



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112593923 A

(43) 申请公布日 2021.04.02

(21) 申请号 202011484417.1

(22) 申请日 2020.12.16

(71) 申请人 中国海洋石油集团有限公司
地址 100010 北京市东城区朝阳门北大街
25号

申请人 中海油田服务股份有限公司

(72) 发明人 王振 梁国武 王文文 周文革
徐文江 姜维东 刘金立 杨鼎
沈友爱

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262
代理人 栗若木 龙洪

(51) Int.Cl.
E21B 47/00 (2012.01)
E21B 49/00 (2006.01)

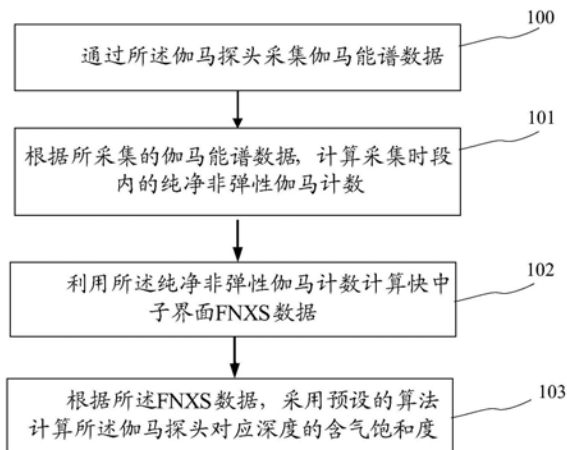
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法和装置

(57) 摘要

本申请实施例公开了一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法和装置,应用于包含脉冲中子发生器和伽马探头的仪器中,其中,所述脉冲中子发生器用于按照脉冲周期发射中子;所述方法包括:通过所述伽马探头采集伽马能谱数据;根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数;利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据;根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。通过本公开的方案,可以利用纯净非弹性伽马计数预测目标深度的含气饱和度。



1. 一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,其特征在于,应用于包含脉冲中子发生器和伽马探头的仪器中,其中,所述脉冲中子发生器用于按照脉冲周期发射中子;所述方法包括:

通过所述伽马探头采集伽马能谱数据;

根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数;

利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据;

根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。

2. 根据权利要求1所述的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,其特征在于,所述利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据,包括:

对所述纯净非弹性伽马计数进行取对数处理,得到与所述纯净非弹性伽马计数相对应的GRAT值;

基于岩性剖面信息及井眼结构信息,根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正;

利用校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据。

3. 根据权利要求2所述的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,其特征在于,所述根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正包括:

建立GRAT值和标准GRAT值的对应关系;

将GRAT值和标准GRAT值的线性关系中的斜率和偏移值按照GRAT值和标准GRAT值的一一对应关系进行调整;

调整后得到校正后的GRAT值。

4. 根据权利要求3所述的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,其特征在于,所述利用校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据,包括:

利用GRAT值和FNXS值的对应关系、根据校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据;其中,所述GRAT值和FNXS值的对应关系包括地层不同孔隙度、不同含气饱和度时,GRAT值和FNXS值的对应关系。

5. 根据权利要求4所述的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,其特征在于,所述根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数,包括:

对所采集的伽马能谱中中子爆发阶段伽马能谱S1按照下式得到纯净非弹谱 S_{pure} :

$$S_{\text{pure}} = S1 - \alpha * S2$$

上式中, α 为预先设置的系数,所采集的伽马能谱包括S1和S2;S1为采集周期内中子爆发阶段伽马能谱,S2为采集周期内中子爆发停歇阶段伽马能谱, S_{pure} 为纯净非弹谱;其中,一个所述脉冲周期中包括中子爆发阶段和中子爆发停歇阶段;

将N个能量道所对应的纯净非弹谱相加,得到纯净非弹性伽马计数,其中,该伽马探头采集N个能量道。

6. 根据权利要求1所述的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,其特征在于,所述根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度,包括:

根据FNXS数据,利用预先设置的体积模型计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。

7. 根据权利要求6所述的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,其特征在于,所述预先设置的体积模型为:

$$FNXS_i = FNXS_m (1 - \phi - V_{sh}) + FNXS_{sh} V_{sh} + FNXS_g \phi S_g + FNXS_w \phi (1 - S_g)$$

上式中： FNXS_i 为某一深度点通过GRAT计算出的FNXS； FNXS_m 为地层骨架的FNXS值； FNXS_{sh} 为泥质的FNXS值； FNXS_g 为所测气体的FNXS值； FNXS_w 为水的FNXS值； ϕ 为孔隙度； V_{sh} 为泥质所占体积； S_g 为含气饱和度。

8. 根据权利要求7所述的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法，其特征在于，所述根据FNXS数据，利用预先设置的体积模型计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度，包括：

将体积模型中的含气饱和度 S_g 分别设置为0和100%；

对应的计算得到纯含水和纯含气的FNXS值；

按照下式计算对应深度的含气饱和度：

$$S_{ig} = (\text{FNXS}_i - \text{FNXS}_{iwater}) / (\text{FNXS}_{igas} - \text{FNXS}_{iwater})$$

