

文章编号: 0469 - 5097(2000)01 - 0001 - 17

特约稿

中国地体构造研究进展综述*

郭令智, 舒良树, 卢华复, 施央申,
马瑞士, 张庆龙, 王良书, 贾 东

(南京大学地球科学系, 江苏 南京, 210093)

摘 要: 地体构造理论被应用于中国地质的具体实践已经 15 年并取得了丰硕的成果. 主要表现在: 1. 中国境内地体构造的划分; 2. 地体构造理论上的创新, 包括地体定义的完善; 板块、微板块、地体、板片、推覆体五者之间的理论甄别; 地体的古板块单元重建和古地体古大洋研究; 地体拼贴增生和裂解离散的形式和过程; 地体运动形成的沉积盆地和能源矿产; 3. 方法学上的进展, 主要有古地磁学和综合地球物理学, 微古生物及其对含放射虫硅质岩的新认识, 地体边界运动学和动力学, 岩石化学和同位素年代学. 对这些研究进展进行了概要总结和述评.

关键词: 综述; 地体构造; 板块构造; 研究进展; 中国

中图分类号: P545

文献标识码: A

0 前 言

板块构造理论在解决大洋及其洋陆过渡带地区的地质、构造和矿产等方面取得了极大的成功, 被誉为地质学领域的一场伟大革命. 但是板块构造理论及其经典的俯冲增生模式在深入到大陆内部及其古老的造山带研究中遇到了一系列的难解之迷, 促使人们用新的思维方式去认识解释新的地质资料和观察事实. 20 世纪 80 年代初叶提出的地体构造理论^[1~9]经 9 次国际研讨会, 至今已形成一套较为系统的理论.

“Terrane”一词, 最早出现于 19 世纪欧美地质文献中, 意指某个特定地区, 当初并无构造上的特定含义. Jones 等 (1983)^[2]、Monger 和 Ross (1971)^[3]、Irvin 等 (1972)^[4]、Coney 等 (1980)^[5]、Howell 等 (1983)^[6]、Schermer (1984)^[7] 在北美西部科迪勒拉山系, Mizutani (1983)^[8] 在东亚陆缘地区先后发现空间紧邻的地区之间, 其古生物群落、地层序列、岩相特征、古纬度等差异巨大, 根本不能用沉积环境的突变或者大陆地壳增生的俯冲铲刮机制来说明. 于是, “Terrane”一词开始与地体学说相联系, 被赋予构造学与地层学含义, 一般是指拼贴于大陆边缘在构造运动中其位置有过几百公里到几千公里移动的岛弧、海山、洋底高原和大陆裂解碎块.

Coney 等^[5]和 Schermer 等^[7]对地体构造作了定义, 但该定义未能反映地体的成因学和运动学. 卢华复等^[9]对该定义作了重要补充(见后), 特别强调地体构造的成因学和运动学

* 基金项目: 教育部博士点基金项目, 国家自然科学基金项目 (49772151, 49832040)

收稿日期: 1999 - 07 - 05

作者简介: 郭令智, 男, 1915 年生, 构造地质学专业, 中国科学院院士, 南京大学教授、博士生导师, 已发表“华南大地构造格架和地壳演化”等 150 余篇论文.

特征. 郭令智等^[10]、施央申等^[11]、卢华复等^[9]先后著文,厘定了地体增生的 3 种方式:俯冲碰撞型、冲断板片型和会合停靠型.

地体构造在我国研究始于 20 世纪 80 年代初. 1984 年,郭令智、施央申、马瑞士、卢华复等^[11]著文全面介绍地体构造,郭令智等^[13]最先著文将地体理论应用于中国的地质实践并率先开展地体构造的调查与划分. 稍后,地体构造研究在中国出现了一个研究高潮,一大批研究成果不断涌现. 1988 年在南京召开的第 4 届国际地体会议,标志着中国地体研究已跻身世界先进行列.

在研究范围上,已从北美西部及环太平洋地区扩展到大西洋陆缘、中东和大陆内部造山带. 在研究理论上,已从几何学的描述、划分与分类向运动学和动力学方面拓宽,并开展了前寒武纪古老地体研究. 研究目的上,已从纯理论研究向各种矿产资源、油气资源的应用研究方向发展. 地体构造理论以及近年文献中出现的多岛海^[14,15]观点,为解决复杂的大陆构造问题与岩石圈结构构造与演化提供了新思路,成为剖析碰撞造山带形成演化的有效方法. 地体构造理论还在不断发展和完善. 目前,有些地体研究程度还不高,线条较粗糙;在划分地体上,存在扩大化和绝对化现象;地体的边界标志也未取得完全一致意见.

1 中国在地体理论研究上的新认识

十几年来,借助于国际上的板块和地体理论,立足于中国地质构造的具体实践,我国地质工作者除致力于地体的鉴定划分、几何学和成因学的研究外,在理论研究上也已取得了显著成果.

1.1 地体定义的完善 地体的定义最早由 Coney 等给出^[5],Schemer 等^[7]所给的定义相同:“以区域断裂为边界的、具有区域性延伸的、与相邻地体具完全不同地质发展历史的地质实体”. 主要强调地体的断裂边界及独立的地质发展史. 相对完善的定义是由 Howell 等^[6]在 1986 年给出的:“构造地层地体是以断层为边界的具有区域性延展的地质实体. 每个地体内沉积、构造、火成作用和变质作用应当是统一的和连续的. 而两个并列地体如有同时代地层,其间绝不可能出现把两者联系起来的过渡岩相,即两者必定是截然不同的,在地质历史上毫不相关.”但随后的地质实践也发现它的一些不足. 由于该定义没有对地体的成因和运动学特征予以明确限定,因此,地体与推覆体、板片之间的关系,就很使地球科学家们困惑不解并相互混淆.

在长期地质实践的基础上,卢华复等^[9,16]对原地体定义作了如下补充和完善:“地体是曾经作为洋底高原或岛屿的岩石圈碎块或地壳碎块随板块运移到活动大陆边缘的增生体”. 该补充的定义明确限定地体要有一个洋壳板块上“居家”并运移过程,对地体的成分也有完整的限定,是地体理论上的进展. 它和 Howell 等的定义相结合,共同构成了地体构造概念的完整理解和严格限定. 从二者结合的定义上看,现代的东南亚海域中的诸多时代不一,成分不同的岛屿,就是地体构造.

1.2 板块、微板块、地体、板片、推覆体之间的理论甄别 卢华复等^[9]用形式逻辑圆的图解方法解析这五者的关系. 地体和岩石圈板块相比,其规模和厚度都小一个级别,它可以是古大陆或岛弧的裂解碎片. 地体和推覆体相比,规模和厚度要大一个级别,且运移量巨大,具有洋壳停留与运移的历史;推覆体虽然也脱离了原始地质体的根部,但位移量并不很大,通常为数到数十公里,其深度一般在地壳范围. 微板块特点是规模和深度都很大,边界被超岩石

圈断裂所限,面积较巨大;它是地体中的极大者,保留了岩石圈的完整结构,下文中的羌塘地体,拉萨地体,严格上说应划归微板块。板片构造则是被构造劈裂开的板块边部处的上地壳碎片,形态上是巨型推覆体,它是地体中极小而薄者。近年“板片”在文献中已很少见及。

1.3 地体的古板块单元重建及古地体、古大洋研究 地体与板块,是既有区别又有联系的全球运动统一体,均受制于全球壳幔作用、洋-陆和陆-陆作用的动力学体系。不应将地体和板块割离或对立地去看待。中国地体构造的深入研究发现,它们之中有许多都曾是大陆板块边缘或古大陆的一部分。其构造成分或是火山岛弧,或是边缘海,或被动陆缘,或海山,或洋岛。它们或者是先增生后拉张脱离大陆的,或者本身就是大洋中独立的岛屿及海山,随洋壳板块消减、洋盆关闭而彼此拼贴最后增生于大陆边缘的。

从 80 年代开始,中国的地体构造研究从沿海中、新生代陆缘区纵深到了古老克拉通内部和中生代前的古老造山带中,并陆续发现了一系列古生代和元古代的地体构造。东天山古生代存在多岛屿地体群^[17],华南武功山是早古生代变质地体^[13],中生代变成一个发育在加里东期变质基底之上的花岗岩穹窿型变质核杂岩伸展构造^[18]。江南造山带中段新元古代发育两个各具特色的地体构造:亲洋壳型的怀玉地体和亲陆壳型的九岭地体^[12]。古老地体的存在与中国在元古代就已开始板块运动机制的认识是一致的。

