

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.477>



鄂尔多斯盆地大牛地区块板内走滑断裂构造特征及演化

张威¹, 杨明慧^{2,3*}, 李春堂¹, 李竞赢², 孙涵静¹, 崇荔萍¹, 陈杰², 田刚², 邢舟²

1. 中国石化华北油田分公司, 河南郑州 450006
2. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249
3. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

摘要: 克拉通盆地板内走滑断裂对碳酸盐岩溶及成藏具有重要控制作用, 鄂尔多斯盆地主体斜坡区断裂隐蔽性强、分布杂乱, 解析难度大, 目前研究薄弱, 制约了对盆地构造演化及多层系立体成藏认识。为此, 以油区构造解析理论为指导, 通过对鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部大牛地区块三维地震数据的精细解释, 配置并厘定了研究区走滑断裂的构造特征及演化过程, 为盆内碳酸盐岩层系走滑断裂整体研究及控藏作用提供依据。研究表明, (1) 大牛地区块发育 4 条不同走向的走滑断裂, 即近 NS-NNE 向石板太断裂、NW 向秃尾河断裂和小壕兔断裂、NEE 向台格庙断裂, 具有垂向分层、走向分段特征。(2) 大牛地区块走滑断裂的形成演化分为加里东—海西期、印支期、燕山期及喜山期等 4 个阶段, 其中, 从加里东—海西期持续至印支期形成右阶左行台格庙断裂及左阶右行石板太断裂北段; 燕山期形成左阶右行秃尾河断裂及右阶左行石板太断裂南段。(3) 大牛地区块走滑断裂的形成背景和机制受周边板块相互作用影响, 其中, 石板太断裂北段与台格庙断裂构成的 X 型断裂体系与扬子板块与华北克拉通碰撞挤压有关, 而石板太断裂南段与秃尾河断裂构成的 X 型断裂体系则与古太平洋板块向欧亚板块的俯冲挤压有关。

关键词: 走滑断裂; 构造样式; 构造演化; 大牛地; 鄂尔多斯盆地; 石油地质。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2023)06-2267-14

收稿日期: 2022-08-31

Structural Characteristics and Evolution of Intraplate Strike-Slip Faults in Daniudi Block, Ordos Basin

Zhang Wei¹, Yang Minghui^{2,3*}, Li Chuntang¹, Li Jingying², Sun Hanjing¹, Chong Liping¹, Chen Jie², Tian Gang², Xing Zhou²

1. SINOPEC, North China Oil and Gas Branch Company, Zhengzhou 450006, China
2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract: The intraplate strike-slip faults of the craton basin play an important role in controlling carbonate karst and reservoir formation. The faults in the main slope area of the Ordos basin are highly hidden, distributed in disorder, and difficult to analyze. At present, the research is weak, which restricts the recognition of basin tectonic evolution and multi-layer system three-dimensional reservoir formation. Guided by the structural analysis of oil area, the structural characteristics and tectonic evolution of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(Nos.41172127, 41572102); 中国石化科技部项目群课题(Nos.P20043-2, P21088-2, P20062-4).

作者简介: 张威(1986—), 男, 副研究员, 博士, 主要从事油气勘探综合研究。

* **通讯作者:** 杨明慧, 教授, 博士生导师, 主要从事盆地构造分析等方面的教学和研究工作, E-mail: yangmh@cup.edu.cn

引用格式: 张威, 杨明慧, 李春堂, 李竞赢, 孙涵静, 崇荔萍, 陈杰, 田刚, 邢舟, 2023. 鄂尔多斯盆地大牛地区块板内走滑断裂构造特征及演化. 地球科学, 48(6): 2267-2280.

Citation: Zhang Wei, Yang Minghui, Li Chuntang, Li Jingying, Sun Hanjing, Chong Liping, Chen Jie, Tian Gang, Xing Zhou, 2023. Structural Characteristics and Evolution of Intraplate Strike-Slip Faults in Daniudi Block, Ordos Basin. *Earth Science*, 48(6): 2267-2280.

strike-slip faults in the study area are configured and determined by using the fine interpretation of 3D seismic data of Daniudi block in Ordos basin. The study shows follows (1) there are four strike-slip faults with different strikes in Daniudi block, namely, the near NS-NNE trending Shibantai fault, the NW Tuweihe fault and the Xiaohaotu fault, and the NEE Taigemiao fault, which are characterized by vertical stratification and strike segmentation. (2) The formation and evolution of strike-slip faults in Daniudi block can be divided into four stages: Caledonian-Hercynian stage, Indosinian stage, Yanshanian stage and Himalayan stage. Among them, the right-step for left-lateral Taigemiao fault and the left-step for right-lateral northern Shibantai fault were formed from the Caledonian-Hercynian period to the Indosinian period; and the left-step for right-lateral Tuweihe fault and the right-step for left-lateral southern Shibantai fault were formed in the Yanshan period. (3) The formation background and mechanism of strike-slip faults in Daniudi block was affected by the interaction of surrounding plates. The X-type fault system composed of the northern Shibantai fault and Taigemiao fault is related to the collision and compression between the Yangtze plate and the North China craton, while the X-type fault system composed of the southern Shibantai fault and the Tuweihe fault is related to the subduction and compression of the ancient Pacific plate to the Eurasian plate.

Key words: strike-slip fault; structural style; tectonic evolution; Daniudi block; Ordos basin; petroleum geology.

0 引言

走滑断裂是构造地质学研究的重要分支之一,多发在板块边缘,如美国西部的圣安德烈斯断裂、中国东部的郯庐断裂及西部的阿尔金断裂等.还有一类走滑断裂位于克拉通内部,或大型的克拉通沉积盆地内部(贾承造等,2021;冯志强等,2022),由于规模小、位移小(Harding,1974),地震响应特征不明显(Han *et al.*,2017;邬光辉等,2021),虽然常见但又难以识别,有学者或称之为“隐性断裂”(赵文智等,2003).这类断裂的性质大多具有扭动或走滑特征,在国内见于渤海湾盆地(周维维等,2014)、四川盆地(焦方正等,2021)、鄂尔多斯盆地(赵文智等,2003;Yang *et al.*,2013;徐兴雨和王伟锋,2020;冯艳伟等,2021)和塔里木盆地(杨明慧等,2007;Wang *et al.*,2020).目前涉及克拉通盆地走滑断裂的研究主要在两个方面,一是不同地区走滑断裂的构造特征和形成演化(邓尚等,2018;马德波等,2020),二是从区域上探讨走滑断裂的构造特征与形成机制(贾承造等,2021).一般认为,这种板内或盆内的走滑断裂与先存基底断裂的复活及其发生的短距离的水平位移有关(Waldien *et al.*,2022).

鄂尔多斯盆地南油北气格局已逐步被“满盆气、半盆油”所替代,新增油气储量和产量均位居国内含油气盆地前列(刘池洋等,2021),却仍以岩性地层油气勘探开发为主;一些学者关注的“基底/隐性断裂”控制油气成藏作用也仅针对上古生界和中生界碎屑岩层系(赵文智等,2003;何发岐等,2022).因此,在塔里木、四川盆地走滑断裂及深层—超深层断控碳酸盐岩油气藏勘探取得重大突破的背景

下,鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩层系走滑断裂及断控油气成藏问题也应当引起足够的重视.本文基于大牛地区块高精度三维地震资料,以石板太、秃尾河断裂等为例,开展碳酸盐岩层系断裂构造解析,试图揭示研究区走滑断裂构造特征和形成演化过程;并结合盆地区古构造应力背景的变化,探讨鄂尔多斯盆内走滑断裂的成因机制,为今后的断控碳酸盐岩油气成藏勘探提供地质理论依据.

1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通西部,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$,南北分别邻接秦岭造山带和天山—兴蒙造山带,西侧为贺兰—六盘山造山带,东侧为环西太平洋构造域的一部分,是在太古宙—古元古代结晶基底之上发育的多旋回叠合盆地.研究表明,鄂尔多斯盆地存在多组近EW向、NS向、NE向及NW向基底断裂(何自新,2003),并控制基底结构的构造格局(图1a).这些基底断裂主要形成并活动于新太古代及古元古代(田刚等,2022).上覆沉积盖层包括中新元古代长城系、蓟县系、震旦系,早古生代寒武系、奥陶系,晚古生代石炭系、二叠系,中生代三叠系、侏罗系、白垩系及新生代古近系、新近系、第四系,缺失志留系、泥盆系及下石炭统等(图2),平均厚度6 000 m.

