

华北克拉通东部地块中生代变形的关键时限及其对构造的制约——以胶辽地区为例*

李三忠^{1,2} 刘建忠³ 赵国春⁴ 吴福元⁵ 韩宗珠^{1,2} 杨中柱⁶

LI SanZhong^{1,2}, LIU JianZhong³, ZHAO GuoChun⁴, WU FuYuan⁵, HAN ZongZhu^{1,2} and YANG ZhongZhu⁶

1. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266003

2. 中国海洋大学海底资源与探测技术省级重点实验室, 青岛 266003

3. 中国科学院国家天文台, 北京 100012

4. 香港大学地球科学系, 香港

5. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

6. 辽宁地质矿产局区域地质调查研究院, 大连 116100

1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

2. The Key Lab of Seabed Resources and Exploration Technics, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

3. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China

4. Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong, China

5. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

6. Liaoning Institute of Geological and Mineral Resource Survey, Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources, Dalian 116100, China

2003-05-15 收稿, 2003-12-27 改回.

Li SZ, Liu JZ, Zhao GC, Wu FY, Han ZZ and Yang ZZ. 2004. Key geochronology of Mesozoic deformation in the eastern block of the North China Craton and its constraints on regional tectonics: a case of Jiaodong and Liaodong Peninsula. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 633–646

Abstract The Jiao-Liao massif is an important part of the Eastern Block of the north China Craton and located on the hanging wall of the north-dipping Dabie-Sulu suture zone. Several important tectonic models about tectonic evolution of the eastern Asia were proposed in the last decade and related closely to the Jiao-Liao massif. This paper combined our SHRIMP U-Pb zircon ages of the Dandong Granite in the Southern Liaoning Province, China, with our wide firsthand fieldworks in the east of North China Craton, our oilfield works in the Bohai Bay Basin and other recent SHRIMP dating, to summarize Mesozoic tectonic reactivation and evolutionary processes of the Eastern Block. In this study we identify an about 160 Ma partial melting of Paleoproterozoic plutons in the Jiao-Liao massif. Some magmatic, euhedral single zircons or magmatic zircon rims around ca. 2100 Ma cores in the Dandong Granites near the Liaonan Neoproterozoic terrane, are first recognized by the CL and BSE images and identified that the latest partial melting event happened at 167–157 Ma. This partial melting is most likely derived from in-situ remelting of ancient lower continental crust, mostly of North China Craton. The Dandong plutons are aligned in the NE direction and suffered intensively from the subhorizontal ductile thrust-related shearing and the subsequent NNE-trending folding. In the Dandong area, the precise timing of deformations was solved in this paper. The first deformation is identified to be from 195 to 193 Ma according to the K-Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of muscovites in the E-W trending shear zones of Liaodong peninsula. Based on the field relationship between the plutons and deformation foliations, a range from 153 to 145 Ma is defined as the duration of the second deformation time remained in the Dandong Granites. The NNE strike-slip faulting, i. e. the third deformation, must be constrained in a range from 135 Ma to 95 Ma. This deduced result is most similar to a range from the ⁴⁰Ar/³⁹Ar age of 128–132 Ma of initial sinistral strike-slipping of the Tan-Lu fault in the Anhui province to the biotite

* 国家自然科学基金青年基金(40002015)、中国科学院知识创新工程(KZCX1-07)和香港 RGC(HKU7090/01P)项目联合资助。

第一作者简介: 李三忠,男,1968 年出生,教授,从事前寒武纪地质、构造地质与海洋地质的教学和科研,E-mail:sanzhong@ouc.edu.cn

cooling age of 100 ± 2.3 Ma of the Yilan-Yitong segment of the Tanlu fault in the Jilin province. These faults are transtensive to control some pull-apart basins. However, during the third deformation, some metamorphic core complexes in the eastern China often took place in the overlapping area between the large-scale sinistral faults. It is well correlated to NW-directed subduction of the Paleo-Pacific Plate at 180–145 Ma. Our SHRIMP data also indicate that the Liaodong basement and Early Mesozoic magmatism are exactly similar to the Jiaodong basement and Mesozoic magmatism. Therefore, Early Mesozoic evolution in the Liaodong area, similar to that in the Jiaodong area, is also related closely to the Sulu Orogen in the Early Mesozoic and tightly to the Pacific subduction in the entire Mesozoic.

Key words Mesozoic, Deformation, SHRIMP, Liaodong Peninsula, North China Craton

摘要 胶辽地块是华北克拉通东部地块的重要组成部分,处于北倾的大别-苏鲁构造带的上盘。过去近十年来提出的几个关于东北亚构造演化的重要构造模型涉及到了胶辽地块。本文主要利用我们在辽东半岛南部地区获得的 SHRIMP U-Pb 锆石定年结果,结合华北克拉通东部野外地质调查的野外第一手资料、我们获得的渤海湾盆地中的中生代构造资料以及其它研究人员的 SHRIMP 定年资料,系统建立华北克拉通东部地块中生代的构造变形过程,并讨论相关构造模型或构造问题。最近 SHRIMP 定年研究发现,胶辽地块中古元古代地质体经历了 ~ 160 Ma 的重熔事件。CL 和 BSE 图象显示,在辽南新太古宙地块附近丹东花岗岩体的两个样品 LJ023 和 LJ030 中发现一些 167–157 Ma 的自形岩浆锆石和围绕年龄大约为 2100 Ma 核部锆石的岩浆型锆石环带。这次重熔事件很可能为华北克拉通的下地壳原地重熔。丹东岩体呈 NE 走向排列,经历了强烈的近水平韧性剪切变形和随后 NNE 走向的褶皱变形。本文以丹东地区为例,准确确定了这些变形的年龄。根据辽东半岛东西向剪切带中白云母 K-Ar 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,第一幕变形界定在 195–193 Ma 之间。根据野外侵入体与变形叶理之间的关系,丹东花岗岩遭受的第二幕变形发生于 153–145 Ma 之间。第三幕变形,也即为 NNE 向走滑作用,约束在 135 Ma–95 Ma 之间。这个推断结果与庐庐断裂安徽段 128–132 Ma 的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄的初始左行走滑作用和吉林依兰-伊通段 100 ± 2.3 Ma 黑云母冷却年龄一致。这些横张断裂控制了许多拉分盆地。同时,第三幕变形期间,一些变质核杂岩主要发生在大型走滑带的叠接部位。与古太平洋板块 180–145 Ma 的 NW 向俯冲密切相关。SHRIMP 年龄表明,辽东基底和中生代岩浆作用与胶东的完全类似,因此,辽东早中生代的演化非常类似胶东,可能与苏鲁造山带有关,整个中生代与古太平洋板块的俯冲紧密相关。

关键词 中生代; 构造; SHRIMP; 辽东半岛; 华北克拉通

中图分类号 P597.3; P534.5

1 前言

胶辽地块(图1)是华北克拉通东部地块的重要组成部分(Zhao *et al.* 2001a; 2001b),由于华北克拉通自中元古代至中生代早期长期处于岩浆作用的静寂期(翟明国等,2003),所以长期被认为是一个稳定的前寒武纪地块,很少有构造活动。然而,由于它处于北倾的大别-苏鲁构造带的上盘(Li, 1994; Yang, 2002),所以,很多研究人员非常想知道这个稳定地块是否经历了中生代强烈的再造作用。虽然过去近十年来提出的几个关于东北亚构造演化的重要构造模型涉及到了胶辽地块(Yin 和 Nie, 1993; 1996; Faure *et al.*, 2001; Yang, 2002),但是,它们并没有系统论述这个地块对中生代强大构造作用作出了何种响应。Yin 和 Nie (1993)提出了楔入模式,并指出苏鲁造山带的北界为五莲-烟台断裂,在该断裂上盘,尤其是辽南拆离断层的上盘,三叠纪的逆冲断裂与褶皱特别发育。洪作民(1989)和杨天南等(2002)也提到薄皮逆冲推覆模式。但是,最近 Faure *et al.* (2001)提出相反的薄皮伸展模式,并将苏鲁造山带的北界推测到渤海海峡或以北,胶北地块便变成了华南板块的基底。所有这些争论使得非常有必要讨论华北克拉通东部地块的中生代构造问题。特别是辽东半岛是否有华北与华南板块中生代碰撞的

构造或岩浆作用响应,是否有太平洋板块中生代向欧亚板块下俯冲的响应,都涉及该区构造格局、中生代构造转换等重大基础问题。因此,本文选择辽东半岛作为重点研究区进行解剖。

选择该区,一个重要原因是,前人研究表明这里广泛分布有三叠-白垩纪的花岗岩,有保存较好的多幕中生代逆冲、伸展和走滑变形。另一个原因是,该区处于一个特殊的大地构造部位,是中生代太平洋构造域、古生代-中生代中亚构造域和古生代-中生代秦岭-大别构造域的交接处。第三,该区也是理解和判断根据 UHP-HP 地质、古地磁、同位素地球化学、同位素年代等诸多方面提出的现有构造模型的重要地区。第四,合肥盆地覆盖了大别山造山带的上盘,但苏鲁造山带的上盘在胶辽地块却出露完美,是一个研究中生代造山响应的重要场所。

本文主要利用我们在辽东半岛南部地区获得的 SHRIMP U-Pb 锆石定年结果,综合华北克拉通东部野外地质调查的野外第一手资料、我们获得的渤海湾盆地中的中生代构造资料以及其它研究人员的 SHRIMP 定年资料(罗镇宽等, 1999, 2001; 苗来成等, 1997, 1998; Wang *et al.*, 1998),系统建立华北克拉通东部地块中生代的构造变形过程,并讨论相关构造模型或构造问题。

