

莺琼盆地岩石弹性物性规律之研究

张树林

(中国海洋石油总公司南海西部公司, 广东湛江 524057)

摘要 利用岩芯实验室测试数据、全波列数据和地震资料对莺琼盆地岩石的弹性和物性进行了详尽地分析和研究, 为多波地震资料的应用打下了坚实的基础。

关键词 弹性模量 全波列测井 纵横波速度比 泊松比

1 前言

随着横波地震基本理论研究的进展^[1]、多波采集和接收技术的提高^[2]以及处理技术的提高, 多波地震技术在石油勘探和开发中的应用越来越广泛^[3], 不但可用于二、三维反射地震勘探^[4], 而且可用于井间地震勘探^[4,5]; 不但可用于地质构造的准确成像^[6], 而且可用于储层描述^[7~9]; 不但可用于勘探, 而且可用于开发^[10]; 不但可用于各向同性介质的研究, 而且可用于各向异性介质的研究^[11]。

多波地震毕竟是一个新的技术, 依然存在一些需要解决的问题和难题^[12,13]。在把多波地震资料用于研究储层之前, 我们一定要详细研究勘探区的全波列测井信息和岩石弹性物性规律^[12]。只有把这些基础研究做好了, 才能正确地、可靠地研究和应用多波地震信息^[12]。

通过研究得知: 莺琼盆地含气岩石的弹性模量、纵横波速度比和岩石弹性参数(泊松比)均比含盐水岩石的低得多; 砂岩的速度比和泊松比远小于泥岩。对于含盐水的岩芯(不单指砂岩)而言, 岩石密度与孔隙度存在很好的相关性, 纵横波速度与孔隙度有较好的相关性, 纵横波波阻抗与孔隙度有良好的相关性, 而纵横波速度比和泊松比与孔隙度的相关性却很差。

莺琼盆地岩弹性物性规律的研究成果为该盆地多波地震资料的解释和应用(尤其是烃类检测和岩性预测)打下了基础之, 并为多波地震资料在气藏和岩性预测方面的应用提供了可靠的依据。

2 含不同流体岩石的弹性模量的变化

通常, 含不同流体的岩石的弹性是不同的^[14]。岩石的弹性模量包括刚性模量和剪切模量。刚性模量的大小反映的是岩石受正应力后其可压缩的程度; 而剪切模量的大小反映的是岩石受到剪切力时其形状可改变的程度^②。由于气体分子间的间距和分子间的作用力较固体小得多。因此, 当岩石含气体以后, 岩石的刚性模量显著降低, 而剪切模量基本不变(有时

第一作者简介: 张树林, 男, 1965 年月生, 高级工程师(硕士), 主要从事数据结构、算法、软件工程和信号处理与解释工作。
收稿日期: 2000-06-05

①张树林, 海上多波地震资料解释方法研究及目标区地质效果分析, 1999, 5(中国海洋石油总公司项目研究报告)

②Zhang Shu-lin, Four components seismic testing and its geological application of China offshore, Geophysics, 2001(待刊)

稍微增加)。对莺歌海盆地数口井的岩芯进行了实验室测试,从图 1 和图 2 可清楚地看出,含气岩石的刚性模量(K_{dry})比含盐水岩石的刚度模量(K_{wet})小得多;而含气岩石的剪切模量(μ_{dry})与含盐水岩石的剪切模量(μ_{wet})基本一样(含气岩石的剪切模量稍有增加)^②。从每口井的具体数据来看,含气岩石的刚性模量一般比含盐水岩石的刚性模量小 15 Gpa 左右,而含气岩石的剪切模量只比含盐水岩石的剪切模量大 2 Gpa 左右。

