

(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
2012 年 6 月 28 日 (28.06.2012)



(10) 国际公布号
WO 2012/083585 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01V 3/08 (2006.01) *G01V 3/30* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2011/002099
- (22) 国际申请日: 2011 年 12 月 14 日 (14.12.2011)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201010601287.5 2010 年 12 月 23 日 (23.12.2010) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): **中国石油化工股份有限公司 (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION)** [CN/CN]; 中国北京市朝阳区朝阳门北大街 22 号, Beijing 100728 (CN)。 **中国石化集团胜利石油管理局钻井工艺研究院 (SHENGLI DRILLING TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE OF SINOPEC)** [CN/CN]; 中国山东省东营市北一路 827 号, Shandong 257017 (CN)。
- (72) 发明人: 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): **杨锦舟 (YANG, Jinzhou)** [CN/CN]; 中国山东省东营市北一路 827 号, Shandong 257017 (CN)。 **李作会 (LI, Zuohui)** [CN/CN]; 中国山东省东营市北一路 827 号, Shandong 257017 (CN)。 **林楠 (LIN, Nan)** [CN/CN]; 中国

山东省东营市北一路 827 号, Shandong 257017 (CN)。 **魏宝君 (WEI, Baojun)** [CN/CN]; 中国山东省东营市北一路 827 号, Shandong 257017 (CN)。 **刘庆龙 (LIU, Qinglong)** [CN/CN]; 中国山东省东营市北一路 827 号, Shandong 257017 (CN)。 **肖红兵 (XIAO, Hongbing)** [CN/CN]; 中国山东省东营市北一路 827 号, Shandong 257017 (CN)。

(74) 代理人: **中国专利代理 (香港) 有限公司 (CHINA PATENT AGENT (H.K.) LTD.)**; 中国香港特别行政区湾仔港湾道 23 号鹰君中心 22 号楼, Hong Kong (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,

[见续页]

(54) Title: WELL LOGGING DEVICE, WELL LOGGING METHOD AND DATA PROCESSING APPARATUS

(54) 发明名称: 一种测井装置、测井方法及数据处理设备

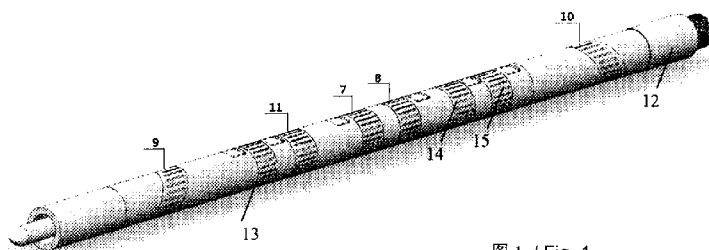


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: A well logging device, a well logging method and a data processing apparatus therefor are provided. The well logging device comprises a drill collar body and an antenna array. The antenna array comprises at least one pair of transmitting antenna and receiving antenna, and the transmitting antenna and the receiving antenna are used for generating a forward detection depth curve. By use of the well logging method, not only can the change of the forward stratum resistivity of the well drilling be measured in real time in a well drilling process, but also characteristics of different resistivity stratum interfaces in the forward direction can be distinguished in the drilling process.

(57) 摘要:

一种测井装置、测井方法及其数据处理设备。所述测井装置包括钻铤本体和天线阵列, 其中所述天线阵列包括至少一对发射天线和接收天线, 所述发射天线和接收天线用于生成前向探测深度曲线。通过采用所述的测井方法, 不但能够在钻井过程中实时测量钻井前向地层电阻率变化, 还能够分辨钻进过程中前方不同的电阻率层界面特征。

WO 2012/083585 A1



BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种测井装置、测井方法及数据处理设备

技术领域

本发明涉及测井技术领域，更具体地，本发明涉及钻井行业的随钻测量技术领域，特别是，本发明涉及一种在钻井工程中用于地质导向的测井装置、测井方法以及相应的数据处理设备。

背景技术

目前，在诸如油气勘测、煤层气、在页岩地层中俘获的页岩气、采煤等钻井行业的随钻测量领域中，通常采用地层电阻率来形成地层剖面图和确定储层的含油饱和度、煤体结构的含气量及矿物断层，因此地层电阻率是测井解释评价油气、煤、矿产储藏的主要依据。现在已知的随钻电阻率测井技术包括随钻侧向电阻率测井、随钻电磁波传播电阻率测井和随钻感应电阻率测井。

随钻侧向电阻率测井装置的工作原理主要是由供电电极提供电流，在井眼周围地层中形成电场，测量地层中电场的分布，得出地层电阻率。随钻侧向电阻率测井装置将钻头本身作为电极，也可以应用环状电极和靠近钻头的 3 个纽扣电极进行电阻率测量。在采用钻头作为电极的情况下，在泥浆侵入或井眼可能损坏之前，随钻侧向电阻率测井装置就可以测量 5~10 厘米薄层的电阻率。而如果采用 3 个纽扣电极阵列，则可进行高分辨率的侧向电阻率测量，可减少围岩的影响，甚至在盐水泥浆或高电阻率地层中也可以提供地层真电阻率响应。此外，如果应用环状电极，则可获得井眼周围 360° 范围的电阻率信息。

然而，随钻侧向电阻率测井装置存在如下缺点：因为侧向电阻率测井属于直流电法测井，首先要有一个供电电极将直流电流导入地层，然后用一个测量电极测出井内某点的电位，所以只有当井内有导电泥浆提供电流通道时才能使用这种侧向电阻率测井方法。然而在实际钻井作业过程中，例如在石油钻井过程中，有时为了获取地层原始含油饱和度信息，需要采用油基泥浆钻井，甚至采用空气钻井，而在这种条件下，则不能使用直流电法测井，即随钻侧向电阻率测井方法在这些情况下变得不再适用。

随钻电磁波传播电阻率测井装置采用多线圈系设计，传播频率为

1~8MHz, 线圈系基于钻铤本体结构, 将线圈系缠绕在钻铤上, 通过测量不同源距接收线圈间幅度比或相位差, 然后再换算为地层视电阻率, 测得相移浅电阻率和衰减深电阻率。在理想情况下, 随钻电磁波传播电阻率测井装置的纵向分辨率由两接收线圈的间距决定, 多探测深度的测量数据可以用来解释侵入状况, 通常认为相位电阻率的探测深度较浅, 衰减电阻率具有较大的探测深度。

公开号为 CN101609169A、题为“一种提高电磁波电阻率测量精度和扩展其测量范围的方法”的参考文献公开了通过对发射天线和接收天线之间互感电动势进行计算, 消除了互感电动势的幅度衰减—电阻率转换图和相位差-电阻率转换图中与地层电阻率无关的互感电动势、电路零信号、天线系统基值信号, 计算获得相位差及幅度衰减对地层电阻率的转换。

此外, 发表于中国石油大学学报的文献“倾斜线圈随钻电磁波电阻率测量仪器基本原理及其在地质导向中的应用”采用各向异性水平层状介质的磁偶极源并矢 *green* 函数计算倾斜线圈随钻电磁波电阻率测量仪器的响应, 分析井眼相对倾角和接收线圈倾斜角对接收信号幅度比和相位差的影响, 以及传统仪器和新型仪器在垂直于仪器轴方向的响应曲线角峰的性质, 从而更早地预测到地层边界的存在。

然而, 尽管现有的各种随钻电磁波传播电阻率测井装置能够测得不同探测深度的电阻率, 但现有的各种随钻电磁波传播电阻率测井装置存在如下缺点: 首先, 随钻电磁波传播电阻率测井装置采用的信号频率太高, 由于电磁波的传播效应, 所以其探测深度有限。其次, 随钻电磁波传播电阻率测井装置的测量结果会受到地质因素的影响, 尤其是围岩的影响, 因为装置的测量结果并不仅限于接收线圈之间的地层区域, 而且与发射线圈到接收线圈之间的整个地层参数有关, 甚至于发射线圈周围一个较小区域内的地层也会对测量结果产生影响, 所以该测井装置的纵向分辨率在很大程度上依赖于整个装置所处地层的电阻率。第三, 由于随钻电磁波传播电阻率测井装置的线圈系是缠绕在钻铤表面的, 所以其制作工艺非常复杂, 而且在使用过程中线圈系极易受到磨损而损坏, 并且当井眼尺寸变化时, 需要重新绕制线圈, 维修检测较为复杂, 维护成本高。此外, 与随钻侧向电阻率测井装置类似, 随钻电磁波传播电阻率测井装置也不能工作在油基泥浆中。

随钻感应电阻率测井装置利用电磁感应原理，当在发射线圈中施加幅度和频率恒定的交流电时，在该线圈的周围地层中感应出涡流，涡流本身又会形成二次交变电磁场，在二次交变电磁场作用下，接收线圈中产生感应电动势，该电动势大小与地层电导率有关，通过测量感应电动势即可得到地层电阻率。

目前的随钻感应电阻率测井装置的线圈系采用一个发射线圈和两个接收线圈，所述两个接收线圈中的一个为主接收线圈，另一个为补偿线圈，线圈系置于钻铤侧面带有反射层的 V 形槽内，测井响应对 V 形槽正面区域地层的电阻率变化敏感，因此具有定向测量的特点。随钻感应电阻率测井装置由电池供电，在电池顶部装有一个公扣连接头，该公扣连接头可与随钻感应电阻率测井装置底部的母扣连接头相接，用于向随钻感应电阻率测井装置传送实时数据，同一个传感器短节可适用于不同尺寸井眼的要求。

这种随钻感应电阻率测井装置的优点是：其信号频率为 20kHz，大大低于高频装置的频率，因此不易被地层吸收，探测深度深，测量范围较大，可达到 0.1-1000 欧姆米，而且其结构设计简单，一个传感器短节可适用于不同尺寸井眼的需要，维修检测简单，且适用不同类型的钻井液。

