

(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
2019 年 7 月 4 日 (04.07.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/128685 A1

(51) 国际专利分类号:
E21B 49/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/120083

(22) 国际申请日: 2018 年 12 月 10 日 (10.12.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201711429674.3 2017 年 12 月 26 日 (26.12.2017) 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: 武宏亮(WU, Hongliang); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
李宁(LI, Ning); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 冯周(FENG, Zhou); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 兰长林(LAN, Changlin); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 吕韬(LV, Tao); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 王克文(WANG, Kewen); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。 冯庆付(FENG, Qingfu); 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

(54) Title: GAMMA ENERGY SPECTRUM UNFOLDING METHOD AND APPARATUS FOR ELEMENT CAPTURE ENERGY SPECTRUM LOGGING

(54) 发明名称: 一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法及装置

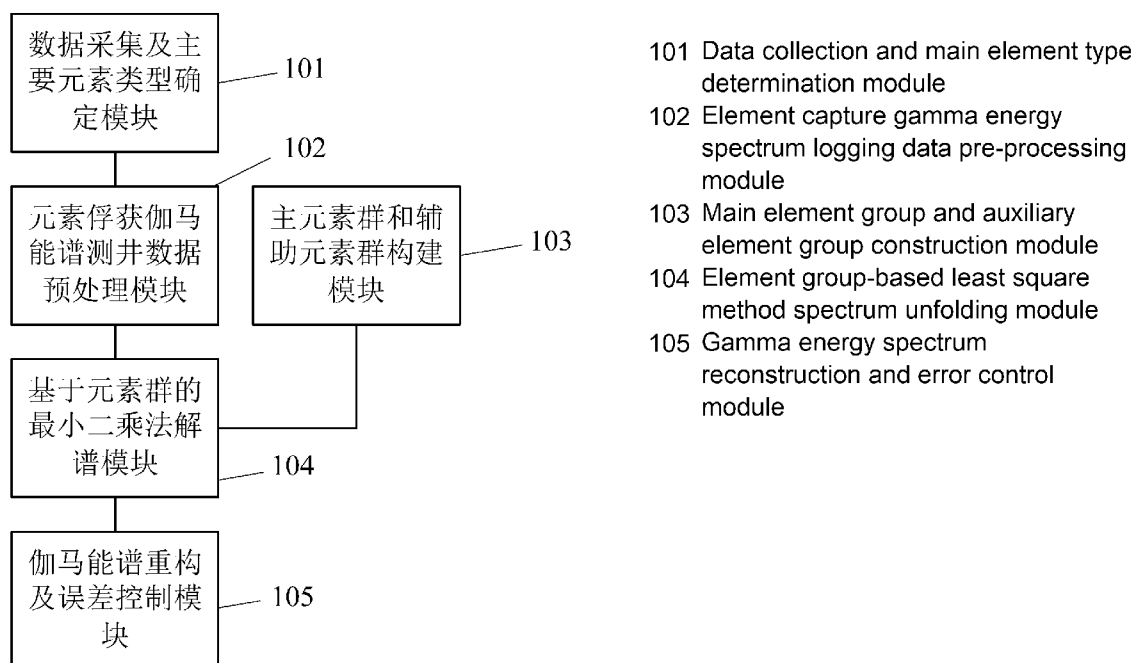


图 7

(57) Abstract: A gamma energy spectrum unfolding method and apparatus for element capture energy spectrum logging. The spectrum unfolding method comprises: firstly, pre-processing data acquired by means of an element capture energy spectrum logging instrument; then, constructing a main element group and an auxiliary element group; then, based on the construction of the main and auxiliary element groups, using a least square method to carry out spectrum unfolding; and finally, carrying out energy spectrum reconstruction according to yields of various elements obtained according to the least square method, and comparing a measured gamma energy

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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, 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))。

spectrum with a reconstructed gamma energy spectrum to carry out error control. Correspondingly, the spectrum unfolding apparatus comprises a data collection and main element type determination module (101), an element capture gamma energy spectrum logging data pre-processing module (102), a main element group and auxiliary element group construction module (103), an element group-based least square method spectrum unfolding module (104) and a gamma energy spectrum reconstruction and error control module (105). The gamma energy spectrum unfolding method and apparatus for element capture energy spectrum logging both have the advantages of high precision and strong operability, have good universality for different types of reservoirs, and provide important reference and lessons for the processing of neutron gamma energy spectrum data of other types of instruments.

(57) 摘要: 一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法及装置, 解谱方法首先对元素俘获能谱测井仪获取的数据进行预处理, 然后构建主元素群和辅助元素群, 进而在主、辅助元素群构建的基础上利用最小二乘法进行解谱, 最后根据最小二乘法解谱获得的各元素产额进行能谱重构, 将测量的伽马能谱与重构的伽马能谱对比进行误差控制, 相应地, 解谱装置包括数据采集及主要元素类型确定模块 (101)、元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块 (102)、主元素群和辅助元素群构建模块 (103)、基于元素群的最小二乘法解谱模块 (104) 以及伽马能谱重构及误差控制模块 (105)。元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法及装置均具有高精度、可操作性强的优点, 对不同类型储层均具有较好的普适性, 同时为其他类型仪器的中子伽马能谱数据的处理提供了重要的参考和借鉴意义。

一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法及装置

技术领域

本发明涉及一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法及装置，属于油气勘探领域中的测井技术领域。

背景技术

元素俘获能谱（Elemental Capture Spectroscopy，简称 ECS）测井仪是由斯伦贝谢公司向中国市场推出的新型地层元素测井仪器，该仪器利用中子与地层原子核碰撞发生核反应的原理得到伽马能谱，该伽马能谱包含了地层中主要造岩元素 Si、Ca、Fe、Al、S、Ti、H、Gd 等元素的信息，为复杂储层岩性精细评价提供了一种新途径。元素俘获能谱测井解释的核心是利用各元素标准谱对地层原始测量谱进行刻度，通过解谱获得各种元素的产额。在元素俘获能谱仪器获取的测量谱中，既包含了俘获伽马信息又包含了非弹性散射信息，而对油田现场解释评价最重要的是俘获伽马信息，因此在对测量谱进行解谱处理时必须考虑非弹性散射信息对解谱精度的影响。与此同时，不同地层元素之间的相互影响也制约着中子俘获伽马能谱的解谱精度。

以往学者虽然对元素俘获能谱测井的解谱方法开展了研究，但主要侧重于数值模拟和理论阐述上，没有针对实际井下数据提供有效的技术方法，因此未能在实际生产中进行应用。

发明内容

为解决上述技术问题，本发明的目的在于一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法及装置。该方法是针对元素俘获能谱测井仪器得到的原始测量谱进行解谱的方法，具有高精度、可操作性强等优点。

为了实现上述目的，本发明提供了一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法，其包括以下步骤：

步骤 1：获取、分析研究区资料，所述资料至少包括元素俘获伽马能谱测井数据（在本发明中也称为测量伽马能谱、测量谱、测量混合伽马能谱、总元素伽马能谱测量谱等）和全岩氧化物分析数据，确定该区块主要元素类型；

步骤 2：对元素俘获伽马能谱测井数据进行预处理，所述预处理包括能窗的选择、能谱平滑滤波、归一化处理以及非弹性散射信息扣除，得到预处理后的元素俘获伽马

能谱；

步骤 3：构建由不同元素组成的主元素群和辅助元素群，以明确不同元素的解谱先后顺序；

5 步骤 4：根据步骤 3 得到的主元素群和辅助元素群，在经步骤 2 预处理后的元素俘获伽马能谱中，利用最小二乘法先对主元素进行解谱，然后从预处理后的总元素伽马能谱（即经步骤 2 预处理后的元素俘获伽马能谱）中扣除全部主元素所占贡献，再利用最小二乘法对辅助元素进行解谱，从而得到各元素的相对产额；

步骤 5：根据步骤 4 得到的各元素的相对产额，结合归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱（在本发明中也称为单元素标准谱），进行元素俘获伽马能谱的重构，并将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比，确定解谱结果是否可靠。

根据本发明的具体实施方式，优选地，在上述解谱方法的步骤 1 中，所获取、分析的研究区资料还包括常规测井数据、录井数据和地质资料等中的一种或几种的组合。

15 根据本发明的具体实施方式，优选地，在上述解谱方法的步骤 1 中，研究区主要元素类型是通过以下方式确定的：通过分析研究区的全岩氧化物分析数据、以及可选择地，常规测井数据、录井数据和地质资料中的一种或几种的组合，得出不同种类氧化物所占岩石的重量百分比，依据各氧化物重量百分比确定该区块主要元素类型。其中，所述地质资料主要包括：岩心薄片和/或地质报告等。全岩氧化物分析数据是确定研究区主要元素类型所必需的资料，同时可以参考常规测井数据、录井数据和地质资料中的一种或几种资料。

