石油与天然气地质
OIL & GAS GEOLOGY

文章编号:0253－9985(XXXX)XX－0001－17

鄂尔多斯盆地富县羊泉地区断裂构造特征及其控藏效应

王　鹏[1],马立驰[1],周小倩[2],邹　敏[1],钞语林[2],陈　石[2]

[1. 中国石化 石油勘探开发研究院,北京 102206;2. 中国石油大学(北京),北京 102249]

摘要:鄂尔多斯盆地古生界地层中已相继发现大量油气田,展现出良好的勘探开发潜力,而盆地内部断裂的发育对油气运聚成藏与差异富集具有重要控制作用。基于富县羊泉地区三维地震资料的精细构造解析,结合区域构造背景,系统分析了该区断裂的平面与剖面特征、断裂构造类型、活动期次及成因演化。研究结果表明:①鄂尔多斯盆地富县羊泉地区发育近WE向及NE-NW向共轭的2组大型走滑断裂,主要分布于羊泉地区中、东部,具明显分段性;近WE向断裂在NE向断裂的西侧表现为张扭,东侧为压扭;常见断裂样式包括地垒型、地堑型、屋脊型、倒脊型、正花型及负花型6类。②结合区域构造演化背景,将断裂活动划分为加里东期左行走滑(海西期继承发育)、印支期左行走滑及燕山期—喜马拉雅期右行走滑3个主要期次,建立了多期构造应力场叠加的断裂演化序列。③同一时期不同走向断裂的发育模式存在显著差异,WE向断裂在加里东期、印支期和燕山期活动性强,早期与晚期断裂关联性强,具有继承性发育的特点,NW向和NW向断裂在加里东期和海西期活动性强,后期活动性减弱,继承性也随之减弱。④断裂发育时间与埋藏史和生烃史的匹配关系表明,燕山期断裂活动期与生烃高峰期基本同步,为天然气垂向运移提供了有效通道;印支期及之前形成的断裂早于生烃高峰,贡献有限;喜马拉雅期断裂活动晚于生烃高峰,主要对已形成气藏起调整改造作用。⑤高产井周缘断裂系统具备优良的油气疏导与保存配置,深层断裂有效沟通烃源岩与储集层,储层内走滑断裂改善储集空间,浅层断裂未切穿盖层。

关键词:断裂活动期次;断裂控储;走滑断裂;构造特征;古生界;富县羊泉地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.2　　**文献标识码**:A

Structural characteristics of faults and their controls on hydrocarbon accumulation in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

WANG Peng[1], MA Lichi[1], ZHOU Xiaoqian[2], ZOU Min[1], CHAO Yulin[2], CHEN Shi[2]

[1. *Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing* 102206, *China*; 2. *China University of Petroleum (Beijing), Beijing* 102249, *China*]

Abstract: Numerous oil and gas fields have been discovered in the Paleozoic strata of the Ordos Basin, demonstrating significant exploration and development potential. Faults developed within the basin play an important role in controlling hydrocarbon migration, accumulation, and differential enrichment. The planar and sectional characteristics, structural styles, activity stages, and genetic evolution of faults in this area were systematically analyzed based on detailed structural interpretation of 3D seismic data from the Yangquan area, Fuxian County, combined with the regional tectonic setting consideration. As indicated by the research results, (1) two sets of large-scale conjugate strike-slip faults, trending nearly W-E and NE-NW, are developed in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin. These faults are distributed primarily in the central and eastern parts of the study area and exhibit distinct segmentation. The nearly W-E-trending faults display transtensional deformation west of the NE-trending faults and transpressional deformation to the east. Six common structural styles are recognized: horsts, grabens, roof-ridge, inverted roof-ridge, positive flower, and negative flower structures. (2) Integrated with the regional tectonic evolution, fault activity was divided into three major stages: the Caledonian sinistral strike-slip (with inherited development during the Hercynian), Indosinian sinistral strike-slip, and the Yanshanian-Himalayan dextral strike-slip. A fault evolution sequence controlled by the superposition of multiple tectonic stress fields was established. (3) Significant differences exist in the development

收稿日期:2026-04-08;**修回日期**:2026-05-18。

第一作者简介:王鹏(1986—),男,博士、高级工程师,油气藏开发地质学和构造地质学。**E-mail**: wangpeng.syky@sinopec.com。

通信作者简介:陈石(1986—),男,博士、副教授,含油气盆地构造解析。**E-mail**: chenshi4714@163.com。

基金项目:国家自然科学基金企业创新发展联合项目(U24B6001)。

patterns of faults with different strikes during the same tectonic period. The W-E-trending faults were highly active during the Caledonian, Indosinian, and Yanshanian periods, with a strong genetic relationship between the early- and late-stage faults, indicating inherited development. In contrast, the NE- and NW-trending faults were strongly active during the Caledonian and Hercynian periods with decreasing activity and diminishing fault inheritance in later stages. (4) The temporal match of fault development timing with burial and hydrocarbon generation histories indicates that the Yanshanian fault activity was essentially synchronous with the peak hydrocarbon generation stage, providing effective pathways for the vertical migration of natural gas. Faults formed during the Indosinian and earlier periods predated the hydrocarbon generation peak and therefore contributed little to hydrocarbon accumulation. Faults active during the Himalayan period postdated the hydrocarbon generation peak and primarily modified pre-existing gas accumulations. (5) The fault systems surrounding high-yield wells provide favorable conditions for hydrocarbon migration and preservation: deep-seated faults effectively connect source rocks with reservoirs, strike-slip faults within the reservoirs improve reservoir space, and shallow faults do not breach the caprock.

Key words: fault activity stages, fault-controlled reservoir development, strike-slip fault, structural characteristics, Paleozoic, Yangquan area in Fuxian County, Ordos Basin

引用格式:王鹏,马立驰,周小倩等. 鄂尔多斯盆地富县羊泉地区断裂构造特征及其控藏效应[J]. 石油与天然气地质,DOI:10. 11743/oggXXXXXX01.
WANG Peng, MA Lichi, ZHOU Xiaoqian, et al. Structural characteristics of faults and their controls on hydrocarbon accumulation in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, DOI:10. 11743/oggXXXXXX01.

鄂尔多斯盆地为中国陆上三大克拉通盆地之一。长期以来,盆地深层被认为是“铁板一块”,地层平缓,构造变形微弱,断裂发育较少[1]。随着地球物理勘探技术的进步,勘探不断向深层拓展,二维与三维地震资料精度提高,盆地内部发现大量断裂及伴生构造,进而转变了盆内断裂不发育的认识[2]。这些断裂性质不同于典型的走滑断层,具有一定的特殊性,其对油气富集的控制机制等问题尚需深入研究[3-5]。富县地区位于鄂尔多斯盆地东南部伊陕斜坡南缘,是鄂南重要的油气勘探区。前期勘探表明,该区多口探井在奥陶系马家沟组钻遇工业气流,显示出良好的天然气勘探潜力,但油气分布不均,富集规律复杂。因此,开展富县地区地质结构刻画与恢复,基于地震资料精细解析各类断层,恢复古应力环境,明确富县羊泉地区的断裂发育特征,可为深化鄂南地区油气富集机制及控储与控藏机理研究提供新的地质认识与技术思路。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地处于华北克拉通中部,北起阴山、南到秦岭、东接太行山、西至贺兰山,根据地层发育特征及构造形态,可划分为伊陕斜坡、天环坳陷、西缘冲断带、晋西挠褶带、渭北隆起和伊盟隆起6个构造单元(图1)[6-8]。富县地区位于盆地伊陕斜坡南部,自下而上发育元古宇—新生界多套地层,其中上古生界太原组、山西组和下古生界马家沟组为主要烃源岩[9-12],中生界三叠系延长组是鄂尔多斯盆地重要的含油储、产层[2]。

鄂尔多斯盆地作为典型叠合盆地,是不同时期、不同性质区域应力场交替作用与叠加改造的结果。从加里东旋回的“开-合”转换、海西旋回的陆表海萎缩以及印支—燕山旋回的多向汇聚与陆内变形,到喜马拉雅旋回的周缘伸展与整体隆升,每次构造事件均对盆地产生重要影响,控制了沉降-抬升历史、沉积充填格局及油气宏观分布,是揭示盆地形成机理和指导深层勘探的基础[1, 13]。太古宙—元古代早期演化受北方克拉通控制,芹峪运动形成多个裂陷槽系,构造中心自西向东迁移;新元古代超大陆向北挤压导致华北板块南缘抬升剥蚀,鄂尔多斯地块自此走向独立沉积演化[14]。早古生代怀远运动及早奥陶世末期—晚石炭世构造运动导致盆地整体抬升、部分地层缺失,地势向东倾斜。晚古生代盆地南、北两侧陆-弧碰撞形成加里东褶皱带。三叠纪末期印支运动使盆地先整体抬升后坳陷,基本形成大型内陆沉积盆地[15-17]。印支运动的发生最终导致沉积盆地消亡[18]。侏罗纪—白垩纪燕山运动对盆地形成的影响最为深远,前期大规模不均匀抬升产生褶皱并活化深大断裂,中、后期全面隆起直至盆地消亡[19-20]。新生代以来,鄂尔多斯盆地主体继续隆升,保持东高、西低的构造格局[17]。富县地区位于盆地的东南部,因其特殊的构造位置,记录了多期构造运动的叠加效应(图2)。