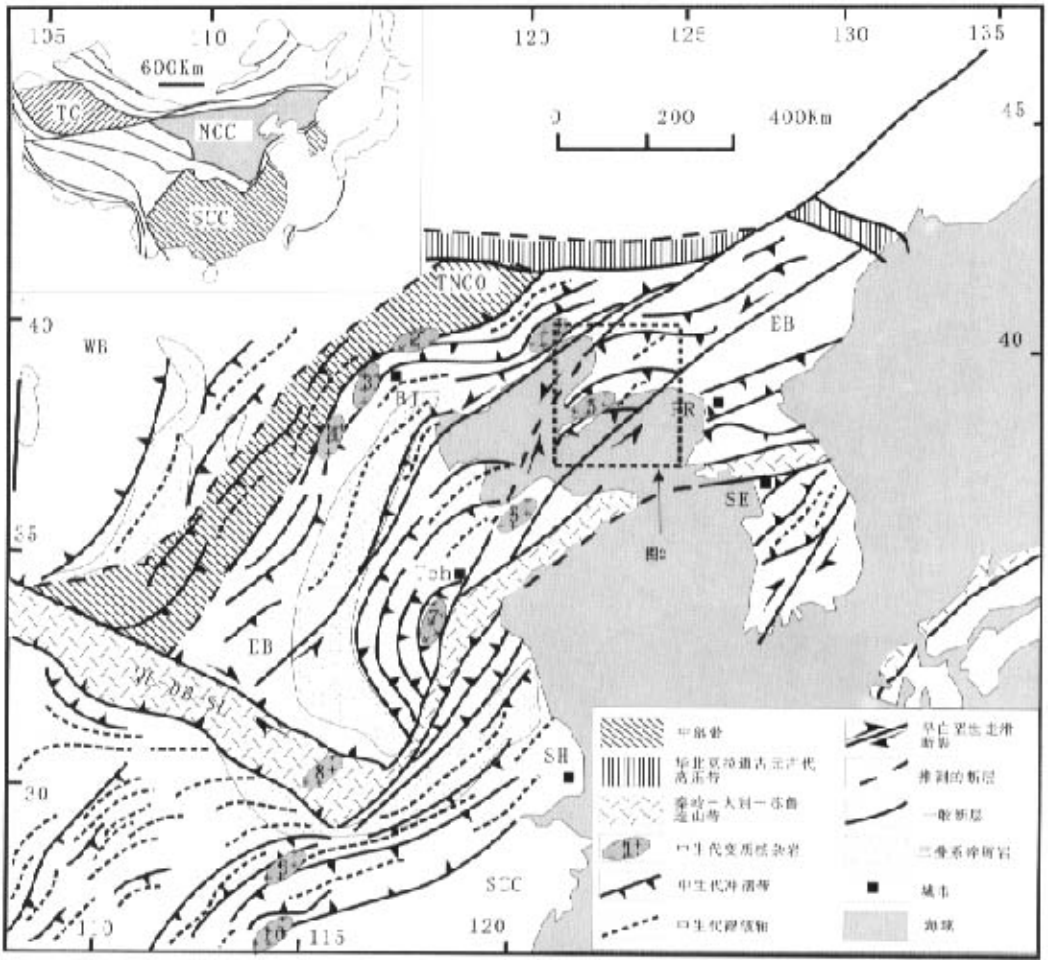


图1 华北克拉通东部及邻区构造轮廓及中生代逆冲断裂、褶皱和典型变质核杂岩分布

NCC-华北克拉通, WB-西部地块, EB-东部地块, TNCB-中部带, QL-DB-SL-秦岭-大别-苏鲁造山带; SCC-扬子克拉通; TC-塔里木克拉通。1-医巫闾山变质核杂岩(马寅生等, 1999, 2000), 2-云蒙山变质核杂岩(Davis *et al.*, 1996), 3-房山变质核杂岩(宋鸿林, 1996), 4-太行山变质核杂岩(牛树银, 1994), 5-辽南变质核杂岩(重点解剖区, 杨中柱等, 1996; 陈荣度等, 1999), 6-鹊山变质核杂岩(杨金中等, 2000), 7-鲁西伸展构造(燕守勋, 1994), 8-北大别正片麻岩穹隆(Ratschbacher *et al.*, 2000), 9-星子变质核杂岩(Yin 和 Nie, 1996), 10-武功山变质核杂岩(舒良树等, 2000; Faure *et al.*, 1996)。BJ-北京, TCH-郑城, SH-上海, PR-平壤, SE-汉城。

Fig. 1 Tectonic division of Eastern North China Craton and its neighbor showing Mesozoic thrust faults and folds, and typical metamorphic core complexes.

2 区域地质背景

胶辽地块(图1)位于华北克拉通东部地块的东部(张秋生等, 1988; 李三忠等, 1998; Zhao *et al.*, 2001a; 2001b),

北部紧邻中亚构造带,南部与苏鲁三叠纪造山带和京畿地块或临津江带衔接(李三忠等, 2001a; 2001b)。该地块内中部由古元古代岩石组成,南、北为古太古至新太古宙不同的岩石组成(宋彪等, 1996; 路孝平等, 2003),并且广泛出露中生代岩体和震旦系、古生界和中生界地层。

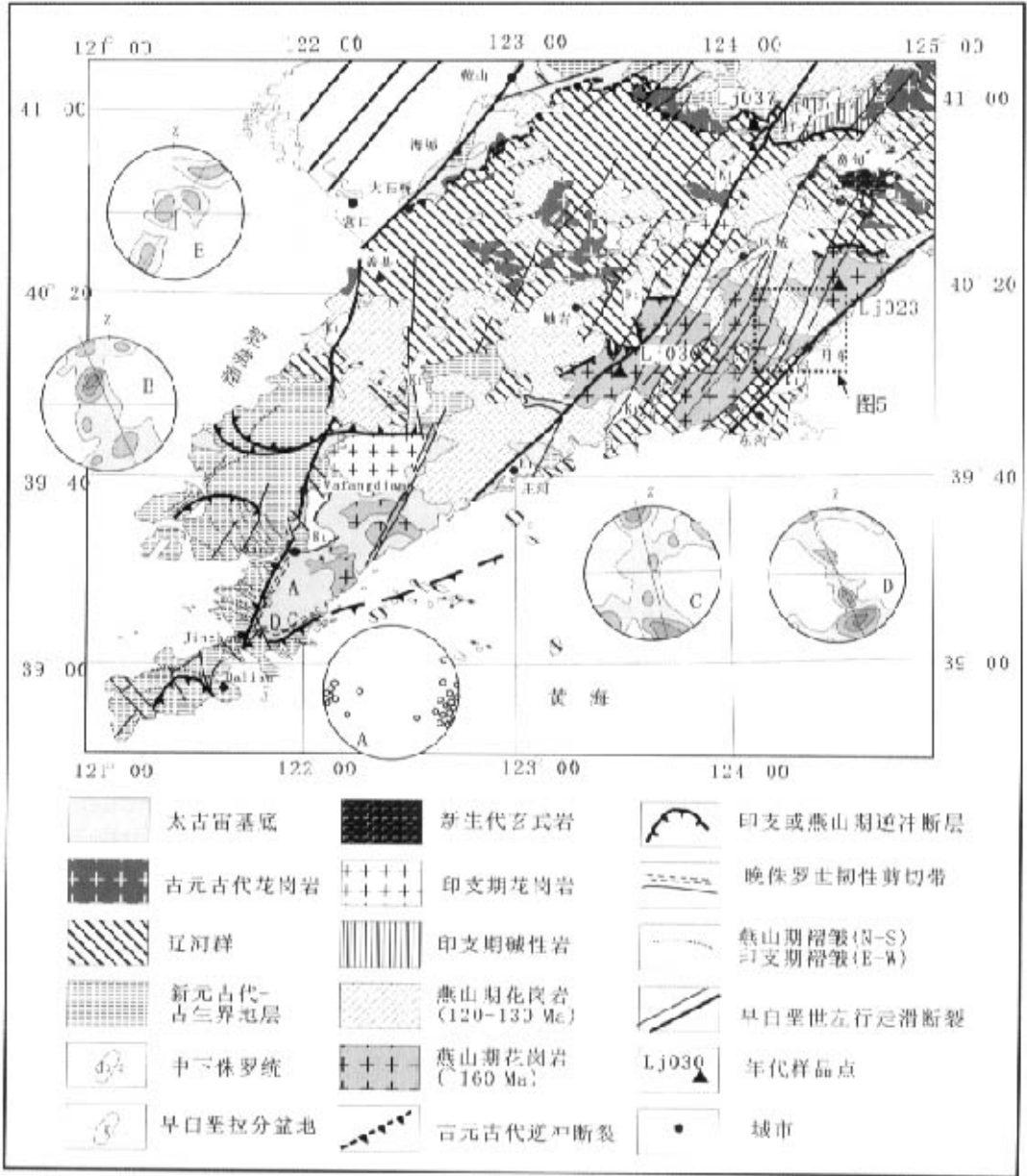


图2 辽东半岛构造格架图及采样点位置

A-69个燕山期线理的下半球投影; B, C, D, E-太古宙基底顶部的石英C-轴优选方位,位置见图中相应字母,等值线间隔分别为2%~4%~8%~16%(200个颗粒),4%~6%~12%(160个颗粒),2%~4%~6%~8%(170个颗粒)和8%~16%(200个颗粒)。

Fig. 2 Tectonic framework of Liaodong peninsula showing the sampling sites.

在辽东半岛古元古代分布区(图2),广泛分布了一些古元古代2400~2100 Ma不等的花岗岩(李三忠等,1997a,1997b;陈树良等,2001)。而古元古代辽河群主要由一套变

火山-沉积岩系,主要经历了绿片岩相-低角闪岩相的变质作用,局部达麻粒岩相变质(李三忠等,1998)。其构造线和展布方位总体为近东西走向。

该区古元古代地质体的北部和西南部主要分布有震旦系至古生界的变形地层,可靠的三叠系剥露无余。中生代花岗岩沿 NE 走向出露,总体与古元古代岩系和震旦系至古生界中的褶皱交切。野外可见,许多 NE-NNE 走向的脆性断层错切中生代岩体并控制了一些早白垩世拉分盆地,这些小型拉分盆地在辽东半岛、朝鲜半岛和胶东半岛广泛见及,下白垩统地层充填其中,下部主要由安山岩、英安岩和流纹岩组成,年龄为 127 Ma ~ 95 Ma (山东地质矿产局, 1991),上部由煤系组成。

