

华南加里东运动研究综述及其性质初探 1

胡艳华¹, 钱俊锋², 褚先尧¹, 徐岩¹, 顾明光¹, 李建峰³

(1、浙江省地质调查院 杭州 311203 2、浙江省地质矿产研究所 杭州 310007 ;
3、中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

摘要 加里东运动导致了华南地区诸省泥盆系与前泥盆地层之间构造不整合。为了弄清此次运动的性质,本文首先回顾了加里东运动的相关术语,然后综合分析了华南地区志留系地层的大规模缺失、奥陶纪-志留纪界线附近古地理格局大变化、加里东期同位素年龄信息。作者认为:华南加里东运动的实质是扬子板块与华夏板块在奥陶纪末到志留纪发生的板内碰撞运动,这种碰撞导致的挤压作用使元古代地壳基底发生深熔作用,产生华南地区大面积分布的花岗质岩石和混合岩,以及变质、变形作用;同时,也是这次板内碰撞作用导致了始于晚奥陶世的华南地壳大规模抬升,从而造成华南大范围内志留系地层的缺失。

关键词 加里东运动;华南志留系;古地理格局

中图分类号:P541

文献标识码:A

文章编号:1001-7119(2012)11-0042-07

The Overview and Origin Analysis for the Caledonian Movement in the South China Block

Hu Yanhua¹, Qian Junfeng², Zhu Xianyao¹, Xu Yan¹, Li Jianfeng³

(1.Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, China; 2.Zhejiang Institute of Geology and Mineral Resources, Hangzhou 310007, China; 3.Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China)

Abstract In South China, the Caledonian mountain-building movement results in the tectonic unconformity between the Devonian and pre-Devonian layers. In order to learning the origin of this movement, we firstly review its related terms in South China, and then we give an integrate analysis of the extensively stratum missing of the Silurian system, palaeogeographic map change from Ordovician to Devonian, and isotopic ages of granitoid plutons in the South China region. It is suggested that the Caledonian movement can be attribute to the collision between the Yangtze block and the Huaxia block from late Ordovician to Silurian. As a result, the compression gives rise to the anatectic melting of the Proterozoic crustal basement, which results in the extensively spread of the granitoid rocks and migmatite as well as the deformation and the metamorphism. In addition, this collision also causes the crustal lifting movement in South China, which is the reason why the Silurian system misses.

Key words : caledonian movement; south china; lost of siluric stratum; palaeogeographic pattern

0 引言

加里东运动是以英国苏格兰加里东山命名, 1888年由休斯(E.Suess)创用, 主要指欧洲西北部晚志留纪至泥盆纪形成北东向山地的褶皱运动。

其现在已经成为早古生代地壳运动的总称, 时间跨度从寒武纪到泥盆纪。在华南其含义包括导致诸省泥盆系与前泥盆地层之间不整合的构造运动。然而, 这次构造运动到底是什么性质的运动, 其动力学机制如何, 前人却没有过多的研究。弄

收稿日期: 2012-03-28

基金项目: 浙江省国土资源厅项目(编号: [省资]2010001)

作者简介: 胡艳华(1981-), 男, 湖北省枝江市人, 理学博士, 主要基础地质与矿产地质研究工作。

* 通讯作者: 钱俊锋(1981-), 男, 浙江省义乌市人, 理学博士, 主要从事基础地质和成矿规律研究。Email: junfengq@163.com

清楚此次运动的性质对于解决华南大面积加里东期花岗岩成因、华南早古生代地壳演化历史等都具有重要的推动作用;另外,加里东期也是中国南方重要的成矿成油期,对其进行深入探讨对指导找油找矿能提供理论指导。本文试从加里东运动相关术语、志留纪大规模地层缺失、奥陶纪-志留纪界线附近古地理格局大变化、加里东期同位素年龄信息、华南加里东运动本质及动力学机制等方面对华南加里东期构造热事件进行回顾与解析。

1 加里东运动相关术语

在华南与加里东运动相关的地方性构造运动术语众多,具体说来有:

- (1)郁南运动 ;(2)崇余运动 ;(3)北流运动 ;(4)宜昌运动 ;(5)广西运动等。

加里东运动在华南广泛存在已是个不争的事实,但对于其发生时代、影响范围和运动性质却还不能达成共识。前人根据地层间的角度不整合,一般将加里东运动划分为三个幕次,但使用名称和时代不尽相同,如刘宝珺等认为第一幕发生于奥陶纪和寒武纪之间,称郁南运动,主要表现为云开地区的隆升,以及武夷-云开带内中酸性岩浆活动^[1];第二幕发生于中奥陶世晚期,称为崖县运动,在海南岛地区表现为中奥陶世尖岭组磨拉石与砂塘组页岩呈角度不整合关系,在大陆表现为闽浙沿海盆地封闭,隆升成山;最后一幕为广西运动,发生于志留纪末。袁正新等^[2]认为第一幕发生于晚奥离世末,称为台开运动,涉及闽

