

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

燕山带中生代主要构造事件与 板块构造背景问题

郑亚东¹⁾ G. A. Davis²⁾ 王琮²⁾ B. J. Darby²⁾ 张长厚³⁾

1) 北京大学地质学系, 100871; 2) 南加州大学地球科学系, CA 90089, USA

3) 中国地质大学, 北京, 100083

内容提要 对冀北、辽西火成岩体和火山岩的定年与野外构造的研究揭示, 燕山地区主要缩短变形期为: ① 前中侏罗期(180 Ma); ② 晚侏罗期(161~148 Ma); ③ 早白垩期(143~127 Ma→117 Ma)。前中侏罗期的SN向缩短可能与蒙古弧—华北板块沿索伦缝合带拼合有关。晚侏罗世—早白垩世的缩短变形可能是西伯利亚与蒙古—华北拼合板块沿其北1000~1800 km外, 蒙古—鄂霍茨克缝合带碰撞的板内响应。我国东部NNE向构造与岩浆的展布以及京北云蒙山区早白垩世向南的基底推覆和岩体侵入间密切的时空关联表明, 它们遭受了与太平洋板块向西俯冲相关的热体制的影响。

关键词 晚侏罗世—早白垩世板内缩短 蒙古—鄂霍茨克缝合带 太平洋俯冲热体制

燕山带和北京西山被视为我国“地质学家的摇篮”, 自翁文灏先生1926年提出“燕山运动”, 1927年正式发表文章以来, 迄今历时70余年, 燕山运动在我国东部广大地区的构造演化、岩浆活动和成矿作用具有头等重要的地位, 早已成为国人共识(丁文江, 1929; 翁文灏, 1927, 1929; 谢家荣, 1936; 赵金科, 1937; 黄汲清, 1945, 1960; 赵宗溥, 1959, 1963; 马宗晋, 1964; 李四光, 1973; 刘训, 1982; 鲍亦冈等, 1983; 王鸿楨等, 1983; 崔盛芹等, 1983, 1985; 马文璞等, 1986; 赵越, 1990; 牟保磊等, 1992; 杨农等, 1996; 邓晋福等, 1996; 王瑜, 1996; Zhang, 1996; Zhang et al., 1996; Cui et al., 1997; Chen 1998)。燕山带由于处于板块内部及板内变形复杂, 越来越受到国内外地质界的注意, 成为构造界的一个新热点(Davis et al., 1996a, 1996b, 1998a, 1998b; 任纪舜等, 1997; 邵济安等, 1997; 阎国翰等, 1998; 和政军等, 1998; 张宏仁, 1998; 牟保磊等, 1999; 邵济安等, 1999; 许保良等, 1999; 朱大岗等, 1999; 白志民等, 1999; 董树文等, 2000; 邵济安等, 2000; 邓晋福等, 2000; 吴珍汉等, 2000)。

燕山带是侏罗—白垩纪EW向阴山—燕山造山带的东段。阴山—燕山带从渤海湾北向西延伸至包头西, 长达1100 km以上。阴山—燕山带的中段和西段构造方向以EW向为主, 辽西区的燕山东段构造以NNE—NE向为特征。燕山带南缘, 西部为稳定的中生代鄂尔多斯盆地, 东部隐蔽于晚中生代—新生代华北盆地之下(图1)。

阴山—燕山带位于太古宇为基底的华北克拉通的北缘, 但侏罗—白垩纪期间又地处华北板块的内部(图1)。该板块主要由两单位拼合组成: 太古宇克拉通和蒙古增生褶皱带。蒙古带为一广阔的多期(O—P₁)大洋弧, 由含蓝片岩的古生代混杂岩, 古生代蛇绿岩和可能的微小

注: 本文为中国国家自然科学基金(编号49872072)和美国科学基金(编号EAR-9627909和EAR-8904985)资助项目的成果。

本文1999年7月收到, 2000年3月改回, 任希飞编辑。

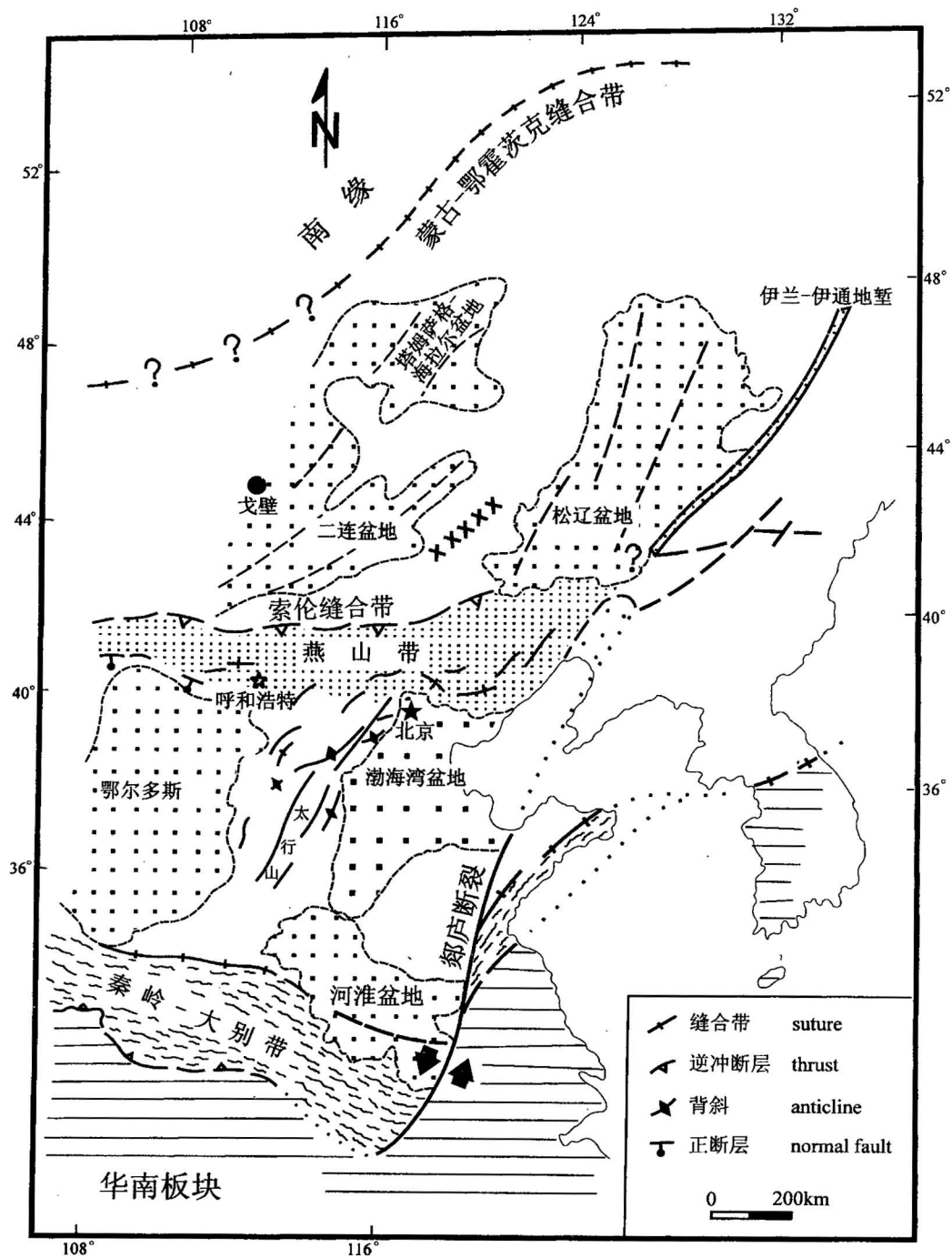


图 1 阴山—燕山带的构造背景

Fig. 1 Tectonic setting of Yinshan—Yanshan belt

点饰区为中生代盆地;盆地中的粗断线为侏罗—白垩纪伸展断层;中蒙边界附近的黑实圈代表 UNEG 亚盆地;索伦缝合带北的叉号代表侏罗—白垩纪岩体的平均走向

Dotted areas are Mesozoic basins. Heavy dashed lines in basins are trend of Jura—Cretaceous extensional fault.