3 华北克拉通东部地块内中生代花岗岩年代分析

3.1 以往胶辽地块中生代花岗岩的年代学研究成果

具有准确年龄的花岗岩体和岩体成因类型与构造变形的关系可以分别用来厘定变形的时限和大地构造背景。胶辽地块内的中生代岩体分布广、类型多,从北往南皆有发育。在吉林南部,发育不少三叠纪侵入体(程浴淇, 1994; 路孝平等, 2003)。例如,吉林通化香磨闪长岩体为 229.8 Ma (程浴淇, 1994),吉林南部东青、杨木林、热闹、亮兵和大荒沟侵入体的年龄分别为 206.7 Ma 和 230.7 Ma (U-Pb 法)、239.9 Ma、234.7 Ma 和 242 Ma (Rb-Sr 法)(隋振民, 1995),吉林通化地区岔信子、小苇沙河和龙头岩体的颗粒锆石 U-Pb 法年龄为 203 ~ 217 Ma 之间(路孝平等, 2003)。在辽东半岛中北部,辽宁凤城赛马碱性杂岩体 U-Pb 年龄为 223 ~ 237 Ma,辽东岫岩佟家堡闪长岩体的黑云母 K-Ar 年龄为 215.3 Ma (图 2; 程浴淇, 1994)。在辽东中南部,双塔岩体 Rb-Sr 年龄为 224 Ma,饮马弯山岩体的部分 Rb-Sr 年龄为 198 ± 19 Ma,这两个岩体皆被近水平的韧性剪切作用强烈改造,但 Rb-Sr 年龄为 140 Ma 的赵房岩体并无该期变形(于海峰等, 2002),小黑山岩体也大约侵位于 180 Ma 前。在辽南地区,花岗岩主要为中生代的,尤其是早白垩世(程浴淇, 1994),包括古道岭、饮马弯山主体、青山和赵屯(片麻岩)等岩体,其中部分以往被认为是三叠纪的。因此,一些地质学家相信存在深成侵入事件间断时期,在华北克拉通东部为 180 ~ 约 140 Ma 之间,在朝鲜大约为 160 ~ 约 100 Ma 之间(Kim, 1996; Chough *et al.*, 2000)。但是,在无三叠纪岩体报道的辽南南部的胶东半岛,目前 SHRIMP U-Pb 定年确定,玲珑花岗岩的侵位时间范围为 150 ~ 160 Ma (苗来成等, 1998; 罗镇宽等, 1999),郭家岭岩体的为 156 ~ 164 Ma 之间(程浴淇, 1994)。此外,在研究区西部的燕山造山带东段,医巫闾山花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 164 ± 9.5 Ma,继承锆石主要为 1991 ± 16 Ma (罗镇宽等, 1999)。这些岩体都经历了强烈变形。

3.2 丹东花岗岩的锆石 U-Pb SHRIMP 定年结果分析

丹东花岗岩以往由于其构造变形强烈,且无准确定年,

所以常被推断是古元古代岩体,但其岩貌、岩性与典型的古元古代条痕状二长花岗岩有巨大差异,故最近我们重新采集了丹东花岗岩体样品(样品 LJ023 和 LJ030)进行 SHRIMP 定年(Li *et al.*, 2004)。

样品为二云二长花岗片麻岩,分别采自丹东市北部 15 Km 处的虎山镇茧站村,和岫岩县东南 20 Km 处的董家堡村(图 2)。它们皆为中粗粒鳞片粒状变晶结构,糜棱构造或片麻状构造。

样品 LJ023 中的锆石一般自形,长柱状,半透明-透明。大多数锆石长宽比达 10:1,但主体为 5:1。最大和最小的分别约为 0.4×0.05 mm² 和 0.1×0.05 mm²。CL 和 BSE 图象显示其具有非常好的振荡环带,并且环带状的核部常被环带状的边部切割(图 3)。

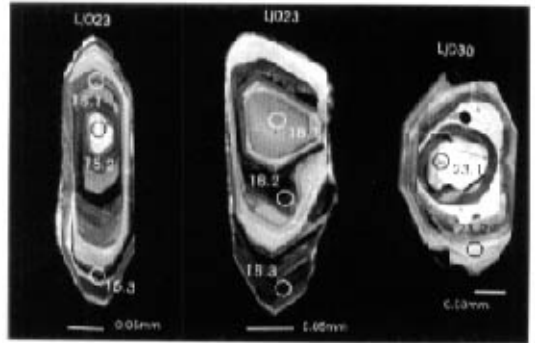


图 3 丹东花岗岩中代表性锆石的 CL 图象

(由赵国春在德国 Mainz 大学拍摄)

Fig. 3 Representative selection of CL zircon images from the Dandong granites (made by Zhao GC in Mainz University).

样品 LJ023 的 SHRIMP 分析结果表明(原始数据参见 Li *et al.*, 2004),只有 1 个颗粒(30.1)在谐和线上,给出 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 686 ± 19 Ma。7 个不同锆石颗粒的环带状核给出了 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 2105 ± 21 Ma (Li *et al.*, 2004),解释为主体继承锆石的结晶年龄。所有具有振荡环带的锆石边,和与边缘环带具连续性环带的锆石核部,其 SHRIMP 定年给出 157.4 ± 5.7 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均年龄 (Li *et al.*, 2004)。根据 CL 图象(图 3)和 Th/U 比,该年龄被解释为该侵入体的结晶年龄和该区强烈的基底再造事件。被再造的地壳主要为古元古代侵入体,因为继承锆石年龄众数为古元古代。

样品 LJ030 中的锆石较复杂,形态上可分为四类。最大的锆石大致为 0.5×0.125 mm²,最小的为 0.075×0.025 mm²。

类型(I)的锆石 SHRIMP 年龄数据分散在 638 Ma ~ 127 Ma 之间(原始数据参见 Li *et al.*, 2004)。特别是点 31.1, 24.1, 22.1 和 2.1 位于谐和线上和附近。这些年龄准确的区域地质意义尚不清楚。其中,120 ~ 214 Ma 之间有多个颗

粒,可能与该区包括辽南太古宙杂岩在内的区域地壳再造事件有关(Yin和Nie,1996)。特别注意作为类型(IV)锆石的边部(23.2,见图3)的年龄与类型(I)的岩浆锆石的年龄相同。这使得我们有理由认为它们代表岩浆事件或地壳重熔事件。

只有类型(III)的两个锆石位于谐和线上,给定 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2167 \pm 11 \text{ Ma} \sim 2174 \pm 11 \text{ Ma}$,为古元古代母岩结晶年龄,因为其Th/U和类型(I)锆石皆落入两个不同的年龄组(Li *et al.*, 2004)。

测定类型(II)的9个不同锆石颗粒的具环带的核部,获得 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $1851 \pm 17 \text{ Ma}$,解释为这个岩体中的另外一组继承岩浆结晶年龄(Li *et al.*, 2004)。

类型(IV)的锆石保存在类型(I)的内部,在CL和BSE图象(图3)上,具有明显不同于周边环带不同的环带。通过SHRIMP测定,点23.1和27.1的年龄分别为 $2534 \pm 45 \text{ Ma}$ 和 $2440.2 \pm 5.1 \text{ Ma}$,为不同的继承锆石年龄(Li *et al.* 出版中)。

4 花岗岩年龄对胶辽地块中生代变形的限定

4.1 野外构造变形分期及初步年限界定

根据野外构造交切关系,华北克拉通东部地块发生了四幕中生代区域构造变形阶段。第一幕变形在研究区西部、北部和渤海湾地区以NW或E-W走向的逆冲断裂和褶皱为特征(Chen, 1998)(图2),在辽东半岛三叠纪侵入体中保存有一些韧性剪切带(陈荣度等,1999;于海峰等,2002)。第二幕变形以中下侏罗统及侵入体内的NNE走向的近水平韧性剪切变形带和褶皱为特征。辽东半岛金州水源地可见该幕逆冲变形相关的鞘褶皱(图4),结合线理统计(见图2中的A)和石英C-轴统计(见图2中的B、C、D和E),表明为上盘向北西向的逆冲。之后,第二幕变形带被120~130Ma的花岗岩侵入,如五龙岩体和三股流岩体(图5)。第三幕变形以NNE走向的左行走滑或横张断裂、变质核杂岩形成和裂解作用为特征(图1),后者对早白垩世Apatite期至晚白垩世的拉分盆地起直接控制作用。第四幕中生代变形在辽东半岛为开阔的东西走向的宽缓褶皱为特征(洪作民,1989)。在朝鲜,从晚白垩世到早第三纪东西走向的逆冲和褶皱作用仍很强(Kim, 1996),但在胶东和辽东明显减弱。这些变形运动主要根据野外的几个角度不整合确定的,无精确的年代界定。

4.2 胶辽地块花岗岩高精度定年对该区中生代变形年龄的进一步约束

根据辽南东西向构造带中白云母的K-Ar和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,确定该区中生代第一幕变形发生于195~193 Ma(王宗秀等,2000a,2000b);而在燕山造山带中为早中生代(Chen,

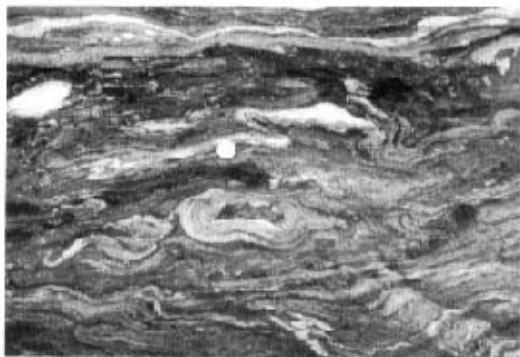


图4 辽东半岛水源地剪切褶皱

(镜头指向东,剪切指向西,硬币直径2厘米)

Fig. 4 Sheath folds at the Shuiyuandi, Liaodong peninsula (lens toward east, the sense of the sheath fold is toward west, the diameter of coin is about 2 centimeters long).

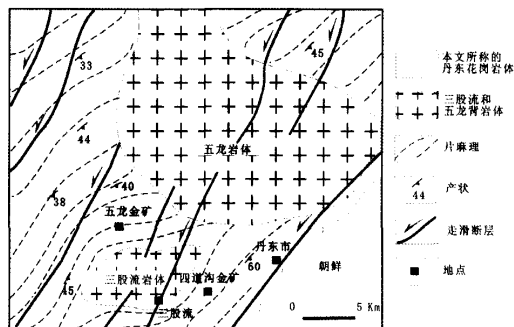


图5 丹东地区三股流和五龙背岩体交切第二幕变形构造图(据吕贻峰,1997,略改)

Fig. 5 Structural map showing the Sanguliu and Wulongbei plutons crosscutting the second deformation fabrics in the Dandong area.