在中国大陆古板块和地体构造研究中,揭示出几个元古代、古生代-三叠纪的古大洋。这就是元古代华南始大洋,元古代时位于扬子板块和“原浙闽赣粤古陆”之间(相当于华夏古陆);古生代华南洋,位于武夷山-赣南-云开大山一带;古生代天山-蒙古古大洋,位于塔里木和西伯利亚两个大陆之间;古生代-第三纪特提斯古大洋,位于印度和欧亚大陆之间;元古代-三叠纪昆仑-祁连-秦岭-大别古大洋,位于华北与扬子大陆之间。散布在这些大洋中的大小不一的大陆碎块、多岛屿、海山,从南半球中纬度分布到北半球中纬度^[16]。伴随不同时期的大洋俯冲消减,散布于洋壳之上的地体相互拼贴并最终增生在大陆板块的边缘,使大陆增长。

大洋和大陆是全球统一体中相辅相成的两个方面,使大陆不断增长的洋陆构造作用主要表现在大洋板块的俯冲增生和地体碰撞的整体快速增生。板块构造和地体构造在动力学的来源和机理上是息息相关的。板块和地体,陆壳生长的缓慢铲刮与快速拼贴,应该是不同地质时期或同一时期不同区段的不同构造表现形式。

1.4 地体拼贴增生和裂解离散的形式和过程 地体的拼贴和增生被归纳为 3 种形式:俯冲碰撞型、会合停靠型和仰冲板片型^[10]。俯冲式是指俯冲板块上的地体被上叠板块上的地体逆冲覆盖。会合停靠型是一地体先与另一个地体或大陆边缘斜向碰撞,继之沿拼贴带走滑缝合。二地体拼合部位多有走滑型花岗岩焊结于两地体中。纯走滑作用形成的变形带宽度一般要比其它两种形式的变形带窄得多。仰冲板片式指俯冲板块在俯冲带,其上部被层劈逆冲到上叠的地体之上。

地体拼贴增生后,因后期陆内拉张或走滑作用,大陆可以再次被裂解,使一部分陆缘被拉伸或走滑变为离散地体。离散地体与原大陆之间就可以成为边缘海、陆壳盆地或走滑拉分盆地。如海南地体增生到东亚陆缘后因陆内微型扩张,在晚第三纪从陆缘朝南海方向离散,运动学上就是离散地体。如果一个大陆板块一部分呈楔状体与另一板块碰撞,则其前端为挤压逆冲,两侧则发生走滑挤出效应,导致离散地体的形成,我国西南的三江地区就有此类离

散地体.

1.5 地体运动形成的沉积盆地和能源矿产 沉积盆地可以在两种地体运动机制下形成. 第一种是前陆盆地. 当地体拼贴碰撞时, 会发生强烈的褶皱推复作用, 在其褶皱推复体的重荷作用下和波状起伏运移中, 地体碰撞带褶皱推复体的前缘发生沉陷, 形成地体碰撞型前陆盆地. 在川西和西昆仑甜水海地区, 广泛发育地体拼贴推复而成的三叠纪前陆盆地. 后期构造事件会导致原地体增生带中的断裂再次活动, 产生 A 型俯冲陆内变形, 在山前形成“再生前陆盆地”^[19], 以显著的台阶状逆断层和断层相关褶皱等脆性挤压变形构造为特征. 再生前陆盆地除塔北的库车之外, 吐哈盆地也可能是一个中新世代的再生前陆盆地. 油气勘探实践表明, 与板块和地体的碰撞造山密切相关的挤压型前陆盆地及其再生前陆盆地, 都是十分重要的含油气盆地.

第二种是离散形成的拉张盆地. 当离散的地体脱离大陆朝大洋方向拉张运移时, 其背后就形成拉张盆地. 其盆地基底性质完全取决于拉张的深度, 可以是洋壳的, 如第三纪形成的日本海, 也可以是陆壳的, 如海南地体后面的北部湾^[20]. 这种盆地也是一种较稳定, 规模大的含油气盆地.

中国地体构造研究发现, 许多地体具有独特的矿产类型和成矿专属性. 例如, 江南中段的九岭地体以富钨、锡、铌、钽矿产为特征, 而紧邻的怀玉地体则以富铬、镍、金、铜矿产为标志^[12]. 成矿专属性也间接反映出这两个地体的地壳亲缘性差异. 在两个地体缝合带, 既是构造混杂岩带, 也是岩浆作用活动带, 韧性剪切变形带, 因而是矿化热液迁移和叠加富集的有利场所, 常是金属矿产的主要成矿带. 全国闻名的特大型铜矿、特大型金矿、大型铅锌银矿, 均产在此部位, 并有铬镍矿和大型蛇纹石矿分布. 而远离缝合带进入地体内部, 矿化就明显减弱. 因此, 在地体的拼合地带, 特别是具备了构造变形、岩浆活动, 矿化热液 3 种条件的部位, 无疑是最有利的金属矿产找矿远景区.

2 中国地体构造研究方法上的进展

2.1 古地磁学和综合地球物理学 经典的地层学、古生物生态、岩石构造组合、构造几何学、比照研究学等仍是中国地体构造研究中的常用方法. 为了研究地体的原始位置及迁移演化史, 古地磁学越来越广泛应用于中国地体研究实践中. 已经有效地确定出一系列地体形成时的古位置、迁移中的古纬度变化及拼贴碰撞时的角度旋转. 不同地体的视极移曲线令人信服地揭示了各地体运移的精细过程^[21], 拼贴前后磁偏角的变化合理解释了拼贴增生中的动力学方式及旋转程度. 研究较详的有那丹哈达地体^[22, 23]、海南地体^[20]、九岭与怀玉地体^[24]、青藏地体群^[25, 26]、塔里木地体^[19]、苏北盆地^[27]等. 对各个大陆块和地体群进行其起源、迁移、定位过程及其与冈瓦纳大陆、劳亚大陆关系的古地磁研究, 将导致中国地体构造演化史上的全新认识.

2.2 含放射虫硅质岩的新认识 放射虫曾被用来恢复古沉积环境和古地理, 确定地体形成时代及迁移过程. 水谷等、张庆龙等、Ozawa^[28]在研究那丹哈达和美浓地体时发现美浓地体二叠纪灰岩的蜓科化石来源于赤道附近或东特提斯洋区, 三迭纪硅质岩也形于赤道附近. 对比表明, 在中国那丹哈达、日本列岛、俄国锡霍特阿林、菲律宾巴拉望和北婆罗洲等地, 三迭纪硅质岩中的放射虫和牙形刺均十分相似, 可能在整个中三迭世, 这些地区均为古特提斯洋位置. 微古生物的研究成果为东亚边缘中生代地体的演化提供了重要证据.

近年国际上对放射虫中的指相性有新的认识. 研究表明,放射虫多是浅海相的. 它是一种浮游生物,形成于 200 m 深度内的浅海,如现代挪威北部大陆架中就有放射虫生存(Charvet J, Caridroit M, 99. 1. 7. 信件). 放射虫死后其骨骼大多沉积在浅海,但也可漂移到深海域沉淀. 但是能够下沉到深海海底的放射虫是罕见的. 因超过海水中的碳酸盐补偿线后,放射虫骨骼大多被溶解掉了. 能证明深海相环境的是含放射虫硅质岩中的 Ce 元素含量要比较低,且有显著的 Ce 负异常这项判定标志^[29,30].

近年国内报道在新元古代赣东北蛇绿混杂岩中发现晚古生代放射虫硅质岩^[31],推测是深海相产物,代表一个可能的晚古生代板溪洋. 这一推论仍然是可商榷的. 然而,赣东北蛇绿岩套的新元古代时代是经过周新民等^[32],周国庆等^[33],徐备等^[34],邢凤鸣等^[35],李献华等^[86]多人用近代先进测年方法精确测定的,时间在 9~10 亿年左右. 舒良树等^[37]获高压蓝闪石单矿物 K-Ar 年龄:(866 ± 14) Ma. 这些数据至今无人能推翻否定之. 前人研究^[13,12,38,39,40]早已指出,江南造山带自新元古代碰撞造山后,曾经历过加里东期,印支期和燕山期三次极强烈的陆内构造活动,特别是印支期构造事件,是一次最强烈的中上地壳范围内的褶皱和推覆滑脱活动. 华东地区的褶皱形态,最终是在印支期定型的. 它不仅造成大规模的推覆构造,使元古代变质岩推覆到二叠纪煤层之上,如乐平县塔前所见. 而且还造成大范围普遍的滑塌构造,如在九岭山的南北两缘,璋公山的山前地带印支期的滑塌构造. 郭令智等最近提出^[41],印支期构造作用不仅造成前震旦纪浅变质岩上推于晚二叠世“乐平煤系”之上,而且使早二叠世的放射虫硅质岩被构造滑塌,卷入赣东北新元古代蛇绿混杂岩中.