其中， S_{ig} 为对应深度的含气饱和度， FNXS_{iwater} 为含气饱和度 S_g 设置为0计算得到纯含水的FNXS值、 FNXS_{igas} 为含气饱和度 S_g 设置为100%计算得到纯含气的FNXS值。

9. 一种基于脉冲中子预测含气饱和度的装置，包括处理器和存储器；其特征在于，所述存储器用于保存用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序，所述处理器用于读取执行所述用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序，执行权利要求1-8任一项所述的方法。

10. 一种存储介质，其特征在于，所述存储介质中存储有用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序，所述用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序被设置为在运行时执行权利要求1-8任一项所述的方法。

一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法和装置

技术领域

[0001] 本申请实施例涉及但不限于测井领域,尤其涉及一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法和装置。

背景技术

[0002] 天然气作为一种清洁能源并随着探明储量的增加,其勘探开发规模呈逐年增长趋势,但是随着煤层气、页岩气及致密砂岩气等非常规气的大量开采,气层评价难度逐渐增大。随着注气增产技术的广泛使用,注气效果评价需求也逐渐增大。传统测井领域主要采用核测井、声波及核磁等技术进行气层定性识别,并结合录井资料进行一定程度的定量识别,但由于缺乏定量手段,因此定量评价效果并不理想。近些年来,测井领域普遍使用脉冲中子技术进行气层评价,但是由于低孔、地层复杂等原因,常规基于脉冲中子的气层评价技术在准确性及可靠性方面面临较大挑战。

发明内容

[0003] 以下是对本文详细描述的主题的概述。本概述并非是为了限制权利要求的保护范围。

[0004] 本公开提供了一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法和装置,可以通过原子数密度计算,得到较为可靠的含气饱和度定量评价结果。

[0005] 一方面,本公开提供了一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,应用于包含脉冲中子发生器和伽马探头的仪器中,其中,所述脉冲中子发生器用于按照脉冲周期发射中子;所述方法包括:

[0006] 通过所述伽马探头采集伽马能谱数据;

[0007] 根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数;

[0008] 利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据;

[0009] 根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。

[0010] 一种示例性的实施例中,所述利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据,包括:

[0011] 对所述纯净非弹性伽马计数进行取对数处理,得到与所述纯净非弹性伽马计数相对应的GRAT值;

[0012] 基于岩性剖面信息及井眼结构信息,根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正;

[0013] 利用校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据。

[0014] 一种示例性的实施例中,所述根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正包括:

[0015] 建立GRAT值和标准GRAT值的对应关系;

[0016] 将GRAT值和标准GRAT值的线性关系中的斜率和偏移值按照GRAT值和标准GRAT值的一一对应关系进行调整;

[0017] 调整后得到校正后的GRAT值。

[0018] 一种示例性的实施例中,所述利用校正后的GRAT值计算快中子截面FNXS数据,包括:

[0019] 利用GRAT值和FNXS值的对应关系、根据校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据;其中,所述GRAT值和FNXS值的对应关系包括地层不同孔隙度、不同含气饱和度时,GRAT值和FNXS值的对应关系。

[0020] 一种示例性的实施例中,所述根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数,包括:

[0021] 对所采集的伽马能谱中中子爆发阶段伽马能谱S1按照下式得到纯净非弹谱 S_{pure} :

$$[0022] \quad S_{\text{pure}} = S1 - \alpha * S2$$

[0023] 上式中, α 为预先设置的系数,所采集的伽马能谱包括S1和S2;S1为采集周期内中子爆发阶段伽马能谱,S2为采集周期内中子爆发停歇阶段伽马能谱, S_{pure} 为纯净非弹谱;其中,一个所述脉冲周期中包括中子爆发阶段和中子爆发停歇阶段;

[0024] 将N个能量道所对应的纯净非弹谱相加,得到纯净非弹性伽马计数,其中,该伽马探头采集N个能量道。

[0025] 一种示例性的实施例中,所述根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度,包括:

[0026] 根据FNXS数据,利用预先设置的体积模型计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。

[0027] 一种示例性的实施例中,

[0028] 所述预先设置的体积模型为:

$$[0029] \quad \text{FNXS}_i = \text{FNXS}_m (1 - \phi - V_{\text{sh}}) + \text{FNXS}_{\text{sh}} V_{\text{sh}} + \text{FNXS}_g \phi S_g + \text{FNXS}_w \phi (1 - S_g)$$

[0030] 上式中: FNXS_i 为某一深度点通过GRAT计算出的FNXS; FNXS_m 为地层骨架的FNXS值; FNXS_{sh} 为泥质的FNXS值; FNXS_g 为所测气体的FNXS值; FNXS_w 为水的FNXS值; ϕ 为孔隙度; V_{sh} 为泥质所占体积; S_g 为含气饱和度。

[0031] 一种示例性的实施例中,

[0032] 所述根据FNXS数据,利用预先设置的体积模型计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度,包括:

[0033] 将体积模型中的含气饱和度 S_g 分别设置为0和100%;

