

准噶尔盆地红车断裂带石炭系重新认识及油气成藏特征

潘虹,于庆森,李晓山,宋俊强,蒋志斌,王丽,罗官幸,徐文秀,尤浩宇

(中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院,新疆克拉玛依834000)

摘要:准噶尔盆地红车断裂带石炭系岩性、内幕结构及接触关系复杂,为建立其地层层序,以野外露头建立的石炭系地层系统为基础,通过岩性、电性和地震属性精细地层标定,依据岩性组合特征、地震波组特征和地层接触关系进行综合分析,将西北缘后山石炭系地层系统引入盆内进行井下地层对比,建立石炭系层序剖面并开展精细地层划分与对比,在石炭系地层格架基础上开展优势岩相分析。结果表明:①准噶尔盆地盆内井下钻揭地层为上石炭统,由新到老依次为阿腊德依克赛组、哈拉阿拉特组和成吉思汗山组,整体向西超覆抬升,呈现“东西分带、南北分块”构造格局。②成吉思汗山组主要发育爆发相火山角砾岩,受推覆作用影响,阿腊德依克赛组和哈拉阿拉特组超覆尖灭,南部爆发相剥蚀减少,主体发育火山沉积相和碎屑岩沉积相。③主要含油层为成吉思汗山组和哈拉阿拉特组,南部火山角砾岩及局部安山玄武岩为油气有利指向区。

关键词:断阶带;爆发相;火山沉积相;火山角砾岩;石炭系;红车断裂带;准噶尔盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Recognition of the Carboniferous strata in the Hongche fault zone, Junggar Basin and its hydrocarbon accumulation characteristics

PAN Hong, YU Qingsen, LI Xiaoshan, SONG Junqiang, JIANG Zhibin, WANG Li, LUO Guanxing,

XU Wenxiu, YOU Haoyu

(Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: This study focuses on the Carboniferous strata in the Hongche fault zone, Junggar Basin, which are characterized by complex lithology, interior architecture, and stratigraphic contact. To establish the Carboniferous stratigraphic sequence in the fault zone, we conduct a comprehensive analysis under the guidance of the Carboniferous stratigraphic system based on outcrops. This analysis involves examining the lithologic assemblage features, seismic wave group characteristics, and stratigraphic contacts through the fine calibration of lithological properties, electrical properties, and seismic attributes. By comparing the Carboniferous strata in wells with the Carboniferous stratigraphic system based on outcrops in the mountainous area on the northwestern margin of the Junggar Basin, we establish the stratigraphic sequence profiles of the Carboniferous in the fault zone and conduct fine division and correlation of the strata. Additionally, we analyze dominant lithofacies in the Carboniferous strata based on the established Carboniferous stratigraphic framework. Key findings are as follows: (1) Drilling data from the Junggar Basin reveals that the Carboniferous strata in the Hongche fault zone can date back to the Late Carboniferous and consist of the Aladeyikesai (C_2a), Hala'alate (C_2h), and Chengjisihanshan (C_2c) formations top to bottom. These strata demonstrate a westward overlapping and uplifting trend overall, resulting in a tectonic framework characterized by west-east zonation and north-south partition; (2) The C_2c is composed of volcanic breccias of explosive facies. In contrast, the C_2a and C_2h exhibit overlapping and pinchout due to napping. Both formations exhibit decreasing denudation under explosion in the southern part, with the main body primarily presenting volcanic and clastic sedimentary facies; (3) In the Hongche fault zone, the primary oil-bearing pay intervals include the C_2c and C_2h , with volcanic breccias in the southern part and localized andesitic basalts serving as favorable targets for hydrocarbon exploration.

收稿日期:2023-06-17;修回日期:2023-10-27。

第一作者简介:潘虹(1989—),女,高级工程师,开发规划及储量评价。E-mail: fcph1@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(2017E-0405)。

Key words: fault terrace zone, explosive facies, volcanic sedimentary facies, volcanic breccia, Carboniferous, Hongche fault zone, Junggar Basin

引用格式:潘虹,于庆森,李晓山,等.准噶尔盆地红车断裂带石炭系重新认识及油气成藏特征[J].石油与天然气地质,2024,45(1):215-230. DOI: 10.11743/ogg20240115.

PAN Hong, YU Qingsen, LI Xiaoshan, et al. Recognition of the Carboniferous strata in the Hongche fault zone, Junggar Basin and its hydrocarbon accumulation characteristics[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(1): 215-230. DOI: 10.11743/ogg20240115.

红车断裂带位于准噶尔盆地西北缘的南部,是沙湾凹陷油气聚集的有利指向区,古生界石炭系受风化剥蚀作用影响,形成了“满带含油,多段含油”的油藏特征^[1]。近年来,对红车断裂带多个石炭系内幕型火山岩油藏的整装探明^[2],揭开了石炭系勘探评价由传统的风化壳型向内幕型进军的序幕,展现出石炭系巨大的开发潜力。殷文^[3]等针对红车断裂带石炭系火山岩岩相分析及储层识别进行研究,形成了一套多属性火山岩储层评价方法;靳军^[4-5]等建立了火山岩内幕岩性识别方法;邱争科^[6-9]等对通过解剖石炭系内幕结构特征,开展了石炭系内幕成藏主控因素研究。李军^[10]对石炭系火山地层制定段—旋回—期次—物性单元的火山岩地层划分方案,总结了物性单元的三相多属性特征。前人对西北缘火山岩风化壳及内幕开展了大量岩性识别、储层评价、构造特征和控藏因素等方面的研究,形成了相对成熟的技术方法和地质认识。风化壳及内幕是穿越不同地层单元的穿时界面,粗略划分风化壳和内幕已无法满足石炭系火山岩精细油藏开发的需求,石炭系归属、地层结构及其分布等问题尚未得到解决,制约了全盆地石炭系对比、油水关系研究和有利目标区优选。

鉴于准噶尔盆地东部石炭系划分取得的研究成果^[11],有力地指导了准噶尔盆地克拉美丽气田的高效勘探实践^[12]。李永军、向坤鹏和安芳等^[13-15]利用准噶尔盆地西北缘石炭系露头广泛出露的优势,通过野外剖面测量、岩石组合分析、古生物化石资料及火山岩锆石 U-Pb 同位素定年等综合研究,建立了西准噶尔盆地石炭系层序;王韬等^[16]利用井下岩心同位素及古生物样品开展了相对精确的地质年代研究,为西准噶尔盆地石炭系精细划分与盆山区域对比提供了依据;陈江新等^[17]以 C47 井取心资料,建立车排子地区石炭系岩石组合与建组剖面的对比关系,确定了 C47 井上部为晚石炭世时期。石炭系露头地表分布广泛,地层划分在露头和井下尚未形成统一方案,地质时代归属的认识也存在较大差异。因此,只有通过盆山地层对比,将露头层系划分应用于井下地层对比,建立井下地层层序标准剖面,才能解决井下对比方案混乱的问题。本

研究以红车断裂带石炭系为研究对象,根据岩性组合特征、地震波组特征、地层接触关系与断裂推挤样式进行综合分析,将山前石炭系地层系统引入井下,重新认识石炭系归属,建立石炭系地层格架,并结合优势岩相分布规律,揭示红车断裂带石炭系油藏油气分布规律,以期对研究区勘探开发提供指导。

1 区域地质概况

准噶尔盆地西北缘红车断裂带位于西准噶尔褶皱山系与准噶尔盆地的结合部位,是经过长期多次构造运动形成的,由一组活动时期不同、断裂规模不等的逆冲或逆掩断裂组合形成的逆掩大断裂带,区域构造演化经历了强烈隆升剥蚀、缓慢沉降和局部延展 3 个阶段。侏罗系沉积之前,车排子凸起受东西向挤压应力场作用,红车断裂带活动剧烈并自西向东逆冲,形成多条南北向展布的断阶带(图 1)。该阶段车排子凸起上发生强烈剥蚀,导致缺失二叠系和三叠系;侏罗系沉积时期,红车断裂带活动有所减弱,但地势仍为西高东低,侏罗系各组逐层超覆沉积在石炭系之上。侏罗系沉积末期,车排子凸起再次隆升,侏罗系遭受剥蚀,红车断裂带处于右旋压扭应力场,车排子凸起上发育正断层或逆断层;白垩系沉积时期,地层以角度不整合形式超覆于侏罗系之上,古近系以平行不整合的方式覆盖在白垩系之上。研究区长期处于晚海西期形成的继承性古隆起上,石炭系埋深较浅,上覆的二叠系、三叠系、侏罗系向西剥蚀尖灭,地层整体由东向西抬升,区内井普遍钻遇石炭系。

