

文章编号 1000-0550(2002)02-0326-07

消除影响压实趋势线地质因素的方法^① ——以莺歌海盆地为例

张发强¹ 王震亮² 吴亚生¹ 杨计海³ 罗晓容¹

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

(² 西北大学地质系 西安 710069) (³ 中国海洋石油南海西部公司 广东湛江 524057)

摘要 莺歌海盆地第四系和上第三系地层内除异常压力和压实作用外,影响声波时差的因素主要有岩性变化、成岩胶结作用、地层含天然气及裂缝的存在。这些因素在地层中往往同时存在,难以区分和辨识。借用地震处理过程中多道曲线叠合以增强信噪比的思路,通过局部区块上数口井声波时差压实曲线的叠合处理,反映地层孔隙特征的信息量得到增强,是可避开或消除影响声波速度地质因素的一种有效方法。进一步将这种方法移植到地震速度谱资料的处理中,获得的压力预测结果得到钻井实测压力的证实。

关键词 莺歌海盆地 声波速度 影响因素 压实曲线 曲线叠合

第一作者简介 张发强 男 1973 年出生 博士 盆地分析与盆地模拟

中图分类号 TE121.1⁺2 **文献标识码** A

随着地震资料的普遍使用及其分辨率的日益提高,声波速度成为含油气盆地勘探中地球物理测量的重要内容^[1]。准确的速度值对于地震资料的精细处理^[2]、地层分布特征的准确勾画和储集层的准确描述^[3]、对地层孔隙度的了解乃至地层压力的估算^[4]都具有重要的意义。各种速度资料的测量都是在复杂的地质条件下进行的,其结果会受到各种因素的影响。

在正常压实段内,岩层孔隙度(或反映孔隙度的其它物理量)随地层埋深变化的关系反映了地层压实的规律和特征^[5]。声波速度资料是用于制作压实曲线的最常用方法,使用受影响严重的速度资料很难正确获得正常压实趋势线。反过来,若可以通过其它方法获得正常压实趋势线,则声波速度资料所受到的影响也必然被突显出来。

在地震测量及其资料的处理过程中,多道声波反射曲线的叠合可以明显地增强信噪比、消除局部的非地层速度因素的影响。那么,在地质应用中有可能通过局部区块上数口井声波时差压实曲线的叠合处理,使得反映地层孔隙特征的信息量得到增强,从而避开或消除影响声波速度的地质因素呢?

本文中,作者试图通过对莺歌海盆地地层的压实特征的研究,在沉积及埋藏过程类似的区块上将数口井声波时差压实曲线的进行叠合处理,进而分辨出影响声波速度的地质因素。

1 影响声速的地质因素

声波在岩层中的传播速度由成岩矿物的成分、弹性、密度、岩层孔隙度、孔隙中所含流体的性质以及岩层层理的发育情况所决定^[6]。岩层的声速取决于岩石骨架的结构及孔隙中所充填的流体成分。相对于岩石骨架,流体是低声速的介质,尤其对于天然气而言。

1.1 成岩(胶结)作用对声波时差的影响

含碳酸盐成分较高的泥质岩层的声波时差明显小于纯泥岩地层^[7]。McCrossan 在研究碳酸盐对伊雷顿页岩压实程度的影响时发现含钙质较多的岩石中原始孔隙度较低^[8],他认为这是因为声波时差更低的碳酸盐颗粒的存在降低了可压实物质的数量所致。

在莺歌海盆地中部,在已钻至上新统 T27 层的井中,T27—上新统底界 T30 之间的地层明显受碳酸盐含量的影响,当 CaO 含量超过 2% 时地层的压实曲线斜率变陡(图 1)。但更高的 CaO 的含量却不能使声波时差值进一步降低(图 1)。碳酸盐成分的氧同位素分析表明它们都是在早期成岩过程中形成的,显微组构观察发现这些碳酸盐多以分散粒状分布于碎屑颗粒之间。这些观察表明,地层中的同沉积碳酸盐的含量较少,碳酸盐主要为生物介壳类的钙质颗粒,其总体 CaO 含量一般不超过 4%,而在早期成岩过程中,还有一部分碳酸盐成分随外部流体而来,在地层中形成钙质胶

