

塔中气田奥陶系碳酸盐岩岩溶储层预测研究

潘春孚^{1,2} 潘杨勇³ 代春萌² 敬兵³
郭晓龙² 李璇² 康敬程² 邹憬²

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;
3. 塔里木油田公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩岩溶储层具有埋藏深、地震资料分辨率及信噪比不高、非均质性强等特点。为此,利用古地貌、古水流和古断裂等地质主控因素方法与多地震属性信息融合技术相结合的解决思路,对研究区奥陶系鹰山组碳酸盐岩岩溶缝洞型储层进行了分析和预测,刻画了不同类型岩溶储层的分布规律。该方法既降低地震信息的多解性、提高了储层预测的精度,又符合地质规律,研究成果为研究区的勘探生产奠定了坚实的基础。

关键词:碳酸盐岩;岩溶储层;地质主控因素;地震多属性

中图分类号: P618.130.2⁺.1; P588.24⁺5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)06-1850-12

塔中气田位于塔里木盆地塔中古隆起,塔中古隆起形成于早奥陶纪且长期继承性发育,古隆起形成时奥陶系鹰山组碳酸盐岩沉积长期出露地表,具备形成岩溶储层的优越地质条件^[1]。21世纪以来,塔中古隆起构造带鹰山组风化壳相继发现一系列气藏,其储集空间以溶蚀孔、缝、洞为主,揭示了该区岩溶储层气藏勘探的良好前景^[2,3]。但是,由于塔中地区奥陶系鹰山组碳酸盐岩风化壳储集空间溶蚀孔洞和溶蚀裂缝具有埋藏深、地震资料分辨率及信噪比低、非均质性强等特点,近年来一些针对奥陶系鹰山组风化壳部署探井的落空,表明塔中气田奥陶系鹰山组碳酸盐岩岩溶储层预测一直是石油勘探工作的难点。本文充分吸收利用研究区目前的油气勘探成果,深化了碳酸盐岩风化壳岩溶储层特征的认识,对岩溶储层发育的控制因素进行了分析,在此基础上应用敏感地震属性多信息融合技术对碳酸盐岩岩溶储层的分布规律进行了综合预测,为塔中气田的天然气勘探提供依据。

1 地质背景

塔中气田位于形成于早奥陶世末且长期较稳定

发育的塔中古隆起上,北与塔中 I 号坡折带与满加尔凹陷相邻,西南分别与阿瓦提凹陷和塘古孜巴斯凹陷呈斜坡过渡关系,东与塔中东凸起相邻。本次研究区位于塔中古隆起西部北斜坡的 ZG10-ZG51 井区(图 1)。

研究区奥陶系自下而上发育下奥陶统蓬莱坝组、鹰山组和上奥陶统良里塔格组、桑塔木组。奥陶系岩溶储层主要发育在鹰山组,分为鹰一段、鹰二段、鹰三段和鹰四段 4 个段,整体为一套还原环境下的局限台地相沉积。鹰一段和鹰二段是本次研究的主要目的层段,发育泥晶灰岩、砂屑灰岩、云质灰岩、含泥灰岩等岩性。

2 岩溶储层主控因素分析

2.1 岩溶储层特征

通过对塔中北斜坡钻遇鹰山组一段、二段的铸体薄片、岩心和成像测井观察,奥陶系鹰山组一段、二段碳酸盐岩的原生基质孔隙不发育,而以岩溶作用和构造作用产生的次生孔洞型、裂缝-孔洞型和

收稿日期:2013-01-16;改回日期:2013-04-23

基金项目:国家“十二五”科技重大专项(2011ZX05013)资助。

作者简介:潘春孚,男,1983年生,博士,主要从事地震地质综合勘探研究工作;E-mail:panchunfu111@sina.com。

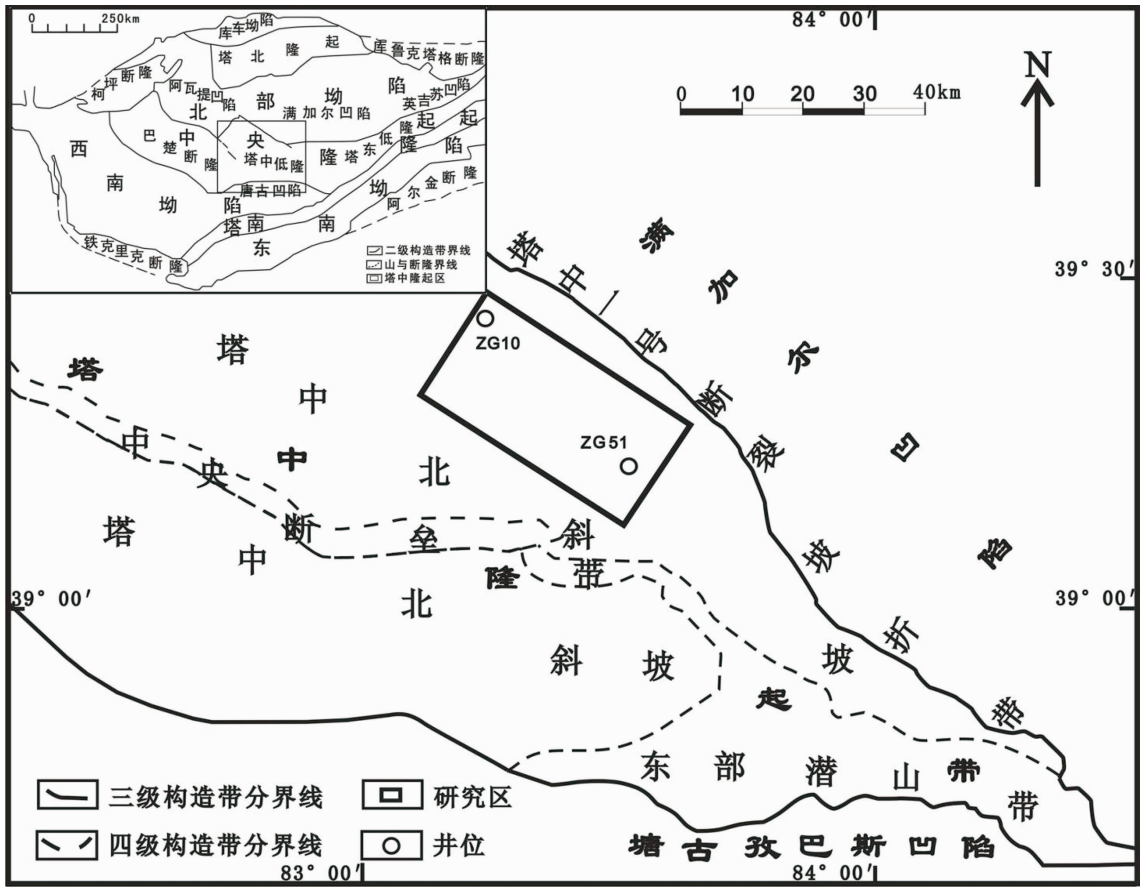


图 1 研究区构造位置图(据塔里木油田^①)
 Fig.1 Tectonic location of the study area (after Tarim Oil Field^①)

