



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102356212 A

(43) 申请公布日 2012. 02. 15

(21) 申请号 201080012126. 0  
(22) 申请日 2010. 03. 17  
(30) 优先权数据  
61/160870 2009. 03. 17 US  
(85) PCT申请进入国家阶段日  
2011. 09. 16  
(86) PCT申请的申请数据  
PCT/US2010/027571 2010. 03. 17  
(87) PCT申请的公布数据  
W02010/107856 EN 2010. 09. 23  
(71) 申请人 史密斯国际公司  
地址 美国德克萨斯州  
(72) 发明人 G. A. 麦埃尔欣尼  
H. M. J. 伊尔费尔德  
(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
72001  
代理人 马永利 王忠忠

(51) Int. Cl.  
*E21B 47/00* (2012. 01)  
*E21B 47/04* (2012. 01)

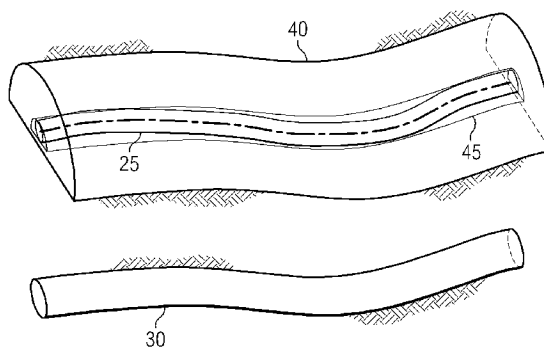
权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 23 页

## (54) 发明名称

用于地下井的相对和绝对误差模型

## (57) 摘要

使用相对误差模型来计算第一井的位置相对于第二井的相对不确定度。可以在钻井期间实时地计算此相对不确定度,并且其可以用来在钻井期间进行后续导向判定。此外,可以通过将第二井的位置中的绝对不确定度和第一井的位置相对于第二井的相对不确定度组合来获得第一井的位置中的绝对不确定度。



1. 一种用于确定第一井上的第一位置与第二井上的相应第二位置之间的相对不确定度的方法,该方法包括:

(a) 获取井内测距数据;

(b) 促使处理器处理在(a)中获取的测距数据以获得第一和第二位置之间的间隔;以及

(c) 促使处理器处理在(b)中获得的间隔和在(a)中获取的测距数据中的至少一个以获得第一和第二位置之间的相对不确定度。

2. 权利要求1的方法,其中,在(c)中获得的相对不确定度是第一位置与第二位置之间的距离中的相对不确定度。

3. 权利要求1的方法,其中,在(c)中获得的相对不确定度包括二维相对不确定度或三维相对不确定度。

4. 权利要求3的方法,其中:

所述二维不确定度是不确定度椭圆;以及

所述三维不确定度是不确定度椭圆柱。

5. 权利要求3的方法,其中,所述二维不确定度包括平面维度和截面维度。

6. 权利要求3的方法,其中:

所述二维不确定度包括径向距离维度和切向维度;以及

所述三维不确定度包括径向距离维度、切向维度和不确定度的第三维度。

7. 权利要求3的方法,其中,所述第一井是目标井并且所述第二井是双井,所述方法还包括:

(d) 在双井中的多个其它位置处重复(a)、(b)和(c)。

8. 权利要求1的方法,其中,所述井内测距数据包括磁测距数据。

9. 权利要求1的方法,其中,在(b)中获得的间隔包括二维向量或三维向量。

10. 权利要求1的方法,其中,(c)还包括促使处理器与使相对不确定度与所述间隔相关的相对误差模型相组合地处理在(b)中获得的间隔。

11. 权利要求1的方法,其中:(c)还包括促使处理器与(i)使第一相对不确定度参数与所述间隔相关的第一相对误差模型和(ii)使第二相对不确定度参数与所述间隔相关的第二相对误差模型相组合地处理在(b)中获得的间隔。

12. 权利要求11的方法,其中,所述第一相对不确定度参数是距离不确定度且所述第二相对不确定度是工具面至目标不确定度。

13. 权利要求1的方法,还包括:

(d) 促使处理器处理在(c)中获得的相对不确定度以确定随后钻取的各井中的其中一个的方向。

14. 一种井规划的方法,包括:

(a) 获取涉及第一井上的相对于第二井的相对位置中的不确定度的相对误差模型;

(b) 使用在(a)中获取的相对误差模型和第一井与第二井之间的预定间隔来计算第一井上的位置相对于第二井的相对不确定度;以及

(c) 使用在(a)中获取的误差模型和在(b)中计算的不确定度来规划用于第一井相对于第二井的井轨迹。

15. 一种用于确定井上的至少一个位置的绝对不确定度的方法,该方法包括;
- (a) 获取第一井上的第一位置的绝对不确定度;
  - (b) 计算第二井上的第二位置相对于第一井上的第一位置的相对不确定度,所述第二位置在所述第一位置的感测范围内;以及
  - (c) 将在(a)中获取的第一井上的第一位置的绝对不确定度与在(b)中计算的第二井上的第二位置的相对不确定度组合以获得第二井上的第二位置的绝对不确定度。
16. 权利要求 15 的方法,其中,所述第一井是目标井并且所述第二井是双井,并且所述方法还包括:
- (d) 在目标井和双井上的多个相应第一和第二位置处重复(a)、(b)和(c)以获得多个绝对不确定度。
17. 权利要求 16 的方法,还包括;
- (e) 对第二双井和目标井对重复(a)、(b)、(c)和(d);以及
  - (f) 比较第一和第二双井和目标井对的相对位置和绝对不确定度。
18. 权利要求 15 的方法,其中,(c)还包括:
- (i) 将在(a)中获取的第一位置的绝对不确定度应用于第二位置;以及
  - (ii) 将在(b)中计算的相对不确定度与在(i)中应用于第二位置的绝对不确定度相加以获得第二位置的绝对不确定度。
19. 权利要求 15 的方法,其中,(b)还包括:
- (i) 获取井内测距数据;
  - (ii) 促使处理器处理在(i)中获取的测距数据以获得第一位置与第二位置之间的间隔;以及
  - (iii) 促使处理器处理在(ii)中获得的间隔和在(i)中获取的测距数据中的至少一个以获得相对不确定度。
20. 权利要求 19 的方法,其中:(iii)还包括促使处理器与使第一不确定度参数与所述间隔相关的第一相对误差模型和使第二不确定度参数与所述间隔相关的第二相对误差模型相组合地处理在(ii)中获得的间隔。
21. 一种用于确定第二井轨迹中的绝对不确定度的方法,该方法包括:
- (a) 使用绝对误差模型来获取第一井上的至少第一位置和第二井上的至少第二位置的绝对不确定度,所述第一和第二位置在彼此的感测范围内;
  - (b) 使用相对误差模型来计算第一位置和第二位置之间的相对不确定度;
  - (c) 根据在(a)中获取的第一位置的绝对不确定度和在(b)中计算的相对不确定度计算用于被用来在(a)中获取绝对不确定度的绝对误差模型的修改参数;
  - (d) 使用在(c)中计算的修改参数来计算第二井上的所选其它位置处的绝对不确定度。
22. 权利要求 21 的方法,其中,(b)还包括:
- (i) 获取第一和第二位置中的一个处的井内测距数据;
  - (ii) 促使处理器处理在(i)中获取的测距数据以获得第一位置与第二位置之间的间隔;以及
  - (iii) 促使处理器处理在(ii)中获得的间隔和在(i)中获取的测距数据中的至少一个以获得相对不确定度。

23. 权利要求 21 的方法, 其中, (c) 还包括:

(i) 使用在(a)中获取的第一位置的绝对不确定度和在(b)中获得的相对不确定度来计算第二位置的替换地导出的绝对不确定度;

(ii) 根据在(i)中计算的替换地导出的绝对不确定度来计算修改参数。

24. 权利要求 21 的方法, 其中, (c) 还包括:

(i) 使用在(a)中获取的第一位置的绝对不确定度和在(b)中获得的相对不确定度来计算第二位置的替换地导出的绝对不确定度;

(ii) 确定在(a)中获取的第二位置的绝对不确定度和在(i)中计算的替换地导出的绝对不确定度之间的重叠; 以及

(iii) 选择修改参数, 使得在(a)中使用的误差模型生成基本上等于在(ii)中确定的重叠的第二位置处的绝对不确定度。

25. 权利要求 21 的方法, 其中, (c) 还包括:

(i) 使用在(a)中获取的第一位置的绝对不确定度和在(b)中获得的相对不确定度来计算替换地导出的第二位置和替换地导出的第二位置的绝对不确定度;

(ii) 确定在(a)中获取的第二位置的绝对不确定度和在(i)中计算的替换地导出的绝对不确定度之间的重叠; 以及

(iii) 选择在(ii)中确定的重叠内的预期第二位置;

(iv) 处理预期第二位置以获得用于第二井轨迹的修正勘测测量; 以及

(v) 选择修改参数, 使得在(a)中使用的误差模型生成基本上等于在(ii)中确定的重叠的第二位置处的绝对不确定度。

26. 权利要求 25 的方法, 其中, 在(i)中计算的替换地导出的第二位置基本上与(iii)中的预期第二位置相同。

27. 权利要求 21 的方法, 其中, 第二井上的所选其它位置具有比第二位置的测量深度更小的测量深度。

28. 权利要求 21 的方法, 其中, 第二井上的所选其它位置具有比第二位置的测量深度更大的测量深度。

29. 一种用于确定井轨迹上的至少一个位置的绝对不确定度的方法, 该方法包括:

(a) 将第一和第二井钻至彼此的感测范围内;

(b) 测量第一井上的至少第一位置与第二井上的至少第二位置之间的间隔;

(c) 计算间隔中的相对不确定度;

(d) 使用绝对误差模型来计算至少第一和第二位置的绝对不确定度;

(e) 将在(d)中计算的第一位置的绝对不确定度与在(c)中计算的相对不确定度组合以获得第二位置的替换绝对不确定度。

30. 权利要求 29 的方法, 其中, 所述第一井是基本上垂直的导井并且所述第二井是基本上 J 形的井。

31. 权利要求 29 的方法, 其中, 所述第一井是目标井并且所述第二井是沿着与目标井基本上相反的方向钻取的双井。

32. 权利要求 29 的方法, 其中, 在(e)中获得的第二位置的替换绝对不确定度小于在(d)中计算的第二位置的绝对不确定度。

33. 权利要求 29 的方法,还包括:

(f) 确定在(d)中计算的第二位置的绝对不确定度与在(e)中获得的替换绝对不确定度之间的重叠。

34. 权利要求 33 的方法,其中,在(f)中确定的重叠基本上等于在(e)中获得的替换绝对不确定度。

35. 权利要求 33 的方法,还包括:

(g)计算用于在(d)中使用的绝对误差模型的修改参数,使得误差模型生成基本上等于在(f)中确定的重叠的绝对不确定度。

36. 权利要求 35 的方法,还包括:

(h)使用在(g)中计算的修改参数来计算第二井上的所选其它位置处的绝对不确定度。

37. 一种用于确定井的绝对不确定度的方法,该方法包括:

(a) 从一个井感测另一井;

(b) 将各井中的其中一个的绝对不确定度传递至其它井;以及

(c) 使用其它井的绝对不确定度来重新计算各井中的至少一个的绝对不确定度。

## 用于地下井的相对和绝对误差模型

### [0001] 相关申请

本申请要求 2009 年 3 月 17 日提交的题为 *Relative and Absolute Error Models for Subterranean Wells* 的美国临时申请序列号 61/160,870 的权益。

### 技术领域

[0002] 本发明一般地涉及诸如供在石油和天然气勘探中使用的钻取和勘测地下井眼。特别地,本发明涉及用于生成对于井轨迹的相对和绝对误差模型的方法和将来自多个井的不确定度(uncertainty)组合以获得改善的误差模型的方法。

### 背景技术

[0003] 在常规钻井应用中,使用误差模型来计算作为测量深度的函数的井轨迹的不确定度。此类误差模型定义作为测量深度的函数的井的位置的不确定度。在此类模型中,与进行和解释勘测测量相关联的不确定度(例如倾斜角、方位角和测量深度)随着测量深度的增加而累积,导致关于井的不确定度圆锥。现有技术误差模型的示例包括由 Wolff 和 DeWardt (1981 年 12 月,石油工艺杂志(Journal of Petroleum Technology))和 Williamson(2000 年 8 月, SPE 67616)公开的那些。Williamson 模型在本领域中一般称为 ISCWSA 模型。这些现有技术模型可以被称为“绝对”误差模型,因为它们涉及井轨迹的绝对或地理位置。现有技术误差模型将任何特定勘测行程(run)内的系统误差(不确定度)考虑在内。这些系统误差本质上在某个范围内是随机且不可定义的。

[0004] 在井成双操作中,双井(或钻取的井)定位为非常接近于目标井(先前存在的井)。每个井的绝对不确定度与井间隔的要求相比通常是大的。因此,与以上所述相反,一般关于(相对于)目标井来参考双井的位置(在任何测量深度处,可以将双井说成是与目标井相距某个距离和方向)。在井成双应用中一般使用磁测距。例如,Kuckes(美国专利 5,589,775)公开了用于井成双的主动测距技术。McElhinney(美国专利 6,985,814)公开了用于井成双的被动测距技术。

[0005] 在蒸汽辅助重力驱油(SAGD)应用中一般利用井成双。在典型的 SAGD 应用中,钻取具有长度上约 1km 或更大的水平截面的双井,其被通常在约 4 至约 20 米范围内的距离垂直地分开。在生产期间,蒸汽被注入到上井(注入井(injector))中以将焦油砂加热。然后从下井(生产井(producer))开采包含在焦油砂和冷凝蒸汽中的加热重油。此类重油开采技术的成功常常取决于产生精确定位的双井,其在整个水平注入/生产区内保持预定的相对间距。需要在地质(在绝对意义上)和相对于彼此(在相对意义上)二者上准确地对井进行定位以实现最佳生产。不适当的定位(在绝对意义上和相对意义这二者上)可能严重地限制来自下井(生产井)的生产,或者甚至导致没有生产。

[0006] 尽管需要双井的此类精确定位,但不存在用于井成双操作的已知相对误差模型。这使得难以评估井的成功放置的可能性。因此,在本领域中存在对一种误差模型的需要,其定义双井相对于目标井的位置的不确定度。另一复杂性是双井的方位角通常由于目标井的

磁干扰而不可直接测量,而是使用目标井来确定。出于调整和规划目的,在本领域中存在对定义双井的绝对位置的不确定度的误差模型的需要。

### 发明内容

[0007] 本发明的示例性方面意图解决对用于包括井成双操作的向下钻进钻井操作的改善的误差模型的上述需要。本发明的一个方面包括一种用于确定相对误差模型以计算双井相对于目标井的位置的不确定度的方法(可以例如相对于任何测量深度处的双井与目标井之间的距离和方向来定义该不确定度)。可以在钻井期间有利地实时地计算此相对不确定度,并且因此可以用于在钻取双井中做出随后的引导判定。在另一方面,本发明包括一种用于确定用于双井的绝对不确定度的方法。该方法涉及将上述相对不确定度与用于目标井的常规绝对不确定度组合以获得用于双井的绝对不确定度。

[0008] 本发明的示例性实施例相比于现有技术方法提供多个技术优点。例如,本发明有利地提供了用于获得用于双井的相对不确定度和绝对不确定度二者的方法。此外,可以在钻井期间有利地实时地计算相对不确定度,并且因此可以使得钻井操作者能够使双井与目标井之间的相对位置(或可能位置的范围)可视化。使用相对误差模型来获得相对不确定度可能是有利的,因为双井之间的相对位置的误差的成本(cost)可能是不对称的。例如,虽然用于生产的最佳间隔可以是约五米,但四米间隔的效果对于适当的开采而言可能是明显不利的(或者甚至是灾难性的),同时六米间隔的成本可能是相对较小的。一米不确定度可能导致规划间隔被增加。因此,相对误差模型的使用可以提供双井相对于目标井的改善的规划和放置。本发明还有利地提供一种用于将双井的相对不确定度与目标井的绝对不确定度组合以获得双井的绝对不确定度的方法。