鄂尔多斯盆地区地层向西缓倾,以漫长的演化历史及稳定的克拉通基底著称.自中新元古代尤其是晚中生代以来,受周缘板块的相互作用控制和影响,鄂尔多斯盆地区构造应力场不断发生变化,由于边界受力方向、方式和强度存在差异,导致基底断裂复活,诱发盖层发生不同时期、不同性质和不

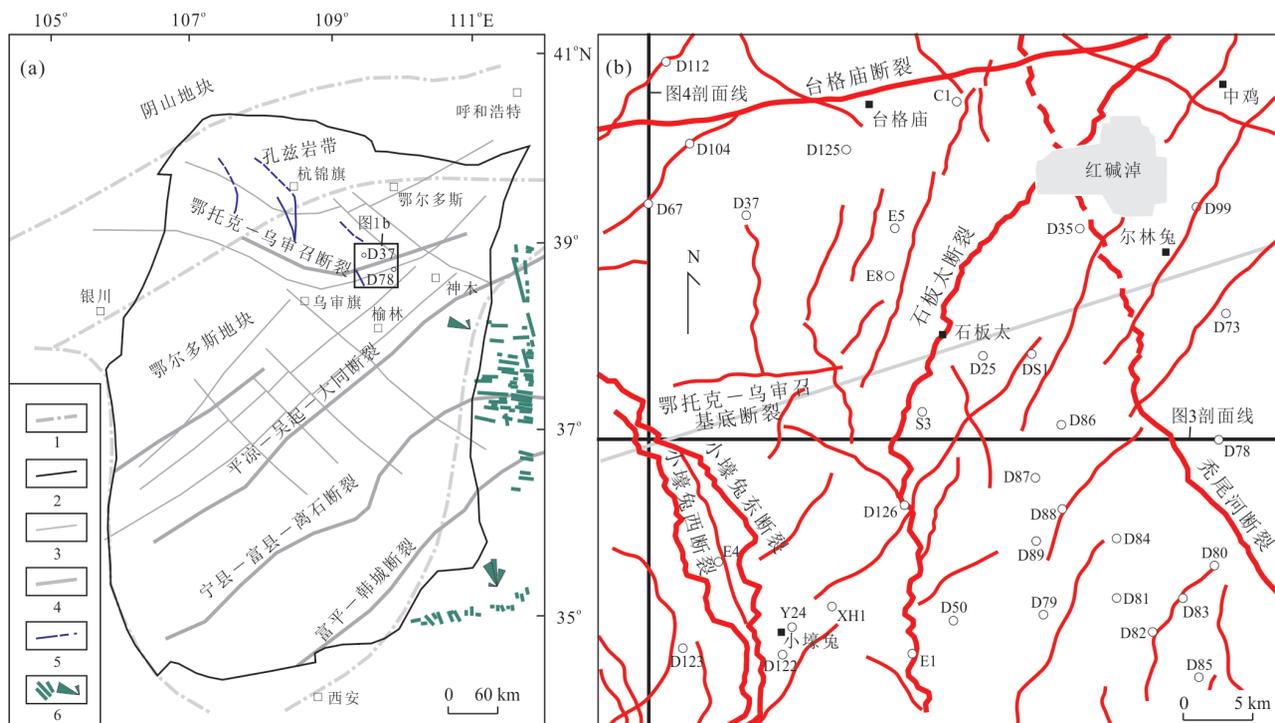


图1 鄂尔多斯盆地基底断裂及大牛地区块断裂分布

Fig.1 Distribution map of basement faults in Ordos basin and faults in Daniudi block

1. 基底结构界线(Zhao *et al.*, 2005); 2. 盆地边界; 3. 主要基底断裂(何自新, 2003); 4. 主要基底断裂(田刚等, 2022); 5. 中元古代NW向坳拉槽边界断裂(张威等, 2023); 6. 基性岩墙群及优势走向统计(侯贵廷等, 2005)

同级别断裂的活动(张泓, 1996; 徐黎明等, 2006). 据力学分析, 盆内断裂走向、性质多变, 见NW向挤压逆冲、NE向拉张、近EW向左行剪切及近NS向右行剪切等(张岳桥等, 2007). 复活的基底断裂在盖层中产生大量的小位移断裂与裂缝, 作为油气运聚的通道, 在油气运聚过程中起重要的作用(赵文智等, 2003), 因此值得关注.

2 走滑断裂的几何学样式

大牛地区块发育石板太、秃尾河、小壕兔及格格庙等4条较大的走滑断裂(图1b). 这些断裂具有垂向分层、走向分段的特点.

2.1 垂向分层变形

在地震剖面上, 大约以三叠系底部为界, 深层基底及碳酸盐层系发育高陡甚至直立的压扭断裂, 浅层碎屑岩层系表现为花状的压扭断裂(图3, 图4). 而且, 浅层以延安组底面为界, 上下也存在不同的构造样式. 虽然主干走滑断裂存在上下分层变形的差异, 但总体上呈贯通状态, 即向下进入变质基底, 向上“通天”. 在研究区东北部, 由于石板太断裂与秃尾河断裂相互交叉, 导致交叉部位发育著名的

遗鸥栖息地——红碱淖, 即为断裂上切至地表形成洼地的一个表征(图1b).

深层压扭断裂主要发育在中元古界、寒武—奥陶系碳酸盐岩层段. 构造样式为单根, 或为半花状、正花状, 主干断裂产状均高陡或近直立, 略具丝带效应. 在中元古界, 断裂根部的构造样式呈现两种状态, 一是“上凸”状, 如NNE向石板太断裂及其分支断裂; 二是“下凹”状, 如NNW向秃尾河断裂(图3). 这两种构造样式的差异, 推测与两条断裂的走向有关, 近垂直于最大主应力的断裂呈现出压扭样式, 近平行于最大主应力的断裂呈现出张扭样式. 另外, 秃尾河断裂的下凹也可能是坳拉槽拉张断裂的残迹. 在寒武—奥陶系, 断裂一般表现为“上凸”状, 表明其构造环境转变为压扭. 上凸幅度向上降低, 一般消失在石炭—二叠系, 个别分支断裂的花状构造也消失在石炭—二叠系顶面. 此外, 在寒武—奥陶系层段, 除秃尾河断裂东倾外, 其他的大部分断裂包括石板太断裂、小壕兔断裂等均为西倾状态, 暗示存在向东北方向推挤的构造应力.

浅层走滑断裂见于中新生界碎屑岩层系, 往深部一般消失在三叠系延长组张家滩泥岩(长7与长8的分界)之上. 主干断裂是通天断裂, 表明深层断裂

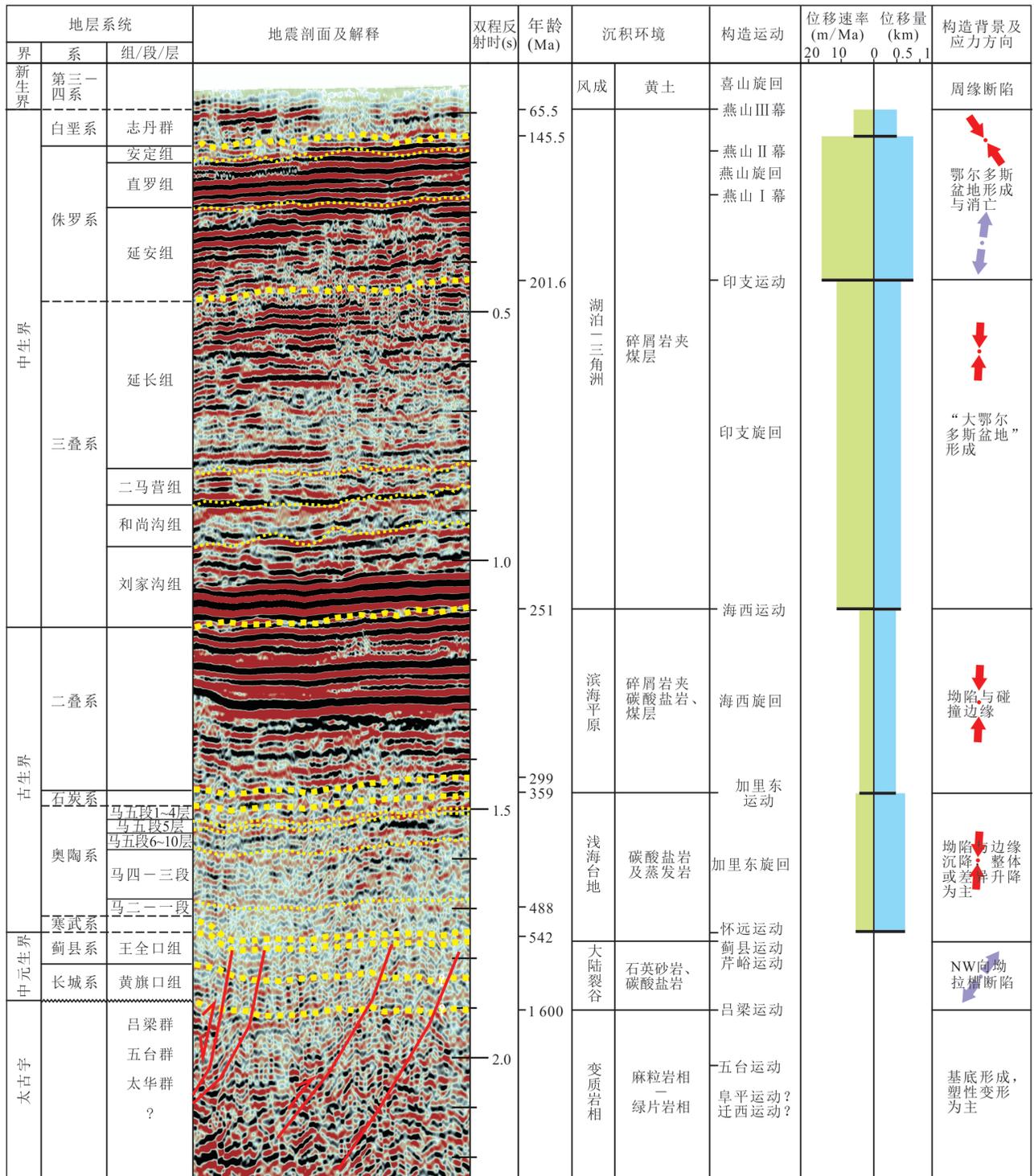


图 2 大牛地区块构造演化序列图

Fig.2 Tectonic evolution sequence of Daniudi block

的复活或反转控制着浅层断裂的活动,如石板太断裂活动造成二叠系顶面“上凸”,而且向北更为突出.一些植根于张家滩泥岩的次要断裂,向上则表现为东侧分支的半花状样式.在侏罗纪,见小型地堑及正反转断层,反映早中侏罗世的拉张转变为中晚侏罗世的挤压.在地震剖面上,延长组反射杂乱,振幅

较弱,与上下地层均有差异,且成层性差.这一现象与西倾逆冲断层及轴面西倾的断层相关褶皱活动有关(图 3,图 4).沿张家滩泥岩发生向东顺层滑动,与深层存在向东北的推挤应力是吻合的.

