

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2025.308>



准西地区断裂发育特征及其油气地质意义

郭润华^{1,2}, 王金铎¹, 乔玉雷¹, 张曰静¹, 王千军¹, 任新成¹,
王有涛¹, 赵海华¹, 陈 林¹

1. 中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东东营 257015
2. 中国石化胜利石油管理局博士后科研工作站, 山东东营 257000

摘 要: 准噶尔盆地西部地区(准西地区)经历多旋回构造演化,其内部复杂断裂的形成时代、复活机制及控藏作用不明,制约油气勘探部署.通过覆盖区地震资料和盆缘露头构造解析,开展断裂发育特征、形成机制及油气地质意义研究.该区发育四期构造变形,受控于不同动力学背景:海西期受多板块多向碰撞挤压,形成N-S向脆韧性、NW向韧脆性及NE向脆性逆冲推覆断裂;印支期受准噶尔地块旋转与E-W向挤压,发育盆缘右旋压扭断裂及近E-W向共轭剪破裂体系;燕山期,受班公湖-怒江洋NNE向俯冲影响,达尔布特断裂带左行走滑剪切,派生NW向与E-W向缝网状次级走滑断裂;喜山期,受北天山快速隆升影响,准西地区掀斜拉张,形成放射状、阶梯状正断裂.油气地质意义上,海西期逆冲断裂构成油气封堵边界,形成断背斜、断块圈闭;印支期“断-断”输导体系输导油气,形成石炭系风化壳和内幕2类古油藏,发育复合圈闭;燕山期缝网状断裂主导油气向西超远距离输导,并推动部分油气向侏罗-白垩系聚集;喜山期正断裂沟通深层油气向新近系调整,形成构造-地层圈闭.不同期次断裂通过储层改造、纵横输导、古藏上调,控制多套含油层系纵向有序叠置,构成立体勘探格架,为准西地区油气勘探提供理论支撑.

关键词: 准西地区;构造演化;走滑断裂;断裂控藏;成藏模式;石油地质学.

中图分类号: P618.31

文章编号: 1000-2383(2026)01-303-14

收稿日期: 2025-08-08

Fault Development Characteristics in the Western Junggar Basin and Implications for Petroleum Geology

Guo Runhua^{1,2}, Wang Jinduo¹, Qiao Yulei¹, Zhang Yuejing¹, Wang Qianjun¹, Ren Xincheng¹,
Wang Youtao¹, Zhao Haihua¹, Chen Lin¹

1. *Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, China*

2. *Postdoctoral Research Workstation, Shengli Petroleum Administration Bureau, SINOPEC, Dongying 257000, China*

Abstract: The western Junggar Basin (WJB) has undergone multi-stage tectonic evolution. However, there are still uncertainties regarding the deformation timing, reactivation dynamics, and reservoir-controlling effect of complex faults within the WJB, which restricts oil and gas evaluation and exploration efforts. In this paper, it clarified the development characteristics and reservoir-controlling mechanisms of faults at different stages through integrated structural analysis of intra-basin seismic data and basin-margin field outcrops. The research shows that the WJB has mainly undergone four stages of deformation, each controlled

基金项目: 胜利石油管理局博士后科研课题(No.YKB2417);山东博士后科学基金项目(No.SDCX-ZG-202400164);中国石化科技攻关项目(No.P24114).

作者简介: 郭润华(1993—),男,助理研究员,博士,主要从事油气地质综合研究. ORCID: 0000-0001-7332-9753. E-mail: guorunhua912@163.com

引用格式: 郭润华,王金铎,乔玉雷,张曰静,王千军,任新成,王有涛,赵海华,陈林,2026.准西地区断裂发育特征及其油气地质意义.地球科学,51(1):303-316.

Citation: Guo Runhua, Wang Jinduo, Qiao Yulei, Zhang Yuejing, Wang Qianjun, Ren Xincheng, Wang Youtao, Zhao Haihua, Chen Lin, 2026. Fault Development Characteristics in the Western Junggar Basin and Implications for Petroleum Geology. *Earth Science*, 51(1):303-316.

by differential dynamic settings. During the Hercynian, multi-directional plate collisions and compressions generated multi-episode thrust-nappe faults, including N-striking brittle-ductile, NW-striking ductile-brittle, and NE-striking brittle faults. During the Indosinian, thrust-transpressional faults developed in the WJB, driven by the counterclockwise rotation of the Junggar Block and EW-directed compression, with basin-margin dextral transpressional faults and near EW-striking conjugate shear faults formed. During the Yanshanian, the NNE-directed subduction of the Bangong-Nujiang Ocean and the subsequent Lhasa Block collision drove left-lateral strike-slip shearing of the Darbut Fault Zone, and its Riedel shears derived NW-striking and E-striking dextral secondary strike-slip faults. During the Himalayan, the rapid uplift of the North Tianshan Mountains, driven by the India-Eurasia continental collision, triggered the rapid southward tilting of the WJB, generating extensional normal faults within the WJB. In terms of hydrocarbon geological significance, Hercynian thrust-nappe faults were later intensely filled with hydrothermal fluids, forming boundaries that seal oil and gas in deep formations, and basic traps such as faulted anticlines and fault blocks developed concurrently. The Indosinian “fault-fault” migration system transported oil and gas from source rock areas to the Carboniferous, forming two types of paleo-oil reservoirs in the Carboniferous, namely weathered crust reservoirs and interior reservoirs, and developing composite traps concurrently. Yanshanian reticular faults dominated ultra-long-distance westward oil and gas migration, and differential strike-slip movement promoted the migration and accumulation of some oil and gas into the overlying Jurassic-Cretaceous strata. Himalayan normal faults channeled deep oil and gas upward to adjust and accumulate in the Neogene, with the concurrent formation of structural-stratigraphic traps. Multi-stage faults regulated differential hydrocarbon accumulation through reservoir modification, vertical-horizontal migration, and paleo-reservoir adjustment. The vertically ordered superimposition of multiple oil-bearing intervals forms a stereoscopic exploration framework, providing theoretical support for hydrocarbon exploration breakthroughs in the WJB.

Key words: western Junggar Basin; tectonic evolution; strike-slip fault; fault-controlled hydrocarbon accumulation; hydrocarbon accumulation model; petroleum geology.

准噶尔盆地是夹持于西伯利亚板块、哈萨克斯坦地块和塔里木—华北地块之间的复合陆内含油气盆地,其形成演化受控于多板块相互作用的复杂动力学背景(Tang *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2023).自晚古生代以来,该盆地经历了多旋回俯冲、多岛弧增生与多期碰撞的汇聚变形过程,造就了不同期次、不同性质的复杂断裂体系(任新成等,2023).这些断裂不仅记录了区域构造演化的关键信息,更为油气运移与聚集提供了重要载体(尹继元等,2011).

准西地区作为准噶尔盆地的成熟勘探老区,自20世纪以来已陆续发现克拉玛依、红山嘴、春风、春光等一系列大型油田,勘探实践证实其具备良好的油气资源潜力(陈林,2018;徐佑德,2018).然而,受区域复杂构造演化影响,区内多期断裂的性质与形成时代始终存在争议:董大伟等(2015)认为,深层逆冲断裂形成于海西早期—燕山期,浅层正断裂发育于喜山期;陈石等(2016)提出准西北缘经历了晚石炭世、晚二叠世—中晚三叠世、新生代三期走滑运动;何登发等(2018)指出挤压变形主要集中在中二叠世—早三叠世;商丰凯(2020)将深层逆冲走滑断裂体系的形成时代限定为晚二叠世;王建伟等(2022)认为二叠纪已形成里德尔走滑剪切体系,并在三叠纪、侏罗纪经历两阶段活化;陈鹏等(2025)则提出区域逆冲断裂形成于石炭纪—早二叠世.这

些争议制约了对断裂控藏机制的深入认识.

当前,准西地区油气勘探正逐步向复杂山前带及深层推进,尤其在石炭系火山岩断缝体油藏的勘探中,断裂的发育特征已成为制约油藏精细刻画与勘探突破的关键科学问题.断裂既是沟通烃源岩与储层的关键运移通道,又直接控制油气藏的分布范围与富集规模,是油气运聚系统的核心要素(Aydin, 2000; Wang *et al.*, 2020).因此,厘清准西地区断裂体系的形成演化规律,对解决现有学术争议、指导油气勘探实践具有重要理论与实际意义.

本文依托覆盖区三维地震资料解释,结合露头区野外地质调查,开展盆缘—盆内断裂构造精细解析,辅以岩石学与年代学分析,系统厘清多期断裂体系的形成过程与复合作用机制,揭示准西地区从增生造山到陆内变形的构造演化规律,以期为深化该区油气成藏认识、落实有利勘探区带提供理论支撑.

