CNIC-01863
XYRIUG-0001

# 鄂尔多斯盆地不同沉积地层中的断裂构造特征识别

赵希刚
(核工业二〇三研究所, 陕西, 咸阳, 712000)

## 摘　要

鄂尔多斯盆地不同沉积地层中的断裂构造是影响油气、煤、砂岩型铀矿等多种能源矿产富集定位的一个重要因素。利用水平梯度最大模法、小波变换法、“去皮抽底”法、图像处理技术等多种方法,在不同沉积地层中提取高精度布格重力异常数据所反映的线性断裂构造的微弱信息,成果采用数字图像显示。识别出白垩系、侏罗系、三叠系、石炭二叠系、奥陶系地层中的线性断裂构造。分析断裂构造特征认为,盆地内沉积地层中断裂构造发育;断裂构造具有立体结构、似等间距排布;断裂构造密度在不同沉积地层中是上大下小,同一地层中是北疏南密。该方法不但为盆地断裂构造的研究提供了依据,而且为区域上油、气、煤、铀矿等多种能源矿产同盆共存的预测及协同勘探提供了参考。

关键词: 断裂构造　沉积地层　高精度布格重力异常数据　油、气、煤、铀矿产　鄂尔多斯盆地



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

# Signature Recognition for Rift Structures of Different Sediment Strata in Ordos Basin

*(In Chinese)*

ZHAO Xigang
(No. 203 Institute of CNNC, Xianyang, Shaanxi, 71200)

## ABSTRACT

The rift structure weak information of high Bouguer gravity anomaly data among different Sediment strata are extracted By the horizontal gradient Maximum modulus, the wavelet variation, stripped gravity anomaly of basement and interfaces above\under researched layer, image processing method. So the linear rift structures of different Sediment strata are recognized on data images, such as Cretaceous, Jurassic, Triassic, Permian & Carboniferous, Ordovician System. Development rifts of different Sediment strata occur in stereo structure with quasi-uniform spacing, the rift density of above Sediment stratum is more than lower in different Sediment strata, but the north rift density of the same Sediment stratum is less than south's. It is useful to study rift structure and co-explore for oil, gas, coal and uranium resources in Ordos Basin.

**Key words:** Rift structures, Sediment strata, High Bouguer gravity anomaly data, Oil gas, coal and uranium resources, Ordos Basin


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

研究鄂尔多斯盆地基底断裂, 认为基底的活化断裂通过影响盖层的不同时代的沉积相和沉积厚度间接对油气藏起控制作用[1]。盖层中断裂构造在盆地西缘逆冲带形成背斜、鼻隆及断块, 对油气藏形成明显的控制作用[2]。而在盆地内部的盖层中断裂有继承性断裂, 也有同生沉积断层或后期改造形成的新生断裂, 这些断裂构造为油气的运移提供有利通道, 在油气成藏区多以高角度的棋盘或“X”共轭节理、裂隙出现[3~5]。深大断裂构造也是砂岩型铀矿形成的一个重要因素, 其不但是地下层间承压水的排泄源, 而且是砂岩型铀矿还原剂—深部烃类气体上移的通道。断裂构造对煤系地层的影响表现在聚煤前期的断裂构造控制着沉积相带, 从而直接控制着煤层的分布和聚煤范围。聚煤期的断裂构造造成断块差异性升降, 控制聚煤区的发育范围。聚煤后期的断裂构造改变了赋煤范围, 后期改造使煤层出露地表遭受剥蚀、或埋深、或影响煤质成分以及煤的成熟度。

最新的鄂尔多斯盆地断裂构造研究和野外调查表明, 在盆地中发现大量具有引张、挤压、走滑、扭张、扭压、平移、剪切、隐伏半隐伏性质的断裂, 野外调查发现中生代地层有对冲、甚至掩冲在新的地层之上[2]。在盆地中随处都可见到由剪切、走滑作用形成的高角度雁行状、“X”共轭状节理, 这些都是不同时期构造运动在盆地沉积地层中的表现。从这些断裂和节理角度看, 盆地内不是传统认为的整体抬升、斜坡宽缓、背斜微弱、地层水平和接触整合形式, 而是伸展、挤压、走滑、平移等断裂活动产生的节理、裂隙较为发育的地区[5]。