裂缝型储集空间为主。

2.2 岩溶储层控制因素分析

据前人研究^[4-16]可知,岩溶古地貌、古水流、断裂及裂缝发育状况等对岩溶作用的发生及其强度、有效储集空间的形成有着重要的控制作用。即早奥陶世末遭受大面积强烈风化剥蚀的古地貌和古水流岩溶作用、晚奥陶世末构造挤压隆升和石炭纪早期深大走滑断裂活动中发生的构造破裂作用和溶蚀作用二者相互作用产生的大量岩溶孔洞和裂缝成为研究区油气聚集的重要场所^[12-13]。因此,研究古地貌、古水流和古构造特征,对于准确预测奥陶系鹰山组碳酸盐岩风化壳岩溶有利储层的分布规律具有十分重要的意义。

2.2.1 古地貌对岩溶储层发育与分布的控制

岩溶古地貌直接影响和控制岩溶作用的强弱、

岩溶作用方式、岩溶发育特征和类型^[4-9]。运用印模法将研究区稳定沉积分布的石炭纪系页岩层作为标准层,将标准层与鹰山组顶界之间的地层厚度近似恢复早奥陶世末期的古地貌,并进行了分析,鹰山组古潜山整体东南高,西北低,通过古地貌地形特点和钻井揭示,划分出岩溶次高地、岩溶斜坡和岩溶洼地 3 个一级地貌单元(图 2)。

(1) 岩溶次高地

岩溶次高地可分为东、中、西三部分,西部分布在 ZG43-ZG433c 井一带,中部分布在 ZG434 一带,东部分布在 ZG51 一带,均以早奥陶世末北东走向断层为界,呈北西向延伸。西部岩溶次高地地形高,起伏较大,不利于地表水流汇聚,溶蚀能力较弱,岩溶储层以溶蚀缝为主;中部岩溶次高地地形起伏不大,坡度不大,水流速度大,岩溶储层以溶蚀孔洞

①塔里木油田碳酸盐岩油气藏勘探开发一体化成果、做法及下步工作部署报告,2010:1-80.

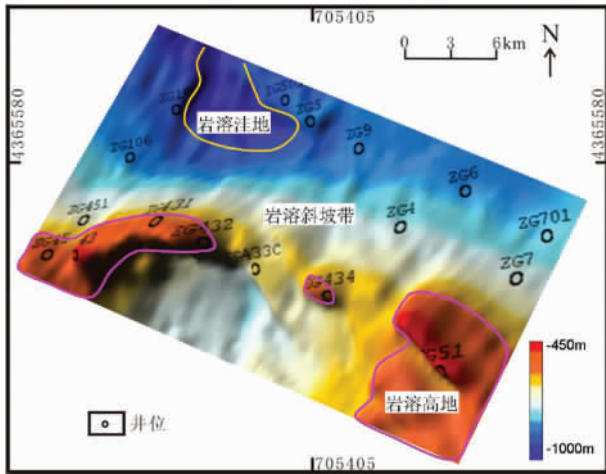


图2 研究区良里塔格组沉积前古地貌图
Fig.2 Palaeogeomorphology before deposition of Lianglitage Formation

为主,但易被充填;东部岩溶次高地地形高,坡度大,不利于地表水流汇聚,以溶蚀缝为主的岩溶储层比较发育。

(2)岩溶斜坡

岩溶斜坡可分为东、中、西3部分,东斜坡分布在 ZG7-ZG701 一带和 ZG51 以南一带,中斜坡位于 ZG4-ZG6 一带,西斜坡位于 ZG501-ZG9 和 ZG451-ZG10 一带。由于受早奥陶世末期断裂的分隔作用,东、中、西岩溶斜坡地貌形态有所差异。中斜坡坡度缓,与东、西斜坡均有明显的北东向延伸的深沟;西斜坡坡度最陡,在 ZG451-ZG10 一线发育有延伸较长的北东向深沟;东斜坡坡度较陡,没有明显的深沟发育。斜坡带岩溶储层以溶蚀孔洞为主,溶蚀缝也有发育,钻遇的溶蚀洞穴均分布在斜坡带(表1)。

(3)岩溶洼地

岩溶洼地为由西部的 ZG106-ZG10 一线和 ZG501-ZG9 一线所夹持的中间部位和 ZG43-ZG433c 以南一带,是汇水区或泄水区,该区鹰山组剥蚀少,岩溶发育程度较低。

表1 研究区漏失井统计

Table 1 Statistics of dropout wells of the study area

井名	井深/m	井位对应古地貌位置	钻井液漏失量/m ³
ZG6	6172.73	斜坡带	118.46
ZG10	6309.7	斜坡带	11.2

2.2.2 古水流作用对岩溶储层发育与分布的控制

古水流可对碳酸盐岩反复溶蚀改善其物性,其岩溶作用通常划分为垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带3个作用带^[4,10,11]。本次以岩溶地质学理论为指导,通过成像测井中溶蚀孔洞的垂直状、水平状以及是否发育溶蚀孔洞缝来识别划分垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带,进而分析古水流对岩溶储层的控制作用。

(1)垂直渗流带

早奥陶世末,塔中地区逆冲隆升遭受风化淋滤剥蚀,古水流不断对岩溶高地进行溶蚀甚至夷平,由研究区钻井的成像测井垂直溶蚀孔洞的展布分析知,垂向上岩溶次高地发育较厚,可达20余米,向岩溶斜坡带垂直渗流带逐渐变薄消失(图3)。垂直渗流带以垂直状溶蚀孔洞发育为特征。

