

古海相致密碳酸盐岩储层描述技术

——以川东南涪陵南部地区飞仙关组三段鲕粒灰岩为例

张 新,唐德海,汪建辉

(中国石油化工股份有限公司勘探分公司研究院,成都 610041)

摘 要:针对涪陵南部低钻探程度区,以层序地层、沉积相等研究为主,地震参数为辅的技术思路开展储层描述。基础研究表明,涪陵南部地区与鄂西渝东建南地区处于同一个缓坡高能沉积相带内。利用层系地层学建立飞三段鲕滩发育模式,结合前人对飞三段鲕滩储层响应特征描述、建南地区 jian35 井飞三段鲕滩储层地震响应特征分析及模型正演,开展研究区飞三段鲕滩储层响应特征分析,总结出涪陵南部飞三段鲕滩储层具有叠置迁移的“亮点”响应特征。进一步结合地震相、地震属性及地震反演,落实出涪陵南部飞三段鲕滩储层有利分布区。

关键词:川东南涪陵;飞三段;鲕滩储层;层序地层;储层描述

中图分类号:P588.24⁺5;TE121.3⁺4 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2017.09009

川东南涪陵地区位于四川盆地东南部川东高陡褶皱带。区域构造位置处于加里东期乐山—龙女寺古隆起东南斜坡,印支期泸州古隆起东北斜坡。由于受华蓥山断裂、七跃山断裂及娄山断褶带的共同影响,使得工区现今构造位于近南北向构造带和东西向构造带的交汇部位,呈 NE 向展布(图 1)。

1 勘探研究概况

川东南涪陵北部兴隆场地区多口井在下三叠统飞仙关组二段钻遇良好的鲕滩储层。其中,fs1 井、xl101 井在飞二段分别试获 5.236 5 万 m³/d、

1.15 万 m³/d 天然气流。涪陵南部向斜区目前尚无钻井,仅在苟家场高陡构造上中石油钻探了 g1、g2 两口井,且均未钻遇飞仙关组鲕滩储层。准确预测有利储层分布,是取得这种低钻探程度区飞仙关组致密鲕滩储层突破的关键。

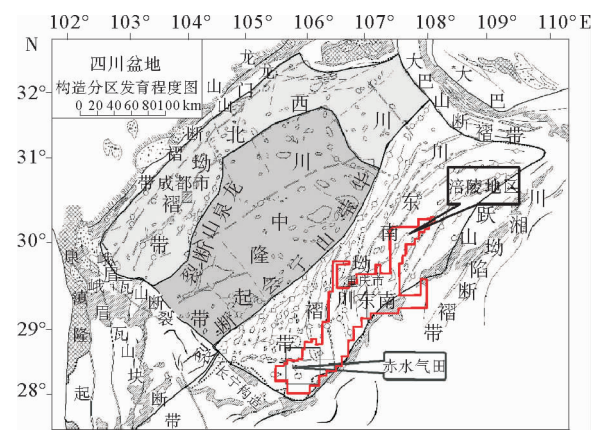


图 1 四川盆地构造分区发育程度

Fig. 1 Tectonic map of Sichuan Basin

收稿日期:2017-5-16

基金项目:中国石化股份有限公司油田事业部重大导向项目
“四川盆地及周缘海相领域突破方向与目标评价”

作者简介:张 新(1983—),男,工程师,主要从事油气勘探地震资料解释与储层预测工作及地质综合研究方面的工作。

E-mail:zhangxin_earth@163.com

中石油四川局在飞仙关组鲕滩储层预测中建立了一套亮点型预测模式,该模式在渡口河等地区的成功率较高^[1]。虽然亮点型反射特征识别鲕粒岩储层在许多地区成功率很高,但失败的钻井也很多,前人研究认为层序地层方法是识别台地或滩边缘相最可靠的手段^[2-7]。因此,针对低钻探程度区的飞三段致密鲕滩储层,以层序地层学等地质方法为主,地震参数为辅的技术思路开展储层描述显得尤为重要。

2 飞仙关组三段鲕滩储层地质特征

2.1 沉积背景

四川盆地飞仙关组飞一段、飞二段沉积时期继承了长兴组沉积格局^[8],开江—梁平陆棚仍然存在,沉积相主要由开阔台地—台地边缘浅滩—斜坡—陆棚或由开阔台地—斜坡—陆棚组成,到飞三段沉积时期,开江—梁平陆棚基本填平。

