

华北地区晚中生代重大构造转折的地质证据

陈根文¹ 夏 换^{1,3} 陈绍清²

(1.中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室,广东 广州 510640;
2.重庆川东南地质队,重庆 401329;3.中国科学院研究生院,北京 100039)

摘要:华北地区在侏罗纪和白垩纪分别发生了两次不同性质的岩浆活动,早期形成一套高锆石英闪长岩,另一期为钾玄岩系。两套岩石分别代表地壳加厚和减薄的构造背景,两次岩浆活动的转折期大致在 130 Ma 左右。此外,华北地区白垩纪广泛分布的碱性岩同样表明区域内在白垩纪曾发生过强烈的岩石圈伸展作用。这一地质特征与区内盆地地震剖面、造山带构造活动年龄、变质核杂岩的年龄、早白垩世太平洋板块运动方向和运动速率的改变以及郿庐断裂左旋运动年龄等地质资料相佐证。因此华北地区岩石圈减薄作用主要发生在早白垩世时期,晚侏罗世—早白垩世是华北地区中生代重大构造发生的转折点。

关键词:华北地区;中生代;构造转折;岩浆活动;岩石圈减薄

中图分类号:P548 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)06-1162-15

华北地块位于古亚洲洋构造域和太平洋构造域
的交叠部位,中生代以来发生过华北和华南板块的
碰撞、岩石圈快速减薄、岩石圈地幔的置换作用以及
“地台活化”等多次构造事件,并形成了丰富多彩的
地质现象(图 1)。特别是围绕华北地区岩石圈减薄
以及中生代以来构造转折^[1]发生时限问题的讨论备
受关注。一种观点认为晚侏罗世—早白垩世作为华
北地区大规模伸展开始的时期^[2-10]。另一种观点主张
华北地区构造体制转折(挤压向伸展转折)从中生代
中期就已开始^[11-18]。还有一些研究者认为构造转折
开始于印支期^[19-23]。本次研究,笔者通过对华北地区
火成岩岩石地球化学分析,结合构造、盆地形成及区
域地质背景方面的证据,对华北地区晚中生代重大
构造转折的时限作了新的厘定,并对岩石圈减薄和
导致构造转折的原因等相关问题进行了讨论。

1 岩浆活动的证据

华北地区在侏罗纪和白垩纪早期,发生过两次
大规模的岩浆活动。两次岩浆活动分别形成了全区

范围分布的高锆石英闪长岩和钾玄岩系。这两次岩
浆活动不论是活动时间、还是空间分布范围以及岩
浆岩的特征等方面都具有明显的差异。这两次岩浆
活动的转变与区域内深部构造背景和浅部构造型式

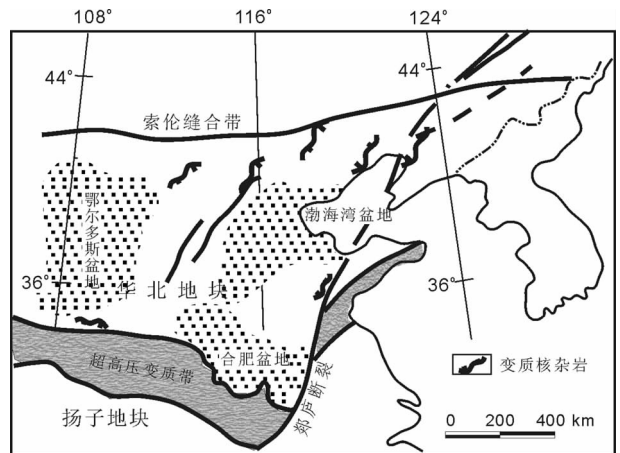


图 1 华北地块构造轮廓图

Fig.1 Tectonic framework of North China block

收稿日期:2008-10-30;改回时期:2008-11-28

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403507)及中国科学院广州地球化学研究所创新项目(GIGCX-04-03)资助。

作者简介:陈根文,男,1964年生,博士,主要从事成矿理论和岩石地球化学的研究工作;E-mail:chengw@gig.ac.cn。

表 1 华北地区中生代埃达克岩年龄数据

Table 1 The age data of Mesozoic adakites in North China

产地	岩石类型	年龄/Ma	测试方法	资料来源
吉林大黑山	花岗岩	175.3	Rb-Sr	[24]
吉林棉田	花岗岩	189±1	U-Pb	[24]
吉林东清	花岗岩	156±3	Rb-Sr	[24]
小西南岔	闪长岩	149	锆石U-Pb等时线	[24]
辽东南部饮马湾山	花岗岩(埃达克)	120		[25]
		130		
辽东古道岭	花岗岩(埃达克)	118-122Ma		[26]
辽东五龙背	花岗岩(埃达克)	120		[27]
髻髻山组	火山岩	137.1	SHRIMP	
		148±3	Ar-Ar	
		148±2	Ar-Ar	[28]
		163±6	SHRIMP	
		157±3	SHRIMP	
辽西髻髻山组	火山岩	167±11	Rb-Sr	
		165.9±0.8	Ar-Ar 坪年龄	
		146.3 ± 8.5	Ar-Ar 等时年龄	[28]
		161.6 ± 1.6	Ar-Ar 等时年龄	
辽西海房沟组	火山岩	177.8 ± 7.7	Ar-Ar 等时年龄	
		163.7	Ar-Ar坪年龄	
	花岗岩	168±3	单颗粒锆石U-Pb等时线	[29]
黄泥岭		153±2		
		158±3		
		166±2		
云蒙山	花岗闪长岩	144±4	SHRIMP	[30]
		141±2	锆石U-Pb	[31]
		143±3		[31]
	石英闪长岩	152.8	K-Ar	
		158.8		
八达岭	石英闪长岩	137.5	K-Ar	[32]
		120.7		
		133.2	U-Pb	[33]
		128.8	Rb-Sr	
房山	花岗岩	128	锆石U-Pb年龄	[34]
	花岗岩	126±3	全岩Rb-Sr等时线年龄	[35]
		132.1±0.4	黑云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar年龄	[36]
	花岗闪长岩	133.6±0.7	黑云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar年龄	[37]
		132.8±2.4	角闪石 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar年龄	
		130.7±1.4	SHRIMP	[38]
北京薛家石梁	花岗岩	124		[39]
		125		
大河南	花岗岩	132	K-Ar	
		140		[40]
东岭台组	火山岩	130	Rb-Sr	[28]
		134		
		131±3		
兴隆沟组	火山岩	188.0±7.4	Ar-Ar	[28]
		194.7±1.9		
		191.0±5.7		
河北大海坨	花岗岩	119±2Ma		[34]
河北冀东都山	二长花岗岩	223±3	SHRIMP	[41]
	二长花岗岩	215	U-Pb	[42]
	二长花岗岩	146	K-Ar	[43]
		157		
柏杖子	花岗岩	222	SHRIMP	[41]
肖营子	石英二长闪长岩	149	K-Ar	
		192		
	花岗闪长岩	180	Rb-Sr	[42]
	二长花岗岩	173	Rb-Sr	
高家店	二长花岗岩	173	Rb-Sr	吴永祥等, 1995 (1: 50000迁西西调报告)

续表 1

冀北	石英二长岩	146.2±1.4	SHRIMP	[44]
	石英二长岩	146.2±3.9	SHRIMP	
	石英二长岩	147.6±1.6	SHRIMP	
	石英二长岩	138.5±1.3	SHRIMP	
	石英二长岩	138.5±1.2	SHRIMP	
	石英二长岩	127±10	SHRIMP	
	石英二长岩	146.77	U-Pb	
山东琨崙山八门邹家一垛崮顶	片麻状花岗闪长岩	147 30±2 19	K-Ar	[45]
八门邹家一垛崮顶		135 17±3 48	K-Ar	
瓦善		131. 03±2. 4	K-Ar	
瓦善		126 39±2. 04	K-Ar	
山东瓦善	片麻状二长花岗岩	130.68±2.73	Ar-Ar等时线	
五爪山	二长花岗岩	120 03± 1 77	K-Ar	
		123. 92±2	K-Ar	
		130		
蚌埠荆山	花岗岩	164	SHRIMP	[46]
		158		
		160.2±1.3		
玲珑	花岗岩	152		[46]
		160		
		157.7		
		156		
郭家岭	花岗岩	129	Ar-Ar	[47]
		135	Ar-Ar	
		130	SHRIMP	
		128±2	SHRIMP	
		126±2	SHRIMP	
		128±6	SHRIMP	
		130±3	SHRIMP	
129±3	SHRIMP			
		126	SHRIMP	[46]
文峪	花岗岩	165	Ar-Ar	
		172	Ar-Ar	
华山	花岗岩	132	K-Ar	
		124	K-Ar	
南泥湖	花岗岩	144.5±2.2		[48]
		143.8±2.1		
		142±15	Rb-Sr	
商城	花岗岩	133.03	Ar-Ar	
		130.48		
		128.04		
大别月山	花岗岩	139	锆石U-Pb等时线上交点	
安基山	花岗岩	106	K-Ar	[49]
		123	Ar-Ar	
		117	Ar-Ar	
王安镇	斑状石英二长岩	137.8	Rb-Sr	[50]
		138.8	K-Ar	
		126		
		140		[50]
				[40]
北大别东段	火山岩	129.2±2.6	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U的加权平均年龄	[51]
大别鹅公包	花岗岩	133±4.8	U-Pb	[52]
大别天堂寨	花岗岩	131.3		[53]

