

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680013251.7

[51] Int. Cl.

G01N 29/07 (2006.01)

G01N 29/11 (2006.01)

G01N 33/38 (2006.01)

G01N 3/32 (2006.01)

G01N 29/34 (2006.01)

G01N 29/38 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 4 月 16 日

[11] 公开号 CN 101163967A

[51] Int. Cl. (续)

G01N 29/032 (2006.01)

G01N 29/036 (2006.01)

G01S 7/523 (2006.01)

H03K 3/02 (2006.01)

H03B 5/00 (2006.01)

[22] 申请日 2006.4.20

[21] 申请号 200680013251.7

[30] 优先权

[32] 2005.4.20 [33] EP [31] 05103192.0

[86] 国际申请 PCT/EP2006/061705 2006.4.20

[87] 国际公布 WO2006/111559 英 2006.10.26

[85] 进入国家阶段日期 2007.10.19

[71] 申请人 SIKA 技术股份公司

地址 瑞士巴尔

[72] 发明人 迪迪尔·路藤斯

朱利恩·洛佩兹-瑞欧思

罗伯特·法拉特 诺曼·布兰科

[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 康建忠

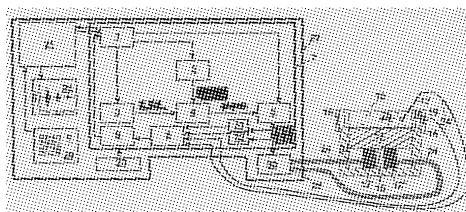
权利要求书 5 页 说明书 24 页 附图 11 页

[54] 发明名称

用于超声确定材料的动态弹性模量的装置和
方法

[57] 摘要

本发明涉及使用声音、优选使用穿透材料并被连续测量和分析的超声波，来确定材料的动态弹性模量，所述材料例如包含像水泥或者石膏等的矿物粘结剂、或者聚合物或者陶瓷的材料，优选是灰浆或混凝土，特别是喷射混凝土。特别地，本发明涉及一种设备、测量装置、以及使用该设备来确定材料动态弹性模量的方法。



1. 一种通过声波来确定材料样本(25)的动态弹性模量的设备(20), 包括:

(a) 具有用于声学耦合所述材料样本(25)与至少一个变换器(12, 12', 12'')的部件(13, 13', 13'')的测量装置(10), (b) 卡(7), 所述变换器(12, 12', 12'')与卡(7)耦合, 所述卡包括:

(i) 用于接收并处理从变换器(12, 12', 12'')接收的响应信号的部件(1, 8, 9, 30, 31, 32); 和

(ii) 用于产生宽频率范围上的高压信号的部件(1, 2, 3, 4, 5), 所述部件包括低压频率可调电子振荡器(2)、信号发生器(3)、电子开关(4)和高压宽带放大器(5), 其中, 所述高压宽带放大器(5)包含至少一个具有初级和次级绕组的无芯变压器(33)或与其连接, 其中所述次级绕组与所述至少一个变换器(12, 12', 12'')连接。

2. 根据权利要求1的设备(20), 其中, 所述至少一个无芯变压器(33)是平面变压器。

3. 根据权利要求1或2的设备(20), 其中, 所述高压宽带放大器(5)包含至少两个无芯变压器(33A、33B、.....), 其中, 所述至少两个无芯变压器(33A、33B、.....)的初级绕组彼此并联连接, 并且其中所述至少两个无芯变压器(33A、33B、.....)的次级绕组彼此串联连接。

4. 根据权利要求1、2或3的设备(20), 其中, 所述频率可调振荡器(2)被设计成产生1 Hz - 200MHz频率范围内的至少 2^5 个离散频率。

5. 根据前述权利要求任何一项的设备(20), 其中, 所述用于接收并处理从变换器(12, 12', 12'')接收的响应信号的部件(1, 8, 9, 30, 31, 32)

包含信号调节部件，例如分压器(32)或限压器(31)，所述信号调节部件与模数转换器模块(8)连接，模数转换器模块(8)将数字响应信号发给计算机存储器(9)。

6. 根据前述权利要求任何一项的设备(20)，其中，提供计算机装置(1)和计算机可读介质(21)，用于控制所述用于接收并处理从变换器(12, 12', 12'')接收的响应信号的部件(1, 8, 9, 30, 31, 32)和/或用于控制所述用于产生高压信号的部件(1, 2, 3, 4, 5)。

7. 根据前述权利要求任何一项的设备(20)，其中，所述多路传输单元(22)包含 m 个用于传送发送或接收信号的门， m 是门(28)的数量，每个门(28)与变换器 t_y 连接，其中 y 是变化下标。

8. 根据前述权利要求任何一项的设备(20)，其中，切换单元(30)被设计成将来自高压宽带放大器(5)的信号传送到变换器(12, 12', 12'')，以及将来自变换器(12, 12', 12'')的信号传送到用于接收并处理响应信号的部件(1, 8, 9, 30, 31, 32)。

9. 根据前述权利要求任何一项的设备(20)，其中，用于声学耦合材料样本(25)与至少一个变换器(12, 12', 12'')的部件(13, 13', 13'')包含至少一个波导(13, 13', 13'')。

10. 根据权利要求 9 的设备(20)，其中，所述至少一个波导(13, 13', 13'')由聚((甲基)丙烯酸甲酯)或铝制成。

11. 根据权利要求 9 或 10 任何一项的设备(20)，其中，所述至少一个波导(13, 13', 13'')通过接触材料(15)，优选是粘弹性材料与所述至少一个变换器(12, 12', 12'')接触。

12. 根据权利要求 9-11 任何一项的设备(20), 其中, 所述至少一个波导(13)至少部分被涂层(14)覆盖, 诸如聚合物涂层, 优选基于聚氨酯或环氧树脂制成。

13. 根据权利要求 9-12 任何一项的设备(20), 其中, 所述波导(13)包含超过一层的相同材料层, 或者超过一层的不同材料层, 并且其中所述层通过粘接材料(14), 优选通过粘合剂粘接。

14. 根据权利要求 13 的设备(20), 其中, 所述波导(13)包含第一层(13')和第二层(13''), 并且其中所述第一层(13')与所述第二层(13'')是不同材料, 并且其中所述第一层(13')通过粘接材料(14), 优选通过粘合剂与所述第二层(13'')粘接。

15. 根据前述权利要求任何一项的设备(20), 其中, 所述至少一个变换器(12)是剪切变换器(12')和/或压缩变换器(12'')。

16. 根据前述权利要求任何一项的设备(20), 其中, 所述至少一个变换器(12)被用作发射和捕获变换器。

17. 根据权利要求 1-15 任何一项的设备(20), 其中, 所述测量装置(10)包含至少两个变换器(12), 并且其中一个变换器用作发射变换器, 以及另一个变换器用作捕获变换器。

18. 根据前述权利要求任何一项的设备(20), 还包含测温元件(17), 优选是热电偶。

19. 根据前述权利要求任何一项的设备(20), 其中, 所述测量装置(10)还包含用于接收和保持材料样本(25)的部件(18)。

20. 根据权利要求 19 的设备(20), 其中, 所述部件(18)是环形的。

21. 根据权利要求 19 或 20 的设备(20), 其中, 所述部件(18)包含控温元件(19)。

22. 根据前述权利要求任何一项的设备(20), 其中, 所述材料(25)包含矿物粘结剂或聚合物。

23. 根据权利要求 22 的设备(20), 其中, 所述矿物粘结剂是水凝胶剂, 诸如水泥或石膏。

24. 根据权利要求 22 或 23 的设备(20), 其中, 所述材料是灰浆或混凝土, 特别是喷射混凝土。

25. 一种使用根据权利要求 1-24 之一的设备(20), 通过声波来确定材料样本(25)的动态弹性模量的方法, 所述材料包括聚合物或矿物粘结剂, 诸如水泥或石膏, 所述方法包括下列步骤:

(A) 选择最小频率 f_{min} 和最大频率 f_{max} 以及频率数量 n ;

(B) 向卡(7)发送数据, 用于产生优选传送给包含 m 个门的多路传输单元(22)的第一信号, m 是门的数量;

(C) 优选选择与变换器(12) t_y 连接的门 g_y , 其中, y 是变化下标;

(D) 从 f_{min} 到 f_{max} 的范围中分离频率 f_x , 其中, x 是变化下标;

(E) 将第一信号发送到测量装置(10)中, 导致将声能, 优选超声能传播到波导(13)中;

(F) 从变换器(12)接收源于从波导或要分析的材料发送或反射的声能, 优选超声能的第二信号;

(G) 为相应频率 f_x 保存所述第二信号;

(H) 分析所述第二信号以确定接收的声能, 优选超声能的幅度和相位;

(I) 评价幅度和相位演变的实时演变;

(J) 使变化下标 x 加 1 并且重复步骤(B)至(I), 直至 x 等于 n , n 是在步骤(A)中选择的频率数量;

(K) 优选使变化下标 y 加 1 并且重复步骤(B)至(J), 直至 y 等于 m , m 是门的数量;

(M) 比较从没有要分析的材料(25)的测量中获得的第二信号的幅度、相位和演变与从其中所述测量装置(10)与要分析的材料(25)接触的测量中获得的相应第二信号的幅度、相位和演变;

(N) 从步骤(M)中进行的比较来计算动态弹性模量。

26. 根据权利要求 25 的方法, 在步骤(K)和步骤(N)之间执行步骤(L), 其中, 步骤(L)重复步骤(B)到(K), 其中所述测量装置(10)与要分析的材料(25)接触。

27. 根据权利要求 25 的方法, 其中, 在有无要分析的材料(25)的情况下并行地执行步骤(B)到(K)。

28. 根据权利要求 25-27 任何一项的方法, 其中, 通过计算机程序来控制所述各步骤。

29. 一种包含至少一个波导(13)和至少一个变换器(12)的测量装置(10), 其中, 所述变换器(12)与所述波导(13)接触, 其特征在于, 所述波导(13)至少部分被涂层(14)覆盖。

30. 根据权利要求 29 的测量装置(10), 其中, 所述波导(13)由聚((甲基)丙烯酸甲酯)或铝制成。

31. 根据权利要求 29 或 30 的测量装置(10), 其中, 所述涂层(14)是优选基于聚氨酯或环氧树脂的聚合物涂层。

用于超声确定材料的动态弹性模量 的装置和方法

技术领域

本发明涉及使用声波，优选是穿透材料并被连续测量和分析的超声波来确定材料的动态弹性模量，所述材料诸如包含聚合物、或者陶瓷、或者像水泥或石膏等的矿物粘结剂，特别是诸如灰浆、混凝土，特别是喷射混凝土。特别地，本发明涉及一种设备、测量装置以及使用该设备来确定材料的动态弹性模量的方法。

背景技术

测量包含矿物粘结剂和聚合物的材料材料性质的经典工具例如有维卡测试、透度计、流变仪、针穿刺或者购自 Instron® 的压缩测试设备。但是这些工具不能用来监测所选材料性质的完整时间演变。

用来测量矿物粘结剂的材料性质的超声分析方法是已知的。US 5,412,990 公开了使用声学剪切波信号来确定水泥浆的凝结时间的方法和设备。US 6,655,213 公开了使用超声波来检查固化和/或硬化材料的方法。

用来表征材料的流变性质和力学性质的现有超声装置在高频的窄范围内操作。这种途径只对于均匀的弹性材料是满意的。在具有超声响应不同于基体的气泡、裂纹和/或内含物的材料中，材料的响应可能变得更加复杂。特别地，在没有特殊校正的情况下通常不能获得真实的基本材料性质。

已知装置的主要缺点是，它们只能在窄的频率范围内使用，而材料的动态弹性性质极大地取决于激发频率。另外，本领域已知的装置是笨重的，具有高的能耗并因此不适于现场测量。此外，现有装置不提供材料性质的直接显示并且依赖于测量之后的数据处理，而这是耗

时的。此外，现存装置具有高的信噪比。因此，日益需要一种能够追踪材料的动态弹性模量的直接时间演变的无损技术以及提供高度便携性和用户友好性的设备。

发明内容

因此，本发明的一个目的是，提供一种设备和测试方法在工业中的可靠使用，并且允许容易、连续、无损且非侵入性地监测材料，如矿物粘结剂或聚合物的动态弹性模量，并且特别是量化包含矿物粘结剂（如水泥）的材料，例如混凝土，特别是喷射混凝土等在从早期到远在矿物粘结剂凝结之后的流变和力学演变，并且特别是提供从测量到显示材料性质的短响应时间，这允许快速分析硬化的材料，例如喷射混凝土应用。因此，本发明的一个目的是，提供一种与现有装置相比具有改善的信噪比，并且允许通过在宽的频率范围，包括从次声波到超声波的频率范围内进行的声音传播方法来表征材料的设备和方法。这与现有超声装置形成对比，并且对于所有粘弹性材料以及包含例如气泡、骨料和孔隙的内含物的材料是重要的。

本发明的进一步目的是一种用于直接和完全处理测量的信号以便实时显示确定的材料性质的方法和装置。

另外，本发明的一个目的是提供一种具有低功耗的用于现场测量的小型便携式设备。

根据本发明，这通过独立权利要求的特征来实现。此外，从从属权利要求中显现出本发明进一步有利实施方案。

本发明的设备、装置和方法可以用于确定矿物粘结剂以及聚合物，特别是反应性聚合物或低聚物以及它们的固化产物的动态弹性模量。特别地，该方法尤其适于实时监测固化。本发明的设备、装置和方法还可以用作控制原材料、中间和最终产品的质量的工具。它可以用作质量控制或工艺控制工具。

