

# 四川盆地资阳地区龙王庙组优质储层识别与分布预测

李素华

(中国石化西南油气分公司勘探开发研究院)

**摘要** 四川盆地资阳地区龙王庙组局限台地台内滩沉积厚度薄,且在工区西北部剥蚀尖灭,有效识别资阳地区龙王庙组优质储层分布是油气取得突破的关键。基于 ZY1 井及三维地震资料,在储层精细标定及层位解释基础上,首先利用地震相及振幅属性刻画有利的沉积相带,再结合分频属性及波阻抗反演确定有利储层的边界及厚度,最终利用古地貌及裂缝预测确定优质白云岩储层的空间分布规律。综合预测结果表明,资阳地区龙王庙组储层纵向上主要分布在中上部,横向上主要发育两个呈北东向条带状展布的洼地。工区西北部位于二叠系沉积前的古地貌高部位,且暴露剥蚀区更易形成有利的溶蚀孔隙型白云岩储层,是有利的油气聚集区带。

**关键词** 四川盆地; 下寒武统; 龙王庙组; 碳酸盐岩储层; 储层预测

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

## 1 概况

四川盆地资阳地区的油气勘探,2010 年以前主要以陆相地层和海相上组合为主,但均未获得油气突破。2011 年以来,中国石油天然气股份公司在乐山—龙女寺古隆起高石梯—磨溪地区发现了寒武系龙王庙组特大型气田,地质储量超过万亿立方米<sup>[1-2]</sup>。资阳地区距高石梯—磨溪主体构造直线距离不足 40 km,具有相似的构造、沉积演化背景,故

推断资阳地区龙王庙组也应有较好的天然气成藏条件及勘探潜力。

资阳地区寒武系的现今构造形态为由西南向东北倾伏的宽缓鼻状构造(图 1),变形较弱,构造圈闭欠发育;区内主要发育两条规模较大的 NE 向正断层,断层从震旦系灯影组向上断至二叠系龙潭组,可较好地沟通下寒武统烃源岩。前人研究表明,龙王庙组整体为局限台地台内滩沉积<sup>[3]</sup>,从下往上古地貌高部位由西北往东南方向迁移<sup>[4]</sup>。

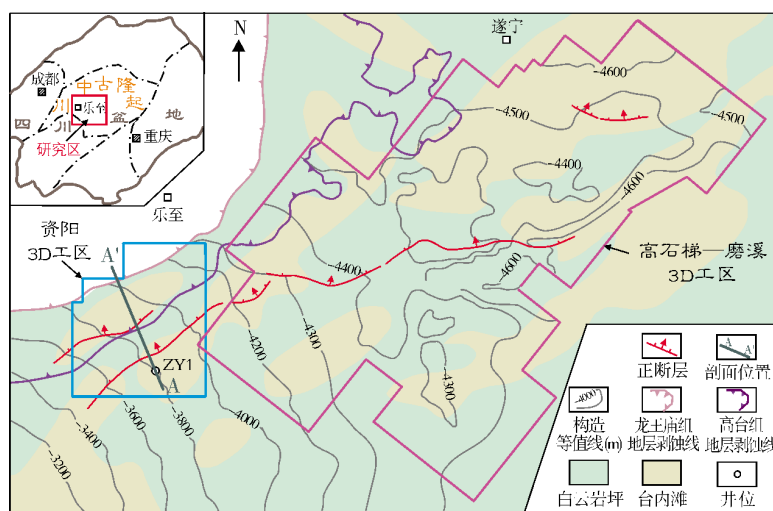


图 1 四川盆地资阳地区寒武系龙王庙组沉积相与底界构造叠合图

收稿日期: 2015-08-07; 改回日期: 2015-10-27

本文受中国石油化工股份有限公司科研项目“川南、川西南海相成藏条件研究”(编号: P10002)资助

李素华: 女, 1980 年生, 高级工程师。2007 年毕业于大庆石油学院, 获硕士学位。主要从事地震资料解释及储层预测等工作。通讯地址: 610041 四川省成都市高新区吉泰路中石化科研办公基地; E-mail: lish1121@163.com

