

(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
2024 年 6 月 13 日 (13.06.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/119528 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 30/20 (2020.01) **G01N 15/08** (2006.01)
G01N 23/04 (2018.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/138665
- (22) 国际申请日: 2022 年 12 月 13 日 (13.12.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211564009.6 2022年12月7日 (07.12.2022) 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: 朱 光 有 (**ZHU, Guangyou**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 陈 志 勇 (**CHEN, Zhiyong**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 曹 颖 辉 (**CAO,**

Yinghui); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 马 德 波 (**MA, Debo**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 乔 占 峰 (**QIAO, Zhanfeng**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 黄 士 鹏 (**HUANG, Shipeng**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 范 俊 佳 (**FAN, Junjia**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 陈 玮 岩 (**CHEN, Weiyan**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 倪 云 燕 (**NI, Yunyan**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 郑 剑 锋 (**ZHENG, Jianfeng**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 李 秋 芬 (**LI, Qiufen**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 李 闯 (**LI, Chuang**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 张 明 (**ZHANG, Ming**); 中国 北京市 西 城 区 六 铺 炕 街 六 号 316 室, Beijing 100724 (CN)。

(54) **Title:** ROCK CORE SAMPLE ANALYSIS METHOD AND SYSTEM, AND ELECTRONIC DEVICE AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种岩心样品分析方法、系统、电子设备及存储介质

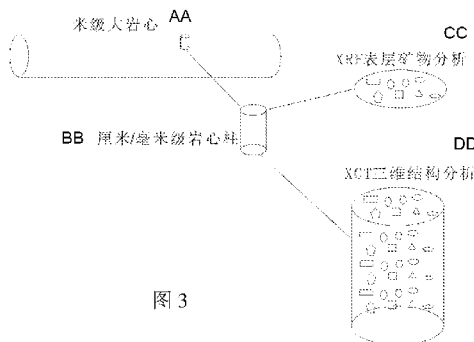


图 3

AA METER-SCALE LARGE ROCK CORE
BB CENTIMETER/MILLIMETER-SCALE ROCK
CORE COLUMN
CC XRF SURFACE LAYER MINERAL ANALYSIS
DD XCT THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE
ANALYSIS

(57) **Abstract:** Provided in the present invention are a rock core sample analysis method and system, and an electronic device and a storage medium. The method comprises: acquiring a dual-energy helical CT scanning image of a meter-scale large rock core to be analyzed, wherein the dual-energy helical CT scanning image comprises a low-energy CT scanning image and a high-energy CT scanning image; determining at least three small rock core samples from said meter-scale large rock core; acquiring a micron CT scanning image of each small rock core sample and an XRF scanning image of a surface layer feature area of the small rock core sample; determining the organic matter volume content, the porosity and the inorganic mineral volume content of each small rock core sample by using the micron CT scanning image of each small rock core sample and the XRF scanning image of the surface layer feature area of the small rock core sample; and on the basis of the dual-energy helical CT scanning image of said meter-scale large rock core combined with the organic matter volume content, the porosity and the inorganic mineral volume content of each small rock core sample, determining the organic matter volume content distribution and/or the porosity distribution and/or the inorganic mineral volume content distribution of said meter-scale large rock core.

(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,
CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,
IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

(57) 摘要: 本发明提供了一种岩心样品分析方法、系统、电子设备及存储介质。该方法包括: 获取待分析米级大岩心的双能量螺旋CT扫描图, 双能量螺旋CT扫描图包括低能量CT扫描图和高能量CT扫描图; 自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品; 获取各小岩心样品的微米CT扫描图和表层特征区域的XRF扫描图; 分别利用各小岩心样品的微米CT扫描图和表层特征区域的XRF扫描图, 确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量; 基于待分析米级大岩心双能量螺旋CT扫描图, 结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量, 确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

一种岩心样品分析方法、系统、电子设备及存储介质

技术领域

本发明涉及石油测井技术领域，特别涉及一种岩心样品分析方法、系统、电子设备
5 及存储介质。

背景技术

在油气田勘探、开发及评价过程中，通常利用测井数据确定地球物理参数。利用岩层的电化学特性、导电特性、声学特性、放射性等地球物理特性识别油层、气层、岩层、水层，并具体确定油藏储层位置、岩性、有机质丰度及成熟度等性质。测井数据仅能间
10 接地、有条件地反映岩层地质特性。为了全面认识油气田的地质面貌、准确确定和评价油气层，通常需要进行取芯作业，将取得的岩心进行制样并采用多种实验仪器利用多种方法进行岩心样品分析实现生储层的关键参数确定。

常规实验室岩心样品分析方法中，通常采用 SEM、BSE、EDS、燃烧法等进行微观矿物成分分析和有机质分析，通常采用压汞法、渗流法、驱替法等进行宏观孔隙度、渗透率分析。常规实验室岩心样品分析方法通常流程繁杂费时费工，效率低下。并且常规
15 实验室岩心样品分析方法需要破坏岩心样品，导致分析数据零散，各种性质参数无法在同一区域或同一样品上一一对应。并且常规实验室岩心样品分析方法分析尺度跨越大，造成微观与宏观分析脱节，导致结果对实际生产指导意义下降。

综上所述，如何能够实现在不破坏岩心样品的基础上高效、准确的进行岩心样品分
20 析是目前需要解决的问题之一。

发明内容

本发明的目的在于提供一种能够实现在不破坏岩心样品的基础上高效、准确的进行岩心样品分析从而实现确定油气勘探所需的关键参数的方法与装置。

为了实现上述目的，本发明提供了如下四个方面的技术方案。

25 第一方面，本发明提供了一种岩心样品分析方法，其中，该方法包括：

获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图；自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品；其中，双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图；

30 获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米 CT 扫描图；

分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小

岩心样品的有机质体积含量（即有机质体积与小岩心样品的体积比）、孔隙度（即孔隙与小岩心样品的体积比）和无机矿物体积含量（即无机矿物体积与小岩心样品的体积比）；

基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

第二方面，本发明提供了一种岩心样品分析系统，其中，该系统包括：

大岩心数据获取模块：用于获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图；自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品；其中，双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图；

小岩心数据获取模块：用于获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米 CT 扫描图；

小岩心参数确定模块：用于分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质体积含量（即有机质体积与小岩心样品的体积比）、孔隙度（即孔隙与小岩心样品的体积比）和无机矿物体积含量（即无机矿物体积与小岩心样品的体积比）；

大岩心参数确定模块：用于基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

第三方面，本发明提供了一种电子设备，包括处理器、存储器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，处理器执行程序时实现岩心样品分析方法的步骤。

第四方面，本发明提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现岩心样品分析方法的步骤。

本发明提供的技术方案能够在勘探现场实地获取岩心的基础上，在不破坏地层标准米级大岩心的基础上，确定米级大岩心的有机质体积含量分布、孔隙度分布、无机矿物体积含量分布等参数，大幅提高油气储层评价描述的精度，为勘探开采提供参考依据。本发明提供的技术方案加速了现场取心后岩心的分析速度，提高了分析效率，并在不破坏岩心的基础上大幅提高分析精度。

附图说明

图 1 为密度曲线图。

图 2 为相对原子序数曲线图。

图 3 为本发明的无机矿物分析演示示意图。

图 4 为微米 CT 提取有机质的示意图（青色为有机质）。

图 5 为本发明实施例的数字岩心技术计算的微米 CT 岩心连通孔隙三维结构图和孔隙分布计算。

5 具体实施方式

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的描述。显然，所描述的实施例是本发明的一部分实施例，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它实施例，都属于本发明的保护范围。

本发明一具体实施方式提供了一种岩心样品分析方法，其中，该方法包括：

步骤 S1：获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图；自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品；其中，双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图；

步骤 S2：获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米 CT 扫描图；

步骤 S3：分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质体积含量（即有机质体积与小岩心样品的体积比）、孔隙度（即孔隙与小岩心样品的体积比）和无机矿物体积含量（即无机矿物体积与小岩心样品的体积比）；

步骤 S4：基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

在上述岩心样品分析方法中，认为岩心样品由有机质、孔隙和无机矿物组成，即对于某岩心样品而言，有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量的和为 1。

一实施例中，小岩心样品为厘米级或者毫米级。

一实施例中，小岩心样品的 XRF 扫描图为通过微束 X 射线荧光分析扫描得到图。

一实施例中，小岩心样品的微米 CT 扫描图为通过微米 X 射线显微镜双能量扫描得到的图。

一实施例中，待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图为通过双能量螺旋 CT 加标样扫描得到的图。

一实施例中，步骤 S3，分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量包括：

步骤 S31：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，分别确定各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布；

5 步骤 S32：基于各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布，分别确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量；