然而，这种随钻感应电阻率测井装置还存在如下缺点：由于该装置采用由一个发射线圈和两个接收线圈组成的、具有单一固定探测深度的线圈系，所以该测井装置只能提供一个径向探测深度的地层电阻率，不能用于解释复杂侵入剖面 and 划分渗透层。此外，对于渗透层而言，泥浆侵入使其电阻率在径向上发生变化，由于在同一深度点只能得到一个径向探测深度的电阻率值，因此随钻感应电阻率测井装置不能用来解释地层侵入状况，无法确定地层受泥浆侵入的情况和储层渗透性，不利于油气层解释，从而无法用来准确测量地层真电阻率。另外，对于不同类型的泥浆侵入以及不同径向探测深度的电阻率而言，其油气水层特征是不同的，根据多条不同探测深度电阻率曲线受泥浆侵入影响程度的不同、以及在油气水层中所表现出来的差异特征可以识别油气，所以多深度电阻率测量对于随钻测井装置来说是非常重要的，然而目前的这种随钻感应电阻率测井装置却无法达到这个要求，因为它的线圈系设计结构固定，每一种线圈系只能提供一种深度的电

阻率，要得到不同探测深度的电阻率，就得用不同的线圈系进行多次测量，由此导致这种随钻感应电阻率测井方式在钻井工程实际应用中是很难实现的。

综上所述，无论是上述哪种随钻电阻率测井装置，其都存在诸多缺陷，并且，上述各种随钻电阻率测井装置都只致力于径向探测深度的方法研究和计算，而并未提及或涉及到前向探测深度。然而，随着各类随钻电阻率测井装置的发射天线和接收天线的数量的不断增多，发射频率降低，前向深度探测对于钻井工程而言变得越来越重要，因此，目前在钻井测井领域中对于随钻前向探测方法的需求变得愈来愈迫切。

发明内容：

为了克服上述现有的随钻电阻率测井技术所存在的一个或多个缺陷，本发明提供了一种新的随钻测井方法，该方法在钻井过程中不但能够实时测量钻井前向地层电阻率变化，还能够分辨钻进过程中前方不同的电阻率层界面特征。

根据本发明的一个方面，提供了一种测井方法，其包括：

(a) 均质测量点选取步骤，在该步骤中，使测井装置选取两个连续测量点来进行至少两次连续测量；

(b) 根据所述两个连续测量点处的测量结果来确定所选取的所述两个连续测量点是否均能作为均质地层可选点；如果是，则

(c) 根据两个所述均质地层可选点来确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的所述测井装置的感应信号的幅度比基值和相位差基值；

(d) 根据所述幅度比基值和相位差基值来确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的幅度比标准值和相位差标准值；

(e) 根据所述幅度比标准值和相位差标准值来设定所述所测高阻目的层的出层阈值；

(f) 继续选取下一个测量点进行至少两次测量；

(g) 判断在当前测量点处、测井装置的一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量和/或相位差变化量是否大于所述出层阈值；

(h) 如果步骤(g)的判断结果为是，则判定测井装置前方出现低阻地层。

根据本发明的另一个方面，提供了一种数据处理设备，其特征在于，该数据处理设备包括：

均质地层可选点判定装置（1403、1404），其用于判定测井装置当前所选取的两个连续测量点是否均能作为均质地层可选点；

基值确定装置（1406），其用于在所述均质地层可选点判定装置（1403、1404）的判断结果为是的情况下，根据两个所述均质地层可选点来确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的所述测井装置的感应信号的幅度比基值和相位差基值；

标准值确定装置（1407），其用于根据所述幅度比基值和相位差基值来确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的幅度比标准值和相位差标准值；

出层阈值设定装置（1408），其用于根据所述幅度比标准值和相位差标准值来设定所述所测高阻目的层的出层阈值；

第三—第 n 测量点选取及计算装置（1409），其用于继续选取下一个测量点进行至少两次测量，并计算在当前所选取的测量点处、测井装置的一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量和相位差变化量；以及

低阻地层判定装置（1410），其包括出层阈值判定单元（14101），该单元用于判断所述当前所选取的测量点处的幅度比变化量和/或相位差变化量是否大于所述出层阈值；如果是，则判定测井装置前方出现低阻地层。

根据本发明的再一个方面，提供了测井装置，其特征在于，所述测井装置包括钻铤本体（12）和天线阵列，其中所述天线阵列包括至少一对发射天线和接收天线，所述发射天线和接收天线用于生成前向探测深度曲线。

相比较径向深度探测而言，根据本发明的前向深度探测具有下列重要意义：首先，根据本发明的前向深度探测可有效地控制钻井工程造斜段轨迹；公知的水平段测量地层通常是先假定水平层状分布，当开始造斜时，电阻率测井装置与这些水平层状地层近乎垂直，因而径向探测响应只能反映某个层面的测量地层的电阻率变化情况，而前向探测响应却具有多个前向探测深度，其可反映不同的钻井深度上的测量地层的电阻率变化，可以有效识别层边界和油水触面，调整造斜弧度

使之准确平滑，进而保证造斜段钻井质量。其次，当钻井进入复杂的大斜度井或水平井段时，根据本发明的前向深度探测可对钻井前端地层进行不同深度的前向探测，其比径向探测方法更直接和准确，可预先判断薄油层、复杂褶皱及互夹层，从而有效绕开断层以及沿高 dip 储层长距离钻进，获得最高油气有效钻遇率。

根据本发明的测井方法及相应的数据处理装置可以在钻井过程中实时地测量地层的电阻率变化率的变化特征，实时分辨地层界面及油水界面，捕捉进入油气储集层的最佳时机，并且在高地层倾角及各向异性地层水平井中，能够长距离预测钻头前方地质信息并及时调整井眼轨迹，控制钻具穿行在油藏最佳位置，从而获得最大触油面，非常适合于在石油工程中进行地质导向。

附图说明：

图 1 示出了根据本发明优选实施例的测井装置；

图 2 示出了根据本发明的测井方法所采用的二层地层模型图；

图 3 示出了电阻率对比度为 10/1 地层幅度衰减响应随地层界面位置的变化关系图；

图 4 示出了电阻率对比度为 10/1 地层相位移响应随地层界面位置的变化关系图；

图 5 示出了电阻率对比度为 50/1 地层幅度衰减响应随地层界面位置的变化关系图；

图 6 示出了电阻率对比度为 50/1 地层相位移响应随地层界面位置的变化关系图；

图 7 示出了电阻率对比度为 200/1 地层幅度衰减响应随地层界面位置的变化关系图；

图 8 示出了电阻率对比度为 200/1 地层相位移响应随地层界面位置的变化关系图；

图 9 示出了根据本发明优选实施例的测井装置中的天线系 T2-R1-R2 在 2MHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差的本征值的对照表；

图 10 示出了根据本发明优选实施例的测井装置中的天线系 T2-R1-R2 在 400kHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和

相位差的本征值的对照表；

图 11 示出了根据本发明优选实施例的测井装置中的天线系 T1-R1-R2 在 2MHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差的本征值的对照表；

图 12 示出了根据本发明优选实施例的测井装置中的天线系 T1-R1-R2 在 400kHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差的本征值的对照表；

图 13 示出了根据本发明优选实施例的随钻测井方法的流程图；

图 14 示出了根据本发明优选实施例的测井数据处理设备的方框图。

具体实施方式：

某些术语在本申请文件中自始至终用来指示特定系统部件。如本领域的技术人员将认识到的那样，通常可以用不同的名称来指示相同的部件，因而本申请文件不意图区别那些只是在名称上不同而不是在功能方面不同的部件。在本申请文件中，以开放的形式使用术语“包括 (comprise)”、“包含 (include)”和“具有 (have)”，并且因此应将其解释为意指“包括但不限于...”。此外，在本文中可能使用的术语“基本上”、“实质上”或者“近似地”涉及行业所接受的对相应术语的容差。如在本文中可能采用的术语“耦合”包括直接耦合和经由另外的组件、元件、电路、或者模块的间接耦合，其中对于间接耦合来说，介于其间的组件、元件、电路、或模块不更改信号的信息但是可调整其电流水平、电压水平、和/或功率水平。推断的耦合（例如其中一个元件通过推断耦合至另一个元件）包括以与“耦合”同样的方式在两个元件之间的直接和间接的耦合。

在以下说明中，出于解释的目的，阐述许多特定细节以便提供对本发明的透彻理解。然而，对于本领域的技术人员来说将显而易见的是，可以在没有这些特定细节的情况下实施本发明的装置、方法和设备。在本说明书中对“实施例”、“示例”或类似语言的提及意指结合该实施例或示例所描述的特定特征、结构或特性被包括在至少那一个实施例或示例中，但不一定会被包括在其它的实施例或示例中。在本说明书中的不同位置中的措辞“在一个实施例中”、“在优选实施

例中”或类似措辞的各种实例并不必定全部涉及同一实施例。

下面结合优选实施例和说明书附图对本发明作进一步描述。

图 1 示出了根据本发明优选实施例的一种测井装置——电磁波传播电阻率探测装置，其包括钻铤本体 12、天线阵列 7-11、13-15、内部电子线路（图中未示出）以及用于耦合各部件的固化密封件。

如图 1 中所示，钻铤本体 12 在本实施例中优选地由一根圆柱形且内有轴向贯通孔的不锈钢材料制成，该钻铤本体 12 的外表面上优选地刻有多个优选为环形或椭环形的凹槽，该凹槽用于安装发射天线或接收天线。

在图 1 所示出的优选实施例中，天线阵列包括 4 个发射天线 T1（如附图标记 11 所示）、T2（如附图标记 14 所示）、T3（如附图标记 13 所示）和 T4（如附图标记 15 所示），以及 4 个接收天线 R1（如附图标记 7 所示）、R2（如附图标记 8 所示）、R3（如附图标记 9 所示）和 R4（如附图标记 10 所示）。