飞一段早期沉积自西向东发生,深水区沉积范围向东扩张,黔江—湖北利川—石家场北部—开江一带为斜坡—陆棚相带。飞一段中晚期,随着海水的缓慢退却,川东南涪陵地区东部鄂西海槽及北部开江—梁平陆棚范围缩小,涪陵地区为台缘—斜坡沉积环境。

飞二段沉积基本继承了飞一期的沉积格局,该时期海平面下降,台地往东迁移,城口—鄂西海槽及北部开江陆棚范围萎缩。涪陵地区东部、北部分别受城口—鄂西海槽、开江—梁平陆棚影响,发育台地边缘相带,自西向东发育开阔台地—台地边缘—斜坡—陆棚相。

飞三段沉积时期,受飞二段沉积时期华蓥山东侧断块下沉,开江—梁平陆棚西北部封闭,陆棚逐渐由 NW 向 SE 方向充填,环开江—梁平陆棚发育台地边缘浅滩相。飞三段沉积时期,碳酸盐缓坡进一步向东、西扩展。在此沉积背景基础上,受城口—鄂西陆棚影响,飞三段沉积时期,发育碳酸盐岩台地边缘高能沉积相带。涪陵东部石柱横梁煤矿、丰都马良、鱼池岩口及茨竹垭等露头均发现飞三段台地边缘浅滩沉积,鲕粒滩厚 80 m 左右,发育物性较好的溶孔鲕粒灰岩储层。大量野外地质调研及钻井证实,飞三段沉积时期发育高

能浅滩储层,涪陵南部地区与鄂西渝东建南地区处于同一个台缘高能沉积相带。

笔者利用野外露头及邻区钻井资料,结合涪陵南部四期三维地震资料解释成果分析认为,川东南涪陵南部地区飞仙关组储层主要发育飞三段,共发育 3 期鲕粒滩,滩体向东叠置迁移生长(图 2)。

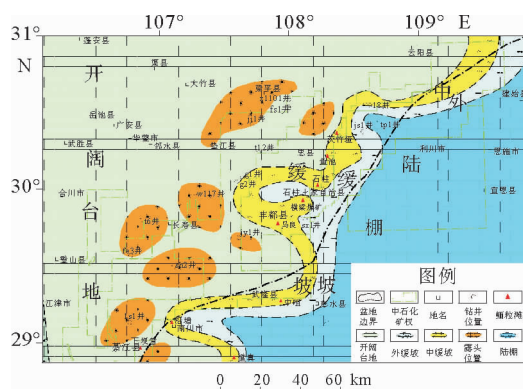


图 2 川东南地区飞三段沉积相

Fig. 2 Facies map of 3rd Member of Feixianguan Formation in the eastern Sichuan Basin

2.2 层序地层特征

四川盆地飞仙关组是发生于相对海平面下降背景的向上变浅沉积序列,发育蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘滩、斜坡和盆地相 6 类沉积类型^[9-13]。飞仙关组顶界为 II 型层序界面,与上覆嘉陵江组为整合接触。涪陵地区飞仙关组发育 2 个 III 级层序(SQ1、SQ2)。

层序 SQ1 对应于飞一—飞二段,由海侵体系域和高位体系域构成。其中 SQ1 的海侵体系域主要发育台地前缘斜坡沉积;高位体系域则为台地前缘斜坡相—台地前缘斜坡—开阔台地相沉积,岩性由泥晶灰岩、鲕粒灰岩、砂屑灰岩、泥灰岩,转变为台地边缘的鲕粒灰岩、砂屑灰岩、云质灰岩、白云岩。

层序 SQ2 对应飞三—飞四段,由海侵体系域和高位体系域构成。海侵体系域主要发育开阔台地的泥灰岩、泥晶灰岩,高位体系域主要为的开阔台地相沉积,到晚期转变为局限台地相沉积。开阔台地相岩性位鲕粒灰岩、砂屑灰岩及灰岩;局限台地相主要发育紫红色、灰紫色薄层页岩夹泥灰岩、泥质白云岩及石膏层。

涪陵北部飞仙关组台地边缘鲕粒滩及浅滩储

层主要发育于飞二段晚期(SQ1 的 HST),台地边缘鲕粒滩厚度大(涪陵北部兴隆 1 井飞二砂屑鲕粒灰岩及白云岩 41.6 m, 储层 7.4 m; 福石 1 井飞二砂屑鲕粒灰岩及白云岩 66.5 m, 储层 29.6 m), 连片性强; 飞三段中期(SQ2 的 HST)主要发育台内高能鲕粒滩储层, 互层状分布, 储层多较薄。涪陵南部飞仙关组高能滩储层主要发育于飞三段晚期(SQ2 的 HST), 高能带鲕粒滩灰岩厚度大, yx1 井位于飞三段高能带边缘, 钻遇 45.5 m 鲕粒灰岩, 见良好油气显示。

