https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.476



鄂尔多斯盆地南部玉都走滑断裂带构造特征及其对 油气成藏的控制

叶 慧^{1,2},石万忠^{1,2*},王 任^{1,2},齐 荣³,刘 凯^{1,2},贾会冲³,林建炜^{1,2}

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室,湖北武汉 430074

3. 中国石油化工股份有限公司华北油气分公司,河南郑州 450006

摘 要:为加深对鄂尔多斯盆地内部走滑断裂结构构造特征的认识,通过相干切片技术和三维地震资料精细解释,对鄂尔多 斯盆地南部镇泾一彬长地区玉都走滑断裂带进行了详细刻画,明确了玉都走滑断裂带平面和剖面活动性特征、同时结合流体 包裹体定年和前人研究的成果,探讨了玉都走滑断裂带形成演化过程及其与油气成藏的关系.研究表明:(1)根据玉都走滑断 裂带平面和剖面特征,以三叠系底界面(T₈)为界,可将研究区地层分为上下两个构造层,玉都走滑断裂带在上下两个构造层中 具有明显差异.(2)玉都走滑断裂带具有明显的分层分段差异性,断裂活动特征在不同层段之间差别较大.其在加里东一海西 期和燕山一喜山期的应力作用下至少经历三期构造走滑活动,分别为加里东晚期一海西早期左旋走滑活动、海西晚期右旋走 滑活动、燕山期一喜山期左旋走滑活动.(3)走滑断裂及其伴生裂缝对油气成藏有重要的控制作用,研究区油气成藏主时期为 早白垩世晚期,与燕山期玉都走滑断裂带活动时间相吻合.

关键词:玉都走滑断裂带;构造特征;成因演化;油气运移成藏;鄂尔多斯盆地南部;石油地质.

中图分类号: P548 **文章编号:** 1000-2383(2023)06-2294-16 **收稿日期:** 2022-08-31

Structural Characteristics of Yudu Strike-Slip Fault Zone and Their Control on Hydrocarbon Accumulation in Southern Ordos Basin

Ye Hui^{1,2}, Shi Wanzhong^{1,2*}, Wang Ren^{1,2}, Qi Rong³, Liu Kai^{1,2}, Jia Huichong³, Lin Jianwei^{1,2}

- 1. School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
- 2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
- 3. North China Oil and Gas Branch, China Petroleum & Chemical Corporation, Zhengzhou 450006, China

Abstract: In order to improve the understanding of strike-slip fault structure and structural characteristics in Ordos basin, based on the coherent slice and the fine interpretation of the 3D seismic data, in this paper it describes in detail and clarifies the plane and profile activity characteristics of the Yudu strike-slip fault zone in the Zhenjing-Binchang area of the southern Ordos basin. Then, it disscusses its formation and evolution process and its control on hydrocarbon accumulation combined with fluid inclusion dating and

基金项目:"十三五"国家科技重大专项(No.2016ZX050048-002-02).

作者简介:叶慧(1998-),男,硕士研究生,主要从事构造与油气成藏关系方面的研究工作.

^{*}通讯作者:石万忠,教授,主要从事层序地层学、非常规油气储层评价工作.ORCID:0000-0003-0207-708X.E-mail:shiwz@cug.edu.cn

引用格式:叶慧,石万忠,王任,齐荣,刘凯,贾会冲,林建炜,2023.鄂尔多斯盆地南部玉都走滑断裂带构造特征及其对油气成藏的控制. 地球科学,48(6):2294-2309.

Citation: Ye Hui, Shi Wanzhong, Wang Ren, Qi Rong, Liu Kai, Jia Huichong, Lin Jianwei, 2023. Structural Characteristics of Yudu Strike-Slip Fault Zone and Their Control on Hydrocarbon Accumulation in Southern Ordos Basin. *Earth Science*, 48(6):2294–2309.

第6期

previous research results. The study shows follows :(1)According to the plane and profile characteristics of the Yudu strike-slip fault zone, the strata in the study area can be divided into upper and lower tectonic layers by the bottom boundary of the Triassic (T_s) . The Yudu strike-slip fault zone has obvious difference between the upper and lower structural layers. (2) The Yudu strike-slip fault zone has obvious difference between the upper and lower structural layers. (2) The Yudu strike-slip fault zone has obvious differences in stratification and segmentation, and the fault activity characteristics differ greatly among different strata. Under the action of Caledonian-Hercynian and Yanshanian-Himalayan stresses, the Yudu strike-slip fault zone mainly experienced three stages of tectonic strike-slip activities, namely, sinistral movement in Late Caledonian-Early Hercynian, dextral movement in Late Hercynian and sinistral movement in Yanshanian-Himalayan. (3) Strike-slip faults and their associated fractures play an important role in the migration and accumulation of oil and gas. The main period of oil and gas accumulation in the study area is the late Early Cretaceous, which is consistent with the activity of Yudu strike-slip fault zone in Yanshanian.

Key words: Yudu strike-slip fault zone; structural characteristics; genetic evolution; oil and gas migration and accumulation; southern Ordos basin; petroleum geology.

