

蛇绿岩研究现状及华南蛇绿岩问题*

王存智,姜杨,邢光福

(南京地质矿产研究所,南京 210016)

摘要:蛇绿岩概念自上世纪70年代提出以来,就成为确定古板块边界的重要证据,具有重要大地构造学意义,一直是地质学家研究的热点之一。近年来,随着地球化学技术的发展以及深海钻探计划和大洋钻探计划的实施,世界各地蛇绿岩研究不断深入,取得了很大的发展,同时也提出了很多新的问题。本文主要论述了蛇绿岩研究的最新动态,并对华南蛇绿岩的研究进展进行了分析梳理,对存在的一些问题作了初步讨论。

关键词:浅色岩;蛇绿岩;华南

中图分类号:P588.12

文献标识码:A

1 蛇绿岩研究中的几个问题

1.1 蛇绿岩的概念

“ophiolite(蛇绿岩)”中“ophi-”在希腊语中是“蛇”的意思,最早是1813年由Brongniart提出,用来描述意大利北部绿色斑状结构外貌的岩石。Steinmann于1927年提出蛇绿岩“三位一体”的概念:为产出于地槽环境,与深海沉积物如放射虫燧石和粘土紧密共生的超镁铁质和镁铁质岩石。1972年Penrose会议重新厘定和阐述了蛇绿岩的基本概念,将蛇绿岩定义为一种可与大洋岩石圈对比的特殊镁铁质-超镁铁质岩石组合,被认为是古大洋岩石圈的残留,并认为在一个发育完整的蛇绿岩中,从底部向上包括有如下岩石组合:(1)超镁铁质杂岩;(2)辉长岩质杂岩;(3)镁铁质席状岩墙杂岩;(4)镁铁质火山杂岩。此外,伴生岩石类型还包括:①上覆沉积岩主要为条带状硅质岩、页岩和少量灰岩;②与纯橄岩伴生的豆荚状铬铁矿岩;③浅色岩为英云闪长岩到斜长花岗岩的各类中酸性侵入岩和喷出岩。这一概念自提出后就被广泛接受并使用。

周国庆和张旗等将蛇绿岩称作是“产于扩张脊的洋壳+地幔序列的岩石组合”,代表了古老洋盆被消减后部分保留在造山带中的大洋岩石圈残片。强调蛇绿岩绝对不是陆壳岩石,和陆壳之间无成因联系。如果它们相关,应属构造(断层)接触;并且这套岩石组合以Troo-

* 收稿日期:2010-12-09

基金项目:国家自然科学基金青年基金(No. 41002024),中国地质调查局基础地质综合研究项目(No. 1212010610611)和国土资源部公益性行业科研专项经费项目(No. 200811015)资助。

第一作者简介:王存智(1983~)男,湖北黄冈人,助理工程师,硕士,主要从事构造地质学研究。

dos 那样的蛇绿岩剖面为典型代表(图 1),但并不是所有蛇绿岩必须具有那样的剖面,蛇绿岩具有多样性^[1-3]。周国庆进一步认为蛇绿岩是“一套彼此具有成因演化亲缘关系的古大洋+大洋地幔岩石的有机组合”^[4]。

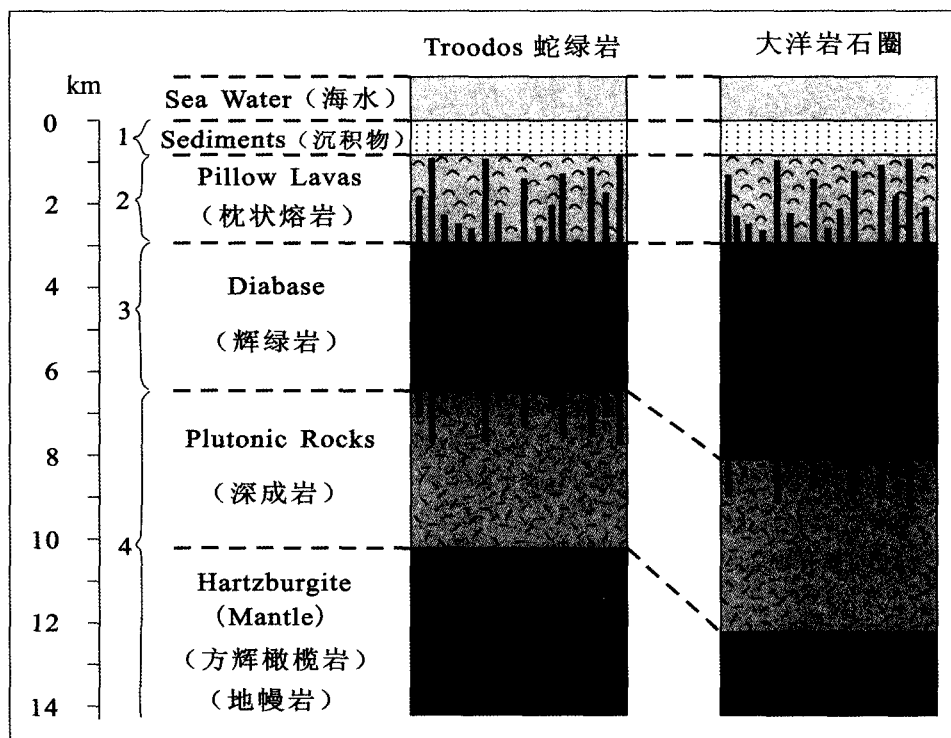


图 1 Troodos 蛇绿岩剖面与大洋岩石圈剖面对比图^[5]