为了加快资阳地区油气勘探的步伐,寻找新的接替区,2013 年之后相继部署了以海相下组合龙王庙组为主要勘探目的层的 ZY1 井以及三维地震(图 1)。需要说明的是,ZY1 井主要利用前期二维地震测线(测网密度达到  $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ )部署,未钻遇规模气层。本次利用资阳工区新的三维地震资料,借鉴高石梯—磨溪地区龙王庙组储层的识别模式,结合本区龙王庙组沉积及古地貌特征,采用多种储层预测方法,建立了资阳工区龙王庙组储层识别模式,明确了龙王庙组优质储层发育带主要分布在工区西北部,并可作为下一步有利勘探目标区。

## 2 储层地质、地震特征

### 2.1 地质特征

ZY1 井龙王庙组储层主要发育在中上部,岩性主要为滩相砂屑白云岩、鲕粒白云岩及细粉晶白云岩等;储层总厚约 45m,其中,优质颗粒岩储层厚度不足 15m;储集空间主要有晶间孔、晶间溶孔、缝合线、溶缝等;孔隙度为 0.624%~3.55%,平均 1.67%,渗透率

$(0.001\sim 2.21)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均  $0.118\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,总体表现为低孔、低渗特征。根据区域地层不整合面分布及区内断层发育特征推断,资阳地区可能发育有与不整合面有关的溶蚀孔洞以及断控型的大型溶洞,这尚有待钻探证实。

### 2.2 地震特征

邻区高石梯—磨溪地区龙王庙组岩性以白云岩为主,经层位标定,顶部为强波峰反射,底部为强波谷反射。经对获高产工业气流的多口井的标定,储层大多发育在中上部,当储层发育时,速度大幅降低,储层段与围岩存在较大的波阻抗差,故在龙王庙组内部形成“亮点”反射,为中—强振幅波峰反射(图 2a);当储层发育在龙王庙组顶部时,储层段与上覆高台组底部的泥岩波阻抗差变小,则顶部强波峰反射减弱,甚至变为波谷<sup>[5]</sup>。

资阳地区常规地震剖面(图 2b)反射特征显示,高台组 and 龙王庙组由南向北依次剥蚀尖灭于工区西北部(图 1),二叠系直接覆盖在高台组或龙王庙组之上。这里,把龙王庙组顶界面(高台组底界或二叠系底界)称为第一相位,把因龙王庙组内