进一步地，步骤 S31 中，各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布通过下述方式进行确定：

10 步骤 S311：基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物；

步骤 S312：基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征、孔隙的微米 CT 扫描图特征和无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取，实现小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布确定；

15 举例而言，步骤 S312 中，可以基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图灰度、孔隙的微米 CT 扫描图灰度和无机矿物的微米 CT 扫描图灰度，进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取，实现小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布确定；

20 举例而言，步骤 S311 中，基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图初步确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物，然后利用小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图对初步确定的小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物进行组分认定，进而对小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物进行校正，从而准确确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物。

25 一实施例中，步骤 S4，基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布包括：

30 步骤 S41：基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值；其中，第一 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 表征值，第二 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 表征值；

步骤 S42：基于各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，结

合待分析米级大岩心中与各小岩心样品对应的各层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，分别确定单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力；

步骤 S43：基于待分析米级大岩心每层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，结合单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力，确定待分析米级大岩心每层的有机质体积含量和/或孔隙度和/或无机矿物体积含量，从而实现待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布确定；

进一步地，步骤 S42 中，单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力分别满足：

$$CT_x = X_1 \cdot V_1 + X_2 \cdot V_2 + X_3 \cdot V_3$$

$$CT_Y = Y_1 \cdot V_1 + Y_2 \cdot V_2 + Y_3 \cdot V_3$$

式中， CT_x 为第一 CT 表征值； X_1 为单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力； V_1 为有机质体积含量； X_2 为单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力； V_2 为孔隙度； X_3 为单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力； V_3 为无机矿物体积含量； CT_Y 为第二 CT 表征值； Y_1 为单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力； Y_2 为单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力； Y_3 为单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力；

进一步地，所述第一 CT 表征值为能够表征相对原子序数，第二 CT 表征值能够表征平均密度；例如，所述第一 CT 表征值为灰度值，第二 CT 表征值为灰度值；例如，所述第一 CT 表征值为相对原子序数，第二 CT 表征值为平均密度。

一实施例中，该方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，分别确定各小岩心样品的有机碳含量；

进一步地，各小岩心样品的有机碳含量通过下述方式进行确定：

基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图, 确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质;

基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征, 进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取, 进而结合小岩心样品的体积确定小岩心样品中有机质的体积;

利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图, 判断有机质的密度;

基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图, 确定有机质的碳元素质量含量;

利用有机质的体积、密度和碳元素质量含量, 结合小岩心样品的质量, 确定小岩心样品的有机碳含量 TOC;

更进一步地, 有机碳含量 TOC 通过下述公式确定得到:

$$TOC = m_C \div m_2$$

$$m_O = \rho_O \times V_O$$

$$m_C = m_O \times W_{OC}$$

式中, TOC 为有机碳含量; m_C 为总有机碳质量; m_O 为有机质总质量; m_2 为待分析岩心样品的质量; ρ_O 为有机质的密度; V_O 为有机质的体积; W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量;

其中, 利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图, 判断有机质的密度, 利用常规方式进行即可; 例如, 利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图的平均灰度结合标样的微米 CT 扫描图的灰度, 确定有机质的密度。

一实施例中, 该方法进一步包括: 利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图, 结合待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图和待分析米级大岩心的有机质体积含量分布, 确定待分析米级大岩心的有机质碳含量分布;

进一步地, 利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图, 结合待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图和待分析米级大岩心的有机质体积含量分布, 确定待分析米级大岩心的有机质碳含量分布包括:

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图, 确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质;

利用各小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图, 确定有机质的密度;

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图, 确定有机质的碳元素质量含量;

利用待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的平均密度；

利用有机质的密度和碳元素质量含量，结合待分析米级大岩心每层的平均密度和有机质体积含量，确定待分析米级大岩心每层的有机碳含量；

5 更进一步地，待分析米级大岩心每层的有机碳含量通过下述公式确定得到：

$$TOC_i = \rho_o \cdot V_{li} \cdot W_{oc} \div \rho_i$$

式中， TOC_i 为待分析米级大岩心第 i 层的有机碳含量； ρ_o 为有机质的密度； ρ_i 为待分析米级大岩心第 i 层的平均密度； V_{li} 为待分析米级大岩心第 i 层的有机质体积含量； W_{oc} 为有机质的碳元素质量含量；

10 其中，利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图，判断有机质的密度，利用常规方式进行即可；例如，利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图的平均灰度结合标样的微米 CT 扫描图的灰度，确定有机质的密度；

其中，利用待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的平均密度，利用常规方式进行即可；例如，利用待分析米级大岩心每层的双能量螺旋
15 CT 扫描图中高能量 CT 扫描图的平均灰度结合标样的 CT 扫描图的灰度，确定待分析米级大岩心每层的平均密度。

一实施例中，该方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定有机质类型；

进一步地，有机质类型通过下述方式进行确定：

20 基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量和氧元素质量含量；

25 基于有机质的碳元素质量含量和氧元素质量含量，确定有机质的氧、碳原子数之比；
利用有机质的氧、碳原子数之比确定有机质类型；

其中，有机质的氧、碳原子数之比可以通过下述公式确定：

$$R_{oc} = \frac{W_{oo} \cdot 12}{W_{oc} \cdot 16}$$

式中， R_{oc} 为有机质的氧、碳原子数之比； W_{oo} 为有机质的氧元素质量含量； W_{oc} 为有机质的碳元素质量含量；

30 其中，通常情况下，有机质类型为 I 型干酪根时的氧、碳原子数之比 < 有机质类型

为 II 型干酪根时的氧、碳原子数之比 < 有机质类型为 III 型干酪根时的氧、碳原子数之比；

进一步地，有机质类型通过下述方式进行确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量和氢元素质量含量；

基于有机质的碳元素质量含量和氢元素质量含量，确定有机质的氢、碳原子数之比；

利用有机质的氢、碳原子数之比确定有机质类型；

其中，有机质的氢、碳原子数之比可以通过下述公式确定：

$$R_{OH} = \frac{W_{OH}}{W_{OC} \cdot 16}$$

式中， R_{OC} 为有机质的氢、碳原子数之比； W_{OH} 为有机质的氢元素质量含量； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量；

其中，通常情况下有机质类型为 I 型干酪根时的氢、碳原子数之比 > 有机质类型为 II 型干酪根时的氢、碳原子数之比 > 有机质类型为 III 型干酪根时的氢、碳原子数之比。

一实施例中，该方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定有机质成熟度；

进一步地，有机质成熟度通过下述方式进行确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的元素组成和各元素的含量；

基于有机质的元素组成和各元素的含量，确定有机质的平均原子序数；

基于有机质的平均原子序数，确定有机质的镜质体反射率；

进一步地，有机质的平均原子序数通过下述公式确定：

$$Z_0 = \left[\sum_{i=1}^N (f_i \cdot Z_i \cdot n_i) \right]^{\frac{1}{A}}$$

式中， Z_0 为有机质的平均原子序数； f_i 是有机质的第 i 个组成元素在有机质中贡献能力的电子数比例； Z_i 为有机质的第 i 个组成元素的原子序数； n_i 为有机质的第 i 个组成元素的原子个数； N 为有机质的组成元素的总个数； A 为系数，通常取值 3.2；

进一步地，基于有机质的平均原子序数，确定有机质的镜质体反射率包括：

获取有机质的镜质体反射率与平均原子序数的关系式；举例而言，可以利用标样的镜质体反射率与平均原子序数进行拟合确定有机质的镜质体反射率与平均原子序数的关系式；

- 5 基于有机质的平均原子序数，利用有机质镜质体反射率与平均原子序数的关系式，确定有机质的镜质体反射率；

进一步地，该方法还包括：

根据有机质成熟度判断是否为烃源岩。

- 一实施例中，该方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征
10 区域的 XRF 扫描图，确定无机矿物组成；

进一步地，无机矿物组成通过下述方式进行确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物；

- 基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的 XRF 扫描图，确定各类无
15 机矿物的元素组成和各元素含量；基于各类无机矿物的元素组成和各元素含量，确定各类无机矿物的矿物种类；

基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中各类无机矿物的提取，进而确定各类无机矿物在无机矿物中的占比；

- 20 由此实现无机矿物组成确定（确定了无机矿物的矿物种类以及各类无机矿物的占比）。

一实施例中，该方法还包括：

基于各小岩心样品的微米 CT 扫描图，确定各小岩心样品的孔隙尺寸、孔隙分布特征和有效孔隙度（连通孔隙体积与岩心体积的比值）。

- 25 本发明实施例还提供了一种岩心样品分析系统的具体实施方式，该系统用于实现上述的岩心样品分析方法实施例。该系统包括：

大岩心数据获取模块 21：用于获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图；自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品；其中，双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图；