如图 1 所示，发射天线和接收天线从图 1 的左侧至图 1 的右侧（即为从钻铤本体 12 的钻铤尾端到钻头端）的排列顺序优选为：接收天线 R3、发射天线 T3、发射天线 T1、接收天线 R1、接收天线 R2、发射天线 T2、发射天线 T4、和接收天线 R4。其中，在本优选实施例中，接收天线 R1 和 R2 之间的中点为测量点，发射天线 T1、T2、T3 和 T4 优选地分别以该测量点为中心对称地安装。接收天线 R1 和 R2 优选地是安装角均为零的接收天线对，而接收天线 R3 和 R4 为另一对以所述测量点为对称中心的接收天线对，如图 1 所示，该接收天线 R3 和 R4 优选地位于钻铤的两端。该接收天线 R3 和 R4 的安装角可以任意设置，在本实施例中其被优选地（但不仅限于）设置为 45° 和 -45° 。

对于任何一个发射天线与一对接收天线对（例如发射天线 T1 与接收天线 R1 和 R2）而言，当发射天线被激发时，电磁信号通过周围地层及钻铤本体传播，经过地层反射及透射而在接收天线上产生电磁感应信号，该电磁感应信号经由接收天线进行信号采集，然后经由内部电子线路进行放大、滤波等信号处理，最后转化为传播地层的电阻率的函数。当该测井装置（在本实施例中为电磁波传播电阻率探测装置）在井下运行时，如果该装置前方的地层电参数（例如地层电阻率对比度）不变，则就意味着没有层边界出现，此时反射到接收天线上的电

磁信号就会不变，而如果该装置前方的地层电参数改变，则就意味着有层边界出现，此时反射到接收天线上的电磁信号将产生改变，从而产生一个信号差，不断地对这个信号差进行采集计算，则可获得前向探测的距离。

根据本发明的测井装置（在本实施例中为电磁波传播电阻率探测装置）中的任意一个发射天线和任一组接收天线对的组合都可以产生一条前向探测曲线，通过对所有的前向探测曲线进行比较及处理，可以消除环境影响（例如井眼影响）和测量误差，从而可以提高测井装置的前向探测精度。

下面，将结合附图来详细描述根据本发明另一优选实施例的一种特定的随钻测井方法。

如图 13 所示，根据本发明优选实施例的测井方法——电磁波传播电阻率前向探测方法，包括如下步骤：

在步骤 1301 中，将随钻测井装置（优选地例如图 1 所示的电磁波传播电阻率前向探测装置）放置到某深度位置处的高阻目的层中，在测井装置持续钻进时该测井装置进行连续探测，其探测方向与该测井装置（优选地为图 1 所示的电磁波传播电阻率前向探测装置）的轴向移动方向一致。

在步骤 1302 中，选取两个连续测量点（例如第一测量点和第二测量点），在每个测量点处进行至少两次连续测量。

在步骤 1303 中，如果在第一测量点处、在所述至少两次连续测量中沿测井装置轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 $\Delta A\%$ 和相位差变化量 ΔPSD 在其各自的预定阈值范围（例如：预定幅度比变化量阈值范围可以为 0-0.03dB 或其他预定范围，预定相位差变化量阈值范围为 0° - 0.1° 或其他预定范围）内，则将该第一测量点作为第一均质地层可选点保存。

在步骤 1304 中，如果在第二测量点处、在所述至少两次连续测量中沿测井装置轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 $\Delta A\%$ 和相位差变化量 ΔPSD 都在所述各自的预定阈值范围内，则将该第二测量点作为第二均质地层可选点保存。

如果在步骤 1303 和 1304 中经判断没有找到符合上述条件的两个均质地层可选点，则返回步骤 1302，继续进行随钻测量，依此类推，

直到找到符合条件的两个均质地层可选点为止。

当经由步骤 1303 和 1304 找到了第一和第二均质地层可选点之后，在步骤 1305 中，将上述第一和第二均质地层可选点处所测得的所述第一接收线圈与所述第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比的平均值（即，在这两个均质地层可选点处所进行的各次测量得到的多个幅度比的平均值）或均方根和相位差的平均值（在两个均质地层可选点处所进行的各次测量得到的多个相位差的平均值）或均方根分别作为与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的所述测井装置的感应信号的幅度比基值 $Att0$ 和相位差基值 $PSD0$ 。

接下来，在步骤 1306 中，确定并存储所测高阻目的层的地层电阻率的标准值，即：将与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的上述幅度比基值 $Att0$ 和相位差基值 $PSD0$ 与各种地层的相应预定本征值进行比较，选取与所述幅度比基值和相位差基值最为接近的那一种类型的地层的本征值作为与所测高阻目的层的地层电阻率对应的幅度比标准值和相位差标准值，存储所述幅度比标准值和相位差标准值。

可选地，在步骤 1307 中，根据与所测高阻目的层的地层电阻率对应的幅度比标准值和相位差标准值来设定所述所测高阻目的层的出层阈值。具体而言，当测井装置靠近低阻边界时，会造成所述测井装置的轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比和相位差的变化，测井装置越靠近低阻边界，所述实测的幅度比相对于幅度比的标准值的变化量（即差值）、以及所述实测的相位差相对于相位差的标准值的变化量（即差值）就越大，当该幅度比变化量和相位差变化量达到或超过预定数值时，通常认为测井装置的前方出现低阻地层。所述预定数值即为本文所述的出层阈值。需要注意的是，该出层阈值对于不同的测量地层可以由本领域技术人员根据实际测量地层的特征及测量情况设定为不同的预定数值，一般可通过当前所测地层及前方地层这两种地层的电阻率对比度来加以确定，优选地，无论当前所测地层及前方地层这两种地层的电阻率对比度如何，均可以将出层阈值设为幅度比标准值或相位差标准值的 1%-30%；进一步优选地，当所述电阻率对比度为 1/10 时，可以优选地将出层阈值设为所述幅度比标准值或相位差标准值的 10%。上述出层阈值的确定方式以及数值仅是示例性的，并不应当构成对本发明保护范围的限制，本领域

技术人员可以根据实际情况通过其他方式选择合适的数值。

如图所示，在步骤 1308 中，继续选取下一个测量点，在下一个测量点处进行至少两次测量，计算在该测量点处沿测井装置的轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD 。

在步骤 1309 中，判断步骤 1308 中所计算的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD 是否大于出层阈值；如果大于，则判定所述测井装置的前方为低阻地层；如果不大于，则存储当前的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD ，之后判断是否到了预定的第 n 个测量点，如果否，则返回步骤 1308，继续进行下一测量点的选取及幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD 的计算，如果是到了预定的第 n 个测量点，则进入到步骤 1310。需要注意的是，此处的 n 根据地层的特征及测量的速度由技术人员根据实际情况来选择，例如，如果对于较软的地层（比如说濒海地区中的砂岩），则 n 的取值可以相对小一些，而对于较硬的地层（比如说页岩），则 n 的取值可以相对大一些，通常，对于普通地层而言， n 优选地可选为 20-30，但本发明绝不限于此，其可以是其他适合的取值。

在步骤 1310 中，根据之前所存储的各测量点处的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD 来确定幅度比变化趋势和相位差变化趋势；

如果所述变化趋势为从第三个测量点到第 n 个测量点，所述幅度比变化量和相位差变化量保持同向递增（即第 $m+1$ 个测量点处的幅度比变化量和相位差变化量分别比第 m 个测量点处的幅度比变化量和相位差变化量大，所述 $m=1,2,\dots,n-1$ ），则判定所述测井装置的前方为低阻地层；

否则如果所述变化趋势总体为同向递增，则也判定为所述测井装置的前方为低阻地层；本文所述的总体同向递增是指：虽然所述变化趋势中间有起伏（也就是说，在某测量点处的幅度比变化量和相位差变化量相对于前一测量点处的幅度比变化量和相位差变化量而言有所减小），但是例如至少 70% 的测量点保持着同向递增的趋势，该百分比也是由技术人员根据实际测量情况来预先设定的，所述 70% 仅为示例性的，并不构成对本发明保护范围的限制。

如果所述变化趋势既未同向递增，又未总体同向递增，则判定所

述测井装置的前方没有出现低阻地层。

根据本发明的另一优选实施例，在上述步骤 1305 中所述的基值确定过程中，可以通过磁偶极源并矢格林函数来计算得到第一和第二均质地层可选点的地层电阻率、幅度比和相位差。作为示例，图 9-12 示出了几种示例性的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差的本征值对照表，该本征值对照表中的相应物理量通过磁偶极源并矢格林函数来计算得到。其中，图 9 示出了根据本发明优选实施例的测井装置天线对 T2-R1-R2 在 2MHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差转换的本征值的对照表；图 10 示出了根据本发明优选实施例的测井装置天线对 T2-R1-R2 在 400kHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差转换的本征值的对照表；图 11 示出了根据本发明优选实施例的测井装置天线对 T1-R1-R2 在 2MHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差转换的本征值的对照表；图 12 示出了根据本发明优选实施例的测井装置天线对 T1-R1-R2 在 400kHz 的发射频率下的各种测量地层电阻率与幅度比和相位差转换的本征值的对照表。

此外，根据本发明的再一优选实施例，所述测井方法还优选地包括采用索末菲尔德积分计算前方低阻地层到测井装置（例如根据本发明的电磁波传播电阻率前向探测装置）的距离。

本申请的图 2 示出了优选地采用根据本发明优选实施例的电磁波传播电阻率前向探测装置进行前向探测的测井方法所用到的二层地层模型图。

如图 2 中所示，各附图标记分别表示：1：地层 1；2：地层 2；3：地层 1 和地层 2 间的层界面；4：电磁波传播电阻率前向探测装置的心轴线；5：电磁波传播电阻率前向探测装置的测量点；6：电磁波传播电阻率前向探测装置的测量点到地层 1 和地层 2 间的层界面 3 的距离；7：安装角为零的接收天线 R1；8：安装角优选为零度的接收天线 R2；9：安装角优选为 45° 的接收天线 R3；10：安装角优选为 -45° 的接收天线 R4；11、安装角优选为零度的发射天线 T1。根据该二层地层模型，所述电磁波传播电阻率前向探测装置被设置在地层 1 中并且垂直于地层 1 和地层 2 的界面，通过改变地层界面 3 到装置中心点的距离即可获得在不同电阻率对比度的地层中幅度衰减和相位移的变化。