粤大部分地区和赣中南、湘东南及挂东北地区,是广泛而强烈的一次运动;第二幕发生于中志留世末,称崇义运动,涉及湘中南、赣西和挂东北等地;第三幕发生于晚志留世末,称广西运动,涉及桂东南以外的广西境内。梅冥相等^[3]认为第一幕为寒武纪末期的郁南运动,第二幕为奥陶世末期的都匀运动,最后一幕为志留纪末期的广西运动。图 1 展示了较公认的华南加里东运动各个幕次在不同地方的名称和其发生作用的时期。

2 志留纪地层大规模缺失

华南的奥陶纪地层分布非常广泛,华南大部分地区(图 2)均有出露,其中川、鄂、湘、赣、贵等省的大部分地区地层尤为发育,层系完整,生物化石丰富,并具有多种沉积类型。川、黔、云南东北及安徽北部等地的奥陶系多由碳酸岩和粘土碎屑岩组成,厚度不大,分层明显,与下伏、上覆地层一般呈整合接触,属于稳定类型的沉积。这些地区的生物化石十分丰富,主要以笔石相和介壳相交替出现或混生为特色。湖南北部、广西北部、江西北部、安徽南部及浙江部分地区的奥陶纪地层的总体特征是地层厚度明显增大,岩相横向变化显著,以粘土碎屑沉积为主,夹有碳酸盐岩,属于稳定型与活动类型之间的过渡类型沉积。绍兴-宜春以南、宜春-衡阳-全州-桂林以东的江西、湖南、福建、广东、广西的部分地区,奥陶系多由碳硅质页岩、粉沙岩、长石石英砂岩组成,厚度巨大,并且具有轻度变质^[5]。

与奥陶纪地层相比,华南志留纪地层大范围

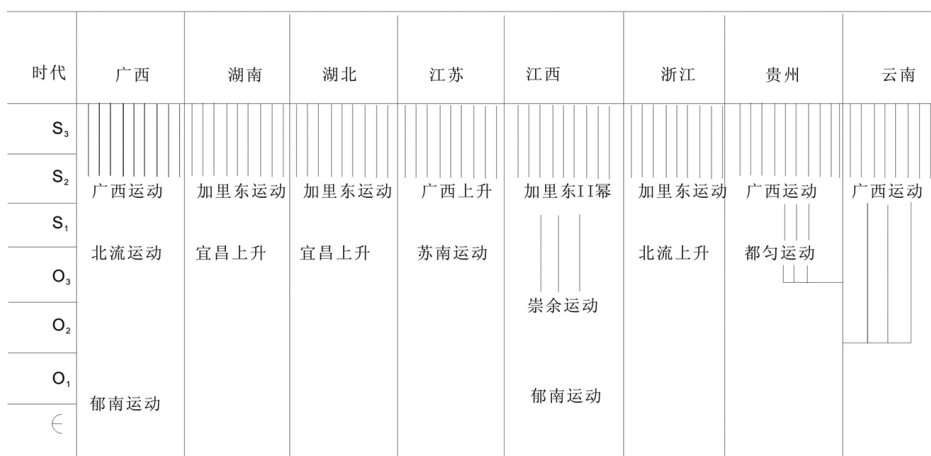


图 1 华南加里东运动各幕次时空分布(据李志明等^[4],1997 修改)

Fig.1 Each power of Southern China Caledonian movement's spatial and temporal distribution