1998)。

结合丹东地区主体未变形的三股流岩体最近获得的Rb-Sr法和单颗粒锆石U-Pb法成岩年龄分别为 131 ± 5 和 $129 \pm 3 \text{ Ma}$ (Wei *et al.*, 2002),以及我们对三股流岩体南、北侧的变形极强的原认为是古元古代的二云二长花岗片麻岩岩体所作的SHRIMP定年为157~158 Ma和吴福元(个人通讯)获得的165 Ma,三股流岩体穿切二云二长花岗片麻岩的片麻理(图5),可以粗略将丹东一带157~158 Ma花岗片麻岩经历的强烈水平逆冲再造作用界定在158~131 Ma之间,同时,以片麻理为变形面形成了NE走向的宽缓褶皱。Yin和Nie(1996)在董家沟韧性剪切带中获得一些白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄范围介于 $153.1 \pm 1.9 \text{ Ma}$ 和 $144.6 \pm 1.1 \text{ Ma}$ 之间。胶东的玲珑岩体和郭家岭岩体与丹东一带的二云二长

花岗岩片麻岩的变形特征一致,且卷入了NNE向的招远-平度剪切带的变形。该剪切带中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 134.26 ± 0.34 Ma (林文蔚等, 2000),而且,该剪切带切割玲珑岩体和郭家岭岩体的片麻理。并且,该幕变形可以与胶辽半岛以西的、走向相近的承德-兴隆逆冲带的变形年代161~148 Ma和四合堂推覆体的变形年代143 Ma对比 (Ratschbacher *et al.*, 2000; Davis *et al.*, 1996)。综上所述,我们进一步认为华北东部中生代第二幕变形发生在153 Ma至145 Ma之间。

但是,吴福元(个人通讯)在董家沟韧性剪切带和太古宙基底中也获得一些109~114 Ma的黑云母、长石、白云母、角闪石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法变形年龄。这与辽南变质核杂岩西部滑脱带中 112.9 ± 0.4 Ma~ 110.4 ± 0.4 Ma (Yin和Nie, 1996)的年龄一致。吴福元(个人通讯)还对顺董家沟韧性剪切带就位的含石榴石花岗岩定年获得约120 Ma的年龄和大量1900 Ma左右的继承锆石。这些特征与胶东郭家岭岩体非常类似(罗镇宽等, 1999)。此外,在辽南的饮马弯山、青山、赵屯等岩体的锆石U-Pb法年龄误差范围内都为120~130 Ma。其中饮马弯山岩体的外围是同变形的且年龄为120~135 Ma,但这种变形不同于丹东二云二长花岗岩片麻岩中透入性的变形,该岩体内部是构造后的。这些120~130 Ma的侵入体受左行走滑断裂控制或有时可见切割关系,因此,这次变形可能与后期左行走滑断裂作用和后期伸展作用有关,也可能为侵位构造。这些NNE向走滑断裂也控制了年龄为127 Ma至95 Ma的早白垩世盆地,这进一步表明该区中生代第三幕变形发生在135 Ma至95 Ma之间。这个推断结果与郯庐断裂安徽段 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法获得的最早左行走滑年龄128~132 Ma与吉林省郯庐断裂的依兰-伊通段黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法获得的 100 ± 2.3 Ma冷却年龄所界定的范围一致(朱光等, 2001)。

在第三幕变形期间,一些变质核杂岩出现在那些大型左行走滑断裂的叠接部位(图1),例如,形成于128~119 Ma的云蒙山变质核杂岩(Davis *et al.*, 1996)、SHRIMP定年为126~124 Ma的医巫闾山变质核杂岩(马寅生等, 1999; 2000; 罗镇宽等, 2001)、黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为145~123 Ma的武功山变质核杂岩(Faure *et al.*, 1996)、单颗粒锆石U-Pb法年龄为 127 ± 2 Ma的星子变质核杂岩(李武显等, 2001)、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为140~120 Ma的北大别核杂岩(Ratschbacher *et al.*, 2000)、114~109 Ma的辽南变质核杂岩(Yin和Nie, 1996)等。

5 华北克拉通东部地块花岗岩中锆石U-Pb SHRIMP定年的大地构造意义

5.1 苏鲁-大别造山带与胶辽地块的关系

SHRIMP U-Pb定年发现,胶东半岛150~160 Ma的玲珑花岗岩中有大量200~250 Ma的继承的三叠纪岩浆型锆石(苗来成等, 1997; 1998; 罗镇宽等, 1999)。这些继承锆石

反映的事件与大别-苏鲁造山带中的完全相同,因此,这也意味着玲珑花岗岩起源于地壳中的长英质岩石,并且这些继承锆石来自与华北与华南板块碰撞相关的花岗岩(苗来成等, 1997; Wang *et al.*, 1998; 罗镇宽等, 1999)。溱家河与郭家岭岩体也具有玲珑岩体同样的锆石和年龄特征, Wang *et al.* (1998)研究表明,这些岩套于165和125 Ma起源于早中生代基底,并且是碰撞后就位的。此外,还发现玲珑花岗岩中有 3446 ± 2 Ma~ 3114 ± 4 Ma的继承锆石和郭家岭岩体中有许多古元古代继承锆石(罗镇宽等, 1999),这意味着胶东半岛的地壳和辽东鞍山地区的太古宙地壳一样老(宋彪等, 1996),故胶东前寒武纪基底与辽东前寒武纪基底一样属于华北克拉通(陆松年等, 1998),而不是Faure *et al.* (2001)认为的属于扬子克拉通。

在胶东东北部的丹东地区,丹东花岗岩的样品LJ030和LJ023中继承的三叠纪岩浆型锆石要明显少于玲珑岩体,其中还有两个继承锆石的年龄为640和690 Ma(Li *et al.*, 2004)。这可能有三种解释。第一,这两个继承锆石来自扬子克拉通和苏鲁造山带,但是这种可能被排除。因为正如Hacker *et al.* (2000)研究表明的,苏鲁大别造山带的高角度俯冲不可能影响到辽东地区,而且1000~800 Ma的晋宁运动才是扬子克拉通区别于华北克拉通的重要标志(李献华, 1999)。第二种可能是与东部地块内680~650 Ma的裂解事件有关(乔秀夫, 2001),这次裂解事件产生了K-Ar法年龄为585~723 Ma的辉绿岩墙群(潘国强等, 2000)。由于陈跃军等(2002)报道了在胶辽地块北部的桦甸地区的一些岩浆和变质事件的U-Pb年龄也为658~540 Ma,所以,第三种可能性是这两个继承锆石可能通过某种过程来自吉林桦甸地区。后两种模式明显不同于扬子克拉通的特征,并可能符合本区地质实际。虽然这两个继承锆石的确切地质意义还值得商榷,但我们的数据表明,辽东的基底和岩浆作用非常类似胶东的基底和岩浆作用。虽然辽东地区的中生代构造演化非常类似胶东地区的,并可能与苏鲁造山带密切相关,但是,胶辽地块绝对不可能是扬子克拉通的基底或一部分。特别是LJ023和LJ030样品中一些古元古代继承锆石反映为原地重熔花岗岩中继承的。因此,第二种可能更适合本区地质情况。

5.2 中国东部中生代构造体制转换与深成作用背景

过去几十年来,虽然对中国东部中生代的变形时间约束不够,但普遍认为南北向收缩变形导致早中生代近东西走向的褶皱-逆冲推覆,特别是晚三叠世(Yin和Nie, 1996; Chen, 1998; 陈树良等, 1999; 杨天南等, 2002);而NNE走向的盆地伸展构造普遍被认为形成于晚中生代。那么,这种挤压构造向伸展构造转化发生的准确时间是什么?如何形成的?有什么地质效应?

有关构造体制转折的构造背景已有许多学者进行了探讨,提出了各自的观点(如赵越等, 1994; 郑亚东等, 2000)。

但关于这种构造体制转化的研究长期以来主要集中在阴山-燕山造山带(赵越等, 1994; 翟明国等, 2003)。在华北板块的南北两侧, 特别是阴山-燕山造山带和秦岭造山带(Davis *et al.*, 1998, 2001, 2002; Zhang *et al.*, 1996; Meng *et al.*, 2000), 强烈变形的东西走向的逆冲-褶皱带已明确形成于早中三叠世至侏罗纪, 乃至早白垩世。如阴山-燕山造山带东部的云蒙山逆冲推覆为 142 ~ 143 Ma (Davis *et al.*, 1996), 并被认为可能与蒙古-鄂霍茨克洋由东向西的封闭有关(Ziegler *et al.*, 1996; Yin 和 Nie, 1996; Halim *et al.*, 1998); 又如四川盆地中的下白垩统卷入了秦岭造山带的前陆变形过程中(Zhang *et al.*, 1996; Meng *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2003)。而且根据古地磁资料, 早白垩世时(约 130 Ma, Gilder *et al.*, 1997) 或从 130 至 110 Ma 之间(Nozaka 和 Liu, 2002), 华北、华南与西伯利亚板块的古磁极最终重合。

按照这种三个板块南北碰撞的模式, 应当有更多的 130 Ma 左右的東西走向构造存在。相反, 在中国东部, 已知的 NE-NNE 走向的逆冲-褶皱带许多都形成于晚侏罗世-早白垩世。而且, 大别山造山带、鲁西地块、阴山-燕山造山带以及胶辽地块中生代岩浆作用和变形作用非常一致, 这反映中国华北东部和东北地区的中生代构造体制转换有着相同的动力学机制与过程。华北板块上从 NW 部向 SE 部, NE-NNE 向断裂和褶皱有北京云蒙山的上盘向 SSE 向逆冲的四合堂逆冲推覆构造(Davis *et al.*, 1996), 顶板向 NNW 向逆冲的河北承德逆冲断裂, 辽西深平与建昌之间的顶板向 NW 向逆冲的逆冲断裂, 顶板向 NW 或 W 向逆冲的辽南逆冲断裂, 被渤海湾盆地覆盖的沧东逆冲断裂、孔西逆冲构造和兰考-聊城逆冲断裂等, 鲁西 NE 走向的五井断裂和相应的一系列 NE 走向的厢状褶皱, 顶板向 NW 或向 W 逆冲的徐-淮薄皮逆冲推覆构造等等(图 1)。这些 NNE-NE 走向的构造不可能由南北向挤压收缩作用形成。那么, 这种东西向挤压构造向北东-北北东向挤压构造转变、北东-北北东向挤压构造向同方位伸展构造转化的地球动力学机制是什么?