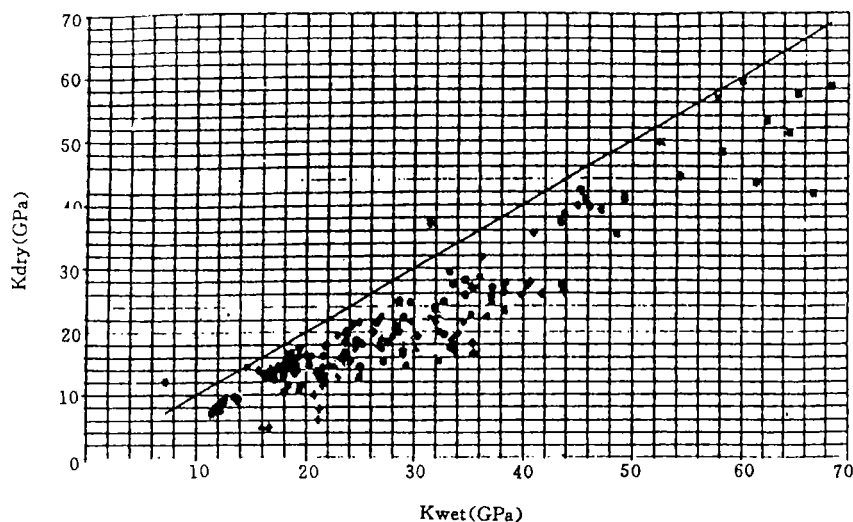


图 1 含气岩芯的刚性模量与含盐水岩芯的刚性模量交会图(图中不同样式的点表示不同的岩性)

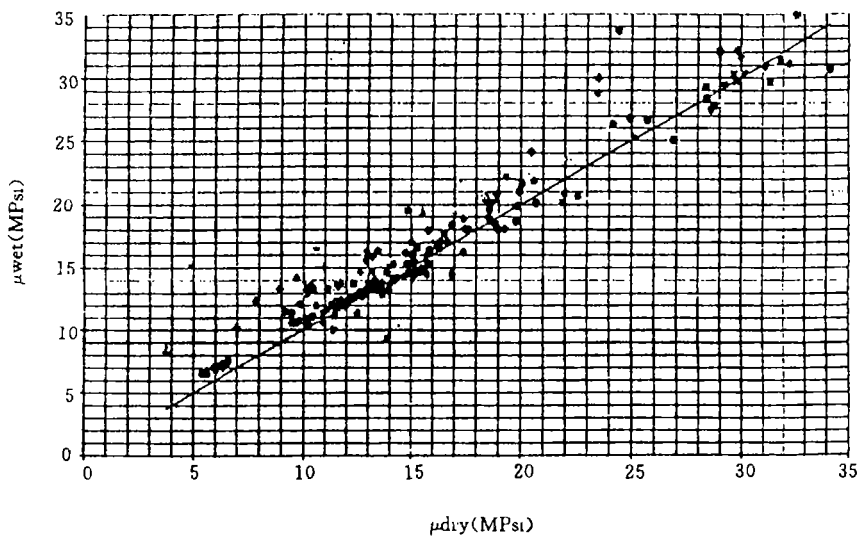


图 2 含气岩芯的剪切模量与含盐水岩芯的剪切模量交会图(图中不同样式的点表示不同的岩性)

3 地震参数和岩石弹性参数的变化规律

从弹性波波动方程出发,我们可得到纵横波速度为^①:

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

从方程(1)和方程(2)看出,岩石的纵波速度 V_p 由岩石的刚性模量 K 和剪切模量 μ 及密度 ρ 决定,而岩石的横波速度 V_s 只由岩石的剪切模量 μ 和密度 ρ 决定。通常,岩石含气后,其密度稍有降低,故岩石密度的微弱变化对纵横波速度并没有明显的影响。从上节的分析易知,岩石含气以后,纵波速度肯定会大幅降低,横波速度基本不变。相应地,含气岩石的纵横波速度比和岩石弹性参数(泊松比)也将大幅降低。

3.1 岩石实验室测试结果分析

通过对莺歌海盆地乐东区六口井岩芯的测试数据进行分析计算,我们发现:含气岩芯的平均速度比(V_p/V_s)为1.600(图3)、平均泊松比为0.179(图4);而含盐水岩芯的平均速度比为1.850、平均泊松比为0.294。岩石含不同的流体,其速度比和泊松比具有明显的差异,两类数据点是明显分开的。