The black circle near the Sino—Mongolia border is the UNEG sub-basin. The x's row north of the

Solon suture denotes the average trend of Jura—Cretaceous plutons

陆组合而成(Zhang et al., 1984, Zonenshain et al., 1990, Sengor et al., 1996, Lamb et al., 1997)。二叠纪—早三叠世(?)蒙古带与华北太古宇克拉通沿索伦—林西缝合带拼合,形成了华北板块(Wang et al., 1986; Wang et al., 1995, Yin et al., 1996)。缝合带南,广泛分布的年龄为285~217 Ma的大量岩体支持蒙古带向华北太古界克拉通的俯冲(Cui et al., 1997)。因此,侏罗纪—白垩纪的阴山—燕山带,就中生代华北板块地理位置而言,为一板内造山带,但这并不否定其东段的燕山带受到太平洋边缘汇聚作用(俯冲和岩浆活动)的影响。

直到最近,研究燕山带的兴趣远不及西藏,天山和华北和华南板块间的早中生代昆仑—秦岭—大别缝合带。然而,燕山带为东亚拼合构造的一个关键。若正确认识晚古生代和中生代亚洲构造格局,就要求对阴山—燕山带构造历史进行深入细致的研究。本文主要根据近期关键构造部位的野外观察和同位素年代学研究,讨论燕山带中生代主要构造事件及其大地构造背景。

1 燕山带的地质概况

燕山带位于华北克拉通北缘,太古宙结晶基底年龄约为3.9~2.5 Ga。元古宙(年代约为1850~800 Ma)浅海沉积广泛分布,总厚达万余米,缺失震旦系。显生宙寒武系至中奥陶统以浅海碳酸盐岩为主,中石炭统至下二叠统从海陆交互相转化为陆相含煤岩系,上二叠统和三叠系为红层和砾岩,侏罗系—白垩系为陆相火山岩及碎屑岩。侏罗系含煤碎屑岩及陆相火山—沉积岩系不整合于较老岩层之上。晚三叠世火山活动地理分布有限。早—中侏罗世的基性—中性火山岩广泛分布于包括燕山地区的华北板块北部(Xu, 1990)。流纹—英安—安山岩为阴山—燕山带北部许多晚侏罗世的特征组合。侏罗系和部分白垩系火山岩中的夹层包括煤层、砂、砾岩、凝灰岩及其他火山碎屑岩。由于陆相地层相变大、化石少,缺乏足够的岩体和火山岩同位素年龄测定,这套中生代地层年代控制很差,时代归属不甚可靠。例如,河北省地质矿产局(1989)和Dong(1996)将富火山岩的髻髻山组归属于中侏罗世,而北京地质矿产局(1991)、Chen等(1996)和Cui等(1997)将其划归晚侏罗世早期。然而,我们对河北兴隆东部在河北省地质志所附的1:50万地质图上标为中侏罗世九龙山组和髻髻山组火山岩下部的安山岩定年,给出的角闪石Ar/Ar坪年龄值为 147.6 ± 2.6 Ma(晚侏罗世)。显然,中生代地层单位需要详细填图和准确定年以确定燕山带构造事件的年代。

燕山带变形的现行主要观点(河北省地质矿产局, 1989; Chen, 1998; Zhang, 1996; Zhang et al., 1996)如下: ① 基底卷入的缩短断层表明象拉拉迈落基山,为厚皮构造样式; ② 大多数逆冲断层向下陡倾进入基底,因而沿断层水平滑动组分有限; ③ 该造山带的演化中以垂向断块作用为主导; ④ 中生代的横向缩短属中等(20%~30%) (王瑜, 1996); ⑤ 这一陆内或板内带的形成独立于东亚的板块相互作用(Cui et al., 1997)。然而,近期的研究表明,阴山带的地壳变形比原设想的要强烈和复杂得多,对上述认识提出了质疑。

2 冀东、辽西区燕山带主要构造事件及其年代学依据

我们主要用U-Pb和Ar-Ar法分别对岩体和火山岩定年,清理燕山变形的历史。迄今,已对燕山(包括北京西山)的19个岩体进行了21个样品的U-Pb定年。完成12个火山岩的Ar-Ar定年(图2和表1、2)。根据野外构造研究和定年资料,将燕山主要变形历史归纳如下:

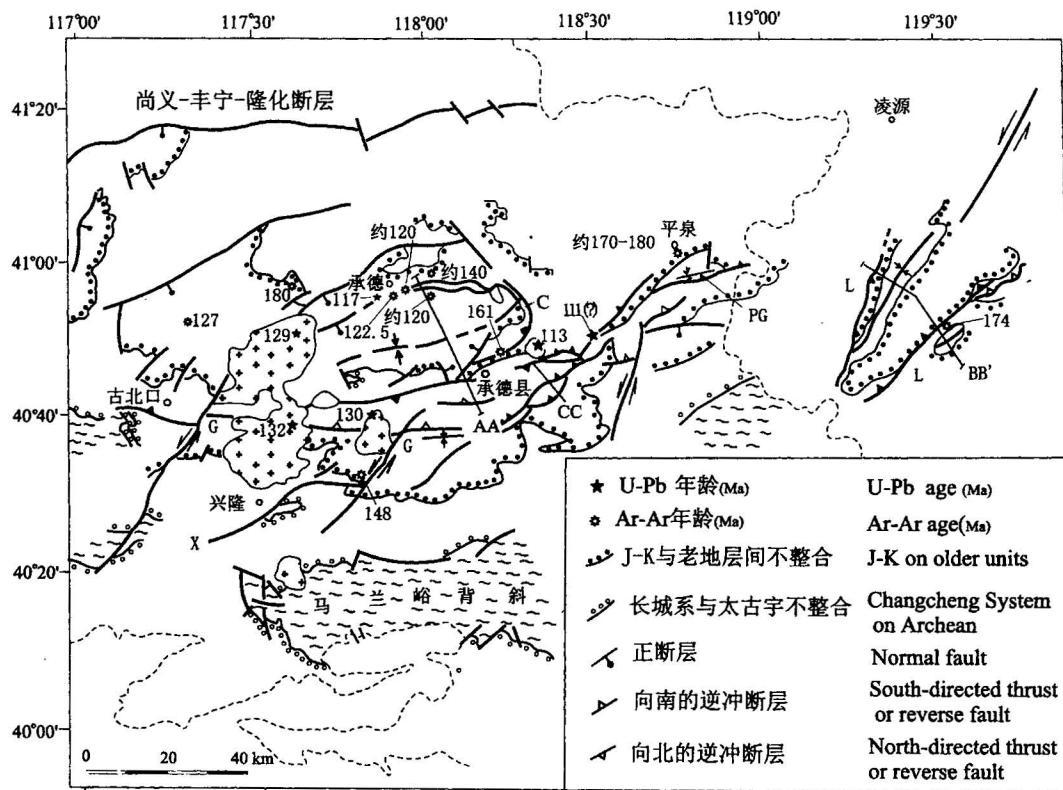


图2 燕山东段简化构造图

Fig. 2 Generalized tectonic map of the eastern segment of Yanshan belt

C—承德逆冲断层；CC—承德县逆冲断层；G—古北口断层；PG—平泉—古北口逆冲断层；L—辽西未命名逆冲断层；X—兴隆逆冲断层；AA'和BB'分别示图3和图4的剖面位置；测年资料详见表1

C—Chengde thrust; CC—Chengde County thrust; G—Gubeikou fault; PG—Pingquan—Gubeikou thrust; L—Liaoxi unnamed thrust; X—Xinglong thrust. AA' and BB' show the localities of Figures 3 and 4, respectively.