由于鄂尔多斯盆地中南部为黄土堆积覆盖, 沟壑纵横, 地形十分复杂, 常规的地震勘探方法不仅成本昂贵, 且施工难度极高, 地震数据的品质也不理想。利用遥感影像解译盆地内线性构造为该区油气、煤、砂岩型铀矿勘探提供了有价值的参考资料, 但是其没有办法将每一沉积地层中的断裂构造识别出来。断裂构造前期研究主要是盆地基底断裂构造和盆地盖层中多种能源矿产的一些主要集中区, 如延安地区晚三叠统延长组油藏, 铜川地区石炭二叠系的煤层, 东胜地区中侏罗统直罗组砂岩型铀矿等。而没有系统研究分析不同沉积地层中的线性断裂构造特征。作为一种十分有益的尝试, 本文利用水平梯度最大模法、小波变换法、“去皮抽底”法、图像处理技术等多种方法, 在不同沉积地层中提取高精度布格重力异常数据的线性断裂构造的微弱信息, 首次识别出白垩系、侏罗系、三叠系、石炭二叠系、奥陶系中的线性断裂构造。不但为盆地的断裂构造研究提供了依据, 而且为区域上多种能源矿产同盆共存的预测及协同勘探提供了参考。

## 1 盆地区域地质构造概况及密度特征和重力场特征

### 1.1 区域地质构造概况

鄂尔多斯盆地是一个相对稳定沉积、坳陷迁移、扭动明显的多旋回沉积型克拉通类多种能源矿床(藏) 同盆共存大型沉积盆地, 盆地面积约25万 $km^2$, 其周边有河套、银川、渭河等三个新生代断陷盆地, 它是一个晚三叠世—早白垩世以来演化形成的大型陆相沉积盆地。根据地质演化历史及其中生界地质构造特征的差异性, 盆地本部可划为: 伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、陕北斜坡、天环坳陷、西缘掩冲构造带等六个区域构造单元。盆地线性断裂构造主要以东西向、南北向、北东向、北北东向、北西向、北北西向展布, 但是在不同的构造区、不同的深度是有差异的, 如西缘掩冲构造带断裂构造为南北向, 渭北隆起为北东向, 盆地北部被东西向、南北向和北东向3组线性异常带围限在三角形地区内; 以中卫—离石大断裂为界, 盆地南北存在差异, 深部盆地基底断裂构造在盆地南部为北东向展布, 北部为近东西向展布[2]。


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

鄂尔多斯盆地中,油、气、煤、砂岩型铀矿空间分布在纵横向上存在差异。纵向上,油产出层位是中生界的上三叠统延长组及中侏罗统的延安组。天然气和煤层气产出层位是古生界上奥陶统的马家沟组、中上石炭统的本溪组和太原组及中下二叠系的山西组和下石盒子组。煤产出层位是上古生界上石炭统的太原组以及下二叠系的山西组,中生界中下侏罗统的延安组。铀矿产出层位一般是中生界的中侏罗统直罗组,早白垩世志丹群。油、气、煤、铀的产出空间位置具有重叠性,一般是油、气深,煤、铀浅。平面上南油北气,全盆煤,砂岩型铀矿分布在盆地边缘。油、气、煤、砂岩型铀矿等多种能源矿产后期改造同盆共存[6]。

**1.2** 密度特征和重力场特征

根据盆地沉积地层和岩性的密度特征,鄂尔多斯盆地中、古生代地层从新到老,密度值逐渐增大(见表 1)。在盆地主体中白垩系、侏罗系、三叠系、石炭二叠系、奥陶系、前奥陶系地层之间存在密度差,老第三系和白垩系地层、侏罗系、三叠系、石炭 —二叠系地层、奥陶系地层、莫霍面之间可分为七个密度界面,第四系和第三系在盆地主体上分布不均匀而且厚度薄,无论是分布范围,还是沉积厚度都是有限的,可以忽略。莫霍面作为全球意义的密度界面,具有区域重力场特征。因此,在白垩系、侏罗系、三叠系、石炭二叠系、奥陶系、前奥陶系地层之间存在五个局部密度层,这五个局部重力密度界面是不同深度重力场研究的重点。它们的沉积厚度具备足够大的剩余异常,在构造运动影响下而产生褶皱和断裂时,引起明显的重力异常,是重力场变化的主要影响因素。

