

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 6 月 28 日 (28.06.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/113149 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 3/40 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/081030
- (22) 国际申请日: 2017 年 4 月 19 日 (19.04.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201611183911.8 2016 年 12 月 20 日 (20.12.2016) CN
- (71) 申请人: 中国石油天然气股份有限公司(PETROCHINA COMPANY LIMITED) [CN/CN];
中国北京市东城区东直门北大街 9 号,
Beijing 100007 (CN)。
- (72) 发明人: 刘忠华(LIU, Zhonghua); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。宋连腾(SONG, Lianteng); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。张海涛(ZHANG, Haitao); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。邓继新(DENG,

Jixin); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。李霞(LI, Xia); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。袁超(YUAN, Chao); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。杨小明(YANG, Xiaoming); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。程相志(CHENG, Xiangzhi); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。

(74) 代理人: 北京三友知识产权代理有限公司(BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市金融街 35 号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,

(54) Title: METHOD FOR ACQUIRING CONVERSION RELATION OF DYNAMIC AND STATIC ELASTIC PARAMETERS

(54) 发明名称: 一种获得动静态弹性参数转换关系的方法

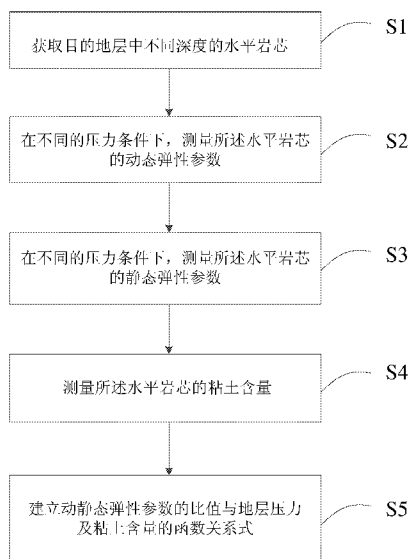


图 1

- S1 Acquire a horizontal core of different depths in a target formation
S2 Measure dynamic elastic parameters of the horizontal core under different pressures
S3 Measure static elastic parameters of the horizontal core under different pressures
S4 Measure a clay content in the horizontal core
S5 Build a function relation of the ratio of the dynamic and static elastic parameters with formation pressure and the clay content

(57) Abstract: A method for acquiring a conversion relation of dynamic and static elastic parameters. The method comprises: S1, acquiring a horizontal core of different depths in a target formation; S2, measuring dynamic elastic parameters of the horizontal core under different pressures; S3, measuring static elastic parameters of the horizontal core under different pressures; S4, measuring a clay content in the horizontal core; and S5, building a function relation of the ratio of the dynamic and static elastic parameters with formation pressure and the clay content, and completing the conversion of the dynamic and static elastic parameters. The affects of formation stress and the clay content on the conversion rules of the dynamic and static elastic parameters are sufficiently considered.

(57) 摘要: 一种获得动静态弹性参数转换关系的方法。该方法包括步骤S1, 获取目的地层中不同深度处的水平岩芯; 步骤S2, 在不同的压力下, 测量所述水平岩芯的动态弹性参数; 步骤S3, 在不同的压力下, 测量所述水平岩芯的静态弹性参数; 步骤S4, 测量所述水平岩芯的粘土含量; 步骤S5, 建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式; 完成动静态弹性参数的转换。充分考虑了地层应力和粘土含量对动静态弹性参数转换规律的影响, 对提高岩石力学参数测井评价精度具有重要意义。

LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区
保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种获得动静态弹性参数转换关系的方法

技术领域

本发明涉及一种获得动静态弹性参数转换关系的方法，属于石油勘探井技术领域。

5 背景技术

低渗透及致密油气藏日益成为油气勘探的重点和难点领域。建立正确的动静态弹性参数转换方法，对于利用测井资料准确评价地层的岩石力学特征，进而优选压裂试油井段，优化试油完井方案具有重要意义。

弹性参数是用来描述岩石所受应力与所产生应变之间大小关系的参数，如杨氏模量、泊松比等。获得弹性参数的方式有两种：一种是通过实验室超声波及密度测量或者通过井下连续深度的声波及密度测井资料获得岩石的动态弹性参数；另一种是在实验室中通过应力应变测量获得岩石的静态弹性参数。对于油气层的压裂改造具有指导意义的是静态弹性参数，但由于其只能通过实验室测量才能得到，在井下无法连续应用。因此通常首先利用测井资料获得连续深度的动态弹性参数，利用基于实验测量获得的动态弹性参数与静态弹性参数的转换规律，将动态弹性参数转换为静态弹性参数，最后在井下全剖面地层岩石力学参数评价过程中应用。

现有动、静态弹性参数的转换技术，一般是将一系列从钻井取芯获得的柱塞样品置于实验室中，在近似地层条件下对其进行动静态弹性参数测量，然后建立动静态弹性参数的线性转换关系。现有技术存在明显的缺陷，因为它未考虑同一地质层位可能存在的地层应力及岩性的连续变化对动静态弹性参数转换规律的影响。因此依靠现有技术难以用来准确连续评价非均质变化强的地层的岩石力学参数，制约储层完井品质的准确评价，影响压裂试油方案的优化及降本增效目标的实现。

发明内容

为解决上述技术问题，本发明提供了一种获得动静态弹性参数转换关系的方法，该方法充分考虑了地层应力和粘土含量的变化对动静态弹性参数转换规律的影响，对提高岩石力学参数测井评价精度具有重要意义。

为达到上述目的，本发明提供了一种获得动静态弹性参数转换关系的方法，该方法包括以下步骤：

步骤 S1，获取目的地层不同深度处的水平岩芯；

30 步骤 S2，在不同的压力下，测量所述水平岩芯的动态弹性参数；

步骤 S3, 在不同的压力下, 测量所述水平岩芯的静态弹性参数;

步骤 S4, 对所述水平岩芯的粘土含量;

步骤 S5, 建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式; 完成动静态弹性参数的转换。

5 本发明提供的技术方案通过对储层不同深度水平岩心在不同地层压力下的动、静态弹性参数, 以及粘土含量进行测量, 根据测量得到的结果, 建立了动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式, 由此便可得到动静态弹性参数的转换规律。本发明提供的技术方案由于充分考虑了地层压力及岩性变化等多重影响因素的作用, 因而结果更加准确。

10 在上述方法中, 优选地, 在步骤 S1 中, 所述获取目的地层中不同深度处的水平岩芯包括以下步骤:

步骤 S101, 在同一地层深度 D1 处沿水平方向钻取 m 块岩芯, 分别记为 D_{11} , D_{12} , D_{13} , ..., D_{1m} ;

15 步骤 S102, 将地层深度 D1 处钻取的 m 块岩芯, 每一块切分为两小块, 并分别记为 D_{11A} , D_{11B} , D_{12A} , D_{12B} , D_{13A} , D_{13B} , ..., D_{1mA} , D_{1mB} ;

步骤 S103, 按照步骤 S101 和步骤 S102 的操作, 钻取地层深度 D2 处的 m 块岩芯, 并将所述 D2 处的 m 块岩芯中的每一块岩芯切分为两小块, 分别记为 D_{21A} , D_{21B} , D_{22A} , D_{22B} , D_{23A} , D_{23B} , ..., D_{2mA} , D_{2mB} ;

依此类推, 钻取地层深度 D_n 处的 m 块岩芯, 并将所述 D_n 处的 m 块岩芯每一块分为两小块, 分别记为 D_{n1A} , D_{n1B} , D_{n2A} , D_{n2B} , D_{n3A} , D_{n3B} , ..., D_{nmA} , D_{nmB} 。

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S101 中, 岩芯的长度至少为 8cm, 优选为 8-10cm; 直径为 2.5-5cm, 优选为 2.5cm, 但不限于此。

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S102 中, 将每一块岩芯切分为两小块时, 两小块中的每一块岩芯的长度至少为 4cm, 优选为 4-5cm; 直径为 2.5-5cm, 优选为 2.5cm, 但
25 不限于此。

在本发明提供的技术方案中, 水平岩心的深度间隔、数量及大小可以根据实际勘测需求和实验精度要求进行合理设置。一般, 为保障后续 X 衍射的测量精度和多地层压力条件的测量需求, 获取的水平岩芯数量及重量需要达到一定的设计要求。