① 国家“863”高技术发展计划项目(编号 820-07-02)资助。

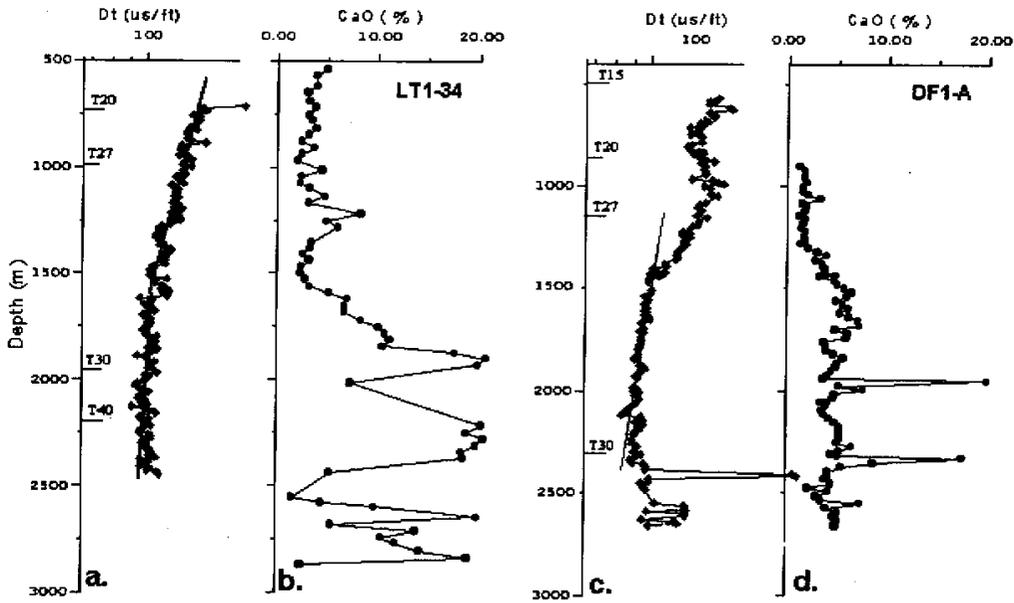


图 1 莺歌海盆地不同层段上声波时差压实曲线斜率与碳酸盐含量(以 CaO 含量表示)的对应关系

Fig.1 Relationship between acoustic time curve slop and carbonate content (CaO content) in different formations of Yinggehai Basin

结物。因而,我们认为地层的波阻抗还可能受到岩层内骨架颗粒间接触紧密程度的影响。泥质岩石内钙质胶结物含量越高,地层骨架颗粒间的紧密程度就越高,声波时差值降低的幅度也将越大。

1.2 天然气和裂缝对声波时差的影响

声波在气体中传播的速度远较在液体和固体中慢。因而含气性是影响砂岩类地层声波时差的重要因素之一,如果含气岩石中裂缝发育,还可能发生周波跳跃现象^[6]。

为突出天然气对声波速度的影响,我们将同一区块的各口井的实测物性、压力、泥质含量、含气饱和度等资料按一定的深度段,分别处理,以消除压实作用带来的声波时差的变化。各深度段的划分,主要兼顾统计样本数目的要求和以压实为主的成岩作用的相似性。通过对实际资料的分析和检验,在莺歌海盆地这个深度段以 50 m 为宜。在每一层段内将测井解释或储量计算中得出的含气饱和度值与相应深度点的异常声波时差作关系图。其中异常声波时差差值(DAC)为在同一层段内各点的声波时差与该段内干层或水层(以测试或测井解释结果为准)的声波时差之差值。由图 2 可以看出,含气饱和度与异常声波时差值的关系可以分为两类:A 类的特点是异常声波时差差值高且较均匀,异常声波时差差值约为 150 μ s/ft,含气饱和度