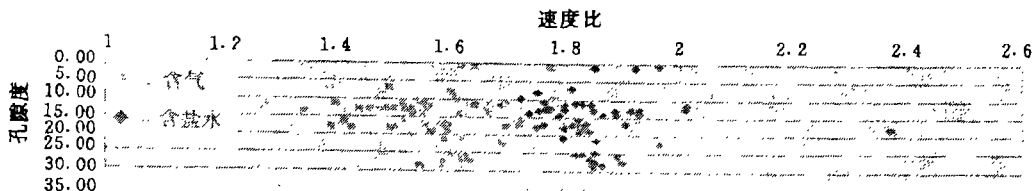


图3 含气与含盐水岩芯的速度比随孔隙度变化图

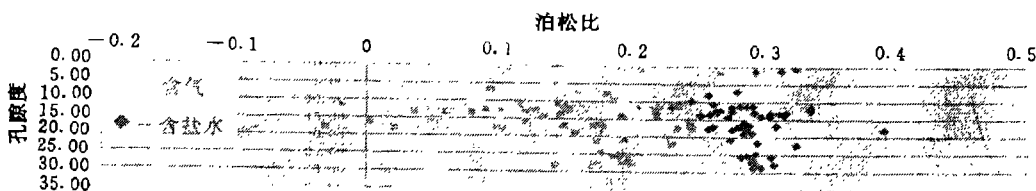


图4 含气与含盐水岩芯的泊松比随孔隙度变化图

3.2 全波列测井结果分析

莺歌海盆地 DF1-1-11 井做了全波列测井,琼东南盆地崖 13-1 气田有四口开发井作了全波列测井。从图 5、图 6 可看出,陵三段含气地层的速度比和岩石弹性参数较之上覆泥岩(盖层)低得多,在气层和盖层之间有一个突变面(比纵波速度的变化大得多),气层的横波速度稍有降低。每一口井的气层的平均速度比和平均泊松比与盖层的相差极大(表 1)。

DF1-1-11 井深层含气层或差气层以及比较纯的泥岩的速度比和泊松比分别为:含气层或差气层的平均速度比和平均泊松比分别为 1.768 和 0.265,泥岩的平均速度比和平均泊松比分别为 2.005 和 0.334。