- 30 小岩心数据获取模块 22：用于获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米 CT 扫描图；

小岩心参数确定模块 23: 用于分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图, 确定各小岩心样品的有机质体积含量 (即有机质体积与小岩心样品的体积比)、孔隙度 (即孔隙与小岩心样品的体积比) 和无机矿物体积含量 (即无机矿物体积与小岩心样品的体积比);

- 5 大岩心参数确定模块 24: 用于基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图, 结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量, 确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

一实施例中, 小岩心样品为厘米级或者毫米级。

一实施例中, 小岩心样品的 XRF 扫描图为通过微束 X 射线荧光分析扫描得到图。

- 10 一实施例中, 小岩心样品的微米 CT 扫描图为通过微米 X 射线显微镜双能量扫描得到的图。

一实施例中, 待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图为通过双能量螺旋 CT 加标样扫描得到的图。

一实施例中, 小岩心参数确定模块 23 包括:

- 15 第一确定子模块 231: 用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图, 分别确定各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布;

第二确定子模块 232: 用于基于各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布, 分别确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量;

进一步地, 第一确定子模块 231 包括:

- 20 表层特征区域提取单元 2311: 用于基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图, 确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物;

分布确定单元 2312: 用于基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征、孔隙的微米 CT 扫描图特征和无机矿物的微米 CT 扫描图特征, 进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取, 实现小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布确定。

- 25 一实施例中, 大岩心参数确定模块 24 包括:

CT 表征值确定子模块 241: 用于基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图, 确定待分析米级大岩心每层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值; 其中, 第一 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 表征值, 第二 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 表征值;

- 30 贡献能力确定子模块 242: 用于基于各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无

机矿物体积含量，结合待分析米级大岩心中与各小岩心样品对应的各层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，分别确定单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力；

大岩心参数确定子模块 243：用于基于待分析米级大岩心每层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，结合单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力，确定待分析米级大岩心每层的有机质体积含量和/或孔隙度和/或无机矿物体积含量，从而实现待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布确定。

进一步地，单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力分别满足：

$$CT_x = X_1 \cdot V_1 + X_2 \cdot V_2 + X_3 \cdot V_3$$

$$CT_y = Y_1 \cdot V_1 + Y_2 \cdot V_2 + Y_3 \cdot V_3$$

式中， CT_x 为第一 CT 表征值； X_1 为单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力； V_1 为有机质体积含量； X_2 为单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力； V_2 为孔隙度； X_3 为单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力； V_3 为无机矿物体积含量； CT_y 为第二 CT 表征值； Y_1 为单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力； Y_2 为单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力； Y_3 为单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力；

进一步地，所述第一 CT 表征值为能够表征相对原子序数，第二 CT 表征值能够表征平均密度；例如，所述第一 CT 表征值为灰度值，第二 CT 表征值为灰度值；例如，所述第一 CT 表征值为相对原子序数，第二 CT 表征值为平均密度。

一实施例中，该系统进一步包括：

小岩心有机碳含量确定模块 25：用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，分别确定各小岩心样品的有机碳含量；

进一步地，小岩心有机碳含量确定模块 25 具体用于通过下述方式确定各小岩心样品的有机碳含量：

基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

- 5 基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征，进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取，进而结合小岩心样品的体积确定小岩心样品中有机质的体积；

利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图，判断有机质的密度；

- 10 基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量；

利用有机质的体积、密度和碳元素质量含量，结合小岩心样品的质量，确定小岩心样品的有机碳含量 TOC；

更进一步地，有机碳含量 TOC 通过下述公式确定得到：

$$\begin{aligned} \text{TOC} &= m_c \div m_2 \\ m_0 &= \rho_0 \times V_0 \\ m_c &= m_0 \times W_{oc} \end{aligned}$$

15

式中，TOC 为有机碳含量； m_c 为总有机碳质量； m_0 为有机质总质量； m_2 为待分析岩心样品的质量； ρ_0 为有机质的密度； V_0 为有机质的体积； W_{oc} 为有机质的碳元素质量含量。

- 20 一实施例中，该系统进一步包括：

有机碳含量分布确定模块 26：用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，结合待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图和待分析米级大岩心的有机质体积含量分布，确定待分析米级大岩心的有机质碳含量分布；

- 25 进一步地，有机碳含量分布确定模块 26 用于通过下述方式进行待分析米级大岩心的有机质碳含量分布确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

利用各小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图，确定有机质的密度；

- 30 基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量；

利用待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的平均

密度；

利用有机质的密度和碳元素质量含量，结合待分析米级大岩心每层的平均密度和有机质体积含量，确定待分析米级大岩心每层的有机碳含量；

更进一步地，待分析米级大岩心每层的有机碳含量通过下述公式确定得到：

5
$$\text{TOC}_i = \rho_0 \cdot V_{1i} \cdot W_{\text{OC}} \div \rho_i$$

式中， TOC_i 为待分析米级大岩心第 i 层的有机碳含量； ρ_0 为有机质的密度； ρ_i 为待分析米级大岩心第 i 层的平均密度； V_{1i} 为待分析米级大岩心第 i 层的有机质体积含量； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量；

一实施例中，该系统进一步包括：

10 有机质类型确定模块 27：用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定有机质类型；

进一步地，有机质类型确定模块 27 用于通过下述方式进行有机质类型确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

15 基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量和氧元素质量含量；

基于有机质的碳元素质量含量和氧元素质量含量，确定有机质的氧、碳原子数之比；

利用有机质的氧、碳原子数之比确定有机质类型；

其中，有机质的氧、碳原子数之比可以通过下述公式确定：

20
$$R_{\text{OC}} = \frac{W_{\text{OO}} \cdot 12}{W_{\text{OC}} \cdot 16}$$

式中， R_{OC} 为有机质的氧、碳原子数之比； W_{OO} 为有机质的氧元素质量含量； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量；

其中，通常情况下，有机质类型为 I 型干酪根时的氧、碳原子数之比 < 有机质类型为 II 型干酪根时的氧、碳原子数之比 < 有机质类型为 III 型干酪根时的氧、碳原子数之比；

进一步地，有机质类型确定模块 27 用于通过下述方式进行有机质类型确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量和氢元素质量含量；

30

基于有机质的碳元素质量含量和氢元素质量含量，确定有机质的氢、碳原子数之比；
利用有机质的氢、碳原子数之比确定有机质类型；

其中，有机质的氢、碳原子数之比可以通过下述公式确定：

$$R_{OH} = \frac{W_{OH}}{W_{OC} \cdot 16}$$

- 5 式中， R_{OC} 为有机质的氢、碳原子数之比； W_{OH} 为有机质的氢元素质量含量； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量；

其中，通常情况下有机质类型为 I 型干酪根时的氢、碳原子数之比有机质类型为 II 型干酪根时的氢、碳原子数之比 > 有机质类型为 III 型干酪根时的氢、碳原子数之比。

一实施例中，该系统进一步包括：

- 10 有机质成熟度确定模块 28：用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定有机质成熟度；

进一步地，有机质成熟度确定模块 28 用于通过下述方式进行有机质成熟度确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

- 15 基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的元素组成和各元素的含量；

基于有机质的元素组成和各元素的含量，确定有机质的平均原子序数；

基于有机质的平均原子序数，确定有机质的镜质体反射率；

进一步地，有机质的平均原子序数通过下述公式确定：

20
$$Z_0 = \left[\sum_{i=1}^N (f_i \cdot Z_i \cdot n_i) \right]^{\frac{1}{A}}$$

式中， Z_0 为有机质的平均原子序数； f_i 是有机质的第 i 个组成元素在有机质中贡献能力的电子数比例； Z_i 为有机质的第 i 个组成元素的原子序数； n_i 为有机质的第 i 个组成元素的原子个数； N 为有机质的组成元素的总个数； A 为系数，通常取值 3.2；

- 25 进一步地，有机质成熟度确定模块 28 用于通过下述方式进行有机质的平均原子序数确定：

获取有机质的镜质体反射率与平均原子序数的关系式；举例而言，可以利用标样的镜质体反射率与平均原子序数进行拟合确定有机质的镜质体反射率与平均原子序数的关系式；

基于有机质的平均原子序数，利用有机质镜质体反射率与平均原子序数的关系式，

确定有机质的镜质体反射率；

进一步地，该系统进一步包括：

烃源岩确定模块 29：用于根据有机质成熟度判断是否为烃源岩。

一实施例中，该系统进一步包括：

- 5 无机矿物组成确定模块 30：用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定无机矿物组成；

进一步地，无机矿物组成确定模块 30 用于通过下述方式进行无机矿物组成确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物；