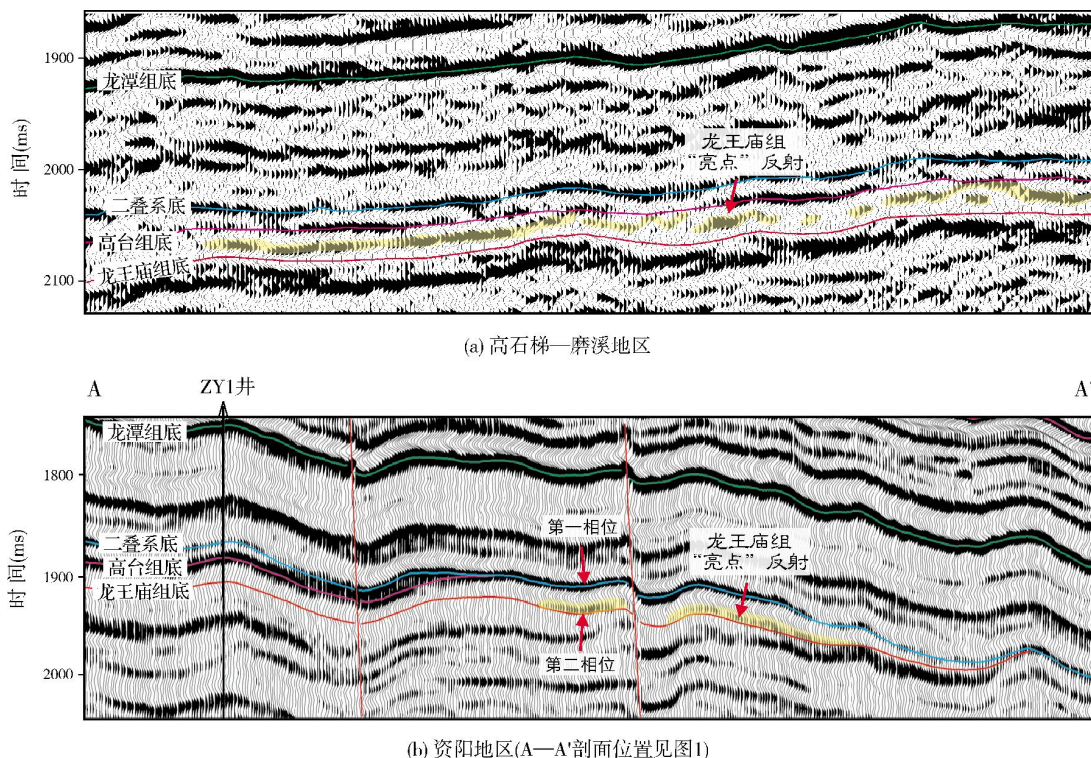


图 2 四川盆地高石梯—磨溪地区及资阳地区龙王庙组地震反射特征对比

部优质颗粒岩储层很发育时形成的中强振幅波峰“亮点”反射,称为第二相位。ZY1井揭示龙王庙组地层总厚度63 m,其中的优质颗粒岩储层厚度薄(不足15 m),岩心观察鲕粒白云岩发育,未见大型溶孔溶洞。从图2b看,ZY1井处龙王庙组内部并无“亮点”反射(第二相位),这应与井区优质颗粒岩储层较薄相关。

为更合理地建立龙王庙组优质储层识别模式,

以A—A'剖面地层结构为基础,由ZY1井实钻获得的速度、密度及地层厚度数据建立正演模型,假设ZY1井优质颗粒岩储层很发育(速度低至5 000 m/s),则龙王庙组内部出现“亮点”反射(图3),龙王庙组储层顶部为强波谷反射,储层底部为强波峰反射,且波阻抗差值越大,储层顶、底反射变化越明显,这与图2a中高石梯—磨溪地区龙王庙组“亮点”地震反射特征一致。

