



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106537134 B

(45)授权公告日 2019.12.10

(21)申请号 201580025745.6

(73)专利权人 查尔斯斯塔克德雷珀实验室有限

(22)申请日 2015.05.15

公司

(65)同一申请的已公布的文献号

地址 美国马萨诸塞州

申请公布号 CN 106537134 A

(72)发明人 阿尔米尔·D·戴维斯

(43)申请公布日 2017.03.22

威廉·J·特林克莱

(30)优先权数据

唐纳·古斯塔夫森

61/994,961 2014.05.18 US

菲利普·S·巴卜科克四世

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

理查德·T·贝托尔德

2016.11.18

(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

(86)PCT国际申请的申请数据

责任公司 11219

PCT/US2015/031092 2015.05.15

代理人 李兰 孙志湧

(87)PCT国际申请的公布数据

(51)Int.Cl.

W02015/179237 EN 2015.11.26

G01N 27/82(2006.01)

审查员 唐仕军

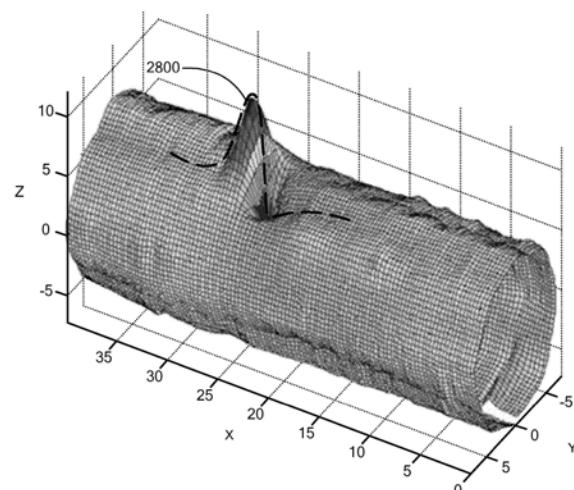
权利要求书4页 说明书13页 附图26页

(54)发明名称

测量铁磁材料中的缺陷的系统和方法

(57)摘要

通过分析物品的磁场来检测和表征铁磁材料中的缺陷，以找到磁场中的与物品的非缺陷部分产生的剩余磁场在特性方式方面不同的部分。磁场中的在特性方式方面不同的部分对应于缺陷的位置。剩余磁场对应于物品中远离缺陷的部分。缺陷表征可包括由于每个缺陷和/或每个缺陷的宽度和/或深度而导致的材料损失的体积。



1.一种检测铁磁材料中的缺陷的系统,所述系统包括:

设置在所述铁磁材料的表面的周围的多个磁力计,所述多个磁力计感测所述铁磁材料产生的磁场并且基于感测到的所述磁场,生成磁场数据,其中,所述多个磁力计中的每个磁力计相对于所述铁磁材料在位置上固定;

磁场映射器,所述磁场映射器从所述磁场数据生成二维图的数据点,每个数据点对应于所述铁磁材料的表面上的各位置并且代表紧邻所述位置的感测到的所述磁场的强度;以及

图案匹配器,所述图案匹配器在所述图中识别与磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点并且输出与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置。

2.根据权利要求1所述的系统,还包括缺陷尺寸估计器,所述缺陷尺寸估计器基于所述多个数据点中的数据代表的特征的幅度,估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。

3.根据权利要求2所述的系统,其中,所述缺陷尺寸估计器基于所述多个数据点中的数据代表的特征的两个空间方向上的长度,估计所述损失的材料的面积。

4.根据权利要求2所述的系统,其中,所述缺陷尺寸估计器基于估计的所述损失的材料的体积和所述多个数据点中的数据代表的特征的两个空间方向上的长度,估计所述损失的材料的深度。

5.根据权利要求1所述的系统,还包括:

剩余磁场强度计算器,所述剩余磁场强度计算器基于所述图的所述数据点中的至少一个,确定远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置的位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度;以及

缺陷尺寸估计器,所述缺陷尺寸估计器根据所述多个数据点中的数据的幅度和远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置的位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度,估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。

6.根据权利要求1所述的系统,其中:

所述多个磁力计中的每个磁力计包括三个正交取向的磁力计;

所述图的每个数据点代表在三个正交方向中的每个正交方向上感测到的所述磁场的强度;以及

针对所述三个正交方向中的每个正交方向,所述图案匹配器识别与磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点和与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置,所述图案匹配器由此识别紧邻所述铁磁材料的表面的三个位置;并且还包括:

组合器,所述组合器从识别的所述三个位置计算紧邻所述铁磁材料的表面的精确位置,并且输出所述精确位置。

7.根据权利要求1所述的系统,其中:

所述图案匹配器从所述图的所述数据点计算多个空间导数值;以及

所述图案匹配器从所述多个空间导数值中识别与磁场强度的所述预定义空间图案相符的所述多个数据点。

8.根据权利要求1所述的系统,其中,与磁场强度的所述预定义空间图案相符的所述多个数据点对应于由于侵蚀或腐蚀导致的一部分所述铁磁材料的损失。

9. 根据权利要求1所述的系统,其中,与磁场强度的所述预定义空间图案相符的所述多个数据点对于所述铁磁材料中的裂缝。

10. 一种检测铁磁材料中的缺陷的方法,所述方法包括:

在所述铁磁材料的表面的周围设置多个磁力计,其中,所述多个磁力计中的每个磁力计相对于所述铁磁材料在位置上固定;

使用所述多个磁力计来感测所述铁磁材料产生的磁场;

从感测到的所述磁场生成二维图的数据点,每个数据点对于所述铁磁材料的表面上的各位置并且代表紧邻所述位置的感测到的所述磁场的强度;

在所述二维图中,识别与所述磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点;以及输出与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置。

11. 根据权利要求10所述的方法,还包括基于所述多个数据点中的数据代表的特征的幅度,估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。

12. 根据权利要求10所述的方法,还包括:

基于所述图的所述数据点中的至少一个,确定远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置的位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度;以及

根据所述多个数据点中的数据的幅度和远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置的位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度,估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。

13. 根据权利要求11所述的方法,还包括:基于所述多个数据点中的数据代表的特征的两个空间方向上的长度,估计所述损失的材料的面积。

14. 根据权利要求11所述的方法,还包括基于估计的所述损失的材料的体积和所述多个数据点中的数据代表的特征的两个空间方向上的长度,估计所述损失的材料的深度。

15. 根据权利要求10所述的方法,其中:

感测所述磁场包括用多个磁力计感测所述磁场,所述多个磁力计中的每个磁力计包括三个正交取向的磁力计;

生成所述数据点包括生成所述数据点使得所述图的每个数据点代表在三个正交方向中的每个正交方向上感测到的所述磁场的强度;以及

识别与所述预定义空间图案相符的所述多个数据点包括针对所述三个正交方向中的每个正交方向,识别与磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点和与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置,由此识别紧邻所述铁磁材料的表面的三个位置;所述方法还包括:

从识别的所述三个位置计算紧邻所述铁磁材料的表面的精确位置;并且其中:

输出所述位置包括输出所述精确位置。

16. 根据权利要求10所述的方法,还包括:

从所述图的所述数据点计算多个空间导数值;以及其中:

识别与预定义空间图案相符的所述多个数据点包括从所述多个空间导数值识别与磁场强度的所述预定义空间图案相符的多个数据点。

17. 根据权利要求10所述的方法,其中,识别与预定义空间图案相符的所述多个数据点包括识别与由于侵蚀或腐蚀导致的一部分所述铁磁材料的损失对应的多个数据点。

18. 根据权利要求10所述的方法,其中,识别与预定义空间图案相符的所述多个数据点包括识别与所述铁磁材料中的裂缝对应的多个数据点。

19. 一种检测铁磁材料中的缺陷的计算机程序产品,所述计算机程序产品包括上面存储有计算机可读程序代码的非暂态计算机可读介质,所述计算机可读程序代码包括:

感测模块,所述感测模块从在所述铁磁材料的表面周围设置的多个磁力计接收磁场数据,所述多个磁力计感测所述铁磁材料产生的磁场并且基于感测到的所述磁场,生成磁场数据,其中,所述多个磁力计中的每个磁力计相对于所述铁磁材料在位置上固定;

数据点生成器模块,所述数据点生成器模块从感测到的所述磁场生成二维图的数据点,每个数据点对应于所述铁磁材料的表面上的各位置并且代表紧邻所述位置的感测到的所述磁场的强度;

缺陷识别器模块,所述缺陷识别器模块在所述二维图中识别与磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点;以及

缺陷位置输出模块,所述缺陷位置输出模块输出与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置。

20. 根据权利要求1所述的系统,其中所述多个磁力计位于围绕所述铁磁材料的外表面的圆柱表面上。

21. 根据权利要求1所述的系统,其中所述多个磁力计位于圆柱表面上并且定义接收所述铁磁材料的大小的圆柱腔。

22. 根据权利要求1所述的系统,其中所述多个磁力计被组织成缠绕在所述铁磁材料周围的磁力计二维阵列。

23. 根据权利要求1所述的系统,其中所述多个磁力计被组织成多个磁力计环,所述多个磁力计环纵向地沿着所述铁磁材料被间隔开,所述多个磁力计环的每个环围绕所述铁磁材料。

24. 根据权利要求10所述的方法,其中设置所述多个磁力计包括将所述多个磁力计设置在围绕所述铁磁材料的外表面的圆柱表面上。

25. 根据权利要求10所述的方法,其中设置所述多个磁力计包括将所述多个磁力计在设置圆柱表面上,使得所述多个磁力计定义接收所述铁磁材料的大小的圆柱腔。

26. 根据权利要求10所述的方法,其中设置所述多个磁力计包括将所述多个磁力计组织成缠绕在所述铁磁材料周围的磁力计二维阵列。

27. 根据权利要求10所述的方法,其中设置所述多个磁力计包括将所述多个磁力计组织成多个磁力计环,包括将所述多个磁力计环纵向地沿着所述铁磁材料间隔开,使得所述多个磁力计环的每个环围绕所述铁磁材料。

28. 根据权利要求19所述的计算机程序产品,其中所述多个磁力计位于围绕所述铁磁材料的外表面的圆柱表面上。

29. 根据权利要求19所述的计算机程序产品,其中所述多个磁力计位于圆柱表面上并且定义接收所述铁磁材料的大小的圆柱腔。

30. 根据权利要求19所述的计算机程序产品,其中所述多个磁力计被组织成缠绕在所述铁磁材料周围的磁力计二维阵列。

31. 根据权利要求19所述的计算机程序产品,其中所述多个磁力计被组织成多个磁力

计环,所述多个磁力计环纵向地沿着所述铁磁材料被间隔开,所述多个磁力计环的每个环围绕所述铁磁材料。

32.根据权利要求1所述的系统,其中所述多个磁力计被设置成小于所述铁磁材料周围的周缘。

33.根据权利要求1所述的系统,其中所述多个磁力计被组织成磁力计二维阵列。

34.根据权利要求10所述的方法,其中设置所述多个磁力计包括将所述多个磁力计设置在小于所述铁磁材料的外表面周围的周缘延伸的表面上。

35.根据权利要求10所述的方法,其中设置所述多个磁力计包括将所述多个磁力计组织成磁力计二维阵列。

36.根据权利要求19所述的计算机程序产品,其中所述多个磁力计被设置成小于所述铁磁材料周围的周缘。

37.根据权利要求19所述的计算机程序产品,其中所述多个磁力计被组织成磁力计二维阵列。

## 测量铁磁材料中的缺陷的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2014年5月18日提交的、名称为“System and Method of Measuring Defects in Ferromagnetic Materials”的美国临时专利申请No.61/994,961的优先权，该申请的全部内容出于所有的目的在此以引用方式并入本文中。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及铁磁材料中的缺陷检测，更特别地，涉及使用磁力计进行的铁磁材料中的缺陷检测。

### 背景技术

[0004] 诸如铁、镍、钢和其他材料的铁磁材料用于制作诸如管、梁和远洋船舶船体的许多物品。如本文中使用的，“铁磁材料”既包括铁磁体又包括铁磁材料。在许多情况下，这些材料遭受侵蚀和/或腐蚀。如本文中使用的，侵蚀意指由于化学反应(最常见地，氧化)导致的材料损失。如本文中使用的，腐蚀意指由于诸如磨损的机械处理导致的材料损失。例如，油或气井中产生的沙会磨损从井中带出油或气体的管道的内部。由于侵蚀和/或腐蚀导致的材料损失在本文中被统称为“缺陷”。如本文中使用的，术语缺陷还包括诸如会在制造期间或随后出现的裂缝、或空隙或夹杂外来物质。如果被允许超过临界点出现，则侵蚀或腐蚀会牺牲物品的结构完整性，从而有可能导致诸如漏油、建筑物倒塌或沉船的灾难性故障。

[0005] 为了尝试检测铁磁材料和由铁磁材料制成的物品中的缺陷，在现有技术中已经使用了各种设备和方法。这些设备和方法中的一些需要进行去除热绝缘和剥离抗蚀表面处理，以直接触及铁磁材料的表面。在一些情况下，必须将表面抛光，以创建与传感器的原始界面或来自传感器的波传播。这些步骤是高成本、耗时的，常常累及热绝缘和/或表面处理。

[0006] 发明人已知的用于检测铁磁材料中缺陷的所有现有技术的设备和方法涉及将能量引入材料中。例如，声学传感器将声波发送到材料中并且测量返回的信号。导波和地形传感器类似地将电磁波发送到材料中并且感测波的反射或传送时间。用将能量赋予到正被测量的物品中的不同观点，RohrbackCosasco Systems, Inc制作了品牌名为“Quicksand”的沙侵蚀检测探针线。这些探针并不直接测量管等的腐蚀。替代地，这些探针是牺牲性的，因为它们检测探针本身的部分的侵蚀。基于这些探针的系统假定管和其他物品以大致与探针牺牲部分相同的速率腐蚀。此外，探针依赖于通过管的流体流动，因此需要能量以流体流的形式被引入管中。这些系统可只检测管内部的腐蚀。这些系统不可检测别处的缺陷(诸如，管壁的内部或管的外表面上)，它们也不可推断传感器就位之前由于腐蚀而导致的管状况。

[0007] 一些现有技术的设备和方法涉及尝试检测铁磁材料中的缺陷的磁力测定。例如，均属于Valerian Goroshevskiy等人的美国专利No.8,542,127和No.8,447,532公开了使用逆磁致伸缩维拉里(Villari)效应。逆磁致伸缩维拉里效应涉及在施加机械应力时材料磁化率的改变。如果管遭遇缺陷，则管在管材料承受机械应力时(例如，当管承受压力时)的磁化率不同于当管不承受机械应力时的。Goroshevskiy的专利依赖于检测随管内压力改变的

此磁化率改变。因此,能量必须以对管内部施压的形式引入管中。诸如管的一些物品一直未被使用,因此在会形成缺陷的时间段内未被加压。诸如船体或结构元件的其他结构本身并不适于已知加压循环。然而,在没有加压的情况下,Goroshevskiy的设备和方法不可检测这些缺陷。此外,Goroshevskiy只可确定沿着管长度的缺陷位置;Goroshevskiy不可确定围绕管周缘的缺陷位置。

## 发明内容

[0008] 本发明的实施例提供了一种检测铁磁材料中的缺陷的系统。所述系统包括多个磁力计。所述多个磁力计围绕所述铁磁材料的表面设置。所述多个磁力计感测所述铁磁材料产生的磁场。所述多个磁力计基于感测到的所述磁场,生成磁场数据。所述多个磁力计中的每个磁力计相对于所述铁磁材料在位置上固定。所述系统还包括磁场映射器。所述磁场映射器从所述磁场数据生成二维图的数据点。每个数据点对应于所述铁磁材料的表面上的各位置。每个数据点代表紧邻所述位置的感测到的所述磁场的强度。此上下文中的“紧邻”意指足够接近,以致可在x和y两个方向上(即,纵向沿着铁磁材料和横向跨过材料)确定缺陷的位置。在一些实施例中,紧邻意指在大约5-10英寸内。所述系统还包括图案匹配器。所述图案匹配器在所述图中识别与所述磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点。所述图案匹配器输出与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置。输出的所述位置是缺陷的位置。

[0009] 所述系统还可包括缺陷尺寸估计器。所述缺陷尺寸估计器估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。损失体积估计是基于所述多个数据点中的数据所代表的特征的幅度。

[0010] 所述缺陷尺寸估计器可基于所述多个数据点中的数据所代表的特征的两个空间方向上的长度,估计损失的材料的面积。

[0011] 所述缺陷尺寸估计器可基于估计的所述损失的材料的体积和所述多个数据点中的数据所代表的特征的两个空间方向上的长度,估计所述损失的材料的深度。

[0012] 所述系统还可包括:剩余磁场强度计算器。所述剩余磁场强度计算器确定远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度。所述磁场的幅度是基于所述图的所述数据点中的至少一个。所述系统还可包括缺陷尺寸估计器。所述缺陷尺寸估计器估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。体积估计是根据所述多个数据点中的数据的幅度和远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度进行的。

[0013] 所述缺陷尺寸估计器可基于所述多个数据点中的数据所代表的特征的两个空间方向上的长度,估计损失的材料的面积。

[0014] 所述缺陷尺寸估计器可基于估计的所述损失的材料的体积和所述多个数据点中的数据所代表的特征的两个空间方向上的长度,估计所述损失的材料的深度。

[0015] 所述多个磁力计中的每个磁力计可包括三个正交取向的磁力计。所述图的每个数据点可代表所述三个正交方向中的每个上感测到的所述磁场的强度。所述图案匹配器可针对所述三个正交方向中的每个,识别与磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点和与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置。所述图案匹配器由此可识别紧邻

所述铁磁材料的表面的三个位置。所述系统还可包括组合器。所述组合器从识别的所述三个位置计算紧邻所述铁磁材料的表面的精确位置并且输出所述精确位置。

[0016] 所述图案匹配器可从所述图的所述数据点计算多个空间导数值。所述图案匹配器可从所述多个空间导数值中识别与磁场强度的所述预定义空间图案相符的所述多个数据点。

