

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁶

E21B 47/022

G01V 3/12

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 96199990.X

[43]公开日 1999年2月24日

[11]公开号 CN 1209184A

[22]申请日 96.12.20 [21]申请号 96199990.X

[30]优先权

[32]96.1.11 [33]US [31]08/587,832

[86]国际申请 PCT/US96/20734 96.12.20

[87]国际公布 WO97/25519 英 97.7.17

[85]进入国家阶段日期 98.8.13

[71]申请人 维米尔制造公司

地址 美国艾奥瓦

[72]发明人 格雷戈里·S·斯顿普

克里斯托弗·T·艾伦

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事
务所

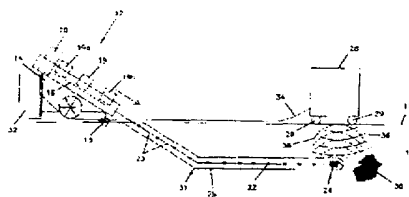
代理人 马 浩

权利要求书 3 页 说明书 27 页 附图页数 19 页

[54]发明名称 能对钻孔工具定位的无槽地下钻孔系统

[57]摘要

利用类似雷达的探测器与检测技术确定地下钻孔工具位置的装置和方法。对钻孔工具提供一装置,该装置响应从地面上发送的探测器信号而产生一特定的特征信号。尽管存在大的背景信号,但地平面上的探测信号发射器和配置在钻孔工具内的特征信号发生器之间的联合操作可提供对钻孔工具的精确定位。由钻孔工具产生的特征信号,可以按与探测器信号有一或多方面(包括计时、频率成分或极化)差异的方式或者被动或者主动地产生。或者在钻孔操作之前或者在钻孔操作过程中进行的钻孔场地勘察,提供了关于受勘察地下介质特征的数据以及关于识别地下障碍物(如埋入的设施)的数据。



(BJ)第 1456 号

权 利 要 求 书

- 1.一种检测地下钻孔工具位置的系统，其包括：
与钻孔工具分开的用于发生探测信号的发生装置；
用于响应该探测信号而在钻孔工具处产生特征信号的产生装置； 以及
利用该特征信号检测钻孔工具位置的检测装置。
- 2.如权利要求 1 的系统，其中的探测信号是电磁信号。
- 3.如权利要求 1 的系统，其中的探测信号是声波信号。
- 4.如权利要求 1 的系统，其中的产生特征信号装置包括一可穿透地下的雷达系统。
- 5.如权利要求 4 的系统，其中的可穿透地下雷达系统产生一地下三维图象。
- 6.如权利要求 1 的系统，其中的特征信号是由其产生装置被动产生的。
- 7.如权利要求 1 的系统，其中的特征信号是由其产生装置主动产生的。
- 8.如权利要求 1 的系统，其中该特征信号极化方向与该探测信号的极化方向正交。
- 9.如权利要求 1 的系统，其中的特征信号或在时间域或在频率域中具有特征。
- 10.如权利要求 1 的系统，其包括一定位装置，用于确定钻孔工具的地理位置。
- 11.如权利要求 1 的系统，其包括用于确定钻孔工具要遵循预定路径的确定装置。
- 12.如权利要求 1 的系统，其包括用于记录由钻孔工具产生的地下路径的记录装置。
- 13.如权利要求 1 的系统，其包括：
用于提取钻孔工具孔穿过的地下介质特征的特征提取装置； 以及
用于存储地下介质特征的存储装置。

14.一种地下钻孔系统，其包括：

钻孔工具；

驱动钻孔工具的驱动装置，由此而产生地下路径；

与钻孔工具分开的用于产生探测信号的发生器；

用于响应该探测信号而在钻孔工具处产生特征信号的特征信号发生器；以及

利用特征信号检测钻孔工具沿地下路径位置的位置检测器。

15.如权利要求 14 的系统，其中的钻孔工具包括一方向控制装置，它与驱动装置相连，用于控制钻孔工具的钻孔方向。

16.如权利要求 14 的系统，其包括一定位装置，用于确定钻孔工具的地理位置。

17.如权利要求 14 的系统，其包括：

地下特征提取系统，用于提取地下路径的地下组成特征；以及

与地下特征提取系统相连的计算机，用于确定地下路径从而避免对钻孔工具的阻碍。

18.如权利要求 14 的系统，其包括：

一台计算机，用于把钻孔工具产生的地下路径与一预先确定的地下路线进行比较，以产生一比较信号表示该地下路径与预定地下路线的差异；

其中该计算机响应该比较信号，实现对钻孔工具钻孔方向的修正。

19.如权利要求 14 的系统，其包括：

可穿透地下的雷达系统，用于产生与预定地下钻孔路线相关联的地下特征数据；以及

一台计算机，用于把地下特征数据与已有钻孔操作数据相关，以产生估计的钻孔操作生产率信息。

20.如权利要求 19 的系统，其中的计算机使用估计的钻孔操作生产率信息控制驱动装置。

21.如权利要求 14 的系统，其中的探测信号发生器包括一可穿透地下的雷达系统，该地下穿透雷达系统进一步产生与地下路径相关联的地下特征数据，该系统还包括：

与地下穿透雷达系统相连的计算机，用于在数据库中存储地下特征数据。

22.如权利要求 14 的系统，其中的钻孔工具包含一传感器。

23.如权利要求 22 的系统，其中的钻孔工具还包含发送由传感器产生的数据的装置。

24.一种检测地下钻孔工具位置的方法，包括以下步骤：

由一与钻孔工具分开的信号源发生探测信号；

响应该探测信号，在钻孔工具处产生特征信号；以及

利用该特征信号检测钻孔工具的位置。

25.如权利要求 24 的方法，其中的发生探测信号步骤包括发生电磁探测信号的步骤。

26.如权利要求 24 的方法，其中的发生探测信号步骤包括发生声波探测信号的步骤。

27.如权利要求 24 的方法，其中的发生探测信号步骤包括利用地下穿透雷达系统发生探测信号的步骤。

28.如权利要求 24 的方法，其中的产生特征信号步骤包括被动产生特征信号的步骤。

29.如权利要求 24 的方法，其中的产生特征信号步骤包括主动产生特征信号的步骤，该特征信号具有时间域和频率域二者之一中的特征。

30.如权利要求 24 的方法，其中的产生特征信号步骤包括产生其极化方向正交于探测信号极化方向的特征信号的步骤。

31.如权利要求 24 的方法，其中的检测钻孔工具位置步骤还包括利用地下穿透雷达系统确定钻孔工具在三维中的位置的步骤。

32.如权利要求 24 的方法，还包括根据钻孔工具位置修正钻孔工具生产速率的步骤。

说明书

能对钻孔工具定位的无槽地下钻孔系统

发明领域

一般地说, 本发明涉及无槽地下钻孔领域, 更具体地说, 涉及获取地下钻孔工具位置数据的系统和方法, 用来根据定位数据控制地下钻孔工具和获得工具钻孔时穿过的地下介质的特性。

发明背景

由于安全和美观的原因, 水、电、气、电话以及有线电视的公用线路常常是从地下通过。在许多场合, 地下公用设施可以埋入沟槽中, 然后再把沟槽回填。虽然在新建筑地区把设施埋入沟槽中是有用的, 但有一些缺点。在支持已存在建筑物的地区, 沟槽会对结构和道路造成严重的扰动。再有, 极其可能由挖沟槽损坏先前埋入的设施, 而且那些受挖沟扰动的结构和道路很少能恢复到它们原来的状态。再有, 沟槽会对工人和过路人带来造成伤害的危险。

为了克服上述缺点以及其它在采用传统挖沟技术时没有解决的问题, 近来已经发展了钻水平地下孔的通用技术。根据这种通用水平钻孔技术〔也称作微隧道挖掘 (microtunnelling) 或无槽地下钻孔〕, 钻孔系统设在地表面上, 并以相对于地面倾斜的角度向地下钻孔。为了移走切削屑和碴土, 水历经钻杆柱流过钻孔工具再从钻孔返回地面。在钻孔工具达到预期深度后, 于是工具被定向沿着基本水平的路径以产生一水平钻孔。在得到预期钻孔长度之后, 工具被定向为向上穿过地面。然后一扩孔钻被固定在钻杆柱上, 钻杆柱被通过钻孔拉回, 从而把钻孔扩大到较大的直径。通常把公用线或导管附着在扩孔工具上, 从而使它和扩孔钻一起被拖拉穿过钻孔。

这种无槽钻孔的通用方法已由 Geller 等人 (美国专利 4,787,463) 和 Dunn (美国专利 4,953,638) 描述过。对地下钻孔工具导向的方法在这些专利中已被公开。为了提供钻孔工具在地下的位置, Geller 披露:

引入一无线电发射器形式的主动信标 (active beacon)置于钻孔工具内。使用一位于地面的接收器通过无线电测向 (radio direction finding)确定工具的位置。然而, 由于信标和检测器之间无同步, 故不能直接测量工具的深度, 因而钻孔工具位置的测量被限制在二维表面平面。然而, 可以通过测量钻孔工具处的水压间接地确定钻孔工具的深度, 但这一过程需要停止钻孔操作。再有, 在现有技术中描述的无线电测向技术在确定钻孔工具位置方面的精度有限。当在含有一些已存在的地下设施或其他天然或人为障碍物的地区进行无槽地下钻孔时, 这些局限性会造成严重的后果, 因为在这种情况下必须精确地确定钻孔工具的位置, 以避免偶然地扰动或损坏设施。

使用可穿透地下雷达 (ground penetrating radar, GPR)完成沿预定无槽钻孔路线的勘察, 这种应用已由 Kathage (第四届地下穿透雷达国际会议文集, 芬兰地质调查局, 专题论文 16, “一种挑战: 水平钻孔面前的 GPR”, 第 119 - 124 页, 1992 年 6 月)和 Geunther 等人(第五届地下穿透雷达国际会议文集, 三卷中的第三卷, “利用 GPR 为微隧道工程进行钻孔障碍物的地球物理调查”, 第 1151 - 1165 页, 1994 年 6 月), 他们指出了利用 GPR 确定被勘察的地下某些地质特性和把勘察结果存储在数据库中所具有的若干优点。然而, 在这些出版物中描述的在勘察过程中得到的 GPR 图象信息只在有限范围内应用, 例如把这些图象信息添加到勘察数据库中或用于对勘察数据库进行一些有限的操作。

地下穿透雷达在检测地下介电常数的甚至很小的变化方面是一项敏感的技术。结果, 由 GPR 系统产生的图象包含大量的细节, 其中大量的对手头任务而言不想要的或不必要的。所以, 在使用 GPR 对钻孔工具定位方面的主要困难, 是在现有技术中不能正确地区分钻孔工具信号和由其他特征产生的所有信号, 这些信号共同被称作杂乱信号 (clutter)。此外, 取决于钻孔工具的深度和中间地下介质的传播特性, 来自钻孔工具的信号相对此杂乱信号会特别弱。其结果是, 钻孔工具信号或者被错误地解释或者甚至未被检测到。

最理想的是利用一种设备 (例如 GPR 系统) 在三维空间对地下钻孔工具定位, 而且其精度高于当今技术状况所能得到的精度。然而, 由

于上述理由，尚没有一种无槽钻孔系统能提供地下钻孔工具的高精度位置。

发明概要

本发明涉及利用类似雷达的探测器和检测技术对地下钻孔工具进行定位的装置和方法。对钻孔工具提供一装置，其响应从地面上发出的探测信号而产生一特定的特征信号。在地平面上的探测信号发射器和在地下钻孔工具内提供的特征信号发生装置之间联合作用，在即使有大的背景信号的情况下，也能得到对钻孔工具的精确检测。对钻孔工具的精确检测使操作人员能在操作过程中对钻孔工具精确定位，而且如果提供定向能力的话，还能避免诸如公用设施等隐匿障碍物和其他障碍。探测信号可以是微波或声波。

由钻孔工具产生的特征信号可以是被动的也可以是主动的。再有，特征信号的产生方式可以在一或多个方面（包括计时、频率成分，或极化特性）与探测器不同。

根据一个实施例，在钻孔操作之前或在钻孔操作过程中对钻孔场地进行勘察，以提供与受勘察的地下介质的特性相关的数据。把勘察过程中获得的地下特性数据与（已有的）历史数据（这些数据把地下类型和钻孔生产率关联起来）进行相关比较，从而使能估计在被勘察场地的钻孔生产率和总费用。能对计划的钻孔路径进行精确勘察，并能精确测量钻孔操作过程中钻孔工具的位置，以供当时或其后与计划路径进行比较。可以根据测量的位置调整钻孔工具的方向，以便保持钻孔工具沿着计划的路径钻孔。

附图简述

图 1 为根据本发明一实施例的无槽地下钻孔装置侧视图；

图 2 为图 1 的无槽地下钻孔工具以及探测器与检测单元的侧视详细示意图；

图 3 为以时间域描述特征信号产生的曲线；

图 4 为以频率域描述特征信号产生的曲线；

图 5 表示产生被动微波特征信号的三个实施例；

图 6 表示产生主动微波特征信号的四个实施例；

图 7 表示产生主动声波特征信号的二个实施例；
图 8 表示包含主动微波特征信号发生器的钻孔工具的实施例；
图 9 为对隐匿的目标采样由地下穿透雷达系统使用单轴天线系统接收到的反射信号的图例；
图 10 为通常与地下穿透雷达系统一起使用的传统的单轴天线系统以提供二维地下地质成象的图例；
图 11 为包括多个按正交关系取向的天线的新型天线系统，用于和地下穿透雷达系统一起提供三维地下地质成象的图例；
图 12 为具有非均匀地下地质结构的钻孔场地的图例；
图 13 是使位置指示器、地理记录系统、各种数据库以及地质数据获取单元合为一体的无槽钻孔系统控制单元的系统方框图；
图 14 为钻孔场地和含有定位装置的无槽钻孔系统的图例；
图 15 以流程图形式表示完成的钻孔前勘察的概括性方法步骤；
图 16 为用于控制钻孔操作的无槽地下钻孔系统控制单元的系统方框图；
图 17 - 18 以流程图形式表示完成无槽钻孔操作的概括性方法步骤；
图 19 表示包含各种传感器的无槽地下钻孔工具的一实施例，并进一步描述传感器的信号信息；以及
图 20 表示包含一主动信标和各种传感器的无槽地下钻孔工具的一实施例，并进一步描述传感器的信号信息。

实施例详述

现在参考图例，更具体地说是参考图 1，图中表示一无槽地下钻孔系统的实施例，其包含一检测系统用以检测地下钻孔工具的位置。图 1 表示的截面穿过进行钻孔操作的地下部分 10 以及位于地面 11 之上的所描述的检测系统的大部分构件。此无槽地下钻孔系统（总体上用系统 12 表示）包括一平台 14，在它上面放置被倾斜的纵向部件 16。平台 14 被用销钉 18 或其他箝固部件固定在地上，以防止平台 14 在钻孔操作过程中移动。纵向部件 16 上放置一推进/拉回泵 20 用于沿向前的纵方向驱动钻杆柱 22，如图中总体上用箭头表示的那样。钻杆柱 22 是由多个端端

相连的钻杆柱部件 23 构成的。也位于倾斜纵向部件 16 之上并被装配成允许沿纵向部件 16 运动的是一转动马达 19，其用于转动钻杆柱 22（图中表示的是介于上部位置 19a 和下部位置 19b 之间的中间位置）。在操作过程中，转动马达 19 转动钻杆柱 22，而在钻杆柱 22 的末端具有钻孔工具 24。

钻孔操作过程如下。转动马达 19 在开始时位于上部位置 19a 并转动钻杆柱 22。在钻孔工具 24 转动过程中，转动马达 19 和钻杆柱 22 被推拉泵 20 沿向前方向朝着下部位置推向地下，从而造成井孔 26。当钻杆柱 22 已被推入井孔 26 达一个钻杆柱部件 23 的长度时，转动马达 19 达到了下部位置 19b。然后对钻杆柱 22 添加一个新的钻杆柱部件 23，并且转动马达被释放和拉回到上部位置 19a。然后转动马达 19 夹持在新的钻杆柱部件上并且重复转/推过程，从而迫使新增长的钻杆柱 22 进一步进入地下并使井孔 26 延长。通常，水被通过钻杆柱 22 泵入并通过井孔返回，以移出切削碎屑、碴土和其他碎料。如果钻孔工具 24 包含控制其方向的定向能力，那么便能够给予所造成的井孔 26 一个理想的方向。在图 1 中表示的井孔 26 在点 31 附近弯曲，由开始时的倾斜部分变成了平行于地面 11。探测和检测单元（PDU）28 位于地面 11 之上并能与无槽地下钻孔系统 12 分开，PDU28 被安装在轮子 29 或轨道上，以便允许沿着与钻孔工具 24 的地下路径相对应的路径在地面上穿行。PDU28 通过数据传输线 34 与控制单元 32 相连。