本发明提供了通过声波来确定材料样本的动态弹性模量的设备，包含：(a)具有用于声学耦合材料样本与至少一个变换器的部件的测量

装置,所述变换器优选地通过电缆连接与(b)卡耦合,所述卡包含:(i)用于接收并处理从所述变换器接收的响应信号的部件,和(ii)用于产生宽频率范围上的高压信号的部件,所述部件包含低压频率可调电子振荡器、信号发生器、电子开关、高压宽带放大器以及可选电子存储器,其中,所述高压宽带放大器包含至少一个具有初级和次级绕组的无芯变压器或者连接到所述变压器,其中,所述次级绕组与所述至少一个变换器连接。在一个优选的实施方案中,高压宽带放大器包含至少一个变压器。在另一个实施方案中,所述至少一个变压器与高压宽带放大器分离或者在其外面,优选地甚至与卡分离或者在其外面,以及高压宽带放大器与所述至少一个变压器的初级绕组连接。在该实施方案中,一个以上的卡可以与至少一个,优选地一个以上的变压器连接。在一个优选的实施方案中,所述至少一个无芯变压器是平面变压器,优选地包含平面绕组。因此,本发明的设备优选包含平面无芯变压器。

优选高压宽带放大器包含一个以上的无芯电磁变压器,优选两个以上的无芯变压器,优选三个、五个或十个以上的变压器,其中,所述至少两个变压器串联或并联,优选并联连接。优选地,所述至少两个无芯变压器的初级绕组彼此并联连接,以及所述至少两个无芯变压器的次级绕组彼此串联连接。在非常优选的实施方案中,高压宽带放大器包含三个或五个无芯变压器,其中,所述至少两个无芯变压器的初级绕组彼此并联连接,以及所述至少两个无芯变压器的次级绕组彼此串联连接。高压宽带放大器还包含功率驱动器,优选地功率晶体管或高功率半导体用来在所述至少两个变压器的初级绕组提供或者产生高功率电流,优选 1-50 安培(A),更优选 10-40 安培。

当使用一个以上的无芯变压器,其中所述至少两个无芯变压器的初级绕组彼此并联连接,并且其中所述至少两个无芯变压器的次级绕组彼此串联连接时,大的优点是使用这种变压器可以产生比仅用一个无芯变压器更高的电压。为了仅用一个无芯变压器来产生相同量的电压,将需要许多次级绕组。这就使变压器大于当使用一个以上变压器时的情况。对于本发明的设备,需要尽可能小且重量轻的变压器。因

此，至少两个无芯变压器是优选的。由于本发明的这种无芯变压器，可以产生宽频率范围上的高电压信号。使用现有技术的变压器不可能在高电压和高电流下在宽频率范围上产生许多不同的离散频率。

接收并处理从变换器接收的响应信号的部件优选地包括信号调节部件，诸如分压器和/或限压器。信号调节部件优选地与用于向计算机存储器转发数字响应信号的模数转换器模块连接。

使用限压器和分压器（或者分别是电压限制器和电压分配器）能够确定具有低信噪比的精确回声信号。限压器将电压限制到某个预定水平，例如 $\pm 10\text{V}$ 。选择这个水平使得回声信号（分别是传输信号）的电压幅度完全在这个限压器所跨越的电压范围内。分压器将电信号的幅度降低预定倍数，例如10倍。选择倍数使得分压信号的电压范围在优选等于限压信号的电压水平的范围内。

所述卡产生高电压脉冲，这表示例如大于100 V、200 V或者甚至大于1000 V的高压并且具有大约1 ms的最大重复率。可以在100 Hz至1 MHz之间或者在1 kHz至1 MHz之间，更优选在100 Hz至10 MHz之间或者在1 kHz至10 MHz之间，更优选在10 Hz至10 MHz之间，更优选在1 Hz至10 MHz之间，并且最优选在1 Hz至100 MHz之间或者甚至在1 Hz至200 MHz之间调节脉冲频率。因此，可以在宽频率范围，包括低于20 Hz，即低于人类可听声波频率的次声波频率、可听声波（即20 Hz至20 kHz）频率以及高于20 kHz（即高于人类可听声波）的超声波频率上使用本发明的卡。因此，就变压器而言的术语“宽带”在全文中表示放大器在宽频率范围上，即在1 kHz至1 MHz的范围上，或者甚至在100 Hz至10 MHz的范围上，或者在10 Hz至100 MHz或者甚至在1 Hz至200 MHz上工作并且可以使用。

振荡器能够在不需要频率过滤器的情况下产生几种离散且不同的频率，优选大于 2^5 个，更优选大于100，最优选大于1000，特别是大于 2^{10} 个，或者多达 2^{32} 个离散频率。本领域已知的卡仅在多达10个不同的频率下工作并且需要使用频率过滤器。另外，本发明的卡是便携式的。

本发明的设备可以包含一个以上的卡。

本发明的设备还包含通过声波来测量要分析的材料如矿物粘结剂或聚合物的动态弹性模量，特别是压缩模量 K 、切变模量 G 、杨氏模量 E 和泊松比 ν 的测量装置。本文使用的术语“声波”表示频率范围低于 20 Hz，即低于人类听觉的声波的次声波、频率范围在人类听觉范围内的 20 Hz 至 20 kHz 之间的可听声波、以及频率范围在 20 kHz 以上，即在人类可听到的之上的超声波。另外，本文使用的术语“声学”涉及如上定义的声波。

本发明的测量装置包含至少一个变换器和用于声学耦合材料样本与所述至少一个变换器的部件。优选地，所述声学耦合材料样本与所述至少一个变换器的部件包含至少一个波导。所述至少一个变换器优选地通过接触材料（优选的粘弹性材料，例如糊浆等）与该波导接触。在非常优选的实施方案中，所述波导至少部分被涂层覆盖，优选是聚合物涂层。该涂层与要分析的材料直接接触，从而当分析材料时涂层介于波导和要分析的材料之间。

所述涂层防止了由于材料从测量装置的波导脱附而引起信号偶然损耗。选择涂层，以便一方面增强材料样本与波导之间的接触并且保证在整个测量期间维持接触，另一方面便于在测量完成后从波导上除去材料样本。在测量后，不需要从波导上除去涂层。它可以使用若干次。涂层优选是聚合物涂层。在一个实施方案中，从单体或低聚体的加成反应中获得聚合物涂层。这种优选的聚合物涂层是基于聚氨酯或环氧树脂的那些涂层。优选的基于聚氨酯的聚合物涂层是从聚异氰酸酯获得的，尤其是从包含预聚物、以及水或聚胺或多元醇的聚异氰酸酯组获得的。优选的基于环氧树脂的聚合物涂层是从树脂组分和固化剂组分的反应获得的，所述树脂成分包含双酚-A、和/或双酚-F、和/或双酚-A/F，优选地双酚-A 的二缩水甘油醚（diglycidylether），所述固化剂组分包含聚胺和/或多元硫醇（polymercaptane）。当要分析的材料是矿物粘结剂时优选使用这些聚合物涂层。在特别优选的实施方案中，要分析的材料是喷射混凝土并且涂层是基于环氧树脂的聚合

物涂层。

在另一个实施方案中，涂层是对反应性材料表现出脱模性质的聚合物涂层。这种涂层可以无限制地包含或者由下列组成：诸如聚四氟乙烯(也称作 Teflon®)的氟化烃、硅酮、或者诸如聚丙烯或聚乙烯醇的聚烯烃、或者纳米颗粒或自组装单层分子，诸如硅烷、钛酸盐或锆酸盐，例如那些导致“荷花效应”的物质。当要分析的材料是聚合物时优选使用这些聚合物涂层。

优选地，聚合物涂层具有在涂层和要分析的材料以及波导之间导致化学键合或化学亲合性的反应基。因此，不需要压力来保证要分析的材料与波导之间的接触。相对于如在 US 4,754,645 中所述需要将要分析的材料挤压到波导上以允许测量的现有工艺水平方法这是一个优点。

当要分析的材料已经是固体并且具有相当的表面粗糙度时，如果涂层进一步包含在波导的聚合物涂层和要分析的材料之间使用的粘弹性材料将是有利的。

聚合物涂层也可以在现场制备，即在波导和要分析的材料之间布置包含单体或低聚体的混合物，使得单体在测量期间反应。优选地选择单体或低聚体，使得形成涂层的反应是快的。优选地在该反应期间只消耗很少的能量，从而尽可能地少地改变要分析的材料固化动力学。在测量已经是固体并且具有相当表面粗糙度的材料的情况下，优选地使用聚合物涂层的现场形成。这有助于保证波导和要分析的材料之间的良好接触。

涂层的厚度优选小于 200 μm ，更优选小于 100 μm ，小于 50 μm 或者甚至小于 10 μm 。在测量期间，涂层的厚度必须更薄，优选大约比声波长薄 10 倍，从而不会带来附加反射或信号失真。例如，对于 1MHz 频率和 1482 m/s 声速，波长是 1.48 mm，因此涂层的厚度必须小于 1.48 mm，优选小于 0.148 mm。

包含或者优选地由聚((甲基)丙烯酸甲酯)或铝组成的波导包含一层或一层以上。在一层以上的情况下，通过粘接材料，优选地粘合剂

来粘接不同的层。如果波导包含一层以上，各层或者是相同的材料或者是不同的材料。因此，在一个实施方案中，波导包含第一和第二层并且第一层由与第二层不同的材料组成。优选地选择所述至少一个波导的厚度足够厚，从而保证在回声模式下发射脉冲(I)和反射脉冲(II)不会重叠，在传送模式下分别是发射脉冲(I)和传送脉冲(III')不会重叠。

本发明的测量装置包含一个或超过一个变换器。在优选实施方案中，测量装置包含至少一个剪切变换器或至少一个压缩变换器。在特别优选的实施方案中，测量装置包含一个剪切变换器和一个压缩变换器。当使用剪切变换器时，可以分析剪切模量，而使用压缩变换器时，可以分析压缩模量。在传送模式下，彼此相对地布置相同类型的两个变换器，例如两个剪切变换器或两个压缩变换器，在它们之间是要分析的材料。在超过一个的不同变换器的情况下，可以并排布置不同的变换器。变换器是压电组件，其将电脉冲转变成相同频率的机械脉冲。该脉冲通过波导传播到其与材料样本的界面处。一部分脉冲朝向发射变换器反射，而另一部分传输通过材料。传输的脉冲可以由另一个通常与发射变换器相同类型的变换器捕获，其将传输的声波转变回电信号。在反射或回声模式下，同一个变换器既作为发射器又作为接收器，因此将反射的声波转变回电信号。因此，在非常优选的实施方案中，测量装置包含至少一个一种类型的变换器，其中使用所述至少一个变换器作为发射和接收变换器。

在另一个实施方案中，测量装置包含至少两个相同类型的变换器，其中使用一个变换器作为发射变换器，并且使用另一个变换器作为接收变换器。

使用的不同变换器越多，可以分析的材料的不同方面越多。但是，本发明不需要超过一个的一种类型变换器在宽频率范围上工作。一个一种类型的变换器足以在宽频率范围上工作。

材料中传播的声速取决于温度。例如在水中，声速在 20℃ 时是 1482m/s，并且在 40℃ 时是 1530m/s。因此，为了增加准确性必须控制

和/或测量温度。因此，在进一步的实施方案中，测量装置包含测温元件，优选是热电偶，它允许测量要分析的材料内的温度。

本发明的测量装置或者与要分析的材料直接接触，即布置在包含矿物粘结剂或聚合物的材料的表面上，或者测量装置还包含用于接收并保持材料样本的部件，即接纳要分析的材料部件。用于接收并保持材料样本的部件例如可以是开口室或管。优选地，用于接收并保持材料样本的部件是环形的。用于接收并保持材料样本的部件也可以是管形的。在该实施方案中，可以分析管中的材料。这个实施方案对于连续地分析管中的材料是尤其有用的，并且可以用于可以是原材料、中间产物或最终产品的反应性聚合物或低聚体的工序间质量或反应控制。所述管优选是输送管道、反应容器或旁通管道。所述管可以是包含或者由金属，优选不锈钢组成的材料，或者是聚合物材料。在一个实施方案中，按照密封管和波导之间的空隙从而避免材料离开管的方式，将波导引入所述管子的开口。优选地，管内部的波导表面是平面。可选地，管内部的波导表面是管弯曲的形状。在另一个实施方案中，波导可以布置在管的外面。与管接触的波导的表面可以是管弯曲的形状。可选地，波导可以包含优选与管是相同材料并且优选在管材料层与管接触的一侧上是管弯曲形状的另一层。在波导的另一层与波导的另一部分接触的另一侧上，所述另一层优选是平面。在又一个实施方案中，使管的截面变平，在那里进行测量并且在那里将波导引入管或者将波导放在管的外面。优选地，这可以在分别使整个管截面变平或者受压的情况下实现。在一个实施方案中，在波导在管外面的情况下，管优选包含在管内部和外部具有平的凸起的截面，使得来自波导的信号不会被不平表面偏离。

用于接收并保持材料样本的部件任选地包含超过一个隔间，优选两个隔间，优选由隔离墙隔开。如果使用两个隔间，优选一个隔间与要分析的材料接触，而另一个是空的，从而能够与材料的测量并行地测量空的隔间作为对照并因此能够直接比较。超过一个隔间或者超过一个装置的另一个优点是，在测量之间包含空隔间的部件不必是空的。

