(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101273285 B
(45)授权公告日 2012.05.30

(21)申请号 200680035347.3
(22)申请日 2006.07.28
(30)优先权数据
05291628.5 2005.07.29 EP
(85)PCT申请进入国家阶段日
2008.03.25
(86)PCT申请的申请数据
PCT/IB2006/002110 2006.07.28
(87)PCT申请的公布数据
WO2007/023341 EN 2007.03.01
(73)专利权人 普拉德研究及开发股份有限公司
地址 英属维尔京群岛多多拉岛
(72)发明人 欧万·勒梅纳格 马丁·卢林
伊薇斯·马蒂厄
克里斯琴·乔泽诺克斯
(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 黄小临
(51)Int.Cl.
G01V 3/00(2006.01)
G01V 3/02(2006.01)
G01V 3/20(2006.01)
审查员 杨永康

权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 17 页

(54)发明名称

用于在井下器材和地面之间传送或接收信息的方法和设备

(57)摘要

本发明提供了一种用于在第一位置和第二位置之间的地质地层中钻的井中接收和/或传送信息的方法，所述井包括与地质地层通信的套管。所述方法包括：在第一位置放置第一换能器，在第二位置放置第二换能器。在第一换能器和第二换能器之间传送电信号。

CN 101273285 B

1. 一种用于在第一位置和第二位置之间的地质地层 (12) 中钻的井中接收和 / 或传送信息的方法，所述井包括与地层 (12) 通信的套管 (11)，所述方法包括 ：

(i) 放置位于所述第一位置的第一换能器 (14)，所述第一换能器 (14) 包括作为第一 (141) 和第二 (142) 下游电极的两个电极，所述第一 (141) 和第二 (142) 下游电极与该套管 (11) 电接触 ；

(ii) 放置位于所述第二位置的第二换能器 (15)，所述第二换能器包括作为第一 (151) 和第二 (152) 上游电极的两个电极 ；

(iii) 利用第一换能器 (14) 通过在第一 (141) 和第二 (142) 下游电极之间应用电信号来传送所述信号、或者分别地利用第二换能器 (15) 通过在第一 (151) 和第二 (152) 上游电极之间应用电信号来传送所述信号 ；以及

(iv) 利用第二换能器 (15) 通过检测第一 (151) 和第二 (152) 上游电极之间的所述信号来接收所述电信号、或者分别地利用第一换能器 (14) 通过检测第一 (141) 和第二 (142) 下游电极之间的所述信号来接收所述电信号。

2. 根据权利要求 1 的方法，其中所述井还包括第三换能器，所述第三换能器位于第三位置并包括作为第一和第二井电极的两个电极，所述第一和第二井电极与套管 (11) 电接触 ；并且所述方法还包括如下步骤 ：

(i) 利用第三换能器通过在第一和第二井电极之间应用第二信号来传送所述第二电信号 ；和 / 或

(ii) 利用第三换能器通过检测在第一和第二井电极之间的第三电信号来接收所述第三电信号。

3. 根据权利要求 2 的方法，其中所述井还包括多个附加的换能器。

4. 根据权利要求 1 的方法，其中所述井还包括中继换能器，所述中继换能器位于第三位置并包括作为第一和第二井电极的两个电极，所述第一和第二井电极与套管 (11) 电接触 ；并且所述方法还包括如下步骤 ：

(i) 利用第三换能器通过检测在第一和第二井电极之间的电信号来接收所述信号 ；和

(ii) 利用第三换能器通过在第一和第二井电极之间应用电信号来传送所述信号。

5. 根据权利要求 4 的方法，其中所述井还包括多个附加中继换能器。

6. 根据前述权利要求中任一项的方法，其中所述第一位置是在井中，而所述第二位置是在地质地层 (12) 的地 (20) 的表面上。

7. 根据权利要求 1 的方法，其中所述第一和所述第二位置是在井中。

8. 根据权利要求 2 的方法，其中所述第三位置是在井中。

9. 根据权利要求 1 的方法，其中所述井包括油管 (13)，并且其中在包括第一下游电极 (141)、第二下游电极 (142)、第一上游电极 (151)、第二上游电极 (152)、第一井电极、第二井电极、来自其它换能器的电极的电极列表中的至少一个电极与油管 (13) 电绝缘。

10. 根据权利要求 9 的方法，其中所述至少一个电极还与井中的其它传导元件电绝缘。

11. 根据权利要求 1 的方法，其中所述第一 (141) 和第二 (142) 下游电极分开第一距离 d_1，所述第一距离 d_1 独立于电信号的强度以及在第一 (141) 和第二 (142) 下游电极与第一 (151) 和第二 (152) 上游电极之间的距离。

12. 根据权利要求 2 的方法，其中所述第一 (141) 和第二 (142) 下游电极分开第一距离

d_1，所述第一距离 d_1 独立于电信号的强度以及在第一 (141) 和第二 (142) 下游电极与第一和第二井电极之间的距离。

13. 根据权利要求 2 的方法，其中所述第一和第二井电极分开第三距离 d_3，所述第三距离 d_3 独立于电信号以及在第一和第二井电极与第一 (151) 和第二 (152) 上游电极之间的距离。

14. 根据权利要求 1 的方法，其中所述第一 (151) 和第二 (152) 上游电极在地 (20) 的表面与地层 (12) 电接触。

15. 根据权利要求 1 的方法，其中所述井包括油管 (13)，并且其中第一上游电极 (151) 与油管 (13) 电接触，而第二上游电极 (152) 在地 (20) 的表面与地层 (12) 电接触。

16. 根据权利要求 1 的方法，其中在包含第一换能器 (14)、第二换能器 (15)、第三换能器、和中继换能器的换能器列表中的至少一个换能器连接到测量传感器和 / 或控制 / 监测器材。

17. 根据权利要求 16 的方法，其中所述电信号包括来自测量传感器的信息和 / 或到控制 / 监测器材的信息。

18. 一种用于在第一位置和第二位置之间的地质地层 (12) 中钻的井中接收和 / 或传送信息的设备，所述井包括与地质地层 (12) 通信的套管 (11)，所述设备包括 :

(i) 第一换能器 (14)，位于所述第一位置，所述第一换能器 (14) 包括作为第一 (141) 和第二 (142) 下游电极的两个电极，所述第一 (141) 和第二 (142) 下游电极与套管 (11) 电接触 ;以及

(ii) 第二换能器 (15)，位于所述第二位置，所述第二换能器 (15) 包括作为第一 (151) 和第二 (152) 上游电极的两个电极。

19. 根据权利要求 18 的设备，还包括至少另一个第三换能器，所述第三换能器位于第三位置并包括作为第一和第二井电极的两个电极，所述第一和第二井电极与套管 (11) 电接触。

20. 根据权利要求 19 的设备，其中所述第三换能器是中继换能器。

21. 根据权利要求 18 到 20 中任一项的设备，其中所述第一位置是在井中，而所述第二位置是在地质地层 (12) 的地 (20) 的表面上。

22. 根据权利要求 18 到 20 中任一项的设备，其中所述第一和所述第二位置是在井中。

23. 根据权利要求 19 或 20 的设备，其中所述第三位置是在井中。

24. 根据权利要求 18 的设备，其中所述井包括油管 (13)，并且其中在包括第一下游电极 (141)、第二下游电极 (142)、第一上游电极 (151)、第二上游电极 (152)、第一井电极、和第二井电极的电极列表中的至少一个电极与油管 (13) 电绝缘。

25. 根据权利要求 24 的设备，其中所述至少一个电极还与井中的其它传导元件电绝缘。

26. 根据权利要求 18 的设备，其中所述第一 (151) 和第二 (152) 上游电极在地 (20) 的表面与地层 (12) 电接触。

27. 根据权利要求 18 的设备，其中所述井包括油管 (13)，并且其中第一上游电极 (151) 与油管 (13) 电接触，而第二上游电极 (152) 在地 (20) 的表面与地层 (12) 电接触。

28. 根据权利要求 18 的设备，其中该第一下游电极 (141) 是从以下列表中任选的一个 :

由多晶金刚石压缩 (PDC) 的精制层构成的合成材料、金属弓形弹簧、和金属卡钳。

29. 根据权利要求 18 的设备，其中该第二下游电极 (142) 是从以下列表中任选的一个：由多晶金刚石压缩 (PDC) 的精制层构成的合成材料、金属弓形弹簧、和金属卡钳。

30. 根据权利要求 19 的设备，其中该第一井电极是从以下列表中任选的一个：由多晶金刚石压缩 (PDC) 的精制层构成的合成材料、金属弓形弹簧、和金属卡钳。

31. 根据权利要求 19 的设备，其中该第二井电极是从以下列表中任选的一个：由多晶金刚石压缩 (PDC) 的精制层构成的合成材料、金属弓形弹簧、和金属卡钳。

32. 根据权利要求 18 的设备，其中该第一下游电极 (141) 位于第一封隔器 (20') 上。

33. 根据权利要求 18 的设备，其中该第二下游电极 (142) 位于第二封隔器 (20") 上。

34. 根据权利要求 18 的设备，其中所述第一 (141) 和第二 (142) 下游电极位于下游封隔器上。

35. 根据权利要求 19 的设备，其中该第一井电极位于第三封隔器上。

36. 根据权利要求 19 的设备，其中该第二井电极位于第四封隔器上。

37. 根据权利要求 19 的设备，其中所述第一和第二井电极位于井封隔器上。

38. 根据权利要求 29 的设备，其中根据在第一 (141) 和第二 (142) 下游电极之间和 / 或在第一和第二井电极之间的电压差来控制在包含第一封隔器 (20')、第二封隔器 (20")、第三封隔器、第四封隔器、下游封隔器、和井封隔器的列表中包含的封隔器的部署。

39. 根据权利要求 19 的设备，其中在包含第一换能器 (14)、第二换能器 (15) 和至少另一个换能器的列表中包含的至少一个换能器与测量传感器和 / 或控制 / 监测器材相连。

用于在井下器材和地面之间传送或接收信息的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明广泛涉及无线遥测技术。更具体地，本发明涉及用于在连接到地下油管(tubing)或套管(casing)的井下器材与地面装置之间传送或接收信息的设备和相关方法。

背景技术

[0002] 油井和天然气井的构建很昂贵，并且尽可能有效地操作这些井是很有利的。在操作井方面提供增加的效率的一种途径是在位于地面(surface)的其它器材的控制下将井下器材放在井孔中。所述器材可以是测量传感器，其为随后的井作业供应有用的信息，例如关于压力、所遇到的固体和流体的性质、温度等的数据。所述器材可以是从地面供应重要的命令以便控制井的各种参数的其它可控或监测器材，或者具有诸如阀、防护罩等的器材和装置的贮藏器(reservior)。因此，重要的是能够从地面向各种井下器材传送信息。几种现有技术方法已经尝试在地面器材和井下器材之间提供电或电磁通信。

[0003] 传统上，一些现有技术系统已经将线缆放在井孔中，以便向井下器材提供通信以及电力。沿着管道(piping)结构或管柱(string)的一侧安全地且准确地将线缆放置在井孔中是很困难的，并且实现起来非常耗时。此外，这需要使用附加器材，增加了与井相关联的成本。井孔的环境恶劣，并且存在导致该系统的可靠性难以接受地低的无数故障机制。而且，位于相当深度的、合并这样的传感器或连接到控制装置的线缆不能在任意情形下降低。当使井完善时该线缆的安装成为可能，但是当井完工时该安装在实践上变得不可能。具体地，当线缆不能穿过阀或分离装置时，无论线缆是否装备有传感器，都可能不能够降低线缆。

[0004] 一些其它现有技术系统已经尝试依靠井孔和布置在孔内的管道结构或油管管柱的固有同轴性质来使用无线通信系统。然而，这些现有技术系统典型地提供了更高频率的数据信号。这些系统典型地使用被放在管道结构或管柱上的环形线圈或铁磁扼流组件，来对数据信号提供足够大的串联阻抗，从而使管道结构或管柱的预定义部分电气化。专利US4,839,644描述了这样的用于在具有油管管柱的套管(cased)钻孔中进行无线通信的方法和系统。

[0005] 其它现有技术系统是基于通过金属油管导引的电磁波的传送，在专利US5,394,141中更具体地描述了这个传送系统(图1)。发射机3位于井的井下，并在金属油管4的两个点1和2之间施加电信号。该电信号可以流过金属油管4、套管5或甚至填充井的传导流体6；但是由于金属油管的足够大的阻抗，电信号被传送到地面收发器8。然而，所需要的足够大的阻抗很大程度上取决于井的几何特性和诸如填充流体、金属油管、套管、地层等之类的周围环境的阻抗。最好限制或控制对这些参数的依赖性。例如，如果某些层的电阻率不足，如在沉淀性、第三纪、靠近大陆(pericontinental)岩石的情况，诸如北海(North Sea)或墨西哥海湾，则沿着井的衰减可能变的过大，这使得不可能在大多数近海(offshore)的井中使用这样的装置，除非可能接受所传送的信息流的急剧减少。

[0006] 因此，提供不取决于所有这些参数的、用于井孔中的无线通信的改进系统将是有利的。

发明内容

[0007] 本发明提供了一种用于在第一位置和第二位置之间的地质地层中钻的井中接收和 / 或传送信息的方法，所述井包括与地质地层通信的套管，所述方法包括 :(i) 放置位于所述第一位置的第一换能器 (transducer)，所述第一换能器包括作为第一和第二下游电极的两个电极，所述第一和第二下游电极实质上与套管电接触 ;(ii) 放置位于所述第二位置的第二换能器，所述第二换能器包括作为第一和第二上游电极的两个电极 ;(iii) 利用第一换能器通过在第一和第二下游电极之间应用电信号来传送所述信号、或者分别地利用第二换能器通过在第一和第二上游电极之间应用电信号来传送所述信号 ;以及 (iv) 利用第二换能器通过检测第一和第二上游电极之间的所述信号来接收所述电信号、或者分别地利用第一换能器通过检测第一和第二下游电极之间的所述信号来接收所述电信号。有效的是，所属第一和第二下游电极实质上与套管电接触，因为在井中部署第一换能器时不能建立对完好电接触的实际控制。至少，第一和第二下游电极在与套管接触时分别具有应该尽可能低的第一下游电阻和第二下游电阻。因为存在位于套管内的非传导泥浆或者套管上的非传导材料，所以电阻并不为零。优选地，第一下游电阻和 / 或第二下游电阻低于一千欧姆 ;更优选地，低于一百欧姆 ;最优选地，低于十欧姆。

[0008] 在另一实施例中，所述井还包括第三换能器，所述第三换能器位于第三位置并包括作为第一和第二井电极的两个电极，所述第一和第二井电极实质上与套管电接触 ;并且所述方法还包括如下步骤 :(i) 利用第三换能器通过在第一和第二井电极之间应用第二电信号来传送所述信号 ;和 (ii) 利用第三换能器通过检测在第一和第二井电极之间的第三电信号来接收所述第三电信号。所述井还可包括多个附加的换能器，每个换能器可以从任一个换能器接收信息和 / 或向其传送信息。如此定义了换能器的网络。至少，所述第一和第二井电极在接触套管时分别具有应该尽可能低的第一井电阻和第二井电阻。因为存在位于套管内的非传导泥浆或者套管上的非传导材料，所以电阻并不为零。优选地，第一井电阻和 / 或第二井电阻低于一千欧姆 ;更优选地，低于一百欧姆 ;最优选地，低于十欧姆。

