

doi: 10.11720/wtyht.2018.0086

张雪昂,杨志超,魏雄.水层多角度裂缝介质中子测井响应数值模拟[J].物探与化探,2018,42(6):1221-1227.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.0086

Zhang X A, Yang Z C, Wei X. Water layer neutron logging in multi-angle crack environment[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1221-1227. http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.0086

水层多角度裂缝介质中子测井响应数值模拟

张雪昂^{1,2}, 杨志超³, 魏雄¹

(1. 东华理工大学 核技术应用教育部工程研究中心, 江西 南昌 330013; 2. 东华理工大学 核科学与工程学院, 江西 南昌 330013; 3. 东华理工大学 地球物理与测控技术学院, 江西 南昌 330013)

摘 要: 地球物理勘探作业中, 裂缝地层是一种重要的潜在储层介质, 因为其结构的复杂性和成因的特征性, 裂缝介质的探测难度一直较大。为了对裂缝介质进行识别及研究, 通过地球物理中子测井方法对其进行勘探研究是十分必要的。笔者应用分散多角度裂缝理论, 模拟孔—裂缝介质中的含水地层, 通过变化裂缝参数研究对应的中子测井数据。研究结果发现, 中—低角度的裂缝介质中, 热中子密度极大值比近似水平角度裂缝介质中的密度极大值大, 并且其对裂缝环境参数的敏感度也明显大于其他角度裂缝介质中的热中子密度敏感度; 在高角度裂缝介质中, 热中子密度图分布平滑, 说明高角度裂缝介质对热中子吸收作用较小; 在热中子密度分布平面图中, 因水中含氢量较大, 热中子扩散范围小。通过分析水层中的热中子密度分布情况、密度分布极大值以及时间谱最大值, 发现水层中的中子对中等角度和低角度的裂缝介质更加灵敏, 且容易被慢化和吸收。这些研究结果可以为野外裂缝性介质的地球物理勘测工作提供理论指导建议。

关键词: 裂缝; 中子测井; 多角度裂缝理论; 数值模拟; 水层

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2018)06-1221-07

0 引言

裂缝介质成因特殊且分布具有很强的特征性, 这些因素使其具有很强的油气藏潜力。因此裂缝介质备受地球物理能源勘探领域的关注。Hudson J A 在 20 世纪 80 年代提出了一系列较完整的裂缝介质理论^[1], 其理论模型中的裂缝结构是椭球状的。所有裂缝定向排列, 模仿自然环境中应力造成的结构效果。Hudson 裂缝理论描述了裂缝的密度、纵横比、响应的裂缝介质等效弹性模量。随后他对不同裂缝包裹体种类做出研究, 并得到了不同包裹体对波动传播的影响规律^[2]。1990 年, Hudson 以多重散射理论为前提提出裂缝介质中的波动衰减理论^[3]。随后, 他对裂缝结构中的包裹体粘滞性和纵横比在满液条件下对波动频率的影响规律进行了研究, 提出孔、裂缝并存状态地质模型, 这是 Hudson 理

论首次将孔隙结构融于裂缝模型中^[4]。1996 年, Hudson 提出裂缝、孔隙结构关系模型: 裂缝之间无连通, 裂缝与基质中孔隙存在连通^[5]。2000 年, Hudson 提出了流体静力平衡理论, 随后提出以微观力学理论为前提的粘弹性裂缝介质理论, 并以量子散射理论为基础手段将 Lippmann-Schwinger 方程与 T-矩阵算法相结合得到孔—裂缝介质等效弹性模量^[6]。Vilhelm 对地层中的裂缝形状和分布状态进行反演计算并得到了裂缝介质特征值^[7-9]; Nishizawa 通过裂缝介质的参数特性模拟了裂缝介质的形成环境因素^[10-11]; Gueguen 等人分析了各向异性裂缝介质中的波动衰减规律以及裂缝性各向异性介质的特征^[12-15]。

就中子测井而言, 脉冲中子测井一般被用于分析储层的饱和度。20 世纪 80 年代, 数值模拟技术初步被应用于中子测井研究。中子测井模拟方法主要包括蒙特卡罗法、玻尔兹曼法。在模拟研究初始

收稿日期: 2018-03-08; 修回日期: 2018-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(11665002); 江西省教育厅科技项目(GJJ160569); 江西省青年科学基金项目(20181BAB213018)