- 10 基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的 XRF 扫描图，确定各类无机矿物的元素组成和各元素含量；基于各类无机矿物的元素组成和各元素含量，确定各类无机矿物的矿物种类；

- 15 基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中各类无机矿物的提取，进而确定各类无机矿物在无机矿物中的占比；

由此实现无机矿物组成确定（确定了无机矿物的矿物种类以及各类无机矿物的占比）。

一实施例中，该系统进一步包括：

- 20 孔隙参数确定模块 31：用于各小岩心样品的微米 CT 扫描图，确定各小岩心样品的孔隙尺寸、孔隙分布特征和有效孔隙度（连通孔隙体积与岩心体积的比值）。

本发明的实施例还提供能够实现上述实施例中的岩心样品分析方法中全部步骤的一种电子设备的具体实施方式，电子设备具体包括如下内容：

处理器、存储器、通信接口和总线；

- 25 其中，处理器、存储器、通信接口通过总线完成相互间的通信；通信接口用于实现服务器端设备以及客户端设备等相关设备之间的信息传输；处理器用于调用存储器中的计算机程序，处理器执行计算机程序时实现上述实施例中的岩心样品分析方法中的全部步骤，例如，处理器执行计算机程序时实现下述步骤：

- 30 步骤 S1：获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图；自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品；其中，双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图；

步骤 S2：获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米

CT 扫描图；

步骤 S3：分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质体积含量（即有机质体积与小岩心样品的体积比）、孔隙度（即孔隙与小岩心样品的体积比）和无机矿物体积含量（即无机矿物体积与小岩心样品的体积比）；

步骤 S4：基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

本发明的实施例还提供能够实现上述实施例中的岩心样品分析方法中全部步骤的一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述实施例中的岩心样品分析方法的全部步骤，例如，处理器执行计算机程序时实现下述步骤：

步骤 S1：获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图；自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品；其中，双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图；

步骤 S2：获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米 CT 扫描图；

步骤 S3：分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质体积含量（即有机质体积与小岩心样品的体积比）、孔隙度（即孔隙与小岩心样品的体积比）和无机矿物体积含量（即无机矿物体积与小岩心样品的体积比）；

步骤 S4：基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

实施例 1

本实施例提供了一种岩心样品分析方法，该方法用于对生油岩米级岩心进行分析，具体包括：

A、将生油岩待分析米级大岩心进行双能量螺旋 CT 加标样扫描，得到待分析米级大岩心每层的双能量螺旋 CT 扫描图；并基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的相对原子序数和平均密度；其中，相对原子序数为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 表征值，平均密度为对应于双能量

螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 表征值（如图 1、图 2 所示）。

由于岩性、有机质含量、孔隙特征和裂缝特征的影响，待分析米级大岩心不同层的平均密度和相对原子序数会产生明显高低变化，基于待分析米级大岩心每层的平均密度和相对原子序数，确定待分析米级大岩心中的典型岩段，自典型岩段中确定多个小岩心样品（厘米级或者毫米级）。

B、获取各小岩心样品的质量、体积、和密度。

C、分别对各小岩心样品表层通过微束 X 射线荧光分析（Micro-XRF）进行特征区域扫描，得到各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图；分别对各小岩心样品通过微米 X 射线显微镜（Micro-CT）进行双能量扫描，得到各小岩心样品的微米 CT 扫描图。

D、基于各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域的元素组成和各元素质量分数（包括碳 W_C 、硫 W_S 、氮 W_N 、氧 W_O 等有机质主要元素和铁 W_{Fe} 、铜 W_{Cu} 、镁 W_{Mg} 、锌 W_{Zn} 、钼 W_{Mo} 、镍 W_{Ni} 、汞 W_{Hg} 等微量元素）。

E、分别基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质（如图 4 所示）、孔隙和无机矿物；基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征、孔隙的微米 CT 扫描图特征和无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取，实现各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布确定；

基于各小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取结果，结合各小岩心样品的体积确定各小岩心样品中有机质的体积、孔隙的体积和无机矿物的体积，从而确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量；

利用各小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图的平均灰度，确定各小岩心样品的有机质密度（根据扫描标样进行）、质量和相对原子序数（根据扫描标样进行），进而通过加权平均的方式确定有机质平均密度和平均相对原子序数作为待分析米级大岩心的有机质密度和有机质对原子序数；

分别基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质的碳元素、氧元素、硫元素、氮元素的质量含量，进而通过加权平均的方式确定有机质的平均碳元素质量含量、平均氧元素质量含量、平均硫元素质量含量、平均氮元素的质量含量作为待分析米级大岩心的有机质的碳元素、氧元素、硫元素、氮元素的质量含量。

F、基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的

第一 CT 灰度值和第二 CT 灰度值；其中，第一 CT 灰度值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 灰度值，第二 CT 灰度值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 灰度值；

基于各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，结合待分析米级大岩心中与各小岩心样品对应的各层的第一 CT 灰度值和第二 CT 灰度值，分别确定单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力；其中，单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力分别满足：

$$CT_x = X_1 \cdot V_1 + X_2 \cdot V_2 + X_3 \cdot V_3$$

$$CT_y = Y_1 \cdot V_1 + Y_2 \cdot V_2 + Y_3 \cdot V_3$$

式中， CT_x 为第一 CT 灰度值； X_1 为单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力； V_1 为有机质体积含量； X_2 为单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力； V_2 为孔隙度； X_3 为单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力； V_3 为无机矿物体积含量； CT_y 为第二 CT 灰度值； Y_1 为单位体积含量有机质对第二 CT 灰度值的贡献能力； Y_2 为单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力； Y_3 为单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力；

基于待分析米级大岩心每层的第一 CT 灰度值和第二 CT 灰度值，结合单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力，确定待分析米级大岩心每层的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，从而实现待分析米级大岩心的有机质体积含量分布、孔隙度分布和无机矿物体积含量分布确定。

G、分别针对各小岩心样品，利用有机质的体积、密度和碳元素质量含量，结合岩心样品的质量，通过下述公式确定各小岩心样品的有机碳含量 TOC；

$$TOC = m_c \div m_2$$

$$m_o = \rho_o \times V_o$$

$$m_c = m_o \times W_{oc}$$

式中，TOC 为有机碳含量； m_c 为总有机碳质量； m_o 为有机质总质量； m_2 为待分析岩心样品的质量； ρ_o 为有机质的密度； V_o 为有机质的体积； W_{oc} 为有机质的碳元素质量含量。

H、利用待分析米级大岩心的有机质的密度和碳元素质量含量，结合待分析米级大岩心每层的平均密度和有机质体积含量，通过下述公式确定待分析米级大岩心每层的有机碳含量：

$$TOC_i = \rho_o \cdot V_{li} \cdot W_{oc} \div \rho_i$$

式中， TOC_i 为待分析米级大岩心第 i 层的有机碳含量； ρ_o 为有机质的密度； ρ_i 为有机质的密度； V_{li} 为待分析米级大岩心第 i 层的有机质体积含量； W_{oc} 为有机质的碳元素质量含量； ρ_i 为待分析米级大岩心第 i 层的平均密度。

I、基于待分析米级大岩心的有机质的碳元素质量含量和氧元素质量含量，确定有机质的氧、碳原子数之比；利用有机质的氧、碳原子数之比确定有机质类型；其中，有机质的氧、碳原子数之比可以通过下述公式确定：

$$R_{oc} = \frac{W_{oo} \cdot 12}{W_{oc} \cdot 16}$$

式中， R_{oc} 为有机质的氧、碳原子数之比； W_{oo} 为有机质的氧元素质量含量； W_{oc} 为有机质的碳元素质量含量。

J、基于待分析米级大岩心的有机质的元素组成和各元素的含量，确定有机质的平均原子序数；获取有机质的镜质体反射率与平均原子序数的关系式；基于有机质的平均原子序数，利用有机质镜质体反射率与平均原子序数的关系式，确定有机质的镜质体反射率；其中，有机质的平均原子序数通过下述公式确定：

$$Z_o = \left[\sum_{i=1}^N (f_i \cdot Z_i \cdot n_i) \right]^{\frac{1}{A}}$$

式中， Z_o 为有机质的平均原子序数； f_i 是有机质的第 i 个组成元素在有机质中贡献能力的电子数比例； Z_i 为有机质的第 i 个组成元素的原子序数； n_i 为有机质相的第 i 个组成元素的原子个数； N 为有机质的组成元素的总个数； A 为系数，取值 3.2；

根据有机质成熟度判断是否为烃源岩。

K、基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物；基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的 XRF 扫描图，确定各类无机矿物的元素组成和各元素含量（包括铁、铜、镁、锌、钼、镍、汞等微量元素含量）；基于各类无机矿物的元素组成和各元素含量，

