

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102183550 B

(45) 授权公告日 2012. 10. 17

(21) 申请号 201110049817. 4

(22) 申请日 2011. 03. 02

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路  
38 号

(72) 发明人 王保良 傅三富 冀海峰 黄志尧  
李海青

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公  
司 33200

代理人 张法高

(51) Int. Cl.

G01N 27/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1821762 A, 2006. 08. 23,  
US 2007/0007973 A1, 2007. 01. 11,  
CN 101241094 A, 2008. 08. 13,  
US 5919142 A, 1999. 07. 06,  
CN 1378080 A, 2002. 11. 06,

周建会等. 一种改进的电阻层析硬件系统

设计. 《传感技术学报》. 2010, 第 23 卷 (第 1 期), 43-46.

Zhiyao Huang, et al.. Application of Electrical Capacitance Tomography to the Void Fraction Measurement of Two-Phase Flow. 《IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT》. 2003, 第 52 卷 (第 1 期), 7-12.

审查员 丁丽君

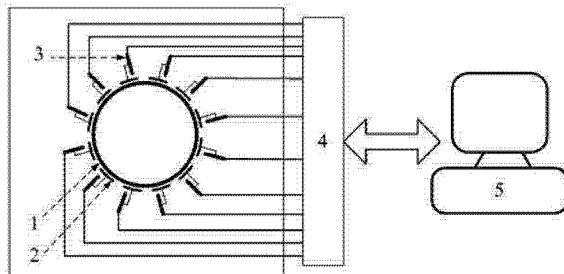
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 2 页

(54) 发明名称

非接触式电阻层析成像测量装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种非接触式电阻层析成像测量装置及方法。它由电阻传感器、数据采集模块和计算机制成，电阻传感器与数据采集模块连接，数据采集模块与计算机连接。电阻传感器包括绝缘管道、矩形的金属电极和激励 / 检测模块，金属电极等间距地安装在绝缘管道的外壁，每个金属电极上都固定有各自的激励 / 检测模块，所有激励 / 检测模块通过排线与数据采集模块连接。本发明有效克服了接触式 ERT 存在的电极极化、腐蚀等问题，同时具有安装方便、结构简单、非侵入、对管道内流体流动无影响等优点，为两相流体的非接触电阻层析成像提供了有益借鉴。



1. 一种非接触式电阻层析成像测量装置,其特征在于它由电阻传感器、数据采集模块(4)和计算机(5)组成,电阻传感器与数据采集模块(4)连接,数据采集模块(4)与计算机(5)连接;电阻传感器包括绝缘管道(1)、矩形的金属电极(2)和激励 / 检测模块(3),金属电极(2)等间距地安装在绝缘管道(1)周向的外壁,每个金属电极(2)上都固定有各自的激励 / 检测模块(3),所有激励 / 检测模块(3)通过排线与数据采集模块(4)连接;所述的激励 / 检测模块(3)包括石英晶体、第一开关、交流激励源、电流 / 电压转换电路、整流滤波电路、第二开关、控制总线和数据总线;石英晶体与第一开关的第一端口连接,第一开关的第二端口与交流激励源连接,第一开关的第三端口与电流 / 电压转换电路的输入端连接,电流 / 电压转换电路的输出端与整流滤波电路的输入端连接,整流滤波电路的输出端与第二开关的第一端口连接,第二开关的第二端口与数据总线连接,第一开关的控制端口和第二开关的控制端口分别与控制总线连接;控制总线上的控制信号控制第一开关和第二开关的开关状态,当激励 / 检测模块(3)作为激励时,信号通过第一开关从交流激励源流入石英晶体;当激励 / 检测模块(3)作为检测时,信号通过第一开关从石英晶体流入电流 / 电压转换电路的输入端,再经过整流滤波电路和第二开关从电流 / 电压转换电路的输出端流入数据总线。

2. 根据权利要求 1 所述的一种非接触式电阻层析成像测量装置,其特征在于所述的数据采集模块包括译码器、A/D 转换电路、单片机和通信模块,单片机分别与译码器的输入端、A/D 转换电路的输出端、A/D 转换电路的控制端和通信模块连接,译码器的输出端与控制总线连接,A/D 转换电路的输入端与数据总线连接。

