

团体标准编制说明

低频岩石物理频散衰减测试方法

Determination of low frequency dispersion attenuation

起草单位：中国石油勘探开发研究院西北分院 中国石油大学（北京）

起草时间：2023 年 7 月 1 日

一、工作简况

1. 任务来源

近年来，虽然已有诸多考虑岩石的流体流动机制建立的岩石物理理论用于预测与流体相关的频散和衰减，但是大多缺乏相应的实验数据来验证，这对将岩石物理理论应用于频率相关的地震频散反演及分析造成了困难。因此借助应力-应变跨频段设备的测量结果来寻找一种能够更加准确预测饱和流体多孔岩石中地震波频散与衰减规律的岩石物理理论。本文件的制定任务主要来源于自选课题，并得到了国家科技重大专项课题“下古生界—前寒武系地球物理勘探关键技术研究”和国家自然科学基金“针对碳酸盐岩储层的跨频段（从地震频率—超声频率）岩石物理实验与建模研究”以及“跨频段岩石物理实验与理论驱动的地震速度频散成像研究”的资助。

2022年7月20日，中关村绿色矿山产业联盟(以下简称中绿盟)发布了《关于征集2022年度团体标准项目的通知》。按照通知要求，项目组提交了《低频岩石物理频散衰减测试方法》的中绿盟团体标准提案表。2022年8月1日，经中绿盟研究决定,发布了《2022年度团体标准制订计划》。

2. 起草单位、参编单位

本文件起草单位：中国石油勘探开发研究院西北分院

本文件参编单位：中国石油大学（北京）

3. 主要起草人

文件的主要起草人：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。

表1 主要起草人所做的主要工作

序号	姓名	工作单位	主要工作
1	李闯	中国石油勘探开发研究院西北分院	项目总策划、负责人，制定技术路线，可行性调研，参编人员协调分工
2	赵建国	中国石油大学（北京）	项目主要技术负责人，制定技术路线设计
3	潘树新	中国石油勘探开发研究院西北分院	项目主要文案负责人，组织分工章节撰写，按照标准格式统稿
4	王斌	中国石油大学（北京）	负责岩心处理标准化工作，撰写岩心处理相关文案
5	曲永强	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助岩心处理工作
6	李智	中国石油大学（北京）	负责室内实验设备操作，撰写实验测试相关文案
7	王宏斌	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助实验测试相关工作
8	闫博鸿	中国石油大学（北京）	负责实验中理论分析，撰写文案中理

			论相关章节
9	田雷	中国石油勘探开发研究院西北分院	辅助理论分析，开展立项论证前期文献调研
10	张宇	中国石油大学（北京）	协助室内试验和理论分析
11	王国栋	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助室内试验和理论分析
12	姚清洲	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助室内试验和理论分析
13	丰超	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助室内试验和理论分析
14	王振卿	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助室内试验和理论分析
15	李慧珍	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助室内试验和理论分析
16	房启飞	中国石油勘探开发研究院西北分院	协助室内试验和理论分析

二、制定标准的必要性和意义

当前虽然已有诸多考虑岩石的孔隙结构以及可能的流体流动机制建立的岩石物理理论用于预测与流体相关的频散和衰减，但是大多缺乏相应的实验数据来验证，这是由于传统的对岩石弹性性质的实验测量通常是在超声频率下完成的，和地震频段不符合，这对将岩石物理理论应用于频率相关的地震频散反演及分析造成了困难，所以有必要更准确地测量频散和衰减来更好地识别不同性质的孔隙流体。因此借助应力-应变跨频段设备的测量结果来寻找一种能够更加准确预测饱和流体多孔岩石中地震波频散与衰减规律的岩石物理理论，并研究这些性质对地震响应的影响是依赖频率的地震分析及叠前反演的前提与基础。

而本文件基于室内实验，提出一套适用于低频岩石物理频散与衰减的技术标准，它可为测量低频情况下的流体的频散和衰减提供统一的技术依据和标准。

三、主要起草过程

1、前期准备

2021 年 12 月-2022 年 4 月，开展了前期研究与资料收集工作，包括岩石物理频散模型、应力-应变跨频段岩石物理测量技术、跨频段测量与理论计算对比分析，探讨立项的必要性和结构要点，为本标准编制打下了良好基础。

2、标准立项

2022 年 8 月，在中关村绿色矿山产业联盟的指导下，成立标准起草团队，标准起草团队就《低频岩石物理频散衰减测试方法》团体标准研制工作召开了专题会议，拟定了标准编制工作方案，对标准编制工作进行总体部署和任务分工，力求科学性和实用性。