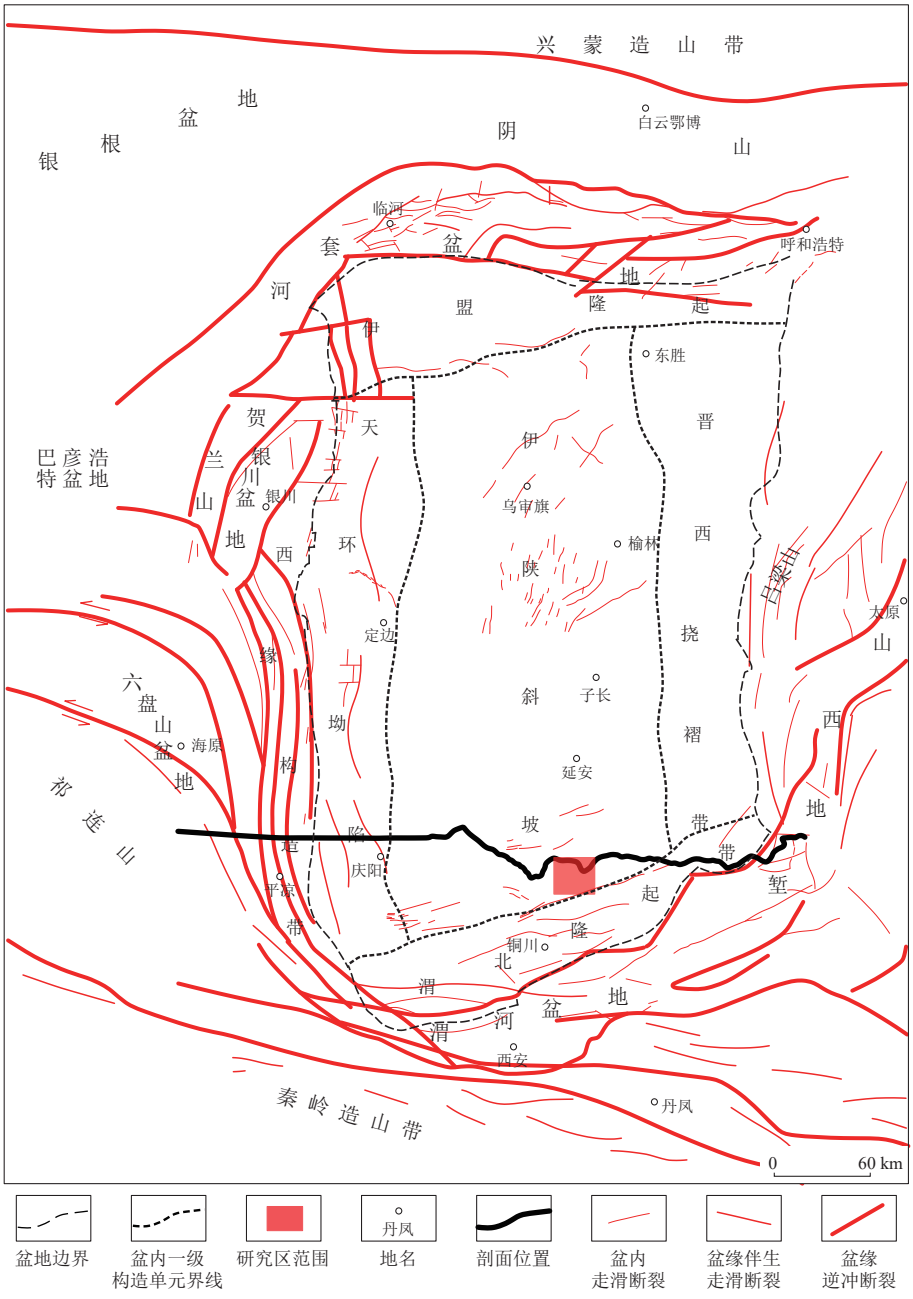


图1　鄂尔多斯盆地构造纲要

Fig. 1　Tectonic outline map of the Ordos Basin

鄂尔多斯盆地基底断裂对油气成藏有重要影响。中、新生代以来,基底断裂表现出隐性活动或走滑扭动,虽未在盖层形成显著断层,但导致上覆盖层内NE向构造裂缝规律性发育。裂缝发育带与下伏基底断裂带具有良好的空间对应关系。富县地区位于NE向基底断裂发育区,上古生界储层中构造裂缝相对发育,能够改善致密砂岩的储-渗性能,并成为天然气垂向运移的优势通道。周边勘探实践表明,NE向基底断裂带内含气显示普遍且层段长,目前发现的次生气藏中90%以上分布于该带内,与富县所处构造位置特征相吻合。富县地处宁县-富县-离石断裂的重要穿越区段,经历了多期构造叠加改造,基底结构复杂,深入分析其断裂发育特征,对于解析盆地基底断裂对上覆断裂发育的控制作用及油气富集规律具有重要意义。

2　断裂发育特征

走滑断裂是断层两盘发生相对水平滑移的断裂,具有延伸远、切割深和活动时间长等特点,且不同地区、不同时期形成的走滑断裂构造往往存在明显差异,

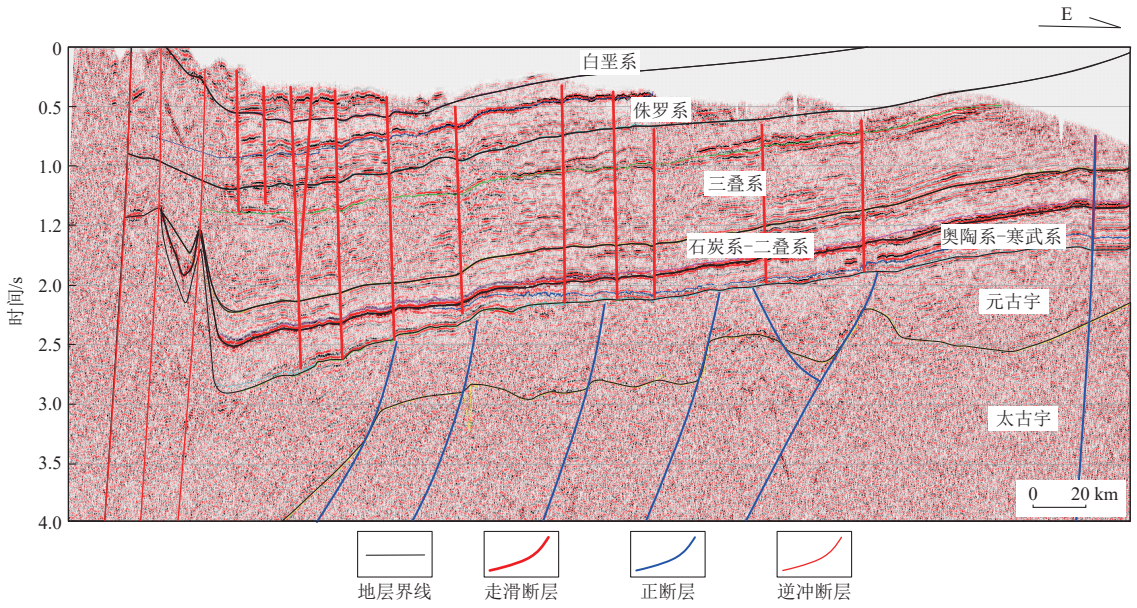


图2 鄂尔多斯盆地大测线断裂解释剖面

Fig. 2 Fault interpretation section along a regional seismic line in the Ordos Basin

因此其构造样式复杂多样[21]。根据走滑断裂在板块中的位置,可将其划分为板缘走滑断裂和板内走滑断裂两类,其中板缘走滑断裂常为大型走滑断裂,走滑位移可达数百千米,而板内走滑断裂滑移距一般不超过2 km,也被称为板内中、小滑距走滑断裂[22-25]。板内走滑断层在剖面上常见直立状、正花状、负花状和半花状等小型构造样式,在平面上则呈现叠接、雁列构造和马尾构造等组合样式,并发育次级正断层和逆断层等伴生构造[23]。

2.1 断裂识别特征

富县羊泉地区位于鄂尔多斯盆地东南部,受多期构造运动影响,地层发育不全,缺失上奥陶统、志留系、泥盆系和石炭系[26],地层整体平缓。该地区断层垂直断距较小,剖面上断裂近于直立。基于三维地震资料的断裂特征,羊泉地区走滑断裂可划分为6类:①地层上拱,其两侧边界发育走滑断裂,为地垒型;②地层下降,其两侧边界发育走滑断裂,为地堑型;③同相轴连续,断距不明显,两翼地层平缓,褶皱核部发育断裂,为屋脊型;④同相轴连续,断距不明显,两翼地层平缓,核部发育向斜,为倒脊型;⑤主干断层近直立延伸至盆地基底,其上凸的逆断层组夹持部分形成隆起断块和背斜,为正花型;⑥主干断层近直立延伸至盆地基底,其下凹的正断层组夹持部分形成下凹断块和向斜,为负花型。

不同断裂构造样式在羊泉地区的分布表现出明显的地层专属性。前寒武系基底中主要发育一系列正断层系统,包括阶梯状正断层及“y”字形正断裂组合;寒武系—石炭系中以走滑断裂体系为主导,常见平移走滑断层、负花状构造及正花状构造;二叠系-下三叠统中主要发育平移走滑断层、正花状构造及地垒构造;上三叠统中则以地垒、负花状走滑断裂和正花状走滑断裂为主要构造样式(图3)。这种分层差异反映了不同时期构造应力场性质、变形机制及先存结构的联合控制作用。

2.2 断裂平面特征

鄂尔多斯盆地富县羊泉地区大型走滑断裂系统主要集中分布于研究区中部和东部,可划分为近WE向主干断裂及NE-NW向共轭断裂两组;小型断裂在全区广泛发育,空间展布杂乱,无明显定向性。羊泉地区不同地层中断裂发育特征(图4)表明,WE向及NE-NW向共轭断裂表现出显著的分层差异特征:自深部至浅部,断裂带宽度呈逐渐增大趋势,且主干断裂位置在不同层系中的平面位置接近,指示该断裂系统可能经历了多期次继承性构造活动,具有长期发育的演化特点。

鄂尔多斯盆地富县羊泉地区主要发育三级(一个断裂带视为同一断裂系统)、四级和五级断裂。其中,三级断裂构成整个区域的主干断裂格架,具有数量最多、延伸长和连续性好等特点,是控制区域构造格局的骨干要素。三级断裂的走向呈现一定规律性,可能主要受区域应力场控制,部分断裂表现出弯曲、分支或交织的特征,这是走滑断裂带常见的复杂样式。四级断

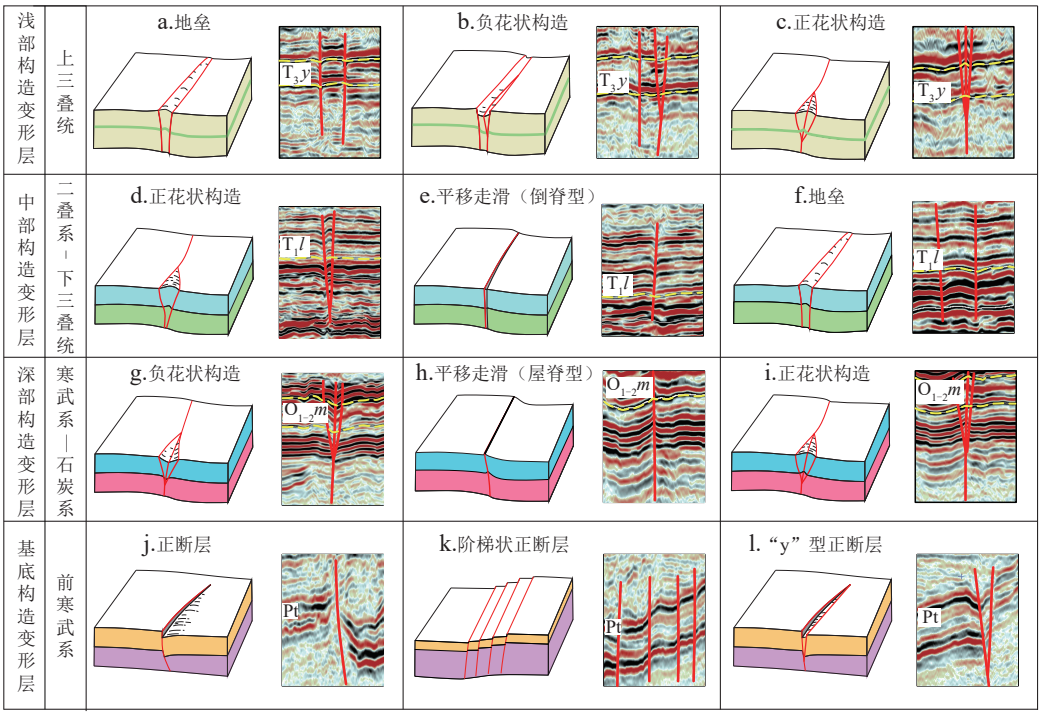


图3　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区断裂基本构造样式模型

Fig. 3　Basic fault structural style models in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

