



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102183547 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 19

(21) 申请号 201110008556. 1

US 4063153 A, 1977. 12. 13,

(22) 申请日 2011. 01. 05

P. A. T. Pinheiro等. THREE-DIENSIONAL ELECTRICAL RESISTANCE TOMOGRAPHY IN A STIRRED MIXING VESSEL. 《Chem. Eng. Comm. 》. 1999, 第 175 卷 25-38.

(30) 优先权数据

12/652120 2010. 01. 05 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

赵波等. 基于 Walsh 函数的电阻抗层析成像激励模式. 《清华大学学报 (自然科学版) 》. 2007, 第 47 卷 (第 10 期), 1598-1601.

(72) 发明人 S·马哈林加姆 A·巴纳吉

W·巴苏 H·K·皮莱

审查员 黄斌

(74) 专利代理机构 中国专利代理 (香港) 有限公

司 72001

代理人 朱海煜 王忠忠

(51) Int. Cl.

G01N 27/00 (2006. 01)

G01N 27/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2006/0265150 A1, 2006. 11. 23,

US 2003/0016001 A1, 2003. 01. 23,

CN 101241094 A, 2008. 08. 13,

US 2007133746 A1, 2007. 06. 14,

WO 02053029 A1, 2002. 07. 11,

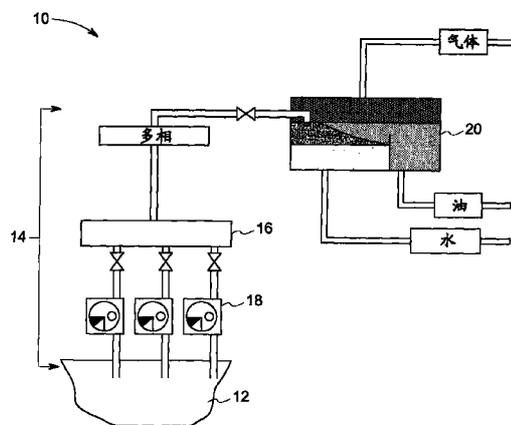
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

多相系统的电网络分析

(57) 摘要

本发明名称为多相系统的电网络分析。提供一种用于确定多材料对象的特性的方法 (101)。该方法包括确定 (102) 表示多材料对象的电元素矩阵。由第一数学变换矩阵来左乘 (104) 电元素矩阵, 以得到第一变换电元素矩阵。用第二数学变换矩阵右乘 (106) 第一变换电元素矩阵以得到第二变换电元素矩阵。该方法还包括基于第二变换电元素矩阵来确定 (108) 所述多材料对象的特性。



1. 一种用于确定多材料对象的特性的系统,包括:
处理装置,其包括:
基于测量单元从所述多材料对象周围的电极获得的测量的电信号集合确定表示所述多材料对象的电元素矩阵的模块;
用第一数学变换矩阵左乘所述电元素矩阵,以得到第一变换电元素矩阵的模块;
用第二数学变换矩阵右乘所述第一变换电元素矩阵,以得到第二变换电元素矩阵的模块;以及
基于所述第二变换电元素矩阵来确定所述多材料对象的特性的模块,
其中,所述多材料对象的特性包括所述多材料对象内的不同材料的组成和分布。
2. 如权利要求 1 所述的系统,其中所述电元素矩阵包括阻抗矩阵或导纳矩阵。
3. 如权利要求 1 所述的系统,其中所述第一数学变换矩阵和所述第二数学变换矩阵变换所述电元素矩阵的坐标系。
4. 如权利要求 1 所述的系统,其中,所述第一数学变换矩阵包括离散傅立叶变换矩阵,以及所述第二数学变换矩阵包括所述离散傅立叶变换矩阵的逆。
5. 如权利要求 1 所述的系统,其中,所述第一数学变换矩阵包括单位矩阵。
6. 如权利要求 1 所述的系统,其中,所述第二数学变换矩阵包括单位矩阵。
7. 如权利要求 1 所述的系统,其中,确定所述多材料对象的特性包括基于沿第二变换阻抗矩阵的对角线的元素来确定所述多材料对象中的材料的分布的空间对称,并且基于不是沿第二变换阻抗矩阵的对角线的元素来确定所述多材料对象中的材料的分布的不对称。
8. 如权利要求 1 所述的系统,其中确定所述多材料对象的特性包括基于第二变换电元素矩阵的第一行及第一列的元素来确定除通过所述多材料对象周围的通电电极的电流路径以外的电流路径的存在。
9. 如权利要求 1 所述的系统,其中确定所述多材料对象的特性包括利用所述电元素矩阵的信息,其从随机生成的流体系的材料分布的数值模拟来得到。
10. 如权利要求 1 所述的系统,其中确定所述多材料对象的特性包括利用基于之前试验结果的关于电元素矩阵的信息。
11. 如权利要求 1 所述的系统,其中,对于空间对称流体系,不在所述电元素矩阵的对角线上的元素具有零。
12. 如权利要求 11 所述的系统,其中空间对称流体系包括搅动流体系或环形流体系至少其中之一。
13. 如权利要求 1 所述的系统,其中对于非对称流体系,不在所述电元素矩阵的对角线上的元素具有非零值。
14. 如权利要求 13 所述的系统,其中所述非对称流体系包括气泡流体系。
15. 如权利要求 1 所述的系统,其中确定所述多材料对象的特性包括确定所述多材料对象内的材料的流体系、体积分数、密度以及速率。
16. 如权利要求 1 所述的系统,其中所述处理装置进一步配置成确定所述多材料对象内的材料分布的等效可视表示。
17. 如权利要求 16 所述的系统,其中确定所述多材料对象的特性包括基于所述等效可视表示来确定所述多材料对象内的材料的流体系、体积分数、密度以及速率。

18. 如权利要求 16 所述的系统,其中确定所述多材料对象内的材料分布的等效可视表示包括将第二相的各种分布区域组合成单个区域。

19. 一种多材料感测系统,包括:

处理装置,其包括基于电源向多材料对象周围的电极提供施加的电信号集合和测量单元从所述电极得到的测量的电信号集合来确定电元素矩阵的模块,用第一数学变换矩阵左乘所述电元素矩阵以得到第一变换电元素矩阵的模块,用第二数学变换矩阵右乘所述第一变换电元素矩阵以得到第二变换电元素矩阵的模块,以及基于所述第二变换电元素矩阵来确定所述多材料对象的特性的模块,

其中所述多材料对象的特性包括所述多材料对象内的不同材料的组成和分布。

20. 如权利要求 19 所述的系统,其中所述电源包括电压源或电流源。

21. 如权利要求 19 所述的系统,其中所述测量单元包括电压计或电流计。

22. 如权利要求 19 所述的系统,其中所述多材料对象包括油、水以及气体。

23. 一种用于确定多材料对象的特性的系统,包括:

处理装置,其包括:

基于测量单元从所述多材料对象周围的电极获得的测量的电信号集合确定表示所述多材料对象的电元素矩阵的模块;

用第一数学变换矩阵左乘所述电元素矩阵,以得到第一变换电元素矩阵的模块;

用第二数学变换矩阵右乘所述第一变换电元素矩阵,以得到第二变换电元素矩阵的模块;以及

基于所述第二变换电元素矩阵来确定所述多材料对象的特性的模块,

其中,所述多材料对象的特性包括所述多材料对象内的材料的流体系、体积分数、密度以及速率。

多相系统的电网络分析

技术领域

[0001] 一般来说,本发明涉及一种用于确定多材料对象中的单独材料的组成和特性的方法,更具体来说,涉及一种分析多材料对象的电网络表示的方法。

背景技术

[0002] 多相流是多材料对象的一个示例,其中至少两个材料或相在管道或导管内部共同流动。多相流过程对于各种行业是重要的,其中包括例如石油、制药、食品和化学工业。存在对这些类型的多相流过程中的内部流特性的直接了解的需要,以实现现有和新处理设备的改进设计和增加的操作效率。用于预测多相过程的性能所使用的特性可包括例如相的空间分布(空间体积相分数)、流体系(flow regime)、界面面积以及相或材料之间的绝对和相对速率。了解材料的空间分布是特别有用的,因为材料的非均匀分布趋向于减小可用于化学反应或转换的材料之间的界面面积,并且可引起使流再循环,从而形成空间非均匀反应区或浓度。此外,体积相分数和速率是实现多相流的适当和及时控制的重要参数。