作者简介: 张雪昂(1986-), 女, 讲师, 博士, 主要从事储层测井勘探研究工作。Email: lkadaj@163.com

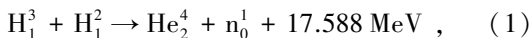
阶段,由于计算机技术的限制,蒙卡算法耗时过长,因此中子测井的数值解法被大量应用,其主要用于研究中子源热中子密度分布,并对中子扩散作用作出分析^[16]。21 世纪以后,计算机技术发展,蒙卡模拟技术被大量应用于中子测井模拟。Scott Fricke 以蒙卡方法为基础对热中子孔隙度进行模拟计算^[17]。就国内研究情况而言,张锋等人建立了孔隙地层的中子模拟研究模型,并数值模拟了不同孔隙度、地层水矿化度、饱和度等环境因素条件下的中子慢化作用^[18-19]。

现阶段研究人员对裂缝介质的研究主要是通过地震勘探方法在野外进行实验或实物模型研究的方法,但是野外环境存在若干干扰因素,这会对裂缝介质的分析多样性产生限制^[20-23]。目前鲜有针对裂缝角度与中子测井响应关系的文章^[24-25],这是因为裂缝介质复杂的赋存状态、结构的多样性以及包裹体的多种类增加了测井勘探的难度。针对以上问题,文中以多角度裂缝数值模型为研究对象,对水层中子测井响应进行模拟分析,进而得到不同裂缝角度对中子测井响应的影响规律,得到的研究结果可以对实际测井工作进行理论指导并提出预见性建议。

1 建立水层裂缝介质井孔模型

首先建立脉冲中子井孔模型,设井孔为垂直井,纵向无限延伸,围岩基质主要为石灰岩。围岩各向异性主要来自其中的裂缝群结构。裂缝结构定向排列,遵循相同走向。脉冲中子源安置于井轴中心处,井孔中充满泥浆,裂缝群组均匀、稀疏地分布在围岩介质中,并且每条裂缝结构的主体部分的法向与井轴方向成同等大小角度,此角度在 0°~90°间变化。

脉冲中子源是一种通过源发射出中子,使中子与目标探测介质进行反应进而对目标介质进行探测的测井方法。中子放射源通过发生核反应产生 14 MeV 的快中子,次反应公式如下:



此处, n_0^1 是快中子。当源加速器运作时,反应释放出能量为 14.3 MeV 的快中子脉冲,快中子射入目标介质后与地层介质发生非弹性散射反应并减速,变成热中子并达到热平衡状态。热平衡后的中子能量不再衰减并随后大部分被地层物质原子核吸收。

在反应过程中,弹性散射反应和吸收俘获反应分别产生非弹性伽马射线和俘获伽马射线,中子测井探测仪通过探测各种伽马射线谱或探测没有被俘

获吸收的热中子来得到目标探测介质的性状。水层中存在大量的氢元素,氢元素又是自然界中常见元素中对中子的慢化作用效果最强的元素,因此水层的存在会对中子产生明显的慢化作用。

中子测井的工作目的主要是解释研究中子的传播问题,即中子在介质中运动、碰撞的随机过程。单个粒子的传播寿命会被单独记录,通过统计大数量单独粒子的传播寿命进而得到统计传播输运结果。

本文的模拟地质环境取材于中国塔河油田地区,此地区主要地质特征为富含碳酸盐岩裂缝群结构,其中,基质岩层中的孔隙结构是该地区常见孔隙类型,一般直径为微米级;裂缝结构主要通过构造应力造成,呈群组走向一致性特征。由于裂缝结构和基质孔隙结构并存与岩层中,因此笔者以此地区为基础选取双孔理论裂缝模型。Hudson 理论模型中:裂缝群走向一致;双孔结构;孔隙结构体积小分布均匀,孔隙与裂缝结构之间渗透率低;基于以上地质特征,笔者以 Hudson 多角度裂缝理论为基础对井孔地质结构进行模拟分析。

粒子的传播过程可分为三个主要步骤。

首先,确定粒子的状态参数和状态序列,如下式:

$$S = (r, E, \Omega, t, W) , \quad (2)$$

式中: r 是粒子的碰撞位置, E 是粒子碰撞后的能量, t 是粒子的碰撞时间点, W 是粒子碰撞后的权重, Ω 是粒子碰撞后运动方向。

通过式(2)可得,通过 m 次碰撞后的粒子状态参数为:

$$S_m = (r_m, E_m, \Omega_m, t_m, W_m) , \quad (3)$$

式中: r_m 是经过 m 次碰撞后粒子的位置, E_m 是经过 m 次碰撞后的粒子能量, Ω_m 是经过 m 次碰撞后的粒子运动方向, W_m 是 m 次碰撞后粒子权重, t_m 是 m 次碰撞后的时间。源发出的中子与地层介质的原子核发生若干次碰撞,其动能逐渐下降,最后被地层原子核俘获。