(2)水平潜流带

由研究区钻井的成像测井水平溶蚀孔洞的展布分析知,垂向上水平潜流带在岩溶次高地发育较深,可达鹰山组顶界以下10~20余米;在斜坡带水平潜流带处于鹰山组顶界以下几米甚至是界面处(图3)。

(3)深部缓流带

深部缓流带水流流动缓慢,对先期形成的裂缝、溶孔发生胶结充填,对岩溶储层起破坏作用。但受钻井深度限制,研究区深部缓流带无法开展分析研究。

由上述分析可知,古水流的垂直渗流带在研究区岩溶次高地比较发育,控制了垂向溶蚀孔洞的发育,垂向上可达10~20m以上;水平潜流带在斜坡带非常发育,控制水平溶蚀孔洞的发育,垂向上分布在距鹰山组顶界面以下几米。

2.2.3 古构造作用对岩溶储层发育的控制

古断裂可以作为古水流或火山热液活动的通道,使古水流或火山热液对碳酸盐岩进行溶蚀改善其物性,形成好的储层^[12-16]。根据塔中气田三维地震资料解释结果,认为对岩溶储层影响最大的为加里东中期、加里东晚期和海西晚期断裂。

(1)加里东中期断裂对岩溶储层发育的控制

加里东中期,塔中I号断裂向北东向强烈逆冲使塔中地区隆升,奥陶系鹰山组遭受长期剥蚀^[1]。此时期,NE向、少量NW向、近EW向和近SN向4组断裂在研究区发育,主要分布在西部和北部(图4)。西部加里东中期断裂发育较多,且主要为NE向断裂,延伸较短;北部加里东期断裂零星分布,NW

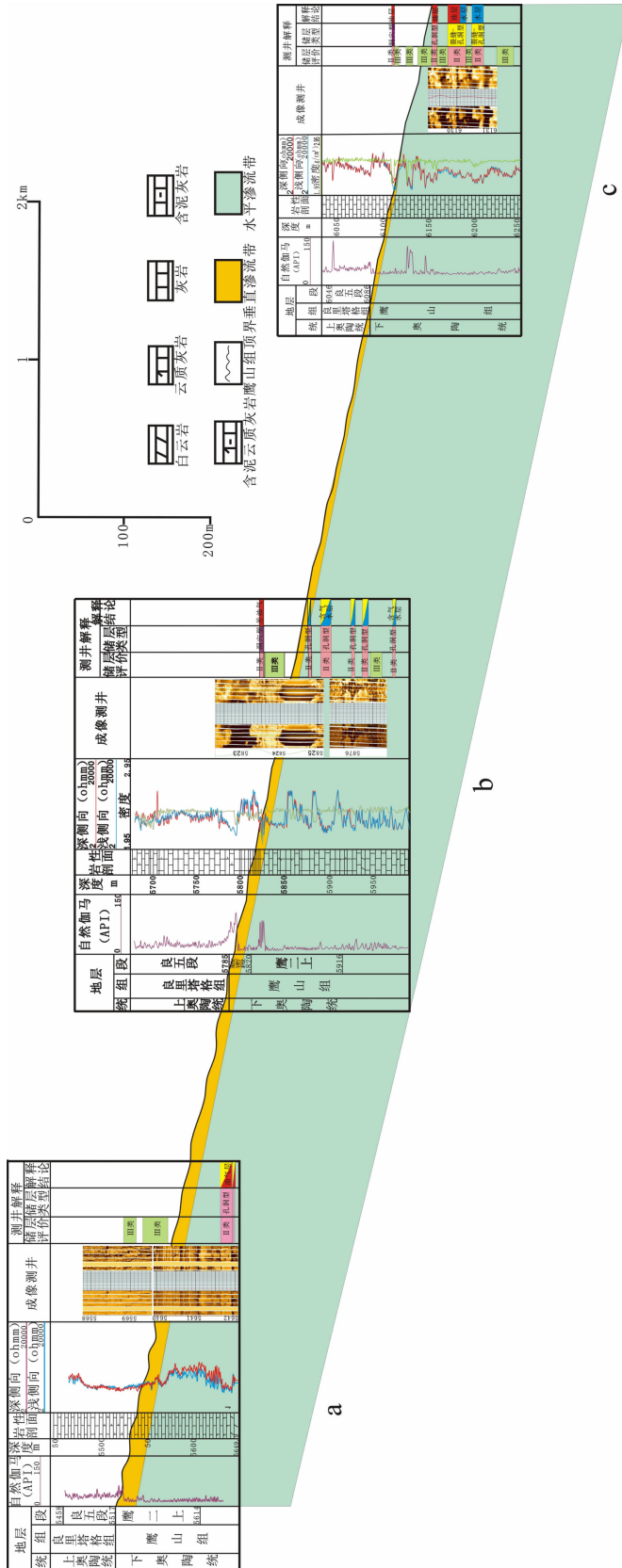


图 3 古水流对岩溶储层分布的影响 (a-ZG45 井, b-ZG451 井, c-ZG106 井)
 Fig.3 Karst reservoir distribution influenced by the paleocurrent (a-ZG45, b-ZG451, c-ZG106)

