



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111537417 B

(45) 授权公告日 2021.02.02

(21) 申请号 202010304621.4

G01V 1/50 (2006.01)

(22) 申请日 2020.04.17

G01V 5/10 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111537417 A

(56) 对比文件

CN 105484739 A, 2016.04.13

CN 108303752 A, 2018.07.20

(43) 申请公布日 2020.08.14

CN 104101905 A, 2014.10.15

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 106019403 A, 2016.10.12

US 4617825 A, 1986.10.21

CN 101787884 A, 2010.07.28

(72) 发明人 徐志朋 林緬 江文滨 姬莉莉
曹高辉 周羈 曾彦

CN 110412660 A, 2019.11.05

CN 109100793 A, 2018.12.28

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 胡剑辉

CN 103775057 A, 2014.05.07

CN 105865999 A, 2016.08.17

审查员 李明净

(51) Int. Cl.

G01N 15/08 (2006.01)

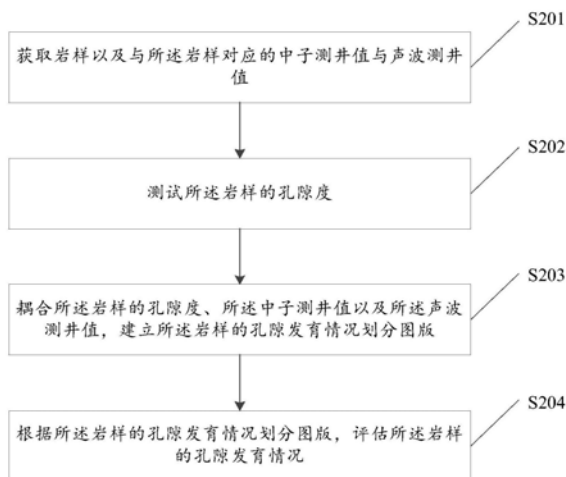
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种岩样孔隙发育状况评估方法

(57) 摘要

本发明实施例涉及一种岩样孔隙发育状况评估方法,所述方法包括:获取岩样以及与所述岩样对应的中子测井值与声波测井值;测试所述岩样的孔隙度;耦合所述岩样的孔隙度、所述中子测井值以及所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版;根据所述岩样的孔隙发育情况划分图版,评估所述岩样的孔隙发育情况。如此通过耦合岩样的孔隙度、中子测井值以及声波测井值,提供一个新的岩样的孔隙发育情况划分图版,可以准确地预测岩样孔隙发育状况,尤其对于孔隙结构性质的非均质岩样。



1. 一种岩样孔隙发育状况评估方法,其特征在于,所述方法包括:
 - 获取岩样以及与所述岩样对应的中子测井值与声波测井值;
 - 测试所述岩样的孔隙度;
 - 耦合所述岩样的孔隙度、所述中子测井值以及所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版,包括:
 - 将所述岩样的孔隙度与所述中子测井值耦合;
 - 将所述岩样的孔隙度与所述声波测井值耦合;
 - 根据经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述中子测井值,以及经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版,包括:
 - 将经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述中子测井值作为横坐标,经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述声波测井值作为纵坐标,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版;
 - 所述耦合包括相乘;
 - 根据所述岩样的孔隙发育情况划分图版,评估所述岩样的孔隙发育情况。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述获取岩样,包括:
 - 获取初始岩样,从所述初始岩样中选取目标初始岩样制作岩样;
 - 获取所述岩样。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述获取与所述岩样对应的中子测井值与声波测井值,包括:
 - 获取与所述岩样深度对应的中子测井值与声波测井值。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述获取与所述岩样深度对应的中子测井值与声波测井值,包括:
 - 从中子测井资料中获取与所述岩样深度对应的中子测井值;
 - 从声波测井资料中获取与所述岩样深度对应的声波测井值。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述测试所述岩样的孔隙度,包括:
 - 利用高压氦孔隙度仪测试所述岩样的孔隙度。

一种岩样孔隙发育状况评估方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及储层分析与评价技术领域,尤其涉及一种岩样孔隙发育状况评估方法。

背景技术

[0002] 中子测井资料和声波测井资料是根据储层中岩石骨架和孔隙流体的物理属性,利用物理学原理得到的储层孔隙发育信息,其便于获取且成本较低,在勘探和开发过程中使用广泛。

[0003] 综合分析中子测井资料以及声波测井资料,制作中子-声波交会图版可以预测储层不同深度岩样的孔隙度和岩性。如图1所示,图中的三条线条分别代表砂岩、石灰岩和白云岩三类岩性,每条线条从左至右对应孔隙度从0增大到45%。