在本发明提供的技术方案中, 步骤 S1 中, D_{11} 表示在地层深度 D1 处由第一步获得的岩芯, D_{12} 表示在地层深度 D1 处由第二步获得的岩芯, ..., D_{1m} 表示在地层深度 D1 处由第 m 步获得的岩芯; 依此类推, D_{nm} 表示在地层深度 D_n 处由第 m 步获得的岩芯。
30

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S2 中, 在不同的压力下, 测量所述水平岩芯的动态弹性参数包括以下步骤:

步骤 S201, 基于目的地层的压力, 从小到大依次设置 m 个地层压力值, 分别记为 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$; 其中, 压力区间 $[P_1, P_m]$ 包含了整个目的地层的压力, 即 P_1 - P_m 覆盖了整个目的地层的压力;

步骤 S202, 在压力为 P_1 下, 分别对不同地层深度处由第一步获得的水平岩芯 $D_{11A}, D_{21A}, D_{31A}, \dots, D_{n1A}$ 进行测量, 计算它们的动态弹性参数, 分别记为 $Ed_{11}, Ed_{21}, Ed_{31}, \dots, Ed_{n1}$; 在压力为 P_2 的条件下, 分别对不同地层深度处由第二步获得的水平岩芯 $D_{12A}, D_{22A}, D_{32A}, \dots, D_{n2A}$ 进行测量, 计算它们的动态弹性参数, 分别记为 $Ed_{12}, Ed_{22}, Ed_{32}, \dots, Ed_{n2}$; 依此类推, 在压力为 P_m 下, 分别对不同地层深度处由第 m 步获得的水平岩芯 $D_{1mA}, D_{2mA}, D_{3mA}, \dots, D_{nmA}$ 进行测量, 并计算它们的动态弹性参数, 分别记为 $Ed_{1m}, Ed_{2m}, Ed_{3m}, \dots, Ed_{nm}$ 。

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S202 中, 所述测量的项目包括密度、纵波速度和横波速度, 所述纵波速度和横波速度的测量方法参照 SY/T 6351-2012; 更优选地, 所述测量的条件为饱和盐水条件。

在上述方法中, 地层压力值的个数 m 与水平方向钻取的岩芯的块数 m 是相对应的; 优选地, m 、 n 的取值均 ≥ 3 。

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S3 中, 在不同的压力下, 测量所述水平岩芯的静态弹性参数包括以下步骤:

步骤 S301, 参照步骤 S201 的操作, 基于目的地层的压力, 从小到大依次设置 m 个地层压力值, 分别记为 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$; 其中, 压力区间 $[P_1, P_m]$ 包含了整个目的地层的压力, 即 P_1 - P_m 覆盖了整个目的地层的压力;

步骤 S302, 在压力为 P_1 下, 分别对不同地层深度由第一步获得的水平岩芯 $D_{11B}, D_{21B}, D_{31B}, \dots, D_{n1B}$ 进行测量, 计算它们的静态弹性参数, 分别记为 $Es_{11}, Es_{21}, Es_{31}, \dots, Es_{n1}$; 在压力为 P_2 下, 分别对不同地层深度由第二步获得的水平岩芯 $D_{12B}, D_{22B}, D_{32B}, \dots, D_{n2B}$ 进行测量, 计算它们的静态弹性参数, 分别记为 $Es_{12}, Es_{22}, Es_{32}, \dots, Es_{n2}$; 依此类推, 在压力为 P_m 下, 分别对不同地层深度由第 m 步获得的水平岩芯 $D_{1mB}, D_{2mB}, D_{3mB}, \dots, D_{nmB}$ 进行测量, 并计算它们的静态弹性参数, 分别记为 $Es_{1m}, Es_{2m}, Es_{3m}, \dots, Es_{nm}$ 。

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S302 中, 所述测量的项目包括应力和应变, 所述应力和应变的测量参照 GB/T 23561.9-2009; 更优选地, 所述测量的条件为饱和盐水条件。

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S4 中, 测量所述水平岩芯的粘土含量包括以下步骤:

将测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{11B} , D_{12B} , D_{13B} , ..., D_{1mB} 的碎样收集起来, 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 D1 处的粘土含量 Vcl1; 将测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{21B} , D_{22B} , D_{23B} , ..., D_{2mB} 的碎样收集起来, 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 D2 处的粘土含量 Vcl2; 依此类推, 将测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{n1B} , D_{n2B} , D_{n3B} , ..., D_{nmB} 的碎样收集起来, 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 Dn 处的粘土含量 Vcln。所述 X 衍射测量方法参照行业标准 SY/T5163-2010。

在上述方法中, 优选地, 在步骤 S5 中, 所述建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式包括以下步骤:

步骤 S501, 计算地层深度 D1 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$, $\frac{E_{d12}}{E_{s12}}$, $\frac{E_{d13}}{E_{s13}}$, ..., $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$, 构建地层深度为 D1 时的动静态弹性参数的比值与压力的曲线图, 即构建动静态弹性参数的比值 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$, $\frac{E_{d12}}{E_{s12}}$, $\frac{E_{d13}}{E_{s13}}$, ..., $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$ 与它们各自对应的压力值 P1, P2, P3, ..., Pm 的曲线图, 通过曲线图可以获得两者之间的关系;

计算地层深度 D2 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d21}}{E_{s21}}$, $\frac{E_{d22}}{E_{s22}}$, $\frac{E_{d23}}{E_{s23}}$, ..., $\frac{E_{d2m}}{E_{s2m}}$, 构建地层深度为 D2 时的动静态弹性参数的比值与压力的曲线图, 通过曲线图可以获得两者之间的关系;

依此类推, 计算地层深度 Dn 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$, $\frac{E_{dn2}}{E_{sn2}}$, $\frac{E_{dn3}}{E_{sn3}}$, ..., $\frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$, 构建地层深度为 Dn 时的动静态弹性参数的比值与压力的曲线图, 通过曲线图可以获得两者之间的关系;

步骤 S502, 压力值为 P1 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$, $\frac{E_{d21}}{E_{s21}}$, $\frac{E_{d31}}{E_{s31}}$, ..., $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3, ..., Vcln, 构建压力值为 P1 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的曲线图, 即构建动静态弹性参数的比值 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$, $\frac{E_{d21}}{E_{s21}}$, $\frac{E_{d31}}{E_{s31}}$, ..., $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$ 与它们各自对应的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3, ..., Vcln 的曲线图, 通过曲线图可以获得两者之间的关系;

压力值为 P2 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d12}}{E_{s12}}$, $\frac{E_{d22}}{E_{s22}}$, $\frac{E_{d32}}{E_{s32}}$, ..., $\frac{E_{dn2}}{E_{sn2}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个

地层深度的粘土含量 V_{cl1} , V_{cl2} , V_{cl3} , ..., V_{cln} , 构建压力值为 P_2 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的曲线图;

依此类推, 压力值为 P_m 时, 计算岩心样品在 $D1-D_n$ 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$, $\frac{E_{d2m}}{E_{s2m}}$, $\frac{E_{d3m}}{E_{s3m}}$, ..., $\frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 根据获得的

- 5 $D1-D_n$ 中 n 个地层深度的粘土含量 V_{cl1} , V_{cl2} , V_{cl3} , ..., V_{cln} , 构建压力值为 P_m 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的曲线图, 通过曲线图可以获得两者之间的关系;

步骤 S503, 根据步骤 S501 和步骤 S502 获得的关系, 建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式 $\frac{E_d}{E_s} = f(P, V_{cl})$ 。

- 10 本发明的有益效果:

1) 本发明提供的技术方案通过对储层不同深度水平岩心在不同地层压力下的动静态弹性参数, 以及粘土含量进行测量, 根据测量得到的结果, 建立了动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式, 由此得到动静态弹性参数转换规律由于充分考虑了地层压力及岩性变化等多重影响因素的作用, 因而结果更加准确;

- 15 2) 本发明提供的技术方案充分考虑了地层应力条件和粘土含量对动静态弹性参数转换规律的影响, 对提高岩石力学参数测井评价精度具有重要意义。

附图说明

图 1 为本发明实施例提供的动静态弹性参数转换方法的流程示意图;

图2为本发明实施例中测量岩芯纵、横波速度的装置的结构示意图;

- 20 图3为本发明实施例中动静态弹性参数的比值与地层压力的关系图;

图4为本发明实施例中动静态弹性参数的比值与粘土含量在地层压力为20Mpa时的关系图;

图 5 为本发明实施例中动静态弹性参数的比值与粘土含量在地层压力为 40Mpa 时的关系图;

- 25 图 6 为本发明实施例的应用效果对比图;

主要附图标号说明:

