

# 测井和实验室测试岩石物理力学性质的对比

杨 宽

(山西煤田地质局 太原 030006)

**摘要** 根据测井和实验室测试的岩体和岩样纵、横波速度,用均匀各向同性介质的弹性理论计算的弹性常数表明,两种测量方法的一致性很好。这说明测井信息可以提供有足够精度岩石物理力学性质参数。

**关键词** 岩体力学;弹性常数;地球物理测井;实验室研究

**中国图书资料分类法分类号** P631.84

## 1 引言

在《煤炭资源地质勘探规范》中,对各勘探阶段的工程地质工作均有明确规定:在认真做好钻孔工程地质观测的同时,充分发挥测井的作用<sup>[1]</sup>。要求各采样钻孔(段)均应在岩石物理力学性质试验的基础上,结合各种参数测井曲线和岩芯工程地质观测资料进行综合分析,建立工程地质柱状图<sup>[2]</sup>。利用测井资料评价岩石的物理力学性质已有明确的规程<sup>[3]</sup>。根据声波和密度测井资料,可以连续地计算在自然条件下岩石的弹性常数,帮助对岩石强度特性进行更全面的研究,获得更准确的资料<sup>[4]</sup>。

目前,国内外关于数字声波测井理论、方法及其解释应用论述颇多<sup>[5,6,7]</sup>。随着岩性勘探技术的发展和计算机技术的应用,测井资料可以提供综合性强、精度高、具有连续反映

岩石物理力学性质的信息。从采掘工程角度来看,这些信息不仅在采矿初期阶段有用,而且对矿井生产整个过程都是有用的<sup>[8]</sup>。

## 2 对比分析

本文讨论的资料位于山西沁水煤田的中南部。沁水煤田沉积稳定,岩性组合及物理特性有一定规律。303 孔和 0601 孔穿过山西组和太原组两个主要含煤地层。山西组由各种粒度的碎屑岩及煤组成,属于浅水三角洲沉积,含稳定的 3 号煤。太原组为一套海陆交互相沉积,旋回结构明显,由多层石灰岩、不同粒度的砂岩、灰黑色泥岩和煤组成。303 孔岩样由江苏煤田地质研究所测试完成;0601 孔岩样由中国科技大学七系测试完成。测井曲线由 114 煤田地质队使用 TYSC—1 型数字测井仪完成。

描述岩石弹性力学性质的主要参数有杨

在回归分析时应注意所选样品各参数的准确性及煤的变质程度对煤质的影响。如果样品个数允许,应按不同煤种、煤层分别作回归分析,计算效果会更好。

## 参考文献

- 1 刘家瑾、陆国纯. 煤田测井资料数字处理. 北京:煤炭工业出版社,1991,51
- 2 中国科学院地质研究所. 数学地质引论. 北京:地质出版社,1977,41~44

(收稿日期 1992—09—05)

氏模量  $E$ 、切变模量  $\mu$ 、体积模量  $k$  和泊松比  $\sigma$ ，在纵波速度  $v_P$  和横波速度  $v_S$  及密度  $\rho$  已知条件下，根据弹性波理论，对均匀无限介质可以建立如下关系：

$$E = 2\rho v_S^2(1 + \sigma)$$

$$k = \rho v_P^2 - 4\rho v_S^2/3$$

$$\mu = \rho v_S^2$$

$$\sigma = (v_P^2 - 2v_S^2)/2(v_P^2 - v_S^2)$$

上述公式用测井术语表示如下：

$$E = \frac{\rho}{\Delta t_S^2} \cdot \frac{3\Delta t_S^2 - 4\Delta t_P^2}{\Delta t_S^2 - \Delta t_P^2}$$

$$k = \rho \frac{3\Delta t_S^2 - 4\Delta t_P^2}{3\Delta t_S^2 \cdot \Delta t_P^2}$$

$$\mu = \rho/\Delta t_S^2$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{\Delta t_S^2 - 2\Delta t_P^2}{\Delta t_S^2 - \Delta t_P^2}$$

