

中国大陆地壳“镶嵌与叠覆” 的结构特征及其演化

李锦轶

(中国地质科学院地质研究所,北京 100037)

摘要:初步探讨了中国大陆地壳“块带镶嵌多层叠覆”的结构特征和多阶段的构造演化过程。中国大陆地壳新元古代中期以来的一级构造单元有中朝、塔里木、扬子、敦煌4个陆块和中央、西北、东北、西南、东南5个造山区(带)。中朝陆块的形成源于古元古代期间发生的古大陆裂解;扬子、塔里木和敦煌陆块的形成源于新元古代早期发生的古大陆裂解。西北造山区的形成源于古生代晚期洋盆关闭、大陆碰撞并叠加新生代陆内再造山;东北造山带的形成过程包括古生代碰撞造山及中生代增生、碰撞造山;中央造山带至三叠纪大陆碰撞才最后形成并叠加有新生代再造山;东南造山带的形成经历了古生代至新生代的多次造山作用,西南造山带主要是中—新生代造山作用的产物。这些单元都具有“块带镶嵌多层叠覆”的结构特征和多阶段构造演化的特点。中国大陆地壳的形成与演化可以划分为太古宙—古元古代、中元古代—新元古代早期、新元古代中期—古新世和始新世以来4个构造阶段,每个阶段都对应不同的超大陆裂解—聚合旋回。其中新元古代中期以来的地壳形成演化与全球洋陆格局中的古亚洲洋、古特提斯洋、古太平洋、特提斯洋和太平洋5个动力学体制有关,相应地可以归结为古亚洲、古特提斯、古太平洋、特提斯和太平洋5个造山域。正是这些多阶段的超大陆裂解—聚合旋回及多个构造体制的叠加,形成了中国大陆地壳“块带镶嵌多层叠覆”的结构特征。

关键词:中国大陆地壳;块带镶嵌多层叠覆;超大陆裂解—聚合旋回;动力学体制;造山域

中图分类号: P542^{+.4} **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-2552(2004)9-10-0986-19

1 引言

中国大陆地壳地质构造分区与形成过程的研究已经有百余年的历史,公开发表的相关论著达数千篇(部)之多。在20世纪不同时期,地槽假说和地质力学曾经分别在中国地质工作中发挥了指导作用,波浪镶嵌构造、断块构造和地洼等假说也都具有不同程度的影响。中国地质界总体上百家争鸣的宽松环境使板块构造学说从20世纪70年代开始得以被引进、发展并逐渐在中国地质工作中占据主导地位。在这些不同学术思想的指导下,中国大陆地壳构造分区的不同方案和对中国大陆地壳形成演化的不同认识相继提出。相对来说,其中黄汲清等以多旋回构造观点和李春昱等以板块构造理论为指导思想的研究成果,影响范围比较广泛。

黄汲清等^[1]划分的一级中国大陆构造单元为地台或准地

台和地槽褶皱区,进一步将其概括为古亚洲、特提斯和滨太平洋三大构造域,认为古亚洲构造域是指古生代的构造,特提斯和滨太平洋构造域是中生代和新生代的构造,三者存在着叠加改造关系。任纪舜等^[2]在1999年出版的中国及邻区大地构造图上,明确地反映并进一步发展了黄汲清等的认识,把组成中国大陆地壳的古老地块划分为东欧地槽、古中华陆块群和东欧地槽,把显生宙造山带归并为古亚洲造山区、特提斯造山区和环太平洋造山区,把华南早古生代地壳变动也作为古亚洲造山区的一部分。这一认识的基础是,在新元古代曾经形成了一个由中国主要陆块构成的古中国地台,该地台后来虽然裂解,但只是手风琴式的开合运动,彼此没有被大洋所分隔。这一构造模型与已经获得的古地磁资料和国际上提出的新元古代晚期的古大陆重建^[3-5]是截然不同的。

李春昱等^[6-7]基于对地质、古地磁和古生物地理区系的研

收稿日期:2004-09-09

基金项目:国家重要基础研究发展规划项目《中国西部中亚型造山与成矿》综合研究课题《中亚型造山与成矿综合研究》(编号:2001CB409810)和国家自然科学基金资助项目(编号:40211120647、49872066、4000121475、国土资源部国际合作与科技司项目(编号:992023)、中国地质调查局《中美矿产资源评价合作研究》项目(编号:200313000068)成果。

作者简介:李锦轶(1956-),男,研究员,博士生导师,从事大地构造研究。E-mail: jlyli@cags.net.cn, jlyli2003@126.com

究,认为组成中国大陆地壳的地质体曾经属于7个不同的古板块,这些古板块被大洋分隔,直到新生代初,印度与欧亚大陆碰撞才聚合到一起。考虑到地质演化和成矿作用等方面的特征,李春昱^[8]建议以板块缝合带为中心,把这7个古板块归属为北方、秦祁昆、西南和东南4个大构造成矿域。

以上截然不同的认识,不仅是研究工作指导思想差异的结果,更主要地是中国大陆许多地区基本地质事实还没有完全调查清楚。其原因除了经费投入不足外,人们认识地球历史的技术手段和地质记录的不完备性都是主要的制约因素。

近年来,高精度定年技术、岩石化学成分分析技术、高分辨率地球物理探测技术和太空遥感观测技术的发展与应用,获得大量新资料。同时,国际合作的深入开展,把中国大陆地壳形成演化的研究置于全球构造格局变迁的框架之中真正变成可能的现实。

已有资料表明,中国大陆地壳结构的突出特征是“块带镶嵌、多层叠覆”。其平面上的镶嵌特征在前人的文献中早有提及或系统论述^[9],实际上不仅是震旦纪以来形成的中国大陆地壳具有块带镶嵌的特点,而且前震旦纪形成的古老地块也具有镶嵌的结构特征。从以板块构造理论研究大陆形成与演化的角度不难发现,这一镶嵌结构特征是大陆裂解与聚合的结果,活动大陆边缘的增生形成陆缘的镶嵌构造,不同板块之间的碰撞形成更大尺度的镶嵌构造。不同的板块构造演化旋回,可以形成不同时期和不同样式的镶嵌大陆。

中国大陆地壳的多层叠覆结构是地壳尺度的,不同于根据地球物理深部探测提出的关于秦岭岩石圈或地幔-地壳结构的“立交桥式构造”^[10]或三江地区“多向层架构造”^[11]的认识。中国大陆地壳的多层叠覆结构也不是一般意义上的不同构造层的叠加,而是表现为不同动力学体制下地质作用及其产物叠覆在一起。这种叠覆结构的特点,在中国东北部表现得非常明显。

因此,基于近年获得的新资料,从全球构造角度,研究中国大陆地壳镶嵌与叠覆的结构特征,探讨其动力学机制,重新认识中国大陆地壳的形成与演化,不仅是地质科学研究服务于矿产资源勘查等国民经济建设工作所必需的,也必将有助于对大陆地壳形成演化及其动力学机制的探究。

本文基于笔者近年承担的《中美矿产资源对比研究》、《中亚型造山与成矿综合研究》和《燕山板内造山带的结构变形过程及动力学》等项科研工作,以及笔者20多年从事地质工作的积累和前人近百年工作获得的地质、地球物理资料,对大陆地壳的组成、构造演化,以及组成中国大陆地壳的各个古老陆块在全球古洋陆格局中的位置,进行初步探讨。本文的一些想法或可视为笔者的工作假说,在李春昱先生百年诞辰之际公诸于世,聆听同仁的教诲,以使笔者的相关研究工作少走弯路,并以此文作为对恩师李春昱先生的缅怀。

2 指导思想和几个基本概念

板块构造理论,是本文讨论中国大陆地壳形成与演化的

指导思想。近年来,一些国家的地质学家倡导的大陆动力学研究主要涉及大陆板块内部地质过程的研究,这是经典板块构造理论没有阐述的。但是,客观地说,这并不等于否定了板块构造理论在研究大陆裂解与聚合方面的主导作用。本文涉及的主要是与组成中国大陆地壳的不同古陆块体相关的古洋陆格局演变,其中有些地质过程虽然发生在板块内部,但是其动力学机制仍然与板块之间的相互作用有关。所涉及的几个基本概念,先简要加以说明。

板块与古板块:在当今的全球构造格局中,中国大陆主体是欧亚大陆板块的一部分,只有雅鲁藏布江以南地区属于澳大利亚-印度板块。但是,在显生宙的其他不同地质时期,它们则属于不同的板块。这些以前的板块即为古板块。因此,与地台的概念不同,板块的范围在不同地质时期是不同的。震旦纪以来的古板块,一般由地台及其周围的造山带组成,这些造山带构成这些古板块不同时期的活动大陆边缘。从这个意义上说,大陆内部的大多数古造山带,是由2个或多个板块的不同地质时期的边缘及其缝合带所组成。

缝合带与古缝合带:不同大陆板块之间的碰撞边界被定义为板块缝合带,多表现为由两侧板块边缘和其间古洋壳残片组成的构造混杂带。雅鲁藏布江缝合带是澳大利亚-印度板块与欧亚大陆板块的缝合带。在中国大陆地壳中,还发育其他古老地质时期的板块缝合带,可称之为古缝合带。

稳定区与活动带:这是一对古老的概念。二者的活动性是相对的,一个构造单元在某一地质时期是稳定区,在另一个地质时期至少其一部分则可能具有活动带的特征,反之亦然。从现今的地质理论来看,板块内部是稳定区,板块边缘是活动带。由于不同地质时期有不同的板块构造格局,所以与板块的概念一样,稳定区与活动带也有明确的时间性。

3 中国大陆地壳的构造分区

查清中国大陆地壳的组成及结构特征,确定其构造分区,是研究其形成演化历史的重要前提。因此,近百年来,中国大陆地壳的组成和构造分区一直是地质科学研究的主题之一。

中国大陆具有复杂的地质构成,从最古老的大于3.8 Ga的地质体到新生代的岩浆岩和沉积岩都有出露。但是,大体以古元古代晚期和新元古代中期为界,分成3个大构造层,每个构造层都对应着不同的超大陆裂解与聚合的旋回。就现有研究程度和获得的资料而言,古元古代晚期和新元古代中期形成的超大陆规模及内部组成,即震旦纪以来的陆块在这些超大陆中的相对位置,还是一个争论比较大的地质问题。与全球洋陆构造格局中的其他大陆相比,组成中国大陆的各个前震旦纪形成的古陆块体要小得多,其古老的地质记录被后期地质作用的改造也强烈得多,它们在古超大陆中的位置更是难以确定。震旦纪以来,组成中国大陆各个地块之间的相互运动,总体表现为逐渐汇聚的趋势并最终聚合成中国大陆。因此,正如前人的研究一样,中国大陆构造分区,只能反映震旦纪以来的洋陆格局和稳定区与活动带的形成演化及

空间分布特征,而对于前震旦纪漫长地质时期的洋陆格局及演变,只能在论述中国大陆构造演化时加以简要探讨。

现有资料表明,中国大陆地壳“块带镶嵌、多层叠覆”的结构特征,在空间分布方面是极不均一的。这是中国地壳构造分区必须考虑的因素之一。也正是产生这一特征的不同地质时期截然不同的地球动力学体制,导致同一地区在震旦纪以来的不同地质时期具有不同的构造属性,从而给构造分区造成困难。

为了从宏观上把握中国大陆地壳不同地区组成的本质差别及其震旦纪以来地质演化的内在联系,陆块和造山区被作为一级构造单元。陆块是指具有相当规模,在一定历史时期板块相互作用过程中相对稳定发展,并且以前震旦纪形成的硅铝质地壳为主要物质组成的地区,包括通常所说的地台、古大陆或克拉通。它们一般位于古板块内部,是地质演化过程中相对稳定的地区。造山区系指板块边缘和板块之间的地区,地壳变动强烈,属于传统意义上的地质构造活动区。它们由震旦纪以来形成的洋壳、陆缘岩系以及陆缘或洋中规模比较小的具有前震旦纪硅铝质地壳的陆块等组成,这些陆块在板块相互作用期间一般都被强烈改造。

这里不把古陆板块作为一级构造单元,主要考虑是,古大陆板块的内部和边缘在地质作用和成矿作用等方面的差别都是很明显的,它们之间的界线比较容易划分,其内部相当于上述定义的陆块,其边缘即为上述造山区;板块的范围,在一个超大陆聚合过程的不同地质时期是不同的,在一张平面图上,其范围的变化不好表示,与成矿区(带)的范围也不好对应;不同时期板块的边界,比较年轻的还保存比较好,其两侧的差别也比较明显,但是对于比较古老的板块边界来说,多数已经由于后期地质作用的改造与当初有很大差别,甚至变得沿走向不易追索;不同地质时期板块边缘的地质作用和成矿作用在空间上常常叠合在一起,即使有一定的差别,其界线也不易划分;从成矿作用的角度看,无论是古老的中亚地区还是年轻的藏南—三江地区,后碰撞成矿作用都比较发育,而这类成矿作用往往发育在板块缝合带及其两侧地区。如果以板块缝合带为界,不仅将把同一个山脉一分为二,而且也会把同一个成矿带一分为二,这显然不利于构造分区为矿产资源勘查服务。

同一类构造单元的空间分布、沿走向的差别和所涉及的地球动力学体制被强调。例如,中国西北地区 and 东北地区都经历了不同动力学体制下的多阶段造山作用,在震旦纪和古生代期间,这2个地区的地质演化与地壳形成主要与古亚洲洋的演化有关,但是彼此之间的差别还是很明显的;在中生代期间,中国西北大陆地壳的发展相对稳定,而中国东北则因古太平洋的俯冲作用,地质作用极为活跃,新生代早期,中国

西北因印度与欧亚板块的碰撞发生了陆内挤压造山作用,同期的中国东北则以伸展体制占主导地位,在这一背景下,它们的成矿作用与矿床的保存潜力也有很大差别。因此,如果将它们笼统地都划归古亚洲或中亚造山区(带),不仅掩盖了这些差别,也显然不利于资源评价和防震减灾工作的评估与部署。类似的情形还见于中国东部中生代以来的构造演化。

陆块的次级构造单元,因资料限制,没有进一步划分,但它们多层叠覆的结构特征和构造演化的多阶段性被强调。对于造山区,在突出其多层叠覆结构和多阶段构造演化特征的同时,将其进一步划分为造山带和受造山作用强烈改造的地块。

基于以上因素,本文提出如图1所示的中国大陆构造分区。需要指出的是,由于篇幅的限制,次级构造单元的组成特征基本不予涉及;其次,本文提出的中国大陆地壳一级构造分区划分方案似乎带有地理分区的色彩,但是如下文所述,更主要的是强调了它们形成演化及动力学体制的差别,并且客观地说,地质作用是导致地理特征差异的主要因素之一,地质构造分区与地理分区往往有密切的联系,把二者对立起来是不可取的。

4 中国大陆地壳不同构造区的主要组成特征

4.1 中朝陆块

位于中国东部,北以围场—赤峰—开原断裂与东北造山区为界,南以祁连山、西秦岭和秦岭等北缘断裂与中央造山区相邻。该陆块的地质组成包括自下而上叠覆的太古宇—古元古界、中元古界—新元古界、寒武系—三叠系和上三叠统以来4个构造层。

