中国大陆地质历史的旋回与阶段

李锦轶

(中国地质科学院地质研究所,北京 100037)

提要:基于对中国大陆已有资料的综合研究,特别是把中国大陆已有地质记录与现今不同板块构造环境形成的岩石组合对比,笔者提出了中国大陆太古宙以来的地质历史可以划分为至少 6 个大陆形成演化旋回的新论点,根据它们对中国大陆形成演化的贡献并考虑全球大陆形成演化已有认识,建议把它们分别命名为始华旋回、古华旋回、北华旋回、南华旋回、华夏旋回和泛华旋回。建议以大陆裂解记录作为划分这些旋回的标志,每个旋回根据运动学和动力学的差异,进一步划分为裂解离散阶段、汇聚重组阶段和陆内发展阶段。在简要论述了中国大陆形成演化的这 6 个旋回以后,对中国大陆不同地区时空演化差异和板块构造与地幔柱之间的关系进行了简要讨论,认为(1)此张彼合的地球表层构造运动规律和陆缘与陆内环境并存是导致不同地区大陆时空演化差异的根本原因;(2)板块之间相互作用和地幔柱活动(即地球不同层圈之间的相互作用),是地球上同时存在的两种相互独立的构造体制,它们有可能在一个地区同时存在。

关 键 词:中国大陆;地质历史;旋回;阶段;板块构造;地幔柱

中图分类号:P311.2 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2009)03-0504-24

1 引言

地球上的大陆,是宇宙中人类赖已生存和发展的唯一场所。大陆的形成演化,一直是人类探索的自然科学主题之一。从早期的地槽-地台理论、大陆漂移假说,到 20 世纪 60 年代以来的板块构造理论,以及近 20 年来明确提出的大陆动力学问题研究,人类对大陆形成演化的研究,不断深入。但是也不应忽视和否认的是,人类对大陆的形成演化,还知之有限。大陆地壳是何时如何形成的,又是如何演化的?长期困扰着地质界和人类社会,在某种程度上,也制约了人类社会的生存与发展。

中国大陆是地球上地质历史漫长而又最年轻的大陆,是在新生代期间欧亚板块与印度板块碰撞以后才最后形成的。迄今为止,中国地质学家已经对这块大陆的地质历史进行了多年不懈的研究,提出了多旋回构造演化[1-3]和由古陆核逐渐演变成现今大陆[4,5]等截然不同的大陆发展演化构造模型。然而,这两种不同构造模型的一个共同特征,都认为前南华纪与南华纪以来地球动力学体制是不同的。

以板块构造理论研究中国大陆的地质历史,是李春昱[6]倡导实施的,并于 1982 年主编出版了《亚洲大地构造图》,比较系统地论述了亚洲大陆显生宙以来板块构造演化。该项研究成果在中国乃至亚洲大陆地质历史的研究方面,具有划时代的意义。然而,遗憾的是由于人生时间的限制,他未能完成关于中国大陆板块构造演化深入系统的研究工作。

板块构造理论起源于大洋的研究,又被称之为

收稿日期:2009-06-08;**改回日期**:2009-06-10

基金项目:国家 973 项目课题“大型断裂系统与古构造格局改造 (2007CB411306)”和“中亚型造山与成矿综合研究(2001CB409810)”,国土资源大调查工作项目“中美矿产资源对比研究(1212010561502-1)”、“全国重要矿产成矿地质背景研究(1212010733802)”、“中国北方及邻区古生代造山过程、陆壳生长及其对成矿作用制约(1212010711817)”、“中国北方及邻区大型断裂活动历史及其对古构造-成矿格局的改造(1212010611806)”和“东天山地区构造格架研究 (200013000201)”资助。

作者简介:李锦轶,男,1956 年生,研究员,博士生导师,从事大陆内部古造山带区地壳形成与演化方面研究;E-mail:jyli@cags.ac.cn。

大洋动力学。板块构造理论被应用于大陆地质研究以后,是否适用于大陆地质研究,全球板块构造运动开始于何时,一直是地质界关注和争议的重大地质构造问题。

众所周知,地质学研究的一个基本方法是“将今论古”的比较研究,由已知的知识去探讨未知的问题。综观现今全球不同地区,不难发现,不同地区的板块构造和不同板块之间的相互作用,都是不同的,在这些不同的地球动力学背景,形成了独特的地质记录。例如,以东非裂谷为代表的大陆内部裂谷,不仅形成了比较高耸的山系,而且以发育幔源玄武岩的喷发和湖泊沉积为特征,位于非洲大陆与欧亚大陆之间的红海,被认为是东非裂谷的进一步发展,那里不仅发育双峰式火山岩,还发育比较深水的海相沉积;位于美洲大陆与非洲及欧洲大陆之间的大西洋,被认为是红海进一步演化形成的,其两侧大陆边缘为被动边缘,那里的地质作用以沉积作用为主,没有岩浆活动和强烈的构造变动,也没有高耸的山系,在大西洋中脊,新的洋岩石圈正在形成,其中冰岛还有碱性玄武岩浆喷发;位于亚洲大陆与美洲大陆之间的太平洋,被认为是经历了红海和大西洋阶段的晚期洋盆,其两侧陆缘都为活动陆缘,在那里,太平洋岩石圈板块的俯冲,形成了两个大陆边缘的高耸山系,地质作用包括强烈的地震、钙碱系列为主的岩浆活动、高压和低压成对变质作用及快速的沉积作用,形成了指向海洋的逆冲变形;穿越亚洲大陆南部,向西延伸到非洲与欧洲大陆之间的喜马拉雅—阿尔卑斯山脉,被认为是非洲板块、阿拉伯板块和印度—澳大利亚板块与欧亚板块碰撞形成的,在那里,发育富钾的岩浆活动和强烈的逆冲及走滑变形。以上这些地区的地质作用,被认为是岩石圈板块之间相互作用的不同阶段。它们同时存在于地球表面,表明地壳构造变动,在全球不是等时的。如果我们进一步研究这些地区,还会发现,具有相同地球动力学背景的地带,沿走向也还是具有比较明显的差别。例如,同是处于板块俯冲地球动力学背景的太平洋周缘地区,南美的安第斯大陆边缘、北美科底勒拉大陆边缘、太平洋北缘的阿拉斯加、亚洲东部的岛弧型大陆边缘和东南亚及澳大利亚与太平洋之间的多岛洋,各自具有不同的特点;喜马拉雅—阿尔卑斯碰撞带沿走向的差别,也是很明显的(图 1)。在这些板块构造演化不同阶段的地区或同一阶段的不同地区,形成了不同的地质记录,包括不同的岩石组合和构造变形。在不同地质时期的地质记录中,是否存在与上述不同地球动力学环境类似的岩石或岩石组合及构造变形特征,是检验现今板块构造模型开始于何

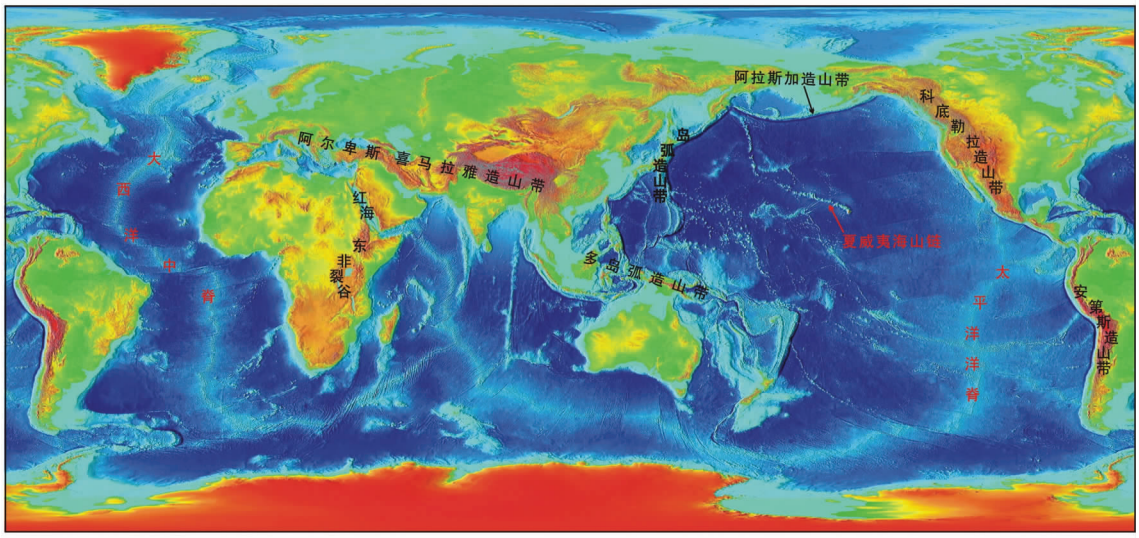

图 1　现今全球不同地球动力学背景区(阿尔卑斯—喜马拉雅碰撞造山带、环太平洋俯冲造山带、夏威夷热点轨迹、东非大陆裂谷、红海、大西洋和太平洋等)的空间分布

Fig.1　Spatial distribution of current different geodynamics settings in the whole globe (Alps−Himalayan collision orogenic belt, Circum−Pacific subduction orogenic belt, Hawaii hot spot locus, East Africa continental rift, Red Sea, Atlantic and Pacific etc.)

时的唯一有效途径。

综观已有地质资料,不难发现,在地球上太古宙以来不同地质时期形成的地质记录中,的确存在与上述类似的岩石或岩石组合。据此笔者认为,至少从太古宙开始,就发育与现今类似的板块构造体制。因此,太古宙以来大陆演化,可以运用板块构造理论加以研究和阐述。那么,已有的构造观或板块构造理论模型是否完全适合于大陆地质历史的重建呢?

现今的板块运动被概括为威尔逊旋回,又被称之为大洋的生命旋回。我们知道,威尔逊旋回的东非裂谷、红海和大西洋阶段,是大洋形成过程的总结,与大洋形成相对应,已有的大陆分裂并发生离散运动,即超级大陆的解体。威尔逊旋回中的太平洋、地中海和喜马拉雅等阶段,总结了大洋从收缩到关闭的演化过程,实际上也是新的大陆聚合的过程。如果以板块构造理论来看大陆的演化,那么在一个大洋的生命旋回中,对应的大陆经历了裂解离散和汇聚重组的演变,即已有超级大陆裂解到新的超级大陆形成的过程。很明显,海洋形成以前的大陆内部或新的超级大陆形成以后到其再次裂解之前这一重要有时又是漫长的地质时期的演化,在板块构造理论的威尔逊旋回中没有涉及。因此,板块构造理论中的威尔逊旋回,只是概括了大陆裂解到新的大陆形成,没有涉及大陆演化,即未能完整地概括和阐述大陆的形成演化。

近年来,有些学者建议把新的大陆形成到其再次裂解这一地质时期作为该大陆的生命演化旋回。很显然,大陆裂解到新的大陆形成这一复杂而漫长的洋陆演化过程,并没有包括在这些学者所说的超级大陆构造旋回中。因此,这样的大陆构造旋回没有把地球上大陆的形成演化完整地加以概括和总结。简言之,迄今为止,大陆形成演化的完整地质过程,在已有的地质理论和在已经发表的相关论著中,并没有得到令人满意的概括和阐述。中国大陆的组成特征,使其成为研究这一问题的理想地区之一。中国大陆的地质历史是渐进演变的?是围绕古陆核逐渐向外生长或演化成为成熟大陆的,还是经过多旋回裂解-拼合形成的?中国大陆前南华纪地质演化与南华纪以来的地质演化,是否具有相同的动力学机制?这些问题不仅是中国大陆地质历史重建的重大问题,与中国矿产资源工作的勘查部署和中国大陆资源潜力的评价有关,而且还与全球大陆演化动力学过程的核心问题有关。

本文基于笔者近 20 多年来对中国大陆不同地区研究的资料积累,特别是近 5 年来在完成相关科研项目过程中,通过对已有资料的综合分析,基于编制 1:1000 万中国大陆地球动力学纲要图和相关讨论,简要论述对于中国大陆演化历史一些初步认识,希望能够起到抛砖引玉的作用。

2 中国大陆形成演化旋回与阶段的划分

2.1 理论基础和基本思路

2.1.1 板块构造理论与大陆动力学

目前还没有任何理论或假说能够替代 20 世纪 60 年代后期问世的板块构造理论。1989 年美国发布的大陆动力学,只是一个研究计划,提出了一些问题。迄今为止,这些问题还没有得到令人满意的答案。因此,究竟什么是大陆动力学,目前还不清楚,仍是研究地球的所有科学家们关注和探索的问题。追溯起来,这一问题的研究,已经有百余年的历史,自从地质学作为独立学科以来,甚至在此之前,人类就已经开始研究大陆的组成,探索大陆的起源和演化了。因此,如果说美国国家自然科学基金会提出的大陆动力学有新意的话,那也只是一些地质学者充分认识到了经典的板块构造理论在研究大陆地质方面所面临的困难和挑战。

板块构造理论的核心内容,是地球表层的岩石圈是由大小不一的块体组成的;这些厚度远小于其长度和宽度的块体,即板块,既可以是只由大洋岩石圈组成,也可以由大洋岩石圈和大陆岩石圈共同组成;在其下的软流圈之上,岩石圈板块作球面大规模漂移,大洋岩石圈板块在洋中脊不断生长,在海沟处下插返回地幔中而逐渐消亡,最终导致大洋关闭、其两侧的大陆岩石圈板块连接在一起;在板块漂移过程中,板块之间发生相互作用,导致了各种地质作用在板块接触部位发生,尽管板块内部也可以发生各种各样的地质作用,但是其强度远小于板块边界处,甚至是可以忽略不计的。

在大陆内部,早前寒武纪的岩石与现今的岛弧和碰撞带岩石是类似的;晚前寒武纪以来的地质记录,呈不同规模的带状位于早前寒武纪地质体之间或周围,主要由洋岩石圈残片和陆缘岩系等组成。这些不同时代的地质体,都可以与现今产于不同板块

构造环境的岩石组合进行类比。另一方面,在晚前寒武纪的地质体分布区,包含由大小不等的古老岩石的碎块,这些碎块与周围大陆组成的类似性,指示古大陆裂解和离散运动;古洋中的远洋沉积岩系与陆缘浅水沉积岩系或古大陆块体直接相邻,表明有大规模的大陆漂移和地壳缩短;非洲等地的巨大岩墙,表明与现今类似的大陆,在早前寒武纪就存在了。这些资料显示,板块构造理论适用于太古宙以来的大陆形成演化的研究。中国大陆地壳镶嵌与叠覆的结构特征[7],及其不同时期地质记录与现今大陆内部和大陆边缘岩石组合的可比性,表明中国大陆太古宙以来的地质历史,可能包括了多个大陆演化旋回。

2.1.2 地质记录中的不整合界面与构造旋回

在 20 世纪 70 年代以前,中国地质界赋予地质记录中的不整合界面以极为重要的构造意义,几乎是每一个不整合界面,都命名了一个构造运动。在中国大陆的地质记录中,最清楚的不整合界面位于南华纪地层与下伏地质体之间;类似的界面还见于长城系与下伏地质体之间和晚三叠世地层与下伏地质体之间。下面以几个地区南华纪地层与下伏地质体之间的不整合界面为例,简要探讨不整合界面的构造含义。

华南地区是这一不整合界面最早发现的地区之一,以黄陵地区最为清楚。不整合面以上,为南华纪莲沱组沉积岩系,以下为被新元古代英云闪长岩侵入的中太古代及古元古代变质岩。已有的同位素年代学资料显示,不整合界面以下的英云闪长岩和二长花岗岩最年轻的年龄为 795 Ma 和 794 Ma[8],而不整合界面之上莲沱组中凝灰岩夹层中的锆石年龄为 724 Ma±12 Ma[9],即该界面有可能代表了将近 70Ma 的沉积间断。同一不整合界面,在康滇地区,底界年龄约为 803 Ma;在桂北为 819 Ma,在湘北为 814 Ma,在浙北大于 807 Ma[10]。这些资料不仅表明该不整合界面是一个海侵超覆界面,而且显示其上下的新元古代中期的岩浆活动,有可能形成于相同的地球动力学背景。