3、确定标准编制原则

标准编制团队在充分研究国内现有的绿色矿山发展相关政策及要求，对比岩石物理实验相关标准，并在结合流体的频散和衰减的性质的基础上，确定了本标准的编制原则。

4、标准起草过程

①立项。2022 年 7 月，成立标准起草团队，召开专题会议，拟定了标准编制工作方案，对标准编制工作进行总体任务部署和任务分工，力求科学性和实用性。

②拟定初稿。2022 年 10 月，标准起草团队在中国知网等网站广泛收集国内外有关低频岩石物理实验评价的法律法规、规章、相关政策文件、标准，以及网站报道，期刊论文等材料，并对其进行综合分析整理，搭建了标准编制的框架，完成了标准初稿。

③实验论证。2022 年 7 月-2022 年 11 月，进行相应的岩石物理低频实验，研究测定方法、分级要求等具体问题，对标准初稿进行内容填充和细节完善。

④内部研讨。2022 年 12 月，标准起草团队就标准初稿召开了多次内部讨论会，对标准进行反复修改，形成了标准工作组讨论稿，并明确了标准化需求和标准研制重点方向。

⑤确定终稿。2022 年 12 月-2023 年 3 月，在相关讨论和修改的基础上，结合实验结果、数据统计，最终确定了标准的终稿。

四、制定标准的原则

坚持高起点、严要求与适宜性、可操作性相结合原则。高起点即标准编制所涉及的原材料及产品技术指标，应不低于目前国内外相关行业标准规定的限量指标；严要求即标准的编制应严格遵循 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》的规定及相关法律法规的要求；适宜性既要充分考虑到行业的发展现状与特点，又要有一个适宜的范围与程度，从而提高标准贯彻实施的可操作性。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系。

本标准符合国家环保、安全生产等方面的相关法律；

本标准符合 GB/T 1.1-2020 中的规定；

本标准与其他相关标准化文件无冲突。

六、标准主要内容说明

本标准提出了适用于低频岩石物理频散衰减测试的测试方法，主要包括室内指标的测定及分级要求等内容，适用于利用室内实验和相关计算，对样品在低频条件下测定流体的频散和衰减。本标准中涉及的主要的技术指标和调研报告如下：

附件 1:《测量原理》；

附件 2:《仪器设备》；

附件 3:《样品制备》；

附件 4:《样品安装》；

附件 5:《测试步骤》；

七、贯彻标准的措施建议

1. 组织措施

在中关村绿色矿山产业联盟的组织协调下，以标准起草团队成员为主，成立标准宣贯小组。

2. 技术措施

组织撰写标准宣贯材料，组织标准宣贯培训，争取标准颁布实施后尽快在低频岩石物理实验中推广应用。

附件 1:

测量原理

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。为了利用成熟的应变片测量技术，选择杨氏模量 E 和泊松比 ν 。正弦应力场垂直施加到岩心样品上。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样品表面上，直接测量获得的分别为粘贴在标准铝样的纵向应变 ϵ_A 、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。

附件 2:

仪器设备

低频岩石物理实验设备和测试流程如图 1 所示。

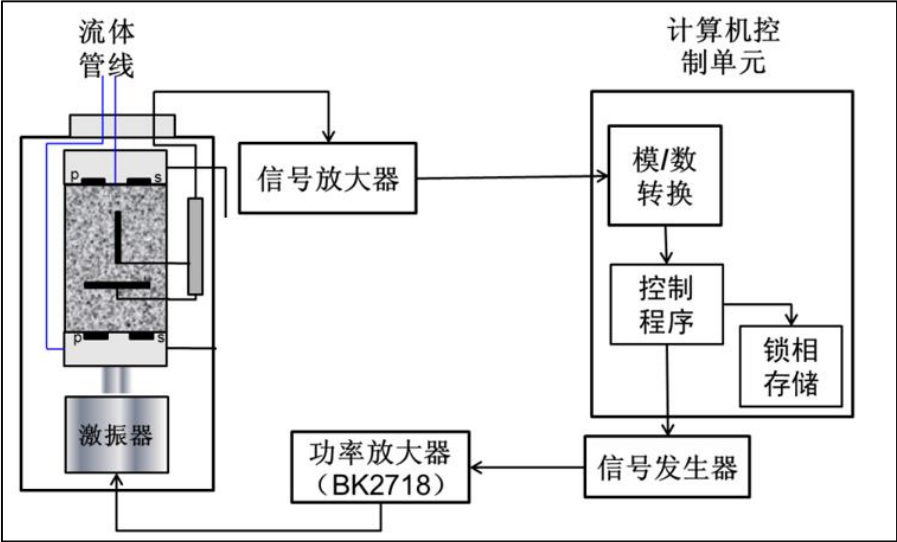


图 1 低频实验测试流程

低频岩石物理测量系统总共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，具体由以下各个仪器组成：

- 2.1 函数发生器；
- 2.2 电信号功率放大器；
- 2.3 激振器；
- 2.4 应变片；
- 2.5 接收信号放大器；
- 2.6 高精度模数转换器；
- 2.7 温度控制系统：温度控制器、高温高压釜、高精度温度传感器；
- 2.8 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；
- 2.9 流体驱替系统：柱塞泵、蒸馏水、流体管线、回压装置；