2 地层格架建立

2.1 单井纵向地层划分

2.1.1 岩性地层划分

在一定的区域内,同一时期形成的岩层的岩石组成、结构及构造等特征具备一致性或者相似性。准噶

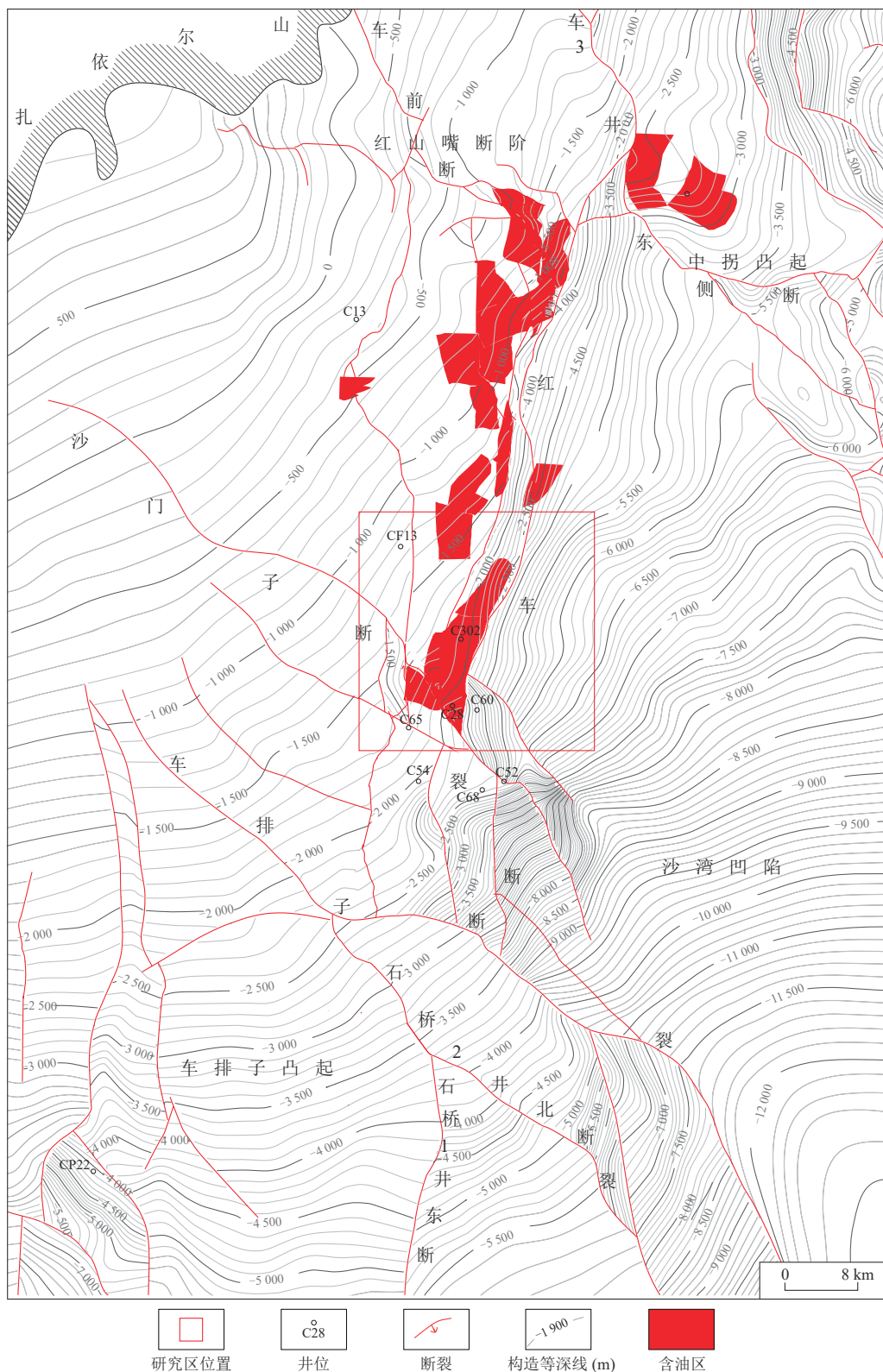


图1 准噶尔盆地红车断裂带构造特征及位置

Fig. 1 Structural characteristics and location of the Hongche fault zone, Junggar Basin

尔盆地西北缘山区出露的石炭系—二叠系各组级岩石组合,由老到新主要有下石炭统包古图组(C_1b)、下石炭统希贝库拉斯组(C_1x)、上石炭统成吉思汗山组(C_2c)、上石炭统哈拉阿拉特组(C_2h)、上石炭统阿腊德

依克赛组(C_2a)及下二叠统佳木河组(P_1j)^[18]。优选具代表性的车排子井区井段石炭系—二叠系组级岩石地层与山区进行对比,建立山区与井下石炭系综合柱状对比图(图2),车排子井区岩心与露头岩石地层序列

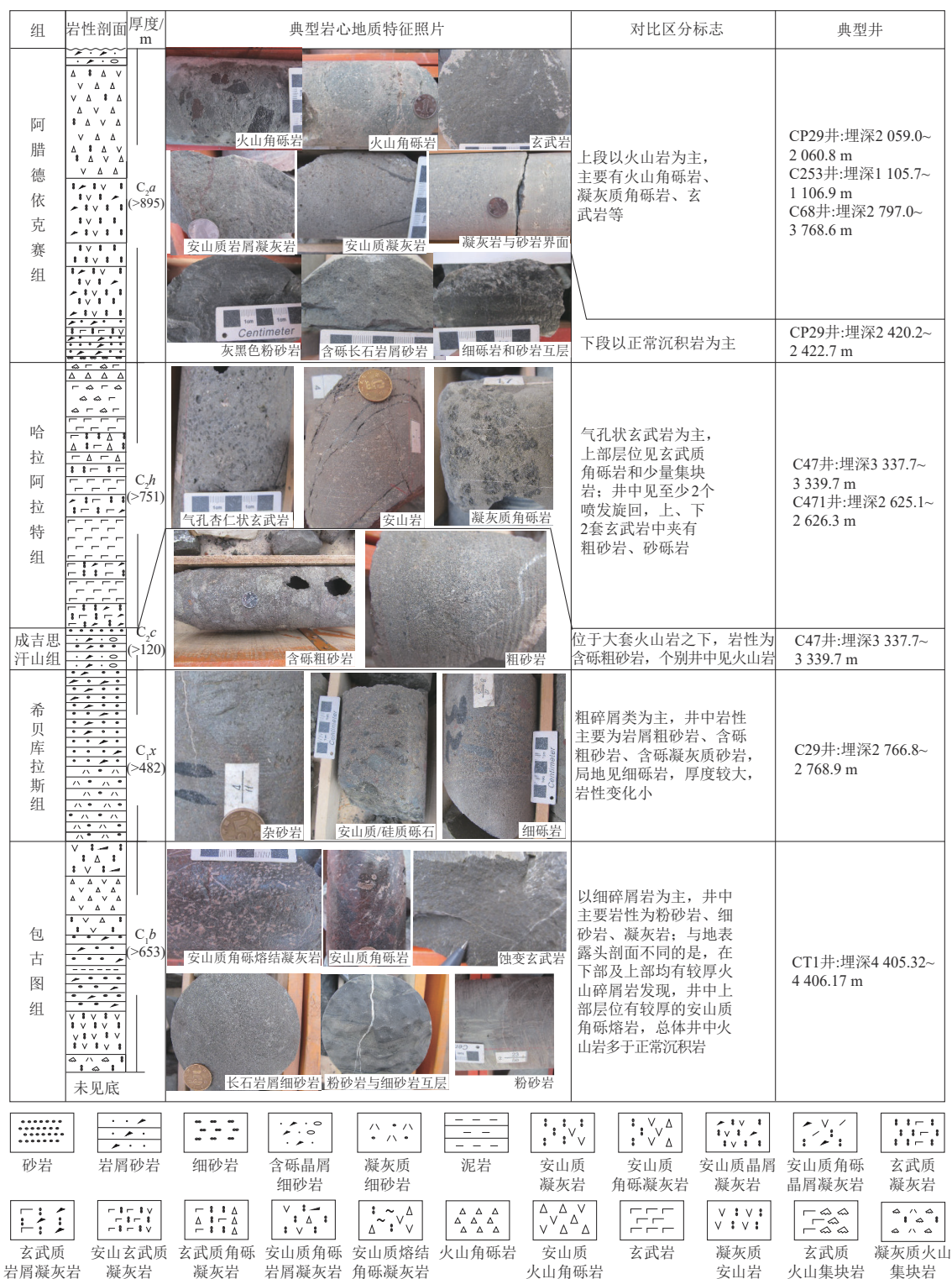


图2 准噶尔盆地红军断裂带山区与井下石炭系综合柱状对比

Fig. 2 Composite stratigraphic column showing the correlation of the Carboniferous strata in the mountainous area's outcrops and in wells in the Hongche fault zone, Junggar Basin

具有较好的一致性。

1) 上石炭统阿腊德依克赛组:与上覆佳木河组呈角度不整合接触,岩性组合为“下沉积碎屑岩上火山岩”层序。根据岩性组合特征可分为两段,上段为一套

火山岩、火山碎屑岩岩性组合,主要发育凝灰岩和含角砾凝灰岩为主的火山碎屑岩;下段为一套陆源碎屑岩,主要发育长石岩屑中砂岩、厚层砾质岩屑粗砂岩和砂质细砾岩是阿腊德依克赛组的底部岩性段,自下而上

岩性由沉积岩向火山碎屑岩过渡,岩性组合呈现由细到粗变化趋势。CP29井上部岩性组合特征与山区具有较好的相似性,上部发育一套凝灰质、玄武质火山角砾岩,下部发育一套凝灰质砂砾岩。

2) 上石炭统哈拉阿拉特组:与上覆阿腊德依克赛组呈整合接触,岩性组合可见多套火山喷发旋回。整体以火山岩和火山碎屑岩为主,自下而上分别由火山集块岩—火山角砾岩—角砾凝灰岩—熔岩—凝灰岩组成,厚度巨大,火山喷发旋回极为发育。陆源碎屑岩仅为下部层位中呈夹层产出,岩性为砾岩、含砾粗砂岩、凝灰质砂岩和细砂岩,粉砂岩少量。砾石成分复杂,火山岩砾石为主,另见灰岩砾石、细砂岩砾石等。C471井石炭系发育大套哈拉阿拉特组,自下而上为角砾凝灰岩—火山角砾岩—玄武岩—凝灰质砂砾岩。

3) 上石炭统成吉思汗山组:与上覆哈拉阿拉特组呈整合接触。主要为暗红色玄武岩、安山岩、凝灰岩、火山灰沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩和凝灰质粉砂质泥岩,硅质岩不均匀互层,野外呈“红色调”,玄武岩与硅质岩互层。C47井底部发育一套正常的沉积碎屑岩,岩性为灰色—灰黑色砂岩、含砾岩屑砂岩,可见水平层理, C479井底部发育一套厚层玄武岩。

4) 下石炭统希贝库拉斯组:与上覆成吉思汗山组呈角度不整合接触。岩性组合标志特征为“三无”(无火山熔岩、无灰岩和无硅质岩)。以砾岩、含砾粗砂岩及砂岩为主,夹有少量的粉砂岩,偶见砾岩夹层或砾岩透镜体。C29井下部岩性组合为灰褐色中层岩屑杂砂岩夹粉砂岩和细砾岩薄层、岩屑砂岩、灰褐色中层细砾岩夹薄层砂岩及少量泥质粉砂岩、中—粗岩屑砂岩、灰褐色杂色砾岩、中—粗岩屑砂岩、中—厚层灰褐色含砾粗砂岩夹薄层泥质粉砂岩、杂砂岩,整体上为一套陆源细碎屑岩组合偶夹少量细砾岩。

5) 下石炭统包古图组:与上覆希贝库拉斯组呈整合接触,岩性组合以细碎屑岩为主,可见沉积层序,局部夹层发育火山熔岩、硅质岩和灰岩。主要发育凝灰质粉砂岩、凝灰质粉砂质泥岩与层凝灰岩不均匀互层,夹火山灰层凝灰岩、砂岩、粉砂岩、硅质岩、玄武岩和安山玢岩。CT1井石炭系下部岩性组合为岩屑砂岩、泥岩、细粒岩屑砂岩、灰绿色碎裂安山质含角砾岩屑凝灰岩、灰绿色安山质角砾熔结凝灰岩、安山质凝灰岩、流纹质凝灰质火山集块岩。

2.1.2 地层年代确定

车排子地区石炭系沉积环境受到岩浆活动和河流冲击共同影响,以火山岩为主的地层分布较为复杂,在

地震剖面上表现为杂乱反射特征,不同时期构造演化与断裂系统使得井间对比困难。同一时期在相同的地质环境中发育的地层含有相同种属的古生物化石及组合特征^[19],利用生物化石和同位素测年结果确定地层年代,可为石炭系划分提供佐证。

