

四川盆地川中地区震旦系灯影组台地边缘相带地震识别及其分段特征

曾富英^{1,2}, 杨威¹, 孙爱¹, 金惠¹, 谢武仁¹, 马石玉¹, 苏楠¹

(1. 成都理工大学 地球物理学院, 四川 成都 610059; 2. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:四川盆地绵竹-长宁裂陷东、西两侧发育震旦系灯影组台地边缘相带,是重要的油气富集区。运用地震精细解释及层拉平等技术对台地边缘相带开展地震识别、精细刻画及分布研究。台地边缘相带地震反射特征为“丘状”反射或括弧状外形、内部为杂乱或蚯蚓状反射、中弱振幅、中低频率。绵竹-长宁裂陷东、西两侧震旦系灯影组发育灯一期、灯二期及灯四期3期台地边缘相带,其中灯二期发育两个级别台地边缘相带。灯一期台地边缘相带分布在安岳-乐至东侧地区,近南北向展布;灯二期台地边缘相带呈半环状展布;裂陷东侧灯四期台地边缘相带在安岳以南为近南北向,在遂宁-射洪地区为北东-南西方向。四川盆地川中地区震旦系灯影组台地边缘相带分布指示出震旦系灯影组有利勘探区带,对勘探具有一定的指导意义。

关键词:层拉平;地震相;台地边缘相带;孤立台地;灯影组;四川盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Seismic recognition and zonation of the platform margin facies of the Sinian Dengying Formation in central Sichuan Basin

Zeng Fuying^{1,2}, Yang Wei¹, Sun Ai¹, Jin Hui¹, Xie Wuren¹, Ma Shiyu¹, Su Nan¹

(1. College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: The Sinian Dengying Formation platform margin facies is developed in east and west of the Mianzhu-Changning Rift, Sichuan Basin, where oil and gas accumulated. Seismic recognition, fine characterization and distribution features of the platform facies zones are carried out by means of detailed interpretation of seismic facies and horizon flattening. Seismic reflection features of facies zones on the platform margin are “dome-shaped” or brackish-shaped, with internal messy or earthworm-like reflections, moderate to weak amplitudes, and low to intermediate frequencies. Three stages of platform margin zones, Z_2dn^1 , Z_2dn^2 and Z_2dn^4 , developed in east and west of the Mianzhu-Changning Rift, and two stages of platform margin zones developed in Z_2dn^2 . The Z_2dn^1 platform margin zone is distributed in eastern area of the Anyue-Lezhi, trending in near North-South direction. The Z_2dn^2 platform margin zone is distributed in a semi-circle shape. The Z_2dn^4 platform margin zone trends in near north-south direction to the south of the Anyue, and in northeast-southwest direction in the Suining-Shehong area. The distribution pattern of the platform margin facies of the Sinian Dengying Formation in the central Sichuan Basin indicates that the Sinian Dengying Formation has favorable exploration zones. This characterization work gives some guidance for further oil and gas exploration.

Key words: horizon flattening, seismic facies, platform margin facies zone, isolated platform, Dengying Formation, Sichuan Basin

钻井证实四川盆地震旦系-下寒武统发育克拉通内裂陷,称之为绵竹-长宁裂陷(图1)^[1]。裂陷区烃

源岩沉积厚度大,天然气资源丰富。勘探证实裂陷东侧高石梯-磨溪地区发育震旦系灯影组台地边缘相

收稿日期:2016-12-15;修订日期:2017-06-21。

第一作者简介:曾富英(1979—),女,博士、高级工程师,地震解释、储层预测及目标评价。E-mail:zfy69@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05007);中国石油天然气股份有限公司项目(2011B-0603)。