See table 1 for the radiometric age data

2.1 前中侏罗纪(印支期?) 向南的逆冲作用(180 Ma 前)

这期变形可能是燕山带最强烈的，然而迄今认识最差的中生代变形。通过承德县地区的野外研究，我们确立一大型前中侏罗世向南的逆冲断层，称之为“未名逆冲断层”(Davis et al., 1998a; 图3)。此前，赵越(1990)称之为平泉—古北口断层，并指出这一“印支期”向南逆冲作用的重要性。燕山带区域地质的南北显著差异表明该逆冲断层的存在。其南，逆冲断层下盘广泛保存元古宇，古生界和早中生界；而其北，逆冲断层上盘，元古宇和古生界全部缺失，早中侏罗统(180.2 ± 1.8 Ma, 黑云母 Ar-Ar 法, Ren et al., 1996) 和更新地层直接盖在太古宇基底上。表明早中生代时将抬升的逆冲席

表1 燕山带岩体的 U-Pb 年龄
Table 1 U-Pb age of plutons in Yanshan belt

采样号	岩体	年龄(Ma)
PRC 11	雾灵山	128.8 ± 1.5
PRC 12	雾灵山	131.7 ± 1.5
PRC 19	大贵口	117 ± 3
PRC 20	甲山	113 ± 2
PRC 21	郭杖子	111(110~115)

注：本文作者采样，美国亚利桑纳大学 George Gehrels 测定。

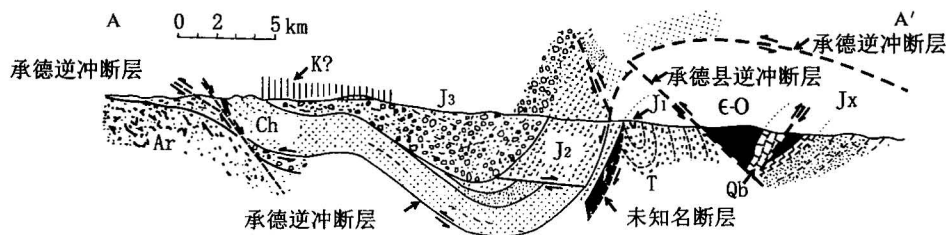


图 3 横切向形状褶皱的承德逆冲断层地质剖面

Fig. 3 Geologic cross-section across the synformally folded Chengde thrust

K(?)—白垩系和(或)上侏罗统; J₃—上侏罗统; J₂—中—上侏罗统火山岩及沉积岩; J₁—下侏罗统砾岩; T—三叠系碎屑岩; ε—O—寒武—奥陶系碳酸盐岩; Qb—青白口系; Jx—蓟县系; Ch—长城系; Ar—太古宇; 剖面位置见图 2
K(?)—Cretaceous and/or Upper Jurassic; J₃—Upper Jurassic; J₂—Middle Jurassic and Upper Jurassic volcanic and sedimentary rocks; J₁—Lower Jurassic conglomerate; T—Triassic clastic rocks; ε—O—Cambrian—Ordovician carbonate rocks; Qb—Prot. Qingbaikou System; Jx—Prot. Jixian System; Ch—Prot. Changcheng System; Ar—Archean basement rocks.
For location of the section see Fig. 2

体中太古宇基底以上的表壳岩层已全部侵蚀殆尽。赵越(1990)将该断层定位于以北的承德市南,但作为平泉—古北口断层下盘的元古界地层实属外来系(图 3)。

厚度超过 3 km 的前中侏罗统前陆砾岩堆积(河北省地质矿产局 50 万图作为三叠系和下侏罗统,1989),强烈倒转位于向南逆冲的平泉—古北口断层之下,赵越(1990)和我们均将其视为同构造沉积。该砾岩由元古宇石英岩和太古宙基底岩石浑圆状砾石组成,几乎可以肯定砾石来自北部的平泉—古北口逆冲席,因为南部下盘的太古宙基底仍有元古宙沉积盖层。

辽西建昌北西,可能与平泉—古北口断层相当的向南东的逆冲断层被中侏罗统安山岩和玄武岩(兰旗组,174±8 Ma; Ar-Ar 等时年龄;表 2)不整合覆盖(图 2)。如侵蚀窗所示,新元古界、寒武系和奥陶系碳酸盐岩的倒转剖面向南逆冲在三叠系砾岩上(图 4)。如同承德县区,中侏罗统火山岩被一较新的、可能与承德逆冲断层相当的向 NW 逆冲的断层覆盖。

2.2 晚侏罗世(161~148 Ma)承德和辽西

向北的逆冲断层

我们在辽西、河北和内蒙大青山区发现向 NNW 逆冲大型低角度断层,位移均超过 25~30 km。所有这些逆冲断层均已褶皱。前两处断层现保存为广阔的向形飞来峰,与其南部根带隔离。

(1) 河北承德逆冲断层:承德逆冲断层(图 2 的 C)将元古宇和侏罗纪岩层推覆在中侏罗世岩层(约 180~161 Ma; Ar-Ar 法)上,其西段被年龄为 132 Ma 的岩体侵入。根据断层北缘大量的运动学标志,该外来系的位移方向为 NNW。断层迹线受控于元古宇及更新岩层与中元古界长城系的最低层位间的

表 2 燕山带中生代火山岩 Ar-Ar 年龄

Table 2 Ar-Ar age of Mesozoic volcanic rocks in Yanshan belt

采样号	位置	年龄(Ma)	岩石(矿物)类型
H-104	戴家沟	127.2±1.5	珍珠玻璃状凝灰岩(透长石)
H-106	小东沟	180.2±1.8	硅质凝灰岩(黑云母)
H-220	黄土梁	147.6±1.6	安山岩(角闪石)
96-169	张家店	160.7±0.8	岩屑凝灰岩(黑云母)
189	承德	~120	凝灰岩(全岩)
187	承德	~140	安山岩(全岩)
191	承德	122.5±5.5	熔岩(钾长石)
192	承德	~120	安山岩(全岩)
216	平泉	~178~180	硅质凝灰岩(黑云母)
280	建昌	174±8	安山岩(全岩)

注:本文作者采样,美国麻省理工学院 Kip Hodges 和 Michael Krol 测定。

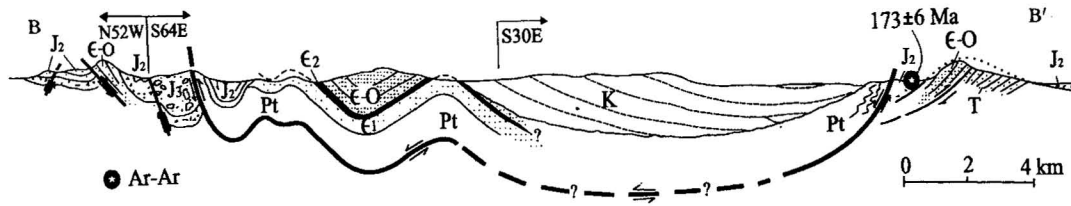


图4 横过辽西向形状褶皱的未名逆冲断层的地质剖面图(剖面位置见图2)

Fig. 4 Geologic cross-section across unnamed synformally folded thrust in western Liaoning province (location of the section see Fig. 2)

K—白垩系; J₃—上侏罗统碳酸盐岩砾岩; J₂—中上侏罗统火山岩及沉积岩; T—三叠系红层; €—O—寒武奥陶系;
 €₂—中寒武统; €₁—下寒武统; Pt—元古宇
 K—Cretaceous; J₃— Upper Jurassic carbonate and conglomerate; J₂—Mid-Jurassic and Upper Jurassic
 volcanic and sedimentary rocks; T—Triassic red beds; €—O—Cambrian and Ordovician;
 €₂—Mid-Cambrian; €₁—Lower Cambrian; Pt—Proterozoic