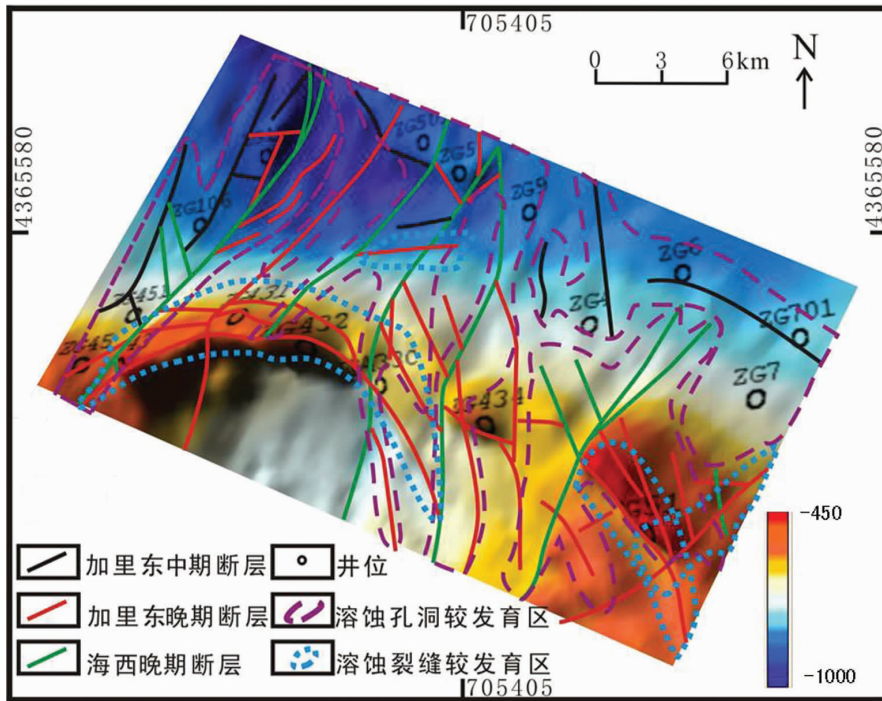
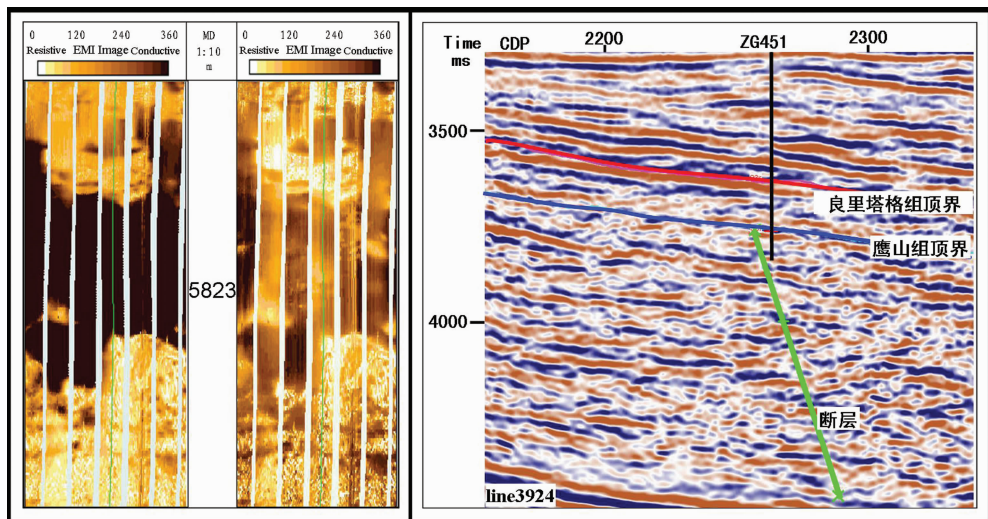


图 4 地质主控因素岩溶储层分布图

Fig.4 Distribution of karst reservoirs controlled by geological factors



a—ZG451 井溶洞成像测井特征

b—ZG451 井附近加里东中期断层剖面特征

图 5 早中奥陶世断层及其控制的岩溶储层特征

Fig.5 Early and Middle Ordovician faults and their control over karst reservoir characteristics

向、近 EW 向和近 SN 向断裂均有发育。由鹰山组古地貌可知,加里东中期研究区向西北方向倾没,古水流主要断裂带流动并溶蚀,形成溶蚀缝、溶孔甚至溶洞,尤其是 NW 向断裂带易被溶蚀成溶洞(图 4~5)。

(2)加里东晚期断裂对岩溶储层发育的控制

加里东晚期运动使得塔中地区褶皱变形,奥陶系桑塔木组遭受广泛剥蚀^[4]。研究区主要发育 NE 向、NW 向和近 EW 向 3 组断裂(图 4)。NE 向为正断层或走滑断层,NW 向和近 EW 向断层为逆冲断层及其伴生断层。此时期,塔中隆起整体呈 NW 向

的构造格局,古水流主要沿 NW 向和近 EW 向断裂带流动并溶蚀,形成溶蚀缝、溶孔及溶洞(图 4,6)。

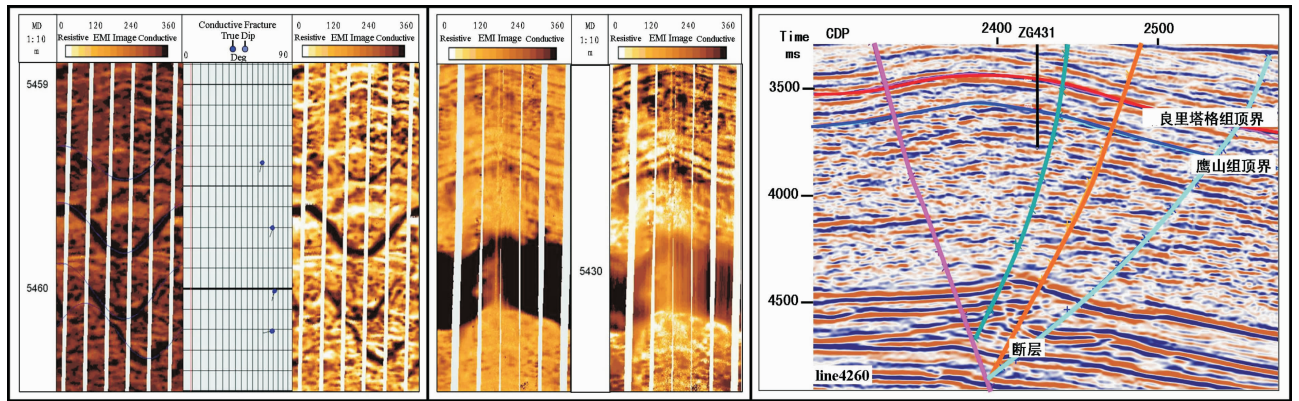
(3)晚海西期断裂对岩溶储层的控制

晚海西期,塔中地区西部存在广泛的火山岩活动^[4]。研究区发育 NE 向走滑断裂及伴生断层(图 4),走滑断裂沟通深部火山热液,热液沿着走滑主断裂流动,沿途对断裂活动产生的伴生断层及裂缝带发生溶蚀,大大改善鹰山组储集空间,形成优质岩溶