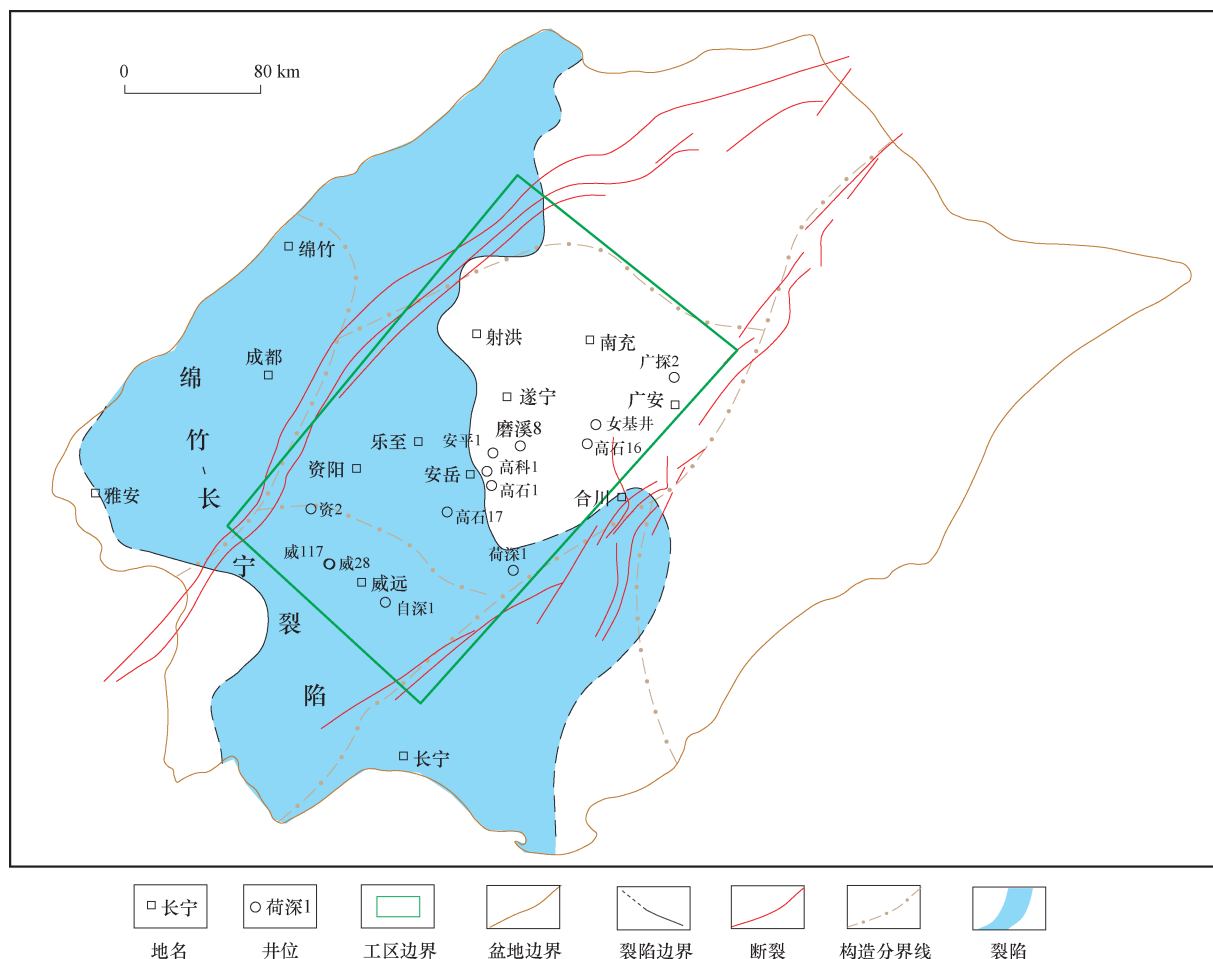


图1 四川盆地震旦纪灯四期末裂陷与工区分布

Fig. 1 Distribution of rifts in the final phase of the Sinian Z_2dn^4 and the study area in the Sichuan Basin

带(简称台缘),台缘丘滩体发育,厚度大,储层物性好,勘探效果好。但是,台缘以外地区震旦系灯影组台缘发育位置、展布特征及其发育期次都不清楚^[2-4]。对于碳酸盐岩勘探来说,沉积相分析是重点,确定碳酸盐岩台缘是关键^[5-8]。因此,研究台缘识别技术,准确刻画台缘位置及其展布,对寻找有利勘探区带有重要意义。

据绵竹-长宁裂陷现有地震资料分布,台缘识别与精细刻画研究区为图1中长方形框,西到威远-资阳地区,东到广安-南充地区,北邻龙门山断裂,南到华蓥山断裂。选用地震资料,除资阳地区外,均为2005年及以后采集处理的二维测线、三维工区的叠前时间偏移成果资料;资阳地区为2005年以前采集二维测线,2013年做重新处理的叠前时间偏移成果资料。地震资料处理以目的层(深层碳酸盐岩)为对象,以提高深层资料信噪比、深层成像、满足精细地震解释及地震相分析等需要为目标,优选无射线层析反演静校正技术、叠前多域组合去噪技术、地表一致性振幅补偿技术、地表一致性反褶积技术、起伏地表 Kirchhoff 叠前

时间偏移技术,确保地震资料保真保幅。采用无射线层析反演静校正技术避开近地表速度横向变化大造成的射线阴影区问题,静校正量计算更准确。采用叠前多域组合去噪技术压制面波、异常能量、随机干扰等无效信号,突出有效波;采用地表一致性振幅补偿技术消除因表层结构变化引起的振幅能量横向不一致性;采用地表一致性反褶积技术校正子波波形、压缩地震子波,消除地表不一致因素,增强地震子波横向稳定性;采用起伏地表 Kirchhoff 叠前时间偏移技术,并通过多次迭代实验选择适合与准确的叠前时间偏移参数和偏移速度场,改善成像质量、提高深层成像效果和精度。地震资料波组特征清晰、连续性好、资料信噪比高,为构造精细解释、台缘地震识别、台缘地震属性分析研究奠定了基础。

1 台地边缘相带地震识别

碳酸盐沉积作用表现为相对较厚的加积或进积沉积,它们可以环绕盆地和台内裂陷边缘分布,也可以成

为盆地内的孤立台地(Wilson, 1975)。盆地边缘沉积可以形成宽阔区域性台地或坡地,也可以成为坡度较大的(5°)的进积滩,这些特点通常在地震剖面上可以识别。识别碳酸盐岩礁或滩直接标准是边界轮廓(反射构造和上覆反射的上超)和确定此沉积地震相变化。间接标准是披覆、速度异常(上拉或下拉)、假同相轴和盆地构造(断棱、构造高点)^[9-14]。在井-震精细标定及解释基础上,联合应用地震相及层拉平等技术,对研究区震旦系灯影组台地边缘相带开展识别。

1.1 地震相识别台地边缘相带

地震反射层形态主要受地质成因和层理类型控制,而层理类型与沉积过程、原始沉积作用面地形或水深环境、侵蚀作用等有关。地震反射层连续性取决于沿层面速度与密度比值的连续性,层理连续性直接与沉积过程或环境有关。地震反射层振幅主要受沿层面速度-密度比差的大小控制。地震反射层频率由地震震源激发产生,并可能为反射层之间地层厚度所改变。因此,可以用地震相识别不同沉积相类型,如台地边缘相带。