类似的情况见于塔里木盆地西南边缘。在那里,南华纪地层不整合覆盖在中元古代地层以及侵入其中的基性岩墙之上,其下部夹的玄武岩与不整合界面以下的基性岩墙具有相同的地球化学特征,指示拉张或伸展的地球动力学背景[11]。

从以上几个地区的情况看,地质记录中的不整合界面,几乎没有例外的都是海侵超覆沉积作用的记录。在不同地区,其超覆沉积,即不整合界面之上的最下部的地层时代是不同的。因此,依据这些不整合界面划分的构造旋回或命名的构造运动,在时限上是不准确的,在构造涵义方面也是不确切的。

然而,笔者这里无意否认地质记录中区域性不整合界面的重要性。需要指出的是,地质记录中区域性不整合界面构造涵义的确定,需要综合考虑不整合界面上、下各类地质体的组成、时代和构造变形,需要考虑区域地质背景的变化情况,并且还要尽可能的确定不同地区不整合界面开始的时限,区分这些不整合界面是位于弧前增生楔、弧后被动边缘、前陆盆地、残余洋盆边缘、裂谷、被动大陆边缘,即要区分所研究的不整合界面是发育在大陆边缘还是大陆之间的碰撞带。为此,除了对不整合界面及上下地质体的研究外,区域地质背景是必需考虑的,否则有可能把局部的不整合现象,误认为具有大区域或全球构造意义。

构造旋回,特别是中国大陆的多旋回构造演化,是黄汲清先生提出的构造假说,最初系指地槽演化的多旋回,并将中国大陆演化划分为新地、老元古、新太古和老太古等四个巨旋回,每个巨旋回又划分为多个旋回。认为所定义的"多旋回运动有广义和狭义两种概念,广义的多旋回,在空间上说,是全世界性的,在时间上说,包括上述所有的巨旋回、旋回、亚旋回在内;狭义的多旋回,在空间上说,主要指一个地槽褶皱系,在时间上说,就是在一个地槽系里面的,限于一个巨旋回之内的多旋回发展,其中包括了主旋回、前期旋回、后期旋回三个阶段"[1]。1977 年,黄汲清等将上述多旋回概念演变为造山旋回,将中国大地构造发展划分为 12 个造山旋回,归并为中朝准地台形成阶段(17 亿年以前)、扬子准地台和塔里木地台形成阶段(7~8 亿年以前)、古生代为主的古亚洲构造域形成和发展阶段(700 Ma 开始,包括古中国地台形成、解体到古亚洲形成)、中生代和新生代为主的滨太平洋及特提斯喜马拉雅构造域形成和发展阶段(石炭纪中期开始)[2]。任纪舜等(1999)在 1:500 万中国及邻区大地构造图及简要说明中,进一步发展了黄汲清等的上述思想,将中国大陆演化划分为中太古、新太古、古元古、罗丁尼亚、冈瓦纳、潘吉亚和现代等 7 个超大陆旋回,13 个构造旋回、24 个造山及裂陷运动[3]。关于黄汲清等的多旋回或造山旋回,李

春昱[12]指出,其中有些实际上是大陆边缘的演化或向洋增生过程。因此,从板块构造理论角度看,这些造山旋回是否都为一个独立的旋回,关于“旋回”与“阶段”这两个名词的使用,都是值得商榷的。

2.1.3 陆核与古板块

李春昱等[6]在研究亚洲大地构造和论述古板块的特征时,指出一部分古板块是以古老岩石作为核心的。所谓的古板块,系指古生代板块;所谓的古老岩石,系指前寒武纪的地质体;所谓作为核心,系指这类古板块的大陆部分在古生代洋陆格局形成之初就是一个统一的古大陆块体,古生代以来的地质体围绕该古陆展布,例如西伯利亚古板块;还有一部分板块,例如哈萨克斯坦古板块,是由几个古陆块在古生代期间聚合形成的。

程裕淇等(1994)和王鸿祯等(2006)所说的陆核[4,5],与李春昱等(1982)所说的古陆核在涵义方面有很大的差别。他们认为古陆核是太古代的地质体,它们是原始的大陆地壳,其形成机制与过程都是不清楚的。中国大陆的形成演化,经历了陆核、陆块、陆缘到陆内等阶段[4],或者经历了陆核、原地台、地台、超大陆等阶段[5]。

中国大陆最古老的地质体出露在鞍山附近,由年龄约为 3.8 Ga 的表壳岩和花岗质深成岩组成,这些古老岩石的岩石组合与岩石化学成分,都与显生宙岛弧杂岩及洋壳残片类似。中国大陆古老岩石的另一个突出特征是它们都作为较晚地质体中的包体或残留体形式产出,例如鞍山地区的古太古代地质体,以包体或残留体产出在中太古代富钾花岗岩中[13]。这些特征表明,这些古老地质体实际上是被后期地质作用强烈改造的残留体,其成分特征与显生宙造山带中的岩石相同或相似,表明它们是古老造山带的残余,其形成机制也是与现今造山带类似的。中国的资料显示自从 3.8 Ga 以来,近年国际上有些学者认为在 4.4~4.5 Ga,地球上就存在与现今类似的大陆和大洋[14];在 4 Ga 以前,就可能存在与现今类似的板块之间的相互作用[15]。因此,将中国大陆太古宙地质体称之为陆核,笔者认为是不合适的。

2.1.4 从板块构造理论及全球大陆形成演化看中国大陆形成演化的特点

板块构造演化的旋回,即通常所说的威尔逊旋回,上文已经进行了简要讨论。将其应用于大陆的形成与演化,虽然有其局限性,如果补充陆内演化阶段,还是可行的。已有资料显示,虽然组成大陆地壳的物质,在显生宙以来仍然有数量可观的增加,但是主体是在前南华纪或更老地质时期形成的。因此,自从太古宙大陆地壳形成以后,大陆形成演化主体是表现为裂解与重组,以及在这一过程中在陆间及陆缘形成新陆壳和古老陆壳被强烈改造。从已有的地质资料看,在中国大陆太古宙以来的地质演化过程中,存在着多个类似的大陆裂解与重组过程。这里建议将这一过程命名为大陆演化旋回,每个演化旋回之间以大陆裂解事件作为界线。根据每个演化旋回中地球动力学体制的发展变化,将每个演化旋回进一步划分为裂解–离散、汇聚–重组和陆内发展等 3 个演化阶段。

这里所说的大陆演化旋回与演化阶段,与中国地质文献中的构造旋回和构造阶段的含义是不同的。首先,这里所说的旋回,是大陆从形成到消亡的演化旋回,旧的大陆消亡,新的大陆开始形成,这样周而复始的重复运动,形成了现今中国乃至全球大陆格局及其组成特征,构成了地球自太古宙以来的地质历史。每个旋回尽管发育在不同地质时期,但是它们却具有类似的地质演化特征。演化阶段是演化旋回的进一步划分,是一个演化旋回的不同地质时期;不同演化阶段中大陆块体的运动学特征和动力学背景是不同的,大陆边缘和内部的地质作用也是不同的;不同演化旋回中相同演化阶段的动力学体制是类似或相同的。也就是说,尽管各个演化旋回持续时限可能是不完全相同的,但是就动力学体制演变而言各个演化旋回是相似的。即中国大陆形成演化,至少从太古宙以来,不是渐变演化的,而是具有明显的旋回性,各个不同旋回的动力学体制是相同的。其次,中国文献中的构造旋回,主要依据地质记录中的不整合界面,基于地槽理论提出的。从板块构造理论角度来看这些构造旋回,大部分属于大陆边缘的增生事件,并不是一个独立的构造旋回。其中有些构造旋回,例如印支旋回,在中国东北,早期阶段,即晚三叠世以前,是古生代地质过程的继续,从晚三叠世开始,是与侏罗纪地质演化连续的[16];在中国西南,雅鲁藏布江等地中三叠世放射虫化石的发现[17,18],揭示出特提斯洋在那一时期已经具有相当的宽度;考虑到川黔滇地区从二叠纪中期到三叠纪以峨眉山玄武岩为代表的地幔柱活动和其他地区三叠纪岩浆岩的特征,有可能中国西南地区在二叠纪至三叠纪期间主

体处于大陆裂解的伸展地球动力学背景,因此,那里很可能也不存在独立的所谓印支旋回。从另一方面说,如果保留已有构造旋回的名词,更改其含义,实际上也是对提出这些名词的学者的不尊重。因此,文献中已有构造旋回的名词,不宜再用。

基于以上认识,中国大陆演化旋回和演化阶段的划分,不仅是必要的,而且应该重新加以命名。而这些旋回与阶段的划分,不是仅仅根据不整合界面,而是要识别出标志性的岩石组合或事件群。

建议的大陆演化旋回的划分,是以大陆裂解为分界标志的,因此要明确大陆裂解形成的地质记录,并将它们从已有的地质记录中识别出来。根据我们现有的知识,大陆裂解的地质记录包括双峰式岩浆岩、基性岩墙群、伸展为主的构造变形及高温变质作用,以及从陆相到海相的沉积岩系以及其底部的区域性角度不整合界面。双峰式岩浆岩一般系指幔源的基性岩浆岩和壳源为主的富钾酸性岩浆岩共生在有限的带状区域内,这些岩浆岩可以是喷出的,也可以是侵入的,它们在地表的出露情况,实际上主要取决于剥蚀深度;大陆裂解形成的高温变质作用是与伸展变形共生的,关键是要将其与造山或挤压背景下的高温变质作用区分开,岩石组合和矿物组合是区分它们的关键,但是区域分布和区域背景的确定,也是必要的。

演化阶段的划分,是根据地球动力学背景的差别。从板块构造理论看,大陆裂解离散阶段的地质记录除了上述大陆裂解的记录外,还包括继之形成的被动陆缘沉积岩系和远洋沉积岩系及蛇绿岩。大陆汇聚重组阶段的开始是以分隔大陆块体的大洋开始收缩俯冲为标志的,终止于大洋关闭后的大陆碰撞和新大陆形成。大陆汇聚开始的地质记录包括钙碱系列岩浆岩、增生杂岩、高压与高温双变质带,以及 SSZ 型蛇绿岩的出现等,大陆碰撞及新大陆形成的标志包括富钾花岗岩区域性发育、前陆盆地沉积岩系的出现、区域性挤压和走滑变形等。陆内发展阶段是以构造变动不明显和内陆沉积盆地发育为标志的,这一阶段也以其位于碰撞造山带形成以后和新大陆裂解之前为特征。以上大陆演化旋回和演化阶段的主要地质记录和划分标志列于表 1。

2.2 中国大陆演化旋回与演化阶段的划分及其主要特征

中国大陆与上述演化旋回相关的地质记录,分别出现在 2.8 Ga 前后、2.30 Ga 前后、1.75 Ga 前后、0.82 Ga 前后和 0.27 Ga 前后等几个地质时期,据此可以把中国大陆演化划分 6 个演化旋回,基于它们对中国大陆形成演化的贡献和相关地质记录的空间分布,建议暂时分别称之为始华旋回(2.8 Ga 以前)、古华旋回(2.8~2.30 Ga)、北华旋回(2.30~1.75 Ga)、

表 1 识别与划分大陆演化旋回的不同阶段的地质标志

Table 1 Geological criteria for the recognition and division of different stages of continental evolutionary cycle

阶段	离散阶段	汇聚阶段	陆内阶段
识别和划分的地质标志	1 双峰式岩浆活动	1 活动陆缘型钙碱系列岩浆活动	1 台地型沉积
	2 基性岩墙群	2 增生楔的形成	2 内克拉通盆地及其充填物
	3 海进沉积岩系	3 蛇绿混杂岩或构造混杂岩	3 热点型岩浆活动
	4 伸展构造变形	4 高压低温变质带和高温低压变质带发育	4 无区域性岩浆活动
	5 被动陆缘沉积岩系	5 指向海洋一侧的逆冲变形	5 无强烈构造变形
	6 远洋沉积岩系	6 SSZ 型蛇绿岩	
	7 蛇绿岩的出现	7 岛弧型玄武岩	
		8 博宁岩	
		9 前陆盆地沉积序列出现	
		10 前陆逆冲褶皱带形成	
		11 区域性富钾花岗岩	
		12 海相沉积环境的消失	

南华旋回(1.75~0.82 Ga)、华夏旋回(0.82~0.27 Ga)和泛华旋回(0.27 Ga 以来)。这些演化旋回所涉及的中国大陆形成演化，与全球大陆形成演化是基本一致的,大体上分别对应于国际上所说的 3.0 Ga 前后形成的 Ur 大陆、2.5 Ga 前后形成的 NENA 大陆、1.8 Ga 前后形成哥伦比亚大陆、1.0 Ga 前后形成的罗丁尼亚大陆和 0.3 Ga 前后形成的潘吉亚大陆等的形成与演化[19-24]。

上述演化旋回的时限，前后波动可能达到 0.05 Ga。原因是每次裂解事件都将持续一个相当长的时期,在不同地区开始的时限通常也是不同的,另外,目前的同位素定年技术本身,还存在一定的误差。

各个演化旋回的特征及其演化阶段的划分,简要叙述如下。

2.2.1 始华旋回(2.8 Ga 以前)

在中国大陆上,这一旋回的地质记录,主要出露在华北地区,此外还零星见于湖北黄陵地区等地。下面就以出露比较好的鞍山地区为例，简要介绍这一演化旋回的特征和演化阶段的划分。根据万渝生等[13,25]的研究,在鞍山地区,属于这一演化旋回的地质体主要是 3.1 Ga 的立山奥长花岗岩和 2.9 Ga 的铁架山钾质花岗岩。在这些岩体中,残留有 3.8 Ga 的条带状片麻岩、3.65Ga 的变石英闪长质岩石、3.5 Ga 的闪长质片麻岩、3.3Ga 的黑云斜长角闪岩、3.2 Ga 的细粒奥长花岗岩等。这些太古宙早—中期的岩石,岩石组合和岩石类型与现今的岛弧杂岩存在很大的相似性。国际上提出的 3.0 Ga 前后形成的 Ur 大陆,应该是这一旋回的产物。鞍山铁架山富钾花岗岩,有可能是这一旋回大陆会聚碰撞阶段晚期的产物。因此以该岩体的年龄 2.9 Ga 为界，把该演化旋回划分为 3.8~2.9 Ga 陆块汇聚重组阶段和 2.9~2.8 Ga 陆内演化阶段。至于该演化旋回的古陆裂解离散演化阶段,目前没有资料,难以确定。鞍山地区这一古陆当时的规模和与全球这一时期形成的其他古陆的关系,由于后期地质作用的改造,目前已经难以恢复。

2.2.2 古华旋回(2.80~2.30 Ga)

在泰山、太行山、吕梁山、鞍山—本溪、辽东清原、冀东和冀北等地发育的 2.8 Ga 前后基性岩浆岩、2.6~2.5 Ga 的 TTG 岩系、2.5 Ga 前后麻粒岩相变质岩和富钾花岗岩[25-43],构成了这一旋回的突出特征。根据 TTG 岩系和富钾花岗岩的时代, 可以大体以 2.7 Ga 和 2.42 Ga 为界，把该演化旋回划分为裂解-离散、汇聚-重组和陆内发展等 3 个演化阶段。这一时期全球类似的地质记录相对比较广泛,可能代表着在 25 亿年前后,全球古陆块组成了一个被某些学者称之为 Kenorland 或 NENA 的超级大陆。与前一个旋回类似,后期地质作用的改造,使组成这一古大陆的各个块体之间的关系，以及它们在地球表面的位置,目前也是推测的。中国华北地区西部和东部两个地块之间的相互关系，以及它们与全球其他大陆的关系,目前也难以准确恢复。

2.2.3 北华旋回(2.30~1.75 Ga)

