



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103760182 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 30

(21) 申请号 201410001351. 4

(22) 申请日 2014. 01. 02

(71) 申请人 中国石油天然气股份有限公司
地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号

(72) 发明人 程相志 周灿灿 袁超 张锋
李潮流 刘军涛

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 贾磊

(51) Int. Cl.
G01N 23/222 (2006. 01)

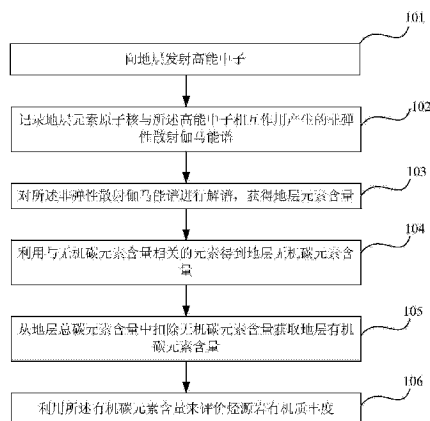
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

一种评价烃源岩有机质丰度的方法及装置

(57) 摘要

本发明提供了一种评价烃源岩有机质丰度的方法及装置,其中,方法包括:向地层发射高能中子;记录地层元素原子核与所述高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱;对所述非弹性散射伽马能谱进行解谱,获得地层元素含量;利用与无机碳元素含量相关的元素得到地层无机碳元素含量;从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获取地层有机碳元素含量;利用所述有机碳元素含量来评价烃源岩有机质丰度。



1. 一种评价烃源岩有机质丰度的方法,其特征在于,包括:
向地层发射高能中子;
记录地层元素原子核与所述高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱;
对所述非弹性散射伽马能谱进行解谱,获得地层元素含量;
利用与无机碳元素含量相关的元素得到地层无机碳元素含量;
从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获取地层有机碳元素含量;
利用所述有机碳元素含量来评价烃源岩有机质丰度。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述高能中子通过 D-T 脉冲中子发生器发射。
3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述非弹性散射伽马能谱通过伽马探测器记录。
4. 如权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述伽马探测器为高分辨率溴化镧伽马探测器。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述地层元素含量获取的步骤包括:
利用最小二乘解谱法得到地层元素相对产额;
利用所述地层元素相对产额、地层元素探测灵敏度因子和随深度变化的归一因子得到组成地层元素含量。
6. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述地层无机碳元素含量包括含有钙元素的方解石中无机碳元素含量和含有镁元素的白云石中无机碳元素含量。
7. 一种评价烃源岩有机质丰度的装置,其特征在于,包括:
脉冲中子源,用于向地层发射高能中子;
伽马探测单元,用于记录地层元素原子核与所述高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱;
地层元素含量获取单元,用于对所述非弹性散射伽马能谱进行解谱,获得地层元素含量;
地层无机碳元素含量获取单元,用于利用与无机碳元素含量相关的元素得到地层无机碳元素含量;
地层有机碳元素含量获取单元,用于从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获取地层有机碳元素含量;
评价单元,用于利用所述有机碳元素含量来评价烃源岩有机质丰度。
8. 如权利要求 7 所述的装置,其特征在于,所述地层元素含量获取单元包括:
解谱模块,用于利用最小二乘解谱法得到地层元素相对产额;
地层元素相对产额处理模块,用于利用所述地层元素相对产额、地层元素探测灵敏度因子和随深度变化的归一因子得到地层元素含量。
9. 如权利要求 7 所述的装置,其特征在于,所述脉冲中子源为 D-T 脉冲中子发生器。
10. 如权利要求 7 所述的装置,其特征在于,所述伽马探测单元为伽马探测器。

一种评价烃源岩有机质丰度的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及地球物理测井领域,特别涉及一种评价烃源岩有机质丰度的方法及装置。

背景技术

[0002] 评价烃源岩有机质丰度的主要指标为有机碳元素含量,它是指单位质量的岩石中有机碳的含量。有机质含量是研究烃源岩重要的参数之一,可表明烃源岩中有机物质的丰富程度,判断生油气效率以及计算生油气量。

[0003] 目前,在石油行业评价有机质含量的方法主要有:(1)井下取心在实验室进行岩心分析,虽然该方法得到的结果精度高,但钻井取心成本高,岩心样品有限,且分析费用高、耗费时间长,而且不能连续表征地层的有机碳元素含量信息;(2)利用常规测井资料评价有机质含量,常用的经典方法为 $\Delta \log R$ 法,其原理是将孔隙度曲线和电阻率曲线重叠,依据重叠交会的面积大小,采用经验方程确定有机碳元素含量,该方法能够获得沿井剖面连续的有机碳元素含量信息,虽然精度上有保证,但是需要区域上大量的钻井取心实验数据的标定,并且该方法仍然被为间接确定方法,精度受测井曲线制约,比如:测井曲线受井眼、地层特殊矿物等其他因素,且存在一定区域性、纵向上还存在层位上的局限性;(3)利用元素能谱测井评价有机碳元素含量,目前应用最广的元素测井仪主要有 Schlumberger 公司的元素俘获能谱测井仪(ECS)和 Halliburton 公司的地球化学元素测井仪(GEM),这些仪器主要采用 Am-Be 化学源,发射中子能量较低,只能测量地层的俘获谱,利用其它元素含量并借助于经验方法间接评价有机碳元素含量,不能直接评价烃源岩丰度。

