

中国东部中生代岩石圈演化 与太平洋板块俯冲消减关系的讨论

肖庆辉^{1,2} 刘 勇¹ 冯艳芳² 邱瑞照² 张 昱³

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;
3. 黑龙江省区域地质调查所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:国内外不少学者认为中国东部中生代岩石圈演化与太平洋板块向欧亚大陆俯冲、消减有关, 近年来作者从岩石圈-软流层深部地质过程审视中国东部岩石圈演化问题发现, 中国东部中生代早期(三叠纪至侏罗纪)岩石圈演化与太平洋板块向欧亚大陆俯冲消减没有直接的关系, 它们可能是一种源自中国东部周边东亚洋盆系的一些洋盆向中国东部大陆俯冲消减碰撞造山以及由它们引发的中国东部大陆内的软流层上涌的深部地质作用联合作用的结果。软流层上涌作用自始至终控制着中国东部大陆岩石圈与软流层之间以及壳幔之间的层圈拆离, 底侵作用以及岩石圈变形缩短、伸展和岩浆活动。

关键词:软流层上涌; 太平洋板块; 岩石圈演化

中图分类号: P542+.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)04-1092-10

国内外地质学家对中国东部地区中生代岩石圈演化问题的看法分歧很大。如 Xu et al.^[1-2] 提出中生代燕山期花岗岩是郯-庐走滑断层系诱发重熔的结果, 当时太平洋并未向东亚大陆俯冲。Gilder et al.^[3-4] 提出了大陆裂解伸展模式, 认为华南在晚中生代时的构造状况类似于美国西部的盆岭省。Li^[5] 指出, 华南北缘与华北板块碰撞的远场效应可能是形成华南宽广的造山/褶皱带的原因。但是, 由于现今中国东部地区地理位置位于太平洋西岸, 由此国内外不少学者认为, 中国东部中生代岩石圈演化与太平洋板块向欧亚大陆俯冲、消减有关, 并得到众多研究者的支持^[6-14]。为了更好地解释异常宽广的大陆弧岩浆岩带以及中生代岩浆活动向洋迁移的特征, Zhou & Li^[15] 提出了一种改进的俯冲模式, 即古太平洋板块向中国东南部的俯冲由中侏罗世时很小的俯冲角变成白垩世时中等大小的俯冲角。

近年来笔者从岩石圈-软流层深部地质过程审视中国东部中生代岩石圈演化问题发现, 中国东部中生代早期岩石圈演化与太平洋板块向欧亚大陆俯冲、消减没有直接的关系, 它们是中国东部周边东亚洋盆系的洋盆向中国东部大陆俯冲、消减碰撞造山以及由它们引发的中国东部大陆内的软流层上涌的深部地质过程联合作用的结果。

1 中生代早期中国东部复合大陆的周边是东亚洋盆系不是现今的太平洋

中国东部大陆诸陆块(东北、华北、扬子、华南)在二叠—三叠纪(或可能晚至侏罗纪)印支期与蒙古陆块拼合后形成统一的大陆, 建议命名为中国东部复合大陆。复合大陆的周边被一系列洋盆所围绕, 如北侧为蒙古—鄂霍茨克洋盆, 东北侧为那丹哈达洋盆, 东侧为伊佐奈岐洋盆(Izanagi), 西南侧为侏罗—

收稿日期: 2010-04-01; 改回日期: 2010-08-06

基金项目: 中国地质调查局重大基础科研项目(200113900018), 中国地质构造区划与区域地质调查综合集成项目(1212010811033)资助。

作者简介: 肖庆辉, 男, 1939年生, 博士生导师, 研究员, 现从事花岗岩大地构造学、矿产资源成矿地质背景研究与中国岩石圈三维结构研究; E-mail: qinghuixiao@126.com。

白垩纪特提斯洋(Tethys 洋)派生的一个多分支的小洋盆(为地中海特提斯的北部分支,其间为滇缅马苏陆块、印支陆块和华南诸陆块),以及西伯利亚大陆与北美大陆之间的南阿尼尤伊斯克洋(South-Anyuisk)。因这一周边洋盆系在东亚发育最为典型,反映了中生代中国东部复合大陆岩石圈演化的独特动力学系统,笔者建议将它命名为东亚洋盆系。它是一个由包括众多大小不一陆块及其之间分支交错组合的有限洋盆、小洋盆以及洋陆过渡的海盆、裂陷槽、海湾和浅海域等组成(图 1)。印支期之后,这些洋盆系分别先后向中国东部复合大陆主体发生俯冲消减碰撞作用,在中国东部复合大陆的周边一方面形成构造带,主要是北方的蒙古—鄂霍茨克带,东北方的锡霍特—阿林—那丹哈达带,东侧的伊佐奈岐带,和西南侧的东特提斯带。另一方面俯冲碰撞汇聚作用引发了陆内的软流层上涌,这样,复合大陆的周边的俯冲碰撞汇聚作用与由它们引发的陆内的软流层上涌深部地质过程联合作用,使燕山期中国东部

发生燕山运动,最终使南方的滇缅马苏陆块、印支陆块拼贴于华南陆块的边缘,在北方,中国东部复合大陆拼贴于西伯利亚大陆的边缘,同时西伯利亚大陆与北美大陆在俄罗斯的上扬斯克一带完成拼合。

因为资料仍十分缺乏,特别是洋壳形成时代还了解得很少,所以此处讨论东亚洋盆系只是框架性的。上述这些陆块之间互相碰撞、拼合的时代亦一直存在争议。古地磁的研究表明,晚侏罗世(J₃)时期,华北、华南和蒙古陆块已联结一起,但与西伯利亚大陆之间还相距甚远,在西伯利亚大陆与蒙古陆块之间为蒙古—鄂霍茨克洋盆(图 2),但二叠纪时西伯利亚大陆和蒙古陆块是联结在一起的,推测二叠纪晚期—三叠纪交界时期西伯利亚发生裂解大陆溢流玄武岩(CFB)形成,使蒙古陆块从西伯利亚大陆边缘分离出来,在西伯利亚大陆与蒙古陆块之间形成蒙古—鄂霍茨克洋。Parfenov & Natain^[17]指出,从三叠纪往后位于西伯利亚大陆东缘东北亚地区的几个小陆块,如鄂霍茨克(Okhotsk),欧姆龙(Omolonsk),



