

(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
2025 年 2 月 20 日 (20.02.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/035692 A1

(51) 国际专利分类号:
E21B 43/30 (2006.01)

COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市昌平区
黄河街5号院1号楼, Beijing 102206 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2024/070539

(22) 国际申请日: 2024 年 1 月 4 日 (04.01.2024)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202311035206.3 2023年8月16日 (16.08.2023) CN

(71) 申请人: 中国 石 油 天 然 气 集 团
有 限 公 司 (**CHINA NATIONAL PETROLEUM
CORPORATION**) [CN/CN]; 中国 北 京 市 东 城
区 东 直 门 北 大 街 9 号, Beijing 100007 (CN)。
中 国 石 油 集 团 工 程 技 术 研 究 院 有 限
公 司 (**CNPC ENGINEERING TECHNOLOGY R & D**

(72) 发明人: 袁光杰(**YUAN, Guangjie**); 中国北京市西城
区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。车
阳(**CHE, Yang**); 中国北京市西城区六铺炕街六
号316室, Beijing 100724 (CN)。乔磊(**QIAO, Lei**);
中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing
100724 (CN)。任宪可(**REN, Xianke**); 中国北京
市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724
(CN)。杜卫强(**DU, Weiqiang**); 中国北京市西城
区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。张
吉喆(**ZHANG, Jizhe**); 中国北京市西城区六铺炕
街六号316室, Beijing 100724 (CN)。林盛杰(**LIN,
Shengjie**); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室,
Beijing 100724 (CN)。王辰龙(**WANG, Chenlong**);
中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing
100724 (CN)。刘天恩(**LIU, Tianen**); 中国北京市西

(54) **Title:** IN-SITU SHALE OIL WELL CONSTRUCTION METHOD, DEVIATION MAGNETIC GUIDANCE SYSTEM, AND
MULTI-WELLBORE ANTI-COLLISION SYSTEM

(54) 发明名称: 页岩油原位建井方法、偏离磁导向系统及多井眼防碰系统

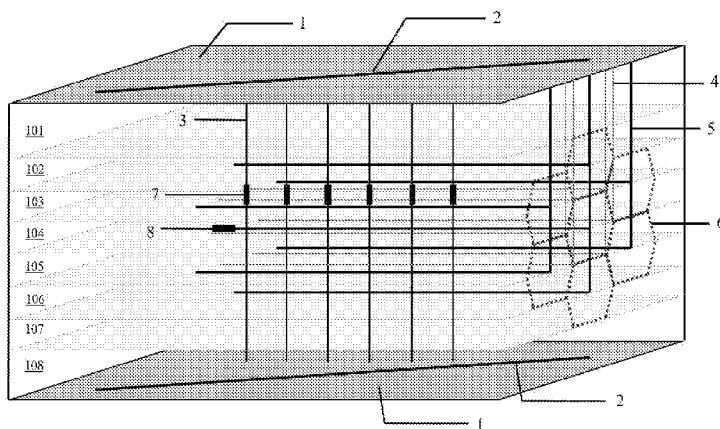


图 1B

(57) **Abstract:** An in-situ shale oil well construction method, a deviation magnetic guidance system, and a multi-wellbore anti-collision system. The method comprises: on the basis of location information of a shale oil heating area, arranging a ground excitation coil (1) on the ground of a corresponding area, and constructing a magnetic beacon by means of the ground excitation coil (1); constructing horizontal edge wells from both of an upper boundary and a lower boundary of a shale oil reservoir by using geosteering technology, and on the basis of the location information of the shale oil heating area, constructing vertical wells penetrating the shale oil reservoir in the corresponding area; on the basis of the vertical wells, constructing standard horizontal wells by means of a deviation magnetic guidance technique, and on the basis of the standard horizontal wells, using the magnetic beacon as a reference to construct production wells and a plurality of heating wells by means of a dual-horizontal-well magnetic ranging technique, wherein the production wells and the heating wells are three-dimensionally distributed in parallel and do not intersect with each other; and obtaining a well network deployment of unit wells on the basis of the production wells and the heating wells.

城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。
蓝海峰(LAN, Haifeng); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。庞宇晗(PANG, Yuhang); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。巩永丰(GONG, Yongfeng); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。王金忠(WANG, Jinzhong); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。何军(HE, Jun); 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.); 中国北京市西城区金融街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, MU, 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: 一种页岩油原位建井方法、偏离磁导向系统及多井眼防碰系统, 方法包含: 根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域的地面布置地面激励线圈(1), 通过地面激励线圈(1)构建磁信标; 利用地质导向技术在页岩油储层的上下边界分别构建水平边缘井, 并根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域构建贯穿页岩油储层的直井; 根据直井通过偏离磁导向技术构建标准水平井, 根据标准水平井通过双水平井磁测距技术以磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井; 生产井和加热井在地层中立体平行分布且互不相交; 根据生产井和加热井获得单位井的井网部署。

页岩油原位建井方法、偏离磁导向系统及多井眼防碰系统

技术领域

本申请涉及油气勘探开采领域，尤指一种页岩油原位建井方法、偏离磁导向系统及多井眼防碰系统。

5

背景技术

地下原位开采方法是一种适合页岩油资源埋藏较深时使用的开采方法，指埋藏于地下的页岩油不经过开采通过人工加热地下低熟页岩油储层，在原位将固体干酪根裂解成油气，再利用相应的技术将其开采出来，这种开发方式提高了开采效率、缩减了占地面积，减少了硫化氢污染物的排放，是一种高效、环保、经济的页岩油开发模式。

10

目前的页岩油原位开采技术存在加热周期长、热损高、对环境有危害、能量利用率低等问题。由于开发需要，井间间距与井眼轨迹误差率都要进行严格的控制，地下开采规模及加热效率也需要一定的保障。

常规随钻测量系统，如基于地磁导向的连续测斜系统和基于惯性导航的陀螺测斜系统都是利用测得的钻具倾角、方位角等进行演算得到钻孔轨迹，累积误差大，实时性差，计算繁琐，无法满足复杂结构井的高精度导向需求。

15

现有技术中的防碰扫描方法，是根据测斜仪器测得的井斜角和方位角数据插值计算得到在指定井深的空间坐标，根据标定的仪器误差分析仪器的误差椭圆，计算分离系数和中心距分析两井的距离，但因存在累积误差，对距离近且井深长的情况利用率不高。

20

发明内容

本申请目的在于提供一种页岩油原位建井方法、偏离磁导向系统及多井眼防碰系统，在页岩油的原位开发中运用磁测距技术与地面激励线圈的配合确保加热井、生产井及观察井之间的距离，结合地质导向技术调整各类型井的井眼轨迹，提高钻井精度。利用加热井、生产井、观察井组成一个单元井，在建成的开发单元井基础上建立多个单元井，增加单元井数量，形成一定规模的地下井工厂，从而扩大对页岩油的加热区域，有利于对页岩油的开采，提高生产效益。

25

为达上述目的，本申请所提供的页岩油原位建井方法，具体包含：根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域的地面布置地面激励线圈，通过所述地面激励线圈构建磁信

标；利用地质导向技术在页岩油储层的上下边界分别构建水平边缘井，并根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域构建贯穿页岩油储层的直井；根据所述直井通过偏离磁导向技术构建标准水平井，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井；其中，所述生产井和所述加热井在地层中立体平行分布且互不相交；根据所述生产井和所述加热井获得单位井的井网部署。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和加热井包含：通过钻具中的磁传感器阵列测量磁信标在测点处的磁场分布获得检测信号，并提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据；根据所述信号变化数据计算磁场分量在相应方向上的变化率，并采用三维牛顿梯度下降法求解交流线圈的磁场大小获得测点相对于磁信标的位置坐标；根据所述位置坐标控制钻井的井眼轨迹构建所述生产井和所述加热井。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据包含：通过正交检波算法或匹配滤波算法提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，根据所述直井通过偏离磁导向技术构建标准水平井包含：通过所述直井为参考坐标计算水平井的位置参数，根据所述位置参数调整所述标准水平井在预设关键节点的井眼轨迹；根据所述井眼轨迹构建标准水平井。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，通过所述直井为参考坐标计算水平井的位置参数包含：于所述直井内放入探管，根据所述水平井中磁短节检测所述探管产生的磁场信号计算获得所述水平井和所述标准直井的相对位置；根据所述相对位置分析获得所述水平井的位置参数。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，多个所述加热分布在正六边形的交点处，对位置所述正六边形中心处的生产井进行加热。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井还包含：通过旋转导向工具 RSS 调整生产井和多个加热井在构建过程中的井眼轨迹。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井还包含：通过井下工具串的线性电极向周围地层注入高频电磁波，使相邻井内金属套管聚集向下的电流并产生磁场信号；根据相邻井内探管采集到电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置；根据所述相对位置调整当前井的井眼轨迹。

在上述页岩油原位建井方法中，可选的，根据相邻井内探管采集到电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置包含：对所述电磁信号进行聚类分析获得聚类数据；根据所述聚类数据构建混合矩阵，通过所述混合矩阵求解线性规划获得试算数据；根据所述试算数据通过变换域分离获得多个源信号，对所述源信号进行小波变换获得当前井与邻井的相对位置。

本申请还提供一种适用于所述的页岩油原位建井方法的偏离磁导向系统，所述系统包含测量探管、放电电极、磁短节和数据采集装置；所述磁短节设置于水平井的钻头位置，用于产生磁信号；所述放电电极和所述测量探管通过电缆放入直井底部；其中，所述放电电极用于向地层放电，触发预设区域内钻柱产生磁信号；所述测量探管用于采集预设区域内的磁信号；所述数据采集装置与所述测量探管相连，用于根据采集获得的磁信号计算获得所述水平井和所述标准直井的相对位置。