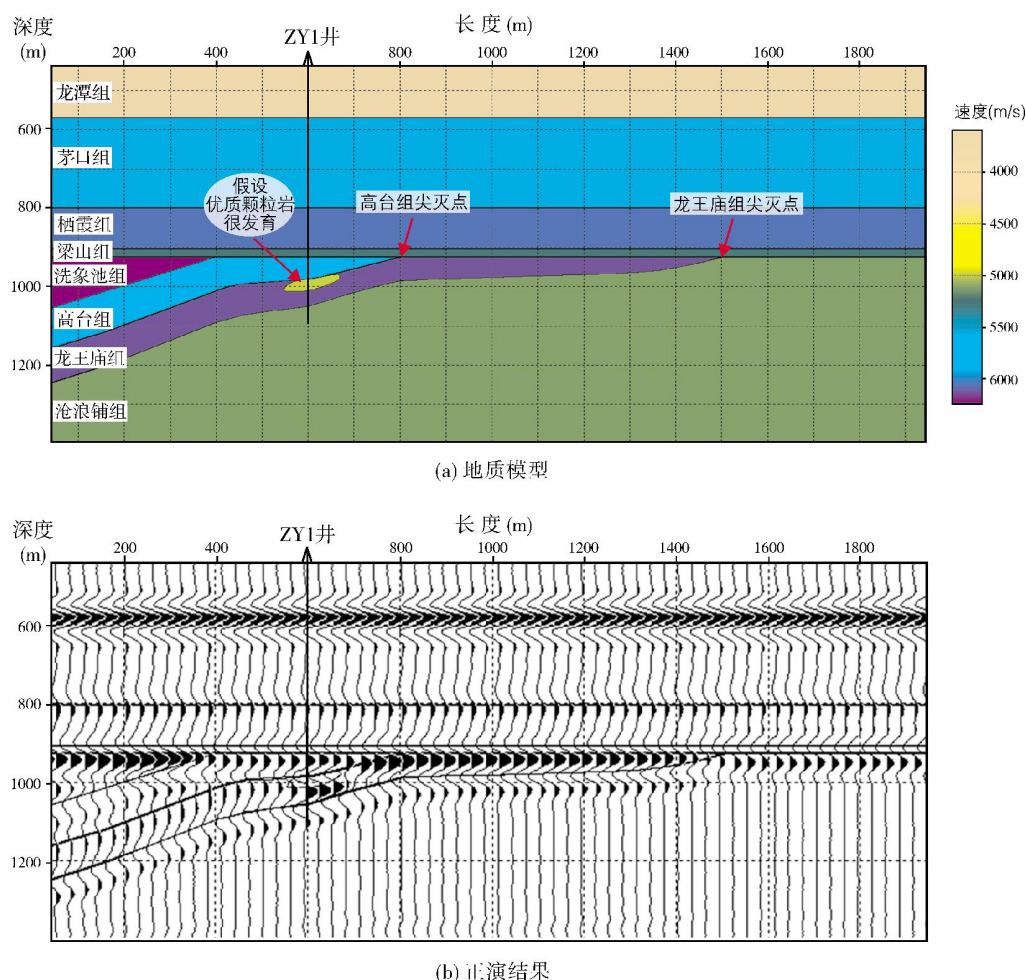


图3 假设ZY1井龙王庙组优质颗粒岩储层很发育时的地质模型及正演模拟记录

从图2b看,在资阳工区西北部龙王庙组暴露剥蚀区,地层内部第二相位发育,“亮点”反射特征清晰,可能反映了优质颗粒岩储层较发育,由此判断靠近不整合面更易形成溶蚀、孔隙型白云岩储层。这套优质储层,加上NE向正断层沟通下伏烃源岩,因此,工区西北部龙王庙组有形成规模气藏的可能。

### 3 储层识别与有利储层分布预测

由资阳工区地震资料品质分析(图4)可知,除局部呈线性展布的断层以及裂缝发育部位资料品质相对较差外,其余部位资料品质较好,信噪比高,能够满足储层预测需要。笔者首先利用地震相确定有利沉积相带,再结合分频属性和分频反演确定有利储



层的边界及厚度,最终利用裂缝预测及古地貌确定优质储层的空间分布。通过综合分析确定优质储层发育带,指出了下一步有利勘探目标区。

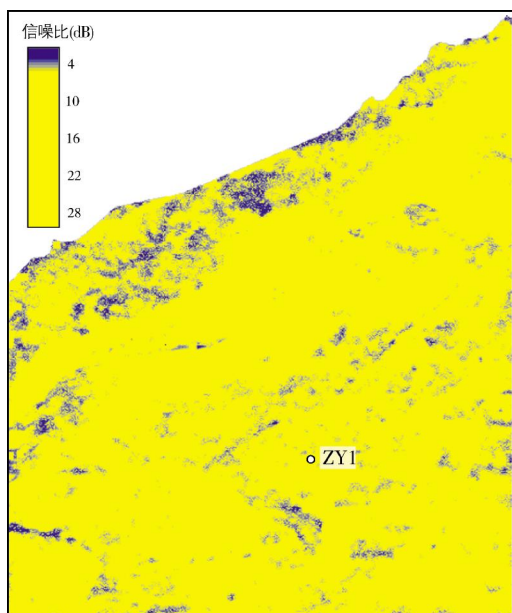


图4 资阳地区龙王庙组地震资料品质

### 3.1 地震相

通过对不同的地震波形进行分类可达到区分不同沉积体的目的<sup>[6]</sup>。首先利用自组织神经网络算法将目标时窗内的地震波形进行分类,再利用已知井点的沉积相(ZY1井证实资阳地区龙王庙组为局限台地相沉积,发育台内滩)外推,将平面地震相转变为具有地质含义的沉积相。

由波形分类结果(图5)可知,工区内龙王庙组主要发育两个滩体,呈NE向条带展布,其中北部滩体第二相位波峰特征明显(红—黄色区域),南部滩体第二相位波峰特征不太明显(青—绿色区域),中间为滩间(蓝色区域)无第二相位波峰特征,主要为强波谷反射。

### 3.2 分频解释

分频解释技术是基于频谱分析的地震成像方法,通过分析各种频率成分对应的调谐能量,可有效避免常规属性分析的调谐陷阱,提高了薄储层识别能力,能更客观地反映地质体外形,刻画薄储层的分布,更易寻找岩性油气藏的边界<sup>[7]</sup>。