附件 3:

样品制备

低频岩石物理实验样品制备流程如下:

3.1 首先, 保证岩芯端面平整, 在岩芯两端粘贴铝块, 如图 2 所示:



图 2 岩芯两端粘贴铝块

3.2 在四个相互垂直的对称方向画出应变片粘贴位置;

3.3 岩芯两端缠绕保护层: 在岩芯两端约 25mm 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, 为下道工序做准备;

3.4 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芯的中间部位;

3.5 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, 注意用力要均匀, 不然容易将环氧树脂挤出。然后放置 24 小时, 让其自然固化;

3.6 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, 免除绝缘层受污染;

3.7 岩芯与粘接换能器粘接: 将换能器及岩芯表面用酒精擦拭干净, 均匀的涂抹上环氧树脂, 使换能器与岩芯粘接在一起。粘接时注意: A 一定要纵波对纵波, 横波对横波, 上下对齐; B 将换能器中间的空隙用透明胶带粘住以防环氧树脂进入; C 粘接时将换能器与岩芯固定牢固以防换能器滑动;

3.8 固化: 将粘好换能器的岩芯放置 24 小时, 让其自然固化;

3.9 换能器缠绕保护层: 将粘接在岩芯两端的换能器上端约 2cm 处用透明胶带缠绕一圈, 以防

受污染；

3.10 粘贴岩芯两端绝缘层：将岩芯两端起保护作用的透明胶带除掉，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；

3.11 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；

3.12 岩芯上粘贴应变片：在岩芯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；

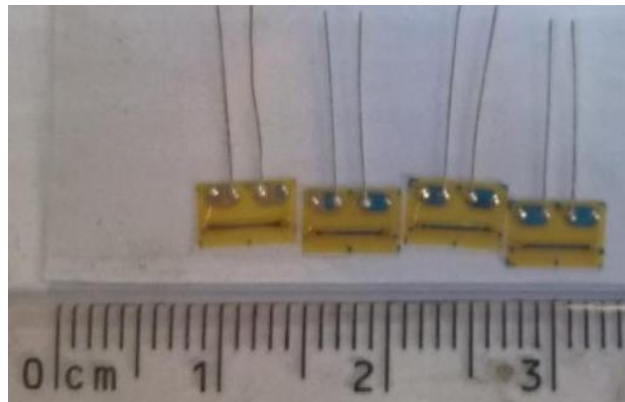


图 3 应变片

3.13 焊接应变片和导线；

3.14 外表浇铸环氧树脂。

附件 4:

样品安装

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。注意不要让胶体残余落入流体导管，堵塞导管。

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。此过程中需注意，考虑到波传播的边际效应，应尽量保证样品中心轴与样品轴重合。

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。

将电桥与样品表面应变片和电信号接收系统连接。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。

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，防止在将金属架放入腔体内的时候，与腔壁摩擦损坏电路。

附件 5:

测试步骤

低频岩石物理实验样品安装完毕后，首先要进行压力、温度、流体驱替控制的设置，其步骤如下：

- 5.1 打开冷热循环器总开关，打开并设置温度。
- 5.2 检查增压系统的电脑主机，系统连接是否正常，打开电脑。
- 5.3 关闭高温高压釜的放气阀门。
- 5.4 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。
- 5.5 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。
- 5.6 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粗略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；

由于流体驱替系统管线和阀门比较多，有进液管线有出液管线，压力监测表，因此才操作的过程中一定要严格依照行业标准操作流程操作，防止串压、超压，避免出现不当操作。在系统调试阶段还要检测驱替装置的气密性，以保证流体驱替过程顺利安全。设备设置完毕后进行数据采集，步骤如下：

- 5.7 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。
- 5.8 打开软件 Labview，进行控制面板参数设置。
- 5.9 输入测试频率范围和频率点。
- 5.10 设置数据文件和储存路径。
- 5.11 开始实验测量。
- 5.12 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饱和度（0—100%，一般取四或五个点）。
- 5.13 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。