[0009] 在一方面,本发明包括一种用于确定第一井上的第一位置与第二井上的相应第二位置之间的相对不确定度的方法。经由处理器来获取并处理井内测距数据以获得第一和第二位置之间的间隔。处理器还处理获得的间隔和获取的测距数据中的至少一个以获得第一和第二位置之间的相对不确定度。

[0010] 在另一方面,本发明包括一种用于确定井上的至少一个位置的绝对不确定度的方法。获取第一井上的第一位置的绝对不确定度。计算第二井上的第二位置相对于第一井上的第一位置的相对不确定度。第二位置在第一位置的感测范围内。将第一井上的第一位置的绝对不确定度与第二井上的第二位置的相对不确定度组合以获得第二井上的第二位置的绝对不确定度。

[0011] 在又一方面,本发明包括一种用于确定井轨迹中的绝对不确定度的方法。使用绝对误差模型来获取第一井上的至少第一位置和第二井上的至少第二位置的绝对不确定度。第一和第二位置在彼此的感测范围内。使用相对误差模型来计算第一位置与第二位置之间的相对不确定度。根据获取的第一位置的绝对不确定度和计算的相对不确定度来计算用于绝对误差模型的修改参数。使用在(c)中计算的修改参数计算在第二井上的所选其它位置处的绝对不确定度。

[0012] 在另一方面,本发明包括一种用于确定井轨迹上的至少一个位置的绝对不确定度的方法。第一和第二井被钻至彼此的感测范围内。测量第一井上的至少第一位置与第二井上的至少第二位置之间的间隔。计算间隔中的相对不确定度。使用绝对误差模型来计算至

少第一和第二位置的绝对不确定度。将计算的第一位置的绝对不确定度与计算的相对不确定度组合以获得第二位置的替换绝对不确定度。

[0013] 前述内容已相当广泛地概述了本发明的特征和技术优点,以便可以更好地理解随后的本发明的详细说明。下面将描述形成本发明的权利要求的主题的本发明的附加特征和优点。本领域的技术人员将认识到其可以容易地使用公开的概念和特定实施例作为用于修改或设计其它结构以便执行本发明的相同目的的基础。本领域的技术人员还应实现的是此类等效构造不脱离如随附权利要求所阐述的本发明的精神和范围。

## 附图说明

[0014] 为了更完全地理解本发明及其优点,现在对结合附图进行的以下描述进行参考,在附图中:

图 1 描绘现有技术 SAGD 井成双操作。

[0015] 图 2A、2B 和 2C 描绘示例性 SAGD 井成双生产目标。

[0016] 图 3A 和 3B 描绘依照本发明的相对不确定度的二维椭圆。

[0017] 图 4A 和 4B 描绘在图 3A 和 3B 上所示的相对不确定度的椭圆的平面和截面维度。

[0018] 图 5A 和 5B 描绘 SAGD 成双操作的基本上水平截面的截面图和平面图。

[0019] 图 6 描绘用于在图 5A 上描绘的 SAGD 操作的作为测量深度的函数的相对不确定度的图。

[0020] 图 7A 和 8B 描绘依照本发明的经验相对误差模型的一个示例性实施例。

[0021] 图 8 描绘用于在图 5A 上描绘的 SAGD 操作的作为测量深度的函数的 TVD 不确定度的图。

[0022] 图 9 描绘依照本发明的相对不确定度的三维椭圆柱体。

[0023] 图 10 描绘井眼倾斜角、井眼方位角以及狗腿严重度与用于侧钻操作的测量深度的关系的图。

[0024] 图 11A、11B 和 11C 描绘其中可以利用本发明的方面来获得减小的绝对不确定度的示例性钻井操作。所描绘的示例包括两个井轨迹:主要垂直的导井和具有在导井的感测范围内的主要水平截面的 J 形井。

[0025] 图 12 描绘用于在图 11A — 11C 上描绘的示例的 TVD 不确定度与测量深度的关系的图。

[0026] 图 13A、13B 和 13C 描绘其中可以利用本发明的方面来获得减小的绝对不确定度的另一示例性钻井操作。所描绘的示例包括两个井轨迹:第一 J 形井和第二 J 形井,该第二 J 形井具有在第一井的水平截面之上钻取的水平截面。

[0027] 图 14 描绘用于在图 13A — 13C 上描绘的示例的第二 J 形井的作为测量深度的函数的 TVD 误差的图。

[0028] 图 15 描绘依照本发明的一个示例性方法实施例的流程图。

## 具体实施方式

[0029] 图 1 示意性地描绘诸如 SAGD 成双操作的井成双操作的一个示例性实施例。典型的 SAGD 成双操作要求在第一井 30 的水平部分之上(虽然不一定直接在其之上)将第二井 20



钻基本上固定的距离。第二井一般称为双井或注入井。第二井在本文中还可以称为钻取的井。第一井一般称为目标井或生产井。在所示的示例性实施例中,首先例如使用常规定向钻井和 MWD 技术来钻取生产井 30。然后可以例如使用多个预先磁化的管状物将目标井 30 套住。可以利用磁测距测量来测量双井 20 与目标井 30 之间的距离并引导双井 20 的后续钻井。共同转让的美国专利 7,617,049 和 7,656,161 公开了可以在井成双和 SAGD 操作中利用的磁测距技术。这些专利被整体地通过引用结合到本文中。共同转让的共同待决美国专利申请序列号 12/150,997 (美国公开 2008/0275648) 也被完全通过引用结合到本文中。

[0030] 应理解的是虽然在本文中相对于示例性 SAGD 操作描述了本发明的某些操作,但本发明很明显在这些方面不受限制。特别地,本发明不限于 SAGD 或者甚至一般地井成双操作,而是可以用来构造用于其中可以相对于彼此来测量两个或更多井的相对位置的基本上任何操作的相对和绝对误差模型。此外,本发明不限于被动或主动磁测距测量的使用。可以利用基本上任何适当的测距方法。

[0031] 本文所使用的术语“绝对误差模型”指的是其中相对于固定的单个(搭配)点(例如,地球表面上的井的起始位置)来参考整个井的误差模型。误差模型在通常使用测量结果来计算井的绝对地理位置的意义上是“绝对的”。被搭配到单个点,绝对误差模型中的误差是累积的,并且随测量深度而增加。如此处所使用的那样,术语不一定意图暗指以绝对的确度已知实际误差,或者井位置被 100% 确定为在某个计算体积内。Wolff 和 DeWardt 和 ISCWSA 模型是常规“绝对”误差模型的示例。绝对误差模型到特定井轨迹的应用导致该井轨迹的“绝对不确定度”。

[0032] 术语“相对误差模型”指的是其中相对于另一井上的相应不同参考点(例如,井成双操作中的双井与目标井之间的相应最小距离点)来参考一个井上的所选点的误差模型。相对误差不是累积的,并且因此通常不连续地随测量深度而增加。相对误差模型到特定井轨迹的应用导致该井轨迹中的至少一个位置的相对于另一井轨迹上的至少一个相应位置的“相对不确定度”(应认识到当确定相对不确定度时,可以忽视双井和目标井的绝对不确定度)。

[0033] 图 2A 描绘通过假定 SAGD 井成双生产目标的轴向横截面(注入井 20 相对于生产井 30 的放置)。如所示,生产目标可以包括一个或多个目标,例如,包括(i)可容忍生产目标 40,在该可容忍生产目标 40 下,可以实现小于理想生产,以及(ii)最佳生产目标 45,在该最佳生产目标 45 下,可以实现最佳生产。这些目标对于不同的操作可以是不同的,并且仅仅是出于解释本发明的目的描绘的。同样地,本发明在这些方面不受限制。这些目标在如图 2B 上描绘的某些预定距离处跟随生产井 30。由于目标井 30 的钻井轨迹的变化,可能要求双井 20 (图 1) 的倾斜角和方位角的变化跟随目标井的轨迹。

[0034] 图 2A 还描绘依照本发明的重叠相对误差模型(相对不确定度)。在所示的示例性实施例中,双井与目标井之间的相对位置的不确定度(在本文中称为相对不确定度)被示为一系列的二维椭圆 25,其组合地定义双井通过的可能点的轨迹。这些相对误差椭圆(或如图 9 中的三维椭圆体)在本文中有时称为“不确定度椭圆”。然而,应理解的是相对误差在形状上不一定是椭圆的。术语椭圆和椭圆体在本文中仅仅是为了方便使用如在行业中使用的类似术语而使用(例如,如在 Wolff 和 DeWardt 中)。此类类似语言的使用并不意图是限制性的,而是使得本领域的专业人员能够更容易地认识到本文公开的发明模型。此外,在本发

明的某些实施例中,将双井 20 的相对误差模型与目标井 30 的绝对误差模型组合。还可以将结果得到的组合误差模型说成是以与现有技术误差模型类似的方式包括不确定度椭圆或椭圆柱。

[0035] 继续参考图 2A, 不确定度 25 的椭圆的尺寸和位置的变化显示出作为测量深度的函数的双井 20 与目标井 30 之间的相对位置变化。请注意, 在本示例中, 这些变化是较小的, 并且双井在很大程度上仍在最佳生产目标内。这在图 2 上进一步描绘, 图 2 示出作为测量深度的函数的双井 20 相对于目标井 30 的相对位置。图 2C 示出具有重叠相对不确定度 25 的生产目标的平面图。

[0036] 图 3A 和 3B 更详细地描绘相对不确定度 25 的二维椭圆(再次在从目标井 30 往下看的圆形横截面中)。在图 3A 上所描绘的示例性实施例中, 双井直接位于目标井 30 之上。从距离不确定度 28 和工具面至目标(tool face to target, TFFT)不确定度 27 导出不确定度 25 的椭圆。在图 3B 中, 双井位于目标井 30 左上方。在此特定布置中, 不确定度 25 的椭圆以角度取向, 使得 TFFT 不确定度 27 是切向的, 并且距离不确定度 28 径向于目标井 30。下面更详细地讨论距离和 TFFT 不确定度的计算。应理解的是图 3A 和 3B 未按比例描绘, 并且出于说明目的将不确定度 25 的椭圆在尺寸上放大。还应理解的是在图 3A 和 3B 上描绘的椭圆描绘相对不确定度。

[0037] 还可以相对于如在图 4A 和 4B 上描绘的平面维度  $x$  和截面维度  $y$  来表示不确定度 25 的椭圆。然后可以在平面图和截面图中利用平面和截面维度来描绘相对不确定度。在所描绘的示例性实施例中, 可以以数学方式来表示平面维度  $x$  和截面维度  $y$ , 例如, 如下:

$$x = b + (a - b) \cdot |\cos TFFT| \quad \text{等式 1}$$

$$y = b + (a - b) \cdot |\sin TFFT| \quad \text{等式 2。}$$

[0038] 其中, 在图 4A 和 4B 上描绘了  $a$  和  $b$ , 并且其分别表示 TFFT 不确定度和距离不确定度, 并且  $|\cdot|$  指示量的绝对值。本领域的普通技术人员将很容易能够在图 3A 和 3B 上描绘的井眼参考系与地球参考系(由平面图和截面图举例说明)之间来回移动。

[0039] 图 5A 和 5B 描绘 SAGD 成双操作的基本上水平截面的截面图和平面图。垂直和水平轴以米为单位。在每个视图中示出了生产井 30 和注入井 20 的位置。还示出了关于注入井 20 的相对位置不确定度(从相对误差模型导出)。在截面图中(图 5A), 由截面维度  $y$  (等式 2) 来定义任何特定测量深度处的总相对垂直深度(TVD) 22 中的相对不确定度。在描绘的示例中, 由双井的 TVD 加上  $y$  来给出上不确定度, 同时由双井的 TVD 减去  $y$  来给出下不确定度。请注意, 在本示例中, 相对 TVD 不确定度比双井和目标井之间的垂直距离更小至少一个数量级。如下面更详细地描述的, 相对 TVD 不确定度也明显小于目标井的绝对 TVD 不确定度。

[0040] 图 5B 描绘在图 5A 上描绘的截面图的一部分的平面图(为了清楚起见, 仅示出一部分)。由平面维度  $x$  (等式 1) 来定义任何特定测量深度处的水平不确定度。在描绘的示例中, 通过加上或减去  $x$  来给出水平不确定度 24, 虽然本发明在这方面不受限制。在所示的示例性实施例中, 双井 20 根据规格在目标井 30 的右侧约 0.5 米。

[0041] 图 6 描绘用于在图 5A 上描绘的 SAGD 操作的作为以米为单位的测量深度的函数的

相对不确定度的图。相对不确定度被表示为距离不确定度 21 和 TFFT 不确定度 23。请注意,相对不确定度 21 和 23 二者的幅值随增加的测量深度而增加和减小。如上文所述和下文更详细地描述的,相对不确定度不是累积的,而是趋向于是双井和目标井之间的即时间隔距离的函数。

[0042] 应认识到的是依照本发明的误差模型可以利用从基本上任何源输入(或基于基本上任何源计算)的误差(不确定度)。这些误差可以包括理论和经验观察中的任一者或二者。误差可以基于例如已知传感器误差或传感器分辨率的已知极限。本发明在这些方面不受限制。在上文参考图 5A、5B 以及 6 所述的示例性实施例中,从经由表面测量开发的经验模型获得距离和 TFFT 不确定度。已经发现距离不确定度和 TFFT 不确定度二者与双井和目标井之间的相对距离有关。在图 7A 和 7B 上描绘了此示例性经验相对误差模型。

[0043] 遵照一个示例性程序,图 7A 描绘作为双井 20 与目标井 30 之间的相对距离的函数的相对距离不确定度(在图 3A 和 3B 上描绘的距离不确定度 28)的图。如所描绘的,在约 7 米的相对距离(在双井与目标井之间)处获得最小相对不确定度。随着双井与目标井之间的相对距离减小,目标井周围的磁场分布趋向于由于磁化套管接箍的存在而变得较不均匀。在描绘的示例性实施例中,这趋向于导致随着减小的距离增加相对不确定度。随着相对距离增加超过约 8 米,相对距离不确定度还趋向于由于磁场强度的减小而增加。应认识到在所示的示例性实施例中,系统被设计为在约 7 米的相对距离处具有最小相对误差。本发明当然在这些方面不受限制。

[0044] 图 7B 描绘作为双井与目标井之间的相对距离的函数的由于 TFFT 不确定度(在图 3A 和 3B 上描绘的 TFFT 不确定度 27)而引起的相对位置不确定度的相应图。在描绘的示例性实施例中,TFFT 不确定度随着增加双井与目标井之间的相对距离而增加。在本示例中,TFFT 中的角度不确定度在被观察的距离范围内是相对恒定的,导致随着距离近似线性地增加的切向位置误差。

[0045] 本发明还可以用来确定双井的绝对误差模型。这可以通过将用于目标井的常规绝对不确定度(例如,经由 Wolff 和 DeWardt 模型获得)与用于双井的上述相对不确定度组合来实现。图 8 描绘用于上述 SAGD 操作的一部分的作为测量深度的函数的垂直不确定度(TVD 不确定度)的图。该图描绘常规绝对不确定度 62、相对不确定度 64(其在上文相对于图 3、4 和 5 进行了描述)以及组合不确定度 66。常规绝对不确定度是针对目标井计算(例如,经由常规 Wolff 和 DeWardt 或 ISCWSA 方法)的已接收不确定度。如本领域的普通技术人员已知的,绝对不确定度如所描绘地随着增加测量深度而增加。封闭一系列椭圆(或用于三维模型的椭圆柱体)的包络表现为不断增加的半径的圆锥,并且因此一般称为不确定度圆锥。在所示的示例性实施例中,通过将目标井的绝对不确定度与双井相对于目标井的相对不确定度组合来获得组合不确定度。结果得到的组合不确定度提供用于双井的绝对不确定度。如图 8 上所描绘的,双井与目标井之间的相对不确定度与目标井的绝对不确定度相比是小的(实际上微不足道的)。当然,这是为什么当钻取具有紧密度容限的双井时使用相对定位(例如,经由磁测距)。

[0046] 应认识到图 8 上描绘的组合不确定度定义双井的绝对位置不确定度(图 8 描绘 TVD 不确定度)。如本领域的普通技术人员已知的,常规绝对误差模型定义目标井的绝对不确定度。可以有利地利用本发明的组合误差模型的使用来比较第一和第二对井的相对位置。例