首先利用时频分析确定储层段的频带范围,再

将储层段频带内的低、中、高频融合来刻画资阳地区龙王庙组有利储层的分布规律。图6分频融合属性(其中红(R)、绿(G)、蓝(B)三色代表低、中、高频不同频率的权重信息,颜色的强弱代表储层的厚薄,通过混合色的变化描述储层空间的变化细节<sup>[8]</sup>)显示,龙王庙组有利储层主要呈NE向条带展布,这与地震相相刻画的台内滩边界范围一致,储层空间变化细节更加清晰。

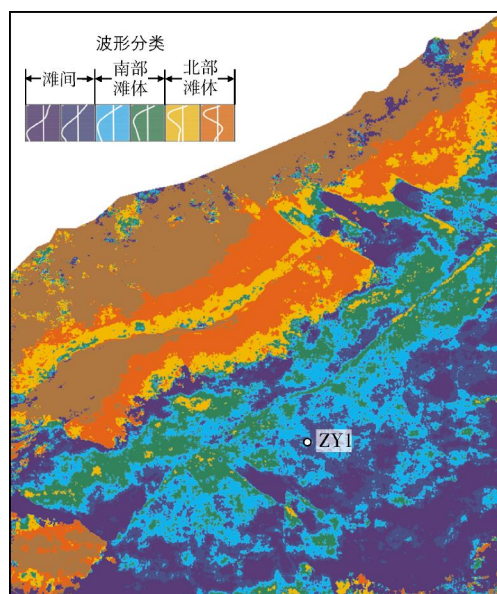


图5 资阳工区龙王庙组波形分类及地震相

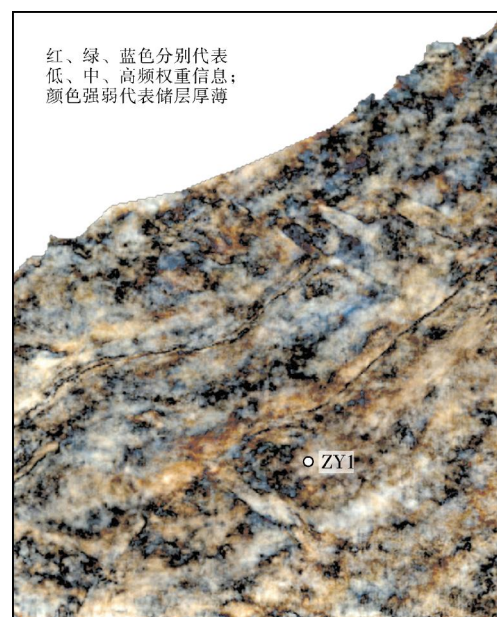


图6 资阳工区龙王庙组RGB分频融合属性

### 3.3 分频反演

分频波阻抗反演可充分利用地震剖面的低、中、高频信息,减少薄层反演的不确定性,真实地反映地层接触关系、厚度变化及空间展布特征<sup>[9]</sup>。

与常规地震剖面(图2b)对比,70Hz分频地震剖面(图7)上,ZY1井位置处,龙王庙组内部明显出现第二相位“亮点”反射,证实优质储层发育但较薄,该

井实钻揭示龙王庙组储层段主要分布在中、上部(图7中短线标注),同时,分频地震剖面显示储层横向分布不稳定,非均质性强。分频波阻抗反演结果显示,第二相位中强波峰位置处出现相对低阻特征(图7),应为最有利储层段,但测试后产水。