包含超过一个隔间的测量装置可以包含一个变换器用于整个测量装置或者超过一个变换器，优选每个隔间一个变换器。在另一个实施方案中，使用超过一个测量装置来确定材料的动态弹性模量，至少一个测量装置包含接纳要分析的材料空部件或者不与要分析的材料接触的部件，并且至少一个测量装置包含具有要分析的材料部件或者与要分析的材料接触的部件。优选地，用于接纳要分析的材料部件由导热材料制成。

在优选的实施方案中，用于接纳要分析的材料部件包含至少一个温控元件，优选是用作要分析的材料温度调节装置的至少一个 Peltier 元件。

本发明的测量装置可以特别设计成允许以各种方法来布置要分析的材料，例如浇注、冲压或者喷射，并且由于适当涂层，相对于波导显著地增强了在与波导界面处的接触。

测量装置可以用于测量要分析的材料（如矿物粘结剂或聚合物）的动态弹性模量，特别是压缩模量 K 、杨氏模量 E 和切变模量 G ，并且计算可从所述动态弹性模量中推导出来的其它物理参数，例如泊松比 ν 、粘度、玻璃转变温度 (T_g) 等。压缩模量 K 、杨氏模量 E 和切变模量 G 以及泊松比 ν 是通过测量在介质中传播的声波的纵向速度 (V_l) 和横向速度 (V_t) 可以计算出的基本材料性质：

$$\begin{aligned} E &= \rho V_l^2 \frac{3V_l^2 - 4V_t^2}{V_l^2 - V_t^2} & G &= \rho V_t^2 \\ K &= \rho \frac{3V_l^2 - 4V_t^2}{3} & \nu &= \frac{V_l^2 - 2V_t^2}{2(V_l^2 - V_t^2)} \end{aligned}$$

其中， ρ 是介质的密度。确定声速有两种不同的可能：(1) 通过测量声波通过样本长度 d 的传播时间 t ，然后由 $V = \frac{d}{t}$ 给出速度；或者(2) 通过测量材料的声阻抗 Z ，其表征了材料对声音传播的阻抗并且通过 $Z = \rho V$ 与密度和速度联系。在要分析的材料是软材料或者从软或液态演变到固态的材料的情况下，传播时间测量是不适当的，以及回波描扫术测量是优选的而且使用通过声阻抗的处理。

在不同阻抗的两种材料之间，一部分波被反射而另一部分被传送。

在回声模式下, 变换器同时用作波的发射器和接收器。在时间 $t = 0$, 变换器发射声脉冲, 优选超声脉冲, 它传播到波导中并且在单层波导的情况下在没有先前反射下到达波导/材料样本界面, 或者在波导被涂敷的情况下到达材料样本/涂层界面。一部分波在材料样本/波导界面处反射, 或者如果波导被涂敷, 则在材料样本/涂层界面处反射并且返回变换器(例如参见图 5a 的界面 II)。波的另一部分穿过材料样本, 然后在材料样本/空气界面(在图 5a 的情况下由界面 III 表示)处在材料的另一侧反射。可选地, 在材料波导另一侧处的界面可以是材料样本和样本容器盖之间的界面, 或者是材料样本和另一个波导之间的界面, 或者是材料样本和另一个变换器之间的界面。与该界面的精确特性无关, 这在时间 $2t_1$ 和 $2(t_1 + t_2)$ 产生两个脉冲响应(作为一个举例参见图 5b)。在 $2t_1$ 来自第一个界面反射-第二个脉冲的脉冲幅度与两种介质的声阻抗有关。在材料样本/波导界面处入射波 A_i 的幅度等于在该界面处反射的幅度 A_r 和传送的幅度 A_t 之和(在界面处无损耗)。反射系数 r 和反射的功率系数 R (反射波幅度 A_r 与入射波幅度 A_i 的比值的平方)都与两种介质的声阻抗有关:

$$r = \frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}; \quad r = \sqrt{R}$$

$$R = \left(\frac{A_r}{A_i} \right)^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

A_r 和 A_i 是未知的, 因为它们是到达并从波导/样本界面处反射的幅度。反射信号穿过波导被衰减朝向变换器返回。但是, 如果事先在没有样本的情况下(或者并行地)测量出反射的脉冲, 那么因为波导和空气之间的大的声阻抗差异, 整个声能被反射。因此, 在没有材料样本的情况下的回声信号等于到达波导/材料样本界面但是通过穿过波导返回变换器而被衰减的信号。这意味着, A_r/A_i 等于存在和不存在样本情况下脉冲幅度的比值。

从上面的关系最精确地确定阻抗涉及从测量室中存在和不存在样本情况下的脉冲平方的整数比来确定 R 。这种测量比基于脉冲高度的 r 测量更加精确。根据波导的声阻抗和 R 测量的知识可以建立材料样

本的动态弹性模量。

在测量传送的情况下，在与第一个变换器相对的材料样本侧上，例如在材料样本/空气界面处布置用作接收器的第二变换器(例如参见图 5a 中的界面 III)。这就产生两个脉冲，在 $t = 0$ 时产生发射脉冲并且在时间 $t_1 + t_2$ 时产生源于材料样本/空气界面 III' 的传送脉冲。在传送模式下，优选地相应的发射和接收变换器是相同的。然后，接收变换器接收到达材料样本/空气界面的脉冲并且将声信号转变回电信号。

在再一个方面中，本发明提供了一种包含至少一个波导和至少一个变换器的测量装置，其中所述变换器与所述波导接触，其特征在于，所述波导至少部分被涂层覆盖，所述涂层优选是聚合物涂层，优选基于聚氨酯或环氧树脂。本发明的测量装置包含如上面所述的波导、变换器和涂层。

在反应性材料例如包含矿物粘结剂或聚合物基质如粘合剂、密封剂或基底的情况下，信号随着时间演变，并因此声音传播测量，特别是超声波传播测量提供了材料的动态弹性模量的连续、非破坏性测量。

在一个实施方案中，本发明的设备包含超过一个的测量装置，优选一个测量装置不与要分析的材料接触作为对照，而一个测量装置包含要分析的材料或者与要分析的材料接触。

在一个实施方案中，该设备优选还包含计算机部件和计算机可读介质，用于控制所述接收并处理从变换器接收的响应信号的部件和/或所述产生高电压信号的部件。

在再一个实施方案中，本发明的设备包含电源。电源可以是电力、电池等。

在再一个实施方案中，设备还包含多路传输单元，其包含用于传送发送或接收信号的 m 个门， m 是门的数量；每个门与变换器 t_y 连接，其中 y 是变化下标。多路传输单元优选通过电缆连接与测量装置的变换器连接。

优选地，所述设备是便携式的。本文使用的术语“便携式的”意指设备的总尺寸可以由一个人携带。优选地，没有测量装置的设备，更

优选包含测量装置的整个设备具有小于 100 dm^3 ，优选小于 10 dm^3 ，甚至更优选小于 1 dm^3 的体积，并且优选地没有测量装置的设备的重量，更优选包含测量装置的整个设备的重量低于 100 kg ，更优选低于 10 kg ，再更优选低于 2 kg 。在最优选的实施方案中，没有测量装置的设备，更优选包含测量装置的整个设备具有小于 1 dm^3 的体积和低于 2 kg 的重量。因此，如果在本发明的卡中集成了模数转换模块是有利的。特别地，如果多路传输单元包含本发明的卡，优选包含模数转换模块的卡是优选的。在更优选的实施方案中，在本发明的多路传输单元或卡中集成了计算机可读介质。在再一个实施方案中，设备还包含显示单元，优选是触摸屏，或者可选地显示单元和数据输入单元，例如键盘或键板。在另一个实施方案中，本发明的卡与计算机连接，优选是膝上型计算机。卡和计算机之间可以借助电缆或无线连接。通过使用发送器和接收器，例如借助红外或无线电波连接来实现无线连接。

本发明的设备比现有技术中已知的超声测量装置需要更少电力。足够的电源是例如膝上型计算机的电池或者多路传输单元内的电池。这使得本发明的设备是特别便携式的，并因此对于材料应用的现场测量是有用的。

本发明的设备要分析的材料是包含矿物粘结剂、陶瓷或聚合物的材料。优选地，矿物粘结剂是诸如水泥或石膏的水凝粘结剂。在优选的实施方案中，材料是灰浆或混凝土，特别是喷射混凝土。聚合物优选是反应性预聚物或低聚物。本文使用的反应性预聚物或低聚物指的是这些预聚物或低聚物具有能够经历化学反应，特别是交联的功能基。在一个实施方案中，聚合物是或者包含含有异氰酸酯基团的聚氨酯预聚物。在另一个实施方案中，聚合物是或者包含含有烷氧基硅烷和/或甲硅烷醇-羧酸酯基团的硅酮。在再一个实施方案中，聚合物是或者包含含有缩水甘油醚基团的预聚物或低聚物，例如双酚-A、和/或双酚-F、和/或双酚-A/F 的缩水甘油醚。在再一个实施方案中，聚合物是或者包含含有(甲基)丙烯酸酯基团的预聚物或低聚物。在再一个实施方案中，聚合物是或者包含含有双键的预聚物或低聚物，例如可硫化橡

胶。这些反应性聚合物尤其适用于粘合剂、密封剂、涂层或基底的制备。

在本发明的再一个方面中，提供了一种使用本发明的设备，通过声波来确定材料样本，尤其是灰浆或混凝土，特别是喷射混凝土、或者聚合物或陶瓷的动态弹性模量的方法。因此，提供了用于确定要分析的材料的动态弹性模量的方法，该方法包含使用本发明的设备。该方法还包含通过本发明的测量装置来分析发送或反射的信号步骤。

优选地，用于确定材料的动态弹性模量的方法包括步骤：(A)选择最小频率 $f_{\min}$ 和最大频率 $f_{\max}$ 以及频率数量 n ；(B) 向本发明的卡发送数据，以便产生优选地传送给多路传输单元的第一信号，所述多路传输单元包含 m 个门， m 是门的数量；(C) 优选地选择与变换器 t_y 连接的门 g_y ，其中 y 是变化下标；(D) 从 $f_{\min}$ 到 $f_{\max}$ 的范围中分离频率 f_x ，其中 x 是变化下标；(E) 将第一信号传送到本发明的测量装置中，导致将声能，优选超声能传播到波导中；(F) 从变换器接收源于从波导或要分析的材料传送或反射的声能，优选是超声能的第二信号；(G) 为相应频率 f_x 保存所述第二信号；(H) 分析所述第二信号以确定接收的声能，优选是超声能的幅度和相位；(I) 评价幅度、相位的实时演变及能量演变，以及可任温度演变；(J) 使变化下标 x 加 1 并且重复步骤(B)至(I)，直至 x 等于 n ， n 是在步骤(A)中选择的频率数量；(K) 优选地使变化下标 y 加 1 并且重复步骤(B)至(J)，直至 y 等于 m ， m 是门的数量；(M) 比较从没有要分析材料的测量获得的第二信号的幅度、相位和能量演变与从其中所述测量装置与要分析材料接触的测量中获得的相应第二信号的幅度、相位和能量演变；(N) 从步骤(M)中进行的比较中计算动态弹性模量。

在一个实施方案中，在测量装置不与要分析材料接触的情况下执行步骤(B)到(K)，并且然后在第二次测量中，所述方法还在步骤(K)和步骤(N)之间包含步骤(L)，步骤(L)重复步骤(B)到(K)，其中所述测量装置与要分析材料接触。

在另一个实施方案中，对于具有或不具有要分析材料的测量装置

并行地执行步骤(B)到(K)。

优选地，通过计算机程序来控制各步骤。

本发明的设备、装置和方法可以用来确定包含矿物粘结剂的材料以及聚合物，特别是反应性聚合物或低聚物及其固化产物的动态弹性模量。特别地，该方法尤其适于实时监测固化。本发明的设备、装置和方法还可以用作工具来控制原材料、中间产物和最终产品的质量。它可以用作质量控制或工艺控制工具。如果用于此目的，优选测量装置与管道连接或者包含用来接纳材料的管形部件，在其中传送反应性聚合物或低聚物。

在再一个方面中，本发明提供了本发明的设备用于分析要分析的材料，优选包含矿物粘结剂的材料或者聚合物的动态弹性模量。优选地，所述矿物粘结剂是水凝粘结剂，例如水泥或石膏，并且所述材料是灰浆或混凝土，特别优选的是喷射混凝土。所述聚合物优选是聚合基质例如粘合剂、密封剂或基底。

在再一个方面中，本发明提供了光电多路传输单元在本发明的设备中的使用，即包含至少一个光电开关的多路传输单元。

附图说明

当结合附图考虑时，参考下面详细的说明书将更容易获得本发明及其许多伴随的优点的更完全领会并且它们将变得更好理解，附图中：

图 1a 显示了卡的示意图；

图 1b 显示了包含模数转换模块、限压器和分压器的卡的示意图；

图 1c 显示了包含卡的多路传输单元的示意图，所述卡包含限压器和分压器；

图 1d 显示了包含卡的多路传输单元的示意图，所述卡包含限压器、分压器和模数转换模块；

图 1e 显示了限压器和分压器的工作原理的示意图；

图 2a 显示了与要分析的材料接触的测量装置的示意垂直剖视图；

图 2b 显示了包含用于接纳要分析的材料的部分的测量装置的示

意垂直剖视图;

图 2c 显示了穿过用于接纳要分析的材料的部分的图 2b 的 A-A 的示意水平剖视图;

图 3a 显示了设备的一个实施方案的示意图;

图 3b 显示了设备的第二个实施方案的示意图;

图 3c 显示了设备的第三个实施方案的示意图;