0 引言

鄂尔多斯盆地是发育在华北克拉通之上的一 个多旋回叠合盆地(赵振宇等,2012),盆地内部构 造较为稳定,断裂不发育,近年来,随着三维地震等 技术趋于成熟,逐渐发现在研究区发育有大量近直 立状断裂(潘杰等,2017;张园园等,2021),随即迅 速推动了研究区构造特征与油气勘探开发的深入 研究.研究表明,镇泾-彬长地区中生界主要发育 NEE和NWW向两组走滑断裂,NEE向断裂以张扭 性走滑为主,NWW向断裂以压扭性走滑为主(王 猛,2019;何发岐等,2022),随着研究进一步深入, 发现研究区走滑断裂带及其伴生裂缝对油气的运 移聚集有重要影响(张园园等,2021;何发岐等, 2022),前人通过油气藏分布和原油实际产量研究 表明,高产油井大多分布在两条断裂带之间的小断 层裂缝密集发育区,且张扭性走滑断裂相比压扭性 走滑断裂裂缝更为发育,对储层的改造作用强烈, 更有利于油气运聚成藏(徐兴雨等,2019;张园园 等,2020;何发岐等,2022).然而,相比正断层和逆断 层,走滑断裂内部结构更加复杂,压扭段和张扭段 均可分布,因此走滑断裂不同部位对油气富集的影 响可能有所差异,但目前对克拉通盆地内部走滑断 裂的详细刻画主要集中在塔里木盆地(Deng et al., 2019;王珍等,2022;周铂文等,2022),对研究区走 滑断裂的研究多关注整体构造特征(潘杰等,2017; 王猛,2019;张园园等,2020),缺乏对单条走滑断裂 带形成与演化过程的系统研究和针对其内部结构 及活动特征的精细刻画,导致对走滑背景下油气运 移成藏过程的理解不够深刻.

因此,本文在前人研究的基础上,基于三维地 震资料精细分析和相干切片技术,对研究区玉都走 滑断裂带的平面和剖面特征进行了精细刻画.同时 结合区域构造背景,明确了玉都走滑断裂带分段结 构差异性特征,探讨了玉都走滑断裂带形成演化过 程及其与油气成藏的关系,研究结果不仅能够加深 对陆内克拉通盆地内部走滑断裂的认识,也对其伴 生油气藏的勘探开发有一定的参考价值.

1 地质背景

镇泾一彬长地区位于鄂尔多斯盆地西南部,面 积约3500 km².在区域构造上,横跨天环向斜、伊陕 斜坡、渭北隆起3个构造单元.玉都走滑断裂带位于 镇泾地区中部,将镇泾区块分为南北两个部分(图 1a),东侧向东南方向延伸至彬长地区西部,是研究 区北西向最大的一条走滑断裂带,由于玉都走滑断 裂带在彬长地区具有隐伏性,断裂不易刻画,因此 本文在进行断裂刻画时以镇泾地区为主.玉都走滑 断裂带在活动过程中自下而上卷入的层位有:元古 界、寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗 系、白垩系以及第四系(图1b).由于加里东运动和 喜山运动的影响,地层抬升剥蚀,使古生界缺失志 留系和泥盆系,新生界缺失古近系和新近系.此外, 为明确断裂发育特征,在地震剖面上解释了基底面 (T_g) 、寒武系底界面 (T_{11}) 、石炭系底界面 (T_{9}) 、三 叠系底界面 (T_s) 、长7段底界面 (T_s) 、侏罗系底界 面 (T_5) 以及白垩系底界面 (T_3) 7个典型地层界面 (图1b),涵盖了从元古界到中生界的地层,研究区 中生界油气主要分布在三叠系延长组,其中延长组 长7段油页岩是研究区中生界油气成藏体系的主要 烃源岩(杨华等,2000;丁晓琪等,2011),油气通过 断裂和裂缝可运移至下伏长8段致密砂岩中形成致 密砂岩油气藏.





Fig.1 The fault distribution of Mesozoic strata and the comprehensive stratigraphic column in the study area

镇泾一彬长地区处于盆地西南缘3个构造单元 交汇处,受六盘山弧形构造带与秦岭夹持,断裂活 动和区域应力场密切相关,前人已通过对侵入岩 体、裂缝分布等方面的研究,结合盆地构造背景,对 研究区的应力场特征进行了大量分析(张林炎等, 2006;曾联波等,2007;王猛,2019;张园园等,2020). 总体而言,研究区经历了加里东、海西、印支、燕山 和喜山等多期构造运动,断裂分布受控于鄂尔多斯 盆地 NE、NW 向两组基底断裂(赵文智等,2003;徐 兴雨等,2019),断裂类型复杂多样并具有分期活动 特征,从而使得本区断裂活动具有明显的继承性活 动或反转等特征.

2 断裂几何学特征

根据玉都走滑断裂带平面和剖面特征,可将研 究区地层分为上下两个构造层.以三叠系底界面 (T_s)为界,上构造层包括中生界和新生界、下构造 层包括古生界和元古界.两个构造层中,玉都走滑 断裂带在平面形态特征、断裂连接方式以及剖面断 裂构造样式等方面存在一定差异,下面做具体描述 分析.