把这一演化旋回的起点确定为 2.30 Ga,主要依据是:(1) 碳同位素研究揭示出在 2.3 Ga 地球环境发生了突变，尽管这一变化的原因还有待于进一步研究,但是地幔柱活动已经作为一种可能机制提出,并且在地球历史上的几个碳同位素指示的环境突变期,都与大陆裂解事件大体对应[44];(2)桑干地区(丰镇活动带)发育 2.2~2.3 Ga 基性侵入体[45];(3)在中条山发育 2297 Ma 的富钾花岗岩[46];(4)吕梁山地区发育以吕梁群为代表的年龄为 2.3~2.1 Ga 的裂谷型火山岩[47-49]。

在这一旋回中,还发育 2.1 Ga 左右的花岗闪长质片麻岩[46]、1.90 Ga 左右的富钾富铝花岗岩[45, 50-52]、1852~1900 Ma 的麻粒岩相变质作用[51,53]、1.8 Ga 的后造山富钾花岗岩[54]。这些资料显示出在 2.1~1.85 Ga 期间发生了强烈的与板块俯冲和碰撞类似的造山作用。由此,该旋回可以划分为 2.3 Ga 至 2.1 Ga 裂解离散阶段、2.1 Ga 至 1.85 Ga 的汇聚重组阶段和 1.85 Ga 至 1.75 Ga 的陆内发展阶段。

这一演化旋回最终导致了华北克拉通的形成。与前两个旋回相比,尽管由于后期地壳变动的改造,这一古大陆的再造,同样是困难的,但是根据目前的资料,国际上推测在古元古代末期,全球古陆组成了被称之为哥伦比亚的超级大陆。现今组成华北地壳的古老岩石当时应该是该古陆的一部分。

2.2.4 南华旋回(1.75~0.82 Ga)

在中国地质界,通常认为中元古代的底界时限是 1.80 Ga。这里将南华旋回的起点置于 1.75 Ga,主要考虑如下因素:(1)根据万渝生等(2003)的资料,长城系底部石英砂岩含有年龄为 1.8 Ga 左右的碎屑锆石,其中最年轻的碎屑锆石年龄为 1.78 Ga，指示至少是十三陵附近的长城系底界要年轻于 1.8 Ga[55];(2)根据耿元生等的资料[54],吕梁山地区发育的 1.8 Ga 的花

岗岩属于后造山的,不是大陆裂解的;根据陆松年等(2003)的资料,在阿尔金地区可能存在 1602 Ma 的石英二长岩脉[56];(3)在燕山地区,中元古代长城系下部反映大陆裂解的火山岩年龄为 1663 Ma[57],1625 Ma [58-59];(3) 华北北缘赤城环斑花岗岩的年龄为 1697 Ma[60],密云环斑花岗岩年龄为 1679~1683 Ma[60-62],怀柔石英正长岩年龄为 1697 Ma [60],大庙斜长岩年龄为 1693~1715 Ma [63], 大庙正长岩年龄为 1726 Ma、隆化二长正长岩年龄为 1718 Ma[64];(4)华北南部熊耳群火山岩的年龄为 1650~1700 Ma [65] 和 1750~1800 Ma[66],(5)华北南缘发育 1625 Ma 的碱性花岗岩[67];(6)恒山等地发育中元古代早期基性岩墙等[68]。

在中国, 目前发现的属于这一演化旋回的钙碱系列岩浆岩的时代主要是新元古代早期的, 近年高林志等[69]从华北发现的约 1370 Ma 的岩浆锆石,有可能标志着这一旋回汇聚阶段开始。在新疆阿克苏地区被南华纪沉积岩系不整合覆盖的新元古代蓝片岩(变质拉斑玄武岩)[70-71]以及其他地区类似岛弧的岩浆岩 [72-74]和同造山变质作用 [75],属于该旋回大陆汇聚阶段的标志。近年在一些地区陆续发现的 0.9 Ga 左右的富钾花岗岩[76-80],标志着这一旋回汇聚阶段的结束和陆内阶段的开始。结合全球其他大陆的相关资料,建议把这一演化旋回进一步划分为 1.75~1.4 Ga 裂解离散阶段、1.4~0.9 Ga 汇聚重组阶段和 0.9~0.82 Ga 陆内发展阶段。

关于这一演化旋回的结束时限, 需要说明的一个问题, 就是目前地质界对华南新元古代地球动力学背景的分歧。一种论点以李正祥、李献华和王剑等[81-97]为代表,认为华南新元古代中期,即大约从 0.82Ga 开始,处于罗丁尼亚大陆裂解的地球动力学环境中;另一种论点以周美孚等[98-104]相关论著为代表,认为华南在 0.8Ga 前后还处于活动陆缘环境。双方的分歧,主要在于这一时期的岩浆岩,是在岛弧环境还是裂谷环境形成的。从岩石学和岩石化学成分看,黄陵地区的新元古代侵入岩、川滇地区的中酸性岩浆岩,的确类似于活动陆缘的岩浆岩,赣东北等地被某些学者认为是在罗丁尼亚超大陆裂解阶段形成的 800Ma 左右的花岗岩, 类似于 A2 型花岗岩和后造山花岗岩[105-106],这些资料指示在 800Ma 前后,华南地区可能还处于造山带演化晚期环境。同时,不应否认的是, 同时期的幔源基性岩浆岩的确具有明显的地幔柱活动特点。笔者最近对赣东北地区进行了短期的野外调查, 形成的印象是赣东北双桥山岩群和溪口岩群的形成环境可能为弧后盆地, 根据高林志等(2008)发表的年代学资料[107],以及当地地质工作者获得的年代学资料, 都表明这两个岩群的形成时代为 0.8 Ga 左右。对于这些资料的比较合理解释是,华南地区这些不同类型岩浆岩所属地区,在新元古代中期可能位于罗丁尼亚超大陆的边缘,其陆缘岩石圈板块俯冲和导致该大陆裂解的地幔柱活动刚好同时影响到这一地区。考虑到沉积和地层方面的资料揭示华南地区的南华纪地层与震旦纪及古生代地层的沉积是基本连续的,属于同一演化旋回中的裂谷到被动陆缘环境的沉积岩系[108];南华纪地层的最低层位年龄不小于 819Ma [10];以及南华纪下部所夹的火山岩和被其不整合覆盖的 800 Ma 左右的岩浆岩具有相同的岩石学和岩石化学特征,建议暂时把南华旋回的顶界,即华夏旋回的底界置于 820 Ma。

目前获得的资料显示, 扬子陆块和塔里木陆块的基底,都是在这一旋回形成的,并且都具有陆缘增生及碰撞造山带的特征。黄陵背斜中太古代的地质记录[109-111],被认为是扬子陆块的古老基底或陆核部分,但是,黄陵背斜的主体是新元古代的英云闪长岩 [8,9,112],指示黄陵背斜核部的前南华纪地质体,很可能是中元古代海洋中的岛弧。因此,笔者认为在南华纪以前不存在独立的扬子和塔里木古陆,它们地壳主体是在中、新元古代形成的, 是新元古代形成的 Rodinia 超大陆陆缘新元古代早期造山带的一部分。该大陆裂解以后,才形成了独立的扬子和塔里木古陆。

2.2.5 华夏旋回(0.82~0.27Ga)

始于新元古代晚期, 以南华纪与下伏地质体之间的不整合界面, 以及同时代的岩浆活动为标志的大陆裂解, 给出了这一旋回开始的时间是大约在 820 Ma。在中国主要山系中广泛发育的从奥陶纪开始出现的钙碱系列岩浆活动,标志着在奥陶纪以前,是这一旋回陆块离散阶段,从奥陶纪开始,进入了这一旋回的汇聚阶段。新疆北部石炭纪晚期富钾花岗岩、中国东北西拉木伦河等地的富钾花岗岩 [16,113-117],分别标志着中国几个主要古陆拼合到潘吉亚超大陆以及这些地区进入陆内阶段的时间。笔者之所以将这一旋回称之为华夏旋回, 是因为中国大陆的主体部分,是在这一旋回聚合形成的。

关于这一旋回的演化, 除了基于华南研究对这一旋回开始时限, 即 0.82 Ga 前后地质构造背景的

争论外,长期困扰地质界的问题还包括:中国大陆在潘吉亚大陆中的位置,中国大陆几个古老陆块在古生代晚期的汇聚与潘吉亚大陆聚合与演化的关系等。

在中国西北,越来越多的证据显示,塔里木古板块在石炭纪晚期沿南天山碰撞带与哈萨克斯坦及西伯利亚古板块的活动陆缘发生了碰撞,欧洲华力西造山带和乌拉尔造山带大体也是在这一时期形成的。一般认为,在这次碰撞事件以后,全球的主要大陆都聚合在一起,共同组成了潘吉亚大陆。早二叠世晚期,大约在 270 Ma,新疆境内发育比较强烈的幔源岩浆活动。一些学者认为这些岩浆活动都是该区后碰撞阶段的产物[113-114],有些学者认为这些岩浆活动与古特提斯洋俯冲作用有关[118]。然而,后碰撞岩浆活动为什么如此强烈?从现今青藏高原的情况看,后碰撞岩浆活动基本上都集中在碰撞带中,俯冲的大陆一侧是没有同期岩浆活动的,例如印度板块内部,基本上没有后碰撞的岩浆活动。从动力学角度看,古生代晚期的塔里木古板块是向北俯冲到天山之下的,与现今俯冲到青藏高原之下印度板块类似,但是塔里木板块内部为什么会有二叠纪的岩浆活动呢?目前在昆仑山,特别是塔里木盆地南缘的西昆仑山,没有二叠纪板块俯冲的地质记录,因此,塔里木板块内部的二叠纪岩浆活动归结于板块俯冲也没有事实依据。所有这些因素都表明,中国西北地区的二叠纪岩浆活动可能具有比较复杂的成因[119]。

在中国东部,二叠纪期间几个古板块还处于汇聚状态。索伦山—西拉木伦河—吉林—延吉一带的古亚洲洋直到二叠纪晚期才关闭,蒙古—鄂霍茨克造山带前身的古太平洋从古生代一直演化到侏罗纪晚期[120];华北与扬子之间的秦岭—大别造山带的前陆盆地沉积岩系开始于晚三叠世,指示两个块体之间的碰撞直到那时还在继续。

如上文所述,中国西南的特提斯洋,最新的资料显示则可能始自二叠纪,至少是在中三叠世就已经是一个比较开阔的洋盆。

综观已有资料,不难发现,二叠纪—三叠纪的岩浆活动在全球分布广泛,欧洲华力西造山带中发育同一时期的基性岩墙,青藏高原的羌塘地区和三江地区也有同一时期的岩浆活动;略晚一些,在区域上发生了更为强烈的幔源岩浆活动,并一直持续到晚三叠世,所形成的岩石包括峨眉山玄武岩、西伯利亚通古斯暗色岩、以及中国其他地区的晚三叠世的岩浆岩等。考虑到其他旋回开始阶段的幔源岩浆活动持续的时间都比较长,例如目前资料比较多的华夏旋回开始的裂解事件可能从约 0.85 Ga 持续到约 0.75 Ga,可以认为中国乃至全球二叠纪中期开始持续到三叠纪晚期的岩浆活动,有可能主体是在相同的地球动力学背景下发生的。即与新元古代中期类似,在古生代晚期,中国几个古老陆块还都位于潘吉亚大陆的边部(例如塔里木古陆)和边缘(例如华北与扬子古陆)。在中国东部游离于潘吉亚大陆边缘的几个古陆向潘吉亚大陆汇聚的同时,就像现今澳大利亚等大陆向亚洲大陆汇聚那样,潘吉亚大陆内部因为地幔柱的活动开始裂解,从而在二叠纪期间,内蒙古—吉林和秦岭—大别等地仍在俯冲碰撞造山过程中,中国西部的几个古陆区却在遭受伸展裂解,到了晚三叠世,秦岭—大别挤压碰撞造山与内蒙古—吉林地区及其他地区的伸展同时发生。这种复杂性,导致了中国大陆形成演化旋回和阶段划分长期面临困惑,特提斯构造域开始与古亚洲构造域结束的时间交错在一起。

基于以上分析,建议暂时把华夏旋回的起始时间置于 820 Ma,结束时间置于 270 Ma,以天山及其以北地区、祁连山、阿尔金山、西昆仑等地奥陶纪钙碱系列岩浆岩的出现和柴达木盆地北缘和南阿尔金超高压变质岩的出现,以及天山等地石炭纪晚期富钾花岗岩的大面积发育,把这一旋回划分为裂解离散阶段(0.82~0.50 Ga)、汇聚重组阶段(0.50~0.30 Ga)和陆内发展阶段(0.30~0.27 Ga)等 3 个阶段。然而需要说明的是,上述旋回和阶段的划分,主要源于华南和中国西部的资料,并不适合于中国大陆所有地区。例如,华北北缘和中国东北地区没有新元古代裂解的记录,那里的古洋盆可能是在中元古代形成的,直到侏罗纪晚期才最后关闭;华南地区的这一旋回可能直到三叠纪晚期还没有结束;即使是中国西北地区,陆内发展阶段一直持续到现今还没有结束。这一旋回涉及的另一个问题是是否存在独立的加里东构造旋回。所谓加里东旋回或早古生代期间,中国大陆乃至全球都发生了强烈的造山作用,结果是欧洲的加里东造山带把北美与欧洲连接起来,组成了劳亚大陆。同时,其他大陆大致在寒武纪期间的所谓泛非造山作用期间,聚合形成了冈瓦纳大陆。从全球看,无论泛非造山作用,还是加里东造山作用,还都

是属于大区域性的,在全球格局中还是局部的,随着这两个大陆的形成, 在晚古生代初期的全球洋陆格局,有可能与现今类似,即两个大陆和多个大洋。从中国的情况看,早古生代的造山作用也是明显的,包括,华北陆块南北两侧都有明显的增生,塔里木陆块南缘和扬子陆块南缘都有造山带形成。但是,无论塔里木西北缘和扬子陆块北缘的发育的古生代地层,虽然有沉积间断, 但是它们都是分别在古生代晚期和三叠纪晚期才一起发生构造变形的; 这两个地区的志留纪地层虽然都是由厚度较大的碎屑岩组成的,但是沉积环境分析表明,它们的物源区都位于其现今方位的南侧,而不是来自北侧的天山和秦岭,塔里木南缘西昆仑山和扬子陆块南缘发育的早古生代造山带,有可能是这些碎屑岩的来源。在中国西北地区的天山中,虽然发育志留纪富钾的花岗岩,但是没有志留纪强烈碰撞造山和大陆在晚古生代再裂解的地质记录, 特别是南天山早古生代蛇绿岩和晚古生代深水远洋沉积共同组成混杂岩, 以及哈萨克斯坦准噶尔阿拉套地区、中国东北多宝山和广西钦州等地区,古生代地层的连续沉积,都指示古生代洋盆的连续演化, 组成中国大陆的古陆在早古生代晚期并没有组成统一的古陆。因此,笔者不赞成把早古生代或加里东阶段的地质演化作为一个独立旋回, 或者把冈瓦纳大陆与潘吉亚大陆等同起来。

2.2.6 泛华旋回(晚三叠世以来)

这一旋回的特征是中国大陆在二叠纪期间开始持续到三叠纪的伸展乃至裂解,特提斯洋的打开;在中生代期间欧亚板块西南部和东部的增生; 以及新生代期间西南部增生边缘与印度板块被动陆缘的碰撞和东部的伸展裂解。

关于这一旋回的开始,以及特提斯洋的打开,所依据的是在特提斯范围内古洋岩石圈残片大部分是在中三叠世出现的, 以及推测潘吉亚超大陆从晚三叠世开始的裂解。以往曾经认为西南的冈底斯等地块是中生代期间逐渐从印度板块裂离, 雅鲁藏布江蛇绿岩代表白垩纪形成的年轻的洋盆。然而近年在雅鲁藏布江缝合带内发现的中三叠世放射虫硅质岩 [17-18],彻底动摇了这一论点。