1 区域地质背景

准西地区主体为车排子凸起,地形整体呈西北高、东南低的特征,平面形态受“两山一盆”地貌单元围限,其西北部以扎伊尔山系为界,与哈萨克斯坦地块相邻;南部以北天山造山带为界,与塔里木地块相接;东部则以红车断裂为界,与沙湾凹陷相

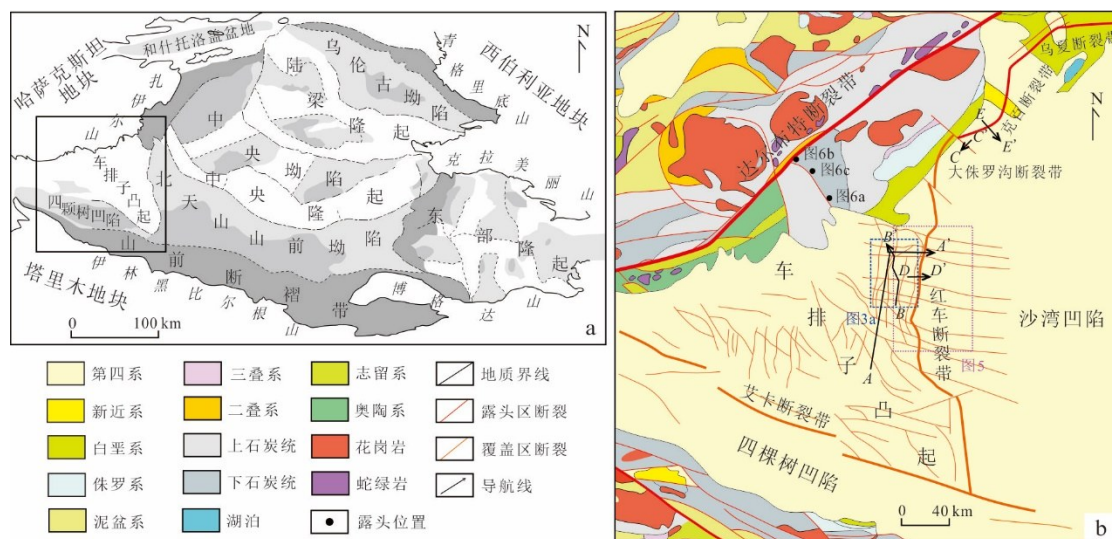


图1 准噶尔盆地构造单元划分(a)及准西地区构造地质简图(b)

Fig.1 Tectonic unit division of the Junggar Basin (a) and tectonic sketch map of the western Junggar Basin (b)

连,呈倒三角形展布(图1)(王千军等,2025)。

西北部扎伊尔山因受强烈挤压发生隆起剥蚀,主要出露石炭系地层,周缘残留奥陶系、志留系、泥盆系和中-新生界地层(李理等,2015);东南部车排子凸起基底为石炭系,是准西地区油气勘探拓展的主要目的层之一,主要发育火山岩,具有“两套火山岩夹一套火山沉积岩”的地层特征,以厚皮构造变形为特征,发育逆冲、压扭断裂,伴生强烈褶皱作用(Ji *et al.*, 2010);中-新生界地层向西逐层超覆,依次发育侏罗系、白垩系、古近系和新近系地层,缺失二叠-三叠系地层(王林等,2020),以薄皮构造变形为主,发育伸展、走滑断裂,这些断裂与深层石炭系断裂匹配性较好,以继承性断裂为主,未见明显的纵弯褶皱变形(董大伟等,2015)。

准西地区主要发育N-S向、NW向、NE向和E-W向四组断裂体系。达尔布特断裂带作为准噶尔盆地的西界断裂,控制了准西地区的地质构造格局,为该区一级断裂(樊春等,2014);车排子凸起东部的红车断裂带和南部的艾卡断裂带,作为车排子凸起的边界断裂,为该区二级断裂,分别与沙湾凹陷和四棵树凹陷相接(曾治平和刘显凤,2020);三级及以下断裂主要发育于达尔布特、红车、艾卡三大断裂带围限区内,其中三级断裂以N-S向、NW向和E-W向最为发育,NE向断裂因构造应力多被达尔布特断裂带吸收,多表现为四级至五级断裂(商丰凯,2020)。

2 准西地区断裂发育特征

2.1 地震资料构造解析

地震资料断裂解释结果表明,车排子凸起主体区深-浅部不同层系的断裂发育特征存在显著差异,呈现明显的分层性(图2)。深层石炭系内部不同方向断裂均发育,以叠瓦状逆冲断裂为主,地震剖面上表现为同相轴明显错断或存在明显的断面波,具有切割深、倾角陡的特点,属于厚皮基底构造变形。石炭系N-S向、NW向和NE向逆冲断裂均明显错断了石炭系顶面,并控制了侏罗系地层沉积厚度差异。车排子凸起前端在多组逆冲断裂共同作用下发生强烈冲断,导致地层整体抬升并遭受强烈剥蚀,造成二叠系、三叠系地层缺失。中生界地层主要发育一系列“V”型断裂,多为沿NW向或E-W向断裂的先存薄弱面向上部浅层派生的花状构造,而NE向和N-S向断裂向上部浅层不发育“V”型花状断裂。中生界“V”型断裂产状陡立,其倾角普遍比石炭系NW向断裂大 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$,与E-W向断裂倾角相近,总体以负花状构造为主,局部可见正花状构造。新生界地层主要发育一系列张性正断裂,部分正断裂向下延伸至中生界地层。在凸起高部位,正断裂发育更为密集,呈放射状向上撒开;向两侧延伸则断裂数量逐渐减少,仅局部发育花状构造(图2)。

从侏罗系沉积相平面分布来看,古地形沟谷区呈显著的E-W向、NW向展布特征,与沿E-W向、NW向断裂发育的“V”型花状断裂发育位置高度对应,表明该两组走滑断裂活动可能控制了侏罗系古

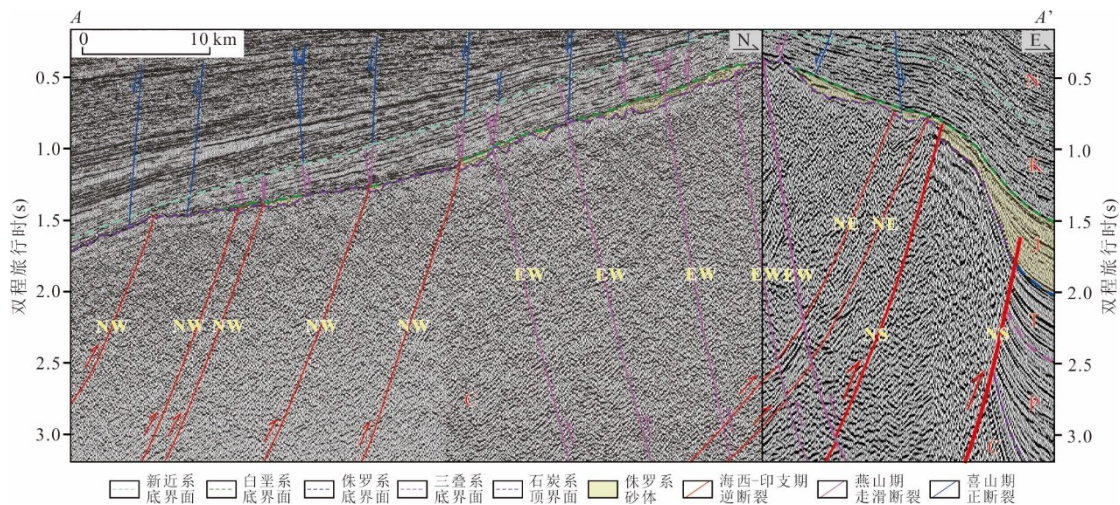


图2 准西地区断裂体系地震剖面图(剖面位置见图1)
Fig.2 Seismic profile of the fault system in the western Junggar Basin

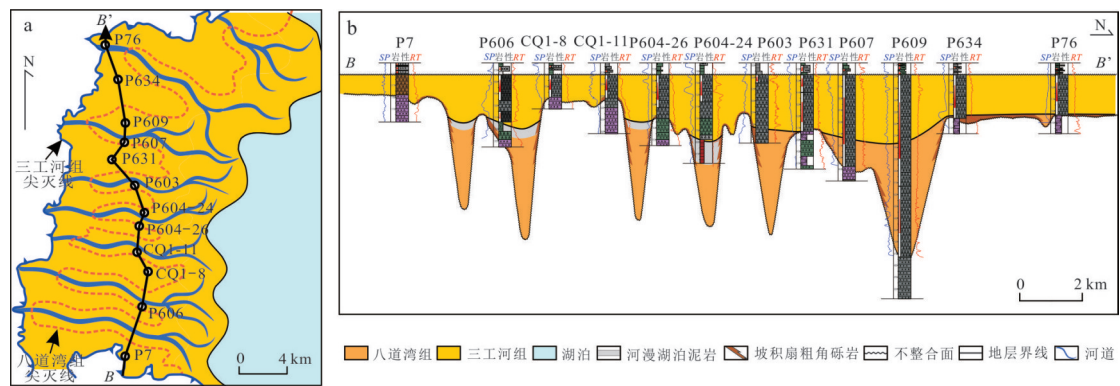


图3 准西车排子凸起侏罗系平面分布(a)与剖面连井储层发育特征图(b)(位置见图1)
Fig.3 Jurassic distribution (a) and connecting-well section of reservoir development characteristics in the Chepaizi Uplift, western Junggar Basin (b)

地貌格局(图3a).通过地层剖面连井对比发现,研究区侏罗系主要残留下侏罗统八道湾组和三工河组,整套地层界面平整、岩性序列连续,未出现逆冲断裂活动常见的地层重复、厚度突变等现象,表明侏罗系未受逆冲断裂改造.八道湾组沉积受断裂活动控制显著,储层仅发育在沟谷区,以河流相及扇三角洲平原相辫状水道为主,储层展布与E-W向、NW向走滑断裂走向高度吻合,其沉积空间分布受该时期走滑断裂初始活动的直接控制;上覆三工河组地层在研究区连片分布,但在沟谷区表现出明显的沉降响应,沉降中心与E-W向、NW向走滑断裂展布范围一致,且沟谷区地层厚度较非沟谷区更大,表明其沉积过程仍受走滑断裂活动控制(图3b).综上,逆冲断裂未对侏罗系产生改造,主要形成于海西-印支期,走滑断裂对侏罗系表现为多阶段、连续性强控制作用,主要活动期为燕山期.

