

晚中生代—新生代构造体制转换与 鄂尔多斯盆地改造

张岳桥¹ 廖昌珍²

(1. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

提要:鄂尔多斯盆地是叠加在华北古生代克拉通台地之上的中生代大型陆内盆地。晚中生代—新生代是鄂尔多斯盆地重要的改造阶段, 区域构造体制经历了重大转换, 在盆地周缘形成不同方向和不同样式的构造带。其中发生在中、晚侏罗世时期的燕山运动主幕, 对鄂尔多斯盆地的定型和发展具有划时代意义, 这期构造变动导致鄂尔多斯盆地周缘挤压逆冲构造带的形成。早白垩世时期, 对区域构造应力体制转换的响应, 鄂尔多斯盆地处于弱引张构造环境, 引张构造变形主要集中在盆地西南缘地带, 六盘山古地堑发育。新生代时期, 构造变形主要发生在鄂尔多斯盆地周缘, 形成一系列地堑盆地。晚中新世或上新世以来的新构造运动时期, 受到青藏高原快速隆升和向东构造挤出作用的影响, 鄂尔多斯盆地西南缘六盘山褶皱带快速崛起, 而在盆地的其他周边地带则发生引张变形和地块差异性升降。最后, 笔者论述了不同构造应力体制下盆地的改造作用, 讨论了鄂尔多斯盆地研究中的一些基础地质构造问题。

关 键 词:鄂尔多斯盆地; 盆地改造; 晚中生代—新生代; 构造体制转换

中图分类号: P544^{+.4} **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)01-0028-13

鄂尔多斯盆地是在华北古生代克拉通浅海台地基础上发育起来的大型陆内叠合型盆地, 盆内蕴藏着丰富的石油、天然气、煤和砂岩型可地浸铀矿, 是中国重要的多种能源矿产基地(图 1)。盆地内沉积地层记录完整, 构造形态简单, 变动微弱, 是研究华北克拉通盆地地质构造演化历史的理想场所(图 2)。对此, 前人做过大量的研究工作, 盆地演化历史的总体格架基本清楚^[1-9]。从地层记录和岩相古地理变迁历史分析, 鄂尔多斯盆地经历了 5 个大的演化阶段: ①中元古代时期拗拉谷发育阶段; ②早古生代浅海台地发育阶段, 在盆地内记录了一套寒武纪至早中奥陶世的海相沉积地层序列; ③晚石炭世至三叠纪滨海平原发育阶段, 在盆地内记录了一套近海相和海陆交互沉积序列; ④侏罗纪至早白垩世内陆湖盆的发育阶段, 在盆地内记录了一套河湖相和含煤地层序列; ⑤新生代盆地周缘断陷发展阶段, 形成了一系列地堑构造。在每一个阶段之间, 受到区域构造运动的影响, 盆地经历了整体抬升、局部翘倾、侵蚀风化、夷平化等作用, 在地层序列中形成重要的沉积间断或地层不整合。研究结果已表明, 古生代和早中生代时期, 鄂尔多斯盆地与华北盆地是一个统

一的、具有相同沉积—构造演化历史的克拉通台地, 它们共同组成了大华北盆地^[4]。发生在晚三叠世的印支运动(表 1), 伴随着秦岭洋的闭合和华南—华北地块的陆—陆碰撞作用, 鄂尔多斯盆地从近海盆地演化为大型陆内湖盆。中晚侏罗世时期, 这个湖盆发生了东西向重大构造分异, 现今鄂尔多斯盆地的构造—地貌格局正是在中晚侏罗世以来的晚中生代—新生代时期逐渐形成的。在这个地质演化历史中, 中国大陆构造应力体制发生多次重大转折, 鄂尔多斯盆地受到不同构造动力系统的影 响, 在其周缘地带形成了复杂的构造带和盆—山耦合系统。这些构造带和盆—山耦合系统的变形特征记录了晚中生代—新生代构造变动过程和应力作用方式, 它们对盆地内部多种能源成藏定位过程起到了积极的作用。

1 晚中生代—新生代构造体制转换及在 鄂尔多斯盆地中的响应

1.1 中国东部晚中生代构造体制重大转换

日益累积的观察资料、测试分析数据和综合研究结果表明, 中国东部地区晚中生代构造演化经历了以挤压为主到伸展

收稿日期: 2005-04-08; 改回日期: 2005-07-02

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB214604)资助。

作者简介: 张岳桥, 男, 1963 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 从事构造地质、新构造和盆地分析研究; E-mail: zhangyueqiao@yahoo.com。

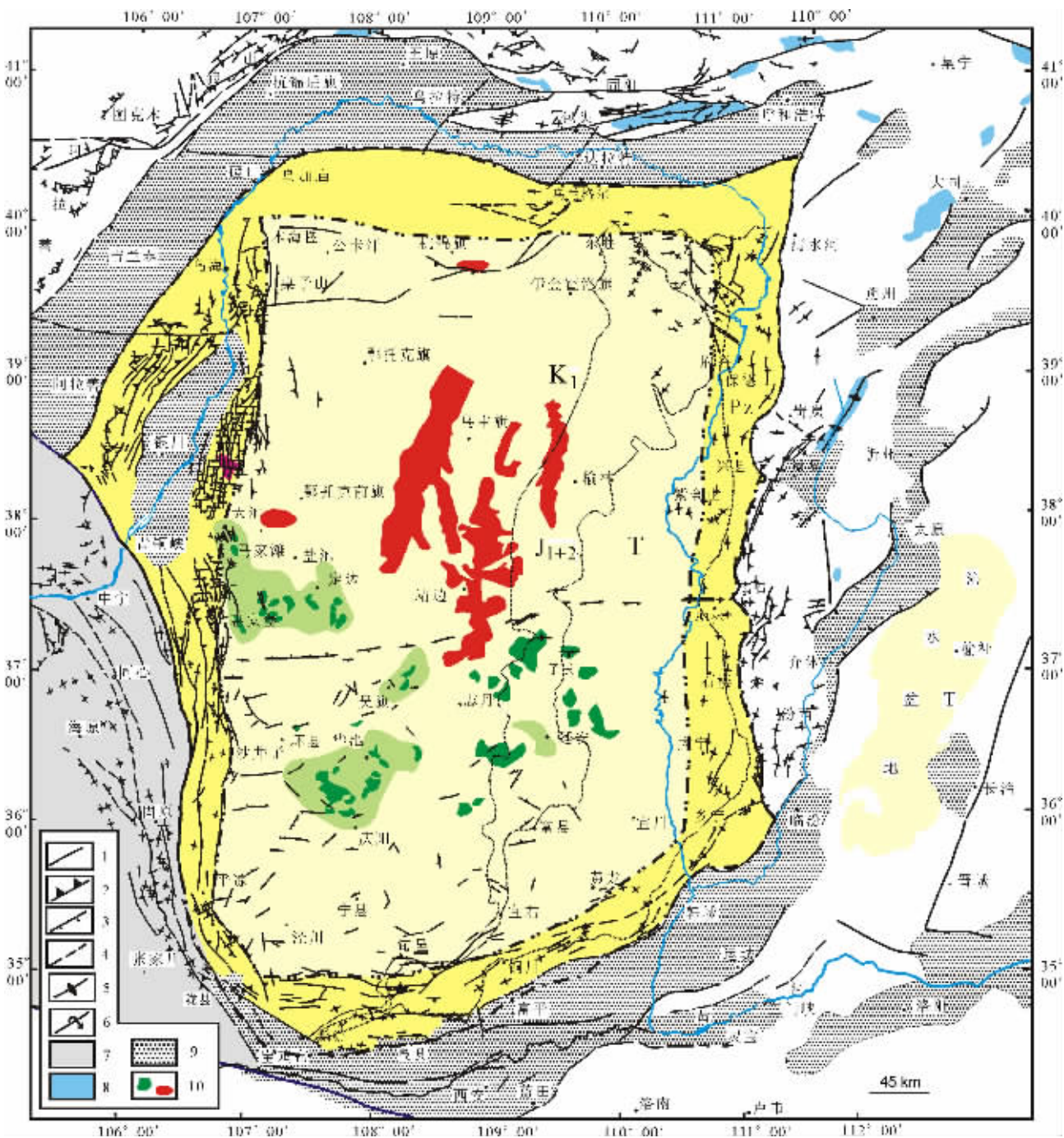


图 1 鄂尔多斯盆地及周边地带构造纲要图与多种能源矿产分布

Pz—古生界;T—三叠系;J₁₊₂—下中侏罗统;K₁—下白垩统;1—断层;2—逆冲断层;3—正断层;4—推测断层;5—褶皱;
6—倒转褶皱;7—六盘山弧形构造带;8—中生代盆地;9—新生代地堑;10—石油、天然气田

Fig.1 Structural outline map of the Ordos basin and its adjacent areas showing the distribution of multiple energy resources
Pz—Paleozoic; T—Triassic; J₁₊₂—Lower-Mid Jurassic; K₁—Lower Cretaceous; 1—Fault; 2—Reverse fault; 3—Normal fault; 4—Inferred fault; 5—Fold; 6—
Overturned fold; 7—Liupanshan arcuate tectonic zone; 8—Mesozoic basin; 9—Cenozoic graben; 10—Oil and gas field.