参考图 2 可更清楚地描述 PDU28 的操作。PDU28 一般用于向地下发射探测信号 36 并检测返回的信号。PDU28 包含一用于产生探测地下 10 的探测信号 36 的发生器 52。发射器 54 从发生器 52 接收探测信号 36 并转而把探测信号 36（图 2 中用实线表示）发送到地下 10。在第一实施例中，发生器 52 是微波发生器，而发射器 54 是发射微波探测信号的微波天线。在另一个实施例中，发生器 52 是一个声波发生器并产生声波，而发射器 54 通常是一个放入地下 10 的探头，以保证有好的机械接触而将声波传入地下 10。

由 PDU28 发射的探测信号 36 向地下传播并遇到地下障碍物，其中之一表示为 30，其把返回信号 40（图 2 中用点线表示）散射回 PDU28。

一特征信号 38（图 2 中用短划线表示）也从位于井孔 26 中的钻孔工具 24 返回到 PDU28。

PDU28 的检测部分包括接收器 56、检测器 58 和信号处理器 60。接收器 56 接收来自地下 10 的返回信号并把它们传送给检测器 58。检测器 58 把返回信号转换成电信号，供其后在信号处理单元 60 中分析。在上文中描述的第一实施例中探测信号 36 由微波信号构成，接收器 56 通常包括一天线，检测器 58 通常包括一检测二极管。在另一实施例中探测信号 36 由声波构成，接收器 56 通常是一个与地下 10 有良好机械接触的探头，而检测器 58 包括一个声-电转换器，例如微音器。信号处理器 60 可以包括各种初级部件，如信号放大器和模拟-数字转换器，后跟更复杂的电路以产生包含各种地下障碍物 30 和钻孔工具 24 的地下体的二维或三维图象。PDU28 还包含一个信标接收器/分析器 61 用于检测 and 解释来自地下主动信标的信号。下文中将更充分地描述信标接收器/分析器 61。

再参考图 1，PDU28 把获取的信息沿数据传输线路 34 传送给控制单元 32，图中的控制单元 32 位于无槽地下钻孔系统 12 附近。所提供的数据传输线路 34 承担 PDU28 和无槽地下钻孔系统 12 之间的数据传送，它可以是同轴电缆、光纤、红外线通信的自由空间链路或其他适当的数据传输介质。

使用采取这里所描述的地下检测技术的无槽地下钻孔系统 12 的一个显著优点在于，检测钻孔工具 24 可以有目的地避免其他重要的地下特性，特别是埋在地下的公用设施，如电、水、气、污水、电话线路和电缆线等。

在地下成象领域众所周知的传统地下成象技术〔例如地下穿透雷达 (GPR)〕，可以检测许多类型地下障碍物和结构的存在。传统钻孔工具检测技术仍未解决的一个主要困难，在于没有能力把钻孔工具信号与伴随其他地下障碍物和结构的许多返回信号（统称杂乱信号）区分开。杂乱信号构成背景噪声，在背景噪声上的钻孔工具信号必须是可区分的。可以理解，来自钻孔工具 24 的返回信号与杂混信号相比可能是弱的，换句话说信杂比 (signal-to-clutter ratio) 低，从而降低了清楚地识别钻孔工

具信号的能力。本发明的探测与检测装置和方法的优点在于，所提供的钻孔工具返回信号具有特征性的特征，它能更容易地与杂混信号区分开。特征信号的产生可以被动地实现或主动地实现。根据一个实施例，这一特征信号的产生示于图 3 和图 4 中。

图 3 为以时间域描述钻孔工具特征信号的产生和检测的图例。线 A 表示一探测信号 36a 的发射，其作为对时间画出的信号的函数。线 B 表示在没有产生任何特征信号的情况下被 PDU28 检测到的返回信号 62a。返回信号 62a 描述了在探测信号 36a 发射之后 $\Delta T1$ 时刻由 PDU28 接收的信号，并表现为从钻孔工具 24 和其他散射体返回信号的混合。如前面讨论过的那样，信杂比低使得很难区分出由钻孔工具返回的信号。线 C 显示一种有优越性的检测技术，其中采用钻孔工具 24 和 PDU28 之间的联合操作，从而在探测信号 36a 发出之后 $\Delta T2$ 时刻产生和发送一个钻孔工具特征信号。根据这一检测方案，首先检测从散射体收到的返回信号 40a，在延时 $\Delta T2$ 之后检测从钻孔工具 24 收到的特征信号 38a。延迟时间 $\Delta T2$ 被建立得足够长，从而使钻孔工具特征信号在检测时刻比其他杂乱信号明显地突出。在这种情况下，钻孔工具特征信号 38a 的信杂比较高，从而使特征信号 38a 能被容易地与背景杂乱信号 40a 区分开来。

图 4 以频率域描述钻孔工具特征信号的检测。线 A 表示探测信号的频段 36b 作为信号强度对频率的函数。线 B 表示在不产生任何联合信号的情况下从钻孔工具 24 返回信号的频段 62b。可以看出，从钻孔工具 24 和其他散射体 30 返回的信号共占一段与探测信号 36b 相同的频段 62b。线 C 表示利用钻孔工具 24 和 PDU28 之间共同操作的情况，由此产生和传送一钻孔工具特征信号，其所具有的频带 38b 不同于被散射的返回信号频带 40b。由 Δf 表示的频带差足够大，足以把钻孔工具的特征信号移出被散射的返回信号频带 40b。这样，由于增大了信杂比，所以钻孔工具的特征信号便能比较容易地被检测出来。应该指出，可以利用高通或低通滤波技术或其他类似的滤波方法来增强对钻孔工具特征信号的检测。

本发明的一个重要特点是钻孔工具 24 包括一特征信号发生装置，它响应所接收的来自 PDU28 的探测信号而产生一特征信号。如果不是由该

回波，用传统的检测技术很难以高确定度把此回波与杂混信号区分开来。引入特征信号发生装置的好处是提供由钻孔工具 24 产生唯一的信号，它能容易地与杂混信号区分开而且具有较高的信杂比。如前文中简要讨论过的那样，主动的或被动的的方法都适用于产生联合的特征信号。主动特征信号电路是指其中用于产生特征信号的电路需要应用来自外部源的电源（例如电池）才能使其工作。而被动电路是没有外部电源的电路。在被动电路中存在的电信号的能源是所收到的探测信号本身。

根据被动方法，钻孔工具 24 并不包括产生或放大信号的有源装置，所以是较简单的方法，因为它不需要在钻孔工具 24 的头中存在电源或电子电路。另一方面，主动方法可以利用，它的优点是更灵活，可提供机会以产生更宽范围的特征响应信号，当钻孔穿过不同类型地下介质时这种信号会更可识别。再有，主动方法可以降低特征信号接收装置的复杂性和造价。

图 5 中表示与微波钻孔工具检测技术相关联的被动特征信号发生装置三个实施例。图 5 所示每个实施例包括一含有微波天线的钻孔工具 24 及用于产生特征信号的电路部件的示意图。图 5a、5b 和 5c 中表示的三个实施例分别指向利用 a) 时间域，b) 频率域及 c) 交叉极化来产生特征信号。在图 5a 中，所表示的钻孔工具头 64a 包括两个天线，即一个探测信号接收天线 66a 和一个特征信号发送天线 68a。为说明起见，这些天线是作为分离的元件表示的，但应该理解，微波发射/接收系统能使用单个天线进行接收和发射操作。在这个实施例和其后的实施例的图例中使用两个分离的天线只是为了增强对本发明的理解，并不是要从中引出对本发明的任何限制。在特征信号发生器的实际实现中，接收天线 66a 和发射天线 68a 最好位于钻孔工具内部或以共形结构 (conformal configuration) 放置在钻孔工具的表面。对于位于钻孔工具 24 内部的天线，可以理解，至少要有一部分钻孔工具 24 是用非金属材料制成，最好是硬的介电材料，从而允许微波从地下介质 10 进入钻孔工具 24。一种适于这一应用的材料是 KEVLAR。

图 5a 表示的特征信号发生装置用于以时间阈操作的微波检测系统。根据本实施例，接收天线 66a 接收来自 PDU28 的探测信号 70a，例

如一持续几个纳秒的短的微波脉冲。为了区分特征信号 74a 和 PDU28 收到的杂混信号，被接收的探测信号 70a 从接收天线 66a 传送到延时波导 72a，最好是一同轴电缆，再到发射天线 68a。然后特征信号 74a 从发射天线 68a 向外幅射并被 PDU28 接收。使用延时线，其最好使来自钻孔工具 24 的响应延迟 10 纳秒左右，从而使返回的特征信号 74a 的发射延迟，直到 PDU28 收到的杂乱信号振幅已被减少之后才发射。

根据另一实施例，通过在虚线 76a 表示的点处切断波导以形成终端，能够实现被动时间域特征信号发生器的单天线实施例。在这后一个实施例中，探测信号 70a 沿波导 72a 传播，直至被位于切断点 76a 处的终端返射，传回到接收天线 66a，并被发送回 PDU28。此终端可以作为电短路来实现，在这种情况下探测信号 70a 会在反射时倒相；或者作为开路来实现，在这种情况下探测信号 70a 在反射时不会倒向。

引入时间延迟造成特征信号 74a 使钻孔工具 64a 看起来比它的实际位置要深。由于微波会被地下强烈衰减，所以地下穿透雷达系统的典型有效深度范围大约是 10 英尺，超过这一点时返回信号会被强烈衰减而不能被可靠地检测到。从钻孔工具 64a 返回的延时特征信号 74a 人为地把钻孔工具 24 的深度变换成 10 至 20 英尺范围的视深度，从这一深度上没有强信号返回，这样便显著地增强了被检测特征信号 74a 的信杂比。

图 5b 表示一用于以频率域操作的微波检测系统的特征信号发生装置。根据这一实施例，在钻孔工具 64b 中的接收天线 66b 从 PDU28 接收微波探测信号 70b。探测信号 70b 最好是一持续几微秒的微波脉冲，其中心频率位于给定频率 f ，带宽为 Δf_1 ，这里 $\Delta f_1/f$ 通常小于百分之一。为了把返回的特征信号 74b 移出 PDU28 接收到的杂乱信号的频率范围，接收到的探测信号 70b 从接收天线 66b 沿波导 72b 传播到一非线性电气装置 78b（最好是一个二极管）中，其从原始信号产生谐振信号，例如二次谐波和三次谐波。然后此谐波信号从发射天线 68b 发射出去作为特征信号 74b，并被 PDU28 接收。PDU28 被调谐到检测探测信号 70b 的谐波频率。例如，对于 100MHz 的探测信号 70b，二次谐波检测器将被调谐到 200MHz。通常，散射体的响应特征是线性的，并且只产生探测信号 70b 频率的杂乱信号。由于通常没有其他谐波频率源存在，故在此

谐波频率上的特征信号 74b 的信杂比相对较高。与前文中针对被动时间域实施例所讨论的方式类似，通过把波导在虚线 76b 所示点处切割以形成终端，可以实现使用单天线的被动频率域实施例。根据这后一个实施例，探测信号 70b 将沿波导 72b 传播，穿过非线性元件 78b，在终端 76b 反射，通过非线性元件 78b 传回，再传回到接收天线 66b，并被发射回 PDU28。如前文中讨论的那样，反射的极性将决定于终端的性质。

图 5c 表示以交叉极化方式操作的微波检测系统中特征信号的产生。根据该实施例，PDU28 产生一特定的线性极化探测信号 70c，然后该信号被发射到地下。杂乱信号由散射体返回的信号构成，它们通常保持与探测信号 70c 相同的极化方向。这样，杂乱信号实质上与探测信号 70c 有相同的极化方向。在钻孔工具 64c 中这样产生特征信号 74c：在接收天线 66c 中接收被极化的探测信号 70c，使该信号通过波导 72c 传播到发送天线 68c，并把特征信号 74c 发射回 PDU28。对发射天线 68c 取向，以使被辐射的特征信号 74c 的极化方向与被接收的探测信号 70c 的极化方向正交。PDU28 也可以配置成优先接收其极化方向与探测信号 70c 的极化方向正交的信号。这样，接收器 56 相对于杂乱信号优先检测特征信号 74c，于是便改善了特征信号的信杂比。

与前文中针对被动时间域和频率域实施例所讨论的方式类似，通过把波导在虚线 76c 所示点处切割以形成终端。并插入一可改变穿过波极化方向的混合器 78c，可以实现使用单天线的交叉极化方式实施例。在这后一个实施例中，探测信号将沿波导 72c 传播，穿过极化混合器 78c，在终端 76c 处反射，通过极化混合器 78c 传回，再传回到接收天线 66c，并被发射回 PDU28。反射的极性可以由终端的性质确定，如前文中讨论过的那样。应该理解，在此单天线实施例中采用的天线，应对正交极化具有足够好的辐射特性。还应该理解，交叉极化实施例可以利用圆形或椭圆形极化微波辐射。还应理解，交叉极化实施例可以与前文中参考图 5a 和 5b 所描述的被动时间域或被动频率域产生特征信号实施例协作使用，以进一步增强被检测特征信号的信杂比。

现在参考图 6，将描述主动特征信号产生实施例。图 6a 表示一适于包含在钻孔工具 80a 中的产生主动时间域特征信号的实施例。所展示的

包含在钻孔工具 80a 中的产生主动时间域特征信号的实施例。所展示的实施例表示探测信号 82a 由接收天线 84a 接收，接收天线 84a 与延迟线波导 86a 相耦合。一放大器 88a 位于沿波导 86a 上的一点，并在探测信号 82a 沿波导 86a 传播时将其放大。被放大的探测信号继续沿延迟线波导 86a 传播到发射天线 90a，它反过来把此特征信号 92a 发射回 PDU28。图 6b 表示主动时间域信号发生器的另一实施例，其包含一可触发延时电路以产生时间延迟，而不是让信号沿着长的延时波导传播。所展示的实施例表示探测信号 82b 被一与波导 86b 耦合的接收天线 84b 接收。可触发延时电路 88b 位于沿波导 86b 上的一点。可触发延时电路 88b 按下述方式操作：可触发延时电路 88b 被探测信号 82b 触发，它一旦开始检测到探测信号 82b，便启动一内部计时器电路。一旦计时器电路已达到了预先确定的延迟时间，最好在 1 - 20 纳秒范围内，计时器电路便产生一来自可触发延时电路 88b 的输出信号，它被用作特征信号 92b。该特征信号 92b 沿波导 86b 传播到发射天线 90b，然后由其把特征信号 92b 发射给 PDU28。

图 6c 表示一适于包含在钻孔工具 80c 中的主动频率域特征信号发生器的实施例。所示实施例表示探测信号 82c 被一与波导 86c 和非线性元件 88c 相耦合的接收天线 84c 接收。然后，由非线性元件 88c 产生的频移信号穿过放大器 94c，之后被传送到发射天线 90c，其把该特征信号 92c 发送到 PDU28。使用主动频率域特征信号发生器实施例比被动频率域特征信号发生器实施例的优越之处在于主动实施例产生更强的特征信号，它更易于被检测到。

在图 6c 概括表示的主动频率域特征信号发生器的第二实施例中，探测信号 82c 在到达非线性元件 88c 之前先通过放大器 94c。这另一实施例的优点在于：由于可在较低频率进行放大处理，故该放大器的实现费用可以较低。

适于用在钻孔工具 80d 中的主动频率域特征信号发生器的第三实施例，示于图 6d 中。图 6d 表示接收天线 84d 通过使用波导 86d 与频率移位器 88d 及发射天线 90d 相耦合。频率移位器 88d 是这样的一个装置，其产生的输出信号 92d 具有的频率 f_2 与输入信号 82d 的频率 f_1 不同，相差

82d 的带宽之半，通常为 1MHz 量级。频率移位器 88d 产生足够的频移，以使特征信号 92d 移到杂乱信号频带之外，从而可增强被检测特征信号 92d 的信杂比。为了描述这些实施例，名词“特征信号”包含除了探测信号从钻孔工具 24 的自然反射以外的来自钻孔工具 24 的所有产生的返回信号。

