以地震为主的无井区生物礁潜力评价

——以川东南赤水石牛栏组为例

魏 艳1,2, 李华科1,2, 王海军1,2

1中石化西南油气分公司勘探开发研究院,四川 成都 2中石化西南油气分公司地质中心实验室,四川 成都

Email: weiyan8006@163.com

收稿日期: 2021年3月17日: 录用日期: 2021年4月23日: 发布日期: 2021年4月30日

摘 要

川南志留系油气资源丰富,勘探潜力巨大。赤水地区石牛栏组沉积期处于"四周陆、中间海"的古地理 背景,由南向北为碳酸盐台地沉积转换成陆棚沉积。通过对野外剖面、钻井资料分析认为石牛栏组中上 部发育珊瑚、海百合等台缘礁滩相碳酸盐岩。结合赤水二维地震剖面精细解释,认为赤水地区在凯旋 -盘龙-葫市区域发育厚大台缘礁滩,石牛栏组地层厚度明显增厚,地震剖面上"丘状反射"特征明显。 通过已钻井分析结合模型正演,认为石牛栏组中上部优质礁滩储层发育,地震剖面上呈"强波谷"反射 特征。结合地震属性及地震异常识别,提出凯旋-盘龙-葫市为有利台缘滩相储层发育带为下一步有利 勘探目标区。

关键词

赤水,石牛栏组,台缘礁滩相,丘状反射

Potential Evaluation of Reef in No Well Area by Seismic

—Take the Shiniulan Formation of Chishui in Southeast Sichuan as an Example

Yan Wei^{1,2}, Huake Li^{1,2}, Haijun Wang^{1,2}

¹Exploration and Development Research Institute, Southwest Oil & Gas Company, Sinopec, Devang Sichuan ²Laboratory of Geology, Southwest Oil & Gas Company, Sinopec, Deyang Sichuan Email: weiyan8006@163.com

Received: Mar. 17th, 2021; accepted: Apr. 23rd, 2021; published: Apr. 30th, 2021

文章引用: 魏艳, 李华科, 王海军. 以地震为主的无井区生物礁潜力评价[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(4): 541-550. DOI: 10.12677/ag.2021.114049

Abstract

The south Sichuan is rich in oil and gas resources and has great exploration potential. The Shiniulan's Paleogeographic background was in "surrounding land and middle sea", from south to north, carbonate platform deposits are transformed into shelf deposits. Based on the analysis of field profile and drilling data, it is concluded that there are some platform marginal reef-shoal carbonate rocks such as coral and crinoid in the middle and upper part of Shiniulan. Combined with the detailed interpretation of the 2D seismic profile in Chishui, it is considered that the thick margin reef beach is developed in Kaixuan-Panlong-Hushiarea, the Shiniulan's thickness is thickening obviously, and the "mound reflection" feature is obvious in the seismic profile. Based on well analysis and model simulation, it is considered that the high quality reef reservoir is developed in the middle and upper part of Shiniulan formation, and the seismic profile shows "strong trough" reflection feature. Combined with seismic attributes and seismic anomaly identification, it is proposed that Kaixuan-Panlong-Hushi is a favorable platform margin beach reservoir development zone and a favorable exploration target area in the future.

Keywords

Chishui Area, Shiniulan Formation, The Reef Facies in Platform Margin, Mound Reflection

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/



1. 前言

川东南地区志留系纵向上从下向上发育龙马溪组、石牛栏组、韩家店组,为有利的生储盖组合[1][2][3]。该区龙马溪组分布面积广,厚度大,有机质丰度高,热演化程度高的特点[4][5],具备形成大中型气田的烃源条件。在川东南地区野外剖面多处可见沥青发育,说明该区古油藏发育[1][6],万云等通过綦江观音桥剖面指出石牛栏组生物礁主要为小型点礁特征[7],王海军,朱志军,王正和,王瑞华等通过区域地质、野外剖面结合地震研究,认为石牛栏组高能相带生物礁滩发育,并划分了高能相带空间展布规律[8]-[15],但由于资料的限制,高能相带展布特征差异较大。周大志,刘若冰等分析认为石牛栏组颗粒岩发育,但整体物性较差[16][17][18]。川东南已钻探多口井在石牛栏组有油气显示,并在黔北地区获得油气突破[19],进一步证明了石牛栏组具有良好勘探前景。本文结合野外剖面资料,工区钻井情况,以二、三地震资料分析为主,精细预测石牛栏组生物礁滩相展布情况,并结合正演模型,明确石牛栏组优质储层分布特征,为下一步勘探提供方向。

