

南黄海崂山隆起下石炭统和州组至下二叠统栖霞组储层预测

张银国^{1,2,3}, 陈建文^{2,3}, 吴淑玉^{2,3}, 苑春芳⁴, 赵裕辉⁵

(1 中国石油大学(华东), 青岛 266580; 2 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 4 中国矿业大学(北京), 北京 100083;

5 英得赛斯科技(北京)有限公司, 北京 100102)

摘要:以叠前时间偏移地震资料为基础,采用相干体、蚂蚁体和储层综合响应的物性因子方法针对勘探程度较低的南黄海崂山隆起下石炭统和州组至下二叠统栖霞组碳酸盐岩进行储层预测。相干体、蚂蚁体预测结果表明,和州组至栖霞组发育多套储层,栖霞组储层裂缝发育和分布受断裂和构造挤压变形控制强烈,北部断裂带和南部挤压背斜区裂缝较为发育。储层综合响应的物性因子预测结果显示,和州组至栖霞组在南部地区的有利储层发育,主要集中在挤压背斜发育区和沿断裂带发育区。该储层的预测结果为崂山隆起有利目标区的评价提供了地质依据,同时该方法的应用对于南黄海的油气勘探具有重要的指导意义。

关键词:南黄海;崂山隆起;相干体;蚂蚁体;物性因子

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.10009

全球碳酸盐岩分布面积占沉积岩总面积的 20%,所蕴藏的油气储量占世界总储量的 52%,全球高达 90%的油气储量发现于海相地层^[1]。南黄海崂山隆起下石炭统和州组至下二叠统栖霞组为一套碳酸盐岩地层,根据钻井和陆上野外观察,该套地层发育生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩,顶部发育海西风化壳,是有利的碳酸盐岩储集层段。据目前崂山隆起西部大陆架钻井揭示,在海相三叠系和石炭系碳酸盐岩和二叠系碎屑岩中发现了油气显示,该发现证实崂山隆起具备较好的油气地质条件,但是该井区受后期构造破坏的影响,未

形成一定规模的油气流。因此,在崂山隆起东部构造稳定区对该套地层进行储层预测成为一项重要的研究内容,这将为预测有利勘探目标提供地质依据。

1 区域地质背景

南黄海海域地处下扬子板块主体^[2-4],西接下扬子苏北盆地,东临京畿地块,北起千里岩断裂,南至江绍断裂(图 1)。根据中—新生界构造划分,南黄海划分为 3 个一级构造单元,从南向北依次为勿南沙隆起、南黄海盆地、千里岩隆起,其中南黄海盆地划分为 3 个二级构造单元,从南向北依次为青岛坳陷、崂山隆起、烟台坳陷。根据下扬子陆区研究,从震旦世至三叠世主要经历了晋宁运动、蓟县运动、广西运动(加里东运动)、东吴运动和印支运动,期间发生了多期海进海退,沉积了多套碎屑岩和碳酸盐岩地层,南黄海作为下扬子

收稿日期:2016-08-30

基金项目:南黄海油气资源调查(DD20160512);南黄海前三系油气前景研究(XQ-2005-01);南黄海海域油气资源普查(GZH200800503);南黄海崂山隆起和滩海区海相地层油气资源战略选区(XQ-2009-15)

作者简介:张银国(1973—),男,在读博士,高级工程师,主要从事石油地质和层序地层研究工作. E-mail:zygzhang@sohu.com

板块主体,具有下扬子陆区同等构造演化和地层发育特征。据下扬子区陆上钻井、露头和南黄海地震反射特征及其钻井资料认为,在南黄海发育寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系。南黄海钻遇海相中—古生界的探井有 7 口,主要揭示二叠系和下三叠统青龙组,缺失中、上三叠统,其中 1 口揭示石炭系,1 口揭示志留系和泥盆系,深部震旦系—奥陶系未揭示。钻井主要分布于青岛坳陷,其次是烟台坳陷、勿南沙隆起和崂山隆起。



图 1 南黄海盆地大地构造位置示意图(据文献[5]修改)

Fig. 1 Tectonic map of the South Yellow Sea Basin (modified form reference [5])

