铁质-超镁铁质岩体是一个被肢解了的蛇绿岩[J]. 攀西地质, 1982, (1): 24-37.  
Zeng Xianjiao, Xu Xianzhe, Yang Qiwen, Yuan Lingping. Shimian mafic-ultramafic rock body, Sichuan-A dismembered ancient ophiolite[J]. Panxi Geol., 1982, (1): 24-37. (in Chinese)
- [40] 骆耀南. 康滇构造带的古板块历史演化[J]. 地球科学, 1983, (3): 93-102.  
Luo Yaonan. Paleo-plate history of the Kangdian tectonic belt [J]. Earth Science, 1983 (3), 93-102. (in Chinese with English abstract)
- [41] 李建林, 董榕生, 刘鸿允. 扬子地区晋宁期板块构造的探讨[J]. 地质科学, 1990, (3): 215-223.  
Li Jianlin, Dong Rongsheng, Liu Hongyun. The plate tectonics of Yangtze Block region during Jinning orogenic period[J]. Scientia Geol. Sinica, 1990, (3): 215-223. (in Chinese with English abstract)
- [42] 孙传敏. 川西元古代蛇绿岩与扬子板块西缘元古代造山带[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(4): 11-16.  
Sun Chuanmin. Proterozoic ophiolite in western Sichuan and the Proterozoic orogenic belt on the west border of Yangtze paleo-plate[J]. J. Chengdu Institute of Technology, 1994, 21 (4): 11-16. (in Chinese with English abstract)
- [43] 李献华, 周汉文, 丁式江, 李奇崛, 张仁杰, 张业明, 葛文春. 海南岛“邦溪-晨星蛇绿岩片”的时代及其构造意义——Sm-Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 425-432.  
Li Xianhua, Zhou Hanwen, Ding Shijiang, Li Jiyu, Zhang Renjie, Zhang Yeming, Ge Wenchun. Sm-Nd isotopic constraints on the Bangxi-Chengxing ophiolite in Hainan Island: Implications for the tectonic evolution of eastern Paleo-Tethys [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(3): 425-432. (in Chinese with English abstract)
- [44] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
Zhang Qi, Zhou Guoqing. Ophiolites of China[M]. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese)
- [45] Wilson M. Ingeous petrogenesis[M]. London: Unwin Hyman, 1989.
- [46] Barberi F, Santacroe R, Varet J. Chemical aspects of rift magmatism[A]. Palmson G ed. Continental and oceanic rifts [M]. Washinton D. C.: American Geophysical Union, 1982. 223-258.
- [47] Park J K, Buchan K L, Harlan S S. A proposed giant radiating dyke swarm fragmented by the separation of Laurentia and Australia based on paleomagmatism of ca. 780Ma mafic intrusions in western North America[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1995, 132: 129-139.
- [48] Fetter A H, Goldberg S A. Age and geochemical characteristics of bimodal magmatism in the Neoproterozoic Granfather Mountain rift basin[J]. J. Geol., 1995, 103: 313-326.
- [49] Pearce J A, Norry M J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1979, 69: 33-47.
- [50] Zhao J X, Malcolm M T, Korsch R J. Characterisation of a plume-related ~800Ma magmatics event and its implications for basin formation in central-southern Australia[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1994, 121: 349-367.
- [51] 四川地矿局 106 地质队四分队. 康滇地轴中段前震旦纪地质特征及其板块构造的关系[J]. 地质科学, 1975(2): 107-113.  
Geological Team 106 of Sichuan Geology Bureau. Pre-Sinian geologic features of middle section of Kangdian axis and its relationship to relate tectonics [J]. Scientia Geologica Sinica, 1975 (2): 107-113. (in Chinese with English abstract)
- [52] 李继亮, 张凤秋, 王守信. 四川盐边元古代蛇绿岩的稀土元素分配的特点[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 37-44.  
Li Jiliang, Zhang Fengqiu, Wang Shouxin. Rare earth element distribution pattern of Proterozoic ophiolite, Yanbian, Sichuan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983. 37-44. (in Chinese)