图 7 表示适用于钻孔工具 96 中的特征信号发生器的一个实施例，其中的探测信号是声波信号。在图 7a 所示的声波时间域实施例中，声波探测信号 98a（最好是声脉冲）被装在钻孔工具 96a 内壁上的声波接收器 100a 接收和检测。声波接收器 100a 把一触发信号沿触发器线 102a 传送给延时脉冲发生器 104a。在被触发之后，延时脉冲发生器 104a 在触发延时之后产生一特征脉冲。此特征脉冲沿传输线 106a 传送到声波发射器 108a，它也装在钻孔工具 96a 的内壁上。然后声波发射器 108a 通过地下发射声波特征信号供 PDU28 检测。

根据图 7b 所示的声波频率域实施例，最好是由声波接收器 100b 接收和检测一个具有给定声波频率 f_3 的声脉冲，该声波接收器 100b 被安装在钻孔工具 96b 的内壁上。声波接收器 100b 沿接收线 102b 向频率移位器 104b 传送一个与收到的声波信号 98b 对应的频率为 f_3 的输入电信号。频率移位器 104b 产生一输出电信号，它的频率相对于输入信号 98b 的频率移位 Δf_3 。从频率移位器 104b 输出的信号沿传输线 106b 传送到声波发射器 108b，它也装在钻孔工具 96b 的内壁上。然后声波发射器 108b 通过地下发射已频移的声波特征信号 110b 供 PDU28 检测。

图 8 表示在地下钻孔工具 24 中主动产生特征信号的装置。图中表示钻孔工具 24 的头。在钻孔工具 24a 的前端是切削刀具 120，用于在形成地下通道时切削土壤、沙、粘土之类。图中钻孔工具壁被切掉的部分 122 揭示了一块电路板 124，它被设计成适于装在钻孔工具 24a 的内部。电池 126 附着在电路板 124 上用于提供电源。天线 128 也与电路板 124 相连，用于接收到来的探测信号 36 和发射外行的特征信号 38。天线 128 可以位于钻孔工具 24a 的内部，或者可以是位于钻孔工具 24a 表面上并与表面轮廓共形的一种共形设计。钻孔工具 24a 还可以包含一或多个传感器用于检测钻孔工具 24a 的环境。在钻孔工具 24a 中提供有电路用于

把此环境信息中继到位于地上的控制单元 32。例如，传感器可用于测量钻孔工具 24a 的取向（倾斜、偏转、滚动）或其他因素，如切削工具头的温度或钻孔工具 24a 处的水压。

图 8 中表示一传感器 130，例如一压力传感器，位于切削刀具 120 的后面。电连接线 132 从传感器 130 通到电路板 124，它包含分析从传感器 130 收到的信号的电路。电路板 124 可以调制特征信号 38 使其包含有关传感器输出的信息，或者可以产生单独的传感器信号，其后在地面上被检测和分析。

在地下成象技术领域已知，当 GPR 利用单一发射器和接收器时，GPR 单元对地下部分的单次横扫可产生二维数据。图 9 表示对一样本试验场地获取的 GPR 系统数据图，该场地有 5 个不同的人造障碍物埋在沙土中大约 1.3m 的深度，其地下水位位于大约 4 至 5m 的深度。应当注意，图 9 所示数据代表了使用 Sensors and Software Inc.（传感器和软件公司）制造的 Pulse EKKO 1000 系统用中心频率 450MHz 的传统单轴天线获取的典型数据。可能适于这一应用的其他 GPR 系统包括 Geophysical Survey Systems Inc.（地球物理勘察公司）制造的 SIR 系统 2 和系统 10A 以及 GeoRadar Inc.（地球雷达公司）制造的 1000B STEPPED - FM 型地下穿透雷达。

图 9 表示的每一个埋在地下的障碍物有一个伴随它的特征性时间 - 位置双曲线。特征双曲线的顶点可提供埋入障碍物的位置和深度的指示。从图 9 上的图可以看到，每个障碍物被埋在地面以下约 1.3m 的深度，而每个障碍物与相邻障碍物相隔的水平距离约为 5m。图 9 中所示 GPR 系统代表使用传统单轴天线系统获取的地质成象数据，这样只提供了被探测地下物体的二维表示。如下文将讨论的那样，按正交取向安排的多重天线结构，可提供与特定钻孔场地相关联的地下地质的增强的三维视图。

图 9 的二维数据被显示的许多图象，它们以图形形式代表沿横向目标深度对位置的关系。为了得到三维数据，采用单轴天线的 GPR 系统必须在地下部分上进行若干次横扫，否则必须使用多重天线。下文描述使用 GPR 构成二维和三维图象。

用 GPR 构成二维和三维图象。

在图 10 中表示由 GPR 成象的地下部分 500，它有一埋入障碍物 502 位于地下部分 500 中。地面 504 位于由 x 和 y 轴构成的 x - y 平面内，而 z 轴垂直指向地下 500 中。通常，利用单轴天线（如图中表示为天线 A 506 的那个，而且沿 z 轴取向）完成多次勘察路线 508。多次勘察路线 508 是彼此平行的直线路线，而且在 y 方向有统一间距。图 10 中所示多次路线平行于 x 轴。通常，GPR 系统有测量时间的能力，它允许对从发射器发出、从目标反射并返回接收器的信号进行测时。这通常称作飞行时间 (time-of-flight) 技术，因为它测量雷达脉冲在发射器和接收器之间飞行的持续时间。可利用计算把这个时间值变换成代表目标深度的距离测量值。这些计算依据野外确定的特征性土壤特性值（如介电常数）和穿过特定土壤类型的波速。当标定一特定 GPR 系统的深度测量能力时能够使用的一种简化技术是取出目标样品岩芯，测量它的深度，并把它与波传播所需纳秒数关联起来。

在 GPR 系统的时间函数能力向操作者提供深度信息之后，雷达系统沿着平行于 x 轴的水平方向横向移动，从而允许构建地下二维断面。通过在特定场地以平行模式完成多次勘察线路 508，便能积累一系列二维图象以产生估计的场地三维视图，其中可能有埋入的障碍物。然而，能够理解，传统天线结构 506 的二维成象能力可能会错过埋入的障碍物，特别是当障碍物 502 平行于多次勘察路线 508 的方向而且位于相邻勘察路线 508 之间的时候更会错过。

如图 11 所示，本发明的地质成象天线结构 520 的显著优点是提供地下的真三维成象。一对天线 A 522 和天线 B 524 最好按正交结构放置，以提供埋入障碍物 526 的三维成象。天线 A 522 被定向为沿着 y - z 平面所包含的一个方向，该方向相对于 z 轴成 $+45^\circ$ 。天线 B 524 也被定向为沿着 y - z 平面所包含的一个方向，但相对于 z 轴成 -45° ，即其位置是从天线 A 522 的位置旋转 90° 。应当注意，图 9 所示的由传统单轴天线得到的双曲线时间-位置数据分布可以代之以三维双曲形状，其提供被检测的埋入障碍物 526 的宽、深、长三维图象。还应注意，一个平行于勘察线路 528 的埋入障碍物 526（如排水管线），将立即被三

维成象 GPR 系统检测到。根据本发明一个实施例，在 PDU28 的发射器 54 和接收器 56 中分别使用了正交取向的发射天线对和接收天线对。

图 12 表示的实施例，使用一检测系统对地下钻孔工具定位并获取钻孔头和 PDU28 之间的中间介质特征。在该图中，一无槽地下钻孔系统 12 位于地下 10 的表面 11 上，该区域要进行钻孔操作。控制单元 32 位于无槽地下钻孔系统 12 附近。地下 10 由若干不同的地下类型构成，图 12 中所示实例是沙〔地下类型(GT2)〕 140，粘土 (GT3) 142 和天然土壤 (GT4) 144。通路通常被描述为通路填料 (GT1) 146 部分。图 12 中表示的钻杆柱 22 处在它的第一位置 22c，在其末端是钻孔工具 24c。所示 PDU28c 位于钻孔工具 24c 之上的位置。PDU28c 发射一探测信号 36c，它穿过道路填料和地下传播。在钻孔工具处在位置 24c 的情况中，探测信号 36c 通过道路填料 146 和粘土 142 传播。作为响应，钻孔工具 24c 产生特征信号 38c，它被 PDU28c 检测和分析。对特征信号 38c 的分析，可提供探测信号 36c 和特征信号 38c 的飞行时间的测量。飞行时间被定义为 PDU28c 测量的发送探测信号 36c 和接收特征信号 38c 之间的持续时间。所测量的飞行时间取决于许多因素，包括钻孔工具 24c 的深度、中间地下介质 146 和 142 的介电状态以及产生特征信号 38c 时涉及的任何延时。根据飞行时间的测量，已知这些因素中的任意两个便能产生出第三个。

利用机械探头或用位于钻孔工具头 24c 中的传感器 130 检测钻孔工具 24c 处的水压（如前文所讨论的那样），能独立测出钻孔工具 24c 的深度。对于后一种测量（即水压测量），要停止钻孔操作和测量水压。因为在钻杆柱 22 中地面之上水柱的高度是已知的，故用已知技术能计算出钻孔工具 24c 的深度。

对于使用微波探测信号的本发明实施例，由飞行时间计算深度或介电常数的一般关系是：

$$TE = TF - TD = \sum_j \frac{d_j \sqrt{\epsilon_j}}{c} \quad (1)$$

式中，

TE 是有效飞行时间，它是探测信号或特征信号穿过地下过程的持续时间；

TD是接收探测信号36c和发射特征信号38c之间在钻孔工具内部的延时；以及

d_j 是钻孔工具24c上方第j个地下类型的厚度， ϵ_j 是第j个地下类型在微波频率的介电常数， c 是真空中光速。

对于钻孔工具位于图12所示位置24c的情况，并假定相对于粘土厚度而言道路填料的厚度可以忽略，则式(1)的关系简化为：

$$TE = TF - TD = \frac{d_3 \sqrt{\epsilon_3}}{c} \quad (2)$$

这里下标“3”代表GT3。对飞行时间TF和对钻孔工具24c深度的直接测量再加上对任何时间延迟TD的了解将产生GT3的平均介电常数 ϵ_3 。这个特性可表示为GC3。知道介电常数的重要性在于它可提供关于被表征的土壤的类型及其含水量的信息。

再回到图12，所示实施例中的钻孔工具24已从它的第一位置24c移动到另一位置24d。通过前文所描述的方式增加附加的钻杆柱部件，使钻杆柱22d(图中用虚线表示)已从它原来的构成22c扩展了。PDU28已从它原先的位置28c重定位到新的位置28d(图中用虚线表示)，以便靠近钻孔工具24d。利用探测信号36d和特征信号38d可以按先前描述的那样完成飞行时间测量，从而得到代表天然土壤GT4地下特性的参数GC4。类似地，从字母“e”所指处的飞行时间测量能得到地下特性GC2。在钻孔工具24d穿过地下移动过程中连续导出地下特性便产生出可由控制单元32记录的地下特性断面。

精确记录钻孔工具24穿过的地下路径会有好处的。例如，可能希望对哪里已埋入公用设施进行精确的记录，以便适当地计划未来的挖掘和设施埋入，并避免对这类设施造成不希望的扰动。井孔填图可以人工完成，即把PDU28收集的钻孔工具位置数据与一基本参考点关联起来；或者可以使用Geographic Recording System (GRS)(地理记录系统)150以电子技术完成，在图13中总体上作为控制单元32的部件表示。在一个实施例中，地理记录系统(GRS)150与控制单元32的一中央处理器152通信，转发PDU28的精确位置。由于控制单元32也接收关于钻孔工具24相对于PDU28位置的信息，故钻孔工具24的精确位置能被

计算出来并存储于路线记录数据库 154 中。

根据另一实施例，最好在钻孔操作之前获取与预定地下钻孔路线有关的地理位置数据。由钻孔操作之前完成的勘测计算出预定路线。前期勘察包括 GPR 传感和地球物理数据，以便估计进行钻孔操作要穿过的地下类型，并确定在建议的钻孔路径上是否有其他设施和埋入的障碍物。钻孔前勘察的结果是预定线路数据集(set)，它存储在计划路线数据库 156 中。在钻孔操作期间，预定线路数据集被从计划路线数据库 156 加载到控制单元 32，以便在钻孔工具 24 切削它的地下路径过程中对它提供自动导航式的方向控制。在又一个实施例中，由 GRS150 获取的位置数据最好传送到路线填图数据库 158，在钻孔操作发生时，它把钻孔路径数据加到已有数据库中。路线填图数据库 158 复盖一给定的钻孔场地，例如城市街道的一个分格或一个高尔夫球场，在它下面可能埋入了各种设施、通信设施、自来水管或其他管道。存储在路线填图数据库 158 中的数据可以在其后用于产生勘察图，它精确地指出在一特定场地埋入的各种设施管道的位置和深度。存储在路线填图数据库 158 中的数据还包括关于钻孔条件、地下特性及先前钻孔操作生产率的信息，从而使操作者能参考到与特定场地相关的所有先前钻孔操作的数据。

对钻孔工具 24 定位的新系统的一个重要特点是关于沿钻孔路径地球物理数据的获取和使用。一逻辑分离的地球物理数据获取单元 (GDAU) 160 (它在物理上可能与 PDU28 分离，也可能不分离) 可以提供独立的地球物理勘察和分析。GDAU160 最好包括数个地球物理仪器，它们对特定钻孔场地的地质结构提供物理特征。一地震填图模块 162 包括一电子装置，该电子装置由多个地球物理压强传感器构成。按照相对于无槽地下钻孔系统 12 的一特定取向排列这些传感器的一个网络，每个传感器放在与地直接接触的地方。这个传感器网测量由钻孔工具 24 或某些其他声源产生的地压波。对传感器网接收的地压波的分析为确定钻孔场地的地下物理特性和对钻孔工具 24 定位提供了基础。这些数据最好先由 GDAU160 处理，然后把分析过的数据送到中央处理器 152。

点负荷测试器 (point load tester) 164 可被用于确定钻孔场地的地下地球物理特性。点负荷测试器 164 最好利用多个锥形钻头在各载荷点，

它们本身与地接触以测试一具体地下部分能抵抗标定过的载荷水平的程度。由点负荷测试器获得的数据提供了关于被测试土壤地球物理力学性质的信息。这些数据也可被传送到 GDAU160。

GDAU160 还可包括一 Schmidt 锤 166，它是一个地球物理仪器，测量样本地下地质的回跳硬度特性。也可利用其他地球物理仪器去测量岩体的相对能量吸收特性、耐磨性、岩石体积、岩石品质以及其他物理特性，这些特性共同提供了关于在穿过给定地质进行钻孔所带来的相对难度。由 Schmidt 锤获取数据最好也存在 GDAU160 中。

在图 13 所示实施例中，全球定位系统（GPS）170 被用于为 GRS150 提供位置数据。根据美国政府在三组轨道上布设 24 颗通信卫星的计划（称作全球定位系统(GPS)），可以直接使用从一中多个 GPS 卫星发射的各种信号来确定钻孔工具 24 相对于一或多个已知参考位置的位移。通常的理解是，美国政府的 GPS 卫星系统可提供一保留的（或者说被保护的）波段和一民用波段。通常，被保护的波段提供高精度定位，达到被保密的精度。然而，被保护波段一般被排他地用于军事目的或其他的政府目的，并被以这样一种方式进行调制，使其实际上对于民间应用而言是无用的。而民用波段被调制成显著降低能得到的精度，通常为 一百至三百英尺范围。

然而，把一或多个 GPS 信号与一或多个以地上为基地的参考信号源结合，则能在较高精度应用中间接地使用民用 GPS 波段。通过利用各种已知的信号处理技术，通常称作差分全球定位系统（DGPS）信号处理技术，目前可达一厘米数量级的定位精度。如图 13 所示，GRS150 使用 由至少一个 GPS 卫星 172 产生的信号与由至少两个基站应答器 (base transponder)174 产生的信号结合，当然在某些应用中使用一个基站应答器 174 也可满足要求。可以采取各种已知方法来利用 DGPS 信号，即使使用一或多个基站应答器 174 与一 GPS 卫星 172 信号及一与控制单元 32 相连的流动 GPS 接收器 176，能用一 GPS 卫星信号源精确地解出钻孔工具 24 相对于基站应答器 174 参考位置的相对运动。