本申请还提供一种适用于所述的多井眼防碰系统，所述系统包含探管、绝缘带、电磁波发射器和数据处理装置；所述探管下放至当前钻井的底部，并通过所述绝缘带与所述电磁波发射器相连；所述电磁波发射器用于根据控制指令想周围地层注入高频电磁波，使相邻井内金属套管聚集向下的电流并产生磁场信号；所述探管将采集到的相邻井的电磁信号提供至所述数据处理装置；所述数据处理装置根据所述电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置。

本申请还提供一种电子设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现上述方法。

本申请还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有执行上述方法的计算机程序。

本申请还提供一种计算机程序产品，包括计算机程序/指令，该计算机程序/指令被处理器执行时实现上述方法的步骤。

本申请的有益技术效果在于：（1）利用磁测距技术在页岩油储层建立直井与水平井的“U”型连接，设计了偏离磁导向系统方案，提高了钻井精度，当布局水平井井网时，可通过直井探测有效避免水平井相互碰撞，起到导航作用；（2）利用磁测距技术与地面激励线圈的配合确保了多水平井的钻井精度，降低了水平井间碰撞的可能性，有利于单元井井网部署；（3）所采用的地面线圈具有良好的便携性，便于快速铺设；且线圈能量强度可以随着作业的深度及复杂程度而调整，适应性较强；（4）在单元井井网部署良好的基础上，建立多个单元井，形成一个地下工厂，扩大了对页岩油储层的加热规模，提高

了开采效益。（5）通过信号分离能够同时识别相邻多井眼，从而提高复杂结构井钻井效率。

附图说明

5 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解，构成本申请的一部分，并不构成对本申请的限定。在附图中：

图 1A 为本申请一实施例所提供的页岩油原位建井方法的流程示意图；

图 1B 为本申请一实施例所提供的页岩油开发井工厂建井示意图；

图 1C 为本申请一实施例所提供的地面矩形线圈导向系统原理示意图；

10 图 2 为本申请一实施例所提供的生产井和加热井构建流程示意图；

图 3A 为本申请一实施例所提供的标准水平井的构建流程示意图；

图 3B 为本申请一实施例所提供的单元井的构建示意图；

图 4 为本申请一实施例所提供的生产井和多个加热井的构建流程示意图；

图 5A 为本申请一实施例所提供的当前井与邻井的相对位置获取流程示意图；

15 图 5B 为本申请一实施例所提供的层状电流示意图；

图 6 为本申请一实施例所提供的偏离磁导向系统的结构示意图；

图 7 为本申请一实施例所提供的多井眼防碰系统的结构示意图；

图 8 为本申请一实施例所提供的电子设备的结构示意图。

20 具体实施方式

以下将结合附图及实施例来详细说明本申请的实施方式，借此对本申请如何应用技术手段来解决技术问题，并达成技术效果的实现过程能充分理解并据以实施。需要说明的是，只要不构成冲突，本申请中的各个实施例及各实施例中的各个特征可以相互结合，所形成的技术方案均在本申请的保护范围之内。

25 另外，在附图的流程图示出的步骤可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行，并且，虽然在流程图中示出了逻辑顺序，但是在某些情况下，可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

请参考图 1A 所示，本申请所提供的页岩油原位建井方法，具体包含：

S101 根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域的地面布置地面激励线圈，通过所述地面激励线圈构建磁信标；

30

S102 利用地质导向技术在页岩油储层的上下边界分别构建水平边缘井，并根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域构建贯穿页岩油储层的直井；

S103 根据所述直井通过偏离磁导向技术构建标准水平井，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井；其中，所述生产井和所述加热井在地层中立体平行分布且互不相交；

S104 根据所述生产井和所述加热井获得单位井的井网部署。

具体可参考图 1B 所示，在实际工作中可圈定页岩油的储层范围，所钻加热井与生产井均位于储层之内，其中，页岩油储层边界 1 内，即上下边界内部是低熟的页岩油区。利用地质导向技术在储层边界上钻至少两口边缘井 2，边缘井为在储层边界上的水平井，地质导向技术能够使得边缘井更加精准地抵达储层边界，控制井眼轨迹在储层边界上延伸。边缘井主要用来规范加热井与生产井的垂向深度，防止其钻穿页岩油储层，减少不必要的工程损耗。在该实施例中，利用磁测距技术完成各类井的钻井工序，包括加热井、生产井、观察井（可为标准水平井）。由加热井、生产井、观察井组成一个单元井井网，多个单元井组成一个大的地下工厂，扩大了对页岩油储层的加热范围，提高开采、生产效益。

再请参考图 1C 所示，其中地面矩形线圈 1 和地面电源 2 构成了磁信标，水平井 3 内测量探管 5 和信号传输短节 4 设置于钻头 6 上予以测量地面上的磁信标，从而判断当前钻头位置。

请参考图 2 所示，在本申请一实施例中，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和加热井包含：

S201 通过钻具中的磁传感器阵列测量磁信标在测点处的磁场分布获得检测信号，并提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据；

S202 根据所述信号变化数据计算磁场分量在相应方向上的变化率，并采用三维牛顿梯度下降法求解交流线圈的磁场大小获得测点相对于磁信标的位置坐标；

S203 根据所述位置坐标控制钻井的井眼轨迹构建所述生产井和所述加热井。

其中，提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据包含：通过正交检波算法或匹配滤波算法提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据。

具体的，在实际工作中，上述实施例主要采用在地面布置矩形导线作为磁信标，通过钻具中的磁传感器阵列测量磁信标在测点处的磁场分布，用正交检波算法、匹配滤波算法提取信号的幅值，并计算磁场分量在相应方向上的变化率，采用三维牛顿梯度下降

法求解交流线圈磁场大小，得到测点相对于磁信标的位置坐标,最终实现井眼轨迹的精确控制。整体上，钻水平井水平段时，采用非开挖工程技术。在地面布置矩形导线作为磁信标，通过钻具中的磁传感器阵列测量磁信标在测点处的磁场分布，用正交检波算法、匹配滤波算法提取信号的幅值，并计算磁场分量在相应方向上的变化率，采用三维牛顿梯度下降法求解交流线圈及十字磁靶磁场大小，得到测点相对于磁信标的位置坐标,最终实现井眼轨迹的精确控制。

请参考图 3A 所示，在本申请一实施例中，根据所述直井通过偏离磁导向技术构建标准水平井包含：

S301 通过所述直井为参考坐标计算水平井的位置参数，根据所述位置参数调整所述标准水平井在预设关键节点的井眼轨迹；

S302 根据所述井眼轨迹构建标准水平井。

具体的，在步骤 S301 中通过所述直井为参考坐标计算水平井的位置参数可包含：于所述直井内放入探管，根据所述水平井中磁短节检测所述探管产生的磁场信号计算获得所述水平井和所述标准直井的相对位置；根据所述相对位置分析获得所述水平井的位置参数。

在实际工作中，钻标准井前，在标准井的水平段上方每间隔 5~6 米钻一口直井，可参考图 1B 所示，直井 3 在垂深上要贯穿整个页岩油储层，以备后期用作地层温度的监测。标准井为一口长水平井，水平段需位于页岩油储层边界的内部，采用“U”型穿针技术，当钻进标准井水平段时，在直井中下入探管，探管 7 设置于所述直井 3 内；在标准井中，在钻头处连接一个磁短节 8；利用磁场信号来定位钻头，依次计算水平井与直井 3 的相对位置，分析水平井的井斜角、方位角等参数，控制其井眼根据设计的轨迹延伸。对于关键的点（如监测点、着陆点、靶点），采用“U”型穿针磁测距技术。以直井为基础，在页岩油储层打一口标准井，在钻完的标准井水平段中放入探管，在此基础上利用磁测距技术以标准井为参考钻取另一口水平井，钻进过程中实时采集并分析磁信号，计算出两口井的相对位置，进而实时地调整井眼轨迹，提高钻井精度。

在本申请一实施例中，多个所述加热分布在正六边形的交点处，对位置所述正六边形中心处的生产井进行加热。进一步的，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井还包含：通过旋转导向工具 RSS 调整生产井和多个加热井在构建过程中的井眼轨迹。

具体的，请参考图 1B 和图 3B 所示，一个单元井由 6 口加热井与 1 口生产井组成，其中地层 101、102、103、104、105、106、107、108 为不同平面的层级。井网均位于页岩油储层内，其中边缘井 2，加热井 4，生产井 5 构成单元井。在标准井钻完的基础上，利用双水平井磁测距技术继续进行其余水平井的钻进。实施水平井钻进时，选取距离当前井最近的已钻完的一口水平井为参考井，在参考井中放入探管，在正钻井钻头处连接一个强磁短节，实时计算分析磁信号，调整井眼轨迹，从而提高钻井精度，降低小间距多水平井间的碰撞。可选配套旋转导向工具 RSS（Rotary Steerable System），予以解决双水平井控制精度不够高的问题，大幅提高控制精度。一个完整的单元井井网为一个正六边形 6。加热井均匀分布在正六边形交点处，对整个单元区进行加热；生产井位于正六边形中心点处，用来开采干酪根加热转化成的液态烃；加热井与生产井在地层中立体平行分布，互不相交。