的转折具有本质上的联系。

1.1 两期岩浆活动的时间分布特征

利用已有年龄数据统计表明(表 1~2,图 2),华北地区高锶石英闪长岩形成时期主要集中在 130~170 Ma,很少新于 120 Ma,而钾玄岩系岩石形成时

代主要集中在 110~130 Ma。两者在 130 Ma 附近存在一次明显的时代转变,前者在这一时间段后岩浆活动明显减弱,而后者则明显增强。

从岩浆岩的分布特征也可以看出,两期岩浆活动具有不同的分布范围。形成于侏罗纪的高锶石英

表 2 华北地区中生代钾质岩年龄数据
Table 2 The age data of Mesozoic potassic rocks in North China

产地	岩石类型	年龄/Ma	测试方法	资料来源
北京西部	煌斑岩	120	Ar-Ar	[54]
河北涞源王安镇	煌斑岩	120.0		[40]
邹平	闪长岩	117		[55]
	玄武岩	112		
蒙阴		119.6±3.7		
		111.4±2.1		[56]
		114.8		
		118.2		
		117.6	Rb-Sr等时线	[57]
		124.3	Rb-Sr等时线	
		125	Ar-Ar	
		126		
		107		[58]
		107		[59]
		107		[60]
	118		[61]	
	127.4			
	125			
方城	煌斑岩	124.9		[61]
济南	苏长辉长岩	115		
		99.3±1.05		
		139.6±2.7		[62]
		129.1±2.5		
		134.7±3.1		
胶北	煌斑岩	104.4±2.0		
		89.3±1.7		
		100.8±2.1		
		121.0±2.4		
鲁西邹平	二辉闪长岩	115	Ar-Ar	[63]
山东诸城青山组	橄榄安粗岩	111.4	Rb-Sr	[64]
山东五莲青山组	辉石二长斑岩	116.5	Rb-Sr	
山东蒙阴青山组	安粗岩	119.6	Rb-Sr	
山东费县新庄	石榴煌斑岩	116	K-Ar	[65]
		110		
河北紫山岩体	正长岩	109		[55]
		130		
	粗面安山岩	118		
太行山北段	煌斑岩岩墙群	120		[66]
山西大同聚乐堡连石窑	辉绿岩	116.3±1.0	K-Ar	
义县组	钾质火山岩	133.3±2.6	K-Ar	[67]
		133.6±2.6		
		132.9±4.5		
		130.6±0.5	⁴⁰ Ar / ³⁹ Ar坪年龄	
		127.7±0.2		
		126.1±1.7		[67]
		127.4±1.3		
		124.4±2.4	Ar-Ar等时线年龄K-Ar	
		124.9±2.4		
辽宁通化义县组	碱性玄武岩	135		[68]
	粗安岩	130		

闪长岩分布于华北大部分地区,包括髻髻山组、张家口组、大北沟组 and 花吉营组火山岩^[28,67]、燕辽地区部分花岗岩类(王安镇花岗岩、大海坨花岗岩、大河南花岗岩、八达岭花岗岩等)^[69,70]、鲁东地区的玲珑花岗岩、郭

家岭花岗岩^[47]、琨嵛山花岗岩^[45]。侏罗纪末—白垩纪早期的镁铁质超镁铁质岩,广泛分布在沂沭断裂带以西的广大区域,包括鲁西地区的煌斑岩脉^[58,62]、钾质火山岩^[56,57,64,65]、济南、邹平和莱芜地区的辉长岩(包括橄榄

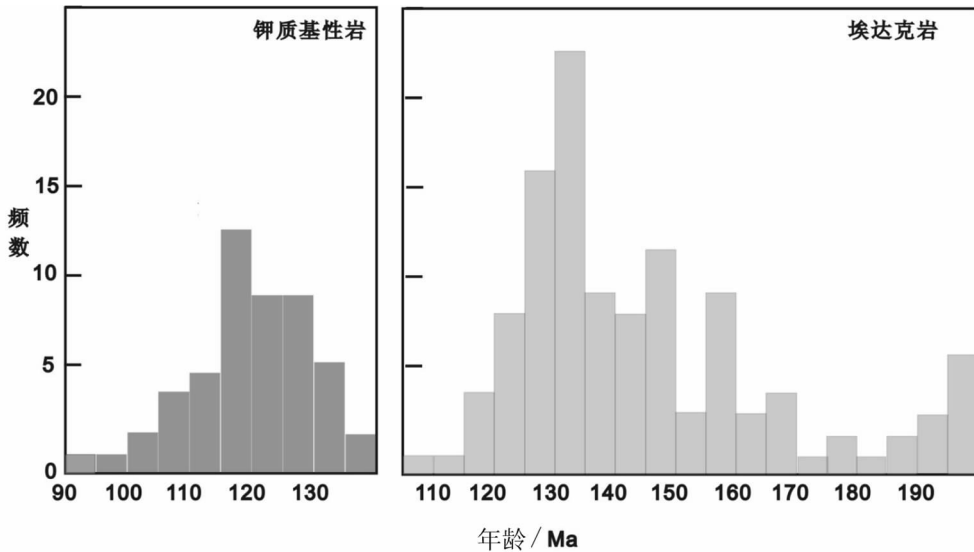


图2 华北地区中生代高锶石英闪长岩和钾质基性岩形成年龄分布^[24-68]

Fig.2 Histogram showing the ages of high-Sr quartz diorite and potassic basic rocks in North China^[24-68]

辉长苏长岩和辉长岩) 和二辉闪长岩^[63]、太行山南段及河北邯邢地区的二辉闪长岩、角闪闪长岩。此外,在太行山北段发育煌斑岩岩墙群,大同地区发育碳酸岩-煌斑岩岩墙群、北京南口—古崖居地区发育橄榄粗玄岩高钾流纹岩双峰式岩墙群。这些钾质岩主要形成于现今盆地发育区,岩浆活动以火山喷出作用为主,说明火山活动与华北地区盆地的形成具有成因联系,它们是伸展作用的产物,代表的是一种伸展背景。

1.2 两期岩浆活动的性质对比

华北地区自侏罗纪以来在中生代时期发生过两次大的岩浆活动,如前所述,这两次岩浆活动分别集中在 J_{1-2} 和 J_3-K_1 时期。两次岩浆活动不仅仅表现在时间上,而且在化学特征和所反映的构造背景上也发生了转变。

华北地区主要形成于 J_{1-2} 的高锶石英闪长岩在化学组成上具有高 Sr、低 Yb, 高轻稀土元素 (LREE), 低重稀土元素 (HREE) 的特征。 $SiO_2=54\% \sim 68\%$, $Al_2O_3=15\% \sim 17\%$, $Sr=379 \times 10^{-6} \sim 1026 \times 10^{-6}$, $Yb=1.44 \times 10^{-6} \sim 1.9 \times 10^{-6}$, $Y=14.4 \times 10^{-6} \sim 19.1 \times 10^{-6}$ ^[69,70]。区域内高锶石英闪长岩表现为具有较高的锶同位素比值和较低的钇同位素比值, $^{87}Sr/^{86}Sr(t)=0.7062 \sim 0.7090$, $^{143}Nd/^{144}Nd(t)=0.511684 \sim 0.511811$, 形成于比较富集的源区。高锶石英闪长岩类低 Y, HREE 和无 Eu 类负异常的特征反映其源区富含石榴石而缺少

斜长石,与榴辉岩或石榴角闪岩相近,实验岩石学的研究也表明这类岩石形成深度大于 50 km。从地球化学特征上反映出这套岩石是下地壳来源,推测是来自软流圈地幔的玄武岩底侵到加厚的陆壳 (>50 km) 底部导致下地壳基性岩部分熔融形成的。

从晚侏罗世到早白垩世,区域内中生代岩浆活动发生了重大转变,该期火成岩岩石的组分及同位素特征都发生过变化。该期火成岩主要为一套钾质玄武岩和煌斑岩。以鲁西地区为代表,鲁西中生代富钾火山岩的岩石类型主要有粗面玄武岩、玄武粗安岩、安粗岩和粗面岩等。其中以玄武粗安岩、安粗岩和粗面岩分布最为广泛,主要分布蒙阴盆地及平邑—费县盆地,玄武粗安岩、安粗岩主要见于临朐、莱芜等盆地^[56,57,64,65]。这套火山岩还常常与区内煌斑岩共生。煌斑岩包括橄辉云煌岩、橄辉云斜煌斑岩、橄云辉斜煌斑岩、白榴煌斑岩和闪斜煌斑岩等。区内富钾火山岩及煌斑岩中的斑晶云母普遍富镁,显示这套岩石主要来源于上地幔。鲁西中生代富钾火山岩 Si 适度饱和,主要为中基性岩石组合,其中 K_2O+Na_2O 含量较高,可达 8%, K_2O/Na_2O 比值大部分小于 1, 岩石主要为橄榄安粗岩系和高钾钙碱性岩系。此外,岩石贫铁贫钛。区内煌斑岩普遍富钾,镁铁质煌斑岩的 K_2O 含量可达 3%, 岩石为橄榄安粗质(或钾玄质)煌斑岩。岩石碱含量较高, Na_2O+K_2O 含量为 5% 左右,因此,区内富钾火山岩及煌斑岩均

具有富碱富钾的特点。煌斑岩及富钾火山岩的存在表明,华北地区在 J_3-K_1 时期为伸展构造背景。

上述分析表明,华北地区在约 130 Ma 时岩浆活动发生过明显的转折,岩浆活动从早期的高锆石英闪长岩向后期的钾玄岩系变化,地质背景也由早期的挤压造山向伸展作用背景转化。这一变化还可以得到区内白垩纪广泛分布的碱性岩的证实。