[0004] 对于储层任一深度的岩样,根据其中子和声波测井值可以在图中标出其位置,进而大致预测其岩性和孔隙度。该中子-声波交会图版使用方便,缺点是准确性很差,无法准确描述岩样的孔隙发育情况。

发明内容

[0005] 鉴于此,为解决上述技术问题或部分技术问题,本发明实施例提供了一种岩样孔隙发育状况评估方法。

[0006] 第一方面,本发明实施例提供了一种岩样孔隙发育状况评估方法,所述方法包括:

[0007] 获取岩样以及与所述岩样对应的中子测井值与声波测井值;

[0008] 测试所述岩样的孔隙度;

[0009] 耦合所述岩样的孔隙度、所述中子测井值以及所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版;

[0010] 根据所述岩样的孔隙发育情况划分图版,评估所述岩样的孔隙发育情况。

[0011] 在一个可选的实施方式中,所述获取岩样,包括:

[0012] 获取初始岩样,从所述初始岩样中选取目标初始岩样制作岩样;

[0013] 获取所述岩样。

[0014] 在一个可选的实施方式中,所述获取与所述岩样对应的中子测井值与声波测井值,包括:

[0015] 获取与所述岩样深度对应的中子测井值与声波测井值。

[0016] 在一个可选的实施方式中,所述获取与所述岩样深度对应的中子测井值与声波测井值,包括:

[0017] 从中子测井资料中获取与所述岩样深度对应的中子测井值;

[0018] 从声波测井资料中获取与所述岩样深度对应的声波测井值。

[0019] 在一个可选的实施方式中,所述测试所述岩样的孔隙度,包括:

[0020] 利用高压氦孔隙度仪测试所述岩样的孔隙度。

[0021] 在一个可选的实施方式中,所述耦合所述岩样的孔隙度、所述中子测井值以及所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版,包括:

[0022] 将所述岩样的孔隙度与所述中子测井值耦合;

[0023] 将所述岩样的孔隙度与所述声波测井值耦合;

[0024] 根据经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述中子测井值,以及经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版。

[0025] 在一个可选的实施方式中,所述根据经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述中子测井值,以及经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版,包括:

[0026] 将经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述中子测井值作为横坐标,经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述声波测井值作为纵坐标,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版。

[0027] 在一个可选的实施方式中,所述耦合包括相乘。

[0028] 本发明实施例提供的技术方案,通过获取岩样以及与岩样对应的中子测井值与声波测井值,并测试岩样的孔隙度,通过耦合岩样的孔隙度、中子测井值以及声波测井值,建立岩样的孔隙发育情况划分图版,根据岩样的孔隙发育情况划分图版,评估岩样的孔隙发育情况。如此通过结合岩样的孔隙度、中子测井值以及声波测井值,提供一个新的岩样的孔隙发育情况划分图版,可以准确地描述岩样孔隙发育状况。

附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本说明书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说明书实施例中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0030] 图1为本发明实施例示出的一种中子-声波交会图版示意图;

[0031] 图2为本发明实施例示出的一种岩样孔隙发育状况评估方法的实施流程示意图;

[0032] 图3为本发明实施例示出的一种中子-声波交会图版示意图和中子-密度交会图版示意图;

[0033] 图4为本发明实施例示出的一种岩样的微米CT扫描图像示意图;

[0034] 图5为本发明实施例示出的一种岩样的孔隙度直方图示意图;

[0035] 图6为本发明实施例示出的一种孔隙发育状况划分图版示意图。

具体实施方式

[0036] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,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。

[0037] 为便于对本发明实施例的理解,下面将结合附图以具体实施例做进一步的解释说明,实施例并不构成对本发明实施例的限定。

[0038] 首先对本发明实施例的发明原理进行说明,根据岩石体积物理模型,假设岩石包

括岩石骨架 m_a 和孔隙中各种流体组分 i , ($i=1,2,\dots,n$)。在中子测井中,通过测量地层的含氢量来反映孔隙中充满各种液体的岩石的孔隙度。岩石的总含氢量 H 等于岩石骨架含氢量 H_{m_a} 和孔隙中各种流体组分含氢量 H_i 之和:

$$[0039] \quad H = H_{m_a} + \sum_{i=1}^n H_i; \quad (1)$$

[0040] 用体积进行表示为:

$$[0041] \quad V\Phi_N = V_{m_a}\Phi_{N_{m_a}} + \sum_{i=1}^n V_i\Phi_{N_i}; \quad (2)$$