[0009] 在另一实施例中，所述井还包括中继换能器，所述中继换能器位于第三位置并包括作为第一和第二井电极的两个电极，所述第一和第二井电极实质上与套管电接触 ;并且所述方法还包括如下步骤 :(i) 利用第三换能器通过检测在第一和第二井电极之间的电信号来接收所述信号 ;和 (iv) 利用第三换能器通过在第一和第二井电极之间应用电信号来传送所述信号。所述井还可包括多个附加中继换能器。使用中继的优点在于增加通信范围和 / 或与井中的各个位置进行通信。至少，所述第一和第二井电极在接触套管时分别具有应该尽可能低的第一井电阻和第二井电阻。因为存在位于套管内的非传导泥浆或者套管上的非传导材料，所以电阻并不为零。优选地，第一井电阻和 / 或第二井电阻低于一千欧姆 ;更优选地，低于一百欧姆 ;最优选地，低于十欧姆。

[0010] 当所述第一位置是在井中而所述第二位置是在地质地层的地面上、或者当所述第一和所述第二位置是在井中和 / 或当所述第三位置是在井中时，可应用所述方法。

[0011] 优选地，所述井包括油管，并且在包括第一下游电极、第二下游电极、第一上游电

极、第二上游电极、第一井电极、第二井电极、来自其它换能器的电极的电极列表中的至少一个电极与油管电绝缘，优选地还与井中的其它传导元件电绝缘，并且优选地还被电磁屏蔽。所述绝缘允许独立于油管或其它传导元件的电势来控制电极之间的注入电流。电极的电绝缘的影响对于接收和/或传送方法的更好效果是清楚切实的和有用的。电绝缘增加了信噪比。所述屏蔽避免并保护来来自井的电干扰。

[0012] 优选地，在第一和第二下游电极之间的第一距离 d_1 独立于电信号的强度以及在第一和第二下游电极与第一和第二上游电极之间的距离；和/或在第一和第二下游电极之间的第一距离 d_1 独立于电信号的强度以及在第一和第二下游电极与第一和第二井电极之间的距离；和/或在第一和第二井电极之间的第三距离 d_3 独立于电信号以及在第一和第二井电极与第一和第二上游电极之间的距离。所述独立性在原理上反映了如下的事实：即，从一点到另一点的电信号强度将独立于所行进的距离，独立于电极之间的距离和地层的物理特征。

[0013] 在一个实施例中，所述第一和第二上游电极在地面与地层电接触。

[0014] 在第二实施例中，第一上游电极与油管电接触，而第二上游电极在地面与地层电接触。

[0015] 第一换能器、第二换能器、和/或第三换能器可连接到测量传感器和/或控制/监测器材；而且换能器所通信的电信号包括来自测量传感器的信息和/或到控制/监测器材的信息。

[0016] 在本发明的另一方面，公开了一种用于在第一位置和第二位置之间的地质地层中钻的井中接收和/或传送信息的设备，所述井包括与地质地层通信的套管，所述设备包括：(i) 第一换能器，位于所述第一位置，所述第一换能器包括作为第一和第二下游电极的两个电极，所述第一和第二下游电极实质上与套管电接触；以及 (ii) 第二换能器，位于所述第二位置，所述第二换能器包括作为第一和第二上游电极的两个电极。有效地，第一和第二下游电极实质上与套管电接触，因为在井中部署第一换能器时不能建立对完好电接触的实际控制。至少，第一和第二下游电极在与套管接触时分别具有应该尽可能低的第一下游电阻和第二下游电阻。因为存在位于套管内的非传导泥浆或者套管上的非传导材料，所以电阻并不为零。优选地，第一下游电阻和/或第二下游电阻低于一千欧姆；更优选地，低于一百欧姆；最优选地，低于十欧姆。

[0017] 在另一实施例中，所述设备还包括至少另一个第三换能器，所述第三换能器位于第三位置并包括作为第一和第二井电极的两个电极，所述第一和第二井电极实质上与套管电接触。所述第三换能器可以是中继换能器。使用中继的优点在于增加通信范围和/或与井中的各个位置进行通信。至少，所述第一和第二井电极在接触套管时分别具有应该尽可能低的第一井电阻和第二井电阻。因为存在位于套管内的非传导泥浆或者套管上的非传导材料，所以电阻并不为零。优选地，第一井电阻和/或第二井电阻低于一千欧姆；更优选地，低于一百欧姆；最优选地，低于十欧姆。

[0018] 当所述第一位置是在井中而所述第二位置是在地质地层的地面上、或者所述第一和所述第二位置是在井中和/或所述第三位置是在井中时，可以定位所述设备。

[0019] 优选地，所述井包括油管，并且在包括第一下游电极、第二下游电极、第一上游电极、第二上游电极、第一井电极、和第二井电极的电极列表中的至少一个电极与油管电绝

缘，优选地还与井中的其它传导元件电绝缘，优选地还被电磁屏蔽。所述绝缘允许独立于油管或其它传导元件的电势来控制电极之间的注入电流。电极的电绝缘的影响对于接收和/或传送方法的更好效果是清楚切实的和有用的。电绝缘增加了信噪比。所述屏蔽避免并保护来来自井的电干扰。

[0020] 在一个实施例中，所述第一和第二上游电极在地面与地层电接触。

[0021] 在第二实施例中，第一上游电极与油管电接触，而第二上游电极在地面与地层电接触。

[0022] 第一下游电极和/或第二下游电极和/或井电极可以是从以下列表中任选的一个：由多晶金刚石压缩(PDC：polycrystalline diamond compact)的精制层构成的合成材料、金属弓形弹簧、和金属卡钳。

[0023] 在另一实施例中，所述电极可以位于一个或几个封隔器(packer)上。可能存在各种实施例：

[0024] -第一下游电极可位于第一封隔器上；

[0025] -第二下游电极可位于第二封隔器上；

[0026] -第一和第二下游电极可位于下游封隔器上；

[0027] -第一井电极可位于第三封隔器上；

[0028] -第二井电极可位于第四封隔器上；

[0029] -第一和第二井电极可位于井封隔器上。

[0030] 优选地，根据在第一和第二下游电极之间和/或在第一和第二井电极之间的电压差来控制一个或几个封隔器的部署。当封隔器排气时，可通过封印盖或油漆盖来保护电极，两个电极之间的电压差很小，对应地两个电极之间具有高阻抗。当环孔流体高度传导时，使用封印盖或油漆盖，当环孔流体实际上不传导时，封印是任选的，因为电压差将一直很小。当封隔器充气并且开始接触套管内壁时，部署压力将刺穿封印或绝缘油漆，并用力将电极推入套管金属。以这个方式，建立了电极和传导套管之间的电接触。相应地电极之间的电流增加，从而指明封隔器的成功部署。

[0031] 第一换能器、第二换能器、井和/或中继换能器可连接到测量传感器和/或控制/监测器材。

[0032] 根据本发明的又一方面，公开了一种用于确定在地面的第一位置和钻孔的第二位置之间的井的地层的传导率分布图的方法，所述方法包括：(i)放置位于所述第一位置上的第一传感器，所述第一传感器检测在所述第一位置从地层发生的电场；(ii)放置位于所述第二位置上的第二传感器，所述第二传感器检测在所述第二位置从地层发生的电场；(iii)通过利用所述第一传感器从在所述第一位置发生的所述电场检测舒曼谐振，来获得第一信号；以及(iv)通过利用所述第二传感器从在所述第二位置发生的所述电场检测舒曼谐振，来获得第二信号；以及(v)组合所述第一信号和所述第二信号，以确定在所述第一位置和所述第二位置之间的地层的传导率分布图。

[0033] 优选地，第一信号是校准信号，并且所述组合步骤是比较第一信号和第二信号的步骤。所述方法还可包括如下步骤：改变钻孔内的第二位置，通过检测舒曼谐振获得恰当的信号，并组合那些恰当信号，以确定在钻孔和地面之间的地层的传导率分布图。对于第一信号、第二信号和恰当信号，可获得并计算至少两个不同舒曼谐振频率。

[0034] 根据本发明的又一方面，所述方法还包括钻孔中的第三位置，并包括如下步骤：放置位于所述第三位置的第三传感器，所述第三传感器检测在所述第三位置从地层发生的电场；通过利用所述第三传感器从在所述第三位置发生的所述电场检测舒曼谐振，来获得第三信号；组合所述第一信号和所述第三信号，以确定在所述第一位置和所述第三位置之间的地层的传导率分布图；以及组合所述第二信号和所述第三信号，以确定在钻孔和地面之间的地层的传导率分布图。

[0035] 优选地，第一信号是校准信号，并且所述组合步骤是比较第一信号和第二信号的步骤。对于第一信号、第二信号和第三信号，可获得并计算至少两个不同舒曼谐振频率。

[0036] 在一个实施例中，利用如上所述的设备来实现使用舒曼谐振来确定传导率分布图的方法。

[0037] 根据本发明的又一方面，公开了一种用于确定在地面的第一位置和钻孔的第二位置之间的井的地层的传导率分布图的设备，所述设备包括：(i) 位于所述第一位置上的第一传感器，所述第一传感器检测在所述第一位置从地层发生的电场；以及同时 (ii) 位于所述第二位置上的第二传感器，所述第二传感器检测在所述第二位置从地层发生的电场。

[0038] 优选地，第一传感器和 / 或第二传感器具有用以从分别在所述第一位置和 / 或在所述第二位置发生的所述电场检测舒曼谐振的灵敏度和分辨率。所述设备从地面下降到钻孔中。

附图说明

[0039] 可结合附图来理解本发明的更多实施例：

[0040] 图 1 示出了现有技术的、用于无线通信的近海钻井 (drilling) 的设备的示意图。

[0041] 图 2 示出了根据本发明实施例的用于无线通信的设备的示意图。

[0042] 图 3 示出了根据本发明又一实施例的用于无线通信的设备的示意图。

[0043] 图 4 示出了根据本发明又一实施例的用于无线通信的设备的示意图。

[0044] 图 5A 示出了用于说明针对水平井从地面到井的通信的方法的示意图。

[0045] 图 5B 示出了用于说明针对水平井从井到地面的通信的方法的示意图。

[0046] 图 5C 示出了用于说明针对垂直井从地面到井的通信的方法的示意图。

[0047] 图 5D 示出了用于说明针对垂直井从井到地面的通信的方法的示意图。

[0048] 图 6 是根据本发明的设备的电极的剖面图。

[0049] 图 7A 和 7B 示出了根据本发明又一实施例的用于无线通信的设备的示意图。

[0050] 图 8A 和 8B 示出了根据本发明又一实施例的用于无线通信的设备的示意图。

[0051] 图 9 示出了根据本发明的设备的网络。

[0052] 图 10 示出了使用根据本发明的设备的井的体系结构的示例。

[0053] 图 11 是作为具有 1/f 背景噪声谱的单独布雷特 - 维格纳 (Breit-Wigner) 谐振峰值的叠加的舒曼 (Schumann) 谐振的图。

[0054] 图 12 是使用舒曼谐振的测量工具的示意图。

[0055] 图 13 是用于各种频率的垂直传导分布图和信号衰变的图。

具体实施方式

[0056] 图 2 是在第一实施例中的根据本发明的设备的图示。作为井换能器的第一换能器 14 被安装在井 10 中，所述井包括油管 13 和围绕地层 12 的套管 11。环孔 (annular)18 形成在套管和油管之间，其填充有环孔流体。所述套管和油管传导，一般由钢制成。所述井换能器具有：上方 (upper) 电极 141，其确保在极点 E1 处接触套管；以及上部 (upon) 电极 142，其也确保在极点 E2 处接触套管。优选地，上方电极 141 和 / 或上部电极 142 利用绝缘体 16 与油管 13 电绝缘。此外，上方电极 141 和 / 或上部电极 142 与井中的其它传导元件绝缘，诸如高度传导的环孔流体。所述绝缘允许独立于油管或环孔流体的电势、或甚至独立于其它传导元件的电势，来控制电极 141 和 142 之间的注入电流。还优选的是，上方电极 141 和 / 或上部电极 142 具有屏蔽层 (shielding)。围绕电极的绝缘金属元件可以是这个屏蔽层。该屏蔽层避免并保护免受来自井的电干扰，更准确地，来自诸如环孔流体之类的套管内部或者来自油管的电干扰。下文中，将更详细地说明电极 141 和 142 的设计。设备的效果与 E1 和 E2 之间的距离 d_1 成比例。具有特征距离 d_1 的极点 E1 和 E2 将定义井偶极 D1。偶极 D1 可延续套管的从 10 英尺 (3 米) 到 3000 英尺 (1000 米) 的相当长距离，优选地在从 30 英尺 (10 米) 到 300 英尺 (100 米) 范围中选择的距离。在高度传导的环孔流体的情况中，可以向套管涂敷诸如环氧树脂的电绝缘沉积物。这个涂敷将显著地减少传导环孔流体的电损耗。

[0057] 作为地面换能器的第二换能器 5 被安装在地面 20 上。该地面换能器具有用于确保在极点 E3 处接触地层的第一电极 151 和用于确保在极点 E4 处接触地层的第二电极 152。下文中将更详细地说明电极 151 和 152 的设计。设备的效果也与 E3 和 E4 之间的距离 d_2 成比例。具有特征距离 d_2 的极点 E3 和 E4 将定义地面偶极 D2。偶极 D2 可延续从 10 英尺 (3 米) 到 3000 英尺 (1000 米) 的相当长的地层距离，优选地延续在从 150 英尺 (50 米) 到 600 英尺 (200 米) 范围中选择的距离。

[0058] 根据本发明的井换能器 14 可由包括电子仪器组件的保护性外壳、和两个分别连接到电极 141 和 142 的绝缘线缆组成。所述电子仪器组件确保换能器的功能，并作为示例包括信号处理单元和电源单元。所述处理单元还可包括传送和接收通信单元、可编程微控制器和存储单元。井换能器的保护性外壳可位于油管的内表面或外表面、或者甚至位于套管的内表面或外表面。绝缘线缆将保护性外壳连接到上方和上部电极。

[0059] 电子仪器组件可连接到测量传感器 (未示出)。传感器可安装在套管或油管的外表面或内表面上。可以实施各种类型的传感器和技术。传感器可测量来自地层的属性、或者替换地测量来自作为套管或油管的井下部结构的属性、或者甚至替换地测量来自井内的流体的属性；还可能存在用于测量各种属性的几个传感器的组合。例如，这样的传感器可测量井内的流体压力或者速度，或者测量周围地层流体压力、电阻率、盐浓度 (salinity)，或者检测诸如 CO_2 或 H_2S 的化学成分的存在，还可以应用传感器来测量套管或油管属性，诸如腐蚀状态、张力 (strain) 和应力 (stress)。作为示例，可以实施如下类型的传感器：

[0060] - 压力和温度；

[0061] - 电阻率 (或传导率)；

[0062] - 套管和油管张力和应力；

[0063] - 周围流体的 pH；

[0064] - 诸如 CO_2 或 H_2S 的化学含量的监测。

[0065] 还可以使用多传感器，例如两个传感器来以非常高的灵敏度测量电场和磁场。使用 E 传感器和 B 传感器二者的可观收益不仅仅是单独地收集它们各自的输出，而且还组合它们的输出，以提供集成的、经处理的电磁系统输出。可以通过组合信道数据来综合电场和磁场数据以减少噪声或干扰量，同时通过针对特定的目标和环境条件而开发 E 数据和 B 数据之间的特定物理关系来产生改进的保真度。还可通过组合电场和磁场以及温度或压力测量，而使用其它类型的多传感器。

