

轮深地区寒武系台缘礁滩相储层预测

范兴燕¹,张 研¹,肖高杰¹,唐 銮²

(1. 中国石油 勘探开发研究院 物探技术研究所,北京 100083; 2. 中化石油勘探开发有限公司 技术研究中心,北京 100031)

摘要:前人在塔里木盆地寒武纪地层、岩相及碳酸盐岩台地类型等方面做过大量研究,并取得了众多进展。由于寒武系埋藏深度大,钻穿且揭示较完整寒武纪地层的深部钻井数量不超过10口,且这些井在整个盆地稀疏分布,加上三维地震资料数量、覆盖面积和品质的限制,一直以来限制了前人在塔里木盆地寒武系礁滩体发育特征、礁滩体分布规律和有利储层发育位置等方面研究。以轮南低凸起中部轮深地区为对象,在前人研究的基础上对已钻井及区域地层重新进行了对比分析,认为轮深地区寒武系碳酸盐岩储层与层序地层关系密切,地层存在典型的台地边缘相进积型层序地层特征。在层序地层框架约束范围内,结合地震相分析,精细刻画了寒武系不同时期碳酸盐岩台地区、台缘区和盆地区沉积地层特征,明确了台缘礁滩体发育特征、分布规律以及有利储层发育位置。该工作对认识塔里木盆地深层台缘礁滩体储层特征、优选轮深地区深层风险目标具有重要的意义。

关键词:台缘礁滩相;层序地层;优质储层;深层油气勘探;轮深地区;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Reservoir prediction of the Cambrian reef flat facies of platform margin in Lunshen area

Fan Xingyan¹, Zhang Yan¹, Xiao Gaojie¹, Tang Xian²

(1. Department of Geophysical Exploration Technology, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. Petroleum Exploration & Production Co., Ltd., SINACHEM, Beijing 100031, China)

Abstract: An extensive research has been performed on the lithofacies and carbonate platform types of the Cambrian in the Tarim Basin during the past decades. However, studies on the development characteristics, distribution patterns and high-quality reservoirs of the reef-flat facies are rarely documented because of the deep burial of the Cambrian, the sparse and limited exploratory wells that penetrate and reveal a relatively whole Cambrian as well as the limited quantity, coverage and quality of seismic data. Lunshen area located in the center of Lun Nan low salient is taken as an example to analyze the drilling data and regional stratigraphy based on the previous study. It reveals that the Cambrian carbonate reservoirs have close relationship with sequence stratigraphy which has typical progradation characteristics of platform margin. Under the constraint of sequence stratigraphic framework and in combination with the analysis on seismic facies, a detailed description is performed on the characteristics of the Cambrian sedimentary strata in platform area, platform margin and basin area in different periods. Development characteristics, distribution and location of high-quality reservoirs of reef flat facies on platform margin are confirmed. It is of great significance for understanding the characteristics of deep reef flat facies on platform margin and selecting deep targets in Lunshen area.

Key words: reef flat facies of platform margin, sequence stratigraphy, high-quality reservoir, deep oil and gas exploration, Lunshen area, Tarim Basin

塔里木盆地寒武系因具重大油气资源潜力而成为目前油气勘探的目标,其台缘斜坡带以发育优质礁滩体储层并控制台地内部沉积相带发育而备受关注^[1-6]。近年来,寒武系中发现的白云岩储层,特别是塔深1井在埋藏深度超过8 000 m,地层温度高于170 ℃和压力大

于80 MPa的“一深两高”环境下,仍然发现孔隙良好并有油迹显示的储层,在很大程度上改变了石油地质学家以及沉积学家以往对储层和油气保存条件的认识^[7-9]。

针对塔里木盆地寒武系岩相古地理、台地类型等方面前人已经做过较多卓有成效的工作,但由于寒武

系埋藏深、钻井数量少以及地震资料品质差的限制,对寒武系不同时期地层礁滩储层发育特征和储层如何识别与预测开展的研究工作较少。云露^[7]、孟祥豪^[8-10]对位于轮深地区南部塔深1井寒武系特征、储-盖组合特征及成藏特征进行了分析,认为建隆体内储层发育,寒武系储集空间主要是与烃类运移相关的酸性流体溶蚀作用下形成的,但不排除表生溶蚀作用改造的可能性。孟祥豪^[8]认为塔深1井寒武系储集空间控制因素有沉积相、构造作用和成岩作用,其中物质基础的岩石类型或沉积相是基本的控制因素。张秋^[11]认为,于奇6井上寒武统钻遇的白云岩储层为风化壳型油气储层,储集空间以裂缝和溶洞为主。朱东亚^[12]、孟祥豪^[10]认为塔深1井寒武系白云岩中大量的溶蚀孔洞是同生期或准同生期暴露于地表、遭受大气降水地表岩溶作用的结果,目标区没有发生强烈的构造抬升,后期埋藏过程中,白云岩进一步受到了热液流体的改造作用。乔博^[13]、金之钧^[14]明确了寒武系台地边缘类型及其迁移不仅控制了台缘礁、滩的发育,也控制了台内沉积相的构成及展布规律。朱长见^[15]认为古城4井区上寒武统属于典型镶边型台地,有利储集层沉积相为高能台地边缘礁滩、台内点滩、台地前缘垮塌角砾沉积等,白云岩储集层发育,储集空间以裂缝和孔洞为主。薛小红^[16]认为英买32区块上寒武统丘里塔格下亚群为半局限台内滩沉积,中寒武统阿瓦塔格组为局限台地潮坪相沉积,潜山白云岩为优质储集层,储集空间以孔洞型和裂缝和孔洞为主,储层主控因素为岩性和岩相。刘玲^[16]通过观察塔里木盆地西北缘柯坪地区的蓬莱坝剖面,对上寒武统白云岩沉积微相进行了分析。张丽娟^[17]对塔里木盆地轮

南油田寒武系坡折带层序与储层进行了研究,将寒武系划分为6个层序,并对坡折带构造和储层特征以及含油气勘探前景做了相关分析。赵宗举^[18]对塔里木盆地寒武系层序地层格架进行了分析,建立了三级层序地层格架,除此之外,对层序地层格架的主控因素进行了分析。

由上可以看出,前人对塔里木盆地寒武系台缘带礁滩体发育特征和分布规律有一定程度研究论述。本文以轮南低凸起中部轮深地区为对象,利用2009年新采集的450 km²三维地震资料,在前人研究的基础上,对已钻井及区域地层进行重新对比分析,进而对研究区寒武系不同时期礁滩体发育特征、分布规律和有利储层发育相带进行研究。

1 轮深地区寒武系层序地层特征

沉积相是礁滩相储层发育的主要控制因素,而层序地层学是研究沉积相的重要方法。马永生^[19]、郭彤楼^[20]认为碳酸盐岩储层与层序地层关系密切,储层通常发育在高水位体系域中。礁滩体的储集空间主要形成于同生期和埋藏期两个阶段,同生期孔隙受原岩骨架与层序界面相关的溶蚀作用控制,而埋藏期孔隙的发育和分布又与同生期孔隙的发育和分布情况密切相关^[21]。在台地沉积体系中,受淡水淋滤作用的影响,台地边缘、台地内部和上斜坡的较高部位通常容易形成优质储层,这其中以台地边缘礁滩体顶部发育的储层最为优质^[1,22-26]。从沉积相模式角度分析(图1),当海平面下降时,高部位的高能相带容易暴露,溶蚀作用和白云岩化作用相对发育,原岩孔