(S_g)一般较高,都在 25%以上(图 2);B 类的特点是随含气饱和度的增加,异常声波时差差值缓慢增大,但最大不超过 40 μ s/ft。

对于 A 类关系,含气的微裂缝系统造成了声波速度周波跳跃,在压实曲线上很容易识别和消除,而 B 类关系则应该代表正常地层孔隙内含气的情况,一般不易识别,也很难消除。

1.3 地层、岩性对声波时差的影响

陆相盆地内沉积相带变化频繁,在纵向和横向上都可能对所测量的声波速度产生明显的影响。这种影响反映在压实趋势线的变化上。

由于莺歌海盆地内上第三系地层中砂岩层和泥岩层的界限比较模糊,往往是粉—细砂岩的纹层与泥质岩的纹层以不同的比例相互成层。对此,按照地层中泥质含量的多寡分别作声波时差随深度变化的压实曲线,以观察岩性对声波速度的影响。在莺歌海盆地的部分井内,我们首先以自然伽码曲线为主,计算出的泥质含量(V_{sh})。然后划分出 V_{sh} 分别为 0%~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100% 的 5 个特征岩性范围,分别作压实曲线图,它们分别反映了泥质含量不同的细层的压实状态和过程;图 3 是以东方 1-1-2 井的测井资料所作的与 5 个特征岩性对应的压实曲线。由图可见,T20 反射界面在 835 m 处,其上下

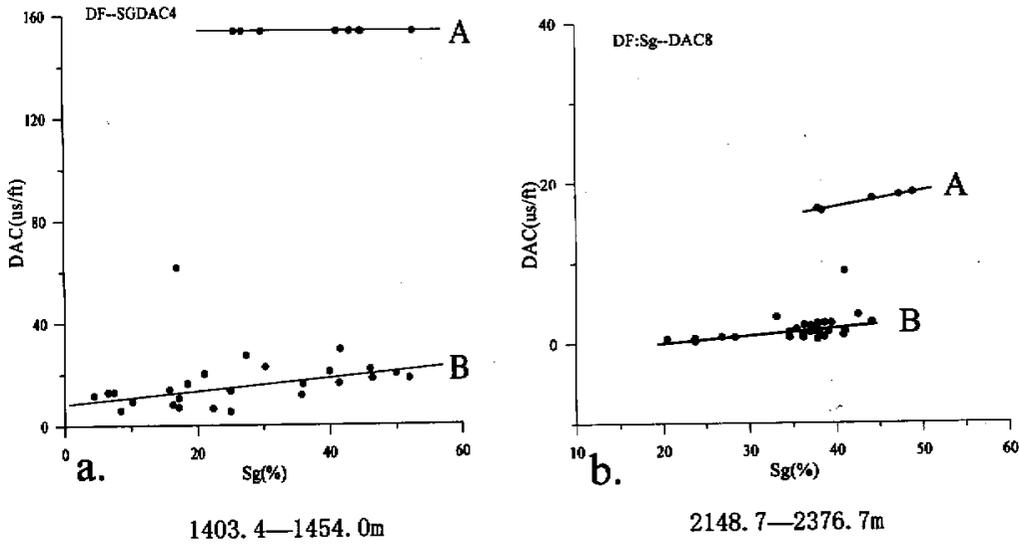


图 2 东方 1 构造各井在不同深度段上含气饱和度与异常声波时差的关系
 Fig.2 Relationship between gas saturation and abnormal acoustic time in different formations on the Dongfang 1 structure