在另一实施例中，可以利用采取测距雷达系统 180 的陆基定位系统。测距雷达系统 180 最好包括多个基站射频（FM）应答器 182 和装

统。测距雷达系统 180 最好包括多个基站射频 (FM) 应答器 182 和装在 PDU28 上的流动应答器 184。基站应答器 182 发射 RF 信号, 此 RF 信号被流动应答器 184 接收。流动应答器 184 最好包括一计算机, 它通过各种已知的雷达技术计算流动应答器 184 相对于各个基站应答器 182 的距离, 然后计算其相对于所有基站应答器 182 的位置。由测距雷达系统 180 收集的位置数据, 被传送到 GRS150 供存储在路线记录数据库 154 或路线填图系统 158 中。

在又一个实施例中, 可以和基站应答器 192 及连于 PDU28 上的流动应答器 194 一起使用一超声定位系统 190。基站应答器 192 发射具有已知时间基值的信号, 它被流动应答器 194 接收。流动应答器 194 最好包括一计算机, 该计算机通过参考源超声波的时钟速度来计算流动应答器 194 相对于各基站应答器 192 的距离。流动应答器 194 的计算机还计算流动应答器 194 相对于所有基站应答器 192 的位置。应该理解, 其他各种已知的陆基或卫星基定位系统和技术, 可以被用来精确确定钻孔工具 24 沿地下路径运动的路径。

图 14 表示一在一钻孔场地沿地下路径进行钻孔操作的地下钻孔工具 24。在图 14 中概括描述的新型地理定位单元 150 的重要优点在于沿预定钻孔路线精确导航钻孔工具 24 的能力, 和在与控制单元 32 相连的路线填图数据库 158 中精确进行地下钻孔路径填图的能力。可能最理想的是: 在进行 钻孔操作开始之前完成对计划的钻孔场地的初始勘察, 以便精确确定钻孔路线, 避免困难 (如先前埋入的设施或其他障碍物, 包括岩石), 如前文中讨论过的那样。

在钻孔工具 24 沿预定钻孔路线前进的过程中, 由地理记录系统 150 收集实际位置数据并将其存入路线填图数据库 158 中。任何有意地偏离计划路径数据库 156 中所存的预定路线, 都被精确地记录在路线填图数据库 158 中。非有意的偏离最好被校正, 以便保持钻孔工具 24 沿预定地下路径前进。一旦完成了钻孔操作, 存储在路线填图数据库 158 中的数据可以被下载到个人计算机 (未表示) 中去构成钻孔场地的“原样”地下图。于是, 可以从路线填图数据构造出沿钻孔路线安装的设施或其他管道的精确地图, 且在其后可被那些希望能进入或避免这些埋入管道的

仍参考图 14，钻孔场地的精确填图可以如先前参考图 13 讨论的那样，使用全球定位系统 170、测距雷达系统 180 或超声定位系统 190 来完成。带有 GPS 系统 170 的填图系统最好包括第一和第二基站应答器 200 和 202，以及从 GPS 卫星 172 收到的一或多个 GPS 信号 206 和 208。提供一最好与控制单元 32 相连的流动应答器 210，用于接收 GPS 卫星信号 206 和基站应答器信号 212 及 214（它们是分别从应答器 200 和 202 发射的）以便确定控制单元 32 的位置。如前面所讨论过的那样，可以利用差分 GPS 定位技术的一种修正形式来增强定位精度到厘米范围。提供一最好与 PDU28 相连的第二流动应答器 216，用于接收 GPS 卫星信号 208 以及基站应答器信号 218 和 220（它们是分别从基站应答器 200 和 202 发射的），以便确定 PDU28 的位置。

在另一实施例中，陆基测距雷达系统 180 包括三个基站应答器 200、202 和 204 以及分别与控制单元 12 和 PDU28 相连的流动应答器 210 和 216。应注意，可以提供第三个陆基应答器 204 作为使用 GPS 卫星信号 206 和 208 的系统的后备应答器，以备万一由于有目的地或无意地发生 GPS 卫星信号 206 和 208 的传输暂时中断。控制单元 32 的位置数据最好由 GRS150 使用分别从陆基应答器 200、202 和 204 收到的参考信号 212、214 和 222 来进行处理并存储。使用分别从陆基应答器 200、202 和 204 收到的三个参考信号 218、220 和 224 所得到的关于 PDU28 的位置数据，最好由和 PDU28 相连的本机定位器 216 来处理 and 存储，然后通过数据传输链路 34 发送到控制单元 32。一来用超声定位系统 190 的实施例，将类似地利用三个基站应答器 200、202 和 204 以及分别与控制单元 32 和 PDU28 相连的流动应答器 210 和 216。

现在参考图 15，图中以流程图形式表示出为获得钻孔前场地地图和在实施钻孔操作前确定钻孔操作最佳路线，所进行的钻孔前勘察过程的有关一般性步骤。简要地说，钻孔前勘察允许检验钻孔操作将穿过的地下状况和确定最佳路线，估计生产率和估计整个钻孔操作的费用。

如图 15 所示，首先把数个陆基应答器布设在钻孔场地周围的适当位置（步骤 300）。然后在步骤 302 让控制单元 32 和 PDU28 分别放在位置 L0 和 L1。然后在步骤 304 使地理记录系统 150 初始化和被标定，以

便确定控制单元 32 和 PDU28 的位置。在成功地初始化和标定之后，PDU28 被沿着所提出的钻孔路线运动，在这一过程中，在步骤 306 和 308 分别获取 PDU 数据和地理位置数据。由 PDU28 收集的数据最好在步骤 306 和 308 被分析。在步骤 312 继续进行数据获取，直至达到所提出的钻孔路线的预期端点为止，在这一点数据积累结束，如步骤 314 指出的那样。在步骤 316，所获取的数据被下载到控制单元 32，它可以是一台个人计算机。然后在步骤 318，控制单元 32 计算钻孔操作的最佳预定路径，以便避免障碍物和其他构造物。如果在步骤 320 的测试判定预定路线是满意的，则在步骤 322 把此路线加载到计划路径数据库 156 中，并在步骤 324 结束钻孔前勘察过程。然而，如果由于例如勘察揭示出钻孔工具 24 会撞击一岩石障碍物或者存在埋入设施，它们在其后的钻孔操作中会被损坏，使得在步骤 320 的测试判定为计划路线不令人满意，则在步骤 326 可把 PDU28 重新定位在勘察路线的起点，并通过重复步骤 304 - 318 来勘察新的路线。在已经建立满意的路线之后，钻孔前勘察于步骤 324 停止。

在第一实施例中，钻孔前勘察过程包括沿勘察路线收集地球物理数据，此与确定位置和 PDU 数据收集同时进行。这一收集活动示于图 15，它表示出在步骤 328 对地球物理数据获取单元 160 (GDAU) 进行初始化和标定，此与地理记录系统 150 的初始化和标定同时进行。与步骤 306 和 308 中分别获取 PDU28 数据和位置数据同时，在步骤 330 由 GDAU160 收集地质数据。把地质数据收集包括进来，便提供了所提出的钻孔路径中地下介质的更完全的特征，从而允许为钻孔操作作出更精确的生产率和费用估计。

在第三个实施例中，勘察数据与存储在路线线图数据库 158 中的先前收集的数据进行比较，以提供对钻孔操作生产率和费用的估计。在这一实施例中，在勘察数据已在步骤 316 被下载到控制单元 32 之后，在步骤 332，历史数据被从路线填图数据库加载到控制处理器 152。从路线填图数据库 158 下载的数据包括前期勘察和钻孔操作的记录，诸如 GPR 和地质特征测量以及相关的生产率数据。在步骤 334，以与步骤 318 指出的路线计算相似的方式计算出预先计划的路线。通过把从 PDU28 和

GDAU160 数据得到的当前地下特征与先前进行的特征测量进行关联，并参考相关的先前生产率结果，便能在步骤 336 对计划的钻孔操作估计出生生产率数据。然后，便能在步骤 338 使用步骤 336 估计出的生产率数据产生钻孔过程的费用估计。在其后的步骤 320，判定预先计划的路线是否满意。不仅能象在第一实施例中那样利用地下特征来做出这一判定，还能使用其他判据，例如估计的钻孔过程持续时间和估计费用，来做出这一判定。

现在参考图 16，图中表示无槽地下钻孔系统 12 的控制单元 32、它的各个部件以及控制单元 32 和各种其他元件之间功能关系的方框图。控制单元 32 包括一中央处理器 152，它接收来自地理记录系统 150、PDU28 及 GDAU160 的输入数据。中央处理器 152 根据输入数据计算钻孔工具 24 的位置。控制处理器 152 把钻孔工具 24 所取路径记录到路线记录数据库 154 中和/或把它添加到路线填图数据库 158 中的已有数据中。

在另一实施例中，中央处理器 152 还通过传感器输入处理器 232 接收来自钻孔工具 24 处的传感器 230 的输入数据。在另一实施例中，中央处理器 152 从计划路线数据库 156 加载对应一预定路径的数据，并把测量得到的钻孔工具位置与计划的位置进行比较。钻孔工具 24 的位置是由中央处理器 152 根据 PDU 输入处理器 234 提供的数据计算出的，PDU 输入处理器 234 接受从 PDU28 收到的数据。在另一实施例中，中央处理器 152 还利用地理记录系统 150 提供的关于 PDU28 位置的数据，以产生对钻孔工具位置的更精确估计。

可计算出钻孔操作过程中对钻孔工具 24 路径的校正并将其应用于使钻孔工具 24 返回到预定位置或路径。中央处理器 152 利用无槽地下钻孔系统控制 (GBSC) 236 来控制钻孔工具操作的各个方面。GBSC236 向控制钻孔工具 24 运动的钻孔控制单元发送控制信号。这些钻孔控制单元包括转动控制 238 (它控制转动钻杆柱 22 的转动马达 19)、推/拉控制 242 (它控制用于沿纵向向钻孔中驱动钻杆柱 22 的推/拉泵 20)、以及方向控制 246 (它控制使钻孔工具 24 指向预期方向的方向激励机构 248)。PDU 输入处理器 234 还可以根据 PDU28 产生的数据来识别埋

入特征物，如公用设施。中央处理器 152 计算钻孔工具 24 的路径，该路径可避免与这些埋入特征物的冲突及其后对这些特征物的损坏。

在图 17 和图 18 中表示与地下无槽钻孔有关的一般处理和判定步骤。开始时，在步骤 350，如图 15 所示，数个陆基应答器被放置在钻孔场地周围的适当位置。然后，如步骤 352 指出的那样，无槽地下钻孔系统 12 被放置在一适当的初始位置，并在步骤 354 应答器和地理记录系统被初始化和标定，然后在步骤 356 进行钻孔。在钻孔已开始之后，在步骤 358 由 PDU28 探测地下，然后在步骤 360 接收和分析特征信号。在步骤 362，GRS 独立于探测和接收步骤 358 和 360 且与它们同时接收位置数据，并在步骤 364 确定 PDU28 的位置。在完成步骤 362 和 364 之后，在步骤 366 中央处理器 152 确定钻孔工具 24 的位置。然后，在步骤 368，中央处理器 152 把钻孔工具 24 的测量所得位置与计划路径数据库 156 中给出的预期位置进行比较，并在步骤 370 计算是否需要对钻孔工具方向进行校正，如果需要的话，则在步骤 372 提供一个校正。在步骤 374，无槽地下钻孔系统 12 继续穿过地下钻孔，直至如步骤 376 和 378 所指出的钻孔操作完成为止。然而，如果钻孔操作未完成，则中央处理器 152 在步骤 380 确定是否应该移动 PDU28 以改进钻孔工具 24 的图象。如果需要，则在步骤 382 PDU28 被移动，并进行探测和 GRS 数据接收步骤 358 和 362。在钻孔工具 24 已达到最终目的地之后，操作停止。

在图 17 和图 18 中用虚线表示的另一实施例中，在步骤 384，中央处理器 152 把钻孔工具 24 的计算位置记录在路线填图数据库 158 和/或路线记录数据库 154 中，这是在确定了钻孔工具位置（在步骤 366）之后进行的。在另一实施例中，如虚线 386 所示，对钻孔工具 24 的位置和预先计划位置进行比较（步骤 368）和产生任何校正（步骤 370 和 372）的步骤被略掉了。

在钻孔工具 24 上可以包括其他特征。在某些情况下，可能会希望例如对钻孔工具 24 的取向、对钻杆柱 22 的切向压强以及钻孔工具 24 的温度进行某些测量，以便更清楚地理解钻孔操作状态。此外，如前所述，对钻孔工具 24 处水压的测量可以提供钻孔工具 24 深度的间接测量。图 19 表示具有附加钻孔工具头特征的两个实施例。图 19a 表示的实施例，

允许操作员确定钻孔工具头的取向。当沿地下路径调整钻孔工具 24 的取向时，操作员可能会希望知道钻孔工具 24 的取向，因为几种已知的钻孔工具定向技术依赖于钻孔工具的优先取向。如果不知道钻孔工具 24 的取向，就不能按照这些需要知道钻孔工具 24 取向的已知技术来把钻孔工具 24 定向到一个最佳方向。不可能简单地由已知钻杆柱 22 的部件 23 的向来确定钻孔工具 24 的取向，因为钻杆柱 22 的一或多个部件 23 可能会在钻孔操作过程中相对其他部件扭转或滑动。因为钻孔操作是在地下发生的，的怪操作员没办法检测是否已发生了这种扭转或滑动。因此，确定钻孔工具 24 的取向可能是重要的。

图 19a 表示钻孔工具 400 的一个实施例，它有一被动时间域特征信号电路，其包括单一天线 402 通过时间延迟线 404 连接到终端 406，如前面针对图 5a 所作的讨论那样。图 19a 所示的电路还包括一水银开关 408 位于沿着延时线 404 靠近终端 406 处的一点。终端 406 还包括一个耗散负载。当钻孔工具 400 被定向，从而使水银开关 408 打开的，通过在水银开关 408 的开路处反射进入的探测信号 407 来产生时间域特征信号。当钻孔工具 400 被定向，从而使水银开关 408 闭合时，从天线 402 经过延时线 404 到耗散负载 406 的电路被完成了。这时探测信号 407 不从耗散负载 406 反射，所以不产生特征信号。由 PDU28 接收的特征信号 409 的产生情况示于图 19b 中作为时间的函数。顶部的迹线 407b 表示出探测信号 407，记为 I_p ，为作时间函数画出。当钻孔工具 400 转动和沿一地下路径运动时，水银开关 408 的电阻 R_m 从低变到高，如间的迹线 408b 所示。水银开关 408 的有规律的打开和闭合，可调制在地面接收的特征信号 409b，记为 I_s 。这种调制保持了相对于钻孔工具 24 最佳取向的恒定相位。下面的迹线并不表示时间延迟线 404 的延迟效应，因为时间尺度差别太大了（特征信号 409 的延时是 10 纳秒的量级，而钻孔工具 24 的一次转动所用的时间通常在 0.1 至 1 秒之间）。检测由 PDU28 调制的这种特征信号 409，使操作员能确定钻孔工具头的取向。应该理解，前文描述的特征信号发生器的其他实施例也可包含一水银开关 408，最好还包括耗散负载 406，以便产生被调制的特征信号 409，从而达到检测钻孔工具 24 取向的目的。

图 19c 表示的实施例允许传感器检测钻孔工具 410 的环境。该图中表示一主动时间域特征信号产生电路，其包括一接收天线 412 通过主动时间域电路 416 连到发射天线 414。传感器 418 通过一传感器负载 420 连到主动时间域电路 416。在这一实施例中，传感器 418 位于钻孔工具 410 的尖端，以测量钻孔工具 410 处水的压力。主动时间域电路 416 检测来自传感器 418 的读数并将该读数转换成调制信号，其后该调制信号被用于调制主动产生的特征信号 415。这一过程参照图 19d 来描述，图中表示了几个信号作为时间的函数。顶部的信号 413d 代表接收天线 412 接收的探测信号 I_p 。第二个信号 415d 代表主动产生的特征信号 I_a ，这是假定没有对特征信号进行调制所产生的特征信号。第三条迹线 416d 表示由主动时间域电路 416 产生的振幅调制信号 I_m ，而且最后一条迹线 422d 表示振幅调制之后的特征信号 I_s 。被调制的特征信号 415 由 PDU28 检测。其后由 PDU28 中的信号处理器 60 确定调制信号，从而提供关于传感器 418 输出的数据。

