

川东北元坝地区长兴组大型生物礁滩体岩性气藏 储层精细刻画技术及勘探实效分析

蔡希源

(中国石油化工股份有限公司,北京 100728)

[摘要] 以井-震精确标定为基础,借助地质-地球物理建模技术,建立了长兴组生物礁滩体岩性相-测井相-地震相-属性相-储层相(沉积微相)之间精确对应关系。在此基础上,利用地震敏感属性提取及反演方法,精细刻画了礁滩体沉积微相空间展布形态,并结合伽马测井约束的波阻抗孔隙度反演技术对礁滩体储层物性空间分布进行预测。通过与已有钻孔比对,发现储层预测效果不仅与勘探实际相吻合,且具有较高的预测精度。由此认为,地质与地球物理互动反馈的储层预测方法不仅对元坝地区生物礁滩气藏勘探具有理论性指导意义,而且对其他地区礁滩隐蔽油气藏的勘探具有实际性借鉴意义。

[关键词] 元坝地区;长兴组;礁滩体;储层预测

[中图分类号] P618.13 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)10-0028-06

1 前言

川东北地区近年来海相碳酸盐岩油气勘探取得了重大突破,尤其是普光特大型气田的发现,使该区成为国内外油气勘探关注的焦点之一^[1~8]。元坝气田被石油勘探领域认为是继普光大型气田之后另一个潜在的大型隐蔽台缘礁滩岩性气田,其储层主要是上二叠统长兴组生物礁滩体,然而,元坝地区的长兴组礁滩体往往埋深大于5 000 m,地震资料品质普遍不高,因此,如何对地层埋深如此大的礁滩体储层进行精细刻画是目前勘探面临的一个关键问题,成为制约勘探继续深入的瓶颈。笔者等针对这一难题,最大程度发挥井-震之间的结合性,在严格井震标定的约束下,综合地震有效预测方法研究,通过地质地球物理的联合反馈,对元坝地区长兴组礁滩体进行了精细的识别及刻画,探索出一套生物礁滩沉积微相及其相关储层的综合精细预测方法,预测了有利的潜在目标带,在近期的勘探实践中取得了很好的验证效果。

2 元坝地区地质背景

元坝地区位于九龙山背斜、池溪凹陷和苍溪—巴中低缓构造带三者之间的交界处,其构造总体平缓,区内构造变形弱。长兴组沉积期,川东北地区以开阔台地、台缘礁滩、台缘斜坡和陆棚沉积为主(见图1),元坝地区位于开江—梁平陆棚的西侧,整体表现为宽缓的低角度缓坡台缘,整体上台缘生物礁滩发育,具有礁滩共生、下滩上礁的特点,最为有利的储集相主要为礁盖和生屑滩^[1,9~12]。

3 台缘区礁滩体地质建模

地质模型建立是进行储集体精细刻画的基础。必须借助多项的资料,利用多种手段,发挥多方优势进行综合分析。笔者等在研究过程中,充分考虑了地上和地下资料的融合,从宏观野外露头到显微镜下鉴定,从点上刻画到线上对比,完整建立了具川东北不同台缘特色的地质模型。

[收稿日期] 2011-08-15

[作者简介] 蔡希源(1953—),男,黑龙江巴彦县人,中国石油化工股份有限公司教授级高级工程师,主要研究方向为石油地质与石油勘探;
E-mail: caixiyuan@sinopec.com

