

# 用声波时差资料研究泥岩 压实时的岩性影响问题

秦若辙 王忠然

(大港石油管理局地质勘探开发研究院)

使用声波时差测井资料来了解泥岩孔隙度,从而研究泥岩压实状况,是以泥岩的岩性均一为基础的。中国东部陆相盆地中泥岩含砂比较普遍,泥岩中粉砂含量的变化给时差读数带来了明显的影响。但这种变化不能用自然伽玛和自然电位资料加以识别,常常为一些研究者忽视,由此在时差取值、选取正常趋势线和资料的地质解释工作中造成一些错误。本文依据声波时差测井的物理基础和岐北凹陷的实际资料对这些问题作了分析,并提出了解决问题的方法。

## 一、问题的提出

利用测井的声波时差资料研究泥岩压实状况,是研究油气运移的重要方法之一(真炳钦茨,1981),并已在我国得到广泛应用。我们在黄骅拗陷的岐北凹陷使用这一方法时,发现目前时差的取值方法不一致,对如何确定正常趋势线也有不同认识。究其原因,是对泥质碎屑岩中主要由粉砂含量引起的岩性变化及其对时差曲线的影响认识上尚不统一,目前一些研究者只用自然伽玛和自然电位曲线来判断岩性也还有不足之处,与此有关,在时差曲线的地质解释工作中还存在着忽视岩性影响的问题。因此,如何估计岩性对时差曲线的影响,并加以克服,就成了正确使用时差资料的一个重要问题。我们试就岐北凹陷的实际情况对此进行分析,所得的认识对中国东部同类的陆相盆地可能也有参考意义。

## 二、时差曲线上由粉砂引起的岩性影响不容忽视

陆相盆地中泥岩含砂是普遍现象,以岐北凹陷为例,作为主要生油岩系的下第三系中广泛发育了水下冲积扇、滩坝砂体和前积型砂体,凹陷较深部位分布有浊积砂体和重力流砂体。在这些岩体的地层剖面中,分布于砂层之间和砂层周围的细粒岩石很少见到较纯的泥岩,绝大部分是砂质泥岩、泥质砂岩及粉砂岩构成的互层(图1)。即使在深湖相的厚层泥岩中,也常常见到含砂量不等的砂质泥岩和粉砂岩条带(图2)。地层中砂质成分含量的这些变化可以引起时差数值的明显变化。

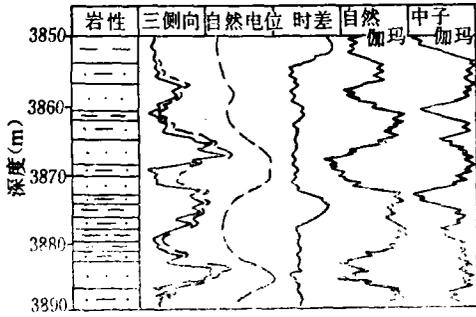


图1 S-15井地质地球物理剖面

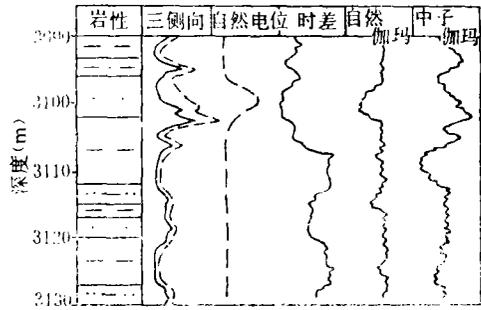


图2 S-32井地质地球物理剖面

声波时差读数取决于岩石的骨架成分、总孔隙度、流体性质和泥质分布方式。假定孔隙中流体主要是水，不含气，又忽略掉泥质分布方式的不同，可以只考虑骨架成分和总孔隙度两个因素，取砂质骨架、粘土和水的时差分别为182、328和620微秒/米（雍世和等，1982），可以用威利公式来估算岩石的时差数值（图3）：