[0066] 还可连接电子仪器组件以控制或监测器材（未示出）。所述器材可以是无源或有源控制器材，一个器材可以通过根据本发明的通信设备来直接从地面激活，此外所述器材还可通过通信设备向地面确认其激活；并且另一个器材可在达到预先定义的井属性时在井下自动激活，所述器材如此通过通信设备向地面确认其激活。这样的器材例如可以是：可控阀、防护罩和可扩展封隔器。

[0067] 根据本发明的设备可用于监测地层或监测 / 控制各地域中的井属性，诸如：

[0068] - 石油和天然气开采和生产；

[0069] - 水存储区，

[0070] - 天然气存储区；

[0071] - 废料地下处理（化学和核）。

[0072] 电极 141 和 142 可以是下面在这里陈述的电极中的任一个，它们为相同电极或不同的电极。

[0073] 图 6 示出了电极 141 或 142 作为点接触电极 41 的实施例。电极 41 包括在例如由聚酮醚 (polyether ether ketone：PEEK) 制成的绝缘套筒 (sleeve)52 中。例如通过铜焊将电极的基部安全地粘接到与弹簧 50 协作的支架 (support)53 上。弹簧 50 用于连续地朝向测量地面挤压电极。最后，包括电极 41、绝缘套筒 52 和支架 53 的组件本身由衬垫 (pad)54 承载。作为示例，电极的形状是有斜面的。当电极用于确保与金属套管的内表面电接触时，这个实施例是很有利的。因为井内的独特腐蚀条件，所以金属套管很快被覆盖在生锈层中，为了确保电极和套管之间的接触是正确的，必须穿透该生锈层。所述斜面形状足够尖锐以刺穿所述层。

[0074] 电极由浓缩有大约 7％的钴的合成材料制成，该合成材料包括粘接到混合碳化钨支架上的多晶金刚石压缩 (PDC) 精炼层。典型地，这样的组件是通过将金钢砂（优选地为最小粒度）放在通常为锆或钼的难熔金属铸模 (mold) 中制成的。铸模的形状确定了合成物的形状。此后，将碳化钨支架放在金钢砂上，并且与外界隔绝地 (hermetically) 密封铸模。然后，用压力将组件放在温度为大约 1400℃压力为大约 69000 巴 (1MPsi) 中达到一时间长度，该时间长度太短而不能影响金刚石。在这样的条件下，一些钴扩散到金刚石中，充当结合剂而使得完全粘接到碳化钨基部。此外，在金刚石的晶格中的钴混合物使金刚石电传导。在处理结束时，如此获得了拥有 PDC 层以及浓缩有钴的碳化钨层的合成物，该 PDC 层掺杂有钴并且具有 1mm 到 2mm 范围的厚度，该浓缩有钴的碳化钨层具有 4mm 到 10mm 范围的厚度。

[0075] 在金刚石中存在钴使金刚石电传导。结果，电极使得可能组合电属性和金刚石的优良机械属性。类似地，可以将钨与一些其它元素相关联，以使金刚石电传导。还可能用一些其它支持材料替换碳化钨，只要它呈现与金钢砂和钴或一些其它使金刚石传导的元素相

同的兼容性即可。

[0076] 此外，PDC 电极被覆盖在例如通过物理蒸汽沉积 (PVD) 所沉积的、具有典型地为几微米级别的厚度的金制的层中。已经示出，金的覆盖强烈地且持久地粘附到 PDC 上。金制的层因此使得可能显著地增加电极的传导性。PDC 因此组合了金刚石的优良机械属性和由于（可能由金沉积所帮助的）钻掺杂导致的电属性，所属优良机械属性特别是其硬度和其对冲击和温度二者的抵抗力（其在上至大约 720℃时保持化学稳定）。这使电极在忍耐冲击、温度、以及还有腐蚀介质方面尤其良好。

[0077] 另一实施例中的电极 141 或 142 可以是金属弓形弹簧，用足够的力量将其与套管的内表面紧密接触以确保电接触。

[0078] 另一实施例中的电极 141 或 142 可以是金属卡钳 (caliper)，用足够的力量将其与套管的内表面紧密接触以确保电接触。

[0079] 另一实施例中的电极 141 或 142 可以是具有压力装置以确保与套管的内表面电接触的金属点。

[0080] 电极 151 和 152 可以是下面在这里陈述的电极中的任一个，它们或者为相同电极或者为不同电极。

[0081] 电极 151 或 152 可以是被钉牢在地层的表面上的金属棒。

[0082] 电极 151 或 152 可以是从地面进入地层几米的金属线缆。

[0083] 图 3 图示了图 2 的设备的变体。此时，上方电极 141 和上部电极 142 不是相互依赖的。上方电极 141 确保在极点 E1 处与套管接触，而上部电极 142 确保在极点 E2 处与套管接触。优选地，上方电极 141 利用绝缘体 16 而与油管 13 电绝缘。优选地，上部电极 142 利用绝缘体 16’而与油管 13 电绝缘。其它附加实施例保持相同。换能器 14 通过导体线缆 143 连接到电极 141，并且通过导体线缆 144 连接到电极 142。线缆 143 和 144 涂敷有绝缘封套 (jacket)，以避免通过油管或环孔流体的任何电流泄漏。所述设备的效果与 E1 和 E2 之间的距离 d_1 成比例。具有特征距离 d_1 的极点 E1 和 E2 将定义井偶极 D1。偶极 D1 可延续套管的从 10 英尺 (3 米）到 3000 英尺 (1000 米）的相当长距离，优选地在从 30 英尺 (10 米）到 300 英尺 (100 米）范围中选择的距离。在高度传导的环孔流体的情况中，可以向套管涂敷诸如环氧树脂的电绝缘沉积物。这个涂敷将显著地减少传导环孔流体的电损耗。在上方电极 141 和上部电极 142 之间具有大的间距的情况中，可能必须沿油管增加中间物和绝缘扶正器，以避免由于油管屈曲或弯曲导致与套管电接触。这样的电接触将变更通信。可以使用橡胶类型的绝缘扶正器。此外，油管可涂敷诸如环氧树脂的电绝缘沉积物，以避免由于油管屈曲或弯曲导致与套管电接触。

[0084] 图 4 示出了图 2 的设备的又一变体。作为地面换能器的第二换能器 15 被安装在地面 20 上。但是此时，地面换能器具有用于确保在极点 E3 处接触油管的第一电极 151 和用于确保在极点 E4 处接触地层的第二电极 152。在不改变本发明的范围的情况下，可以实现图 2、3 和 4 的其它实施例。

[0085] 图 5A 和 5B 示出了在水平井的配置中、根据图 2 的设备。在图 5A 中，地面换能器是模式发射机，而井换能器是模式接收机。在图 5B 中，其是相反的，地面换能器为模式接收机，而井换能器为模式发射机。发射和接收模式被呈现在水平井的配置中，但是还可以在垂直井的配置中或井的任何倾斜度的配置中执行。套管轴 13’定义了与套管轴垂直的

水平轴也为 x 轴，垂直轴定义了 z 轴，定义 y 轴使得 (x, y, z) 是直接正交三面体 (direct orthogonaltrihedron)。

[0086] 在图 5A 中，作为接收机，两个轴向隔开的点接触电极 141 和 142 监测与套管轴 13' 平行的电场。这个电场分量与外套管表面相切，并因此是连续的。这样，它将在套管中感应相当多的电流；然而，由于这个电流导致的压降将对应于电场乘以电极的轴距离 d_1。

[0087] 因此，1 μ V/m 的电场将在相距 1m 的两个电极之间生成 1 μ V 的电压，在相距 10m 的两个电极之间生成 10 μ V 的电压。明显地，两个电极 141 和 142 之间的更长距离将成比例地提供更强的遥测信号。

[0088] 现实的示例图示了从地面到井下的遥测技术，并提供了对预期信号强度的估计。假设利用电阻率 ρ = 20 Ω m 的均匀体的简化地球模型进行陆地测量，我们考虑水平的、500m 深的套封井。在地球的地面上，两个电极 151 和 152 在大地中并沿着水平井轨道放置。两个电极相距 100m，使得井下遥测站处于中间。

[0089] 我们通过电极 151 注入电流为 10A 的遥测载波信号，并通过另一个电极 152 将其返回。然后，库仑定律给出了在遥测接收机处的电势：

[0090] $$\Phi(x,y,z)=2\left[\frac{I}{4\pi\sigma r_1}-\frac{I}{4\pi\sigma r_2}\right]=\frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$ （等式 1）

[0091] 在方括号之前的因子 2 记述在地球地面上的绝缘大气半空间。在接收机处的电场是电势的梯度：

[0092] $$\vec{E}(x,y,z)=-\vec{\nabla}\Phi(x,y,z)=\frac{I\rho}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{50^2+500^2}^3 m^3}\left[\begin{pmatrix}50m\\0m\\500m\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}-50m\\0m\\500m\end{pmatrix}\right]$$

[0093] $$\cong\frac{10A*20Vm/A}{6.28318*500^3\sqrt{1.01}^3 m^3}\begin{pmatrix}100m\\0\\0\end{pmatrix}\cong\begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix}25.1\mu V/m$$ （等式 2）。

[0094] 因此，我们预期测量在分开距离 d_1 = 1m 的两个点接触电极 141 和 142 之间为大约 25 μ V。因此，在套管中感应的电流密度为：

[0095] $$j=\sigma E\cong 10^6\frac{A}{Vm}*25.1\frac{\mu V}{m}=25.1\frac{A}{m^2}$$ （等式 3），

[0096] 并且套管中的总电流为：

[0097] $$I=j\pi\left(r_{OD}^2-r_{ID}^2\right)\cong 141.5mA$$ （等式 4）。

[0098] 用电子仪器组件中的普通电子仪器足以检测电流量。如果必须传送激活信息（例如，有信号时关闭而没有信号时打开），则接收机所创建的电压可以是连续信号，或者如果需要传送更复杂的数据，则可以是具有特征频率的替换信号。特征频率可以是几赫兹，典型地为 1 到 10Hz。

[0099] 在图 5B 中，点接触电极 141 和 142 同样用作发射机。这里，电子仪器组件必须几乎通过短路来驱动大的源电流（优选地为在 1 和 10A 之间或大于 10A）。套管在空间上扩展有效源；10Am 源强度的水平的电的点偶极 D1 大致近似有电势：

[0100] $$\Phi(\vec{r})=\vec{d}\cdot\vec{\nabla}\frac{1}{4\pi\sigma r}=-\frac{\vec{d}\cdot\vec{r}}{4\pi\sigma r^3}$$ （等式 5）。

[0101] 作为接收机的地面电极 151 和 152 将测量作为电压的电势差：

[0102] $$U=\frac{2\rho}{4\pi(500m)^3\sqrt{1.01^3}}\begin{pmatrix}10Am\\0\\0\end{pmatrix}\cdot\left[\begin{pmatrix}50m\\0\\500m\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}-50m\\0\\500m\end{pmatrix}\right]\cong 25.1\mu V$$（等式 6）。

[0103] 由于相互性，这个信号与向下遥测信号相同。电子仪器组件具有 10A 的源电流，并且源通过 1m 的套管部分的功率消耗为 $:P=I^2R\cong 100A^2\times 177\mu\Omega$以相同的方式，如果必须传送确认激活的信息，则接收机所创建的电流可以是连续信号，或者如果需要传送更复杂的数据，则其可以是具有特征频率的替换信号。特征频率可以是几赫兹，典型地为 1 到 10Hz。

[0104] 图 5C 和图 5D 图示了在垂直井的配置中、根据图 2 的设备。在图 5C 中，地面换能器为模式发射机而井换能器为模式接收机。在图 5D 中，它是相反的，地面换能器为模式接收机而井换能器为模式发射机。在垂直井配置中的发射和接收模式以如上所述的相同方式工作。

[0105] 图 7A 和 7B 图示了当使用长封隔器 20 时根据图 2 的设备的一个实施例。图 8A 和 8B 图示了当使用一对短封隔器 20’和 20”时根据图 3 的设备的一个实施例。

[0106] 在图 7A 中，以排气 (deflated) 状态将长封隔器 20 安装在油管 13 周围。在封隔器外侧相距距离 d_1 的两个（或多个）轴向位置上，点接触电极 141 和 142 被安置在包含换能器 14 的合适电子仪器组件上，并与其有线相连。电子仪器组件可以任何方式安置在井中，或者甚至安装在封隔器 20 上。所述有线连接与封套绝缘，以避免通过油管或环孔流体进行的任何电流泄漏。点接触电极初始地可由补洞封印 (puncture seal) 或绝缘油漆覆盖。后来在部署期间将破坏这个封印或油漆。配备有电极封隔器 20 的油管被降低到钢套管的井内到其预定深度。因此，对封隔器进行排气，以提供油管外壁和套管内壁之间的液压紧密密封。

[0107] 就在封隔器充气 (inflation) 触发之前，将点接触电极 141 和 142 设置在小电压，并监测通过电极的电流。该电子仪器组件包含用于电压支持的所需电池以及欧姆计，例如作为返回电流的监测系统。因为电极仍旧受它们的封印或油漆覆盖的保护，所以电流很小，对应地在电极 141 和 142 之间的阻抗较高。

[0108] 在图 7B 中，当长封隔器 20 充气并且开始接触套管内壁时，部署压力将刺穿封印或绝缘油漆，并用力将点接触电极 141 和 142 推入套管的金属。以这个方式，建立了点接触电极和传导套管之间的电接触。现在，该电接触连同钢套管的高传导性在电极 141 和 142 之间提供了非常低的阻抗。相应地，电极之间的电流增加，从而指明长封隔器 20 在井下层次的成功部署。

[0109] 考虑到套管内壁表面的未知状态以及环孔流体的宽范围电属性，该环孔流体为盐水或带成味的水、或者或多或少地适当分离的油 - 水混合物，所以通常不可能在部署之前提供可靠的阻抗值。假设点接触电极 141 和 142 之间的阻抗为几百 mΩ 到几 Ω 似乎是合理的。

[0110] 作为在部署之后的阻抗的示例，考虑内径为 6.154 英寸 (15.63cm) 的普通七英寸 (18cm) 套管。假设钢的电阻率为 $\rho = 100\mu\Omega.cm$，并且距离 $d_1 = 1m$，则这个套管部件的电阻近似为：

[0111] $R=\frac{\rho l}{A}=\frac{\rho l}{\pi\left(r_{OD}^2-r_{ID}^2\right)}\cong 177\mu\Omega$（等式 7）。

[0112] 这个阻抗远远小于在油管和套管之间的环孔空间中的流体的任何阻抗。因此，甚至简陋的欧姆计都可以容易地识别使用点接触电极的成功的封隔器部署。因此，电子仪器组件具有一般的器件，而没有特别的精度要求。

[0113] 当利用点接触电极 141 和 142 在适当的位置正确部署长封隔器 20 时，可以激活换能器 14 以相应地开始图 5A 或 5B 的接收或传送模式。

[0114] 在图 8A 中，在油管 13 周围以排气状态安装一对短封隔器 20’和 20”。在封隔器 20’和 20”外侧相距距离 d_1 的两个（或多个）轴向位置上，点接触电极 141 和 142 被安置在包含换能器 14 的合适电子仪器组件上，并与其有线相连。电子仪器组件可以任何方式安置在井中。所述有线连接与封套绝缘，以避免通过油管或环孔流体进行的任何电流泄漏。其它特征类似于长封隔器 20。

[0115] 以相同的方式，在图 8B 中，当封隔器 20’和 20”充气并且开始接触套管内壁时，部署压力将刺穿封印或绝缘油漆，并用力将点接触电极 141 和 142 推入套管的金属。当利用点接触电极 141 和 142 在适当的位置正确部署封隔器 20’和 20”二者时，可以激活换能器 14 以相应地开始图 5A 或 5B 的接收或传送模式。

