

天然气勘探

# 地震属性方法在油田开发阶段 薄砂体识别中的应用

——以印尼苏门答腊盆地 Gemah 油田 M 油层为例

田鑫<sup>1,2</sup>, 王绪本<sup>1</sup>, 张铭<sup>3</sup>, 张文起<sup>3</sup>, 毕素萍<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020;

3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:**印度尼西亚南苏门答腊盆地 Jabung 地区西北部油区的 Gemah 油田 Lower Tanglang Aka 油层组储层砂体厚度较薄, 一般为 5~10 m, 部分小于 5 m, 且横向变化快。找准这些储集砂体是油田开发取得油气产量的关键因素; 应用地震属性确定砂体分布既是油气开发的关键之一, 也是难题之一。将地震波形分类、本征值相干体属性分析等新技术, 应用于薄层砂体的识别, 据此部署钻井 5 口, 实钻与预测吻合良好, 实践证实, 结合测井资料, 进行地震属性综合分析, 是油田开发中识别薄层砂体的有效方法。

**关键词:**地震属性; 薄层砂体识别; 地震本征值相干体; 地震波形分类; 南苏门答腊盆地

**中图分类号:** TE132.1<sup>+</sup>4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2011)03-0533-06

**引用格式:** 田鑫, 王绪本, 张铭, 等. 地震属性方法在油田开发阶段薄砂体识别中的应用——以印尼苏门答腊盆地 Gemah 油田 M 油层为例[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 533-538.

## 0 引言

Gemah 油田位于印度尼西亚南苏门答腊盆地 Jabung 地区西部隆起的 Betara 背斜带, 主要勘探目的层是古近系渐新统的 Lower Tanglang Aka(以下简称 LTAF)油层组。LTAF 油层组包括 U、M、L 3 个油层, 其中 M 层为 Gemah 油田的主力产层; M 层有效含油砂体单层厚度一般小于 10 m, 埋深大于 1 800 m。研究区内进行了三维地震勘探, 三维地震面积为 478.5 km<sup>2</sup>, 地震资料主频为 35 Hz, 有效频宽约为 10~60 Hz。现有探井 11 口, 开发井 63 口, 大部分为定向井。该区 LTAF 油层组储层沉积时期, 主要受北部、西北部物源控制<sup>[1]</sup>, 岩性为砂岩与泥岩薄互层, 属河流—三角洲相沉积, 发育有分流河道、砂坝、分流河道间沉积微相。油气勘探开发实践

证明, 研究区沉积相主要为分流河道, 三角洲前缘分流河道和席状砂、河口坝沉积(图 1)。在各种沉积微相中, 分流河道及河口坝储层物性最好, 是该区最有利的储集体<sup>①</sup>。

该区构造复杂, 断裂发育, 多条断层将 Gemah 油田分为 17 个断块油藏, 砂体与断层及构造良好匹配, 可形成构造油藏和构造—岩性油藏<sup>[1]</sup>。由于本区特定的地质条件, LTAF 储层具有单层砂体厚度薄(一般小于 10 m)、横向变化快的特点。厘清砂体储层分布范围是该区油气田开发的关键因素, 找准这些储集砂体, 是该区开发取得油气产量的主要因素; 研究区曾用常规地震属性方法进行过砂体预测, 但应用常规地震属性技术识别该区薄砂体的效果并不理想<sup>[2-3]</sup>, 无法准确反映该区的沉积现象和砂体展布特征(图 2)。

收稿日期: 2010-04-27; 修回日期: 2010-05-31.

作者简介: 田鑫(1968-), 男, 甘肃庆阳人, 高级工程师, 主要从事地球物理解释、油气田开发及石油地质综合研究. E-mail: tian\_x@petrochina.com.cn; tianx\_ym@yahoo.com.cn.

① 杨福忠, 张铭, 田鑫, 等. 中油印尼区块成藏条件分析与部署研究. 中油海外研究中心, 2004.