[0042] 式中 V -岩石的总体积, Φ_N -岩石的总含氢量密度, V_{m_a} -岩石骨架的体积, $\Phi_{N_{m_a}}$ -岩石骨架的含氢量密度, V_i -岩石中流体 i 的体积, Φ_{N_i} -岩石中流体 i 的含氢量密度。等式两边同除以岩石的体积 V 并引入孔隙的体积 V_φ ,整理得到:

$$[0043] \quad \Phi_N = \frac{V - V_\varphi}{V} \cdot \Phi_{N_{m_a}} + \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V_\varphi} \cdot \frac{V_\varphi}{V} \cdot \Phi_{N_i}; \quad (3)$$

[0044] 根据孔隙度的定义,孔隙的体积除以岩石体积为孔隙度即 $\varphi = \frac{V_\varphi}{V}$;孔隙中流体 i 的体积除以孔隙的体积为流体 i 的饱和度即 $S_i = \frac{V_i}{V_\varphi}$ 。因此上式可以写为:

$$[0045] \quad \Phi_N = (1 - \varphi)\Phi_{N_{m_a}} + \varphi \sum_{i=1}^n S_i\Phi_{N_i}; \quad (4)$$

[0046] 同样的推导过程可以得到声波测井的表达式:

$$[0047] \quad \Delta t = (1 - \varphi)\Delta t_{m_a} + \varphi \sum_{i=1}^n S_i\Delta t_i; \quad (5)$$

[0048] 式中 Δt , Δt_{m_a} 和 Δt_i 分别表示声波穿过整个岩石、岩石骨架、孔隙中流体 i 的时间。

[0049] 由式(4)、(5)可得,两类测井值均受三个因素影响:岩石孔隙发育程度;岩石骨架中泥质含量、胶结矿物种类;孔隙中流体组分和性质。因此测井交会图版也受三类因素的影响,其所表示的储层岩石孔隙性质仍有不确定性和不准确性。

[0050] 为了削弱非孔隙因素的影响,使测井结果最大限度地反映储层岩石孔隙发育信息,以中子测井值为例,式(4)两边同乘孔隙度并令 $\xi = \varphi\Phi_N$ 得到:

$$[0051] \quad \xi = (\varphi - \varphi^2)\Phi_{N_{m_a}} + \varphi^2 \sum_{i=1}^n S_i\Phi_{N_i}; \quad (6)$$

[0052] 把 ξ 作为岩石孔隙发育情况的一个新表征值,通过孔隙度修正测井值中非孔隙因素带来的影响,使结果最大限度地反映储层岩石孔隙发育信息。分析式(4)和式(6),假设由于骨架中粘土矿物等造成的测井波动值为 $\delta_{N_{m_a}}$,由于孔隙中流体组分 i 造成的测井波动之为 δ_{N_i} ,则式(4)变为:

$$Ne = (1 - \varphi)(\Phi_{Nma} + \delta_{Nma}) + \varphi \sum_i S_i (\Phi_{Ni} + \delta_{Ni})$$

[0053]
$$= \left[(1 - \varphi)\Phi_{Nma} + \varphi \sum_i S_i \Phi_{Ni} \right] + \left[(1 - \varphi)\delta_{Nma} + \varphi \sum_i S_i \delta_{Ni} \right]; \quad (7)$$

[0054] 同理式(6)变为:

$$\xi = (\varphi - \varphi^2)(\Phi_{Nma} + \delta_{Nma}) + \varphi^2 \sum_i S_i (\Phi_{Ni} + \delta_{Ni})$$

[0055]
$$= \left[(\varphi - \varphi^2)\Phi_{Nma} + \varphi^2 \sum_i S_i \Phi_{Ni} \right] + \varphi \left[(1 - \varphi)\delta_{Nma} + \varphi \sum_i S_i \delta_{Ni} \right]; \quad (8)$$

[0056] 式(7)和式(8)中波动带来的影响部分比值为:

$$\frac{(1 - \varphi)\delta_{Nma} + \varphi \sum_i S_i \delta_{Ni}}{\varphi \left[(1 - \varphi)\delta_{Nma} + \varphi \sum_i S_i \delta_{Ni} \right]} = \frac{1}{\varphi} \gg 1; \quad (9)$$

[0057]

[0058] 从式(9)可以直观得到,通过耦合孔隙度把 ξ 作为岩石孔隙发育情况的一个新表征值,可以更好地表征储层岩石的孔隙发育情况,降低每一项非孔隙因素的影响。