[0116] 根据本发明，长封隔器 20 或两个短封隔器 20’和 20”可以是仪表化的封隔器，这意味着所述封隔器可包含测量传感器，诸如在专利申请 US2003094282 中公开的仪表化封隔器。测量传感器被定位在封隔器表面上或定位在封隔器中。可在封隔器排气时部署测量传感器，或者可以在封隔器充气时部署测量传感器。

[0117] 在本发明的另一方面，可以在井中将根据图 2 的设备部署为具有几个设备的网络。有效地，当井具有诸如多井或深井的特定结构时，难以在仅利用一个设备的情况下从井下向地面通信。如上面看出，对于 500 米深的井，图 2 的设备的电子仪器组件必须具有 10A 的源电流。然而，可能创建几个设备的网络，每个设备都包含如图 2 所公开的换能器 14。

[0118] 在图 9 中，包含换能器和与套管接触的两个电极的设备用偶极 Di 来表达，其中 i 在 1 和 6 之间变化。偶极 Di 可以是传送偶极、接收偶极或者接收 / 传送偶极二者。每个偶极都位于井中的定义位置上。作为多井中的配置的示例，D1、D2 和 D3 位于第一井中，D4 和 D5 位于第二井中，而 D6 位于地面。在第一井中，D1 是连接到测量传感器 91 的传送偶极，D2 是连接到具有测量传感器的子单元 92 的接收 / 传送偶极，D3 是连接到控制阀 93 的接收偶极。在第二井中，D4 是连接到具有控制阀的子单元 94 的接收 / 传送偶极，D5 是连接到传感器 95 的接收 / 传送偶极。在地面上，偶极 D6 是连接到主控制单元 90 的接收 / 传送偶极。作为指令的通信的示例，传感器 91 测量经由偶极 D1 到 D2 和 D2 到 D6 而传递到主控制单元 90 的特定参数。主控制单元 90 编译来自传感器 91 的测量，并直接经由偶极 D6 到 D3 或者经由偶极 D6 到 D2 和 D2 到 D3 来发送命令到控制阀 93。作为指令的通信的另一示例，传感器 95 测量经由偶极 D5 到 D4 而传递到子单元 94 的特定参数。子单元 94 发送命令到其控制阀，并经由偶极 D4 到 D3 来发送命令到控制阀 93。此外，子单元 94 还经由偶极 D4 到 D6 向主控制单元 90 通知传递到控制阀的命令。

[0119] 对于与网络的各个元件的通信，不得不定义协议。可以使用传统的协议，例如可以对网络的每个元件定义地址，并且当与其它元件通信时，在开始信息传输之前，给出传送地

址和接收地址。

[0120] 可以向根据图 9 的网络系统增加各种其它元件。在另一实施例中，可以将网络概括为利用其它无线通信协议的相互通信，诸如超声波发射机。控制单元和两个换能器将相互通信：偶极换能器用于与偶极换能器通信，超声换能器用于与超声换能器通信，并且控制单元用于在两个换能器之间交换信息。

[0121] 在本发明的另一方面，由于通信基于电磁通信，所以必须定义井和周围地层的各种属性。尤其是，针对图 2 所示的两个设备或针对图 9 所示的设备网络，必须特征化从一个偶极到另一个偶极的传导路径。以这个方式，必须调查两个重要的区域：一个将是井，更具体地为井构造，因为井包含传导或绝缘材料，其可在通路中产生短路；第二个区域将是地层，且更具体地为到地面的通路的传导性。

[0122] 对于第一部分，必须控制井的构造以知道在哪里适合于放置一对电极。在图 10 中，以错误的配置示出了一对电极的配置。井 10 包括油管 13 和围绕地层 12 的套管 11。在套管和油管之间形成了环孔 18，其中填充有传导的环孔流体。井换能器 14 通过两个绝缘线缆分别连接到电极 141 和 142。传导元件 30 位于电极 141 附近，并将油管 13 连接到套管 11。利用这个配置，通过传导元件 30 实现了短路，并且换能器发出的电信号将衰减。如果必须使用这个配置，则电极 141 必须位于传导元件 30 上，并且优选地必须与油管 13 绝缘。

[0123] 对于第二部分，必须特征化从井偶极到地面偶极的通路的传导性。可以使用舒曼谐振来进行确定这个传导性通路的方法。

[0124] 所提出的方法将监测在地球地面上的舒曼谐振谱作为校准信号。各种舒曼谐振频率的幅度用于归一化地质地层内的信号。

[0125] 在地球内，这些电磁信号或多或少地迅速分散。它们的指数衰变描述为趋肤效应，其中趋肤深度 δ 是频率和周围介质的传导率的函数。舒曼谐振幅度是作为垂直深度的函数针对不同的谐振频率来测量的，并由地面信号幅度来归一化。作为垂直深度的函数来监测任一频率的指数衰变长度，并将其拟合为一指数或者一系列连续指数。得到的指数构成了趋肤深度，该趋肤深度确定指数拟合的间隔上平均化的地层传导率。根据本发明，提出了用以测量舒曼谐振衰减分布图的结果指数的方法和设备。

[0126] 在优选实施例中，所述方法作为垂直深度的函数至少监测两种不同的谐振频率，并比较它们。它们的比率将是可以转换的指数，并且同时，已知的频率产生期望的平均地层传导率。

[0127] 舒曼谐振是在常规地监测的地球大气中的电磁信号。舒曼谐振是以大约 8、14、20、26、32、37 和 43Hz 的非常低的频率在地球大气中产生的，粗略遵循例如在 J.D.Jackson“Classical Electrodynamics”，J.Wiley&Sons，1975 中描述的球谐波 (spherical-harmonics) 关系 $f = 5.8\sqrt{l(l+1)}\,\mathrm{Hz}$。这些谐振随时间而频率轻微变化幅度显著变化。已经在本申请人的无线遥测系统的前一场测试期间惊人地且不知不觉地对它们进行了观测。以前在现有技术中仅将它们识别为其它低频地面地球物理学勘探 (survey) 中的噪声源。图 11 将舒曼谐振谱图示成具有下述能量的各个布雷特 - 维纳谐振峰的叠加：

[0128] $$E(f)=\frac{1}{(f-f_0)^2+(0.1*f_0)^2}$$ （等式 8）

[0129] 其中，假设峰值宽度（衰变率）为谐振频率的 10％，对应于 10 的品质因子 Q。在

图 11 中将典型的预期的 1/f 背景噪声添加到谱中。

[0130] 根据本发明的方法利用悬挂到有线线路线缆 120 的有线线路询问工具 100 作为垂直深度的函数而监测井下的这些舒曼谐振（图 12）。这个测量假设信号的垂直均匀分散，并因此准许解释作为垂直传导分布图的测量。

[0131] 通常，舒曼谐振使用地球地面作为传导边界。因此，电场将接近于与地球地面成直角而磁场接近于与地球地面相切。结果，垂直电偶极（电压间隙 (voltage-gap)）和水平磁偶极接收机将最佳地适合于作为用于舒曼谐振的检测器。

[0132] 必须在勘探地点的地面监测舒曼谐振。在地面测量的不同谐振的频谱和相关幅度用于校准，以归一化井下测量。

[0133] 同时，井下测量条件将不同于地面条件。首先，井下传感器配置可不同于地面监测器。第二，可以在跨越套管壁的信号衰减变成频率的函数的情况下执行井下测量。因此，地面监测器仅用作质量良好的谐振频率校准和第一步骤的幅度校准。

[0134] 整个频谱的幅度被测量为真正的垂直深度的函数。假设仅具有垂直传导率变化的简单分层化地层，则趋肤深度是深度以及频率的函数：

[0135] $$\delta(f,z)=\sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma(z)}}=\frac{10^4}{2\pi\sqrt{10f\sigma(z)}}\cong\frac{503.3m}{\sqrt{f\sigma(z)}}$$（等式 9）

[0136] 其中，频率 f 以 Hz 表示，而传导率 σ (z) 以 S/m 表示。

[0137] 各个频率的电磁信号以仅取决于垂直传导率分布和频率的速率进行指数衰变，电磁信号为：

[0138] $$U(f,z)=\frac{U(f,z_0)}{\bar{\delta}}\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'/\delta(f,z')}=\frac{U(f,z_0)\sqrt{f\bar{\sigma}}}{503.3m}\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f\sigma(z')}/503.3m}$$（等式 10）

[0139] 其具有有效的平均本底 (background) 传导率$\bar{\sigma}$。对于这个深度分布图，我们假设在一些初始参考深度 z_0 处测量舒曼谐振谱，以提供绝对的幅度校准。我们还假设井内的条件没有改变：井完全套管或是裸眼的。如果测井 (log) 运行通过套管靴，则必须对不同的地区重复参考校准。图 13 示出了针对七个舒曼谐振频率的假定传导率分布图和测量响应（等式 10）。

[0140] 垂直传导率分布图 σ (z) 是通过如下步骤从任一单个谐振频率的测量信号中提取出来的，即通过分离出积分

[0141] $$\frac{503.3mU(f,z)}{\sqrt{f\bar{\sigma}}U(f,z_0)}=\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f\sigma(z')}/503.3m}$$（等式 11）

[0142] 并将其相对于深度 z 求导：

[0143] $$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{503.3mU(f,z)}{\sqrt{f\bar{\sigma}}U(f,z_0)}\right)=e^{-z\sqrt{f\sigma(z)}/503.3m}$$（等式 12）

[0144] $$\sigma(z)=\frac{1}{f}\left(\frac{503.3m}{z}\log\left(\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{503.3mU(f,z)}{\sqrt{f\bar{\sigma}}U(f,z_0)}\right)\right)\right)^2$$

[0145] $$=\frac{503.3^2m^2}{fz^2}\left(\log\left(\frac{\partial U(f,z)}{U_0\partial z}\right)\right)^2$$（等式 13）

[0146] 该传导率反演 (inversion) 是最简单和最直接了当的方法。校准测量 $U(f,z_0)$ 按

归一化录入，其在微分中被取消。

[0147] 通用归一化 U_0 仅用于提供正确的物理单位。该通用信号归一化的存在指明来自舒曼谐振的传导率记录可需要对数传导率标度的校准移位，以便与一些已知的地层传导率匹配。

[0148] 为了全面传导率分布图的目的，同时监测几个舒曼谐振频率将是有利的。可优选监测作为深度的函数的两个舒曼谐振的比率，以消除通用归一化常数 U_0。我们假设可以忽略在岩石中、任意两个舒曼谐振频率之间的传导率分散，从而 σ (z) 独立于频率。

[0149] $$\frac{U(f_1,z)}{U(f_2,z)}=\frac{\sqrt{f_1}U(f_1,z_0)}{\sqrt{f_2}U(f_2,z_0)}\frac{\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f_1\sigma(z')}/503.3m}}{\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f_2\sigma(z')}/503.3m}}$$ （等式 14）

[0150] 此外，分离出积分

[0151] $$\sqrt{\frac{f_2}{f_1}}\frac{U(f_1,z)}{U(f_2,z)}\frac{U(f_2,z_0)}{U(f_1,z_0)}=\frac{\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f_1\sigma(z')}/503.3m}}{\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f_2\sigma(z')}/503.3m}}$$ （等式 15）

[0152] 并将其相对于深度 z 求导。事实上，可以证明计算比率的对数的导数以彻底地消除独立于深度的归一化因子是更方便的：

[0153] $$\frac{\partial}{\partial z}\log\left(\sqrt{\frac{f_2}{f_1}}\frac{U(f_1,z)}{U(f_2,z)}\frac{U(f_2,z_0)}{U(f_1,z_0)}\right)=\frac{\partial}{\partial z}\log\left(\frac{U(f_1,z)}{U(f_2,z)}\right)=\frac{\partial}{\partial z}\left(\log U(f_1,z)-\log U(f_2,z)\right)$$ ，

[0154] 或明确地：

[0155] $$\frac{1}{U(f_1,z)}\frac{\partial U(f_1,z)}{\partial z}-\frac{1}{U(f_2,z)}\frac{\partial U(f_2,z)}{\partial z}=\frac{e^{-z\sqrt{f_1\sigma(z)}/503.3m}}{\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f_1\sigma(z')}/503.3m}}-\frac{e^{-z\sqrt{f_2\sigma(z)}/503.3m}}{\int_{z_0}^{z}dz'e^{-z'\sqrt{f_2\sigma(z')}/503.3m}}$$

[0156] 根据本发明的设备是如图 12 所公开的询问工具，其包含用于检测电磁波（自然钻孔中或优选为有套管的孔中的电场和磁场）的测量传感器组件。

[0157] 用于舒曼谐振监测的接收机是无线遥测电压间隙接收机。

[0158] 跨越传导率边界（甚至在有套管的井中）的切向电场分量的连贯性宁愿具有与套管轴平行的电场分量。然而，非常少量的关于 ELF 电学天线的敏感度的数据可用，因此优选地，必须使用作为接收机的现有遥测装备的电压间隙来进行合适的测试和噪声评估测量。

[0159] 替换地，在套管井的应用中，电场接收机可包括夹钳在套管壁内的单个电极，来测量套管级别的电势差，并减少由于存在填空流体导致的任何伪造效果。已经描述了这些电极，特别是在图 2 中描述了。

[0160] 根据本发明的设备还在井的地面（例如勘探地点）包括用于检测地面上的电磁波（电磁场的频率和幅度）的另一个测量传感器组件，以利用询问工具校准井下测量。测量传感器是如所公开的传统电场和磁场传感器或者可在地面上使用的其它传感器。

[0161] 舒曼谐振监测在陆地上或在浅水深度中将工作最好。海水的传导率～ 0.3Ωm 将把舒曼谐振信号分散到深水中。同时，陆地作业趋于经受更强的生活噪声。因此，必须监测

地面上的低频电磁噪声谱以及参考校准测量 $U(f, z_0)$。

[0162] 该技术可以在有线线路测井应用或在永久性安装中得到应用。在后者的情况中，接收机将部署在产品中和观察孔中，并将监测随着时间流逝的地层饱和度的变化。所提出的技术没有利用有源源，导致了较不复杂的部署。永久地仅部署无源接收机。