由晚古生代放射虫引发的江南古构造环境与板溪洋问题,还会继续研究下去. 关键是要弄清放射虫及其硅质岩的沉积深度源区和环境,相信不久会有一个较肯定的答案.

2.3 地体边界运动学和动力学 变质-变形形迹包含了地体碰撞和离散运动的丰富信息,一直倍受重视. 根据集中保留在地体边界断裂带中的变质-变形构造,认真进行拉伸线理、剪切面理以及褶皱、劈理的测量统计,开展岩石矿物非同轴韧剪不对称组构、岩石组构、矿物晶轴优势定位的分析,能较精确地获得地体拼贴缝合时的力学性质和运动学动向,确定出多期变形的演变过程. 只要原始岩层底顶关系能被准确肯定,则由韧剪运动学要素得出的原始韧剪动向就是单一解. 这方面研究成果较多. 韧剪运动学研究程度较高的有天山东段^[42]、江南中段^[43]、福建东山等^[44].

地体动力学的定量研究在中国尚属探索阶段. 施建宁在其硕士论文(1989)中,曾用磁组构方法对浙东南地体边界的糜棱岩进行了动力学研究,论证了浙东南地体朝 NW 俯冲于闽西北地体之下的动力学过程. 莫宴情等^[20]采用磁偏角方法论证海南地体在中生代从大陆离散时有过明显的拉张和旋转动力学过程. 舒良树等^[24]也用磁偏角的方法研究了怀玉地体与九岭地体拼合时的运动学和动力学特征,揭示怀玉地体拼贴时曾发生过一次反时针旋转运动,对应一个从初始碰撞到左旋走滑拼贴的地球动力学过程.

2.4 岩石地球化学和同位素年代学 岩石地球化学方法对恢复古板块单元和形成的古环境或构造背景,十分有效,因而应用很广. 马瑞士等^[45]用它确定东天山地体多是大洋板块上的火山岛屿群. 杨树锋等^[46]用它在武夷山论证浙东南-闽西北地体为一早古生代钙碱性火山岛弧. 贾承造等^[47]用此方法恢复了东秦岭地体群在各个地质时期的构造环境. 但该方法有多解性,只有结合野外证据和产状,其结论才较可靠.

同位素年代学在确定地体形成时间、碰撞变形时间上是必不可少的。近 10 年我国同位素测年技术发展很快,拥有各种世界先进测年仪器,掌握了国际最新技术和方法。除 K - Ar 法和 Rb - Sr 法外,Sm - Nd 法、Ar - Ar 法、U - Pb 法和 Pb - Pb 法都是屡见不鲜的测年方法。谢国刚等^[48]用 U - Pb 法对庐山前震旦纪主要岩群和连续关系的变质岩系统测年,从底到顶分别获得(1 869 ±40) Ma、(917 ±36) Ma、(878 ±51) Ma、(793 ±156) Ma 年龄值,据此认为庐山所有前震旦系是原地隆升的产物,地质关系和年龄值不支持“庐山飞来峰”的观点。这为确定江南带的造山时间提供了新证据。

3 中国地体构造基本特征

中国地体多分布于古克拉通的边缘,或挟持于克拉通之间。克拉通内部构造相对稳定,构造 - 岩浆活动微弱,但它也有运动迁移^[21,49],其边缘多是活动剧烈的地体增生带。如华北克拉通,古地磁研究表明,其位置一直都在运动迁移。内部在太古代 - 早元古代活动强烈,中元古代 - 三迭纪构造稳定,但从侏罗纪开始,陆内断裂、褶皱、岩浆及其矿化热液都较发育^[49]。华北克拉通板块北缘、南西缘、东缘分别被天山 - 内蒙地体带(内蒙带的地体构造尚未被详细研究)、秦岭 - 大别地体带、鲁西地体增生带所环绕。秦岭 - 大别带就是华北与扬子两个克拉通板块的缝合带。

根据已经发表的文献,我国境内已鉴定并划分出大小不一近 60 个地体。这些地体或成带分布,或孤立状零星散布于造山带之中,其早先环境与现代东南亚的多岛海地貌颇为相似。按地理位置,中国地体大致可分为四个地体带,即华东带、西北带、西南带和中央带。每个地体带又可划分为若干个时代相近但性质各异的地体群,其时代从元古代到中生代。单个地体的规模从大于 10 000 km² 到不足 1 000 km²。

3.1 华东地体带 分布于华北板块东缘及扬子板块东南缘,呈 NE - NNE 方向展布。从大陆内部到沿海,从 NW 朝 SE 方向,依次排列着元古代江南地体群、新元古代东北 - 山东地体群,早古生代华南地体群和东部沿海中 - 新生代地体群。它们经历了自元古代到新生代多期的裂解离散、拼贴联合和碰撞增生等过程。

3.1.1 江南中 - 新元古代地体群 该地体群分布在 NE 走向、延亘 1 500 km 的狭长地带。其北界为东至 - 九江 - 大庸 - 龙江断裂带,其南界为绍兴 - 江山 - 萍乡 - 溆浦 - 桂林西断裂带。郭令智、施央申、马瑞士、卢华复等^[13]最先进行了地体研究,划分出会稽地体、怀玉地体、九岭地体、湘北地体、黔南地体(湘北与黔南又合称雪峰地体)和九万大山等 6 个元古代地体。徐备等^[40]从沉积学和同位素年代学、舒良树等^[12,50]从岩石构造组合、古地磁、岩石地球化学、边界运动学角度对赣北和皖浙赣边境区进行了系统研究。相对而言,江南西段地体的系统研究较薄弱。

江南地体群由中 - 新元古代沉积岩和火山岩所构成,其南东界的蛇绿岩 Sm - Nd 等时线年龄为(930 ±34) Ma 至(1 034 ±34) Ma^[32~36]。区内最老的变质岩,其 Sm - Nd 年龄为(1 930 ±162) Ma,为早元古代。该地体群经历了三期构造演化,即中元古代早期被动陆缘、中元古代活动陆缘岛弧 - 边缘海体系和新元古代地体构造^[12,39]。古地磁研究表明^[24],它们经历了一个从 SE 向 NW 的运动过程,古纬度有过 1 000 km 以上的位置迁移。古纬度和岩石组合对比研究认为,九岭和怀玉地体是元古代冈瓦纳大陆的一部分,拼贴前均位于赤道附近或南纬度区。怀玉地体具大洋地壳亲缘性,九岭地体具大陆地壳亲缘性。从新元古代中期开

始(大约 850 Ma),江南各地体彼此拼贴增生于扬子板块南东缘,拼贴时间为(850 ~ 760) Ma.沿地体拼贴带,蛇绿混杂岩、韧剪糜棱岩、S 型花岗岩均有分布.在赣东北地体拼贴带,存在高压变质蓝闪石 - 硬玉片岩残迹^[51,52],并测得蓝闪石 K - Ar 法年龄为(866 ± 14) Ma^[37],代表初始拼贴年龄.作为未变质的第一个区域沉积不整合,震旦纪底砾岩和砂岩区域性覆盖在江南地体群之上.拼贴后震旦纪的古纬度,怀玉地体为 N20.28°,九岭地体为 N15.39°^[53],二者纬度相近.

3.1.2 东北 - 山东元古代地体群 构成该地体群的岩石时代和江南地体群相似,为元古代,但它们增于大陆边缘的时代较晚,且在中、新生代经历了明显的离散或走滑作用.

东北佳木斯陆块内存在 2 个早元古代变质地体^[54],称作黑龙江地体和麻山地体,以西为张广才岭褶皱带.黑龙江地体由绿片岩化的沉积岩、火山碎屑岩和超镁铁 - 镁铁岩所组成,而麻山地体为一套陆缘碎屑岩块体,经历了强烈的高角闪岩相 - 麻粒岩相变质作用.两个地体在新元古代大致沿依兰 - 萝北断裂以俯冲碰撞形式拼合,拼贴带分布有超镁铁 - 镁铁质混杂岩.据曹熹等^[54],拼合之后,古生代发生了强烈逆冲推覆和韧性剪切,沿牡丹江断裂朝西走滑,形成糜棱岩带和区域绿片岩.中生代以来,其东缘那丹哈达 - 美浓一带发生裂解离散.