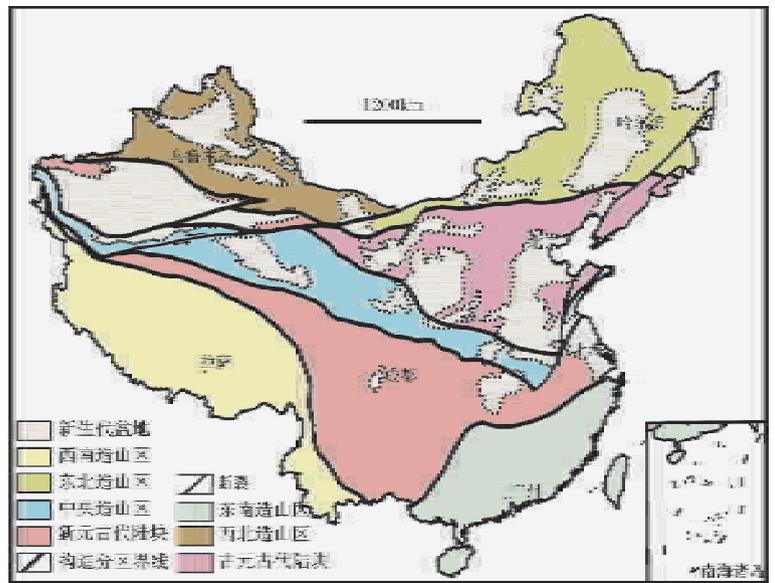


图1 中国大陆地壳一级构造分区

Fig.1 First-order tectonic divisions of the crust of the continent of China

太古宙和古元古代的地质体构成了该陆块的结晶基底。可以进一步划分为始太古代(>3600 Ma)、古太古代(3600~3200 Ma)、中太古代(3200~2800 Ma)、新太古代(2800~2500 Ma)和古元古代5套变质表壳岩系和变质深成岩系,其原岩分别为拉斑玄武岩、钙碱系列火山岩、陆源碎屑岩和碳酸盐岩、TTG岩系、二长花岗岩—钾质花岗岩和少量镁铁质超镁铁质岩石。太行山和冀东的新太古代结晶岩系中可能有少量的蛇绿岩残片^[12~14]。它们分别在古太古代末、中太古代末、新太古代末和古元古代经历了角闪岩相和/或麻粒岩相的变质作用^[15,16]。出露在陆块北部辽宁省鞍山市白家坟的花岗质糜棱岩^[16,17],以及在冀东迁西曹庄一带残存有类似时代的碎屑锆石^[18],是中国大陆迄今发现的最古老的地质记录。

中—新元古代地层出露在河北北部、辽宁西部、阿拉善地区以及河南南部熊耳山等地,下部含有富碱的火山岩,中上部为碳酸盐岩和陆源碎屑岩^[19~22]。在该陆块边缘和内部的多处地区发育这一时期的基性岩墙和富碱质的花岗岩等^[23~27]。前人多把这套岩系作为中朝陆块最古老的盖层,然而,从物质组成和空间展布来看,它们都不同于传统意义的盖层岩系。从构造背景来说,这套岩系实际上形成于裂谷或拗拉槽及大陆边缘地区^[28~31],属于中朝陆块所属古超大陆分裂及分裂以后构造发展的地质记录。

震旦系是中朝陆块最古老的陆表海沉积,仅出露在陆块东部辽宁南部大连一带和陆块西南部。在陆块东部,震旦系下统以碎屑岩为主,上统以碳酸盐岩为主,与下伏青白口系和上覆寒武系之间均为平行不整合。在陆块南缘陕西南部小秦岭地区和河南登封、舞阳等地,震旦系底部平行不整合在青白口系之上,以石英砂岩、长石石英砂岩、白云岩为主,上部以发育冰碛岩为特征。寒武系和奥陶系是分布相对广泛的浅海相沉积,主要由碳酸盐岩夹少量细碎屑岩组成。上奥陶统至下石炭统普遍缺失。上石炭统平行不整合覆盖在中奥陶统之上,与二叠系和三叠系构成了该陆块之上最年轻的一套连续的海相到陆相沉积岩系,其中石炭系为海相和海陆交替相,二叠系下部为海陆交替相,二叠系中上部和三叠系为陆相。在陆块东部的上石炭统和二叠系中有岛弧型火山岩的夹层^[32~37]。

在中朝陆块北缘,发育中元古代早期的环斑花岗岩^[38]、中元古代钙碱系列火山岩^[39]和花岗岩^[40]、新元古代早—中期花岗岩^[41]、早古生代岛弧型花岗质岩石^[42,43]、早泥盆世碱性杂岩^[44]、晚古生代岛弧型花岗岩^[45]、三叠纪S型花岗岩^[46]和富碱侵入岩^[47,48],近年有报道说在该陆块北缘残存有石炭纪晚期榴辉岩^[49]。在该地块南缘,发育中元古代^[50]和新元古代的富碱侵入岩^[51]、早古生代^[52]和晚古生代的富碱侵入岩^[51]。在该陆块内部,除了上述中—新元古代镁铁质岩墙群外,还有早古生代金伯利岩^[53]。

晚三叠世以来的构造层包括晚三叠世偏碱性花岗质侵入岩、早侏罗世玄武岩、中晚侏罗世火山岩和侵入岩、白垩纪

火山岩和侵入岩^[54~57],以及新生代幔源玄武岩等几套岩浆岩和同时代的陆相沉积岩系。实际上,这套陆相沉积岩系和岩浆岩的形成,还比较广泛地发育在东亚大陆的不同地区,因此已经不是中朝陆块所特有。

4.2 塔里木陆块

位于中国西部中央造山区和西北造山区之间,由太古宙至新元古代中期、新元古代晚期至古生代和中生代以来3个构造层次叠覆构成。根据近年的研究,其南北两侧均为上盘向该陆块内部的逆冲断裂^[58~61],所以,该陆块原来的规模要比现今夹于2个山区之间的部分大得多。

太古宙至新元古代早期的地质体构成了该地块的镶嵌基底。其中太古宙—古元古代地质体中可能包括有中太古代形成的结晶岩系^[62],但是主体是新太古代和古元古代形成的^[63],岩性为经历了角闪岩相,局部达麻粒岩相变质作用的拉斑玄武岩、钙碱性系列火山岩、陆源碎屑岩和少量碳酸盐岩,以及具有TTG岩系特征的侵入岩和钾质花岗岩。中元古代地层变质程度比较深,在铁克力克和阿尔金山等地都含有数量不等的具有双峰式成分特征的火山岩^[64]。在西北缘的阿克苏一带,被置于元古宙的变质基性火山岩系中含有新元古代中期的蓝闪片岩^[65,66]。在塔中、库鲁克塔格和巴楚等地,发育有新元古代中期的中酸性、基性侵入杂岩^[67,68]。

新元古代晚期至古生代的地质体主要由浅海相沉积岩系构成。底部的新元古代地层被称为震旦系,其中可能包含有与华南南华系相同层位的地层,岩性为含有冰碛层的碎屑岩和碳酸盐岩,并夹有多层具双峰式成分特征的火山岩^[69~71];寒武系和奥陶系以碳酸盐岩为主,寒武系下部夹有玄武岩;志留系为陆缘碎屑岩构成的复理石;泥盆系为红色碎屑岩;石炭系为碳酸盐岩和陆缘碎屑岩;二叠系以陆缘碎屑沉积岩系为主,夹有多层具双峰式成分特征的火山岩^[72~74]。在其北部边缘发育古生代晚期的富碱质侵入岩^[75]和基性岩墙^[76],南缘铁克力克一带可能发育古生代和三叠纪活动大陆边缘的一些信息^[77,78]。

中生代以来的地质体主要为陆内盆地堆积物,不同时期盆地的沉积中心不同。在南缘发育三叠纪的煌斑岩^[79,80],在塔里木盆地周边地区发育新生代的火山岩^[81]。

4.3 扬子陆块

与塔里木陆块类似,该陆块的基底也由太古宙—古元古代和中—新元古代地质体镶嵌构成^[82,83],其上不整合覆盖着新元古代中期到三叠纪中期的被动陆缘岩系^[84]和晚三叠世以来的上叠陆内建造。其北缘、西缘和南缘分别下插于中央造山区、西南造山区和东南造山区之下^[85~87],因此其原来的规模也远大于现今的地表出露区。

太古宙—古元古代结晶岩系露头比较少,主体由新太古代—古元古代的变质达高绿片岩相和角闪岩相,局部达麻粒岩相的变质深成岩和变质表壳岩组成,变质深成岩的原岩具有TTG岩系的特征^[88],变质表壳岩的原岩包括拉斑玄武岩、钙碱性系列火山岩、碳酸盐岩和陆源碎屑岩。近年来,在该陆

块西北部的崆岭一带发现了中太古代晚期的地质记录^[89,90]。根据近年获得的地质及年代学资料^[91,92],新太古代—古元古代变质岩系在该陆块地下深部可能有比较广泛的分布。

中元古界为大陆分裂阶段形成的桂北四堡群,其中侵入有镁铁质超镁铁质深成岩^[93]。皖南—赣北、康滇和四川等地发育中—新元古代活动陆缘建造^[94~100]。在湖北大洪山、皖南—赣东北、桂北和龙门山等地,报道有蛇绿岩或洋壳残片^[70,110,111]。在皖南发育新元古代的岩墙群^[112]。

震旦系下部以陆缘碎屑岩为主,其中含有冰碛层,上部以碳酸盐岩为主,寒武系和奥陶系以碳酸盐岩为主,夹少量细碎屑岩;志留纪为一套厚度比较大的复理石沉积,其中石英的含量比较高,可能代表远源的复理石沉积,其上的泥盆纪以石英砂岩为主,石炭系至中三叠统为碳酸盐岩夹陆源碎屑岩。尽管在这套盖层岩系中发育多个不整合界面,但是它们的构造变形主要发生在三叠纪或更晚的地质时期。在震旦纪至三叠纪期间,扬子地块南北两侧边缘可能都具有被动大陆边缘的构造属性^[84,113~115]。

在扬子陆块西部云、贵、川、桂交界地区,在二叠纪晚期茅口组灰岩之上发育厚1000~4500 m的大陆溢流斑玄武岩,被称为峨眉山玄武岩^[116~120];在桂西南地区,有泥盆纪玄武岩及粗面(斑)岩、早石炭世玄武岩、火山角砾岩、凝灰岩和二叠纪玄武岩、玄武质火山碎屑岩及流纹岩;在广东南部及海南岛,也有玄武岩和流纹岩(石炭纪?);在滇东和桂西的右江地区,海相三叠系中夹有玄武岩、细碧岩、基性火山碎屑岩和酸性熔岩^[121]。

与中朝地块北缘在三叠纪晚期发育拉张背景的碱性岩浆岩不同,扬子陆块北缘东段长江中下游地区发育的巨厚中—晚三叠世和早—中侏罗世陆源碎屑岩构成了秦岭—大别—苏鲁造山带的前陆盆地沉积岩系^[84]。

该陆块西段松潘—甘孜—可可西里一带巨厚的中—晚三叠世陆缘碎屑岩,被认为是弧前盆地^[122]或弧后盆地^[123]堆积物。但是,考虑到该区出露有新元古代花岗岩^[104],近年的地球物理调查也揭示出其下可能有古老的基底^[124],结合区域构造背景,它们更可能为昆仑—秦岭造山带的前陆盆地沉积,这也是本文把该区作为扬子陆块一部分的主要因素。

虽然与中朝陆块类似,该陆块东部也叠覆了中生代以来的陆相火山沉积岩系和侵入岩,但主要是中侏罗世以来的。其中中—晚侏罗世的火山岩大部分被剥蚀,出露的同期侵入岩为含有斑岩铜矿的中酸性钙碱性系列杂岩;早白垩世火山岩和侵入岩构成北东走向的岩带,并且相对富含碱质,可能形成于伸展构造背景;新生代则与中朝陆块范围内的类似,由少量幔源玄武岩和陆相堆积物构成。

4.4 中央造山区

位于中朝陆块、塔里木陆块和扬子陆块之间,分别向两侧陆块之上逆冲,总体呈现为正扇形构造样式,后期的地壳变动使这一构造样式受到不同程度的改造^[59-61,86,87,125~127]。组成该造山区的地质体包括被造山作用强烈改造的前震旦纪地

块^[128~151]和蛇绿岩^[152~154]、震旦纪和古生代的蛇绿岩及洋壳残片^[155~166]、震旦纪—三叠纪陆缘岩系^[167~175]、同碰撞杂岩^[176~186],局部发育后碰撞的火山岩和花岗岩^[187,188]。

该造山区可以进一步划分为帕米尔—西昆仑造山带、东昆仑造山带、阿尔金造山带、祁连造山带、柴达木地块、西秦岭造山带、东秦岭造山带、桐柏—大别造山带和苏鲁造山带。其中阿尔金和祁连造山带都是早古生代造山带,西昆仑、东昆仑、西秦岭、东秦岭、桐柏—大别等造山带都由北侧的早古生代造山带和南侧的三叠纪造山带组成,苏鲁造山带则主要为三叠纪造山带。这些复合造山带的北侧早古生代造山带虽然各不相同,但是都属于陆缘增生造山带;它们南侧的三叠纪造山带则从西到东连续性比较好,为扬子陆块被动陆缘与古亚洲大陆活动边缘之间的碰撞造山带。阿尔金断裂、郯—庐断裂、龙门山断裂,以及平行造山带走向的一些大型断裂带中生代以来的走滑运动,对中央造山带有比较明显的改造。

苏鲁地区和大别山发育三叠纪超高压变质岩,在大别山、桐柏山、柴北缘、祁连山和阿尔金山等地发育早古生代的高压—超高压变质岩。在苏鲁南部、大别山南缘、东秦岭南缘,分别发育三叠纪的高压变质岩,是该造山区的一个特色。

中生代晚期以来,该造山带东段经历地壳伸展作用的改造,构成山根的变质岩系出露地表,被白垩纪以来的侵入岩穿切或被陆相火山沉积岩系不整合覆盖。该造山带西段再次遭受挤压变形,局部有火山岩喷发,构成青藏高原的北部边缘。

4.5 西北造山区

位于塔里木陆块以北,由古生代陆缘岩系、洋壳残片和前震旦纪陆块镶嵌组成,进一步划分为阿尔泰造山带、西准噶尔造山带、东准噶尔造山带、西天山造山带、东天山造山带和北山造山带,以及准噶尔、伊犁和吐哈等陆块。

中国境内的阿尔泰造山带,是阿尔泰陆块的东南边缘部分,在古生代期间因桑塔洋盆俯冲再造而形成。其组成包括再造的元古宙结晶岩系^[189,190]、震旦纪至寒武纪被动陆缘沉积岩系^[191]、奥陶纪至早石炭世的类似太平洋东缘的活动陆缘型深成岩和火山沉积岩系^[192~201]。

西准噶尔造山带和东准噶尔造山带都由古生代蛇绿岩和陆缘岩系组成^[202]。长期以来,二者的关系一直困扰相关研究的地质工作者。直到2003年,还有学者撰文认为这2个造山带不同构造单元可以相连,是后来地壳活动才形成现今面貌的^[203]。然而,东准噶尔古生代地质演化可以明显划分为早古生代和晚古生代2个阶段^[204~206],西准噶尔古生代演化则具有连续发展的特点^[207]。西准噶尔的北西走向和北东走向的大型断裂为具有统一运动学机制的大型断裂系统,北西走向的断裂以右行走滑为主,北东走向的断裂以向南东逆冲推覆为主,东准噶尔大型断裂构造以北西走向为主,其运动学以南西逆冲推覆为主,以左行走滑为辅。因此,在古生代期间,东准噶尔的地质体应该远在现今位置的北东地区,古生代构造演化与西伯利亚古陆南缘的发展关系密切;西准噶尔地区的地质体应该远在现今位置的北西地区,古生代构造演化与