储层(图 4,7)。

2.3 岩溶储层分布规律

由岩溶储层主控因素分析可知,岩溶储层主要分布在古水流溶蚀能力强的岩溶斜坡带,垂向上分布在距鹰山组顶界面 0~20 m 以下的水平潜流带,且位于岩溶斜坡带的 NW 向和近 EW 向中—晚加里东期断裂带、石炭纪断裂带溶孔溶洞岩溶储层较发育,岩溶斜坡带的其余断裂带和岩溶次高地溶蚀



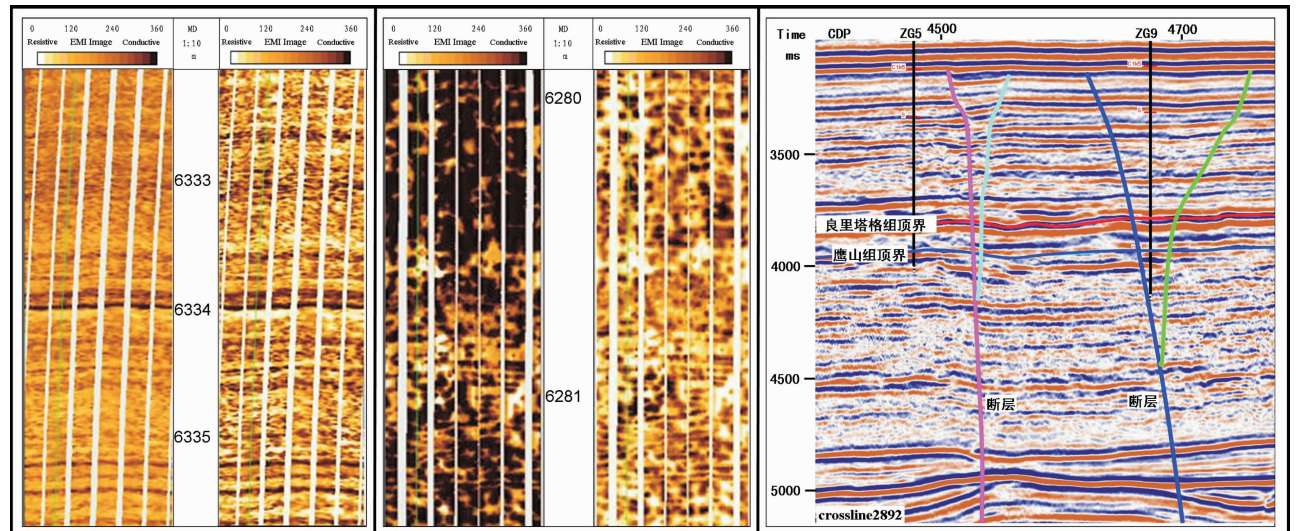
a—ZG431 井溶蚀缝成像测井特征

b—ZG431 井溶洞成像测井特征

c—ZG431 井附近晚加里东期断层剖面特征

图 6 晚奥陶纪断层及其控制的岩溶储层特征

Fig.6 Late Ordovician faults and their control over karst reservoir characteristics



a—ZG5 井溶孔成像测井特征

b—ZG9 井溶孔成像测井特征

c—ZG5—ZG9 井附近海西晚期断层剖面特征

图 7 石炭纪走滑断裂及其控制的岩溶储层特征

Fig.7 Carboniferous strike-slip faults and their control over karst reservoir characteristics

缝较发育(图4)。

3 岩溶储层地震响应特征及多属性信息融合预测

3.1 岩溶储层地震响应特征

碳酸盐岩被溶蚀成孔洞缝后,原来坚硬致密的岩石改变了性质,使碳酸盐岩密度、速度、电阻率等物性参数的变化,这些物性异常会导致地震波波场的改变,从而引起速度、反射系数、频率、振幅、相位等地震波特征参数的变化^[17,18]。通过研究区岩溶缝洞储层的井震标定及识别,鹰山组一、二段碳酸盐岩岩溶缝洞储层有如下地震响应特征:

(1)强振幅。由于鹰山组沉积时比较稳定且岩性均一,波阻抗差异小,在碳酸盐岩内部不会产生明显反射。但若鹰山组灰岩中发育岩溶缝洞储层会形成强非均质性,由于规模较大的岩溶缝洞储层与围岩灰岩会产生大的波阻抗差异而呈串珠状或片状强振幅地震反射特征(图8-a,b)。