发明内容

[0004] 为解决上述问题,本发明提出一种评价烃源岩有机质丰度的方法及装置,解决现有技术中间接评价地层有机碳元素的不足,能够直接获得地层有机碳元素含量,满足实际生产中烃源岩地层有机质丰度的评价。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种评价烃源岩有机质丰度的方法,包括:

[0006] 向地层发射高能中子;

[0007] 记录地层元素原子核与所述高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱;

[0008] 对所述非弹性散射伽马能谱进行解谱,获得地层元素含量;

[0009] 利用与无机碳元素含量相关的元素得到地层无机碳元素含量;

[0010] 从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获取地层有机碳元素含量;

[0011] 利用所述有机碳元素含量来评价烃源岩有机质丰度。

[0012] 可选的,在本发明一实施例中,所述高能中子通过 D-T 脉冲中子发生器发射。

[0013] 可选的,在本发明一实施例中,所述非弹性散射伽马能谱通过伽马探测器记录。

[0014] 可选的,在本发明一实施例中,所述伽马探测器为高分辨率溴化镧伽马探测器。即分辨率达 2% ~ 4% 的溴化镧伽马探测器。

- [0015] 可选的,在本发明一实施例中,所述地层元素含量获取的步骤包括:
- [0016] 利用最小二乘解谱法得到地层元素相对产额;
- [0017] 利用所述地层元素相对产额、地层元素探测灵敏度因子和随深度变化的归一因子得到组成地层元素含量。
- [0018] 可选的,在本发明一实施例中,所述地层无机碳元素含量包括含有钙元素的方解石中无机碳元素含量和含有镁元素的白云石中无机碳元素含量。
- [0019] 为实现上述目的,本发明还提供了一种评价烃源岩有机质丰度的装置,包括:
- [0020] 脉冲中子源,用于向地层发射高能中子;
- [0021] 伽马探测单元,用于记录地层元素原子核与所述高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱;
- [0022] 地层元素含量获取单元,用于对所述非弹性散射伽马能谱进行解谱,获得地层元素含量;
- [0023] 地层无机碳元素含量获取单元,用于利用与无机碳元素含量相关的元素得到地层无机碳元素含量;
- [0024] 地层有机碳元素含量获取单元,用于从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获取地层有机碳元素含量;
- [0025] 评价单元,用于利用所述有机碳元素含量来评价烃源岩有机质丰度。
- [0026] 可选的,在本发明一实施例中,所述地层元素含量获取单元包括:
- [0027] 解谱模块,用于利用最小二乘解谱法得到地层元素相对产额;
- [0028] 地层元素相对产额处理模块,用于利用所述地层元素相对产额、地层元素探测灵敏度因子和随深度变化的归一因子得到地层元素含量。
- [0029] 可选的,在本发明一实施例中,所述脉冲中子源为 D-T 脉冲中子发生器。
- [0030] 可选的,在本发明一实施例中,所述伽马探测单元为伽马探测器。
- [0031] 上述技术方案具有如下有益效果:
- [0032] 通过探测高能中子与地层碳元素原子核相互作用产生的非弹性散射伽马能谱,直接获得与地层有机碳元素相关的测井信息,解决了目前离散、间接方法评价有机碳元素的技术现状,满足实际生产中直接评价烃源岩有机质丰度的需求。

附图说明

[0033] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0034] 图 1 为本发明提出的一种评价烃源岩有机质丰度的方法流程图;
- [0035] 图 2 为本发明提出的一种评价烃源岩有机质丰度的装置框图;
- [0036] 图 3 为一种直接指示烃源岩有机质丰度的测井方法实施例的流程图;
- [0037] 图 4 为一种直接指示烃源岩有机质丰度的测井装置简图;
- [0038] 图 5 为本实施例中测井装置的蒙特卡罗计算模型示意图;
- [0039] 图 6 为利用图 5 所示的计算模型和地层为表 1 所示的地层模型模拟计算得出的非

弹性散射伽马能谱图；

[0040] 图 7 为利用图 5 所示的计算模型及地层分别填充 SiCl_4 、 H_2O 、 CaCl_2 、 Al 、 $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ 、 MgCl_2 、 S 和 Fe 模拟得到的 Si 、 O 、 Ca 、 Al 、 C 、 Mg 、 S 和 Fe 的非弹散射标准伽马能谱图；

[0041] 图 8 为利用图 6 所示的非弹性散射伽马能谱和本实施例的技术获得的有机碳元素含量计算值与理论值的关系曲线图。

具体实施方式

[0042] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0043] 如图 1 所示,为本发明提出的一种评价烃源岩有机质丰度的方法流程图。包括：

[0044] 步骤 101):向地层发射高能中子；

[0045] 步骤 102):记录地层元素原子核与所述高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱；