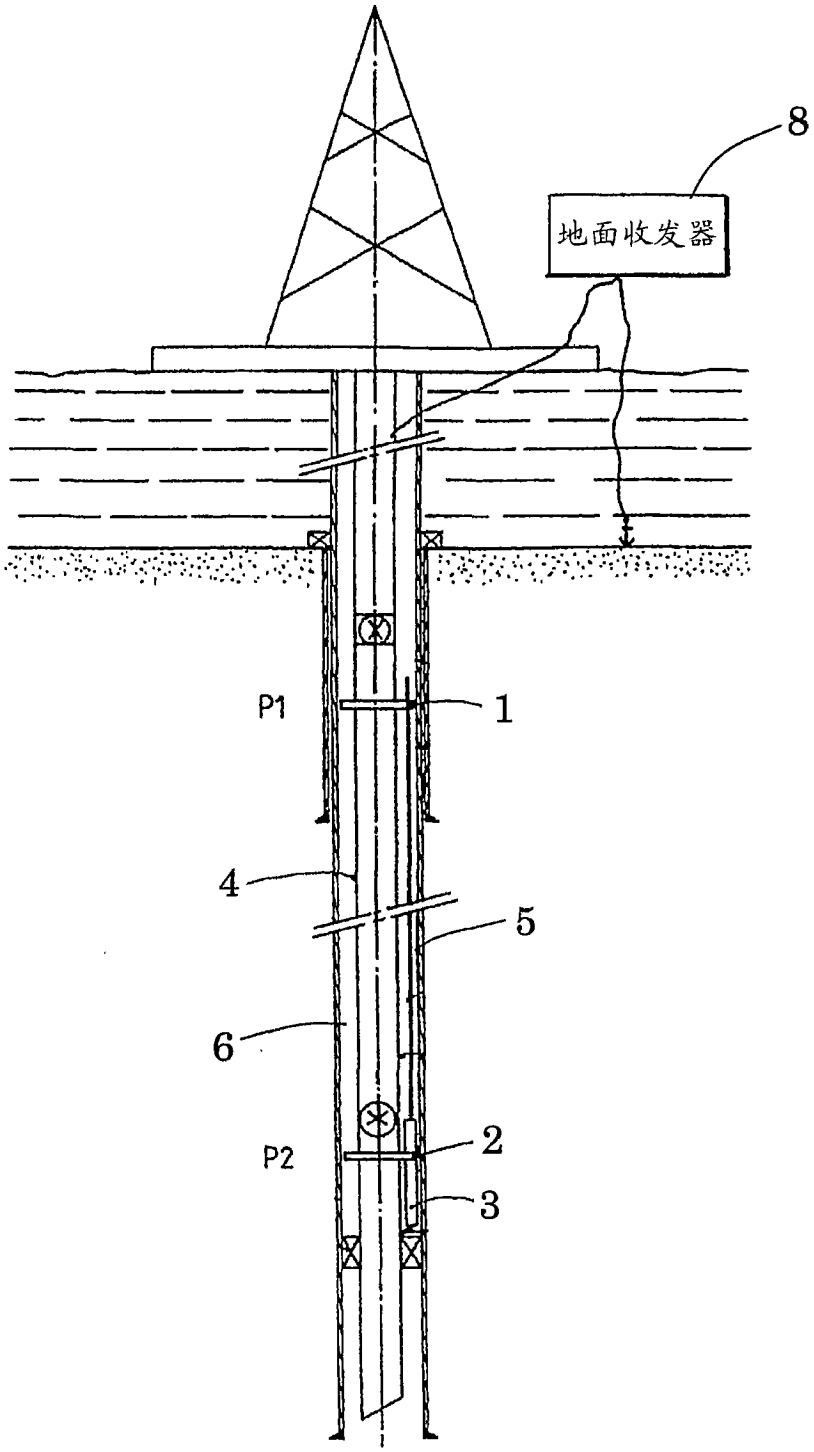


图 1 现有技术

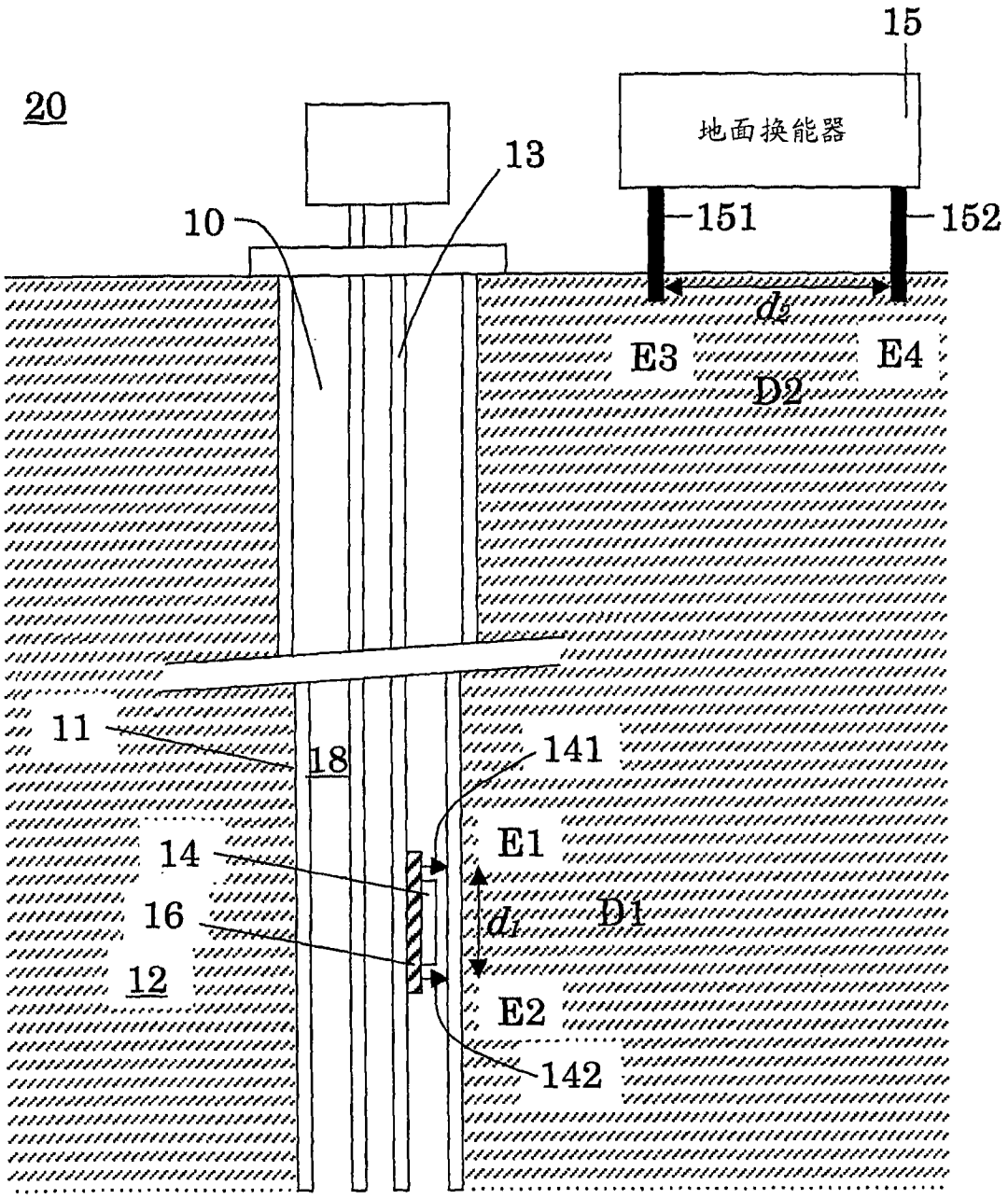

20
15
地面换能器
13
10
151
152
d_2
E3
E4
D2
11
18
141
E1
14
16
d_1
D1
12
E2
142

图 2

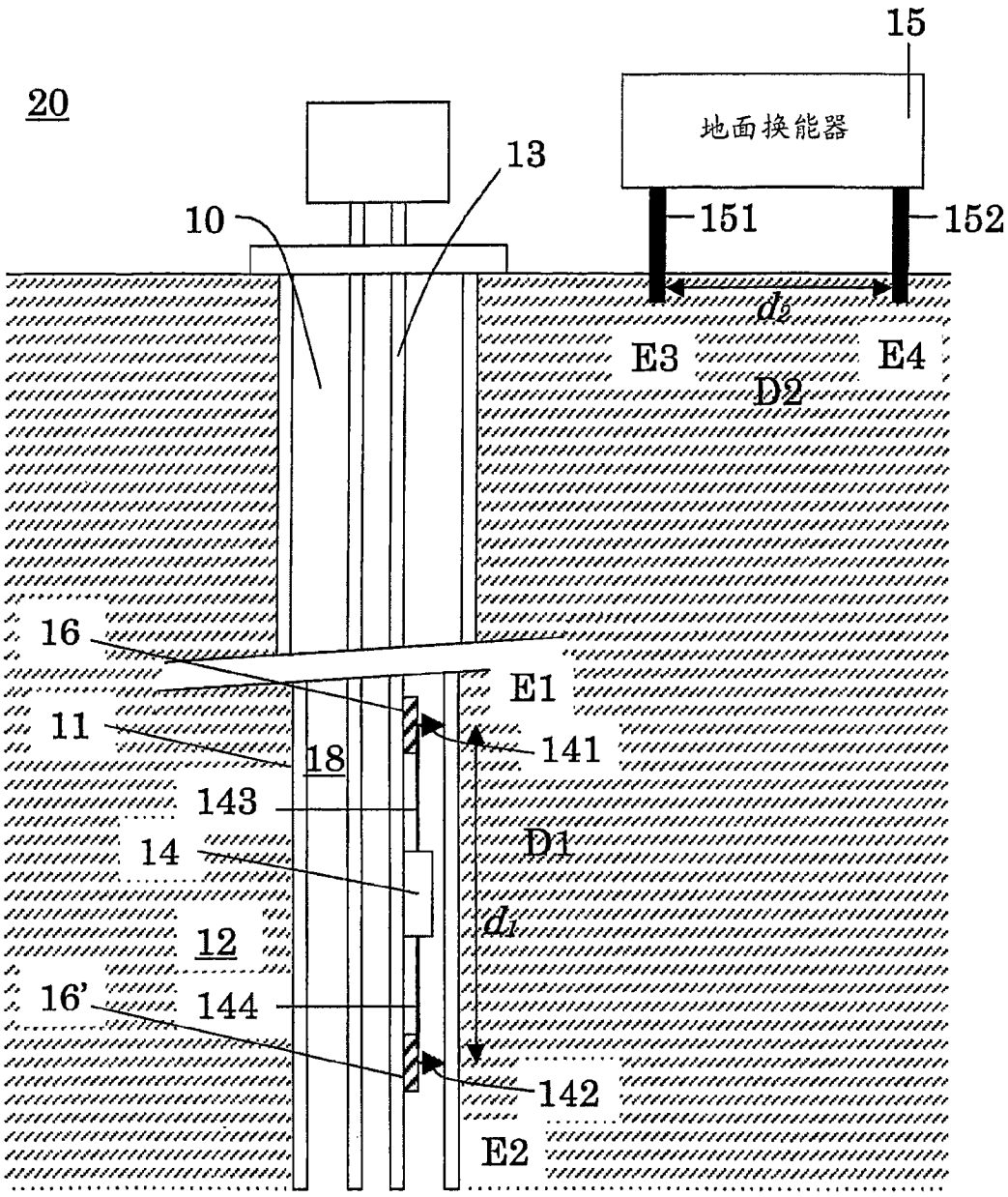

15
20
地面换能器
13
10
151
152
d_2
E3
E4
D2
16
E1
11
141
18
143
D1
14
d_1
12
16'
144
142
E2