式中： $\Delta t_P$  —— 纵波时差；

$\Delta t_S$  —— 横波时差。

根据密度、声波测井资料，使用上述方程可以计算岩石的弹性常数<sup>[9]</sup>。

### 2.1 $v_P$ 、 $v_S$ 实验室测试值和测井值比较

303 孔采集太原组砂岩和石灰岩两组岩样，实验室测试  $v_P$ 、 $v_S$ ，将其结果与声波测井提取的  $v_P$ 、 $v_S$  对比，砂岩的  $v_P$  和  $v_S$  测试值与测井值的比值在 0.84~1.10 和 1.03~1.23 之间；石灰岩  $v_P$ 、 $v_S$  测试值和测井值比值， $v_P$  在 0.95~1.01 之间， $v_S$  在 0.87~1.06 之间。

0601 孔采集太原组砂岩和石灰岩样品， $v_P$ 、 $v_S$  实验室测试值与测井值比较，砂岩的  $v_P$  比值在 0.91~1.07 间， $v_S$  比值在 0.79~0.96 范围内；石灰岩的测试值和测井值比较， $v_P$  比值在 0.77~1.00 间， $v_S$  比值在 0.75~1.00 范围内。从上述比值可以看出，一致性非常好。

### 2.2 $v_P$ 随深度的变化

实验室和测井测得的  $v_P$  值随深度的变化情况如图 1 所示。两者的趋势基本一致，测井获得的纵波速度比实验室测定的结果略低些，这可能是两种测试方法的测定环境不同

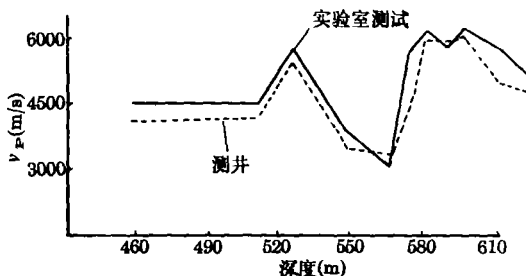


图 1 实验室与测井所得岩样  $v_P$  随深度变化图

### 2.3 弹性常数的测井值与实验室测试值比较

声波测井所获得的弹性常数与实验室测试的弹性常数之间有良好的线性关系(图 2)。

### 2.4 弹性常数与密度的关系

岩石的弹性常数与体积密度的关系如图 3。从图中可以看出，杨氏模量、切变模量和抗拉强度与密度为正相关，随着体积密度的增大而增大；而泊松比是负相关<sup>[9]</sup>。

### 2.5 杨氏模量 $E$ 、切变模量 $\mu$ 与 $v_P$ 、 $v_S$ 的关系

试验室和测井测得的  $E$  和  $\mu$  与纵、横波速度作图(图 4)，发现它们之间有良好的线性关系。所以，根据  $v_P$  和  $v_S$  的任一值可以预测  $E$  和  $\mu$ 。

### 2.6 测井和实验室所得弹性常数的比值

两种测定结果的比值列于表 1。从表 1 可以明显看出，两种结果相当一致。 $E$  的比值在 0.99~1.40 间； $k$  的比值在 0.96~1.19 间； $\mu$  的比值在 0.96~1.48 间； $\sigma$  的比值在 0.67~1.09 之间。变化较大的是泊松比，分析其原因可能是带有裂隙的岩样不能完全代表岩体所致。这一结果说明，声波测井在钻孔中测得的岩体物理力学性质是比较接近实际的。