[0003] 电阻抗层析(EIT)是一种微创测量技术,它可用于定量绘制多材料对象中的材料分布。在EIT中,电导率和电容率的绘图用于推断多材料对象中的不同材料的分布。不同电流模式或电压模式通过对象周围的电极施加到对象,并且测量对应电压或电流。根据电流-电压关系,确定内部阻抗或内部导纳分布。

[0004] 使用各种图像处理算法的基于所计算阻抗分布的图像重构是一种确定多材料对象中的不同材料的分布的方法。但是,图像处理算法常常太费时间并且计算密集。它们还忽略问题的许多定量方面,例如空间对称或不对称。

[0005] 因此,希望确定将会解决上述问题的方法和系统。

发明内容

[0006] 根据本发明的一个实施例,提供一种用于确定多材料对象的特性的方法。该方法包括确定表示多材料对象的电元素矩阵,并且用第一数学变换矩阵左乘该电元素矩阵,以得到第一变换电元素矩阵。该方法还包括用第二数学变换矩阵右乘该第一变换电元素矩阵,以得到第二变换电元素矩阵。该方法还包括根据第二变换电元素矩阵来确定多材料对象的特性。

[0007] 根据本发明的另一个实施例,提供一种多材料感测系统。该系统包括:电源,用于向多材料对象周围的电极提供施加电信号集合;以及测量单元,用于从电极得到测量电信号集合。该系统还包括处理电路,用于基于施加的和测量的信号集合来确定电元素矩阵,并且用于用第一数学变换矩阵左乘该电元素矩阵,以得到第一变换电元素矩阵。处理电路进一步用第二数学变换矩阵右乘该第一变换电元素矩阵以得到第二变换电元素矩阵,并且基于第二变换电元素矩阵来确定多材料对象的特性。

[0008] 根据本发明的又一个实施例,提供一种用于确定多材料对象的特性的方法。该方法包括向多材料对象周围的电极提供施加电信号集合,并且从电极得到测量电信号的测量

电信号集合。该方法还包括用第一数学变换矩阵左乘所测量的电信号集合以得到第一变换测量电信号集合,并且用第二数学变换矩阵右乘该第一变换测量电信号集合以得到第二变换测量电信号集合。该方法还包括基于第二变换测量电信号集合来确定多材料对象的特性。

附图说明

[0009] 通过参照附图阅读以下具体实施方式,会更好理解本发明的这些及其它特征、方面和优点,附图中,相似符号在整个附图中表示相似部件,附图包括:

[0010] 图 1 是根据一个示例实施例的油生产设备的框图;

[0011] 图 2 是将来根据本发明的一个实施例所使用的基于电阻抗层析 (EIT) 的多相流量计的示意图;

[0012] 图 3 是根据本发明的一个实施例的施加电压 EIT 系统的框图;

[0013] 图 4 是两个相成分的混合物的三个不同流体系的表示;

[0014] 图 5 是矩阵元素 $Y(2,2)$ 随第二相 (secondary phase) 的分数的变化的图形表示;

[0015] 图 6 是矩阵元素 $Y(2,3)$ 随第二相离导管中心轴线的平均距离的变化的图形表示;

[0016] 图 7 是根据本发明的一个实施例的原始分布及其第二相的等效分布的图形表示;

[0017] 图 8 是表示根据本发明的一个实施例、确定多材料对象的特性的方法的流程图;以及

[0018] 图 9 是表示根据本发明的一个实施例的多材料对象的分析的流程图;以及

[0019] 图 10 是表示根据本发明的一个实施例、根据电信号集合来确定多材料对象的特性的方法的流程图。

具体实施方式

[0020] 下面详细论述,本发明的实施例用于提供测量多材料对象的特性的系统和方法。在多相流的一个示例中,对象的特性可包括流经导管的油、水和气体(在这个上下文中指的是气态烃类)的体积分数和流率。虽然参照在油/气体/水测量中的使用来描述本发明,但是它完全不是要限于这类应用,本发明的方面而是在例如癌症诊断和水处理过程等大量工业、卫生保健和化学过程中得到应用。这类多材料对象的特性可能与对于多相流所给出的示例完全不同。

[0021] 图 1 示出根据一个示例实施例的油生产设备 10。油生产设备通常包括各互连到管道系统 14 的多个油井 12。管道系统 14 包括耦合到多相流量计 (MPFM) 18 的生产集合管 16。多相流量计实现与油井非常接近的未处理井流的测量,并且因而可提供油井性能的连续监测,它可用于更好的油藏管理。从油井 12 抽出的流体通过生产集合管 16 发送到生产分离器 20。应当注意,测试分离器(未示出)可附加地连同设备 10 中的 MPFM 一起使用,或者可备选地使用。MPFM 优于测试分离器的一个优点是执行测量所需的时间的减少。虽然必须允许测试分离器在改变油井时进行填充和稳定,但是 MPFM 更迅速地响应油井流体的变化,并且需要更少时间来稳定。

[0022] 生产分离器 20 分离从油井抽出的油、气体和水。生产分离器 20 可包括一个或多

个测量装置。测量装置例如可包括：水表，其测量从油井所提取的水的量或比率 (rate)；以及乳化液计 (emulsion meter)，其测量从油井所提取的油量。其它测量装置可包括通常用于监测油井性能的其他装置，例如井口压力传感器、温度计、盐度计和 pH 计。

[0023] 图 2 示出基于电阻抗层析 (EIT) 的 MPFM 系统 40。在 EIT 中，多材料对象中的导电率或电容率分布从通过对象周围的电极所进行的电测量来推断。导电电极附连到多材料对象的周边，并且交流电流或电压施加到电极的部分或全部。分别测量所产生的电位或电流，并且该过程对于施加电流和 / 或电压的许多不同配置或模式重复进行。

[0024] 图 2 的 MPFM 系统 40 包括电极阵列 42，其中包括围绕导管 46 所分布的多个电极 44。导管可包括容器，它在其中携带多个材料或相，例如管道或桶 (tank)，或者导管可包括另一种管 (vessel)，例如人体的一部分或者整个人体。在一个更具体的实施例中，电极的数量可以为 8、12 或 16，取决于导管的大小和所需精度。电极可直接附连到导管的内壁，其中一个实施例包括在需要时使用适当涂层来确保良好的电接触。电极连接到电子调节电路 48，它可包括例如耦合到计算机 50 的电流或电压源、数模转换器、模数转换器、差分放大器、滤波器、数字复用器、模拟复用器、时钟和 / 或数字 I/O 单元等部件。在一个实施例中，计算机 50 包括个人计算机，它配备有用于图像重构过程的数字信号处理器卡以及用于显示图像的适当显示器 52。在其它实施例中，也可使用例如现场可编程门阵列 (FPGA) 或复杂可编程逻辑装置 (CPLD) 等的其它处理电路。根据本发明的一个实施例，通过跨接它们施加电压模式的电压集合来激励电极 44，这产生导管中的多材料对象内的旋转电场。在任何给定时间，一个或多个电压源用于将一种模式的电压施加到电极，并且测量每个电极中的电流信号的对应集合。在一个实施例中，不是施加电压，而是一个或多个电流源用于通过将电流注入其中来激励电极，并且测量跨接电极上的对应电压。

