



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105549114 B

(45)授权公告日 2017. 10. 17

(21)申请号 201510876133.X

(22)申请日 2015.12.03

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105549114 A

(43)申请公布日 2016.05.04

(73)专利权人 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 李昌 乔占峰 沈安江 李扬
潘立银

(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 王涛

(51) Int. Cl.
G01V 11/00(2006.01)

(56)对比文件

- CN 103968811 A, 2014.04.02, 全文.
- US 6462549 B1, 2002.10.08, 全文.
- WO 2009/070365 A1, 2009.06.04, 全文.
- CN 104865614 A, 2015.08.26, 全文.
- F. Jerry Lucia 等. Carbonate reservoir characterization. 《Technology Today Series》. 2003, 第70-72页.

审查员 尚在颖

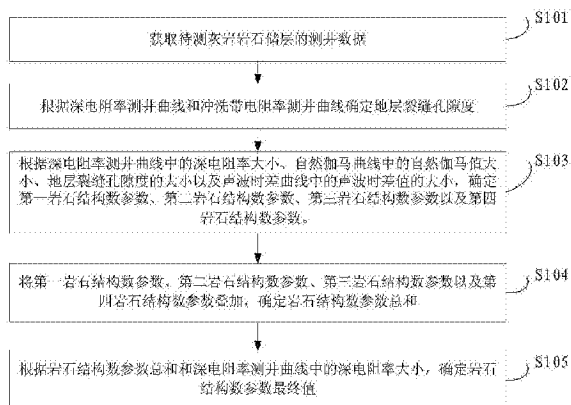
权利要求书5页 说明书15页 附图9页

(54)发明名称

低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法及装置

(57)摘要

本发明提供了一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法及装置,涉及石油地质勘探和测井技术领域,方法包括:获取待测灰岩岩石储层的测井数据;根据所述深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度;根据测井数据,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,之后叠加,确定岩石结构数参数总和;根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值。本发明能够解决现有技术中的岩石结构数公式已经不适用于岩心孔隙度范围在0.5%~10%之间的低孔、致密灰岩岩石储层,造成无法准确确定低孔、致密灰岩岩石的结构数参数的问题。



1. 一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法,其特征在于,包括:

获取待测灰岩岩石储层的测井数据;所述测井数据包括:深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线、泥浆滤液电阻率、自然伽马曲线以及声波时差曲线;

根据所述深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度;

根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数;

将所述第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加,确定岩石结构数参数总和;

根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值;

根据所述深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度,包括:

判断同一时刻下深电阻率测井曲线中的深电阻率和冲洗带电阻率测井曲线中的冲洗带电阻率的大小;

若深电阻率大于冲洗带电阻率,则根据公式:

$$\Phi_{frc} = \left(\frac{8.52253}{RXO} - \frac{8.242778}{RT} + 0.00071236 \right) \times Rmf$$

计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ;其中RXO为冲洗带电阻率;RT为深电阻率;Rmf为泥浆滤液电阻率;

若深电阻率小于冲洗带电阻率,则根据公式:

$$\Phi_{frc} = \left(\frac{1.99247}{RT} - \frac{0.992719}{RXO} + 0.00031829 \right) \times Rmf$$

计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ;

根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

根据所述自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第一岩石结构数参数;

所述根据所述自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第一岩石结构数参数,包括:

若自然伽马值大于50API,且地层裂缝孔隙度小于0.08%,根据公式:

$$ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 1.125$$

计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁;其中,RT为深电阻率;GR为自然伽马值;

若自然伽马值大于50API,且地层裂缝孔隙度大于0.08%,根据公式:

$$ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 0.625$$

计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁;

根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、

第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

根据所述声波时差值的大小和自然伽马值大小,确定所述第二岩石结构数参数;

所述根据所述声波时差值的大小和自然伽马值大小,确定所述第二岩石结构数参数,包括:

若声波时差值小于等于51us/f,且自然伽马值小于等于50API,根据公式:

$$ARFN_2 = e^{\frac{(2.9+\lg(AC)+3.2\times\lg(RT\times e^{\frac{RT-200}{1800}}))}{(6.9+\lg(AC))}} - 3$$

计算所述第二岩石结构数参数ARFN₂;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率;

根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小,确定所述第三岩石结构数参数;

所述根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小,确定所述第三岩石结构数参数,包括:

若声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于50API,且深电阻率大于200ohmm,根据公式:

$$ARFN_3 = 9.5 - e^{\frac{(3.2+\lg(AC)+2*\lg(\frac{RT}{AC}))}{(3.1+\lg(AC))}}$$

计算所述第三岩石结构数参数ARFN₃;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率;

根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第四岩石结构数参数;

所述根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第四岩石结构数参数,包括:

若声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于40API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度小于0.08%,根据公式:

$$ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}}$$

计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率;GR为自然伽马值;

若声波时差值大于51us/f,自然伽马值大于40API且小于等于50API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度大于0.08%,根据公式:

$$ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}} + 0.5$$

计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄。

2. 根据权利要求1所述的低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法,其特征在于,将所述第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加,确定岩石结构数参数总和,包括:

根据公式:

$$ARFN = ARFN_1 + ARFN_2 + ARFN_3 + ARFN_4$$

确定岩石结构数参数总和ARFN。

3. 根据权利要求2所述的低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法,其特征在于,根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值,包括:

若ARFN小于等于第一预设值,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述ARFN;

若ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率大于9000ohmm,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于第二预设值;

若ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率小于等于9000ohmm,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第一预设值;

若ARFN小于等于第三预设值,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第三预设值。

4. 一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置,其特征在于,包括:

测井数据获取单元,用于获取待测灰岩岩石储层的测井数据;所述测井数据包括:深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线、泥浆滤液电阻率、自然伽马曲线以及声波时差曲线;

地层裂缝孔隙度确定单元,用于根据所述深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度;

岩石结构数参数确定单元,用于根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数;

岩石结构数参数叠加单元,用于将所述第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加,确定岩石结构数参数总和;

岩石结构数参数最终值确定单元,用于根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值;

地层裂缝孔隙度确定单元,包括:

判断模块,用于判断同一时刻下深电阻率测井曲线中的深电阻率和冲洗带电阻率测井曲线中的冲洗带电阻率的大小;

第一计算模块,用于在深电阻率大于冲洗带电阻率时,根据公式:

$$\Phi_{frc} = \left(\frac{8.52253}{RXO} - \frac{8.242778}{RT} + 0.00071236 \right) \times Rmf$$

计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ; 其中RXO为冲洗带电阻率; RT为深电阻率; Rmf为泥浆滤液电阻率;

第二计算模块, 用于在深电阻率小于冲洗带电阻率时, 根据公式:

$$\Phi_{frc} = \left(\frac{1.99247}{RT} - \frac{0.992719}{RXO} + 0.00031829 \right) \times Rmf$$

计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ;

所述岩石结构数参数确定单元, 包括:

第一岩石结构数参数计算模块, 用于根据所述自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小, 确定所述第一岩石结构数参数;

所述第一岩石结构数参数计算模块, 具体用于:

在自然伽马值大于50API, 且地层裂缝孔隙度小于0.08%时, 根据公式:

$$ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 1.125$$

计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁; 其中, RT为深电阻率; GR为自然伽马值;

在自然伽马值大于50API, 且地层裂缝孔隙度大于0.08%时, 根据公式:

$$ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 0.625$$

计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁;

所述岩石结构数参数确定单元, 包括:

第二岩石结构数参数计算模块, 用于根据所述声波时差值的大小和自然伽马值大小, 确定所述第二岩石结构数参数;

所述第二岩石结构数参数计算模块, 具体用于:

在声波时差值小于等于51us/f, 且自然伽马值小于等于50API时, 根据公式:

$$ARFN_2 = e^{\frac{(2.9 + \lg(AC) + 3.2 \times \lg(RT \times e^{\frac{RT-200}{1800}}))}{(6.9 + \lg(AC))}} - 3$$

计算所述第二岩石结构数参数ARFN₂; 其中, e为自然底数; AC为声波时差值; RT为深电阻率;

所述岩石结构数参数确定单元, 包括:

第三岩石结构数参数计算模块, 用于根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小, 确定所述第三岩石结构数参数;

所述第三岩石结构数参数计算模块, 具体用于:

在声波时差值大于51us/f, 自然伽马值小于等于50API, 且深电阻率大于200ohmm时, 根据公式:

$$ARFN_3 = 9.5 - e^{\frac{(3.2 + \lg(AC) + 2 * \lg(\frac{RT}{AC}))}{(3.1 + \lg(AC))}}$$

计算所述第三岩石结构数参数ARFN₃; 其中, e为自然底数; AC为声波时差值; RT为深电阻

率;

所述岩石结构数参数确定单元,包括:

第四岩石结构数参数计算模块,用于根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第四岩石结构数参数;

所述第四岩石结构数参数计算模块,具体用于:

在声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于40API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度小于0.08%时,根据公式:

$$ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}}$$

计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率;GR为自然伽马值;

在声波时差值大于51us/f,自然伽马值大于40API且小于等于50API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度大于0.08%时,根据公式:

$$ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}} + 0.5$$

计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄。

5. 根据权利要求4所述的低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置,其特征在于,所述岩石结构数参数叠加单元,具体用于:

根据公式:

$$ARFN = ARFN_1 + ARFN_2 + ARFN_3 + ARFN_4$$

确定岩石结构数参数总和ARFN。

6. 根据权利要求5所述的低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置,其特征在于,所述岩石结构数参数最终值确定单元,具体用于:

在ARFN小于等于第一预设值时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述ARFN;

在ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率大于9000ohmm时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于第二预设值;

在ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率小于等于9000ohmm时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第一预设值;

在ARFN小于等于第三预设值时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第三预设值。

低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及石油地质勘探和测井技术领域,尤其涉及一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法及装置。

背景技术

[0002] 目前,利用测井资料识别灰岩岩石结构组分一直是一个世界难题,而如何获得有效测井参数是提高识别精度的关键。当前获得有效测井参数的研究方法和思路主要分为以下几个步骤:1)岩-电关系分析:首先对取心井的岩心钻孔,获取样品,对样品进行磨片,获取薄片,利用显微镜进行薄片鉴定,获取岩石结构组分信息,并将薄片深度归位到测井深度,然后进行岩石结构组分与测井相关分析,确定与岩石结构组分相关性最好的测井参数(常规测井曲线、合成参数曲线等),建立岩石结构组分的测井特征参数样本库。2)技术识别:主要采用神经网络、聚类分析、判别分析、模糊数学等数学算法,神经网络法对建立的样本测井参数库进行训练,获取人工智能;聚类分析法建立测井相与岩石结构组分对应关系;判别分析方法建立不同岩石结构组分的测井判别公式。模糊数学法建立不同岩石结构组分测井分类模式的隶属度函数。3)技术应用:通过对研究区取心井的研究,确定最佳的测井参数,选取最合适的识别技术,对未取心井开展岩石结构组分识别,并用工区内其他取心井验证识别效果。

[0003] 现有技术中关于岩石结构组分测井识别方法在国内研究较少。而在国外专门针对岩石结构组分测井识别研究一般是根据灰岩岩颗粒或者晶粒尺寸进行岩石物理三分类,第一类将尺寸大于 $100\mu\text{m}$ 定义为颗粒结构,第二类将尺寸在 $20\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ 定义为泥晶颗粒结构,第三类将尺寸小于 $20\mu\text{m}$ 定义为泥晶为主结构(包括部分泥晶颗粒结构、颗粒泥晶结构、泥晶结构),通过岩心孔隙度、渗透率、含水饱和度参数建立了岩石结构数(Rock Fabric Number)计算公式,通过测井计算孔隙度、渗透率及含水饱和度代替岩心参数,实现岩石结构组分测井识别。该方法建立在以下两个地质条件下:(1)地层主要以粒间、晶间孔或溶孔为主,裂缝不发育;(2)地层在气水界面之上,不存在纯水层,满足这两个条件下地层岩石结构组分测井识别能够取得很好识别效果。

[0004] 现有技术的该方法有效解决岩石结构组分测井识别的技术瓶颈,但是其所应用的岩石结构数公式也存在不足:其建立基础是地层岩心孔隙度范围在4%-40%之间,而对于国内低孔、致密灰岩岩石储层,岩心孔隙度范围在0.5%-10%之间,通过现有技术的岩石结构数公式已经无法准确确定低孔、致密灰岩岩石的结构数参数。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法及装置,以解决现有技术中的岩石结构数公式已经不适用于岩心孔隙度范围在0.5%-10%之间的低孔、致密灰岩岩石储层,造成无法准确确定低孔、致密灰岩岩石的结构数参数的问题。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法,包括:

[0008] 获取待测灰岩岩石储层的测井数据;所述测井数据包括:深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线、泥浆滤液电阻率、自然伽马曲线以及声波时差曲线;

[0009] 根据所述深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度;

[0010] 根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数;

[0011] 将所述第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加,确定岩石结构数参数总和;

[0012] 根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值。

[0013] 具体的,根据所述深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度,包括:

[0014] 判断同一时刻下深电阻率测井曲线中的深电阻率和冲洗带电阻率测井曲线中的冲洗带电阻率的大小;

[0015] 若深电阻率大于冲洗带电阻率,则根据公式:

$$[0016] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{8.52253}{RXO} - \frac{8.242778}{RT} + 0.00071236 \right) \times Rmf$$

[0017] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ;其中RXO为冲洗带电阻率;RT为深电阻率;Rmf为泥浆滤液电阻率;

[0018] 若深电阻率小于冲洗带电阻率,则根据公式:

$$[0019] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{1.99247}{RT} - \frac{0.992719}{RXO} + 0.00031829 \right) \times Rmf$$

[0020] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} 。

[0021] 具体的,根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

[0022] 根据所述自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第一岩石结构数参数;

[0023] 所述根据所述自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第一岩石结构数参数,包括:

[0024] 若自然伽马值大于50API,且地层裂缝孔隙度小于0.08%,根据公式:

$$[0025] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 1.125$$

[0026] 计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁;其中,RT为深电阻率;GR为自然伽马值;

[0027] 若自然伽马值大于50API,且地层裂缝孔隙度大于0.08%,根据公式:

$$[0028] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 0.625$$

[0029] 计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁。

[0030] 此外,根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

[0031] 根据所述声波时差值的大小和自然伽马值大小,确定所述第二岩石结构数参数;

[0032] 所述根据所述声波时差值的大小和自然伽马值大小,确定所述第二岩石结构数参数,包括:

[0033] 若声波时差值小于等于51us/f,且自然伽马值小于等于50API,根据公式:

$$[0034] \quad ARFN_2 = e^{\frac{(2.9+\lg(AC)+3.2\times\lg(RT\times e^{\frac{RT-200}{1800}}))}{(6.9+\lg(AC))}} - 3$$

[0035] 计算所述第二岩石结构数参数ARFN₂;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率。

[0036] 此外,根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

[0037] 根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小,确定所述第三岩石结构数参数;

[0038] 所述根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小,确定所述第三岩石结构数参数,包括:

[0039] 若声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于50API,且深电阻率大于200ohmm,根据公式:

$$[0040] \quad ARFN_3 = 9.5 - e^{\frac{(3.2+\lg(AC)+2*\lg(\frac{RT}{AC}))}{(3.1+\lg(AC))}}$$

[0041] 计算所述第三岩石结构数参数ARFN₃;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率。

[0042] 此外,根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数,包括:

[0043] 根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第四岩石结构数参数;

[0044] 所述根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第四岩石结构数参数,包括:

[0045] 若声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于40API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度小于0.08%,根据公式:

$$[0046] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}}$$

[0047] 计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率;GR为自然伽马值;

[0048] 若声波时差值大于51us/f,自然伽马值大于40API且小于等于50API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度大于0.08%,根据公式:

$$[0049] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}} + 0.5$$

[0050] 计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄。

[0051] 具体的,将所述第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加,确定岩石结构数参数总和,包括:

[0052] 根据公式:

$$[0053] \quad ARFN = ARFN_1 + ARFN_2 + ARFN_3 + ARFN_4$$

[0054] 确定岩石结构数参数总和ARFN。

[0055] 具体的,根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值,包括:

[0056] 若ARFN小于等于第一预设值,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述ARFN;

[0057] 若ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率大于9000ohmm,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于第二预设值;

[0058] 若ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率小于等于9000ohmm,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第一预设值;

[0059] 若ARFN小于等于第三预设值,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第三预设值。

[0060] 一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置,包括:

[0061] 测井数据获取单元,用于获取待测灰岩岩石储层的测井数据;所述测井数据包括:深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线、泥浆滤液电阻率、自然伽马曲线以及声波时差曲线;

[0062] 地层裂缝孔隙度确定单元,用于根据所述深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度;

[0063] 岩石结构数参数确定单元,用于根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数;

[0064] 岩石结构数参数叠加单元,用于将所述第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加,确定岩石结构数参数总和;

[0065] 岩石结构数参数最终值确定单元,用于根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值。

[0066] 具体的,该地层裂缝孔隙度确定单元,包括:

[0067] 判断模块,用于判断同一时刻下深电阻率测井曲线中的深电阻率和冲洗带电阻率测井曲线中的冲洗带电阻率的大小;

[0068] 第一计算模块,用于在深电阻率大于冲洗带电阻率时,根据公式:

$$[0069] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{8.52253}{RXO} - \frac{8.242778}{RT} + 0.00071236 \right) \times Rmf$$

[0070] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ; 其中RXO为冲洗带电阻率; RT为深电阻率; Rmf为泥浆滤液电阻率;

[0071] 第二计算模块, 用于在深电阻率小于冲洗带电阻率时, 根据公式:

$$[0072] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{1.99247}{RT} - \frac{0.992719}{RXO} + 0.00031829 \right) \times Rmf$$

[0073] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} 。

[0074] 具体的, 所述岩石结构数参数确定单元, 包括:

[0075] 第一岩石结构数参数计算模块, 用于根据所述自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小, 确定所述第一岩石结构数参数;

[0076] 所述第一岩石结构数参数计算模块, 具体用于:

[0077] 在自然伽马值大于50API, 且地层裂缝孔隙度小于0.08%时, 根据公式:

$$[0078] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 1.125$$

[0079] 计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁; 其中, RT为深电阻率; GR为自然伽马值;

[0080] 在自然伽马值大于50API, 且地层裂缝孔隙度大于0.08%时, 根据公式:

$$[0081] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 0.625$$

[0082] 计算所述第一岩石结构数参数ARFN₁。

[0083] 此外, 所述岩石结构数参数确定单元, 包括:

[0084] 第二岩石结构数参数计算模块, 用于根据所述声波时差值的大小和自然伽马值大小, 确定所述第二岩石结构数参数;

[0085] 所述第二岩石结构数参数计算模块, 具体用于:

[0086] 在声波时差值小于等于51us/f, 且自然伽马值小于等于50API时, 根据公式:

$$[0087] \quad ARFN_2 = e^{\frac{(2.9 + \lg(AC) + 3.2 \times \lg(RT \times e^{\frac{RT-200}{1800}}))}{(6.9 + \lg(AC))}} - 3$$

[0088] 计算所述第二岩石结构数参数ARFN₂; 其中, e为自然底数; AC为声波时差值; RT为深电阻率。

[0089] 此外, 所述岩石结构数参数确定单元, 包括:

[0090] 第三岩石结构数参数计算模块, 用于根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小, 确定所述第三岩石结构数参数;

[0091] 所述第三岩石结构数参数计算模块, 具体用于:

[0092] 在声波时差值大于51us/f, 自然伽马值小于等于50API, 且深电阻率大于200ohmm时, 根据公式:

$$[0093] \quad ARFN_3 = 9.5 - e^{\frac{(3.2 + \lg(AC) + 2 * \lg(\frac{RT}{AC}))}{(3.1 + \lg(AC))}}$$

[0094] 计算所述第三岩石结构数参数ARFN₃; 其中, e为自然底数; AC为声波时差值; RT为

深电阻率。

[0095] 此外,所述岩石结构数参数确定单元,包括:

[0096] 第四岩石结构数参数计算模块,用于根据所述声波时差值的大小、自然伽马值大小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定所述第四岩石结构数参数;

[0097] 所述第四岩石结构数参数计算模块,具体用于:

[0098] 在声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于40API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度小于0.08%时,根据公式:

$$[0099] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}}$$

[0100] 计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率;GR为自然伽马值;

[0101] 在声波时差值大于51us/f,自然伽马值大于40API且小于等于50API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度大于0.08%时,根据公式:

$$[0102] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}} + 0.5$$

[0103] 计算所述第四岩石结构数参数ARFN₄。

[0104] 此外,所述岩石结构数参数叠加单元,具体用于:

[0105] 根据公式:

$$[0106] \quad ARFN = ARFN_1 + ARFN_2 + ARFN_3 + ARFN_4$$

[0107] 确定岩石结构数参数总和ARFN。

[0108] 另外,所述岩石结构数参数最终值确定单元,具体用于:

[0109] 在ARFN小于等于第一预设值时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述ARFN;

[0110] 在ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率大于9000ohmm时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于第二预设值;

[0111] 在ARFN大于所述第一预设值,且深电阻率小于等于9000ohmm时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第一预设值;

[0112] 在ARFN小于等于第三预设值时,确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第三预设值。

[0113] 本发明实施例提供了一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法及装置,分别求取了四个岩石结构数参数,再最终叠加确定岩石结构数参数总和,进而根据所述岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值。本发明适用于地层主要为低孔、致密,地层孔隙度小于10%,或伴有裂缝发育,沉积相带主要为开阔台地或半开阔台地沉积相的纯灰岩地层。相比于现有技术的岩石结构数公式建立基础是地层岩心孔隙度范围在4%-40%之间,本发明避免了对于国内低孔、致密灰岩岩石储层,岩心孔隙度范围在0.5%-10%之间,通过现有技术的岩石结构数公式无法准确确定低孔、致密灰岩岩石的结构数参数的问题。

附图说明

[0114] 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性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0115] 图1为本发明实施例提供的一种本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法的流程图一;

[0116] 图2为本发明实施例提供的一种本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法的流程图二;

[0117] 图3为本发明实施例中的岩心孔隙度、岩心含水饱和度和岩心薄片分析岩石结构组分交会图;

[0118] 图4为本发明实施例中的声波时差-深电阻率、自然伽马-深电阻率与岩心薄片分析岩石结构组分交会图;

[0119] 图5为本发明实施例中四种不同模型的声波时差-深电阻率、自然伽马-深电阻率与岩心薄片分析岩石结构组分交会图;

[0120] 图6为本发明实施例中第一种模型的声波时差-深电阻率、自然伽马-深电阻率与岩心薄片分析岩石结构组分交会图;

[0121] 图7为本发明实施例中第二种模型的声波时差-深电阻率、自然伽马-深电阻率与岩心薄片分析岩石结构组分交会图;

[0122] 图8为本发明实施例中第三种模型的声波时差-深电阻率、自然伽马-深电阻率与岩心薄片分析岩石结构组分交会图;

[0123] 图9为本发明实施例中第四种模型的声波时差-深电阻率、自然伽马-深电阻率与岩心薄片分析岩石结构组分交会图;

[0124] 图10为本发明实施例中的塔中161井、中古51和塔中201井视岩石结构数测井计算效果图;

[0125] 图11为本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置的结构示意图一;

[0126] 图12为本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置的结构示意图二。

具体实施方式

[0127] 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。

[0128] 如图1所示,本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法,包括:

[0129] 步骤101、获取待测灰岩岩石储层的测井数据。

[0130] 其中,测井数据包括:深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线、泥浆滤液电阻率、自然伽马曲线以及声波时差曲线。

[0131] 步骤102、根据深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度。

[0132] 步骤103、根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小,确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数。

[0133] 步骤104、将第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加,确定岩石结构数参数总和。

[0134] 步骤105、根据岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值。

[0135] 本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法,分别求取了四个岩石结构数参数,再最终叠加确定岩石结构数参数总和,进而根据岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值。本发明适用于地层主要为低孔、致密,地层孔隙度小于10%,或伴有裂缝发育,沉积相带主要为开阔台地或半开阔台地沉积相的纯灰岩地层。相比于现有技术的岩石结构数公式建立基础是地层岩心孔隙度范围在4%-40%之间,本发明避免了对于国内低孔、致密灰岩岩石储层,岩心孔隙度范围在0.5%-10%之间,通过现有技术的岩石结构数公式无法准确确定低孔、致密灰岩岩石的结构数参数的问题。

[0136] 下面列举一个更为详细的实施例,以使得本领域的技术人员更好的了解本发明。如图2所示,本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法,包括:

[0137] 步骤201、获取待测灰岩岩石储层的测井数据。

[0138] 其中,测井数据包括:深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线、泥浆滤液电阻率、自然伽马曲线以及声波时差曲线。

[0139] 此处可以结合本发明实施例应用于塔里木盆地塔中地区奥陶系地层为例进行说明:塔中地区奥陶系地层为一套开阔台地沉积的海相碳酸盐岩地层,岩性为灰岩。该套地层岩石结构组分有5种:泥晶结构、颗粒泥晶结构、泥晶颗粒结构、颗粒结构和礁结构,该地区地层致密,裂缝比较发育,以上地质条件适合本发明的应用。参数获取:利用CLS-5700测井系列仪器测量地层自然伽马GR、声波时差DT和电阻率RT,对泥浆滤液进行电阻率测量,泥浆滤液电阻率 $0.15 \Omega \cdot m$ (欧姆·米)/84℃。

[0140] 此处的深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线可以通过测量地层电阻率来得到。

[0141] 声波时差曲线可以包括地层流体声波时差值和岩石骨架声波时差值。其中,地层流体声波时差值 DT_f 一般采用理论值 $189 \mu s/f$,岩石骨架声波时差值 DT_{ma} 一般根据地层主要岩性设定,例如地层为灰岩地层, DT_{ma} 采用理论值 $47 \mu s/f$,白云岩地层则采用理论值 $42 \mu s/f$,如果是混合岩性则根据地质情况采取两者加权计算平均值,该值在 $42-47 \mu s/ft$ 之间,一般地层的声波时差在 $40-90 \mu s/f$ 。

[0142] 上述的自然伽马曲线中的自然伽马GR主要为地层自然伽马值(GR_{ma}),而地层流体自然伽马几乎为0。其中 GR_{ma} 一般根据地层主要岩性设定,例如地层为灰岩地层,则 GR_{ma} 采用

理论值8API,泥岩地层则采用理论值230API,如果是混合岩性,则根据地质情况采取两者加权计算平均值,该值在0-70API之间,一般地层的自然伽马可在10-200API之间。

[0143] 上述的深电阻率RT可以包括地层流体电阻率(RT_f)和岩石骨架电阻率(RT_{ma})。其中,地层流体主要为水, RT_f 一般为0.01~1ohmm, RT_{ma} 一般比较致密,不导电(除黄铁矿外),一般可以在10000ohmm以上,一般地层的电阻率在20-200000ohmm之间。

[0144] 本发明的测井曲线可以采用现有技术设备来获取,例如CLS-3700测井仪、CLS-5700测井仪等。

[0145] 步骤202、根据深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度。

[0146] 具体的,此处需要判断同一时刻下深电阻率测井曲线中的深电阻率和冲洗带电阻率测井曲线中的冲洗带电阻率的大小;

[0147] 若深电阻率大于冲洗带电阻率,则根据公式:

$$[0148] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{8.52253}{RXO} - \frac{8.242778}{RT} + 0.00071236 \right) \times Rmf$$

[0149] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ;其中RXO为冲洗带电阻率;RT为深电阻率;Rmf为泥浆滤液电阻率;

[0150] 若深电阻率小于冲洗带电阻率,则根据公式:

$$[0151] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{1.99247}{RT} - \frac{0.992719}{RXO} + 0.00031829 \right) \times Rmf$$

[0152] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} 。

[0153] 例如以塔中161取心井为例,地层深度为4384.1m为泥晶颗粒灰岩,该层测井测量深电阻率为547.ohmm,冲洗带电阻率为501.74ohmm,泥浆滤液电阻率 R_{mf} 等于0.15ohmm代入上式,计算裂缝孔隙度等于0.014%。