西北缘野外露头常见石炭系见各类腕足与珊瑚化石,在各层组露头及红车断裂带井下岩样中获得锆石U-Pb年龄分别为:阿腊德依克赛组 $303.8 \text{ Ma} \pm 2.4 \text{ Ma}$ ^[20-21]、哈拉阿拉特组 $314.6 \sim 306.9 \text{ Ma}$ ^[22-23]、成吉思汗山组 $319.0 \sim 312.0 \text{ Ma}$ ^[24]和包古图组 $359.0 \sim 328.0 \text{ Ma}$ ^[25-26](表1)。总体上,各层系不同尺度下化石组合各具特征,石炭系与上覆不整合二叠系佳木河组、下伏泥盆系蛇绿混杂岩带有所区别。石炭系内部层系以锆石U-Pb年龄为标定依据并结合岩石组合特征,确定石炭系大致时代为 $359.0 \sim 300.0 \text{ Ma}$,包古图组—阿腊德依克赛组5组地层时间大致分别为 31.0 、 8.0 、 10.0 、 15.0 和 5.0 Ma 。

2.1.3 标准地层层序剖面建立

准噶尔盆地西北缘车排子地区石炭系受多期构造运动作用,造成了地层的剥蚀及缺失,与上、下层系存在不整合接触,火山岩本身岩性多变且复杂,加大了石炭系精细划分与对比的难度。充分利用古生物组合、锆石测年、岩性组合和测井特征,将露头层系划分引入井下地层对比,建立石炭系阿腊德依克赛组、哈拉阿拉特组、成吉思汗山组、希贝库拉斯组和包古图组井下地层层序标准剖面(图3)。受区域火山喷发、三角洲沉积与后期构造断裂活动影响,车排子地区进行盆山和井间对比难度较大,南部地层与北部地层分布差异较大。车排子地区北部主要发育至下石炭统希贝库拉斯组,南部则多见上石炭统,以哈拉阿拉特组为主。红车断裂带在C47井的埋深3450 m岩心中获得孢粉化石,与成吉思汗组化石组合对应,在C68井的岩心锆石测龄为 $314.6 \text{ Ma} \pm 3.1 \text{ Ma}$,与哈拉阿拉特组形成时间对应,井下获取的岩心化石组合及锆石测龄表明红车断裂带钻遇石炭系为晚石炭世。

红车断裂带位于西北缘车排子地区南段,断裂带上盘钻遇较厚石炭系,结合标准地层层序,对研究区内62口井进行单井地层归属进行了划分,井下主要钻遇阿腊德依克赛组、哈拉阿拉特组和成吉思汗山组3个层组,多数钻井钻揭至上石炭统哈拉阿拉特组。

2.2 地层地震界面特征

西北缘石炭系受多期逆断层推挤上升遭受剥蚀改

表1 准噶尔盆地红车断裂带石炭系内部化石组合特征及同位素年龄

Table 1 Fossil assemblages and isotopic ages of the Carboniferous strata in the Hongche fault zone, Junggar Basin

系	组	化石组合	同位素年龄
石 炭 系	阿腊德依克赛组 (C _{2a})	珊瑚化石 <i>Roemeriporellajung garensis</i> , <i>Athyris circularis</i> , <i>Linoproductus cora</i> , <i>Neospirifer fasciger</i> , <i>subfasciger</i> 等	露头: 303.8 Ma $\pm$ 2.4 Ma ^[20-21]
	哈拉阿拉特组 (C _{2h})	腕足化石 <i>Balakhonia</i> cf. <i>silimica</i> , <i>Kotorginella tentoria</i> , <i>Stenosisma mazhalaica</i> ; 苔藓虫 <i>Rhomobopora</i> sp.; 牙形刺 <i>Declinognathodus</i> cf. <i>noduliferous</i> ; 瓣鳃“ <i>Eimatulina</i> ” cf. <i>linguata</i> ; 珊瑚 <i>Hexphyllia</i> sp.; 有孔虫 <i>Eotuberitina</i> sp.	露头: 306.9 Ma $\pm$ 5.5 Ma ^[22-23] ; 车68井: 314.6 Ma $\pm$ 3.1 Ma ^[16]
	成吉思汗山组 (C _{2c})	腕足 <i>Choristites</i> sp.; 珊瑚 <i>Pseudotimania</i> sp.; 车47井, 具肋双气囊花粉 <i>Protohaploxylinus</i>	露头: 319.0 ~ 312.0 Ma ^[24]
	希贝库拉斯组 (C _{1x})	—	—
	包古图组 (C _{1b})	腕足 <i>Gigantoproductus</i> cf. <i>edelburgensis</i> , <i>Linoproductus praelongatus</i> , <i>L. simenensis</i> , <i>Buxtonlararirugosa</i> , <i>B. Searbrieula</i> ; 珊瑚 <i>Rotiphyllum sokolovi</i> ; 放射虫 <i>Asterpylorus</i> sp.; 蛭 <i>Eostaffella</i> sp.; 苔藓 <i>Rhomobopora</i> sp., <i>Fenestella</i> sp., <i>Polypora</i> sp.	露头: 342.0 ~ 328.0 Ma ^[26] , 332.1 Ma $\pm$ 3.0 Ma ^[25] ; 车探1井: 350.3 Ma $\pm$ 4.8 Ma, 358.8 Ma $\pm$ 9.6 Ma ^[16]

注: “—”表示岩心未获得化石组合或未测同位素年龄。

造,地层接触关系复杂,岩性变化快,横向对比难度大。本研究在测井岩性修正基础上,通过井-震岩性精细标定,对岩性组合特征、地震波组特征、地层接触关系与断裂推挤样式^[27]进行综合分析,对盆内的石炭系归属及地层单元进行划分对比。研究区位于车排子凸起南段,东以红车断裂带为界,由于长期处于晚海西期形成的继承性古隆起上,石炭系埋深较浅,上覆的二叠系、三叠系和侏罗系向西剥蚀尖灭,地层整体由东向西抬升。研究区整体钻揭较厚石炭系,石炭系顶界与上覆地层呈明显的不整合接触,测井曲线特征表现为低伽马值、低声波时差、高电阻率和高密度,与上部地层高伽马值、低密度和低电阻率的测井曲线上有一个明显的界面。地震剖面上表现为强振幅同相轴,反射连续稳定,是该区标定的重要标志层。研究表明红车断裂带钻遇石炭系为晚石炭世,自上而下划分为阿腊德依克赛组、哈拉阿拉特组和成吉思汗山组(图4)。

1) 阿腊德依克赛组:与石炭系顶界呈削截接触,上覆二叠系和侏罗系沉积碎屑岩。岩性组合为上火山岩下碎屑岩层序,与野外剖面吻合。井上钻揭以爆发相凝灰岩和碎屑岩为主,少见溢流相安山岩(玄武岩)和爆发相的火山角砾岩等,电性以高伽马、低密度、低电阻为特征,地震反射能量弱,多套弱反射波组组合。

2) 哈拉阿拉特组:与石炭系顶界呈削截接触,平行于上覆阿腊德依克赛组。岩性组合为大套溢流相安山岩(玄武岩),爆发相火山角砾岩不等厚互层,电性以低伽马值、高密度和高电阻率为特征,地震波组特征为上强下弱的反射组合,其上与阿腊德依克赛组强波组特

征为界。

3) 成吉思汗山组:顶部直接为石炭系顶面或上覆哈拉阿拉特组。钻探井大多未钻穿本层,揭示上部火山岩组合,岩性组合为大套溢流相玄武岩(安山岩)、爆发相火山角砾岩和凝灰岩等,电性以低伽马值、高密度和高电阻率为特征。地震波组特征为上强下弱的反射组合,振幅能量比哈拉阿拉特组较弱,以中-强振幅、中等连续为主。

2.3 地层格架建立

利用研究区内60多口完钻至石炭系的井进行地层对比和划分,地震剖面自上而下可见3套强连续强波峰反射轴,分别是白垩系底界吐谷鲁群底大套剥蚀面、侏罗系底部和顶部发育大套厚层砂砾岩、石炭系的火山岩与上覆的侏罗系、三叠系及二叠系的碎屑岩地层呈不整合面。分别以白垩系底界、侏罗系底界、石炭系顶面3个标志层进行层位标定,石炭系内部地层划分以野外露头引层,综合钻遇地层岩性特征、电性特征、地震波组反射特征,按照“旋回对比,分级控制”原则,识别地震剖面上的地球物理响应特征以及追踪对应的地震同向轴。以单井地层划分为基础,地震反射界面特征及不同岩性测井响应为指导,构建了多条覆盖全区的井-震标定地层划分与对比,建立红车断裂带全区地层格架,落实石炭系内部地层分布规律。石炭系顶面构造整体表现为东倾斜坡受燕山期近南北向逆冲断裂及喜马拉雅期近东西向张扭断裂的控制,形成多个断块。由于多期的火山喷发和构造活动,在石

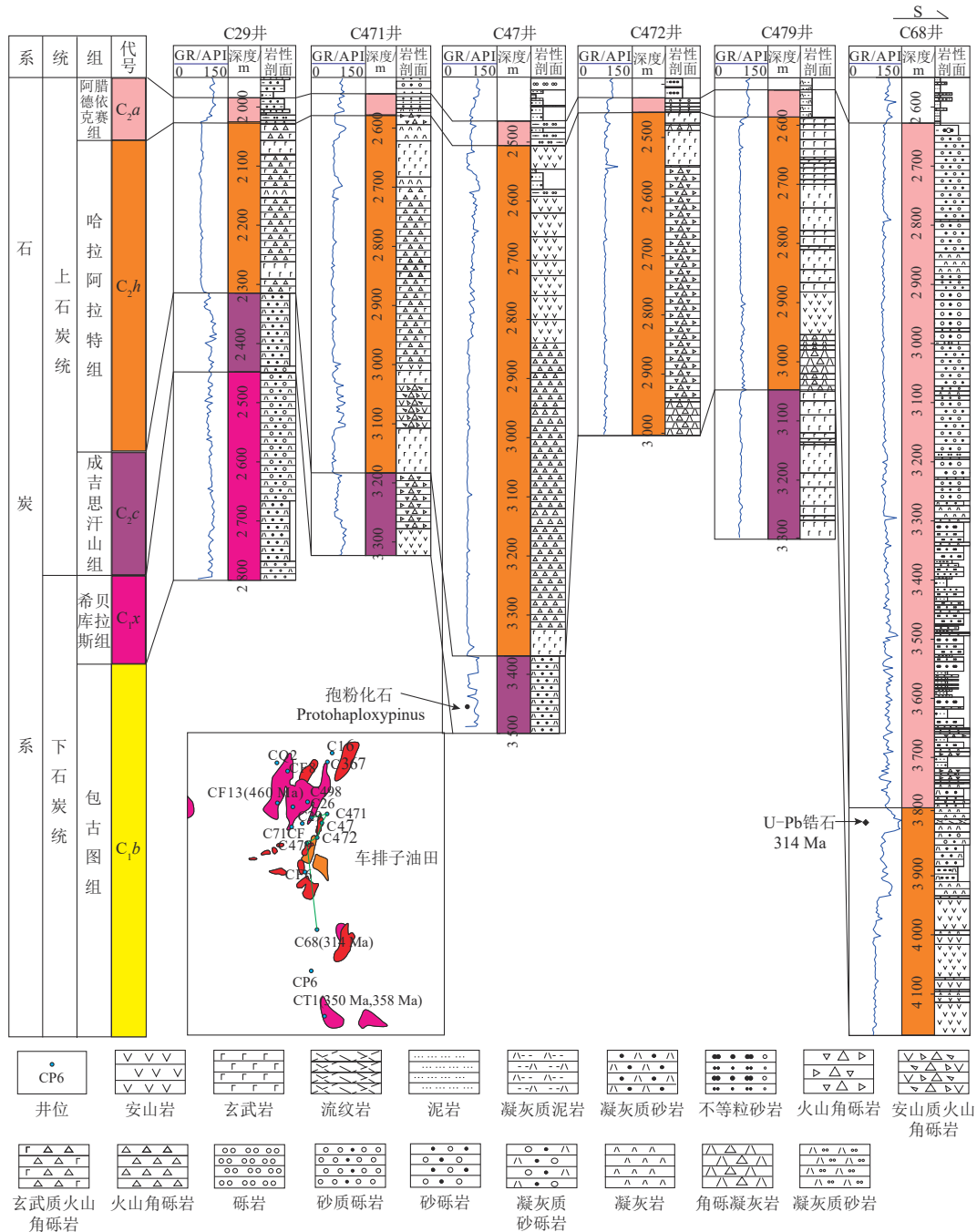


图3 准噶尔盆地红车断裂带石炭系标准地层层序剖面

Fig. 3 Standard stratigraphic sequence profile of the Carboniferous strata in the Hongche fault zone, Junggar Basin