(2)杂乱反射。岩溶储层发育带溶蚀孔、洞的非均质性会造成许多短轴杂乱反射(图8-c)。

研究区鹰山组碳酸盐岩地层埋藏深、信噪比低,噪声等也会引起地震振幅杂乱等异常,仅应用振幅异常预测手段单一,存在多解性,不足以精确预测碳酸盐岩岩溶缝洞储层。

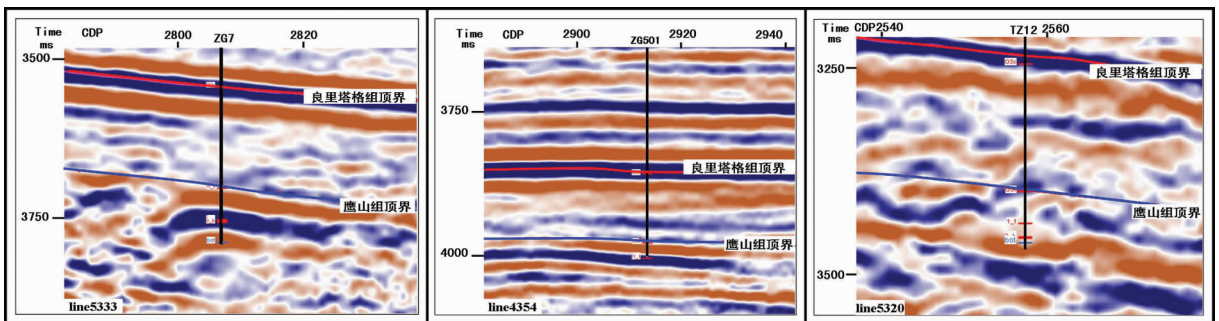
3.2 敏感地震属性多信息融合技术岩溶储层预测

研究区叠后地震资料比较可靠且叠后地震技术较成熟,且碳酸盐岩岩溶储层叠前地震技术尚处于摸索阶段,本次采用试验分析对碳酸盐岩岩溶储层

敏感的叠后地震属性以预测岩溶储层。由研究区岩溶储层的地震响应特征及大量试验分析发现:低频能量、有效频带宽度和高频吸收衰减3种地震属性对碳酸盐岩孔缝洞岩溶储层比较敏感。由于地震波穿行高孔隙的碳酸盐岩孔缝洞岩溶储层较穿行致密的碳酸盐岩岩层向下传播时,吸收作用强,而碳酸盐岩岩溶储层含(油)气后,高频吸收衰减作用更强。当地震波的高频成分被吸收后,增强了低频成分的能量,地震信息的有效频带宽度也随之变窄^[18]。因此,用高频吸收衰减、低频能量和有效频带宽度地震属性可以预测碳酸盐岩地层中的缝洞储层,即高频吸收衰减的高值异常区、低频能量高值异常区和有效频带宽度低值异常区可指示岩溶储层溶蚀孔洞和溶蚀缝发育区。

研究区岩溶储层类型垂向组合多样,而单个地震属性所反映的岩溶型储层信息不一定全面,因此将高频吸收衰减、低频能量、有效频带宽度3种属性信息融合预测,将各种属性进行归一化,通过与钻测井储层资料对比分析,确定各属性合理的权系数,在归一化基础上对上述属性加权求和,可以将上述属性信息反映较为一致的岩溶储层发育区带刻画出来。

由多属性信息融合反映可知,有利岩溶储层在研究区西部ZG45-ZG102一带呈NE向条带状分布;研究区中部ZG43-ZG434一带多呈NW向零星点状分布,中北部ZG4-ZG501一带呈NW向宽条带甚至片状分布;东部ZG51一带呈NW向零星点状分布,ZG7-ZG701一带呈NW向条带状分布(图9,红黄色为属性高值区,代表有利岩溶储层



a—串珠状强振幅反射、低频

b—片状强振幅反射、中低频

c—杂乱反射

图8 研究区岩溶储层地震响应特征

Fig.8 Seismic response characteristics of karst reservoirs

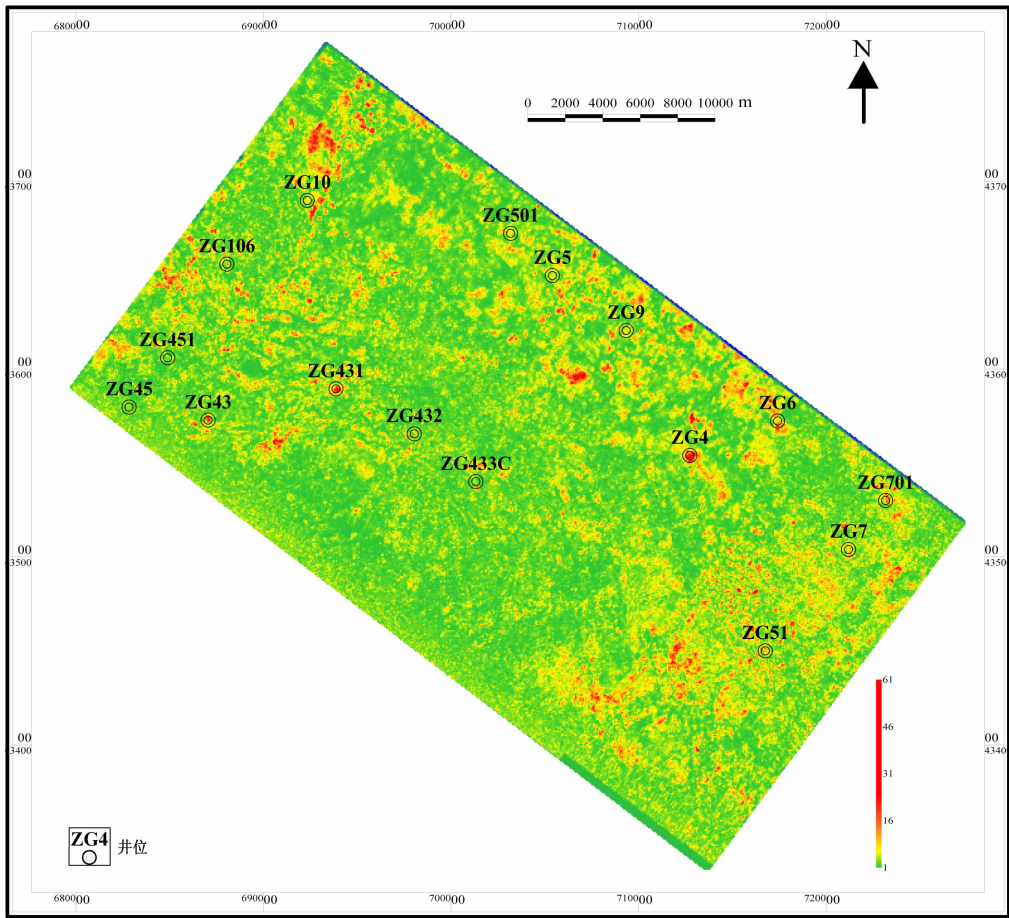


图 9 多属性信息融合预测岩溶储层分布图

Fig.9 Distribution of karst reservoirs predicted by the integration of multi-attributes information

发育区)。

4 地质-地震信息综合分析岩溶储层

地质主控因素方法岩溶储层预测地质规律性强,但比较粗略,不够精确;地震技术岩溶储层预测较地质法精确,但是由于噪声干扰可能含有一些假象,因此综合分析两种方法的预测结果,既符合地质规律又比较精确。

综合分析古地貌、古断裂和古水流与地震属性融合信息,在研究区共预测出 19 个古岩溶储层发育区带(图 10)。其中有利溶蚀孔洞岩溶储层较发育区呈片状分布在研究区的西部、北部和东部的斜坡带,溶蚀裂缝较发育区呈零星点状分布在岩溶次高地及断裂带两侧。

结合此次岩溶储层预测结果,研究区部署钻井

ZG511、ZG512, 钻录井发现 ZG511 井溶蚀孔洞相对发育,ZG512 井溶蚀缝相对发育,与上述预测结果具有很好的吻合,再次证明地质-地震信息综合方法对岩溶储层预测有较高的准确性。