[0154] 在如下步骤203-步骤207中,将说明本发明的岩石结构数参数的计算。

[0155] 岩石结构数计算技术始于2005年Lucia根据碳酸盐岩颗粒或者晶粒尺寸进行岩石物理三分类,第一类将尺寸大于100 μ m的定义为颗粒结构,第二类将尺寸在20 μ m-100 μ m之间的定义为泥晶颗粒结构,第三类将尺寸小于20 μ m的定义为泥晶为主结构(包括部分泥晶颗粒结构、颗粒泥晶结构、泥晶结构),通过岩心孔隙度、含水饱和度交会图(如图3所示)建立了视岩石结构数(Apparent Rock Fabric Number)计算公式如下:

$$[0156] \quad ARFN = 10^{\left(\frac{3.11+1.88 \log(\Phi)+\log(S_w)}{3.06+1.4 \log(\Phi)} \right)}$$

[0157] 式中 Φ 代表地层孔隙度(小数单位), S_w 代表地层含水饱和度(小数单位)。

[0158] 其中地层孔隙度和含水饱和度可以利用测井计算的获得,从而实现测井计算岩石结构数,按照岩石结构数大小,可以实现岩石结构组分测井识别。

[0159] 当ARFN>4,代表泥晶结构;

[0160] 当ARFN在2.5~4之间,代表颗粒泥晶结构和粉泥晶结构;

[0161] 当ARFN在1.5~2.5之间,代表泥晶颗粒或者细粉晶结构;

[0162] 当ARFN在0.5~1.5之间,代表颗粒结构或中粗晶结构。

[0163] 上述公式在国外碳酸盐岩地层(孔隙度普遍大于4%)应用效果较好,但对于国内碳酸盐岩储层孔隙低,特别是孔隙度在0.5%-4%的储层,该情况下Lucia公式已不适用,如

果直接利用该公式计算岩石结构数,岩石结构数范围为0-1000,已经不能用于识别结构组分,例如当地层为泥晶灰岩,泥晶灰岩孔隙度为1% (小数单位为0.01),泥晶灰岩含水饱和度为100% (小数单位为1),代入上式计算得 $ARFN=0.0032$,该数值已经超出0.5-4范围,不能进行岩石结构组分的识别。

[0164] 由于地层低孔、致密及裂缝发育,其岩石结构组分测井特征具有很大重叠性,不同岩石结构组分测井特征难于区分(例如图4所示),根据地层地质特征,分4种典型模型(如图5所示),分别建立视岩石结构数公式,再将4个模型的公式组合,获得最终岩石结构数计算公式。方式如下:

[0165] 步骤203、根据自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小,确定第一岩石结构数参数。

[0166] 此处,若自然伽马值大于50API(例如图6所示),且地层裂缝孔隙度小于0.08%,根据公式:

$$[0167] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 1.125$$

[0168] 计算第一岩石结构数参数 $ARFN_1$;其中,RT为深电阻率;GR为自然伽马值;

[0169] 若自然伽马值大于50API,且地层裂缝孔隙度大于0.08%,根据公式:

$$[0170] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 0.625$$

[0171] 计算第一岩石结构数参数 $ARFN_1$ 。

[0172] 步骤204、根据声波时差值的大小和自然伽马值大小,确定第二岩石结构数参数。

[0173] 此处,若声波时差值小于等于51us/f,且自然伽马值小于等于50API(例如图7所示),根据公式:

$$[0174] \quad ARFN_2 = e^{\frac{(2.9 + \lg(AC) + 3.2 \times \lg(RT \times e^{\frac{RT-200}{1800}}))}{(6.9 + \lg(AC))}} - 3$$

[0175] 计算第二岩石结构数参数 $ARFN_2$;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率。

[0176] 步骤205、根据声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小,确定第三岩石结构数参数。

[0177] 此处,若声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于50API(例如图8所示),且深电阻率大于200ohmm,根据公式:

$$[0178] \quad ARFN_3 = 9.5 - e^{\frac{(3.2 + \lg(AC) + 2 * \lg(\frac{RT}{AC}))}{(3.1 + \lg(AC))}}$$

[0179] 计算第三岩石结构数参数 $ARFN_3$;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率。

[0180] 步骤206、根据声波时差值的大小、自然伽马值大小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定第四岩石结构数参数。

[0181] 此处,若声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于40API,深电阻率小于200ohmm(例如图9所示)且地层裂缝孔隙度小于0.08%,根据公式:

$$[0182] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}}$$

[0183] 计算第四岩石结构数参数ARFN₄；其中，e为自然底数；AC为声波时差值；RT为深电阻率；GR为自然伽马值。

[0184] 若声波时差值大于51us/f，自然伽马值大于40API且小于等于50API，深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度大于0.08%，根据公式：

$$[0185] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}} + 0.5$$

[0186] 计算第四岩石结构数参数ARFN₄。

[0187] 步骤207、将第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加，确定岩石结构数参数总和。

[0188] 此处具体可以根据公式：

$$[0189] \quad ARFN = ARFN_1 + ARFN_2 + ARFN_3 + ARFN_4$$

[0190] 确定岩石结构数参数总和ARFN。

[0191] 例如有地层的声波时差为48.83us/f，深电阻率为547.5ohmm，自然伽马为8.7API，则利用上述方式得到ARFN=2.31，而实际岩心岩石结构数为2.1，与岩心结构数基本一致（如图10所示）。

[0192] 步骤208、根据岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小，确定岩石结构数参数最终值。

[0193] 此处，若ARFN小于一第一预设值，确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述ARFN。

[0194] 此处，例如第一预设值可以为4，则当ARFN小于等于4时，例如3，则岩石结构数参数最终值ARFN'等于3。

[0195] 若ARFN大于第一预设值，且深电阻率大于9000ohmm，确定岩石结构数参数最终值ARFN'等于第二预设值。

[0196] 此处的第一预设值可以为4；该第二预设值可以为4或4.5。此处各预设值的目的是限制计算的ARFN曲线数值范围保证在1-4.5之间，超过了就截止掉。

[0197] 若ARFN大于第一预设值，且深电阻率小于等于9000ohmm，确定岩石结构数参数最终值ARFN'等于第一预设值。

[0198] 例如，第一预设值为4，则ARFN大于4，且深电阻率小于等于9000ohmm时，确定岩石结构数参数最终值ARFN'等于4。

[0199] 另外，在ARFN小于等于第三预设值时，确定所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第三预设值。

[0200] 例如，第三预设值可以为1，则在ARFN小于等于1时，所述岩石结构数参数最终值ARFN'等于1。

[0201] 在本发明实施例中，ARFN的数值范围一般可以为1至4.5之间：

[0202] (1) 当 $0 < ARFN \leq 1$ ，岩石结构定义为泥晶结构组分相，岩性为泥质泥晶灰岩、泥晶灰岩或部分颗粒泥晶灰岩。

[0203] (2) 当 $1 < ARFN \leq 2$, 岩石结构定义为颗粒泥晶结构组分相, 岩性主要为颗粒泥晶灰岩, 粘结岩和泥晶支撑泥晶颗粒灰岩,;

[0204] (3) 当 $2 < ARFN \leq 3$, 岩石结构定义为泥晶颗粒结构组分相, 岩性主要为颗粒支撑的泥晶颗粒灰岩;

[0205] (4) 当 $3 < ARFN \leq 4$, 岩石结构定义为颗粒结构组分相, 岩性主要为颗粒灰岩、溶孔礁灰岩;

[0206] (5) 当 $4 < ARFN \leq 4.5$, 岩石结构定义为礁结构组分相, 岩性为致密生物礁灰岩、致密颗粒灰岩。

[0207] 本发明在塔里木盆地塔中地区奥陶系良里塔格组地层可以取得良好的效果。

[0208] 本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算方法, 分别求取了四个岩石结构数参数, 再最终叠加确定岩石结构数参数总和, 进而根据岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小, 确定岩石结构数参数最终值。本发明适用于地层主要为低孔、致密, 地层孔隙度小于10%, 或伴有裂缝发育, 沉积相带主要为开阔台地或半开阔台地沉积相的纯灰岩地层。相比于现有技术的岩石结构数公式建立基础是地层岩石孔隙度范围在4%-40%之间, 本发明避免了对于国内低孔、致密灰岩岩石储层, 岩心孔隙度范围在0.5%-10%之间, 通过现有技术的岩石结构数公式无法准确确定低孔、致密灰岩岩石的结构数参数的问题。

[0209] 对应于上述图1、图2所示的方法实施例, 本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置, 如图11所示, 包括:

[0210] 测井数据获取单元31, 可以获取待测灰岩岩石储层的测井数据。

[0211] 测井数据包括: 深电阻率测井曲线、冲洗带电阻率测井曲线、泥浆滤液电阻率、自然伽马曲线以及声波时差曲线。

[0212] 地层裂缝孔隙度确定单元32, 可以根据深电阻率测井曲线和冲洗带电阻率测井曲线确定地层裂缝孔隙度。

[0213] 岩石结构数参数确定单元33, 可以根据深电阻率测井曲线中的深电阻率大小、自然伽马曲线中的自然伽马值大小、地层裂缝孔隙度的大小以及声波时差曲线中的声波时差值的大小, 确定第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数。