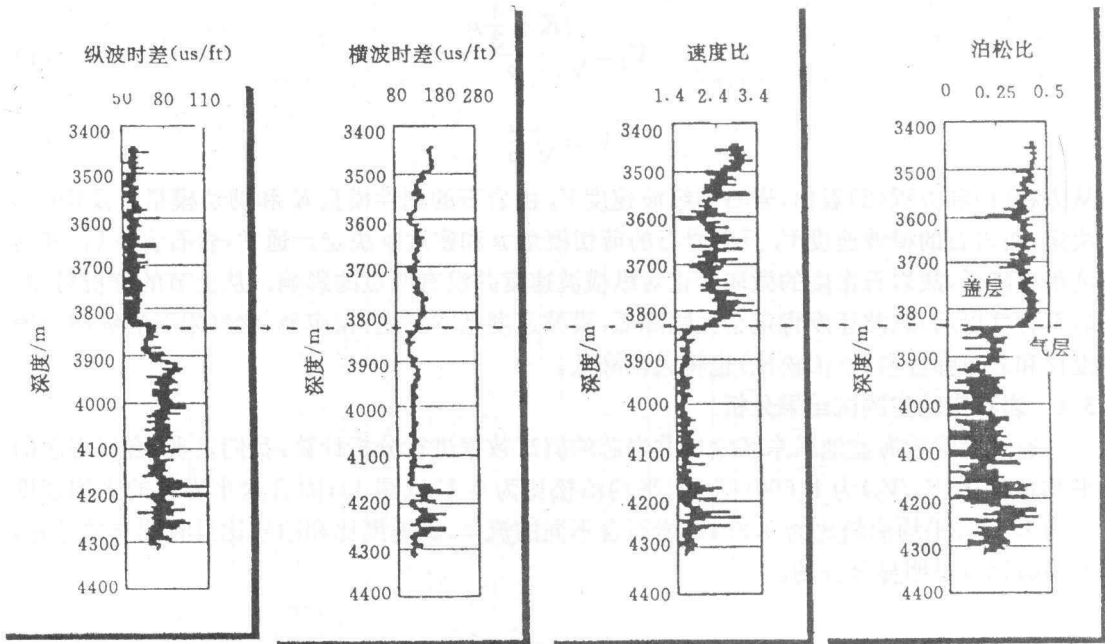


图5 崖13-1气田YA13-1-A3井全波列测井及纵横波速度、泊松比曲线图

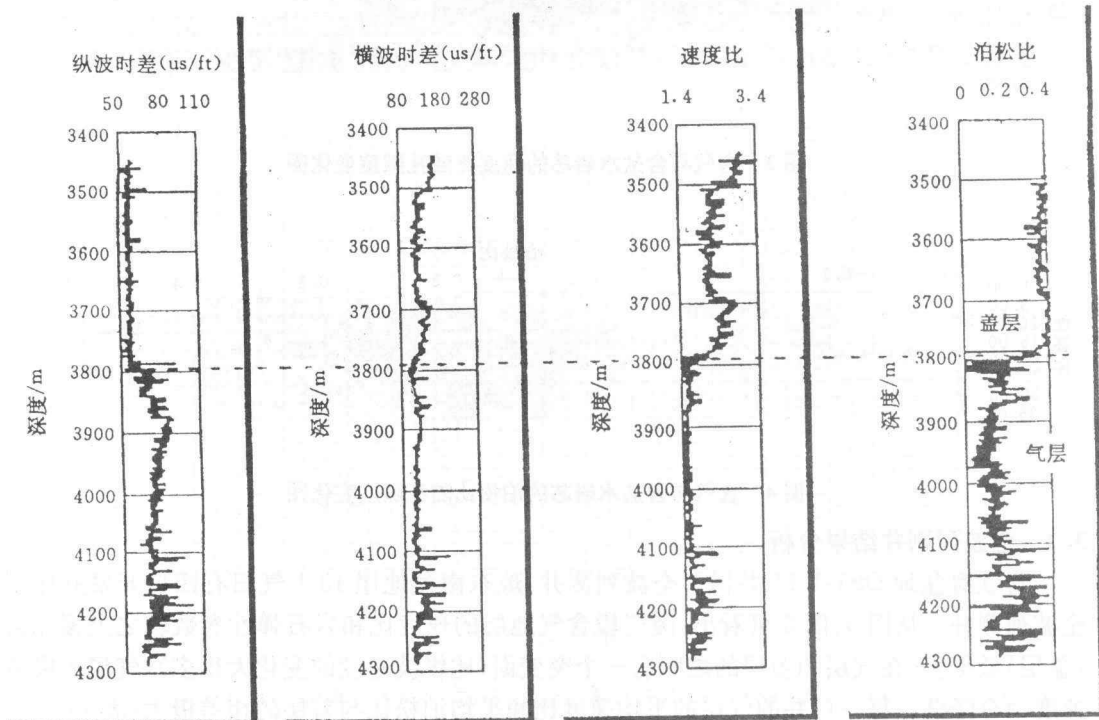


图6 崖13-1气田YA13-1-A4井全波列测井及纵横波速度、泊松比曲线图

井 名	气层平均速度比	气层平均泊松比	盖层平均速度比	盖层平均泊松比
YA13-1-A1	1.650	0.210	1.900	0.308
YA13-1-A3	1.620	0.192	2.150	0.362
YA13-1-A4	1.640	0.204	2.450	0.400
YA13-1-A6	1.590	0.173	2.220	0.373
四口井平均	1.625	0.195	2.180	0.361

3.3 多波地震数据计算结果分析^[15]