然后,确定粒子的输运传播过程,其中,中子在探测目标介质中的自由飞行距离的抽样值为 $l_f = -\ln \xi / \Sigma_t$ 。式中: Σ_t 是宏观截面之和, ξ 是在区间(0,1)上服从均匀分布的随机数。与中子发生反应的地层核素种类通过以下抽样规则确定:

$$\text{反应规则} = \begin{cases} \text{第 1 种核素} & 0 \leq \xi \leq P_1 \\ \text{第 2 种核素} & P_1 \leq \xi \leq P_1 + P_2 \\ \vdots & \\ \text{第 } n \text{ 种核素} & \Sigma_1^{n-1} P_i \leq \xi \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中, P 是中子与核素发生反应的几率。中子与地

层原子核发生反应的种类包括弹性散射和非弹性散射、俘获反应或裂变等,它们的宏观截面分别是 σ_{el} 、 σ_{in} 、 σ_a 、 σ_f ,由此得到基于离散随机变量采样确定的核反应类型:

反应类型 =
$$\begin{cases} \text{弹性散射} & \left(0 \leq \xi < \frac{\sigma_{el}}{\sigma_t}\right) \\ \text{非弹性散射} & \left(\frac{\sigma_{el}}{\sigma_t} \leq \xi < \frac{\sigma_{el} + \sigma_{in}}{\sigma_t}\right) \\ \vdots & \\ \text{裂变} & \left(1 - \frac{\sigma_f}{\sigma_t} \leq \xi \leq \frac{\sigma_{el}}{\sigma_t}\right) \end{cases} \quad (5)$$

反应过后,还需要对粒子碰撞后的状态进行确定。如果粒子与地层原子核发生作用并被其俘获,则粒子历史终结;如果粒子发生散射反应,则还需要继续跟踪粒子之后的反应状态;如果发生非弹性散射,则可根据核数据库计算反应后的能量和方向。最后,对反应结果进行记录。记录的方法一般分为直接记录法和加权记录法两种。其中,加权记录法是使未被俘获的粒子权重增加,进而比直接记录法效率高。

为了得到裂缝井孔介质中的热中子密度,需要确定相应的宏观截面。因为脉冲源是瞬时源,需要通过动态扩散方程对热中子分布问题进行计算:

$$\frac{1}{v} \frac{d\Phi}{dt} = S + D \nabla^2 \Phi - \Sigma \Phi, \quad (6)$$

上式还可以写为:

$$\frac{dn}{dt} = S + D_0 \nabla^2 n - \Sigma vn, \quad (7)$$

式中: v 是粒子的速度 (cm/s), D_0 是粒子的扩散系数, n 是粒子密度 (单位体积内粒子数量), S 是粒子源的密度, Σ 是粒子的俘获截面。

中子源发射出快中子后,只经过极短时间 (1 μ s) 就会减速为热中子。当脉冲中子源发出的中子分布达到一种稳定状态时,可以看做是在均匀介质中点源发出的热中子分布,即可用下式表达:

$$n_i(R) = \frac{Q}{4\pi R D_i} e^{-R/L}, \quad (8)$$

式中: R 是观察点与源的距离, D_i 是热中子的扩散系数, Q 是源强度, L 是减速距离。式 (7) (扩散方程) 的初始条件由式 (8) 给出,即 0 时刻的热中子密度。扩散方程的边界条件:流量密度有限;介质分界面上,垂直方向粒子通量相等;无穷远处粒子通量为 0。将扩散方程初始条件和边界条件联立,再通过扩散方程数值解法便可得到热中子密度分布的数值模拟结果。

其中,井孔和围岩环境下,热中子扩散俘获过程呈双指数衰减规律,即,热中子计数为井孔计数和围岩计数的和:

$$N(t) = N_{10}^{-t} / \tau_1 + N_{20}^{-t} / \tau_2, \quad (9)$$

式中: τ_1 和 τ_2 分别为井孔热中子寿命和地层热中子的寿命, N_{10} 和 N_{20} 是初始状态井孔热中子计数和地层中热中子计数。热中子的计数值取决于地层介质的俘获能力 (宏观截面),包括地层介质岩石骨架和裂缝中包裹体的俘获能力。宏观截面为:

$$\Sigma = \Sigma_{ma} (1 - \varphi) + \Sigma_w \cdot S_w \cdot \varphi, \quad (10)$$

式中: Σ_{ma} 是围岩骨架的宏观俘获截面, Σ_w 是地层水的宏观俘获截面, φ 是围岩孔隙度, S_w 是裂缝流体的饱和度。

2 水层裂缝介质测井响应特征

为了对含水裂缝介质中的裂缝参数与热中子的传输过程关系进行研究,设裂缝角度变化区间为 $[0^\circ, 90^\circ]$ 。为了研究含水裂缝介质中的脉冲中子测井结果,选择典型水层介质参数。根据不同裂缝角度参数设定控制参数组,并得到不同裂缝参数前提下的热中子密度分布、时间计数谱最大值谱以及热中子计数极大值谱。图 1~图 5 是水层中的热中子密度分布图。热中子密度分布情况随裂缝角度呈规律性变化。

