



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113376704 B

(45) 授权公告日 2023.01.10

(21) 申请号 202110632325.1

CN 110471117 A, 2019.11.19

(22) 申请日 2021.06.07

CN 105044792 A, 2015.11.11

(65) 同一申请的已公布的文献号

US 2009219029 A1, 2009.09.03

申请公布号 CN 113376704 A

US 2021055280 A1, 2021.02.25

(43) 申请公布日 2021.09.10

CN 104131808 A, 2014.11.05

US 2002105332 A1, 2002.08.08

(73) 专利权人 电子科技大学

李俊等. 矿井瞬变电磁天线前后异常响应特征模拟实验研究.《硅谷》.2011, (第19期),

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)

杨璐. 瞬变电磁法线源构建技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库(基础科学辑)》.2015, A011-117.

西源大道2006号

(72) 发明人 赵青 党晶欣 郭成

Ma Chunguang;. Experimental research on transient electromagnetic wave transmission characteristics in single-hole.《2013 IEEE 11th International Conference on Electronic Measurement & Instruments》.2014,

(74) 专利代理机构 北京正华智诚专利代理事务

所(普通合伙) 11870

专利代理师 何凡

(51) Int. Cl.

G01V 3/30 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 112003590 A, 2020.11.27

审查员 孟广敏

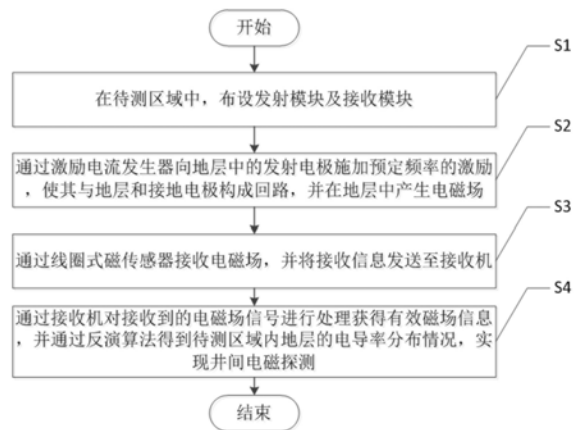
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统及方法,该系统包括发射模块和接收模块,其中,发射模块,包括分别设置于井下的发射电极和地面的接地电极,用于在地层中产生电磁场;接收模块,包括相互连接的磁场接收单元和接收机,用于接收电磁场并分析磁场强弱情况,实现井间电磁探测。本发明系统结构可用于小口径的井间电磁探测,且接收到的信号能够有效反映地层中异常体的位置信息,因此本发明方法对于小口径远距离的固体金属矿探测有重要意义。



1. 一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统,其特征在于,包括发射模块和接收模块;

发射模块,包括分别设置于井下的发射电极和地面的接地电极,用于在地层中产生电磁场;

接收模块,包括相互连接的磁场接收单元和接收机,用于接收电磁场并分析磁场强弱情况,实现井间电磁探测;

所述发射电极在电磁探测过程可移动至不同地层深度;

所述发射电极连接有激励电流发生器;

所述磁场接收单元包括若干个从上到下垂直排列的线圈式磁传感器,且相邻两个线圈式磁传感器之间通过连接螺套连接。

2. 根据权利要求1所述的基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统,其特征在于,所述发射模块和接收模块分设于相距1000米的两口井中。

3. 一种根据权利要求1~2任一所述的基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统的井间电磁探测方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、在待测区域中,布设发射模块及接收模块;

S2、通过激励电流发生器向地层中的发射电极施加预定频率的激励,使其与地层和接地电极构成回路,并在地层中产生电磁场;

S3、通过线圈式磁传感器接收电磁场,并将接收信息发送至接收机;