表 **1** 鄂尔多斯盆地中、古生代地层密度表

| 时代 | 密度/(g/m³) | 密度均值/(g/m³) | 密度差/(g/m³) | 密度界面 |
|---|---|---|---|---|
| Q+N | 1.4~1.7 | 1.63 | | 全区分布不均匀 |
| E | 1.9~2.2 | 2.10 | 0.50 | |
| K | 2.0~2.2 | 2.20 | 0.10 | 1 |
| J | 2.2~2.4 | 2.31 | 0.11 | 2 |
| T | 2.4~2.5 | 2.45 | 0.15 | 3 |
| P | 2.4~2.6 | 2.50 | 0.05 | |
| C | 2.4~2.6 | 2.50 | | 4 |
| O | 2.70~2.75 | 2.725 | 0.22 | 5 |
| ∈ | 2.70~2.80 | 2.75 | 0.03 | |
| 结晶基底 | 2.5~5.0 | 2.83 | 0.08 | |
| 上地幔 | 3.31 | 3.31 | 0.48 | |

根据张抗、汤锡元资料总结。

从布格重力异常图可将鄂尔多斯盆地分为三个环圈层(体),外环圈南、北、西部分别是河套、银川、渭汾地堑,为 - 150 mGal~ - 190 mGal① 低重力异常,东部是吕梁山山间坳陷,- 110 mGal~ - 130 mGal 偏高重力异常,平均重力异常梯度变化为 0.7 mGal/km 左右。中环圈体分别是东胜梁隆起、西缘逆冲带、渭北隆起、晋西挠褶带,表现为 - 80 mGal~ - 100 mGal重力高。南部周边地区,平均重力异常梯度变化约为 0.6 mGal/km。内环圈体

① 1 Gal = $10^{-2}$ m/$s^2$


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

反映盆地主体, 重力异常变化较为平缓, 异常场总的趋势为自西向东逐渐增高, 反映盆地盖层的沉积特征, 又分为东西两区, 东区为北东向的雁列式组成的重力高, - 110 mGal~ - 130 mGal, 西区为南北向的重力低, - 130 mGal~ - 170 mGal, 与相应的地质构造或沉积厚度相关。在盆地中有数个重力异常高值圈闭, 多为后期改造中的断块升降、翘倾或密度岩性引起。在盆地的东北地区, 重力异常变化极为平缓, 变化幅度在- 130~ - 150 mGal, 重力异常场的形态为向东北方向开口的箕状分布, 这同该地区北东向构造相对应, 是深部北东向的继承性构造的反映[7]。

鄂尔多斯盆地重力场基本特征是盆地主体( 内环圈) 为平缓变化区, 主体周缘( 中、外环圈) 由等值线相对密集、局部发育、场值变化大的重力异常所环绕。

## 2 利用高精度重力数据自动识别断裂构造方法简述[8, 9]

### 2.1 极大水平梯度模原理[10]

利用重力水平梯度异常在垂直物性边界的正上方取极大值的特点来确定边界位置。首先计算重力异常水平梯度的模( 强度) 。由于地质体边界附近存在水平梯度极大值, 因此, 计算重力异常水平梯度模可用来确定物性边界的位置, 然后, 寻找和确定重力水平梯度模的极大值及其位置。采用 3×3 或者 5×5 规则网格从四个方向采用抛物线插值方法寻找最大值确切位置, 即得到 $X_{max}$ , $G_{max}$ , 转角 θ 和 $N$ 四个参数。前及提到鄂尔多斯盆地内部多由断块构成, 断块的边界也就是断裂构造的位置, 这样可以利用极大值水平梯度模自动识别断裂构造的位置。

### 2.2 小波变换分析方法[11]

近几年发展起来的小波分析, 在信号处理、地震勘探、地球物理等很多学科领域正在得到越来越广泛的应用。小波变换引入了多尺度分析的思想, 在空间域和频率域同时具有良好的局部分析性质。小波变换可以将信号 $f(x)$ 分解成各种不同的频率成分或各种不同的尺度成分, 并且通过伸缩、平移聚焦到 $f(x)$ 的任一细节加以分析, 具有“数学显微镜”的作用。小波分析的这些特点决定了它是进行地球物理数值分析的有效工具。利用小波变换的上述特点, 对重力异常进行划分, 便可得到各种尺度意义下的异常分解。