1.3 白垩纪碱性岩方面的证据

白垩纪,华北地区广泛发育一套碱性岩。如北淮阳地区的响洪碱性杂岩体、鲁东地区的艾山阶和崂山阶碱质 A 型花岗岩、青岛崂山碱性花岗岩、吕梁地区的紫金山岩体、狐偃山偏碱性杂岩、冀北地区的雾灵山侵入杂岩(由碱性正长岩、碱性石英正长岩到中酸性碱性岩组成)、山海关火山-侵入杂岩(从早到晚为碱长粗面岩、碱流岩、碱性流纹岩和碱性花岗岩)、抚顺三块石碱性花岗岩、纪家堡碱长花岗岩、丹东丁岐山碱性花岗岩、通化岗山碱性花岗岩、牡丹江东部虎林沟正长花岗岩、宝清永丰正长花岗岩等。目前的普遍认识是这些碱性岩形成于伸展构造背景。从已有的年龄资料看,这些碱性岩及 A 型花岗岩的

形成时代同样介于 130~90 Ma, 稍晚于钾玄岩系形成的时间。

2 中生代华北地区构造转折的构造证据

2.1 造山带证据

两期岩浆活动反映的构造背景变化与区域构造研究得出的结论具有很好的一致性。例如郑亚东等^[4]和 Davis et al^[7]对河北承德一带的构造研究表明(图 3), 区域内的挤压构造主要发生在 127~180 Ma, 而伸展作用主要形成于 127 Ma 以后。说明区域上在 130 Ma 左右同样发生过构造作用的转变。这是区域构造背景在浅部的很好反映。

2.2 变质核杂岩的证据

变质核杂岩是造山作用晚期上地壳热隆和伸展作用形成的一种构造形式。近年来的研究表明,燕山、冀北、辽西及内蒙古等地都发现了一系列晚侏罗世至早白垩世的变质核杂岩。如北京云蒙山变质核杂岩、房山变质核杂岩、辽西医巫闾山变质核杂岩、大别山变质核杂岩、小秦岭变质核杂岩等。从已有资

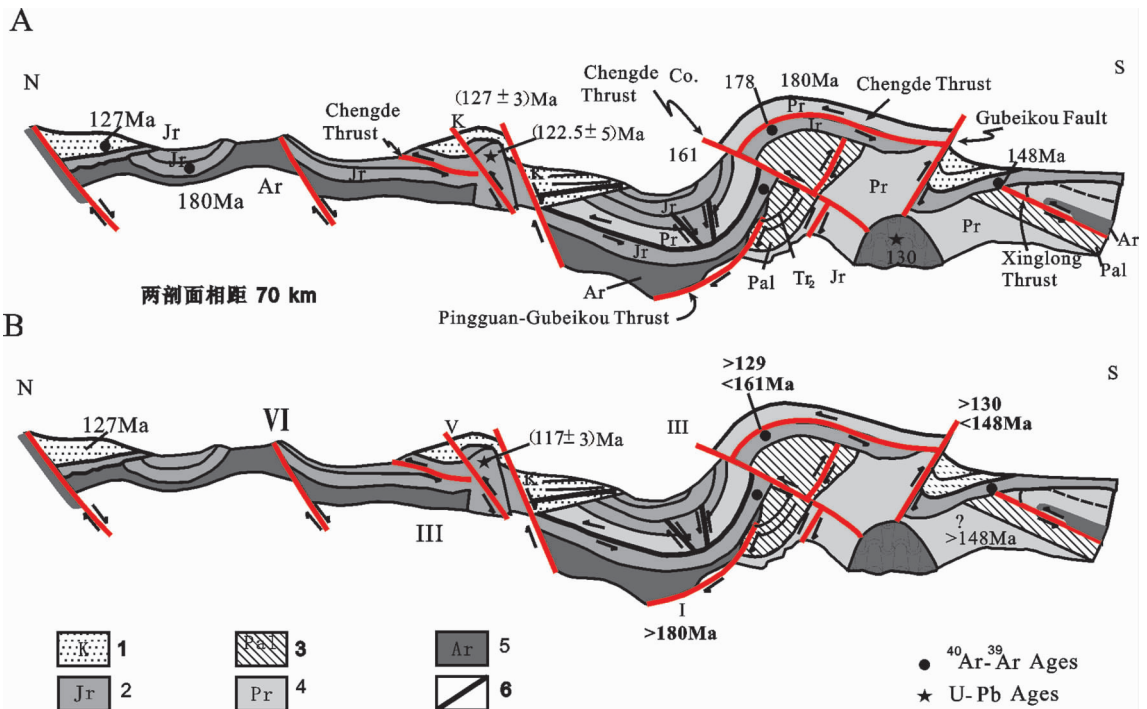


图 3 河北承德—下板城构造剖面图^[7] (A,B 分别为东西两个剖面)
1—白垩系;2—侏罗系;3—古生界;4—元古宇;5—太古宇;6—断层
Fig.3 Structure profile of Chengde-Xia bancheng, Hebei^[7]
(A section and B section are in east and segment respectively)
1-Cretaceous; 2-Jurassic; 3-Palaeozoic; 4-Proterozoic; 5-Archaeozoic; 6-Fault

料分析^[7,72-79],这些变质核杂岩集中形成于 116~132 Ma(表 3,图 4),区域变质核杂岩的主要时代从晚侏罗世开始,发育于早白垩世,发生的动力学背景是板内收缩变形期后的伸展。

2.3 郯庐断裂走滑活动的证据

根据前人研究^[80-84],郯庐断裂于 118~130 Ma(表 4,图 5)期间曾发生过一次大的走滑活动。郯庐断裂的走滑伸展作用可能是中国东部地区于早白垩世发生了大规模的伸展作用的又一种浅层表现形式。

2.4 盆地内地震剖面的证据

最近笔者通过对济阳拗陷地震剖面的研究发现,在晚侏罗—早白垩世期间,济阳拗陷区域内曾发生过广泛的构造反转,主要表现为由早中侏罗世的构造抬升发展为晚侏罗—早白垩世的构造沉降。济阳拗陷内东营凹陷南坡 616.0 剖面,明显表现为 J₁₊₂ 沉降中心在 J₃ 后开始抬升,地层遭受剥蚀,后被 J₃ 地层覆盖(图 6),区域范围内伸展作用发育,沉积范围扩大,沉积盆地也由早期受逆冲推覆控制的山间

表 3 华北地区中生代变质核杂岩年龄

Table 3 The age data of Mesozoic metamorphic core complexes in North China

变质核杂岩名称	测年对象	年龄/Ma	测试方法	资料来源		
亚干变质核杂岩	糜棱岩中的黑云母	126	Ar-Ar 等时线	[72]		
		129				
呼和浩特变质核杂岩	核部花岗岩	137		[7]		
		119				
瓦子峪(医巫闾山)变质核杂岩	核部花岗岩	123	U-Pb	[73]		
		116	Ar-Ar 等时线	[74]		
		127±3				
		116±2				
		黑云母	116.2±0.7			
		黑云母	126.6±1.1			
		黑云母	129.7±1			
辽宁楼店子变质核杂岩	糜棱岩中的黑云母	133.1±0.1	Ar-Ar 等时线			
		黑云母			139.6±0.8	
		糜棱岩中的黑云母			128.27±0.17	
		糜棱岩中的黑云母			125.59±0.26	
		糜棱岩中的黑云母			126.73±0.16	
喀喇沁变质核杂岩	糜棱岩中的黑云母	134.27±0.29	Ar-Ar 等时线			
		125±1			Rb-Sr 等时线	[34]
		117±1			Rb-Sr 等时线	
		117±2.5			Rb-Sr 等时线	
		127±2.9			Rb-Sr 等时线	
北京房山变质核杂岩	糜棱岩中的黑云母	126±0.7	Ar-Ar 等时线	[76]		
		128				
		129±2				
		122±2				
		123±4				
辽南变质核杂岩	核部花岗岩, 花山岩体	125±	锆石 U-Pb	引自[77]		
		120±4				
		121±2				
		120±1				
		121±2				
		118±3				
		127±4				
		119±6				
		122±6				
		122±2				
熊耳山变质核杂岩	核部花岗岩, 花山岩体	129±2		引自[79]		
		127				
		99				
		金山庙岩体			128	
		松坪沟岩体			110	
雷门沟岩体	104					
		99				

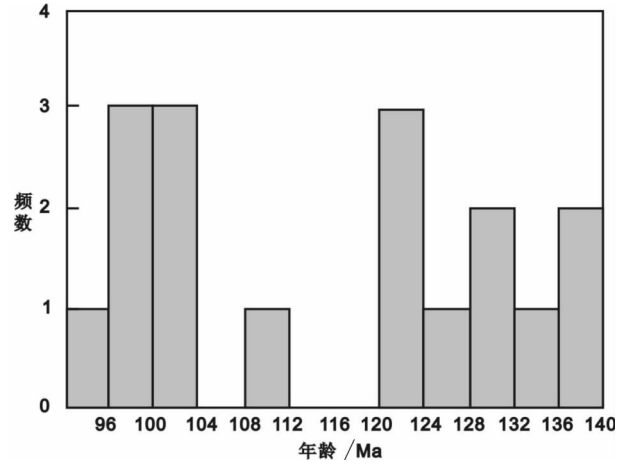
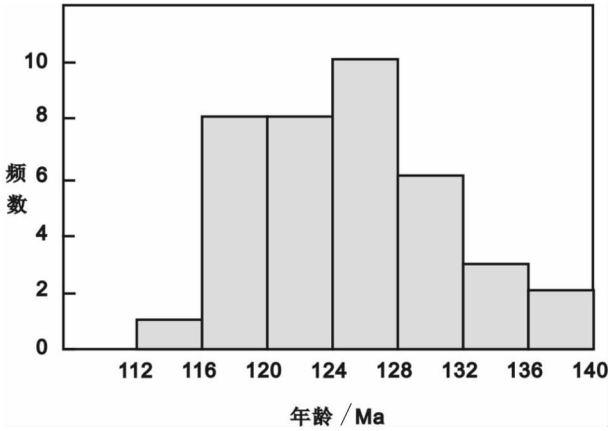


