

地层条件下岩石物性测试与频谱参数研究

吴金定 (江西省地质局九一六大队, 江西 九江 332100)

摘要: 岩石作为重要油气储存资源, 岩石性质和组分、含量等因素有关, 受到外界环境压力和温度改变, 会影响岩石物理性质。基于此, 本文通过对不同组分的岩样进行物性测试, 以期分析地层条件改变对岩石频谱参数的影响。根据岩石物性测试结果, 更全面掌握岩石特性、电性信息等资料, 为油气田开发等提供可靠依据。

关键词: 地层条件; 岩石物性测试; 频谱参数; 极化效应; 电阻率; 岩石特性

0 引言

随着科技进步, 岩石成为油气资源勘探的重要方法, 通过岩石物性测试分析频谱参数, 能够了解岩石结构和组分, 从而进一步分析地下物理参数, 应用于地质勘探工作。在实际储层中环境多为高压高温环境, 对于岩石物性参数存在一定影响, 需要进行进一步研究分析。因此以高温高压和常温常压作为实验条件, 进行物性测试, 从而更为准确真实地分析地层条件改变岩石物性的变化。

1 岩石物性测试

1.1 实验目的

由于岩石内部结构复杂, 成分多样, 成分、结构和流体相态的不同也造成岩石特性的差异。选择人工岩样进行电阻率频谱特性分析, 研究岩样电学性质。由于油气储层大多为高温高压环境, 在常温常压条件下实验并不能完全反应岩石特性。因此设定常温常压和高温高压的环境, 进行岩石物性测试, 以期对地下岩石的利用提供一定参考。

1.2 实验样品

选择四种不同组分的人工砂岩进行物性测试, 如下表所示岩样物性参数。人工岩样主要通过河砂、黄铁矿砂、黄铜粉、石墨粉等成分, 以石英砂为基质, 添加环氧树脂, 压制形成。在常温状态下压制形成。

表1 岩样物性参数

编号	成分	体积含量 (%)	颗粒直径 (mm)	长度 (cm)	高度 (cm)	密度 (g/cm^3)	孔隙度 (%)
1	河砂	/	/	2.57	4.05	2.26	10.00
2	黄铁矿砂	12	< 0.27	2.57	4.19	2.71	12.70
3	黄铜粉	10	< 0.20	2.57	4.02	3.03	15.10
4	石墨粉	10	< 0.05	2.57	3.63	2.39	6.60

1.3 实验仪器

本实验进行物性测试和电阻率测试, 使用高温高压岩心测试仪进行物性测试, 使用阻抗张量分析仪测试电阻率。岩心测试仪可以模拟地层压力, 受到数字控制平台控制, 可以使用两极测量、四极测量两种方法。阻抗张量分析仪适合分析电化学点位测量, 操作简单, 具有

多种功能, 适用于 $10\mu\text{Hz}\sim 32\text{MHz}$ 频率, 精密度达到 1%, 噪声低。

1.4 实验原理

在岩心测试仪上搭载阻抗张量分析仪, 通过升温加压设备改变岩样所处环境, 利用分析仪在 $0.01\sim 10000\text{Hz}$ 进行复电阻率的测量, 结合物性参数得到岩样相位和电阻率, 并使用模型进行相位和电阻率的反演, 获得频谱数据。在常温常压环境中使用阻抗张量分析仪进行四极测量, 其中 A 和 B 作为供电的电极, M 和 N 作为测量的电极。利用信号发生器提供交流电, 获取阻抗值。经过高压高温测试后, 分析仪使用两极测量方法, 短接 A 和 M、B 和 N, 保持供电和测量。使用银膜电极可以保证良好的渗透性, 提供离子通过电极的通道, 且极化效应不会影响测量结果。能够保证测量的准确性。两个仪器使用屏蔽线连接, 如图 1 所示。

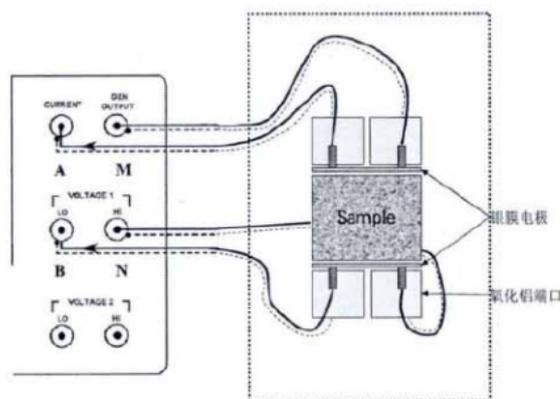


图1 两个仪器连接图示

1.5 仪器标定

使用两个仪器进行测试, 使用银膜电极。在 4% 氯化钠溶液中测量纯电阻岩样相位以及电阻率。在 4% 氯化钠溶液中, 测量模型相位和电阻率。纯电阻相位和电阻阻值并不会受到频率改变发生变化, 测量相位和阻值无改变, 为直线。对模型岩样测定结果表示, 在高频 ($> 1000\text{Hz}$) 和低频 ($< 1\text{Hz}$) 区间内阻值保持稳定, 随着频率增加, 阻值发生变化至趋于稳定, 但相位始终 < 0 。在交变电流中, 岩石矿物存在电磁感应或者极化作用, 纯电阻不会出现离子迁移现象。在交变电场中, 相位会发生改变, 出现频散现象。因此本研究通过模型分析频谱参数具有较高可靠度。