[0046] 步骤 103):对所述非弹性散射伽马能谱进行解谱,获得地层元素含量；

[0047] 步骤 104):利用与无机碳元素含量相关的元素得到地层无机碳元素含量；

[0048] 步骤 105):从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获取地层有机碳元素含量；

[0049] 步骤 106):利用所述有机碳元素含量来评价烃源岩有机质丰度。

[0050] 可选的,在本发明一实施例中,所述高能中子通过 D-T 脉冲中子发生器发射。

[0051] 可选的,在本发明一实施例中,所述非弹性散射伽马能谱通过伽马探测器记录。

[0052] 可选的,在本发明一实施例中,所述伽马探测器为高分辨率溴化镧伽马探测器。

[0053] 可选的,在本发明一实施例中,所述步骤 103 具体包括：

[0054] 步骤 1031):利用最小二乘解谱法得到地层元素相对产额；

[0055] 步骤 1032):利用所述地层元素相对产额、地层元素探测灵敏度因子和随深度变化的归一因子得到组成地层元素含量。

[0056] 可选的,在本发明一实施例中,所述地层无机碳元素含量包括含有钙元素的方解石中无机碳元素含量和含有镁元素的白云石中无机碳元素含量。

[0057] 如图 2 所示,为本发明提出的一种评价烃源岩有机质丰度的装置框图。包括：

[0058] 脉冲中子源 201,用于向地层发射高能中子；

[0059] 伽马探测单元 202,用于记录地层元素原子核与所述高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱；

[0060] 地层元素含量获取单元 203,用于对所述非弹性散射伽马能谱进行解谱,获得地层元素含量；

[0061] 地层无机碳元素含量获取单元 204,用于利用与无机碳元素含量相关的元素得到地层无机碳元素含量；

[0062] 地层有机碳元素含量获取单元 205,用于从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获取地层有机碳元素含量；

- [0063] 评价单元 206,用于利用所述有机碳元素含量来评价烃源岩有机质丰度。
- [0064] 可选的,在本发明一实施例中,所述地层元素含量获取单元 203 包括:
- [0065] 解谱模块,用于利用最小二乘解谱法得到地层元素相对产额;
- [0066] 地层元素相对产额处理模块,用于利用所述地层元素相对产额、地层元素探测灵敏度因子和随深度变化的归一因子得到地层元素含量。
- [0067] 可选的,在本发明一实施例中,所述脉冲中子源 201 为 D-T 脉冲中子发生器。
- [0068] 可选的,在本发明一实施例中,所述伽马探测单元 202 为伽马探测器。
- [0069] 实施例:
- [0070] 在本实施例中,一种直接指示烃源岩有机质丰度的测井装置采用 1 个 D-T 脉冲中子源和 1 个高分辨率溴化镧伽马探测器,所述 D-T 脉冲中子源向地层发射 14Mev 的高能中子,利用所述高分辨率溴化镧伽马探测器记录所述高能中子与地层元素原子核相互作用产生的非弹性散射伽马能谱,对于采集到的非弹性散射伽马能谱采用能谱解谱方法获取地层元素含量,通过与无机碳元素相关联的钙、镁等元素含量得到无机碳元素含量,最后从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量,即可获得地层有机碳元素含量,可用于直接指示烃源岩有机质丰度。其中,高分辨率溴化镧伽马探测器即为分辨率达 2% ~ 4% 的溴化镧伽马探测器。
- [0071] 如图 3 所示,为一种直接指示烃源岩有机质丰度的测井方法实施例的流程图,由图 3 可知,所述的方法包括:
- [0072] S301 :D-T 脉冲中子发生器。在具体的实施方式中,其向地层发射能量为 14Mev 的高能中子;
- [0073] S302 :高分辨率溴化镧伽马探测器。在具体实施方式中,其接收来自地层元素原子核与高能中子发生非弹性散射产生的伽马射线;
- [0074] S303 :利用所述 D-T 脉冲中子发生器向地层发生高能中子,利用所述的高分辨率溴化镧伽马探测器记录地层元素原子核与高能中子相互作用产生的非弹性散射伽马能谱;
- [0075] S304 :对所述的非弹性散射伽马能谱解谱,获得地层元素含量;
- [0076] S305 :利用与无机碳元素含量相关的钙、镁等元素含量得到地层无机碳元素含量;
- [0077] S306 :从地层总碳元素含量中扣除无机碳元素含量获得地层有机碳元素含量;
- [0078] S307 :直接指示烃源岩有机质丰度。
- [0079] 如图 4 所示,为一种直接指示烃源岩有机质丰度的测井装置简图。脉冲中子源 11 采用 D-T 脉冲中子发生器;伽马探测器 13 采用高分辨率溴化镧伽马探测器,溴化镧晶体 131 长度和直径分别为 10 ~ 15cm 和 5 ~ 10cm;屏蔽体 12 采用钨,长度为 8 ~ 10cm,直径与探测器直径对应;D-T 脉冲中子发生器 11、屏蔽体 12 和高分辨率溴化镧伽马探测器 13 在同一直线上。
- [0080] 更进一步的,利用图 5 所示的蒙特卡罗计算模型,图中:2 为井眼流体,3 为测量地层。计算条件为:井眼直径为 20cm,井眼内的井眼流体 2 为淡水;本发明所用设备贴井壁测量,脉冲中子发生器 11 距模型底部 25cm;溴化镧晶体 131 长度和直径分别为 15cm 和 10cm;屏蔽体 12 材料为钨,长度和直径分别为 10cm 和 10cm;可控中子源 112 与溴化镧晶体 131 间