图 4 变质核杂岩主形成年龄直方图(资料来源[7,72-79])

Fig.4 Histogram showing the distribution of the ages of metamorphic core complexes in Northern China (the data from references[7,72-79])

图 5 郯庐断裂晚中生代走滑活动时代(资料来源[80-84])

Fig.5 Strike-slip ages of Tanlu fault zone during Mesozoic (age data from references[81-85])

表 4 郯庐断裂中生代活动年龄

Table 4 The age data of extensional activities along the Tan-Lu fault zone during Mesozoic

位置	测年对象	测试方法	年龄/Ma	资料来源
肥东桴槎山	糜棱岩	K-Ar	137	[80]
	糜棱岩	K-Ar	96±5	
	糜棱岩	K-Ar	95±5	
	糜棱岩	K-Ar	97±5	[81]
	糜棱岩	K-Ar	102±5	
	糜棱岩	K-Ar	103±5	
张八岭	糜棱岩	Ar-Ar	128.35±0.64	
	糜棱岩	Ar-Ar	130.61±0.88	
	糜棱岩	Ar-Ar	124.67±0.73	[82]
	糜棱岩	Ar-Ar	132.1±0.53	
	糜棱岩	Ar-Ar	120.48±0.75	
蚌埠	糜棱岩	Ar-Ar	120.96±0.66	
肥东桥头集	钾长石	Ar-Ar	102.9±3.5	[83]
	断层泥	K-Ar	96.96±1.01	
大别东端郯庐断裂带内	白云母	Ar-Ar 坪年龄	138.8±0.4	
	白云母	Ar-Ar 坪年龄	121.2±0.6	
	黑云母	Ar-Ar 坪年龄	111.0±0.4	
	黑云母	Ar-Ar 坪年龄	117.7±0.3	[84]
	黑云母	Ar-Ar 坪年龄	109.8±0.4	
	黑云母	Ar-Ar 坪年龄	119.4±0.6	
	黑云母	Ar-Ar 坪年龄	111.5±0.4	

盆地发展为伸展盆地。

2.5 其他证据

据 Engebretson 等^[85]的研究,太平洋区的伊泽奈崎(Izanagi)板块于早白垩世开始,其运动方向和俯冲方式发生过重大变化,由原来的 NW 向变为 NNW

向运动,并以低角度俯冲于东亚大陆之下。Maruyama 等^[86]研究发现,在晚侏罗世末—早白垩世初期,由于太平洋伊佐奈崎板块以高速(30cm/a)作向 NW12°至 NE2°方向的运动,与欧亚大陆之间存在 20~50°的夹角,正是在这种形式的相互作用使得

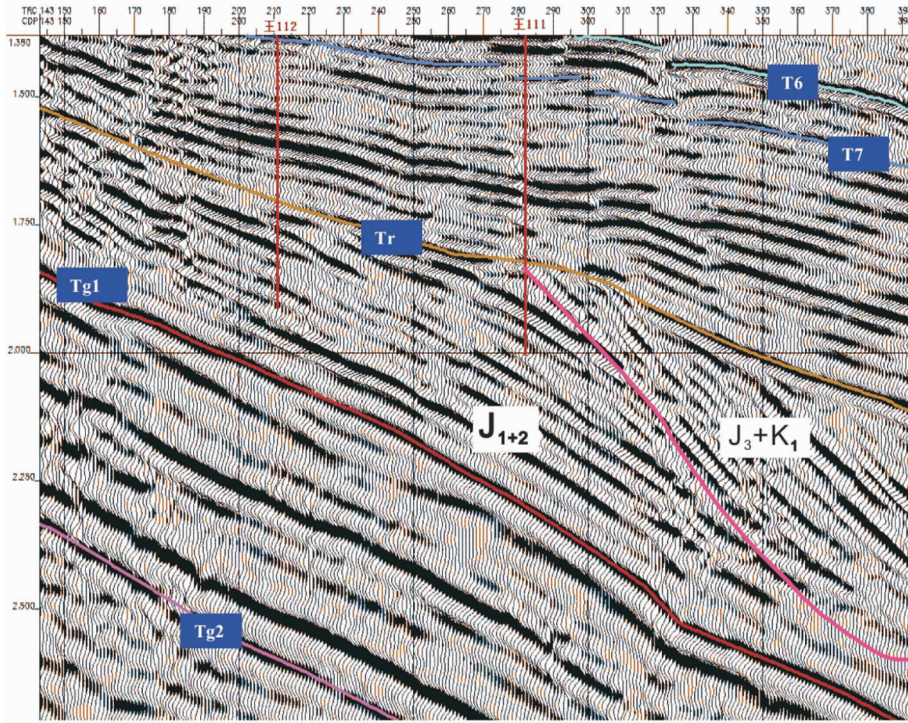


图6 济阳拗陷 616.0 地震剖面图
Fig.6 Seismological Profile of Jiyang sag

处于欧亚板块东缘的 NNE 走向的郯庐断裂带在早白垩世初期产生大规模左行走滑。

3 讨论

3.1 华北地区中生代大规模减薄发生的时限

华北地区中生代岩石圈减薄已成公认的事实，但是这种减薄发生的时间还存在很多争论。争论的关键在于不同学者对华北地区中生代岩石圈减薄的理解不一样。比如岩石圈减薄是统一的地质事件还是一个独立的地质事件，是突发事件还是长期的地质过程，发生在早三叠世局部性的、短暂的伸展作用是不是华北岩石圈减薄的一部分等等。由于岩石圈减薄与软流圈抬升有密切的关系，而软流圈上隆可以通过岩浆活动，特别是幔源岩浆活动反映出来。因此，目前对岩石圈减薄的判断主要来自于对岩浆活动的研究。华北地区中生代以来发生过多期岩浆活动。印支期形成的内蒙古东部早中生代镁铁质-超镁铁质侵入岩、堆晶岩及碱性岩；崇礼赤城南正长岩、碱性花岗岩带；隆化一大庙闪长岩、碱性花岗岩及锦西花岗岩带；河北水泉沟碱性杂岩；河坎子霞石正长岩、杨家杖子闪长岩、榆树林子花岗岩带、甲子

山正长岩体、赛马—柏子川正长岩体、霞石正长岩体、通化二长花岗岩，以及主要分布在下板城中、上三叠统及面票缸窑沟、朝阳兴隆沟的由安山粗面岩及玄武岩组成的喷出岩带。这些岩石的存在表明当时在华北部分地区存在地壳伸展的地质背景。但这次减薄主要发生在华北地块边缘，其形成主要是由于板块边缘造山带的松弛引起的，其影响范围有限，并不能代表整个华北地区的岩石圈减薄。

在侏罗纪时期，华北地区存在比基性岩分布更广，数量更多的高锆低钇花岗岩。这套岩石的存在说明当时华北地区处于一个加厚的地壳环境。这似乎不支持该时期存在岩石圈减薄。而且这一时期也没有其他的地质证据表明华北地区存在地壳或岩石圈伸展作用。相反区域内广泛发育的与挤压作用有关的逆冲和褶皱构造普遍发育。华北地区高锆石英闪长岩形成时期中主集中在 130~170 Ma，很少新于 120 Ma。因此这一时期本区应该以挤压背景为主。但大量的下地壳来源的岩浆作用表明，区域内存在促使下地壳熔融的热源，推测热源是来源于软流圈的抬升。这与区域内局部存在同时期的基性岩浆活动相一致。徐义刚^[7]因此根据富集岩石圈地幔来源的岩浆作

用持续时间(180~90 Ma)认为该区岩石圈减薄时限约为 100 Ma,并认为热机械侵蚀可能是华北岩石圈减薄的主要机制。从这一期间基性岩分布的范围和规模可以看出,该期岩石圈伸展有限。同时地表也很少表现出与伸展作用有关的地质证据。这次岩石圈减薄十分有限,它可能只是华北大规模岩石圈减薄的一个前奏,真正的大规模减薄还没有开始。

从早白垩世开始,华北地区广泛发育基性岩、煌斑岩及富钾火山岩岩浆活动。这套岩石无疑形成于伸展构造背景。钾玄岩系岩石形成时代主要集中在 110~130 Ma。约 130 Ma 开始,华北地区的岩浆活动骤然间发生了从以中酸性为主的、地壳来源的高锶低钇岩浆岩向以高钾为特征的、幔源的基性岩石转变。同时这套岩石的地球化学特征明显显示出具有高的锶同位素组成和低钇同位素特征,以及富集大离子亲石元素,和强的高场强元素负异常的特征,说明源区受到过地壳组分的混染。与岩浆活动相对应的是地表浅层构造表现出了大量伸展作用和岩石圈减薄的地质证据。如前面提到的在同一时期华北地区形成的正断层、变质核杂岩、NE 向断裂走滑拉伸、白垩纪沉积盆地等都支持在约 130 Ma 以后华北地区发生了广泛的大规模岩石圈减薄。

