

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 001—2019

低频岩石物理频散衰减测试方法

The normative technical requirements and writing rules for the low-frequency rock physical dispersion attenuation testing method standard

2023 - 07 - 1 发布

2023 - 08 - 01 实施

中关村绿色矿山产业联盟发布

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 2

7 样品安装 3

8 测试步骤 4

9 计算 4

10 精密度 5

11 试验报告 5

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。

本文件由中国石油大学（北京）中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院西北分院和中国石油大学（北京）提出。

本文件由中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院西北分院归口。

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、王斌、曲永强、李智、王宏斌、闫博鸿、田雷、张宇、王国栋、姚清洲、丰超、王振卿、李慧珍、房启飞。

低频岩石物理频散衰减测试方法

1 范围

本文件规定了低频岩石物理频散衰减测试方法的原理、仪器设备、样品安装、注意事项、测试步骤、计算方法、精密度和测试报告、。

本文件适用于低频岩石物理实验中频散衰减的测定。

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

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 原理

低频测量的原理基于胡克定律（应力应变关系），直接测量弹性常数而不是速度。在各向同性介质中，只有两个独立的弹性常数，利用应变片测量技术，选择杨氏模量 E 和泊松比 ν ，利用正弦应力场垂直施加到岩石样品上。将一组应变片垂直粘贴在标准样品上，两组应变片垂直和水平地附着在岩石样品表面上，直接测量获得的分别为粘贴在标准铝样纵向应变 ϵ_{Al} 、岩石样品表面平行于应力的应变 ϵ_r^v 和垂直于应力的应变 ϵ_r^h 。这样可以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，并根据其相位数据计算衰减的大小。

5 仪器设备

低频岩石物理实验设备和测试流程见图 1。

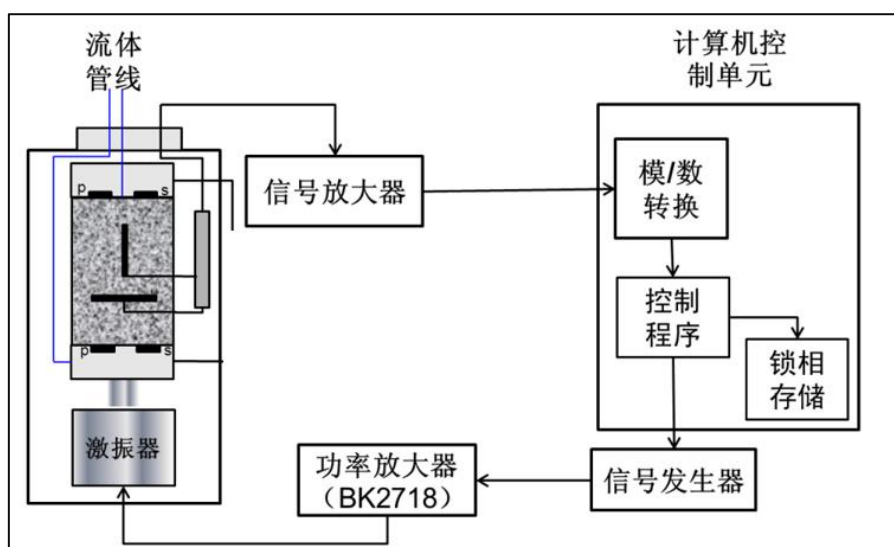


图1 低频岩石物理实验测试设备及流程

低频岩石物理测量系统包括计算机控制系统、信号发生与接收系统、温度和压力加载系统、流体驱替系统等，具体如下：

- a) 函数发生器；
- b) 电信号功率放大器；
- c) 激振器；
- d) 应变片；
- e) 接收信号放大器；
- f) 高精度模数转换器；
- g) 温度控制系统：温度控制器、高温高压釜、高精度温度传感器；
- h) 压力加载系统：氮气储气罐、耐高压流体管线、加压泵、高精度压力传感器；
- i) 流体驱替系统：柱塞泵、蒸馏水（一级水）、流体管线、回压装置。

