中国科学: 地球科学 2013 年 第 43 卷 第 10 期: 1553 ~ 1582
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

评 述 中国科学院学部 科学与技术前沿论坛 中国(东亚)大陆构造与动力学专题

# 中国华南大陆构造与问题

张国伟[①*], 郭安林[①], 王岳军[②], 李三忠[③], 董云鹏[①], 刘少峰[④], 何登发[④], 程顺有[①], 鲁如魁[①], 姚安平[①]

① 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安 710069;
② 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;
③ 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;
④ 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083
* E-mail: gwzhang@nwu.edu.cn

收稿日期: 2013-03-26; 接受日期: 2013-05-29; 网络版发表日期: 2013-09-09
西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项基金、中石化重大基础研究项目(编号: YPH08012)和国家自然科学基金项目(批准号: 41190072, 41190073, 41190074, 41190070)资助

**摘要** 在前人成果基础上, 通过以构造为主的多学科综合调研, 重新审视认知华南大陆构造及其形成演化. 厘定新元古代以来该大陆具有二大地块、三大类型构造单元与四大变形构造系统, 由此构成华南大陆构造基本格局. 研究揭示其不同构造演化阶段具有不同性质和机制及构造特征, 经历了四个不同属性特点的演化阶段, 包括: (1) 新元古代古板块构造的拼合与裂解, 尤其陆内伸展裂谷构造; (2) 显生宙以来在板块构造围限下的早古生代与中生代初两期陆内造山作用, 形成两期复合的陆内造山构造区; (3) 统一华南大陆内扬子克拉通与陆内造山的长期并行演化和克拉通的多期逐次迁移活化; (4) 中新生代现代全球板块构造体制下的板块构造与陆内构造的复合差异演化及动力学特征. 本文旨在综合多学科研究, 对比中国大陆与全球地质, 总结华南大陆构造的基本特征、属性以及所反映的具有普适性的大陆特性和构造规律并梳理有待进一步探讨的主要科学问题, 从而系统地探讨大陆构造与成因及动力学机制, 探索回答板块构造尚不能解决的大陆问题, 深化发展板块构造, 为构建大陆构造与大陆动力学理论系统做出努力.

**关键词**
华南大陆构造
陆内造山作用
中小板块构造
大陆动力学

中国华南大陆主要指秦岭-大别造山带以南、青藏高原以东中国大陆南部的大陆及邻海区域. 主体由扬子与华夏两地块所构成. 它主要是在新元古代原古华南大陆板块形成演化基础上, 通过板块构造和陆内构造多期复合演变最终形成现今基本面貌. 华南大陆构造虽经长期研究并已取得系列成果, 但迄今仍有许多问题存在分歧与争议(许靖华等, 1987; 任纪舜等, 1990; 刘宝珺等, 1994; 陈旭等, 1995; 王鸿祯等, 1996; 郭令智, 2001; 王清晨等, 2007; Li 等, 2007; 王剑等, 2009; 舒良树, 2012; Wang 等, 2013; Charvet 等, 1996; Faure 等, 1992; Wang 等, 2001; Li 等, 1999; 董树文, 1994; 张岳桥等, 2011, 2012). 争

中文引用格式: 张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 中国华南大陆构造与问题. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 1553–1582
英文引用格式: Zhang G W, Guo A L, Wang Y J, et al. Tectonics of South China continent and its implications. Science China: Earth Sciences, 2013, 56: 1804–1828, doi: 10.1007/s11430-013-4679-1

论的焦点是: (1) 早前寒武纪的基本构成、属性与基本特征; (2) 中、新元古代构造格局与机制; (3) 显生宙以来的构造属性及演变, 主要分歧集中于: ① 早古生代扬子与华夏地块间是板块构造拼合还是陆内造山作用, ② 晚古生代与中新生代的构造演化是周缘板块构造效应还是陆内构造及其与多期构造复合的结果. 显然, 首先是新元古代与显生宙构造问题, 故本文在概要论证华南早、中前寒武纪基本构造格局的基础上, 着重从华南大陆构造新元古代以来形成演化与基本格局、华南大陆构造基本特征、特殊性和主要科学问题三个论题出发探讨新元古代以来华南大陆不同演化阶段的构造属性、基本构造特征、成因机制及其复合演变, 从而揭示华南大陆构造的基本格局、形成演化规律与动力学特征, 重新认识大陆, 发展板块构造, 深化探讨大陆构造与大陆动力学.

## 1 华南大陆主要构造事件属性与厘定

### 1.1 华南大陆现今大地构造背景

华南陆块是东亚主要的大陆块体, 地理上占据中国大陆南方, 有着复杂的地质构造演化历史. 它在早前寒武纪多块体构造复杂演化基础上, 自中、新元古代以来长期处于全球超大陆聚散与南北大陆离散拼合的交接转换地带的总体构造动力学背景中. 而自中新生代以来又在现代全球板块构造演化格局中, 位于欧亚板块和中国大陆东南一隅, 处在全球现今三大重要板块的汇聚拼合部位, 遭遇西太平洋板块西向俯冲和青藏高原形成与印-澳板块北向差异运动的夹持. 这一总体动力学体制控制了其在先期构造基础上演变成现今华南大陆基本构造面貌(图 1).

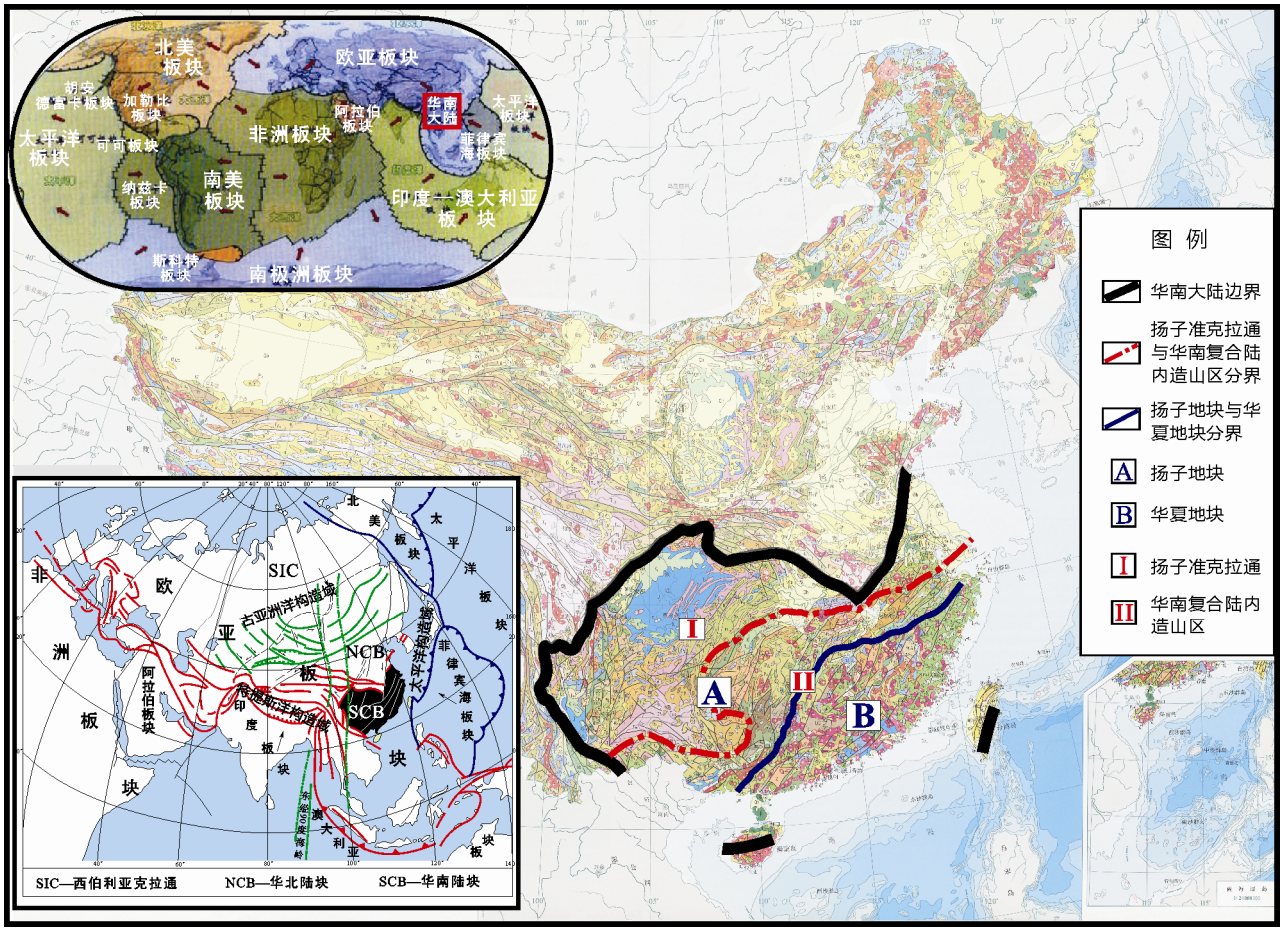



图 1 华南大陆现今地质与大地构造背景

### 1.2　华南大陆基本地质构成

华南大陆长期复杂的演化历史使其形成了在板块构造围限作用下的独特大陆构造. 显生宙华南大陆主要由扬子和华夏两地块所构成, 现今整体陆壳基本由三层显生宙盖层和双层前寒武纪不同基底构成. 其基本地质组成与结构见表 1.

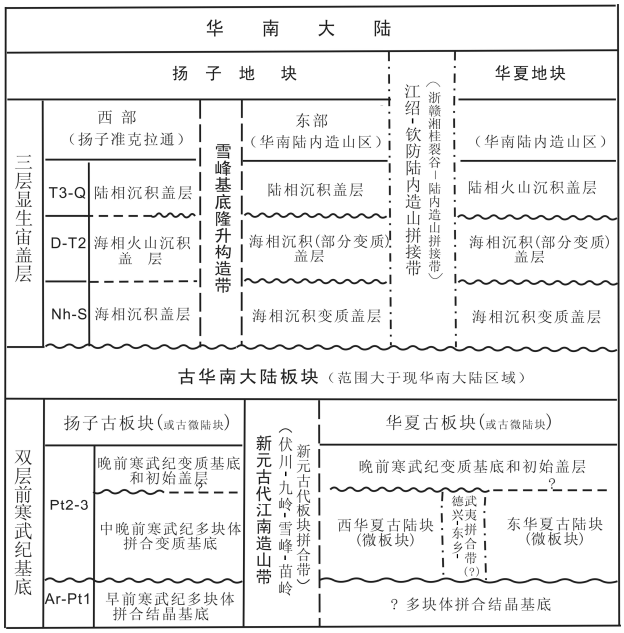
### 1.3　华南大陆主要构造事件属性与特征

从表 1 华南大陆现今的基本地质组成与结构可以清楚地看出, 它经历了长期、多期次的构造变动, 不同演化阶段经历了不同性质与规模的构造运动复合、叠加与改造, 呈现出复杂多样的特点. 下文将在简述早前寒武纪之后, 以新元古代以来为重点分别讨论.

#### 1.3.1　早前寒武纪多块体陆壳记录

依据最新研究(舒良树, 2006, 2012; 李献华等, 1998; 高山等, 2001; 于津海等, 2005, 2006; 柳小明等, 2005; 郑永飞等, 2007; Wan Y S 等, 2007), 华南大陆无论是扬子还是华夏, 尤其扬子地块, 近年获得大量可靠的早前寒武纪陆壳演化的信息. 这些信息均为地质、地球化学(尤其锆石 U-Pb 定年和相应的 Hf 同位素示踪分析与模式年龄等)、地球物理等的多学科综合研究相互印证的结果. 通过分析, 可以初步认为: (1) 华南大陆有早期陆壳形成的残存, 存在古元古代与太古宙结晶基底, 并分布较广, 同时还有冥太古宙的物质信息(李献华等, 1998; 高山等, 2001; 于津海等, 2005, 2006; 柳小明等, 2005; 郑永飞等, 2007). 诸如扬子的崆岭杂岩(2.9~3.3 Ga)、大红山岩群(1.68 Ga)(Qiu Y M 等, 2000; Yu J H 等, 2010)和华夏的八都岩群(2.5~1.9 Ga)(李献华等, 1998; 于津海等, 2006)属太古宙、古元古代岩层. (2) 扬子与华夏早期陆壳属于不同的陆壳块体, 在岩石组成、时代组合、地球化学以及后期地质演化等方面, 存在明显差异. (3) 扬子和华夏地块内部早期地质组成可能并非统一块体. 最新地球物理探测(高锐、张中杰面告)结合地质判断表明, 至少沿现华蓥山-重庆-贵阳断裂和雪峰隆升构造带东侧及武夷山、云开地区的深层, 各自两侧可能均为不同陆壳块体(太古宙或元古宙?). 因此综合现今认识, 推测华南大陆早期陆壳组成应是分离的多个块体, 虽历经太古宙与古元古代复杂拼合演化的历程, 但在早前寒武纪并未形成统一的古华南陆壳块体和真正稳定的克拉通, 尤其是华夏地块. 它们仅仅成为华南大陆先期形成演化的构成基础(将专文详细讨论).

**表 1　华南大陆地壳上部现今基本地质组成与结构**




#### 1.3.2　中、新元古代华南大陆板块形成与裂解

中、新元古代华南构造格局的形成演化, 总体是在全球 Rodinia 大陆聚合与裂解的构造背景中发展演变的. 目前对其认识虽有分歧, 但据基本地质事实与最新研究成果分析, 初步得到以下基本认识:

(1) 华南中元古代时期主导构造格局仍是多块体分离, 不仅扬子与华夏分属不同块体, 而且它们自身也非统一地体. 据现有研究, 华夏和扬子当时各自的内部也存在不同性质的微陆块或微板块.

(2) 华南中元古代多块体在 Rodinia 大陆聚合过程中, 通过新元古代早中两期不同板块拼合形成新元古代中期统一的古华南大陆板块, 其范围可能远大于现今规模. 以下新元古代两期板块拼合造山仍沿用晋宁Ⅰ期和Ⅱ期表述(王鸿祯等, 1996).

##### 1.3.2.1　晋宁Ⅰ期(~0.9 Ga): 扬子与华夏两古陆微板块的分别形成

现今华南大陆的西南缘川滇和东部赣浙闽地区残存两带晋宁Ⅰ期构造变动残迹, 即 0.9~1.0 Ga 的板

块拼合记录. 综合判断认为它们是华南大陆新元古代初期两个主要拼合带. 赣浙皖交界地带的赣东北残存现多有共识的德兴-东乡一线蛇绿混杂岩带, 年代以 0.9~1.0 Ga 年龄为主(舒良树, 2012; Wang 等, 2013). 与之同期但被后期江绍-萍乡断裂断错东移的浙闽诸暨-丽水-武夷-梅州一线也残存有蛇绿岩及相关火山岩带, 最新测年多获 0.9~1.0 Ga 年龄(Wang 等, 2012, 2013; Gao 等, 2009; Yao 等, 2012). 另外考虑武夷山地区新元古界中普遍有 0.9 Ga 碎屑锆石 U-Pb 年龄峰值(Wang 等, 2010, 2013; 向磊等, 2010; Yao 等, 2011, 2012). 筛除江绍断裂后期的走滑平移, 据两者年代与地质地球化学的相同相似性, 认为它们可能应是晋宁Ⅰ期的同一拼合带(图 2), 代表华夏地块主体形成的早期构造事件. 扬子西南缘川滇一带从岩石地层及其碎屑锆石年龄峰值、岩浆活动(包括花岗岩)等综合残存记录和 0.9~1.0 Ga 年龄的集中, 综合反映华南大陆西缘在新元古代早期曾发生格林威尔造山拼合事件. 另如上所述, 地球物理探测揭示的华蓥山、雪峰等陆壳岩石圈深层的俯冲界面, 可能属于扬子地块内上覆盖层之下的元古代拼合记录(其确切时代尚待进一步确定). 综合分析表明, 扬子与华夏地区新元古代晋宁Ⅰ期(0.9 Ga)的构造拼合应分别代表当时依然独立的扬子与华夏古微板块内部拼合、形成各自统一地块的构造事件.

#### 1.3.2.2 晋宁Ⅱ期(850~820 Ma): 扬子与华夏最终拼合和新元古代中晚期统一华南大陆板块的形成

发生在华南大陆的此期重大构造事件以板溪群与冷家溪群及它们相当岩层间的大区域构造角度不整合为代表, 地层与同位素年代学研究表明, 其年龄值主要在 850~820 Ma 之间, 即属晋宁Ⅱ期. 新的研究进展也表明, 沿皖南伏川、九岭、雪峰至苗岭四堡一线的华南新元古代岩浆活动时代普遍小于 850 Ma, 明显不同于前述的赣浙闽地带 0.9~1.0 Ga 的蛇绿混杂岩时代. 其中的皖南伏川基性-超基性岩浆岩新获得的锆石 U-Pb 年龄为 827~847 Ma(丁炳华等, 2008). 综合根据地质、地球化学与同位素年代学研究分析, 华南大陆中部从皖南伏川-九岭-雪峰东缘益阳、黔阳-苗岭四堡一线断续残留一带蛇绿岩与相关火山岩、岩浆岩, 包括弧型花岗岩, 同位素年龄集中于 850~820 Ma, 结合区域新元古代中期陆缘盆地沉积及变质变形特征, 以及区域变质变形地层之上普遍为新元古代晚期以南华纪、震旦纪岩层为标志的初始区域盖层构造角度不整合覆盖的证据, 认为它们具有板块拼合带的基本特征. 代表了华南区域新元古代早期于 0.9~1.0 Ga 分别形成的扬子与华夏两古微板块, 于晋宁Ⅱ期(850~820 Ma)沿华南中部皖南-雪峰东缘-苗岭一线最后的碰撞拼合, 并形成新元古代中晚期江南造山带(舒良树, 2012; 郭令智等, 1980; Wang 等, 2003; Shu 等, 2011). 这表示至此历经前寒武纪长期演化的统一古华南大陆板块的形成, 也即复杂差异的华南大陆统一基底的形成.

#### 1.3.2.3 古华南大陆板块新元古代晚期的扩张裂解与陆内裂谷构造

新元古代晋宁Ⅱ期形成的统一古华南大陆板块, 在 Rodinia 超大陆裂解的构造动力学背景下, 以其上覆的南华纪不同地区的典型裂谷盆地沉积地层为代表, 一致反映了统一的华南大陆自 820 Ma 以后, 主要在 800~720 Ma 期间迅速转入伸展裂谷构造和冰期, 形成了华南浙赣湘桂为中心的南华裂谷盆地和川滇裂谷盆地并伴有相应的裂谷型岩浆活动, 诸如广泛发育的双峰式火山岩套的铁船山组((817±5) Ma)、苏雄组((803±12) Ma)、桃源组((818±12) Ma)等(Wang 等, 2003), 还包括浙闽沿政和-大浦断裂的同期稍早的基性岩浆活动(840~790 Ma)(舒良树, 2012) 等. 裂谷构造的出现正是全球 Rodinia 新元古代中晚期裂解的表现, 而华南陆内裂谷盆地代表的这一过程直到早古生代奥陶纪才结束(Wang 等, 2003). 在 Rodinia 裂解总构造背景中, 华南大陆板块周缘也伴随着许多新板块的裂离, 可能正是这一扩张裂离过程才形成了现今华南大陆的雏型. 更具重要意义的是在周缘分裂出不同板块的同时, 华南大陆内部同样处于伸展裂解环境, 但却不是洋盆和独立板块的生成, 而是广泛发育上述陆内裂谷构造, 该构造作用不仅发生在块体内部, 形成一系列次级不同地块, 最为明显的是沿南华裂谷带使早先拼合的扬子-华夏大陆再次分离, 出现大陆岩石圈内部的新的扬子与华夏两个重要地块. 正是这一构造的发展, 为华南大陆显生宙早古生代以来的陆内(板内)构造演化奠定了基础. 同时进一步说明 Rodinia 的聚合与裂解决定造就了华南大陆新元古代晚期和早古生代的洋陆格局与陆内构造演化进程.

