

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

鄂尔多斯盆地周边断裂运动学分析与晚中生代构造应力体制转换

张岳桥¹⁾, 施炜²⁾, 廖昌珍³⁾, 胡博¹⁾

1) 南京大学地球科学系, 210093; 2) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

3) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083

内容提要: 基于对鄂尔多斯盆地西南缘构造带、中央断裂、东缘边界带和东北部地区的断裂几何特征、运动学及其活动期次的野外观察和测量, 并根据断层面上滑动矢量的叠加关系和区域构造演化历史, 确定了鄂尔多斯盆地周边地带晚中生代构造主应力方向、应力体制及其转换序列, 提出了4阶段构造演化模式和引张-挤压交替转换过程。早中侏罗世, 盆地处于引张应力环境, 引张方向为N-S至NNE-SSW向。中侏罗世晚期至晚侏罗世, 构造应力场转换为挤压体制, 盆地周缘遭受近W-E、NW-SE、NE-SW等多向挤压应力作用。早白垩世, 盆地构造应力场转换为引张应力体制, 引张应力方向为近W-E、NW-SE和NE-SW向。早白垩世晚期至晚白垩世, 盆地应力体制再次发生转换, 从前期的引张应力体制转换为NW-SE向挤压应力体制。晚中生代构造应力体制转换和应力场方向变化不仅记录了不同板块之间汇聚产生的远程效应, 同时记录了盆地深部构造-热活动事件, 并对盆地原型进行了一定的改造。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 晚中生代; 断层运动学; 构造应力场; 应力体制

晚中生代以来, 鄂尔多斯盆地演化进入了强烈的陆内变形和改造阶段(张抗, 1989; 赵重远等, 1990; 杨俊杰, 2002; 孙肇才, 2003)。受到不同板缘动力作用产生的远程效应和盆地深部构造-热体制转换的影响, 盆地经历了多期次、不同类型的改造作用, 在其周缘形成了力学性质不同、形态多变、具圈层分布的复杂构造带和盆-山耦合系统, 如盆地西缘逆冲构造带、东缘晋西挠褶带、南缘渭北挠褶带和北缘断裂带等(图1)。如何确定盆地改造阶段构造应力方向及其转换过程应是盆地改造动力学研究的重要内容之一, 该项研究将有助于认识和理解盆地现今构造地貌格局形成的动力学过程和盆内多种能源矿产资源的成藏定位和共存关系。对此, 前人已做过相应研究工作, 取得了重要的认识(张泓等, 1995; 张泓, 1996)。本文在前人工作的基础上, 重点开展了鄂尔多斯盆地周边关键地带(区)断裂构造几何学和运动学分析和测量, 并进行了古构造应力方向反演, 其目的是建立该区晚中生代构造应力体制转换序列和应力场演化, 为盆地改造阶段的动力学和多种能源同盆共存机理研究提供构造地质学制约。

1 古构造应力场分析方法

地壳在某一特定的演化阶段, 构造应力场是相对统一的, 其主应力方向基本保持不变, 这样可以通过多种地质方法反演古构造应力场方向。常用的方法是通过野外露头点的断裂变形几何学和运动学特征的观察, 测量不同时代地层或岩体中的断层面及其上的滑动矢量, 并用各种构造标志, 如石英和方解石生长矿物、吕德尔面、阶步类型、羽列剪节理、石英或方解石脉等, 判断断层运动方向; 利用断层的切割关系和线理的叠加关系, 确定断裂活动期次。然后将这些测量参数进行筛分后输入到计算机程序, 利用反演软件计算各观测点三轴主应力方向(Carey, 1979; Angelier, 1984)。将获得的主应力方向结果与盆地构造发展历史相联系, 最终建立古构造应力场的演化序列。这种构造解析方法已被广泛应用于中生代构造应力场研究中, 并证明是行之有效的(Zhang et al., 2003)。本文使用的古构造应力场反演软件由法国南巴黎大学地质系地球动力学实验室提供。