崂山隆起处于南黄海中部,整体表现为一箱状背斜构造,其南北两侧受区域性断裂所控制,中—古生代海相层序向两侧倾斜,隆起主体部位,产状平缓,总体具有相对稳定的构造特征。崂山隆起东西向构造特征存在一定差异,主要表现为西部构造复杂;东部构造相对简单,也较为稳定,尤其是东南部,因此,崂山隆起东部成为本次研究重点。崂山隆起钻井主要为 1 口科探井,位于崂山隆起西部,揭示地层为志留系—下三叠统。受印支运动构造挤压抬升影响,崂山隆起长期遭受暴露,大部分地区新近系直接覆盖在下三叠统之上,局部分布中生界。崂山隆起和州组—栖霞组为一套碳酸盐岩夹薄层泥岩,地层分布较为稳定,地震反射波组特征也较为明显,横向对比性较强。

2 储层预测

碳酸盐岩的储集空间类型多、次生变化明显,并且碳酸盐岩由于受胶结和溶蚀等成岩作用的改造,具有较强的非均质性^[6],成岩作用的复杂性使碳酸盐岩储层的非均质性增强,其储层物性的分布具有较难预测的特点。后期构造作用对碳酸盐岩具有强烈的改造作用,由构造变形所产生的裂缝改善了储集性能。碳酸盐岩储层地球物理预测技术是通过研究碳酸盐岩储层的地震响应特征,从而建立地质体与地震属性之间的响应关系,达到对碳酸盐岩储层预测的目的。通常情况下,质纯碳酸盐岩具有低伽马、高泊松比(σ)、高杨氏模量(E)、高剪切模量(μ)、高横波阻抗(Z_s)的特点;有效储层具有密度(DEN)低、物性指示因子(RPI)高的特点。鉴于南黄海崂山隆起钻井资料少,目前仅有 1 口钻井揭示了和州组—栖霞组,南部邻区青岛坳陷有 1 口井揭示石炭系,因此,对崂山隆起和州组—栖霞组碳酸盐岩储层预测主要依靠地震手段,采用相干体、蚂蚁体进行裂缝预测和物性因子进行储层综合物性预测。

2.1 储层裂缝预测

在碳酸盐岩储层中,裂缝是重要的油气运移通道,它既能沟通分散的储集空间,如溶洞形成规模化的储层,又能为各储集空间内部提供必要的渗透率,对富集区油气藏的形成和分布也有控制作用。从 20 世纪 80 年代末至今,越来越多的学者开始从叠后地震信息、三维宽方位地震资料、多波裂缝预测、构造应力场分析等方法进行裂缝的综合和定量预测。预测相关的叠后三维地震属性分析是围绕地震反射波形的突变(不连续性)而开展的,特别是倾角/方位角分析、曲率分析、相干分析等技术是近年来业界的亮点^[7]。

相干体和蚂蚁体是描述裂隙发育相对比较成熟的技术^[8,9],前者能够描述裂隙的发育密度;后者能够描述裂隙的连通性。通常情况下,这 2 种技术均在叠后地震数据上进行,但是由于叠加数据破坏了 AVO 现象,造成其结果的误差较大,因此,用叠后数据进行的相干体和蚂蚁体分析结果精度较低。采用富含更多地震信息的叠前地震数