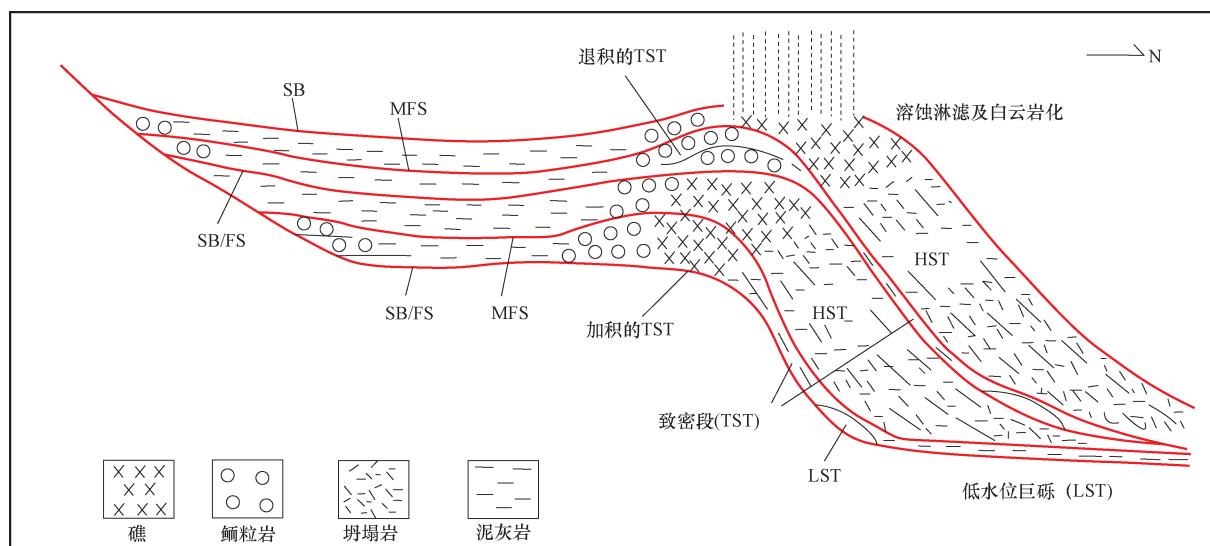


图1 碳酸盐岩台地边缘层序地层学沉积模式^[22]

Fig. 1 Sequence stratigraphy sedimentary model of carbonate platform margin^[22]

HST. 高水位体系域;SB. 层序界面;LST. 低水位体系域;FS. 海进面;TST. 海进体系域;MFS. 最大海泛面

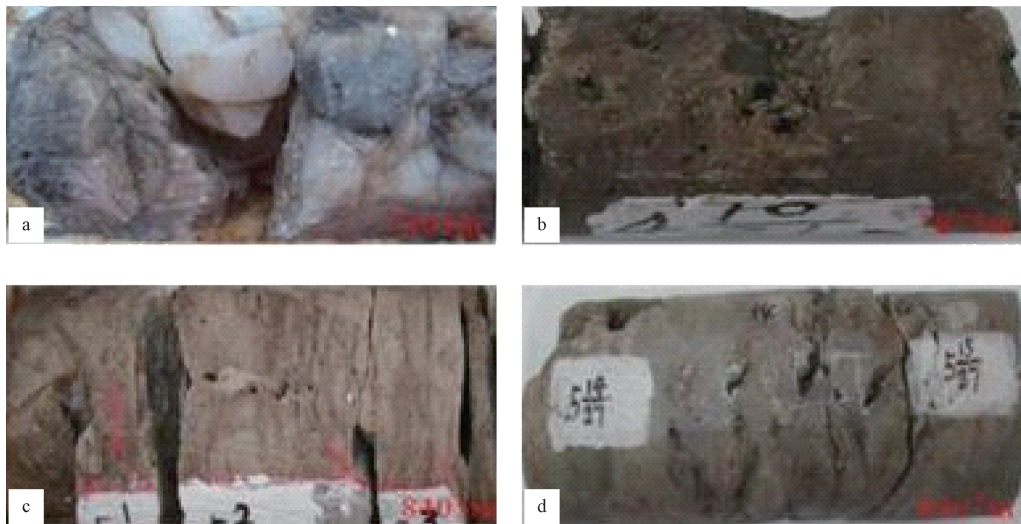


图2 塔深1井岩心上发育的溶蚀孔洞和裂缝

Fig. 2 Vug and fractures in cores from Well Tashen 1

- a. 塔深1井,中寒武统,7 461 m,溶蚀孔洞;b. 塔深1井,中寒武统,7 875 m,溶蚀孔洞;
c. 塔深1井,中寒武统,8 405 m,裂缝;d. 塔深1井,中寒武统,8 407 m,溶蚀孔洞与裂缝

隙度有进一步增大的可能。台地边缘鲕粒灰岩原生孔隙通常都较好,在后期成岩作用下,鲕粒滩的原生孔隙会逐渐减小直至大部分消失,只有极少的一部分孔隙才能够保存下来。在后期埋藏和油气富集过程中,当油、气、水进入到残余孔隙时,含烃酸性水会使灰岩进一步发生溶蚀作用,使得残余原生孔隙得到进一步溶蚀和扩大。

前人对轮深地区塔深1井和于奇6井钻井岩心的研究均证实上述结论。朱东亚^[14]认为塔深1井上寒武统自然伽马和电阻率测井曲线反映了一些沉积间断面的存在。张秋^[13]认为轮深地区于奇6井上寒武统储层为风化壳型油气储层。塔深1井寒武系取心观察结果表明,岩心较破碎,普遍发育溶蚀孔洞、裂缝、晶间孔和粒间孔,以中、小型裂缝为主,局部裂缝开启,溶蚀孔洞内壁发育方解石和白云石晶簇,个别孔洞被方解石晶体全充填(图2,图3)。塔深1井7 268.1~7 268.2 m取心段的孔隙度范围是0.6%~9.1%,平均孔隙度为3.7%。于奇6井7 115.2~7 121.0 m岩心和成像测井表明上寒武统碳酸盐岩地层溶蚀孔洞发育(图4),连通性差,孔隙度范围是0.8%~5.8%,平均孔隙度为2.7%。

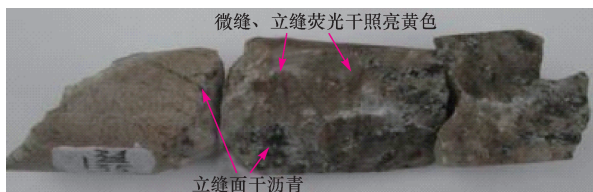


图3 塔深1井中的液态烃和沥青(7 106.0~7 106.1 m)

Fig. 3 Liquid hydrocarbon and asphalt in core samples from Well Tashen 1 (7 106.0 to 7 106.1 m)

台地-台地边缘-盆地相,沉积厚度变化大,因此,沉积厚度也能反映沉积相的变化。在海平面升降的作用下,坡折带附近必然能够见到进积(水退)或者上超(水进)现象,深海盆地地层也必然会出现尖灭现象。由此,在地震剖面上可以观察到上超、顶积和下超现象。利用层序地层学特征,可以准确地预测有利的沉积相带和有利储层发育区。

轮深地区后期经历过构造形变,断层发育,在常规地震剖面直接进行层序地层学分析容易出现错误的认识和结论,需要对常规地震剖面进行层拉平处理。如图5a所示,台缘礁滩相发育在碳酸盐岩台地坡折带上,因此,如果拉平寒武系底部(图5b),寒武系台缘带必然为一个凸起,盆地相沉积厚度从坡折带向深海方向迅速减薄,台地内部则具有近平行相对稳定的反射波组特征。在拉平的偏移地震剖面上沉积相带特征更加明显。

2 台缘礁滩体地震相

目前为止,塔里木盆地钻穿且揭示较完整寒武系的深部钻井有和4井、塔参1井、方1井、塔东1井和塔东2井,主要位于塔中-巴楚隆起地区,轮南地区尚无钻井钻穿寒武系。蓬莱坝组顶、底层位主要由轮深2、轮南1和塔深1井标定,轮深地区寒武系层位主要由和4井标定及英买2井地震反射特征确定。赵宗举^[20]、张丽娟^[19]通过实测塔里木盆地寒武系露头剖面,结合区域资料将寒武系划分出6个三级层序,并认为这6个三级层序在塔里木盆地全区分布。塔深1井钻遇了寒武系层序SQ3至层序SQ6^[20](图6),结合塔参1井标定的南北向大剖面的层位解释,