由图可知,在低角度 ($0^\circ \sim 20^\circ$) 水层裂缝介质中,只有在热中子扩散边界带存在少量的极小值点 (图中阴影、峡谷凹陷带)。在中等角度 ($40^\circ \sim 50^\circ$) 裂缝水层中,极小值点明显增加,并且,热中子计数极大值也显著升高;以上现象说明低角度水层裂缝介质对热中子的俘获作用明显低于中等角度裂缝介质,并且,水层中的热中子对中等角度裂缝介质环境更加敏感,更容易被慢化;在高角度 ($80^\circ \sim 90^\circ$) 水层

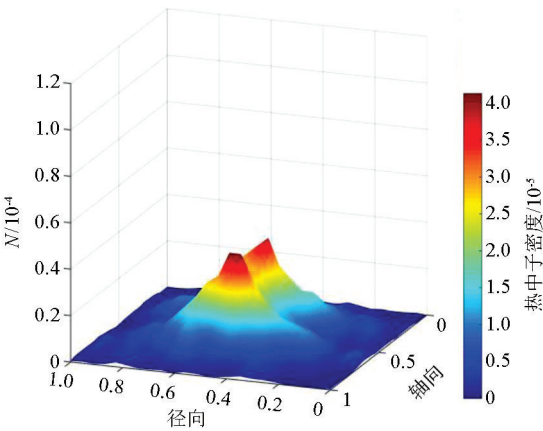


图 1 低角度裂缝水层中的热中子密度分布

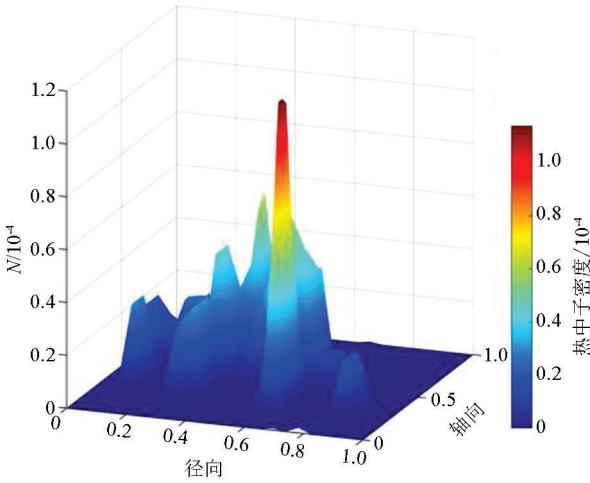


图 2 40°裂缝水层中的热中子密度分布

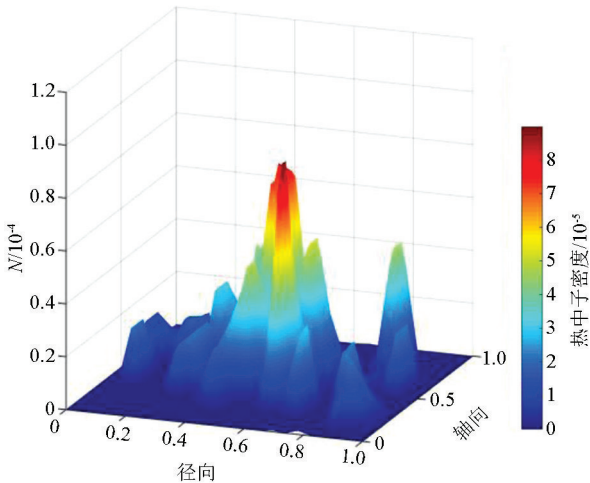


图 3 50°裂缝水层中的热中子密度分布

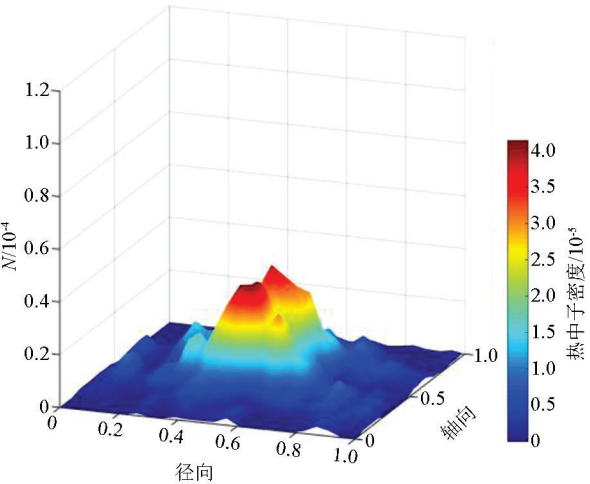


图 4 70°裂缝水层中的热中子密度分布

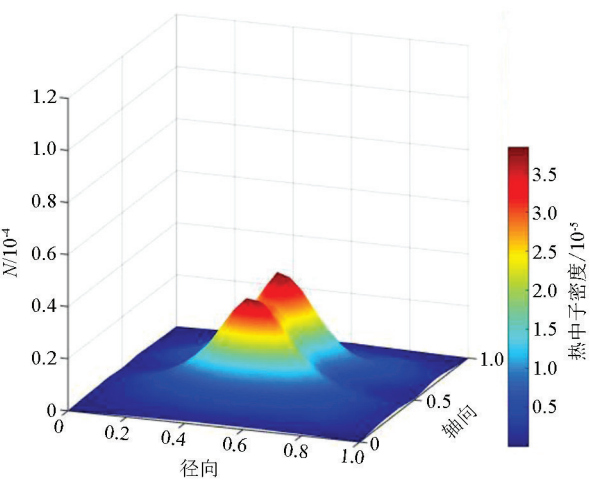


图 5 90°裂缝介质中水层中的热中子密度分布

裂缝介质中,热中子密度分布图中非常平滑,几乎不存在极小值点(阴影凹陷部分),这说明与其他角度裂缝介质相比,高角度裂缝介质对热中子的俘获作用最低。