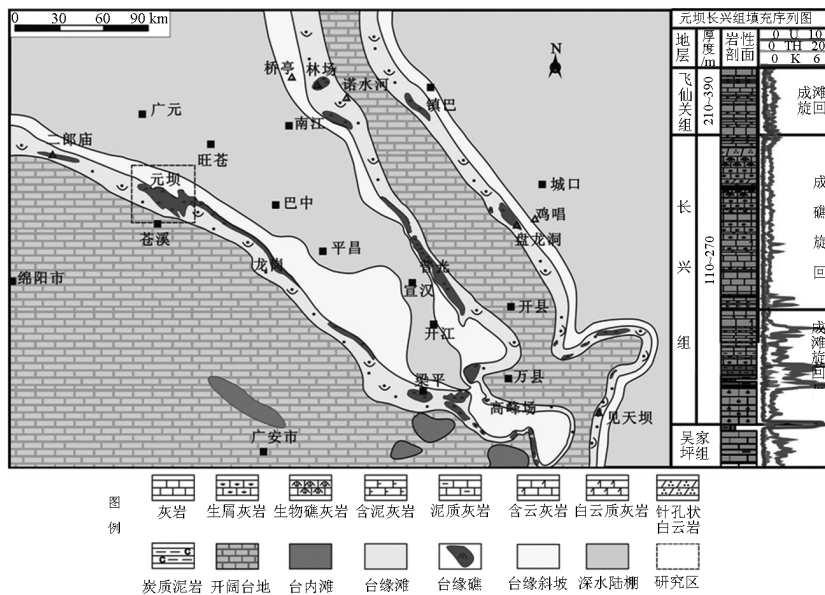


图1 川东北地区长兴组沉积相平面展布及研究区位置图

Fig. 1 The study area and the sedimentary facies of Changxing Formation, Yuanba Area

3.1 礁滩体系微相构成及建造特征

元坝地区长兴组台缘生物礁-滩沉积体系中识别出了生物礁、生屑滩及背景沉积三种成因相组合,其中生物礁成因相组合主要包含礁核和礁基,生屑滩成因相组合主要包含礁前生屑滩和礁后生屑滩(见表1)。

表1 台缘生物礁-滩沉积体系的成因相构成

Table 1 The microfaices of platform margin reef-beach system

沉积体系	成因相组合	成因相
台缘生物礁-滩沉积体系	生物礁	礁盖
		礁核
		礁基
	生屑滩	礁前滩
		礁后滩
		潮汐水道
背景沉积	滩间沉积	
	台缘斜坡	
	台缘沟槽	

1) 礁核。礁核是生物礁的主体部分,由多种造礁生物在原地所建造,其生长速率明显快于围区,是具有坚固抗浪特征的隆起构造。礁核岩性主要为骨架岩、障积岩和粘结岩(见图2-A1),主要造架生物为串管海绵、纤维海绵、硬骨海绵,另有少量的苔藓虫、珊瑚和层孔虫等,主要粘结生物为蓝绿藻、古石孔藻等。附礁生物种类繁多,常见的有海百合茎、腕足、有孔虫、蜓、腹足、瓣鳃类、介形虫等。

2) 礁盖。礁盖发育于长兴组生物礁的上部,主要为白云岩,矿物成分以白云石为主,含量达90%以上,溶蚀作用强烈,溶孔发育,储集物性好。溶孔大小一般在1~10mm,最大可达2.5cm,含量一般可达5%~10%(见图2-A1)。

3) 礁前滩。礁前滩处于台缘带靠近盆地一侧,主要为生物碎屑灰岩和白云岩,生物碎屑含量为60%~70%。生物个体较大,直径在0.3~1.5mm,多数在0.5~1.0mm,保存较为完整。颗粒中多见由生物礁破碎形成的内碎屑,颗粒之间多见亮晶胶结。白云石化,生物碎屑均遭严重破坏,模糊不清;局部可见残余的蜓、海绵等生物经强烈白云石化后残留的阴影(见图2-B1)。