车排子凸起周缘盆-山过渡带盆侧沉积地层相对完整.从不同走向断裂横切剖面上看,NW向大侏罗沟断裂带切穿多套地层,在石炭系-下二叠统地层中主要表现为逆冲推覆断裂,中二叠统地层中转变为高陡逆冲,上二叠统-三叠系地层中表现为压扭构造,发育正花状构造,侏罗系-白垩系地层中则主要发育负花状构造(图4a)(付永红等,2025);N-S向红车断裂带和NE向克百断裂带均未切穿三叠系地层,且断裂倾角由缓变陡,表明N-S向和NE向断裂在三叠纪由逆冲推覆断裂转变为高陡压扭断裂,且在燕山-喜山期未发生明显活化作用(图4b、4c).大侏罗沟、红车、克百断裂带在三叠纪这一构造转换阶段均发生了右旋压扭运动,这与该时期区域应力场的调整密切相关(陈石等,2016).

选取不同切片内断裂两侧连续性好、可追踪的地震反射同相轴,通过Landmark软件内置测距工

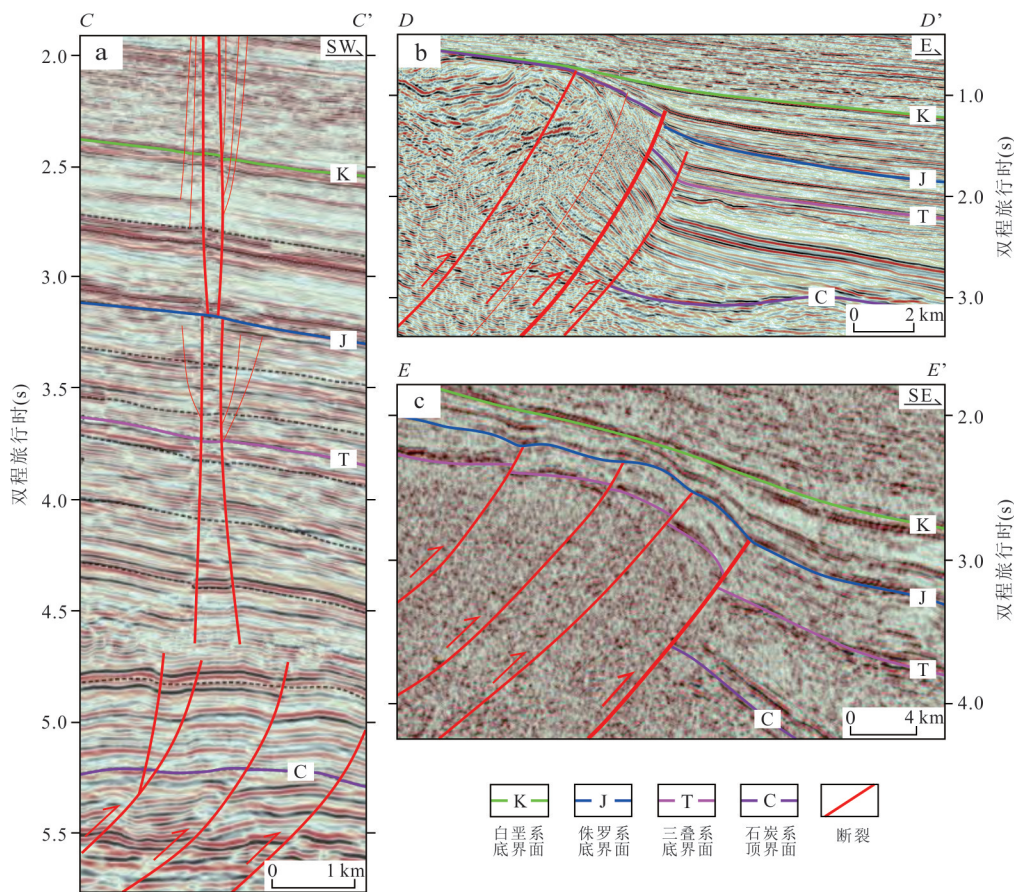


图4 准西北缘不同走向断裂-地层耦合剖面图(剖面位置见图1)

Fig.4 Fault-stratigraphy coupling profiles of multi-strike faults in the northwestern Junggar Basin margin

a. 大侏罗沟断裂带发育特征(据付永红等,2025修改); b. 红车断裂带发育特征; c. 克百断裂带发育特征(据梁媛媛,2020修改)

具,统计并计算地震反射同相轴间的水平错动距离,为走滑断裂走滑位移量提供了定量依据。3 500 ms相干-时间切片(对应石炭系)显示,火山岩发育区断裂以垂向位移为主,横向走滑位移不明显,红车断裂带可见N-S向不连续断面(图5a、5b);3 000 ms相干-时间切片(对应二叠系)可识别出由NWW向左行走滑断裂和近E-W向右行走滑断裂组成的共轭剪切断裂,两组断裂锐夹角较小且近平行,走滑活动较弱,最大位移量仅为256 m;N-S向红车断裂带连续性变好,且被共轭剪切断裂截切(图5c、5d);2 100 ms相干-时间切片中(对应三叠系)持续发育上述NWW向和近E-W向共轭剪切断裂,但两组断裂锐夹角较3 000 ms切片明显增大,其平分线指示了主挤压应力(σ_1)方向为近E-W向,走滑活动增强,最大走滑位移量增至552 m;该组切片中红车断裂带清晰且连续性好,可见多组与红车断裂带近平行的N-S向断裂,局部同相轴错动关系揭示了右旋压扭走滑运动,被共轭剪切断裂截切(图5e、5f);

1 800 ms相干-时间切片(对应侏罗系)主要发育NW向和E-W向两组走滑断裂,断裂均自石炭系向东延伸且延伸较远,其中NW向断裂以右旋剪切为主,最大走滑位移量为454 m,部分NW向走滑断裂向东延伸过程中发生弯曲或形成马尾状构造,转为近E-W向走滑断裂;E-W向断裂则呈区域性南北差异剪切,北部以右旋剪切为主,最大走滑位移量为456 m,南部以左旋剪切为主,最大走滑位移量为742 m;该组切片中N-S向断裂数量明显减少,连续性变差(图5g、5h);1 250 ms相干-时间切片(对应白垩系)的断裂构造格架与1 800 ms时间切片相似,区域NW向及北部E-W向走滑断裂最大走滑位移量分别为492 m、508 m,与1 800 ms时间切片相近或略增,但南部E-W向断裂走滑活动显著增强,发生快速剪切并突破先存马尾构造,向西反向延伸,最大位移量达1 220 m;N-S向断裂仅北段可见雁列式张裂缝,指示了N-S向局部右行剪切(图5i、5j);在850 ms相干-时间切片(对应新近系)中,走

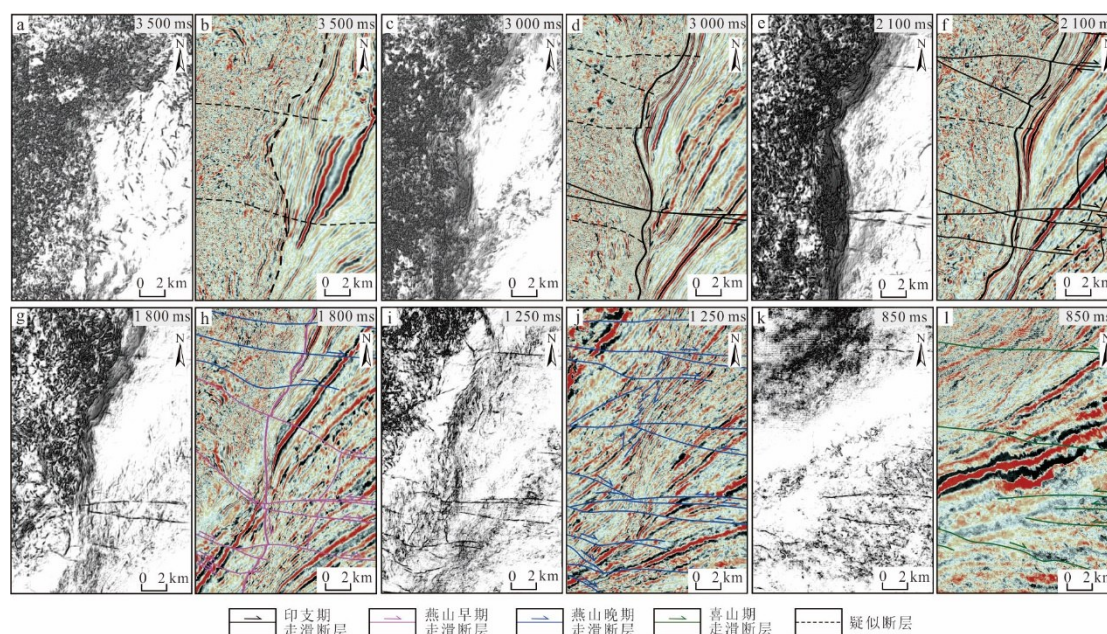


图 5 准西盆-山过渡区地震相干-时间切片与断裂分期活动特征(平面位置见图 1)