图 1 印支期之后统一的中国东部复合大陆周边被东亚洋盆系所围绕(据 Vander Voo.R 修改补充)^[16]

EUR—欧亚大陆; KAZ—哈萨克斯坦陆块; MON—古陆块;
NCB and SCB—华北陆块,华南陆块; INC—印支陆块;
SH—滇缅马苏陆块

Fig.1 China's eastern unified composite continent surrounded by East Asia Ocean basin after Indo-Chinese epoch (after Vander Voo.R)^[16]

EUR—Europe; KAZ—Kazakhstan; MON—Mongolia; NCB and SCB—North and South China blocks; INC—Indochina; SH—Shan-Thai block

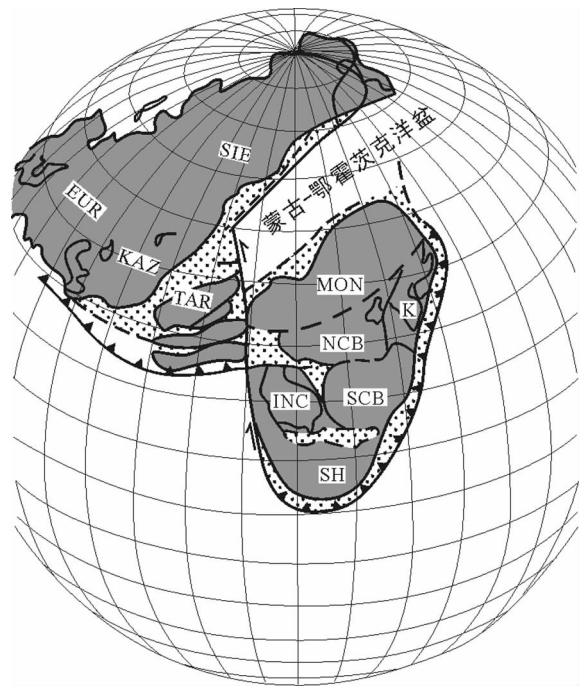


图 2 晚侏罗纪(J₃)时西伯利亚大陆与中国东部复合大陆之间为蒙古—鄂霍茨克洋盆(据 Vander Voo.R 修改补充)^[16]

Fig.2 Mongolia—Okhotsk oceanic basin located between Siberian and China's eastern unified composite continent in late Jurassic (after Vander Voo.R)^[16]

Bureirsk, khankaisk 和 Okhotoworsk 可能是早中生代从西伯利亚大陆边缘分离出去的,其间分布有中生代蛇绿岩,俄罗斯远东的南士林格尔断裂,即代表着俄罗斯学者所称的蒙古—鄂霍茨克洋,它的闭合是晚二叠世开始由西向东逐渐进行的,而东段最终封闭的时间为晚侏罗世至早白垩世,缝合带东段为俄罗斯境内的南士林格尔断裂。它是西伯利亚板块南缘和黑龙江板块之间的重要缝合带。该带的最终拼合标志着统一的欧亚大陆的形成。蒙古—鄂霍茨克洋(南及东南缘)闭合于晚侏罗—早白垩世。马醒华、杨振宇^[18]根据古地磁资料认为,西伯利亚板块与华北板块之间在晚三叠世以前(213 Ma 以前)存在着巨大的纬度差(大于 40°,相当于 4 400 km),欧亚(西伯利亚)板块与华北板块的视极移曲线直到早白垩世才趋于一致,证实了欧亚大陆古亚洲洋构造域的整个拼合过程于早白垩世才最终完成。最东北部的西伯利亚板块(欧姆龙)在晚侏罗世增生到正在增生的亚洲大陆之上,导致阿尼尤伊斯克(Anyuisk)洋闭合于早白垩世,分别形成蒙古—鄂霍茨克造山带和上扬斯克—楚科奇造山带,后者是西伯利亚地台与北美地台(阿拉斯加)的缝合带。

中国东部复合大陆西南侧的特提斯洋盆(Tethys 洋)推测是二叠纪晚期—三叠纪交界时期 Pangea 东缘裂解分离开始形成洋盆的,特提斯喜马拉雅带中段的色龙群玄武岩^[19],越南 Song Da(黑水河)裂谷带和泰国 Nan-Ultradit 中洋岛型蛇绿岩^[20],金沙江和理塘蛇绿岩带中的玄武岩^[21]和广西右江地区^[22]在晚二叠—早三叠世的大陆流玄武岩可能是 Pangea 东缘裂解的产物。雅鲁藏布缝合带在二叠纪后期开始打开后,随时间从三叠纪—白垩纪时形成了一个规模不大的洋盆。J₃—K₁ 桑秀组中上部玄武岩代表该洋盆快速扩张,洋盆达到最大宽度。滇缅马苏地块和印支地块于晚三叠世最终拼合,印支运动一名即诞生于越南。西缅甸地块直到早白垩世晚期才增生到亚洲大陆边缘上。

总之,控制着中国东部复合大陆岩石圈演化的是中国东部复合大陆周边的东亚洋盆系,不是现今的太平洋。这一东亚洋盆系总体上在早白垩世后才消减闭合消失。东亚洋盆系岩石圈的汇聚与中国东部大陆之间的陆—陆碰撞与由它们引发的中国东部大陆内的软流层上涌的深部地质过程的联合作用,形成了中国东部复合大陆内的俯冲消减碰撞带。早

白垩世末期广布的后造山花岗岩类,双峰式岩墙群和变质核杂岩构造,标志着东亚洋盆消减闭合消失引发中国东部复合大陆岩石圈燕山期造山活动过程的结束,现今的太平洋板块才开始形成并向欧亚大陆俯冲消减。现今的日本岛弧、琉球岛弧、台湾岛弧、吕宋岛弧等构造标志着早白垩世末期太平洋板块向东亚大陆俯冲形成的东亚大陆边缘的组成部分。