3.2 岩石圈减薄与构造转折之间的关系

很多研究者将华北地区岩石圈减薄与构造转折作为同一个地质事件来讨论。但笔者的研究表明应该把两者分开进行讨论。华北地区岩石圈减薄的时间可能包括更长一个时期,包括早期减薄、主减薄及后期减薄 3 个阶段。其早期伸展可能以岩石圈的热蚀作用和机械侵蚀作用为主。其特点是形成时间长、岩石圈减薄量有限,而且主要形成于局部地区。主减薄阶段主要由岩石圈拆沉产生的,其形成特点是产生时间短、规模大、遍及全区,代表了华北岩石圈减薄的主体。在主减薄期后华北地区还存在一段较长时间的岩石圈减薄作用,这次作用可能是主减薄作用的延续,是岩石圈大规模拆沉后的调整时期。华北地区中生代发生的构造大转折则是一个突发地质事件,它大致与华北地区大规模岩石圈减薄的时间(即主减薄期)相对应,但岩石圈减薄只是构造转折过程中发生的地质作用的一部分。构造转折是一个统一的地质事件,表现为一系列的地质作用:(1)在区域背景上,太平洋板块于 130 Ma 左右不论是运动速率,还是运动方向都发生过大的变化;(2)在应力状

态方面,从早期的挤压应力变为拉伸应力状态,浅层构造由早期的代表挤压作用的逆冲断层变为代表伸展作用正断层,同时在华北地区广泛发育变质核杂岩;(3)在构造体制上,华北地区由早期 EW 向构造转变为 NE 向构造体制,在燕山地区表现为近 EW 走向展布的中、晚侏罗世髻髻山组火山岩和土城子组红层,被 NE 向的张家口组火山岩不整合覆盖^[87];(4)地球深部物质活动也由早期的高锶低钇花岗岩侵入转变为早白垩世大规模的高钾火山岩活动,岩浆来源和地幔性质都发生了改变;(5)区域岩石圈发生大规模的减薄;(6)由早期小范围的山间盆地转化为裂陷盆地发育。因此笔者认为 130 Ma 左右是华北地区发生重大构造转折的时期。

3.3 构造转折的动力学机制分析

目前,前人对华北地区构造转折形成的动力学机制有不同的认识。主要表现在 3 个方面:(1)构造转折的动因来自于地球深部的物质活动^[20],引起深部物质活动的因素可能是地幔柱构造或岩石圈拆沉或根柱构造;(2)发生在晚侏罗世晚期的古太平洋闭合^[20],或古亚洲洋、特提斯洋闭合以及东(南)部的古太平洋闭合共同作用下,在周围挤压后应力松弛,引发并在晚侏罗世—早白垩世达到高潮的深部地幔大规模隆起和地壳大规模伸展^[8];(3)受太平洋板块俯冲作用影响下在华北地区发生的一系列地质作用。

华北地区中生代构造转折发生的动力学背景,可能是对太平洋板块从早白垩世开始新俯冲带的形成或由被动大陆边缘向主动大陆边缘转变的重要响应。从时间上看,华北地区中生代构造活动发生的时间与太平洋向亚洲大陆向西俯冲的时间相一致。Engebretson et al^[85]与 Maruyama et al^[86]的研究均表明认为太平洋板块对亚洲大陆的向西俯冲开始于晚中生代。同时,两者之间的成因联系还可以从太平洋板块及依泽奈崎—库拉板块的运动速率的改变得到验证。据 Maruyama et al^[86]的研究,依泽奈崎板块在 135~127 Ma 板块运动的平均速率为 30 cm/a,在 127~119 Ma 的板块平均运动速率为 21.1cm/a,在 119~110 Ma 的平均运动速率为 20.5cm/a,显示出逐渐减少的趋势,而且在 127 Ma 后快速减少。相反,太平洋板块在 145~135 Ma 期间的板块运动速率为 5.3 cm/a,太平洋板块 74~53 Ma 的运动速率为 10.4 cm/a,说明太平洋板块的运动速率变化与泽奈崎板块相反。两者的运动速率的突然性变化都发生在

130 Ma 左右,与华北地区中生代构造转折的时间基本一致。依泽奈崎板块在早白垩世时期相对亚洲大陆运动速率突然改变的动力背景有两个:一是突然失去了向 NW 方向的推动力;二是受到亚洲大陆向东南方向的强烈阻挡。但目前还没有证据表明亚洲大陆在这一时期受到了向东南方向的强烈推挤。相反,如果联系到太平洋板块在这一时期向 NW 方向运动速率的突然加速,上述动力背景就可以得到较合理的解释。这种速率的改变是因为新的俯冲带的产生引起的,正因为新俯冲带的产生使依泽奈崎板块向 NW 方向的推动力减小而运动速率减小。可以这样推测,在早白垩世以前,西太平洋边缘为被动大陆边缘,其内部变形主要受华北陆块与西伯利亚板块碰撞及华南陆块与华北陆块碰撞产生的后碰撞挤压活动的影响,内部应力状态主要表现为以挤压为主。当太平洋西缘由被动大陆边缘转化为主动大陆边缘后,原来板块内部的应力状态必然发生由挤压向伸展的松弛,同时软流圈地幔受上部应力状态的改变以及太平洋板块俯冲的扰动,使原来的大对流圈变为小对流圈,并开始向上发生侵蚀作用。华北地区在这一构造背景下发生伸展减薄,其浅成构造、岩浆活动与沉积作用也发生响应。

4 结 论

(1)华北地区岩石圈大规模减薄作用可能主要发生在早白垩世时期,其转折点发生在 130 Ma 左右。

(2)华北地区构造体制的重大改变的主要动力是,侏罗纪末期—早白垩世太平洋板块西缘发生了新的俯冲带的形成或由被动大陆边缘向主动大陆边缘转变。

致谢:谨以此文表达笔者对我国著名地质学家胡受奚教授 80 寿辰的祝贺以及对胡教授为我国地质事业作出的卓越贡献的崇敬之情! 论文在成文过程中得到了陈衍景教授的热情指导,在此表示感谢!

参考文献 (References):

- [1] 陈衍景, 郭光辉, 李欣. 华北克拉通花岗岩绿岩地体中生代金矿床地球动力学背景[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(1): 35-40.
Chen Yanjing, Guo Guanghui, Li Xin. Geodynamical setting of mineralization for the Cenozoic gold mines in the greenstone terrain of North China Craton[J]. Science in China (ser.D), 1998, 28(1): 35-40 (in Chinese).
- [2] 邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 等. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山深部过程[J]. 地质论评, 2000, 46: 41-48.
Deng Jinfu, Zhao Guochun, Zhao Hailing, et al. Yanshanian igneous petrotectonic assemblage and orogenic deep processes in east China [J]. Geological Review, 2000, 46: 41-48 (in Chinese with English abstract).
- [3] 邓晋福, 苏尚国, 刘翠, 等. 关于华北克拉通燕山期岩石圈减薄的机制与过程的讨论: 是拆沉还是热侵蚀和化学交代?[J]. 地学前缘, 2006, 13 (2): 105-119.
Deng Jinfu, Su Shangguo, Liu Cui, et al. Discussion on the lithospheric thinning of the North China craton: delamination or thermal erosion and chemical metasomatism? [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (2): 105-119 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李洪革, 杜旭东, 陆克政, 等. 渤海湾地区中西部中生代构造特征及演化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23: 1-5.
Li Hongge, Du Xudong, Lu Kezheng, et al. Characteristics and evolution of Mesozoic tectonic in the central-western Bohaiwang district[J]. Journal of the University of Petroleum, 1999, 23: 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [5] 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄 [J]. 长春科技大学学报, 1999, 29 (4): 313-318.
Wu Fuyuan, Sun Deyou. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China [J]. J. Changchun Uni. Sci Tech., 1999, 29: 313-318 (in Chinese with English abstract).
- [6] 吴福元, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. 地学前缘, 2003, 10: 51-60
Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou, et al. Discussions on the lithospheric thinning in eastern china [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10: 51-60 (in Chinese with English abstract).
- [7] Davis G A, Darby B J, Zhang Y D, et al. Geometric and temporal evolution of an extensional detachment fault, Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia China [J]. Geology, 2002, 30: 1003-1006.
- [8] 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33: 913-920.
Zhai Mingguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, et al. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block [J]. Sciences in China (series D), 2003, 33: 913-920 (in Chinese).
- [9] 漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论 [J]. 地学前缘, 2003, 10: 199-206.
Qi Jiafu, Yu Fusheng, Lu Kezheng, et al. Conspectus on mesozoic basins in bohai bay province [J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 2003, 10: 199-206 (in Chinese with English abstract).
- [10] 闫峻, 陈江峰. 华北地块东部晚中生代至新生代岩石圈不均一减薄与改造模式[J]. 地质论评, 2005, 51: 16-26.
Yan Jun, Chen Jiangfeng. Model of the lithospheric non-uniform thinning and alteration from Late Mesozoic to Cenozoic in the North China Block [J]. Geological Review, 2005, 51: 16-26 (in Chinese with English abstract).
- [11] 赵越, 杨振宇, 马醒华. 东亚大地构造发展的重要转折 [J]. 地质科学, 1994, 29(2): 105-129.