确定各类无机矿物的矿物种类；基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中各类无机矿物相的提取，进而确定各类无机矿物相在无机矿物中的占比；由此实现无机矿物组成确定（确定了无机矿物的矿物种类以及各类无机矿物的占比）。

- 5 L、针对各小岩心样品，基于表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图确定表层特征区域内的各类无机矿物，基于表层特征区域内各类矿物的微米 CT 扫描图特征进行微米 CT 扫描图中各类矿物的提取，实现无机矿物分布确定（如图 3 所示）。

实施例 2

- 10 本实施例提供了一种岩心样品分析方法，该方法用于对储层米级岩心进行分析，具体包括：

- A、将储层待分析米级大岩心进行双能量螺旋 CT 加标样扫描，得到待分析米级大岩心每层的双能量螺旋 CT 扫描图；并基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的相对原子序数和平均密度；其中，相对原子序数为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 表征值，平均密度为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 表征值。

基于待分析米级大岩心每层的平均密度和相对原子序数，确定待分析米级大岩心中的典型岩段，自典型岩段中确定多个小岩心样品（厘米级或者毫米级）。

- B、获取各小岩心样品的质量、体积、和密度。

- 20 C、分别对各小岩心样品表层通过微束 X 射线荧光分析（Micro-XRF）进行特征区域扫描，得到各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图；分别对各小岩心样品通过微米 X 射线显微镜（Micro-CT）进行双能量扫描，得到各小岩心样品的微米 CT 扫描图。

D、基于各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域的元素组成和各元素质量分数（包括碳 W_C 、硫 W_S 、氮 W_N 、氧 W_O 等有机质主要元素和铁 W_{Fe} 、铜 W_{Cu} 、镁 W_{Mg} 、锌 W_{Zn} 、钼 W_{Mo} 、镍 W_{Ni} 、汞 W_{Hg} 等微量元素）。

- 25 E、分别基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物；基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征、孔隙的微米 CT 扫描图特征和无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取，实现各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布确定；

- 30 基于各小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取结果，结合各小岩心样品的体积确定各小岩心样品中有机质的体积、孔隙的体积和无机矿物的

体积，从而确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量；

利用各小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图的平均灰度，确定各小岩心样品的有机质密度（根据扫描标样进行）、质量和相对原子序数（根据扫描标样进行），进而通过加权平均的方式确定有机质平均密度和平均相对原子序数作为待分析米级大岩心的有机质密度和有机质对原子序数；

分别基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质的碳元素、氧元素、硫元素、氮元素的质量含量，进而通过加权平均的方式确定有机质的平均碳元素质量含量、平均氧元素质量含量、平均硫元素质量含量、平均氮元素的质量含量作为待分析米级大岩心的有机质的碳元素、氧元素、硫元素、氮元素的质量含量。

F、基于各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，结合待分析米级大岩心中与各小岩心样品对应的各层的相对原子序数和平均密度，分别确定单位体积含量有机质对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量孔隙对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量无机矿物对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量有机质对平均密度的贡献能力、单位体积含量孔隙对平均密度的贡献能力和单位体积含量无机矿物对平均密度的贡献能力；其中，单位体积含量有机质对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量孔隙对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量无机矿物对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量有机质对平均密度的贡献能力、单位体积含量孔隙对平均密度的贡献能力和单位体积含量无机矿物对平均密度的贡献能力分别满足：

$$CT_x = X_1 \cdot V_1 + X_2 \cdot V_2 + X_3 \cdot V_3$$

$$CT_Y = Y_1 \cdot V_1 + Y_2 \cdot V_2 + Y_3 \cdot V_3$$

式中， CT_x 为相对原子序数； X_1 为单位体积含量有机质对相对原子序数的贡献能力； V_1 为有机质体积含量； X_2 为单位体积含量孔隙对相对原子序数的贡献能力； V_2 为孔隙度； X_3 为单位体积含量无机矿物对相对原子序数的贡献能力； V_3 为无机矿物体积含量； CT_Y 为平均密度； Y_1 为单位体积含量有机质对平均密度的贡献能力； Y_2 为单位体积含量孔隙对平均密度的贡献能力； Y_3 为单位体积含量无机矿物对平均密度的贡献能力；

基于待分析米级大岩心每层的相对原子序数和平均密度，结合单位体积含量有机质对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量孔隙对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量无机矿物对相对原子序数的贡献能力、单位体积含量有机质对平均密度的贡献能力、单位体积含量孔隙对平均密度的贡献能力和单位体积含量无机矿物对平均密度的贡献能力；

献能力，确定待分析米级大岩心每层的有机质体积含量和/或孔隙度和/或无机矿物体积含量，从而实现待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布确定。

5 G、基于各小岩心样品的微米 CT 扫描图，确定各小岩心样品的孔隙尺寸、孔隙分布特征（某一岩心样品的分布情况如图 5 所示）和有效孔隙度（连通孔隙体积与岩心体积的比值）。

F、基于待分析米级大岩心的有机质的元素组成和各元素的含量，确定有机质的平均原子序数；获取有机质的镜质体反射率与平均原子序数的关系式；基于有机质的平均原子序数，利用有机质镜质体反射率与平均原子序数的关系式，确定有机质的镜质体反

10 射率；其中，有机质的平均原子序数通过下述公式确定：
$$Z_0 = \left[\sum_{i=1}^N (f_i \cdot Z_i \cdot n_i) \right]^{\frac{1}{A}}$$
，式中， Z_0 为有机质的平均原子序数； f_i 是有机质的第 i 个组成元素在有机质中贡献能力的电子数比例； Z_i 为有机质的第 i 个组成元素的原子序数； n_i 为有机质相的第 i 个组成元素的原子个数； N 为有机质的组成元素的总个数； A 为系数，取值 3.2。

15 G、针对各待分析岩心样品，基于表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定表层特征区域内的岩石相；基于表层特征区域内的岩石相的 XRF 扫描图，确定岩石相的元素组成和各元素含量（包括铁、铜、镁、锌、钼、镍、汞等微量元素含量）；基于岩石相的元素组成和各元素含量，确定矿物组成；基于表层特征区域内各类矿物的 CT 扫描图特征，进行 CT 扫描图中各类矿物的提取，实现矿物分布确定。

20 H、基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物；基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的 XRF 扫描图，确定各类无机矿物的元素组成和各元素含量（包括铁、铜、镁、锌、钼、镍、汞等微量元素含量）；基于各类无机矿物的元素组成和各元素含量，确定各类无机矿物的矿物种类；基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中各类无机矿物相的提取，
25 进而确定各类无机矿物相在无机矿物中的占比；由此实现无机矿物组成确定（确定了无机矿物的矿物种类以及各类无机矿物的占比）。

I、针对各小岩心样品，基于表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图确定表层特征区域内的各类无机矿物，基于表层特征区域内各类矿物的微米 CT 扫描图特征进行微米 CT 扫描图中各类矿物的提取，实现无机矿物分布确定（如图 3 所示）。

J、获取各小岩心样品的核磁共振图；基于各小岩心样品的核磁共振图，对各小岩心样品进行水的观测，确定各小岩心样品中水的分布；结合各小岩心样品的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品中孔隙束缚水和含油特征。

实施例 3

5 本实施例提供了一种岩心样品分析方法，该方法用于对盖层米级岩心进行分析，具体包括：

A、将盖层待分析米级大岩心进行双能量螺旋 CT 加标样扫描，得到待分析米级大岩心每层的双能量螺旋 CT 扫描图；并基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的相对原子序数和平均密度；其中，相对原子序数为对应于
10 双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 表征值，平均密度为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 表征值。

基于待分析米级大岩心每层的平均密度和相对原子序数，确定待分析米级大岩心中的典型岩段，自典型岩段中确定多个小岩心样品（厘米级或者毫米级）。

B、获取各小岩心样品的质量、体积、和密度。

15 C、分别对各小岩心样品表层通过微束 X 射线荧光分析（Micro-XRF）进行特征区域扫描，得到各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图；分别对各小岩心样品通过微米 X 射线显微镜（Micro-CT）进行双能量扫描，得到各小岩心样品的微米 CT 扫描图。

D、基于各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域的元素组成和各元素质量分数（包括碳 W_C 、硫 W_S 、氮 W_N 、氧 W_O 等有机质主
20 要元素和铁 W_{Fe} 、铜 W_{Cu} 、镁 W_{Mg} 、锌 W_{Zn} 、钼 W_{Mo} 、镍 W_{Ni} 、汞 W_{Hg} 等微量元素）。

E、分别基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物；基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征、孔隙的微米 CT 扫描图特征和无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和
25 无机矿物提取，实现各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布确定；

基于各小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取结果，结合各小岩心样品的体积确定各小岩心样品中有机质的体积、孔隙的体积和无机矿物的体积，从而确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量；