S4、通过接收机对接收到的电磁场信号进行处理获得有效磁场信息,并通过反演算法得到待测区域内地层的电导率分布情况,实现井间电磁探测。

4. 根据权利要求3所述的基于电发射-磁接收的井间电磁探测方法,其特征在于,所述步骤S3中,所述线圈式磁传感器接收到的电磁场为地层产生电磁场的 $B_z$ 分量,且磁感应强度轴向分量 $B_z$ 与发送至接收机的感应电动势 $|\varepsilon|$ 的关系式为:

$$|\varepsilon|=2\pi f N_R \pi (a_R)^2 |B_z|$$

式中, $f$ 为频率, $N_R$ 为线圈式磁传感器的匝数, $a_R$ 为线圈式磁传感器的半径, $B_z$ 为磁感应强度轴向分量。

## 一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于井间电磁探测技术领域,具体涉及一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统及方法。

### 背景技术

[0002] 井间电磁探测法是当代地球物理探测领域的一项新方法,其结合了常规电磁法和地球物理测井的优势,能够同时获得较高的分辨率与较远的探测距离,实现了地下储层信息的快速获取,在油气开发以及地质探测领域有着重要意义。

[0003] 井间电磁探测系统主要由发射系统和接收系统两部分组成。两系统分别放置于两口井中,发射系统产生一个低频交变电磁场,接收系统接收由发射源产生的一次场以及由井间地层产生的二次感应电动势。通过适当的算法进行数据处理并生成井间电阻率成像图,从而准确描述井间较大范围内的储层特征。

[0004] 最早的跨孔电磁成像是美国电磁仪器公司生产的XBH2000型井间电磁成像测井仪,之后在其基础上研制出X2C井间电磁成像测井仪;斯伦贝谢公司推出的DeepLook-EM是目前最先进的井间电磁成像仪器。

[0005] 目前已存在的井间电磁探测系统主要采用两种探测方法:“电发射-电接收”和“磁发射-磁接收”,其中,目前大多数仪器采用“电发射-电接收”法进行探测,该方法产生的信号强度大,适合远距离探测,但这些仪器都主要用于油气开发,其体积庞大,操作复杂,要求井有大口径且数据易受干扰,在固体金属矿产资源勘察中并不适用;“磁发射-磁接收”的仪器体积小,易操作,探测灵敏度高,适用于小口径井,但其发射功率下,发射信号弱,测井深度低,难以实现远距离探测。

### 发明内容

[0006] 针对现有技术中的上述不足,本发明提供的基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统及方法解决了现有的井间电磁探测方法中存在的受操作环境限制、测井深度浅难以实现远距离探测的问题。

[0007] 为了达到上述发明目的,本发明采用的技术方案为:一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统,包括发射模块和接收模块;

[0008] 发射模块,包括分别设置于井下的发射电极和地面的接地电极,用于在地层中产生电磁场;

[0009] 接收模块,包括相互连接的磁场接收单元和接收机,用于接收电磁场并分析磁场强弱情况,实现井间电磁探测。

[0010] 进一步地,所述发射模块和接收模块分设于相距1000米的两口井中。

[0011] 进一步地,所述发射电极在电磁探测过程可移动至不同地层深度;

[0012] 每个所述发射电极和接地电极之间的水平距离为100米,距离井口最近的发射电极与接地电极的之间的垂直距离至少为700米。

[0013] 进一步地,每个所述发射电极均连接有激励电流发生器。

[0014] 进一步地,所述磁场接收单元包括若干个从上到下垂直排列的线圈式磁传感器,且相邻两个线圈式磁传感器之间通过连接螺套连接。

[0015] 一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测方法,包括以下步骤:

[0016] S1、在待测区域中,布设发射模块及接收模块;

[0017] S2、通过激励电流发生器向地层中的发射电极施加预定频率的激励,使其与地层和接地电极构成回路,并在地层中产生电磁场;

[0018] S3、通过线圈式磁传感器接收电磁场,并将接收信息发送至接收机;