综上，本申请所提供的页岩油原位建井方法在实施流程上主要包含如下五个步骤：

1、在页岩油储层上下边界设置边缘井；

2、实现标准水平井与直井之间的“U”型连接；

3、利用双水平井磁测距技术进行其余水平井的钻进，包含加热井、生产井；

4、完成一口单元井的井网部署；

5、对多个单元井井网进行部署，建立地下工厂。（多个单元井的构建流程皆可参考前述步骤 1 至 4）

请参考图 4 所示，在本申请一实施例中，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井还包含：

S401 通过井下工具串的线性电极向周围地层注入高频电磁波，使相邻井内金属套管聚集向下的电流并产生磁场信号；

S402 根据相邻井内探管采集到电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置；

S403 根据所述相对位置调整当前井的井眼轨迹。

再请参考图 5A 所示，根据相邻井内探管采集到电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置包含：

S501 对所述电磁信号进行聚类分析获得聚类数据；

S502 根据所述聚类数据构建混合矩阵，通过所述混合矩阵求解线性规划获得试算数据；

S503 根据所述试算数据通过变换域分离获得多个源信号，对所述源信号进行小波变换获得当前井与邻井的相对位置。

上述调整流程主要适用于多井眼防碰，其具体实施流程可包含如下步骤：

- 1、地面工控机控制井下工具串的线性电极向周围地层注入高频电磁波；
- 5 2、电磁波大部分吸附到邻井金属套管上，聚集产生向上和向下的电流；
- 3、通过探管采集多口邻井金属套管聚集的向下的电流产生的磁场和姿态；
- 4、通过电缆将数据传输到地面工控机，工控机的另一端连接计算机设备；
- 5、执行信号分离程序，然后同时解算出正钻井与邻井的距离。

具体地，步骤 5 的信号分离流程为：对混合信号进行聚类分析；估计混合矩阵；试
10 算求解线性规划；在变换域分离出多个源信号；小波变换恢复出多个源信号。在实际工作中，上述流程的使用方式如下：

将邻近井套管、线性电极和当前井套管分为足够小的线段，此时可以将这些微段看作点电流源，具体可参考图 5B 所示。其中， t 为点电源到地面的深度， m ； h_i 为第 i 层地层的界面深度， m ； σ_i 为第 i 层地层的电导率， S/m 。第 i 层地层源点和第 j 层地层场点的
15 格林函数为：

$$G_{ij} = \frac{1}{4\pi\sigma_i} \int_0^\infty [A_{ij}(\lambda)e^{-\lambda y} + B_{ij}(\lambda)e^{-\lambda y}] J_0(\lambda x) d\lambda \quad (1)$$

其中， j 的取值区间为 $[1, n]$ ， $J_0(\lambda x)$ 为 0 阶贝塞尔函数，存在以下恒等式：

$$\int_0^\infty J_0(\lambda x) e^{-\lambda|y|} d\lambda = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2)$$

联立公式(1)和各地层边界条件：

$$\left\{ \begin{array}{l} y = -t, \frac{\partial G_{i1}}{\partial y} = 0 \\ \dots \\ y = h_j - t, G_{ij} = G_{ij(i+1)} \\ \dots \\ y \rightarrow \infty, G_{in} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

可以求解出公式(1)中的 A_{ij} 和 B_{ij} ：

$$A_{ij}(\lambda) = \sum_{k=1}^T a_k e^{b_k \lambda} \quad (4)$$

$$B_{ij}(\lambda) = \sum_{k=1}^T c_k e^{d_k \lambda} \quad (5)$$

使用 prony 算法，可以求出公式(4)和公式(5)中的 a_k 、 b_k 、 c_k 、 d_k ，T 为 3~6 之间的项数。

根据公式(1)、公式(2)、公式(4)和公式(5)，得到格林函数：

$$G_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\sigma_i} \sum_{k=1}^T \left[\frac{a_k}{\sqrt{x^2 + (y-b_k)^2}} + \frac{c_k}{\sqrt{x^2 + (y+d_k)^2}} \right], & i \neq j \\ \frac{1}{4\pi\sigma_i} \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \sum_{k=1}^T \left[\frac{a_k}{\sqrt{x^2 + (y-b_k)^2}} + \frac{c_k}{\sqrt{x^2 + (y+d_k)^2}} \right] \right), & i = j \end{cases} \quad (6)$$

由于邻近井套管、线性电极和当前井套管的长度远远大于它们自身的直径，因此可以将其看作一维线性导体，故地层中任意一点由套管或线性电极所泄露的电流产生的电势，可通过泄露电流密度 ξ （单位为 A/m）表示为：

$$\varphi = \int_L G \xi dl \quad (7)$$

10 将邻近井套管、线性电极和当前井套管分别划为 H 段、J 段、K 段， φ_{mn} （单位为 V）为第 n 微段在第 m 微段上产生的电势， R_{mn} （单位为 Ω ）为第 n 微段在第 m 微段之间的阻抗， I_n （单位为 A）为第 n 微段上的电流，则所有微段在第 m 微段上聚集的电势为：

$$\varphi_m = \sum_{n=1}^{H+J+K} R_{nm} I_n \quad (8)$$

且阻抗 R_{mn} 可表示为：

$$15 \quad R_{mn} = \frac{\varphi_{mn}}{I_n} = \frac{\int_{L_n} G(m,n) \frac{I_n}{L_n} dl}{I_n} = \int_{L_n} G(m,n) \frac{1}{L_n} dl \quad (9)$$

第 n 微段在第 m 微段位于同一地层时，联立公式(6)和公式(9)，可计算得到 R_{mn} ：

$$R_{mn} = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\sigma_i} \sum_{k=1}^T \left[\frac{a_k}{\sqrt{x^2 + (y-b_k)^2}} + \frac{c_k}{\sqrt{x^2 + (y+d_k)^2}} \right] + \frac{1}{2\pi\sigma_i L_n} \ln \frac{L_n}{a}, & m = n \\ \frac{1}{4\pi\sigma_i} \sum_{k=1}^T \left[\frac{a_k}{\sqrt{x^2 + (y-b_k)^2}} + \frac{c_k}{\sqrt{x^2 + (y+d_k)^2}} \right] + \frac{1}{4\pi\sigma_i} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}, & m \neq n \end{cases} \quad (10)$$

第 n 微段在第 m 微段位于不同地层时，联立公式(6)和公式(9)，可计算得到 R_{mn} ：

$$R_{mn} = \frac{1}{4\pi\sigma_i} \sum_{k=1}^T \left[\frac{a_k}{\sqrt{x^2 + (y-b_k)^2}} + \frac{c_k}{\sqrt{x^2 + (y+d_k)^2}} \right] \quad (11)$$

由于套管和线性电极的电阻率都非常小，可以视为等势体，因此有：

$$\begin{cases} \text{邻近井套管电势: } \varphi_b = \varphi_1 = \varphi_2 = \cdots = \varphi_H \\ \text{线性电极电势: } \varphi_e = \varphi_{H+1} = \varphi_{H+2} = \cdots = \varphi_{H+J} \\ \text{当前井套管电势: } \varphi_r = \varphi_{H+J+1} = \varphi_{H+J+2} = \cdots = \varphi_{H+J+K} \end{cases} \quad (12)$$

根据基尔霍夫电流定律，套管和线性电极上的电流有：

$$\begin{cases} \text{邻近井套管: } I_1 + I_2 + \cdots + I_H = 0 \\ \text{线性电极: } I_{H+1} + I_{H+2} + \cdots + I_{H+J} = I_g \\ \text{当前井套管: } I_{H+J+1} + I_{H+J+2} + \cdots + I_{H+J+K} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

5 其中， I_g 为电源输出电流，A。

联立公式(8)、公式(12)和公式(13)，建立计算泄露电流矩阵：

$$\begin{bmatrix} R_{bb} & R_{be} & R_{br} & -\text{ones}(H,1) & \text{zeros}(H,1) & \text{zeros}(H,1) \\ R_{eb} & R_{ee} & R_{er} & \text{zeros}(J,1) & -\text{ones}(J,1) & \text{zeros}(J,1) \\ R_{rb} & R_{re} & R_{rr} & \text{zeros}(K,1) & \text{zeros}(K,1) & -\text{ones}(K,1) \\ \text{ones}(1,H) & \text{zeros}(1,J) & \text{zeros}(1,K) & 0 & 0 & 0 \\ \text{zeros}(1,H) & \text{ones}(1,J) & \text{zeros}(1,K) & 0 & 0 & 0 \\ \text{zeros}(1,H) & \text{zeros}(1,J) & \text{ones}(1,K) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_b \\ I_e \\ I_r \\ \varphi_b \\ \varphi_e \\ \varphi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{zeros}(H,1) \\ \text{zeros}(J,1) \\ \text{zeros}(K,1) \\ 0 \\ I_g \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中， b 、 e 、 r 分别表示邻近井套管、线性电极、当前井套管，且有：

$$\begin{bmatrix} R_{bb} & R_{be} & R_{br} \\ R_{eb} & R_{ee} & R_{er} \\ R_{rb} & R_{re} & R_{rr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1(H+J+K)} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2(H+J+K)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{(H+J+K)1} & R_{(H+J+K)2} & \cdots & R_{(H+J+K)(H+J+K)} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$10 \quad \begin{bmatrix} I_b & I_e & I_r \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} I_1 & I_2 & \cdots & I_{(H+J+K)} \end{bmatrix}^T \quad (16)$$

$$\text{ones}(H,1) = [1 \ 1 \ \cdots \ 1]_{H \times 1}^T \quad (17)$$

$$\text{ones}(1,H) = [1 \ 1 \ \cdots \ 1]_{1 \times H} \quad (18)$$

$$\text{zeros}(H,1) = [0 \ 0 \ \cdots \ 0]_{H \times 1}^T \quad (19)$$

$$\text{zeros}(1,H) = [0 \ 0 \ \cdots \ 0]_{1 \times H} \quad (20)$$

15 此外，公式(14)中的 $\text{ones}(J,1)$ 、 $\text{ones}(1,J)$ 、 $\text{zeros}(J,1)$ 、 $\text{zeros}(1,J)$ 、 $\text{ones}(K,1)$ 、 $\text{ones}(1,K)$ 、 $\text{zeros}(K,1)$ 和 $\text{zeros}(1,K)$ 与公式(17)~公式(20)格式一致。