注: 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2003CB214600)资助的成果。

收稿日期: 2006-02-10; 改回日期: 2006-03-15; 责任编辑: 郝梓国。

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

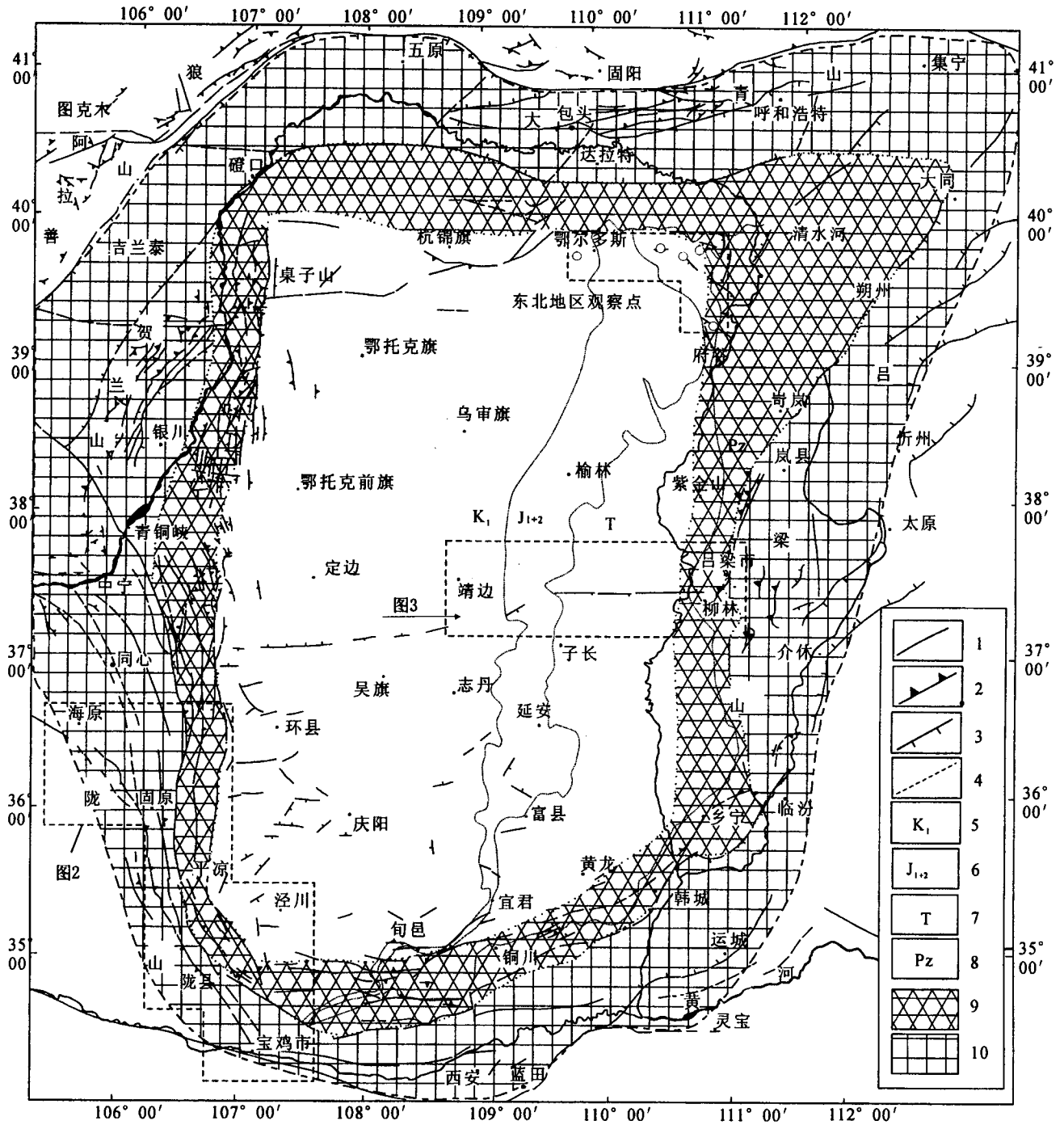


图 1 鄂尔多斯盆地构造简图与周缘构造带圈层分布特征

Fig. 1 Simplified structural map of the Ordos Basin and its peripheral tectonic belts

1—断层; 2—逆冲断层; 3—正断层; 4—推测或隐伏断层; 5—下白垩统; 6—下中侏罗统; 7—三叠系; 8—古生界; 9—鄂尔多斯盆地稳定区; 10—周缘逆冲褶皱与挠褶构造变形圈

1 Fault; 2 reverse fault; 3 normal fault; 4 inferred or buried fault; 5 Lower Cretaceous; 6 Lower to Middle Jurassic; 7 Triassic; 8 Paleozoic; 9 stable domain of the Ordos Basin; 10 peripheral thrust and fold belts of the Ordos Basin

盆地形成时同沉积生长断层及其运动学特征具有重要的构造指示意义, 这些断层滑动矢量资料能够有效地确定盆地形成时期的主应力方向。但由于

受到后期的改造作用, 同沉积生长断层的原始几何特征和滑动矢量参数发生了变化, 野外所测量的数据资料必须进行几何恢复, 这项工作可以在电脑上

直接完成。

利用共轭节理确定古构造应力场方向是常用的传统方法,在鄂尔多斯盆地构造应力场研究中得到有效的运用(张泓等,1995;张泓,1996)。但多次古构造应力场的叠加使野外工作中节理的分期和配套具有多解性,尤其是共轭节理运动方向往往不容易判断,或者受露头条件的限制,平面X型共轭节理和剖面X型共轭节理很难区分开,会影响构造应力场分析结果的可靠性。鉴于此,本文仅利用配套可信、运动方向明确的共轭节理作为主应力方向的指示。

2 断裂运动学和构造应力场反演结果

2.1 鄂尔多斯盆地西南缘构造带

鄂尔多斯盆地西南缘经历了加里东运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等漫长的构造演化历史(赵重远等,1990;刘池洋等,2005)。早期演化受控于秦祁贺三裂谷系,加里东运动时期受到右旋剪切应力作用发生挤压褶皱;印支运动受特提斯洋板块的俯冲挤压,再次发生强烈的挤压收缩变形。现今构造地貌格局主要形成于燕山运动和喜马拉雅运动时期。