Fig. 1 Comparison of Troodos ophiolite section with oceanic lithosphere section

1.2 蛇绿岩的分类

蛇绿岩因其多源区特征、复杂成因环境和不同就位机制,使得它的类型和岩石组合具有多样性,因此也有多种分类方案:(1)按蛇绿岩的地幔源区端元矿物如地幔橄榄岩成分差异进行分类,划分为方辉橄榄岩型(HOT)、二辉橄榄岩型(LOT)和方辉-二辉橄榄岩型(LHOT);(2)按蛇绿岩的地球化学特征进行分类,划分为SSZ型和MOR型;(3)按构造侵位机制分为特提斯型和科迪勒拉型;(4)根据玄武岩中Ti的含量划分为高Ti型、低Ti型和极低Ti型;(5)根据蛇绿岩形成的地质背景、构造环境、侵位机制等特征,将其分为:利古里亚型、地中海型、内华达型、智利型、麦克夸利型、加勒比海型、弗朗西斯克型等7种类型;(6)根据形成的物理条件分为:高压型和低压型;(7)根据扩张速率将蛇绿岩划分为科迪勒拉型、西地中海型和东地中海型(转引自^[4,6-8])。

关于蛇绿岩的分类方案虽然较多,但是从蛇绿岩的构造意义来看,Pearce等提出的MOR型和SSZ型蛇绿岩的分类方案^[6],在研究大地构造环境方面更具有实际应用价值,因为上述各种分类方案中的标准只是MOR型和SSZ型蛇绿岩的特点之一^[8]。周国庆进一步以物质成分及其演化为纵坐标,运动状态、扩张速率、产出状态和产出环境等为横坐标,将蛇绿岩纳入到一个系统中进行综合分类(表1)^[4]。

表 1 蛇绿岩分类表
Table 1 Classification of ophiolites

洋壳岩特征	类型及名称	活动大陆边缘型-环太平洋型	被动大陆边缘型-特提斯型	
		科迪勒拉型	东地中海型-(新)特提斯型	西地中海型-(古)特提斯型
		Canyan 型/祁连山型	Troodos 型/日喀则型	Ligulian 型/双沟型
		SSZ 型		MORB 型
		PPG(peridotite+pyroxenite+gabbro) (变质橄榄岩+辉石岩+辉长岩组合)型		PTG(peridotite+troctolite+gabbro) (变质橄榄岩+橄长岩+辉长岩组合)型
	洋壳厚度	大	大-中	小
	产出环境	岛弧、弧间盆地,(外来地体)	洋内俯冲带之上的弧前、弧后、弧内、弧间盆地	小洋盆,“渗滤”转换断层小海盆
	熔岩	低 Ti-IAT,有玻安岩系	极低 Ti-IAT,MORB,常见玻安岩系	高 Ti 玄武岩,MORB,无玻安岩
	特征	稀土元素丰度较高,高集 Sr、K、Rb、Ba、Th 等 LILE,相对亏损 Ta、Nb、Zr、Hf、Ti、Y、Yb 等 HFSE		稀土元素丰度较低,低 Rb、Sr、Ba、Pb、Th、U、Zr、Rb/Sr,高 K/Br
	岩墙特征	部分发育	发育	不发育
	岩席特征	发育	不发育	不发育
	斜长花岗岩类	常见闪长岩石英闪长岩 奥长花岗岩石英角斑岩	斜长花岗岩类较少	斜长花岗岩类较少或无
	堆晶岩特征	单斜辉石型 中等熔融 15%~30%	单斜辉石型或斜方辉石型 高度熔融>30%	斜长石型 低度熔融<15%
		辉石岩+辉长岩组合		橄长岩+辉长岩组合
		堆晶超镁铁质岩少而薄,不连续	堆晶超镁铁质岩常见	堆晶超镁铁质岩少,辉长岩可直接盖在变质橄榄岩上
		轻稀土亏损程度有多种类型	辉长岩中有富集型和亏损型	辉长岩中稀土元素多为平坦型
地幔岩特征	变质橄榄岩	方辉橄榄岩型,高 Al	方辉橄榄岩型,高 Al	二辉橄榄岩型,低 Al
	橄长岩	镁橄长石分子 Fo 中-高	镁橄长石分子 Fo 高	镁橄长石分子 Fo 低
	斜方辉石	富 Mg 贫 Al	贫 Al	富 Al
	铬尖晶石	Cr/(Cr+Al)大,变化大	Cr/(Cr+Al)较大,变化大	Cr/(Cr+Al)小(<0.6)
	化学特征	富 Mg、Cr、Ni,贫 Al、Ca、稀土元素;稀土元素亏损程度较高		贫 Mg、Mg/(Mg+Fe)低,Al、Ca 较高;稀土元素亏损程度较低
运动学特征	扩张速率	中-快速扩张;岩浆房小	快速扩张	中-慢速扩张
	压力条件	高压,P>1.75 GPa (fO ₂ >10 ⁻⁵ GPa)	中压,P=1.75-0.75 GPa	低压,P=0.75-0 GPa (fO ₂ ≤10 ⁻⁷ GPa)
	深度	榴辉岩石榴尖晶辉长岩组合		辉长岩中有橄长石
		45 km	15 km	15~0 km
运动学特征	侵位方式	洋盆封闭时热的大洋岩石圈残片仰冲到被动大陆边缘上,折离基底面上有时见窄的闪石片岩为主的高级变质带		
		板块俯冲时作为添加地体拼合在大陆边缘,构成地层地体基底老岩石;不完全变质		

1.3 蛇绿岩的构造环境

蛇绿岩的构造环境主要有两大类:洋中脊(MOR)和俯冲带之上(SSZ, Supra-Subduction Zone 的缩写)的岛弧、弧前和弧后盆地等^[8]。上世纪 70 年代,地质学家根据板块构造理论,认为蛇绿岩代表了古大洋岩石圈,因而均形成于洋中脊环境。但是随着地球化学技术的发展以及深海钻探计划和大洋钻探计划的实施,证明大部分蛇绿岩的上部熔岩与现代大洋俯冲带之上的火山岩相似,只有极少数与洋中脊一致。越来越多的资料也表明,保存在造山带中的大多数蛇绿岩形成于 SSZ 构造环境^[6,9-10]。史仁灯认为这两种类型蛇绿岩的形成机制为:SSZ 型蛇绿岩为洋-陆俯冲在弧后盆地中、或者洋内俯冲在弧前盆地中形成的新大洋岩石圈;而 MOR 型蛇绿岩的成因则比较简单,为大洋岩石圈发生仰冲而保留在大陆造山带的残余部分^[8]。