Fig.5 Seismic coherence-time slices and staged activity characteristics of faults in the basin-mountain transition zone of the western Junggar

滑断裂数量较白垩系明显减少,活动强度显著减弱,最大走滑位移量降至 277 m(图 5k、5l)。

地震资料平面与剖面断裂特征联合分析表明,海西期研究区以逆冲推覆断裂为主要发育类型,揭示出该时期多俯冲-多碰撞的挤压构造背景;印支期受持续挤压作用影响,先存 N-S 向等逆断裂倾角由缓变陡,断裂性质由逆冲转变为冲断-压扭,新生 NWW 向和近 E-W 向共轭剪切体系,截切印支早期压扭断裂,主挤压应力(σ_1)方向为近 E-W 向。海西-印支期,在多组断裂的联合逆冲-冲断作用下,准西地区发生强烈持续抬升并遭受剥蚀。燕山期是研究区走滑运动最发育的阶段,其中 E-W 向、NW 向走滑断裂最为活跃。根据断裂组合、走滑方向及位移量特征判断,燕山早期, NW 向断裂发生右行走滑,局部断裂沿先存共轭断裂薄弱面发育马尾状构造,整体由西部石炭系向东生长延伸;燕山晚期, E-W 向断裂活动强烈,其走滑运动学特征呈现显著的南北差异,区域北部 E-W 向走滑断裂表现为右旋剪切,走滑位移量与燕山早期断裂相当,区域东南部走滑断裂运动学方向发生反转,变为左旋剪切,且活动强度较北部显著增强,生长方向变为由东向西; N-S 向断裂大都止于三叠系,仅局部断裂在燕山期发生复活。喜山期研究区主要为薄皮构造变形,表现为浅层发育一系列张性正断裂,并未影响到深层断裂,同时发育少量继承性走滑断裂。

值得注意的是,与研究区其他走向断裂演化过程不同, E-W 向断裂在形成初期可能即具备走滑性质,而非由逆冲断裂转变而来,主要依据如下:一是中生界地层中发育的“V”型花状断裂与石炭系 E-W 向断裂在空间上连续延伸且倾角基本一致,若为早期逆冲断裂活化形成的继承性断裂,受多期应力改造,其主断面向上延伸时必然出现断裂间断或倾角突变,而地震显示未出现上述现象,因此该组断裂应当为燕山期新生性走滑断裂;二是石炭系 E-W 向断裂的倾角较其他三组断裂更陡立,若该组断裂由逆冲断裂演化而来,则研究区在海西-印支期必然经历强烈的 N-S 向挤压,才能使该组断裂倾角由缓变陡。但对石炭系地层解释显示,石炭系仅卷入 N-S 向紧闭褶皱变形及 NW 向、NE 向中常褶皱变形,未见明显 E-W 向褶皱变形,表明研究区未遭受强烈 N-S 向挤压,不足以形成陡立的 E-W 向断裂。因此, E-W 向断裂初始形成时即为走滑断裂,推测其形成始于印支期,燕山期大量发育。

2.2 野外露头构造解析

野外露头以石炭系地层为主,盆山过渡带可见残留中-新生界地层。纵弯褶皱变形仅发育于石炭系及更老地层中,中-新生界地层整体较为平缓,仅局部见平缓褶皱变形。总体来看,上古生界地层发育多期挤压褶皱与逆冲-走滑断裂,中生界地层则以走滑和伸展构造为主要特征。

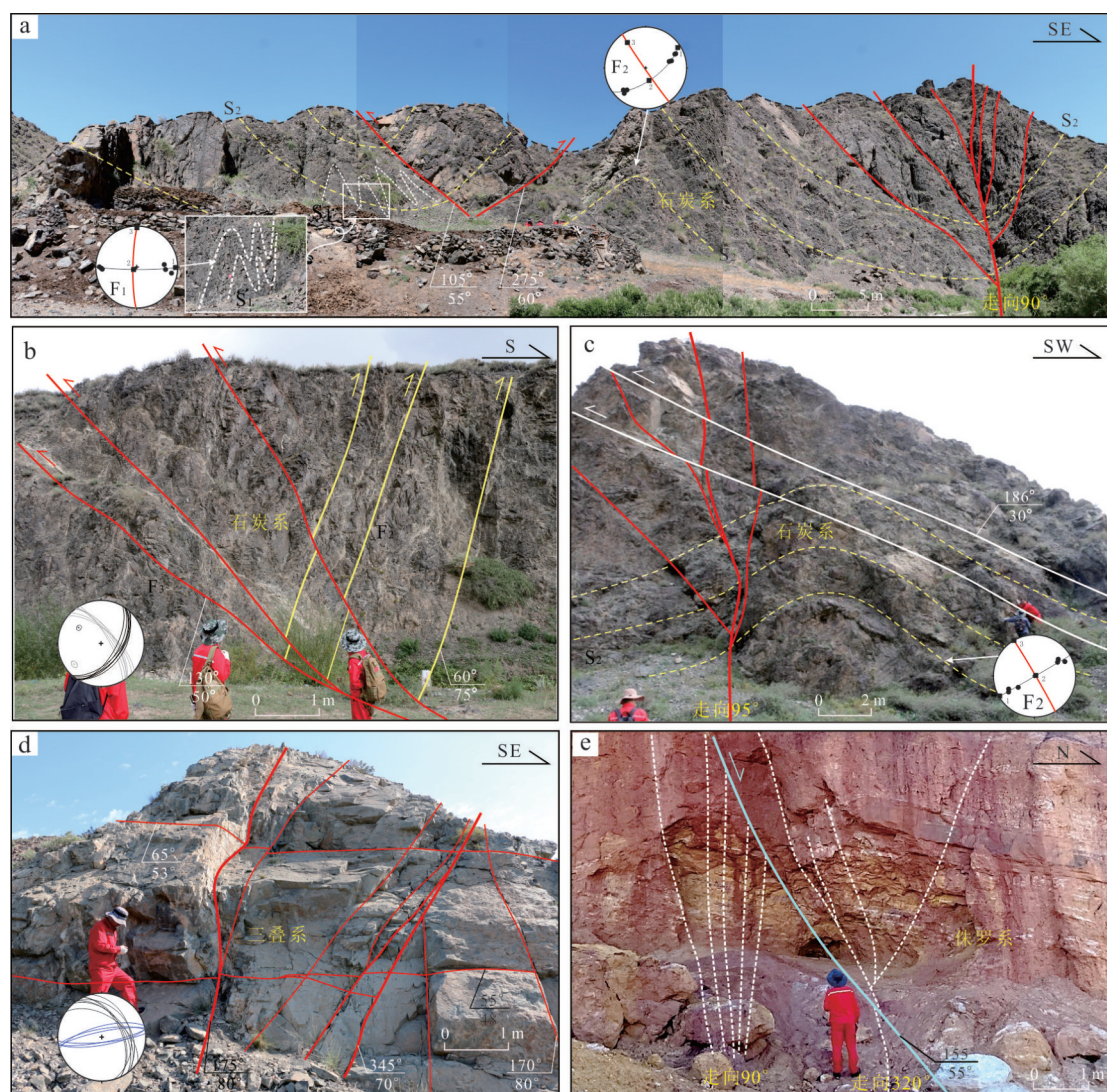


图6 准西缘石炭系野外构造变形特征(野外点位置见图1)

Fig.6 Field deformation characteristics of the Carboniferous in the western Junggar

a. 石炭系 S_1 面理卷入 N-S 向 F_1 褶皱变形(白色虚线), 被 NW 向 F_2 褶皱(黄色虚线)叠加改造, 形成 S_2 面理, 整体被后期 E-W 向花状走滑断裂(红色实线)所切割, 吴氏网, 下半球, 黑点为面理极点, 红线为褶皱轴面; b. 石炭系 NW 向 F_2 逆断裂(黄色实线)被 NE 向 F_3 逆断裂(红色实线)截切, 吴氏网, 下半球, 灰线为 F_2 断裂, 黑线为 F_3 断裂; c. 石炭系最晚期 E-W 向推覆断裂(白色实线), 为区域露头最后一期变形, 图中切割了 F_2 褶皱(黄色虚线)及 E-W 向花状走滑断裂(红色实线); d. 三叠系发育 E-W 向和 NNW 向共轭剪切断裂(红色粗线), 切割了早期 NW 向等逆冲断裂, 吴氏网, 下半球, 黑线为 F_2 断裂, 蓝线为共轭剪切断裂; e. 侏罗系发育 E-W 向、NW 向两组走滑断裂, 花状构造, 向深层收敛(白色虚线), 并被后期正断裂(浅蓝色实线)所截切