### 2.3 “去皮抽底”法[12]

采用正演补偿法, 根据已知全盆钻井资料和密度资料对白垩系、侏罗系、三叠系、石炭-二叠系、奥陶系进行 PARK 正演计算。再采用趋势场方法提取趋势场, 为了消除趋势场影响, 逐层计算某一层引起的重力异常。剩余布格重力异常计算: $\Delta g_{剩余} = \Delta g_{布格} - \Delta g_{区域}$, 其中: $\Delta g_{布格}$ 为布格重力值, $\Delta g_{区域}$ 为区域布格重力值。结合小波变换法方法进行有效分解辅助解释, 将研究层上下地层引起的重力异常除去。剩下的这一重力异常, 对其进行重力水平梯度模计算和小波变换处理。

### 2.4 图像处理技术原理[13]

在对地球物理资料的处理过程中, 总是要强化突出断层的不连续性。强化断层不连续性的属性有多种, 提取这些属性都是在一定空间范围内实现的, 对真实的不连续性存在垂向与水平方向的弥散作用, 使得不连续界面常表现为有一定宽度的条带, 而且噪声干扰总是存在。这就会使断层位置、断裂带范围以及断层的组合关系都变得模糊不清。为了解决这些问题, 人们提出了对所提取的不连续性属性作进一步处理的方法。


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

断裂带窄化方法是较常见的一种属性加工方法。将地球物理数字图像看成是二维图像, 应用细线化技术实现断裂带的窄化, 图像细化就是把二值图像中具有一定宽度的线条状区域变成一条薄线( 即只有一个像素宽度) 。图像细化大大压缩了原始图像的数据量, 并保持其形状的基本拓扑结构不变, 从而可以识别出断裂带的准确位置, 有利于断裂构造自动识别。实现细化操作还要涉及其他的图像处理技术, 如灰度变换、阀值设定、平滑滤波、中值滤波、低通滤波、高通滤波和边缘检测等[14] 。

**2. 5** 盆地断裂构造自动识别

线性断裂构造在数字图像上多以色调异常线表示。利用高精度重力数据研究鄂尔多斯盆地断裂构造, 应用了数字成图技术和图像处理技术识别断裂构造。首先, 进行重力资料专题处理, 特别是用延拓法进行上、下层剥离。计算不同沉积地层中的重力异常水平梯度最大模、小波变换重力异常线性细节, 并采用数字图像成图; 图上显示出区域的微弱信息断裂构造特征。其次, 确定断裂构造位置。为了更清楚地显示鄂尔多斯盆地分层效应的断裂构造, 必须更清楚了解断裂构造的具体位置和范围分布。运用滤波、平滑、二值化、细化和边缘检测等技术对数字图像进行进一步的处理, 使异常高值区准确反映断层的位置。最后, 提取断裂构造信息。通过图像处理技术, 运用细化技术可以准确地找到断裂构造的中轴线位置, 实现断裂构造自动识别。

## 3 鄂尔多斯盆地不同地层的断裂构造分析

盆地内白垩系、侏罗系、三叠系、石炭二叠系、奥陶系中的断裂构造, 一部分是深部基底断裂构造在不同沉积地层中后期活化产物, 其在复合图上具有对应性。另一部分是沉积时形成的同生断层或后期改造形成的新生断裂。这些断层的断距一般为 5~ 10 m, 从地震剖面难以发现。但是它们造成油气藏储集层砂岩中裂隙、节理发育。

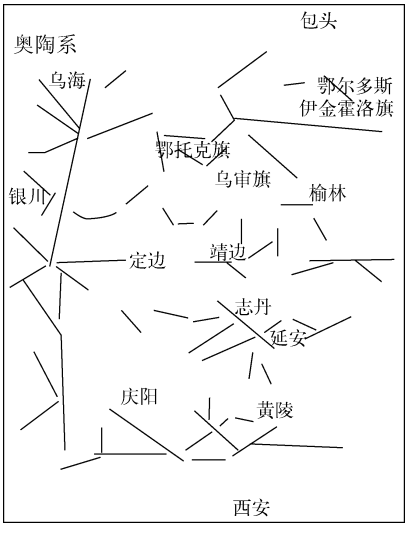
奥陶纪断裂构造。早古生代的鄂尔多斯地块作为华北克拉通一部分进入了稳定发育时期, 沉积了一套全区可稳定对比、追踪的海相碳酸盐岩夹碎屑岩建造。盆地除周缘断裂构造与其他地块相接外, 整体以升降为主, 断裂构造在奥陶纪继承前期断裂构造的同时, 多以厚皮构造为特征, 发生对冲、反转、滑脱、加厚等变形, 同时断裂构造控制了古地貌的沟槽, 它们是奥陶系侵蚀面早期发育的破碎构造密集带的分布及走向迁就北东东向与北西西向“X”共轭断裂形成的近东西向断裂体系, 性质为近东西向的正断层、逆断层, 断层主要集中在延安—神木之间( 见图 1) , 如鄂托克旗—保德、定边—靖边、志丹—延安、平凉—铜川东西向断裂带上叠加“X”共轭断裂。盆地西缘以南北向断裂为主, 而在定边—庆阳“L”型古隆起上断裂构造相对少。构造应力场为加里东晚期和海西早期来自于盆地西侧祁连板块、南侧的秦岭板块和北侧中亚—蒙古板块的碰撞挤压。