图 6 是水层中不同裂缝角度条件下的热中子密度极大值图。由图可知,随着水层裂缝角度从 0°~90°逐渐增大,极大值首先小幅上升,在 26°~30°之间达到平台期;当裂缝角度超过 30°并持续增大,热中子极大值开始急剧上升并在 50°左右达到峰值,之后随着角度增大而下降,在 70°左右开始下降缓慢;随着裂缝角度逐渐接近 90°,热中子极大值下降速度放缓并最后接近恒定值。

以上现象说明,水层中的热中子极大值对低角度(0°~30°)裂缝条件有一定敏感性,对中等角度(50°)裂缝环境最敏感(极大值最大达到 10.68×10^{-5})。由此可见,50°水层裂缝介质对中子的慢化

作用最强烈。

图 7 是时间谱极大值与裂缝角度的变化关系图。时间谱是粒子计数随着时间变化的规律统计图,其记录从瞬时源发射快中子开始,随着时间的推移粒子计数会从一个峰值下降到零的过程。对于不同角度的裂缝介质而言,时间谱极大值有所不同,这说明裂缝的角度是影响粒子计数的一个重要因素,也可说明热中子时间谱可以从一定程度反映水层裂缝的特征。图中,两个峰值点分别出现在 40°和 70°处,在 58°左右出现了一个最小值点。就整体趋势而言,随着裂缝角度从 0°上升到 25°的这段区间中,时间谱极大值随着裂缝角度的上升而逐渐升高;在裂缝角度大于 70°并逐渐接近 90°的过程中,时间谱极大值逐渐下降,且下降速率逐渐放缓最后接近一个恒定值。