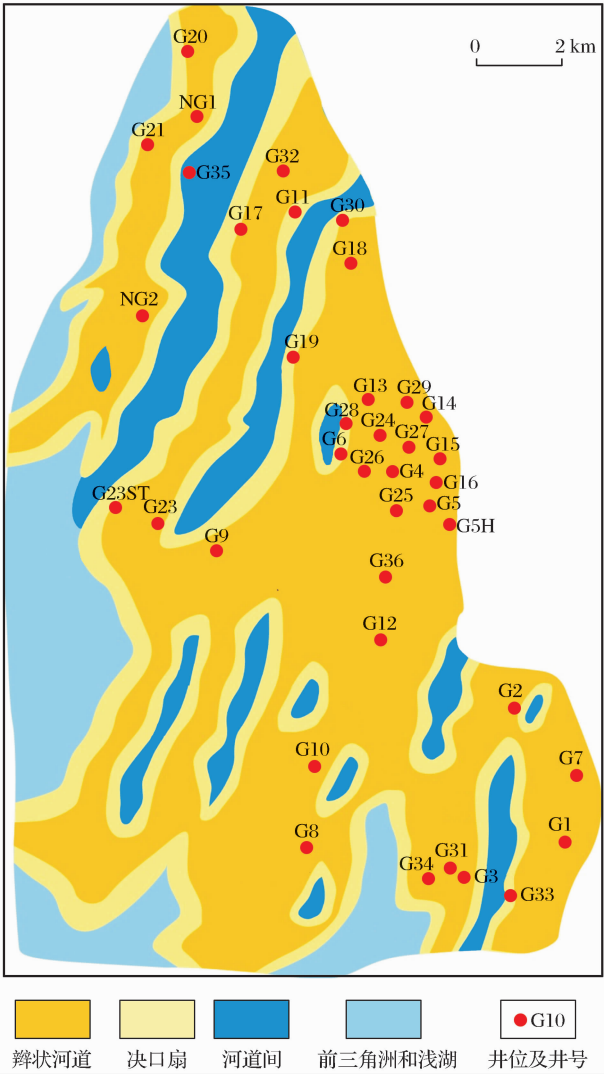


图 1 Gemah 油田 LTAF 油层组储层沉积相分布特征

针对薄层砂体地震识别难题,本文采用了目前较为先进的地震本征值相干体和地震波形分类属性来预测有利储层砂体分布范围<sup>[4-5]</sup>,在该区薄层砂体识别中取得了良好应用效果。

1 地震属性方法

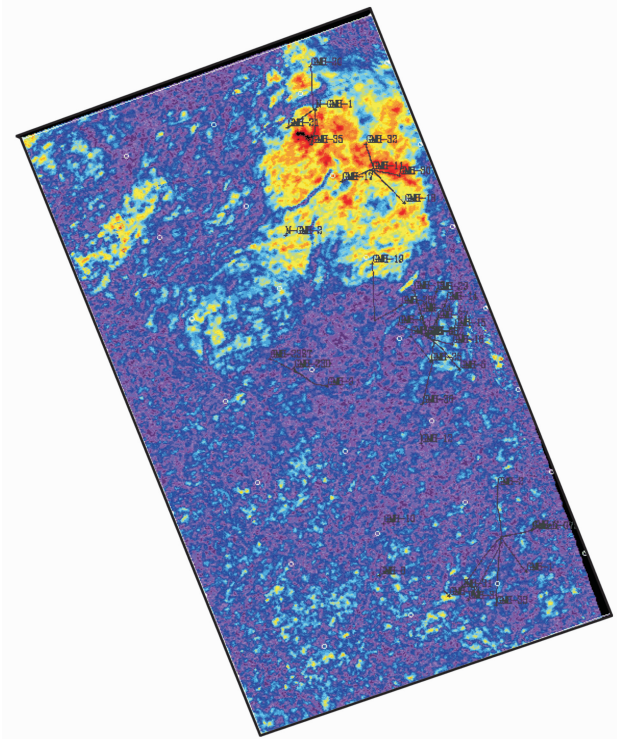
1.1 本征值相干体属性

地震本征值相干体属性分析技术,是针对于  $J$  道地震数据,若分析时窗为  $N$ ,则可确定一个子体,其分析样点为子体的中心。定义协方差矩阵  $C$  如下<sup>[6-7]</sup> :