图 4 显示了计算机程序的流程图;

图 5a 显示了声音传播的反射模式测量的示意图;

图 5b 显示了源于声音传播的反射模式测量的波的示意图;

图 6 显示了灰浆的剪切模量的时间演变;

图 7 显示了包含三个变压器的高压宽带放大器的示意图;

图 8a 显示了水泥浆的剪切和压缩模量的时间演变;

图 8b 显示了水泥浆的泊松比的时间演变;

图 8c 显示了通过声测量和流变学测量确定的水泥浆的剪切模量值。

只显示了对于理解本发明必要的三个元件。

具体实施方式

现在参考附图, 图 1a 显示了与多路传输单元 22、测量装置 10 和模数转换模块 8 连接的卡 7, 该卡包含向计算机可读介质 21 发送信号的计算机桥接口 1、低压频率可调电子振荡器 2、信号发生器 3、电子开关 4、高压宽带放大器 5、以及可选电子存储器 9。另外, 图 1a 显示了多路传输单元 22、测量装置 10、限压器 31、分压器 32、模数转换模块 8 以及与卡 7 分开的计算机可读介质 21。模数转换模块 8 是单独的单元或者是计算机的一部分。电子存储器 9(以虚线显示)在卡 7 上或者在计算机内。在模数转换模块 8 是计算机的一部分的情况下, 优选电子存储器 9 也是计算机的一部分。

如下产生一个声信号:

低压频率可调电子振荡器 2 产生所需频率的连续正弦电子信号。

低压指大约 1-10 伏(V)，优选 1 V。频率可调指频率在大约 1 Hz 至大约 200 MHz 的范围内。与电子振荡器 2 并行工作，信号发生器 3 产生具有所需脉冲持续时间和所需占空比的 TTL-类(晶体管-晶体管逻辑)脉冲信号。TTL-类脉冲具有大约 1-10 V，优选大约 5 V 的幅度。该信号被发送给电子开关 4，并且使能或者禁止将从电子振荡器 2 产生的信号传送给包含至少一个无芯变压器 33(在图 1a 中未显示，但在图 7 中显示)的高压宽带放大器 5。高压指大约 100 V 至大约 1 kV 或者甚至大约 10 kV。通过多路传输单元 22，将变压器 5 的输出发送给测量装置 10 的变换器 12(在图 1a 中未显示，但在图 2 和 3 中显示)，从而将电信号转变成声信号。

然后，测量装置 10 测量穿过或者由要分析材料 25(在图 1a 中未显示，但在图 2 和 3 中显示)反射的声信号，优选超声信号，如下：

变换器 12 用来将声信号，优选超声信号转换成电信号。然后，经由多路传输单元 22 将该模拟电信号发送给限制电压至例如大约 10 V 的限压器 31，并且发送给将电压除以例如系数 10 的分压器 32，然后通过模数转换模块 8 中的模数信号转换器 6(未显示)将该信号转换成数字信号。将该数字信号存储在卡上或者计算机中的电子存储器 9 中，从而直接或者经由计算机桥接口 1 传送给计算机可读介质 21。由虚线表示了两种可能。

测量装置 10 还具有测量并且控制温度的功能：一个或多个测温元件 17(在图 1 中未显示，但在图 2 和 3 中显示)和/或一个或多个控温元件 19(在图 1 中未显示，但在图 2 和 3 中显示)与测量装置 10 连接。模数转换模块 8 中的模数信号转换器 6(未显示)将测温元件 17(在图 1 中未显示，但在图 2 和 3 中显示)和/或控温元件 19(在图 1 中未显示，但在图 2 和 3 中显示)的模拟信号转换成数字信号，并存储在电子存储器 9 中。

根据图 1b，显示了如图 1a 所述的卡 7。与图 1a 所述的卡 7 相比，模数转换模块 8、限压器 31 和分压器 32 集成在卡 7 中。

根据图 1c，多路传输单元 22 包含如图 1a 所述的卡 7、限压器 31

和分压器 32。模数转换模块 8 和测量装置 10 是单独的单元。从高压宽带放大器 5 穿过多路传输单元 22 的切换单元 30 的至少一个门 28 将电信号发送给测量装置 10 的变换器 12(在图 1c 中未显示),从而将电信号转变成声信号。然后,测量装置 10 测量传送通过要分析的材料 25(在图 1c 中未显示)或被其反射的声信号。使用变换器 12(在图 1c 中未显示)将该声信号转换成电信号,然后经由多路传输单元 22 的切换单元 30 的至少一个门 28 将该模拟信号发送给限压器 31 和分压器 32,然后通过模数转换模块 8 中的模数信号转换器 6(未显示)将其转换成数字信号。将该数字信号存储在卡上或者计算机中的电子存储器 9 中,从而直接或者经由计算机桥接口 1 传送给计算机可读介质 21。由虚线表示了两种可能。多路传输单元 22 可选地包含电源 23。

图 1d 显示了为图 1c 描述的多路传输单元 22。与图 1c 相比,模数转换模块 8 集成在卡 7 内并且不是单独的单元。

图 1e 描述了限压器 31 和分压器 32 的工作原理。电信号取自多路传输单元 22 和高压宽带放大器 5 之间的连接。由于激发脉冲 I 和回声脉冲 II(各自都是传输信号 III')的电压的大差异,两部分电信号的直接比较引起低的信噪比的问题。

使用限压器 31 和分压器 32 能够确定具有高信噪比的精确回声或传输信号。限压器 31 限制电压至某预定水平,例如 $\pm 10V$ 。选择该水平,使得回声信号(分别是传输信号)的电压幅度完全在这个限压器所跨越的电压范围内。如此限制的信号被传送到模数转换模块 8。该模数转换模块 8 使用由所选电压范围内的预定数量离散水平点确定的分辨率,将进入信号转换成数字信号。

分压器 32 通过除以预定系数,例如系数 10 来降低电信号的幅度。将分压信号传送给模数转换模块 8。所选系数使得分压信号的电压范围在限压信号的电压水平的范围内,优选与其相等。

在存储器(各自在计算机内)内,从限压信号 I_{mod} 中分离出回声信号(分别是传输的信号),并且从分压信号 II_{mod} 中分离出激发脉冲。通过两个分离出的信号 II_{mod} 和 I_{mod} 的相除,实现了回声信号 II_{cor} 的校正

(分别是传输信号 Π_{cor})，消除了由于激发脉冲的幅度引起的所有信号波动。通过从 Π_{mod} 减去 I_{mod} 可以降低相位波动。这就提高了准确度并且提高了回声信号(分别是传输信号)的信噪比。

根据图 2a，测量装置 10 与要分析的材料 25 接触，或者放在其材料表面上。这种测量装置包含外壳 11、具有至少一层的波导 13 (优选第一层 13' 和第二层 13'')、变换器 12，其中，所述变换器 12 通过接触材料 15 (优选粘弹性材料) 与波导 13 接触，并且其中，波导 13''/材料样本 25 界面处的波导 13 至少部分覆盖涂层 14，优选基于聚氨酯或环氧树脂的聚合物涂层。图 2a 显示了包含两层波导，第一层 13' 和第二层 13'' 的测量装置。所述两层通过粘接材料 16，优选粘合剂粘接。第一层 13' 和第二层 13'' 是相同或不同的材料。图 2a 只代表了测量装置的一个示例性的实施方案。对于本领域技术人员明显的是，测量装置 10 可以只包含一层或者超过两层波导 13，或者测量装置可以包含超过一个变换器 12。变换器 12 通过电缆连接 24 与多路传输单元 22 (未显示) 连接。用通过电缆连接 24' 与模数转换模块 8 连接的测温元件 17，优选热电偶来测量要分析的材料 25 的温度。

图 2b 显示了测量装置的剖视图，除了图 2a 的测量装置外，还包含用于接纳要分析的材料 25 的部件 18。部件 18 包含至少一个控温元件 19，优选是 Peltier 元件，其用作温度调节装置来回火要分析的材料 25。另外，只显示了一层波导 13 和两个变换器 (剪切变换器 12' 和压缩变换器 12'')。测温元件 17 和控温元件 19 通过电缆连接 24' 与模数转换模块 8 (未显示) 连接。

图 2c 显示了接纳要分析的材料 25 的环形装置 18 穿过 A-A 的水平剖视图。优选通过电缆连接 24'' 来连接超过一个的控温元件 19。在另一个实施方案中，每个控温元件 19 通过电缆连接 24' 单独与模数转换模块 8 连接。

图 3a 显示了通过声波来确定材料的动态弹性模量的设备 20 的示意图，其包含优选是计算机或膝上型计算机的一部分的计算机可读介质 21、在图 1b 中详细描述包含模数转换模块 8 (未显示) 的卡 7、多

路传输单元 22、以及在图 2b 中更详细地描述了的本发明的测量装置 10，其通过电缆连接 24'和 24''与多路传输单元 22 和卡 7 的模数转换模块 8(未显示)连接。计算机可读介质 21(典型地计算机或膝上型计算机)或者多路传输单元 22 或者两者都包含电源 23(未显示)。电源可以是电力、电池等。卡 7 例如经由电缆或无线与计算机可读介质(优选计算机或膝上型计算机)连接。

图 3b 显示了通过声波来确定材料 25 的动态弹性模量的设备 20 的示意图，其包含计算机可读介质 21、包含在图 1c 中更详细描述了的卡 7 的多路传输单元 22、以及在图 2b 中更详细地描述了的本发明的测量装置 10。优选是计算机或膝上型计算机的一部分的计算机可读介质 21 通过无线连接与多路传输单元 22 连接。多路传输单元 22 包含本发明的卡 7，其包含模数转换模块 8 和电源 23。除了或者代替多路传输单元 22 的电源 23，电源 23 还可以是计算机或膝上型计算机的一部分。测量装置 10 的变换器 12(或者此处在两个变换器的情况下以变换器 12'和变换器 12''显示)通过电缆连接 24 经门 28 与多路传输单元 22 连接。使用通过电缆连接 24'与模数转换模块 8 连接的测温元件 17(优选热电偶)来测量要分析的材料的温度。

图 3c 显示了通过声波来确定材料 25 的动态弹性模量的设备 20 的示意图，其包含多路传输单元 22 和本发明的测量装置 10。多路传输单元 22 包含计算机可读介质 21、显示单元 26、用于输入指令的数据输入单元 29 例如键盘或键板、在图 1c 中详细描述了的包含模数转换模块 8 的卡 7、以及电源 23。测量装置 10 的变换器 12 通过电缆连接 24 经门 28 与多路传输单元 22 连接。使用通过电缆连接 24'与模数转换模块 8 连接的测温元件 17(优选热电偶)来测量要分析的材料的温度。

图 4 显示了优选由计算机程序控制的本发明的方法的流程图。计算机程序优选地使计算机执行所述方法的步骤。通过声波来确定材料样本的动态弹性模量的方法包含下列步骤：(A)选择最小频率 $f_{\min}$ 和最大频率 $f_{\max}$ 及频率数量 n ；(B) 向本发明的卡 7 发送数据，以便产生

优选传送给包含 m 个门的多路传输单元 22 的第一信号, m 是门的数量; (C) 优选地选择与变换器 t_y 连接的门 g_y , 其中 y 是变化下标; (D) 从 $f_{\min}$ 到 $f_{\max}$ 的范围中分离出频率 f_x , 其中 x 是变化下标; (E) 将第一信号传送到本发明的测量装置中, 导致将声能, 优选超声能传播到波导中; (F) 从变换器接收源于从波导或要分析的材料传送或反射的声能, 优选超声能的第二信号; (G) 为相应的频率 f_x 保存所述第二信号; (H) 分析所述第二信号以确定接收的声能, 优选超声能的幅度、相位和能量; (I) 评价幅度和相位演变的实时演变、波能量演变, 以及可选的温度演变; (J) 将变化下标 x 加 1 并且重复步骤(B)至(I), 直至 x 等于 n , n 是在步骤(A)中选择的频率数量; (K) 优选地将变化下标 y 加 1 并且重复步骤(B)至(J), 直至 y 等于 m , m 是门的数量; 可选地包括步骤 (L) (如虚线所示) 重复步骤 (B) 至 (K), 其中, 本发明的测量装置与要分析的材料接触; (M) 比较从没有要分析材料的情况下的测量中获得的第二信号的幅度、相位和能量演变与从其中所述测量装置与要分析的材料接触的测量中获得的相应第二信号的幅度、相位和能量演变; (N) 从步骤(M)中进行的比较, 来计算动态弹性模量。

图 5a 显示了声音传播的反射模式测量。在反射或回声模式下, 变换器 12 同时用作波的发射器和接收器。在时间 $t = 0$, 在包含接触材料 15 的变换器 12/波导 13 界面 I 处, 变换器 12 发射声脉冲, 优选超声脉冲, 其传播到包含一个单层和涂层 14 的波导 13 中。然后, 声脉冲在没有先前反射下到达涂层 14/材料样本 25 的界面 II。在时间 t_1 , 一部分声波在涂层 14/材料样本 25 的界面 II 处被反射并返回变换器 12。另一部分声波穿过材料样本 25, 然后在材料样本 25/空气界面 III 处被反射。这就导致在时间 $2t_1$ 和 $2(t_1 + t_2)$ 观察到两个脉冲响应。

图 5b 显示了声音传播的反射模式测量的结果。显示了三个脉冲的电压(V)幅度与以秒(s)计的时间的关系。 t_0 时的第一个脉冲源于发射变换器 12, $2t_1$ 时的第二个脉冲源于在涂层 14/材料样本 25 的界面上的反射, 并且在 $2(t_1 + t_2)$ 时的第三个脉冲源于材料样本 25/空气界面。