山东地区鉴定出三个元古代地体构造^[55],以郯庐断裂为界,其西为华北板块的元古代鲁西 - 辽东变质地体,其东为外来的鲁东复合地体.牟平 - 即墨断裂划分鲁东复合地体为胶北和胶南两个岛弧地体.胶北地体在 6 ~ 7 亿年期间朝 SE 碰撞逆冲拼贴于胶南地体之上.大约在三迭纪至早中侏罗世,鲁东地体以走滑停靠式沿郯庐断裂增生于鲁西地体之上.

3.1.3 华南元古代 - 早古生代地体群 就目前而言,华南地体群的研究程度还不高,同位素年龄较乱,岩石学、地层学和各地体的边界构造运动学尚未深入研究.该地体群呈 NE 向展布,其 NW 边界为江山 - 萍乡 - 溆浦 - 桂林西断裂,SE 边界为丽水 - 政和 - 大埔断裂.被这两大边界断裂所限的区域主要由中元古代 - 早古生代的沉积岩和火山岩、火山碎屑岩所组成,已发生区域绿片岩相变质作用.晚泥盆世砾岩和粗砂岩不整合覆盖于变质岩系之上.该区的岩石组合和生物群落与江南区、扬子区是完全不同的.

近十年来,在浙闽地区基底混合岩和片麻岩中获得了相当多的早、中元古代同位素测年数据,反映该区有一群古老的变质基底岩块,零星散布,面积不大,它们的原始位置无法确定,因而很难恢复其原貌.与其呼它为“华夏板块”倒不如称其为华南元古代 - 早古生代地体群,代表从元古代古陆块基础上发展而成的加里东复合构造带.郭令智、施央申、卢华复等划出 8 个地体^[10,13],即云开地体、南海地体、大瑶山地体、赣南地体、武功山地体、闽西北地体(武夷山地体)、皖东地体和宁镇地体.犹如诸多岛屿位于古华南海中,其古地理颇像今日东南亚之景观^[14].

杨树峰等^[56]对浙江地体构造进行了研究,划分出江南、浙东南、闽浙、东海等 4 个不同性质与时代的地体.在政和、建瓯等地发现枕状玄武岩和硅质片岩,论证浙东南是一中元古代变质基底加早古生代火山岛弧的复杂地体.建立了浙东南地体新元古代晚期沿江绍断裂与江南地体碰撞拼合,志留纪闽浙地体沿余姚 - 丽水断裂与浙东南地体碰撞拼贴的模式.有学者提出^[57]政和 - 大埔带是早古生代蛇绿混杂带,也有学者认为古生代是陆内造山与变形^[58].近年对武夷山南北边界韧剪带中糜棱岩的白云母和黑云母作 Ar - Ar 法测年,分别获

(421 ± 8) Ma(北界)和(391 ± 3) Ma(南界)的测年值^[59],表明志留纪末的构造事件导致了一期强烈的动力变质和韧剪变形。

粤西 - 桂东南地体(云开地体)和粤中地体是发育在云开大山地区具不同地质发展历史的两个地体构造,前者由元古代古陆碎块演变而来,后者则主要由古生代沉积岩夹火山岩所组成。研究表明^[60],粤西 - 桂东南地体是加里东期沿罗定 - 云浮断裂朝江南地体群拼贴和增生的变质地体,海西期末再次受到挤压而陆内变形褶皱。而粤中地体则是海西期沿四会 - 吴川断裂朝云开地体拼合的地层地体。在地体的边界,广泛发育韧剪变形糜棱岩和碰撞型花岗岩。云开地体边界还发现蓝晶石 - 十字石中压变质矿物。

3.1.4 华东沿海中、新生代地体群 该地体群的 NW 边界为政和 - 大埔断裂,SE 边界则在台湾以东海域。绝大部分地域为中生代火山岩所覆盖。鉴定出的地体构造有东北的那丹哈达地体^[22,23]、南溪地体^[13]、东山地体^[44,61]、钦州地体^[62,63,64]、海南地体^[65,66]、东海地体^[67]、台湾东部地体^[13]、台湾西部地体^[13]和台湾海岸山脉地体等^[13]。

对比研究发现,那丹哈达地体侏罗纪 - 白垩纪的地层、岩石组合、构造特征、放射虫类型与形态等与日本美浓地体完全一致,说明两者当时是统一体。古地磁研究表明^[68],那丹哈达 - 美浓主要来自低纬度地区,它是在中晚侏罗世与来自高纬度区的佳木斯地体拼合在东亚陆缘的。晚中生代东亚陆缘裂解作用使美浓地体离散出去,到晚第三纪日本海完全形成时该地体才定位到现在位置上。

卢华复等^[44]认为福建东山地体变质岩的原岩有一部分是早古生代火山岩,他将中生代构造演化分为三期。碰撞前,闽台地区是一个火山岛弧区。长春海山在 166 Ma 与闽台微大陆碰撞,闽台区火山岩变为变质基底。早白垩纪晚期,闽台微大陆与闽浙火山弧沿长乐 - 南澳断裂发生斜向碰撞,形成左旋韧剪带。稍后又发生右旋挤压转换作用,伴有 120 Ma 的酸性岩体沿斜碰撞带侵入,并形成一个前陆磨拉石盆地。强调长乐 - 南澳带是地体拼贴带。郭令智等^[13]认为出露在大片中生代火山岩中的福鼎南溪村石炭系复理石是海西 - 印支期南溪地体的残块。王德滋等^[69]提出长乐 - 南澳带是一个发生在陆内的断裂区域变质带。任纪舜等^[38]称其为中生代陆内断裂带,认为日本中央构造线 - 台湾纵谷带是中生代大洋俯冲带。

郭令智等 1990 年把台湾划分为东部、西部和海岸山脉三个地体,认为中生代西部火山弧是华南陆缘的增生体,而东部新生代火山弧和海岸山脉地体则是吕宋火山弧的一部分,晚第三纪才斜向碰撞拼贴于西部地体之上,台湾海峡是陆壳基底的新生代前陆盆地。

何春荪^[70]在《台湾地质概论 - 台湾地质图说明书》中,把板块构造分为两期:中生代古太平洋板块沿中央纵谷带向西俯冲,形成玉里高压蓝片岩带和太鲁阁低压硅线石片麻岩带以及台西 - 华东南火山弧;早第三纪,菲律宾板块沿琉球 - 吕宋海沟向西俯冲,形成琉球 - 台东 - 吕宋火山弧及冲绳海槽,我们推测此时还形成了台湾纵谷边缘海。上新世欧亚板块与菲律宾板块碰撞,导致纵谷边缘海朝东向台东火山弧下冲而关闭,形成一系列朝东倾斜的冲段带、台西上新世前陆盆地(可能包括台湾海峡)和利吉混杂岩。中晚更新世头科山 - 卑南山磨拉石覆盖于整个台湾岛之上。看来,目前多数人都把台湾纵谷带 - 日本中央构造线定为中生代古太平洋板块俯冲带的位置。

杨树峰等^[56]提出的东海地体位于东海海域,是一套强磁性的正变质岩,以花岗片麻岩为主,Rb - Sr 等时线年代为 1 680 Ma。地球化学特征上表明其原岩是从地幔源区衍生的中

酸性火成岩. 该地体原先位于大洋中, 晚侏罗世增生于闽浙火山弧地体之上. 劳秋元^[67]也得出了相似的结论. 该地体的源区位置尚未查明.

海南岛地体为研究冈瓦纳大陆, 推论古地中海朝东亚延伸具重要启迪意义. 古地磁成果揭示了海南岛白垩纪以来与两广陆缘相对位置的演化^[20]. 杨树峰等^[65]用古地磁和地质构造相结合的方法, 将海南联合地体划分为琼中和崖县 2 个冈瓦纳大陆亲缘性地体, 并报道了二叠纪冰积岩. 古生代它位于南半球, 中生代从冈瓦纳大陆分裂向北漂移和旋转, 于中白垩世在 N11 沿九所 - 陵水断裂拼贴. 此后又与钦州地体碰撞, 晚第三纪向南离散并逐渐运移到现在的位置.

钦州地体是位于沿海, 但形成于早古生代晚期, 拼贴增生在印支期的一个特提斯亲缘性地体. 虞子治^[64]通过对志留纪 - 中泥盆世沉积岩的岩石化学研究后提出是 - 大西洋型陆源地体, 矿物和结构成熟度较高. 张伯友、俞鸿年^[63]提出钦州弧间洋盆在三叠纪闭合最剧烈, 伴有大型推覆构造、韧剪变形和焊接型花岗岩的发育. 碰撞后, 上三叠统和下侏罗统磨拉石不整合其上. 近东西向钦州地体是南岭构造 - 岩浆带的重要单元, 朝 NE 可能延伸到了广东英德和江西三南地区.