表 1 鄂尔多斯盆地中、新生代地层柱状简图与盆地构造演化阶段划分 根据文献 [9]修改)
Table 1 Mesozoic and Cenozoic stratigraphic column of the Ordos basin and stage division of the tectonic evolution of the basin (modified from reference [9])

地质时代		地层 (最大厚度m)	岩性	颜色	沉积环境	盆地性质	重大构造事件 与构造应力环境
		西部边缘	内部	西部边缘	内部		
第四纪	Q	100 黄土	357	黄色	现代	周缘断陷地	新构造运动
古近—新近纪	N, E	76 清水营组	48	红色	内陆盐湖		区域引张与 周缘伸展变形
白垩纪	K ₁	1099 六盘山群	?	红色	湖相 河流相	坳陷盆地 与 断陷盆地	燕山运动晚期
		1975 志丹群	?	灰色 红色			
侏罗纪	J ₁	174 分关河组		红色	山前堆积物	前陆盆地	燕山运动主幕 多向挤压动力 系统
	J ₂	160 安定组	128	红褐色	湖相 河流相 平原		
		669 百罗组	269	黑红色	河流相		
		延安组		黑色	湖盆区 沼泽河流相		
	J ₃	388 156 富县组	35 151	红色	河流相 残积物 沉积物		
三叠纪	T ₂	延长组		黑红色	湖相盆地 沼泽 河流相	大型内陆湖盆	弱引张构造 应力环境
					河网相		
	T ₁	3000 1722			深湖 相		
					河流相		
	T ₂	695 877		灰色	河流相	大型近海湖盆	印支运动与 华南-华北地块 碰撞
	T ₃	111 182		红色			
	T ₄	821 408		红色	河湖相 和洪面		
叠纪	P ₂	338 198		灰色			
	P ₁	380 394		灰色	河流相		

为主的构造体制转换,构造应力场发生了从多向挤压收缩为主到近东西向引张伸展为主的重大转变^[10-12],中国东部岩石圈经历了巨量的减薄,大陆岩石圈从古生代的 120~180km 减薄到现今的 70~80km^[13-14]。构造体制转换和岩石圈巨量减薄导致了中国东部古地貌格局和地质环境的重大变迁,强烈的岩浆活动、火山喷发和地质流体活动导致大规模的金属成矿爆发作用。

翟明国等^[15-16]系统总结了华北东部地区构造变形、岩浆作用、岩石圈热体制、盆地配置与迁移、成矿作用和古地磁等方面研究成果,提出华北东部构造体制转换的时限起始于 150~140 Ma,结束于 110~100 Ma,峰值为 120 Ma。邵济安等^[17-18]从构造-岩浆演化角度出发,认为中国东部构造体制转折是一个岩石圈尺度的、渐变的过程,并将这个过程划分为 3 个阶

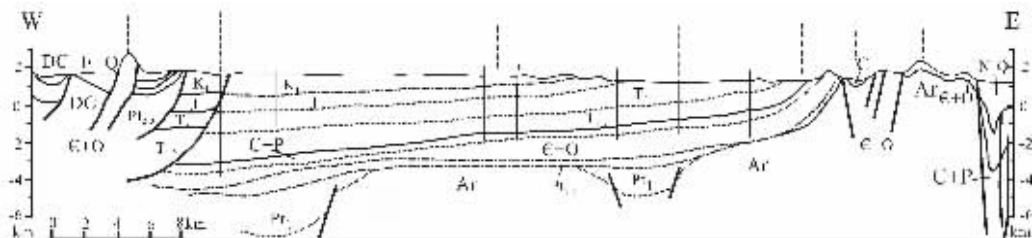


图 2 横穿鄂尔多斯盆地东西向构造横剖面示意图(根据文献[6])

Fig.2 Schematic E-W cross section of the Ordos basin (after reference [6])

段:早中生代(230~180 Ma)以岩石圈结构的深部调整和底侵作用为主;中、晚侏罗世(180~140 Ma)以断块差异升降和火山喷发为主导;早白垩世(140~110 Ma)以地壳伸展和岩石圈减薄为主,构造体制的转折过程持续了近 120 Ma。赵越等^[19~20]强调构造体制转换的实质是构造动力系统的转变,并基于燕山地区板内构造变形的典型地质记录和高精度年代学研究成果,论述了燕山运动构造幕与东亚构造体制转折的时空关系,认为发生在(160±5) Ma 前的燕山运动主幕标志东亚构造体制开始发生转换,近南北向地壳收缩变形结束于(135±5) Ma,随之发生强烈的岩石圈伸展运动,伸展高峰期在 113Ma。发生在中侏罗世前后的板内收缩变形与蒙古洋的消减和西伯利亚板块与蒙古—华北板块的碰撞过程有关,而发生在(160±5) Ma 以来的构造体制转换过程与西太平洋活动大陆边缘的形成和演化紧密相连。

在阴山构造带的中蒙边界和大青山地区发现大型晚中生代逆冲—推覆构造^[21~22],为研究华北地区晚中生代构造变形体制转换提供了重要的构造地质证据。这些大型推覆构造主要形成于中晚侏罗世时期,根据断层面上运动指向确定挤压收缩方向为近 N-S 向。大型推覆构造被早白垩世时期(约 135 Ma)引张伸展构造所截切,形成伸展型变质核杂岩,表明在晚侏罗世晚期—早白垩世初期,构造变形体制发生重大的变换。大别山构造带演化历史研究成果同样揭示了晚中生代

构造体制的重大转换^[23]。该造山带在中生代早期经历了持续的挤压收缩,但晚期转变为引张伸展变形,年代学研究结果指示引张伸展变形起始于 140~135 Ma,即白垩纪初期^[24]。

显然,中晚侏罗世和早白垩世是两个构造应力体制完全不同的构造演化阶段。中、晚侏罗世时期,3 个不同板块几乎同时向亚洲大陆汇聚,其产生的远程效应导致了我国东部强烈的陆内变形。这 3 个板块的汇聚系统是:东部古太平洋板块向亚洲大陆俯冲和汇聚、北部西伯利亚板块与蒙古—华北板块的碰撞和汇聚、西部特提斯洋消减和陆块碰撞和汇聚作用^[25]。因此,我国东部传统意义上的燕山运动主要是发生在中晚侏罗世时期的地壳幕式挤压收缩和走滑变形。陆内挤压变形不仅使古老的纬向构造带(阴山—燕山构造带、秦岭—大别构造带)发生强烈的逆冲复活,同时导致华北克拉通型盆地的东西分异、新的构造体系形成和新的盆—山耦合系统发育。中西部南北向逆冲构造带、新华夏构造体系和郯庐断裂左旋走滑系统等正是在这种构造动力背景下形成和发育的。早白垩世时期,构造应力状态和地壳变形样式发生重大变化,构造活动以岩石圈引张作用为主,挤压作用相对较弱,岩石圈发生巨量减薄,地壳发生强烈的伸展变形,导致广泛的裂陷盆地和裂谷形成及发育^[26],同时伴随着广泛的岩浆侵入和火山喷发活动。我国东部构造体制转换和岩石圈减薄过程的动力学可能与古太平洋板块向亚洲大陆的俯冲有关^[20,27]。

