

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 062—2023

低频振源岩石物理频散衰减测试方法

Testing method for physical dispersion attenuation of low-frequency vibration sources in rocks

2023 - 10 - 31 发布

2023 - 10 - 31 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理	1
5 仪器设备	1
6 样品制备	3
7 样品安装	4
8 测试步骤	5
9 计算方法	5
10 准确度	6
11 试验报告	7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟标准工作委员会归口。

本文件起草单位：中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院西北分院、中国石油大学（北京）

本文件主要起草人：李闯、赵建国、潘树新、龙腾、曲永强、李智、王宏斌、张宇、田雷、闫博鸿、丰超、闫秀懿、李慧珍、王振卿、周俊峰。

低频振源岩石物理频散衰减测试方法

1 范围

本文件规定了低频振源岩石物理频散衰减测试方法的原理、仪器设备、样品制备、样品安装、测试步骤、计算方法、准确度和测试报告等。

本文件适用于低频岩石物理频散衰减测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，凡是注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

GB/T 4756 石油液体手工取样法

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 逆品质因子

在一周期中质元所损耗的能量和原有能量的比值。

3.2 低频振源

频率范围1-3000HZ。

4 原理

利用应变片测量技术，选择杨氏模量和泊松比，利用正弦应力场垂直施加到岩石样品上。将一组应变片沿 XZ 方向粘贴在标准铝样上，两组应变片分别沿 XZ 和 XY 垂直粘贴在岩石样品表面上，测量获得粘贴在标准铝样纵向应变、岩石样品表面平行于应力的应变和垂直于应力的应变。根据岩石样品与标准铝样的等应力过程计算得到岩石的杨氏模量，并根据相位数据计算衰减量。各向异性情况下，岩石受力形变的应变计位置遵循各向异性介质的对称结构确定。