1: 位移计; 2: 第一探头; 3: 第二探头; 4: 量管; 5: 孔隙流体控制单元; 6: 温度控制单元; 7: 围压控制单元; 8: 数据采集分析单元。

具体实施方式

- 30 为了对本发明的技术特征、目的和有益效果有更加清楚的理解, 现对本发明的技术

方案进行以下详细说明，但不能理解为对本发明的可实施范围的限定。

实施例

本实施例提供了一种获得动静态弹性参数转换关系的方法（其流程如图 1 所示），其包括以下步骤：

5 步骤 S1，获取目的地层中不同深度处的水平岩芯：

在勘探区域不同深度钻取水平柱塞样岩芯，同一地层深度处钻取 $m=4$ 块水平小岩芯，构成一组；一共钻取 $n=8$ 组岩芯，分别记为 D_{11} , D_{12} , D_{13} , D_{14} ; D_{21} , D_{22} , D_{23} , D_{24} ; ...; D_{81} , D_{82} , D_{83} , D_{84} ; 其中，每一块水平岩芯的直径为 2.5cm，长度为 8-10cm。

10 分别对上述岩芯进行切割，将每一块岩芯切割为两小块，切割面与柱塞样岩芯底面平行，切割点的位置应保证切割后两块岩芯中每一块长度为 4-5cm；将切割后满足此条件的岩芯分别记为 D_{11A} , D_{11B} , D_{12A} , D_{12B} , ..., D_{14A} , D_{14B} ; D_{21A} , D_{21B} , D_{22A} , D_{22B} , ..., D_{24A} , D_{24B} ; ..., D_{81A} , D_{81B} , D_{82A} , D_{82B} , ..., D_{84A} , D_{84B} ; 其中， D_{11A} , D_{11B} 分别表示：将 D_{11} 切割为两小块之后，其中一块记为 D_{11A} ，另一块记为 D_{11B} ；依此类推。

15 步骤 S2，在不同的压力下，测量所述水平岩芯的动态弹性参数：

基于地层压力，从小到大依次设置 4 个地层压力值，分别记为 P_1 , P_2 , P_3 , P_4 （单位：MPa），其中， $P_1=20\text{MPa}$, $P_2=30\text{MPa}$, $P_3=40\text{MPa}$, $P_4=60\text{MPa}$ ；20MPa-60MPa 的压力数值范围包含了整个勘探区域的压力。

20 在压力为 $P_1=20\text{MPa}$ 的条件下，对由步骤 S1 获得的水平岩芯 D_{11A} , D_{21A} , D_{31A} , ..., D_{81A} 进行饱和盐水条件下的密度及纵、横波速度测量（纵、横波速度的测量方法参照 SY/T 6351-2012）。

25 测量岩芯纵、横波速度的装置没有特别限定，可以是本领域的常规测量装置；例如可以是图 2 所示的装置（该装置为本领域常规测量装置中的一种），该装置包括位移计 1、第一探头 2、第二探头 3、量管 4、孔隙流体控制单元 5、温度控制单元 6、围压控制单元 7 和数据采集分析单元 8。测量时，通过孔隙流体控制单元 5、温度控制单元 6 和围压控制单元 7 对测试条件进行调节；该装置中位移计 1 可以进行变形测量，样品两端的探头一方面可以允许流体通过；另一方面可以进行能量的发射和接收，将测得的数据传输给数据采集分析单元 8。该测量装置只是本发明实施例的一个例举装置，其他具有相同功能或能够实现相同目的的测量装置均可以用来进行岩芯纵、横波速度的测量。

30 测量结果如表 1 所示，计算它们的动态杨氏模量 Ed_{11} , Ed_{21} , Ed_{31} , ..., Ed_{81} ；其中，动态杨氏模量的计算公式如式 1 所示：

$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \quad \text{式 1}$$

式 1 中, E 为动态杨氏模量, KPa; ρ 为密度, g/cm^3 ; V_p 为纵波速度, m/s; V_s 为横波速度, m/s;

表 1

样品号	实验围压 (MPa)	密度 g/cm^3	纵波速度 (m/s)	横波速度 (m/s)	动态杨氏模量 (GPa)
D _{11A}	20	2.65	5663	3426	75.35
D _{12A}	30	2.65	5704	3456	76.59
D _{13A}	40	2.65	5728	3472	77.29
D _{14A}	60	2.65	5742	3484	77.76
D _{21A}	20	2.64	5641	3400	74.14
D _{22A}	30	2.64	5674	3418	74.96
D _{23A}	40	2.64	5688	3430	75.43
D _{24A}	60	2.64	5697	3437	75.72
D _{31A}	20	2.61	5186	2905	56.01
D _{32A}	30	2.61	5243	2954	57.74
D _{33A}	40	2.61	5272	2980	58.66
D _{34A}	60	2.61	5309	3009	59.71
D _{41A}	20	2.56	5138	2914	54.91
D _{42A}	30	2.56	5225	2977	57.16
D _{43A}	40	2.56	5279	3014	58.53
D _{44A}	60	2.56	5314	3041	59.49
D _{51A}	20	2.57	5045	2885	53.78
D _{52A}	30	2.57	5087	2912	54.75
D _{53A}	40	2.57	5110	2926	55.27
D _{54A}	60	2.57	5126	2934	55.59
D _{61A}	20	2.54	5048	2970	55.36
D _{62A}	30	2.54	5164	3051	58.24
D _{63A}	40	2.54	5224	3092	59.75
D _{64A}	60	2.54	5273	3125	60.98
D _{71A}	20	2.54	5030	2977	55.39
D _{72A}	30	2.54	5108	3042	57.59
D _{73A}	40	2.54	5163	3086	59.12

D _{74A}	60	2.54	5201	3111	60.05
D _{81A}	20	2.48	4764	2653	44.53
D _{82A}	30	2.48	4841	2718	46.53
D _{83A}	40	2.48	4895	2757	47.79
D _{84A}	60	2.48	4935	2782	48.63

然后,在压力为 P2=30MPa 的条件下,对步骤 S1 获得的水平岩芯 D_{12A},D_{22A},D_{32A},...,D_{82A} 进行饱和盐水条件下的密度及纵横波速度测量,计算它们的动态杨氏模量 Ed₁₂,Ed₂₂,Ed₃₂,...,Ed₈₂;

依此类推,在压力为 P4=60MPa 的条件下,对由第一步获得的水平岩芯 D_{14A},D_{24A},D_{34A},...,D_{84A} 进行饱和盐水条件下的密度及纵横波速度测量,计算它们的动态杨氏模量 Ed₁₄,Ed₂₄,Ed₃₄,...,Ed₈₄。

步骤 S3,在不同的压力下,测量所述水平岩芯的静态弹性参数:

在压力为 P1=20MPa 的条件下,对由步骤 S1 获得的水平岩芯 D_{11B},D_{21B},D_{31B},...,D_{81B} 进行饱和盐水条件下的应力应变测量(应力和应变的测量参照 GBT23561.9-2009),并根据测量结果,计算它们的静态杨氏模量(如表 2 所示);其中,静态杨氏模量的计算公式如式 2 所示:

$$E = \frac{\sigma_{ab}}{\varepsilon_{ab}}$$

式 2

在式 2 中:

σ_{ab} —应力与轴向应变关系曲线上直线段终点与起点的应力差,单位为兆帕(MPa);
 ε_{ab} —应力与轴向应变关系曲线上直线段终点与起点的应变差,百分数;

依此类推,在压力分别为 P2=30、40、60MPa 的条件下,对由第一步获得的水平岩芯 D_{12B}、D_{22B}、D_{32B}、...、D_{82B},...,D_{14B}、D_{24B}、D_{34B}、...、D_{84B} 进行饱和盐水条件下的应力应变测量,计算它们的静态杨氏模量。

表 2

样品号	实验围压 (MPa)	应力差 σ_{ab} (MPa)	应变差 ε_{ab} (%)	静态杨氏模量 (GPa)
D _{11B}	20	106.1708	0.2095	50.6
D _{12B}	30	104.3521	0.1904	54.9
D _{13B}	40	157.5117	0.2544	61.8
D _{14B}	60	141.2113	0.2132	66.2