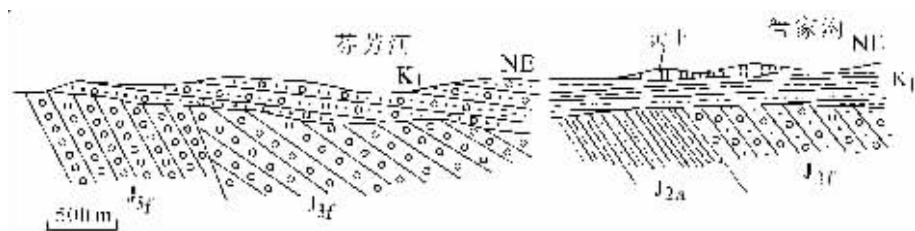


图 3 鄂尔多斯盆地西缘冲断带中下白垩统底部地层角度不整合接触关系(根据参考文献[1])

K₁—下白垩统;J₃f—上侏罗统芬芳河组;J₂a—中侏罗统安定组

Fig.3 Unconformity at the base of the Mid-lower Cretaceous in the thrust fault zone on the western margin of the Ordos basin (after reference [1])

K₁—Lower Cretaceous;J₃f—Fenfanghe Formation of Upper Jurassic;J₂a—An'ding Formation of Middle Jurassic

1.2 晚中生代构造体制转换在鄂尔多斯盆地及周缘的构造—沉积响应

在晚中生代构造体制转换过程中,由于远离板块边界带,鄂尔多斯地块本身表现相对比较稳定,但在其周缘地带,受到不同动力系统的影响,形成了复杂的构造带和盆—山耦合系统,如盆地西缘逆冲构造带、东缘离石断裂和晋西挠褶带、南缘渭北挠褶带和北缘断裂带。

鄂尔多斯盆地西缘逆冲构造带呈 N—S 走向,北起磴口,向南经桌子山、石嘴山、马家滩、大水坑、沙井子,南抵陇县和千阳,长约 600 km,东西宽 30~80 km。该构造带东临天环坳陷带,西侧为贺兰山、六盘山活动构造带,逆冲构造带本身或折线状或钝锯齿状,分段特征明显,之间发育近 E—W 向断裂。随着石油勘探的深入,前人对西缘逆冲构造带的研究取得了长足的进展,对构造带几何形态特征、运动学和区域动力学等方面获得了重要的认识[6,8~9,28~29]。研究结果表明,西缘逆冲推覆构造带主要形成于中晚侏罗世时期的燕山运动主幕。沿西缘逆冲构造带,早白垩世地层不整合超覆在不同时代的地层之上(图 3)。从地震反射剖面特征判断,上侏罗统芬芳河组对应一套楔状沉积体,由砾石层组成,厚度 1 200~3 000 m,主要发育在西缘逆冲构造带前陆地区^[4]。该套地层是同构造期形成的磨拉石堆积,记录了中侏罗世晚期至晚侏罗世时期西缘逆冲推覆构造过程。

鄂尔多斯盆地东部边界位于离石断裂带,该断裂将东侧

的吕梁断隆(山西台褶带的组成部分)与西侧的晋西挠褶带分野。离石断裂是一条地壳型断裂,它的块体边界特征非常清楚。区域构造分析表明,断裂东侧山西台褶带构造变形卷入了前寒武结晶基底,根据卷入最新地层推断,这套 NE—SW 至 NNE—SSW 向褶皱—冲断构造系统主要形成于晚侏罗世的燕山运动主幕,这些构造形迹向西一致地收敛于离石断裂带,表明山西台褶带晚中生代构造变形受到离石断裂带边界条件的控制。

鄂尔多斯盆地南缘对应于渭北隆起,由于新生代渭河地堑的发育和鄂尔多斯地块翘倾和侵蚀,使该带出露了前寒武纪和古生代地层。该带出露的盖层发生明显构造变形,短轴褶皱和向南倾的逆冲断裂构造普遍发育,褶皱轴向从 E—W 至 NE—SW 向有规律的变化,在平面上组成弧形构造带(图 1)。根据区域分布特征,渭北挠褶带是晋西挠褶带的南西延伸部分,两者变形样式的相似性表明它们具有相同的成因。由于受到新生代汾渭河地堑发育的影响,渭北挠褶带与秦岭造山带之间的关系难以完整地建立。

鄂尔多斯盆地北缘发育一条向北倾斜的伸展走滑断裂,它既是新生代河套地堑盆地的南部边界,又是伊盟隆起北部乌兰格爾基岩突起带的边界。由于地表覆盖关系,该断裂早期演化历史研究很少。沿乌兰格爾基岩突起带,前寒武系基底埋深很浅,白垩系超覆其上。位于乌兰格爾基岩突起带以南的伊北挠折带,对应于一个向东北翘倾、向南西倾伏的单

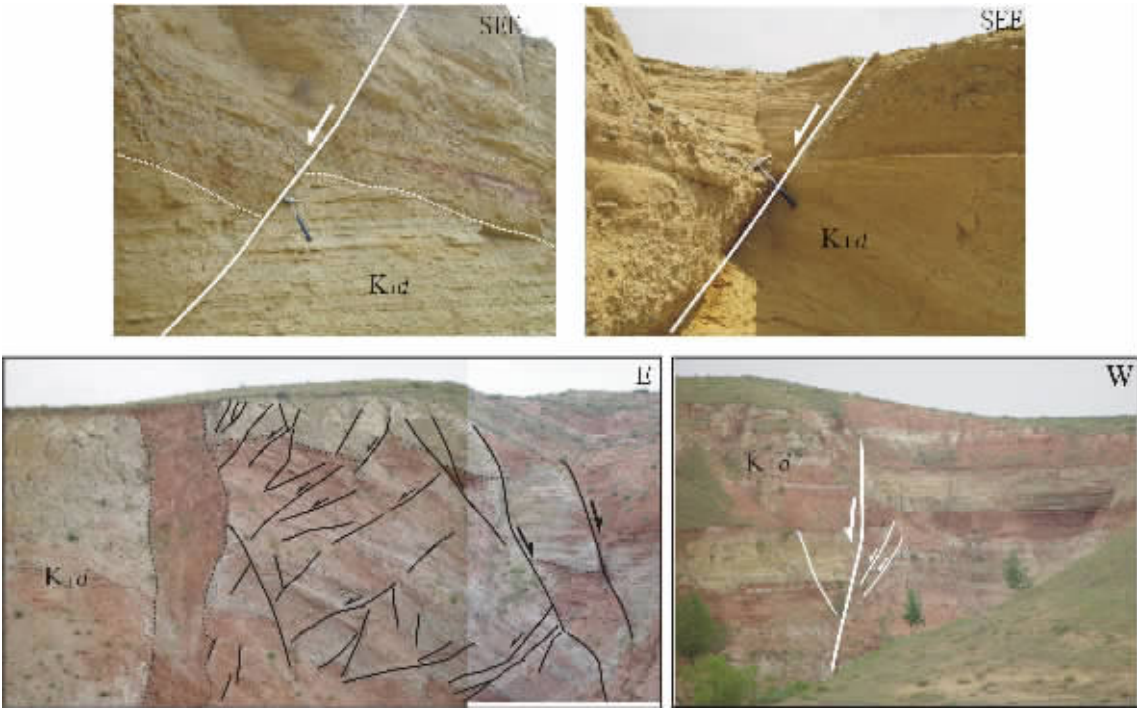


图 4 鄂尔多斯盆地东北部地区下白垩统中同生正断层野外照片

Fig.4 Field views of Early Cretaceous syn-sedimentary normal faults in the northeastern area of the Ordos basin

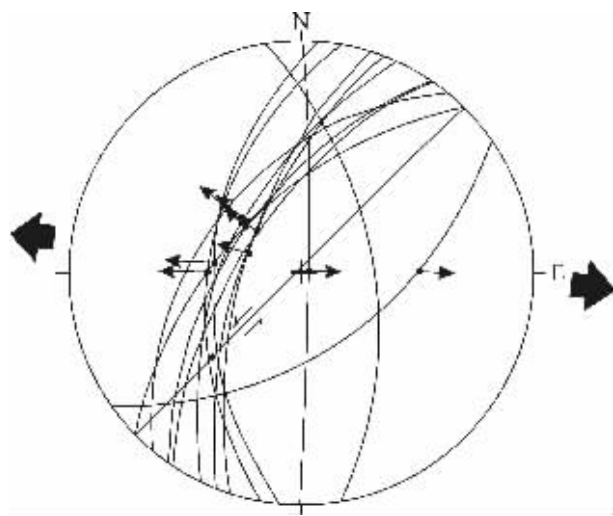


图 5 鄂尔多斯盆地东北部地区下白垩统同生正断层
滑动矢量及引张应力方向

Fig.5 Slip vectors of Early Cretaceous syn-sedimentary normal faults and direction of extensional stress in the northeastern area of the Ordos basin