哈萨克斯坦地区类似,有可能包括了斋桑古洋盆的哈萨克斯坦一侧陆缘及该洋盆关闭形成的碰撞带的残片^[205, 206]。

天山造山带以依连哈比尔尕—干沟—卡瓦布拉克断裂带为界,分为西天山和东天山2个部分。西天山是中亚地区古造山带在中国境内的延伸,包括伊犁和巴伦台地块,其南北两侧由古生代蛇绿岩及陆缘岩系组成的北天山和南天山造山带,分别是哈萨克斯坦古板块、斋桑造山带和乌拉尔—南天山造山带在中国境内的延伸。东天山以东西走向的沟—弧—盆格局为特征,自北向南依次为博格达山—哈尔里克山晚古生代弧后盆地火山沉积岩系、吐哈盆地南部古生代岛弧火山沉积岩系和侵入岩、由低钾拉斑玄武岩—放射虫硅质岩组合和弧前复理石组成的康古尔塔格碰撞带、具有被动边缘的喀拉塔格陆块、卡瓦布拉克—库米什碰撞带、北库鲁克塔格岛弧、兴地塔格缝合带、塔里木陆块^[205, 206]。其中的康古尔塔格碰撞带及其以北的陆缘造山带可能相当于斋桑缝合带的北缘造山带;卡瓦布拉克—库米什碰撞带可能相当于伊犁地块以北的北天山造山带(相当于斋桑缝合带南侧哈萨克斯坦板块北缘造山带)和以南的那拉提造山带(中央的北天山造山带或尼古拉耶夫线);兴地塔格断裂带可能相当于乌拉尔—南天山造山带,其北的北库鲁克塔格可能相当于哈尔克山,而文献中的东天山隆起带实际上是由不同构造属性的地块组成的。在天山造山带中,包含有被强烈改造的前震旦纪地块^[208, 209]。

北山造山带由被再造的前震旦纪古陆块^[210, 211]、古生代火山沉积岩系和钙碱系列侵入岩及蛇绿岩等构成^[212]。近年来在该区发现了榴辉岩^[213]。

西北造山区,广泛发育晚石炭世双峰式火山沉积岩系、富碱中酸性侵入岩,以及早二叠世含铜镍矿的幔源碱性超基性杂岩、酸性深成岩和基性火山岩^[214-216],其出露范围不受不同时代造山带的限制,在塔里木陆块范围内也有发育。

阿尔泰山、东天山东部和北山三叠纪—侏罗纪岩浆活动及相关构造热事件的确认^[217-221],是近年该区基础地质研究的主要进展。这些岩浆岩以富碱质的酸性岩为主,局部含有钨矿。晚侏罗世火山灰的快速堆积,导致了准噶尔东部地区“化石森林”的形成。

该造山区的另一个突出特征是,在新生代受印度板块与欧亚板块碰撞的影响,发生强烈的陆内造山作用,形成独特的挤压背景下的盆山格局。

4.6 东北造山区

该造山区位于中朝陆块、西伯利亚地台和太平洋板块之间,组成比较复杂。可以划分为欧亚板块形成过程中的西伯利亚地台、中朝陆块及其古生代陆缘增生造山带和二者之间的碰撞造山带,以及欧亚板块的古太平洋边缘碰撞和增生造山带等^[30]。中朝陆块北缘的古生代增生造山带具有类似东太平洋安第斯和科迪勒拉造山带的特征,西伯利亚地台的增生造山带则与西太平洋造山带类似,以岛弧及微大陆的增生碰撞为特征,自北向南依次可以划分为额尔古纳陆块、海拉尔—呼玛晚古生代中期碰撞造山带、扎兰屯陆块、二连—黑河晚古

生代中期碰撞造山带和布列亚—佳木斯板块,二者在二叠纪期间沿索伦山—白城—吉中—一线发生碰撞^[30, 222, 223]。在这一宽广复杂的镶嵌碰撞造山区之上,叠加了类似科迪勒拉大陆边缘的三叠纪至侏罗纪的火山沉积岩系及同时代的钙碱系列侵入岩,其成因与蒙古—鄂霍次克造山带前身的洋盆演化有关。在其东缘,自西向东依次为宝清—双鸭山—布列亚山晚古生代陆缘造山带、延边中生代早期碰撞造山带、那丹哈达岭白垩纪早期碰撞造山带等。其中的古洋岩石圈残片主要发育在中朝陆块北缘的温都尔庙、柯单山—杏树洼、索伦山、贺根山、完达山等地,近年报道在延边地区也发育蛇绿混杂岩。

东北造山区大部分地区上叠有早白垩世陆相火山沉积岩系、白垩纪陆内盆地堆积物,以及始新世、渐新世晚期—上新世的幔源玄武岩和陆内盆地堆积物。

4.7 东南造山区

东南造山区系指扬子陆块以南地区。该区的构造格局,由于新生代以来断裂构造的改造、晚中生代以来火山沉积岩系的覆盖和中酸性岩体的侵入,识别起来相对困难。根据已有的资料,组成该区的地质体包括零星出露在闽浙地区的新太古代—古元古代结晶岩系^[224-227]、分布相对广泛的中—新元古代火山沉积岩系及侵入岩^[228-233]、震旦纪至早古生代夹有少量火山岩的沉积岩系^[234, 235]、晚古生代至三叠纪夹有少量火山岩的沉积岩系^[236, 237]和晚三叠世以来的陆相火山沉积岩系。中元古代以来岩浆侵入活动比较强烈,除了中国东部普遍发育的晚中生代以来的岩浆岩和与扬子陆块类似的中—新元古代侵入岩外,还大量发育扬子陆块没有的早古生代、晚古生代和三叠纪的侵入岩^[238-244]。因此,严格说来,该区震旦纪至晚中生代与扬子陆块等稳定区有明显的差别,不具有稳定区的特点,更类似于地壳强烈活动的造山区。

近年陆续识别出的早—中侏罗世富碱双峰式岩浆岩^[245-263],揭示该区当时可能演变为类似北美西部科迪勒拉造山带的古太平洋活动大陆边缘。

浙闽东南沿海一带,晚中生代岩浆活动发育,而台湾则主要为—新生代造山带。

4.8 西南造山区

包括松潘—甘孜三叠纪复理石出露区以南的青藏高原及毗邻地区,进一步划分为西金乌兰—金沙江—哀劳山造山带、羌塘陆块、昌马陆块、班公湖—怒江造山带、拉萨陆块、雅鲁藏布江缝合带和喜马拉雅造山带。其中雅鲁藏布江缝合带是印度板块与欧亚板块碰撞的产物,喜马拉雅造山带主体是由从印度板块拆离下来的地质体构成的。

近年来,国土资源调查工作的深入开展,在拉萨地块内发现了古元古代和新元古代的地质体^[264],在雅鲁藏布江蛇绿岩带中发现了中—晚三叠世的放射虫硅质岩^[265],在冈底斯地区发现了晚三叠世花岗闪长岩体^[266]。

各个造山带中的陆缘岩系主要是侏罗纪和白垩纪的,南部的雅鲁藏布江缝合带北侧的冈底斯岩带可能包括了始新世的活动陆缘岩系;大洋岩石圈残片既有三叠纪形成的,也

有侏罗纪—白垩纪形成的。中新世和上新世的岩浆岩^[267~269]及沉积岩系构成了该造山区的上叠构造层。

4.9 敦煌陆块

位于中朝陆块与塔里木陆块之间,大部分被新生代堆积物掩盖,前震旦纪的结晶基底仅零星出露^[270~274]。其北侧为北山造山带,南侧为祁连造山带和阿尔金造山带。由于北山南部晚古生代造山带向西如何延伸目前难以确定,所以该地块与塔里木陆块之间的关系还有待于进一步研究。但是从航磁资料^[275]看,该区与塔里木陆块的差别是非常明显的,前人关于该区是塔里木陆块一部分的认识值得商榷。

5 中国大陆地壳的形成演化

从以上简要叙述的各个构造单元的地质组成不难发现,中国大陆地壳的形成演化可以追溯到距今约38亿年以前。在这一漫长的地质历史时期中所形成的中国大陆地壳,由不同时期的陆缘岩系、洋岩石圈残片、陆内沉积岩和火山岩,以及不同地质时期侵入或喷发的少量幔源岩浆岩等组成。这些岩石组合的形成,基本上都可以归因于板块之间的相互作用。古元古代晚期和中元古代早期、新元古代中期的富碱及双峰式岩套的发育,以及中元古代沉积岩系和震旦纪沉积岩系底部的区域性不整合界面,揭示出中国大陆地壳的形成演化可以划分为太古宙—古元古代、中元古代—新元古代中期、新元古代晚期以来3个构造阶段。

5.1 太古宙—古元古代阶段(3800~1800 Ma)

关于这一阶段地质演化的信息主要是从中朝陆块所获得。根据伍家善等^[15,46]的研究,这一时期地质演化可以进一步划分为始太古代、古太古代、中太古代、新太古代和古元古代4个亚阶段,除了始太古代只发现富钾酸性岩浆活动外,其他阶段都发育幔源超镁铁侵入杂岩、拉斑玄武质和钙碱系列岩浆的喷发和侵入、表生沉积、强烈的构造变形和普遍的中—高级区域变质等地质作用。显生宙不同板块构造环境形成的几乎所有岩石系列或组合,都可以从这些变质岩石中识别出来。在中朝陆块内,中太古代及更古老的地质体仅呈残留体出现,它们形成时的构造格局已经难以恢复,而新太古代和古元古代的地质体则表现出一定的块带镶嵌特征。太行山以东地区的太古宙地质体具有与显生宙活动陆缘岩系类似的特征,太行山地区的新太古代和古元古代地质体与碰撞造山带的组成有一定的相似性,而中朝陆块北缘,从内蒙古的大青山向东直到辽南和吉南地区,古元古代的地质体具有明显的线性分布特征。因此,一些学者认为这些线状带是新太古代末^[15,46,276]或古元古代末^[277~279]板块碰撞带的残片。但是,从太行山新太古代和古元古代、中朝陆块北缘古元古代岩石类同碰撞的富钾花岗岩组合的时代^[279,280]看,这一时期的板块碰撞作用如果发育,更可能发生在古元古代中期的2.0~2.2 Ga期间,而古元古代晚期1.8~1.9 Ga的岩浆活动和变质作用的发生与发展,似乎都可以归因于大陆裂解的伸展构造体制。

有些学者根据变质演化或同位素地质研究,认为新太古

代以前以地幔柱作用为主,从新太古代开始才发育板块构造体制^[281,282]。如果仅从中国大陆范围看,新太古代以前的地质体的出露很少且多呈块状展布,似乎支持这一认识。但是,不论从全球大陆的组成与演化还是中朝陆块的新元古代以前的岩石组合看,板块构造体制有可能开始得更早一些。

在塔里木和扬子陆块,以及东北、东南和中央等造山区,虽然也发育这一时期的地质体,但是主体是新太古代和古元古代的,个别地区虽然获得了一些中太古代和古太古代的信息,但是没有发现保存完好的那一时期的古老地质体。

从这些古老地质体保存的地质信息和中元古代大陆裂解、大陆边缘演化资料看,中国乃至全球的太古宙和古元古代的地质体,很可能曾经在古元古代晚期聚合成为一个超大陆,但是目前获得的资料还不能把各个块体的相互关系建立起来。在国外文献中有些学者根据对北美的研究,将该超大陆命名为哥伦比亚超大陆,并且认为1.9~1.5 Ga是该超大陆的聚合时期^[283]。但是如上文所述,从中国获得的资料看,尚不完全支持这一论点。如果确实曾经存在这样一个超大陆,那么其聚合过程可能主要发生在古元古代期间,从古元古代晚期开始,该超大陆已经发生了裂解作用。

5.2 中元古代—新元古代中期阶段(1800~630 Ma)

侵入中朝陆块太古宙和古元古代基底的1.8 Ga前后的岩浆岩,如辽南的辉石正长岩、冀北具有双峰式特征的环斑花岗岩岩套(1.7 Ga)^[38]、豫晋陕熊耳山的熊耳群火山岩及侵入岩(1.75~1.95 Ga)^[2]、中条山地区的基性岩墙(1605 Ma)、豫西栾川县庙子镇龙王幢钠铁闪石正长花岗岩(1625 Ma)^[39]等,扬子地块基底中侵入四堡群的基性岩墙等,以及中朝地块北部燕辽拗陷和南部熊耳山等地的中元古代堆积物,都表明在古元古代末期至中元古代早期发生了大陆裂解作用,使中朝陆块成为独立的微大陆,而中国大陆地壳中其他的太古宙和古元古代地质体成为洋中的大陆碎块。

中元古代期间,中朝陆块范围内持续发育岩浆活动,其他碎块周围则大部分表现出岛弧或活动陆缘的特征。800 Ma左右花岗岩和区域变质作用的广泛发育及塔里木盆地西北部阿克苏附近被震旦系不整合覆盖的蓝片岩,表明新元古代中期各个分离的陆块聚合成统一的大陆。但是,中朝陆块是否与它们聚合在一起,由于在其周缘没有发现新元古代洋盆关闭与其后再打开的任何证据,目前还不能确定。不过,该陆块新元古代晚期沉积的普遍缺失说明这一时期的大陆聚合对该陆块可能还是有一定的影响。但是,该陆块北部中—新元古代的巨厚沉积物直到中生代才发生褶皱变形,又表明这一影响的强度是非常有限的。

新元古代中期地壳变动的构造属性,目前还是一个争议比较大的问题。有些学者认为活动陆缘的演化直到700 Ma还没有结束。关于古大陆裂解的时间,有些学者认为在800 Ma前后,有些学者认为可能要晚一些。尽管如此,震旦纪陆山沱组 and 灯影组等具有典型的被动陆缘岩系特征,与下伏地质体普遍为不整合接触,表明以震旦系底界为界,前后确是2个不

同的大洋打开与闭合和相应的大陆裂解与聚合的构造旋回。

需要指出的是,许多中国学者都认为,新元古代中期的所谓晋宁运动形成了由中国境内所有古陆组成的古大陆,称之为古中国地台^[284]。但是从目前获得的资料看,如文前所述,中朝陆块与其他地区的太古宙—古元古代结晶地块和中—新元古代造山带是否连接成一个大陆,还没有确切的证据。从全球构造角度看,组成中国大陆的这些古陆和古造山带,从规模上看要小得多,它们在何处,与被称为Rodinia(罗迪尼亚)超大陆的重组似乎没有直接的关联。根据已有的古地磁和古气候资料,几乎所有罗迪尼亚超大陆的重建模型都认为,至少中朝、扬子和塔里木是彼此分离的。因此,是否的确存在一个古中国地台,还是很值得商榷的。