D _{21B}	20	134.5789	0.2666	50.5
D _{22B}	30	119.5818	0.2121	56.3
D _{23B}	40	163.8272	0.2579	63.6
D _{24B}	60	227.4188	0.3252	70
D _{31B}	20	99.0613	0.2811	35.3
D _{32B}	30	80.4307	0.2162	37.2
D _{33B}	40	112.8493	0.291	38.8
D _{34B}	60	107.6294	0.263	40.9
D _{41B}	20	63.0874	0.1874	33.7
D _{42B}	30	68.5192	0.1944	35.3
D _{43B}	40	83.4911	0.2185	38.2
D _{44B}	60	97.2092	0.2513	38.7
D _{51B}	20	91.0993	0.275	33.1
D _{52B}	30	94.6616	0.279	33.9
D _{53B}	40	121.111	0.347	34.9
D _{54B}	60	128.4008	0.358	35.9
D _{61B}	20	91.6754	0.2513	36.5
D _{62B}	30	88.6596	0.2226	39.8
D _{63B}	40	97.4503	0.2286	42.6
D _{64B}	60	101.1177	0.2189	46.1
D _{71B}	20	76.6523	0.2076	36.9
D _{72B}	30	96.5619	0.2431	39.7
D _{73B}	40	107.8026	0.238	45.3
D _{74B}	60	108.8003	0.2155	50.5
D _{81B}	20	51.78	0.1859	27.9
D _{82B}	30	90.3	0.2986	30.2
D _{83B}	40	141.08	0.441	32
D _{84B}	60	187.13	0.6021	31.1

步骤 S4，测量所述水平岩芯的粘土含量：

将经过应力应变测量后的岩芯 D_{11B}，D_{12B}，...，D_{14B} 的碎样收集起来，进行 X 衍射测量，获得的粘土含量值代表地层深度 D1 的粘土含量；

- 5 依此类推，对经过应力应变测量后的其他各地层深度的水平岩芯碎样，分别收集起来进行 X 衍射测量，获得的粘土含量值代表各自对应的地层深度的粘土含量，如表 3

所示。

表 3

样号	粘土总量
D1	3.5
D2	2
D3	19.8
D4	20.8
D5	16.7
D6	12.5
D7	11.8
D8	14.2

步骤 S5，建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式：

根据各地层深度在不同压力值下的测量计算结果，建立动静态弹性参数的比值（这里动静态弹性参数的比值即为动静态杨氏模量的比值）与地层压力的关系（如图 3 所示）；
同时，结合各地层深度的粘土含量测量结果，建立固定压力值下的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系（如图 4 及图 5 所示，它们揭示了在地层压力分别为 20MPa 及 40MPa 时，动静弹性参数的比值与粘土含量的关系）；

根据动静态弹性参数的比值与地层压力的关系及其在不同地层压力值下与粘土含量的关系，建立动静态弹性参数的比值与粘土含量及地层压力的函数关系式，如式 2 所示：

$$\frac{E_d}{E_s} = (A + B \cdot V_{clay}) \cdot P_{eff}^{C \cdot V_{clay} + D} \quad \text{式 2}$$

式 2 中， E_d 为动态弹性参数（又称之为动态杨氏模量）， E_s 为静态弹性参数（又称之为静态杨氏模量）， V_{clay} 为粘土含量， P_{eff} 为地层压力，A、B、C、D 为根据实验结果得到的经验系数，在本实施例中，A=3.5，B= -8.14，C=1.35，D= -0.3。

图 6 是在勘探区域一口井中的应用效果对比图。图中共包含 11 道信息，其中第 9 道中的 Esta 为利用本发明实施例提供的方法计算得到的静态杨氏模量，Esta2 为利用传统的动静态线性回归方法计算得到的静态杨氏模量，Esta_Core 为岩芯测量获得的静态杨氏模量。对比结果表明，利用本发明实施例提供的方法计算的结果与岩芯测量结果最

为接近，三个数据点的平均相对误差为 18%，而传统方法的平均相对误差达 45%。对该区域 3 口井 7 个数据点的统计结果表明，与岩芯测量结果相比，本发明提供的方法的相对误差为 13%，而传统方法的相对误差达 28%。

- 5 以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明实施例可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种获得动静态弹性参数转换关系的方法，该方法包括以下步骤：

步骤 S1，获取目的地层中不同深度的水平岩芯；

步骤 S2，在不同的压力下，测量所述水平岩芯的动态弹性参数；

5 步骤 S3，在不同的压力下，测量所述水平岩芯的静态弹性参数；

步骤 S4，测量所述水平岩芯的粘土含量；

步骤 S5，建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式；完成动静态弹性参数的转换。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其中，在步骤 S1 中，所述获取目的地层中不同深度
10 度的水平岩芯包括以下步骤：

步骤 S101，在同一地层深度 D1 处沿水平方向钻取 m 块岩芯，分别记为 D_{11} ， D_{12} ， D_{13} ， $\dots$ ， D_{1m} ；

步骤 S102，将地层深度 D1 处钻取的 m 块岩芯，每一块切分为两小块，并分别记为 D_{11A} ， D_{11B} ， D_{12A} ， D_{12B} ， D_{13A} ， D_{13B} ， $\dots$ ， D_{1mA} ， D_{1mB} ；

15 步骤 S103，按照步骤 S101 和步骤 S102 的操作，钻取地层深度 D_n 处的 m 块岩芯，并将每一块岩芯切分为两小块，分别记为 D_{n1A} ， D_{n1B} ， D_{n2A} ， D_{n2B} ， D_{n3A} ， D_{n3B} ， $\dots$ ， D_{nmA} ， D_{nmB} 。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其中，在步骤 S101 中，岩芯的长度至少为 8cm，直径为 2.5-5cm。

20 4、根据权利要求 2 所述的方法，其中，在步骤 S102 中，将每一块岩芯切分为两小块时，两小块中的每一块岩芯的长度至少为 4cm，直径为 2.5-5cm。

5、根据权利要求 2-4 任一项所述的方法，其中，在步骤 S2 中，在不同的压力下，测量所述水平岩芯的动态弹性参数包括以下步骤：

25 步骤 S201，基于目的地层的压力，从小到大依次设置 m 个压力值，分别记为 P_1 ， P_2 ， P_3 ， $\dots$ ， P_m ；其中，压力区间 $[P_1, P_m]$ 包含了整个目的地层的压力；

步骤 S202，在压力为 P_1 下，对获得的水平岩芯 D_{11A} ， D_{21A} ， D_{31A} ， $\dots$ ， D_{n1A} 进行测量，计算它们的动态弹性参数，分别记为 Ed_{11} ， Ed_{21} ， Ed_{31} ， $\dots$ ， Ed_{n1} ；

按照上述操作，在压力为 P_m 下，对获得的水平岩芯 D_{1mA} ， D_{2mA} ， D_{3mA} ， $\dots$ ， D_{nmA} 进行测量，并计算它们的动态弹性参数，分别记为 Ed_{1m} ， Ed_{2m} ， Ed_{3m} ， $\dots$ ， Ed_{nm} 。

30 6、根据权利要求 5 所述的方法，其中，在步骤 S202 中，所述测量的项目包括密度、纵波速度和横波速度。

7、根据权利要求 2-4 和 6 任一项所述的方法，其中，在步骤 S3 中，在不同的压力下，测量所述水平岩芯的静态弹性参数包括以下步骤：

步骤 S301，基于目的地层的压力，从小到大依次设置 m 个压力值，分别记为 P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_m ；其中，压力区间 $[P_1, P_m]$ 包含了整个目的地层的压力；

5 步骤 S302，在压力为 P_1 下，对获得的水平岩芯 D_{11B} , D_{21B} , D_{31B} , ..., D_{n1B} 进行测量，计算它们的静态弹性参数，分别记为 Es_{11} , Es_{21} , Es_{31} , ..., Es_{n1} ；

按照上述操作，在压力为 P_m 下，对获得的水平岩芯 D_{1mB} , D_{2mB} , D_{3mB} , ..., D_{nmB} 进行测量，并计算它们的静态弹性参数，分别记为 Es_{1m} , Es_{2m} , Es_{3m} , ..., Es_{nm} 。

8、根据权利要求 5 所述的方法，其中，在步骤 S3 中，在不同的压力下，测量所述
10 水平岩芯的静态弹性参数包括以下步骤：

步骤 S301，基于目的地层的压力，从小到大依次设置 m 个压力值，分别记为 P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_m ；其中，压力区间 $[P_1, P_m]$ 包含了整个目的地层的压力；

步骤 S302，在压力为 P_1 下，对获得的水平岩芯 D_{11B} , D_{21B} , D_{31B} , ..., D_{n1B} 进行测量，计算它们的静态弹性参数，分别记为 Es_{11} , Es_{21} , Es_{31} , ..., Es_{n1} ；