[0034] 对应的计算得到纯含水和纯含气的FNXS值;

[0035] 按照下式计算对应深度的含气饱和度:

$$[0036] \quad S_{ig} = (\text{FNXS}_i - \text{FNXS}_{i\text{water}}) / (\text{FNXS}_{i\text{gas}} - \text{FNXS}_{i\text{water}})$$

[0037] 其中, S_{ig} 为对应深度的含气饱和度, $\text{FNXS}_{i\text{water}}$ 为含气饱和度 S_g 设置为0计算所得到纯含水的FNXS值、 $\text{FNXS}_{i\text{gas}}$ 为含气饱和度 S_g 设置为100%计算所得到纯含气的FNXS值。

[0038] 另一方面,本公开还提供了一种基于脉冲中子预测含气饱和度的装置,包括处理器和存储器;所述存储器用于保存用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序,所述处理器用于读取执行所述用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序,执行上述实施例中任一项所述的方法。

[0039] 另一方面,本公开还提供了一种存储介质,所述存储介质中存储有用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序,所述用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序被设置为在运

行时执行上述实施例中任一项所述的方法。

[0040] 本申请实施例公开一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法和装置,应用于包含脉冲中子发生器和伽马探头的仪器中,其中,所述脉冲中子发生器用于按照脉冲周期发射中子;方法包括:通过所述伽马探头采集伽马能谱数据;根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数;利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据;根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。通过本公开的方案,可以利用脉冲中子预测含气饱和度。

[0041] 在阅读并理解了附图和详细描述后,可以明白其他方面。

附图说明

[0042] 图1为本公开实施例的基于脉冲中子预测含气饱和度方法流程图;

[0043] 图2为一些示例性实施例中脉冲中子储层评价仪示意图;

[0044] 图3为一些示例性实施例中的脉冲时序设计示意图;

[0045] 图4为本公开实施例的基于脉冲中子预测含气饱和度装置的示意图;

[0046] 图5为一些示例性实施例中的典型物质弹性散射界面大小示意图;

[0047] 图6为一些示例性实施例中的 $\ln N$ 和FNXS之间的关系示意图;

[0048] 图7为一些示例性实施例中的多岩性骨架地层GRAT和FNXS响应关系的示意图;

[0049] 图8为一些示例性实施例中的纯净非弹总计数取对数GRAT与标准经验GRAT之间的关系示意图。

具体实施方式

[0050] 下文中将结合附图对本申请实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0051] 在附图的流程图示出的步骤可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行。并且,虽然在流程图中示出了逻辑顺序,但是在某些情况下,可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

[0052] 一些技术中,在基于脉冲中子技术的测井技术领域,关于天然气/注入气的测量及评价方法,现阶段主要采用两种方式:一种是基于气的俘获截面与地层及水存在较大差异,通过测量地层中的俘获截面值,并结合体积模型进行气层评价;另外一种基于2~3个探头计数比(总非弹计数比或俘获计数比),结合仿真模型或解释图版进行气层评价。第一种评价方式受矿化度及俘获截面较大的地层矿物矿化度或地层矿物在多数情况下是未知的、且变化的,因此,难以准确评价气层饱和度;第二种方法由于需要结合仿真模型或校正图板,因此,每口井解释准确度依赖于对井况及地层条件的准确程度。现有评价方法采用脉冲中子发生器采集的是时间谱数据,申请人发现,采用脉冲中子发生器采集伽马能谱数据可获得较为可靠的含气饱和度评价结果。

[0053] 图1为本公开实施例的基于脉冲中子预测含气饱和度的方法流程图,如图1所示,包括步骤100-103:

[0054] 100.通过所述伽马探头采集伽马能谱数据;

[0055] 101.根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数;

[0056] 102.利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据;

[0057] 103.根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。

[0058] 在步骤100中,应用包含脉冲中子发生器和伽马探头的仪器,其中,所述脉冲中子发生器用于按照脉冲周期发射中子;该脉冲中子储层评价仪的结构如图2所示,脉冲中子发生器包括三部分;1为基于氘氘中子源的中子发生器,可以发射14Mev的快中子;2为产额监控探头,如果中子发生器产额稳定,该探头可以去掉;3为伽马探头,用于采集快中子与地层中元素反应生成的伽马射线。

[0059] 在本实施例中,应用如图2所示的仪器进行采集伽马能谱数据;脉冲时序设置为100~200us一个周期,如图3所示,中子爆发阶段一般持续几十微秒,在此阶段采集伽马能谱S1,进入中子爆发停歇阶段后采集伽马能谱S2。