3. 一种使用如权利要求 1 所述装置的非接触式电阻层析成像测量方法,其特征在于:利用绝缘管道(1)外壁上安装的金属电极(2)与绝缘管道(1)内流体形成的耦合电容,将激励 / 检测模块(3)的激励端产生的交流信号耦合到绝缘管道(1)内,交流信号流经绝缘管道(1)后,再通过耦合电容将交流信号传送到激励 / 检测模块(3)的检测端;设置激励 / 检测模块(3)的激励端产生的交流信号的频率等于测量装置等效电路的谐振频率,测量激励 / 检测模块(3)的检测端上的交流信号,得到被测流体的阻抗,利用各电极对之间的阻抗重建绝缘管道(1)截面上被测流体分布的图像。

## 非接触式电阻层析成像测量装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及检测技术领域，尤其涉及一种非接触式电阻层析成像测量装置及方法。

### 背景技术

[0002] 电阻层析成像(Electrical Resistance Tomography, 简称 ERT)技术是目前两相流过程层析成像(Process Tomography, 简称 PT)技术的一个重要分支。该技术的原理是通过获取管道截面上介质的电导率分布信息来重建介质分布的图像。与射线 PT、光学 PT 等 PT 技术相比，该技术由于具有成本低廉、结构简单、安全性好以及易操作等特点，受到了研究者的广泛关注和重视，成为了过程层析成像技术中的研究热点。

[0003] 然而，目前的 ERT 技术是一种接触式测量方法，其电极与被测流体直接接触，存在电极极化效应、电化学腐蚀等问题，从而影响测量的准确性和图像的质量，并且缩短了电极的使用寿命。而且该方法需要在管道上凿孔安装电极，破坏了管道的结构，降低了管道的强度，同时也影响被测流体的流动状态。这些缺点限制了 ERT 在实际工业领域的应用，特别是存在强酸、强碱等腐蚀性液体的工业生产过程。

[0004] 电容耦合非接触电导检测(Capacitively Coupled Contactless Conductivity Detection, 简写为 C<sup>4</sup>D)方法是由 Zemann 等和 Fracassi da Silva 等在 1998 年分别独立提出的。这种方法已在分析化学领域的毛细管电泳中得到了较成功的应用。而在工业过程生产领域，利用 C<sup>4</sup>D 技术进行两相流过程层析成像未见使用。

[0005] 本发明针对当前电阻层析成像的发展现状，提出了一种基于电容耦合原理进行电阻层析成像的测量系统，克服现有 ERT 存在的电极极化、腐蚀等问题，提高测量准确性和图像质量。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是克服现有技术的不足，提供一种可避免电极极化、电极腐蚀的非接触式电阻层析成像测量装置及方法。

[0007] 非接触式电阻层析成像测量装置由电阻传感器、数据采集模块和计算机组成，电阻传感器与数据采集模块连接，数据采集模块与计算机连接；电阻传感器包括绝缘管道、矩形的金属电极和激励 / 检测模块，金属电极等间距地安装在绝缘管道的外壁，每个金属电极上都固定有各自的激励 / 检测模块，所有激励 / 检测模块通过排线与数据采集模块连接。

[0008] 所述的激励 / 检测模块包括石英晶体、第一开关、交流激励源、电流 / 电压转换电路、整流滤波电路、第二开关、控制总线和数据总线；石英晶体与第一开关的第一端口连接，第一开关的第二端口与交流激励源连接，第一开关的第三端口与电流 / 电压转换电路的输入端连接，电流 / 电压转换电路的输出端与整流滤波电路的输入端连接，整流滤波电路的输出端与第二开关的第一端口连接，第二开关的第二端口与数据总线连接，第一开关的控制端口和第二开关的控制端口分别与控制总线连接；控制总线上的控制信号控制第一开关

和第二开关的开关状态,当激励 / 检测模块作为激励时,信号通过第一开关从交流激励源流入石英晶体;当激励 / 检测模块作为检测时,信号通过第一开关从石英晶体流入电流 / 电压转换电路的输入端,再经过整流滤波电路和第二开关从电流 / 电压转换电路的输出端流入数据总线。

[0009] 所述的数据采集模块包括译码器、A/D 转换电路、单片机和通信模块,单片机分别与译码器的输入端、A/D 转换电路的输出端、A/D 转换电路的控制端和通讯模块连接,译码器的输出端与控制总线连接,A/D 转换电路的输入端与数据总线连接。