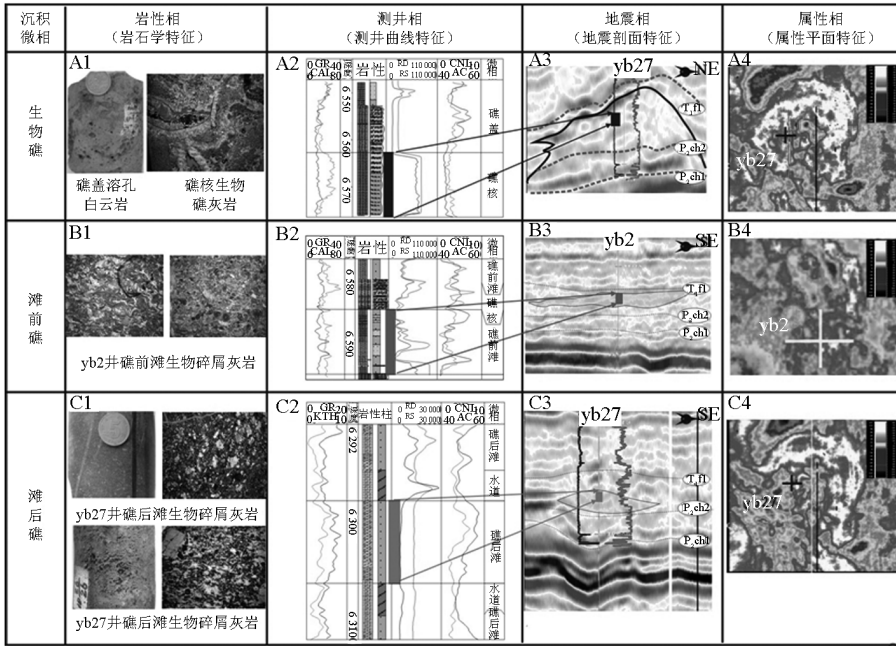
4) 礁后滩。礁后滩紧邻生物礁并靠近台地一侧,岩性为灰色生屑灰岩、生屑云岩(见图2-C1),生屑成分主要为海绵碎片、粗枝藻碎片、有孔虫、蜓等。与礁前生屑滩不同的是内碎屑颗粒含量高,颗粒更为破碎,水体改造程度更高,一般颗粒含量<50%,常呈次圆状-次棱角状,生屑颗粒个体较大,平均在0.5~1.0mm,颗粒之间多亮晶胶结。

3.2 礁滩体系沉积微相地质-地球物理建模

3.2.1 井-震精细标定

深度域的井资料与时间域的地震资料准确匹配是沉积微相研究的前提。此次研究中通过精细的井震标定,建立合理的时深关系,通过相互反馈的方式达到井、震信息的最佳吻合(见图3),准确揭示各沉

沉积相类型的地震响应特征,为沉积微相的空间展布研究奠定基础。



T₁fl—飞仙关组一段; P₂ch2—南高点灰岩层; P₂ch1—中-薄层状褐灰-深灰色生物泥晶灰岩

图2 元坝地区长兴组礁滩体微相地质-地球物理响应特征
Fig. 2 The geological and geophysical characteristics of reef microfacies in Changxing Formation, Yuanba Area