[0017] 与磁场强度的所述预定义空间图案相符的所述多个数据点可对应于由于侵蚀或腐蚀导致的一部分所述铁磁材料的损失。

[0018] 与磁场强度的所述预定义空间图案相符的所述多个数据点对应于所述铁磁材料中的裂缝。

[0019] 本发明的另一个实施例提供了一种检测铁磁材料中的缺陷的方法。所述方法包括感测所述铁磁材料产生的磁场。从感测到的所述磁场生成二维图的数据点。每个数据点对应于所述铁磁材料的表面上的各位置。每个数据点代表紧邻所述位置的感测到的所述磁场的强度。在所述二维图中，识别多个数据点，所述多个数据点与所述磁场强度的预定义空间图案相符。输出紧邻所述铁磁材料的表面的位置。所述位置对应于所述多个数据点。所述位置对应于缺陷。

[0020] 感测所述磁场可包括围绕所述铁磁材料的表面设置多个磁力计。所述多个磁力计中的每个磁力计相对于所述铁磁材料在位置上固定。

[0021] 感测所述磁场可包括通过将所述至少一个磁力计相对于所述铁磁材料移动，用至少一个磁力计对所述铁磁材料进行物理扫描。

[0022] 将所述至少一个磁力计相对于所述铁磁材料移动可包括：沿着与所述铁磁材料的轴基本上垂直取向的形状，设置至少两个磁力计的一维阵列。可将所述至少两个磁力计的一维阵列沿着所述铁磁材料的轴移动。

[0023] 可选地，可估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。所述估计可基于所述多个数据点中的数据所代表的特征的幅度。

[0024] 可选地，可基于所述图的所述数据点中的至少一个，确定远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度。可根据所述多个数据点中的数据的幅度和远离紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料产生的磁场的幅度，估计紧邻所述铁磁材料的表面的所述位置处的所述铁磁材料中损失的材料的体积。

[0025] 可选地，可基于所述多个数据点中的数据所代表的特征的两个空间方向上的长度，估计所述损失的材料的面积。

[0026] 可估计所述损失的材料的深度。所述估计可基于估计的所述损失的材料的体积和所述多个数据点中的数据所代表的特征的两个空间方向上的长度。

[0027] 感测所述磁场可包括用多个磁力计感测所述磁场、所述多个磁力计中的每个磁力计可包括三个正交取向的磁力计。生成所述数据点可包括生成所述数据点使得所述图的每个数据点代表所述三个正交方向中的每个上感测到的所述磁场的强度。识别与所述预定义空间图案相符的所述多个数据点可包括针对所述三个正交方向中的每个，识别与磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点和与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置，由此识别紧邻所述铁磁材料的表面的三个位置。另外，可从识别的所述三个位置

计算紧邻所述铁磁材料的表面的精确位置。输出所述位置可包括输出所述精确位置。

[0028] 可从所述图的所述数据点计算多个空间导数值。识别与预定义空间图案相符的所述多个数据点可包括从所述多个空间导数值中识别与磁场强度的所述预定义空间图案相符的多个数据点。

[0029] 识别与预定义空间图案相符的所述多个数据点可包括识别与由于侵蚀或腐蚀导致的一部分所述铁磁材料的损失对应的多个数据点。

[0030] 识别与预定义空间图案相符的所述多个数据点可包括识别与所述铁磁材料中的裂缝对应的多个数据点。

[0031] 本发明的另一个实施例提供了一种检测铁磁材料中的缺陷的计算机程序产品。所述计算机程序产品包括非暂态计算机可读介质。计算机可读程序代码被存储在介质上。所述计算机可读程序代码包括感测模块、数据点生成器模块、缺陷识别器模块和缺陷位置输出模块。

[0032] 所述感测模块从围绕所述铁磁材料的表面设置的多个磁力计接收磁场数据。所述多个磁力计感测所述铁磁材料产生的磁场。所述多个磁力计还生成所述磁场数据。所述磁场数据是基于感测到的所述磁场。所述多个磁力计中的每个磁力计相对于所述铁磁材料在位置上固定。

[0033] 数据点生成器模块从感测的所述磁场生成二维图的数据点。每个数据点对应于所述铁磁材料的表面上的各位置。每个数据点代表紧邻所述位置的感测到的所述磁场的强度。

[0034] 所述缺陷识别器模块在所述二维图中识别与所述磁场强度的预定义空间图案相符的多个数据点。所述缺陷位置输出模块输出与所述多个数据点对应的紧邻所述铁磁材料的表面的位置。

## 附图说明

[0035] 将参照下面的具体实施例结合附图更充分地理解本发明，其中：

[0036] 图1是现有技术中已知的假定管的透视图和管的一部分的剖视图。

[0037] 图2是现有技术中已知的假定弯曲管的透视图。

[0038] 图3示意性示出现有技术中已知的假定磁偶极所产生的磁场。

[0039] 图4包含磁力计沿着图3中的线沿着三个轴感测的假定示例性磁场强度Bx、By和Bz的曲线图。

[0040] 图5示意性示出现有技术中已知的铁磁材料的假定板。

[0041] 图6示意性示出根据本发明的实施例理解的作为许多对准的小磁偶极的图5的板。

[0042] 图7示意性示出其表面中有缺陷的图5的板。

[0043] 图8示意性示出现有技术中已知的假定管，示出其制造中的螺旋厚度人工痕迹。

[0044] 图9示意性示出现有技术中已知的在概念上切割并且展开之后的图8的管。

[0045] 图10包含根据本发明的实施例的关于其外表面中具有缺陷的实际管的磁场的一个分量的曲线图。

[0046] 图11是根据本发明的实施例的磁力传感器单元的侧视图。

[0047] 图12示意性示出根据本发明的实施例的附接到管的磁力传感器单元的集合。

- [0048] 图13示意性示出根据本发明的实施例的附接到管的磁力传感器单元的集合。
- [0049] 图14是根据本发明的实施例的围绕管周缘设置的磁力传感器阵列的示意性透视图。
- [0050] 图15是根据本发明的实施例的诸如图14的磁力传感器阵列的每个元件中的承载磁力计的一对电路板的示意性透视图。
- [0051] 图16是根据本发明的实施例的围绕管设置的磁力传感器的环的示意性透视图。
- [0052] 图17和图18包括根据本发明的实施例的沿着实际管的两个相应维度的磁力数据的曲线图。
- [0053] 图19和图20包含根据本发明的实施例的分别用图17和图18的图线计算出的导数的图线。
- [0054] 图21是根据本发明的实施例的都具有相同直径但具有不同深度的三个模拟缺陷的磁场强度的曲线图。
- [0055] 图22是根据本发明的实施例的都具有相同深度但具有不同直径的三个模拟缺陷的磁场强度的曲线图。
- [0056] 图23是根据本发明的实施例的紧邻管中的缺陷的沿着x轴的磁场强度的曲线图。
- [0057] 图24是根据本发明的实施例的紧邻管中的缺陷的沿着z轴的磁场强度的曲线图。
- [0058] 图25是根据本发明的实施例的归一化之后的图23的磁场强度的曲线图。
- [0059] 图26是根据本发明的实施例的管和检测器和管中缺陷之间的相隔距离(standoff)的示意性透视图。
- [0060] 图27是示出根据本发明的实施例的来自管内部的缺陷的信号强度和来自管外部的缺陷的信号强度的差异的曲线图。
- [0061] 图28是根据本发明的实施例的根据时间分析的减法结果的表面图线,示出磁场的一个轴。
- [0062] 图29和图30是根据本发明的各个实施例的用于实现对物品的物理扫描的设备的示意性透视图。
- [0063] 图31是根据本发明的实施例的与基站无线通信的远程磁力传感器的示意性框图。

## 具体实施方式

[0064] 本发明的实施例在不需要将能量引入材料中并且不必去除对材料或物品的热绝缘、表面处理等的情况下能够检测含铁磁材料的物品中的缺陷。物品中的铁磁材料产生磁场。本发明的实施例通过分析物品磁场来检测和表征物品中的缺陷,以找到磁场中的与物品的非缺陷部分产生的剩余磁场在特性方式方面不同的部分。磁场中的在特性方式方面不同的部分对应于缺陷的位置。剩余磁场对应于物品中远离缺陷的部分。缺陷表征可包括由于每个缺陷和/或每个缺陷的宽度和/或深度而导致的材料损失的体积。任何磁力的方法面临的挑战是,物品的本征剩余磁场通常是非均匀的,反映了整个物品上的材料和制造有所不同。这些方法的关键挑战是将缺陷的磁性“标记(signature)”与物品剩余场中本征的“噪声”分开。

[0065] 概况

[0066] 在一些实施例中,磁力传感器的二维阵列平行于待分析物品的外表面设置。磁力

传感器的阵列收集能够创建磁力数据的二维图(磁场图)的数据。在此上下文中,缠绕圆形横截面管或其他非平面物品的磁力传感器的“垫”被视为是二维的。

[0067] 在一些实施例中,通过磁力传感器的一维阵列沿着一个维度对物品进行物理扫描,由此创建磁力数据的二维图。在一些实施例中,通过单个磁力传感器或一小组磁力传感器沿着不止一个维度对物品进行栅格、盘旋或其他方式的扫描,以创建磁力数据的二维图。

[0068] 物品中的铁磁材料产生磁场。磁场是用强度和方向二者表征的矢量的量。磁力数据的图(磁场图)代表物品表面上方的许多点中的每个处的磁场强度。磁场图可指示三维磁场强度矢量的一个、两个或三个分量。

[0069] 在一些实施例中,实质上,针对若干预定义图案(形状)中的任一个进行磁力数据的搜索。其中磁场强度或三维磁场的任一个分量在空间上根据预定义图案中的一个而变化的区域对应于缺陷位置。根据这些预定义图案中的一个,沿着直线,磁场开始于剩余水平,然后相对于剩余,强度增至峰值,然后强度减至低于剩余的谷,然后返回剩余水平,有点类似于正弦曲线的一个周期的形状。

[0070] 根据这些预定义图案中的另一个,沿着直线,磁场开始于剩余水平,然后相对于剩余,强度增至峰值,然后强度减至低于剩余的谷,然后强度相对于剩余增至第二个峰,然后返回剩余水平,有点类似于余弦曲线的一个半的周期的形状。

[0071] 如所述的,剩余磁场对应于物品远离任何缺陷的部分。然而,由于物品不是完美均匀的,会掩盖缺陷标记的存在,导致剩余场具有许多特征。通过搜索缺陷标记的磁场测量,可识别相比于剩余中的非缺陷特征的缺陷的位置。我们将这种类型的分析称为“空间分析”,在该分析中,将一个或多个缺陷的磁场与剩余区分开,以此作为检测缺陷的手段。

[0072] 在一些实施例中,当物品崭新时或者在某个其他参考时间点,捕获物品的磁力数据。保存磁力数据,然后在之后,再对物品的同一部分捕获磁力数据,并且将两个数据集进行比较。这两个数据集之间的差异代表候选缺陷。我们将这种类型的分析称为“时间分析”,在该分析中,在不同时间捕获数据集以确定数据集之间的差异。随后,可针对缺陷标记分析候选缺陷,如空间分析中一样。

[0073] 在一些实施例中,将磁力传感器的多个阵列附接到待分析物品并且在物品的基本整个寿命内或在另一个延长时间段内保持附接到物品。每个这样的阵列附接到物品上的分离位置。每个阵列可包括提供用于操作阵列的电功率的能量采集器。阵列可通过有线或无线网络进行互连。网络可采用消息传送协议、路由算法、时钟管理和在消耗极少功率(即,能够由能量采集器供电)的同时使包括数百节点的线性网络能够以超过10跳进行操作的其他方面。

[0074] 磁力传感器的阵列借助网络将数据发送到基站,分析数据以检测缺陷。基站可联接到分布式控制系统、工厂管理系统或另一个外部系统。外部系统可就缺陷询问基站或者命令基站启动缺陷检测。可选地或可替代地,基站可在外部系统不询问的情况下,将缺陷告知外部系统。类似地,如果基站检测到缺陷,则它可发出警报(诸如,点亮灯,使喇叭鸣响,发送电子邮件消息或发起电话呼叫并且播放预先录制的或语音合成的消息)。

[0075] 如所述的,可将磁力传感器的阵列固定到物品以收集磁力数据,或者可通过将磁力传感器相对于物品移动对物品进行物理扫描来收集磁力数据。在任一种情况下,可在时间上或空间上分析磁力数据,以检测缺陷。

[0076] 缺陷

[0077] 如所述的,缺陷可能是由于侵蚀和/或腐蚀导致的材料损失。在本文中在管的背景下描述示例和实施例。然而,这些实施例和示例应用于诸如平板、船体、储罐/容器、梁、柱等其他类型的物品。

[0078] 图1是假定管100和管100的横截面(剖面A-A)的示意性图示。几乎任一个管都遭受出现由于管外表面上的侵蚀或腐蚀(例如,由于酸雨、化学溢出物或偶发或恶意的物理损害)导致的缺陷(如102例示的)。大部分管也遭受在管内表面上出现缺陷,如104、106和108例示的。例如,在油或气井中产生的沙通常沿着管的底部传送,因此可磨损管的底部,如104例示的。管内壁的管内液体的顶表面碰到管内壁的区域(如106和108例示的)是侵蚀的常见位置。管也有可能在管壁厚度内出现缺陷,如110例示的。

[0079] 在管200中弯曲的内部和略靠下游,在图2中的虚线202所指示的位置处,常常发生腐蚀。由于流动方向改变导致的湍流形成侵蚀的候选部位。箭头指示管200内的流动方向。管道(未示出)中的扩大处和收缩处不仅形成腐蚀的可能部位,而且还往往会在下游形成湍流,因此往往会造成与湍流区域相邻的缺陷。

[0080] 磁力计和缺陷检测

[0081] 图3示意性示出假定磁偶极300产生的磁场。用线302例示的磁场线代表磁场。磁偶极300位于平面304中,并且为简便起见,只示出平面304中的磁场线300。

[0082] 矢量磁力计测量磁场的矢量分量。也就是说,矢量磁力计测量沿着磁力计的轴引导的磁场的强度。三轴磁力计306测量沿着三个轴X、Y和Z的磁场强度。如果磁力计306沿着平行于磁偶极302的线308平移,则磁力计306感测沿着线308的变化磁场。例如,X轴传感器感测各种磁场强度,这些磁场强度代表用箭头A、B、C、D、E、F、G和H所代表的磁矢量的X分量。图4包含磁力计306沿着线308沿着三个轴感测的假定示例性磁场强度Bx、By和Bz的曲线图。注意的是,Bx曲线图类似于余弦曲线并且Bz曲线图类似于正弦曲线。这些形状是分立的磁偶极附近的磁场的特征。

[0083] 图5示意性示出铁磁材料500的假定板。板500可被认为由用磁偶极602和604例示的许多对准的小磁偶极构成,如图6中示意性示出的。磁场线从每个小磁偶极延伸到其前后邻近物(大部分是直线),并且磁场线在板500的端部502和504退出板500,基本上如图3中所示。磁场线中有几条或没有一条通过板500的顶部、底部或侧面退出板500。

[0084] 然而,如果板遭遇缺陷,则有一些材料损失,如图7中用块702的表面中的缺陷700例示的。因此,损失了小磁偶极(诸如,磁偶极602或604)中的一个或多个,剩余磁偶极的所得不对称布置导致一些磁场线通过块702的顶部、底部和/或侧面退出块。因此,缺陷的标记(即,铁磁材料的损失体积)可被认为大致等于相反地取向的磁偶极的体积。即使只损失了内部(即,非表面)磁偶极,剩余磁偶极的所得不对称布置也导致一些磁场线通过块702的顶部、底部和/或侧面退出块。

[0085] 损失的磁偶极附近的局部磁场类似于以上相对于图3和图4描述的磁场。因此,可通过定位板702产生的磁场中的形状与图4中的Bx或By曲线图的形状类似的部分来找到缺陷位置。因此,可使用Bx和By曲线图的一般形状作为缺陷的磁性标记。

[0086] 管缺陷检测

[0087] 按各种方式制造管。每种方法都遗留了组分、厚度、温度历史或某种其他人工痕迹

方面的非均匀特征。这些全部都有可能造成物品的本征、剩余磁场不平稳，而是具有一定大小和复杂度的特征，使得无法直截了当地找到缺陷的标记。管中常见的制造人工痕迹是沿着管长度的厚度的盘旋(螺旋)图案。图8示意性示出管800，示出其制造中的螺旋厚度人工痕迹802。在概念上，管800可被沿着平行于其纵轴的线804进行切割，然后展开成平板900，如图9中示意性示出的。可如以上相对于图3至图7描述的，分析该板900。

[0088] 图10包含围绕实际4.5英寸(114.3mm)直径管的磁场的x分量的曲线图，该管在其外表面上具有1英寸×1英寸×0.06英寸(25.4mm×25.4mm×1.5mm)的缺陷。该曲线是变形表面1000的代表。表面1000与管的纵轴1002的径向距离指示磁场的x分量的强度。

[0089] 管的制造处理在磁场中遗留了人工痕迹。图10中明显看到由于制造处理导致的磁场中经常观察到的螺旋图案，特征802(图8和图9)，其中，磁场强度的脊在空间上对应于螺旋制造特征，如螺旋虚线1004所指示的。

[0090] 另外，在图10中明显看到磁场强度中的峰1006。此外，如虚线1008所指示的，紧邻峰1006的表面的形状近似于图4中的By曲线的形状，因此是缺陷的特征。

[0091] 可使用关于管的磁场的y分量和磁场的z分量来执行类似分析。通过这三个分析而找到的缺陷相关位置比只分析磁场的一个分量更准确地提供了缺陷位置。

#### [0092] 传感器阵列

[0093] 图11示意性示出本发明的一个实施例。在这个实施例中，磁力传感器单元1100围绕管1102。磁力传感器单元1100包括铰接在一起的两个半圆形部分(半壳)。铰链位于磁力传感器单元1100的背面上，因此在图11中是不可见的。可释放闩锁1104将两个半壳彼此进行机械固定，由此将磁力传感器单元1100夹住管1102。闩锁1104将磁力传感器单元1100充分紧固于管1102，以防止响应于正常使用时(诸如，在工业安装中)预期遭受的力，磁力传感器单元1100绕着管1102旋转或者磁力传感器单元1100沿着管1102平移。闩锁1104可被锁上，以防止未经授权地取下或篡改磁力传感器单元1100。磁力传感器单元1100可被构造成满足关于防爆保护以及防风雨的ATEX/UL指导性标准。