5 结论

(1)主控因素分析塔中气田奥陶系碳酸盐岩岩溶储层在古地貌上成带分布,主要分布在斜坡带;纵向上分布在距鹰山组顶界面 0~20 m 以下的水平潜流带;平面上沿加里东中-晚期 NW 向断裂带和海西晚期断裂带溶蚀孔洞较发育,岩溶次高地和其余走向断裂带则溶蚀缝储层较发育。

(2)地震技术预测岩溶储层主要发育在溶蚀缝较发育带成零星点状分布;在溶蚀孔洞缝综合发育带呈条带状分布。

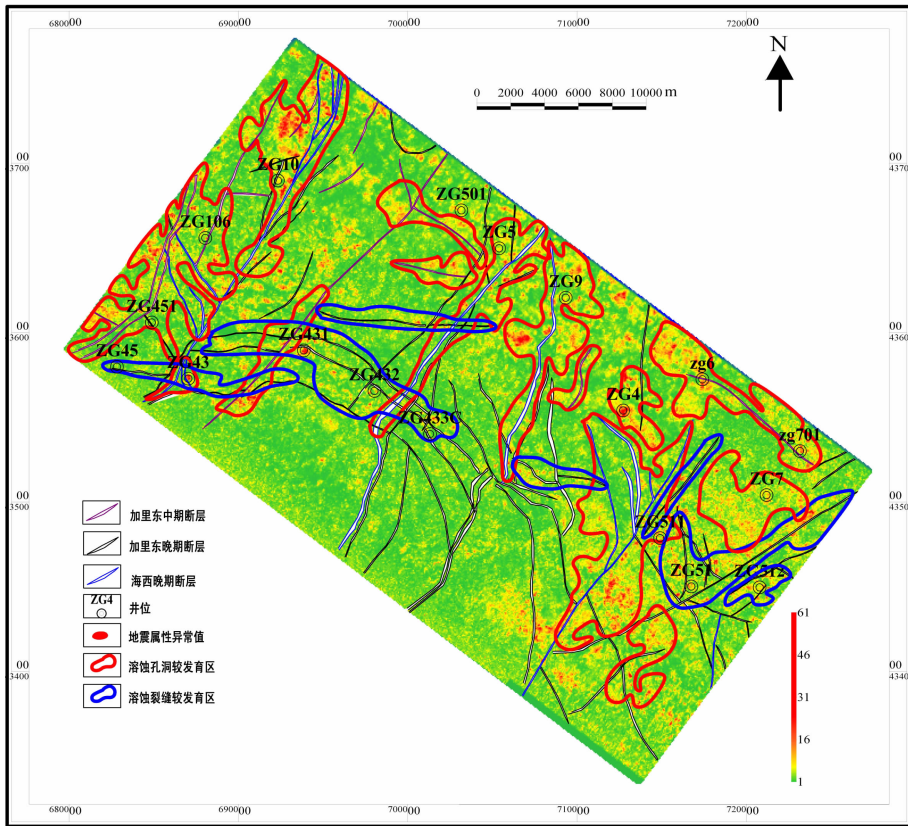


图 10 岩溶储层综合分析预测图
 Fig.10 Comprehensive analysis and prediction of karst reservoirs

(3)主控因素分析岩溶储层分布地质规律性强,但岩溶储层发育的位置不够精确;地震属性预测岩溶储层由于自身适用条件及局限性,使得单项属性技术手段单一,多属性融合技术可降低多解性;地质主控因素与多属性融合技术综合分析预测岩溶储层可达到地质地震信息相互验证,降低勘探风险,提高岩溶储层精确预测的目的。

参考文献 (References):

[1] 翟光明, 王建君. 对塔中地区石油地质条件的认识 [J]. 石油学报, 1999, 20(4):1-6.
 Zhai Guangming, Wang Jianjun. Analysis of petroleum geology in Tazhong region [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20 (4): 1-6 (in Chinese with English abstract).
 [2] 邱中建, 康竹林, 何文渊. 从近期发现的油气新领域展望中国油气勘探发展前景 [J]. 石油学报, 2002, 23(4): 1-6.
 Qiu Zhongjian, Kang Zhulin, He Wenyuan. The recent new discoveries of oil and gas fields in China and their implication [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23 (4): 1-6 (in Chinese with English abstract).

[3] 赵宗举, 李宇平, 吴兴宁, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系特大型岩性油气藏成藏条件及勘探潜力 [J]. 中国石油勘探, 2004, 9(5): 12-20.
 Zhao Zongjun, Li Yuping, Wu Xingning, et al. Conditions for migration and accumulation of Ordovician giant lithologic oil and gas reservoirs in Tazhong region and exploration potential [J]. Marine Petroleum Geology, 2004, 9 (5): 12-20 (in Chinese with English abstract).
 [4] 袁道先. 中国岩溶学 [M]. 北京: 地质出版社, 1994.
 Yuan Daoxian. Carst of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994 (in Chinese).
 [5] 许效松, 杜佰伟. 碳酸盐岩地区古风化壳岩溶储层 [J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(3): 1-7.
 Xu Xiaosong, Du Baiwei. The palaeoweathering crust-type karst reservoir rocks in carbonate rocks [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2005, 25 (3): 1-7 (in Chinese with English abstract).
 [6] 夏义平, 柴桂林, 汪昌贵. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩储层的控制因素分析 [J]. 现代地质, 2000, 14(2): 185-190.
 Xia Yiping, Chai Guilin, Wang Changgui. An analysis of controlling factors to Lower Ordovician carbonatite reservoir in Lunnan area, the Tarim Basin [J]. Geoscience, 2000, 14(2): 185-190