2 中国东部中生代早期火成岩特征很难用太平洋板块向欧亚大陆俯冲模式解释

中国东部中生代早期火山—深成岩在一系列特征上,既不同于经典的代表太平洋板块向大陆俯冲形成的安第斯型大陆边缘弧与岛弧火成岩类,亦不同于经典的代表大陆与大陆碰撞形成的火成岩类,也不同于经典的代表大陆裂谷环境下形成的碱性火成岩类,其形成机制很难用太平洋板块向欧亚大陆俯冲消减模式解释。现今的中国东南大陆边缘包括广阔的大陆架,不存在或未证实存在 180~120 Ma 间的俯冲带岩石组合,如中国东部大陆中生代普遍缺乏经典的代表洋壳向大陆俯冲形成的俯冲型特有的 TTG 组合也普遍缺乏经典的代表洋壳向大陆俯冲形成的俯冲型特有的安山岩,如安第斯存在大量的安山岩,而中国东部燕山期绝大多数是花岗岩和流纹岩;中国东部大陆中生代也普遍缺乏经典的代表洋壳向大陆俯冲形成的俯冲型特有的拉斑质、低钾钙碱性和钙碱性的岩浆岩,如安第斯有大量拉斑质、低钾钙碱性和钙碱性的岩浆岩;中国东部大陆中生代以具有玄武粗安质、粗安质火山岩和相应的辉长二长岩、二长岩火成岩组合为特征。按照国际火成岩分类,它们基本上都属粗面玄武岩、玄武粗安岩、粗安岩、粗面英安岩的高硅流纹岩系列,以及与钙碱性系列之间的过渡类型的火山岩,是以高钾钙碱性和钙碱性岩浆岩为主即略富碱和高钾的钙碱性系列火成岩。这一组合与经典的岛弧和活动陆缘的钙碱性安山岩完全不同,如华南内陆燕山期(主要指燕山早期)的岩石组合是 212~175 Ma 少量碱性玄武岩、双峰式火山岩(赣南)、A 型花岗岩、A 型火山岩以及 160 Ma 左右小规模钾质碱性岩(桂东南和赣南)和大量壳源高钾钙碱性或壳幔混合花岗岩。其中,华南内陆 A 型花岗岩,包括本区的 A 型花岗岩主要为 A₂ 亚类,而 A₁ 亚类花岗岩较少。中基性侵入岩主要为

钾玄岩类,如桂东南钾玄岩带和粤西阳春钾玄岩带,湘南的骑田岭以及广西花山、姑婆山花岗岩中的暗色微粒包体也属于钾玄岩系。表明华南内陆燕山早期存在广泛的钾玄岩岩浆活动。上述岩石组合与典型岛弧-大陆边缘的玄武岩-安山岩-流纹岩组合更不同,也与以发育大规模基性火山岩及(过)碱性岩为主的地幔柱、热点及大陆裂谷岩石组合有所差别,而与“被动型”陆缘裂谷环境的岩石组合类似。中国东部大陆中生代还普遍缺乏经典的代表洋壳向大陆俯冲形成的俯冲型特有的玄武岩和辉长岩,如安第斯有相当数量的玄武岩和辉长岩,而中国东部大陆中生代普遍缺乏玄武岩和辉长岩;其次中国东部地区也没有发现较大规模的中生代的高 Mg 镁铁质岩浆岩出露^[23]。

代表太平洋板块向大陆俯冲形成的安第斯型岩浆活动从西向东随板块俯冲带距离远近岩浆岩成分变化有一定的规律,如中生代早期岩浆岩带主要分布于陆缘并有从洋向内陆带状整体迁移的现象。而中国东部只有时代的不同而无成分变化的规律。表明中国东部中生代早期岩石圈演化与太平洋板块俯冲消减无关,中国东部地区没有发现如东太平洋陆缘(安第斯型)岩浆带向内陆方向迁移的特点。如华南地区 180~151 Ma 时期的岩浆岩主要分布于北东—北北东向的杭州—北海、绍兴—恩平带及夹于其间的东西向南岭带,即分布于中国东部大陆内陆,而此时其东部的东南沿海岩浆活动则几乎绝迹;到了晚侏罗世—白垩纪(145~85 Ma),岩浆活动主要分布于东南沿海,在华南内陆则很微弱。因此,岩浆活动有从内陆向大洋方向带状整体迁移的现象,明显不同于东太平洋陆缘(安第斯型)岩浆带向内陆方向迁移的特点。并且,华南燕山期岩浆岩出露宽度深入内陆超过 1000 km,而经典的安第斯型的俯冲带岩浆岩弧宽度小于 100 km。

中国东部中生代早期基性岩成岩构造环境与太平洋板块俯冲消减无关,如湘东北基性岩脉大离子亲石元素富集程度低,Nb,Ta 多不亏损,具有洋岛玄武岩微量元素分布特征^[24-26]。近几年具有这种地球化学特征的岩石在华南内陆带得到了识别和确认。对湘东北基性岩脉地球化学研究还表明,基性岩脉地幔源区总体上具有洋岛型特征^[27],高场强元素 Nb/Ta,Zr/Hf 比值也与原始地幔相近,分别为 17.8~27,平均为 19.2 (原始地幔值为 17.5+2.0)和

27.7~39.1,平均为 35.5(原始地幔值为 36.27)。区内基性岩脉与不同地幔端元组成对比,微量元素比值总体上具有洋岛型玄武岩(EM2 型)特征^[27],由此反映出太平洋板块俯冲的深部作用并没有影响到湘东北地区,而是陆内软流圈地幔上涌导致岩石圈拉张的成岩构造环境。

湘东南基性岩脉岩石地球化学表明^[24-26,28],其基性岩浆活动也没有受到大洋板块俯冲的影响,中生代太平洋板块俯冲对大陆内部的岩浆作用并未达到湘东南地区。湘东南基性岩脉在时、空和地球化学特征上与湘东北玄武质岩石相似,湘东北与湘东南同属于一个燕山期构造岩浆带,具有一致的岩浆源区特征。起源于具 OIB 特征的软流圈地幔或与岩石圈地幔的混染,软流圈地幔上涌,引起岩石圈深部构造环境的转变可能是导致湘东南岩浆大规模活动的主要因素。