利用各小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图的平均灰度，确定各小岩心样品的有机质密度（根据扫描标样进行）、质量和相对原子序数（根据扫描标样进行），进而通过
30 加权平均的方式确定有机质平均密度和平均相对原子序数作为待分析米级大岩心的有

机质密度和有机质对原子序数；

分别基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质的碳元素、氧元素、硫元素、氮元素的质量含量，进而通过加权平均的方式确定有机质的平均碳元素质量含量、平均氧元素质量含量、平均硫元素质量含量、平均氮元素的质量含量作为待分析米级大岩心的有机质的碳元素、氧元素、硫元素、氮元素的质量含量。

F、基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的第一 CT 灰度值和第二 CT 灰度值；其中，第一 CT 灰度值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 灰度值，第二 CT 灰度值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 灰度值；

基于各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，结合待分析米级大岩心中与各小岩心样品对应的各层的第一 CT 灰度值和第二 CT 灰度值，分别确定单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力；其中，单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力分别满足：

$$CT_x = X_1 \cdot V_1 + X_2 \cdot V_2 + X_3 \cdot V_3$$

$$CT_y = Y_1 \cdot V_1 + Y_2 \cdot V_2 + Y_3 \cdot V_3$$

式中， CT_x 为第一 CT 灰度值； X_1 为单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力； V_1 为有机质体积含量； X_2 为单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力； V_2 为孔隙度； X_3 为单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力； V_3 为无机矿物体积含量； CT_y 为第二 CT 灰度值； Y_1 为单位体积含量有机质对第二 CT 灰度值的贡献能力； Y_2 为单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力； Y_3 为单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力；

基于待分析米级大岩心每层的第一 CT 灰度值和第二 CT 灰度值，结合单位体积含量有机质对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二

CT 灰度值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 灰度值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 灰度值的贡献能力，确定待分析米级大岩心每层的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，从而实现待分析米级大岩心的有机质体积含量分布、孔隙度分布和无机矿物体积含量分布确定。

- 5 F、基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物；基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的 XRF 扫描图，确定各类无机矿物的元素组成和各元素含量（包括铁、铜、镁、锌、钼、镍、汞等微量元素含量）；基于各类无机矿物的元素组成和各元素含量，确定各类无机矿物的矿物种类；基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的
- 10 微米 CT 扫描图特征，进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中各类无机矿物相的提取，进而确定各类无机矿物相在无机矿物中的占比；由此实现无机矿物组成确定（确定了无机矿物的矿物种类以及各类无机矿物的占比）。

- G、针对各小岩心样品，基于表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图确定表层特征区域内的的各类无机矿物，基于表层特征区域内各类矿物的微米 CT 扫描图特征
- 15 进行微米 CT 扫描图中各类矿物的提取，实现无机矿物分布确定。

 H、确定各小岩心样品的渗透率。

 I、针对各小岩心样品，利用高浓度 KI 溶液进行驱替，将样品干燥后 KI 结晶会残留在普通成像无法观察到的连通孔喉中，再进行微米 CT 扫描从而观察到渗流路径。

- 以上所述仅为本发明的较佳实施例，并不用以限制本发明，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。
- 20

权利要求书

1. 一种岩心样品分析方法，其中，该方法包括：

获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图；自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品；其中，双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图；

获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米 CT 扫描图；

分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量；

基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量包括：

利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，分别确定各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布；

基于各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布，分别确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，各小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布通过下述方式进行确定：

基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质、孔隙和无机矿物；

基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征、孔隙的微米 CT 扫描图特征和无机矿物的微米 CT 扫描图特征，进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取、孔隙提取和无机矿物提取，实现小岩心样品的有机质分布、孔隙度分布和无机矿物分布确定。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，结合各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布包括：

基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的第一

CT 表征值和第二 CT 表征值；其中，第一 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 表征值，第二 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 表征值；

基于各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，结合待分析米级大岩心中与各小岩心样品对应的各层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，分别确定单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力；

基于待分析米级大岩心每层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，结合单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力，确定待分析米级大岩心每层的有机质体积含量和/或孔隙度和/或无机矿物体积含量，从而实现待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布确定。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中，单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力分别满足：

$$CT_x = X_1 \cdot V_1 + X_2 \cdot V_2 + X_3 \cdot V_3$$

$$CT_y = Y_1 \cdot V_1 + Y_2 \cdot V_2 + Y_3 \cdot V_3$$

式中， CT_x 为第一 CT 表征值； X_1 为单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力； V_1 为有机质体积含量； X_2 为单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力； V_2 为孔隙度； X_3 为单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力； V_3 为无机矿物体积含量； CT_y 为第二 CT 表征值； Y_1 为单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力； Y_2 为单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力； Y_3 为单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，该方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，分别确定各小岩心样品的有机碳含量；

其中，各小岩心样品的有机碳含量通过下述方式进行确定：

基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

5 基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征，进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取，进而结合小岩心样品的体积确定小岩心样品中有机质的体积；

利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图，判断有机质的密度；

基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量；

10 利用有机质的体积、密度和碳元素质量含量，结合小岩心样品的质量，确定小岩心样品的有机碳含量 TOC；

其中，有机碳含量 TOC 通过下述公式确定得到：

$$TOC = m_C \div m_2$$

$$m_O = \rho_O \times V_O$$

15
$$m_C = m_O \times W_{OC}$$

式中，TOC 为有机碳含量； m_C 为总有机碳质量； m_O 为有机质总质量； m_2 为待分析岩心样品的质量； ρ_O 为有机质的密度； V_O 为有机质的体积； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米
20 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，结合待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图和待分析米级大岩心的有机质体积含量分布，确定待分析米级大岩心的有机质碳含量分布；

其中，利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，结合待
25 分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图和待分析米级大岩心的有机质体积含量分布，确定待分析米级大岩心的有机质碳含量分布包括：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

利用各小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图，确定有机质的密度；

30 基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量；

利用待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的平均

密度；

利用有机质的密度和碳元素质量含量，结合待分析米级大岩心每层的平均密度和有机质体积含量，确定待分析米级大岩心每层的有机碳含量；

其中，待分析米级大岩心每层的有机碳含量通过下述公式确定得到：

$$5 \quad \text{TOC}_i = \rho_0 \cdot V_{1i} \cdot W_{OC} \div \rho_i$$

式中， TOC_i 为待分析米级大岩心第 i 层的有机碳含量； ρ_0 为有机质的密度； ρ_i 为待分析米级大岩心第 i 层的平均密度； V_{1i} 为待分析米级大岩心第 i 层的有机质体积含量； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量；

8. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，该方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定有机质类型。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其中，有机质类型通过下述方式进行确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

15 基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量和氧元素质量含量；

基于有机质的碳元素质量含量和氧元素质量含量，确定有机质的氧、碳原子数之比；利用有机质的氧、碳原子数之比确定有机质类型；

其中，有机质类型为 I 型干酪根时的氧、碳原子数之比 < 有机质类型为 II 型干酪根时的氧、碳原子数之比 < 有机质类型为 III 型干酪根时的氧、碳原子数之比。

20 10. 根据权利要求 8 所述的方法，其中，有机质类型通过下述方式进行确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量和氢元素质量含量；

25 基于有机质的碳元素质量含量和氢元素质量含量，确定有机质的氢、碳原子数之比；利用有机质的氢、碳原子数之比确定有机质类型；

其中，有机质类型为 I 型干酪根时的氢、碳原子数之比 > 有机质类型为 II 型干酪根时的氢、碳原子数之比 > 有机质类型为 III 型干酪根时的氢、碳原子数之比。

30 11. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，该方法进一步包括：利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，确定有机质成熟度；

其中，有机质成熟度通过下述方式进行确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图,确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质;

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图,确定有机质的元素组成和各元素的含量;

5 基于有机质的元素组成和各元素的含量,确定有机质的平均原子序数;

基于有机质的平均原子序数,确定有机质的镜质体反射率。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中,基于有机质的平均原子序数,确定有机质的镜质体反射率包括:

获取有机质的镜质体反射率与平均原子序数的关系式;

10 基于有机质的平均原子序数,利用有机质镜质体反射率与平均原子序数的关系式,确定有机质的镜质体反射率。

13. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,该方法进一步包括:利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图,确定无机矿物组成;

其中,无机矿物组成通过下述方式进行确定:

15 基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图,确定各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物;

基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的 XRF 扫描图,确定各类无机矿物的元素组成和各元素含量;基于各类无机矿物的元素组成和各元素含量,确定各类无机矿物的矿物种类;

20 基于各小岩心样品的表层特征区域内的各类无机矿物的微米 CT 扫描图特征,进行各小岩心样品的微米 CT 扫描图中各类无机矿物的提取,进而确定各类无机矿物在无机矿物中的占比。