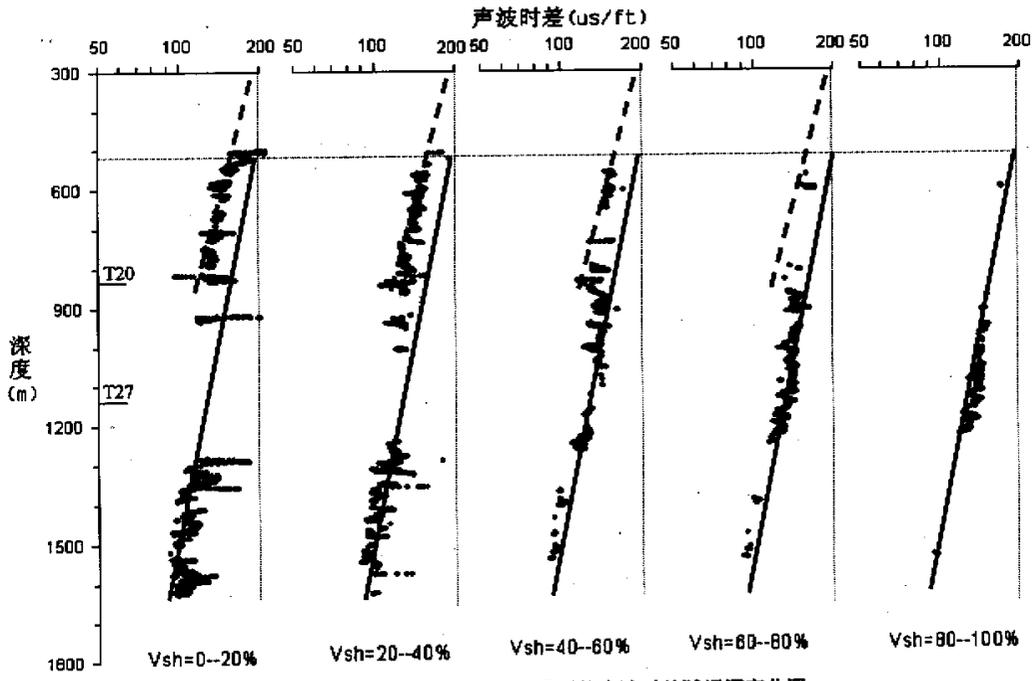


图 3 东方 1-B 井在不同岩石组成下的声波时差随埋深变化图
 Fig.3 Diagram of acoustic time vs depth of different rock compositions in the Dongfang1-B well

地层的压实曲线具有明显不同的正常趋势线。但对于其上的地层,以 V_{sh} 的含量 0%~20% 的曲线作出的压实趋势线移植到 V_{sh} 含量为 20%~40% 和 40%~60% 的曲线上时并不影响其适用性。同样地,在 T20

以下的地层中以 V_{sh} 含量为 80%~100% 的曲线作压实趋势线,也可以移植到 V_{sh} 含量为 40%~60% 和 60%~80% 的曲线上,而且不影响其适用性。从图中可以看出,尽管各不同泥质含量的正常趋势并非严格

一致,但压实趋势线的移植结果表明,该地区泥质含量不同的地层具有相似的压实状态和过程。这种近似性暗示在莺歌盆地内,忽略岩性的因素、利用全部地层的速度资料研究地层压实过程和估算压力的可能性。

在莺歌海盆地,岩性对声波速度的影响主要表现在垂直方向。对比东方 1 构造各井(分不同岩性)的压实曲线发现,以地震反射界面 T20 为界,一般可将压实曲线划分为上部的 T15~T20、下部的 T20~T30 两个正常压实趋势段。

2 识别和消除地质影响因素的方法讨论

研究影响声波传播速度的地质因素的目的是帮助确定如何在速度资料的处理过程中消除这些因素的影响,使得声速资料唯一地与沉积物的欠压实和异常高压对应。但在实际的工作中,在不能获得大量的实测岩性、含气性、物性等资料的前提下要消除这些因素的影响是极其困难的。

根据对莺歌海盆地压实过程的分析,我们考虑利用小区块内的压实趋势线的叠合的方法来确定识别和

消除声波速度所受到的影响。其理论依据是:对于一个沉积盆地内的局部范围内,沉积物从沉积、埋藏到成岩都经历了基本相似的过程,因而处于同一深度的沉积物应具有相似的岩性和物性特征。在研究区内对声波速度影响最大的是含气和裂隙的存在,它们具有不均一性。当把同一区块内不同井的压实曲线叠合在一起时,每个点上反映地层岩性物性本质特征的信息得到加强,而在这一深度上含气和裂隙的影响因其不均一性而被削弱了。在叠合的压实曲线上获得该区块地层具有代表性的综合压实趋势线及对应的参数,然后移植到每一口井中,就可较为容易地划分出正常压力段和异常压力段来。