中国东部中生代玄武岩地球化学表明^[28-29],它不同于经典的岛弧玄武岩,其岩石地球化学特征与安第斯弧和美国西部大陆边缘弧也不同,普遍具富碱、高钾特点,锆和铌含量较高; ϵ Nd (t) 较低和 ϵ Sr(t) 较高。Cheng-Hong Chen^[30]根据中生代玄武岩源区特征认为,华夏内陆带中生代玄武岩起源于具 OIB 特征的软流圈地幔或受到岩石圈地幔、软流圈地幔的混染,武夷褶皱带起源于具 OIB 特征的软流圈地幔和岩石圈地幔,以及经俯冲作用改造的地幔(如会昌和武平油心地高铝玄武岩),东南沿海岩浆岩带玄武岩形成时代为 101~76 Ma,具有类似大陆弧高铝玄武岩特征,起源于经俯冲作用改造的地幔。特别需要指出的是,华南中生代玄武岩的 TiO₂-Al₂O₃ 和 La/Nb- ϵ Nd(t) 图解表明:华夏内陆带和武夷褶皱带早侏罗世地幔相对均一,未经古太平洋板块俯冲体系的影响。

此外,环太平洋构造带最明显的特点是分布着大量的地体,如美国和加拿大西部由蛇绿岩、增生楔、岛弧岩浆岩等地体组成。日本、俄罗斯远东、朝鲜半岛的东南部、菲律宾、巴布亚新几内亚、中国东北东端和台湾有地体分布,可归入环太平洋构造带。但中国东部华北和华南缺少经典的地体,由古老陆壳组成,不属于环太平洋构造带。已有资料表明,180 Ma 以来湘东南或华南地区已属陆内造山作用阶段,当时该区古地理、古生物及花岗岩分布等证据也不支持湘东南在燕山早期存在洋-陆或弧-陆俯冲

碰撞作用的假设^[31-32]。因此湘东南地区及华南地区燕山早期显然不是一些人认为的与太平洋板块向欧亚板块俯冲有关的岛弧或弧后背景。

3 太平洋板块约在晚侏罗世—早白垩世才在现今地理位置的太平洋开始形成

现今太平洋板块何时形成及开始发生俯冲的年龄问题的看法分歧很大。早期普遍认为,太平洋板块主要形成于中生代之前,如 Maruyama S^[33]认为,太平洋板块向亚洲大陆的俯冲约始于 180 Ma 之前。但是近年来,越来越多的人认为,太平洋板块的形成及其向亚洲大陆的俯冲始于晚侏罗世后,中生代早期太平洋板块不存在,太平洋板块在晚侏罗世—早白垩世才在太平洋(现今地理位置的)中间开始形成。如据 Vander Voo^[34] Richerds^[35]研究,太平洋板

块开始向东亚俯冲的时间为晚侏罗世,Otsuki^[36]也指出,太平洋板块的俯冲作用发生在 135 Ma 左右。Engebretson^[37]等根据对伊佐奈歧板块的古地磁研究结果也提出,太平洋板块向东亚大陆边缘的俯冲作用最早也在晚白垩世之后。邵济安等^[38-40]也认为,太平洋板块向亚洲大陆的正面俯冲始于晚白垩世。据 Wallick^[41]研究,太平洋洋底磁条带其最老的年代为晚侏罗世。Seton^[42]基于在西太平洋保存下来的磁条带和断裂带进行构造复原,认为在晚侏罗纪时,太平洋板块与中国大陆并不相邻,当时太平洋板块形成于法拉龙板块、凤凰板块和伊佐奈歧板块的三联点处。伊佐奈歧洋脊在 60~55 M 年以前俯冲沉没之后,太平洋板块才运动到目前的位置(图 3)。Cottrel and Tarduno^[43]认为太平洋板块约在 100 Ma 才在太平洋(现今地理位置的)中间开始形成(图 4),太平洋板块俯冲作用大约发生在早白垩世末期,当时日本岛还在亚洲大陆边缘,日本双变质带是太平洋板块向亚洲大陆俯冲的产物。太平洋底的年龄图显示太平洋板块大规模扩张是从晚白垩世 84 Ma 开始的,此后太平洋板块进入大规模扩张阶段。

Moore^[44]根据太平洋底第三代磁条带研究重新再造中生代伊佐奈歧板块和太平洋板块的位置及其运动,根据他的再造,在侏罗纪末期,中国东部周边

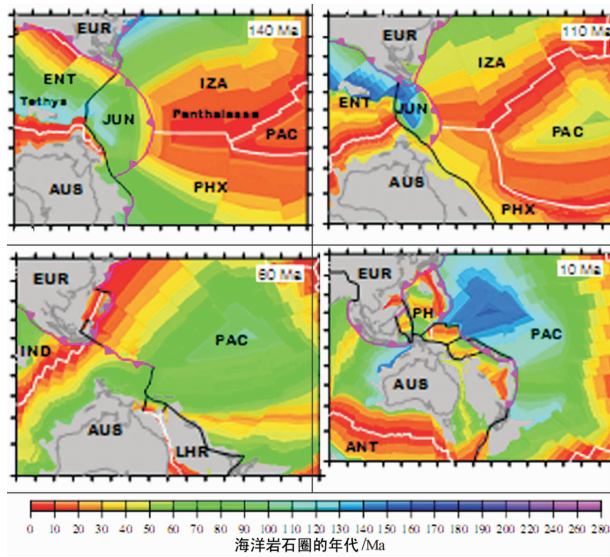


图 3 基于西太平洋磁条带和断裂带复原的晚侏罗世时以来的太平洋板块的位置(据 Seton^[42])

EUR—欧亚大陆;IZA—伊佐奈歧;PAC—太平洋板块;IND—印度板块;AUS—澳大利亚板块;LHR—豪勋爵洋脊板块;PH—菲律宾宾板块;PHX—凤凰板块;ENT—东-新特提斯板块;JUN—三结节点板块(又称章克申板块);Panthalassa—原始大洋(泛古洋);F—法拉龙板块;Tethya—特提斯洋;ANT—南极板块

Fig. 3 The location of the Pacific in Late Jurassic based on the Western Pacific magnetic bands and faults
AUS—Australian plate, EUR—Eurasian plate, ENT—Eastern Neo-Tethys plate, JUN—Junction plate (north of Australia), PAC—Pacific plate, F—Farallon plate, PHX—Pheonix plate, IZA—Izanagi plate, LHR—Lord Howe Rise plate, IND—Indian plate, ANT—Antarctic plate, PH—Philippine Sea plate. White lines denote active spreading ridges, red lines are subduction zones with triangles denoting the direction of subduction, black lines are transform boundaries. Filled grey areas indicate continental crust, island arcs or unknown crust