3.2 华西北古生代地体带 李春昱、王荃^[71]在 20 世纪 80 年代初把中国北部边陲及邻区划分为塔里木 - 中朝、哈萨克斯坦和西伯利亚等 3 个古板块. 认为哈萨克斯坦很可能原是西伯利亚大陆的一部分, 古生代从西伯利亚大陆裂解出来, 形成许多岛屿, 散布于古大洋中, 其格局相似于新生代的东南亚. 科尔曼^[72]对华西北及邻区的地体开展研究, 将其分为 13 个地体, 划归 4 种类型. 即大陆碎块地体类(塔里木地体、伊犁地体)、洋壳地体(巴尔喀什地体、东准噶尔地体、西准噶尔地体、额尔齐斯 - 斋桑地体)、岛弧地体(Tarbatay - Chingiz 地体、阿拉山口地体、博格达地体)、复合地体(阿尔泰地体、吐鲁番地体、天山地体、准噶尔地体). 他认为, 古亚洲南缘陆壳是通过古特提斯洋的俯冲和火山弧的增生, 一直到二叠纪才固结的. 古新世印度板块沿亚洲南缘的碰撞使古生代形成的大型推覆和走滑断层重新活动, 导致古亚洲陆壳增生史的错综复杂. 不少地体缝合线被破坏, 也导致古生代板块地体原始框架被改造变形.

20 世纪 80 年代末, 马瑞士等^[45]、王超等^[73]根据地质新资料和地球化学数据, 在东天山划分出 4 个非冈瓦纳亲缘的地体构造, 分别是博格达石炭纪中基性岩浆岛弧地体、哈尔里克晚古生代酸性岩浆岛弧地体、中天山 - 雅满苏石炭纪钙碱性岛弧地体以及含图瓦贝的荒草坡早古生代地层地体. 这些地体散布于古生代东西向延伸的中 - 蒙大洋中, 晚古生代末随着大洋的关闭, 这些地体先后拼贴, 并于晚石炭世 - 早二叠世最终增生于古大陆的边缘. 各个地体的边界, 或者以蛇绿混杂岩为界, 或以大型推覆韧剪带为界. 据地层、古生物和古地磁资料, 马瑞士等^[17]认为哈萨克斯坦、伊犁、塔里木、柴达木、吐哈、扬子等地区至少在震旦纪一直到中寒武世, 其沉积环境、古气候、古生物和岩性都非常相似, 都有震旦纪冰碛岩, 都有寒武纪 U - V - Co - Mo - P 的碳硅岩系, 都有寒武纪古杯类动物和球接子类三叶虫. 认为它们是一个形成于低纬度的统一超大陆, 称塔扬古陆. 该古陆是在晚寒武世才陆续裂解漂移形成地体的. 舒良树等^[42]对东天山各边界断裂进行了详细运动学研究, 认为在晚古生代碰撞期和稍后的陆内俯冲期均发生过先推覆、后走滑的韧性变形演化. 随推覆构造位的不同, 发生深层次辉石相、中层次长石 - 石英相韧性变形和浅层次脆性褶皱破裂. 沿拼贴增生带, 发

育一系列阿尔卑斯型蛇绿岩碎块和逆冲迭瓦状推覆岩片。

高俊等^[74]发现南天山北缘库米什早古生代边缘海关闭时产生的高压蓝闪石片岩和哈尔克山深源高压榴辉岩,对认识天山地壳结构和演化具有重要意义。舒良树等^[75,76]对库米什和尾亚早古生代蛇绿混杂岩的基性麻粒岩碎块和辉石相韧性变形进行了研究,认为天山之下曾经存在过一个下地壳麻粒岩物质层,可分为地壳拉伸和大陆碰撞二种形成机制,它们的隆升折返则经历了一个近等温降压上升—中地壳韧性变形—后期剥蚀或推覆等复杂动力学过程。

地体拼贴或增生造山后仍然有复杂的陆内变形,这方面在我国西北地区突出表现在中、新生代的盆—山变形作用及盆—山藕合机制。没有板块碰撞却有强烈造山,盆地向造山带俯冲却有巨厚沉积,盆山交接带多以走滑断层相藕合,为世界所独有。中外学者对塔里木、准噶尔盆地的形成背景认识分歧较大,或认为是拉张性质的残留边缘海盆地,或认为是挤压性质的再生前陆盆地^[19]。新疆盆地构造独特,深入研究必将对大陆动力学认识有重要科学意义。

3.3 华西南川西—青藏高原地体带 由于地处荒僻,工作条件恶劣,华西南地区的地体构造目前仍处于粗线条的划分阶段,划分出的地体其规模较大,实际情况可能比现在的划分要复杂的多。此地体带可概括为 5 大特征:(1)地体规模很大,地势最高,形成时代相对较新。(2)地体均增生于印度大陆和欧亚大陆的边緣。地体拼贴时代不一,从晚泥盆世南、北昆仑地体的拼贴一直到晚白垩世江孜与拉萨地体的拼贴,拼贴时间跨度大。地体的拼贴缝合大多经历了俯冲—碰撞—逆冲推覆和走滑等复杂运动学过程。(3)各地体岩石地层时代不一,从元古代到中生代都有,物质来源多样,既有活动陆缘的,如巴颜喀拉地体,也有亚洲古陆的裂解碎块,如南、北昆仑、里龙门山地体等,还有冈瓦纳大陆碎块,含特征冈瓦纳型生物群和晚石炭世—早二叠世冰水沉积物,如羌塘、藏北、江孜、拉萨等地体。(4)地体走向近东西。在空间排列上,具北老南新的地体拼贴极向性。(5)在地体缝合带,普遍发育蛇绿混杂岩、高压变质岩、S 型花岗岩和糜棱岩。

卢华复等^[77]在川西—藏东划分出藏北、羌塘—印支、中咱、里龙门山、汶州和唐王寨等 6 个地体。藏北地体位于班公—怒江蛇绿岩带的 SW 侧,雅鲁藏布江缝合带之北。它是冈瓦纳古陆的碎片,发育石炭纪冈瓦纳型冰川沉积和粗凤尾蕨植物。羌塘—印支地体位于班公—怒江侏罗纪蛇绿岩带的 NE 侧,从羌塘高原向 SE 经藏东再朝南一直延到云南西部。石炭纪发育大量冈瓦纳型动、植物,但二叠纪时在羌塘又发育有华夏型植物群,石炭纪—二叠纪之交则有特提斯型动物群。二叠纪时古纬度为南纬 20°~30°,和扬子板块在同一纬度上。纬向上的不断漂移是导致冷水型动物群与暖水型动物群混生的原因。羌塘—印支地体被认为是基梅里大陆的一部分,从冈瓦纳古陆分出,并在中三迭世—侏罗纪与藏北地体碰撞拼贴。

中咱地体以金沙江蛇绿混杂带与羌塘地体接触。震旦纪到泥盆纪,均为浅海碳酸盐岩组合。泥盆纪—二叠纪为连续浅海相沉积,具特提斯型动物群。二叠纪末与羌塘地体拼贴,导致金沙江俯冲带跃迁到甘孜—里塘一带,两个地体被三叠纪的火山岩层统—覆盖。

里龙门山地体的地层和岩性与扬子板块相似,但变质程度差别极大。它原是扬子大陆西缘一部分,是在晚二叠世或早三叠世才从扬子大陆分离出来,在晚三叠世与玉树—义敦火山弧碰撞产生区域变质作用,并形成外龙门山前陆推复带。

汶州地体是一个元古代中酸性火山岩—火山碎屑沉积岩地体,已发生角闪岩相变质,被

震旦纪和晚古生代岩层不整合覆盖,缺失早古生代沉积。晚古生代岩石组合和扬子板块相似,表明该地体在早古生代尚未和扬子大陆连接,到晚古生代才增生拼合。

唐王寨地体是一个外龙门山的推复体,由巨厚的泥盆纪碳酸盐岩和碎屑岩所组成。二叠纪发生强烈推复构造作用,发育台阶状逆断层和断层相关褶皱,构成外龙门山前陆盆地和褶皱冲断带。

除藏北地体外,上述 5 个地体均被晚三叠世浅海相 - 陆相含煤沉积岩层所统一覆盖,构成一个复合的地质体。到侏罗纪,上述的六个地体已经完全统一。到新生代,受喜山碰撞事件的影响,上述地区发生强烈陆内变形,以推复构造和大型走滑构造为特征,伴有滑脱伸展构造。

