

ICS 75.020

E 12

备案号: 37541—2012

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6351—2012

代替 SY/T 6351—1998

岩样声波特性的实验室测量规范

Specification for measurement of rock acoustic properties in laboratory

2012—08—23 发布

2012—12—01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 测量原理	1
4 主要装置及其技术要求	1
5 岩样的制备与处理	2
6 测量步骤	2
7 测定结果允许误差	5
8 测定结果报告内容	5
附录 A (资料性附录) 岩样声波参数测量报告格式	6

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准代替 SY/T 6351—1998《岩石声波特性的实验室测定》。本标准与 SY/T 6351—1998 相比，主要技术变化如下：

- 增加了高温高压条件下岩样声波测量的规定（见 4.2，4.3 和 6.2.3）；
- 增加了岩样加工和尺寸的要求（见 5.1）；
- 增加了岩样体积密度测量的要求（见 6.1.1）；
- 增加了纵、横波初至时间选取的规定（见 6.2.1）；
- 增加了判断岩样动态弹性模量适用性的方法（见 6.3，6.4.2 和 6.4.3）；
- 增加了岩样声波参数测试结果封面、说明及数据表格式（见附录 A）；
- 修改了主要装置及其技术要求（见第 4 章，1998 年版的第 4 章）；
- 修改了标准样品法测量零延时的规定（见 6.2.1，1998 年版的 6.2.2）；
- 修改了测定结果允许误差的要求（见第 7 章，1998 年版的第 7 章）；
- 修改了测定结果报告内容（见第 8 章，1998 年版的第 8 章）；
- 删除了测定岩样声波衰减系数部分（见 1998 年版的 3.2 和 6.5）。

本标准由石油工业标准化技术委员会石油测井专业标准化委员会（CPSC/TC 11）提出并归口。

本标准起草单位：中国石油集团测井有限公司技术中心。

本标准主要起草人：张永浩、胡启月、李新、杜环虹、李长文、胡秀妮、罗燕颖、李艳婷。

本标准代替了 SY/T 6351—1998。

岩样声波特性的实验室测量规范

1 范围

本标准规定了岩样的声波速度和超声动态弹性模量的实验室测量及计算方法。

本标准适用于常温常压或高温高压条件下采用超声脉冲透射法进行岩样声波特性的实验室测量。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

SY/T 5385 岩石电阻率参数实验室测量及计算方法

3 测量原理

采用超声脉冲透射法，测量纵波或横波沿岩样长度方向的传播时间，计算岩样的纵、横波速度。利用岩样的体积密度和纵、横波速度计算其动态弹性模量。

4 主要装置及其技术要求

4.1 岩样夹持器

岩样装置固定于夹持器中，岩样轴线平行于声波入射方向。

4.2 脉冲发生器

能输出频率为 20kHz~3MHz 的电子脉冲，输出电压至少为 50V；还应输出一个同步触发脉冲以激发示波器。

4.3 换能器

每对换能器包括能将电脉冲转换成机械振动的发射换能器以及能将机械振动转换成电脉冲的接收换能器，二者可互换。要求纵波换能器一对、横波换能器至少一对。换能器中心频率在 75kHz~3MHz 之间。

4.4 显示和计时装置

加载到发射换能器上的电脉冲和接收换能器接收到的电信号通过示波器来观察。要求示波器对 5kHz 到 4 倍换能器频率之间的脉冲响应平稳，可测量 2 μ s~5ms 之间的时间间隔，测量准确度达到 $\pm 1\%$ 。

4.5 围压系统

包括增压系统和围压测量装置，用于加压。增压系统由压力泵和压力倍增器组成，通过围压流体

向围压腔内的岩样提供持续的流体压力（围压）。围压测量装置（包括读数误差）测量相对误差应在实验设定围压大小的±1%之内，最小分辨率至少为实际围压的0.5%。高压实验时围压系统应能将压力变化维持在设定值的±1%之内。岩样用胶套和围压液隔离，高温实验胶套应选用氟橡胶等耐高温材料。

4.6 加温系统

包括加热装置、隔热体和温度测量装置，用于加温。温度测量装置测量值应能代表岩心的实际温度，测量误差应在±1℃之内，最小分辨率为0.1℃，高温实验时系统应能控制温度变化在设定值的±3%之内。

5 岩样的制备与处理

5.1 岩样钻取、切割、端面磨平，将岩样加工成标准的圆柱体，具体步骤详见SY/T 5385的相关规定。直径为φ2.54cm的岩样，长度应在2.0cm~8.0cm之间；直径为φ3.81cm的岩样，长度应在2.5cm~12.0cm之间。