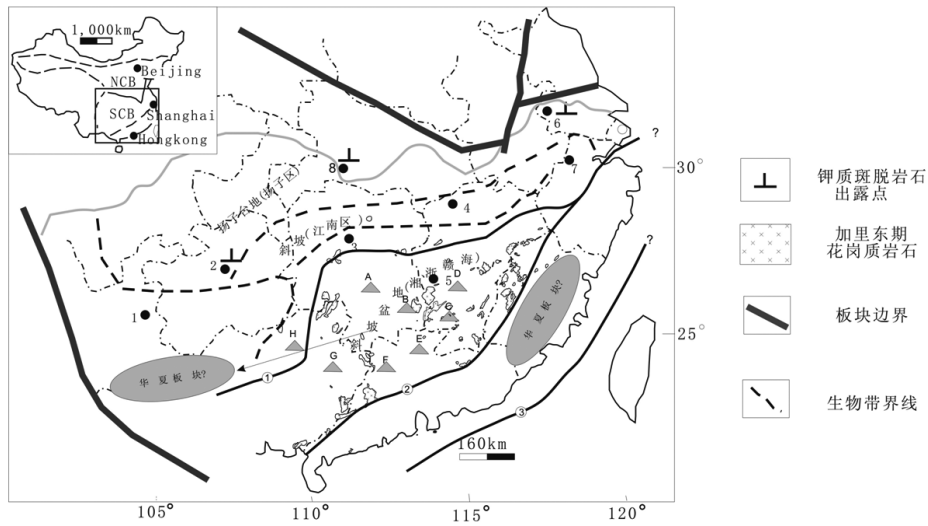


图 2 研究区综合图

Fig.2 The comprehensive map of study area

生物带的划分据 Su et al., (2008)。1-云南曲靖 2-贵州桐梓 3-湖南安化；
4-江西武宁修水 5-江西永新 6-江苏南京 7-浙江安吉 8-湖北宜昌
黑色三角形为图 3 中剖面点所在位置，花岗岩分布据孙涛(2006)，带圆圈的
数字为早古生代或中生带缝合带位置，据 Su et al., (2008)及其所引

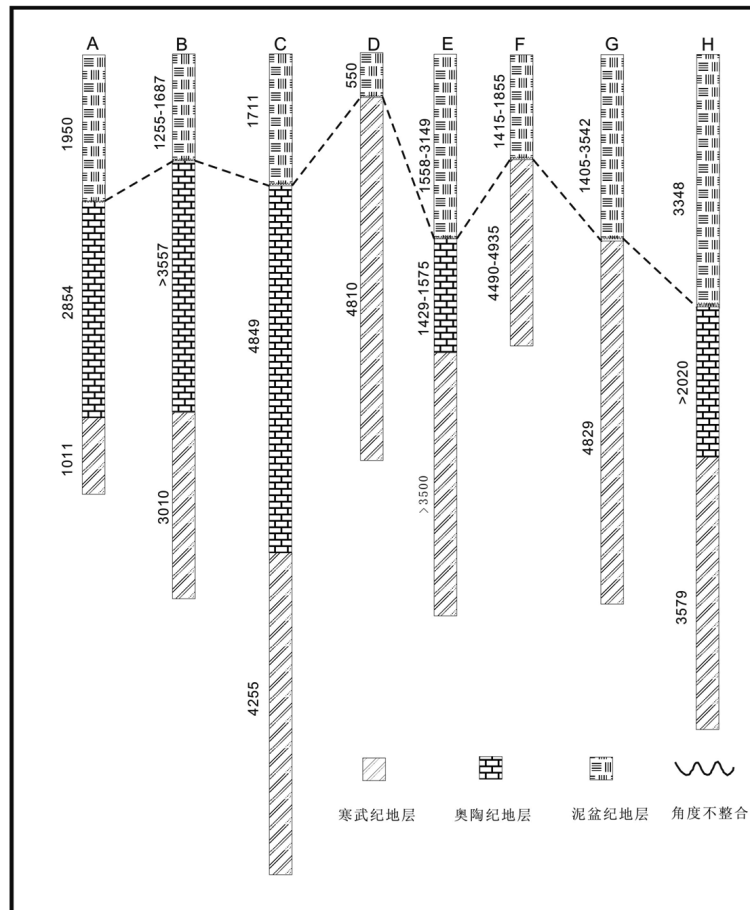


图 3 湘南、赣南、粤北、桂北志留地层缺失

Fig.3 The Silurian stratum has lost in the southern Hunan, southern Jiangxi, northern Guangdong and northern Guangxi Province (数字单位为米,为根据各地区 1:20 万地质图及其说明统计的岩层厚度。)

表 1 华南部分地区奥陶纪 志留纪地层对比

Table 1 The Ordovician and Silurian strata comparison in some areas of Southern China

时代		1 云南曲靖		2 贵州桐梓		3 湘南		4 江西武宁		5 江西永新		6 广西北部		7 浙江安吉		8 湖北宜昌			
国际划分标准		中国划分标准																	
志留纪	普里多利	玉龙寺期		玉龙寺组															
	罗德洛	妙高期		妙高组				西坑组											
		关底期		关底组															
	文罗克	秀山期				韩穴店组		下家桥组				康山群		纱帽组					
	兰德维利	白沙期				白沙组				清水组				大白地组		罗惹坪组			
石牛栏期				石牛栏组				殿背组				安吉组		龙马溪组					
奥陶纪	晚	五峰期		五峰期		五峰组		苏水冲组		新开岭五峰组		梅子树组		长坞组		五峰组			
		临湘期		石口期		洞草沟组		南石冲组		黄泥岗组		石口组		石口组		黄泥岗组		临湘组	
		宝塔期		韩江期		宝塔组		双家口组		砚瓦山组		韩江组		韩江组		砚瓦山组		宝塔组	
		庙坡期		胡乐期						胡乐组		龙溪组		白马冲组		胡乐组		庙坡组	
		牯牛潭期				下巧家组		十字铺组		石马冲组		牛组		升平组		牛上组		牯牛潭组	
	中	大湾期		宁国期		红石崖组		湄潭组				七溪岭组				宁国组		大湾组	
		红花园期						红花园组		桥亭子组		荆山组		黄隘组		印渚埠组		红花园组	
	早	两河口期		新厂期				桐梓组		白水溪组		荆山组		印渚埠组					
												荆山组		印渚埠组				分乡组	