根据绿蛇岩带的分布及其所分割的地质体,夏斌^[78,79]将西藏划分为 34 个地体,分属三大类成因系列,即洋壳亲缘的蛇绿岩地体、新特提斯亲缘蛇绿岩地体、华夏、扬子古陆亲缘地体、冈瓦纳古陆亲缘地体。与此同时,鉴定出了 3 条与地体群拼贴有关的焊接岩浆弧,三大拼贴覆盖层,即昌都晚三叠世 - 侏罗纪海陆交互相覆盖层,唐古拉侏罗纪浅海相覆盖层和西瓦利克第三纪陆内沉积覆盖层。始新世后,青藏高原结束了特提斯演化历史,以陆内 A 型俯冲,增厚隆升为特征。作为地体几何学研究和划分,夏斌的研究成果对人们具有重要的启迪作用。

综合地学断面上的地球物理深部构造特征,吴功健等^[25]把青藏高原划分出 4 个构造带、5 大缝合线、6 个地体构造。从北向南依次为:昆仑构造带、可可西里 - 唐古拉构造带、冈底斯 - 念青唐古拉构造带和喜马拉雅构造带。6 个地体分别是:北昆仑、南昆仑、巴颜喀拉、羌塘、拉萨、江孜等地体。夹持于 6 个地体之间的 5 大缝合线是中昆仑、南昆仑、金沙江、澜沧江、雅鲁藏布江。这 6 个地体原先都位于南半球中 - 低纬度区,后因漂移先后拼贴增生到欧亚大陆边缘。青藏地体拼贴碰撞经历了 4 个运动学演化阶段:碰撞挤压、逆冲叠覆、区域变质、褶皱变形、走向滑移、韧性剪切、拉伸滑脱、断块活动。腾吉文等^[26]基于青藏高原巨厚的地壳结构和复杂的地球物理场特征,提出依据地震活动和波动标志、岩石圈结构与速度场标志、古地磁标志、位场标志、温度场标志、地质与构造标志作为地体划分的原则,从北向南将青藏高原及邻区划分为 7 个地体:柴达木、昆仑、可可西里 - 巴颜喀拉、羌塘、拉萨 - 冈底斯、喜马拉雅和印度恒河等地体。吴功健等和腾吉文等的工作,为人们提供了一个用地球物理标志划分地体的方法论。

3.4 中央造山系秦岭 - 大别地体带 该地体带呈东西向展布,原先以大陆碎块或岛弧的面貌散布于秦岭 - 大别古大洋中,现代的位置代表华北与扬子板块在印支期发生碰撞缝合的部位。刘本培等^[80]、方国柱^[81]、胡受奚^[82]、钟振球^[83]、田在艺^[84]、张国伟^[88]等都作了大量研究,基本一致认为该带是一个海西 - 印支期的地体拼贴和增生造山带。

东段大别一带划分出了大别元古代 - 太古代变质地体、水营新元古代 - 早古生代火山弧地体、北淮阳新元古代 - 石炭纪的混杂地体^[81]。大别地体群拼贴时代比秦岭地体群为晚,从早古生代末期才开始,结束于白垩纪之前。沿信阳 - 晓天 - 磨子潭印支期缝合带,蛇绿混杂岩、高压变质岩、超高压变质岩、逆冲推覆带、韧性剪切带非常发育。该带近年最突出的成果是在大别山区发现来自 100 多公里深处的超高压含柯石英榴辉岩^[85,86]以及含金刚石榴辉岩^[87],表明大陆碰撞导致的 A 型俯冲可深达上地幔。

到目前为止,秦岭段尚无超高压变质岩的报道.西段的东秦岭已划分出武当、神农架、黄陵、陡岭、汉南和碧口等 6 个地体^[47],均被震旦纪粗碎屑岩层不整合覆盖.震旦纪前,它们位于秦岭大洋之中.武当地体是洋底高原,神农架地体可能是从华北板块分裂而来的陆壳块体,黄陵地体是大陆深变质基底碎块,陡岭地体是大洋地壳亲缘地体,汉南地体和碧口地体都是大洋岛孤地体.10~8 亿年,它们彼此拼贴并增生在扬子板块的北缘,沿拼贴带高压变质岩发育.在此期间,华北板块的南缘则表现为俯冲机制的沟-弧-盆复合体系.

东秦岭造山带经历了 4 期构造演化^[47]: (1) 中-新元古代碰撞前阶段.在华北板块南缘发育熊耳山沟-弧系活动陆缘,在扬子板块北缘则为地体增生型活动陆缘. (2) 震旦纪-早古生代构造转化阶段.扬子北缘从地体增生阶段通过离散作用转变为沟弧盆体系活动陆缘,而华北南缘则转变为被动陆缘. (3) 古生代-早中生代碰撞阶段.初始碰撞发生在晚奥陶世,早、中三叠世才完成最后缝合,缝合带在红花铺-二郎坪-马畈一带.由于古秦岭洋的封闭,产生一系列大型推覆和滑脱构造以及高压变质作用,形成东西向新特提斯型造山带. (4) 晚中生代碰撞后阶段.发育大规模板内 A 型俯冲和中生代花岗斑岩的岩浆活动.

西秦岭一带,继商丹蛇绿混杂岩带之后,近年又发现南侧的勉略蛇绿混杂岩带^[88],代表晚古生代-中生代初的小洋盆.在西秦岭鉴定出一个凤微地体^[89],是一个由三叠纪滑塌堆积岩组成的中生代地体.它原先位于低纬度区,随板块漂移,最终到达现代位置.

4 主要结论

(1) 中国地体都分布在古克拉通板块的边缘,可分为华东、西北、西南和中央等 4 个地体带,一系列地体群和数 10 个地体.

(2) 地体基本上是外来的、移置的和有来源的,均有过洋壳上的构造迁移过程,代表消失了的古板块单元碎片.

(3) 以巨大断裂带为边界的地体构造具有多种成因类型和地壳亲缘性,对地体类型的研究和划分可为研究复杂的碰撞造山带奠定基础.

(4) 地体增生有俯冲碰撞、板片冲断和会合停靠等 3 种方式,地体离散有拉伸和走滑(包括挤出走滑)2 种方式,地体增生和离散是一个复杂演化过程,必须在重视野外观察和地质证据的基础上进行艰苦的板块构造再造研究.

(5) 理论思维上应以板块学说为指导^[90],将地体构造和碰撞构造理论结合起来,利用现代测试方法和高新技术进行开拓研究,才能有全新的理论突破.

(6) 地体构造理论并不是一门独立学科,它还要不断发展和完善,不应将它与板块构造学说对立看待.作为板块构造学说的重要补充和研究进展,已经在并将继续在大陆内部及其造山带研究中发挥作用.

致谢 谨以此文纪念地体构造理论应用于中国地质具体实践 15 年.感谢王德滋院士对本文的帮助.文中引用了不少国内同行的研究成果,一并致谢.

参 考 文 献

- [1] 郭令智,施央申,马瑞士,等.论地体构造-板块构造理论研究的最新问题.中国地质科学院院报, 1984, (10): 27~34.
- [2] Jones D L, Cox A V, Coney P J, *et al.* The growth of western North America. Science American, 1983, 147: 70~84.