图 6 显示了通过对三种灰浆的实验确定的剪切模量 G (Pa) 的发展

与时间 t (min) 的关系。Ex 2 是水和由 23.1% 重量的水泥、7% 重量的碳酸钙、27.94% 重量的砂子(0-1 mm)和 41.96% 重量的砂子(1-4 mm)构成的合成物的灰浆。

除了它还包含 1% 重量的基于水泥的高效增塑剂和缓凝剂 Sika®ViscoCrete® SC-305 (可在 Sika Schweiz 处商购)外, Ex 3 是与 Ex 2 相同的灰浆。除了它还包含 6% 重量的基于水泥的促凝剂 Sigunit®-L53 AF (可在 Sika Schweiz 处商购)外, Ex 1 是与 Ex 3 相同的灰浆。因此, Ex 1 代表促凝灰浆, Ex 2 是标准灰浆, 以及 Ex 3 是缓凝灰浆。

所有灰浆具有 0.48 的水/水泥比, 并且作为湿混物施用到测量装置上。在室温下通过实验室的喷射混凝土设备将 Ex 1 作为湿喷射混凝土喷射到测量装置中。所用的测量装置包含两个布置用于回声模式测量的变换器, 一个用于测量压缩模量, 而另一个用于测量剪切模量。波导涂有 100 微米厚的通过固化两种组分树脂得到的环氧树脂层, 第一种组分包含双酚-A 的二缩水甘油醚, 并且第二种组分包含聚胺。测量装置是高 9 cm、直径 13 cm 并且重 4 kg 的圆柱形状。测量装置与尺寸为 $10 \times 5 \times 4$ cm 以及重 300 g 的在图 1c 中更详细地描述的多路传输单元连接。多路传输单元通过 USB 连接与膝上型计算机连接, 在计算机上在 LabVIEW™ (LabView 7 express, 从 National Instruments 商购) 环境下运行控制和计算程序。对 50 kHz - 5 MHz 频率范围内的 100 个离散频率实时进行测量。从一组对于每个频率的剪切模量的时间演变曲线中, 图 6 显示了 500 kHz 频率的示例性曲线。从该代表中可以清晰地看出, 模量随着固化进行而增加。此外, 在图 6 中从 Ex 1 可以看出, 在前几分钟已经快速变硬, 并且可以测量出早期和更快的强度发展。

图 7 显示了包含功率驱动器 36 和三个变压器 33A、33B、33C 的高压宽带放大器 5 的示意图。功率驱动器 36 优选是用来在所述至少一个变压器的初级绕组 34 处提供或者产生高功率电流, 优选 1-50 安培 (A), 更优选 10-40 安培的功率晶体管或者高功率半导体。三个无芯变

压器的初级绕组 34 彼此并联连接, 并且三个无芯变压器的次级绕组 35 彼此串联连接。将所需频率的低压电子信号从电子开关 4(在图 1a 中显示)传送给高压宽带放大器 5 的功率驱动器 36, 然后传送给三个变压器 33A、33B 和 33C 的初级绕组 34。然后将电子信号传送给串联连接的三个变压器 33A、33B 和 33C 的次级绕组 35。因为每个变压器的次级绕组 35 包含比每个变压器的初级绕组 34 更多的绕组, 信号的电压被放大。信号的总最终输出电压, 即次级绕组处的电压和在此情况下在使用三个变压器时是仅使用一个变压器时的三倍高。这是由于三个变压器的初级绕组 34 并联连接并且三个变压器的次级绕组 35 串联连接。然后, 将高压, 优选介于 100 和 1000 V 之间的电信号从变压器的次级绕组 35 传送给测量装置 10(此处未显示)的变换器 12。

图 8 显示了通过对水泥的实验获得的材料性质的发展与时间的关系。

图 8a 显示了以 0.3 的水/水泥比与水混合的波兰水泥的剪切模量 G 和压缩模量 K 的发展。水泥/水混合物置于测量装置上。该装置具有环形容器并且由附于所述环形容器上的 Peltier 元件温度调节至 25°C 。在图 6 的说明中给出了对测量装置和所用设备及测量的进一步细节。对于实验使用 50 kHz - 5 MHz 范围内的 100 个离散频率。图 8a 显示了对于 500 kHz 的曲线。

图 8b 显示了在 500 kHz 下泊松比 ν 的时间演变, 泊松比 ν 从在图 8a 中测量并讨论的实验值确定。图 8a 和 8b 清晰地表明材料性质随着水泥固化的变化。

图 8c 显示了图 8a 和 8b 中描述的举例中, 通过声音测量确定的剪切模量 G 值 G_{inv} 与通过流变学测量确定的剪切模量 G 值 G_{rheo} 的比较。为了通过流变学来确定, 已经在 25°C 的温度下使用粗糙的板/板几何结构(直径 50 mm, 间隙 2 mm)、频率 1 Hz、振荡模式、最大变形 0.02% 以处于线性状况的流变仪 Paar Physica MCR300 上测量样本。图 8c 中的示意图比较了对于所选时间点由流变学获得的剪切模量值的各个值 G_{theo} 与通过本发明方法获得的值 G_{inv} 。对于良好的相关性, 通过不

同方法获得了相同的值，这反映出所用图中的代表性点处于对角线。流变学方法在测量中在低固化时间表现出较高误差，这由图 8c 中的误差棒来表示。

但是，通过声音测量确定的值是从一个样本实时获得的，而通过流变学确定的数据来自不同样本并且不是实时确定的。此外，通过流变学不能测量压缩模量。从图 8c 中可以观察到，通过两种不同方法获得的结果的相关性是优异的。

本发明当然不局限于显示并描述的示例性实施方案。

明显地，本发明的许多修改、组合和变化根据上面的教导是可能的。因此，应当理解，在附录权利要求的范围内，可以按照与本文中具体描述的不同方式来实践本发明。

当在本文中使用术语“一个”或“一”时，除非另有说明，它们意指“至少一个”或者“一个或多个”。

标号列表

- 1 计算机桥接口
- 2 低压频率可调电子振荡器
- 3 信号发生器
- 4 电子开关
- 5 高压宽带放大器
- 6 模数信号转换器
- 7 卡
- 8 模数转换模块
- 9 电子存储器
- 10 测量装置
- 11 外壳
- 12 变换器
- 12' 剪切变换器
- 12'' 压缩变换器
- 13 波导

- 13' 波导的第一层
- 13'' 波导的第二层
- 14 涂层
- 15 接触材料
- 16 粘接材料
- 17 测温元件
- 18 用于接纳要分析的材料的部分
- 19 控温元件
- 20 设备
- 21 计算机可读介质
- 22 多路传输单元
- 23 电源
- 24 变换器 12 和多路传输单元 22 之间的电缆连接
- 24' 测温元件 17 和模数转换模块 8 之间的电缆连接
- 24'' 控温元件 19 之间的电缆连接
- 25 要分析的材料
- 26 显示单元
- 27 计算机程序产品
- 28 多路传输器的门
- 29 数据输入单元
- 30 切换单元
- 31 限压器
- 32 分压器
- 33 变压器
- 33A 第一变压器
- 33B 第二变压器
- 33C 第三变压器
- 34 初级绕组
- 35 次级绕组
- 36 功率驱动器

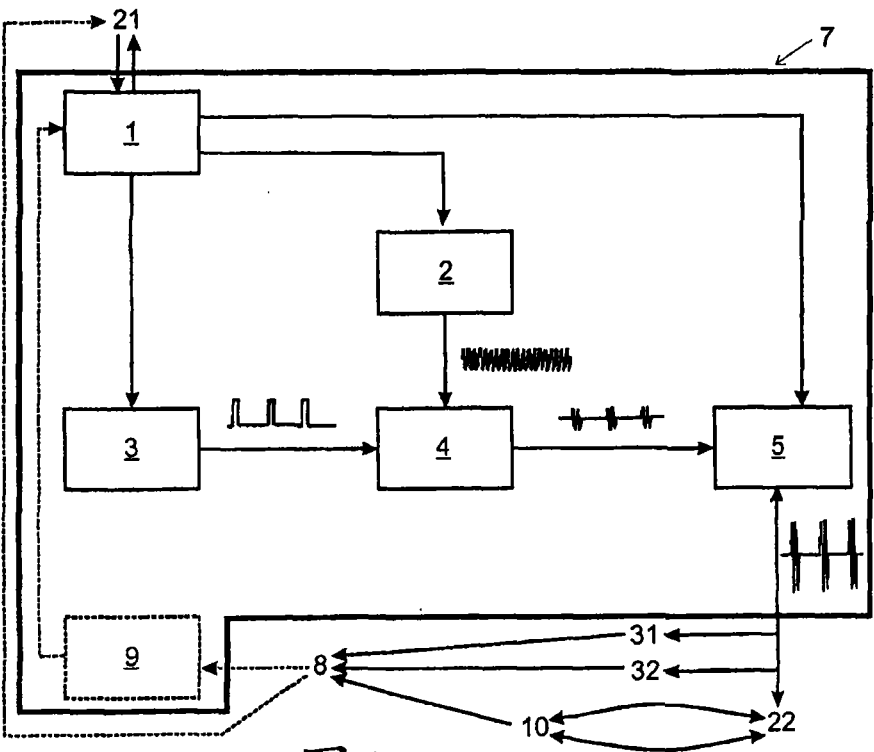


图 1a

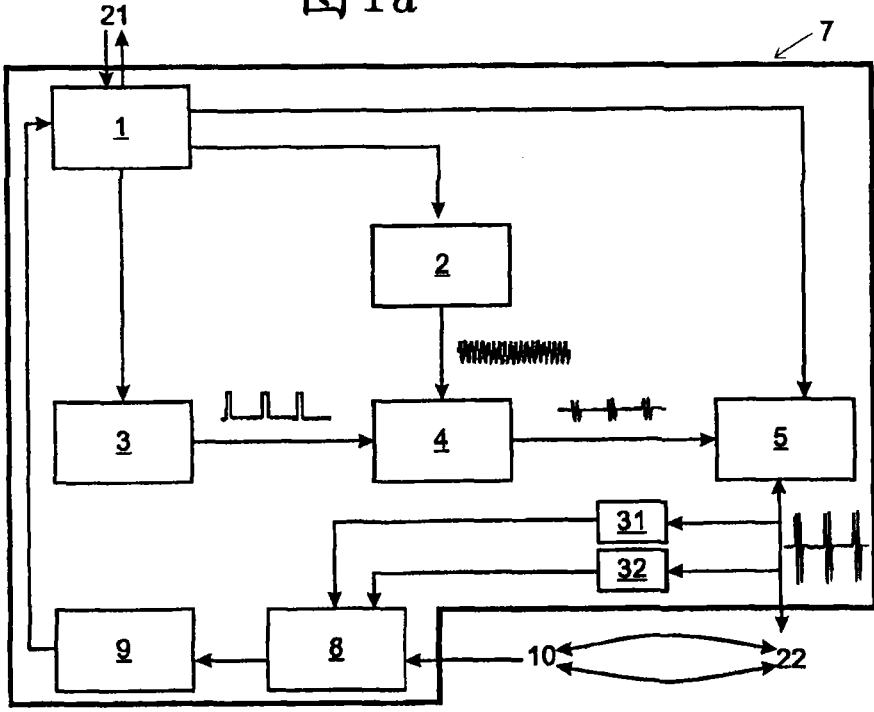
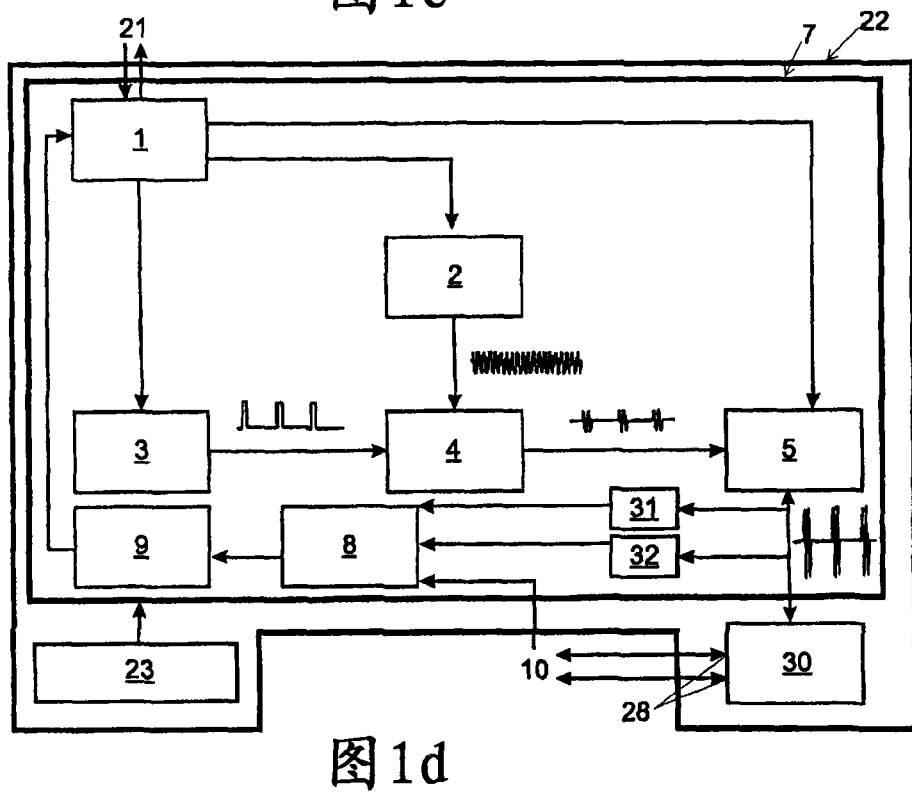
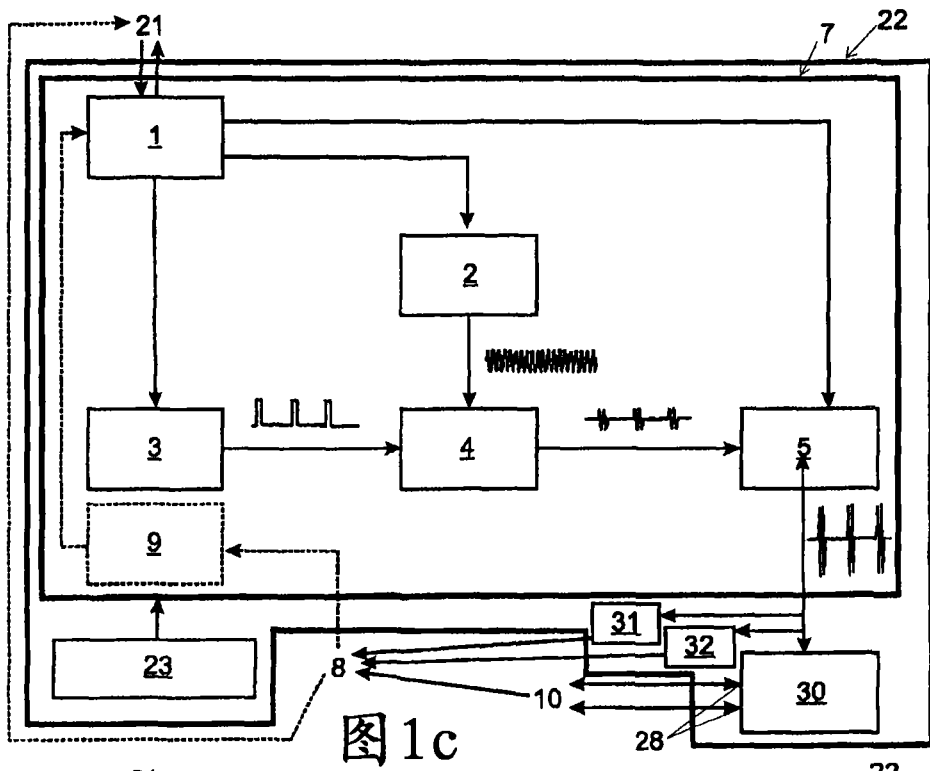