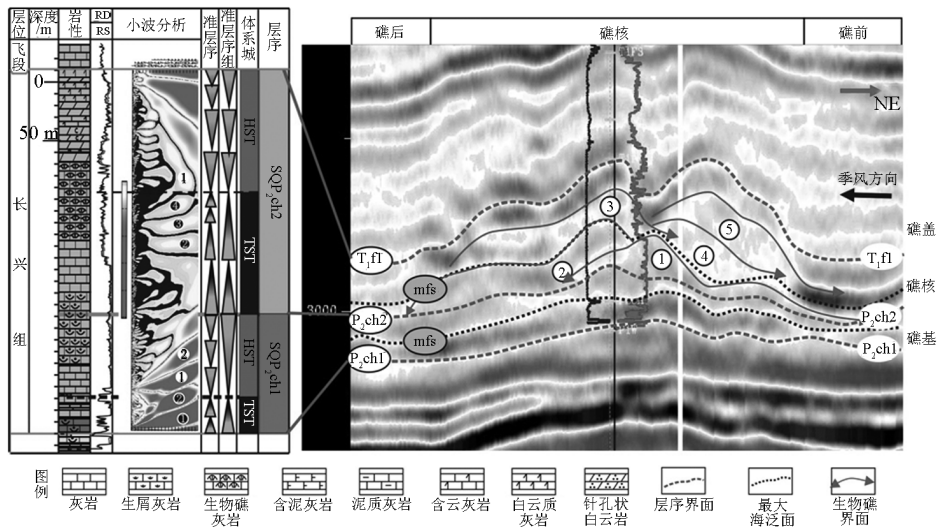


图3 生物礁滩体地震反射特征及等时格架解析
Fig. 3 The seismic characteristics and isochronous stratigraphic analysis of organic reef-beach body

3.2.2 礁滩体微相综合模版构建

a. 礁核。测井响应上,礁核表现为“四高一低”(见图2-A2):自然伽马(GR)曲线低值,平均值为12 API,大小为8~15 API;光电吸收截面指数(PE)

为高值,平均值为11 b/e,大小为8~14 b/e;井径(CAL)为高值,平均值为7 in(1 in=2.54 cm),大小为6.3~7.5 in;双侧向测井电阻率高,曲线呈箱型。

yb27井以发育生物礁为主,主体为礁核,通过井-震标定发现:地震剖面上(见图2-A3),礁核

位于早三叠飞仙关组底界面(T_{1f1})以下 15 ~ 25 ms 的区域内,yb27 井处生物礁整体表现为丘状隆起,内部空白反射或杂乱反射,通过提取该处礁核所处的层段的均方根振幅属性可见(见图 2 - A4),礁核主要表现为低振幅值,颜色主要为亮灰色(见图 3)。

2) 礁盖。白云岩化作用导致礁盖在其测井曲线上的响应特征不完全同于礁核,主要表现为 GR 为低值,平均值为 12.5 API,大小在 9 ~ 16 API;光电吸收截面指数(PE)为低值,平均值为 6.56 b/e,大小在 4 ~ 12 b/e;CAL 为低值,平均值为 6.63 in,大小在 6.6 ~ 7.1 in;双侧向测井电阻率低,曲线呈箱型;孔隙度测井(CNL、AC、DEN)显示孔隙度较未白云岩化的礁核大;总体分析,礁盖发生白云岩化会导致 PE 降低,CAL 减小,双侧向测井电阻率大幅降低,孔隙度增大。

礁盖地震反射特征清晰,主要位于生物礁礁核杂乱反射的顶部,地震反射连续性较好。

3) 礁前滩。GR 为低值,PE 为低值,平均值为 6 b/e,大小在 2 ~ 18 b/e;CAL 为低值,平均值为 6.92 in,大小在 6.5 ~ 7 in;深、浅侧向电阻率均表现为低值,深电阻率(RD)平均值为 1 500 $\Omega \cdot m$,数值在 325 ~ 4 000 $\Omega \cdot m$,浅电阻率(RS)平均值在 650 $\Omega \cdot m$,数值为 100 ~ 1 500 $\Omega \cdot m$,形态上呈指形或齿形;孔隙度测井(CNL、AC、DEN)显示孔隙度高(见图 2 - B2)。

元坝 2 井以发育生物礁为特色,生屑滩发育的规模较小,通过井 - 震标定发现生屑滩位于晚二叠长兴组(P_2ch2)顶界面之下 10 ~ 20 ms 范围内,在地震剖面上可以看到在该段生屑滩发育朝向盆地方向,所以判断该段生屑滩为礁前生屑滩。提取 P_2ch2 顶界面之下 10 ~ 20 ms 时窗范围内的均方根振幅属性,由图 2 - B4 可知,礁前滩主要为中低值,颜色主要为深灰色。

4) 礁后滩。GR 为中—高值,平均值为 15 API,大小在 10 ~ 38 API;PE 为低值;CAL 为中高值;双侧向测井电阻率低值,曲线形态呈箱型;孔隙度测井(CNL、AC、DEN)显示孔隙度高(见图 2 - C2)。