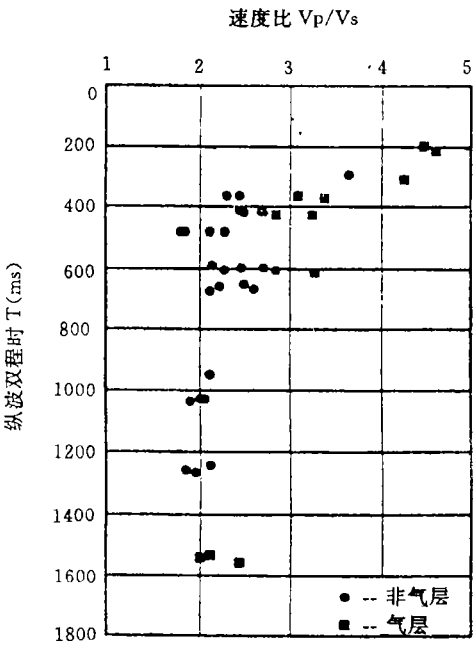


图 7 YGH 盆地多波测线上已钻井岩石纵横波速度比(从地震信息计算)随深度变化图

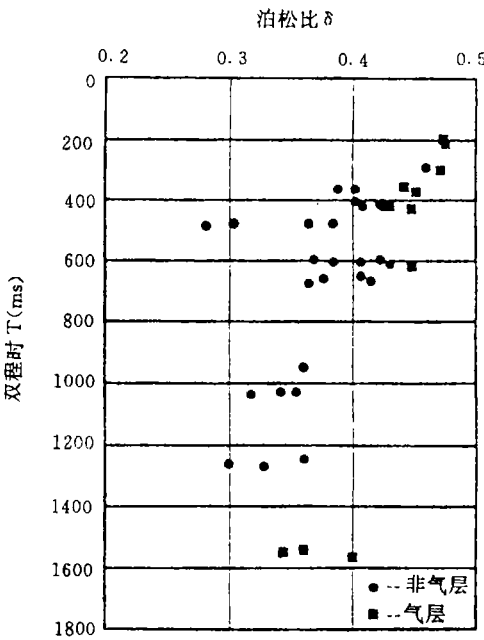


图 8 YGH 盆地多波测线上已钻井岩石纵横波泊松比(从地震信息计算)随深度变化图

我们利用多波地震资料计算了多波测线上五口井不同深度(以纵波双程旅行时表示)气层和干层的纵横波速度比的泊松比(图 7、图 8)。仔细分析二图得出:①相同深度的含气岩石的纵横波速度比的泊松比明显比非气层岩石的低;②越浅的地层的速度比和泊松比随深度降低的梯度越大;③浅层地层的速度比和泊松比的横向变化也远大于中深层。

4 纵横波波阻抗与纵横波速度比和岩石弹性参数的相关性研究

图 9~图 12 是利用 YA13-1 气田四口井的全波列测井数据(陵三段气层和上覆盖层)作出的纵横波波阻抗与速度比或泊松比的相关图。从上述图件可分析得知:(1) 砂岩和泥岩的数据点明显分离;(2) 相对于盖层泥岩而言,气层砂岩的速度比和泊松比明显偏低;(3) 气层砂岩的纵波波阻抗稍低于泥岩的纵波波阻抗,而砂岩的横波波阻抗则相反。

5 地震波参数、岩石密度和孔隙度的相关性研究

图 3 和图 4 告诉我们:含盐水和含气岩芯的速度比、泊松比与孔隙度的相关性都很差。

图 13~图 18 都是利用含盐水岩芯(所有岩性)测试数据计算得出的结果。从图 13 看出,岩石密度和孔隙度具有很好的相关性(相关系数为 0.97)。纵波速度与孔隙度的相关系数为 0.88(图 14)。纵波波阻抗与孔隙度的相关性要稍好于纵波速度与孔隙度的相关性(密度的影响)(图 15),相关系数为 0.94。横波速度与孔隙度的相关性稍差(图 16),相关系数为 0.73。横波波阻抗与孔隙度的相关系数为 0.89(图 17)。遗憾的是,对于所有岩性,含盐水岩芯的纵横波速度比与孔隙度的相关性极差。这说明:我们不能单纯地用速度比来进行储层物性参数的横向预测。