5.2 岩样端面应与侧面垂直，且两端面应平整、平行。检测方法为：将岩样竖放在平台上，用直角尺检测无明显间隙；用杠杆表检测上端面三个以上直径方向，然后掉转方向检测另一端面，要求所测最大值与岩样直径的比小于0.1mm/20mm。

5.3 对岩样进行洗盐、洗油、烘干处理，具体步骤详见SY/T 5385的相关规定。

5.4 如需测量含水情况下的岩样声波，根据测量要求，配制用于饱和岩样的氯化钠溶液，对岩样进行抽真空和加压饱和流体处理，具体步骤详见SY/T 5385的相关规定。

6 测量步骤

6.1 测前准备

6.1.1 测算岩样的尺寸和体积密度

测量岩样的长度和直径，使用游标卡尺（最小分辨率为0.02mm）在岩样圆柱面均匀分布的不同位置测量岩样的长度和直径三次，取平均值。用天平（最小分辨率为0.001g）称取岩样质量。尺寸和质量的误差在测量值的±0.1%之内。体积密度按公式（1）计算：

$$\rho = 4m / (\pi \cdot d^2 \cdot L) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- ρ——岩样的体积密度，单位为克每立方厘米（g/cm³）；
- m——岩样的质量（如果岩样中含流体，则是湿质量），单位为克（g）；
- d——岩样的直径，单位为厘米（cm）；
- L——岩样的长度，单位为厘米（cm）。

6.1.2 设备准备

按图1连接好设备（预热可不放换能器和岩样），打开脉冲发生器和示波器电源，预热至稳定工作。如果测量温度和压力条件下的声波参数，应打开相应电源使加温和加压系统预热至稳定工作状态。