在20世纪70年代的学术论文中,黄汲清等^[1]就明确指出,中朝陆块的基底是在古元古代晚期(中条旋回)形成的,扬子和塔里木陆块的基底是在新元古代(晋宁旋回)形成的。近年获得的资料进一步证实了这一论点。但是,在文献中和学术讨论会议上,还是经常可以看到或听到关于中国某个地区发现了新元古代的地质记录,特别是所谓晋宁期的岩浆岩是属于扬子陆块的,以及关于中朝与扬子2个陆块在新元古代以前关系的讨论等话题。需要特别指出的是,新元古代地壳变动不是扬子陆块所特有的。在当时不仅没有通常所说的扬子陆块,而且在中朝陆块北缘,在东北和西北造山区,甚至在西伯利亚地台周边,都有相关的地质记录,显然任何人都不会认为这些地区也是扬子陆块的一部分。这一时期的地质作用在全球其他地区也有广泛的分布。这里需要再次强调,在新元古代中期形成的超大陆裂解以前,不存在通常意义上的扬子陆块和塔里木陆块,二者都是由太古宙—古元古代结晶岩系组成的大陆碎块和中—新元古代裂谷岩系、陆缘岩系、洋壳残片及同碰撞—后碰撞的岩浆岩镶嵌组成的,其中的太古宙—古元古代碎块并不等于通常所说的2个陆块。因此,讨论中—新元古代中期中朝、塔里木和扬子等几个陆块之间的相互关系,以及组成中国大陆的某一古老地质体在这一时期是否属于扬子地块的一部分,实际上是没有任何意义的。

5.3 震旦纪至第四纪(630Ma—)

从震旦纪开始,到古生代初期,古超大陆的裂解形成的大洋,把组成中国大陆内由前震旦纪地质体构成的各个陆块分隔开来。此后的地质演化主要表现为这些陆块的汇聚乃至最后拼合形成现今所见到的欧亚大陆的东部。这一阶段形成的地质记录保存得比较好,其演化过程研究得也比较清楚。根据目前所获得的古地磁、古生物和地质资料,编制成部分地质时期的洋陆格局如图2所示,不同地质时期的古缝合带空

间分布如图3所示。

这一阶段的地质演化又可以划分为震旦纪—二叠纪(三叠纪?)潘吉亚大陆的逐渐形成(一般指非冈瓦纳大陆地区)、侏罗纪—古近纪早期欧亚大陆的增生乃至与印度板块的碰撞、古近纪晚期以来亚洲大陆东部的裂解等3个亚阶段。

在潘吉亚大陆聚合过程中,在中朝陆块和塔里木陆块以北地区,主要表现为西伯利亚地台的不断向洋增生碰撞。塔里木陆块与西伯利亚地台之间,发育阿尔泰、准噶尔、哈萨克斯坦、吐哈、喀拉塔格和星星峡等地块。阿尔泰地块北部被动陆缘在奥陶纪早期沿萨彦岭—蒙古湖区一线与西伯利亚地台南缘的活动陆缘碰撞;准噶尔地块北部活动陆缘在志留纪期间沿扎尔坝—北塔山一线与西伯利亚地台南缘的活动陆缘碰撞,在泥盆纪因西伯利亚古板块南缘的裂解形成东准噶尔—南蒙古边缘洋盆,而与西伯利亚古板块分离,在早石炭世其北部被动陆缘沿卡拉麦里—莫钦乌拉一线与西伯利亚古板块南缘再次碰撞,成为西伯利亚古板块的一部分^[204-206]。这2个地块与塔里木陆块及哈萨克斯坦古板块之间,被斋桑—北天山洋盆所分隔。哈萨克斯坦古板块是在古生代早期由古亚洲洋西段的一些微大陆聚合形成的^[7]。石炭纪中期,斋桑—北

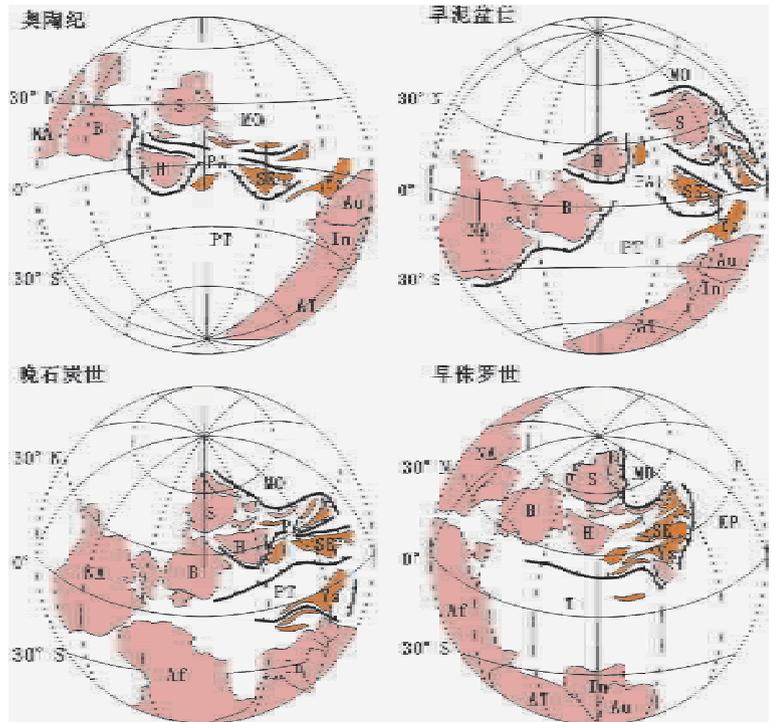


图2 奥陶纪、早泥盆世、晚石炭世和早侏罗世全球洋陆格局重建示意图 (各个陆块确定所依据的古地磁资料引自参考文献[285-289])

Fig.2 Schematic map showing the reconstruction of the Ordovician, Early Devonian, Late Carboniferous and Early Jurassic land and sea framework MO—蒙古—鄂霍次克洋, PA—古亚洲洋, PT—古提提斯洋, T—提提斯洋; KP—库拉—太平洋, NA—北美, B—波罗的, S—西伯利亚, H—哈萨克斯坦; SK—中朝, Yz—扬子, Au—澳大利亚, In—印度, AT—南极, Af—非洲

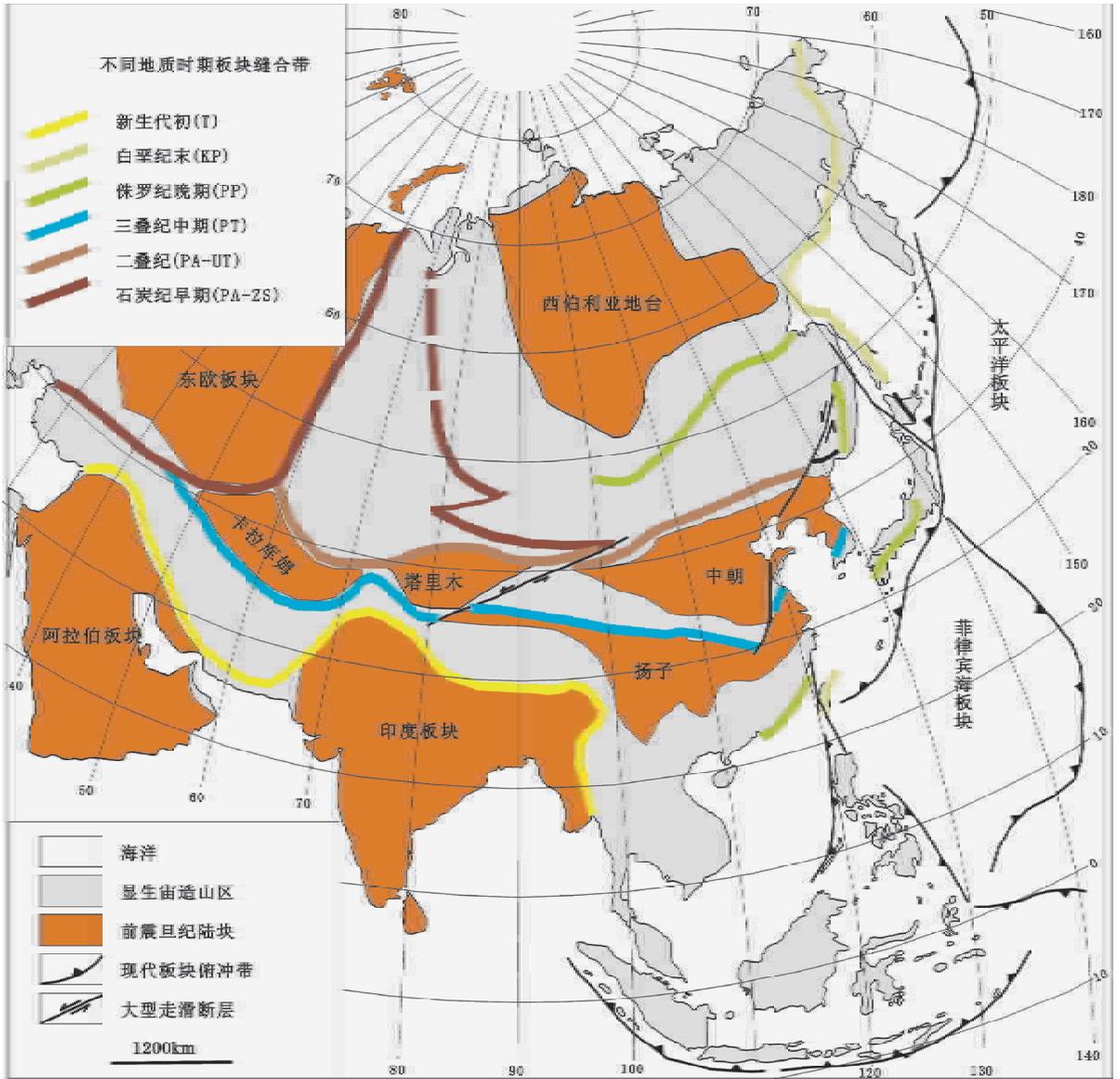


图3 亚洲大陆震旦纪以来不同地质时期形成的古缝合带的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of the paleosuture zone formed in different geological periods since the Sinian on the Asian continent

天山洋盆关闭,哈萨克斯坦古板块和吐哈、喀拉塔格、星星峡等地块或岛弧与石炭纪早期增生后的西伯利亚古板块碰撞,二叠纪早期,南天山洋盆关闭,塔里木陆块被动陆缘与石炭纪中期增生后的西伯利亚古板块碰撞,西北造山区形成。

在东北造山区,奥陶纪期间,额尔古纳地块和中蒙古、图瓦等地块大体同时相继与西伯利亚古板块南缘碰撞,蒙古-鄂霍次克洋盆形成。大体同时,与西北造山区的形成类似,古亚洲洋东段的一些微陆块聚合形成了布列亚-佳木斯古板块^[22, 29],但不同的是中朝陆块北缘为活动陆缘并向洋增生;石炭纪早期,随着南蒙古边缘洋盆的关闭,布列亚-佳木斯古板块与西伯利亚古板块南缘碰撞;石炭纪至二叠纪期

间,中朝陆块北缘演变为类似安第斯型的活动陆缘,并在二叠纪沿索伦山-白城-长春-吉林一线,与西伯利亚古板块的活动陆缘碰撞,古亚洲洋关闭^[30]。从泥盆纪开始,蒙古-鄂霍次克洋岩石圈板块开始向西伯利亚古板块之下俯冲并一直持续到侏罗纪(将另文论述)。

中朝陆块和塔里木陆块以南面临着古特提斯洋。尽管没有证据表明这2个陆块在古生代期间如前人推测的那样连接在一起,但是它们面临古特提斯洋的陆缘都为活动陆缘。在早古生代晚期,中祁连、柴达木、西秦岭、南秦岭、桐柏-大别等地块增生到中朝陆块的南缘,西昆仑北部的古陆碎块增生到塔里木陆块的南缘。在泥盆纪期间,发生与西伯利亚古板

块南缘和新生代美洲大陆西缘类似的拉张作用,早古生代增生陆缘发生裂解,形成了塔里木南缘和柴北缘等地的晚古生代边缘洋盆、南秦岭等地志留纪岩墙及岩浆活动,可能是类似陆缘裂解拉张的产物。有些学者认为,南秦岭等地的志留纪岩浆活动是扬子陆块北缘裂解的产物,但是目前没有任何其他方面的证据表明扬子地块北缘在志留纪和泥盆纪期间遭受了拉张作用,国外其他地区也没有类似被动陆缘裂解的实例。

扬子陆块北缘长江中下游地区震旦纪至三叠纪中期的地层具有被动陆缘的沉积特征,中三叠世至中侏罗世的地层具有前陆盆地堆积物的特征。该区三叠纪中期沉积环境的变化^[84]、大别山和苏鲁地区三叠纪早—中期超高压变质岩的形成及随后至侏罗纪早期的快速折返^[185]、桐柏—大别和苏鲁地区超高压变质岩大体同步的形成与折返过程、南秦岭勉略带晚三叠世强烈构造变形事件的发生^[189],以及昆仑山南缘构造变形及沉积环境变化大致在同一时期发生,表明古特提斯洋在三叠纪期间关闭,扬子陆块与北侧的中朝等陆块的边缘发生碰撞,它们共同组成了当时的欧亚大陆板块,成为潘吉亚大陆的一部分。

在这一地质演化阶段,中朝陆块与塔里木陆块之间的关系,二者是何时以何种方式连接到一起的,是否西昆仑北缘的晚古生代再生洋盆,通过阿尔金地区^[291],与北山南部和阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿岩代表的洋盆、东北造山区南部索伦山—长春一带的晚古生代残余洋盆、南天山二叠纪初残余洋盆等连通,随着这些洋盆在石炭纪晚期至二叠纪早期相继关闭,这2个陆块连接在一起,目前还不清楚,还有待于进一步研究加以证实。扬子地块中西部地区和塔里木陆块、西北造山区二叠纪大规模幔源岩浆活动,是否有成因联系,是地幔柱的作用,还是这2个陆块与中朝和西伯利亚古陆向北漂移的过程中刚好处于古扩张脊之上,从目前的资料看,2种可能性似乎都不能排除。

很明显,潘吉亚大陆形成以后,扬子、中朝和塔里木等陆块都位于该大陆的边缘,由于蒙古—鄂霍次克洋当时还没有关闭,所以当时作为潘吉亚大陆一部分的欧亚大陆的中国部分,与现今还有很大差别。近年来,从雅鲁藏布江等西南造山区其他地区古洋岩石圈残片顶部远洋沉积物中陆续发现的三叠纪和二叠纪放射虫化石,以及东北造山区东部张广才岭等地三叠纪—侏罗纪陆缘岩浆活动证据和三叠纪远洋沉积物的发现,都表明作为潘吉亚大陆东部的中国大陆部分地区,西南部与印度大陆之间,东部与美洲大陆之间,都面临着大洋,可以分别称之为特提斯洋和古太平洋。

三叠纪地质演化的另一个重大地质构造问题是,东南造山区与扬子陆块之间的关系问题。在中国地质界比较流行的认识是,东南造山区具有太古宙或元古代的结晶基底,称之为华夏地块,该地块在新元古代期间与扬子地块碰撞,早古生代期间在二者碰撞带之上叠加有裂陷槽或拗拉槽,在志留纪发生褶皱形成加里东造山带,从泥盆纪开始处于陆内演