[0094] 有利地，由于磁力传感器单元1100不需要接触正被测量的物品，因此磁力传感器单元1100可附接到管1102，处于诸如热绝缘或管表面处理的任何现有的管覆盖件上方，而不去除管覆盖件。如有需要，可在安装好的磁力传感器单元1100上方施用附加的热绝缘或其他覆盖件。

[0095] 在图11中去除了所示出的磁力传感器单元1100的外壳的部分1105，露出磁力传感器的阵列1106。阵列1106中的每个磁力传感器可以是三轴磁力计。如可通过外壳中的开口1105看到的，磁力传感器1106成环地围绕管1102设置。每个环包括围绕环均匀分隔开的多个磁力传感器。这些内部环以规则间隔沿着管1102纵向分隔开，从而基本上创建平行于管1102的外表面并且与管1102分隔固定距离(可能，零)设置的磁力传感器的规则二维阵列。核心电路板1108包括天线1110和控制磁力传感器1106的电路，从磁力传感器1106收集数据并且借助无线通信网络与其他磁力传感器单元和/或基站(未示出)进行通信的电路。

[0096] 能量收集器1112的集合用管1102和周围环境之间的温度差来发电。可选地或可替代地，能量收集器1112可包括光伏电池和/或任何其他合适的能量采集技术。可选地或可替代地，如果需要功率并且寿命使得其是可行的代用品，则可使用带有或不带有能量采集器的主电池。可包括可再充电电池1114来储存所采集的能量，直到核心电路板1108需要该能

量。能量收集器1112可布置成环,如所示出的。

[0097] 可选择磁力计1106的间隔,以实现所期望的磁力计的密度(诸如,大约0.3英寸(7.6mm)磁力计间的间隔,即,相邻三轴磁力计传感器之间的间隔)。可基于待检测的最小尺寸缺陷来选择磁力计间的间隔。应该选择磁力计间的间隔,使得足够数量的三轴磁力计传感器跨越待检测的最小缺陷,以能够检测磁场图中的缺陷的标记的形状。

[0098] 图12示意性示出附接到管1102的磁力传感器单元1200的集合。如图12中所示,若干磁力传感器单元1200可沿着管1202的长度的全部或部分被压紧。在这个实施例中,用能量采集器环1204、1206和1206例示的每个能量采集器环为两个磁力传感器单元(能量采集器环的每侧一个)供电。如图13中示意性示出的,磁力传感器单元1300的集合可附接到管1302并且沿着管1302彼此分隔开。

[0099] 图14是根据另一个实施例的磁力传感器阵列1400的近视图。在这个实施例中,磁力传感器的阵列1400围绕管1402周缘或部分地设置,如图11至图13中一样。阵列1400包括用阵列模块1404、1406和1408例示的若干阵列模块。然而,为了清晰起见,在图14中只示出八个阵列模块。每个阵列模块1404-1408可以可拆卸地附接到一对周缘安装环1410和1412。可选地或可替代地,模块阵列1404-1408可被封装在保护壳体内部,如相对于图11至图13讨论的。在一些实施例中,附加的阵列模块附接到安装环1410和1412,所以管1402被阵列模块环绕。然而,在其他实施例中,阵列模块1404-1408可只覆盖管1402的周缘的一部分。在一些实施例中,阵列模块1404-1408可借助可拆卸的电插塞加以附接,电插塞有助于现场更换阵列模块1404-1408。在一些实施例中,阵列模块1404-1408是可热插拔的。

[0100] 阵列1400可由能量采集器1414进行供电并且可包括核心电路板1416。阵列1400包括无线收发器和天线(未示出)。

[0101] 在一些实施例中,每个阵列模块1404-1408包括一对电路板1500和1502,如图15中所示。这对电路板1500和1502中的每个电路板包括一行用磁力计1504、1506和1508例示的三轴磁力计。在一些实施例中,每个电路板包括16个三轴磁力计1504-1508。

[0102] 阵列模块1500-1502内部的每个磁力传感器1504-1508都包括三个磁力计(等同地,三轴磁力计传感器)。三个磁力计可相互正交地取向,或者它们可根据某种其他已知布置进行取向。这里,磁力计取向是指磁力计的主灵敏度的轴。在一些实施例中,每个阵列模块1404-1408(图14)包括三轴磁力计传感器的阵列(诸如,16×1阵列(如图15中一样)或16×16阵列)。

[0103] 用于定位缺陷的标记的图案匹配

[0104] 如所述的,在一些实施例中,针对指示缺陷的若干预定义空间图案(标记)中的任一个,搜索磁力数据。这些图案可以是正弦曲线,并且正弦的长度(波长)可与缺陷的尺寸成比例。从这个意义上讲,正弦的波长通常是事先未知的。如上所述,磁力传感器的环1600围绕管1602的周缘设置,从而创建平行于管1602的外表面设置的磁力传感器的规则二维阵列,如图16中示意性示出的。磁力传感器的这个阵列生成磁力数据。图17包括来自实际管的这样的磁力数据的曲线图。图17中的数据绘制由x取向的磁力计(即,沿着管长度)检测到的磁场强度分量。图18绘制由z取向的磁力计(即,正交于(或几乎正交于)管表面)检测到的磁场强度分量。曲线图(未示出)绘制由y取向的磁力计(即,垂直于x取向和y取向的磁力计)检测到的磁场强度分量。

[0105] (传感器单元1100内的) 每个磁力传感器(图11)围绕环1600以用1604(图16)例示的给定角度位置(“时钟位置”)加以设置。在图17和图18的生成数据的实施例中,每个环包括18个磁力传感器。然而,可使用其他数量的传感器。用线1700、1702和1704例示的各基本上水平线代表来自围绕管的分立角度位置处的x分量感测磁力计的数据。因此,垂直轴代表围绕管的角度位置。水平轴代表沿着管长度的距离。因此,沿着每个线1700-1704的点代表沿着管长度的磁场强度。类似地,图18示出搭配图17中的数据的位置处的磁场的z分量。由于管制造过程导致的磁场的螺旋变化是明显的,如在1710、1712、1800和1802处指示的。在1714、1716、1804和1806处存在缺陷的标记。以下描述如何检测到这个缺陷。

[0106] 从磁力计收集的数据需要经过处理,使得它沿着管并且围绕管在空间维度上是连续可辨的。使用标准方法来填充传感器数据中的间隙并且平滑且插值数据,使得可计算空间偏导数。

[0107] 沿着图17中的图线中的每个线1700-1704,类似地,沿着其他两个分量方向上的每个线(诸如,示出磁场矢量分量中的又一个的图18),计算空间导数(斜率或变化速率)。图19和图20分别是用图17和图18计算的导数的图线。计算导数的动机是,在缺陷的磁性标记和剩余磁场的大小类似的同时,缺陷往往是较小的范围并且具有较陡的起伏。因此,导数往往会放大这个较高频行为,并且相比于剩余场的导数的特征,缺陷的幅度和波长二者都是突出的。如可在图20中看到的,例如痕迹中的大部分具有适度幅度(进而磁场信号中的适度斜率)。这些是非缺陷区域中的痕迹。图20中心处的浅灰色痕迹2000是与缺陷交叉的两个痕迹。在这个导数图线中看到,从非缺陷(剩余)区域中,这些痕迹的幅度突出,从而提供用于使检测算法运行的附加信息。

[0108] 自动图案匹配器搜索所得导数中的匹配若干正弦或余弦模板中的一个的部分。每个模板对应于不同空间波长。使用许多模板,因为如所述的,缺陷的空间范围进而缺陷的正弦和余弦的空间波长是事先未知的。使用波长与磁场数据的相关性最强的模板进行缺陷的检测和表征。

[0109] 即,针对磁场的x、y和z分量进行的三个单独分析中查明的缺陷位置被合并,以产生最终检测位置和置信度。

#### [0110] 缺陷表征

[0111] 一旦已经找到缺陷位置,就可依据体积(材料损失的量)和表面范围(管的表面处或平行于管的表面,如果缺陷在管内部的话)来表征缺陷。在一些情况下,做出关于缺陷的一般形状的假定。例如,可假定缺陷在管的表面上是基本上圆形或椭圆形的或者具有某种垂直剖面。用这些种类的假设,可逼近缺陷的面积和深度。

[0112] 所测得磁场的z分量正交于正被测量的铁磁材料的表面,如针对管在图21中示出的。磁场的z分量的幅度与由于缺陷导致的铁磁材料损失的量成比例。因此,对于具有相同直径的缺陷,磁场的z分量也与缺陷的深度成比例。图21中的曲线图代表三个模拟缺陷,这些缺陷在管的表面处都具有相同直径(管壁厚度的四倍)。曲线2100代表其深度是管壁厚度的30%的缺陷。曲线2102代表其深度是管壁厚度的15%的缺陷。曲线2104代表其深度是管壁厚度的7%的缺陷。如可在曲线图中看到的,磁场的z分量的幅度与缺陷的深度相关。z分量的幅度进一步与材料损失体积成比例,并且针对生长的缺陷的典型形状的假设集合,可推导缺陷的深度。可在全部这三个磁场轴上看到这个结果。因此,在给定磁场分量幅度的情

况下,若假定已知材料的极化,可确定缺陷量,如以下进一步描述的。这个信息与缺陷面积和深度剖面的组合允许确定大致缺陷深度。

[0113] 然而,对于给定的缺陷深度,磁场的任一分量的幅度随着缺陷表面积的增大而增大。这是将预期到的,因为信号的幅度与缺陷的体积成比例,并且随着表面积增大,对于指定深度,缺陷的体积也增大。在图22中,曲线图代表针对都具有相同深度(管壁厚度的15%)的三个模拟缺陷的磁场的z分量。曲线2200代表其直径是2英寸(50.8mm)的缺陷。曲线2202代表其直径是1英寸(25.4mm)的缺陷。曲线2204代表其直径是0.5英寸(12.7mm)的缺陷。如可明白的,当缺陷深度恒定时,磁场的z分量的幅度随着由于缺陷的体积增大而导致的缺陷表面积而增大。然而,增大遵循用2206示出的可预测曲线(因为它代表体积)。因此,该增大可以是用数学模型加以解释。被指示为“范围”2208的曲线中的谷到曲线中的峰的距离与沿着创建图线的磁力计的方向的缺陷的范围成比例。

[0114] 缺陷信号的强度与材料损失体积和材料磁化水平二者成比例。因此,确定管磁化可用于确定材料损失的量,因此可用于表征缺陷的面积和深度。确定磁场不应该在缺陷部位进行,而是应该在附近的非缺陷部位进行。局部“剩余”管磁化的这种测量能够将缺陷信号归一化,由此有效校准缺陷体积和深度计算。通过如上所述定位缺陷,缺陷检测系统测量管的剩余磁化水平,即,不包括缺陷的区域中的其磁化水平。

[0115] 图23是紧邻管中缺陷的沿着x轴(纵向沿着管)的磁场强度的曲线图。这三个图线都代表相同的管缺陷,并且这三个图线表示缺陷的标记。然而,在收集每个图线的数据之前,管被磁化成不同程度。至于图线2300,用以690A/m(安培/米)的强度操作的线圈进行管磁化。至于图线2302,以460A/m进行管磁化。至于图线2304,以230A/m进行管磁化。如从图线中可看到的,缺陷信号与管磁化直接成比例地增大。

[0116] 在图24中,用曲线图示出用于测量管中的局部剩余场的强度的一个实施例。至于具有泄漏路径(常常是由于它们因制造处理而造成的不均匀)的管,z磁场(相对于管的中轴的径向)具有沿着水管长度的斜率。该斜率与磁场强度成比例。图24中的倾斜痕迹对应于图23中示出的磁化情况,其中,最小斜率对应于230A/m情况并且最大斜率对应于690A/m情况。在这些状况下,磁场的z分量提供了管中的剩余磁场强度的独立度量。

[0117] 图23的图线已经根据剩余磁化水平被归一化,从而产生图25中的图线,这些图线被编号以对应于图23中的图线。如通过比较图23和图25而看到的,可通过根据管的剩余磁化水平进行归一化,使信号幅度主要独立于管磁化水平。以此方式,通过之后的深度计算,可将磁性测量幅度转换成体积和面积。

[0118] 料想到确定管的剩余磁化水平的其他方法。例如,当安装管时,可将管磁化成已知水平,或者可将管磁化成任意水平并且可测量磁化水平。在任一种情况下,该磁化水平可被存储在当已经检测到缺陷并且期望体积和深度信息时由基站随后可访问并且使用的存储器中。可选地或可替代地,即使没有存储关于管的前一磁化水平的信息,一旦已经检测到缺陷,也可使用磁力传感器,以使用以上斜率方法或其他独立测量方法来测量远离检测到的所有缺陷的一个或多个区域中的管的剩余磁化。

[0119] 如本文中使用的,“相隔距离(standoff)”意指缺陷和磁力计之间的距离,如图26中示意性示出的。理论和测试表明,当紧邻磁偶极时,信号强度根据平方反比定律而下降。如果传感器具有距离与偶极子的特征长度近似的相隔距离,则偶极子表现为两个独立的极

子，并且信号强度如平方反比地下降。随着相隔距离增大，偶极子的范围表现为变小，变成点源。在这些条件下，理论和测试表明，信号强度根据立方反比定律而下降。因此，随着相隔距离移动超出缺陷尺寸，小缺陷具有更大的信号损失，而大缺陷针对较大相隔距离，持续“享有”其信号的平方反比劣化。例如，对于1英寸(25.4mm)方形缺陷，当相隔距离从0.25英寸(6.4mm)增至2.25英寸(51.2mm)时，信号损失大于大约一个数量级。剩余管磁化特征，由于它们较大的空间范围，而使强度更缓慢地下降。但是，本文中描述的设备和方法可靠地检测预期在传统管中发现的缺陷(诸如，油和气管道、精炼厂中的缺陷)。

[0120] 管壁厚度内或内壁上的缺陷必须比管外壁上的缺陷更远离磁力计。然而，模拟和测试只指示来自内部缺陷对外部缺陷的少量信号损失，如图27中的图线所指示的。信号幅度的减小中的很多是由于与外部缺陷相反的内部缺陷中固有的较大相隔距离。图线2700是针对外部缺陷，图线2702是针对内部缺陷。

[0121] 如之前讨论中已经表明的，检测到的信号中的许多参数具有多个独立源。当执行缺陷的检测和表征时，应该理解并且管理这些独立性。关系是传感器间隔的关系。如图14和图15中隐含的，磁力传感器(磁力计)的紧密间隔是所关注的。磁力计的间隔涉及如何可检测和表征小的缺陷(如沿着表面测量的)。由于检测方法依赖于找到与正弦和余弦波的相关性，因此沿着正弦波必须有充足量的磁力计来确定它确实是正弦波。实际上，可使用间隔开0.3英寸至0.4英寸(7.6至10.2mm)的传感器来检测在相隔距离近时的大约1英寸(25.4mm)缺陷。随着相隔距离增大或表面尺寸减小，可靠检测缺陷的能力下降，而错过的缺陷或故障警报的可能性增大。

#### [0122] 时间缺陷检测

[0123] 如所述的，在本发明的一些实施例中，不同于搜索针对缺陷的标记的磁力数据，将不同时间收集到的两个数据集进行比较，以检测缺陷。例如，当物品崭新时或者在某个其他参考时间点，收集一个数据集。随后，收集第二数据集。这两个数据集在空间上相关，然后从第一数据集中的空间对应磁场强度中减去第二数据集中的磁场强度。针对每个轴，执行这些减法。图28是此减法结果的表面图线，示出磁场的x轴。缺陷标记是清楚可见的，如用虚线2800所强调的。线2800的形状近似于图4中的By曲线的形状，因此是缺陷的特征。实际上，通过空间分析的基础方法遵循此时间减法来找到缺陷—拟合正弦和余弦波中的一个以确认剩余信号是缺陷的标记。如上所述，相对于空间缺陷检测，可组合关于三个轴中的每个中检测到的缺陷的空间信息，以生成更准确的缺陷检测信息。可在此时间方法之后，应用以上用于表征缺陷(体积，面积和深度)的方法。

#### [0124] 物理扫描物品的缺陷

[0125] 如所述的，可通过围绕物品设置的磁力传感器的固定集合来得到关于物品的磁力数据。可选地或可替代地，可用比原本在不进行扫描的情况下得到磁力数据所必须的小的磁力传感器集合对物品进行物理扫描。可沿着物品的纵轴或者沿着任何其他合适方向对物品进行扫描。图29是物理扫描仪2900的透视图示。可由扫描仪2900扫描诸如管的物品2902。通过一个、两个、三个自由度的扫描仪臂2906来支承单个磁力传感器、一小组磁力传感器或磁力传感器2904的一维阵列。第一线性电机2908垂直地将磁力传感器2904的阵列定位成与物品2902相距合适距离。第二线性电机2910将磁力传感器2904的阵列沿着垂直于扫描轴的轴定位。第三线性电机2912将磁力传感器2904的阵列沿着扫描轴平移。一旦扫描已完成，就

可将物品绕着扫描轴旋转，并且可执行另一个扫描。重复这个过程，直到已经扫描了物品的所有期望部分。

[0126] 在另一个实施例中，图30中透视地示出，通过物理扫描仪3002平移磁力传感器的环。在其他实施例中，扫描可以是二维的。例如，用合适的物理扫描仪，可对物品进行螺旋扫描、光栅扫描或根据另一条路径进行扫描。

[0127] 可通过处理器执行存储器中存储的指令来执行从磁力计、磁场映射器、图案匹配器的数据收集，以及基站控制功能和本文中描述的其他功能，如图31中示意性示出的。

[0128] 虽然通过上述示例性实施例描述了本发明，但可在不脱离本文中公开的发明构思的情况下形成所示实施例的修改、变形和变化。此外，可按以上没有列出和/或没有明确申明的方式来组合所公开的方面或其部分。因此，本发明应该被视为限于所公开的实施例。