2.2 走向分段变形

走滑断裂的分段依据,或基于断层连续性的破

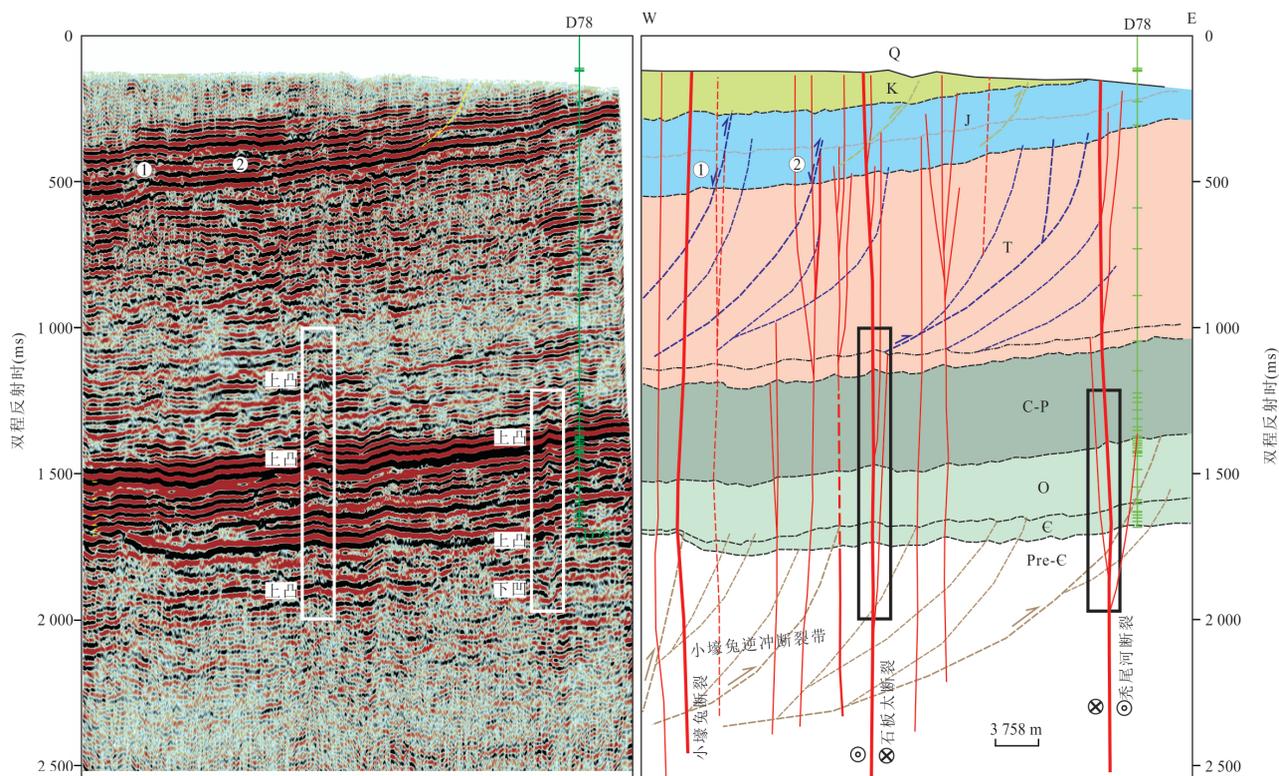


图 3 大牛地区块地震剖面(L1096)及解释图(剖面位置见图 1b)

Fig.3 Seismic profile (L1096) and interpretation of Daniudi block (see Fig.1b for the location of the profile)

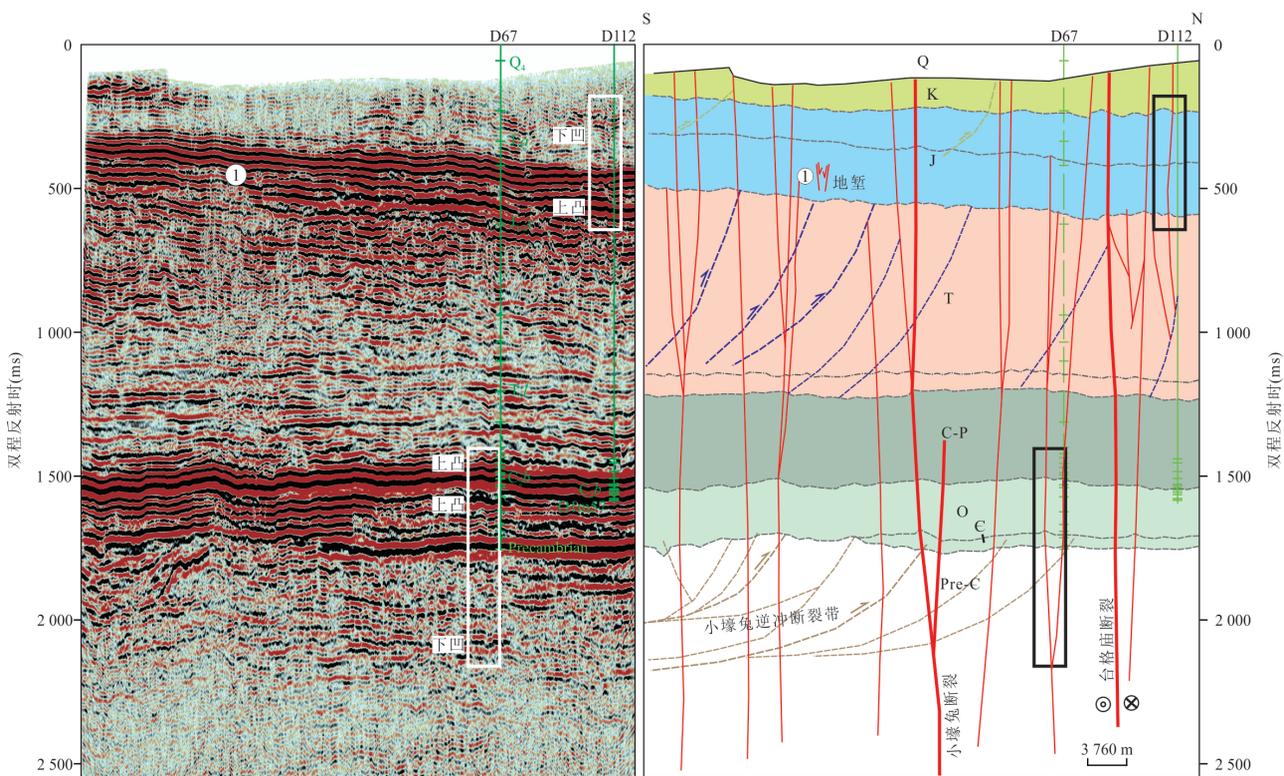


图 4 大牛地区块地震剖面(T276)及解释图(剖面位置见图 1b)

Fig.4 Seismic profile (T276) and interpretation of Daniudi block (see Fig.1b for the location of the profile)

坏,即厘定孤立断层的首尾(邓尚等,2018);或以走滑断裂内部结构的张扭、压扭或平移作用为标准(周铂文等,2022).在剖面上,压扭段发育正花状构造,界面同相轴“上凸”;张扭段发育负花状构造,同相轴呈“下凹”状;平移段断裂孤立,较为直立,对两侧的同相轴产状不产生大的影响,地层产状不变化.在平面上,压扭段对应左行右阶或右行左阶的受阻弯曲段,而张扭段对应左行左阶或右行右阶的释放弯曲段.

基于上述认识,沿各个断裂走向以 20 道距采集地震剖面数据,在时间域计算断裂切穿 5 个奥陶系地震反射界面的垂直断距(ms),制作断裂位移—长度图.由于垂直断距较小,本文采用韩晓影等(2018)读取断距的方法,即由走滑断裂造成的反射界面局部“上凸”或“下凹”的幅度的数值.

2.2.1 石板太断裂 石板太断裂位于大牛地区块中部,呈近 NS-NNE 向贯穿全区.据位移—长度图分析,马二期,石板太断裂至少可分 4 段;至奥陶纪末期,南、北断裂的分段逐步连接,构成 2 个一级分段(图 5),南、北段各长约 40 km.以此为基础,通过高分辨相干切片图及地震短剖面解释,厘定出石板太断裂的一级分段,分段点在石板太镇西南约 3 km(图 6),其位置是与鄂托克—乌审召基底断裂的交叉点(图 1a).