- Zhao Yue, Yang Zhenyu, Ma Xinghua. Geotectonic transition from Paleosia system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in eastern Asia [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1994, 29 (2):105 - 129(in Chinese with English abstract).
- [12] 王喻. 中国东部内蒙古造山带晚古生代晚期-中生代的造山作用过程[M]. 北京:地质出版社, 1996.
- Wang Yu. Orogenic Progress for the Late Palaeozoic-Mesozoic in the Inner Mongolia Orogen, the East China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996 (in Chinese with English abstract).
- [13] Fan W M , Zhang H F, Baker J, et al. On and off the North China Craton:Where is the Archean keel [J]. *J Petrol*, 2000, 41: 933-950.
- [14] Fan W M, Menzies M A. Destruction of aged lower litho-sphere and accretion of asthenosphere mantle beneath eastern China [J]. *Geotectonic et Metallogenia*, 1992, 16(324):171-180.
- [15] Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. Recycling lower continental crust in the North China craton[J]. *Nature*, 2004, 432: 892-897.
- [16] 刘树文, 张进江, 郑亚东. 小秦岭变质核杂岩同变形期的 P-T 路径[J]. *科学通报*, 1998, 43:312-318.
- Liu Shuwen, Zhang Jinjiang, Zheng Yadong, et al. Syn - deformation P-T paths of Xiaoqinling metamorphic core complex [J]. *Chinese Sci.Bull.*, 1998, 43:1927-1934(in Chinese).
- [17] 徐义刚. 岩石圈的热机械侵蚀和化学侵蚀与岩石圈减薄[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1999, 18:125.
- Xu Yigang. Roles of thermo-mechanic and chemical erosion in continental lithospheric thinning [J]. *Bull. Mineral Petrol. Geochem.*, 1999, 18:125(in Chinese with English abstract).
- [18] 徐义刚. 华北岩石圈减薄的时空不均一特征 [J]. *高校地质学报*, 2004, 10:324-331.
- Xu Yigang. Lithospheric thinning beneath North China: A temporal and spatial perspective [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10:324-331(in Chinese with English abstract).
- [19] 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, 1:51-62.
- Cui Shengqin, Li Jinrong. On the Indochina movement near the Pacific belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1983, 1:51-62 (in Chinese with English abstract).
- [20] 任纪舜, 牛宝贵, 和政军. 中国东部的构造格局和动力演化[J]. *地质研究*, 1997, (29/30):43-55(in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun, Niu Baogui, He Zhengjun. Tectonic frame and geodynamic evolution of eastern China [J]. *Geological Research* , 1997, (29/30):43-55(in Chinese with English abstract) .
- [21] 邵济安, 牟保磊, 张履桥. 华北东部中生代代格局转换过程中的深部与浅部响应[J]. *地质论评*, 2000, 46(1):32-39.
- Shao Jian, Mu Baolei, Zhang Lüqiao. Deep geological process and its shallow response during Mesozoic transfer of tectonic frameworks in eastern north China[J]. *Geological Review*, 2000, 46 (1):32-39(in Chinese with English abstract).
- [22] 许文良, 王冬艳, 王嗣敏. 中国东部中生代火山作用的 p-T-t-c 模型与岩石圈演化[J]. *长春科技大学学报*, 2000, 30:329-335.
- Xu Wenliang, Wang Dongyan, Wang Simin. P-T-t-c model of Mesozoic and Cenozoic volcanisms and lithospheric evolution in eastern China[J]. *J. Changchun Uni. Sci. Tech.*, 2000, 30:329-335 (in Chinese with English abstract).
- [23] 许文良, 王冬艳, 王清海, 等. 华北地块中生代侵入杂岩中角闪石和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年:对岩石圈减薄时间的制约[J]. *地球化学*, 2004, 33:221-231.
- Xu Wenliang, Wang Dongyan, Wang Qinghai, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hornblende and biotite in Mesozoic intrusive complex from the North China Block:constraints on the time of lithospheric thinning [J]. *Geochemica*, 2004, 33:221 -231 (in Chinese with English abstract) .
- [24] 张炯飞, 李之彤, 金成洙. 中国东北部地区埃达克岩及其成矿意义[J]. *岩石学报*, 2004, 20(2):361-368.
- Zhang Jiongfei, Li Zhitong, Jin Chengzhu. Adakites in northern China and their mineralized implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(2):361-368 (in Chinese with English abstract).
- [25] 郭春丽, 吴福元, 杨进辉, 等. 中国东部早白垩世岩浆作用的伸展构造性质-以辽东半岛南部饮马湾山岩体为例 [J]. *岩石学报*, 2004, 20(5):1193-1204.
- Guo Chunli, Wu Fuyuan, Yang Jinhui, et al. The extensional setting of the Early Cretaceous magmatism in eastern China: example from the Yinmawanshan pluton in southern Liaodong Peninsula [J].*Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20 (5):1193-1204(in Chinese with English abstract).
- [26] Yang J H, Wu F Y, Chung S L, et al. Multiple sources for the origin of granites:Geochemical and Nd/Sr isotopic evidence from the Gudaoling granite and its mafic enclaves, NE China [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 2004, 68:4469-4483.
- [27] Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, et al. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China [J]. *Earth Planet.Sci. Lett.*, 2004, 233:103-119.
- [28] 陈义贤, 陈文奇. 辽西及邻区中生代火山岩—年代学、地球化学和构造背景[M]. 北京:地震出版社, 1997:12-79.
- Chen Yixian, Chen Wenji. The Mesozoic Volcanic Rocks in West Liaoning and its Adjacent Areas -Chronology Geochemistry and Tectonic Setting [M]. Beijing:Seismological Press, 1997:12-79(in Chinese with English abstract).
- [29] 张艳斌, 吴福元, 李惠民, 等. 吉林黄泥岭花岗岩体的单颗粒锆石 U-Pb 年龄[J]. *岩石学报*, 2002, 18(4):475-481.
- Zhang Yanbin, Wu Fuyuan, Li Huiming, et al. Single grain zircon U-Pb ages of the Huangniling granite in Jilin Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18 (4):475-481 (in Chinese with English abstract).
- [30] 刘翠, 邓晋福, 苏尚国, 等. 北京云蒙山片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2004, 23(2): 141-146.
- Liu Cui, Deng Jinfu, Su Shangguo, et al. Zircon SHRIMP dating

- of Yunmengshan gneissic granite and its geological significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2004, 23(2):141-146(in Chinese with English abstract).
- [31] Davis G A, Qian X, Zheng Y, et al. Mesozoic deformation and plutonism in the Yunmengshan: a Chinese metamorphic core complex north of Beijing, China [M] // Yin A, Harrison T A, (eds.). *The tectonic evolution of Asia*. New York: Cambridge University Press, 1996, 253-280.
- [32] 郁建华, 付会芹, 张凤兰, 等. 北京地区岩浆深成作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Yu Jianhua, Fu Huiqin, Zhang Fenglan, et al. *The Plutonism of Beijing Area* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese with English abstract).
- [33] 刘凤山, 石准立. 河北涞源-八达岭岩基段单元-超单元特征及其成因 [J]. *现代地质*, 1995, 9:409-418.
- Liu Fengshan, Shi Zhunli. Characteristics and genesis of unit - superunits about member of Laiyuan - Badaling batho lith, Hebei Province [J]. *Geoscience*, 1995, 9:409-418 (in Chinese with English abstract).
- [34] Davis G A, Zheng Y D, Wang C, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning Province, Northern China [C] // Hedrix M S, Davis G A. (eds.). *Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation* Vol.1. 194. Boulder, Colorado: Geological Society of America Memoir. 2001:171-197.
- [35] 马芳, 穆治国, 刘玉琳. 北京房山侵入岩体: 微量元素、稀土元素及 Sr 同位素组成对其成因的制约 [J]. *地球学报*, 2003, 24(2): 105-110.
- Ma Fang, Mu Zhiguo, Liu Yulin. Fangshan intrusion, Beijing: constraints from trace and rare earth elements as well as Sr-isotope Composition [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2003, 24(2):105-110(in Chinese with English abstract).
- [36] 陶继东, 张超, 马昌前, 等. 房山侵入岩体高 Sr 低 Y 地球化学特征及其成因 [J]. *地质科技情报*, 2006, 25(2):11-18.
- Tao Jidong, Zhang Chao, Ma Changqian, et al. Geochemistry and petrogenesis of Cretaceous high Sr and low Y granodiorite pluton in Fanshan Area, Beijing [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25(2):11-18 (in Chinese with English abstract).
- [37] 王松山. 第二届全国同位素地球化学论文集 [C] // 北京: 地震出版社, 1982.
- Wang Songshan. *Collection of the 2th National Symposium of Isotopic Geochemistry* [C] // Beijing: Seismological Press, 1982 (in Chinese).
- [38] 蔡剑辉, 阎国翰, 牟保磊, 等. 北京房山岩体锆石 U-Pb 年龄和 Sr、Nd、Pb 同位素与微量元素特征及成因探讨 [J]. *岩石学报*, 2005, 21(3):776-788.
- Cai Jianhui, Yan Guohan, Mu Baolei, et al. Zircon U-Pb age, Sr-Nd-Pb isotopic compositions and trace element of Fangshan complex in Beijing and their petrogenesis significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(3):776-788(in Chinese with English abstract).
- [39] 苏尚国, 邓晋福, 赵国春, 等. 北京燕山地区薛家石梁杂岩体特征、成因、源区性质及岩石圈减薄方式 [J]. *地学前缘*, 2006, 13(2):148-157.
- Su Shangguo, Deng Jinfu, Zhao Guochun, et al. Characteristics, origin and resource property of Xuejiashiliang complex, Beijing area and their relationship with the way of lithospheric thinning [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(2):148-157 (in Chinese with English abstract).
- [40] Chen Bin, Zhai Mingguo. Geochemistry of Late Mesozoic lamprophyre dykes from the Taihang Mountains, North China, and implications for the subcontinental lithospheric mantle [J]. *Geol Mag*, 2003, 140(1):87-93.
- [41] 苗来成. 华北克拉通北缘花岗岩时空演化及与金矿关系 [D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2000.
- Miao Laicheng. Spatial and Temporal Evolution of Granitoids in the Northern Marginal Zone of the North China Craton and their relationships to Gold Mineralization [D]. Ph.D. Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 2000 (in Chinese with English abstract).
- [42] 王季亮, 李丙泽, 周德星, 等. 河北省中酸性岩体地质特征及其与成矿的关系 [M]. 北京: 地质出版社, 1994:12-13.
- Wang Jiliang, Li Binze, Zhou Dexing, et al. *Geology of Intermediate-acidic Intrusions of Hebei Province and its Relation to Mineralization* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 12-13(in Chinese).
- [43] 李承东, 张旗, 苗来成, 等. 冀北中生代高 Sr 低 Y 和低 Sr 高 Y 花岗岩地球化学、成因及其成矿作用的关系 [J]. *岩石学报*, 2004, 20(2):269-284.
- Li Chengdong, Zhang Qi, Miao Laicheng, et al. Mesozoic high-Sr, low-Y and low-Sr, high-Y types granitoids in the northern Hebei Province: Geochemistry and petrogenesis and its relation to mineralization of gold deposits [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(2):269-284(in Chinese with English abstract).
- [44] 毛德宝, 陈志宏, 钟长汀, 等. 冀北北岔沟门地区中生代侵入岩地质年代学和地球化学特征研究 [J]. *岩石学报*, 2003, 19(4): 661-674.
- Mao Debao, Chen Zhihong, Zhong Changting, et al. Studies on the geochronology and geochemical characteristics of Mesozoic intrusions in Beichagoumen area, northern Hebei Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(4):661-674(in Chinese with English abstract).
- [45] 张德全, 徐兴林, 孙桂英. 山东邓格庄金矿与昆嵛山花岗岩的定位时代及其地质意义 [J]. *地质论评*, 1995, 41(5):415-425.
- Zhang Dequan, Xu Xinglin, Sun Guiying. Emplacement ages of the Denggezhuang gold deposit and the Kunyushan granite and their geological implications [J]. *Geological Review*, 1995, 41(5): 415-425(in Chinese with English abstract).
- [46] 周新华, 杨进辉, 张连昌. 胶东超大型金矿的形成与中生代华北大陆岩石圈深部过程 [J]. *中国科学(D)*, 2002, 32(增刊):11-20.