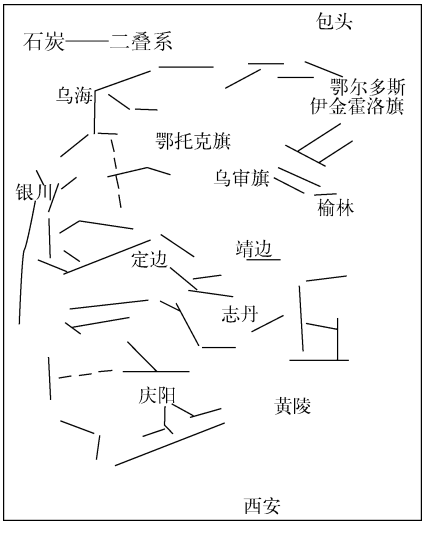
石炭纪和二叠纪断裂构造。长期存在的东西向、北东向、北向西基底断裂在这一时期活化从而控制了晚石炭世和二叠世的沉积相和砂体厚度。晚古生代构造演化、沉积格局在早古生代基础上具有叠加性质, 但也有所改变, 由弧—陆碰撞造成的褶皱—隆起割断盆地与外部海域的联系而逐步成为陆内盆地。断裂构造控制的东西分异被南北分异代替( 见图 1) , 断裂构造以中卫—离石断裂为界, 南部较北部发育, 南部断裂以东西向和北东向为主, 北部断裂东西向、北东向、北西向均有分布, 天然气藏区( 鄂托克旗—靖边) 断裂发育少。构造应力在盆地北部兴蒙加里东海槽回返褶皱和挤压, 在南部秦祁海槽加里东末期挤压褶皱上隆作

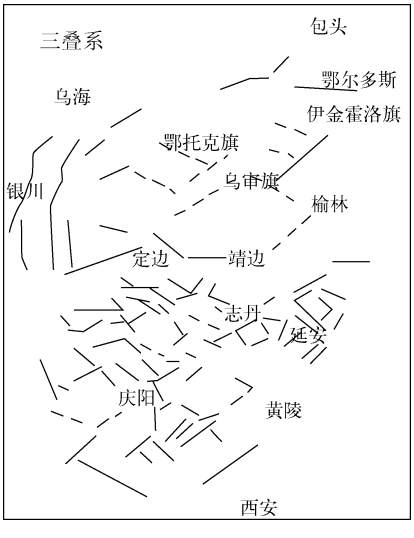

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

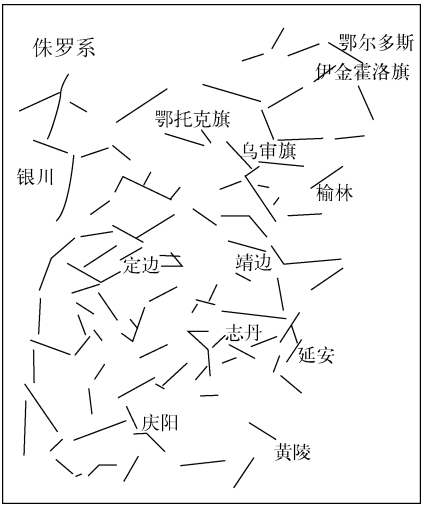
用下, 盆地两侧形成一系列逆掩、逆冲断层, 同时使早期形成的正断层发生逆转变成逆断层。