南段走向近 NS,以 L1000 线为界分为 2 个二级分段.南 I 段较长,约 30 km.在剖面上,中新元古界甚至基底均为孤立主干断裂,呈“上凸”样式,西翼缓东翼陡,断裂宽度约 1 km(图 6a);平面上呈“宽”的左阶雁行状,分多个小段,多以被“硬连接”;南 II 段较短,约 10 km,该段“上凸”幅度趋缓,在奥陶系向上分支,呈简单的“半花状”构造,主干具“丝带效应”(图 6b).北段走向近 NNE,以 L1725 线分两段.北 I 段较短,约 12 km,表现为向东歪斜的不对称的正花状构造,上凸仍较为平缓(图 6c);与南段类似,该段也受鄂托克—乌审旗断裂影响,分支断裂发育,平面上形成较窄的岩溶谷地.北 II 段较长,石板太断裂的主干向北穿过红碱淖逐渐消失,但其分支仍向上延伸(图 6d),平面上呈“窄”的左阶雁形状.

2.2.2 秃尾河断裂和台格庙断裂 秃尾河断裂位于大牛地区块东部,呈 NW 向延伸(图 1b),本次分段研究仅针对断裂的南段.秃尾河断裂南段可分 2 段,或次分为 4 段(图 7).在位移—长度图上,一级分段点在初期并不明显,马四期末开始呈现明显分段

特征,并持续到奥陶纪末.从平面构造样式看,这个分段点是由两个孤立的断裂分段在马四期末通过“硬连接”形成的.

台格庙断裂位于大牛地区块的北侧,与鄂托克—乌审召基底断裂走向一致,呈近 EW 向.该断裂虽能次分为右阶 5 段,但总体更为完整,位移—长度图上表现为典型的“弧形”特征(图 8).这种特征表明断裂在奥陶纪末已经完成了分段连接过程.

3 走滑断裂的运动学过程

走滑断裂的运动学过程分析是在几何学构造样式研究基础进行的,主要包括走滑断裂的活动期次及位移量、位移方向等.

3.1 活动期次

本次研究是以区域构造演化为背景,以研究区地震剖面精细解析为基础,以不整合面、断裂发育层位及构造样式变化,划分构造演化阶段并厘定走滑断裂活动期次.

3.1.1 加里东—海西期 大牛地区块的主干走滑断裂是基底断裂的复活和持续活动形成的,利用钻井标定的地震剖面解释可以获得断裂早期活动的证据.

研究区的最早沉积盖层是中元古界黄旗口组和王全口组,其上与下寒武统上部地层平行不整合接触,缺失新元古界和寒武纪早期沉积.研究区西南部继续缺失中上寒武统,作为同期古隆起,直到奥陶纪才被向西南超覆的地层覆盖(图 3,图 4).这一现象反映两个地质问题:一是大牛地区块西南部发育 NW 向拗拉槽;二是拗拉槽拉张断裂在寒武纪早期的怀远运动中发生正反转.

一般认为,华北克拉通中新元古代发育 NE 向燕辽、豫西拗拉槽,鄂尔多斯盆地区西南发育 NE 向拗拉槽(冯娟萍等,2020),但在盆地北部杭锦旗区块存在与白云鄂博—渣尔泰拗拉槽(侯贵廷等,2005)有关的 NW 向拗拉槽,即百眼井、独贵—蒋家梁拗拉槽(张威等,2023).若将其与太行—吕梁地区的 NNW-NW 向基性岩墙群(侯贵廷等,2005)联系起来,那么 NW 向小壕兔断裂恰好处在这一连线之上.据基性岩墙群的锆石测年(约 1.77 Ga;李江海等,2001)推测,古元古代末期研究区基底断裂拉张复活,在寒武纪早期反转.从地震剖面解释看,主干断裂压扭活动,造成奥陶系甚至上古生界发育扭压的“上凸”样式(图 3).这表明,研究区走滑断裂的

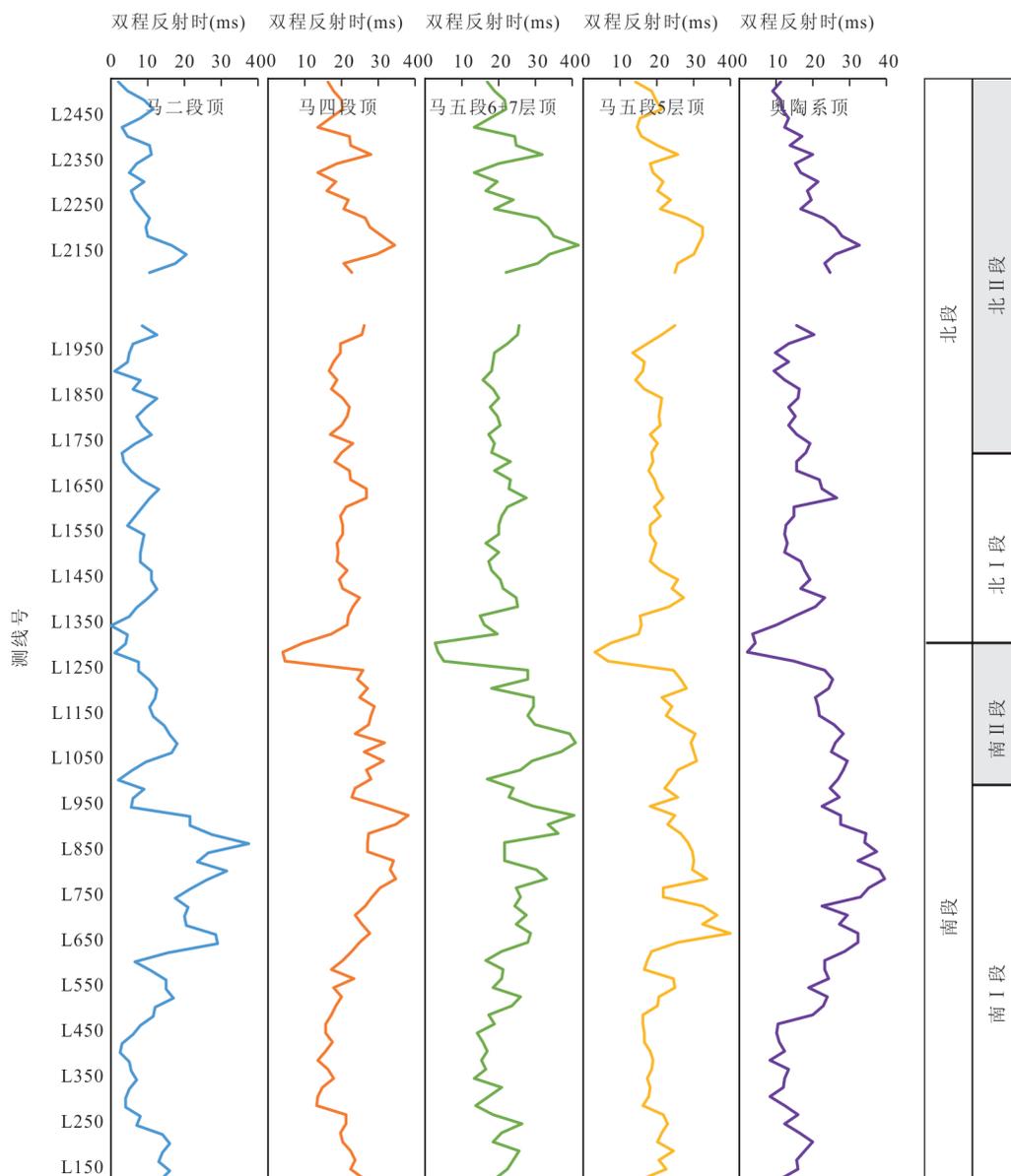


图5 大牛地区块石板太断裂位移—长度

Fig.5 Displacement-length diagram of Shibantai fault in Daniudi block

“反转”一直持续至晚古生代. 杭锦旗区块道劳、乌兰素断裂的构造反转也是一直持续至石炭纪的(张威等, 2023).

在深层, 沿基底顶面发育3条向东的逆冲断层, 构成小壕兔逆冲断裂带(图3, 图4). 该断裂带的西支, 在奥陶系顶面的切割线与小壕兔走滑断裂基本伴生. 实际上, 小壕兔逆冲断裂带的活动导致乌审旗古隆起的部分隆起, 其本身亦是古隆起东部边界的部分断裂. 该断裂带在怀远运动中活动, 向上影响奥陶系顶面, 使地层形成西翼宽缓、东翼窄陡的不对称褶皱(图3). 褶皱脊线大致沿主干走滑断裂走向延伸, 暗示这一挤压活动不但形成了小壕兔逆

冲断裂带, 而且也造成了小壕兔断裂的右行走滑活动.

3.1.2 印支期 研究区印支运动的表现, 以沿张家滩泥岩的向东顺层滑动最为显著, 三叠系中上部地层形成西倾的逆冲断层及一系列轴面西倾的断层相关褶皱(图3, 图4), 构成一套逆冲构造系统.