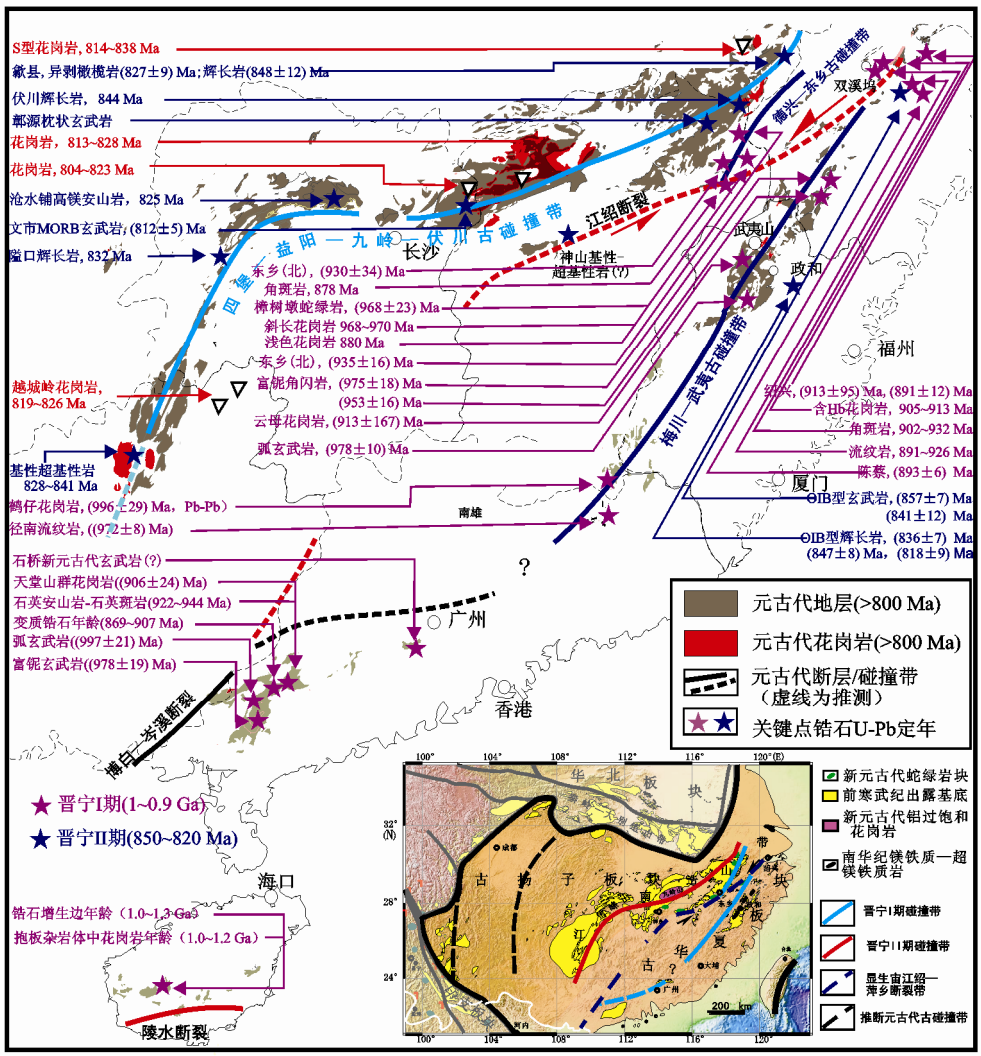



**图 2　浙闽赣德兴-武夷和皖南九岭雪峰地区新元古代两期蛇绿岩及相关火山岩分布及年龄数据**

据作者新测和前人已发表数据, 见本文相关参考文献

### 1.3.3　显生宙华南大陆的两次陆内造山作用

华南大陆构造最具特色而颇富争议的是显生宙两次陆内造山构造问题. 一是早古生代扬子与华夏地块间的相互作用与拼合是板块碰撞造山还是陆内造山产物的问题, 换句话说, 即是华南广西运动, 或常称的南方加里东运动的属性及其动力学问题(许靖华等, 1987; 刘宝珺等, 1994; 陈旭等, 1995). 二是印支期构造问题, 争论焦点是印支期是扬子与华夏间的陆内构造, 还是华南大陆周缘板块的远程效应问题(Li 等, 2007; Wang 等, 2013; Shu 等, 2006).

#### 1.3.3.1　华南大陆早古生代的陆内造山作用

关于华南大陆早古生代构造属性主要争论有三种观点: ① 扬子与华夏是板块碰撞造山拼合, 先期存在一个已消失的大洋(刘宝珺等, 1994; 郭令智等, 1980; 丘元禧等, 1999; 马力等, 2004; Li 等, 2010). ② 扬子与华夏间不存在大洋分离, 只是陆内两个地块相互作用的陆内造山构造(任纪舜等, 1990; 舒良树, 2012; Wang 等, 2007a; 陈旭等, 2010); ③ 板溪洋和板溪混杂岩问题(许靖华等, 1987; Hsü 等, 1990). 前述讨论已表明, 早古生代华南大陆中的扬子与华夏两地块, 原是新元古代中期形成的统一古

华南大陆板块的基本组成部分. 它们只是在伴随Rodinia新元古代中晚期裂解中, 沿浙赣湘桂间即江绍-萍乡-钦防一线扩张伸展, 形成南华陆内裂谷构造, 华南裂谷两侧是分离而成的两个陆内地块, 并非洋盆分隔的两个板块. 值得特别指出的是, 前述的江绍-萍乡-钦防一线并不代表中新元古代时古华夏与古扬子边界, 而当时的两古板块分界如前述是晋宁Ⅱ期的伏川-九岭-益阳-四堡一线的古板块缝合带. 所以华南大陆的扬子与华夏不同演化时期具有不同的分界线, 不应混同新元古代不同构造演化阶段两古微板块间的边界和早古生代同一大陆内的两地块间的边界. 因此早古生代华南的广西运动(加里东期)是大陆板块板内陆块间相互作用的陆内造山作用, 并形成华南中东部广泛面状展布的华南陆内造山区, 证据如下:

(1) 早古生代扬子与华夏地块间无消失洋壳残存记录, 无早古生代(广西期)蛇绿岩及相关的火山岩岩浆活动记录

新的年代学研究已在前人原划定的华南早古生代蛇绿岩及相关火山岩中, 如前述浙闽赣江绍地带和皖南九岭雪峰等地分别系统测定为 0.9~1.0 Ga 和850~820 Ma两个主峰年龄(图 2) (舒良树, 2012; Wang等, 2013; 李献华等, 1998; Wan 等, 2007). 它们应代表新元古代的两期板块缝合界线, 而不能作为早古生代拼合界线证据. 迄今未发现早古生代(广西期)扬子与华夏地块间有已消失的洋壳残迹. 因此, 两者之间无大洋分离的证据, 两者不是裂离的板块而只是统一华南大陆中从扩张裂谷构造发展为陆内海盆所分割的陆内两个地块.

(2) 早古生代扬子与华夏地块间不是洋盆分隔而是统一陆内海盆的记录

华南大陆古生物地层学、古生态生物演化与分布, 尤其雪峰隆升构造带以东的笔石生物相带(陈旭等, 1995, 2010)和沉积古地理环境研究成果以及新近具有针对性的构造沉积古地理专项研究, 包括从湘赣跨越原认为的扬子与华夏洋盆分界线江绍-萍乡-钦防构造带两侧, 北至绥宁-永兴, 南至新宁-崇义, 连续10条NWW向沉积古地理剖面的系统研究(陈世悦等, 2011), 系统证明缺少活动陆缘沉积和不连续缺失沉积相带的跳相现象, 代之是由西而东碳酸盐岩、泥硅质-碳硅质页岩与碎屑泥砂岩的连续沉积交叉相变, 向东侧只是碎屑岩明显增加, 并未识别出大洋与大陆边缘沉积组合(图 3). 华南区域整体表现为上扬子广海台地相-雪峰山东缘斜坡相-湘赣盆地相-赣西斜坡相的陆内统一海盆的古地理沉积环境(陈旭等, 1995, 2010; 陈世悦等, 2011), 说明原划的两板块拼合带及两侧不存在大陆边缘以及洋盆分割的两个完全不同的陆缘带的拼合对接, 这与古生物地层与古生态生物学记录的雪峰以东至井冈山、赣州间的古生物地层沉积连续性与笔石古生物的连续相带记录是一致的(戎嘉余等, 2010; 陈旭等, 2010, 2012). 新近研究揭示湘赣地区Є-O岩系发育丰富的浅水构造(舒良树, 2012). 更有意义是原所谓"古华南洋"区及两侧广泛区域的碎屑锆石普遍具有相似的年龄谱系(Wang 等, 2010, 2013), 一致表明是无大洋分割的陆内海盆环境. 总之, 古生物地层学、古生态生物演化和沉积古地理环境等多学科研究说明华南大陆东部从扬子至华夏地块间在早古生代时期是连续统一的大陆, 中间并无已消失洋盆的记录, 而只是一个从南华纪以来由裂谷盆地连续演化而来的华南早古生代陆内统一海盆.

(3) 华南大陆东部早古生代岩浆活动呈面状分布, 不具板块俯冲碰撞的带状性质

华南雪峰隆升构造带以东, 包括了扬子地块东部与华夏地块区域, 广泛非均匀面状发育早古生代花岗岩浆活动(图 4, 图 5), 主要以片麻状与块状两类型出露. 大量锆石U-Pb测年获得的结晶年龄区间为398~480 Ma, 峰值为456~419 Ma(舒良树, 2012; Wang等, 2013; Wan等, 2007, 2010; Charvet等, 2010; 张爱梅等, 2010)(图 4), 表明两类花岗岩均为早古生代同期花岗岩. 该花岗岩空间上呈面状展布, 分布上也无随时代迁移演化的趋势. 两类花岗岩具有相似的元素地球化学与Sr-Nd同位素组成, $^{87}Sr/^{86}Sr$初始比为0.7092~0.7294, $\varepsilon_{Nd}(t)$为−4.7~−11.5, Nd模式年龄为元古代, 锆石$\varepsilon_{Hf}(t)$值变化于 2.4~−19.4, 集中于−1~−12, 主要为元古代变泥质岩和变火成岩陆壳物质深熔而成, 缺少新生幔源物质参与(舒良树, 2012; Wang等, 2013; Wan等, 2007; 王德滋等, 2003; 沈渭洲等, 1998; Zhou 等, 2000). 总之, 地质、地球化学与同位素年代学研究, 包括早古生代32个花岗岩的全岩 U-Pb 定年、517 颗锆石$\varepsilon_{Hf}$同位素、60 个样品主微量元素与32个Sr-Nd同位素组成的综合测试分析, 共同证明华南大陆早古生代以花岗岩为主体的岩浆作用未显示板块俯冲碰撞成因的岩石、

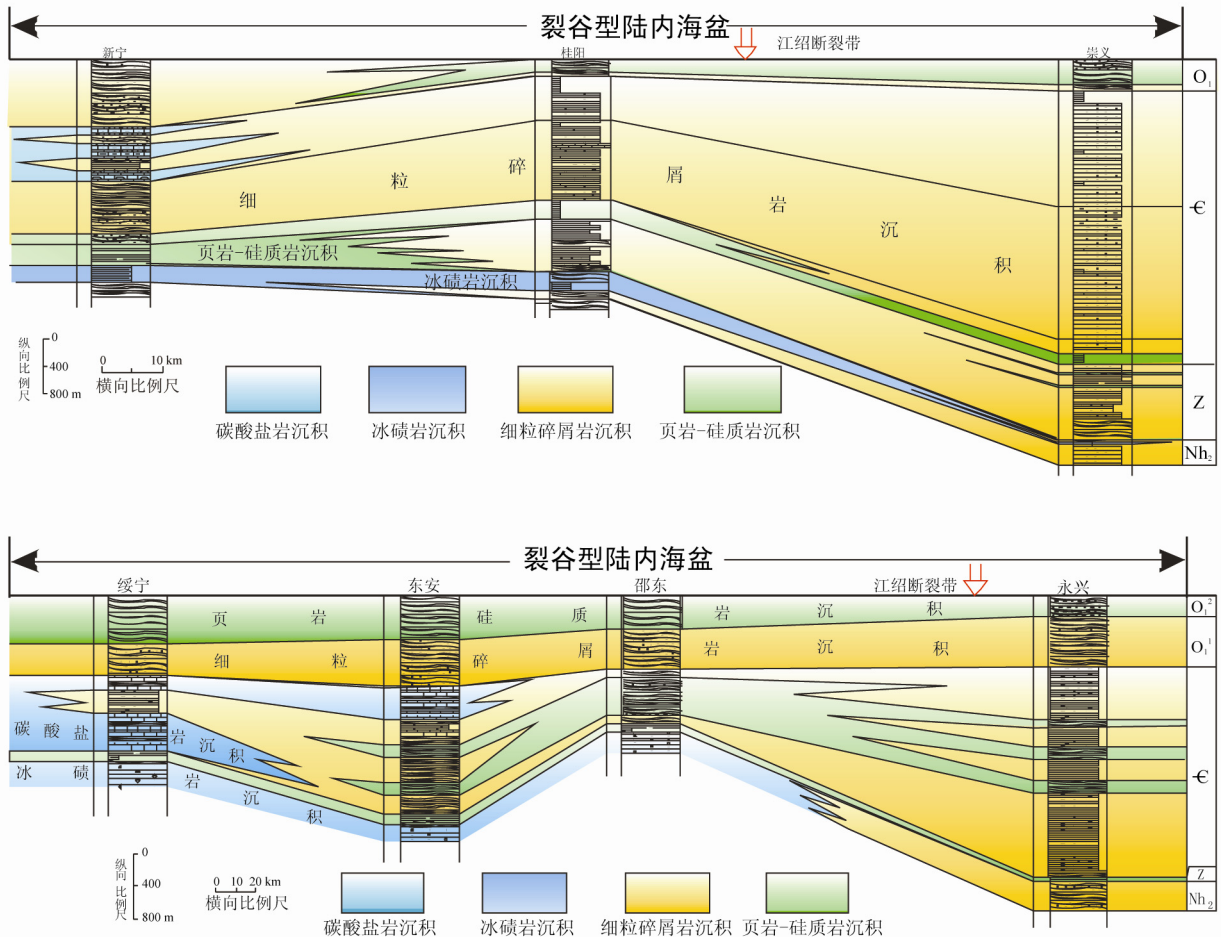



**图 3　江绍-萍乡-钦防构造带两侧沉积相带对比(据陈世悦(2011)修改)**

地球化学特征, 相反指示它们是在早古生代陆内造山过程中, 扬子与华夏两陆块在深部背景下两块体相互作用所致, 岩浆物质多由陆壳物质深熔而来, 呈面状分布, 少有新生幔源物质的参与. 扬子与华夏两陆块深部背景下相互作用引发的花岗岩岩浆作用反映了以陆内块体相互作用为特征的陆内造山作用.

(4) 华南大陆东部早古生代广泛弥散型面状构造变形、变质、岩浆活动和上下古生界间区域性构造角度不整合

华南雪峰隆升构造带及以东区域, 包括扬子地块东部和华夏地块的下古生界普遍发生弥散型面状分布的区域性构造变形、变质与岩浆活动, 并造成广泛的以泥盆系为底层的上古生界上覆岩层的区域构造角度不整合覆盖(图 5), 其中三个区域表现较为强烈: 湘中-湘赣交接区, 闽浙赣武夷山地区以及粤桂云开山及以北的南岭一线, 在空间上相当于南华纪分割扬子与华夏两地块的南华裂谷构造中心地区, 表明该地区从新元古代中晚期到早古生代, 一直处在从强烈伸展裂谷构造到两陆块的分离状态中, 扬子与华夏两陆块之间长期处于物质与结构的非均衡状态中, 一直受控于深部热异常动力学作用, 发生强烈板内陆块间相互作用. 其不仅导致两陆块的陆壳结构构造的变动, 并且发生了广泛的面型前泥盆纪陆壳物质交换重建的变质-岩浆活动, 造成华南东部广大区域造山性质的构造运动即广西运动. 该运动的独特性在于它绝非不同板块参与的俯冲碰撞造山事件, 而是一个没有大洋参与的大陆陆内(即大陆板内)造山事件.

华南大陆构造中另一个引人注目的是早古生代华南大陆东部的陆内造山和西部克拉通的并行演化体制. 其中更有意义的是华南大陆中相对稳定的克

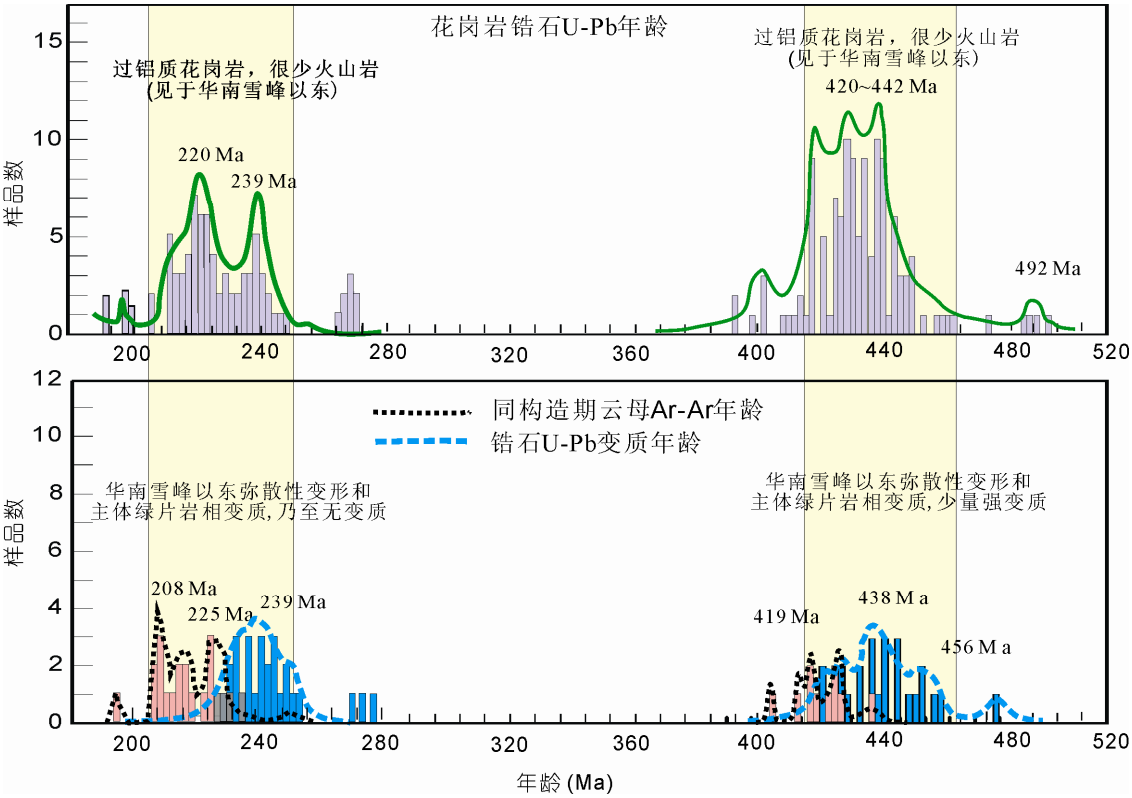



**图 4　华南大陆东部复合陆内造山区广西期和印支期变形、变质和花岗岩年龄谱系图**

拉通地块的东部, 即雪峰以东到江绍-萍乡-钦防带间的扬子地块与华夏地块一起, 共同经历了同时代的区域性陆内造山作用, 造成区内前泥盆系特别下古生界发生广泛的变形变质和岩浆作用, 形成多方位的变形构造线. 除扬子与华夏两地块间相互作用的近 S-N 与 NE 为主的构造线外, 还有平行于南岭的近 E-W 及 NEE 向的构造线, 意味着多块体同期不同方位的拼合作用. 但整体又统一表现了一次具造山性质的强烈构造运动. 在同时代的华南大陆西部, 即皖南-雪峰-苗岭一线以西的扬子地块却一直表现为克拉通盆地的连续沉积, 接受>10 km 巨厚堆积, 连续的沉积表征其相对稳定克拉通的演化. 同一大陆以两种不同构造属性并行发展, 两者之间从东向西分别以九岭、沅陵、辰溪、三都一线(南带)和修水、张家界、花亘断裂一线(北带)为界, 上、下古生界岩层之间出现由高角度构造不整合、微角度不整合、假整合、连续整合的构造接触关系, 显现了东西两个不同构造单元间构造关系与属性的过渡交接转换, 这种从高角度、微角度、假整合和连续整合的沉积环境变化, 记录这种东、西两部变质与非变质, 强烈岩浆活动与无岩浆活动的巨大反差, 揭示出相对稳定的克拉通和强烈构造变动的造山区同期并行并连续过渡的发展演化特征, 构成了华南早古生代独特的大陆构造特征.