礁后滩在地震剖面上主要表现为低频、不连续反射特征(见图 2 - C3);通过提取礁后滩所处区域内的均方根振幅属性可见,礁后滩主要为中低值,显示为深灰 - 浅灰色。

4 礁滩体沉积微相精细刻画

长兴组生物礁滩体沉积期地貌起伏明显,且礁

体内部期次较多,如果将地震上生物礁异常体按一个单元来研究势必会存在穿时现象。针对这一问题,文章在精细标定基础上,对生物礁滩的垂向生长和叠置特征进行了精细的期次解剖;在此基础上,对不同期次的礁滩体进行等时格架下的属性提取及刻画,以期更真实地反映沉积微相及储层空间展布规律。

4.1 井 - 震互馈精描生物礁期次

井 - 震互馈分析手段可有效地识别生物礁滩带层序地层构成及生物礁的生长期次结构。分析认为,长兴组由两个三级层序构成,层序内部可清晰地识别出最大泛海面以及内部的礁体生长期次,在上部层序可以很清楚地识别出五期生物礁生长期(见图 3)。

4.2 地震属性刻画礁滩体微相空间展布

沉积微相刻画是有效储层预测的基础,但是生物礁滩体期次多,相变快,钻孔少,传统的沉积学分析方法不能精细的刻画各微相的平面展布特征。该研究中,通过多种技术手段对比认为,地震均方根振幅属性对各沉积微相的空间构成有较好的响应性(见图 4)。因此,在经过优选之后,将均方根振幅属性提取和分析技术作为刻画礁滩体微相空间展布的主要手段。

图 4 是长兴组均方根振幅属性分析图,不同颜色区域蕴含有不同的地质意义。白色区域主要代表生物礁的礁核主体部位,深灰色区域代表生物礁的礁前和礁后滩发育区,灰色部分反映生物礁的边缘部分,主要是礁前和礁后滩的边缘薄层部位,黑色略带灰色区域为滩间海沉积,纯黑色区域则主要为台缘斜坡部位,斜坡内部的浅灰色部位可能为礁前滑塌。

在属性分析的技术上,结合钻孔定位、地质分析,对生物礁滩空间展布进行了综合刻画,认为长兴组台缘带生物礁滩空间分布具有明显差异性。在长兴地区,由西部向东和东北方向依次发育开阔台地、台缘礁滩体以及台缘斜坡,并可体现出台缘生物礁滩带内部沉积微相精细构成特点。生物礁总体呈指状向西北方向延伸,礁核、礁前滩以及礁后滩明显,如 yb27 井所处的礁核部位;区内生屑滩发育,主要位于生物礁的周围,且总体表现出迎浪面窄背浪面宽的特点。滩间以滩间海沉积为主,开阔台地内广泛发育台内生屑滩(见图 4)。