斜构造带,白垩系依次不整合于侏罗系、三叠系之上,并发育多个鼻状挠褶带,波及的地层以三叠系和侏罗系为主。同时发育 3 组断裂,以近 E—W 向者为主,NE—SW 和 NW—SE 者为次,这些断裂构造主体形成于白垩纪前的燕山运动^[1]。

从上述盆地周缘构造变形特征分析可以看出,盆地东西两侧基底向盆地方向逆冲推覆和盖层拆离是鄂尔多斯盆地周缘主要变形样式,表明晚中生代东西向地壳收缩作用的主导性。盆地西缘构造复杂,构造形态受基底条件、尤其是软弱带的控制。从变形强度上看,西缘构造变形强,东缘相对较弱。盆地南北两侧变形相对较弱,并且具有走滑特征。这种变形样式指示鄂尔多斯地块经历了由西向东的构造挤出^[30-31]。在盆地内部,根据节理确定的燕山运动主幕构造主压应力方向近 E—W 至 NW—SE 向^[32-33]。

早白垩世初期,鄂尔多斯盆地周缘构造变形样式发生了重大变化,构造变形以引张作用为主,断陷作用主要发生在鄂尔多斯盆地西南缘和西部边缘地带,六盘山群正是在侏罗纪隆起的基础上发育的断陷盆地^[1]。鄂尔多斯盆地恢复沉降,沉降轴主要位于盆地两侧的南北向天环坳陷,沉降幅度大于 1 600 m,沉降速率达 30~50 m/Ma^[31]。盆地内发育正断层,指示近 W—E 向的引张作用(图 4)。这个时期也正是中国东部裂陷作用和裂谷盆地形成和发育的重要时期。早白垩世中晚期,受到区域构造挤压,大部分早白垩世断陷盆地发生回返,鄂尔多斯盆地整体隆升。这种隆升格局一直持续到晚白垩世至新生代时期,而沉降作用主要发生在盆地周缘地带。

纵观盆地沉积记录特征和构造变形样式,鄂尔多斯盆地

晚中生代时期构造体制经历了从挤压变形为主到引张变形为主的构造变形体制转换。盆地周缘构造带演化历史表明,中、晚侏罗世是鄂尔多斯盆地周缘地带尤其是西缘和东缘地带发生强烈构造变动时期,周缘挤压构造带基本定型。

1.3 新生代构造体制转换

新生代时期,鄂尔多斯地块保持相对稳定,但其周缘构造变形样式发生重大变化,构造挤压作用主要集中在盆地西南缘的弧型构造带,而沿盆地西缘、北缘、南缘、东缘则发生强烈断陷作用,分别形成了银川地堑、河套地堑、汾渭地堑和山西地堑系。这些挤压构造带和断陷盆地是新构造强烈活动的地区^[34-35]。

根据渭河盆地沉积—构造演化历史分析和秦岭断裂带新生代运动学历史分析^[36-38],新生代断陷盆地的形成经历了 3 个演化阶段和 3 次引张应力方向的转换过程。古新世—渐新世时期,受到古太平洋板块向亚洲大陆俯冲产生的弧后对流扩张和幔柱活动影响,强烈的断陷作用发生在太行山以东的华北平原地区(即大渤海湾盆地),鄂尔多斯盆地周缘的沉降作用仅局限在渭河地堑、六盘山古地堑、银川地堑和河套地堑的凹陷中,断陷强度较小,区域引张作用方向为 NW—SE 至 NWW—SEE。中新世时期,随着板块运动学重组和西太平洋边缘海的近 N—S 方向的扩张,华北地区残存的弧后对流扩张和幔柱活动的方式发生了变化和调整,引张应力方向转换为 NE—SW 至 NNE—SSW 向,沉积范围扩大,沉降速率增大;在华北东部地区以区域热沉降占据主导地位,同时伴随大量的玄武岩喷发。上新世以来,构造动力体制发生重要转换,青藏高原的快速隆升和地壳物质向东构造挤出开始强烈影响华北地区,鄂尔多斯周缘地带构造变形分异作用加强,引张应力方向转换为 NW—SE 向,山西地堑开始形成和发育,其他断陷盆地沉降速率明显增大。

然而,关于青藏高原何时及如何影响鄂尔多斯地区,目前存在很多争议,其中关键的问题是无法准确确定鄂尔多斯盆地西南缘六盘山逆冲构造带的形成和隆升时代。许多学者根据红粘土磁性地层学年龄推断,六盘山快速崛起发生在新世晚期(8~10 Ma)。但构造变形调查和研究结果表明,六盘山地区主要构造变形可能发生在上新世至早更新世时期^[39]。李吉均等^[40-41]根据昆北地区沉积和构造地貌特征分析,认为发生在 3.4 Ma 以来的青藏运动(A 幕、B 幕、C 幕)、昆—黄运动和共和运动等上新世—第四纪构造—地貌变动事件造就了现今高原地貌和盆山格局。笔者基于青藏东缘变形样式和变形年代学的分析结果^[42],提出了青藏东缘晚新生代 2 次构造挤出的运动学模式,认为中新世晚期—上新世早期(12~5 Ma)的“川滇地块”挤出主要影响了青藏东南缘地区,而青藏东北缘和鄂尔多斯周边地区则处于伸展走滑变形环境,鄂尔多斯盆地恢复沉降,接受了保德组红粘土沉积;上新世晚期—早更新世(4~0.8 Ma)“松潘—陇西地块”构造挤出作用强烈影响了青藏高原东北缘和鄂尔多斯周边地区,导致六盘山褶皱带快速崛起和山西地堑系的形成,而鄂尔多斯地块边缘翘倾作用

加强,差异性隆升导致南缘强烈的河流侵蚀和剥蚀作用。

2 晚中生代—新生代构造热事件与鄂尔多斯盆地隆升过程

赵孟为^[43]在钻孔庆 36 井和天深 1 井二叠—三叠纪砂、泥岩中获得了自生伊利石矿物的 K—Ar 同位素年龄 170~160 Ma,认为伊利石形成是一期构造热事件作用的结果。根据石炭—二叠纪煤系的镜质体反射率数据推断的古地温梯度表明,盆地内有机质的热演化不是埋藏受热的结果,很可能起因于燕山运动时期盆地内一期隐伏岩浆侵入作用。

磷灰石裂变径迹测年结果表明^[45~46],鄂尔多斯盆地西部的天环坳陷、西缘逆冲构造带出现部分退火带、冷却带,而在伊陕斜坡、渭北隆起、晋西挠褶带、伊盟隆起缺失未退火带及部分退火带上部地层,表明盆地后期发生过大幅度的抬升和剥蚀作用。根据冷却带裂变径迹年龄和长度分析结果推断,由盆地快速抬升和剥蚀作用引起的快速冷却事件主要发生在 23 Ma 之前,抬升速率在盆地西部为~23 m/Ma,在盆地东部~34 m/Ma^[45]。但根据赵孟为^[44]的估算,盆地东部抬升剥蚀速率应当为~95 m/Ma,造成 2 000 m 的剥蚀量,盆地西部抬升剥蚀速率为~56 m/Ma,导致了约 1 000 m 的剥蚀量。

孙少华等^[47]对盆地多个井区做了磷灰石裂变径迹测试分析,并结合热释光分析,揭示了鄂尔多斯盆地中生代以来至少经历 3 次构造热事件:215 Ma、135 Ma 和 72 Ma,其中 215 Ma 事件最强烈。但这项研究没有给出盆地不同构造单元冷却带的深度。