减少,湘中、湘南未发现志留地层,江西的志留地层仅分布于江西北部地区,又以修水流域及武宁-彭泽一带分布最广,为一套厚达 3851 m 的类复理石沉积建造,由灰绿、黄绿及紫红色的泥岩、粉砂岩及砂岩等组成,产笔石和多门类介壳化石。而赣南晚志留世复成分砾岩角度不整合在褶皱变形、低绿片岩相变质的寒武纪或奥陶纪复理石与细碎屑岩之上,泥盆纪石英质砾岩与晚志留世复成分砾岩呈平行不整合接触;在赣中,泥盆纪花岗质砾岩不整合在奥陶纪板岩化浊积岩之上^[6]。广东的志留地层出露甚少,仅仅见于粤西的郁南、罗定、云浮、高要和廉江等地。滇黔桂地区的志留系仅出露在两个地区:一是滇东南的曲靖(表 1),中志留统关底组与中寒武统的陡坡寺组假整合接触,下部的中寒武统有古溶蚀面,上为滨岸相海滩砂岩,该沉积物可延伸至贵阳以南;二是盆地北部的灵川,下志留统以粗粒浊积水道相砂岩与奥陶系渴湖潮坪相的灰岩接触^[7]。由此可见,在湘南、赣南、粤北、桂北广大地区,全部志留纪地层缺失甚至有的缺少部分奥陶地层。如在湖南衡阳、永兴、江西赣州、广东韶关、广西桂林等地,泥盆地层直接覆盖在奥陶地层之上,全部缺少志留地层(图 3)(据各地区 1:20 万地质图),而在江西兴国、广东阳山、广西贺县等地,甚至缺少部分奥陶地层(图 3)(据各地区 1:20 万地质图)。志留纪文洛克世之后,湖北宜昌、贵州桐

梓、浙江安吉等地也缺少了上部志留地层(表 1)。

湘南、赣南、粤北、桂北广大地区如此大规模缺少志留系地层。理论上两种可能:第一是有志留纪沉积,志留纪末的褶皱运动使这些地区成为造山带,志留系被剥蚀殆尽。我们认为上述地区如有志留纪沉积,不可能在这样大的范围内将其全部剥蚀而不留丝毫痕迹。并且这些地区都分布有上奥陶统。难以想像它们恰好都是志留系被全部剥蚀却保存了上奥陶统。第二是这些地区在晚奥发生的构造运动使这些地区的地壳广泛抬升运动,产生了志留纪地层的沉积间断,缺失志留纪沉积。我们倾向于第二种认识,即认为是由于晚奥陶世末的构造运动产生的抬升作用造成了志留纪地层的缺少,剥蚀作用也可能造成了局部地区某段志留地层的缺失。这种认识得到古地理资料的证明。

3 华南奥陶纪-志留纪界线附近古地理格局大变化

岩相古地理学作为沉积地质学的一个重要分支,它可以通过沉积地层中充填物沉积体系特征、几何形态和组合,恢复大陆边缘沉积活动场所的性质,揭示堆积场所的构造活动、海平面相对升降和物源三者之间的关系,以及相关的

各种地质事件,并以此为依据,重塑古海洋和古大陆的变迁。而古生物化石作为地层中保存的一类特殊沉积产物,其中包含相应的生态限制因素和环境信息,它对重塑古环境恢复古地理具有重要价值。前人正是根据大量翔实地层资料,使用沉积学、古生物学的方法编制了华南多幅奥陶纪到志留纪的古地理图件^[1,5,10-12]。尽管各位作者的指导思想不同,依据原则不同,但对比他们的图件可以知道,他们的图件均显示华南在奥陶纪-志留纪界线附近古地理格局发生了重大变化。Rong et al.^[11]根据生物地层、古生物和群落古生态研究构建的华南古地理图。晚奥陶纪末赫南特阶(~443 Ma)湘、赣、鄂、贵、浙大部分地区仍处于海相环境,而在志留纪温洛克世(~423Ma),华南除了钦防、紫阳、江苏东部等地区外,其他大部分地区均变为陆地。这种古地理格局的变化在华南某些剖面的水深变化曲线中也可以反映出来^[11]。