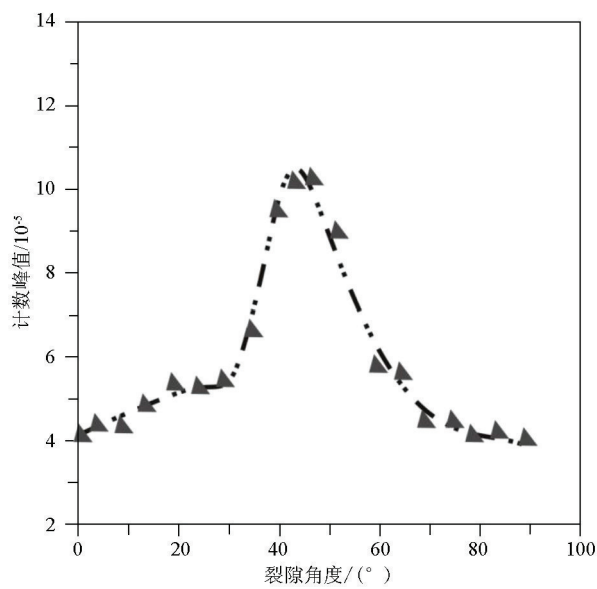


图6 水层中不同角度裂缝介质中的热中子密度极大值

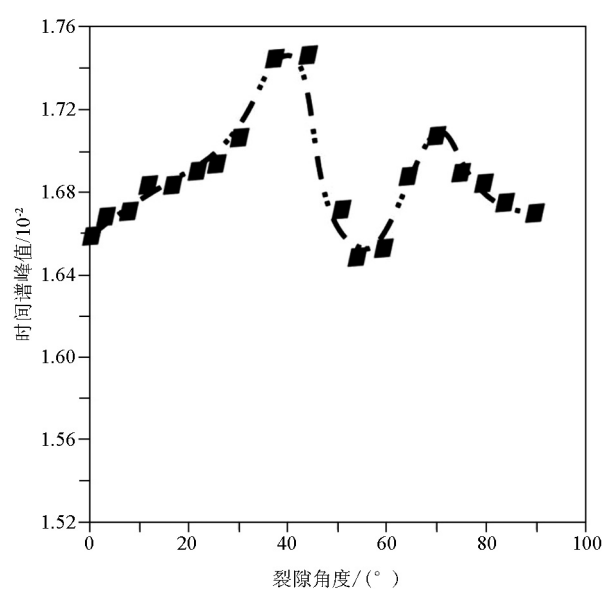


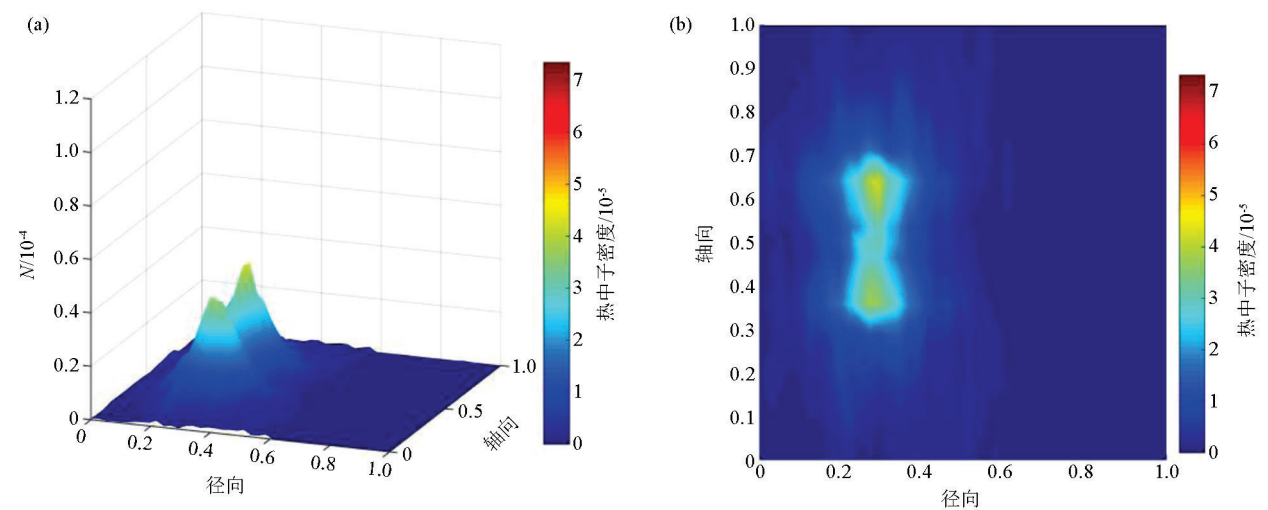
图7 水层中不同角度裂缝介质中的时间谱最大值

3 有效性验证

为了研究模拟算法的实用性及有效性,笔者将模拟方法应用于实地勘探工作,并将实地勘探结果与模拟结果进行对比。但是因野外环境条件限制,选取的裂缝介质渗透率略高于理论模型中的裂缝渗透率。通过实验计算得到脉冲发射后某特定时刻的热中子密度分布情况,得到图8a和图8b。图9a和图9b是基于本文数值模型计算得到的热中子密度分布图,其中裂缝群组角度为近似水平,分布稀疏,均匀围绕井孔结构分布。