六盘山逆冲-褶皱带主体由下白垩统六盘山群组成,这套数千米厚的河湖相沉积记录了褶皱带形成前盆地断陷历史。早白垩世末期,六盘山盆地发生构造反转。新构造运动时期,受到青藏高原强烈推挤,六盘山古地堑再次发生强烈的挤压收缩变形,造就了现今六盘山逆冲-褶皱构造带。通过对六盘山逆冲-褶皱带内的早白垩统六盘山群及其两侧不同时代地层内的断裂进行详细的运动学分析和测量,表明鄂尔多斯盆地西南缘构造带在晚中生代经历了挤压-引张-挤压构造应力体制的交替和转换(图2)。

在早白垩统六盘山断陷盆地形成之前,该边缘构造带处于强烈的挤压应力作用。挤压变形主要记录在古生界和巨厚的晚侏罗世芬芳河组砾岩层中。这套砾岩层出露在六盘山构造带南段千阳地区的芬芳河一带,地层向东陡倾,早白垩统志丹群超覆不整合其上,这个不整合面代表了该地区燕山运动最主要的构造面(张抗,1989)。芬芳河砾岩层主要发育在鄂尔多斯盆地西缘逆冲-推覆构造带的前陆区,是该带燕山运动构造变形的最重要的沉积记录。断层滑动矢量资料确定了3个挤压应力方向,分别为近W-E、NW-SE和NE-SW(图2)。

早白垩统六盘山断陷盆地形成时的引张应力方

向主要通过控制盆地边界断层和盆地内部同沉积生长断层的运动学矢量反演确定的。结果显示,主导断陷盆地发育的引张应力方向主要为近W-E向。在其南段千阳-陇县一带,尽管遭受后期改造,但断陷盆地尚未反转,边界断层伸展特征清楚,在断层下盘的奥陶系灰岩中,发育大量的NW-SE向方解石脉,断层滑动矢量指示了近W-E和NE-SW向2个引张应力方向。

区域研究表明,六盘山群在早白垩世晚期发生褶皱-断裂变形,断陷盆地发生构造反转。野外变形测量和反演结果表明,这期构造事件的挤压应力方向为NW-SE。

2.2 鄂尔多斯盆地中央断裂

鄂尔多斯盆地腹部地区构造极其简单,地层近水平展布,断裂不甚发育。这里所谓的中央断裂是指横切盆地中部、近W-E走向、断续分布的一条断裂,地表出露于吴堡、绥德、子洲等三叠纪—早侏罗世地层中。盆地资料显示,在东经109°30'以西,该断裂隐伏于下白垩统之下。受第四系黄土覆盖,该断裂东段仅沿沟谷断续出露。为了确定该断裂的力学性质和运动历史,我们追踪了这条断裂东段,并对6个关键地点进行了详细的断裂几何学和运动学测量和分析(图3)。

野外观察和测量表明,该断裂面近直立或微向南陡倾,断裂破碎带宽2~10m,沿断裂带发育张性方解石脉,指示其形成时期为张性正断层,但垂直断层距不大。方解石脉生长方向和早期断层滑动矢量指示断裂形成时的引张应力方向近N-S。根据断裂带及其两侧平面共轭节理和断层滑动矢量的叠加分析,断裂形成之后经历了至少2期挤压和3期引张变形叠加,它们之间的切割或叠加关系主要基于野外分析和测量。2期挤压应力方向分别为NW-SE和NE-SW向,挤压作用结果使该断裂分别发生右旋和左旋走滑活动,如在观察点LL43,断裂左旋走滑活动使早期张性方解石脉发生错碎,并在方解石脉壁上留下清晰的左旋走滑擦痕。3期引张应力方向分别为近W-E、NW-SE和NE-SW向,近W-E向引张作用主要引起NNW-SSE向断裂的复活,它们切割了早期近W-E向张性断裂。另外2期引张作用相对较弱,导致不同方向断层的正倾滑活动。