据所提取的地震剪切模量数据来进行蚂蚁体和相干体分析,更能准确地描述裂隙特征,实现高精度的裂隙预测结果。预测结果显示,在构造变形较

强的弯曲处裂缝较为发育(图 2a),并且裂缝的连通性较好(图 2b),而在平缓处裂缝相对不发育,裂缝的连通性也较差。

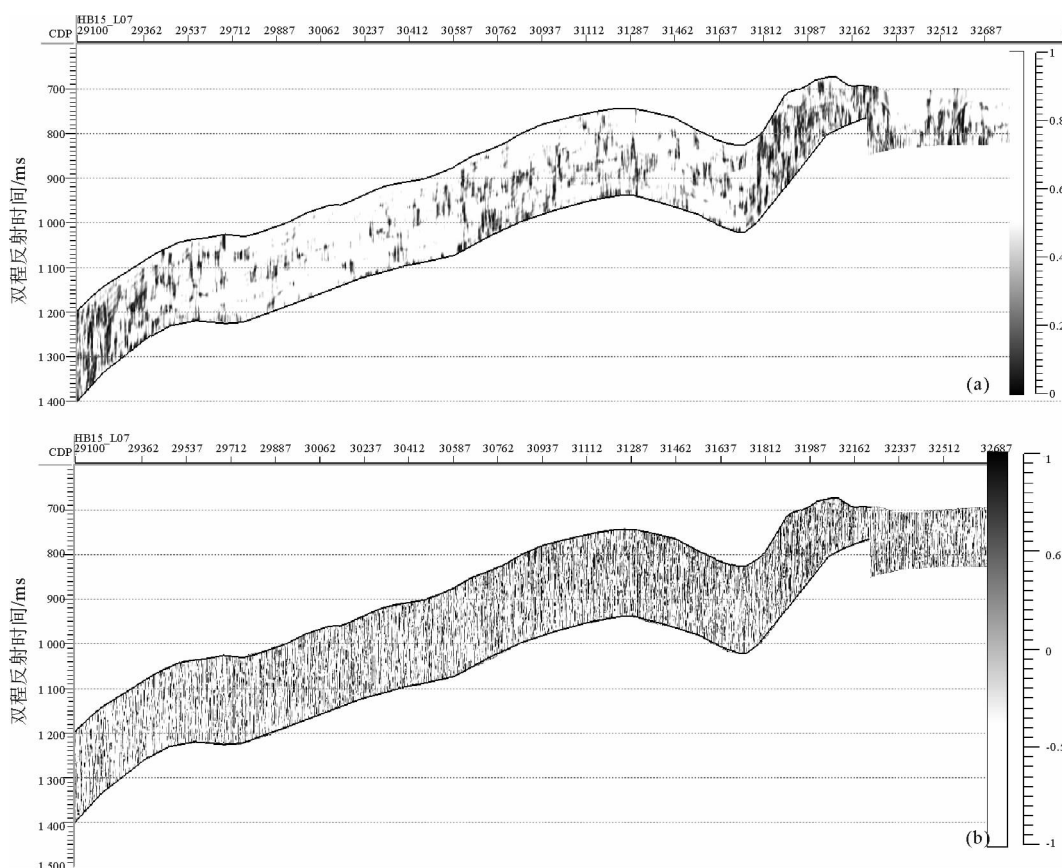


图 2 下石炭统和州组至下二叠统栖霞组相干体(a)和蚂蚁体(b)剖面特征

Fig. 2 Characteristics of coherent volume (a) and ant body(b) from Hezhou formation of the Lower Carboniferous to Qixia Formation of the Lower Permian

2.2 储层物性因子预测

储层物性因子是储层孔隙、孔洞及裂隙的综合响应,是纵波阻抗(Z_p)和横波阻抗(Z_s)的函数,把纵波阻抗(Z_p)和横波阻抗(Z_s)组合起来,并旋转一定的角度,就可以得到储层物性因子属性(RPI),数学上可表示为:

$$Y = Z_p * \cos(\theta) + Z_s * \sin(\theta)$$

物性指示因子(RPI)是与孔隙度参数相关最大的角度所计算出的阻抗组合,因此,物性因子的高低决定了储集物性的好坏,物性因子越高反映储层物性越好。此种方法至少具有 3 个方面的先进性:①增大了划分物性的区分度和识别率;②把

多参数交会识别有利区降维至单参数识别;③在一定程度上克服了背景趋势给识别有利区带来的干扰。南黄海崂山隆起和州组一栖霞组碳酸盐岩储层物性因子的纵波阻抗(Z_p)和横波阻抗(Z_s)组合旋转角为 116° ,计算结果显示,该套地层发育多套储层,尤其是栖霞组顶部(图 3),这与栖霞组顶面为海西风化壳的认识相一致。

2.3 储层分布特征

碳酸盐岩储层原生孔隙通常都较差,好的储层往往需要后期的改造,尤其构造作用对碳酸盐岩储层的贡献最大。本文针对栖霞组顶面向下沿 70 ms 进行相干体和蚂蚁体时间切片,该层主要

反应栖霞组储层裂缝特征。平面预测结果显示,裂缝的发育程度及裂缝的连通性的分布具有一定的分带、分块性(图 4),明显受断裂和构造变形的控制,具有沿断裂走向和挤压背斜变形较强处发育的特点。在挤压背斜较强变形处裂缝的发育程