炭系顶面形成大量的鼻状微幅构造(图5)。

红车断裂带受多期构造运动影响,石炭系发育多条南北向大型逆冲断裂和自东向西抬起的断阶带^[28],逆断层多期逆掩推覆叠加,红车地区地层整体由东向西抬升,二叠系和三叠系严重缺失,在红车断裂带上盘附近残存,侏罗系八道湾组向西超覆尖灭,石炭系在西北部与八道湾组不整合接触,不同岩性抗风化差异能力导致石炭系接触关系的复杂多变,地层分布呈现以断层分界形成多个断阶,石炭系内部各层沿上倾方向与石炭系顶界呈现顶削尖灭。受推覆挤压构造运动影

响,红车地区地层整体由东向西抬升,石炭系由东向西埋深变浅,下倾方向呈“碗状”充填,剖面上呈现“老包新”的整体格局(图6)。井-震标定剖面预测结果显示,红车断裂带石炭系主要发育上石炭统,钻井证实共钻揭阿腊德依克赛组、哈拉阿拉特组、成吉思汗山组3套地层。其中,阿腊德依克赛组和哈拉阿拉特组内部受南北向断裂分割形成2个南北向断阶带;成吉思汗山组全区发育,受近南北向逆冲断裂推覆成不同条带,受近东西向调整断裂将其切割成多个断块,向西超覆抬升,呈现“东西分带、南北分块”构造格局。

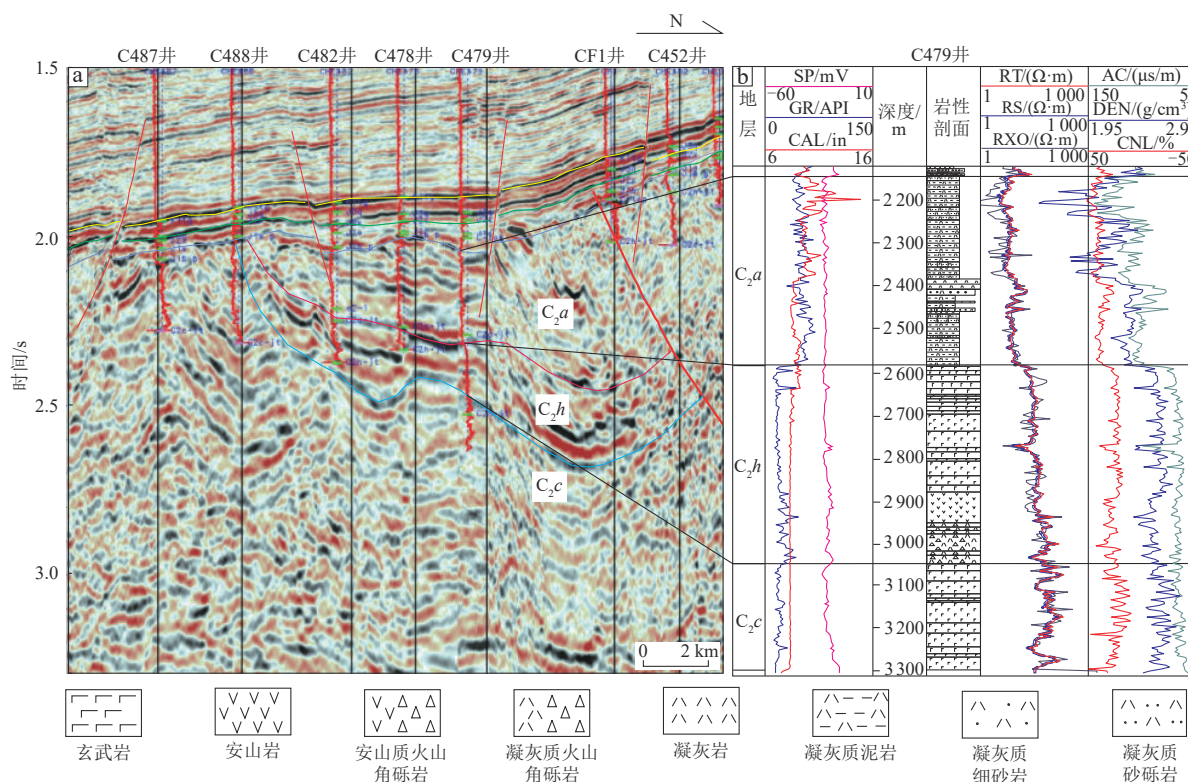


图4 准噶尔盆地红车断裂带C479井石炭系岩性、电性、地震响应特征及地层划分

Fig. 4 The lithologic, electrical, and seismic response characteristics and stratigraphic division of the Carboniferous in the Hongche fault zone, Junggar Basin

a. 地震响应特征; b. 岩性和电性响应特征

3 地层演化及分布特征

中、晚石炭世—晚二叠世,研究区处于强烈隆升剥蚀阶段,地层由西向东抬升,红车断裂带活动剧烈并自西向东逆冲,形成多条南北向展布的断阶带,此段时期石炭系主要受南北向断层控制呈南北向条带分布^[29]。侏罗系沉积期后,红车断裂带活动减弱,地势仍为西高东低,车排子凸起发育东西向正断层,此时期石炭系受东西向断层再调整,重新分配展布范围,呈现目前分布格局。

上石炭统成吉思汗山组全区分布,目前钻探井尚未钻穿该层。构造整体上西北高、东南低,为一东南倾的单斜,地层产状较平缓,剖面上完全包裹上覆哈拉阿拉特组和阿腊德依克赛组。该地层主要受海西晚期形成的近南北向逆冲断裂和近东西向调整断裂控制:近南北向逆冲断裂将石炭系推覆成不同条带,近东西向调整断裂将其切割成多个断块,此外一系列与之伴生的次一级断裂进一步将成吉思汗山组切割成不同断块,呈现目前“网格状”格局,内部发育较多鼻状微幅构造,是油气有利分布区。

上石炭统哈拉阿拉特组整体西高东低、西薄东厚,

为一东南倾的单斜。在南北向红车断裂、CF10井西断裂、C486井西断裂、东西向C482井南断裂以及C496井北断裂包围中,内部被南北向断裂CF1井断裂分割,近似蝴蝶状,形成2个南北向断阶带,包裹阿腊德依克赛组。地层厚度在100~500 m,断裂附近较薄(图7)。靠近红车断裂附近的一台断阶带内发育鼻状微幅构造,微幅构造是本区石炭系内较有利的含油气部位。

上石炭统阿腊德依克赛组在研究区内分布范围较小,整体西高东低、西薄东厚,为一东南倾的单斜。阿腊德依克赛组西部及南部分别受C486井西断裂和C482井南断裂所挟持,北部及东部以地层尖灭线为界,内部被南北向CF1井断裂分割,形成2个南北向断阶带。阿腊德依克赛组厚度在100~500 m,地层厚度以CF1井—C5井为中心向周围减薄,近似蝴蝶状(图8)。

4 有利岩相特征与分布

4.1 有利岩相特征

红车断裂带石炭系火山岩储层岩石类型以中-基

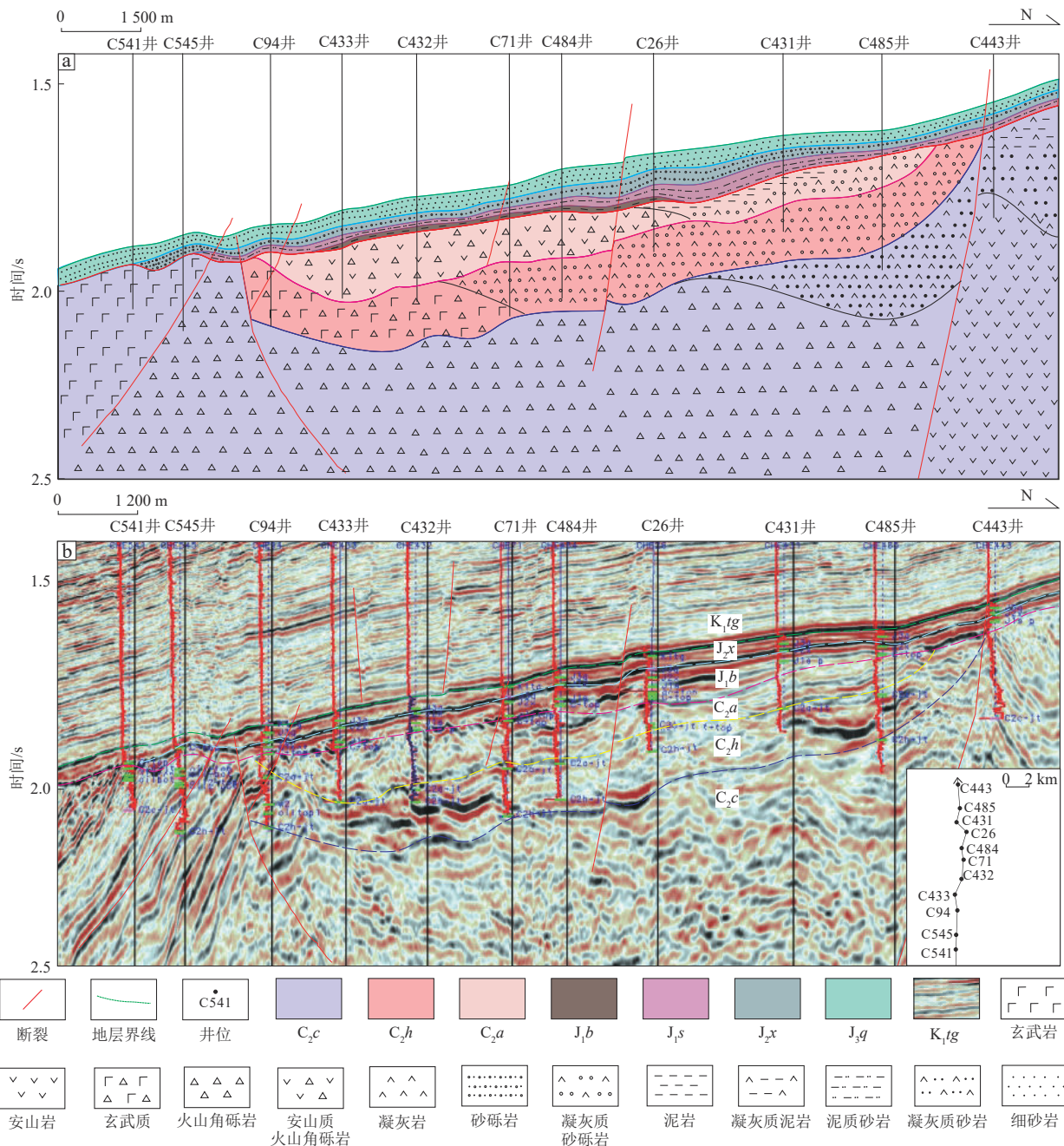


图5 准噶尔盆地红车断裂带南北向构造格架

Fig. 5 North-south tectonic framework of the Carboniferous strata in the Hongche fault zone, Junggar Basin