图 1b



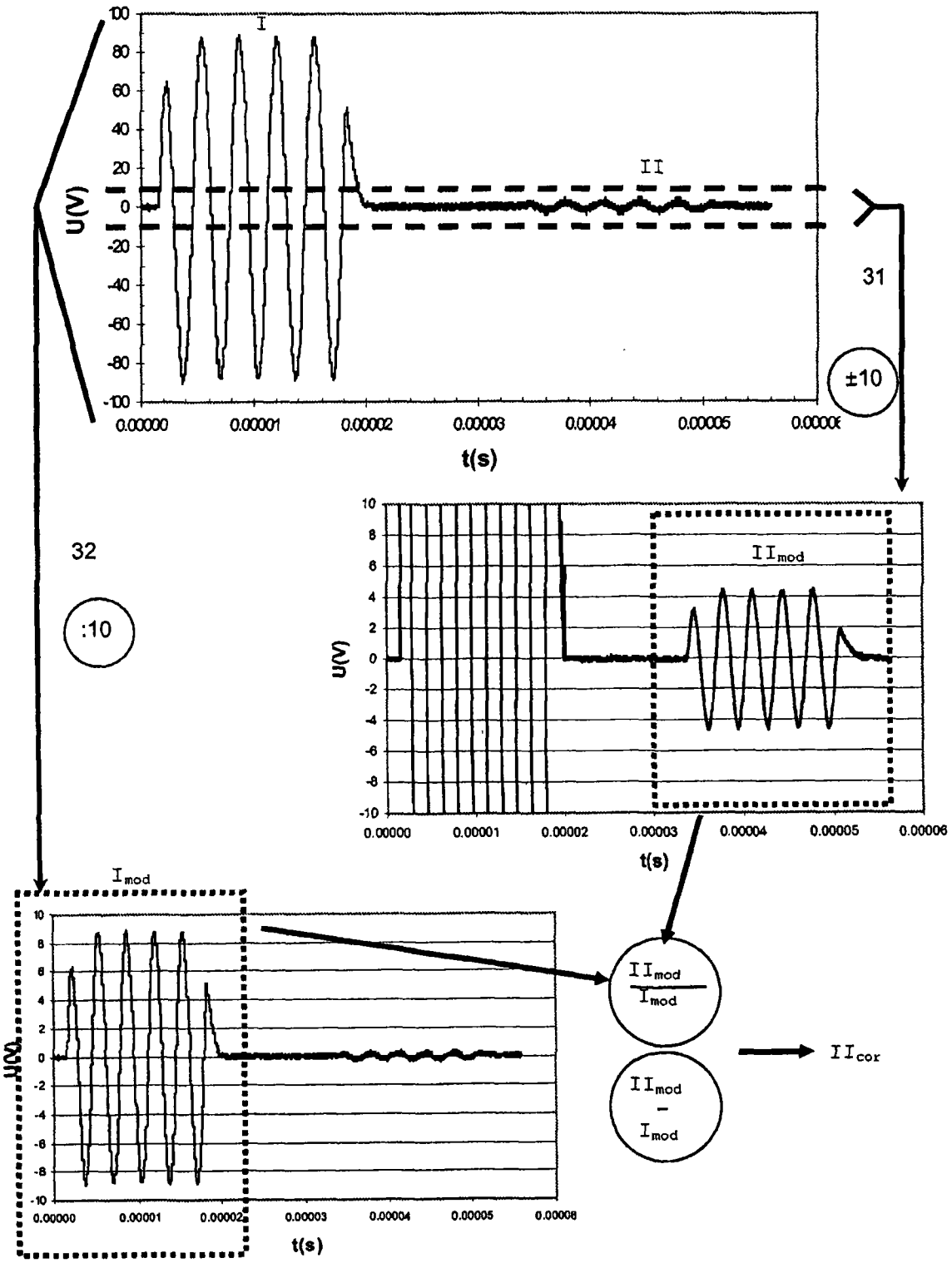
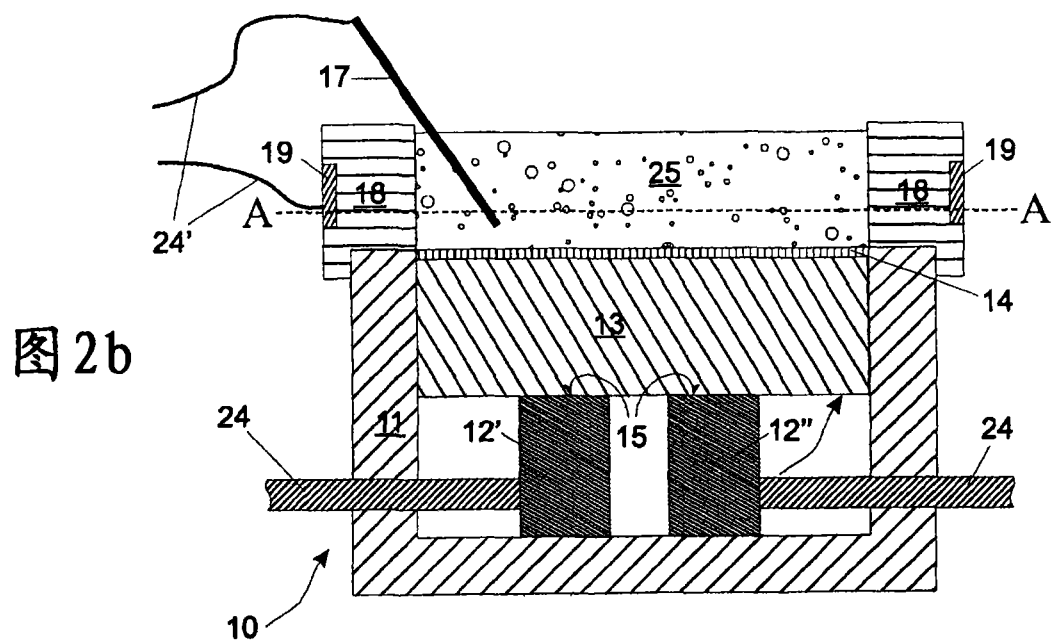
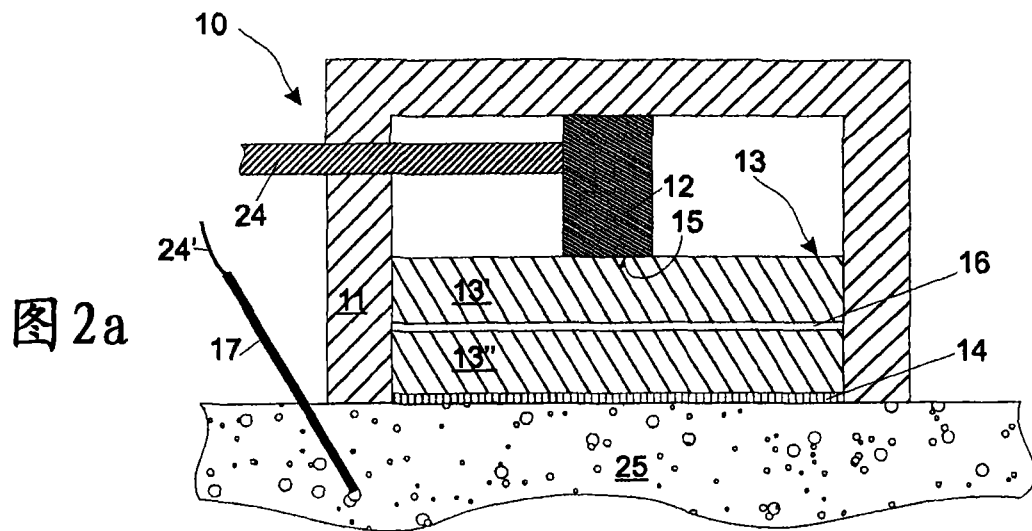


