

doi:10.3799/dqkx.2013.056

万昌地区永二段水下滑塌扇内上倾尖灭砂体识别

王晓龙¹, 石万忠^{1,2}, 何生^{1,2}, 易智星³, 武子钰⁴, 徐清海¹, 彭晓梦¹

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点试验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

3. 中国科学院力学研究所, 北京 100190

4. 河南油田物探技术研究院, 河南南阳 473132

摘要: 上倾尖灭型油气藏是岩性油气藏的基本类型之一。对上倾尖灭砂体的识别是岩性油气藏勘探的任务之一。在对比单一利用地震资料、地震属性和波阻抗反演等方法进行砂体识别的优缺点后, 提出运用波阻抗和瞬时相位相叠合的新方法对砂体进行识别。运用此方法, 对万昌地区水下滑塌扇内部上倾尖灭砂体进行了精细解释和分析, 得出以下结论: (1) 通过钻井岩心识别沉积相类型, 结合均方根振幅属性和同沉积断层分布情况, 可以准确地确定伊通盆地万昌地区永二段水下滑塌扇的分布范围; (2) 用波阻抗和瞬时相位属性联合的方法对水下滑塌扇内部上倾尖灭砂体进行识别取得了较好的效果, 万昌地区 WC1 井附近水下滑塌扇内至少有两期最具油气勘探价值的上倾尖灭砂体。

关键词: 水下滑塌扇; 上倾尖灭砂体; 波阻抗; 瞬时相位; 万昌地区; 伊通盆地; 地震; 油气藏。

中图分类号: P618; P631.4

文章编号: 1000-2383(2013)03-0561-12

收稿日期: 2012-05-05

Identifying Updip Pinch-Out Sandstone in Subaqueous Slump Fans of Yonger Member Using Acoustic Impedance and Instantaneous Phase in Wanchang Area, Yitong Basin

WANG Xiao-long¹, SHI Wan-zhong^{1,2}, HE Sheng^{1,2}, YI Zhi-xing³,
WU Zi-yu⁴, XU Qing-hai¹, PENG Xiao-meng¹

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

4. Henan Oil Field Geophysical Exploration Research Institute, Nanyang 473132, China

Abstract: Updip pinch-out reservoir is one of the lithologic reservoirs. Identifying updip pinch-out reservoir is a major task of lithological reservoir exploration. In this study, analysis of the 3D seismic reflection, instantaneous phase and acoustic impedance is conducted to identify and interpret the sandstone. It is found that the combined data of acoustic impedance and the instantaneous phase has better detectability and is more reliable indicator of the sandstone distribution than any of these individual seismic data including the 3D seismic reflection, instantaneous phase and acoustic impedance. In Wanchang area, combined analysis of the acoustic impedance and instantaneous phase in the subaqueous slump fans is a valid approach for identifying and interpreting the updip pinch-out sandstone. Two major findings are as follows: (1) Combined analysis of the cores, seismic attribution and the distribution of the synsedimentary faults could exactly identify the distribution of the subaqueous slump fans in the Wanchang area. (2) After identifying updip pinch-out sandstone in subaqueous slump fans using acoustic impedance and the instantaneous phase in the Wanchang area, there are at least two stages updip pinch-out sandstone near well WC1 in subaqueous slump fans which are most potential in Wanchang area.

Key words: subaqueous slump fans; updip pinch-out sandstone; acoustic impedance; instantaneous phase; Wanchang area; Yitong Basin; earthquake; oil and gas reservoirs.

基金项目: 中国近海新生代盆地演化与油气聚集项目; 国家油气重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(No. 2011ZX05006-002).

作者简介: 王晓龙(1985-), 男, 博士研究生, 主要研究地震地质综合解释. E-mail: xiaolong_cattle@126.com

0 前言

岩性油气藏在我国陆上油气储量和产量中占有重要地位,是未来主要勘探对象之一(贾承造等,2004;赵政璋等,2004)。实践证明,地震储集层预测技术是岩性油气藏勘探的核心技术之一(王宁等,2000;贾承造等,2004;张本琪等,2004;邹才能等,2004;匡立春等,2005;单俊峰等,2005;窦欣等,2006;冯有良和徐秀生,2006;王西文等,2006;高先志等,2007;李建华等,2011;尹微等,2011)。地震储集层预测的关键是对砂体的识别(李明等,2005;Shi *et al.*, 2012)。上倾尖灭型油气藏是岩性油气藏的基本类型之一(李明等,2005)。因此,对上倾尖灭型砂体的识别是岩性油气藏勘探的主要目标之一。

波阻抗反演和地震属性技术用于砂体识别,取得了很好的应用效果(贾承造等,2004;Klefstad *et al.*, 2005; Georgoudas *et al.*, 2011; Lacopini and Butler, 2011; Rezvandehe *et al.*, 2011)。波阻抗在纵向上有很高的分辨率,对砂体期次识别较精细,而对上倾尖灭砂体的侧向尖灭点反映不清楚;地震属性来源于地震资料,继承了地震资料侧向连续性较好的优点,在砂体识别方面,对砂体的侧向尖灭点反映较清楚,但其纵向识别的精度较低。因此,单一运用波阻抗反演或者地震属性技术都无法达到对砂体精细刻画的目的,急需一种新的方法能够在准确划分砂体纵向期次的基础上同时对上倾尖灭砂体的侧向尖灭点进行准确地识别。

本文针对岩性油气藏勘探的目标,提出了运用波阻抗和瞬时相位属性相叠合的新方法对伊通盆地万昌地区永二段水下塌扇内上倾尖灭砂体进行识别。在纵向上,主要利用波阻抗分辨率高的优点划分砂体期次;在侧向上,运用瞬时相位属性尖灭点清楚的优点来确定水下塌扇内砂体侧向分布范围。此种方法大大提高了砂体识别的精度。这为伊通盆地万昌地区岩性油气藏勘探开发提供了必要的技术指导。

1 区域地质背景

伊通盆地位于吉林省长春市和吉林市之间,沿 NE 向纵穿吉林省中部,呈 $45^{\circ}\sim 55^{\circ}$ NE 方向狭长展布。盆地被两条 NE 向的边界断裂所夹持,可分为东南缘边界断裂和西北缘边界断裂。西部是大黑山,东