2. 石牛栏组是否发育生物礁

2.1. 区域沉积特征

川南赤水地区石牛栏组沉积期处于"四周陆、中间海"的古地理背景(图 1) [8],南部为黔中古隆起,西北部为乐山-龙女寺隆起,东部为江南古陆,西部为康滇古陆,中部为川黔坳陷[20],因此赤水地区古地理背景使志留系沉积在川东南存在较大的变化。

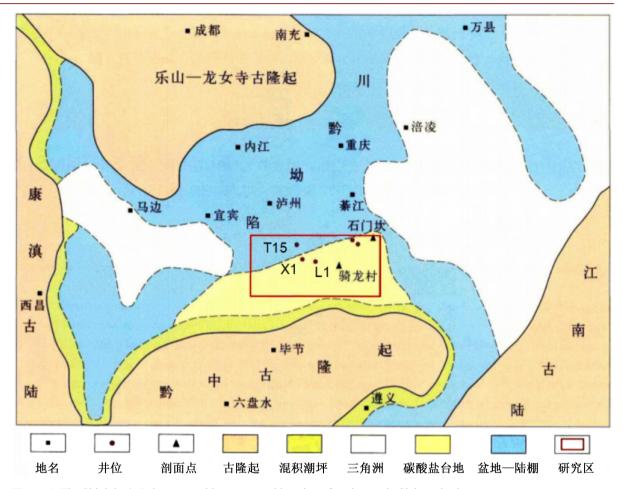


Figure 1. The Shiniulan's Paleogeographic pattern and location of study area in Sichuan basin 图 1. 四川盆地石牛栏组古地理格局及研究区位置

2.2. 地层沉积特征

石牛栏组一般厚 100~200 m,太和向官渡地区石牛栏组厚度变小,由太和向林滩场方向泥岩含量减小,灰岩含量增大。位于研究区北部的 T15 井石牛栏组以泥岩夹薄层粉砂质泥岩和粉砂岩为主,且泥岩较纯,不含灰质,厚度为 190 m,为浅水陆棚沉积;由于黔中古隆起的影响,赤水地区石牛栏组整体表现为相对海退的沉积背景,主要为一套浅水陆棚及开阔潮下碳酸盐岩沉积。往南至探区中部的 X1 井石牛栏组钻厚 243 m,其上部岩性主要为泥质灰岩、生屑泥晶灰岩和泥晶灰岩,岩芯观察可见到明显的珊瑚、藻屑、海百合茎、腕足等生物,为台地边缘生物礁沉积;探区南部的 L1 井钻厚为 90 m、D1 井钻厚122 m,中下部以泥质灰岩、泥灰岩为主,于上部发育生屑灰岩、生屑砂屑灰岩。至探区东南侧的遵义板桥露头位置,相变为以泥灰岩沉积为主的开阔台地相沉积(图 2)。说明石牛栏组从北往南依次出现泥页岩、生屑灰岩、泥灰岩以及生物礁灰岩,说明该区沉积相带从浅海陆棚(太 15) - 台缘礁滩 - 开阔台地(X1 井)相演变。

2.3. 野外剖面特征

通过对吼滩野外剖面观察研究,发现该剖面发育 3 期礁滩相沉积旋回(图 3),珊瑚、层孔虫、石燕贝等藻礁生物丰富,但规模均较小,单个礁体厚度仅 3~5 m,最厚的为 20 m,推测为台内点礁沉积,但证