2.3 鄂尔多斯盆地东缘边界带

鄂尔多斯盆地东缘边界带的构造性质和盆-山耦合关系较为复杂,文献上通常将离石断裂作为盆地的东缘边界(张抗,1989;白玉宝等,1996),并认为

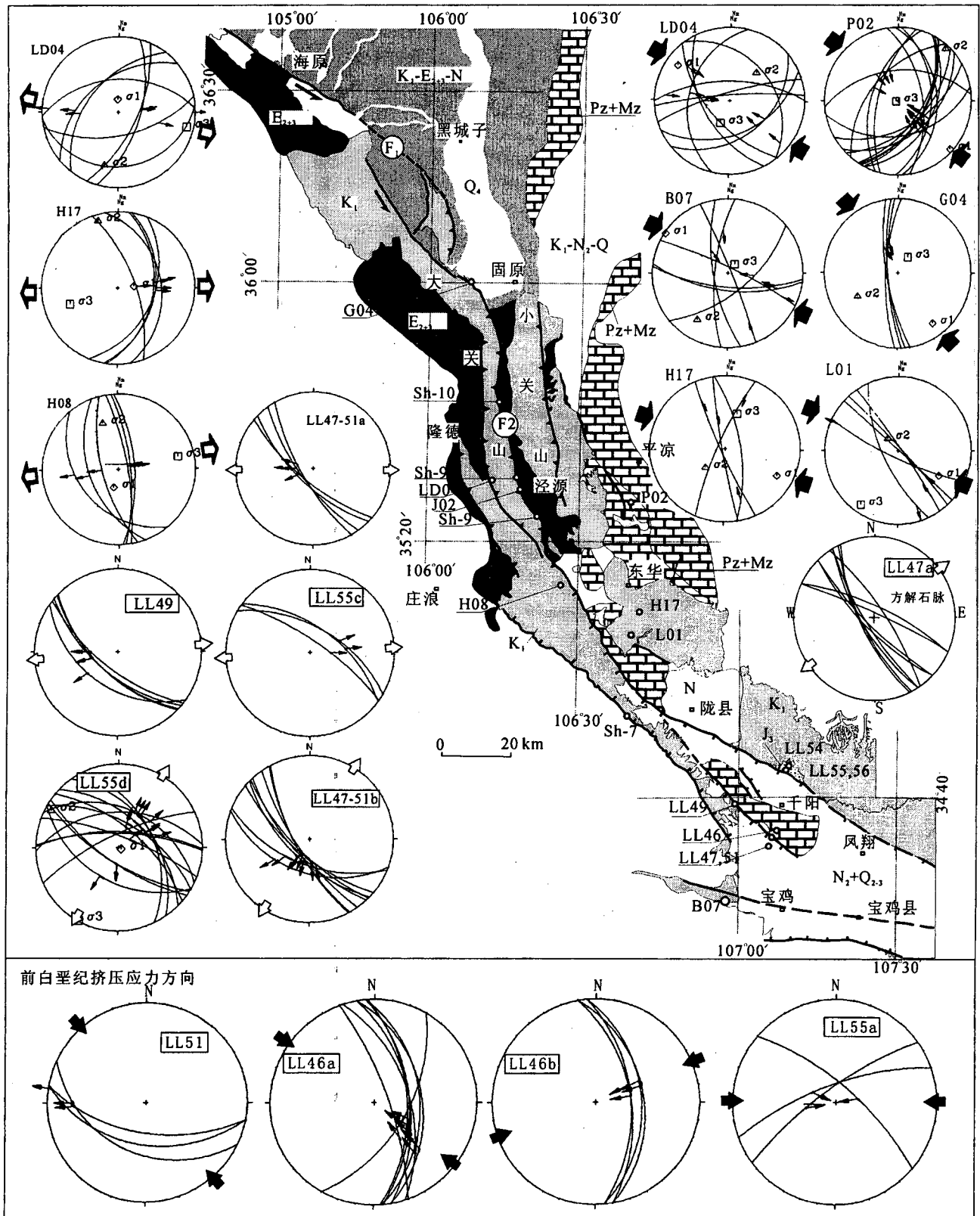


图2 鄂尔多斯盆地西南缘构造地质简图、断裂滑动矢量与晚中生代构造应力场反演(吴氏网下半球投影)
 Fig. 2 Simplified structural map of the southwestern margin of the Ordos Basin, fault slip data and Late Mesozoic tectonic stress inversion (Wulf net, lower hemisphere projection)