盆地沉积历史分析表明,鄂尔多斯盆地晚中生代时期发生强烈的构造变动和整体抬升和剥蚀过程。根据缺失地层看,有 2 次显著的抬升事件:一次发生在中侏罗世末期至早白垩世之前,另一次发生在下白垩统志丹群沉积之后。任战利^[48]利用 R_o—H 曲线和 R_o 外推法,估算了晚白垩世以来鄂尔多斯盆地剥蚀厚度:晋西挠褶带和渭北隆起带剥蚀厚度最大,在 2 000~3 000 m,靖边—庆阳以东地区在 1 000~2 000 m,西部天环坳陷区小于 1 000 m。这个结果与赵孟为^[44]根据磷灰石冷却带深度变化所推断的剥蚀量是一致的,表明盆地剥蚀作用可能主要发生在中新生以来。

3 晚中生代—新生代构造变动事件对鄂尔多斯盆地的改造作用

所谓改造型盆地,是相对于原型盆地而言,即盆地的原型在盆地演化末期或之后遭受改造的沉积盆地^[49]。本文所指的盆地改造作用对应于中、晚侏罗世以来的一切地质—构造变动事件和过程,而中、晚侏罗世之前形成的盆地对应于原型盆地。通常地,根据动力作用和改造形式的不同,盆地的改造作用可分为下列 7 种类型:抬升剥蚀、叠合深埋、热力改造、构造变形、肢解残留、反转改造和复合改造等^[49]。不同构造体制下,构造变动对盆地产生的改造作用是不一样的,对多

种能源矿产资源的成藏效应也不一样。尽管鄂尔多斯是一个相对稳定的地块,晚中生代—新生代构造变动主要发生在盆地周缘,内部变动轻微,但周缘地带在不同构造体制下,构造变形、抬升剥蚀、叠合深埋、热力改造等改造作用对盆地内部油气藏保存条件、散失过程和铀矿富集成矿等起到重要的影响(表 2)。

3.1 挤压构造体制下盆地的改造作用

构造挤压导致盆地的收缩变形,盆地发生盖层滑脱、褶皱和断裂变形改造,在盆地周缘地带形成盆—山系统。在盆地中由于加积作用,使盆地叠合深埋,易于油气烃原岩的成熟和生烃过程;山地的隆升遭受侵蚀,成为盆地的物源区和油气运移及富集的指向地带,同时在盆山转换带形成新的水动力系统,易于铀离子的迁移和富集。在盆地内部,构造挤压作用导致前渊凹陷和肩部隆起的发育。

总体上,除了周缘地带外,鄂尔多斯盆地腹部地区构造变形很轻微。但发生于中侏罗世晚期至晚侏罗世时期的燕山运动主幕对鄂尔多斯盆地的改造作用具有重要的意义。这次运动使早期大华北统一盆地解体,盆地东部强烈抬升,东西两侧挤压构造带形成和盆—山系统发育,盆地北缘和东缘也发生向盆内逆冲,但强度较小。这期挤压事件强烈影响了盆地后期演化过程中的流体动力学系统。根据蒲仁海等^[50]研究成果,侏罗纪晚期的燕山运动使盆地西倾单斜上叠加了一套轴线向天环坳陷收敛的近东西向延伸的小鼻隆,这种鼻隆构造引导了盆地白垩纪以来由西向东的油气运移方向。

3.2 引张构造体制下盆地的改造作用

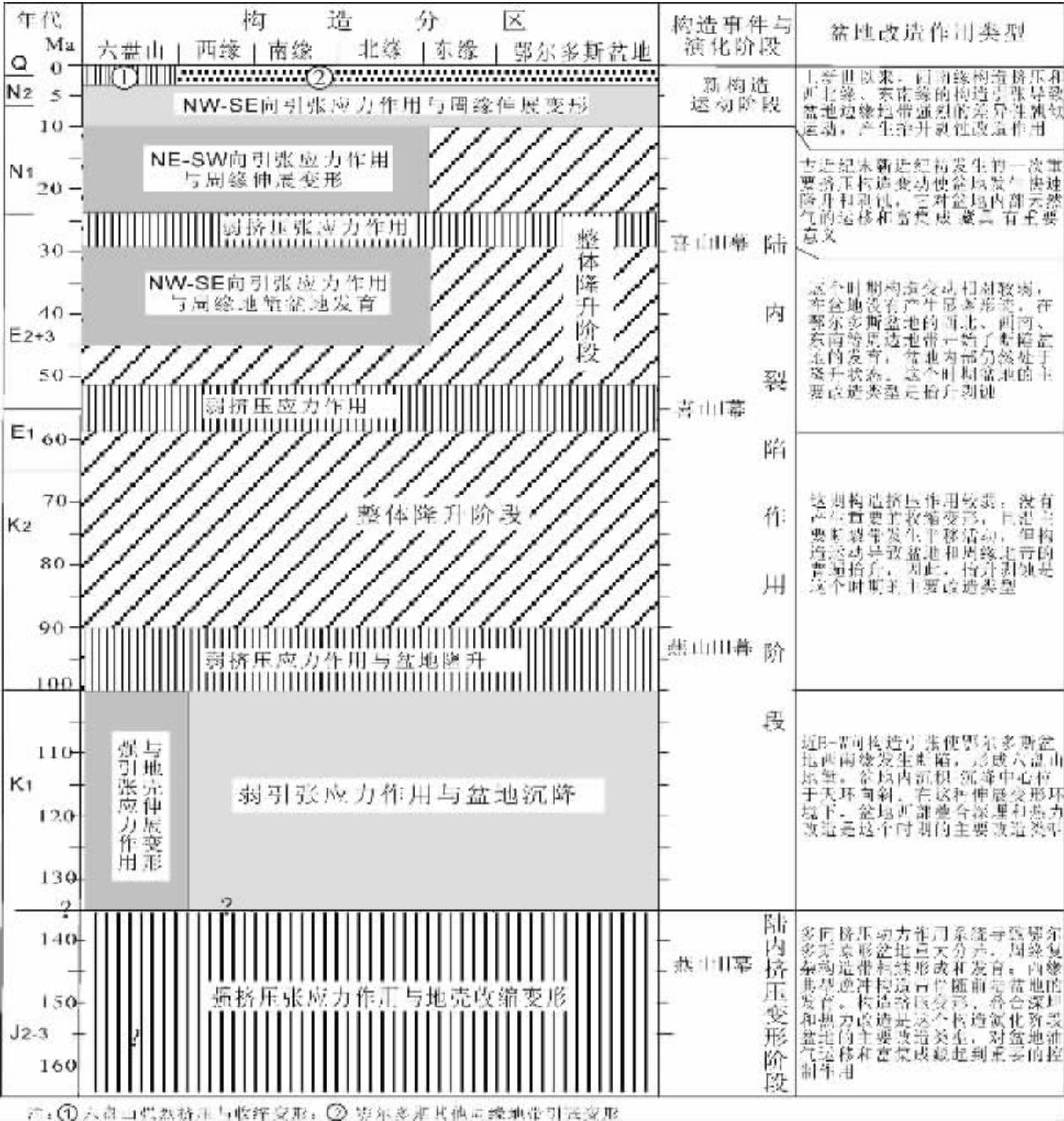
与挤压构造应力体制不同,引张构造体制使盆地处于相对松弛和开放的构造环境,为流体运移和成藏过程提供了有利的条件。早白垩世时期,鄂尔多斯盆地处于引张构造应力体制,这个时期是油气成藏的重要时期。在盆地的断陷区,地壳发生减薄,热流增高,加积作用增强。在这种环境下,盆地的热力改造作用加强,有利于流体的活动。盆—山转换带的地表水动力系统活跃,对铀离子的迁移和富集成矿极为有利。根据有限的年代学分析结果,鄂尔多斯盆地周缘铀矿成矿年代大多集中在白垩纪时期,可能与这个时期的引张构造环境有关。

3.3 复合构造体制下盆地的改造作用

盆地在同一时期不同边界受到构造挤压和引张对盆地内部产生复杂的改造作用。晚新生代时期构造变动就是这种情形。一方面,在盆地西南缘受到青藏高原的推挤,沿弧形构造带发生强烈的冲断,导致盆地内构造变形和新的盆—山系统的形成;另一方面,盆地南缘和北缘发生地壳引张,导致盆地南北两侧的翘倾运动。翘倾的结果加深了地表侵蚀作用,对早期油气藏起到破坏性作用,或者重新迁移和定位。可以说,晚新生代发生的构造变动对盆地古生代、中生代油气藏起到一定程度的破坏作用,但在这种复合构造体制下,盆地的改造作用可能导致盆地流体系统的重大改变,对铀矿资源的富集起到了促进作用。