a. 地层格架; b. 地震剖面

性为主,岩性对火山岩储层有利圈闭的分布具有指向性^[30],明确火山岩岩性、岩相的展布规律特征,指导油气富集规律研究。结合研究区内探井、评价井岩性解释,剖面上岩性呈现下粗上细的分布规律。石炭系主体发育爆发相火山角砾岩,主要发育玄武质火山角砾岩和安山质火山角砾岩,中部由爆发相向碎屑岩沉积相过渡,发育粉砂质凝灰岩,局部发育溢流相玄武岩和安山岩,顶部则以碎屑岩沉积相为主,主要发育凝灰质粉细砂岩,局部发育凝灰质泥岩夹层。油气层集中分

布在哈拉阿拉特组,火山角砾岩为主要的含油岩性,其次是安山岩,上部阿腊德依克赛组,局部发育少量气层(图9)。

4.2 有利岩相分布

结合研究区内62口探井、评价井和石炭系单井测井解释岩性,结合地震最大波峰振幅强度属性,进行岩性平面分布预测,按照石炭系内幕地层划分,对研究区石炭系内部地层岩性分布重新认识和评价。

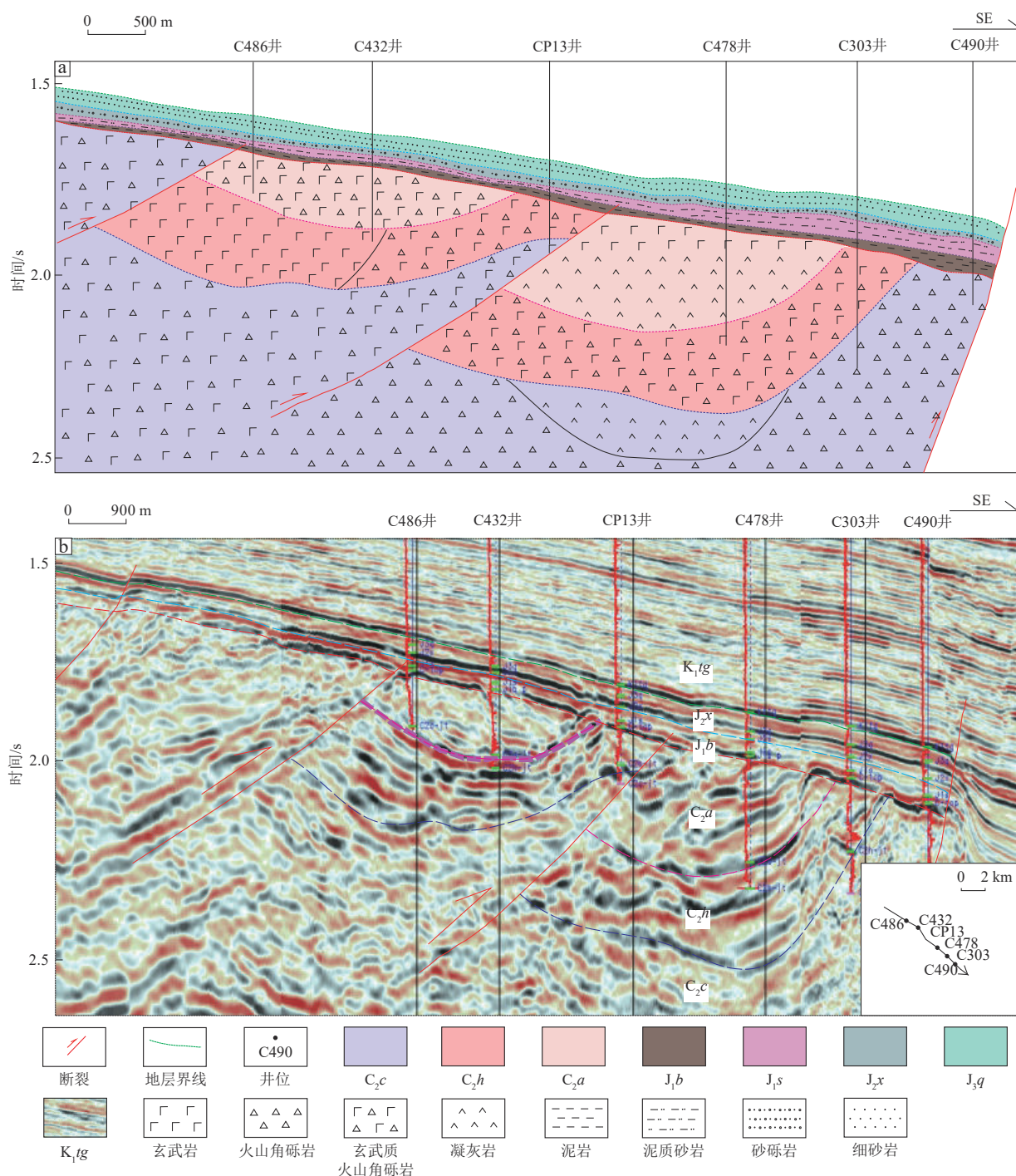


图6 准噶尔盆地红车断裂带石炭系东西向构造格架

Fig. 6 East-west tectonic framework of the Carboniferous strata in the Hongche Fault Zone, Junggar Basin

a. 地层格架; b. 地震剖面

研究区成吉思汗山组全区分布,整体上西北高、东南低,为一东南倾的单斜,受南北向断裂推覆形成不同条带,近东西向断裂调整成多个断块,岩性分布呈现条带状分布。以红车断裂带与CF1井断裂为第一断阶带,主体发育爆发相,岩性以玄武质火山角砾岩,南部则以溢流相为主,岩性主要发育安山岩和玄武岩,油气主要沿红车断裂带聚集,油层主要集中分布于玄武质

火山岩和玄武岩中;以CF1井断裂与C486井西断裂形成第二断阶带,北部以C443井区发育碎屑岩沉积相,岩性以砂砾岩为主,中部发育爆发相,岩性为玄武质火山角砾岩,油层主要集中分布在以C498井为中心的玄武质火山角砾岩一带。第二断阶带南部发育溢流相,以C542井为中心发育安山岩和玄武岩,油层主要分布在C541井为中心的玄武岩、安山岩一带。成吉思汗山

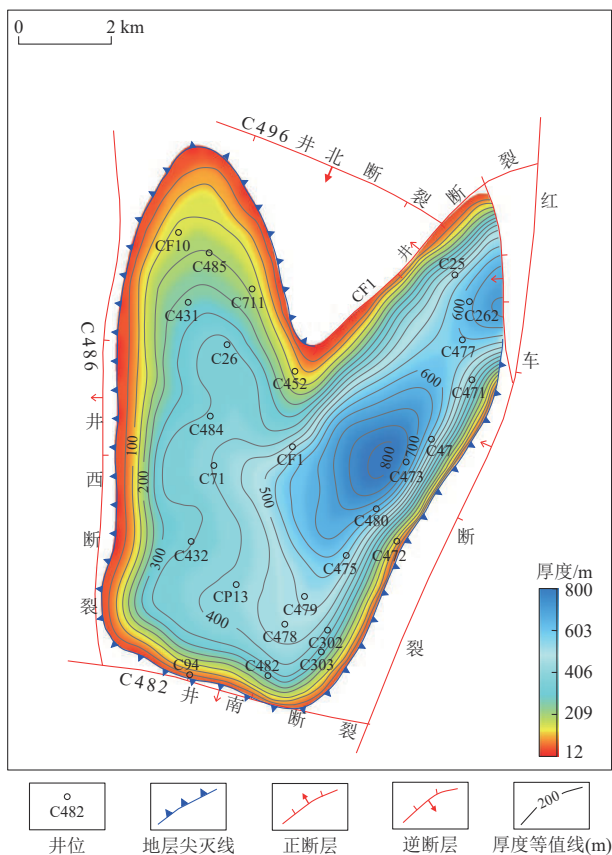


图7 准噶尔盆地红车断裂带石炭系哈拉阿拉特组厚度

Fig. 7 Isopach map of the Carboniferous C_2h in the Hongche fault zone, Junggar Basin

组整体表现为南北沉积差异大,由南向北从溢流相—爆发相—火山沉积相—碎屑岩沉积相过渡,油气成藏主要受断层及岩体控制,油气主要在玄武质火山角砾岩、玄武岩和安山岩中储集成藏,整体沿红车断裂带分布(图10a)。

哈拉阿拉特组继承了成吉思汗山组构造格局,由东向西超覆,地层由东向西抬升,受抬升作用影响,超覆于成吉思汗山组之上,各方向均呈现不同程度的地层尖灭,地层范围较小。平面上北部沉积以碎屑岩沉积相及火山沉积相交过渡相为主,发育相对较细的凝灰岩及凝灰质砂砾岩,油气层鲜有发育。南部以爆发相沉积为主,岩性主要以玄武质火山角砾岩为主,以C478井为中心局部发育凝灰岩,局部地区发育溢流相,以CF1井和C472井为中心发育安山岩、玄武岩。哈拉阿拉特组被红车断裂和CF1井断裂切割成2个断阶带,油气藏沿红车断裂呈现条带状分布,主要集中分布在第一断阶带的玄武质火山角砾岩中,试油结果显示油水分布受古构造控制,红车断裂带附近,构造高部位发育纯油气层,斜坡区发育油-气-水过渡带,油-水分异明显(图10b)。