[0060] 在步骤101中,根据所采集的伽马能谱数据S1和S2,结合整个采集周期的伽马计数时间规律,对能谱S1进行剥谱,以得到纯净非弹谱。

[0061] 在一种示例性实施例中,根据所采集的伽马能谱数据,计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数,包括:对所采集的伽马能谱中中子爆发阶段伽马能谱S1按照下式得到纯净非弹谱 S_{pure} :

$$[0062] \quad S_{\text{pure}} = S1 - \alpha * S2$$

[0063] 上式中, α 为预先设置的系数,所采集的伽马能谱包括S1和S2;S1为采集周期内中子爆发阶段伽马能谱,S2为采集周期内中子爆发停歇阶段伽马能谱, S_{pure} 为纯净非弹谱;其中,一个所述脉冲周期中包括中子爆发阶段和中子爆发停歇阶段;将N个能量道所对应的纯净非弹谱相加,得到纯净非弹性伽马计数,其中,该伽马探头采集N个能量道。在本实施例中,该能量道可以指能量谱中的某一道。通过所述伽马探头采集伽马能谱数据,一个伽马探头可以采集256个能量道,比如:能量范围是0-9Mev,则每个能量道的能量为9/256Mev。

[0064] 在步骤102中,利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据。

[0065] 该快中子界面FNXS理论计算方法是将纯净非弹性散射伽马计数N映射至14Mev中子通量的测定时的快中子弹性散射截面,即定义为地层中的一种物理性质,设置符号为FNXS,其中FNXS计算公式为:

$$[0066] \quad FNXS = \sum_{\text{elastic}}^{14 \text{ MeV}}$$

[0067] 该公式表述的含义为所有原子数在14MeV时弹性散射界面总和。

[0068] 在一种示例性实施例中,所述利用所述纯净非弹性伽马计数计算快中子界面FNXS数据,包括:对所述纯净非弹性伽马计数进行取对数处理,得到与所述纯净非弹性伽马计数相对应的GRAT值;基于岩性剖面信息及井眼结构信息,根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正;利用校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据。其中,标准的GRAT通过在标准井中进行测量及蒙特卡洛模拟得到。

[0069] 在一种示例性实施例中,所述根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正包括:建立GRAT值和标准GRAT值的对应关系;将GRAT值和标准GRAT值的线性关系中的斜率和偏移值按照GRAT值和标准GRAT值的一一对应关系进行调整;调整后得到校正后的GRAT值。

[0070] 在一种示例性实施例中,所述利用校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据快中

子截面FNXS数据,包括:利用GRAT值和FNXS值的对应关系、根据校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据;其中,所述GRAT值和FNXS值的对应关系包括地层不同孔隙度、不同含气饱和度时,GRAT值和FNXS值的对应关系。

[0071] 在步骤103中,根据FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。

[0072] 在一种示例性实施例中,所述根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度,包括:根据FNXS数据,利用预先设置的体积模型计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度。

[0073] 在一种示例性实施例中,所述预先设置的体积模型为:

$$[0074] \quad \text{FNXS}_i = \text{FNXS}_m (1 - \phi - V_{sh}) + \text{FNXS}_{sh} V_{sh} + \text{FNXS}_g \phi S_g + \text{FNXS}_w \phi (1 - S_g)$$

[0075] 上式中: FNXS_i 为某一深度点通过GRAT计算出的FNXS; FNXS_m 为地层骨架的FNXS值; FNXS_{sh} 为泥质的FNXS值; FNXS_g 为所测气体的FNXS值; FNXS_w 为水的FNXS值; ϕ 为孔隙度; V_{sh} 为泥质所占体积; S_g 为含气饱和度。

[0076] 在一种示例性实施例中,所述根据FNXS数据,利用预先设置的体积模型计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度,包括:将体积模型中的含气饱和度 S_g 分别设置为0和100%;对应的计算得到纯含水和纯含气的FNXS值;按照下式计算对应深度的含气饱和度:

$$[0077] \quad S_{ig} = (\text{FNXS}_i - \text{FNXS}_{iwater}) / (\text{FNXS}_{igas} - \text{FNXS}_{iwater})$$

[0078] 其中, S_{ig} 为对应深度的含气饱和度, FNXS_{iwater} 为含气饱和度 S_g 设置为0计算所得到纯含水的FNXS值、 FNXS_{igas} 为含气饱和度 S_g 设置为100%计算所得到纯含气的FNXS值。

[0079] 本公开还提供了一种基于脉冲中子预测含气饱和度的装置,如图4所示,所述装置包括:处理器和存储器;所述存储器用于保存用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序,所述处理器用于读取执行所述用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序,执行上述实施例中任一项所述的方法。

[0080] 本公开还提供了一种存储介质,所述存储介质中存储有用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序,所述用于基于脉冲中子预测含气饱和度的程序被设置为在运行时执行上述实施例中任一项所述的方法。

[0081] 示例性实施例

[0082] 本实施例基于脉冲中子预测含气饱和度方法,包括以下几个实施步骤:

[0083] 步骤1. 确定可以利用FNXS值表征含气饱和度;

[0084] 在本步骤中,对砂岩、白云岩、灰岩、水及甲烷的FNXS数据进行对比分析,如图5所示,甲烷的FNXS值与其他物质存在显著区别,由此分析出可以利用FNXS值可以表征含气饱和度。

[0085] 步骤2. 采集的伽马能谱数据,并根据所采集的伽马能谱数据计算采集时段内的纯净非弹性伽马计数,具体实现过程包括:

[0086] 步骤21. 通过所述伽马探头采集伽马能谱数据;

[0087] 步骤22. 对所采集的伽马能谱中中子爆发阶段伽马能谱S1按照下式得到纯净非弹性谱 S_{pure} :

$$[0088] \quad S_{pure} = S1 - \alpha * S2$$

[0089] 上式中, α 为预先设置的系数,所采集的伽马能谱包括S1和S2;S1为采集周期内中

子爆发阶段伽马能谱, S_2 为采集周期内中子爆发停歇阶段伽马能谱, S_{pure} 为纯净非弹谱;其中,一个所述脉冲周期中包括中子爆发阶段和中子爆发停歇阶段;

[0090] 步骤23.将N个能量道所对应的纯净非弹谱相加,得到纯净非弹性伽马计数,其中,该伽马探头采集N个能量道。

[0091] 步骤3.确定 $\ln N$ 和FNXS之间的关系。

[0092] 在本步骤中,以砂岩地层为例,建立砂岩地层模型,设置饱含气与饱含水的地层,地层骨架为砂岩,孔隙度分别为1%,10%,20%,30%,40%,含气饱和度为0%与100%,得到 $\ln N$ 和FNXS的关系如图6所示,可以看出 $\ln N$ 和FNXS近似呈线性关系,从而可以得到地层饱含气的时候, $\ln N$ 和FNXS近似线性关系。

[0093] 步骤4.对纯净非弹性伽马计数进行取自然对数处理,得到与纯净非弹性伽马计数相对应的GRAT值。

[0094] 在本步骤中,N为纯净非弹性散射伽马计数;针对某一个深度探测点,该伽马探头采集N个能量道,选择的该深度探测点处的能量值即为N个纯净非弹性散射伽马计数。

[0095] 步骤5.基于岩性剖面信息及井眼结构信息,根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正。

[0096] 在本步骤中,标准的GRAT通过在标准井中进行测量纯净非弹性伽马计数并通过蒙特卡洛模拟得到。该标准井的选择可根据一个区域的地质情况进行确定。如图7多岩性骨架地层GRAT和FNXS响应关系示意图所示,在地层泥质含量较高或岩性变化较大时,FNXS的响应关系相对GRAT有着近乎平行的变化关系,只是说明FNXS和多种岩性变化都呈线性关系。

[0097] 步骤5根据标准GRAT值对所述GRAT值进行校正,实现步骤包括:

[0098] 步骤51.建立GRAT值和标准GRAT值的对应关系;在本步骤中,如图8所示,对于不同的井眼,可以通过线性校正使得非标准经验的GRAT校正到标准井眼中的GRAT上。

[0099] 步骤52.将GRAT值和标准GRAT值的线性关系中的斜率和偏移值按照GRAT值和标准GRAT值的一一对应关系进行调整;

[0100] 如图8所示,对于左上角的点可以首先拟合成一条直线,然后经过平移及旋转校正至 45° 过原点的那条黑色实线上即让测量值最终等于标准值。

[0101] 步骤53.调整后得到校正后的GRAT值。

[0102] 步骤6.利用校正后的GRAT值计算快中子截面FNXS数据

[0103] 在本步骤中,所述利用校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据,包括:

[0104] 利用GRAT值和FNXS值的对应关系、根据校正后的GRAT值计算快中子界面FNXS数据;其中,所述GRAT值和FNXS值的对应关系包括地层不同孔隙度、不同含气饱和度时,GRAT值和FNXS值的对应关系。

[0105] 步骤7.根据所述FNXS数据,采用预设的算法计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度和,包括:

[0106] 根据FNXS数据,利用预先设置的体积模型计算所述伽马探头对应深度的含气饱和度和,包括:

[0107] 步骤71.将体积模型中的含气饱和度 S_g 分别设置为0和100%;

[0108] 步骤72.对应的计算得到纯含水和纯含气的FNXS值;

[0109] 步骤73.按照下式计算对应深度的含气饱和度:

$$[0110] \quad S_{ig} = (FNXS_i - FNXS_{iwater}) / (FNXS_{igas} - FNXS_{iwater})$$

[0111] 其中, S_{ig} 为对应深度的含气饱和度, $FNXS_{iwater}$ 为含气饱和度 S_g 设置为0计算所得到纯含水的FNXS值、 $FNXS_{igas}$ 为含气饱和度 S_g 设置为100%计算所得到纯含气的FNXS值。

[0112] 其中,所述预先设置的体积模型为:

$$[0113] \quad FNXS_i = FNXS_m (1 - \phi - V_{sh}) + FNXS_{sh} V_{sh} + FNXS_g \phi S_g + FNXS_w \phi (1 - S_g)$$

[0114] 上式中: $FNXS_i$ 为某一深度点通过GRAT计算出的FNXS; $FNXS_m$ 为地层骨架的FNXS值; $FNXS_{sh}$ 为泥质的FNXS值; $FNXS_g$ 为所测气体的FNXS值; $FNXS_w$ 为水的FNXS值; ϕ 为孔隙度; V_{sh} 为泥质所占体积; S_g 为含气饱和度。