[0025] 图 3 是具有 L 个电极的施加电压 EIT 系统的框图 60。各电极 61 连接到电路，它包括用于生成施加的电压的电压源 62 以及用于测量施加的电流的安培表和直接测量施加的电压的伏特计。开关网络 63 使单个校准电路 64 能够连接到电压源 / 安培计 / 伏特计电路的任一个，以便允许将整个系统校准到单个参考。数字控制器 (未示出) 可与电压源 (具有安培计和伏特计)、开关进行接口，并且校准电路可用于设置系统配置并且收集电压和电流的数字测量。在电流而不是电压施加到电极的另一个实施例中，电流使用电流源来生成，电流源可包括例如直流源或者电压 - 电流转换器的系统。

[0026] 在电流和电压源的两种实施例中，所得测量由计算机 50 (图 2) 来处理，并且确定多材料对象中的电阻抗或导纳分布的表示。电阻抗或导纳分布然后由计算机 50 进一步分析，以便提供多材料对象的特性。多材料对象的特性可包括例如系统的材料的组成和分布。此外，还可分析电阻抗或导纳分布，以便确定多材料对象的单独材料的流体系、相分数和速率。例如，流体系可包括但不限于气泡流、搅动流 (churn flow)、段塞流 (slug flow) 或环状流。

[0027] 在电压源实施例中，从一个电极流动到另一个电极的电流是跨接所有电极所施加的相对电压以及存在于所有电极之间的材料的导电率和电容率的函数。例如，材料可仅仅是油，或者它可以是油和气体的混合物。取决于材料及其分布，所有电极之间的阻抗或导纳改变，并且在电极之间流动的电流也改变。因此，从施加电压集合和测量电流集合，可计算每一对电极之间的阻抗的阻抗集合或阻抗矩阵。类似地，作为替代或补充，从施加电压集合

和测量电流集合,可计算每一对电极之间的阻抗的导纳集合或导纳矩阵。由于阻抗和导纳是电极之间的材料的电导率和电容率的函数,因此,通过分析阻抗或导纳网络,可确定材料分布及其特性。若干方法可用于从施加电信号集合和测量电信号集合来计算阻抗或导纳矩阵。这些方法可包括但不限于使用伪逆或迭代算法。在一个实施例中,能够分析来自电极的电信号的测量电信号集合,并且确定多材料对象的特性。测量的电信号可包括电压信号或电流信号。应当注意,由于测量的电信号也是电极之间的材料的电导率和电容率的函数,因此,在一个实施例中,能够通过分析测量的电信号的测量的电信号集合来分析多材料对象的特性。

[0028] 在本发明的一个实施例中,导纳网络的分析包括用第一数学变换矩阵 A 左乘阻抗或导纳矩阵 Y,并且由第二数学变换矩阵 B 右乘所得乘积矩阵,如等式 (1) 所述。因此,变换的阻抗或导纳矩阵由 \bar{Y} 表示,并且表示为:

$$[0029] \quad \bar{Y} = A \times Y \times B \quad (1)$$

[0030] 矩阵 Y 和 \bar{Y} 可具有 L 个数量的行和 L 个数量的列,其中 L 是电极的数量。在某些实施例中,为了更快的处理,能够根据关于对象中的材料的先前信息将阻抗或导纳矩阵截去一行或多行或者一列或多列。矩阵 A 和 B 可以或者可以不彼此相关。此外,矩阵 A 和 B 具有适当数量的行和列,使得可实现等式 (1) 所示的乘法。本领域的技术人员会理解,左乘指的是在左边的乘法,而右乘指的是在右边的乘法,如等式 (1) 所示。

[0031] 取决于矩阵 A 和 B,矩阵 Y 与 A 和 B 的乘法可将坐标系变换为或者将阻抗或导纳矩阵转换为空间傅立叶变换域。在一个实施例中,等式 (1) 中给出的矩阵 A 和 B 本身可以是若干矩阵的乘积。在另一个实施例中,矩阵 A 或 B 可以是单位矩阵。在又一个实施例中,等式 (1) 中的矩阵 A 和 B 可以分别是 L 点离散傅立叶变换 (DFI) 矩阵及其逆 (inverse)。如果 DFT 矩阵 A 及其逆 B 分别由 C 和 C^{-1} 来表示,则等式 (1) 可修改为:

$$[0032] \quad \bar{Y} = C \times Y \times C^{-1} \quad (2)$$

[0033] 矩阵 C 中的第 m 行和 n 列的元素可表示为:

$$[0034] \quad C(m, n) = a^{(m-1)(n-1)} \quad (3)$$

[0035] 其中, $a = e^{(-2\pi i/L)}$, e 是欧拉常数, i 是 -1 的平方根,以及 L 是通电电极的数量。通电电极指的是对其施加电压信号或电流信号的电极。在一个实施例中,可存在 8 个电极,其中仅通电 4 个电极。m 和 n 的值从 0 至 L-1 的最大数来改变。因此,对于 4 电极系统, C 由下式 (4) 表示

$$[0036] \quad C = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -i & -1 & i \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & i & -1 & -i \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0037] 变换的矩阵 \bar{Y} 的各个元素包含关于多材料对象的特性的有用信息。定量地,变换的阻抗矩阵的对角线表示多材料对象中的材料的分布的空间对称,而非对角元素表示多材料对象中的材料的分布的不对称。矩阵 \bar{Y} 的第一列和第一行的所有元素通常具有零值 (除了对于离开所使用电极的电流的传递可存在备选路径的情况下之外)。因此, \bar{Y} 的第一行和第一列中的元素可用作泄漏电流的存在以及这类电流的备选路径的存在或者 EIT 系统中的接地故障的存在的指标 (indicator)。应当注意,在一个实施例中, \bar{Y} 可包含时变元素。

但是,由于实时地连续分析矩阵 \bar{Y} ,所以它在确定多材料对象的特性中没有影响。如前面所述,在一个实施例中,能够分析测量的电信号的测量的电信号集合,并且确定多材料对象的特性。在这种实施例中,测量的电信号集合经过数学变换,并且根据基于变换的测量电信号集合的元素来确定多材料对象的特性。在数学上,这个实施例的唯一差别在于,在等式(2)中,矩阵 Y 将由测量的电信号集合、即电压矩阵或电流矩阵来取代。

[0038] 图4示出当两个材料的混物流经导管时的三个不同流体系。图4的示例中的两个相包括气体和液体。流体系82是环状流体系,其中气相趋向于通过导管的中心移动,而液相形成围绕气相的环。例如,流体系84是气泡流,并且特征在于气相作为通过液相的气泡来分布。流体系86是团状流的表示,并且特征在于液体的上下振荡运动。取决于导管相对地球引力的取向,存在可能的若干其它流体系。应当注意,这些流体系趋向于产生导管中的材料的特定分布。这些分布可定量成在其空间对称和空间不对称方面具有特定时变标志。

[0039] 矩阵 \bar{Y} 的不同元素可用于标识各种流体系。例如,当单个同质材料流经导管时,流可说成是空间对称的。在这种情况下,除了沿矩阵 \bar{Y} 的对角线的元素之外,即,非对角元素,所有元素均具有零值。在没有接地故障或泄漏电流时,第一行和第一列中的元素也可以为零。对于四电极EIT和空间对称流,矩阵 $\bar{Y}_{\text{symmetric}}$ 可写作:

$$[0040] \quad \bar{Y}_{\text{symmetric}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0041] 等式(5)中的 a 、 b 和 c 的值线性变大或缩小,其取决于流经导管中的同质材料的电性质。因此,等式(5)中的 a 、 b 和 c 的值用于确定导管中的同质材料的电性质。

[0042] 在另一个实施例中,当流体系为对称环状时,可以说,材料分布是空间对称的。同样,除了沿矩阵 \bar{Y} 的对角线的元素之外,所有其它元素均为零,如以下 \bar{Y}_{annular} 矩阵所示:

$$[0043] \quad \bar{Y}_{\text{annular}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c' \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0044] 但是,除了非零对角元素的绝对值之外,不同对角元素的比值提供环的大小的估计。应当注意,沿等式(6)的对角线的元素 a' 、 b' 和 c' 不同于单个同质材料流经导管的情况。