在本发明的解谱方法中，步骤 2 对伽马能谱进行预处理，能够消除仪器在测量过程中受井眼环境、仪器固有特性等因素的影响，提高解谱的精度。

25 在能窗的选择方面，元素俘获能谱测井探测到的伽马射线能量一般集中在 0-10 MeV，对应道址为 0-255，总共 256 道。低能区段容易受到康普顿平台效应以及仪器的噪声等因素影响而产生很高的计数，即大量干扰信号，应在解谱之前予以剔除。而在高能区段，能谱的计数往往非常低，在解谱的过程中对最终的求解结果影响不大，也应在解谱之前予以剔除。如果没有完全去掉带有不利影响的数据，会对解谱产生影响；但是，如果去掉过多的数据会去掉有用信息，也会对解谱产生影响。因此，选取适当的能量范围是解谱前必须解决的关键问题。

根据本发明的具体实施方式,优选地,在上述解谱方法的步骤2中,所选择的能窗范围是30-210道。本发明提出的选取解谱能窗的基本原则是不去掉元素全能峰所对应的能量。本发明的发明人通过对国际原子能机构公布的核数据进行查询,查出解谱涉及的各种元素的特征峰位,根据峰位所对应的能量信息,确定解谱的能窗范围。

5 各元素特征峰位按能量从低到高排序为1.38, 1.808, 1.924, 1.951, 2.073, 2.092, 2.223, 2.282, 2.379, 2.828, 3.033, 3.22, 3.539, 3.587, 3.691, 3.981, 4.419, 4.733, 4.737, 4.869, 4.933, 5.42, 5.9, 5.92, 6.018, 6.11, 6.36, 6.379, 6.395, 6.418, 6.42, 6.76, 7.414, 7.631, 7.646, 7.724, 7.769, 7.79, 8.153 (MeV)。根据这些数据将能窗的能量范围取为1.2MeV~8.4MeV,其对应的能窗范围是30-210道,如图1所示。

10 根据本发明的具体实施方式,优选地,在上述解谱方法的步骤2中,能谱平滑滤波的方式是采用Savitzky-Golay滤波器,并用Savitzky-Golay五点滤波法,对所选择的能窗范围内的元素俘获伽马能谱测井数据进行滤波,Savitzky-Golay五点滤波法的公式如下式1所示:

$$\bar{y} = \frac{1}{35} (-3y_{i-2} + 12y_{i-1} + 17y_i + 12y_{i+1} - 3y_{i+2}) \quad (\text{式1})$$

15 其中, $\bar{y}$ 表示某一道址上滤波后的计数, y_i 表示该道址上的计数, y_{i-1} 表示该道址的前一道址上的计数, y_{i-2} 表示该道址的前二道址上的计数, y_{i+1} 表示该道址的后一道址上的计数, y_{i+2} 表示该道址的后二道址上的计数。

元素俘获伽马能谱测井仪器的测量过程中,存在固有的统计涨落,能谱平滑滤波能够消除测量伽马能谱中存在的假峰、弱峰等问题。本发明采用的Savitzky-Golay滤波器,在滤波的窗长内,利用多项式拟合测量伽马能谱的数据,得到滤波后的结果,即拟合多项式在滤波点对应的值。通过对原始测量伽马能谱的分析,本发明提出的Savitzky-Golay五点滤波法可以消除毛刺。本发明的滤波方法的实质是对测量数据做加权平均,使得能谱数据中每个数据波动都做了平均,这种平均对数据趋势影响非常小,而波动的平均值为零,可有效消除统计涨落的影响。

25 根据本发明的具体实施方式,优选地,在上述解谱方法的步骤2中,归一化处理采用的方法是:对经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的元素俘获伽马能谱测井数据,使181道(逐道)的能谱数据之和为10,得到归一化处理后的元素俘获伽马能谱,所采用的公式如下式2所示:

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=30}^{210} N_{kj}} \quad k=30, 31, \dots, 210 \quad (\text{式 } 2)$$

其中, N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的元素俘获伽马能谱在第 k 道的计数, N_{kj} 为 j 深度点对应的经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的元素俘获伽马能谱在第 k 道的计数, j 为地层下的深度点。

- 5 在本发明的具体实施方式中, 归一化处理是将整个能量段的能谱计数累加, 再将每道计数除以能窗范围内所有道址对应的计数之和, 从而使归一化后的数据在 0~10 之间, 整个能量段的能谱数据之和为 10。在本发明中, 归一化处理是对滤波后的能窗范围内的伽马能谱数据进行归一化, 获取归一化后的伽马能谱数据, 使归一化处理后的俘获元素定性计算值可以准确反映整个井段的变化, 因此归一化处理可以为元素
- 10 定性计算和分离的方法提供保证, 也可以准确地反应能窗范围内的地层变化。

- 根据本发明的具体实施方式, 优选地, 在上述解谱方法的步骤 2 中, 非弹性散射信息扣除的方法是: 对归一化处理后的元素俘获伽马能谱选取 30-54 道、55-75 道和 76-210 道三段道址的计数分别用 0.9、0.7 和 0.8 作为扣除系数进行非弹性信息扣除。由于元素俘获能谱测井获取的伽马能谱中既包含了俘获伽马信息又包含了非弹性散
- 15 射信息, 而对油田现场解释评价最重要的是俘获伽马信息, 因此在对测量谱进行剥谱处理时必须扣除非弹性散射信息对总元素伽马能谱测量谱的贡献, 可以有效提高后期解谱的精度。在本发明的具体实施方式中, 对测量谱中非弹性散射信息扣除的方法采用的是分段扣除方法, 根据不同元素对不同能量段总计数的贡献, 在不同能量段分别采用不同的扣除系数消除测量谱中非弹性散射信息的影响。

- 20 根据本发明的具体实施方式, 优选地, 在上述解谱方法的步骤 3 中, 所构建的主元素群包括: Si、Ca、S、H、Cl、Ti、Fe、Na、Ba 和 Gd 等元素中的一种或几种元素, 这些元素的贡献占总元素伽马能谱的 80% 以上; 所构建的辅助元素群包括: Mg、K、Cr、Ni、I、Tb 和 Al 等元素中的一种或几种元素。单元素标准伽马能谱在谱形、特征峰位的差异性元素俘获能谱测井解谱的核心和关键, 但实际上, 不同元素之间
- 25 在谱形及特征峰位分布上会存在一定的相似性和重叠。如图 2 所示, Na 元素和 Mg 元素在谱形上存在一定的相似性, 在特征能峰所在道址上存在重叠, 因此, 在实际解谱过程中如果不考虑元素之间的相互影响因素, 则会降低解谱的精度, 从而影响油气

储层评价的准确性。本发明提出和构建的元素群是在考虑不同元素单元素标准伽马能谱相互影响的基础上建立的；主元素群主要包括构成岩石骨架部分的元素；辅助元素群的构建是为了消除或者辅助提高其它元素的解谱精度而建立的，辅助元素 Mg 和 K 主要用于分析判断 S 的产额，辅助元素 Mg、Cr、Ni 用于分析判断 Si、Ca 和 Fe 元素的产额，辅助元素 Cr、Ni、I、Tb 和 Al 用于分析判断 H、Gd 和 Ti 素的产额，进而提高解谱的精度。

根据本发明的具体实施方式，优选地，在上述解谱方法的步骤 4 中，利用最小二乘法进行解谱是按照如下式 3 所示的算法进行的，以得到各元素的相对产额：

$$c_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 3})$$

其中， y_j 为第 j 种元素的相对产额（即该元素对总计数的贡献）， a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数， c_i 为预处理后的元素俘获伽马能谱在第 i 道的计数， ε_i 为校正系数， $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

本发明利用上述最小二乘法公式在对主元素群进行解谱后，从预处理后的总元素伽马能谱中对主元素所占贡献进行扣除，再利用上述最小二乘法公式对辅助元素群进行再次解谱，逐步得到主、辅元素群中的各元素产额信息，从而有效提高解谱精度。

根据本发明的具体实施方式，优选地，在上述解谱方法的步骤 5 中，所述归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱是通过以下方法得到的：对于单元素的元素俘获标准伽马能谱，使 256 道（逐道）的能谱数据之和为 10，所采用的公式如下式 4 所示：

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=0}^{255} N_{kj}} \quad k=0, 1, \dots, 255 \quad (\text{式 4})$$

其中， N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数， N_{kj} 为 j 深度点对应的归一化处理前的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数，j 为地层下的深度点。

根据本发明的具体实施方式，优选地，在上述解谱方法的步骤 5 中，元素俘获伽马能谱的重构是按照下式 5 计算重构伽马能谱在第 i 道的计数（即所有解谱元素在第 i 道的计数），得到各道的计数后，绘制重构伽马能谱：

$$X_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 } 5)$$

其中, X_i 为重构伽马能谱在第 i 道的计数, y_j 为第 j 种元素的相对产额 (由式 3 计算得到), a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数 (由式 4 计算得到), ε_i 为校正系数, $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

- 5 根据本发明的具体实施方式, 优选地, 在上述解谱方法的步骤 5 中, 将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比是按照式 6 进行:

$$|C_i - X_i| \leq \varepsilon \quad (\text{式 } 6)$$

C_i 为测量伽马能谱在第 i 道的计数, X_i 为重构的伽马能谱在第 i 道的计数, ε 为相对误差;