[0115] 本示例中,一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,采用以下技术特征:

[0116] 1. 基于氚中子源的中子发生器发射脉冲中子;

[0117] 2. 基于一种伽马探测器探测中子与地层反应后的伽马射线,该探测器需要满足一定的源距要求;

[0118] 3. 设计一种脉冲发射时序及采集门,用于分别采集非弹性散射总能谱及俘获能谱;

[0119] 4. 基于采集到的能谱求取纯净非弹性散射能谱;

[0120] 5. 对纯净非弹性散射能谱求取自然对数;

[0121] 6. 对取自然对数后的纯净非弹性散射能谱进行函数映射至快中子弹性散射截面FNXS;

[0122] 7. 基于岩性剖面新型及井眼结构新型,对快中子弹性散射截面进行线性校正;

[0123] 8. 对校正后的快中子弹性散射截面利用体积模型进行气饱和度定量评价。

[0124] 基于上述技术特征,本申请实施例实现了一种基于脉冲中子预测含气饱和度的方法,该预测含气饱和度的方法不依赖于孔隙度及地层矿化度,主要依赖于原子数密度,因此,对于气层响应尤为敏感,对于液体及固体响应并不敏感。该方法适用于极低孔隙度及地质条件复杂的情况,并且具有较可靠的气饱和度定量评价结果。

[0125] 本领域普通技术人员可以理解,上文中所公开方法中的全部或某些步骤、系统、装置中的功能模块/单元可以被实施为软件、固件、硬件及其适当的组合。在硬件实施方式中,在以上描述中提及的功能模块/单元之间的划分不一定对应于物理组件的划分;例如,一个物理组件可以具有多个功能,或者一个功能或步骤可以由若干物理组件合作执行。某些组件或所有组件可以被实施为由处理器,如数字信号处理器或微处理器执行的软件,或者被实施为硬件,或者被实施为集成电路,如专用集成电路。这样的软件可以分布在计算机可读介质上,计算机可读介质可以包括计算机存储介质(或非暂时性介质)和通信介质(或暂时性介质)。如本领域普通技术人员公知的,术语计算机存储介质包括在用于存储信息(诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其他数据)的任何方法或技术中实施的易失性和非易失性、可移除和不可移除介质。计算机存储介质包括但不限于RAM、ROM、EEPROM、闪存或其他存储器技术、CD-ROM、数字多功能盘(DVD)或其他光盘存储、磁盒、磁带、磁盘存储或其他磁存储装置、或者可以用于存储期望的信息并且可以被计算机访问的任何其他的介质。此外,本领域普通技术人员公知的是,通信介质通常包含计算机可读指令、数据结构、程序模块或者诸如载波或其他传输机制之类的调制数据信号中的其他数据,并且可包括任何信息递送介质。