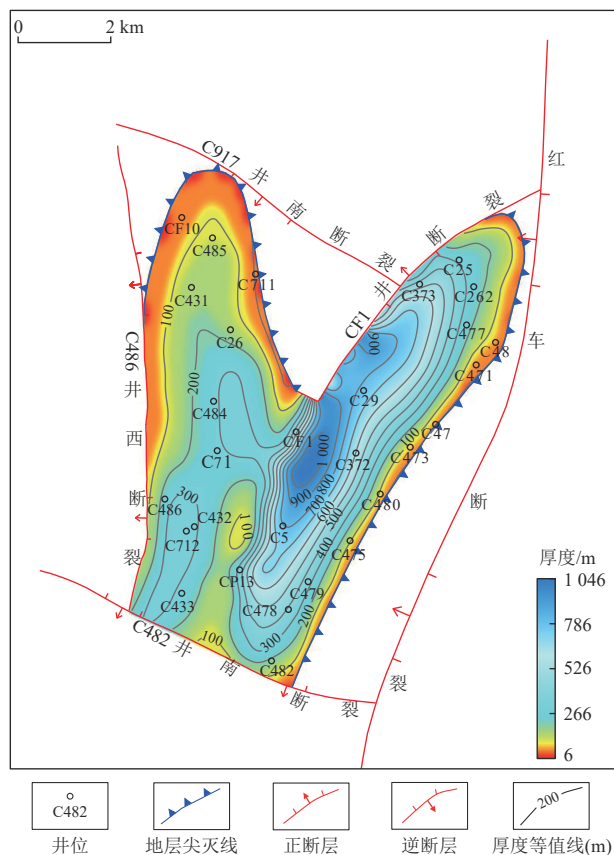


图8 准噶尔盆地红车断裂带石炭系阿腊德依克赛组厚度

Fig. 8 Isopach map of the Carboniferous C_2a in the Hongche fault zone, Junggar Basin

阿腊德依克赛组经过各期构造运动的抬升剥蚀,范围较小,平面上优势岩性以碎屑岩为主,局部发育火山角砾岩及凝灰岩。第一断阶上主要发育碎屑岩沉积相,岩性以砂砾岩为主,南部发育少量凝灰岩;第二断阶上北部仍然以碎屑岩沉积相为主,南部则主要发育爆发相,以火山角砾岩为主,油气主要在火山角砾岩中储集成藏,沿 C486 井断裂分布(图 10c)。

结合研究区剖面和平面上火山岩相的发育情况,刻画了红车断裂带石炭系油藏的火山岩相发育特征。研究区火山岩相分布呈现明显区域性,主体发育的爆发相呈近南北条带状分布,伴随爆发相局部发育溢流相,西北部则主要以火山沉积相及碎屑岩沉积相为主。通过平面相的组合特征,火山口位于西南部C65井附近,喷发方式为中心式喷发,平面上由南向北,从火山角砾岩到安山岩、玄武岩过渡,北部则以凝灰岩及粉砂岩为主。研究区受逆断层多期叠加推覆作用,不同岩性抗风化能力的不同,导致石炭系各层组发生不同程度的削蚀尖灭,整体由东向西埋深变浅。成吉思汗山组东部以红车断裂为界,向西超覆抬升全区分布,火山岩相分布相对较为完整;阿腊德依克赛组 and 哈拉阿拉

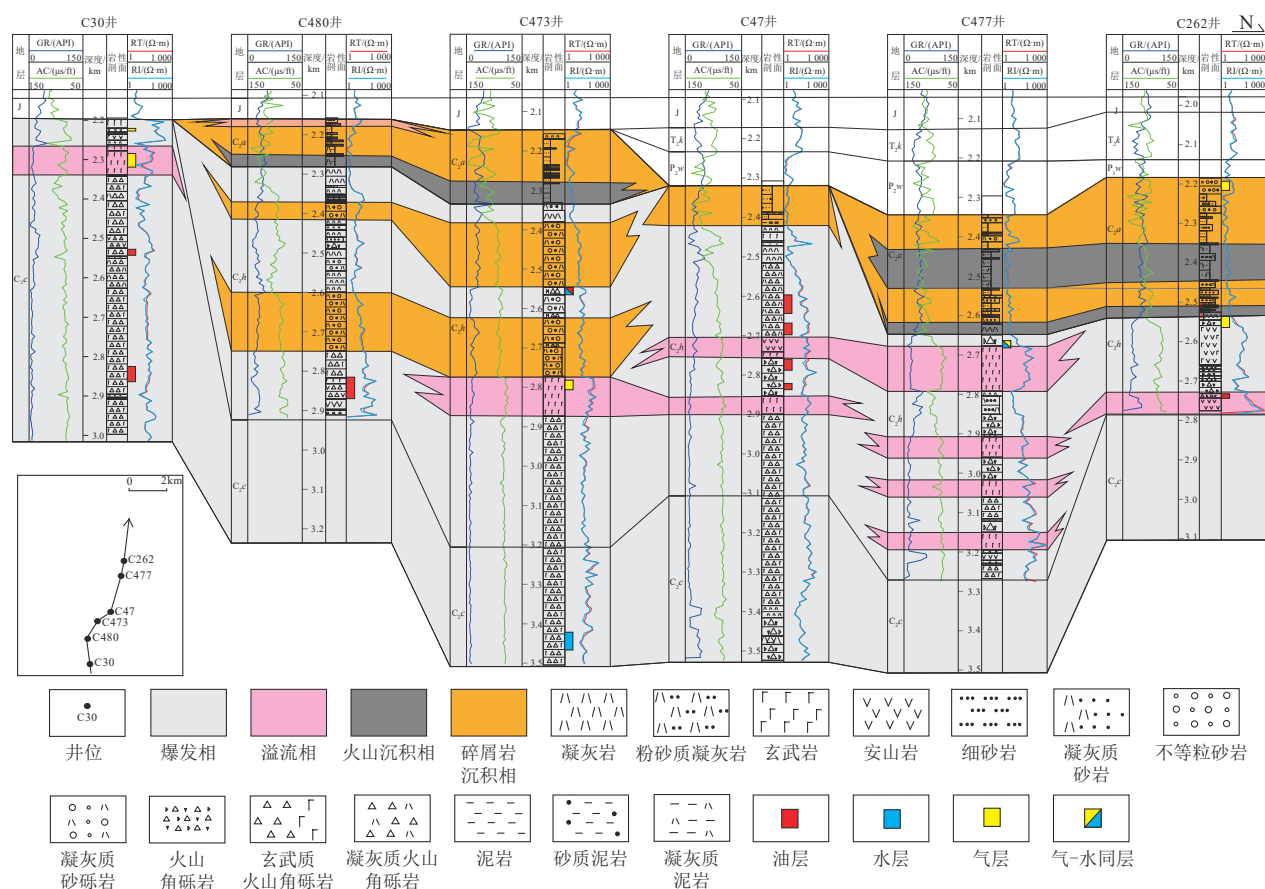


图9 准噶尔盆地红车断裂带过C30井—C480井—C473井—C47井—C477井—C262井火山岩相剖面

Fig. 9 Profile of the volcanic lithofacies across wells C30, C480, C473, C47, C477, and C262 in the Hongche fault zone, Junggar Basin

特组呈现“充填状”“老包新”的格局,火山岩相平面展布规律继承了成吉思汗山组的分布特征,但整体规模相应变小。

5 油气成藏特征

车排子凸起定型于海西期,红车断裂体系形成于印支期构造运动,同时石炭系遭受长期的地层抬升及风化作用形成不整合面,油源断裂与不整合面组合而成的复杂的输导体系为沙湾凹陷烃源岩生成的油气提供了良好的运移通道,红车断裂带经历了晚三叠世和晚侏罗世两期成藏过程^[31-32],沙湾凹陷二叠系风城组、乌尔禾组烃源岩分别在晚三叠世、晚侏罗世沿主要的输导体系向火山岩岩性圈闭充注聚集成藏^[33]。晚海西期构造运动强烈,以南北向断裂为界形成多期断裂带,由东向西依次形成红车断裂带、CF1井断裂和C486井西断裂,这3条南北向断裂将石炭系切割为3个断阶带,受挤压推覆作用影响,石炭系各层组自下而上在各断阶发育规模逐渐减小。红车断裂带部分数井均钻遇至成吉思汗山组,试油结论证实油气主要集

中在火山角砾岩和玄武岩中,研究区主要含油层为成吉思汗山组和哈拉阿拉特组。

成吉思汗山组在3个断阶带全区分布,油气成藏主要受断裂和岩体物性控制^[34],在第一断阶带中的火山岩体中储集成藏,主要在物性相对较好的安山玄武岩、玄武质火山角砾岩中成藏,研究区北部第二断阶带发育2类油气储集体,分别是碎屑岩体和火山岩体,碎屑岩体中油气储集岩性主要为凝灰质砂砾岩、凝灰质砂岩等,火山岩体中油气储集岩性主要为安山玄武岩、玄武质火山角砾岩等,油气藏表现为“一体一藏”成藏规律。哈拉阿拉特组在第一断阶带、第二断阶带上均发育,哈拉阿拉特组油气分布受古构造及岩体共同控制,在第一断阶带主要发育角砾岩、安山玄武岩,仅北部发育碎屑岩,油气集中分布在火山岩储集体中,第一断阶中构造相对高部位的火山岩储集体均为油气有利的指向区;第二断阶带上南部岩性为火山角砾岩,北部为碎屑岩,油气相对分散,油气主要在火山角砾岩体中聚集成藏,南部火山岩储集体为油气聚集的有利区。阿腊德依克赛组在第一断阶带、第二断阶带上均发育,岩性分区带差异大,由南向北以火山角砾岩向碎屑