[0019] S4、通过接收机对接收到的电磁场信号进行处理获得有效磁场信息,并通过反演算法得到待测区域内地层的电导率分布情况,实现井间电磁探测。

[0020] 进一步地,所述步骤S3中,所述线圈式磁传感器接收到的电磁场为地层产生电磁场的 $B_z$ 分量,且磁感应强度轴向分量 $B_z$ 与发送至接收机的感应电动势 $|\varepsilon|$ 的关系式为:

$$[0021] \quad |\varepsilon| = 2\pi f N_R \pi a_R^2 |B_z|$$

[0022] 式中, $f$ 为频率, $N_R$ 为线圈式磁传感器的匝数, $a_R$ 为线圈式磁传感器的半径, $B_z$ 为磁感应强度轴向分量。

[0023] 本发明的有益效果为:

[0024] 1) 本发明根据探测要求将发送模块和接收模块分设于两口井中,可以实现远距离的井间探测,解决了现有的“磁发射-磁接收”发射信号弱,测井深度浅,难以实现远距离探测的问题;

[0025] 2) 本发明系统结构可用于小口径的井间电磁探测,能够明显接收到信号,且该信号的变化能够有效反映地层中异常体的位置信息,因此本发明方法对于小口径远距离的固体金属矿探测有重要意义;

[0026] 3) 本发明采用“电发射-磁接收”的原理,所采用的仪器体积小、操作简单、携带方便、发射信号强,且接收灵敏度高,能够有效地实现远距离井间电磁探测。

## 附图说明

[0027] 图1为本发明提供的基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统俯视局部剖面示意图。

[0028] 图2为本发明提供的基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统侧视局部剖面示意图。

[0029] 图3为本发明提供的发射电极在地层中产生电磁场的原理示意图。

[0030] 图4为本发明提供的线圈式磁传感器接收电磁场的原理示意图。

[0031] 图5为本发明提供的“电发射-磁接收”原理示意图。

[0032] 图6为本发明提供的基于电发射-磁接收的井间电磁探测方法流程图。

[0033] 图7为本发明提供的实验结果示意图。

## 具体实施方式

[0034] 下面对本发明的具体实施方式进行描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,

只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

[0035] 如图1~2所示,一种基于电发射-磁接收的井间电磁探测系统,包括发射模块和接收模块;

[0036] 发射模块,包括分别设置于井下的发射电极和地面的接地电极,用于在地层中产生电磁场;

[0037] 接收模块,包括相互连接的磁场接收单元和接收机,用于接收电磁场并分析磁场强弱情况,实现井间电磁探测。

[0038] 在本实施例中,所述发射模块和接收模块分设于相距1000米的两口井中。

[0039] 在本实施例发射电极在电磁探测过程可移动至不同地层深度,每个所述发射电极和接地电极之间的水平距离为100米,距离井口最近的发射电极与接地电极的之间的垂直距离至少为700米。每个所述发射电极均连接有激励电流发生器。

[0040] 其中,如图3所示,置于井下的发射电极的直径只要小于井眼尺寸即可,激励电流发生器施加的激励电流时,发射电极均可以产生较强的信号,在进行井间电磁探测时,井间电磁对于发射模块的要求是要产生足够强的信号,从而实现远距离传输,由于高频电磁波在地层中衰减较快,所以在本实施例中的元距离井间探测中采用低频电磁法,并且在接收模块侧也是采用同样的频率来接收电磁波。

[0041] 如图4所示,本实施例中的磁场接收单元包括若干个从上到下垂直排列的线圈式磁传感器,且相邻两个线圈式磁传感器之间通过连接螺套连接,进而接收磁感应强度轴向分量 $B_z$ 。具体地,在本实施例中,线圈式磁传感器在测试过程中是会移动的,从而测到不同位置的接收信号,连接螺套仅是为了将多个接收线圈连接在一起,构成阵列,提高电磁场探测的灵敏度。

[0042] 需要说明的是,在本实施例中,发送模块和接收模块安装并不是固定的,其是需要根据实验需求来确定,依据目标探测区域的位置来确定即可,一般是在目标探测区域设置多个发射点(发射电极)和接收点(线圈式磁传感器),至于设置数量,是根据探测需求来确定的,从而获得探测数据。