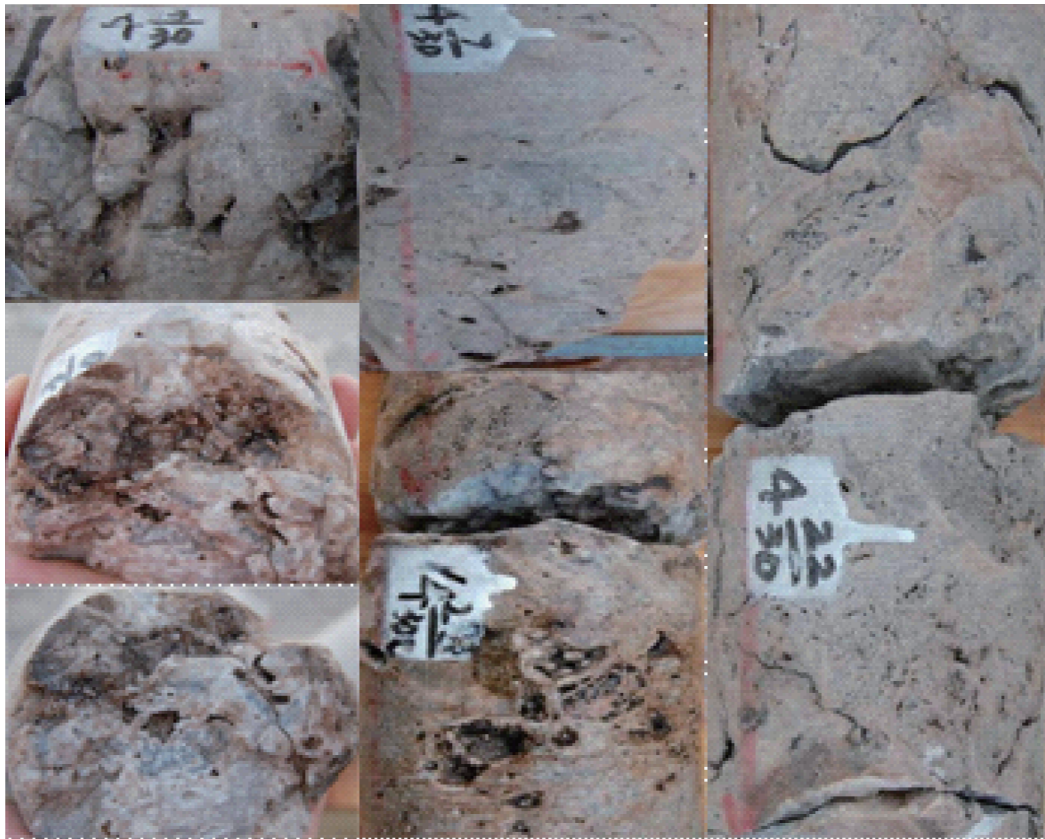


图 4 轮深地区于奇 6 井寒武系白云岩第四回次岩心的溶孔和裂缝

Fig. 4 Vug and fractures developed in cores of the Cambrian dolomite obtained in the 4th round coring in Well Yuqi 6 of Lunshen area (7 115.22 ~7 121.02 m,溶蚀孔洞发育,部分孔洞连通,半充填-未充填。)

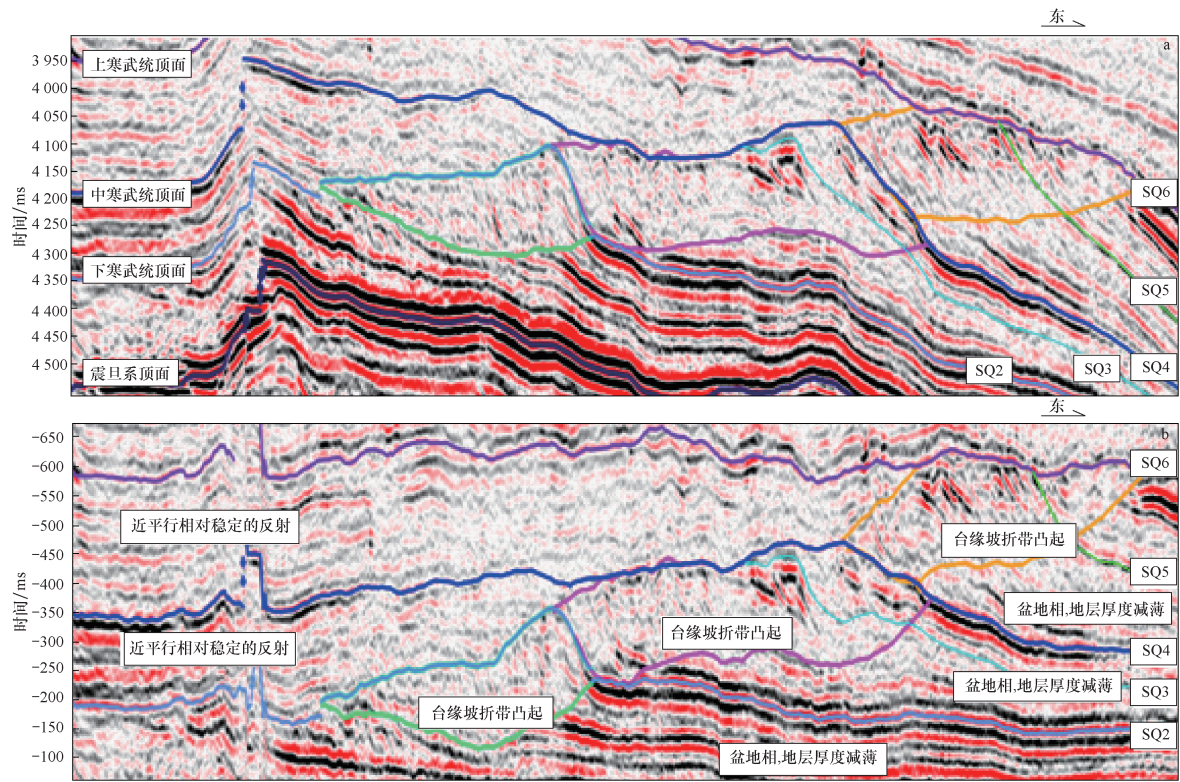


图 5 轮深地区三维地震偏移剖面

Fig. 5 3D seismic migration section of Lunshen area

a. 现今构造特征;b. 寒武系底界面拉平剖面

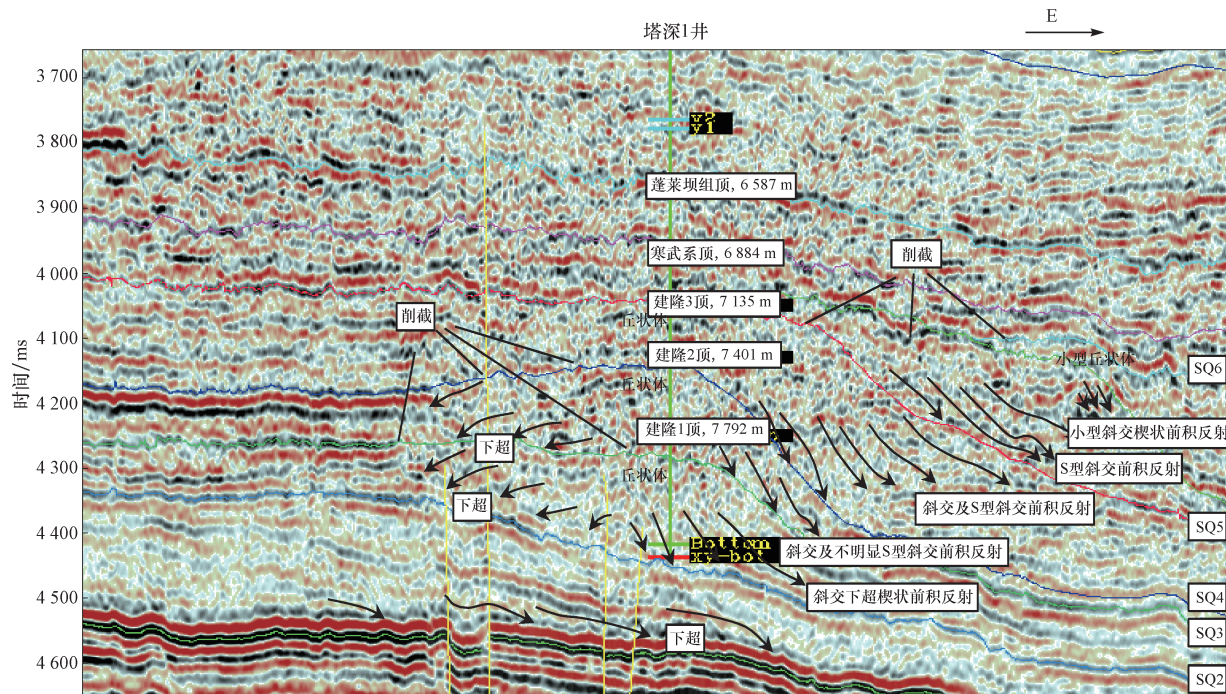


图6 过塔深1井三维地震偏移剖面

Fig. 6 The Cambrian seismic migration section tied to Well Tashen 1

可以追踪到轮深地区,由此解释该地区地震剖面(图6)。

2.1 塔深1井寒武系地震相

从过塔深1井东西向地震剖面可以看到(图6),塔深地区位于寒武系台地边缘部位,由西向东沉积相带依次为碳酸盐岩台地—台地边缘—台缘斜坡—盆地相(中、下寒武统)。除层序SQ1玉尔吐斯组因为沉积地层厚度薄,其层序顶界面在地震剖面上无法识别外,其他层序顶界面及其体系域特征在地震剖面上都比较清晰^[20](图6)。在地震剖面上可以看到层序SQ2—层序SQ6顶界面在台地边缘部位表现出明显的削截特征,表明层序界面SB3,SB4,SB5,SB6均遭受过不同程度的暴露和剥蚀。这有利于层序界面较高部位台地边缘相发生地表溶蚀作用,形成岩溶储层。