1.4 蛇绿岩中的浅色岩石

蛇绿岩中浅色岩类包括层状辉长岩、斜长岩、斜长花岗岩及埃达克岩。其中层状辉长岩和斜长岩形成于海底扩张脊,是蛇绿岩岩浆房中的岩浆分离结晶堆积形成的,为蛇绿岩的堆晶岩^[11]。Colman 和 Peterman 把与蛇绿岩相伴生的斜长花岗岩概称为大洋斜长花岗岩,并认为大洋斜长花岗岩是由大洋玄武岩岩浆结晶分异形成的花岗质岩石,其主要岩石类型包括钠长花岗岩、石英闪长岩、奥长花岗岩、英云闪长岩、角斑岩和钠长岩^[12]。近年来研究表明,蛇绿岩从大洋中脊分离、运移、俯冲到仰冲就位的不同阶段都有可能形成花岗质岩石,其与蛇绿岩的形成和演化在成因上有直接或间接的联系^[13-14]。与蛇绿岩有关的花岗质岩石可以是蛇绿岩形成时由洋脊玄武岩直接结晶分异形成,也可以是由于洋壳运动过程中,其内部发育的高温剪切带中岩石部分熔融形成,还可以是俯冲的洋壳本身及所携带的大洋沉积物部分熔融形成,亦或是当洋壳仰冲到大陆壳上时,位于下部的边缘盆地沉积物发生部分熔融而产生,然后侵入到洋壳层位中与蛇绿岩相伴生。根据上述不同成因,李武显等将蛇绿岩中的花岗质岩石总结为 4 种成因类型,即结晶分异型花岗岩、剪切型花岗岩、俯冲型花岗岩和仰冲型花岗岩^[14]。这些与蛇绿岩相关的不同成因的花岗质岩石,由于源区物质、形成机制以及环境条件的不同,它们的地球化学特征有着明显的差异(表 2)。因此,通过它们的岩石成因研究,结合精确的同位素地质测年,有可能建立起蛇绿岩从大洋扩张、大洋俯冲到仰冲就位的演化时间表^[13-14],这对探讨大洋演化历史、恢复古洋陆构造格局具有重要意义。

表 2 蛇绿岩中不同类型花岗岩岩石化学特征(据文献^[14])

Table 2 Petrochemical characteristics of different types of granites in ophiolites

	分异型花岗岩	剪切型花岗岩	俯冲型花岗岩	仰冲型花岗岩
Al ₂ O ₃ (wt%)	通常<15	通常<15	>15	变化大
Na ₂ O/K ₂ O(wt%)	大多数>3~5	>1	>2	变化大
Mg #	<40	<50	>50	大多数<50
A/CNK	<1	<1	<1	大多数>1
REE 特征	LREE 亏损到 平坦型	轻微的 LREE 富集型	LREE 富集, HREE 强烈亏损	LREE 富集型
δSrN	<1	变化大	>1	变化大
Eu/Eu*	≤1	变化大	>1	变化大
同位素特征	与 MORB 相似	与 MORB 相似	与 MORB 相似	与壳源岩石相似

1.5 蛇绿岩的年代学

蛇绿岩年代学研究是当前国内外造山带研究中的一个热点,也是蛇绿岩研究中的一个难点。传统的蛇绿岩定年方法有:化石年代学方法和同位素年代学方法。

化石年代学方法主要是通过蛇绿岩上覆深海沉积岩系(如放射虫硅质岩)中的古生物化石年代的判定,对蛇绿岩形成时代的上限进行约束。但是,在蛇绿岩带中有时出现两套放射虫硅质岩,一套属于外来移置体,与洋壳无关,另一套位于枕状玄武岩上,真正代表洋壳的残余^[15],故此方法存在很大的局限性。

传统的蛇绿岩同位素测年方法一般为Sm-Nd、Rb-Sr等时线法、单颗粒锆石U-Pb法和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法。近年来,随着对蛇绿岩的地幔源区、蛇绿岩岩浆的形成演化、蛇绿岩的侵位等方面的认识不断深入,人们意识到蛇绿岩的地幔源区可能具有的不均一性,蛇绿岩岩浆上升演化过程中受外来物质混染、侵位过程中多期次的构造-岩浆作用等,都可能使蛇绿岩Sm-Nd、Rb-Sr同位素体系被改造或重建,所采集的蛇绿岩样品很难满足样品的“同源性”和“同时性”要求,这使得运用Sm-Nd、Rb-Sr等时线法进行蛇绿岩年代学研究受到很大限制。因此,这种方法目前已很少再被用来进行蛇绿岩的定年。蛇绿岩的镁铁-超镁铁质岩中辉长岩及浅色岩锆石含量较少、颗粒度较小,常规U-Pb法测年相当困难。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法更多给出的是蛇绿岩后期变质事件的年龄。Re-Os元素具有较强的亲铁耐熔性,Re富集于原始地幔部分熔融形成的熔体相中,在残留相中表现为亏损,而Os则保留于残留相中。蛇绿岩中地幔橄榄岩最大Re亏损年龄反映的是部分熔融事件发生的时间,即蛇绿岩的下限年代^[16]。尽管Re-Os测年方法对精确界定蛇绿岩中地幔橄榄岩的年龄具有独特的作用,但是Re-Os测年方法由于其对实验条件要求过高,现在还未广泛应用。

近年来,高精度、高分辨率、可以进行各种微区、微量分析的离子探针质谱(SHRIMP)和激光剥蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)技术在单颗粒锆石测年中的应用,使得锆石地质年代学研究发生了革命性进展,目前在国际及国内已得到广泛应用。借助阴极发光图像,能够对单颗粒锆石晶体上的不同部位进行分析,可以有效地避开变质增生边、包裹体等,进行微区分析,准确地获得蛇绿岩堆晶岩(辉长岩及相关浅色岩类)和上部熔岩中岩浆锆石的结晶年龄。