### 1.3.3.2　华南大陆印支期陆内造山作用

华南大陆于早中生代经历的印支期构造运动奠定了华南现今基本构造格架. 关于印支期构造属性曾有激烈争论, 现已达成基本共识. 争论主要有三种观点(陈旭等, 1995; Li 等, 2007; Hsü 等, 1990): ① 三叠纪板块碰撞造山, 存在板溪洋($Pt_3$-T)和板溪蛇绿混杂岩带等(Hsü 等, 1990); ② 晚古生代-中生代初(P-$T_2$)存在板块平俯冲及其相关构造变动(Li 等, 2007); ③ 陆内造山作用(舒良树, 2012; Wang 等, 2013; 李三忠等, 2011). 整理分析前人成果, 通过新的调研, 我们认为华南大陆印支期构造属性特征与范围类似于华南早古生代广西期(加里东期)构造事件, 属于华南大陆的又一次重大陆内造山事件, 证据概述

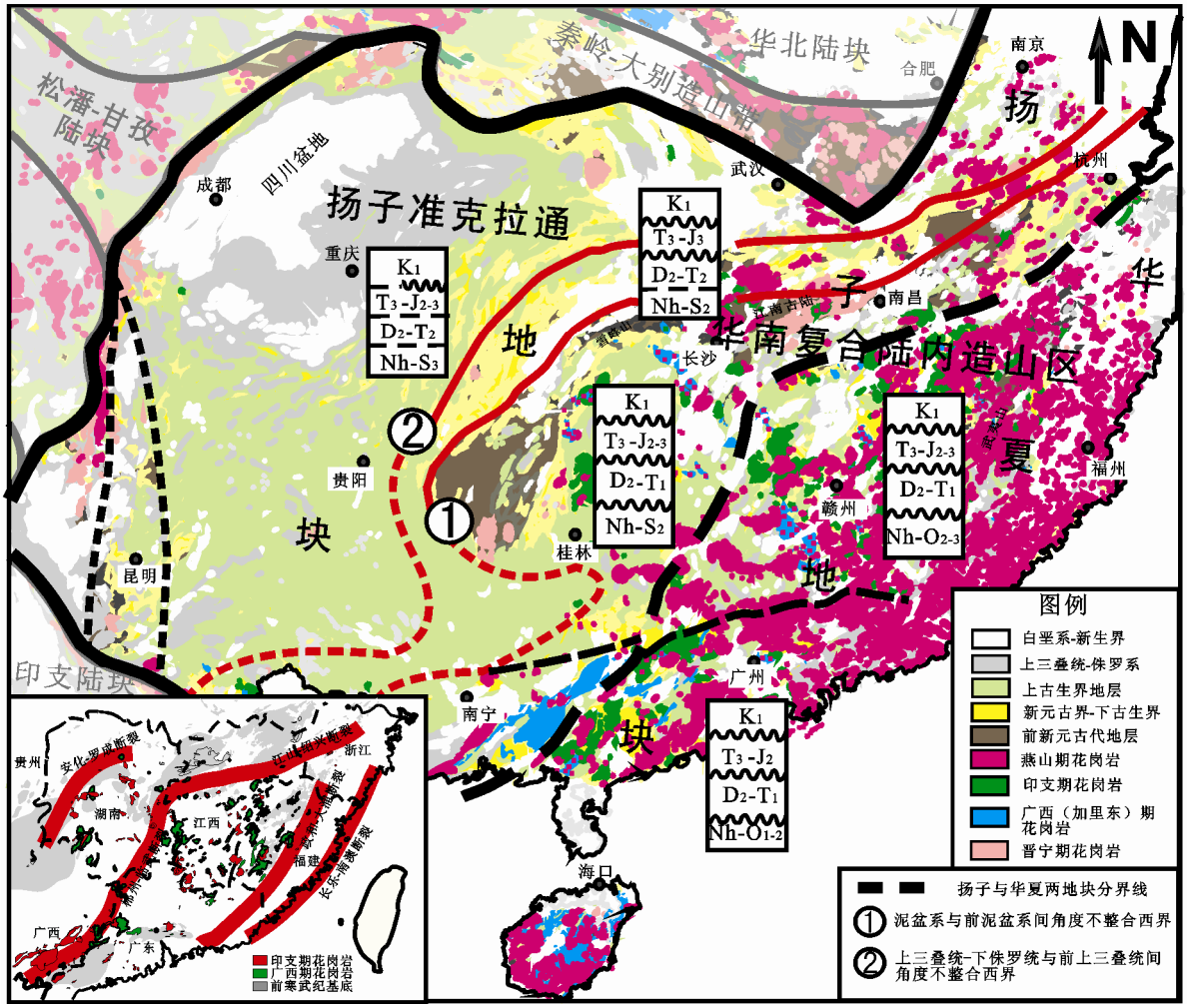



**图 5　华南广西期、印支期区域构造角度不整合分布及变形变质和岩浆岩分布**

如下:

(1) 华南大陆缺少印支期蛇绿岩与相关火山岩

关于华南大陆印支期构造属性问题, 伴随着有关板溪洋($Pt_3$-T)争论的深入, 现已再次确认板溪群是一套浅变质的华南新元古代地层单位, 不是蛇绿混杂岩. 关于从赣湘桂有关晚古生代放射虫硅质岩等推论存在古特提斯洋的问题(吴浩若等, 1994; 赵崇贺等, 1995, 1996), 也已证明它们是与蛇绿岩无关联的非洋盆沉积岩层, 不能作为洋盆存在的判据(李献华, 2000; Shu 等, 2006; 王博等, 2001). 事实上, 华南大陆晚古生代至中生代初期, 先是在广西运动统一造成的华南大陆 $S_3$-$D_1$ 的全面隆升剥蚀背景下, 而后在西部下古生界顶部抬升剥蚀间断面上和东部陆内造山的变质变形剥蚀基底上, 海水由早、中泥盆世开始从桂粤湘向北海侵超复, 后再向东西扩展, 至二叠-三叠纪时期覆盖全区, 成为统一的浅水广海和相对稳定的台地相沉积古地理环境, 未见任何与大洋深海和陆缘有关的沉积建造. 岩浆作用方面, 除西缘晚二叠世峨眉玄武岩喷发(Xu 等, 2001; Zhang 等, 2009)和零散的一些岩浆侵位以及华南大陆南北边缘的陆缘沉积外(Dai 等, 2008; Wang 等, 2005; Chen 等, 2008), 迄今其内部并无资料证据支持晚古生代弧岩浆作用与二叠纪的前陆盆地存在(舒良树, 2012; Hsü 等, 1988; Shu, 2009; Wang 等, 2007b, 2013). 因此, 华南大陆的印支期构造如同早古生代广西(加里东)期构造事件一样, 属于一次没有洋壳俯冲参与的陆内造山作用.

(2) 印支期弥散型面状变形岩浆活动与非均一

区域性低级变质与非变质作用

华南大陆印支期的变形、变质、岩浆作用, 在空间上如同广西期一样发生在东部并且无例外地出现前上三叠统岩层, 特别 $D\text{-}T_2$ 岩层普遍遭受强烈的区域性构造变形和面状且无时代变化趋势的岩浆活动, 两者所不同的是变质作用, 印支期发育非均一的区域低级-极低级变质作用, 局部甚至无变质现象. 印支期构造运动造成陆相的 $T_3$ 或 $T_3\text{-}J_1$ 与下覆不同岩层间的区域性构造角度不整合和下覆岩层区域性的非均一变质作用, 反映了既有结构重组又有物质再造的无洋壳参与的具造山性质的陆内褶皱造山事件. 与广西期海盆一样, 晚古生代-中三叠世期间华南西部的扬子准克拉通区与东部经剥蚀的广西(加里东)期造山区为一个统一海盆, 接受了晚古生代至中三叠世的海相巨厚沉积, 之后当印支期东部发生强烈变形、变质、岩浆活动时, 西部却仍然连续或间断的沉积了上覆中生界, 使沉积环境从海相演变为陆相. 所以, 印支期统一的华南大陆的东西部同期发生着陆内造山与克拉通盆地并行的演化. 同时, 两者间也呈现构造高角度、低角度、假整合、整合关系和有/无变质岩浆活动的差异与过渡关系. 其印支期区域构造角度不整合的西界如图 5 所示, 空间与广西期界线基本吻合, 稍向西扩展, 呈现出华南大陆印支期构造的独特特征.

(3) 华南大陆印支期构造: 板块构造围限下的大陆板内不同陆块相互作用的陆内造山构造

关于华南大陆印支期构造属性问题还另有争议, 关键是这一陆内造山作用源于周缘板块构造陆内的远程效应, 还是大陆板内不同陆块间相互作用引发的陆内造山作用. 新近研究认为主导是后者而不是前者, 其理由如下: ① 华南大陆印支期最强烈的构造变形、变质与岩浆活动的地区正处于华南大陆扬子与华夏两陆块自南华纪以来的分界带地区, 即浙闽湘赣粤交接地区, 并不在华南大陆的边缘地带. 同时该区带是晚古生代与早、中三叠世沉积地层发育最厚最全的古地理沉陷海槽区(刘宝珺等, 1994; 马力等, 2004), 属于两陆块间自南华纪至古生代地层沉积发育的中心裂谷-海盆的继承性演化地带. 显然上述构造变动、地层、沉积、古地理等与两陆块分界带的区域性长期吻合的相关性, 不是偶然的, 而是反映印支期华南大陆内部的构造变动与沿两陆块分界带地区的陆块间的相互作用有内在必然联系, 而难于用借助其他外力或远程效应给予解释. ② 另一方面, 结合晚古生代-中生代初期区域构造动力学背景分析, 华南大陆当时处于古特提斯扩张与 Pangea 拼合形成过程的总体区域动力学环境中. 具体处在东古特提斯洋构造域中, 周缘被不同的板块围限. 按现今方位而言, 北缘是华南与华北板块拼合的印支期秦岭-大别造山带, 东西向延伸千余千米, 但其构造延伸与华南内部印支期 NE-NNE 主导构造呈垂直或斜交关系, 其对华南大陆的影响作用, 仅表现为北缘平行于造山带东西走向的有限前陆构造区. 显然, 华南印支期主导构造不应是其作用与远程效应所致. 对于其南缘, 若筛除现今青藏构造的叠加改造变位, 恢复原貌则也是近东西向的华南与印支板块间的印支期碰撞造山带, 同样与之呈垂直与斜交的构造关系, 故也不应是其远程效应作用造成. 西缘主要是龙门山构造, 它是在攀西裂谷构造基础上演化而来的, 松潘与华南之间是没有洋壳参与的印支期初始形成的陆内造山带. 华南大陆的东侧(现方位)晚古生代至中生代初期是什么构造格局尚不清楚, 而古今西太平洋及其演化也见解不一(Hilde 等, 1977; Northrup 等, 1995; Maruyama 等, 1997; Bartolini 等, 2001; Smith, 2007; Koppers, 2003), 但重要一点是, 迄今大陆与海域还缺乏可靠证据证明华南大陆印支时期东侧有一与之拼合的板块碰撞造山带. 而表明构造应力不可能来自当时东部外侧的更有说服力的例子是, 晚古生代至印支期华南大陆南北侧近于同时代都发生着强烈的近东西走向的板块俯冲碰撞造山作用, 甚至发生了形成大别超高压岩石的大陆深俯冲与折返的强大作用和推覆运动, 这些都没有产生对华南大陆内部构造直接或远程效应, 仅对其南北边缘有限范围引发前陆构造, 那么印支期东侧又怎么可能发生强度远大于同期南北侧强大造山作用的动力作用, 抗拒并抵消南北碰撞造山作用的影响, 甚至于引起华南内部的印支期构造变动? 因此, 综合分析以上多学科的研究成果, 表明华南大陆东部印支期构造变动应是晚古生代-中生代初在区域板块构造围限作用下, 主要在大陆深部构造动力学背景和扬子与华夏两陆块间长期差异非均衡状态下, 沿两陆块分界地区的相互作用导致了一场具造山性质的陆内造山运动, 形成了弥散型面状变形、变质、岩浆活动, 形成华南大陆东部陆内造山区, 其空间基本重合和构造叠加在先期早古生代广西期陆内造山区之上, 构成印支

期华南复合陆内造山区.

(4) 华南大陆东部印支期: 面型无极性为特征的花岗质岩岩浆活动

华南大陆雪峰基底隆升构造带及其以东的广大区域, 相应于印支构造事件的岩浆作用以过铝质块状二云母二长花岗岩、黑云母二长花岗岩和云母花岗岩为特征, 呈面型无极性无年龄演化趋势的分布, 并展示出与广西期花岗岩相似的空间分布(图 5)(Zhou 等, 2000; Wang 等, 2007b). 最新的锆石 U-Pb 年代学研究表明, 除海南有二叠纪(259~267 Ma)片麻状花岗岩以外, 其余华南东部大范围的花岗岩多形成于 208~248 Ma 之间(峰值为~239 Ma 和~220 Ma, 图 4). 这些花岗岩具有 0.7101~0.7325 的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值、−6.4~−10.8 的$\varepsilon_{Nd}(t)$和−2.0~−20.2 锆石$\varepsilon_{Hf}(t)$值, Hf 和 Nd 模式年龄集中于 1.2~2.5 Ga, 与华南大陆前寒武纪变质基底和广西期花岗岩相似, 均起源于前寒武纪变泥质岩和变火成岩陆壳物质, 基本上没有新生地幔物质的参与(Wang 等, 2013; 徐夕生等, 2003; 孙涛等, 2005) . 此外, 这些花岗岩的形成年龄与 218~253 Ma 变形变质作用的时限(图 4) (Wang 等, 2012, 2013)相吻合. 统计分析揭示华南大陆雪峰以东地区印支期变形、变质和花岗岩浆作用具有一致的时空耦合性(图 4), 类似于早古生代广西期事件特点, 证明是一次非板块构造及其远程效应的陆内造山作用.

总之, 华南大陆中扬子与华夏两地块早古生代-早中生代期间长期发育保存着东部的陆内造山作用和西部的克拉通盆地发展的同期并行演化体制, 构成了华南显生宙独特的大陆构造特征. 在华南东部, 由于两陆块间长期、强烈的相互作用, 不仅导致两地块的陆壳结构变动, 也引发了陆壳物质重建的区域性变质作用和面状岩浆作用, 从而形成大陆东部独特的区域面型的复合造山区面貌, 标志着华南大陆显生宙两次重大的、没有大洋参与的陆内(或板内)造山事件. 与此同期, 华南西部即皖南-雪峰-苗岭以西的扬子地块西部的克拉通盆地却一直连续地接受巨厚沉积, 以相对稳定的克拉通构造而发展演化. 而且两者之间以构造高角度、微角度不整合、假整合的沉积记录和变质与非变质、有与无岩浆活动的综合地质演化面貌展现出两者同期并行差异而又连续过渡的构造发展演化及关系, 突出而独特.

### 1.3.4 中新生代华南大陆构造的复合改造

华南大陆经受中新生代燕山期和喜马拉雅期复杂、强烈的陆内构造与板块构造等不同性质构造的叠加改造, 使之呈现出独特的大陆构造复合再造面貌. 在先期广西期与印支期华南复合陆内造山区构造基础上, 侏罗纪中晚期以来, 由于遭受西太平洋不同演化时期、不同板块及不同俯冲方向、角度与速率的俯冲作用, 华南东部叠加复合了活动陆缘的不同剪切走滑、挤压与伸展构造的交织组合作用, 特别是强烈的多期多类火山-侵入岩浆活动和变形叠加改造(舒良树, 2012; Wang 等, 2013; 王德滋等, 2003; 沈渭洲等, 1998; Zhou 等, 2000), 形成醒目的构造岩浆盆岭陆缘构造带(Wang 等, 2012). 与此相对, 华南大陆西部扬子准克拉通区则进一步呈现从东向西推进的活化变形, 上部地壳盖层以隔槽、隔挡式为特征, 构造连续变形直达华蓥山一带, 并夹持川中地块形成与龙门造山带向东运动的、以走滑兼逆冲推覆构造配套的对冲构造格局. 同期, 华南大陆的北、西、南缘也发生了周缘造山带大幅度向大陆内的逆冲推覆与剪切走滑叠加构造, 强烈复合改造了华南大陆先存的边缘构造, 形成新的向陆内扩展的盆山前陆构造与走滑-推覆构造, 及其与陆内构造交接转换过渡的复合联合构造. 典型例子如黄金口-江汉复合联合构造和紫云-罗甸走滑断裂系与南盘江复合陆缘盆地弧形构造(详见后述). 更为突出的是在华南大陆中部, 跨越华南复合造山区和扬子准克拉通两个基本构造单元之上, 形成了起始于印支中晚期、持续至新生代的统一的 NE 走向的雪峰陆内变形构造系统(详见于后).

综合上述中新生代构造, 不论其如何复杂多样, 总体上中新生代华南大陆作为欧亚与中国大陆的的基本组成部分, 在先期构造基础上, 于现代全球板块构造体制下, 主要处于古今太平洋向东亚大陆俯冲与印度-澳大利亚板块差异北进、印度与欧亚大陆拼合及青藏高原形成和向东运动间的东西两侧区域性相向作用的构造动力学的挟持之中, 同时还有同期秦岭-大别中生代陆内造山与 UHP 岩石折返抬升等边缘区域构造动力学作用, 以及华南大陆内不同陆块间的相互作用等. 在上述的各类构造的复合联合作用下, 构成了统一又具差异的中新生代复合叠加构造, 从而造就了现今的构造面貌. 因此, 可以概括华南大

陆的中新生代构造属性主导是板块构造及其远程效应与大陆内部陆块间相互作用的陆内构造的复合再造构造.