T_3y. 上三叠统延长组；T_1l. 下三叠统刘家沟组；$O_{1-2}m$. 中-下奥陶统马家沟组；Pt. 元古宇

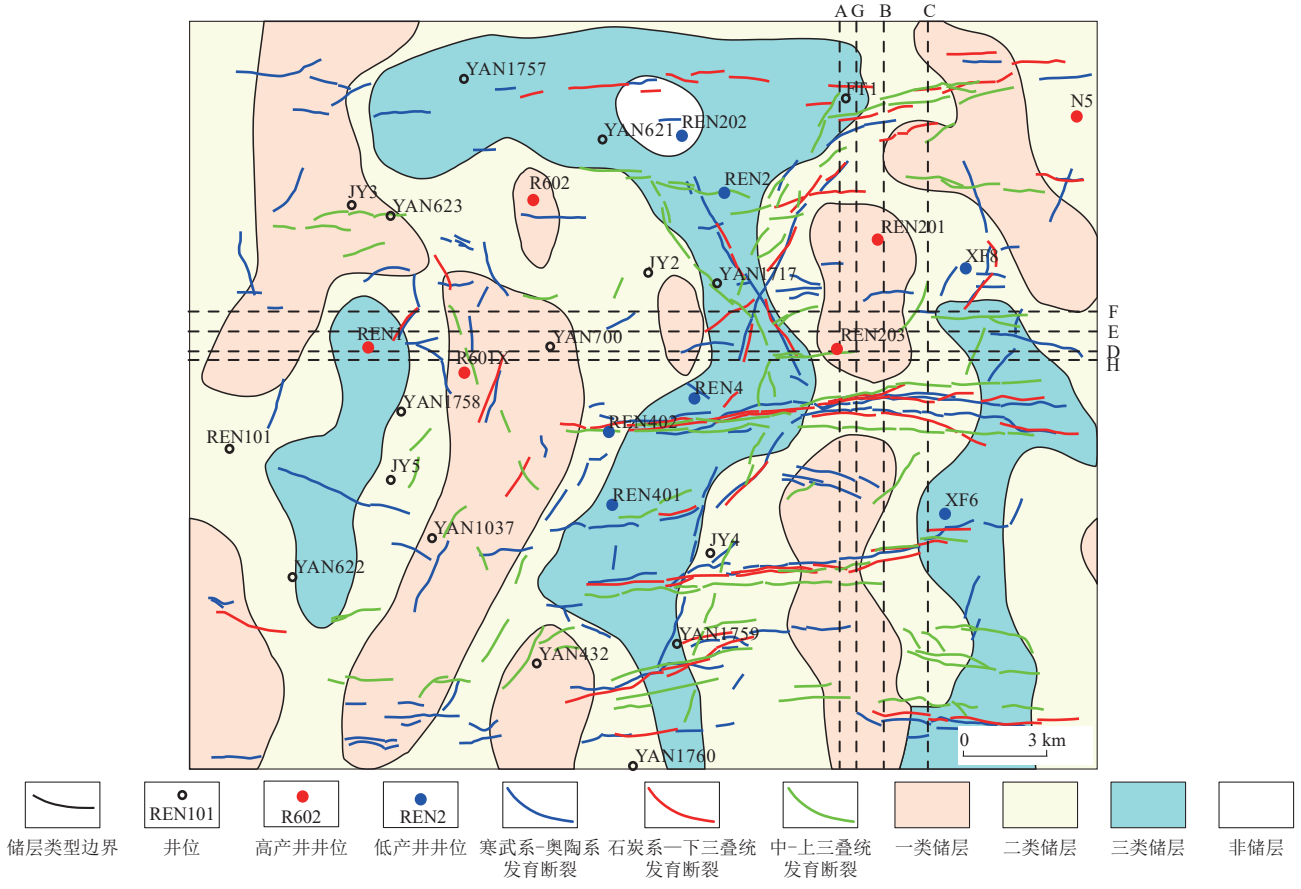


图4　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区断裂系统平面分布

Fig. 4　Fault system in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

（图中黑色虚线代表地震剖面在研究区的位置。）

裂的分布具有明显的从属性与复杂性，密集发育于三级断裂周边或其围限的断块内部，规模与连续性明显小于三级断裂。这种分布模式表明，四级断裂多是三级主干断裂活动诱导产生的次级伴生断裂，或在局部应力调整下形成的调节断层。五级断裂数量最少且长度最小，通常不构成连续的网络，而是分散、断续地出现，且多贴近局部井点。这准确地反映了其作为微小断层或裂缝带的属性，其分布通常与更高级别断裂的末端、转折处或局部应力集中区相关。

2.3 断裂剖面特征

鄂尔多斯盆地经历了8期构造运动、5个关键构造变革期[8]，多期构造运动使断裂剖面构造样式复杂多样。WE向断裂和NE-NW向共轭发育的断裂在剖面上发育特征存在差异。

羊泉地区多组WE向断裂在剖面上表现为一系列近平行的断裂带。依据地层是否整合、地层厚度是否存在差异、地震资料同相轴是否连续及断裂构造样式是否存在差异等，可将断裂带从基底地层至三叠系划分为3段（图5a—c）：①下古生界段，走滑断裂在剖面上表现为直插基底，部分发育负花状构造，基底地震反射呈弱振幅、同相轴杂乱特征，而主干走滑断裂处振幅则明显增强；②上古生界—下三叠统段，走滑断层多发育于早期破裂带之上，其宽度较深部显著增大，构造样式也不同，部分发育正花状构造。由于石炭系-二叠系受沉积环境影响，地震反射呈振幅不稳定特征，对断裂识别造成一定干扰；③中、上三叠统段，走滑断层表现出明显的继承性，多沿古生界断裂带继续发育，断裂带宽度进一步增大，构造组合样式趋于简单，主要发育单条走滑断层，局部发育地垒。

NE-NW向共轭发育的断裂在剖面上表现为2条平行的断裂，自下而上，这两条断裂所夹持的下凹区宽度逐渐增大。依据地层厚度差异、同相轴变形幅度及同相轴连续性等特征，可将该组断裂划分为3段（图5d—f）：①上古生界段，走滑断层主要受基底正断层影响，地层下掉的两侧边界分别发育NE向与NW向共轭断裂；②上古生界—下三叠统段，断裂平面发育位置及剖面整体形态与深部断裂基本一致，仍发育于地层下掉的两侧边界；③中、上三叠统段，NE-NW向共轭发育的断裂平面位置较其他两个构造段发生明显西移，整体形态相似，但两条断裂间距显著增大。其中，NE向断裂的平面位置始终与NE向基底正断层基本一致，表明基底正断层可能对NE向走滑断裂的发育具有重要控制作用。

3 断裂活动期次

鄂尔多斯盆地经历了复杂而漫长的演化过程，其主体受周缘特提斯、滨太平洋以及古亚洲三大构造域的共同制约。就盆地整体而言，其构造动力学过程实质上是板块相互碰撞与挤压作用下，克拉通盆地与周缘构造单元相互作用的结果，受区域板块构造环境、周缘盆地与造山带及构造应力场的共同制约，总体上可划分为6个演化阶段：①太古宙—古元古代华北板块拼合、原始陆核形成时期；②南、北板块碰撞挤压时期（加里东运动）；③盆地主体稳定升降时期（海西运动）；④古特提斯洋消亡、板块汇聚时期（印支运动）；⑤太平洋—喜马拉雅构造域WE向挤压时期（燕山运动）；⑥盆地主体抬升、周边断陷时期（喜马拉雅运动）。结合大剖面和盆缘断裂构造解释，鄂尔多斯盆地构造演化主要受加里东期—海西期、印支期和燕山期—喜马拉雅期3期构造活动影响。

3.1 平面活动特征

鄂尔多斯盆地富县羊泉地区断裂构造格局具典型代表性。通过断裂体系分布图解析识别出近WE向、NE向和NW向3组走滑断裂系统，平面展布分区性明显，垂向分层活动特征显著，反映多期构造运动叠加效应。

不同时期断裂活动性质存在差异。加里东期—中、晚奥陶世，秦祁洋盆与蒙古洋盆南北俯冲，盆地南部应力由拉张向挤压过渡，形成近NS向挤压应力场，主干断裂沿早期薄弱带发育，表现为左行走滑。该时期盆地南缘经历被动大陆边缘向弧后盆地转换，秦岭造山带北缘商丹洋向北俯冲消减[8]。约450 Ma时期，秦岭板块与华北板块碰撞，在下古生界形成收缩构造变形，奠定断裂早期发育的基础[12]。海西期，继承加里东末期挤压应力，断裂相对稳定，仅在薄弱带继承性左行走滑活动。晚古生代，秦岭造山带北缘处于造山期后板内伸展阶段，盆地南缘与北秦岭北缘为统一整体，构造活动相对稳定[12]。中、晚三叠世，秦岭洋关闭，华北板块与扬子板块拼接，印支期造山运动从SW方向作用于盆地，南缘形成NE-SW向挤压应力场，断裂发生左行走滑并继承早期断裂发育。印支期，华南板块与华北板块沿勉略洋自东向西剪刀状碰撞，盆地南缘晚三叠世形成前陆性质内陆坳陷湖盆，该期构造运动以垂向隆升为主，三叠系延长组与侏罗系延安组呈平行不整合接触。燕山期早侏罗世—早白垩世早期，古

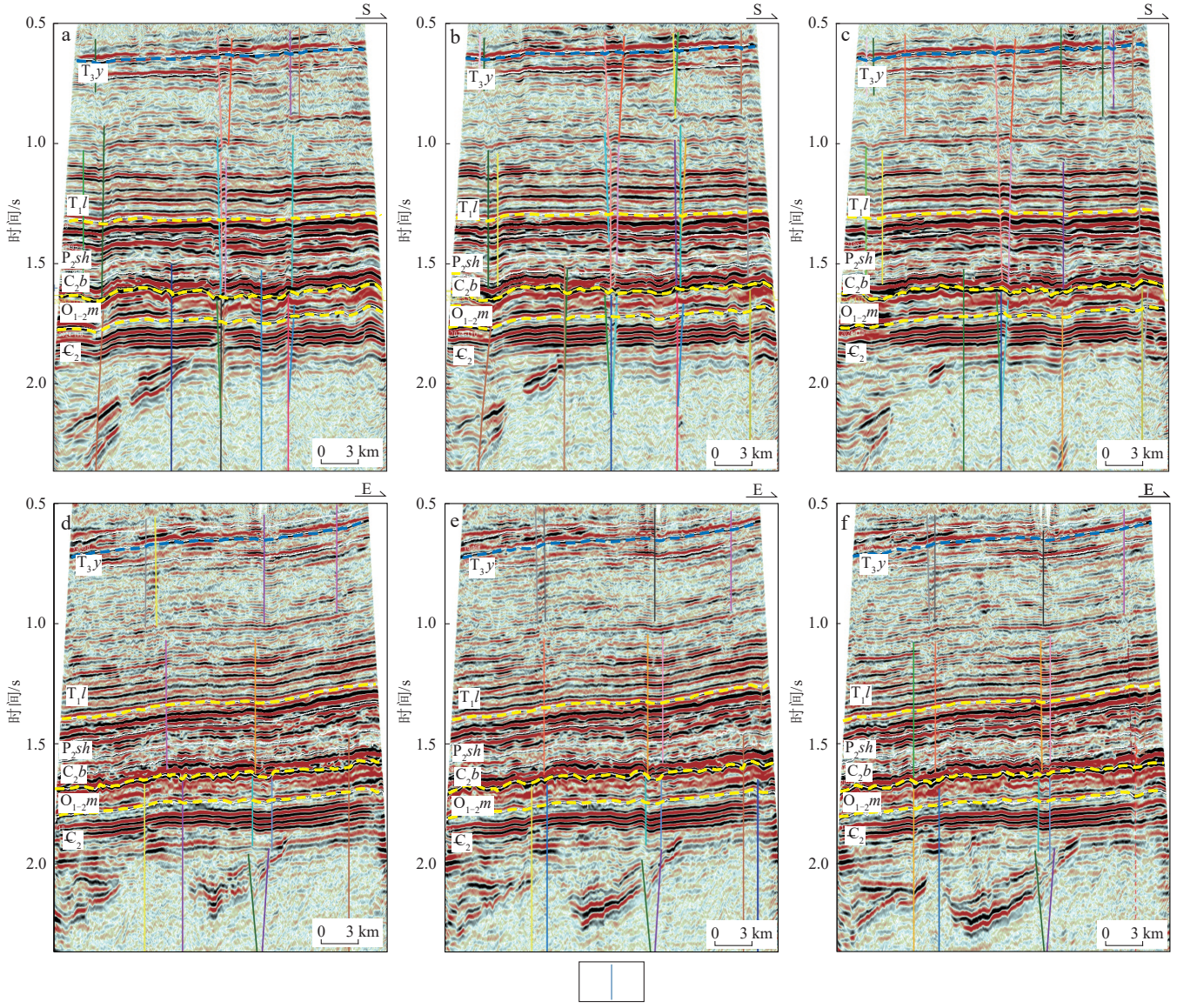


图5　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区典型断裂解释剖面

Fig. 5　Typical fault interpretation profiles in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

a—c. NS向剖面；d—f. WE向剖面

T_3y. 上三叠统延长组；T_1l. 下三叠统刘家沟组；C_2b. 上石炭统本溪组；P_2sh. 上二叠统石千峰组；$O_{1-2}m$. 中-下奥陶统马家沟组；ϵ_2. 中寒武统