- 10 当相对误差小于或等于 5% 时, 认为解谱结果是可靠的; 当相对误差大于 5%, 则认为解谱结果不可靠。

在本发明的具体实施方式中, 伽马能谱的重构方式是参考剥谱分析方法, 认为测量混合伽马能谱是单元素的线性组合, 在确定地层元素含量时以获取的单元素标准谱数据库为基础, 根据已知俘获和非弹性散射元素产额结果进行重构, 然后将实际测量的伽马能谱与重构伽马能谱进行对比, 确定解谱结果可靠与否, 进而控制解谱精度。

本发明还提供了一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱装置, 其包括:

数据采集及主要元素类型确定模块, 用于获取、分析研究区资料, 所述资料至少包括元素俘获伽马能谱测井数据和全岩氧化物分析数据, 确定该区块主要元素类型;

元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块, 用于对元素俘获伽马能谱测井数据进行预处理, 所述预处理包括能窗的选择、能谱平滑滤波、归一化处理以及非弹性散射信息扣除, 得到预处理后的元素俘获伽马能谱;

主元素群和辅助元素群构建模块, 用于构建由不同元素组成的主元素群和辅助元素群, 以明确不同元素的解谱先后顺序;

基于元素群的最小二乘法解谱模块, 用于根据主元素群和辅助元素群, 在预处理后的元素俘获伽马能谱中, 利用最小二乘法先对主元素进行解谱, 然后从预处理后的总元素伽马能谱 (即预处理后的元素俘获伽马能谱) 中扣除全部主元素所占贡献, 再利用最小二乘法对辅助元素进行解谱, 从而得到各元素的相对产额;

伽马能谱重构及误差控制模块, 用于根据各元素的相对产额, 结合归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱, 进行元素俘获伽马能谱的重构, 并将重构的伽马

能谱与测量伽马能谱进行对比, 确定解谱结果是否可靠。

在上述的装置中, 优选地, 在数据采集及主要元素类型确定模块中, 所获取、分析的研究区资料还包括常规测井数据、录井数据和地质资料等中的一种或几种的组合。

5 在上述的装置中, 优选地, 在数据采集及主要元素类型确定模块中, 研究区主要元素类型是通过以下方式确定的: 通过分析研究区的全岩氧化物分析数据、以及可选择地, 常规测井数据、录井数据和地质资料等中的一种或几种的组合, 得出不同种类氧化物所占岩石的重量百分比, 依据各氧化物重量百分比从而确定该区块主要元素类型。

10 在上述的装置中, 优选地, 在元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块中, 所选择的能窗范围是 30-210 道。

在上述的装置中, 优选地, 在元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块中, 能谱平滑滤波的方式是采用 Savitzky-Golay 滤波器, 并用 Savitzky-Golay 五点滤波法, 对所选择的能窗范围内的元素俘获伽马能谱测井数据进行滤波, Savitzky-Golay 五点滤波

15 法的公式如下式 1 所示:

$$\bar{y} = \frac{1}{35} (-3y_{i-2} + 12y_{i-1} + 17y_i + 12y_{i+1} - 3y_{i+2}) \quad (\text{式 1})$$

其中, $\bar{y}$ 表示某一道址上滤波后的计数, y_i 表示该道址上的计数, y_{i-1} 表示该道址的前一道址上的计数, y_{i-2} 表示该道址的前二道址上的计数, y_{i+1} 表示该道址的后一道址上的计数, y_{i+2} 表示该道址的后二道址上的计数。

20 在上述的装置中, 优选地, 在元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块中, 归一化处理采用的方法是: 对经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的元素俘获伽马能谱测井数据, 使 181 道 (逐道) 的能谱数据之和为 10, 得到归一化处理后的元素俘获伽马能谱, 所采用的公式如下式 2 所示:

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=30}^{210} N_{kj}} \quad k=30, 31, \dots, 210 \quad (\text{式 2})$$

25 其中, N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的元素俘获伽马能谱在第 k 道的计数, N_{kj} 为 j 深度点对应的经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的元素俘获伽马能谱在第 k 道的计数, j 为地层下的深度点。

在上述的装置中,优选地,在元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块中,非弹性散射信息扣除的方法是:对归一化处理后的元素俘获伽马能谱选取 30-54 道、55-75 道和 76-210 道三段道址的计数分别用 0.9、0.7 和 0.8 作为扣除系数进行非弹性信息扣除。

5 在上述的装置中,优选地,在主元素群和辅助元素群构建模块中,所构建的主元素群包括: Si、Ca、S、H、Cl、Ti、Fe、Na、Ba 和 Gd 等元素中的一种或几种元素;所构建的辅助元素群包括: Mg、K、Cr、Ni、I、Tb 和 Al 等元素中的一种或几种元素。

在上述的装置中,优选地,在基于元素群的最小二乘法解谱模块中,利用最小二乘法进行解谱是按照如下式 3 所示的算法进行的,以得到各元素的相对产额:

$$c_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 } 3)$$

其中, y_j 为第 j 种元素的相对产额(即该元素对总计数的贡献), a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数, c_i 为预处理后的元素俘获伽马能谱在第 i 道的计数, ε_i 为校正系数, $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

15 在上述的装置中,优选地,在伽马能谱重构及误差控制模块中,所述归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱是通过以下方法得到的:对单元素的元素俘获标准伽马能谱,使 256 道(逐道)的能谱数据之和为 10,所采用的公式如下式 4 所示:

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=0}^{255} N_{kj}} \quad k=0, 1, \dots, 255 \quad (\text{式 } 4)$$

20 其中, N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数, N_{kj} 为 j 深度点对应的归一化处理前的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数, j 为地层下的深度点。

在上述的装置中,优选地,在伽马能谱重构及误差控制模块中,元素俘获伽马能谱的重构是按照下式 5 计算重构伽马能谱在第 i 道的计数(即所有解谱元素在第 i 道的计数),得到各道的计数后,绘制重构伽马能谱:

$$25 \quad X_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 } 5)$$

其中, X_i 为重构伽马能谱在第 i 道的计数, y_j 为第 j 种元素的相对产额(由式 3

计算得到), a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数 (由式 4 计算得到), ε_i 为校正系数, $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

在上述的装置中, 优选地, 在伽马能谱重构及误差控制模块中, 将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比是按照式 6 进行:

$$|C_i - X_i| \leq \varepsilon \quad (\text{式 } 6)$$

C_i 为测量伽马能谱在第 i 道的计数, X_i 为重构的伽马能谱在第 i 道的计数, ε 为相对误差;

当相对误差小于或等于 5% 时, 认为解谱结果是可靠的; 当相对误差大于 5%, 则认为解谱结果不可靠。

本发明对元素俘获伽马能谱测井资料的处理方法进行了深入研究之后, 提供了一种高精度的、具有可操作性的针对元素俘获能谱测井仪器得到的伽马能谱的解谱方法及装置, 为准确开展元素俘获能谱的解谱提供了优秀的技术手段。本发明首先对元素俘获能谱测井仪器获取的伽马能谱数据进行预处理, 消除了仪器在测量过程中受井眼环境、仪器固有特性等因素影响。然后首次在考虑不同元素间相互影响的基础上提出了基于元素群的中子俘获伽马能谱解谱思想和具体实现方法; 通过对不同元素谱形、特征峰道及本底之间的理论分析和数值计算, 按照元素间相互影响程度构建了主元素群和辅助元素群, 并首次明确了不同元素解谱的先后顺序。之后首次基于最小二乘法实现了基于元素群的中子俘获伽马能谱解谱的方法, 并根据最小二乘法解谱获得的各元素产额通过理论进行能谱重构, 将实际测量的伽马能谱与重构伽马能谱对比进行误差控制, 有效提高了解谱精度。油田现场应用表明, 本发明的解谱方法及装置对不同类型储层均具有较好的普适性, 同时为其他类型仪器的中子伽马能谱数据处理提供了重要的参考和借鉴意义。

附图说明

图 1 为解谱能窗的选择示意图。

图 2 为 Na 元素和 Mg 元素单元素的元素俘获标准伽马能谱对比图。

图 3 为 DAS3 井 2403.1956m 的各元素解谱效果。

图 4 为 DAS3 井 2403.1956m 的重构伽马能谱和测量伽马能谱对比图。

图 5 为 DAS3 井 2403.1956m 的预处理后的元素俘获伽马能谱和测量伽马能谱对比图。

图 6 为 DAS3 井 2403.1956m 的主元素群重构伽马能谱和测量伽马能谱对比图。

图 7 为实施例 2 提供的元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱装置的示意图。

具体实施方式

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，结合油田现场实际应用实例，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 1