部是那丹哈达岭。依据断裂活动情况、地层厚度、岩性组合等,从北向南依次划分为岔路河凹陷、鹿乡凹陷和莫里青凹陷 3 个二级构造单元(童亨茂,2002)(图 1a)。盆地内进一步划分为:靠山凹陷、马鞍山凹陷、尖山隆起带、大南凹陷、五星构造带、梁家构造带、新安堡凹陷、万昌构造带、波太凹陷、孤店斜坡带共 10 个三级构造单元(石万忠等,2008)。研究区主要为伊通盆地内万昌构造带附近的万昌地区。从万昌地区永二段等 T0 构造图分析知(图 1c):万昌构造带被近 NE 向的两条边界断层夹持,靠近东南缘边界断层附近为万昌隆起区;向盆地方向,构造等值线值依次增大,紧靠万昌隆起区的是万昌围斜带。万昌构造带总体地势为靠近东南缘边界断层处的万昌隆起区最高,到万昌围斜带地势逐渐变缓,向盆地方向地势依次降低,直至西北缘边界断层附近,盆地内断层主要呈近 EW 向分布(江涛等,2009;唐大卿等,2009)。钻井资料揭示盆地自下而上主要发育地层有前第三系、双阳组、奢岭组、永吉组、万昌组、齐家组、岔路河组和第四系(李献甫等,2002;王剑等,2007)(图 1b)。伊通盆地的勘探成果表明:在双阳组一段主要发育灰色、灰黑色泥岩,双阳组以上地层砂岩厚度逐渐增加。双阳组为主要的油气勘探目的层段(李本才等,2009;唐大卿等,2010)。万昌构造带附近从双阳组到永吉组均发育众多重力流沉积,这些重力流沉积具有良好的油气勘探前景(王旭丽等,2008)。

2 水下塌扇内部砂体识别的思路和方法

2.1 永二段水下塌扇的分布特征

2.1.1 水下塌扇的识别 沉积环境是确定沉积相类型的基础。C15-WC1-C34 井连井剖面显示(图 2):万昌隆起区的 C15 井永二段岩性组合主要为砂砾岩、粉砂岩、泥岩等,颜色均为灰白色。自然伽马和电阻率测井曲线均显示为锯齿状。这说明万昌隆起区永二段沉积环境为近岸沉积环境。万昌围斜带的 WC1 井揭示永二段泥岩颜色为灰黑色,岩性组合以砂砾岩、含砾不等粒砂岩、细砂岩等为主,夹有粉砂岩、泥岩等。电阻率曲线为指状,自然电位曲线为锯齿状。C34 井岩性组合以灰黑色泥岩为主,夹少量灰色细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩等。因此万昌围斜带附近应为深水沉积环境,并且 C34 井附近较 WC1

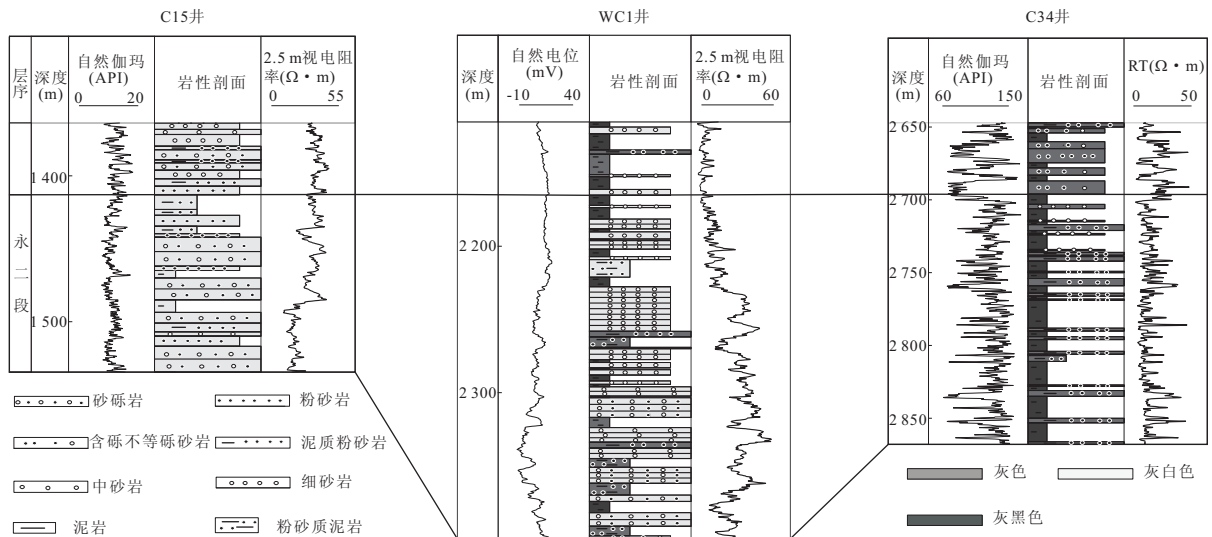


图 2 伊通盆地万昌地区 C15-WC1-C34 井连进剖面

Fig. 2 Well C15-well WC1-well C34 well correlation profiles showing the lithological and sedimentary characteristics of the Yonger Member

识别出沉积相类型(图 3)。在万昌隆起区的钻井岩心资料(C17 井、C15 井)揭示其主要为滑塌变形构造、递变层理的鲍玛序列 ABC 段等沉积构造特征。而在万昌围斜带附近钻井资料(C27 井、WC1 井)显示多为典型冲刷面、鲍玛序列、沙纹层理和滑塌变形构造等。这些都是典型重力滑塌沉积的特征。不同的是在万昌隆起区的重力流特征为砂、泥及泥质团块混杂堆积沉积,颗粒粒度较大,离物源较近;而在万昌围斜带的重力流沉积特征为砂泥岩粒度较细,分选较好,搬运距离较远。依据这些重力流沉积位置、水深环境、岩性组合等差异可以确定万昌隆起区沉积相类型为近岸水下扇,万昌围斜带为水下扇。

依据上文分析结论并结合前人研究结果可知,万昌构造带附近从双阳组到永吉组均发育众多重力流沉积。依据其沉积位置、水深环境、岩性组合等差异可区分为近岸水下扇和水下滑塌扇(王旭丽等, 2008; Shi *et al.*, 2012)。水下滑塌扇内部砂体更具勘探潜力(Shi *et al.*, 2012),因此本文将对水下滑塌扇进行重点讨论。

2.1.2 永二段水下滑塌扇的分布范围 基于砂、泥岩不同的地震响应特征,地震属性是确定水下滑塌扇平面分布范围的有效手段(李明等, 2005; Chopra and Marfurt, 2008)。本文以现有三维地震资料为基础,在等时地层格架内提取了层间均方根振幅、瞬时频率、最大振幅等地震属性。通过与钻井揭示的砂岩百分含量的对比,优选了均方根振幅属性作为确定水下滑塌扇平面分布范围的一个依据(图 4)。钻井

资料统计的砂岩百分比和均方根振幅属性显示均方根振幅值较大区域对应的砂岩的百分含量较高;而均方根振幅值较小的区域对应的砂岩的百分含量较低。这说明均方根振幅属性能够较好地反映砂岩含量。而在伊通盆地万昌地区,不同的砂岩含量分别对应近岸水下扇和水下滑塌扇沉积相类型。因此,均方根振幅值的大小可作为沉积相平面分布的一个重要依据。