本文重点针对川东南地区飞三段高能鲕粒滩

开展相关研究工作, 综合录井、测井及地震资料, 将飞三段划分为 1 个Ⅲ级层序, 2 个Ⅳ级层序, 在此基础上, 建立了川东南及邻区飞三段层序地层格架(图 3)。飞三段沉积时期, 四川盆地主要为开阔台地沉积环境, 盆内大部分地区填平补齐, 盆地东侧受城口—鄂西陆棚影响, 发育台缘高能相带, 局部沉积厚层高能鲕粒滩。从层序格架分析, 飞三段底部为灰色—深灰色灰岩沉积, 向上沉积灰色鲕粒灰岩、溶孔白云岩, 反映水体变浅的海退进积沉积过程。高能鲕粒滩发育具有明显的叠置迁移、局部纵向加积、横向分布范围广的沉积特征。

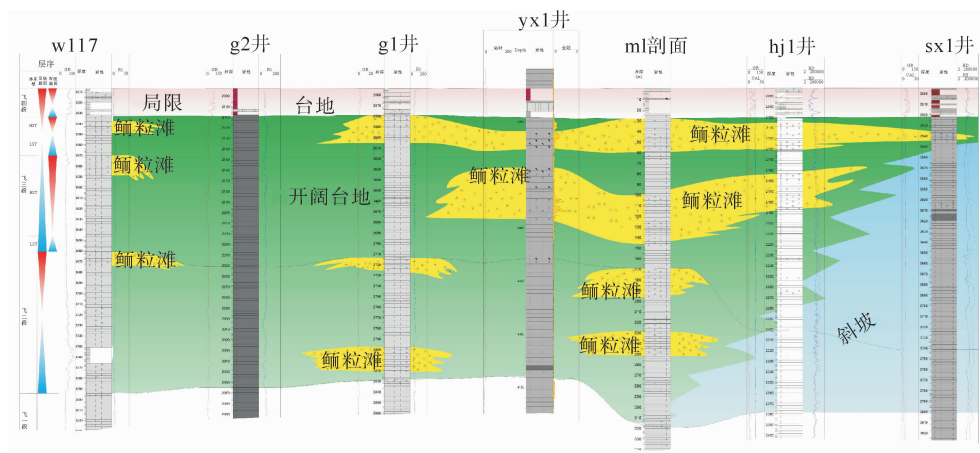


图 3 川东南及邻区飞仙关组三段沉积相与层序对比

Fig. 3 Correlation between sedimentary facies within sequence framework of 3rd member of Feixianguan Formation in southeast Sichuan and its adjacent areas

2.3 地震层序划分

层序地层是地震层序划分的核心, 地震层序划分是地震地层学研究的基础^[14]。在明确川东南涪陵地区飞仙关组层序地层特征的基础上, 重点开展飞三段地震层序划分。

涪陵地区飞四段主要为局限台地相沉积。岩性为紫红色泥岩、云质泥岩及石膏层不等厚互层, 中夹灰绿色泥岩, 与下伏飞三段顶部鲕粒灰岩为整合接触, 地震剖面上表现为连续性好的强波峰反射, 为川东南地区地层层序界面的标志。飞三段岩性以亮晶鲕粒灰岩, 砂屑鲕粒灰岩为主, 局部夹褐灰色白云岩、鲕粒白云岩及灰质白云岩, 与下伏岩性以褐灰色砂屑鲕粒灰岩、深灰色泥—微晶灰岩为主的飞二段整合接触, 地震剖面上为断续的中强波峰反射, 可连续对比追踪, 为较可靠的地

层层序界面。

2.4 飞三段鲕粒滩发育模式

以沉积理论及地震层序地层学为基础, 地震相分析为手段, 建立了涪陵南部地区飞三段高能鲕粒滩发育地质模式(图 4)。

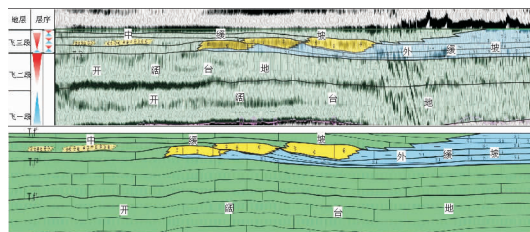


图 4 涪陵南部飞仙关组三段鲕粒滩发育模式

Fig. 4 Depositional model of oolitic beach in Feixianguan Formation of southern Fuling area