本文依据脆韧性变形特征划分不同构造层, 将石炭系挤压构造变形划分为4期. 第1期挤压变形广泛分布于石炭系, 主要发育脆-韧性褶皱. F_1 褶皱枢纽走向为 N-S 向, 轴面陡倾, 两翼 S_1 面理紧闭, 在区域上呈断续分布, 常表现为无根等斜或同斜紧闭褶皱, 揭示该时期为深构造层的强烈挤压变形(图6a). 第2期挤压变形发育大规模韧-脆性褶皱和逆冲断裂, 属中构造层挤压变形. F_2 褶皱枢纽走向为 NW-SE 向, 轴面近直立, 两翼 S_2 面理翼

尖角 $40^\circ \sim 70^\circ$, 属于中常褶皱变形. 露头可见 F_1 褶皱被 F_2 褶皱叠加改造, F_1 褶皱轴面倾角变化大, 呈放射状展布; F_2 褶皱则被后期 N-S 向脆性对冲断裂及 E-W 向花状走滑断裂截切(图6a). F_2 逆冲断裂断面较陡, 呈平行叠瓦状分布, 且被 F_3 断裂切割(图6b). 第3期挤压变形主要发育脆性断裂, 局部伴生断层相关褶皱, 为浅构造层挤压变形. F_3 断裂为 NE-SW 走向, 与达尔布特断裂带平行. 露头可见 F_3 断裂上部呈陡倾逆冲特征, 向下逐渐变缓, 呈犁

状展布(图 6b),该组断裂受后期应力改造,多由逆冲断裂转变为压扭-走滑断裂.第 4 期挤压变形主要发育 E-W 向低角度推覆断裂,产状平缓,倾角 $5^{\circ}\sim 35^{\circ}$,该组断裂切割了前 3 期挤压变形及所有走滑断裂,属于区域晚期极浅层构造变形(图 6c).

中生界地层构造变形以走滑构造为主,兼具挤压或伸展构造特征.三叠系地层岩性主要为砂岩,以脆性变形为主,断裂密集发育,未见明显褶皱变形.露头可见三叠系主要发育近 E-W 向和 NWW 向两组压扭-走滑断裂,产状陡立,部分断裂发育花状构造,且切割了早期 NW 向逆冲断裂(图 6d),这与 2 100 ms 时间切片所观察的共轭走滑断裂几何学特征一致(图 5e、5f).三叠系走滑断裂的脆性断面风化严重,其运动学特征难以判断.侏罗系露头岩性主要为红褐色砾岩、砂岩、泥岩不等厚互层,未见明显褶皱变形,断裂以细微裂缝为主.露头可见 E-W 向、NW 向两组走滑断裂,主要呈撒开花状构造,向深层收敛.这些花状断裂部分未切穿侏罗系,大部分终止于白垩系,为燕山期活动断裂,并被贯穿中-新生界的正断裂截切(图 6e).

露头构造解析进一步细化了准西地区挤压逆冲期的断裂发育序列,并为压扭走滑期与拉张伸展期的构造变形提供了野外实证.结合地震构造解析结果表明,海西期整体表现为挤压逆冲变形,扎伊尔山在此期间经历多幕次隆升剥蚀,形成分层构造变形认识:深构造层发生 N-S 向脆-韧性强烈挤压变形,中构造层发育韧-脆性 NW 向区域挤压变形,抬升至浅构造层则形成 NE 向脆性断裂;印支期的主构造变形为高角度压扭断裂与 E-W 向、NWW 向走滑断裂组成的共轭体系,同时伴随陆内变形作用下的逆冲断裂发育;燕山期以走滑剪切活动为主,侏罗-白垩系地层普遍发育的 E-W 向和 NW 向花状构造为该期断裂活动提供了直接证据,此阶段走滑断裂呈现多期活动与局部反转特征,既切穿早期逆冲断裂体系,又被晚期东西向低角度逆冲断裂及多方向正断裂切割.喜山期以伸展构造为主,新近系地层中发育的正断裂向下可切穿至侏罗系地层.

3 构造发育机制分析

海西期,准西地区以挤压逆冲为主要构造发育特征.石炭系卷入多组系、多幕次褶皱与断裂变形,同时伴随多幕挤压伸展背景下的花岗岩或中基性岩墙侵入(冯乾文等,2012;贺新星等,2015).晚古生

代早期,西准噶尔洋开始向哈萨克斯坦地块之下俯冲消亡,洋内俯冲作用形成了包括准西地体在内的多个的岛弧地体(辜平阳等,2009).早石炭世末期-晚石炭世早期,准西地体随洋盆俯冲到哈萨克斯坦地块之下(冯建伟等,2008),块体碰撞拼合形成了本文所述挤压逆冲第一幕的脆-韧性紧闭褶皱变形.晚石炭世,受西伯利亚板块和塔里木地块碰撞挤压影响,夹持于两板块之间的哈萨克斯坦地块发生快速弯曲,形成山弯构造(Yi *et al.*, 2015),准西地体石炭系地层由此发生区域性挤压变形,形成挤压逆冲第二幕的韧-脆性中常褶皱变形.晚石炭世末期-早二叠世初期,东欧板块与哈萨克斯坦地块碰撞(胡杨等,2014),准西地区持续抬升,形成挤压逆冲期第三幕的脆性断裂变形(图 7a),之后进入早二叠世造山后伸展环境.二叠纪,整个中亚造山带西段发生大型走滑剪切运动,受额尔齐斯断裂带和北天山断裂带右旋剪切影响,准西地体发生逆时针旋转(Choulet *et al.*, 2012),早期三幕挤压构造行迹卷入西准噶尔次级山弯构造(Li *et al.*, 2018),最终形成了现今的 N-S 向脆-韧性变形、NW 向韧-脆性变形及 NE 向脆性变形格局.

印支期,准西地区构造以冲断-压扭走滑为主要特征.前人古地磁研究表明,该时期准噶尔地块发生逆时针旋转,受此影响,红车、克百、乌夏等盆缘断裂带均发生右旋压扭走滑活动(豆方鹏等,2024).研究区三叠系发育共轭剪破裂,其锐夹角平分线显示,印支期准西地区最大挤压主应力(σ_1)方向应为近 E-W 向,且共轭剪破裂锐夹角较小(图 5c),揭示出该时期较高的挤压强度.经平衡剖面恢复, E-W 向缩短速率达 120~200 m/Ma(马超等,2019).晚三叠世,古特提斯洋向北俯冲消亡,羌塘地块与欧亚大陆碰撞,准噶尔地块的逆时针旋转终止(解超明等,2025).受南部羌塘地块与北部西伯利亚板块的双向挤压,准噶尔地块发生 N-S 向挤压收缩和 E-W 向伸展拉张.在向西的水平推挤力作用下,准西地区形成了共轭剪破裂构造(图 7b).

海西-印支期,准西地区盆地原型以前陆盆地为主,受控于多陆块拼合碰撞引发的长期区域挤压构造背景;演化过程中穿插幕式构造转换,其中早二叠世处于造山后伸展构造体制,形成阶段性伸展拗陷;中-晚二叠世构造环境过渡为弱缩短挠曲背景,发育挠曲拗陷,整体构成前陆盆地主体框架下挤压-伸展-弱缩短幕式交替演化特征.

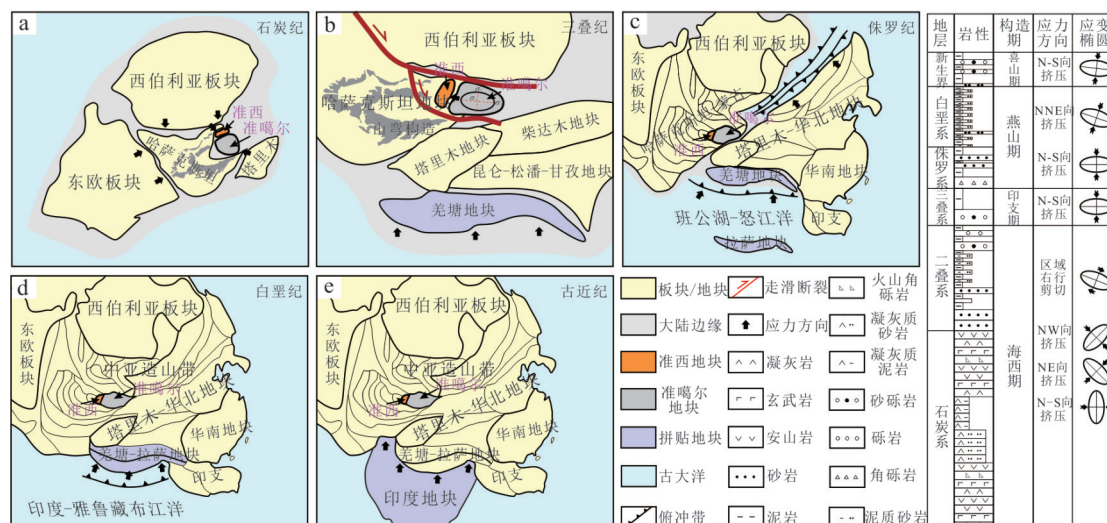


图 7 准西地区及邻区构造演化及应力场演变示意图

Fig.7 Schematic diagrams of tectonic evolution and associated stress field changes in the western Junggar Block and its adjacent areas