- [3] Monger J W H, Ross C A. Distribution of fusulinaceans in the western Canadian Cordillera. *Can J Earth Sci*, 1971, 8: 258~278.
- [4] Irvin E, Yole R W. Paleomagnetism and kinematic history of mafic and ultramafic rocks in the mountain belts. *Earth Physics Branch Publications EMR*, Ottawa, Out, 1972, 42: 89~95.
- [5] Coney P J, Jones D L, Monger J W H. Cordilleran suspect terranes. *Nature*, 1980, 288: 329~333.
- [6] Howell D G, Jones D L, Scherbner E R. Tectonostratigraphic terrane of the Circum Pacific region. *Houston: Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources (以下简称 CPCEMR)*, 1986. 3~30.
- [7] Schermer E R, Howell D G, Jones D L. The origin of allochthonous terranes. *Ann Rev Earth Planet Sci*, 1984, 12: 107~131.
- [8] Mizutani S, Hattori I. Hida and Momo: Tectonostratigraphic terranes in central Japan. *Tokyo: Accretionary Tectonics in Circum Pacific Region, Terra Sci Publ Co*, 1983. 169~178.
- [9] 卢华复, 张庆龙, 贾东. 地体概念与研究现状. *山西地质*, 1990, 5(1): 61~69.
- [10] Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Lu Huaifu, *et al.* Terranes of South China. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 281~282.
- [11] Shi Yangshen, Guo Lingzhi, Ma Ruishi, *et al.* Tectonostratigraphic terranes of the coastal region of Southeast China. In: Leitch E C and Scheibner E, eds, *Terrane Accretion and Orogenic Belts, Geodynamics Series*, 1987, 19: 259~262.
- [12] 舒良树, 施央申, 郭令智, 等. 江南中段板块 - 地体构造与碰撞造山运动学. 南京: 南京大学出版社, 1995. 1~174.
- [13] 郭令智, 施央申, 马瑞士, 等. 中国东南部地体构造的研究. *南京大学学报(自然科学)*, 1984, 20(4): 732~739.
- [14] 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分. *地球科学*, 1999, 24(1): 1~12.
- [15] 陈海泓, 肖文交. 多岛海造山作用 - 以华南印支期造山带为例. *地质前缘*, 1998, 5(增刊): 95-1-2.
- [16] 卢华复, 施央申, 张庆龙, 等. 地体构造的研究现状与展望. 施央申, 卢华复, 马瑞士, 孙岩主编, *现代地质学研究文集(下)*, 南京: 南京大学出版社, 1994. 1~11.
- [17] 马瑞士, 叶尚夫, 王赐银, 等. 东天山古生代碰撞造山带构造演化若干问题. 施央申, 卢华复, 马瑞士, 孙岩主编, *现代地质学研究文集(下)*, 南京: 南京大学出版社, 1994. 32~44.
- [18] 舒良树, 孙岩, 王德滋, 等. 华南武功山中生代伸展构造. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(5): 431~438.
- [19] Lu Huaifu, Jia Dong, Chen Chuming, *et al.* A new model deduced from Kapin transpression tectonics and its implications to the Tarim basin. *Pro 30th Int Geol Congr*, 1997, 14: 196~202.
- [20] 莫宴情, 施央申. 海南岛地体及其毗邻陆缘晚中生代 - 新生代古地磁研究和构造演化. *南京大学学报(自然科学)*, 1987, 23(3): 521~532.
- [21] Lin Jinlu, Fuller M, Zhang Wenyong. Paleogeography of the North and South China blocks during the Cambrian. *Journal of Geodynamics*, 1985, 2: 91~114.
- [22] 水谷伸治郎, 邵济安, 张庆龙. 那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系. *地质学报*, 1989, (3): 204~215.
- [23] 张庆龙, 水谷伸治郎, 小崎智, 等. 黑龙江省那丹哈达地体构造初探. *地质论评*, 1989, 35(1): 67~71.
- [24] 舒良树, 孙岩, 李雅锦. 江南造山带中段古地磁特征及其构造意义. *南京大学学报(自然科学)*,

- 1993, 29(1): 125 ~ 134.
- [25] 吴功健, 肖序常, 李廷栋. 青藏高原的亚东 - 格尔木地学断面. 地质学报, 1989, (4): 285 ~ 296.
- [26] 腾吉文, 张中杰, 扬顶辉, 等. 青藏高原地体划分的地球物理标志研究. 地球物理学报, 1996, 39(5): 629 ~ 641.
- [27] 王良书, 施央申. 油气盆地地热研究. 南京: 南京大学出版社, 1989. 1 ~ 127.
- [28] Ozawa T. Permian fusulinacean biogeographic provinces: Asia and their tectonic implications. In: Taira A and Tashiro M, eds, Historical biogeography and plate tectonic evolution of Japan and Eastern Asia. Terra Sci Publ Tokyo, 1987, 45 ~ 63.
- [29] Hiroshi Shimizu, Akimasa Masuda. Cerium in Chert as an indication of marine environment of its formation. Nature, 1977, 266(24): 346 ~ 348.
- [30] Richard W Murray, Marilyn R, Buchholtz ten Brink, *et al.* Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. Geology, 18: 268 ~ 271.
- [31] 赵崇贺, 何科诏, 莫宣学, 等. 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, 1995, (23): 2161 ~ 2163.
- [32] 周新民, 邹海波, 扬杰东, 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. 科学通报, 1989, 34(16): 1243 ~ 1245.
- [33] 周国庆, 赵建新. 华南扬子克拉通东南缘赣东北蛇绿岩 Sm - Nd 同位素研究. 科学通报, 1991, 36(2): 129 ~ 132.
- [34] 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. 南京大学学报(地球科学), 1989, (3): 108 ~ 114.
- [35] 邢凤鸣, 徐祥, 陈江峰, 等. 江南古陆东南缘晚元古代大陆增生史. 地质学报, 1992, 66(1): 59 ~ 72.
- [36] 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. 地球化学, 1994, 23(2): 125 ~ 131.
- [37] 舒良树, 周国庆, 施央申, 等. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究. 科学通报, 1993, 38(20): 1879 ~ 1882.
- [38] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1990. 1 ~ 205.
- [39] 孙岩, 施泽进, 舒良树, 等. 层滑 - 倾滑断裂构造与油气地质研究. 南京: 南京大学出版社, 1991. 1 ~ 181.
- [40] 徐备, 郭令智, 施央申. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带. 北京: 地质出版社, 1992. 1 ~ 112.
- [41] 郭令智, 俞剑华, 施央申, 等. 海沟岛弧后盆地复合体系. 陈述彭主编, 地球系统科学, 北京: 中国科学技术出版社, 1998. 294 ~ 296.
- [42] 舒良树, 马瑞士, 郭令智, 等. 天山东段推复构造研究. 地质科学, 1997, 31(4): 375 ~ 383.
- [43] Shu Liangshu, Charvet Jacques. 1996, Kinematic and geochronology of the Proterozoic Dongxiang-Sheixian ductile shear zone (Jiangnan region, South China). Tectonophysics, 267(1 ~ 4): 291 ~ 302.
- [44] Lu Huafu, Jia Dong, Wang Liangshu, *et al.* Tectonic evolution of the Dongshan terrane, Fujian Province, China J S Am Earth Sci, 1994, 7: 349 ~ 365.
- [45] 马瑞士, 王赐银, 叶尚夫, 等. 东天山构造格架及地壳演化. 南京: 南京大学出版社, 1993. 1 ~ 225.
- [46] 杨树锋, 陈汉林, 武光海, 等. 闽北早古生代岛弧火山岩的发现及其大地构造意义. 地质科学,

- 1995, 30(2): 105 ~ 116.
- [47] 贾承造,施央申,郭令智. 东秦岭板块构造. 南京: 南京大学出版社, 1988. 1 ~ 130.
- [48] 谢国刚,李均辉,李武显等. 庐山前震旦纪岩石中锆石 U - Pb 法定年与其地质意义. 地质科学, 1997, 32(1): 110 ~ 115.
- [49] 胡受奚,林潜龙. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿. 南京: 南京大学出版社, 1988. 1 ~ 558.
- [50] Shu Liangshu, Shi Yangshen. A study of the middle-late Proterozoic terranes in North Jiangxi, eastern China. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 301 ~ 3042.
- [51] 舒良树,周国庆. 赣北元古代地体拼贴带中高压变质矿物的发现及其构造意义. 南京大学学报(自然科学), 1988, 24(3): 421 ~ 429.
- [52] 周国庆,舒良树,吴洪亮. 与赣东北元古代蛇绿岩有关的高温高压变质岩和重变质作用机制的研究. 岩石矿物杂志, 1989, 8(3): 220 ~ 231.
- [53] Shi Yangshen, Shu Liangshu, Brewer B C, *et al.* Late Proterozoic terrane tectonics in the central Jiangnan belt, South China. Journal of South American Earth Sciences, 1994, 7(3/4): 367 ~ 375.
- [54] 曹熹,张兴洲,张贻侠,等. 佳木斯复合地体的构成和演化. 施央申,卢华复,马瑞士,孙岩主编,现代地质学研究文集(下),南京: 南京大学出版社, 1994. 147 ~ 153.
- [55] 贾东,何永明,施央申. 鲁东联合地体的形成及其构造演化. 南京大学学报(地球科学), 1990, (1): 34 ~ 42.
- [56] 杨树锋,陈汉林,方大钧,等. 浙江地体构造的基本特征及其演化. 南京大学学报(地球科学), 1991, (3): 210 ~ 219.
- [57] 汪新,杨树锋,施建宁,等. 浙江龙泉碰撞混杂岩的发现及其对碰撞造山带研究的意义. 南京大学学报(自然科学), 1988, 24(3): 367 ~ 378.
- [58] 周新民,朱云鹤. 中国东南部晚元古代碰撞造山带与地缝合带的岩石学证据. 李继亮主编: 东南大陆岩石圈结构与地质演化, 北京: 冶金工业出版社, 1993. 87 ~ 97.
- [59] 舒良树,卢华复, Charvet J, 等. 武夷山北缘断裂带运动学研究. 高校地质学报, 1997, 3(3): 282 ~ 292.
- [60] 陈焕疆,廖宗廷,景学立. 论江绍 - 武夷 - 云开古生代地体构造碰撞带. 施央申,卢华复,马瑞士,孙岩主编,现代地质学研究文集(下),南京: 南京大学出版社, 1994. 99 ~ 106.
- [61] 卢华复,贾东,郭令智,等. 闽台微大陆的组成与碰撞史. 李继亮主编,东南大陆岩石圈结构与地质演化. 北京: 冶金工业出版社, 1993. 12 ~ 26.
- [62] 丘元禧. 广东省区域构造演化及基本特征. 广东地质, 1992, 7(1): 1 ~ 26.
- [63] 张伯友,俞鸿年. 粤西海西印支碰撞带深层次推复构造. 北京: 地质出版社, 1994. 1 ~ 121.
- [64] 虞子冶. 广西钦洲盆地志留纪 - 中泥盆世板块构造背景的判定. 南京大学学报(地球科学), 1988, (1): 28 ~ 39.
- [65] 杨树锋,虞子冶,郭令智,等. 海南岛的地体划分、古地磁研究及其板块构造意义. 南京大学学报(地球科学), 1992, (1 - 2): 210 ~ 219.
- [66] 虞子冶. 海南岛早二迭世冰海相沉积的确定及其地质意义. 南京大学学报(自然科学), 1989, 25(1): 108 ~ 119.
- [67] 劳秋元. 东海的构造地层地体. 施央申,卢华复,马瑞士,孙岩主编,现代地质学研究文集(下),南京: 南京大学出版社, 1994. 81 ~ 91.
- [68] 张世红,施央申. 黑龙江省东部地体运动的古地磁证据. 南京大学学报(自然科学), 1992, 28(2): 297 ~ 301.