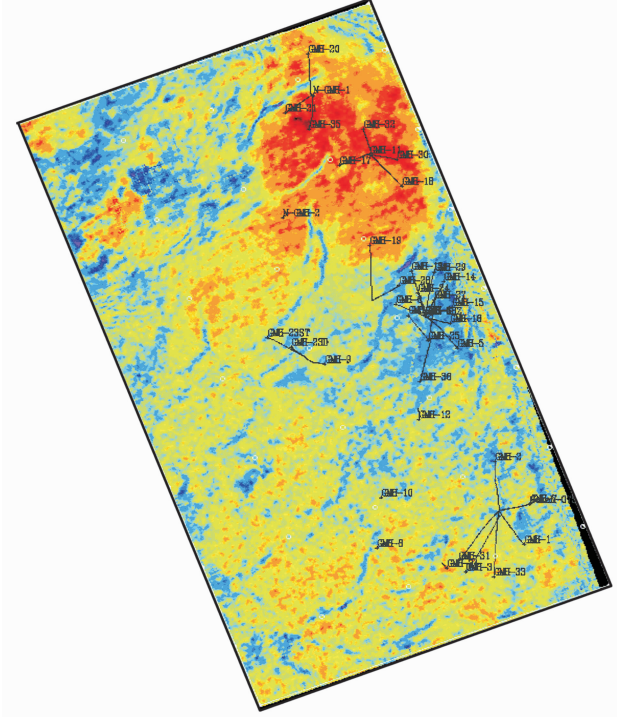
$$C(p,q) = \sum_{m=n-N/2}^{n+N/2} \begin{bmatrix} u_{1m}u_{1m} & u_{1m}u_{2m} & \cdots & u_{1m}u_{jm} \\ u_{2m}u_{1m} & u_{2m}u_{2m} & \cdots & u_{2m}u_{jm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{jm}u_{1m} & u_{jm}u_{2m} & \cdots & u_{jm}u_{jm} \end{bmatrix}$$

式中: $u_{jm} = u_j(m\Delta t - px_j - qy_j)$  为时间  $t = m\Delta t -$

$px_j - qy_j$  时沿  $x$  方向和  $y$  方向的视倾角得到的地震道数据。 $p$ 、 $q$  分别代表  $x$  和  $y$  方向的视倾角。对于一组  $p$ 、 $q$  值,都可以利用  $J$  道分析时窗为  $N$  的子体提取中心点的相干值。



(a) 均方根振幅



(b) 平均振幅

图 2 Gemah 油田 LTAF 油层组常规振幅属性特征

下式定义为相干值的数学表达式:

$$C_3 = \max[C(p,q)] = \frac{\lambda_1}{\sum_{j=1}^j \lambda_j}$$

式中:分母是矩阵的积,代表了协方差矩阵的能量,等于协方差矩阵  $C$  特征值的和。分子是最大特征

值,代表了最优势的能量。相干体属性可用于识别断层、河道边界以及砂体有利分布区域<sup>[8]</sup>。

在对研究区地震资料精细解释的基础上(图3),紫色地震解释层位为 LTAF 油层组(即 U 油层)顶面地震反射层  $T_{3-1}$ ,绿色地震解释层位为主力油层 M 层的顶界面  $T_{4-1}$ ,蓝色地震解释层位为 M 油