2.1 平面特征

玉都走滑断裂带在平面上整体走向为NNW-SEE向到NW-SE向,研究区内长度约58 km,整体 呈现斜放的"Y"字形(图2h,2i).上构造层中,玉都 走滑断裂带由3条次级断裂簇组成(图2a~2c),① 号次级断裂簇整体呈现S形,按走向可分为3段,走 向自西向东分别为113°、123°、105°,长度约 47 km.②号次级断裂簇可分为两段,走向自西向东 分别为102°、108°,总长度约30 km,③号次级断裂簇 较短,长度约16 km,走向为125°.每条次级断裂簇 由众多小断裂相互连接组成(图3),上构造层3个反 射界面中,玉都走滑断裂带形态特征上有明显的继 承性和相似性特征,总体都与NEE向断裂相交.下 构造层中,玉都走滑断裂带由两条次级断裂簇组成



图 2 玉都走滑断裂带元古界一中生界主要界面相干属性

Fig.2 Correlation attribute of main interfaces between Proterozoic and Mesozoic strata of Yudu strike-slip fault zone a. 白垩系底界面(T₃); b.侏罗系底界面(T₅); c.长7段底界面(T₆); d. 三叠系底界面(T₈); e. 石炭系底界面(T₉); f. 寒武系底界面(T₁₁); g. 基底面(Tg); h.T₃-T₆^c界面断裂形态;



Fig.3 Coherent properties and corresponding plane interpretation of different strata interfaces of Yudu strike-slip fault zone in the Mesozoic

(图 2d~2g),上构造层的①和③两条次级断裂簇在 下构造层中连接成为一条,下构造层中断裂走向和 长度与上构造层类似,但玉都走滑断裂带在①号和 ②号次级断裂簇交汇以东部分断裂带宽度显著增 加,最宽处可达3km,平均宽度1.5km,断裂带较为 连续.交汇以西部分则断裂连续性变差,表现为时 断时续的特征,且地层越老,这种特征越为明显.总 体而言,中生界小断裂界限清晰,但断裂密度和断 裂带宽度较小,到元古界一古生界,小断裂密度明 显增大,平面上已不易区分,呈现为一条连续且宽 度较大的断裂带.

玉都走滑断裂带平面形态特征复杂,不同区域 小断裂平面样式及连接方式存在较大差异,小断裂 平面样式可分为单直线段,多直线段、曲线段(图4). 单直线段表现为一条相对平直的直线,在整个玉都 走滑断裂带带内部分布较少.多直线段是玉都走滑 断裂带最主要的断裂组合方式,由一系列近乎平行 或相交的直线型小断裂组合而成,曲线段在T。界面 分布最为广泛(图 3b),平面上表现为由单条或多条 曲线型断裂连接组成,小断裂角度多样,连接方式 复杂.玉都走滑断裂带带内部复杂的断裂平面样式 也导致小断裂之间的连接方式呈现多样化特征,总 体可分为相交、叠接以及拉分3种(图4),相交为不 同角度断裂之间的连接模式,断裂相交区域小断裂 数量增多,断裂带宽度显著增加.典型的上构造层 中①号与②号次级断裂簇的连接部位.拉分是两条 平行断裂之间的连接方式,为走滑断裂发育初期的 典型构造样式,上构造层中①号与③号次级断裂簇 的连接处为典型的拉分段,拉分段内部可见明显 NEE向张性断裂,反映玉都走滑断裂带的左行走滑 作用.叠接段为同向断裂之间的接触性连接方式, 小断裂首尾连接处有明显重合接触段.不同的断裂 组合和连接方式说明不同部位所受应力和活动强 度都有显著不同,具有明显的分段差异性.

2.2 剖面特征

镇泾-彬长地区经过多期构造演化作用,导致 玉都走滑断裂带在剖面上构造样式多样,发育有正 花状、负花状、半花状、"Y"字型、"V"字型等多种断 裂组合样式(图5),断层角度在70°~90°之间.上构 造层中,纯走滑断层(图 5a)、压扭性断层(图 5b)和 张扭性断层(图 5c,5d)均有分布,断裂垂向延伸距 离较长,向上可断至新生界,向下大多终止于T。界 面,少量切穿中生界,断至古生界;下构造层在①号 和②号次级断裂簇交汇以西区段主要发育压扭性 断层(图 5a~5c),石炭系底界面(T_a)可见明显挤压 特征,断层垂向延伸距离较短;以东区段则主要发 育张扭性断层(图 5d), 剖面上多以负花状样式呈 现,地层下落明显,断裂带宽度增大,断层倾角减 小,为70°左右.总体而言,上构造层和下构造层断 裂在断层性质、断层角度、断裂带宽度、次级断裂数 量、断距等方面均有差异,具体体现为浅部纯走滑, 深部压扭(图5a)、浅部张扭,深部压扭(图5c)、浅部 窄、深部宽(图5d)等特征,说明上下两个构造层断 裂为不同构造时期产物,反映玉都走滑断裂带的多 期走滑作用.

此外通过统计玉都走滑断裂带垂向断距,也可 定性表征其剖面特征,由于玉都走滑断裂带宽度较 大,计算断距时以断裂北侧地层与断裂带内部拉张 或下落地层之间的最大断距为准.因此当垂向断距 小于0时,代表断裂北侧地层低于南侧,断距大于0

分类	类型	示意图	实例
断裂平面样式	单直线型		- عود المعاد
	多直线型		
	曲线型		
断裂连接方式	相交		AND LONG
	叠接		- Aller
	拉分		Ser John

图4 玉都走滑断裂带平面断裂样式及连接方式

Fig.4 Plane fault style and connection mode of Yudu strike-slip fault zone





时,代表玉都走滑断裂带北侧地层高于南侧地层. 基于统计结果显示(图6),T₃-T₉界面断裂断距较小,普遍在40 ms以下,平均为16.7 ms,寒武系底界 面(T₁₁)和基底面(Tg)在①号和②号次级断裂簇交 汇处以西区段断距也相对较小,以东区段断距则明 显加大,最大断距接近100 ms,平均为37.2 ms.不同 界面之间以及同一界面不同部位断距都存在差异 与相似性.T₃-T₆常界面断距具有明显的相似性特征 (图6a~6c),同一测线在不同界面的断距类似,但在 部分反射界面也存在差异,例如10号和11号测线 在T₃和T₆常和面表现为上盘高于下盘,而在T₅界面 表现为上盘低于下盘,反映断裂的走滑活动.