图 1e



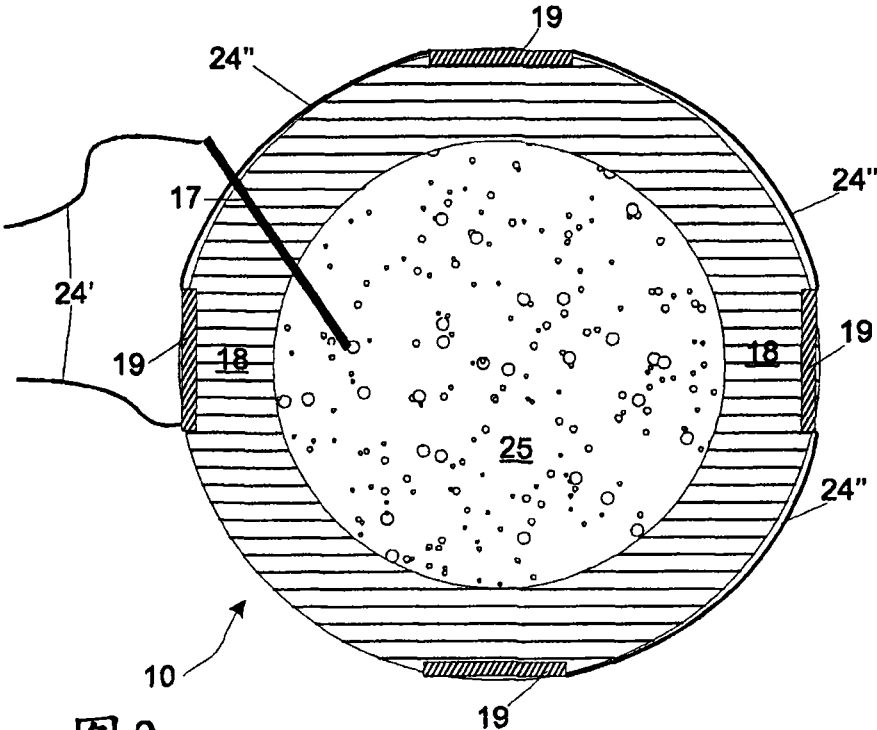


图 2c

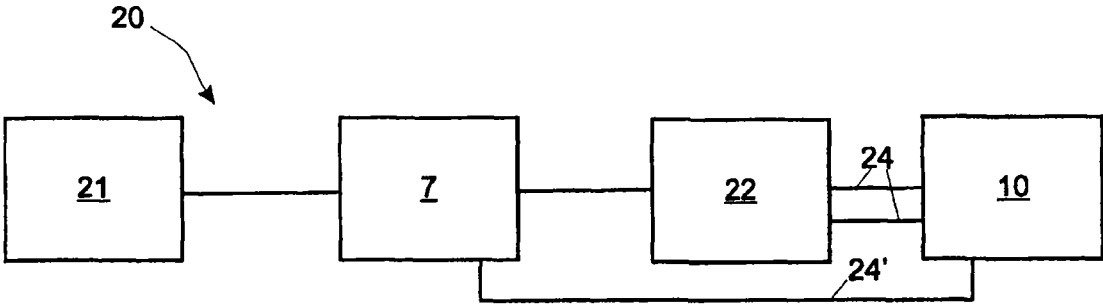
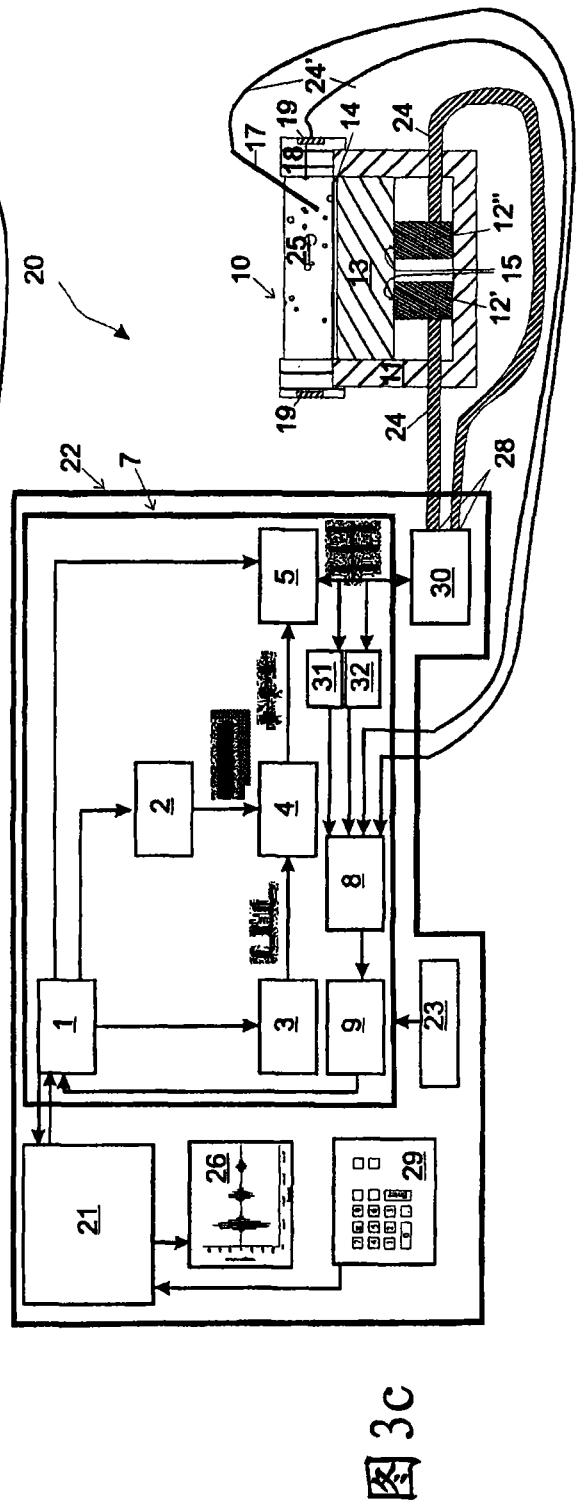
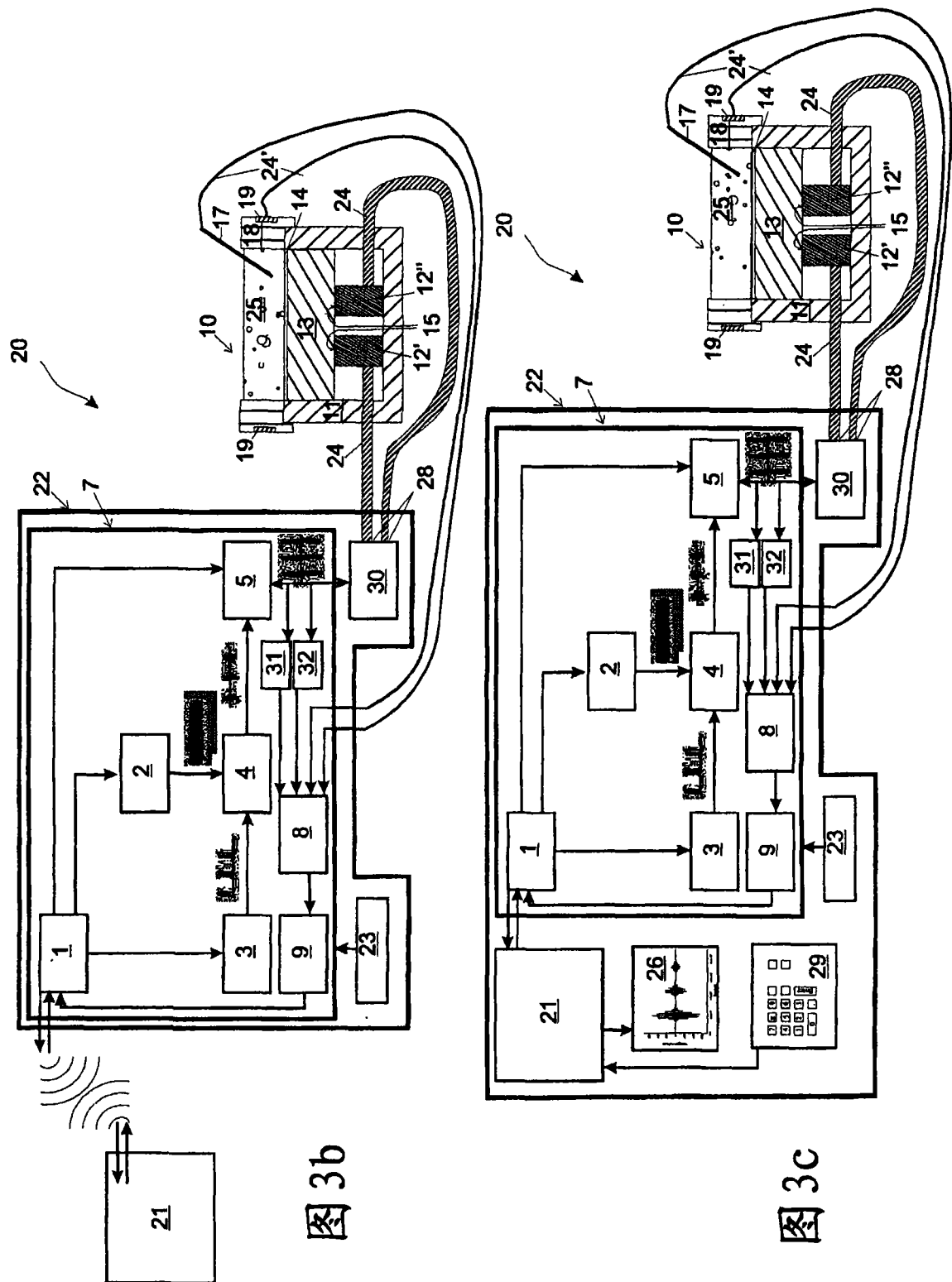