6 样品制备

6.1 首先，保证岩芯端面平整，在岩芯两端粘贴铝块，见图2：



图2 岩芯两端粘贴铝块示意

6.2 在四个相互垂直的对称方向画出应变片粘贴位置；

6.3 岩芯两端缠绕保护层：在岩芯两端约 $25 \pm 5\text{mm}$ 处用透明胶带缠绕一圈，（避免后续工作中将岩芯两端污染），中间留出约 30mm 的地方；

- 6.4 粘贴中间绝缘层：在岩芯中间约 30mm 处粘贴绝缘层。首先将环氧树脂均匀的涂抹在绝缘胶带上，然后将绝缘胶带粘贴在岩样的中间部位；
- 6.5 固化：为使绝缘胶带很好的与岩芯粘接牢固，需要用透明胶带将绝缘层的接口处粘住，应均匀用力，不宜将环氧树脂挤出。然后放置 24 小时，让其自然固化；
- 6.6 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整个缠绕一圈，应避免绝缘层污染；
- 6.7 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，均匀的涂抹上环氧树脂，使换能器与岩样粘接在一起。粘接时注意：
- 一定要纵波对纵波，横波对横波，上下对齐；
 - 将换能器中间的空隙用透明胶带粘住以防环氧树脂进入；
 - 粘接时将换能器与岩芯固定牢固以防换能器滑动；
- 6.8 固化：将粘好换能器的岩芯放置 24 小时，让其自然固化；
- 6.9 换能器缠绕保护层：将粘接在岩芯两端的换能器上端约 20mm 处用透明胶带缠绕一圈，以防受污染；
- 6.10 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，让其自然固化；
- 6.11 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；
- 6.12 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；

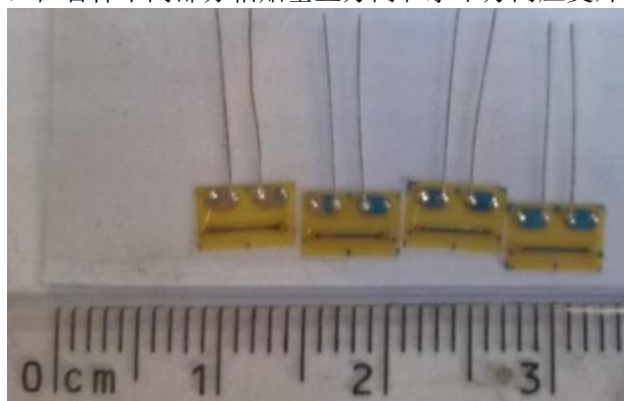


图 3 应变片

- 6.13 焊接应变片和导线；
- 6.14 外表包裹环氧树脂。

7 样品安装

- 7.1 低频岩石物理实验安装样品前，要清洁样品上下两端探头和流体导管，用酒精擦拭探头。应注意避免胶体残余落入流体导管堵塞导管。
- 7.2 直接安装样品和底部震源，调整震源位置，使震源能够压在样品上同时在轴向上有足够空间震动。应尽量保证样品中心轴与样品轴重合。
- 7.3 涂抹 AB 胶，使样品固定在上下震源中。用螺丝将底部震源固定在金属架上。静止等待胶体凝固。
- 7.4 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是否符合预期。
- 7.5 检查通过后，用胶带包裹金属架，其目的是束缚金属架内的导线及电桥，防止金属架与腔壁摩擦损坏电路。