[0129] 虽然可参照流程图和/或框图来描述实施例的方面，但各框或框的组合中的全部或部分的功能、操作、决策等可被组合、分成单独的操作或者按其它次序来执行。各框或框的组合中的全部或部分可被实现为计算机程序指令（诸如，软件）、硬件（诸如，组合逻辑、专用集成电路（ASIC）、现场可编程门阵列（FPGA）或其他硬件）、固件或其组合。可通过处理器执行存储在存储器中的指令来实现实施例，或者可通过存储在存储器中的指令来控制实施例。存储器可以是适于存储控制软件或其他指令和数据的随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、闪速存储器或任何其他存储器、或其组合。限定本发明的功能的指令可按许多形式被传递到处理器，这些形式包括（但不限于）永久存储在有形不可写存储介质（例如，诸如ROM的计算机内的只读存储器装置、或诸如CD-ROM或DVD盘的计算机I/O附件可读取的装置）上的信息、可变地存储在有形可写存储介质（例如，软盘、可移除闪速存储器和硬驱动器）上的信息或通过通信介质（包括有线或无线计算机网络）传送到计算机的信息。此外，虽然可结合各种例证性数据结构来描述实施例，但可使用各种数据结构来实施系统。

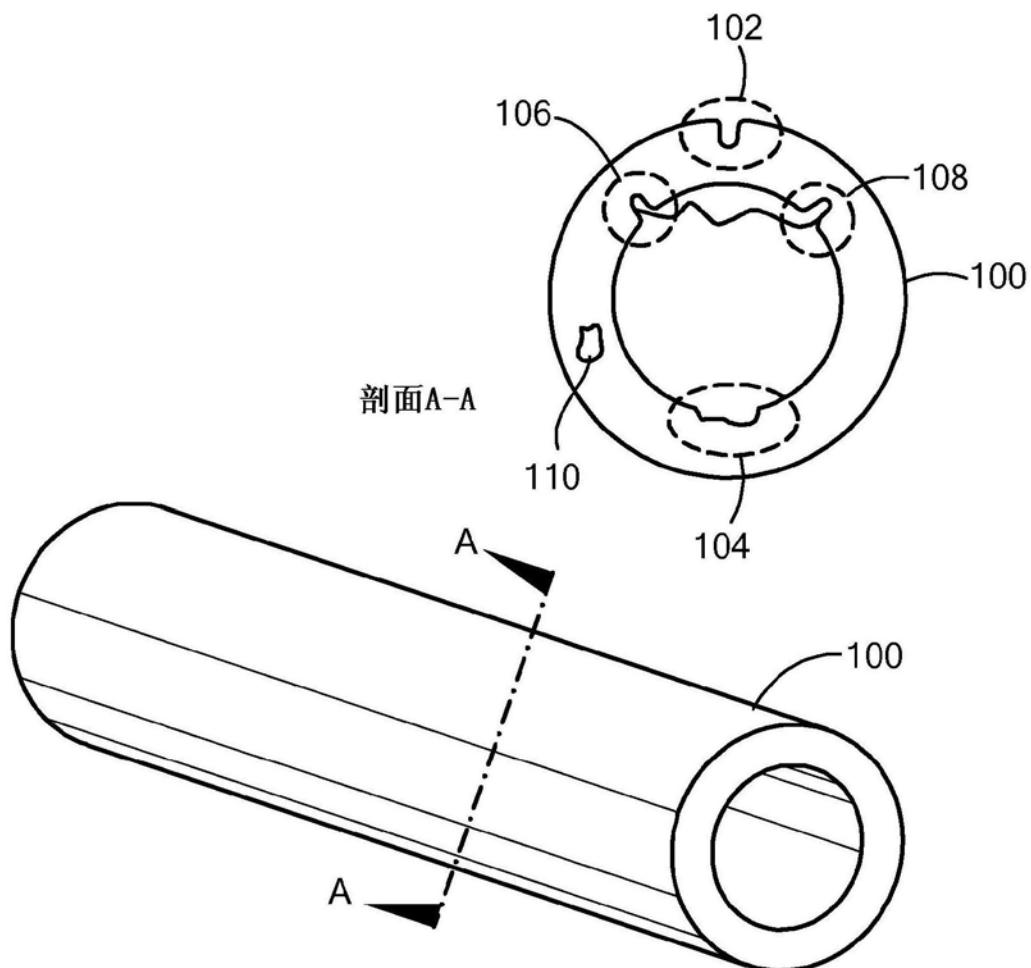


图1

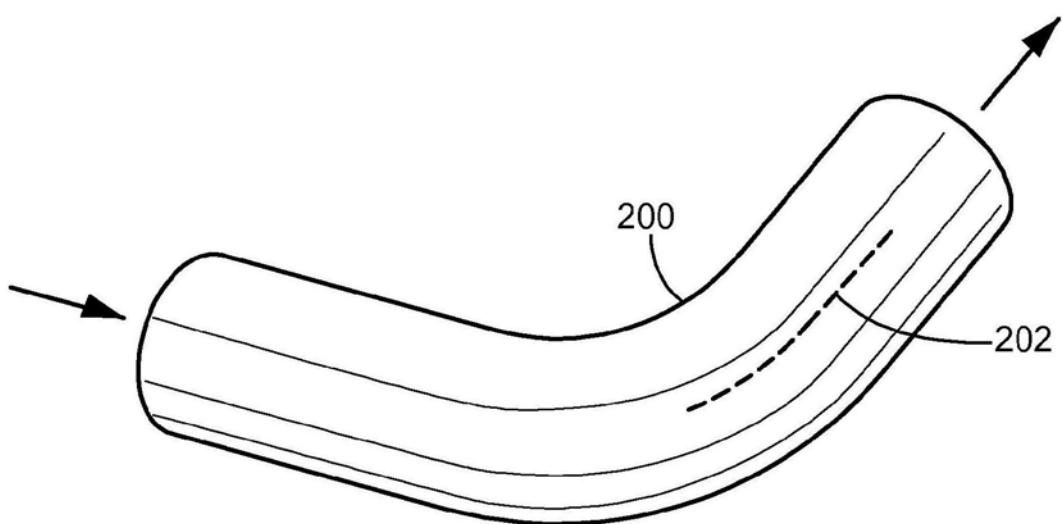


图2

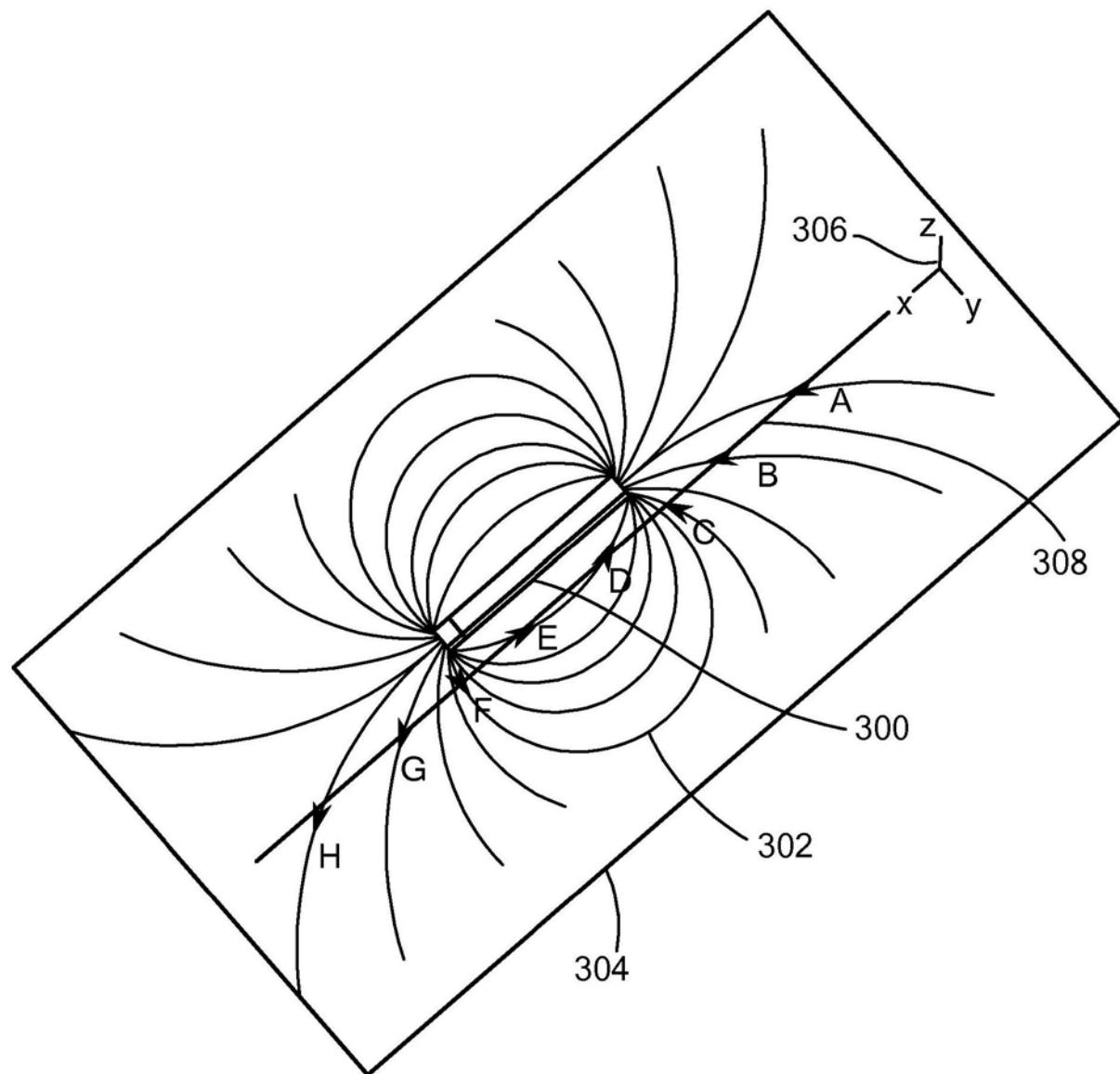


图3

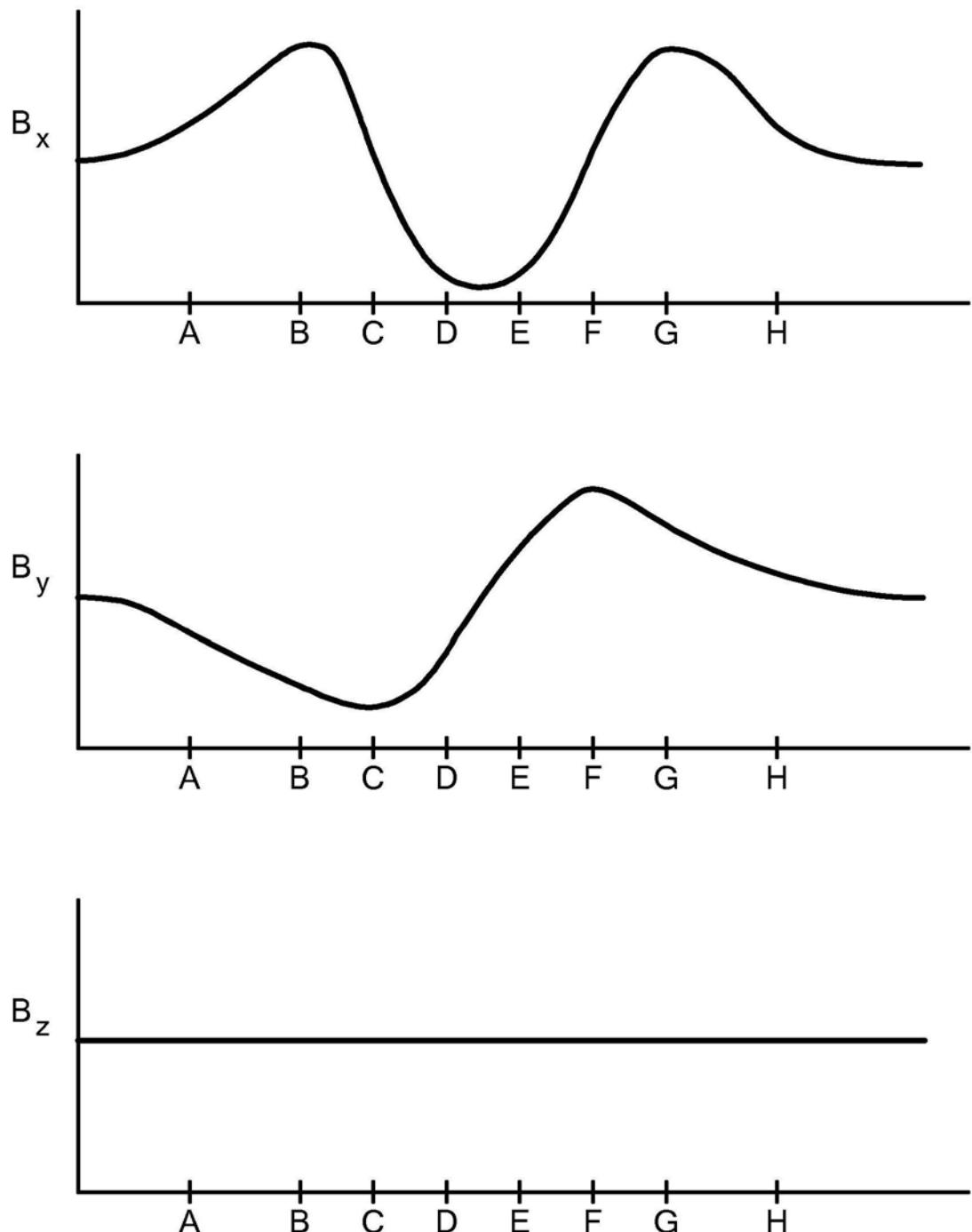


图4

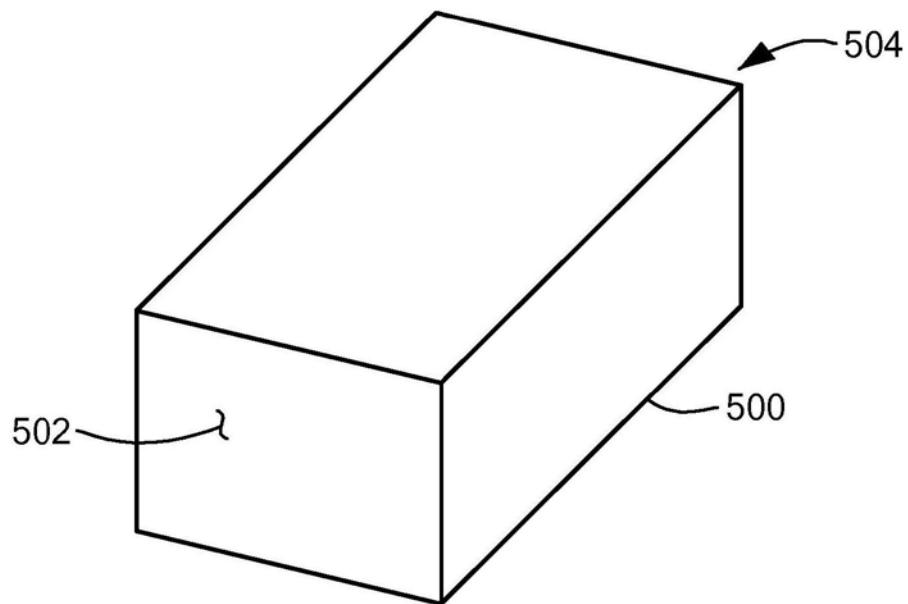


图5

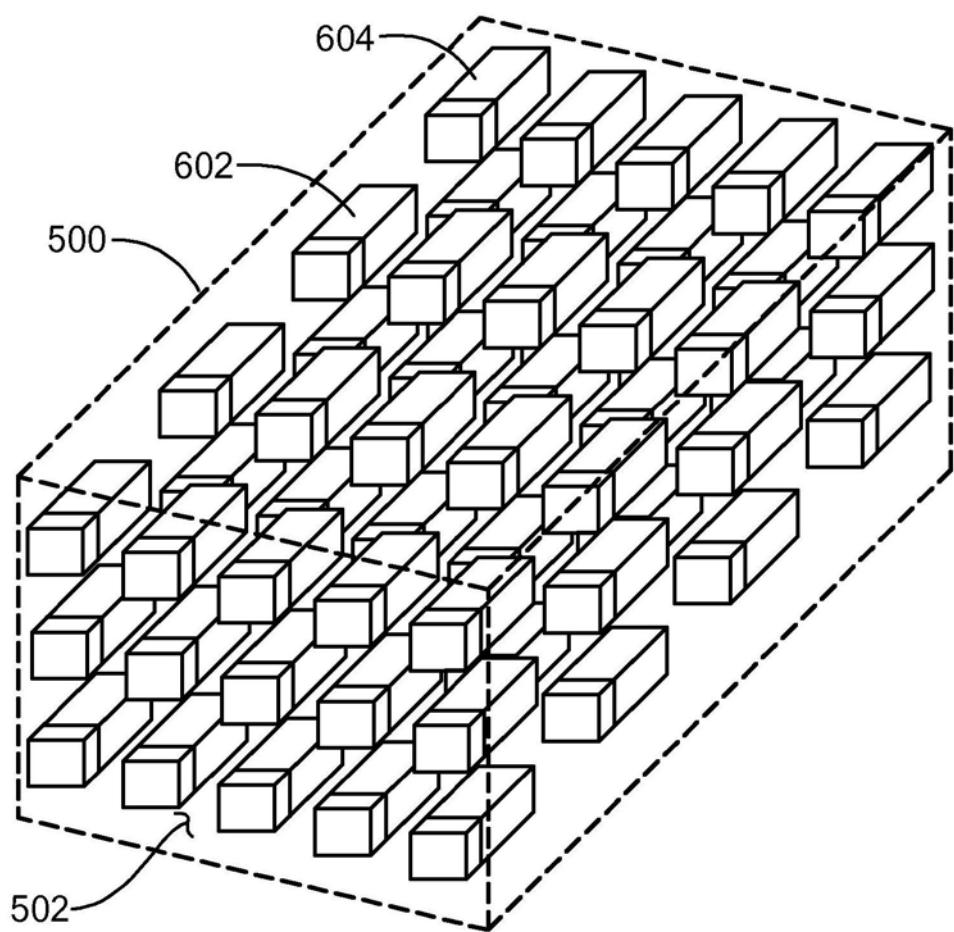