[0059] 同理对于声波测井值,通过耦合孔隙度并令 $\eta = \varphi \Delta t$ 把 η 作为岩石孔隙发育情况的一个新表征值。

[0060] 以 ξ 为横坐标并以 η 为纵坐标建立孔隙发育情况划分图版。由于使用了新的表征值减小非孔隙因素的影响,所建立的识别图版能比现有的交会图版更准确地评价岩样孔隙发育情况。

[0061] 如图2所示,本发明实施例示出的一种岩样孔隙发育状况评估方法的实施流程示意图,该方法具体可以包括以下步骤:

[0062] S201,获取岩样以及与所述岩样对应的中子测井值与声波测井值;

[0063] 在本发明实施例中,一方面,获取初始岩样,从所述初始岩样中选取目标初始岩样制作岩样,获取所述岩样。

[0064] 另一方面,获取与所述岩样对应的中子测井值与声波测井值,其中,获取与所述岩样深度对应的中子测井值与声波测井值。

[0065] 具体地,从中子测井资料中获取与所述岩样深度对应的中子测井值,从声波测井资料中获取与所述岩样深度对应的声波测井值。

[0066] S202,测试所述岩样的孔隙度;

[0067] 对于上述岩样,本发明实施例测试其孔隙度,其中,可以利用高压氦孔隙度仪测试所述岩样的孔隙度,当然还可以通过其它方式测试所述岩样的孔隙度,本发明实施例在此不再一一赘述。

[0068] S203,耦合所述岩样的孔隙度、所述中子测井值以及所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版;

[0069] 对于上述岩样的孔隙度、中子测井值以及声波测井值,本发明实施例耦合所述岩样的孔隙度、所述中子测井值以及所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版。

[0070] 其中,将所述岩样的孔隙度与所述中子测井值耦合;将所述岩样的孔隙度与所述声波测井值耦合;根据经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述中子测井值,以及经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述声波测井值,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版。对于耦合,在本发明实施例中可以是相乘。

[0071] 具体地,将经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述中子测井值作为横坐标,经过耦合的所述岩样的孔隙度与所述声波测井值作为纵坐标,建立所述岩样的孔隙发育情况划分图版。

[0072] S204,根据所述岩样的孔隙发育情况划分图版,评估所述岩样的孔隙发育情况。

[0073] 对于上述岩样的孔隙发育情况划分图版,本发明实施例可以据此评估所述岩样的孔隙发育情况。

[0074] 通过上述对本发明实施例提供的技术方案的描述,通过获取岩样以及与岩样对应的中子测井值与声波测井值,并测试岩样的孔隙度,根据岩样的孔隙度、中子测井值以及声波测井值,建立岩样的孔隙发育情况划分图版,根据岩样的孔隙发育情况划分图版,评估岩样的孔隙发育情况。如此通过结合岩样的孔隙度、中子测井值以及声波测井值,提供一个新的岩样的孔隙发育情况划分图版,可以准确地预测岩样孔隙发育状况。

[0075] 接下来通过一批岩样比较现有的交会图版和本发明所建立的孔隙发育情况划分图版在评价孔隙发育情况方面的差异。该批岩样的中子测井值与声波测井值和密度测井值以及孔隙度信息如表1所示。

岩样 编号	中子 测井值	声波 测井值	密度测 井值	孔隙度 (%)
D1	13.50	165.00	2.74	4.89
D2	13.50	173.75	2.74	0.85
D3	11.25	166.25	2.78	9.69
D4	15.75	175.00	2.73	4.24
D5	10.31	156.25	2.75	4.39
D6	8.63	151.25	2.78	4.44
D7	10.50	161.25	2.76	0.32
D8	8.25	190.00	2.79	0.11
D9	10.50	169.37	2.25	1.07
D10	12.09	160.00	2.68	4.72

[0076] 表1

[0077] 只根据中子测井值与声波测井值和密度测井值建立现有的中子-声波交会图版和中子-密度交会图版,如图3所示。

[0079] 现有的交会图版中岩样成簇分布,很难准确判断哪些岩样的孔隙发育情况好。中子-声波交会图版判定D2岩样孔隙发育情况与D4岩样类似并且好于D1岩样,D3岩样孔隙发育情况与D1、D7、D9、D10岩样的孔隙发育情况类似。

[0080] 实际上从图4岩样的CT扫描图像可以得到,D2岩样的孔隙发育情况比D1和D4岩样的孔隙发育情况差,D3岩样的孔隙发育情况比D7、D9、D10岩样的孔隙发育情况好。中子-密度交会图版判定D2岩样孔隙发育情况与D1岩样类似,D3岩样孔隙发育情况与D5和D7岩样的孔隙发育情况类似。

