[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G01F 1/84
G01F 1/74 G01N 9/00

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99813572.0

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1179198C

[22] 申请日 1999.9.9 [21] 申请号 99813572.0
[30] 优先权
[32] 1998. 9.30 [33] US [31] 09/163,529
[86] 国际申请 PCT/US1999/020616 1999.9.9
[87] 国际公布 WO2000/019175 英 2000.4.6
[85] 进入国家阶段日期 2001.5.22
[71] 专利权人 微动公司
地址 美国科罗拉多州
[72] 发明人 R·E·杜顿
审查员 周胜生

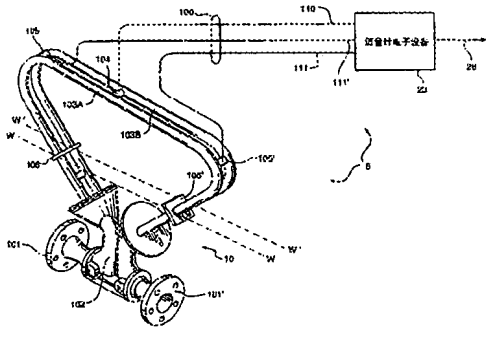
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 周备麟

权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 5 页

[54] 发明名称 校正了不稳定气泡的科里奥利流量计

[57] 摘要

Coriolis 流量计(5)可作为激振管密度计工作，其中一流量管(103A－103B)被激发，以基频振动，根据该基频，可计算流经该流量管(103A－103B)的物质的密度。 监测激励增益，作为包含气体和液体成分的多相流动的指示符，其中激励增益的明显增加表明由于不稳定气泡进入流量管，因而有对流量管振动的气体阻尼。 不稳定气泡的气体阻尼效应和相应减小的密度读数通过采用相应于无不稳定气泡进入流量管时的流动周期的过去的密度测量结果来修正。



ISSN1008-4274

1. 一种测量物质密度的科里奥利流量计（5），包括：

至少一个流量管（103A，103B）；

一个根据激励信号以其频振动所述至少一个流量管的激发器（104），所述基频和流经所述至少一个流量管的物质的密度相对应；

一些被固定于所述至少一个流量管产生代表流经所述至少一个流量管的所述物质的传感信号的传感器（105，105'）；

被构造来根据至少一个所述传感器信号确定流经所述至少一个流量管的所述物质的密度的流量计电子设备（20）；

所述流量计的特征在于，所述流量计电子设备还被构造来：

监测所述至少一个流量管的激励增益值变化，以确定所述物质是否包括多相流动；

若所述物质包括多相流动，则根据至少一个被储存的密度值来确定所述物质的密度，而非根据所述传感器信号确定所述物质的密度。

2. 权利要求 1 的流量计（5），其特征在于，所述流量计电子设备（20）还被构造来：

监测所述激励增益，以确定所述物质是否不再包括多相流动；

若所述物质不再包括多相流动，则根据所述传感器信号确定所述物质的密度，而非根据所述至少一个储存的密度值确定所述物质的密度。

3. 权利要示 1 的流量计（5），其特征在于，所述流量计电子设备（20）还被构造来确定所述激励增益是否超出第一门槛值，以确定所述物质是否包括所述多相流动。

4. 权利要求 3 的流量计（5），其特征在于，所述第一门槛值代表所述多相流动包含气体和液体。

5. 权利要求 4 的流量计（5），其特征在于，所述流量计电子设备还被构造来确定所述激励增益是否超出第二门槛值，所述第二门槛值代表所述多相流动包含液体和同体物质。

6. 权利要求 1 的流量计（5），其特征在于，若所述物质包括所述多相流动，所述流量计电子设备（20）还被构造来对在一段时间间隔内过去的一些密度测量进行平均，以确定所述密度。