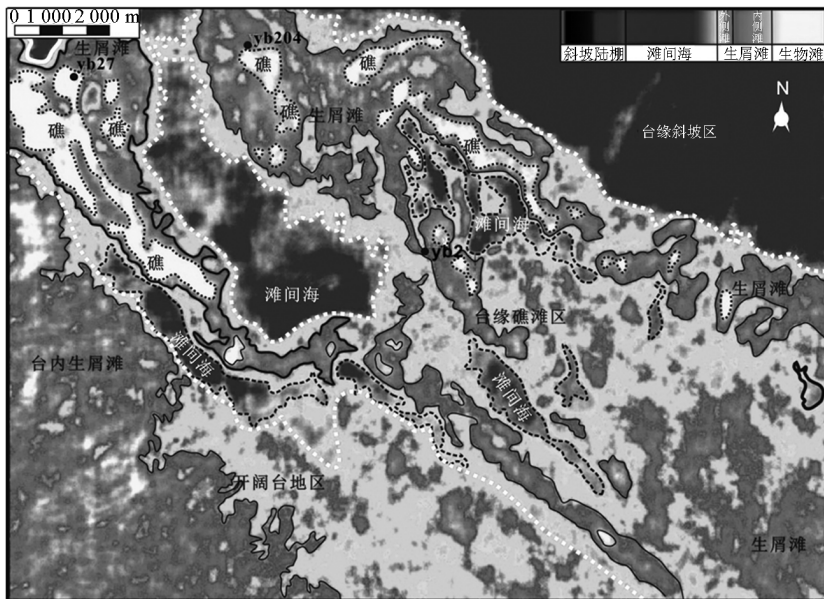


图4 长兴组上部成礁旋回礁滩体均方根振幅属性分析图

Fig. 4 The RMS amplitude of reef-beach body in the upper part of Changxing Formation, Yuanba Area

4.3 反演波阻抗预测礁滩体孔隙度

众所周知,礁滩体内部孔隙度都较为发育,但并非所有的礁体都能作为有效储层,因此,需要对礁滩体储集体性能进行精细评价。研究认为,生物礁滩带储层主要以孔隙型为主,且孔渗具有明显的正相关性^[6],因此,孔隙度特征能直接反映储层的物性分布特点。

然而,常用的基于地震资料的储层渗透率手段不仅预测难度大,而且预测误差大,因此,笔者等尝试在精细刻画沉积微相空间展布的基础上,利用波阻抗反演对孔隙度进行了计算和预测,以显示元坝地区储层物性的总体分布格局。其方法是根据Wyllie的时间平均方程,分别求出速度—孔隙度的关系、密度—孔隙度的关系,进而得到波阻抗—孔隙度之间的计算公式,通过波阻抗与孔隙度的关系求得研究区孔隙度反演平面图。

图5是长兴地区礁滩体孔隙度分布预测图,结果显示孔隙度高值区位于台缘礁、滩带主体区,主要对应生物礁的礁盖部分,垂向上,位于生物礁礁核主体区的上部,孔隙度一般在5%以上,最高可达到7%以上;次高值区位于礁前滩和礁后滩部位,孔隙度可达到3%~5%;低值区则主要位于台缘斜坡带以及滩间海的泥晶和泥质灰岩发育区,孔隙度一般小于2%。由此认为,高值区可以作为潜在的目标区。

5 勘探实效分析

近两年,在已完钻的11口井中有10口部署在长兴组礁滩体储层,储层预测成功率为90.9%,证实了生物礁滩带及相关有利高孔渗储层发育区预测的准确性(见图5)。目前部署井位大部分位于礁前、礁后滩区域内,并且储层发育的井位均位于礁、

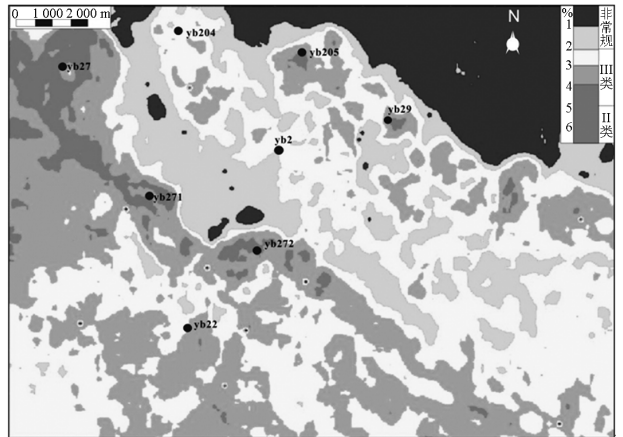


图5 元坝地区长兴组上部成礁旋回礁滩体孔隙度分布预测图

Fig. 5 The porosity prediction reef-beach body in the upper part of Changxing Formation, Yuanba Area