[0081] 实际上从图4岩样的CT扫描图像可以得到,D2岩样的孔隙发育情况比D1岩样的孔隙发育情况差,D3岩样的孔隙发育情况比D5和D7岩样的孔隙发育情况好。

[0082] 只根据岩样的孔隙度大小判定岩样孔隙发育情况也存在不确定性。该方案认为岩样孔隙度与孔隙发育情况正相关,只要孔隙度高则岩样孔隙发育好。然而实际情况是很多高孔隙度的岩样只含有几个较大的孔洞或微裂缝,并没有发育的连通孔隙空间。

[0083] 此外,该方案不能判别岩样中的孔隙空间主要是微米孔隙还是纳米孔隙,为后续的岩样测试与分析提供指导。图5显示了岩样孔隙度直方图,D5和D6岩样的孔隙度较大,但从图4可得D5和D6岩样中并没有发育的连通孔隙,孔隙度高是因为存在微裂缝。图5显示D10岩样的孔隙度也较大,但从图4可得D10岩样中并没有发育的微米连通孔隙,孔隙度高是因为存在大量的纳米孔隙空间。

[0084] 使用本发明提供的孔隙发育情况划分图版对岩样的孔隙发育情况判定如图6所示。把孔隙发育情况划分图版平均分为9个区域:A1,A2,A3;B1,B2,B3;C1,C2,C3。当 ξ 越大,且 η 越大,岩样的孔隙发育情况越好,因此从左下A1区域到右上C3区域,孔隙发育情况逐渐变好。

[0085] 从图6可得岩样主要沿 $y=x$ 线分布。D1,D3和D4岩样位于右上区域,孔隙发育情况最好,存在连通的微米孔隙空间并形成高孔隙度。D5,D6和D10岩样位于中部区域,孔隙发育情况较右上区域的D1,D3和D4岩样差,存在孔洞裂缝或连通的纳米孔隙空间并形成高孔隙度。D2,D7,D8和D9岩样位于左下区域,孔隙发育情况最差,孔隙度低。以上结论与图4岩样CT扫描结果和图5岩样孔隙度结果一致。

[0086] 从上述分析可得,单独使用现有的测井交会图版或岩样孔隙度都不能很好地预测岩样的孔隙发育情况。本发明提供的划分图版通过耦合中子与声波测井值和岩样孔隙度,综合了两方面的信息可以准确划分岩样的孔隙发育情况,优点有:

[0087] (1) 准确划分岩样的孔隙发育情况;

[0088] (2) 判定岩样的孔隙空间主要是连通的微米孔隙或连通的纳米孔隙或孔洞与裂缝;

[0089] (3) 判定岩样孔隙度的主要贡献是连通的微米孔隙或连通的纳米孔隙或孔洞与裂缝。

[0090] 专业人员应该还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现

不应认为超出本发明的范围。

[0091] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0092] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