在塔深地区地震剖面上可以识别出4种典型的地震相:中—弱振幅、较连续、近平行地震相;中—弱振幅、断续、高频、短轴状或波状丘状地震相;中—弱振幅、杂乱或断续、中频、斜交楔状前积地震相和中—强振幅、高连续、低频、平行反射地震相。

1) 中—弱振幅、较连续、近平行地震相。沉积地层可以在层序地层框架内根据地震反射同相轴之间的以及和层序界面之间的整合、平行关系来识别(图6),层序界面之间地震反射同相轴接近平行,振幅能量中—弱,频率低,连续性中等到较好,这种地震相指示碳酸盐岩台地相。牙哈、英买力已钻井表明这种反射

特征主要为局限台地相的白云岩沉积,分布于研究区西北地区。

2) 中—弱振幅、断续、高频、短轴状或波状丘状地震相。发育于碳酸盐岩台缘带,位于台地相和斜坡相之间。在地震剖面上表现为中—弱振幅、断续、高频、短轴状或波状反射特征,反射强度高于碳酸盐岩围岩区。丘状体内部反射层呈双向下超,反射层通常平行于上部层序界面,两侧发育似指状“锯齿”边界,侧翼向深水方向具有前积楔状斜交特征,沿异常体顶面反射存在多个“上超”现象,地层厚度明显增大,几何形态呈向上凸起状(图6)。地震相指示为台缘礁滩体沉积。研究区向南20km塔深1钻井表明,该井发育3个碳酸盐岩建隆,岩石类型包括藻纹层白云岩、泥微晶白云岩和颗粒白云岩等,建隆内储层发育,储集空间类型多样,以溶蚀孔洞为主。

3) 中—弱振幅、杂乱或断续、中频、斜交楔状前积地震相。为台缘相和盆地相的过渡相,主要出现在海进退积型层序和高位加积型层序中^[27]。地震相为中—弱振幅、断续—杂乱、中—低频、斜交(SQ2—SQ4, SQ6)或S型斜交(SQ5, SQ6)楔状反射,往台地方向反射同向轴终止,向深水方向下超特征明显,由西向东地层沉积厚度迅速减薄,指示台地边缘斜坡相(图6)。据库南1井钻井取芯岩性以泥质白云岩、泥岩夹白云岩为主,再向东则变为盆地相泥岩沉积。

4) 中—强振幅、高连续、低频、平行反射地震相。发育于斜坡相以东深海、半深海方向。由于陆棚为浪基面以下的深水沉积区,沉积环境安静,岩性在横向上

通常连续发育且厚度横向变化不大,因此,在地震剖面上为中-弱振幅、高连续性、低频、平行反射特征(图6)。

由上述分析可知,寒武系地层地震相主要分为四大类,即台地相、台地边缘礁滩相、斜坡相和深海盆地相,各沉积相带对应的地震响应特征明显不同。结合前人关于碳酸盐岩台缘礁滩体研究结果^[23,28-31],建立研究区碳酸盐岩台缘礁滩体地震相识别标志^[28,32]:①发育于台地边缘;②发育指状“锯齿”边界,横向上地震反射特征突然中断;③外部几何形态呈向上凸起的丘状,内部反射层呈双向下超,反射层通常平行于上部层序界面,丘状体内部为短轴或波状反射,沿丘状体顶部存在多个“上超”现象。

2.2 轮深地区地震相

对轮深地区单剖面进行分析,沿东西向地震剖面208线震旦系顶拉平(图7a),可以看到,轮深地区寒武系具有碳酸盐岩台缘礁滩体地震相特征,因此根据以上地震相标志所对应的沉积相可以将本地区三维剖面

上的地震相转变为沉积相。

下寒武统地震反射以平行连续反射为主,从研究区西部向东可见同相轴的斜交,角度很低,为早期碳酸盐岩匀斜缓坡,从浅水到深水坡度平缓且均匀变化,近岸高能波浪作用带与较深水的低能环境之间无明显的地形坡折。向东斜交角度逐渐增加,碳酸盐岩台地坡度逐渐增大,外部几何形态由早期的透镜状变为低角度小型丘状体,再到高角度退积型似丘状楔状体,退积型似丘状楔状体前积斜交反射十分发育。透镜体、丘状体和楔形体发育于台地边缘;整体几何形态具有向上凸起的特征,“锯齿”边界和丘状外形特征明显,丘状体见双向下超,由于后期海平面下降速率快,碳酸盐岩沉积速率远大于沉积空间的生长速率,因此地震相由丘状前积反射转变为退积型叠瓦状前积反射;内部为波状和短轴状反射,反射强度高于碳酸盐岩围岩区,丘状体侧翼向深水方向具有前积斜交特征,见同向轴下超,沿异常体顶面反射存在多个“上超”现象。地震相指示为碳酸盐岩台缘礁滩相沉积。