（图中蓝色和黄色虚线分别代表地层顶、底界面。）

太平洋板块向亚欧大陆俯冲产生NW向挤压应力，羌塘地块向华北板块挤入，断裂转为右行走滑活动。晚侏罗世—早白垩世，秦岭造山带发生强烈陆内造山，北秦岭大规模逆冲推覆，盆地南缘渭北地区形成褶皱冲断带，奠定现今区域构造格架[13]。新生代，新特提斯洋闭合，印度板块与欧亚板块碰撞，太平洋板块向西俯冲，盆地内部整体抬升。喜马拉雅期，鄂南地区主应力方向为NEE-SWW向，断裂继承燕山期发育。新生代，受印度-欧亚碰撞远程效应影响，秦岭造山带与鄂尔多斯地块间褶皱冲断带后缘伸展裂陷，形成渭河地堑，断块翘倾加速两侧地质体隆升[13]。与应力方向对应，近WE向断裂在古生界及早三叠系中为左旋走滑，在中生界延长组中转为右旋走滑，不同深度位移量存在差异(图6)。

NE-SW向断裂主要发育于古生界，主体为右旋走滑。研究区走滑断裂具有显著的分期活动特征，洛河流域山脊错断现象表明地表NE向断裂为左旋走滑，与古生界内断裂的右旋走滑特征形成对比，反映该NE向断裂经历了多期活动。综合认为NE向断裂主要受基底断裂控制，经历多期次继承性发育。加里东期—印支期，NS向挤压应力主导下断裂以右行走滑为主；

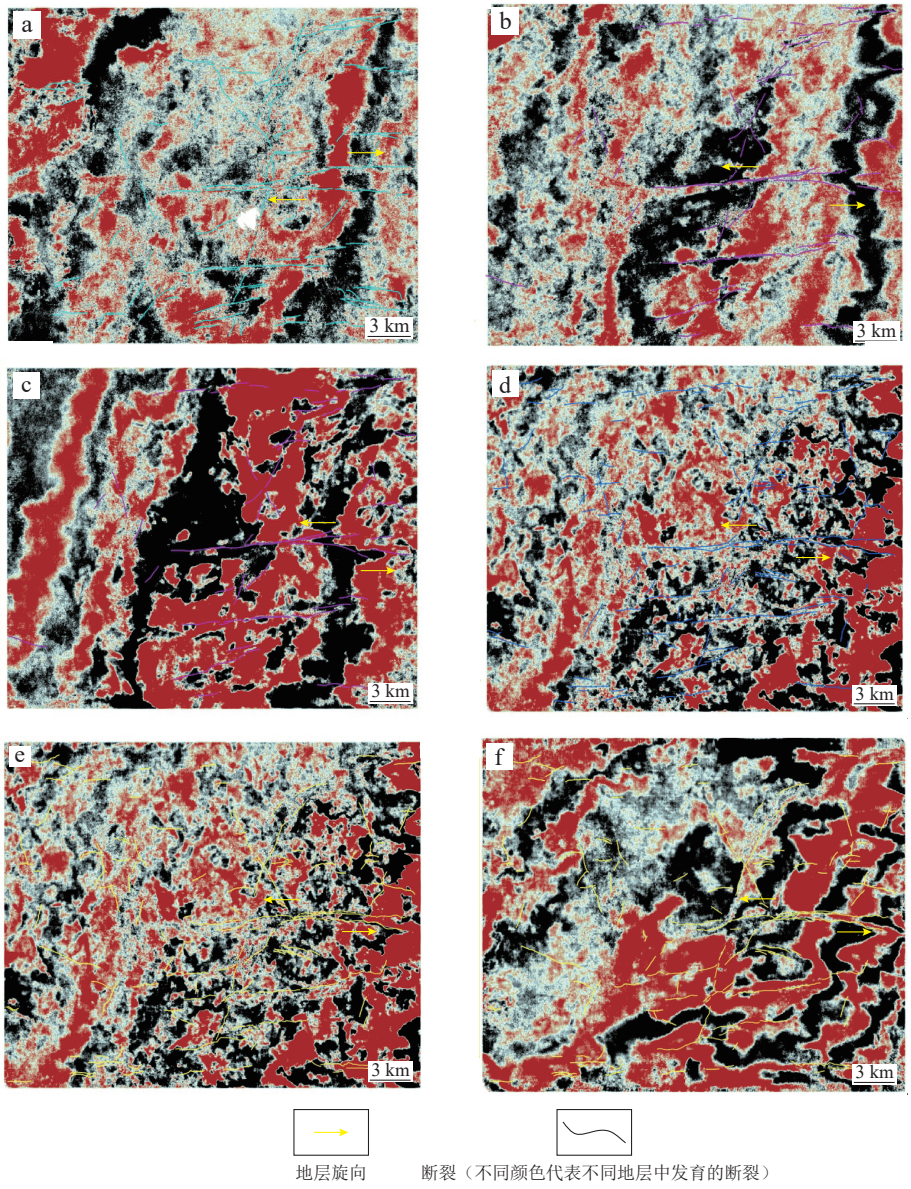


图6 鄂尔多斯盆地富县羊泉地区不同层位主干断裂旋向水平切面(三维地震体深度水平切片)

Fig. 6 Horizontal slices showing the rotation of major faults at different stratigraphic levels in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin (depth-domain horizontal slices from 3D seismic volume)

a. 三叠系刘家沟组;b. 三叠系延长组;c. 上石炭统本溪组;d. 上二叠统石千峰组;e. 寒武系;f. 奥陶系马家沟组

燕山期—喜马拉雅期早期,应力场转换,太平洋板块俯冲及青藏高原隆升远程效应导致左行走滑活动叠加(图6)。断裂活动性质的垂向变化与地表—深部差异,记录了多期构造应力场的转换与叠加改造过程。

近WE向断裂组主要集中出露于研究区中、东部,其发育层位涵盖寒武系—三叠系多个地层单元。该组断裂常呈近平行排列,延伸规模较大,贯穿性较好。加里东期,断裂开始发育,平面上呈现多组近平行展布且延伸长的特征;海西期,部分断裂活化,但发育趋势无明显改变;印支期,断裂保持多组平行发育且延伸长的特点,断裂带宽度变宽;燕山期—喜马拉雅期,断裂展布特征不变,断裂带宽度进一步变宽,且发育更多WE向断裂(图7)。

NE向断裂在全区广泛发育,其中主体断裂带规模最大,由一系列呈断续状斜列展布的断片组合而成。该断裂带自东北向西南延伸,几乎纵贯整个研究区。尽管单一断裂段的连续性较差、长度有限,但通过阶步状排列形成了一条大型的复合走滑断裂系统。NW向断裂通常与NE向断裂配套出现,构成共轭破裂体系,指示区域曾遭受挤压构造应力场。但其发育程度较弱,断裂规模和密度均小于NE向断裂。在平面组合样式方面,研究区走滑断裂以叠接式和平行式为主,反

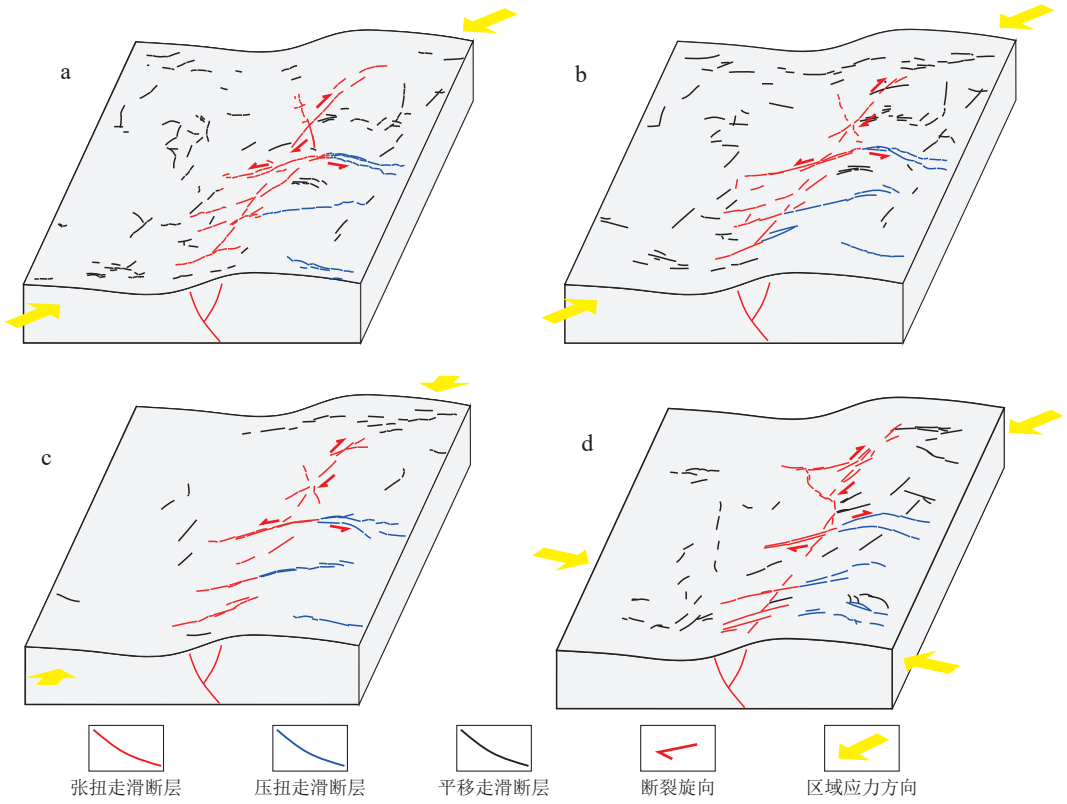


图7　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区多期构造应力场与断裂演化示意图

Fig. 7　Schematic diagram of multi-stage tectonic stress fields and fault evolution in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

a. 加里东期; b. 海西期; c. 印支期; d. 燕山期—喜马拉雅期

映其经历了多期次继承性活动。加里东期，NE向和NW向断裂共同发育，NE向延伸长度更长，几乎穿过整个羊泉地区；海西期，部分断裂活化，断裂发育趋势不变；印支期，断裂延伸长度明显变短，断片连续性变差，NE向和NW向断裂均只延伸到研究区中部；燕山期—喜马拉雅期，NE向断裂延伸长度再次变长，NW向断裂发育位置向西部偏移，断裂连续性好(图7)。

3.2　剖面活动特征

活动时期判别是小位移走滑断裂研究的难点。基于盆地南部沉积、构造演化及区域应力场特征，对富县地区走滑断裂的构造样式、断穿层位、垂向变化及错断关系进行综合分析。多期走滑断层在纵向上可形成花状构造叠置，研究区部分剖面上观察到似花状构造叠置，表明断裂经历了不同活动时期[14]。根据断裂在地震剖面中断穿的层位及地层同沉积现象可定性判断活动时期：基底正断层多终止于寒武系底界面，部分断裂上、下盘地层厚度存在差异，推断其活动时期在寒武纪之前；NE向和近WE向走滑断层自寒武系—三叠系广泛分布，垂向断距较大、延伸较远，具多期活动特征。