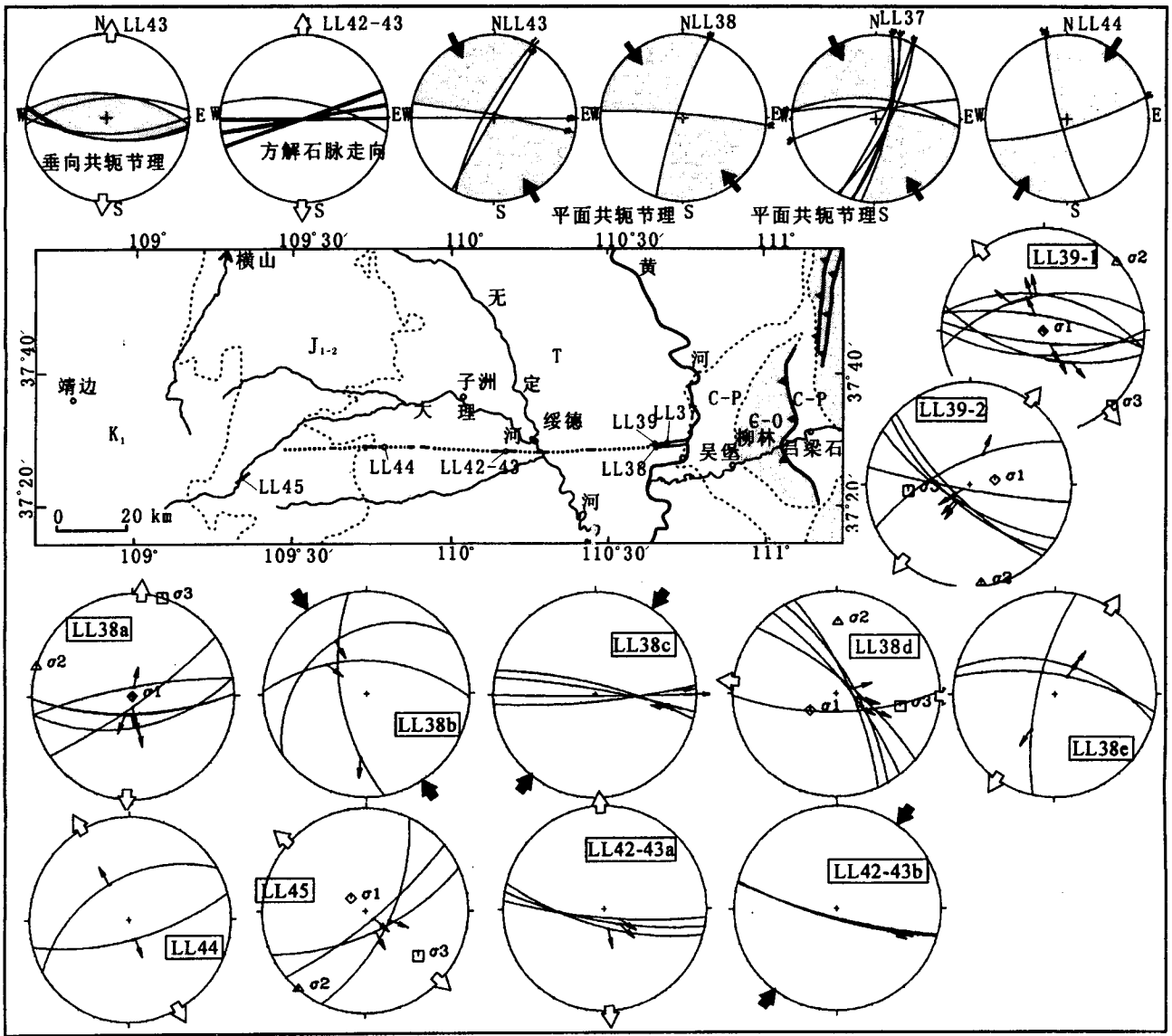


图 3 鄂尔多斯盆地中央东西向断裂带构造简图、断层滑动矢量与古构造应力场反演(吴氏网下半球投影)

Fig. 3 Simplified structural map of the central W-E trending fault zone of the Ordos Basin, fault slip data and paleo-stress inversions (Wulff net, lower hemisphere projection)

该断裂是一条切割地壳或岩石圈、具有走滑性质的大断裂。廖昌珍等(2006)详细分析了该边界带分段特征和各段断裂构造样式,发现沿该边界带主要断裂倾向鄂尔多斯盆地,认为离石深断裂不是一条走滑性质的大断裂,而是吕梁山断隆向西逆冲推覆过程中形成的上盘断坡和反冲构造。

东缘边界带在形成和演化过程中经受了多期次、不同性质的构造应力场作用。野外断裂变形与运动学分析和测量结果显示,边界带记录了至少 4 次挤压应力事件和 1 次引张应力事件。最早一期挤压应力方向为近 N-S 向,它发生在边界带形成之前,

可能与三叠纪印支运动时期扬子—华北地块碰撞作用有关。另外三次挤压应力方向分别为近 W-E、NW-SE 和 NE-SW 向,其中近 W-E 向和 NW-SE 向挤压应力场与盆地东缘边界带形成和发育直接相关。根据野外断层切割关系和擦痕构造叠加关系分析,近 W-E 向挤压早于 NW-SE 向挤压,而 NE-SW 向挤压发生较晚。近 W-E 向和 NW-SE 向挤压使边界带发生强烈的断裂走滑和逆冲变形,并最终导致该边界带复杂的逆冲推覆和褶皱构造带的形成。NW-SE 向引张应力事件发生在边界带形成之后,是后期叠加构造应力场。

2.4 鄂尔多斯盆地东北部地区

该区属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡区,出露的地层有早白垩世东胜组、早中侏罗世煤系地层、三叠系和石炭-二叠系陆相地层。地层平缓,局部地区有短轴褶皱和断裂构造发育(图1)。

位于鄂尔多斯市以西的早白垩世东胜组地层中,发现一组以伸展活动为主的正断裂,断层滑动矢量指示的引张应力方向为近 W-E 向和 NW-SE 向(图4)。这组断层具有同沉积生长性质,指示了早白垩世引张构造应力环境。

位于鄂尔多斯市以西的三叠-侏罗纪陆相地层中,断层走向以 W-E、NE-SW 和 NW-SE 向为主,这些断层往往为高角度正断层,断面平直,有的在剖面上呈“入”字形样式,指示其斜张走滑特征。断层滑动矢量测量结果显示,导致断裂活动的引张应力方向为近 N-S 向至 NNE-SSW 向,少数断层指示近 W-E 向引张。

在陕西府谷以北地区,发育数条 NW-SE 走向的断层,这些断层错断了三叠-侏罗纪地层。野外观察和测量显示,这些断层均为高角度正断层,倾向 NE 或 SW,形成地堑式构造。断层面上的擦痕构造单一,指示 NNE-SSW 向的引张应力作用(图4)。

总体上,这个地区断裂变形样式和运动学特征指示了2期重要的引张作用事件:早期近 N-S 向至 NNE-SSW 向引张伸展,影响的最新地层为早侏罗世煤系地层;晚期为近 W-E 向至 NW-SE 向,影响的地层为下白垩统。

3 晚中生代构造应力体制转换序列

由断层运动矢量反演的古构造应力方向不仅记录了板块边界动力条件的变化,同时记录了盆地深部构造-热体制事件。通常认为,构造挤压应力体制主要起源于板间作用产生的远程效应,而引张应力机制往往与岩石圈物质垂向分布的不均衡性(增厚或减薄)和深部构造-热活动密切相关(Zoback 1992)。分析表明,鄂尔多斯盆地晚中生代构造-热演化历史经历了挤压-引张交替性和阶段性发展过程。根据区域构造演化历史并综合盆地周边不同地带(区)古构造应力场反演结果,初步将这个演化历史分为4个阶段(表1)。