7. 权利要求 6 的流量计（5），其特征在于，所述流量计电子设

备（20）还被构造来对所述过去的密度测量进统计分析，以消除或减少一些谬误的测量。

8. 权利要求 1 的流量计（5），其特征在于，若所述物质包括所述多相流动，所述电子设备（20）还被构造来处理从实验室测量获得的密度测量结果，以确定所求密度。

9. 权利要求 1 的流量计（5），其特征在于，若所述物质包括所述多相流动，所述电子设备（20）还被构造来处理一些相关数，以确定所述密度。

10. 权利要求 1 的流量计（5），其特征在于，还包括电路（818），当流体自生产井流出时，根据确定的所述多相流动该电路用来关闭一阀（803，803'，803"），以中止进行中的井试验。

11. 权利要求 1 的流量计（5），其特征在于，还包括用以显示有多相流动征兆的警告的装置。

校正了不稳定气泡的科里奥利流量计

发明背景

1.发明领域

本发明涉及科里奥利效应质量流量计。更详细地说，科里奥利效应质量流量计本身包含在测量包含气体和液体混合物的两相流动方面或在鉴定可受该仪器内部水锈或蜡沉积影响的测量方面提高精度的诊断程序。

2.问题的提出

科里奥利流量计直接测量流经管道的质量流量。如在本技术中，诸如在美国专利No.4,491,025（于1985年1月1日授与J. E. Smith等人，本文中称之为美国专利No. 4,491,025）和Re.31,450（于1982年2月11日授与J. E. Smith,本文中称之为美国专利No. Re. 31,450）所公开的，这些流量计具有一个或多个直的或弯曲构形的流量管。在科里奥利质量流量计中的每一流量管构形具有一组自然振动频率，它们可以是简单弯曲，扭转或耦合型。在进口侧，流体自邻接导管流入该流量计，经流量管或一些管子引导，而后经该流量计的出口侧自该流量计流出。该充满流体的振动系统的自然振动模式部分由流量管和其内的流体的综合质量的限定。每一流量管以这些自然振动模式中的一种谐振被激发而振荡。

当没有流量流经流量计时，沿流量管的所有部位以相同相位振荡。随着流体开始流动，科里奥利加速使沿流量管各部位具有不同的相位。在流量管进口侧的相位滞后于激发器，而其出口侧的相位导前后激发器。在流量管上可安置一些传感器，以产生一些应答流量管运动的正弦信号。两信号之间的相位差正比于流经流量管的流体流量率。在该测量中的一个复杂因素是一般流程流体的密度发生变化。密度变化使自然振动模式的频率发生变化。由于流量计的控制系统保持谐振，该振荡频率特性发生变化。在此情况下，质量流量率正比于相位差与振荡频率之比。

美国专利No.Re.31,450公开了一种无需测量相位差和谐振频率的科里奥利流量计。相位差通过测量两正弦波的水平相交之间的时间滞

后来确定。当采用该方法时，振荡频率的变化消失了，而质量流量率正比于所测的时间滞后。该测量方法在本文中称作时间滞后测量法。

在现行的 科里奥利流量测定装置中的一个问题是其应用局限于气体。气体比液体密度低，因此，在相同的流动速度下，产生的 科里奥利加速度较小。这一情况便需要一种有较高灵敏度的流量计。另一种方法是，若流动速度提高到获得相同的 科里奥利加速度时，可采用普通灵敏度的流量计。不幸的是，该替代方法导致流量计的灵敏度不稳定。

气体流过 科里奥利流量计的一些问题是在一些系统中由于包含液体和气体的多相流动而恶化。该气体由于阻尼了该系统，而有降低测量灵敏度的效果。这种阻尼效果可严重到使流量计不能完成流量测量。