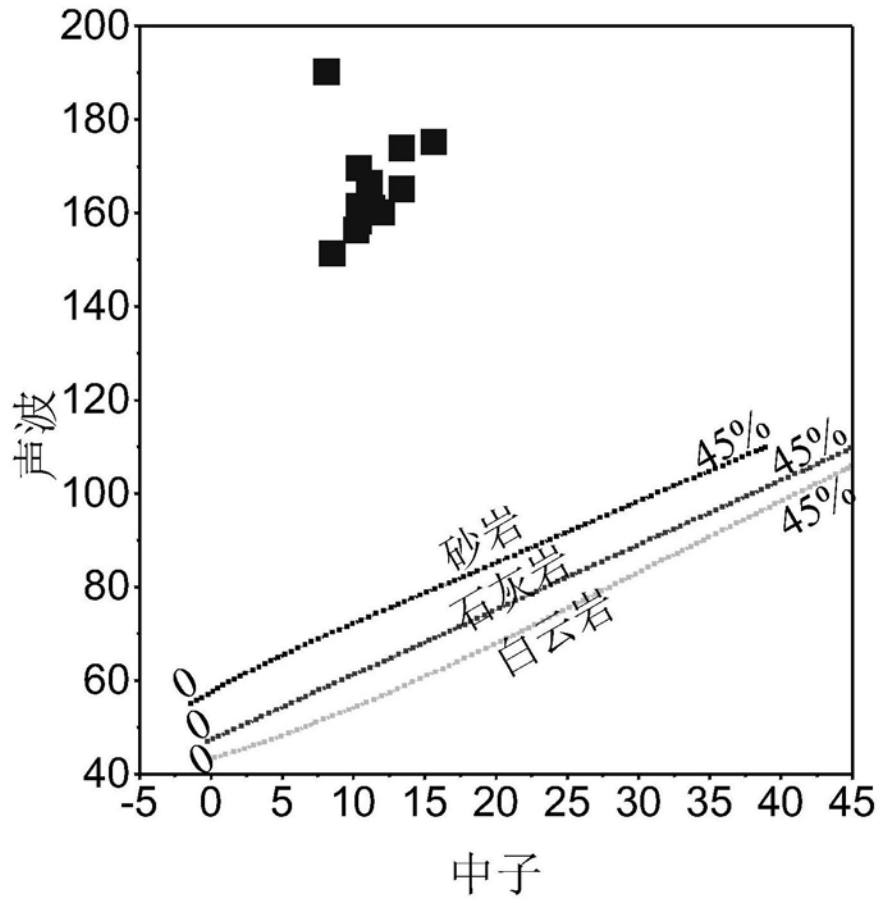


图1

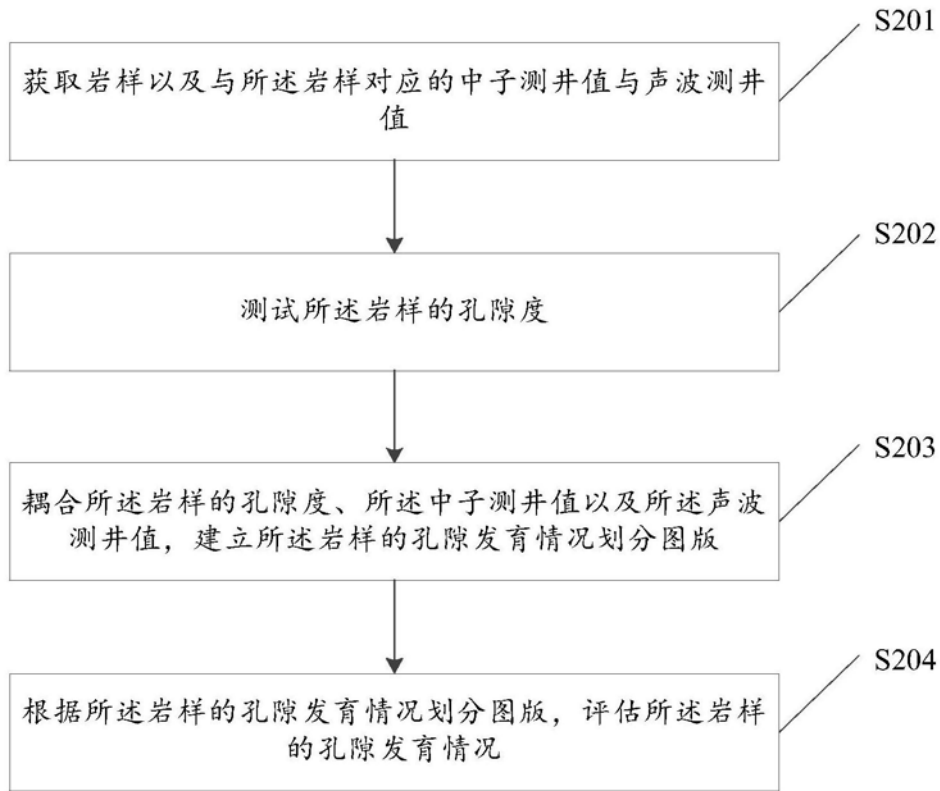


图2