[0214] 岩石结构数参数叠加单元34, 可以将第一岩石结构数参数、第二岩石结构数参数、第三岩石结构数参数以及第四岩石结构数参数叠加, 确定岩石结构数参数总和。

[0215] 岩石结构数参数最终值确定单元35, 可以根据岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小, 确定岩石结构数参数最终值。

[0216] 具体的, 如图12所示, 该地层裂缝孔隙度确定单元32, 包括:

[0217] 判断模块321, 可以判断同一时刻下深电阻率测井曲线中的深电阻率和冲洗带电阻率测井曲线中的冲洗带电阻率的大小。

[0218] 第一计算模块322, 可以在深电阻率大于冲洗带电阻率时, 根据公式:

$$[0219] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{8.52253}{RXO} - \frac{8.242778}{RT} + 0.00071236 \right) \times Rmf$$

[0220] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} ; 其中RXO为冲洗带电阻率; RT为深电阻率; Rmf为泥浆滤

液电阻率。

[0221] 第二计算模块323,可以在深电阻率小于冲洗带电阻率时,根据公式:

$$[0222] \quad \Phi_{frc} = \left(\frac{1.99247}{RT} - \frac{0.992719}{RXO} + 0.00031829 \right) \times Rmf$$

[0223] 计算地层裂缝孔隙度 Φ_{frc} 。

[0224] 具体的,如图12所示,该岩石结构数参数确定单元33,可以包括:

[0225] 第一岩石结构数参数计算模块331,可以根据自然伽马值大小和地层裂缝孔隙度的大小,确定第一岩石结构数参数。

[0226] 第一岩石结构数参数计算模块331,具体可以:

[0227] 在自然伽马值大于50API,且地层裂缝孔隙度小于0.08%时,根据公式:

$$[0228] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 1.125$$

[0229] 计算第一岩石结构数参数 $ARFN_1$;其中,RT为深电阻率;GR为自然伽马值。

[0230] 在自然伽马值大于50API,且地层裂缝孔隙度大于0.08%时,根据公式:

$$[0231] \quad ARFN_1 = \frac{RT}{100} + 0.0225 \times GR - 0.625$$

[0232] 计算第一岩石结构数参数 $ARFN_1$ 。

[0233] 此外,如图12所示,岩石结构数参数确定单元33,还包括:

[0234] 第二岩石结构数参数计算模块332,可以根据声波时差值的大小和自然伽马值大小,确定第二岩石结构数参数。

[0235] 第二岩石结构数参数计算模块332,具体可以:

[0236] 在声波时差值小于等于51us/f,且自然伽马值小于等于50API时,根据公式:

$$[0237] \quad ARFN_2 = e^{\frac{(2.9 + \lg(AC) + 3.2 \times \lg(RT \times e^{\frac{RT-200}{1800}}))}{(6.9 + \lg(AC))}} - 3$$

[0238] 计算第二岩石结构数参数 $ARFN_2$;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率。

[0239] 此外,如图12所示,岩石结构数参数确定单元33,还包括:

[0240] 第三岩石结构数参数计算模块333,可以根据声波时差值的大小、自然伽马值大小和深电阻率大小,确定第三岩石结构数参数。

[0241] 第三岩石结构数参数计算模块333,具体可以:

[0242] 在声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于50API,且深电阻率大于200ohmm时,根据公式:

$$[0243] \quad ARFN_3 = 9.5 - e^{\frac{(3.2 + \lg(AC) + 2 \times \lg(\frac{RT}{AC}))}{(3.1 + \lg(AC))}}$$

[0244] 计算第三岩石结构数参数 $ARFN_3$;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率。

[0245] 此外,如图12所示,该岩石结构数参数确定单元33,还包括:

[0246] 第四岩石结构数参数计算模块334,可以根据声波时差值的大小、自然伽马值大

小、深电阻率和地层裂缝孔隙度的大小,确定第四岩石结构数参数。

[0247] 该第四岩石结构数参数计算模块334,具体可以:

[0248] 在声波时差值大于51us/f,自然伽马值小于等于40API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度小于0.08%时,根据公式:

$$[0249] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}}$$

[0250] 计算第四岩石结构数参数ARFN₄;其中,e为自然底数;AC为声波时差值;RT为深电阻率;GR为自然伽马值。

[0251] 在声波时差值大于51us/f,自然伽马值大于40API且小于等于50API,深电阻率小于200ohmm且地层裂缝孔隙度大于0.08%时,根据公式:

$$[0252] \quad ARFN_4 = 7.2 - e^{\frac{(3.2+1.1*\lg(AC)+\lg(\frac{RT*RT}{GR*GR}))}{(3.1+\lg(GR))}} + 0.5$$

[0253] 计算第四岩石结构数参数ARFN₄。

[0254] 此外,岩石结构数参数叠加单元34,具体可以:

[0255] 根据公式:

$$[0256] \quad ARFN = ARFN_1 + ARFN_2 + ARFN_3 + ARFN_4$$

[0257] 确定岩石结构数参数总和ARFN。

[0258] 另外,岩石结构数参数最终值确定单元35,具体可以:

[0259] 在ARFN小于等于第一预设值时,确定岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述ARFN;

[0260] 在ARFN大于第一预设值,且深电阻率大于9000ohmm时,确定岩石结构数参数最终值ARFN'等于第二预设值;

[0261] 在ARFN大于第一预设值,且深电阻率小于等于9000ohmm时,确定岩石结构数参数最终值ARFN'等于第一预设值;

[0262] 在ARFN小于等于第三预设值时,确定岩石结构数参数最终值ARFN'等于所述第三预设值。

[0263] 值得说明的是,本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置的具体实现方式可以参见上述图1和图2对应的方法实施例,此处不再赘述。

[0264] 本发明实施例提供的一种低孔、致密灰岩岩石结构组分测井参数的计算装置,分别求取了四个岩石结构数参数,再最终叠加确定岩石结构数参数总和,进而根据岩石结构数参数总和和深电阻率测井曲线中的深电阻率大小,确定岩石结构数参数最终值。本发明适用于地层主要为低孔、致密,地层孔隙度小于10%,或伴有裂缝发育,沉积相带主要为开阔台地或半开阔台地沉积相的纯灰岩地层。相比于现有技术的岩石结构数公式建立基础是地层岩心孔隙度范围在4%-40%之间,本发明避免了对于国内低孔、致密灰岩岩石储层,岩心孔隙度范围在0.5%-10%之间,通过现有技术的岩石结构数公式无法准确确定低孔、致密灰岩岩石的结构数参数的问题。