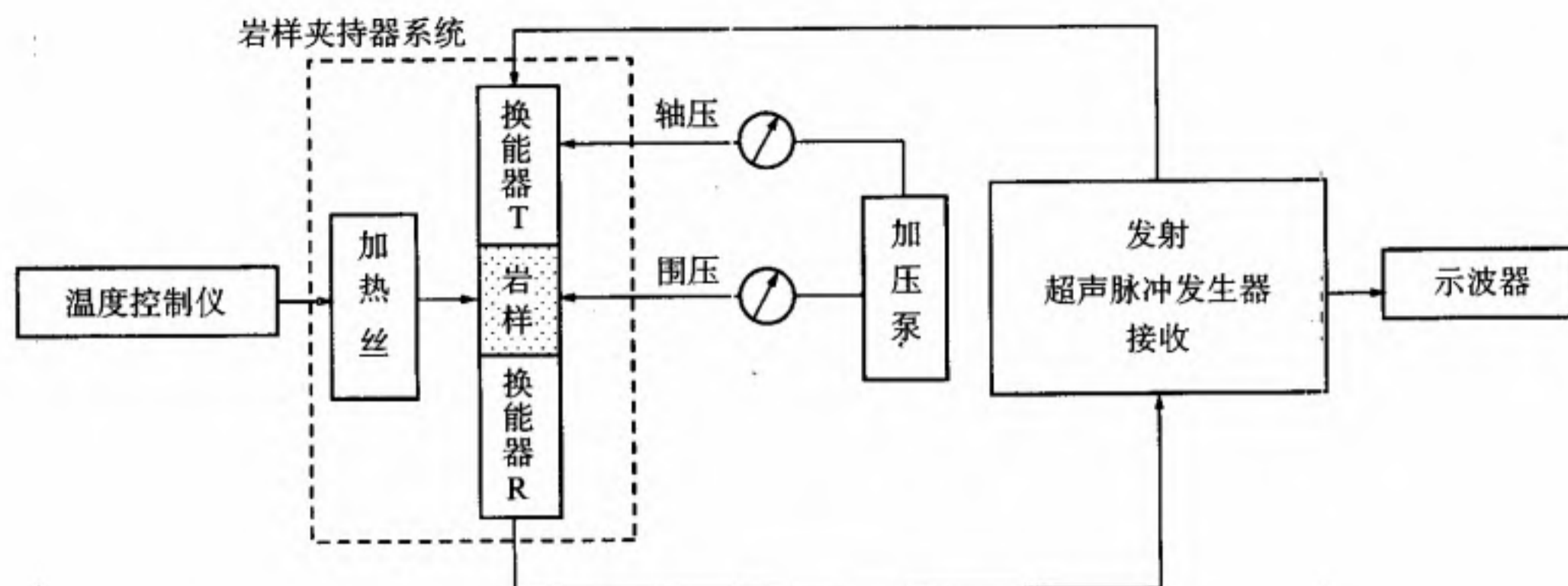


图1 岩样声波特性测量装置示意图

6.2 测量脉冲传播时间

6.2.1 测定仪器系统的声波零延时

可采用下述两种方法之一测定仪器系统的声波零延时：

- 直接对接法：将发射换能器与接收换能器直接对接，用测量岩样用的耦合剂耦合，将温度和压力调至测量岩样所需的值，使温度和压力达到稳定状态（具体操作见 6.2.3），记录纵波和横波的传播到达时间，即为测量系统的纵波或横波零延时。纵波和横波到达时间为波形的起跳时间，测量岩样时记录的起跳点要和测量零延时保持相位一致。如果经验证，换能器及测量系统零延时不随温度和压力条件的变化而变化，则可用常温常压下的零延时作为高温高压下的声波零延时。要求零延时的重复误差：纵波在 $\pm 1\%$ 之内，横波在 $\pm 2\%$ 之内。
- 标准样品法：用三块以上直径和材质相同、长度不同的标准样品，在与待测样品相同的耦合和温度、压力条件下，分别测量并记录纵波和横波的首波到达时间。测量系统的声波零延时的计算见公式（2）：

$$t_0 = \bar{t} - \frac{n \cdot \sum (l \cdot t) - \sum l \cdot \sum t}{n \cdot \sum l^2 - (\sum l)^2} \cdot \bar{l} \quad (2)$$

式中：

t_0 ——测量系统的纵波或横波零延时，单位为微秒（ μs ）；

n ——标准样品的块数；

t, \bar{t} —— n 块标准样品的首波到达时间及其平均值，单位为微秒（ μs ）；

l, \bar{l} —— n 块标准样品的长度及其平均值，单位为厘米（cm）。

6.2.2 常温常压条件下岩样的声波传播时间测定

6.2.2.1 将待测岩样装入岩样夹持器中，使岩样与换能器端面充分耦合，调节脉冲发生器和示波器，能在示波器上清晰地观测到波形首波。

6.2.2.2 调节示波器，使计数器达到最大分辨率且能分辨纵波和横波的首波，测量并记录各波传播到达时间。

6.2.3 高温高压条件下岩样的声波传播时间测定

6.2.3.1 检查保证胶套完好后，装入岩样，使之与换能器端面充分耦合，然后密闭连接，使岩样与围压流体隔离。检查连线和波形，确认无误后将岩样装置放入围压腔中，施加一小于预期压力 1% 的轴压使各承接部件充分接触。

6.2.3.2 将样品腔中充满围压流体，升围压至预设值。

6.2.3.3 以不超过每分钟 2℃ 的速度升温至预设值。

6.2.3.4 达到预设值后，压力和温度在至少连续三个不少于 10min（室温实验 3min）的时间间隔内应能保持稳定：围压测量值变化不超过设定值的 ±1%，温度测量值变化不超过设定值的 ±3%，即可认为压力和温度达到稳定状态。

6.2.3.5 按 6.2.2.2 的规定执行。

6.3 动态弹性模量测量

将岩样绕轴线依次转动 120°，测量三个方向的纵波传播时间，用来计算纵波速度分散系数（见 6.4.2）。

6.4 计算

6.4.1 计算岩样的声波速度

在给定温度和压力条件下，岩样的声波速度的计算见公式（3）：

$$v = [L / (T - t_0)] \times 10^4 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

v ——岩样的纵波速度或横波速度，单位为米每秒（m/s）；

T ——岩样的纵波传播时间或横波传播时间，即记录的纵、横波首波到达时间，单位为微秒（ μs ）。

6.4.2 计算岩样的纵波速度分散系数

按 6.3 测量的纵波传播时间计算的三个纵波速度，偏离它们平均值的最大百分比，定义为岩样的纵波速度分散系数（ b ），计算方法见公式（4）：

$$b = \max |(v_{pn} - \bar{v}_p) / \bar{v}_p \times 100\%| \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

b ——岩样的纵波速度分散系数，以百分数表示；

v_{pn} ——将岩样绕轴线依次转 120° 测得的三个方向的纵波速度（ $n = 1, 2, 3$ ），单位为米每秒（m/s）；

\bar{v}_p ——将岩样绕轴线依次转 120° 测得的三个方向的纵波速度的平均值，单位为米每秒（m/s）。

6.4.3 计算岩样的动态弹性模量

计算岩样的动态弹性模量应满足纵波速度分散系数 b 不大于 2%。岩样的动态弹性模量的计算如下：

a) 岩样的杨氏弹性模量 E (Young's Modulus) 的计算见公式（5）：

$$E = [\rho \cdot v_s^2 (3v_p^2 - 4v_s^2) / (v_p^2 - v_s^2)] \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (5)$$