距为 35cm；测量地层 3 为圆柱状，径向厚度为 70cm、高度为 140cm。

[0081] 设定测量地层模型时，认为地层由干酪根、孔隙度及骨架组成，孔隙内充满 50000ppm 的矿化水，骨架是由石英、正长石、斜长石、方解石、白云石、伊利石、绿泥石和黄铁矿构成，如表 1 所示，改变不同的成分组成，模拟计算利用所述高分辨率溴化镭伽马探测器 13 记录得到的所述 D-T 脉冲中子发生器 11 发射出的高能中子与地层元素原子核作用产生的非弹性散射伽马能谱，如图 6 所示。

[0082] 表 1

成分	质量百分比/%					
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
干酪根	2.2	2.7	3.3	4	5.3	6.7
孔隙流体	5	5	5	5	5	5
石英	37.8	37.3	36.7	36	34.7	33.3
正长石	5	5	5	5	5	5
斜长石	15	15	15	15	15	15
方解石	5	5	5	5	5	5
白云石	2	2	2	2	2	2
伊利石	20	20	20	20	20	20
绿泥石	5	5	5	5	5	5
黄铁矿	3	3	3	3	3	3

[0085] 测量得到的非弹散射伽马能谱可认为是地层中各种元素各自产生的非弹伽马能谱的叠加，因此如果各元素产生的非弹性散射伽马能谱（称为非弹性散射伽马标准谱）已知，则可由测量的非弹性散射伽马能谱得到组成地层的各元素含量。

[0086] 利用图 5 所示的模型，改变地层物质为 SiCl_4 、 H_2O 、 CaCl_2 、 Al 、 $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ 、 MgCl_2 、 S 和 Fe ，分别可得到 Si 、 O 、 Ca 、 Al 、 C 、 Mg 、 S 和 Fe 的非弹性散射伽马标准能谱，如图 7 所示。

[0087] 根据美国专利（专利号：4810876）所提及到的最小二乘解谱法，假定地层中有 m 种元素，测量的非弹性散射伽马能谱的道数为 n ，非弹性散射伽马能谱中第 i 道的计数为 c_i ，则有：

[0088]
$$c_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

[0089] 式中， a_{ij} 为仪器的响应矩阵元，由 m 个归一化的标准谱产生； y_j 为第 j 种元素的相对产额； ε_i 为误差。

[0090] 利用最小二乘法可求得元素产额为：

[0091]
$$Y = [A^T A]^{-1} \cdot [A^T C]$$

$(m \times 1)$ $(m \times n)$ $(n \times m)$ $(m \times n)$ $(n \times n)$

[0092] 上式中, Y 为元素产额矩阵 ;A 为由不同元素的非弹性散射伽马标准谱组成的仪器相应矩阵 ;C 为测量的非弹性散射伽马能谱矩阵。

[0093] 为了判断拟合度的好坏,拟合度可用 Δ 表示 :

$$[0094] \quad \Delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} + y_i)^2} < \varepsilon$$

[0095] 若 Δ 太大,则可能漏掉或多加了一些地层元素的标准谱,也可能是能窗选取不当,则需要改变标准谱数或能窗区段重新拟合,直到获得可接受的结果。

[0096] 获得元素产额后需要把元素产额转换为元素含量 :

$$[0097] \quad W_i = F \frac{Y_i}{S_i}$$

[0098] 式中, W_i 为第 i 种元素的百分含量 ; Y_i 为第 i 种元素的相对产额 ; S_i 为第 i 种元素探测灵敏度因子 ;F 为随深度变化的归一化因子。

[0099] 利用图 7 所示的非弹性散射伽马标准能谱对图 6 所示的非弹性散射伽马能谱进行解谱,可以得到组成地层元素含量。

[0100] 泥质烃源岩中碳的主要存在于方解石 $[CaCO_3]$ 、白云石 $[CaMg(CO_3)_2]$ 及干酪根中。因此,通过钙、镁等元素含量得到地层无机碳元素含量,进而从总碳元素含量中扣除无机碳元素含量,最终得到烃源岩中有机碳元素含量 :

$$[0101] \quad TOC = C_{Total} - C_{calcite} - C_{dolomite}$$

[0102] 式中, TOC 为有机碳元素含量 ; C_{Total} 为由非弹性散射伽马谱得出的总碳元素含量 ; $C_{calcite}$ 和 $C_{dolomite}$ 为利用钙和镁元素含量计算得出的方解石和白云石中无机碳元素含量。

[0103] 模拟计算的 6 种模型中,部分元素解谱结果、有机碳元素含量计算值和理论值及计算的绝对误差和相对误差列于表 2 中,有机碳元素含量计算的理论和计算值关系曲线见图 8。

[0104] 表 2

[0105]