图 4 显示了莺歌海盆地乐东地区的不同井内压实曲线的叠合及综合压实趋势线在各井压实曲线上的移植。将数口井的压实曲线叠合起来,主要受压实作用而产生的地层孔隙度变化及其对应的声波时差相对集中,我们很容易用回归统计的方法确定出正常趋势线(图 4 a)。在作出小区块内的综合压实趋势线后可以将其移植到区块内每一口井的压实曲线上(图 4 b, c)。尽管在东方 1 构造上各种影响因素表现明显,但利用

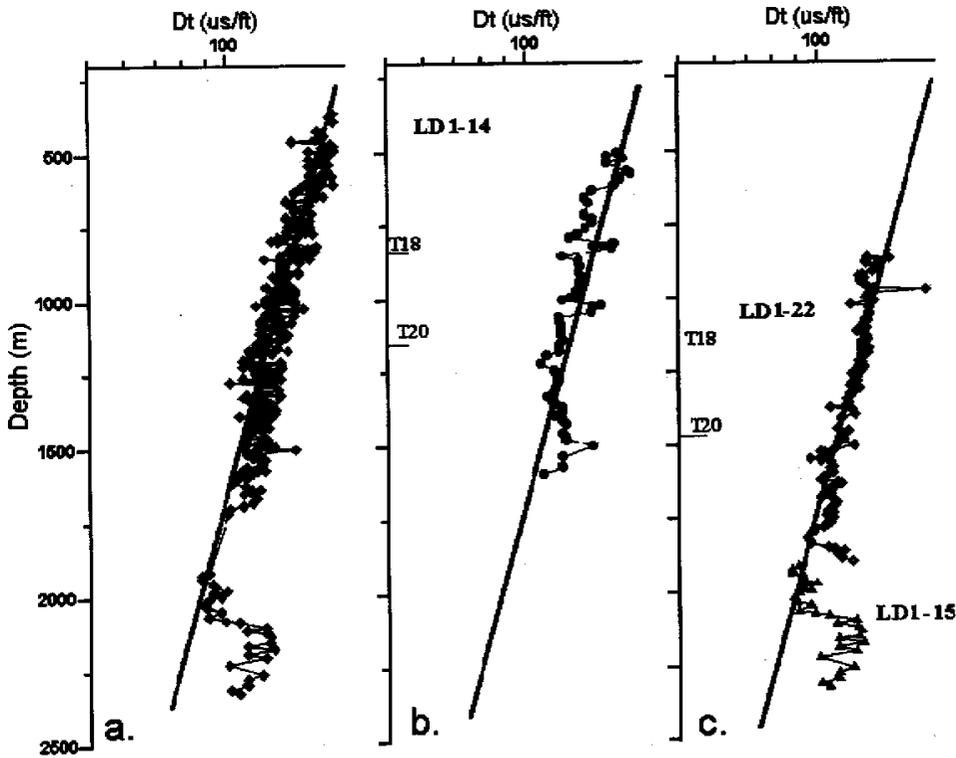
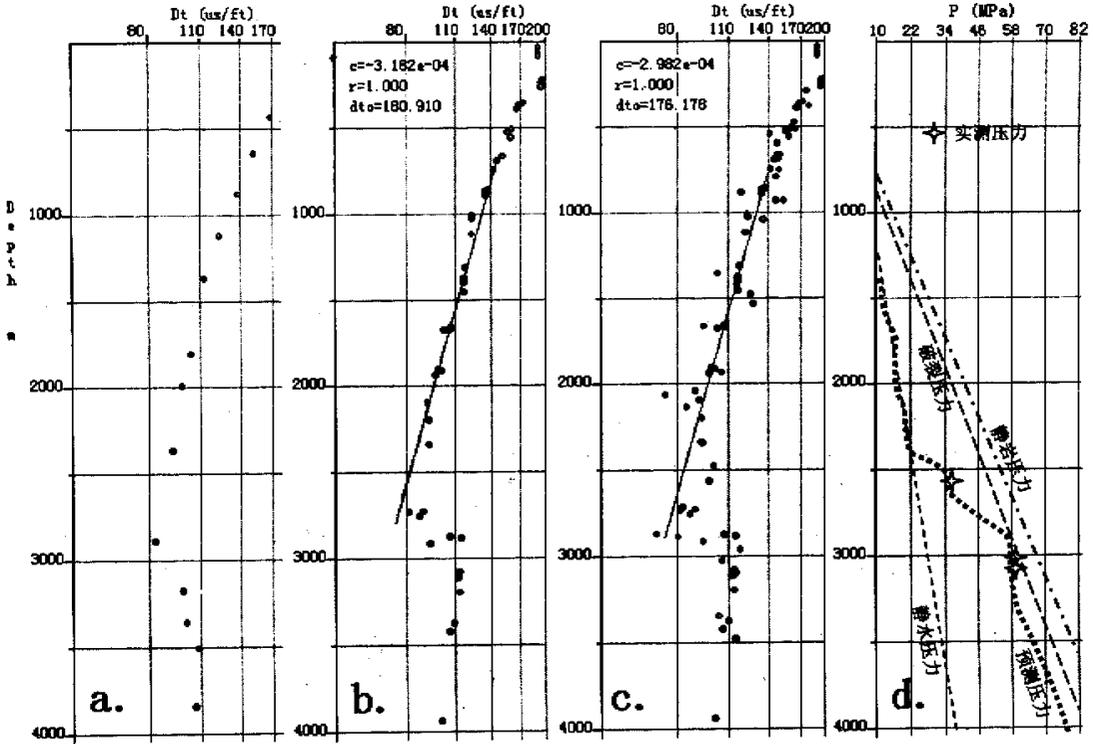