沉积相分布还受到盆地内断层的影响,特别是同沉积断层对砂体的控制作用(王燮培等, 1990; Shi *et al.*, 2012)。伊通盆地为走滑性质的盆地,走滑作用是盆地内一系列张性断层形成的原因(童亨茂, 2002; 江涛等, 2009; 唐大卿等, 2009)。这些走滑派生的盆内同沉积断层对沉积相分布有明显的控制作用(池英柳和赵文智, 2000; 张亚敏等, 2002; 梁富康等, 2011; Shi *et al.*, 2012)。利用万昌地区三维地震资料的解释成果,根据同沉积断层下降盘厚度大于上升盘厚度的原则,对万昌地区永二段同沉积断层进行了识别。制作了万昌地区永二段同沉积断层分布和均方根振幅属性叠合图显示(图 4):在万昌围斜带附近,均方根振幅属性的高值区域成朵状或者条带状的终止于盆地中央。同沉积断层对均方根振幅属性的高值区域有明显的控制作用。在万昌围斜带附近,均方根振幅高值区域沿着近乎平行与同沉积断层走向的方向分布。这说明同沉积断层对砂体的疏导作用(王晓龙等, 2013)。

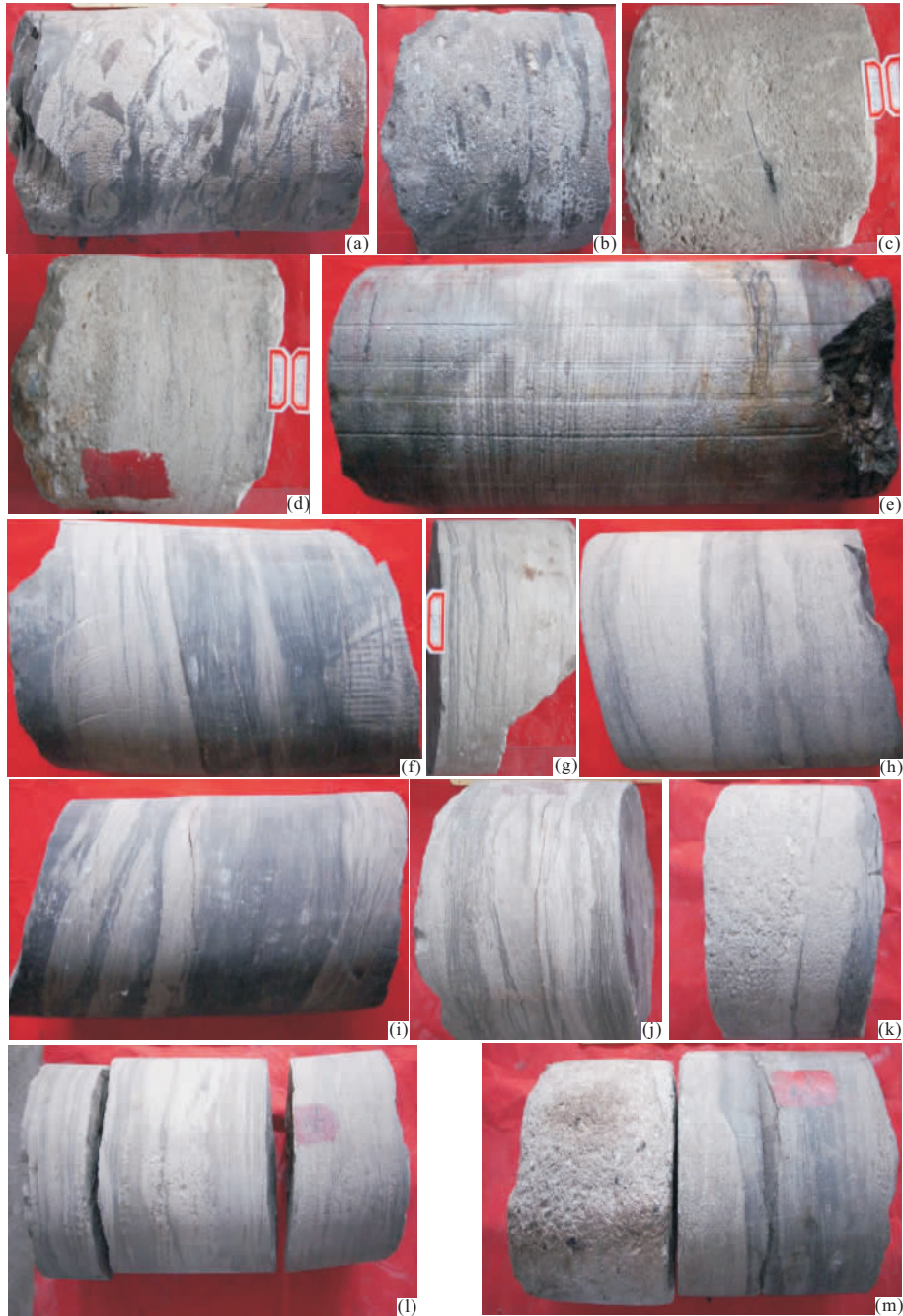


图 3 伊通盆地万昌地区水下滑塌扇和近岸水下扇的岩心沉积构造特征

Fig. 3 Core photographs showing sedimentary characteristics of the nearshore subaqueous fan and subaqueous slump fan deposition in the Wanchang area

a. C17 井, 1 945 m, 滑塌变形, 砂、泥及泥质团块混杂堆积, 近岸水下扇; b. C17 井, 1 939 m, 滑塌变形, 砂、泥及泥质团块混杂堆积, 近岸水下扇; c. C15 井, 1 647. 15 m, 鲍玛序列 A 段, 递变层理, 近岸水下扇; d. C15 井, 1 640. 47 m, 鲍玛序列 A 段, 递变层理, 近岸水下扇; e. C27 井, 3 487 m, 沙纹层理, 水下滑塌扇; f. C27 井, 2 053 m, 水下滑塌扇, 沙纹层理; g. C15 井, 1 640 m, 鲍玛序列 BC 段, 平行层理细砂岩段(B)+沙纹层理粉砂岩段(C), 近岸水下扇; h. C27 井, 3 742 m, 沙纹层理, 水下滑塌扇; i. C27 井, 3 497 m, 沙纹层理, 水下滑塌扇; j. WC1 井, 2 812. 20 m, 沙纹层理, 水下滑塌扇; k. WC1 井, 2 612 m, 水下滑塌扇冲刷面; l. WC1 井, 2 685. 70 m, 水下滑塌扇, 变形构造; m. WC1 井, 2 693 m, 鲍玛序列 ABC 段, 水下滑塌扇