如,在 SAGD 操作中,期望的是将多个井对(即,多对注入井和生产井)充分紧密地间隔开,从而使生产最大化,但不会如此紧密以至于减小所述生产的效率。

[0047] 现在参考图 9,还可以在每个(或在所选)测量点(勘测站)处在三个维度上计算相对不确定度。图 9 描绘由距离不确定度 28、TFTT 不确定度 27 和不确定度的第三维度 29 定义的不确定度的卵形(或椭圆柱体)。例如,可以如上所述地估计距离不确定度和 TFTT 不确定度。不确定度的第三维度可以例如与测量深度不确定度有关,然而,本发明在这方面不受限制。

[0048] 图 10 描绘本发明的另一方面。图 10 示出用于使用重力 MWD (在共同转让美国专利 7,080,460 中更详细地描述了重力 MWD)的侧钻操作的 y 轴(垂直轴)上的井眼倾斜角 72、井眼方位角 74 以及狗腿严重度 76 与 x 轴(水平轴)上的测量深度的关系的图。将原始井称为第一井。将侧钻井称为第二井。在所示的示例性实施例中,作为第二井的测量深度的函数来显示来自第一和第二井的信息。在本特定示例中,第二井相对于原始(第一)井减小倾斜角(下降)并增加方位角(向右转)。应理解的是来自第一井的勘测数据(倾斜角、方位角等)被绘制为第二井的测量深度的函数。在本特定实施例中,将第二井中的预定测量深度处的数据与来自第一井上的相应点的数据相比较。应理解的是第一井上的测量深度通常不与第二井上的那些相同(由于曲率、弯曲度等的差异)。可以使用距第二井上的预定测量深度的最小距离计算来确定第一井上的相应点。然后绘图在第二井的预定测量深度处的感兴趣的数据(倾斜角、方位角等)。

[0049] 结果得到的图(如图 10 上所示)使得能够进行预定测量深度处的第二井的特征与第一井上的相应点(其与那些预定测量深度相距最小距离)的有意义比较。应理解的是本发明不受描绘的实施例的限制。例如,能够计算基本上任何数目的井。此外,还可以对任何井的测量深度与用于井的数据的关系进行绘图。还可以利用归一化距离(深度)。本发明不限于测量深度。同样地可以利用其它参数。

[0050] 相对于图 11 和 12 来描述本发明的另一方面。图 11A 描绘第一和第二地下井眼 82 和 86。第一井 82 是具有垂直、狗腿和水平截面的常规 J 形井。在包括前述 SAGD 应用的许多油田应用中通常钻取此类井。第二井 86 是在 J 形井 82 的感测范围(例如,磁感测范围)内交叉(intercept)或通过的垂直导井。在本文中两个井 82 和 86 在彼此的感测范围内所处的点(例如,在最接近点处)称为“交叉”89 (该交叉在井通常不相互接触的意义上通常不是真实交叉)。从图 11A 上的示意性描绘应认识到 J 形井 82 在交叉 89 处具有比垂直导井 86 明显更大的测量深度。

[0051] 图 11B 添加 J 形井 82 和导井 86 的常规绝对不确定度 83 和 87 的描绘,其中的每一个表示以各个井轨迹为中心的不确定度圆锥。可以例如使用常规 Wolff 和 DeWardt 和 / 或 ISCWSA 方法来计算这些标准误差模型。如上所述(和如所描绘的),结果得到的绝对不确定度随着增加井 82 和 86 的测量深度而单调增加。如本领域的普通技术人员所已知的,这导致任何特定测量深度处的限定不确定度(或不确定度体积)。由于其较小的测量深度和较不复杂的井轨迹,与 J 形井 82 的绝对不确定度 83 相比,导井 86 在交叉 89 处具有明显较低的绝对不确定度 87。

[0052] 基于前述讨论应理解的是可以使用两种不同方法来确定 J 形井 82 上的交叉 89 的标称位置:(i) J 形井 82 的标准勘测,以及(ii)与在交叉 89 处的 J 形井 82 相对于导井 86

的相对位置的测量相组合的垂直导井 86 的标准勘测。还应理解的是使用这两种方法中的后者,位置不确定度常常将明显较小。本发明的一方面是可以使用交叉 89 处的导井 86 的绝对不确定度来确定交叉 89 处的 J 形井 82 的绝对不确定度的实现。这可能导致交叉 89 处的 J 形井 82 的绝对不确定度的明显减小。此外,可以使用 J 形井 82 的新标称位置和绝对不确定度来导出对 J 形井的先前进行的勘测测量的修正。

[0053] 现在参考图 11C,可以利用替换地导出的位置、修正和 / 或绝对不确定度(如在上一段落中所述的从导井 86 至 J 形井 82)沿着 J 形井 82 的回溯地返回至地面的轨迹来重新计算其绝对位置和不确定度。然后可以随着钻井继续通过垂直导井 86 将修正应用于 J 形井 82 的附加钻井。测量的减小的不确定度和增强的置信度导致比用测量深度通常将预期的更慢地增加的绝对误差(不确定度)。结果得到的用于 J 形井 82 的组合绝对不确定度 85 趋向于比使用常规方法获得的明显更小。应认识到还可以在钻井期间基本上实时地计算组合不确定度。例如,在其中 J 形井 82 在钻井期间与垂直导井 86 交叉的操作中,可以在交叉时回溯地向地面应用组合误差模型并随着钻井的进行而实时地向前(在交叉之后)。本发明在这些方面不受限制。

[0054] 继续参考图 11C,应理解的是导井 86 的不确定度 87 通常在维度上不以一对一的方式与 J 形井 82 的不确定度 83 相对应。例如,如果导井真正地垂直(在交叉处具有零倾斜角)且 J 形井真正地水平(在交叉处具有 90 度倾斜角),则导井中的测量深度误差紧密地与 J 形井中的倾斜角误差相对应(这在下文中参考图 15 来更详细地讨论)。还应认识到图 11A — 11C 不一定按比例描绘。特别地,J 形井一般具有比相应的垂直和狗腿截面长得多的水平截面(例如,约几千米的水平截面和约几百米的垂直截面)。因此还应认识到在图 11A — 11C 上所示的示意性描绘中趋向于低估绝对不确定度的可实现改善。

[0055] 图 12 描绘用于上文相对于图 11A — 11C 描述的示例的 TVD 不确定度与测量深度的关系的图。在此图中,显示了 TVD 中的误差,虽然应理解的是可以替换地使用任何维度中的误差,并且其将趋向于表现出相同(或几乎相同)的特性。在 92 处对 J 形井 82 的常规绝对不确定度进行绘图,并且在 94 处对组合不确定度(使用上文相对于图 11C 所述的方法获取)进行绘图。图 12 再次举例说明依照本发明的方面的能够使用组合误差模型实现的不确定度的明显减小。

[0056] 继续参考图 12,在 SAGD 操作期间一般使 J 形井(诸如图 11A 上的井 82)成双。如上所述,可以计算双井与目标井之间的相对不确定度。在 96 处描绘了此相对不确定度。还可以将在 96 处描绘的相对不确定度与在 94 处描绘的组合不确定度(如上所述)组合以获得假定双井的绝对不确定度(在图 11A — 11C 上未示出双井)。在 98 处描绘了此进一步组合的不确定度。结果得到的用于双井和目标井二者的绝对不确定度(在 98 和 94 处描绘)趋向于明显小于使用常规方法(在 92 处描绘)获得的绝对不确定度。

[0057] 相对于图 13 和 14 来描述本发明的另一方面。在常规 SAGD 操作中,在与目标井(通常来自同一基座)相同的方向上(并基本上与所述目标井平行)钻取双井。上文相对于图 1 — 9 描述了用于此类操作的相对和组合误差模型的确定。图 13A 描绘了其中双井 J-2 着陆(Land)于目标井 J-1 的远端处或附近并随后在目标井 J-1 的相反方向上沿着目标井的水平截面钻井的替换成双方案(在图 13A 的示意图中,J-1 的水平截面被向左钻,而 J-2 的水平截面被向右钻)。通过着陆,意味着双井 J-2 的倾斜角在目标井 J-1 的末端处或附近构

建成接近水平。“着陆点”101 在目标井 J-1 的感测范围(例如磁感测范围)内,并且在本文中还可以称为交叉或交叉点(着陆点 101 有点类似于在图 11A — 11C 上描绘的交叉点 89)。通过相反的方向,意味着双井被在目标井“之上钻取”,使得双井的水平截面的方位角偏离目标井的方位角约 180 度。

[0058] 图 13B 描绘用于 J 形井 J-1 和 J-2 中的每一个的直至着陆点 101 的常规绝对不确定度。可以例如使用常规 Wolff 和 DeWardt 和 / 或 ISCWSA 方法来计算这些标准误差。如上文相对于图 11B 所述(和如所描绘的),可以用不确定度圆锥来表示结果得到的标准误差,其中,不确定度随着增加井的测量深度而单调增加。由于不同的井轨迹,J-2 井的绝对不确定度明显小于着陆 101 处的 J-1 井的绝对不确定度。

[0059] 现在参考图 13C (并如上文相对于图 11C 所述),在着陆点 101 处的目标井 J-1 的绝对不确定度的替换确定中可以使用双井 J-2 的绝对不确定度。在这种意义上,可以认为双井 J-2 在功能上与上文相对于图 11A — 11C 所述的垂直导井是等效的。遵照上文讨论的开发,可以使用双井 J-2 的计算的位置和绝对不确定度来减小目标井 J-1 的绝对位置不确定度(误差)。然后可以沿着如所描绘的目标井 J-1 回溯地返回地面的轨迹来重新计算其绝对不确定度。这导致与使用常规误差模型获得的不确定度相比不确定度的明显减小。使用上述相对定位技术沿着目标井 J-1 的水平截面继续钻双井 J-2。可以如上文相对于图 1 — 7 所述地计算双井 J-2 与目标井 J-1 之间的相对不确定度。

[0060] 图 14 描绘用于上文相对于图 13A — 13C 所述的示例的作为双井 J-2 的测量深度的函数的 TVD 误差的图(如上文相对于图 12 阐述的,还可以考虑其它误差维度)。在 103 和 105 处描绘了用于双井 J-2 和目标井 J-1 的常规绝对不确定度。在 107 处描绘了用于目标井 J-1 的组合绝对不确定度。在 108 处描绘了双井 J-2 与目标井 J-1 之间的相对不确定度。在 109 处描绘了双井 J-1 的进一步组合绝对不确定度。图 14 描绘双井 J-2 和目标井 J-1 二者的绝对不确定度的急剧减小。

[0061] 应理解的是本发明不仅仅限于 SAGD 或井成双应用。相反,可以在大范围的钻井应用中有利地利用依照本发明的方法。例如,可以在诸如减压钻井和井排查操作的浅角度交叉中和诸如导井和煤层甲烷交叉的垂直与水平交叉中有利地利用组合误差模型。还可以在地面至地面或地面至近地面操作(诸如平台至平台、海底至海底和穿越河流操作)中利用本发明。还可以在基本上任何多井环境中有利地利用本发明,并且其可以适合于使用已知交叉点对先前存在的储层进行重新建模。此类重新建模可以有利地改善现有井的位置确定度并降低碰撞的可能性。

[0062] 还将认识到本发明不限于两个或更多井之间的交叉。例如,可以基于井和此类结构之间的 MWD、LWD、金属线或相对位置的其它测量将岩层边界、液体接触、断层及其它已知地球物理学结构的位置确定度应用于井。

[0063] 现在相对于图 15 上描绘的流程图和上文相对于图 11A — 11C 和图 13A — 13C 描述的示例来更详细地描述本发明。图 11A 上所描绘的示例包括两个井轨迹:第一个,其是主要垂直的(导井 82),以及第二个,其是主要水平的(J 形井 86 的水平截面)。在图 13A 上描绘的示例同样描绘两个井轨迹:第一 J 形井 J-1 和在第一井 J-1 “之上钻取”的第二 J 形井 J-2。在这些示例中的每一个中,两个井由于不同的井轨迹(和测量深度)在交叉 89 和 101 处具有显著不同的绝对不确定度。图 15 的流程图描绘其中第一井 Wa 内的至少一个位置在

第二井 Wb 中的至少一个位置的感测范围(或交叉)内的示例。在“交叉”处,可以使用常规勘测测量来确定两个井中的每一个的标称位置 La 和 Lb。可以使用上文参考的现有技术绝对误差模型来确定位置 La 和 Lb 的绝对不确定度 Ua 和 Ub。在本示例中,假设  $Ua \ll Ub$ , 虽然本发明在这方面不受限制。

[0064] 可以例如使用井内测距技术来测量两个井之间的相对间隔并将其表示为 Lr。例如,可以如上文相对于图 1 — 7 所述地获得此确定中的相对不确定度 Ur。通常, Ur 还显著地小于 Ub (在本文中表示为  $Ur \ll Ub$ ), 虽然本发明在这方面再次不受限制。可以替换地根据 La 和 Lr (例如,经由向量加法)来确定位置 Lb, 使得  $Lb_2 = La + Lr$ 。此外,可以通过将 Ua 和 Ur 组合来确定替换地计算的位置 Lb2 的不确定度。该替换地计算的绝对不确定度 Ub2 通常也比 Ub 小得多 ( $Ub_2 \ll Ub$ ), 因为 Ua 和 Ur 二者通常比 Ub 小得多。

[0065] 在考虑本假定示例时,应认识到用来确定上文参考的位置的勘测通常包括一组勘测测量(其中每个勘测测量包括测量深度、井眼倾斜角和井眼方位角), 并且遵照现有技术程序, 采用其中这些测量中的每一个被某个最大值的一组未知、但基本上恒定的系统误差污染的模型来确定不确定度。现在参考图 15, 可以修正第二井的整个井轨迹 Wb 的位置, 并且经由第一井 Wa 的使用来减小该位置中的不确定度。

[0066] 在 202 处, 可以利用标准勘测方法和现有技术误差模型(例如, Wolff 和 DeWardt)来确定位置 La 和 Lb 及其相应的绝对不确定度 Ua 和 Ub。这些勘测方法可以包括基本上任何金属线和 / 或 MWD 测量, 并且还可以包括诸如多站分析的各种已知改进。在 204 处, 利用井内测距测量来确定两个井 Lr 之间的相对间隔(在两个井 Wa 和 Wb 在彼此的感测范围内的某个点处)和该间隔 Ur 中的相应相对不确定度。这些井内测距测量可以包括例如各种主动和 / 或被动测距方法(例如, 如共同转让的美国专利 7, 617, 049 和 7, 656, 161 中所述)。可以例如经由上文相对于图 2 — 7 所述的方法来确定相对不确定度 Ur。

[0067] 在 206 处, 经由将 La 和 Lr 组合(例如, 经由三维向量加法)来确定替换位置 Lb2。替换位置 Lb2 通常与先前确定的位置 Lb 不同。在 208 处, 如上文相对于图 8 所述地经由将 Ua 和 Ur 组合来确定替换不确定度 Ub2。Ub2 通常还明显小于 Ub (因为 Ua 和 Ur 每个明显小于 Ub)。步骤 208 还可以包括确实 Ub2 的确小于 Ub。

[0068] 在 210 处, 确定不确定度 Ub 和 Ub2 之间的重叠(例如, 重叠体积)Ub3 (该重叠不一定是三维体积)。如果不确定度 Ub 和 Ub2 不重叠, 则可以将其取作在先前步骤中的至少一个中存在误差的可能信号。然后可以在 212 处选择预期位置 Lb3, 使得 Lb3 在重叠 Ub3 内(例如, 以其为中心)。在其中  $Ub_2 \ll Ub$  的典型实施例中, 不确定度 Ub2 的体积一般完全位于 Ub 内, 使得重叠 Ub3 等于 Ub2。在此类实施例中, 可以将预期位置 Lh3 取为等于 Lh2, 虽然本发明在这方面不受限制。

[0069] 在 214 中, 通过确定采用的误差模型所使用的一组恒定系统误差来修正用于井 Wb 的原始勘测测量, 从而确定改善的一组勘测测量。特别地, 可以在原始 Wb 勘测测量(例如, 在 202 中用来确定 Lb 的测量深度、井眼倾斜角和井眼方位角值)中确定系统误差, 使得结果得到的位置 Lb4 等于 Lb3。在应用修正的情况下, 该勘测组形成用于井 Wb 的新限定井轨迹。通常需要随后确实所确定的系统误差在预期误差容限内, 并将这样确定的偏置值视为在 Wb 中使用的现有传感器的重新校准的修正。在 216 中, 还可以修改用来在 202 中确定 Ub 的原始系统误差, 使得新计算的绝对不确定度 Ub4 等于不确定度 Ub3 (重叠 Ub3)。可以例如经