[0043] 实施例2:

[0044] 基于如图5所示的“电发射-磁接收”的原理示意图,本实施例中提供了一种基于实施例1中的系统实现井间电磁探测的方法,如图6所示,包括以下步骤:

[0045] S1、在待测区域中,布设发射模块及接收模块;

[0046] S2、通过激励电流发生器向地层中的发射电极施加预定频率的激励,使其与地层和接地电极构成回路,并在地层中产生电磁场;

[0047] S3、通过线圈式磁传感器接收电磁场,并将接收信息发送至接收机;

[0048] S4、通过接收机对接收到的电磁场信号进行处理获得有效磁场信息,并通过反演算法得到待测区域内地层的电导率分布情况,实现井间电磁探测。

[0049] 上述步骤S3中,在保证发射模块已经发出较强的信号的前提下,只要接收系统满足一定的灵敏度和噪声水平要求,并选取干扰较小的实验环境,就能接收到信号,对接收到的信号进行滤波、放大等操作,即可获得有效信号。

[0050] 由于线圈式磁传感器竖直放置,可看作一垂直磁偶极子源,因此线圈式磁传感器

接收到的电磁场为地层产生电磁场的 $B_z$ 分量,且磁感应强度轴向分量 $B_z$ 与发送至接收机的感应电动势 $|\varepsilon|$ 的关系式为:

$$[0051] \quad |\varepsilon| = 2\pi f N_R \pi a_R^2 |B_z|$$

[0052] 式中, $f$ 为频率, $N_R$ 为线圈式磁传感器的匝数, $a_R$ 为线圈式磁传感器的半径, $B_z$ 为磁感应强度轴向分量。

[0053] 在上述步骤S4中,通过接收机采用反演算法对有效磁场信息进行处理,获得待测区域内地层的电导率分布情况,具体地,将接收到的磁场信号通过反演转换为对应的电导率值,进而获得地层分布情况。需要说明的是,本实施例中能够使用的反演算法包括很多种,采用效果好、精度高的算法即可。

[0054] 实施例3:

[0055] 本实施例提供了基于上述探测系统及方法进行井间电磁探测的实例,通过接地电极向地下发射15.625Hz的方波信号,激励电流为30A,信号周期为0.064s,发射300个周期,总采集时间为19.2s,进而在电极与地层中构成回路,并产生电磁场。本实施例中选取15.625Hz的频点,是由于低频情况下电磁波的衰减相对较慢,有利于实现远距离传输,激励电流为30A也是为了保证发射足够强的信号。

[0056] 对于发射模块和接收模块的位置设置,发射模块中的发射点由井深1070米处开始向上移动,每10米为一个发射点,最后一个发射点为井深780米处,接收系统中线圈式磁传感器由井深880米处开始向上移动,每10米为一个接收采集点,最后一个接收点为井深590米处,发射点与接收点一一对应,共测得30组数据。

[0057] 基于上述实验设置,获得的实验结果如图7所示,此处仅展示一维实验结果,由实验结果可以看出数据出现两次突变,推断地层中存在两处异常体,后续通过进一步的二维甚至三维成像可以得到异常体的具体位置信息。