初始拆离面(图3)。最有利和广布的拆离层位是常州沟石英砂岩上的串岭沟泥岩。地层控制的几何特征总体与前陆褶皱—逆冲带的雪橇滑板状薄皮逆冲断层相似。

承德逆冲断层根带位于其下盘岩层的南侧(图3AA')。横切飞来峰和下盘的剖面表明向北的逆冲位移至少为40~45 km(该褶皱逆冲断层的线长)。这一大型逆冲断层最终扎根于太古宇基底,但不能作为阴山构造样式为“厚皮构造”的依据。Davis等(1998a)考虑著名的兴隆逆冲断层(图2的X)很可能为承德逆冲断层的根部构造。兴隆逆冲断层被侏罗系不整合覆盖。不整合面以上几百米处的角闪安山岩具有 147 ± 1.6 Ma(侏罗纪末)Ar-Ar年龄(图3; Davis等, 1998a)。如果承德—兴隆断层的对比正确,该断层的时代应为侏罗纪末(161~148 Ma),承德逆冲断层本身的年龄控制为161~132 Ma。

应当指出,承德—兴隆断层的对比尚有争议。Zhang(1996)和Chen(1998)根据兴隆逆冲断层上盘构成一大型向北倒转背斜的太古宇基底、元古宇和古生界沉积盖层,解释为类似拉拉迈落基山的厚皮构造。虽然穿过北部倒转翼盖层并孔资料表明下伏逆冲断层为产状小于15°南倾(Chen, 1998),该逆冲断层在上盘基底岩石下的南倾断层面原始和现倾角尚未确定。

承德逆冲断层就位后,经历E—ENE向的不对称向形褶皱,南翼直立或倒转。该陡倾的南翼被更新的向北逆冲的承德县断层切断(图2CC和图3)。承德县断层的时代和位移均不明,但向形被 $128 \pm 1.5 \sim 131.7 \pm 1.5$ Ma(U-Pb法)的花岗岩体侵入,很可能属晚侏罗世构造。向形的向南缓倾北翼被向北缓倾的白垩系火山岩和碎屑岩不整合覆盖。取自该剖面粗面岩的钾长石给出—很好的Ar-Ar坪年龄 122.5 ± 5.5 Ma,而剖面下部两火山岩的全岩具有复杂的Ar-Ar坪年龄约为120 Ma(表2)。

(2) 辽西逆冲断层:辽西滦平与建昌间的晚侏罗世逆冲作用以向NW逆冲的断层为代表。该断层上盘为元古宇、古生界和侏罗系,保存于NE向倾伏的向形飞来峰中(图4)。该逆冲席推覆在不整合于早期向南逆冲断层之上的中侏罗世岩层上。不整合以上100~150 m处的枕状安山玢岩(兰旗组)的斜长石给出非常可靠的Ar-Ar等时年龄 173 ± 6 Ma(Hodges, 私人通讯)。根据辽宁1:50万地质图(辽宁省地质矿产局, 1989),飞来峰东半部中的白垩系(?)地层

晚于逆冲地层。

该向形状飞来峰宽 20 km 以上,向南西变窄,向北东加宽(图 2)。这一尚未命名的辽西逆冲地层,可能是燕山带最重要的构造之一,推覆方向 NW。确定逆冲方向最重要的标志是飞来峰北西侧,逆冲断层下盘中褶皱的巨厚的碳酸盐岩碎屑沉积角砾和砾岩剖面(图 4)。这些经向形褶皱的、局部倒转的下盘岩石代表来自向北西推进中的逆冲席并为之推覆的同构造前陆凹陷堆积。

如果该逆冲断层确经向形褶皱,现已侵蚀隔离的根带势必位于东南的某处。可能隐藏在逆冲后的岩层之下,或是被较新的构造叠加,或是更南,位于渤海湾水体之下。

北京昌平北的十三陵逆冲断层可能为该期的产物。该断层逆冲在中侏罗世安山岩之上(161.1 ± 1.9 Ma, 角闪石 Ar-Ar 法),而被 127.0 ± 1.5 Ma 的一岩体侵入(锆石 U-Pb 法;转引自 Davis et al., 印刷中)。

2.3 早白垩世(前 143~127→117 Ma)逆冲推覆事件

河北省范围内的燕山带侏罗纪—白垩纪变形在现今露头层次上主要为脆性。而京北云蒙山为一重要的例外。这里,主要的缩短构造包括南东倒向的四合堂平卧背斜推覆体和发育在推覆体倒转减薄下翼中,厚约 6 km 片麻状剪切带(Davis et al., 1996a, 1996b)。Davis 等估计该倒转翼厚约 15 km, 含太古宙结晶基底及变质的元古宙(长城系及蓟县系)岩层。一向南东逆冲的韧性断层(密云水库逆冲断层)位于该片麻状剪切带中,分割上盘太古宇—元古宇与下盘侏罗纪—白垩纪岩体,其断距不明。

推覆、韧性剪切和逆冲断层与年龄新至 127 ± 2 Ma 的侏罗纪—白垩纪花岗闪长岩同期(Davis et al., 1996a, 1996b)。这一南倒的韧性变形似乎始于前 143 ± 3 Ma, 因为该期的一云蒙山岩体沿四合堂韧性剪切带的面理化顺层注入变闪长岩。该岩体的锆石 U-Pb 年龄为 159 ± 2 Ma(Davis et al., 1996a, 1996b),其变形应晚于晚侏罗世向北逆冲的承德脆性逆冲断层,后者与发生在前 148 Ma 的兴隆逆冲断层相当。承德逆冲断层被未变形的白垩纪岩体(大约 131~129 Ma)侵入。

古北口断层(图 2 的 G)切割厚层早白垩统碳酸盐质角砾和砾岩(晚于 148 Ma, 下伏安山岩的年龄),因此,古北口逆断层新于向北的兴隆—承德逆冲断层(前 148 Ma),可能是四合堂推覆和密云水库逆冲断层的浅层伴生构造。

燕山带查明的最新局部缩短构造为承德市南西的南倾逆断层,切断侵入白垩系火山岩的大贵口正长岩株(117 ± 2 Ma; 图 2)。岩石化学与之相似的白垩系火山岩年龄(粗面岩钾长石斑晶的 Ar-Ar 坪年龄为 122.5 ± 5 Ma),与岩体的 U-Pb 锆石年龄重叠。

2.4 中白垩世(118~116 Ma 后)广布的伸展变形

中白垩世燕山带发生广泛分布的区域伸展变形。多数断层构成白垩纪半地堑的边界,尚义—丰宁—隆化断层为一复活的先存断层(图 2)。最重要的伸展构造是河防口正拆离断层,该断层构成从溪翁庄(密云北)至昌平正东的云蒙山边界。河防口断层及其韧性变形下盘—水峪(怀柔大水峪)剪切带构成一科迪勒拉型变质核杂岩(Davis et al., 1996a, 1996b),沿倾向滑移至少 10 km。下盘云蒙山花岗闪长岩 118~116 Ma 的快速冷却(钾长石 Ar-Ar 年龄; Davis et al., 1996a, 1996b)可能是沿河防口断层位移期间快速出露的结果。采自河防口断层的富伊利石断层泥给出一系列 K-Ar 年龄,其中最新和最可靠者为 72 Ma (Davis et al., 1996a, 1996b)。如果具有意义,该年龄可能代表河防口断层的时代,或代表晚白垩世沿断层再活动