- Zhou Xinhua, Yang Jinhui, Zhang Lianchang. Deep processes of continental lithosphere during the formation of the super-large gold deposit from the eastern Shandong Province [J]. Science in China (Series D), 2002, 32 (Suppl):11-20(in Chinese).
- [47] 关康, 罗镇宽, 苗来成, 等. 胶东招掖郭家岭型花岗岩锆石 SHRIMP 年代学研究[J]. 地质科学, 1998, 33(3):318-328.
- Guan Kang, Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, et al. SHRIMP in zircon chronology for Guojialing suite granite in Jiaodong Zhaoye district [J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33 (3):318-328 (in Chinese with English abstract).
- [48] 刘文斌, 刘振宏, 张世佼. 河南商城岩体地质地球化学特征及成因意义[J]. 华南地质与矿产, 2003, 4:17-23.
- Liu Wenbin, Liu Zhenhong, Zhang Shijiao. Geological and geochemistic characteristics and its genesis implication of the Shancheng rock body, Henan Province[J]. Geology and Minerals of South China, 2003, 4:17-23(in Chinese with English abstract).
- [49] 毛建仁, 苏郁香, 陈三元. 长江中下游酸性侵入岩与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1990:1-191.
- Mao Jianren, Su Yuxiang, Chen Shanyuan. Felsic Intrusions and Mineralization in the Middle and Lower Downstream of Yangtze River [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1990:1-191(in Chinese with English abstract).
- [50] 蔡剑辉, 阎国翰, 常兆山, 等. 王安镇岩体岩石地球化学特征及成因探讨[J]. 岩石学报, 2003, 19(1):81-92.
- Cai Jianhui, Yan Guohan, Chang Zhaoshan, et al. Petrological and geochemical characteristics of the Wanganzhen complex and discussion of its genesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(1):81-92(in Chinese with English abstract).
- [51] 薛怀民, 董树文, 刘晓春. 北大别东部白垩纪埃达克质火山岩及其锆石 U-Pb 年代学[J]. 地球化学, 2002, 31(5):455-463.
- Xue Haimin, Dong Shuwen, Liu Xiaochun. U-Pb zircon dating for Cretaceous adakitic volcanic rocks in eastern part of the North Dabie Mountains[J]. Geochimica, 2002, 31(5):455-463(in Chinese with English abstract).
- [52] 管运财, 高天山, 吴海权. 大别山地区(安徽)中生代花岗岩类岩体特征与形成机制[J]. 安徽地质, 1995, 5(3):19-28.
- Guang Yuncai, Gao Tianshan, Wu Haiquan. Characteristics and forming mechanism of Mesozoic granites in Dabie mountain area (Anhui province)[J]. Anhui Geology, 1995, 5(3):19-28(in Chinese with English abstract).
- [53] 王强. 大别造山带核部燕山期花岗岩成因及造山带构造-岩浆动力学[D]. 武汉:中国地质大学博士学位论文, 1998.
- Wang Qiang. Genesis of Yanshan Granites in the Core of Dabie Orogenic Belt and the Tectonic-Magma Dynamics[D]. Wuhan:Ph D. Dissertation of China University of Geosciences, 1998.
- [54] 邵济安, 张履桥, 李大明. 华北克拉通元古代的三次伸展事件[J]. 岩石学报, 2002, 18(2):152-160.
- Shao Jian, Zhang Lǔqiao, Li Daming. Three Proterozoic extensional events in North China Craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18 (2):152-160(in Chinese with English abstract).
- [55] 桂林冶金地质研究所. 华北地台某些侵入岩体的钾-氩同位素地质年龄测定[C]//全国同位素地质会议文集, 第二集. 北京:地质出版社, 1977:35-44.
- Guiling Geological institute of metallurgy. K-Ar isotopic dating of some intrusion in north China [C]//Collection of the national isotopic dating data (Vol.2). Beijing:Geological Publishing House, 1977:35-44(in Chinese).
- [56] 邱检生, 王德滋, 周金城, 等. 山东中生代橄榄安粗岩系火山岩的地质、地球化学特征及岩石成因[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1996, 21(5): 547-552.
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Zhou Jincheng, et al. Geology, geochemistry and genesis of the Mesozoic Shoshonitic volcanic rocks in Shandong Province [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(5):547-552(in Chinese with English abstract).
- [57] 邱检生, 王德滋, 罗清华, 等. 鲁东胶莱盆地青山组火山岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年—以五莲分岭山火山机构为例[J]. 高校地质学报, 2001, 7(3): 351-355.
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Luoqinghua, et al. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating for volcanic rocks of Qingshan formation in Jiaolai basin, eastern Shandong Province:A case study of the Fenlingshan volcanic apparatus in Wulian county [J]. Geological Journal of China Universities. J. China Univ., 2001, 7(3):351-355(in Chinese with English abstract).
- [58] 邱检生, 徐夕生, 罗清华. 鲁西富钾火山岩和煌斑岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年及源区示踪[J]. 科学通报, 2001, 6(18):1500-1508.
- Qiu Jiansheng, Xu Xisheng, Luo Qinghua. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of Mesozoic potassium - rich volcanic rocks and lamprophyres and mantle sources [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (18):1500-1508(in Chinese).
- [59] 万国栋, 胡世杰. 全国同位素地质年龄数据汇编(第四集)[M]. 北京:地质出版社, 1986:22-389.
- Wang Guodong, Hu Shijie. Collection of the National Isotopic Dating Data (Vol.4) [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1986:22-389(in Chinese).
- [60] 沙月学. 全国同位素地质年龄数据汇编(第四集)[M]. 北京:地质出版社, 1986:22-389.
- Sha Yuexue. Collection of the National Isotopic Dating Data (Vol.4) [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1986:22-389(in Chinese).
- [61] 山东地质队. 全国同位素地质年龄数据汇编(第四集)[M]. 北京:地质出版社, 1986:22-389.
- Shandong Geological Team. Collection of the National Isotopic Dating Data (Vol.4) [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1986:22-389(in Chinese).
- [62] 刘燊, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 胶北晚中生代煌斑岩的岩石地球化学特征及其成因研究[J]. 岩石学报, 2005, 21(3):947-958.
- Liu Shen, Hu Ruizhong, Zhao Junhong, et al. Geochemical characteristics and Petrogenetic investigation of the Late Mesozoic lamprophyres of Jiaobei, Shandong Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3):947-958(in Chinese with English abstract).