由分析方法或数值技术来确定新系统误差(在本文中也称为修改参数)。本发明在这方面不受限制。

[0070] 在 218 中,可以追溯地将在 214 中确定的修正勘测测量和在 216 中确定的修正系统误差应用于 Wb 中的其它位置以获得井轨迹的更好估计和不确定度的改善(下体积)圆锥(例如,如图 11C 和 13C 上所描绘的)。

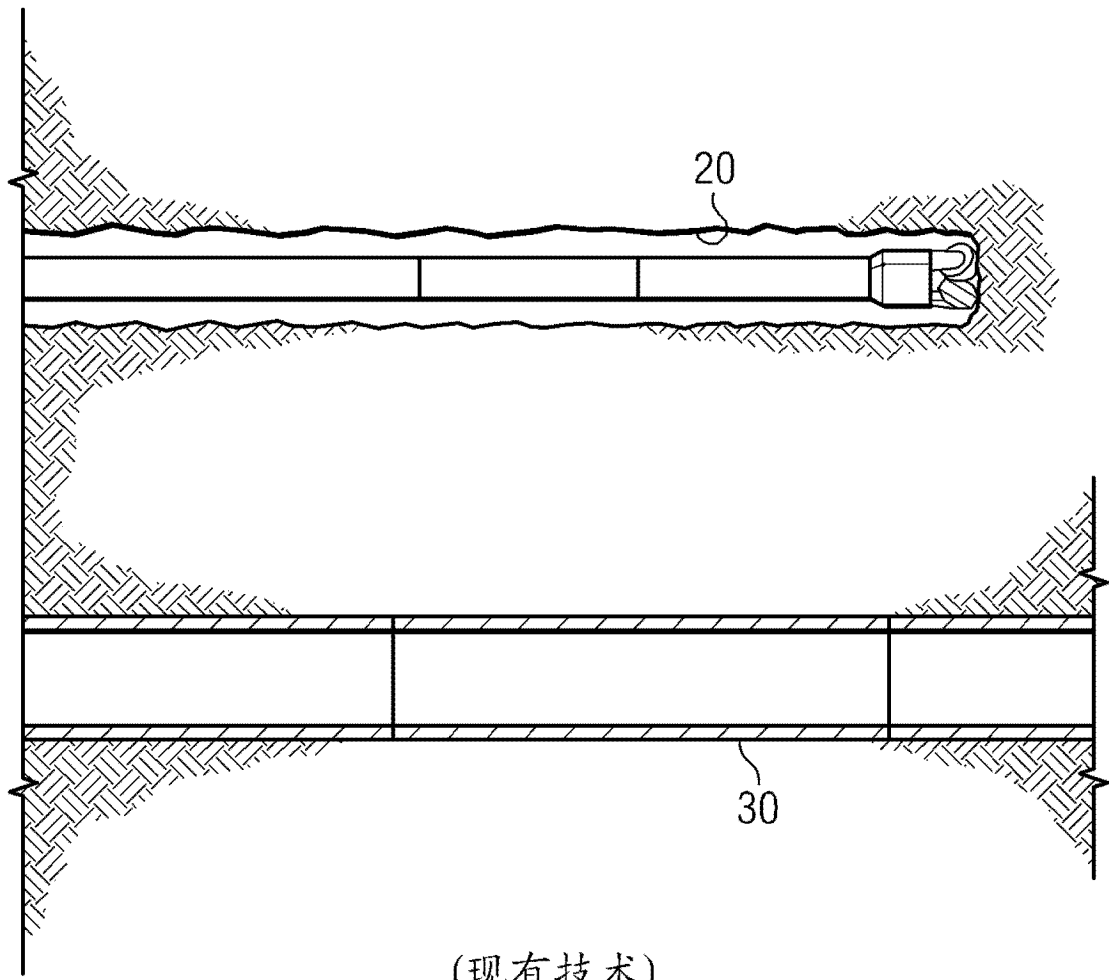
[0071] 虽然上文相对于其中一个井的不确定度明显小于另一个的不确定度的实施例描述了本发明的示例性方面,但应理解的是本发明在这方面不受限制。通常,可能期望结合其它独立测量以改善井的确定度(减小不确定度)。当任何两个井相交时(即在彼此的感测范围内),有可能通过考虑二者的误差和二者之间的相对位置测量来减小任一或两个井的不确定度。此减小是可能的(根据操作细节),因为现在存在定义交叉的位置的多个独立测量(例如,勘测)。

[0072] 在另一应用中,有可能确定用于井 Wb 的地理(或地层)位置。例如,如果井 Wb 在已识别地层标记的 TVD 众所周知的情况下在井 Wa 附近通过,即使当井 Wa 和 Wb 不在彼此的感测范围内,也有可能使用来自井 Wa 的 TVD。这可以允许用允许更好地定义遍及井 Wb 的 TVD 的方式来修正 TVD 误差。此类改善例如在储层建模中可能是有用的。

[0073] 应理解的是可以将本发明的方面和特征体现为可以由例如计算机、微处理器、硬件、固件、可编程电路或在本领域中众所周知的任何其它处理设备来处理的逻辑。同样地,如也在本领域中众所周知的,可以将该逻辑体现在适合于由计算机处理器执行的软件上。本发明在这方面不受限制。软件、固件和 / 或处理设备通常位于地面处(虽然本发明在这方面不受限制),并被配置为处理由传感器组经由也在本领域中众所周知的遥测技术或数据链路系统发送到地面的数据。诸如逻辑、软件或者测量或处理的数据的电子信息可以被存储在存储器(易失性或非易失性)中或诸如本领域中众所周知的常规电子数据存储设备上。

[0074] 虽然已详细地描述了本发明及其优点,但应当理解的是在不脱离由所附权利要求限定的本发明的精神和范围的情况下可以在本文中进行各种变更、替换和修改。





(现有技术)