3.1.3 燕山期 在地震剖面中, 延安组见新生的伸展断层, 导致上盘地层加厚; 中侏罗统直罗组, 这些断层发生正反转(图3). 在一些地震剖面上, 亦可见侏罗系的小型地堑、同相轴下凹以及下白垩统志丹组中的断层及褶皱现象. 在时间上, 这些构造现象与晚侏罗—早白垩世华北克拉通破坏(朱日祥和徐

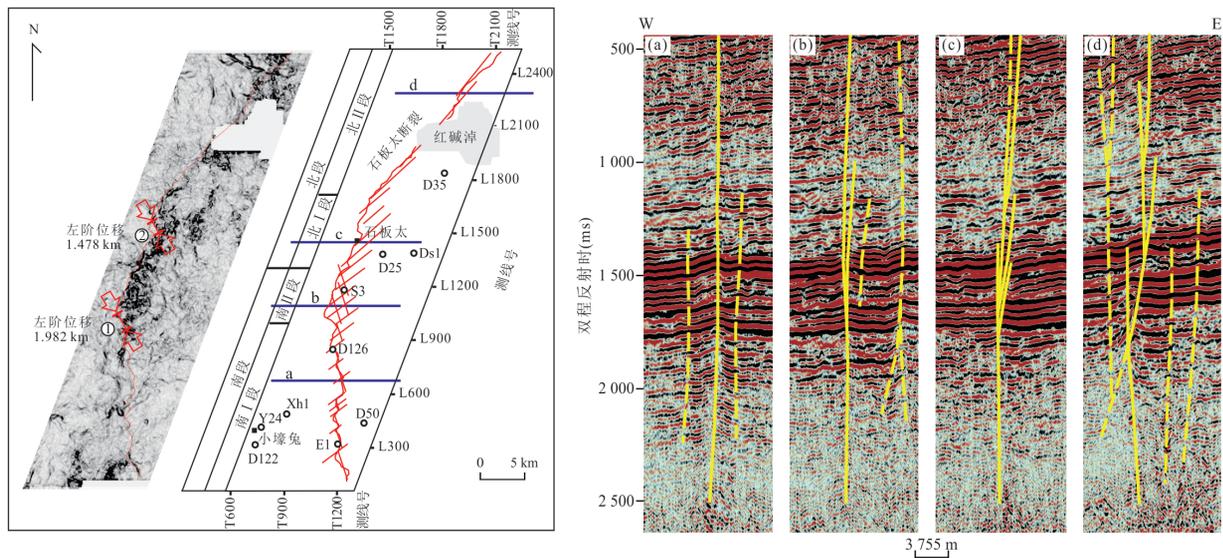


图 6 大牛地区块石板太断裂分段连接

Fig.6 Segment-linkage diagram of Shibantai fault in Daniudi block
左为碳酸盐岩顶面高精度相干切片图(下同)

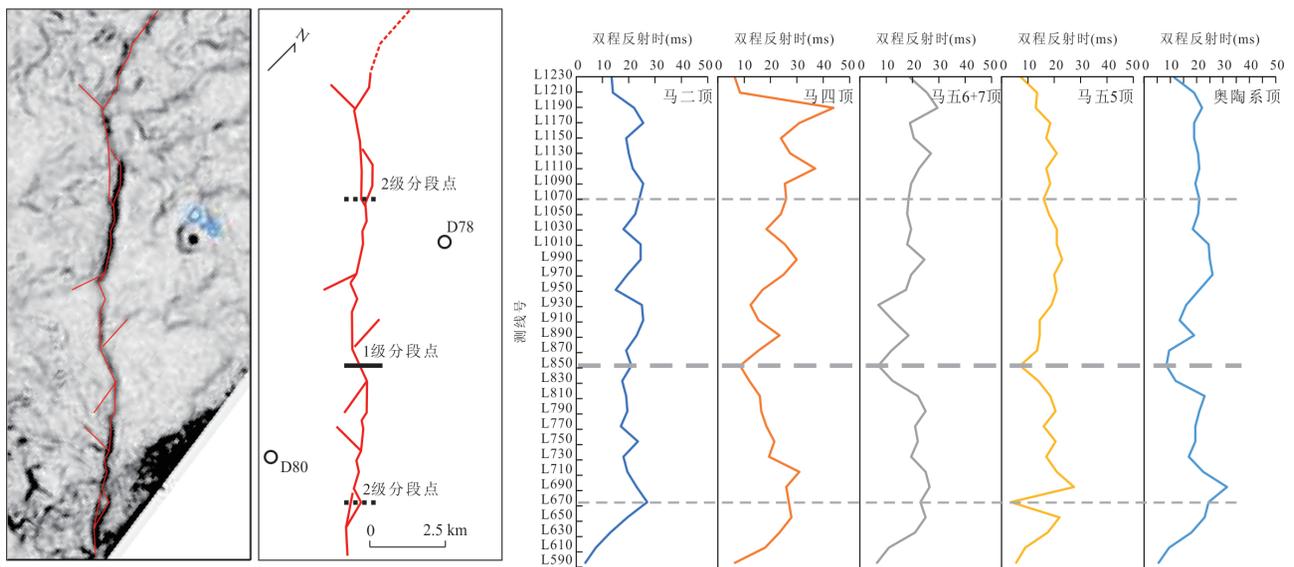


图 7 大牛地区块秃尾河断裂位移—长度及分段连接

Fig.7 Displacement-length and segment-linkage diagram of Tuweihe fault in Daniudi block

义刚, 2019)是一致的, 也与盆地及东北部构造抬升的裂变径迹年龄是吻合的(刘池洋等, 2006).

3.2 位移量与位移方向

3.2.1 位移量 鄂尔多斯盆地内部的构造运动是多期次的挤压或扭压活动, 通过平衡剖面制作获得的运动学数据是综合性的. 研究区 5 期构造运动产生的位移量均为缩短量, 累积为 3.11 km, 最大缩短量发生在侏罗纪, 为 0.86 km; 位移速率呈同步变化, 平均为 8.74 m/Ma, 其中侏罗纪缩短速率最大,

为 15.97 m/Ma(见图 2).

走滑断裂的位移量难以获取的原因是缺乏被断裂错截的标志层; 然而, 主干走滑断裂本身有时可以作为显著的标志层, 被与之共轭的断裂错截, 进而通过等量原则的估算, 厘定走滑断裂的位移量. 如此获得石板太断裂的位移量最大处在 1.5~2.0 km (见图 6①、6②).

3.2.2 位移方向 断裂相互切割、标志层错断以及构造应力场配置是确定走滑断裂位移方向的可靠

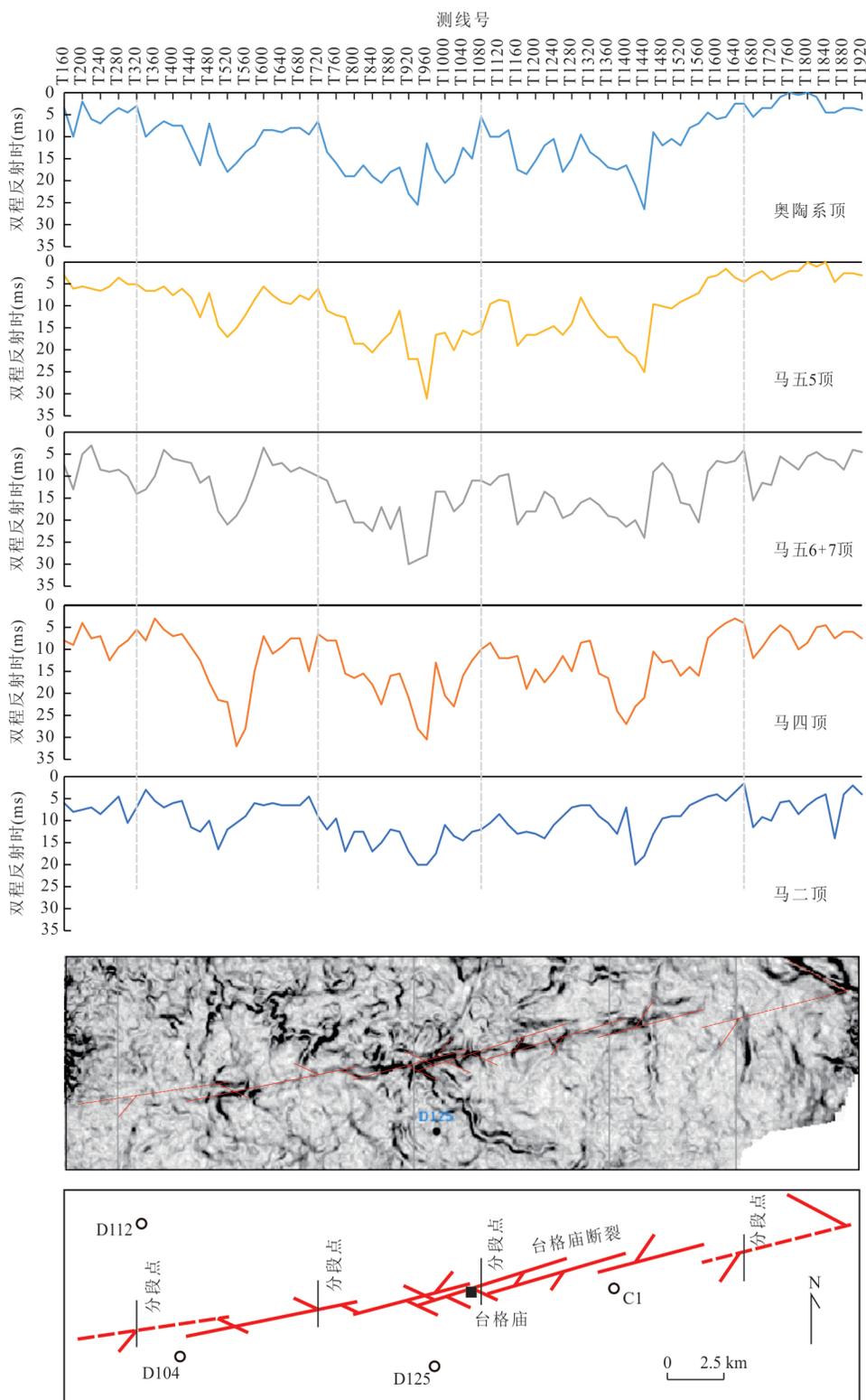


图 8 大牛地区块合格庙断裂位移—长度及分段连接

Fig.8 Displacement-length and segment-linkage diagram of Taigemiao fault in Daniudi block