## 2 华南大陆基本构造格架

华南大陆构造的上部陆壳的现今构造几何学结构与变形构造, 呈现为时空多样而复杂的结构构造组合图案. 主体是在先期构造基础上, 以中新生代印支期与燕山期构造为骨架, 包容以新元古代晋宁Ⅰ期、Ⅱ期和早古生代广西运动构造(加里东期)为主的前印支期构造, 并复合迭加西太平洋俯冲陆缘与青藏高原形成作用造成的中新生代现今构造面貌. 现今的华南大陆构造可划分为(图 6, 图 7):

二大地块: 扬子地块、华夏地块;

三大构造单元: 周缘盆-山构造, 陆内相对稳定的克拉通, 复合陆内造山区;

四大构造系统: 周缘盆-山前陆构造和东部沿海陆缘复合构造系统, 雪峰陆内变形构造系统, 周缘盆-山与陆内构造交接转换的复合联合构造系统, 逆冲推覆-滑脱-剪切旋转复合构造系统.

上述两大地块与三大类型构造单元是其基本构造格架, 而四大变形构造系统则是其具体构造变形几何学结构与组合.

### 2.1 华南大陆构造的两大地块与三大类构造单元

华南大陆的结构构造、物质组成和演化历史表明华南大陆主体是由扬子与华夏两地块构成, 因此, 华南大陆现今的一级构造单元是扬子与华夏地块. 至于有无南岭以南云开-海南另一南海地块将另行讨论. 需要强调指出, 这里所指的扬子与华夏地块是在新元古代古华南大陆板块基础上, 于南华纪始由浙闽

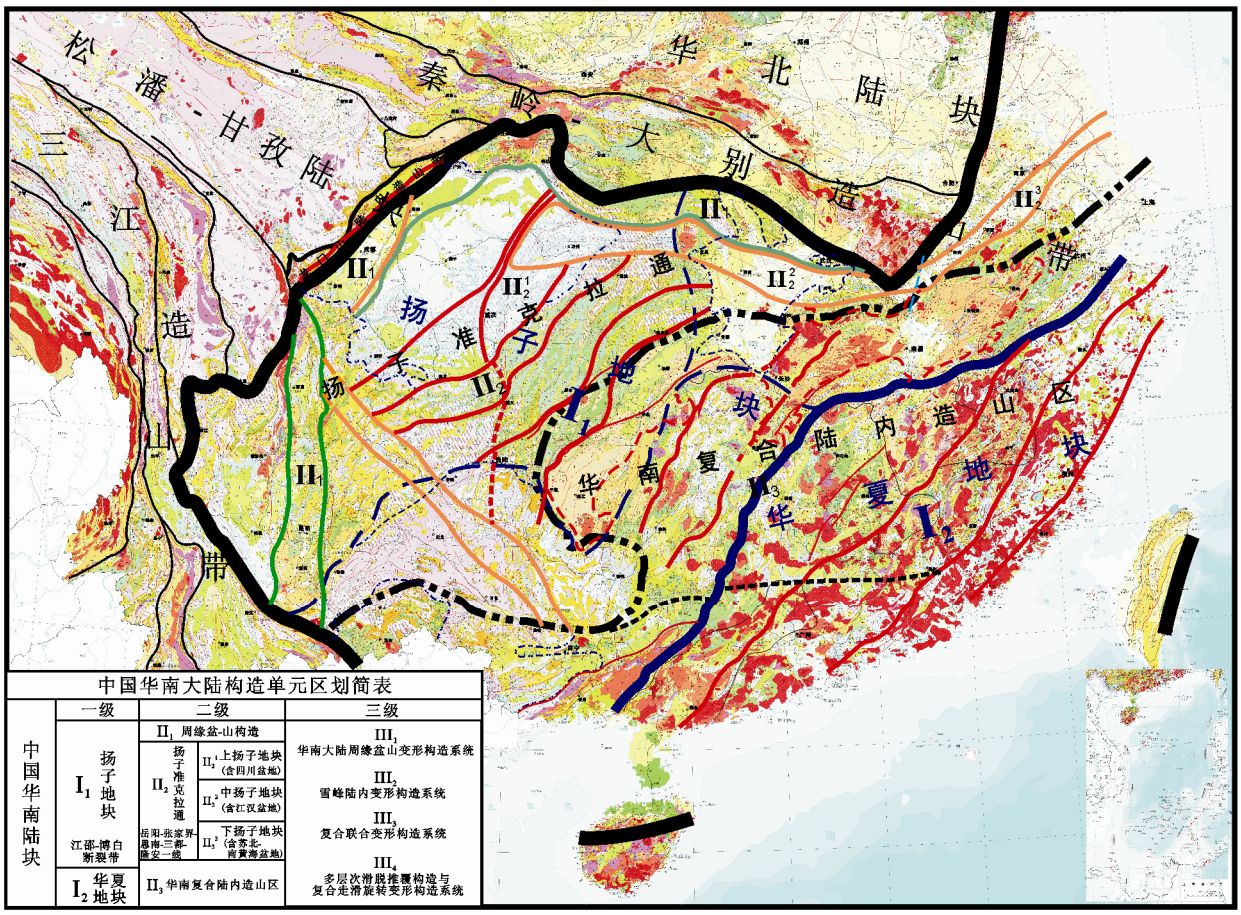



**图 6 华南大陆构造单元区划**

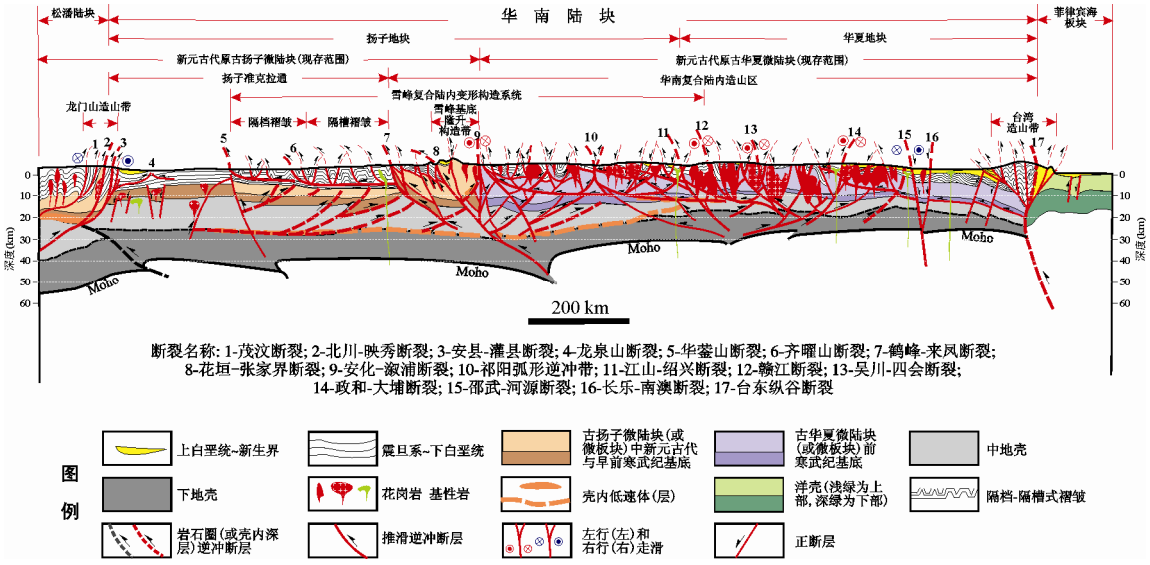



**图 7　华南大陆岩石圈剖面简图**

综合地表地质构造与袁学诚、崔作舟、朱介寿、高锐、张中杰等深部探测成果汇编

赣湘桂, 即江绍-钦防一线的南华裂谷构造带分隔的两个地块, 已不是先期的扬子与华夏两个古微板块(表 1).

扬子与华夏地块虽作为统一华南大陆的基本组成部分, 但两者存在突出的构造属性差异. 华南大陆处于全球与东亚地区长期板块构造围限下, 其深部热动力学的非平衡状态和两地块间的从地表到深部, 从物质构成到结构构造的非均衡差异性, 驱使两地块在统一大陆内长期相互作用, 控制着华南大陆显生宙以来的构造演化, 所以华南大陆是在长期周缘板块构造围限作用下的内部两地块的长期相互作用中, 形成上述两地块三大类型构造单元和四大变形构造系统的基本构造格局.

### 2.1.1　扬子地块与相对稳定克拉通

扬子地块是指华南大陆中江绍-钦防构造带以西的华南区域, 包括了具有前南华纪基底的扬子古微板块和华夏古微板块的西部. 而基底之上则统一不整合覆盖着南华系与连续的下古生界及以上岩层, 表明扬子地块是虽具不同基底但有统一盖层的大陆块体. 更为独特的是扬子地块以雪峰山基底隆升构造带(以往文献多称江南古陆, 或称新元古代江南造山带)西缘张家界-花垣断裂(鹤峰-龙山-印江断裂)为界, 明显分割为两个不同类型的构造单元, 以东的扬子东半部已与华夏地块共同遭受显生宙以来早古生代(广西期)和中生代初(印支期)两期陆内造山作用而活化, 成为南华系至中三叠统盖层岩系普遍变形变质, 岩浆活动贯入的具造山性质的多期构造运动复合叠加改造的面状分布的陆内造山区. 但以西的扬子西半部却是南华纪至中、下白垩统大于 10 km 的巨厚沉积盖层的相对稳定的准克拉通, 只是周缘尤其东缘具有早古生代晚期广西运动以来(加里东晚期)向西扩展的多期构造的活化. 上述东扬子从早古生代开始历经构造活化而卷入陆内造山作用, 至中新生代中晚期活化已扩展至西扬子准克拉通川鄂渝黔桂东部, 发生不同程度与样式构造变形. 同时西扬子准克拉通的北、西、南周缘也同期发生着向内扩展逐次迁移的构造变形活化改造. 但整体以四川盆地为中心的西扬子区, 从其广泛残存的早前寒武纪不同结晶基底到中、新元古代变质变形基底, 再到从南华纪开始至今的巨厚相对稳定盖层沉积, 表明它从太古宙-古元古代历经多块体离散拼合的克拉通化到新元古代晋宁 II 期与华夏地块的最后碰撞拼合, 已完成其克拉通化, 而后转入从南华纪始至显生宙以来的相对稳定克拉通陆块的演化. 但对比全球其他大陆, 它既不同于波罗的、北美、南非等典型的稳定克拉通, 也不同于如华北准克拉通. 它代表了一个历经周边裂解分离收缩、从外向内逐次扩展活化、内部部

分遭受多期变质、变形、岩浆活动并至今总体仍保存着以四川陆核为中心的相对稳定的准克拉通陆块, 成为华南大陆构造中突出的准克拉通单元.

#### 2.1.2 华南复合陆内造山区与华夏地块

有无华夏地块一直是一个争议问题. 但如前所述更多共识认为现今的华夏地块中确曾存在多块体的古老结晶基底和中、新元古代变质变形基底, 并揭示它原是一个非克拉通化的多块体复杂离散拼合的中小陆块群组合体, 直到晋宁Ⅰ期可能才形成一个相对统一的华夏古微板块或古微陆块, 最后经晋宁Ⅱ期才与扬子准克拉通碰撞拼合而构成统一华南大陆板块的主要组成部分. 但它没有像扬子地块那样进入新的准克拉通演化过程, 而又复经历南华纪的扩张分裂, 不但主体与扬子分离成为两个不同陆内地块, 而且其自身内部也形成多个裂谷分隔的块体(舒良树等, 2012; 王剑, 2000). 由于它一直处于反复构造变动中, 历经显生宙以来多期次构造运动, 尤其与扬子地块长期处于统一陆内不同陆块的非平衡状态, 并引发之间长期相互作用, 导致广西与印支期陆内造山作用的发生, 形成与扬子地块东半部共同构成的华南陆内造山区, 改造破坏了先期的华夏地块面目. 中新生代以来, 又复叠加西太平洋俯冲陆缘构造, 使之成为更加复杂的复合陆缘盆岭-岩浆作用的构造区.

在华南大陆构造中, 华南复合陆内造山区是与西部扬子准克拉通单元具有鲜明对照的一个独特陆内造山构造单元. 它是以广西(加里东运动)和印支期区域构造角度不整合的西边界为界的整个华南大陆东部区域. 它以广西运动造成的南华系至志留系普遍强烈变形、变质、岩浆活动及其与上覆岩层的区域构造角度不整合和印支运动造成的泥盆系-中三叠统岩层普遍变形变质岩浆活动及其与上覆岩层的区域性构造角度不整合, 以及两期构造运动的叠加复合为突出特点, 形成两期无大洋参与的陆内造山区, 显著不同于西部扬子准克拉通的面貌与演化. 因之可以概况它是在元古代构造基础上, 由显生宙以来扬子与华夏地块长期相互作用引发的两期陆内造山作用所形成的既有物质交换重建变质岩浆活动, 又有结构再造的具造山变动性质的陆内造山区, 并非板块带状线性俯冲碰撞的造山带.

#### 2.1.3 周缘盆山与东缘沿海陆缘复合构造单元

周缘盆山复合构造单元是华南大陆周边的板块碰撞造山或陆内造山带与之长期相互作用的多期盆山前陆复合构造单元. 其中北缘为秦岭-大别造山带的印支-燕山期为主的盆山前陆复合构造带; 西缘为龙门-川滇南北构造带与青藏高原东边界带的中新生代为主的盆山构造, 它是叠置在先期贺兰-川滇南北构造带上的复合盆山构造系统; 南缘则为滇黔桂在先期构造基础上中新生代以来的南盘江构造. 这些周缘构造以其多期不同类型的盆山前陆冲断构造、逆冲推覆构造与剪切走滑构造的多样复杂组合复合为特征, 共同构成了华南大陆周缘不同的盆山构造单元. 华南大陆东部沿海由于西太平洋板块中新生代以来的俯冲作用, 或称由西太平洋俯冲造山作用叠加复合在华南复合陆内造山区构造上所造成的新的复合陆缘盆岭构造, 故又统称为东部沿海复合陆缘构造带. 它与上述周缘盆山构造共同构成现今华南大陆周边独特的不同盆山围限构造单元(图 8).

### 2.2 华南大陆构造四大变形构造系统

凡是具有时空成生成因与分布相关联的变形构造, 统称为一个变形构造系统. 同一变形系统内的构造既具共有的基本构造特征及属性, 又有具体变形与组合的构造差异. 根据前述定义, 华南大陆构造变形可划分为下述四个主要变形构造系统.

#### 2.2.1 华南大陆周缘盆山变形构造系统

华南大陆周缘如前述呈现为四种不同性质与特点的盆山前陆构造与陆缘复合构造. 北缘为中央造山系秦岭-大别造山带南侧的多期复合盆山前陆构造系统, 西缘是贺兰-川滇南北构造带的龙门山陆内造山与滇东楚雄盆地及小江剪切走滑的盆山前陆复合构造, 西南缘为碰撞造山陆缘构造复合巨型走滑剪切侧羽构造的滇黔桂南盘江构造, 东部属于西太平洋陆缘盆山复合构造系统.

##### 2.2.1.1 华南大陆北缘盆山前陆变形构造系统

北缘盆山构造属于中央造山系秦岭-大别造山带南部与华南大陆的扬子准克拉通地块(克拉通盆地)的盆山交接带, 也是中央造山系多期造山作用向扬子陆块北部扩展的复合前陆变形构造带.

华南扬子地块北缘平行于北侧造山带, 断续

展布一宽约 50~60 km 的波状弧形前陆冲断推覆构造变形带, 如图 8 自西向东可分四段: 汉南-米仓山段, 呈指向北的弧形复合前陆构造, 表现为强烈挤入秦岭造山带; 巴山-武当段呈现为指向西南的巨型弧形双层推覆复合前陆构造带(张国伟等, 2011; Dong 等, 2013); 桐柏-大别区段以因大别的巨大推覆逆掩而残存的前陆复合构造带为特征(Liu 等, 2003; 刘少峰等, 2013); 最东为郯庐平移北去的苏鲁前陆复合构造区段. 它们总体具有相同的多期造山的前陆复合构造特征. 但各区段又分别各具独自不同的构造特征.

上述各区段在构造几何学结构上共同具有以印支期前陆冲断构造与前陆盆地为基础, 叠加燕山期秦岭-大别陆内造山的前陆大规模推覆兼走滑构造运动, 并复合向南扩展, 构成突出的两期复合前陆构造几何学叠加结构特征. 最突出的是以 UHP 岩石为特征的大别地块以郯庐和襄广东、西两侧断裂为边界, 沿深层滑脱界面向南巨大推覆, 整个掩覆截断了黄石-潜山间的前陆构造系统, 显示大别超高压剥露的造山带地块大规模向南的逆掩推覆运动(Liu 等, 2005).

总之, 华南大陆北缘的盆山前陆变形构造系统, 以其东西向横贯中国大陆中部、伴随秦岭-大别造山带两期不同造山作用的盆山交接的复合前陆构造为特征, 成为华南大陆构造北缘的重要构造单元.

### 2.2.1.2　华南大陆西缘盆山复合构造

华南大陆西缘是纵贯我国中部的南北复合陆内构造带与扬子准克拉通地块(盆地)交接的边界带, 亦是贺兰-川滇南北构造带叠加青藏高原东边界作用形

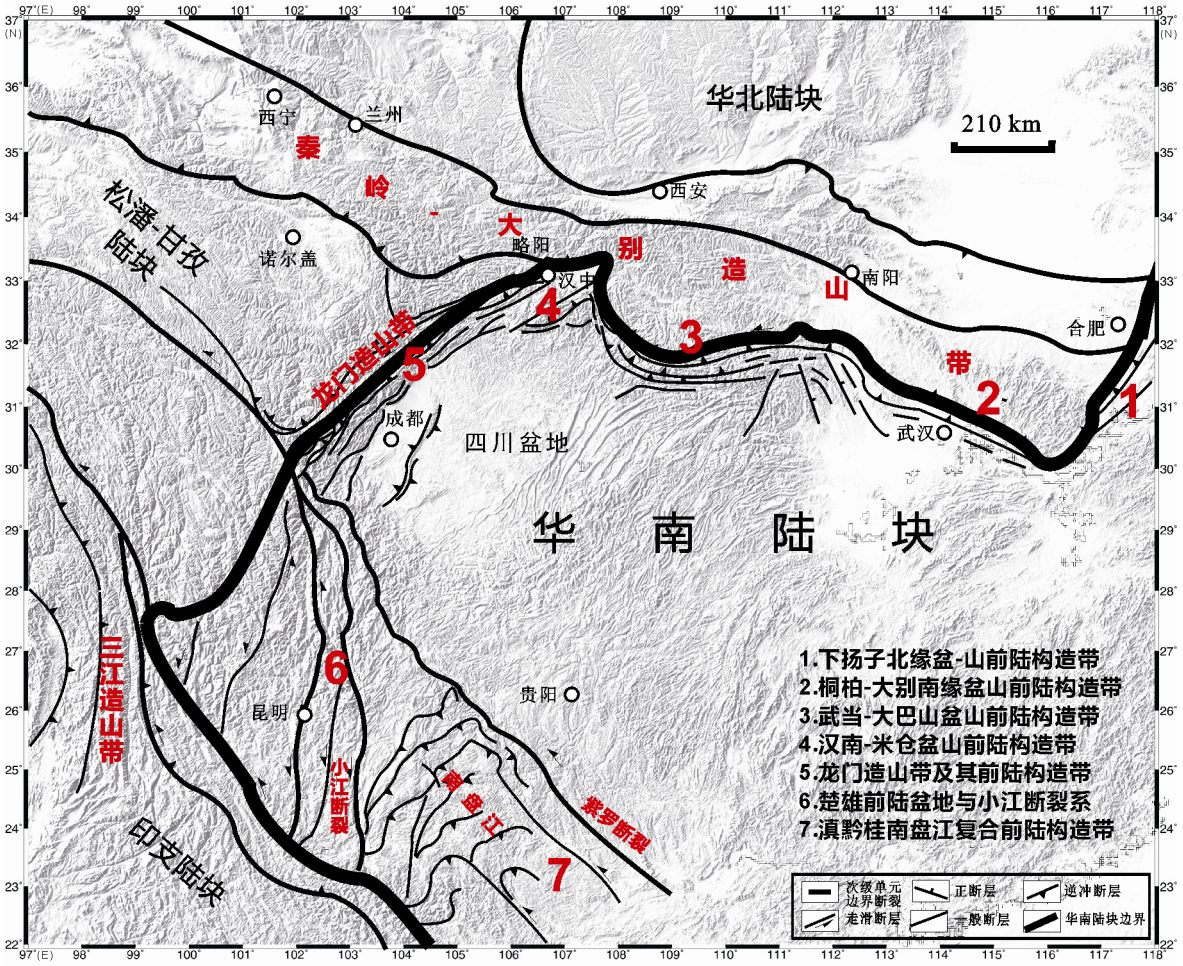



**图 8　华南北缘、西缘和南缘盆山(前陆)构造变形系统**

成的复合构造系, 包括龙门山陆内造山带和三江拼合碰撞走滑造山与小江等陆内剪切走滑构造. 它们在扬子陆块西缘复合构成不同地段不同方式的多样盆山交接转换关系. 整体可划分为南北两区段, 北段即是龙门陆内造山带及其川西前陆构造系. 它是在前印支期构造基础上, 由松潘与扬子两陆内陆块相互作用形成印支期龙门陆内造山带, 后又遭受喜马拉雅造山作用, 叠加青藏高原东边界构造而成. 该构造控制了四川盆地川西自晚三叠世以来的多期复合前陆构造(郭正吾等, 1996; 刘树根等, 1995). 南段则是三江造山系与红河走滑断裂以东的滇东楚雄复合前陆盆地与小江剪切走滑构造(钟大赉, 1998; 王二七等, 2009).