[0265] 本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内

容不应理解为对本发明的限制。

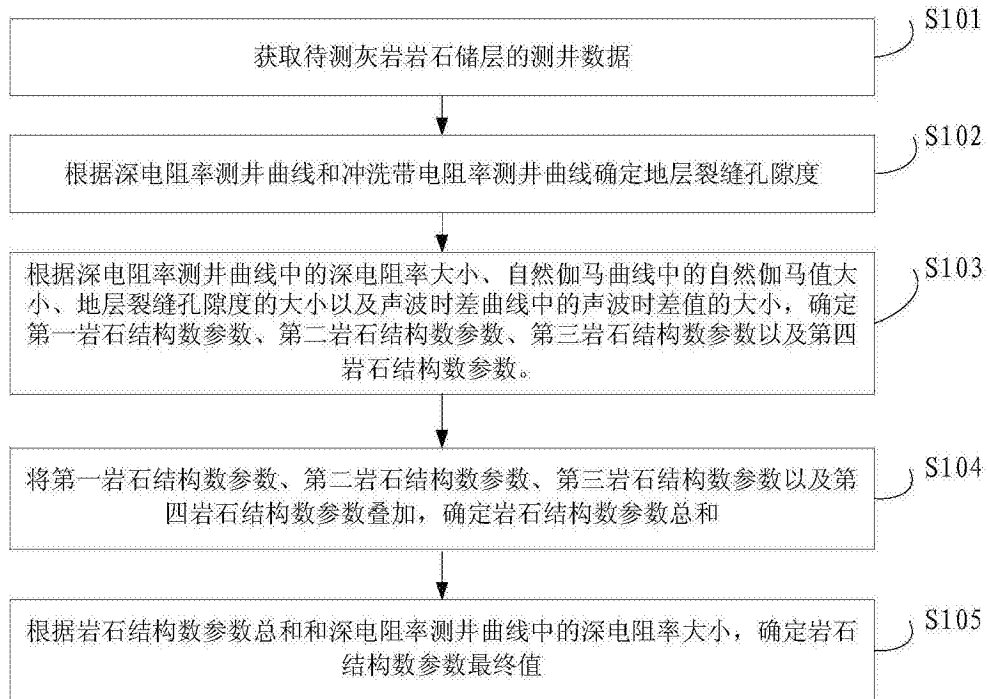


图1

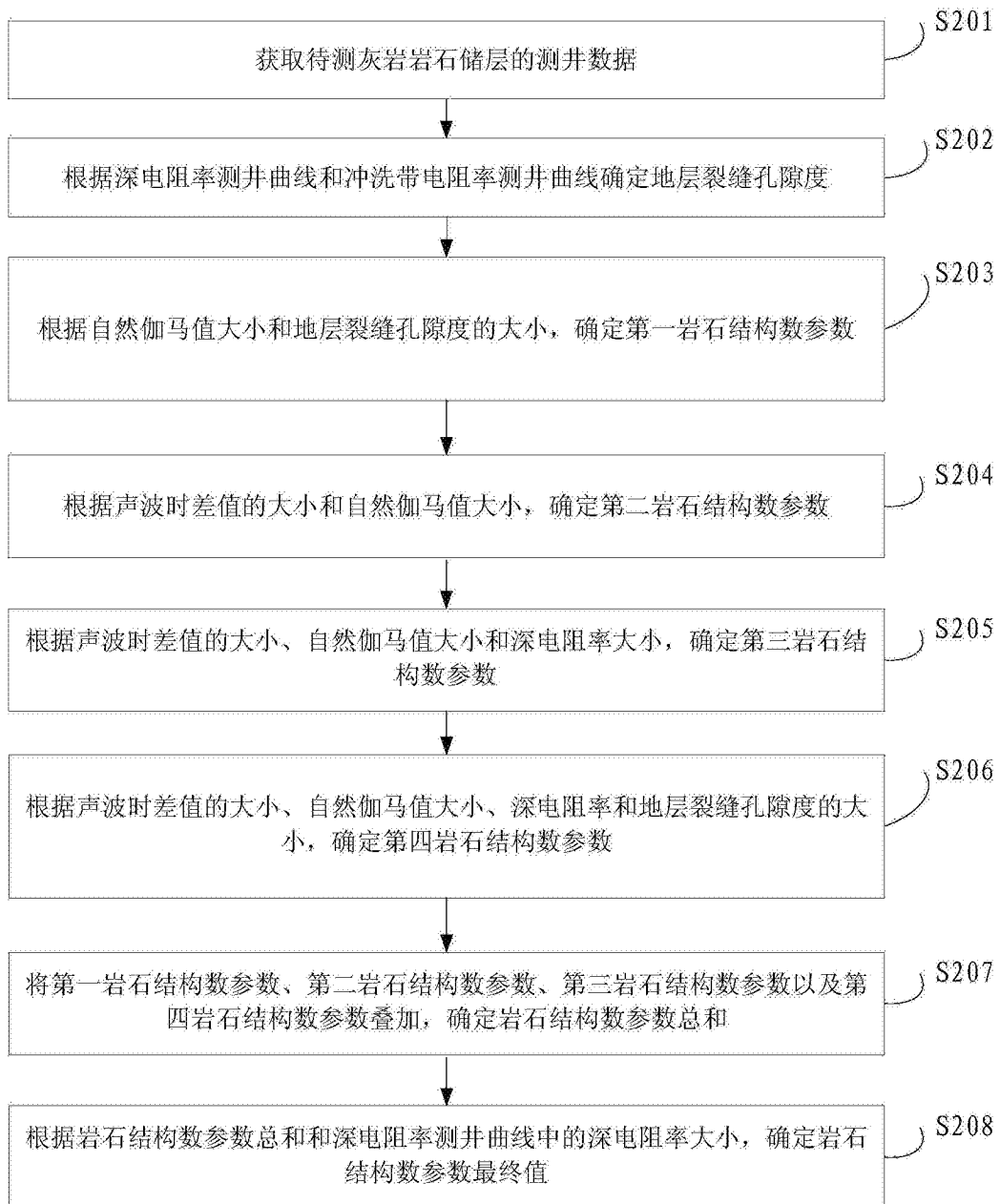


图2

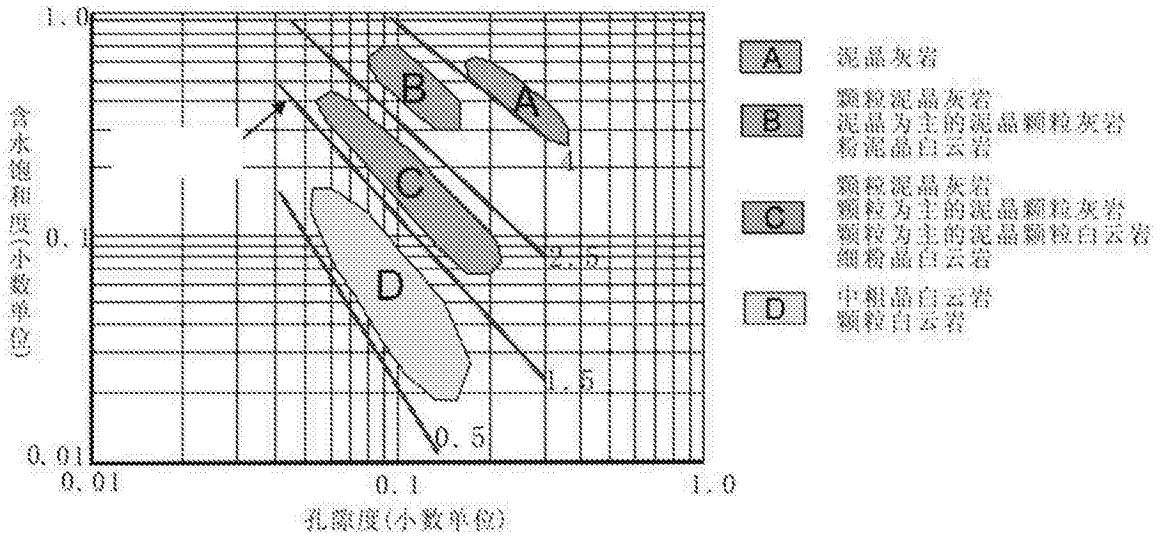