造成华南短时间(约 20 Ma)古地理格局发生如此重大变化原因可能有两条。第一,华南加里东期的构造运动,具体说来便是扬子板块与华夏板块的陆内拼合碰撞作用导致扬子地块东缘的深水域变成了浅水域,随后甚至升降成陆。第二,从全球背景看,奥陶纪末期海平面快速、大幅度地下跌达 50-100 m^[13-15],也就是说海退主导了华南古地理格局的变化。沉积相和生物相的时空分布变化,是受多种因素控制的。在探讨华南加里东晚期沉积相的演变时,不少学者也强调其与大地构造演化之间的重要联系^[1,16-20]。我们倾向于第一种认识,即认为奥陶纪末期以华夏与扬子碰撞拼合为表现形式的华南加里东期构造运动导致了华南奥陶纪-志留纪界线附近古地理格局的重大变化,华南志留纪地层大范围的缺失、大范围的中酸性岩浆活动和奥陶纪和志留地层中广泛分布的钾质斑脱岩正与这次构造运动有关,它几乎席卷这个华南,在华南可以找到这次事件众多的同位素年龄信息。

4 来自华南加里东期的高精度年龄信息

近年,随着高精度定年技术的发展,如 LA-ICPMS 和 SHRIMP 测年技术的发展,在华南,越

来越多的加里东期年龄信息被发现,包括从北江河床泥沙中挑选出的锆石年龄^[21]、华南基底变质岩中锆石增生边年龄^[22,23]、钾质斑脱岩中岩浆锆石年龄^[24]、云开地区片麻岩锆石年龄^[25]、武夷山两麓糜棱岩的韧性变形年龄^[26]、湘西钨矿成矿年龄^[27]、广泛分布于华南的花岗质岩石和混合岩或混合岩化片麻岩中锆石年龄^[28]。从统计结果看,华南加里东期高精度年龄变化于 393~460 Ma 之间,最为集中的时间段为 420~445 Ma 之间的 25 个百万年之间,435 Ma 为其一个峰值^[28]。从华南现有发现的加里东期高精度年龄的空间分布看,主要为浙江、江西、福建、广东、湖南等省份,除去湖北宜昌与贵州桐梓等地发现的赋存于奥陶纪与志留地层的钾质斑脱岩外^[29-31],大体还是沿线性分布。

5 华南加里东运动的实质及其动力学机制初探

华南志留地层大规模的缺少、晚奥陶纪到志留纪古地理环境的巨大变化、来自花岗岩等大量加里东期年龄信息等资料都告诉我们一个事实,那就是华南存在着强烈且影响范围较大的加里东期构造运动,然而,这次运动究竟是种什么性质的运动仍无定论。到底体现了扬子、华夏板块以及二者之间大洋性质的华南海盆三者之间的相互作用?还是仅仅是扬子与华夏板块之间发生的板内碰撞作用?假如是二者之间的板内碰撞,那么其动力来源于何方?又如何解释广泛分布于上扬子地台周缘具有岛弧构造背景的钾质斑脱岩?

根据最新的华南东段最新的沉积环境、火山岩、超镁铁岩、镁铁岩年代、韧性变形运动学、早古生代造山带特色等方面的研究^[26],研究结果表明,震旦纪-奥陶纪期间(680~440 Ma)的沉积岩以泥砂质碎屑岩为主体,岩层中浅海相沉积构造发育,未发现任何大洋盆地的信息,原定的一些玄武岩实为杂砂岩。也就是说,原先被认为是华南发生过沿政和-大埔早古生代俯冲的证据是值得商榷的。更多的证据显示在早古生代,华夏与扬子之间的湘浙赣海为陆间海。基于古寨等加里东期花岗质岩体大部分为强过铝质花岗岩、用主、

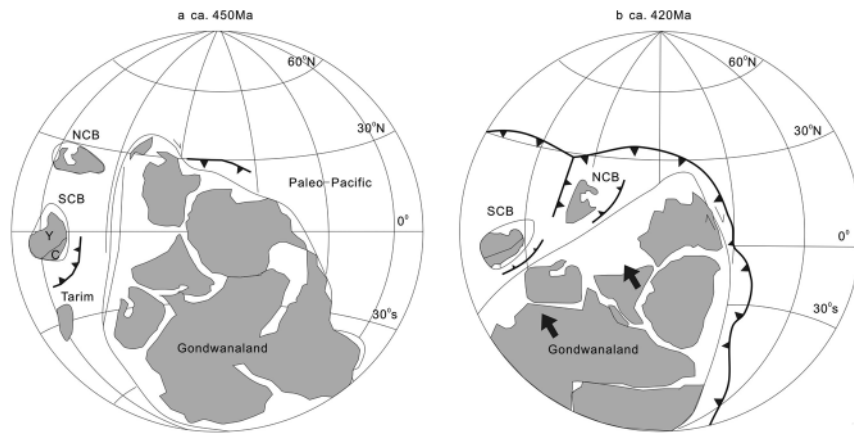


图 4 ~450 Ma 和~420 Ma 全球古地理重建(据 Li and Powell, 2001 修改)

