

应用地震波速度预测砂岩孔隙度*

吴东胜 王正允 王方平 林小云

(江汉石油学院地质系 湖北荆沙 434102)

储层的岩性、物性、含油气性、地层压力等因素都对地震波的传播速度产生影响。经统计钻井、测井资料进行无约束最小二乘拟合后表明, $V=A\Phi+B\Psi+Ch^{1/n}$ 是表述储层速度与孔隙度关系最理想的数学模型。在此基础上建立起三元介质组合模型, 先利用层速度对泥质含量的响应, 预测储层中泥岩的分布, 进而预测储层中孔隙的分布。运用该方法对塔里木盆地三叠-侏罗系砂岩储层进行了孔隙分布预测, 取得了较好效果。

关键词 地震波速度 介质 模型 孔隙度 预测 应用

第一作者简介 吴东胜 男 28岁 硕士 石油地质及地震地层

1 前言

检测孔隙度的主要方法有岩芯直接测定法、测井法和地震法三大类。在地震方法中, 应用地震波速度计算孔隙度是主要的方法之一。

地震波在岩石中的传播速度主要受岩性(如砂泥岩百分含量)、物性(如孔隙度、孔隙压力)和含油气性(如流体饱和度)等因素的影响。在应用地震波速度预测孔隙度的实际工作中, 描述波速-孔隙度关系主要应用四类经验公式^[1~4]:

$$1/V = \Phi/V_f + (1-\Phi)/V_{ma} \quad (1)$$

$$1/V = \Phi/V_f + \Psi/V_{sh} + (1-\Phi-\Psi)/V_{ma} \quad (2)$$

$$V = A\Phi + B\Psi + C \quad (3)$$

$$V = A\Phi + B\Psi + Ch^{1/n} \quad (4)$$

式中 V ——地层速度; V_f ——孔隙流体速度; V_{ma} ——骨架速度; V_{sh} ——泥质速度; Φ ——孔隙度; Ψ ——泥质体积含量; A 、 B 、 C 为常数, 且 $C \leq V_{ma}$, $A < B < 0$

式(1)为 Wyllie^[1]所提出的时间平均方程, 它以二单元岩石模型为基础, 认为砂岩由骨架和孔隙两部分组成, 未考虑泥质成分的影响。Angeleri^[2]考虑到砂岩中泥质成分对速度的影响, 对式(1)加以扩展, 得到改进的时间平均方程式(2)。公式(3)则是 Han 和 Nur^[3]根据实验所提出的线性关系式, 近似地表示速度与泥质含量、孔隙度间的关系。由于地层压

* 国家“八五”科技攻关项目研究成果

收稿日期: 1995-03-31 改回日期: 1995-04-27

力的增加不仅可造成砂岩孔隙度的降低,同时也使砂岩骨架颗粒的排列、接触关系等发生改变。因此,孔隙度的变化对速度的影响不能完全反映地层压力对速度的影响。基于上述考虑,朱向东等^[4]提出公式(4),同时考虑泥质含量、孔隙度、地层压力等三类因素对速度的影响。但是,这些因素的影响程度都与具体地质条件有关,这就需要通过统计分析钻井、测井资料,以建立反映一个地区储层速度-孔隙度关系的合理的数学模型,为准确地估算孔隙度提供依据。

2 三元介质组合模型

为建立塔里木盆地储层速度-孔隙度关系的数学模型,我们统计了该盆地多口井的钻、测井资料(图1),对上述公式进行无约束最小二乘拟合,结果表明公式(4)拟合的方程相关系数大于其它方程。因此,公式(4)更适合于描述塔里木盆地砂岩储层(T-J)的波速实际。分析其原因:一是泥质成分不能忽视;二是本区砂岩储层(T-J)埋藏深度变化较大,应考虑地层压力对速度的影响。由图1亦可见,据公式(4)拟合的孔隙度(P_g)与实测孔隙度(P)更为接近,其数据点的分布更接近于45°线。