[0010] 非接触式电阻层析成像测量方法包括:利用绝缘管道外壁上安装的金属电极与绝缘管道内流体形成的耦合电容,将激励 / 检测模块的激励端产生的交流信号耦合到绝缘管道内,交流信号流经绝缘管道后,再通过耦合电容将交流信号传送到激励 / 检测模块的检测端;设置激励 / 检测模块的激励端产生的交流信号的频率等于测量装置等效电路的谐振频率,测量激励 / 检测模块的检测端上的交流信号,得到被测流体的阻抗,利用各电极对之间的阻抗重建绝缘管道截面上被测流体分布的图像。

[0011] 本发明与现有技术相比具有有益效果:

- [0012] 1) 测量方法为非接触测量,有效克服了接触式 ERT 存在的电极极化、腐蚀等问题。
- [0013] 2) 电极安装方便,无需在管道上打孔,不破坏管道结构,实施简单。
- [0014] 3) 非侵入,不影响管道内被测流体的流动状态。

## 附图说明

- [0015] 图 1 是非接触式电阻层析成像测量装置的结构示意图;
- [0016] 图 2 是本发明的激励 / 检测模块方框图;
- [0017] 图 3 是本发明的数据采集模块方框图;
- [0018] 图 4 是本发明的电阻传感器沿管截面方向的剖面图;
- [0019] 图 5 是本发明的电阻传感器的金属电极分布图;
- [0020] 图 6 是本发明的电极对之间的等效电路图;
- [0021] 图中:绝缘管道 1、金属电极 2、激励 / 检测模块 3、数据采集模块 4、计算机 5。

## 具体实施方式

[0022] 如图 1 所示,非接触式电阻层析成像测量装置,它由电阻传感器、数据采集模块 4 和计算机 5 组成,电阻传感器与数据采集模块 4 连接,数据采集模块 4 与计算机 5 连接;电阻传感器包括绝缘管道 1、矩形的金属电极 2 和激励 / 检测模块 3,金属电极 2 等间距地安装在绝缘管道 1 的外壁,每个金属电极 2 上都固定有各自的激励 / 检测模块 3,所有激励 / 检测模块 3 通过排线与数据采集模块 4 连接。

[0023] 如图 2 所示,激励 / 检测模块 3 包括石英晶体、第一开关、交流激励源、电流 / 电压转换电路、整流滤波电路、第二开关、控制总线和数据总线;石英晶体与第一开关的第一端口连接,第一开关的第二端口与交流激励源连接,第一开关的第三端口与电流 / 电压转换电路的输入端连接,电流 / 电压转换电路的输出端与整流滤波电路的输入端连接,整流滤波电路的输出端与第二开关的第一端口连接,第二开关的第二端口与数据总线连接,第一开关的控制端口和第二开关的控制端口分别与控制总线连接;控制总线上的控制信号控制

第一开关和第二开关的开关状态,当激励 / 检测模块 3 作为激励时,信号通过第一开关从交流激励源流入石英晶体;当激励 / 检测模块 3 作为检测时,信号通过第一开关从石英晶体流入电流 / 电压转换电路的输入端,再经过整流滤波电路和第二开关从电流 / 电压转换电路的输出端流入数据总线。

[0024] 如图 3 所示,数据采集模块包括译码器、A/D 转换电路、单片机和通信模块,单片机分别与译码器的输入端、A/D 转换电路的输出端、A/D 转换电路的控制端和通讯模块连接,译码器的输出端与控制总线连接,A/D 转换电路的输入端与数据总线连接。

[0025] 非接触式电阻层析成像测量装置的工作流程为:单片机发送控制命令至译码器,译码器对控制命令进行译码,并把命令传送到控制总线上。控制总线上的控制信号控制第一开关的状态,使得其中一个激励 / 检测模块上的第一开关的一端口与二端口导通,另一个激励 / 检测模块上的第一开关的一端口与三端口导通,其余的激励 / 检测模块上的第一开关断开,则这两个电极构成的电极对形成一个交流通路,交流激励源产生的激励信号从一个电极流入,流过管道内的被测流体后从另一个电极上流出。电流 / 电压转换电路将从电极上流出的电流信号转换为电压信号,该信号由整流滤波电路进行整流滤波。控制总线上的控制信号控制第二开关的状态,使第二开关导通,将整流滤波后的信号传送至 A/D 转换电路进行 A/D 转换,单片机获得 A/D 转换结果并通过通讯模块送至计算机,计算机则依据一定的图像重建算法完成图像的重建。