本实施例提供了一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法，其可以包括以下步骤：

1. 总元素伽马能谱测量谱的获取以及研究区主要元素分布种类的确定

利用元素俘获能谱测井仪器对大庆油田 DAS3 井储层段 3230-3270m 进行测井，获得各深度点的地层元素总的伽马能谱，即元素俘获伽马能谱测井数据，每个深度点对应一张谱图。获取、分析大庆油田 DAS3 井的全岩氧化物分析实验结果、录井数据，发现在储层段 3230m-3270m 主要包括 Si、Ca、Al、Fe、S、K、Na、Mg、Ti、Gd、H 和 Ba 元素，这些元素的氧化物占岩石重量百分含量的 98.9%。

2. 对元素俘获伽马能谱数据进行预处理

对 DAS3 井储层段 3230-3270m 各深度点的测量谱分别进行预处理，分别得到各深度点对应的预处理后的元素俘获伽马能谱，所述预处理包括能窗的选择、能谱平滑滤波、归一化处理以及非弹性散射信息扣除。

其中，所选择的能窗范围是 30-210 道，如图 1 所示。

能谱平滑滤波的方式是采用 Savitzky-Golay 滤波器，并用 Savitzky-Golay 五点滤波法，对所选择的能窗范围内的测量谱进行滤波，Savitzky-Golay 五点滤波法的公式如下式 1 所示：

$$\bar{y} = \frac{1}{35} (-3y_{i-2} + 12y_{i-1} + 17y_i + 12y_{i+1} - 3y_{i+2}) \quad (\text{式 1})$$

其中， $\bar{y}$ 表示某一道址上滤波后的计数， y_i 表示该道址上的计数， y_{i-1} 表示该道址的前一道址上的计数， y_{i-2} 表示该道址的前二道址上的计数， y_{i+1} 表示该道址的后一道址上的计数， y_{i+2} 表示该道址的后二道址上的计数。

归一化处理采用的方法是：对经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的测量谱，使 181 道（逐道）的能谱数据之和为 10，得到归一化处理后的测量谱，所采用的公

式如下式 2 所示：

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=30}^{210} N_{kj}} \quad k=30, 31, \dots, 210 \quad (\text{式 2})$$

其中， N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的测量谱在第 k 道的计数， N_{kj} 为 j 深度点对应的经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的测量谱在第 k 道的计数， j 为地
5 层下的深度点。

非弹性散射信息扣除的方法是：对归一化处理后的测量谱选取 30-54 道、55-75 道和 76-210 道三段道址的计数分别用 0.9、0.7 和 0.8 作为扣除系数进行非弹性信息扣除。

3. 构建主元素群和辅助元素群

10 根据步骤 1 知道，DAS3 井储层段 3230m-3270m 的主要元素种类为 Si、Ca、Al、Fe、S、K、Na、Mg、Ti、Gd、H 和 Ba。据此构建的主元素群为：Si、Ca、S、Ti、Fe、Na、Gd；考虑到仪器本底的影响，在构建辅助元素群时增加了 Tb 元素，因此构建的辅助元素群为：Mg、K、Al 和 Tb。

4. 基于元素群的最小二乘法解谱

15 根据步骤 3 得到的主元素群和辅助元素群，在经步骤 2 预处理后的元素俘获伽马能谱中，利用最小二乘法先对主元素（即：Si、Ca、S、Ti、Fe、Na、H、Ba、和 Gd）进行解谱，然后从预处理后的总元素伽马能谱（即经步骤 2 预处理后的元素俘获伽马能谱）中扣除全部主元素所占贡献，再利用最小二乘法对辅助元素（即：Mg、K、Al 和 Tb）进行解谱，从而得到各元素的相对产额；

20 利用最小二乘法进行解谱是按照如下式 3 所示的算法进行的，以得到各元素的相对产额：

$$c_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 3})$$

25 其中， y_j 为第 j 种元素的相对产额（即该元素对总计数的贡献）， a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数， c_i 为预处理后的元素俘获伽马能谱在第 i 道的计数， ε_i 为校正系数， $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

以 DAS3 井 2403.1956m 深度点获取的元素俘获伽马能谱为例，解谱得到的各元素的相对产额如图 3 所示。由于 Td 为本底产额，没有参考价值，故在图 3 中没有展

示。

5. 重构伽马能谱并控制误差

据步骤 4 得到的各元素的相对产额, 结合归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱, 进行元素俘获伽马能谱的重构, 并将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比, 确定解谱结果是否可靠。

其中, 所述归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱是通过以下方法得到的: 对于单元素的元素俘获标准伽马能谱, 使 256 道 (逐道) 的能谱数据之和为 10, 所采用的公式如下式 4 所示:

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=0}^{255} N_{kj}} \quad k=0, 1, \dots, 255 \quad (\text{式 4})$$

其中, N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数, N_{kj} 为 j 深度点对应的归一化处理前的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数, j 为地层下的深度点。

考虑到前二道址的计数没有实际意义, 因此也可以采用下式 4-1 对单元素的元素俘获标准伽马能谱进行归一化处理:

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=2}^{255} N_{kj}} \quad k=2, 3, \dots, 255 \quad (\text{式 4-1}).$$

元素俘获伽马能谱的重构是按照下式 5 计算重构伽马能谱在第 i 道的计数 (即所有解谱元素在第 i 道的计数), 得到各道的计数后, 绘制重构伽马能谱:

$$X_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} Y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 5})$$

其中, X_i 为重构伽马能谱在第 i 道的计数, Y_j 为第 j 种元素的相对产额 (由式 3 计算得到), a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数 (由式 4 或式 4-1 计算得到), ε_i 为校正系数, $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比是按照式 6 进行:

$$|C_i - X_i| \ll \varepsilon \quad (\text{式 6})$$

C_i 为测量伽马能谱在第 i 道的计数, X_i 为重构的伽马能谱在第 i 道的计数, ε 为相对误差;

当相对误差小于或等于 5%时，认为解谱结果是可靠的；当相对误差大于 5%，则认为解谱结果不可靠。

以 DAS3 井 2403.1956m 深度点各元素解谱结果为例，分别对重构伽马能谱和测量伽马能谱（图 4）、预处理后的元素俘获伽马能谱和测量伽马能谱（图 5）、主元素群重构伽马能谱（即按照式 5 计算全部主元素在第 i 道的计数，得到各道的计数后，重构的伽马能谱）和测量伽马能谱（图 6）进行了对比，由图 4-6 可以看出，本实施例的解谱结果可靠，并且解谱方法精确、有效。

实施例 2

本实施例提供了一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱装置，如图 7 所示，其包括：

数据采集及主要元素类型确定模块 101，用于获取、分析研究区资料，所述资料至少包括元素俘获伽马能谱测井数据和全岩氧化物分析数据，确定该区块主要元素类型；

元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块 102，用于对元素俘获伽马能谱测井数据进行预处理，所述预处理包括能窗的选择、能谱平滑滤波、归一化处理以及非弹性散射信息扣除，得到预处理后的元素俘获伽马能谱；

主元素群和辅助元素群构建模块 103，用于构建由不同元素组成的主元素群和辅助元素群，以明确不同元素的解谱先后顺序；

基于元素群的最小二乘法解谱模块 104，用于根据主元素群和辅助元素群，在预处理后的元素俘获伽马能谱中，利用最小二乘法先对主元素进行解谱，然后从预处理后的总元素伽马能谱（即预处理后的元素俘获伽马能谱）中扣除全部主元素所占贡献，再利用最小二乘法对辅助元素进行解谱，从而得到各元素的相对产额；

伽马能谱重构及误差控制模块 105，用于根据各元素的相对产额，结合归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱，进行元素俘获伽马能谱的重构，并将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比，确定解谱结果是否可靠。

权利要求书

1. 一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱方法，其包括以下步骤：

5 步骤 1：获取、分析研究区资料，所述资料至少包括元素俘获伽马能谱测井数据和全岩氧化物分析数据，确定该区块主要元素类型；

步骤 2：对元素俘获伽马能谱测井数据进行预处理，所述预处理包括能窗的选择、能谱平滑滤波、归一化处理以及非弹性散射信息扣除，得到预处理后的元素俘获伽马能谱；

10 步骤 3：构建由不同元素组成的主元素群和辅助元素群，以明确不同元素的解谱先后顺序；

步骤 4：根据步骤 3 得到的主元素群和辅助元素群，在经步骤 2 预处理后的元素俘获伽马能谱中，利用最小二乘法先对主元素进行解谱，然后从经步骤 2 预处理后的元素俘获伽马能谱中扣除全部主元素所占贡献，再利用最小二乘法对辅助元素进行解谱，从而得到各元素的相对产额；

15 步骤 5：根据步骤 4 得到的各元素的相对产额，结合归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱，进行元素俘获伽马能谱的重构，并将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比，确定解谱结果是否可靠。

20 2. 根据权利要求 1 所述的解谱方法，其中，在步骤 1 中，所获取、分析的研究区资料还包括常规测井数据、录井数据和地质资料中的一种或几种的组合；研究区主要元素类型是通过以下方式确定的：通过分析研究区的全岩氧化物分析数据、以及可选择地，常规测井数据、录井数据和地质资料中的一种或几种的组合，得出不同种类氧化物所占岩石的重量百分比，依据各氧化物重量百分比确定该区块主要元素类型。