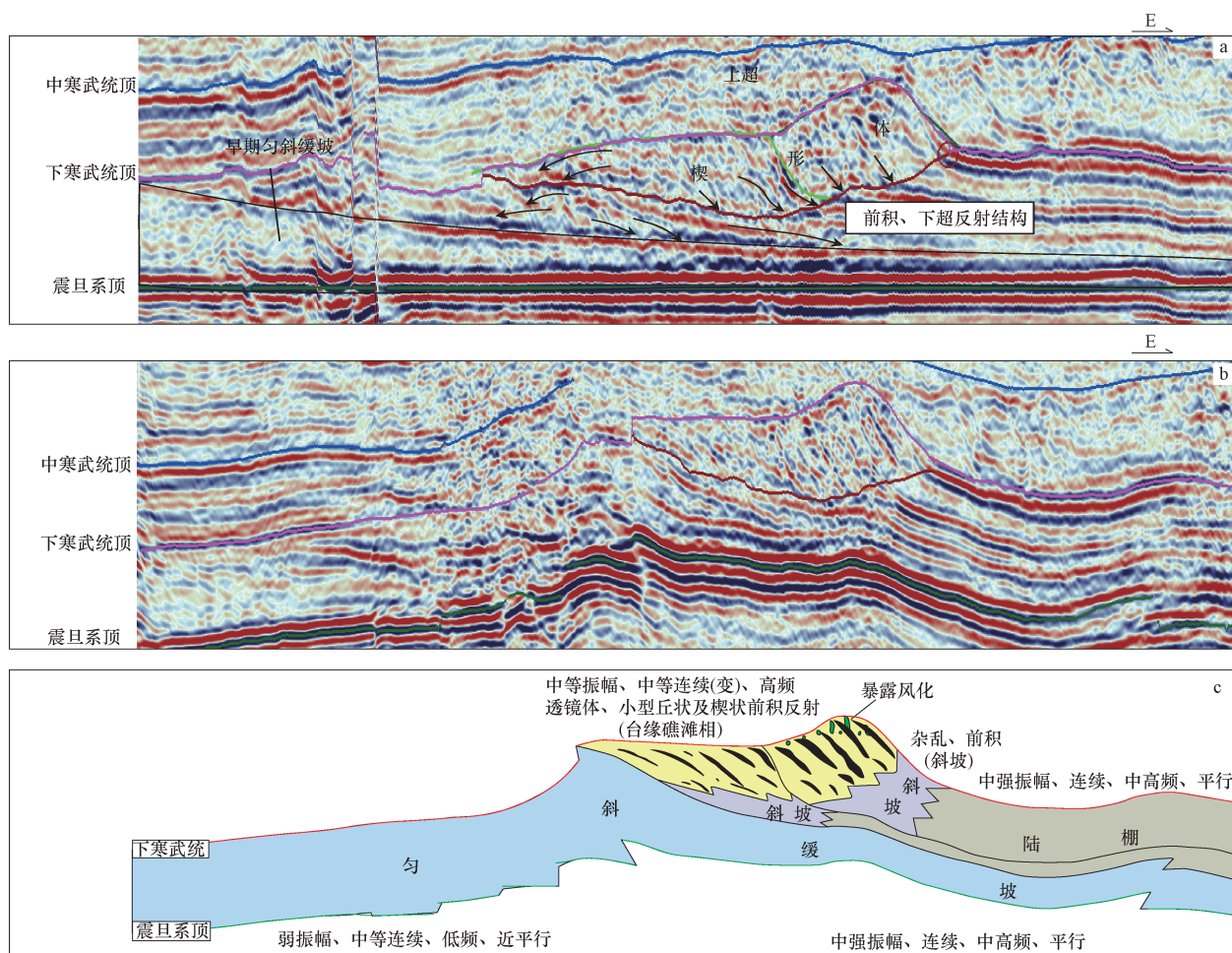


图7 过轮深地区下寒武统地震偏移剖面及地震相剖面

Fig. 7 Seismic migration section and seismic facies profile of the lower Cambrian in Lunshen area

a. 沿震旦系顶层拉平地地震偏移剖面208线; b. 地震偏移剖面370线; c. 地震相剖面370线

下寒武统从西向东由台地相中-弱振幅、中等连续、低频率和近平行反射过渡到角度较低斜交连续反射,再过渡到台缘礁滩相和斜坡相。台缘礁滩相地震相为中等振幅、断续、高频、短轴状或波状反射,外部几何形态为透镜状、丘状。斜坡相位于礁滩相一侧,地震相为中等偏弱振幅、斜交楔状前积反射,向深水方向见下超特征;其中,由于早寒武世中后期海平面下降速率快,丘状体坡度变大,导致斜坡相横向规模迅速变小,紧邻丘状体东侧发育。斜坡相再向东则最后过渡为深海盆地相。由于斜坡侧翼坡度陡,水体由台缘带很快变为深水,地震反射特征为中-强振幅、高连续、低频、平行反射(图7b,c)。赵宗举^[20]在野外考察阿克苏肖尔布拉克剖面时发现,下寒武统即层序SQ3顶部发育32 m厚的岩溶角砾岩层和3 m厚的古风化壳残积层,认为层序SQ3末期下寒武统上部地层存在长期暴露溶蚀作用并形成层序界面。轮深地区下寒武统楔状体“锯齿”边界顶部反射特征明显变弱、最高部位有局部削截的特征,推测为统一海平面下降使得层序SQ3顶部长期暴露而导致风化剥蚀的结果。

中寒武统西部碳酸盐岩台地地震相为中等偏弱振幅、中等连续、低频和近平行反射。向东过渡为中寒武

统早期沉积,地震相为中-弱振幅、断续-杂乱反射、低频,外部几何形态为楔状体,内部为断续或杂乱反射,向深水方向见同相轴下超和斜交反射,沿楔形体顶部存在多个“上超”现象。横向上地震相标志突然终止并具有“锯齿”边界特征,发育于台地边缘,地震相指示为斜坡带沉积。台缘斜坡带沉积地层顶部发育多处地层削截,台地相和斜坡相之间未见礁滩相,中寒武统早中期地层顶面接近水平、无明显凸起,因此认为台缘礁滩相遭受了强烈剥蚀,台缘带只发育斜坡相沉积。中寒武世中后期发育台缘礁滩相和斜坡相(图8),地震相为中-强振幅、连续或断续层状斜交前积反射,外部几何形态为小型丘状和楔状体。东部逐渐过渡为盆地相沉积,地震反射特征为中-弱振幅、连续、低频和平行反射(图8)。由于中寒武世中后期台缘斜坡坡度缓,与较深水沉积斜交角度小,斜坡相横向规模较下寒武统明显变大,斜坡相向东逐渐变为浅水盆地相再到深水和半深水盆地相,因此中寒武统东部地震相介于斜坡相和深水盆地相之间,区别于下寒武统深水盆地相强振幅特征。中寒武世中后期沉积地层顶部未见明显削截现象,台缘礁滩相遭受溶蚀作用形成储层的可能性较小。

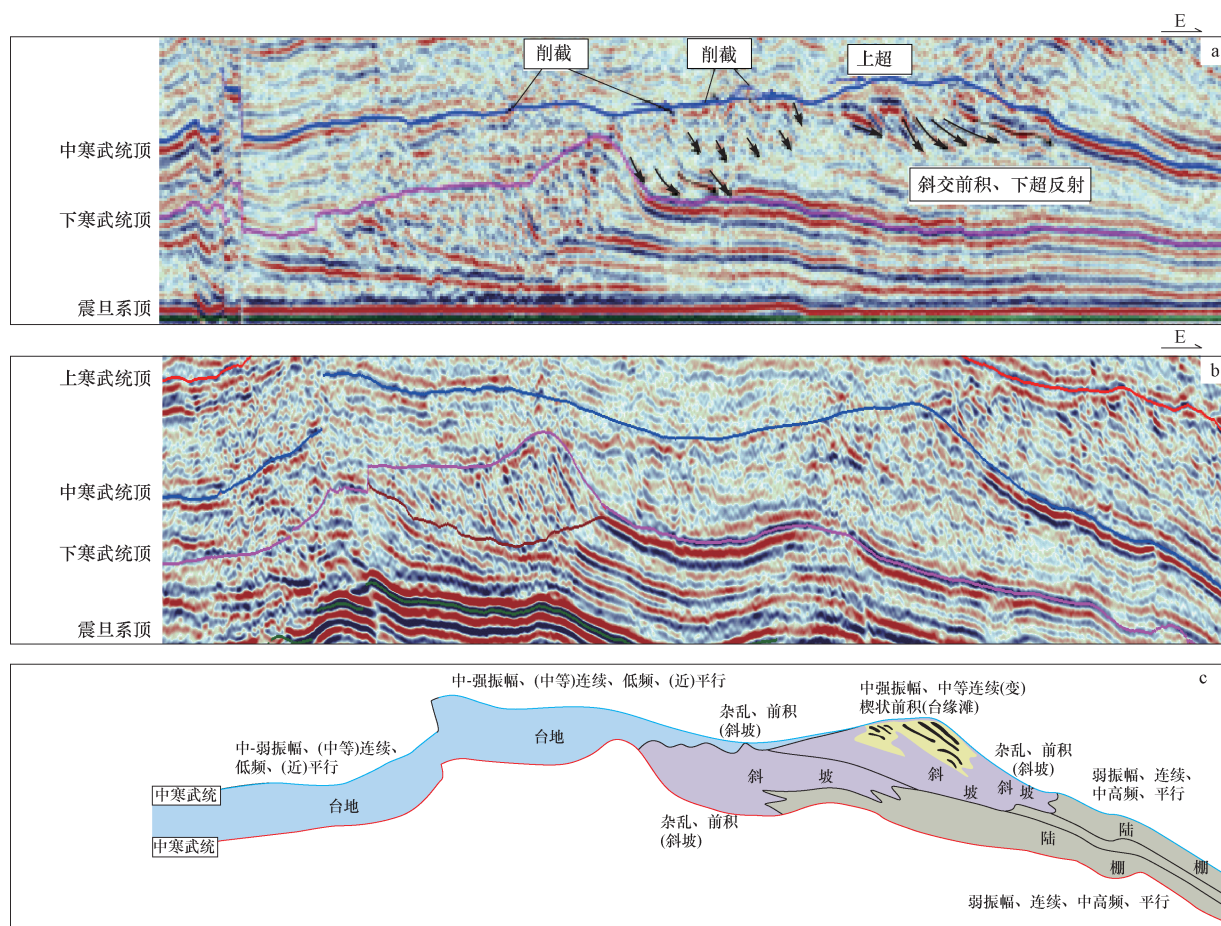


图8 过轮深地区中寒武统地震偏移剖面及地震相剖面

Fig. 8 Seismic migration section and seismic facies section of the Middle Cambrian in Lunshen area