另外,目前对蛇绿岩测年结果的解释也存在一些问题。马中平归纳指出:与蛇绿岩相关的时代一般包括蛇绿岩的形成时代、侵位时代和变质时代。因此,在对蛇绿岩进行同位素测年前,应明确预期所测年龄的地质意义,这样的年龄数据才可合理地用于解释大地构造特征^[17]。

2 华南蛇绿岩研究现状及存在的主要问题

2.1 华南蛇绿岩的分布及研究现状

根据现有的研究资料,华南蛇绿岩可能主要分布于赣东北、皖南、桂北等地,另外湖南及海南也见有存在蛇绿岩的报道。

赣东北蛇绿岩 赣东北蛇绿混杂岩带自从周国庆1981年首次发现和报道后,被认为几乎是中国大陆东南部唯一确定的蛇绿岩带^[3,18]。赣东北蛇绿岩南起弋阳樟树墩,北至德兴茅桥,全长约100 km,往NNE方向延伸与皖南歙县蛇绿岩衔接。它们由一系列超基性岩块组成,包括樟树墩、西湾、饶二和茅桥等超基性岩块,构造侵位在溪口岩群浅变质火山-沉积岩

中。组成赣东北蛇绿岩的主要岩石类型是变质橄榄岩、堆积橄榄岩、辉石岩、辉长岩、闪长岩、斜长花岗岩、玄武岩和硅质岩。

对于赣东北蛇绿岩的形成时代,一直众说纷纭,但主要有两种观点,一种认为其形成于中-新元古代;另一种认为其形成于古生代。

根据同位素年代学研究,赣东北蛇绿岩的Sm-Nd等时年龄为930 Ma^[19]。周国庆等给出的赣东北全岩Sm-Nd同位素年龄为1 154 Ma^[20]。邢凤鸣等对赣东北樟树墩辉长岩Sm-Nd同位素年龄为1 034 Ma^[21]。李献华等对西湾大洋斜长花岗岩的SHRIMP 锆石U-Pb年龄为968 Ma,并对周国庆等测的Sm-Nd数据重新评估计算,获得955 Ma的年龄^[22]。上述约1 000 Ma的年龄被解释为赣东北蛇绿岩的形成年龄。但是李武显等认为李献华等^[22]所测的西湾钠长花岗岩的968 Ma应为洋壳俯冲的年龄,而不是过去认为的蛇绿岩形成年龄,而在樟树墩辉长岩中获得的更老的1 034 Ma的Sm-Nd矿物内部等时线年龄更可能代表了蛇绿岩的形成年龄^[23]。而后,Li Wuxian等根据在西湾中获得的浅色花岗岩SHRIMP 锆石U-Pb年龄为880 Ma,认为该年龄为蛇绿岩的侵位年龄^[24]。

认为赣东北蛇绿岩形成于古生代的证据,主要是蛇绿岩的硅质岩中发现的放射虫化石。自从赵崇贺等^[25]首次报道在赣东北蛇绿岩与变质岩所夹硅质岩中发现古生代放射虫以来,杨晓松等^[26]、赵崇贺、何科昭等^[27-30]连续报道在赣东北蛇绿岩中多处发现硅质岩含放射虫和放射虫动物群,认为该区赣东北蛇绿岩形成时代为晚古生代。吴浩若也证实赣东北樟树墩蛇绿混杂岩中和登山村剖面登山群中采集的硅质岩夹层都富含放射虫化石,虽然经强烈重结晶而化石已模糊,但仔细观察仍能分辨出来^[31]。但是,李献华、王博、吴新华等分别对这些含晚古生代放射虫硅质岩进行地球化学分析,认为它们形成于与大陆地壳物质密切相关的大陆边缘环境,而与大洋盆地、洋中脊环境无关^[32-34]。因此,这些晚古生代硅质岩不属于赣东北蛇绿岩套的一部分。王玉净等通过对赵崇贺、何科昭等发现的蛇绿岩中硅质岩和板岩的微体古生物进行验证,发现其中含有中-新元古代的疑源类化石,却未能找到古生代放射虫化石,从而认为蛇绿岩时代应属于中-新元古代^[35]。

对于赣东北蛇绿岩的形成环境,主要通过对其基性火山岩的地球化学特征来判别。它们的主量元素具有岛弧型低钾拉斑玄武岩特征^[19-21],TiO₂和P₂O₅含量较低,与岛弧火山岩类似^[36];明显富集大离子亲石元素Sr、K、Rb、Th和LREE,而明显亏损高场强元素Nb、Ta、Zr、Hf和Ti,同样具有岛弧火山岩的特征;Nd同位素具有高的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ (+5.5±1.2)值,显示其来源于亏损地幔,没有受到地壳物质的混染^[22,37]。以上地球化学特征说明其形成于俯冲带之上的环境。

皖南伏川蛇绿岩 皖南的蛇绿岩出露在琅源、理大望庙、伏川、塘川、方村等地,总体呈NE向延长40余km,构造侵位于溪口岩群牛屋组复理石建造中,在伏川地区出露最完整。该岩石由蛇纹岩化纯橄榄岩、方辉橄榄岩、堆晶辉石岩、辉长岩、石英闪长岩、细碧岩和角斑岩等组成。

关于皖南蛇绿岩形成的构造背景存在多种观点。白文吉等认为皖南蛇绿岩形成于初始的弧后盆地^[38]。周新民等推测皖南伏川蛇绿岩形成于陆壳上的具有弧后盆地或陆内裂谷性质的小洋盆^[39]。邢凤鸣等认为伏川蛇绿岩形成的大地构造环境可能为古岛弧环境^[40]。叶德隆等对伏川蛇绿岩上部火山岩的研究后认为伏川蛇绿岩形成于类似岛弧环境的陆间小洋盆^[41]。杨建明根据基性熔岩的微量和稀土元素特征,指出伏川蛇绿岩是形成于弧后盆地环