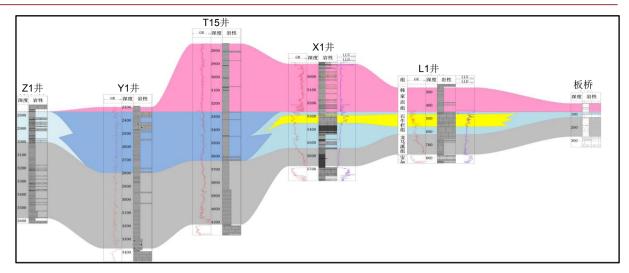


Figure 2. Comparison of connected wells of Shiniulan formation 图 2. 石牛栏组连井对比图



Figure 3. Field outcrops profile of reef in Shiniulan formation of Xishui Hotan (see Figure 2 for profile location) 图 3. 习水吼滩石牛栏组生物礁野外露头剖面图(剖面位置见图 2)

实石牛栏组沉积期赤水地区具备发育生物礁滩的沉积背景。

前期研究认为,川东南自南向北沉积岩性为灰岩-泥质灰岩-生物灰岩-泥岩,故由南向北由碳酸盐台地沉积-陆棚沉积。在黔中隆起的北缘,自南向北依次发育潮坪-泻湖、开阔台地、台缘边缘礁滩、台缘斜坡、浅水陆棚、深水陆棚亚相[16](图 4)。而赤水区内石牛栏组生物礁是否发育?发育范围如何?均未做详细阐述。

2.4. 地震相特征

通过区内二维地震剖面,开展石牛栏组生物礁滩相的识别。如图 5 所示,T15 井~X1 井连井地震剖面上中部石牛栏组厚度变大,地震反射波由平行反射转化为丘形叠置反射特征,说明在两口井中部存在古地貌差异,沉积相带的变化导致地震剖面反射波形存在明显差异。

结合二维、三维地震剖面,通过石牛栏组项、底层位精细追踪,得出石牛栏组厚度图(图 6),赤水地区石牛栏组主要在凯旋-盘龙-萌市一带呈北东向变厚,其中在凯旋-雪柏坪地区厚度最大。地震剖面上,

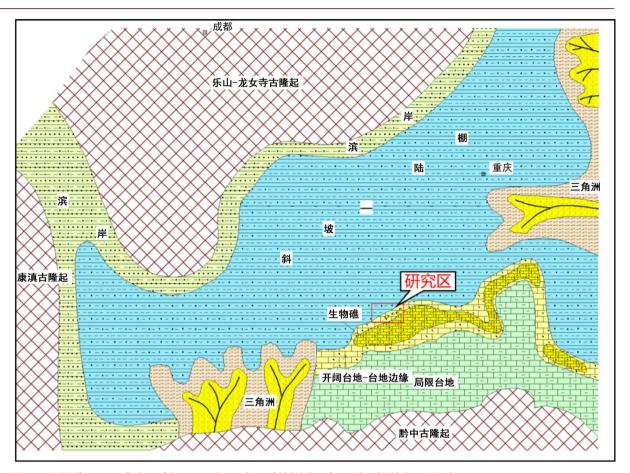


Figure 4. Sedimentary facies of the second member of Shiniulan formation in Sichuan Basin 图 4. 四川盆地志留系石牛栏组二段沉积相平面图

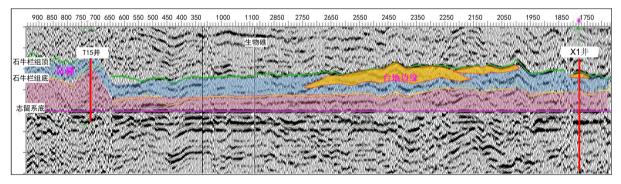


Figure 5. Seismic profile of well T15~XM1 in Chishui area (see Figure 9 for profile location) 图 5. 赤水地区 T15~XM1 井连井地震剖面图(剖面位置见图 9)

凯旋地区石牛栏组呈典型丘状反射特征,其内部为杂乱弱反射特征,往北呈低缓、斜交反射(图 7)。说明了赤水中部发育石牛栏组生物礁台缘带,斜坡带至台缘地震异常特征清晰,礁体叠置特征明显。