通过公式(14)，可以计算出邻近井套管、线性电极和当前井套管上的电流分别为：

$$I_n^b = I_1 + I_2 + \cdots + I_{n-1}, 1 \leq n \leq H \quad (21)$$

$$I_n^e = I_g - I_{H+1} - \cdots - I_{H+n-1}, 1 \leq n \leq J \quad (22)$$

$$20 \quad I_n^r = I_{H+J+1} + I_{H+J+2} + \cdots + I_{H+J+n-1}, 1 \leq n \leq K \quad (23)$$

由于线性电极与探管处于同轴且距离很近，所以由线性电极产生的磁场信号可以忽略。探管探测到的电磁信号为邻近井与当前井套管上的电流产生的磁感应强度之和，根据比奥萨伐尔定律有：

$$\vec{B} = \int_{L_n+L_c+L_r} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{S}}{S^3} \approx \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\sum_{n=1}^H \frac{I_n^b d\vec{l}_n \times \vec{S}_n}{S_n^3} + \sum_{n=H+J+1}^{H+J+K} \frac{I_n^r d\vec{l}_n \times \vec{S}_n}{S_n^3} \right) \quad (24)$$

5 以此，根据探管探测到的电磁信号即可计算获得当前井与邻井的相对位置。

本申请还提供一种适用于所述的页岩油原位建井方法的偏离磁导向系统，所述系统包含测量探管、放电电极、磁短节和数据采集装置；所述磁短节设置于水平井的钻头位置，用于产生磁信号；所述放电电极和所述测量探管通过电缆放入直井底部；其中，所述放电电极用于向地层放电，触发预设区域内钻柱产生磁信号；所述测量探管用于采集
10 预设区域内的磁信号；所述数据采集装置与所述测量探管相连，用于根据采集获得的磁信号计算获得所述水平井和所述标准直井的相对位置。

具体请参考图 6 所示，在实际工作中，所述偏离磁导向系统由目标井 1、测井电缆 2、放电电极 3，测量探管 4，钻头 5，磁短节 6，螺杆钻具 7，钻柱 8，正钻井 9，数据采集系统 10，电源 11 组成。

15 其中，测井电缆 2、放电电极 3、测量探管 4、数据采集系统 10 与电源 11 组成无源磁导向系统。测量探管 4 位于目标井底部，放电电极 3 可以通过测井电缆 2 和电源 11 联通后向地层放电，电流遇到钻柱产生磁信号，测量探管 4 捕捉到同时也能捕捉到磁短节 6 产生的磁信号，同时当水平井钻头钻至直井距离 2m 以内时，磁探测精度误差可控制在 1% 以内，可以控制直井与水平井最近距离达到厘米级，当布局水平井井网通过直井探测
20 可有效避免水平井相互碰撞，起到导航作用。同时，在测量探管 4 内部增加了保温瓶结构，使测量系统核心部分耐温等级由 125℃ 提升至 200℃ 以上。

本申请还提供一种适用于所述的页岩油原位建井方法的多井眼防碰系统，所述系统包含探管、绝缘带、电磁波发射器和数据处理装置；所述探管下放至当前钻井的底部，并通过所述绝缘带与所述电磁波发射器相连；所述电磁波发射器用于根据控制指令想周
25 围地层注入高频电磁波，使相邻井内金属套管聚集向下的电流并产生磁场信号；所述探管将采集到的相邻井的电磁信号提供至所述数据处理装置；所述数据处理装置根据所述电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置。

具体请参考图 7 所示，在实际工作中，所述多井眼防碰系统包含探管 6、绝缘带 7、电磁波发射器 8、七芯电缆 9、工控机 10 和计算机设备 11。

其中，井下工具串自下而上依次为：探管 6 下放到正钻井 1 的底部，通过绝缘带 7 与电磁波发射器 8 相连，然后通向七芯电缆 9，另一端通过标准接口连接工控机 10，计算机设备 11 连接工控机 10。

具体实施流程为：当正钻井 1 钻至与邻井 3、5 防碰井段时，将正钻井 1 中的钻具取出，将用七芯电缆 9 连接的井下工具串放入正钻井 1 中。需要工作时，工控机 10 控制电磁波发射器 8 向周围地层注入电磁波 12，由于金属套管的电磁吸附能力远超地层，电磁波 12 会聚集到邻井金属套管 2、4，形成向上和向下的电流 13、15，从而产生磁场信号 14、16，探管 6 采集到的邻井金属套管 2、4 分别产生的磁场信号 14、16 和姿态，通过七芯电缆 9 的通信通道传输到工控机 10 和计算机设备 11，计算机设备 11 运用本发明的多井眼防碰测量方法分别确定正钻井 1 和邻井 3、5 的相对位置。特别的，计算机设备 11 可以是任何一种具有程序计算功能的设备，包括但不限于：电脑、手机、平板电脑、微型机等智能设备。

本申请的有益技术效果在于：（1）利用磁测距技术在页岩油储层建立直井与水平井的“U”型连接，设计了偏离磁导向系统方案，提高了钻井精度，当布局水平井井网时，可通过直井探测有效避免水平井相互碰撞，起到导航作用；（2）利用磁测距技术与地面激励线圈的配合确保了多水平井的钻井精度，降低了水平井间碰撞的可能性，有利于单元井井网部署；（3）所采用的地面线圈具有良好的便携性，便于快速铺设；且线圈能量强度可以随着作业的深度及复杂程度而调整，适应性较强；（4）在单元井井网部署良好的基础上，建立多个单元井，形成一个地下工厂，扩大了对页岩油储层的加热规模，提高了开采效益。（5）通过信号分离能够同时识别相邻多井眼，从而提高复杂结构井钻井效率。

本申请还提供一种电子设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现上述方法。

本申请还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有执行上述方法的计算机程序。

本申请还提供一种计算机程序产品，包括计算机程序/指令，该计算机程序/指令被处理器执行时实现上述方法的步骤。

如图 8 所示，该电子设备 600 还可以包括：通信模块 110、输入单元 120、音频处理器 130、显示器 160、电源 170。值得注意的是，电子设备 600 也并不是必须要包括图 8

中所示的所有部件；此外，电子设备 600 还可以包括图 8 中没有示出的部件，可以参考现有技术。

如图 8 所示，中央处理器 100 有时也称为控制器或操作控件，可以包括微处理器或其他处理器装置和/或逻辑装置，该中央处理器 100 接收输入并控制电子设备 600 的各个部件的操作。

其中，存储器 140，例如可以是缓存器、闪存、硬驱、可移动介质、易失性存储器、非易失性存储器或其它合适装置中的一种或更多种。可储存上述与失败有关的信息，此外还可存储执行有关信息的程序。并且中央处理器 100 可执行该存储器 140 存储的该程序，以实现信息存储或处理等。

输入单元 120 向中央处理器 100 提供输入。该输入单元 120 例如为按键或触摸输入装置。电源 170 用于向电子设备 600 提供电力。显示器 160 用于进行图像和文字等显示对象的显示。该显示器例如可为 LCD 显示器，但并不限于此。

该存储器 140 可以是固态存储器，例如，只读存储器（ROM）、随机存取存储器（RAM）、SIM 卡等。还可以是这样的存储器，其即使在断电时也保存信息，可被选择性地擦除且设有更多数据，该存储器的示例有时被称为 EPROM 等。存储器 140 还可以是某种其它类型的装置。存储器 140 包括缓冲存储器 141（有时被称为缓冲器）。存储器 140 可以包括应用/功能存储部 142，该应用/功能存储部 142 用于存储应用程序和功能程序或用于通过中央处理器 100 执行电子设备 600 的操作的流程。

存储器 140 还可以包括数据存储部（数据 143），该数据存储部（数据 143）用于存储数据，例如联系人、数字数据、图片、声音和/或任何其他由电子设备使用的数据。存储器 140 的驱动程序存储部（驱动程序 144）可以包括电子设备的用于通信功能和/或用于执行电子设备的其他功能（如消息传送应用、通讯录应用等）的各种驱动程序。

通信模块 110 即为经由天线 111 发送和接收信号的发送机/接收机 110。通信模块（发送机/接收机）110 耦合到中央处理器 100，以提供输入信号和接收输出信号，这可以和常规移动通信终端的情况相同。

基于不同的通信技术，在同一电子设备中，可以设置有多个通信模块 110，如蜂窝网络模块、蓝牙模块和/或无线局域网模块等。通信模块（发送机/接收机）110 还经由音频处理器 130 耦合到扬声器 131 和麦克风 132，以经由扬声器 131 提供音频输出，并接收来自麦克风 132 的音频输入，从而实现通常的电信功能。音频处理器 130 可以包括任何合适的缓冲器、解码器、放大器等。另外，音频处理器 130 还耦合到中央处理器 100，