Fig.4 ~450 Ma and ~420 Ma of the global paleogeography reconstruction

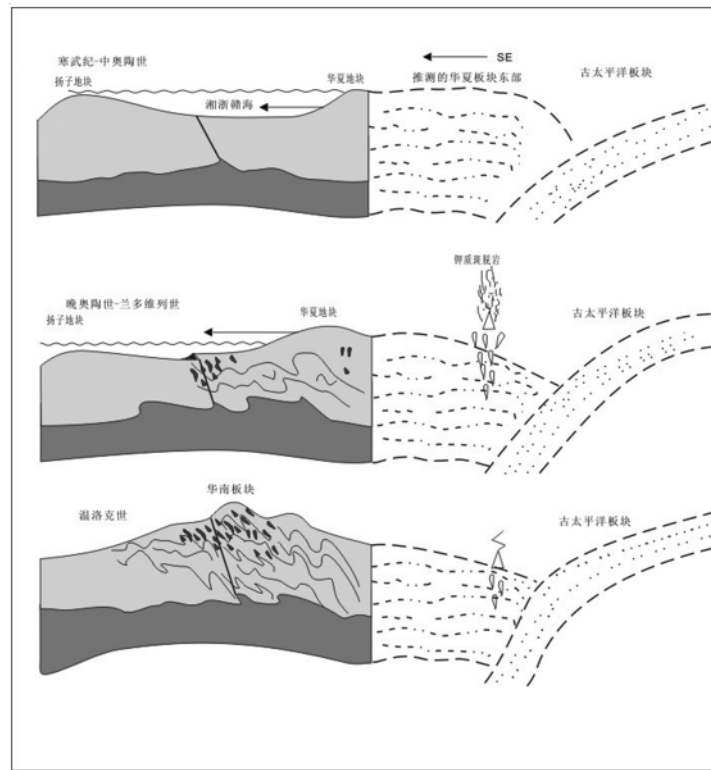


图 5 华南加里东构造运动模式图

Fig.5 The Southern China Caledonian tectonic movement pattern

微量元素所反演的构造背景大部分为同碰撞背景的事实,我们认为华南加里东运动的实质是扬子板块与华夏板块在奥陶纪末到志留纪发生的板内碰撞运动,这种碰撞导致的挤压作用使元古代地壳基底发生深熔作用,产生云开地区、万洋山-诸广山地区、武夷山地区大面积分布的花岗质岩石和混合岩,而有些地区,虽未发生岩浆活动,却存在广泛的变质、变形作用,如武夷山两麓的变质变形作用便很强烈^[26],闽西南桃溪群变质岩锆石增生边中变存在着大量加里东期年龄信息,是这次运动产生变质作用的证据,古寨、罗

浮岩体中存在的大量云母鱼构造和多米诺骨牌构造便是其造成变形作用的证据。正是这次板内碰撞作用导致了始于晚奥陶世的华南地壳大规模抬升,这种抬升导致了华南某些地区志留地层的沉积间断,从而造成华南大范围内志留地层的缺失。

从这次运动的时间来看,时间跨度较大,几乎跨越整个早古生代,甚至晚古生代早期 (~542~400 Ma),但从华南高精度加里东期年龄信息频率统计图来看^[28],这次运动的主碰撞期应位于~443~430 Ma 之间。从几个代表性剖面的水深变

化曲线看^[11]到志留纪温洛克世晚期(~423 Ma), 华南的这些地区水深曲线所反映的生态位数值均变为零, 也就是说, 到志留纪温洛克世晚期(~423 Ma), 华南除极个别地方外, 大部分地区已经抬升为陆地, 以~416 Ma 为峰值的岩浆活动可能是由伸展应力之下的岩浆侵位形成, 岩浆的源区除了以壳源为主外, 可能还有幔源物质的加入^[32]。