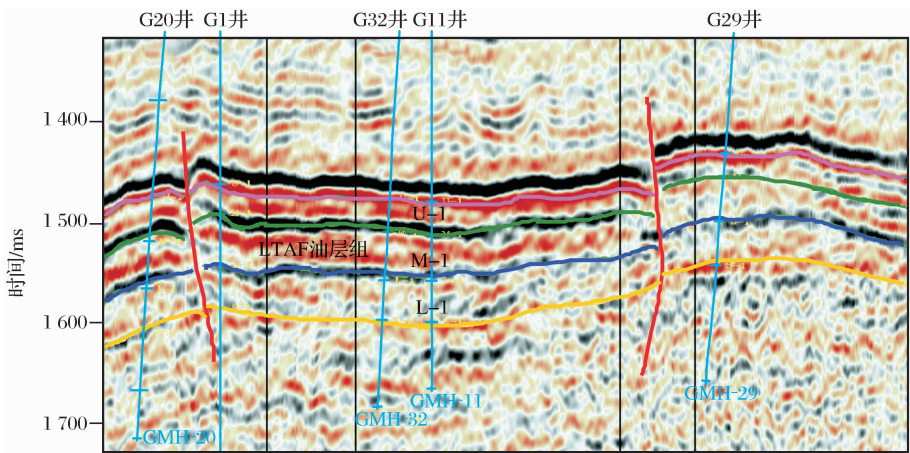


图3 过 G20—G1—G32—G11—G29 井 LTAF 油层组连井标定

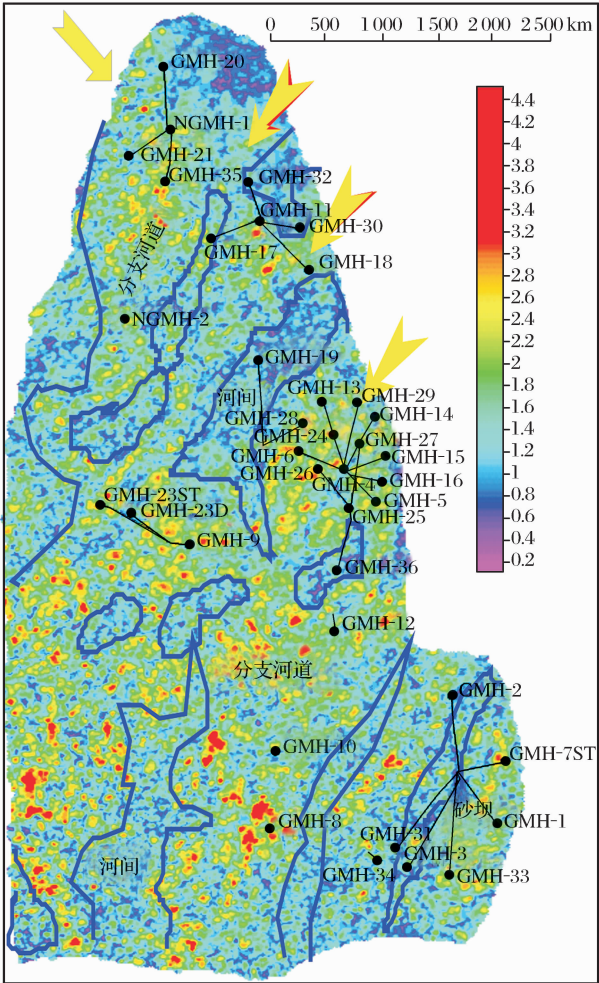


图4 LTAF 油层组 M 油层层间本征值相干特征

层底面(即 L 油层顶面)地震反射层  $T_{5-1}$ ,沿主力油层 M 层顶面进行相干体属性分析时,首先沿 LTAF 油层组的顶界面  $T_{3-1}$  对原始地震数据体进行沿层拉平,然后沿层进行本征值相干体属性分析<sup>[9]</sup>。

经过多次参数调整测试,时间孔径选择 5 ms,空间孔径选择 1 道,倾角选择 0.5 ms/道,选小时窗提取本征值相干体属性。采用沿层拉平地震数据体的方法,是为了保证参与运算的层段为同一时期沉积的地质体;采用小孔径、小时窗是为了使得到的本征值相干体能够反映地震波波形间的微小变化。计算出本征值相干体后,以半个相位为时窗对本征值相干体透视,最终选择与沉积规律一致的层间相干体属性<sup>[10]</sup>。

图4中红—黄色区域为相干值高的区域,它反映地层中岩性相近的区域;绿—蓝色区域为相干值低的区域,低相干值是断层、砂体边界的反映。图4中红—黄色区域代表了砂岩的分布范围,与 LTAF 油层组 M 油层沉积微相(图5)所反映的砂体分布情况基本一致,也可以看出分流河道和河口坝的大致形态和展布特征。从图4中也可以清晰地识别出断层展布特征,与其构造(图6)的断层特征基本一致<sup>[11]</sup>。