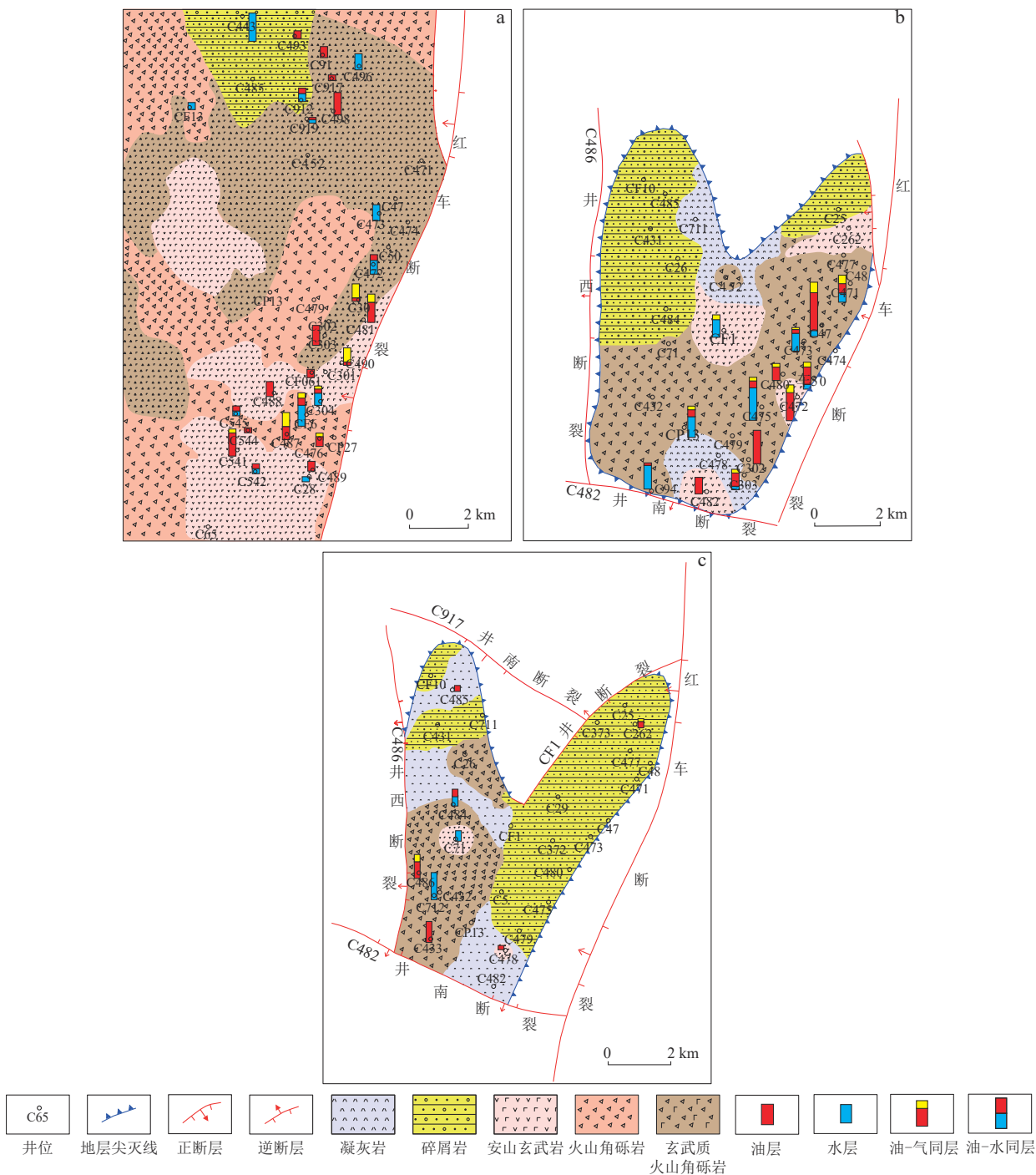


图 10 准噶尔盆地红车断裂带石炭系成吉思汗山组(a)、哈拉阿拉特组(b)和阿腊德依克赛组(c)优势岩相分布

Fig. 10 Distributions of dominant lithofacies in the Carboniferous C_{2c} (a), C_{2h} (b), and C_{2a} (c) in the Hongche fault zone, Junggar Basin

岩过渡,油气集中分布在火山角砾岩储集体中,第二断阶带中火山角砾岩为油气聚集的主要指向区(图 11)。

6 结 论

1) 通过岩性对比、地质年代法和井-震结合研究,厘定准噶尔盆地红车断裂带石炭系界限,红车断裂带钻遇石炭系为上石炭统,自上而下划分为阿腊德依克

赛组、哈拉阿拉特组和成吉思汗山组。地层分布由断层与尖灭共同控制,剖面上地层呈嵌套式分布,平面上呈“老包新”的格局。受逆断层多期逆掩推覆叠加,石炭系由东向西埋深变浅,近南北向逆冲断裂将其推覆成不同条带,近东西向调整断裂将其切割成多个断块,整体向西超覆抬升,呈现“东西分带、南北分块”构造格局。

2) 红车断裂带石炭系火山岩相分布呈现明显区域性,主体发育的爆发相呈近南北条带状分布,伴随爆

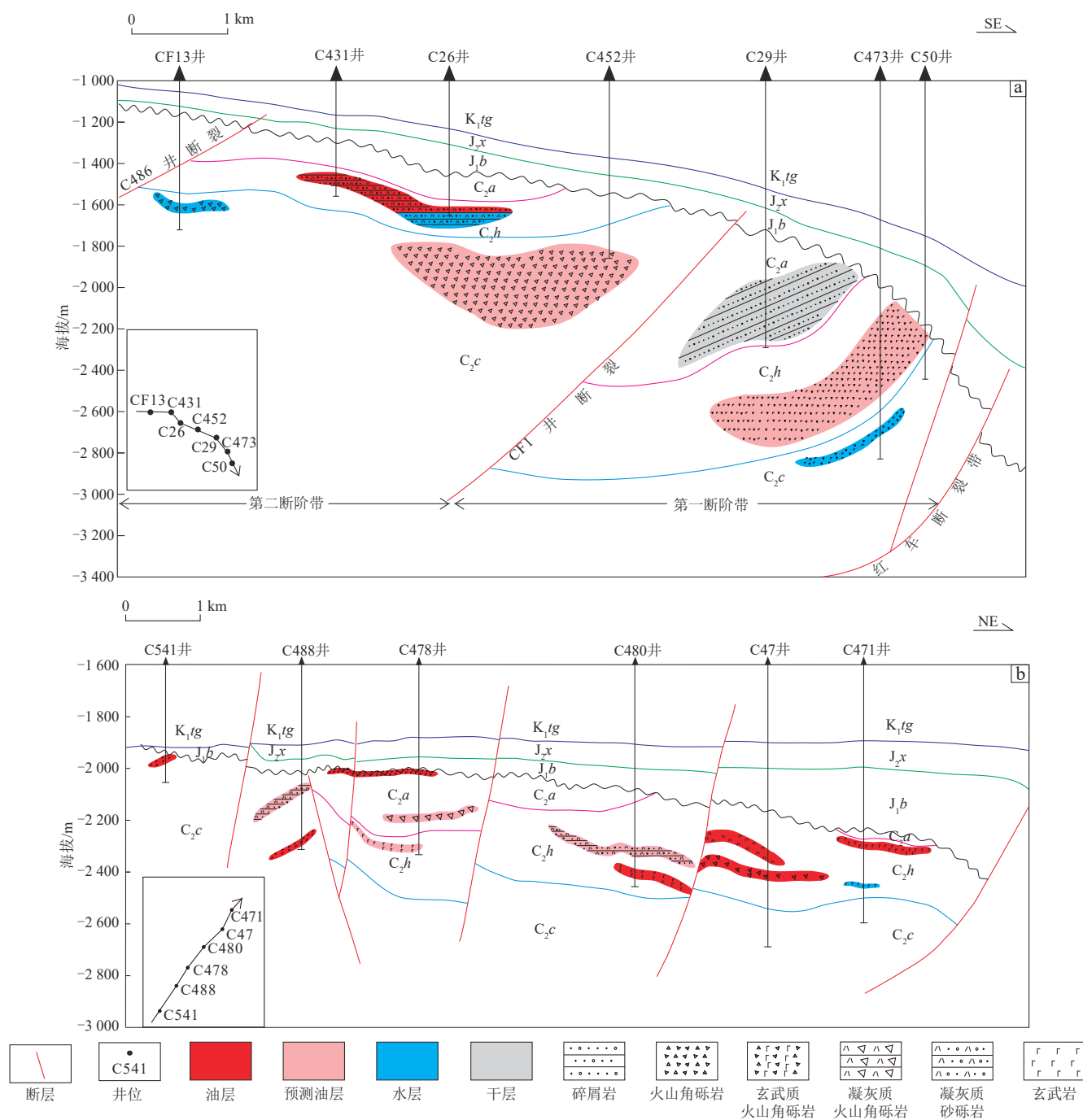


图 11 准噶尔盆地红车断裂带 SE 向(a)和 NE 向联井剖面油层分布模式(b)

Fig. 11 Distribution patterns of oil layers on profiles across wells CF13, C431, C26, C452, C29, C473, and C50 (a) and across wells C541, C488, C478, C480, C47, and C471 (b) in the Hongche fault zone, Junggar Basin

发相局部发育溢流相,西北部则主要以火山沉积相及碎屑岩沉积相为主。平面上由南向北,从火山角砾岩到安山岩、玄武岩过渡,北部则以凝灰岩及粉砂岩为主。纵向呈现下粗上细的分布规律,成吉思汗山组主体发育爆发相火山角砾岩,受推覆作用影响,阿腊德依克赛组和哈拉阿拉特组超覆尖灭,南部爆发相剥蚀减少,主体发育火山沉积相和碎屑岩沉积相。

3) 石炭系的含油性与岩性关系密切,安山质角砾

岩、玄武质角砾岩与玄武岩是本区优势储层岩性,油气成藏主要受断裂和岩体物性控制,表现为“一体一藏”成藏规律。研究区主要含油层为成吉思汗山组和哈拉阿拉特组,南部火山角砾岩及局部安山玄武岩为油气聚集有利指向区。