从这次运动影响的范围来看, 这次运动几乎席卷整个华南, 但产生岩浆活动的区域主要位于湘浙赣海盆。

从华南早古生代陆地扩大的方向看^[11], 陆地是从东南方向向西北方向扩充, 也就是说, 倘若扬子板块与华夏板块发生了晚奥陶世到志留纪的板内碰撞作用, 华夏板块的东南方向应受到一个力的推动。而现今板内造山的驱动力一般被解释为板块汇聚力的传递效应。从~450 Ma 和~420 Ma 两个时期全球古地理恢复图看(图 4), 华南板块(SCB)在~450 Ma 时已经从冈瓦纳大陆(Gondwanaland)分离出去, 其纬度处于赤道附近, 冈瓦纳大陆与华南板块之间存在着一洋壳性质的古板块, 我们这里用太平洋古板块称之, 正是这一板块对华南板块东南-西北方向的俯冲作用, 使得华夏板块与扬子板块之间发生板内挤压。而广泛分布与上扬子地台五峰组和龙马溪组的钾质斑脱岩变是俯冲作用产生的岛弧性质岩浆的产物, 而其它岛弧性质的岩石应该位于现金被称为“华夏古陆”的东南方, 但因遭受后期改造和破坏, 已难觅其踪华南加里东构造运动的模式图见图 5。

参考文献:

- [1] 刘宝瑁, 许效松等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 1-236.
- [2] 袁正新, 钟国芳, 谢岩豹等. 华南地区加里东造山运动时空分布的新认识[J]. 华南地质与矿产, 1997, 4: 19-25.
- [3] 梅冥相, 马永生, 邓军, 李浩, 郑宽兵. 加里东运动构造古地理及滇黔桂盆地的形成——兼论滇黔桂盆地深层油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 227-236.
- [4] 李志明, 龚淑云, 陈建强, 苏文博. 中国南方奥陶-志留纪沉积层序与构造运动的关系[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1997, 22(5): 526-530.
- [5] 周名魁, 王汝植, 李志明等. 中国南方奥陶-志留纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 1-111.
- [6] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 418-431.
- [7] 陈洪德, 侯明才, 许效松, 田景春. 加里东期华南的盆地演化与层序格架[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(1): 1-8.
- [8] 《中国地层典》编委会. 中国地层典: 奥陶系[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [9] 《中国地层典》编委会. 中国地层典: 志留系[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [10] 王鸿祯(主编). 1985. 中国古地理图集. 北京: 地质出版社
- [11] Rong J Y, Chen X, Su Y Z. *et al.* Silurian paleogeography of China. In: Silurian Lands and Seas - Paleogeography Outside of Laurentia [M]. (Edited by Landing E and Johnson M E). New York State Museum Bulletin, 2003, 243-29.
- [12] 万天丰. 中国大地构造学纲要 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [13] Brenchley P J. Late Ordovician Extinctions and their Relationship to the Gondwana Glaciation. [C]// In: Brenchley P J (ed.). Fossils and Climate. John Wiley and Sons Ltd. 1984, 291-315.
- [14] 戎嘉余. 上扬子区晚奥陶世海退的生态地层证据与冰川活动影响[J]. 地层学杂志, 1984, 01.
- [15] Sheehan PM. The Late Ordovician mass extinction[J]. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, 2001, 29: 331-364.
- [16] 李志明, 全秋琦. 中国南部奥陶-志留纪笔石页岩相类型及其构造古地理[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1992, 17(3): 261-269.
- [17] 许效松, 徐强, 潘桂棠等. 中国南大陆演化与全球古地理对比[M]. 北京: 地质出版社, 1996, 1-161.
- [18] 陈旭, 戎嘉余, 周志毅, 张元动, 詹仁斌, 刘建波, 樊隽轩. 上扬子区奥陶纪-志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升[J]. 科学通报, 2006, 46(12): 1052-1056.
- [19] 吴若浩. 重新解释广西运动 [J]. 科学通报, 2000, 45(5): 555-558.
- [20] 苏文博, 李志明, Ettensohn F R, Johnson M E, 王巍, 马超, 李录, 张磊, 赵慧静. 华南五峰组-龙马溪组黑色岩系时空展布的主控因素及其启示[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2007, 32(6): 819-827.
- [21] Xu X S, O'Reilly S Y, Griffin W L, Deng P and Pearson N J. Relict proterozoic basement in the Nanling Mountains (SE China) and its tectonothermal overprinting[J]. Tectonics, 2005, 24(2): doi:10.1029/2004TC001652, 2005.
- [22] Wan Y S, Liu D Y, Xu M H, Zhuang J M, Song B, Shi Y R and Du L L. SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia block, China: Tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic u-

(下转第 71 页)