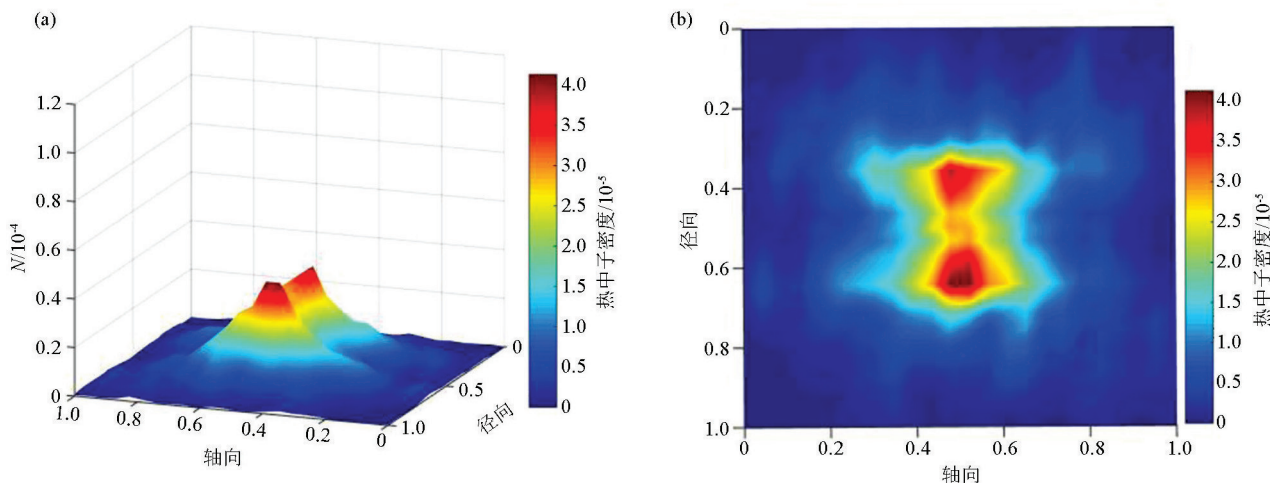
通过对比图8和图9可知,自然条件下由于井

孔结构的存在,裂缝结构被井孔贯穿,导致裂缝与围岩基质间的渗透率增大,大于数值模拟模型中的渗透率。并且,由于自然条件下地层包含物质复杂,干扰结构多样,热中子被地层物质俘获较多,俘获速率较快,因此自然条件下热中子密度分布峰值点比较靠近井孔结构,且传播距离较近,在较远处几乎不存在热中子计数点。就整体而言,图8和图9中热中子密度分布规律相似,都存在近似双峰值点,靠近井孔热中子计数较少,这是由于井壁对热中子的俘获作用较强,随着远离井孔结构,出现峰值点;当离井孔距离继续增大,计数点减少并逐渐消失。由此可见,野外数据测井结果与数值模拟结果相似,说明本文数值模拟结果有实际参考价值。



a—热中子密度分布;b—热中子密度分布平面

图8 水层中裂缝介质野外采集数据计算结果



a—热中子密度分布;b—热中子密度分布平面

图 9 水层中裂缝介质数值模拟结果

4 结 论

笔者通过多角度裂缝理论模拟,得到了水层中不同裂缝角度条件下的热中子密度分布和输运规律。研究表明,低角度和中等角度水层裂缝介质条件下,热中子计数极大值较高;尤其是中等角度裂缝介质中的热中子分布灵敏度最大;高角度水层裂缝介质对热中子的吸收俘获作用小;热中子密度分布平面图中,水层中的热中子扩散面积不大,粒子计数点连贯,属逐渐变化规律。通过对比热中子密度分布规律、热中子计数极大值情况和时间谱最大值变化规律可知,本文中多角度裂缝理论可以对水层裂缝介质进行理论分析,进而定量识别水层裂缝角度,此研究结果可应用于野外裂缝性地地质地球物理勘探工作。

参考文献:

- [1] Hudson J A. Overall properties of a cracked solid [J]. Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 1980, 88(2): 371-384.
- [2] Hudson J A. Wave speeds and attenuation of elastic waves in material containing cracks [J]. Geophysical Journal International, 1981, 64(1): 133-150.
- [3] Hudson J A. Attenuation due to second-order scattering in material containing cracks [J]. Geophysical Journal International, 1990, 102(2): 485-490.
- [4] Hudson J A. Overall properties of heterogeneous material [J]. Geophysical Journal International, 1991, 107(3): 505-511.
- [5] Hudson J A, Liu E, Crampin S. The Mechanical properties of materials with interconnected cracks and pores [J]. Geophysical Journal International, 1996, 124(1): 105-112.