参 考 文 献

- [1] 侯连华,罗霞,王京红,等. 火山岩风化壳及油气地质意

- 义——以新疆北部石炭系火山岩风化壳为例[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(3): 257–265, 274.
- HOU Lianhua, LUO Xia, WANG Jinghong, et al. Weathered volcanic crust and its petroleum geologic significance: A case study of the Carboniferous volcanic crust in northern Xinjiang[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(3): 257–265, 274.
- [2] 齐洪岩, 李亮, 张吉辉, 等. 准噶尔盆地车471井区亿吨级火山岩油气藏发现历程及意义[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(8): 98–99.
- QI Hongyan, LI Liang, ZHANG Jihui, et al. Discovery process and significance of 100 million ton volcanic reservoir in Che 471 Well area, Junggar Basin [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2019, 39(8): 98–99.
- [3] 殷文, 冯程, 周发鑫, 等. 红车断裂带石炭系火山岩岩性岩相特征分析及储层识别[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2023, 47(1): 50–61.
- YIN Wen, FENG Cheng, ZHOU Faxin, et al. Lithology and lithofacies characteristics analysis and reservoir identification of Carboniferous volcanic rocks in Hongche Fault Zone[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2023, 47(1): 50–61.
- [4] 靳军, 王剑, 杨召, 等. 准噶尔盆地克一百断裂带石炭系内幕储层测井岩性识别[J]. 岩性油气藏, 2018, 30(2): 85–92.
- JIN Jun, WANG Jian, YANG Zhao, et al. Well logging identification of Carboniferous volcanic inner buried-hill reservoirs in Ke-Bai Fault Zone in Junggar Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2018, 30(2): 85–92.
- [5] 潘虹, 李晓山, 金萍, 等. 准噶尔盆地车排子凸起石炭系火山岩体识别及解剖[J]. 东北石油大学学报, 2022, 46(6): 40–51.
- PAN Hong, LI Xiaoshan, JIN Ping, et al. Identification and internal anatomy of Carboniferous volcanic reservoir of Chepaizi Uplift in Junggar Basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2022, 46(6): 40–51.
- [6] 邱争科, 李婷, 杨兴, 等. 准噶尔盆地克一百断裂带石炭系内幕成藏特征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2020, 42(5): 39–47.
- QIU Zhengke, LI Ting, YANG Xing, et al. The internal characteristics of Carboniferous in Ke-Bai Fault Zone in the northwest margin of Junggar Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2020, 42(5): 39–47.
- [7] 潘虹, 李晓山, 钱川川, 等. 准噶尔盆地克百断裂带石炭系内幕型火山岩储层特征及成藏规律[J]. 东北石油大学学报, 2022, 46(1): 62–75, 122.
- PAN Hong, LI Xiaoshan, QIAN Chuanchuan, et al. Characteristic and accumulation Patterns of Carboniferous inside-type volcanic reservoir in Kebai Fault Zone of Junggar Basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2022, 46(1): 62–75, 122.
- [8] LI Xiaoshan, PAN Hong, WU Yuxiao, et al. Main control factors and hydrocarbon accumulation model of volcanic oil reservoirs with complex oil-water relationships: A case study of the Carboniferous in the Chepaizi Uplift, the Junggar Basin, China [J]. Minerals, 2022, 12(11): 1357.
- [9] 赵耀, 潘虹, 骆飞飞, 等. 准噶尔盆地红车断裂带石炭系火山岩储层特征及质量控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(5): 1129–1140.
- ZHAO Yao, PAN Hong, LUO Feifei, et al. Characteristics and quality determinants of Carboniferous volcanic reservoirs in the Hongche Fault Zone, Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(5): 1129–1140.
- [10] 李军. 准噶尔盆地西北缘石炭系火山岩油藏储层分布规律及控制因素研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008: 34–40.
- LI Jun. The study on distribution characteristics and controlling factors of Carboniferous volcanic reservoir of the northwestern margin, Junggar Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2008: 34–40.
- [11] 李艳平, 黄芸, 袁波, 等. 卡拉麦里山前石炭系火山岩序列层位归属及分布研究[J]. 新疆地质, 2016, 34(4): 518–522.
- LI Yanping, HUANG Yun, YUAN Bo, et al. Study on the ownership and distribution of volcanic rock sequence of Carboniferous at Kalamaili piedmont [J]. Xinjiang Geology, 2016, 34(4): 518–522.
- [12] 凌立苏, 何文渊, 黄卫东, 等. 准噶尔盆地克拉美丽气田高效勘探实践[J]. 天然气工业, 2010, 30(2): 7–10.
- LING Lisu, HE Wenyuan, HUANG Weidong, et al. Practices of highly efficient exploration in the Kelameili Gas Field, Junggar Basin [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(2): 7–10.
- [13] 李永军, 佟丽莉, 张兵, 等. 论西准噶尔石炭系希贝库拉斯组与包古图组的新老关系[J]. 新疆地质, 2010, 28(2): 130–136.
- LI Yongjun, TONG Lili, ZHANG Bing, et al. On the old and new relationship between Xibeikulasi Formation and Baogutu Formation of the Carboniferous system, west Jaggar [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(2): 130–136.
- [14] 向坤鹏, 李永军, 徐磊, 等. 西准噶尔包古图-哈图地区“太勒古拉组”使用商榷[J]. 新疆地质, 2013, 31(3): 148–152.
- XIANG Kunpeng, LI Yongjun, XU Lei, et al. Discussing the application of “Tailegula Formation” in Baogutu-Hatu region, west Junggar, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2013, 31(3): 148–152.
- [15] 安芳, 魏少妮, 方正坤, 等. 西准噶尔希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩岩石学和锆石 U–Pb 年代学及对沉积层序的指示意义[J]. 地质学报, 2019, 93(8): 1954–1967.
- AN Fang, WEI Shaoni, FANG Zhengkun, et al. Petrology and zircon U–Pb geochronology of tuffaceous conglomerate in the Xibeikulasi Formation, west Junggar, and its implication for sedimentary sequence [J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(8): 1954–1967.
- [16] 王韬, 徐倩, 李永军, 等. 车排子油田南部火山岩地质时代及成因[J]. 新疆石油地质, 2022, 43(2): 160–168.
- WANG Tao, XU Qian, LI Yongjun, et al. Geological age and petrogenesis of volcanic rocks in southern Chepaizi Oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2022, 43(2): 160–168.
- [17] 陈江新, 徐倩, 李永军, 等. 车排子地区车47井石炭系划分及对比[J]. 新疆石油地质, 2022, 43(4): 410–416.
- CHEN Jiangxin, XU Qian, LI Yongjun, et al. Stratigraphic division and correlation of Carboniferous strata in Well Che 47 in Chepaizi area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2022, 43(4): 410–416.
- [18] 赖世新, 姚卫江, 邹红亮, 等. 准噶尔盆地西北缘界山石炭系—

- 二叠系与玛湖凹陷地震地层的关系[J]. 地层学杂志, 2021, 45(2): 151-159.
- LAI Shixin, YAO Weijiang, ZOU Hongliang, et al. The relationship between the Carboniferous-Permian strata in the boundary mountains of the northwestern margin of the Junggar Basin and seismic stratigraphy in Mahu Depression[J]. Journal of Stratigraphy, 2021, 45(2): 151-159.
- [19] 孟凯超. 辽河盆地曙光潜山内幕地层格架与储隔层分布特征研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2015: 9-11.
- MENG Kaichao. Research on features of stratigraphic framework and the distribution of reservoir and restraining barrier in Shuguang inner buried hills of Liaohe Basin [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2015: 9-11.
- [20] 彭湘萍, 李永军, 李卫东, 等. 西准哈拉阿拉特山一带阿腊德依克赛组层序、化石组合及沉积环境[J]. 新疆地质, 2016, 34(3): 297-301.
- PENG Xiangping, LI Yongjun, LI Weidong, et al. The stratigraphic sequence, fossil assemblage and sedimentary environment of Aladeyikesai Formation in Hala' alate Mountain, west Junggar [J]. Xinjiang Geology, 2016, 34(3): 297-301.
- [21] 向坤鹏, 李永军, 李钊, 等. 新疆西准噶尔哈拉阿拉特山火山岩 LA ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及意义[J]. 地质学报, 2015, 89(5): 843-855.
- XIANG Kunpeng, LI Yongjun, LI Zhao, et al. LA ICP-MS zircon age and geochemistry of the Aladeyikesai Formation volcanic rocks in the Halaalate Mountain of west Junggar, Xinjiang, and their tectonic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(5): 843-855.
- [22] 王玉净, 金玉环, 江纳言. 论哈拉阿拉特组的时代及古环境特征[J]. 地层学杂志, 1987, 11(1): 53-57.
- WANG Yujing, JIN Yugan, JIANG Nayan. Discuss the age and ancient environment characteristics of Hala' alate Formation [J]. Journal of Stratigraphy, 1987, 11(1): 53-57.
- [23] 李甘雨, 李永军, 王冉, 等. 西准噶尔哈拉阿拉特组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 西北地质, 2015, 48(3): 12-21.
- LI Ganyu, LI Yongjun, WANG Ran, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of volcanics in Hala' alate Formation of western Junggar[J]. Northwestern Geology, 2015, 48(3): 12-21.
- [24] 向坤鹏, 李永军, 徐磊, 等. 新疆西准噶尔白碱滩一带成吉思汗山组的建立及地质意义[J]. 西北地质, 2013, 46(2): 63-68.
- XIANG Kunpeng, LI Yongjun, XU Lei, et al. The definition of Chengjisihanshan Formation and its significances in Baijiantan region, west Junggar, Xinjiang[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(2): 63-68.
- [25] 郭丽爽, 刘玉琳, 王政华, 等. 西准噶尔包古图地区地层火山岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年代学研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(2): 471-477.
- GUO Lishuang, LIU Yulin, WANG Zhenghua, et al. The zircon U-Pb LA-ICP-MS geochronology of volcanic rocks in Baogutu areas, western Junggar [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(2): 471-477.
- [26] 安芳, 朱永峰. 新疆西准噶尔包古图组凝灰岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1437-1445.
- AN Fang, ZHU Yongfeng. SHRIMP U-Pb zircon ages of tuff in Baogutu Formation and their geological significances [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(6): 1437-1445.
- [27] 尹路, 潘建国, 谭开俊, 等. 火山岩地震储层学在准噶尔盆地红车断裂带石炭系油气勘探中的应用[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(4): 25-30, 42.
- YIN Lu, PAN Jianguo, TAN Kaijun, et al. Application of volcanic seismic reservoir to oil and gas exploration of Carboniferous in Hongche fault belt in Junggar Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(4): 25-30, 42.
- [28] 范存辉, 秦启荣, 袁云峰, 等. 红车断裂带石炭系构造特征及裂缝发育模式[J]. 特种油气藏, 2010, 17(4): 47-49.
- FAN Cunhui, QIN Qirong, YUAN Yunfeng, et al. Structure characteristics and fracture development pattern of the Carboniferous in Hongche fracture belt [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(4): 47-49.
- [29] 董雪梅, 李静, 潘拓, 等. 准噶尔盆地红车断裂带油气成藏条件及勘探潜力[J]. 石油学报, 2023, 44(5): 748-764.
- DONG Xuemei, LI Jing, PAN Tuo, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential of Hongche Fault Zone in Junggar Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2023, 44(5): 748-764.
- [30] 冯梓岩, 殷文, 钟云滔, 等. 基于常规测井的火成岩岩性识别方法——以准噶尔盆地西北缘红车断裂带石炭系火成岩储层为例[J]. 东北石油大学学报, 2021, 45(5): 95-108.
- FENG Ziyang, YIN Wen, ZHONG Yuntao, et al. Lithologic identification of igneous rocks based on conventional log: A case study of Carboniferous igneous reservoir in Hongche Fault Zone in northwestern Junggar Basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2021, 45(5): 95-108.
- [31] HE Qingbo, CHEN Shijia, WANG Jian, et al. Geochemical characteristics and origin of crude oil from Carboniferous volcanic rocks in the Hongche Fault Zone of the Junggar Basin of China [J]. Frontiers in Earth Science, 2022, 10: 953245.
- [32] 李建忠, 王小军, 杨帆, 等. 准噶尔盆地中央坳陷西部下组合油气成藏模式及勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(5): 1059-1072.
- LI Jianzhong, WANG Xiaojun, YANG Fan, et al. Hydrocarbon accumulation pattern and exploration prospect of the structural traps in lower play of the western central depression in the Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(5): 1059-1072.
- [33] 刘得光, 倪云燕, 陈建平, 等. 准噶尔盆地西北缘车排子凸起原油类型与油源[J]. 地质学报, 2023, 97(5): 1576-1597.
- LIU Deguang, NI Yunyan, CHEN Jianping, et al. Types and sources of crude oil in the Chepaizi Uplift, northwest margin of the Junggar Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2023, 97(5): 1576-1597.
- [34] 单玄龙, 王蔚, 张新涛, 等. 渤海海域渤中凹陷中生界火山机构地质模式及建造过程[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(3): 675-688.
- SHAN Xuanlong, WANG Wei, ZHANG Xintao, et al. Geological model and construction process of the Mesozoic volcanic edifices in Bozhong Sag, Bohai Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(3): 675-688.