从而使得可以通过麦克风 132 能够在本机上录音，且使得可以通过扬声器 131 来播放本机上存储的声音。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

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

权利要求书

1. 一种页岩油原位建井方法，其特征在于，所述方法包含：

根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域的地面布置地面激励线圈，通过所述地面激励线圈构建磁信标；

5 利用地质导向技术在页岩油储层的上下边界分别构建水平边缘井，并根据页岩油加热区域的位置信息于对应区域构建贯穿页岩油储层的直井；

根据所述直井通过偏离磁导向技术构建标准水平井，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井；其中，所述生产井和所述加热井在地层中立体平行分布且互不相交；

10 根据所述生产井和所述加热井获得单位井的井网部署。

2. 根据权利要求 1 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和加热井包含：

通过钻具中的磁传感器阵列测量磁信标在测点处的磁场分布获得检测信号，并提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据；

15 根据所述信号变化数据计算磁场分量在相应方向上的变化率，并采用三维牛顿梯度下降法求解交流线圈的磁场大小获得测点相对于磁信标的位置坐标；

根据所述位置坐标控制钻井的井眼轨迹构建所述生产井和所述加热井。

3. 根据权利要求 2 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，提取所述检测信号的幅值获得信号变化数据包含：通过正交检波算法或匹配滤波算法提取所述检测信号的幅
20 值获得信号变化数据。

4. 根据权利要求 2 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，根据所述直井通过偏离磁导向技术构建标准水平井包含：

通过所述直井为参考坐标计算水平井的位置参数，根据所述位置参数调整所述标准水平井在预设关键节点的井眼轨迹；

25 根据所述井眼轨迹构建标准水平井。

5. 根据权利要求 4 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，通过所述直井为参考坐标计算水平井的位置参数包含：

于所述直井内放入探管，根据所述水平井中磁短节检测所述探管产生的磁场信号计算获得所述水平井和所述标准直井的相对位置；

30 根据所述相对位置分析获得所述水平井的位置参数。

6. 根据权利要求 1 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，多个所述加热分布在正六边形的交点处，对位置所述正六边形中心处的生产井进行加热。

7. 根据权利要求 1 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井还包含：通过
5 通过旋转导向工具 RSS 调整生产井和多个加热井在构建过程中的井眼轨迹。

8. 根据权利要求 1 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，根据所述标准水平井通过双水平井磁测距技术以所述磁信标为基准分别构建生产井和多个加热井还包含：

通过井下工具串的线性电极向周围地层注入高频电磁波，使相邻井内金属套管聚集向下的电流并产生磁场信号；

10 根据相邻井内探管采集到电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置；根据所述相对位置调整当前井的井眼轨迹。

9. 根据权利要求 8 所述的页岩油原位建井方法，其特征在于，根据相邻井内探管采集到电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置包含：

对所述电磁信号进行聚类分析获得聚类数据；

15 根据所述聚类数据构建混合矩阵，通过所述混合矩阵求解线性规划获得试算数据；根据所述试算数据通过变换域分离获得多个源信号，对所述源信号进行小波变换获得当前井与邻井的相对位置。

10. 一种适用于权利要求 1 至 9 中任一项所述的页岩油原位建井方法的偏离磁导向系统，其特征在于，所述系统包含测量探管、放电电极、磁短节和数据采集装置；

20 所述磁短节设置于水平井的钻头位置，用于产生磁信号；

所述放电电极和所述测量探管通过电缆放入直井底部；

其中，所述放电电极用于向地层放电，触发预设区域内钻柱产生磁信号；所述测量探管用于采集预设区域内的磁信号；

25 所述数据采集装置与所述测量探管相连，用于根据采集获得的磁信号计算获得所述水平井和所述标准直井的相对位置。

11. 一种适用于权利要求 1 至 9 中任一项所述的页岩油原位建井方法的多井眼防碰系统，其特征在于，所述系统包含探管、绝缘带、电磁波发射器和数据处理装置；

所述探管下放至当前钻井的底部，并通过所述绝缘带与所述电磁波发射器相连；

30 所述电磁波发射器用于根据控制指令向周围地层注入高频电磁波，使相邻井内金属套管聚集向下的电流并产生磁场信号；

所述探管将采集到的相邻井的电磁信号提供至所述数据处理装置；

所述数据处理装置根据所述电磁信号通过信号分离计算获得当前井与邻井的相对位置。

12. 一种电子设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 9 任一所述方法。

13. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有由计算机执行权利要求 1 至 9 任一所述方法的计算机程序。