根据分频波阻抗反演成果,平面上台内滩储层较厚的区域主要分布在资阳工区西北部,厚度达45~70m(图8)。

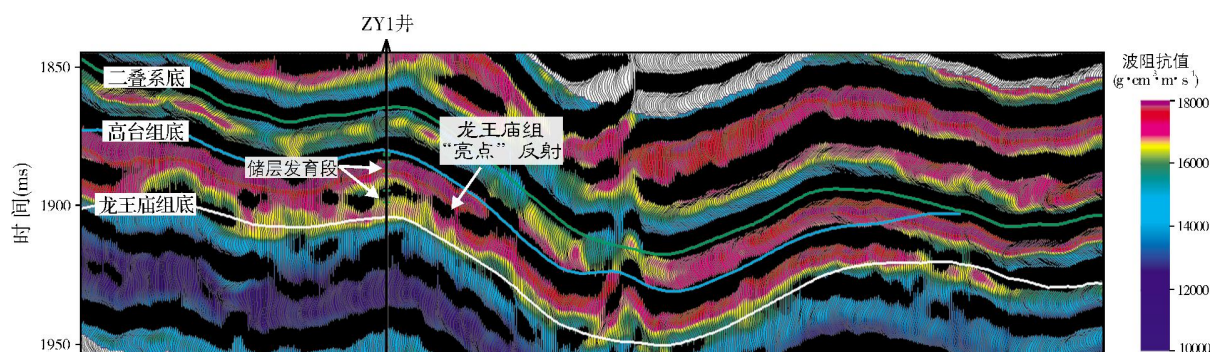


图7 过ZY1井龙王庙组分频波阻抗反演结果与70Hz分频地震剖面叠合

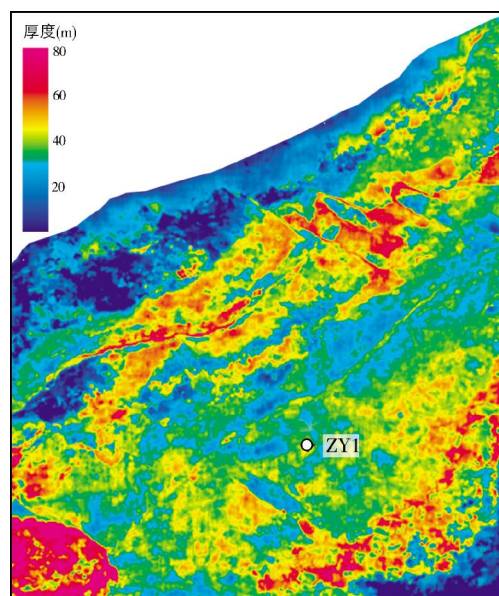


图8 资阳工区龙王庙组储层厚度图

东北部几条NW向断层呈雁行排列,裂缝主要发育在工区西北部,可较好地改善不整合面附近的溶蚀型白云岩储层,而东南部ZY1井位置处裂缝欠发育。

### 3.5 古地貌特征

四川盆地龙王庙组成藏受古、今构造的控制<sup>[13]</sup>。资阳工区现今位于NE倾向的斜坡,构造圈闭不发育,ZY1井证实龙王庙组储层发育良好,但未见大型溶孔溶洞。古地貌是控制岩溶储层发育的重要因素,直接影响和控制岩溶作用的强弱、方式及岩溶发育的特征和类型<sup>[14-15]</sup>,古地貌高地有利于颗粒滩沉积,易于发生纵向加积,形成厚度较大的颗粒滩体。本文利用印模法<sup>[16]</sup>来恢复资阳工区龙王庙组古地貌,以明确龙王庙期岩溶储层发育的有利区。由资阳工区二叠系沉积前的龙王庙期古地貌(图10)来看,古地貌高部位在工区西北部,由此判断工区西北部优质颗粒岩储层应较东南部ZY1井位置处发育。

### 3.6 优质储层发育带

根据沉积相、地震相、储层空间分布、裂缝发育及古地貌特征等因素综合判断,龙王庙组优质白云岩储层有利区主要呈NE向条带状分布在工区西北部,且位于二叠系沉积前的古地貌高部位,裂缝发

### 3.4 裂缝预测

利用相干、倾角、方位角、曲率属性<sup>[10-12]</sup>来预测龙王庙组裂缝发育特征,由预测结果(图9)可知,资阳工区除发育两条规模较大的NE向断层外,还发育几条规模较小的NW向断层,延伸距离短,其中工区