[0045] 在又一个实施例中,在流体系为气泡的情况下,可以说,流不是空间对称的,并且存在良好程度的不对称。在这种情况下,除了第一行和第一列中存在的那些元素之外,矩阵 \bar{Y} 中的元素均可以为非零,如以下 \bar{Y}_{bubbly} 矩阵所示:

$$[0046] \quad \bar{Y}_{\text{bubbly}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a'' & f & m \\ 0 & x & b'' & n \\ 0 & y & g & c'' \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0047] 沿等式 (7) 的对角线的元素 a”、b” 和 c” 不同于单个同质材料流经导管的情况。对角和非对角元素的绝对和相对值可用于标识流体系。

[0048] 图 5 示出在矩阵 \bar{Y} 的第二行和第二列、称作 $\bar{Y}(2,2)$ 的元素的随着第二相或材料的逐渐增加的分数的变化的图表 90。水平轴 91 表示第二相的相分数, 而垂直轴 92 表示矩阵 \bar{Y} 的元素 (2,2) 的值。因此, 如果图表存储在计算机中, 则通过将所计算矩阵 \bar{Y} 的元素 (2,2) 的值与存储的图表进行比较, 可确定系统中的相分数。

[0049] 图 6 示出在矩阵 \bar{Y} 的第二行和第三列、称作 $\bar{Y}(2,3)$ 的元素随该分数的第二相或材料离导管的中心轴线的不断增加的平均距离的变化的图表 94。水平轴 95 表示第二相离导管的中心轴线的平均距离, 而垂直轴 96 表示矩阵 \bar{Y} 的元素 (2,3) 的值。同样, 如果这些图表存储在计算机中, 则通过将所计算矩阵 \bar{Y} 的元素 (2,3) 的值与存储的图表进行比较, 可实时地确定集中的气泡离管道的中心的平均距离。

[0050] 图 5 和图 6 所示的数据可通过导管中随机生成流体系和材料分布的可根据实验结果校正的若干数值模拟来得到。不同流体系和材料分布的 \bar{Y} 矩阵中的其它元素的值可经过数值计算和 / 或根据经验来校正。应当注意, 其它元素可具有与原始分布的非线性关系, 与图 5 和图 6 中的图表所示的线性关系不同。

[0051] 图 7 示出根据本发明的一个实施例的从 \bar{Y} 矩阵的各个元素的行为可视化的第二相的等效分布 98 以及原始分布 97。所示的原始分布 97 例如是气泡流分布。从在设置在携带这个气泡分布的导管周围的电极上所进行的电流和电压测量, 可计算 \bar{Y} 矩阵和随后的 \bar{Y} 矩阵。如前面所示, 元素 $\bar{Y}(2,2)$ 表示电极的平面中的第二相所占用的总分数, 以及 $\bar{Y}(2,3)$ 表示第二相离导管的中心轴线的平均距离。从 \bar{Y} 矩阵的这两个元素, 能够等效地表示导管中的材料分布, 如等效分布 98 所示。在等效分布 98 中, 第二相的各个分布区域 99 组合成单个区域 100, 以及第二相的单个区域离导管的中心轴线的平均距离由变量 R 示出。应当注意, 导管中的材料的等效表示不同于完全图像处理或重构算法使用电流和电压信息原本将产生的结果。等效分布 98 的优点在于, 虽然作为表示导管中的原始材料分布的可视方法, 但它没有明显增加所需的计算。

[0052] 在一个实施例中, 来自一组或多组电极的 \bar{Y} 矩阵的元素提供导管中的各种相或材料的速率和密度的指示。这些模型可与多相流的数值流体动态模型和电磁模型耦合, 以便实时预测和校正测量。

[0053] 图 8 是根据本发明的一个实施例、确定多材料对象的特性的方法的流程图 101。该方法包括在步骤 102 确定表示多材料对象的电元素矩阵。这可通过多种方法来实现, 并且例如可涉及使用施加的或测量的电信号集合的伪逆。在步骤 104, 由预定义第一数学变换矩阵 A 左乘电元素矩阵, 以计算第一变换电元素矩阵。在步骤 106, 由预定义第二数学变换矩阵 B 右乘第一变换电元素矩阵, 以计算第二变换电元素矩阵。在步骤 108, 从第二变换电元素矩阵的分析来确定多材料对象的特性。例如, 电元素矩阵可以是表示多材料对象的阻抗矩阵或导纳矩阵。

[0054] 图 9 是根据本发明的一个实施例可执行的多材料对象的分析的流程图 110。该方法包括在步骤 112 确定表示多材料对象的电元素矩阵。在步骤 114, 由预定义第一数学变换矩阵 A 左乘电元素矩阵, 以计算第一变换电元素矩阵。在步骤 116, 由预定义第二数学变换矩阵 B 右乘第一变换电元素矩阵, 以计算第二变换电元素矩阵。在步骤 118, 从第二变换电

元素矩阵的分析来确定多材料对象的特性。在步骤 120, 确定和显示多材料对象中的材料分布的等效可视表示。等效可视表示的一个示例如图 7 所示。

[0055] 图 10 是根据本发明的一个实施例、基于电信号集合来确定多材料对象的特性的方法的流程图 130。由于电元素矩阵可从施加电信号和测量电信号来确定, 因此, 在一个实施例中, 能够直接从施加电信号集合和测量电信号集合来确定多材料对象的特性。该方法包括在步骤 132 向多材料对象周围的电极提供施加电信号集合。在步骤 134, 得到来自电极的测量电信号的测量电信号集合。在一个实施例中, 来自电极的测量电流信号的电流矩阵 I 或者测量电压信号的电压矩阵 V 直接用于 (而不是具有形成电元素矩阵的中间步骤) 确定多材料对象的特性。当电压施加到电极时测量电流, 以及当电流施加到电极时测量电压。在步骤 136, 由预定义第一数学变换矩阵 A' 左乘测量电信号集合, 以计算第一变换测量电信号集合。在步骤 138, 由预定义第二数学变换矩阵 B' 右乘该第一变换第二电信号集合, 以计算第二变换测量电信号集合。在这种情况下, 与图 8 所示方法的 A 和 B 相比, 矩阵 A' 和 B' 将具有不同的值。在步骤 140, 从第二变换测量电信号集合的分析来确定多材料对象的特性。

[0056] 虽然本文仅说明和描述了本发明的某些特征, 但本领域的技术人员会想到多种修改和变更。因此要理解, 所附权利要求书意在涵盖落入本发明的真实精神之内的所有这类修改和变更。

[0057] 部件表

[0058]

10	油生产设备	61	电极
12	油井	62	电压源
14	管道系统	63	开关网络
16	生产集合管	64	校准电路
18	多相流量计(MPFM)	82	环状流体系
20	生产分离器	84	气泡流体系
42	电极阵列	86	搅动流体系
44	电极	50	计算机
46	导管	52	显示器
48	电子调节电路	91	水平轴
92	垂直轴	95	水平轴
96	垂直轴	97	第二相的原始分布
98	第二相的等效分布	99	第二相的分布区域
102, 104, 106, 108		方法步骤	
112, 114, 116, 118, 120		方法步骤	
132, 134, 136, 138, 140		方法步骤	
60	施加电压 EIT 系统的框图		
40	基于电阻抗层析的 MPFM 系统		
90	$\bar{Y}(2,2)$ 随第二相的逐渐增加的分数的变化的图表		
94	$\bar{Y}(2,3)$ 随该分数的第二相逐渐增加的平均距离的变化的图表		
100	第二相的分布区域的单个区域表示		

[0059]