对特征信号的调制并不限于图 19 所示的时间域信号振幅调制组合。提供这种组合只是为了举例说明。应该理解，其他实施例可包括频率域特征信号的振幅调制及时间和频率域特征信号二者的频率调制。此外，钻孔工具 24 可以包括两个或更多的传感器，而不象上述实施例中那样只包含单个传感器。

图 20a 表示本发明的另一实施例，其中利用一单独的主动信标向 PDU28 发送关于钻孔工具 430 的取向或环境的信息。在图 20a 所示的这个实施例中，钻孔工具 430 包括一被动时间域特征信号电路，它利用了单一天线 432、时间延迟线 434 以及用于反射电信号的开端 436。单一天线 432 用于接收探测信号 433 和发送特征/信标信号 435。主动信标电路 438 产生信标信号，它最好有选定的频率在 50KHz 到 500KHz 范围内，其与终端 436 产生的特征信号混合，并作为组合的特征/信标信号 435 由天线 432 发送出去。水银开关 440 位于主动信标电路 438 和天线 432 之间，所以水银开关 440 只对来自主动信标电路 438 的信号起作用，而对终端 436 产生的特征信号不起作用。当钻孔工具 430 的取向使水银开关 440 打开时，信标信号电路 438 与天线 432 断开，于是没有信号从主

动信标电路 438 发送出去。当钻孔工具 430 的取向使水银开关 440 闭合时，主动信标电路 438 与天线 432 相连，于是来自主动信标电路 438 的信号与特征信号一起作为特征/信标信号 435 被发送出去。水银开关对特征/信标信号 435 的作用先前已就图 19b 进行了描述。顶部迹线 438b 表示的是由主动信标电路 438 产生的信号 I_b ，它是作为时间的函数。当钻孔工具转动和沿地下路径运动时，水银开关 440 的电阻 R_m 由低变到高，如中间的迹线 440b 所示。水银开关 440 的连续打开和闭合产生一个被调制连续的特征/信标信号 435b，记为 I_m ，它在地面被 PDU28 接收。在信号 I_m435b 中只表示了信标信号分量，没有特征信号分量。信号 I_m435b 的调制保持相对于钻孔工具 430 的最佳取向的恒定相位。在 PDU28 上的信标接收器/分析器 61 对信标信号调制的分析，使操作员能确定钻孔工具头的取向。

图 20c 表示的实施例允许若干传感器去检测钻孔工具 450 的环境，这里的主动信标被用于发送传感器数据。图中表示的主动时间域特征信号发生电路，包括一接收天线 452，一发送天线 454 以及主动时间域特征信号电路 456，所有这些通过时间延迟线 457 相连接。一主动信标电路 460 也连到发射天线 454。传感器 458 通过传感器引线 462 连于主动信标电路 460。在此实施例中，传感器 458 被放在钻孔工具 450 的尖端附近，用于测量钻孔工具 450 处的水压。由主动信标电路 460 检测传感器读数，并把来自传感器 458 的信号变换成调制信号。这个调制信号随后被用于调制由主动信标电路 460 产生的主动信标信号。为了具体展示向 PDU28 发送的特征/信标信号 455 的产生，在图 20d 中表示了几个信号作为时间的函数。信号 453d 代表由接收天线 452 接收的探测信号 I_p 。第二个信号 456d 代表由主动时间域电路 456 产生的时间延迟的特征信号 I_s 。第三个信号 460d（记为 I_c ）代表时间延迟特征信号 I_s456d 和主动信标电路 460 产生的未被调制信号的组合。最后一条迹线 455d 表示在地面接收的信号 I_m ，它是时间延迟特征信号 I_s456d 和主动信标电路 460 产生的信号（该信号已根据传感器 458 的读数进行了调制）的组合。由 PDU28 中的信标信号检测器 61 对被调制的主动信标信号进行检测，然后进行适当的分析，向用户提供关于传感器 458 的输出的数据。

当然，将会理解，能对前文所讨论的最佳实施例进行各种修改和补充，而不偏离本发明的范围和精神。因此，本发明的范围不应受前述特定实施例的限制，而只应由下面提出的权利要求及其等价物来限定。

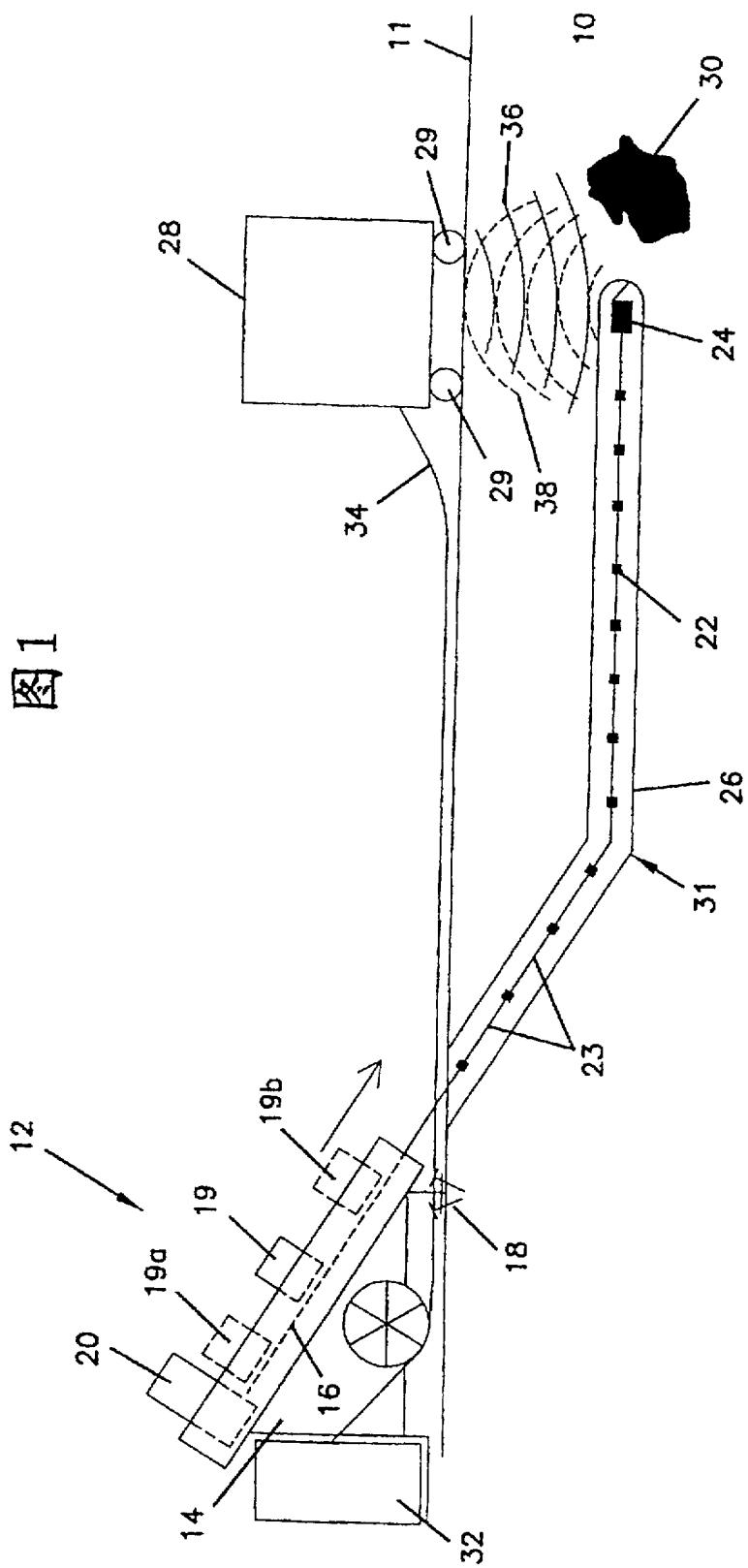


图1

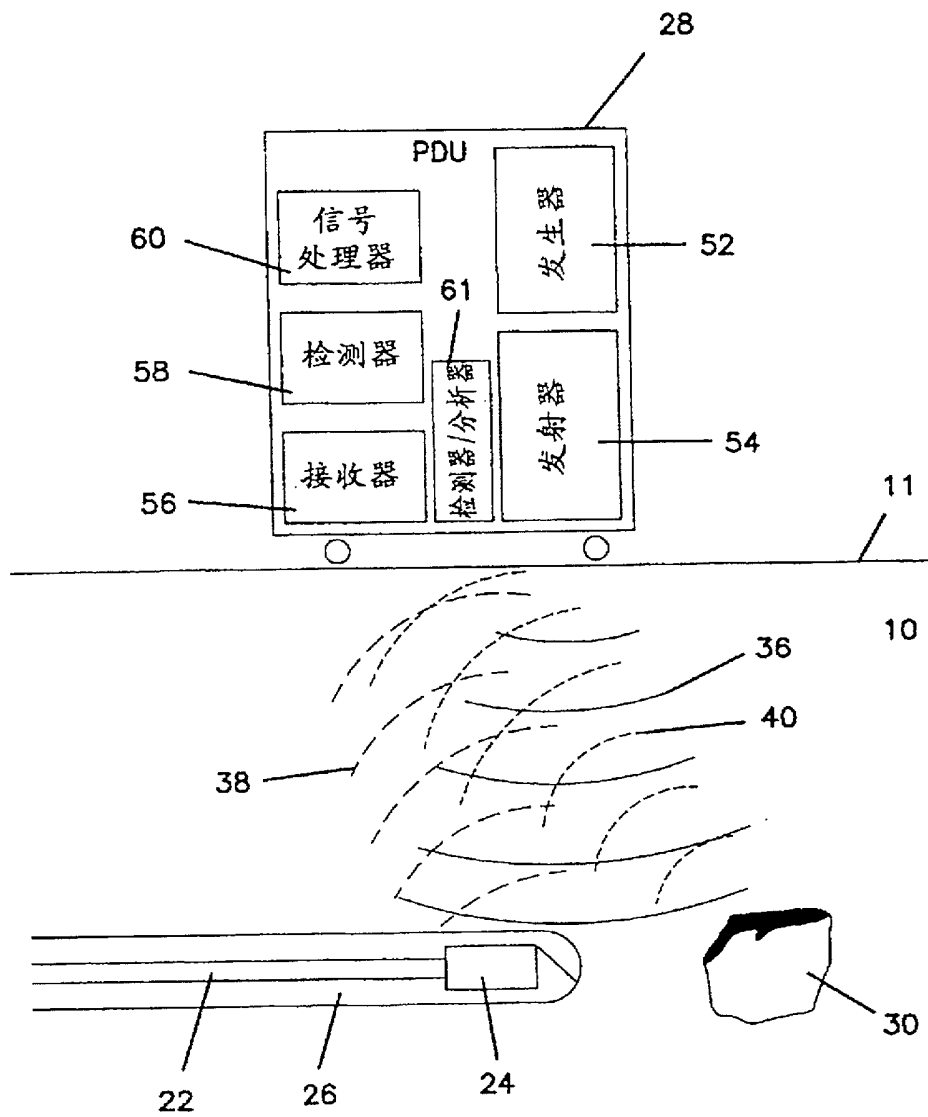


图2

图 3

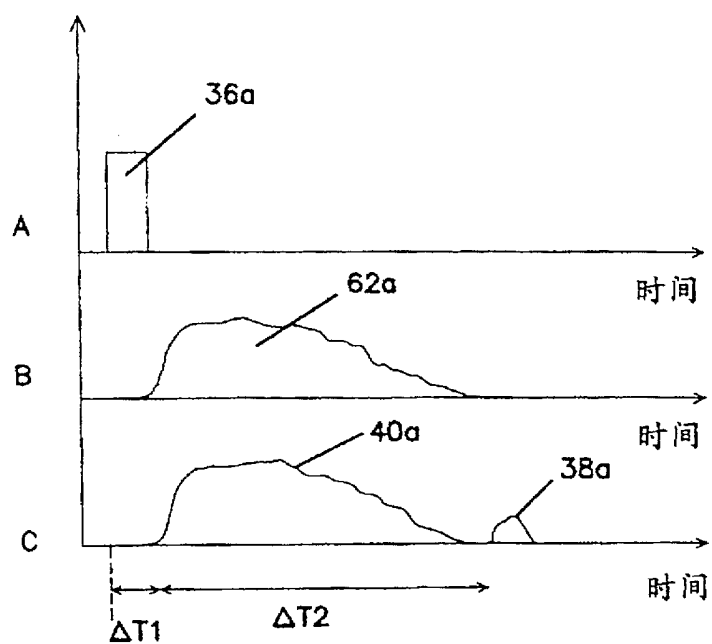


图 4

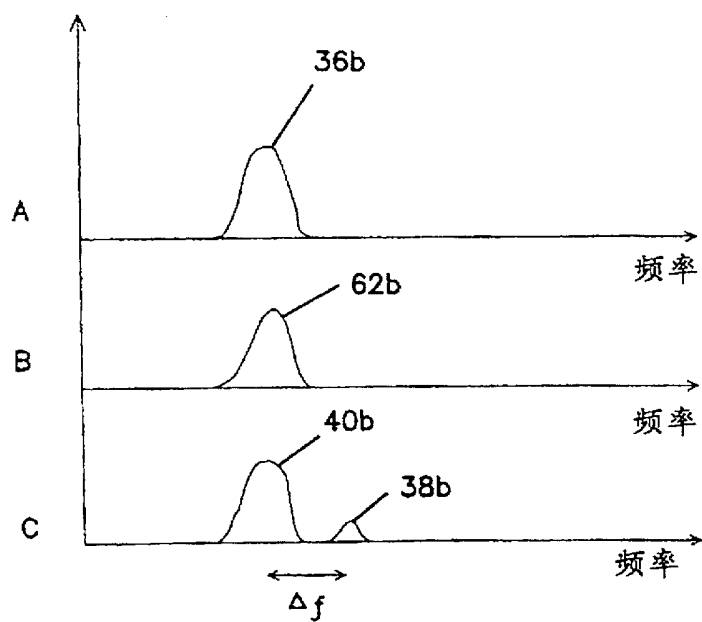
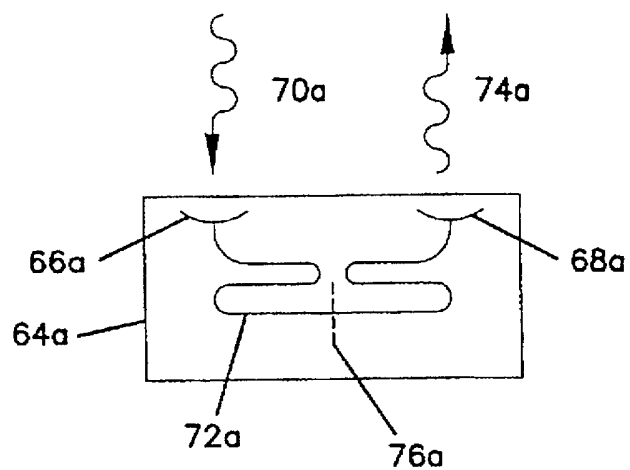
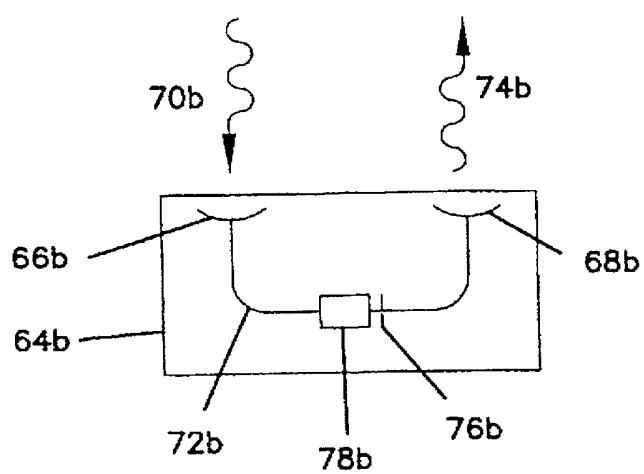


图 5

a)



b)



c)