14. 一种计算机程序产品，包括计算机程序/指令，其特征在于，该计算机程序/指令被处理器执行时实现权利要求 1 至 9 任一所述方法的步骤。

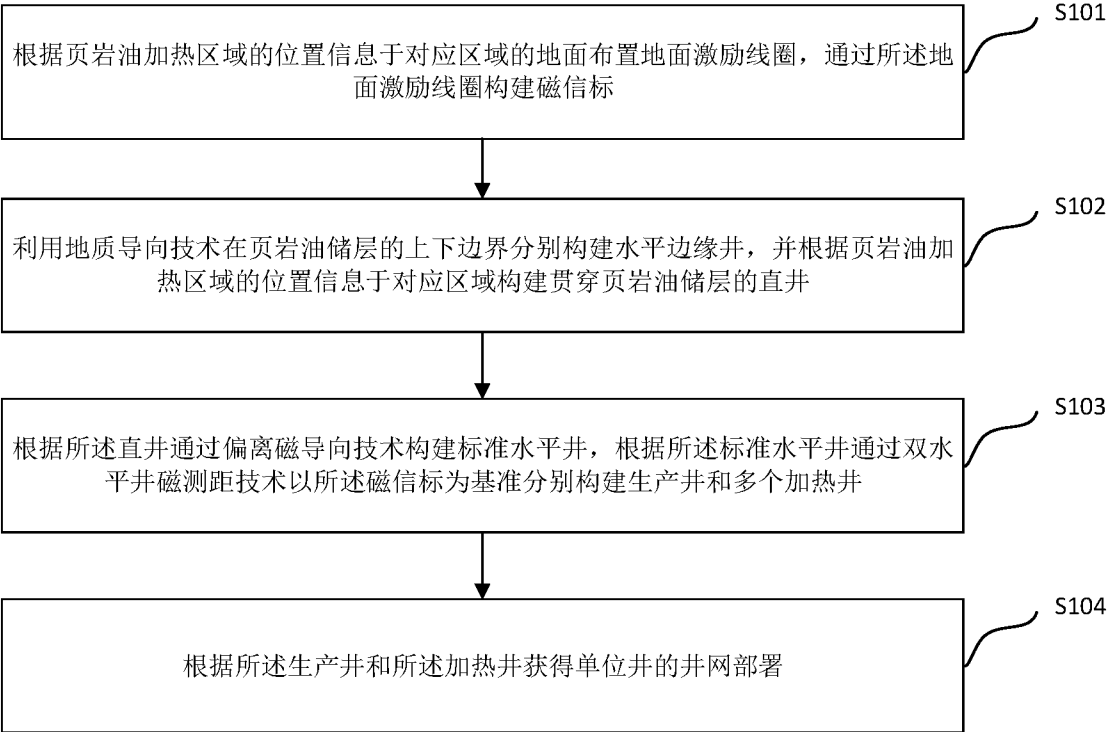


图 1A

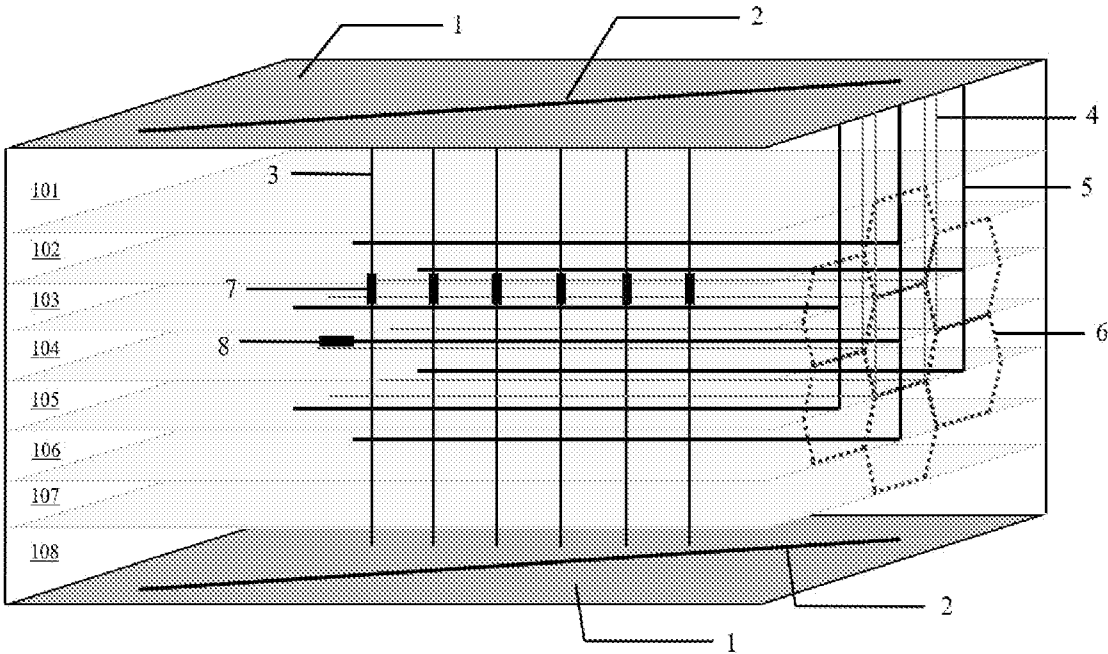


图 1B

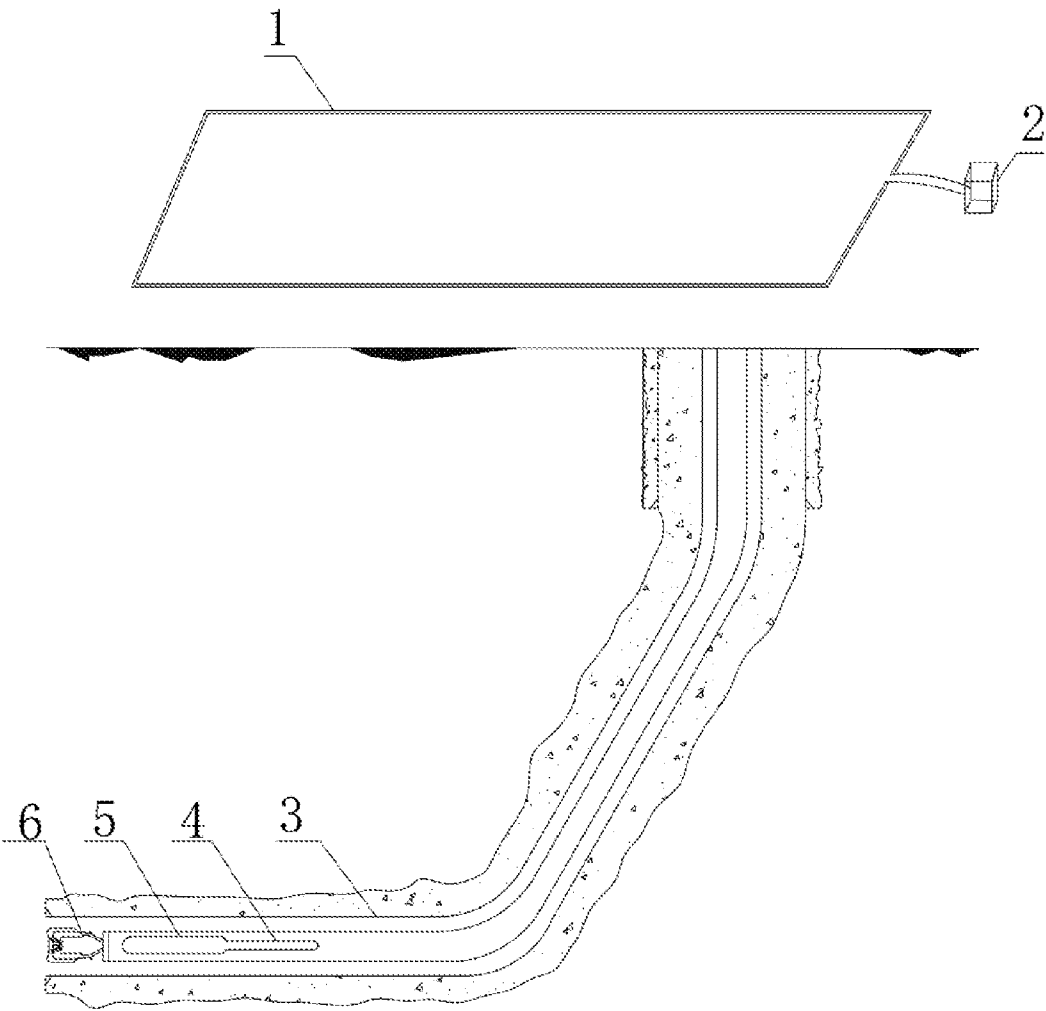


图 1C

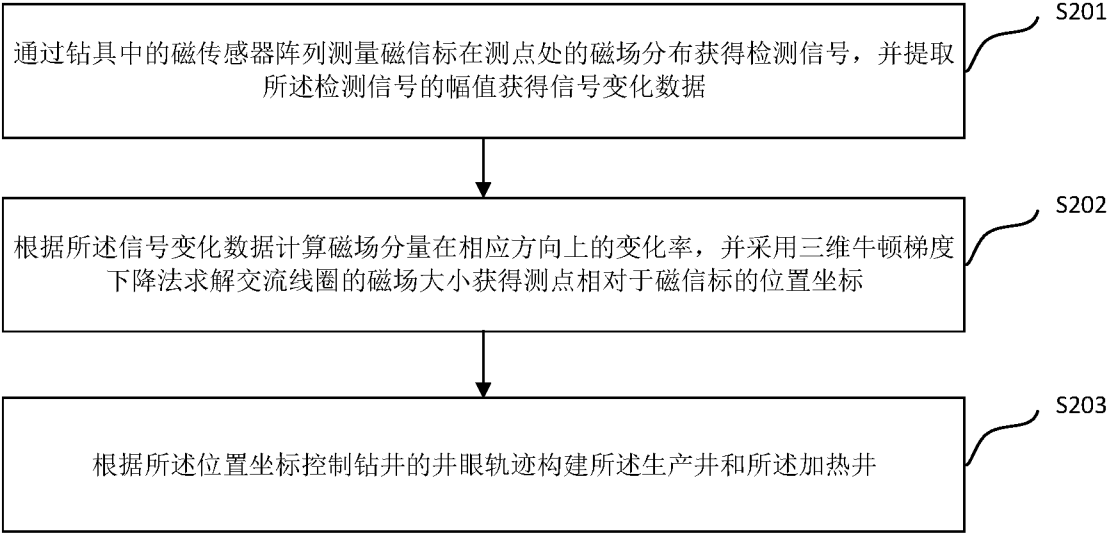


图 2

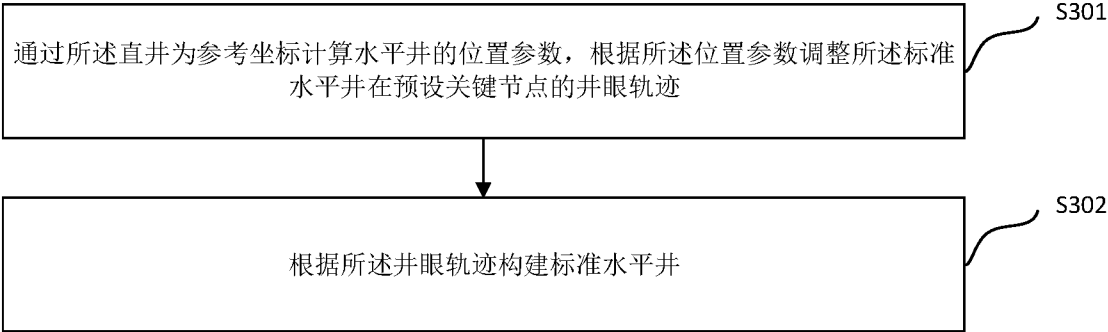


图 3A

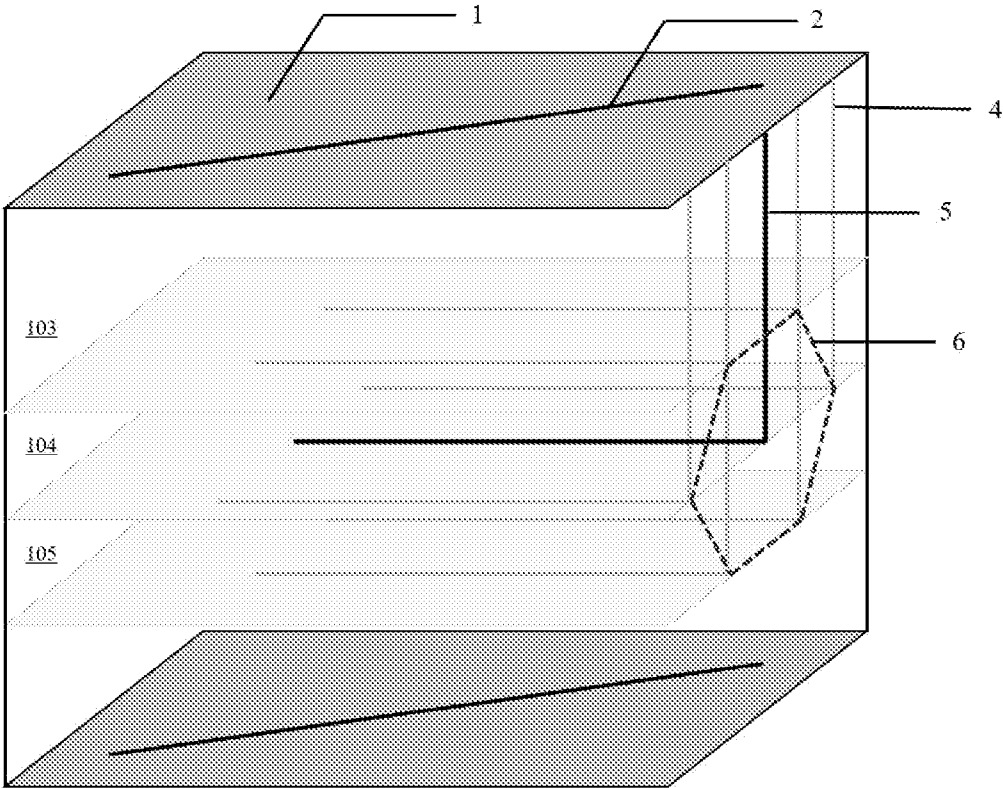


图 3B

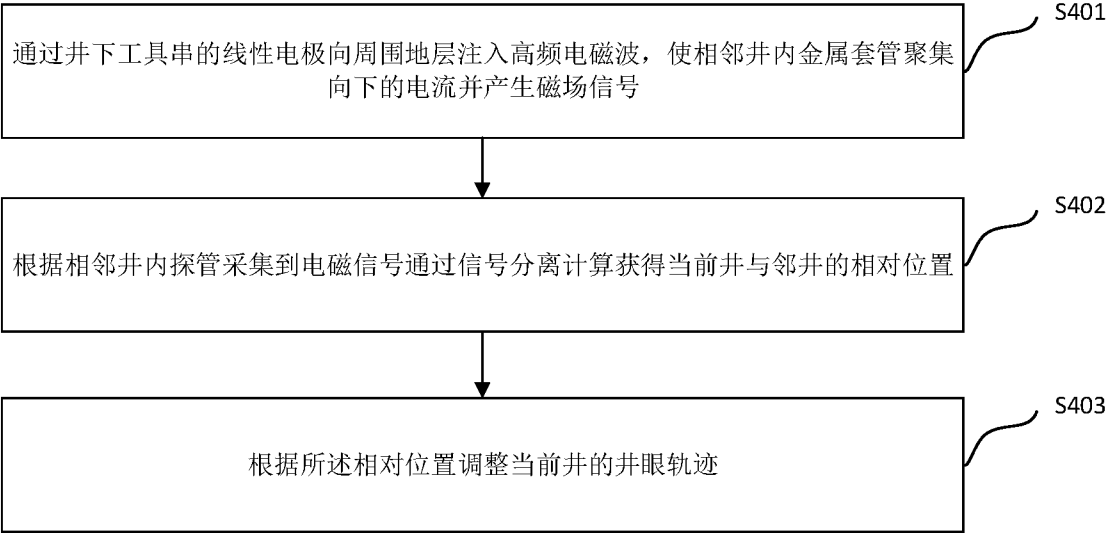


图 4

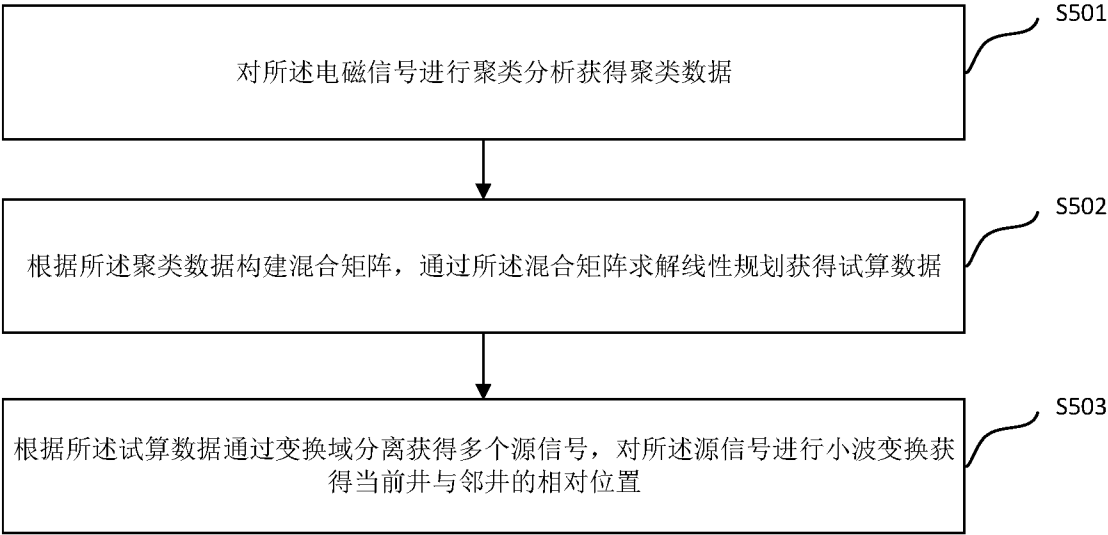


图 5A

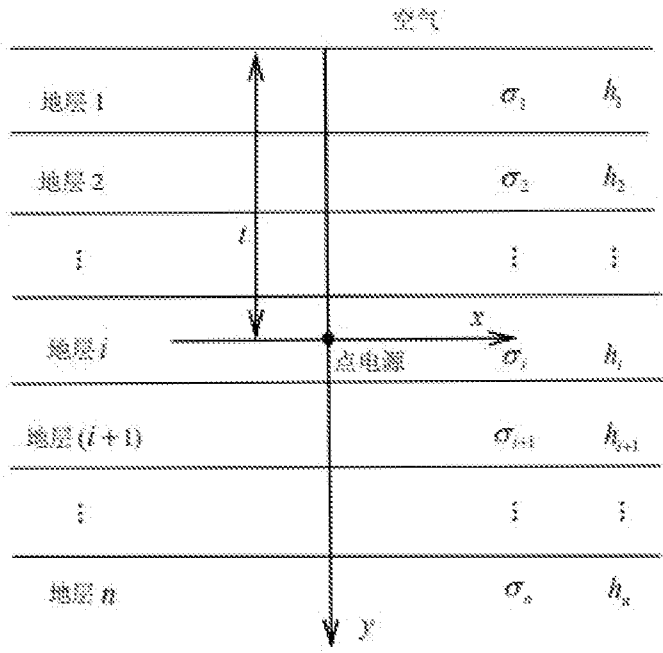


图 5B

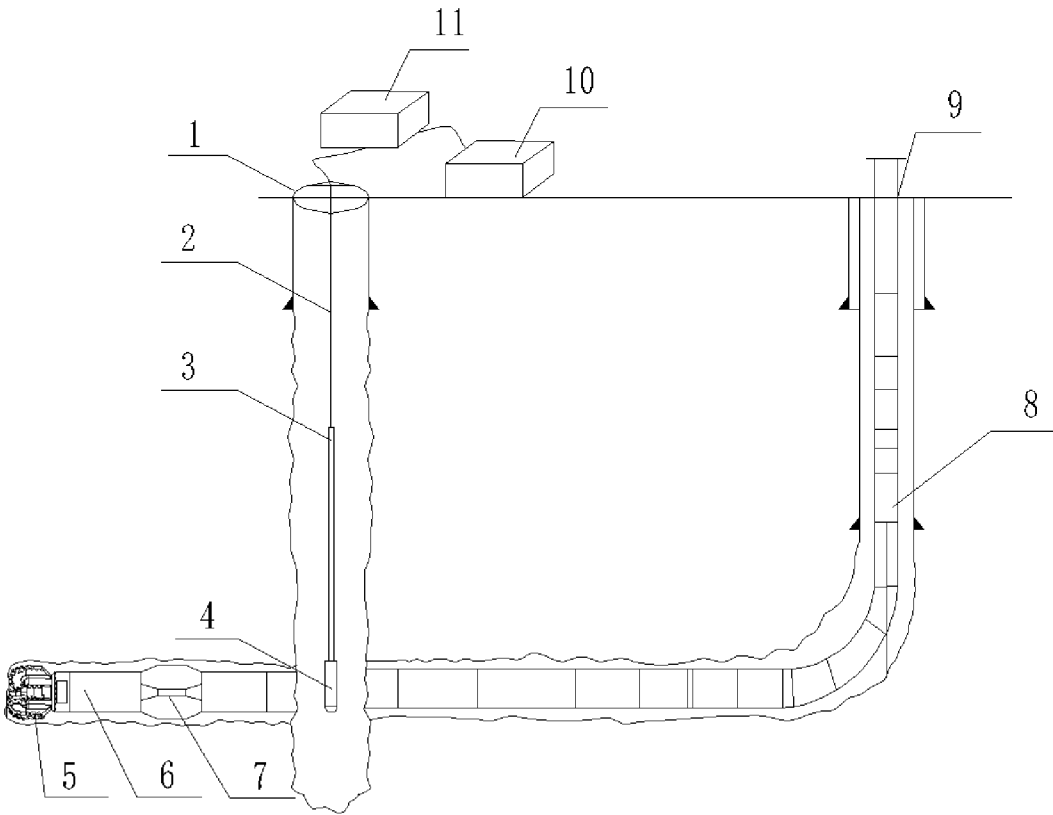


图 6

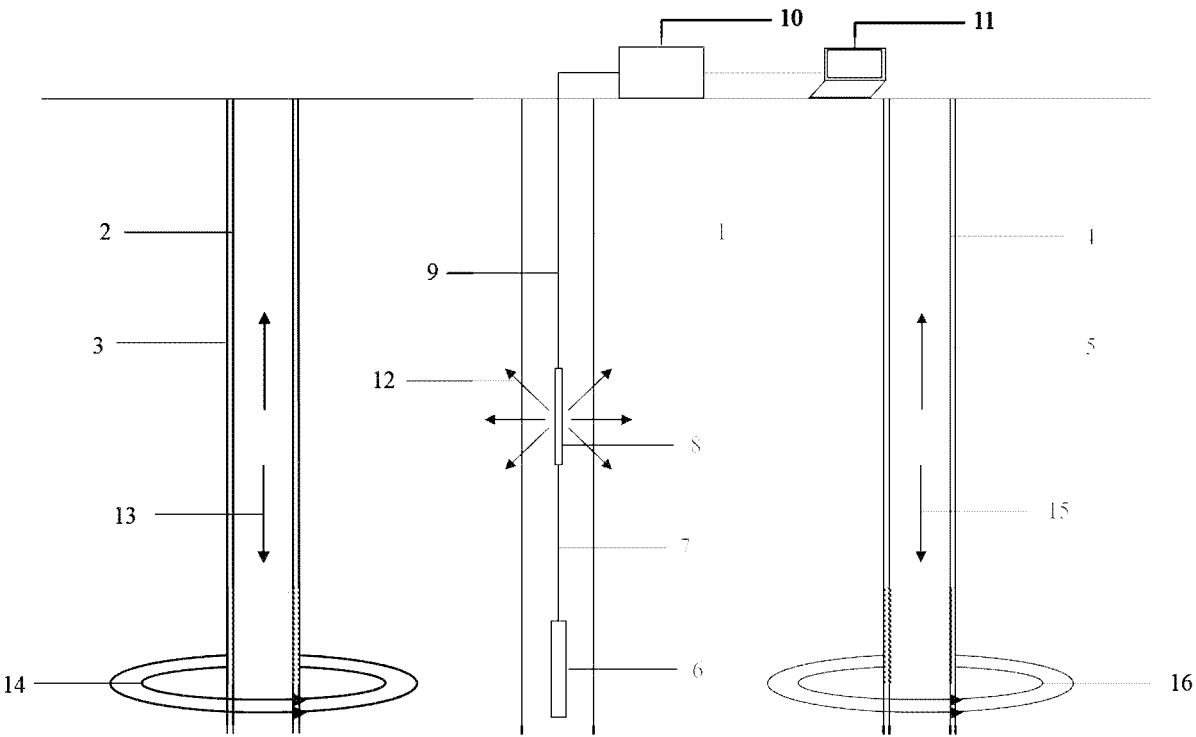


图 7

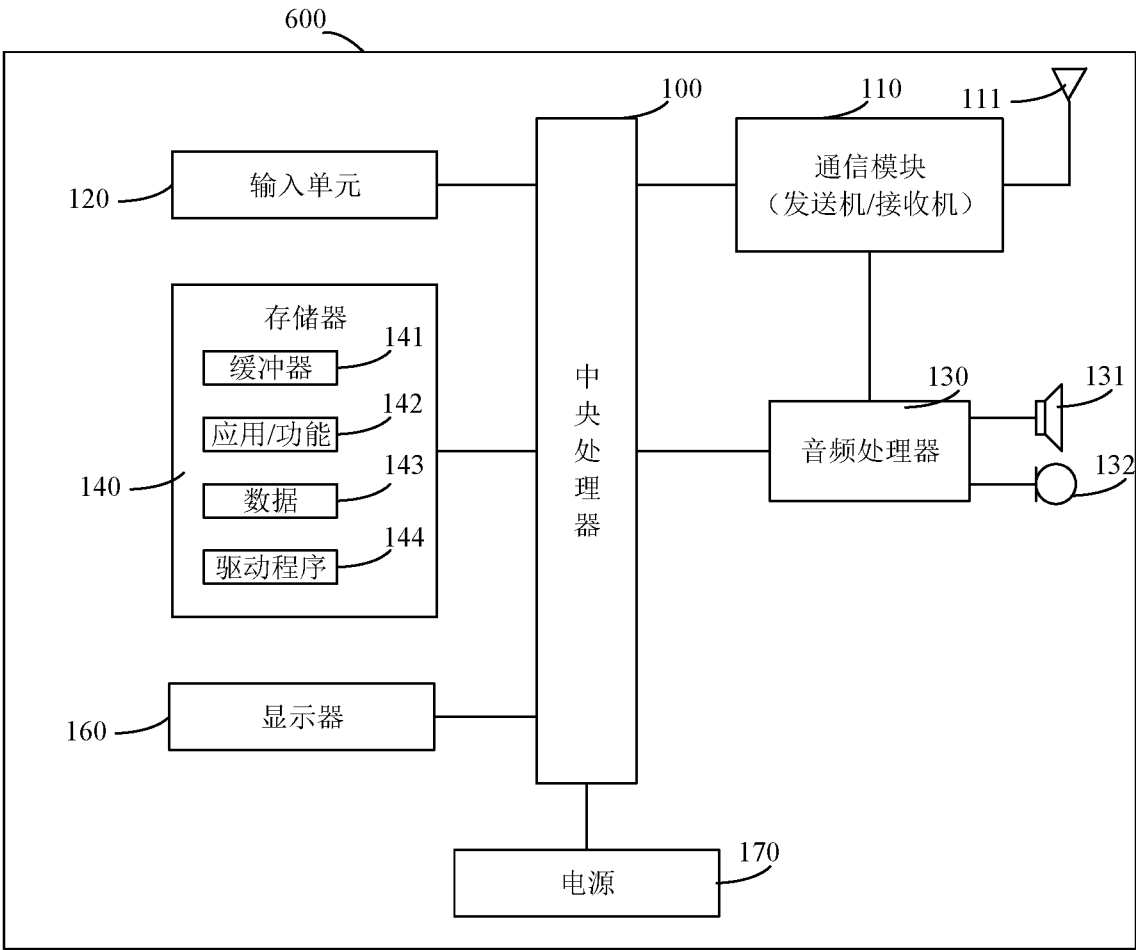


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/070539

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21B43/30(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: 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)

CNTXT, CNKI, ENTXT, DWPI: 页岩油, 原位, 建井, 偏离, 磁导向, 防碰撞, 线圈, 位置, 井网, shale oil, in-situ, well, build, deviation, magnetic, steering, anti-collision, coil, position, pattern

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 117027748 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION et al.) 10 November 2023 (2023-11-10) claims 1-14, description, pages 4-11, and figures 1-8	1-14
A	CN 114033353 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION et al.) 11 February 2022 (2022-02-11) description, pages 4-11, and figures 1-6	1-14
A	CN 113445996 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 28 September 2021 (2021-09-28) entire document	1-14
A	CN 113107472 A (JINGHONG OIL DRILLING ENGINEERING TECHNOLOGY CO., LTD.) 13 July 2021 (2021-07-13) entire document	1-14