101	用于确定多材料对象的特性的方法
110	用于多材料对象的分析的方法
130	用于基于电信号集合来确定多材料对象的特性的方法

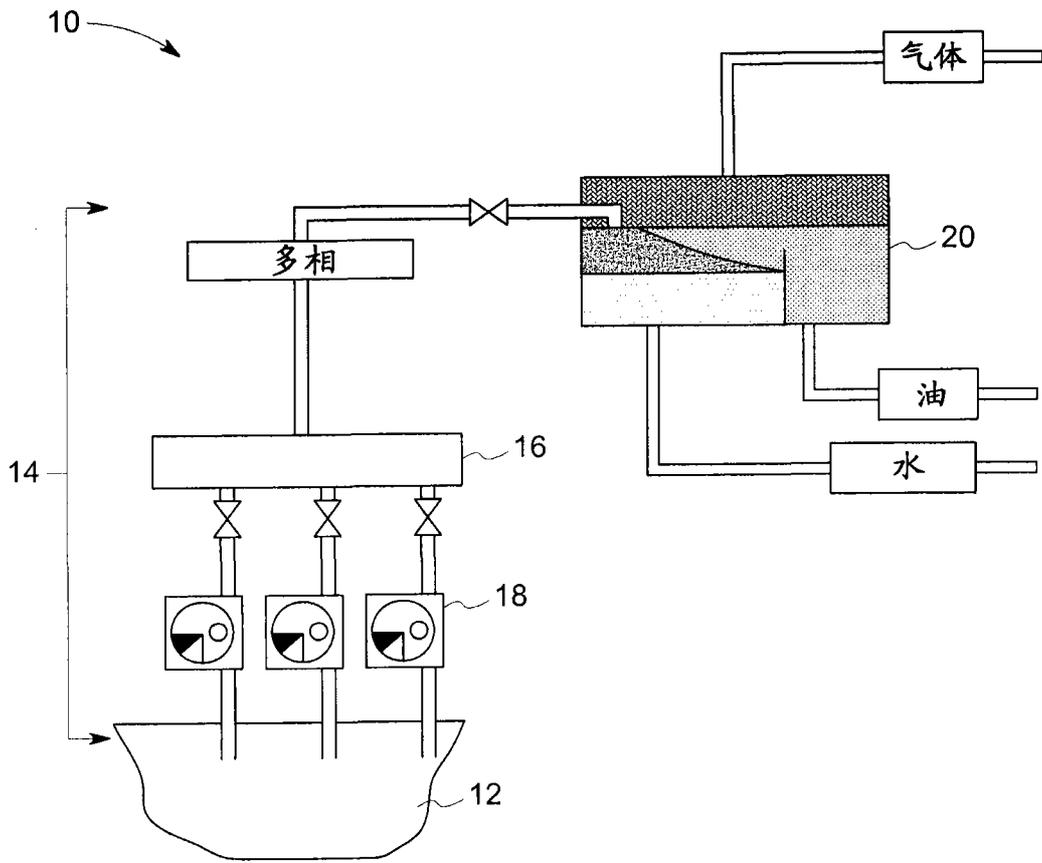


图 1

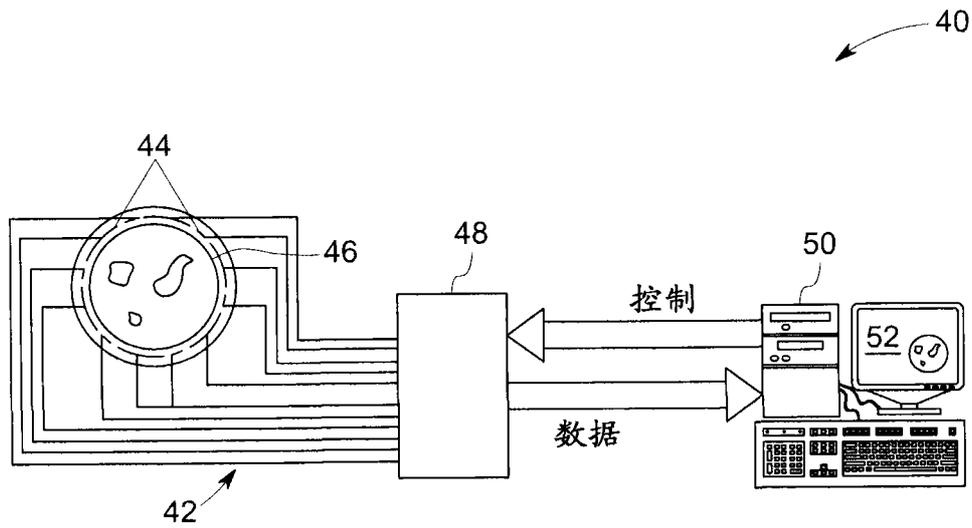