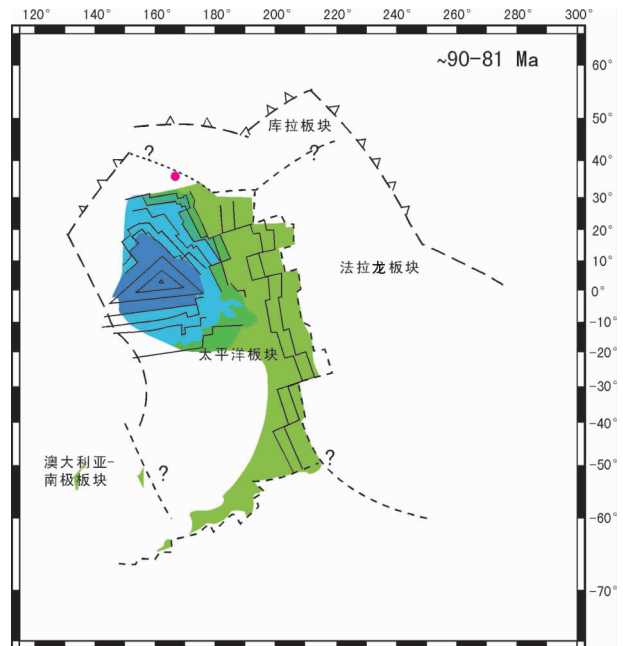


图 4 太平洋板块的打开与形成时间^[43]

Fig.4 The opening and formation time of Pacific plate

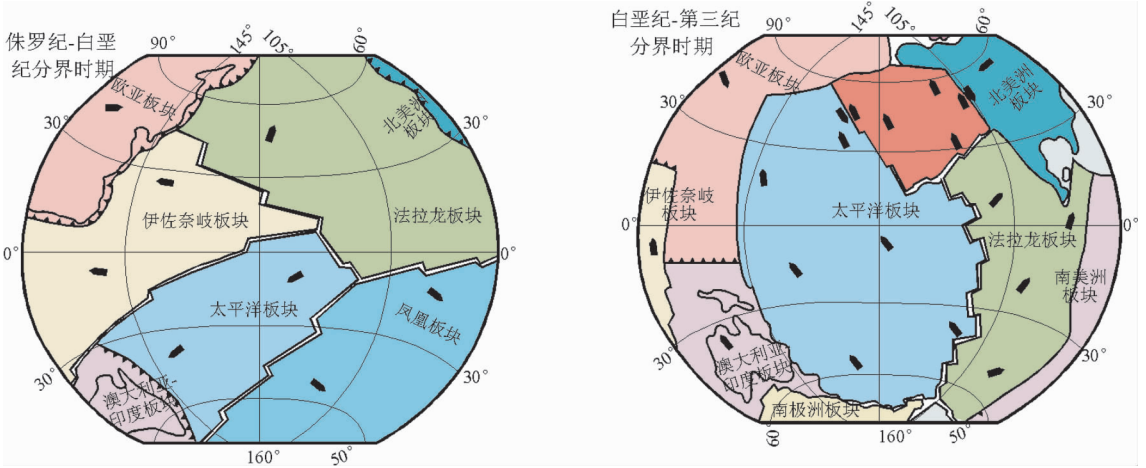


图 5 燕山期(J—K)中国东部周边伊佐奈岐板块与太平洋板块位置复原图^[44]
 Fig.5 Restoration map of the Izanagi plate and the Pacific plate in Yanshanian period

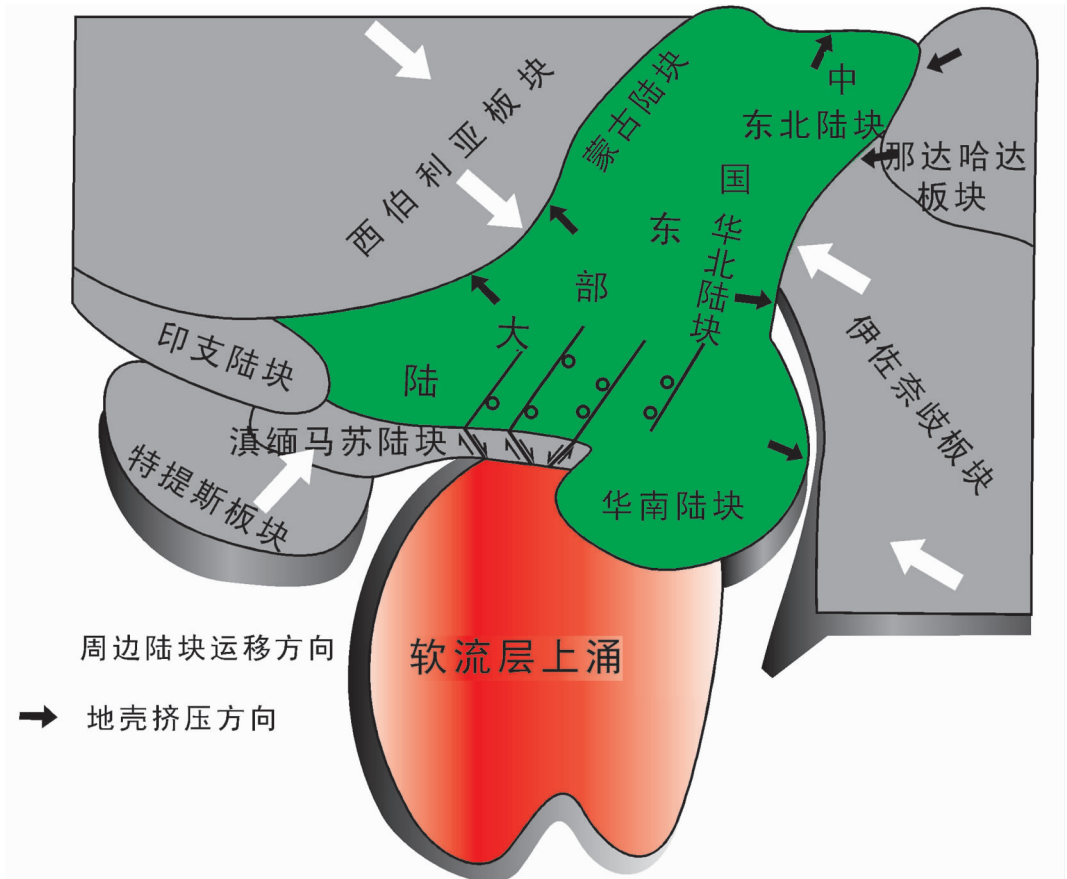


图 6 中国东部中生代燕山期(J—K)岩石圈演化的成因模式
 Fig.6 Mesozoic Yanshanian genetic model of lithosphere evolution in eastern China