中三叠世及其以前的大陆裂解记录, 包括以二叠纪中期至三叠纪的峨眉山玄武岩为代表的幔源岩浆活动[121-124],此外还有新疆境内塔里木及其以北地区的早二叠世晚期开始的双峰式岩浆活动和幔源岩浆侵入活动[125-146]。考虑到全球超大陆的演化,包括世界上其他地区的二叠纪岩浆活动特征, 例如欧洲华力西造山带中的二叠纪基性岩墙和美洲的基性岩墙等, 推测二叠纪开始的幔源岩浆活动很可能标志着新的大陆演化旋回的开始。根据目前获得的年代学资料, 建议把这一旋回开始时限置于 270 Ma 前后。考虑到三叠纪岛弧型岩浆活动[146-150]、沿雅鲁藏布江缝合带远洋沉积及放射虫化石的时代[17,18,151],以及青藏高原新生代岩浆活动的特征[152],暂时把这一旋回划分为二叠纪中期至中三叠世的裂解离散阶段、晚三叠世至中新世汇聚重组阶段和上新世以来的陆内发展阶段。以上阶段划分,特别是陆内发展阶段的划分,只是考虑了中国的情形,如果从全球超大陆演化旋回看,目前还处于汇聚重组阶段,即处于新的超大陆形成阶段,还没有进入其陆内发展阶段。

以上演化阶段的划分, 主要是考虑了中国西南地区的大陆形成与演化。而对于中国东部地区,三叠纪的伸展并没有形成洋盆,侏罗纪以来的构造演化,不同地区具有不同的特征。在中国地质界,两种构造体制的转换时间,一直是研究和讨论的热点问题,提出了中侏罗世至早白垩世早期[153]、三叠纪至早白垩世[154]和新生代早期[155]等不同论点。蒙古—鄂霍茨克造山带造山过程及其作用曾经长期被中国地质界所忽视, 近年的研究发现该带造山作用对中国东北的影响,可能一直持续到白垩纪早期[156-157]。在华南地区,现今所见的北东-南西走向的构造,形成于中生代晚期,而中生代及其以前的构造,则可能以近东西走向为主,滇桂边界地带的向北推覆构造[158],则可能是早期构造的代表。

中国大陆的其他地区,除了中国东部,特别是台湾现今仍然处于活动陆缘环境外, 昆仑山及其以北地区,三江造山带以东地区,即中国西北和中国东部的大部分地区, 在新生代以前, 都长期处于陆内环境。中生代晚期以来,中国东部以伸展作用为主,而中国西部则以挤压作用为主。这一不同地区同时发生的地质作用的明显差异, 指示地壳构造变动的空间分布非等时性特点。

腾冲火山岩和中国东部新生代幔源火山活动,是否与非洲东部裂谷火山岩有相同的成因, 标志着全球又一次大陆演化旋回的开始,目前还不能确定。

以上 6 个旋回，大体上勾画出了中国大陆形成演化的轮廓。但是如果要了解在这些不同旋回中，中国大陆不同地区的地质历史，还需要对中国大陆的构造单元有一个合理的划分，以及对不同单元的演化加以探讨。

3 问题讨论与结语

以上关于中国大陆形成演化旋回与阶段的划分，是运用板块构造理论，基于现有部分资料的综合研究，对中国大陆地质历史重建研究的一个初步探讨和尝试；是在现有认识水平下，对中国大陆演化过程的一个初步总结。这一总结以太古宙就存在与现今类似的大陆和大洋岩石圈为前提，没有涉及到太古宙的大陆地壳乃至岩石圈是如何形成的。因此，可以认为本文的论述是对大陆构造演化过程及动力学机制的探讨，没有涉及和讨论大陆的形成和保存问题。在这一认识框架下，还有如下 2 个方面的问题，需要加以简要的讨论和总结。

3.1 中国大陆演化的旋回性与其时空差异：大陆之间此张彼合的运动规律和大陆地壳变动的区域性特征

综观已有资料，组成中国大陆地壳的 4 个陆块和 5 个造山区[7]，可以归属于不同的古板块和板块，它们的地质演化显示出的上述旋回性和阶段性特征，简要概括如下(同时参见表 2)。大体上以新元古代中期为界，以前 4 个旋回的地质记录，支离破碎，总体上是被后两个旋回形成的地质体包围，使中国大陆具有明显的块带镶嵌的结构特征。在华夏旋回期间，中国大陆地壳可以归属于西伯利亚、哈萨克斯坦、布列亚-佳木斯、华北、塔里木和扬子等古板块，它们在这一旋回末期聚合成为欧亚板块的一部分；泛华旋回期间，中国大陆地壳除了雅鲁藏布江以南属于印度板块，台湾以东属于菲律宾海板块以外，主体属于欧亚板块，其内部由上述几个古板块组成，其南缘及东缘为活动增生边缘。印度板块大体沿雅鲁藏布江一线与欧亚板块增生边缘在新生代期间的碰撞，导致了现今中国大陆构造格局的形成。在这些古板块和板块之间为古生代以来大陆边缘及大陆边缘之间的造山带。在新元古代中期以前的 4 个旋回中，始华旋回的地质记录仅零星残存在华北陆块的鞍山和冀东地区、扬子陆块的黄陵地区，在中国西北虽然发现了这一时期的年龄，但是没有发现这一时期的地质体；古华旋回的地质记录在华北陆块、敦煌陆块和库鲁克塔格等地虽然有较大面积的出露，但是它们或者被北华旋回的地质体所分隔，或者在北华旋回期间受到强烈的改造。北华旋回的地质作用，导致了统一的华北陆块的形成。华北陆块南北两侧中元古代早期大陆裂解记录的存在，揭示出在古元古代晚期至中元古代初期，华北陆块是全球超大陆或某个更大古陆的一部分。经过南华旋回，扬子陆块和塔里木陆块形成。扬子陆块和塔里木陆块周缘地区及华北南缘新元古代中期大陆裂解的地质记录，以及前南华纪地质体散落在古生代造山区中，表明新元古代中期的大陆裂解以及正是在这一大陆裂解之后，扬子和塔里木才成为独立的古陆块。同时，扬子地块及其周缘新元古代地质记录及华北北缘未见新元古代大陆裂解的痕迹，表明它们可能都位于新元古代中期裂解的古大陆的边缘。

尽管中国大陆上述演化的旋回性是比较清楚的，但是在不同地区之间，特别是不同古陆之间的地壳变动，在时限和动力学机制等方面，却是不完全相同的。例如，二叠纪晚期至三叠纪晚期是中国东部几个主要块体汇聚成为统一大陆的时期，地球动力学体制以挤压为主。但在同一时期，中国西南地区则可能处于大陆演化旋回的裂解离散阶段；再有，在中国北方，塔里木古陆北缘的碰撞造山作用发生在石炭纪晚期至二叠纪初期，而中国东部华北北缘的碰撞造山作用则发生在二叠纪末期至三叠纪期间；第三，新生代期间，中国西部处于挤压地球动力学背景，而中国东部则处于伸展地球动力学背景。

综观现今不同地区的地质作用(图 1)，不难发现与上述类似的差别，在现今全球不同地区之间，也是存在的。现今这样的差别表明，大陆之间的相互运动，具有离散与汇聚同时存在的特征，即此张彼合。例如现今两个最大的大陆，美洲大陆与欧亚非大陆之间，在大西洋地区背离运动，相当于大陆演化旋回的离散阶段；在太平洋地区则表现为汇聚运动，处于大陆演化旋回的汇聚重组阶段。大陆之间这样运动的结果，是不会导致地球表面积的明显改变。中国大陆的已有地质记录，与现今不同地球动力学环境形成的地质体之间的可比性，揭示出在地质历史的不同时期，至少是太古宙以来，不同地区之间，存在与现今类似的此张彼合的时空差异现象，即地球的表面积一直没有明显的改变；同时还表明，不同地区在

同一地质时期发生的大陆之间的运动，在构造属性和地质过程方面,也都是截然不同的,即不存在地壳构造变动的全球等时性特征。因此,仅仅根据年代学资料相同，就将不同地区的地质作用联系起来或直接对比,是不可取的。

以上不同地区之间地质作用构造属性的差别,还显示出尽管总体上全球大陆演化具有明显的旋回性和阶段性,但是在不同地区,大陆地壳形成演化旋回和阶段的时限并不都是相同的。对于某一个区域来说,其大陆地壳形成演化旋回与阶段的时限,可能与全球大陆演化旋回和阶段的时限,有一定的差别。例如,现今非洲大陆、大西洋两侧的大陆边缘和太平洋两侧的大陆边缘,以及这些大陆的内部,分别处于大陆演化旋回的不同阶段。可以预期,如果太平洋关闭,全球将形成一个新的超级大陆,但是那时大西洋还将存在，并且其边缘有可能演化为活动陆缘。这样，太平洋两侧大陆边缘和大西洋两侧的大陆边缘的演化旋回的时限,肯定是不同的。在地质历史上,中国西部华夏旋回和泛华旋回的时限，与全球潘吉亚大陆形成演化旋回的时限是大体相同的，而中国东部华北与扬子两个陆块显生宙演化旋回的时限则相对滞后一些。导致这种差别的原因,可以归结于中国东部地区在古生代晚期可能位于潘吉亚大陆的边缘。类似的情形可能还存在于南华旋回与华夏旋回之间。由此可以得出一个结论,就是全球超大陆形成演化的旋回是存在的，但是某些局部地区可能会略微存在差异。原因是在地质历史任何一个时期,地球不同区域可能在地球动力学发展演化阶段上，以及不同地区在全球洋陆格局中的位置,都是不同的,即此张彼合、陆缘与陆内共存。

3.2 中国乃至全球太古宙以来大陆地球动力学体制:岩石圈板块相互作用与地幔柱活动并存

在中国大陆形成演化的地质记录中，在几个地质时期，都存在着形成于不同构造环境的地质体在同一地质时期发育的现象。这些现象包括,在华北,1.8~1.85Ga 的幔源岩石与富钾花岗岩在不同地区同时存在;在华南,新元古代中期的幔源岩石、富钾花岗岩和英云闪长岩组合同时存在；在中国西北阿拉善至北山地区，发育以金川新元古代中期含铜镍矿床杂岩为代表的幔源杂岩以及出露在北山的新元古代中期高压变质榴辉岩[159];二叠纪幔源岩浆岩和富钾花岗岩出露在新疆的不同地区，以峨眉山玄武岩为代表的二叠纪幔源玄武岩及相关岩石和以沿金沙江出露的蛇绿岩为代表的古洋岩石圈残片，以及同时期的岛弧杂岩和榴辉岩[155],同时发育在中国西南地区;在中国东部,三叠纪晚期的幔源杂岩和富钾花岗岩,在吉林省中部、山东半岛[160-161]和华南地区[162-171]等地都有出露；白垩纪中晚期的类似岩石，在东北东部、华北东部和东南沿海地区，也有不同程度的出露;新生代晚期,中国东部从北到南,幔源玄武岩出露在多个地区;在中国西南,总体处于印度与欧亚板块碰撞的动力学背景，但是在这两个板块碰撞带的两侧,都发育新生代晚期的幔源玄武岩。关于这些不同时代的幔源与壳源岩石的成因，在地质界有地幔柱或裂谷、岛弧、岩石圈拆沉和后碰撞幔源岩浆底侵或内侵等截然不同的解释。从板块构造角度来讲,仅就一个有限地区而言，这些岩石的构造背景可以划分为板内地幔柱、活动陆缘弧后伸展、岛弧和碰撞带等。然而,这些岩石究竟形成于什么构造背景,不仅涉及岩石的成因和区域构造演化的问题，还涉及大陆岩石圈形成演化的动力学机制等大陆动力学的根本问题。因此,有必要从全球构造的视野,对其进行简要地分析和探讨。中元古代或更早地质时期,尽管有资料显示板块构造体制在那些地质时期也是存在的,但是由于资料有限,古构造格局不是很清楚,所以下面的讨论仅涉及新元古代中期以来。

从全球已有资料看,除了中国大陆以外,新元古代中期大陆裂解的地质记录，还见于澳大利亚和北美等多个大陆内。这些地质记录表明,当时发育全球规模的裂解环境。但是同时我们还不应该忽视的是,至少是在华南的一些地区,如黄陵背斜和川西地区,以及中亚的北山、塔里木盆地西北和萨彦岭地区,发育古活动陆缘或碰撞带的地质记录。对于这些资料的合理解释，就是当时的全球构造环境，与现今类似,大陆裂谷、活动大陆边缘与大陆之间的碰撞带并存。在同一地质时期,不同地区发育不同类型的地质记录,处于不同的板块动力学环境。

二叠纪至三叠纪，是潘吉亚大陆存在的地质时期。中国西北这一时期的幔源与壳源岩浆活动,被多数学者解释为后碰撞，只有少数学者认为可能与地幔柱或板块俯冲有关，笔者曾经认为可能是多种环境和成因共存。如果从局部地区看,天山及其以北地区的这一时期岩浆活动，如果解释为发生在后碰撞环境,是没有问题的。但是,同时代的岩浆活动还见

于蒙古南部,那里当时还属于活动陆缘;而塔里木盆地和扬子陆块西部这一时期的幔源岩浆活动,显然都与碰撞带的演化联系不起来。类似地,中国东北地区和华北北部地区三叠纪晚期的幔源岩浆活动,与板块碰撞带的后碰撞演化联系起来,也是没有问题的,但是中国北方及邻区的大兴安岭、蒙古境内和中亚的一些地区这一时期的岩浆活动,则很难将其构造背景归属于后碰撞构造演化阶段;中国东部和中国西南地区三叠纪晚期的岩浆活动很普遍,在西伯利亚地台西部,著名的通古斯暗色岩,也形成于这一时期,迄今还没有人认为这些地区的岩浆活动是在后碰撞阶段形成的。

新生代晚期,亚洲大陆东部广泛发育幔源玄武岩的喷发,有些学者认为是太平洋板块俯冲导致的弧后扩张,但是这一时期的幔源玄武岩还广泛见于蒙古境内、俄罗斯的外贝加尔地区,乃至中国阿尔泰山脉东段。因此,另一些学者认为它们是地幔柱活动的产物[173]。在全球其他地区,新生代的玄武岩除了西太平洋岛弧和大洋中部外,还见于东非裂谷、美洲大陆西部边缘和印度板块内部。简言之,新生代的幔源玄武岩,除了大洋中脊和大洋中的地幔柱外,在大陆内部和边缘,可以归因于大陆裂谷(东非裂谷为代表)、地幔柱(亚洲北部以蒙古为中心的地区、印度德干高原)、大陆边缘盆地(以日本海和南海为代表)和俯冲到大陆边缘之下的洋脊或地幔柱(科罗拉多高原玄武岩)等类型,即在同一时期,不同成因机制和地球动力学背景是共存的。从新生代幔源岩浆活动的板块构造环境推测,二叠纪至三叠纪和新元古代中期,也很可能是多种构造环境共存的。这些不同类型的构造环境,可以归结为两种类型,即岩石圈板块之间的相互作用(洋脊和岛弧)和地幔柱代表的地球不同层圈之间的相互作用(东非裂谷、太平洋夏威夷火山、蒙古高原和印度德干高原等地幔柱),而亚洲大陆东缘,则可能是两种体制叠加在一起的地区。

在不同地质时期存在的这种类似现象,揭示出在地球发展演化过程中,岩石圈板块之间的相互作用和地幔柱活动两种动力学体制,自从太古宙以来就一直在某一地质时期有可能同时存在。岩石圈板块之间的相互作用,形成了陆内与陆缘地质记录的差异和中国大陆地质历史上沧海桑田的变化,而地幔柱的活动,一方面使地幔物质进入大陆地壳,导致大陆的生长;另一方面,可能会使已有的大陆裂解,板块边缘的地球动力学环境发生改变,即终止已有的板块之间相互运动,启动新的全球板块运动格局。没有考虑这样两种动力学体制共存这一客观实际,可能是地质历史重建经常存在对立认识的主要原因之一。

中国大陆复杂的地质组成,使其成为研究全球大陆演化的天然实验室。通过中国大陆形成演化的研究,探讨和重建全球大陆演化的历史,还有很多基础地质研究工作,有待于去进一步去完成。由于一些关键资料的不确定性,本文的讨论和叙述关于中国大陆形成演化的旋回与阶段,只是一个大的框架,同样也存在着很大的推测性。中国乃至全球大陆奥秘的揭示,还有待于关键地区关键基础地质问题的解决。

致谢:本文的撰写,是基于 2003 年至 2008 年期间笔者在国土资源大调查项目"中美矿产资源对比研究"中承担的中国大陆地球动力学背景研究,以及目前正在进行的"全国矿产资源潜力评价"项目中参与的成矿地质背景研究。文中关于中国大陆旋回的划分,离不开王方国、张进、彭齐鸣、严光生、连长云、毛景文和肖克炎等同事的支持和帮助,叶天竺、肖庆辉、陆松年、潘桂堂、邓晋福、李廷栋等前辈的鼓励和指导,其中"泛华旋回"的概念就是叶天竺先生建议的。同时,关于中国大陆不同地区的认识,还与笔者从事地质工作以来承担的其他项目资助和前辈的支持,密切相关。李春昱先生、王荃先生、肖序常先生和任纪舜先生等在治学态度和研究思路对笔者的影响,以及他们给予本人的精心指导,最终导致了本文相关论点的产生。在这里,对上述各位同事和前辈,表示衷心的谢意!此外,还有很多地质学家在过去 20 多年的时间里,给笔者以多方面的帮助、鼓励和支持,本文的一些论点还主要基于很多学者的研究工作,在这里,对他们同样怀有崇高的敬意和表示诚挚的感谢,并请他们原谅笔者在这里没有列出他们的名字,有的甚至因为篇幅和时间的限制,还未能把他们的论著列入参考文献中。

参考文献(References):

[1] 黄汲清, 姜春发. 从多旋回构造运动观点初步探讨地壳发展规律[J]. 地质学报, 1962, 42(2):105-152.
Huang T K, Jiang Chunfa. Preliminary investigation on evolution of the Earth´s crust from the point of view of polycyclic tectonic movement[J]. Acta Geologica Sinica, 1962, 42(2):105-152.