图 2

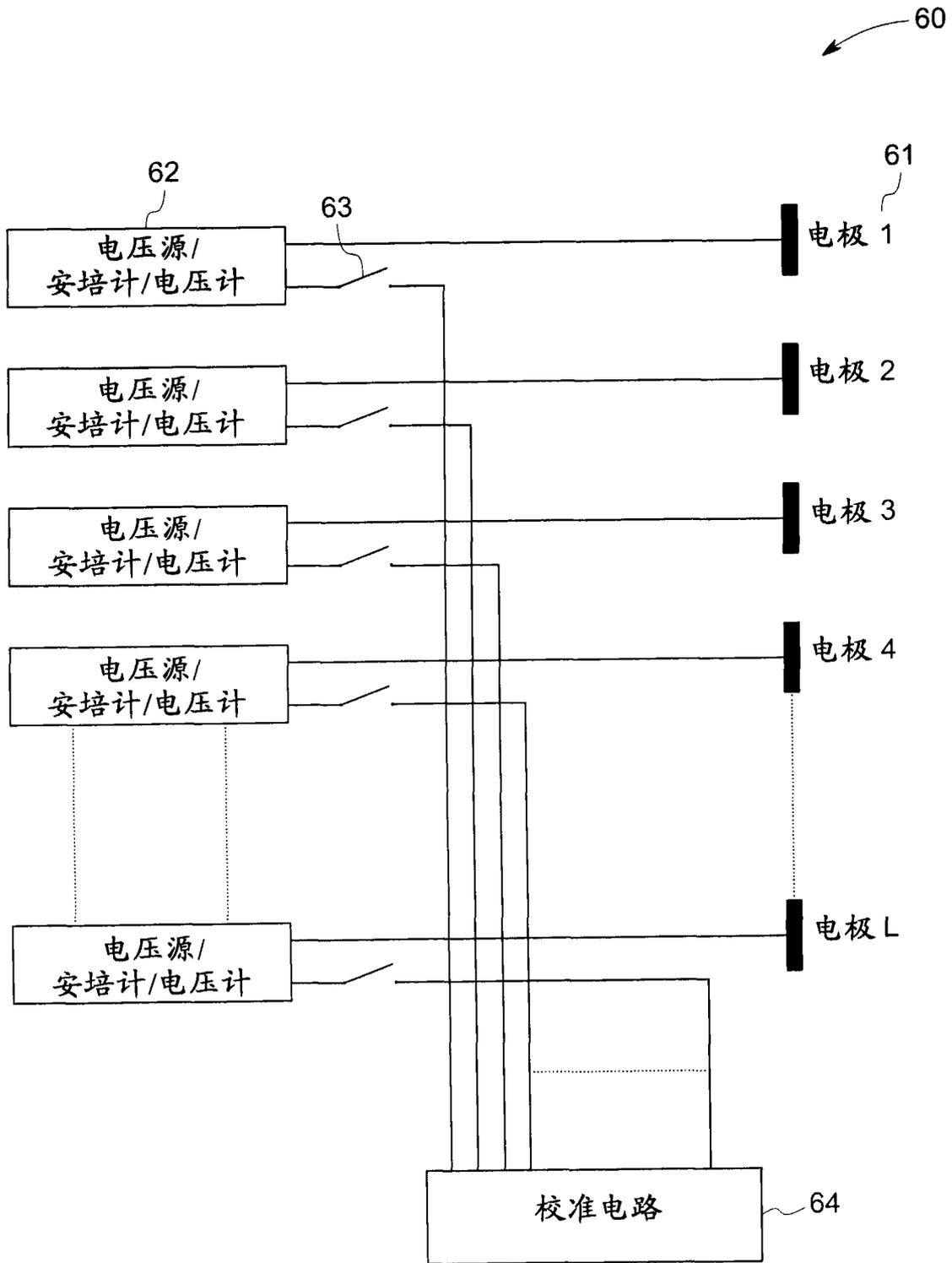


图 3

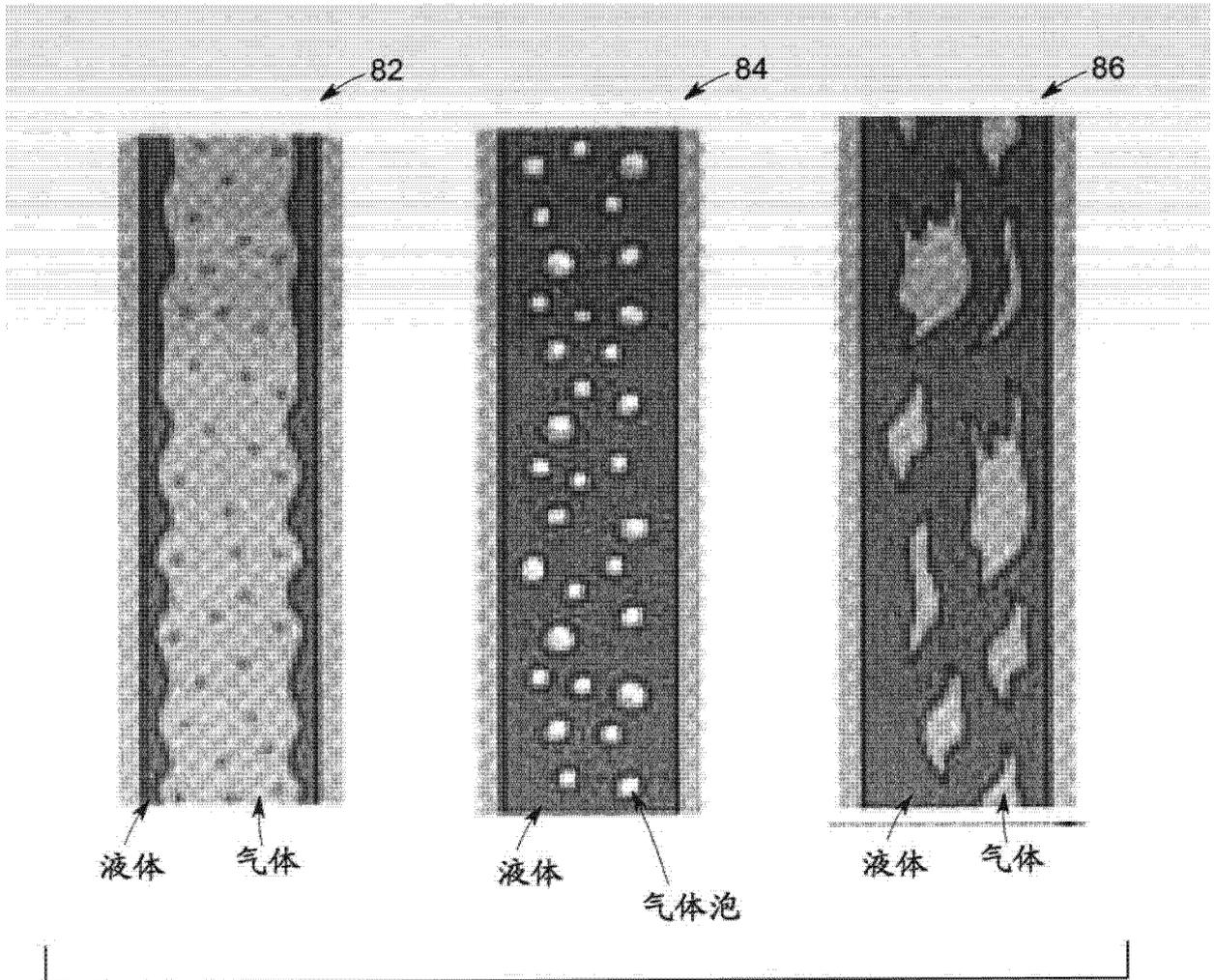


图 4