据 Yi *et al.* (2015); Van der Voo *et al.* (2015) 修改

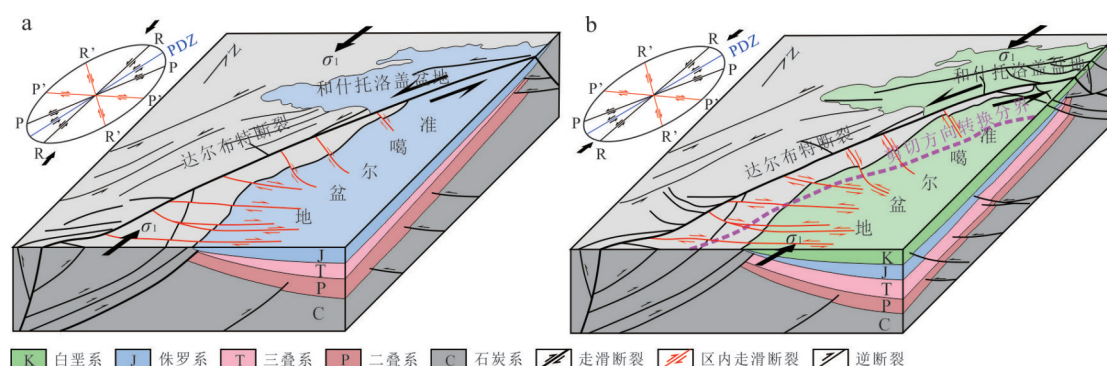


图 8 准西地区燕山期走滑断裂构造演化过程模式

Fig.8 Tectonic evolution process of Yanshanian strike-slip faults in the western Junggar

a. 燕山早期, 在 N-S 向挤压应力作用下, 达尔布特断裂带发生左行走滑, 派生的 NW 向 (R' 剪切) 和 E-W 向 (P' 剪切) 右旋走滑断裂, 自西向东延伸至车排子凸起, 部分 NW 向断裂末端发育马尾状构造; b. 燕山晚期, 受拉萨地块 NNE 向碰撞控制, 达尔布特断裂带持续左行走滑, 派生断裂呈近主断裂端右旋、远主断裂端左旋的差异剪切特征

燕山期, 准西地区构造以走滑剪切为主要特征。早-中侏罗世, 班公湖-怒江特提斯洋发生了持续 30 Ma 的弧形平板俯冲, 其中中-东段为 N 向俯冲, 西段为 NNE 向俯冲 (Guo *et al.*, 2022) (图 7c)。在平板俯冲挤压应力作用下, 达尔布特断裂带发生快速左旋走滑剪切, 形成里德尔剪切系统, 其派生的 NW 向 (R' 剪切) 和 E-W 向 (P' 剪切) 右旋走滑断裂向东延伸至车排子凸起, 部分 NW 向断裂末端发育马尾状构造 (图 8a)。晚侏罗世, 班公湖-怒江洋西段俯冲板片拆沉, 挤压应力快速减弱, 达尔布特断裂带活动能力降低, 其派生的 NW 向 (R' 剪切) 和 E-W 向 (P' 剪切) 断裂向东停止生长。随着班公

湖-怒江洋自东向西剪刀式闭合 (Fan *et al.*, 2018), 早白垩世, 拉萨地块西部与羌塘地块发生 NNE 向碰撞, 在准西地区再次形成 NNE-SSW 向挤压应力场 (图 7d), 达尔布特断裂带发生左行走滑, 其派生 NW 向 (R' 剪切) 和 E-W 向 (P' 剪切) 断裂在近主断裂端仍保持里德尔右旋剪切, 但在远主断裂端, 受 NNE-SSW 向挤压应力改造, 走滑运动方向由右旋转变为左旋, 呈现出区域差异走滑剪切运动 (图 8b)。

该时期, 受特提斯洋俯冲远程效应控制, 准西地区盆内构造活动较弱, 盆地原型以陆内坳陷为主; 盆缘达尔布特断裂带走滑调节作用强烈, 发育走滑派生断裂控制下的次级凹陷, 整体形成盆缘走

滑调节-盆内稳定坳陷的演化格局,控制了侏罗系-白垩系地层向西逐层超覆的展布特征。

喜山期,准西地区构造以伸展拉张为主要特征,断裂在凸起在高部位呈放射状、低部位呈阶梯状展布。前人对该期断裂的形成机制认识较统一,喜山期印度与欧亚大陆发生 N-S 向挤压碰撞,促使区内形成 E-W 向低角度逆冲推覆断裂,同时驱动北天山造山带快速隆升(图 7e),受重力负载作用,准西基底向南发生快速掀斜,使远端产生近 N-S 向张应力,进而形成垒堑式、阶梯式正断裂(商丰凯,2020;王小军等,2022)。

该时期,准西地区盆地原型以山前伸展凹陷为主,南部紧邻北天山区域发育四棵树凹陷典型山前断陷,呈深沉降特征;中北部车排子凸起及沙湾凹陷则处于掀斜伸展构造背景,表现为宽缓坳陷,整体构成南部断陷深沉降-中北部掀斜浅坳陷的差异构造-沉积演化格局。

4 油气地质意义

准西地区不同期次断裂发育特征不同,与烃源岩、储层、圈闭等成藏要素的时空匹配关系存在显著分异,具有鲜明的差异控藏机制,为油气成藏提供关键地质约束。

断裂活动形成的裂缝系统是石炭系储层物性改善的核心因素,不同期次断裂的改造机制存在显著差异(周家雄等,2025)。海西-印支期,区域以挤压作用为主,发育逆冲-压扭断裂,断裂派生平行于主断面的挤压裂缝,据露头及钻井统计,其断裂带有效宽度多小于 500 m;燕山期,压扭-走滑断裂发生里德

尔剪切,一方面伴生大量与主断面呈小角度斜交的新生裂缝,断裂带宽度据露头及钻井统计超 1 000 m,另一方面还促使早期裂缝活化,形成缝网状有效储集体,显著提升储层储渗能力(王千军等,2025)。

断裂活动时期与烃源岩生排烃期的时空匹配直接决定油气成藏效率,不同期次断裂构成了分阶段、多层次运移通道(图 9)。沙湾凹陷二叠系主力烃源岩的主要生排烃期集中在三叠纪-早白垩世(商丰凯,2020),而四棵树凹陷发育的侏罗系和古近系两套烃源岩则在新近纪以来陆续进入生排烃高峰阶段(吴海等,2024;王千军等,2025)。海西期逆冲推覆断裂因后期多期热液活动影响,方解石等矿物充填严重,充填率超 90%,构成了深层石炭系油气的侧向封堵边界(徐佑德,2018);印支期沙湾凹陷烃源岩已进入大量生烃阶段,此时发育的共轭剪破裂体系向东直接沟通油源区,与红车断裂等盆缘右旋压扭断裂形成高效“断-断”复合输导通道,分别将油气向车排子凸起东翼的石炭系风化壳储层和内幕储层输导,形成 2 类古油藏。燕山早期形成的 NW 向和 E-W 向走滑断裂向东延伸至烃源岩区,一方面构建起长距离油气运移通道,将沙湾凹陷的油气向石炭系风化壳和内幕储层运移,勘探证实其油气横向运移距离可达 50 km 以上;另一方面促使三叠纪形成的 2 类古油藏沿走滑断裂与侏罗系毯砂向西发生“断-毯”横向调整,使含油面积进一步扩大。燕山晚期,区域差异走滑造成的断裂活动强度不均一,运移效率空间分异。受西段右旋剪切和东段左旋剪切共同作用(图 8),在剪切方向转换的分界区形成局部挤压应力区,发育以正花状构

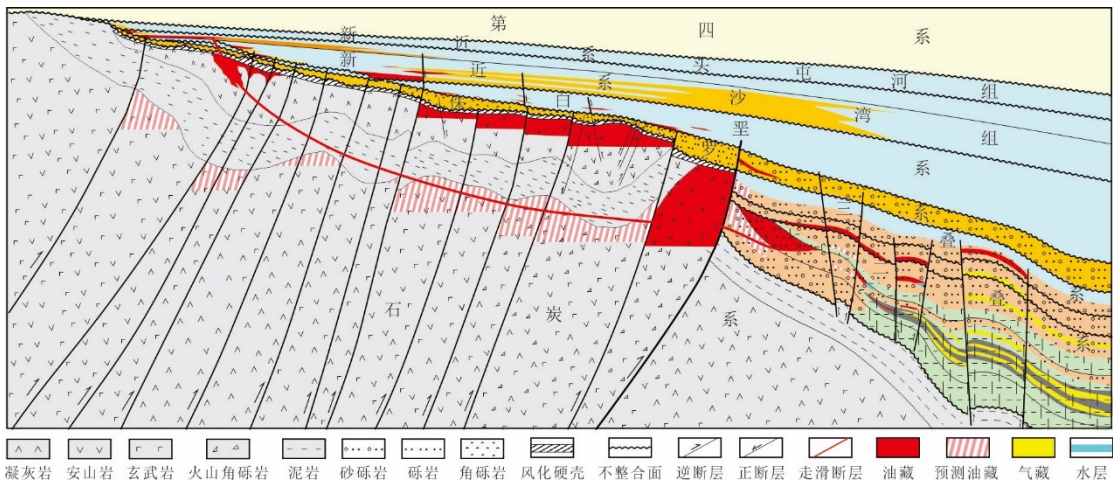


图9 准西地区断裂控藏作用及油气分层差异聚集模式

Fig.9 Fault control on hydrocarbon accumulation and differential accumulation patterns in the western Junggar Block

造为主的断裂组合,这类构造有利于油气向上运移至浅部侏罗系、白垩系储层,并沿地层横向运移至尖灭线部位聚集成藏(Ma *et al.*, 2025).喜山期区域伸展作用形成的正断裂系统则驱动油气发生再次垂向调整,向新近系等浅层运移成藏(图9).