3. 石牛栏组是否发育储层

3.1. 区内储层特征

区内 4 口钻井均处于潮坪-泻湖相,储层不发育。其中 X1 井石牛栏组以泥灰岩为主,钻遇生物灰

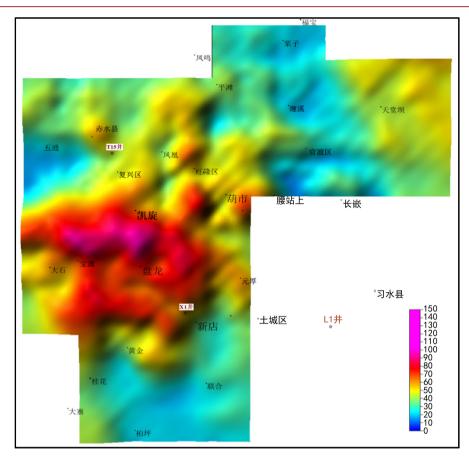


Figure 6. Paleogeomorphology of Shiniulan formation in Chishui area 图 6. 赤水地区石牛栏组古地貌图

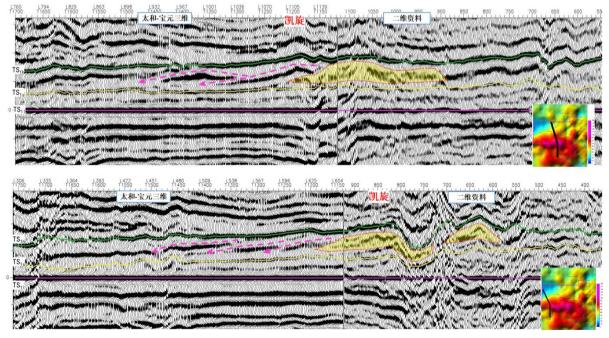


Figure 7. Typical seismic facies of Shiniulan formation in Chishui area 图 7. 赤水地区石牛栏组典型地震相特征

岩,但泥质含量较重,仅发育裂缝型储层。L1 井石牛栏组上部储层为灰色生物屑泥晶灰岩,下部为灰色泥晶灰岩,储层主要分布于该组的上部,厚 27.40 m/12 层,占组厚度的 16.02%,单层厚度 0.80~5.20 m,储层均厚 2.30 m。该组储层岩性致密,孔缝不发育,连通性差,孔渗性低,平均孔隙度 1.28%,平均渗透率 0.005 × 10⁻³ μm²,含气性差,为裂缝 - 孔隙型低压储层。东南部露头区相变为碳酸盐岩台地相沉积,颗粒灰岩储层较为发育。从西至东,二郎剖面石牛栏组中、上部发育生物(屑)灰岩、藻灰岩、砂屑灰岩等颗粒灰岩及白云岩储层,累计厚度 109.31 m,其中白云岩储层厚约 14 m,孔隙度最高 6.1%;良村吼滩剖面石牛栏组生物礁滩相发育(图 3),造礁生物为珊瑚,少量层孔虫、苔藓虫,附礁生物种类繁多;主要岩性为灰色厚层 - 块状夹中层状沥青质亮晶砾屑灰岩,含沥青亮晶生物屑灰岩、棘屑灰岩及微晶灰岩。颗粒灰岩储层累计厚度 45.76 m,白云岩储层厚约 17 m,集中分布于上段。在二郎野外剖面石牛栏组中上旋回高位体系域发育台内点礁,礁体本身储集性差,但礁项发育白云岩储层(孔隙度最高 6.1%),厚约 14米。可见,台地相沉积的石牛栏组主要为点礁沉积,分布范围有限,其主力储集岩为颗粒灰岩,储层厚度大,物性好,但规模较小。

3.2. 储层预测

由于区内及邻区均未钻遇生物礁优质储层,因此借鉴元坝地区长兴组典型生物礁特征,再结合本区钻井,X1 井、L1 井钻井资料,开展石牛栏组礁滩相储层正演模拟,建立本区石牛栏组储层预测模式。 再通过本区储层预测,判断赤水地区是否存在生物礁优质储层。