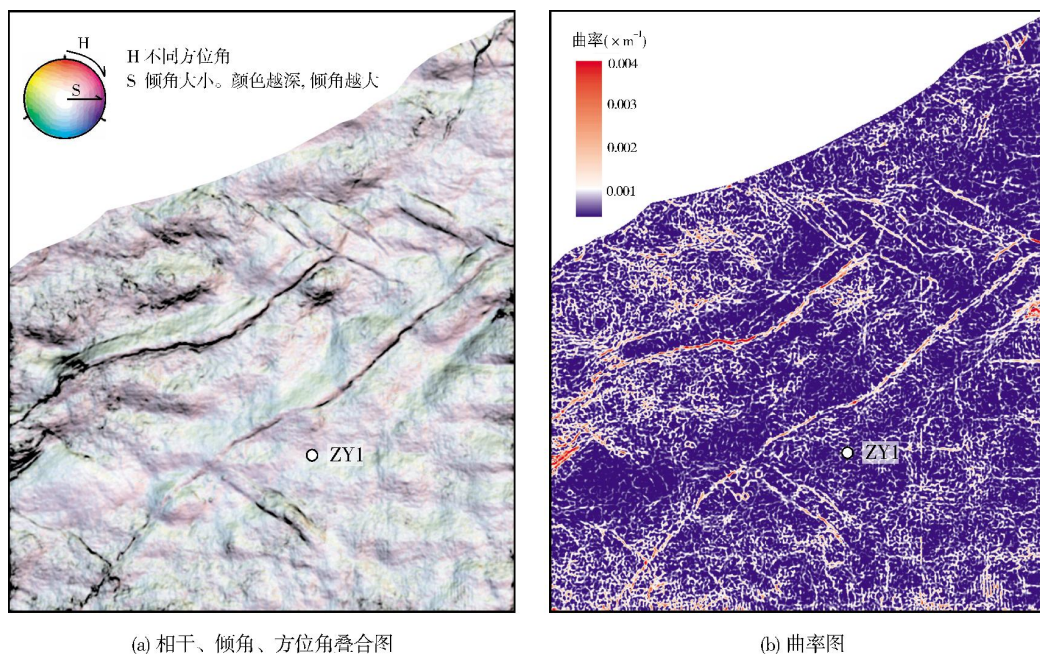


图9 资阳工区龙王庙组裂缝预测

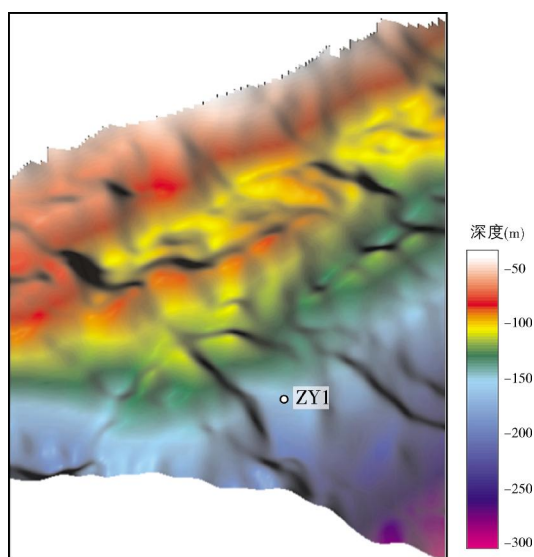


图10 资阳工区二叠系沉积前龙王庙组古地貌

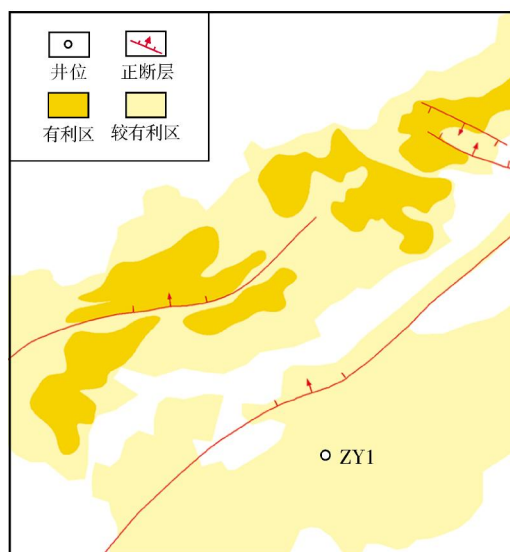


图11 四川盆地资阳地区龙王庙组优质储层发育带

育,面积约53 km<sup>2</sup>(橙色区域),较有利区的面积约200 km<sup>2</sup>(黄色区域)(图11)。

## 4 结 论

(1)四川盆地资阳地区下寒武统龙王庙组横向上主要发育两个呈NE向条带状展布的台内滩体,纵向上储层主要发育在中上部,ZY1井已证实储层发育良好。

(2)资阳地区西北部龙王庙组裂缝发育,且处于二叠系沉积前的古地貌高部位,这里的暴露剥蚀区是优质白云岩储层发育的有利区。

### 参 考 文 献

- [1] 杜金虎,邹才能,徐春春,等. 川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J]. 石油勘探与开发,2014,41(3): 268-277.
- [2] 徐春春,沈平,杨跃明,等. 乐山—龙女寺古隆起震旦系—下