图 3 至图 8 示出的是根据本发明优选实施例的电磁波传播电阻率前向探测装置的不同发射-接收天线对在采用不同频率时在不同的电阻率对比度地层的幅度衰减响应或相位移响应随地层界面位置的变化关系图。图 3-图 8 中的横坐标表示从地层界面 3 到装置中心点的距离,纵坐标表示线圈系在二层地层中与在以地层 1 的电参数为电阻率的均质地层中的响应的差值。

假设根据本发明优选实施例的电磁波传播电阻率前向探测装置的幅度衰减阈值为 0.02dB、相位移的阈值为 0.1° (如图 3-图 8 中的横线所示),则由图 3 至图 8 可得到该探测装置中的各天线对在不同电阻率对比度地层中的垂向探测深度。

例如,在 10/1 电阻率对比度地层中,若发射-接收天线对的频率为 2MHz,则 16/22in. (即英寸) 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 41 in. 和 26 in., 32/38in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 56 in. 和 37 in.; 如果发射-接收天线对的频率为 400kHz,则 16/22in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 43 in. 和 35 in., 32/38in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 67 in. 和 48 in.。

在 50/1 电阻率对比度地层中,若所述频率取 2MHz,则 16/22in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 55 in. 和 35 in., 32/38in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 77 in. 和 46 in.; 若所述频率取 400kHz,则 16/22in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 49 in. 和 44 in., 32/38in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 82 in. 和 62 in.。

在 200/1 电阻率对比度地层中,若所述频率取 2MHz,则 16/22in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 61 in. 和 43 in., 32/38in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 92 in. 和 57 in.; 若所述频率取 400kHz,则 16/22in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 50 in. 和 47 in., 32/38in. 天线对的幅度衰减和相位移的垂向探测深度分别为 87 in. 和 71 in.。

由图 3 至图 8 可以看出,随着地层电阻率对比度的增加,幅度衰减响应或相位移响应随地层界面位置的变化更加平缓。随着地层电阻率对比度和天线对线圈距的增加,所述探测装置的垂向探测深度增大。

在相同电阻率对比度地层中，同一天线对幅度衰减曲线的垂向探测深度大于相位移曲线的垂向探测深度。

在钻井装置向前钻进的过程中，通过根据本发明的设置在钻井装置中的所述随钻测井装置实时测量上述幅度衰减或相位移信号的变化可以确定地层界面或油水界面的存在，从而控制钻具穿行在油藏的最佳位置。如果在钻井装置向前钻进的过程中所述随钻测井装置没有出现上述幅度衰减或相位移信号的变化，也就是随钻测井装置的幅度衰减或相位移信号的读数为定值，则表示无低阻地层存在。若在钻井装置向前钻进的过程中上述幅度衰减或相位移信号的读数发生改变，则表示钻井装置前方出现了低阻地层，需及时调整井眼轨迹以避免钻入低阻地层，从而使钻井装置始终位于高阻含油目的层段，进而实现地层界面的钻前预测和精确地质导向。

需要指出的是，本发明虽然参照石油钻井来描述了优选实施例，但是本发明的测井装置及测井方法并不仅限于石油钻井领域，还广泛地适用于采煤、采矿等其他钻井行业中。

下面，本说明书将进一步描述用于实现根据本发明优选实施例的所述测井方法的数据处理设备。

如图 14 所示，根据本发明的数据处理设备优选地包括：第一、第二测量点选取装置 1400、第一幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1401、第二幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1402、第一均质地层可选点判定装置 1403、第二均质地层可选点判定装置 1404、存储装置 1405、基值确定装置 1406、标准值确定装置 1407、出层阈值设定装置 1408、第三 - 第 n 测量点选取及计算装置 1409 以及低阻地层判定装置 1410。

其中，所述第一、第二测量点选取装置 1400 选取两个连续测量点（即第一测量点和第二测量点），并指示测井装置在每个所选取的测量点处进行至少两次连续测量。

所述第一、第二测量点选取装置 1400 分别耦合到所述第一幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1401 和第二幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1402。

所述第一幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1401 用于计算在所述第一、第二测量点选取装置 1400 所选取的第一测量点处、在所述

至少两次连续测量中沿测井装置轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD ;

所述第二幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1402 用于计算在所述第一、第二测量点选取装置 1400 所选取的第二测量点处、在所述至少两次连续测量中沿测井装置轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD ;

所述第一均质地层可选点判定装置 1403 耦合至所述第一幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1401, 且用于判断在第一测量点处、沿测井装置轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD 是否在其各自的预定阈值范围内, 如果是, 则将该第一测量点作为第一均质地层可选点保存在存储装置 1405 中。如果否, 则指示所述第一、第二测量点选取装置 1400 重新选取测量点。优选地, 上述预定幅度比变化量阈值范围可以为 0-0.03dB 或其他预定范围, 预定相位差变化量阈值范围为 0° - 0.1° 或其他预定范围。

所述第二均质地层可选点判定装置 1404 耦合至所述第二幅度比变化量和相位差变化量计算装置 1402, 且用于判断在第二测量点处、沿测井装置轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 ΔA_{II} 和相位差变化量 ΔPSD 是否在其各自的预定阈值范围内, 如果是, 则将该第二测量点作为第二均质地层可选点保存在存储装置 1405 中。如果否, 则指示所述第一、第二测量点选取装置 1400 重新选取测量点。

所述基值确定装置 1406 耦合至存储装置 1405, 且用于确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的所述测井装置的感应信号的幅度比基值 A_{II0} 和相位差基值 $PSD0$ 。根据优选实施例, 基值确定装置 1406 将存储装置 1405 中所存储的上述第一和第二均质地层可选点处所测得的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比的平均值(在这两个均质地层可选点处所进行的各次测量得到的多个幅度比的平均值)或均方根和相位差的平均值(在两个均质地层可选点处所进行的各次测量得到的多个相位差的平均值)或均方根分别作为与所测高阻目的层的地层电阻率对应的幅度比基值 A_{II0} 和相位差基值 $PSD0$ 。

优选地, 所述基值确定装置 1406 通过磁偶极源并矢格林函数来计

算得到所述第一和第二均质地层可选点的地层电阻率、幅度比和相位差。要指出的是，所述基值确定装置 1406 还可以采用其他已有函数或算法来计算得到所述第一和第二均质地层可选点的地层电阻率、幅度比和相位差。

所述标准值确定装置 1407 耦合至所述基值确定装置 1406 和存储装置 1405，并用于确定并存储所测高阻目的层的地层电阻率的标准值。根据优选实施例，所述标准值确定装置 1407 用于将与所测高阻目的层的地层电阻率对应的上述幅度比基值 $Att0$ 和相位差基值 $PSD0$ 与各种地层的相应预定本征值进行比较，选取与所述幅度比基值和相位差基值最为接近的那一种类型的地层的本征值作为与所测高阻目的层的地层电阻率对应的幅度比标准值和相位差标准值，并将所述幅度比标准值和相位差标准值存储在存储装置 1405 中。

所述出层阈值设定装置 1408 耦合至所述标准值确定装置 1407 和存储装置 1405，并用于设定所测高阻目的层的出层阈值。根据优选实施例，所述出层阈值设定装置 1408 根据与所测高阻目的层的地层电阻率对应的幅度比标准值和相位差标准值来设定所述所测高阻目的层的出层阈值，之后优选地将所述出层阈值存储在所述存储装置 1405 中。

具体而言，当测井装置靠近低阻边界时，会造成所述测井装置的轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比和相位差的变化，测井装置越靠近低阻边界，所述实测的幅度比相对于幅度比的标准值的变化量（即差值）、以及所述实测的相位差相对于相位差的标准值的变化量（即差值）就越大，当该幅度比变化量和相位差变化量达到或超过预定数值时，通常认为测井装置的前方出现低阻地层。所述预定数值即为本文所述的出层阈值。如前所述，该出层阈值对于不同的测量地层可以由本领域技术人员根据实际测量地层的特征及测量情况设定为不同的预定数值，一般可通过当前所测地层及前方地层这两种地层的电阻率对比度来加以确定，优选地，无论当前所测地层及前方地层这两种地层的电阻率对比度如何，均可以将出层阈值设为幅度比标准值或相位差标准值的 1%-30%；进一步优选地，当所述电阻率对比度为 1/10 时，可以优选地将出层阈值设为所述幅度比标准值或相位差标准值的 10%。上述出层阈值的确定方式以及数值仅是示例性的，并不应当构成对本发明保护范围的限制，本领域技术

人员可以根据实际情况通过其他方式选择合适的数值。

所述第三 - 第 n 测量点选取及计算装置 1409 用于继续选取下一个测量点, 在下一个测量点处进行至少两次测量, 计算在该测量点处沿测井装置的轴向方向的第一接收线圈与第二接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量 $\Delta A''$ 和相位差变化量 ΔPSD 。

所述低阻地层判定装置 1410 分别耦合至存储装置 1405、出层阈值设定装置 1408 以及所述第三 - 第 n 测量点选取及计算装置 1409。

根据优选实施例, 所述低阻地层判定装置 1410 包括出层阈值判定单元 14101, 其用于判断所述第三 - 第 n 测量点选取及计算装置 1409 中所计算的当前测量点的幅度比变化量 $\Delta A''$ 和相位差变化量 ΔPSD 是否大于出层阈值; 如果大于, 则判定所述测井装置的前方为低阻地层; 如果不大于, 则优选地将当前测量点的幅度比变化量 $\Delta A''$ 和相位差变化量 ΔPSD 存储在存储装置 1405 中。