图 3

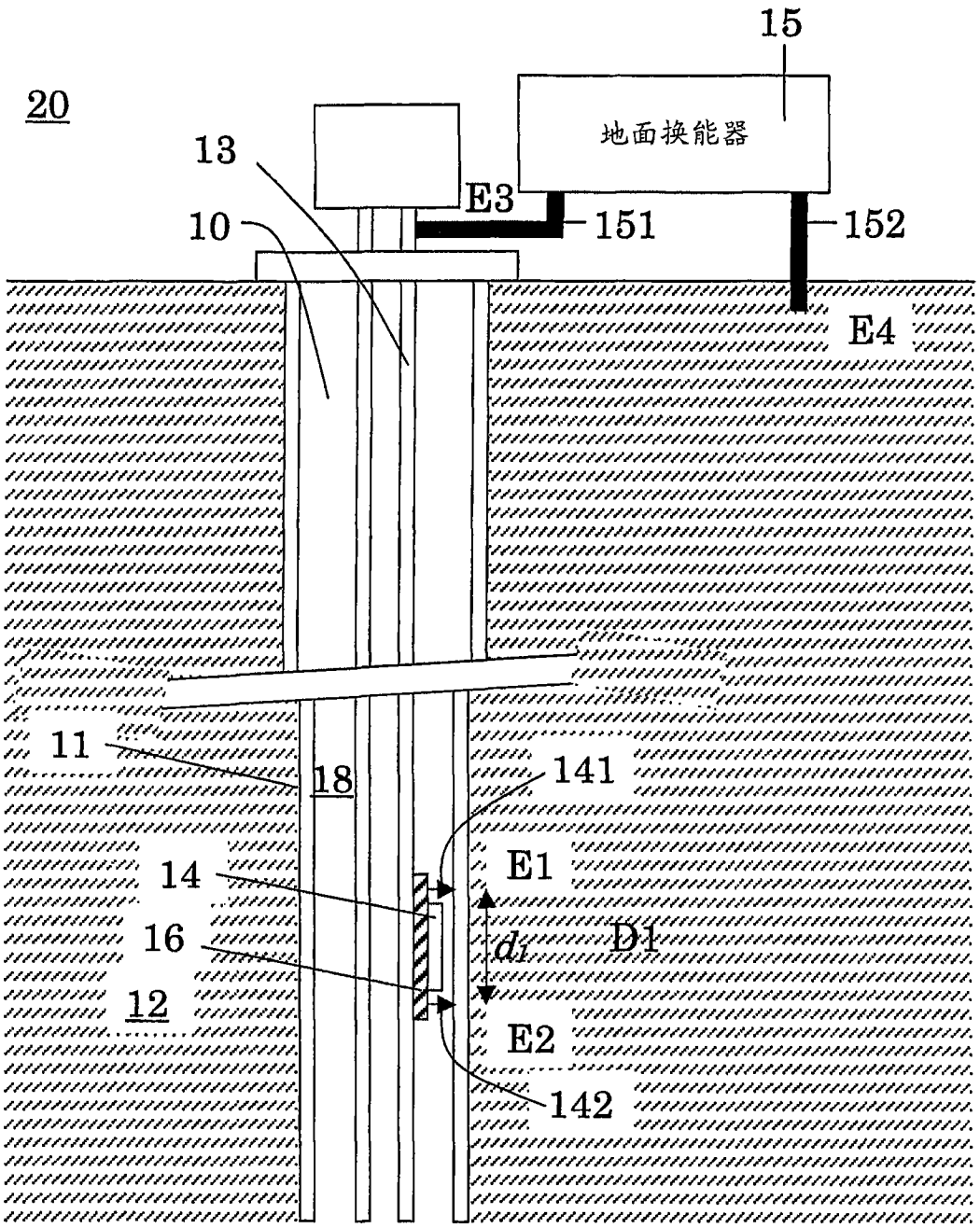


图 4

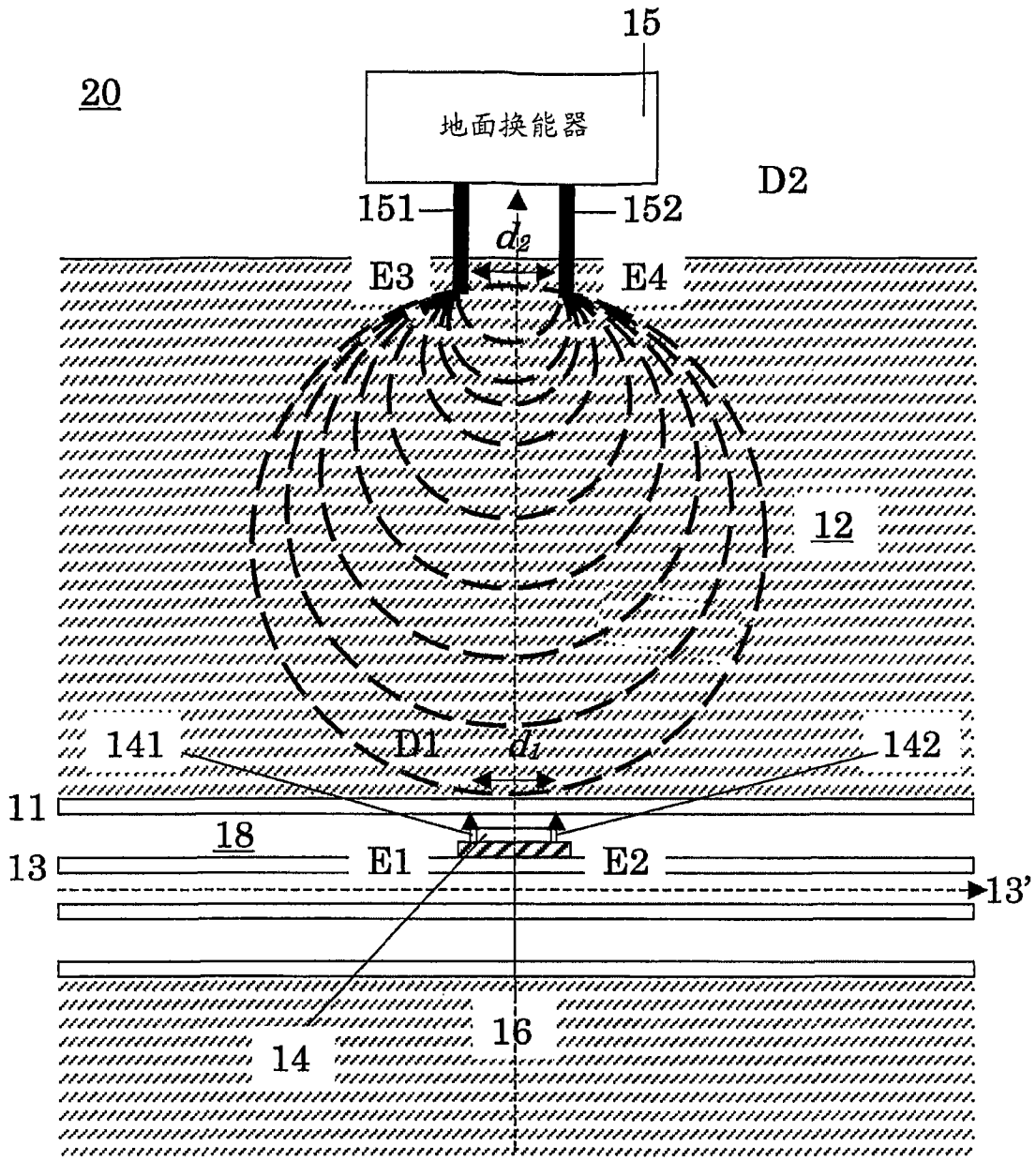

15
20
地面换能器
D2
151
152
d_2
E3
E4
12
141
D1
d_1
142
11
18
13
E1
E2
13'
16
14

图 5A

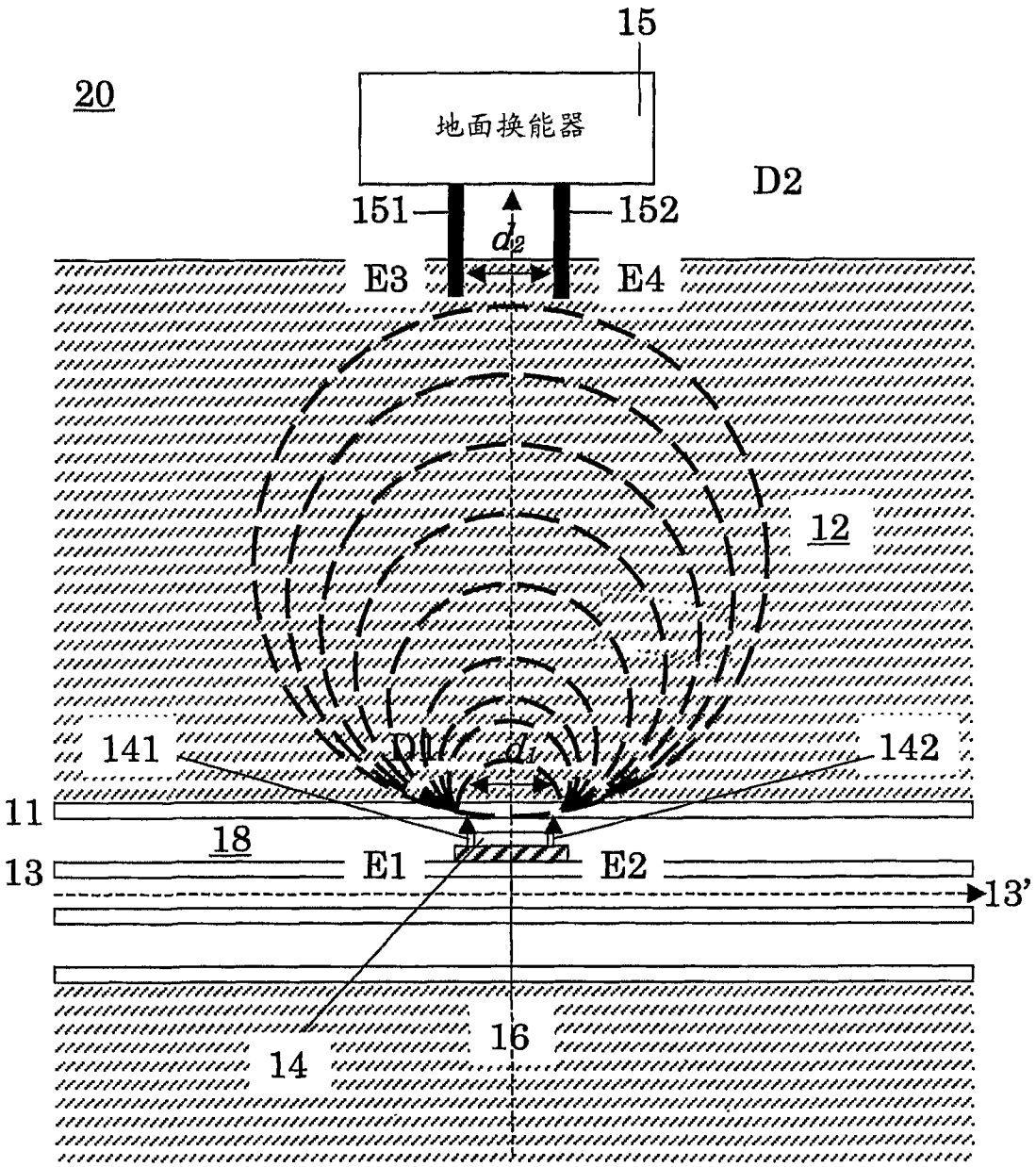

15
20
地面换能器
D2
151
152
d_2
E3
E4
12
141
D1
d_1
142
11
18
13
E1
E2
13'
16
14

图 5B

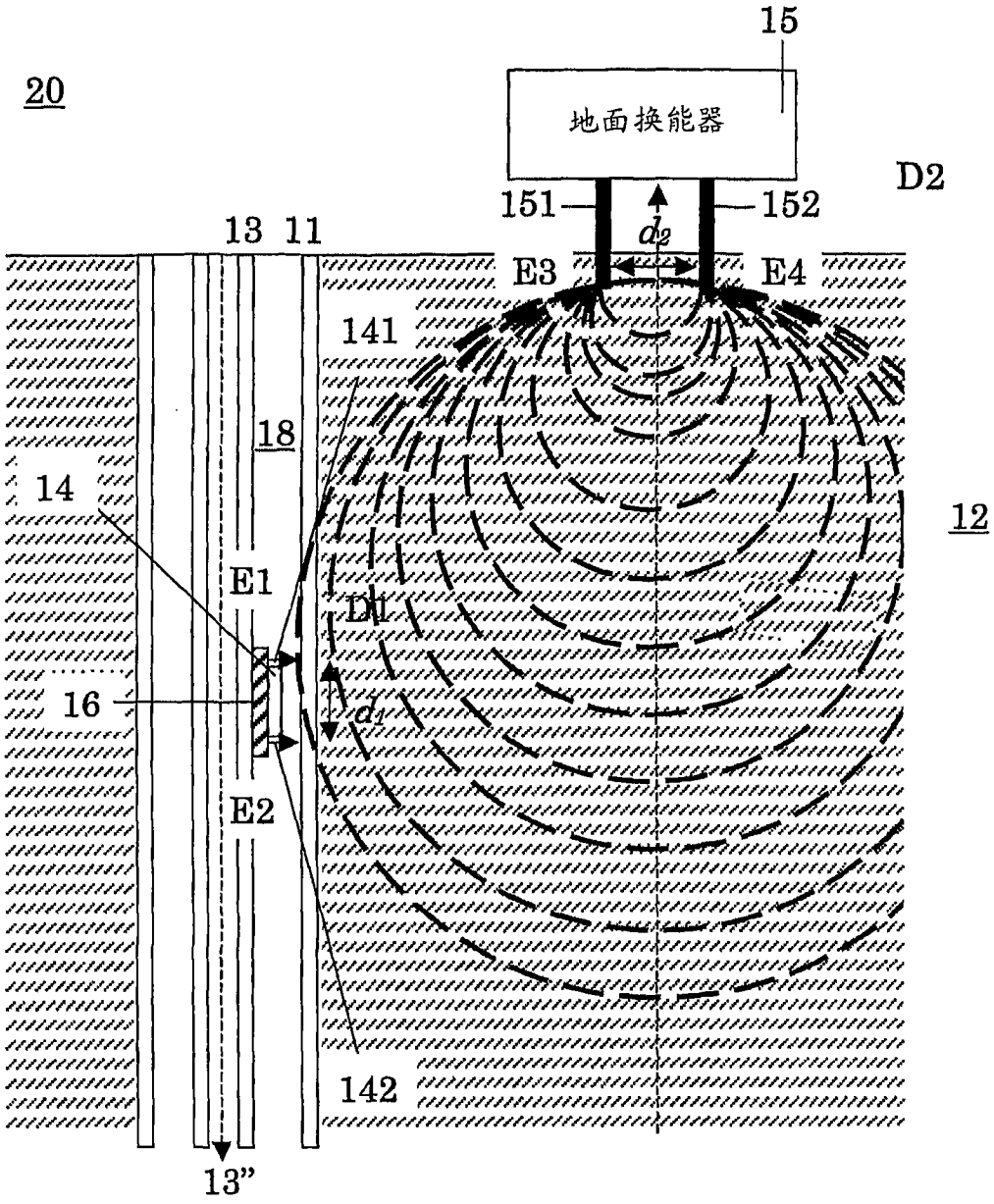

20
15
地面换能器
D2
151
152
d_2
13 11
E3
E4
141
18
14
12
E1
D1
16
d_1
E2
142
13”

图 5C

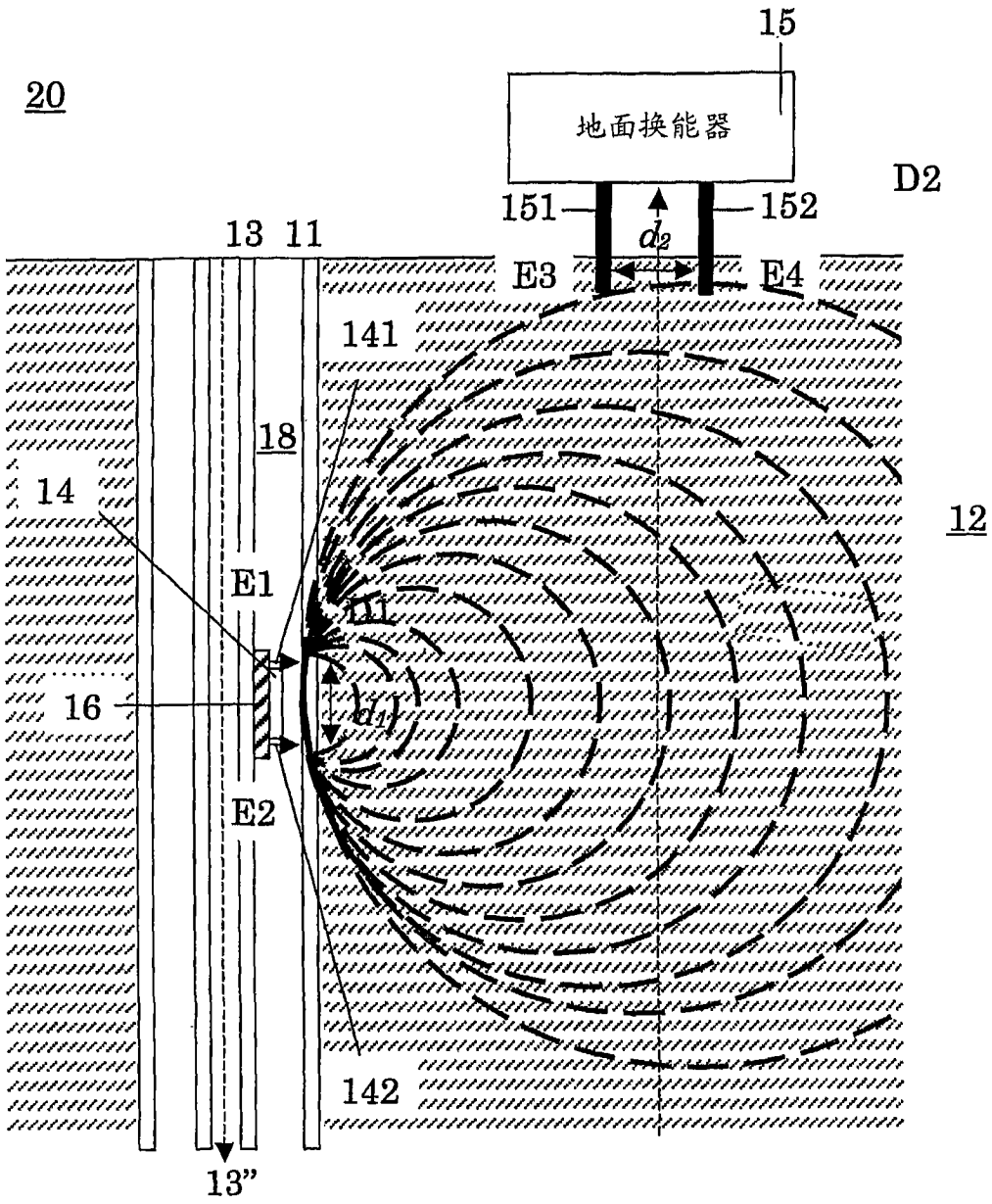

15
20
地面换能器
D2
151
152
d_2
13 11
E3
E4
141
18
14
12
E1
d_1
16
d_{11}
E2
142
13”