不是太平洋板块,而是伊佐奈岐板块,该板块向西北方向运动,而当时太平洋板块还在南半球,并向西南方向运动,法拉龙板块向东北方向运移,凤凰板块向东南方向运移。推测在当时的4个板块之间可能存在超级地幔柱的上升,从而诱发这4个板块向四周运动(图5)。

现今的中国东部琉球弧、日本弧俯冲作用,日本海、渤海、黄海、东海的拉开,中国东部玄武岩喷发是43~0 Ma期间西太平洋向西俯冲在东亚之下发生的大事件。太平洋板块形成后并不是一直向西俯冲的,据 Koppers et al.^[45] 研究,从140 Ma至今,只有125~100 Ma和43~0 Ma两个时期西太平洋板块才是向西俯冲的。地球物理证据表明,现今西太平洋板块的俯冲作用并没有造成对亚洲大陆的挤压,相反,边缘海盆地似乎正在向东扩展。这与新生代火山岩研究得出的结论是一致的,暗示中国东部大陆岩石圈受到具有向上和向东两个方向分量力的作用,具有主动向东运动的性质,因而造山过程不可能是由太平洋板块俯冲触发的。

4 中国东部岩石圈形成演化的机制

中生代太平洋板块向大陆俯冲的活动大陆边缘模式虽然可以较好地解释东南沿海白垩纪钙碱性岩浆岩的成因,但很难解释中国东部大陆燕山期宽阔的花岗岩带及共生的碱性系列岩石的形成,而陆-陆碰撞模式缺乏必要的沉积地质和蛇绿岩证据,陆内伸展-裂谷模式虽然可以解释华南的盆岭构造和板内岩浆活动,但仍很难解释燕山期(J-K)中国东部岩石圈广泛存在的以陆内俯冲和多向陆内造山和软流层上涌造山作用机制为特征的挤压和伸展构造。由此可见,中国东部中生代早期岩石圈演化的成因需要从与太平洋板块俯冲作用无关的模式去解读。

笔者认为,中国东部中生代早期岩石圈演化的实质是,中国东部诸陆块在印支期拼合形成统一的中国东部复合大陆以后不久,就发生了周边一系列洋盆的俯冲碰撞作用,东北方的那丹哈达洋盆向西南拼贴,东部和东南沿海伊佐奈岐洋向西或西北挤压,西伯利亚大陆向南推撞,滇缅马苏陆块、印支陆块和拉萨地块向北-北东拼贴挤压,形成中生代早期以陆内俯冲和多向陆内造山为特征的构造带:如北方的蒙古-鄂霍茨克带,东北方的锡霍特-阿林-那丹哈达带,东侧的伊佐奈岐带和西南侧的东

特提斯带的形成,最终使中国主体大陆(指雅鲁藏布缝合带以北之中国)拼合形成增生于西伯利亚大陆之边缘,亦是西伯利亚大陆与北美大陆在俄罗斯的上扬斯克一带拼合完成的时期,与此同时,导致了东部大陆软流层上涌造山作用及岩浆活动^[46-48],开始了深部软流层物质自下而上改造中国东部大陆岩石圈的新的地质演化过程。中生代晚期在地壳和岩石圈急剧增厚后,发生了剧烈的岩石圈垮塌和伴生的火山-岩浆活动。由此可见,燕山期,中国东部大陆周边的俯冲消减碰撞造山与由它们引发的中国东部大陆内的软流层上涌的深部地质过程联合作用的这一构造体制,控制着中国中东部大陆的形成演化与变形,要认识中国东部大陆岩石圈形成演化,就需要从深部软流层上涌与岩石圈和软流层间相互作用去解读中国东部岩石圈形成演化的独特性。喜马拉雅期(新生代)印度大陆与亚洲大陆碰撞拼合和西太平洋沟-弧-盆系统形成,是中国大陆最终形成的构造阶段。

谨以此文献给李廷栋院士80华诞!

参考文献(References):

- [1] Xu J, Zhu G, Tong W X, et al. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean [J]. *Tectonophysics*, 1987, 134: 273-310.
- [2] Xu J, Ma G, Tong W X, et al. Displacement of the Tancheng-Lujiang wrench fault system and its geodynamic setting in the northwestern Circum-Pacific[C]//Xu J(ed). *The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System*. John Wiley & Sons, Ltd., 1993:51-47.
- [3] Gilder S A, Keller G R, Luo M, et al. Eastern Asia and the western Pacific: Timing and spatial distribution of rifting in China [J]. *Tectonophysics*, 1997:225-243.
- [4] Gilder S A, Gill J, Coe R S, et al. Isotopic and paleomagnetic constrains on the Mesozoic tectonic evolution of south China [J]. *Journal of Geophysics Research*, 1996, 101:16137-16154.
- [5] Li Z X. Tectonic history of the major East Asian lithospheric blocks since the Mid-Proterozoics [J]. *A synthesis: American Geophysical Union Geodynamics Serial*, 1998, 27:221-243.
- [6] Jahn Borming. Mesozoic thermal events in southeast China [J]. *Nature*, 1974, 248:480-483.
- [7] Jahn B M, Zhou X H, Li J L. Formation and tectonic evolution of Southeastern China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints [J]. *Tectonophysics*, 1990, 183:145-160.
- [8] Hide D. The evolution of Western Pacific plate and its margin [J]. *Tectonophysics*, 1977, 38:115-165.
- [9] Holloway N H. North Palawan Block, Phillipines-its relation to