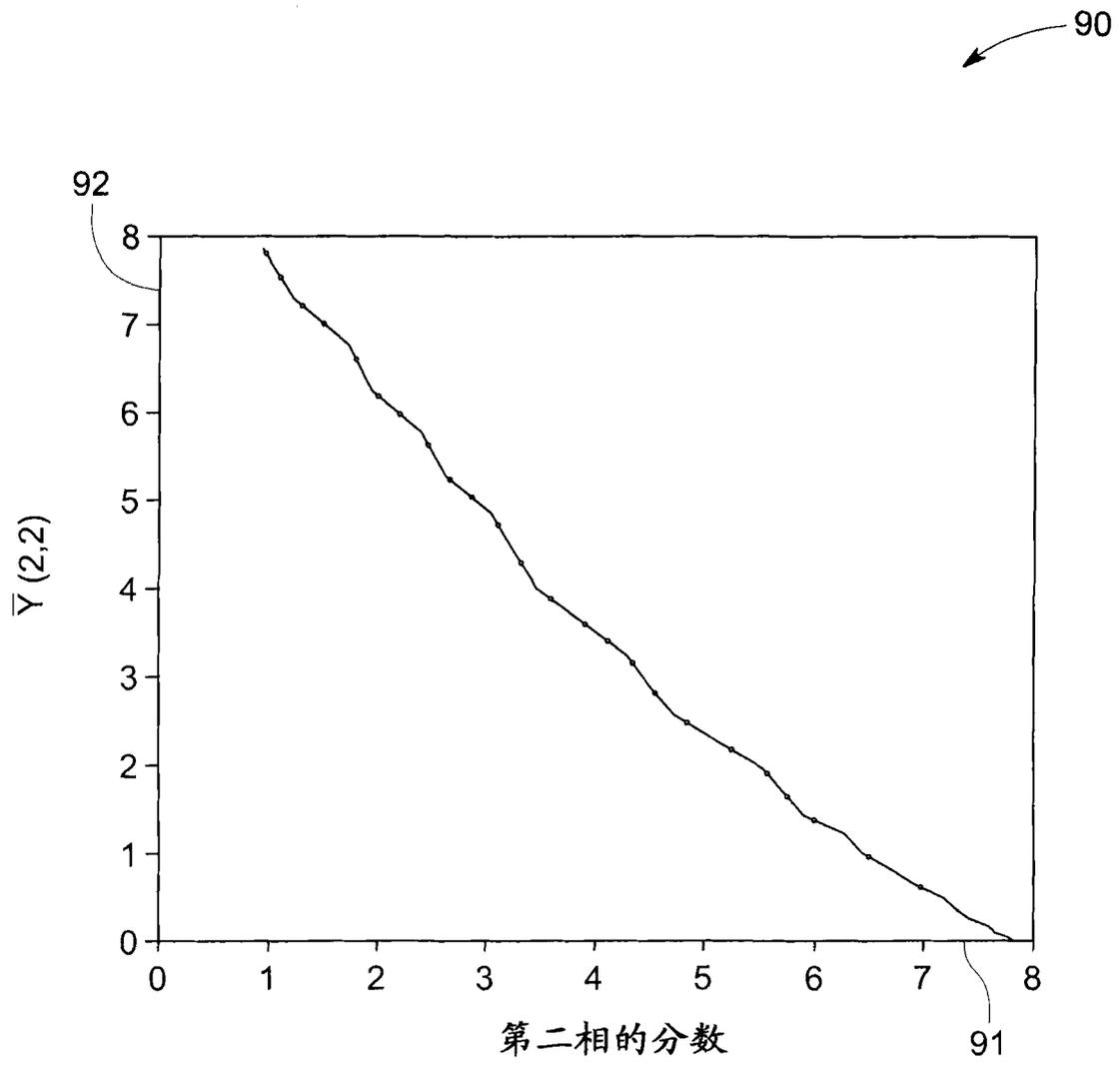


图 5

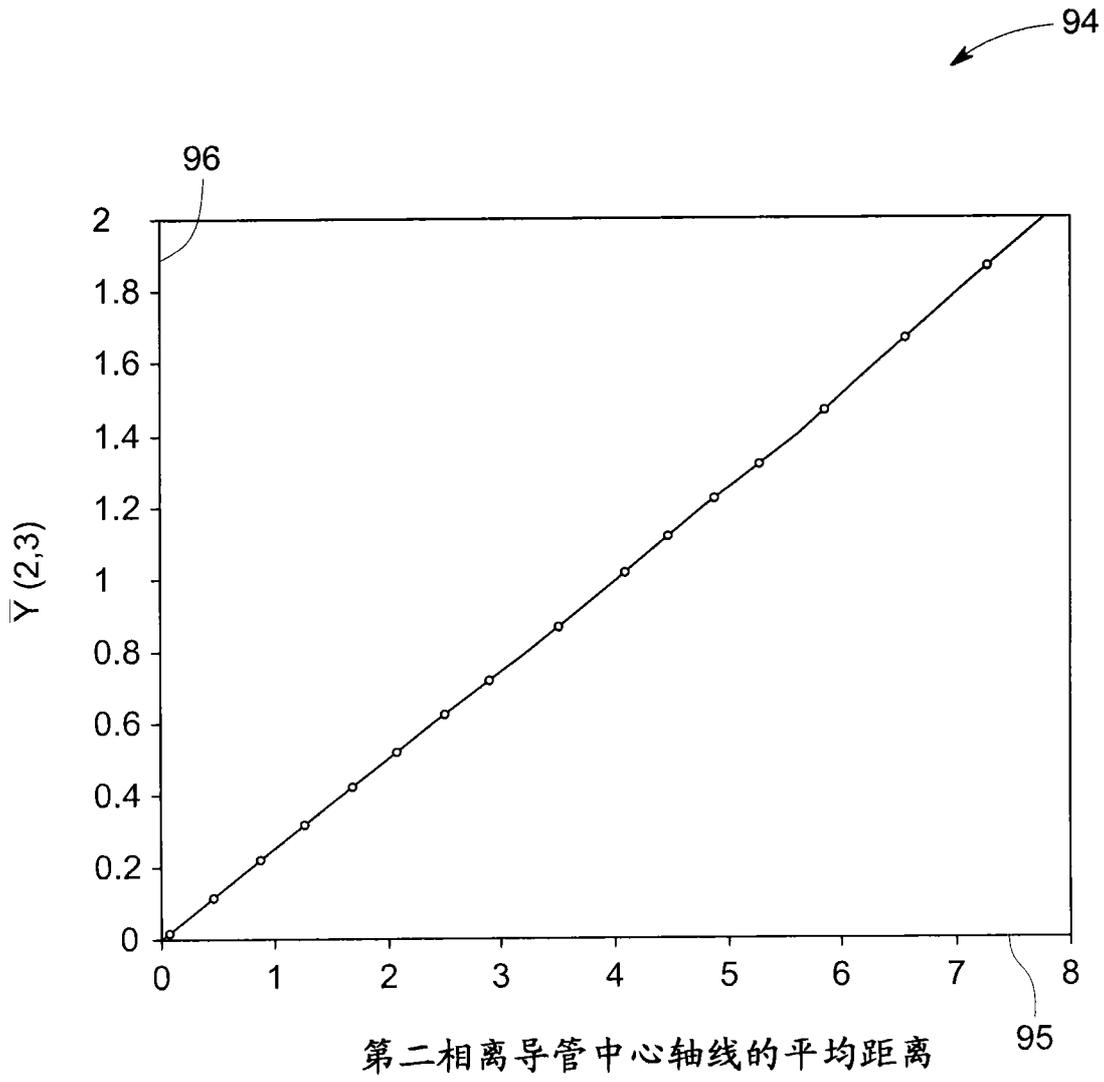


图 6

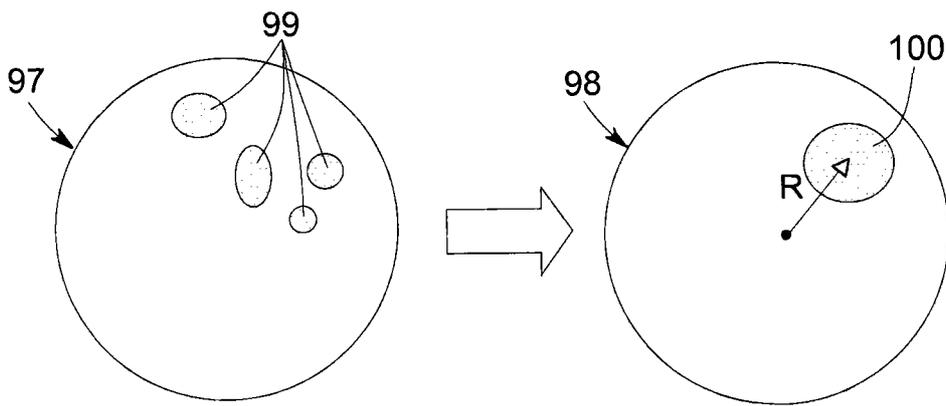


图 7