$$\Delta t = (1 - \phi) \cdot \Delta t_{骨} + \phi \cdot \Delta t_{水} \quad (1)$$

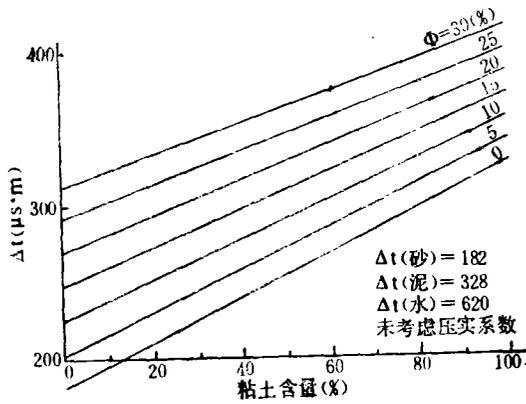


图3 骨架成分和总孔隙度对声波时差的影响

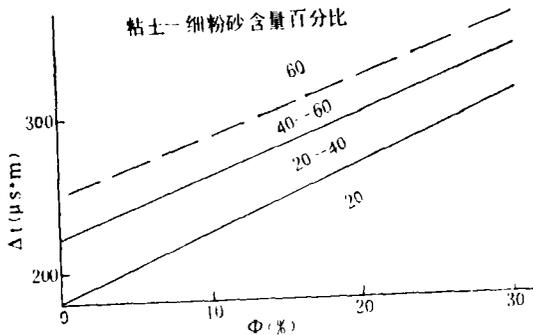


图4 岐北凹陷岩石孔隙度和泥质含量与时差的关系 (据15口井岩心分析结果)

式中 $\Delta t$ 、 $\Delta t_{骨}$ 、 $\Delta t_{水}$ 分别是岩石、骨架和水的时差， $\phi$ 是岩石总孔隙度， $\Delta t_{骨}$ 与岩性有关，可按层状模型由砂和粘土的时差加权求得。

由图3看到，当总孔隙度变化5%时， $\Delta t$ 变化大约20微秒/米，当岩性由泥岩（假定粘土含量90%）变为粉砂质泥岩（粘土50—70%）时，骨架成分引起的 $\Delta t$ 变化为20—40微秒/米。如果岩性变为泥质粉砂岩（粘土25—50%）， $\Delta t$ 变化可达40—70微秒/米。由于目前缺乏资料，对于由岩性引起的总孔隙度变化尚不能估计。但仅就骨架成分因素来看，其影响并不低于压实作用的影响。为了对威利公式计算结果进行验证，我们统计了岐北地区15口井取心样品的孔隙度、粒度资料，并与时差读数相对比，所得的结果与威利公式结果相近（图4）。当泥质与细粉砂含量之和变化40%时，时差可变化50—60微秒/米。

为了保证取得泥岩读数，目前用自然伽玛和自然电位曲线判断岩性。对比钻井地质录井、岩心和测井曲线可以看出，在岐北凹陷，这两条曲线大体上可以把粗粉砂—细砂占优势的层段从泥岩中区分出来。但如果岩性变化主要是由细粉砂含量变化所引起，这两条曲线上一般没有反映。图1中的3874—3880m井段和图2中的3115—3120m井段便是例子。

国外两个比较大的测井公司，斯伦贝谢公司和德莱赛公司，都制作了根据自然伽玛相对值计算“泥质”含量的图版(图5)(王笑连, 1981)。首先要指出，测井的“泥质”一词是指粘土与细粉砂的总和。按照斯伦贝谢公司的图版，当“泥质”达到80%时，自然伽玛相对值可以达到80%；如果把“泥质”中的细粉砂不算在内，那么粘土含量为30—50%时(相当于泥质粉砂岩)自然伽玛幅度就与纯泥岩相差无几。若按照德莱赛公司的图版，粘土含量还可以更少些。岐北凹陷的实际情况与图版大致相同，我们曾将7口取心井272个岩心样品的粒度资料与自然伽玛相对值作比较(图6)，发现粘土与细粉砂量之和与德莱赛公司的曲线接近。自然伽玛相对值高的样品，粘土含量并不一定很高。