度明显强于侧翼(图 2),并且裂缝的连通性也较好。总体上北部断裂发育规模相对较大,而南部断裂发育规模相对较小,裂缝发育的程度也表现出北部比南部更为发育。

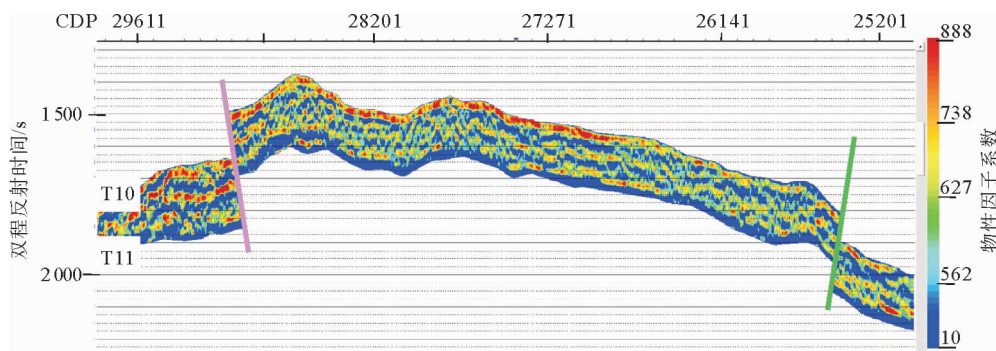


图 3 下石炭统和州组至下二叠统栖霞组物性因子剖面特征

Fig. 3 Characteristics of reservoir physical factor from Hezhou Formation of Lower Carboniferous to Qixia Formation of Lower Permian

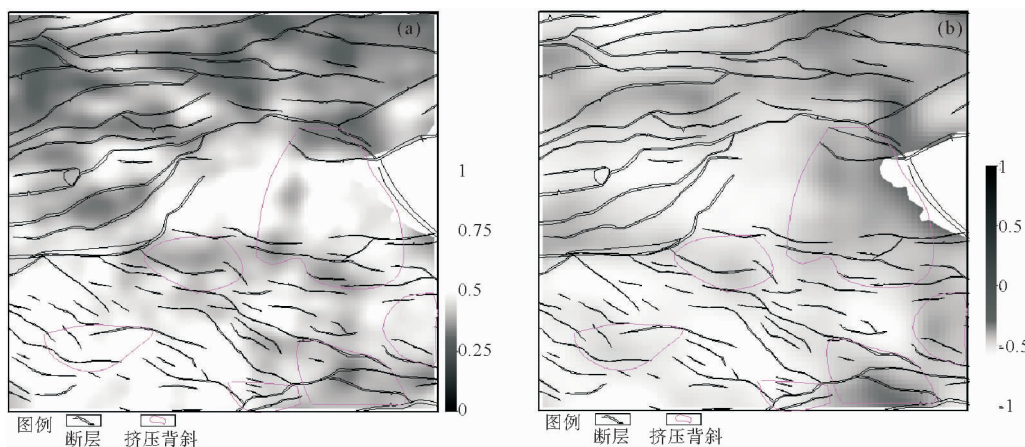


图 4 距下二叠统栖霞组顶面向下沿 70 ms 相干体(a)和蚂蚁体(b)分布预测图

Fig. 4 The predicted distribution map of coherent volume (a) and body (b) about 70 ms below the top surface of the Permian Qixia Formation

碳酸盐岩储层的综合储集空间主要由裂缝、孔洞、孔隙组成,部分可能受层面风化壳的影响,在多数地区裂缝型储层占据了重要的地位。但是由于受后期成岩作用的影响,部分裂缝将会被方解石、白云石等基质充填,形成无效裂缝,这在下扬子碳酸盐岩野外露头中得到了证实,裂缝多数被方解石充填。因此,本次研究采用综合储层物性因子进行储层物性预测,整体评价。储层物性因子预测结果显示,和州组—栖霞组有利储层发育区主要分布于南部(图 5),总体具有沿断裂带