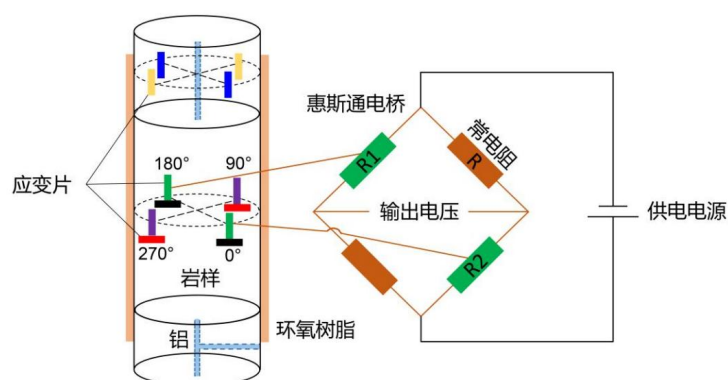


图4 电桥连接方式

8 测试步骤

8.1 压力、温度、流体驱替控制的设置

- 8.1.1 打开冷热循环器总开关，打开并设置温度（20℃-100℃）。
- 8.1.2 检查增压系统的电脑主机，系统连接是否正常，打开电脑。
- 8.1.3 关闭高温高压釜的放气阀门。
- 8.1.4 电脑操作增压系统，设置加压到约 40 MPa，测量思路是先加压到最高围压，再加孔压，测量后每降 5 MPa，再测量直到降为标准大气压。
- 8.1.5 当围压加到待测的最高值时，停止加压，不要关闭压力控制系统，关闭进气阀，关闭氮气瓶阀门。
- 8.1.6 打开流体驱替管线，打开流体柱塞泵，可以根据流体柱塞泵注入的液体体积来计算进入岩芯的液体，注意记录控制面板上的液体体积变化；

8.2 数据采集

- 8.2.1 打开信号发生器，约 2 分钟之后按顺序打开电脑、振动信号放大器、采集信号放大器，检测系统之间是否连接好。
- 8.2.2 进行控制面板参数设置。
- 8.2.3 输入测试频率范围和频率点。
- 8.2.4 设置数据文件和储存路径。
- 8.2.5 开始实验测量。
- 8.2.6 等待系统设定所有频率运行完毕，改变围压，每 5 MPa 为一测量点，同时改变相应的孔压控制不同含水饱和度（0—100%，一般取四或五个点）。
- 8.2.7 测量完毕后关闭信号发生器和信号放大器，在关闭信号放大器的时候注意先将增益调小为零之后再关闭。

注意事项：

- a) 包裹内层环氧树脂的要保证其平整，同时为了不影响应变的传递，内层树脂尽量薄。搓导线时，使每股导线尽量密集。
- b) 粘贴应变片时，需要轻压应变片以使其紧密贴合，应保护压敏电阻丝。每组应变片应相互垂直。
- c) 在制备最外层环氧树脂时，要进行抽真空操作，保证环氧树脂内没有气泡影响实验结果。
- d) 由于只能依靠泵中的流体含量判定注入水的量，为保证精准需要先将流体充满管线之中再连接腔体向样品注入流体。

9 计算

9.1 由下公式获得待测岩石样品的杨氏模量与泊松比：

$$E_r = E_{Al} \frac{\epsilon_{Al}}{\epsilon_r^v} \dots \dots \dots (1)$$

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

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 可以由公式（3）（4）获得，其中 ρ 为测量岩石样品的密度：

$$V_P = \sqrt{\frac{E_r(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)\rho_r}} \quad (3)$$

$$V_S = \sqrt{\frac{E_r}{2(1+\nu)\rho_r}} \quad (4)$$

9.3 衰减因子通常用逆品质因子 Q^{-1} 量化，即：

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (5)$$

W 是每单位循环的弹性应变能， ΔW 是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：

$$Q^{-1} = \tan(\theta) \quad (6)$$

实验上可以独立的分别测量应力和应变的相位，因此可以使用（6）计算样品材料的品质因数，进而有

$$Q_v^{-1} = \tan(\phi_{\varepsilon_r^h} - \phi_{\varepsilon_r^v}) \quad (7)$$

同样可求得纵横波速度与体积模量的衰减：

$$Q_S^{-1} = Q_E^{-1} + \sigma/(1+\sigma)Q_\sigma^{-1} \quad (8)$$

$$Q_P^{-1} = ((1+\sigma)Q_E^{-1} - 2\sigma(2-\sigma)Q_S^{-1})/((1-\sigma)(1-2\sigma)) \quad (9)$$

$$Q_K^{-1} = (3Q_E^{-1} - 2(1+\sigma)Q_S^{-1})/(1-2\sigma) \quad (10)$$

10 精密度

10.1 重复性

预期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进行重复分析获得的结果中，任意两个结果的差值在 $\pm 3\%$ （95%置信限）的范围内。

10.2 再现性

预期不同实验室的不同操作人员在正常和正确使用本实验方法的情况下，对同一样品进行分析获得的两个独立的重复结果的差值在 $\pm 7\%$ （95%置信限）的范围内。

11 试验报告

试验报告应包括以下信息：

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