- Asia mainland and the role in evolution of South China Sea [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1982, 66: 1355-1383.
- [10] 崔盛芹, 李锦蓉. 试论中国滨太平洋带的印支运动[J]. 地质学报, 1983, 57:51-62.
- Cui Shengqin, Li Jinrong. On the Indosinian Movement of China's Peri-Pacific tectonic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57:51-62(in Chinese with English abstract).
- [11] 黄莹, 孙世华, Depaolo D J, 等. 福建省白垩纪岩浆岩 Nd, Sr 同位素研究[J]. 岩石学报, 1986, 2(2):50-63.
- Huang Xuan, Sun Shihua, Depaolo D J, et al. Nd-Sr isotope study of Cretaceous magmatic rocks from Fujian Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1986, 2 (2): 50-63 (in Chinese with English abstract).
- [12] 任纪舜. 论中国南部的大地构造 [J]. 地质学报, 1990, 64(4): 275-288.
- Ren Jishun. On the geotectonics of southern China [J]. Acta Geologica Sinica, 1990, 64 (4):275-288 (in Chinese with English abstract).
- [13] Charvet J, Lapierre H, Yu Y W. Geodynamic significance of the Mesozoic volcanism of southeastern China [J]. Southeast Asian Earth Sci., 1994, 9:387-396.
- [14] Lapierre H, Jahn B M, Charvet J, et al. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with tectonic activity in SE-China [J]. Tectonophysics, 1997, 274:321-338.
- [15] Zhou X M, Li W X. Origin of late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. Tectonophysics, 2000, 326:269-287.
- [16] Vander Voo R, Spakman W, Bijwaard H. Mesozoic subducted slabs under Siberia[J]. Nature, 1999, 397:246-249.
- [17] Parfenov L M, Natalin B A. Mesozoic tectonic evolution of Northeastern Asia[J]. Tectonophysics, 1986, 127:291-304.
- [18] 马醒华, 杨振宇. 中国三大地块的碰撞拼合与古欧亚大陆的重建[J]. 地球物理学报, 1993, 36(4):476-488.
- Ma Xinghua, Yang Zhenyu. The collision and suturing of the three major blocks in China and the reconstruction of the Paleoeurasia continent [J]. Acta Geophysica Sinica, 1993, 36 (4): 476-488 (in Chinese with English abstract).
- [19] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 特提斯喜马拉雅二叠纪—白垩纪中基性火山岩研究进展[J]. 地质科技情报, 2003, 22(2):6-12
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, et al. Advances on the study of intermediate-basic volcanic rocks from Permian to Cretaceous in Tethyan Himalaya [J]. Geological Science and Technology Information, 22 (2):6-12 (in Chinese with English abstract).
- [20] Chung S L, Lo C H, Lee T Y, et al. Diachronous uplift of the Tibetan Plateau starting 40 Myr ago [J]. Nature, 1998, 394: 769-773.
- [21] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. “三江”特提斯火山作用与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1993:19-30
- Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, et al. Sanjiang Tethyan Volcanism and Related Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:19-30(in Chinese with English abstract).
- [22] 马文璞. 区域构造解析—方法、理论和中国板块构造(第十四章) [M]. 北京:地质出版社, 1992, 243-250.
- Ma Wenpu. Tectonic Analyses—methodology: Theory and the Plate Tectonics of China [M]. Beijing: Geol. Publ. House, 1992: 243-250.
- [23] 肖庆辉, 邱瑞照, 邓晋福, 等. 中国花岗岩与大陆地壳生长方式初步研究[J]. 中国地质, 2005, 32(3):343-352
- Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Deng Jinfu, et al. Granitoids and Continental crustal growth model in China [J]. Geology in China, 2005, 32(3): 343-352(in Chinese with English abstract).
- [24] 贾大成, 胡瑞忠, 卢焱. 湘东南玄武质岩石地球化学特征及构造环境[J]. 吉林大学学报, 2002, 32(3):209-214.
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Lu Yan. Lithochemistic characteristics and tectonic setting of basaltic rocks in southeastern Hunan province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2002, 32(2):209-214(in Chinese with English abstract).
- [25] 贾大成, 胡瑞忠, 卢焱, 等. 湘东北钠质煌斑岩地幔源区特征及成岩构造环境[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4):344-352.
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Lu Yan, et al. Mantle origin of Na-rich lamprophyre in northeastern Hunan and its tectonic setting [J]. Science in China (Series D), 2003, 33 (4):344-352 (in Chinese with English abstract).
- [26] 贾大成, 胡瑞忠, 卢焱. 湘东南汝城盆地基性岩元素地球化学及其大地构造环境[J]. 地质地球化学, 2003, 31(2):25-31.
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong and Lu Yan. Element geochemistry and tectonic setting of the basic rocks in Rucheng basin, southeastern Hunan Province, China[J]. Geology-Geochemistry, 2003, 31(2): 25-31(in Chinese with English abstract).
- [27] 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):109-117.
- Wang Yuejun, Liao Chaolin, Fan Weiming, et al. Early Mesozoic OIB-type alkaline basalt in central Jiangxi Province and its tectonic implications [J]. Geochimica, 2004, 33(2):109-117(in Chinese with English abstract).
- [28] 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘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.
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou. Geochemistry of Mesozoic basalts from south Hunan[J]. Science in China(Series D), 1998, 28 (supp.):7-14(in Chinese with English abstract).
- [29] 郭锋, 范蔚茗, 林舸. 湘南中生代玄武岩浆成因与岩石圈-软流圈相互作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(1):1-4.
- Guo Feng, Fan Weiming, Lin Ge. Mesozoic basaltic magmatism and lithosphere-asthenosphere interaction in South Hunan Province [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1998, 17(1):1-4(in Chinese with English abstract).