境^[42]。邹海波等从野外地质和岩石地球化学特征的分析对比认为,伏川蛇绿岩形成于具有陆壳性质的大陆边缘区的弧后盆地环境^[43]。赵建新等对伏川蛇绿岩火山岩的主量元素和微量元素研究表明,火山岩具有岛弧系列岩石的特征,并结合元素和Nd同位素地球化学研究成果,表明皖南蛇绿岩可能形成于大陆边缘盆地^[36]。

关于皖南蛇绿岩的形成时代,周新民等测得皖南蛇绿岩上部辉长岩的全岩+矿物Sm-Nd等时线年龄为1024 Ma^[39]。Chen等测得其上部辉长岩的全岩矿物Sm-Nd等时线年龄为934 Ma^[44]。Li X H等认为皖南、赣东北和桂北蛇绿岩形成于新元古代早期(约900~1000 Ma),并且在元素地球化学上都具有相似的岛弧特征,提出了华夏板块与扬子板块之间晋宁期陆-弧-陆碰撞模式^[37]。吴荣新等获得皖南蛇绿岩上部辉长岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄有3组,分别为891 Ma、826 Ma和764 Ma,认为891 Ma代表蛇绿岩构造侵位时间,与Rodinia超大陆拼合有关;后两组年龄代表后期岩浆和热液蚀变事件,与Rodinia超大陆裂解有关^[45]。丁炳华等根据Re-Os同位素地球化学分析,认为伏川蛇绿岩为SSZ型,其中方辉橄榄岩中的辉长岩脉锆石年龄为848 Ma,深层堆晶岩异剥橄榄岩锆石年龄为826 Ma,代表着伏川蛇绿岩的形成年龄,因此伏川蛇绿岩不是Rodinia超大陆裂解的产物^[46]。

湖南蛇绿岩 湘东北地区位于扬子陆块与华夏陆块的结合部位,属雪峰山造山带的东段。关于湖南是否存在蛇绿岩存在着争论。金鹤生等认为湖南存在不少蛇绿岩带^[47]。周新华等认为有些不是,例如湘西黔阳-怀化地区隘口基性超基性岩地球化学分析表明来自略亏损地幔源区,并非典型的反映大洋成因的蛇绿岩,而是晚元古宙江南碰撞造山带中段的一个组成部分,如弧后盆地初始扩张产物,并测得全岩Sm-Nd年龄为890 Ma^[48]。贺安生等根据益阳市郊出露的海底火山喷发岩系与典型洋壳剖面对比认为其应为蛇绿岩套,并与邻区广西、江西和安徽等地蛇绿岩分布在同一带上^[49],刘钟伟赞同其为蛇绿岩残片^[50],肖禧砥认为形成于弧间拉张盆地^[51],王孝磊等则认为是局部地幔柱-弧相互作用的产物^[52]。

桂北龙胜蛇绿岩 龙胜蛇绿岩主要出露在广西北部龙胜地区,沿NNE向断裂带分布于长约50 km、宽约30 km的范围内。蛇绿岩大致顺层构造侵位于丹洲群台桐组。蛇绿岩的原始层序已被构造肢解,岩石组合主要包括顺层贯入的基性超基性岩席和具枕状构造的细碧角斑岩系。基性超基性岩席包括辉橄岩、辉长岩和辉绿岩等。

钟自云等根据岩石地球化学判别方法,认为龙胜蛇绿岩形成于古岛弧构造环境^[53]。夏斌同样运用岩石地球化学判别方法,却发现龙胜蛇绿岩投点既落于大洋拉斑玄武岩区,又落于岛弧拉斑玄武岩区,故认为龙胜存在两种蛇绿岩,岩浆侵位的岛弧型蛇绿岩与构造侵位的洋壳型蛇绿岩共存^[54]。张桂林等通过对龙胜蛇绿岩的地质特征、变形构造和岩石地球化学的综合研究,发现龙胜蛇绿岩并不是构造侵位所形成的洋壳碎片,而是早期岩浆侵位的基性超基性岩席在原地变形分解的产物^[55]。李献华根据对龙胜蛇绿岩的元素和Nd同位素地球化学研究,认为很可能形成于大陆弧靠大陆一侧的弧后盆地扩张阶段,或在大陆弧伸展-减薄过程中形成^[56]。

但是,葛文春等通过对龙胜地区丹洲群的地质、岩石组合、同位素年代学以及细碧岩和镁铁质岩石的地球化学特征等分析,对蛇绿岩提出质疑,认为龙胜丹洲群火山岩和镁铁-超镁铁质岩石并不属于蛇绿岩,而是新元古代大陆裂谷进一步发展的产物^[57-58]。

海南蛇绿岩 李献华等在海南岛昌江-琼海断裂带北侧的屯昌晨星农场和昌江邦溪农场两个地区,发现有大量的变质基性岩呈透镜状的断片产于古生界地层中^[59]。这些变质基

性岩在化学成分上与亏损的洋中脊玄武岩类似,随后李献华等进一步定义为“邦溪-晨星蛇绿岩片”,并测得其Sm-Nd年龄为333 Ma,为其形成年龄,代表了东古特提斯洋的残片^[60]。

2.2 存在的主要问题及讨论

钦杭结合带处于扬子陆块与华夏陆块的会聚部位,其形成的构造背景和形成时代对于研究华南板块的大地构造演化具有重要意义。华南蛇绿岩主要位于钦杭结合带内,代表了古大洋岩石圈的碎片,是研究大地构造的重要对象,因此华南蛇绿岩的研究对了解华南大地构造演化具有重要意义。