b) 岩样的剪切模量 μ (Shear Modulus) 的计算见公式（6）：

$$\mu = \rho \cdot v_s^2 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (6)$$

c) 岩样的泊松比 ν (Poisson's Ratio) 的计算见公式（7）：

$$\nu = (v_p^2 - 2v_s^2) / [2(v_p^2 - v_s^2)] \quad \dots\dots\dots (7)$$

d) 岩样的拉梅常数 λ_L (Lamé's Constant) 的计算见公式 (8):

$$\lambda_L = \rho(v_p^2 - 2v_s^2) \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (8)$$

e) 岩样的体积压缩模量 K (Bulk Modulus) 的计算见公式 (9):

$$K = [\rho(3v_p^2 - 4v_s^2)/3] \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

E ——岩样的杨氏弹性模量, 单位为吉帕 (GPa);

μ ——岩样的剪切模量, 单位为吉帕 (GPa);

ν ——岩样的泊松比, 以小数或百分数表示;

λ_L ——岩样的拉梅常数, 单位为吉帕 (GPa);

K ——岩样的体积压缩模量, 单位为吉帕 (GPa);

v_p ——岩样的纵波速度 (如果测得多个纵波速度, 取平均值作为岩样的纵波速度), 单位为米每秒 (m/s);

v_s ——岩样的横波速度 (如果测得多个横波速度, 取最快的作为岩样的横波速度), 单位为米每秒 (m/s)。

7 测定结果允许误差

7.1 测试前应检测零延时或标准样品, 相对误差应在 $\pm 1\%$ 之内。

7.2 对所测岩样抽样重复测量进行检测, 抽样率为 10% , 最小抽检岩样数为两块。复测值与测量值相比, 纵波速度相对误差应在 $\pm 3\%$ 之内, 横波速度相对误差应在 $\pm 5\%$ 之内。

8 测定结果报告内容

岩样声波参数测试报告格式参见附录 A。主要内容如下:

a) 岩样的地理位置和岩性信息。

b) 岩样的体积密度。

c) 岩样测试时的含水状态, 如烘干、风干、饱和或饱和度, 以及饱和溶液类型。

d) 测试压力和温度。

e) 岩样的纵、横波速度。

f) 纵波速度分散系数和弹性模量。

g) 备注, 如岩样端面不平整、有裂缝、缺损等异常信息。

附录 A
(资料性附录)
岩样声波参数测量报告格式

A.1 岩样声波参数测量报告的封面格式

岩样声波参数测量报告的封面格式见图 A.1。

No. <u>××××</u>
<h1>测 试 报 告</h1> <h2>Measurement Report</h2>
测试项目: _____ Test Item
油/气 田: _____ Oil/Gas field
井 号: _____ No. Well
样品深度段: _____ Depth
样品数量: _____ Number
委托单位: _____ Delivered from
报告日期: _____ Reported Date
××××××实验室 ××××××Laboratory

图 A.1 岩样声波参数测量报告的封面格式

A.2 岩样声波参数测量报告的首页格式

岩样声波参数测量报告的首页格式见图 A.2。

说 明

1. 本测试报告结果仅对受检样品负责。
2. 送样单位（人员）如对本测试报告结果持有异议，请于收到本报告后 15 天内向本实验室提出质量申诉，超过申诉有效期恕不受理。
3. 本测试报告封面应加盖本实验室印章。凡封面未加盖本实验室红色印章、无签发人签名以及内页数据有涂改者，一律无效。
4. 余样或检测过的样品若无特殊说明本实验室仅负责保存 3 个月，逾期将自行处理。

通信地址：

电 话：

传 真：

电子信箱：

邮政编码：

图 A.2 岩样声波参数测量报告的首页格式

A.3 岩样声波参数测量报告的第二页格式

岩样声波参数测量报告的第2页格式见图A.3。

本报告共有 块岩样测试结果，报告共 页

测试执行标准：SY/T 6351—2012《岩样声波特性的实验室测量规范》

主要测试设备及编号：

测量人：

校核人：

签发人：

图 A.3 岩样声波参数测量报告的第二页格式

中华人民共和国
石油天然气行业标准
岩样声波特性的实验室测量规范
SY/T 6351—2012

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京中石油彩色印刷有限责任公司排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

880×1230 毫米 16 开本 1 印张 25 千字 印 1—1000
2013 年 3 月北京第 1 版 2013 年 3 月北京第 1 次印刷

书号：155021·6918 定价：12.00 元

版权专有 不得翻印