早、中侏罗世,鄂尔多斯盆地处于近 N-S 向引张应力作用环境。在盆地内部,伸展变形很弱,但周缘地带伸展断陷作用较强。西缘的贺兰山断陷作用加强,断陷持续沉降,侏罗系厚度可达 2000~3000 m(赵重远等,1990;Ritts et al., 2004);盆地北缘的大青山地区也发生断陷作用,形成侏罗纪断陷盆地(Ritts et al., 2001);中央断裂发生弱张裂活动。沿盆地东缘和东北部地区,不同走向的基底断层均不同程度地发生张裂复活。产生这种近 N-S 向引张应力场的动力学可能与扬子-华北地块沿秦岭造山带拼接碰撞后出现的构造松弛和区域应力场调整有关。

从中侏罗世晚期至晚侏罗世,构造应力体制从前期的引张应力转换为挤压应力(Darby et al.,

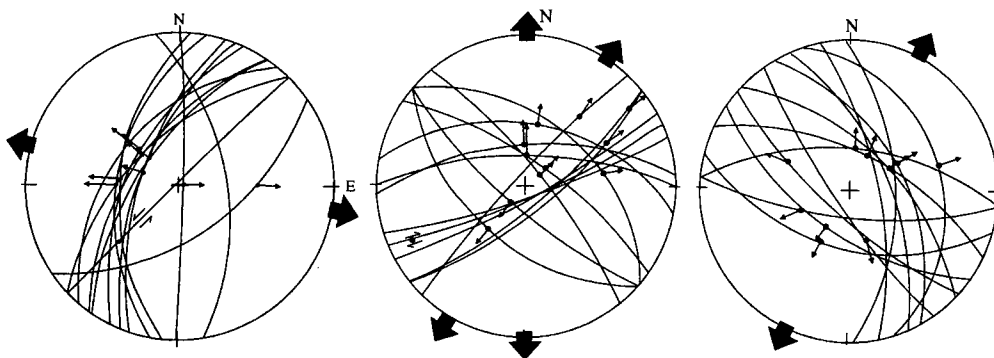


图4 鄂尔多斯盆地东北部地区断层滑动矢量及引张应力方向(吴氏网下半球投影)

Fig. 4 Fault slip data and extensional directions measured from the northeastern area of the Ordos Basin (Wulf net, lower hemisphere projection)

从左到右分别为:影响早白垩世东胜组断层滑动矢量;影响三叠-侏罗系断层滑动矢量;府谷地区三叠系断层运动学及其引张应力方向
From left to right: fault slips affecting Early Cretaceous Dongsheng Fm.; fault slips affecting Triassic to Jurassic; fault slips affecting Triassic in Fugu region

表 1 鄂尔多斯盆地周边晚中生代构造应力体制转换序列
Table 1 Change and evolution of the late Mesozoic stress regimes in the peripheral zones of the Ordos Basin

构造应力体制 与地质时代	构造应力方向			
	西南缘构造带	中央断裂带	东北部地区	东缘边界带
挤压应力体制 (早白垩世晚期)		不显著	不显著	不显著
引张应力体制 (早白垩世)				
挤压应力体制 (晚侏罗世)			不显著	
引张应力体制 (早中侏罗世)	?			?

2002), 鄂尔多斯盆地受到来自不同方向的挤压应力作用, 盆地周缘发生强烈的收缩变形, 形成不同样式的逆冲构造带, 其中最重要的构造变形发生在盆地西缘和东缘, 分别形成西缘和东缘逆冲推覆构造带。盆地北缘的大青山断陷盆地发生强烈的构造反转(郑亚东等, 1998; Davis et al., 2002), 形成逆冲-褶皱构造带。这个时期构造挤压应力方向发生了从近 E-W 向变为 NW-SE 向, 再转变为 NE-SW 向。这种多变的挤压应力方向记录了不同板块汇聚产生的远程效应(张国伟等, 1997; 董树文等, 2000)。研究认为, 来自古太平洋板块与亚洲大陆俯冲汇聚产生的远程效应、古特提斯构造域的地块碰撞汇聚产生的向东构造挤出、西伯利亚板块与蒙古-中国板块的碰撞汇聚产生的远程效应, 它们共同作用于鄂尔多斯盆地, 造就了其周缘地带复杂的构造变形格局和新的盆-山系统。

早白垩世, 构造应力体制发生重大转换, 从前期的挤压应力体制转换为引张应力体制, 地壳伸展变形占据主导地位。引张应力作用是多向的, 主要为近 W-E 和 NW-SE 向, 局部地区有 NE-SW 向。鄂尔多斯盆地内部变形微弱, 局部发育正断层; 最显著的伸展变形发生在鄂尔多斯盆地西南缘, 形成了六盘山断陷盆地; 沿鄂尔多斯地块的西缘和北缘也分别发生伸展变形, 形成河套-吉兰泰弧形断陷带。这个时期发生的地壳引张和伸展变形作为中国东部大陆裂谷作用的有机组成部分(Ren et al., 2002; 张岳桥等, 2004), 是对东部大陆岩石圈显著减薄过程的地表响应(翟明国等, 2003; 吴福元等, 2004), 深部构造-热活动主导了这个时期构造应力体制、沉积过程和岩浆活动。