从地震层序地层格架及沉积模式分析,在飞三段沉积时期,川东南涪陵地区东侧临近城口—鄂西海槽,整体为向东逐渐变深的碳酸盐岩缓坡沉积,台地与海槽过渡带为储层相对发育的台缘高能沉积带。涪陵南部地区位于高能带,发育三期叠置迁移高能鲕粒滩,地震剖面上表现为“S”前积。

3 飞三段鲕粒滩储层分布预测

3.1 川东南及邻区储层地震响应特征对比

区域沉积相研究表明,飞仙关组三段沉积期,涪陵南部地区与建南地区处于同一台缘高能鲕粒滩发育带。建南地区多口井在飞三段钻遇鲕粒滩储层^[15-17],其中 jian35 井飞三段试获 36.9 万 m³/d 天然气工业气流,其储层具有明显的“亮点”特征(图 5)。

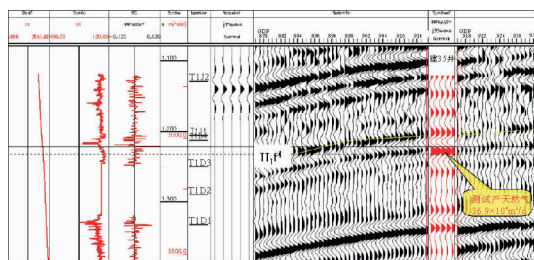


图5 鄂西渝东建南地区过建35井地震剖面

Fig. 5 Seismic profile of Well Jian35 in the south part of west Hubei and Chongqing Area

川东南涪陵南部三维区前期中石油钻探的 g1、g2 两口老井,在飞三段均未钻遇良好的鲕粒灰岩储层,其中 g1 井钻遇一套鲕粒灰岩,未测试,地震剖面表现为微弱波峰,推测储层不发育;g2 井钻遇一套深灰色灰岩,鲕粒滩不发育,地震剖面表现为空白反射(图6)。近年来,涪陵南部三维

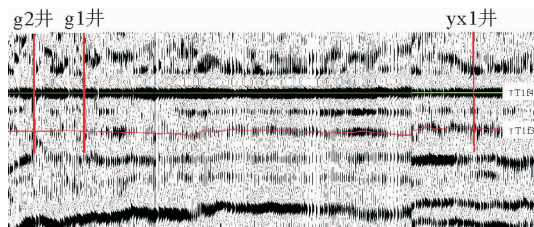


图6 涪陵南部地区过 g2-g1-yx1 井地震剖面

Fig. 6 Seismic profile of Well g2-g1-yx1 in southern Fuling area

区内钻探的 yx1 井,在飞三段钻遇一套 45.5 m 的鲕粒灰岩,但岩性致密,油气显示差,地震剖面上表现为弱波峰反射。

实钻对比分析表明,飞三段鲕粒滩储层在地震上表现为中强-强波峰反射,储层越发育“亮点”特征越明显,致密的鲕粒灰岩表现为弱-微弱的波峰反射,鲕粒滩不发育表现为空白反射。

飞三段鲕粒滩储层发育主要受沉积作用控制,在地震剖面上表现为叠置迁移的“亮点”反射特征。从 jian35 井和 g1 井的岩性组合来看,飞三段整体为一套台内缓坡型的灰岩沉积,局部发育鲕粒灰岩储层,鲕粒灰岩储层物性越好,与周围灰岩产生的阻抗越大,在地震剖面上表现出来的“亮点”就会越亮。因此,利用邻区钻遇飞三鲕粒灰岩储层的 jian35 井和未钻遇储层的 g1、g2 井及永兴 1 井钻井资料,结合南部三维沉积特征制作地质模型,并统计飞三段储层及其上下地层层速度,开展模型正演。

设计三期鲕粒滩储层向东迁移发育,储层物性逐渐变差,模型正演结果表明,储层表现为向东叠置迁移的波峰强振幅“亮点”反射特征,储层物性越好,其波峰反射能量越强(图7)。