化的三阶段构造模型。20世纪70—80年代,南京大学的一些学者运用板块构造理论重新认识该区的地质历史,提出了古生代和中生代沟—弧—盆体系的演化模型,对上述认识提出了第一次挑战。90年代早期,许靖华与中国科学院的地质学家合作研究该区,在认为时代被置于元古宙的板溪群是三叠纪构造混杂岩的基础上,提出上述2个陆块是在三叠纪碰撞的论点,是对上述认识的第二次挑战。90年代中期,中国地质大学的部分学者报道了在被认为是中元古代晚期的赣东北蛇绿岩伴生的硅质岩中发现了二叠纪放射虫化石,认为该蛇绿岩是古生代洋盆的遗迹,进而提出了与许靖华等类似的构造演化模型,是对上述认识的第三次挑战。然而,令人深思的是,每次挑战都遭到了强烈的反对,似乎该区原有的三阶段构造演化模型是不可动摇的。从现有的资料看,新元古代的碰撞造山作用是没有问题的,震旦纪以前的裂解也是符合实际情形的。问题是,如果该区构造演化如上述三阶段构造模型所描述的,那么如何解释该区发育的早古生代钙碱系列的中酸性岩浆活动和三叠纪类似同碰撞到后碰撞构造背景的花岗岩?二叠纪放射虫硅质岩除了见于赣东北地区,还在桂北地区发育,如果它们确实如李献华等^[292]研究的,不是形成于远洋,也是形成于陆坡环境的大陆边缘,那么与这个陆缘相关的大洋位于何处?是何时关闭的?从构造变形的角度看,尽管存在早古生代晚期的构造变形,但是该区最强烈的构造变形却发生在三叠纪。一些学者认为这是陆内叠覆造山,那么是什么动力学背景导致了该区这类造山作用的发生与发展?有些学者将其解释为俯冲带上的伸展作用^[293],那么相关的板块俯冲带位于何处?所有这些问题,目前还没有得到合理的解释。笔者对该区没有进行过野外考察,更没有进行过系统的室内研究,但是根据对现有资料与文献的综合分析,感觉该区的地质构造演化问题并没有解决,三叠纪碰撞造山、三叠纪以前碰撞造山和三叠纪时为复杂活动大陆边缘的等可能性都不能排除。

侏罗纪开始,西南造山区的东部和北部地区可能从三叠纪开始,欧亚大陆开始了向洋增生。羌塘、拉萨等地块相继增生到欧亚大陆边缘,并在白垩纪末至古近纪初印度板块与欧亚大陆板块发生碰撞。

在欧亚大陆东部地区,侏罗纪前陆盆地的识别^[294-295]和构造变形、古地磁的研究,表明蒙古—鄂霍次克洋直到侏罗纪晚期才关闭。笔者近年获得的资料表明,该洋盆是向西伯利亚南缘和额尔古纳地块北缘之下长期俯冲,最后才导致该洋盆关闭的。这一俯冲带现今地理方位表现为向南北两侧俯冲,但是在该洋盆关闭的过程中,它们曾经是一条俯冲带。该俯冲作用导致了东北造山区三叠纪至侏罗纪钙碱系列岩浆活动的发生。

同时,在布列亚—佳木斯古板块以东,牡丹江及其以东地区的宝清等地,向北到布列亚山东坡,发育的晚古生代侵入岩^[296]和宝清等地泥盆纪至二叠纪的火山沉积岩系,反映出古太平洋或称库拉—太平洋板块向欧亚大陆板块或其组成部分

地块之下的俯冲开始于泥盆纪。近年来,张广才岭出露的前人置于早古生代的花岗岩通过精确定年被确定为是侏罗纪的^[20],这可能也是古太平洋板块俯冲的结果。这一俯冲增生作用除了形成上述活动陆缘以外,还在欧亚大陆东北缘形成了那丹哈达岭、锡霍特-阿林、库页岛等向洋逐渐变新的增生造山带。从这个意义上说,古太平洋板块何时向欧亚大陆之下俯冲和古太平洋板块何时开始俯冲是2个概念。如果把蒙古-鄂霍次克洋也作为古太平洋的一部分,或者从牡丹江市以东到布列亚山东坡的地质演化看,古太平洋板块的俯冲至少始于泥盆纪,但是当时其俯冲带上盘的大陆分别是西伯利亚古板块和布列亚-佳木斯古板块,该大洋板块向欧亚大陆之下俯冲的时代应该是欧亚大陆形成以后,即三叠纪以后。

中朝陆块、扬子陆块和东南造山带侏罗纪以来的岩浆活动,是否与古太平洋板块的俯冲有关,是一个讨论多年的话题。近年来,赵越和Davis(2003年10月北京学术讨论会的报告)都把北京西山等地的侏罗纪早-中期的岩浆活动与古太平洋板块的俯冲联系起来,并将其作为古太平洋板块向欧亚大陆板块之下俯冲开始的标志。

扬子陆块边缘的德兴斑岩铜矿及其含矿岩体都形成于侏罗纪中期,东南造山带广泛发育早-中侏罗世的岩浆活动。但是这些岩浆活动是否是板块俯冲作用的产物,目前还不能确定。从美国西部盆岭构造和斑岩铜矿的形成及墨西哥新生代火山岩岩带特征^[199-201]看,它们虽然都位于板块俯冲带的上盘,但是它们都形成于拉张构造背景。因此,东南造山带早-中侏罗世的岩浆活动,很可能与古太平洋板块的俯冲有成因关系。

中国东部晚侏罗世时可能形成了高耸的山脉,其成因被认为可能与古太平洋板块与欧亚大陆板块的碰撞有关,这一认识近年得到了侵入岩研究结果的支持。但是就东北造山区而言,类似的高原可能是蒙古-鄂霍次克洋关闭的结果^[30]。

从白垩纪开始,中国东部地区自北向南发育北东走向的岩浆岩带,其岩石组合和化学成分显示出双峰式的特征。有些学者根据岩石学的研究,认为该区当时岩石圈发生了减薄作用。但是从东北造山区的情况看,白垩纪地壳演化可能具有比较复杂的成因,古高原的演化和古太平洋板块的俯冲可能都有重要的作用^[30]。

古近纪以来,以三江平原、下辽河凹陷和华北平原的形成,以及古近纪和新近纪幔源玄武岩的喷发为标志,东亚大陆边缘发生裂解作用,日本海和台湾海峡等相继形成。而在西南造山区,印度与欧亚大陆的碰撞之后,青藏高原隆起。同时这一碰撞作用还导致了西北造山区天山陆内再造山和中国西部高原-盆地-山脉格局的形成。

综上所述,如果把中国大陆地壳震旦纪以来的形成和构造演化置于全球洋陆格局的演变之中则不难发现,其形成和演化可能分别与古西伯利亚地台与中朝陆块和塔里木陆块之间的古亚洲洋、中朝陆块和塔里木陆块与扬子地块之间的古特提斯洋、额尔古纳陆块与阿尔丹地盾之间的蒙古-鄂霍

次克洋、中生代期间欧亚大陆面临的古太平洋和特提斯洋的演化有关。这些洋盆的关闭,形成了中国境内的中央、西北、东北、西南和东南造山区。众所周知,不同洋盆的演化具有不同的动力学体制,因此与中国大陆地壳震旦纪以来形成演化有关的动力学体制可以划分为古亚洲洋、古特提斯洋、古太平洋(包括蒙古-鄂霍次克洋和库拉-太平洋)、特提斯洋和现今太平洋等动力学体制,与其相关的造山作用发生地区建议称之为造山域,分别为古亚洲、古特提斯、古太平洋、特提斯和太平洋造山域。西北造山区是古亚洲造山域的一部分,经历了特提斯造山域造山作用的改造;东北造山区的主体也是古亚洲造山域的一部分,古太平洋和现今太平洋造山域造山作用对该造山区的形成也有重要贡献,并对古亚洲造山域部分有强烈改造;中央造山区是古特提斯造山域的组成部分,其西段和东段分别遭受了特提斯造山域和太平洋造山域造山作用的改造;西南造山区的形成是特提斯造山域造山作用的产物;东南造山区的形成则比较复杂,古特提斯、古太平洋和现今太平洋造山域的造山作用可能对其都有贡献。

6 结 语

中国大陆地壳形成演化的研究已经积累了丰富的资料。坦白地说,笔者对这些资料收集、研究和理解得还很不够。因此,本文的评述遗误在所难免,所提出的一些想法还有待于进一步的研究加以检验和修正。由于篇幅和时间的局限,参考文献的列举与选择既不够全面,有些可能也不是最合适的。尽管存在诸多不尽如意之处,笔者把它付诸发表,主要是希望有益于相关问题的讨论与深入研究,并认为这是对恩师李春昱先生最好的缅怀方式。

在撰写本文的过程中,与王荃和和政军先生就有关问题进行了讨论,其中的一些认识也在一定范围内进行过交流。在此,对就相关问题提出建设性意见的所有同仁表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1]黄汲清,任纪舜,姜春发,等.中国大地构造基本轮廓[J].地质学报,1977,51(2):117~135.
- [2]任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等.从全球看中国的大地构造——中国及邻区大地构造图的简要说明[M].北京:地质出版社,1999.
- [3]Meer J G. A synopsis of events related to the assembly of eastern Gondwana[J]. Tectonophysics, 2003, 362: 1~40.
- [4]Meert J G, Torsvik T H. Reply to J D A Piper on "The making and unmaking of a supercontinent: Rodinia revisited"[J]. Tectonophysics, 2004, 383: 99~103.
- [5]Torsvik T H. The Rodinia jigsaw puzzle[J]. Science, 2003, 300: 1379~1381.
- [6]李春昱.中国板块构造的轮廓[J].中国地质科学院院报,1980,2(1): 11~22.
- [7]李春昱,王荃,刘雪亚,等.亚洲大地构造图(1:800万)及说明书[M].北京:地图出版社,1982.

- [8]李春昱.在经济体制改革的时期,地质工作如何面向经济建设[J].大自然探索,1985,4(13):9~10.
- [9]Huang T K. On Major Tectonic Forms of China [M]. Geol. Memoirs, Ser. A, No.20, 1945.165pp 8pls.
- [10]张国伟,孟庆任,刘少峰,等.华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构[J].高校地质学报,1997,3(2):129~143.
- [11]钟大赉,丁林,刘福田,等.造山带岩石层多向层架构造及其对新生代岩浆活动的制约——以三江及邻区为例[J].中国科学(D辑),2000,30(增刊):1~8,图版1.
- [12]王凯怡,李继亮,郝杰,等.山西省五台山晚太古代镁铁质-超镁铁质岩:一种可能的古蛇绿混杂岩[J].岩石学报,1997,13(2):139~151.
- [13]Kusky T M, Li J, Tucker R D. The Archean Dongwanzi ophiolite complex, North China craton: 2.505-Billion-Year-old oceanic crust and mantle[J]. Science, 2001, 292:1142~1145.
- [14]李江海, Kusky, 黄雄南, 等.冀东新太古代蛇绿岩套基本特征的初步报道[J].岩石学报, 2001, 17:422~424.
- [15]伍家善, 耿元生, 沈其韩, 等.华北陆台早前寒武纪重大地质事件[M].北京:地质出版社, 1991.1~114.
- [16]伍家善, 耿元生, 沈其韩, 等.中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化[M].北京:地质出版社, 1998.1~212.
- [17]刘敦一, Nutman A P, Williams J S, 等.中朝克拉通老于38亿年的残余陆壳——离子探针质谱锆石微区U-Pb年代学证据[J].地球学报, 1994(1~2):3~13.
- [18]Liu D, Nutman A P, Compston W, et al. Remnants of > 3800Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton[J]. Geology, 1992, 20:339~342.
- [19]李怀坤, 李惠民, 陆松年.长城系团山子组火山岩锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].地球化学, 1995, 24(1):43~48.
- [20]温献德.华北北部中、上元古界的大陆裂谷模式和地层划分[J].前寒武纪研究进展, 1997, 20(3):21~28.
- [21]赵太平, 金成伟, 翟明国, 等.华北陆块南部熊耳群火山岩的地球化学特征与成因[J].岩石学报, 2001, 18(1):59~69.
- [22]赵太平, 周美夫, 金成伟, 等.华北陆块南缘熊耳群形成时代讨论[J].地质科学, 2001, 36(3):326~334.
- [23]侯贵廷, 穆治国.华北克拉通晚前寒武纪镁铁质岩墙群K-Ar年龄及地质意义[J].华北地质矿产杂志, 1994, 9(3):267~270.
- [24]侯贵廷, 张臣, 钱祥麟.华北克拉通中元古代基性岩墙群形成机制及构造应力场[J].地质论评, 1998, 44(3):309~314.
- [25]侯贵廷, 李江海, 钱祥麟.晋北地区中元古代岩墙群的地球化学特征和大地构造背景[J].岩石学报, 2001, 17(3):352~357.
- [26]周鼎武, 张成立, 刘良, 等.秦岭造山带及相邻地块元古代基性岩墙群研究综述及相关问题探讨[J].岩石学报, 2000(1):22~28.
- [27]彭澎, 翟明国, 张华锋, 等.华北克拉通1.8Ga镁铁质岩墙群的地球化学特征及其地质意义:以晋冀蒙交界地区为例[J].岩石学报, 2004, 20(3):439~456.
- [28]和政军, 孟祥化, 葛明.燕山地区长城纪沉积演化及构造控制[J].沉积学报, 1994, 12(2):10~19.
- [29]洪作民.华北陆台北缘中晚元古代坳拉谷[J].化工矿产地质, 1997, 19(1):43~48.
- [30]李锦轶.中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识[J].地质论评, 1998, 44(4):339~347.
- [31]周洪瑞, 王自强.华北大陆南缘中、新元古代大陆边缘性质及构造古地理演化[J].现代地质, 1999, 13(3):262~267.
- [32]张文显.华北燕山南麓晚古生代煤系中火山碎屑岩的发现[J].煤田地质与勘探, 1984, 14(5):8~10.
- [33]王永平.济宁、巨野、滕县煤田石炭-二叠纪的火山碎屑岩[J].煤田地质与勘探, 1990, 20(4):9~11.
- [34]彭格林, 钟蓉.华北西缘太原组火山事件沉积的发现及太原组地层对比[J].现代地质, 1995, 9(1):108~118.
- [35]钟蓉, 孙善平, 傅泽明.山东及邻区晚石炭-二叠纪火山事件沉积及地层对比[J].地质学报, 1996, 70(2):142~152.
- [36]张开均.华北板块东缘晚古生代火山活动及其大地构造含义[J].中国煤田地质, 1998, 10(3):10~11.
- [37]贾炳文, 谷东起.晋中冀西太原组中段火山事件层岩矿地化特征及其意义[J].沉积学报, 1998, 16(3):85~91.
- [38]郁建华, 付会芹, 哈巴拉, 等.华北克拉通北部1.70Ga非造山环斑花岗岩岩套[J].华北地质矿产杂志, 1996(3):341~350.
- [39]刘正宏, 徐仲元, 杨振升.华北板块北缘中段中元古代魏家沟岩群的建立及其地质意义[J].长春科技大学学报, 1999, 29(1):9~14.
- [40]张臣.华北克拉通北缘中段中新元古代热-构造事件及其演化[J].北京大学学报(自然科学版), 2004, 40(2):232~240.
- [41]耿元生, 王新社, 沈其韩, 等.阿拉善地区新元古代晋宁期变形花岗岩的发现及其地质意义[J].岩石矿物学杂志, 2002, 21(4):412~420.
- [42]唐克东, 等.中朝陆台北侧褶皱带构造演化及成矿规律[M].北京:北京大学出版社, 1992.
- [43]陈树良, 高世荣, 李淑霞.辽宁建平加里东期侵入岩地质特征及侵位机制[J].辽宁地质, 1997(1):15~23.
- [44]苗来成, 翟裕生, 朱成伟, 等.冀西北水泉沟碱性杂岩体成岩时代研究[J].黄金地质, 2001, 7(1):1~6.
- [45]冷福荣, 刘旺盛, 苏英.华北地台北缘海西期花岗岩类地球化学特征及构造环境探讨[J].内蒙古地质, 1996(21):18~25.
- [46]陶继雄, 胡凤翔, 陈志勇.华北陆块北缘印支期S型花岗岩带特征及其构造环境[J].岩石矿物学杂志, 2003, 22(2):112~118.
- [47]牟堡垒, 阎国翰.燕辽三叠纪碱性偏碱性杂岩体地球化学特征及意义[J].地质学报, 1992, 66(2):108~121.
- [48]阎国翰, 牟保磊, 许保良, 等.燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和Sr、Nd、Pb同位素特征及意义[J].中国科学(D辑), 2000, 30(4):383~387.
- [49]倪志耀, 翟明国, 王仁民, 等.华北古陆块北缘中段发现晚古生代退变榴辉岩[J].科学通报, 2004, 49(6):585~591.
- [50]陆松年, 李怀坤, 李惠民, 等.华北克拉通南缘龙王碾碱性花岗岩U-Pb年龄及其地质意义[J].地质通报, 2003, 22(10):762~768.
- [51]张正伟, 潘振祥, 戴耕.华北陆块南缘富碱侵入岩岩石组合及时空分布[J].河南地质, 1996, 14(4):263~271.
- [52]陈丽荣, 陈陇刚, 薛焯洲.小秦岭加里东期侵入岩地质特征及侵位机制[J].陕西地质, 1999, 17(1):12~18.
- [53]路凤香, 赵磊, 邓晋福, 等.华北地台金伯利岩岩浆活动时代讨论