15 按照上述操作，在压力为 P_m 下，对获得的水平岩芯 D_{1mB} , D_{2mB} , D_{3mB} , ..., D_{nmB} 进行测量，并计算它们的静态弹性参数，分别记为 Es_{1m} , Es_{2m} , Es_{3m} , ..., Es_{nm} 。

9、根据权利要求 2-4、6 和 8 任一项所述的方法，其中，在步骤 S302 中，所述测量的项目包括应力和应变。

10、根据权利要求 5 所述的方法，其中，在步骤 S302 中，所述测量的项目包括应
20 力和应变。

11、根据权利要求 7 所述的方法，其中，在步骤 S302 中，所述测量的项目包括应力和应变。

12、根据权利要求 2-4、6、8、10 和 11 任一项所述的方法，其中，在步骤 S4 中，测量所述水平岩芯的粘土含量包括以下步骤：

25 步骤 S401，对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{11B} , D_{12B} , D_{13B} , ..., D_{1mB} 进行 X 衍射测量，获得地层深度 D_1 处的粘土含量 V_{cl1} ；

步骤 S402，按照步骤 S401 的操作，对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{n1B} , D_{n2B} , D_{n3B} , ..., D_{nmB} 进行 X 衍射测量，获得地层深度 D_n 处的粘土含量 V_{cln} 。

13、根据权利要求 5 所述的方法，其中，在步骤 S4 中，测量所述水平岩芯的粘土
30 含量包括以下步骤：

步骤 S401，对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{11B} , D_{12B} , D_{13B} , ..., D_{1mB} 进行 X

衍射测量, 获得地层深度 D1 处的粘土含量 Vcl1;

步骤 S402, 按照步骤 S401 的操作, 对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{n1B} , D_{n2B} , D_{n3B} , ..., D_{nmB} 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 Dn 处的粘土含量 Vcln。

14、根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 在步骤 S4 中, 测量所述水平岩芯的粘土含量包括以下步骤:

步骤 S401, 对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{11B} , D_{12B} , D_{13B} , ..., D_{1mB} 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 D1 处的粘土含量 Vcl1;

步骤 S402, 按照步骤 S401 的操作, 对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{n1B} , D_{n2B} , D_{n3B} , ..., D_{nmB} 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 Dn 处的粘土含量 Vcln。

15 15、根据权利要求 9 所述的方法, 其中, 在步骤 S4 中, 测量所述水平岩芯的粘土含量包括以下步骤:

步骤 S401, 对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{11B} , D_{12B} , D_{13B} , ..., D_{1mB} 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 D1 处的粘土含量 Vcl1;

15 步骤 S402, 按照步骤 S401 的操作, 对测量过静态弹性参数的水平岩芯 D_{n1B} , D_{n2B} , D_{n3B} , ..., D_{nmB} 进行 X 衍射测量, 获得地层深度 Dn 处的粘土含量 Vcln。

16、根据权利要求 2-4、6、8、10-11 和 13-15 中任一项所述的方法, 其中, 在步骤 S5 中, 所述建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式包括以下步骤:

20 步骤 S501, 计算地层深度 D1 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$, $\frac{E_{d12}}{E_{s12}}$, $\frac{E_{d13}}{E_{s13}}$, ..., $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$; 构建地层深度为 D1 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

按照上述操作, 计算地层深度 Dn 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$, $\frac{E_{dn2}}{E_{sn2}}$, $\frac{E_{dn3}}{E_{sn3}}$, ..., $\frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 构建地层深度为 Dn 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

25 步骤 S502, 压力值为 P1 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$, $\frac{E_{d21}}{E_{s21}}$, $\frac{E_{d31}}{E_{s31}}$, ..., $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值为 P1 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

30 按照上述操作, 压力值为 Pm 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$, $\frac{E_{d2m}}{E_{s2m}}$, $\frac{E_{d3m}}{E_{s3m}}$, ..., $\frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 根据获

得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值为 Pm 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

步骤 S503, 根据步骤 S501 和步骤 S502 获得的关系, 建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式 $\frac{E_d}{E_s} = f(P, Vcl)$ 。

5 17、根据权利要求 5 所述的方法, 其中, 在步骤 S5 中, 所述建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式包括以下步骤:

步骤 S501, 计算地层深度 D1 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}, \frac{E_{d12}}{E_{s12}}, \frac{E_{d13}}{E_{s13}}, \dots, \frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$; 构建地层深度为 D1 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

10 按照上述操作, 计算地层深度 Dn 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}, \frac{E_{dn2}}{E_{sn2}}, \frac{E_{dn3}}{E_{sn3}}, \dots, \frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 构建地层深度为 Dn 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

步骤 S502, 压力值为 P1 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}, \frac{E_{d21}}{E_{s21}}, \frac{E_{d31}}{E_{s31}}, \dots, \frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$; 根据获得的 D1-Dn

15 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值为 P1 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

按照上述操作, 压力值为 Pm 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}, \frac{E_{d2m}}{E_{s2m}}, \frac{E_{d3m}}{E_{s3m}}, \dots, \frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值

20 为 Pm 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

步骤 S503, 根据步骤 S501 和步骤 S502 获得的关系, 建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式 $\frac{E_d}{E_s} = f(P, Vcl)$ 。

18、根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 在步骤 S5 中, 所述建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式包括以下步骤:

25 步骤 S501, 计算地层深度 D1 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}, \frac{E_{d12}}{E_{s12}}, \frac{E_{d13}}{E_{s13}}, \dots, \frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$; 构建地层深度为 D1 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

按照上述操作, 计算地层深度 Dn 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}, \frac{E_{dn2}}{E_{sn2}}, \frac{E_{dn3}}{E_{sn3}}, \dots, \frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 构建地层深度

为 Dn 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

步骤 S502, 压力值为 P1 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}, \frac{E_{d21}}{E_{s21}}, \frac{E_{d31}}{E_{s31}}, \dots, \frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值为 P1 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

按照上述操作, 压力值为 Pm 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}, \frac{E_{d2m}}{E_{s2m}}, \frac{E_{d3m}}{E_{s3m}}, \dots, \frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值为 Pm 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

步骤 S503, 根据步骤 S501 和步骤 S502 获得的关系, 建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式 $\frac{E_d}{E_s} = f(P, Vcl)$ 。

19、根据权利要求 9 所述的方法, 其中, 在步骤 S5 中, 所述建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式包括以下步骤:

步骤 S501, 计算地层深度 D1 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}, \frac{E_{d12}}{E_{s12}}, \frac{E_{d13}}{E_{s13}}, \dots, \frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$; 构建地层深度为 D1 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

按照上述操作, 计算地层深度 Dn 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}, \frac{E_{dn2}}{E_{sn2}}, \frac{E_{dn3}}{E_{sn3}}, \dots, \frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 构建地层深度为 Dn 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系;

步骤 S502, 压力值为 P1 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}, \frac{E_{d21}}{E_{s21}}, \frac{E_{d31}}{E_{s31}}, \dots, \frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值为 P1 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

按照上述操作, 压力值为 Pm 时, 计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值, 分别记为 $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}, \frac{E_{d2m}}{E_{s2m}}, \frac{E_{d3m}}{E_{s3m}}, \dots, \frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$; 根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1, Vcl2, Vcl3,, Vcln, 构建压力值为 Pm 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系;

步骤 S503, 根据步骤 S501 和步骤 S502 获得的关系, 建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式 $\frac{E_d}{E_s} = f(P, Vcl)$ 。

20、根据权利要求 12 所述的方法，其中，在步骤 S5 中，所述建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式包括以下步骤：

步骤 S501，计算地层深度 D1 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值，分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$ ， $\frac{E_{d12}}{E_{s12}}$ ， $\frac{E_{d13}}{E_{s13}}$ ，...， $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$ ；构建地层深度

5 为 D1 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系；

按照上述操作，计算地层深度 Dn 处的岩芯样品在 P1-Pm 中 m 个压力值下的动静态弹性参数的比值，分别记为 $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$ ， $\frac{E_{dn2}}{E_{sn2}}$ ， $\frac{E_{dn3}}{E_{sn3}}$ ，...， $\frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$ ；构建地层深度为 Dn 时的动静态弹性参数的比值与压力的关系；

10 步骤 S502，压力值为 P1 时，计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值，分别记为 $\frac{E_{d11}}{E_{s11}}$ ， $\frac{E_{d21}}{E_{s21}}$ ， $\frac{E_{d31}}{E_{s31}}$ ，...， $\frac{E_{dn1}}{E_{sn1}}$ ；根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1，Vcl2，Vcl3，...，Vcln，构建压力值为 P1 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系；