[2] 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, (2):117-135.
Huang T K, Ren Jishun, Jiang Chunfa, et al. An outline of the tectonic characteristics of China [J]. Acta Geologica Sinica, 1977, (2): 117-135.

[3] Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei, et al. The Tectonics of China from a Global View——A Guide to the Tectonic Map of China and Adjacent Regions [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999.

[4] 程裕淇. 主编. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社, 1994.
Cheng Yuqi, et al. An Introduction to Regional Geology of China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1994(in Chinese).

[5] 王鸿祯, 何国琦, 张世红. 中国与蒙古之地质 [J]. 地学前缘, 2006, 13(6):1-13.
Wang Hongzhen, He Guoqi, Zhang Shihong. The geology of China and Mongolia[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(6):1-13 (in Chinese with English abstract).

[6] 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.
Li Chunyu, Wang Quan, Liu Xueya, et al. Tectonic Map of Asia (1:8,000,000) and Its Explanatory Notes [M]. Beijing: SinoMaps Press, 1982(in Chinese).

[7] 李锦轶.中国大陆地壳"镶嵌与叠覆"的结构特征及其演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10):986-1004.
Li Jinyi. Structural characteristics of crustal "mosaicking and superimposition" of the continent of China and its evolution. Geological Bulletin of China[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10):986-1004(in Chinese with English abstract).

[8] 凌文黎, 高山, 程建萍, 等. 扬子陆核与陆缘新元古代岩浆事件对比及其构造意义——来自黄陵和汉南侵入杂岩 ELA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 387-396.
Ling Wenli, Gao Shan, Cheng Jianping,et al. Neoproterozoic magmatic events within the Yangtze continental interior and along its northern margin and their tectonic implication: constraint from the ELA-ICPMS U-Pb geochronology of zircons from the Huangling and Hannan complexes [J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (2): 387-396(in Chinese with English abstract).

[9] 高维, 张传恒. 长江三峡黄陵花岗岩与莲沱组凝灰岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造地层意义 [J]. 地质通报, 2009, 28 (1): 45-50.
Gao Wei, Zhang Chuanheng. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the Huangling granite and the tuff beds from Liantuo Formation in the Three Gorges area of Yangtze River, China and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(1):45-50(in Chinese with English abstract).

[10] 王剑, 李献华, Duan T Z, 等. 沧水铺火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及 "南华系" 底界新证据 [J]. 科学通报, 2003,48(16): 1726-1731.
Wang Jian, Li Xianhua, Duan T Z, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of volcanic rock in Cangshuipu and new evidence on the bottom boundary of "Nanhua system" [J].Chinese Science Bulletin, 2003,48(16):1726-1731(in Chinese).

[11] 张传林, 叶海敏, 王爱国, 等. 塔里木西南缘新元古代辉绿岩及玄武岩的地球化学特征:新元古代超大陆(Rodinia)裂解的证据 [J]. 岩石学报, 2004, 20(3):473-482.
Zhang Chuanlin, Ye Haimin, Wang Aiguo, et al. Geochemistry of the Neoproterozoic diabase and basalt in south of Tarim plate: evidence for the Neoproterozoic breakup of the Rodinia super-continent in south of Tarim [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20 (3): 473-482(in Chinese with English abstract).

[12] 李春昱. 板块构造与多旋回构造运动[J]. 地质学报, 1979, 53(4): 305-315.
Li Chunyu (C Y Li). Plate tectonics and polycyclic orogenisis[J]. Acta Geologica Sinica, 1979, 53(4):305-315.

[13] 万渝生, 宋彪, 刘敦一, 等. 鞍山东山风景区 3.8~2.5Ga 古老岩带的同位素地质年代学和地球化学 [J]. 地质学报, 2001, 75(3): 363-370.
Wan Yusheng, Song Biao, Liu Dunyi, et al. Geochronology and Geochemistry of 3.8-2.5Ga ancient rock belt in the Dongshan Scenic park, Anshan area [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(3): 363-370(in Chinese with English abstract).

[14] Harrison T M, Blichert-Toft J, Muller W, et al. Heterogeneous Hadean Hafnium: evidence of continental crust at 4.4 to 4.5 Ga[J]. Science, 2005, 310:1947-1950.

[15] Michelle Hopkins, T. Mark Harrison, Craig E. Manning. Low heat flow inferred from >4 Gyr zircons suggests Hadean plate boundary interactions[J]. Nature, 2008, 456, 493-496.

[16] 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束[J]. 岩石学报, 2007, 23(3):565-582.
Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, et al. Shuangjingzi middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(3): 565-582(in Chinese with English abstract).

[17] 王玉净, 杨群, 松冈笃, 等. 藏南泽当雅鲁藏布缝合带中的三叠纪放射虫[J]. 微体古生物学报, 2002, 19(3): 215-227.
Wang Yujing, Yang Qun, Matsuaka A, et al. Triassic radiolarians from the Yarlung Zangbo suture zone in the Jinlu area, Zetang county, southern Tibet[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2002, 19(3): 215-227(in Chinese with English abstract).

[18] 朱杰, 杜远生, 刘早学, 等. 西藏雅鲁藏布江缝合带中段中生代放射虫硅质岩成因及其大地构适意义[J]. 中国科学(D 辑), 地球科学, 2005, 35(12):1131-1139.
Zhu Jie, Du Yuansheng, Liu Zaoxue et al. Origin of Mesozoic radiolarian siliceous rock in middle Yartlong Zangbo suture zone and its geotectonic significance, Science in China (Series D:Earth Sciences), 2005, 35(12):1131-1139(in Chinese).

[19] Guochun Zhaoa, Min Suna, Simon A Wildeb, et al. A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent:assembly, growth and breakup[J]. Earth-Science Reviews, 2004, 67:91-123.

[20] Amalbikash Mukherjeel, Subhasish Das. Anorthosites, Granulites and the Supercontinent Cycle[J]. Gondwana Research, 2002, 5(1): 147-156.

[21] M. Yoshida A B, Kampunzu Z X, Li T. Watanabe. Assembly and Break-up of Rodinia and Gondwana: Evidence from Eurasia and Gondwana: Introduction [J]. Gondwana Research, 2003, 6 (2): 139-142.

[22] Kent C. Condie. Breakup of a Paleoproterozoic Supercontinent[J]. Gondwana Research, 2002, 5(1):41-43.

[23] John J W, Rogers M Santosh. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent [J]. Gondwana Research, 2002, 5 (1):5-22.

[24] John J W, Rogers M Santosh. Supercontinents in Earth History[J]. Gondwana Research, 2003, 6, (3):357-368.

[25] 万渝生, 刘敦一, 殷小艳, 等. 鞍山地区铁架山花岗岩及表壳岩的锆石 SHRIMP 年代学和 Hf 同位素组成 [J]. 岩石学报, 2007, 23(2):241-252.
Wan Yusheng, Liu Dunyi, Yin Xiaoyan,et al. SHRIMP geochronology and Hf isotope composition of zircons from the Tiejiashan granite and supracrustal rocks in the Anshan area, Liaoning Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (2):241-252(in Chinese with English abstract).

[26] 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.
Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Shen Qihan, et al. Important Precambrian Geological Events in the North China Platform [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991(in Chinese).

[27] 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.
Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Shen Qihan, et al. Archaean Geology and Tectonic Evolution in Sino-Korea Paleocontinent [M]. Beijing: Geological Publishing House,1998(in Chinese).

[28] 李永刚, 郭敬辉, 翟明国, 等. 晋冀交界地区太古宙末钾质花岗岩的成因及构造意义[C]//钱祥麟,王仁民主编. 华北北部麻粒岩带地质演化. 北京:地震出版社, 1994:187-193.
Li Yonggang, Guo Jinghui, Zhai Mingguo,et al. The origin and tectonic significance of Late Archaean potash granite in the Shanxi-Hebei border area [C] //Qian Xianglin,Wang Renmin (eds.). Geological Evolution of in the Northern Part of North China.Beijing: Seismological Press, 1994:187-193(in Chinese).

[29] 万渝生, 宋彪, 杨淳, 等. 辽宁抚顺-清原地区太古宙岩石 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义 [J]. 地质学报, 2005, 79(1):78-87.
Wan Yusheng, Song Biao, Yang Chun, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of Archaean rocks from the Fushun-Qingyuan area, Liaoning province and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(1):78-87(in Chinese with English abstract).

[30] 耿元生, 刘敦一, 宋彪. 冀西北麻粒岩区早前寒武纪主要地质事件所年代格架[J]. 地质学报, 1997, 71 (4): 316-327.
Geng Yuansheng, Liu Dunyi, Song Biao. Chronological framework of the early Precambrian important events of the northwestern Hebei granulite terrain [J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71 (4): 316-327(in Chinese with English abstract).

[31] 翟明国, 李永刚, 郭敬辉, 等. 晋冀内蒙交界地区麻粒岩地体中两条花岗岩带及其对早前寒武纪地壳生长的意义[J]. 岩石学报, 1996, 12(2): 299-314.
Zhai Mingguo, Li Yonggang, Guo Jinghui, et al. Two linear granite zones in Shanxi-Hebei-Nei Mongol Juncture Region and their implication for Early Precambrian continental evolution [J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12 (2): 299-314 (in Chinese with English abstract).

[32] 李江海, 钱祥麟, 翟明国, 等. 华北中北部高级变质岩区的构造区划及其晚太古代构造演化 [J]. 岩石学报, 1996, 12 (2): 179-192.
Li Jianghai, Qian Xianglin, Zhai Mingguo, et al. Tectonic division of high-grade metamorphic terrain and Late Archean tectonc evolution in north-central part of North China craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(2): 179-192(in Chinese with English abstract).

[33] 庄育勋, 王新社, 徐洪林, 等. 泰山地区早前寒武纪主要地质事件与陆壳演化[J]. 岩石学报, 1997, 13(3): 313-330.
Zhuang Yuxun, Wang Xinshe, Xu Honglin, et al. Main Geological events and crustal evolution in Early Precambrian of Taishan region [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(3): 313-330(in Chinese with English abstract).

[34] 吕发堂, 高绍强. 泰山地区晚太古代"框架侵入岩"的地质特征及稀土地球化学演化[J]. 中国区域地质, 1998, 17(1):9-15.
Lv Fatang, Gao Shaoqiang. Geological features and REE geochemical evolution of late Archean "framework intrusive rocks" in the Mount Taishan area [J]. Regional Geology of China, 1998, 17(1): 9-15(in Chinese with English abstract).

[35] 钟长汀. 晋冀蒙高级区两期高压麻粒岩的地质特征及成因[J]. 前寒武纪研究进展, 1999, 22(2): 53-58.
Zhong Changting. The geological features and origin of two-stage high pressure basic granulite from the Shanxi-Hebei-Inner Mongolia terrain in North China craton[J]. Progress in Precambrian Reseach, 1999, 22(2): 53-58.

[36] 耿元生, 万渝生, 沈其韩. 华北克拉通早前寒武纪基性火山作用与地壳增生[J]. 地质学报, 2002, 76(2):199-208.
Geng Yuansheng, Wan Yusheng, Shen Qihan. Early Precambrian basic volcanism and crustal growth in the North China craton [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (2): 199-208 (in Chinese with English abstract).

[37] 万渝生, 宋彪, 杨淳, 等. 辽宁抚顺-清原地区太古宙岩石 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义 [J]. 地质学报, 2005, 79(1):78-97.
Wan Yusheng, Song Biao, Yang Chun, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of Archaean rocks from the Fushun-Qingyuan area, Liaoning Province and its geological significance[J].

Acta Geologica Sinica, 2005,79(1):78-97(in Chinese with English abstract).

[38] 陈斌, 刘树文, 耿元生, 等. 吕梁-五台地区晚太古宙-古元古代花岗质岩石锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素性质及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 296-304.
Chen Bin, Liu Shuwen, Geng Yuansheng, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotopes and significance of the late Archean - Paleoproterozoic granitoids from the Wutai-Luliang terrain, North China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2):296-304(in Chinese with English abstract).

[39] Yu Shengqiang, Liu Shuwen, Tian Wei, et al. SHRIMP zircon U-Pb chronology and geochemistry of the Henglingguan and Beiyu granitoids in the Zhongtiao Mountains, Shanxi province[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(6):912-924.

[40] 刘树文, 吕勇军, 凤永刚, 等. 冀北单塔子杂岩的地质学和锆石 U-Pb 年代学[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3):484-497.
Liu Shuwen, Lu Yongjun, Feng Yonggang, et al. Geology and zircon U-Pb isotopic chronology of Dantazi complex, northern Hebei province [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(3): 484-497(in Chinese with English abstract).

[41] 王世进, 万渝生, 张成基,等. 鲁西地区早前寒武纪地质研究新进展[J]. 山东国土资源, 2008, 24(1):10-20.
Wang Shijin, Wan Yusheng, Zhang Chengji, et al. Major advanced development gained in studying Early Cambrian geology in Luxi area [J]. Land and Resources of Shangdong Province, 2008, 24(1): 10-20(in Chinese with English abstract).

[42] 侯贵廷, 王传成, 王延欣, 等. 鲁西蒙山新太古代末闪长岩体的区域构造意义——SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 高校地质学报, 2008, 14(1):22-28.
Hou Guiting, Wang Chuancheng, Wang Yanxin,et al. SHRIMP zircon U-Pb chronology and tectonic significance of the Neoarchean Mengshan diorite, western Shandong Province [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14 (1):22-28 (in Chinese with English abstract).