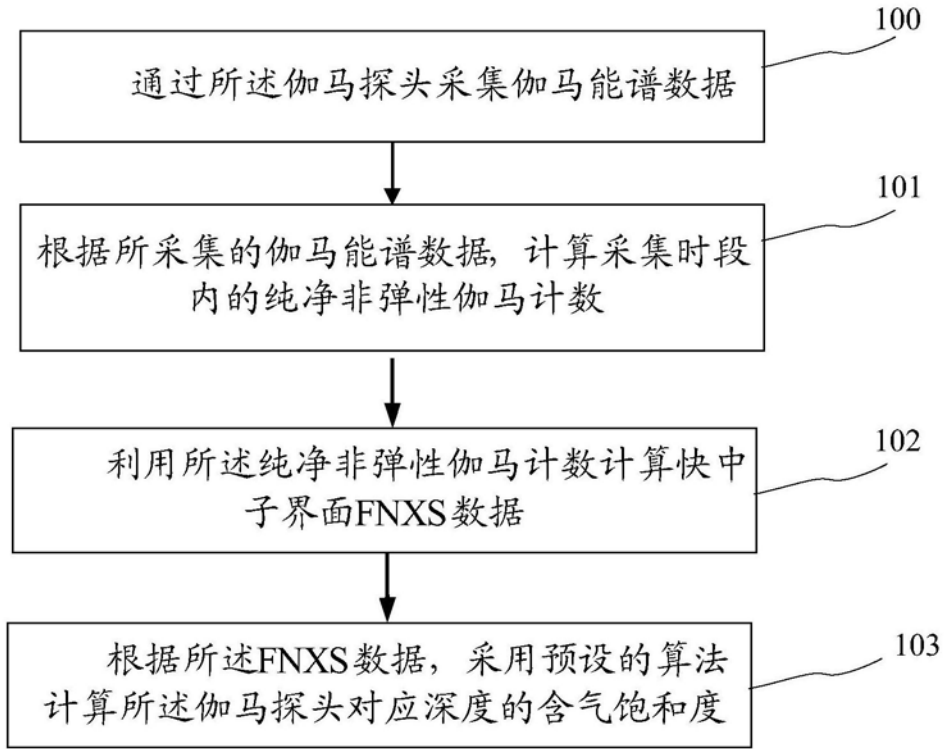


图1

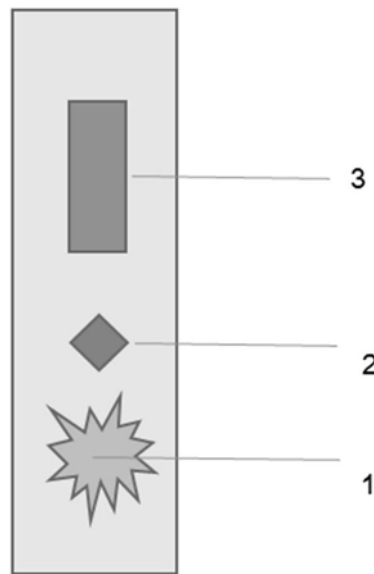


图2

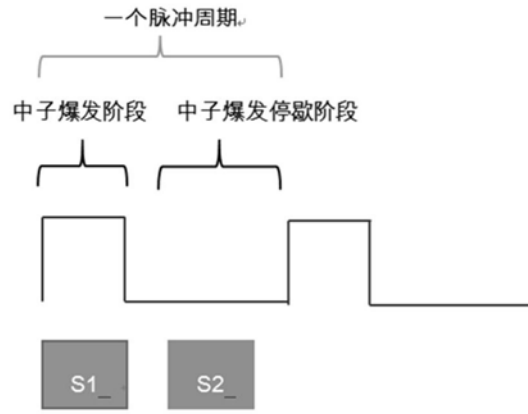


图3

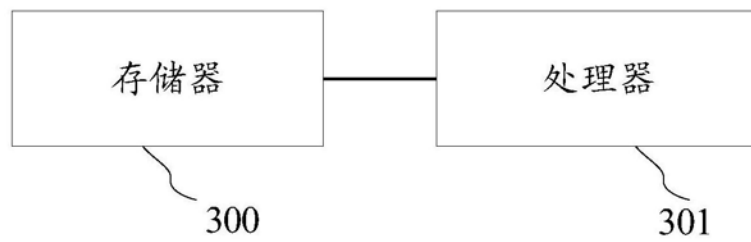


图4