综合以上均方根振幅属性、砂岩百分含量和同沉积断层分布信息, 制作了万昌地区永二段沉积相分布图(图 5)。图中显示近岸水下扇沿着伊通盆地

东南缘边界断层向盆地中央沉积, 主要分布范围为万昌隆起区附近。而到了万昌围斜带附近, 水下滑塌扇呈长条状或者朵状向盆地中央沉积。C23 井附近,

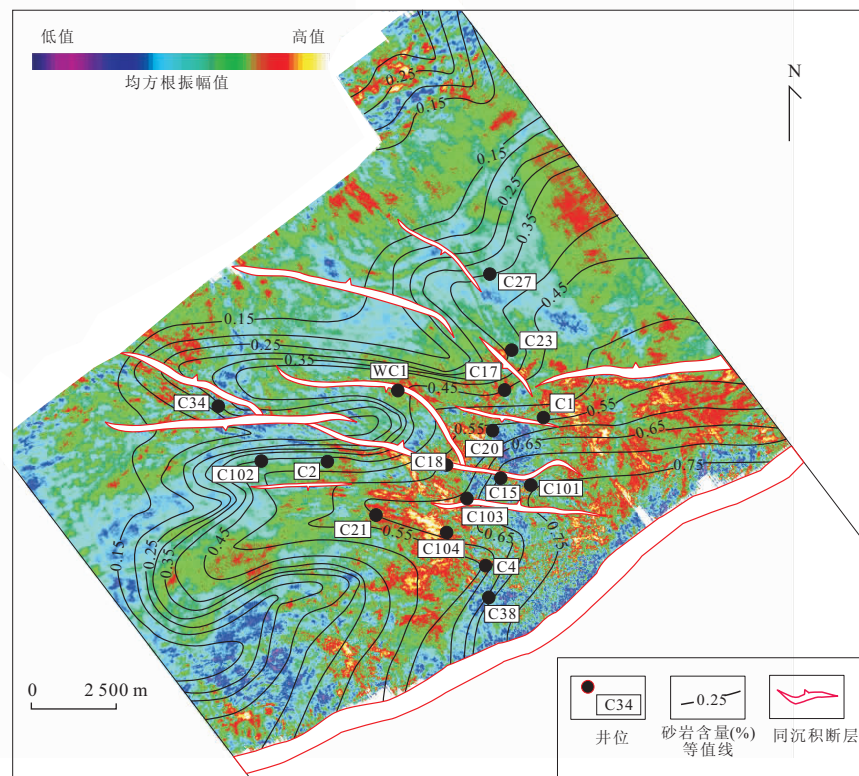


图 4 伊通盆地万昌地区永二段均方根振幅属性、砂岩百分比和同沉积断层分布叠合图

Fig. 4 Sandstone distribution of the Yonger Member constructed from seismic attributes, synsedimentary faults and well sandstone percentage data, Wanchang area Yitong Basin

水下塌扇沿着两条同沉积断层的下降盘控制的范围进行沉积. WC1 井和 C2 井附近, 同沉积断层对水下塌扇有一定的疏导作用. 下文将对万昌地区 WC1 井附近发育的水下塌扇内部上倾尖灭砂体进行描述.

2.2 上倾尖灭砂体识别方法讨论

2.2.1 基于地震资料进行砂体识别

基于三维地震资料, 利用近岸水下扇和水下塌扇不同的地震相特征, 可以对近岸水下扇或者水下塌扇的可能分布范围进行定性的确定. 在 WC1 井附近顺物源方向的地震剖面上(图 6a), 近岸水下扇外扇表现出明显的不同于围岩的地震相特征: 其振幅较强, 内部同相轴较平行, 连续性较好, 有前积现象, 整个近岸水下扇外扇扇体与围岩有明显夹角; 而水下塌扇的地震相特征有所不同, 主要表现为: 水下塌扇扇体根部同相轴不连续, 频率较小, 主要由于扇体根部动力较强; 而远离扇根部分, 扇体内部同相轴较平行, 整个扇体与围岩有夹角.

用地震资料进行砂体识别, 主要是通过分析地震相特征来确定砂体的分布. 但是其分辨率较低, 无

论是在砂体纵向期次还是在砂体侧向尖灭位置都不能有效的确定. 因此, 利用三维地震资料很难对水下塌扇内部砂体进行解析.

2.2.2 基于瞬时相位属性进行砂体识别

随着地震资料处理技术的提高和地震属性技术的广泛应用, 应用地震属性预测或识别储集层的展布特征已经被广泛应用于油气勘探与开发中(李明等, 2005; Georgoudas et al., 2011; Rezvande et al., 2011). 瞬时相位是侧向连续性最好的指示参数, 可以利用瞬时相位侧向分辨率较好的特点来识别砂体的侧向尖灭点(Taner et al., 1979; Shi et al., 2012).

WC1 井附近顺物源方向的相位剖面显示(图 6b): 水下塌扇扇体内部相位同相轴表现出明显的不连续现象, 即相位同相轴会出现错断、分叉或者合并等. 这些同相轴在侧向上表现出的间断或者分叉等现象是水下塌扇内部砂体侧向尖灭点的标志. 因此, 基于瞬时相位属性进行砂体识别主要是利用水下塌扇扇体内部相位同相轴表现出来的不连续性来确定砂体侧向尖灭位置. 与常规三维地震资

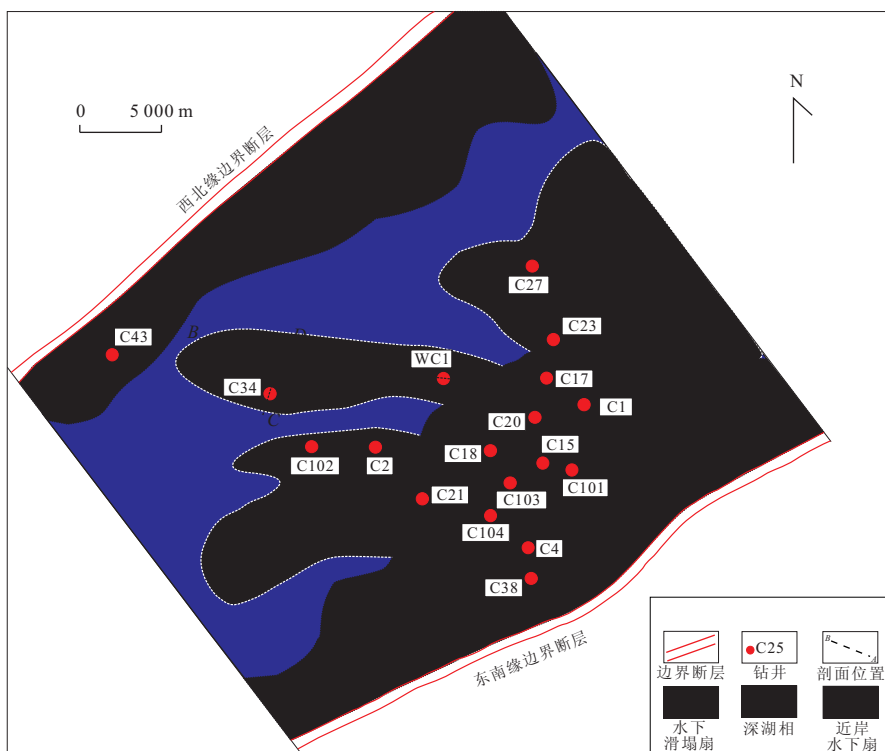


图 5 伊通盆地万昌地区永二段沉积相分布

Fig. 5 Depositional facies of the Yonger Member, Wanchang area Yitong Basin

料相比,这大大提高了对砂体识别的侧向分辨率.但是由于这种方法对砂体纵向差异性的响应特征不明显,所以砂体的纵向期次较难识别,这仍是基于地震属性识别砂体的一个不足.