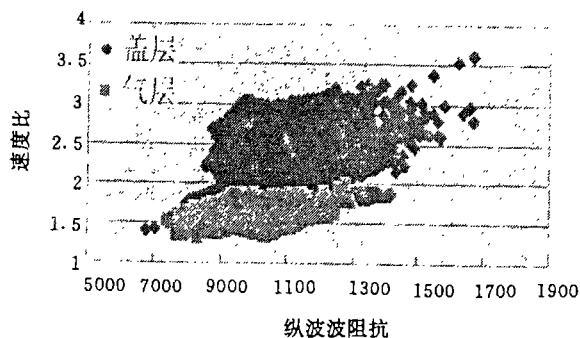


图 9 崖 13-1 气田陵三段气层与上覆盖层
纵波波阻抗与速度比交会图

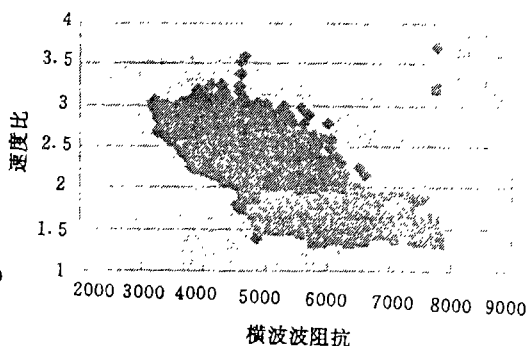


图 10 崖 13-1 气田陵三段气层与上覆盖层
横波波阻抗与速度比交会图

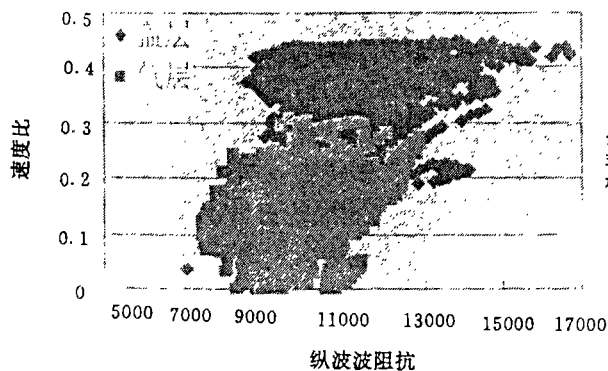


图 11 崖 13-1 气田陵三段气层与上覆盖层
纵波波阻抗与泊松比交会图

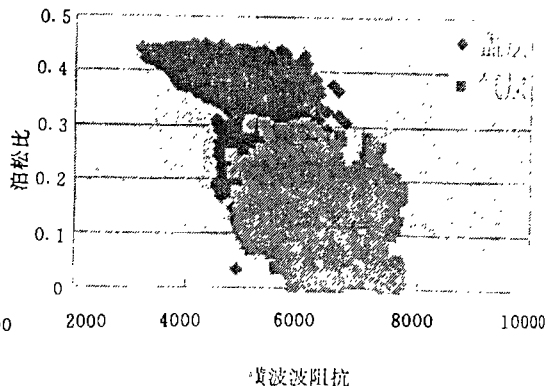


图 12 崖 13-1 气田陵三段气层与上覆盖层
横波波阻抗与泊松比交会图

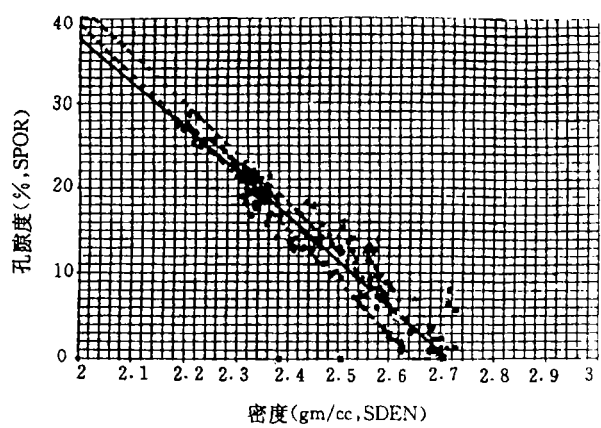


图 13 莺歌海盆地岩石密度与孔隙度交会图(实验测试结果,图中不同样式的点代表不同岩性)

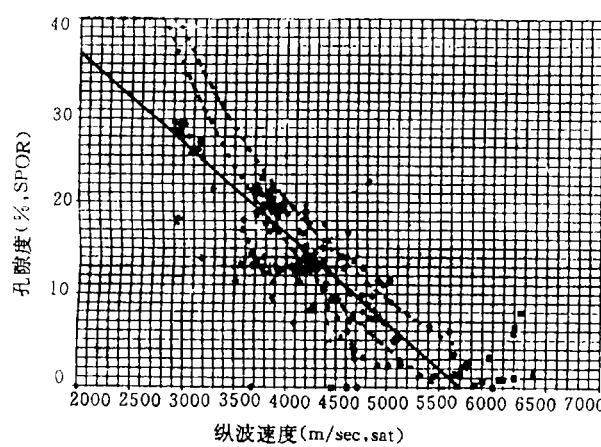


图 14 莺歌海盆地岩石纵波速度与孔隙度交会图(实验测试结果,图中不同样式的点代表不同岩性)

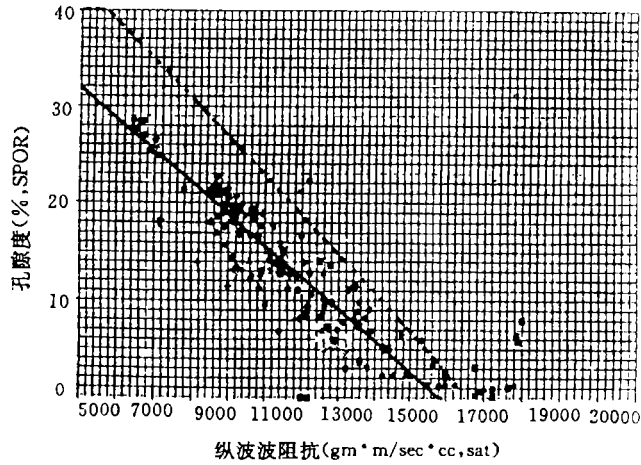


图 15 莺歌海盆地岩石纵波波阻抗与孔隙度交会图(实验室测试结果,图中不同样式的点代表不同的岩性)