按照上述操作，压力值为 Pm 时，计算岩心样品在 D1-Dn 中 n 个地层深度下的动静态弹性参数的比值，分别记为 $\frac{E_{d1m}}{E_{s1m}}$ ， $\frac{E_{d2m}}{E_{s2m}}$ ， $\frac{E_{d3m}}{E_{s3m}}$ ，...， $\frac{E_{dnm}}{E_{snm}}$ ；根据获得的 D1-Dn 中 n 个地层深度的粘土含量 Vcl1，Vcl2，Vcl3，...，Vcln，构建压力值为 Pm 时的动静态弹性参数的比值与粘土含量的关系；

15 步骤 S503，根据步骤 S501 和步骤 S502 获得的关系，建立动静态弹性参数的比值与地层压力及粘土含量的函数关系式 $\frac{E_d}{E_s} = f(P, Vcl)$ 。

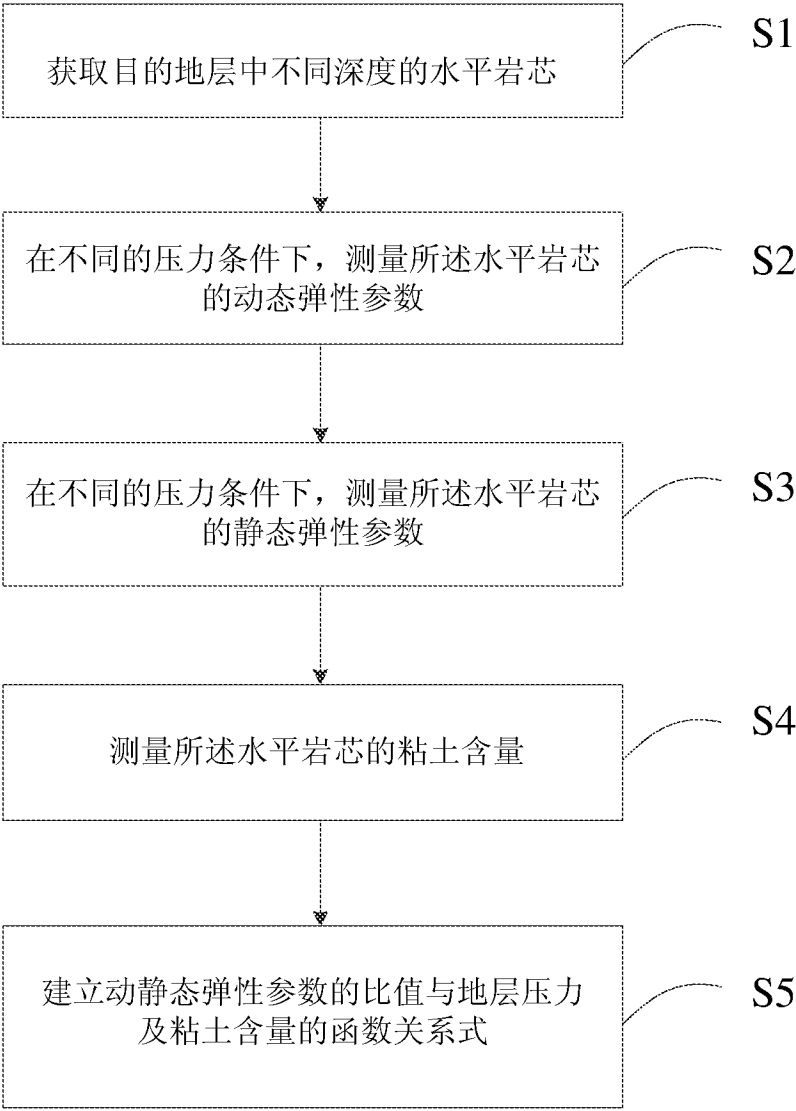


图 1

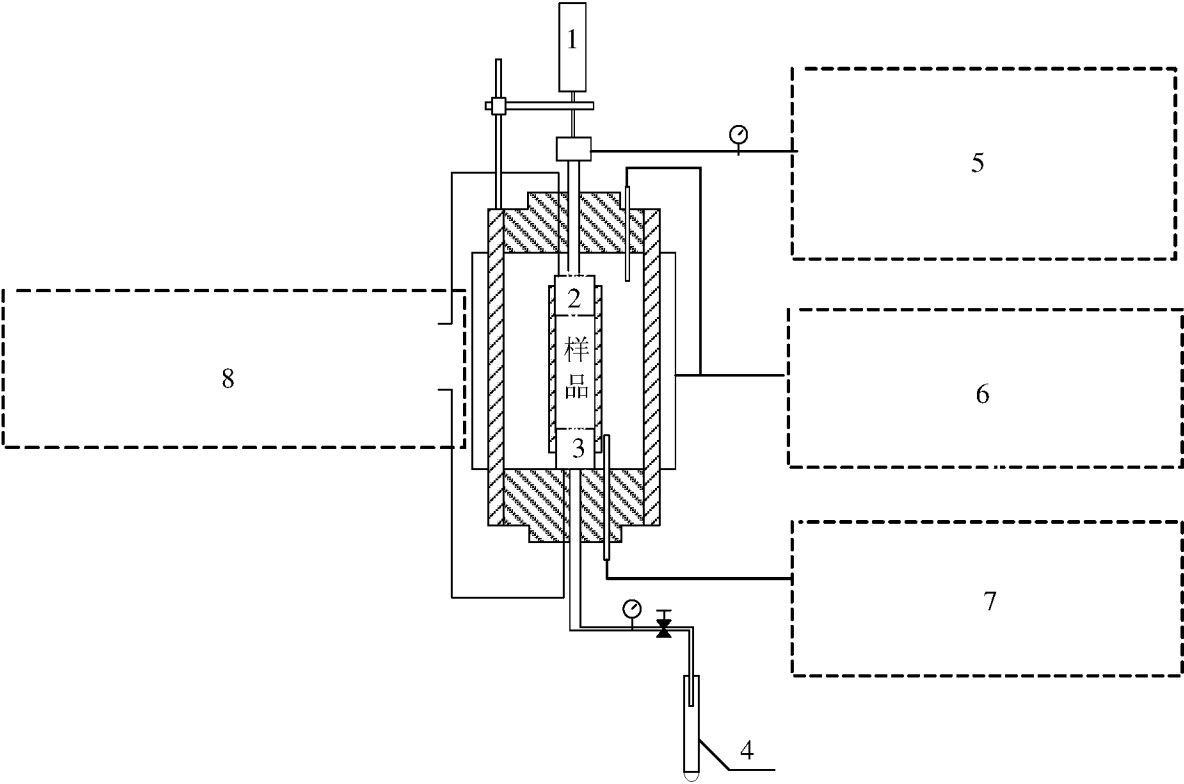


图 2

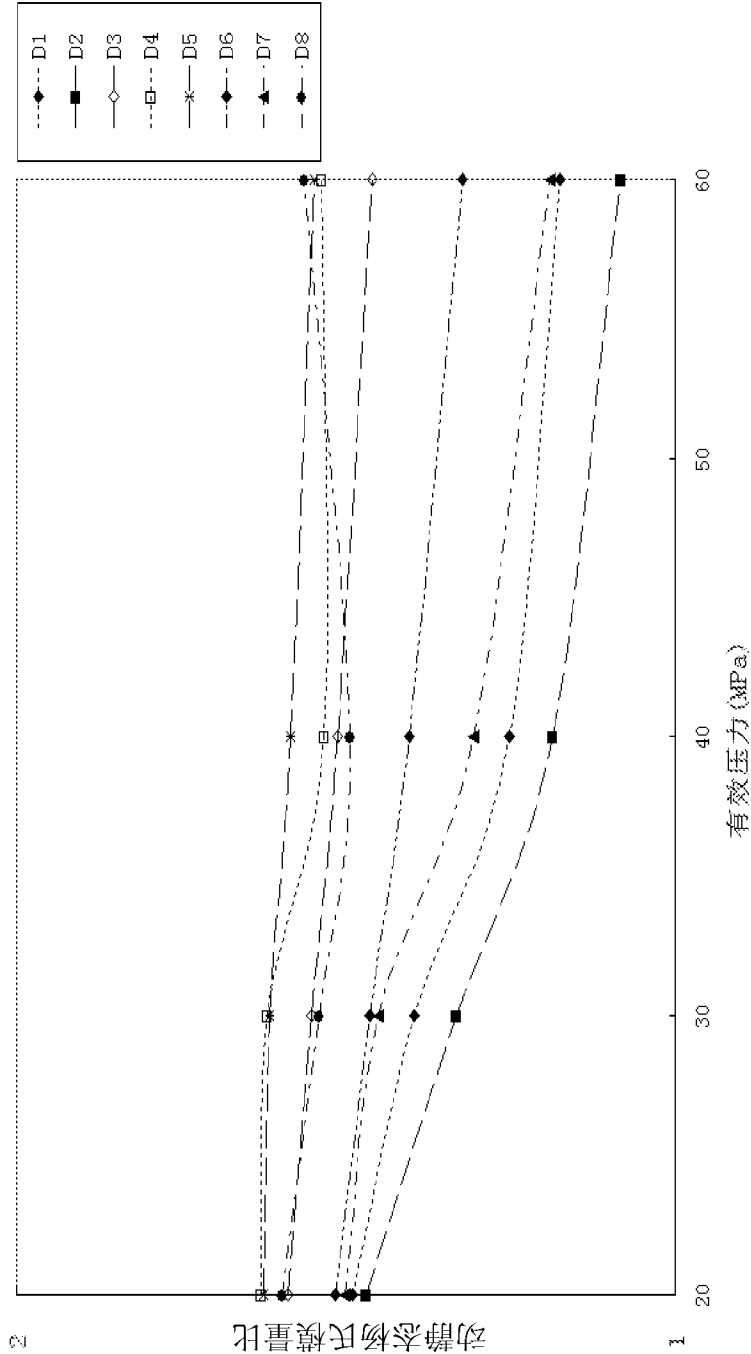


图 3

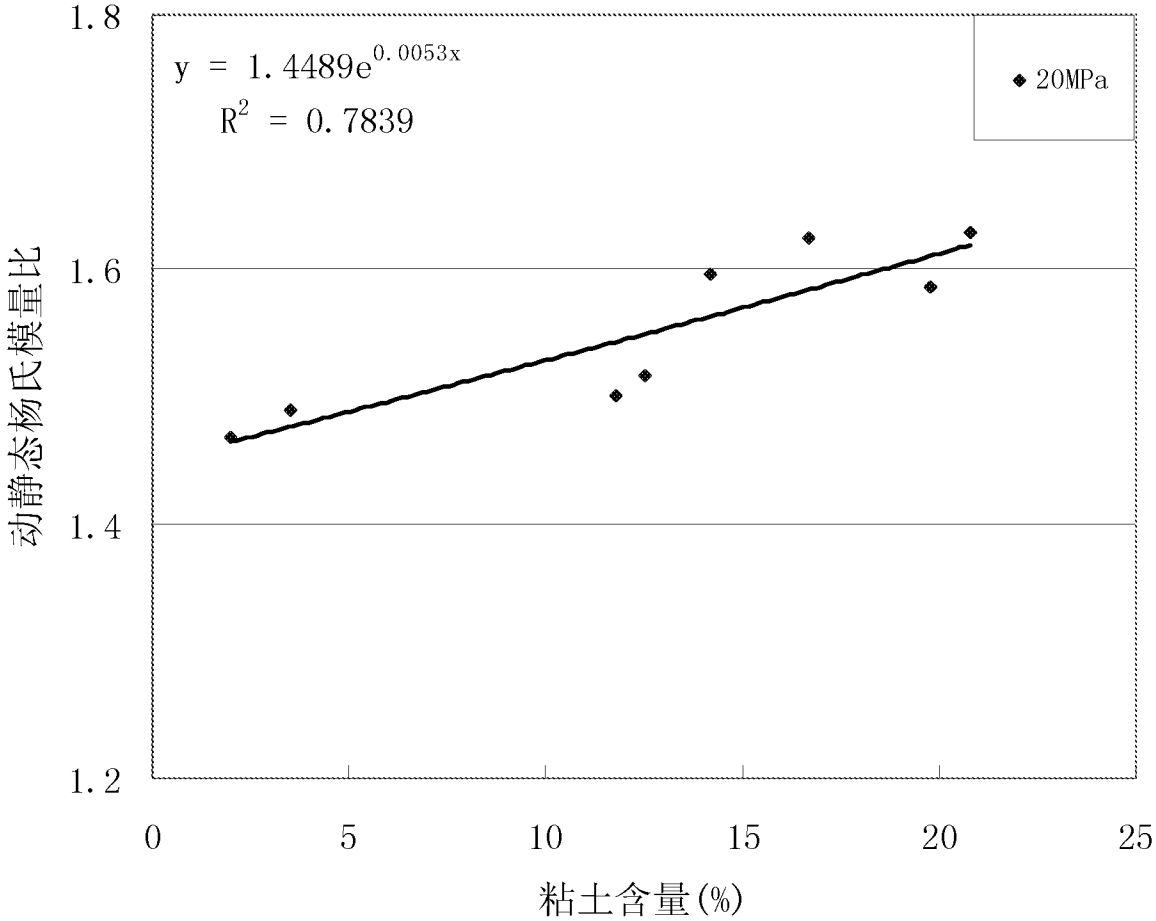


图 4

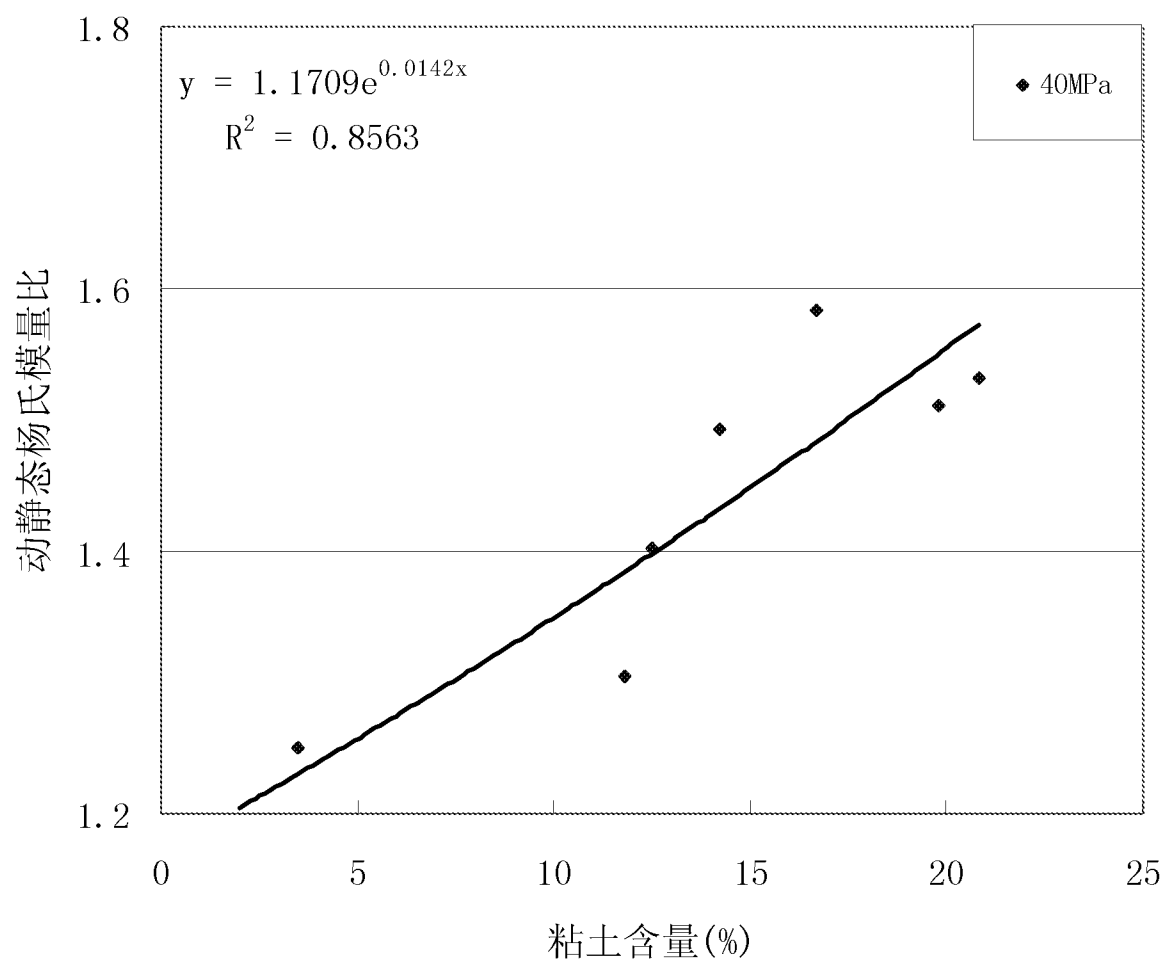
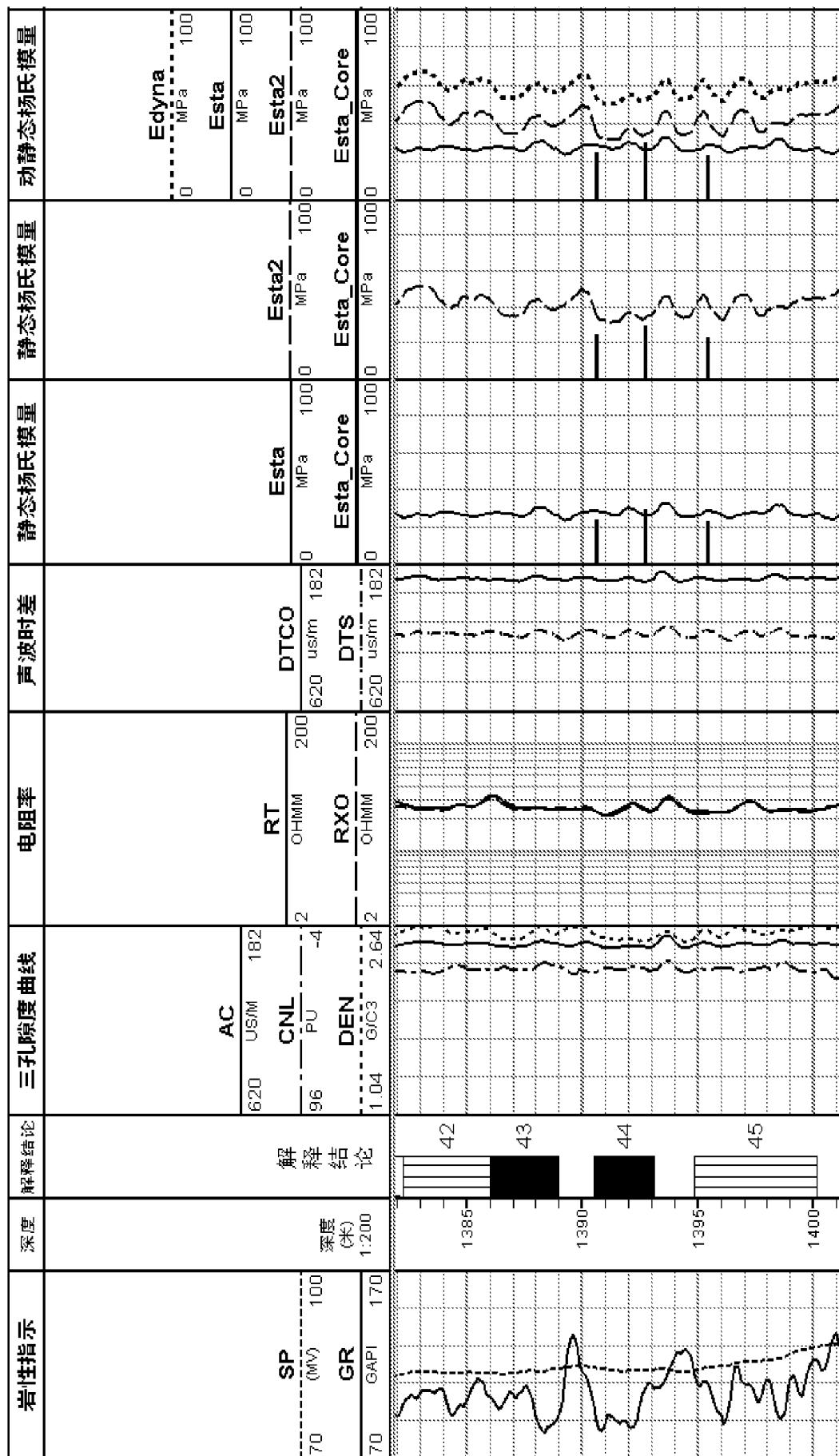


图 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/081030

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 3/40 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N 3; G01V; E21B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT; 岩芯, 动态, 静态, 弹性参数, 转换, 粘土, 含量, 比值, 压力, 密度, 纵波速度, 横波速度, 应力, 应变, X 衍射, 杨氏模量, dynamic, static, rock core, elasticity coefficient, elastic parameter, synchronous, clay, content, pressure, sound wave, speed, density, stress, strain, longitudinal wave, transversal wave, young's modulus, poisson's modulus

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105865955 A (CHENGDU CHAUNGYUAN OIL-GAS TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD.) 17 August 2016 (17.08.2016), entire document	1-20
A	CN 105370267 A (PETRO CHINA CO., LTD.) 02 March 2016 (02.03.2016), entire document	1-20