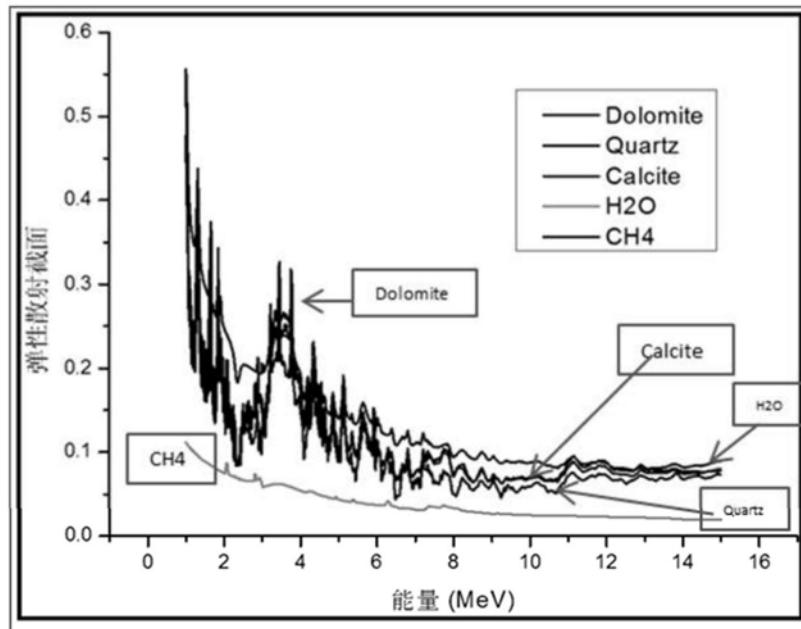


图5

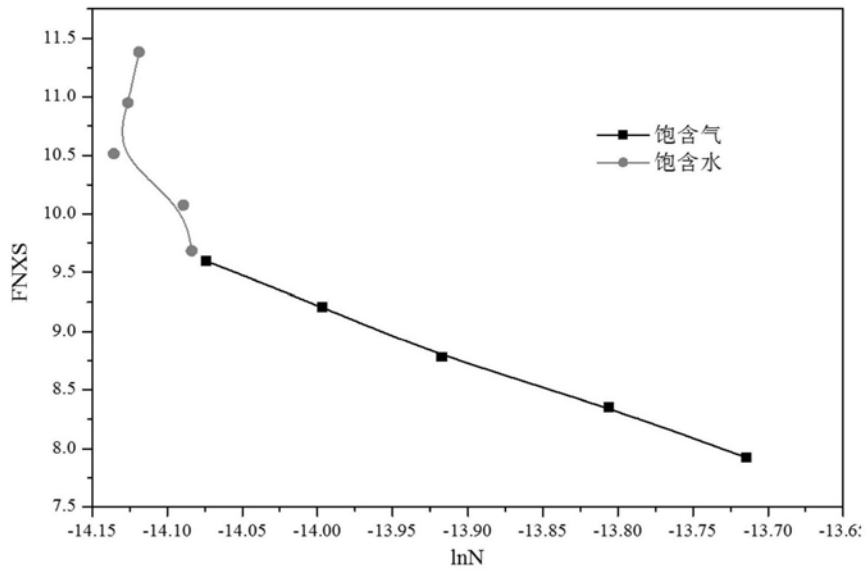


图6

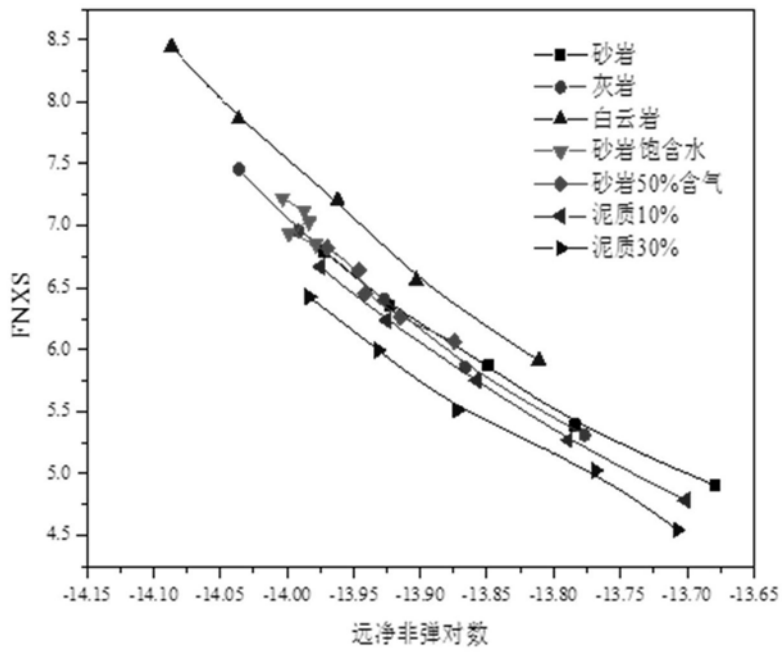


图7

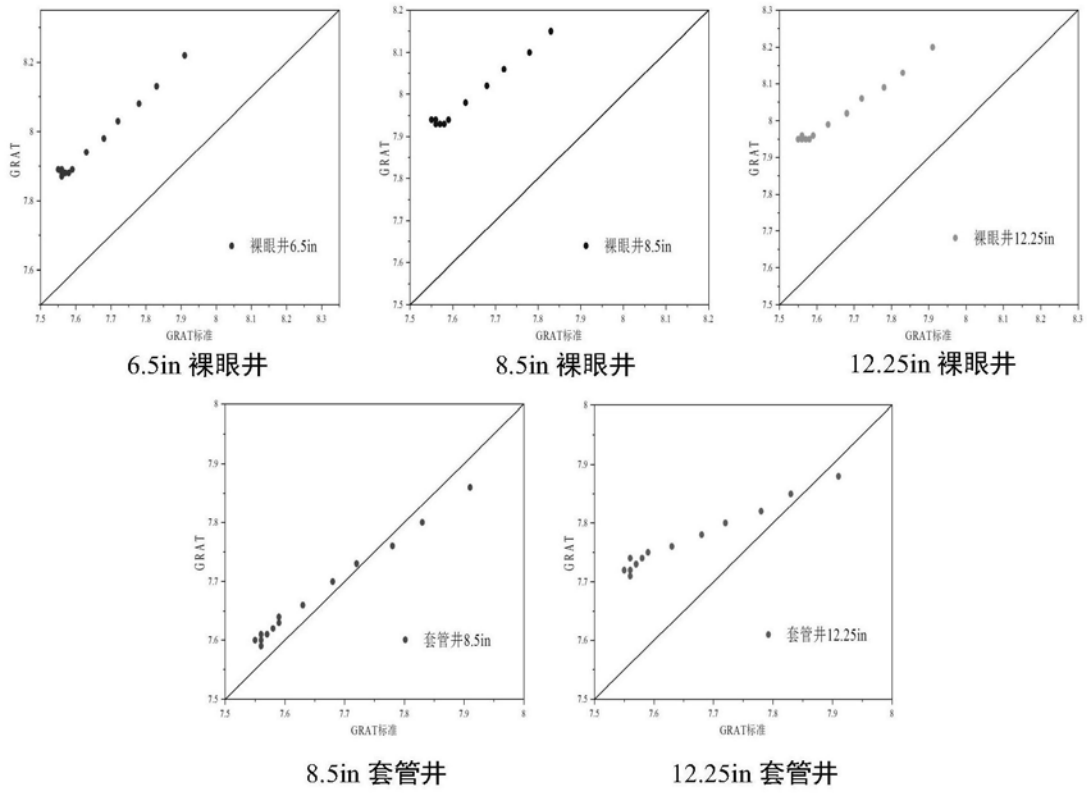


图8