表 2 鄂尔多斯盆地及周缘地带晚中生代—新生代构造事件序列与盆地改造作用类型

Table 2 Sequence of Late Mesozoic–Cenozoic tectonic events and types of basin modification in the Ordos basin and its surrounding areas



4 鄂尔多斯盆地研究中主要构造问题

晚中生代—新生代时期是鄂尔多斯盆地重要的改造阶段,对这个阶段,有一些关键基础构造地质问题尚待深入开展调查和研究。

4.1 中晚侏罗世构造变动事件的时代和区域动力作用方式

盆地沉积记录 and 构造变形特征分析表明,三叠纪—早侏

罗世时期,鄂尔多斯盆地处于引张构造应力环境^[51-52]。笔者在盆地中的野外观察资料也证实了这种认识。中晚侏罗世时期,构造变形体制的重大转换对鄂尔多斯盆地,乃至整个中国东部地区陆内构造演化具有划时代意义,但对这次重要陆内构造变形事件的确切时代、区域作用方式和板块动力学背景等问题,目前尚不很清楚。从鄂尔多斯盆地演化的沉积地层特征、岩相古地理格局和盆地热历史分析结果,均清楚地

记录了这次重要的构造变动事件。但迄今对这次构造热事件尚没有进行同位素年代学研究工作。已知的年代学数据是赵孟为^[53]在庆 36 井和天深 1 井二叠—三叠纪砂、泥岩中获得的自生伊利石矿物 K—Ar 年龄(170~160 Ma),但这个年龄是否与构造变动时代一致,尚值得进一步研究。

从空间展布型式上看,这次构造变动使鄂尔多斯盆地东西两侧挤压构造带形成,也即反映了地壳东西方向的收缩变形。但在阴山构造带发现的大青山大型逆冲推覆构造带^[21],指示了中晚侏罗世时期 N—S 方向的地壳收缩;而在山西隆起区褶皱冲断样式指示了 NW—SE 向地壳收缩。这种不同方向的地壳收缩变形,反映了它们发生的动力学背景是不一样的。

笔者认为,在中晚侏罗世时期,鄂尔多斯盆地可能遭受了来自不同方向的动力作用影响,其中盆地西缘的由西向东逆冲推覆作用可能与青藏地区特提斯构造域地块碰撞作用引起的向东构造挤出有关,盆地东缘和东南缘构造变形作为山西台褶带的组成部分,可能与由太平洋板块和亚洲大陆汇聚产生的远程效应有关,而盆地北缘构造变形则与阴山构造带强烈的挤压推覆构造作用相关。这些不同性质和方向的动力系统相互作用,造就了鄂尔多斯盆地周缘复杂的构造变形组合。迄今,只有鄂尔多斯盆地西缘逆冲构造带勘探程度高,研究工作较多,研究程度也相对较高,但对盆地东部边界带,尤其是离石大断裂的变形特征^[54]与盆地和山区之间的耦合关系等缺乏深入的调查和研究工作。在盆地北缘地带,由于受到新生代断陷作用的影响,早期挤压变形形迹也难以观察和研究。这些问题的深入研究对于理解鄂尔多斯盆地现今构造—地貌格局的形成将具有重要的意义。

4.2 晚白垩世鄂尔多斯盆地整体抬升的区域动力学背景

早白垩世志丹群沉积之后,鄂尔多斯盆地发生了整体抬升,湖盆消失,盆地处于整体隆升状态。发生这种地块抬升的深部动力学机制,目前并不清楚;盆地整体隆升的同时,是否遭受强烈的剥蚀作用及剥蚀量多少等问题,目前也没有明确的答案。在早、晚白垩世之间,中国东部发生了一次重要的走滑收缩变形,这期构造变动在东部郯庐断裂带中段的沂沭裂谷系有明显的地层和变形记录^[55],使早白垩世断陷盆地发生不同程度的反转。沿秦岭造山带北侧,构造变形记录也很清楚^[56]。在鄂尔多斯盆地西缘逆冲构造带,Darby 等^[57]推断,位于贺兰山北端的近 E—W 向正宜关断裂与桌子山北端的一条 E—W 向横向断裂是同一条,后被近 N—S 走向的黄河断裂左旋错移了近 60 km。这些学者根据这种推断进行的位移复原图得出,桌子山冲断带是贺兰山褶皱带的前陆部分。这应该是一个有争议的问题,大多数中国地质学家认为(从现有的构造地质图上判断),贺兰山北端的正宜关断裂向东延伸直接与桌子山冲断带中的一条横向断裂相联,近 N—S 向的黄河断裂并没有后期大规模的左旋走滑。笔者初步推测,该期走滑变形可能是存在的,但变形规模没有如 Darby 等推断

的那么大。

4.3 鄂尔多斯盆地晚期快速隆升的时代及其深部机理

磷灰石裂变径迹测年结果揭示了鄂尔多斯盆地中新世中期(~23 Ma 之前)快速隆升和冷却事件。通常将这次剥露事件与青藏高原的隆升过程联系在一起。但是,已有证据表明,青藏高原碰撞动力作用影响到鄂尔多斯地区是在中新世晚期以来(10~8 Ma 以来)。盆地分析表明,整个华北新生代断陷盆地古近纪末、新近纪初发生过一次快速隆升和强烈的侵蚀作用,该次构造事件导致盆地内部古近系和新近系之间的地层不整合接触,并在华北山区形成一个重要的夷平面。构造反转变形主要沿郯庐断裂带两侧和南黄海盆地发育,表明构造动力来自于东部的古太平洋俯冲板块。于中新世时期,鄂尔多斯盆地周缘以及整个华北地区受到 NE—SW 至 NNE—SSW 向引张应力作用,原来的断陷盆地恢复区域性热沉降。由此可见,发生在中新世中期的鄂尔多斯盆地快速冷却事件,其区域动力学背景和深部机理没有完全理解,值得深入研究。

致谢:研究工作得到西北大学刘池阳教授、中国地质科学院董树文研究员和中国地质科学院地质力学研究所赵越研究员的指导,以及核工业部 203 所徐高中研究员和李卫红研究员的帮助,与西北大学任战利教授的讨论受益匪浅,在此一并致谢。

参考文献(References):

- [1] 张抗.鄂尔多斯断块构造和资源[M].西安:陕西科学技术出版社,1989.
Zhang Kang. Tectonics and Resources of Ordos Fault Block [M]. Xian: Shaanxi Science and Technology Press, 1989 (in Chinese with English abstract).
- [2] 赵重远,刘池洋.华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存[M].西安:西北大学出版社,1990.
Zhao Chongyuan, Liu Chiyang. The Formation and Evolution of the Sedimentary Basins and their Hydrocarbon Occurrence in the North China Craton [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1990 (in Chinese with English abstract).
- [3] 赵重远.鄂尔多斯盆地构造特征及油气赋存状态[A].见:李德生.中国含油气盆地构造学[C].北京:石油工业出版社,2002.410~426.
Zhao Chongyuan. Tectonic characteristics of the Ordos basin and oil and gas accumulation [A]. In: Li Desheng (ed.). Tectonics of Petroleum Basins in China [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.410~426 (in Chinese).
- [4] 李克勤.中国石油地质志(卷十二)[M].北京:石油工业出版社,1992.
Li Keqin. Petroleum Geology of China (vol. 12) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992 (in Chinese with English abstract).
- [5] 李克勤.鄂尔多斯盆地大地构造发展对油气的控制作用[A].见:李德生,等.中国含油气盆地构造学[C].北京:石油工业出版社,