A	CN 110984951 A (RESEARCH INSTITUTE OF EXPLORATION AND DEVELOPMENT, DAGANG OILFIELD COMPANY, PETROCHINA) 10 April 2020 (2020-04-10) entire document	1-14



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

29 January 2024

Date of mailing of the international search report

04 March 2024

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/CN2024/070539

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2017009566 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.) 12 January 2017 (2017-01-12) entire document	1-14
A	US 2021363870 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.) 25 November 2021 (2021-11-25) entire document	1-14
A	US 6603313 B1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH COMPANY) 05 August 2003 (2003-08-05) entire document	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2024/070539

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	117027748	A	10 November 2023	None			
CN	114033353	A	11 February 2022	None			
CN	113445996	A	28 September 2021	None			
CN	113107472	A	13 July 2021	None			
CN	110984951	A	10 April 2020	None			
US	2017009566	A1	12 January 2017	US	10544669	B2	28 January 2020
				WO	2016048307	A1	31 March 2016
				CA	2955346	A1	31 March 2016
				CA	2955346	C	11 June 2019
US	2021363870	A1	25 November 2021	WO	2019190464	A1	03 October 2019
				CA	3087038	A1	03 October 2019
				CA	3087038	C	14 March 2023
				US	11459868	B2	04 October 2022
US	6603313	B1	05 August 2003	None			

A. 主题的分类

E21B43/30(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: 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))

CNTEXT,CNKI,ENTXT,DWPI: 页岩油, 原位, 建井, 偏离, 磁导向, 防碰撞, 线圈, 位置, 井网, shale oil, in-situ, well, build, deviation, magnetic, steering, anti-collision,coil, position, pattern