1.2 地震波形分类属性

地震波形是地震勘探较为可靠、直接的地下信







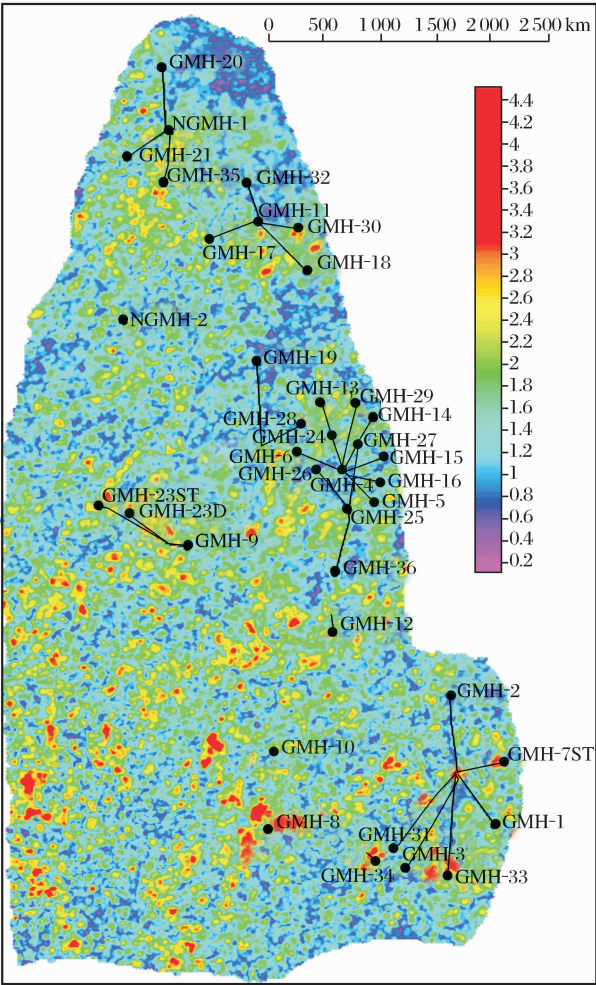


图 7 LTAF 油层组 M 油层地震波形分类

2 实际应用

根据研究区的已知井岩相、测井相以及沉积微相模式等综合地质研究成果,以沉积规律为指导,已知井信息为约束,结合层间本征值相干体属性约束砂体边界,结合测井资料,在地震波形分类得到的地震相图上划分沉积相和沉积微相<sup>[13]</sup>。利用这 2 种地震属性分析方法,同样对 LTAF 油层组的 U 油层和 L 油层进行了砂体预测,综合分析,得到 LTAF 油层组砂体发育特征为:分流河道微相、沙坝分布区为砂岩发育区,分流间湾沉积微相分布区为泥岩发育区,图 8 为 LTAF 油层组有效砂岩厚度图。

根据预测结果,通过综合地质分析,在研究区部署 Gemh-64 井、Gemh-65 井、Gemh-66 井、Gemh-67 井、Gemh-68 井共 5 口开发滚动评价井。其中 3 口井已完钻,均见到了好的油气显示,取得良好的应用效果。如图 8 所示,其中研究区中部分流河道发育区的 Gemh-64 井在 LTAF 油层组钻遇砂体厚度近 30 m,其中在 M 油层砂体厚度近 14 m,最大单层砂

岩厚度为 3.2 m,且获日产 24.8 m<sup>3</sup>工业油流;位于研究区南部砂坝发育区的 Gemh-66 井在 LTAF 油层钻遇砂体厚度为 26 m,其中在 M 层砂体厚度为 9 m,最大单层砂岩厚度为 2.8 m,且获日产 16.0 m<sup>3</sup>工业油流。

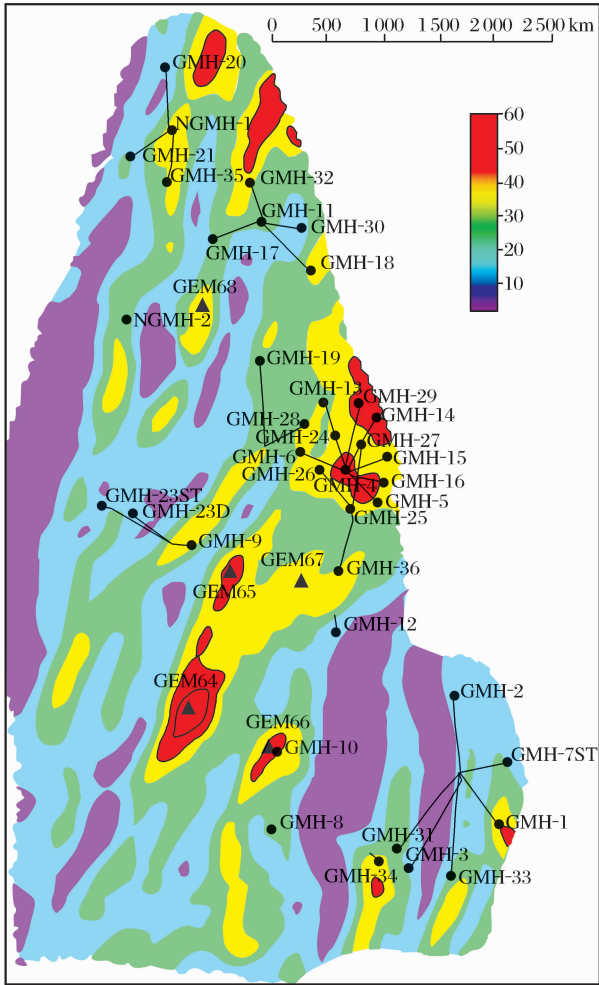


图 8 LTAF 油层组有效砂岩厚度

3 结论

研究证明,采用地震本征值相干体和地震道波形分类属性进行薄层砂体识别和有效砂层预测是行之有效的,通过钻井证实,砂岩预测符合率高,是未来储层预测的发展方向。

参考文献:

[1] Xue Liangqing, Ma Haizhen, Yang Fuzhong, et al. Petroleum play analysis of the PetroChina contract blocks in the south Sumatra basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 10(3): 178-184. [薛良清, 马海珍, 杨福忠, 等. 南苏门答腊盆地中国石油合同区块成藏组合分析[J]. 石油勘探与开发, 2005, 10(3): 178-184.]