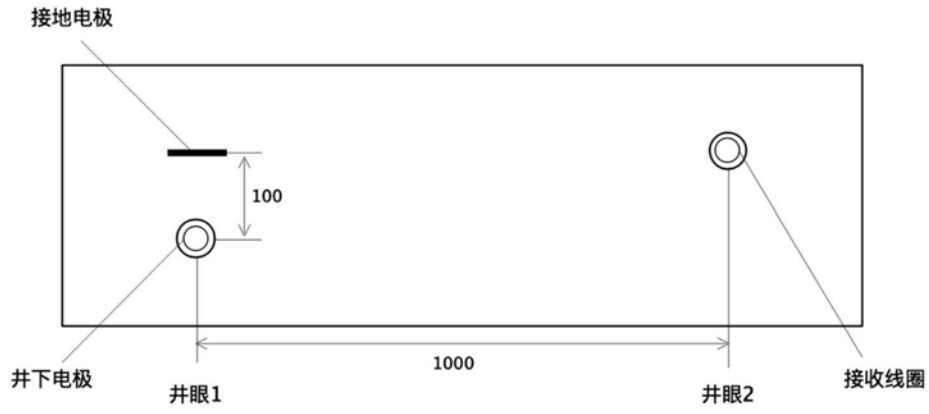


图1

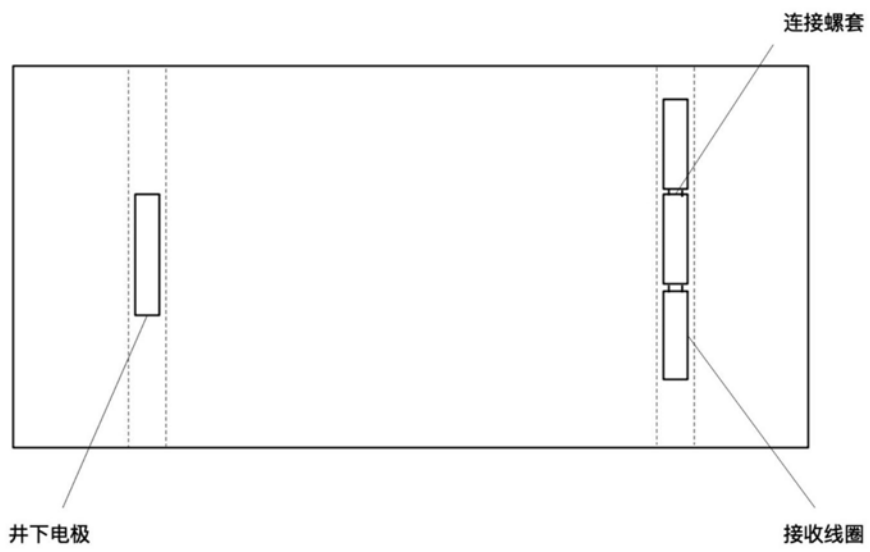


图2