- (in Chinese with English abstract).
- [7] 李让彬, 樊太亮, 高志前, 等. 塔里木盆地卡塔克隆起卡1三维区块奥陶系鹰山组储层特征与影响因素[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 1016-1024.
- Li Rangbin, Fan Taiyang, Gao Zhiqian, et al. Characteristics and influencing factors of reservoirs in the Ordovician Yinshan Formation of the ka1 three dimensional seismic area within Katake uplift, Tarim basin [J]. *Geology in China*, 2011, 38 (4): 1016-1024 (in Chinese with English abstract).
- [8] 肖玉茹, 王敦则, 沈杉平, 等. 新疆塔里木盆地塔河油田奥陶系洞穴型碳酸盐岩储层特征及其受控因素[J]. 现代地质, 2003, 17(1): 92-98.
- Xiao Yuru, Wang Dunze, Shen Shanping, et al. The characteristics of Paleocave carbonate reservoir and its control factors in Ordovician of the Tahe oil field in the Tarim Basin, Xinjiang [J]. *Geoscience*, 2003, 17(1): 92-98(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈广坡, 徐国盛, 赵志刚, 等. 二连盆地赛汉塔拉凹陷三维区古生界潜山储层特征及其影响因素[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(2): 64-69.
- Chen Guangpo, Xu Guosheng, Zhao Zhigang, et al. Feature of Paleozoic buried-hill reservoir in 3D zone of Saihantala sag of Erlian basin and affected factors [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2009, 44(2):64-69(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈广坡, 陶云光, 张耀堂, 等. 轮古西地区奥陶系潜山古水系分布与岩溶特征[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(4):36-38.
- Chen Guangpo, Tao Yunguang, Zhang Yaotang, et al. Ancient water distribution and Karst characteristics of Ordovician buried hill in western Lungu area [J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2004, 26(4): 36-38(in Chinese with English abstract).
- [11] 桑琴, 未勇, 程超, 等. 蜀南地区茅口组古岩溶缝洞系统与地层水化学性质的关系[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 228-235.
- Sang Qin, Wei Yong, Cheng Chao, et al. The relationship between the paleokarst fracture-cavity system and the chemical behavior of the formation water of Maokou Formation in Shunan area [J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 228-235(in Chinese with English abstract).
- [12] 龚福华, 刘小平. 塔里木盆地轮古西断裂对奥陶系古岩溶的控制作用[J]. 中国岩溶, 2003, 22(4): 313-317.
- Gong Fuhua, Liu Xiaoping. Controlling effects of faults over palaeokarst in west Lungu region, Tarim Basin [J]. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(4): 313-317(in Chinese with English abstract).
- [13] 郭兴威, 苑刚, 陈光新, 等. 塔河地区断裂对奥陶系古岩溶的控制作用[J]. 断块油气田. 2005, 12(3): 7-9.
- Wu Xingwei, Yuan Gang, Chen Guangxin, et al. Controlling effects of fault over Ordovician palaeokarst in Tahe region [J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2005, 12 (3): 7-9 (in Chinese with English abstract).
- [14] 任建业, 胡德胜, 阳怀忠, 等. 塔中隆起带断裂系统及其对碳酸盐岩台地的控制[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 935-944.
- Ren Jianye, Hu Desheng, Yang Huaizhong, et al. Fault system and its control of carbonate platform in Tazhong uplift area, Tarim basin [J]. *Geology in China*, 2011, 38 (4): 935-944 (in Chinese with English abstract).
- [15] 郭建华. 塔里木盆地轮南地区奥陶系潜山古岩溶及其所控制的储层非均质性[J]. 沉积学报, 1993, 11(4): 56-64.
- Guo Jianhua. Burial hill palaeokarst and its controlled reservoir heterogeneity in Ordovician, Lunnan region of Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(4):56-64 (in Chinese with English abstract).
- [16] 艾合买提江·阿不都热和曼, 钟建华, 李阳, 等. 碳酸盐岩裂缝与岩溶作用研究[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 485-493.
- Ahmatjan Abdurahman, Zhong Jianhua, Li Yang, et al. Study on effect between karstification and fracture in carbonate rocks [J]. *Geological Review*, 2008, 54(4): 485-493(in Chinese with English abstract).
- [17] 倪新辉, 刘天放. 地震勘探技术预测奥灰岩溶裂隙发育带[J]. 中国煤田地质, 1997, 9(4): 59-61.
- Ni Xinhui, Liu Tianfang. Prediction of Ordovician karst fracture development zone using seismic exploration technology [J]. *Coal Geology of China*, 1997, 9 (4): 59-61 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张宏, 郑浚茂, 杨道庆, 等. 塔中卡塔克区块古岩溶储层地震预测技术[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 69-74.
- Zhang Hong, Zheng Junmao, Yang Daoqing, et al. Prediction of paleokarst reservoir in the southeastern slope of Tazhong area in Tarim Basin using seismic techniques [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(1): 69-74(in Chinese with English abstract).
- [19] 赵明, 甘华军, 岳勇, 等. 塔里木盆地古城墟隆起西端奥陶系碳酸盐岩储层特征及预测[J]. 中国地质, 2009, 36(1):93-100.
- Zhao Ming, Gan Huajun, Yue Yong, et al. Characteristics of Ordovician carbonate reservoirs in the western plunge of Guchengxu uplift, Tarim basin [J]. *Geology in China*, 2009, 36(1): 93-100(in Chinese with English abstract).

The prediction of Ordovician carbonate karst reservoirs in the Tazhong gas field

PAN Chun-fu^{1,2}, PAN Yang-yong³, DAI Chun-meng², JING Bing³, GUO Xiao long²,
LI Xuan², KANG Jing-cheng¹, ZOU-jing¹

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Langfang Branch of PetroChina Exploration and Development Research Institute, Langfang 065007, Hebei, China; 3. Exploration and Development Research Institute of Tarim Oil Field Company, Korla 841000, Xinjiang, China)

Abstract: Ordovician carbonate karst reservoirs in Tazhong area of Tarim Basin are characterized mainly by deep burial, lower seismic data resolution and signal-to-noise ratio, and strong heterogeneity. To solve these problems, the authors employed the train of thought which combined the main geological controlling factors such as ancient landform, ancient water and ancient faults with seismic multi-attributes information fusion technology to analyze and predict the fractured-vuggy carbonate reservoirs of the Ordovician Yingshan Formation in the study area and describe the distribution of different types of karst reservoirs. With this method, the ambiguity is reduced and the precision of reservoir prediction is improved. The results provide a solid foundation for the exploration and production of the study area.

Key words: carbonate; karst reservoirs; main geological controlling factors; seismic multi-attributes

About the first author: PAN Chun-fu, male, born in 1983, doctor, engineer, mainly engages in the study of seismic and geological exploration; E-mail: panchunfu111@sina.com.