图 1

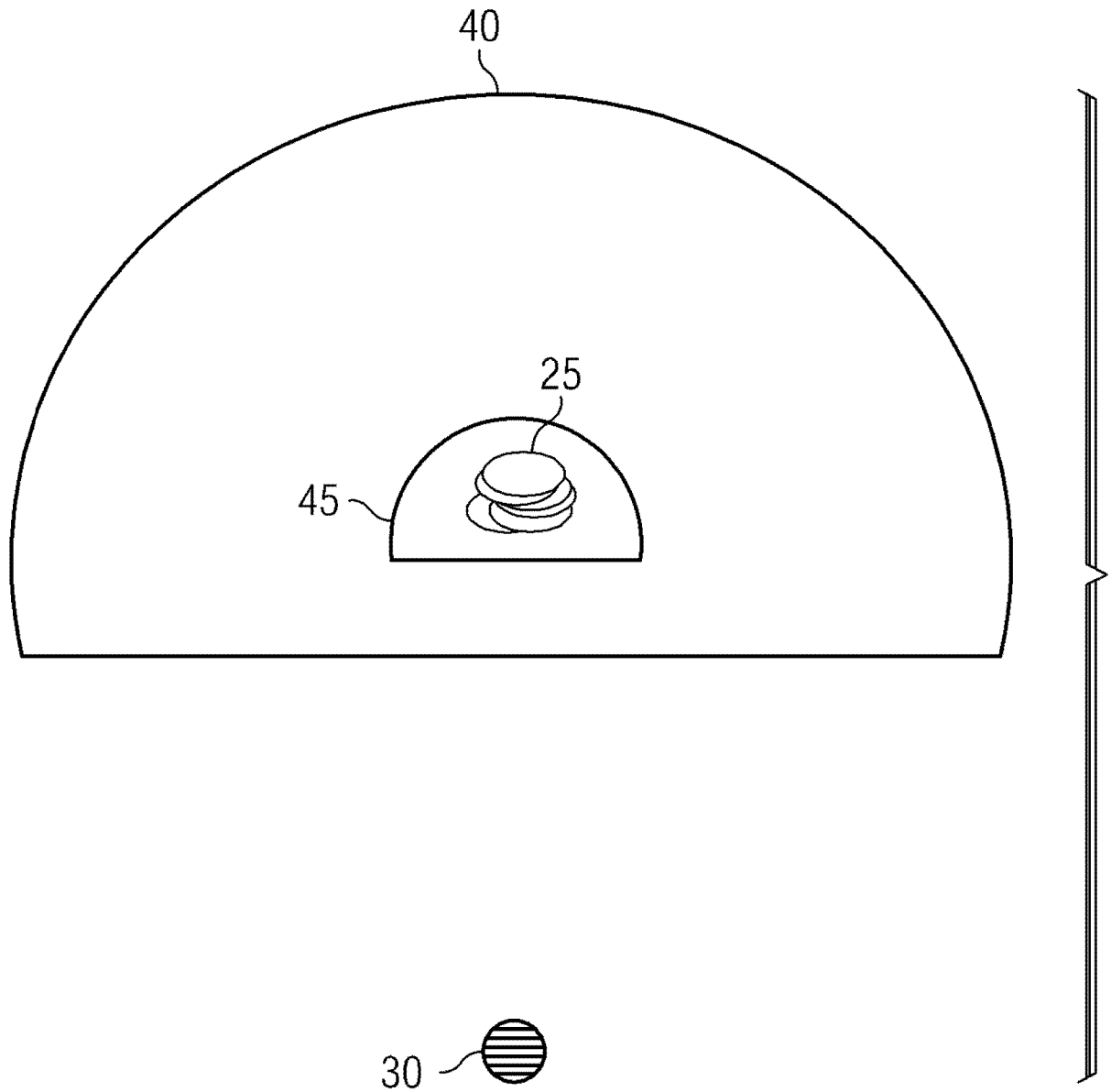


图 2A

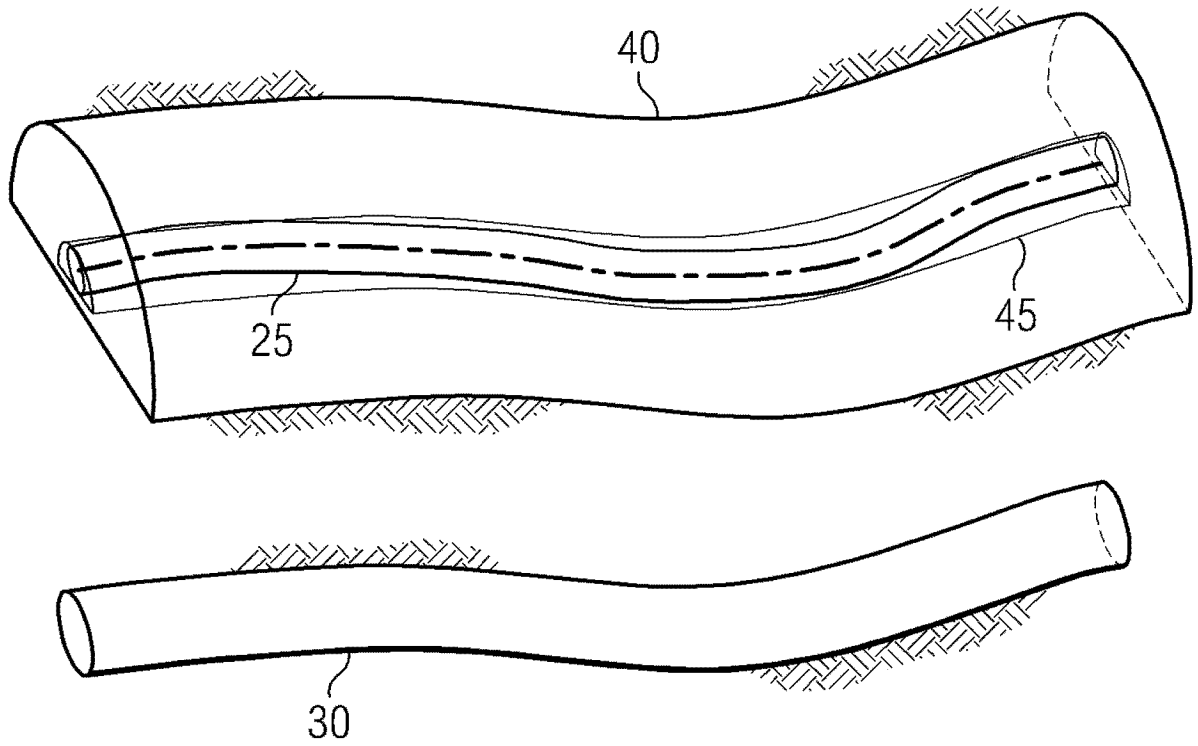


图 2B

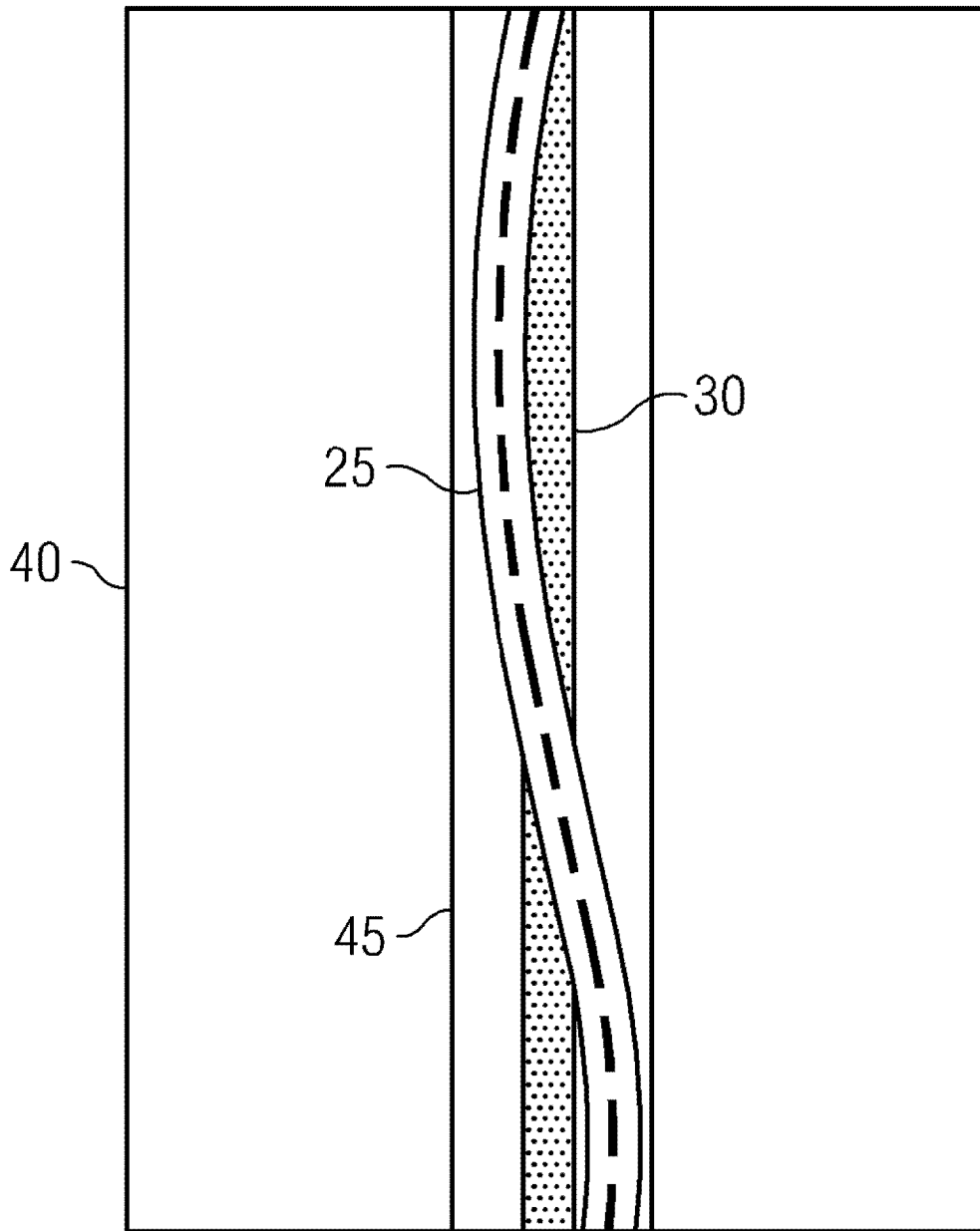


图 2C

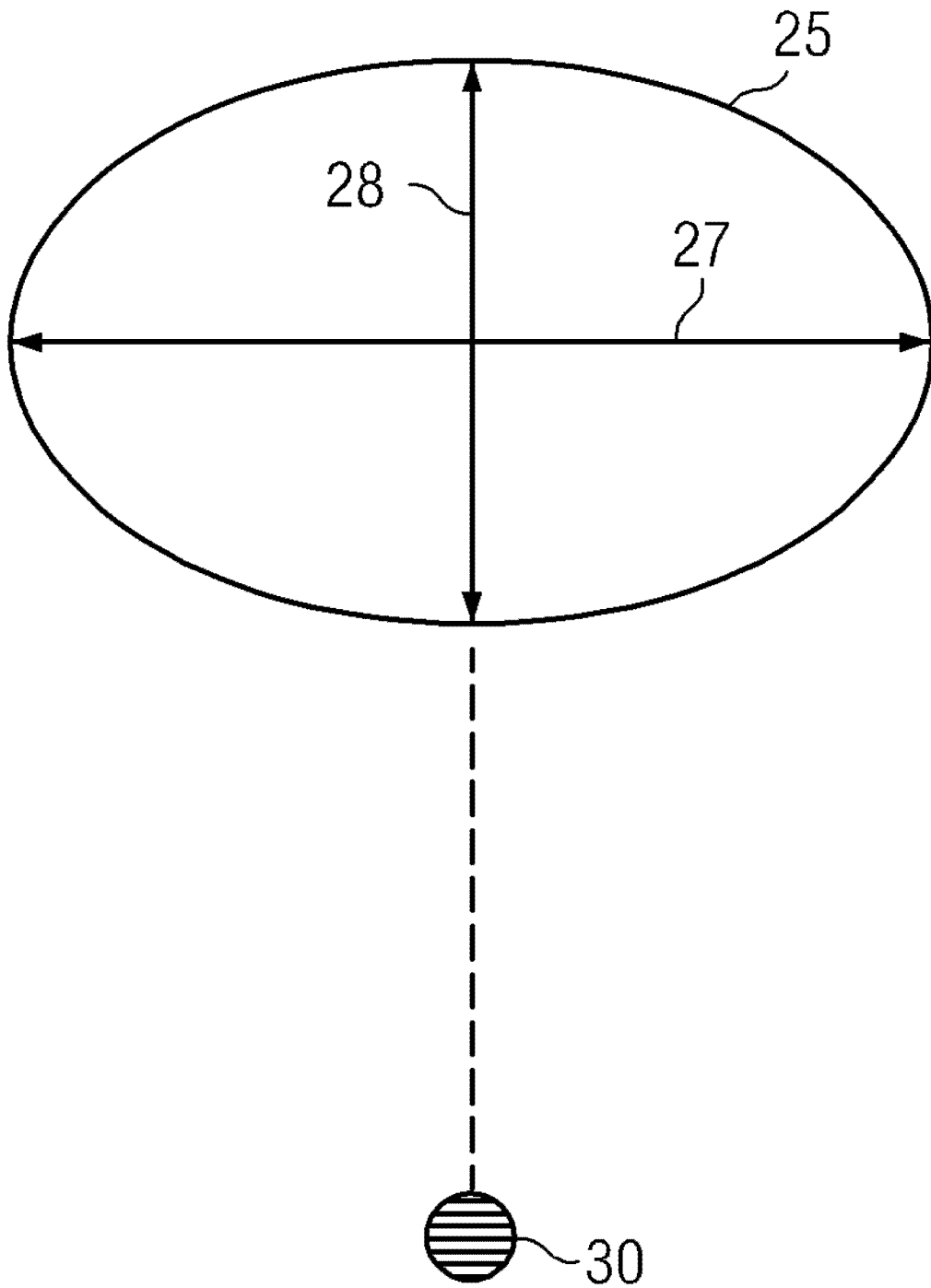


图 3A

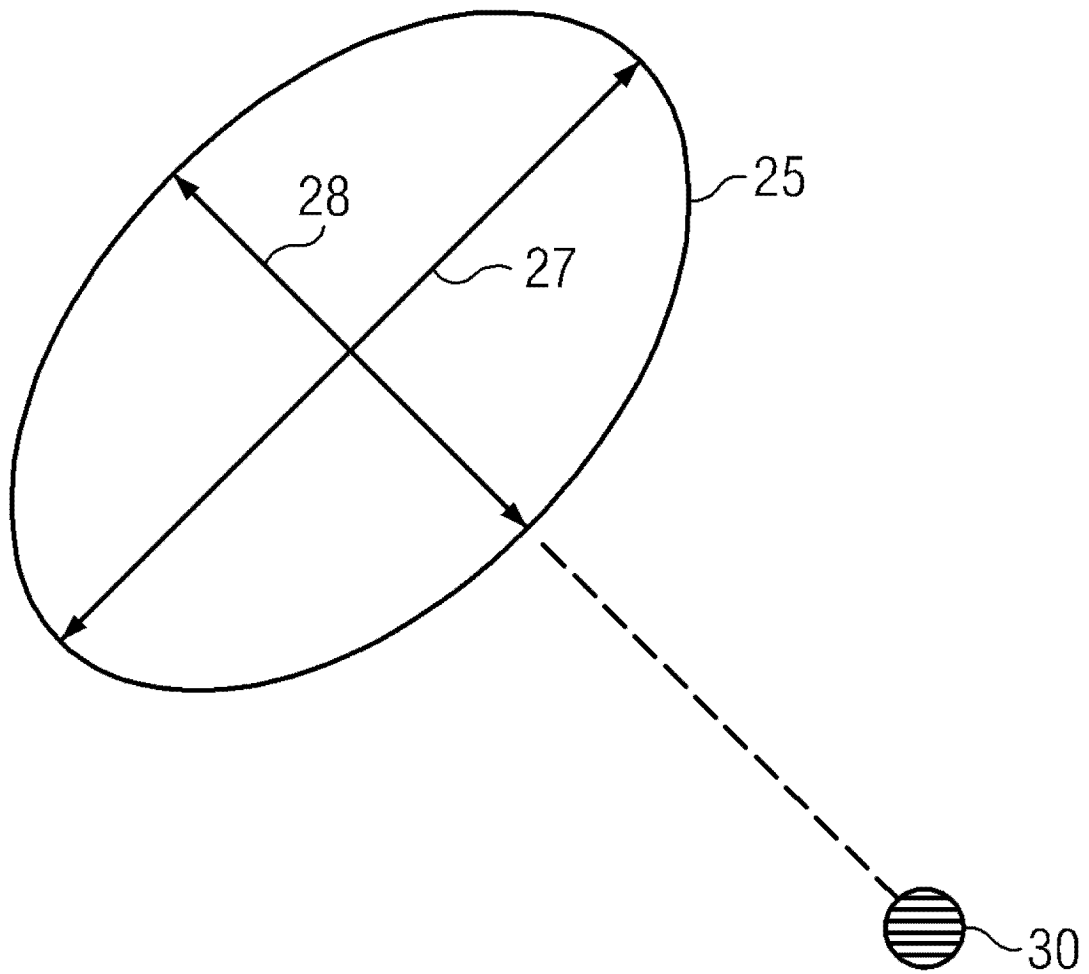


图 3B

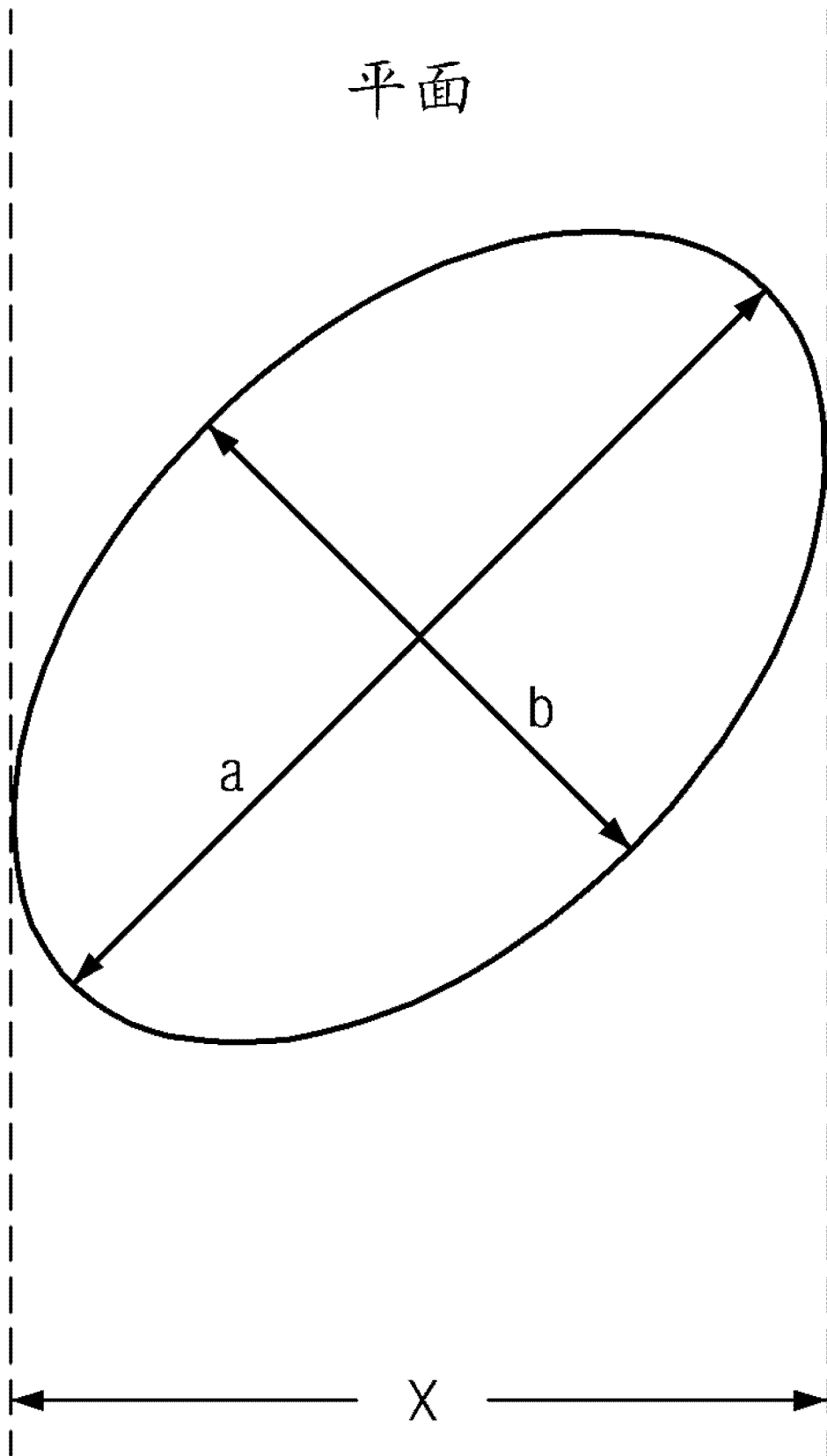


图 4A