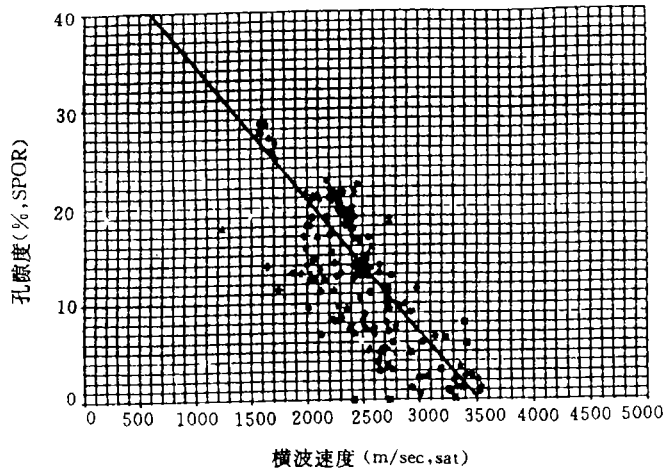


图 16 莺歌海盆地岩石横波速度与孔隙度交会图(实验室测试结果, 图中不同样式的点代表不同的岩性)

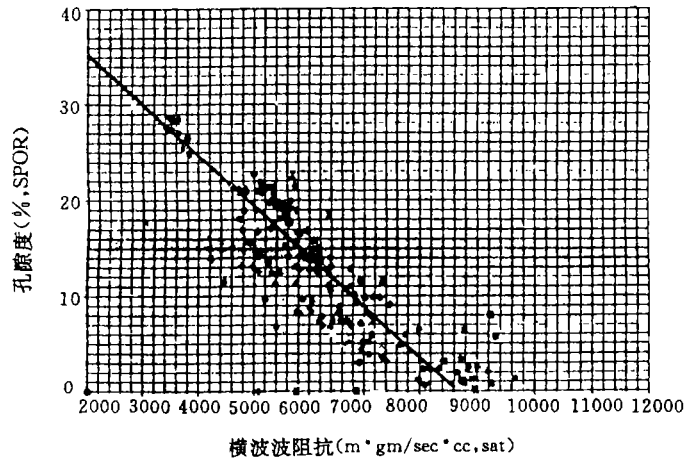


图 17 莺歌海盆地岩石横波波阻抗与孔隙度交会图(实验室测试结果, 图中不同样式的点代表不同的岩性)

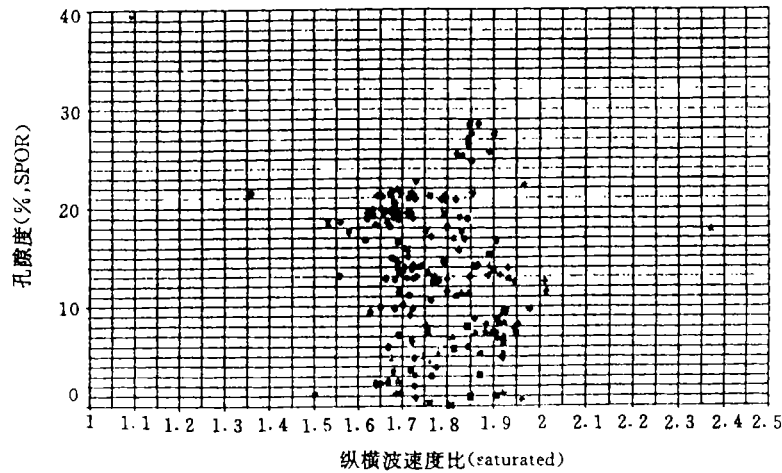


图 18 莺歌海盆地岩石纵横波速度与孔隙度交会图(实验室测试结果, 图中不同样式的点代表不同的岩性)

6 结 论

综上所述,可得出以下结论:

- (1) 岩石含气以后,刚性模量和剪切模量均大幅降低;
- (2) 岩石含气以后,纵横波速度比和泊松比也明显降低;
- (3) 浅层地层的纵横波速度比和泊松比的纵横向变化都很大。到一定的深度,相同岩性相同物性的岩石的纵横波速度比和泊松比基本上不变;
- (4) 对于速度比和泊松比而言,砂岩和泥岩能完全分开,含气砂岩和含盐水砂岩也能分开,含气砂岩和低孔高度固结的不含流体的砂岩也能完全分开。这为我们进行烃类检测和岩性预测提供了很好的依据(另文详述);
- (5) 岩石密度和孔隙度存在很好的相关性;
- (6) 对于含盐水的岩石而言,纵横波速度、波阻抗与孔隙度有好的相关性,纵横波波阻抗与孔隙度的相关性相对要好些,而纵横波速度比与孔隙度没有相关性。

鸣谢:李茂文先生为笔者提供了全波列测井数据,在此深表谢意。

主 要 参 考 文 献

- 1 张树林. 横波地震基本理论的研究. 地球科学进展, 1992, (2): 30~35.
- 2 张树林. 横波激发新技术. 地球科学进展, 1991, (1): 38~40.
- 3 张树林. 地震勘探新领域—转换波勘探技术. 天然气地球科学, 1993, (1): 20~26.
- 4 张树林. 井间地震和逆 VSP 联合层析成像. 石油地球物理勘探, 1993, (5): 70~73.
- 5 张树林译. 归一化数据的层析反演: 双道层析成像算法. 国外油气勘探, 1993, (3): 268~273.
- 6 李绪宣, 张树林. 多波地震技术在海上气田构造成像中的应用. 中国海上油气(地质), 1999, (5): 377~380.
- 7 张树林. 三维地震储层横向预测方法及效果. 石油地球物理勘探, 1994, (增刊 2): 503~507.
- 8 张树林. 一种预测储层岩性的新方法. 石油地震地质, 1993, (1): 76~80.
- 9 张树林编译. 根据 VSP 数据应用转换型横波作岩性预测. 石油物探快讯, 1990, (6): 340~345.
- 10 张树林. 油气田开发地震技术研究与应用. 中国地震学会 1996 年年会会议论文, 1996.
- 11 张树林, 李绪宣, 姜立红. 多波地震地层各向异性的初步研究和探讨. 天然气地球科学, 1999, (5): 45~48.
- 12 张树林, 李绪宣, 姜立红. 关于海上多波地震几个问题的探讨. 物探化探计算技术, 2000, (2): 141~147.
- 13 张树林译. P-SV 波的快速成图和反演. 天然气勘探与开发, 1993, (2): 134~140.
- 14 张树林. 地震波速度与储层参数的关系. 天然气勘探与开发, 1991, (1): 25~30.
- 15 张树林. 海上多波多分量地震烃类检测方法研究. 天然气地球科学, 2000, 11(1): 37~39.

high-content CH_4 , and N_2 natural gas of hydrocarbon and non-hydrocarbon combination origin coexisting with high-content CO_2 of non-hydrocarbon and partly hydrocarbon gas which mainly is CH_4 . Obviously this co-existed grouping relation determine the traits of origin and composition of N_2 . So based on the origin type of N_2 and co-existed grouping relation and distribution characteristics of N_2 , CO_2 and hydrocarbon gas, associated with integrated analyzing and researching of geology and geochemistry, the source of N_2 can be comprehensive discriminated and determined.

Key words Y basin; Origin type of N_2 ; He isotope and Ar isotope; Gas source analyze; Comprehensive discrimination.

THE STUDY OF THE ROCK ELASTIC AND PROPERTY IN YING-QIONG BASIN

ZHANG Shulin (Nanhai West Exploration and Development Research Institute, CNOOC, Zhanjiang, 524057). *NATURAL GAS GEOSCIENCE*, Vol. 11, No. 3, pp 35~43.

Abstract The rock elastic and property were studied in this paper. The following informations were used: (1) the core testing data; (2) all-waves well-log information; (3) seismic data. The study of the rock elastic and property were the basis of multiwave seismic data application.

Key words Elastic module; All-waves well-log; P-/S-wave velocity ratio; Poisson ratio

编辑部声明

因兰州市电信局电话号码调整,从2000年7月16日起,本刊编辑部电话号码改为0931—8271245,传真号改为0931—8275743,望周知。

《天然气地球科学》编辑部

2000年7月