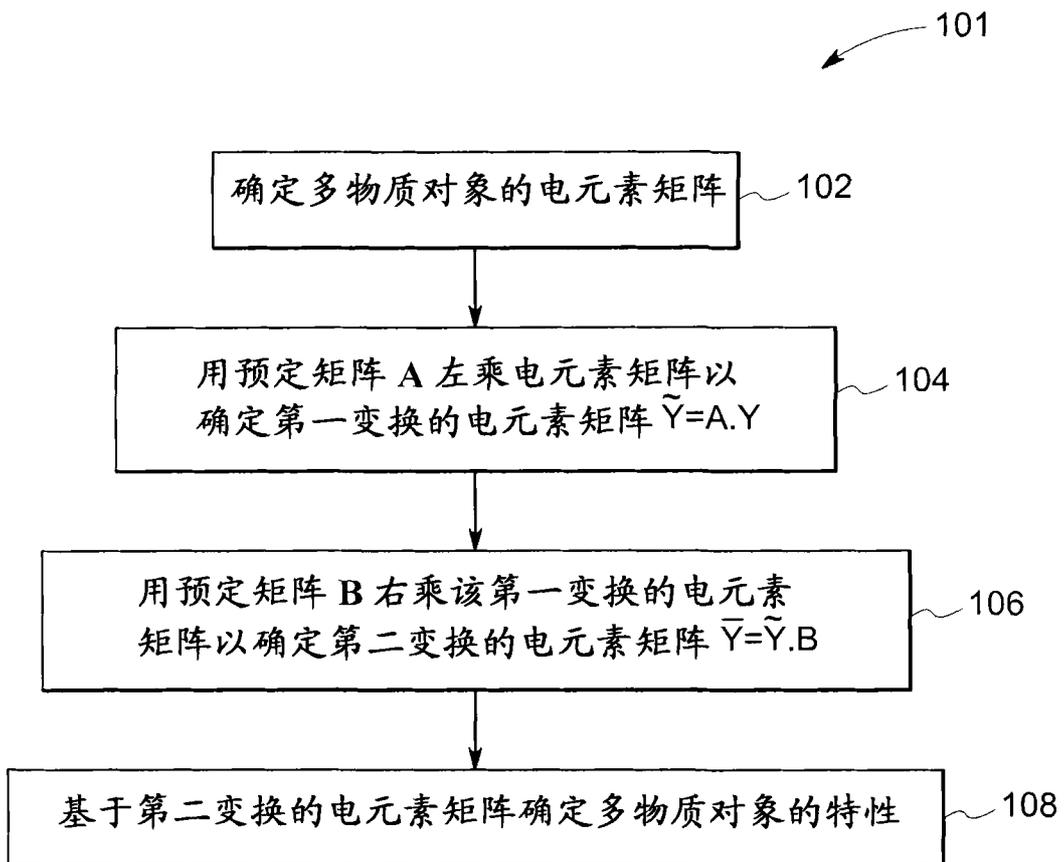


图 8

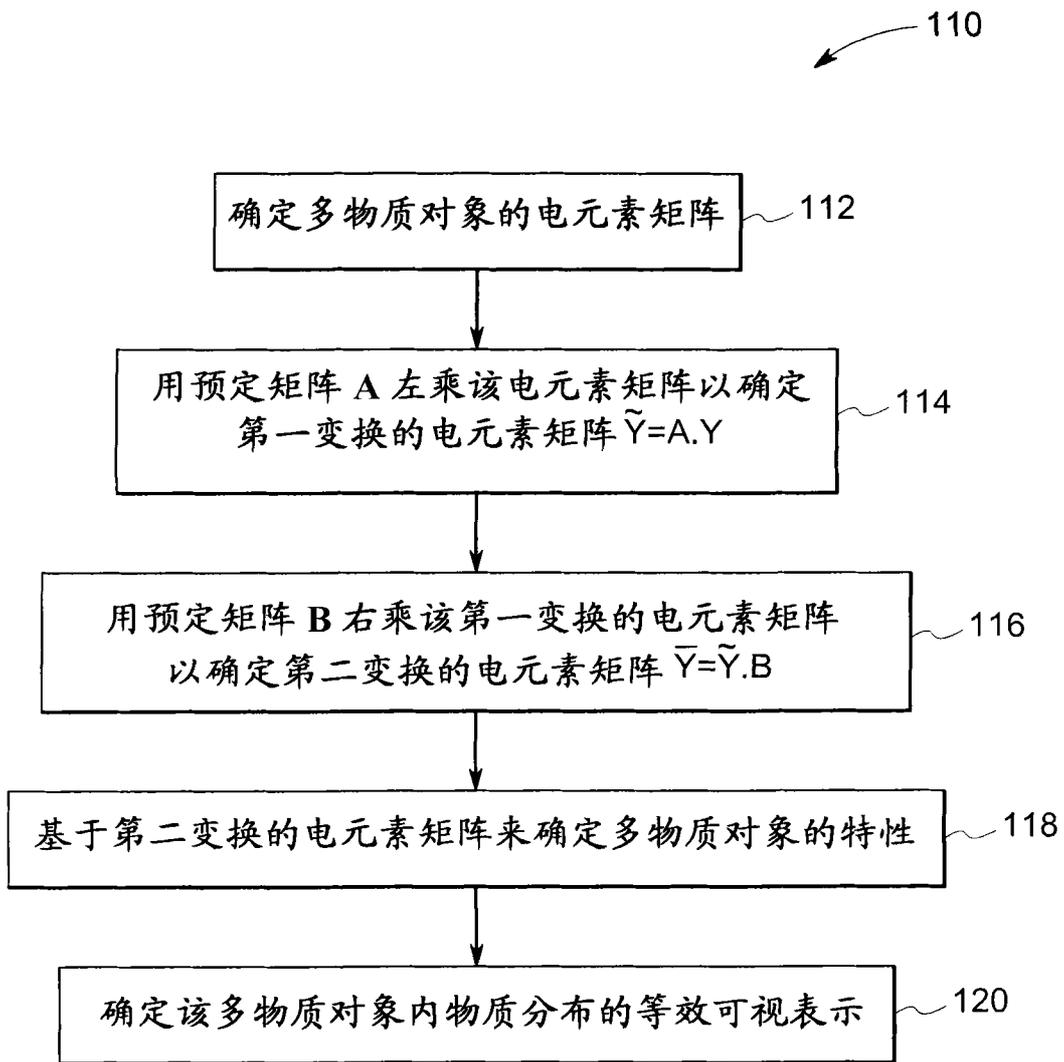


图 9

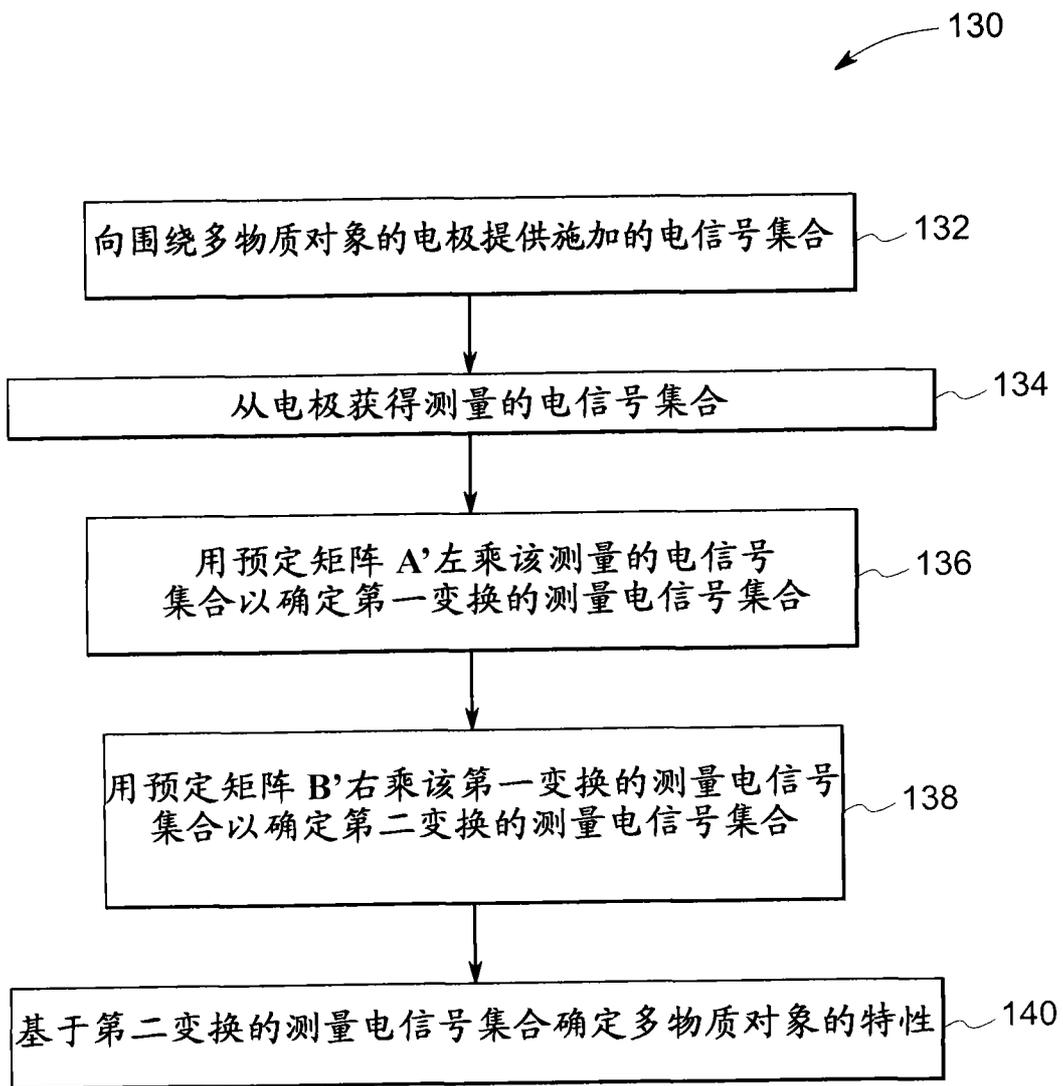


图 10