[43] 刘树文, 李江海, 潘元明, 等. 太行山-恒山太古代古老陆块: 年代学和地球化学制约[J]. 自然科学进展, 2002, 12(8): 826-833.
Liu Shuwen, Li Jianghai, Pan Yuanming, et al. Taihangshan - Henshan Archaean old continental mass:chronological and geochemical constraint[J]. Progress in Nature Science, 2002, 12(8): 826-833(in Chinese).

[44] 唐国军, 陈衍景, 黄宝玲, 等. 古元古代 δ^{13}Ccarb 正向漂移事件: 2.3 Ga 环境突变研究的进展[J]. 矿物岩石, 2004, 24(3):103-109.
Tang Guojun, Chen Yanjing, Huang Baoling, et al. Paleoproterozoic Ccarb positive excursion event:research progress on 2.3 Ga catastrophe [J]. Journal of Mineral and Petrology, 2004, 24(3):103-109(in Chinese with English abstract).

[45] 郭敬辉, 石昕, 卞爱国, 等. 桑干地区早元古代花岗岩长石 Pb 同位素组成和锆石 U-Pb 年龄: 变质与地壳熔融作用及构造-热事件演化[J]. 岩石学报, 1999, 15(2):199-207.
Guo Jinghui, Shi Xin, Bian Aiguo, et al. Pb isotopic composition of feldspar and U-Pb age of zircon from early Proterozoic granite in Sanggan area, North China craton: metamorphism, crustal melting and tectono-thermal event [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(2):199-207(in Chinese with English abstract).

[46] 赵凤清, 李惠民, 左义成, 等. 晋南中条山古元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2006, 25(4): 442-447.
Zhao Fengqing, Li Huimin, Zuo Yicheng, et al. Zircon U-Pb ages of Paleoproterozoic granitoids in the Zhongtiao Mountains, southern Shanxi, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (4): 442-447(in Chinese with English abstract).

[47] 于津海, 王德滋, 王赐银, 等. 山西吕梁群和其主变质作用的锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质论评, 1997, 43(4): 403-408.
Yu Jinhai, Wang Dezi, Wang Ciyin, et al. Ages of the Luliang Group and its main metamorphism in the Luliang Mountains, Shanxi: evidence from single-grain zircon U-Pb ages[J]. Geological Review, 1997, 43(4): 403-408(in Chinese with English abstract).

[48] 于津海, 王德滋, 王赐银. 山西吕梁群早元古代双峰式火山岩地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 1997, 13(1): 59-70.
Yu Jinhai, Wang Dezi, Wang Ciyin. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Early Proterozoic bimodal volcanic rocks from Luliang group, Shanxi Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(1): 59-70(in Chinese with English abstract).

[49] 耿元生, 万渝生, 杨崇辉. 吕梁地区古元古代的裂陷型火山作用及其地质意义[J]. 地球学报, 2003, 24(2): 97-104.
Geng Yuansheng, Wan Yusheng, Yang Chonghui. The Palaeoproterozoic rift-type volcanism in Luliangshan area, Shanxi Province, and its geological significance[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(2): 97-104(in Chinese with English abstract).

[50] 路孝平, 吴福元, 张艳斌,等. 吉林南部通化地区古元古代辽吉花岗岩的侵位年代与形成构造背景 [J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 381-392.
Lu Xiaoping, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al. Emplacement age and tectonic setting of the Paleoproterozoic Liaoji granites in Tonghua area, southern Jilin Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 381-392(in Chinese with English abstract).

[51] 郭敬辉, 翟明国, 许荣华. 华北桑干地区大规模麻粒岩相变质作用的时代: 锆石 U-Pb 年代学[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(1): 10-18.
Guo Jinghui, Zhai Mingguo, Xu Ronghua. Epoch of the large-scale granulite facies metamorphism in Sanggan area, North China: zircon U-Pb chronology [J]. Sccience in China (Series D:Earth Science), 2002, 32(1): 10-18(in Chinese).

[52] 钟长汀, 邓晋福, 万渝生, 等. 华北克拉通北缘中段古元古代造山作用的岩浆记录: S 型花岗岩地球化学特征及锆石 SHRIMP 年龄[J]. 地球化学, 2007, 36(6): 585-600.
Zhong Changting, Deng Jinfu, Wan Yusheng, et al. Magma recording of Paleoproterozoic orogeny in central segment of northern margin of North China craton: Geochemical characteristics and zircon SHRIMP dating of S-type granitoids [J]. Geochimica, 2007, 36(6): 585-600(in Chinese with English abstract).

[53] 郭敬辉, 王松山, 桑海清, 等. 变斑晶石榴石 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄谱的

含义与华北高压麻粒岩变质时代 [J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 436−442.
Guo Jinhui, Wang Songshan, Sang Haiqing, et al. $^{40}Ar-^{39}Ar$ age spectra of garnet porphyroblast: Implications for metamorphic age of high−pressure granulite in the North China craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 17(3):436−442(in Chinese with English abstract).

[54] 耿元生, 杨崇辉, 宋彪, 等. 吕梁地区 18 亿年的后造山花岗岩: 同位素年代和地球化学制约 [J]. 高校地质学报, 2004,10(4): 477−487.
Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Song Biao, et al. Post−orogenic granites with an age of 1800Ma in Lvliang area, North China craton: contraints from isotopic geochronology and geochemistry [J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10 (4): 477−487(in Chinese with English abstract).

[55] 万渝生, 张巧大, 宋天锐. 北京十三陵长城系常州沟组碎屑锆石 SHRIMP 年龄: 华北克拉通盖层物源区及最大沉积年龄的限定 [J]. 科学通报, 2003, 48(18):1970−1975.
Wan Yusheng, Zhang Qiaoda, Song Tianrui. SHRIMP age of fragmental zircon from Changzhougou Formation, Changcheng System in Ming Tombs, Beijing:source area of the craton cover in North China and the restriction of the oldest age [J]. Chinese Science Bulletin,2003, 48(18):1970−1975(in Chinese).

[56] 陆松年, 袁桂邦. 阿尔金山阿克塔什塔格早前寒武纪岩浆活动的年代学证据[J]. 地质学报, 2003, 77(1): 61−68.
Lu Songnian, Yuan Guibang. Geochronology of early Precambrian magmatic activities in Aketashitage, Eat Altyn Tagh[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(1):61−68(in Chinese with English abstract).

[57] 李怀坤, 李惠民, 陆松年. 长城系团山子组火山岩颗粒锆石 U−Pb 年龄及其地质意义[J]. 地球化学, 1995, 24 (10), 43−47.
Li Huaikun, Li Huimin, Lu Songnian. Grain zircon U−Pb ages for volcanic rocks from Tuanshanzi formation of Changcheng system and their geological implications [J]. Geochimica, 1995, 24 (10): 43−47(in Chinese with English abstract).

[58] 陆松年, 李惠民. 蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石 U−Pb 法准确定年[J]. 中国地质科学院院报, 1991, (22):137−145.
Lu Songnian, Li Huimin. A precise U −Pb single zircon age determination for the volcanics of Dahongyu formation, Changcheng system in Jixian [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1991, (22):137 −145 (in Chinese with English abstract).

[59] 高林志, 张传恒, 尹崇玉,等. 华北古陆中、新元古代年代地层框架 SHRIMP 锆石年龄新依据[J]. 地球学报, 2008, 29(3):366−376.
Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Yin Chongyu, et al. SHRIMP zircon ages: basis for refining the chronostratigraphic classification of the Meso− and Neoproterozoic strata in North China Old Land [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29 (3):366−376 (in Chinese with English abstract).

[60] 郁建华, 付会芹, 哈巴拉 I, 等. 华北克拉通北部 1.10Ga 非造山环斑花岗岩岩套[J]. 华北地质矿产杂志, 1996, 11(3):341−350.
Yu Jianhua, Fu Huiqin, Haapala, et al. A 1.70 Ga anorogenic rapakivi granite suite in the northern part of North China craton[J]. Journal of Geology and Mineral Resources of North China, 1996, 11(3):341−350(in Chinese with English abstract).

[61] 杨进辉, 吴福元, 柳小明,等. 北京密云环斑花岗岩锆石 U−Pb 年龄和 Hf同位素及其地质意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(6):1633−1644.
Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Liu Xiaomin, et al. Zircon U−Pb ages and Hf isotopes and their geological significance of the Miyun rapakivi granites from Beijing, China[J]. Acta Petrotrologica Sinica, 2005, 21(6): 1633−1644(in Chinese with English abstract).

[62] 高维, 张传恒, 高林志, 等. 北京密云环斑花岗岩的锆石 SHRIMP U− Pb 年龄及其构造意义 [J]. 地质通报, 2008, 27(6): 793−798.
Gao Wei, Zhang Chuanheng, Gao Linzhi, et al. Zircon SHRIMP U− Pb age of rapakivi granite in Miyun, Beijing, China, and its tectono−stratigraphic implications [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(6): 793−798(in Chinese with English abstract).

[63] 赵太平, 陈福坤, 翟明国, 等. 河北大庙斜长岩杂岩体锆石 U−Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2004, 20(3):685−690.
Zhao Taiping, Chen Fukun, Zhai Minguo, et al. Single zircon U−Pb ages and their geological significance of the Damiao anorthosite complex, Hebei province. China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3):685−690(in Chinese with English abstract).

[64] 任康绪, 阎国翰, 蔡剑辉, 等. 华北克拉通北部地区古−中元古代富碱侵入岩年代学及意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 377−386.
Ren Kangxu, Yan Guohan, Cai Jianhui,et al. Chronology and geological implication of the Paleo−Mesoproterozoic aikaline−rich intrusions belt from the northern part in the North China craton[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (2): 377−386 (in Chinese with English abstract).

[59] 任富根, 李惠民, 殷艳杰, 等. 熊耳群火山岩系的上限年龄及其地质意义[J]. 前寒武纪研究进展, 2000, 23(3): 140−146.
Ren Fugen, Li Huimin, Yin Yanjie, et al. The upper chronological limit of Xionger Group′ s volcanic rock series, and its geological significance [J]. Progress in Precambrian Research, 2000, 23 (3): 140−146(in Chinese with English abstract).

[66] 赵太平, 翟明国, 夏斌, 等. 熊耳群火山岩锆石 SHRIMP 年代学研究: 对华北克拉通盖层发育初始时间的制约 [J]. 科学通报, 2004, 49(22): 2342−2349.
Zhao Taiping, Zhai Mingguo, Xia Bin,et al. SHRIMP chronology of zircon from volcanic rocks of Xiong′er Group:Constraint on the initial time of the craton cover in North China [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(22): 2342−2349(in Chinese).

[67] 陆松年, 李怀坤, 李惠民, 等. 华北克拉通南缘龙王幢碱性花岗岩 U−Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2003, 22(12): 762−768.
Lu Songnian, Li Huaikun, Li Huimin, et al. U−Pb isotopic ages and their significance of alkaline granite in the southern margin of the North China craton [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22 (12):762−768(in Chinese with English abstract).

[68] 李江海, 侯贵廷, 钱祥麟, 等. 恒山中元古代早期基性岩墙群的单颗粒锆石 U−Pb 年龄及其克拉通构造演化意义[J]. 地质论评,

2001, 47(3):234-238.
Li Jianghai, Hou Guiting, Qian Xianglin, et al. Single-zircon U-Pb age of the initial Mesoproterozoic basic dike swarms in Hengshan mountain and its implication for the tectonic evolution of the North China craton [J]. Geological Review, 2001, 47(3): 234-238(in Chinese with English abstract).

[69] 高林志, 张传恒, 史晓颖, 等. 华北青白口系下马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U- Pb 定年[J]. 地质通报, 2007, 26(3):249-255.
Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, et al. Zircon SHRIMP U- Pb dating of the tuff bed in the Xiamaling formation of the Qingbaikouan System in North China[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(3):249-255(in Chinese with English abstract).

[70] 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.

[71] 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.

[72] Yang Tiannan, Li Jinyi, Sun Guihua, et al. Mesoproterozoic continental arc type granite in the Central Tianshan Mountains: zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemical analyses [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(1):117-125.

[73] 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.
Xie Mingming, Liu Chungen, Li Shan. Geological feature of Xiakengzi pluton of Anyuan, South Jiangxi and the geological significance of Pb-Pb isotopic age of zircon [J]. Jiangxi Geology, 2001, 15(4): 256-259(in Chinese with English abstract).

[74] 耿元生, 杨崇辉, 杜利林, 等. 天宝山组形成时代和形成环境--锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和地球化学证据 [J]. 地质论评, 2007, 53(4):556-563.
Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Du Lilin, et al. Chronology and tectonic environment of the Tianbaoshan formation:New evidence from zircon SHRIMP U-Pb age and geochemistry [J]. Geological Review, 2007, 53(4):556-563(in Chinese with English abstract).

[75] 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.
Zhang Chuanlin, Zhao Yu, Guo Kunyi, et al. Grenville orogeny in north of the Qinghai-Tibet plateau: first evidence from isotopic dating [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38 (4):535-538(in Chinese with English abstract).

[76] 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.
Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, et al. The discovery of Neoproterozoic Jinningian deformed granites in Alax area and its significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2002, 21(4):412-420(in Chinese with English abstract).

[77] 张成立, 刘良, 张国伟, 等. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):33-42.
Zhang Chengli, Liu Liang, Zhang Guowei, et al. Determination of Neoproterozoic post-collisional granites in the north Qinling mountains and its tectonic significance [J]. Science Frontiers, 2004, 11(3):33-42(in Chinese with English abstract).

[78] 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 湘东北新元古代强过铝花岗岩的成因:年代学和地球化学制约[J].地质论评, 2004, 50:65-76.
Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, et al. Petrogenesis of Neoproterozoic granites from northeastern Hunan province: chronology and Geochemical constraints [J]. Geological Review, 2004, 50:65-76(in Chinese with English abstract).

[79] 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 桂北新元古代强过铝花岗岩的成因: 锆石年代学和 Hf 同位素制约 [J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 326-342.
Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, et al. Petrogenesis of the Neoproterozoic strong peraluminous granitoids from northern Guanxi: constraints from zircon geochronology and Hf isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (2):326-342 (in Chinese with English abstract).

[80] 刘会彬, 裴先治, 丁仨平, 等. 西秦岭天水市元龙地区新元古代花岗质片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2006, 25(11):1315-1320.
Liu Huibin, Pei Xianzhi, Ding Sanping, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Neoproterozoic granitic gneisses in the Yuanlong area, Tianshui city, west Qinling, China, and their geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (11):1315-1320(in Chinese with English abstract).

[81] 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.
Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, et al. Potash-basaltic intrusive belt in southeastern Guangxi and its petrology and geochemistry[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(18):1992-1998(in Chinese).

[82] 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球化学, 1999, 28(1):1-9.
Li Xianhua. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance[J]. Geochimica, 1999, 28(1):1-9(in Chinese with English abstract).

[83] 李献华, 周汉文, 李正祥, 等. 扬子块体西缘新元古代双峰式火山岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石化学特征[J]. 地球化学, 2001, 30 (4): 315-322.
Li Xianhua, Zhou Hanwen, Li Zhengxiang, et al. Zircon U-Pb age and petrochemical characteristics of the Neoproterozoic bimodal volcanic from western Yangtze block [J]. Geochimica, 2001, 30(4):315-322(in Chinese with English abstract).

[84] 李献华, 苏 犁, 宋 彪, 等. 金川超镁铁侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 科学通报, 2004, 49(4): 401-402.
Li Xianhua, Su Li, Song Biao,et al. SHRIMP zircon U-Pb age of Jinchuan ultramafic intrusive rock and its geological significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(4):401-402(in Chinese).

[85] 林广春, 李献华, 李武显. 川西新元古代基性岩墙群的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd-Hf 同位素地球化学：岩石成因与构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 2006, 36(7)：630-645.
Lin Guangchun, Li Xianhua, Li Wuxian. SHRIMP zircon U-Pb age, elements and Nd-Hf isotopic geochemistry of Neoproterozoic dyke swamp in western Sichuan:rock genesis and tectonic significance[J]. Science in China(Series D), 2006, 36(7)：630-645 (in Chinese).