5 仪器设备

5.1 低频振源岩石物理测试系统及流程见图 1。

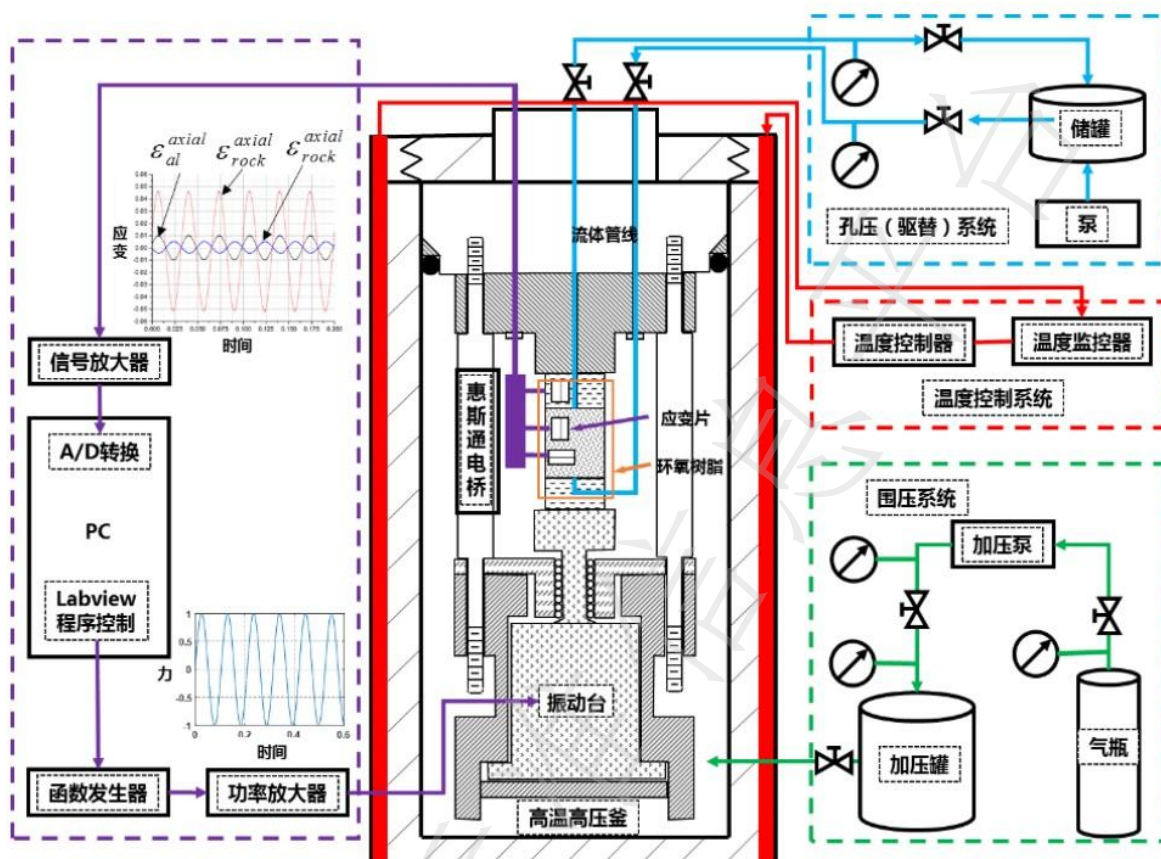


图1 低频振源岩石物理测试系统及流程

5.2 测试系统

测试系统如图1所示，该系统主要包括：带加热装置同时可承载70MPa压力的高温高压釜、迫使物体形变的激振器、获取岩石应变的传感器和获取施加应力的力传感器。其中迫使物体形变的激振器、获取岩石应变的传感器和获取施加应力的力传感器还有信号传输采集装置组成信号采集系统；高温高压釜及其配套设备组成围压加载系统；高温高压釜的加热装置等组成温度控制系统；由柱塞泵和流体管线等组成孔压（驱替）系统。测试系统应包括下列内容：

- 信号采集系统包括 LabView 程序（控制整套流程）、函数发生器（激发特定频率的正弦函数信号）、功率放大器（放大信号功率驱动激振器）、电磁激振器（按照特定频率产生机械振动）、惠斯通电桥（采集应变信号）、信号放大器（放大采集到的应变信号）、A/D 转换器（将电信号转为数字信号并在计算机中进行处理）等组成。
- 围压加载系统主要包括：能承载 70MPa 压力的高压釜、加压泵、加压罐和氮气气瓶。
- 温度控制系统提供了实验系统的温度控制，由电加热系统、保温系统、温度控制器、环形导管、防冻冷却液等组成。
- 孔压（驱替）系统提供了密封岩石样品的孔隙压力，由恒速恒压柱塞泵、高压软管、高压不锈钢抛光硬管、以及回压装置组成。

5.3 测试流程应按下列步骤执行：

- 打开实验控制设备，设置数据文件和存储路径；
- 输入测试频率范围及测试频率点，开始应力-应变实验测量；
- 等待频率点运行完毕，按每 5MPa 为测量压力点改变围压和孔压，获得不同有效压力、不同频率下的杨氏模量、泊松比以及衰减。