3 断裂构造活动特征

3.1 断裂分段差异活动特征

走滑断裂因不同部位所受应力、断裂方向、形

态均有所差异,造成造化断裂具有分段差异活动特征,根据玉都走滑断裂带平面和剖面特征,以T。常界面为例,按照断裂的活动性质将其分为张扭段、压扭段和纯走滑段共17段(图7).其中张扭段有9段,张扭段断层在平面上方向多为近东西向或北东东向(图7b第6-10、6-14、6-17段),在剖面上地层下落明显,断距较大,且断裂组合方式复杂多样,断裂带内部破碎严重(图8b,8c);压扭段有5段,平面上断裂多为NW向或曲线型(图7b第6-1、6-16段), 剖面上可见明显挤压特征(图8a,8d).纯走滑段有3段,主要分布在①号次级断裂簇,平面上多表现为单条或多条相互平行的直线(图7b第6-2、6-4段), 剖面上呈现为一条或多条几乎平行的垂直断层,断距不明显(图5a).

3.2 断裂活动期次

断裂在活动过程中会在平面和剖面上留下一 系列证据,这些证据对于恢复断裂走滑活动期次具



图6 玉都走滑断裂带元古界一中生界主要反射界面垂向断距(剖面位置见图2c)

Fig.6 Vertical separations of main interfaces between Proterozoic and Mesozoic of Yudu strike-slip fault zone(the profile locations shown in Fig.2c)

有重要价值,平面上主要表现为不同断裂之间的错 断关系、雁列状、马尾状等走滑断裂典型平面构造 样式(Kelly et al., 1998;Kim et al., 2004).剖面上由 于不同构造期断裂所受应力有所差异,在剖面上表 现为不同深度断裂活动性质有所差异.且断裂活动 对沉积也有一定的控制作用,强烈的构造活动会导 致断裂两侧地层厚度存在明显差异,形成同沉积断 层(Wang *et al.*, 2020;Wang *et al.*, 2022;王向东等, 2022).本文通过对6个层位断层两侧地层厚度进行 统计发现, T_5 - T_6 [°]地层以及 T_9 - T_1 地层在断层两侧



图8 中生界不同活动段玉都走滑断裂带典型剖面特征(剖面位置见图7a)

Fig.8 Typical profile characteristics of Yudu strike-slip fault zone in different active segments of Mesozoic strata(the profile locations shown in Fig.7a)



Fig.9 Stratigraphic thickness maps of different strata in the study area

厚度有明显差异(图9,图10),说明玉都走滑断裂带 在加里东期一海西期和燕山期有强烈构造活动发 生,在地震剖面上,断裂也大多终止于T_s界面附近, 且上构造层与下构造层断裂特征也有所差异,明显 为不同时期构造活动的产物.

综合前文所述,玉都走滑断裂带的特征和区域 动力学背景,认为玉都走滑断裂带至少经历了三期 构造走滑活动,第一期为加里东晚期一海西早期左 旋走滑活动,平面上可见NEE向断裂被玉都走滑断 裂带所错断(图11a,11d),剖面上断裂近直立或呈 现花状构造;第二期为海西期右旋走滑活动,平面 上玉都走滑断裂带北部可见大量 NNW 向雁列状断 裂(图11b,11e),剖面玉都走滑断裂带东部区段张 扭特征明显,而以西区段则主要发育压扭性断层, 推测玉都走滑断裂带在海西晚期发生了左旋走滑 活动,加里东期形成的压扭性断层在海西期发生张 扭性运动,断距增大明显.第三期为燕山期一喜山 期左旋走滑活动,平面上NEE向断裂大量形成,玉 都走滑断裂带南部地区发育张性马尾状构造(图 11c,11f),且T。界面不同活动段的活动特征也反映 其左旋走滑作用(图7),剖面上,断裂向上断穿白垩 系地层,花状构造和近直立断层异常发育.

4 断裂形成演化过程

研究区主要成盆期的构造演化是在前寒武纪 末古构造格局基础上发育而来,后经过多期构造运 动形成现今构造面貌.下面综合前人对研究区的构 造应力场分析和玉都走滑断裂带结构构造特征,对 玉都走滑断裂带形成演化过程作探讨分析.