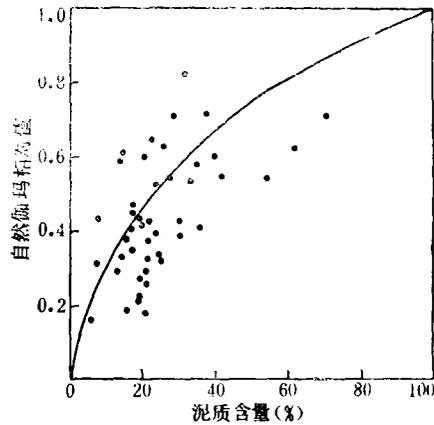
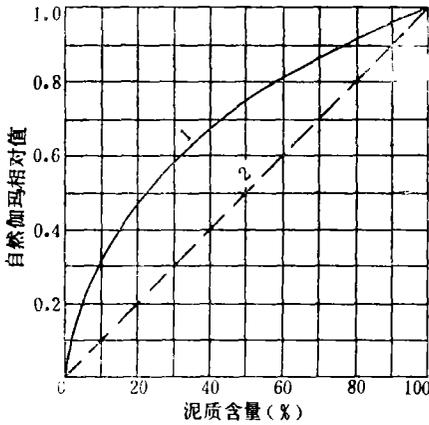


图5 自然伽玛相对值与泥质含量的经验关系  
1. 德莱赛公司; 2. 斯伦贝谢公司

图6 岐北凹陷自然伽玛相对值与泥质含量的关系  
(据7口井272个岩心样品分析)

除了岩石自身的性质外，有时工作条件也会造成这种结果。例如，测井井段较短时可能遇不到较纯的泥岩，即使是测井图上自然伽玛最高的地方，也仍然含有较多的砂质。

时差数值除受骨架成分和孔隙度影响外，在测量条件下还受井径影响。泥岩的井径往往不规则，在淡水泥浆时更严重。井径的不规则有三种情形：一是扩径，当实际井径大于30cm时，由泥浆中穿过的直达波被首先接收而使读数偏大，按读值规则不应使用；二是缩径，泥岩中的蒙脱石发生水敏现象，使时差值偏大；三是井径变化剧烈之处井壁不与测井仪器平行，常常见到时差曲线大幅度摆动，摆动形态与井径曲线形态一致，在砂岩发育井段，岩性问题加上井径影响使泥岩读数发生困难，有时几十米井段中找不到一个质量可靠的泥岩值，如果仍然以固定深度间距(一般10m左右)读值，并做为泥岩点来使用，其可靠性是值得怀疑的。

总之，时差曲线受岩性影响是客观存在，不容忽视。目前由于读值规则的不完备，它还没有受到足够重视，这是在取值、确定正常趋势线和地质解释中产生某些不正确做法和不统一认识的原因所在，需要加以解决。

### 三、消除岩性影响的方法

#### 1. 正确的取值方法

为了解决岩性问题，不能只依靠自然伽玛和自然电位曲线。可以按具体情况采取以下做法：

(1) 在对测井曲线综合解释的基础上力求取得泥岩时差数据。综合使用多条测井曲线，尤其是反映岩性比较敏感的微电极、微侧向、三侧向、时差、井径、自然电位、自然伽玛和中子伽玛等，可以提供粉砂含量的概念。通过与岩心资料对比，得出岐北凹陷泥质碎屑岩的测井特征，见表1。

表1 岐北凹陷泥质碎屑岩的测井特征

| 特 征 项 目<br>岩 性 | 微 电 极<br>微 侧 向<br>三 侧 向 | 自 然<br>电 位   | 时<br>差 | 井<br>径    | 自 然<br>伽 玛 | 中 子<br>伽 玛 |
|----------------|-------------------------|--------------|--------|-----------|------------|------------|
| 泥 岩            | 低                       | 基 值          | 高      | 扩径、缩径、不规则 | 高          | 低          |
| 粉砂质泥岩          | 中等                      | 基 值          | 中等     | 中 等       | 高          | 中 等        |
| 泥质粉砂岩          | 中等                      | 基 值          | 中等     | 规 则       | 较 高        | 中 等        |
| 粗粉砂岩、细砂岩       | 较高<br>(淡水泥)<br>浆        | 有显示或<br>明显异常 | 较低     | 规 则       | 较 低        | 较 高        |