- [2] Zou Caineng, Zhang Yin. New Techniques of Petroleum Exploration and Development[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 178-220. [邹才能, 张颖. 油气勘探开发实用新技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 178-220.]
- [3] Liu Zhen. Reservoir Seismic Stratigraphy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 97-135. [刘震, 储层地震地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 97-135.]
- [4] Ling Yun. Study on application of basic seismic attributes to interpretation of depositional environment[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2003, 38(6): 642-653. [凌云. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(6): 642-653.]
- [5] Huang Yunfeng, Yang Zhanlong, Guo Jingyi, *et al.* Seismic attribute analysis and application in subtle traps exploration[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 739-745. [黄云峰, 杨占龙, 郭精义, 等. 地震属性分析及其在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 739-745.]
- [6] Dong Wenjie, Ali Tura, Gene Sparkman. An introduction carbonate geophysics[J]. The Leading Edge, 2003, (7): 637-638, 725-728.
- [7] Galloway W E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(2): 125-142.
- [8] Li Qingzhong. Discussion on seismic exploration of lithologic reservoirs[J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(2): 45-54. [李庆忠. 岩性油气藏地震勘探若干问题讨论[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(2): 45-54.]
- [9] Cai Gang, Sun Dong, Pei Mingli, *et al.* Coherence cube technique and its application hydrocarbon exploration field[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 510-516. [蔡刚, 孙东, 裴明利, 等. 相干体技术在油气勘探中的应用[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 510-516.]
- [10] Liu Xianbin, Lin Jincheng, Han Chunming, *et al.* Present conditions and prospects of the researches on seismic reservoir[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 13(3): 152-158. [刘宪斌, 林金逞, 韩春明, 等. 地震储层研究的现状及展望[J]. 地球学报, 2003, 13(3): 152-158.]
- [11] Chen Xinfu, Qu Guosheng, Ma Zongjin, *et al.* Tectonic frameworks and potential oil-gas traps in Junggar basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(4): 425-430. [陈新发, 曲国胜, 马宗晋, 等. 准噶尔盆地构造格局与油气区带预测[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(4): 425-430.]
- [12] Liu Weifang, Yu Xinghe, He Qiongying, *et al.* Application of seismic attributes in SU gas field development[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(6): 862-867. [刘伟方, 于兴河, 何琼英, 等. 地震属性在SU气田开发中的应用[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 862-867.]
- [13] Yu Xiaowei, Zheng Xiaodong, Li Yandong. Using optimized seismic attributes to predict reef reservoir[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(2): 221-224. [尉晓玮, 郑晓东, 李艳东. 优选地震属性预测生物礁储集层[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(2): 221-224.]

## Application of Seismic Attributes Identifying Thin Sand Body: A Example of M Formation in Gemah Oilfield of Sumatrina Basin

TIAN Xin<sup>1,2</sup>, WANG Xu-ben<sup>1</sup>, ZHANG Ming<sup>3</sup>, ZHANG Wen-qi<sup>3</sup>, BI Su-ping<sup>2</sup>

(1. MOE Key Laboratory of Earth Exploration and Information Technology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. The Northwest Division of Research Institute of Petroleum Exploration & Exploitation of PetroChina, Lanzhou 730020, China; 3. Division of Research Institute of Petroleum Exploration & Exploitation of PetroChina, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In the LTA Formation of Gemah oilfield, northwest Jabung area of Sumatrina basin of Indonesia, reservoir sand layers are relatively thin, with the thickness of about 5-10 meters in generally, less than 5 meters in some parts and quickly lateral variation. To find out the reservoir sand is the major work to achieve a good oil and gas product; the seismic technology is the key method to identify the distribution of sand layer and also is a big challenge. In this paper, seismic waveform classification and eigenvalue coherency cube have been applied to identify the thin sand layer. Five wells were drilled based on this method, and the outcomes of two wells are consistent with the prediction, which confirms that the integration of multi seismic attributes is a good method for identifying thin sand layer.

**Key words:** Seismic attributes; Identifying thin sand body; Attribute of eigenvalue coherency cube; Seismic waveform classification attribute; Sumatrina basin.