虽然 Engebretson *et al.* (1985) 提出了古太平洋板块向欧亚板块边缘俯冲方向的变化, 即从 180 ~ 145 Ma 的 NW 向, 向 145 ~ 85 Ma 的 NNW 向和 85 Ma 后向西的改变, 但是, 华北大部分地区相关的变形、变质和岩浆事件很少见到论述。为此, 我们只好根据变形及其年代证据, 区分 NNE-NE 走向构造是否与 180 ~ 145 Ma 或 145 ~ 85 Ma 古太平洋板块的 NW-NNW 向俯冲有关。

我们最近的 SHRIMP 定年研究发现, 胶辽地块中古元古代地质体经历了约 160 Ma 的重熔事件。在辽南新太古宙地块附近丹东花岗岩的两个样品 LJ023 和 LJ030(二云二长花岗岩)以及辽河群北缘的样品 LJ037 中发现一些 167 ~ 157 Ma 的自形岩浆锆石和围绕年龄大约为 2100 Ma 核部锆石的岩浆型锆石环带。这次重熔事件以往在华北东部和东北并无发现, 但是杜国云(1998)简短地提及 165 ~ 137 Ma 这幕岩浆事件在华南东部广泛存在。这表明在中国东部存在一

条北北东走向的中生代地壳重熔带, 横跨华北板块与华南板块展布, 与太平洋板块俯冲带平行, 因此, 不太可能是沿秦岭-大别造山带的陆内俯冲的结果(Zhang *et al.*, 1996)。是什么诱导了华北和华南的这幕重熔事件?

迄今, 有四种地球动力学模型用来解释华北克拉通东部地块内早白垩世的重熔事件, 也即这次重熔最可能起源于古老下地壳, 极可能为华北下地壳; 或有扬子下地壳的混染(Zhang *et al.*, 2002); 或起源于古太平洋板块的消减板片(Engebretson *et al.*, 1985); 或起源于与蒙古-鄂霍茨克洋或/古太平洋洋壳板片混染了的深部岩石圈楔(周新华等, 2001)。然而, 高山等(1999)、Hacker *et al.* (2000) 和 Rastbach *et al.* (2000) 等指出, 俯冲消减的大别山板片在大约 190 Ma 被拆沉了, 由于高角度俯冲作用, 影响范围也没有超过大别造山带北界以北 20 km 以外, 所以, 第二种模式的可能性很小(Zhang *et al.*, 2002)。此外, 由于胶东和鲁西地区早白垩世钙碱性玄武岩和基性岩墙地球化学特征明显不同于古生代和新生代岩石圈的地球化学特征(周新华等, 2001; Li, 2000), 所以, 第一种模式也不是很好。胶东和鲁西地区早白垩世重熔的构造背景非常可能与华南地区早白垩世岩浆作用的背景相同, 即在 140 ~ 90 Ma 主体为伸展背景下(Li, 2000; 贾大成等, 2003)。那就是说, 最后两个模式都有部分合理。值得重视的是 Rastbach *et al.* (2000) 推断太平洋板块俯冲由挤压向前缘汇聚的转变发生在晚侏罗世, 并触发了约 145 Ma 的岩浆作用, 使得红安地块重熔和约 130 ~ 110 Ma 胶辽地块的地壳伸展作用。所以, 太平洋板块的俯冲可能是华北克拉通东部地块构造转折的关键原因。

由上述四种模型可知, 它们都未涉及约 160 Ma 的重熔事件, 但可肯定晚侏罗世与古太平洋板块俯冲相关的挤压构造环境是明显不同于早白垩世的伸展构造背景的。约 160 Ma 年龄的侵入体呈 NE 向垂直古太平洋板块俯冲方向展布, 向北一直延伸到中亚构造带, 向南一直延伸到扬子克拉通内, 还遭受了 NNE 走向的逆冲推覆作用。因此, 我们可以推断这次部分熔融事件与 180 ~ 145 Ma 的古太平洋板块向 NW 方向俯冲事件基本吻合(Engebretson *et al.*, 1985; 杜国云, 1998)。甚至有人认为, 东亚边缘古太平洋板块俯冲的这种影响甚至波及华北克拉通西部地块的西缘, 形成鄂尔多斯西缘南北走向的褶皱-逆冲带(Darby and Ritts, 2002), 但后者最可能是华北克拉通南北缘南北向挤压(Zhang *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 1996) 导致阿拉善地块向东挤出与古太平洋板块俯冲引起的同期块断的综合结果(Liu, 1998), 因为华北克拉通南、北缘东西走向断裂不仅与早中侏罗世-晚侏罗世的收缩作用同时, 而且, 截断鄂尔多斯西缘南北走向的褶皱-逆冲带。

另一方面, 丹东花岗岩的 Nd 同位素分析结果显示, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 变化范围分别为 0.096 67 ~ 0.103 9 和 0.511 445 ~ 0.511 708, t_{DM} 和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化范围分别为 1.93 ~ 2.30 Ga 和 -21.32 ~ -17.95 (将另文发表)。

丹东花岗岩可能是 1.93 ~ 2.30 Ga 的底侵体或与该底侵近同时形成的花岗岩在中生代重熔的产物(李三忠等, 2001)。邓晋福等(1996)认为二云母花岗岩属于地壳增厚、地壳熔融的产物。据此,中生代丹东一带处于地壳增厚部位,属于张旗等(2001)所界定的中国东部中生代高原的范围。吴福元等(1999)和张旗等(2001)研究表明,该高原下部于 160 ~ 145 Ma 发生了拆沉作用,导致热的软流圈直接与下地壳接触。这可能是 1.93 ~ 2.30 Ga 的底侵体或与该底侵近同时形成的花岗岩于中生代重熔的局部深部因素。由于在胶东半岛中生代郭家岭岩体、玲珑岩体中也有类似发现,但这些岩体中含很多的太古宙岩浆型锆石(苗来成等, 1997; Wang *et al.*, 1998),可能表明胶东一带古元古代岩浆岩或底侵体规模没有辽东大。

依据广布的埃达克岩的年龄,华北高原垮塌时间大致也在 150 ~ 120 Ma 之间(吴福元等, 1999; Zhang *et al.*, 2001; 2002)。高原垮塌过程可能驱动了构造体制由挤压向伸展的转变(邵治安等, 2001)。例如,沿泰山-鲁山-沂山一带大量 110 ~ 130 Ma (K-Ar 年龄, 山东地质矿产局, 1991) 中-基性岩侵入(出露面积占鲁西出露岩体的 85%),使之隆升,形成南北两侧 NWW 走向的伸展拆离构造。⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 130 ~ 115 Ma 的辉长岩与辉石岩(林景仟等, 1996)使鲁西地块受热。利用⁴⁰Ar/³⁹Ar 法,对北大别片麻岩角闪石和黑云母测定获得其年龄为 130 ~ 120 Ma (Ratschbacher *et al.*, 2000)。

然而,最近 Li (2000) 提出华南 140 ~ 100 Ma 同期强烈的火山作用和岩浆作用是响应 Izaniqui 板块的俯冲作用。Maruyama *et al.* (1997) 研究揭示,在 145 ~ 85 Ma 期间,古太平洋板块以大于 200 mm/a 的速度和较低的角度快速俯冲。如此大的俯冲速率,可以使大洋板块下插到很远的大陆之下,从而产生十分宽阔的火山岩带。由于此时东亚东部陆缘为南北走向,所以,145 ~ 85 Ma 期间太平洋板块 NW 向的俯冲为斜向俯冲,并导致东亚陆缘产生强烈剪切,此时,沿岛弧薄弱带形成大型左行走滑断裂,进而,有利于岩浆侵位和变质核杂岩形成。但是,在华南,挤压向伸展转化大概发生在约 120 ~ 100 Ma 之间,晚于东北地区,且导致了地壳和岩石圈的减薄、软流圈上涌,玄武岩浆底侵(Liu *et al.*, 1990; 徐夕生等, 1999; 舒良树等, 2000b)。

综上所述,在辽东半岛发现的约 160 Ma 左右的重熔事件和 153 ~ 145 Ma 之间的挤压变形事件标志着中国东部地区构造由三叠纪挤压向早白垩世伸展的转变,且这种转变与 NW 向俯冲的古太平洋板块有关。

5.3 太平洋板块向欧亚板块下的俯冲

华北,尤其是辽东,200 ~ 190 Ma 东西向变形(陈荣度等, 1999; 王宗秀等, 2000a, 2000b),与华南与华北板块的碰撞以及法拉隆板块 210 ~ 180 Ma 的俯冲作用(Maruyama *et al.*, 1997)非常吻合。

中生代,特别是 145 ~ 90 Ma 之间的岩浆作用在华南(如

Li, 2000)、东北(如林强等, 1998)和华北克拉通北缘(周新华等, 2001)皆有深入研究,但是,很少有人将这些岩浆作用与太平洋或 Izaniqui 板块的俯冲联系起来。Ratschbacher *et al.* (2000) 在总结广泛分布于内蒙古至华南地区的变质核杂岩时指出,中国东部和东北的早白垩世(尤其是 147 ~ 110 Ma 之间)变形的大地构造背景为伸展背景,在该背景下发生了两幕火山喷发(Wang *et al.*, 2002),这种伸展被认为是太平洋板块弧后扩张、蒙古-鄂霍茨克洋和班公-三江缝合带南北挤压相应产生的华北和华南板块的向东挤出逃逸有关。但是,因为上述所有的变质核杂岩皆沿 NNE 平行太平洋俯冲带排列,所以,中白垩世的构造主体受太平洋板块俯冲的制约(Ratschbacher *et al.*, 2000)。根据 A 型花岗岩和板内玄武岩地球化学特征(Li, 2000),华南白垩纪岩浆作用主要形成于伸展背景,特别是 140 ~ 90 Ma 期间为大陆边缘弧后和碰撞后伸展背景。因此,我们粗略推断挤压与伸展构造的转换肯定发生在 180 ~ 145 Ma 之间,而不是 Maruyama *et al.* (1997) 认为的 120 ~ 90 Ma 之间。

胶辽地块内的重熔事件表明基底经历了强烈的中生代再造作用。在 180 ~ 120 Ma 期间,中国东部大陆边缘属于安第斯型大陆边缘(Sengor *et al.*, 1996; Li, 2000; 李武显等, 2001)。最终,我们的数据和 Li (2000) 及李武显等(2001)的资料,表明与太平洋板块俯冲有关的 NNE 走向的挤压构造形成于 160 ~ 145 Ma 之间;而伸展发生于 145 ~ 100 Ma 之间,伴生张扭断裂作用、大量火山喷发和伸展盆地的形成;100 ~ 90 Ma 期间,西太平洋陆缘区发生了一次极其强烈的挤压变形事件,以日本西南地区、中国东南部-台湾和西菲律宾地区为最显著;其原因是古洋壳上的陆块地体朝东亚陆缘带的拼贴碰撞(Ichikawa *et al.*, 1990; Charvet *et al.*, 1985, 1999)。沿缝合带,蛇绿混杂岩、高压变质岩、对变质带、韧性剪切带普遍,碰撞型花岗岩发育。经严格的年代学测定,日本和台湾的对变质带年龄值为 100 ~ 90 Ma (舒良树等, 2000b)。中国东南沿海长乐-南澳大型左行走滑剪切带的形成也与此事件有关(Charvet *et al.*, 1990; 舒良树等, 2000b)。