或更新位移的年龄。Cui 等(1997)显然将该期变形归于新生代,始于始新世,我们认为,更可能始于中白垩世。

2.5 燕山带岩浆性质的转变

我们定年的燕山带大多数花岗岩体为白垩纪(138~113 Ma 左右)。云蒙山区的侏罗纪—白垩纪(159~141 Ma)岩体显然是局部的。我们认为这是深度对燕山带的侏罗纪和白垩纪岩体的控制。由于云蒙山位于白垩纪变质核杂岩的下盘,构造上位于四合堂推覆体之下,这里的侏罗纪和侏罗纪—白垩纪岩体经历了韧性变形。明显不同的是,图 2 中其他地区的白垩纪岩体(≤ 132 Ma)切割浅层次构造,内部无韧性变形,表明其就位层次较浅。

云蒙山两闪长岩体(密云岩体和长元岩体)(159~151 Ma, U-Pb 法; Davis et al., 1996a, 1996b),为初始基性岩体,可能来自地幔。但云蒙山其余 5 个花岗闪长岩体(151~127 Ma)含有大量地壳污染成分。岩石化学这一重要变化可能表明 151 Ma 左右,伴随晚侏罗世和早白垩世缩短变形的地壳增厚与岩浆增温的地热条件导致了下地壳的深熔和幔源岩浆的污染。北京地质矿产局已识别出(1991)这一重要变化,但所依据的 K-Ar 定年为 145 Ma,他们认为该变化代表云蒙山花岗岩从下地壳的熔融到晚期上地壳深熔的化学演化。

承德—平泉区最年轻的白垩纪岩体(120~110 Ma; 图 2)一般比云蒙山花岗闪长岩富钾(正长岩—正长花岗岩),这可能与中白垩世(后 118~116 Ma)的地壳伸展有关。

3 侏罗纪—白垩纪阴山褶皱逆冲带的板块构造背景

如上所述,燕山带两期主要缩短事件发生在晚侏罗世(约 161~148 Ma)与早白垩世(约 143~127 Ma)。该时期,阴山带位于拼合的华北板块内部,距东亚 3 个中生代汇聚板块边界甚远。华北板块南北的两个陆陆碰撞是以华北板块南缘的二叠纪—三叠纪—侏罗纪(?)的昆仑—秦岭缝合带和北缘的侏罗纪—白垩纪的蒙古—鄂霍茨克缝合带为代表,第三个是古太平洋板块向华北板块东缘下方俯冲(图 1)。阴山—燕山带的形成与哪条碰撞带有关?

3.1 昆仑—秦岭—大别碰撞带(晚二叠世—中侏罗世?)

昆仑—秦岭—大别带分割华南与华北板块,由于东段(如大别山)发现超高压变质组合已成为地质界关注焦点。中外地质家普遍认为,两大陆板块的碰撞完成于晚三叠世,深 100 km 以下形成的超高压变质组合的出露始于早三叠世(约 240 Ma),主要完成于三叠纪末(Liou et al., 1996; Hacker et al., 1996; Yin et al., 1996)。

然而近来华北板块南缘河淮盆地南部(图 1)中侏罗统和上侏罗统的古地磁研究表明,该盆地和华南板块的视极移曲线至晚侏罗世中期(约 159 Ma)才一致(Gilder et al., 1997)。Yin 等(1996)推测华北板块的后碰撞缩短可能持续到侏罗纪,而 Gilder 等认为华南与华北板块直到 50 Ma 左右才“充分缝合”,远晚于其他作者的报导。缝合时间如此之晚,地质上似乎值得怀疑。Gilder 等报导该侏罗系陆相地层即无同位素定年控制,而且盆地中又缺乏与中侏罗世陆陆碰撞的强烈变形的证据。其他作者(Liou et al., 1996; Han et al., 1989)报导河淮盆地的中部和北部早侏罗世至早白垩世出现了伸展裂谷,该时期大致与阴山带的晚侏罗世和早白垩世缩短事件同时。据 Han 等(1989)报导,该盆地到晚白垩世才遭缩短。秦岭—大别带与阴山带间太行山区的中生代缩短变形走向 NNE,大致与沿该大陆的东缘俯冲带平行。太行山东,一些钻井揭示,渤海湾盆地的新生界沉积盖在侏罗系红层上。Hu 等(1989)认为该侏罗系受广布的晚侏罗世—早白垩世 NW 和 NE 向块断作用控制,而 Hsu(1989)则认为“该红层为前

陆盆地沉积,形成于华北与扬子地块碰撞后的持续挤压期间”。显然,位于秦岭—大别缝合带与燕山带间侏罗系沉积的时代和构造背景有待进一步查明。

3.2 蒙古—鄂霍茨克碰撞带(侏罗纪—白垩纪)

蒙古—鄂霍茨克缝合带(图1)地理上横亘西伯利亚南部和蒙古,一度分隔华北与西伯利亚板块的这大洋体制的闭合,近来成为地质和古地磁研究者的焦点(Zhao et al., 1990; Nie et al., 1990, 1994; Zonenshain et al., 1990; Enkin et al., 1992; Gilder et al., 1997; Halim et al., 1998)。东亚西伯利亚与华北板块间蒙古—鄂霍茨克洋一般认为在侏罗纪—早白垩世期间发生从自东向西的闭合(Ziegler et al., 1996; Yin et al., 1996; Halim et al., 1998; Zonenshain et al., 1990)。Zonenshain 等(1990)认为,燕山带北的大洋闭合于晚侏罗世(约 150 Ma),大洋东段直至早白垩世(140~120 Ma)才闭合。与此看法有些不同, Gilder 等(1997)根据古地磁得出的结论是晚侏罗世时,欧亚与华北板块相距仍达 2000 km,但至早白垩世时(约 130 Ma)两板块的古磁极重合。

该缝合带的东端,鄂霍茨克海在地质上得到很好地限定(Halim et al., 1998),但东经 118°左右以西,蒙古—西伯利亚边界去向不明。仅蒙古乌兰巴托以东报导有中生代(三叠系)海相沉积,但迄今不明是否代表大洋沉积(Graham et al., 1996)。Zonenshain 等(1990)从地质上论证蒙古—鄂霍茨克碰撞前的俯冲向北,并且, Van der Voo 等(1999)根据地震层析认出西伯利亚南部下方仍有陡俯冲板片的残余。

根据华北板块的视极移曲线(以欧亚板块为参照),华北板块与西伯利亚板块碰撞时代似乎大体与阴山带的晚侏罗世和早白垩世缩短事件时代一致。两者的碰撞可以说明阴山带侏罗纪与白垩纪的南北向缩短变形。但该缝合带与阴山带间的距离超出 1000 km,这一关联能否成立?考虑到现今的缩短变形正发生在喜马拉雅碰撞带以北 1600 km 外的板内天山区,而且普遍承认其间的联系,因而应力远场传递的可能性不能排除。

一般认为,先存的地壳不均一性可能导致远场应力的集中,这有助于解释远离活动板块边界的板内变形。可以肯定侏罗纪—白垩纪阴山—燕山带下的基底岩石中有不少 EW 向构造要素。沿华北板块北缘,从西部包头至东部渤海的太古宙基底岩石可划为北部角闪岩相带和南部麻粒岩相带(钱祥麟等, 1985)。Yu 等(1996)和 Chen(1996)描述了阴山—燕山带内东西向的、以伸展断层为边界的古元古代陆内裂谷系(长约 500 km,宽 50~100 km)。他们认为裂谷内和边界的主要断层控制中元古代长城系(1.85~1.60 Ga)的厚度、沉积相和同期的岩体和火山活动(1.74~1.62 Ga)。这些始于元古宙的断层带包括丰宁—隆化带,赤城—古北口带和密云—兴隆带。古北口带可能是燕山带中前中生代构造控制侏罗纪—白垩纪东西向构造要素的最突出实例。长条形斜长—辉长岩体和花岗岩体(1.702~1.696 Ga, U-Pb 锆石年龄; Yu et al., 1996)沿该带集中,后来成为前中生代侏罗世平泉—古北口逆冲带的西端和白垩纪古北口逆断层带。丰宁—隆化带控制元古宙在燕山期的缩短变形,该断裂带的一部分在白垩纪以正断层形式而活化。Yu 等(1996)将密云—兴隆断层视为元古宙裂谷中的主要断层,可能控制晚侏罗世承德—兴隆逆冲断层的南部根带。