皖南歙县和赣东北蛇绿岩,研究程度比较高。对皖南蛇绿岩形成的构造环境有岛弧环境、弧后盆地环境或岛弧向弧后盆地转换环境等多种认识,均认为不是形成于大洋中脊环境的,即不是MOR型的,而是属于SSZ型的。以往人们根据皖南和赣东北蛇绿岩年龄集中在约1.0 Ga,作为扬子与华夏陆块碰撞的重要证据。但是最先张旗^[3]根据皖南蛇绿岩上部火山的岩石学和地球化学特征对其是否为蛇绿岩提出了疑问,近年来越来越多的高精度锆石年龄也显示皖南蛇绿岩在820 Ma左右^[45-46],并且地球化学特征表明其受到地壳物质混染^[36-37,40,43],按照目前华南流行的前寒武纪三大演化模式之一的地幔柱-裂解模式,其可能与超级地幔柱引发的Rodinia超大陆裂解有关,即皖南蛇绿岩可能不属于蛇绿岩。但伏川蛇绿岩还需进一步开展全面研究,包括区域地质、岩石类型与组合、时代、构造属性等,新元古代也可能出现蛇绿岩,同样地幔柱是否存在也还是存疑的。

赣东北蛇绿岩一直被认为不像皖南蛇绿岩那样具完整剖面,但是最近笔者随东华理工大学余达淦和林子瑜教授考察赣东北樟树墩蛇绿岩,发现存在有完整的蛇绿岩各组成单元,包括变质橄榄岩、堆晶辉石岩、枕状玄武岩及含硅质条带泥质岩。根据周国庆^[4]总结的蛇绿岩分类特点,赣东北樟树墩蛇绿岩属于SSZ型无疑,这与人根据地球化学分析得出的结论相同,但是具体的是属于弧后、弧前、弧间盆地还是岛弧环境有待于进一步研究。对于赣东北蛇绿岩的时代,越来越多的精细锆石U-Pb年龄证明其形成于中新元古代^[22,24,61],这一点应该是可以确定的。但是对于赣东北和皖南具体的蛇绿岩时代,哪个是形成时代、哪个是侵位时代、哪个是变质时代,还存在着争议。综合前人的年龄资料分析,笔者推断,大量1154~955 Ma约1.0 Ga^[19-22,61]的年龄代表了赣东北蛇绿岩的形成年龄。西湾蛇绿岩中获得的浅色花岗岩880 Ma的SHRIMP锆石U-Pb年龄^[24],为蛇绿岩的侵位年龄。西湾高压变质蓝片岩的年龄为866 Ma^[62],代表了碰撞期的变质年龄。

从金鹤生等提出湖南存在不少蛇绿岩带^[51]以来,一直存在较多争论。湘西黔阳-怀化地区隘口基性超基性岩前人已经证明并非蛇绿岩^[48-49],但仍然有一些蛇绿岩存在疑问,如益阳古火山岩。肖禧砥根据在益阳古火山岩中发现单斜辉石具有鬣刺结构,从而提出是科马提岩^[51]。但是王孝磊等未发现其鬣刺结构残余,并根据其地球化学特征,判断是科马提质玄武岩^[54]。地球化学上既有岛弧火山岩的特征又显示与地幔柱来源的科马提质岩浆有关。火山岩中发育枕状熔岩,表明其具有典型的水下喷发特点。笔者赞同王孝磊等益阳火山岩是局部地幔柱-弧相互作用的产物的观点^[52]。但是对于该套火山岩的时代,还迫切有待于精细锆石年龄的证据。

桂北龙胜地区基性超基性岩,从前人的研究来看,不是构造侵位作用形成的洋壳蛇绿岩碎片,不具蛇绿岩构造侵位特征^[55]。根据地球化学特征,推测其很可能形成于大陆弧靠大陆

一侧的弧后盆地扩张阶段,或在大陆弧伸展-减薄过程中^[56]。葛文春等则认为是新元古代大陆裂谷进一步发展的产物^[57-58]。蛇绿岩代表产于多种构造背景下的“洋盆扩张脊的洋壳+洋下地幔岩石组合,绝对不是陆壳岩石,蛇绿岩和陆壳之间无成因联系”^[4]。上述构造环境实际均表明龙胜基性超基性岩为陆壳环境,属陆弧岩浆杂岩,不是蛇绿岩。

李献华根据海南邦溪、晨星等地仅出现的变质基性岩地球化学特征与亏损的洋中脊玄武岩类似,形成于大洋环境,从而认为其为蛇绿岩^[59-60]。张旗等也指出存在两种不同类型剖面的蛇绿岩,认为蛇绿岩剖面可以不完整^[63-64],并且以双沟蛇绿岩仅由玄武岩和辉长-辉绿岩两个单元组成为代表^[65],但前提是这些基性岩直接覆于地幔橄榄岩之上,并指出此类蛇绿岩的判别需要寻找未受构造变动的剖面,受到强烈构造混杂作用的蛇绿岩很难找到原始的接触关系,从而无法鉴定。邦溪、晨星等地的变质基性岩可能为类似双沟蛇绿岩的类型,但是这些变质岩呈透镜体的断片产于不同时代的古生代岩系中,形成构造混杂岩带,构造剖面完全破坏,因此判断其为蛇绿岩是不可靠的。

3 小结

蛇绿岩从提出到现在,其概念和定义相比刚提出时都已经发生了很大的变化,这得益于科学技术的提升特别是地球化学学科的飞速发展,使得人们对蛇绿岩的认识不断深入和提高。笔者今年4月在南京有幸得到张旗研究员的当面指导,他认为对蛇绿岩的研究,现在的一般做法都是借助地球化学判别其形成环境,再配以高精度年代测试判断其时代,但是做这些工作之前绝对不能忽视了野外的第一手资料,对野外的地质现象的观测仍然是重中之重。

皖南、赣东北、湖南益阳及桂北龙胜等地出现的蛇绿岩,对研究钦杭结合带的构造乃至整个华南的构造演化起着举足轻重的作用。综合前人研究,笔者认为赣东北蛇绿岩可能是华南仅能确定的唯一蛇绿岩,约1.0 Ga形成于俯冲带之上的构造环境,在880 Ma构造侵位,并在866 Ma碰撞变质。皖南蛇绿岩和桂北龙胜蛇绿岩可能均为Rodinia超大陆裂解的产物。湖南益阳科马提质玄武岩为地幔柱-弧相互作用的产物,对其形成时代有待于进一步研究。限于笔者水平,有些认识难免肤浅和不足,敬请批评指正。