早白垩世末期至晚白垩世初期, 构造应力场再次发生转换, 从前期的引张应力体制转变为挤压应力体制, 鄂尔多斯盆地遭受 NW-SE 向挤压应力作用。这期应力作用事件导致西南缘六盘山断陷盆地的构造反转, 并发生逆冲-褶皱变形, 沿西缘逆冲-推覆构造带发生左旋走滑活动; 同时使鄂尔多斯盆地发生整体抬升而结束沉积, 并长期处于隆升剥蚀状态。这期构造应力作用的动力主要来自于古太平洋板块与亚洲大陆俯冲汇聚产生的远程效应(Zhang et al., 2003)。

4 结论

通过鄂尔多斯盆地周边地带(区)断层运动学测量和分析工作以及古应力方向反演, 揭示了该区晚中生代构造应力体制引张-挤压交替转换历史, 将这个过程划分为 4 个演化阶段: 早中侏罗世以近 N-S 向引张应力作用为主, 鄂尔多斯盆地处于弱伸展变形, 中央 W-E 向张裂断裂形成; 中侏罗世晚期至晚侏罗世, 受到不同板块向亚洲大陆汇聚产生的远程效应的影响, 挤压构造应力体制占主导, 鄂尔多斯盆地遭受了近 W-E、NW-SE 和 NE-SW 向等多向挤压应力作用, 在其周缘形成复杂的逆冲-褶皱构造带; 早白垩世, 受到东亚大陆岩石圈减薄引起的深部构造-热活动的影响, 鄂尔多斯盆地处于弱引张应力环境, 引张应力方向为近 W-E、NW-SE 和 NE-SW 向, 伸展变形主要发生在鄂尔多斯地块西南和西北边缘, 六盘山断陷盆地发育; 早白垩世晚期至晚白垩世, 盆地构造应力转换为 NW-SE 向构造挤压, 六盘山古地堑发生构造反转, 鄂尔多斯盆地整体抬升而结束沉积。晚中生代构造应力场演化与构造应力体制转换为鄂尔多斯盆地改造过程的动力学和多种能源同益共存关系研究提供了重要的构造地质学基础资料。

参 考 文 献

- 白玉宝, 孙冬胜. 1996. 离石断裂带构造特征与演化. 石油与天然气地质, 17(1):77~80.
- Davis G, 郑亚东, 王琮, Darby B J, 张长厚, Gehrels G. 2002. 中生代燕山褶皱冲断带的构造演化. 北京地质, 14(4): 1~39.
- 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.
- 廖昌珍, 张岳桥, 温长顺. 2006. 鄂尔多斯盆地东缘边界带构造样式分析与构造应力场演化. 石油与天然气地质(待刊).
- 刘池洋, 赵红格, 王锋, 陈洪. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. 地质学报, 79(6):737~747.
- 孙肇才. 2003. 板内变形与晚期成藏——孙肇才石油地质论文选.