模型	解谱结果						
	C	Ca	Mg	有机碳元素 计算含量	有机碳元素 理论含量	绝对误差	相对误差
模型 1	0.0260	0.0241	0.00785	0.0149	0.0166	-0.0017	-10.48%
模型 2	0.0320	0.0239	0.00785	0.0209	0.0200	0.0009	4.68%
模型 3	0.0378	0.0254	0.00821	0.0260	0.0250	0.0010	4.10%
模型 4	0.0419	0.0243	0.00810	0.0306	0.0300	0.0006	1.85%
模型 5	0.0539	0.0249	0.00826	0.0423	0.0400	0.0023	5.75%
模型 6	0.0630	0.0257	0.00827	0.0511	0.0500	0.0011	2.27%

[0106] 对图 8 中有机碳元素含量计算值和理论值做拟合曲线：

$$[0107] \quad \text{TOC}_c = 1.0655 * \text{TOC}_t + 0.00128$$

[0108] 式中， TOC_c 为有机碳元素含量的计算值， TOC_t 为有机碳元素含量的理论值。

[0109] 通过表 2 和图 8 的有机碳元素含量计算结果与理论含量对比可以看出，利用该发明提供的方法可直接提供高精度的地层有机碳元素含量信息，实现直接指示烃源岩有机质丰度。

[0110] 最后应说明的是：上述仅用以说明本发明而并非限制本发明所描述的技术方案；尽管本说明书对本发明已进行了详细的说明，但是，本领域的技术人员仍然可以对本发明进行修改或等同替换，一切不脱离本发明的精神和范围的技术方案及其改进，其均应涵盖在本发明的权利要求范围中。