A	CN 104406849 A (PETRO CHINA CO., LTD.) 11 March 2015 (11.03.2015), entire document	1-20
A	CN 104853822 A (YANG, Shunwei) 19 August 2015 (19.08.2015), entire document	1-20
A	CN 103267678 A (PEKING UNIVERSITY) 28 August 2013 (28.08.2013), entire document	1-20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13 September 2017	Date of mailing of the international search report 21 September 2017
--	---

Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer FENG, Zhihua Telephone No. (86-10) 62085211
---	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/081030

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104267435 A (PETRO CHINA CO., LTD.) 07 January 2015 (07.01.2015), entire document	1-20
A	WO 2014205248 A3 (CONOCOPHILLIPS COMPANY) 29 October 2015 (29.10.2015), entire document	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/081030

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105865955 A	17 August 2016	None	
CN 105370267 A	02 March 2016	None	
CN 104406849 A	11 March 2015	CN 104406849 B	04 January 2017
CN 104853822 A	19 August 2015	WO 2016041189 A1	24 March 2016
CN 103267678 A	28 August 2013	CN 103267678 B	05 August 2015
CN 104267435 A	07 January 2015	CN 104267435 B	08 March 2017
WO 2014205248 A3	29 October 2015	WO 2014205248 A2	24 December 2014
		US 2014373616 A1	25 December 2014