4.1 加里东期一海西期

从整个盆地来看,早古生代对应于鄂尔多斯盆 地克拉通坳陷与边缘沉降阶段(赵振宇等,2012). 早一中寒武世,鄂尔多斯盆地继承了晚元古代后期 的应力特征,表现为区域伸展,在研究区形成了 NE、NW向两组共轭断裂(赵文智等,2003;徐兴雨 等,2019),并受加里东期、海西期、印支期、燕山期、 喜山期等多期次构造应力叠加作用而发生差异走 滑,致使古生界和中生界沉积盖层错断、变形形成 复杂断裂体系(张园园等,2021).玉都走滑断裂带受 NW向先存断裂影响,经历多期走滑活动.晚奥陶世 末期,由于鄂尔多斯盆地西南侧的秦祁洋盆向北俯



Fig.10 Thickness difference between two sides of Yudu strike-slip fault zone in typical profiles(the profile locations shown in Fig.2c)





冲,北侧的中亚一蒙古大洋板块向南俯冲,在南北 两侧的挤压应力作用下,华北克拉通板块开始抬 升,长期接受剥蚀(徐黎明等,2006),研究区地层缺 失志留系和泥盆系.在此挤压背景下,玉都走滑断 裂带发生左旋走滑作用,活动强度较大,断裂两侧 地层厚度有明显差异,NNE向断裂被错断,剖面上 古生界地层表现为明显的压扭性特征.

晚二叠世,北部兴蒙洋因西伯利亚板块与华北 板块对接而消亡,南部秦祁洋则再度向北俯冲而消 减,至晚三叠世闭合(余和中等,2006).秦祁洋盆地 俯冲导致鄂尔多斯盆地西南侧再度遭受挤压.从研 究区断裂分布来看,T。界面玉都走滑断裂带北部分 布大量NWW向雁列式断层,向上终止于T。界面以 下,向下在T¹¹界面仍有少量分布,说明NWW向雁 列式断层形成于海西晚期,且剖面上玉都走滑断裂 带在下构造层向上可断至T。界面附近,断裂东段以 张扭性断层为主,说明玉都走滑断裂带在海西期仍 有活动.综合以上信息认为玉都走滑断裂带在海西 晚期发生一期右旋走滑作用.

4.2 燕山期一喜山期

燕山期是研究区中生界断裂形成的主要时期. 燕山期盆地西南缘主要受特提斯构造动力体系作 用,前人对鄂尔多斯盆地西南部裂缝系统的研究表 明,白垩纪末期一古近纪,在SWW-NEE向挤压应 力作用下,形成了南北向和北东一南西向共轭剪切 裂缝(张林炎等,2006;曾联波等,2007).且区域构造 应力也表明鄂尔多斯盆地西南部燕山期主压应力 方向为NEE-SWW向(徐黎明等,2006;张义楷等, 2006),因此燕山末期在NNE-SSW向挤压应力作 用下,玉都走滑断裂带发生左旋走滑作用,在镇泾 地区西南部形成马尾状构造.同时在研究区形成大 量 NEE 向张扭性断裂呈带状分布(何发岐等, 2022).

喜山期主要经历两大构造事件,一是印度板块 与欧亚板块的碰撞以及碰撞期后的陆内俯冲(邸领 军等,2003;张义楷等,2006),其次是太平洋板块向 欧亚板块东部俯冲以及新特提斯构造域北东向挤 压(党犇,2003;徐黎明等,2006),鄂尔多斯盆地西 南部最大主应力方向为NE-SW向,对玉都走滑断 裂带影响较小,仅在部分区域可见断裂向上延伸至 地表.

总体而言,中生界断裂相比元古界一古生界断裂,活动强度较弱.剖面上,古生界断裂平均断距更

大.而在平面上,中生界断裂和元古界一古生界断 裂断裂带内部次级断裂密度以及断裂带宽度也有 显著差异,且都有明显的分段差异性活动特征,活 动性质和活动强度复杂多变,表明玉都走滑断裂带 在形成演化过程中具有强烈的非均质性特征.

5 走滑断裂控藏作用

走滑断裂在活动过程中会在断裂带一定范围 内形成大量裂缝,这些断裂裂缝对于油气的运移成 藏有至关重要的作用(Childs et al., 2009; Choi et al., 2016; Wang et al., 2018).一是断裂裂缝可以 沟通源储,成为油气二次运移的通道;其次致密砂 岩中大量发育的裂缝能够显著增加储层渗透率,形 成物性甜点区(Lü et al., 2017; Qin et al., 2022; Zeng et al., 2022).下面结合油气成藏期次和断裂 活动特征对玉都走滑断裂带控藏作用做具体分析.

5.1 油气成藏期次与时间

流体包裹体均一温度结合储层埋藏史和热演 化史的定量恢复,能够有效确定储层烃类流体运移 聚集的期次、时间等状况(Van den Kerkhof and Hein, 2001; Volk and George, 2019; Liu et al., 2020).因此本文选取了鄂尔多斯盆地南部的4口井 (JH81、JH72、JH63和JH35井),总计8块样品开展 了流体包裹体测试.结果显示延长组长8段的流体 包裹体类型主要包括油包裹体和盐水包裹体,主要 寄宿于石英颗粒内裂纹和穿石英颗粒裂纹,其次为 石英加大边、钙质胶结物和长石溶孔内,多呈带状 分布、线状分布、串珠状分布、零星分布或群体分 布,形态为椭圆状、次棱角状、长条状和不规则状. 油包裹体以气液两相为主,透射光下呈无色一浅褐 色,荧光下呈黄色和蓝色,表示至少发生过两期油 充注.盐水包裹体主要为气液两相,气液比小于 20%,透射光和荧光下皆呈无色透明,常与烃类包 裹体伴生,气液比主要为3%~8%,大小为1~ 15 µm(图 12).