- [63] Guo F, Fan W M, Wang Y J, et al. Late Mesozoic mafic intrusive complexes in North China Block: Constraints on the nature of subcontinental lithospheric mantle [J]. *Physics and Chemistry of the Earth(A)*, 2001, 26: 759-771.
- [64] 王德滋, 任启江, 邱检生, 等. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用[J]. *地质学报*, 1996, 70(1):23-34.
Wang Dezi, Ren Qijiang, Qiu Jiansheng, et al. Characteristics of volcanic rocks in the shoshonite Province, eastern China, and their metallogenesis [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 70 (1):23-34 (in Chinese with English abstract).
- [65] 邱检生, 王德滋, 曾家湖. 鲁西中生代富钾火山岩及煌斑岩微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学[J]. *高校地质学报*, 1997, 3:384-394.
Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Zeng Jiahu. Study on trace element and Nd-Sr isotopic geochemistry of Mesozoic potash-rich volcanic rocks and lamprophyres in western Shandong Province[J]. *Geological Journal of China Universities*. 1997, 3:384-394 (in Chinese with English abstract).
- [66] 马昌前, 杨坤光, 许长海, 等. 大别山中生代钾质岩浆作用与超高压变质地体的剥露机理[J]. *岩石学报*, 1999, 15 (3):379-395.
Ma Changqian, Yang Kunguang, Xu Changhai, et al. Mesozoic potassic magmatism in the Dabie mountains: Implication for exhumation mechanism of ultrahigh-pressure metamorphic terranes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15 (3):379-395 (in Chinese with English abstract).
- [67] 彭艳东, 张立东, 陈文, 等. 辽西义县组火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -K-Ar 法年龄测定[J]. *地球化学*, 2003, 32(5):427-435.
Peng Yandong, Zhang Lidong, Chen Wen, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K-Ar dating of the Yixian Formation volcanic rocks, western Liaoning Province, China [J]. *Geochemica*, 2003, 32(5):427-435 (in Chinese with English abstract).
- [68] 周新华, 张国辉, 杨进辉, 等. 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[J]. *地球化学*, 2001, 30(1): 10-23.
Zhou Xinhua, Zhang Guohui, Yang Jinhui, et al. Sr-Nd isotope mapping of Late Mesozoic volcanic rocks across northern margin of North China Craton and implications to geodynamic processes [J]. *Geochimica*, 2001, 30 (1):10-23 (in Chinese with English abstract).
- [69] 张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山中晚期的中国东部高原埃达克岩的启示[J]. *地质科学*, 2001, 36:248-255.
Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erqi, et al. Existence of east China plateau in mid-late Yanshan period: Implication from adakites [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2001, 36:248-255 (in Chinese with English abstract).
- [70] 张旗, 王焰, 刘红涛, 等. 中国埃达克岩的时空分布及其形成背景[J]. *地学前缘*, 2003, 10:385-400.
Zhang Qi, Wang Yan, Liu Hongtao, et al. On the space-time distribution and geodynamic environments of adakites in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10:385-400 (in Chinese with English abstract).
- [71] 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. *地质学报*, 2000, 74(4):289-302.
Zheng Yadong, Davis G A, Wang Cong, et al. Major Mesozoic tectonic events in the Yanshan belt and the plate tectonic setting [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74 (4):289-302 (in Chinese with English abstract).
- [72] Zheng Y D, Wang S, Wang Y. An enormous thrust nappe and extensional metamorphic core complex newly discovered in the Sino-Mongolian boundary area [J]. *Science in China(B)*, 1991, 34 (9):1146-1152.
- [73] 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 医巫闾山变质核杂岩构造特征[J]. *地球学报*, 1999, 20(4):385-391.
Ma Yinsheng, Cui Shengqin, Wu Ganguo, et al. The structure feature of Yiwulushan core complexes [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1999, 20(4), 385-391 (in Chinese with English abstract).
- [74] 张晓辉, 李铁胜, 蒲志平. 辽西医巫闾山两条韧性剪切带 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄: 中生代构造热事件的年代学约束[J]. *科学通报*, 2000, 47(9):697-701.
Zhang Xiaohui, Li Tiesheng, Pu Zhiping. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of two ductile shear zones from Yiwulu Shan, west Liaoning region: Age constraints on Mesozoic tectonic events [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(13):1113-1118 (in Chinese).
- [75] 王新社, 郑亚东. 楼子店变质核杂岩韧性变形作用的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学约束[J]. *地质论评*, 2005, 51(5):574-582.
Wang Xinshe, Zheng Yadong. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints on the ductile deformation of the detachment system of the Louzidian core complex, Southern Chifeng, China [J]. *Geological Review*, 2005, 51(5):574-582 (in Chinese with English abstract).
- [76] 刘伟, 杨进辉, 李潮峰. 内蒙赤峰地区若干主干断裂带的构造热年代学[J]. *岩石学报*, 2003, 19(4):717-728.
Liu Wei, Yang Jinhui, Li Chaofeng. Thermochronology of three major faults in the Chifeng area, Inner Mongolia of China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(4):717-728 (in Chinese with English abstract).
- [77] 纪沫, 胡玲, 刘俊来, 等. 辽南变质核杂岩主拆离断层的波瓦状构造及其成因[J]. *地质科学*, 2008, 43(1):12-22.
Ji Mo, Hu Ling, Liu Junlai, et al. Features and mechanism of corrugation structure in the Liaonan (southern Liaoning) metamorphic core complex [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(1):12-22 (in Chinese with English abstract).
- [78] 关会梅, 刘俊来, 纪沫, 等. 辽宁南部万福变质核杂岩的发现及其区域构造意义[J]. *地学前缘*, 2008, 15(3):199-208.
Guan Huimei, Liu Junlai, Ji Mo, et al. Discovery of the Wanfu metamorphic core complex in southern Liaoning and its regional tectonic implication [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(3):199-208 (in Chinese with English abstract).
- [79] 王志光, 张录星. 熊耳山变质核杂岩构造研究及找矿进展[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1999, 8(6):388-392.
Wang Zhiguang, Zhang Luxing. Metamorphic core complexes in Xionger Shan and the advances in prospecting [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1999, 8 (6):388-392 (in

Chinese with English abstract).

- [80] 刘德良, 曹高社, 李振生, 等. 郯庐断裂南段主断裂韧性剪切带形成历时时限的探索[J]. 地学前缘, 2002, 9(2):475-482.
Liu Deliang, Cao Gaoshe, Li Zhensheng, et al. Duration time of structural deformation for the ductile shear zone in the south of Tancheng-Lujiang fault [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(2): 475-482(in Chinese with English abstract).
- [81] 朱光, 徐嘉伟, 孙世群. 郯庐断裂带平移时代的同位素年龄证据[J]. 地质论评, 1995, 41:452-456.
Zhu Guang, Xu Jiawei, Sun Shiqun. Isotopic age evidence for the timing of strike-slip movement of the Tan-Lu fault zone[J]. Geological Review, 1995, 41:452-456(in Chinese with English abstract).
- [82] 朱光, 宋传中, 王道轩, 等. 郯庐断裂带走滑时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31:250-256.
Zhu Guang, Song Chuanzhong, Wang Daoxuan, et al. Studies on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of strike-slip time of the Tan-Lu fault zone and their tectonic implications[J]. Science in China (Series D), 2001, 44:1002-1009(in Chinese).
- [83] 陈宣华, 王小凤, 张青, 等. 郯庐断裂带形成演化的年代学研究[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(3):215-220.
Chen Xuanhua, Wang Xiaofeng, Zhang Qing, et al. Geochronologic

- study on the formation and evolution of Tanlu fault [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(3): 215-220(in Chinese with English abstract).
- [84] 王勇生, 朱光, 陈文, 等. 郯庐断裂带热年代学信息及其与大别造山带折返的关系[J]. 地球化学, 2005, 34(3):193-214.
Wang Yongsheng, Zhu Guang, Chen Wen, et al. Thermochronologic information from the Tan-Lu fault zone and its relationship with the exhumation of the Dabie Mountains [J]. Geochimica, 2005, 34(13): 193-214(in Chinese with English abstract).
- [85] Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin [J]. The Geological Society of America, Special Paper, 1985, 206:1-59.
- [86] Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands:plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. The Island Arc, 1997, 6:121-142.
- [87] 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2003, 22:140-141.
Niu Baogui, He Zhengjun, Song Biao, et al. SHRIMP dating on volcanics of Zhangjiakou group and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22:140-141 (in Chinese with English abstract).

The geological evidences for the tectonic transition in late Mesozoic in North China

CHEN Gen-wen¹, XIA huang^{1,3}, CHEN Shao-qing²

(1. Key Laboratory for Metallogenic Dynamics, Guangzhou institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China; 2. East-southern Sichuan geological team, Chongqing 401329, China; Graduate school, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: There were two intensive igneous activities in North China. The early stages of magmatism is characterized by Jurassic high-Sr quartz diorites and the latter stage is characteristic of Cretaceous shoshonites. These rock series represent two different geological setting of crust thickening and lithospheric thinning, respectively. The transition of two igneous activities occurred at about 130 Ma. The development of Cretaceous alkaline rocks in North China shows that in the lithosphere extension occurred in Cretaceous. This conclusion can also be verified by seismic profile, the ages of extensional and compressional structures, the ages of metamorphic core complexes, strike-slip ages of Tanlu fault zone. The lithosphere extension took place in the Early Cretaceous, and the boundary of Late Jurassic-Early Cretaceous is the tectonic turning point in North China.

Key words: Magmatism; Tectonic transition; Mesozoic; North China

About the first author: CHEN Gen-wen, male, born in 1964, doctor, mainly engages in the study of metallogeny & petrogenesis; E-mail: chengw@gig.ac.cn.