图 5D

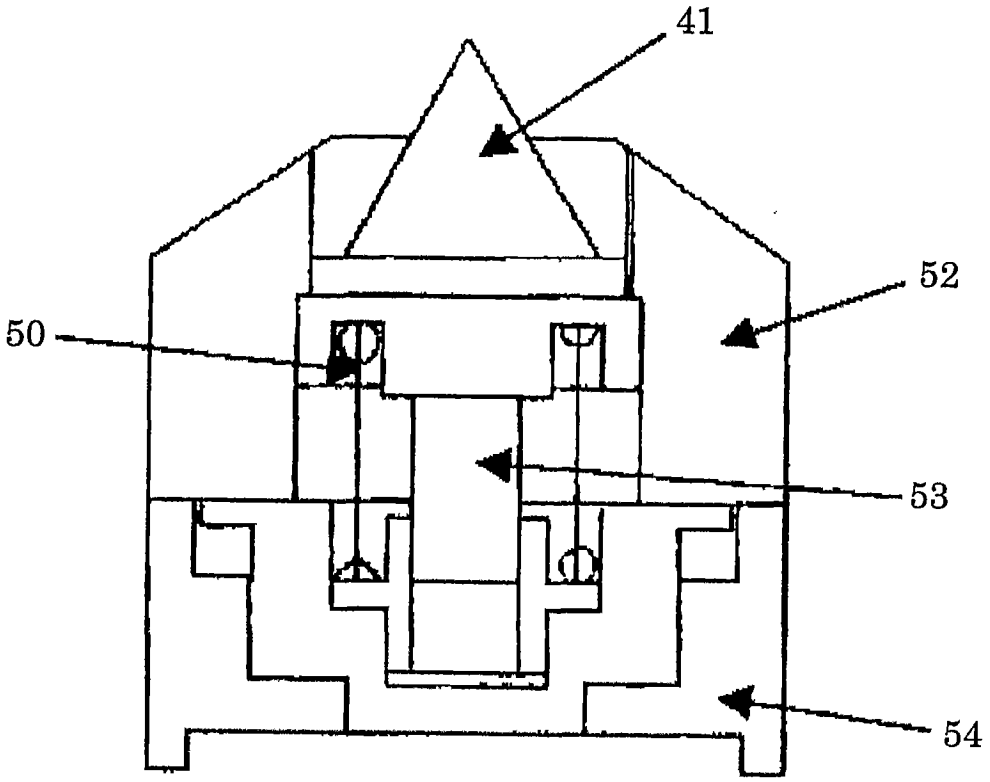


图 6

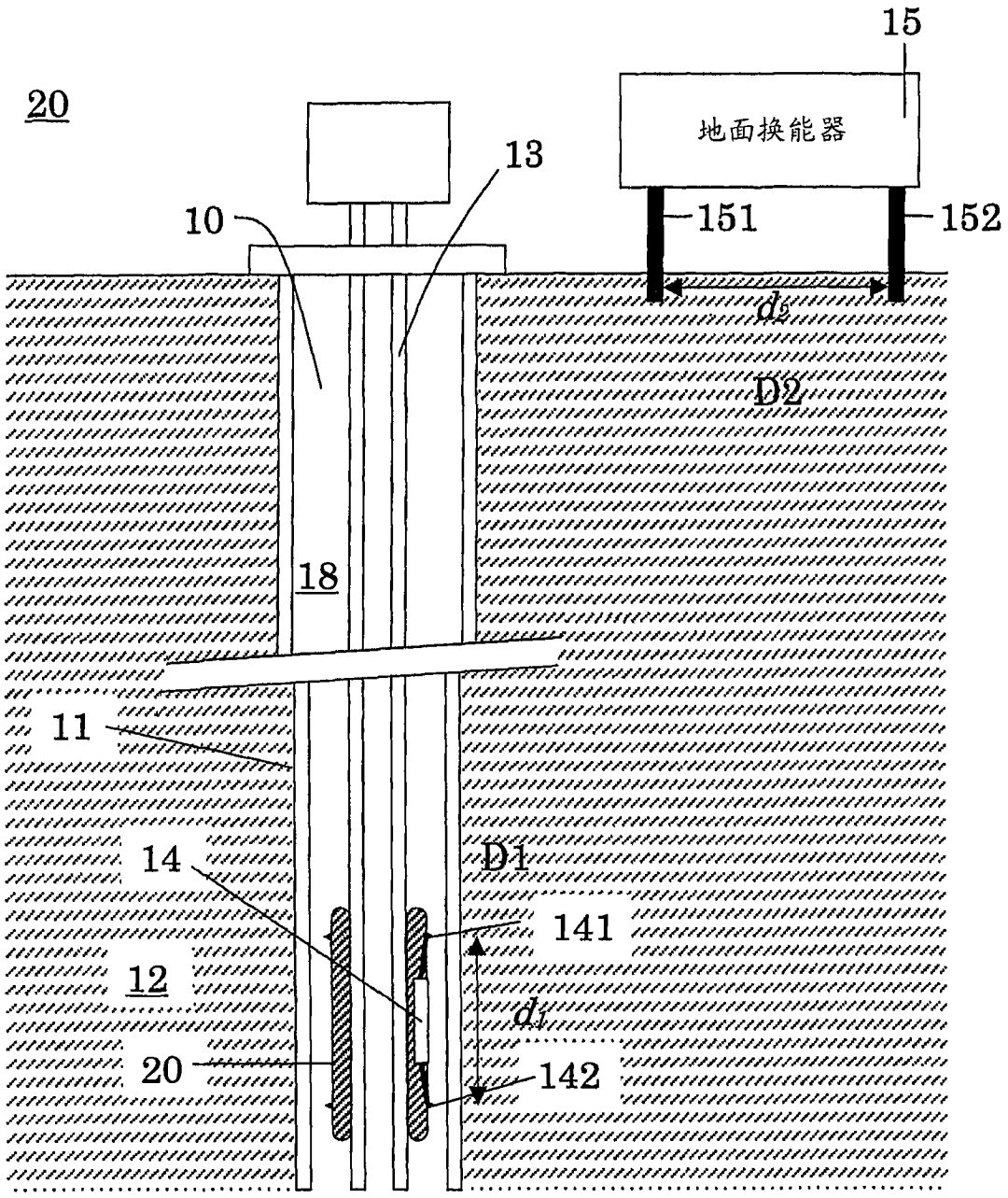


图 7A

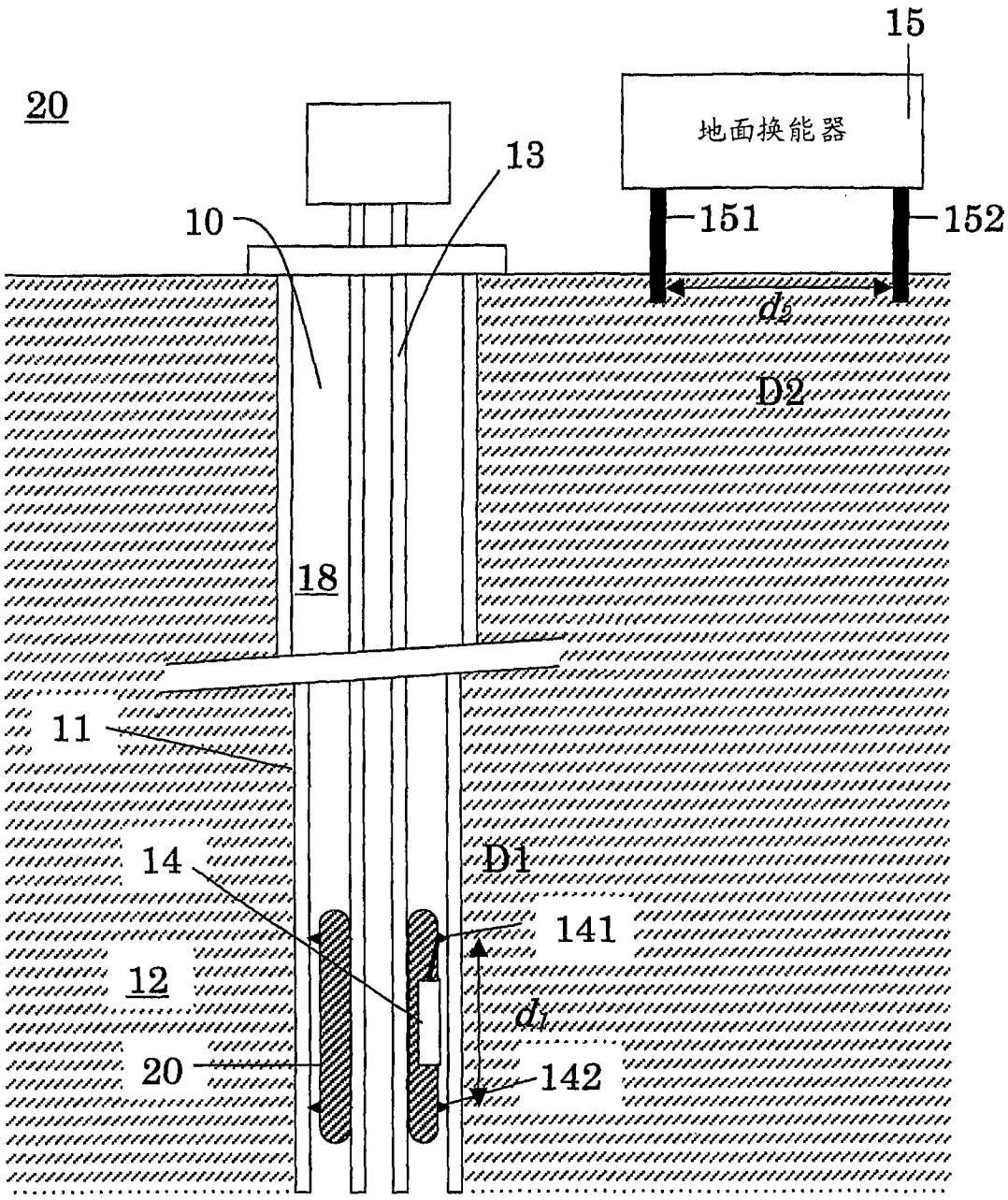


图 7B

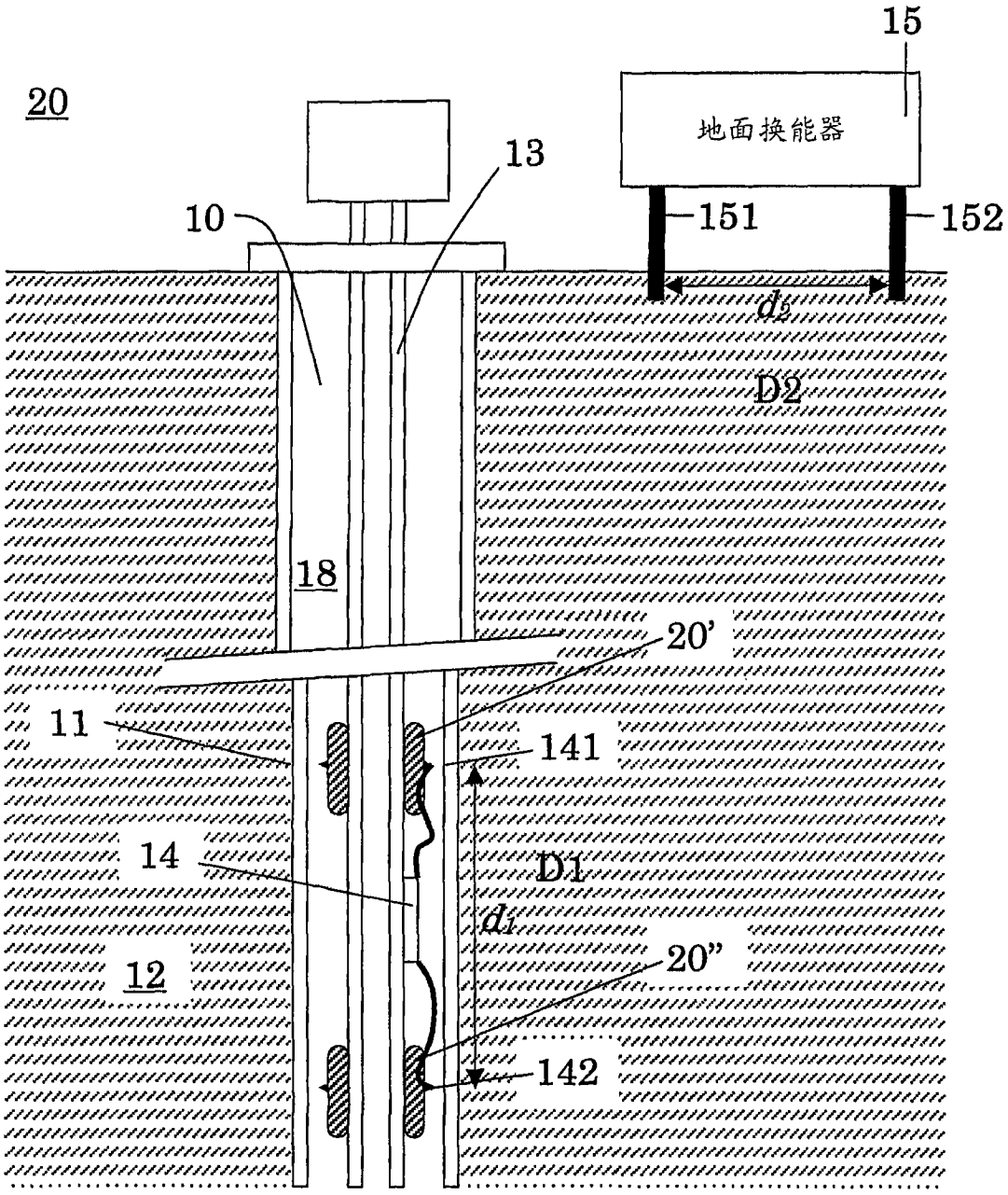


图 8A

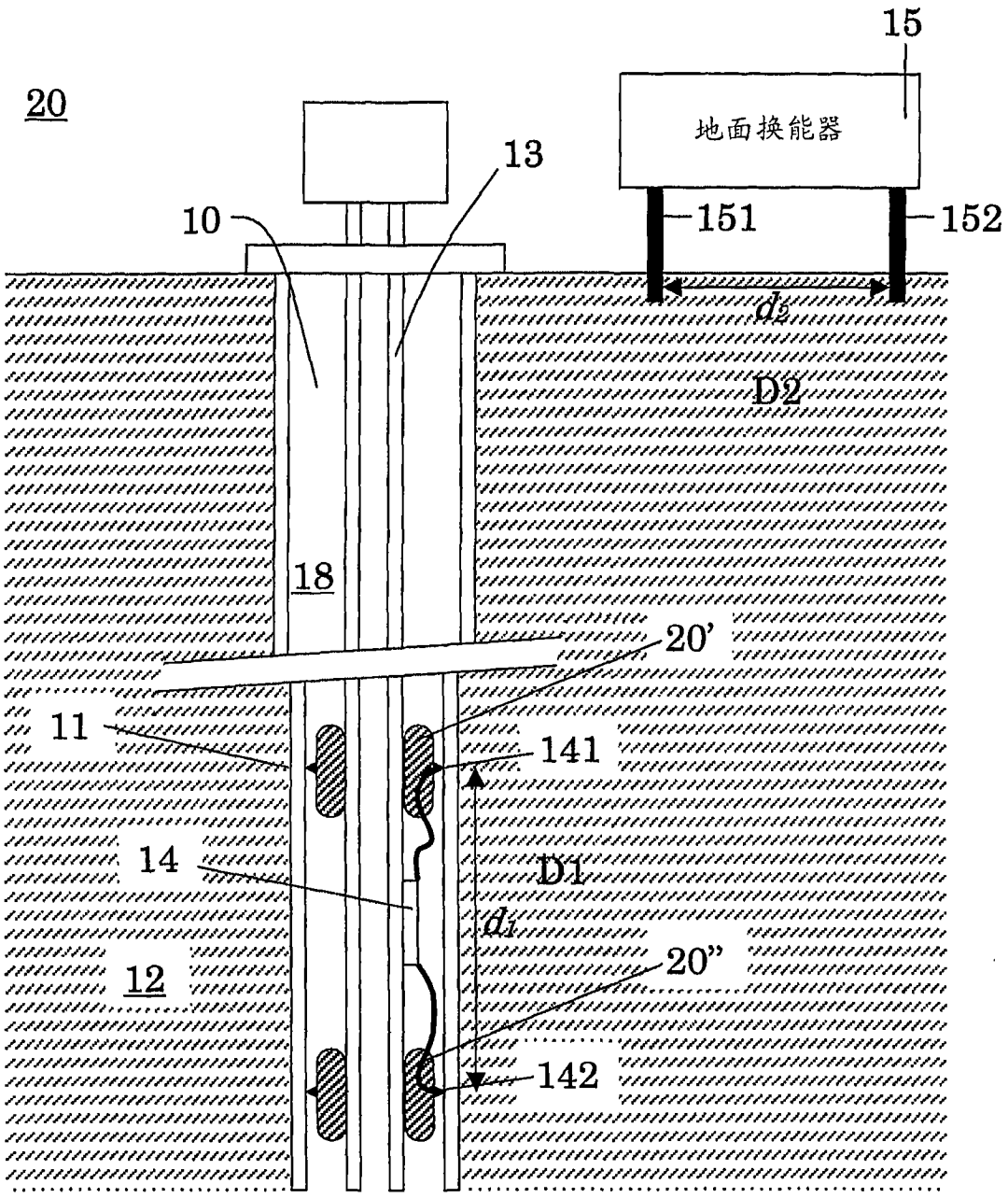


图 8B

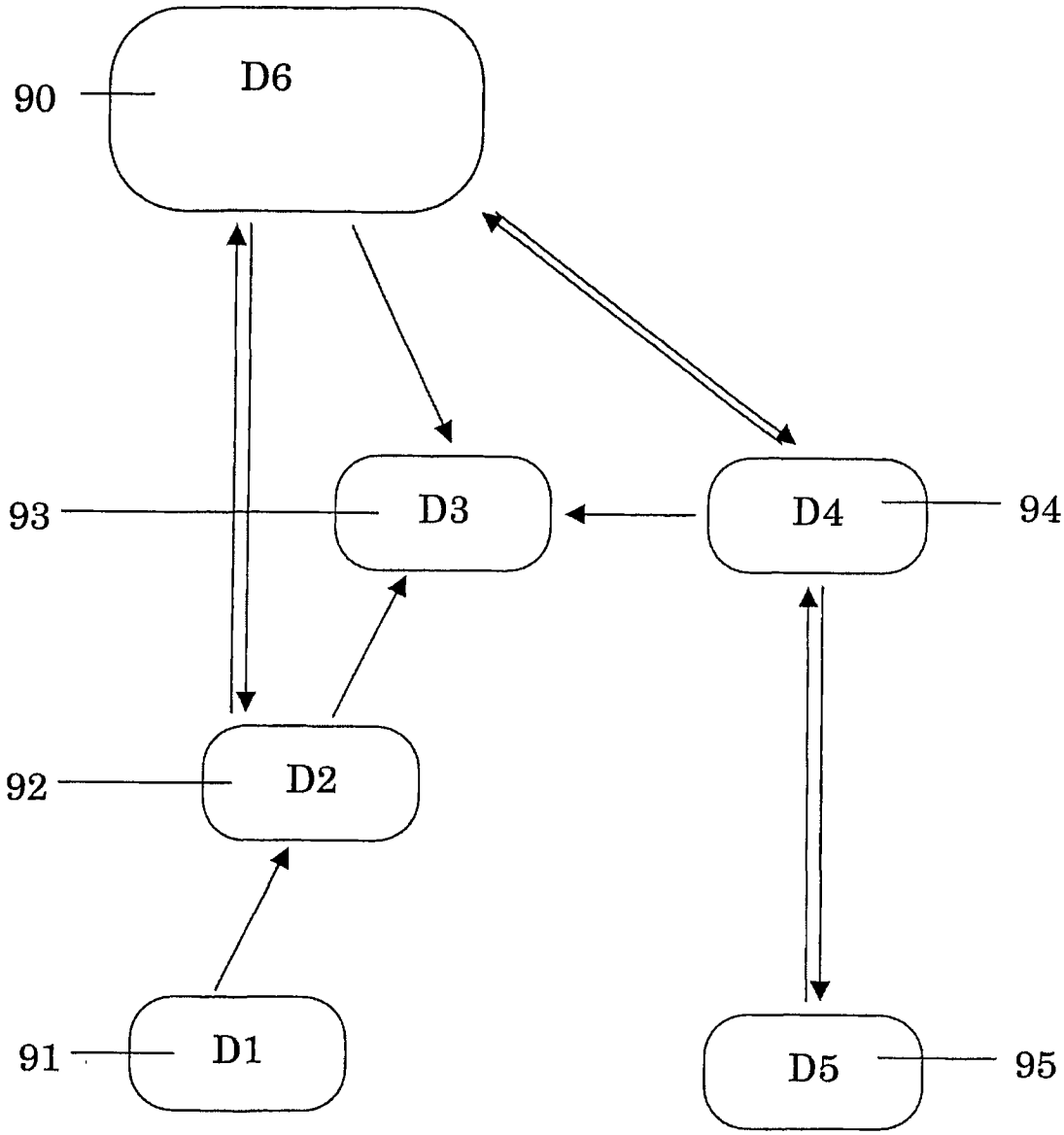


图 9

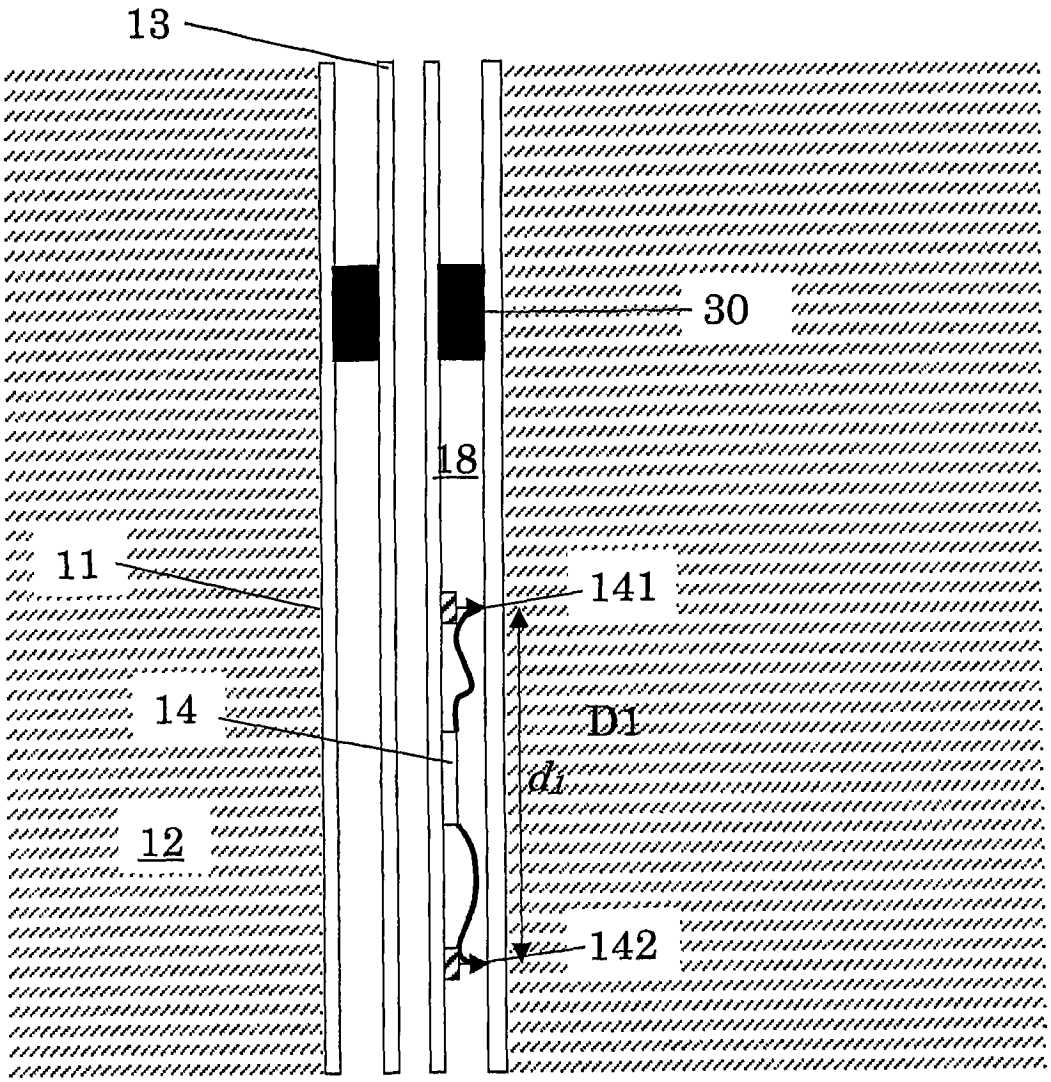


图 10

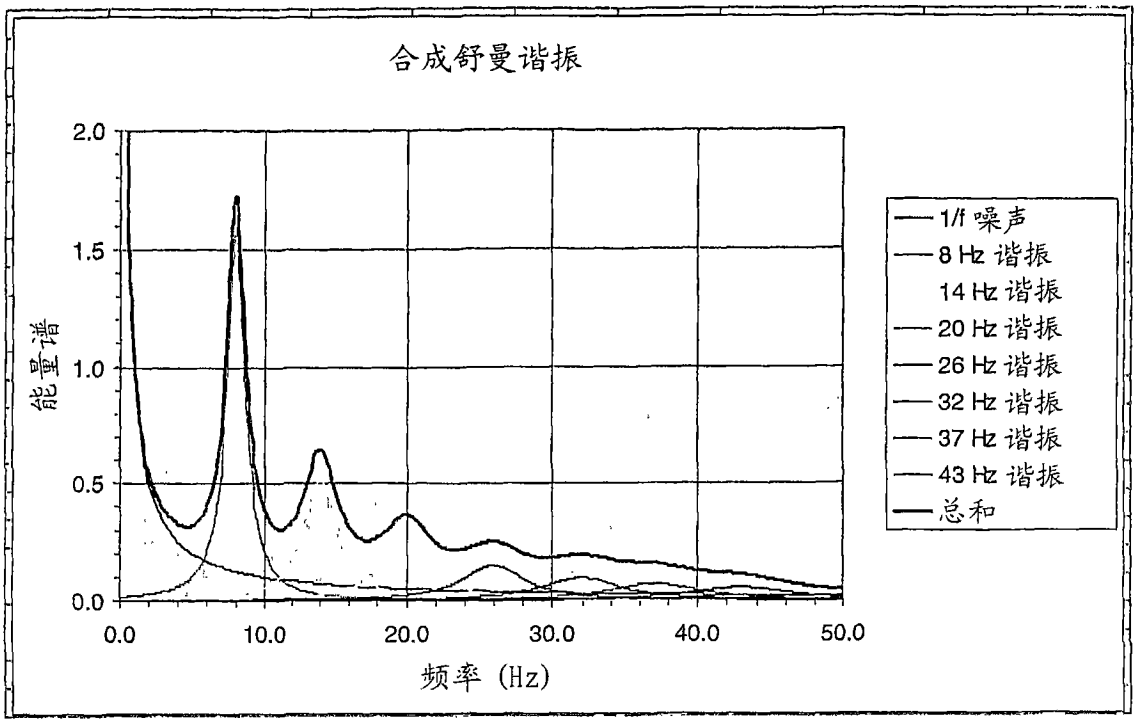

合成舒曼谐振