沿索伦缝合带,在蒙古弧拼合前和拼合期,于华北板块北缘二叠纪—三叠纪俯冲形成承德市北面的东西向岩浆弧和造山带,它们包括褶皱、逆冲断层和韧性剪切带(赵越, 1990; Cui et al., 1997),我们将平泉—古北口逆冲断层和木兰峪背斜也归属于该构造组合中。这些老构造在侏罗纪—白垩纪的陆内变形期的活化似已无疑。然而,若认为阴山板内变形与远在北部

的西伯利亚—华北板块碰撞有关联,其主要问题是蒙古弧地体内广泛分布着侏罗—白垩纪伸展盆地。这些盆地位于阴山带以北,蒙古—鄂霍茨克缝合带以南的NE向岩浆弧内(图1)。这些NNE至NE向盆地,从东到西,分别是伊兰—伊通地堑,松辽盆地,海拉尔(中国)—塔姆萨格(蒙古)盆地和二连(中国)—戈壁(蒙古)盆地。

据Traynor等(1995)报导,中侏罗世至白垩纪期间,南蒙、东蒙和中国东北广泛发育伸展裂谷和同裂谷火山与碎屑岩层。Hsu(1989)、Traynor等(1995)描述了海拉尔—塔姆萨格和二连—戈壁盆地的类似沉积,称:“在盆地尺度上,盆地中心发育典型的早同裂谷碱性火山岩(玄武岩及凝灰岩)和粗粒河流碎屑沉积与同裂谷湖相泥岩交错和被其覆盖,近盆缘富粗粒河流沉积”。据Hsu(1989)报导,二连盆地中的上侏罗统主要为“厚约5 km基性火山岩和火山碎屑岩”。据称,横过这些盆地的地震剖面具有典型同裂谷沉积的地堑和半地堑几何特征(Traynor et al., 1995)。这些伸展盆地的最东部,NNE的伊兰—伊通地堑(图1)与大陆边缘平行,延伸近1000 km(Tian et al., 1987)。松辽盆地中,所报导的伸展断层、同期沉积和基性火山活动始于晚侏罗世,碎屑沉积在早白垩世达到顶峰(Ma et al., 1989),并延续至第三纪。

虽然普遍认为盆地形成跨越了晚侏罗世和早白垩世,但盆地充填物几乎无确切的年龄资料。然而戈壁—二连盆地东部Unegt亚盆地一半地堑的“同裂谷”火山岩(长英质火山灰和玄武岩)给出的Ar-Ar和K-Ar年龄为156~125 Ma(Graham et al., 1996; Webb et al., 1999)。这些年龄跨越其东南燕山带160~127 Ma的缩短变形,这使阴山带缩短与同期伸展域以北的板块碰撞相关的解释复杂化。流行的解释是这些NE—NNE向盆地中的伸展或走滑伸展裂谷作用发生在宽阔的安第斯型岩浆弧内,发育在一西倾的太平洋俯冲带之上(Watson et al., 1987; Hsu, 1989)。Traynor等(1995)注意到这些盆地中早期存在同裂谷火山,倾向于用太平洋板块的俯冲后撤作为裂谷作用的最佳解释。他们认为,中国东北的伸展裂谷似乎随时间向大洋板块递进并向东迁移,但注意到蒙古盆地其形成时距可能的俯冲带远达2000 km以上。无论海拉尔和二连盆地及其蒙古相当的盆地成因如何,其地理与构造上独立于阴山带同期的缩短均难以解释。

这一难题的可能答案是蒙古以正断层为界的亚盆地中的侏罗系未必表明侏罗纪的伸展断层。伸展前的侏罗纪和早白垩世岩层可能在晚白垩世断陷卷入地堑和半地堑中,而后被同构造白垩纪岩层覆盖。例如Tian等(1987)报导,晚侏罗世至晚白垩世,伊兰—伊通地堑曾是岩体和火山活动的场所,但Jin等(1995)报导,该地堑的裂开始于古新世,这时火山活动从区域性的(“造山的”)变至裂谷型的碱性橄榄拉斑玄武岩。燕山带自120 Ma以后沿NE向断层(走向与内蒙的盆地平行)广泛分布的大型地壳伸展,包括北京以北的河防口断层及其变质核杂岩(Davis et al., 1996a, 1996b)。Zheng等(1991)和Webb等(1999)描述了燕山带WNW约500 km沿中蒙边界—大型伸展变质核杂岩(亚干)。Webb等(1999)报导该杂岩的伸展发生在早白垩世(约129~126 Ma),因而与上述Unegt亚盆地的伸展与沉积同时。看来,有必要对海拉尔,二连和松辽盆地开始伸展的时代重新定年。如果更北的蒙古区的伸展与阴山带的伸展大体同为白垩纪,阴山—燕山带晚侏罗—早白垩世缩短变形的成因问题则不难解释。

3.3 太平洋板块向中国东部的俯冲(180 Ma)

太平洋向古日本和我国东北的俯冲始于中侏罗(180 Ma; Isozaki, 1997)。虽然阴山—燕山带以高角度与太平洋西缘相交意味着该带构造上独立于太平洋—欧亚板块间的相互作用,但中国东部中生代广布区域性岩浆作用的格局不容忽略。太行山和辽宁中生代NNE向构造反

映在区域地形上和空间上与太平洋边缘岩浆带一致(Xu, 1990; 图1)。我国地质学家一般将这些NE向构造要素与太平洋—欧亚板块间的相互作用相联系。赵越等(1994)将阴山—燕山带早侏罗世的变形与西伯利亚—华北板块间的碰撞相关联,但认为以后的变形属太平洋域。

与之不同,我们认为,晚侏罗世至早白垩世,东亚区的南北向的碰撞缩短和太平洋的向西或北西向的俯冲作用很可能同时。王瑜(1996)也认为燕山段的缩短受到欧亚板内变形和同期西太平洋俯冲及其伴随的岩浆活动所致的同期热体制的双重影响。例如京北的云蒙山区,早白垩世向南至南东的基底推覆和大规模的岩体侵入有密切的时空关联。很可能,推覆体的形成期间,岩浆成分在 151 ± 2 Ma左右从初始幔源的闪长岩浆变至受地壳污染的花岗闪长岩浆(Davis et al., 1996a, 1996b)。成分上的这一变化表明南北向板内缩短与太平洋俯冲有关的岩浆活动间的相互关系,一种导致太古宇为基底的“克拉通”热软化和构造增厚(通过增厚的地壳初始岩浆遭到污染)的相互作用。加之,近期呼和浩特北晚侏罗世—早白垩世大青山大型逆冲断层的发现(Zheng et al., 1998)表明,阴山带西部南北向板内缩短与其东部太平洋板块俯冲作用同时。但阴山—燕山带该期间的逆冲推覆方向从辽西的NW—SE向,经河北的NNW—SSE向变至内蒙大青山的近SN向,表明太平洋板块向西俯冲的影响逐渐向西减弱。看来,阴山—燕山带SN向缩短与太平洋向华北板块俯冲的相互作用是形成燕山带构造—岩浆格局之源。

衷心感谢赵越先生的热情鼓励。感谢亚利桑纳大学 George Gehrels、麻省理工学院 Kip Hodges 和 Michael Krol 完成本研究的 U-Pb 和 Ar-Ar 定年工作。对匿名审稿专家认真细致的审阅和提出的修改意见表示由衷的谢意。