截面

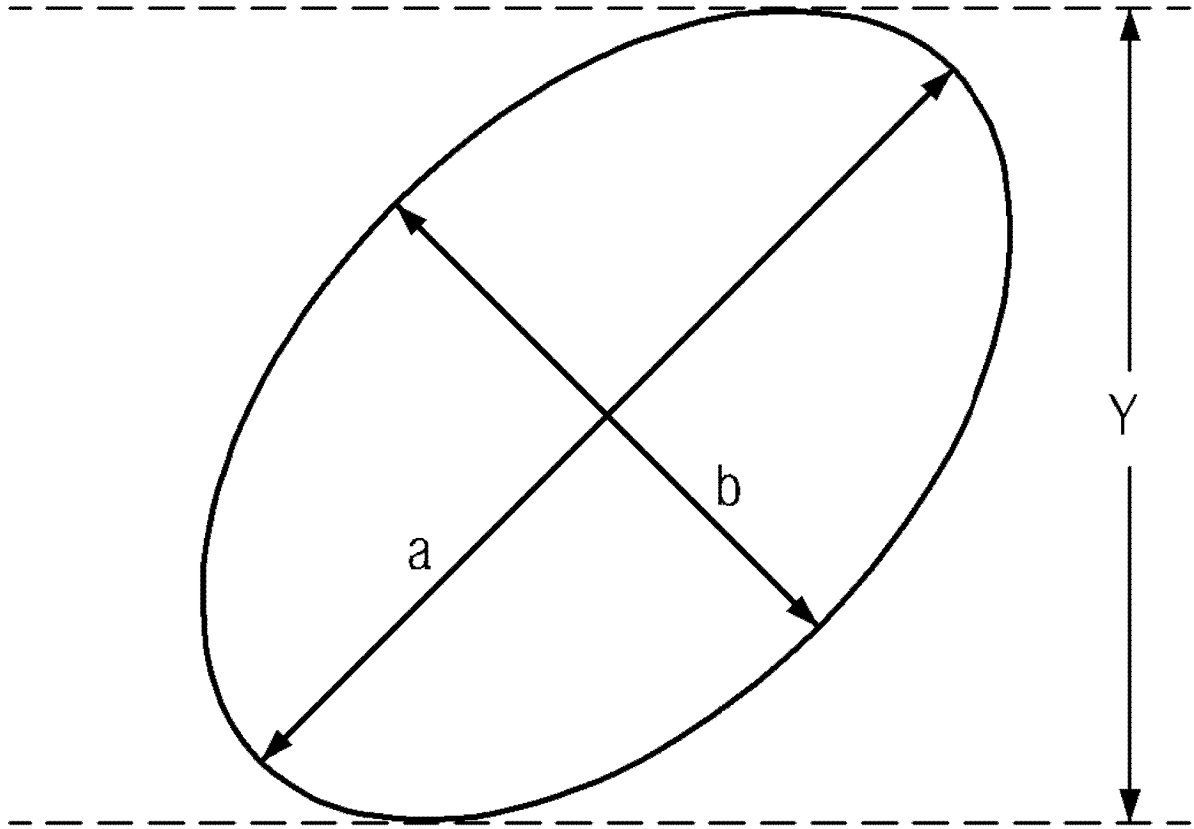


图 4B



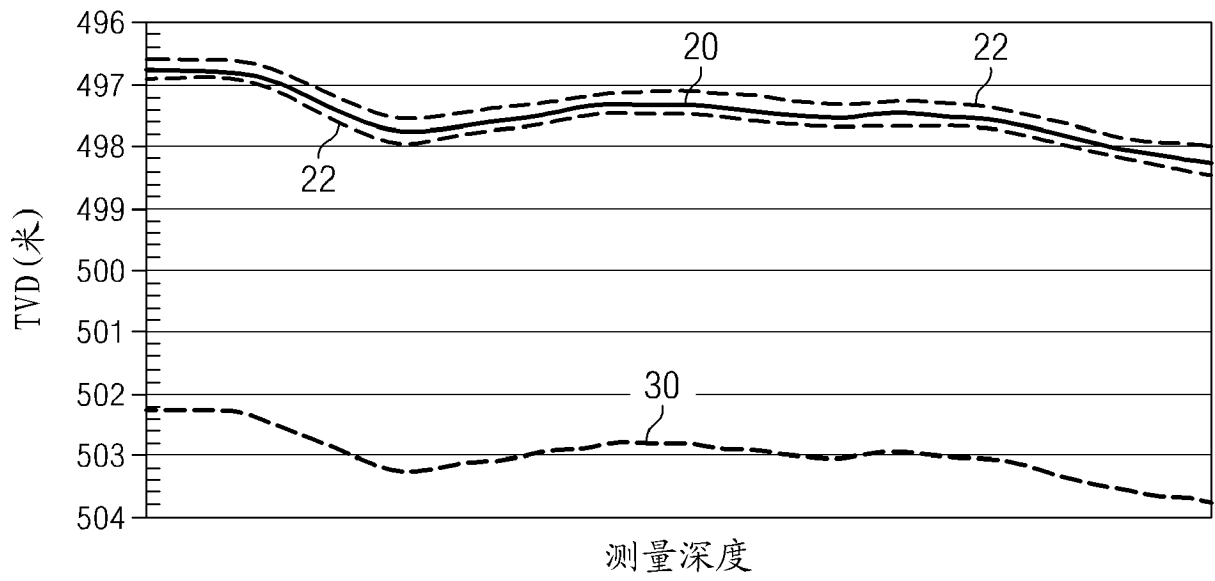


图 5A

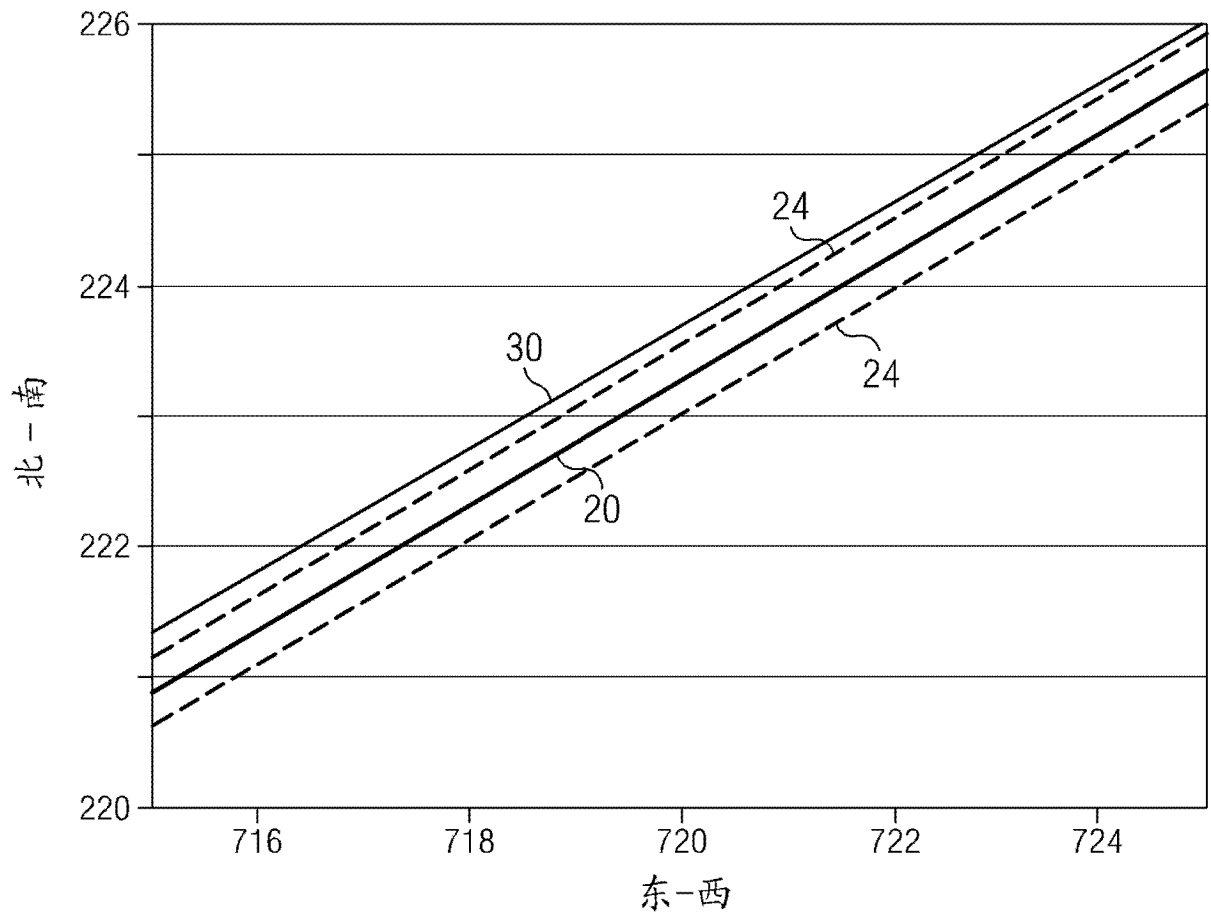


图 5B

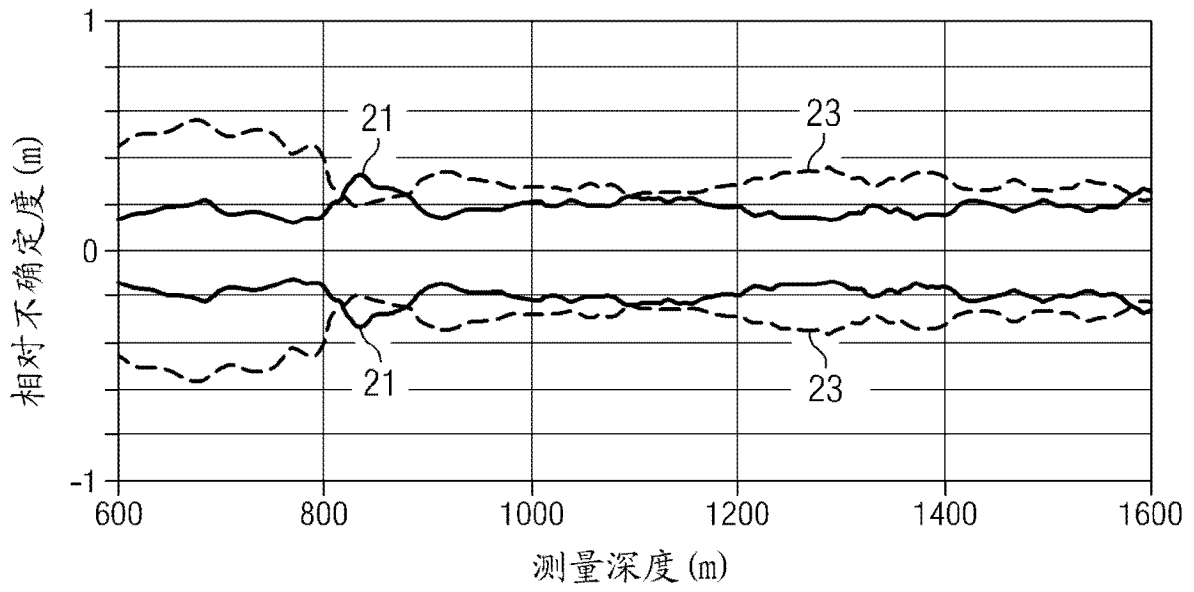


图 6

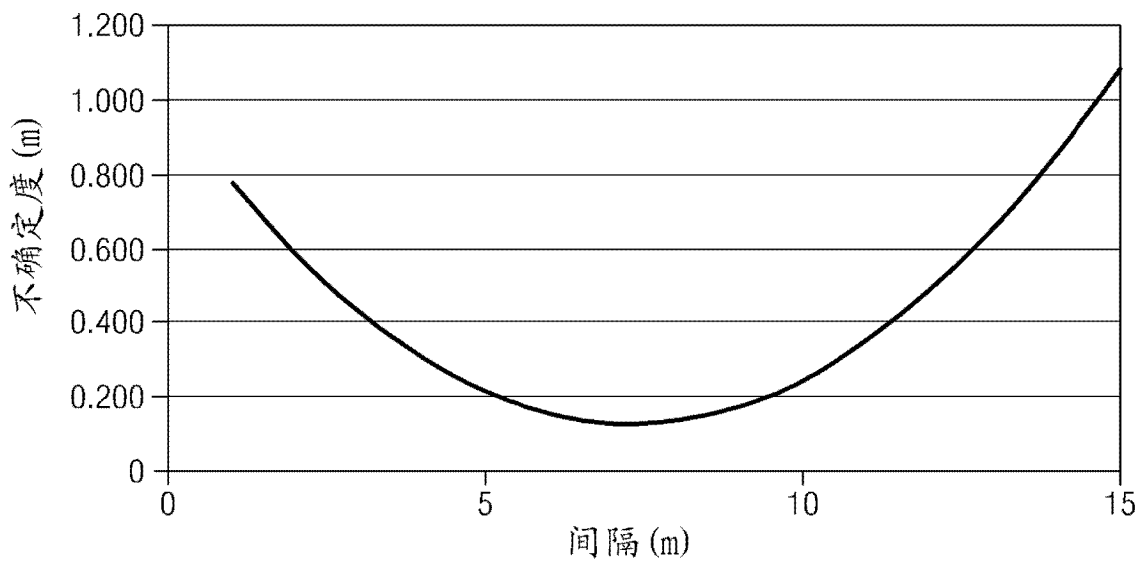


图 7A

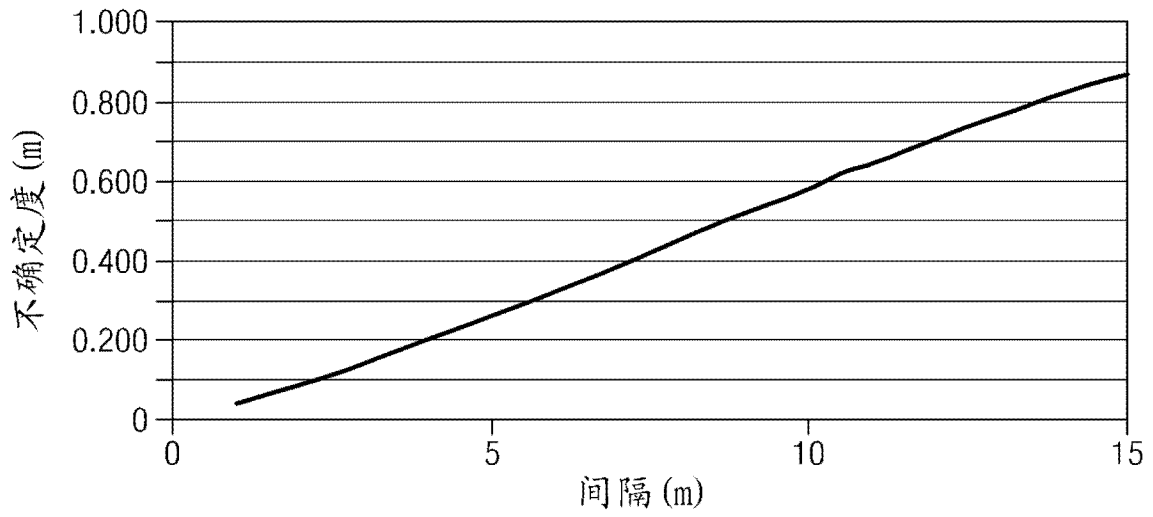