结合区域动力背景及邻区断裂活动特征，通过分析断层与地层切割关系及地层不整合关系，可厘定断裂形成时间。据此，将富县地区走滑断裂划分为3个主要活动期次：①加里东期—海西期活动，走滑断裂开始发育，活动强度大，NE向基底断裂活化，发育共轭的NW向走滑断裂，主干断层陡直向下断穿基底，分支断层向上散开构成花状构造。②印支期继承性走滑活动，NE向和近WE向断裂发生弱继承性走滑，平面上呈线状断续延伸，纵向上多条直立断裂向下收敛，除主干断裂外，大多断穿至三叠系。③燕山期—喜马拉雅期走滑活动，WE向断裂连续性较好，延伸距离及规模较大；NE向和NW向断裂连续性较差，延伸距离及规模较小(图8)。

3.3　3期断裂结构模型

鄂尔多斯盆地富县羊泉地区多组断裂系统在统一构造应力场作用下协同发育，但构造样式分异。近WE向断裂与NE-NW向共轭断裂形成于同一构造运动时期，但其发育机制和构造表现存在系统性差异。

奥陶系顶面—三叠系延长组底部近WE向断裂垂向继承性发育特征显著，平面位置基本一致，具长期多期活动的构造稳定性。根据几何形态、活动性质及变形强度变化[27]，可将其划分为东、西两段。断裂带宽度、各层位断距及变形强度均自西向东增大，显示东段活动性更强。垂向上，断裂带向上部层系逐渐拓宽，符

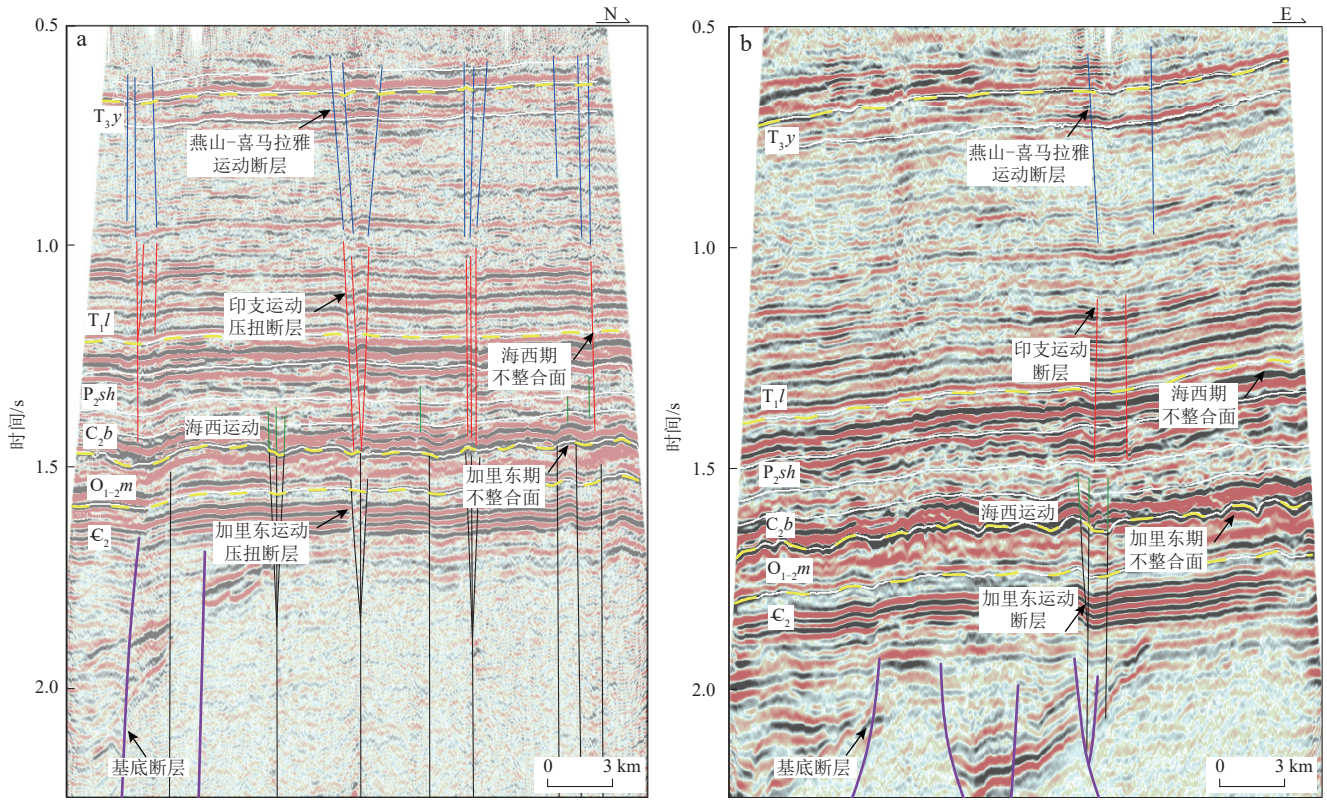


图8 鄂尔多斯盆地富县羊泉地区典型剖面

Fig. 8 Typical cross-sections in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

a. NS向剖面;b. WE向剖面

T_3y. 上三叠统延长组;T_1l. 下三叠统刘家沟组;P_2sh. 上石炭统本溪组;C_2b. 上二叠统石千峰组;$O_{1-2}m$. 中-下奥陶统马家沟组;ϵ_2. 寒武系

(图中黄色虚线代表地层顶、底界面。)

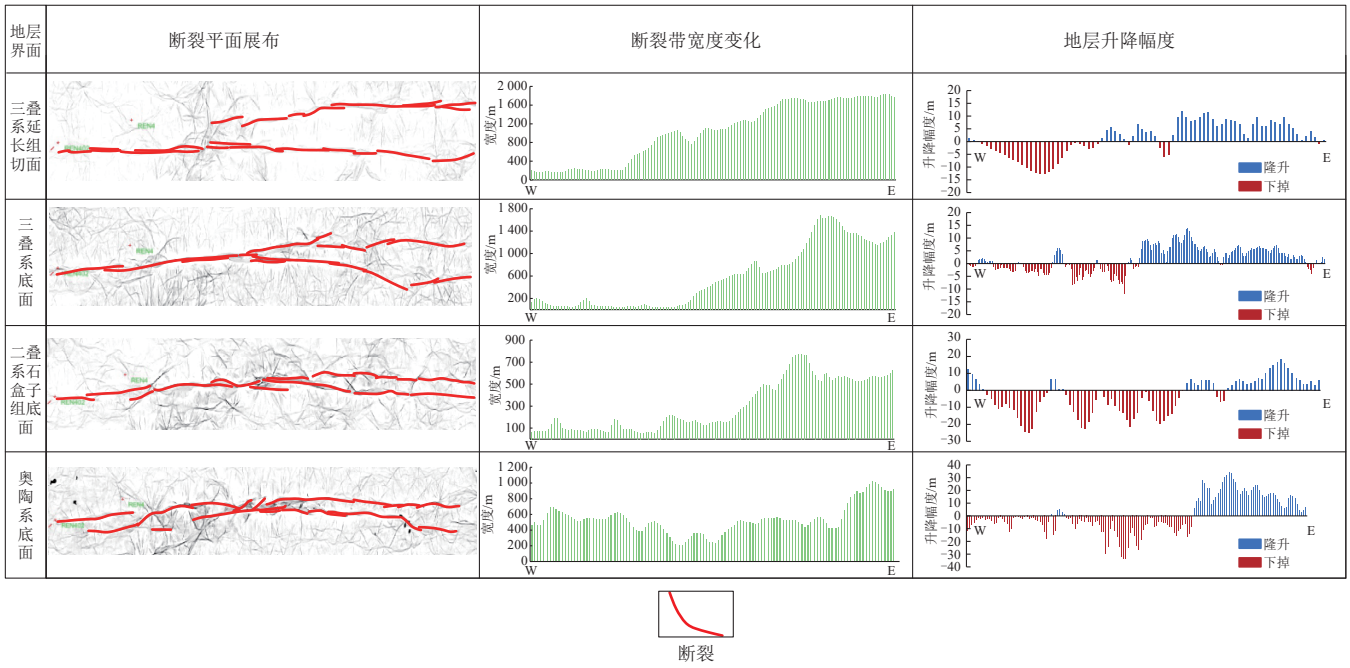


图9 鄂尔多斯盆地富县羊泉地区WE向断裂活动性统计图

Fig. 9 Fault activity statistics for WE-trending faults in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

合花状构造发育模式（图9）。NE向断裂带由多个断续断片组合而成，其发育受控于基底正断层的活化与影响。奥陶系顶面—三叠系延长组底部垂向位置稳定，断裂轨迹基本一致，继承基底构造格局。运动学性质以张扭性为主，剖面呈下凹式沉降。断裂带宽度在走向上于中部区段最大，推测与应变集中或多期活动叠加有关（图10）。NW向断裂带由断续断片斜列组合，与NE向断裂共轭配套。奥陶系—三叠系垂向分布向西部迁移扩展，整体为张扭性活动，呈下凹式沉降，以伸展作用为主（图11）。

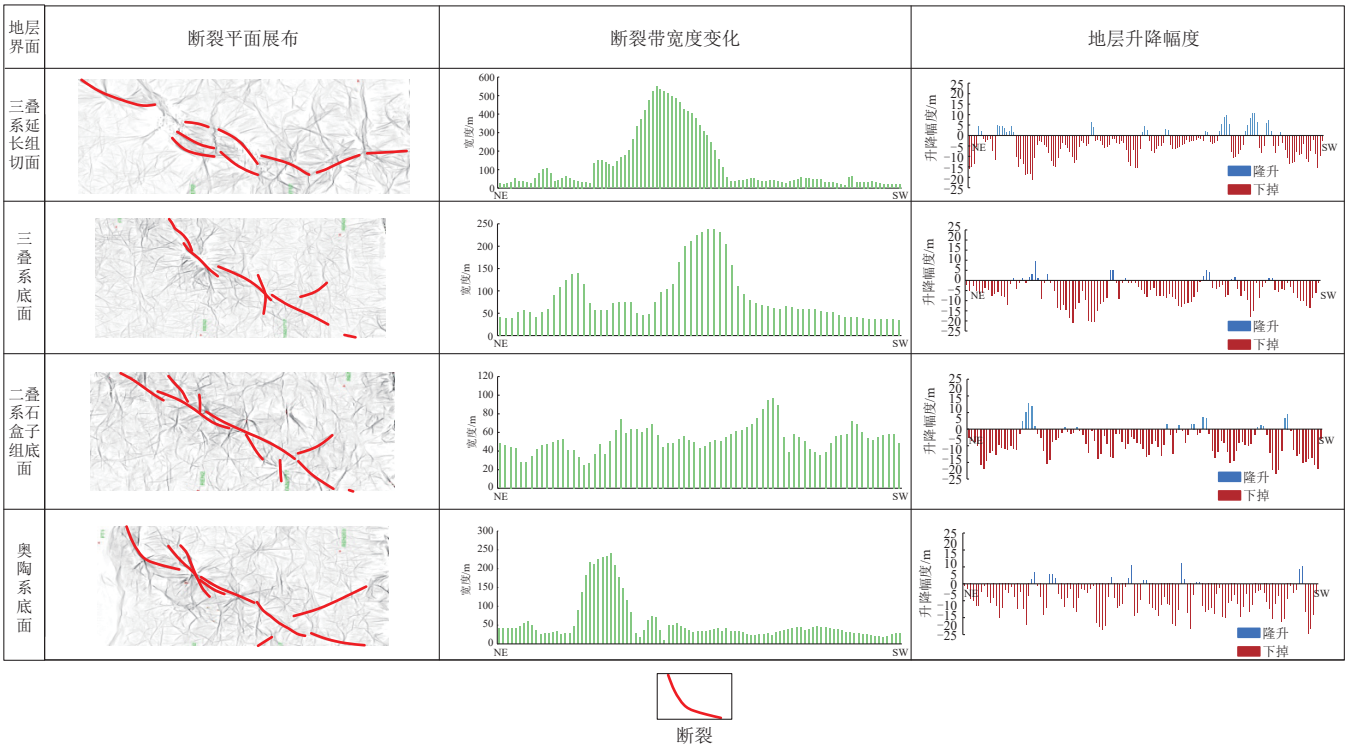


图10　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区NE向断裂活动性统计

Fig. 10　Fault activity statistics for NE-trending faults in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