14. 一种岩心样品分析系统,其中,该系统包括:

25 大岩心数据获取模块:用于获取待分析米级大岩心的双能量螺旋 CT 扫描图;自待分析米级大岩心中确定至少三个小岩心样品;其中,双能量螺旋 CT 扫描图包括低能量 CT 扫描图和高能量 CT 扫描图;

小岩心数据获取模块:用于获取各小岩心样品的表层特征区域的 XRF 扫描图和各小岩心样品的微米 CT 扫描图;

30 小岩心参数确定模块:用于分别利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图,确定各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量;

大岩心参数确定模块:用于基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图,结合各

小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，确定待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布。

15. 根据权利要求 14 所述的系统，其中，大岩心参数确定模块包括：

CT 表征值确定子模块：用于基于待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值；其中，第一 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的低能量 CT 扫描图的 CT 表征值，第二 CT 表征值为对应于双能量螺旋 CT 扫描图中的高能量 CT 扫描图的 CT 表征值；

贡献能力确定子模块：用于基于各小岩心样品的有机质体积含量、孔隙度和无机矿物体积含量，结合待分析米级大岩心中与各小岩心样品对应的各层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，分别确定单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力；

大岩心参数确定子模块：用于基于待分析米级大岩心每层的第一 CT 表征值和第二 CT 表征值，结合单位体积含量有机质对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量无机矿物对第一 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量有机质对第二 CT 表征值的贡献能力、单位体积含量孔隙对第二 CT 表征值的贡献能力和单位体积含量无机矿物对第二 CT 表征值的贡献能力，确定待分析米级大岩心每层的有机质体积含量和/或孔隙度和/或无机矿物体积含量，从而实现待分析米级大岩心的有机质体积含量分布和/或孔隙度分布和/或无机矿物体积含量分布确定。

16. 根据权利要求 14 所述的系统，其中，该系统进一步包括：

小岩心有机碳含量确定模块：用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，分别确定各小岩心样品的有机碳含量；

其中，小岩心有机碳含量确定模块具体用于通过下述方式确定各小岩心样品的有机碳含量：

基于小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的微米 CT 扫描图特征，进行小岩心样品的微米 CT 扫描图中有机质提取，进而结合小岩心样品的体积确定小岩心样品中有机质的体积；

利用小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图，判断有机质的密度；

基于小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量；

利用有机质的体积、密度和碳元素质量含量，结合小岩心样品的质量，确定小岩心样品的有机碳含量 TOC；

5 其中，有机碳含量 TOC 通过下述公式确定得到：

$$\text{TOC} = m_C \div m_2$$

$$m_0 = \rho_0 \times V_0$$

$$m_C = m_0 \times W_{OC}$$

10 式中，TOC 为有机碳含量； m_C 为总有机碳质量； m_0 为有机质总质量； m_2 为待分析岩心样品的质量； ρ_0 为有机质的密度； V_0 为有机质的体积； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量。

17. 根据权利要求 14 所述的系统，其中，该系统进一步包括：

有机碳含量分布确定模块：用于利用各小岩心样品的微米 CT 扫描图和表层特征区域的 XRF 扫描图，结合待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图和待分析米级大岩心的有机质体积含量分布，确定待分析米级大岩心的有机质碳含量分布；

其中，有机碳含量分布确定模块用于通过下述方式进行待分析米级大岩心的有机质碳含量分布确定：

基于各小岩心样品的表层特征区域的微米 CT 扫描图和 XRF 扫描图，确定各小岩心样品的表层特征区域内的有机质；

20 利用各小岩心样品的有机质的微米 CT 扫描图，确定有机质的密度；

基于各小岩心样品的表层特征区域内的有机质的 XRF 扫描图，确定有机质的碳元素质量含量；

利用待分析米级大岩心双能量螺旋 CT 扫描图，确定待分析米级大岩心每层的平均密度；

25 利用有机质的密度和碳元素质量含量，结合待分析米级大岩心每层的平均密度和有机质体积含量，确定待分析米级大岩心每层的有机碳含量；

其中，待分析米级大岩心每层的有机碳含量通过下述公式确定得到：

$$\text{TOC}_i = \rho_0 \cdot V_{1i} \cdot W_{OC} \div \rho_i$$

30 式中， TOC_i 为待分析米级大岩心第 i 层的有机碳含量； ρ_0 为有机质的密度； ρ_i 为有机质的密度； V_{1i} 为待分析米级大岩心第 i 层的有机质体积含量； W_{OC} 为有机质的碳元素质量含量； ρ_i 为待分析米级大岩心第 i 层的平均密度。

18. 一种电子设备，包括处理器、存储器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，处理器执行程序时实现权利要求 1-13 任一项所述的岩心样品分析方法的步骤。