图6

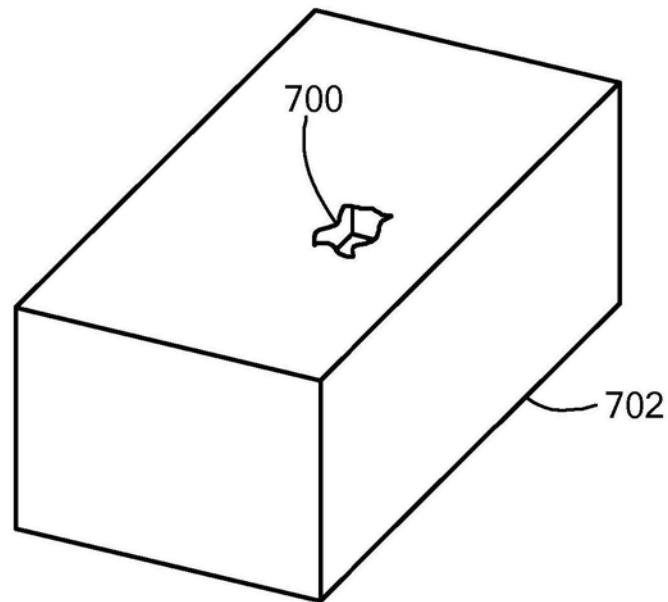


图7

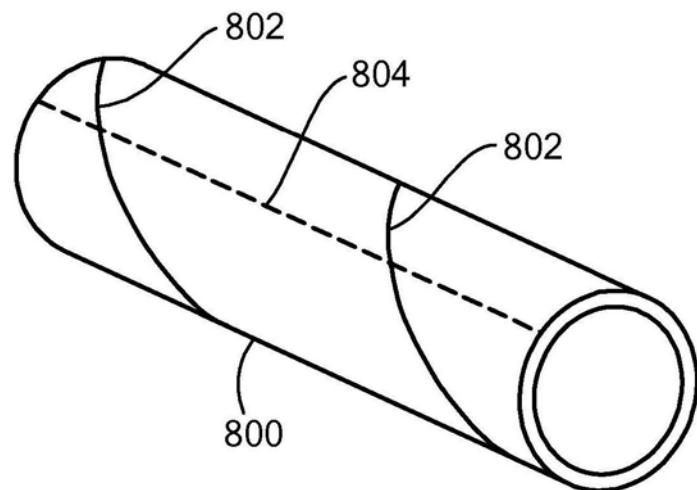


图8

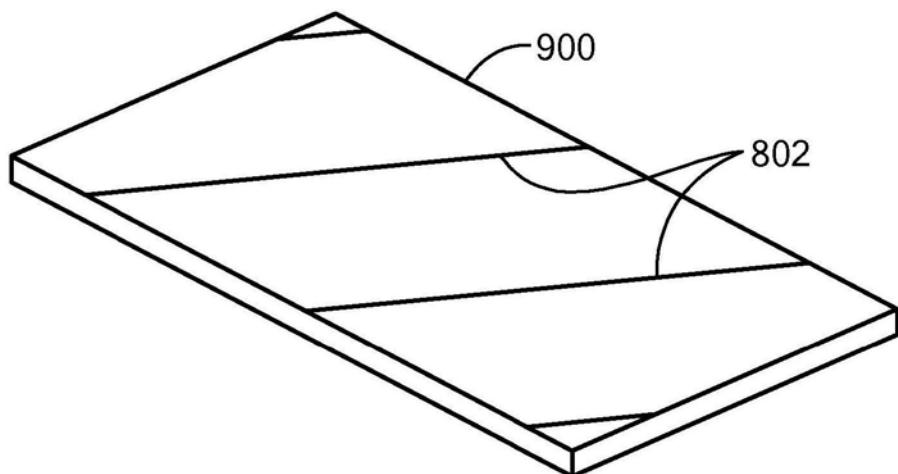


图9

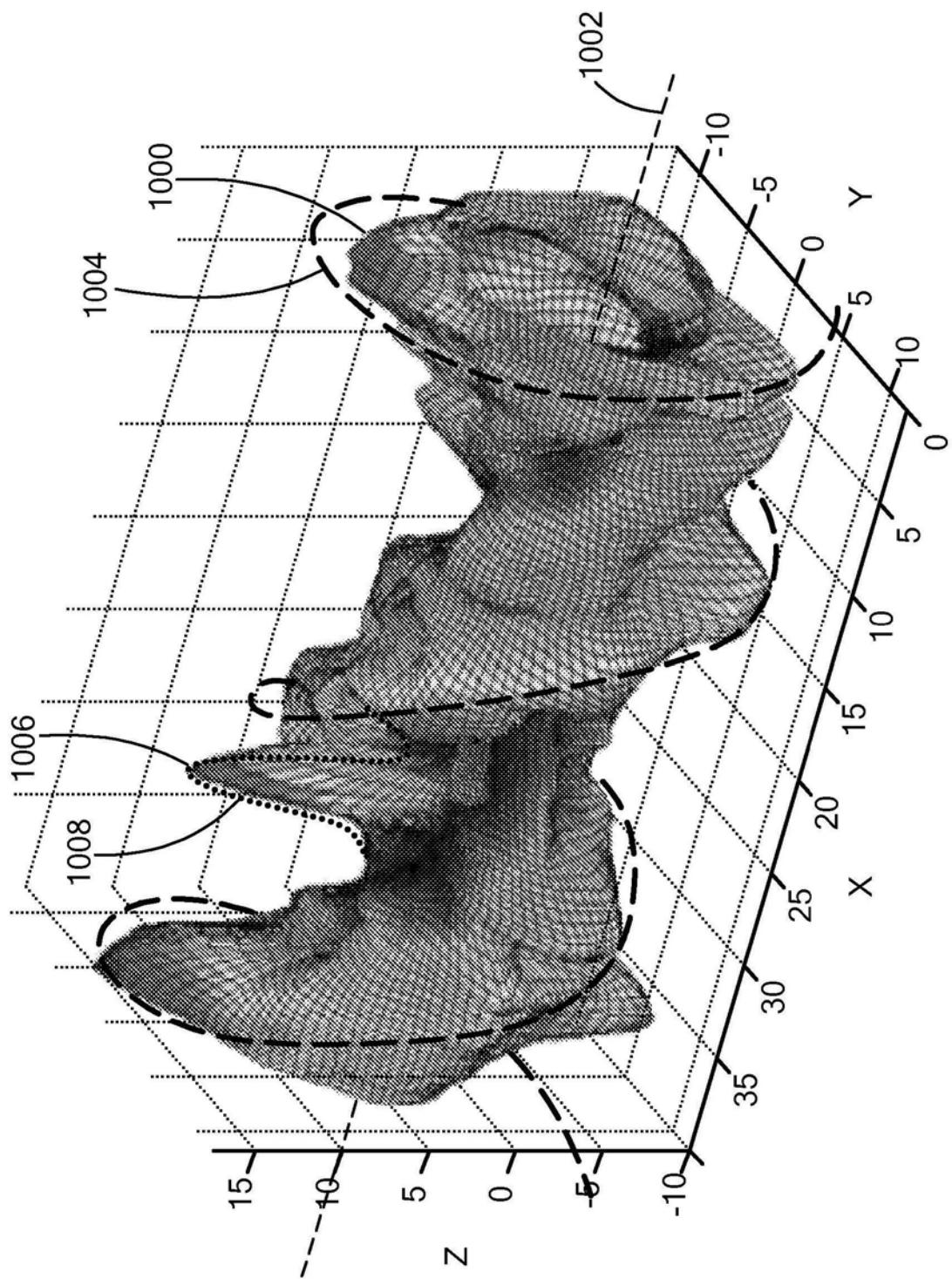


图10

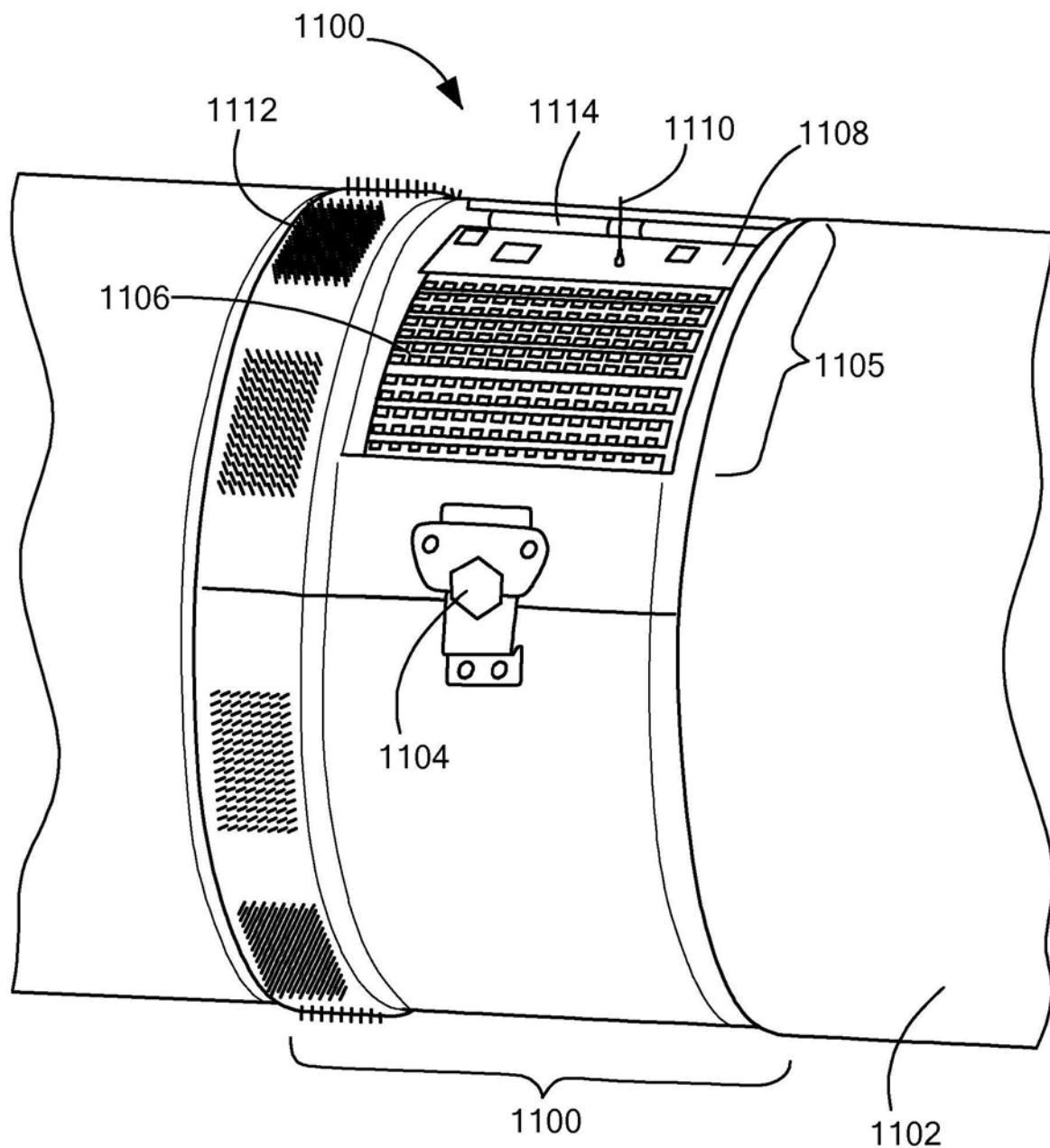


图11

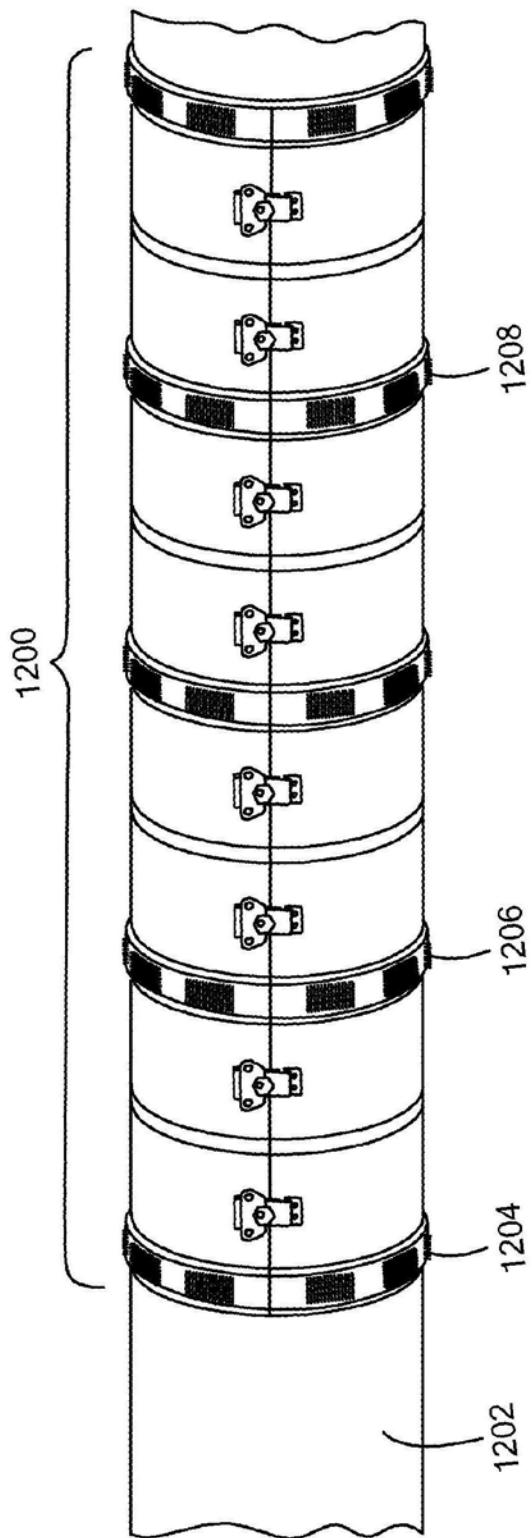


图12

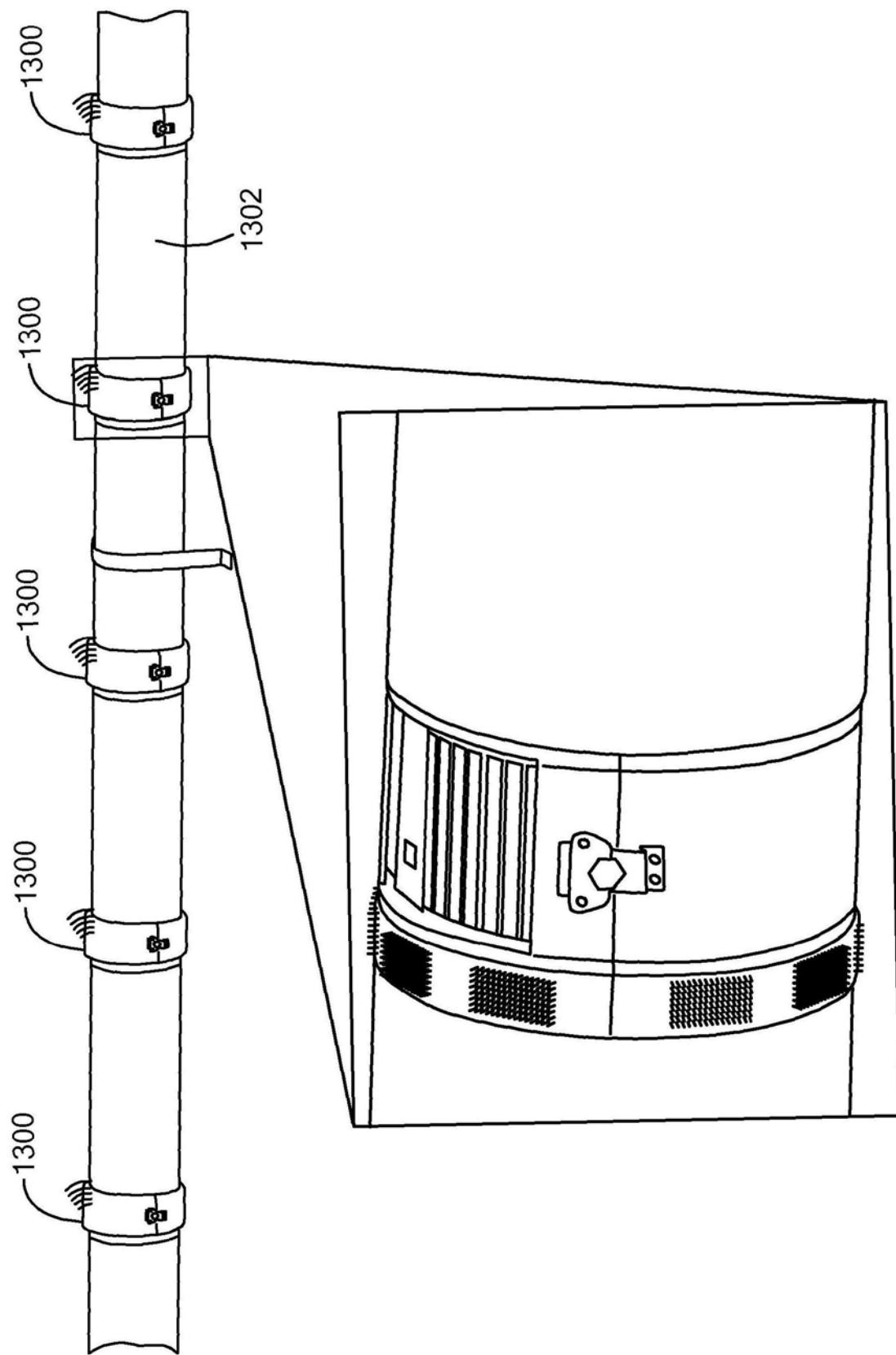


图13

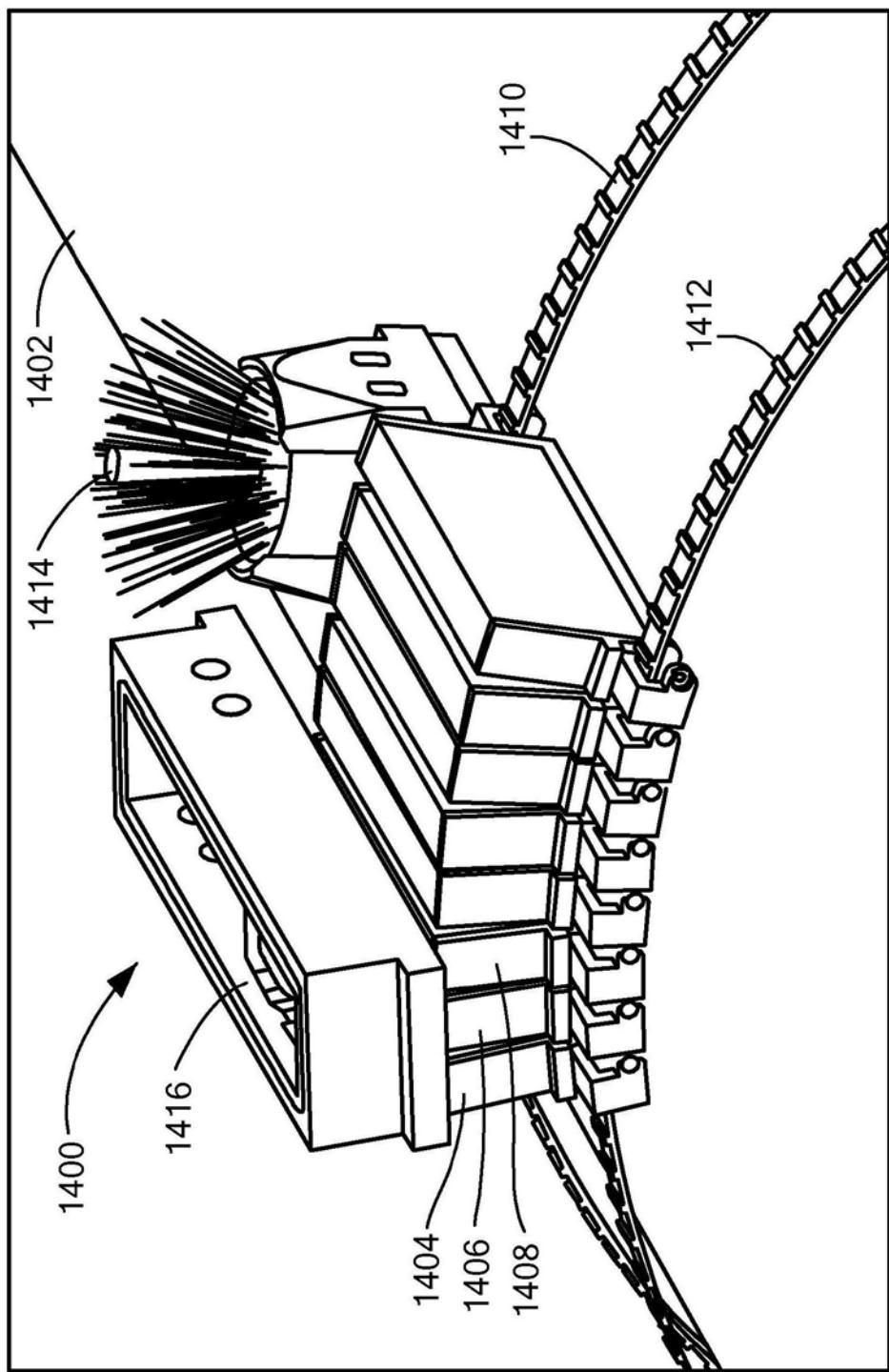


图14