震旦系灯影组台缘地震相为“丘状”反射或括弧

状外形、内部为杂乱或蚯蚓状反射、中弱振幅(图2a右图台缘标示处,图1中过高石3井蓝色线)。台内地震相为平行中-强振幅、中-强连续反射(图2a右图标注“台内”位置及其东侧)。裂隙区地震相为连续性好、平行中-强振幅(图2a左图,图1中过高石17井蓝色线)。裂隙区震旦系减薄,寒武系加厚并对接于震旦系灯四段和灯二段台缘。

震旦系灯影组台缘丘滩体发育位置地震相为中-低频率,裂隙区地震相为中-高频率。图2b下图是一条横跨裂隙区和台地边缘相带东西向地震剖面(图1中过高石1井蓝色线),裂隙槽区位于剖面左侧,台地边缘相带位于剖面中部偏右位置。台缘位于 CDP4096 至 CDP4161,对应位置频谱能量比较集中,强能量对应于中-低频率(15~40 Hz)(图2b上图中间点线框);台内位于 CDP4226 及其右侧,频谱能量表现为分散,强能量对应于中-高频率(30~55 Hz)(图2b上图右侧点线框);裂隙区位于 CDP4031 及其左侧,对应位置频谱能量主要集中于高频段(45~70 Hz)(图2b上图左侧点线框)。

震旦系灯影组台地边缘相带发育位置地震相具有

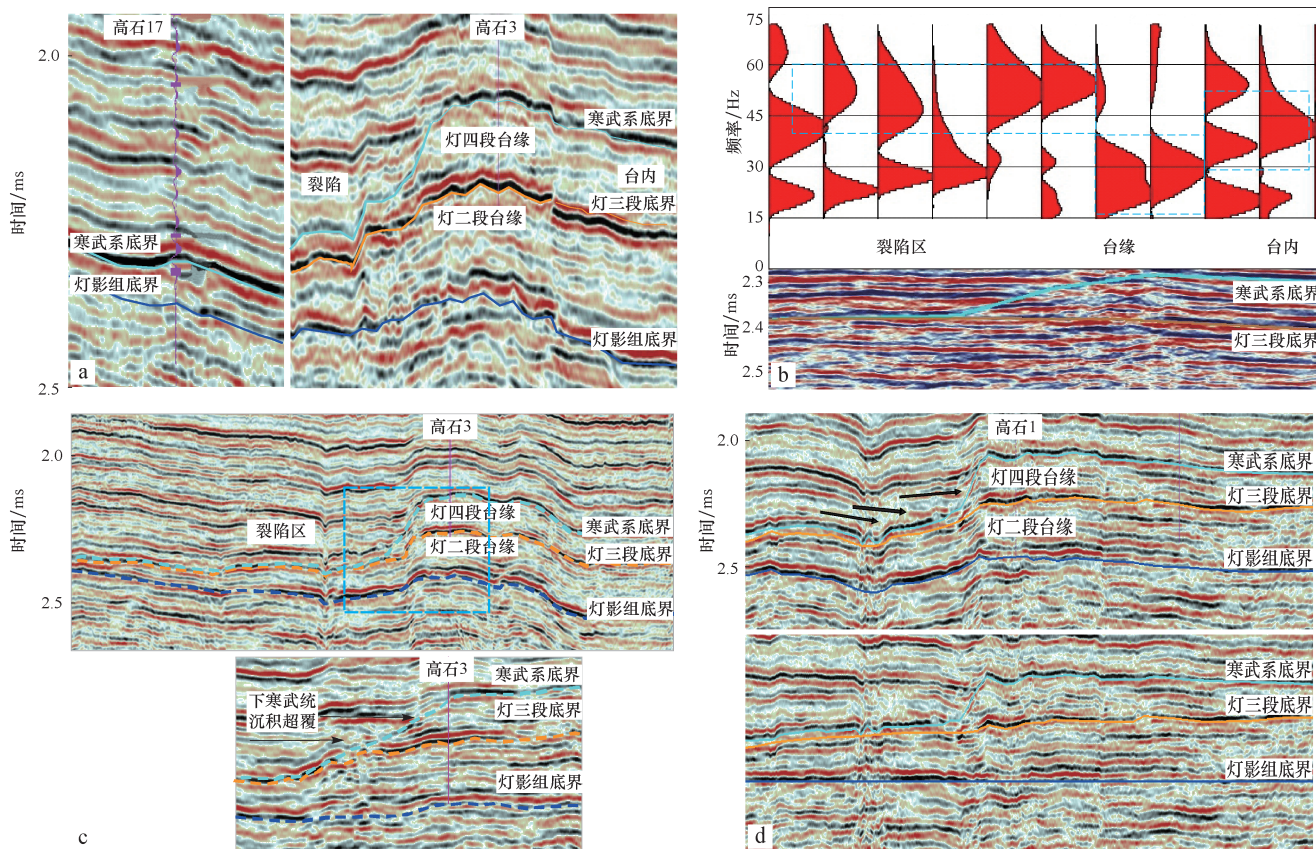


图2 四川盆地台地边缘相带地震识别剖面

Fig. 2 Recognition of platform margin in the Sichuan Basin on a seismic section

- a. 过裂隙区、台缘、台内的地震相特征对比剖面; b. 裂隙区-台缘-台内频谱能量分析图; c. 沉积超覆特征地震剖面;
d. 东西向测线现今与灯影组底界拉平剖面

上超特征。裂陷区向台地边缘相带上超和削截特征明显,震旦系灯四段和灯二段台缘向裂陷区前积减薄现象明显(图2c上图,剖面位置图1中过高石3井蓝色线),近似水平的寒武系对着震旦系灯影组倾斜界面超覆尖灭。研究区位于构造活动相对弱、相对稳定的古隆起核部,由此可确定这超覆现象为上超。图2c下图为上图点线框位置放大剖面,图中黑色箭头指示位置即是上超位置。

1.2 层拉平技术识别台地边缘相带

识别和刻画台地边缘相带,古地貌和古地形分析是一项必不可少的工作。层拉平技术是直观分析古地貌和古地形的一种有效手段。层拉平技术是以地震资料为基础,以层序地层学观点为指导的一种方法。层拉平古地貌分析法得到的是该层序地层沉积前的相对古地貌。四川盆地川中地区震旦纪构造活动弱,相对稳定,层拉平法可应用于该区古地貌分析。碳酸盐岩沉积中,

古地貌相对高的地区容易生长滩,滩厚度比同期四周沉积物相对要厚一点。图2d上图是过裂陷区-台缘带一条东西向三维任意线现今剖面(剖面位置图1中过高石1井位置蓝色线),高石1井灯四段沉积藻云岩、层纹石云岩、藻砂屑云岩和溶孔溶洞发育,以丘-滩复合体为特征,处于台地边缘相带。图2d下图是灯影组底界拉平剖面,灯四段台缘和灯二段台缘位置地震同相轴增多,地震同相轴之间时差增大,滩体丘状外形清晰直观。

2 台地边缘相带展布及类型

在多井联合标定及灯影组内部层精细解释基础上,求取灯一段+灯二段、灯三段+灯四段地层厚度图。台缘具有加厚特征,灯一段+灯二段地层厚度显示灯二期台缘特征明显,厚度由100 m突增至500 m(图3a);灯三段+灯四段地层厚度显示灯四期台缘特

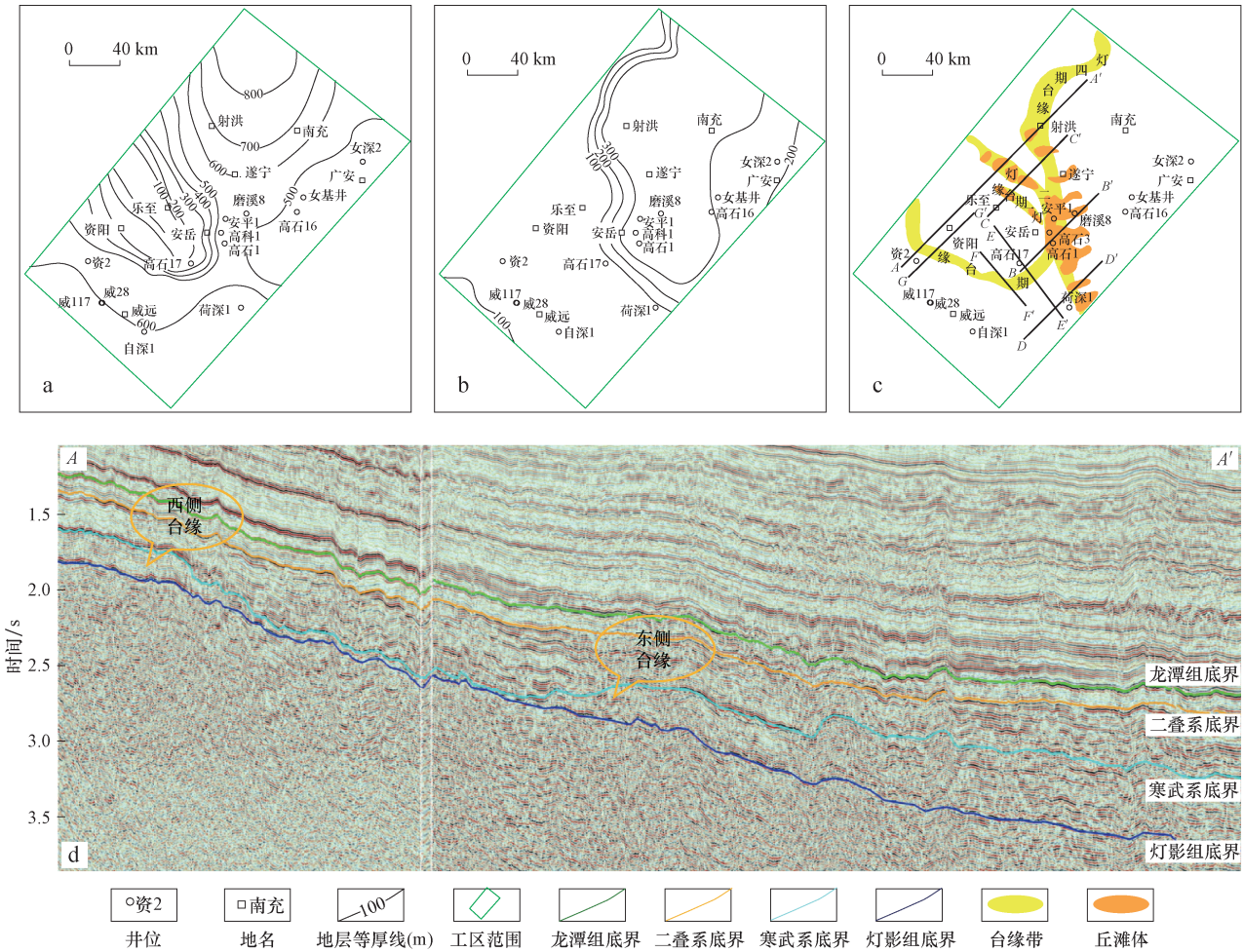


图3 四川盆地震旦系灯影组厚度、台缘分布及类型

Fig.3 Formation isopach,platform margin facies distribution pattern and spatial variation of types of the Sinian Dengying Formation in the Sichuan Basin

a. 震旦系灯一段+灯二段地层厚度;b. 震旦系灯三段+灯四段地层厚度;c. 四川盆地川中地区震旦系灯影组台缘分布;
d. 绵竹-长宁裂陷东西两侧台缘类型展示剖面

征明显,厚度由 100 m 突增至 300 m(图 3b)。综合台缘地震识别成果,刻画研究区震旦系灯影组台缘分布。震旦系灯影组在研究区发育灯一期、灯二期及灯四期三期台缘。①灯一期台缘分布在安岳-乐至东侧地区,近南北向展布(图 3c);②灯二期台缘半环状展布,在高石 1 井以南、荷深 1 井以北,向西转弯,经过威远东侧地区,延伸至威远地区,过威远后再由在资 2 井附近向北延伸(图 3c);③灯四期东侧台缘分布在安岳以东、遂宁以西、过射洪地区,在安岳以南为近南北向,在遂宁-射洪地区为北东南西方向(图 3c)。东侧台缘为陡坡型台缘,西侧为缓坡型台缘(图 3d)。灯影组台缘总体具有东陡西缓、北宽南窄特征。

3 台地边缘相带分段特征

通过对台缘展布及已钻井分析,发现四川盆地震旦系灯影组台缘具有分段、分带特征,且不同段的特征及纵向叠置关系存在差异。

3.1 高石梯地区

高石梯地区位于东侧台缘。其代表井为高石 1 井,其灯四段厚 262.5 m、灯二段厚 486.8 m,岩性为灰

白色泥晶白云岩、藻砂屑白云岩和凝块白云岩,属于台缘丘滩相。高石梯地区发育灯二期与灯四期纵横向相互叠置的陡坡型台缘,台缘宽度为 10 km,长度为 33 km,台缘丘滩体厚度约 10~200 m(图 4a)。

3.2 遂宁-射洪地区

遂宁-射洪地区位于东侧台缘,发育灯一期、灯二期和灯四期台缘。①灯一期台缘规模小,台缘宽 3~7 km,延伸 80 km(图 3c);②灯二期发育多级别台缘,一级台缘具有小型孤立台地特征,宽 7~20 km,平行-丘状垂向加积特征明显,发育丘滩体(图 4c),二级台缘宽 5~16 km,延伸 100 km(图 3c);③灯四期台缘宽 15 km,向南延伸至高石 1 井区,向北延伸至川西北地区,规模较大(图 3c)。灯二期台缘与灯四期台缘既有相互独立,也有纵向、横向上叠合(图 4b),其沉积模式如图 4d 所示。

3.3 荷包场地区

荷包场位于东侧台缘,属于缓坡型台缘,发育灯四期台缘,宽度 10 km,丘滩体发育(图 5a)。其代表井有荷深 1 井,灯影组钻穿厚度为 650 m,灯四段厚 12 m,为深灰色泥质云岩、泥晶云岩,无缝洞发育;灯三段厚

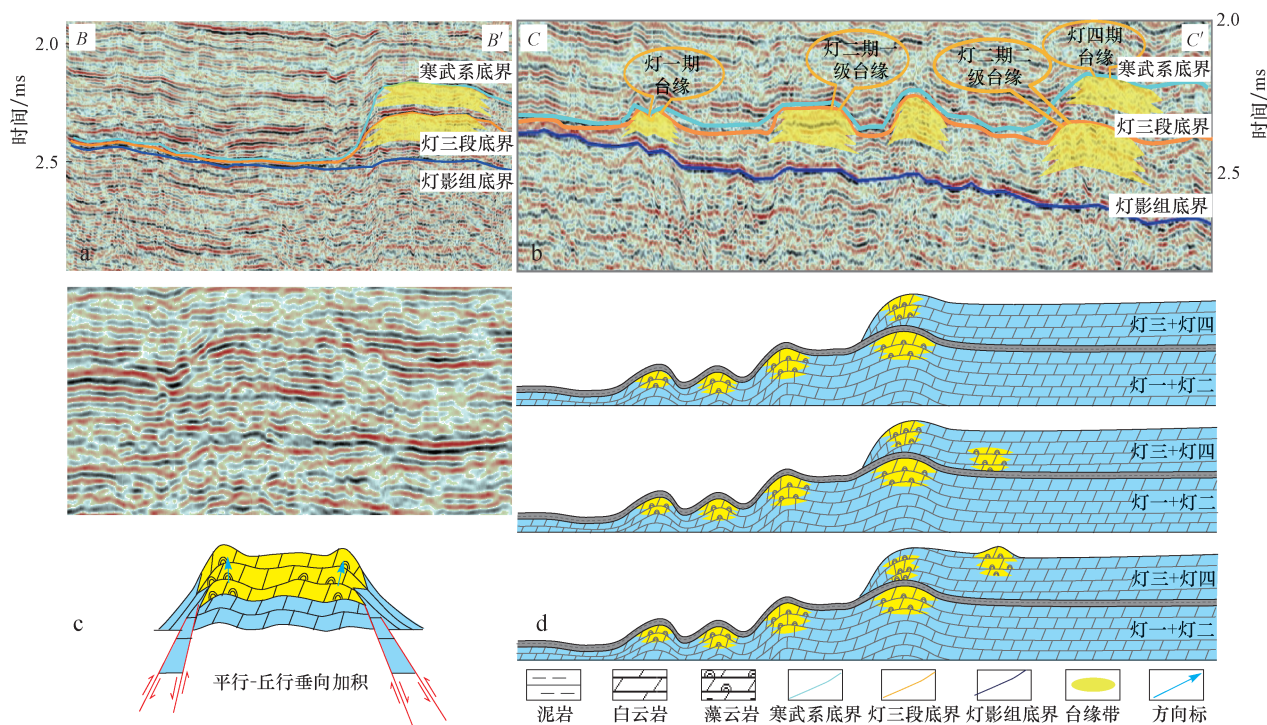


图 4 四川盆地台缘特征地震剖面及沉积模式

Fig. 4 Seismic section of platform margin and sedimentary models in the Sichuan Basin

a. 高石 1 井区台缘地震反射特征; b. 遂宁-射洪地区台缘特征地震剖面; c. 遂宁-射洪地区灯二台缘发育孤立丘滩体地震剖面及沉积模式; d. 遂宁-射洪地区震旦系灯影组沉积模式

18 m,为灰色泥岩夹少量浅灰色泥晶白云岩。灯四段厚度从200多m减薄至12 m,可见荷深1井位于灯四期裂隙内。荷深1井寒武系底界地震相特征为平行、连续性好、强反射。荷深1井东侧灯四段地震相特征为一套杂乱、丘状弱反射,具有台缘地震相特征。荷深1井灯二段厚度620 m,岩性以泥-粉晶藻云岩为主,局部溶蚀孔洞发育,见硅质条带。荷深1井以北(CDP11000位置)灯二段地震相从杂乱、不连续、弱振幅变为连续性好、平行强反射;以南灯二段厚度没有明显减薄或加厚特征(图5b),可见荷深1井处在灯二期台地上。过威远东侧地震剖面(图5c),灯二段在CDP3000位置地震相特征为杂乱、弱反射,具有台缘特征;CDP3000位置左侧,即向北西方向,地震相特征为连续、平行强反射;CDP3000位置右侧,即向南东方向,地震相特征为杂乱、中-弱反射,灯二段厚度无明显减薄或加厚现象。自深1井灯四段厚39 m,岩性为深灰色泥晶白云岩;灯三段厚6 m,岩性为深灰色泥岩夹少量灰色泥质白云岩;灯二段未钻穿,已钻厚度为177.5 m,岩性为浅-深灰色泥晶云岩,也处在灯二期台地上。

3.4 威远-资阳地区

威远-资阳地区位于西侧台缘,发育灯二期台缘,为缓坡型台缘(图5d),宽9 km,延伸长度近120 km。岩性为厚层藻砂屑、叠层石白云岩和凝块石白云岩,溶蚀孔洞发育,为藻丘滩体边缘相。威远地区灯四段岩

性以深灰色、灰褐色泥晶和泥质白云岩夹泥岩为主,反映水体相对偏深。威28井灯影组钻穿厚度为632 m,灯四段厚27 m,岩性为深灰色泥粉晶白云岩夹少量藻白云,颜色相对较深,为斜坡陆棚相;灯三段厚9.5 m,岩性为蓝灰色泥岩,为深水陆棚相。资阳地区资2井,灯四段厚度3.9 m,灯三段2.8 m,灯二段未钻穿,厚度118.3 m,岩性为深灰色泥质白云岩夹泥岩,反映深水陆棚相欠补偿沉积。

3.5 多期多级台地边缘相带形成原因探讨

台地边缘相带形成主要受震旦纪前古地理格局、古地貌高和海平面变化控制,也受震旦纪当时海岸线、古气候特征及季风方向等影响^[15-19]。灯二段沉积前,古地形比较开阔、古地貌有差异、全-堑相间、高低起伏;灯二段时期海平面频繁升降,既有海进也有海退,所以灯二段发育多级台缘。如图6,震旦纪灯影期海平面大振荡变化有3期(罗贝维,2013^[20])。灯一段时表现为缓慢海进,灯二段早期表现为低位振荡海退,后期表现为高位振荡海退,灯三段表现为短暂海进,灯四段早期表现为持续海退,后期为振荡海退。海平面变化与地震界面进行比对发现,在灯一段至灯二段主要经历了缓慢海进-低位振荡海退-高位振荡海退,灯三段至灯四段主要经历了短暂海进-持续海退-振荡海退。可见,海平面振荡变化与高低起伏的古地貌格局是发育多期多级台缘的背景。

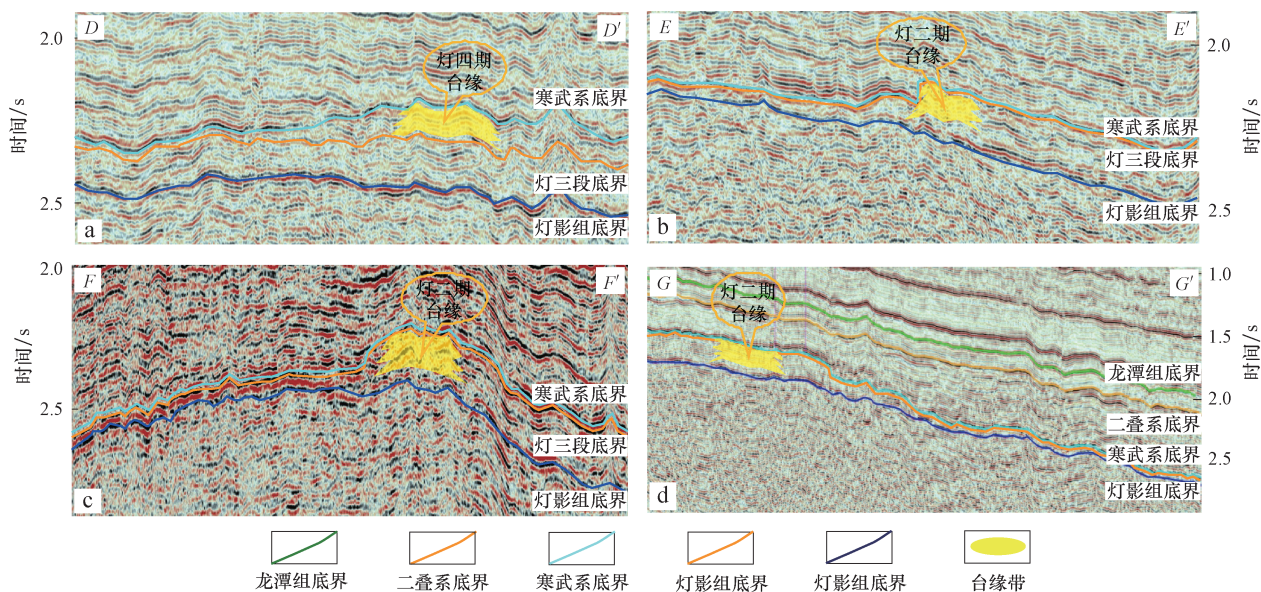


图5 四川盆地台缘特征地震剖面特征

Fig. 5 Platform margin seismic characteristics in the Sichuan Basin

a. 荷深1井区灯四段台缘地震剖面;b. 荷深1井区灯二段台缘地震剖面;c. 威远东侧地区灯二段台缘地震剖面;d. 裂陷西侧资阳地区台缘特征

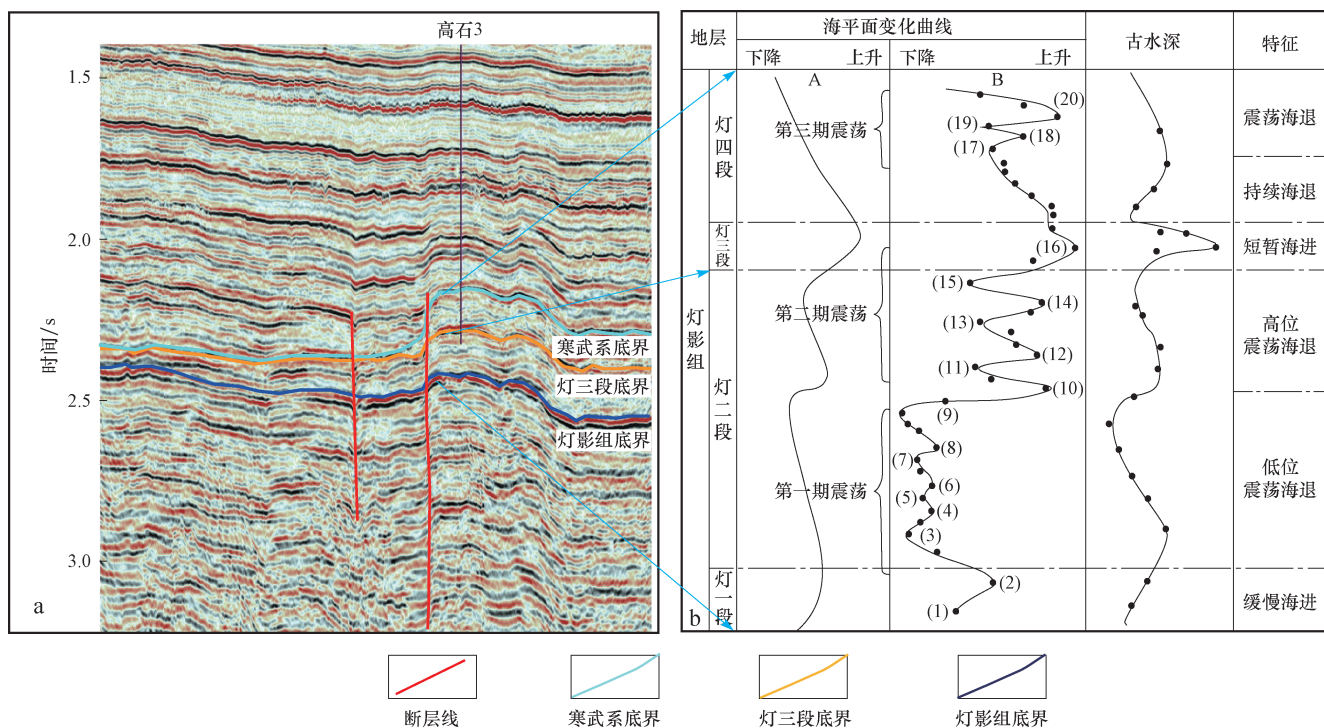


图6 四川盆地灯影组地震剖面(a)与海平面变化曲线(b)对比

Fig. 6 Comparison of seismic section(a) and the sea level curves(b) of the Dengying Formation in the Sichuan Basin

4 结论

1) 地震相和层拉平等技术联合应用可以较好地识别、预测台缘展布,震旦系灯影组台地边缘相带地震相呈现“丘状”或弧状外形、内部为中-强振幅、杂乱或蚯蚓状、中-低频率、低频能量强等反射特征;台内地震相呈现平行中-强振幅、中等-强连续、中高频率、频谱能量分散等反射特征;裂隙区地震相呈现平行强振幅、连续性好、中-高频率、高频能量强等反射特征。

2) 四川盆地震旦系灯影组在川中地区发育灯一期、灯二期及灯四期3期台缘。灯一期台缘近南北向展布,灯二期台缘半环状展布,裂隙东侧灯四期台缘近南北向、北东南西方向展布。

3) 灯二期台缘发育两级台缘。一级台缘乐至段发育孤立台地,孤立台地边缘相带发育丘滩,被烃源岩围绕,生储盖匹配好,成藏条件好,其可能是震旦系灯二段有利勘探区带之一。

参考文献

[1] 魏国齐,杨威,杜金虎,等. 四川盆地震旦纪-早寒武世克拉通内裂隙地质特征[J]. 天然气工业,2015,35(1):24-35.
Wei Guoqin, Yang Wei, Du Jinhu, et al. Geological characteristics of the Sinian-early Cambrian intracratonic rift, Sichuan Basin [J]. Natu-

ral Gas Industry, 2015, 35(1): 24-35.
[2] 邹才能,杜金虎,徐春春,等. 四川盆地震旦系寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J]. 石油勘探与开发,2014,41(3):278-293.
Zou Caineng, Du Jinhu, Xu Chunhui, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gas field, Sichuan Basin, SW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 278-293.
[3] 赵文智,汪泽成,胡素云,等. 中国陆上三大克拉通盆地海相碳酸盐岩油气藏大型化成藏条件与特征[J]. 石油学报,2012,33(S2):1-10.
Zhao WenZhi, Wang Zecheng, Hu Suyun, et al. Large-scale hydrocarbon accumulation factors and characteristics of marine carbonate reservoir in three large onshore cratonic basins in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(Supplement 2): 1-10.
[4] 杨威,魏国齐,赵蓉蓉,等. 四川盆地震旦系灯影组岩溶储层特征及展布[J]. 天然气工业,2014,34(3):55-60.
Yang Wei, Wei Guoqin, Zhao Rongrong, et al. Characteristics and distribution of karst reservoir in the Sinian Dengying Fm, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3): 55-60.
[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] 陶崇智,白国平,王大鹏,等. 塔里木盆地与威尔逊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 hy-

- drocarbon accumulation characteristics of Paleozoic marine carbonates in Tarim Basin and in Willis basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 431–440.
- [7] 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.
- [8] 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 & Gas Geology, 2011, 32(1): 1–16.
- [9] 范兴燕, 张研, 肖高杰, 等. 轮深地区寒武系台缘礁滩相储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(5): 793–803.
- Fan Xingyan, Zhang Yan, Xiao Gaojie, et al. Reservoir prediction of the Cambrian reef flat facies of platform margin in Lunshen area[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(5): 793–803.
- [10] 王招明, 赵宽志, 邬光辉, 等. 塔中 I 号坡折带上奥陶统礁滩型储层发育特征及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 797–781.
- Wang Zhaoming, Zhao Kuanzhi, Wu Guanghui, et al. Characteristics and main controlling factors of the Upper Ordovician reef-bank reservoir development in the Tazhong I slope-break zone[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 797–781.
- [11] 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, Nanshai area[J]. Earth Science – Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 931–938.
- [12] 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.
- [13] Brown L F. 地震地层解释原理 – 地震资料的沉积系统和岩相解释[J]. 国外油气勘探, 1983.
- Brown L F. Seismic Stratigraphic Interpretation Principle-Sedimentary system and facies interpretation of seismic data [J]. Foreign Oil and Gas Exploration, 1983.
- [14] Fontaine J M, Cussey R. 碳酸盐岩沉积环境的地震解释[J]. 国外油气勘探, 1988 – 09 – 15: 49–59.
- Fontaine J M, Cussey R. Seismic interpretation of carbonate sedimentary environment[J]. Foreign Oil and Gas Exploration, 1988 – 09 – 15: 49–59.
- [15] 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.
- [16] 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, et al. 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.
- [17] 何治亮, 张军涛, 丁茜, 等. 深层 – 超深层优质碳酸盐岩储层形成控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(4): 633–645.
- He Yeliang, Zhang Juntao, Ding Qian, et al. Factors controlling the formation of high-quality deep to ultra-deep carbonate reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(4): 633–645.
- [18] 王大鹏, 陆红梅, 陈小亮, 等. 海相碳酸盐岩大中型油气田成藏体系及分布特征[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(3): 363–371.
- Wang Dapeng, Lu Hongmei, Chen Xiaoliang, et al. Petroleum accumulation systems and distribution of medium to large marine carbonate fields [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(3): 363–371.
- [19] 贺锋, 林畅松, 刘景, 等. 彦塔东南寒武系 – 中下奥陶统碳酸盐岩台缘带的迁移与相对海平面变化的关系[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(4): 711–721.
- He Feng, Lin Changsong, Liu Jingyan, et al. Migration of the Cambrian and Middle-Lower Ordovician carbonate platform margin and its relation to relative sea level changes in southeastern Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(4): 711–721.
- [20] 罗贝维, 魏国齐, 杨威, 等. 四川盆地晚震旦世古海洋环境恢复及地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1099–1111.
- Luo Beiwei, Wei Guoqi, Yang Wei, et al. Reconstruction of the late Sinian paleo-ocean environment in Sichuan basin and its geological significance [J]. Geology in China, 2013, 40(4): 1099–1111.

(编辑 张玉银)