6 样品制备

样品制备时，岩芯端面应平整，岩芯两端应粘贴铝块（图 2）。样品直径宜为 25 mm 或 38 mm，长度宜为 45~70 mm。并按下列步骤执行：

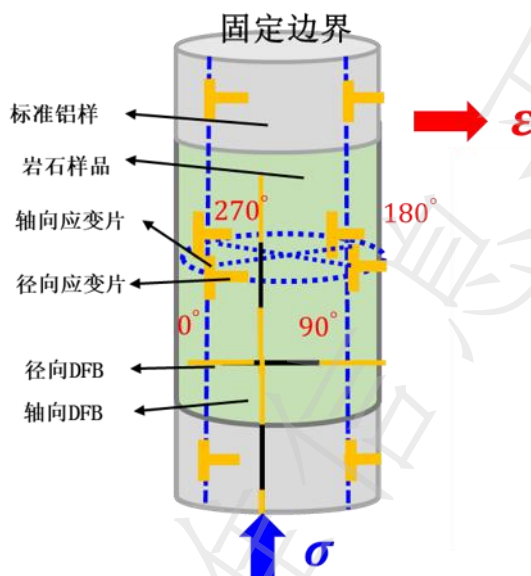


图 2 岩芯两端粘贴铝块示意

- a) 在 4 个 XY 相互垂直的对称方向画出应变片粘贴位置；
- b) 岩芯两端缠绕保护层：在岩芯两端 25 ± 5 mm 处用透明胶带缠绕 1 圈，中间留出 30 mm 的地方；
- c) 粘贴中间绝缘层：在岩芯中间 30 mm 处粘贴绝缘层。将环氧树脂均匀涂抹在绝缘胶带上，然后将绝缘胶带粘贴在岩样的中间部位；
- d) 应变片固化：用透明胶带将绝缘层接口处粘住，应均匀用力，不宜将环氧树脂挤出。放置 24 小时，自然固化；
- e) 岩芯中间缠绕保护层：将绝缘层接口处的透明胶带除掉，然后用宽透明胶带将绝缘层缠绕 1 圈，应避免绝缘层污染；
- f) 岩芯与粘接换能器粘接：将换能器及岩样表面用酒精擦拭干净，均匀涂抹上环氧树脂，使换能器与岩样粘接在一起。粘接时应符合下列规定：
 - 1) 纵波应对纵波，横波应对横波，上下应对齐；
 - 2) 将换能器中间的空隙用透明胶带粘住；
 - 3) 粘接时将换能器与岩芯固定牢固。
- g) 岩心与换能器固化：将粘好换能器的岩芯放置 24 小时，自然固化；
- h) 换能器缠绕保护层：将粘接在岩芯两端的换能器上端 20 mm 处用透明胶带缠绕 1 圈；
- i) 粘贴岩芯两端绝缘层：将岩芯两端起保护作用的透明胶带去除，把均匀涂抹环氧树脂后的绝缘胶带缠绕在岩芯两端及换能器 2/3 位置上，并用胶带将绝缘层接口处粘住，放置 24 小时，自然固化；
- j) 换能器粘接应变片：在换能器上粘贴垂直方向的应变片 2 片；
- k) 岩芯上粘贴应变片：在岩样中间部分粘贴垂直方向和水平方向应变片 4 对 8 片，应变片如图 3；
- l) 焊接应变片和导线；
- m) 外表包裹环氧树脂；
- n) 制备好的样品如图 4。