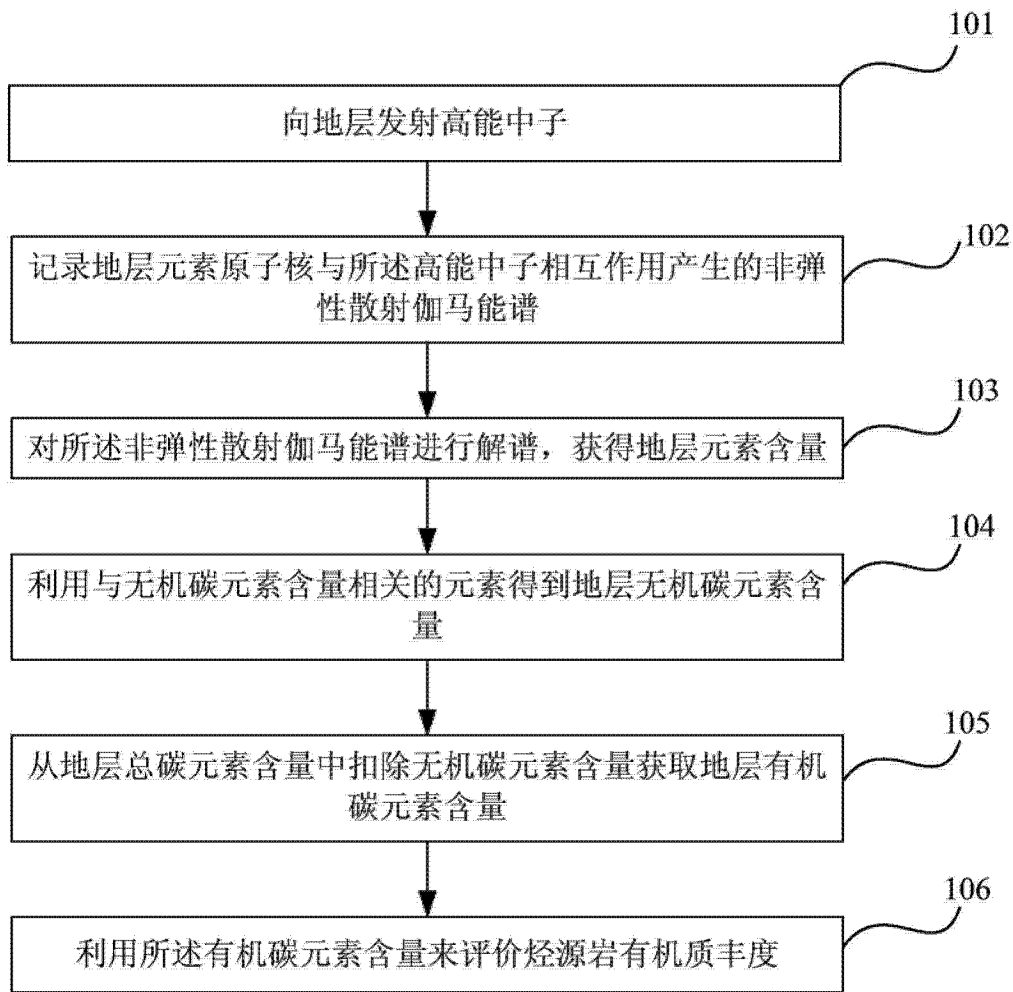


图 1

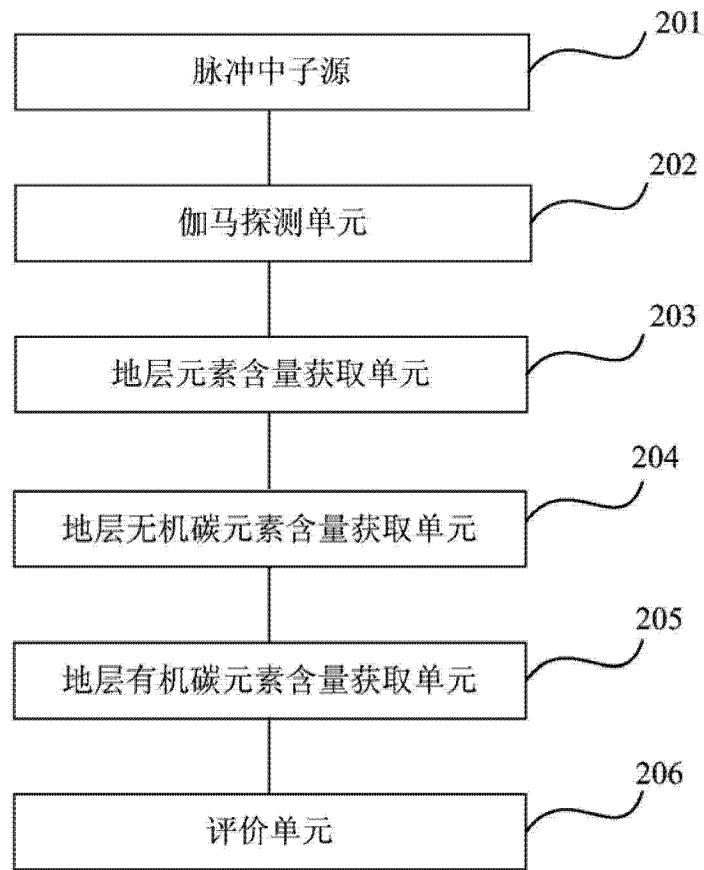


图 2

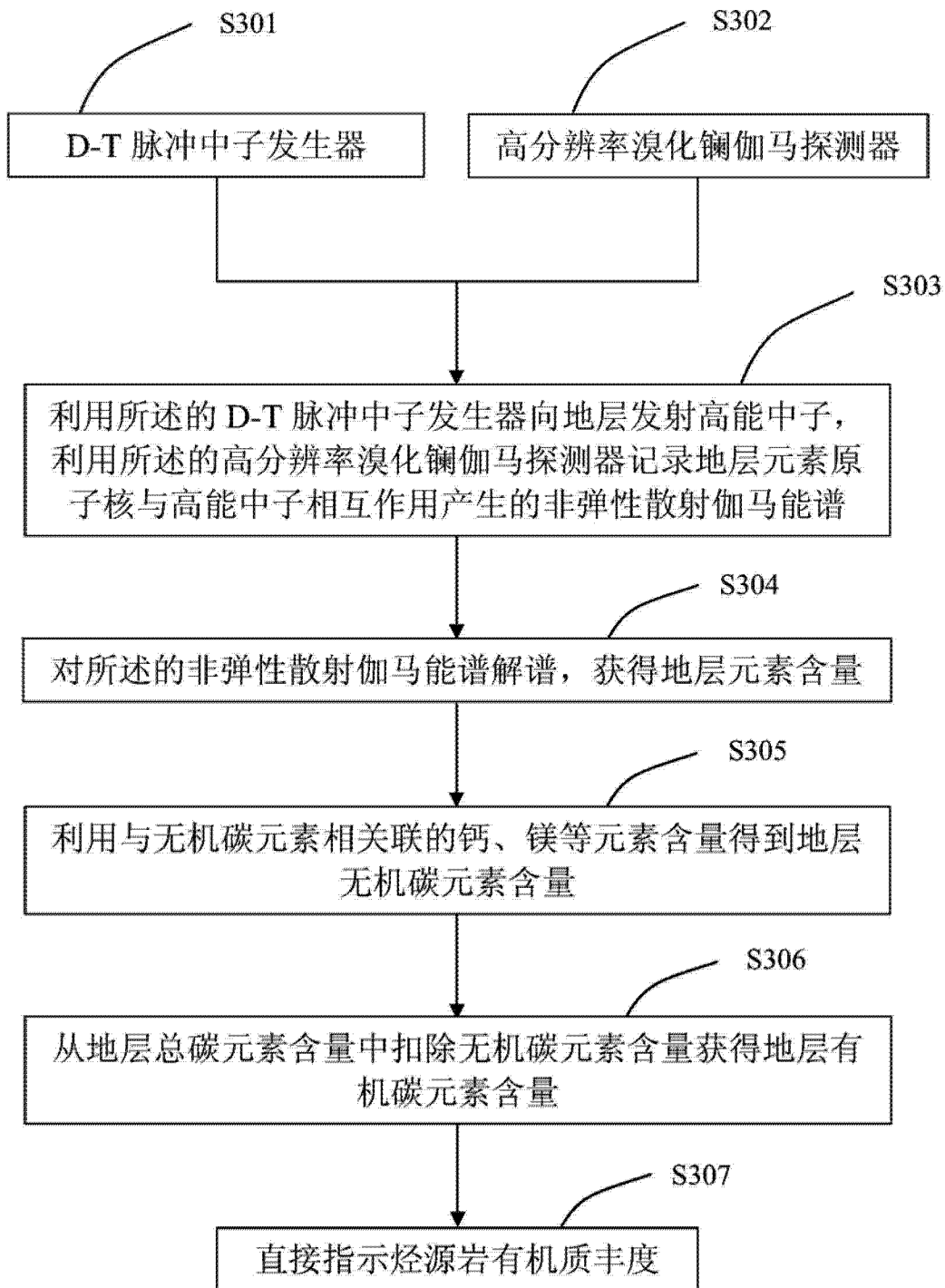