## 3 应用

上述对比分析表明，测井信息拟合参数用于岩石物理力学性质的评价是行之有效的

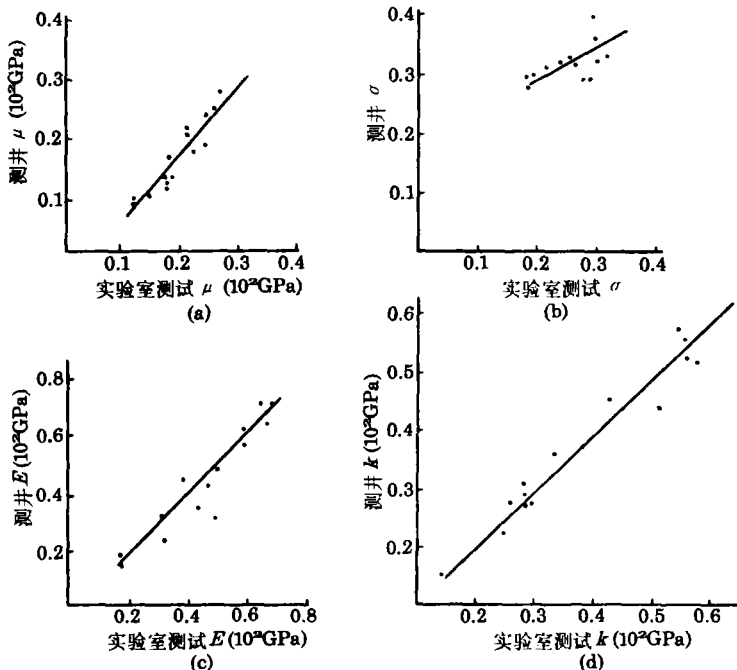


图2 测井和实验室所得岩样弹性常数线性关系图

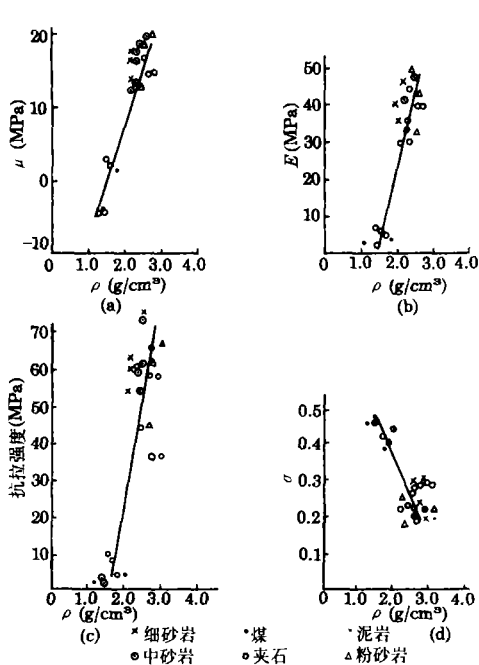
a—切变模量  $\mu$ ; b—泊松比  $\sigma$ ; c—杨氏模量  $E$ ; d—体积模量  $k$ ;

图3 岩石弹性常数与密度的关系

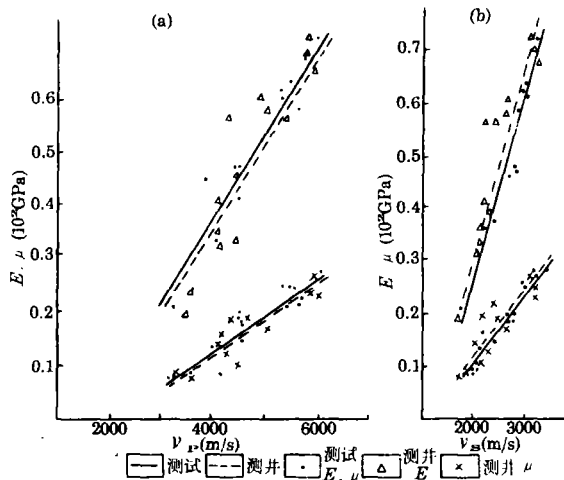
a—切变模量  $\mu$ ; b—杨氏模量  $E$ ;c—抗拉强度; d—泊松比  $\sigma$ 