[86] 王剑, 曾昭光, 陈文西, 等. 华南新元古代裂谷系沉积超覆作用及其开启年龄新证据[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4):1-7.
Wang Jian, Zeng Zhaoguang, Chen Wenxi, et al. The Neoproterozoic rift systems in southern China:New evidence for the sedimentary onlap and its initial age [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(4):1-7(in Chinese with English abstract).

[87] 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 皖南新元古代花岗闪长岩体锆石 U-Pb 定年以及元素和氧同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2005, 21(3):587-606.
Wu Rongxin, Zheng Yongfe, Wu Yuanbao. Zircon U-Pb age, element and oxygen isotope geochemistry of Neoproterozoic granodiorites in south Anhui [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3):587-606(in Chinese with English abstract).

[88] 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 皖南石耳山新元古代花岗岩锆石 U-Pb 定年以及元素和氧同位素地球化学研究 [J]. 高校地质学报, 2005, 11(3):364-382.
Wu Rongxin, Zheng Yongfe, Wu Yuanbao. Zircon U-Pb age, element and oxygen isotope geochemisty of Neoproterozoic granites at Shiershan in south Anhui province[J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11 (3):364-382 (in Chinese with English abstract).

[89] 朱维光, 邓海琳, 刘秉光, 等. 四川盐边高家村镁铁-超镁铁质杂岩体的形成时代：单颗粒锆石 U-Pb 和角闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代学制约[J]. 科学通报, 2004, 49(10):985-992.
Zhu Weiguang, Deng Hailin, Liu binguang, et al. Age of mafic-ultramafic intrusive rock of Gaojiachun Yanbian in Sichuan：from constraint on $^{40}Ar/^{39}Ar$ and single zircon U-Pb chronology [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(10):985-992(in Chinese).

[90] 周汉文, 李献华, 王汉荣, 等. 广西鹰扬关群基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):22-25.
Zhou Hanwen, Li Xianhua, Wang Hanrong, et al. U-Pb zircon geochronology of basic volcanic rocks of the Yingyangguan group in Hezhou, Guangxi, and its tectonic implications [J]. Geological Review, 2002, 48(supp.):22-25(in Chinese with English abstract).

[91] 赵凤清, 赵文平, 左义成, 等. 陕南汉中地区新元古代岩浆岩 U-Pb 年代学[J]. 地质通报, 2006, 25(3)：383-388.
Zhao Fengqing, Zhao Wenping, Zuo Yicheng, et al. U-Pb geochronology of Neoproterozoic magmatic rocks in Hanzhong, southern Shaanxi, China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(3):383-388(in Chinese with English abstract).

[92] 周继彬, 李献华, 葛文春, 等. 桂北元宝山地区超镁铁岩的年代、源区及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2007, 26(1):11-18.
Zhou Jibin, Li Xianhua, Ge Wenchun, et al. Geochronology, mantle source and geological implications of Neoproterozoic ultramafic rocks from Yuanbaoshan Area of Northern Guangxi[J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26(1):11-18(in Chinese with English abstract).

[93] Li X H, Li Z X, Zhou H, et al. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian rift of South China:implications for the initial rifting of Rodinia[J]. Precamb. Res., 2002, 113:135-155.

[94] Li X H, Su L, Chung S L, et al. Formation of the Jinchuan ultramafic intrusion and the world's third largest Ni-Cu sulfide deposit：Associated with the ~825 Ma south China mantle plume [J]. Geochem. Geophys. Geosys., 2005, 6, Q11004, doi：10.1029/2005GC001006.

[95] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia : Did it start with a mantle plume beneath South Chian ? [J] Earth Planetary Science Letters, 1999, 173(2):171-181.

[96] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze craton, South China and correlations with other continents:evidence for a mantle super-plume that broke up Rodinia [J]. Precambrian Res., 2003, 122：8-109.

[97] Wang J, Li Z X, Li X H, et al. Nanhua rift：a story continental rift related to Rodinia breakup[J]. Gondwana Res., 1999, 2:614-615.

[98] 周金城, 王孝磊, 邱检生, 等. 桂北中-新元古代镁铁质-超镁铁质岩的岩石地球化学[J]. 岩石学报, 2003, 19(1)：9-18.
Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng, et al. Lithogeochemistry of Meso- and Neoproterozoic mafic-ultramfic rocks from northern Guangxi[J]. Acta Petrologica Sionica, 2003, 19(1)：9-18(in Chinese with English abstract).

[99] 赵俊香, 陈岳龙, 李志红. 康定杂岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 现代地质, 2006, 20(3):378-385.
Zhao Junxiang, Chen Yuelong, Li Zhihong. Zircon U-Pb SHRIMP dating for the Kangding complex and its geological significance[J]. Geoscience, 2006, 20(3):378-385(in Chinese with English abstract).

[100] 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.

[101] 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, 110：611-618.

[102] 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 扬子地台西缘盐边群玄武质岩石地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质学报, 2005, 79(6):805-813.
Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, et al. Geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon chronology of basalts from the

Yanbian group in the western Yangtze block [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6):805-813(in Chinese with English abstract).

[103] 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 扬子地台西缘新元古代 TTG 的厘定及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(4): 273-281.
Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, et al. The stipulation of Neoproterozoic TTG in western Yangtze block and its significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25 (4): 273-281(in Chinese with English abstract).

[104] 陆慧娟, 华仁民, 毛光周, 等. 江西德兴泗洲辉绿岩体锆石 La-ICP-MS 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 2006, (80): 1017-1025.
Lu Huijuan, Hua Renmin, Mao Guangzhou, et al. Zircon La-ICP-MS U-Pb dating of the Sizhou diabase in Dexing, NE Jiangxi and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, (80): 1017-1025(in Chinese with English abstract).

[105] 卢成忠, 董传万, 顾明光, 等. 浙江道林山新元古代 A 型花岗岩的发现及其构造意义[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 1044-1051.
Lu Chengzhong, Dong Chuanwan, Gu Mingguang, et al. Discovery of the Neoproterozoic Daolinshan A-type granite in Zhejiang and its tectonic implications[J]. Geology in China, 2006, 33(5): 1044-1051(in Chinese with English abstract).

[106] 周宇章, 邢光福, 杨祝良, 等. 浙江诸暨新元古代后造山铝质 A 型花岗岩的厘定[J]. 地球学报, 2006, 27(2): 107-113.
Zhou Yuzhang, Xing Guangfu, Yang Zhuliang, et al. Recognition of Neoproterozoic post-orogenic Aluminous A-type granite in Zhuji, Zhejiang Province [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27 (2): 107-113(in Chinese with English abstract).

[107] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄--对江南新元古代造山带演化的制约[J]. 地质通报, 2008,27(10): 1744-1751.
Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China: constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(10): 1744-1751(in Chinese with English abstract).

[108] 李锦轶. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 25-34.
Li Jinyi. Pattern and time of the collision between the Sino-Korean and Yangtze blocks: evolution of the Sinian-Jurassic sedimentary setting in the middle-lower reaches of the Yangtze river [J]. Acta Geologica Sinica. 2001, 75 (1): 25-34 (in Chinese with English abstract).

[109] 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.
Gao Shan, Zhang Benren. The discovery of Archean TTG gneisses in the northern Yangtze platform and their implications[J]. Earth Sciences——Journal of China University of Geosciences, 1990, 15(6): 675-679(in Chinese with English abstract).

[110] 高山, Yumin Qiu, 凌文黎, 等. 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>3.2Ga 陆壳物质的发现[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(1): 27-35.
Gao Shan, Qiu Yumin, Ling Wenli, et al. Study on Single-zircon SHPIMP U-Pb Chronology in Kongling high grade metamophic terrane:discovery of 73.2 Ga continental crust in Yangzhi craton [J]. Science in China, 2001, 31(1): 27-35(in Chinese).

[111] 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 Phanerazoic tectonics[J]. Geology, 2000, 28(1):11-14.

[112] 李益龙, 周汉文, 李献华, 等. 黄陵花岗岩基英云闪长岩的黑云母和角闪石 40Ar-39Ar 年龄及其冷却曲线 [J]. 岩石学报, 2007,23(5): 1067-1074.
Li Yilong, Zhou Hanwen, Li Xianhua, et al. 40Ar-39Ar plateau ages of biotite and amphibole from tonalite of Huangling granitoids and their cooling curve [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(5):1067-1074(in Chinese with English abstract).

[113] 韩宝福, 何国琦, 王式洸, 等. 新疆北部后碰撞慢源岩浆活动与陆壳纵向生长[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 396-406.
Han Baofu, He Guqi, Wang Shiguang, et al. Postcol1isional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in North Xinjiang[J]. Geological Review, 1998, 44(4): 396-406(in Chinese with English abstract).

[114] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)---后碰撞深成岩浆活动的时限 [J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1077-1086.
Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar basin, Xinjiang, China (part I): timing of post-collisional plutonism [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5): 1077-1086 (in Chinese with English abstract).

[115] 高俊, 龙灵利, 钱青, 等. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? [J]岩石学报, 2006, 22(5): 1049-1061.
Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, et al. South Tianshan: a late Paleozoic of a Triassic arogen? [J] Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1049-1061(in Chinese with English abstract).

[116] 李锦轶, 何国琦, 徐新, 等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(1): 148-168.
Li Jinyi, He Guoqi, Xu Xin, et al. Crustal tectonic framework of Northern Xinjiang and adjacent regions and its formation [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(1): 148-168(in Chinese with English abstract).

[117] 李锦轶,王克卓, 李亚萍, 等. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 2006, 25(8): 895-909.
Li Jinyi, Wang Kezhuo, Li Yaping, et al. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8): 895-909(in Chinese with English abstract).

[118] 肖文交, 韩春明, 袁超, 等. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1062-1076.
Xiao Wenjiao, Han Chunming, Yuan Chao, et al. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of

northern Xinjiang (NW China): constraints for the tectonics of the southern Paleoasian domain [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5):1062-1076(in Chinese with English abstract).

[119] 李锦轶, 宋彪, 王克卓, 等. 东天山吐哈盆地南缘二叠纪幔源岩浆杂岩: 中亚地区陆壳垂向生长的地质记录 [J]. 地球学报, 2006, 27(5):424-446.
Li Jinyi, Song Biao, Wang Kezhuo, et al. Permian mafic- ultramafic complexes on the southern margin of the Tu- Ha Basin, east Tianshan mountains: geological records of vertical crustal growth in Central Asia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27(5):424-446 (in Chinese with English abstract).

[120] Li Jinyi. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: closure of the Paleo -Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 26, (3-4):207-224.

[121] 范蔚茗, 王岳军, 彭头平, 等. 桂西晚古生代玄武岩 Ar-Ar 和 U-Pb 年代学及其对峨眉山玄武岩省喷发时代的约束[J]. 科学通报, 2004, 49(18):1892-1900.
Fan Weimin, Wang Yuejun, Peng Touping, et al. Ar-Ar and U-Pb chronology of Paleozoic basalt in western Guangxi and its constraint on the eruption epoch of Emeishan basalt Province[J]. Chinese Science Bulletin, 2004,49(18):1892-1900(in Chinese).

[122] 罗震宇, 徐义刚, 何斌, 等. 论攀西猫猫沟霞石正长岩与峨眉山大火成岩省的成因联系:年代学和岩石地球化学证据[J]. 科学通报, 2006, 51(15): 1802-1810.
Luo Zhenyu,m Xu Yigang, He Bin, et al. Genetic connection between the Maomaogou nepheline syenite in Panxi and the Emeishan igneous rock province: chronology and petrological-geochemical evidence [J].Chinese Science Bulletin, 2006,51(15): 1802-1810(in Chinese).

[123] 林清茶, 夏斌, 张玉泉. 川南德昌地区茨达碱性岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. 地质通报, 2006, 25(3): 398-401.
Lin Qingcha, Xia Bin, Zhang Yuquan. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Cida alkali complex in the Dechang area, southern Sichuan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(3): 398-401(in Chinese with English abstract).

[124] Luo Zhenyu, Xu Yigang, He Bin, et al. Geochronologic and petrochemical evidence for the genetic link between the Maomaogou nepheline syenites and the Emeishan large igneous province[J].Chinese Science Bulletin, 2007, 52(7):949-958

[125] 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.
Chen Hanlin, Yang Shufeng, Dong Chuanwan, et al. Confirmation of Permian basite zone in Tarim basin and its tectonic significance [J]. Geochimica, 1997, 26 (6):77 -87 (in Chinese with English abstract).

[126] 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其对塔北构造演化的新认识 [J]. 矿物学报, 1998, 18(3):370-376.
Chen Hanlin, Yang Shufeng, Jia Chengzao, et al. Confirmation of Permian intermediate -Acid igneous rock zone and a new understanding of tectonic evolution in the northern part of the Tarim basin[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18(3):370-376(in Chinese with English abstract).

[127] 陈立辉, 韩宝福. 新疆北部乌恰沟地区镁铁质侵入岩的年代学、地球化学和 Sr-Nd-Pb 同位素组成: 对地幔源区特征和深部过程的约束. 岩石学报, 2006, 22(5): 1201-1214.
Chen Lihui, Han Baofu. Geochronology, geochemistry and Sr-Nd -Pb isotopic composition of mafic intrusive rocks in Wuqiagou area, north Xinjiang: constraints for mantle sources and deep processes [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5):1201-1214(in Chinese with English abstract).

[128] 陈世平, 王登红, 屈文俊, 等. 新疆葫芦铜镍硫化物矿床的地质特征与成矿时代[J]. 新疆地质, 2005, 23(3):230-233.
Chen Shiping, Wang Denghong, Qu Wenjun, et al. Geological features and ore formation of the Hulu Cu-Ni sulfide deposit, eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2005, 23(3): 230-233(in Chinese with English abstract).

[129] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 2004,49(22):2324-2328.
Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. SHRIMP zircon U-Pb age of Kalatongk and Huangshandong Cu- Ni-bearing mafic-ultramafic complexs in Xinjiang and its geological significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(22):2324-2328(in Chinese).

[130] 郝建荣, 周鼎武, 柳益群, 等. 新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩岩石地球化学及其构造环境分析[J]. 岩石学报, 2006, 22(1): 189-198.
Hao Jianrong, Zhou Dingwu, Liu Yiqun, et al. Geochemistry and tectonic settings of Permian volcanic rocks in Santanghu basin, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (1):189-198(in Chinese with English abstract).

[131] 姜常义, 张蓬勃, 卢登蓉,等. 柯坪玄武岩的岩石学、地球化学、Nd、Sr、Pb 同位素组成与岩石成因 [J]. 地质论评, 2004, 50(5): 492-500.
Jiang Changyi, Zhang Pengbo, Lu dengrong, et al. Petrology, Geochemistry and Petrogenesis of the Kalpin basalts and their Nd, Sr and Pb isotopic compositions [J]. Geological Review, 2004, 50 (5): 492-500(in Chinese with English abstract).

[132] 姜常义,贾承造,李良辰,等. 新疆麻扎尔塔格地区铁富集型高镁岩浆的源区[J]. 地质学报, 2004, 78(6):770 -780.
Jiang Changyi, Jia Chengzao, Li Liangchen, et al. Source of the Fe-riched-type High-Mg Magma in Mazhartag Region, Xinjiang [J]. Acta Geological Sinica, 2004, 78 (6):770 -780 (in Chinese with English abstract).

[133] 李辛子, 韩宝福, 李宗怀, 等. 新疆克拉玛依中基性岩墙群形成力学机制及其构造意义[J]. 地质论评, 2005, 51(5): 517-522.
Li Xinzi, Han Baofu, Li Zonghuai, et al. Mechanism of the Karamay Basic -Intermediate dyke swarm from Xinjiang and Tectonic implications [J]. Geological Review, 2005, 51(5):517-522(in Chinese with English abstract).

[134] 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 2002, 21(4): 323-333.
Mao Jingwen, Yang Jianmin, Qu Wenjun, et al. Re-Os Dating of Cu-Ni sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and Its geodynamic significance [J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (4): 323-333(in Chinese with English abstract).