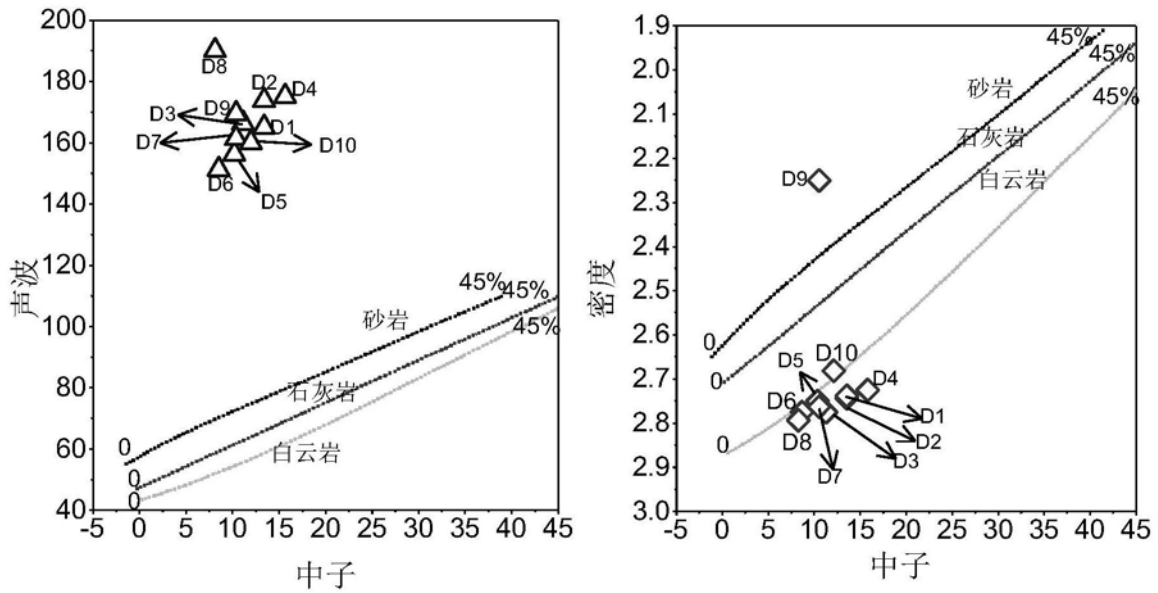


图3

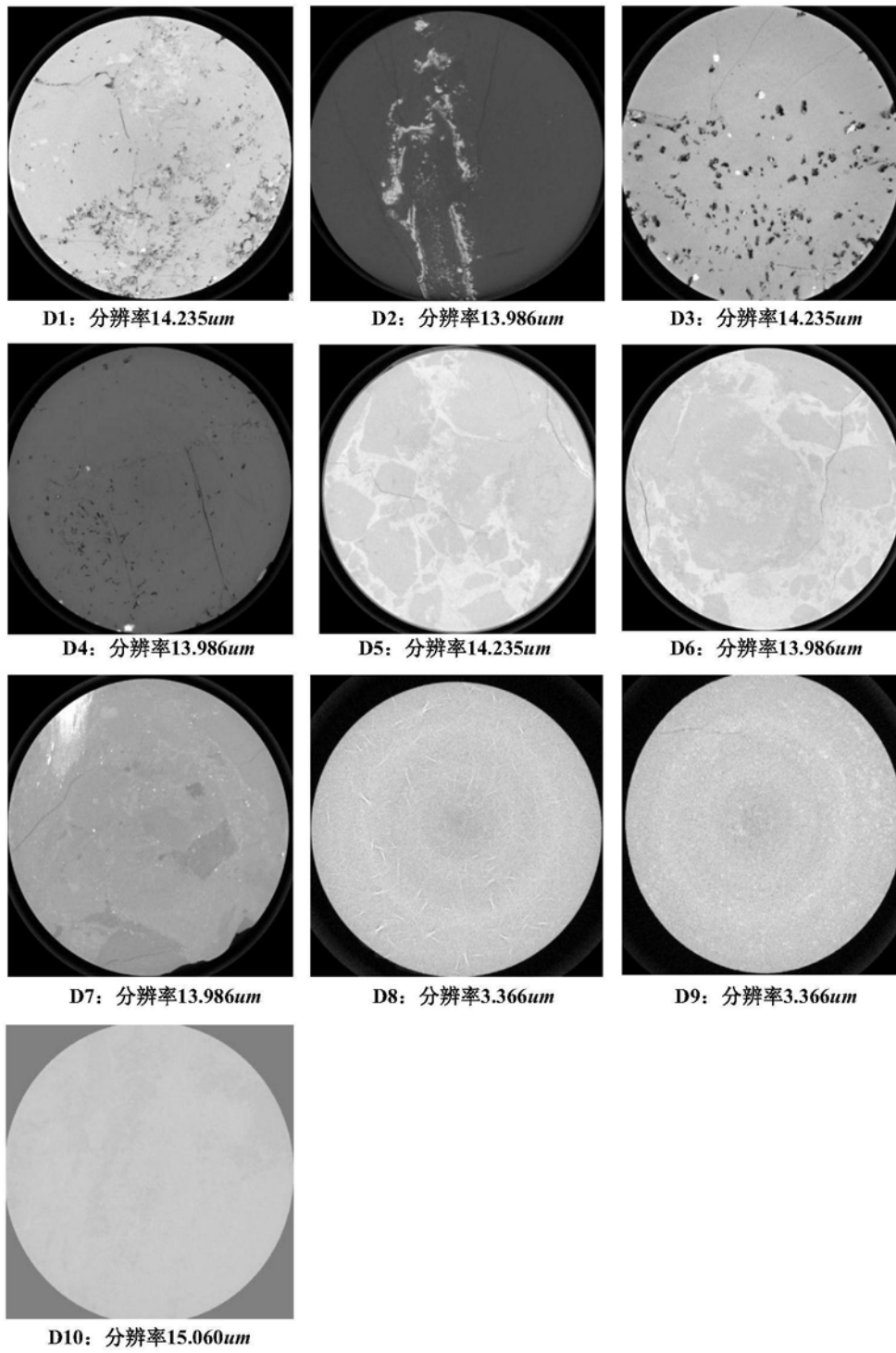


图4