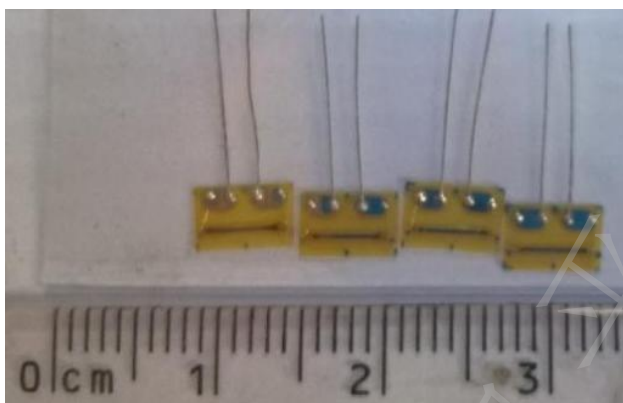


图3 应变片

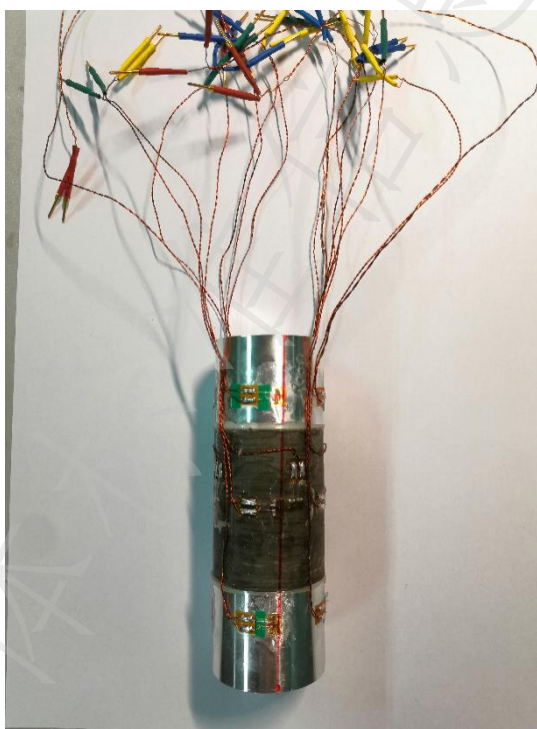


图4 制备好的岩心样品

7 样品安装

样品安装，应按下列步骤执行：

- 样品安装前，应清洁样品上下两端探头和流体导管，用酒精擦拭探头。应避免胶体落入流体导管；
- 样品和底部震源安装时，应调整震源位置，震源应压在样品上同时在 XY 轴向上有足够空间震动。宜保证样品中心轴 X 轴与样品轴 Y 轴重合；
- 涂抹 AB 胶，样品应固定在上下震源中。用螺丝将底部震源固定在金属架上。静止等待胶体凝固；
- 将电桥与样品表面应变片和电信号接收系统连接，见图 4。将输出信号接入示波器，检查信号波形的相位振幅应符合预期；
- 检查通过后，用胶带包裹金属架，应防止金属架与腔壁摩擦损坏电路。

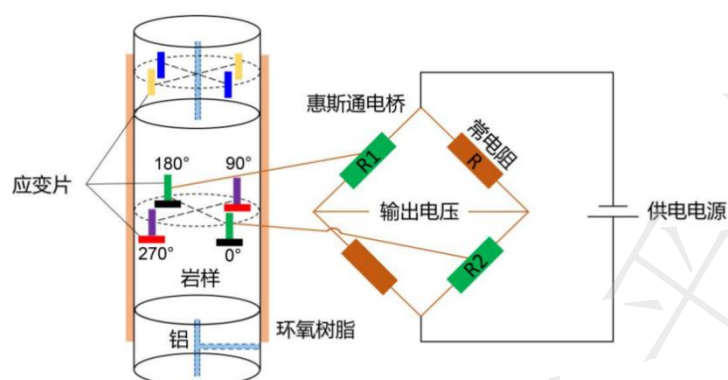


图5 电桥连接方式

8 测试步骤

8.1 压力、温度、流体驱替控制应按下列步骤执行：

- 打开冷热循环器总开关，设置温度为 20℃-100℃。
- 检查增压系统主机，系统连接正常，打开主机；
- 关闭高温高压釜的放气阀门；
- 操作增压系统，设置加压到 40 MPa，先加压到最高？围压，再加孔压，测量后每降 5 MPa，再测量直到降为标准大气压；
- 当围压加到待测最高值时，停止加压，不应关闭压力控制系统，关闭进气阀，关闭氮气瓶阀门；
- 打开流体驱替管线，打开流体柱塞泵，可根据流体柱塞泵注入的液体体积计算进入岩芯的液体，记录控制面板上的液体体积变化。

8.2 数据采集应按下列步骤执行：

- 打开信号发生器，2 分钟后按顺序打开主机、振动信号放大器、采集信号放大器，检测系统应连接好；
- 控制面板参数设置；
- 输入测试频率范围和频率点；
- 设置数据文件和储存路径。
- 开始试验测量；
- 待测试频率运行完毕，改变围压，每 5 MPa 为一测量点，同时改变相应孔压控制，在 0~100% 内测量 4 点~5 点的含水饱和度；
- 测量完毕关闭信号发生器和信号放大器，关闭信号放大器时应先将增益调小为零后再关闭。