图 4 乐东地区部分井声波时差曲线叠合(a)及综合趋势线的移植(b, c)

Fig.4 Acoustic time curve superposition(a) and transplantation of generalization trendline(b, c) in some wells of the Ledong section



a. 过井测线在欲钻井位处单点的层速度压实曲线；
 b. 过井测线在欲钻井位处及其两侧 3 个点的层速度叠合压实曲线；
 c. 过井测线和辅助测线在欲钻井位处及其周围 6 个点的层速度叠合压实曲线；
 d. 由 c. 按 Eaton 法和模型法预测的压力剖面，十字星标出了钻井实测压力。

图 5 莺歌海盆地 DF1 构造上 AA 井速度谱转换的叠合压实曲线及其正常趋势线获取

a. Strata velocity compaction curve in one point of seismic profile b. Superposing three points of seismic profile c. Six points ;
 d. According to the Eaton method and model method to predict pressure profile ,the cruciate referring to the measured pressure

Fig.5 Superposing compaction curve transferred from velocity spectrum and normal trendling generalizing in AA Well of the DF1 structure in Yinggehai Basin

局部区域内数口井内泥质含量较高井段的测井曲线进行综合求得压实趋势，再移植到相应的单井的压实曲线上，可以较好地解决声波速度受影响较大、正常趋势线难以确定的问题。利用地震层速度资料进行泥质岩的压实作用和压力预测由来已久^[5,9]，在琼东南盆地也早有人做过尝试^①。但由地震速度谱转换的层速度往往因分层粗、误差大，只能给出压实曲线的轮廓。如图 5a 所示，在一个地震测点上的层速度转换的压实曲线上，数据点太少，很难确定正常压实趋势线。我们运用上述压实曲线叠合方法，将所要观察点及其周围一些测点的压实曲线叠合在一起，数据量大大增加，正常压实趋势也就显现出来(图 5b)。更进一步，在一定的

范围内将更多的压实曲线叠合起来，确定正常压实的范围及趋势线的获取就更有把握(图 5c)。从图 5c 中可以看出，在正常趋势线确定之后，叠合曲线上更易于划分异常带和过渡带。在图 5 中，由图 5a 只能确定在异常带 2 000~2 650 m 之间开始，由图 5b 可以确定在 2 150 m 左右开始异常，但其异常幅度较小，到 2 650 m 以下异常幅度变大，因而 2 150~2 650 间应该是过渡带，图 5c 上更多的地层信息更清楚地显示出了过渡带内速度的变化细节。图 5 显示了对东方 1 构造上 AA 井地下流体压力的预测及钻井后的实测结果。在钻井前，对 4528 地震剖面的精细处理大大提高了层速度值的精度，因而在单个测点上的压实曲线更为规律