应用此模型预测孔隙度应给出泥质含量参数,但在少井和无井地区,泥质含量的分布是鲜知或未知的。为解决这个问题,可从宏观和微观两个角度对砂岩组成进行分析,便可得出两种统计学上的结论^[5]。

从宏观而言,含有一定泥质成分的砂岩可等效为一个二单元岩石模型,砂体由纯砂和纯泥两部分组成。用数学公式表示为:

$$1/V = (1-\Psi)/V_s + \Psi/V_{sh} \quad (5)$$

式中 V ——地层速度; V_s ——纯砂岩速度; V_{sh} ——纯泥岩速度; Ψ ——泥质含量。

由于纯砂岩和纯泥岩的速度受埋深的控制,只要已知地层速度,就可求出泥质含量。

从微观上讲,含泥质的砂岩由岩石骨架颗粒、泥和孔隙流体三部分组成。前面所建立的数学模型公式(4),可反映各组成部分对波速的影响。

将以上二结论联系起来,可得一组合方程式,我们称之为三元介质组合模型:

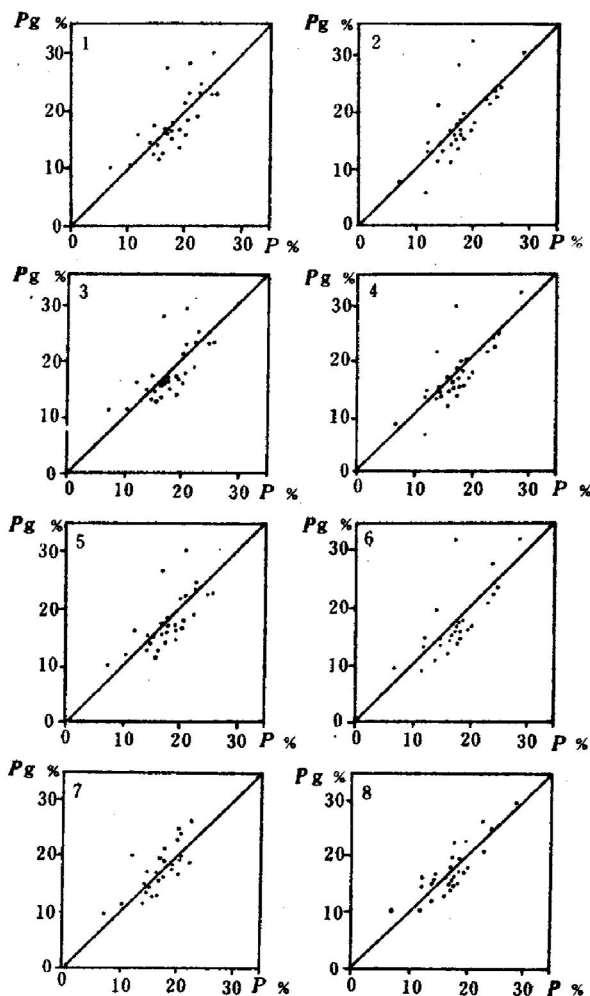


图1 实测孔隙度与估算孔隙度交会图

1—T; (3) 式, $R=0.789366$; 2—J; (3) 式, $R=0.796442$; 3—T; $1/V=A\Phi+B\Psi+C$, $R=0.729953$; 4—J; $1/V=A\Phi+B\Psi+C$, $R=0.734064$; 5—T; $1/V=A\Phi+C$, $R=0.716185$; 6—J; $1/V=A\Phi+C$, $R=0.699144$; 7—T; (4) 式, $R=0.939442$; 8—J; (4) 式, $R=0.938893$; T—三叠系; J—侏罗系; P—实测孔隙度; P_g —估算孔隙度; R—相关系数