致谢 非常感谢两位审稿人提出的重要修改建议和万渝生、宋彪和刘敦一研究员在 SHRIMP 定年方面的细心指导。

References

- Charvet J, Cluzel D, Faure M, *et al.* 1999. Some tectonic aspects of the pre-Jurassic accretionary evolution of East Asia. In: Metcalfe I, Ren J, Charvet J, Hada S (eds.), Gondwana dispersion and Asian accretion, A. A. Balkema/Rotterdam/brookfield, pp. 37 - 65
- Charvet J, Faure M, Caridroit M *et al.* 1985. Some tectonic and tectonogenetic aspects of SW Japan: an Alpine-type orogen in an island-arc position. In: Nasu N *et al.* (eds.). Formation of Active Ocean Margin. Terra Scientific Pub. Co., Tokyo, pp. 791 - 817
- Charvet J, Faure M, Xu JW, *et al.*, 1990. La zone tectonique de

- Changle-Nanao, Chine du sud-est. CR Acad. Sci. Paris, t310, 2, 1271 - 1278
- Chen A. 1998. Geometric and kinematic evolution of basement-cored structures; intraplate orogenesis within the Yanshan Orogen, north China. *Tectonophysics*, 292:17 - 42
- Chen SL, Huan YQ, Bing ZB. 2001. Characteristics of Palaeoproterozoic intrusive rocks and continental dynamic evolution of tectonomagmatism in the eastern Liaoning. *Liaoning Geology*, 18:43 - 50 (in Chinese with English Abstract)
- Chen YJ, Peng YJ, Lu XP, Liu YW. 2002. Proterozoic tectonic slices along the northern margin of North China Plate. *Journal of Jilin University (Earth Sciences Edition)*, 32(2):134 - 139 (in Chinese with English abstract)
- Chen YQ. 1994. The outline of Regional Geology of China. Beijing: Geological Publishing House, pp. 1 - 474 (in Chinese with English abstract)
- Chen R D, Li X D, Yang Y J, Zhang L H, Shan X D, Zhang F S. 1999. Bedding decollement structure of the Early Indosinian Orogenic cycle in the south of Liaodong peninsula. *Liaoning Geology*, 16(3): 161 - 169
- Chough SK, Kwon ST, Ree JH, Choi DK. 2000. Tectonic and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view. *Earth Science Reviews*, 52: 175 - 235
- Darby BJ, Ritts BD. 2002. Mesozoic contractional deformation in the middle of the Asian tectonic collage: the intraplate Western Ordos fold-thrust belt, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 205: 13 - 24
- Davis GA, Darby BJ, Zheng YD, Spell TL. 2002. Geometric and temporal evolution of an extensional detachment fault, Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia, China. *Geology*, 30(11): 1003 - 1006
- Davis GA, Qian X, Zheng Y, Yu H, Wang C, Tong HM, Gehrels GE, Shafiqullah M, and Fryxell JE. 1996. Mesozoic deformation and plutonism in the Yunmeng Shan: A Chinese metamorphic core complex north of Beijing, China, In: Yin A, and Harrison T M. (eds.). *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 253 - 280
- Davis GA, Wang C, Zheng Y, Zhang J, Zhang CH, Gehrels GE. 1998. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: new views on its intraplate continental styles. *Geology*, 26: 43 - 46
- Davis GA, Zheng Y, Wang C, Darby BJ, Zhang C, and Gehrels GE. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. In: Hendrix M S, and Davis G A (eds.). *Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central and eastern Asia: From continental assembly to intracontinental deformation*. Geological Society of America Memoir 194, 171 - 197
- Deng JF, Zhao HL, Mo XX. 1996. Continental root-mantle tectonics in China: A key to continental dynamics. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 97 (in Chinese)
- Du GY. 1998. Analysis of granite isotopic geological data and periods of magma - tectonic action in Mesozoic in south China. *Journal of East China Geological Institute*, 21(2): 116 - 122 (in Chinese with English abstract)
- Engebretson DC, Cox A and Gordon RG. 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, 1 - 59
- Faure M, Lin W, Breton N L. 2001. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? *Geology*, 29(2): 119 - 122
- Faure M, Sun Y, Shu LS, Monie P, and Charvet J. 1996. Extensional tectonics within a subduction-type orogen. The case study of the Wugongshan dome (Jiangxi province, southeastern China). *Tectonophysics*, 263: 77 - 106
- Gao S, Zhang BR, Jin ZM, Kern H. 1999. Delamination of the lower crust of the Qinling-Dabie Orogenic Belt. *Science in China (ser. D)*, 29(6): 532 - 541 (in Chinese)
- Gilder SA, Courtillot V. 1997. Timing of the North-South China collision from new middle to late Mesozoic paleomagnetic data from the North China Block. *Journal of Geophysics Research*, 102: 17713 - 17727
- Hacker BR, Ratschbacher L, Webb L, McWilliams MO, Ireland T, Calvert A, Dong SW, Wenk HR. 2000. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: late Triassic-early Jurassic tectonic unroofing. *Journal of Geophysical Research*, 105(B6): 13339 - 13364
- Halim N, Kravchinsky V, Gildern S, Cognem JP, Alexyutim M, Sorokin A, Courtillot V, Chenm YA. 1998. Palaeomagnetic study from the Mongol-Okhotsk region: rotated Early Cretaceous volcanics and remagnetized Mesozoic sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 159(3-4): 133 - 145
- Hong ZM. 1989. Research progresses and implication of upper Precambrian in the Liaonan area. *Liaoning Geology*, (1): 87 - 94 (in Chinese with English abstract)
- Ichikawa K, Mizutani S, Hara I, et al. 1990. Pre-Cretaceous terraces of Japan. Publication of IGCP 224: Pre-Jurassic evolution of Eastern Asia. Osaka, pp. 1 - 413
- Jia DC, Hu RZ, Zhao CH, Xie GQ. 2003. Lithogeochemical characteristics of the Mesozoic Granites intrusion from the Wangxiang area in Northeastern Hunan Province and its tectonic setting. *Acta Geologica Sinica*, 77(1): 98 - 103 (in Chinese with English abstract)
- Kim JH. 1996. Mesozoic tectonics in Korea. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 13(3-5): 251 - 265
- Li SZ, Han ZZ, Liu YJ, Yang ZS, Ma R. 2001b. Continental dynamics and regional metamorphism in the Liaohe Group. *Geological Review*, 47: 9 - 18 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Han ZZ, Liu YJ, Yang ZS. 2001a. Constraints of Geology and Geochemistry on Palaeoproterozoic Pre-orogenic deep processes in the Jiao-Liao Massif. *Scientia Geologica Sinica*, 36(2): 189 - 195 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Liu YJ, Yang ZS, Ma R. 1998. Relations between deformation and metamorphic recrystallization in metaperlite of Liaohe Group. *Acta Petrologica Sinica*, 14(3): 352 - 366 (in Chinese with English abstract)

- English abstract)
- Li SZ, Yang ZS, Liu YJ, Liu JL. 1997a. Emplacement model of Palaeoproterozoic early-granite in the Jiao-Liao-Ji area and its relation to layered gravitational sliding structure. *Acta Petrologica Sinica*, 13: 189 - 202 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Yang ZS. 1997b. Types and genesis of Palaeoproterozoic granites in the Jiao-Liao massif. *Northwest Geology*, 43(6): 21 - 27 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Zhao GC, Sun M, Liu JZ, Hao DF, Han ZZ, Luo Y, Yang ZZ. 2004. Mesozoic, not Paleoproterozoic SHRIMP U-Pb zircon ages of two Liaoji granites, eastern block, north China craton. *International Geological Review*, 46(2): 162 - 176
- Li WX, Zhou XM, Li XH, Xie GG, Li JH. 2001. Zircon U-Pb dating of pegmatite from Xingzimetamorphic core complex of Lushan Mountain and its geological implication. *Earth Sciences*, 26(5): 491 - 495 (in Chinese with English abstract)
- Li XH. 1999. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance. *Geochimica*, 28(1): 1 - 9 (in Chinese with English abstract)
- Li XH. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18: 293 - 305
- Li ZX. 1994. Collision between the North and South China Blocks - a crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu fault. *Geology*, 22(8): 739 - 742
- Lin JQ, Tang DJ, Jin Y. 1996. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar ages of Mesozoic igneous activities in western Shandong province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15(3): 213 - 222 (in Chinese with English abstract)
- Lin Q, Ge WC, Sun DY, Wu FY, Chong KW, Kyung DM, Myung SJ, Moon W, Chi SK, Sung HY. 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in northeastern China. *Scientia Geologica Sinica*, 33(2): 129 - 138 (in Chinese with English abstract)
- Lin WW, Zhao YM, Xu J. 2000. Active properties of Zhaoyuan-Pingdu shear zone. *Regional Geology of China*, 19(1): 43 - 50 (in Chinese with English abstract)
- Liu JL, Liu YJ, Chen H, Sha DM, Wang HC. 1997. The inner zone of the Liaoji Paleorift: its early structural styles and structural evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 15(1): 19 - 31
- Liu SF. 1998. The coupling mechanism of basin and orogen in the western Ordos basin and adjacent regions of China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 16: 369 - 383
- Liu SF, Heller PL, Zhang GW. 2003. Mesozoic basin development and tectonic evolution of the Dabieshan orogenic belt, central China. *Tectonics*, 22(4): 1029 - 1050
- Lu SN. 1998. Geochronology and Sm-Nd isotopic geochemistry of Precambrian crystalline basement in eastern Shandong province. *Earth Science Frontiers*, 5(4): 275 - 283 (in Chinese with English Abstract)
- Lu XP, Wu FY, Zhao CB, Zhang YB. 2003. Zircon U-Pb ages of Indosinian granite in the Tonghua area and its relation to the Dabie-Sulu HP-UHP collision belt. *Chinese Science Bulletin*, 48(8): 843 - 849 (in Chinese)
- Lu YF. 1997. Genesis characteristics of Mesozoic granitoid in south Liaoning (Zhuanghe-Dandong) and its relation with gold deposits. *Liaoning Geology*, (4): 292 - 302 (in Chinese with English abstract)
- Luo ZK, Guang K, Miao LC, Huang JZ. 1999. Ages and implication of inherited zircons in the granites of Zhaoyuan areas. *Shandong Geology*, (3): 112 - 123 (in Chinese with English abstract)
- Luo ZK, Miao LC, Guan K, Qiu YS, Qiu YM, McNoughlon NJ, Groves DI. 2001. SHRIMP U-Pb zircon age of magmatic rock of Paishanlou Gold Mine district, Fuxi, Liaoning province, China. *Geochimica*, 30(5): 483 - 490 (in Chinese with English abstract)
- Ma YS, Cui SQ, Wu GG, Wu ZH, Zhu DG, Li X, Feng XY. 1999. The structural feature of metamorphic core complex in the Yiwulushan mountains, the western Liaoning province. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(4): 385 - 391 (in Chinese with English abstract)
- Ma YS, Cui SQ, Wu GG, Wu ZH, Zhu DG, Li X, Feng XY. 2000. Uplift history of the Yiwulushan mountain in the west Liaoning province. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(3): 245 - 253 (in Chinese with English abstract)
- Maruyama S, Suzuki Y, Kimura G, Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *The Island Arc*, 6(1): 121 - 142
- Meng QR, Zhang GW. 2000. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China. *Tectonophysics*, 323(3-4): 183 - 196
- Miao LC, Luo ZK, Guan K, Huang JZ. 1997. Zircon Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP) study of granitoid intrusions in Zhaoye gold belt of Shandong province and its implication. *Science in China (Ser. D)*, 40(4): 361 - 369 (in Chinese)
- Miao LC, Luo ZK, Guan K, Huang JZ. 1998. The implication of the SHRIMP U-Pb age in zircon to the petrogenesis of the Linglong granite, east Shandong province. *Acta Petrologica Sinica*, 14(2): 198 - 206 (in Chinese with English abstract)
- Niu SY. 1994. The Fuping and Zanghuang uplifts in the Taihangshan mountain are Mesozoic metamorphic core complexes. *Geological Science and Technology Information*, 13(2): 10 - 12 (in Chinese with English abstract)
- Nozaka T, Liu Y. 2002. Petrology of the Hegenshan ophiolite and its implication for the tectonic evolution of northern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 202: 89 - 104
- Pan GQ, Kong QY, Wu JQ, Liu JR, Zhang QL, Zeng JH, Liu DZ. 2000. Geochemical feature of Neoproterozoic diabase sill in Xuzhou-Suzhou area. *Geological Journal of China Universities*, 6(1): 53 - 63 (in Chinese)
- Qiao XF. 2002. Intraplate seismic belt and basin framework of Sino-Korean plate in Proterozoic. *Earth Science Frontiers*, 9(3): 141 - 149 (in Chinese with English abstract)
- Ratschbacher L, Hacker BR, Webb LE, McWilliam M, Ireland T, Dong S, Calvert A, Chateigner D, Wenk HR. 2000. Exhumation of the

- ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tan-Lu fault. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B6): 13303 - 13338
- SBGMR (Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources). 1991. *Regional Geology of Shandong Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 526 (in Chinese with English abstract)
- Sengor AMC, Natal' in BA. 1996. Paleotectonics of Asia: fragments of a synthesis. In: Yin An, Harrison M (eds.). *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge University Press, 487 ~ 614
- Shao JA, Zhang LQ, Jia W, Wang PY. 2001. Harkin metamorphic core complex in Inner Mongolia and its upwelling mechanism. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (2): 283 - 290 (in Chinese with English abstract)
- Shu LS, Sun Y, Wang DZ. 1998. Mesozoic extensional tectonics in the Wugongshan area, South China. *Science in China (Ser. D)*, 41 (6): 601 - 608 (in Chinese)
- Shu LS, Wang DZ, Shen WZ. 2000. Nd-Sr isotopic compositions of granitic rocks of Mesozoic metamorphic core complex in the Wugongshan area, Jiangxi Province. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 36(3): 306 - 311 (in Chinese)
- Song B, Nutman AP, Liu DY, Wu JS. 1996. 3800 to 2500 Ma crustal evolution in Anshan Area of Liaoning Province, northeastern China. *Precambrian Research*, 78: 79 - 94
- Song HL. 1996. Characteristics of Fangshan metamorphic core complex, Beijing and a discussion on its origin. *Geosciences*, 10(2): 149 - 158 (in Chinese with English abstract)
- Sui ZM. 1995. The genesis of Mesozoic granites in Jilin province and their tectonic setting. *Jilin Geology*, 14 (1): 15 - 22 (in Chinese with English abstract)
- Sun LW, An JY. 1994. Nappe structure in the coal basin of Wafangdian and prospecting of coal. *Coal Technology of Northeast China*, (4): 52 - 57 (in Chinese with English abstract)
- Wang LG, Qiu YM, McNaughton NJ, Groves DI, Luo ZK, Huang JZ, Miao LC, Liu YK. 1998. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong peninsula, China, from SHRIMP U Pb zircon studies of granitoids. *Ore Geology Reviews*, 13: 275 - 291
- Wang YJ, Fan WM, Guo F. 2002. K-Ar dating of late Mesozoic volcanism and geochemistry of volcanic gravels in the North Huaiyang Belt, Dabie orogen: Constraints on the stratigraphic framework and exhumation of the northern Dabie orthogneiss complex. *Chinese Science Bulletin*, 47 (20): 1688 - 1695
- Wang ZX, Tang ZM, Yang ZZ, Yang XB. 2000a. Ductile tectonic deformation of Mesozoic time in the Dalian area. *Seismology and Geology*, 22(4): 379 - 386 (in Chinese with English abstract)
- Wang ZX, Tang ZM, Yang ZZ, Yang XB. 2000b. Redetermination of the Meso-Cenozoic structural framework of Dalian area. *Regional Geology of China*, 19 (2): 120 - 126 (in Chinese with English abstract)
- Wei JH, Liu CQ, Tang HF. 2002. Rb-Sr isotopic chronology of the Au-bearing quartz veins in gold deposits in the eastern part of North China Platform. *Journal of Geochemistry*, 21(4): 374 - 382
- Wu FY, Sun DY, Zhang GL, Ren XW. 1999. Deep geodynamics of Yanshan Movement. *Geological Journal of China Universities*, 6 (3): 379 - 388 (in Chinese with English abstract)
- Xu JW, Zhou G, Tong WX, Cui KR, Liu Q. 1987. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean. *Tectonophysics*, 134: 273 - 310
- Xu XS, Zhou XM, Wang DZ. 1999. Crust-mantle interaction and the genesis of granite: A case study of coastal area of southeastern China. *Geological Journal of China Universities*, 5(3): 241 - 250 (in Chinese with English abstract)
- Yan SX. 1994. The history of Meso-Neozoic crustal extension in western Shandong as viewed from a sedimentary Paleotectonic analysis of the basin. *Regional Geology of China*, (1): 46 - 51 (in Chinese with English abstract)
- Yang JZ, Shen YC, Liu TB. 2000. Gold mineralization association with Queshan metamorphic core complex. *Geology and Geochemistry*, 28 (1): 15 - 19 (in Chinese with English abstract)
- Yang TN, Peng Y, Wang ZX, Yang ZZ, Wang GZ. 2002. Nearly S-N compressional deformation of sedimentary cover in the Lushun-Dalian area: intraplate deformation of overlying plate on continental deep-subduction of the Sulu area. *Geological Bulletin of China*, 21(6): 308 - 314 (in Chinese with English abstract)
- Yang WC. 2002. Geophysical profiling across the Sulu ultra-high-pressure metamorphic belt, eastern China. *Tectonophysics*, (354): 277 - 288
- Yang ZZ, Meng QC, Tong J, Han XP. 1996. The Liaonan metamorphic core complex. *Liaoning Geology*, (4): 241 - 250 (in Chinese with English abstract)
- Yin A, Nie SR. 1993. An indentation model for the north and south China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, Eastern Asia. *Tectonics*, 194: 131 - 151
- Yin A, Nie SR. 1996. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions. In: Yin A and Harrison TM (eds.). *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge Univ. Press, New York, 442 - 285
- Yin GS, Xie GG. 1996. Extensional structure and the Xingzi metamorphic core complex in the Lushan area, Jiangxi. *Regional Geology of China*, (1): 17 - 26 (in Chinese with English abstract)
- Yu HF, Dong WD, He ZQ, Hao YL. 2002. Tectonic feature and continental dynamic background of the Jiaoheshan ductile shear zone in the Zhuanghe area, southern Liaoning. *Geological Bulletin of China*, 21(7): 392 - 396 (in Chinese with English abstract)
- Zhai MG, Zhu RX, Liu JM, Meng QR, Hou QL, Hu SB, Li Z, Zhang HF, Liu W. 2003. Key duration of Mesozoic transition of tectonic regime in the east of North China. *Science in China (Ser. D)*, 33 (10): 913 - 920
- Zhang GW, Meng QR, Yu ZP, Sun Y, Zhou DW, Guo AL. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen. *Science in China (Ser. D)*, 30(3): 225 - 234