[135] 毛启贵, 肖文交, 韩春明, 等. 新疆东天山白石泉铜镍矿床基性-超基性岩体锆石 U-Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约[J]. 岩石学报, 2006, 22(1):153-162.
Mao Qigui, Xiao Wenjiao, Han Chunming, et al. Zircon U-Pb age and the geochemistry of the Baishiquan mafic-ultramafic complex in the eastern Tianshan, Xinjiang Province: constraints on the cloure of the Paleoasian ocean [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1):153-162(in Chinese with English abstract).

[136] 舒良树, 朱文斌, 王博, 等. 新疆博格达南缘后碰撞期陆内裂谷和水下滑塌构造[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 25-36.
Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, et al. The post-collision intracontinental rifting and olistosrome on the southern slope of Bogda mountains, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (1): 25-36(in Chinese with English abstract).

[137] 吴华, 李华芹, 莫新华, 等. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性-超基性岩的形成时代及其地质意义 [J]. 地质学报, 2005, 79 (4) : 498-502.
Wu Hua, Li Huaqin, Mo Xinhua, et al. Age of the Baishiqun mafic-ultramafic complex,Hami,Xinjiang and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(4) : 498-502(in Chinese with English abstract).

[138] 邢秀娟, 周鼎武, 柳益群, 等. 吐哈盆地及周缘早二叠世火山岩地球化学特征及大地构造环境探讨 [J]. 新疆地质, 2004, 22(1): 50-55.
Xing Xiujuan, Zhou Dingwu, Liuyiqun, et al. Geochemistry of early Permian volcanic rocks and their tectonic settings from the Turpan-Hami basin, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2004, 22(1): 50-55(in Chinese with English abstract).

[139] 徐学义, 何世平, 马中平, 等. 新疆柯坪库木如吾祖克地区二叠纪火山岩[J]. 西北地质, 2002, 35(3): 35-41.
Xu Xueyi, He Shiping, Ma Zhongping, et al. The Permian volcanic rocks from Kumuruwuzuke area, Keping county [J]. Northwestern Geology, 2002, 35 (3): 35-41 (in Chinese with English abstract).

[140] 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构造意义[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 121-128.
Yang Shufeng, Chen hanlin, Dong Chuanwan, et al. The discovery of Permian syenite inside Tarim basin and its geodynamic significance [J]. Geochimica, 1996, 25 (2): 121-128 (in Chinese with English abstract).

[141] 杨树锋, 历子龙, 陈汉林, 等. 塔里木二叠纪石英正长斑岩岩墙的发现及其构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1405-1412.
Yang Shufeng, Li Zilong, Chen Hanlin, et al. Discovery of a Permian quartz syenitic porphyritic dyke from the Tarim basin and its tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1405-1412(in Chinese with English abstract).

[142] 杨树锋, 陈汉林, 冀登武, 等. 塔里木盆地早-中二叠世岩浆作用过程及地球动力学意义[J]. 高校地质学报, 2005, 11(4): 504- 511.
Yang Shufeng, Chen hanlin, Ji Dengwu,et al. Geological process of Early to Middle Permian magmatism in Tarim basin and its geodynamic significance [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(4): 504-511.

[143] 杨树锋, 余星, 陈汉林, 等. 塔里木盆地巴楚小海子二叠纪超基性脉岩的地球化学特征及其成因探讨 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (5): 1087-1096.
Yang Shufeng, Yu Xing, Chen Hanlin, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of Permian Xiaohaizi ultrabasic dyke in Bachu area, Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(5): 1087-1096(in Chinese with English abstract).

[144] 赵泽辉, 郭召杰, 韩宝福, 等. 新疆东部-甘肃北山地区二叠纪玄武岩对比研究及其构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5) : 1279-1293.
Zhao Zehui, Guo Zhaojie, Han Baofu, et al. Comparative study on Permian basalts from eastern Xinjiang-Beishan area of Gansu province and its tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5) : 1279-1293(in Chinese with English abstract).

[145] Zhou Meifu, Michael Lesher C, Yang Zhengxi, et al. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwest China: implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt [J]. Chemical Geology, 2004, 209: 233-257.

[146] 侯增谦, 杨岳清, 曲晓明, 等. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 109-120.
Hou Zengqian, Yang Yueqing, Qu Xiaoming, et al. Tectonic evolution and mineralization systems of the Yidun arc orogen in Sanjiang region, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(1): 109-120(in Chinese with English abstract).

[147] 李国彪,万晓樵. 藏南岗巴-定日地区始新世微体化石与特提斯的消亡[J]. 地层学杂志,2003,27(02): 99-108.
Li Guobiao, Wan Xiaoqiao. Eocene microfossils in southern Tibet and the final closing of the Tibet-tethys[J]. Journal of Stratigraphy, 2003,27(02): 99-108(in Chinese with English abstract).

[148] 李才, 王天武, 李惠民, 等. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗闪长岩-古冈底斯造山的存在证据 [J]. 地质通报, 2003, 22(5): 364-366.
Li Cai, Wang Tianwu, Li Huimin, et al. Discovery of Indosinian megaporphyritic granodiorite in the Gangdise area: evidence for the existence of Paleo-Gandise [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(5): 364-366(in Chinese with English abstract).

[149] 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋,等. 冈底斯印支期造山事件:花岗岩类锆石 U-Pb 年代学和岩石成因证据 [J]. 地球科学, 2007, 32(2): 155-166.
Zhang Hongfei, Xu Wangchun, Guo Jianqiu, et al. Indosinian

orogenesis of the Gangdise terrane: evidences from zircon U-Pb dating and petrogenesis of Granitoids[J]. Earth Science——Journal of China University of Geoscience, 2007, 32 (2):155-166 (in Chinese with English abstract).

[150] 杨德明, 和钟铧, 郑常青, 等. 西藏门巴地区德宗花岗质片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34:12-14, 24.
Yang Deming, He Zhonghua, Zheng Changqing, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Dezong granitoid gneisses and its geological implications in Menba area,Tibet [J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2004, 34:12-14, 24(in Chinese with English abstract).

[151] 李亚林, 王成善, 胡修棉, 等. 西藏南部始新世早期放射虫动物群及其对特提斯闭合时间的约束 [J]. 科学通报, 2007, (12): 1430-1435.
Li Yalin, Wang Chengshan, Hu Xiumian, et al. Early Eocene Radiolaria in southern Tibet and its constraint on the closure of Tethys [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, (12):1430-1435(in Chinese).

[152] 王英超,夏斌,张玉泉, 等. 西藏西南普兰错果弄巴电气石二云母花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年 [J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(4):517-521.
Wang Yingchao, Xia Bin, Zhang Yuquan, et al. U-Pb SHRIMP zircon ages of the Cuoguonongba tourmaline two-mica granite in Pulan, Southwest Tibet[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29 (4):517-521(in Chinese with English abstract).

[153] 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):319-328.
Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanhong, et al. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia [J]. Earth Science Fronties, 2004, 11 (3):319-328 (in Chinese with English abstract).

[154] 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义[J]. 地质通报, 2003, 22(2):140-141.
Niu Baogui, He Zhengjun, Song Biao, et al. SHRIMP dating of the Zhangjiakou volcanic series and its significance [J]. Geological Bulletin Of China, 2003, 22(2):140-141(in Chinese).

[155] 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.
Li Jinyi. Some new ideas on tectonics of NE China and its neighboring areas [J]. Geological Review, 1998, 44(4):339- 347 (in Chinese with English abstract).

[156] 和政军, 李锦轶, 牛宝贵, 等. 燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆-隆升事件及沉积响应[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 407-418.
He Zhengjun, Li Jinyi, Niu Baogui, et al. A Late Jurassic intense thrusting-uplifting event in the Yanshan-Yinshan area, northern China and its sedimentary response [J]. Geological Review, 1998, 44(4):407-418(in Chinese with English abstract).

[157] 李锦轶, 莫申国, 和政军, 等. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):157-168.
Li Jinyi, Mo Shenguo, He Zhengjun, et al. The timing of crustal sinistral strike-slip movement in the northern Great Khing'an ranges and its constraint on reconstruction of the crustal tectonic evolution of NE China and adjacent areas since the Mesozoic [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (3):157-168 (in Chinese with English abstract).

[158] 吴根耀. 滇桂交界区印支期前陆褶皱冲断带 [J]. 地质科学, 2001, 36(1):64-71.
Wu Genyao. Indosinian foreland fold-and-thrust belt bordering Yunna and Guangxi, China [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(1):64-71(in Chinese with English abstract).

[159] 杨经绥,吴才来, 陈松永, 等.甘肃北山地区榴辉岩的变质年龄: 来自锆石的 U-Pb 同位素定年证据 [J]. 中国地质, 2006, 33(2): 317-325.
Yand Jingsui, Wu Cailai, Chen Songyong, et al. Neoproterozoic eclogitic metamorphic age of the Beishan eclogite of Gansu , China: evidence from SHRIMP U-Pb isotope dating[J]. Geology in China, 2006, 33(2):317-325(in Chinese with English abstract).

[160] 杨经绥, 许志琴, 李天福, 等. 青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩: 古特提斯洋盆的残留?[J] 地质通报, 2007, 26(10): 1277-1287.
Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Tianfu, et al. Oceanic subduction-type eclogite in the Lhasa block, Tibet, China: remains of the Paleo-Tethys ocean basin? [J] Geological Bulletin of China, 2007, 26(10):1277-1287(in Chinese with English abstract).

[161] 宋明春, 赵庆龄. 山东省日照市官山闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄:印支期岩浆热事件及其对超高压变质岩折返历史的限定[J]. 地质通报, 2004, 23(12):254-1258.
Song Mingchun, Zhao Qingling. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Guanshan diorite-phorphyrite, Rizhao, Shandong: Indosinian magmato-thermal event and its constraints on the exhumation history of UHP metamorphic rocks [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (12): 1254-1258 (in Chinese with English abstract).

[162] 宋明春, 韩景敏. 苏鲁超高压带北段夏河城岩体的形成时代及其意义[J]. 地质论评, 2006, 52(5):601-608.
Song Mingchun, Han Jingmin. The age of Xiahecheng intrusive body in the northern Sulu UHP metamorphic belt and its geological implication [J]. Geological Review, 2006, 52 (5):601-608(in Chinese with English abstract).

[163] 陈卫锋, 陈培荣, 周新民, 等. 湖南阳明山岩体的 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成因研究[J]. 地质学报, 2006, 80(7):1065-1077.
Chen Weifeng, Chen Peirong, Zhou Xinmin, et al. Single-zircon La-ICP-MS U-Pb dating of the Yangmingshan granitic pluton in Hunan, South China and its petrogenetic study [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(7):1065-1077(in Chinese with English abstract).

[164] 邓希光, 陈志刚, 李献华, 等. 桂东南地区大容山-十万大山花岗岩带 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年 [J]. 地质论评, 2004, 50(4): 426-432.
Deng Xiguang, Chen Zhigang, Li Xianhua, et al. SHRIMP U-

Pb Zircon Dating of the Darongshan－ Shiwandashan Granitoid Belt in Southeastern Guangxi, China[J]. Geological Review, 2004, 50(4):426−432(in Chinese with English abstract).

[165] 丁兴, 陈培荣, 陈卫锋, 等. 湖南沩山花岗岩中锆石 La−ICPMS U−Pb 定年:成岩启示及意义[J].中国科学(D 辑), 2005, 37:606−616.
Ding Xing, Chen Peirong, Chen Weifeng ,et al. La−ICPMS U−Pb dating of zircon from Weishan granite in Hunan[J]. Science in China(Series D:Earth Sciences), 2005, 37:606−616(in Chinese).

[166] 丁兴, 周新民, 孙涛. 华南陆壳基底的幕式生长——来自广东古寨花岗闪长岩中锆石 La−ICPMS 定年的信息 [J]. 地质论评, 2005, 51(4):382−392.
Ding Xing, Zhou Xinmin, Sun Tao. The Episodic growth of the continental crustal basement in South China: Single Zircon LA−ICPMS U−Pb dating of Guzhai granodiorite in Guangdong [J]. Geological Review, 2005, 51(4):382−392(in Chinese with English abstract).

[167] 邱检生, McInnes B I A, 徐夕生, 等. 赣南大吉山五里亭岩体的锆石 ELA−ICPMS−MS 定年及其与钨成矿关系的新认识[J]. 地质论评, 2004, 50(2):125−133.
Qiu Jiansheng, McInnes B I A, Xu Xisheng, et al. Zircon ELA−ICP−MS dating for Wuliting pluton at Dajishan, southern Jiangxi and new recongnition about its relation to Tungsten mineralization [J]. Geological Review, 2004, 50 (2):125−133 (in Chinese with English abstract).

[168] 谢才富, 朱金初, 赵子杰, 等. 三亚石榴霓辉石正长岩的锆石 SHRIMP U−Pb 年龄:对海南岛海西—印支期构造演化的制约 [J]. 高校地质学报, 2005, 11(1):47−57.
Xie Caifu, Zhu Jinchu, Zhao Zijie,et al. Zircon SHRIMP U−Pb age dating of garnet −acmite syenite: constraints on the Hercynian −Indosinian tectonic evolution of Hainan island [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11 (1):47−57(in Chinese with English abstract).

[169] 徐夕生, 邓平, O Reilly S Y, 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.
Xu Xishen, Deng Pin, O Reilly S Y, et al. Single zircon LA−ICPMS U−Pb ages dating of complex body from Guidong in South China and its diagenesis implication [J].Chinese Science Bulletin, 2003, 48(12): 1328−1334(in Chinese).

[170] 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 江西大吉山五里亭花岗岩单颗粒锆石 U−Pb 同位素年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 2004, 78(3): 352−358.
Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, et al. Single zircon U−Pb isotopic age of the Wuliting granite in Dajishan area of Jiangxi,and its geological implication [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(3): 352−358(in Chinese with English abstract).

[171] Wang Q, Li J W, Jian P, et al. Alkaline syenites in eastern Cathaysia (South China) link to Permian−Triassic transtension[J]. Earthand Planetary Science Letters, 2005, 230:339−354.

[172] 邓晋福, 赵海玲, 吴宗絮, 等. 中国北方大陆下的地慢热柱与岩石圈运动[J]. 现代地质, 1992, 6(3):267−274.
Deng Jinfu, Zhao Hailing, Wu Zongxu, et al. A mantle plume beneath the north part of China continent and lithosphere motion [J]. Geoscience, 1992, 6(3):267−274(in Chinese with English abstract).

Cycles and Stages of Geological History of China Mainland

LI Jin−yi

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

Abstract: This paper puts forward a new viewpoint that geological history of China may be divided into six disintegrating − reintegrating cycles based on available geological data, especially on the comparison of these data with rocks in various plate−tectonic settings. In consideration of their contribution to the formation of China´s mainland and the new development of global supercontinental research, these cycles are named Eochina cycle, Paleochina cycle, North China cycle, South China cycle, China cycle and Panchina cycle, respectively. It is suggested that geological records of the continental rifting should serve as the the benchmark between two cycles. The cycle may be subdivided further into disintegrating, reintegrating and intracontinental stages with various kinds of kinematics and dynamics. Following a brief description of these six cycles in the geological history of China´s mainland, this paper deals with two important problems, i. e., the cause for the different temporal and spatial distributions in the formation and evolution of China´s mainland, and the relationship between the plate tectonics and the mantle plume. Geological features of China´s mainland has led the author to reach the primary conclusions that the coexistence of the rifting in some regions with the simultaneous amalgamation in other regions in the Earth is the major cause for temporal and spatial difference in tectonic evolution of various areas, and that mantle plume and plate tectonics are two isolated dynamic regimes and may occur in the same area at the same time.

Key words: China´s mainland; geological history; cycle; stage; plate tectonics; mantle plume

About the author: LI Jin−yi, male, born in 1956, senior researcher, mainly engages in the study of tectonic framework and evolution of ancient orogenic belts within continents; E−mail:jyli@cags.ac.cn.