方法,即通过孤立断裂及其雁行分段连接构成的平面格局判断走滑断裂的位移方向(图 9)。

根据深层走滑断裂的雁行展布,从平面上按共轭方式可以配置出两套断裂体系,即 NE 向石板太

断裂北段与 NEE 向合格庙断裂构成 NNE-SSW 方向挤压应力场(图 9a),而近 NS 向石板太断裂南段与 NW 向秃尾河断裂构成 NW-SE 方向挤压应力场(图 9b)。其中,合格庙断裂为右阶左行,石板太断裂

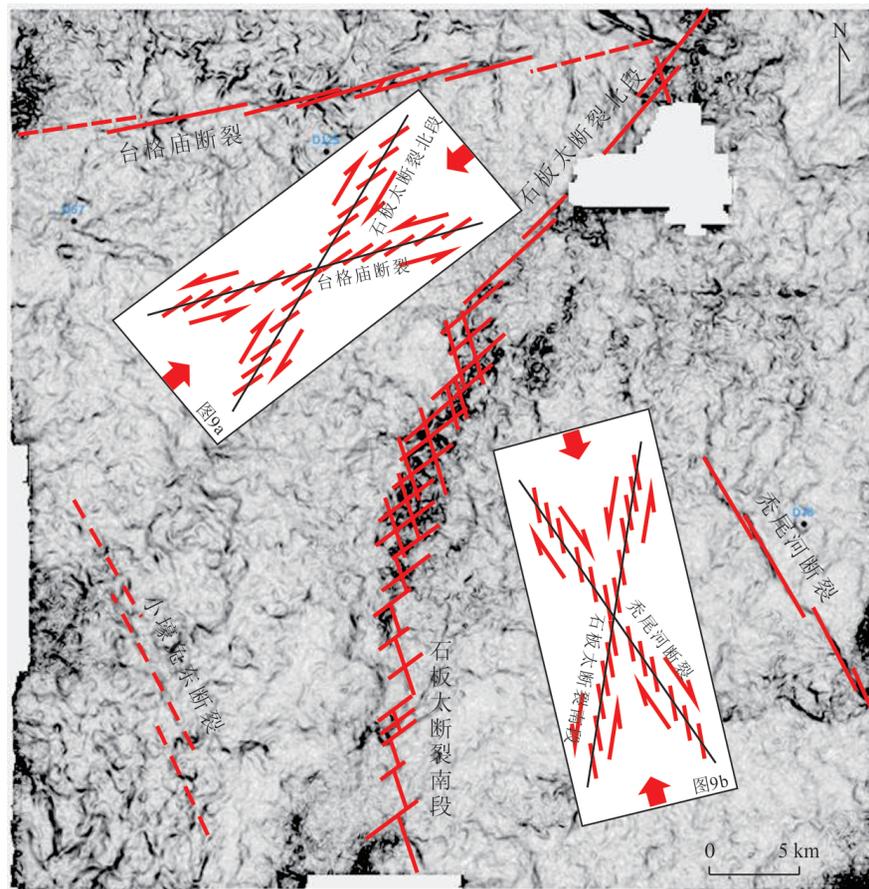


图9 大牛地区块走滑断裂雁行配置及位移方向

Fig.9 The en-echelon configuration and displacement direction of strike-slip fault in Daniudi block

北段为左阶右行;秃尾河断裂为左阶右行,石板太断裂南段虽然呈现左阶右行的面貌,但其中穿插了右阶左行构造活动的形迹,显示石板太断裂南段是在不同方位构造应力场中,至少两期构造变形叠加的产物.与北段“窄”的雁行表现出的左阶右行不同,石板太断裂南段“宽”的雁行则为右阶左行时期的产物.

从走滑断裂的配置情况看,研究区大约具有南北构造分区的特点,其分区界线与鄂托克—乌审召基底断裂的位置大致相当.从航磁异常特征看,鄂托克—乌审召断裂以北表现为近EW向高磁异常,反映其基底物质组成、结构相对均一;以南则发育一系列NE向正负相间的磁异常带,说明基底存在NE向构造薄弱带(田刚等,2022).这种基底结构的差异控制了研究区走滑断裂的分区差异.北区基底结构相对均一,在NE-SW方向挤压下发生共轭剪切破裂,形成台格庙断裂与石板太断裂北段构成的X型断裂体系.南区基底结构不均一,基底薄弱带在NW-SE向挤压作用下形成石板太断裂南段与秃尾

河断裂构成的X型断裂体系.

4 走滑断裂的动力学背景和形成机制

受不同时期构造应力场差异的影响,不同期次走滑断裂的分布、平面组合样式均存在差异.研究表明,鄂尔多斯盆地区经历了印支期、燕山期及喜山期运动,构造应力方向分别为NNE-SSW向、NW-SE向及NE-SW向挤压(赵重远和刘池洋,1990;张泓,1996;徐黎明等,2006).研究区奥陶系顶面走滑断裂构造样式和构造格局是目前的表现,但从最大位移量分析,主要构造变形是在燕山期发生的.

4.1 印支期

古生代至早中生代,鄂尔多斯盆地区与华北其他地区具有相同的沉积—构造演化历史,是大华北盆地的一部分(赵重远和刘池洋,1990).晚三叠世,秦岭洋闭合,扬子板块与华北克拉通呈“剪刀式”碰撞,形成秦岭—大别山造山带,鄂尔多斯盆地从近海盆地转化为前陆隆后拗陷性质的大型陆内湖盆

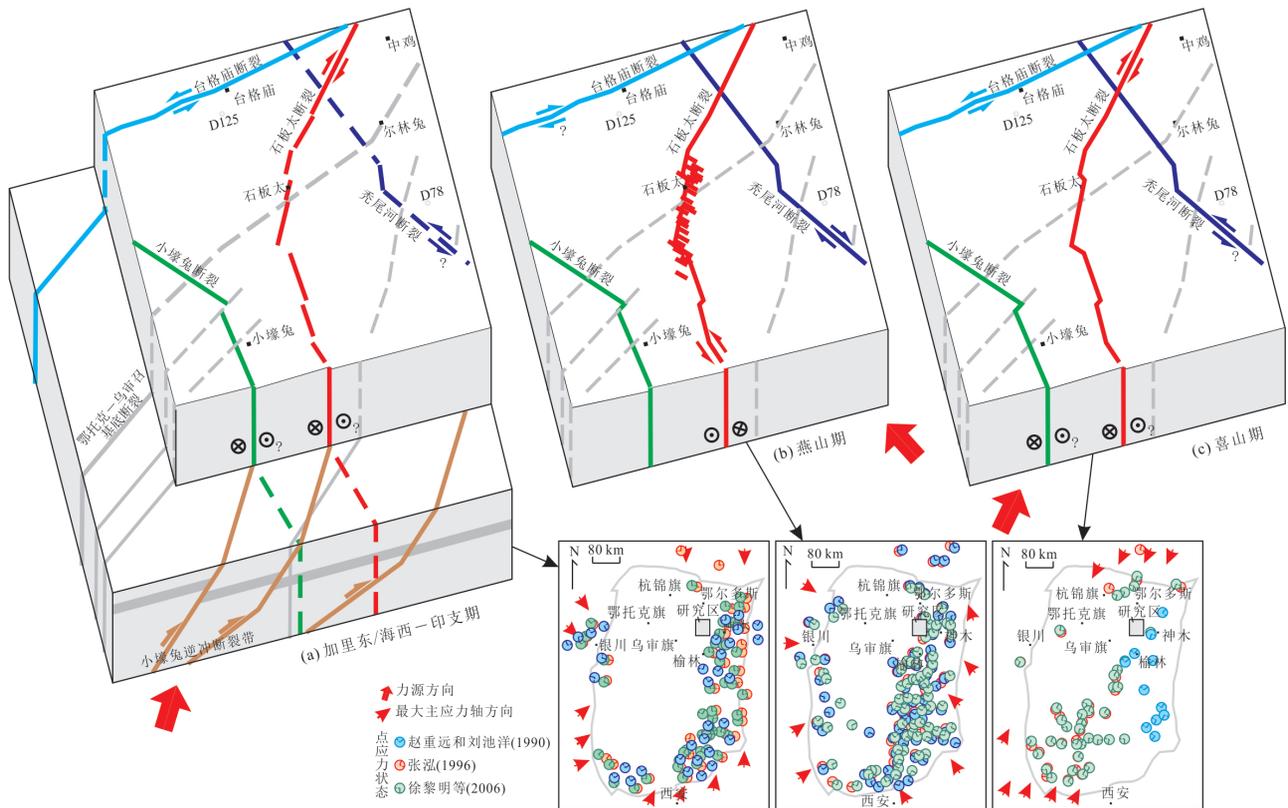


图 10 大牛地区块走滑断裂形成环境及形成机制

Fig.10 Formation and mechanism of strike-slip fault in Daniudi block

(杨明慧等, 2012).