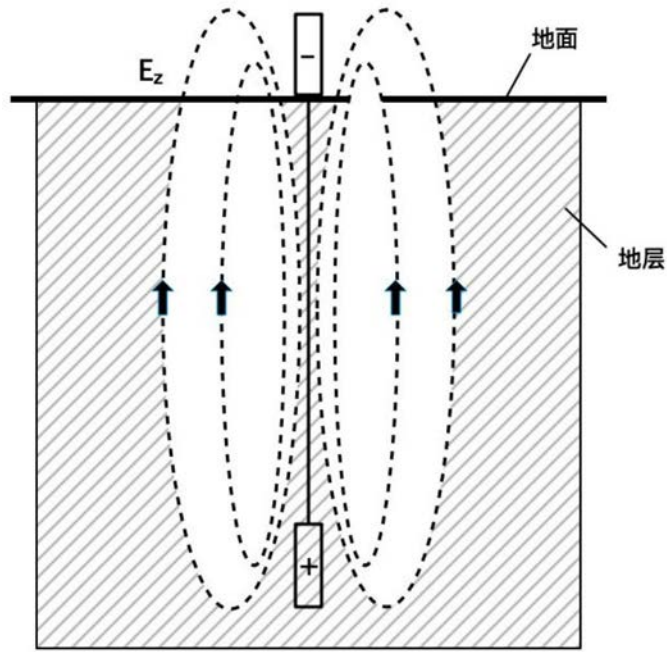


图3

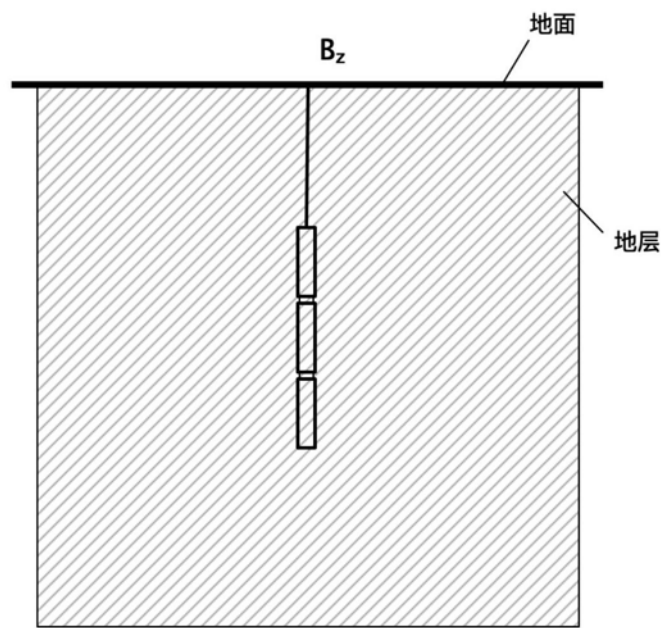


图4



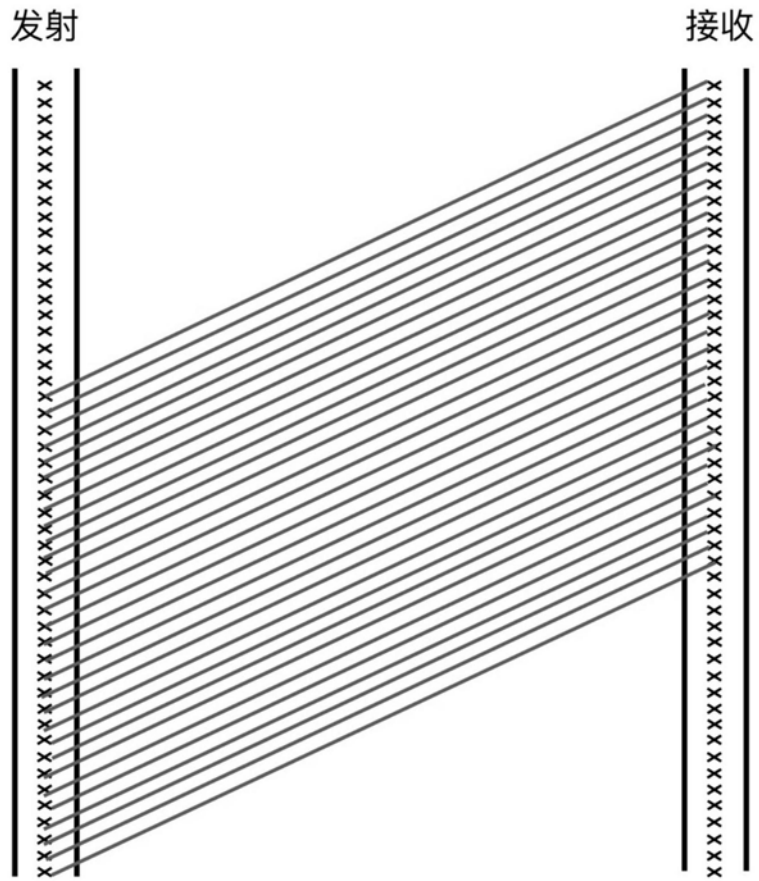