a. 沿震旦系顶层拉平地震偏移剖面 208 线; b. 地震偏移剖面 370 线; c. 地震相剖面 370 线

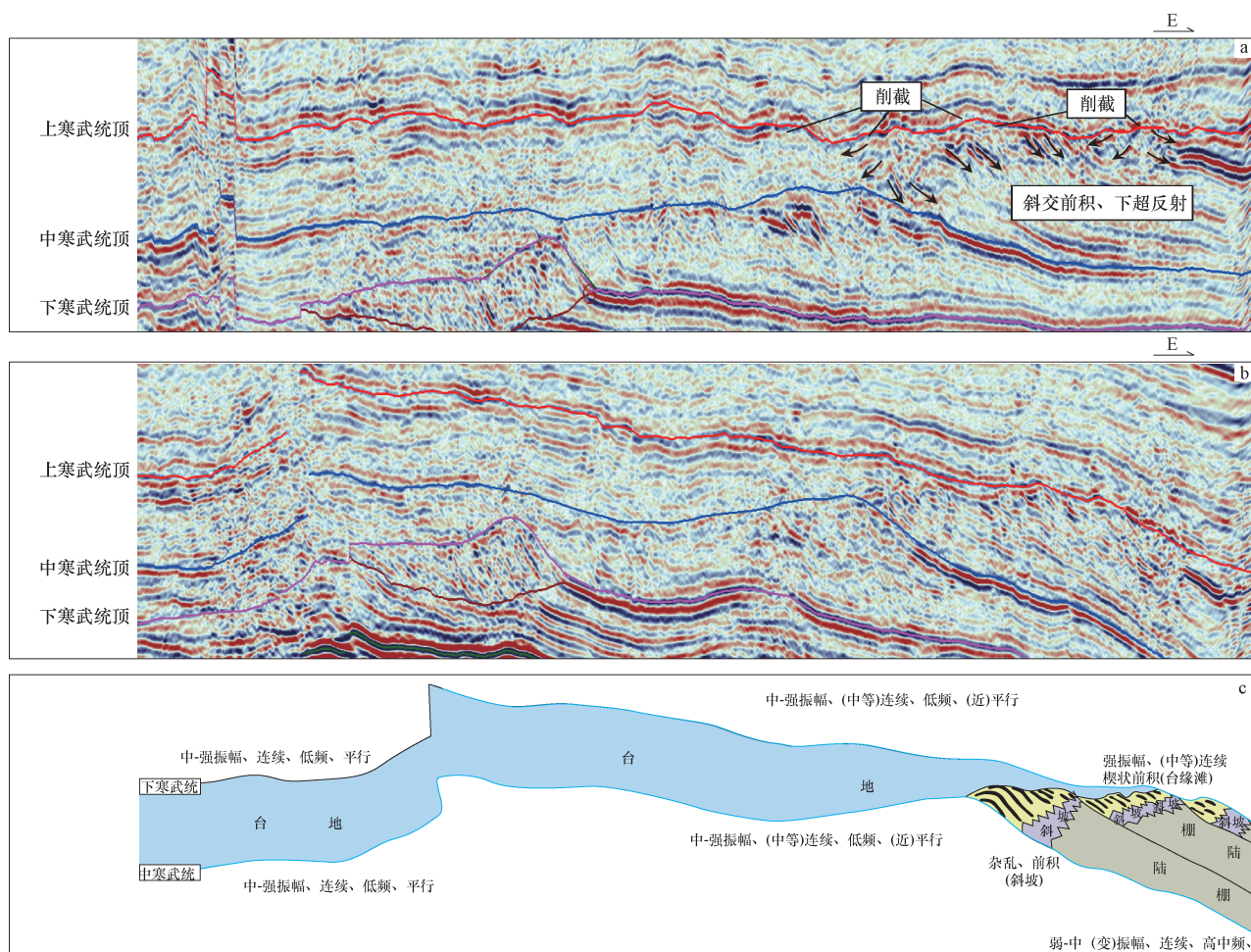


图9 过轮深地区上寒武统地震偏移剖面及地震相剖面

Fig. 9 Seismic migration section and seismic facies section of the upper Cambrian in Lunshen area

a. 沿震旦系顶层拉平地震偏移剖面 208 线; b. 地震偏移剖面 370 线; c. 地震相剖面 370 线

晚寒武世早期,台地相向东发育一小型礁滩相丘状体(图9),发育于台地边缘,“锯齿”边界和丘状体外形特征明显(图9a)。丘状体见双向下超,几何形态呈向上凸起,丘形体内部为短轴状或波状反射,反射强度高于碳酸盐岩围岩区。丘状体向东可见多组退积型斜交前积反射体和另一小型丘状体。退积型斜交前积反射同向轴连续、近平行且振幅能量强,区别于斜坡相沉积。这些前积体向深水方向不断迁移,表明其在形成过程中海平面整体呈下降趋势,为水体下降过程中形成的退积型似叠瓦状礁滩相沉积。这些退积型前积体和丘状体东侧的中-弱振幅、断续、斜交前积反射,地震相指示为斜坡相沉积。晚寒武世即层序6礁滩体沉积厚度仍明显大于围岩地层厚度,证实其为台缘带沉积,层序顶面地层削截特征明显,表明台缘相顶部遭受明显剥蚀,有利于发生碳酸盐岩溶蚀作用而形成优质的储层。研究区最东部为上寒武统盆地相沉积。

3 地层等厚图解释

根据轮深地区寒武纪地层对比和构造解释成果,

本文完成了下寒武统、中寒武统和上寒武统地震地层等厚图(图10)。等厚图具有下面两个特点:①位于碳酸盐岩台地和盆地之间的过渡区域,地层厚度呈明显台阶状特征(图中白色箭头),台缘带地形变化大;②下寒武统台缘带位于轮南1井东侧,从下寒武统到上寒武统台缘带向东不断迁移。

上寒武统台缘带发育在研究区中西部,长条状、呈南北向分布,发育面积 52.2 km²。中寒武统台缘带发育在研究区中东部,长条状、呈北北西-南南东向分布,发育面积 47.7 km²,较下寒武统台缘带礁滩相发育面积变化不大。研究区中西部存在一个范围小、窄长条状、南北走向地层厚度明显较薄的区域,近似平行于礁滩带沉积,这是下寒武统礁滩体上方,中寒武统早期楔状体西侧沉积地层遭受强烈剥蚀的结果,地层厚度薄(图8)。上寒武统台缘带发育在研究区东部,北西-南东向分布,由于上寒武统海平面不断下降、台缘向东迁移幅度大,台缘带发育面积 89.6 km²,较中、下寒武统明显增加。台缘带西侧同样发育一长条状、北北西-南南东向地层厚度明显变薄的区域(图9),为上寒武统早期礁滩相丘形体西侧台地相地层遭受强烈