19. 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1-13 任一项所述的岩心样品分析方法的步骤。

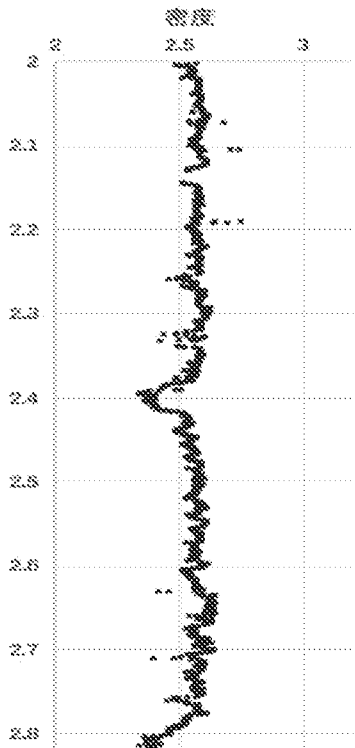


图 1

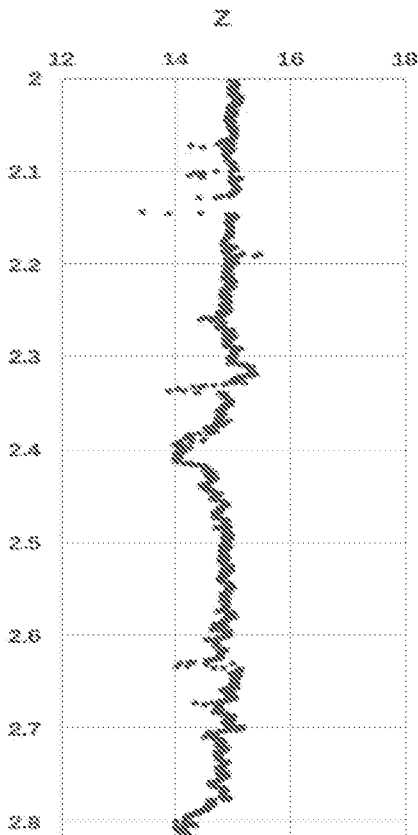


图 2

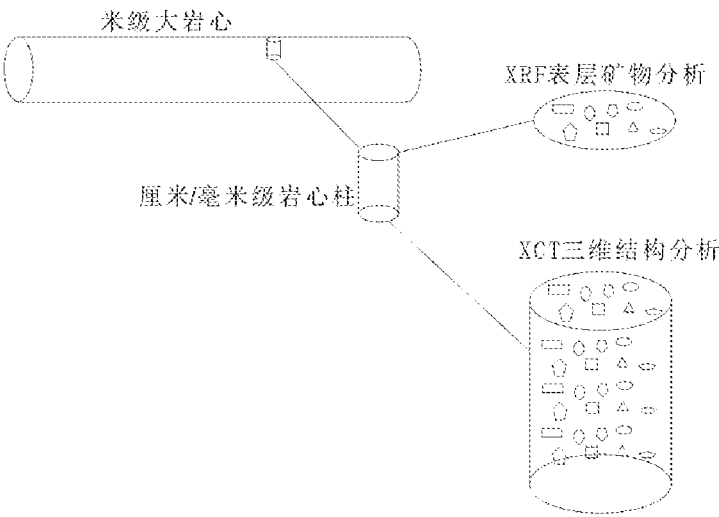


图 3

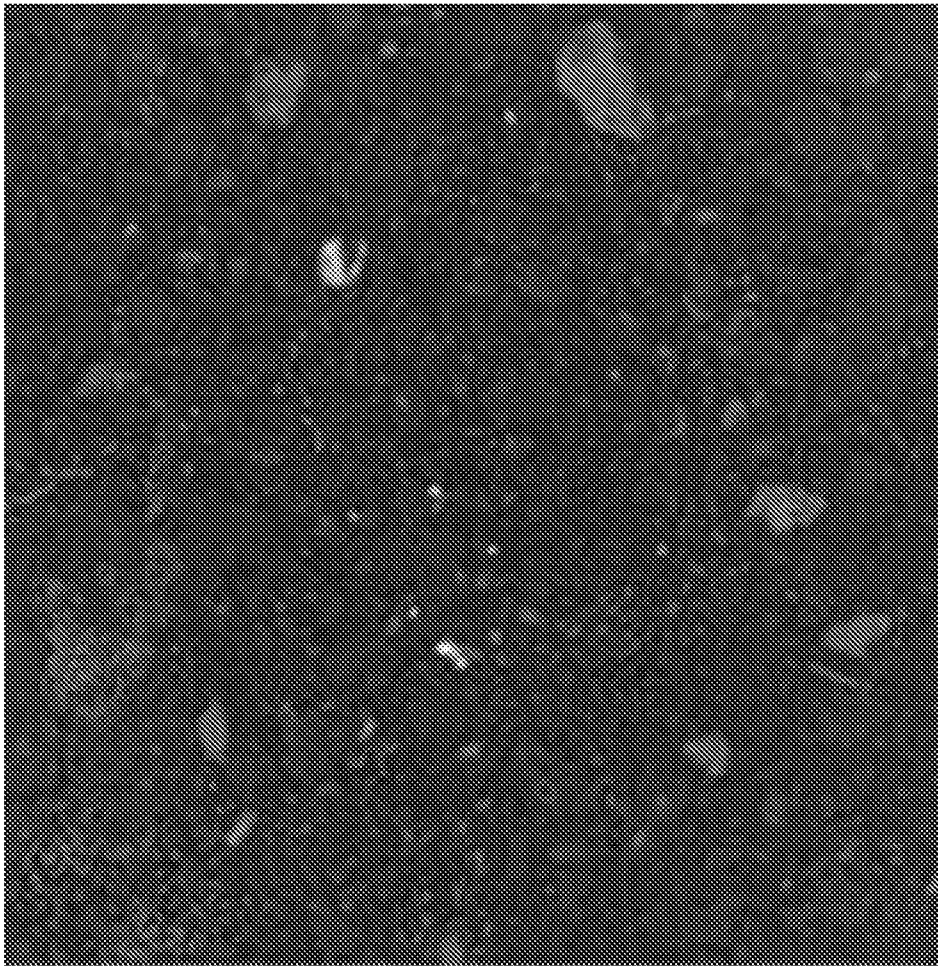


图 4

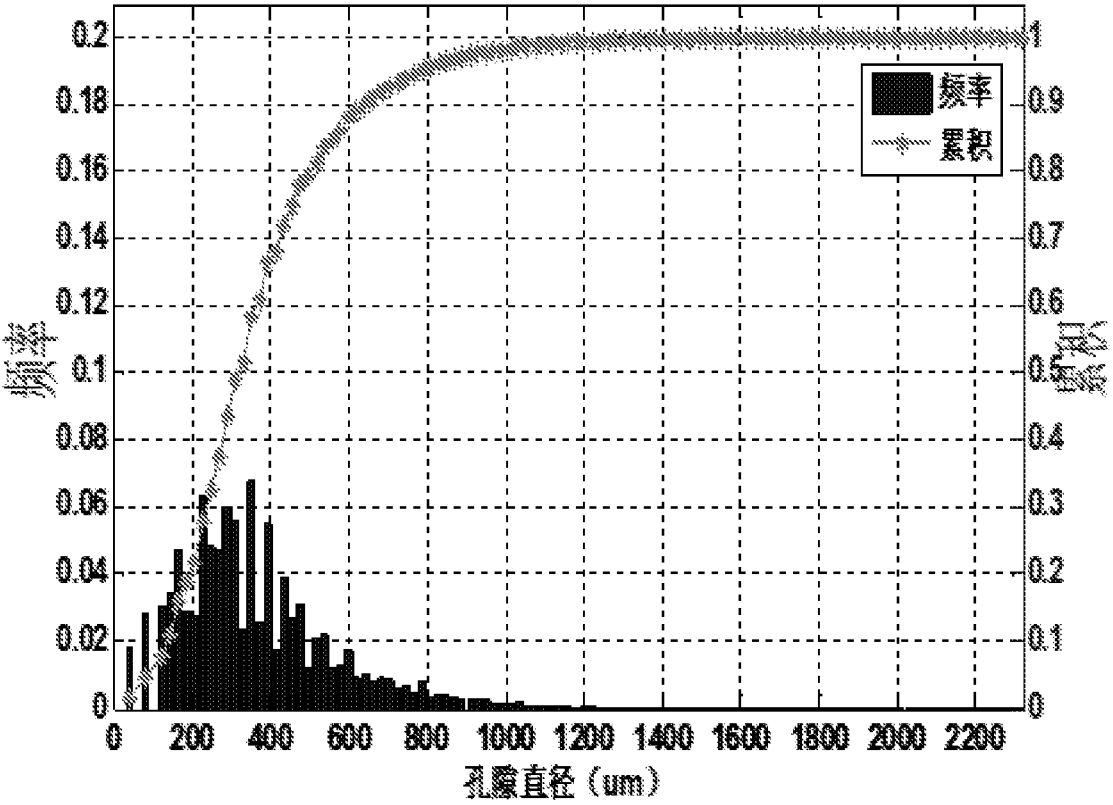


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/138665

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F30/20(2020.01)i; G01N23/04(2018.01)i; G01N15/08(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) IPC: G06F, G01N, G06K, G06T 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) CJFD, CNTXT, ENTXTC, VEN, IEEE, CNKI: 保留, 不破坏, 不同, 尺度, 精度, 大 5d 岩心, 米级, 毫米, 厘米, 小 5d 岩心, 微米, 孔隙度, 无机矿物, 有机质, CT, XRF, X 1w ray, core, scale, size, mm, cm, porosity, organic, mineral		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 113609696 A (CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES (BEIJING)) 05 November 2021 (2021-11-05) description, paragraphs [0046]-[0057]	1-19
A	CN 109146933 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORP. et al.) 04 January 2019 (2019-01-04) entire document	1-19
A	CN 105115874 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORP.) 02 December 2015 (2015-12-02) entire document	1-19
A	CN 109285137 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 29 January 2019 (2019-01-29) entire document	1-19
A	CN 112686917 A (INSTITUTE OF GEOLOGY AND GEOPHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES et al.) 20 April 2021 (2021-04-20) entire document	1-19
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “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) “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 “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 “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 “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 “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 15 June 2023		Date of mailing of the international search report 23 June 2023
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/138665

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 9507047 B1 (DVORKIN, Jack et al.) 29 November 2016 (2016-11-29) entire document	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/138665

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	113609696	A	05 November 2021	None	
CN	109146933	A	04 January 2019	None	
CN	105115874	A	02 December 2015	None	
CN	109285137	A	29 January 2019	None	
CN	112686917	A	20 April 2021	None	
US	9507047	B1	29 November 2016	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/138665

A. 主题的分类 G06F30/20(2020.01) i; G01N23/04(2018.01) i; G01N15/08(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) IPC: G06F, G01N, G06K, G06T 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)) CJFD, CNTXT, ENTXTC, VEN, IEEE, CNKI: 保留, 不破坏, 不同, 尺度, 精度, 大 5d 岩心, 米级, 毫米, 厘米, 小 5d 岩心, 微米, 孔隙度, 无机矿物, 有机质, CT, XRF, X 1w ray, core, scale, size, mm, cm, porosity, organic, mineral		
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 113609696 A (中国地质大学(北京)) 2021年11月5日 (2021 - 11 - 05) 说明书第[0046]-[0057]段	1-19
A	CN 109146933 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2019年1月4日 (2019 - 01 - 04) 全文	1-19
A	CN 105115874 A (中国石油天然气股份有限公司) 2015年12月2日 (2015 - 12 - 02) 全文	1-19
A	CN 109285137 A (中国石油大学(北京)) 2019年1月29日 (2019 - 01 - 29) 全文	1-19
A	CN 112686917 A (中国科学院地质与地球物理研究所 等) 2021年4月20日 (2021 - 04 - 20) 全文	1-19
A	US 9507047 B1 (DVORKIN, Jack 等) 2016年11月29日 (2016 - 11 - 29) 全文	1-19
☐ 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 2023年6月15日	国际检索报告邮寄日期 2023年6月23日	
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	授权官员 王欣玥 电话号码 (+86) 010-53961379	

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/138665

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	113609696	A	2021年11月5日	无	
CN	109146933	A	2019年1月4日	无	
CN	105115874	A	2015年12月2日	无	
CN	109285137	A	2019年1月29日	无	
CN	112686917	A	2021年4月20日	无	
US	9507047	B1	2016年11月29日	无	