研究区 NE 向石板太断裂北段和 NEE 向合格庙断裂构成 NNE-SSW 向的挤压应力场 (图 10a). 这一点, 与从野外共轭节理分期配套统计确定的古构造应力场方向十分吻合. 盆地西缘贺兰山一带 NE 向断裂及青铜峡-固原断裂亦为印支期的右行走滑断裂 (张泓, 1996), 而南北两侧的近 EW 向基底断裂复活则与 NEE 向合格庙断裂的左行是一致的.

4.2 燕山期

晚中生代, 东亚大地构造体制发生转换, 构造演化从挤压为主转变为伸展为主, 转变时限起始于 150~140 Ma, 结束于 110~100 Ma, 峰值为 120 Ma (翟明国等, 2003). 其中, 中侏罗世的板内缩短变形与兴蒙洋消减和西伯利亚板块与华北克拉通碰撞有关, 而末期的体制转换与西太平洋活动大陆边缘的形成和演化有关 (赵越等, 2004). 研究区直罗组断裂的正反转现象 (图 3) 以及地层顶面的削截不整合接触关系均是此次构造运动的反映.

晚侏罗世, 盆地东、西两侧基底向盆内逆冲推覆, 盖层发生拆离作用 (张岳桥等, 2006), 研究区近 NS 向石板太断裂南段与 NW 向秃尾河断裂构成

NW-SE 向的挤压应力场, 石板太断裂北段可能反转为左行走滑活动 (图 10b). 邻近的神木大柳塔、清水川露头见 NW 向小型正断层及地堑. 从盆地尺度看, 据节理及褶皱轴线确定的燕山运动 II 幕 (主幕) 构造主压应力方向亦为 NW-SE 向或近 EW 向 (张泓, 1996).

4.3 喜山期

印度板块与欧亚板块碰撞在鄂尔多斯地区产生的远程效应, 导致盆地整体抬升, 仅发育新近纪红色黏土及第四纪黄土, 周缘环绕新生代断陷盆地 (张岳桥等, 2019). 磷灰石裂变径迹数据表明, 鄂尔多斯盆地存在 3 次构造抬升活动 (陈刚等, 2007), 而从震源机制解及节理数据厘定的最大主应力方向在大牛地区块附近为 NE-SW 向 (张泓, 1996), 由此推测大牛地区块受 NE-SW 向挤压, 可能导致碳酸盐层段的 NE 向石板太断裂北段和 NEE 向合格庙断裂重新活动 (图 10c), 其走滑位移方向甚至与印支期如出一辙.

5 结论

(1) 鄂尔多斯盆地大牛地区块发育 4 条较大规

模、不同走向的走滑断裂,即近 NS-NNE 向石板太断裂、NW 向秃尾河断裂和小壕兔断裂、NEE 向台格庙断裂,其共同特点是均具有分段性。大牛地区块的南北分区特征与鄂托克—乌审召基底断裂有关。

(2)鄂尔多斯盆地大牛地区块走滑断裂的形成演化可分 4 个阶段,其中印支期形成右阶左行台格庙断裂及左阶右行石板太断裂北段;燕山期形成左阶右行秃尾河断裂及右阶左行石板太断裂南段。石板太断裂南段具有多期构造演化叠加的特点。

(3)鄂尔多斯盆地大牛地区块走滑断裂的形成背景受周边板块相互作用影响。其中,石板太断裂北段与台格庙断裂构成的 X 型断裂体系与扬子板块与华北克拉通碰撞挤压有关,而石板太断裂南段与秃尾河断裂构成的 X 型断裂体系与古太平洋板块向欧亚板块的俯冲挤压有关。

References

- Chen, G., Wang, Z. W., Bai, G. J., et al., 2007. Meso-Cenozoic Peak-Age Events and Their Tectono-Sedimentary Response in the Ordos Basin. *Geology in China*, 34(3): 375—383(in Chinese with English abstract).
- Deng, S., Li, H. L., Zhang, Z. P., et al., 2018. Characteristics of Differential Activities in Major Strike-Slip Fault Zones and Their Control on Hydrocarbon Enrichment in Shunbei Area and Its Surroundings, Tarim Basin. *Oil & Gas Geology*, 39(5): 878—888(in Chinese with English abstract).
- Feng, J. P., Li, W. H., Ouyang, Z. J., 2020. Tectonic and Depositional Evolution of Meso-Neo Proterozoic in Ordos Area. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 50(4): 634—643(in Chinese with English abstract).
- Feng, Y. W., Chen, Y., Zhao, Z. Y., et al., 2021. Migration of Natural Gas Controlled by Faults of Majiagou Formation in Central Ordos Basin: Evidence from Fluid Inclusions. *Earth Science*, 46(10): 3601—3614(in Chinese with English abstract).
- Feng, Z. Q., Li, M., Guo, Y. L., et al., 2022. Study on the Genesis of Typical Large Strike-Slip Faults and Related Basins in China. *Earth Science Frontiers*, 29(6): 206—223(in Chinese with English abstract).
- Han, X. Y., Deng, S., Tang, L. J., et al., 2017. Geometry, Kinematics and Displacement Characteristics of Strike-Slip Faults in the Northern Slope of Tazhong Uplift in Tarim Basin: A Study Based on 3D Seismic Data. *Marine and Petroleum Geology*, 88: 410—427. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.08.033>
- Han, X. Y., Tang, L. J., Cao, Z. C., et al., 2018. Characteristics and Formation Mechanism of Composite Flower Structures in Northern Slope of Tazhong Uplift, Tarim Basin. *Earth Science*, 43(2): 525—537(in Chinese with English abstract).
- Harding, T. P., 1974. Petroleum Traps Associated with Wrench Faults. *AAPG Bulletin*, 58(7): 1290—1304. <https://doi.org/10.1306/83d91669-16c7-11d7-8645000102c1865d>
- He, F. Q., Qi, R., Yuan, C. Y., et al., 2022. Further Understanding of the Relationship between Fault Characteristic and Hydrocarbon Accumulation in Binchang Area, Ordos Basin. *Earth Science*(in press)(in Chinese with English abstract).
- He, Z. X., 2003. Evolution of Ordos Basin and Oil and Gas. Petroleum Industry Press, Beijing(in Chinese)
- Hou, G. T., Li, J. H., Liu, Y. L., et al., 2005. Extensional Events at the End of Paleoproterozoic in North China Craton: Aola Valley and Dike Swarms. *Progress in Natural Science*, 15(11): 1366—1373(in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., Ma, D. B., Yuan, J. Y., et al., 2021. Structural Characteristics, Formation & Evolution and Genetic Mechanisms of Strike-Slip Faults in the Tarim Basin. *Natural Gas Industry*, 41(8): 81—91(in Chinese with English abstract).
- Jiao, F. Z., Yang, Y., Ran, Q., et al., 2021. Distribution and Gas Exploration of the Strike-Slip Faults in the Central Sichuan Basin. *Natural Gas Industry*, 41(8): 92—101(in Chinese with English abstract).
- Li, J. H., Hou, G. T., Huang, X. N., et al., 2001. The Constraint for the Supercontinental Cycles: Evidence from Precambrian Geology of North China Block. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 177—186(in Chinese with English abstract).
- Liu, C. Y., Wang, J. Q., Zhang, D. D., et al., 2021. Genesis of Rich Hydrocarbon Resources and Their Occurrence and Accumulation Characteristics in the Ordos Basin. *Oil & Gas Geology*, 42(5): 1011—1029(in Chinese with English abstract).
- Liu, C. Y., Zhao, H. G., Gui, X. J., et al., 2006. Space-Time Coordinate of the Evolution and Reformation and Mineralization Response in Ordos Basin. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 617—638(in Chinese with English abstract).
- Ma, D. B., Cui, W. J., Tao, X. W., et al., 2020. Structural Characteristics and Evolution Process of Faults in the Lunnan Low Uplift, Tabei Uplift in the Tarim Basin, NW China.