A. 主题的分类 G01N 3/40 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G01N3; G01V; E21B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT; 岩芯, 动态, 静态, 弹性参数, 转换, 粘土, 含量, 比值, 压力, 密度, 纵波速度, 横波速度, 应力, 应变, X衍射, 杨氏模量, dynamic, static, rock core, elasticity coefficient, elastic parameter, synchronous, clay, content, pressure, sound wave, speed, density, stress, strain, longitudinal wave, transversal wave, young's modulus, poisson's modulus		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 105865955 A (成都创源油气技术开发有限公司) 2016年 8月 17日 (2016 - 08 - 17) 全文	1-20
A	CN 105370267 A (中国石油天然气股份有限公司) 2016年 3月 2日 (2016 - 03 - 02) 全文	1-20
A	CN 104406849 A (中国石油天然气股份有限公司) 2015年 3月 11日 (2015 - 03 - 11) 全文	1-20
A	CN 104853822 A (杨顺伟) 2015年 8月 19日 (2015 - 08 - 19) 全文	1-20
A	CN 103267678 A (北京大学) 2013年 8月 28日 (2013 - 08 - 28) 全文	1-20
A	CN 104267435 A (中国石油天然气股份有限公司) 2015年 1月 7日 (2015 - 01 - 07) 全文	1-20
A	WO 2014205248 A3 (CONOCOPHILLIPS CO) 2015年 10月 29日 (2015 - 10 - 29) 全文	1-20
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2017年 9月 13日		2017年 9月 21日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		冯志华 电话号码 (86-10) 01062085211

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2017/081030

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105865955	A	2016年 8月 17日	无	
CN	105370267	A	2016年 3月 2日	无	
CN	104406849	A	2015年 3月 11日	CN 104406849	B 2017年 1月 4日
CN	104853822	A	2015年 8月 19日	WO 2016041189	A1 2016年 3月 24日
CN	103267678	A	2013年 8月 28日	CN 103267678	B 2015年 8月 5日
CN	104267435	A	2015年 1月 7日	CN 104267435	B 2017年 3月 8日
WO	2014205248	A3	2015年 10月 29日	WO 2014205248	A2 2014年 12月 24日
				US 2014373616	A1 2014年 12月 25日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)