激发极化方法预测砂岩渗透率可行性研究

张天赐(成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059) 隆季原(昆明理工大学国土资源工程学院,云南 昆明 650093) 呙闻鼎(中国石油大学(北京)地球科学学院,北京 102299)

摘 要: 渗透率是储层的重要参数。通过易于测取的实验参数估算渗透率,是岩石物理研究最具挑战性的问题 之一。准确预测渗透率,对矿物勘查、油气储层评估、地下水监测建模都有重要意义。本文选用东濮凹陷文留油 沙河街组地层的 25 个低孔低渗砂岩岩心数据,比较核磁共振法、谱激发极化两种实验室方法以及传统岩石物理渗 透率模型估算渗透率的精度,研究表明,激发极化方法可以有效预测砂岩渗透率并具有较高精度。

关键词:渗透率;激发极化;核磁共振;岩石物理模型;砂岩地层

0 引言

在矿物资源探查与油气田生产过程中,渗透率是重要的物理参数,而传统的岩心分析方法耗时费力,需要一种可靠的物理方法来改善这一工作。岩石矿物的电导率与极化性质是其基本物理性质¹¹。激发极化(Induced Polarization, IP)方法是测量岩石或土壤在低频的电性质,并可被复电导率有效描述的地球物理方法^[2]。激发极化可以在频率域和时间域内工作,当激发极化信号在一个频段范围内被测量时,这一方法被称为谱激发极化(SIP)或电阻抗谱(EIS)。SIP方法在探测近地表结构与活动方面有巨大潜力^[3],谱激发极化方法应用于孔隙系统的表征时,可以提供空间信息,例如孔隙流体输运受孔隙结构影响时,SIP方法可以记录流体的输运^[4]。本文选用东濮凹陷文留油沙河街组地层实际岩心数据,比较核磁共振法、谱激发极化两种实验室方法以及传统岩石物理渗透率模型估算渗透率的精度。

1 实验数据介绍

1.1 岩心样本数据

本实验采用来自东濮凹陷文留油田 6 个钻孔的沙河 街组地层的 24 个低孔低渗岩心样品。东濮凹陷是渤海 湾的一个复向构造单元。地理位置跨鲁西南和豫东北, 呈北东向展布。在该区域内挑选了长度为 30mm, 直径 为 25.4mm 的圆柱形砂岩岩心, 如图 1 所示, 对其进行 岩石物理分析, 得到岩心各项物理参数。



图1 东濮凹陷文留油田岩心样本

1.2 岩石物理基础数据

本实验所需基础参数主要分为三个: ①岩心密度;

②孔隙度;③渗透率,主要可以通过比重计测量岩心样本的岩心密度,同时通过密度法测得孔隙度,最后可以使用气测法得到渗透率,气测法所得渗透率也是比较本文所提实验方法可靠性的重要依据。根据先验测量得:这组岩心密度范围为 2.64-2.71g/cm³,平均密度为 2.67g/cm³。

- 2 实验结果
- 2.1 核磁共振模型



时间计算所得渗透率与气测渗透率比较

根据岩石孔隙的不同,可以确定出不同的弛豫时间 谱,它可以区分两种不同类型的弛豫时间。纵向弛豫时 间 T₁ 表征了平行于静态磁场中的磁化强度的增加,和垂 直于静态磁场且随磁化强度的降低而减小的横向弛豫时 间 T₂,两个弛豫时间都与比表面积成比例,T₁或T₂都 是可以与表面弛豫率不同的。根据核磁共振弛豫时间计 算的渗透率与气测渗透率的比较,结果如图 2 所示。对 角线表示计算值与测量值一致,对角线两侧的虚线表示 上下各一个数量级的差异。

2.2 岩石物理模型

由于实验使用内表面存在一定粗糙度的岩心样本, 根据 PaRiS 模型指数优化后计算渗透率值与测量值比较 的,结果如图 3 所示。对角线表示计算值与测量值一致, 对角线两侧的虚线表示上下各一个数量级的差异。