三叠纪时期盆地的断裂构造。早、中三叠世继承二叠世构造格局, 以近东西向的构造为特点, 控制地层沉积厚度。如东胜地区发育东西向伸展走滑断层( 见图 1) 。在晚三叠世东西向断裂控制着晚三叠统地层厚度。晚三叠世鄂尔多斯盆地西缘受北北东( 北段) 、北北西( 南段) 走滑—拉张断裂控制, 发育走滑—拉分( 拉张) 性质的断—坳陷盆地, 如由北向南发育汝箕沟、石沟驿、平凉、吴旗—铜川坳陷四个右行展布的走滑拉分坳陷, 沉积中心偏向断裂一侧。其中北东向、北向西断裂占优势, 在地震剖面和野外调查东胜、庆阳、吴旗、铜川等地多见高角度同生正断层, 有的断至侏罗系顶。盆内受印支运动的影响断裂构造发生反转。盆地内部的东西向、北东向、北向西断裂在晚三叠世大多追踪和迁就基底断裂使其发生活化, 分析盆地北北东向、北东向、北北西向、北向西断裂及其“X”共轭断裂与晚三叠世延长组沉积相关系, 认为断裂构造直接控制该组的沉积相带, 如延安、吴旗、庆阳地区的“X”共轭断裂明显控制盆地中部三角洲平原和前缘的分布, 这些地区目前是三叠系油藏开发的集中区。乌审旗—鄂尔多斯的北东向断裂可能是烃类气体向上运移的主要通道。





© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

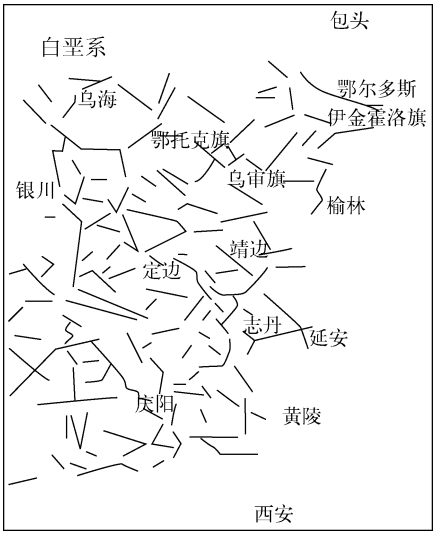



图 1　鄂尔多斯盆地不同沉积地层中的断裂构造图

侏罗纪时期盆地的断裂构造。侏罗系油田的形成与分布多与印支期反转不整合的古地貌有关, 而断裂构造控制着不同方向、不同尺度的古地貌、古河道及其沉积相带。自加里东、海西、印支期长期以来形成盆地东西成带的构造格局在燕山中期( $J_2$ ) 变成南北成带的构造格局( 见图 1) , 如定边 —靖边发育东西向伸展走滑断层。断裂构造在东西向方向上叠加了北东向和北西向的“ X” 共轭构造。早、中侏罗世时期, 早侏罗统富县组、延安组沉积主要受部分断层发生反转和晚三叠世古地貌控制。中侏罗统直罗组和安定组在盐池、环县、庆阳北西向隆起带以靠近东西向断裂调节。晚侏罗世时期, 太平洋板块向北北西向俯冲, 东缘南北向离石断裂造成大型华北盆地解体, 断裂以东形成北北东向雁列展布的复式背斜和复式向斜组成了吕梁断裂隆起, 断裂以西的晋西挠褶带上发育由东向西逆冲叠瓦扇、背冲构造等逆冲断裂体系。从而造成鄂尔多斯盆地东缘挤压、逆冲、抬升隆起和西缘快速沉降的东西向不对称结构, 在南北方向上, 也存在背冲式和对冲式, 多为基底卷入的厚度冲断为主, 断至白垩系地层中。盆地西缘由于挤压、逆冲叠覆加载、地壳挠曲下陷沉积巨厚的芬芳河组。控制芬芳河组沉积的逆断层具有同生断层性质, 而且多断至白垩系顶。定边 —乌审旗、环县 —靖边、庆阳北 —志丹北东向断裂构造密度带, 其上叠加北西向构成的“ X” 共轭构造, 目前是侏罗系油藏的集中分布区。乌审旗 —鄂尔多斯的北东向断裂可能是烃类气体向上运移的主要通道, 近东西向的断裂带对砂岩型铀矿成矿有利。