3. 根据权利要求 1 所述的解谱方法，其中，在步骤 2 中，所选择的能窗范围是 30-210 道。

25 4. 根据权利要求 1 所述的解谱方法，其中，在步骤 2 中，能谱平滑滤波的方式是采用 Savitzky-Golay 滤波器，并用 Savitzky-Golay 五点滤波法，对所选择的能窗范围内的元素俘获伽马能谱测井数据进行滤波，Savitzky-Golay 五点滤波法的公式如下式 1 所示：

$$\bar{y} = \frac{1}{35} (-3y_{i-2} + 12y_{i-1} + 17y_i + 12y_{i+1} - 3y_{i+2}) \quad (\text{式 1})$$

其中, $\bar{y}$ 表示某一道址上滤波后的计数, y_i 表示该道址上的计数, y_{i-1} 表示该道址的前一道址上的计数, y_{i-2} 表示该道址的前二道址上的计数, y_{i+1} 表示该道址的后一道址上的计数, y_{i+2} 表示该道址的后二道址上的计数。

5 5. 根据权利要求 1 所述的解谱方法, 其中, 在步骤 2 中, 归一化处理采用的方法是: 对经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的元素俘获伽马能谱测井数据, 使 181 道的能谱数据之和为 10, 得到归一化处理后的元素俘获伽马能谱, 所采用的公式如下式 2 所示:

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=30}^{210} N_{kj}} \quad k=30, 31, \dots, 210 \quad (\text{式 } 2)$$

10 其中, N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的元素俘获伽马能谱在第 k 道的计数, N_{kj} 为 j 深度点对应的经过能窗范围选择、能谱平滑滤波之后的元素俘获伽马能谱在第 k 道的计数, k 为道址, j 为地层下的深度点。

6. 根据权利要求 1 所述的解谱方法, 其中, 在步骤 2 中, 非弹性散射信息扣除的方法是: 对归一化处理后的元素俘获伽马能谱选取 30-54 道、55-75 道和 76-210 道三段道址的计数分别用 0.9、0.7 和 0.8 作为扣除系数进行非弹性信息扣除。

15 7. 根据权利要求 1 所述的解谱方法, 其中, 在步骤 3 中, 所构建的主元素群包括: Si、Ca、S、H、Cl、Ti、Fe、Na、Ba 和 Gd 中的一种或几种元素; 所构建的辅助元素群包括: Mg、K、Cr、Ni、I、Tb 和 Al 中的一种或几种元素。

8. 根据权利要求 1 所述的解谱方法, 其中, 在步骤 4 中, 利用最小二乘法进行解谱是按照如下式 3 所示的算法进行的, 以得到各元素的相对产额:

$$20 \quad c_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 } 3)$$

其中, y_j 为第 j 种元素的相对产额, a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数, c_i 为预处理后的元素俘获伽马能谱在第 i 道的计数, ε_i 为校正系数, $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

25 9. 根据权利要求 1 或 8 所述的解谱方法, 其中, 在步骤 5 中, 所述归一化处理后的单元素的元素俘获标准伽马能谱是通过以下方法得到的: 对单元素的元素俘获标准伽马能谱, 使 256 道的能谱数据之和为 10, 所采用的公式如下式 4 所示:

$$N_{Gkj} = \frac{N_{kj}}{\sum_{k=0}^{255} N_{kj}} \quad k=0, 1, \dots, 255 \quad (\text{式 } 4)$$

其中, N_{Gkj} 为 j 深度点对应的归一化处理后的单元元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数, N_{kj} 为 j 深度点对应的归一化处理前的单元元素的元素俘获标准伽马能谱在第 k 道的计数, k 为道址, j 为地层下的深度点。

- 5 10. 根据权利要求 1 所述的解谱方法, 其中, 在步骤 5 中, 元素俘获伽马能谱的重构是按照下式 5 计算重构伽马能谱在第 i 道的计数, 得到各道的计数后, 绘制重构伽马能谱:

$$X_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j + \varepsilon_i \quad (\text{式 } 5)$$

- 10 其中, X_i 为重构伽马能谱在第 i 道的计数, y_j 为第 j 种元素的相对产额, a_{ij} 为第 j 种元素的归一化处理后的单元元素的元素俘获标准伽马能谱在第 i 道的计数, ε_i 为校正系数, $\varepsilon_i \leq 0.1$ 。

11. 根据权利要求 1 所述的解谱方法, 其中, 在步骤 5 中, 将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比是按照式 6 进行:

$$|C_i - X_i| \leq \varepsilon \quad (\text{式 } 6)$$

- 15 C_i 为测量伽马能谱在第 i 道的计数, X_i 为重构的伽马能谱在第 i 道的计数, ε 为相对误差;

当相对误差小于或等于 5% 时, 认为解谱结果是可靠的; 当相对误差大于 5%, 则认为解谱结果不可靠。

12. 一种元素俘获能谱测井的伽马能谱解谱装置, 其包括:

- 20 数据采集及主要元素类型确定模块, 用于获取、分析研究区资料, 所述资料至少包括元素俘获伽马能谱测井数据和全岩氧化物分析数据, 确定该区块主要元素类型;

元素俘获伽马能谱测井数据预处理模块, 用于对元素俘获伽马能谱测井数据进行预处理, 所述预处理包括能窗的选择、能谱平滑滤波、归一化处理以及非弹性散射信息扣除, 得到预处理后的元素俘获伽马能谱;

- 25 主元素群和辅助元素群构建模块, 用于构建由不同元素组成的主元素群和辅助元素群, 以明确不同元素的解谱先后顺序;

基于元素群的最小二乘法解谱模块, 用于根据主元素群和辅助元素群, 在预处理

后的元素俘获伽马能谱中，利用最小二乘法先对主元素进行解谱，然后从预处理后的元素俘获伽马能谱中扣除全部主元素所占贡献，再利用最小二乘法对辅助元素进行解谱，从而得到各元素的相对产额；

- 伽马能谱重构及误差控制模块，用于根据各元素的相对产额，结合归一化处理后
- 5 的单元素的元素俘获标准伽马能谱，进行元素俘获伽马能谱的重构，并将重构的伽马能谱与测量伽马能谱进行对比，确定解谱结果是否可靠。