图3

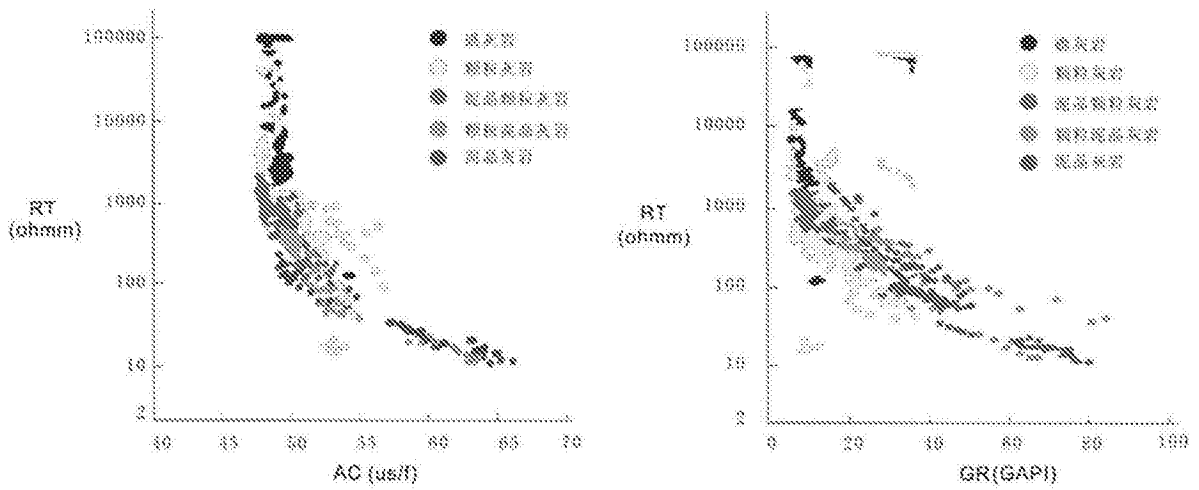


图4

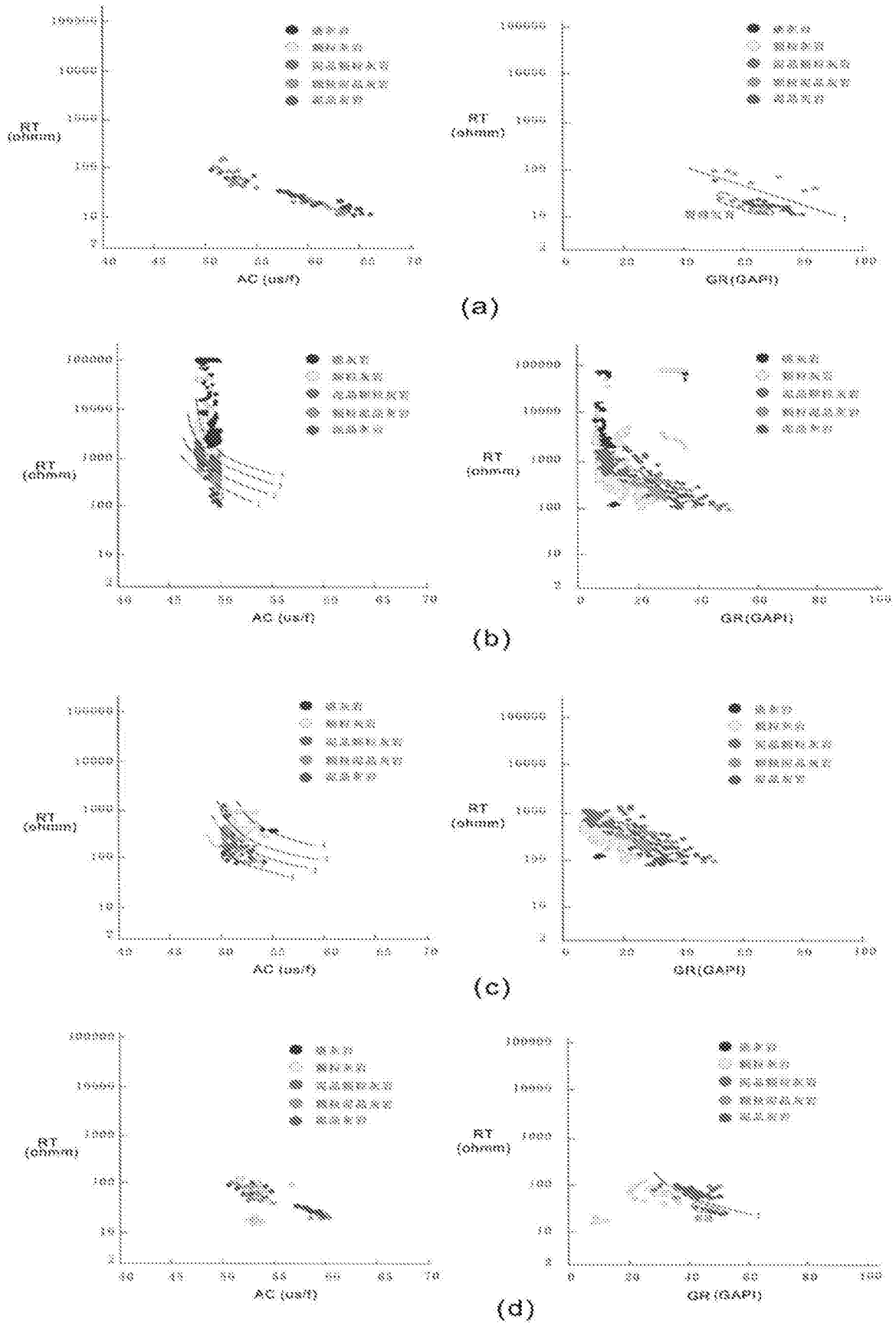


图5

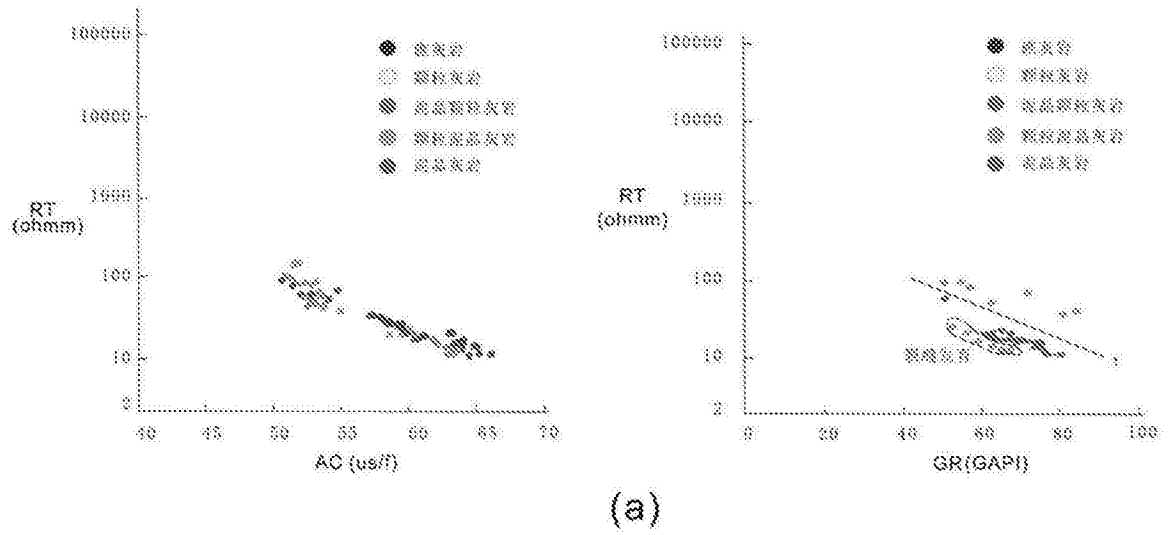


图6

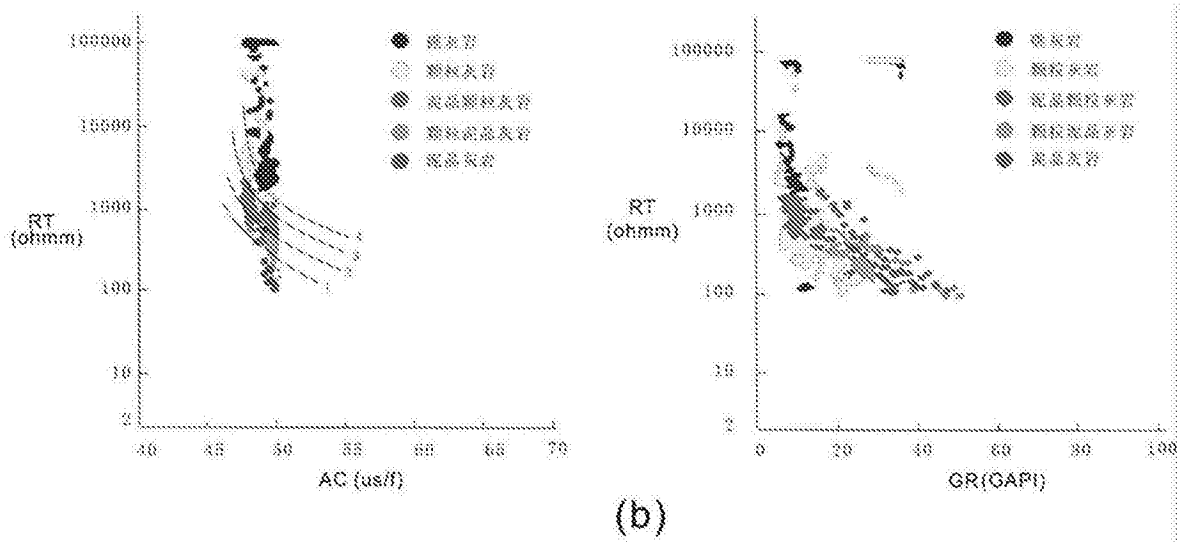


图7