- [] . 岩石学报, 1995, 11(4): 365~374.
- [54] 李泽九, 骆庭川, 张本仁. 华北地台南缘燕山期板内花岗岩斑岩类地球化学特征及成分空间变化规律[J]. 地球科学, 1994, 19(3): 383~389.
- [55] 王北颖, 陈陇刚, 薛煜洲, 等. 小秦岭中生代花岗岩岩性带特征及岩石谱系单位划分[J]. 中国区域地质, 1998, 17(3): 266~277.
- [56] 刘红涛, 翟明国, 刘建明, 等. 华北克拉通北缘中生代花岗岩: 从碰撞后到非造山[J]. 岩石学报, 2002, 18(4): 433~448.
- [57] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 289~299.
- [58] 杨庚, 钱祥麟, 李茂松, 等. 塔里木北缘库车盆地冲断构造平衡地质剖面研究[J]. 地球科学, 1996, 21(3): 295~299.
- [59] 李秋生, 卢德源, 高锐, 等. 横跨西昆仑-塔里木接触带的爆炸地震探测[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(S1): 16~21.
- [60] 高锐, 黄东定, 卢德源, 等. 横过西昆仑造山带与塔里木盆地结合带的深地震反射剖面[J]. 科学通报, 2000, 45(17): 1874~1879.
- [61] 高锐, 肖序常, 刘训, 等. 新疆地学断面深地震反射剖面揭示的西昆仑-塔里木结合带岩石圈细结构[J]. 地球学报, 2001, 22(6): 547~552.
- [62] 胡霭琴, 格雷姆·罗杰斯. 新疆塔里木北缘首次发现33亿年的岩石[J]. 科学通报, 1992, 37(7): 627~630.
- [63] 郭召杰, 张志诚, 刘树文, 等. 塔里木克拉通早前寒武纪基底层序与组合: 颗粒锆石U-Pb年龄新证据[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 537~542.
- [64] 张传林, 赵宇, 郭坤一, 等. 塔里木南缘元古代变质基性火山岩地球化学特征——古塔里木板块中元古代裂解的证据[J]. 地球科学, 2003, 28(1): 47~53.
- [65] Liou J G, Graham S A, Maruyama S, et al. Characteristics and tectonic significance of the Late Proterozoic Aksu blueschists and diabasic dikes, Northwest Xinjiang, China[J]. International Geological Review, 1996, 38: 228~224.
- [66] Nakajima T, Maruyama S, Uchiumi S, et al. The age of the oldest blueschist of the world—the Aksu Group of Western China[J]. Nature, 1991, 346: 263~265.
- [67] 李日俊, 贾承造, 胡世玲, 等. 塔里木盆地瓦基里塔格辉长岩⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄及其意义[J]. 岩石学报, 1999, 15(4): 594~599.
- [68] 李日俊, 孙龙德, 胡世玲, 等. 塔里木盆地塔参1井底部花岗闪长岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar年代学研究[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 530~536.
- [69] 杨树锋, 陈汉林, 董传万, 等. 塔里木盆地西北缘晚震旦世玄武岩地球化学特征及大地构造背景[J]. 浙江大学学报(工学版), 1998, 32(6): 752~760.
- [70] Li Jinyi. Petrological evidence of continental disintegration in the late Neoproterozoic: Sinian volcanic rocks in central China mainland[J]. Gondwana Research, 2001, 4(4): 682~683.
- [71] 海朋. 塔里木微板震旦-寒武系火山岩地球化学及其大地构造意义[J]. 西北地质, 2003, 36(3): 1~6.
- [72] 杨树锋, 陈汉林, 董传万, 等. 塔里木盆地二叠纪正长岩的发现及其地球动力学意义[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 121~128.
- [73] 陈汉林, 杨树锋, 董传万, 等. 塔里木盆地二叠纪基性岩带的确定及大地构造意义[J]. 地球化学, 1997, 26(6): 77~87.
- [74] 陈汉林, 杨树锋, 贾承造, 等. 塔里木盆地北部二叠纪中酸性火成岩带的厘定及对塔北构造演化的新认识[J]. 矿物学报, 1998, 18(3): 370~376.
- [75] 刘楚雄, 许保良, 邹天人, 等. 塔里木北缘及邻区海西期碱性岩岩石化学特征及其大地构造意义[J]. 新疆地质, 2004, 22(1): 43~49.
- [76] 张志诚, 郭召杰, 刘玉琳, 等. 新疆库鲁克塔格地区基性岩墙群氩同位素组成及其地质意义[J]. 新疆地质, 2004, 22(1): 12~15.
- [77] 刘红涛, 祁漫塔格陆相火山岩-塔里木陆块南缘印支期活动大陆边缘的岩石学证据[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 337~351.
- [78] 马润则, 刘援朝, 刘家铎. 塔里木南缘浅变质岩系形成时代及构造背景[J]. 新疆地质, 2003, 21(1): 51~56.
- [79] 赵磊, 何明跃, 李友枝, 等. 塔里木地台南缘发现钾镁煌斑岩[J]. 现代地质, 1998, 12(4): 555~558.
- [80] 郭坤一, 张传林, 赵宇, 等. 塔里木南缘煌斑岩的时代及其地质意义[J]. 地质科学, 2003, 38(4): 532~534.
- [81] 罗照华, 白志达, 赵志丹, 等. 塔里木盆地南北缘新生代火山岩成因及其地质意义[J]. 地质前缘, 2003, 10(3): 179~189.
- [82] 李献华, 赵振华, 桂训唐. 华南前寒武纪地壳形成时代的Sm-Nd和锆石U-Pb同位素制约[J]. 地球化学, 1991(3): 255~263.
- [83] 常印佛, 董树文, 黄德志. 论中-下扬子"一盖多底"格局与演化[J]. 火山地质与矿产, 1996, 17(1~2): 1~15.
- [84] 李锦铎. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式——长江中下游地区震旦纪-侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 25~34.
- [85] 刘福田, 刘建华, 何建坤, 等. 滇西特提斯造山带下扬子地块的俯冲板片[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 79~84.
- [86] 朱旗展, 万浩章. 丰城三溪峡—东乡石马岭推覆构造是扬子板块与华南板块的直接分界线[J]. 江西地质, 2001, 15(4): 241~246.
- [87] 袁学诚, 徐明才, 唐文榜, 等. 东秦岭陆壳反射地震剖面[J]. 地球物理学报, 1994, 37(6): 749~758.
- [88] 高山, 张本仁. 扬子地台北部太古宙TTG片麻岩的发现及其地质意义[J]. 地球科学, 1990, 15(6): 675~679.
- [89] Qiu Y M, Gao S, McNaughton N J, et al. First evidence of >3.2Ga continental crust in the Yangtze craton of South China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics[J]. Geology, 2000, 28(1): 11~14.
- [90] 高山, Yumin Qiu, 凌文黎, 等. 崆岭高级变质体地单颗粒锆石SHRIMP U-Pb年代学研究——扬子克拉通>3.2Ga陆壳物质的发现[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(1): 27~35.
- [91] 邢凤鸣, 徐祥, 李志昌. 长江中下游早元古代基底的发现及意义[J]. 科学通报, 1993, 38: 1883~1886.
- [92] 甘晓春, 赵凤清, 金文山, 等. 华南火成岩中捕获锆石的早元古代-太古宙U-Pb年龄信息[J]. 地球化学, 1996, 25: 112~120.
- [93] 李献华. 扬子块体南缘四堡群Sm-Nd同位素体系及其地壳演化意义[J]. 地质科学, 1996, 31(3): 216~226.
- [94] 张海祥, 孙大中, 朱炳泉, 等. 赣北元古代变质沉积岩的铅铋同位素特征[J]. 中国区域地质, 2000, 19(1): 66~71.
- [95] 秦松贤, 章泽军, 张志, 等. 赣北中元古界双桥山群低变质强变形行为与格林威尔期造山作用[J]. 地质科技情报, 2002, 21(2): 8~12.

- [96]何政伟,刘援朝,魏显贵,等.扬子克拉通北缘米仓山地区基底变质岩系同位素地质年代学[J].矿物岩石,1997,17(增刊):83~87.
- [97]颜丹平,周美夫,宋鸿林,等.华南在Rodinia古陆中位置的讨论——扬子地块西缘变质-岩浆杂岩证据及其与Seychelles地块的对比[J].地学前缘,2002,9(4):249~256.
- [98]Zhou M F, Zhao T P, Malpas J, et al. Crustal contaminated komatiitic basalts in southern China: products of Proterozoic mantle plume underneath the Yangtze block[J]. Precambrian Research, 2000, 103:175~189.
- [99]Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze block, South China [J]. Earth and Planetary Science Letter, 2002, 196:51~67.
- [100]Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, et al. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions in the northern margin of South China: Implications for accretion of Rodinia[J]. Journal of Geology, 2002.
- [101]闫全人, Hanson A D, 王宗起, 等. 扬子板块北缘碧口群火山岩的地球化学特征及其构造环境 [J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(1):1~11.
- [102]Yan Quanren, Wang Zongqi, Hanson A D, et al. SHRIMP age and geochemistry of Bikou volcanic terrane: Implications for Neoproterozoic tectonics on the north margin of the Yangtze craton[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(4):479~490.
- [103]凌洪飞,徐士进,沈渭洲,等.格宗、东谷岩体Nd、Sr、Pb、O同位素特征及其与扬子板块边缘其它晋宁期花岗岩对比[J].岩石学报,1998,14(3):269~277.
- [104]徐士进,王汝成,沈渭洲,等.松潘-甘孜造山带中晋宁期花岗岩的U-Pb和Rb-Sr同位素定年及其大地构造意义[J].中国科学(D辑),1996,26(1):52~58.
- [105]沈渭洲,李惠民,徐士进,等.扬子板块西缘黄草山和下索子花岗岩体锆石U-Pb年代学研究[J].高校地质学报,2000,6(3):412~416.
- [106]沈渭洲,高剑峰,徐士进,等.扬子板块西缘泸定桥头基性杂岩体的地球化学特征和成因[J].高校地质学报,2002,8(4):380~389.
- [107]周朝宪,魏春生,李朝阳.扬子地块西南缘下震旦系火成岩系研究[J].矿物学报,1998,18(4):401~410.
- [108]王康明,阚泽忠.扬子地台西缘对Rodinia形成期地质响应[J].华南地质与矿产,2001(4):22~27.
- [109]凌文黎,高山,欧阳建平,等.西乡群的时代与构造背景:同位素年代学及地球化学制约[J].中国科学(D辑),2002,32(2):101~112.
- [110]赵建新,李献华,Mc Culloch M T,等.皖南和赣东北蛇绿岩成因及构造意义:元素和Sm-Nd同位素制约[J].地球化学,1995,24:311~326.
- [111]匡耀求,张本仁,欧阳建平.扬子克拉通北西缘碧口群的解体与地层划分[J].地球科学,1999,24(3):251~255,286.
- [112]唐红峰,周新民,支利庚.皖南许村晚元古代复合岩墙群的发现及其意义[J].科学通报,1997,42(1):64~66.
- [113]田景春,张长俊.早震旦世扬子地块东南缘构造性质探讨[J].矿物岩石,1995,15(2):55~59.
- [114]喻安光,郭建强.扬子地台西缘构造格局[J].中国区域地质,1998,17(3):255~261.
- [115]杨更,陈玉禄,杨明文.扬子地台西缘中代古生代地层的新认识[J].四川地质学报,1999,19(4):260~265.
- [116]刘秉光,黄开年.峨眉山玄武岩和裂谷作用[A].见:中国科学院地质研究所编.中国科学院地质研究所科研成果选集(一)[C].北京:文物出版社,1982.208~214.
- [117]林建英.中国西南三省玄武岩系的时空分布及其地质体制[J].科学通报,1985(12):929~932.
- [118]Chung Sun-Lin, John Bor-ming. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary[J]. Geology, 1995, 23:889~892.
- [119]王忠诚,吴浩若,邝国敦.桂西晚古生代海相玄武岩的特征及其形成环境[J].岩石学报,1997,13:260~265.
- [120]宋谢炎,王玉兰,曹志敏,等.峨眉山玄武岩、峨眉山裂运动与地幔柱[J].地质地球化学,1998,1(1):47~52.
- [121]张旗,钱青,王焰,等.扬子地块西南缘晚古生代基性岩浆岩的性质与古特提斯洋的演化[J].岩石学报,1999,15(4):576~583.
- [122]杨宗让.川西松潘-甘孜弧前盆地的形成及演化[J].沉积与特提斯地质,2002,22(3):53~59.
- [123]徐强,潘桂棠,江新胜.松潘-甘孜带:是弧前增生还是弧后消减?[J].矿物岩石,2003,23(2):27~31.
- [124]李秋生,彭苏萍,高锐,等.青藏高原北部巴颜喀拉构造带基底隆起的地震学证据[J].地质通报,2003,22(10):782~788.
- [125]姜春发,王宗起,李锦轶,等.中央造山带开合构造[M].北京:地质出版社,2000.
- [126]张国伟,孟庆任,刘少峰,等.华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构[J].高校地质学报,1997,3(2):129~143.
- [127]高锐,肖序常,高弘,等.西昆仑-塔里木-天山岩石圈深地震探测综述[J].地质通报,2002,21(1):11~18.
- [128]吴元保,陈道公,夏群科,等.大别山黄土岭麻粒岩中锆石LAM-ICP-MS微区微量元素分析和Pb-Pb定年[J].中国科学(D辑),2003,33(1):20~28.
- [129]张宗清,宋彪,唐索寒,等.秦岭佛坪变质结晶岩系年龄和物质组成特征——SHRIMP锆石U-Pb年代学和全岩Sm-Nd年代学数据[J].中国地质,2004,31(2):161~168.
- [130]常宏,王向利,能伟.南秦岭佛坪穹隆基底组成[J].西北地质,1998,19(3):6~11.
- [131]王居里.秦岭造山带佛坪基底杂岩的地质特征[J].西北地质,2002,35(2):1~8.
- [132]王根宝.南秦岭佛坪片麻岩系同位素年代学及其地质意义[J].西北地质科学,1997,18(2):21~25.
- [133]李亚林,王根宝,王成善,等.南秦岭龙草坪结晶杂岩锆石U-Pb同位素地质年代学研究[J].矿物学报,2000,20(1):50~54.
- [134]裴先治,李厚民,李国光,等.东秦岭“武关岩群”斜长角闪岩Sm-Nd同位素年龄及其地质意义[J].中国区域地质,1997,16(1):38~42.