JH81、JH72、JH63和JH35四口井的长8段盐水 包裹体均一温度分布范围分别为85~145℃、75~ 155℃、90~155℃、90~160℃;主要分布区间为 JH81井:110~120℃;JH72井:80~90℃、100~ 120℃、140~150℃;JH63井:100~120℃;JH35井: 100~120℃(图13).综合上述4口井的包裹体均一 温度分布范围可知,长8段砂岩储层中的包裹体均 一温度主峰为100~120℃,其次为80~90℃和





Fig.12 Fluid inclusion mirror images of Chang 8 member of Yanchang Formation, Triassic a.JH70, 1460.72 m,黄色荧光油包裹体;b.JH70, 1460.72 m,蓝色荧光油包裹体;c.JH72, 1687.89 m,石英加大边中盐水包裹体;d.JH70, 1687.89 m,钙质胶结物中盐水包裹体



Fig.13 Homogenization temperature distribution histograms of sandstone fluid inclusions in Chang 8 member of Yanchang Formation, Triassic



Fig.14 Coupling relationship between burial thermal evolution history and homogeneity temperature of fluid inclusions in Chang 8 member of wells JH81, JH72, JH63 and JH35

140~150 ℃,表明长8段砂岩可能发生过2~3期原 油充注.结合这4口井的埋藏史一热演化史,可以确 定油气的主成藏期为早白垩世中晚期(图14).

5.2 断裂对油气成藏的影响

受早白垩世区域热事件影响,研究区长7段烃 源岩迅速埋深,热演化程度加剧(任战利等,2017), 到早白垩纪末期,燕山运动使玉都走滑断裂带再次 活动沟通烃源岩和下伏长8段致密砂岩储层,因此 油气在早白垩世中晚期沿走滑断裂带及其伴生裂 缝运移至长8段形成致密砂岩油气藏,这与流体包 裹体数据得到的主成藏时期相符合.同时,断层活 动使致密储层形成大量裂缝,大幅改善了储层渗透 率,前人研究也表明研究区油气大多沿断裂带分 布,可沿着断裂带运移至构造高部位聚集成藏(张 园园等,2020;何发岐等,2022),从断裂性质上来 看,张扭性断裂导流性相对较好,对油气的富集更 有利,镇泾地区HH36井、HH12井区、HH37井区长 8段主力产层钻遇北东东向张扭性断裂的水平井原 油日产量分别为10.9 t/d、10.1 t/d、8.3 t/d,要明显 高于无断裂分布区钻井和北西向断裂(张园园等, 2020),玉都走滑断裂带虽然整体为北西西向到北 西向,但其内部并非全部为压扭性断层(图7),且玉

都走滑断裂带相比 NEE 向断裂, 内部破碎程度严重, 裂缝带宽度更大, 对储层的改造作用更加明显, 更有利于油气运移聚集. 因此在油气勘探时可重点 关注玉都走滑断裂带内部的张扭段.

6 结论

(1)根据玉都走滑断裂带平面和剖面特征,以 三叠系底界面(T₈)为界,可将研究区地层分为上下 两个构造层,两个构造层中,玉都走滑断裂带在平 面形态特征、断裂连接方式以及剖面断裂构造样 式、断距等方面均存在一定差异.

(2)玉都走滑断裂带在不同层位和同层位沿走 向不同部位均有较大差异,具有明显的分层分段差 异性.T₃-T₉界面断裂断距较小,普遍在40 ms以下, 平均为16.7 ms,寒武系底界面(T₁₁)和基底面(Tg) 断距则明显加大,最大断距接近100 ms,平均为 37.21 ms.以T₆°界面为例,按断裂活动性质可划分 出9个张扭段,5个压扭段,3个纯走滑段.

(3)玉都走滑断裂带至少发生3次走滑活动,加 里东晚期一海西早期发生第一期左旋走滑活动,活 动强度较大;海西晚期发生第二期右旋走滑活动;

2307

燕山期一喜山期是中生界断裂形成的主要时期,玉 都走滑断裂带在NNE向挤压应力作用下发生左旋 走滑活动.

(4) 玉都走滑断裂带对沟通源储,提高储层渗 透率有重要作用,其中断裂带内部张扭段更有利于 油气运移成藏.通过流体包裹体均一温度结合热演 化史一埋藏史确定延长组长8段油气成藏主时期为 早白垩世中晚期,与玉都走滑断裂带燕山期的走滑 活动相吻合.

References

- Childs, C., Manzocchi, T., Walsh, J., et al., 2009. A Geometric Model of Fault Zone and Fault Rock Thickness Variations. Journal of Structural Geology, 31(2): 117-127. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2008.08.009
- Choi, J. H., Edwards, P., Ko, K., et al., 2016. Definition and Classification of Fault Damage Zones: A Review and a New Methodological Approach. *Earth-Science Reviews*, 152(1): 70-87. https://doi. org/10.1016/j. earscirev.2015.11.006
- Deng, S., Li, H.L., Zhang, Z.P., et al., 2019. Structural Characterization of Intracratonic Strike-Slip Faults in the Central Tarim Basin. AAPG Bulletin, 103(1): 109-137. https://doi.org/10.1306/06071817354
- Dang, B., 2003. The Tectonic and Sedimentary Evolution and Its Relationship to Gas Accumulation of Lower Paleozoic in Ordos Basin (Dissertation). Northwest University, Xi'an(in Chinese with English abstract)
- Di, L.J., Zhang, D.Y., Wang, H.K., 2003. Primary Discussion on Himalayan Tectonic Movement and Petroleum Reservoir in Ordos Basin. Acta Petrolei Sinica, 24(2):34 - 37 (in Chinese with English abstract)
- Ding, X.Q., Zhang, S.N., Xie, S.W., et al., 2011. Hydrocarbon Accumulation System of the Mesozoic in Zhenjing Oilfield, the Ordos Basin. Oil & Gas Geology, 32(2):157-164(in Chinese with English abstract)
- 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).
- Kelly, P.G., Sanderson, D.J., Peacock, D.C.P., 1998.Linkage and Evolution of Conjugate Strike-Slip Fault Zones in Limestones of Somerset and Northumbria. *Journal of Structural Geology*, 20(11):1477-1493.https://doi.org/ 10.1016/S0191-8141(98)00048-0
- Kim, Y.S., Peacock, D.C.P., Sanderson, D.J., 2004. Fault