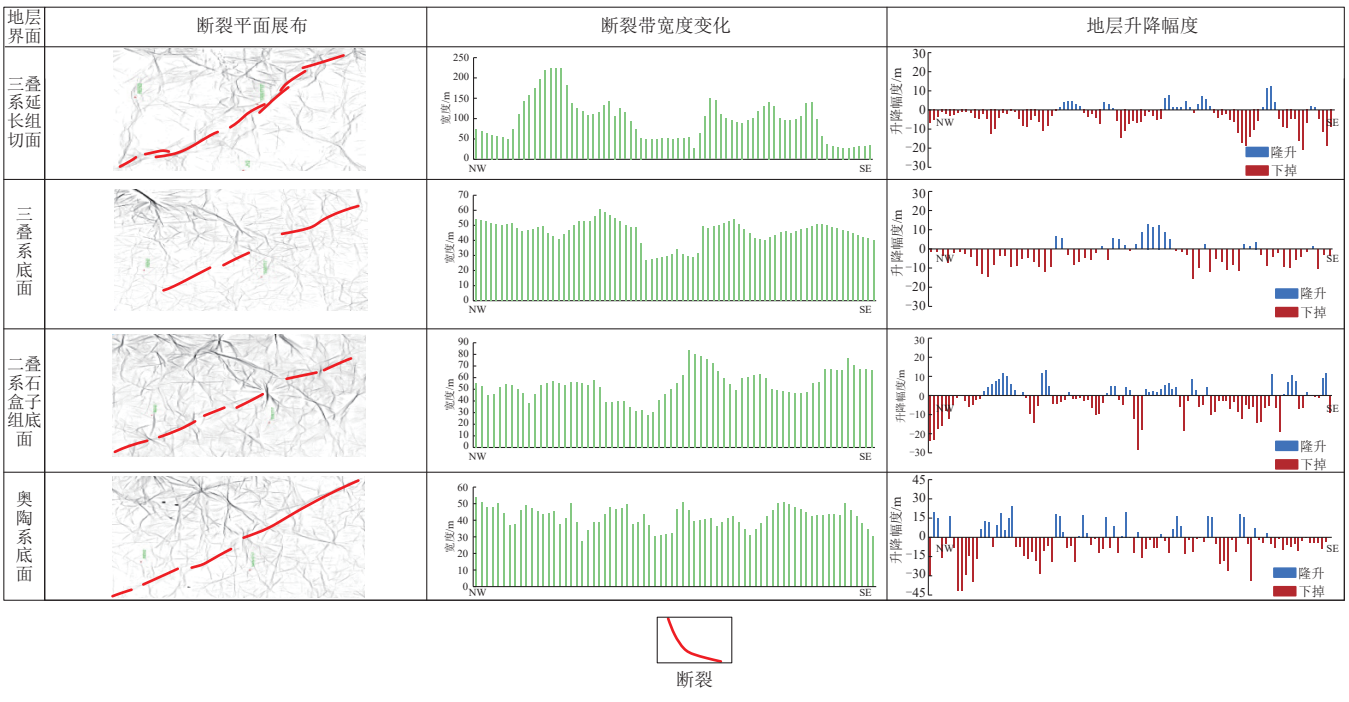


图11　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区NW向断裂活动性统计图

Fig. 11　Fault activity statistics for NW-trending faults in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

近WE向主干断裂多呈高角度至近垂直断面，倾向沿走向规律变化，反映局部应力场调整。分层变形特征明显：①寒武系–奥陶系发育负花状构造，指示早期张扭性活动；②石炭系–二叠系以正花状构造为主，显示压扭性应力状态；③三叠系延长组多表现为地垒式组合，反映晚期以垂向差异升降为主。中部近WE向断裂由2条近平行的大型走滑断裂构成断裂密集带，其向南延伸规模与活动强度减弱。垂向上，中部断裂带宽度自下而上增大，显示多期活动叠加；分支断裂向上部延伸过程中规模减小，反映应变局部化及构造活动分异。

NE向和NW向断裂共轭发育于中部及北部，为主干走滑断裂，NE向断裂受多期构造运动和基底断裂共同影响。两组断裂断面近于垂直，倾向沿走向变化。NE向断裂规模略大于NW向断裂，NW向断裂终止于中部，NE向断裂发育至南部边缘。奥陶系马家沟组—三叠系延长组断裂分布基本一致，在奥陶系马家沟组、二叠系石河子组和三叠系延长组中规模较大，而在三叠系底面规模较小。垂向上，寒武系–奥陶系中NE向断裂受基底正断层控制，NW向断裂共轭发育，连续性好；石炭系–二叠系中断裂连续性变差，但整体展布格局不变；三叠系中NE向断裂位置基本不变，NW向断裂位置发生改变，两断裂间距明显变大。

4 断裂控藏分析

鄂尔多斯盆地富县地区古生界储集层具有显著的层系分异性[28-29]。已有研究表明，富县地区上古生界储层以低孔、低渗为特征，储集空间多为剩余粒间孔，属致密储层范畴；而下古生界马家沟组海相碳酸盐岩则发育裂缝–孔洞型储集系统，是区内储集性能最优的层段[29-30]。基于羊泉地区探井的试产气量数据，结合井周断裂系统的几何特征、活动期次及与储层的配置关系，分析研究区断裂–储层的耦合关系，为勘探目标优选与工程实施提供地质依据。

4.1 试产气量对比

对于同一油气藏或相邻区块的探井，在完井方式和生产压差相近的条件下，试产气量与试产油量通常呈正相关。一口井的天然气产出能力强，往往意味着：储层渗透能力更好、裂缝更发育、孔隙连通性更佳；地层压力系数高，能量更充足。因此，试气产量较高的井，其原油产量也往往较高，可初步判断为“高产井”。

基于研究区内探井的试产气量数据，将各井划分为高产井与低产井两类（表1）。通过统计各井井周2.5 km内的断裂密度和组合样式，建立不同井与断裂系统空间特征的关联（图12）。在此基础上，重点解析加里东期—海西期、印支期及燕山期—喜马拉雅期断裂活动情况，厘清断裂活动与构造演化的匹配关系，阐明其对研究区关键成藏要素即“烃源岩输导–储集体改造–盖层保存”配置体系的影响机制，进而揭示影响产能差异的深层构造主控因素。

4.2 断裂控藏模式分析

富县羊泉地区上古生界天然气成藏受烃源岩、储层、古构造及断裂活动多重因素联合控制。区域研究表明，伊陕斜坡南部地温梯度较高，早白垩世时期最高可达4.2 ℃/(100 m)，上古生界煤系烃源岩生气窗自晚三叠世开始，持续至早白垩世末，于早白垩世末期进入生气高峰期（图13a）。此外，下古生界奥陶系马家沟组

表1 鄂尔多斯盆地富县羊泉地区井周2.5 km范围内断裂数量与试气产量统计

Table 1 Statistics of the number of faults within a 2.5 km radius of wells and corresponding gas production in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

井号	断裂数量/条				试气产量/(10^4 m^3/d)		
	烃源岩层	储集层	盖层	总计	马家沟组		石盒子组
REN201	14	3	5	22	0.154 5	0.185 2	0
REN203	15	7	11	33	0.862 0	0.492 0	0
REN402	10	0	4	14	1.003 2	0	0
REN601X	7	4	5	16	0	0	2.696 6
REN602	8	0	1	9	1.250 1	1.250 1	0
XF8	13	4	4	22	0	0	0.110 6
REN4	10	3	7	20	0.222 0	0	0
REN1	7	3	2	12	0	0	0.025 9
REN202	8	5	7	20	0	0	0
REN401	11	4	5	20	0.030 8	0	0.035 9
XF6	7	4	4	15	0	0	0

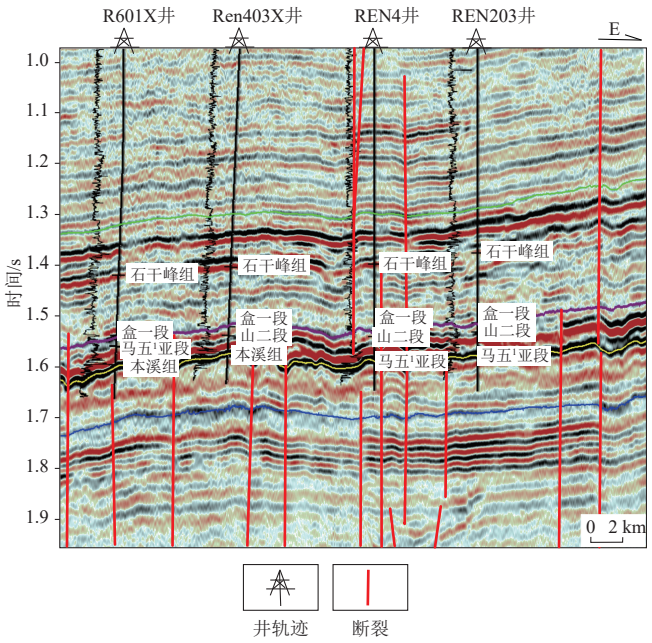


图12　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区高产井与低产井周缘断裂解释剖面

Fig. 12　Fault interpretation sections for high-production and low-production wells in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

亦发育海相碳酸盐岩烃源岩，其总有机碳含量（*TOC*）介于0.15%～0.25%，有机质类型以Ⅰ型和Ⅱ$_1$型为主，同样处于过成熟阶段，生气强度为（5.0～10.0）×10^8 m^3/km^2，气源对比表明，马家沟组上组合天然气来源以上古生界煤系烃源岩为主、下古生界碳酸盐岩烃源岩为辅[31]。因此，早白垩世末是富县地区天然气成藏的关键时期。

富县羊泉地区发育3组主要走滑断裂：NE向断裂、近WS向断裂和NE向断裂。不同走向断裂具有不同的活动时期。NE向断裂切穿现有地层，伴同走向宽缓挠曲，具左阶右行特征，与燕山期应力场匹配度较高，推测燕山期对其形成影响最大。近WS向断裂切割现有地层及其他构造形迹，浅层具右阶左行特征，与喜马拉雅期应力场相匹配，晚期经历了张扭活动。NW向断裂局部具左阶右行特征，下古生界地层变形较强，与NE向断裂构成共轭关系，推测印支期或燕山期对其现今构造形态影响最大。从时间匹配角度看，印支期形成的NW向断裂早于生烃高峰，可作为早期油气运移通道，但后期活动性较弱；燕山期形成的NE向断裂与生烃高峰期时间上较为接近，其活动时期与天然气大量生成阶段重叠，有利于油气垂向运移；喜马拉雅期活动的近WS向断裂晚于生烃高峰，对已形成的气藏主要起调整改造作用。