- [135] 齐文, 王向利, 王炜红, 等. 南秦岭凤凰山地区元古代构造基底特征[J]. 陕西地质, 2002, 20(2): 9~19.
- [136] 沈洁, 张宗清, 刘敦一. 东秦岭陡岭群变质杂岩Sm-Nd, Rb-Sr, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄[J]. 地球学报, 1997, 18(3): 248~254.
- [137] 裴先治, 李厚民, 李国光. 东秦岭武关岩群的组成特征及其大地构造意义[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(1): 1~5.
- [138] 裴先治, 李厚民, 李国光. 东秦岭丹凤岩群的形成时代和构造属性[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(2): 180~188.
- [139] 李怀坤, 陆松年, 陈志宏, 等. 南秦岭耀岭河群裂谷型火山岩锆石U-Pb年代学[J]. 地质通报, 2003, 22(10): 775~781.
- [140] 凌文黎, 程建萍, 王歆华, 等. 武当地区新元古代岩浆岩地球化学特征及其对南秦岭晋宁期区域构造性质的指示[J]. 岩石学报, 2002, 18(1): 25~36.
- [141] 董云鹏, 张国伟, 朱炳泉. 北秦岭构造属性与元古代构造演化[J]. 地球学报, 2003, 24(1): 3~10.
- [142] 卢欣祥, 董有, 尉向东, 等. 东秦岭吐雾山A型花岗岩的时代及其构造意义[J]. 科学通报, 1999, 44(9): 975~978.
- [143] 王涛, 李伍平, 王晓霞. 秦岭杂岩牛角山花岗岩质片麻岩体锆石U-Pb同位素年龄及其地质意义[J]. 中国区域地质, 1998, 17(3): 262~265.
- [144] 陈志宏, 陆松年, 李怀坤, 等. 北秦岭德河黑云二长花岗岩片麻岩体的成岩时代——TIMS和SHRIMP锆石U-Pb同位素年代学[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 136~141.
- [145] 张传林, 杨瑞东, 朱立华, 等. 西秦岭元古界的发现及其地质意义[J]. 地层学杂志, 1999, 23(3): 211~216.
- [146] 车自成, 孙勇. 阿尔金麻粒岩相杂岩的时代及塔里木盆地的基底[J]. 中国区域地质, 1996, (1): 51~57.
- [147] 张传林, 王中刚, 沈加林, 等. 西昆仑山阿卡孜岩体锆石SHRIMP定年及其地球化学特征[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 523~529.
- [148] 张传林, 杨淳, 沈加林, 等. 西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石SHRIMP年龄及其意义[J]. 地质论评, 2003, 49(3): 239~244.
- [149] 张传林, 赵宇, 郭坤一, 等. 青藏高原北缘首次获得格林威尔期造山事件同位素年龄值[J]. 地质科学, 2003, 38(4): 535~538.
- [150] 朱云海, Pan Yuanming, 张克信. 东昆仑造山带东段晋宁期岩浆活动及其演化[J]. 地球科学, 2000, 25(3): 231~266.
- [151] 郭坤一, 张传林, 赵宇, 等. 西昆仑造山带东段中新元古代洋内弧火山岩地球化学特征[J]. 中国地质, 2002, 29(2): 161~166.
- [152] 董云鹏, 周鼎武, 张国伟. 东秦岭松树沟超镁铁岩侵位机制及其构造演化[J]. 地质科学, 1997, 32(2): 173~180.
- [153] 董云鹏, 周鼎武, 刘良, 等. 东秦岭松树沟蛇绿岩Sm-Nd同位素年龄的地质意义[J]. 中国区域地质, 1997, 16(2): 217~221.
- [154] 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 秦岭黑河镁铁质枕状熔岩年龄和地球化学特征[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(1): 36~42.
- [155] 孙勇, 卢欣祥, 韩松, 等. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(S1): 49~55.
- [156] 冯庆来, 杜远生, 殷鸿福, 等. 南秦岭勉略蛇绿混杂岩带中放射虫的发现及其意义[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(S1): 78~82.
- [157] 李卫东, 彭湘萍, 康正文, 等. 东昆仑木孜塔格地区畅流沟蛇绿岩岩石地球化学特征及其构造意义[J]. 新疆地质, 2003, 21(3): 263~268.
- [158] 邓万明. 喀喇崑崙-西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 1995, 11(S1): 98~111.
- [159] 杨金中, 沈远超, 李光明, 等. 新疆东昆仑鸭子泉蛇绿岩的基本特征及其大地构造意义[J]. 现代地质, 1999, 13(3): 309~314.
- [160] 王秉璋, 张智勇, 张森琦, 等. 东昆仑东端苦海-赛什塘地区晚古生代蛇绿岩的地质特征[J]. 地球科学, 2000, 25(6): 592~598.
- [161] 李曰俊, 贾承造, 郝杰, 等. 东昆仑铁石达斯群发现放射虫动物群[J]. 科学通报, 2000, 45(2): 205~208.
- [162] 袁超, 孙敏, 李继亮, 等. 西昆仑库地蛇绿岩的构造背景: 来自玻安岩系岩石的新证据[J]. 地球化学, 2002, 31(1): 43~48.
- [163] 刘石华, 匡文龙, 刘继顺, 等. 西昆仑北带蛇绿岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. 世界地质, 2002, 21(4): 332~339.
- [164] 韩芳林, 崔建堂, 计文化, 等. 西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 2002, 21(8~9): 573~578.
- [165] 肖序常, 王军, 苏犁, 等. 再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义[J]. 地质通报, 2003, 22(10): 745~750.
- [166] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 1~182.
- [167] 陈志宏, 陆松年, 李怀坤, 等. 秦岭造山带富水中基性侵入杂岩的成岩时代——锆石U-Pb及全岩Sm, Nd同位素年代学新证据[J]. 地质通报, 2004, 23(4): 322~328.
- [168] 赵国春, 胡健民, 孟庆任. 武当地块西部席状基性侵入岩群地球化学特征: 南秦岭古生代底侵作用的依据[J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 612~622.
- [169] 张成立, 高山, 张国伟, 等. 南秦岭早古生代碱性岩墙群的地球化学及其地质意义[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(10): 819~829.
- [170] 崔建堂, 赵长缨, 计文化. 柞水北部秦岭群中丹凤岩群和龙潭子序列的确立[J]. 陕西地质, 1999, 17(1): 1~11.
- [171] 李锦轶, 牛宝贵, 刘志刚, 等. 秦岭西段天水一带李子园群变质变形时代的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年代学证据[J]. 中国区域地质, 1997, 16(1): 21~25.
- [172] 李曙光, 侯振辉, 杨永成, 等. 南秦岭勉略构造带三岔子古岩浆弧的地球化学特征及形成时代[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(12): 1163~1173.
- [173] 张建新, 孟繁聪, 万渝生, 等. 柴达木盆地南缘金水口群的早古生代构造热事件: 锆石U-Pb SHRIMP年龄证据[J]. 地质通报, 2003, 22(6): 397~404.
- [174] 肖庆辉, 卢欣祥, 王菲, 等. 柴达木北缘鹰峰环斑花岗岩的时代及地质意义[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(12): 1193~1200.
- [175] 张建新, 孟繁聪, 杨经绥. 柴达木盆地北缘西段榴辉岩相变质泥质岩的确定及意义[J]. 地质通报, 2003, 22(9): 655~657.
- [176] 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 等. 秦岭勉略带中安子山麻粒岩的年龄[J]. 科学通报, 2002, 47(22): 1751~1755.
- [177] 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩的年龄及其对秦岭造山带主造山期结束时间的限制[J]. 科学通报, 1999, 44(9): 981~984.
- [178] 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 等. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(4): 372~377.
- [179] 孙卫东, 李曙光, Yadong Chen, 等. 南秦岭花岗岩锆石U-Pb定年及其地质意义[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 209~216.
- [180] Li Jinyi, Wang Zongqi, Zhao Min. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochrono-

- logical constraints on the timing of collisional orogeny in the Mian-Lue collision belt, southern Qinling mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(2): 208~215.
- [181]袁超,孙敏,李继亮.西昆仑中带两个花岗岩体的年龄和可能的源区[J].*科学通报*,1999,44(5):534~538.
- [182]罗照华,柯珊,曹永清,等.东昆仑印支晚期幔源岩浆活动[J].*地质通报*,2002,21(6):292~297.
- [183]郝杰,刘小汉,桑海清.新疆东昆仑野牛泉石英闪长岩与英安斑岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年龄[J].*地质通报*,2003,22(3):165~169.
- [184]袁超,孙敏,周辉,等.西昆仑阿卡阿孜山岩体的年代、源区和构造意义[J].*新疆地质*,2003,21(1):37~45.
- [185]Li Jinyi, Yang Tiannan, Chen Wen, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Dating of deformation events and reconstruction of exhumation of ultrahigh-pressure metamorphic rocks in Donghai, East China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77(2): 155~168.
- [186]刘成东,莫宣学,罗照华,等.东昆仑壳-幔岩浆混合作用:来自锆石SHRIMP年代学的证据[J].*科学通报*,2004,49(6):596~602.
- [187]朱云海,朱耀生,林启祥,等.东昆仑造山带海德乌拉一带早侏罗世火山岩特征及其构造意义[J].*地球科学*,2003,28(6):653~659.
- [188]刘成东,周肃,莫宣学,等.东昆仑造山带后碰撞花岗岩岩石地球化学和⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年代学约束[J].*华东地质学院学报*,2003,26(4):301~305.
- [189]胡霭琴,张国新,张前锋,等.阿尔泰造山带变质岩系时代问题的讨论[J].*地质科学*,2002,37(2):129~142.
- [190]方同辉,王京彬,张进红,等.新疆阿尔泰元古代基性岩浆侵入事件[J].*中国地质*,2002,29(1):48~54.
- [191]王广耀,张玉亭.新疆阿尔泰震旦系的初步划分与对比[J].*地层学杂志*,1984,8(4):296~300.
- [192]Windley F B, Kroner A, J Guo, et al. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution[J]. *The Journal of Geology*, 2002, 110: 719~737.
- [193]郑常青,徐学纯,何政伟.阿尔泰造山带晚古生代斜长-二长花岗岩片麻岩特征及成因研究[J].*矿物岩石*,2003,23(2):1~5.
- [194]牛贺才,许继峰,于学元,等.新疆阿尔泰富镁火山岩系的发现及其地质意义[J].*科学通报*,1999,44(9):1002~1004.
- [195]张海祥,牛贺才, Terada K, 等.新疆北部阿尔泰地区库车提蛇绿岩中斜长花岗岩的SHRIMP年代学研究[J].*科学通报*,2003,48(12):1350~1354.
- [196]许继峰,陈繁荣,于学元,等.新疆北部阿尔泰地区库车提蛇绿岩:古弧后盆地系统的产物[J].*岩石矿物学杂志*,2001,20(3):344~352.
- [197]王登红,陈毓川,徐志刚,等.阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M].北京:原子能出版社,2002.498.
- [198]韩宝福,何国琦.中国阿尔泰山南缘泥盆纪火山岩带的大地构造性质[J].*新疆地质科学*,1991(3):89~100.
- [199]Ferrari L, Petrone C M, Francalanci L. Generation of oceanic-island basalt-type volcanism in the western Trans-Mexican volcanic belt by slab rollback, asthenosphere infiltration, and variable flux melting[J]. *Geology*, 2001, 29(6): 507~510.
- [200]Ferrari L. Slab detachment control on mafic volcanic pulse and mantle heterogeneity in central Mexico[J]. *Geology*, 2004, 32(1): 77~88.
- [201]Marquez A, Oyarzun R, Doblaz M, et al. Alkalic (ocean-island basalt type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican volcanic belt: A case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin? [J]. *Geology*, 1999, 27(1): 51~54.
- [202]肖序常,汤耀庆,冯益民,等.新疆北部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992.1~169.
- [203]Wang Zhihong, Sun Shu, Li Jiliang, et al. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: Geochemical and geochronological constraints from the ophiolites [J]. *Tectonics*, 2003, 22(2): 1014, doi: 10. 1029/2002TC001396.
- [204]李锦轶.试论新疆东准噶尔古生代板块构造演化[A].见:肖序常,汤耀庆主编.古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化[C].北京:北京科学技术出版社,1991.92~108.
- [205]Jinyi Li, Wenjiao Xiao, Kezhao Wang, et al. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China[A]. In: Mao Jingwen, Goldfarb, Seltman, et al(eds). *Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan* [C]. I-AGOD Guidebook Series 10: CERCAM/NHM, London, 2003.31~74.
- [206]李锦轶.新疆东部新元古代晚期至古生代的构造格局与构造演化[J].*地质论评*,2004,50(3):304~322.
- [207]Feng Y, Coleman R G, Tilton G, et al. Tectonic evolution of the West Junggar region, Xinjiang, China[J]. *Tectonics*, 1989, 8: 729~752.
- [208]刘树文,郭召杰,张志诚,等.中天山东段前寒武纪变质地块的性质:地质年代学和铀同位素地球化学的约束[J].*中国科学(D辑)*,2004,34(5):395~403.
- [209]胡霭琴,张国新,张前锋,等.新疆北部大陆前寒武纪基底同位素地球化学研究新进展[A].见:新疆金属矿产资源的基础研究[C].北京:科学出版社,2001.137~156.
- [210]梅华林,李惠民,陆松年,等.甘肃柳园地区花岗质岩石时代及成因[J].*岩石矿物学杂志*,1999,18(1):14~17.
- [211]魏学平,龚全胜,梁明宏,等.马鬃山隆起区前长城系敦煌岩群变质变形和演化特征[J].*甘肃地质学报*,2000,9(1):36~43.
- [212]左国朝,何国琦,等.北山板块构造及成矿规律[M].北京:北京大学出版社,1990.1~226.
- [213]梅华林,于海峰,李铨,等.甘肃北山地区首次发现榴辉岩和古元古花岗质岩石[J].*科学通报*,1998,43(19):2105~2111.
- [214]洪大卫,黄怀曾,王式光.中国北疆及其邻区晚古生代-三叠纪碱性花岗岩带及其动力学意义初探[A].见:李之彤主编.中国北方花岗岩及其成矿作用论文集[C].北京:地质出版社,1991.40~48.
- [215]岳永君.新疆富蕴县恰库尔特一带碱性花岗岩基本特征及形成的大地构造背景[J].*新疆地质*,1991,9(3):266~274.
- [216]Han B F, He G Q, Wang S. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the