图 3

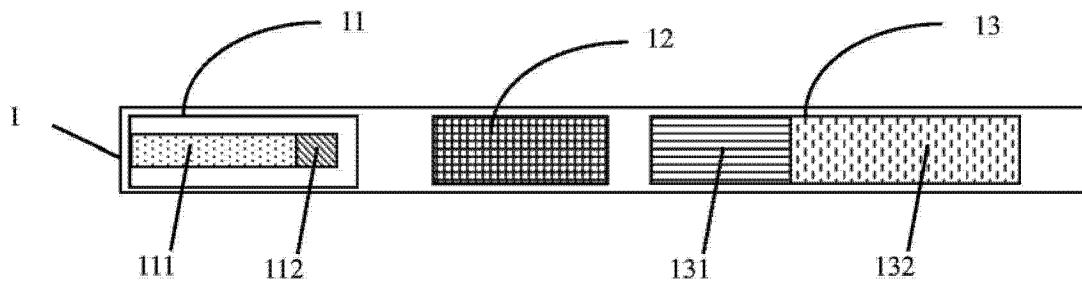


图 4

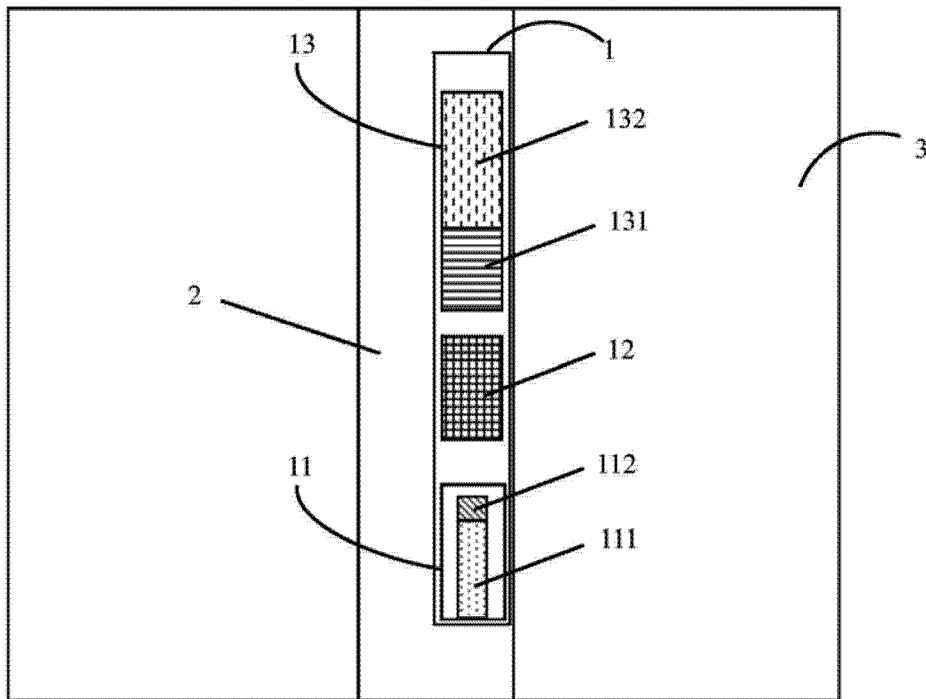


图 5