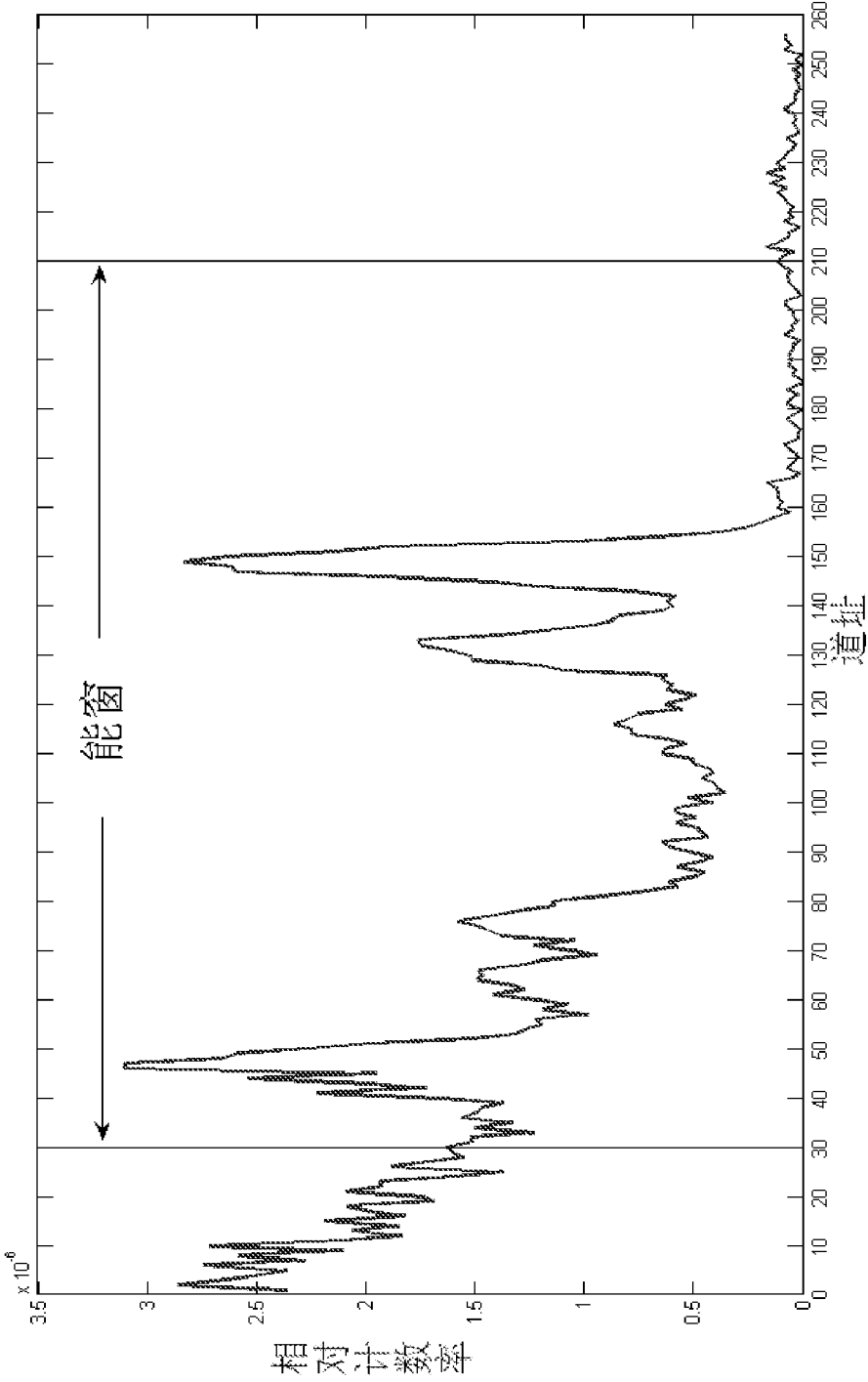


图 1

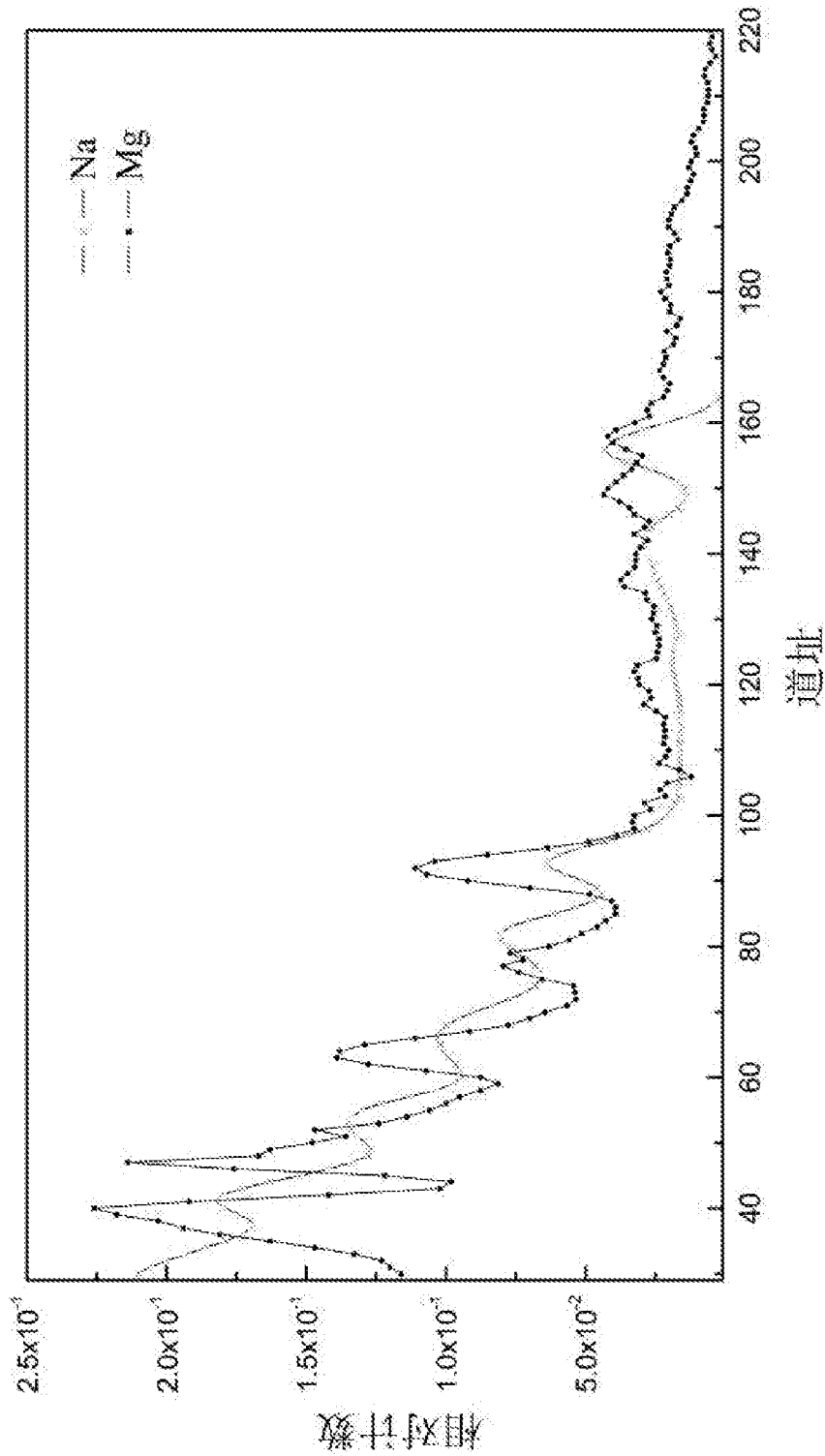


图 2

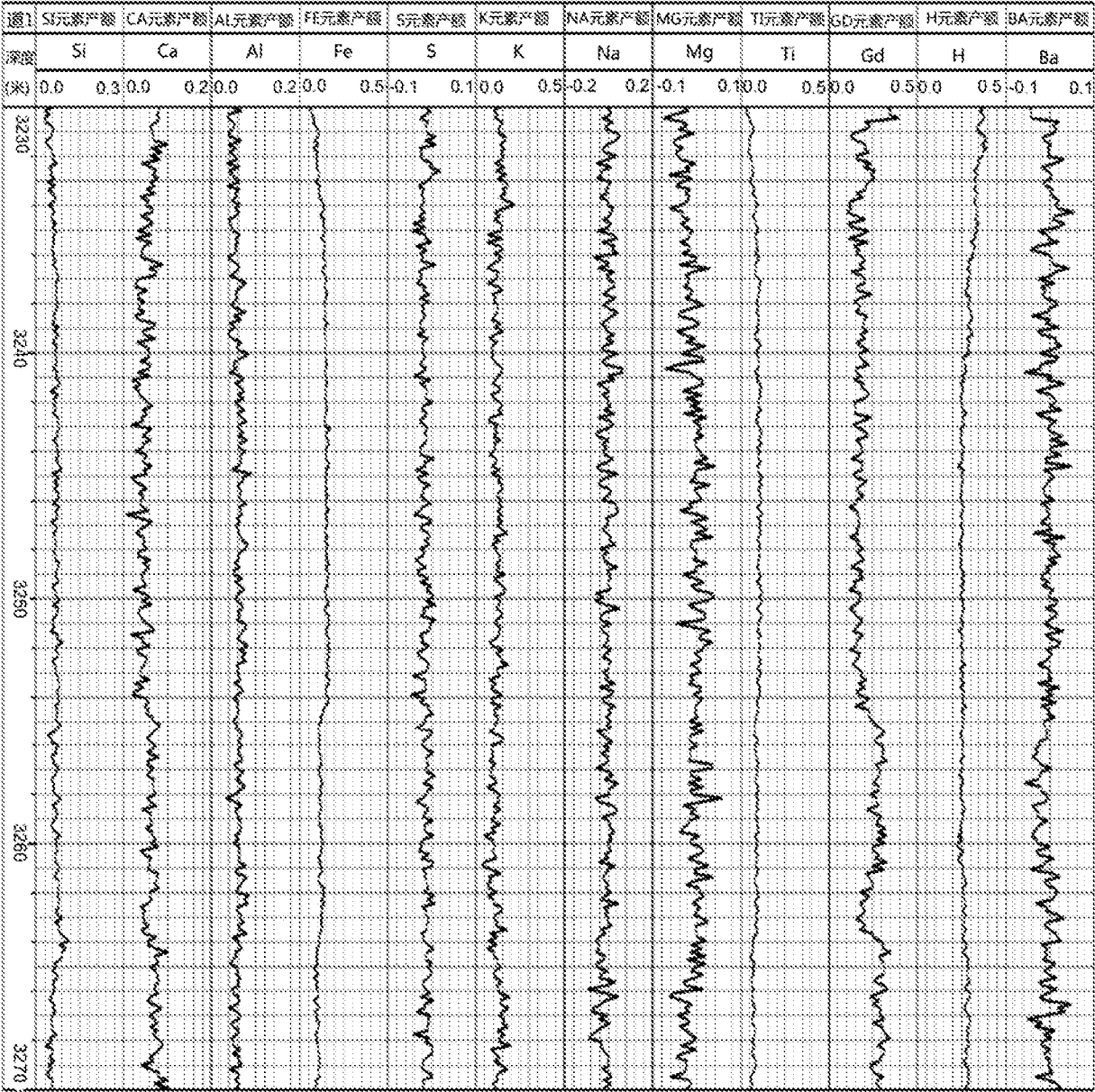


图 3

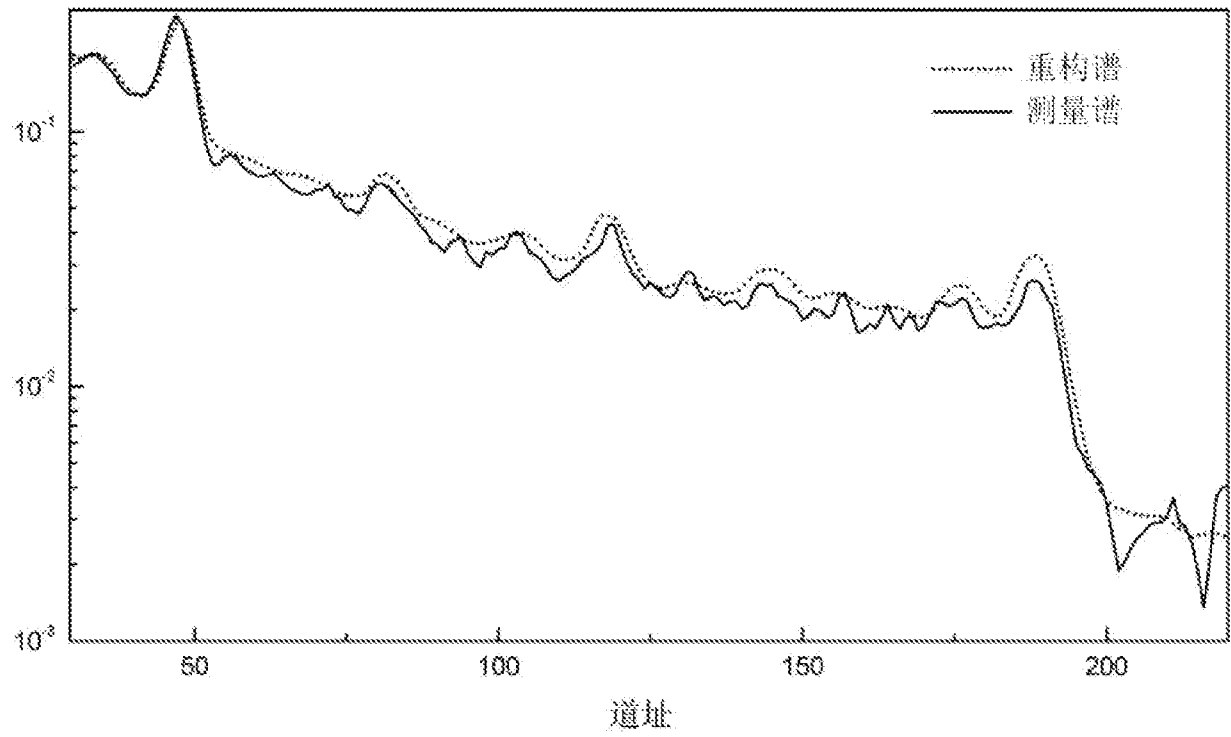


图 4

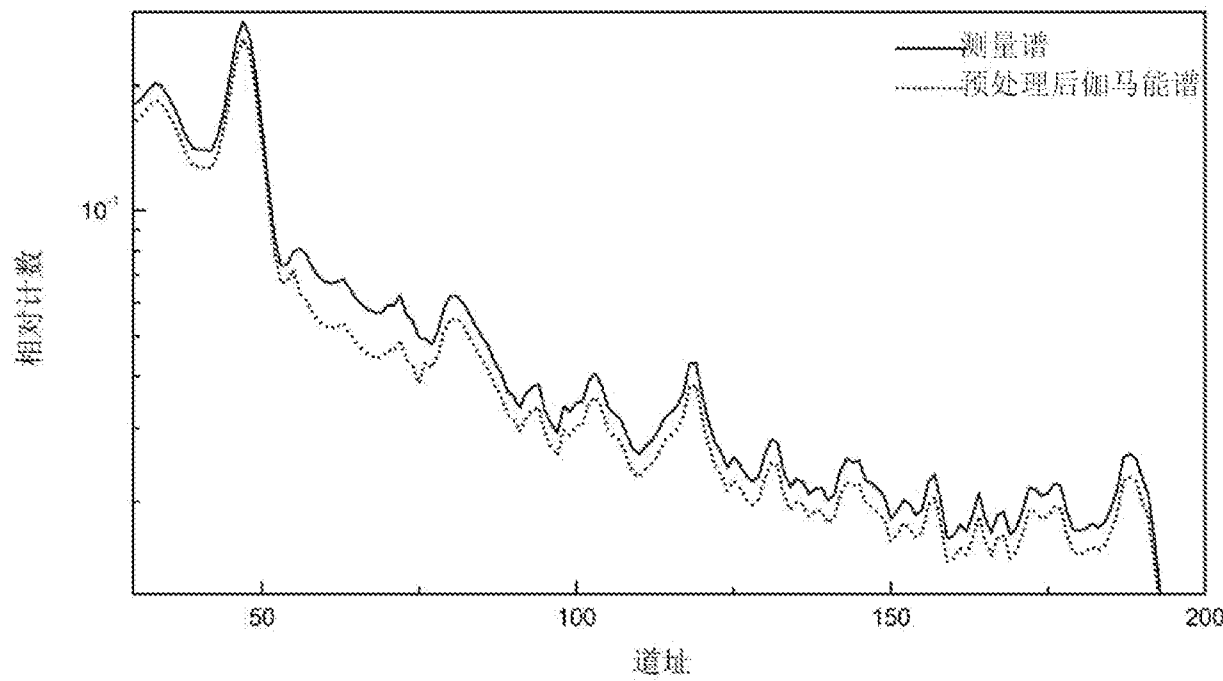


图 5

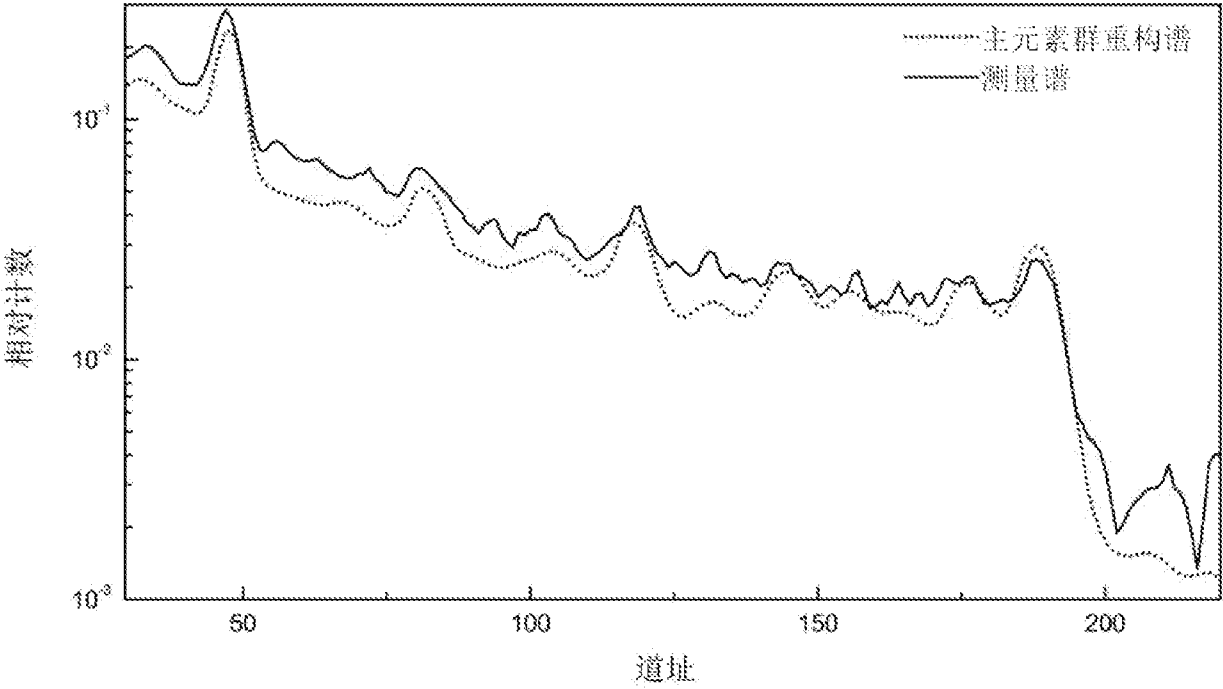


图 6

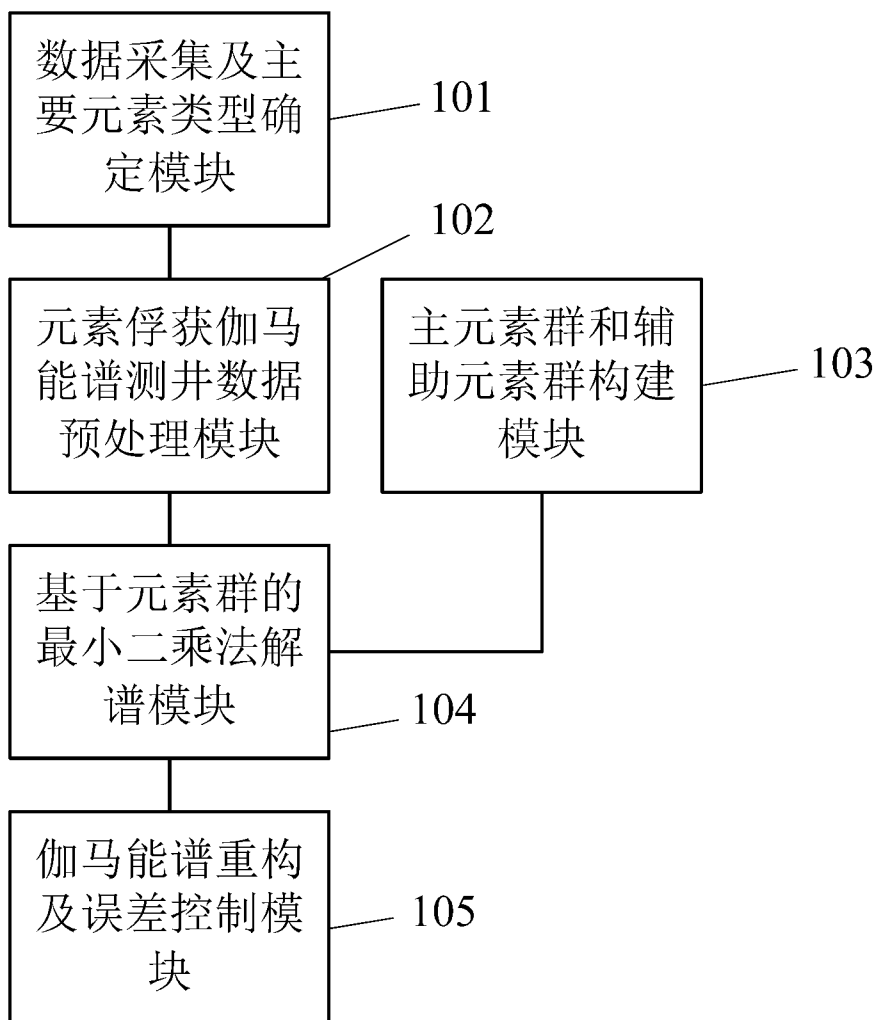


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/120083

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21B 49/00(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)

E21B, G01V, G01N, G06F

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 元素, 俘获, 能谱, 测井, 伽马, 解谱, 解析, 非弹, 主, 辅, 次, 顺序, 扣除, 减去, 贡献, 产额, 重
 构, 对比, 比较, 误差, 修正, 精度, 准确; element+, capture, energy, spectr+, logging, gamma, analy+, inelastic, non 1w elastic,
 primary, essential, major, principal, auxiliary, secondary, subsequence, deduct+, remov+, contribution, yield?, resolve, compare
 +, error, inaccuracy, correct, accuracy

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 108457644 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 28 August 2018 (2018-08-28) claims 1-12, description, summary, and figures 1-6	1-12
A	李传伟等 (LI, Chuanwei et al.). "基于最小二乘法的伽马能谱解谱方法及改进 (Spectrum Skipping Method for Gamma Spectrometry Log Based on the Least Squares Algorithm and Its Improvement)" 测井技术 (Well Logging Technology), Vol. 32, No. (4), 31 August 2008 (2008-08-31), ISSN: 1004-1338, pp. 319-322	1-12
A	CN 105806852 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 27 July 2016 (2016-07-27) entire document	1-12
A	US 9746582 B1 (SCHLUMBERGER TECH. CORPORATION) 29 August 2017 (2017-08-29) entire document	1-12
A	CN 105182422 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION ET AL.) 23 December 2015 (2015-12-23) entire document	1-12

☒ 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

"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

30 January 2019

Date of mailing of the international search report

06 March 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/120083