[0026] 如图 4、图 5 所示,电阻传感器的 12 个电极环绕管道一周,等间距地安装在管道外壁上,绝缘管道 1 采用聚氯乙烯材料,公称直径 110mm,管壁厚度 2mm,金属电极 2 为铜片电极,张角为 25°,尺寸为 25mm×150mm。

[0027] 如图 6 所示,测量装置的任意两个电极对之间的等效电路为:第一电感  $L_1$  的一端与第一电阻  $r_1$  的一端连接,第一电阻  $r_1$  的另一端与第一电容  $C_1$  的一端连接,第一电容  $C_1$  的另一端与被测流体等效电阻  $R$  的一端连接,被测流体等效电阻  $R$  的另一端与第二电容  $C_2$  的一端连接,第二电容  $C_2$  的另一端与第二电阻  $r_2$  的一端连接,第二电阻  $r_2$  的另一端与第二电感  $L_2$  的一端连接。其中,  $L_1, r_1$  分别为激励信号入口处石英晶体的等效电感和等效电阻,  $L_2, r_2$  分别为激励信号出口处石英晶体的等效电感和等效电阻,  $C_1, C_2$  分别为激励信号入口处和出口处金属电极与被测流体形成的耦合电容。

[0028] 交流激励源输出的激励信号  $u_i$  的频率为测量装置等效电路的谐振频率,电路中的感抗与容抗相抵消,电极对之间的等效电路呈现纯阻性,总阻抗为被测流体的等效电阻和石英晶体的等效电阻之和,通过测量流过电极对的电流,可以得到电极对之间被测流体的等效电阻。利用各电极对之间的等效电阻值,可获得管道截面上被测流体分布的图像。

[0029] 非接触式电阻层析成像测量方法包括:利用绝缘管道 1 外壁上安装的金属电极 2 与绝缘管道 1 内流体形成的耦合电容,将激励 / 检测模块 3 的激励端产生的交流信号耦合到绝缘管道 1 内,交流信号流经绝缘管道 1 后,再通过耦合电容将交流信号传送到激励 / 检测模块 3 的检测端;设置激励 / 检测模块 3 的激励端产生的交流信号的频率等于测量装置等效电路的谐振频率,测量激励 / 检测模块 3 的检测端上的交流信号,得到被测流体的阻抗,利用各电极对之间的阻抗重建绝缘管道 1 截面上被测流体分布的图像。