2.2.3 基于波阻抗反演进行砂体识别 波阻抗反演是基于钻井资料与地震资料的联合反演,具有钻井资料纵向分辨率高的特点,因此从反演原理上来看,在划分纵向期次方面,波阻抗对砂体的分辨率远高于常规地震资料和瞬时相位的识别精度(李明等, 2005; Shi *et al.*, 2012).

根据现有资料和前人研究成果知:伊通盆地万昌地区砂岩和粉砂岩的速度大于泥岩的速度,砂岩可以通过波阻抗值区分开(唐大卿等,2010).因此伊通盆地万昌地区波阻抗特征可以较好地区分研究区内的砂岩.在 WC1 井顺物源方向上的波阻抗剖面上,水下滑塌扇内部高波阻抗值代表砂岩,低波阻抗值代表泥岩(图 6c).在 WC1 井附近,波阻抗值极高,纵向上砂体厚度较大,每期砂体之间几乎相互连通.因此,不易区分砂体纵向期次;而在向盆地方向上,水下滑塌扇内部明显可见高波阻抗轴之间夹有低波阻抗轴,说明在水下滑塌扇向盆地方向不断延伸的过程中,扇体内部砂体厚度不断减小,并且每期

砂体在纵向上能互相区分开.这就是基于波阻抗反演进行砂体识别的优点:能对砂体的纵向期次进行划分.这种砂体识别方法的缺点主要为:对识别出的不同期次的砂体的侧向尖灭点的特征反映不够准确.因此,需要综合其他信息才能对不同期次砂体进行准确识别.

2.2.4 利用声波阻抗和瞬时相位属性联合解释砂体 综上所述,在对砂体进行识别时,常规地震资料在解析砂体内部结构方面分辨率较低;瞬时相位具有侧向分辨率高的优点,但是纵向上不能对砂体期次进行准确划分;而波阻抗具有纵向分辨率高的优点,但是对砂体的侧向尖灭点反映不够准确.因此,单一利用三维地震资料、瞬时相位属性或者波阻抗反演资料都不能精细准确地识别万昌地区水下塌扇内部砂体.需要在方法上进行创新,才能对水下塌扇内部砂体进行解析.

本文在综合分析了现有资料和前人有关砂体预测成果的基础上,提出了运用瞬时相位和波阻抗反演联合的方法对伊通盆地万昌地区水下塌扇内部砂体进行识别.这种方法结合了瞬时相位属性侧向分辨率高和波阻抗纵向分辨率高的优点,实现了对水下塌扇内部砂体的精细解析.

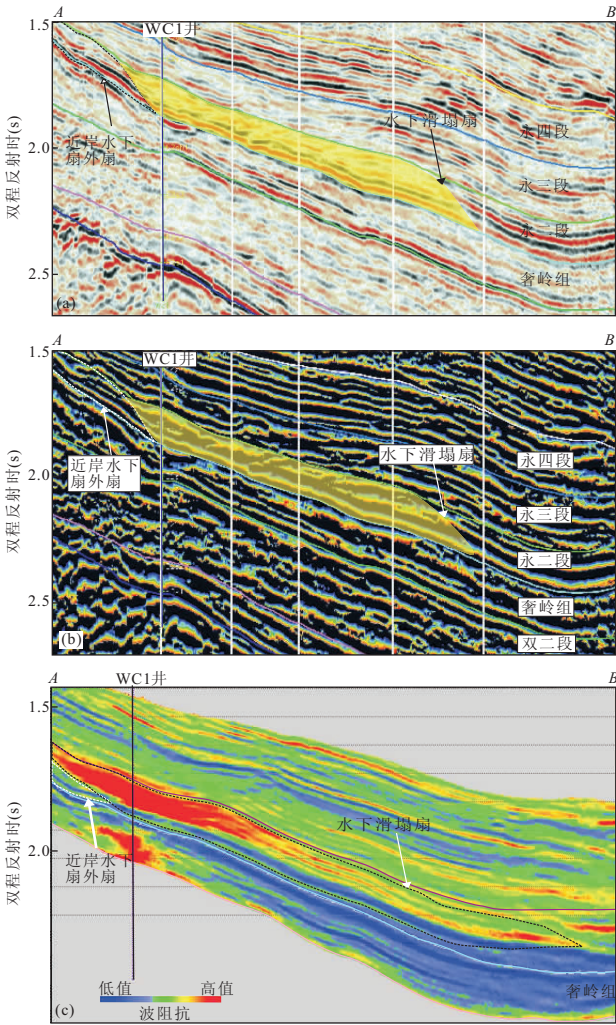


图 6 顺物源方向的地震剖面(a)、瞬时相位剖面(b)和波阻抗剖面(c)识别水下滑塌扇

Fig. 6 Subaqueous slump fan shown based on 3D seismic reflection data (a), instantaneous phase (b) and acoustic impedance (c) cross-sections

在 WC1 井附近,顺着物源方向的波阻抗和瞬时相位叠合剖面上(图 7),高波阻抗值代表砂岩沉积,低波阻抗值代表泥岩沉积.纵向上,在水下滑塌扇中扇内部明显可区分多条高波阻抗轴,分别代表了不同期次的砂体.同时,在水下滑塌扇内部高波阻抗值对应的相位同相轴在侧向上都会发生错断或者合并尖灭等现象,这些现象都代表了砂体在侧向上的尖灭位置.因此,侧向上通过瞬时相位同相轴的变化可以准确地识别出砂体的侧向尖灭点.这种波阻抗与瞬时相位联合解析水下滑塌扇内部砂体的方法具有明显的优越性,既能在纵向上对砂体的期次进行准确确定,又能在侧向上对砂体的尖灭点进行识别,大大提高了砂体预测的精度.基于此种方法,对

水下滑塌扇内部不同期次砂体进行连续追踪解释,可对砂体进行精细的描述.

3 水下滑塌扇内上倾尖灭砂体识别

3.1 基于波阻抗与瞬时相位属性联合识别上倾尖灭砂体

前已论述,在伊通盆地万昌地区基于波阻抗和瞬时相位属性联合识别砂体是一种行之有效的新方法.运用波阻抗和瞬时相位属性联合的方法,可以在水下滑塌扇内部识别出多期侧向尖灭点明显的砂体(图 7b),但并不是水下滑塌扇内每期砂体都具有实际勘探的意义.内扇中的砂体多与 WC1 井砂体连通,不具油气勘探价值;外扇中的砂体靠近盆地中央深水区,砂岩百分含量较小.因此,针对岩性油气藏勘探的目标,优选了水下滑塌扇中扇内部上倾尖灭砂体进行刻画,即优选了水下滑塌扇中扇内的①、②两期砂体进行精细解释和分析.

在顺着物源方向的波阻抗和瞬时相位叠合剖面上(图 7),可见明显的上倾尖灭砂体的上倾尖灭点.