- 2002.426~439.
- Li Keqin. Geotectonic development of the Ordos basin and its control on oil and gas [A]. In: Li Desheng, et al (eds.). *Tectonics of Petroliferous Basins in China* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 426~439 (in Chinese).
- [6] 任纪舜, 肖藜薇. 中国大陆含油气区大地构造 [A]. 见: 李德生, 等. 中国含油气盆地构造学 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 223~237.
- Ren Jishun, Xiao Liwei. Tectonics of the oil-gas-bearing regions in Chinese continent [A]. In: Li Desheng, et al (eds.). *Tectonics of Petroliferous Basins in China* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 223~237 (in Chinese).
- [7] 王同和, 韩宇春, 李红革. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气聚集 [A]. 见: 张功成等主编, 中国含油气构造 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 261~290.
- Wang Tonghe, Han Yuchun, Li Hongge. Tectonic evolution of the Ordos basin and oil and gas accumulation [A]. In: Zhang Gongcheng et al (eds.), *Tectonics and Structural Style of Petroliferous Basins in China* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 261~290 (in Chinese).
- [8] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- Yang Junjie. Tectonic Evolution and Oil-Gas Reservoirs Distribution in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 (in Chinese with English abstract).
- [9] 孙肇才. 板内变形与晚期成藏——孙肇才石油地质论文选 [M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- Sun Zhaocai. Intraplate Deformation and Late Stage Oil Accumulation—Sun Zhaocai's Selected Papers on Petroleum Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003 (in Chinese).
- [10] 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): 105~119.
- Zhao Yue, Yang Zhenyu, Ma Xinghua. Geotectonic transition from paleoasian system and paleotethyan system to paleopacific active continental margin in Eastern Asia [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1994, 29(2): 105~119 (in Chinese with English abstract).
- [11] Davis G A, 郑亚东, 王琮, 等. 中生代燕山褶皱冲断带的构造演化 [J]. 北京地质, 2002, 14(4): 1~39.
- Davis G A, Zheng Yadong, Wang Cong, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, northern China [J]. *Beijing Geology*, 2002, 14(4): 1~39 (in Chinese with English abstract).
- [12] Ren J, Tamaki K, Li S, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas [J]. *Tectonophysics*, 2002, 344: 175~205.
- [13] 邓晋福, 苏尚国, 赵海玲. 华北地区燕山期岩石圈减薄的深部过程 [J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 41~50.
- Deng Jinfu, Su Shangguo, Zhao Hailing, et al. Deep processes of Mesozoic Yanshanian lithosphere thinning in North China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 41~50 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造—成矿意义 [J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 236~244.
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, et al. The characteristics and tectonic—metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(2): 236~244 (in Chinese with English abstract).
- [15] 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(10): 913~920.
- Zhai Minguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, et al. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block [J]. *Science in China (series D)*, 2004, 47(2): 151~159 (in Chinese).
- [16] 翟明国, 孟庆任, 刘建明. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 285~298.
- Zhai Mingguo, Meng Qingren, Liu Jianming. Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 285~298 (in Chinese with English abstract).
- [17] 邵济安, 牟保垒, 张履桥. 华北东部中生代构造格局转换过程的深部作用及浅部响应 [J]. 地质论评, 2000, 46(1): 32~39.
- Shao Ji'an, Mou Baolei, Zhang Luqiao. 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).
- [18] 邵济安, 张履桥, 牟保垒. 构造体制转折是岩石圈尺度行为 [J]. 地质通报, 2004, 23(9~10): 973~979.
- Shao Ji'an, Zhang Luqiao, Mou Baolei. Transformation of the tectonic regime is a lithospheric-scale activity [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(9~10): 973~979 (in Chinese with English abstract).
- [19] 赵越, 张栓红, 徐刚, 等. 燕山板内变形侏罗纪主要构造事件 [J]. 地质通报, 2004, 23(9~10): 854~863.
- Zhao Yue, Zhang Shuanhong, Xu Gang, et al. The Jurassic major tectonic events of the Yanshanian intraplate deformation belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(9~10): 854~863 (in Chinese with English abstract).
- [20] 赵越, 徐刚, 张栓红, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 319~328.
- Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanhong, et al. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia [J]. *Earth Science frontiers*, 2004, 11(3): 319~328 (in Chinese with English abstract).
- [21] 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造 [J]. 中国科学 (D 辑), 1998, 28(4): 289~297.
- Zheng Yadong, Davis G A, Wang Cong, et al. Major thrust sheet in the Daqing Shan Mountains, Inner Mongolia [J]. *Science in China (Series D)*, 1995, 38(5): 553~560 (in Chinese).
- [22] Zheng Y D, Zhang Q. The Yagan metamorphic core complex and extensional detachment fault in Inner Mongolia [J]. *Acta Geologica*

- Sinica, 1994, (2)7:125~135.
- [23] Liu S F, Heller P L, Zhang G W. Mesozoic basin development and tectonic evolution of the Dabieshan orogenic belt, central China [J]. *Tectonics*, 2003, 22 (4):1038~1059.
- [24] Ratschbacher L, Hacker B R, Webb L E, et al. Exhumation of the ultrahigh -pressure continental crust in east central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tanlu fault [J]. *J. Geophys. Res.* 2000, 105:13303~13338.
- [25] 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 等. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义[J]. *地质论评*, 2000, 46(1):8~13.
- Dong Shuwen, Wu Xihao, Wu Zhenhan, et al. On tectonic seesawing of the East Asia continent—global implication of the Yanshanian movement [J]. *Geological Review*, 2000, 46(1):8~13 (in Chinese with English abstract).
- [26] 张岳桥, 赵越, 董树文, 等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. *地学前缘*, 2004, 11(3):123~133.
- Zhang Yueqiao, Zhao Yue, Dong Shuwen, et al. Tectonic evolution stages of the early Cretaceous rift basins in Eastern China and adjacent areas and their geodynamic background [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3):123~133 (in Chinese with English abstract).
- [27] 吴福元, 葛文春, 孙德有. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. *地学前缘*, 2004, 10(3):51~60.
- Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou, et al. Discussions on the lithospheric thinning in Eastern China [J]. *Earth Science frontiers*, 2004, 10(3):51~60 (in Chinese with English abstract).
- [28] 江为为, 郝天珧, 宋海斌. 鄂尔多斯盆地地质地球物理场特征与地壳结构[J]. *地球物理学进展*, 2000, 15(3):45~53.
- Jiang Weiwei, Hao Tianyao, Song Haibin. Crustal structure and geological and geophysical features of Ordos basin [J]. *Progress in Geophysics*, 2000, 15(3):45~53 (in Chinese with English abstract).
- [29] 张进, 马宗晋, 任文军. 鄂尔多斯盆地西缘逆冲带南北差异的形成机制[J]. *大地构造与成矿学*, 2000, 24(2):124~133.
- Zhang Jin, Ma Zongjin, Ren Wenjun. The mechanism of the difference between the northern part and the southern part of the fold and thrust belt on the western edge of the Ordos basin, China [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2000, 24(2):124~133 (in Chinese with English abstract).
- [30] 刘少峰, 杨士恭. 鄂尔多斯盆地西缘具限制性边界的侧向挤出构造[J]. *中国区域地质*, 1996, 15(4):353~360.
- Liu Shaofeng, Yang Shigong. Lateral extrusion tectonics with restricted boundaries on the western margin of the Ordos basin [J]. *Regional Geology of China*, 1996, 15(4):353~360 (in Chinese with English abstract).
- [31] 吴冲龙, 周江羽, 王跟发. 鄂尔多斯盆地古构造应力场与中部大气田的联系[J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(4):267~275.
- Wu Chonglong, Zhou Jiangyu, Wang Genfa. Relationship between paleotectonic stress fields and major gas fields in Ordos basin [J]. *Oil and Gas geology*, 1997, 18(4):267~275 (in Chinese with English abstract).
- [32] 张泓. 鄂尔多斯盆地中生代构造应力场[J]. *华北地质矿产杂志*, 1996, 11(1):87~92.
- Zhang Hong. Mesozoic and Cenozoic palaeotectono-stress field of Ordos basin [J]. *Jour. Geol. & Min. Res. North China*, 1996, 11(1):87~92 (in Chinese with English abstract).
- [33] 张泓, 白清昭, 张笑薇. 鄂尔多斯盆地聚煤盆地的形成构造环境[J]. *煤田地质勘探*, 1995, 23(3):1~9.
- Zhang Hong, Bai Qingzhao, Zhang Xiaowei, et al. Formation of the Ordos basin and its coal-forming tectonic environment [J]. *Coal Geology*, 1995, 23(3):1~9 (in Chinese with English abstract).
- [34] 邓起东, 程绍平, 闵伟, 等. 鄂尔多斯块体新生代构造活动和动力学讨论[J]. *地质力学学报*, 1999, 5(3):13~21.
- Deng Qidong, Cheng Shaoping, Min Wei, et al. Discussion on Cenozoic tectonics and dynamics of Ordos block [J]. *Journal of Geomechanics*, 1999, 5(3):13~21 (in Chinese with English abstract).
- [35] Zhang Yueqiao, Mercier J L, Vergely P. Extension in the graben systems around the Ordos (China), and its contribution to the extrusion tectonics of South China with respect to Gobi-Mongolia [J]. *Tectonophysics*, 1998, 285, 41~75.
- [36] Bellier O, Mercier J L, Vergely P, et al. Evolution sédimentaire et tectonique du graben cenozoïque de la Weihe (Province du Shaanxi, Chine du Nord) [J]. *Bull. Soc. Geol. France*, 1988, 6(5):979~994.
- [37] Bellier O, Vergely P, Mercier J L, et al. Analyses tectonique et sédimentaire dans les Monts Li Shan (Province du Shanxi—Chine du Nord); datation des régimes tectoniques extensifs dans la graben de la Weihe [J]. *Bull. Soc. Geol. France*, 1991, 162(1):101~112.
- [38] Zhang Y, Ma Y, Yang N, et al. Cenozoic extensional stress evolution in North China [J]. *Journal of Geodynamics*, 2003, 36:591~613.
- [39] Zhang P, Burchfiel B C, Molnar P, et al. Amount and style of late Cenozoic deformation in the Liupanshan area, Ningxia Autonomous Region, China [J]. *Tectonics*, 1991, 10(6):1111~1129.
- [40] 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. *科学通报*, 1998, 43(15):1569~1574.
- Li Jijun, Fang Xiaomin. Study on uplift of the Tibet Plateau and environment change [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(15):1569~1574 (in Chinese).
- [41] 李吉均, 方小敏, 马海洲. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆升[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(4):316~322.
- Li Jijun, Fang Xiaomin, Ma Haizhou, et al. Geomorphological and environmental evolution of the Yellow River during the late Cenozoic [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39(4):380~390 (in Chinese).
- [42] 张岳桥. 晚新生代青藏高原构造挤出及其对中国东部裂陷盆地晚期油气成藏的影响[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2):162~169.
- Zhang Yueqiao. Late Cenozoic squeezing-out tectonism in