滩高的主体区,且分布于孔隙度预测区,这证实研究结果与实际勘探吻合程度较高(见图5),也反映了较高的预测精度。高孔渗带的 yb27、yb205、yb29、

yb271 及与 yb272 井均获得油气突破,这也与预测的沉积微相中生屑滩及礁盖的分布位置吻合。2009 年以后,获得突破的 13 口井,均位于台缘生物礁滩的生屑滩及礁盖部位对 yb103 井的礁盖部分进行常规测试,天然气产量为 $93.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

6 结语

在精细地质建模基础上,在等时地层格架约束下,探索了地质-地球物理相互反馈验证的台缘生物礁滩隐蔽油气藏储层精细刻画和预测方法,指出了长兴地区礁滩体有效储层发育区,并已得到实际钻孔很好地验证,证实了该套技术方法手段的实效性,为该区沉积微相及储层的空间展布的精细刻画提供了重要的技术支持。同时,对具有类似发育背景的生物礁滩体隐蔽油气藏也有较好的借鉴和指导意义。

参考文献

[1] 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.
[2] 马永生,傅强,郭彤楼,等. 川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J]. 石油实验地质,2005,27(5):455-465.

[3] 马永生,牟传龙,谭钦银,等. 达县—宣汉地区长兴组—飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约[J]. 地学前缘,2007,14(1):182-192.
[4] 牟传龙,谭钦银,余谦,等. 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):65-74.
[5] 王一刚,洪海涛,夏茂龙,等. 四川盆地二叠、三叠系环海槽礁、滩富气带勘探[J]. 天然气工业,2008,28(1):22-27.
[6] 郭旭升,郭彤楼,黄仁春,等. 普光—元坝大型气田储层发育特征与预测技术[J]. 中国工程科学,2010,12(10):82-92.
[7] 范嘉松,吴亚生. 川东二叠纪生物礁的再认识[J]. 石油与天然气地质,2002,23(1):13-22.
[8] 朱光有,张水昌,梁英波,等. TSR 对深部碳酸盐岩储层的溶蚀改造—四川盆地深部碳酸盐岩优质储层形成的重要方式[J]. 岩石学报,2006,22(8):2182-2194.
[9] 赵文光,郭彤楼,蔡忠贤,等. 川东北地区二叠系长兴组生物礁类型及控制因素[J]. 现代地质,2010,24(5):951-957.
[10] 耿威,郑荣才,李爽,等. 开江—梁平台内海槽东段长兴组礁、滩相储层特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2008,35(6):639-648.
[11] 王瑞华,牟传龙,谭钦银,等. 达县—宣汉地区长兴组礁滩白云岩成岩过程中的孔隙演化[J]. 沉积与特提斯地质,2007,27(6):9-12.
[12] 赵雪凤,朱光有,张水昌,等. 川东北普光地区与塔中地区深部礁滩体优质储层的对比研究[J]. 沉积学报,2009,27(3):390-403.

The subtly method of reservoir and exploration effects on the organic reef-beach body of Changxing Formation, Yuanba Area, Northeastern Sichuan

Cai Xiyuan

(China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing 100728, China)

[Abstract] In this paper, based on the well-seismic precise calibration and geological-geophysical modeling technology, the corresponding relationships among the lithologic facies, logging facies, seismic facies, attribute facies and reservoir of Changxing Formation were established. Furthermore, by means of seismic attribute extraction and inversion, the sedimentary macro-face spatial distribution was described clearly. Meanwhile, combined with impedance inversion technique of the gamma logging, the spatial distribution of reef-beach reservoir physical properties was predicted. Through comparing with the exploration wells drilled recently, it's found that the prediction results of reservoir not only are fit for the actual exploration, but also have the high prediction accuracy. Thus, it shows that the method of prediction by geophysical and geology has theoretical directive significance in Yuanba Area and can provide practical reference for the exploration of reef-beach subtle reservoir in other areas.

[Key words] Yuanba Area; Changxing Formation; reef-beach bodies; reservoir prediction