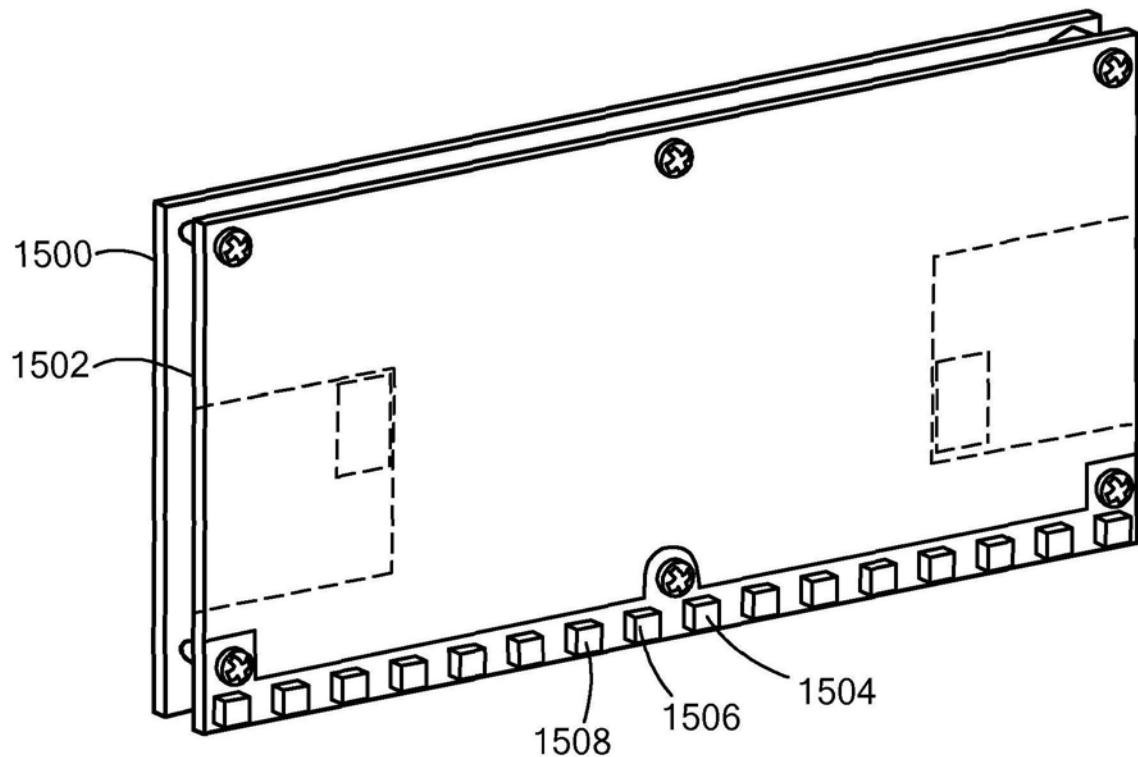


图15

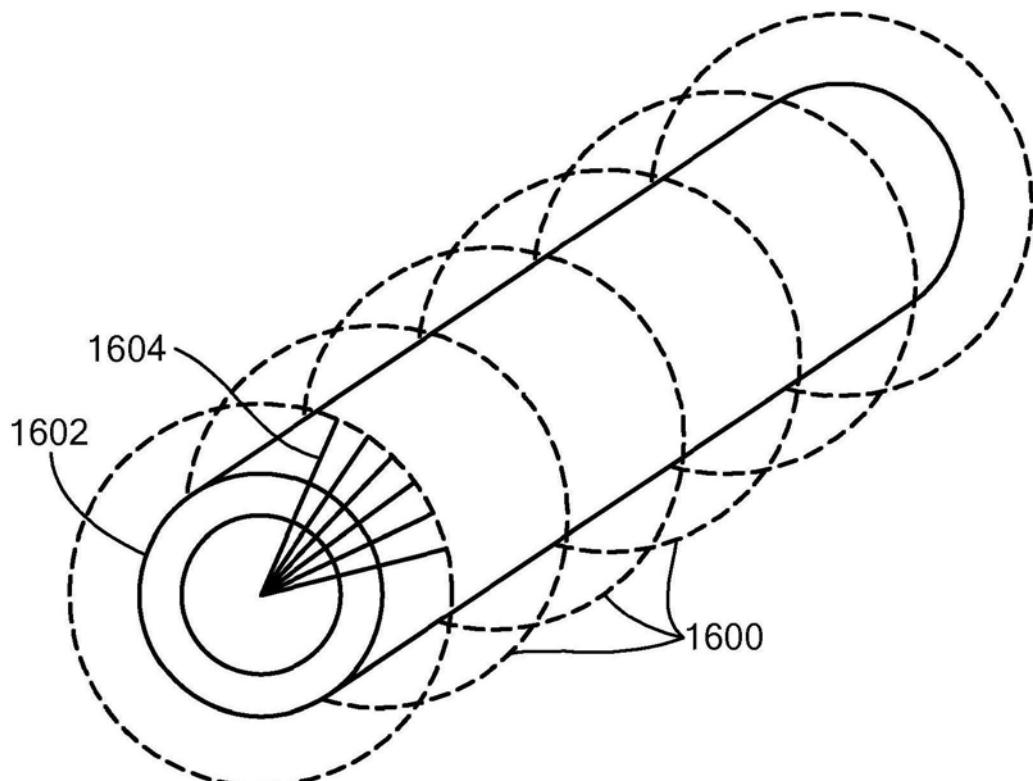


图16

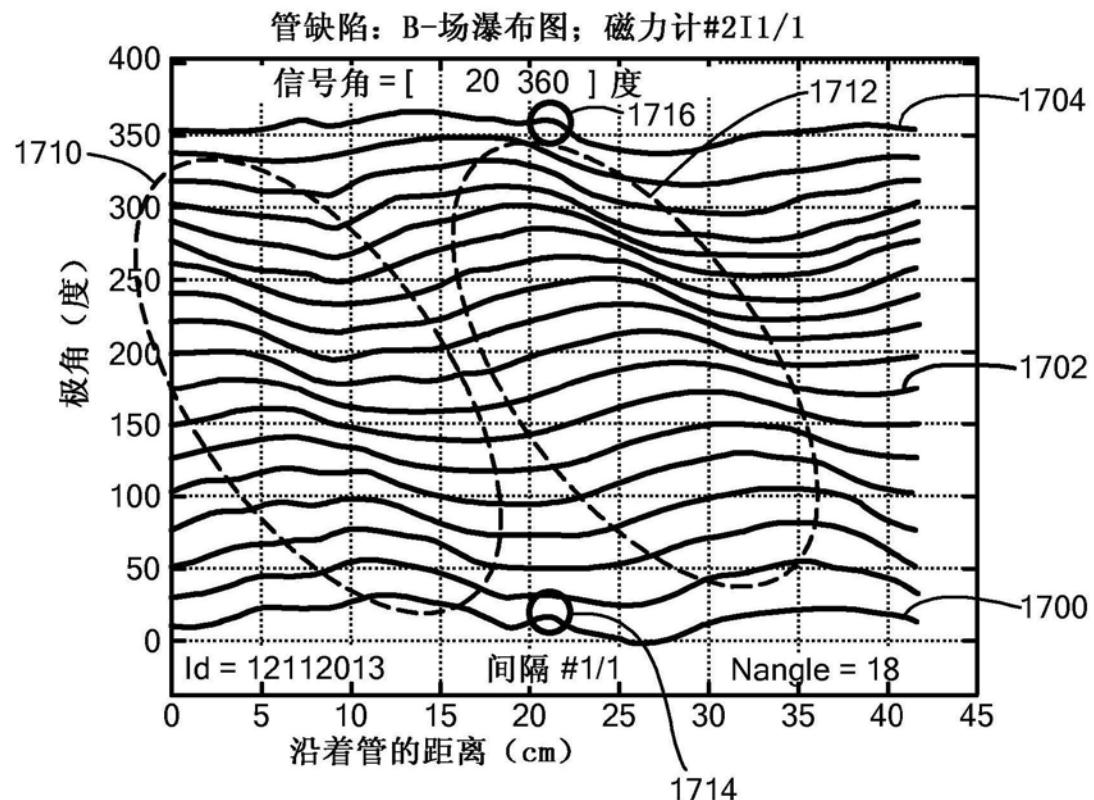


图17

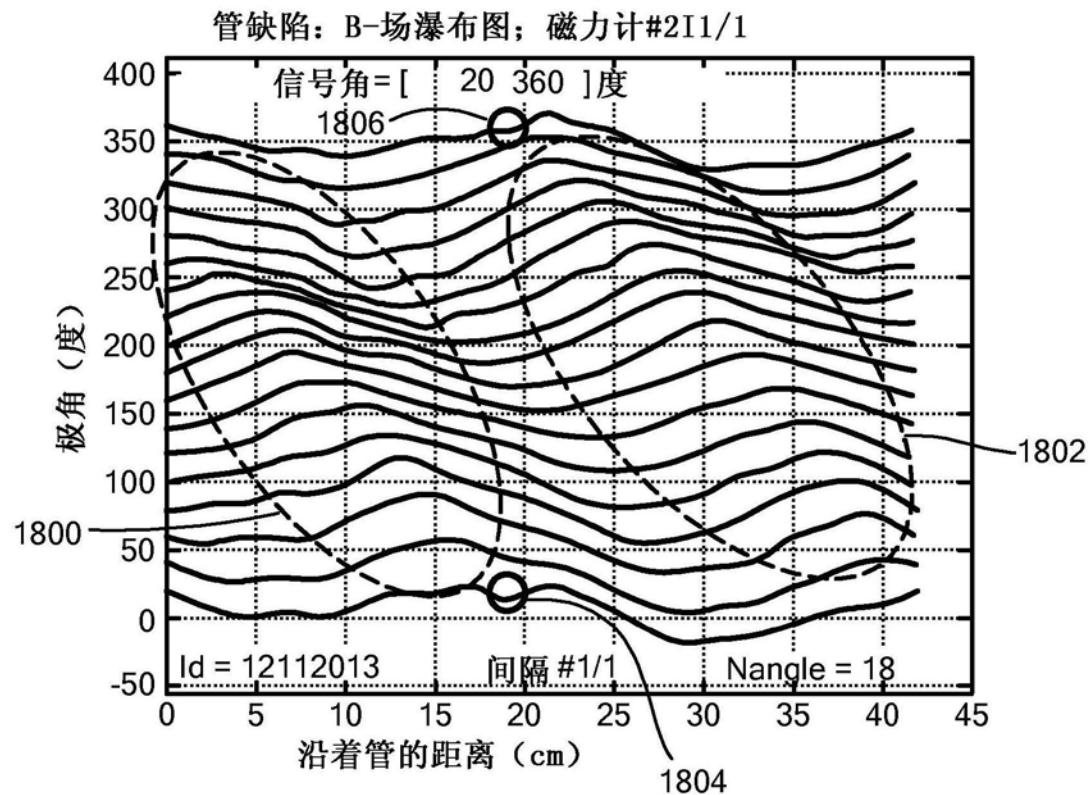


图18

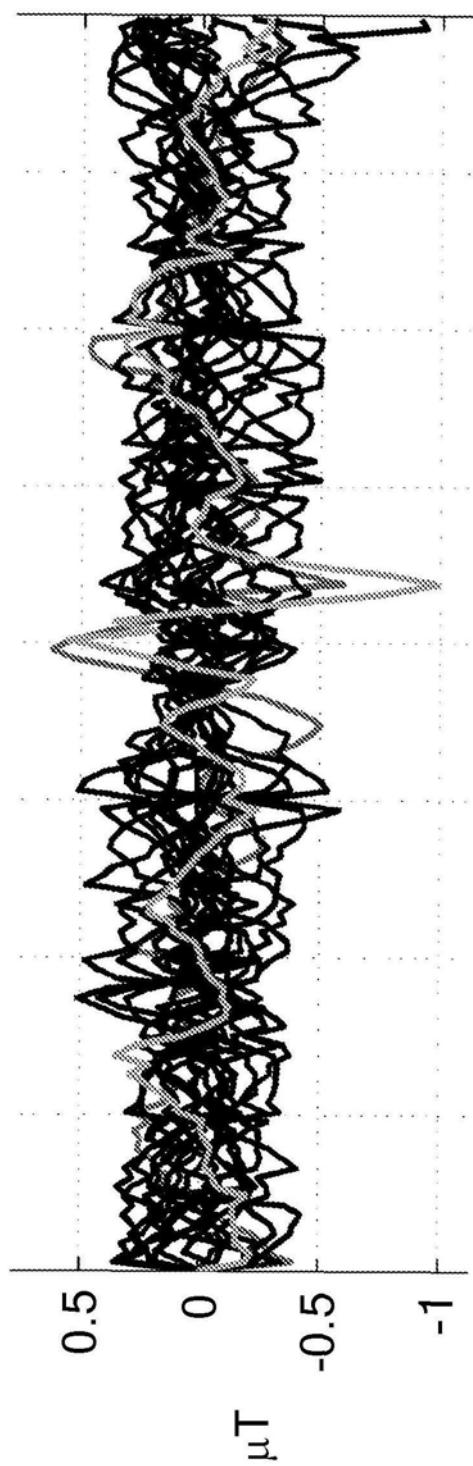


图19

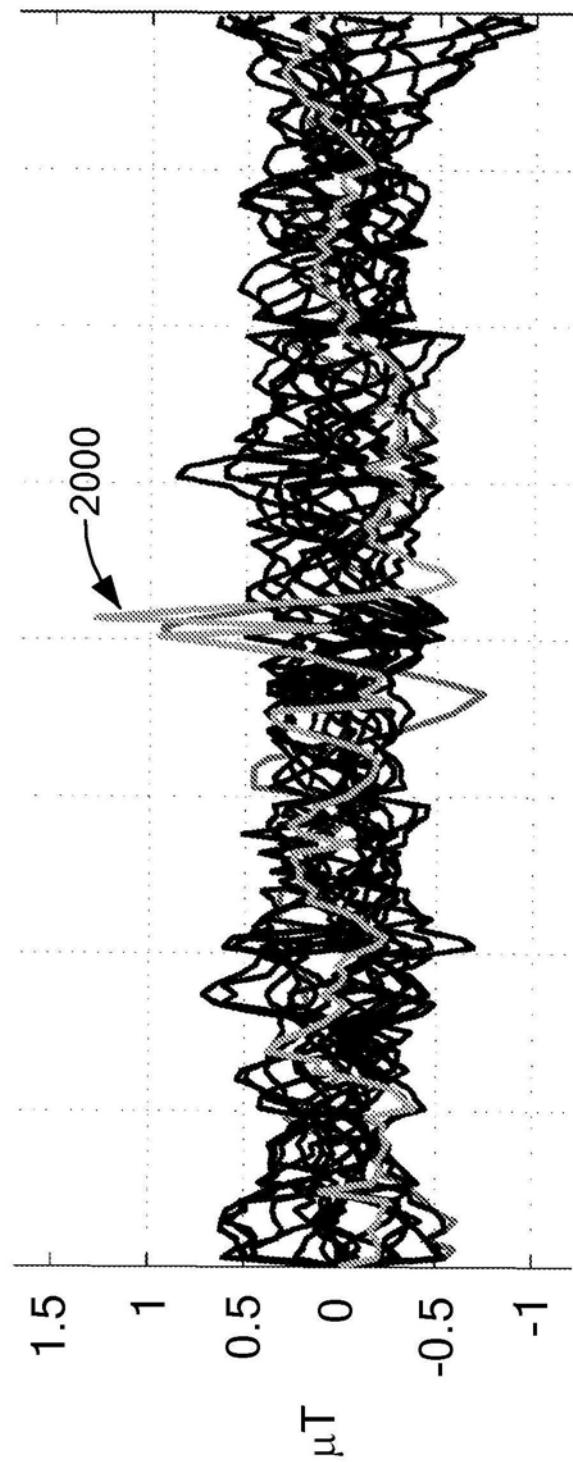


图20

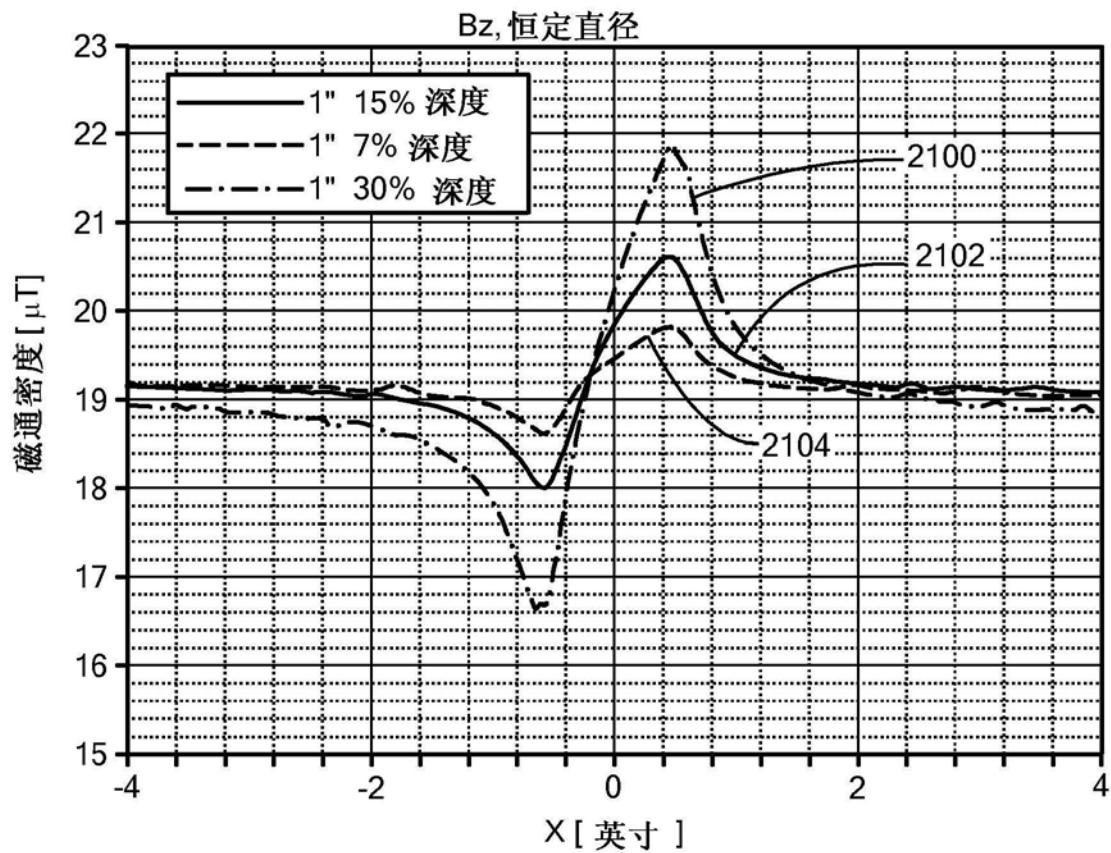


图21

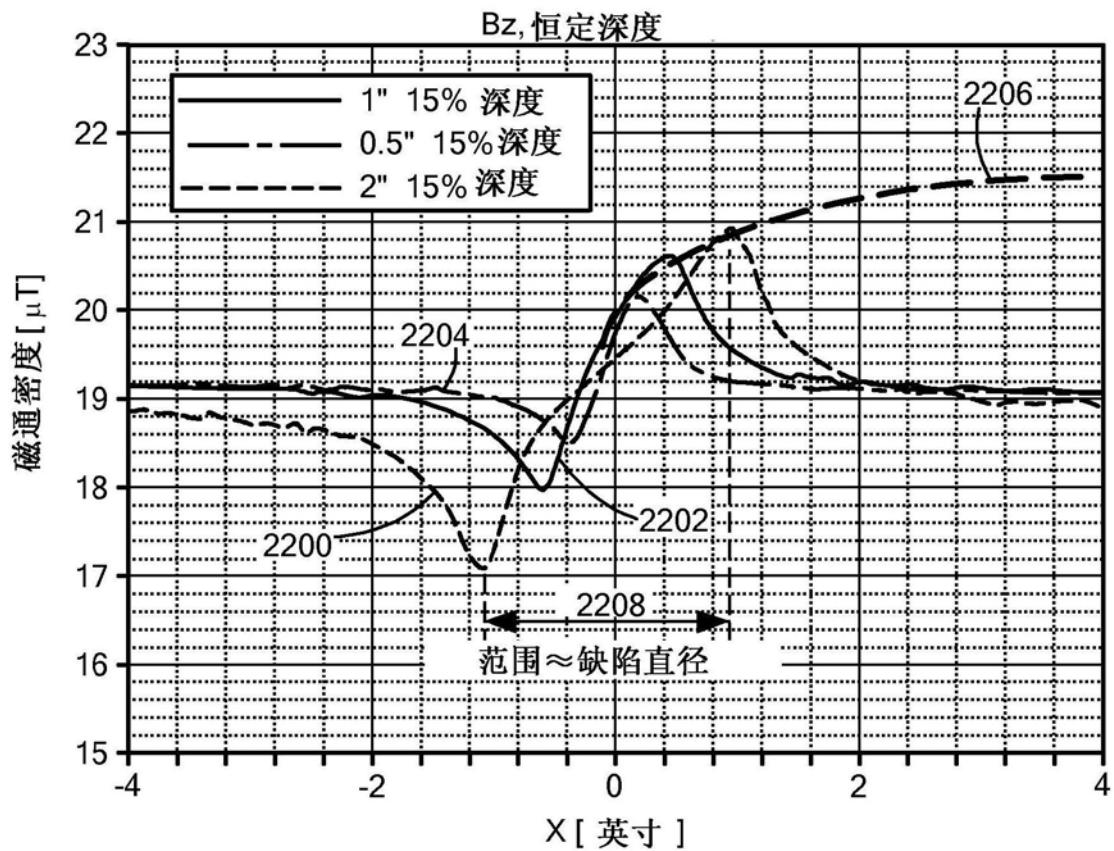


图22

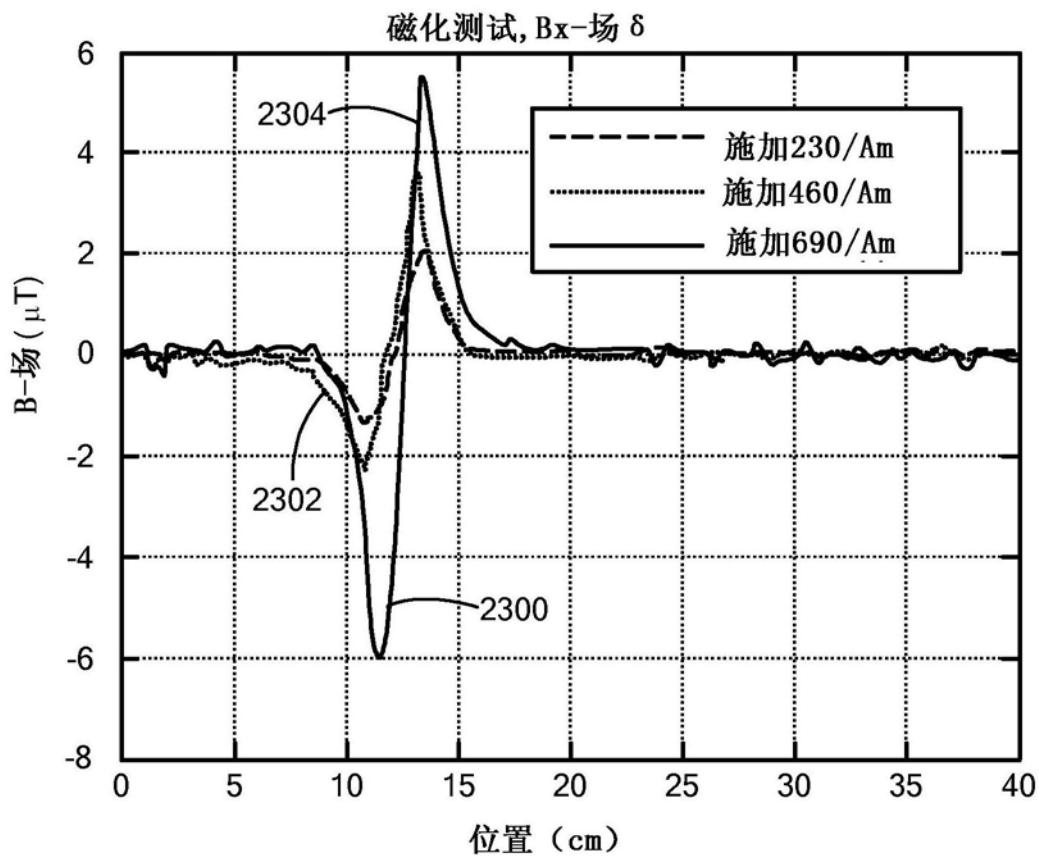