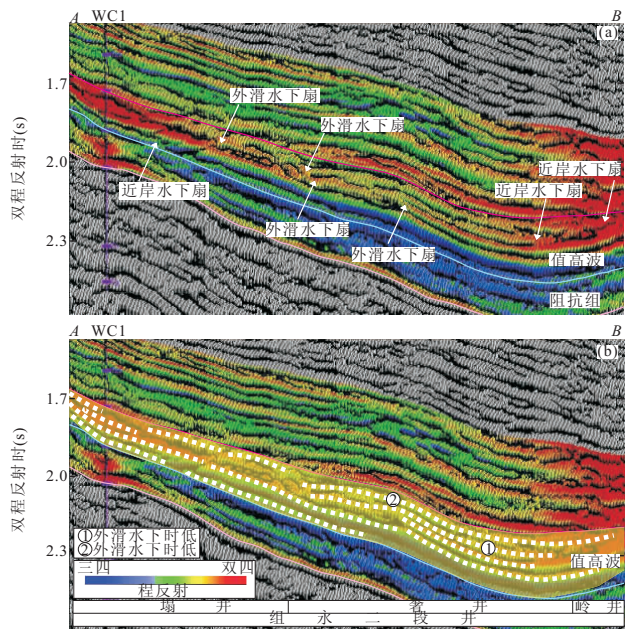


图 7 WC1 井附近顺物源方向水下滑塌扇内上倾尖灭砂体在波阻抗和瞬时相位叠合剖面图上的解释(a 为未解释剖面; b 为解释剖面)

Fig. 7 Uninterpreted (a) and interpreted (b) sandstone package along the sedimentary provenance direction in the subaqueous slump fan as determined by the acoustic impedance and instantaneous phase data, near well WC1

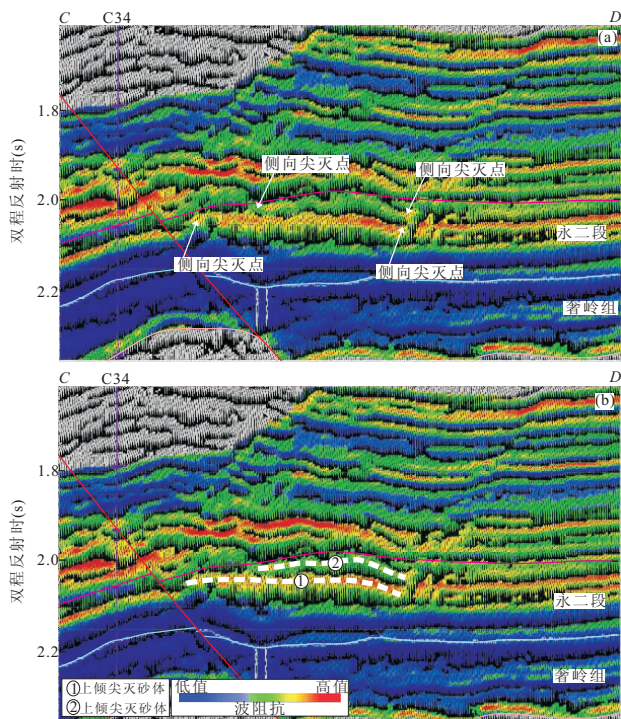


图 8 WC1 井附近垂直物源方向水下塌扇内上倾尖灭砂体在波阻抗和瞬时相位叠合剖面图上的解释(a 为未解释剖面;b 为解释剖面)

Fig. 8 Uninterpreted (a) and interpreted (b) sandstones package across the sedimentary provenance direction in the subaqueous slump fan as determined by the acoustic impedance and instantaneous phase data, near well WC1

①砂体上倾尖灭点和侧向尖灭点特征很清晰,在上倾方向与内扇中的砂体不连通;②砂体上倾尖灭点和侧向尖灭点特征很清晰,在上倾方向与内扇中的砂体不连通,在盆地方向延伸较远.由于①、②两期上倾尖灭砂体上倾尖灭点和侧向尖灭点都能够较好地反映出来,因此在顺着物源方向上,这两期上倾尖灭砂体能够较好地被追踪解释.

在垂直物源方向上,波阻抗和瞬时相位属性叠合剖面也能够较好的反映①、②两期上倾尖灭砂体的尖灭点(图 8).因此,在垂直物源方向上,这两期砂体也能够较容易地追踪解释.

基于波阻抗和瞬时相位叠合剖面,在顺着物源和垂直物源方向上,水下塌扇内部①、②两期上倾尖灭砂体可以分别被准确地识别出来.

3.2 上倾尖灭砂体描述

运用波阻抗和瞬时相位属性联合的方法,分别沿着顺着物源和垂直物源两个方向的波阻抗和瞬时相位叠合剖面,对伊通盆地万昌地区 WC1 井附近

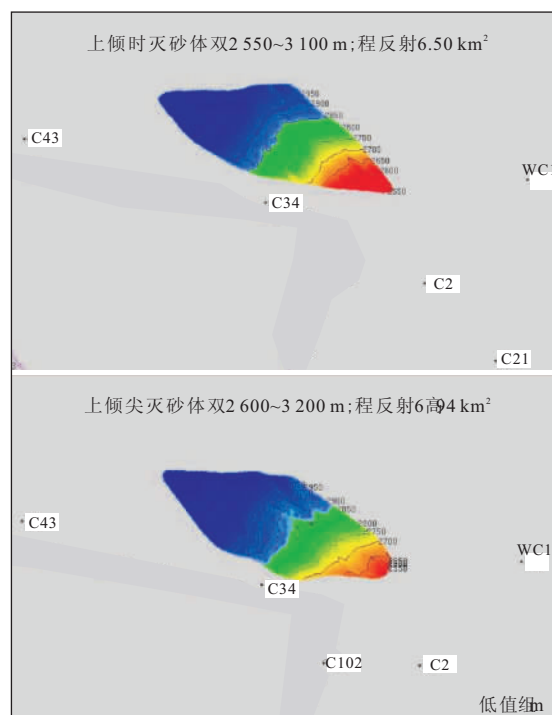


图 9 万昌地区 WC1 井附近水下塌扇中扇内①和②期上倾尖灭砂体埋深

Fig. 9 The area and burial depth of the two updip pinch-out sandstones in subaqueous slump fans of Yonger Member, near well WC1

水下塌扇内部最具勘探潜力的①、②两期上倾尖灭砂体进行高密度追踪闭合解释.然后经过相应的时深转换,得到了①、②两期上倾尖灭砂体的埋深图(图 9).①期砂体的埋深范围为 2 600~3 200 m,分布面积为 6.94 km²;②期砂体的埋深范围为 2 550~3 100 m,分布面积为 6.50 km².发育于伊通盆地万昌地区 WC1 井附近水下塌扇中扇内的①、②两期上倾尖灭砂体表现出的共同特征为:在顺着物源方向上,上倾尖灭砂体埋深越来越大,平面形态呈不规则条带状.

4 结论

(1)通过钻井岩心识别沉积相类型,结合均方根振幅属性和同沉积断层分布情况,可以准确地确定伊通盆地万昌地区永二段水下塌扇的分布范围.单一的运用地震资料、波阻抗反演或者地震属性技术都无法达到对砂体精细刻画的目的.

(2)基于波阻抗和瞬时相位属性联合对水下塌扇内部上倾尖灭砂体进行识别是一种行之有效的新方法.