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104316971 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 28 January 2015 (2015-01-28) entire document	1-12
A	CN 105257286 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 20 January 2016 (2016-01-20) entire document	1-12
A	CN 101078775 A (XI'AN AOHUA ELECTRONIC INSTRUMENT CO., LTD.) 28 November 2007 (2007-11-28) entire document	1-12
A	CN 103760182 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 30 April 2014 (2014-04-30)	1-12
A	CN 107505344 A (CHINA NATIONAL OFFSHORE OIL CORPORATION ET AL.) 22 December 2017 (2017-12-22) entire document	1-12
A	WO 2017069935 A1 (VIRGIN INSTR. CORP.) 27 April 2017 (2017-04-27) entire document	1-12
A	US 2017357027 A1 (SCHLUMBERGER TECH. CORPORATION) 14 December 2017 (2017-12-14) entire document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/120083

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	108457644	A	28 August 2018	None	
CN	105806852	A	27 July 2016	None	
US	9746582	B1	29 August 2017	None	
CN	105182422	A	23 December 2015	None	
CN	104316971	A	28 January 2015	None	
CN	105257286	A	20 January 2016	CN 105257286 B	25 December 2018
				EP 3333360 A4	10 October 2018
				US 2018246254 A1	30 August 2018
				EP 3333360 A1	13 June 2018
				WO 2017076151 A1	11 May 2017
CN	101078775	A	28 November 2007	CN 100543496 C	23 September 2009
CN	103760182	A	30 April 2014	None	
CN	107505344	A	22 December 2017	None	
WO	2017069935	A1	27 April 2017	US 2017108509 A1	20 April 2017
US	2017357027	A1	14 December 2017	US 10139518 B2	27 November 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/120083

A. 主题的分类

E21B 49/00(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)

E21B, G01V, G01N, G06F

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))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 元素, 俘获, 能谱, 测井, 伽马, 解谱, 解析, 非弹, 主, 辅, 次, 顺序, 扣除, 减去, 贡献, 产额, 重构, 对比, 比较, 误差, 修正, 精度, 准确; element+, capture, energy, spectr+, logging, gamma, analy+, inelastic, non 1w elastic, primary, essential, major, principal, auxiliary, secondary, subsequence, deduct+, remov+, contribution, yield?, resolve, compare+, error, inaccuracy, correct, accuracy