图4 杨氏模量、切变模量与纵横波速度关系图

a— $E$ 、 $\mu$ 与  $v_p$  关系图; b— $E$ 、 $\mu$ 与  $v_s$  关系图

方法。这种方法的特点是可以连续地提供岩石在自然条件下的各种弹性常数,为矿井设计、采区及巷道布置提供依据。

岩石物理力学性质与岩石变形破坏有关的是容重、孔隙以及隐微裂隙的发育和充填

表 1 0601 孔测井与实验室测得弹性常数比值

序 号	$\frac{E}{E'}$	$\frac{k}{k'}$	$\frac{\mu}{\mu'}$	$\frac{\sigma^Q}{\sigma^Q \omega}$
1	1.13	1.06	1.20	0.71
2	1.33	0.99	1.50	0.67
3	1.13	0.98	1.48	0.78
4	1.10	0.96	1.35	1.02
5	1.03	1.16	1.04	1.02
6	1.40	1.01	1.38	0.78
7	1.38	1.14	1.42	0.88
8	1.08	1.06	0.96	0.86
9	1.12	1.10	1.22	0.87
10	0.99	1.08	1.05	1.09
11	0.99	0.99	1.06	1.01
12	1.05	1.19	1.10	0.92
13	1.07	1.04	1.38	0.79
14	1.03	0.99	1.36	0.82

注:①—实验室测试值;②—测井值

情况,这些特点不同,其力学性质也不同<sup>[10]</sup>。岩体是具有复杂原始应力分布的弹性介质,一般是非均质的、各向异性具有流变性能的裂隙体<sup>[11]</sup>,所以,按平面分布的离散采样分析得不到正确的结果。而测井信息是多维的、连续的数据,经过计算机处理得到的结果比采样分析要正确得多。

在研究煤矿工程地质问题时,必然涉及到地应力,如侧压力系数(水平应力系数)、岩体质量系数等<sup>[12]</sup>,还有岩体的应变软化性质(脆性性质)<sup>[11]</sup>。开采中遇到地表下沉时还要计算地表下沉最大值、压缩量和下沉系数及岩石的裂隙系数、岩体的完整性系数。了解围岩能承担作用于衬砌上的内水平压力的能力时,要计算抗力系数<sup>[13]</sup>。还常用体积模量和切变模量之乘积来描述岩石强度和稳定性,根据泊松比计算岩石的裂缝系数<sup>[4]</sup>等。在工程上用的最多的是杨氏模量和泊松比。从这

里可以认识到测井信息对煤矿采掘工程的重要性和实用价值。

#### 4 讨论

a. 测井和实验室测试两种方法在两个矿区、不同时间、不同单位测量  $v_p$ 、 $v_s$  的比值有很好的-致性,说明测井提供的岩石物理力学性质参数有足够的精度。

b. 测井的优越性是可以获得在自然条件下岩石的弹性常数,并获得点、面以及纵横向变化的系列资料,从而对岩石强度特性作全面的研究。

#### 参考文献

- 1 全国矿产储量委员会制定. 煤炭资源地质勘探规范. 1986, 46
- 2 全国矿产储量委员会制定. 煤炭资源地质勘探规范说明. 1987, 18
- 3 地质矿产部. 岩石物理力学性质试验规程. 北京:地质出版社, 1988, 157
- 4 雍世和、洪有密. 测井资料综合解释与数据处理. 北京:石油工业出版社, 1982, 391
- 5 蒂穆尔 A 等主编. 声波测井. 章兆淇、尚作源、冯启宁译. 北京:石油工业出版社, 1985
- 6 王冠贵. 声波测井理论基础及其应用. 北京:石油工业出版社, 1988
- 7 黄智辉. 测井岩石强度分析方法. 煤田地质与勘探, 1987, (4)
- 8 Elkington P A S 等. 由测井预测岩石强度. 肖建华译. 煤田物探, 1987, (4): 16
- 9 杨宽等. 测井方法测定含煤地层的岩石弹性参数. 地球物理学报, 1990, 33(5): 594
- 10 谷振德. 岩体工程地质力学基础. 北京:科学出版社, 1979, 42
- 11 陈子荫. 地下工程中岩石力学问题的基本特点. 煤炭学报, 1986, (4)
- 12 于双忠. 煤矿工程地质研究. 徐州:中国矿业大学出版社, 1991, 3~103
- 13 杨伦. 采矿下沉及参数的力学分析. 煤炭学报, 1987, (2): 89

(收稿日期 1993—03—19)