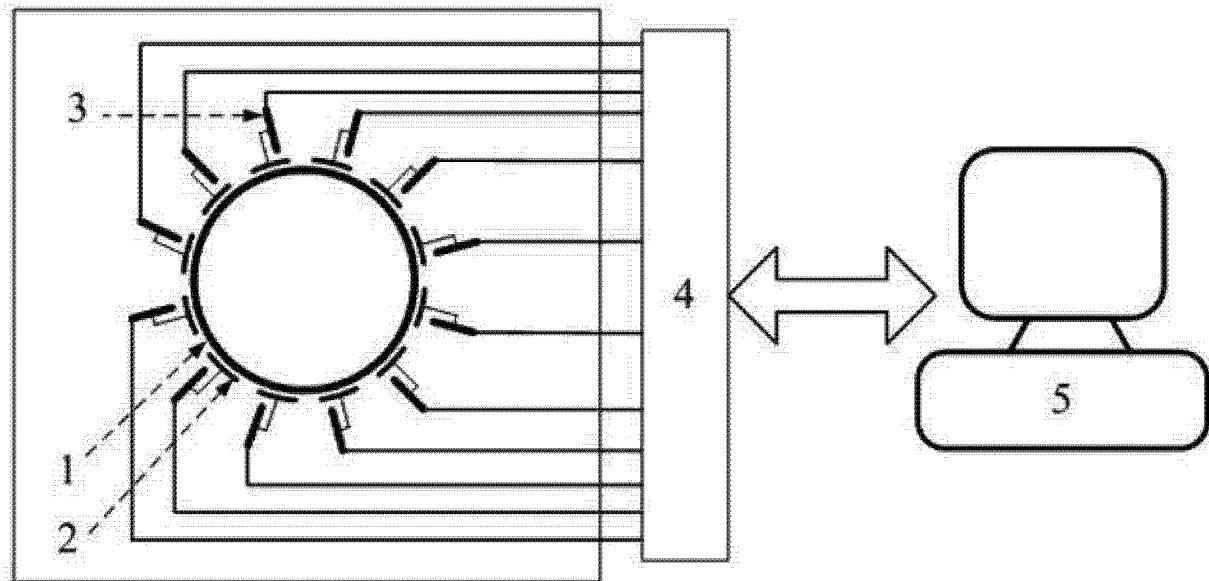


图 1

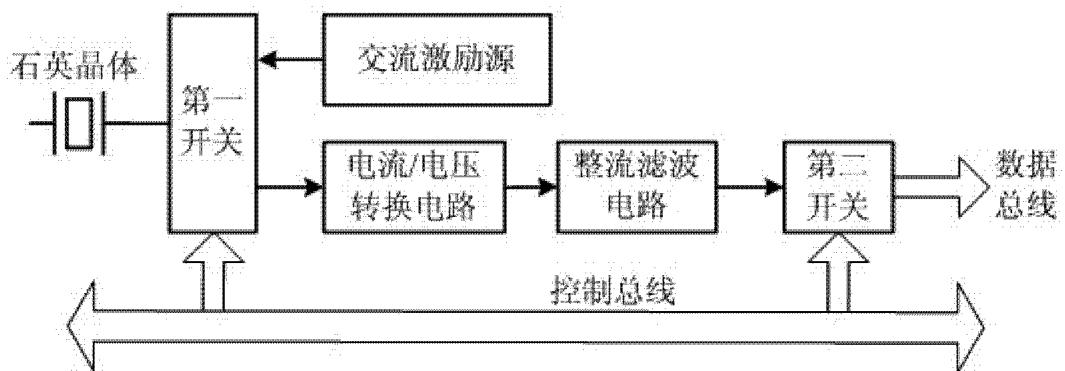


图 2

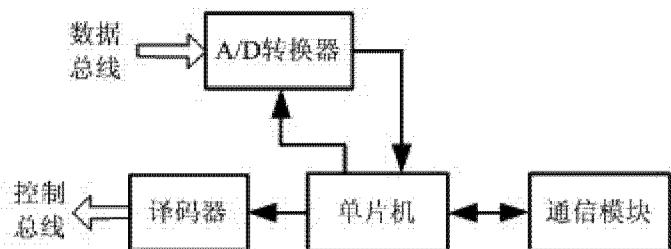


图 3

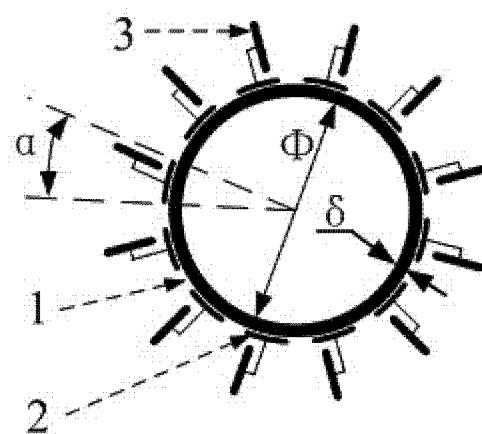


图 4

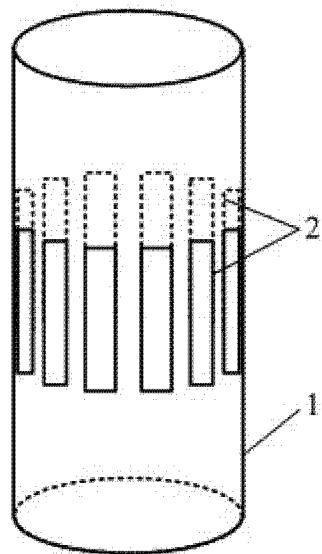


图 5

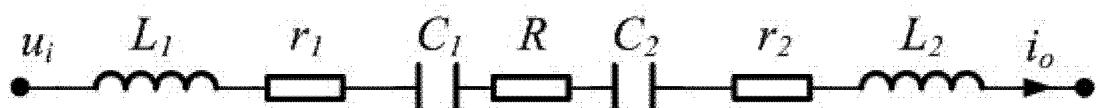


图 6