参 考 文 献

- 白志民,葛世伟,鲍亦冈. 1999. 燕山造山带中生代火山喷发及岩浆演化. 地质论评, 45(增刊): 534~540.
- 鲍亦冈,谢德源,陈正邦等. 1983. 论北京地区燕山运动. 地质学报, 57(2): 195~204.
- 北京市地质矿产局. 1991. 北京市区域地质志. 北京:地质出版社.
- 崔盛芹,李锦蓉. 1983. 试论中国滨太平洋的印支运动. 地质学报, 57(1): 51~61.
- 崔盛芹,李锦蓉,赵越. 1985. 论中国与邻区滨太平洋带的燕山运动. 国际交流地质学术论文集(2). 北京:地质出版社, 221~234.
- 邓晋福,赵海玲,莫宣学等. 1996. 中国大陆根柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京:地质出版社.
- 邓晋福,赵国春,赵海玲等. 2000. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山—深部过程. 地质论评, 46(1): 41~48.
- 丁文江. 1929. 中国造山运动. 地质学报, 8: 151~170.
- 董树文,吴锡浩,吴珍汉等. 2000. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义. 地质论评, 46(1): 8~13.
- 河北省地质矿产局. 1989. 河北省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 和政军,李锦轶,牛宝贵等. 1998. 燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆—隆升事件及沉积响应. 地质论评, 44(4): 407~418.
- 黄汲清. 1945(1953年版). 中国主要地质构造单位. 北京:地质出版社.
- 黄汲清. 1960. 中国地质构造基本特征的初步总结. 地质学报, 40(1): 1~37.
- 李四光. 1973. 地质力学概论. 北京:地质出版社.
- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 刘训. 1982. 对中国东部燕山运动的一些认识. 地质论评, 28(5): 428~438.
- 马文璞,刘昂昂. 1986. 北京西山——一个早中生代坳拉谷的一部分. 地质科学. (1): 54~63.
- 马宗晋. 1964. 燕山区地质构造研究. 地质论评, 22(2): 163~164.
- 牟保磊,阎国翰. 1992. 燕辽三叠纪碱性偏碱性杂岩体地球化学特征及意义. 地质学报, 66(2): 108~120.
- 牟保磊,邵济安,边振辉. 1999. 矾山碱性杂岩体中发现碳酸岩. 北京大学学报, 35(2): 243~247.
- 钱祥麟,崔文元,王时麒. 1985. 内蒙冀东麻粒岩相岩带的演化. 地质研究论文集. 北京大学出版社, 20~29.
- 任纪舜,牛宝贵,和政军等. 1997. 中国东部的构造格局和演化. 地学研究, 29~30: 43~55.

- 邵济安,牟保磊,何国琦等.1997.华北北部在古亚洲域与古太平洋域构造叠加过程中的地质作用.中国科学,27(5):390~394.
- 邵济安,韩庆军,张履桥等.1999.内蒙古东部早中生代堆积杂岩捕虏体的发现.科学通报,44(5):478~485.
- 邵济安 牟保磊 张履桥.2000.华北东部中生代构造格局转换过程中的深部作用与浅部响应.地质论评,46(1):32~40.
- 王鸿楦,杨森楠,李思田.1983.中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展.地质学报,57(3):213~223.
- 王瑜.1996.中国东部内蒙古—燕山造山带晚古生代—中生代的造山作用过程.北京:地质出版社.
- 翁文灏.1927.中国东部中生代以来之地壳运动及火山活动.地质学报,6:9~36.
- 翁文灏.1929.中国东部中生代造山运动.地质学报,8:33~44.
- 吴珍汉 崔盛芹 吴淦国等.2000.燕山山脉隆升过程的热年代学分析.地质论评,46(1):49~57.
- 谢家荣.1936~1937.北京西山地质构造概说.地质学报,16:371~388.
- 许保良,阎国翰,张臣等.1999.冀晋辽地区燕山期超钾过铝质斑岩特征及岩石学意义.地质论评,45(增刊):520~527.
- 阎国翰,许保良,牟保磊等.1998.中国北方中、新生代板内拉张性岩浆作用及其地球动力学意义.北京大学国际地质科学学术研讨论文集.北京:地震出版社.650~659.
- 杨农,陈正乐,雷伟志等.1996.冀北燕山地区印支期构造特征研究.北京:地质出版社.
- 张宏仁.1998.燕山事件.地质学报,72(2):103~111.
- 赵金科.1937.北平西山九龙山系以前之不整合.地质学报,17:309~322.
- 赵越.1990.燕山地区中生代造山运动及构造演化.地质论评,36(1):1~13.
- 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():105~119.
- 赵宗溥.1959.论燕山运动.地质论评,19(8):339~346.
- 赵宗溥.1963.中国东部的燕山运动.地质科学,(3):128~138.
- 朱大岗,吴珍汉,崔盛芹等.1999.燕山地区中生代活动特征及其与陆内造山作用关系.地质论评,45(2):163~171.
- Chen A. 1998. Geometric and kinematic evolution of basement-cored structures; intraplate orogenesis within the Yanshan Orogen, northern China. TectonopChen Z, Shang J, Li Y, et al. 1996. An outline of regional geology of the Beijing area. 30th Int. Geol. Congress Field Trip Guide. Beijing: Geological Publishing House, 12.
- Cui S, Wu Z. 1997. On the Mesozoic and Cenozoic intracontinental orogenesis of the Yanshan area, China. Proc. 30th Int'l Geol. Congr. 14: 277~292.
- Davis G A. Qian X. Zheng Y, et al. 1996a. Mesozoic deformation and plutonism in the Yunmeng Shan; A Chinese metamorphic core complex north of Beijing. In: Yin A, Harrison T M, ed. The tectonic evolution of Asia. Cambridge Univ. Press. 253~280.
- Davis G A, Qian X, Zheng Y, et al. 1996b. The Huairou (Shuiyu) ductile shear zone, Yunmengshan Mts., Beijing. 30th Int. Geol. Congress Field Trip Guide. Beijing: Geological Publishing House, 25.
- Davis G A, Wang C, Zheng Y, et al. 1998a. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intraplate contractional styles. Geology, 26: 43~46.
- Davis G A, Zheng Y, Wang C, et al. 1998b. Geometry and geochronology of Yanshan Belt tectonics. In: Collected Works of International Symposium on Geological Science, 100th Anniversary Celebration of Peking University., 275~292.
- Dong G. 1996. On Mesozoic Yanshan movement in Yanshan Range, North China. 30th Int. Geol. Congress. Abstracts. Beijing. 2: 303.
- Enkin R, Yang Z, Chen Y, et al. 1992. Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of the major blocks of China from the Permian to the Present. J. Geophys. Res., 97: 13953~13989.
- Gilder S, Courtillot V. 1997. A high resolution middle to late Mesozoic apparent polar wander path from the North China Block; implications for the North-South China collision. J. Geophys. Res., 99: 17713~17727.
- Graham S A, Hendrix M S, Badarch G, et al. 1996. Sedimentary record of transition from contractile to extensional tectonics, Mesozoic, southern Mongolia. Geol. Soc. of America Abstracts with Programs, 28: 68.
- Hacker B R, Wang X, Eide E A, et al. 1996. The Qinling—Dabie ultra-high-pressure collisional orogen. In: Yin A, Harrison T M, ed. The tectonic evolution of Asia. Cambridge Univ. Press, 345~370.
- Halim N, Kravchinsky V, Gilaer S, et al. 1998. A palaeomagnetic study from the Mongol—Okhotsk region; rotated Early Cretaceous volcanics and remagnetized Mesozoic sediments. Earth and Planetary Science Letters, 159: 133~145.
- Han J, Zhu S, Xu S. 1989. The generation and evolution of the Hehuai Basin. In: Zhu X, ed. Chinese sedimentary basins. Sedimentary Basins of the World, 1. Elsevier. Amsterdam, 125~135.
- Hsu K J. 1989. Origin of sedimentary basins of China. In: Zhu X, ed. Chinese sedimentary basins. Sedimentary Basins of the