8.3 测试过程应符合下列规定：

- 包裹内层环氧树脂应平整，内层树脂宜薄。搓导线时，每股导线宜密集；
- 粘贴应变片时，应轻压应变片紧密贴合，应保护压敏电阻丝。每组应变片应相互垂直？；
- 制备最外层环氧树脂时，应抽真空操作；
- 应先将流体充满管线后再连接腔体向样品注入流体。

8.4 收集实测数据后，应按实测数据统计绘图，找到偏离图的数据并分析，然后与理论模型对比，分析实测数据和理论模型的匹配程度。

9 计算方法

9.1 待测岩石样品的杨氏模量与泊松比，应按下列公式计算：

$$E_r = E_{Al} \frac{\varepsilon_{Al}}{\varepsilon_r^v} \dots\dots\dots (1)$$

$$\nu = -\frac{\varepsilon_r^h}{\varepsilon_r^v} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

E_r —样品杨氏模量；

E_{Al} —标准铝样杨氏模量；

ε_{Al} —标准铝样纵向应变；

ε_r^v —样品纵向应变；

ν —测试样品泊松比；

ε_r^h —样品横向应变。

9.2 待测岩石样品的纵波速度 V_P 、横波速度 V_S 可由公式 (3)、(4) 计算：

$$V_P = \sqrt{\frac{E_r(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)\rho_r}} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_S = \sqrt{\frac{E_r}{2(1+\nu)\rho_r}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ρ —测量岩石样品密度。

9.3 纵横波速度与体积模量衰减宜按下列规定确定：

a) 衰减因子宜采用逆品质因子 Q^{-1} 量化，即：

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

W —每单位循环的弹性应变能；

ΔW —每单位循环消耗的能量。在小衰减下，逆品质因子等于应变和应力 θ 之间的相位差的正切：

$$Q^{-1} = \tan(\theta) \dots\dots\dots (2)$$

b) 可分别测量应力和应变相位，样品材料品质因数可按式 (6) 计算：

$$Q_v^{-1} = \tan(\phi_{\varepsilon_r^h} - \phi_{\varepsilon_r^v}) \dots\dots\dots (3)$$

c) 按下列公式，可求得纵横波速度与体积模量衰减：

$$Q_S^{-1} = Q_E^{-1} + \sigma/(1+\sigma)Q_\sigma^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_P^{-1} = ((1+\sigma)Q_E^{-1} - 2\sigma(2-\sigma)Q_S^{-1})/((1-\sigma)(1-2\sigma)) \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_K^{-1} = (3Q_E^{-1} - 2(1+\sigma)Q_S^{-1})/(1-2\sigma) \dots\dots\dots (6)$$

10 准确度

10.1 重复性

同一操作人员使用同一操作仪器在同一操作条件下对同一样品重复分析获得的结果中，任意两个结果的差值应在 $\pm 3\%$ 的 95% 置信限内。

10.2 再现性

不同试验室的不同操作人员在正常和正确使用本试验方法时,对同一样品分析获得的两个独立的重复结果的差值应在 $\pm 7\%$ 的95%置信限内。

11 试验报告

试验报告见附录 A, 并应包括下列信息:

- a) 样品基本信息: 长度、直径、密度等;
- b) 试验条件: 温度、压力、流体性质、饱和度等;
- c) 样品制备、样品安装、测试步骤;
- d) 样品处理和测定过程中的异常现象。

附录 A

试验报告模板

实验项目 _____ 试验日期 _____

一、试验内容

1、试验目的
2、试验内容和原理
3、试验仪器设备
4、试验步骤

二、试验数据记录及处理

1、数据记录

2、数据处理

三、结论与建议

全国团体标准信息平台