发育方向分布,尤其在挤压背斜变形区。

综合分析认为,本次 3 种储层预测方法适合本区有利储层的预测,符合地质分布规律,成为本区有效的储层预测手段。

3 结论

崂山隆起下石炭统和州组至下二叠统栖霞组发育多套储层,栖霞组顶面风化壳储层发育;其储层发育明显受断裂和构造控制,裂缝的发育具有

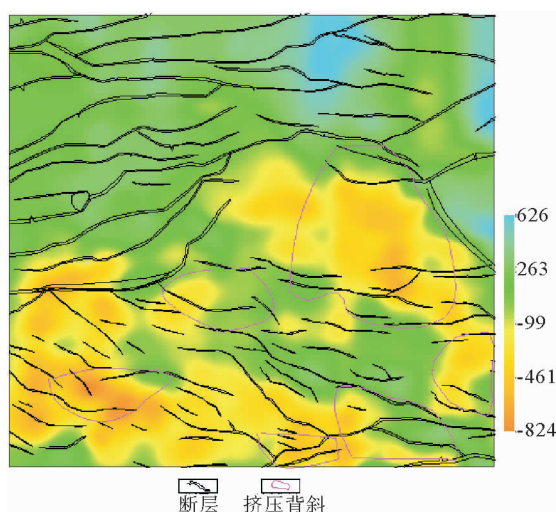


图5 下石炭统和州组至下二叠统栖霞组
物性因子分布预测

Fig. 5 The distribution map of physical factors from the Hezhou Formation of Lower Carboniferous to Qixia Formation of Lower Permian

沿断裂带分布的特点,且南部发育挤压背斜,在挤压背斜变形强烈区裂缝发育;综合储层评价认为,有利储层发育区主要分布于南部地区,且具有沿

断裂带发育方向分布的特点,尤其在挤压背斜变形区储层发育。

参考文献:

- [1] 赵挺,程海生,陆英.下扬子区中、古生界典型构造样式与油气勘探选区[J].复杂油气藏,2010,3(2):8-12.
- [2] 江怀友,宋新民,王元基,等.世界海相碳酸盐岩油气勘探发现状与展望[J].海洋石油,2011,31(4):6-13.
- [3] 徐曦,杨风丽,赵文芳.下扬子区海相中、古生界上油气成藏组合特征分析[J].海洋石油,2011,31(4):48-53.
- [4] 李亚辉,段宏亮,谈迎.下扬子区海相中、古生界地质结构分区及其油气勘探选区意义[J].地质力学学报,2010,16(3):272-279.
- [5] 蔡乾忠.叠横贯黄海的中朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系[J].石油与天然气地质,2005,26(2):185-190.
- [6] 谷明峰,徐美茹,周进高,等.叠前同时反演技术在碳酸盐岩储层预测中的应用[J].岩性油气藏,2013,25(2):60-62.
- [7] 汪忠德,薛诗桂,李红敬,等.油气地球物理解释技术研究新进展[J].地球物理学进展,2016,31(3):1188-1199.
- [8] 胡伟光.相干体技术在川东北油气勘探中的应用[J].物探化探计算技术,2010,32(3):260-264.
- [9] 徐森.基于蚂蚁体追踪的裂缝预测技术在静北地区的应用[J].内蒙古石油化工,2015,41(23/24):106-108.

RESERVOIR PREDICTION FOR DEPOSITS FROM HEZHOU FORMATION OF LOWER CARBONIFEROUS TO QIXIA FORMATION OF LOWER PERMIAN ON THE LAOSHAN UPLIFT OF THE SOUTH YELLOW SEA

ZHANG Yinguo^{1,2,3}, CHEN Jianwen^{2,3}, WU Shuyu^{2,3}, YUAN Chunfang⁴, ZHAO Yuhui⁵

(1 China University of Petroleum(Huadong), Qingdao 266580, China;

2 Key Laboratory of Marine Petroleum Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources,

Qingdao 266071, China; 3 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China;

4 China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 5 Beijing Intseis Solutions, Inc, Beijing 100102, China)

Abstract: Upon the basis of prestack time migration seismic data, coherent body, ant body and reservoir physical factors are applied to make reservoir prediction for the deposits from the Hezhou Formation of Lower Carboniferous to the Qixia Formation of the lower Permian at the Laoshan Uplift of the South Yellow Sea. Prediction results show that there are several sets of reservoirs in the studied sequence. Reservoir cracks are developed and distributed under the control of faults and tectonic extrusive deformation. There are more cracks in the northern fault zone and southern extrusive zone. The prediction based on the integrated response of reservoir shows that the most favorable reservoir is developed in the southern part of the uplift, mainly concentrated in the extrusive anticline zones and fault zones. The reservoir prediction results have provided a strong geological basis for the evaluation of the Laoshan Uplift and favorable target areas, and the methods used in the case are proven effective.

Key words: South Yellow Sea; Laoshan Uplift; coherent body; ant body; physical factor