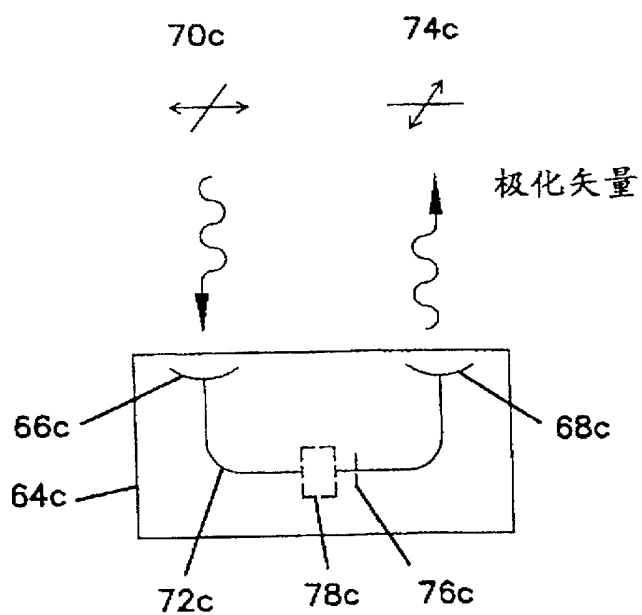


图6

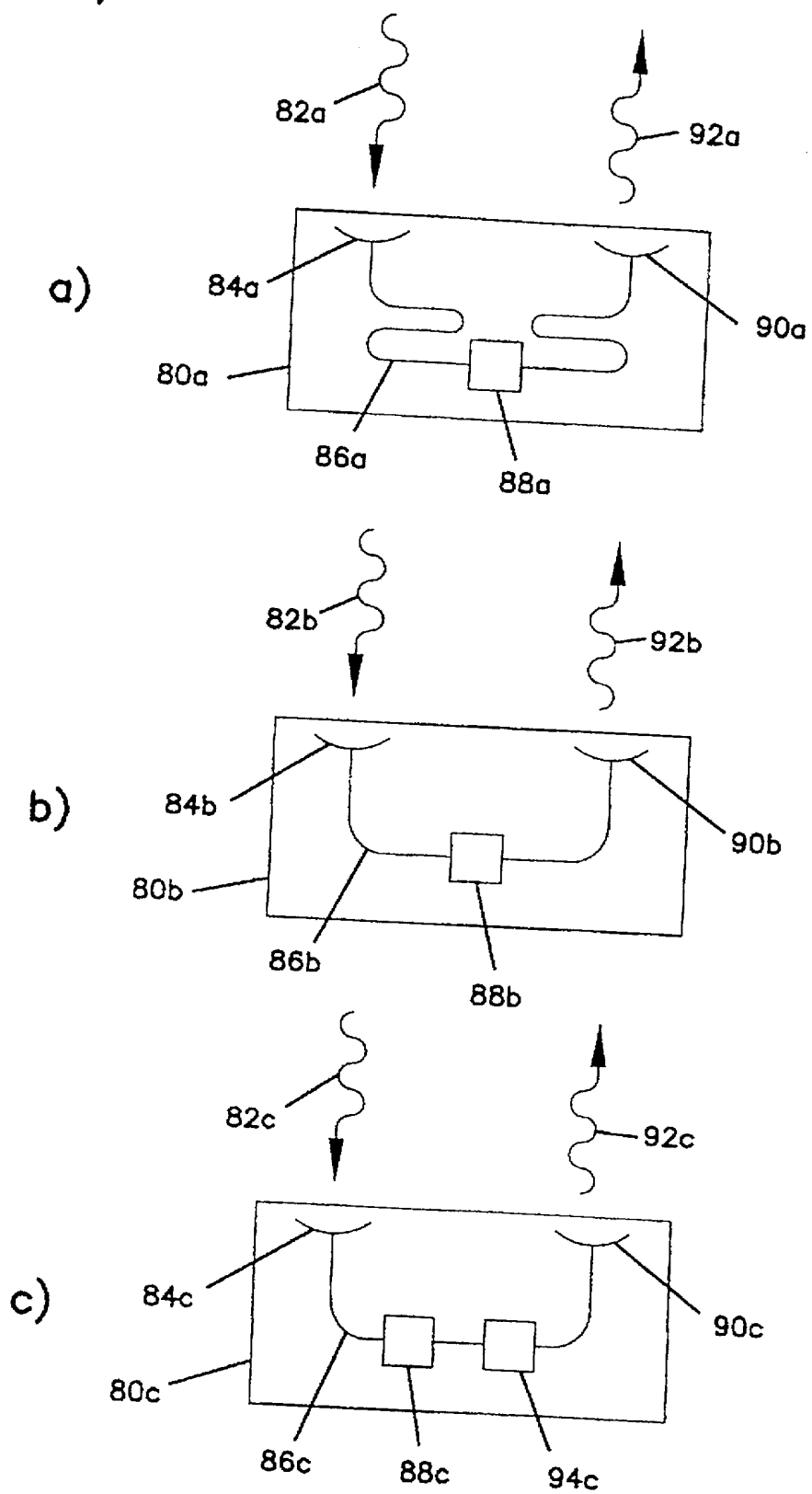


图6

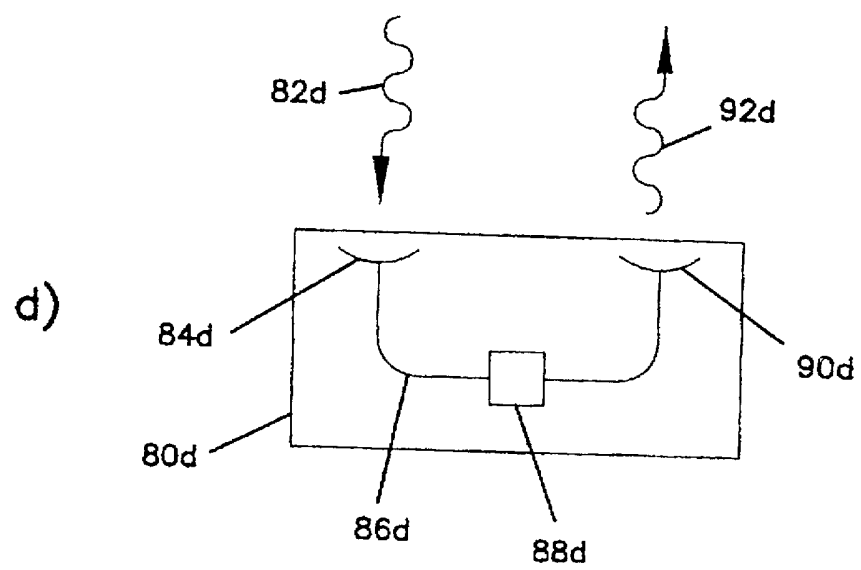
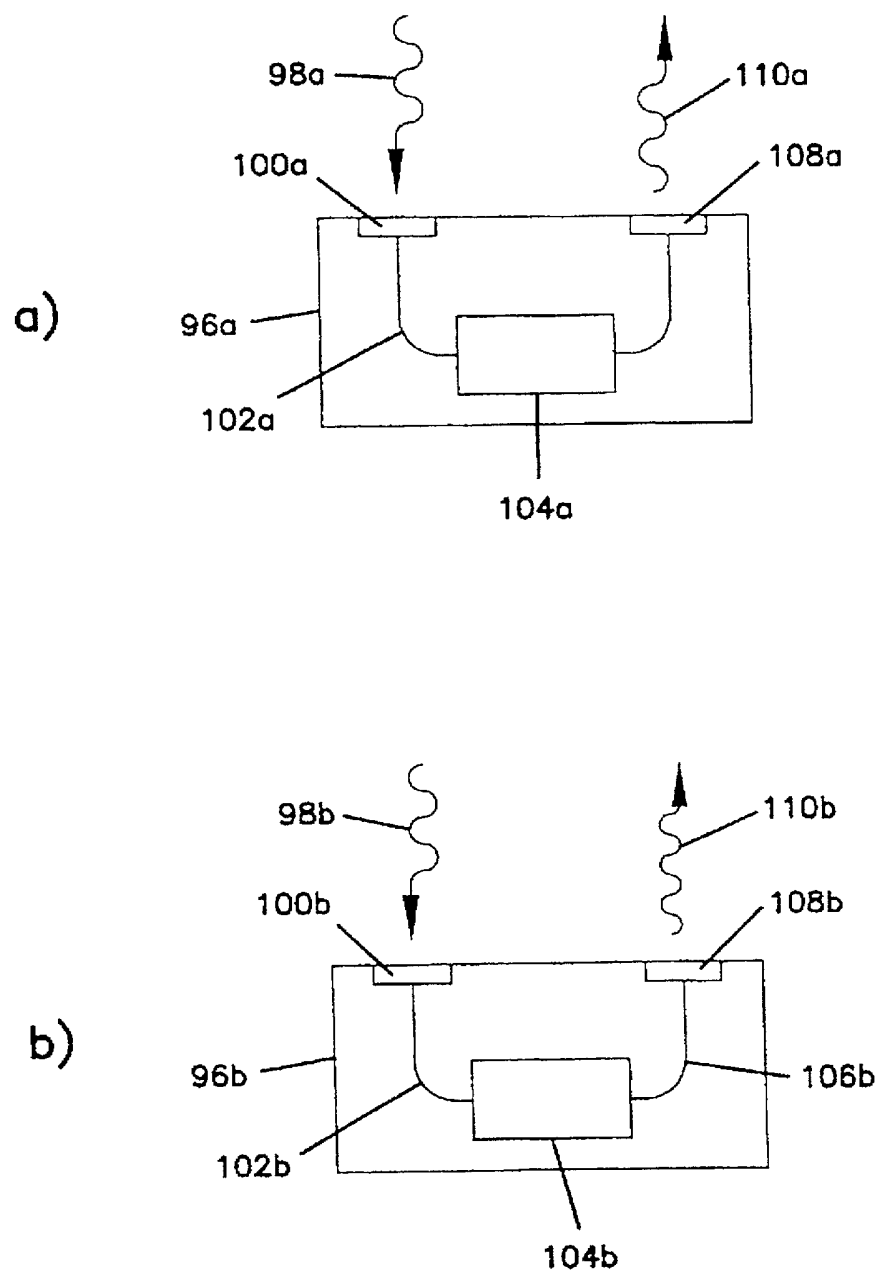