- [6] Hudson J A, Pointer T, Liu E. Effective-medium theories for fluid-saturated materials with aligned cracks [J]. Geophysical Prospecting, 2001, 49(5): 509-522.
- [7] Zhao Y, Yao G Q, Mu L H, et al. Characteristics and controlling factors of fractures in lacustrine dolostones reservoirs in Tanggu district [J]. Earth Science, 2016, 41(2): 252-264.
- [8] Germán R J, Quintal B M, Tobias M, et al. Energy dissipation of P and S-waves in fluid-saturated rocks: An overview focusing on hydraulically connected fractures [J]. Journal of Earth Science, 2015, 26(6): 785-790.
- [9] 张福宏, 黄平, 黄开伟, 等. 复杂裂缝地球物理模型制作及地震采集处理研究 [J]. 物探与化探, 2018, 42(1): 87-95.
- [10] 姜黎明, 余春昊, 齐宝权, 等. 孔洞型碳酸盐岩储层饱和度建模新方法及应用 [J]. 天然气地球科学, 2017, 28(8): 1250-1256.
- [11] Hall S A, Kendall J M, Maddock J, et al. Crack density tensor inversion for analysis of changes in rock frame architecture [J]. Geophysical Journal International, 2008, 173(2): 577-592.
- [12] 俞岱, 孙渊, 路婧, 等. 浅层初至波旅行时层析并行算法及在裂缝调查中的应用 [J]. 物探与化探, 2017, 41(5): 977-985.
- [13] Nandal J S, Saini T N. Reflection and refraction at an imperfectly bonded interface between poroelastic solid and cracked elastic solid [J]. Journal of Seismology, 2012, 17(2): 239-253.
- [14] 全红娟, 朱光明, 潘渊, 等. 勘探地震物理震源模拟分析 [J]. 物探与化探, 2017, 41(2): 341-346.
- [15] 薛娇, 顾汉明, 崔成国, 等. 基于等效介质模型的裂缝参数 AVOA 反演 [J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(6): 1171-1179.
- [16] Jennings R L, Weber G A. Towards fast quantitative modelling of pulsed neutron logging tools [C]//SPWLA 36th Annual Logging Symposium, 1995.
- [17] Fricke S, David P, Adolph B, et al. Thermal neutron porosity using pulsed neutron measurement [C]//SPWLA 49th Annual Logging Symposium, 2008.
- [18] 张锋, 王新光. 脉冲中子—中子测井影响因素的数值模拟 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 6: 46-51.
- [19] 张锋, 孙燕. 蒙特卡罗方法在脉冲中子测井中的应用 [J]. 同位素, 2005(s1): 21-25.

[20] Meléndez-Martínez J,Schmitt D R.A comparative study of the anisotropic dynamic and static elastic moduli of unconventional reservoir shales;implication for geomechanical investigations [J].Geophysics,2016,81(3):D253 – D269.

[21] Ruan Z,Yu B S,Chen Y Y.Application of fluid inclusion analysis for buried dissolution predicting in the Tahe oilfield of Tarim basin,NW China [J].Journal of Earth Science,2014,24(3):343 – 354.

[22] 刘建伟,张云银,曾联波,等.非常规油藏地应力和应力甜点地球物理预测——渤南地区沙三下亚段页岩油藏勘探实例[J].石油地球物理勘探,2016,51(4):792 – 800.

[23] Zhang Z G,Du Y S,Gao L F,et al.The late mesozoic granodiorites from the Southwest Basin in the South China Sea and its tectonic implication [J].Journal of Earth Science,2012,23(3):268 – 276.

[24] Antonio J,Tadeu A,Amado Mendes P A.Simulation of wave propagation in a fluid-filled borehole embedded in a cracked medium using a coupled BEM/TBEM formulation [J].Bulletin of the Seismological Society of America,2009,99(6):3326 – 3339.

[25] Zhang X A,Wang Z W.Distinguishing oil and water layers by interpreting acoustic logging data with changing well diameters [J].Geophysical Prospecting,2015,63(3):669 – 679.

Water layer neutron logging in multi-angle crack environment

ZHANG Xue-Ang^{1,2}, YANG Zhi-Chao³, WEI Xiong¹

(1. Engineering Research Center of Nuclear Technology Application, Ministry of Education, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. School of Nuclear Science and Engineering, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 3. School of Geophysics and Measurement-control Technology, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: In geophysical exploration, crack medium is an important potential reservoir medium, and because of its complex structure and characteristics, the detection difficulty of crack medium is always great. For the purpose of identifying and studying the crack medium, it is necessary to conduct exploration and research through geophysical neutron logging method. In this paper, the authors applied the theory of dispersed multi-angle cracks to simulating the water layer strata in the pore-crack medium. The corresponding neutron log data were studied by changing crack parameters. The results of the study show that, in the low and medium angle crack environment, the maximum thermal neutron density is larger than that of approximate horizontal angle crack medium, and its sensitivity is significantly greater than that of other kinds crack environment, and that, in the high angle crack medium, the thermal neutron density map is smooth, indicating that the high angle crack medium has little effect on thermal neutron absorption. In the thermal neutron density distribution plan, the thermal neutron diffusion range is small because of the high hydrogen content in water. By analyzing the water layer thermal neutron density distribution, the maximum density distribution and the maximum time spectrum, the authors found that the neutron in the water layer is more sensitive to low and medium angle crack media, and is easy to be slowed down and absorbed. These results can provide theoretical guidance for geophysical survey work in the field.

Key words: crack; neutron logging; multi-angle crack theory; numerical simulation; water layer

(本文编辑:叶佩)