

岩石频散特性的机理研究

肖占山¹ 罗延钟² 翁爱华¹ 王东³ 朱世和³

(1. 浙江大学地球科学系, 浙江 杭州 310027 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074 3. 辽河石油勘探局测井公司, 辽宁 盘锦, 124011)

复电阻率测井的岩石频散机理是复电阻率测井技术的理论基础, 岩石的频散机理不同, 其所研究的电场性质也有所不同, 因此测井仪器所采用的测量方式和电极系结构是不同的, 明确岩石频散的物理机理, 对复电阻率测井仪器的开发研制具有重要的意义。岩石的频散特性受测量频率、孔隙流体的性质、骨架颗粒表面的电化学性质、以及粘土含量等多方面因素的影响, 情况复杂, 目前还没有给出定量的解释。通过理论计算和岩石的频散实验分析, 初步明确低频时引起岩石频散的主要因素, 并对复电阻率测井仪器的电极系结构的选择进行研究。

1 岩石频散特性的理论计算

在外加电场的作用下, 通过岩石的全电流是传导电流和位移电流之和, 其中岩石的电导率和介电常数均可用复数表示。

$$I = (\sigma^* + i\omega\varepsilon^*)E \quad (1)$$

式中: I 是全电流; E 是电场强度; σ^* 是复电导率; ε^* 复介电常数; $\omega = 2\pi f$ 是角频率。

当频率 $f < 10\text{kHz}$ 时, 经计算可知位移电流的影响远远小于传导电流的影响。实际上, 在低频时存在着由自由电荷所产生的滞后, 对这种极化特性的现象, 应该称为激发极化而不是介电极化。

2 泥质砂岩的频散特性实验

在岩石复电阻率测量过程中, 在测量频率范围 (12Hz—100kHz) 内, 总的规律是复电阻率幅值随电流频率增大而减小, 但是在 10kHz 左右, 复电阻率幅值略有起伏, 相角的变化却有所不同, 随着频率的增大相角减小, 当频率大于 10kHz, 相角随着频率的增大而增大。这是因为电流频率达到某一频率数值时, 相应的激发极化效应趋于稳定, 激发极化产生的二次场不再增大, 因而复电阻率幅值不再减小。当电流频率继续升高时, 电磁感应效应增强, 这一效应随着频率的增大而增大, 从而使复电阻率幅值继续下降。在复电阻率实部 (电阻分量) 和虚部 (电抗分量) 的交会图中也可以看出, 以 10kHz 为界点分成两个区域, 在这两个区域中同相电阻率和异相电阻率对应关系是不同的, 在所做的实验中, 临界频率点大致都是出现在 5kHz—10kHz 这个频段之间。这两个不同对应关系的区域意味着有两种不同的导电机理的存在, 研究认为这两种机理为: 激发极化效应和电磁效应。

3 结论

对于油气储层来说, 一般不含有金属矿物, 因此其低频的激发极化主要是由薄膜效应引起的, 薄膜极化与粘土颗粒表面的阳离子交换有关, 并受孔隙流体性质的影响。在利用复电阻率测井评价油气储层时, 当频率小于 10kHz 时, 其测井理论应该是建立在激发极化效应基础之上的。在交变电场的作用下, 难免有不同程度的电磁效应的干扰, 一般随着频率的增加, 电磁效应会逐渐增强, 这种效应也能引起电场随频率的变化, 并且在低频段, 和激电效应一样满足柯尔—柯尔模型。对于岩石的频散现象, 一般可认为是由低频的激发极化和高频的介电极化引起的, 在两个频率范围之间, 电磁效应的影响会起主要作用。由于每个频段对应的频散机理不同, 因此其测量方式也各不相同, 这一点对复电阻率测井仪器电极系结构的选择和测井频率的选取都十分重要。对于低频时的复电阻率测井, 可采用电极型电极系结构, 利用两个或多个测量频率测量地层的复电阻率, 通过不同频率下复电阻率的差异, 对油气储层进行测井评价。