#### 2.2.1.3 华南大陆西南缘滇黔桂南盘江构造

南盘江构造由 NW 向紫云-罗甸走滑断裂带、NE 向师宗-弥勒构造带和 NWW 向红河-马江走滑断裂带围限, 形成一三角构造区, 现呈指向 NNW 的弧形构造形态. 它是在早古生代扬子与华夏陆内造山构造(广西运动)先期构造基础上, 叠加发育晚古生代至中生代初的墨江-马江洋盆北缘的陆缘盆地, 并在印支与华南两板块碰撞拼合中形成现占主导的印支期碰撞陆缘弧形构造, 后又叠加复合青藏高原而形成的红河剪切走滑构造, 以及中新生代陆内断裂构造. 总体构成既不同于华南大陆的扬子准克拉通构造, 又不同于华南复合陆内造山区构造, 是一个独具特色的华南大陆边缘的复合盆山构造系统(图 8).

#### 2.2.1.4 华南大陆东缘复合陆缘构造

华南大陆东部沿海地区在新元古代等先期构造特别是显生宙广西(加里东运动)和印支两期陆内造山区构造基础上, 显著叠加复合西太平洋中新生代长期俯冲作用而成的陆缘构造. 中新生代以区域俯冲和陆缘伸展为主要动力学背景, 在前燕山期构造基底上, 华南大陆东部沿海地区形成中新生代燕山早、晚期和新生代以来多期次的走滑伸展和断陷火山沉积盆地、广泛发育以花岗岩为主的岩浆构造作用和扩张构造为主兼具走滑剪切与挤压逆冲推覆的构造组合, 成为现今华南大陆东缘复合的俯冲陆缘盆山构造系统.

### 2.2.2 雪峰陆内变形构造系统

雪峰陆内变形构造系统位于华南大陆腹地, 其南北边界分别以紫云-罗甸断裂带和黄金口-江汉复合联合构造的中心对冲轴带为界. 其主体以皖南-幕阜-雪峰-苗岭一线的元古界构造隆升带为核部, 自印支中晚期至燕山期呈不对称扇状向两侧穿时扩展, 尤以西翼最为发育, 主体呈以指向 NW 的逆冲推覆构造为骨架 NE-NNE 近南北向的弧形构造系统(图 9). 基本特征为既非板块又非陆内造山成因的广阔陆内构造变形域, 占据华南中心地带, 具有连续穿时的变形, 但缺少变质与岩浆活动, 控制了华南大陆腹心地区上部陆壳构造基本几何学结构与格局(丘元禧等, 1999; 郭正吾等, 1996; 丁道桂等, 2007). 这一系统是在华南印支构造基础上, 起始于印支中晚期而主要形成于燕山期并为后期构造叠加改造. 华南东部印支期陆内造山作用影响到雪峰山西侧, 其区域性构造角度不整合西边界已抵印江-龙山-鹤峰-通山一线, 使晚三叠世至早侏罗世时期雪峰-苗岭已成为基底隆升的剥蚀区并叠加新的变形, 后又上叠沅麻白垩纪断陷盆地沉积, 并复合新的构造变形. 此线以西的扬子准克拉通仍连续的或断续(平行假整合)接受中生界沉积, 直至印支晚期到燕山期早白垩世的构造变动形成鄂渝湘黔隔槽式褶皱变形带, 其构造角度不整合已扩展至鄂渝黔七跃山断裂一线(图 9, 10). 之后变形依次向西推进, 于早晚白垩世之交($K_1$-$K_2$)抵达华蓥山, 形成以基底志留系页岩为主滑脱层的隔档式褶皱变形, 构成了与东侧印支中晚期($T_{2-3}$)至燕山早期的上述隔槽式构造向西的接续平行扩展构造, 最终造就成统一的雪峰陆内变形西翼主体构造. 该构造南北向延伸受限于前述的紫罗断裂与秦岭-大别南侧前陆构造前缘. 同期雪峰基底隆升构造带以东, 发育与之平行的溆浦-通道、新华-城步等断裂为代表的, 直到萍乡-郴州-钦防断裂一线以东的指向 SE 的逆冲推覆构造, 其与西翼共同组成以雪峰隆升构造带为核心的向两侧平行穿时扩展的不对称扇形的陆内统一变形构造系统.

雪峰陆内变形构造系统成因机制复杂, 除周边板块构造及其远程效应外, 主要受大陆内陆块间构造作用控制. 因为: (1) 晚古生代~早中生代时期, 华南大陆在南北两侧(现方位)同期发生的强大板块碰撞造山构造的夹持作用下, 并在其东西两侧西太平洋俯冲与青藏高原作用尚未发生之前, 其内部自印支中晚期已开始穿时持续间断地形成 NE-NNE 向(现方位)的雪峰构造系统, 并且逐渐的控制华南内部大

陆构造, 造成与其南、北包括 UHP 岩石形成与折返的东西向板块碰撞造山带相垂直的构造变形系统. 显然, 这一变形系统的出现很难归咎于南北侧板块碰撞造山及其远程效应所致. (2) 在中新生代和现代全球板块构造体制下, 特别是处于青藏高原形成及其东向运动和西太平洋板块系统不同的俯冲作用下, 华南大陆又遭受新的非均一叠加改造, 进一步复合强化了雪峰陆内变形构造系统. (3) 雪峰陆内变形构造系统的构造特征与其形成演化过程显示它是在长期板块构造围限下, 在继承先期广西、印支两期陆内造山作用中, 扬子与华夏两陆块间在深部动力学背景下(金文山等, 1997; 朱介寿等, 2005; 袁学诚等, 2011; Li, 2012), 因其彼此间自身的长期差异而导致的相互作用, 以致引发陆壳厚皮与薄皮构造组合的构造变形, 形成既非简单板块亦非陆内造山的独特陆内变形构造(图 9).

### 2.2.3　复合联合构造变形系统

华南大陆周缘盆山前陆构造的内侧, 特别是秦岭-大别造山带南缘前陆构造南侧呈现碰撞造山带与扬子陆内构造间交接转换的典型复合联合构造系统(图 10). 它实际上代表了周缘造山带及其前陆构造与华南大陆陆内构造间的转换过渡构造关系. 可以上述北部为例加以概括说明. 造山带的造山作用过程可以深入影响到陆内形成宽阔的前陆变形构造带, 但秦岭-大别造山带, 虽然先后发生了强大的印支期板块俯冲、碰撞造山和燕山期的陆内造山, 分别形成叠加于华南大陆扬子地块北缘的前陆构造, 同时两

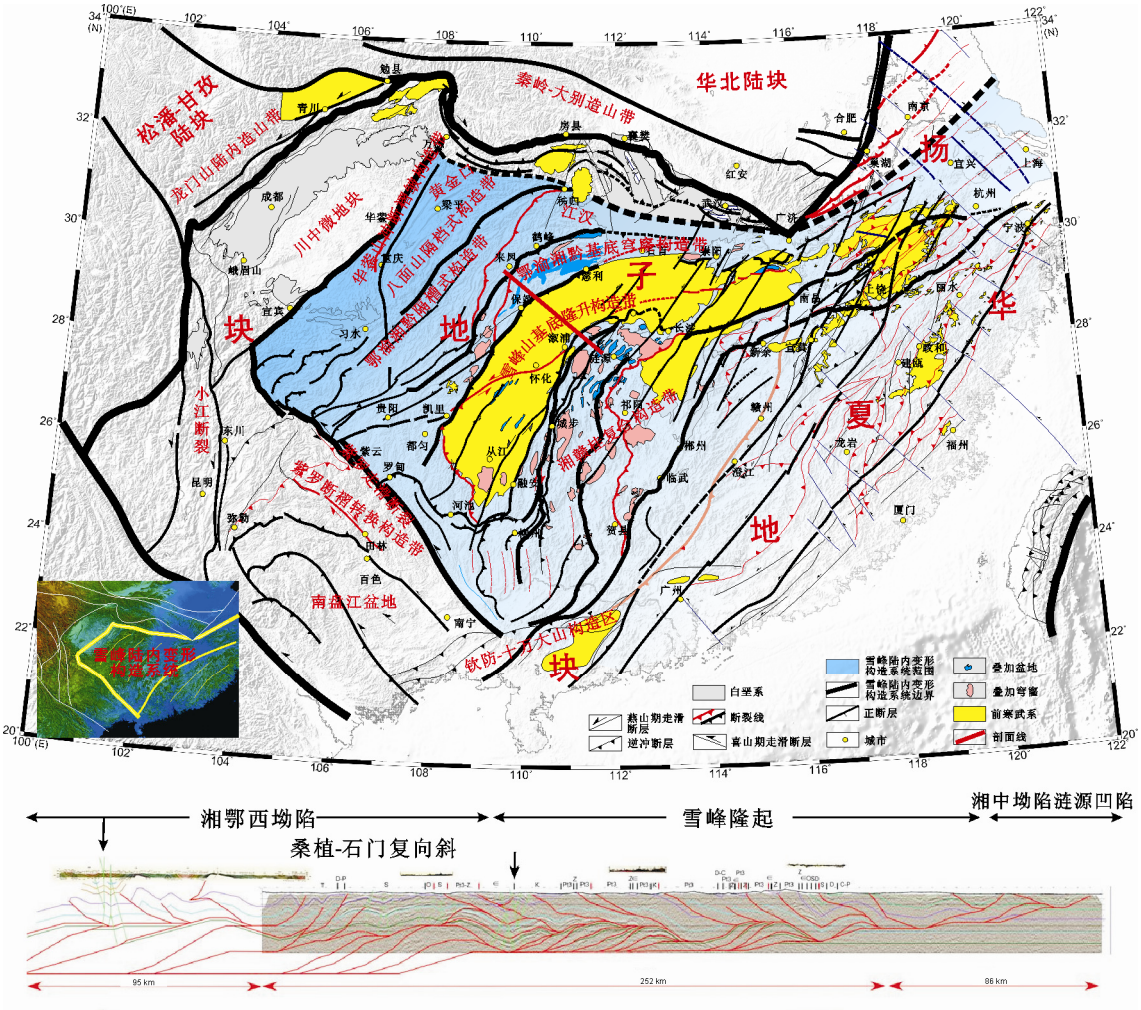



图 9　雪峰山陆内变形构造系统

者复合构成东西向镶边的强烈复合前陆构造带. 但是, 由于华南大陆内部同期发生以北东向为主导的雪峰陆内变形构造, 抵抗了造山带向南的扩展作用, 使得两者在黄金口-江汉一线汇合形成对冲带, 成为两套构造应力应变的会聚过渡区. 它们主要形成于早白垩世, 在此区带内发生同期同时形成的联合构造和同期非同时的复合构造, 交织出现两套构造的复合与联合构造作用(乐光禹等, 1996; 黄继均, 1998), 形成两套不同弧形构造间的既总体平行北侧造山带分布, 又以黄陵背斜分割的黄金口与江汉(指江汉盆地($K_2$-E)沉积覆盖之下的中生代构造)两个极其相似的复合联合构造区带(Liu, 2005). 它们的出现既指示了秦岭-大别造山作用对扬子地块施加作用的影响范围, 同时更重要表明这种复合联合变形构造系统是造山带与克拉通相对稳定陆块间的构造交接转换的重要构造形式与构造的过渡关系(张国伟等, 2001).

#### 2.2.3.1 川渝黄金口复合联合构造与对冲构造

在四川宣汉黄金口和万源罗文坝地区, 区域上呈现出川渝指向NW的弧形构造带和大巴山指向SW的弧形构造带, 以及两套构造相向汇聚对冲而成的复合联合构造图案(图 10), 该构造显现向西开放的“喇叭口”形和向东收敛的双弧形构造区带, 该区带向西为华蓥山构造带所阻挡, 向东则以黄陵背斜为界与江汉复合联合构造区为邻. 如上所述, 黄金口复合联合构造起因于北侧秦岭-大别印支期碰撞造山($T_2$-$T_3$)前陆构造与燕山期($J_3$-$K_1$)大巴山双层巨型推覆构造叠加复合的前陆扩展构造变形区, 和南侧的华南大陆内雪峰陆内变形构造的川渝隔挡式构造的汇聚, 它们的相向运动构成对冲交接转换过渡区, 两者同区交织叠加, 从而共同构成独特的复合联合构造. 该构造区域是两向应力衰减的指向区和应变减弱的相对弱变形区, 也是油气运移指向与成藏保存的有利区. 由双向应力与应变场构成的复合联合作用, 虽变形相对较弱, 但变形构造几何学结构则复杂多样.

#### 2.2.3.2 江汉-大冶一线的复合联合构造与对冲构造

江汉及大冶一线近东西向的复合联合构造及对冲构造是桐柏-大别造山带前陆弧形构造与雪峰陆内变形构造系统于燕山期交接转换的复合联合作用的

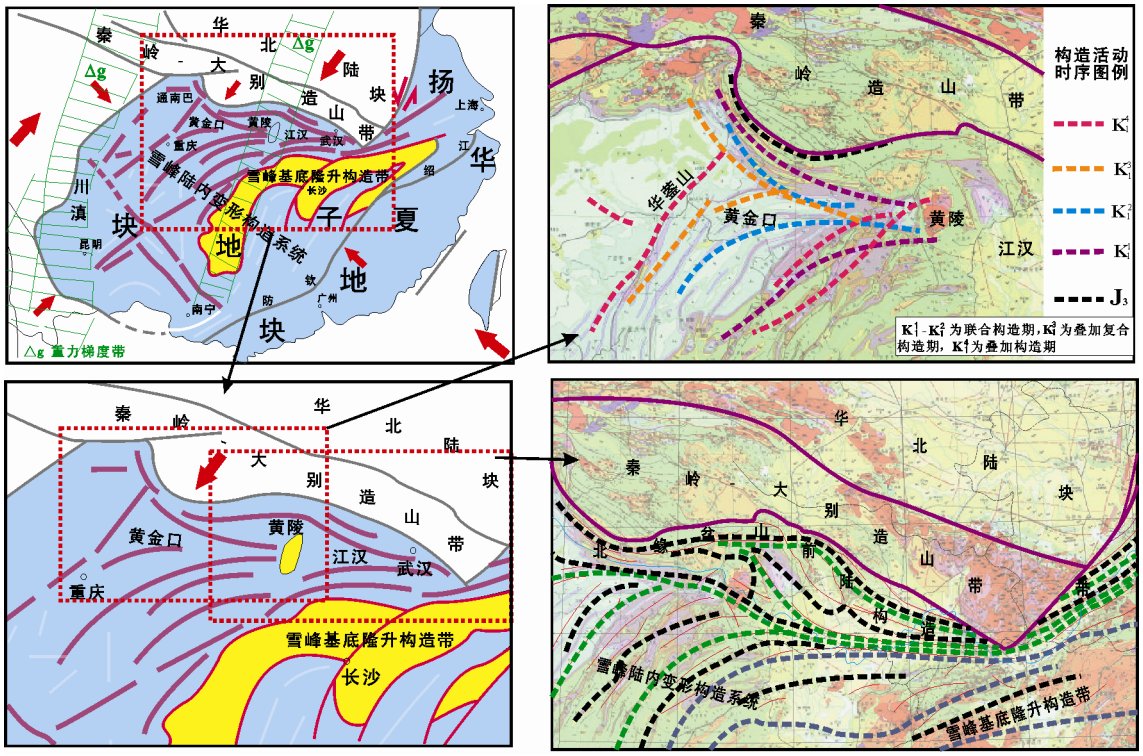



图 10 华南大陆北部复合联合变形构造系统

结果. 它与黄金口复合联合构造在构造部位、几何学结构和成因属性等多方面均非常相似, 属同一构造系统. 所不同的是江汉构造被晚期江汉断陷盆地($K_2$-E)所覆盖. 再者, 因大别造山带以襄广与郯庐断裂为两侧边界, 大规模向南推覆逆掩, 其在武汉以东掩覆在其前陆构造之上, 以致于在鄂州-武穴间大别地块不但掩盖其前缘的前陆构造, 而且前端已直接邻接南侧雪峰构造系统东部幕阜山北侧的自南向北的逆冲叠瓦推覆构造, 使桐柏-大别与雪峰两套对冲构造的中轴线也被大别掩压, 过大别后, 又一直在下扬子区沿长江北侧一线延伸直到泰州、南通一带(Liu 等, 2003, 2005)(图 10).

### 2.2.4 多层次滑脱推覆与走滑旋转复合变形构造系统

华南大陆基底与盖层中广泛发育多层次区域性页岩或千枚岩、膏盐岩与煤系岩层, 并存在多种不整合、间断面等界面. 这些岩层和构造界面常成为构造力学性质软弱的介质层与滑脱层, 加之大陆从上部的脆性到深层韧性流变及其纵横向的层块性非均一特征等, 华南大陆便易于发生时空四维多层次多级别的逆冲推覆与滑脱构造和剪切走滑块体旋转构造及其多种组合的复合构造. 这些构造造就了华南大陆独特的构造几何学结构, 同时控制了岩浆与流体的成矿作用和油气的成藏保存定位.

#### 2.2.4.1 滑脱层与滑脱推覆构造系统

华南大陆中, 尤其西部扬子准克拉通陆块内, 广泛发育区域性多层次滑脱与推覆构造, 它们多以地层系统中的不同滑脱层为界面而发生, 诸如地层系统中的晋宁、广西、印支等不同时期的构造不整合面或假整合界面, 以及如寒武系下部页岩(∈$_1$), 中部膏盐岩(∈$_2$), 龙马溪页岩($S_1$), 煤系与页岩(C-P)和三叠系与侏罗系膏岩、泥质岩层($T_{2-3}$, $J_{1-2}$)等都可能成为构造的滑脱层. 其中尤以志留系页岩(千枚岩)为突出, 往往是区域滑脱推覆构造的主滑脱层, 控制着区域构造. 以它为界, 上下构造层间具有不同强度与构造样式的构造变形几何学组合, 构成上下构造非耦合关系, 例如上述的川渝鄂湘区域的雪峰陆内变形构造系统的隔槽、隔挡式构造, 都有志留系滑脱层的重要构造作用(郭正吾等, 1996; 丁道桂等, 2007; 孙岩等, 1997; 徐扬等, 2009; 周建勋等, 2009).