根据另一优选实施例, 所述低阻地层判定装置 1410 还包括测量点数目判定单元 14102 和幅度比及相位差变化趋势判定单元 14103。

所述测量点数目判定单元 14102 用于在所述出层阈值判定单元 14101 判断当前测量点的幅度比变化量 $\Delta A''$ 和相位差变化量 ΔPSD 不大于出层阈值时, 判断当前测量点是否已达到预定的第 n 个测量点, 如果否, 则指示所述第三 - 第 n 测量点选取及计算装置 1409 继续进行下一测量点的选取及幅度比变化量 $\Delta A''$ 和相位差变化量 ΔPSD 的计算; 反之, 如果当前测量点为预定的第 n 个测量点, 则指示幅度比及相位差变化趋势确定单元 14103 来根据之前所存储的各测量点(即第 3、4、5... n 个测量点)处的幅度比变化量 $\Delta A''$ 和相位差变化量 ΔPSD 来确定幅度比变化趋势和相位差变化趋势。

如前所述, 此处的 n 根据地层的特征及测量的速度由技术人员根据实际情况来选择, 例如, 如果对于较软的地层(比如说濒海地区的砂岩), 则 n 的取值可以相对小一些, 而对于较硬的地层(比如说页岩), 则 n 的取值可以相对大一些, 通常, 对于普通地层而言, n 优选地可选为 20-30, 但本发明绝不限与此, 其可以是其他适合的取值。

根据再一优选实施例, 所述低阻地层判定装置 1410 还包括同向递增变化趋势判定单元 14104, 所述同向递增变化趋势判定单元 14104 用于判断由所述幅度比及相位差变化趋势确定单元 14103 确定的所述变

化趋势是否为从第三个测量点到第 n 个测量点，所述幅度比变化量和相位差变化量保持同向递增（即第 $m+1$ 个测量点处的幅度比变化量和相位差变化量分别比第 m 个测量点处的幅度比变化量和相位差变化量大，所述 $m=1,2,\dots,n-1$ ），如果是，则判定所述测井装置的前方为低阻地层。

根据又一优选实施例，所述低阻地层判定装置 1410 还包括总体同向递增变化趋势判定单元 14105，其用于在判定单元 14104 的判定结果为否的时候判断所述变化趋势是否总体为同向递增，如果是，则判定为所述测井装置的前方为低阻地层；如果否，则判定所述测井装置的前方没有出现低阻地层。如前所述，此处的总体同向递增是指：虽然所述变化趋势中间有起伏（也就是说，在某测量点处的幅度比变化量和相位差变化量相对于前一测量点处的幅度比变化量和相位差变化量而言有所减小），但是例如至少 70% 的测量点保持着同向递增的趋势，该百分比也是由技术人员根据实际测量情况来预先设定的，所述 70% 仅为示例性的，并不构成对本发明保护范围的限制。

请注意，可以以硬件、软件、固件或其组合来实现本优选实施例。在（一个或多个）各种实施例中，以存储在存储器中并由适当的指令执行系统执行的软件或固件来实现设备组件。如果以硬件实现，如在某些实施例中，则可以用在本领域中全部众所周知的任何以下技术或其组合来实现设备组件：具有用于对数据信号实现逻辑功能的逻辑门的（一个或多个）离散逻辑电路、具有适当组合逻辑门的专用集成电路（ASIC）、（一个或多个）可编程门阵列（PGA）、现场可编程门阵列（FPGA）等。

软件组件可以包括用于实现逻辑功能的可执行指令的有序列表，可以体现在任何计算机可读介质中以供指令执行系统、装置或设备使用或与之相结合地使用，所述指令执行系统、装置或设备诸如为基于计算机的系统、包含处理器的系统、或能够从指令执行系统、装置或设备获取指令并执行该指令的其它系统。另外，本公开的范围包括在在硬件或软件构造的介质中体现的逻辑中体现一个或多个实施例的功能。

已经出于图示和说明的目的提出了本公开的实施例的前述公开。其并不旨在是穷举的或使本公开局限于所公开的精确形式。根据上述

公开，本文所述的实施例的许多变更和修改对于本领域的普通技术人员来说将是显然的。请注意，上述示例并不意图是限制性的。还可以预期可以包括许多上述特征的装置、方法和设备的附加实施例。在研究附图和详细说明之后，本公开的其它装置、方法、设备、特征和优点对于本领域的技术人员来说更加显而易见。意图在于将所有此类其它装置、方法、设备、特征和优点包括在本发明的保护范围内。

除非以其他方式特别说明或在所使用的上下文内以其他方式理解，否则诸如“能够”、“可”、“可能”或“可以”之类的条件语言一般旨在传达的是某些实施例可以包括但不必须包括某些特征、元件和/或步骤。因此，此类条件语言通常并不旨在暗示以任何方式要求一个或多个实施例必须包括特征、元件和/或步骤。

应将流程图中的任何处理说明或方框理解为表示包括用于实现该处理中的特定逻辑功能或步骤的一个或多个可执行指令的代码部分、或段、模块，并且替换实施方式被包括在本公开的优选实施例的范围内，其中，可以不按所示或所讨论的顺序来执行功能，包括基本上同时地或按照相反顺序，其取决于所涉及的功能，如本公开的领域中的理性技术人员将理解的那样。

权 利 要 求

1. 一种测井方法，其包括：

(a) 均质测量点选取步骤，在该步骤中，使测井装置选取两个连续测量点来进行至少两次连续测量；

(b) 根据所述两个连续测量点处的测量结果来确定所选取的所述两个连续测量点是否均能作为均质地层可选点；如果是，则

(c) 根据两个所述均质地层可选点来确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的所述测井装置的感应信号的幅度比基值和相位差基值；

(d) 根据所述幅度比基值和相位差基值来确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的幅度比标准值和相位差标准值；

(e) 根据所述幅度比标准值和相位差标准值来设定所述所测高阻目的层的出层阈值；

(f) 继续选取下一个测量点进行至少两次测量；

(g) 判断在当前测量点处、测井装置的一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量和/或相位差变化量是否大于所述出层阈值；

(h) 如果步骤(g)的判断结果为是，则判定测井装置前方出现低阻地层。

2. 如权利要求 1 所述的测井方法，其特征在于，所述步骤(b)进一步包括：如果任何一个所选取的测量点不能作为均质地层可选点，则返回步骤(a)以重新选取连续测量点。

3. 如权利要求 1 所述的测井方法，其特征在于，所述步骤(b)进一步包括：

如果在所选取的测量点之一处、在所述测井装置的一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量和相位差变化量在其各自的预定阈值范围内，则将该测量点作为均质地层可选点。

4. 如权利要求 1 所述的测井方法，其特征在于，所述步骤(c)进一步包括：

将在所述两个均质地层可选点处所测得的所述一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比的平均值或均方根和相位差的平均值或均方根分别作为所述幅度比基值和相位差基值。

5. 如权利要求 4 所述的测井方法，其特征在于，在所述步骤 (c) 中，通过磁偶极源并矢格林函数来计算得到所述两个均质地层可选点处的相应地层电阻率、幅度比和/或相位差。

6. 如权利要求 1 所述的测井方法，其特征在于，所述步骤 (d) 进一步包括：

将所述幅度比基值和相位差基值与预定的各种类型地层的相应本征值进行比较，选取与所述幅度比基值和相位差基值最接近的那一种类型的地层的本征值作为与所测高阻目的层的地层电阻率对应的所述幅度比标准值和相位差标准值。

7. 如权利要求 1 所述的测井方法，其特征在于，所述测井方法还包括：

步骤 (i)，当步骤 (g) 的判断结果为否时，存储当前测量点处的幅度比变化量和相位差变化量，判断是否到了预定的第 n 个测量点，如果否，则返回步骤 (f)，其中所述 n 为大于 4 的自然数。

8. 如权利要求 7 所述的测井方法，其特征在于，所述测井方法还包括：

步骤 (j)，当所述步骤 (i) 判断当前测量点为所述预定的第 n 个测量点时，则根据之前存储的各测量点处的幅度比变化量和相位差变化量来确定幅度比变化趋势和相位差变化趋势。

9. 如权利要求 8 所述的测井方法，其特征在于，所述测井方法还包括：

步骤 (k)，如果所述变化趋势为从第 3 个测量点到第 n 个测量点、所述幅度比变化量和相位差变化量保持同向递增或总体同向递增，则判定所述测井装置的前方出现低阻地层；否则，如果既非同向递增也非总体同向递增，则判定所述测井装置的前方并未出现低阻地层。

10. 一种数据处理设备，其特征在于，该数据处理设备包括：

均质地层可选点判定装置 (1403、1404)，其用于判定测井装置当前所选取的两个连续测量点是否均能作为均质地层可选点；

基值确定装置 (1406)，其用于在所述均质地层可选点判定装置 (1403、1404) 的判断结果为是的情况下，根据两个所述均质地层可选点来确定与所测高阻目的层的地层电阻率相对应的所述测井装置的感应信号的幅度比基值和相位差基值；

标准值确定装置 (1407)，其用于根据所述幅度比基值和相位差基值来确定与所测高阻目的层的地层电阻率对应的幅度比标准值和相位差标准值；

出层阈值设定装置 (1408)，其用于根据所述幅度比标准值和相位差标准值来设定所述所测高阻目的层的出层阈值；

第三—第 n 测量点选取及计算装置 (1409)，其用于继续选取下一个测量点进行至少两次测量，并计算在当前所选取的测量点处、测井装置的一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量和相位差变化量；以及

低阻地层判定装置 (1410)，其包括出层阈值判定单元 (14101)，该单元用于判断所述当前所选取的测量点处的幅度比变化量和/或相位差变化量是否大于所述出层阈值；如果是，则判定测井装置前方出现低阻地层。