参考文献

- [1] 周国庆. 蛇绿岩的概念及其演变[A]. 张旗主编:蛇绿岩与地球动力学研究[C]. 北京:地质出版社, 1996:15-20.
- [2] 张旗. 中国蛇绿岩研究中的几个问题[J]. 地质科学, 1992, 12(增刊): 139-146.
- [3] 张旗, 周国庆. 中国的蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社, 2001: 28-31.
- [4] 周国庆. 蛇绿岩研究新进展及其定义和分类的再讨论[J]. 南京大学学报(自然科学), 2008, 44(1): 1-23.
- [5] Troodos in Geology of Cyprus, Geological Survey Department, Ministry of Agriculture and Natural Resources and Environment, Republic of Cyprus. Cyprus[R/OL]. [2010-4-10]. http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlTroodos_en/dmlTroodos.en?OpenDocument
- [6] Pearce J A, Lippard S J, and Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites [A]. In: Marginal basin geology [C] (eds. Kokelaar B P and Howells M F). Geological Society of London Special Publication 16; London, Blackwell Scientific Publications, 1984: 77-94.

- [7] 张旗. 蛇绿岩的分类[J]. 地质科学, 1990, 1: 54-61.
- [8] 史仁灯. 蛇绿岩研究进展、存在问题及思考[J]. 地质论评, 2005, 51(6): 681-693.
- [9] Pearce J A. Supra-subduction zone ophiolites: The search for modern analogues [A]. In: Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought[C] (eds. Dilek Y and Newcomb S). The Geological Society of America Special Paper, 2003, 373: 269-293.
- [10] Robertson A H F. Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region [J]. Lithos, 2002, 65: 1-67.
- [11] Dilek Y. Ophiolite concept and its evolution [A]. In: Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought [C] (eds. Dilek Y and Newcomb S). The Geological Society of America Special Paper, 2003, 373: 1-16.
- [12] Coleman R G and Peterman Z E. Oceanic plagiogranite [J]. J. Geophys. Res., 1975, 80: 1099-1108.
- [13] 简平, 刘敦一, 张旗, 等. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 439-456.
- [14] 李武显, 李献华. 蛇绿岩中的花岗质岩石成因类型与构造意义[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 392-397.
- [15] 王玉净, 舒良树. 中国蛇绿岩带形成时代研究中的两个误区[J]. 古生物学报, 2001, 40(4): 529-532.
- [16] 史仁灯. Re-Os 同位素体系在蛇绿岩应用研究中的进展[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1685-1695.
- [17] 马中平, 夏林圻, 夏祖春, 等. 蛇绿岩年代学研究方法及应注意的问题[J]. 西北地质, 2004, 37(3): 103-108.
- [18] 张旗, 周国庆, 王焰. 中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 1-8.
- [19] 徐备, 乔广生. 赣东北晚元古代蛇绿岩套的 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): 108-113.
- [20] 周国庆, 赵建新. 华南扬子克拉通东南缘赣东北蛇绿岩的 Sm-Nd 同位素研究[J]. 科学通报, 1991, 36(2): 129-132.
- [21] 邢凤鸣, 徐祥, 陈江峰, 等. 赣东北元古代蛇绿岩 Sm-Nd 同位素年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1992, 11(2): 120-124.
- [22] 李献华, 周国庆, 赵建新. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地球化学, 1994, 23(2): 125-131.
- [23] 李武显, 李献华. 赣东北蛇绿岩中的埃达克型花岗岩——地球化学和 Nd 同位素证据[J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 199-208.
- [24] Li Wuxian, Li Xianhua, Li Zhengxiang, et al. Obduction-type granites within the NE Jiangxi Ophiolite: Implications for the final amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks[J]. Gondwana Research, 2008, 13(3): 288-301.
- [25] 赵崇贺, 何科昭, 莫宜学. 赣东北深断裂带蛇绿混杂岩中含晚古生代放射虫硅质岩的发现及其意义[J]. 科学通报, 1995, 40(23): 2161-2163.
- [26] 杨晓松, 薛重生, 张克定, 等. 赣东北浅变质岩系中微体古生物化石及其大地构造意义[J]. 科学通报, 1997, 42(4): 409-412.
- [27] 赵崇贺, 何科昭, 周正国, 等. 关于华南大地构造问题的再认识[J]. 现代地质, 1996, 10(4): 512-517.
- [28] 何科昭, 赵崇贺, 邵道乾, 等. 赣东北蛇绿混杂岩带中多处发现含晚古生代放射虫硅质岩[J]. 现代地质(中国地质大学研究生院学报), 1996, 10(3): 303-307.
- [29] 何科昭, 赵崇贺, 乐昌硕, 等. “板溪群”构造属性的再认识与思考[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 353-362.
- [30] 何科昭, 聂泽同, 赵崇贺, 等. 赣东北晚古生代放射虫化石综述[J]. 现代地质, 2000, 14(1): 1-7.