1) 元坝地区长兴组生物礁特征

元坝气田以长兴组生物礁滩储层为主,具有礁滩体规模小、储层厚度薄、非均质性强的特点。地震剖面上呈"丘状外形,礁核为空白或断续弱反射,礁顶为强波峰"反射特征[21](如图 8)。

2) 正演模型

以 X1 井为岩石物理参数,基于赤水地区典型地震相特征,建立赤水石牛栏组生物礁正演模型(图 9)。在台缘带生物建造礁滩相发育区,地层厚度大,易于暴露海平面,易于发育白云岩化及准同生溶蚀,溶蚀孔洞白云岩储层更为发育,当生物礁顶部溶蚀白云岩储层发育时,顶部为强波谷、强波峰反射,且储层越厚,振幅能量越强。因此,建立石牛栏组优质储层预测模式为"低频、强波谷"反射。

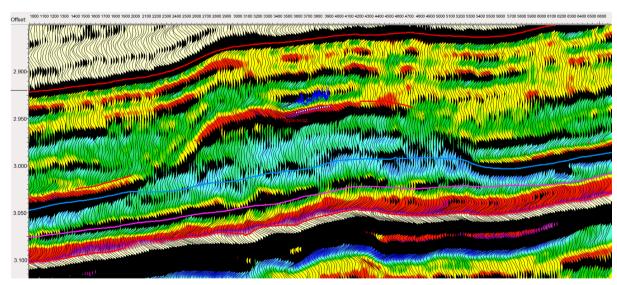


Figure 8. Typical profile of biological reef in Yuanba area 图 8. 元坝地区生物礁典型剖面图

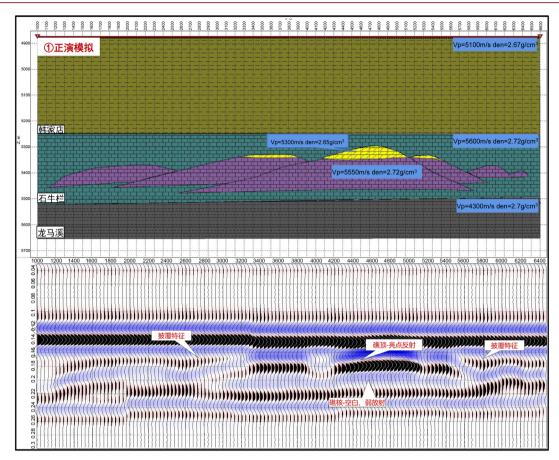


Figure 9. Forward modeling of Shiniulan's biological reef in Chishui area 图 9. 赤水地区石牛栏组生物礁正演模拟图

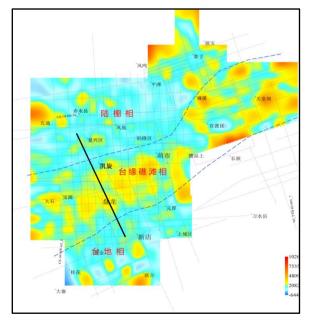


Figure 10. Attribute of arc length at the top of Shiniulan formation in Chishui area

图 10. 赤水地区石牛栏组顶部弧长属性图

3) 储层预测

通过提取赤水二维石牛栏组顶部弧长属性,反映石牛栏组礁滩相顶部优质储层分布特征(图 10)。通过石牛栏组厚度图(图 6)与储层预测图对比认为,在赤水凯旋-盘龙-葫市地区厚大石牛栏组顶部发育"低频、亮点"白云岩储层,为有利勘探目标区。

4. 结论

赤水地区石牛栏组具备发育碳酸盐岩台缘礁滩相沉积岩相古地理背景,通过钻井、露头及地震资料综合研究,进一步明确了赤水地区中部凯旋-盘龙-葫市发育礁滩相优质储层,源储配置好,具备良好勘探潜力。