- Junggar Basin[J]. Science in China (Series D—Earth Science), 1999, 42(2):113~119(in Chinese)
- [217]陈富文,李华芹,工登红,等.中国阿尔泰山带燕山期成岩成矿同位素年代学新证据[J].科学通报,1999,44(11):1142~1148.
- [218]张前峰,胡藜琴,张国新,等.阿尔泰山地区中、新生代岩浆活动的同位素年龄证据[J].地球化学,1994,23(3):269~280.
- [219]王登红,陈毓川,徐志刚.新疆阿尔泰山印支期伟晶岩的成矿年代学研究[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(1):14~17.
- [220]聂凤军,江思宏,刘妍,等.甘肃花牛山东钾长花岗岩⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年龄及其地质意义[J].地质科学,2002,37(4):415~422.
- [221]江思宏,聂凤军,陈文,等.甘肃辉铜山铜矿床燕山期钾长花岗岩的发现及其地质意义[J].矿床地质,2003,22(2):185~190.
- [222]李锦轶.布列亚—佳木斯古板块的构成及演化[J].地质研究,1995,(28):96~98.
- [223]李锦轶,牛宝贵,宋彪,等.黑龙江省东部中太古代碎屑岩锆石的发现及其地质意义[J].地球学报,1995(3):331~333.
- [224]陶于祥.福建前寒武纪基底构造格局及演化浅析[J].中国区域地质,1997,16(1):60~65.
- [225]刘邦秀,刘春根,邱永泉.江西南部鹤仔片麻状花岗岩类Pb—Pb同位素年龄及其地质意义[J].火山地质与矿产,2001,22(4):264~268.
- [226]王一先,赵振华,包志伟,等.浙江花岗岩类地球化学与地壳演化——II.元古宙花岗岩类[J].地球化学,1997,26(6):57~68.
- [227]刘钟伟.湖南前寒武纪火山岩地球化学特征及产出构造环境[J].湖南地质,1994,13(3):137~146.
- [228]胡恭任,章邦桐,王长华.赣中相山新元古代变质岩的首次确定[J].中国区域地质,1997,16(2):222~224.
- [229]胡恭任,章邦桐,王湘云.赣中相山元古宙斜长角闪岩的矿物学、岩石学特征及同位素地球化学研究[J].地球化学,1998,27(3):217~229.
- [230]吴新华,于承涛.赣中南地区晚元古代变质地层中的同位素年龄及其地质意义[J].江西地质,2000,14(1):16~20.
- [231]胡恭任,刘丛强,章邦桐,等.赣中变质岩带的组成及构造变质变形特征[J].中国区域地质,2000,19(4):375~381.
- [232]谢明明,刘春根,李珊.赣南安远下坑仔岩体地质特征及锆石Pb—Pb法同位素年龄的地质意义[J].江西地质,2001,15(4):256~259.
- [233]孔华,金振民,奚小双.湖南道县辉长岩包体的锆石U—Pb法定年及其地质意义[J].矿物学报,2002,22(4):350~352.
- [234]陈多福,潘晶铭,徐文新,等.华南震旦纪基性火山岩的地球化学及构造环境[J].岩石学报,1998,14(3):343~350.
- [235]陈汉林,杨树锋,武光海.福建政和早古生代火山岩系列的成因及物质来源研究[J].浙江大学学报(自然科学版),1995,29(4):513~522.
- [236]王忠诚,吴浩若,邝国敦.桂西晚古生代海相玄武岩的特征及其形成环境[J].岩石学报,1997,13(2):260~265.
- [237]张伯友,赵振华,石满全,等.岑溪二叠纪岛弧型玄武岩的首次厘定及大地构造意义——两广交界古特提斯构造带的重要证据[J].科学通报,1997,42(4):413~416.
- [238]王一先,赵振华,包志伟,等.浙江花岗岩类地球化学与地壳演化——I.显生宙花岗岩类[J].地球化学,1997,26(5):1~15.
- [239]洪大卫,谢锡林,张季生.从花岗岩的Sm—Nd同位素探讨华南中下地壳的组成、性质和演化[J].高校地质学报,1999,5(4):361~371.
- [240]吴富江,张芳荣.华南板块北缘东段武功山加里东期花岗岩特征及成因探讨[J].中国地质,2003,30(2):166~172.
- [241]王岳军,范蔚茗,席先武,等.湖南印支期过铝质花岗岩的形成:岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟[J].中国科学(D辑),2002,32(6):491~499.
- [242]徐夕生,邓平,S Y O'Reilly,等.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[J].科学通报,2003,48(12):1328~1334.
- [243]谢振东,杨永革.江西信丰安西岩体同位素年龄及其地质意义[J].江西地质,2000,14(3):172~175.
- [244]孙涛,周新民,陈培荣,等.南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义[J].中国科学(D辑),2003,33(12):1209~1218.
- [245]王岳军,范蔚茗,郭锋,等.湘东南中生代花岗岩闪长岩锆石U—Pb法定年及其成因指示[J].中国科学(D辑),2001,31(9):745~751.
- [246]陈培荣,华仁民,章邦桐,等.南岭燕山早期后造山花岗岩类:岩石学制约和地球动力学背景[J].中国科学(D辑),2002,32(4):279~289.
- [247]陈培荣,周新民,张文兰,等.南岭东段燕山早期正长岩—花岗岩杂岩的成因和意义[J].中国科学(D辑),2004,34(6):493~503.
- [248]陈培荣,孔兴功,王银喜,等.赣南燕山早期双峰式火山—侵入杂岩的Rb—Sr同位素定年及意义[J].高校地质学报,1999,5(4):378~383.
- [249]范春方,陈培荣.赣南陂头花岗岩体Nd—Sr同位素特征及其意义[J].地质找矿论丛,2000,15(3):282~287.
- [250]章邦桐,陈培荣,孔兴功.赣南临江盆地余田群双峰式火山岩的Rb—Sr年代学研究[J].中国地质,2002,29(4):351~354.
- [251]刘义茂,戴谟,卢焕章,等.千里山花岗岩成岩成矿的⁴⁰Ar—³⁹Ar和Sm—Nd同位素年龄[J].中国科学(D辑),1997,27(5):425~430.
- [252]王强,赵振华,熊小林,等.华南绍兴—恩平富碱侵入岩带的厘定及其动力学意义初探[J].地球化学,2002,31(5):433~442.
- [253]李献华,周汉文,刘颖,等.桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J].科学通报,1999,44(18):1992~1998.
- [254]赵振华,包志伟,张伯友.湖南中生代玄武岩类地球化学特征[J].中国科学(D辑),1998,28(增刊):7~14.
- [255]王岳军,廖超林,范蔚茗,等.赣中地区早中生代OIB碱性玄武岩的厘定及构造意义[J].地球化学,2004,33(2):
- [256]陈志刚,李献华,李武显,等.赣南全南正长岩的SHRIMP锆石U—Pb年龄及其对华南燕山早期构造背景的制约[J].地球化学,2003,32(3):223~229.
- [257]范蔚茗,王岳军,郭锋,等.湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展[J].地学前缘,2003,10(3):159~169.
- [258]付建明,马昌前,谢才富,等.湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石SHRIMP定年及其意义[J].中国地质,2004,31(1):96~100.
- [259]毛景文,李晓峰,Bernd Lehmann,等.湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的⁴⁰Ar—³⁹Ar年龄及其地球动力学意义[J].矿床地质,2004,23(2):164~175.

- [260]肖红全,赵葵东,蒋少涌,等.湖南东坡矿田金船塘锡铋矿床铅同位素地球化学及成矿年龄[J].矿床地质,2003,22(3):264~270.
- [261]郑庆年.广东梅县高溪早侏罗世火山活动及其地质构造与成矿意义[J].矿产与地质,1996,10(2):87~93.
- [262]刘家齐.广东梅县玉水富铜多金属矿床温压地球化学特征、成矿时代及成因研究[J].华南地质与矿产,1997(1):37~50.
- [263]邢光福,杨祝良,孙强辉,等.广东梅州早侏罗世层状基性-超基性岩体研究[J].矿物岩石地球化学通报,2001,20(3):172~175.
- [264]吴珍汉,孟宪刚,胡道功,等.当雄县幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5~6):484~491.
- [265]朱杰,刘早学,杜远生,等.拉孜县幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5~6):471~474.
- [266]李才,王天武,李惠民,等.冈底斯地区发现印支期巨斑花岗岩[J].地质通报,2003,22(5):364~366.
- [267]张会化,贺怀宇,王江海,等.西藏芒康盆地内高钾火山岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学和地球化学研究[J].中国科学(D辑),2004,34(1):24~34.
- [268]王江海,周江羽,张玉泉,等.青藏东缘新生代两类高钾岩浆活动的热年代学研究[J].中国科学(D辑),2002,32(7):529~537.
- [269]张玉泉,谢应雯,袁牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和Nd、Sr同位素特征[J].中国科学(D辑),1997,27(4):289~293.
- [270]于海峰,梅华林,李铨.甘肃敦煌地区太古宙孔兹岩系特征[J].前寒武纪研究进展,1998,21(1):19~25.
- [271]梅华林,于海峰,陆松年,等.甘肃敦煌太古宙英云闪长岩:单颗粒锆石U—Pb年龄和Nd同位素[J].前寒武纪研究进展,1998,21(2):41~45.
- [272]李志琛.敦煌地块变质岩系时代新认识[J].中国区域地质,1994,(2):131~134.
- [273]许敬龙,孟易辰,张建树,等.敦煌群研究新进展[J].甘肃地质学报,1997,4(增刊):1~5.
- [274]张振法,李超英,牛颖智.阿拉善-敦煌陆块的性质、范围及其构造作用和意义[J].内蒙古地质,1997(2):1~14.
- [275]熊盛青,周伏洪,姚正熙,等.青藏高原中西部航磁概查[M].北京:地质出版社,2002.
- [276]Zhai M G, Bian A G, Zhao T P. The amalgamation of the supercontinent of North China craton at the end of Neo-Archaean and its breakup during late Paleoproterozoic and Meso-Proterozoic[J]. Science in China(Ser. D), 2000, 43(3):220~232.
- [277]Zhao G C. Paleoproterozoic assembly of the North China craton[J]. Geol. Mag., 2001, 138(1):87~91.
- [278]赵国春,孙敏,Wilde S A.华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合[J].中国科学(D辑),2002,32(7):538~549.
- [279]Wilde S A, 赵国春,王凯怡,等.五台山溇沱群SHRIMP锆石U—Pb年龄:华北克拉通早元古代拼合新证据[J].科学通报,2003,48(20):2180~2186.
- [280]王凯怡,郝杰,周少平,等.单颗粒锆石离子探针质谱定年结果对五台造山事件的制约[J].科学通报,1997,42(12):1295~1298.
- [281]吴福元,葛文春,孙德有,等.华北地台太古宙地壳生长机制与构造体制转换[J].长春地质学院学报,1995,25(3):262~267.
- [282]王仁民,陈珍珍,赖兴运.华北太古宙从地幔柱体制向板块构造体制的转化[J].地球科学,1997,22(3):317~321.
- [283]Rogers J J W, Santosh M. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent[J]. Gondwana Research, 2002, 5(1):5~22.
- [284]任纪舜,姜春发,张正坤,等.中国大地构造及其演化[M].北京:科学出版社,1980.1~124.
- [285]李永安,孙东江,郑杰.新疆及周边古地磁研究与构造演化[J].新疆地质,1999,17(3):97~139.
- [286]朱日祥,杨振宇,马醒华,等.中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J].中国科学(D辑),1998,28(S1):1~16.
- [287]杨振宇,马醒华,孙知明,等.华北地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J].中国科学(D辑),1998,28(S1):44~56.
- [288]Smethurst M A, Khranov A N, Torsvik T H. The Neoproterozoic and Paleozoic palaeomagnetic data for the Siberian platform: From Rodinia to Pangea[J]. Earth Sci. Rev., 1998, 43:1~21.
- [289]Kravichinsky V A, Sorokin A A, Courtillot V. Paleomagnetism of Paleozoic and Mesozoic sediments from the southern margin of Mongol-Okhotsk ocean, far eastern Russia[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(B10):2253, doi: 10.1029/2001JB000672.
- [290]李锦轶,牛宝贵,宋彪,等.长白山北段地壳的形成与演化[M].北京:地质出版社,1999.1~137.
- [291]和政军,许志琴,杨经绥,等.柴达木盆地北缘小赛什腾山晚古生代放射虫的发现及其意义[J].地质通报,2002,21(3):156~157.
- [292]李献华.赣东北蛇绿混杂岩中硅质岩的地球化学特征及构造意义[J].中国科学(D辑),2000,30(3):284~290.
- [293]Faure M, Sun Y, Shu L, et al. Extensional tectonics within a subduction-type orogen: The case study of the Wugongshan dome(Jiangxi province, southeastern China)[J]. Tectonophysics, 1996, 263(1~4):77~106.
- [294]和政军,李锦轶,莫申国,等.漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析[J].中国科学(D辑),2003,33(12):1219~1226.
- [295]李锦轶,和政军,莫申国,等.大兴安岭北部绣峰组下部砾岩的形成时代及其大地构造意义[J].地质通报,2004,23(2):120~129.
- [296]张艳斌,吴福元,李惠民,等.吉林黄泥岭花岗岩体的单颗粒锆石U—Pb年龄[J].岩石学报,2002,18(4):475~481.

Structural characteristics of crustal "mosaicking and superimposition" of the continent of China and its evolution

LI Jinyi

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

Abstract : This paper discusses the structural characteristics of "block-zone mosaicking and multi-layer superimposition" of the continental crust of China and its multi-stage tectonic evolution. The first-order tectonic units of the continental crust of China since the middle Neoproterozoic include the Sino-Korean, Tarim, Yangtze and Dunhuang blocks and Central, Northwest, Northeast, Southwest and Southeast orogenic regions (belts). The Sino-Korean block formed by breakup of an ancient supercontinent during the Paleoproterozoic, and the Yangtze, Tarim and Dunhuang blocks formed by breakup of the ancient supercontinent during the Neoproterozoic. The Northwest orogenic region originated by closing of an ocean basin and continent-continent collision during the Late Paleozoic, superimposed by Cenozoic intracontinental re-orogeny; the formation of the Northeast orogenic belt involved Paleozoic collisional orogeny and Mesozoic accretion and collisional orogeny; the Central orogenic belt had not formed until Triassic continental collision and was superimposed by Cenozoic re-orogeny; the formation Southeast orogenic belt went through multiple orogenies during the period from the Paleozoic to Cenozoic; and the Southwest orogenic belt is mainly the product of Meso-Cenozoic orogeny. All these tectonic units have the structural characteristics of "block-zone mosaicking and multi-layer overlapping" and the features of multi-stage tectonic evolution. The formation and evolution of the continental crust of China may fall into four stages: Archean-Paleoproterozoic, Mesoproterozoic-early Neoproterozoic, middle Neoproterozoic-Paleocene and Eocene-present, with each stage corresponding to a breakup-convergence cycle of the supercontinent. The crustal formation and evolution since the middle Neoproterozoic is related to the dynamic regimes of the Paleo-Asian Ocean, Paleo-Tethys Ocean, Paleo-Pacific Ocean, Tethys Ocean and Pacific Ocean in the global land and ocean pattern, which may be correspondingly ascribed to the Paleo-Asian, Paleo-Tethys, Paleo-Pacific, Tethys and Pacific orogenic domain. It is just the multi-stage breakup-convergence cycles of the supercontinent and superimposition of multiple tectonic regimes that formed the structural characteristics of "block-zone mosaicking and multi-layer superimposition" of the continental crust of China.

Key words : continental crust of China; block-zone mosaicking and multi-layer superimposition; breakup-convergence cycles of the supercontinent; dynamic regime; orogenic domain