大陆中的滑脱层, 尤其上部地壳地层系统中的构造滑脱层, 因具有多层、分布范围广、岩石弹性阻尼系数小、力学性质软弱、极易剪切变形及其突出的流变性与其快速传播等特点, 所以在滑脱层多、滑脱层中粘滞系数小的层位, 最易在外界动力诱发下发生构造位移运动和大范围, 甚至区域性的滑脱推覆构造变形. 华南大陆岩石地层结构具备这些基本特点, 所以突出发育了多层次多级别不同时空的各类滑脱推覆构造. 事实上, 滑脱与逆冲推覆堆叠构造已是大陆陆内构造的一种重要变形型式和大陆保存演化的特征构造行为(马力等, 2004; Nemcok 等, 2005; 万天丰, 2004).

#### 2.2.4.2 走滑旋转复合构造变形系统

华南大陆各单元与区域间构造变形差异明显, 但整体却又呈现有规律的统一性, 其中突出表现出两个显著的构造几何学特点: (1) 华南大陆周边均以大型断裂构造与外缘相拼接, 除挤压逆冲推覆构造外, 均兼具有多期左右行反转剪切走滑特征. 研究表明无论北缘的襄广-大巴山-勉略断裂带, 还是西缘龙门断裂系与三江-红河断裂系, 虽然多次的左/右行剪切交替反转在各区段间有差异, 但整体上一致反映存在两期主导的左右行方向反转的剪切走滑运动. 先一期即印支期构造以块体顺时针旋转, 断裂左行走滑为主, 后一期以燕山晚期到喜马拉雅期的逆时针旋转, 断裂右行走滑为主, 它们复合演化, 整体反映了华南大陆在从印支期周缘板块的拼合到成为欧亚与东亚统一大陆组成部分的陆内构造过程中, 经历了陆块在区域构造背景下的反向交替旋转运动. 显然上述两期反向走滑运动(万天丰, 2004; 许志琴, 1987; 王二七等, 2008), 与华南大陆中新生代两期整体旋转运动相吻合. 印支期华南大陆与华北陆块自东而西穿时旋转拼合, 华南大陆顺时针旋转运动, 周边断裂左行剪切走滑运动. 当印度板块与欧亚大陆碰撞拼合后, 相对于青藏和印支地块, 华南大陆则主要是逆时针旋转, 正如现在汶川地震反映的龙门山断裂系的右行走滑一样. (2) 华南大陆内部构造变形从整体宏观到具体微观多级别多层次表现了大陆内部不同块体相对走滑旋转运动与其由之引起的多样旋转走滑的扭动与弧形断褶构造及其他们独特复杂的几何学组合(图 11). 典型者诸如以四川地块为核心的周缘区域走滑旋转弧形断褶构造; 雪峰、苗岭、幕

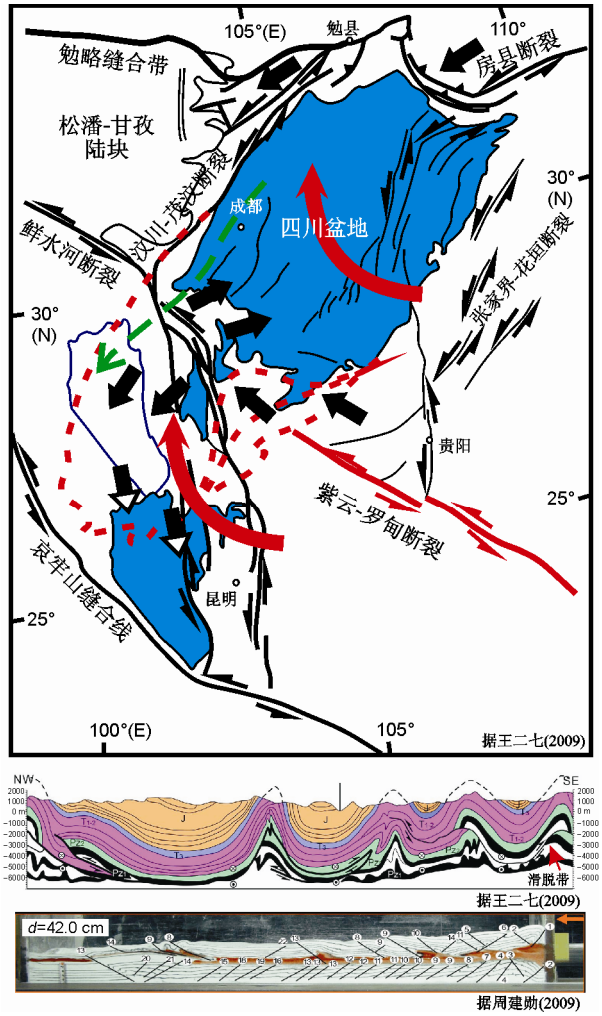



**图 11　华南大陆印支期多层次滑脱推覆与走滑旋转复合变形构造系统**

阜山等以元古界隆升剥露为标志的基底隆升构造带的走滑位移与弧形扭动构造; 以紫云-罗甸走滑断裂分划的贵州隔槽、隔档与穹凹构造和滇黔桂南盘江指向 NW 的弧形构造; 东部的以郯庐、浏阳-衡阳、政和-大埔、长乐-南澳等代表的系列 NNE 向的以左行为主兼具左右行的走滑剪切断裂及其伴随的中新生代断陷盆岭构造, 以及湘西北鄂西南区域的多期多向不同弧形与线形褶皱断裂构造的复合叠加所反映的剪切走滑与旋转构造变形等等. 这些构造充分表现了华南作为非均一多块体拼合的大陆在周边不同板块构造围限下, 内部不同陆块、地块间相互作用, 导致发生与发育了多级别多层次的剪切走滑旋转构造, 形成纷繁多样又具有统一规律性的构造几何学变形组合. 同时表明走滑旋转构造是大陆地壳长期保存演化的一种重要途径与构造型式, 而华南大陆的走滑旋转构造就具有典型代表性.

## 3　华南大陆构造形成演化与基本特征

有关超大陆及其聚散周期演化虽地学界仍有争议, 但新元古代以来 Rodinia 和 Pangea 超大陆演化, 已在较多证据基础上多有共识(Tollo 等, 2010; Li 等, 2008; Condie, 2011). 所以超大陆演化可作为大陆主体不返回地幔, 长期保存、周期聚散演化和全球板块构造格局更替演变的最高一级的发展演化体制. 华南大陆的演化历史与基本特征是一良好例证. 从前述的华南大陆的区域地质与构造动力学背景及其经历的重大构造事件的属性可以看出, 华南大陆在早、中前寒武纪所经历的多块体拼合离散进程是由有限的残留地质记录推断的, 到新元古代才有保留至今的较丰富的证据. 这表明华南大陆新元古代以来在Rodinia和Pangea二个超大陆聚散的全球演化周期中, 经历了新元古代以来的四个主要不同构造演化阶段, 或者说在 Rodinia 裂解中开始, 自显生宙以来主要经历了三大构造演化阶段. 鉴于前文已概述了晋宁 I 期和 II 期构造变动与演化, 以下重点讨论显生宙时期的三个构造演化进程.

特提斯(Tethys)作为地质科学揭示地壳演化历史和大地构造研究的基本科学概念(钟大赉, 1998; 张国伟等, 2011; Kazmin, 1991; Boulin, 1991; Kearey 等, 2009), 已被广泛运用在现代固体地球科学研究中, 代表地壳岩石圈长期形成演化中与超大陆聚散演化历史中分割南北大陆的特提斯洋及其消亡形成的阿尔卑斯-喜马拉雅造山带, 属于一个横贯东西的全球尺度巨型构造体系, 统称为特提斯构造域. 一般又以帕米尔构造结为界, 分划为东、西特提斯. 华南大陆属于东特提斯构造域重要组成部分, 因此受到特提斯尤其东特提斯动力学背景的制约. 所以华南大陆在先期演化基础上, 显生宙以来主要在全球 Rodinia 与 Pangea 超大陆拼合与裂解演化进程中, 历经与原($Pt_3^2$-S)、古(D-$T_2$)、新($T_3$-Q)东特提斯演化相对应的广西、印支与燕山-喜马拉雅三大构造演化阶段, 形成在前寒武纪基底上自南华纪开始、显生宙以来下、中、上三大构造层涵盖的物质组成、结构构造和现今总体构造面貌.

### 3.1 Rodinia 聚散与原特提斯洋陆格局和统一华南大陆板块形成与陆内再分裂

中、新元古代, 华南在全球 Rodinia 超大陆汇聚拼合中形成统一的华南大陆板块, 包括扬子、华夏、松潘以及原在其周缘而后离去的众多其他中小板块、地体、陆块等. 所以新元古代 Rodinia 的聚散决定了原特提斯的洋陆格局和原华南大陆板块的形成与分裂, 同时也决定了华南大陆板块在原特提斯洋域中的构造环境与位置, 并引发了华南大陆板块内部的扩展分裂, 产生南华裂谷与川滇裂谷盆地等陆内多陆块组合的陆内(板内)构造新格局. 新元古代晚期南华纪起至早古生代时期, 华南大陆在原特提斯构造域中经历多个洋陆板块围限作用下的周缘分裂与拼合, 经历了统一大陆海盆演化, 形成华南统一的下构造层和沉积地层与烃源岩系下组合, 但重要的是又发生了陆内构造, 包括扬子与华夏两地块相互作用发生的广西期陆内造山作用, 形成在华南早古生代统一的广海大陆盆地演化与构造变动基础上, 分裂出如前述的东部区域广阔面状分布的陆内造山区和西部稳定持续接受巨厚沉积的扬子克拉通, 这两个不同构造属性单元的同期并行演化, 形成了独特的构造格局. 这一构造格局及其演化对于早古生代东部金属矿产, 西部油气潜力评价研究与勘探都直接相关. 研究亦已证明广西运动, 也即国内迄今仍沿用的华南加里东运动, 实际不是全球性的构造事件(陈旭等, 2010), 它不对应于全球超大陆聚散统一事件, 如像晋宁Ⅰ期和Ⅱ期总体对应 Rodinia 和印支期对应 Pangea 的形成与分裂的全球事件, 而只是一个区域性的重要构造事件, 故以广西运动命名是贴切而且比较准确的.

### 3.2 古特提斯扩张到 Pangea 的形成确定了华南大陆现今基本块体配置关系及其东古特提斯印支期构造格架

在全球构造背景下, 从晚古生代泥盆纪中晚期起, 华南大陆处于古特提斯洋域的扩张离散期, 周边再次遭遇裂解, 形成诸如勉略洋、甘孜-理塘洋和墨江洋等洋盆, 分离出新的中小板块. 与此同时其内部则发育以峨眉山玄武岩的喷发(Xu 等, 2001; Zhang 等, 2009)和南、北部(现位置)台地与盆地凹陷相间的台盆扩张构造为代表的伸展构造, 罗志立称之为“地裂运动”(罗志立, 1991), 造成台地相与槽盆相相间的古地理环境. 至中、上三叠世间, 华南大陆在整体相对稳定的浅海盆地演化中, 发生了广泛的印支期构造运动, 周边洋盆相继关闭, 构成碰撞造山带, 诸如秦岭-大别、甘孜-理塘、三江古特提斯造山带以及龙门陆内造山带, 呈环绕镶边分布. 华南大陆与华北的拼合完成了中国大陆主体的构建过程, 使之成为欧亚全球性板块的组成部分, 也标志着全球 Pangea 超大陆的最终形成.

世界不少地区在二叠-三叠纪之交的 250 Ma 左右已完成 Pangea 拼合. 但中国与东亚的大量事实表明有所滞后, 例如华南大陆当时还处在峨眉玄武岩喷发扩张状态中(260~250 Ma), 因之东亚大陆真正完成 Pangea 拼合迟至 200 Ma 左右, 即由盛行于中国大陆的印支期构造运动最后完成. 与之同时, 华南大陆内部依然在新的周缘板块构造围限下, 发生了其东、西部差异鲜明的陆内印支期构造运动, 东部发生如同广西期相似的陆内造山作用, 形成广阔面型分布的陆内造山区, 叠置复合于广西期造山区之上. 而其西部扬子克拉通在周缘强大的造山作用影响下, 仍持续发生着克拉通的演化, 自身内部仅有轻微的升降运动以及引起的海陆相转变的假整合沉积.

总之, 晚古生代-中生代初期, 在古特提斯扩展裂离与闭合和 Pangea 超大陆印支期形成过程中, 华南大陆板块再度分裂缩小, 后又在 Pangea 形成过程中和中国大陆完成其主体拼合中, 确定了华南大陆基本块体间的基本配置关系, 成为欧亚板块与中国大陆的重要组成部分. 古特提斯演化期间, 在 Pangea 超大陆形成中, 华南大陆进一步在古特提斯构造域中, 突出的发生着周缘板块裂解与拼合和陆内扩张伸展裂陷及其东、西部差异演化, 构成东、西部二分构造格局, 尤为特征的是继续发生着板块围限下的大陆克拉通陆内构造与陆内造山作用的并行演化, 形成华南大陆统一而又有差异的结构构造.

### 3.3 印支期后中新生代全球现代板块构造格局中, 板块与陆内双重构造作用下华南大陆的演化

印支期后中新生代 Pangea 的裂解以大西洋的打开和太平洋的俯冲消减为标志, 全球进入现代板块构造格局演化阶段, 其明显不同于从 Rodinia 裂解到 Pangea 形成的全球板块构造与深部地幔动力学格局. 东亚包括华南大陆, 作为欧亚板块东南主要组成部

分, 处于新格局中全球性现代三大构造动力学体系, 即太平洋、欧亚、印度-澳大利亚动力学体系及其由之碰撞形成的阿尔卑斯-喜马拉雅特提斯构造域背景下, 特别处于西太平洋与青藏高原形成的东、西构造夹击以及深部地幔和上部陆壳的强烈复合叠加与再造的构造格局中, 受到周围板块与陆内构造双重构造作用, 最终形成现今华南大陆独特的构造面貌与状态.

除了上述中新生代华南大陆周边的板块围限作用外, 还要特别强调华南大陆及其周边继承与新生的陆内构造, 它们是构成现今华南大陆构造面貌的主要构造作用和构造组成, 是认识华南大陆构造进而探讨大陆动力学不可或缺的基本事实与内容, 其中包括: (1) 华南大陆北缘印支期的俯冲碰撞造山构造及其复合叠加的中生代中晚期秦岭-大别陆内造山及其南缘大规模推覆走滑构造, 它们一起形成叠加复合的米仓山-大巴山-大别山南侧的复合前陆构造; (2) 中新生代期间, 西缘龙门山在印支期陆内造山基础上, 叠加复合青藏高原及其东部边界作用, 造成龙门山在贺兰-川滇南北构造带中的强烈活动和新的隆升; (3) 华南大陆东部印支期陆内造山作用及西部扬子克拉通的活化作用在中新生代继续向西的推进, 形成中新生代雪峰陆内变形构造系统及其周边的复合联合构造, 尤其东部西太平洋俯冲陆缘构造的复合叠加改造(Hilde 等, 1977; Northrup 等, 1995; Maruyama 等, 1997; Bartolini 等, 2001; Smith, 2007; Koppers 等, 2003), 奠定了华南大陆中新生代陆内构造基本格局和华南大陆的上构造层和相应的火山-沉积地层上组合; (4) 此期间, 发生了西太平洋俯冲与喜马拉雅造山及青藏高原隆升作用, 使华南大陆遭受强烈的板块与陆内构造双重差异叠加改造, 导致华南伴随东亚和中国大陆东、西部构造差异演化与地表系统反转及其相应的深部动力学过程, 最终造就形成现今构造总体面貌.

## 4 华南大陆构造的特性与问题

### 4.1 华南大陆的特异性

华南大陆是中国大陆及东亚与全球构造的重要组成部分, 不仅具有其共性, 而更具有独特的区域个性特征. 这些个性中包含有大陆的某些普适特性与行为, 赋含当代地学前沿发展特有的信息. 因此, 在研究其共性的同时, 更需要重点把握其个性, 从其特性入手探索其他大陆未能反映的大陆固有的普适性特征, 从而深化认知大陆本质与属性.

华南大陆作为中国大陆的主要组成, 自然有更多的中国大陆的特性(张国伟等, 2001, 2006, 2011), 但明显地具有独特的个性. 与中国大陆的另一主要成员华北大陆比较, 它们都有全球共性中的中国大陆的具体区域特征, 诸如: (1) 中小多块体拼合的大陆; (2) 长期多期活动性, 属于全球长期非稳定状态保存演化的大陆; (3) 长期处于全球特殊构造部位等. 但华南更加显著地表现出不同的个性特征:

(1) 板块构造长期围限下, 中小多块体拼合大陆的多期复合陆内造山作用及其造成的广阔面型复合陆内造山区与其相应的陆下地幔深部动力学过程;

(2) 统一陆内相对稳定克拉通与陆内复合造山区两类不同属性构造的长期并行演化及同期过渡关系与深部状态背景;

(3) 扬子克拉通从边缘向内部多期次的渐进活化作用和雪峰陆内变形构造系统;

(4) 长期处于板块构造与陆内构造双重作用下, 形成复合联合叠加差异改造再造的统一而分异的大陆构造组合及其机制;

(5) 处于中国东部滨临太平洋俯冲统一的构造背景下, 华南大陆除周边呈现现代活动地震构造外, 其内部却属于相对稳定陆块区, 而华北陆块却处于中新生代以来岩石圈非均一差异减薄与破坏和强烈现代地震活动区.

由于这些独特性, 华南大陆具有特异而复杂的组成、结构构造和演化历史. 显然, 关键的问题是华南为何形成这些大陆构造的独特属性与特征, 又包含与反映了什么样的大陆本质, 其区域性与普适性又是什么? 结合中国大陆, 从华南大陆构造的全球共性中的突出特性, 可以总结提出三个基本科学问题: (1) 中小洋陆板块构造体制与动力学; (2) 大陆构造除重要的板块构造及其远程效应外, 大陆陆内构造及其动力学问题; (3) 陆下地幔结构状态与过程及深部动力学. 前二个问题将述于后, 第三个问题限于篇幅, 将另专文讨论.

### 4.2 华南大陆构造关键科学问题

总结华南大陆构造在全球与中国大陆构造中的

独特性的重要目的之一, 是聚焦华南大陆构造的主要问题. 以下分为两个层次加以概要讨论. 一是华南大陆构造需要解决的主要争议问题; 二是华南大陆构造关键基础性科学问题.

#### 4.2.1 华南大陆构造主要争论而有待解决的问题

华南大陆历经不同构造发展阶段, 东部经历了物质与结构的改造、复合再造与重组重建, 而西部又多为盆地沉积覆盖, 深部结构状态探测有限而尚不明确. 所以总体构造复杂, 记录残缺, 研究深度不够. 尽管现今研究成果很多, 但争议尚存, 有待解决的问题不少. 主要问题概括如下:

(1) 扬子与华夏两地块的构造关系以及广西期与印支期构造属性和动力学机制问题, 尤其涉及陆内造山的构造机制与动力学问题尚待深入研究.

(2) 西太平洋俯冲演化与华南大陆东部陆缘构造问题. 该问题既关系古今太平洋构造与西太平洋俯冲构造系统演变又涉及华南大陆东部沿海中新生代构造、岩浆、成矿系列等基本问题.

(3) 华南大陆前寒武纪基本组成、构造与形成演化. 核心问题是早前寒武纪组成与基本构造格局和中、新元古代构造体制与演化问题.