图 7B

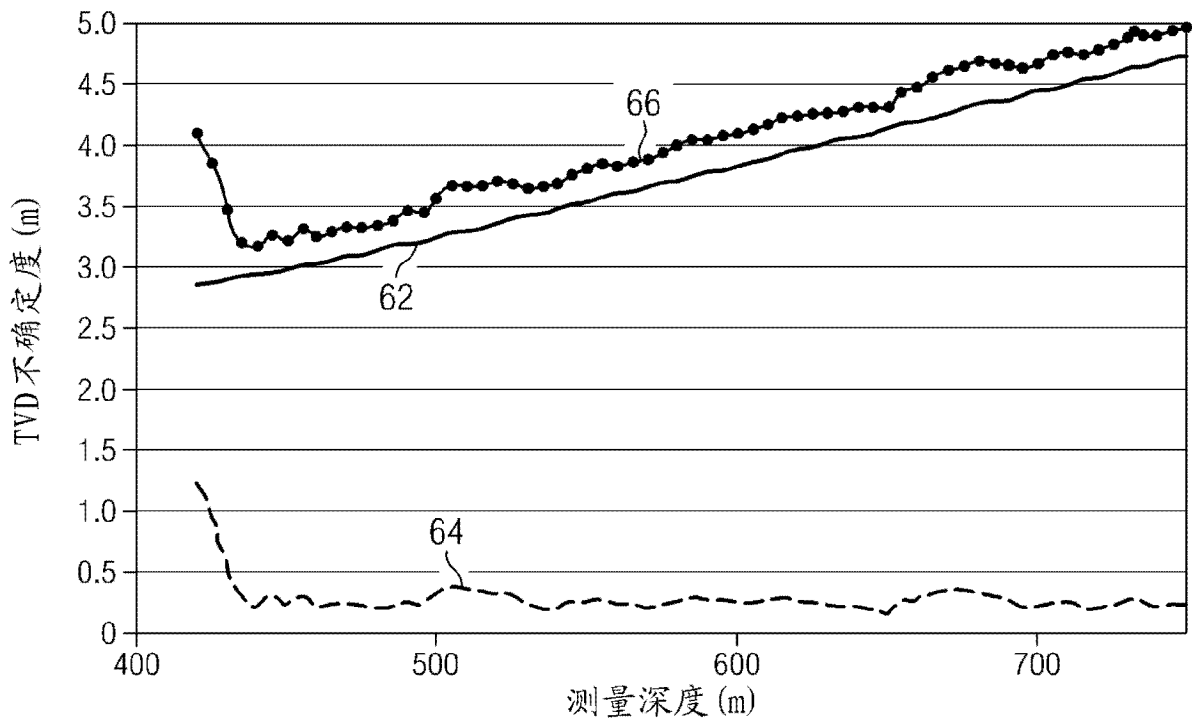


图 8

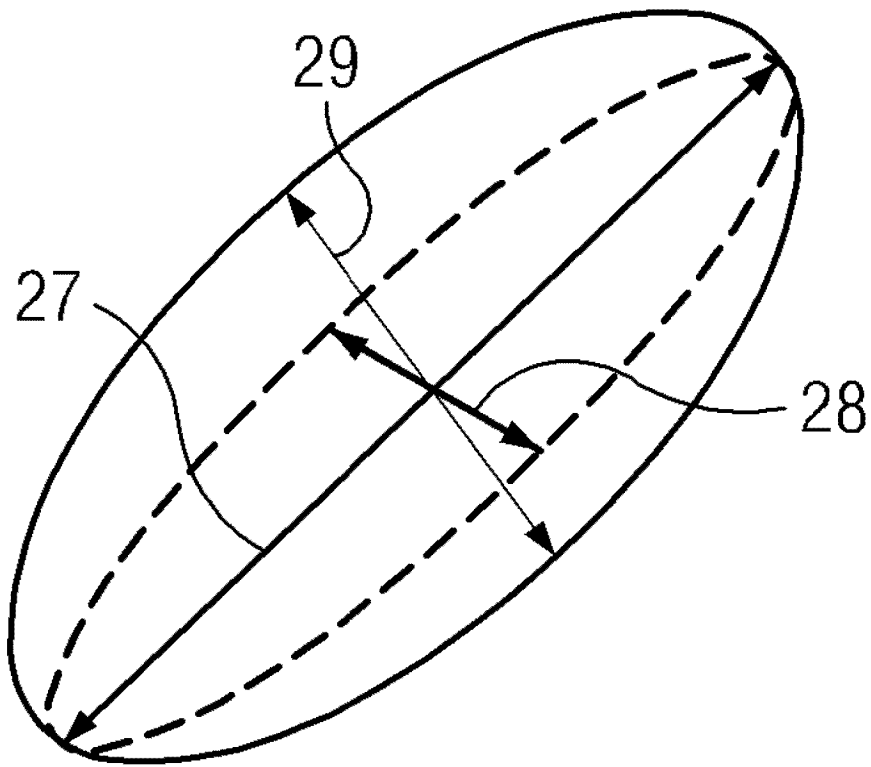


图 9

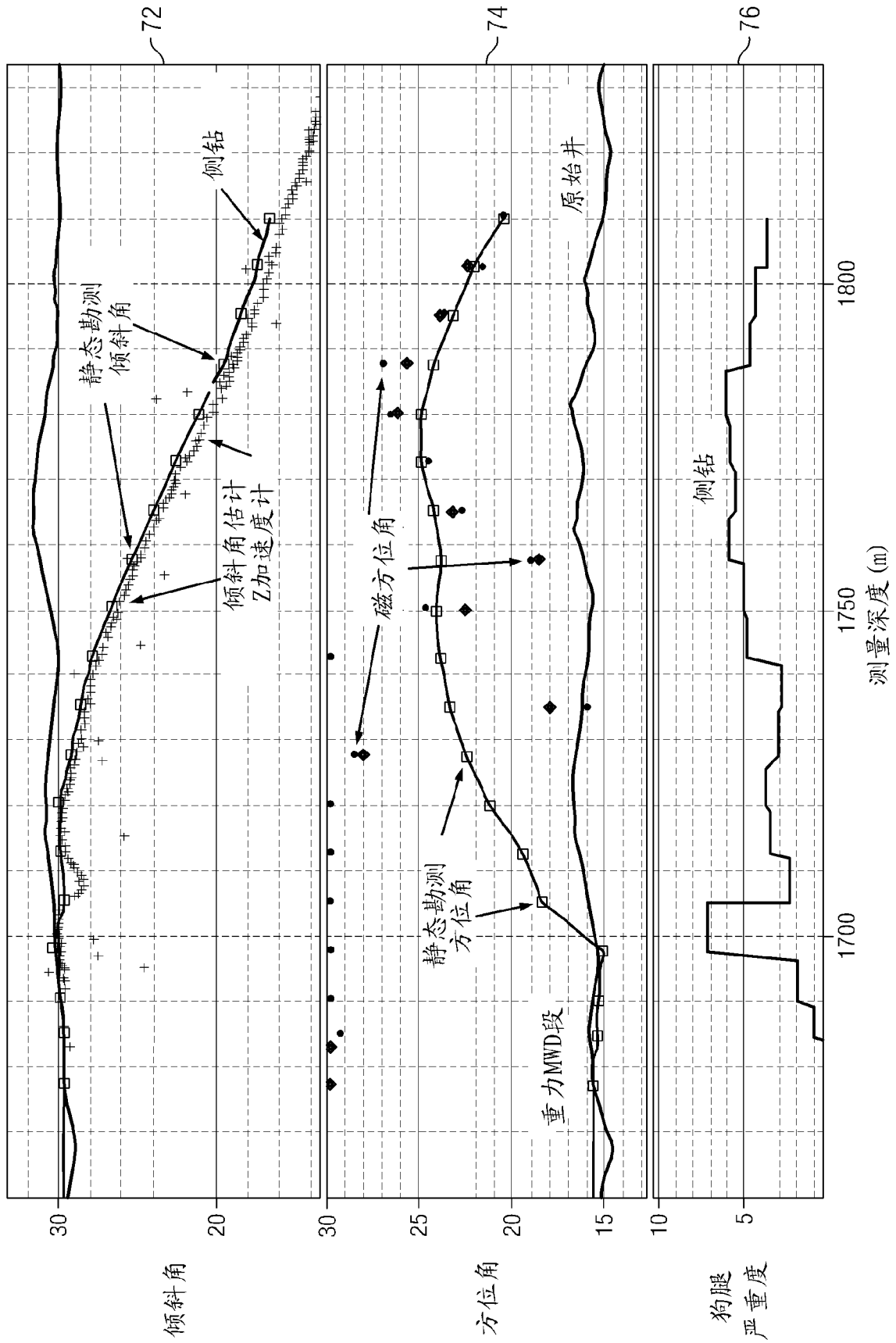


图 10

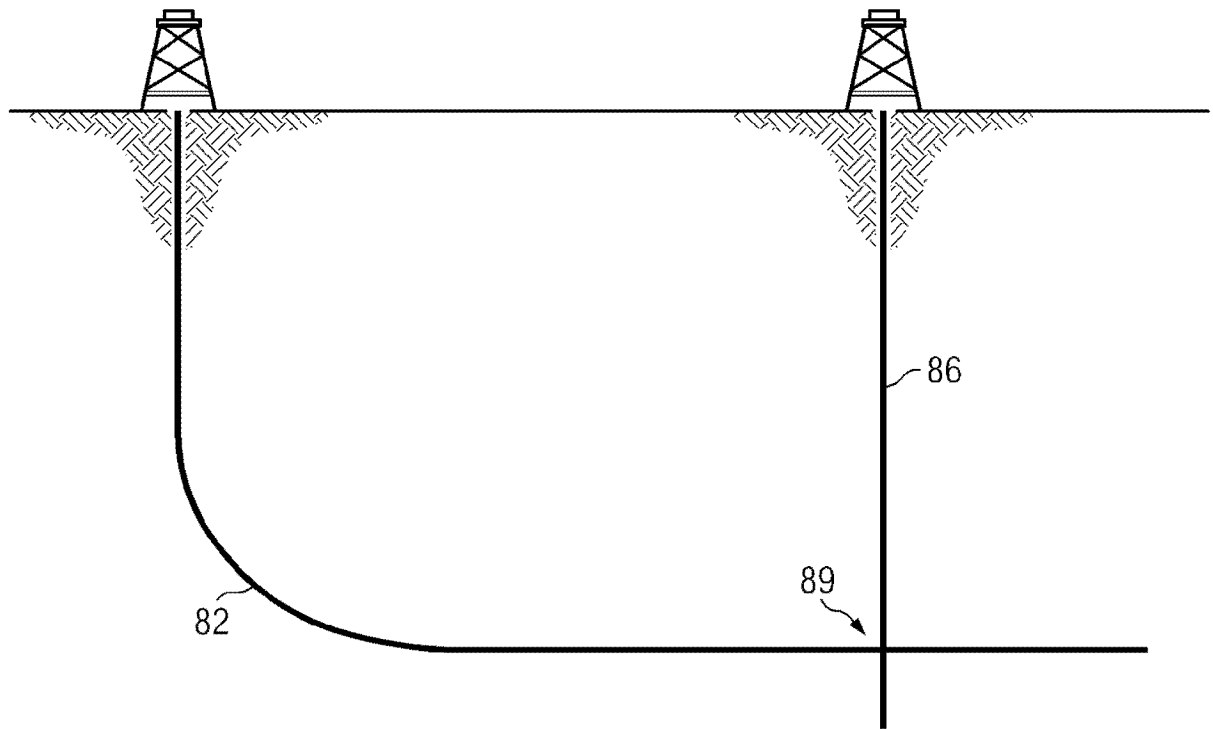


图 11A

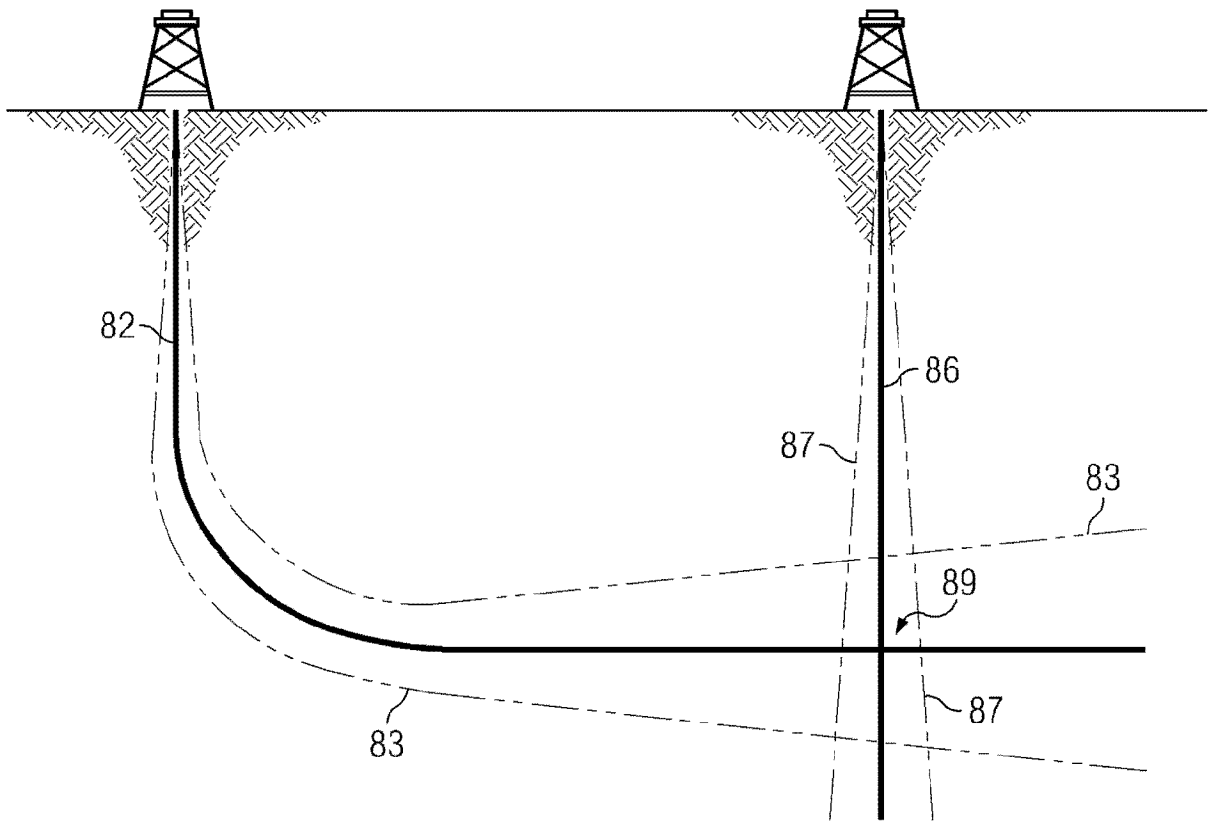


图 11B



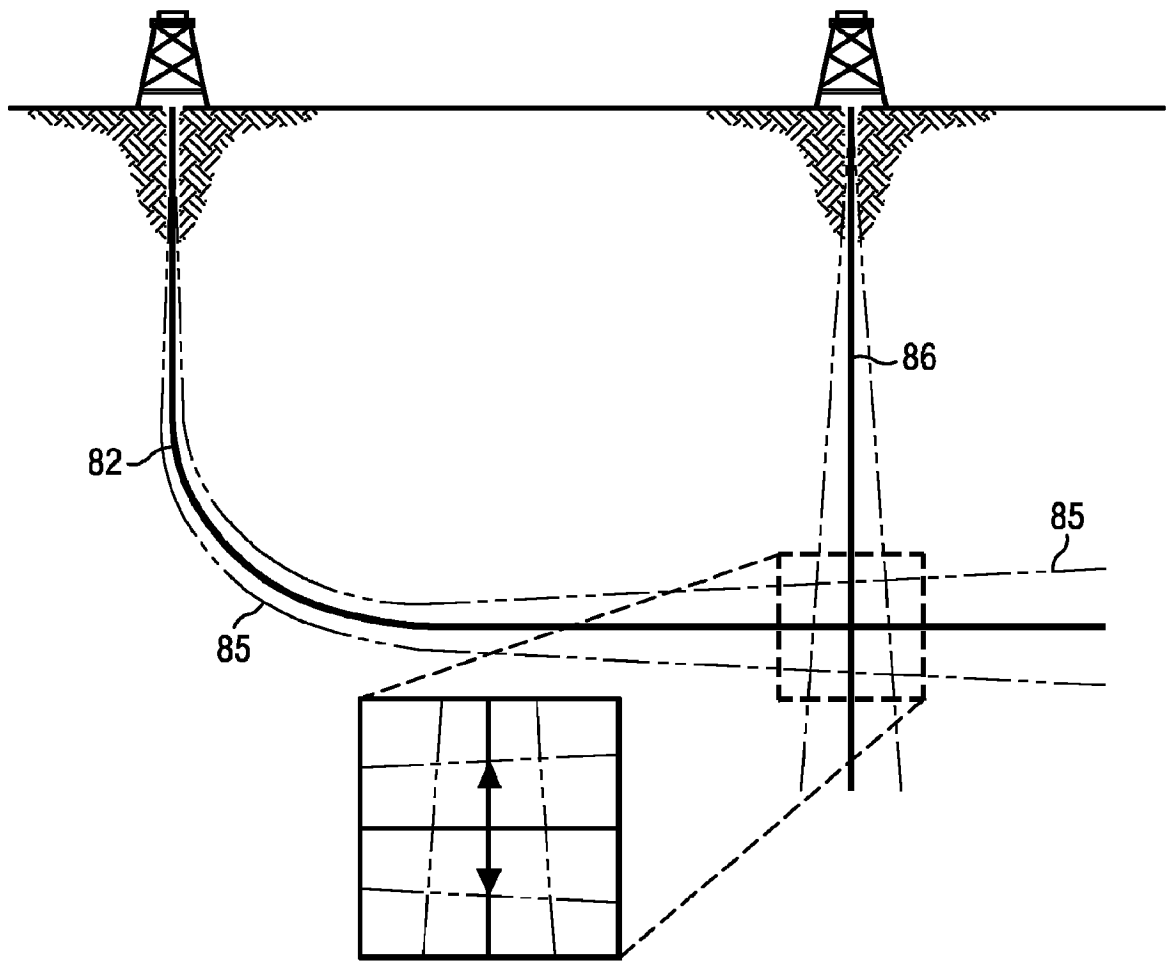


图 11C