11. 如权利要求 10 所述的数据处理设备，其特征在于，所述均质地层可选点判定装置 (1403、1404) 用于判断在所选取的测量点处、在所述测井装置的一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比变化量和相位差变化量是否在其各自的预定阈值范围内，如果是，则将参与判断的所述测量点作为均质地层可选点。

12. 如权利要求 10 所述的数据处理设备，其特征在于，所述均质地层可选点判定装置 (1403、1404) 如果判断任何一个所选取的测量点不能作为均质地层可选点，则指示测井装置重新选取连续测量点。

13. 如权利要求 10 所述的数据处理设备，其特征在于，所述基值确定装置 (1406) 进一步被配置为：将在所述两个均质地层可选点处所测得的所述一对接收线圈之间的感应电动势的幅度比的平均值或均方根和相位差的平均值或均方根分别作为所述幅度比基值和相位差基值。

14. 如权利要求 10 所述的数据处理设备，其特征在于，所述标准值确定装置 (1407) 进一步被配置为：将所述幅度比基值和相位差基值与预定的各种类型地层的相应本征值进行比较，选取与所述幅度比基值和相位差基值最接近的那一种类型的地层的本征值作为与所测高阻目的层的地层电阻率对应的所述幅度比标准值和相位差标准值。

15. 如权利要求 10 所述的数据处理设备，其特征在于，所述低阻

地层判定装置(1410)进一步包括测量点数目判定单元(14102)和幅度比及相位差变化趋势判定单元(14103);

其中所述测量点数目判定单元(14102)被配置为在所述出层阈值判定单元(14101)判断当前测量点的幅度比变化量和相位差变化量不大于出层阈值时,判断当前测量点是否已达到预定的第n个测量点;

如果否,则指示所述第三-第n测量点选取及计算装置(1409)继续进行下一测量点的选取及幅度比变化量和相位差变化量的计算;

反之,如果当前测量点为预定的第n个测量点,则指示幅度比及相位差变化趋势确定单元(14103)来根据之前所存储的各测量点处的幅度比变化量和相位差变化量来确定幅度比变化趋势和相位差变化趋势。

16. 如权利要求15所述的数据处理设备,其特征在于,所述低阻地层判定装置(1410)进一步包括同向递增变化趋势判定单元(14104),所述同向递增变化趋势判定单元(14104)用于判断由所述幅度比及相位差变化趋势确定单元(14103)确定的所述变化趋势是否为从第三个测量点到第n个测量点,所述幅度比变化量和相位差变化量保持同向递增,如果是,则判定所述测井装置的前方为低阻地层。

17. 如权利要求16所述的数据处理设备,其特征在于,所述低阻地层判定装置(1410)进一步包括总体同向递增变化趋势判定单元(14105),其用于在判定单元(14104)的判定结果是否为否时判断所述变化趋势是否总体为同向递增,如果是,则判定为所述测井装置的前方为低阻地层;如果否,则判定所述测井装置的前方没有出现低阻地层。

18. 一种测井装置,其特征在于,所述测井装置包括钻挺本体(12)和天线阵列,其中所述天线阵列包括至少一对发射天线和接收天线,所述发射天线和接收天线用于生成前向探测深度曲线。

19. 如权利要求18所述的测井装置,其特征在于,所述天线阵列包括4个发射天线T1(11)、T2(14)、T3(13)和T4(15),以及4个接收天线R1(7)、R2(8)、R3(9)和R4(10)。

20. 如权利要求19所述的测井装置,其特征在于,所述天线阵列从所述钻挺本体(12)的钻挺尾端到钻头端的排列顺序为:接收天线R3、发射天线T3、发射天线T1、接收天线R1、接收天线R2、发射天

线 T2、发射天线 T4、和接收天线 R4；所述接收天线 R1 和 R2 之间的中点为测量点，所述发射天线 T1 与 T2、T3 与 T4 分别以该测量点为中心对称地安装；所述接收天线 R1 和 R2 的安装角度均基本上为零度；所述接收天线 R3 和 R4 以所述测量点为对称中心设置在所述钻铤本体（12）的两端，并且所述接收天线 R3 和 R4 的安装角分别被设置为约 45° 和约 -45° 。