(2) 当剖面上各段岩性粗细不等时，应选一个比较适中的岩性来读值，力求全井读值对应于同一岩性，以减小纵向上岩性变化的影响。

#### 2. 正确确定和使用正常趋势线

应当在正确确定（或估计）泥岩时差的基础上来确定正常趋势线，而不要不分岩性只按读数来进行。图7是一口井选取正常趋势线的实例。在这口井如果只考虑东一段（Ed<sub>1</sub>）为正常压实段而不注意岩性，就会按图上虚线位置确定正常趋势线。实际上它所依据的数据点时差与砂岩接近，对应岩石中含砂较多，比下部的欠压实带粗得多。这样定的正常趋势线会夸大下部地层的欠压实程度。如果注意到东一段的岩性，照顾到上下泥岩的数值来确定泥岩的正常趋势线，可以取得较好的效果。

正常趋势线在孔隙度的半对数坐标图上是一条直线，其方程是：

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-C \cdot H} \quad (2)$$

式中： $\varphi$ ——孔隙度， $\varphi_0$ ——岩石的原始地表孔隙度， $C$ ——系数。在时差的曲线图上，正常趋势线的方程是：

$$\log(\Delta t - \Delta t_{\text{骨}}) = \log(\Delta t_0 - \Delta t_{\text{骨}}) - n \cdot H \quad (3)$$

式中： $\Delta t_0$ ——岩石未经压实前在地表的时差， $n$ ——系数，其它符号意义同前。该式在半对数坐标中是一条以 $\Delta t_{\text{骨}}$ 为渐近值的曲线，其上部可以用直线来近似描述。

在坡北凹陷，深度在3000m以内时这条直线与曲线的差别很小，使用它不会造成平衡深度的误差。但不要向下无限延长和使用这条直线，否则可能得出错误的认识。例如，当时差曲线向深处趋于某一固定值时，若按正常趋势线是直线考虑，越往深处时差曲线偏离正常趋势线越远，可以认为深部有严重的欠压实现象。若按正常趋势线是曲线考虑，也许对时差曲线数值趋于稳定这个现象反映的只不过是深部地层在超压释放后接近了正常压实状态。对正常趋势线的两种认识得出了相反的解释结果，在地层较老，沉积速率不高的情况下尤应注意这个问题。

### 3. 解释时差曲线时应首先注意岩性影响

在把时差曲线换算成孔隙度曲线或压力曲线时，应当在公式中使用相应岩性的骨架速度。即使做不到这一点，也必须在解释前对剖面上的岩性变化做出估计。目前一些人在换算公式中对不同岩性使用同一骨架时差值，这样计算的结果只能是时差曲线的某种变形，不能代表真正的孔隙度变化曲线或压力变化曲线。对压实曲线的地质解释，如根据曲线上数值的高低来分析有利排烃带、划分排液组合、确定排液厚度，甚至认为相邻井段间时差相差越大则油气运移速度越快等等，都是以岩性均一的泥岩为基础的（尽管在说明这些现象时结合岩性或相带做了分析）。假使这个条件得到满足，可以认为时差主要反映了压实状况，做出的地质解释才是可信的。但在我们研究的地区，在时差发生变化之处一般都存在岩性变化，压实引起的时差变化是迭加在岩性影响上面的。切不可只用压实一个因素来解释时差变化，否则地质结论缺乏牢固的基础。