致谢:本文的研究工作得到了中石油吉林油田分公司方面苗洪波、邱玉超、程利远等各位同仁的无私帮助,在此表示感谢!

References

- Chi, Y. L., Zhao, W. Z., 2000. Strike-Slip Deformation during the Cenozoic and Its Influence on Hydrocarbon Accumulation in the Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 21(2): 14–20(in Chinese with English abstract).
- Chopra, S., Marfurt, K. J., 2008. Introduction to This Special Section—Seismic Attributes. *The Leading Edge*, 27(3): 296–297. doi:10.1190/1.2896619
- Dou, X., Chen, Z. Y., Li, C., et al., 2006. Reservoir Characteristics and Identification Techniques of Lower Tertiary Lithological Reservoirs around Well Qi 62, Western Liaohe Sag. *Petroleum Exploration and Development*, 33(4): 412–415(in Chinese with English abstract).
- Duranti, D., Hurst, A., 2004. Fluidization and Injection in the Deep-Water Sandstones of the Eocene Alba Formation(UK North Sea). *Sedimentology*, 51(3): 503–529. doi:10.1111/j.1365-3091.2004.00634.x
- Feng, Y. L., Xu, X. S., 2006. Syndepositional Structural Slope-Break Zone Controls on Lithologic Reservoirs: A Case from Paleogene Bohai Bay Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 33(1): 22–25(in Chinese with English abstract).
- Gao, X. Z., Li, X. G., Li, J. S., et al., 2007. Sandstone Distribution Pattern and the Exploration of Lithologic Reservoirs in the Es₃ Member of Xinglongtai Area, Liaohe Depression. *Petroleum Exploration and Development*, 34(2): 187–189(in Chinese with English abstract).
- Georgoudas, I. G., Sirakoulis, G. C., Scordilis, E. M., et al., 2011. Parametric Optimization in a 2-D Cellular Automata Model of Fundamental Seismic Attributes with the Use of Genetic Algorithms. *Advances in Engineering Software*, 42(9): 623–633. doi:10.1016/j.advengsoft.2011.04.003
- Jia, C. Z., Zhao, W. Z., Zou, C. N., et al., 2004. Two Key Technologies about Exploration of Stratigraphic/Lithological Reservoirs. *Petroleum Exploration and Development*, 31(3): 3–9(in Chinese with English abstract).
- Klefstad, L., Kvarsvik, S., Ringås, J. E., et al., 2005. Characterization of Deeply Buried Heterolithic Tidal Reservoirs in the Smorbukk Field Using Inverted Post-Stack Seismic Acoustic Impedance. *Petroleum Geoscience*, 11(1): 47–56. doi:10.1144/1354-079304-630
- Kuang, L. C., Lv, H. T., Qi, X. F., et al., 2005. Exploration and Targets for Lithologic Reservoirs in Junggar Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 32(6): 32–37(in Chinese with English abstract).
- Lacopini, D., Butler, R. W. H., 2011. Imaging Deformation in Submarine Thrust Belts Using Seismic Attributes. *Earth and Planetary Science Letters*, 302(3–4): 414–422. doi:10.1016/j.epsl.2010.12.041
- Li, B. C., Sun, K., Bai, H. B., et al., 2009. Sequence Stratigraphic Framework and Sequence Components of the Yitong Basin. *Lithologic Reservoirs*, 21(4): 28–31(in Chinese with English abstract).
- Li, J. H., Pang, X. Q., Song, B., et al., 2011. A New Quantitative Prediction Method for Lithologic Reservoirs Distribution: A Case from the Damintnu Sag. *Petroleum Exploration and Development*, 38(6): 756–763(in Chinese with English abstract).
- Li, M., Hou, L. H., Zou, C. N., et al., 2005. Lithologic Stratigraphic Reservoirs Geophysical Exploration Technology and Application. Petroleum Industry Press, Beijing, 52–146(in Chinese).
- Li, X. F., Chen, Q. M., Zhang, X. H., et al., 2002. The Yitong Graben—the Structural Features and Evolution of a Strike-Slip Fault Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 24(1): 19–24(in Chinese with English abstract).
- Liang, F. K., Yu, X. H., Li, X. P., et al., 2011. Growth Faults in Shenxian Depression and Their Control over the Sedimentation. *Geology in China*, 38(2): 263–270(in Chinese with English abstract).
- Rezvandehy, M., Aghababaei, H., Raissi, S. H. T., 2011. Integrating Seismic Attributes in the Accurate Modeling of Geological Structures and Determining the Storage of the Gas Reservoir in Gorgan Plain (North of Iran). *Journal of Applied Geophysics*, 73(3): 187–195. doi:10.1016/j.jappgeo.2010.12.008
- Shan, J. F., Chen, Z. Y., Hui, X. F., 2005. Forming Conditions of Lithologic Reservoir in Transition Zone of Western Liaohe Depression. *Petroleum Exploration and Development*, 32(6): 42–45(in Chinese with English abstract).
- Shanmugam, G., Shrivastava, S. K., Das, B., 2009. Sandy Debris and Tidalites of Pliocene Reservoir Sands in Upper-Slope Canyon Environments, Offshore Krishna-Godavari Basin (India): Implications. *Journal of Sedimentary Research*, 79(9): 736–756. doi:10.2110/jsr.2009.076
- Shi, W. Z., Kong, M., Song, Z. F., 2008. Multi-Provenance Fan Delta in the Sheling Formation, Liangjia Area, Yitong Basin, China. *Earth Science—Journal of China*