1/8

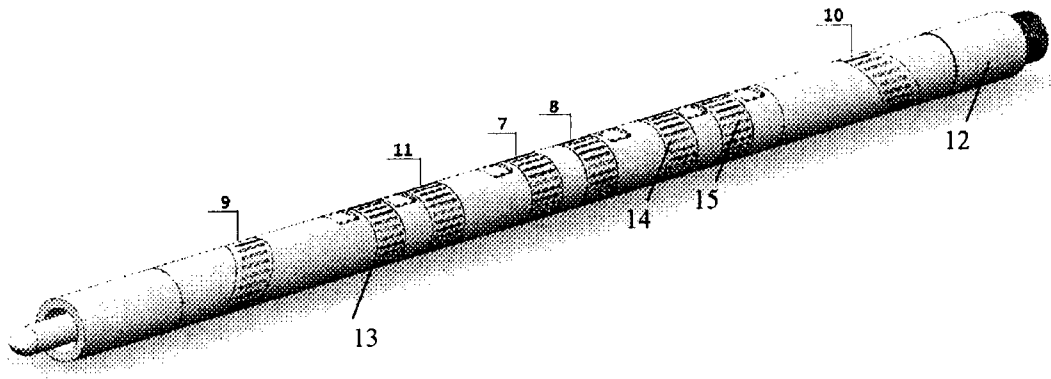


图 1

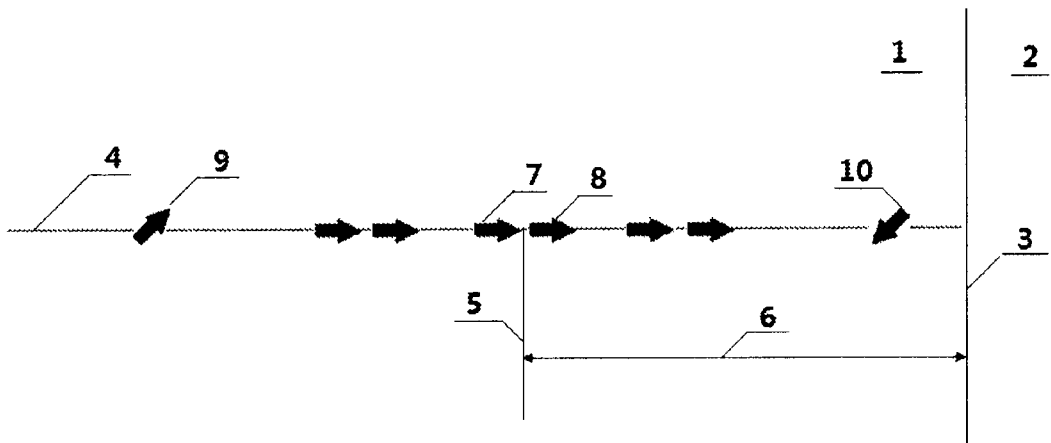


图 2

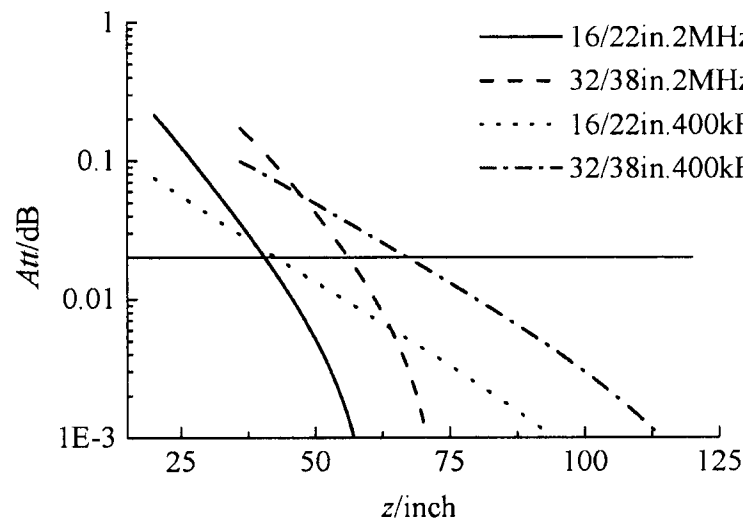


图 3

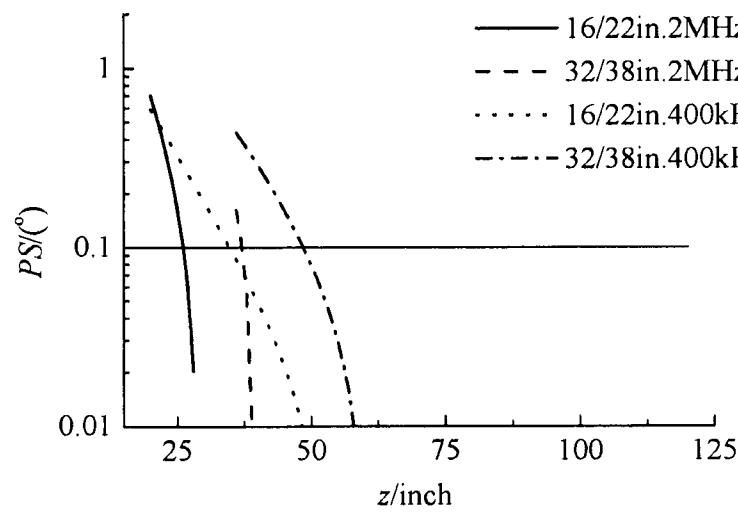


图 4

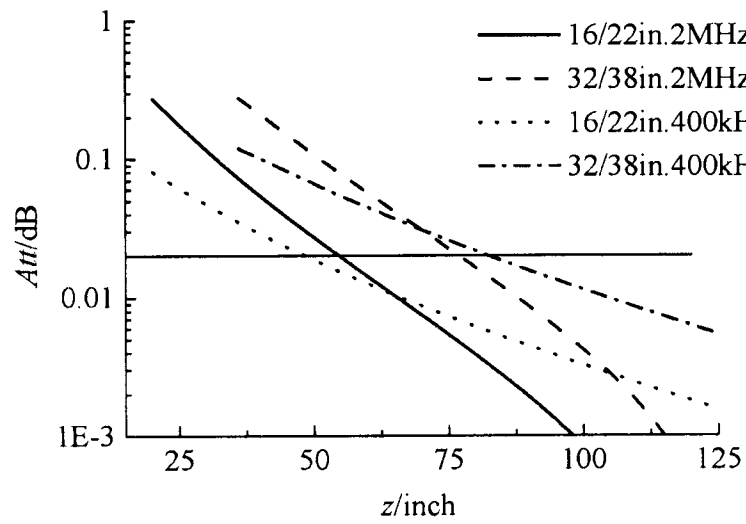


图 5

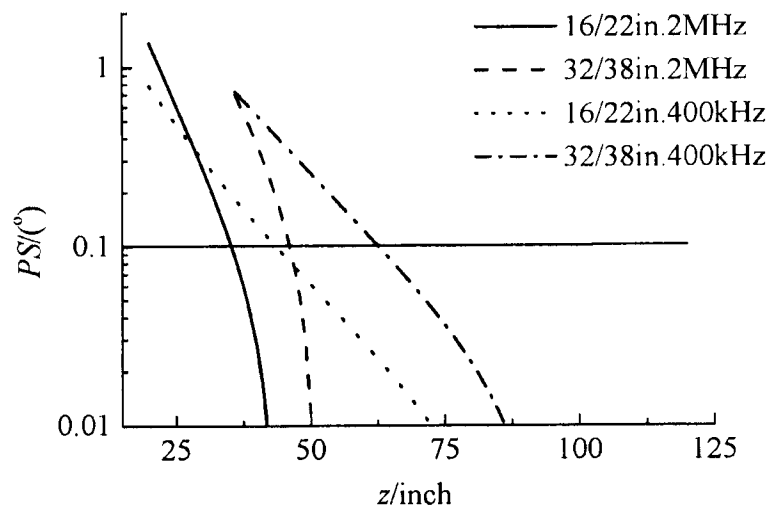


图 6

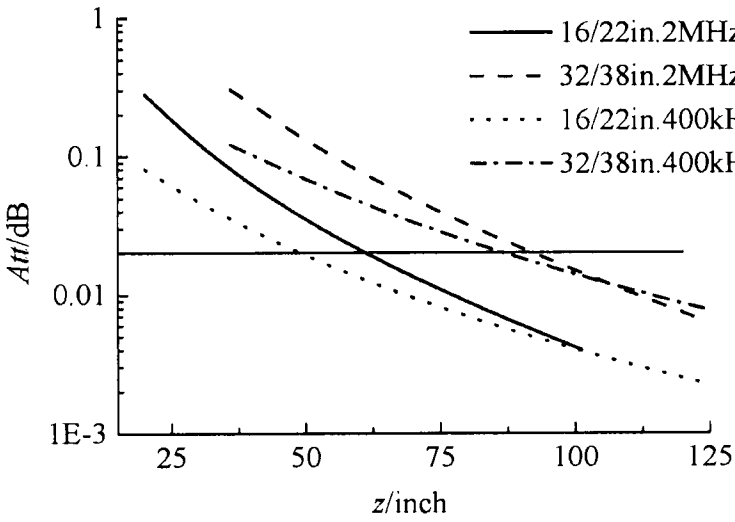


图 7

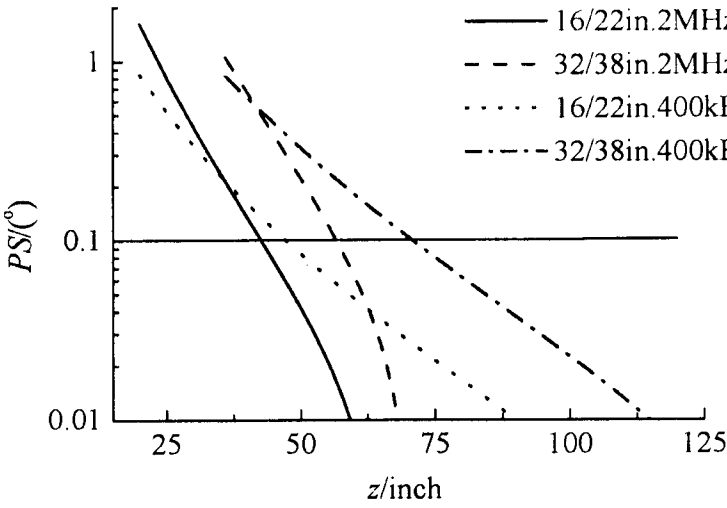


图 8

5/8

地层电阻率(欧米)	0.1	0.2	1	10	20	50	100	200	2000
相位差(度)	75.9	52.7	21.2	4.26	2.42	1.09	5.78E-01	3.02E-01	3.26E-02
幅度比(分贝)	9.32	6.00	1.85	0.20	8.59E-02	2.69E-02	1.07E-02	4.18E-03	1.94E-04

图 9

地层电阻率(欧米)	0.1	0.2	1	10	20	50	100	200	2000
相位差(度)	31.8	21.2	7.23	1.09	5.77E-01	2.43E-01	1.25E-01	6.37E-02	6.57E-03
幅度比(分贝)	3.17	1.85	0.41	2.66E-02	9.23E-03	2.94E-03	1.10E-03	4.02E-04	1.55E-05

图 10

6/8

地层电阻率(欧米)	0.1	0.2	1	10	20	50	100	200	2000
相位差(度)	77.0	54.1	23.2	5.73	3.49	1.70	9.45E-01	5.11E-01	5.89E-02
幅度比(分贝)	10.37	6.96	2.51	0.385	0.190	6.80E-02	2.93E-02	1.21E-02	6.28E-04

图 11

地层电阻率(欧米)	0.1	0.2	1	10	20	50	100	200	2000
相位差(度)	33.6	23.2	9.05	1.70	9.43E-01	4.16E-01	2.18E-01	1.13E-01	1.20E-02
幅度比(分贝)	3.97	2.51	0.724	6.71E-02	2.86E-02	8.62E-03	3.34E-03	1.26E-03	4.68E-05