- [30] Cheng Hong Chen a, Chi Yu Lee, a, Ryuichi Shinjo. Was there Jurassic Paleo-Pacific subduction in South China :Constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, elemental and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of the Mesozoic basalts[J]. *Lithos*, 2008, 106:83-92.
- [31] 张宁, 夏文臣. 华南晚古生代硅质岩时空分布及再扩张残留海槽演化[J]. *地球科学*, 1998, 23 (5):480-486.
- Zhang Ning, Xia Wenchen. Time-space distribution of late Paleozoic cherts and evolution of resspreading trench in South China [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23 (5):480-486 (in Chinese with English abstract).
- [32] 陈旭, 戎嘉余, Rowley D B, 等. 对华南早古生代板溪洋的质疑[J]. *地质论评*, 1995, 41(5):389-398.
- Chen Xu, Xu Jiayu, Rowley D B, et al. Is the early Paleozoic Banxi ocean in South China necessary[J] *Geological Review*, 1995, 41(5):389-398 (in Chinese with English abstract).
- [33] Maruyama S, Seno T. Orogeny and relative plate motions: example of the Japanese island[J]. *Tectonophysics*, 1986, 127:305-329.
- [34] Van der Voor, Spakman W, Bijwaard H. Mesozoic subducted slabs under Siberia [J]. *Nature*, 1999, 397:246-249.
- [35] Richards M S. Prospecting for Jurassic slabs [J]. *Nature*, 1999, 397: 203-204.
- [36] otsuki K, M Ehiro. Major strike-slip fault and their bearing on spreading in the Japan Sea [J]. *Journal of physics of the Earth*, 1978, 26(Supp.):S537-S555.
- [37] Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates of the Pacific basin [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89:10 291-10 310.
- [38] 邵济安, 唐克东, 等. 中国东北地体与东北亚大陆边缘演化[M]. 北京:地震出版社, 1995:185.
- Shao Ji'an, Tang Kedong, et al. Terranes in Northeast China and Evolution of Northeast Asia Continental Margin [M]. Beijing: Seismological Press, 1995:185(in Chinese with English abstract).
- [39] 邵济安, 牟保磊, 何国琦, 等. 华北北部在古亚洲域与太平洋域构造叠加过程中的地质作用[J]. *中国科学*, 1997, 27:390-394.
- Shao Ji'an, Mu Baolei, He Guoqi, et al. The geological processes of northern part of North China during the Paleasian and Pacific tectonics [J]. *Sciences in China (Series D)*, 1997, 27:390-394(in Chinese).
- [40] 徐嘉炜, 朱光, 马国锋. 东亚大陆边缘演化的若干认识[C]// IGCP 第 321 项中国工作组编. 亚洲的增生. 北京:地震出版社, 1993:21-30.
- Xu Jiawei, Zhu Guang, Ma Guofeng. Some cognition on the evolution of East Asia continental margin [C]// Chinese Work Group, No.231 IGCP (ed.). *East Asia Accretion*. Beijing: Seismological Press, 1993:21-30(in Chinese with English abstract).
- [41] Walilick B P, Steiner M B. Paleomagnetism and rock magnetic properties of Jurassic Quiet Zone Basalts, hole 801c [J]. *Proceeding of Ocean Drilling Program Sci. Result*, 1992, 129:455-470.
- [42] Seton M, Müller R D. Reconstructing the junction between Panthalassa and Tethys since the Early Cretaceous. PESAEastern Australasian Basins Symposium III, Sydney, 14-17 September, earthbyte.org, 2008:263-266.
- [43]. Cottrel R, Tarduno J. In search of high-fidelity geomagnetic paleointensities: A comparison of single plagioclase crystal and whole rock Thellier-Thellier analyses [J]. *Geophys. Res.*, 2003, 105:23579-23594.
- [44] Moore G W, Mesozoic, Cenozoic. Paleogeographic development of the pacific region [C]// International Geological Society. Abstract. 28th International Geological pavoni, 1997, condie, 2001.
- [45] Anthony A P, Koppers, Jason Phipps Morgan, Jason Phipps morgan, et al. Testing the fixed hotspot hypothesis using $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age progressions along seamount trails [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 185:237-252.
- [46] 肖庆辉, 王涛, 邓晋福, 等. 中国典型造山带花岗岩与大陆地壳生长研究 [M]. 北京:地质出版社, 2009.
- Xiao Qinghui, Wang Tao, Deng Jinfu, et al. *Granitoids and Continent Growth of Key Orogene in China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009(in Chinese).
- [47] 肖庆辉, 邱瑞照, 伍光英, 等. 中国东部中生代软流层上涌造山作用[J]. *中国地质*, 2006, 33(4):730-749.
- Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Wu Guangying, et al. Mesozoic ahenospheric upwelling orogeny in eastern China [J]. *Geology in China*, 2006, 33(4):730-749(in Chinese with English abstract).
- [48] 肖庆辉, 邓晋福, 邱瑞照, 等. 花岗岩类与大陆地壳生长初探——以中国典型造山带花岗岩类岩石的形成为例[J]. *中国地质*, 2009, 36(3):594-622..
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Qiu Ruizhao, et al. A preliminary study of the relationship between granitoids and the growth of continental crust:a case study of the formation of key orogen granitoids in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(3):594-622(in Chinese with English abstract).

A preliminary study of the relationship between Mesozoic lithosphere evolution in eastern China and the subduction of the Pacific plate

XIAO Qing-hui, LI Yong², FENG Yan-fang¹, QIU Rui-zhao¹, ZHANG Yu³

(1. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 10003, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Institute of Regional Geological Survey of Heilongjiang Province, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

Abstract: Many scholars at home and abroad believe that lithospheric evolution was related to the subduction of the Pacific plate to the Eurasian plate in eastern China in early Mesozoic. In recent years, the authors examined lithosphere evolution in eastern China from the lithosphere - asthenosphere deep geological process and found that early Mesozoic lithospheric evolution and the subduction of the Pacific plate to the Eurasia plate had no direct relationship, and they might have been the results of the joint action, i.e., the subduction of some oceanic basins of the East Asian seas that originated in China's eastern periphery to the eastern China continental and collisional orogenic belt and the asthenosphere upwelling caused by such actions. From the beginning to the end, upwelling asthenosphere controlled the layer ringed detachment between the lithosphere and the asthenosphere and between the crust and the mantle, the underplating, and the lithospheric deformation, shortening and extension as well as magmatic activities.

Key words: upwelling asthenosphere; the Pacific plate, lithosphere evolution

About the first author: XIAO Qing-hui, male, born in 1939, senior researcher, now engages in the study of geotectonics and lithospheric three-dimension structure of China; E-mail: xiaoqh@infomail.mlr.gov.cn.