构造演化过程控制着圈闭类型的多样性与分布规律.海西期强烈挤压作用形成褶皱-逆冲断裂组合,发育一系列断背斜、断块等构造圈闭;印支期压扭走滑作用对早期圈闭进行改造重塑,形成复杂的复合圈闭;燕山期走滑断裂活动伴生大量R剪切缝,与主断裂带共同构成断缝体圈闭;喜山期伸展拉张作用形成垒堑式、阶梯式正断裂系统,与砂体分布有效配置形成构造-地层复合圈闭.

不同期次成藏要素在空间上有序叠加形成多层含油气格局.印支期,通过共轭剪破裂与盆缘压扭断裂的“断-断”输导体系,在车排子凸起东翼石炭系风化壳和内幕形成断背斜、断块油藏;燕山期,通过走滑断裂控制下的断缝体储层与走向、垂向输导作用,在石炭系形成断缝体油藏,同时油气经二次运移在侏罗-白垩系中聚集成藏;喜山期,通过伸展垒堑-阶梯式断裂输导体系,向下沟通毯砂促使浅层形成规模油藏.上述优势成藏区带共同构成了多层次、立体化的勘探靶区,为准西地区的油气勘探拓展提供了方向.

5 结论

(1)准西地区断裂体系具有多期分层演化特征.海西-印支期以叠瓦状逆冲-压扭断裂为主,形成切割深、倾角陡的厚皮基底变形;燕山期发育NW向和E-W向走滑断裂,伴生“V”型花状构造,且E-W向断裂初始形成时即为走滑断裂;喜山期以浅层张性正断裂为特征,呈放射状或阶梯状展布,构成多期叠加的复杂断裂系统.

(2)断裂发育机制受板块间相互作用和区域构造应力场演化联合控制.海西期,受多地块碰撞拼合,形成多期褶皱与逆冲断裂;印支期,在块体旋转和近E-W向挤压应力作用下,发育盆缘右旋压扭走滑构造和共轭剪破裂;燕山期,受班公湖-怒江洋俯冲与拉萨地块碰撞影响,走滑断裂呈现早期右旋运动和晚期南北差异运动;喜山期,受北天山隆升与准西地体南向掀斜拉张控制,浅层发育伸展正断裂,构成多期叠加的复杂断裂系统.

(3)不同期次断裂差异控藏作用下形成多层

立体油气成藏体系.海西期逆冲推覆断裂充填严重,构成深层油气侧向封堵边界,形成断背斜、断块等构造圈闭;印支期共轭剪破裂与盆缘压扭断裂形成“断-断”输导通道,形成石炭系风化壳和内幕2类古油藏,压扭作用改造形成复合圈闭;燕山期走滑断裂改造储层形成缝网,构建长距离运移通道,差异走滑促使油气向侏罗-白垩系聚集成藏;喜山期伸展正断裂驱动油气向新近系浅层调整,形成构造-地层复合圈闭,多套含油气层系纵向叠置构成准西地区立体勘探格局.

References

- Aydin, A., 2000. Fractures, Faults, and Hydrocarbon Entrapment, Migration and Flow. *Marine and Petroleum Geology*, 17(7): 797–814. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(00\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(00)00020-9)
- Chen, L., 2018. Hydrocarbon Accumulation Features of Carboniferous Pyroclastic Sedimentary Rock Reservoir in Western Wing of Chepaizi Uplift. *Journal of Northeast Petroleum University*, 42(3): 46–55 (in Chinese with English abstract).
- Chen, P., Wu, X. N., Lin, Y., et al., 2025. Carboniferous Structural Characteristics and Hydrocarbon Accumulation Regularity of Chepaizi Uplift in Junggar Basin. *Lithologic Reservoirs*, 37(1): 68–77 (in Chinese with English abstract).
- Chen, S., Guo, Z. J., Qi, J. F., et al., 2016. Three-Stage Strike-Slip Fault Systems at Northwestern Margin of Junggar Basin and Their Implications for Hydrocarbon Exploration. *Oil & Gas Geology*, 37(3): 322–331 (in Chinese with English abstract).
- Choulet, F., Faure, M., Cluzel, D., et al., 2012. From Oblique Accretion to Transpression in the Evolution of the Altaid Collage: New Insights from West Junggar, Northwestern China. *Gondwana Research*, 21(2–3): 530–547. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.07.015>
- Dong, D. W., Li, L., Wang, X. L., et al., 2015. Structural Evolution and Dislocation Mechanism of Western Margin Chepaizi Uplift of Junggar Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 45(4): 1132–1141 (in Chinese with English abstract).
- Dou, F. P., Li, J. H., Peng, M., 2024. Tectonic Deformation Mechanism of the Fault Zone in the Northwest Margin of Junggar Basin: Based on Physical Experimental Simulation. *Geological Bulletin of China*, 43(4): 527–535 (in Chinese with English abstract).
- Fan, C., Su, Z., Zhou, L., 2014. Kinematic Features of

- Darlbute Fault in Northwestern Margin of Junggar Basin. *Chinese Journal of Geology*, 49(4): 1045–1058 (in Chinese with English abstract).
- Fan, J. J., Li, C., Wang, M., et al., 2018. Reconstructing in Space and Time the Closure of the Middle and Western Segments of the Bangong-Nujiang Tethyan Ocean in the Tibetan Plateau. *International Journal of Earth Sciences*, 107(1): 231–249. <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1487-4>
- Feng, J. W., Dai, J. S., Ge, S. Q., 2008. Structural Evolution and Pool-Forming in Wuxia Fault Belt of Junggar Basin. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 32(3): 23–29 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Q. W., Li, J. Y., Liu, J. F., et al., 2012. Ages of the Hongshan Granite and Intruding Dioritic Dyke Swarms, in Western Junggar, Xinjiang, NW China: Evidence from LA-ICP-MS Zircon Chronology. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2935–2949 (in Chinese with English abstract).
- Fu, Y. H., Neng, Y., Xing, X. J., et al., 2025. Layered and Segmented Deformation Characteristics and Formation and Evolution Process of the Dazhuluogou Strike-Slip Fault Zone in the Northwestern Margin of Junggar Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 1–18 (in Chinese with English abstract). <https://link.cnki.net/doi/10.16539/j.ddgzyckx.2025.00.006>
- Gu, P. Y., Li, Y. J., Zhang, B., et al., 2009. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Gabbro in the Darbut Ophiolite, Western Junggar, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1364–1372 (in Chinese with English abstract).
- Guo, R. H., Li, S. Z., Zhou, J., et al., 2022. The Mesozoic Amdo Micro-Block and East Asian Superconvergent Tectonic System. *Gondwana Research*, 101: 257–277. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.09.001>
- He, D. F., Zhang, L., Wu, S. T., et al., 2018. Tectonic Evolution Stages and Features of the Junggar Basin. *Oil & Gas Geology*, 39(5): 845–861 (in Chinese with English abstract).
- He, X. X., Xiao, L., Wang, G. C., et al., 2015. Petrogenesis and Geological Implications of Late Paleozoic Intermediate-Basic Dyke Swarms in Western Junggar. *Earth Science*, 40(5): 777–796 (in Chinese with English abstract).
- Hu, Y., Xia, B., Wang, Y. K., et al., 2014. Tectonic Evolution and Hydrocarbon Accumulation Model in Eastern Precaspian Basin. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 34(3): 78–81 (in Chinese with English abstract).
- Ji, Y. L., Zhou, Y., Kuang, J., et al., 2010. The Formation and Evolution of Chepaizi-Mosuowan Paleo-Uplift and Its Control on the Distributions of Sedimentary Facies in the Junggar Basin. *Science China Earth Sciences*, 53(6): 818–831. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-3068-2>
- Li, L., Wang, G. C., Yan, W. B., et al., 2015. Characteristics of Cleavages with Different Directions in Houshan Area of Karamay, Xinjiang, NW China and Their Geodynamic Background. *Earth Science*, 40(3): 521–534 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. F., Sun, M., Rosenbaum, G., et al., 2018. Geometry, Kinematics and Tectonic Models of the Kazakhstan Orocline, Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 153: 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.07.029>
- Li, X. G., Chen, G., Wu, C., et al., 2023. Tectono-Stratigraphic Framework and Evolution of East Junggar Basin, Central Asia. *Tectonophysics*, 851: 229758. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229758>
- Liang, Y. Y., 2020. Strike-Slip Fault System at the Northwestern Margin of Junggar Basin and Its Relationship with Hydrocarbon Accumulation (Dissertation). China University of Petroleum, Beijing, 16–23 (in Chinese with English abstract).
- Ma, C., Wu, K. Y., Pei, Y. W., et al., 2019. Quantitative Analysis of Tectonic Characteristics and Evolution in the Eastern Junggar Basin. *Journal of Geomechanics*, 25(3): 313–323 (in Chinese with English abstract).
- Ma, X. P., Zhuang, X. G., He, Y. L., et al., 2025. Reservoir Forming Conditions and Models of Oil Sands in Northwestern Margin of Junggar Basin, China. *Journal of Earth Science*, 36(2): 611–626. <https://doi.org/10.1007/s12583-022-1751-9>
- Ren, X. C., Xiu, J. L., Liu, L., et al., 2023. Late Paleozoic-Mesozoic Structural Style, Deformation Sequence, and Formation Process and Mechanism of the Checkboard Structure in the Eastern Junggar Basin. *Journal of Geomechanics*, 29(2): 155–173 (in Chinese with English abstract).
- Shang, F. K., 2020. Characteristics and Formation Mechanism of Multi-Stage Complex Fault System of Uplift in Superimposed Basin: A Case Study of Chepaizi Uplift, Junggar Basin, NW China. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 27(3): 278–283 (in Chinese with English abstract).
- Tang, W. B., Zhang, Y. Y., Pe-Piper, G., et al., 2021. Permian Rifting Processes in the NW Junggar Basin, China: Implications for the Post-Accretionary Successor Basins. *Gondwana Research*, 98: 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.06.005>