图 3 PaRiS 模型指数优化后计算渗透率值与测量值比较 2.3 激发激化模型



(b) 归一化电荷率

图 4 由地层因素与复电导率 / 归一化电荷率计算渗透率值与测量值比较

研究记录了电阻率振幅和相移的频率的相关特性, 在拥有实验数据的条件下进行测量,为了评估激发极化 的数据,通过调整它们的参数来拟合模型的振幅和相角 谱,提取出单个弛豫项的系数,将谱分解为德拜模型, 得到弛豫时间分布,并用四个积分参数进行了总结。第 一个参数是直流电阻率,它是振幅谱低频外推的结果, 以此我们可以得到极化率,用低频电阻率极限和高频渐 近值量化频率扫描中电阻率的相对变化,每一个德拜公 式计算得到的极化率都在一个相对较窄的频率区间内的 电阻率变化。在考虑的频率范围内产生一个整体极化大 小项的总和,就得到总极化率,这被认为是德拜分解的 第二积分参数,即弛豫时间,是用来量化一个衰变过程 的时间特性按指数函数实验,一个小的弛豫时间描述了 一个快速衰变过程。德拜分解假定具有特定弛豫时间的 个别衰变过程的时间序列。作为所有弛豫时间的加权对 数平均数,以个别极化度为权重因子。将德拜分解的第 四个积分参数类比为粒度分布曲线的不均匀程度得到非

均匀参数用来表征弛豫时间分布的宽度。

根据激发极化计算的渗透率与气测渗透率的比较如 图 4 所示。对角线表示计算值与测量值一致,对角线两 侧的虚线表示上下各一个数量级的差异。

激发极化参数计算结果与气测渗透率值符合良好, 根据 Revil 的方程计算所得结果 R²=0.468,根据 Weller 的方程计算所得结果 R²=0.530,说明根据德拜解谱得到 归一化荷电率 m_n 进而计算渗透率的精度优于仅使用直 接从激发极化得到的复电导率谱进行计算。

3 结论

本论文通过核磁共振、激发极化两种方法及传统岩 石物理模型参数对研究地区的砂岩岩心样本进行了渗透 率的计算,并与之前已有的气测渗透率数据进行了系统 的比较。综合来看,通过不同孔渗的岩心的核磁共振数 据,激发极化数据以及其他岩石物理实验参数,得到孔 隙结构的表征,均能较好预测渗透率。核磁共振预测渗 透率为成熟的模型,已经得到大量验证,对于研究样本 也得到了最好的结果。应用传统岩石物理模型计算渗透 率,精度略微低于核磁共振方法,可以作为一个替代性 的选择。激发极化方法的优势在于能够用于现场,由计 算模型所得结果与实际较为符合。值得注意的是,以渗 透率1毫达西为分界线,低于该渗透率的岩心,其计算 渗透率值均显示出高于实际值的特征,而渗透率较大的 岩心,其计算值低于实际气测渗透率。这可能是由于在 低孔隙度低渗透率的情况下, 孔隙体积较小, 孔隙形状 复杂,极化信号得到的荷电率偏低所导致的。对于这个 问题我们需要进行进一步的研究。如何提高激发极化参 数计算渗透率的精度, 也是在未来研究中需要进行展开 的内容。

- 参考文献:
- Kruschwitz, S., E. Niederleithinger and C. Trela, et al., Use of Complex Resistivity Tomography for Moisture Monitoring in a Flooded Masonry Specimen[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2012: 2-11.
- [2] Weller, A., Z. Zhang and L. Slater, High-salinity polarization of sandstones[J]. Geophysics, 2015. 80(3): D309-D318.
- [3] Kemna, A., A. Binley and G. Cassiani, et al., An overview of the spectral induced polarization method for nearsurface applications[J]. Near Surface Geophysics, 2012. 10(6): 453-468.
- [4] Kruschwitz, S., E. Niederleithinger and C. Trela, et al., Use of Complex Resistivity Tomography for Moisture Monitoring in a Flooded Masonry Specimen[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2012. 18(1): 2-11.

```
作者简介:
```

张天赐(1995-),男,汉族,四川成都人,在读硕士, 主要从事石油勘探方面的研究工作。