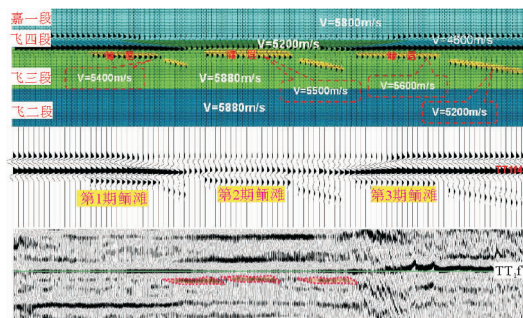


图7 涪陵南部地区飞三段鲕粒滩储层地震模型正演

Fig. 7 Forward seismic modeling for oolitic beach reservoir of 3rd Member of the Feixianguan Formation in southern Fuling area

3.2 储层分布预测

利用上述明确的飞三段鲕粒滩沉积模式及地震响应特征开展地震相识别,落实涪陵南部地区飞三段发育三期向东叠置迁移鲕粒滩。进一步选取波形分类、极值波峰等敏感地震属性开展储层分布预测,明确鲕粒滩储层主要分布于工区北部及东南部向斜区(图8、9)。

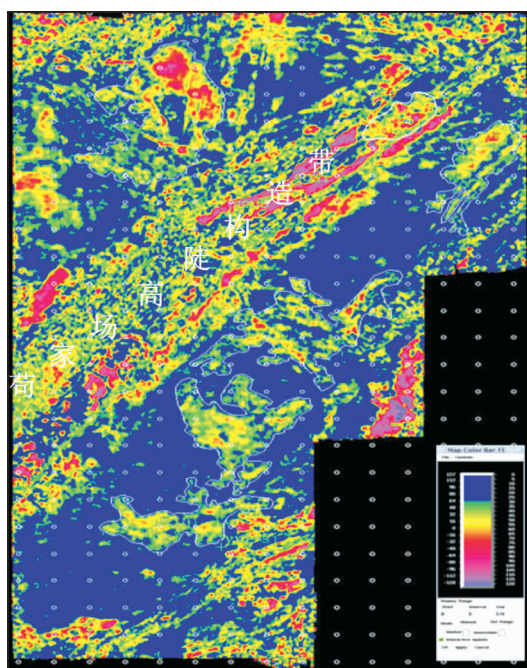


图8 涪陵南部地区极值波峰地震属性平面图

Fig. 8 Map of seismic extreme peak of attribute in southern Fuling district

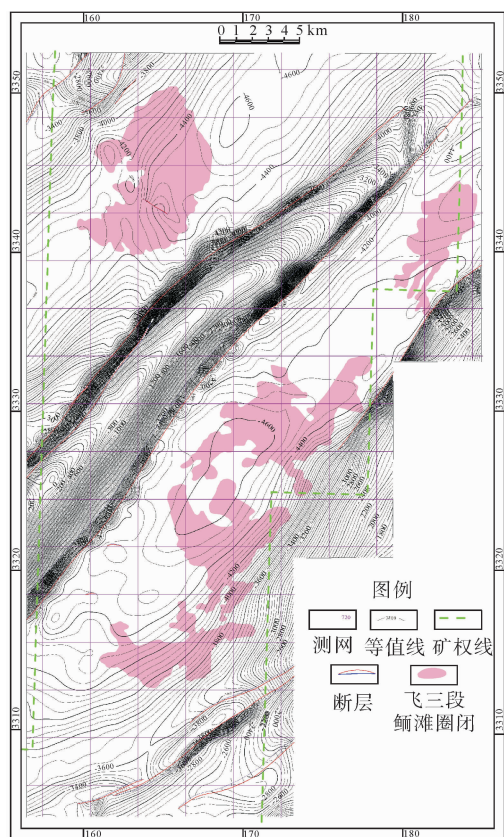


图9 涪陵南部地区飞三段鲕滩目标分布

Fig. 9 Distribution of oolitic beach in southern Fuling area

利用建南及涪陵南部三维区内钻井资料开展速度反演,统计储层段速度值,以速度 5 450~5 880 m/s为门槛值来确定鲕粒滩储层的分布,结合区内钻井预测飞三段鲕粒滩储层平均厚度值在 10~30 m 之间。

4 结论

(1) 大量野外地质调研及钻井证实,飞三段沉积时期发育高能浅滩储层,涪陵南部地区与鄂西渝东建南地区处于同一个台缘高能沉积相带。

(2) 涪陵地区飞仙关组发育 2 个Ⅲ级层序,其中,飞三段划分为 1 个Ⅲ级层序,3 个Ⅳ级层序,储层发育于第 2 个Ⅲ级层序高位域。

(3) 涪陵南部地区飞三段鲕粒滩储层发育主要受沉积作用控制,具有叠置迁移的“亮点”反射特征。

(4) 针对涪陵南部这种低钻探区致密浅滩储层描述,运用以层序地层学为主,地震参数为辅的技术方法具有较高的准确性。

参考文献:

- [1] 王一刚,刘划一. 川东飞仙关组绍滩储层分布规律、勘探方法与远景预测[J]. 天然气工业,2002,22(增刊):14-19.
- [2] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等. 四川盆地东北部飞仙关组层序地层与储层分布[J]. 矿物岩石,2005,25(4):73-79.
- [3] 刘殊,甘其刚. 碳酸盐岩沉积相分析在飞仙关组鲕粒滩储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展,2003,26(3):190-198.
- [4] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等. 四川盆地东北部飞仙关组层序地层与储层分布[J]. 矿物岩石,2005,25(4):73-79.
- [5] 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.
- [6] 段金宝,彭劲. 四川盆地东北部元坝地区下三叠统飞仙关组层序—沉积相特征[A]. 海相油气地质,2014,2(19):47-53.
- [7] 谭秀成,牟晓慧,罗冰,等. 四川盆地南部下三叠统飞仙关一段台内鲕滩的主控因素[A]. 古地理学报,2010,1(12):49-55.
- [8] 张新,梁子锐,汪建辉. 川东南涪陵地区上二叠统长兴组生物礁特征及分布规律[J]. 海洋地质前沿,2012,4(28):23-28.
- [9] 贾振远. 碳酸盐岩沉积学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [10] 马永生. 碳酸盐岩储层沉积学[M]. 北京:地质出版社,

- 1999.
- [11] 魏国齐,陈更生,杨威,等. 川北下三叠统飞仙关组“槽台”沉积体系及演化[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 254-260.
- [12] 冯仁蔚,王兴志,张帆,等. 四川盆地东北部下三叠统飞仙关组三段孤立碳酸盐岩台地沉积及相关研究[J]. 中国地质, 2008, 1(35): 54-66.
- [13] 赵永庆,熊治富,刘雁婷,等. 四川盆地北部二叠系—三叠系沉积相与沉积演化[J]. 科技导报, 2014, 32(6): 45-53.
- [14] 韩小俊,施泽进,郑天发. 地震地层及地震相分析在川东南复杂储层识别中的应用[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2006, 2(33): 193-197.
- [15] 梁西文,郑荣才. 建南构造飞仙关组三段高精度层序地层学及南北高点储层差异原因探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 3(26): 45-50.
- [16] 刘划一,张静,鄢友军. 川东七里峡北地区飞仙关组鲕滩储层预测研究[J]. 天然气勘探与开发, 2002, 2(25): 1-7.
- [17] 文龙,张奇,杨雨,等. 四川盆地长兴组—飞仙关组礁、滩分布的控制因素及有利勘探区带[J]. 天然气工业, 2012, 32(1): 39-44.

RESERVOIR DESCRIPTION FOR MARINE CARBONATE ROCK: A CASE STUDY OF OOLITIC LIMESTONE IN 3RD MEMBER OF FEIXIANGUAN FORMATION IN SOUTH FULING AREA OF SOUTHEAST SICHUAN

ZHANG Xin, TANG Dehai, WANG Jianhui

(Branch of the SINOPEC Exploration Company, Chengdu 610041, China)

Abstract: Reservoir description in the Fuling area relies mainly on sequence stratigraphy and sedimentary facies analysis, supplemented by seismic parameters, in case there is lack of drilling data. Basic research suggests that the south Fuling area, together with the Jiannan area of western Hubei and eastern Chongqing are all belong to a gentle slope covered by high-energy deposits. In this paper, a depositional model of oolitic beach has been constructed for the 3rd Member of Feixianguan Formation by sequence stratigraphy and previous description of oolitic beach reservoir, its seismic responses and the data from the Well Jian 35 of the Jiannan area. The oolitic beach reservoir migrates with time and forms a superimposed sequence. With this model, we can follow up the favorable distribution area of oolitic beach reservoir or the “bright point” of the 3rd Member of Feixianguan Formation. Upon the basis, using seismic facies and seismic inversion, favorable reservoir and its distribution could be further defined.

Key words: Fuling area in Southeastern Sichuan; 3rd Member of Feixianguan Formation; oolitic beach reservoir; sequence stratigraphy; reservoir description