- 江大学 2007.
- [4] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第十卷)[M]. 科学出版社 2004 :4-9.
- [5] Trevor R. Hodkinson, Mark W. Phylogenetics of Miscanthus, Saccharum and related genera (Saccharinae, Andropogoneae, Poaceae) based on DNA sequences from ITS nuclear ribosomal DNA and plastid trnL intron and trnL-F intergenic spacers [J]. Journal of Plant Research, 2002, 115 :381-392.
- [6] 徐泽荣, 杨林. 四川的芒草资源及其开发利用前景[J]. 草业与畜牧, 2009, 9 :22-27.
- [7] Sun Q, Lin Q, Yi Z L. A taxonomic revision of Miscanthus s.l. (Poaceae) from China [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2010, 164 :178-220.
- [8] 周昌弘, 黄生, 陈淑华, 等. 台湾芒属植物生态与演化[J]. 科学发展, 2007, 27(10) :1158-1169.
- [9] 萧运峰, 高洁, 王锐. 五节芒的生产性状及饲用价值的研究[J]. 四川草原, 1997, 1 :20-24.
- [10] 赵南先, 萧运峰. 安徽省的芒属植物资源及其开发利用[J]. 武汉植物学研究, 1990, 8(4) :374-382.
- [11] 四川植物志编辑委员会. 四川植物志[M]. 成都:四川科学出版社, 1988.
- [12] 周昌弘. 芒属植物作为生物能源材料:从生态到分子演化的背景综述[J]. 生物科技产学研论坛生质能源特刊, 2007, 10 :19-26.
- [13] 解新明, 周峰, 赵艳慧, 等. 多年生能源禾草的产能和生态效益[J]. 生态学报, 2008, 28(5) :2329-2342.
- [14] 萧运峰, 王锐, 高洁. 五节芒生态-生物学特性的研究[J]. 四川草原, 1995, 1 :25-29.
- [15] Farrell A D, Clifton-Brown J C, Lewandowski I, et al. Genotypic variation in cold tolerance influences the yield of Miscanthus [J]. Annals of applied biology, 2006, 149(3): 337-345
- [16] Cosentino S L, Patane C, Sanzone E, et al. Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of Miscanthus × giganteus Greef et Deu. in a Mediterranean environment[J]. Industrial crops and products, 2007, 25(1): 75-88.
- [17] 张智, 夏宜平, 徐伟伟. 两种观赏草的自然失水胁迫初步研究[J]. 园艺学报, 2007, 34(4) :1029-1032.
- [18] 武菊英, 滕文军. 分株和遮荫对花叶芒生长的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(11):1691-1696.
- [19] 李秀玲, 刘君, 宋海鹏, 等. 应用 Logistic 方程测定 13 种观赏草的耐热性研究 [J]. 江苏农业科学, 2010, 3 :184-186.
- [20] 刘宗华, 罗弦, 张安才, 等. 观赏草的研究与应用[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23) :9958-9960.
- [21] 武菊英. 观赏草及其在园林景观中的应用[M]. 北京:中国林业出版社, 2008. 96-100.

(上接第 48 页)

- mits[J]. Gondwana Research, 2007, 12(1-2): 166-183.
- [23] 于津海, 周新民, O'Reilly S Y, 赵蕾, Griffin W L, 王汝成, 王丽娟, 陈小明. 南岭东段基底麻粒岩相变质岩的形成时代和原岩性质:锆石的 U-Pb-Hf 同位素研究[J]. 科学通报, 2005, 50(16): 1758-1767.
- [24] Hu YH, Zhou JB, Song B, Li W and Sun WD. SHRIMP zircon U-Pb dating from K-bentonite in the top of Ordovician of Wangjiawan Section, Yichang, Hubei, China [J]. Sci China Ser D-Earth Sci, 2008, 51(4): 493-498.
- [25] Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, et al. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block[J]. Gondwana Res, 2007, 12: 404-416.
- [26] 舒良树, 于津海, 贾东, 王博, 沈渭洲, 张岳桥. 华南东段早古生代造山带研究 [J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1581-1593.
- [27] 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲, 林源贤. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年 [J]. 科学通报, 2003, 48(18): 1976-1981.
- [28] 胡艳华等. 浙江诸暨地区陈蔡群加里东期变质年龄的确认及其地质意义[J]. 地质通报, 2011, 30(11) :1661-1670.
- [29] 苏文博, 何龙清, 王永标等. 华南奥陶志留系五峰组及龙马溪组底部斑脱岩与高分辨率地层[J]. 中国科学 (D 辑), 2002, 32(3): 207-219.
- [30] 胡艳华, 孙卫东, 丁兴, 汪方跃, 凌明星. 奥陶纪志留纪边界附近火山活动记录: 来华南周缘钾质斑脱岩的信息[J]. 岩石学报, 2009, 25(12):3298-3308.
- [31] 胡艳华, 刘健, 汪方跃, 丁兴, 凌明星, 孙卫东. 钾质斑脱岩研究评述[J]. 地球化学, 2009, 38(4):393-404.
- [32] 孙涛. 新编华南花岗岩及其分布图[J]. 地质通报. 2006, 25(3): 332-335.