图7



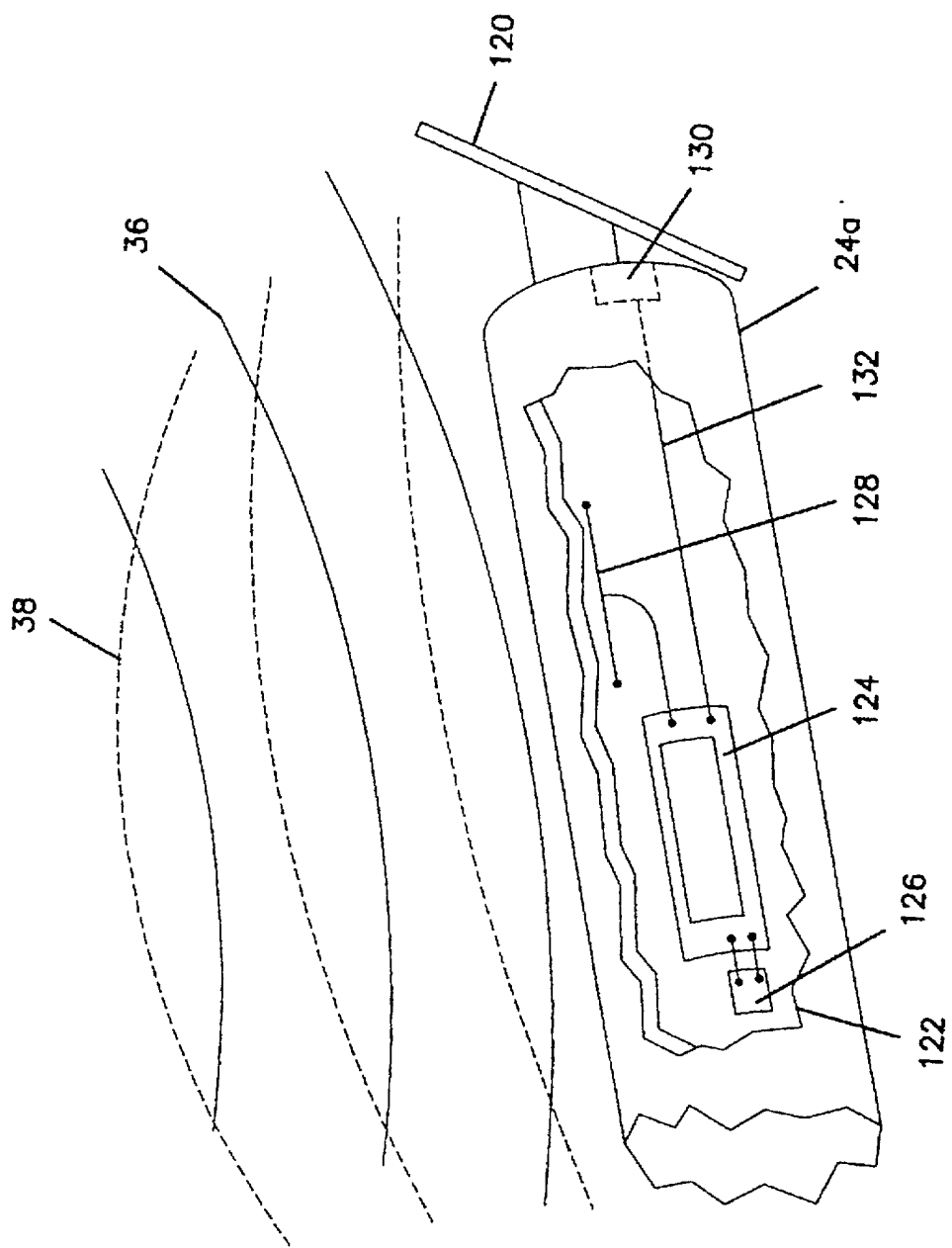


图 8

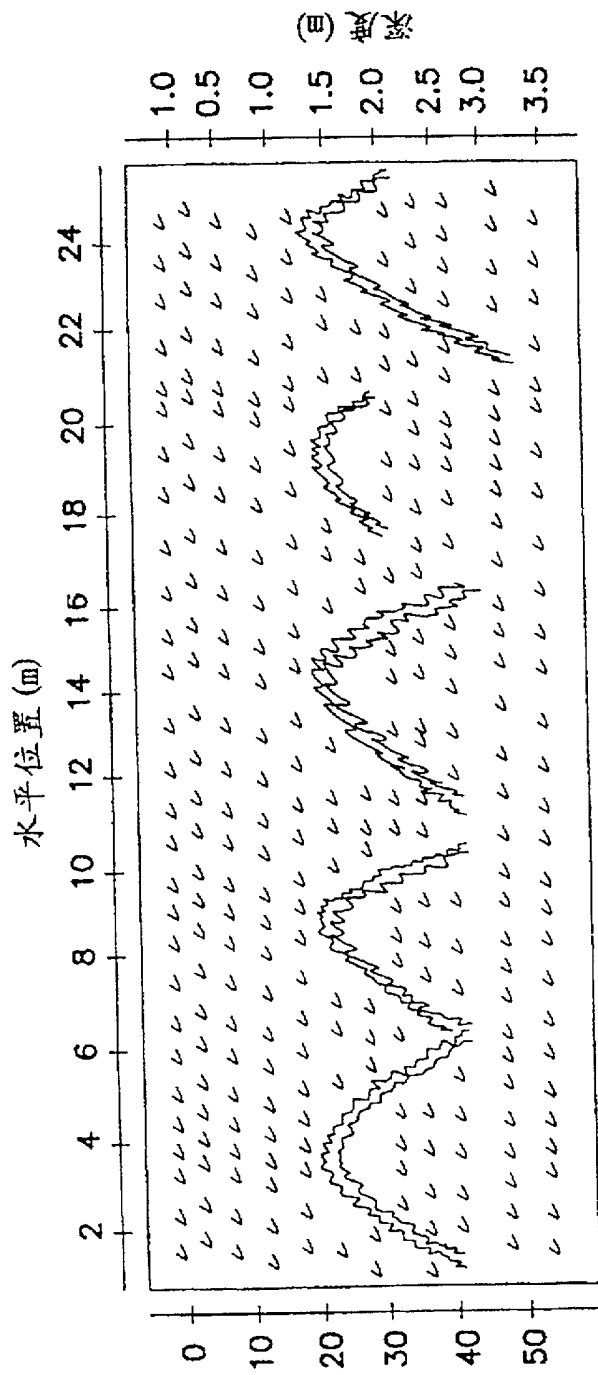


图9

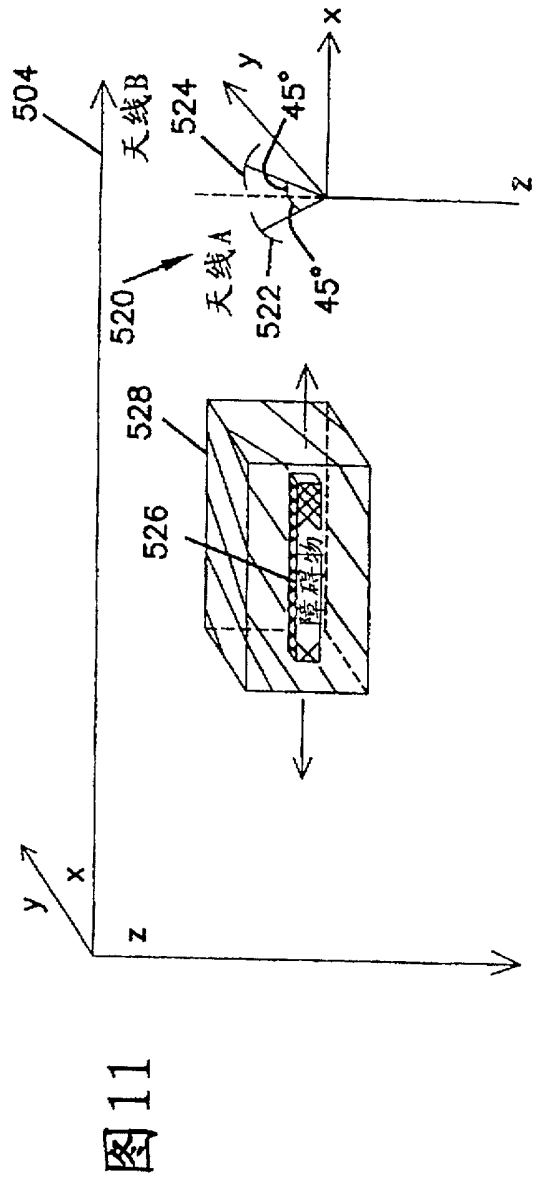
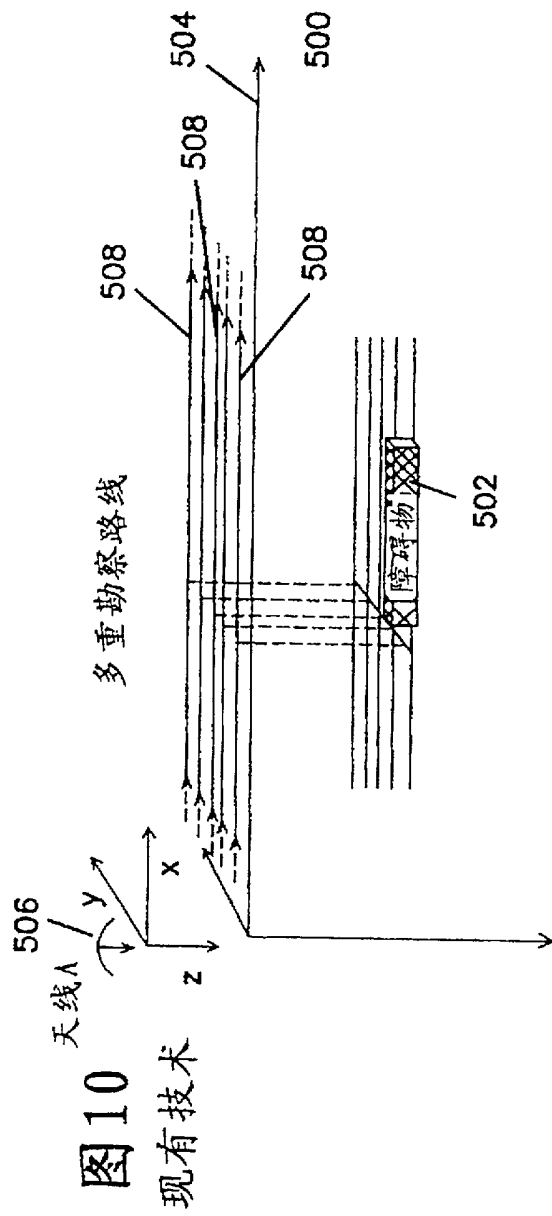
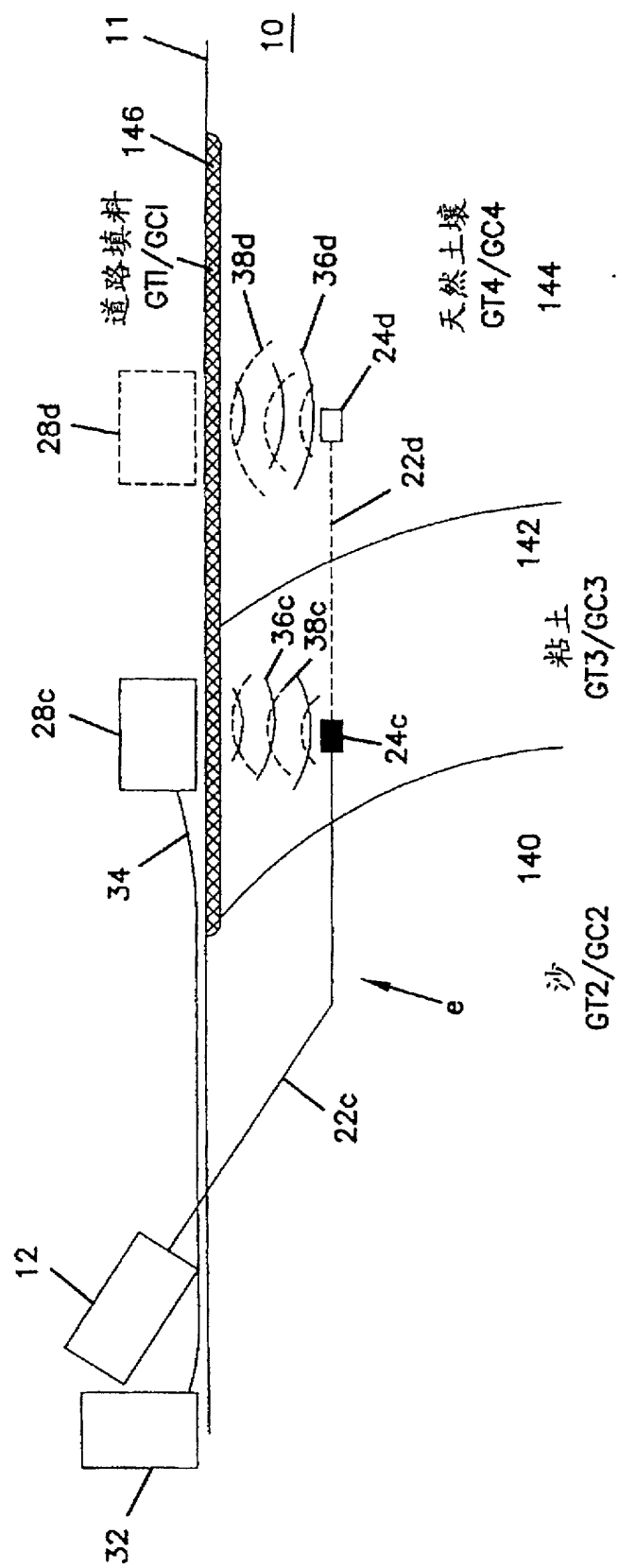
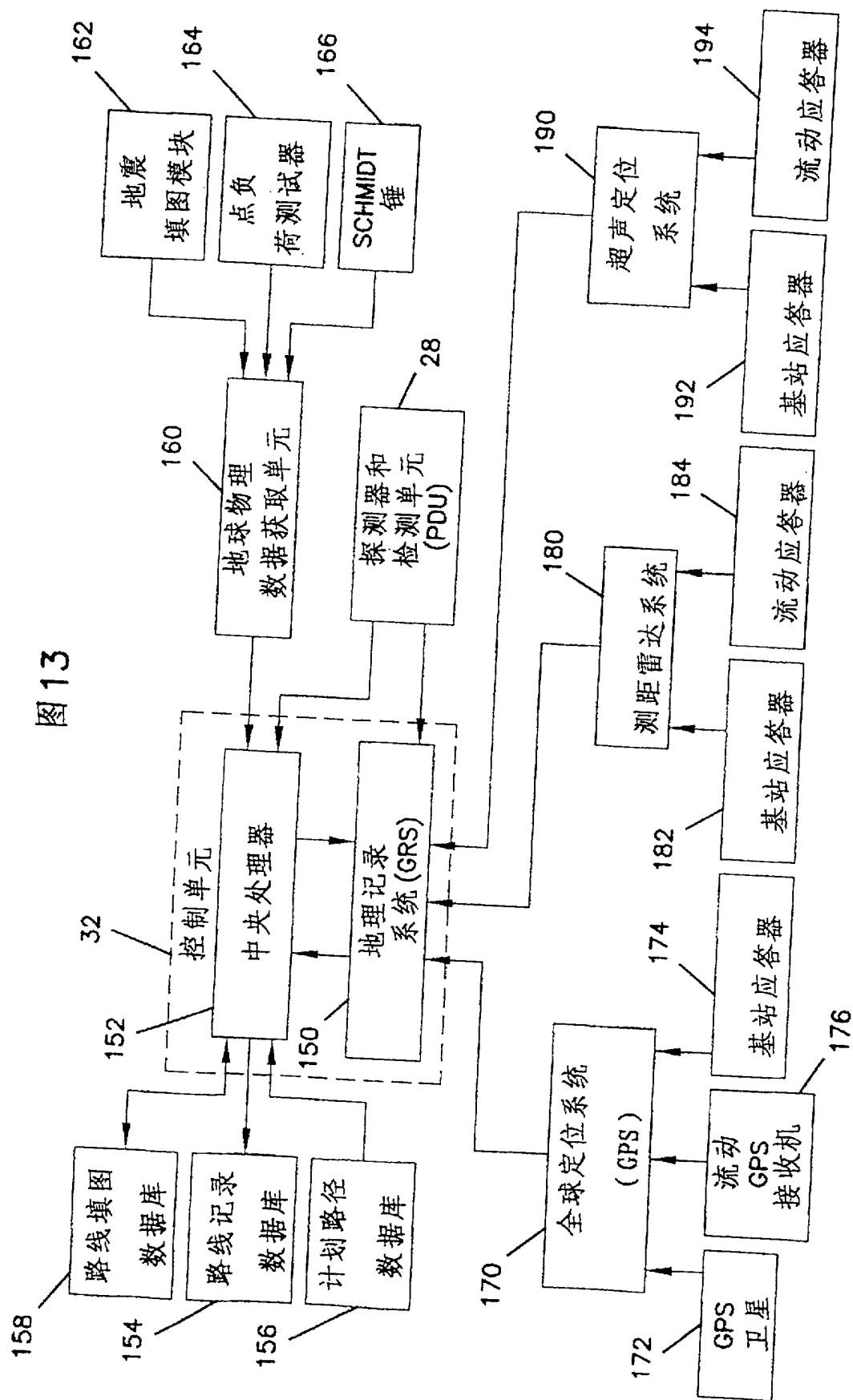
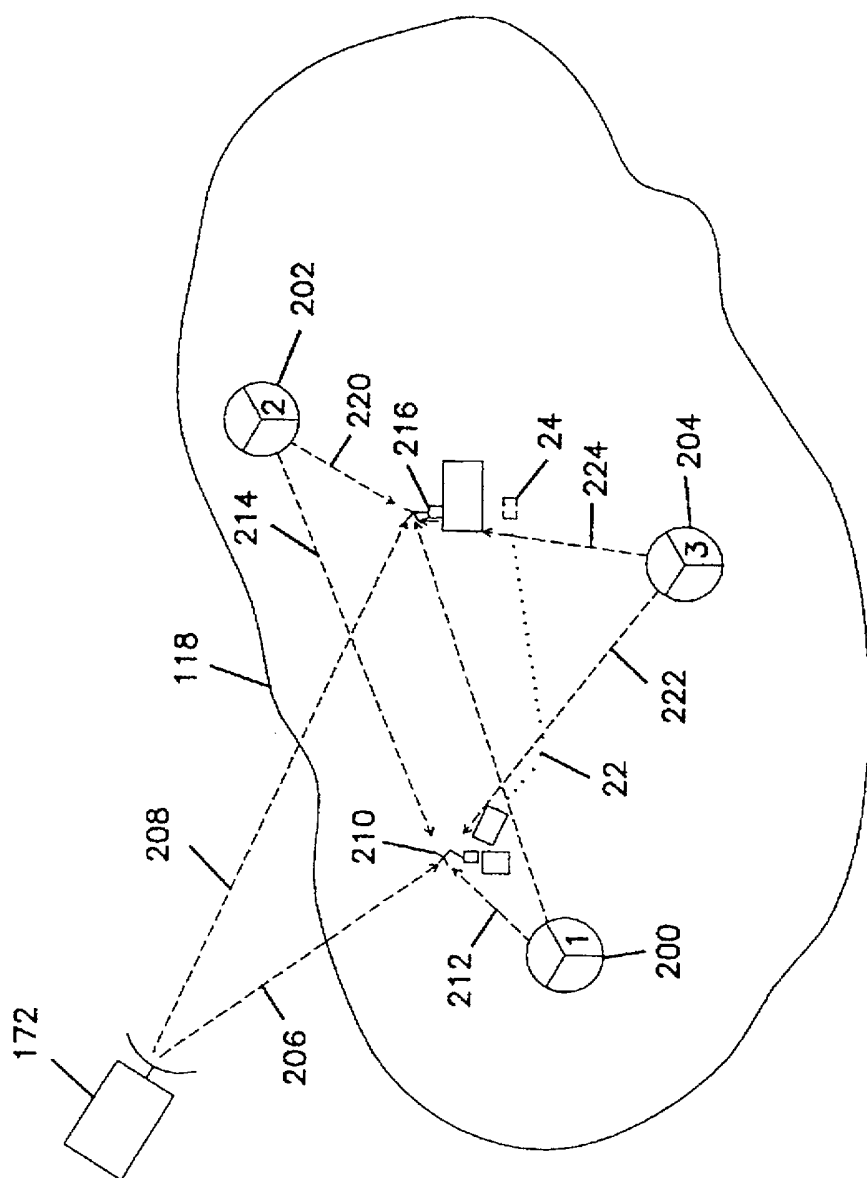