图5

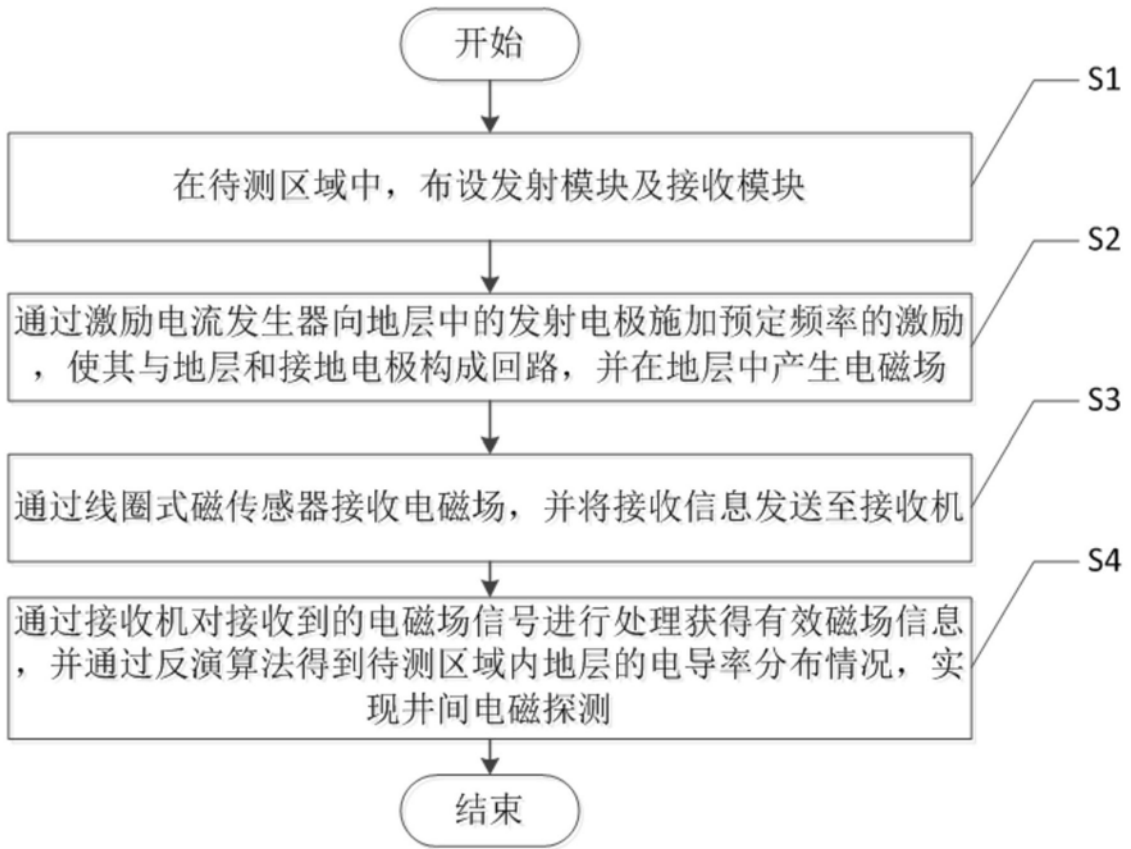


图6

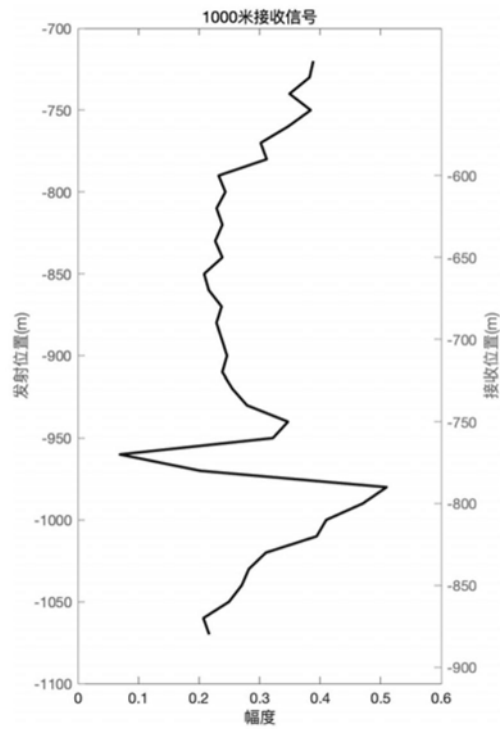


图7