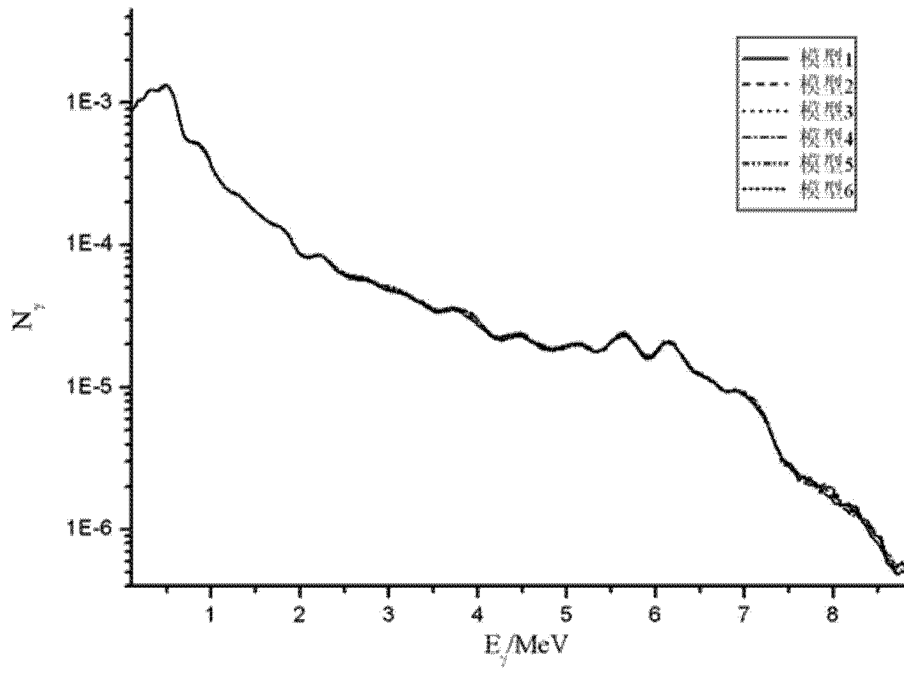


图 6

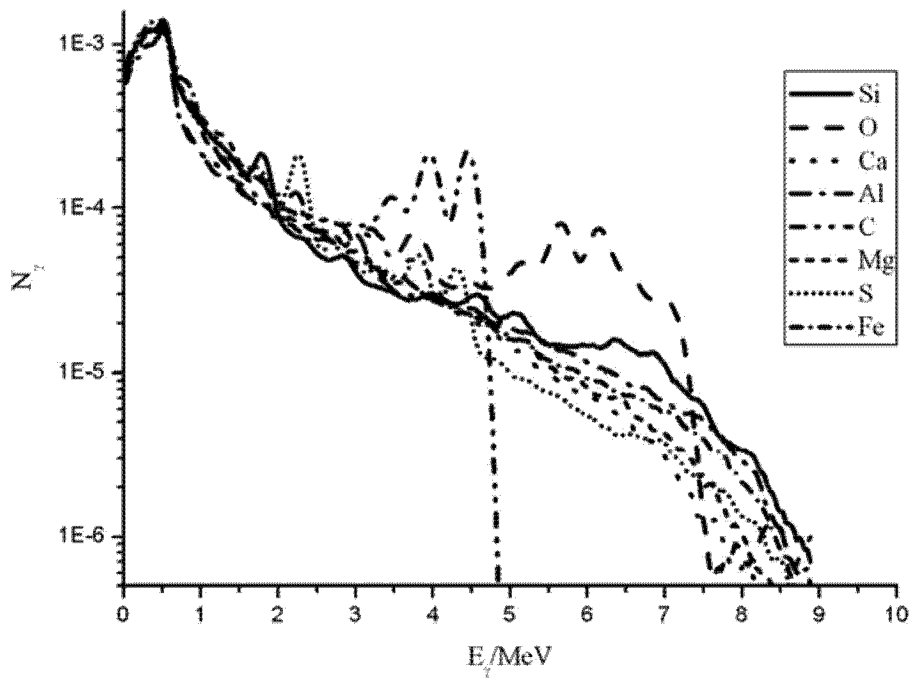


图 7

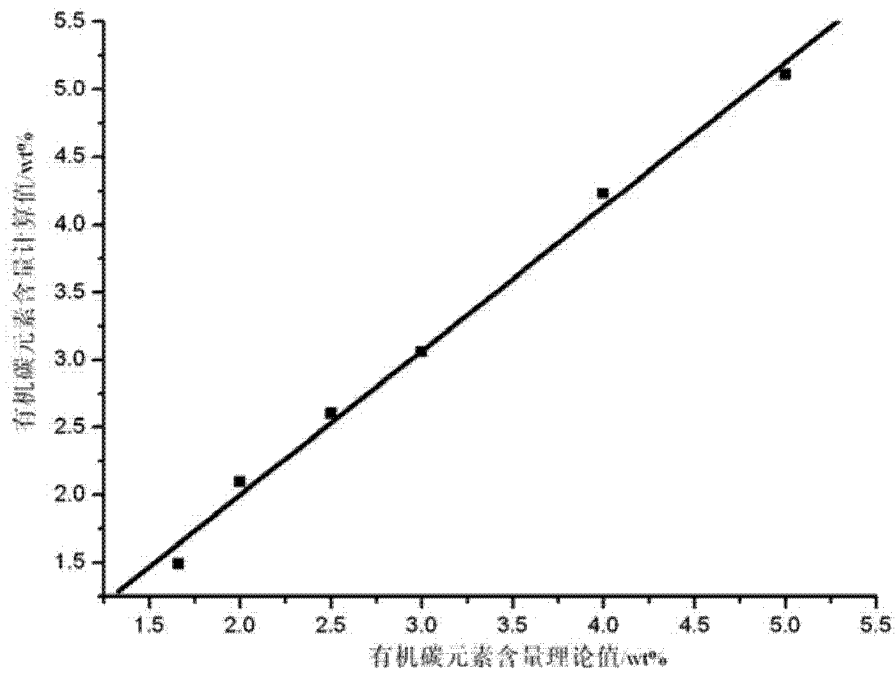


图 8