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
PX	CN 108457644 A (中国石油天然气股份有限公司) 2018年 8月 28日 (2018 - 08 - 28) 权利要求1-12, 说明书发明内容, 附图1-6	1-12
A	李传伟等. “基于最小二乘法的伽马能谱解谱方法及改进” 测井技术, 第32卷, 第4期, 2008年 8月 31日 (2008 - 08 - 31), ISSN: 1004-1338, 第319-322页	1-12
A	CN 105806852 A (中国石油天然气股份有限公司) 2016年 7月 27日 (2016 - 07 - 27) 全文	1-12
A	US 9746582 B1 (SCHLUMBERGER TECH. CORPORATION) 2017年 8月 29日 (2017 - 08 - 29) 全文	1-12
A	CN 105182422 A (中国石油天然气集团公司等) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文	1-12
A	CN 104316971 A (中国石油天然气股份有限公司) 2015年 1月 28日 (2015 - 01 - 28) 全文	1-12

☒ 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

2019年 1月 30日

国际检索报告邮寄日期

2019年 3月 6日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (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

受权官员

温锐

电话号码 86-10-53961014

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 105257286 A (中国石油天然气股份有限公司) 2016年 1月 20日 (2016 - 01 - 20) 全文	1-12
A	CN 101078775 A (西安奥华电子仪器有限责任公司) 2007年 11月 28日 (2007 - 11 - 28) 全文	1-12
A	CN 103760182 A (中国石油天然气股份有限公司) 2014年 4月 30日 (2014 - 04 - 30)	1-12
A	CN 107505344 A (中国海洋石油总公司等) 2017年 12月 22日 (2017 - 12 - 22) 全文	1-12
A	WO 2017069935 A1 (VIRGIN INSTR. CORP.) 2017年 4月 27日 (2017 - 04 - 27) 全文	1-12
A	US 2017357027 A1 (SCHLUMBERGER TECH. CORPORATION) 2017年 12月 14日 (2017 - 12 - 14) 全文	1-12

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/120083

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	108457644	A	2018年 8月 28日	无	
CN	105806852	A	2016年 7月 27日	无	
US	9746582	B1	2017年 8月 29日	无	
CN	105182422	A	2015年 12月 23日	无	
CN	104316971	A	2015年 1月 28日	无	
CN	105257286	A	2016年 1月 20日	CN 105257286	B 2018年 12月 25日
				EP 3333360	A4 2018年 10月 10日
				US 2018246254	A1 2018年 8月 30日
				EP 3333360	A1 2018年 6月 13日
				WO 2017076151	A1 2017年 5月 11日
CN	101078775	A	2007年 11月 28日	CN 100543496	C 2009年 9月 23日
CN	103760182	A	2014年 4月 30日	无	
CN	107505344	A	2017年 12月 22日	无	
WO	2017069935	A1	2017年 4月 27日	US 2017108509	A1 2017年 4月 20日
US	2017357027	A1	2017年 12月 14日	US 10139518	B2 2018年 11月 27日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)