图 3a



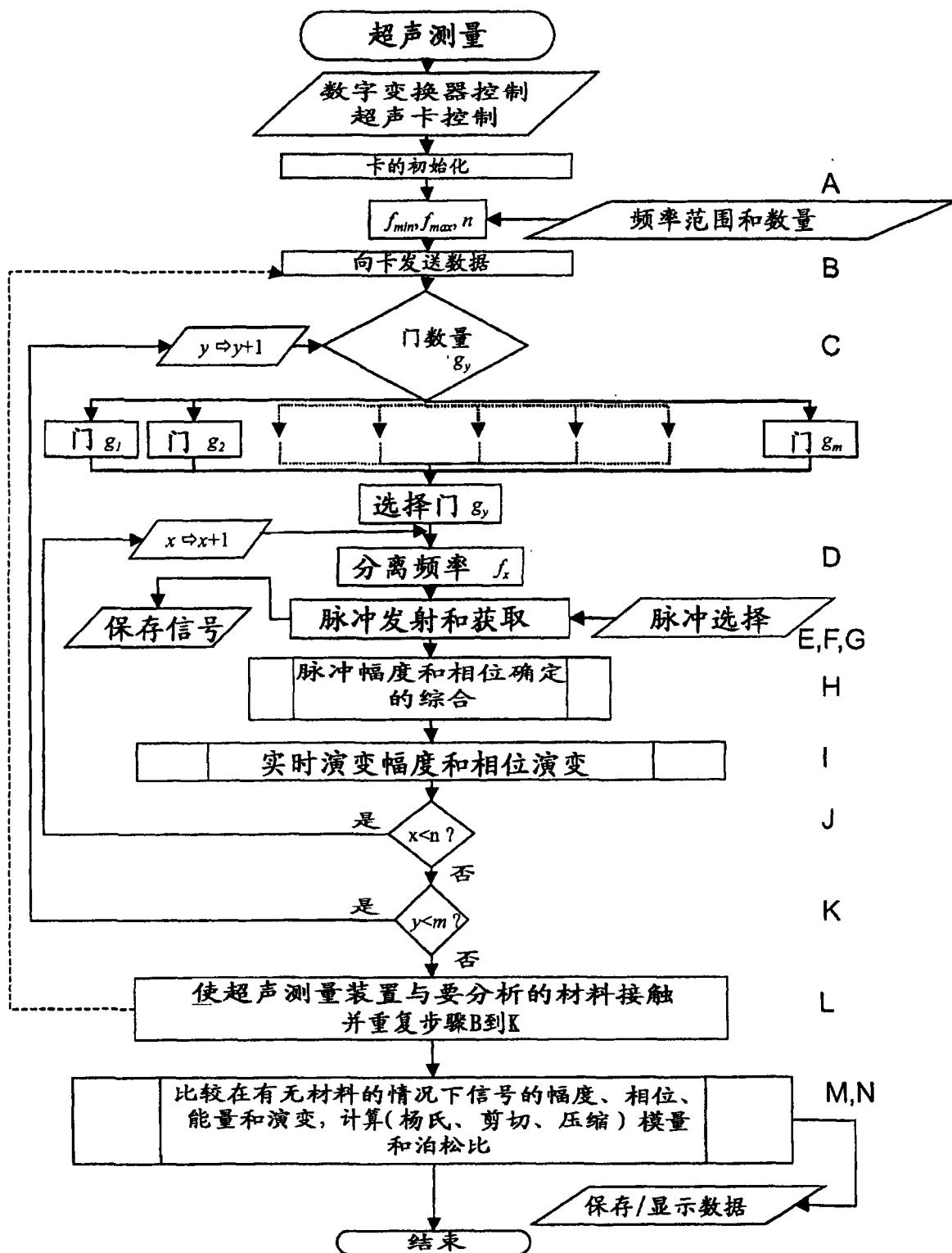


图 4

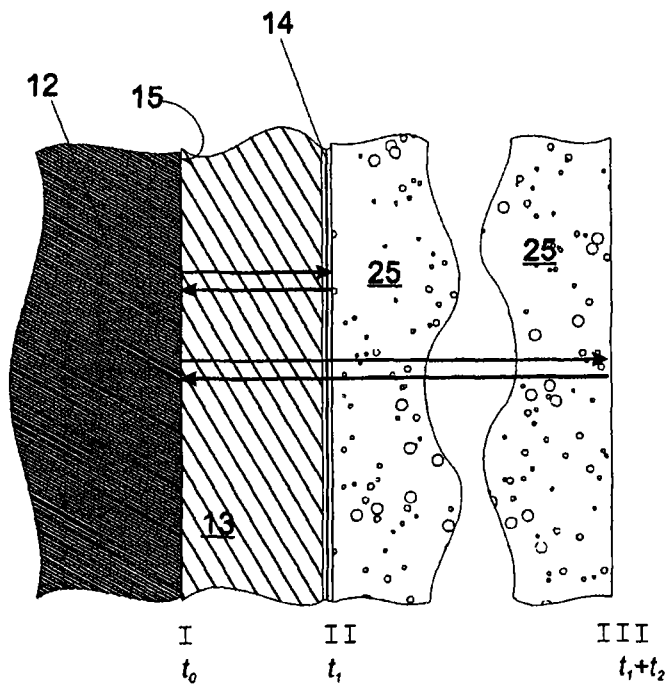


图 5a

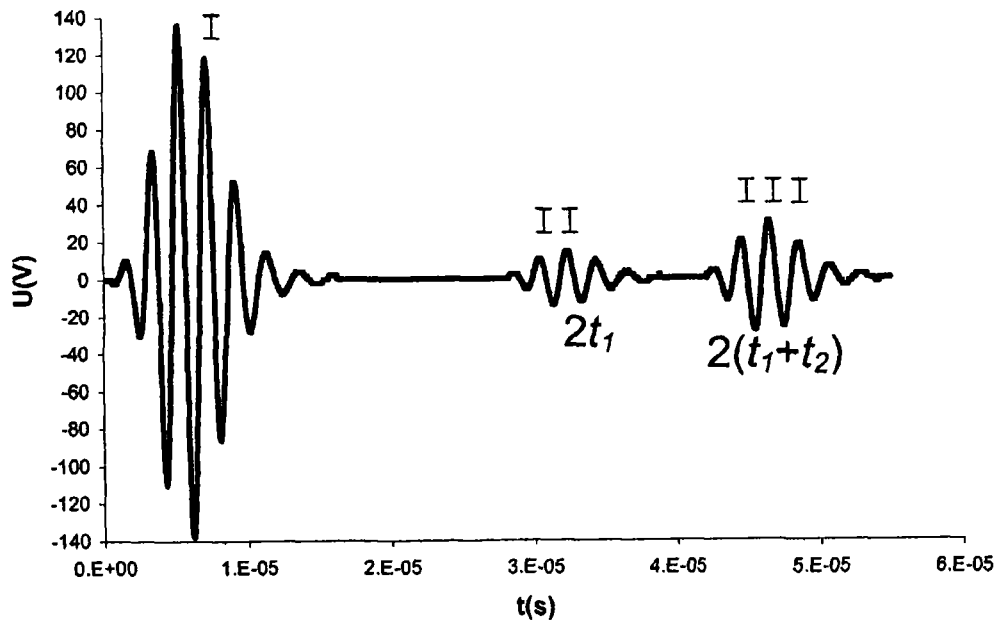


图 5b

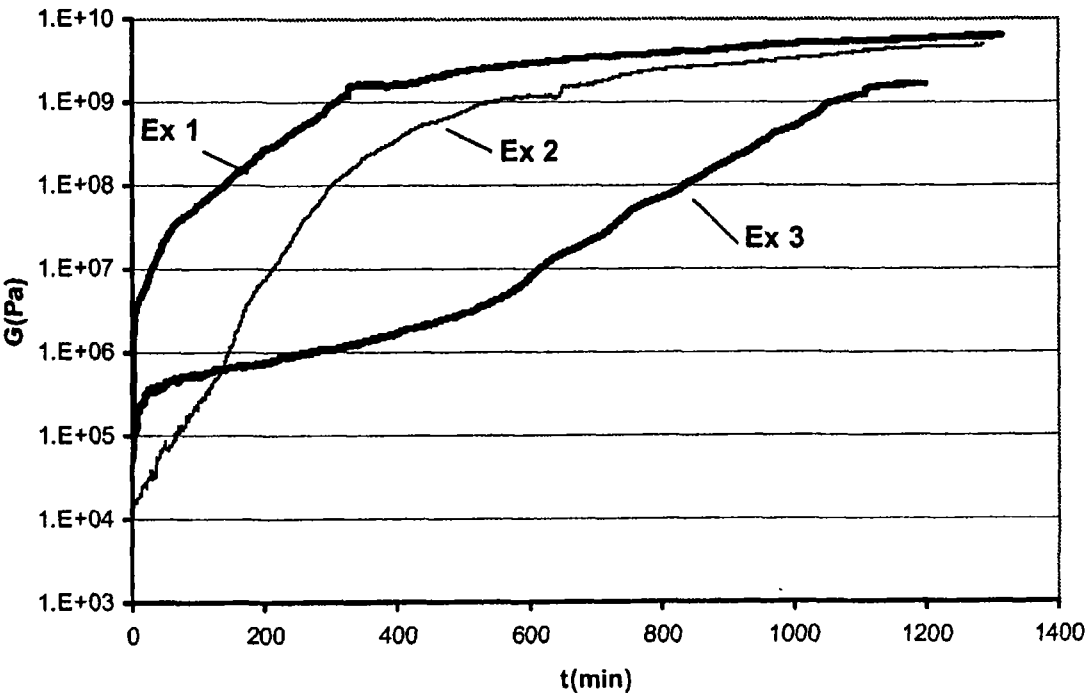


图 6

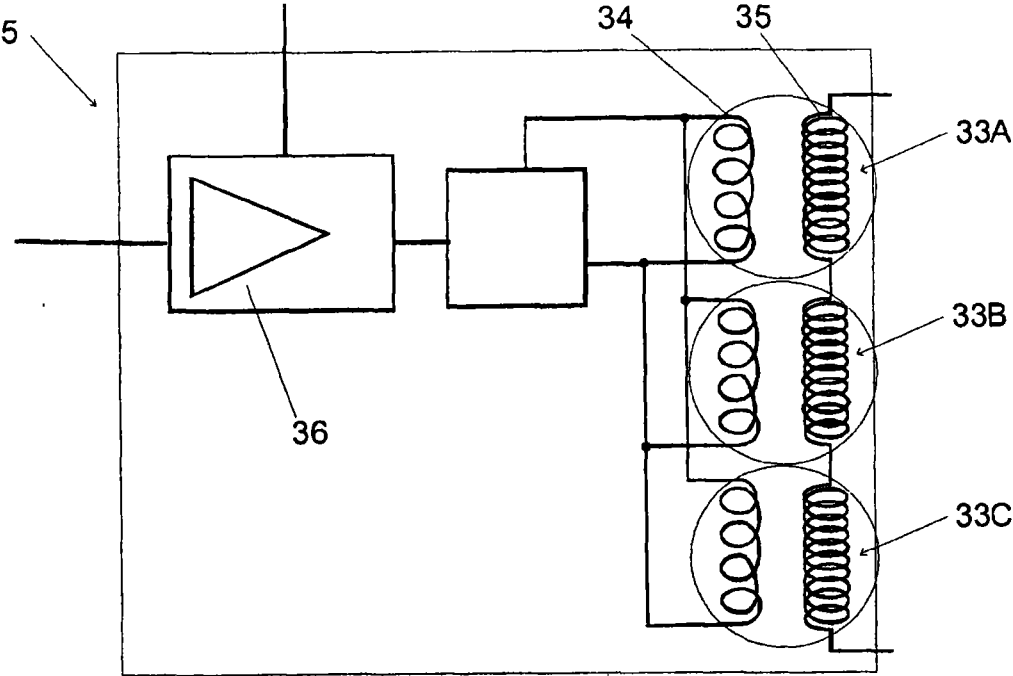


图 7

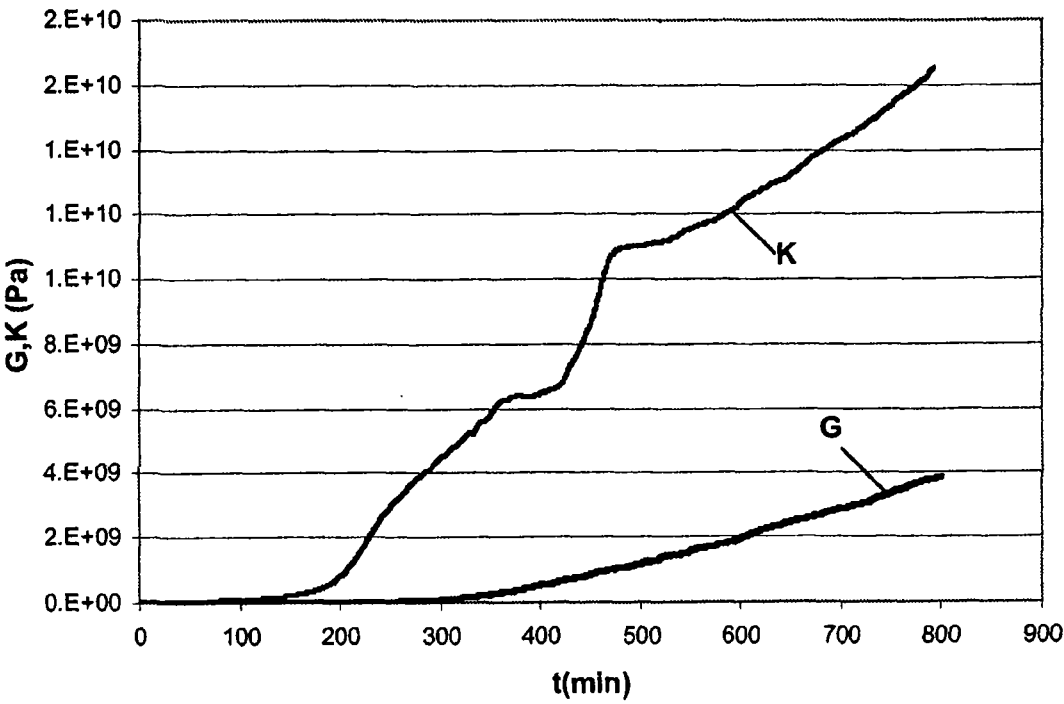


图 8a

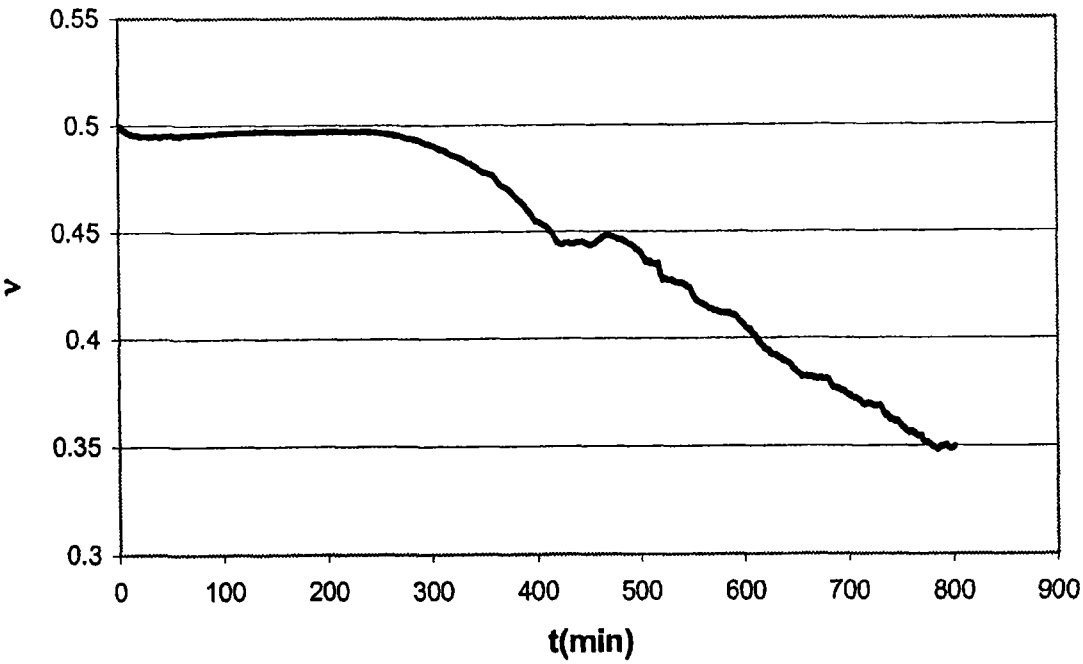


图 8b

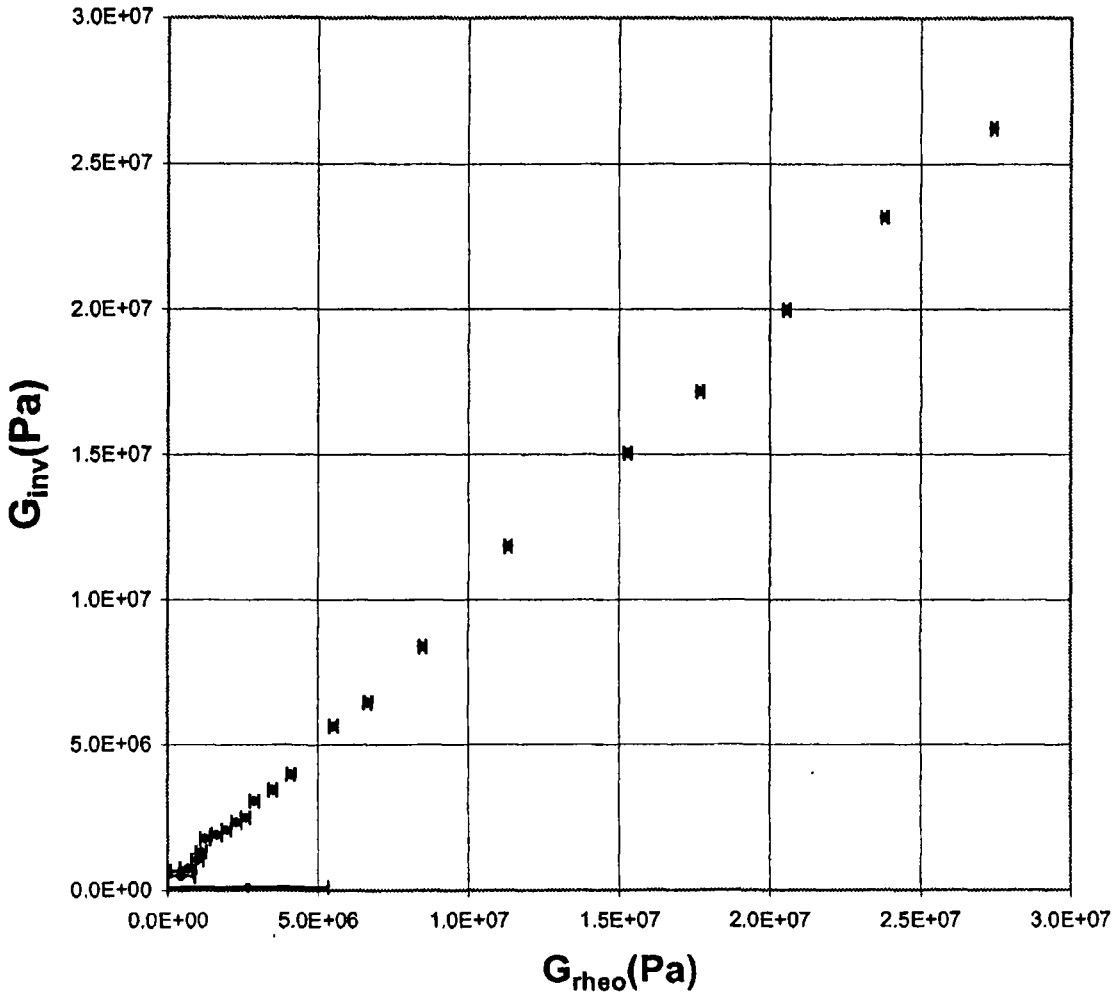


图 8c