- World, 1. Elsevier. Amsterdam, 207~227.
- Hu J, Xu S, Tong X, et al. 1989. The Bohai Bay Basin. In: Zhu X, ed. Chinese sedimentary basins. Sedimentary Basins of the World, 1. Amsterdam: Elsevier, 89~105.
- Isozaki Y. 1997. Jurassic accretion tectonics of Japan. The Island Arc, 6: 25~51.
- Jin H, Wang G. 1996. Taphrogeny and inversion of Jiayi, Dunmi faults and their control on oil, gas, and coal. In: Wu Z, Chai Y, ed. Tectonics of China; Proceedings of the 1995 Annual Conference of Tectonics in China. Beijing: Geological Publishing House, 131~143.
- Lamb M A, Badarch G. 1997. Paleozoic sedimentary basins and volcanic-arc systems of southern Mongolia; new stratigraphic and sedimentologic constraints. International Geology Review, 39: 542~576.
- Liou J G, Zhang X, Eide E A, et al. 1996. Metamorphism and tectonics of high-pressure and ultra-high-pressure belt in the Dabie—Sulu region, China. In: Yin A, Harrison T M, ed. The tectonic evolution of Asia. Cambridge Univ. Press, 300~344.
- Ma L, Yang J, Ding Z. 1989. Songliao Basin — an intracratonic continental basin of combination type. In: Zhu X, ed. Chinese sedimentary basins. Sedimentary Basins of the World, 1. Amsterdam: Elsevier, 77~87.
- Nie S, Rowley D B, Ziegler A M. 1990. Constraints on the location of Asian microcontinents in Palaeo-Tethys during the Late Paleozoic. In: McKerrow W S, Scotese C R, ed. Paleozoic Palaeogeography and Biogeography. Geological Society Memoir, (12): 397~409.
- Nie S, Rowley D B. 1994. Comment on "Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of the major blocks of China from the Permian to the Present" by R. J. Enkin, et al. J. Geophys. Res., 99: 8035~8042.
- Ren D, Jia Z, Lu L. 1996. Mesozoic stratigraphy and faunae in the Luanping—Chengde region, Hebei province. 30th Int. Geol. Congress Field Trip Guide. Beijing: Geological Publishing House, 25.
- Sengor A M C, Natal'in B A. 1996. Paleotectonics of Asia; fragments of a synthesis. In: Yin A, Harrison T M, ed. The tectonic evolution of Asia. Cambridge Univ. Press, 486~640.
- Tian Z, Du Y. 1987. Formation and evolution of the Yilan—Yitong graben. Tectonophysics, 133: 165~173.
- Traynor J J, Sladen C. 1995. Tectonic and stratigraphic evolution of the Mongolian People's Republic and its influence on hydrocarbon geology and potential. Marine and Petroleum Geology, 12: 35~52.
- Van der Voo R, Sparkman W, Bijwaard H. 1999. Mesozoic subducted slabs under Siberia. Nature, 397: 246~249.
- Wang H, Mo X. 1995. An outline of the tectonic evolution of China. Episodes, 18: 6~16.
- Wang Q, Liu X. 1986. Paleoplate tectonics between Cathaysia and Angaraland in Inner Mongolia of China. Tectonics, 5: 1073~1088.
- Watson M P, Hayward A B, Parkinson C L, et al. 1987. Plate tectonic history, basin development and petroleum source deposition onshore China. Marine Petrol. Geol., 4: 205~225.
- Webb L E, Graham S A, Johnson C L, et al. 1999. Occurrence, age, and implications of the Yagan—Onch Hayrhan metamorphic core complex, southern Mongolia. Geology, 27: 143~146.
- Xu Z. 1990. Mesozoic volcanism and volcanogenic iron-ore deposits in eastern China. Geol. Soc. America Spec. Paper., 237: 46.
- Yin A, Nie S. 1996. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions. In: Yin A, Harrison T M, ed. The tectonic evolution of Asia. Cambridge Univ. Press, 442~485.
- Yu J H, Fu H Q, Haapala I, et al. 1996. Tectonic setting, age and petrogenesis of 1.70 Ga anorogenic rapakivi granite suite in northern part of the North China. 30th Int. Geol. Congress. Abstracts. Beijing. 2: 379.
- Zhao X, Coe R S, Zhou Y, et al. 1990. New paleomagnetic results from northern China; collision and suturing with Siberia and Kazakhstan. Tectonophysics, 181: 43~81.
- Zhang C. 1996. Laramide orogen in western United States and Yanshan orogen in north China; comparison of some tectonic features and the significance to geodynamics of intraplate deformation. Annl. Rept., Laboratory of Lithosphere Tectonics and its Dynamics. Beijing: Geological Publishing House, 81~91.
- Zhang C, Song H, Chen A, et al. 1996. Mesozoic thrust tectonics in Yanshan intraplate orogenic belt. In: Wu Z, Chai Y, ed. Tectonics of China; Proceedings of the 1995 Annual Conference of Tectonics in China. Beijing: Geological Publishing House. 77~82.
- Zhang Z M, Liou J G, Coleman R G. 1984. An outline of the plate tectonics of China. Geol. Soc. America Bull., 95: 295~312.
- Zheng Y, Davis G A, Wang C, et al. 1998. Major thrust sheet in the Daqing Shan Mountains, Inner Mongolia, China. Science

- in China (series D). 41: 553~560
- Zheng Y, Wang S Z, Wang Y F. 1991. An enormous thrust nappe and extensional metamorphic core complex newly discovered in Sino-Mongolian boundary area. *Science in China (series B)*, 34: 1145~1152.
- Ziegler A M, Rees P M, Rowley D G, et al. 1996. Mesozoic assembly of Asia: from fossil floras, tectonics, and paleomagnetism. In: Yin A, Harrison T M, ed. *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge Univ. Press, 371~400.
- Zonenshain L P, Muzmin M I, Natapov L M. 1990. Mongol—Okhotsk fold belt. In: Page B M, ed. *Geology of the USSR: a plate tectonic synthesis*. Geophysical Union Geodynamic Series, 21: 97~120.

Major Mesozoic Tectonic Events in the Yanshan Belt and the Plate Tectonic Setting

Zheng Yadong¹⁾ G. A. Davis²⁾ Wang Cong²⁾ B. J. Darby²⁾ Zhang Changhou³⁾

1) *Dept. of Geology, Peking University, Beijing 100871, China*

2) *Dept. of Earth Sciences, University of Southern California, Los Angeles AC 90089, USA*

3) *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

Abstract

Our field work and geochronologic studies in northern Hebei and western Liaoning areas indicate that the major Mesozoic contractional events in the Yanshan belt are of (1) pre-Middle Jurassic (Indosinian?), (2) Late Jurassic and (3) Early Cretaceous age. The first N—S shortening could be a consequence of the collision of the Mongolian arcs along the Solon suture against the North China plate. Siberian—North China plate collision across the Jura-Cretaceous Mongolo—Okhotsk Sea more than 800~1000 km to the north could be responsible for the regional N—S intraplate contractional deformation in the Yanshan belt during Late Jurassic and Early Cretaceous time. The NNE-structural trends, the regional patterns of Mesozoic magmatism in eastern China and the close spatial and temporal ties existing in the middle crust between the S-directed Early Cretaceous basement nappe and voluminous plutonic intrusion suggest the results of the influence of thermal regimes resulting from the westward Pacific plate subduction and related magmatism.

Key words: Late Jurassic—Early Cretaceous intraplate contraction; Mongolo—Okhotsk suture; thermal regimes of Pacific subduction

作者简介

郑亚东,男,1936年生。1957年毕业于北京地质学院石油地质系。现任北京大学地质学系教授,主要从事构造地质教学与研究。通讯地址:100871,北京大学地质学系;电话:(010)62754155。