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 117027748 A (中国石油天然气集团有限公司等) 2023年11月10日 (2023 - 11 - 10) 权利要求1-14, 说明书第4-11页, 附图1-8	1-14
A	CN 114033353 A (中国石油天然气集团有限公司等) 2022年2月11日 (2022 - 02 - 11) 说明书第4-11页, 附图1-6	1-14
A	CN 113445996 A (中国石油大学(北京)) 2021年9月28日 (2021 - 09 - 28) 全文	1-14
A	CN 113107472 A (京鸿石油钻采工程技术有限公司) 2021年7月13日 (2021 - 07 - 13) 全文	1-14
A	CN 110984951 A (中国石油天然气股份有限公司大港油田勘探开发研究院) 2020年4月10日 (2020 - 04 - 10) 全文	1-14
A	US 2017009566 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERV INC) 2017年1月12日 (2017 - 01 - 12) 全文	1-14

☒ 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

2024年1月29日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月4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

耿谦

电话号码 (+86) 010-62085225

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

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	US 2021363870 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC) 2021年11月25日 (2021 - 11 - 25) 全文	1-14
A	US 6603313 B1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO) 2003年8月5日 (2003 - 08 - 05) 全文	1-14

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/070539

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	117027748	A	2023年11月10日	无	
CN	114033353	A	2022年2月11日	无	
CN	113445996	A	2021年9月28日	无	
CN	113107472	A	2021年7月13日	无	
CN	110984951	A	2020年4月10日	无	
US	2017009566	A1	2017年1月12日	US 10544669 B2	2020年1月28日
				WO 2016048307 A1	2016年3月31日
				CA 2955346 A1	2016年3月31日
				CA 2955346 C	2019年6月11日
US	2021363870	A1	2021年11月25日	WO 2019190464 A1	2019年10月3日
				CA 3087038 A1	2019年10月3日
				CA 3087038 C	2023年3月14日
				US 11459868 B2	2022年10月4日
US	6603313	B1	2003年8月5日	无	