- Van der Voo, R., van Hinsbergen, D. J., Domeier, M., et al., 2015. Latest Jurassic-Earliest Cretaceous Closure of the Mongol - Okhotsk Ocean: A Paleomagnetic and Seismological-Tomographic Analysis. In: Anderson, T. H., Didenko, A. N., Johnson, C. L., et al., eds., Late Jurassic Margin of Laurasia—A Record of Faulting Accommodating Plate Rotation. The Geological Society of America, Boulder.
- Wang, J. W., Bao, J., Cao, J. J., et al., 2022. Two Types of Strike-Slip Fault Zones and Their Tectonic Deformation Patterns in the Central Junggar Basin. *Earth Science*, 47(9): 3389—3400 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L., Xu, Y. D., Zhang, Y. J., et al., 2020. Predominant Factors and Development Mode of Carboniferous Reservoirs in Chepaizi Uplift, Junggar Basin. *Journal of Northeast Petroleum University*, 44(2): 79—90 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q. J., Ren, X. C., Zhang, Y. J., et al., 2025. Carboniferous Volcanic Rock Reservoir Characteristics and Main Controlling Factors in Chepaizi Uplift, the Junggar Basin. *Science Technology and Engineering*, 25(6): 2311—2323 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. J., Song, Y., Zheng, M. L., et al., 2022. Tectonic Evolution of and Hydrocarbon Accumulation in the Western Junggar Basin. *Earth Science Frontiers*, 29(6): 188—205 (in Chinese with English abstract).
- 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, H., Zhuo, Q. G., Liu, S. B., et al., 2024. Ultra-Deep Tectonic Evolution and Hydrocarbon Accumulation Process in the Lower Play of Sikeshe Sag, Southern Junggar Basin, Western China. *Acta Geologica Sinica*, 98(7): 2216—2232 (in Chinese with English abstract).
- Xie, C. M., Shi, Z., Duan, M. L., et al., 2025. Research Progress and Existing Issues on the Paleozoic Strata in the Qiangtang Terrane of the Qinghai-Xizang Plateau. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 55(3): 501—522 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Y. D., 2018. Hydrocarbon Migration Pathways and Migration and Accumulation Modes in Carboniferous Volcanic Reservoirs of Chepaizi Area. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 33(6): 34—41 (in Chinese with English abstract).
- Yi, Z. Y., Huang, B. C., Xiao, W. J., et al., 2015. Paleomagnetic Study of Late Paleozoic Rocks in the Tacheng Basin of West Junggar (NW China): Implications for the Tectonic Evolution of the Western Altaids. *Gondwana Research*, 27(2): 862—877. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.11.006>
- Yin, J. Y., Yuan, C., Wang, Y. J., et al., 2011. Magmatic Records on the Late Paleozoic Tectonic Evolution of Western Junggar, Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(2): 278—291 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Z. P., Liu, X. F., 2020. Geological Characteristics and Its Geological Significance of the Unconformity on the Top of Carboniferous in Chepaizi Area, Western Junggar Basin. *Xinjiang Geology*, 38(1): 61—65 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. X., Xu, C. Q., Huang, Z., et al., 2025. Enhanced Formation Conditions of the Large-Scale Volcanic Reservoir in the BZ8-3S Large Volcanic Structure in Bozhong Sag, Bohai Bay Basin. *Earth Science*, 50(2): 388—404 (in Chinese with English abstract).

中文参考文献

- 陈林, 2018. 车排子凸起西翼石炭系火山沉积岩储层油气藏特征. 东北石油大学学报, 42(3): 46—55.
- 陈鹏, 武小宁, 林煜, 等, 2025. 准噶尔盆地车排子凸起石炭系构造特征与油气富集规律. 岩性油气藏, 37(1): 68—77.
- 陈石, 郭召杰, 漆家福, 等, 2016. 准噶尔盆地西北缘三期走滑构造及其油气意义. 石油与天然气地质, 37(3): 322—331.
- 董大伟, 李理, 王晓蕾, 等, 2015. 准噶尔盆地西缘车排子凸起构造演化及断层形成机制. 吉林大学学报(地球科学版), 45(4): 1132—1141.
- 豆方鹏, 李江海, 彭谋, 2024. 准噶尔盆地西北缘断裂带构造变形机制——基于物理实验模拟研究. 地质通报, 43(4): 527—535.
- 樊春, 苏哲, 周莉, 2014. 准噶尔盆地西北缘达尔布特断裂的运动学特征. 地质科学, 49(4): 1045—1058.
- 冯建伟, 戴俊生, 葛盛权, 2008. 准噶尔盆地乌夏断裂带构造演化及油气聚集. 中国石油大学学报(自然科学版), 32(3): 23—29.
- 冯乾文, 李锦轶, 刘建峰, 等, 2012. 新疆西准噶尔红山岩体及其中闪长质岩墙的时代——来自锆石 LA-ICP-MS 定年的证据. 岩石学报, 28(9): 2935—2949.
- 付永红, 能源, 邢向杰, 等, 2025. 准噶尔盆地西北缘大侏罗沟走滑断裂带分层、分段变形特征及形成演化过程. 大地构造与成矿学, 1—18.
- 辜平阳, 李永军, 张兵, 等, 2009. 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年. 岩石学报, 25(6):

- 1364—1372.
- 何登发,张磊,吴松涛,等,2018.准噶尔盆地构造演化阶段及其特征.石油与天然气地质,39(5):845—861.
- 贺新星,肖龙,王国灿,等,2015.西准噶尔晚古生代中基性岩墙群岩石学成因及地质意义.地球科学,40(5):777—796.
- 胡杨,夏斌,王燕琨,等,2014.滨里海盆地东缘构造演化及油气成藏模式分析.沉积与特提斯地质,34(3):78—81.
- 李理,王国灿,晏文博,等,2015.西准噶尔克拉玛依后山地区不同方向劈理特征及其动力学背景.地球科学,40(3):521—534.
- 梁媛媛,2020.准噶尔盆地西北缘走滑构造特征及其控藏作用研究(硕士学位论文).北京:中国石油大学,16—23.
- 马超,吴孔友,裴仰文,等,2019.准噶尔盆地东部构造特征及演化定量分析.地质力学学报,25(3):313—323.
- 任新成,修金磊,刘林,等,2023.准噶尔东部晚古生代—中生代构造样式、变形序列及棋盘格构造的形成过程与机制.地质力学学报,29(2):155—173.
- 商丰凯,2020.叠合盆地凸起区多期复杂断裂特征及形成机制——以准噶尔盆地车排子凸起为例.断块油气田,27(3):278—283.
- 王建伟,鲍军,曹建军,等,2022.准噶尔盆地腹部两类走滑断裂带及其构造变形样式.地球科学,47(9):3389—3400.
- 王林,徐佑德,张曰静,等,2020.准噶尔盆地车排子凸起石炭系储层主控因素及发育模式.东北石油大学学报,44(2):79—90.
- 王千军,任新成,张曰静,等,2025.准噶尔盆地车排子凸起石炭系火山岩储层特征及主控因素.科学技术与工程,25(6):2311—2323.
- 王小军,宋永,郑孟林,等,2022.准噶尔西部陆内盆地构造演化与油气聚集.地学前缘,29(6):188—205.
- 吴海,卓勤功,柳少波,等,2024.准噶尔盆地南缘四棵树凹陷超深层构造演化与油气成藏过程.地质学报,98(7):2216—2232.
- 解超明,史哲,段梦龙,等,2025.青藏高原羌塘古生界研究进展与存在问题.西北大学学报(自然科学版),55(3):501—522.
- 徐佑德,2018.车排子地区石炭系火山岩油藏油气输导体系与运聚模式.西安石油大学学报(自然科学版),33(6):34—41.
- 尹继元,袁超,王毓婧,等,2011.新疆西准噶尔晚古生代大地构造演化的岩浆活动记录.大地构造与成矿学,35(2):278—291.
- 曾治平,刘显凤,2020.准西车排子地区石炭系顶不整合结构地质特征及其地质意义.新疆地质,38(1):61—65.
- 周家雄,徐春强,黄志,等,2025.渤海湾盆地渤中凹陷BZ8-3S大型构造规模型火山岩储层形成条件.地球科学,50(2):388—404.