- Natural Gas Geoscience*, 31(5): 647—657(in Chinese with English abstract).
- Tian, G., Yang, M.H., Song, L.J., 2022. New Understanding of Basement Structural Characteristics and Its Evolution Process in Ordos Basin. *Earth Science*(in press) (in Chinese with English abstract).
- Waldien, T.S., Lease, R.O., Roeske, S.M., et al., 2022. The Role of Preexisting Upper Plate Strike-Slip Faults during Long-Lived (ca. 30 Myr) Oblique Flat Slab Subduction, Southern Alaska. *Earth and Planetary Science Letters*, 577: 117242. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117242>
- Wang, Z.Y., Gao, Z.Q., Fan, T.L., et al., 2020. Structural Characterization and Hydrocarbon Prediction for the SB5M Strike-Slip Fault Zone in the Shuntuo Low Uplift, Tarim Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 117: 104418. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104418>
- Wu, G.H., Ma, B.S., Han, J.F., et al., 2021. Origin and Growth Mechanisms of Strike-Slip Faults in the Central Tarim Cratonic Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 48(3): 510—520(in Chinese with English abstract).
- Xu, L.M., Zhou, L.F., Zhang, Y.K., et al., 2006. Characteristics and Tectonic Setting of Tectono-Stress Field of Ordos Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(4): 455—462 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X.Y., Wang, W.F., 2020. The Recognition of Potential Fault Zone in Ordos Basin and Its Reservoir Control. *Earth Science*, 45(5): 1754—1768(in Chinese with English abstract).
- Yang, M.H., Jin, Z.J., Lü, X.X., et al., 2007. Basement-Involved Transpressional Structure and the Formation of the Bachu Uplift, Tarim Basin, Northwestern China. *Acta Geologica Sinica*, 81(2): 158—165(in Chinese with English abstract).
- Yang, M.H., Li, L., Zhou, J., et al., 2013. Segmentation and Inversion of the Hangjinqi Fault Zone, the Northern Ordos Basin (North China). *Journal of Asian Earth Sciences*, 70/71: 64—78. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.03.004>
- Yang, M.H., Liu, C.Y., Zeng, P., et al., 2012. Prototypes of Late Triassic Sedimentary Basins of North China Craton (NCC) and Deformation Pattern of Its Early Destruction. *Geological Review*, 58(1): 1—18(in Chinese with English abstract).
- Zhai, M.G., Zhu, R.X., Liu, J.M., et al., 2003. Critical Time Limit for the Transition of Mesozoic Tectonic System in Eastern North China. *Scientia Sinica (Terrae)*, 33(10): 913—920(in Chinese).
- Zhang, H., 1996. Mesozoic and Cenozoic Palaeotectono-Stress Field of Ordos Basin. *North China Geology and Mineral*, 11(1): 87—92(in Chinese).
- Zhang, W., Yan, X.B., Liu, C.Y., et al., 2023. Characteristics and Accumulation Model of Mesoproterozoic Buried Hill Traps in Northern Ordos Basin. *Acta Geologica Sinica*, 97(1): 168—178(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.Q., Dong, S.W., Zhao, Y., et al., 2007. Jurassic Tectonics of North China: A Synthetic View. *Acta Geologica Sinica*, 81(11): 1462—1480(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.Q., Shi, W., Dong, S.W., 2019. Neotectonics of North China: Interplay between Far-Field Effect of India-Eurasia Collision and Pacific Subduction Related Deep-Seated Mantle Upwelling. *Acta Geologica Sinica*, 93(5): 971—1001(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.Q., Shi, W., Liao, C.Z., et al., 2006. Fault Kinematic Analysis and Change in Late Mesozoic Tectonic Stress Regimes in the Peripheral Zones of the Ordos Basin, North China. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 639—647(in Chinese with English abstract).
- Zhao, C.Y., Liu, C.Y., 1990. Formation and Evolution of North China Craton Sedimentary Basin and Its Oil and Gas Occurrence. Northwest University Press, Xi'an(in Chinese).
- Zhao, G.C., Sun, M., Wilde, S.A., et al., 2005. Late Archean to Paleoproterozoic Evolution of the North China Craton: Key Issues Revisited. *Precambrian Research*, 136(2): 177—202. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.10.002>
- Zhao, W.Z., Hu, S.Y., Wang, Z.C., et al., 2003. Key Role of Basement Fault Control on Oil Accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 30(5): 1—5(in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y., Xu, G., Zhang, S.H., et al., 2004. Yanshanian Movement and Conversion of Tectonic Regimes in East Asia. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 319—328(in Chinese with English abstract).
- Zhou, B.W., Chen, H.H., Yun, L., et al., 2022. The Relationship between Fault Displacement and Damage Zone Width of the Paleozoic Strike-Slip Faults in Shunbei Area, Tarim Basin. *Earth Science*, 47(2): 437—451(in Chinese with English abstract).
- Zhou, W.W., Wang, W.F., An, B., et al., 2014. Identification of Potential Fault Zones and Its Geological Significance

- in Bohai Bay Basin. *Earth Science*, 39(11):1627—1638(in Chinese with English abstract).
- Zhu, R.X., Xu, Y.G., 2019. The Subduction of the Western Pacific Plate and the Destruction of the North China Craton. *Scientia Sinica (Terra)*, 49(9):1346—1356(in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 陈刚, 王志维, 白国娟, 等, 2007. 鄂尔多斯盆地中生代峰值年龄事件及其沉积—构造响应. *中国地质*, 34(3): 375—383.
- 邓尚, 李慧莉, 张仲培, 等, 2018. 塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系. *石油与天然气地质*, 39(5):878—888.
- 冯娟萍, 李文厚, 欧阳征健, 2020. 鄂尔多斯地区中新元古代构造沉积演化研究. *西北大学学报(自然科学版)*, 50(4): 634—643.
- 冯艳伟, 陈勇, 赵振宇, 等, 2021. 鄂尔多斯盆地中部地区马家沟组断裂控制天然气运移方向的流体包裹体证据. *地球科学*, 46(10):3601—3614.
- 冯志强, 李萌, 郭元岭, 等, 2022. 中国典型大型走滑断裂及相关盆地成因研究. *地学前缘*, 29(6):206—223.
- 韩晓影, 汤良杰, 曹自成, 等, 2018. 塔中北坡“复合花状”构造发育特征及成因机制. *地球科学*, 43(2):525—537.
- 何发岐, 齐荣, 袁春艳, 等, 2022. 鄂尔多斯盆地南部地区断裂构造与油气成藏关系再认识——以彬长地区为例. *地球科学(待刊)*.
- 何自新, 2003. 鄂尔多斯盆地演化与油气. 北京:石油工业出版社.
- 侯贵廷, 李江海, 刘玉琳, 等, 2005. 华北克拉通古元古代末的伸展事件: 拗拉谷与岩墙群. *自然科学进展*, 15(11): 1366—1373.
- 贾承造, 马德波, 袁敬一, 等, 2021. 塔里木盆地走滑断裂构造特征、形成演化与成因机制. *天然气工业*, 41(8):81—91.
- 焦方正, 杨雨, 冉崎, 等, 2021. 四川盆地中部地区走滑断层的分布与天然气勘探. *天然气工业*, 41(8):92—101.
- 李江海, 侯贵廷, 黄雄南, 等, 2001. 华北克拉通对前寒武纪超大陆旋回的基本制约. *岩石学报*, 17(2):177—186.
- 刘池洋, 王建强, 张东东, 等, 2021. 鄂尔多斯盆地油气资源丰富的成因与赋存—成藏特点. *石油与天然气地质*, 42(5):1011—1029.
- 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等, 2006. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应. *地质学报*, 80(5): 617—638.
- 马德波, 崔文娟, 陶小晚, 等, 2020. 塔北隆起轮南低凸起断裂构造特征与形成演化. *天然气地球科学*, 31(5): 647—657.
- 田刚, 杨明慧, 宋立军, 等, 2022. 鄂尔多斯盆地基底结构特征及演化过程新认识. *地球科学(待刊)*.
- 郭光辉, 马兵山, 韩剑发, 等, 2021. 塔里木克拉通盆地中部走滑断裂形成与发育机制. *石油勘探与开发*, 48(3): 510—520.
- 徐黎明, 周立发, 张义楷, 等, 2006. 鄂尔多斯盆地构造应力场特征及其构造背景. *大地构造与成矿学*, 30(4): 455—462.
- 徐兴雨, 王伟锋, 2020. 鄂尔多斯盆地隐性断裂识别及其控藏作用. *地球科学*, 45(5):1754—1768.
- 杨明慧, 金之钧, 吕修祥, 等, 2007. 塔里木盆地基底卷入扭压构造与巴楚隆起的形成. *地质学报*, 81(2):158—165.
- 杨明慧, 刘池洋, 曾鹏, 等, 2012. 华北克拉通晚三叠世沉积盆地原型与破坏早期构造变形格局. *地质论评*, 58(1): 1—18.
- 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等, 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.
- 张威, 闫相宾, 刘超英, 等, 2023. 鄂尔多斯盆地北部中元古界潜山圈闭特征与成藏模式. *地质学报*, 97(1):168—178.
- 张岳桥, 董树文, 赵越, 等, 2007. 华北侏罗纪大地构造: 综评与新认识. *地质学报*, 81(11):1462—1480.
- 张岳桥, 施炜, 董树文, 2019. 华北新构造: 印欧碰撞远场效应与太平洋俯冲地幔上涌之间的相互作用. *地质学报*, 93(5):971—1001.
- 张岳桥, 施炜, 廖昌珍, 等, 2006. 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. *地质学报*, 80(5):639—647.
- 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.
- 赵文智, 胡素云, 汪泽成, 等, 2003. 鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集的控制作用. *石油勘探与开发*, 30(5):1—5.
- 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等, 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变. *地学前缘*, 11(3):319—328.
- 周铂文, 陈红汉, 云露, 等, 2022. 塔里木盆地顺北地区下古生界走滑断裂带断距分段差异与断层宽度关系. *地球科学*, 47(2):437—451.
- 周维维, 王伟锋, 安邦, 等, 2014. 渤海湾盆地隐性断裂带识别及其地质意义. *地球科学*, 39(11):1627—1638.
- 朱日祥, 徐义刚, 2019. 西太平洋板块俯冲与华北克拉通破坏. *中国科学(D辑)*, 49(9):1346—1356.