① 陈荷立等. 琼东南盆地泥岩压实与油气运移研究, 1989 内部报告

(图 5a)。但其因数据点太少仍很难直接判定压实趋势线。采用数道记录上压实曲线的叠合处理后其效果变好(图 5b),但在 2 350~2 650 m 之间的过渡带没有数据点,影响了对异常带和过渡带压力预测的可靠性。当进一步把与该测线垂直的 3483 测线在观察点附近的数据点叠加进去后,该层段的速度变化变得十分清楚(图 5c)。以此叠合的压实曲线为基础,通过与先前邻近钻井内的实测地层压力的对比,作出的压力预测剖面如图 5d 所示。该图上还标出了该井在钻井过程中用 RFT 方法测得的地层压力,压力预测的结果得到了证实。

3 结论

对莺歌海盆地实际地质资料的分析结果表明,除沉积地层的压实作用和与超压对应的欠压实现象,主要存在 4 种影响地质因素:岩性变化、胶结作用、含气性、微裂隙的存在。

莺歌海盆地的岩性变化不大,全区具有相似的压实曲线参数。尽管本文的结果是在即定岩层组合的情况下得出的,但依上述的分析,对于其它岩层组合仍应是适用的。如在东方区,第四系底界 T20 上下压实曲线的斜率变化明显,但 T20 以下直至上新统底界 T30 之间的地层厚度仍然足够勾画出正常压实的趋势。

在莺歌海盆地中部,在已钻至 T27 层的井中, T27—T30 之间的地层明显受碳酸盐含量的影响,当 CaO 含量超过 4% 时地层的压实过程明显发生变化,其结果使得压实曲线斜率变陡。显微结构观察发现这些碳酸盐多以分散粒状分布于碎屑颗粒之间,当其含量达到一定程度便由其自身或与碎屑颗粒一起形成紧密的结构。

较高的地层含气量和裂隙的存在可明显降低声波速度。在莺歌海盆地两者往往相互伴随,难以区分,其结果是使声波速度明显降低,一般在测井曲线上易于辨识,但在地震层速度上表现并不明显。

通过已有钻井内的声波时差曲线的分析所得出的

压实曲线叠合的方法及其适用条件的研究,可以认为,莺歌海盆地砂泥岩互层频繁、压实特征比较接近,在盆地中央泥拱区范围内沉积环境和过程也较为相似,因而可以利用全部岩石的孔隙度资料进行压实作用研究及压力预测分析。在这种条件下利用地震资料来预测压力一般会收到比较好的效果。

参 考 文 献 (References)

- 1 万明浩,秦顺亭,起凤梧,崔荣旺. 岩石物理性质及其在石油勘探中的应用[M]. 北京:地质出版社,1994 [Wan M H, Qin S T, Qi F W, Chui R W. Physical properties of rock and its application on petroleum exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994]
- 2 李庆忠. 走向精确勘探的道路—高分辨率地震勘探系统工程剖析[M]. 北京:石油工业出版社,1994 [Li Q Z. Going forward to the road of accurate exploration—Analysis of high-resolution seismic exploration system engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1994]
- 3 刘震,吴因业. 层序地层框架与油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,1999 [Liu Z, Wu Y Y. Stratigraphic sequence skeleton and oil & gas exploration[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1999]
- 4 Fertl W H. Abnormal formation pressure, Implication to exploration, drilling, and production of oil and gas reservoirs[M]. Amsterdam: Elsevier, 1976. 1~382
- 5 Magara K. Compaction and fluid migration, Practical petroleum geology[M]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. 1~319
- 6 楚泽涵. 声波测井原理[M]. 北京:石油工业出版社,1980 [Chu Z H. Theory of acoustic logging[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1980]
- 7 陈荷立,罗晓容. 泥岩压实曲线研究与油气运移条件分析[J]. 石油与天然气地质,1987,8(3):233~242 [Chen H L, Luo X R. Study of shale compaction curve and analysis of the condition of oil & gas migration[J]. Oil & Gas Geology, 1987, 8(3):233~242]
- 8 Rieke H H, Chilingarian G V 著,徐怀大译. 泥质沉积物的压实[M]. 北京:地质出版社,1984. 32~33 [Rieke H H, Chilingarian G V, Xu H D translator. Compaction of argillaceous sediments[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984. 32~33]
- 9 Mouchet I P, Michell A. Pressions anormales en cours de forage[M]. Pau, France: Manuels Tech. Of Elf-Aquitaine, 1987. 1~260