(4) 华南大陆深部结构与状态. 相对中国大陆特别与华北比较, 华南大陆的地球物理探测研究稀疏, 深部情况不明. 目前已有部署, 但仅处于开端.

(5) 华南大陆构造与成矿成藏问题. 包括: ① 以四川盆地为中心的南方海相油气地质与潜力评价, 包括非常规油气问题, 尤其关于建立适应中国大陆地质条件的中国海相油气地质理论的问题; ② 东部陆缘构造区构造-岩浆-流体与多期金属成矿问题, 尤其花岗岩与成矿和西南地区低温与超低温成矿问题.

(6) 西太平洋与印度板块从深层地幔到地表动力学系统汇聚交接转换与能量聚散的相互作用及岩石圈地壳响应. 包括: ① 中新生代中国大陆东、西部构造差异演化与地表系统反转演变及其统一深部动力学过程和贺兰-川滇南北构造形成演化与华南大陆西边界问题; ② 现代全球三大构造动力学体系汇聚复合作用与印度-澳大利亚板块差异北向运动和中国大陆东西部之间巨型力偶构造作用与华南大陆构造.

(7) 青藏高原形成及其东向运动与华南大陆构造.

(8) 云开-海南(南海)地块问题. 前人曾提出南海地块问题(任纪舜等, 1997), 新的研究愈益突显了南海地块存在与否及其与扬子、华夏地块和现今南海先期构造关系. 显然, 南海地块研究成为值得注重的华南大陆研究的新课题.

(9) 华南大陆东部与南部海陆对比与边界问题等.

自然还有一系列区域性、学科性及次级细节而重要的问题, 暂从略.

#### 4.2.2 华南大陆构造的基本基础科学问题与讨论

华南大陆构造复杂, 涉及多个学科并存在不同争论, 既包括区域性地质问题和国家重大需求问题, 更涉及重要基础科学问题. 上述提出的三个基本问题, 目的是从中国与华南大陆实际出发, 对比全球, 面对当代地学前沿大陆构造与大陆动力学重大课题, 试图探索研究回答板块构造未能或不能解决的大陆问题, 以供讨论.

##### 4.2.2.1 中小洋陆板块构造体制及其动力学问题

从长期秦岭造山带与华南大陆构造和中国大陆构造研究中, 逐渐认识和提炼出一个值得悉心思考和探索的地学问题, 即有关中小洋陆板块构造体制问题.

中国大陆, 尤其华南大陆是一个由众多中小陆块, 前人曾称之为中华陆块群(刘宝珺等, 1994; 王鸿祯等, 1996)所构成的. 它们在东原、古、新特提斯多陆块复杂洋域演变中, 由有限洋盆、小洋盆、陆表海盆与其间的中小陆块、微板块、地体等构成中小洋陆兼杂混生, 长期反复离散漂移拼合的构造格局与状态, 而最终形成一个多蛇绿岩洋壳残留带, 多造山带与众多中小板块或微块体拼合拼贴兼杂混生组合的广阔弥散变形的独具特征的大陆地壳构造区(张国伟等, 2001, 2006, 2011; 任纪舜等, 1997; 殷鸿福等, 1999; 钟大赉等, 1993). 它明显区别于单一而开阔大洋板块与大陆板块巨型经典板块构造体制, 所以把这种独特构造区的形成演化与机制、过程及产物及其相应的深部地幔动力学的总体概括称之为中小洋陆板块构造体制(张国伟等, 2001), 其主要特点为:

(1) 有限洋盆、小洋盆与众多中小陆块(微板块)兼列混生, 反复离散拼合、相互作用曾构成长期分离而又相关的复杂洋域的陆块群.

(2) 中小洋陆域长期游离于巨型板块、古大陆之间, 长期处于不同的全球型巨型构造动力学体系复合的特殊构造背景与状态中, 最终消亡形成广阔复杂独特的复合型地壳构造区.

(3) 具有相应的中小洋陆板块构造体制的深部动力学与过程, 具有既区别于单一大洋板块构造体制的动力学机制, 也不同于大陆陆内构造的演化与机制.

华南与中国大陆构造呈现出的这种中小洋陆多板块或陆块, 历经复杂演化而形成多地块、多造山带、广阔弥散变形的大陆构造(张国伟, 2001, 2006; 钟大赉等, 1993). 所以华南大陆构造应是充分发挥我国地域优势, 深化发展板块构造, 创新探索研究的良好基地. 也是探索回答板块构造尚不能完全解释的这类复杂大陆构造的一个重要途径与方向(Aurelio 等, 2013; Zheng 等, 2013). 对于中小洋陆多板块或陆块的存在多已有认识, 但对其成因机制与动力学, 缺少专门探讨. 目前面对华南与中国大陆构造客观存在的事实, 需要作为发展板块构造, 探索大陆构造与大陆动力学的专门问题提出, 进行深入研究. 显然, 问题的实质是中小洋陆板块构造的体制、机制与动力学. 以下从长期研究中提出重要思考, 供探索讨论.

关于中小板块构造机制问题, 首先可从华南大陆与中国大陆的现实出发, 分析研究中小洋陆相互作用的运动学与动力学机制问题. 显然, 如上述由于其长期处于全球巨型构造体系复合汇交部位, 并且其洋陆规模小, 构成长期相关的陆块群, 并反复长期彼此相互作用等, 表明, 它不应是全球一级地幔动力学系统所直接控制, 而可能为二级, 甚或三级地幔动力学系统汇流复合所导生的次级地幔动力学过程所控制. 再者, 从地幔动力学推测, 可能在全球巨型构造及其地幔动力学过程复合汇交状态中, 出现一级地幔对流与地幔柱复合所派生的地幔“紊流”与地幔柱次级分枝组合的复杂地幔动力学过程, 产生一种特殊的深部地球质量与能量向上向外传输、变换的型式, 造成相应的上部岩石圈与地壳呈现分离破碎、构成中小洋陆混生的特殊构造状态, 并长期反复游离与拼合相互作用, 形成相应特征的地壳构造区, 包括遭受多次强烈复合变动的地块及其拼合的众多造山带. 因此, 从动力学上分析, 中小洋陆板块构造体制具有区别于开阔大洋巨型板块构造体制的动力学机制, 应有自己相应的深部地幔动力学控制因素与机制. 所以, 中小洋陆板块构造的深部地幔动力学状态与过程, 以及上部中小洋陆又是如何响应, 就成为有待进一步研究的基本问题.

#### 4.2.2.2 大陆陆内构造及其动力学问题

华南大陆构造的另一个独特性是发育板块构造长期围限下的陆内构造, 包括多期复合的陆内造山作用及其造成的面型广布的陆内造山区和以雪峰陆内变形构造系统为代表的陆内构造变形. 这里所指的陆内构造是大陆构造中的一种构造类型, 是大陆中非板块构造动力作用形成的各种构造. 如前述, 它们主导成因机制不是板块构造的俯冲碰撞造山及其远程效应, 而是由陆内不同陆块(或地块)在深部背景下自身间非均衡状态的差异相互作用所引发造成. 随着大陆地质研究的深入, 国内外愈来愈多地发现板块构造理论无法解释的陆内构造现象, 这些现象进一步突显了“大陆构造”的真实内涵(张国伟等, 2006, 2011; Artemieva, 2011; Johnson 等, 2012; 李晓波, 1994; Pollard, 2003). 新的研究包括上述对华南大陆构造的讨论表明, 应当重新厘定大陆构造. 它应是板块构造及其远程效应和非板块构造动力所驱动的陆内构造两者的复合或总和, 而不是单一的板块构造及其远程效应所致. 现在关键的争论依然是板块构造能否完全解读认识大陆和大陆构造问题, 争议的焦点是大陆有无自身动力驱动的陆内构造, 包括陆内造山与陆内变形, 其动力是什么? 从上世纪八十年代就已提出了大陆动力学, 质疑与探讨板块构造理论认识大陆的局限性问题(李晓波, 1994; Pollard, 2003), 经过 20 多年研究之后, 其现今关键问题和进展是什么? 国内外研究已取得了进展, 并获得系列成果. 但关于大陆问题, 国内外地学界仍处于探索、揭示、争议与积累深化研究的进程中, 尚无根本性突破. 进展首先是进一步深化明确了大陆与大洋的不同, 从地壳到地幔组成与结构都存在差异, 大陆是一个主体长期保存漂浮演化的多块体拼合体, 不易返回地幔, 长期以超大陆的聚散形式发展演化, 具纵横向非均一的层块结构, 非刚体, 具流变性, 主体不参与板块增生与消减的物质循环过程与系统, 等等, 总之与大洋比较它是一个时空四维结构、组成与历史极其复杂的地球物质分异而成的一种特殊地质体. 但现在的关键问题是大陆如何增生与

消亡, 保存与演化, 其动力学机制是什么? 它是板块的基本组成部分但又不同于大洋, 长期共存依存其与板块构造关系又是什么? 这些都成为当代地学界关注的重大地学前沿问题. 现可以综合归纳为六个关键基本问题(张国伟等, 2001, 2006, 2011), 供思考深入系统探索研究: (1) 大陆起源、成因与早期地壳构造体制及动力学; (2) 大陆生长、演化与再造和超大陆聚散及与板块构造关系; (3) 大陆构造与动力学和大陆流变学; (4) 大陆与生命和环境的协同演化; (5) 大陆构造过程的资源、能源、环境、灾害效应; (6) 地球动力学及其子体系板块动力学与大陆动力学. 无疑, 大陆与大陆构造是地球科学长久的基本研究命题, 从大陆构造的台槽说到现代板块构造理论, 对大陆研究与认识不断深化更新, 尤其用板块构造理论研究大陆, 使之得到深刻理性的认知, 提升到新的知识层次, 但如前述, 板块构造至今也未能完全揭示大陆全貌真谛, 所以突出了大陆与大陆构造问题, 因而大陆动力学研究应运而生, 成为当代地学发展前沿的优先研究领域. 正因为如此, 鉴于现今研究进展与问题, 在研究中国大陆构造, 特别是目前正进行的华南大陆构造研究时, 提出以下三点当前研究重点问题(张国伟等, 2001, 2006, 2011): (1) 以对大陆的新的认知和理解, 再精细深化大陆构造中板块构造及其远程效应的研究. 关键是如何进行在重新认识大陆的新知识层次上更精确深化的运用板块构造研究大陆, 从而更进一步确定认识板块构造作用下大陆的行为与构造响应及其演化过程与动力学, 并真正筛分板块不能解释的构造与问题, 使研究与认识上升到一个新的科学水平, 总结新的规律, 深化发展板块构造理论. (2) 突出重点加强大陆构造中的陆内构造及其动力学的探索研究(图 12), 即关于大陆非板块构造动力驱动的陆块间相互作用导致的陆内构造, 即陆块构造、陆内造山、陆内变形、陆内海盆的研究, 深化大陆与大陆构造研究, 以求科学回答板块构造理论未回答解决的大陆问题, 推动地学发展, 构建大陆构造理论系统(张国伟, 2006, 2011; Sandford 等, 1998, 2002; Kennett 等, 2012; Zhang 等, 2012). (3) 深化大陆流变学与动力学研究(Pollard, 2003; Zhang 等, 2012; 张国伟等, 2007; 许志琴等, 2010).

大陆是不同于大洋的轻而具浮力、高度非均一并具流变学特性的非刚体拼合体. 目前已认识到陆壳可通过垂向与侧向的方式由地球深部物质经岩浆形式向地表分异迁移而实现, 包括板块俯冲等陆缘侧向增生, 地幔羽、拆沉与板底垫托等垂向增生等. 但关于岩浆是如何产生的, 低密度是否是大陆长期漂浮不易返回地幔保存演化的真正原因, 板块构造是何时起始的, 超大陆的周期聚散是否由板块构造运动所驱动, 多少大陆物质被俯冲消失, 不同时代大陆生长与保存和消亡比例如何等关系大陆陆内构造动力学的重要问题都还是尚未真正认知的问题. 所以大陆这一地球物质的特殊地质体自身的存在与运动学和动力学规律仍是现今板块构造、大陆动力学与地球动力学探索的重要基本问题. 如果说大陆不是一个刚体, 特别是在长时间、多尺度、多因素, 尤其流体(水、气、熔体等)参与下, 成为一个地球外壳构造运动中独特的具动力学意义的物质变动变形的力学特殊介质材料地质体, 造成极其复杂的大陆构造及相应的结构变形特殊过程与效应等, 尚可作为实际依据去理解认识大陆以及为何易于变形和复杂性的原因. 但这仍未从根本上解决大陆起源、长期保存演化不易返回地幔, 不参与洋壳的生灭物质循环系统, 广泛发生弥散型构造变形等真正驱动力的动力学问题. 因此, 大陆形成演化的动力学, 板块构造并未真正完全回答, 迄今仍是一个未解决的根本关键问题. 从目前地学发展与人类科学技术发展水平来看, 从大陆自身的基本属性而言, 大陆流变学应是一个重要切入点与突破口, 也应是深化发展板块构造, 探索大陆动力学的核心问题之一(Tapponnier 等, 1976; Burov 等, 1987; Ranali, 1995; Mckenzie 等, 2002; Ji 等, 2002; 金振民等, 2004; 刘俊来, 2004; 嵇少丞等, 2008). 据此需要特别加强大陆流变学研究, 并建议从以下三方面开展研究: (1) 大陆天然岩石流变学研究; (2) 高温高压实验岩石流变研究; (3) 流变学物理模拟与数值模拟研究. 上述研究应分工合作, 三位一体, 相互补充约束, 共同探索, 求得大陆构造及其动力学研究的新进展, 乃至突破.

综合华南大陆构造的研究与思考, 对比中国大陆与全球地质, 可以概括认为, 全球与区域板块构造动力学和扬子与华夏两地块从深层到陆壳上层长期相互作用的复合陆内驱动力是华南大陆构造的基本动力学机制. 所以板块构造长期围限下的多块体拼合的大陆构造、陆内过程及其动力学成为在前人研究基础上, 重新审视与探索华南大陆构造与大陆

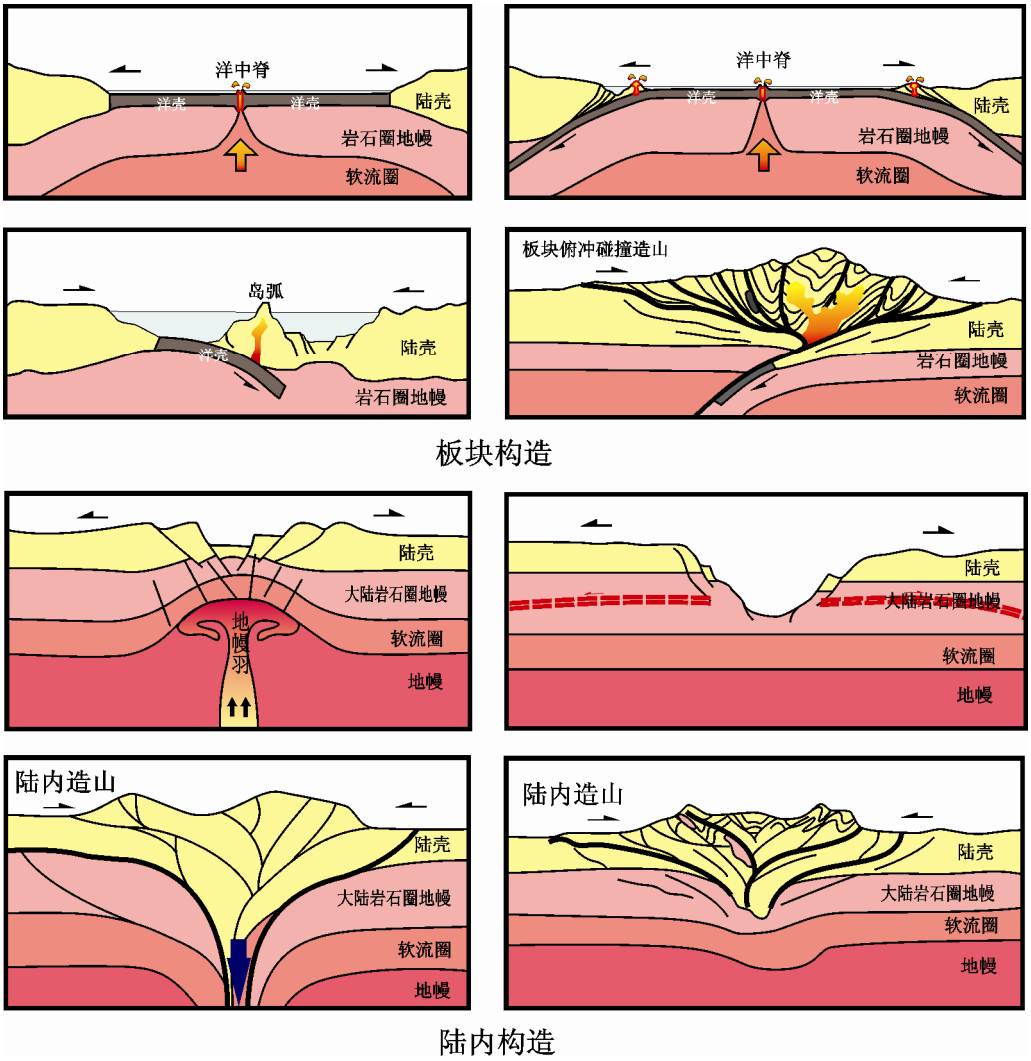



**图 12　板块构造与陆内构造模式对比示意**

动力学的新视角与新的学术思路. 以行星地球系统科学的理念, 立足中国大陆区域实际优势, 深化发展板块构造, 探索研究大陆与大陆构造及其动力学, 尽管任重道远, 但为探求构建大陆构造理论系统和新的行星地球观, 中国地学界应不失时机作出努力与贡献.

**致谢**　本文是标注项目集体完成的部分成果, 参与研究的单位和专家还有中国科学院地质与地球物理研究所王二七与孟庆任研究员, 中国石油大学周建勋教授, 中国地质大学(武汉)梅廉夫教授和杨坤光教授, 成都理工大学刘树根和陈洪德教授, 成都地质矿产研究所许效松和牟传龙研究员, 中石化石油勘探开发研究院何治亮和沃玉进研究员, 西北大学赖绍聪教授、长安大学裴先治教授等, 以及他们的团队, 他们为项目作出了大量工作和贡献; 陈旭研究员、戎嘉余研究员、舒良树教授参加部分野外共同考察与学术交流探讨, 并对本文初稿提出宝贵意见; 申怡博博士清绘图件. 在此一并致谢. 同时要特别感谢中国石油化工股份有限公司牟书令原副总裁、蔡希源、马永生、金之均、郭彤楼等总工程师们的支持和学术交流帮助. 最后还要特别感谢审稿专家提出的宝贵意见和建议.