图 12

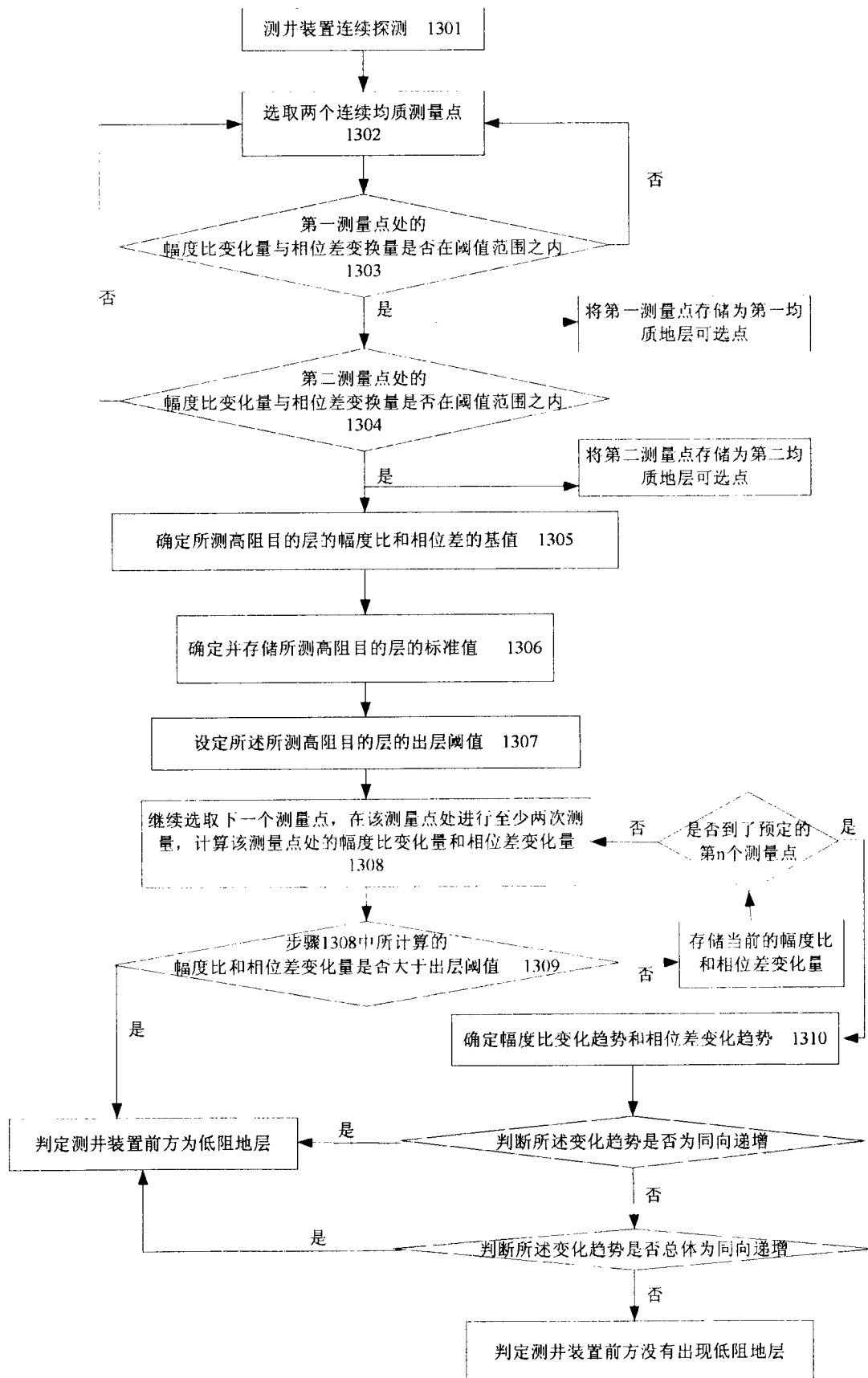


图 13

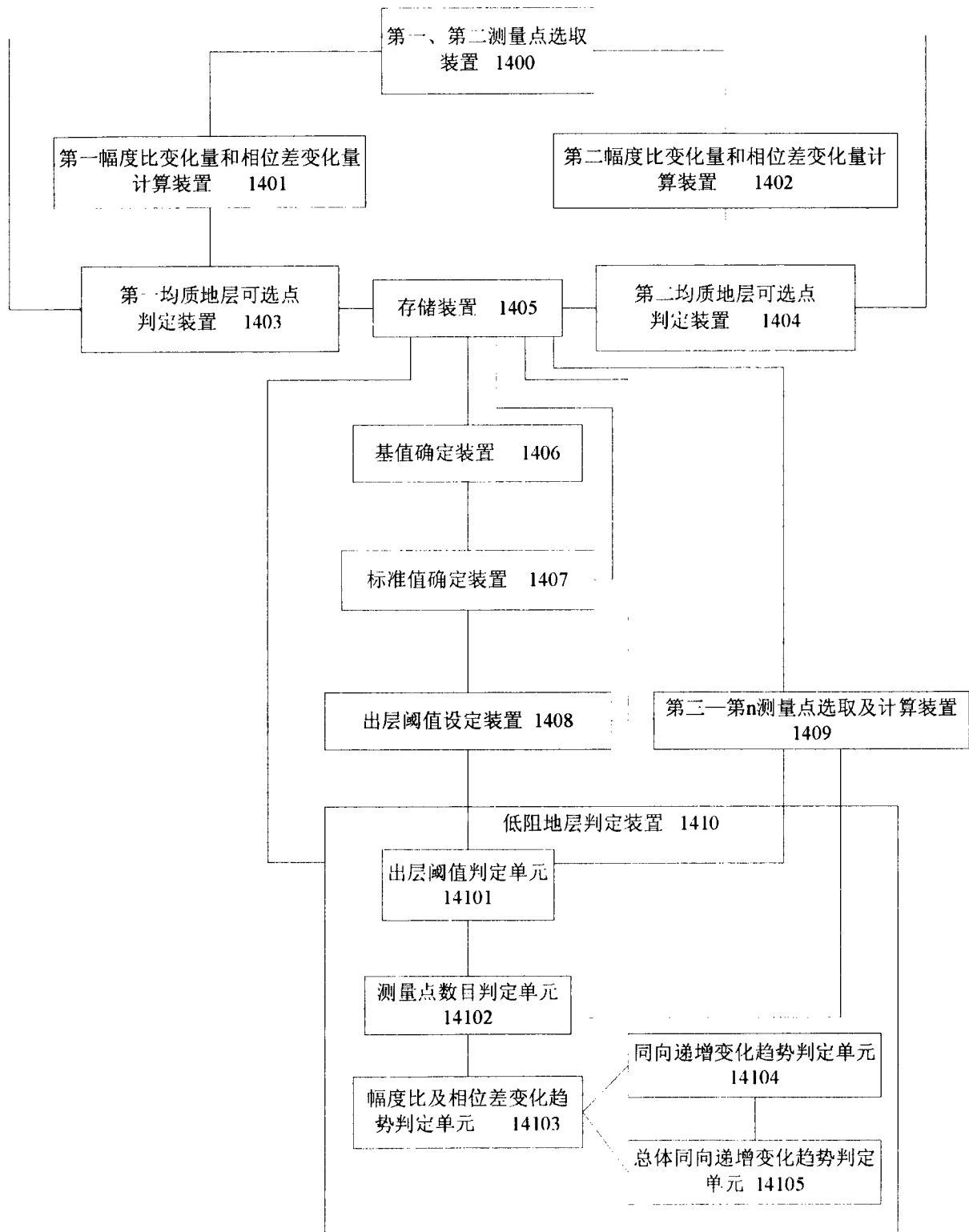


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/002099

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

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: G01V 3/00, G01V 3/08, G01V 3/18, G01V 3/30, G01V 3/12, E21B 47/00, G01V 3/26, G01V 3/28

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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: well logging, emit + accept + receive, antenna + coil + winding, resistance + stratum; DRILL+, WELL?, COIL?, WIND+, ANTENNA?

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/0101242 A1 (BITTAR, M. S.), 01 August 2002 (01.08.2002), figures 5 and 7, and description, paragraphs [0004], [0022] and [0045]-[0057]	18-19
Y		20
Y	CN 201387489 Y (CNPC DRILLING RESEARCH INSTITUTE), 20 January 2010 (20.01.2010), figure 1, and description, page 4, lines 1-9	20
A	CN 1682129 A (GENERAL ELECTRIC CO.), 12 October 2005 (12.10.2005), the whole document	1-20
A	CN 85108416 A (SCHLUMBERGER OVERSEAS S. A.), 09 July 1986 (09.07.1986), the whole document	1-20
A	EP 0045243 A2 (SCHLUMBERGER LIMITED et al.), 03 February 1982 (03.02.1982), the whole document	1-20

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

☒ See patent family annex.

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

Date of the actual completion of the international search 27 February 2012 (27.02.2012)	Date of mailing of the international search report 22 March 2012 (22.03.2012)
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 WANG, Jian Telephone No.: (86-10) 62414162

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2011/002099

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2002/0101242 A1	01.08.2002	WO 0248744 A1	20.06.2002
		AU 3940802 A	24.06.2002
		US 6538447 B2	25.03.2003
		NO 20032679 A	17.07.2003
		BR 0115335 A	26.08.2003
		EP 1350125 A1	08.10.2003
		AU 2002239408 B2	15.01.2004
CN 201387489 Y	20.01.2010	None	
CN 1682129 A	12.10.2005	WO 2004008184 A1	22.01.2004
		US 2004012392 A1	22.01.2004
		AU 2003256561 A1	02.02.2004
		US 6791330 B2	14.09.2004
		EP 1523689 A1	20.04.2005
		BR 0313003 A	07.06.2005
		MX PA 05000666 A	01.05.2005
		CN 1304855 C	14.03.2007
		RU 2321869 C2	10.04.2008
		AU 2003256561 B2	28.08.2008
		MX 252268 B	06.12.2007
CN 85108416 A	09.07.1986	EP 0186570 A	02.07.1986
		NO 854831 A	21.07.1986
		ES 8705128 A	01.07.1987
		US 4689572 A	25.08.1987
		EP 0186570 B	14.08.1991
		DE 3583797 G	19.09.1991
EP 0045243 A2	03.02.1982	NO 812232 A	15.02.1982
		BR 8104167 A	16.03.1982
		CA 1168309 A	29.05.1984
		EP 0045243 B	17.07.1985
		DE 3171389 G	22.08.1985

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/002099

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 3/08 (2006.01) i

G01V 3/30 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2011/002099

A. 主题的分类

参见附加页

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: G01V3/00, G01V3/08, G01V3/18, G01V3/30, G01V3/12, E21B47/00, G01V3/26, G01V3/28

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))

WPI,EPODOC,CNPAT,CNKI: 测井, 发射+接受+接收, 天线+线圈+绕组, 阻+地层; DRILL+, WELL?, COIL?, WIND+, ANTENNA?;

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
X	US2002/0101242A1 (BITTAR M. S.) 01.8 月 2002 (01.08.2002) 附图 5,7、说明书第[0004], [0022], [0045]-[0057]段	18-19
Y		20
Y	CN201387489Y (中国石油集团钻井工程技术研究院) 20.1 月 2010 (20.01.2010) 附图 1、说明书第 4 页第 1-9 行	20
A	CN1682129A (通用电气公司) 12.10 月 2005 (12.10.2005) 全文	1-20
A	CN85108416A (施卢默格海外有限公司) 09.7 月 1986 (09.07.1986) 全文	1-20
A	EP0045243A2 (SCHLUMBERGER LIMITED 等) 03.2 月 1982 (03.02.1982) 全文	1-20



其余文件在 C 栏的续页中列出。



见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

27.2 月 2012 (27.02.2012)

国际检索报告邮寄日期

22.3 月 2012 (22.03.2012)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

受权官员

王健

电话号码: (86-10) **62414162**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2011/002099

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
US2002/0101242A1	01.08.2002	WO 0248744 A1	20.06.2002
		AU 3940802 A	24.06.2002
		US 6538447 B2	25.03.2003
		NO 20032679 A	17.07.2003
		BR 0115335 A	26.08.2003
		EP 1350125 A1	08.10.2003
		AU 2002239408 B2	15.01.2004
CN201387489Y	20.01.2010	无	
CN1682129A	12.10.2005	WO 2004008184 A1	22.01.2004
		US 2004012392 A1	22.01.2004
		AU 2003256561 A1	02.02.2004
		US 6791330 B2	14.09.2004
		EP 1523689 A1	20.04.2005
		BR 0313003 A	07.06.2005
		MX PA05000666 A	01.05.2005
		CN 1304855 C	14.03.2007
		RU 2321869 C2	10.04.2008
		AU 2003256561 B2	28.08.2008
		MX 252268 B	06.12.2007
CN85108416A	09.07.1986	EP 0186570 A	02.07.1986
		NO 854831 A	21.07.1986
		ES 8705128 A	01.07.1987
		US 4689572 A	25.08.1987
		EP 0186570 B	14.08.1991
		DE 3583797 G	19.09.1991
EP0045243A2	03.02.1982	NO 812232 A	15.02.1982
		BR 8104167 A	16.03.1982
		CA 1168309 A	29.05.1984
		EP 0045243 B	17.07.1985
		DE 3171389 G	22.08.1985

A. 主题的分类

G01V3/08 (2006.01) i

G01V3/30 (2006.01) i