图12

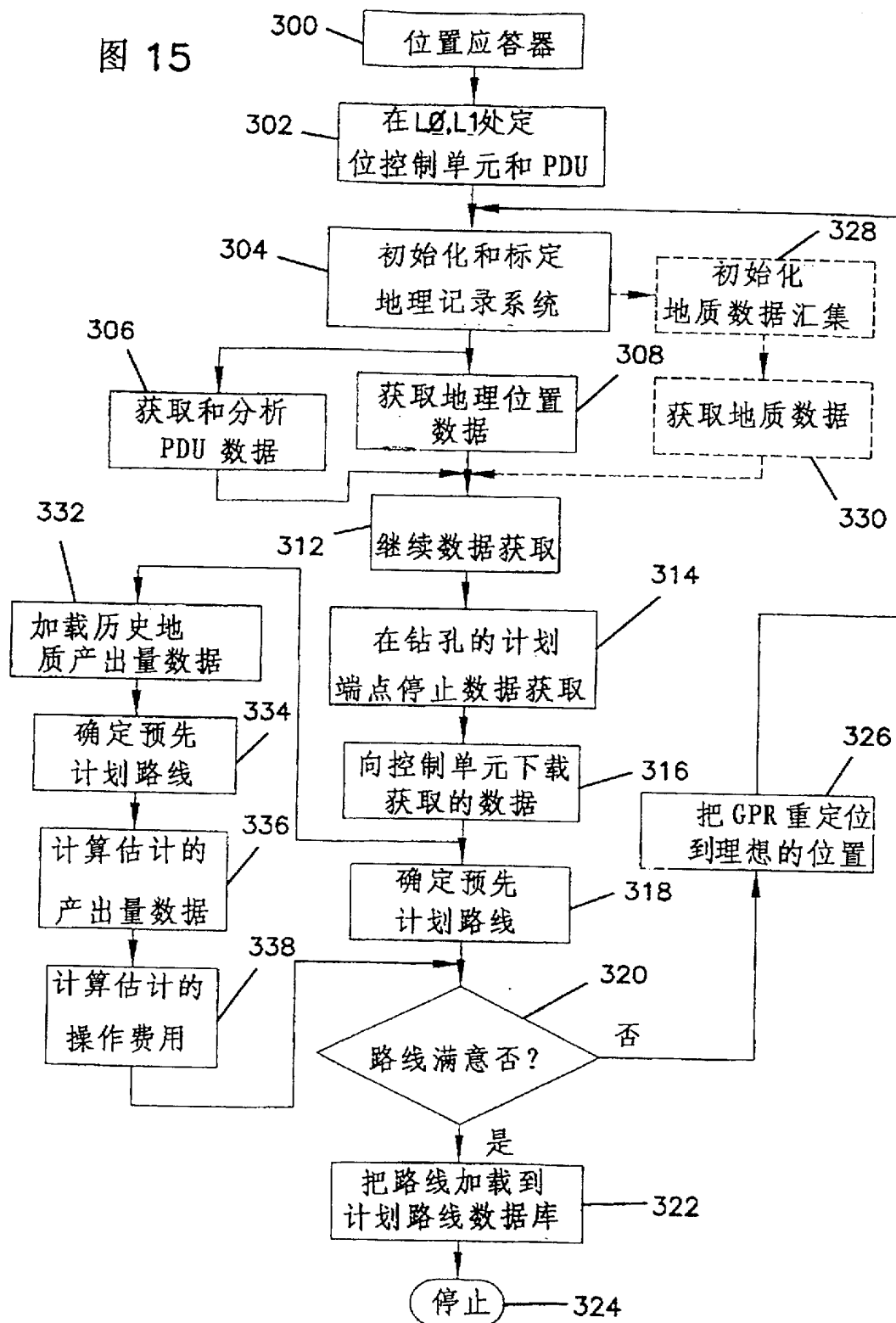






14

图 15



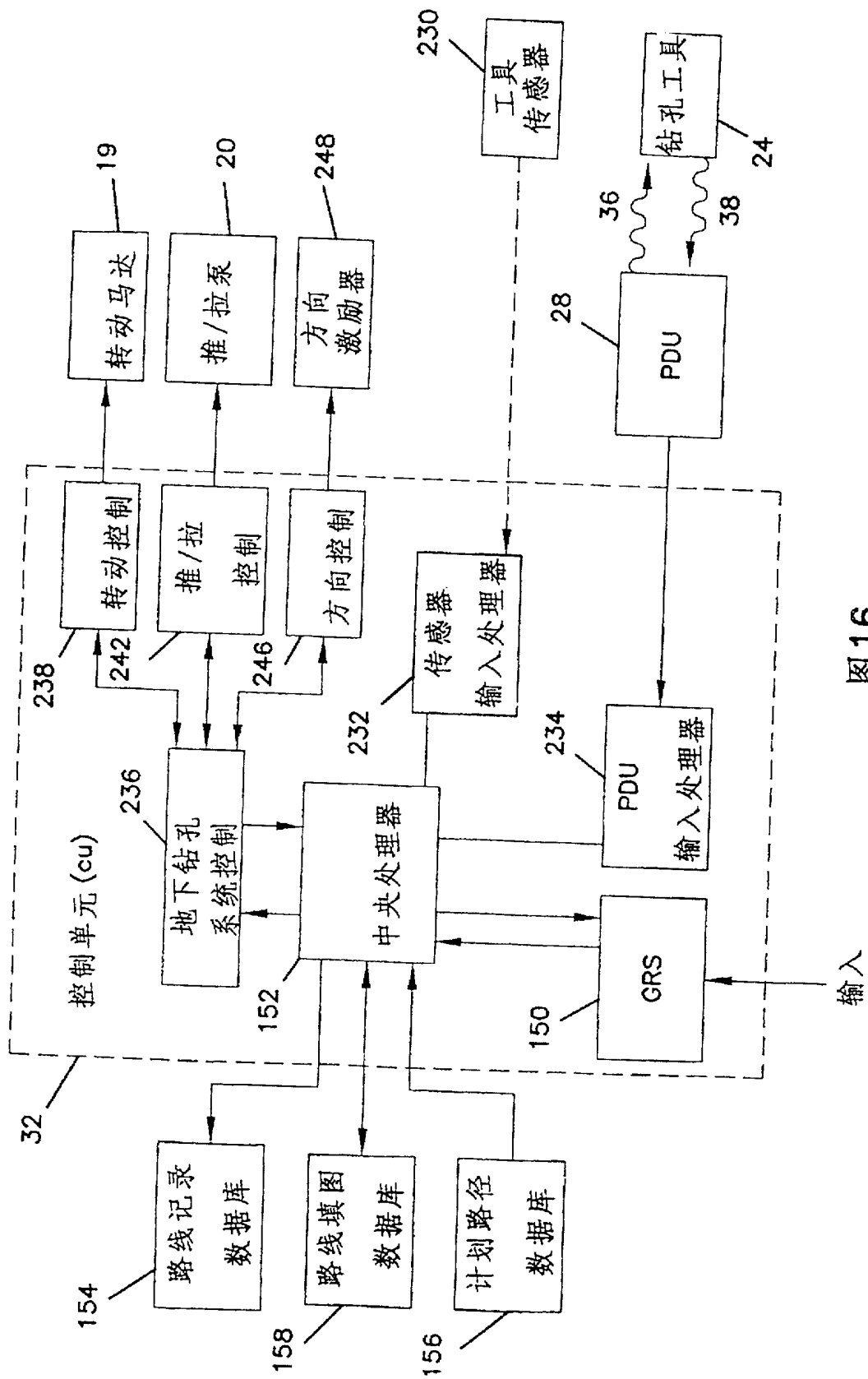
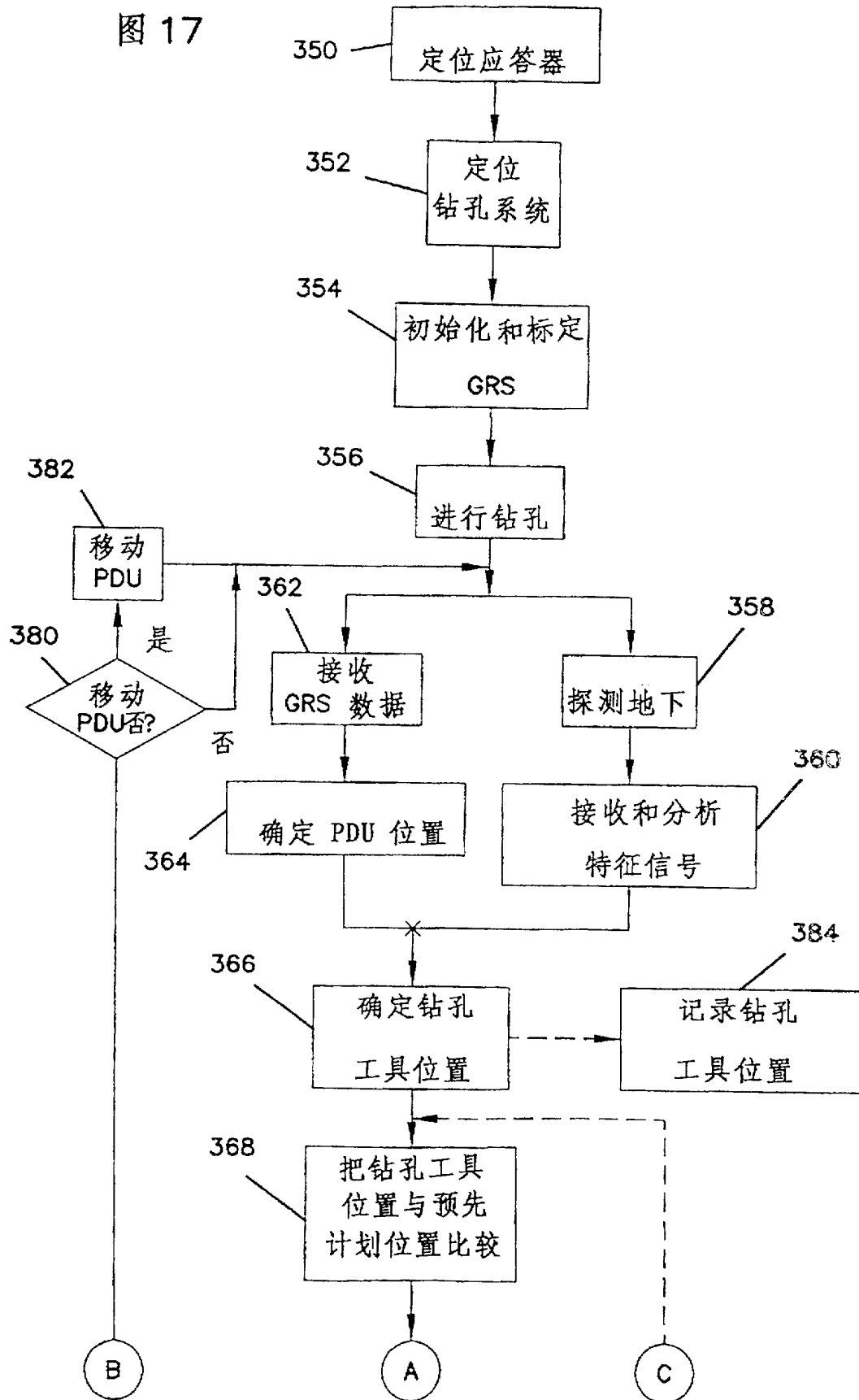


图16

图 17



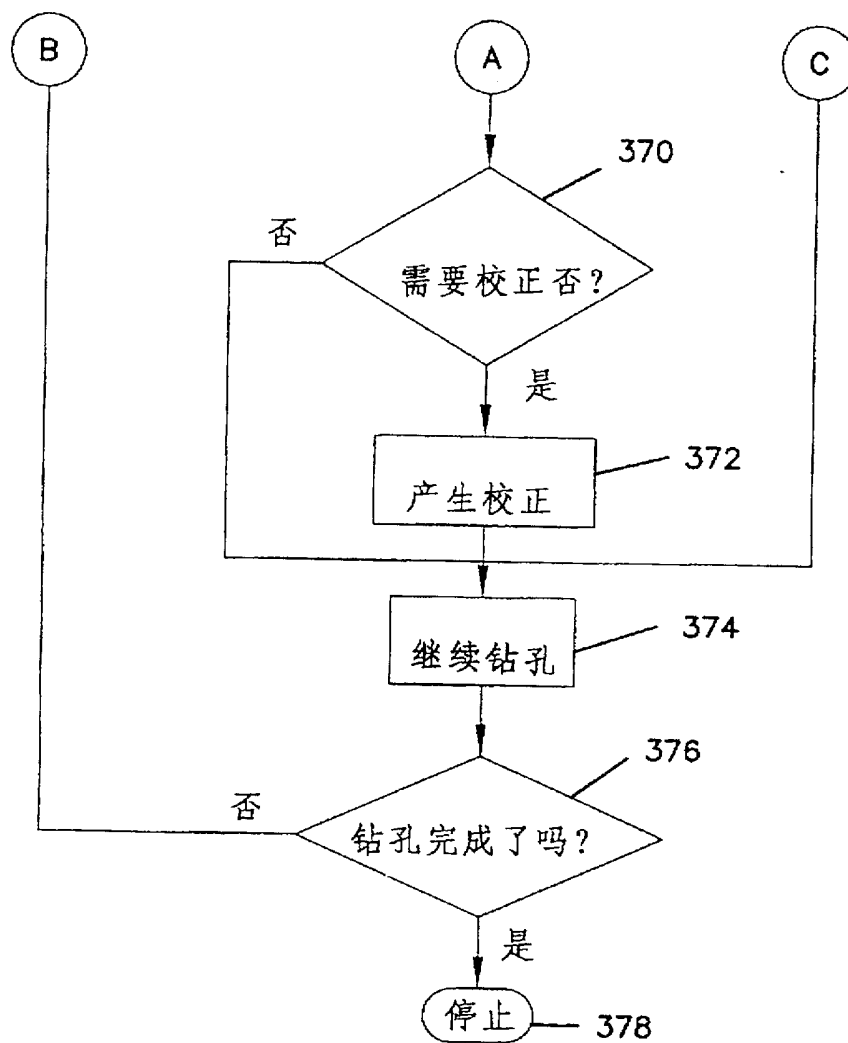


图 18

图19

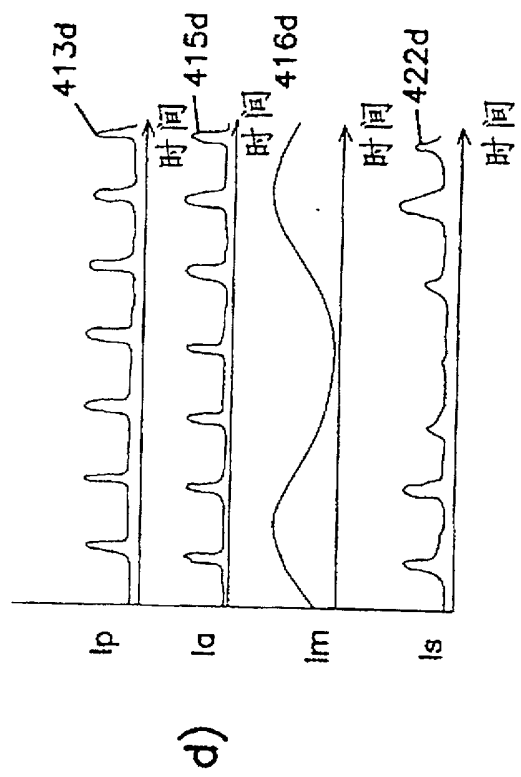
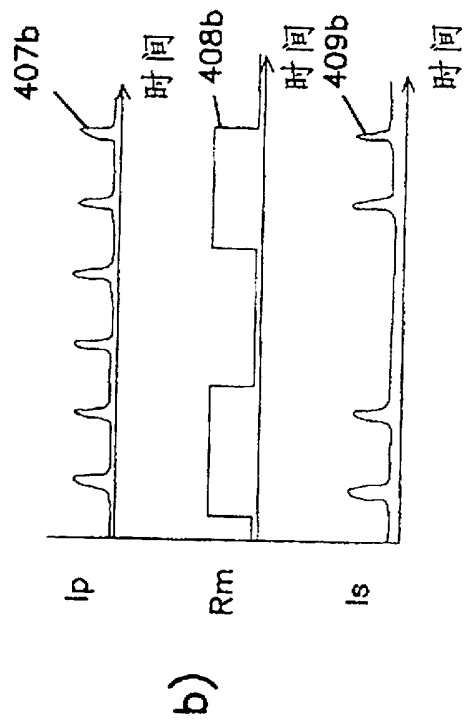
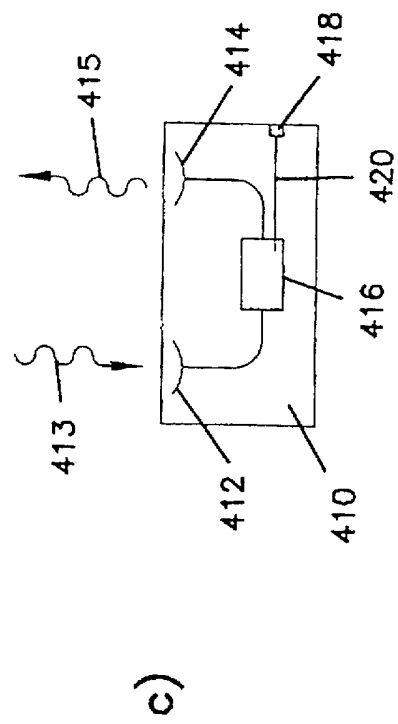
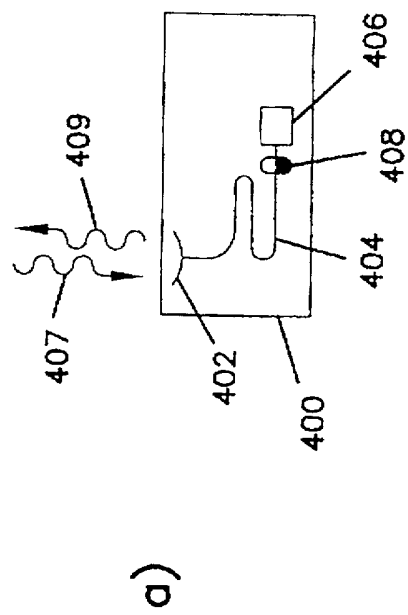


图 20