- [53] 李继亮. 川西盐边群的优地槽岩石组合[J]. 中国地质科学院院报, 1984, 9: 21—34.  
Li Jiliang. Eugeosyncline rock association of Yanbian Group in western Sichuan, China[J]. Bull. Chinese Acad. Geol. Sci., 1984, 9: 21—34. (in Chinese)
- [54] 孙传敏. 四川盐边元古代蛇绿岩中辉石的成因矿物学及其大地构造意义[J]. 矿物岩石, 1994, 14(3): 1—15.  
Sun Chuanmin. Genetic mineralogy of pyroxenes from the Yanbian Proterozoic ophiolites (Sichuan, China), and its geotectonic implications[J]. J. Mineral. Petrol., 1994, 14(3): 1—15. (in Chinese with English abstract)
- [55] 骆耀南. 中国攀枝花-西昌裂谷带[A]. 中国攀西裂谷文集(1)[M]. 北京: 地质出版社, 1985.  
Luo Yaonan. Panzhihua-Xichang paleo-rift belt of China[A]. Collected works of Panxi rift, China(1)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985. (in Chinese)
- [56] 朱宗祥. 四川前寒武纪盐边群火山岩系的特征及构造环境[J]. 矿物岩石, 1983, 3(3): 42—51.  
Zhu Zongxiang. The features and tectonic environments of the volcanic rock series of Precambrian Yanbian Group in Sichuan [J]. J. Mineral. Petrol., 1983, 3(3): 42—51. (in Chinese with English abstract)
- [57] 沈上越, 张保民, 袁晏明. 四川盐边基性-超基性杂岩体的岩石学研究[J]. 地球科学, 1986, 11(6): 561—569  
Shen Shangyue, Zhang Baomin, Yuan Yanming. The petrological study on basic-ultrabasic complex in Yanbian, Sichuan Province[J]. Earth Science, 1986, 11(6): 561—569. (in Chinese)
- [58] 沈上越, 张保民, 潘兆鲁. 一个典型环状分带基性-超基性杂岩体[J]. 科学通报, 1989, 34(1): 47—50.  
Shen Shangyue, Zhang Baomin, Pan Zhaolu. A typical ring-zoning basic-ultrabasic complex[J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 34(1): 47—50. (in Chinese)
- [59] 从柏林. 攀西古裂谷的形成与演化[M]. 北京: 科学出版社, 1988.  
Cong Bolin. Formation and evolution of Panxi paleo-rift[M]. Beijing: Science Press, 1988. (in Chinese)
- [60] 刘朝基, 曾绪伟, 金久堂. 康滇地区基性-超基性岩[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988.  
Liu Chaoji, Zeng Xuwei, Jin Jiutang. Basic-ultrabasic rocks in the Kangdian region[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988. (in Chinese)
- [61] Faure G. Principles of isotope geology (second edition)[M]. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- [62] 葛文春, 李献华, 梁细荣, 王汝成, 李正祥, 周汉文. 桂北元宝山宝坛地区约 825Ma 镁铁-超镁铁岩的地球化学及其地质意义[J]. 地球化学, 2001, 30(2): 123—129.  
Ge Wenchun, Li Xianhua, Liang Xirong, Wang Rucheng, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen. Geochemistry and geological implications of mafic-ultramafic rocks with the age of ~825 Ma in Yuanbaoshan-Baotan area of northern Guangxi [J]. Geochimica, 2001, 30(2): 123—129. (in Chinese with English abstract)
- [63] Beard J S. Characteristic mineralogy of arc-related cumulate gabbros: Implication for the tectonic setting of gabbroic plutons and for andesite genesis[J]. Geology, 1986, 14: 848—851.
- [64] Abu El-Ela. Neoproterozoic tholeiitic arc plutonism: Petrology of the gabbroic intrusions in the El-Aradya area, Eastern Desert, Egypt[J]. J. Afri. Earth Sci., 1999, 28: 721—741.

### Advance in the Study of Neoproterozoic Mafic-Ultramafic Rocks in the Western Margin of the Yangtze Craton

ZHU Wei-guang<sup>1,2</sup>, LIU Bing-guang<sup>3</sup>, DENG Hai-lin<sup>1</sup>, ZHONG Hong<sup>1</sup>,  
LI Chao-yang<sup>1</sup>, PI Dao-hui<sup>1,2</sup>, LI Zhi-de<sup>4</sup>, QIN Yu<sup>5</sup>

1. Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;
2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
4. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
5. Geological Team 601, Bureau of Metallurgical Geology and Mineral Exploration, Panzhihua 617027, China

**Abstract:** Neoproterozoic magmatic rocks, especially granitic intrusions, are widespread in the western margin of the Yangtze craton. Recent studies have also confirmed that there occurred intense Neoproterozoic basic magmatism in the area. Advance in the study of Neoproterozoic mafic-ultramafic rocks in the western margin of the Yangtze craton has been reviewed in this paper. These rocks consists of 0.95—0.90Ga orogenic rocks and 0.86—0.74Ga anorogenic rocks, which reflect Neoproterozoic tectonic evolution from arc to intra-continental rift in the area.

**Key words:** mafic-ultramafic rocks; Neoproterozoic; western margin of the Yangtze craton