- Zhang HF, Sun M. 2002. Geochemistry of Mesozoic basalts and mafic dikes, southeastern North China craton, and tectonic implications. *International Geology Review*, 44(4): 370 - 382
- Zhang KJ. 1997. North and south China collision along the eastern and southern North China margins. *Tectonophysics*, 270: 145 - 156
- Zhang Q, Wang Y, Qian Q, Yang JH, Wang YL, Zhao TP and Guo GJ. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2):236 - 244 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Qian Q, Wang EQ, Wang Y, Zhao TP, Hao J, Guo GJ. 2001. An east China Plateau in the Mid-Late Yanshanian period: implication from adakites. *Chinese Journal of Geology*, 36(2): 248 - 255 (in Chinese with English Abstract)
- Zhang Q, Wang Y, Liu W, Wang YL. 2002. Adakite: its characteristics and implications. *Chinese Bulletin of Geology*, 21(7): 431 - 435 (in Chinese with English abstract)
- Zhang QS, Yang ZS. 1988. Early crust and mineral deposits of Liaodong peninsula, China. Beijing: Geological Publishing House, 218 - 450 (in Chinese with English Abstract)
- Zhao GC. 2001a. Palaeoproterozoic assembly of the North China Craton. *Geological Magazine*, 138: 89 - 91
- Zhao GC, Wilde SA, Cawood PA, Sun M. 2001b. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton: lithological, geochemical, structural and P-T path constrains and tectonic evolution. *Precambrian Research*, 107: 45 - 73
- Zhao Y, Yang ZY, Ma XH. 1994. Geotectonic transition from Paleo-Asian system and Paleo-Tethyan system to Paleo-Pacific active continental margin in eastern China. *Acta Geoscientia Sinica*, 29(2): 105 - 118(in Chinese with English abstract)
- Zhou XH, Zhang CH, Yang JH, Chen WJ, Sun M. 2001. Sr-Nd-Pb isotope mapping of Late Mesozoic volcanic rocks across northern margin of North China Craton and implications of geodynamic processes. *Geochimica*, 30(1): 10 - 23 (in Chinese with English abstract)
- Zhu G, Song CZ, Wang DX, Liu GS, Xu JW. 2001. Tectonic implication and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of strike-slipping of Tanlu fault belt. *Science in China (Ser. D)*, 31(3): 250 - 256 (in Chinese)
- Ziegler PA, van Wees JD, Cloetingh S. 1998. Mechanical controls on collision-related compressional intraplate deformation. *Tectonophysics*, 300(1-4):103 - 129
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宜学. 1996. 中国大陆根-柱构造: 大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1 - 97
- 杜国云. 1998. 华南地区中生代花岗岩同位素地质数据分析及岩浆-构造活动时段. *华东地质学院学报*, 21(2): 116 - 122
- 高山, 张本仁, 金振民, Kern H. 1999. 秦岭-大别造山带下地壳拆沉作用. *中国科学(D)*, 29(6): 532 - 541
- 洪作民. 1989. 辽南晚晚前寒武纪的研究过程及其意义. *辽宁地质*, (1): 87 - 94
- 贾大成, 胡瑞忠, 赵军红, 谢桂青. 2003. 湘东北中生代望湘花岗岩体岩石地球化学特征及其构造环境. *地质学报*, 77(1): 98 - 103
- 李三忠, 韩宗珠, 刘永江, 杨振升. 2001a. 胶辽地块古元古代前造山期深部过程的地质与地球化学制约. *地质科学*, 36(2): 189 - 195
- 李三忠, 韩宗珠, 刘永江, 杨振升, 马瑞. 2001b. 辽河群区域变质特征及其大陆动力学意义. *地质论评*, 47(1): 9 - 18
- 李三忠, 刘永江, 杨振升, 马瑞. 1998. 辽河群变质泥质岩中变质重结晶作用和变形作用的关系. *岩石学报*, 14(3): 352 - 366
- 李三忠, 杨振升, 刘永江, 刘俊来. 1997a. 胶辽吉地区古元古代早期花岗岩的侵入模式及其与隆-滑构造的关系. *岩石学报*, 13: 189 - 202
- 李三忠, 杨振升. 1997b. 胶辽地块古元古代花岗岩类型及成因. *西北地质*, 43(6): 21 - 27
- 李武显, 周新民, 李献华, 谢国刚, 李均辉. 2001. 庐山“星子变质核杂岩”中伟晶岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地球科学*, 26(5):491 - 495
- 李献华. 1999. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. *地球化学*, 28(1):1 - 9
- 林景任, 谭东娟, 金焯. 1996. 鲁西地区中生代火成活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄. *岩石矿物学杂志*, 15(3):213 - 222
- 林强, 葛文春, 孙德有, 吴福元, 元钟宽, 闵庚德, 陈明植, 李文远, 权致纯, 尹成孝. 1998. 中国东北地区中生代火山岩德大地构造意义. *地质科学*, 33(2): 129 - 138
- 林文蔚, 赵一鸣, 徐钰. 2000. 胶东招远-平度断裂活动性质及活动时代. *中国区域地质*, 19(1): 43 - 50
- 路孝平, 吴福元, 赵成源, 张艳斌. 2003. 通化地区印支期花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其与大别-苏鲁超高压带碰撞造山作用之间的关系. *科学通报*, 48(8): 843 - 849
- 陆松年. 1998. 鲁东前寒武纪结晶基底的年代学及 Sm-Nd 同位素地球化学. *地学前缘*, 5(4):275 - 283
- 吕贻峰. 1997. 辽南地区(庄河-丹东)中生代花岗岩类成因特征及其与金矿关系. *辽宁地质*, (4):292 - 302
- 罗镇宽, 关康, 苗来成, 黄佳展. 1999. 招远-莱州地区花岗岩类继承锆石年龄及其意义. *岩石学报*, 15(3):112 - 123
- 罗镇宽, 苗来成, 关康, 袁有守, Qiu Y M, McNoughlon N J, Groves D I. 2001. 辽宁排山楼金矿区岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其意义. *地球化学*, 30(5): 483 - 490
- 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 吴珍汉, 朱大岗, 李晓, 冯向阳. 1999. 医巫闾山变质核杂岩构造特征. *地球学报*, 20(4): 385 - 391
- 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 吴珍汉, 朱大岗, 李晓, 冯向阳. 2000. 辽西医巫闾山的隆升历史. *地球学报*, 21(3): 245 - 253

附中文参考文献

- 陈荣度, 李显东, 杨雅君, 战丽华, 单学东, 张福生. 1999. 辽东半岛南部印支造山旋回早期的顺层滑脱构造. *辽宁地质*, 16(3), 161 - 169
- 陈树良, 郇彦清, 郇志波. 2001. 辽东地区古元古代侵入岩特征及构造岩浆大路动力学演化. *辽宁地质*, 18: 43 - 50
- 陈跃军, 彭玉麟, 路孝平, 刘跃文. 2002. 华北板块北缘活动带元古宙构造岩片. *吉林大学学报(地球科学版)*, 32(2): 134 - 139
- 程浴淇. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 1 - 174

- 苗来成, 罗镇宽, 关康, 黄佳展. 1997. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石 SHRIMP 研究及其意义. 中国科学, 40(4): 361 - 369
- 苗来成, 罗镇宽, 关康, 黄佳展. 1998. 玲珑花岗岩中锆石的离子质谱 U-Pb 年龄及其岩石学意义. 岩石学报, 14(2): 198 - 206
- 牛树银. 1994. 太行山阜平-赞皇隆起是中新代变质核杂岩. 地质科技情报, 13(2): 10 - 12
- 潘国强, 孔庆友, 吴俊奇, 刘家润, 张庆龙, 曾家湖, 刘道中. 2000. 徐宿地区新元古代辉绿岩床的地球化学特征. 高校地质学报, 6(1): 53 - 63
- 乔秀夫. 2002. 中朝板块元古宙板内地震带与盆地格局. 地学前缘, 9(3): 141 - 149
- 山东地矿局. 1991. 山东省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1 - 526
- 邵济安, 张耀桥, 贾文, 王佩瑛. 2001. 内蒙古喀喇沁变质核杂岩及其隆升机制探讨. 岩石学报, 17(2): 283 - 290
- 舒良树, 孙岩, 王德滋. 1998. 华南武功山中生代伸展构造. 中国科学(D), 41(6): 601 - 608
- 舒良树, 王德滋, 沈渭洲. 2000. 江西武功山中生代变质核杂岩的花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究. 南京大学学报, 36(3): 306 - 311
- 宋鸿林. 1996. 北京房山变质核杂岩的基本特征及其成因探讨. 现代地质, 10(2): 149 - 158
- 隋振民. 1995. 吉林省中生代花岗岩成因系列及其构造背景. 吉林地质, 14(1): 15 - 22
- 孙礼文, 安俊以. 1994. 瓦房店含煤盆地的推覆构造与找煤. 东北煤炭技术, (4): 52 - 57
- 王宗秀, 唐哲民, 杨中柱, 杨晓波. 2000a. 大连地区的中生代韧性构造变形. 地震地质, 22(4): 379 - 386
- 王宗秀, 唐哲民, 杨中柱, 杨晓波. 2000b. 大连地区中-新生代构造格架厘定. 中国区域地质, 19(2): 120 - 126
- 吴福元, 孙德有, 张广良, 任向文. 1999. 论燕山运动的深部地球动力学本质. 高校地质学报, 6(3): 379 - 388
- 徐夕生, 周新民, 王德滋. 1999. 壳幔作用与花岗岩成因 - 以中国东南沿海为例. 高校地质学报, 5(3): 241 - 250
- 燕守勋. 1994. 从盆地沉积和古构造分析鲁西中新代地壳伸展史. 中国区域地质, (1): 46 - 51
- 杨金中, 沈远超, 刘铁兵. 2000. 胶东东部鹤山变质核杂岩与金矿成矿. 地质地球化学, 28(1): 15 - 19
- 杨天南, 彭阳, 王宗秀, 李典致, 杨中柱, 王国祯. 2002. 旅顺-大连地区沉积盖层的近南北向挤压变形-苏鲁大陆深俯冲的上盘板内变形效应. 地质通报, 21(6): 308 - 314
- 杨中柱, 孟庆城, 佟江, 韩小平. 1996. 辽南变质核杂岩构造. 辽宁地质, (4): 241 - 250
- 尹国胜, 谢国刚. 1996. 江西庐山地区伸展构造与星子变质核杂岩. 中国区域地质, (1): 17 - 26
- 于海峰, 董万德, 何振清, 郝永利. 2002. 辽南庄河地区夹山河韧性剪切带构造特征及其大地动力学背景. 地质通报, 21(7): 392 - 396
- 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 孟庆任, 侯泉林, 胡圣标, 李忠, 张宏福, 刘伟. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. 中国科学(D 辑), 33(10): 913 - 920
- 张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义. 岩石学报, 17(2): 236 - 244
- 张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光辉. 2001. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示. 地质科学, 36(2): 248 - 255
- 张旗, 王焰, 刘伟, 王元龙. 2002. 埃达克岩的特征及其意义. 地质通报, 21(7): 431 - 435
- 张秋生, 杨振升. 1988. 辽东半岛早期地壳演化与矿床. 北京: 地质出版社, 218 - 450
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折. 地质科学, 29(2): 105 - 118
- 周新华, 张国辉, 杨进辉, 陈文寄, 孙敏. 2001. 华北克拉通北缘晚中生代火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素填图及其构造意义. 地球化学, 30(1): 10 - 23
- 朱光, 宋传中, 王道轩, 刘国生, 徐嘉伟. 2001. 郯庐断裂走滑时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其构造意义. 中国科学(D), 31(3): 250 - 256