- [69] 王德滋, 马瑞士, 王赐银, 等. 断裂区域变质作用与混合岩化作用、花岗岩化作用研究. 南京大学学报(自然科学), 1985, 21(3): 537~544.
- [70] 何春荪. 台湾地质概论 - 台湾地质图说明书. 台湾地质调查所, 1994, 1~163.
- [71] 李春昱, 王荃. 我国北部边陲及邻区的板块构造与欧亚大陆的形成. 中国北方板块构造文集(1), 沈阳: 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所, 1983. 3~16.
- [72] Coleman R G. Continental growth of Northwest China. *Tectonics*, 1989, 8(3): 621~635.
- [73] Wang Chao, Ma Ruishi, Ye Shangfu. Allochthonous terranes in Eastern Tianshan, Northwest China. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 257~260.
- [74] 高俊, 肖序常, 汤耀庆, 等. 南天山库米什蓝片岩的发现及其大地构造意义. 中国区域地质, 1993, (4): 344~347.
- [75] 舒良树, 王赐银, 马瑞士. 南天山北缘麻粒岩残迹与辉石相韧性变形特征. 地质科学, 1996, 31(4): 375~383.
- [76] 舒良树, 王赐银, 马瑞士. 对榆树沟麻粒岩问题的补充说明. 地质科学, 1998, 32(3): 337~350.
- [77] Lu Huafu, Dong Huogen, Den Xiyang, *et al.* Preliminary study of the terranes in West Sichuan. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 261~268.
- [78] Xia Bin. Terranes of Tibet, China. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 231~240.
- [79] 夏 斌主编. 喜马拉雅及邻区蛇绿岩和地体构造图说明书. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993. 1~41.
- [80] Liu Benpei, Zhou Zengguo, Li Xiang. Terrane accretion and continent collision between the Sino Korean plate and the South China plate during the Hercynian-Indosinian orogeny. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 305~306.
- [81] Fang Guozhu. Recognition of tectonostratigraphic terranes in the Dabieshan region, Central China. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 307~309.
- [82] Hu Shouxi, Chen Zeming, Zhou Shunzhi, *et al.* Structure of the southern margin of the North China platform. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 317~318.
- [83] Zhong Zengqiu. Mylonites of the East Qinling Proterozoic terrane. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 319~320.
- [84] Tian Zaiyi. Terrane amalgamation and superposition in North China. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L Eds, CPCEMR, Earth Sciences Series, 1990, 13: 321~326.
- [85] Wang Xiaomin, Liou J G, Mao H K. Coesite-bearing eclogite from the Dabie mountains in Central China. *Geology*, 1989, 17: 1085~1088.
- [86] Liou J G, Zhang R. Ultrahigh-P talc-bearing eclogitic assemblages from Bixiling Complex and their tectonic significance. *Annu Rep Lab Lithosphere Tectonic evolution*, Inst Geol, China Acad Sci, 96~100.
- [87] Xu Shutong, Okay A I, Ji Shouyuan, *et al.* Diamond from the Dabieshan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 1992, 256: 80~82.
- [88] 张国伟, 孟庆仁, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 193~200.
- [89] 张庆龙, 李成, 朱嗣昭, 等. 西秦岭凤微地体构造初探. 南京大学学报(地球科学), 1994, (4): 357~360.

[90] 郭令智,施央申,马瑞士,等.从固定论到活动论 - 大地构造理论思维轨迹.赵鹏大,王亨君主编,地质科学思维,北京:地震出版社,1993. 165~189.

A SYNTHETICAL REVIEW ON RESEARCH ADVANCES ON THE TERRANE TECTONICS IN CHINA

GUO Ling-zhi, SHU Liang-shu, LU Hua-fu, SHI Yang-shen,

MA Rui-shi, ZHANG Qing-long, WANG Liang-shu, JIA Dong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093, China)

Abstract: Terrane tectonics is the latest advance and important complementarity of global plate tectonical theory. Since the early 1980's, Chinese geologists introduced the theory of terrane to China and used it in the geological practice of China. Up to now, many results of researches have been obtained, including mainly (1) the terrane framework of China, (2) the research advances on theory of terrane: the new definition of accretionary terrane, the distinguishing among plate, microplate, terrane, flake and nappe, the re-construction of ancient plate settings and the study of Precambrian terrane tectonics and ancient oceans, the styles and processes of amalgamation, accretion and dispersion of terrane, the sedimentary basins and energy and mineral resources related to terrane tectonism, (3) advances in the methods of research on terrane tectonics: paleomagnetism and comprehensive geophysics, micropaleontology and recognition of radiolaria-bearing siliceous rock, structural kinematics of terrane boundary and geodynamics of deformational evolution, geochemistry and geochronology. This paper summarizes and reviews these latest research advances.

China's terranes are distributed around the margin of plate tectonics and have complex origin, various size and different age. These fault-bounded terranes with various tectonic settings and crustal affinities provide key evidences to solve the formation and evolution of complex collisional belt. They can be grouped into four terrane belts: East China belt, Northwest China belt, Southwest China belt and Central China belt. Each terrane belt is composed of several terrane groups that consist of a series of stratigraphic, metamorphic and volcanic arc terranes. Many terrane terranes contain faunal populations suggesting they have been displaced great distances from their sources, paleomagnetic results support this conclusion. Terranes in China are of allochthonous and exotic, having a drift history on some oceanic crust. They represent volcanic arc systems, pieces of continental crust rifted away from an ancient craton, sea mount and oceanic plateau. The accretion of terrane, which is an important and rapidly growth manner of continent, may be summarized as three styles: subduction-collision type, docking type (oblique collision and strike-slip type) and flake-thrust type. Either terranes or continental margins may be dispersed and fragmented by rifting or strike-slip faulting. The accretion and dispersion of terrane is a very complex geodynamic evolution. Dispersive processes may fragment individual terranes or a grown continent after their collision with a continent. Paleomagnetic studies have reconstructed terrane trajectories from their place of origin to their final accretion, such as Jiuling and Huaiyu terranes in the Jiangnan belt, Tarim, Hamir Turpan, Yili and Junggar terranes in the northwest China terrane belt, and several terranes in the Qinghai-Tibet terrane belt, indicating some terranes in China were located near equator, or a place of origin of ancient Gondwana super-land.

Terrane theory is of an important and new content of plate tectonics, not an independent subject opposing with plate theory. The theory of terrane has been developing and perfecting by further researches in field and laboratory and applications of new method and technology. It has been playing and will continue to play an important part in research on the intracontinental deformation and ancient orogenic belt in China.

Key words: synthetical review; terrane tectonics; plate tectonics; research advance; China