Damage Zones. Journal of Structural Geology, 26(3): 503-517.https://doi.org/10.1016/j.jsg.2003.08.002

- Liu, K., Wang, R., Shi, W.Z., et al., 2020. Tectonic Controls on Permian Tight Gas Accumulation: Constrains from Fluid Inclusion and Paleo-Structure Reconstruction in the Hangjinqi Area, Northern Ordos Basin, China. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 83(11): 103616.https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103616
- Lü, W.Y., Zeng, L.B., Zhang, B.J., et al., 2017. Influence of Natural Fractures on Gas Accumulation in the Upper Triassic Tight Gas Sandstones in the Northwestern Sichuan Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 83: 60-72. https://doi.org/10.1016/j. marpetgeo.2017.03.004
- Pan, J., Liu, Z.Q., Pu, R.H., et al., 2017. Fault Characteristics and Oil-Controlling Effects in Zhenyuan-Jingchuan District, Southwestern Ordos Basin. Oil Geophysical Prospecting, 52(2): 360-370(in Chinese with English abstract).
- Qin, S., Wang, R., Shi, W.Z., et al., 2022. Diverse Effects of Intragranular Fractures on Reservoir Properties, Diagenesis, and Gas Migration: Insight from Permian Tight Sandstone in the Hangjinqi Area, North Ordos Basin. Marine and Petroleum Geology, 137: 105526. https:// doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105526
- Ren, Z.L., Yu, Q., Cui, J.P., et al., 2017. Thermal History and Its Controls on Oil and Gas of the Ordos Basin. *Earth Science Frontiers*, 24(3):137-148(in Chinese with English abstract).
- Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F., 2001. Fluid Inclusion Petrography. *Lithos*, 55(1-4): 27-47. https://doi. org/ 10.1016/s0024-4937(00)00037-2
- Volk, H., George, S.C., 2019. Using Petroleum Inclusions to Trace Petroleum Systems: A Review. Organic Geochemistry, 129: 99–123. https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.01.012
- Wang, M., 2019. Mesozoic Fracture Development Characteristics of Zhenyuan-Jingchuan Area, Ordos Basin. Fault-Block Oil & Gas Field, 26(2):142-146(in Chinese with English abstract).
- Wang, R., Liu, K., Shi, W.Z., et al., 2022.Reservoir Densification, Pressure Evolution, and Natural Gas Accumulation in the Upper Paleozoic Tight Sandstones in the North Ordos Basin, China. *Energies*, 15(6): 1990. https://doi. org/10.3390/en15061990
- Wang, R., Shi, W.Z., Xie, X.Y., et al., 2018. Boundary Fault Linkage and Its Effect on Upper Jurassic to Lower Cretaceous Sedimentation in the Gudian Half-Graben,

Songliao Basin, Northeastern China. Marine and Petroleum Geology, 98: 33-49. https://doi.org/10.1016/j. marpetgeo.2018.08.007

- Wang, R., Shi, W. Z., Xie, X. Y., et al., 2020. Coupling of Strike-Slip Faulting and Lacustrine Basin Evolution: Sequence Stratigraphy, Structure, and Sedimentation in the North Yellow Sea Basin (West Bay Basin Offshore North Korea), Eastern China. Marine and Petroleum Geology, 120: 104548. https://doi.org/10.1016/j. marpetgeo.2020.104548
- Wang, X.D., Wang, R., Shi, W.Z., et al., 2022. Tectonic Characteristics and Evolution of Typical Rift Basins in Eastern China: A Case Study in the Gudian Area, Songliao Basin.*Bulletin of Geological Science and Technology*, 41 (3):85-95(in Chinese with English abstract)
- Wang, Z., Tang, D.Q., Kang, Z.J., et al., 2022. Development Characteristics and Its Role in Controlling Oil and Gas Accumulation of the Mid-North Part of Shunbei No. 5 Strike-Slip Fault Zone in Tarim Basin. Earth Science(in press)(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., Chen, M., 2019. Characteristics of Faults and Their Significance in Hydrocarbon Accumulation in Ordos Basin. *Journal of China University of Mining & Technology*, 48(4):830-841(in Chinese with English abstract)
- Yang, H., Zhang, J., Wang, F.Y., et al., 2000. Characteristics of Paleozoic Gas System in E' erduosi Basin. *Natural Gas Industry*, 20(6): 7-11(in Chinese with English abstract)
- Yu, H.Z., Han, S.H., Xie, J.L., et al., 2006. Types of Original Sedimentary Basins and Tectonic Evolution on Southeastern Margin of North China Plate. *Oil & Gas Geolo*gy, 27(2):244-252(in Chinese with English abstract)
- Zeng, L.B., Gong, L., Guan, C., et al., 2022. Natural Fractures and Their Contribution to Tight Gas Conglomerate Reservoirs: A Case Study in the Northwestern Sichuan Basin, China. Journal of Petroleum Science and Engineering, 210: 110028. https://doi. org/10.1016/j. petrol.2021.110028
- Zeng, L. B., Li, Z. X., Shi, C. E., et al., 2007. Characteristics and Origin of Fractures in the Extra Low-Permeability Sandstone Reservoirs of the Upper Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 81 (2):174-180(in Chinese with English abstract)