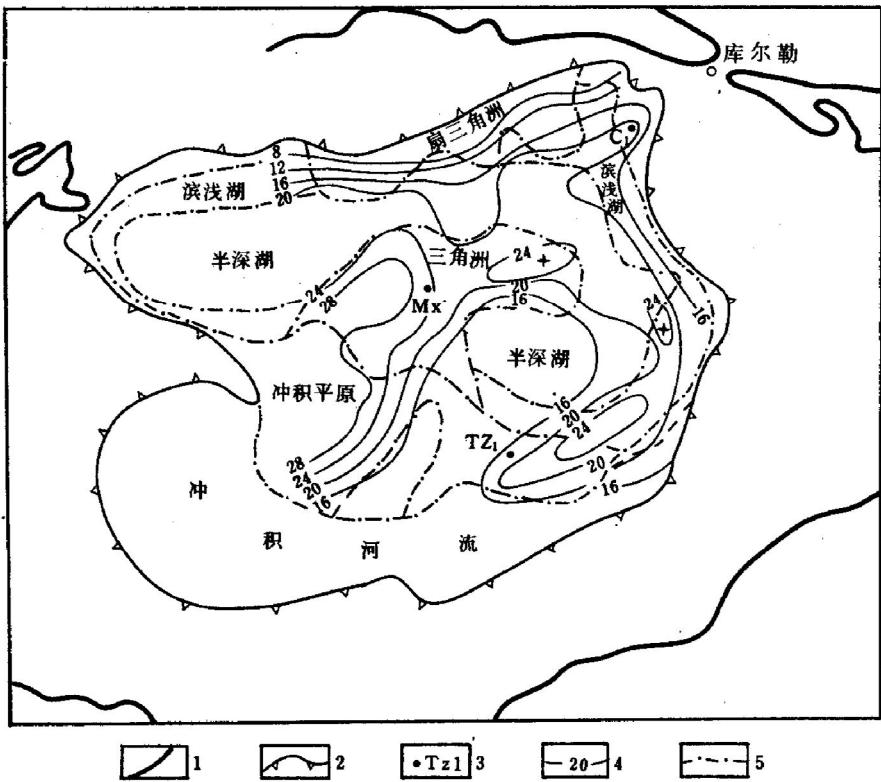


图 2 塔里木盆地三叠系孔隙度预测图

1—盆地边界, 2—地层尖灭线, 3—井号, 4—孔隙度等值线, 5—沉积相界线

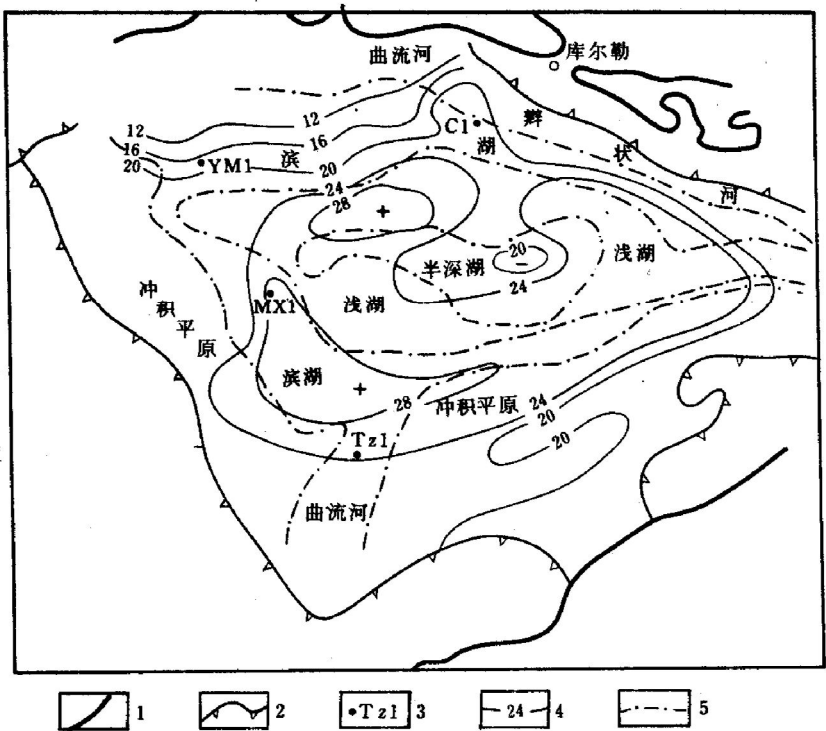


图 3 塔里木盆地侏罗系孔隙度预测图

(图例同图 2)

$$\begin{cases} 1/V = (1-\Psi)/V_s + \Psi/V_{sh} \\ V = A\Phi + B\Psi + Ch^{1/n} + K_p \end{cases} \quad (6)$$

其中, K_p 为校正参数, 可由实测资料求得。分析此模型及其获得过程可知: (1) 只要已知地层速度, 便可求得泥质含量, 进而估算出砂质储层的平均孔隙度。由于泥质含量的获得较为可靠, 所求得的孔隙度值也更为准确。(2) 对于含泥质成分较少的砂层, 所获孔隙度即为砂体的平均孔隙度; 而对于含泥岩较多的厚地层, 所获孔隙度则为整个地层的平均孔隙度。

3 应用分析

应用上述方法, 采用模型迭代法求取层速度, 对塔里木盆地的砂岩储层 (T-J) 进行了孔隙度预测 (图 2, 图 3)。其结果与钻井所获孔隙度资料相符合, 与沉积相的展布也有较好的一致性。三叠系砂岩孔隙度高值区主要分布于三角洲前缘、滨湖、冲积平原等相带; 而半深湖、泛滥平原沉积地区的孔隙度相对较低。侏罗系砂岩的孔隙度分布亦具有同样的特征, 环满加尔中心半深湖区的滨浅湖相带均有较高的孔隙度, 而半深湖相及盆地周边冲积平原相分布区带的孔隙度则相对较低。以上结果表明, 应用本方法可较准确地预测孔隙度的分布。在少井或无井地区, 能较好地满足储层评价的需要。

参 考 文 献

- 1 Wyllie M R J, Gregory A R, Gardner G H F. An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocity in porous media. *Geophysics*, 1958, 23: 459~493
- 2 Angeleri G P, Carpi R. Porosity prediction from seismic data. *Geophysical Prospecting*, 1982, 30(5): 580~607
- 3 Han Dehua, Nur A. 砂岩孔隙率和泥质含量对波速的影响. 见: 第 56 届 SEG 年会论文集. Tulsa: Elsevier Science Pub., 1986. 1~3
- 4 朱向东, 康利平, 董月霞. 速度的三元介质模型. 石油地球物理勘探, 1993, 28(1): 51~58
- 5 刘震, 张厚福, 张万选. 扩展时间平均方程在碎屑岩储层孔隙度预测中的应用. 石油学报, 1991, 12(4): 21~26

PREDICTION OF SANDSTONE POROSITY BY APPLYING SEISMIC WAVE VELOCITY

Wu Dongsheng Wang Zhengyun
Wang Fangping Lin Xiaoyun

(Geology Department, Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei)

Abstract

The factors including lithologic characteristics, geophysical signature, hydrocarbon-bearing and formation pressure have effects on seismic wave velocity. According to non-constrain least-square fit of drilling and well-logging data, $V = A\Phi + B\Psi + Ch^{1/n}$ would be an ideal mathematical model in expressing the relation between velocity and porosity. On the basis of the above mentioned model, the combined model of three-element medium is proposed in this paper. The prediction of mudstone distribution in reservoirs and then the prediction of porosity were made by applying the response of interval velocity to the content of mud. This method is used to predict the porosity distribution of T-J sandstone reservoirs in Tarim Basin, and the result is good.