- 1) 由于黔中古隆起的影响,赤水地区石牛栏组整体表现为相对海退的沉积背景,主要为一套浅水陆棚及开阔潮下碳酸盐岩沉积。
- 2) 通过钻井、野外剖面揭示石牛栏组中上部为台地-台缘沉积,礁滩相储层发育,通过地震异常识别揭示赤水中部发育石牛栏组台缘生物礁带。
- 3) 赤水地区石牛栏组礁滩相滩体呈北东向展布,其中凯旋-盘龙-葫市地区礁厚大,物性较好,为 有利勘探目标。

参考文献

- [1] 马文辛, 刘树根, 黄文明, 张长俊, 徐国盛, 袁海锋. 四川盆地东南缘志留系古油藏特征及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 432-441.
- [2] 韩克猷、孙玮、四川盆地海相大气田和气田群成藏条件[J]. 石油与天然气地质、2014、35(1): 10-18.
- [3] 黄文明, 刘树根, 王国芝, 张长俊, 孙玮, 马文辛. 四川盆地下古生界油气地质条件及气藏特征[J]. 天然气地球科学, 2011, 20(3): 465-476.
- [4] 刘树根, 王世玉, 孙玮, 冉波, 杨迪, 罗超, 等. 四川盆地及其周缘五峰组-龙马溪组黑色页岩特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(6): 621-635.
- [5] 郭旭升, 李宇平, 腾格尔, 王强, 袁桃, 申宝剑, 等. 四川盆地五峰组-龙马溪组深水陆棚相页岩生储机理探讨[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(1): 193-201.
- [6] 李双建,周雁,肖开华,沃玉进,汪新伟,刘全有.四川盆地东南缘习水吼滩志留系古油藏特征[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 849-854.
- [7] 万云, 张廷山, 兰光志, 袁建新. 川东南-黔北地区志留纪生物礁与古环境演化[J]. 沉积学报, 1997, 15(A12): 106-113.
- [8] 王海军, 孟宪武, 梁子锐, 李兴平. 川东南志留系石牛栏组生物礁特征与勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(5): 33-40.
- [9] 王瑞华, 谭钦银, 付建元, 程锦翔, 王正和, 何利, 等. 川东南志留系石牛栏组生物礁沉积特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(2): 10-16.
- [10] 梁子锐,张新,李伟松,唐德海,汪建辉.赤水-綦江地区志留系石牛栏组台缘相带的认识及其油气勘探前景[J]. 中国石油和化工标准与质量,2012,31(12):137-138.
- [11] 何利, 谭钦银, 王瑞华, 王正和, 程锦翔, 宋春彦, 川东南早志留世石牛栏期沉积相、沉积模式及其演化[J]. 矿物岩石, 2013, 33(4): 96-106.
- [12] 朱志军、陈洪德. 川东南地区早志留世晚期沉积特征及沉积模式分析[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 64-76.
- [13] 王正和, 谭钦银, 何利, 程锦翔, 王瑞华. 川东南-黔北志留系石牛栏组沉积与层序地层[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 499-507.
- [14] 马东洲, 陈洪德, 朱利东, 林良彪. 川南下志留统石牛栏组沉积体系与岩相古地理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(3): 228-233.
- [15] 汪建辉. 川东南地区石牛栏组沉积相及储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2008.

- [16] 周大志. 川东南地区石牛栏组层序地层、沉积相及储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- [17] 刘若冰, 田景春, 黄勇, 魏志宏, 万贤莉. 川东南震旦系灯影组白云岩与志留系石牛栏组灰岩储层特征[J]. 成都 理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(3): 245-250.
- [18] 周大志, 孪国蓉, 周鹏, 张德民, 汤鸿伟. 川东南志留系石牛栏组成岩作用研究[J]. 天然气技术, 2009, 3(6): 7-11, 77.
- [19] 翟刚毅,包书景,庞飞,任收麦,赵福平,张福,等.武陵山复杂构造区古生界海相油气实现重大突破[J]. 地球学报,2016,37(6):657-662.
- [20] 刘伟, 许效松, 余谦. 探讨黔中古隆起形成机制及演化[J]. 沉积学报, 2011, 29(4): 658-664.
- [21] 刘殊, 郭旭升, 马宗晋, 曲国胜. 礁滩相地震响应特征和油气勘探远景[J]. 石油物探, 2006, 45(5): 452-458.