图8是一口井计算压力的实例。图上实线表示由时差曲线计算的地层压力，点线是由实测压力推算的地层压力，测压深度在

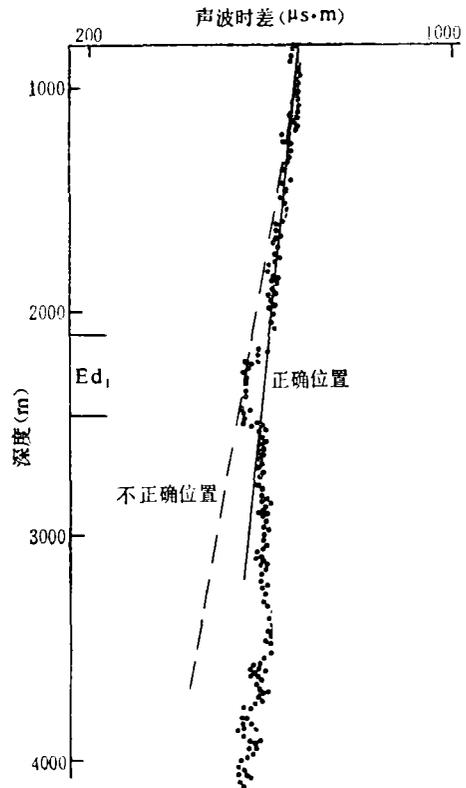


图7 S-28井正常趋势线的选取

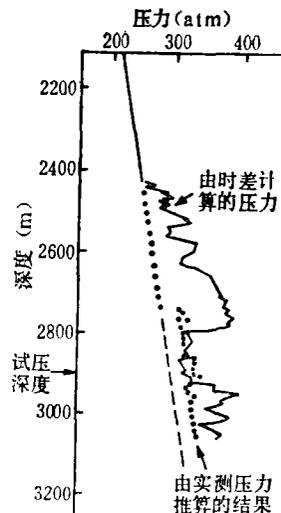


图8 G-996井单井压力剖面

2893—2925m。在测压深度附近井段，实线与点线接近；在较远的上下井段，二者相差较大。在解释这种差别时，首先要看到上下井段的岩性较细，与测压井段不同，点线是按测压井段的岩性条件推算的，点线和实线各自对应不同的岩性条件。如果忽略了这一点，就会认为砂岩与上下泥岩之间有很大的压差。实际上，如果把岩性影响剔除掉，两种计算方法结果的差别将会明显减小。

在用正确方法制作出来压实曲线之后，地质解释也要考虑不同岩性的压实特点。李明诚在提出压实曲线动态分析方法时曾经指出（李明诚，1985），砂泥岩比例不同的地层具有不同的排液条件，因而有各自不同的压实史。地层在遭受压实时，其孔隙度并不沿现今孔隙度曲线变化，而是按照相应岩性的压实轨迹发生变化。我们认为这个观点是正确的，对此不多赘述。

#### 4. 使用现代测井手段对粉砂含量做出准确估计

例如，用密度、中子和时差三种数据交会可以求得粉砂含量，进而对其影响进行校正。这在数字测井资料的计算机处理中不难实现。

本文曾经孙先汉、李明诚同志审阅，并提出宝贵意见，在此致谢。

（收稿日期：1986年11月5日）

### 参 考 文 献

- 〔1〕真炳钦次，1981，压实与流体运移，石油工业出版社。
- 〔2〕雍世和、洪有密，1982，测井资料综合解释与数字处理，石油工业出版社。
- 〔3〕王笑连，1981，地层压力的预测与检测技术，测井技术。
- 〔4〕李明诚，1985，在油气初次运移研究中压实曲线的应用，地球科学（武汉地质学院院报）。

LITHOLOGIC EFFECTS UPON THE STUDY OF  
CLAYSTONE COMPACTION USING THE DATA FROM  
TIME DIFFERENCE OF ACOUSTIC WAVE

Qin Ruozhe

Wang Zhongran

(Dagang Research Institute of Petroleum Exploration and Development)

**Abstract**

Based on the lithological homogeneity of claystones, logging data of time difference of acoustic wave have been used to study the porosity and compaction of claystones. The claystones in the continental basins of Eastern China are often sand-bearing. The readings of time difference can be strongly affected by the variation in silt content of claystones. This is likely being neglected, because it can not be identified from the information of natural potentiallog. There are possibilities of error in selecting values of time difference and normal trend lines, and in geological explanation as well. The authors analyse these problems using acoustic log and actual information from the Qibei Depression and propose the right way to solve such problems.