## 参考文献


陈世悦, 李聪, 张鹏飞, 等. 2011. 江南-雪峰地区加里东期和印支期不整合分布规律. 中国地质, 38: 1213–1219
陈旭, 戎嘉余, Rowley D B, 等. 1995. 对华南早古生代板溪洋的质疑. 地质论评, 41: 389–400
陈旭, 张元动, 樊隽轩, 等. 2010. 赣南奥陶纪笔石地层序列与广西运动. 中国科学: 地球科学, 40: 1621–1631
陈旭, 张元动, 樊隽轩, 等. 2012. 广西运动的进程: 来自生物相和岩相带的证据. 中国科学: 地球科学, 42: 1617–1626
丁炳华, 史仁灯, 支霞臣, 等. 2008. 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. 岩石矿物学杂志, 27: 375–388
丁道桂, 郭彤楼, 刘运黎, 等. 2007. 对江南-雪峰带构造属性的讨论. 地质通报, 26: 801–809
董树文, 方景爽, 李勇, 等. 1994. 下扬子中三叠世-中侏罗世沉积相与印支运动. 地质论评, 40: 111–119
高山, Qiu Y M, 凌文黎, 等. 2001. 崆岭高级变质地体单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究——扬子克拉通>3.2 Ga 陆壳物质的发现. 中国科学 D 辑: 地球科学, 31: 27–35
郭令智, 施央申, 马瑞士. 1980. 华南大地构造格架和地壳演化. 国际交流地质学术论文集(Ⅰ构造地质、地质力学). 北京: 地质出版社. 106–109
郭令智. 2001. 华南板块构造, 北京: 地质出版社. 1–264
郭正吾, 邓康玲, 韩永辉. 1996. 四川盆地的形成与演化. 北京: 地质出版社. 1–200
黄继钧. 1998. 黄金口“T”型褶皱构造的力学分析. 成都理工学院学报, 25: 109–116
嵇少丞, 钟大赉, 许志琴, 等. 2008. 流变学: 构造地质学和地球动力学的支柱学科. 大地构造与成矿学, 32: 257–264
金文山, 孙大中. 1997. 华南大陆深部地壳结构及其演化. 北京: 地质出版社. 1–175
金振民, 姚玉鹏. 2004. 超越板块构造——我国构造地质学要做些什么? 地球科学: 中国地质大学学报, 29: 644–650
乐光禹, 杜思清, 黄继均, 等. 1996. 构造复合联合原理: 川滇构造组合叠加分析. 成都: 成都科技大学出版社. 1–281
李三忠, 王涛, 金宠, 等. 2011. 雪峰山基底隆升带印支期陆内构造特征及其成因. 吉林大学学报-地球科学版, 41: 93–105
李献华, 王一先, 赵振华, 等. 1998. 闽浙古元古代斜长角闪岩的离子探针锆石 U-Pb 年代学. 地球化学, 27: 327–334
李献华. 2000. 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. 中国科学 D 辑: 地球科学, 30: 284–290
李晓波. 1994.《美国大陆动力学研究的国家计划》简介. 地质科技管理, (5): 25–28
柳小明, 高山, 凌文黎, 等. 2005. 扬子克拉通 35 亿年碎屑锆石的发现及其地质意义. 自然科学进展, 15: 1334–1337
刘宝珺, 许效松. 1994. 中国南方岩相古地理图集. 北京: 科学出版社. 1–188
刘俊来. 2004. 变形岩石的显微构造与岩石圈流变学. 地质通报, 23: 980–985
刘少峰, 张国伟. 2013. 大别造山带周缘盆地发育及其对碰撞造山过程的指示. 科学通报, 58: 1–26
刘树根, 罗志立, 戴苏兰. 1995. 龙门上冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降. 地质学报, 69: 205–214
罗志立. 1991. 地裂运动与中国油气分布. 北京: 石油工业出版社. 1–146
马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 2004. 中国南方大陆构造和海相油气地质, 北京: 地质出版社. 1–452
丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 1999. 雪峰山的构造性质与演化. 北京: 地质出版社. 1–555
任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 1990. 中国东部大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社. 1–205
任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 1997. 新一代中国大地构造图. 中国区域地质, 16: 225–230
戎嘉余, 詹仁斌, 许红根, 等. 2010. 华夏古陆于奥陶-志留纪之交的扩展证据和机制探索. 中国科学: 地球科学, 40: 1–17
沈渭洲, 凌洪飞, 李武显, 等. 1998. 江西省中生代花岗岩类的 Nd-Sr 同位素研究. 科学通报, 43: 2653–2657
舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带. 高校地质学报, 12: 418–431
舒良树. 2012. 华南构造演化的基本特征. 地质通报, 31: 1035–1053
孙涛, 周新民, 陈培荣, 等. 2003. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义. 中国科学 D 辑: 地球科学, 33: 1209–1218
孙岩, 舒良树, 刘傅良. 1997. 论构造分层、流变分层和化学分层作用——以中下扬子区倾滑断裂系统为例. 南京大学学报, 33: 82–91
万天丰. 2004. 中国大地构造学纲要. 北京: 地质出版社. 1–387
王博, 舒良树. 2001. 对赣东北晚古生代放射虫的初步认识. 地质论评, 47: 337–344
王德滋, 沈渭洲. 2003. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化. 地学前缘, 10: 209–220
王二七, 孟庆任. 2008. 对龙门山中生代和新生代构造演化的讨论. 中国科学 D 辑: 地球科学, 38: 1221–1233
王二七, 尹纪云. 2009. 川西南新生代构造作用以及四川原型盆地的破坏. 西北大学学报(自然科学版), 39: 359–367
王鸿祯, 莫宣学. 1996. 中国地质构造述要. 中国地质, (8): 4–9
王剑. 2000. 华南新元古代裂谷盆地演化——兼论与 Rodinia 解体的关系. 北京: 地质出版社. 1–146
王剑, 潘桂棠. 2009. 中国南方古大陆研究进展与问题评述. 沉积学报, 27: 818–825
王清晨, 蔡立国. 2007. 中国南方显生宙大地构造演化简史. 地质学报, 81: 1025–1040

徐夕生, 邓平, O'Reilly S Y, 等. 2003. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针 ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义. 科学通报, 48: 1328–1334
吴浩若, 邝国敦, 咸向阳, 等. 1994. 桂南晚古生代放射虫硅质岩及广西古特提斯的初步探讨. 科学通报, 39, 809–812
许靖华, 孙枢, 李继亮. 1987. 是华南造山带而不是华南地台. 中国科学(B 辑), 17: 1107–1115
许志琴. 1987. 扬子板块北缘的大型深层滑脱构造及动力学分析. 中国区域地质, (4): 289–300
许志琴, 杨经绥, 嵇少丞, 等. 2010. 中国大陆构造及动力学若干问题的认识. 地质学报, 84: 1–29
向磊, 舒良树. 2010. 华南东段前泥盆纪构造演化: 来自碎屑锆石的证据. 中国科学: 地球科学, 40: 1377–1388
徐扬, 王存智, 程万强, 等. 2009. 南大巴前陆冲断带构造变形几何类型、分布特征及其成因分析. 大地构造与成矿学, 33: 497–507
殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等. 1999. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分. 地球科学——中国地质大学学报, 24: 1–12
于津海, 周新民, O'Reilly Y S, 等. 2005. 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. 科学通报, 50: 1758–1767
于津海, 魏震洋, 王丽娟, 等. 2006. 华夏地块: 一个由古老物质组成的年轻陆块. 高校地质学报, 12: 440–447
袁学诚, 华九如. 2011. 华南岩石圈三维结构. 中国地质, 38: 1–19
张爱梅, 王岳军, 范蔚茗, 等. 2010. 闽西南清流地区加里东期花岗岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成研究. 大地构造与成矿学, 34: 408–418
张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社. 1–855
张国伟, 郭安林, 姚安平. 2006. 关于中国大陆地质与大陆构造基础研究的思考. 自然科学进展, 16: 1210–1215
张国伟, 郭安林. 2007. 关于加强流变构造学研究的建议. 地质科学, 42: 10–15
张国伟, 郭安林, 董云鹏, 等. 2011. 大陆地质与大陆构造和大陆动力学. 地学前缘, 18: 1–12
张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 2011. 中生代多向挤压构造作用与四川盆地的形成和改造. 中国地质, 38: 233–250
张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 2012. 华南中生代大地构造研究新进展. 地球学报, 33: 257–279
赵崇贺, 何科昭, 莫宣学, 等. 1995. 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. 科学通报, 40 : 2161–2163
赵崇贺, 何科昭, 周正国, 等. 1996. 关于华南大地构造问题的再认识. 现代地质, 10: 512–517
郑永飞, 张少兵. 2007. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化. 科学通报, 52: 1–10
钟大赉, 丁林. 1993. 从三江及邻区特提斯带演化讨论冈瓦纳大陆离散与亚洲增生. 见: IGCP 第 321 项目中国工作组编, 亚洲的增生. 北京: 地震出版社. 5–8
钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社. 1–231
周建勋, 郎建, 刘重庆. 2009. 韧性基底层黏度对褶皱-冲断带变形特征的影响——来自物理模拟的启示. 西北大学学报(自然科学版), 39: 392–398
朱介寿, 蔡学林, 曹佳敏, 等. 2005. 中国华南及东海地区岩石圈三维结构及演化. 北京: 地质出版社. 1–308
Artemieva I M. 2011. The Lithosphere-An Interdisciplinary Approach. London: Cambridge University Press. 1–733
Auyelio M A, Pena R E, Taguibao K J L. 2013. Sculpting the Philippine archipelago since the Cretaceous through rifting, oceanic spreading, subduction, obduction, collision and strike-slip faulting: Contribution to IGMA5000. J Asian Earth Sci, 72: 102–107
Bartolini A, Larson R L. 2001. Pacific microplate and the Pangea supercontinent in the Early to Middle Jurassic. Geology, 29: 735–738
Boulin J. 1991. Structures in Southwest Asia and evolution of the eastern Tethys. Tectonophysics, 96: 211–268
Burov N L, Tsenn M C. 1987. Flow properties of continental lithosphere. Tectonophysics, 36: 27–63
Charvet J, Shu L S, Shi Y S, et al. 1996. The building of south China: Collision of Yangtze and Cathaysia blocks, problems and tentative answers. J Southeast Asian Earth Sci, 13: 223–235
Charvet J, Shu L S, Faure M, et al. 2010. Structural development of the Lower Paleozoic belt of South China: Genesis of an intracontinental orogen. J Asian Earth Sci, 39: 309–330
Chen C H, Lee C Y, Hsieh P S, et al. 2008. Approaching the age problem for some metamorphosed Precambrian basement rocks and Phanerozoic granitic bodies in the Wuyishan area: The application of EMP monazite age dating. Geological Journal of China Universities, 14: 1–15
Condie K C. 2011. Earth as an Evolving Planetary System. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier. 1–492
Dai B Z, Jiang S Y, Jiang Y H, et al. 2008. Geochronology, geochemistry and Hf-Sr-Nd isotopic compositions of Huziyan mafic xenoliths, southern Hunan Province, South China: Petrogenesis and implications for lower crust evolution. Lithos, 102: 65–87
Dong S W, Gao R, Yin A, et al. 2013. What drove continued continent-continent convergence after ocean closure? Insights from high-resolution seismic-reflection profiling across the Daba Shan in central China. Geology, 41: 671–674, doi: 10.1130/G34161.1
Faure M, Natal'in B. 1992. The geodynamic evolution of the Eastern Eurasian margin in Mesozoic times. Tectonophysics, 208: 397–411
Gao J, Klemd R, Long L L, et al. 2009. Adakitic signature formed by fractional crystallization: An interpretation for the Neoproterozoic meta-plagiogranites of the NE Jiangxi ophiolite mélange belt, South China. Lithos, 110: 277–293

Hilde T W, Uyede C S, Kroenke L. 1977. Evolution of the western Pacific and its Margin. Tectonophyiscs, 38: 145–165
Hsü K J, Sun S, Li J L, et al. 1988. Mesozoic overthrust tectonics in South China. Geology, 16: 418–421
Hsü K J, Li J L, Chen H H, et al. 1990. Tectonics of South China: Key to understanding west Pacific geology. Tectonophysics, 183: 9–39
Ji S C, Xia B. 2002. Rheology of Polyphase Earth Materials. Montreal: Polytechnic International Press. 1–260
Johnson M R W, Harley S L. 2012. Orogenesis: The Making of Mountains, Cambridge: Cambridge University Press. 1–388
Kazmin V G. 1991. Collision and rifting in the Tethys Ocean: Geodynamic implication. Tectonophysics, 196: 371–384
Kearey P, Klepeis K A, Vine F J. 2009. Global Tectonics. 3rd ed. Oxford: Wiley-Blackwell. 1–482
Kennett B L N, Iaffaldano G. 2012. Role of lithosphere in intra-continental deformation: Central Australia. Gondwana Res, doi://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.010
Koppers A A P, Staudigel H, Duncan R A. 2003. High-resolution $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of the oldest oceanic basement basalts in the western Pacific basin. Geochem Geophys Geosyst, 4: 8914
Li S Z, Santosh M, Zhao G C, et al. 2012. Intracontinental deformation in a frontier of super-convergence: A perspective on the tectonic milieu of the South China Block. J Asian Earth Sci, 49: 311–327
Li Z X, Li X H, Kinney P D, et al. 1999. The break up of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath the South China. Earth Planet Sci Lett, 173: 171–181
Li Z X, Li X H. 2007. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. Geology, 35: 179–182
Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. Precambrian Res, 160: 179–210
Li Z X, Li X H, Wartho J A, et al. 2010. Magmatic and metamorphic events during the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai Orogeny, southeastern South China: New age constraints and *P-T* conditions. Geol Soc Am Bull, 122: 772–793
Liu S F, Heller P L, Zhang G W. 2003. Mesozoic basin development and tectonic evolution of the Dabieshan orogenic belt, central China. Tectonics, 22: 1038–1050, doi: 10.1029/2002TC001390
Liu S F, Steel R, Zhang G W. 2005. Mesozoic sedimentary basin development and tectonic implication, northern Yangtze Block, eastern China: Record of continent-continent collision. J Asian Earth Sci, 25: 9–27
Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. 1997. Paleogeographic Maps of the Japanese Islands: Plate tectonic systhesis from 750 Ma to the present. Island Arc, 6: 121–142
Mckenzie D, Jackson J. 2002. Conditions for flow in the continental crust. Tectonics, 21: 1055
Nemcok M, Schamel S, Gayer R. 2005. Thrustbelts-Structural Architecture, Thermal Regimes and Petroleum System. New York: Cambridge University Press. 1–541
Northrup C, Royden L, Burchfoel B. 1995. Motion of the Pacific Plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern Margin of Eurasia. Geology, 23: 719–722
Pollard D D. 2003. New Departure in Structural Geology and Tectonics. http://www.pangea.stanford.edu/~dpollard/NFS/March 23, 2003
Qiu Y M, Gao S, McNaughton N J, et al. 2000. First evidence of >3.2 Ga continental crust in the Yangtze Craton of South China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics. Geology, 28: 11–14
Ranali G. 1995. Rheology of the Earth. 2nd ed. New York: Chapman and Hall. 1–413
Sandford M, Hand M. 1998. Controls on the locus of intraplate deformation in central Australia. Earth Planet Sci Lett, 162: 97–110
Sandford M, McLaren S. 2002. Tectonic feedback the ordering of heat producing elements within the continental lithosphere. Earth Planet Sci Lett, 204: 133–150
Shu L S, Michel F, Jiang S Y, et al. 2006. SHRIMP zircon U-Pb age, litho- and biostratigraphic analyses of the Huaiyu Domain in South China—Evidence for a Neoproterozoic orogen, not Late Paleozoic-Early Mesozoic collision. Episodes, 29: 244–252
Shu L S, Faure M, Wang B, et al. 2008. Late Paleozoic-Early Mesozoic geological features of South China: Response to the Indosinian collision Event in Southeast Asia. C R Geosci, 340: 151–165, doi: 10.1016/j.crte.2007.10.010
Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. 2009. Mesozoic tectonic evolution of the southeast China block: New insights from basin analysis. J Asian Earth Sci, 34: 376–391
Shu L S, Faure M, Yu J H, et al. 2011. Geochronological and geochemical features of the Cathaysia block (South China): New evidence for the Neoproterozoic breakup of Rodinia. Precambrian Res, 187: 263–276
Smith A D. 2007. A plate model for Jurassic to Recent intraplate volcanism in the Pacific Ocean basin. In: Foulger G R, Jurdy D M. eds. Plates, Plumes, and Planetary Processes. Geol Soc Am (Spec Papers), 430: 471–495

Tapponnier P, Molnar P. 1976. Slip field thoery and large scale continental tectonics. Nature, 264: 319–324

Tollo R P, Bartholomew M J, Hibbard J P, et al. 2010. From Rodinia to Pangea: The Lithosphere Record of the Appalachian Region (GSA Memoir 206). Boulder: The Geological Society of America Inc. 1–95

Wan Y S, Liu D Y, Xu M, et al. 2007. 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 units. Gondwana Res, 12: 166–183

Wan Y S, Liu D Y, Wilde S M, et al. 2010. Evolution of the Yunkai terrane, South China: Evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating, geochemistry and Nd isotope. J Asian Earth Sci, 37: 140–153

Wang D Z, Shu L S, Faure M. 2001. Mesozoic magmatism and granitic dome in the Wugongshan Massif, Jiangxi Province and their genetical relationship to the tectonic events in southeast China. Tectonophysics, 339: 259–277

Wang D Z, Shu L S. 2012. Late Mesozoic basin and range tectonics and related igneous rock assemblages of Southeast China. Geosci Frontiers, 3: 109–124

Wang J, Li Z X. 2003. History of Neoproterozoic rift basins in South China: Implications for Rodinia breakup. Precambrian Res, 122: 141–158

Wang Q, Li J W, Jian P, et al. 2005. Alkaline syenites in eastern Cathaysia (South China): Link to Permian-Triassic transtension. Earth Planet Sci Lett, 230: 339–354

Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, et al. 2007a. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block. Gondwana Res, 12: 404–416

Wang Y J, Fan W M, Sun M, et al. 2007b. Geochronological, geochemical and geothermal constraints on petrogenesis of the Indosinian peraluminous granites in the South China Block: A case study in the Hunan Province. Lithos, 96: 475–502

Wang Y J, Zhang F F, Fan W M, et al. 2010. Tectonic setting of the South China Block in the early Paleozoic: Resolving intracontinental and ocean closure models from detrital zircon U-Pb geochronology. Tectonics, 29, doi: 10.1029/ 2010TC002750

Wang Y J, Wu C M, Zhang A M, et al. 2012. Kwangsian and Indosinian reworking of the eastern South China Block: Constraints on zircon U-Pb geochronology and metamorphism of amphibolite and granulite. Lithos, 150: 227–242

Wang Y J, Fan W M, Zhang G W, et al. 2013. Phanerozoic tectonics of the South China Block: Key observations and controversies. Gondwana Res, 23: 1273–1305

Xu Y G, Chung S L, Jahn B M, et al. 2001. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China. Lithos, 58: 145–168

Yao J L, Shu L S, Santosh M. 2011. Detrital zircon U-Pb geochronology, Hf-isotopes and geochemistry—New clues for the Precambrian crustal evolution of Cathaysia Block, South China. Gondwana Res, 20: 553–567, doi: 10.1016/j.gr.2011.01.005

Yao J L, Shu L S, Santosh M, et al. 2012. Precambrian crustal evolution of the South China Block and its realtion to supercontinent history: Constrainrs from U-Pb ages, Lu-Hf isotopes and REE geochemistry of zircons from sandstones and granodiorite. Precambrian Res, 208–211: 19–48

Yu J H, O'Reilly S Y, Wang L J, et al. 2010. Components and Episodic growth of Precambrian crust in the Cathaysia Block, South China: Evidence from U-Pb ages and Hf isotopes of zircons in Neoproterozoic sediments. Precambrian Res, 181: 97–114

Zhang Z C, Mao J W, Saunders A D, et al. 2009. Petrogenetic modeling of three mafic-ultramafic layered intrusions in the Emeishan large igneous province, SW China, based on isotopic and bulk chemical constraints. Lithos, 113: 369–392

Zhang Z J, Xu T, Zhao B. 2012. Systematic variations in seismic velocity and reflection in the crust of Cathaysia: New constraints on intraplate orogeny in the South China continent. Gondwana Res, doi: 10.1016/j.gr.2012.05.018

Zheng Y F, Xiao W J, Zhao G C. 2013. Introduction to tectonics of China. Gondwana Res, 23: 1189–1206

Zhou X M, Li W X. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. Tectonophysics, 326: 269–287