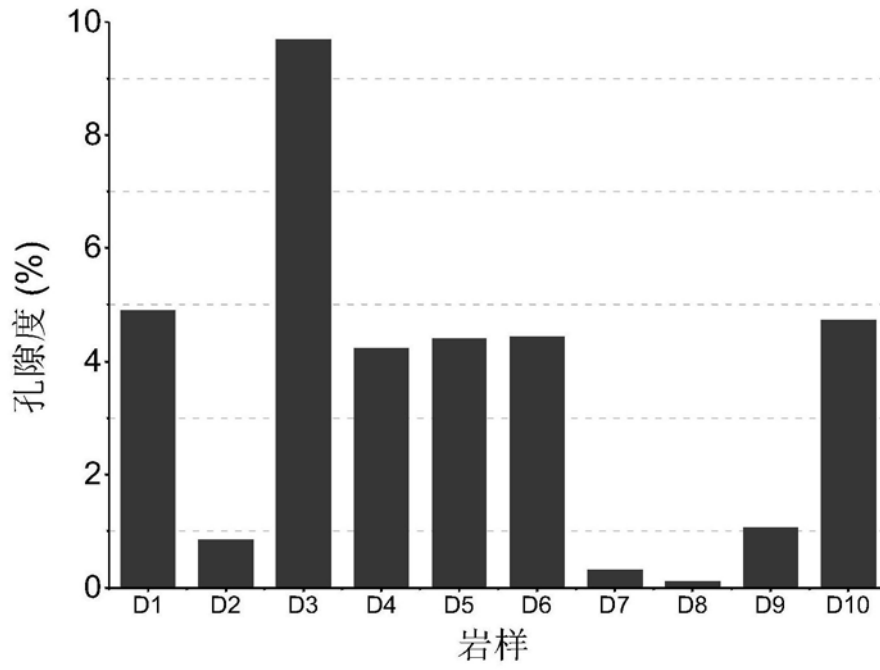


图5

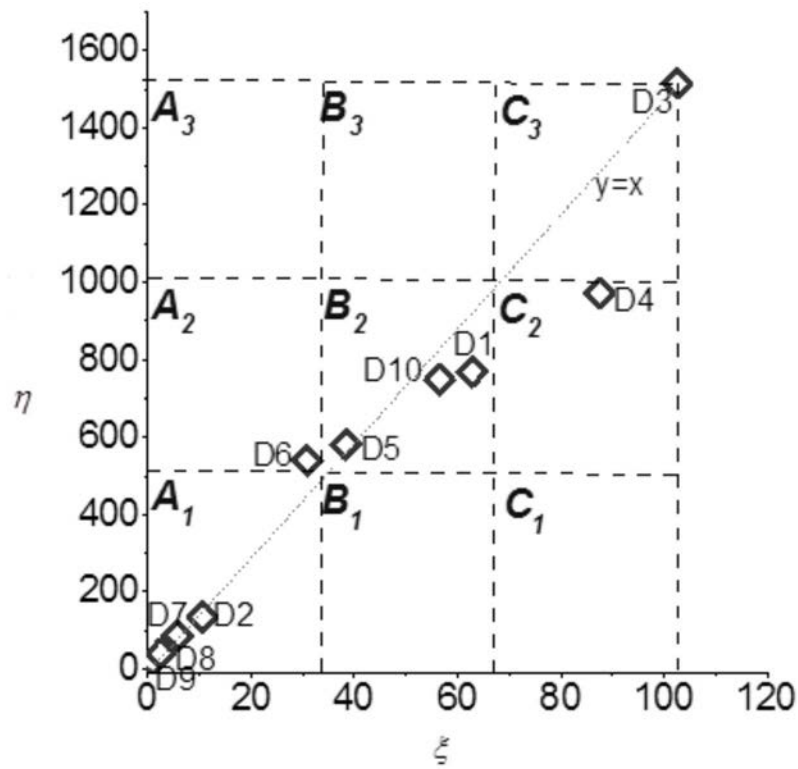


图6