- University of Geosciences*, 33(3): 365—370(in Chinese with English abstract).
- Shi, W. Z., Zhao, Z. K., Jiang, T., et al., 2012. Identifying Updip Pinch-Out Sandstone in Nearshore Subaqueous Fans Using Acoustic Impedance and the Instantaneous Phase in the Liangjia Area, Yitong Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 30(1): 32—42. doi:10.1016/j.marpetgeo.2011.10.010
- Taner, M. T., Koehler, F., Sheriff, R. E., 1979. Complex Seismic Trace Analysis. *Geophysics*, 44(6): 1041—1063. doi:10.1190/1.1440994
- Tang, D. Q., He, S., Chen, H. H., et al., 2009. Fault System's Characteristics of Yitong Basin and Its Evolution. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(3): 386—396 (in Chinese with English abstract).
- Tang, D. Q., Chen, H. H., Sun, J. Z., et al., 2010. Cenozoic Tectonic Evolution of the Yitong Part of the Tan Lu Fault Zone and Its Control on Yitong Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 34(3): 340—348 (in Chinese with English abstract).
- Tong, H. M., 2002. The Property and Evolution of Boundary Faults of Yitong Graben. *Journal of Geomechanics*, 8(1): 35—42 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J., Xu, X. J., Chen, X. Y., et al., 2007. Structural and Sedimentary Features and Types of Hydrocarbon Reservoir in Southern Chaluhe Fault Depression of Yitong Graben. *Global Geology*, 26(2): 240—244 (in Chinese with English abstract).
- Wang, N., Chen, B. N., Zai, J. F., 2000. Reservoir Forming Index for the Lithological Oil Reservoir. *Petroleum Exploration and Development*, 27(6): 4—8 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. L., He, S., Shi, W. Z., et al., 2013. The Synsedimentary Faults Derived from Strike-Slip Movement Control the Deposition of Sheling Formation in Liangjia-Wanchang District, Yitong Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 48(1): 134—143 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. L., Zhou, J. Y., Ma, L., et al., 2008. Gravity Flow Sedimentary Characteristics and the Significance of Petroleum Exploration in the Chaluhe Fault Depression, the Yitong Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 30(1): 26—31 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. P., Fei, Q., Zhang, J. H., 1990. Oil Exploration and Structure Analysis. China University of Geosciences Press, Wuhan, 132—139 (in Chinese).
- Wang, X. W., Liu, Q. X., Lv, H. T., et al., 2006. Application of Reservoir Prediction Technique in the Exploration and Development of Lithologic Oil-Gas Reservoirs. *Petroleum Exploration and Development*, 33(2): 189—193 (in Chinese with English abstract).
- Yin, W., Zhang, M. J., Kong, L. H., 2011. Lithologic Reservoirs in Block A in the South Turgay Basin, Kazakhstan. *Petroleum Exploration and Development*, 38(5): 570—575 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B. Q., Jiang, Z. X., Xia, B., et al., 2004. Application of Sequence Stratigraphy in Lithological Reservoir Exploration of the Upper Guantao Formation, Chendong-Feiyantan Oilfield. *Petroleum Exploration and Development*, 31(5): 50—52 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. M., Liu, C. Y., Wang, J. Y., et al., 2002. Strike-Slip Characteristics and Hydrocarbon Accumulation of M basin. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 32(3): 275—280 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. Z., Zhao, X. Z., He, H. Q., 2004. New Progresses in PetroChina's Recent Oil & Gas Exploration and Future Main Exploration Targets and Potential. *China Petroleum Exploration*, 9(1): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Zou, C. N., Xue, S. H., Zhao, W. Z., et al., 2004. Depositional Sequences and Forming Conditions of the Cretaceous Stratigraphic-Lithologic Reservoir in the Quantou-Nengjiang Formations. South Songliao Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 31(2): 14—17 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 池英柳, 赵文智, 2000. 渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚集. *石油学报*, 21(2): 14—20.
- 窦欣, 陈振岩, 李成, 等, 2006. 辽河西部凹陷齐62井区岩性油气藏储集层特征及识别技术. *石油勘探与开发*, 33(4): 412—415.
- 冯有良, 徐秀生, 2006. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用——以渤海湾盆地古近系为例. *石油勘探与开发*, 33(1): 22—25.
- 高先志, 李晓光, 李敬生, 2007. 兴隆台地区沙三段砂体发育模式与岩性油气藏勘探. *石油勘探与开发*, 34(2): 187—189.
- 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等, 2004. 岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术. *石油勘探与开发*, 31(3): 3—9.
- 江涛, 邱玉超, 宋立斌, 等, 2009. 伊通盆地西北缘断裂带的性质. *现代地质*, 23(5): 860—864.
- 匡立春, 吕焕通, 齐雪峰, 2005. 准噶尔盆地岩性油气藏勘探

- 成果和方向. 石油勘探与开发, 32(6): 32—37.
- 李本才, 孙凯, 白洪彬, 等, 2009. 伊通盆地层序地层格架与层序构成分析. 岩性油气藏, 21(4): 28—31.
- 李建华, 庞雄奇, 宋兵, 等, 2011. 岩性油气藏分布区定量预测新方法——以大民屯凹陷为例. 石油勘探与开发, 38(6): 756—763.
- 李明, 侯连华, 邹才能, 等, 2005. 岩性地层油气藏地球物理勘探技术与应用. 北京: 石油工业出版社, 52—146.
- 李献甫, 陈全茂, 张学海, 等, 2002. 伊通地堑——走滑断陷盆地的构造特征及演化. 石油实验地质, 24(1): 19—24.
- 梁富康, 于兴河, 李先平, 等, 2011. 冀中坳陷深县凹陷的生长断层特点及其对沉积的控制作用. 中国地质, 38(2): 263—270.
- 单俊峰, 陈振岩, 回雪峰, 2005. 辽河坳陷西部凹陷坡洼过渡带岩性油气藏形成条件. 石油勘探与开发, 32(6): 42—45.
- 石万忠, 孔敏, 宋志峰, 2008. 伊通盆地梁家地区奢岭组混源扇三角洲内幕结构. 地球科学——中国地质大学学报, 33(3): 365—370.
- 唐大卿, 何生, 陈红汉, 等, 2009. 伊通盆地断裂体系特征及其演化历史. 吉林大学学报(地球科学版), 39(3): 386—396.
- 唐大卿, 陈红汉, 孙家振, 等, 2010. 郯庐断裂带伊通段新生代构造演化特征及其控盆机制. 大地构造与成矿学, 34(3): 340—348.
- 童亨茂, 2002. 伊通地堑边界断裂的性质与演化. 地质力学学报, 8(1): 35—42.
- 王剑, 徐翔军, 陈秀艳, 等, 2007. 伊通地堑岔路河断陷南段构造—沉积特征与油气藏类型. 世界地质, 26(2): 240—244.
- 王宁, 陈宝宁, 翟剑飞, 2000. 岩性油气藏形成的成藏指数. 石油勘探与开发, 27(6): 4—8.
- 王晓龙, 何生, 石万忠, 等, 2013. 梁家—万昌地区同沉积断层对奢岭组沉积的控制作用. 石油地球物理勘探, 48(1): 134—143.
- 王旭丽, 周江羽, 马良, 等, 2008. 伊通盆地岔路河断陷重力流沉积特征及油气勘探意义. 石油实验地质, 30(1): 26—31.
- 王燮培, 费琪, 张家骅, 1990. 石油勘探构造分析. 武汉: 中国地质大学出版社, 132—139.
- 王西文, 刘全新, 吕焕通, 等, 2006. 储集层预测技术在岩性油气藏勘探开发中的应用. 石油勘探与开发, 33(2): 189—193.
- 尹微, 张明军, 孔令洪, 2011. 哈萨克斯坦南土尔盖盆地 A 区块岩性油气藏. 石油勘探与开发, 38(5): 570—575.
- 张本琪, 姜在兴, 夏斌, 等, 2004. 层序地层学在埋东—飞雁滩油田馆陶组上段岩性油气藏勘探中的应用. 石油勘探与开发, 31(5): 50—52.
- 张亚敏, 刘池洋, 王婧韞, 2002. M 盆地走滑特征与油气富集规律. 西北大学学报(自然科学版), 32(3): 275—280.
- 赵政璋, 赵贤正, 何海清, 2004. 中国石油近期油气勘探新进展及未来主要勘探对象与潜力. 中国石油勘探, 9(1): 1—7.
- 邹才能, 薛叔浩, 赵文智, 等, 2004. 松辽盆地南部白垩系泉头组—嫩江组沉积层序特征与地层—岩性油气藏形成条件. 石油勘探与开发, 31(2): 14—17.