- Qinghai-Tibet Plateau and its impacts on late hydrocarbon accumulation in rift basins in eastern China [J]. Oil and Gas Geology, 2004, 25(2):162~169 (in Chinese with English abstract).
- [43] 赵孟为. 磷灰石裂变径迹分析在恢复盆地沉降抬升史中的应用——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 地球物理学报, 1996, 39(增刊): 238~248.
- Zhao Mengwei. The application of apatite fission track analysis to the reconstruction of the subsidence and uplift history of sedimentary basins: a case study from the Ordos basin [J]. Acta Geophysica Sinica, 1996, 39(Supp.):238~248 (in Chinese with English abstract).
- [44] 赵孟为. 鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和运移方向的确定与勘探方向[J]. 石油实验地质, 1996, 18(4):341~347.
- Zhao Mengwei. Timing of hydrocarbon generation and migration direction as well as exploration direction in the Ordos basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1996, 18(4):341~347 (in Chinese with English abstract).
- [45] 任战利. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史[J]. 地球物理学报, 1995, 38(3):339~349.
- Ren Zhanli. Thermal history of Ordos basin assessed by apatite fission track analysis [J]. Acta Geophysica Sinica, 1995, 38(3):339~349 (in Chinese with English abstract).
- [46] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. 石油学报, 1996, 17(1):17~24.
- Ren Zhanli. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in the Ordos basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(1):17~24 (in Chinese with English abstract).
- [47] 孙少华, 李小明, 龚革联. 鄂尔多斯盆地构造热事件研究[J]. 科学通报, 1997, 42(3):306~309.
- Sun Shaohua, Li Xiaoming, Gong Gelian. Tectono-thermal events in Ordos basin, China [J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 24: 2070~2073 (in Chinese).
- [48] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- Ren Zhanli. Study on tectono-thermal history of the sedimentary basins in northern China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999 (in Chinese).
- [49] 刘池阳, 孙海山. 改造型盆地类型划分[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(2):79~83.
- Liu Chiyang, Sun Haishan. Classification of reformed basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(2):79~83 (in Chinese with English abstract).
- [50] 蒲仁海, 姚宗慧, 张艳春. 鄂尔多斯盆地古构造演化在油气形成中的作用及意义[J]. 天然气工业, 2000, 20(6):27~29.
- Pu Renhai, Yao Zonghui, Zhang Yanchun. Signification and effect of palaeostructural evolution on gas field formation in the Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6):27~29 (in Chinese with English abstract).
- [51] Ritts B D, Darby B J, Cope T. Early Jurassic extensional basin formation in the Daqing Shan segment of the Yinshan belt, northern China Block, Inner Mongolia [J]. Tectonophysics, 2001, 339(3-4):239~258.
- [52] Ritts B D, Hanson A D, Darby B J, et al. Sedimentary record of Triassic intraplate extension in North China: evidence from the nonmarine NW Ordos Basin, Helan Shan and Zhouzi Shan [J]. Tectonophysics, 2004, 386(3-4):177~202.
- [53] 赵孟为, Hans Ahrendt, Klaus Wemmer. K-Ar 测年法在确定沉积岩成岩时代中的应用——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 沉积学报, 1996, 14(3):11~21.
- Zhao Mengwei, Hans Ahrendt, Klaus Wemmer. The Application of the K-Ar dating to the determination of diagenetic ages of sedimentary rocks—a case study from the Ordos basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 11~21 (in Chinese with English abstract).
- [54] 白玉宝, 孙冬胜. 离石断裂带构造特征与演化[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1):77~80.
- Bai Yubao, Sun Dongsheng. Structural feature and evolution of Lishi fractural zone [J]. Oil and Gas Geology, 1996, 17(1):77~80 (in Chinese with English abstract).
- [55] Zhang Y, Dong S, Shi W. Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong Province, eastern China [J]. Tectonophysics, 2003, 363:243~258.
- [56] 张国伟, 孟庆任, 刘少峰, 等. 华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构 [J]. 高校地质学报, 1997, 3(2): 129~143.
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Liu Shaofeng, et al. Huge intracontinental subduction zone at south margin of North China Block and present 3D lithospheric framework of the Qinling orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 1997, 3(2):129~143 (in Chinese with English abstract).
- [57] Darby B J, Ritts B D. Mesozoic contractional deformation in the middle of the Asia tectonic collage: the intraplate Western Ordos fold-thrust belt, China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 205:13~24.

Transition of the Late Mesozoic – Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos basin

ZHANG Yue-qiao¹, LIAO Chang-zhen²

(1. *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China;*

2. *College of Earth Sciences and Resources, China Geoscience University, Beijing 100081, China)*

Abstract: The Ordos basin is a large Mesozoic intracontinental basin superimposed on the Paleozoic North China craton. The Late Mesozoic–Cenozoic were an important modification period of the basin, during which significant changes in tectonic regimes occurred and tectonic belts of different trends and styles were formed around the basin. The main phase of the Yanshanian movement that took place during the Mid–Late Jurassic is of great significance for the shaping and development of the Ordos basin. Compressive tectonic belts surrounding the Ordos basin were mostly formed during this Yanshanian phase. During the Early Cretaceous, in response to the tectonic stress regime transition, the Ordos basin was subjected to weak extension, and extensional deformation was localized along its SW margin, resulting in the development of the Liupanshan paleo–graben. During the Cenozoic, tectonic deformation mainly occurred around the Ordos basin, resulting in the formation of the grabens. During the Neotectonic movement since the late Miocene or early Pliocene, owing to the influence of the rapid uplift of the Qinghai–Tibet Plateau and its eastward extrusion, the Liupanshan fold belt on the southwestern margin of the Ordos rose rapidly, while extensional deformation and differential uplift and subsidence of the blocks took place in other peripheral zones of the basin. Finally, the paper discusses the basin modification in different tectonic stress regimes and some basic tectonic problems in the study of the Ordos basin.

Key words: Ordos basin; basin modification; Late Mesozoic–Cenozoic; tectonic regime transition

About the first author: ZHANG Yue-qiao, male, born in 1963, professor and doctor director, is engaged in the research of structural geology and tectonics, neotectonics and basin analysis; E-mail: zhangyueqiao@yahoo.com.