- [31] 吴浩若. 赣东北蛇绿岩带相关地质问题的构造古地理分析[J]. 古地理学报, 2003, 5(3): 328-342.
- [32] 李献华. 赣东北蛇绿混杂岩带中硅质岩的地球化学特征及构造意义[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(3): 284-290.
- [33] 王博, 舒良树. 对赣东北晚古生代放射虫的初步认识[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 337-344.
- [34] 吴新华, 楼法生, 王玉净, 等. 赣东北地区不同时代硅质岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 209-216.
- [35] 王玉净, 杨群, 尹磊明, 等. 赣东北蛇绿混杂岩带和变质岩系中“放射虫硅质岩”的再研究[J]. 高校地质学报, 2006, 12(1): 98-105.
- [36] 赵建新, 李献华, M. T. McCulloch, 等. 皖南和赣东北蛇绿岩成因及其大地构造意义元素和Sm-Nd同位素制约[J]. 地球化学, 1995, 24(4): 311-326.
- [37] Li X H, Zhao J X, McCulloch M T, et al. Geochemical and Sm-Nd isotopic study of Neoproterozoic ophiolites from southeastern China: petrogenesis and tectonic implications [J]. Precambrian Research, 1997, 81: 129-144.
- [38] 白文吉, 甘启高, 邢凤鸣, 等. 江南古陆东南缘蛇绿岩完整层序剖面的发现和基本特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1986, 5(4): 289-299.
- [39] 周新民, 邹海波, 杨杰东, 等. 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, 16: 1243-1245.
- [40] 邢凤鸣. 皖南伏川蛇绿岩形成环境的地球化学标志[J]. 岩石矿物学杂志, 1990, 9(1): 1-12.
- [41] 叶德隆, 邓晋福, 孙平, 等. 皖南蛇绿岩的初步研究[J]. 地球科学, 1991, 16(2): 143-152.
- [42] 杨建明, 王希斌, 鲍佩声. 安徽歙县蛇绿岩地球化学特征及形成构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(3): 232-242.
- [43] 邹海波, 周国庆, 周新民. 华南晚元古代碰撞造山带的两个蛇绿岩套的研究[A]. 李继亮主编, 东南大陆岩石圈结构与地质演化[C]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 130-140.
- [44] Chen J, Foland K. A., Xing F, et al. Magmatism along the southeast margin of the Yangtze block: Precambrian collision of the Yangtze and Cathaysia blocks of China [J]. Geology, 1991, 19: 815-818.
- [45] 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 皖南蛇绿岩套辉长岩锆石U-Pb定年以及元素和氧同位素研究[J]. 地球学报, 2005, 26(增刊): 70-73.
- [46] 丁炳华, 史仁灯, 支霞臣, 等. 江南造山带存在新元古代(~850 Ma) 俯冲作用-来自皖南SSZ型蛇绿岩锆石SHRIMP U-Pb年龄证据[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(5): 375-388.
- [47] 金鹤生, 傅良文. 湖南火山岩的时空演化及其板块构造意义[J]. 地质论评, 1986, 32(3): 225-235.
- [48] 周新华, 程海, 陈海涨. 湖南黔阳镁铁-超镁铁质岩Sm-Nd年龄测定[J]. 地质科学, 1992, 4: 391-393.
- [49] 贺安生, 韩雄刚. 益阳火山岩特征及其形成构造环境分析[J]. 湖南地质, 1992, 11(4): 269-274.
- [50] 刘钟伟. 湖南前寒武纪火山岩地球化学特征及产出构造环境[J]. 湖南地质, 1994, 13(3): 22-27.
- [51] 肖禧砥. 湖南益阳玄武质科马提岩及其形成环境[J]. 中国矿冶学院学报, 1983, 38(4): 106-113.
- [52] 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 湖南中-新元古代火山-侵入岩地球化学及成因意义[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 49-60.
- [53] 钟自云, 龚安, 方积义. 广西龙胜蛇绿岩带的地质特征及构造环境[J]. 岩石矿物及测试, 1983, 2(1): 1-9.
- [54] 夏斌. 广西龙胜元古代两种不同成因蛇绿岩岩石地球化学及侵位方式研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 1984, 20(3): 554-566.
- [55] 张桂林, 梁金城, 何振培, 等. 广西龙胜地区非构造侵位的蛇绿岩[J]. 大地构造与成矿学, 1997, 21(2): 137-144.

- [56] 李献华. 广西龙胜蛇绿岩的元素和同位素地球化学研究[J]. 地球学报, 1997, 18(增刊): 95-97.
- [57] 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 桂北“龙胜蛇绿岩”质疑[J]. 岩石学报, 2000, 16(1): 111-118.
- [58] 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 龙胜地区镁铁质侵入体: 年龄及其地质意义[J]. 地质科学, 2001, 36(1): 112-118.
- [59] 李献华, 周汉文, 丁式江, 等. 海南岛洋中脊型变质基性岩: 古特提斯洋壳的残片? [J] 科学通报, 2000, 45(1): 84-89.
- [60] 李献华, 周汉文, 丁式江, 等. 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.
- [61] Gao Jun, Reiner Klemm, Long Lingli, et al. Adakitic signature formed by fractional crystallization: An interpretation for the Neo-Proterozoic meta-plagiogranites of the NE Jiangxi ophiolitic 棕欽幔脊? belt, South China [J]. Lithos, 2009, 110: 277-293.
- [62] 舒良树, 周国庆, 施式申, 等. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1879-1882.
- [63] 张旗, 周德进, 陈雨. 一种新的洋壳类型及其动力学意义[J]. 科学通报, 1996, 41(11): 1025-1027.
- [64] 张旗, 陈雨, 钱青. 两类蛇绿岩剖面及其成因的探讨[J]. 自然科学进展, 1998, 8(3): 326-330.
- [65] 张旗, 周德进, 李秀云. 云南双沟蛇绿岩的特征和成因[J]. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 190-202.

Recent situation of researches on ophiolites and some problems concerning the ophiolites in south China

WANG Cun-zhi, JIANG Yang, XING Guang-fu

(Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016, China)

Abstract

Ophiolite is an important evidence to determine the palaeo-plate boundaries and shows an important geotectonic significance since 1970s, thus when the concept of ophiolite was proposed, it has become one of the most important object of study for geologists. With the development of geochemical techniques and implement of deep sea drilling program (DSDP) and ocean drilling program (ODP), further studies on ophiolites have been made and a great progress has been acquired in recent years, however many new problems have been raised at the same time. This paper mainly discusses the recent development in the study on ophiolites and analyzes the present situation of researches on ophiolites in south China. In addition, some existed problems have been preliminarily discussed.

Key words: leucocratic rocks; ophiolite; South China