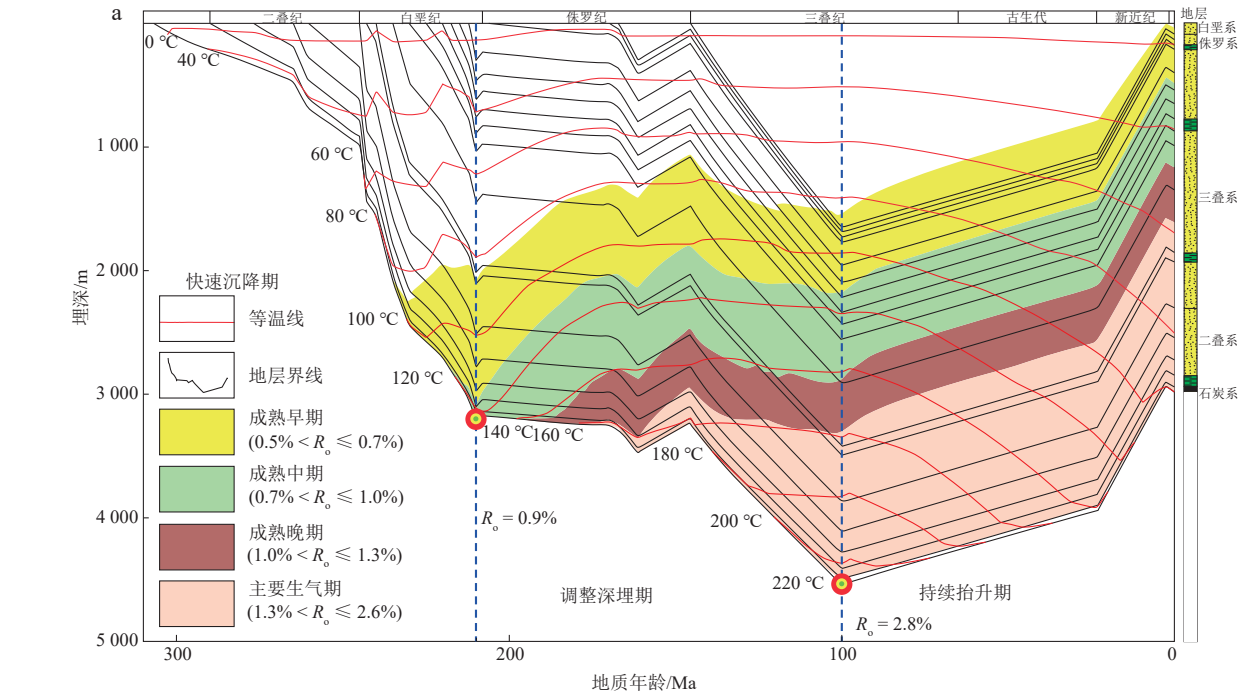
富县地区盒（石盒子组）一段气藏为砂岩岩性气藏，气层分布主要受有利沉积相带控制，受构造控制作用不明显（图13b）。但平面上气藏分布与早白垩世末古构造相关性较高，关键成藏期古构造高部位是天然气运聚的有利指向区。纵向上，气藏具有源-储叠覆紧邻成藏的特征，山西组煤层及炭质泥岩厚度为6.0～26.0 m，占地层比例为8.0%～26.0%，其中煤层厚度为0.2～0.6 m，占地层比例为0.8%～9.3%。源-储垂距仅为10～30 m，地球化学指标显示天然气以垂向运移为主，大规模横向运移趋势不明显。马家沟组碳酸盐岩烃源岩因有机质丰度偏低且生气强度较小，在上述源-储配置中仅起辅助供烃作用，其贡献弱于上古生界煤系烃源岩[31-36]。

结合埋藏史、孔隙演化史与生烃史分析，富县地区盒一段砂岩储层为先致密后成藏，储层致密化发生于天然气充注之前。马家沟组碳酸盐岩烃源岩生烃强度低且处于过成熟阶段，对区域天然气贡献有限，仅作为辅助气源[31-36]。在此背景下，断裂作为垂向运移通道，其发育时间与生烃高峰的匹配关系直接影响天然气能否有效进入储层。燕山期NE向断裂活动期与生烃高峰期基本同步，为天然气垂向运移提供了有效通道。喜马拉雅期断裂活动晚于生烃高峰，主要起调整作用，导致“古高、今低”区带天然气发生再分配。

综上分析，富县羊泉地区走滑断裂与油气成藏的匹配关系可归纳为3个方面：①印支期及之前的断裂其形成时间早于生烃高峰，贡献有限；②燕山期断裂活动与生烃高峰期同步，是天然气垂向运移的主要通道；③喜马拉雅期断裂活动晚于生烃高峰，对已形成气藏起调整改造作用。这一匹配关系决定了“古高、今高”区带最为有利，“古高、今低”区带和“古低、今高”断裂调整区带次之的油气分布格局。

基于断裂体系系统解析及高产井与低产井周缘断裂构造特征的对比研究，建立了断裂结构与产能差异之间的地质关联。高产井周缘断裂系统表现出优良的油气疏导与保存配置：深层断裂有效沟通烃源岩与储集层，具备良好“通源”能力；储层内走滑断裂改善储集空间与渗透条件；浅层断裂通常不切穿盖层，构造保存条件完整。低产井周缘断裂系统则配置欠佳：深层断裂与储集层对接效率低，油气疏导能力弱；储层内走滑断裂未有效切入烃源岩，运移通道发育不充分；浅层断裂多向下切割至储层，导致盖层完整性受损，保存条件较差。

在此基础上，本文提出了走滑断裂控制下的油气差异富集模式（图14）：①在加里东期—海西期与印支



c

评价参数	烃源岩类型	数值范围	
上古生界厚度/m	煤	5 ~ 11	4 ~ 9
	暗色泥岩	30 ~ 60	30 ~ 55
TOC/%	煤	74.46 ~ 81.10	70.97
	暗色泥岩	2.21 ~ 14.68	0.49
生气强度/(10^8 m^3/km^2)	煤	12 ~ 34	10 ~ 30
	暗色泥岩	0.7 ~ 1.1	0.6 ~ 1.0
R_o/%		3.4 ~ 3.7	3.4 ~ 3.5
沉积亚相		三角洲前缘	
沉积微相		滨岸沼泽	分流间湾
烃源岩综合评价		一类	二类

图 13 鄂尔多斯盆地富县羊泉地区上古生界埋藏史(a)、烃源岩类型(b)及烃源岩评价(c)

Fig. 13 Burial history (a), hydrocarbon generation history (b), and source rock evaluation (c) of the Upper Paleozoic in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

期断裂活动继承性较好、而燕山期—喜马拉雅期改造相对较弱的区域,断裂系统兼具良好的通源性、保存性与储层改造效应,试产气量相对较高;②在印支期与燕山期—喜马拉雅期断裂活动继承性强、断裂连通性持续发育的区域,因后期断裂对盖层的破坏作用增强,保存条件显著变差,试产气量相对偏低。

5 结论

1) 富县羊泉地区位于鄂尔多斯盆地东南部,地层整体平缓,缺失上奥陶统—石炭系。走滑断裂垂直断距小、剖面近直立,三维地震识别出地垒、地堑、屋脊、

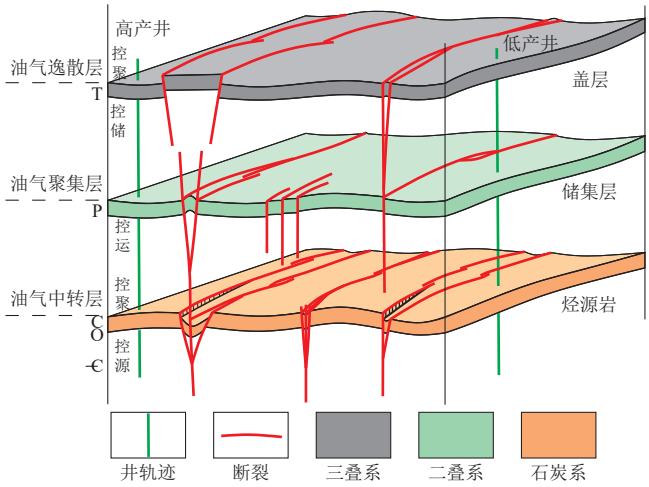


图 14　鄂尔多斯盆地富县羊泉地区断裂控藏模式示意图

Fig. 14　Schematic diagram showing the fault-controlled hydrocarbon accumulation model in the Yangquan area, Fuxian County, Ordos Basin

T. 三叠系；P. 二叠系；C. 石炭系；O. 奥陶系；€. 寒武系

倒脊、正花及负花6类样式。不同层系中断裂样式发育特征各异：前寒武系基底以正断层为主；寒武系—石炭系发育多种走滑构造；二叠系-下三叠统以平移走滑断层及花状构造为主；上三叠统主要发育地垒及花状构造。区内发育三级—五级断裂：三级断裂构成主干格架，延伸长、连续性好且走向规律；四级断裂密集发育于三级断裂周边，属次级伴生断裂；五级断裂短小、分散，多为微小断层。

2）研究区断裂受多期构造运动控制。加里东期剪切应力使主干断裂左行走滑；海西期继承加里东末期挤压应力，仅少数地区发育继承性活动；印支期盆地南缘受NE-SW向挤压，主干断裂左行走滑并继承早期断裂发育；燕山期受NW向挤压，断裂转为右行走滑；喜马拉雅期主应力方向为NEE-SWW向，断裂以继承燕山期发育为主。NE-NW向共轭断裂在剖面上呈两条平行断裂，在上古生界—三叠系夹持的下凹区逐渐变宽，NE向断裂平面位置始终与基底NE向正断层一致，表明基底断裂对后期走滑断裂发育具重要控制作用。

3）富县羊泉地区天然气成藏受烃源岩、储层、古构造及断裂活动多重因素联合控制。早白垩世末为关键成藏期，古生界烃源岩达生烃高峰。断裂与生烃高峰的匹配关系决定控藏作用：印支期及之前形成的断裂早于生烃高峰，贡献有限；燕山期NE向断裂活动与生烃高峰同步，为天然气垂向运移提供有效通道；喜马拉雅期断裂活动晚于生烃高峰，起调整改造作用。高产井周边主要为NE向和NW向小断裂，远离近WS向主干走滑断层及3期继承性发育的断层，盖层内断裂数量较少；低产井则分布于断裂密集区，多靠近WS向主干走滑断层，盖层断裂数量较多。

参　考　文　献

[1] 何登发，牛小兵，郑娜，等. 鄂尔多斯盆地早古生代构造分异类型与分布特征[J]. 地质学报，2024，98(12)：3601-3618.
HE Dengfa，NIU Xiaobing，ZHENG Na，et al. Tectonic differentiation and distribution of Early Paleozoic Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica，2024，98(12)：3601-3618.

[2] 何发岐，王付斌，郭利果，等. 鄂尔多斯盆地古生代原型盆地演化与构造沉积格局变迁[J]. 石油实验地质，2022，44(3)：373-384.
HE Faqi，WANG Fubin，GUO Liguo，et al. Evolution of prototype basin and change of tectonic-sedimentary pattern in Paleozoic，Ordos Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment，2022，44(3)：373-384.

[3] 郑和荣，胡宗全，云露，等. 中国海相克拉通盆地内部走滑断裂发育特征及控藏作用[J]. 地学前缘，2022，29(6)：224-238.
ZHENG Herong，HU Zongquan，YUN Lu，et al. Strike-slip faults in marine cratonic basins in China：Development characteristics and controls on hydrocarbon accumulation[J]. Earth Science Frontiers，2022，29(6)：224-238.