- 寒武统龙王庙组天然气成藏条件与富集规律[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 1-7.
- [3] 刘树根, 宋金民, 赵异华, 等. 四川盆地龙王庙组优质储层形成与分布的主控因素[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2014, 41(6): 657-670.
- [4] 李伟, 易海永, 胡望水, 等. 四川盆地加里东古隆起构造演化与油气聚集的关系[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 8-15.
- [5] 李亚林, 巫芙蓉, 刘定锦, 等. 乐山—龙女寺古隆起龙王庙组储层分布规律及勘探前景[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 61-66.
- [6] 肖秋红, 李雷涛, 屈大鹏, 等. 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] 张延章, 尹寿鹏, 张巧玲, 等. 地震分频技术的地质内涵及其效果分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 64-66, 71.
- [8] 李素华, 卢齐军, 许国明, 等. 川西 XC 地区雷口坡组顶不整合面储层预测方法[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(5): 793-798.
- [9] 李素华, 李兆影. 宜渡构造下沙溪庙组致密砂岩储层有效识别[J]. 东北石油大学学报, 2014, 38(2): 35-42.
- [10] 段云卿, 覃天, 张联盟, 等. 基于体属性的地震相干技术[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(4): 442-446.
- [11] 王振卿, 王宏斌, 龚洪林. 地震相干技术的发展及在碳酸盐岩裂缝型储层预测中的应用[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(6): 977-981.
- [12] 王雷, 陈海清, 陈国文, 等. 应用曲率属性预测裂缝发育带及其产状[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(6): 885-889.
- [13] 李晓清, 汪泽成, 张兴为, 等. 四川盆地古隆起特征对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347-351.
- [14] 姚根顺, 周进高, 邹伟宏, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律[J]. 海相油气地质, 2013, 18(4): 1-8.
- [15] 金民东, 曾伟, 谭秀成, 等. 四川磨溪—高石梯地区龙王庙组滩控岩溶型储集层特征及控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(6): 650-660.
- [16] 欧阳诚, 韩翀, 石新, 等. 岩溶高地风化壳有利勘探区的储层地震预测技术——以鄂尔多斯盆地苏5区块马五<sub>4</sub>层为例[J]. 天然气工业, 2014, 34(11): 48-55.

编辑:董庸

## Identification and Distribution Prediction of the Lower Cambrian Longwangmiao Excellent Dolostone Reservoirs in Ziyang Area, Sichuan Basin

Li Suhua

**Abstract:** The Lower Cambrian Longwangmiao intra-platform shoal reservoirs are thin in Ziyang area in Sichuan Basin and they get pinching out due to denudation toward the northwest of Ziyang area. It is the key how to effectively identify the distribution of high-quality reservoirs. According to Well ZY-1 and 3D seismic data, some reservoir prediction technologies are adopted such as seismic facies, conventional and frequency-divided seismic attributes, ancient landform and fracture prediction on the basis of fine calibration and interpretation of reservoir horizons. Firstly, seismic facies and the conventional attribute are used to characterize sedimentary facies belt. Secondly, the frequency-divided attribute coupling with inversion is used to determine the boundary and thickness of the reservoirs. Finally, ancient landform and fracture prediction are used to determine the spacial distribution of high-quality reservoirs. It is shown that Longwangmiao reservoirs mainly develop in the middle and upper parts in longitude, and distribute in two NE-towards intra-platform shoal bodies in lateral. The northwest part of study area is just located in the pre-Permian palaeostructure high parts where exposed denudation area is likely to form dissolved pore dolostone reservoirs which is convinced to be the area favorable for hydrocarbon migration and accumulation.

**Key words:** Early Cambrian; Longwangmiao Fm.; Carbonate reservoir; Reservoir prediction; Sichuan Basin

Li Suhua; MSc., Senior Petroleum Geology Engineer. Add: Exploration and Production Institute of Southwest Petroleum Branch Company, SINOPEC, Jitai Rd., Chengdu, Sichuan, 610041, China