- 北京:地质出版社.
- 吴福元,葛文春,孙德有. 2004. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题. *地学前缘*, 10(3):51~60.
- 杨俊杰. 2002. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律. 北京:石油工业出版社, 1~228.
- 翟明国,朱日祥,刘建明,孟庆任,侯泉林,胡圣标,李忠,张宏,刘伟. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. *中国科学(D辑)*, 33(10):913~920.
- 张国伟,孟庆任,刘少峰,姚安平. 1997. 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. *高校地质学报*, 3(2): 129~143.
- 张泓. 1996. 鄂尔多斯盆地中生代构造应力场. *华北地质矿产杂志*, 11(1):87~92.
- 张泓,白清昭,张笑薇,高选政,何宗莲,李恒堂,吕志发. 1995. 鄂尔多斯盆地聚煤盆地的形成构造环境. *煤田地质勘探*, 23(3): 1~9.
- 张抗. 1989. 鄂尔多斯断块构造和资源. 西安:陕西科学技术出版社, 1~394.
- 张岳桥,赵越,董树文,杨农. 2004. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段. *地学前缘*, 11(3): 123~133.
- 赵重远,刘池洋. 1990. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存. 西安:西北大学出版社, 1~189.
- 郑亚东, Davis G A, 王琮, Darby B J, 华永刚. 1998. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造. *中国科学(D辑)*, 28(4): 289~297.
- Angelier J. 1984. Tectonic analysis of fault slip data sets. *J. Geophys. Res.*, 89, 5835~5848.
- Bai Yubao, Sun Dongsheng. 1996. Structural feature and evolution of Lishi fractural zone. *Oil and Gas Geology*, 17(1): 77~80 (in Chinese with English abstract).
- Carey E. 1979. Recherche des directions principales de contraintes associees au jeu dune population de failles. *Review Geologique Dynamique Geographique Physique*, 21: 57~66.
- Darby B J, Ritts B D. 2002. Mesozoic contractional deformation in the middle of the Asia tectonic collage: the intraplate Western Ordos fold-thrust belt, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 205: 13~24.
- Davis G A, Zheng Yadong, Wang Cong, Darby B J, Zhang Changhou, Gehrels G. 2002. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, northern China. *Beijing Geology*, 14(4): 1~39 (in Chinese with English abstract).
- Dong Shuwen, Wu Xihao, Wu Zhenhan, et al. 2002. On tectonic seesawing of the East Asia continent-Global implication of the Yanshanian movement. *Geological Review*, 46(1): 8~13 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chiyang, Zhao Hongge, Wang Feng, Chen Hong. 2005. Mesozoic structure attribute in the west (margin) of Ordos Basin. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 737~747 (in Chinese with English abstract).
- Ren J, Tamaki K, Li S, et al. 2002. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas. *Tectonophysics*, 344:175~205.
- Ritts B D, Hanson A D, Darby B J, Nanson L, Berry A. 2004. Sedimentary record of Triassic intraplate extension in North China: evidence from the nonmarine NW Ordos Basin, Helan Shan and Zhouzi Shan. *Tectonophysics*, 386(3~4): 177~202.
- Ritts B D, Darby B J, Cope T. 2001. Early Jurassic extensional basin formation in the Daqing Shan segment of the Yinshan belt, northern China Block, Inner Mongolia. *Tectonophysics*, 339(3~4):239~258.
- Sun Zhaocai. 2003. Intraplate deformation and late stage oil accumulation——Sun Zhaocai's paper selection on petroleum geology. Beijing: Geological Publishing Press (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou. 2004. Discussions on the lithospheric thinning in Eastern China. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 51~60 (in Chinese with English abstract).
- Yang Junjie. 2002. Tectonic evolution and oil-gas reservoirs distribution in Ordos basin. Beijing: Petroleum Industry Publishing House. 1~228 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Minguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, Meng Qingren, Hou Quanlin, Hu Shengbiao, Li Zhong, Zhang Hong, Liu Wei. 2004. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block. *Science in China (series D)*, 2: 151~159.
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Liu Shaofeng, Yao Pingan. 1997. Huge intracontinental subduction zone at south margin of north china block and present 3 D lithospheric framework of the Qinling orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 3(2): 129~143 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong, Bai Qingzhao, Zhang Xiaowei, Gao Xuanzheng, He Zonglian, Li Hengtang, Lu Zhifa. 1995. Formation of the Ordos basin and its coal-forming tectonic environment. *Coal Geology and Exploration*, 23(3): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong. 1996. Mesozoic and Cenozoic palaeotectono-stress field of Ordos basin. *Journal of Geology and Mineral Resources of North China*, 11(1): 87~92 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kang. 1989. Tectonics and Resources of Ordos Faulted-block. Xian: Shanxi Science and Technology Publishing House, 1~394 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yueqiao, Zhao Yue, Dong Shuwen, Yang Nong. 2004. Tectonic evolution stages of the early Cretaceous rift basins in Eastern china and adjacent areas and their geodynamic background. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 123~133 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, Dong S, Shi W. 2003. Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong Province, eastern China. *Tectonophysics*, 363: 243~258.
- Zhao Zhongyuan, Liu Chiyang. 1990. The formation and evolution of the sedimentary basins and their hydrocarbon occurrence in the North China Craton. Xi'an: Northwest University Press, 1~189 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Yadong, Davis G A, Wang Cong, Darby B J, Hua Yonggang. 1998. Major thrust sheet in the Daqing Shan Mountains, Inner Mongolia. *Science in China (Series D)*, 5: 553~560.

Zoback M L. 1992. First and second order patterns of stress in the lithosphere: The world stress map project. *Journal of Geophysical*

Research, 97: 11703~11728.

Fault Kinematic Analysis and Change in Late Mesozoic Tectonic Stress Regimes in the Peripheral Zones of the Ordos Basin, North China

ZHANG Yueqao¹⁾, SHI Wei²⁾, LIAO Changzhen³⁾, HU Bo¹⁾

1) *Department of Earth Science, Nanjing University, 210093*; 2) *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*; 3) *Earth Science and Resource College, China Geoscience University, Beijing, 100083*

Abstract

Based on detailed field observations and measurements of fault geometry, kinematics and activity phases along the southwestern boundary zone, the central W-E fault zone, the eastern boundary zone and the northeastern area of the Ordos Basin, and according to striation superimposition relationship on fault plane and regional tectonic events, this paper established late Mesozoic stress directions, stress regimes and their evolution sequence, and proposed a 4-stage tectonic evolution model with tectonic stress regimes changed alternately between extension and compression. The Basin was under extensional stress environment during the Early-Middle Jurassic, with the extension oriented in N-S to NNE-SSW. The tectonic stress regime had changed to multi-directional (W-E, NW-SE, NE-SW) compression during the period from the latest Middle Jurassic to late Jurassic and the peripheral zones of the Ordos Basin submitted to multi-directional shortening deformation. The stress regime changed again to extension during the Early Cretaceous, with the orientations of extension being NW-SE, W-E and NE-SW. It is followed from the latest Early Cretaceous to late Cretaceous by NW-SE compression. The stress field evolution and the changes in stress regimes in the peripheral zones of the Ordos Basin during the late Mesozoic not only recorded far-field effects produced by different inter-plate convergences, but also reflected changes in deep-seated thermal-tectonic regimes beneath the Ordos Basin, which caused the proto basin to have been significantly reformed.

Key words: Ordos Basin; late Mesozoic; fault kinematics; tectonic stress field; stress regime