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
能量谱
0.0
10.0
20.0
30.0
40.0
50.0
频率 (Hz)
1/f 噪声
8 Hz 谐振
14 Hz 谐振
20 Hz 谐振
26 Hz 谐振
32 Hz 谐振
37 Hz 谐振
43 Hz 谐振
总和

图 11

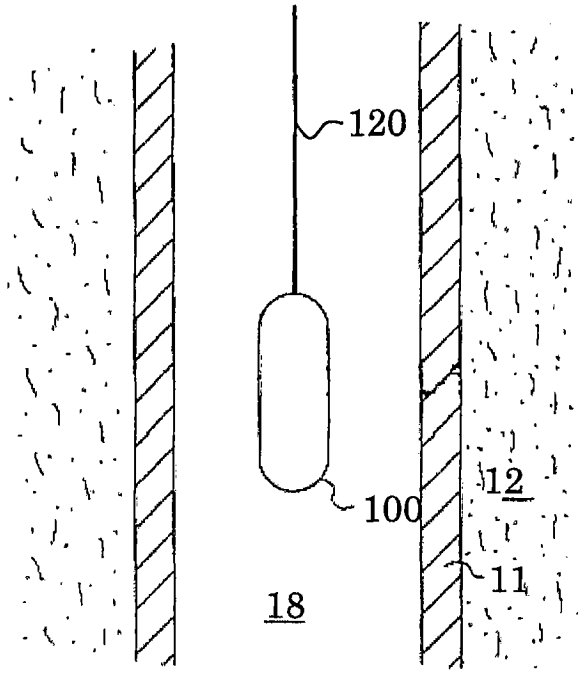

120
100
12
11
18

图 12

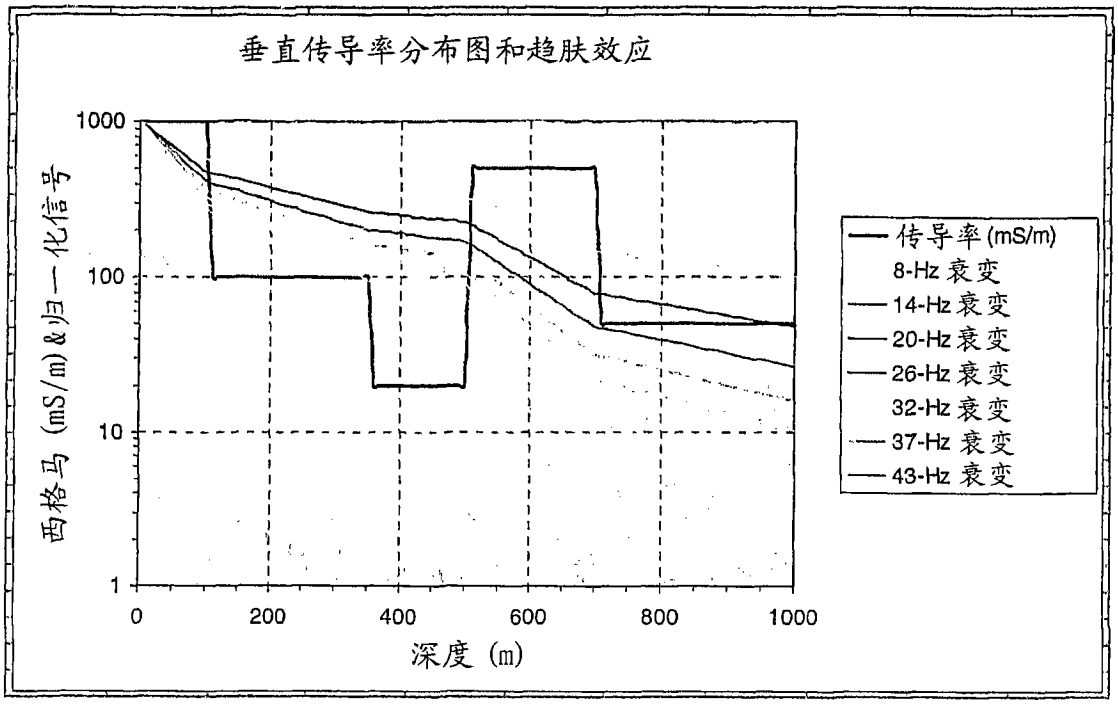

垂直传导率分布图和趋肤效应
1000
100
10
1
西格马 (mS/m)&归一化信号
0
200
400
600
800
1000
深度 (m)
传导率 (mS/m)
8-Hz 衰变
14-Hz 衰变
20-Hz 衰变
26-Hz 衰变
32-Hz 衰变
37-Hz 衰变
43-Hz 衰变

图 13