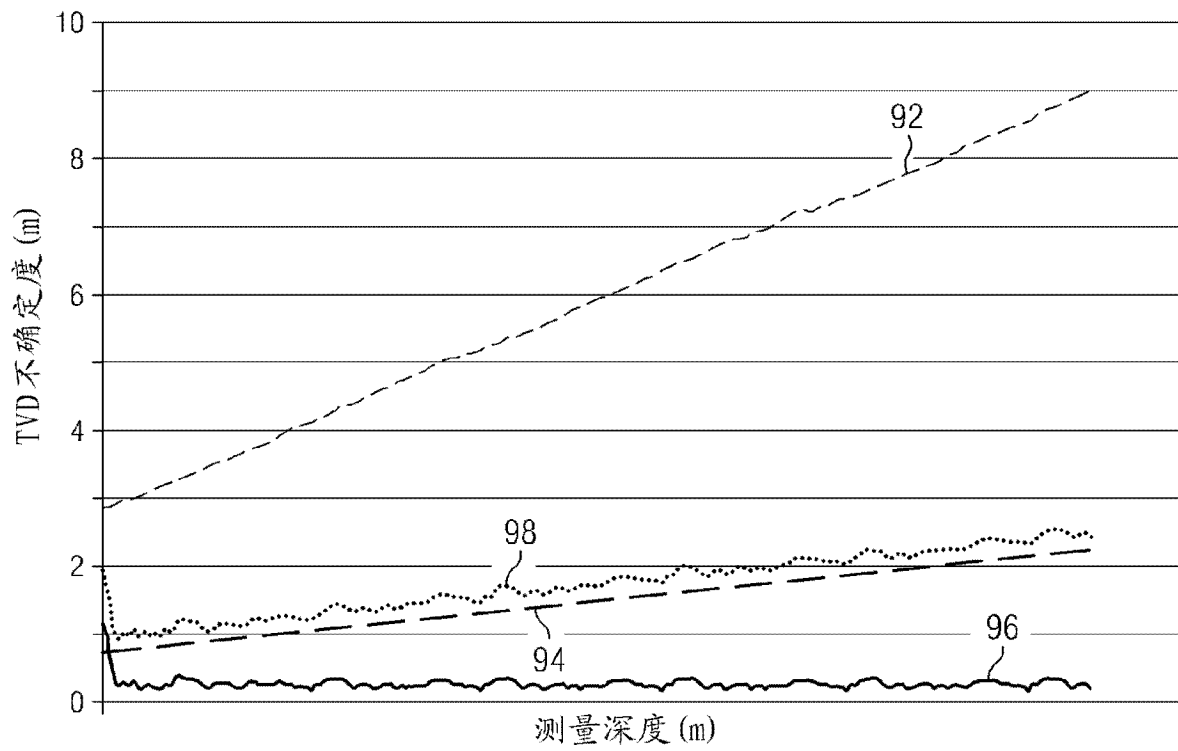


图 12

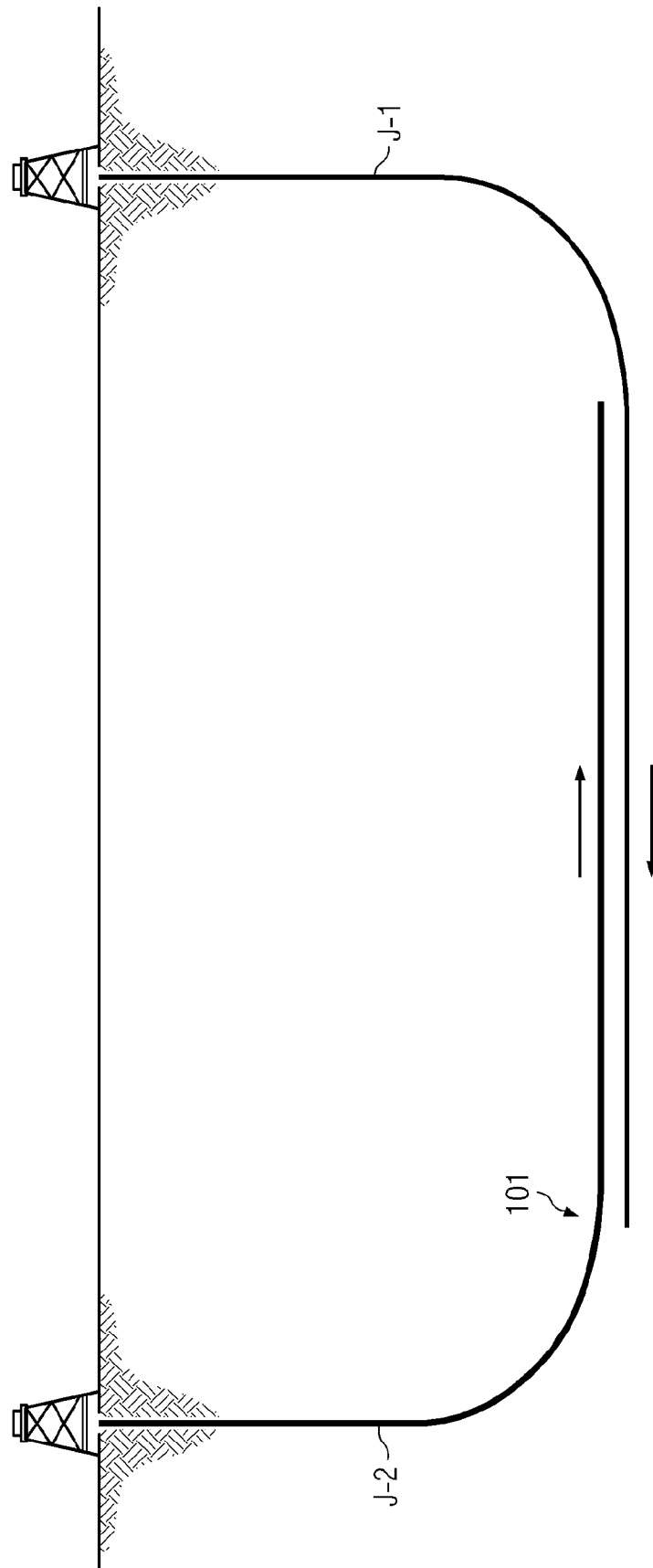


图 13A

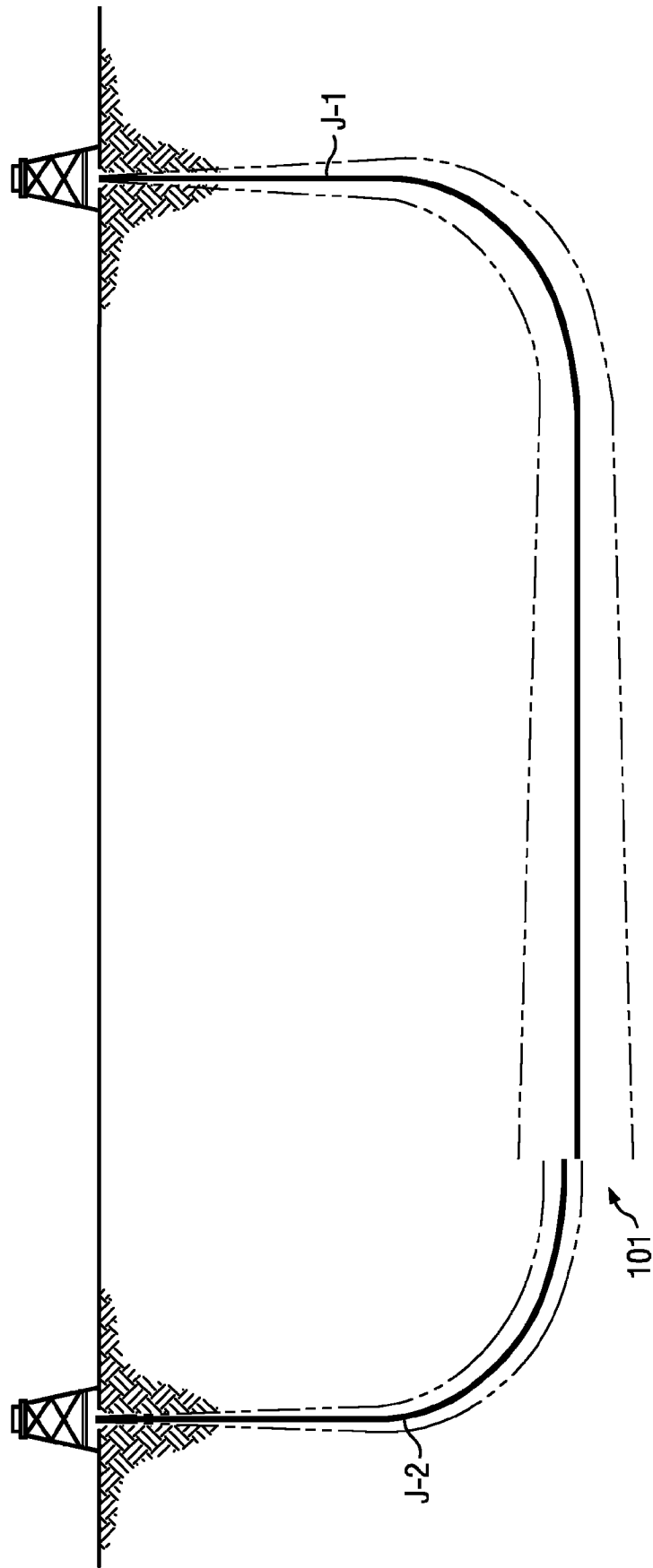


图 13B

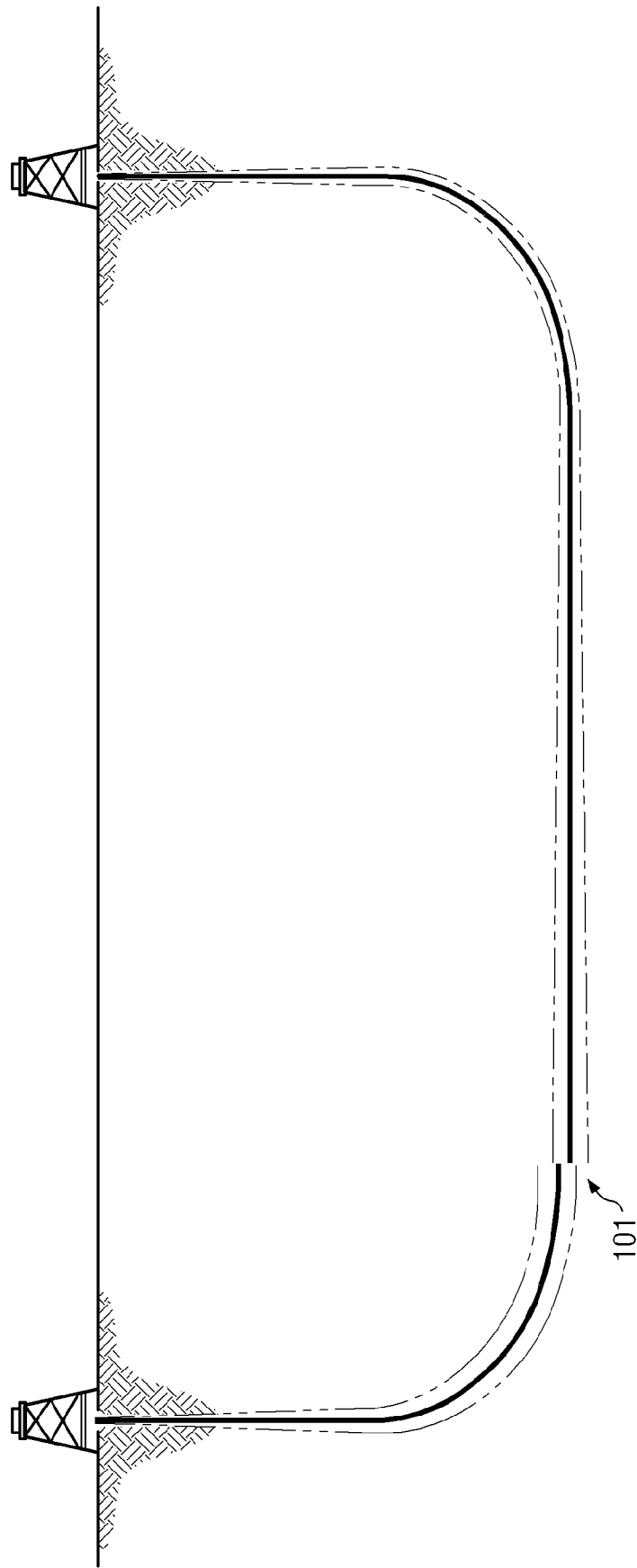


图 13C

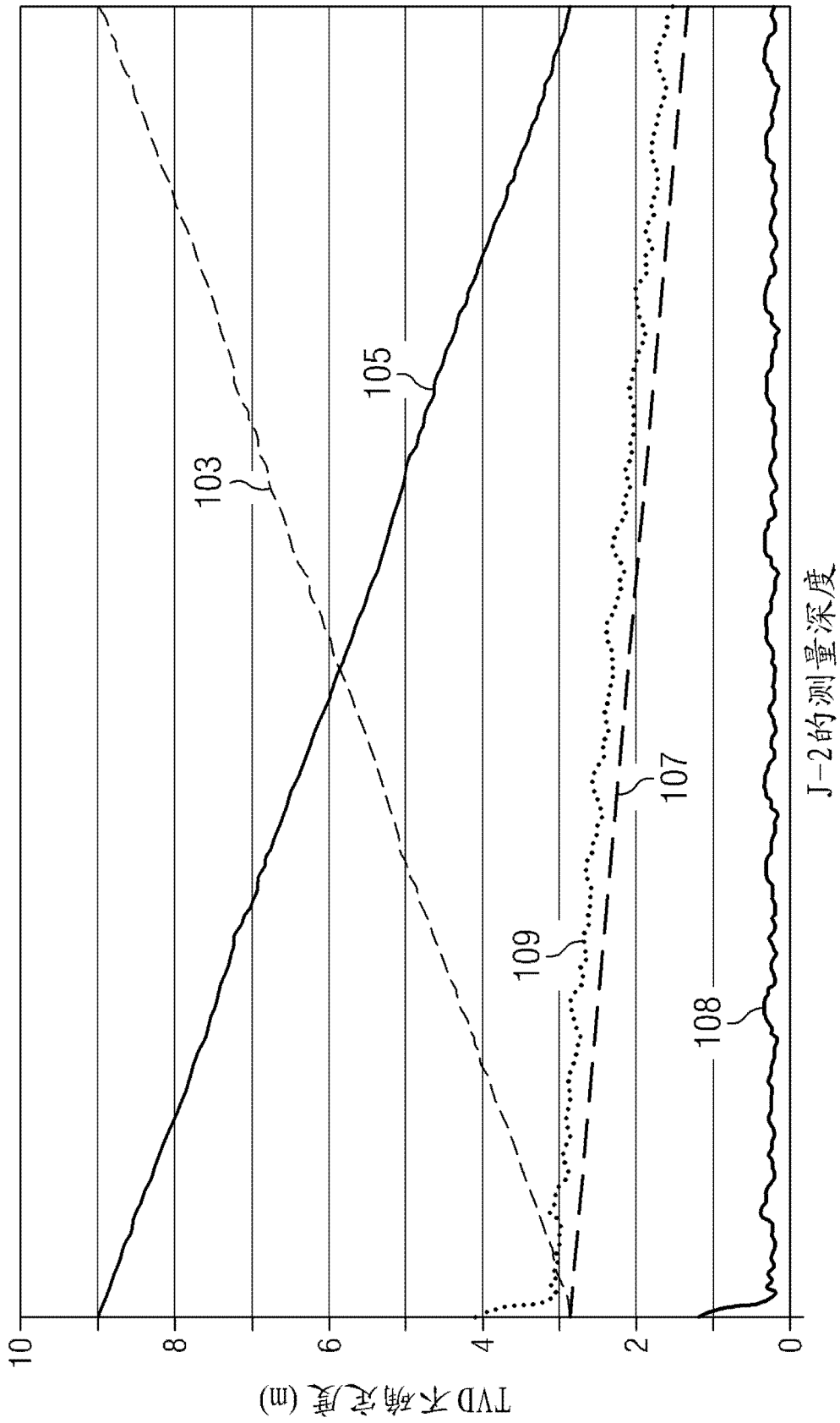


图 14

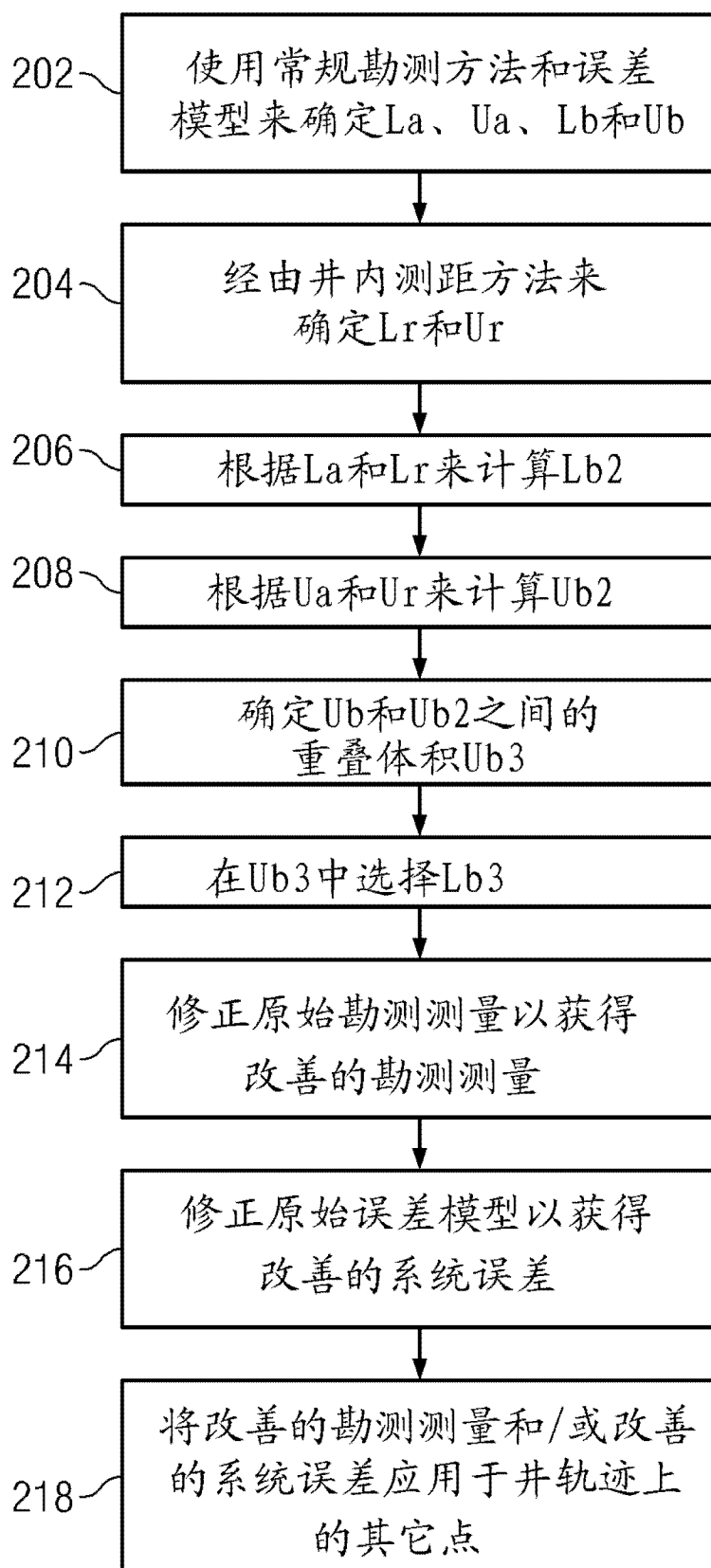


图 15