2 结果分析

2.1 常温常压条件下结果分析

砂岩样品经过高温高压测量,在测试范围内岩样未出现裂缝问题。在常温条件下,将测试电压稳定在5000mV范围内,进行扫描,清水饱和后未发现有胶溢出。对岩样进行频谱参数反演,选择样品测试,发现电阻率和反演模型重合,相位存在一定误差,但出于5%允许范围内。使用反演模型描述岩样频谱是有效的。对纯砂岩岩样测试,随着压差的增加电阻率逐渐增大,压差先出现峰值再降低。由于围压增加,岩样空隙流体向外排出,岩样电阻率明显升高。在岩样中离子导体受到激化表现出极化反应,随着围压增加,空隙压缩,造成极化效应进一步加强。

测量石墨样品,由于石墨导电性强,因此电阻率较小。通过增加电压可以发现岩样极化率和电阻率均出现明显降低。在不同电压下石墨岩样石墨含量高,极化率反而越低。随着增大围压后,孔隙流体明显减少,但岩样导电性主要受到石墨的影响,具有更好的连通性,最终造成极化率和电阻率出现降低趋势。

对黄铜粉岩样测试,可以发现黄铜粉含量高,压差越低,电阻率越低。随着矿物体积含量以及压差的增加,黄铜粉岩样极化率明显增加。岩样中金属矿物由于连通性差,孔隙度有明显增加,出现以离子导体为主的极化效应。当围压增大时,孔隙受到压缩,流体排出,出现电阻率升高。由于液体表面积大,岩样极化率有明显升高。

黄铁矿岩样由于频谱特性十分复杂,当黄铜铁矿占比 $< 15\%$ 时,随着压差的增加电阻率出现明显增加。当黄铁矿占比 $\geq 15\%$ 时,随着压差增加电阻率出现明显降低。由于黄铁矿含量相对较低,导电主要为离子导体,若黄铁矿含量较高,导电主要为金属导体。以离子导体为主导电时,围压增加会压缩空隙,导致流体排出,提高电阻率。增加围压也会增加液体比表面,增加极化率。以金属导体为主导电时,增加围压会提高金属连通性,造成极化率和电阻率降低。

由此可见岩样中导电矿物组分含量高,极化率越大,极化率会受到地层压力的影响发生改变。受到地层压力的影响,极化效应和导电连通性随之产生一定改变,极化率和矿物体积分数无正相关关系。实验选择铂金电极更能减小极化效应对实验结果的影响,真实反馈岩石特性。

2.2 高温高压条件下结果分析

岩样主要来源于岩心,为研究压力和温度的影响,改变温度和压力进行实验。分别在 26°C 和 66°C 环境下观察复电阻率的变化。在不同温度环境下测试复电阻率,可以发现随着温度的升高,电阻率表现出降低趋势,随着频率降低,电阻率变化幅度明显缩小。因此在高频段温度升高对于电阻率的影响更加明显。为了对频谱参数进一步研究,使用模型进行复电阻率的反演,根据反演

结果绘制曲线图。可以发现随着温度升高岩样电阻率和时间常数明显降低,极化率明显增大。温度改变和频率没有明显关联。其中黄铁矿岩样导电能力受到离子和矿物电子迁移影响,当升高温度时,孔隙液活化能力提高,迁移速度提高,当温度升高后溶液溶解能力加强,会增加离子浓度。因此当温度升高,极化率会明显升高,降低电阻率。由于升温会增加充放电反应,造成时间常数的减小。

在不同围压下对复电阻率测试,压力对于电阻率影响可以分为两个阶段。当孔压稳定在20MPa时,增加压力会增加岩样电阻率,当升高至30~40MPa时,电阻率升高至最高值。当孔压设定为30MPa时,升高围压会降低电阻率。多由于岩样处于欠压实状态,因此受到外部压力作用,造成孔隙闭合,影响离子迁移,造成岩样电阻率的增大。岩样质地脆弱,增加围压会改变孔隙结构,从而提高岩样连通性。

通过对不同岩样的测试可以发现不同岩样相位差大,砂岩样品在峰值表现出高频段,低频相位稳定。相同岩性样品变化规律相似。对不同地层条件下测试,相同岩性岩样频散现象趋于一致。根据模型反演结果,在高温高压和常温常压环境中,岩样频谱参数表现为不同变化,电阻受到压力和温度的影响较大,出现明显降低。高温高压环境下极化率明显较常温常压环境下提高。由于温度改变离子活化能力提高,也提高了离子迁移能力。受到外界压力作用,岩样内部空隙闭合,孔隙结构改变,裂纹会造成连通性提高,降低岩样电阻率。温度升高矿物颗粒作用增加,提高极化率。升高温度频率系数并未发生明显改变。

3 结论

综上所述,经过本文分析岩石电阻率最容易受到地层压力的影响,改变金属连通性,尤其是含有金属矿物组分的岩石,当地层压力增加电阻率明显提高。时间常数随着地层压力、矿物颗粒的增加而增大,和矿物组分含量的关系十分复杂,无明确相关关系。极化率也受到地层压力的影响。和常温常压环境不同,高温高压环境对于岩石性质存在较大影响,温度和压力越高,岩石物理性质变化随之增大或减小,需要充分了解不同地区地层压力进行针对性分析。

参考文献:

- [1] 张宝强. 南祁连盆地岩石物性特征分析 [J]. 河南科技, 2020(17):146-149.
- [2] 池美瑶. 高温高压状态下致密岩石物性参数测试与分析 [D]. 荆州: 长江大学, 2019.
- [3] 田刚. 地层条件下岩石物性测试与频谱参数分析 [D]. 荆州: 长江大学, 2012.
- [4] 孙斌. 高温高压状态下页岩与砂岩物性参数测试与分析 [D]. 荆州: 长江大学, 2016.
- [5] 骆进, 黄维, 郭清海, 等. 一种高温高压下岩石热物性参数测试系统: 中国, CN206114568U [P]. 2017.