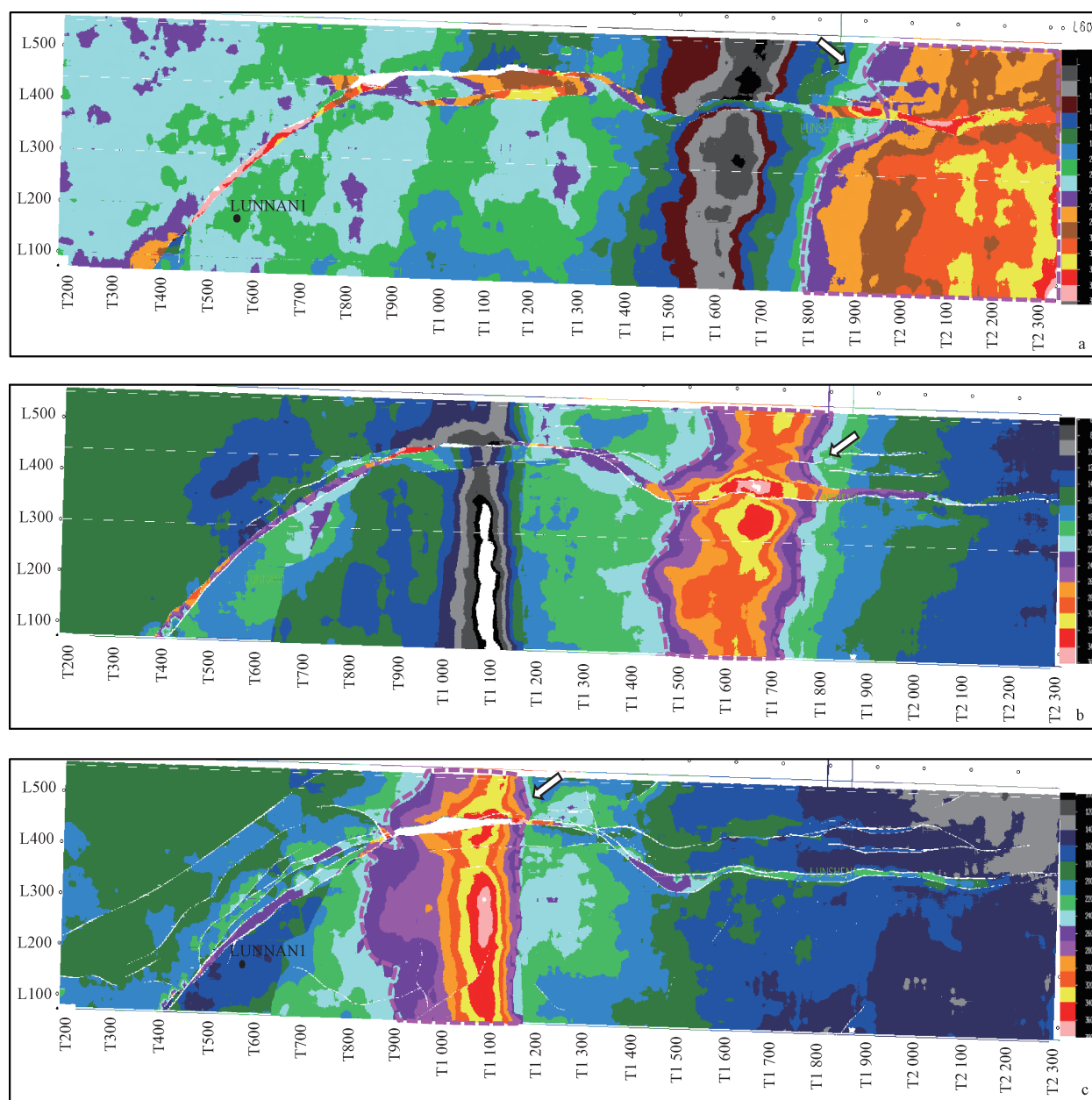


图 10 轮深地区寒武系地震地层等厚图(单位:ms)

Fig. 10 Seismic stratigraphic isopach map of the lower Cambrian in Lunshen area(unit:ms)

a. 上寒武统;b. 中寒武统;c. 下寒武统

剥蚀的结果。

早寒武世至中寒武世再到上寒武世,轮深地区台缘带由西部向东部深水方向不断迁移,证实寒武纪海平面表现为整体下降^[20]。在同一沉积时期内,礁滩体的沉积厚度往往较周围台地相和盆地相厚度大^[33-34],因此,区域厚度变化可以反映水体的相对深浅,内部地层厚度大的位置则反映的是较强水体能量下形成的生物礁或礁滩复合沉积。由此,在地层厚度等值线图上雕刻出厚度明显变大的区域可以用来确定礁滩体的分布范围(图10粉色虚线范围)。由地层厚度得到的台缘礁滩相分布范围不是绝对的台缘礁滩范围,需要结合前面论述的不同相带在三维地震剖面上的地震相特征,才能准确地识别和预测碳酸盐岩台缘礁滩体。

4 结论

1) 轮深地区发育典型台地边缘层序地层样式。通过层序地层样式,可以预测有利相带。下寒武统、中寒武统中、下部和上寒武统均发育台缘礁滩相,其中下寒武统礁滩丘形体较发育,上寒武统礁滩相最发育且分布范围最广。

2) 台地沉积体系中,储层以台缘带受淡水淋滤作用影响的礁滩体最为优质。地震相分析结果表明早寒武世礁滩体顶部“锯齿”边界明显变弱,高部位有局部削截的现象,推测其曾经暴露、遭受侵蚀形成部分碳酸盐岩溶蚀储层。晚寒武世礁滩沉积顶部具有明显削截

现象,顶部应长期遭受过暴露和大气淡水溶蚀的作用,形成碳酸盐岩溶蚀储层的可能性更大。因此,轮深地区优质储层最可能存在于上寒武统层序界面SB6附近的台缘礁滩相沉积地层中,其次可能存在于下寒武统层序界面SB2礁滩相顶部。

参 考 文 献

- [1] 杜永明,余腾孝,郝建龙,等.塔里木盆地玉北地区断裂特征及控制作用[J].断块油气田,2013,20(2):170-174.
Du Yongming, Yu Tengxiao, Hao Jianlong, et al. The fracture characteristics and control effect in Yu Beia area of Tarim Basin[J]. Fault Block Oil & Gas Field, 2013, 20(2): 170-174.
- [2] 肖朝晖,王招明,姜仁旗,等.塔里木盆地寒武系碳酸盐岩层序地层特征[J].石油与天然气地质,2011,32(1):1-16.
Xiao Zhaohui, Wang Zhaoming, Jiang Renqi, et al. Stratigraphy of Cambrian carbonate sequences in the Tarim Basin[J]. Oil and gas geology, 2011, 32(1): 1-16.
- [3] 刘忠宝,杨圣彬,焦存礼,等.塔里木盆地巴楚隆起中、下寒武统高精度层序地层与沉积特征[J].石油与天然气地质,2012,33(1):70-76.
Liu Zhongbao, Yang Shengbin, Jiao Cunli, et al. High-resolution sequence stratigraphy and sedimentary features of the middle and lower Cambrian of Bachu lift in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 70-76.
- [4] 陶崇智,白国平,王大鹏,等.塔里木盆地与威利斯顿盆地古生界海相碳酸盐岩油气成藏特征对比[J].石油与天然气地质,2013,34(4):431-440.
Tao Chongzhi, Bai Guoping, Wang Dapeng, et al. Comparison on Hydrocarbon accumulation characteristics of Paleozoic marine carbonates in Tarim Basin and in Willis basin[J]. Oil and Gas Geology, 2013, 34(4): 431-440.
- [5] 张光亚,赵文智,王红军,等.塔里木盆地多旋回构造演化与复合含油气系统[J].石油与天然气地质,2007,28(5):653-663.
Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, et al. Multicycle tectonic evolution and the composite petroleum system of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 653-663.
- [6] 蔡希源.塔里木盆地大中型油气田成控因素与展布规律[J].石油与天然气地质,2007,28(6):693-702.
Cai Xiyuan. Controlling factors and distribution of mid-large oil and gas fields in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 693-702.
- [7] 云露,翟晓先.塔里木盆地塔深1井寒武系储层与成藏特征探讨[J].石油与天然气地质,2008,29(6):726-732.
Yun Lu, Zhai Xiaoxian. Discussion of Cambrian reservoir and reservoir characteristics in well Tashen1 of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 726-732.
- [8] 孟祥豪,张哨楠,蔺军,等.中国陆上最深井塔深1井寒武系优质储集空间主控因素分析[J].断块油气田,2011,18(1):1-5.
Meng Xianghao, Zhang Shaonan, Lin Jun, et al. Analysis on main controlling factors of high quality Cambrian reservoir in Tashen 1, the most deep well on land of China[J]. Block Oil & Gas Field, 2011, 18(1): 1-5.
- [9] 孟祥豪,张哨楠,李秀华,等.塔深1井寒武系超深层优质储集空间特征[J].四川地质学报,2010,30(1):31-34.
Meng Xianghao, Zhang Shaonan, Li Xiuhua, et al. High quality Cambrian reservoir space characteristics in Tashen1, the most deep well on land of China[J]. Sichuan Geology Journal, 2010, 30(1): 31-34.
- [10] 孟祥豪,张哨楠,蔺军,等.塔深1井寒武系白云岩储层同位素流体地球化学示踪[J].矿物岩石,2009,29(4):75-82.
Meng Xianghao, Zhang Shaonan, Lin Jun, et al. Cambrian dolomite reservoir fluid geochemical tracer isotope in well Tashen 1[J]. Minerals and Rocks, 2009, 29(4): 75-82.
- [11] 张秋.塔河油田于奇6井地层特征分析[J].科技情报开发与经济,2012,22(16):134-136.
Zhang Qiu. Analysis on stratigraphic characteristics of well Yuqi 6 well of Tahe Oilfield[J]. Science and Technology Information Development & Economy, 2012, 22(16): 134-136.
- [12] 朱东亚,孟庆强,胡文瑄,等.塔里木盆地深层寒武系地表岩溶型白云岩储层及后期流体改造作用[J].地质论评,2012,58(4):691-701.
Zhu Dongya, Meng Qingqiang, Hu Wenxuan, et al. Karst type deep Cambrian dolomite reservoir and late fluid modification in Tarim Basin[J]. Geological Review, 2012, 58(4): 691-701.
- [13] 乔博,高志前,樊太亮,等.塔里木盆地寒武系台缘结构特征及其演化[J].断块油气田,2014,21(1):7-11.
Qiao Bo, Gao Zhiqian, Fan Tailiang, et al. Cambrian platform margin structure and evolution in Tarim Basin[J]. The Fault Block Oil and Gas Field, 2014, 21(1): 7-11.
- [14] 金之钧,云金表,周波.塔里木斜坡带类型、特征及其与油气聚集的关系[J].石油与天然气地质,2009,30(2):127-135.
Jin Zhijun, Yun Jinbiao, Zhou Bo. Slope zone types, characteristics and its relationship with hydrocarbon accumulation in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 127-135.
- [15] 朱长见,肖中尧,张宝民,等.塔里木盆地古城4井区上寒武统-奥陶系储集层特征[J].石油勘探与开发,2008,35(2):175-181.
Zhu Changjian, Xiao Zhongyao, Zhang Baomin, et al. Reservoir characteristics of Ordovician to Cambrian in well Guchen 4 of Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 175-181.
- [16] 刘玲,朱井泉,由雪莲,等.塔里木盆地柯坪地区中寒武统准同生白云岩孔洞充填物期次、地化特征及形成条件[J].古地理学报,2012,14(6):757-766.
Liu Ling, Zhu Jingquan, You Xuelian, et al. Cambrian penecontemporaneous dolostone hole filling stages, geochemical characteristics and formation conditions in Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(6): 757-766.
- [17] 张丽娟,吴金才,王招明,等.塔里木轮南油田寒武系坡折带的层序和储层[J].地层学杂志,2010,34(1):8-13.
Zhang Lijuan, Wu Jincai, Wang Zhaoming, et al. Cambrian slope zone sequence and reservoir of Lunnan Oilfield in Tarim Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2010, 34(1): 8-13.
- [18] 赵宗举,张运波,潘懋,等.塔里木盆地寒武系层序地层格架[J].地质论评,2010,56(5):609-620.
Zhao Zongju, Zhang Yunbo, Pan Mao, et al. Cambrian sequence stratigraphic framework in Tarim Basin[J]. Geological Review, 2010, 56(5): 609-620.
- [19] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等.四川盆地东北部长兴组层序地层与