- Zhang, L.Y., Fan, K., Liu, J.D., et al., 2006. Quantitative Prediction of Distribution of Tectonic Fractures in the Yanchang Formation in the Zhenyuan–Jingchuan Area, Ordos Basin. *Journal of Geomechanics*, 12(4): 476–484 (in Chinese with English abstract)
- Zhang, Y.K., Zhou, L.F., Dang, B., et al., 2006. Relationship between the Mesozoic and Cenozoic Tectonic Stress Fields and the Hydrocarbon Accumulation in the Ordos Basin.*Petroleum Geology & Experiment*, 28(3):215-219 (in Chinese with English abstract)
- Zhang, Y.Y., Ren, Z.L., He, F.Q., et al., 2020.Meso-Cenozoic Structural Characteristics and Their Reservoir Controls of Structural Transition Area in China Craton: A Case Study of Yanchang Formation in Zhenjing Area of Southwestern Ordos Basin. Acta Petrologica Sinica, 36 (11):3537-3549(in Chinese with English abstract)
- Zhang, Y.Y., Ren, Z.L., Yang, G.L., et al., 2021. Characteristics and Petroleum Geological Significances of Mesozoic Faults in the Southern Section of Tianhuan Depression. *Journal of China University of Mining & Technology*, 50 (2):318-328(in Chinese with English abstract)
- Zhao, W.Z., Hu, S.Y., Wang, Z.C., et al., 2003. Key Role of Basement Fault Control on Oil Accumulation of Yanchang Formation, Uppe Triassic, Ordos Basin. Petroleum Exploration and Development, 30(5): 1-5(in Chinese with English abstract)
- Zhao, Z.Y., Guo, Y.R., Wang, Y., et al., 2012. Study Progress in Tectonic Evolution and Paleogeography of Ordos Basin. Special Oil & Gas Reservoirs, 19(5): 15-20, 151(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).

附中文参考文献

- 党犇,2003.鄂尔多斯盆地构造沉积演化与下古生界天然气 聚集关系研究(博士学位论文).西安:西北大学.
- 邸领军,张东阳,王宏科,2003.鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气成藏.石油学报,24(2):34-37.
- 丁晓琪,张哨楠,谢世文,等,2011.鄂尔多斯盆地镇泾地区中 生界成藏系统.石油与天然气地质,32(2):157-164.
- 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).
- 潘杰,刘忠群,蒲仁海,等,2017.鄂尔多斯盆地镇原一泾川地 区断层特征及控油意义.石油地球物理勘探,52(2):

360 - 370.

- 任战利,于强,崔军平,等,2017.鄂尔多斯盆地热演化史及其 对油气的控制作用.地学前缘,24(3):137-148.
- 王猛,2019.鄂尔多斯盆地镇原-泾川地区中生界断裂发育 特征.断块油气田,26(2):142-146.
- 王向东,王任,石万忠,等,2022.中国东部典型裂谷盆地构造 活动特征及演化:以松辽盆地孤店断陷为例.地质科技 通报,41(3):85-95.
- 王珍,唐大卿,康志江,等,2022.塔里木盆地顺北5号走滑断 裂带中北段发育特征及控藏作用.地球科学(待刊).
- 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,陈谋,2019.鄂尔多斯盆地断裂特征及其石 油地质意义.中国矿业大学学报,48(4):830-841.
- 杨华,张军,王飞雁,等,2000.鄂尔多斯盆地古生界含气系统 特征.天然气工业,20(6):7-11.
- 余和中,韩守华,谢锦龙,等,2006.华北板块东南缘原型沉积 盆地类型与构造演化.石油与天然气地质,27(2): 244-252.
- 曾联波,李忠兴,史成恩,等,2007.鄂尔多斯盆地上三叠统延 长组特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因.地质学报,81

(2):174 - 180.

- 张林炎,范昆,刘进东,等,2006.鄂尔多斯盆地镇原一泾川地 区三叠系延长组构造裂缝分布定量预测.地质力学学 报,12(4):476-484.
- 张义楷,周立发,党犇,等,2006.鄂尔多斯盆地中新生代构造 应力场与油气聚集.石油实验地质,28(3):215-219.
- 张园园,任战利,何发岐,等,2020.克拉通盆地构造转折区 中-新生界构造特征及其控藏意义:以鄂尔多斯盆地西 南部镇泾地区延长组为例.岩石学报,36(11):3537-3549.
- 张园园,任战利,杨桂林,等,2021.天环坳陷南段中生界断裂 特征及其石油地质意义.中国矿业大学学报,50(2): 318-328.
- 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中的控制作用.石油勘探与 开发,30(5):1-5.
- 赵振宇,郭彦如,王艳,等,2012.鄂尔多斯盆地构造演化及古 地理特征研究进展.特种油气藏,19(5):15-20,151.
- 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.