图23

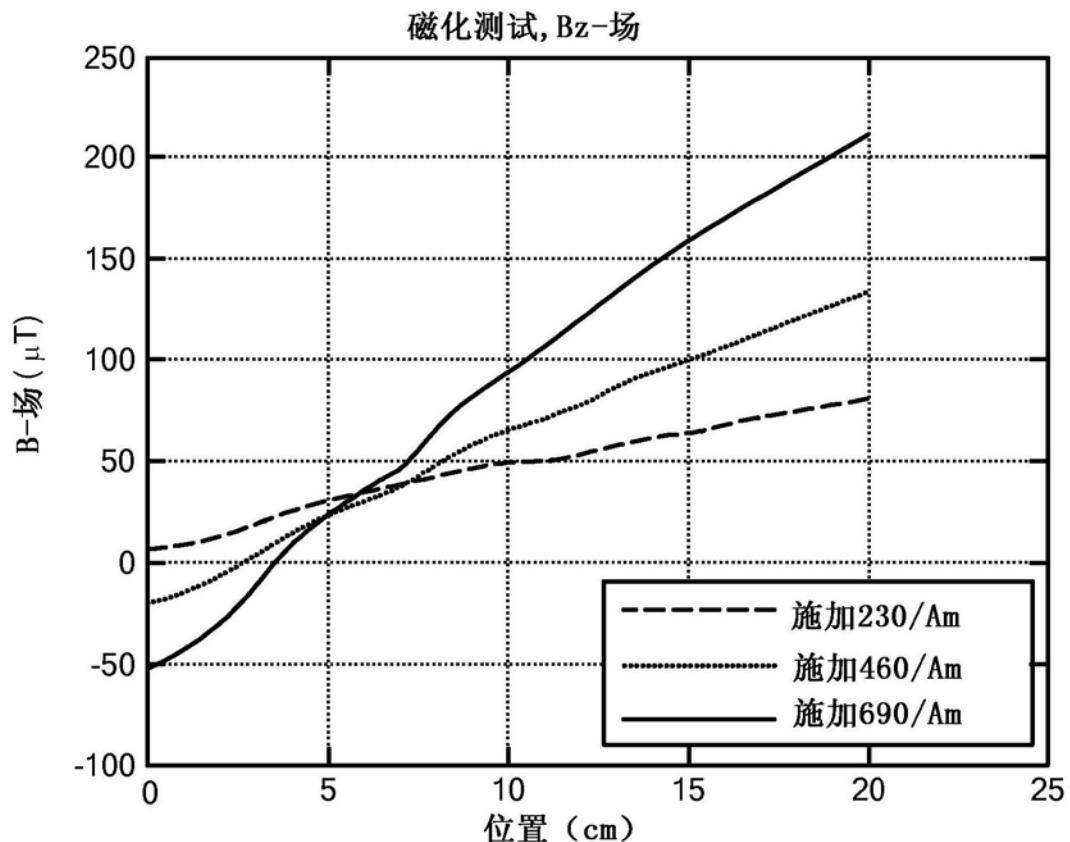


图24

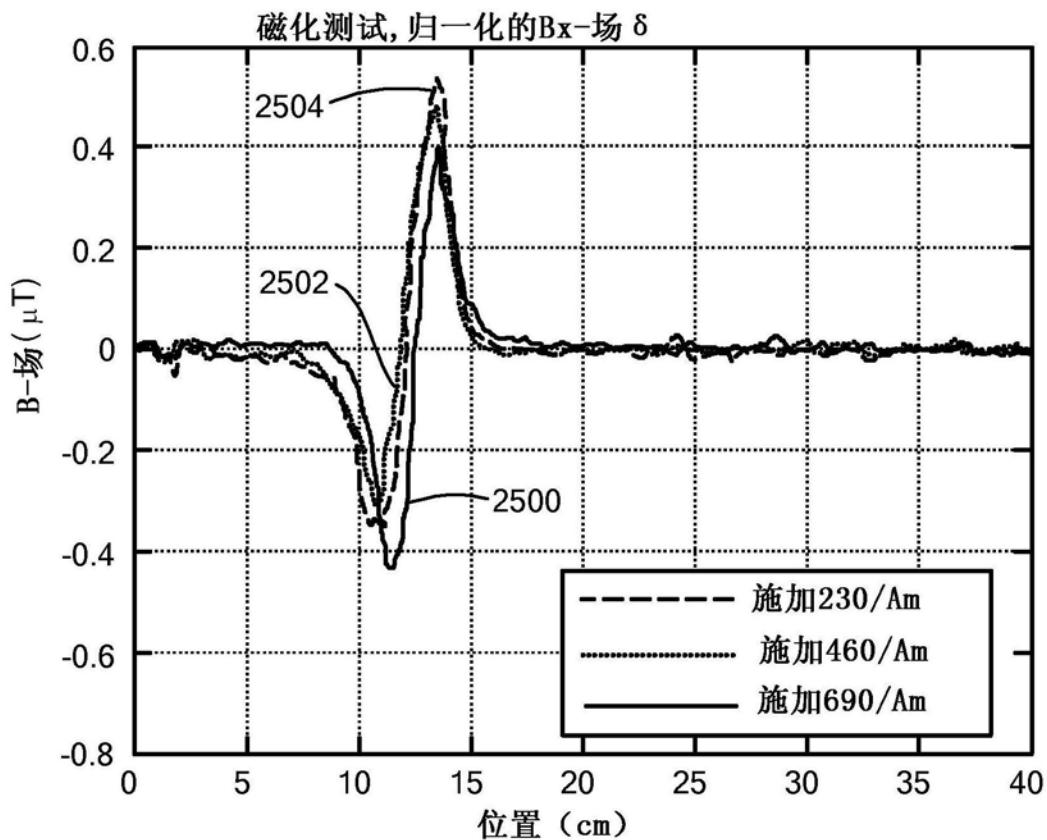


图25

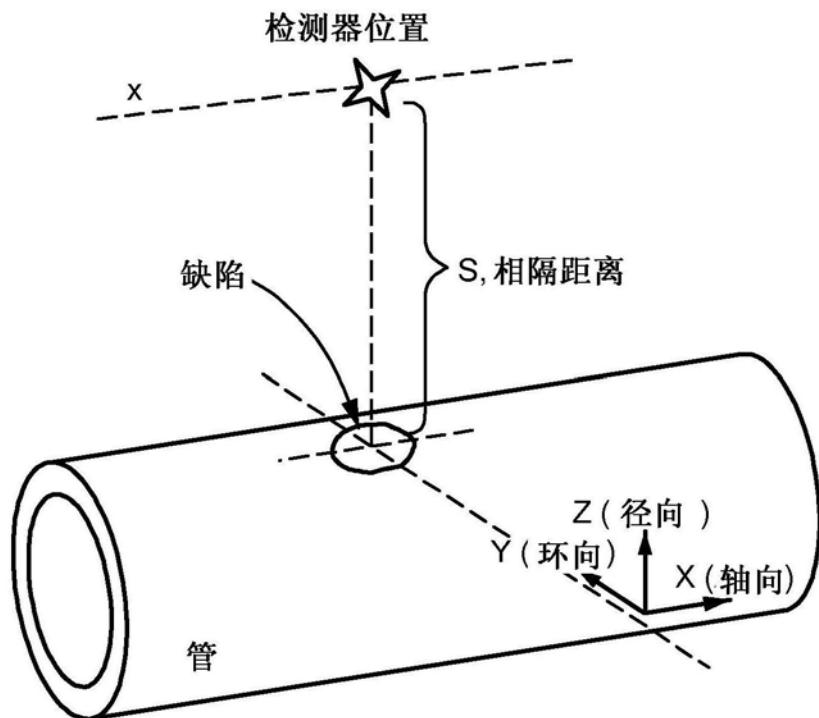


图26

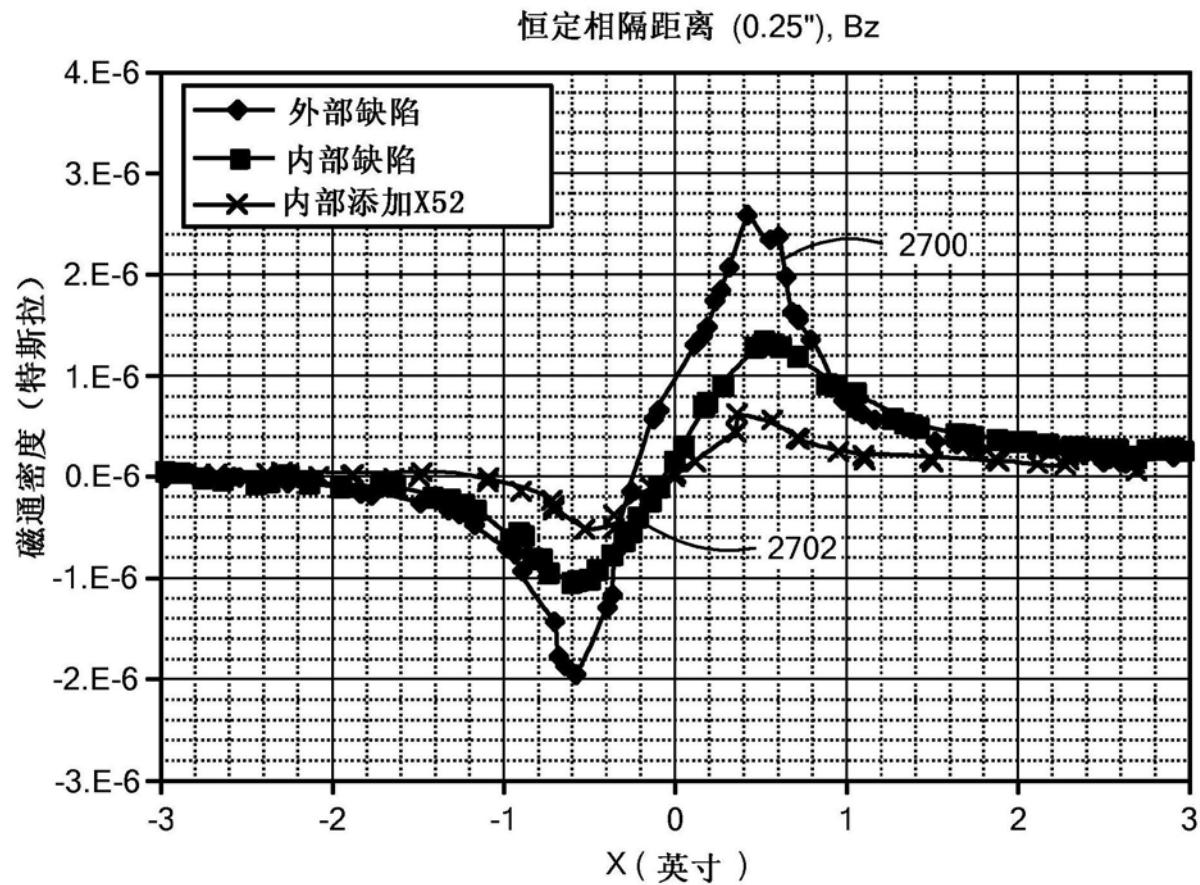


图27

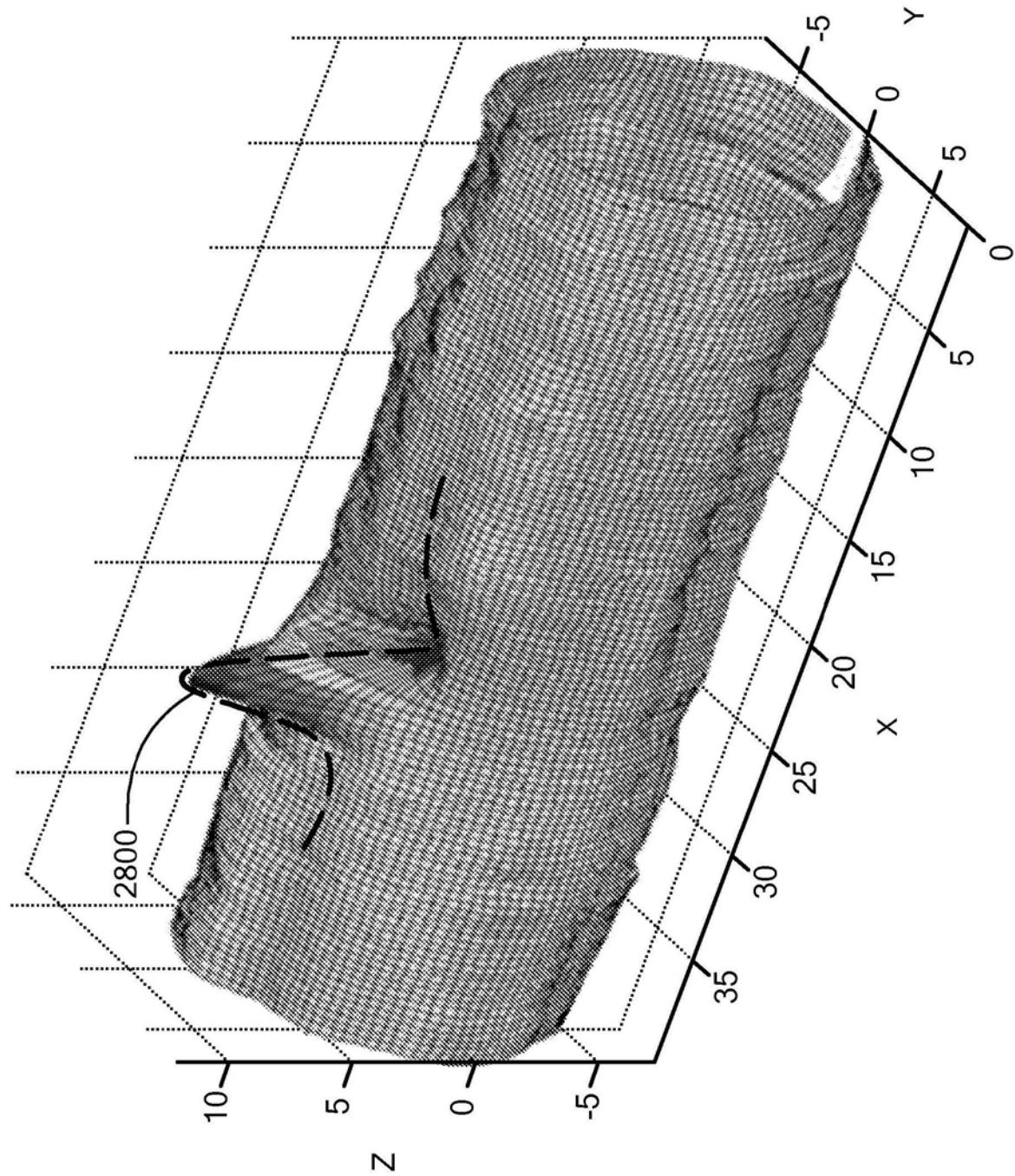


图28

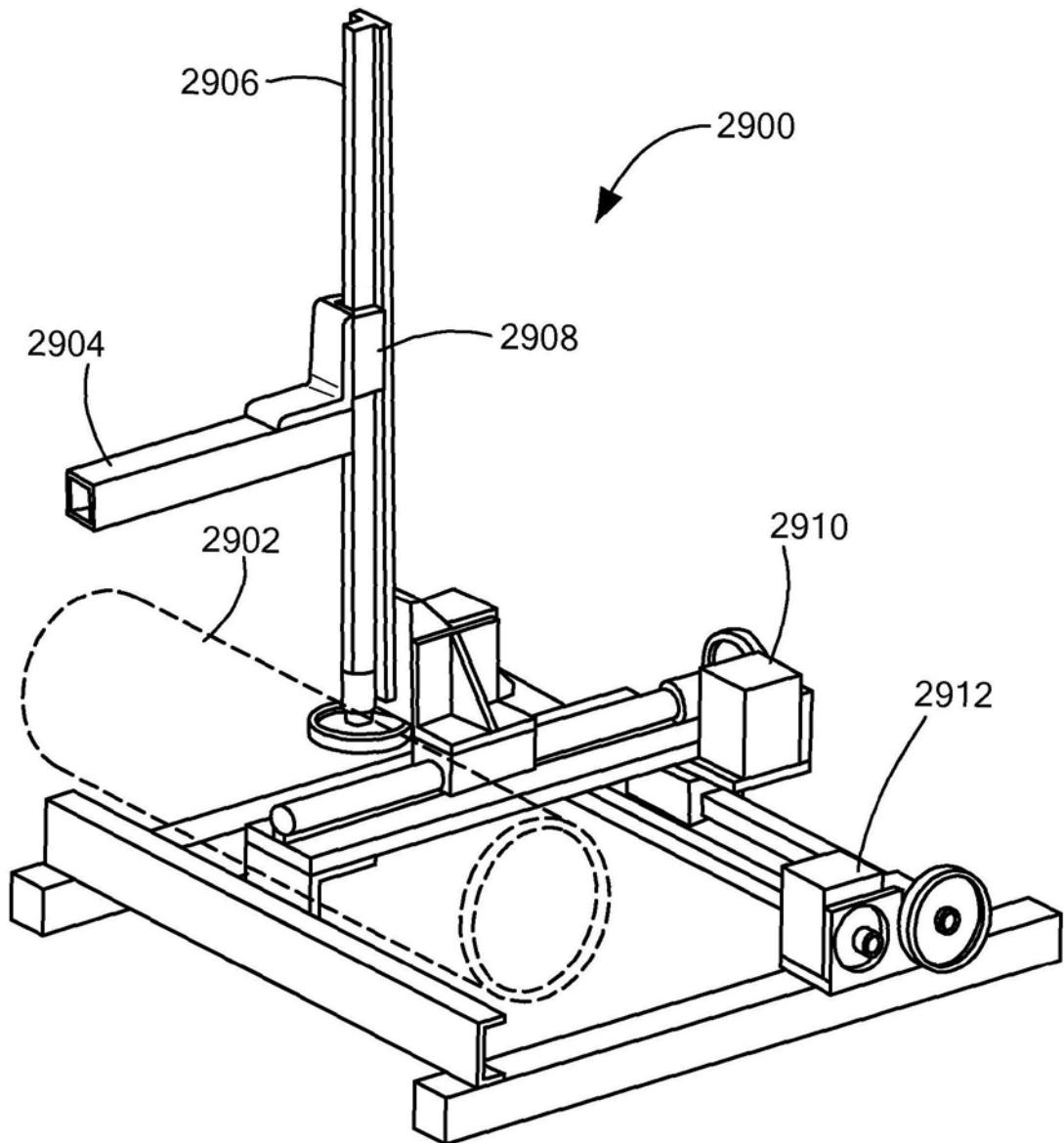


图29

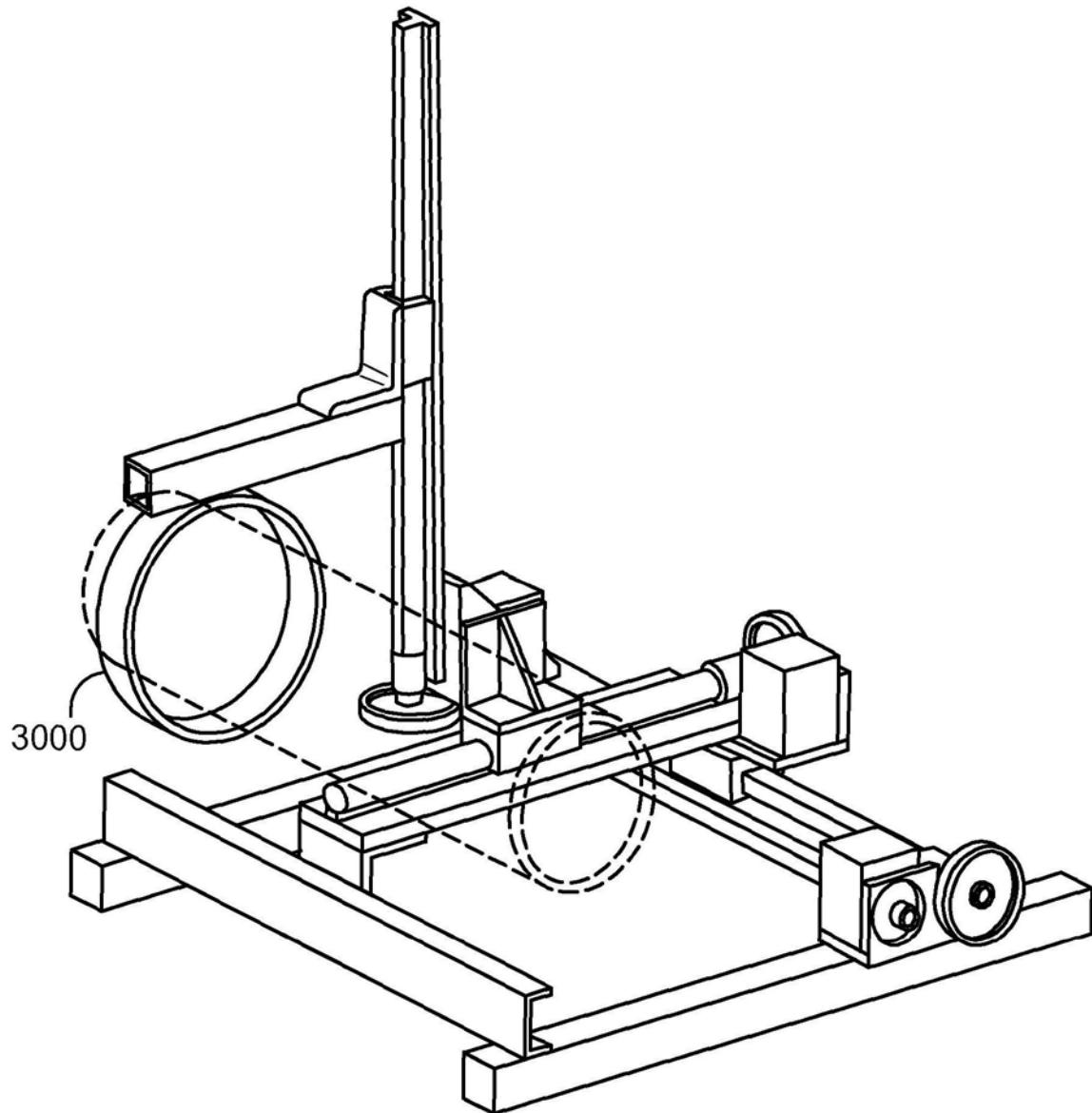


图30

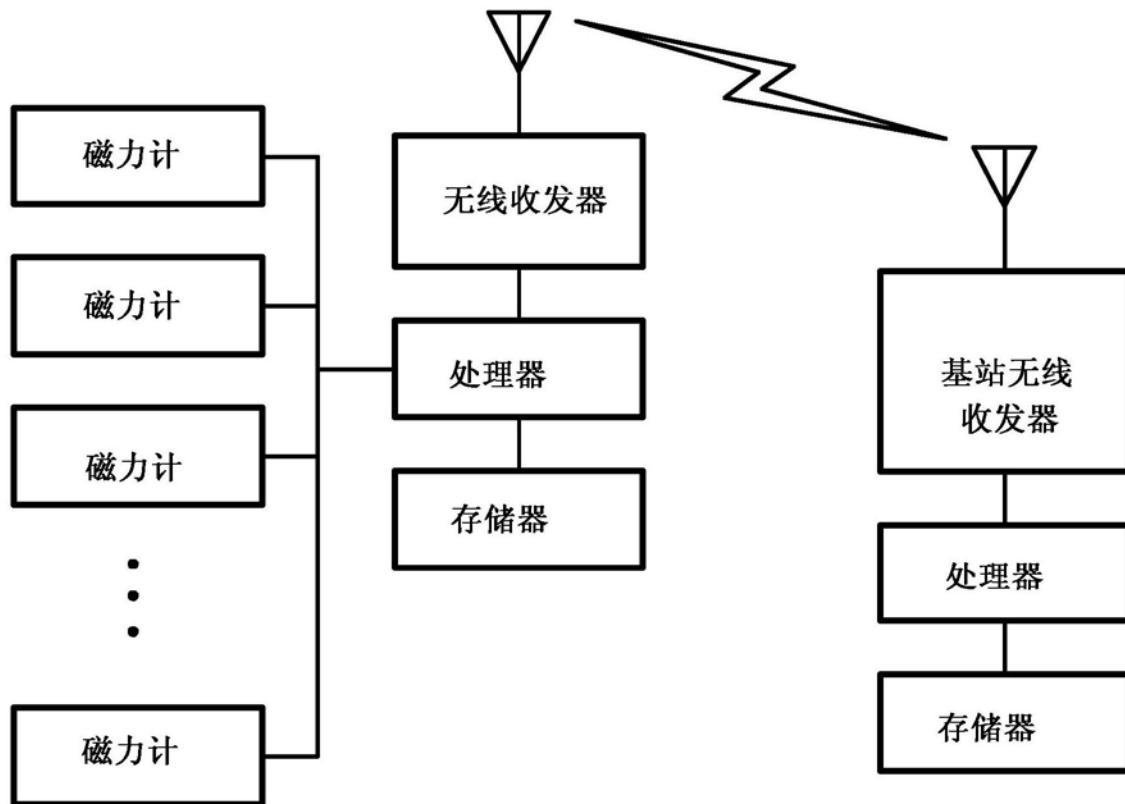


图31