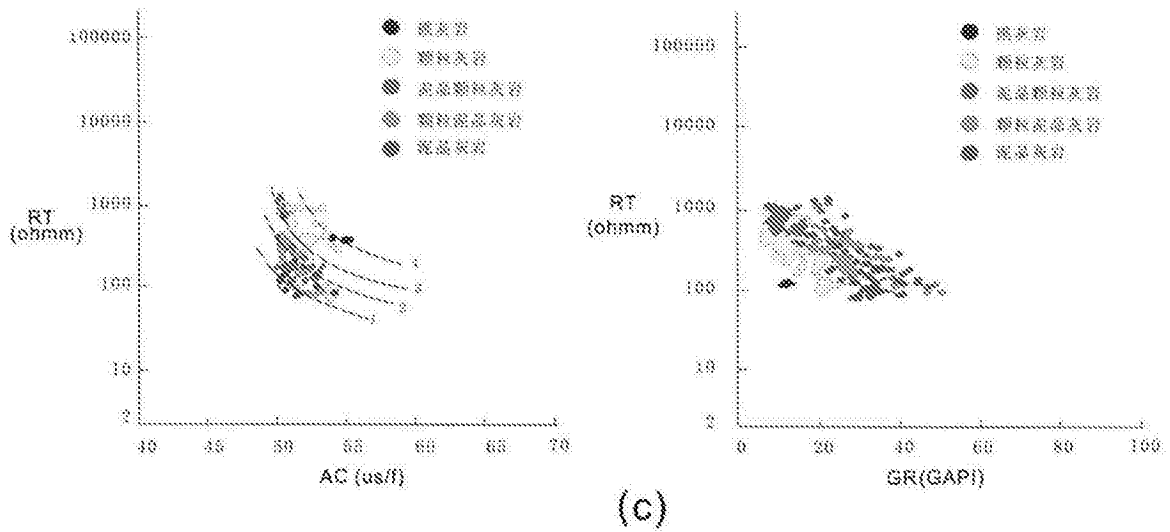


图8

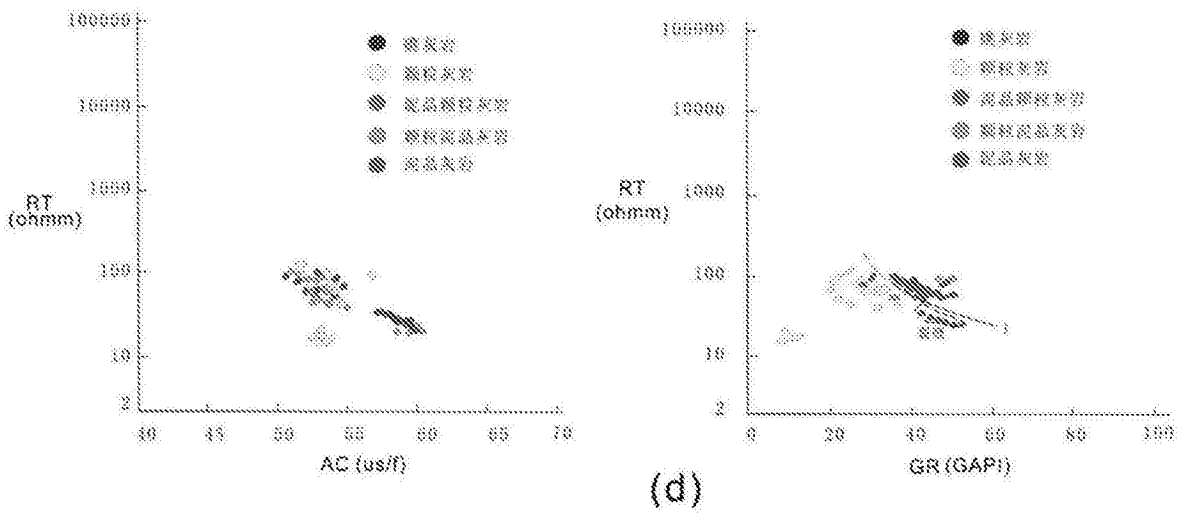


图9

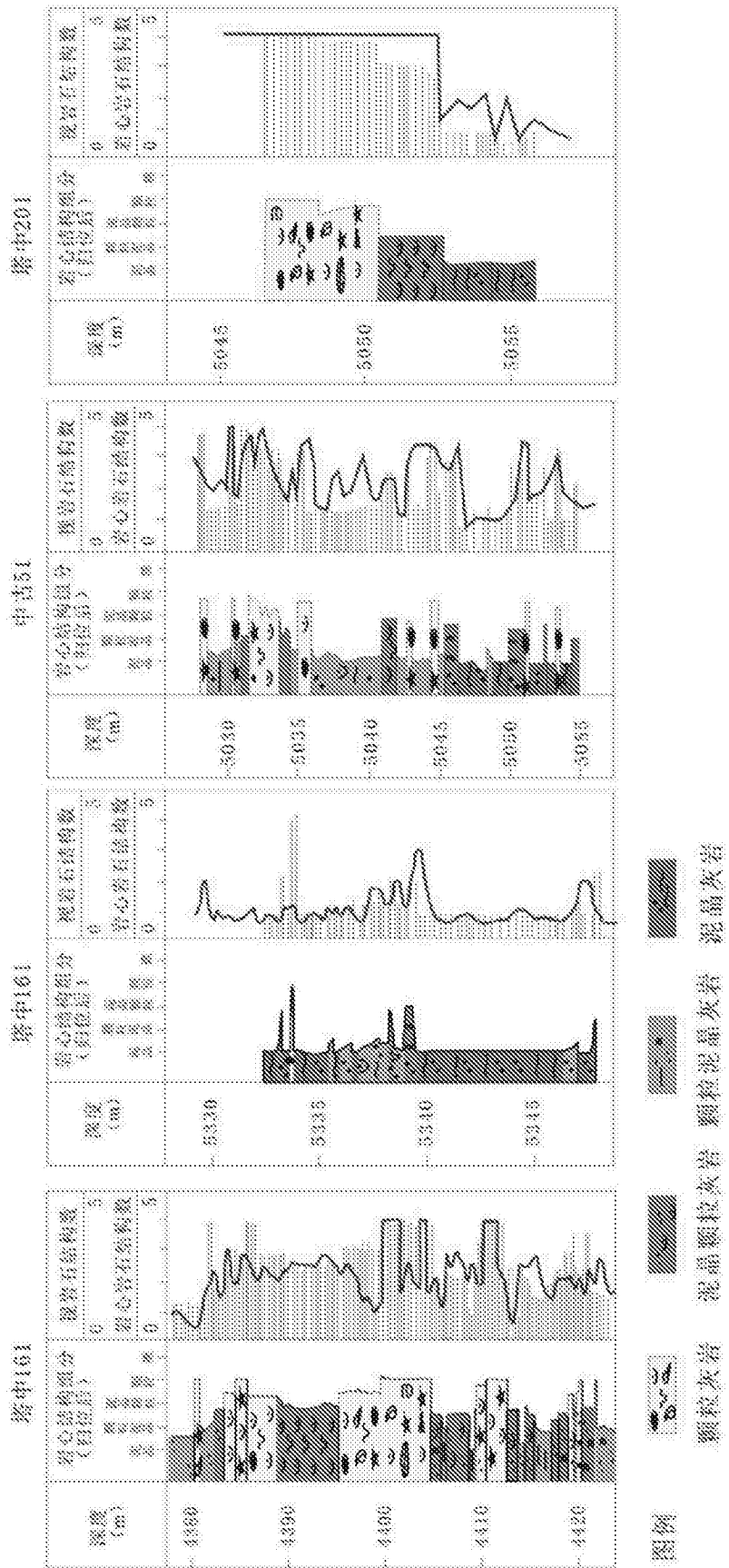


图10

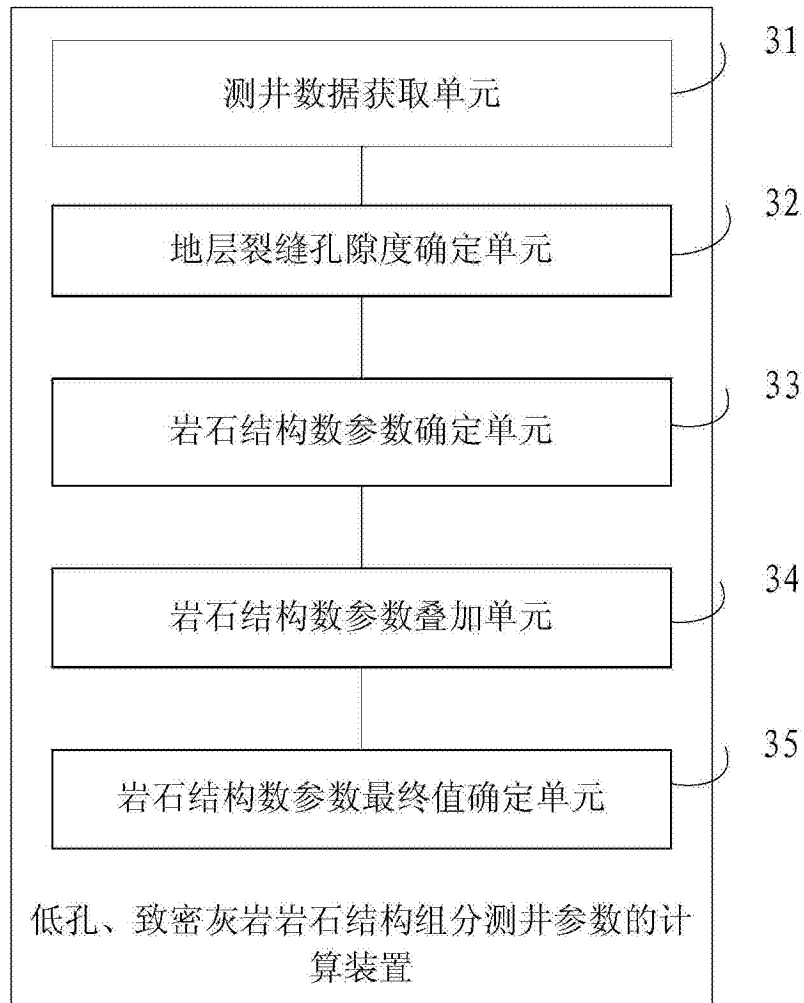


图11

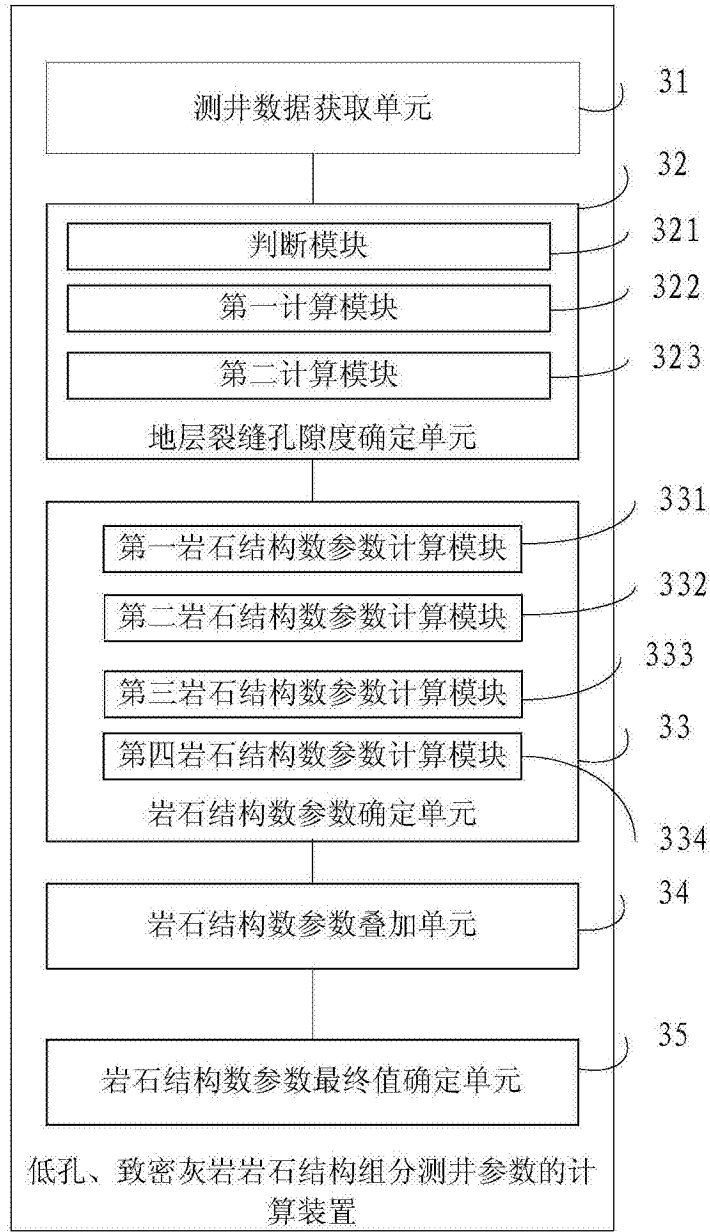


图12