A Method for Eliminating Geology Factors of Affecting Compaction Trendline : an example from Yinggehai Basin

ZHANG Fa-qiang¹ WANG Zhen-liang³ WU Ya-sheng¹

YANG Ji-hai³ LUO Xiao-rong¹

1 (Institute of Geology and Geophysics Beijing 100029)

2 (Department of Geology Northwest University Xi'an 710069)

3 (China Offshore Oil Nanhai West Co. Zhanjiang Guangdong 524057)

Abstract In the Quaternary formation and Upper-Tertiary formation of Yinggehai Basin , except for abnormal pressure and compaction , there are mainly four factors affecting acoustic time , which are lithology variation , cementation , gas in the formation and crack. They usually co-exist and are difficult to distinguish. According to the ideology of seismic processing , i. e. , pre-stack noise attenuation/signal enhancement , we superpose multi-wells ' acoustic time data of the same local region. In result , the information of reflecting pore characters enhances. It is an effective method to avoid other factors to disturb acoustic velocity. Furthermore , applying this method in processing velocity spectra , the predicted result of the formation pressure conforms to the measured pressure during drilling.

Key words Yinggehai Basin , acoustic velocity , compaction curve , effect factors , curve superposition

(Continued from page 325)

Timing and Phases of Hydrocarbon Migration and Accumulation of the Formation of Oil and Gas Pools in Lunnan Low Uplift of Tarim Basin

WANG Jian-bao GUO Ru-tai XIAO Xian-ming LIU Zu-fa SHEN Jia-gui

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry , Guangzhou Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510640)

Abstract Lower Palaeozoic strata in the Lunnan Low Uplift , of Tarim Basin , China , have recently been found to contain abundant migrated solid bitumen and petroleum-bearing fluid inclusions. In order to determine their origin and timing of the formation , bitumen/inclusion-rich core samples recovered from several wells in the area (mainly carbonate reservoir rocks and carrier units) were examined using a combination of organic petrographic and microthermometric techniques. Based on bitumen reflectance (BR_o) measurements , solid bitumens were divided into three main groups , viz. (I) 1.20% ~ 1.35% , (II) 0.80% ~ 0.95% and (III) < 0.05% . Hydrocarbon fluid inclusions were also grouped into three different assemblages based on their fluorescence colour and homogeneous temperatures (T_h) : (I) yellow-green , $T_h = 80 \sim 90^\circ\text{C}$; (II) green , $T_h = 60 \sim 70^\circ\text{C}$ and (III) blue-green fluorescence , $T_h = 100 \sim 150^\circ\text{C}$. Spatial distributions of fluid inclusion Groups I , II and III within the structure closely matched those for bitumen Groups I , II and III , respectively , and indicated that there were three separate episodes of large-scale oil migration and accumulation in the uplift. Using the BR_o and inclusion T_h data in combination with available burial and geothermal history in formation for the area , it was concluded that three corresponding phases of petroleum generation and migration took place during (I) Silurian to early Devonian , (II) Cretaceous to early Tertiary and (III) late Tertiary , from Cambrian-Ordovician source rocks. These findings provide useful insights into the complex origins of oil and gas pools in this region of Tarim Basin.

Key words Tarim Basin , Lunnan Low Uplift , fluid inclusions , bitumen