- 储层分布[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 179-185.
- Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Guo Tonglou, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of Changxin formation at northeastern Sichuan Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 179-185.
- [20] 郭彤楼. 川东北元坝地区长兴组-飞仙关组台地边缘层序地层及其对储层的控制[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 387-394.
- Guo Tonglou. Sequence stratigraphy and its control of the reservoir in platform margin of Changxin formation to Feixianguan formation in Yuan Ba area at northeastern Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 387-394.
- [21] 赵文智, 沈安江, 周进高, 等. 礁滩储集层类型、特征、成因及勘探意义——以塔里木和四川盆地为例[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 257-267.
- Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Zhou Jingao. Reef flat reservoir types, characteristics, genesis and prospecting significance——tanking Tarim Basin and Sichuan Basin as examples[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 257-267.
- [22] 强子同. 碳酸盐岩储层地质学[M]. 山东 东营: 石油大学出版社, 1998: 381-385.
- Qiang Zitong. Carbonate reservoir geology[M]. Dongying: Petroleum University Press, 1998, 381-385.
- [23] 余宽宏, 金振奎. 地震相在塔里木盆地古城地区碳酸盐岩台地演化及特征分析中的应用[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(1): 115-121.
- Yu Kuanhong, Jin Zhenkui. Application of seismic facies in the analysis of characteristics and evolution of the carbonate platform of Guchen area in Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(1): 115-121.
- [24] 郑兴平, 潘文庆, 常少英, 等. 塔里木盆地奥陶系台缘类型及其储层发育程度的差异性[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(5): 1-4.
- Zheng Xingping, Pan Wenqing, Chang Shaoying, et al. Platform edge types and reservoir development degree of Ordovician in Tarim Basin[J]. Lithologic Oil and Gas Reservoirs, 2011, 23(5): 1-4.
- [25] 谢欣睿, 毛健, 王振宇. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶作用与储层分布[J]. 断块油气田, 2013, 20(3): 324-328.
- Xie Xinrui, Mao Jian, Wang Zhenyu. Karstification and reservoir distribution of Ordovician Yingshan formation at the north slope of Tazhong Area[J]. Fault Block Oil & Gas Field, 2013, 20(3): 324-328.
- [26] 刘殊, 唐建明, 马永生, 等. 川东北地区长兴组-飞仙关组礁滩相储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 332-339.
- Liu Shu, Tang Jianming, Ma Yongsheng, et al. Prediction of reef and shoal facies reservoirs of Changxin to Feixianguan Formation in the northeast of Sichuan[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 332-339.
- [27] 罗清圆, 郭伟, 雷蕾. 川东北元坝地区长兴组顶部沉积地震相研究[J]. 四川文理学院学报, 2012, 23(2): 39-43.
- Luo Qingyuan, Guo Wei, Lei Lei. Research on seismic facies of top strata of Changxin formation at Yuanba area in Northeast Sichuan[J]. Journal of Sichuan University of Arts and Science, 2012, 23(2): 39-43.
- [28] 贺振华, 蒲勇, 熊晓军, 等. 川东北长兴-飞仙关组礁滩储层的三维地震识别[J]. 物探化探计算技术, 2009, 31(1): 1-5.
- He Zhenhua, Pu Yong, Xiong Xiaojun, et al. 3D seismic recognition of reef flat reservoir of Changxin to Feixianguan formation in Northeast Sichuan[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 31(1): 1-5.
- [29] 蒋志斌, 王兴志, 张帆, 等. 四川盆地北部长兴组-飞仙关组礁滩分布及其控制因素[J]. 中国地质, 2008, 35(5): 940-950.
- Jiang Zhibin, Wang Xingzhi, Zhang Fan, et al. Reef, flat distribution and control factors of Changxin to Feixianguan formation in Northeast Sichuan[J]. China Geology, 2008, 35(5): 940-950.
- [30] 季丽丹, 赵亮, 贾进斗, 等. 塔里木盆地中东部地区寒武系-奥陶系地震相分析与解释[J]. 内蒙古石油化工, 2007, 3: 247-249.
- Ji Lidan, Zhao Liang, Jia Jindou, et al. Seismic facies analysis and interpretation of Cambrian and Ordovician strata in middle east of Tarim Basin[J]. Inner Mongolia Petroleum Chemical Industry, 2007, 3: 247-249.
- [31] 吕彩丽, 姚永坚, 吴时国, 等. 南沙海区万安盆地中新世碳酸盐台地的地震响应与沉积特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2011, 36(5): 931-938.
- Lu Caili, Yao Yongjian, Wu Shiguo, et al. Seismic response and sedimentary characteristics of Miocene carbonate platform in Wanan basin, Nansha area[J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 931-938.
- [32] 程锦翔, 谭钦银, 郭彤楼, 等. 川东北元坝地区长兴组-飞仙关组碳酸盐台地边缘沉积特征及演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(4): 29-36.
- Cheng Jinxiang, Tan Qinyin, Guo Tonglou, et al. Depositional characteristics and evolution of carbonate platform margin of Changxin to Feixianguan formation at Yuanba area in Northeast Sichuan[J]. Sedimentary Geology, 2010, 30(4): 29-36.
- [33] Maurice E. Tucker, Wright V. Paul. Carbonate Sedimentology[M]. Blackwell Science, 1990.
- [34] Robertson C. H. Review of carbonates and belt deposition of ooid grainstone sand application to Mississippian reservoir, Damme Field, southwestern Kansas[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72: 1184-1199.

(编辑 董立)