白垩纪时期盆地的断裂构造。早白垩世初断裂发生阶梯状负反转, 将晚侏罗世逆冲形成的东新西老地层, 东低西高地貌, 变成地层西厚东薄, 形成天环坳陷。研究认为这与由南北向正断层有关。经对早白垩世地层岩性和沉积厚度变化分析, 东西向的中卫 —离石断裂, 北东向的大同 —环县、定边 —乌审旗, 南北向的西缘断裂对沉积具有明显的控制作用( 见图 1) 。说明早白垩世的鄂尔多斯盆地是受正断层控制的断 —坳型盆地。晚白垩世由于受印度板块和太平洋板块的共同影响, 导致盆地垂直运动较水平运动更加显著。同时发生构造热事件, 玄武岩浆侵入和喷发活动, 地温梯度和大地热流值偏高, 是盆地史上一次重要的构造事件, 如在伊克乌苏地区火山岩侵入下白垩地层。周边断裂向盆内逆冲、逆掩或推覆作用使


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.  http://ww

盆地整体抬升以及发生低角度或层间滑动, 构成滑脱逆冲断层。比较早白垩统地层等厚图和下白垩统剥蚀厚度发现, 晚白垩统剥蚀量大的地区多受断裂控制, 如西缘带马家滩掩冲段、伊盟隆起阿布劳庙弧形冲断带西段, 大同—环县断裂的神木—靖边段等, 说明大多基底断裂曾有过活化。白垩纪时期盆地的断裂构造由北北东向、北东向、北北西向、北向西“X”共轭断裂构成断裂构造格架, 构造密度明显增大。

## 4 结 论

盆地内白垩系、侏罗系、三叠系、石炭二叠系、奥陶系中的断裂构造形成次序为东西向和北东向断裂最早, 南北向次之, 之后为北西向, 北北西向和北北东向最晚。断裂构造从深部的东西向、南北向、北东向变成浅部的北西向和北东向, 北北西向和北北东向“X”共轭构造。具有立体交叉结构, 似等间距性展布。

从奥陶系、石炭二叠系、三叠系、侏罗系到白垩系, 深部断裂构造对浅部断裂构造起到了明显的控制作用, 但是断裂构造发育的频率存在差异, 一般而言, 基底断裂构造规模大, 浅部规模小。深部断裂构造较浅部断裂构造发育的频率低, 即断裂构造密度在不同沉积地层中是上大下小, 同一地层中是北疏南密。

## 参 考 文 献


1 贾进斗, 何国琦, 李茂松。鄂尔多斯盆地基底结构特征及其对古生界天然气的控制[J]. 高校地质学报, 1997, 3(2): 144~152

2 何自新主编. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 88~152

3 肖安成, 扬树峰, 李曰俊, 等. 塔里木盆地巴楚—柯坪地区新生代断裂系统[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 78~85

4 丁燕云. 鄂尔多斯盆地北部航磁反映的构造特征[J]. 物探与化探, 2000, 24(3): 197~202

5 姚宗惠, 张明山, 曾令邦, 等. 鄂尔多斯盆地北部断裂分析[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 20~23

6 魏永培, 王毅. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较[J]. 石油与天然气地质, 2005, 25(4): 385~392

7 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

8 柏冠军, 吴汉宁, 赵希刚. 鄂尔多斯地区重力数据重新处理与信息提取[A]. 鄂尔多斯盆地及邻区中新生代演化动力学和其资源环境效应学术研讨会论文摘要[C]. 西安: 西北大学. 2005. 10

9 柏冠军, 吴汉宁, 赵希刚, 等. 基于图像处理技术的地球物理资料线性构造识别——以鄂尔多斯盆地重力数据为例[A]. 鄂尔多斯盆地及邻区中新生代演化动力学和其资源环境效应学术研讨会论文摘要[C]. 西安: 西北大学. 2005. 10

10 余钦范, 楼海. 水平梯度法提取重磁源边界位置[J]. 物探化探计算技术, 1994, 16(4): 363~387

11 候遵泽, 杨文采. 中国重力异常的小波变换与多尺度分析[J]. 地球物理学报, 1997, 40(1): 85~95

12 罗孝宽, 郭邵雍. 应用地球物理学教程—重力磁法[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 5

13 周长发. 精通 VisualC++.NET 图像处理编程[M]. 北京, 电子工业出版社, 2000. 1

14 朱成宏, 黄国骞, 秦瞳. 断裂系统精细分析技术[J]. 石油物探, 2002, 41(1): 42




© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww