

四川盆地仪陇地区二叠系长兴组生物礁发育特征精细刻画

赵福^{1,2}, 徐鹏宇^{1,2}, 李响^{1,2}, 唐松³, 曹勤明^{1,2}, 刘博文³, 梁新玉³

¹成都理工大学能源学院, 四川 成都

²成都理工大学“油气藏地质及开发工程国家重点实验室”, 四川 成都

³西南油气田分公司川中油气矿, 四川 遂宁

Email: 1944949956@qq.com

收稿日期: 2021年3月1日; 录用日期: 2021年3月19日; 发布日期: 2021年3月30日

摘要

四川盆地仪陇地区长兴组生物礁特征与元坝地区相似, 具有“一礁一藏”的特点及广阔的勘探潜力; 文中对比了仪陇地区和元坝地区生物礁的生长模式, 分析沉积环境、储集空间类型及生物礁的地质特征。在此基础上, 利用钻井、测井及地震等资料, 进行生物礁模型地震正演, 确定生物礁地震相识别模式。并采用古地貌分析确定生物礁发育的有利沉积相带, 识别出了长兴组沉积晚期的一次海泛沉积-辅助层, 并利用该辅助层对生物礁进行解释, 极大得提高了长兴组的古地貌刻画精度。其后在小礁体识别的基础上, 开展了生物礁内幕精细雕刻攻关, 形成了以多属性体融合技术下的生物礁内幕精细雕刻技术, 更加直观、形象而准确的揭示了台缘带、生物礁群、单礁体分布特征, 首次建立了一套针对四川盆地仪陇地区生物礁有效刻画技术, 加快了仪陇地区长兴组生物礁的勘探进程, 为仪陇地区天然气持续稳产提供资源保障。

关键词

生物礁, 长兴组, 辅助层, 四川盆地, 仪陇地区

Description of Reef Development Characteristics of Permian Changxing Formation in Yilong Area, Sichuan Basin, Yilong Area

Fu Zhao^{1,2}, Pengyu Xu^{1,2}, Xiang Li^{1,2}, Song Tang³, Qinming Cao^{1,2}, Bowen Liu³, Xinyu Liang³

文章引用: 赵福, 徐鹏宇, 李响, 唐松, 曹勤明, 刘博文, 梁新玉. 四川盆地仪陇地区二叠系长兴组生物礁发育特征精细刻画[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(3): 358-370. DOI: 10.12677/ag.2021.113031

¹College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

²State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation of Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

³Chuanzhong Oil and Gas Mine of Southwest Oil and Gas Field Company, Suining Sichuan
Email: 1944949956@qq.com

Received: Mar. 1st, 2021; accepted: Mar. 19th, 2021; published: Mar. 30th, 2021

Abstract

The reef characteristics of Changxing Formation in Yilong area of Sichuan Basin are similar to those in Yuanba area, with the characteristics of “one bioherm, one reservoir” and broad exploration potential. This paper compares the growth patterns of reefs in Yilong area and Yuanba area, and analyzes the deposition environment, reservoir space types and geological characteristics of reefs. On this basis, using drilling, logging and seismic data, the seismic forward modeling of reef model is carried out, and the identification mode of reef seismic facies is determined. The favorable deposition facies zone of reef development is determined by paleogeomorphology analysis, and the primary flooding sedimentary auxiliary layer of late Changxing formation is identified. The auxiliary layer is used to interpret the reef, which greatly improves the accuracy of paleogeomorphology description of changxingding. Then, on the basis of small reef identification, we carried out the research on the fine carving of reef interior, formed the fine carving technology of reef interior based on multi-attribute body fusion technology, revealed the distribution characteristics of platform margin zone, reef group and single reef more intuitively, vividly and accurately, established a set of effective depiction technology for the first time in Yilong area of Sichuan Basin, and accelerated the development of the instrument. The exploration process of Changxing Formation reef in Yilong area provides resource guarantee for the sustainable and stable production of natural gas.

Keywords

Bioherm, Changxing Formation, Auxiliary Layer, Sichuan Basin, Yilong Area

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生物礁是浅水、高能、低纬度等环境条件下的具有原地生成和生物格架的碳酸盐岩沉积体，生物礁油气藏具有极大的勘探开发潜力，上个世纪初，墨西哥黄金带内的阿苏尔 4 号井日产原油高达三万五千多吨，这充分证明了生物礁油气藏的勘探潜力[1]。四川盆地的生物礁广泛发育于碳酸盐岩台地沉积，纵向上主要发育于上二叠统长兴组，平面上沿开江 - 梁平海槽边缘呈狭窄的条带状展布[2]，随着地震正反演技术的快速发展，四川盆地普光、龙岗、元坝等地区生物礁气藏相继被发现[3]。前期研究表明仪陇地区长兴组大量发育生物礁及生物礁带[4] [5]，本次研究系统调研邻区元坝气田长兴组气藏地质特征，总结提炼元坝气田针对生物礁分布刻画技术与方法[5]-[12]，调研发现元坝地区在二叠系长兴组生物礁气藏的勘探开发过程中形成了一套成熟的识别生物礁 - 储层 - 储层含流体性特征的方法技术，该技术主要通过单井相识别、地震模型正演、古地貌恢复、地震属性优选等一系列手段对生物礁储层内幕结构进行精细

雕刻。对比分析元坝气田与仪陇地区长兴组生物礁气藏地质特征差异，为仪陇地区长兴组生物礁精细刻画提供成熟经验。利用钻井、录井、测井及分析化验等资料结合已有研究成果，开展仪陇地区长兴组沉积环境、储集空间类型等基本特征系统研究。根据最新地震处理解释成果，将研究重心主要集中在生物礁的地震响应特征分析上[13] [14]，本次研究针对仪陇地区前期采用飞仙关组四段(飞四)底拉平后印模法恢复的长兴组顶古地貌高低起伏小，以此来预测厚度不大的生物礁难度较大等现状，本次研究中识别出了长兴组沉积晚期的一次海泛沉积-辅助层，利用该辅助层在台内反射稳定、遇生物礁即中断、地形显示隆起等特点，用该辅助层对生物礁进行解释，不仅提高了长兴组的古地貌刻画精度，而且为提高低幅度生物礁体和小型滩体预测精度奠定了基础。同时在小礁体识别的基础上，开展了生物礁内幕精细雕刻攻关，形成了以多属性体融合技术(振幅 + 能量属性、瞬时相位 + 振幅、阻抗 + 振幅)下的生物礁内幕精细雕刻技术，更加直观、形象而准确的揭示了台缘带、生物礁群、单礁体分布特征，形成一套针对仪陇地区生物礁有效雕刻技术，加快了仪陇地区长兴组生物礁的勘探进程，为仪陇地区天然气持续稳产提供资源保障。

2. 生物礁的地质特征

仪陇地区处于四川盆地川中平缓褶皱带与川北坳陷交汇部位，开江-梁平海槽西侧(图1)，整体表现出构造简单，断层发育较少、规模小、多以零星分布且延伸范围很小的断层存在等特点。研究区长兴组处于晚二叠世环开江-梁平海槽西侧的边缘相变带，地层厚度、岩相、岩性分布变化极大。自北东-南西依次出现海槽相、斜坡(陆棚)相，台地边缘相和开阔台地相沉积。顶构造整体为南东高，北西低的单斜背景，台缘带相对两侧的台地及斜坡-海槽形成局部高带[15]。由于生物礁的发育，造成长兴组顶界沿台缘发育一个相对两侧宽窄不一的陡带，该陡带随着台缘带向北西方向延伸，贯穿全区。

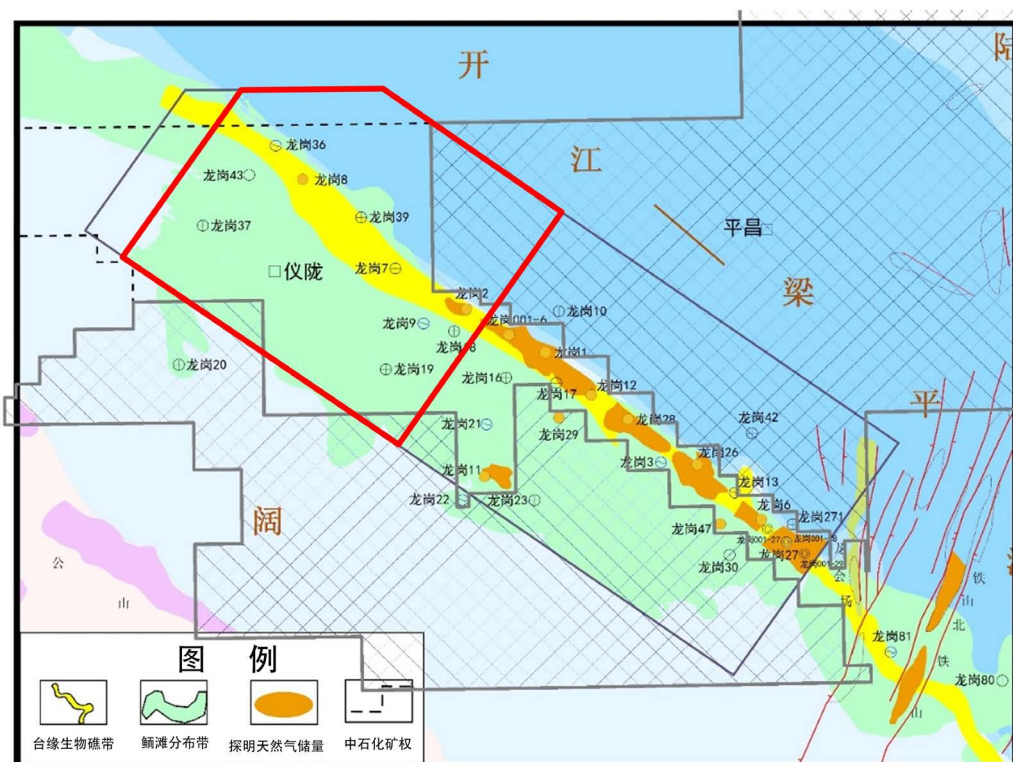


Figure 1. Location map of the study area
图 1. 研究区位置图

2.1. 沉积微相分布

自元坝地区至仪陇地区台缘带, 沉积微相也具有一定的差异性。元坝 27 井优势相具有典型的“多期礁滩”特点, 与龙岗 2 井具有一定的相似性。而元坝地区逐渐过渡到研究区则礁滩相的发育程度有所减少, 如元坝 101 井, 出现潮坪相沉积。仪陇地区则主要是生物礁发育于长兴组上部, 下部以潮坪和滩相为主, 以龙岗 2 井、龙岗 8 井生物礁相对更发育(图 2)。

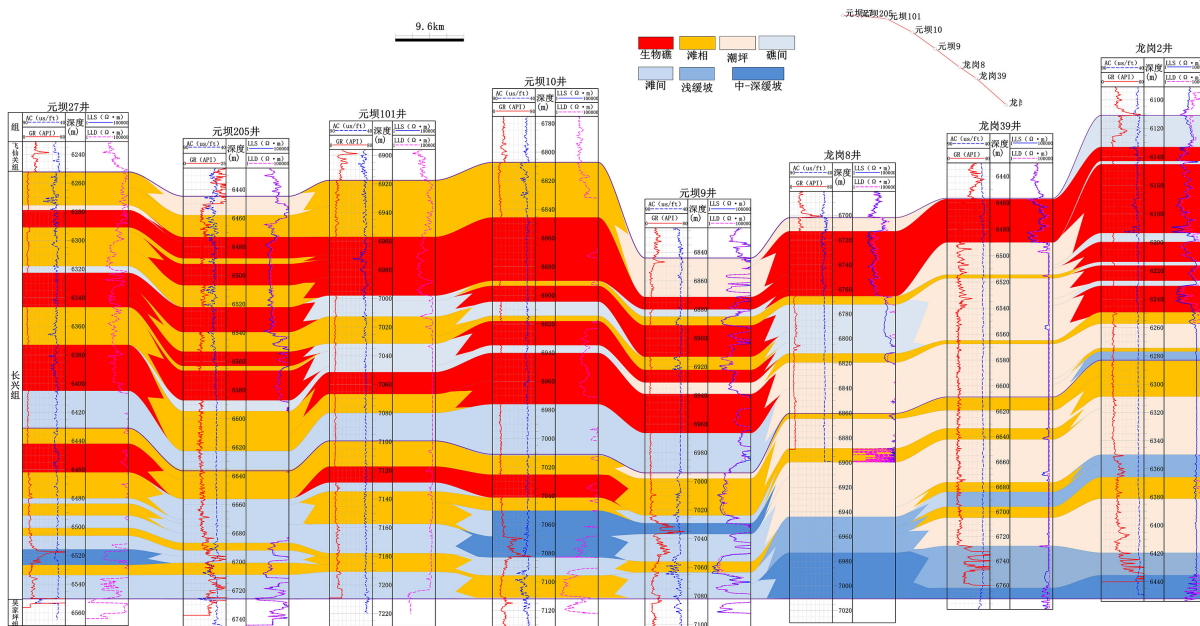


Figure 2. Comparison of Deposition facies connected wells of Changxing Formation in Yuanba Yilong area
图 2. 元坝地区 - 仪陇地区长兴组沉积微相连井对比图

而台缘至台内地区, 则沉积微相变化明显, 如龙岗 2 井礁滩相十分发育, 上部以生物礁为主, 下部则是滩相和潮坪相为主, 而靠近台内的龙岗 9 井则礁相减少, 潮坪沉积逐渐发育, 更远离台缘带的龙岗 18 井则由于环境变化, 不发育生物礁, 基本以潮坪沉积为主, 还发育少量的滩相沉积, 说明台内水体环境相对台缘较深, 生物礁发育条件较差, 仅发育少量滩相(图 3)。

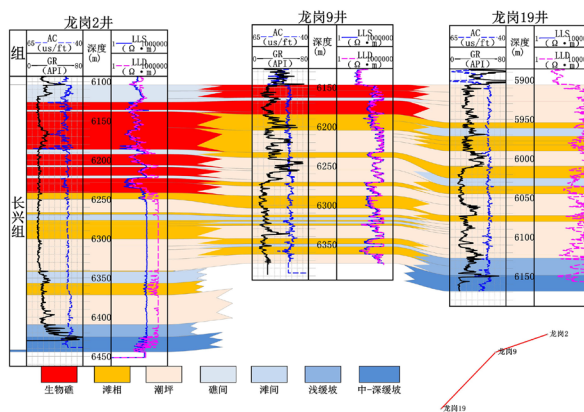


Figure 3. Comparison of Deposition facies of Changxing formation between wells Longgang 2 and Longgang 19
图 3. 龙岗 2 井 - 龙岗 19 井长兴组连井沉积微相对比图

2.2. 储集空间类型

仪陇地区长兴组储集岩主要有 2 类，一种是生屑白云岩，是生物堆积在水动力作用下破碎后重新沉积形成的，一般多是生屑灰岩发生白云石化所形成[16]。第二种则是晶粒白云岩，是灰岩发生较为彻底的白云石化后所形成的白云岩。仪陇地区长兴组储集空间以残余生屑之间的粒间溶孔、白云石晶体之间的晶间孔、晶间溶孔为主[17]，此外岩心观察上可见大的溶蚀孔洞，见图 4：(a)龙岗 12 井，铸模孔，6496 m；(b)龙岗 26 井，晶间孔、晶间溶孔发育，沥青充填，5794 m；(c)龙岗 2，晶间溶孔，6120.41 m；(d)龙岗 2，晶间溶孔，6120.41 m；(e)龙岗 2，溶蚀孔洞发育，6125.37~6125.59 m；(f)龙岗 2，粒间溶孔和晶间溶孔，6125.04 m。

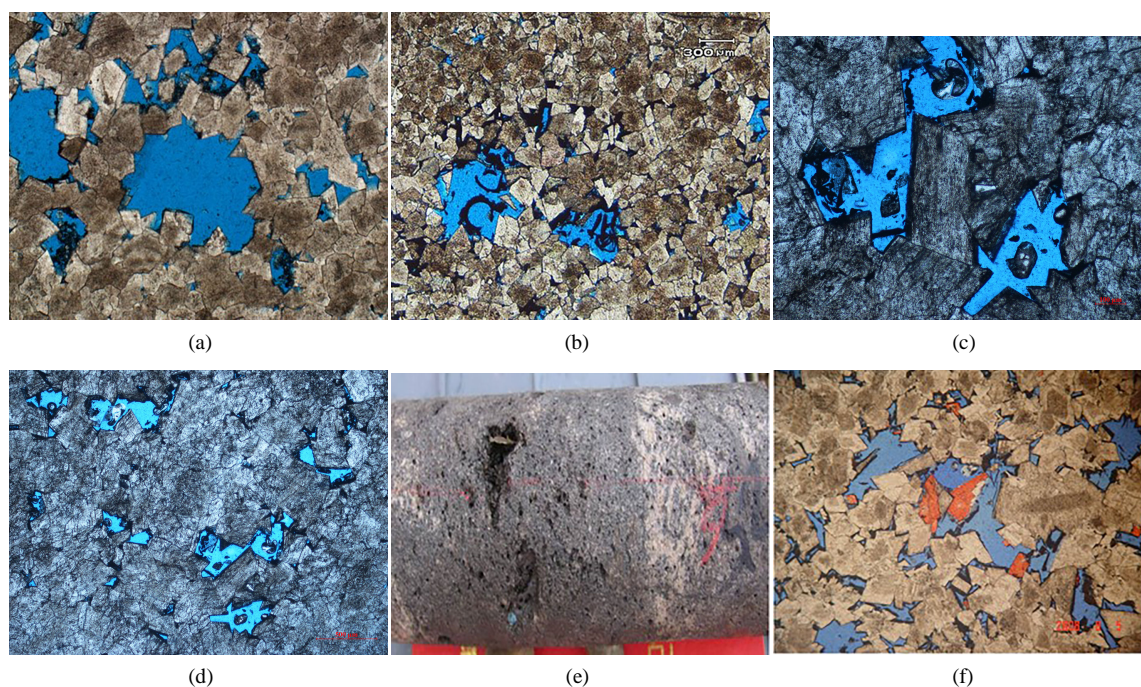


Figure 4. Typical reservoir rocks of Changxing Formation in Yilong area
图 4. 仪陇地区长兴组储集岩典型照相

3. 生物礁地震响应特征

优质生物礁储层往往油气产能高，生物礁在外型上具有比较典型的反射特征，这些特点往往能够在常规地震时间剖面或偏移剖面上反映出来，构成生物礁地震识别上的物理、地质基础(图 5) (图中 V (m/s) 为声波在岩石中的传播速度， ρ (g/cm^3) 为岩石密度)。本文根据仪陇地区钻井特征，结合实际地震剖面，建立了仪陇地区的生物礁反射特征正演模型。通过模型正演，明确了生物礁的地震反射结构特征。并总结出生物礁具丘状外型反射特征，生物礁内部空白或杂乱反射(图 6)。如果礁盖层储层发育，丘状外形顶部表现为“强振幅、强波谷”反射特征。

3.1. 辅助层的建立

仪陇地区二叠系长兴组钻井层序特征表明，在长兴组中可以划分为 2 个 3 级层序和 4 个 4 级层序[18]，生物礁主要发育在第 2 个 3 级层序中，在第 2 个 3 级层序中，发育一期典型的海侵，该海侵时期，在台内地区普遍发育一套较为稳定的低能泥晶灰岩沉积，测井上表现为高自然伽马，但在台缘带钻井中则较

多表现出生物礁沉积，由于台内潮坪相分布广泛，因此该海侵时期形成的这套潮坪沉积分布较稳定且广泛，横向可以连续追踪，故定义为本研究区辅助层。

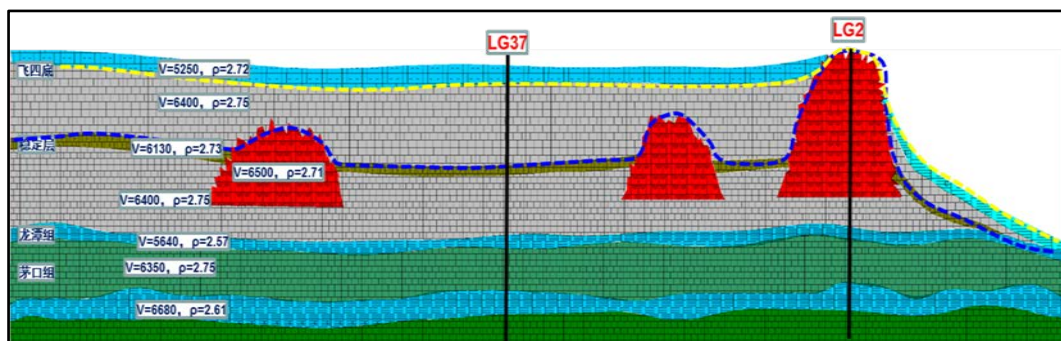


Figure 5. Model diagram of reef interpretation scheme

图 5. 生物礁体解释方案模式图

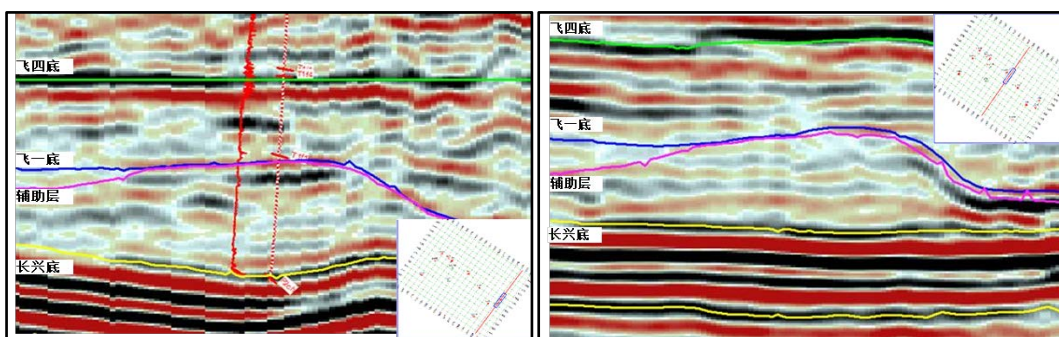


Figure 6. Seismic reflection structure characteristics of typical reef

图 6. 典型生物礁地震反射结构特征

3.2. 辅助层的标

通过龙岗 37 井的合成记录，获得仪陇地区长兴组在台内礁滩体不发育区的辅助层的反射特征(图 7)，该井辅助层是长兴晚期的海泛期低能量潮坪环境中沉积的泥晶灰岩，在地震剖面上表现为较稳定形成的中 - 强反射特征，易于识别和解释追踪。

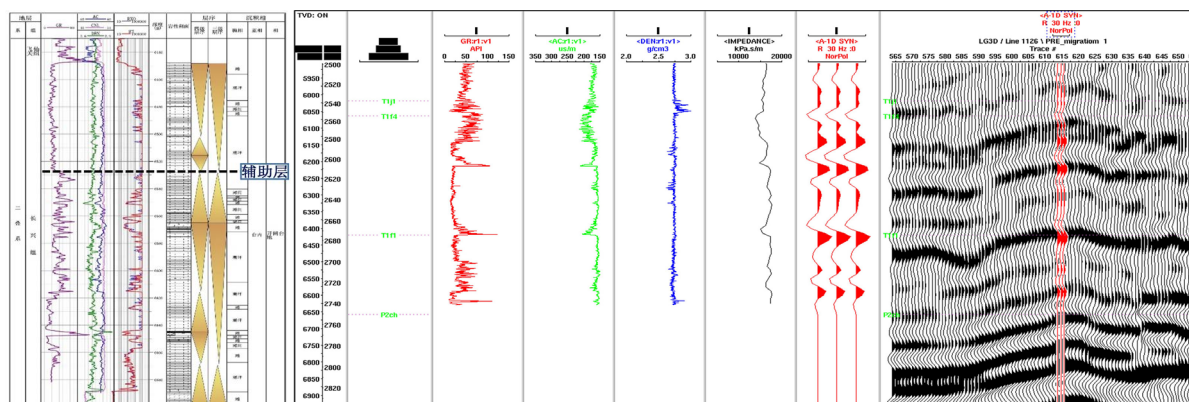


Figure 7. Calibration of auxiliary layer in Changxing Formation of well Longgang 37

图 7. 龙岗 37 井长兴组辅助层标定

3.3. 辅助层追踪解释

辅助层的追踪解释与常规地震剖面解释方式一致，在台内区解释长兴组相对稳定的强振幅反射。在辅助层解释过程中，如果遇到确认的生物礁丘状隆起，由于在生物礁发育带内，不发育类似台内潮坪环境的低能沉积，而是以生物礁替代，因此辅助层的解释需要追踪丘状隆起的顶部(图 8)。

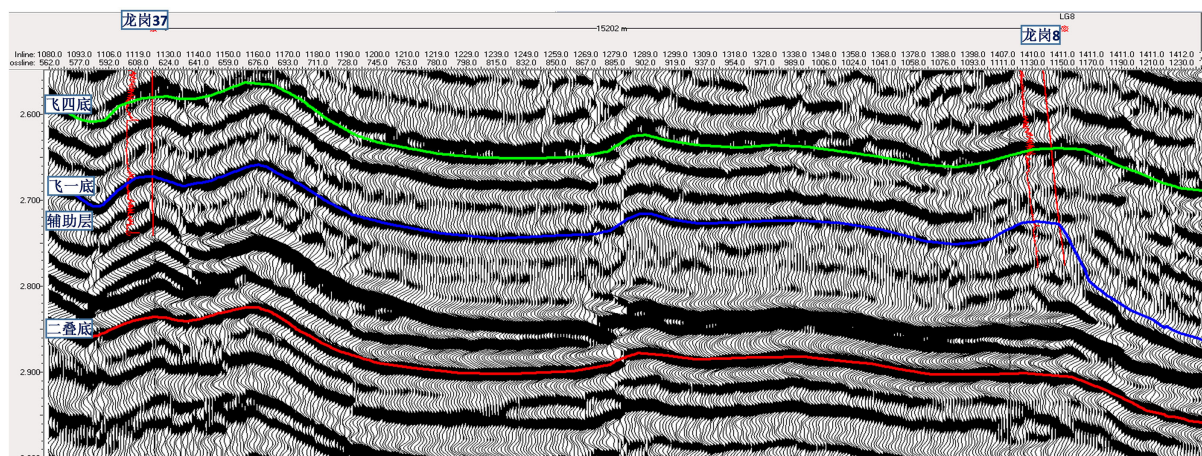


Figure 8. Interpretation of auxiliary layer in Changxing Formation of well Longgang 37-8

图 8. 龙岗 37 - 龙岗 8 井长兴组辅助层解释方案

4. 生物礁体精细刻画

4.1. 台缘礁带精细刻画

通过典型钻井解剖，结合前述生物礁正演模拟结果，建立了典型生物礁“丘状外形 + 内杂乱反射特征 + 两翼上超”的地震识别模式，指导生物礁体展布预测。生物礁主要发育在台缘礁带，台缘礁带分布刻画是礁体展布刻画的基础，本次研究主要以长兴组顶古地貌分析为主，以长兴组地层趋势厚度、地层倾角属性和地层反射波峰属性等为检验手段来刻画仪陇地区长兴组台缘礁带分布。

根据区域地质特征分析便得出，仪陇地区在长兴沉积期自北东 - 南西依次发育海槽相 - 斜坡(陆棚)相 - 台地边缘相 - 开阔台地相沉积，各沉积相之间具备明显的古地貌差异，地貌从高到低依次为台地边缘礁、礁后台地、斜坡、陆棚沉积相[19]；同时，长兴沉积期台地处于纵向建造阶段，各沉积相的沉积速率差异导致了沉积厚度的差异，在地层厚度上，各沉积相的沉积速率的不同导致了沉积厚度的差异，加剧了各沉积相之间古地貌的差异，受沉积期古地貌及海平面频繁升降影响，礁滩体具有小、散、多期的特点，由此导致生物礁发育模式复杂多样[20]。沉积厚度与古地貌高度成正比例，沉积厚度可以反映长兴沉积期的古地貌高低，进而反映各沉积相的展布。辅助层的提出在台缘生物礁以及台内礁滩复合体的识别和精细刻画上有重要意义。生物礁带属于发育在台缘带的“丘状”隆起异常，利用辅助层恢复后长兴组顶古地貌精细刻画，能够较好识别生物礁带的分布而准确的进行礁体地精细刻画(图 9)，并获得仪陇地区台缘礁带的分布特征(图 10)。

4.2. 生物礁群精细刻画

4.2.1. 生物礁礁群的识别

生物礁礁群是指发育在古地貌高的多个生物礁集合体，且生物礁异常体的内幕为杂乱 - 空白反射(礁灰岩发育)，礁群底部通常出现斜交反射特征，表明礁群与邻近地层非同一沉积环境。此外在礁群间常常

发育一些低能礁间沉积。生物礁礁间水道的古地貌位置比较低，从沉积环境看属于礁群间的低能量沉积物，地震反射特征由生物礁体的杂乱空白反射变为相对稳定的较强反射特征，表明生物礁不发育，发育地层多为含泥灰岩与灰岩的岩性组合(图 11)。

4.2.2. 生物礁礁群分布

利用古地貌精细刻画，在仪陇地区台缘生物礁带范围内，开展生物礁礁群的识别工作。累计识别出生物礁礁群 7 个，累计礁群面积为 60.05 km²，其中最大的是 6#礁群，面积 18.87 km²，龙岗 39 和龙岗 7 井位于该礁群中，最小的 2#礁群位于西北方向，面积只有 2.15 km²，获得较高产能的龙岗 2 井位于 7#礁群范围内，龙岗 8、龙兴 1 井位于 4#礁群范围内，龙岗 36 井位于 3#礁群范围内(图 12)。

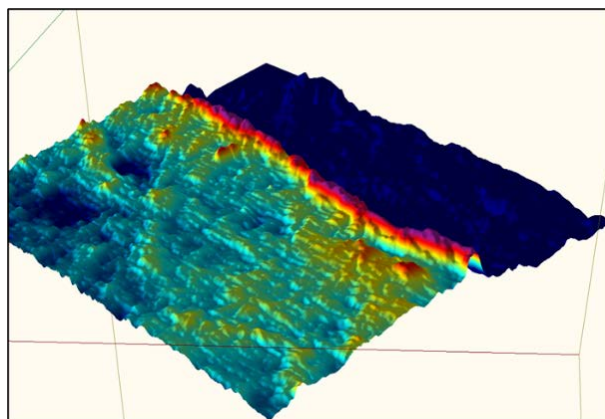


Figure 9. Paleogeomorphic characteristics of Changxing Formation top in Yilong area

图 9. 仪陇地区长兴组顶古地貌特征图

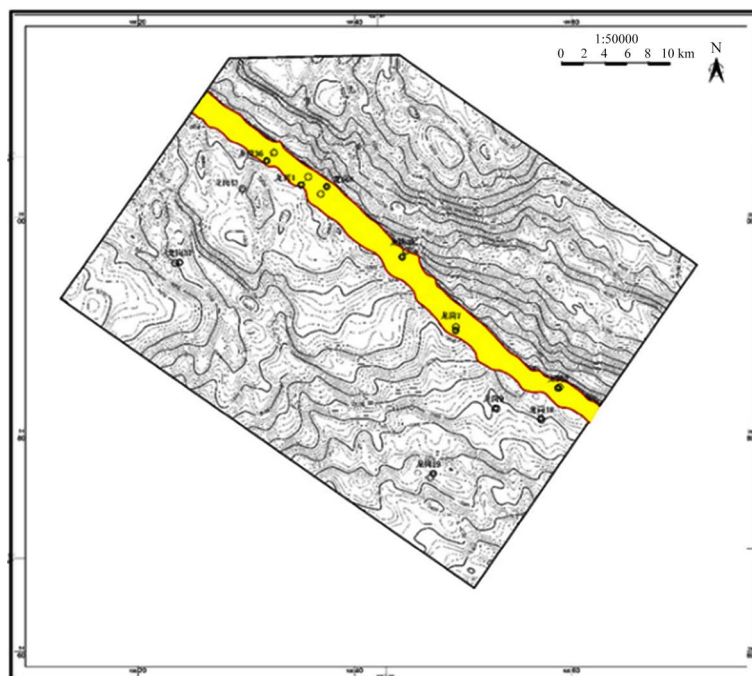


Figure 10. Plane distribution of reef belt at platform margin in Yilong area

图 10. 仪陇地区台缘礁带平面分布图

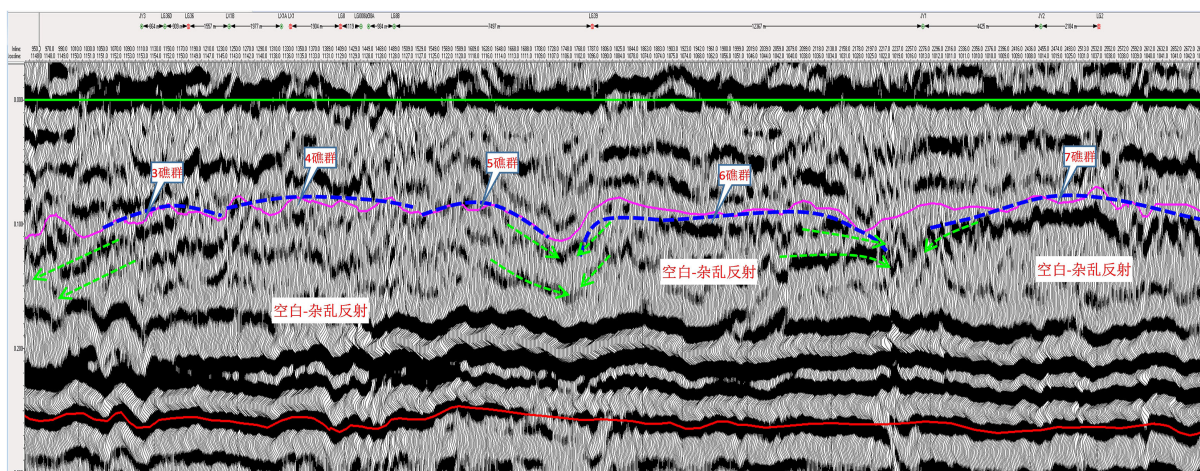


Figure 11. Seismic profile characteristics of reef groups
图 11. 生物礁群的地震剖面特征

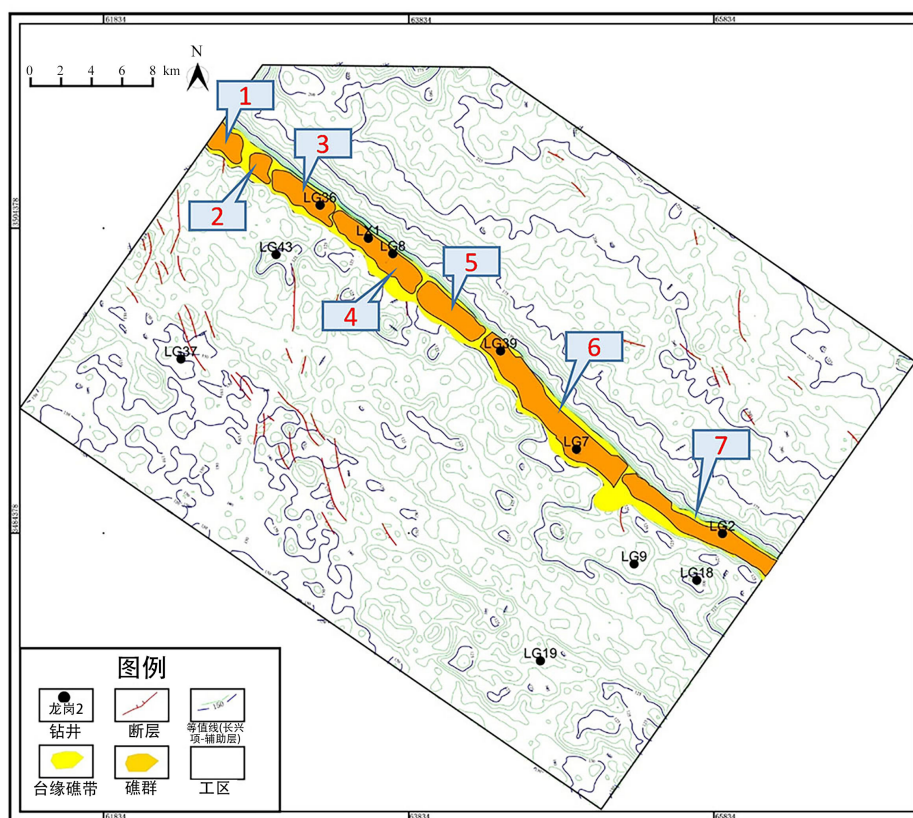


Figure 12. Reef group distribution map of Changxing Formation in Yilong area
图 12. 仪陇地区长兴组礁群分布图

4.3. 生物礁体精细刻画

单礁体是指生物礁群内部相对独立生长的一个个生物礁体，是生物礁生长个体。单礁体的识别是在生物礁礁群识别基础上，进一步利用单个生物礁体的地震反射结构特征，结合多种属性等进行单礁体边界的精细刻画。

4.3.1. 生物礁地震反射结构特征

从仪陇地区长兴组发育生物礁的钻井过井剖面地震反射特征可知：该地区长兴组生物礁具有典型的丘状外型反射特征，生物礁内部空白或杂乱反射。如果礁顶储层发育，丘状外形顶部表现为“强振幅、强波谷”反射特征。

4.3.2. 地震多属性综合识别生物礁

仪陇地区二叠系长兴组生物礁储层在平面上呈条带状分布、相变快、储层岩性复杂、非均质较强，储层精细刻画难。本文章在生物礁地震反射结构特征识别基础上，进一步利用振幅 + 相位、振幅 + 能量和振幅 + 阻抗等多属性融合识别技术，对仪陇地区长兴组的单礁体展布进行了精细刻画。

1) 振幅 + 能量属性融合识别法

通过振幅 + 能量属性融合剖面可以看出，这种剖面由于同时有波形及能量信息特点显示，能够更清晰识别生物礁内幕结构特征，在生物礁发育处表现出有强振幅断续分布特征(图 13)。识别生物礁效果较好。

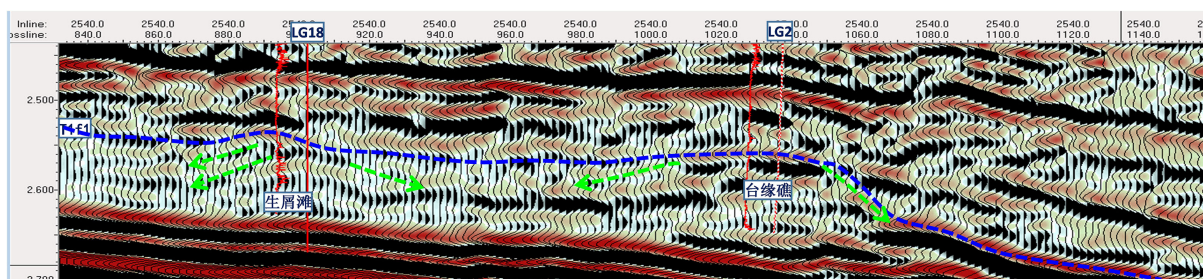


Figure 13. Characteristics of amplitude and energy fusion profile of reef in wells Longgang 2 and Longgang 18

图 13. 过龙岗 2 井、龙岗 18 井生物礁振幅 + 能量融合剖面特征

2) 瞬时相位 + 振幅融合剖面确定礁体边界法

通过钻遇生物礁钻井的过井瞬时相位 + 振幅融合剖面特征，能够更清晰反映生物礁边界及内幕结构，礁体边界在相位上表现出尖灭明显，可以据此判断单礁体的发育边界(图 14)。

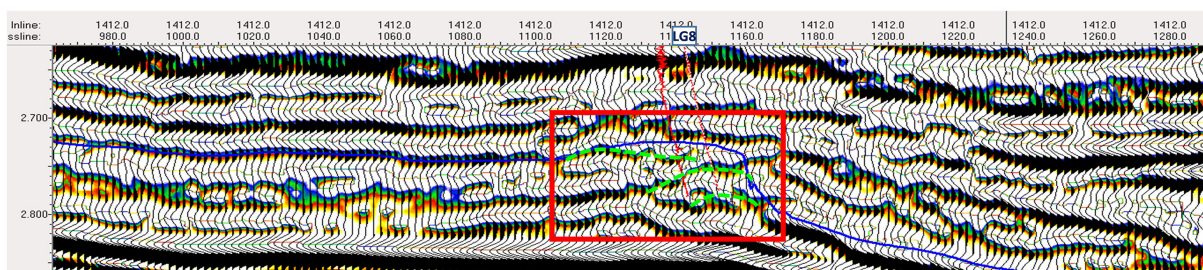


Figure 14. Characteristics of amplitude and phase fusion profile of typical reef in well Longgang 8

图 14. 过龙岗 8 井典型生物礁振幅 + 相位融合剖面特征

3) 阻抗 + 振幅融合剖面确定礁体边界法

通过钻遇生物礁钻井的过井阻抗 + 振幅融合剖面特征可知，在剖面上生物礁发育的区域表现为断续强振幅特征，如果生物礁中的储层厚度厚且物性好，则具有显著的低阻抗特征(图 15)。

4.3.3. 单礁体平面分布

在仪陇地区长兴组礁群识别及预测的基础上，通过上述地震反射结构特征追踪识别单礁体，并进一

步利用振幅、能量、相位和阻抗等地震属性，进一步精细刻画礁体的分布，获得了仪陇地区长兴组各生物礁群中的单礁体发育特征。共识别出 28 个单礁体，累计单礁体面积 41.84 km² (图 16)。

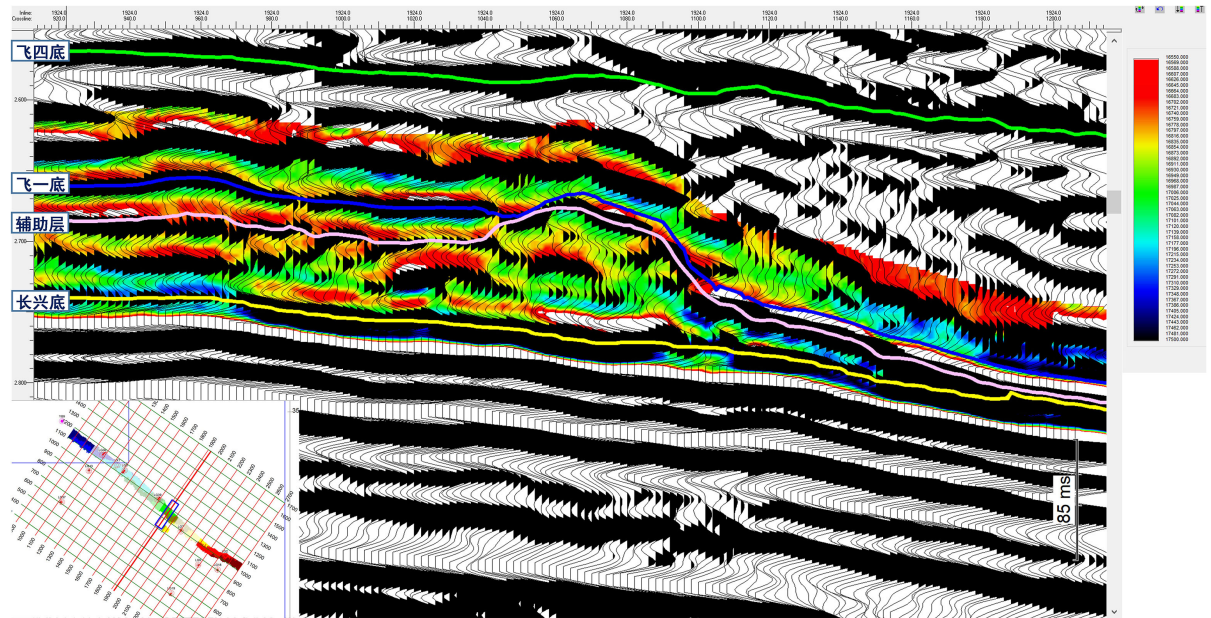


Figure 15. Characteristics of amplitude and impedance fusion profile in reef development area of Yilong area
图 15. 仪陇地区生物礁发育区振幅 + 阻抗融合剖面特征

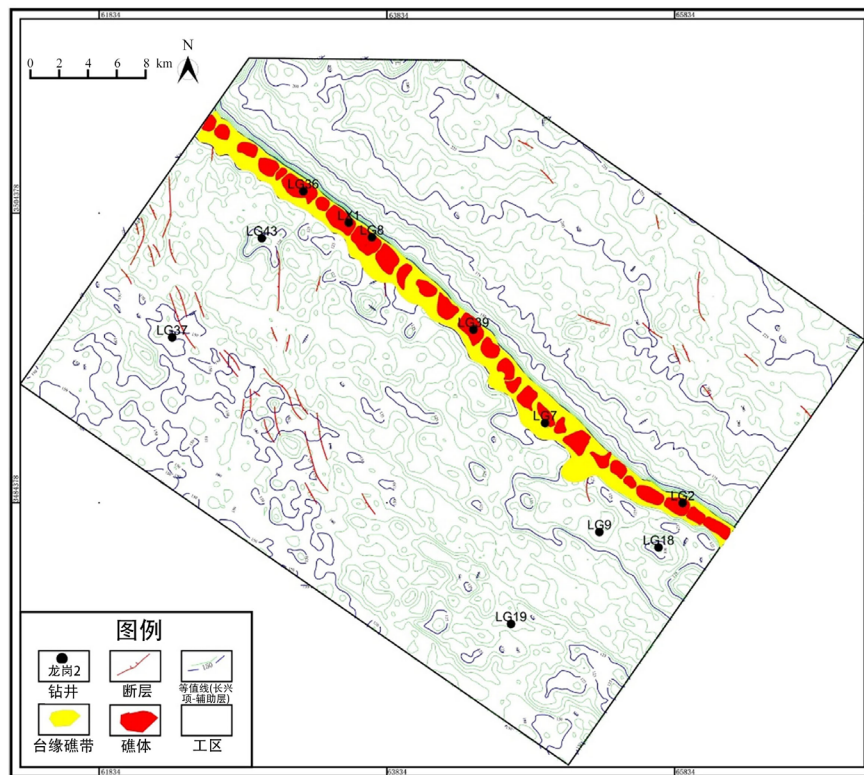


Figure 16. Plane distribution of reefs of Changxing Formation in Yilong area
图 16. 仪陇地区长兴组生物礁礁体平面分布图

5. 结束语

本文的生物礁精细雕刻技术不仅为仪陇地区长兴组开发方案的编制提供了重要的依据, 并还对其他地区生物礁体(群)的精细雕刻具有借鉴意义。通过本次研究, 取得了以下几点认识:

1) 仪陇地区飞四底到飞一底印模法恢复的长兴组顶古地貌起伏小、以此来预测厚度不大的生物礁难以满足精度要求, 通过对辅助层的标定及追踪, 并利用该辅助层刻画长兴组顶古地貌更能精确地反映长兴组上部生物礁(群)的分布。

2) 本次研究在生物礁地震反射结构特征识别基础上, 进一步利用振幅 + 相位、振幅 + 能量和振幅 + 阻抗等多属性融合识别技术, 对仪陇地区长兴组发育的 1 个台缘生物礁带、7 个礁群和 28 个单礁体展布进行了精细刻画。提高了生物礁体刻画的精度, 认为生物礁主要沿开江 - 梁平陆棚南东侧台缘呈条带状展布, 并具有“一礁一藏”的特点。

参考文献

- [1] 殷积峰. 川东二叠系生物礁的地质特征与地震预测技术研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008.
- [2] 黄仁春. 四川盆地二叠纪 - 三叠纪开江 - 梁平陆棚形成演化与礁滩发育[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2014, 41(4): 452-457.
- [3] 舒志国. 开江 - 梁平陆棚东南延伸部分——建南陆棚的发现[J]. 沉积与特提斯地质, 2014, 34(2): 1-8.
- [4] 纪学武, 张延庆, 臧殿光, 沈平, 冯许魁, 徐宝亮. 四川龙岗西区碳酸盐岩礁、滩体识别技术[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(2): 309-314.
- [5] 李梅, 詹路锋, 樊卫花, 李益, 潘以红, 蔡利文, 等. 四川盆地龙岗西地区生物礁储层叠前描述技术[J]. 中国石油勘探, 2011, 16(5): 63-73.
- [6] 肖秋红, 李雷涛, 屈大鹏, 彭俊. YB 地区长兴组礁滩地震相精细刻画[J]. 石油物探, 2012, 51(1): 98-103.
- [7] 刘国萍, 游瑜春, 冯琼, 王丹. 元坝长兴组生物礁储层精细雕刻技术[J]. 石油地球物理勘探, 2017, 52(3): 583-590.
- [8] 尹正武. 四川盆地元坝气田超深层礁滩气藏储层气水识别技术[J]. 天然气工业, 2014, 34(5): 66-71.
- [9] 陈祖庆, 屈大鹏, 缪志伟, 尹俊. 元坝地区生物礁滩地震沉积学研究[C]//中国地质学会. 中国地质学会 2015 学术年会论文摘要汇编(中册). 北京: 中国地质学会地质学报编辑部, 2015: 2.
- [10] 段金宝. 普光与元坝礁滩气田天然气成藏特征对比[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2016, 38(4): 9-18.
- [11] 胡伟光, 蒲勇, 易小林, 肖伟, 尤思科, 赵卓男. 川东北元坝地区生物礁识别[J]. 物探与化探, 2010, 34(5): 635-642, 667.
- [12] 陈勇. 川东北元坝地区长兴组生物礁储层预测研究[J]. 石油物探, 2011, 50(2): 173-180.
- [13] 何永垚, 王英民, 许翠霞, 李冬, 吴宇翔, 赵鹏. 生物礁、滩、灰泥丘沉积特征及地震识别[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(5): 971-984.
- [14] 周路, 李东, 吴勇, 钟斐艳, 任本兵, 李飞, 等. 四川盆地北部长兴组生物礁地震响应特征与分布规律[J]. 岩石学报, 2017, 33(4): 185-199.
- [15] 徐安娜, 汪泽成, 江兴福, 翟秀芬, 殷积峰. 四川盆地开江 - 梁平海槽两侧台地边缘形态及其对储层发育的影响[J]. 天然气工业, 2014, 34(4): 37-43.
- [16] 李秋芬, 苗顺德, 江青春, 王铜山, 徐安娜, 翟秀芬. 四川宣汉盘龙洞长兴组生物礁沉积特征及成礁模式[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2015, 45(5): 1322-1331.
- [17] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣. 元坝气田长兴组—飞仙关组礁滩相储层特征和形成机理[J]. 石油学报, 2014, 35(6): 1001-1011.
- [18] 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.
- [19] 毕长春, 李联新, 梅燕, 张延充, 何诚. 川东长兴组生物礁分布控制因素及地震识别技术[J]. 天然气地球科学, 2014, 35(6): 1001-1011.

2007, 18(4): 509-513.

- [20] 牟传龙, 谭钦银, 余谦, 王立全, 王瑞华. 川东北地区上二叠统长兴组生物礁组成及成礁模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 65-71.