[4] 刘永涛，周义军，刘池洋，等. 鄂尔多斯盆地隐蔽型走滑断裂带构造特征及其油气地质意义[J]. 地质论评，2020，66(增刊1)：90-92.
LIU Yongtao，ZHOU Yijun，LIU Chiyang，et al. Structural characteristics and its oil and gas geological significance of hidden strike-slip fault zone in Ordos Basin[J]. Geological Review，2020，66(S1)：90-92.

[5] 冯保周，于长录，何太洪，等. 鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部断裂体系的发现及地质意义[J]. 西安石油大学学报(自然科学版)，2022，37(2)：1-8.
FENG Baozhou，YU Changlu，HE Taihong，et al. Discovery of fault system in the North of yishan slope in ordos basin and its geological significance[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science)，2022，37(2)：1-8.

[6] 周小进，倪春华，杨帆. 华北古生界原型-变形构造演化及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质，2010，31(6)：779-794.
ZHOU Xiaojin，NI Chunhua，YANG Fan. The Paleozoic prototype basins and their tectonic deformation in North China and their controlling effects upon hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology，2010，31(6)：779-794.

[7] 余和中，韩守华，谢锦龙，等. 华北板块东南缘原型沉积盆地类型与构造演化[J]. 石油与天然气地质，2006，27(2)：244-252.
YU Hezhong，HAN Shouhua，XIE Jinlong，et al. Types of original sedimentary basins and tectonic evolution on southeastern

margin of North China plate[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 244-252.

[8] 何登发, 包洪平, 开百泽, 等. 鄂尔多斯盆地及其邻区关键构造变革期次及其特征[J]. 石油学报, 2021, 42(10): 1255-1269.
HE Dengfa, BAO Hongping, KAI Baize, et al. Critical tectonic modification periods and its geologic features of Ordos Basin and adjacent area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(10): 1255-1269.

[9] 包洪平, 邵东波, 郝松立, 等. 鄂尔多斯盆地基底结构及早期沉积盖层演化[J]. 地学前缘, 2019, 26(1): 33-43.
BAO Hongping, SHAO Dongbo, HAO Songli, et al. Basement structure and evolution of early sedimentary cover of the Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(1): 33-43.

[10] 周进高, 席胜利, 邓红婴, 等. 鄂尔多斯盆地寒武系—奥陶系深层海相碳酸盐岩构造—岩相古地理特征[J]. 天然气工业, 2020, 40(2): 41-53.
ZHOU Jingao, XI Shengli, DENG Hongying, et al. Tectonic-lithofacies paleogeographic characteristics of Cambrian-Ordovician deep marine carbonate rocks in the Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(2): 41-53.

[11] 王杰, 贾会冲, 孙晓, 等. 鄂尔多斯盆地富县古生界天然气成因及气源综合识别[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(9): 1476-1484.
WANG Jie, JIA Huichong, SUN Xiao, et al. Comprehensive evaluation on origin and source of natural gas in the Paleozoic in Fuxian area, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(9): 1476-1484.

[12] 李振宏. 鄂尔多斯盆地对秦岭造山过程的构造沉积响应[D]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
LI Zhenhong. Response to Qinling orogenic with the tectonic and sedimentary evolution of Ordos basin [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2011.

[13] 张少华. 鄂尔多斯盆地南缘差异构造变形及其成因解析[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2016.
ZHANG Shaohua. Differential deformation and its mechanism in southern Ordos Basin, North China[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2016.

[14] 张成, 唐大卿, 齐荣, 等. 鄂尔多斯盆地南部富县地区走滑断裂发育特征及演化[J]. 特种油气藏, 2025, 32(3): 66-75.
ZHANG Cheng, TANG Daqing, QI Rong, et al. Development characteristics and evolution of strike-slip fractures in the Fuxian area of the southern Ordos Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2025, 32(3): 66-75.

[15] 苏鹏, 胡守志, 李水福, 等. 走滑断裂对原油性质的控制作用: 以鄂尔多斯盆地南部泾河油田为例[J]. 地球科学, 2023, 48(6): 2310-2323.
SU Peng, HU Shouzhi, LI Shuifu, et al. Control of strike-slip faults on crude oil properties: exemplified by Jinghe Oilfield in south Ordos Basin[J]. Earth Science, 2023, 48(6): 2310-2323.

[16] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. Qinling orogenic belt and continental dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001.

[17] 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 617-638.
LIU Chiyang, ZHAO Hongge, GUI Xiaojun, et al. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 617-638.

[18] 杨华, 邓秀芹. 构造事件对鄂尔多斯盆地延长组深水砂岩沉积的影响[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(5): 513-520.
YANG Hua, DENG Xiuqin. Deposition of Yanchang Formation deep-water sandstone under the control of tectonic events, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(5): 513-520.

[19] 尚景武. 鄂尔多斯盆地构造演化历程[J]. 产业与科技论坛, 2020, 19(7): 46-47.
SHANG Jingwu. The tectonic evolution process of the Ordos Basin [J]. Industrial & Science Tribune, 2020, 19(7): 46-47.

[20] 邓秀芹, 罗安湘, 张忠义, 等. 秦岭造山带与鄂尔多斯盆地印支期构造事件年代学对比[J]. 沉积学报, 2013, 31(6): 939-953.
DENG Xiuqin, LUO Anxiang, ZHANG Zhongyi, et al. Geochronological comparison on Indosinian tectonic events between Qinling orogeny and Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(6): 939-953.

[21] 张岳桥, 廖昌珍. 晚中生代—新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地改造[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 28-40.
ZHANG Yueqiao, LIAO Changzhen. Transition of the Late Mesozoic-Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos Basin[J]. Geology in China, 2006, 33(1): 28-40.

[22] 陈刚, 王志维, 白国绢, 等. 鄂尔多斯盆地中新生代峰值年龄事件及其沉积-构造响应[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 375-383.
CHEN Gang, WANG Zhiwei, BAI Guojuan, et al. Meso-Cenozoic peak-age events and their tectono-sedimentary response in the Ordos Basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 375-383.

[23] 孔范帅. 走滑断裂特征及其油气勘探开发意义分析[J]. 石化技术, 2016, 23(2): 181.
KONG Fanshuai. Analysis on the characteristics of strike-slip fault and its meaning in petroleum exploration and development [J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23(2): 181.

[24] 刘雨晴, 邓尚. 板内中小滑移距走滑断裂发育演化特征精细解析——以塔里木盆地顺北4号走滑断裂为例[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(1): 124-136.
LIU Yuqing, DENG Shang. Structural analysis of intraplate strike-slip faults with small to medium displacement: A case study of the Shunbei 4 fault, Tarim Basin[J]. Journal of China University of

Mining & Technology, 2022, 51(1): 124-136.

[25] 唐大卿, 陈红汉, 耿锋, 等. 板内小位移走滑断裂特征解析: 以塔里木、四川及鄂尔多斯盆地为例[J]. 地球科学, 2023, 48(6): 2067-2086.
TANG Daqing, CHEN Honghan, GENG Feng, et al. Characteristics of intraplate small-displacement strike-slip faults: A case study of Tarim, Sichuan and Ordos basins [J]. Earth Science, 2023, 48(6): 2067-2086.

[26] 何右安, 曹东升, 郭雯, 等. 板内走滑断裂发育特征及其对页岩油的控制作用: 以鄂尔多斯盆地庆城油田长7段为例[J]. 地质科学, 2025, 60(1): 19-32.
HE Youan, CAO Dongsheng, GUO Wen, et al. Development characteristics of intraplate strike-slip faults and their control on shale oil: A case study of the Chang 7 member in the Qingcheng oilfield, Ordos Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2025, 60(1): 19-32.

[27] 穆星, 赵海华. 隐性走滑断层的识别方法及其走滑量的计算——以渤海湾盆地济阳坳陷为例[J]. 石油物探, 2021, 60(1): 157-166.
MU Xing, ZHAO Haihua. Identification of concealed strike-slip fault and estimation of strike-slip offset: A case study of the Jiyang Depression in Bohai Bay Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2021, 60(1): 157-166.

[28] 毛金昕, 何建华, 解馨慧, 等. 鄂尔多斯盆地富县地区碳酸盐岩储层风化裂缝成因类型及其对油气富集的影响[J]. 油气地质与采收率, 2025, 32(2): 25-35.
MAO Jinxin, HE Jianhua, XIE Xinhui, et al. Genetic types of weathering-induced fractures in carbonate reservoirs in Fuxian area of Ordos Basin and their impact on hydrocarbon enrichment [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2025, 32(2): 25-35.

[29] 吕志杰, 王亚红. 鄂尔多斯盆地富县区块古生界储集层研究[J]. 内蒙古石油化工, 2015, 41(2): 133-135.
LYU Zhijie, WANG Yahong. Research on Paleozoic reservoir in Fuxian Block, Ordos Basin [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015, 41(2): 133-135.

[30] 李春玉, 刘绍光, 刘新刚, 等. 陕北富县探区古生界勘探潜力分析[J]. 断块油气田, 2001, 8(2): 12-14.
LI Chunyu, LIU Shaoguang, LIU Xingang, et al. Exploration potential analysis of the Paleozoic erathem in Fuxian exploration region in the North of Shanxi province[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2001, 8(2): 12-14.

[31] 何身焱. 宜川—富县地区马家沟组上组合天然气成藏条件研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2019.
HE Shenyan. Research on reservoir forming condition of Upper Majiagou Formation in Yichuan-Fuxian area [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019.

[32] 万俊雨, 朱建辉, 姚素平, 等. 鄂尔多斯盆地中、东部奥陶系马家沟组成烃生物及烃源岩地球生物学评价[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(2): 393-405.
WAN Junyu, ZHU Jianhui, YAO Suping, et al. Geobiological evaluation of hydrocarbon-generating organisms and source rocks in the Ordovician Majiagou Formation, east-central Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(2): 393-405.

[33] 李明瑞, 史云鹤, 范立勇, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界本溪组8煤岩煤岩气与致密砂岩气主要气藏特征对比[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(6): 1590-1604.
LI Mingrui, SHI Yunhe, FAN Liyong, et al. Comparison of main reservoir characteristics between deep coal-rock gas of the No. 8 coal seam of the Upper Paleozoic Benxi Formation and tight sand gas reservoirs, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(6): 1590-1604.

[34] 田刚, 卢明德, 薛海军, 等. 鄂尔多斯盆地伊盟隆起南部构造边界厘定及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2025, 46(1): 108-122.
TIAN Gang, LU Mingde, XUE Haijun, et al. Delineation of the southern structural boundary of the Yimeng Uplift in the Ordos Basin and its implications for hydrocarbon exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2025, 46(1): 108-122.

[35] 丁蓉, 庞雄奇, 贾承造, 等. 鄂尔多斯盆地石炭纪—二叠纪煤系全油气系统天然气成藏特征与有序分布模式[J]. 石油与天然气地质, 2025, 46(4): 1333-1348.
DING Rong, PANG Xiongqi, JIA Chengzao, et al. Natural gas accumulation characteristics and orderly distribution pattern of gas reservoirs in the whole petroleum system of the Carboniferous-Permian coal measures, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2025, 46(4): 1333-1348.

[36] 吴伟涛, 李天宇, 闫新智, 等. 鄂尔多斯盆地定边—富县地区延长组长8油层组致密油富集因素与富集模式[J]. 石油与天然气地质, 2025, 46(5): 1392-1409.
WU Weitao, LI Tianyu, YAN Xinzhi, et al. Enrichment factors and patterns of tight oil in the 8th oil group of the Yanchang Formation, Dingbian-Fuxian area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2025, 46(5): 1392-1409.

(编辑　董奕含)