涉及采用 科里奥利流量计测量多相流动的情况常出现在油井产生油、天然气和水的石油工业中。气井同样产生天然气，凝液和水。美国专利 No.5,654,502 叙述了一种井检验系统，其中一岐管经一检验分离器通到一所选井，该分离器自该井中将产物分离或包含天然气、油或凝液和水的相应的几部分。采用 科里奥利流量计来测量相应的油和水成份的质量流量率。该流量计的测量精度由于采用电子推导的井中出水量测量来相对于剩余水含量校正被分离油相的测量密度而获得提高。该校正工艺在某些情况下是难于或不可能采用的，因为不是所有的井都偶连检验分离器的。有时希望从井中直接测量流量而不采用检验分离器或花费其开支。在这些情况下，在该系统中天然气的存在，对于仪器的测量精度可能是一个决定性的限制因素。

美国专利 No.5,029,482 叙述了采用用实验推导的关系式，该关系式是使具有已知的相应气体和液体成份的质量百分比的混合的气体和液体流通过 科里奥利流量计来获得的。然后根据总质量流量率的 科里奥利直接测量用该实验推导的相互关系式来计算未知气体和液体百分比的混合的气体和液体流的气体百分比和液体百分比。该'482 专利并不解决在该系统测量中对气体阻尼效应的校正，虽然该阻尼效应对该实验关系式可能有影响。

因此，确实需要一种使气体阻尼对多相流动中的密度测量的效应不敏感的 科里奥利流量计。

解决方案

本发明克服了上述问题，并通过提供一种使气体阻尼对多相流动中的密度测量的效应不敏感的科里奥利流量计来提升该技术。该仪器的电子设备为特定的工艺方法编制了程序，该方法对比激励增益和阈值作为多相流动的显示符。

科里奥利流量计可广泛地用作包含气体与液体，气体与固体，或固体与液体的多相流动环境中的振动密度计。该流量计包含至少一个流量管和一个以相应于流经该流量管的物质密度的基频激振该流量管的激发器。该仪器的电子设备监测激振流量管中激励增益变化值来确定流经所述流量管的多相流动的存在。该变化值通常是对某一阈值的比较，在该阈值时，包含气体和液体的多相流动由超过该阈值的激励增益显示的。可对第二阈值作第二对比，以显示包含气体和固体、液体和固体、或液体、气体和固体的多相流动的存在，该值可显示对气体和液体系统的相似的阻尼效应。该仪器的电子设备按照多相流动的持续时间应答该流量管中多相流动的存在。这种应答通常是提供用于根据所述仪器的实时质量流量率数据确定容积流量率的过去的密度数据。用于阻尼的多相流动的间隙期间的其它有用的密度值可包含有多相流动的选定成份中得到的密度测量值。

用于阻尼的多相流动间隙的间隙期间的过去的密度值通常是在时间间隔内取平均值，以提供一平均密度值。还可对这些值进行统计分析，以消除或减少包含在平均密度值中的谬误测量结果。作为采用过去测量值的另一方案，样品流体的密度值可从对包含密度的流体性质的实验室测量或从用实验推导的关系式中得到。

科里奥利流量计打算应用于存在多相流动的任何环境中，其中多相流动被定义为包含至少两种物质状态：固体，液体或气体的流动。在包含气体和液体或气体和固体的多相系统中，该流量计是特别有用的。在生产油井或自然气井可涌出油雾、气泡或其它多相流体系统的石油工业中，这些环境是特别常见的。在完成井上的流量测定以确定井的水、气体和油或冷凝液的容积流量率方面，该流量计是特别有用的。在这些情况下，该器的电子设备可采用行动来克服气体阻尼的问题，其方法是直接提高井的背压，迫使气体进入溶液，或指示一警戒状况，要求操作者介入。

本发明还涉及包含完成本发明各种目的的各指令的控制软件。具体地说，当由处理机执行时，这些指令可使用来指导该处理机从科里奥利流量计接收激励增益输入，并处理这些激励增益输入，通过对比这些激励增益输入和指示多相流动的阈值，以确定流经科里奥利流量计的多相流动的存在，并提供包含不代表在多相流动延续期间的实际密度测量的过去密度值的输出。这些指令被储存在机器可读储存媒体内，供需要时提取。

本发明的第一个方面是具有仪器电子设备的科里奥利流量计，这些电子设备监测在由激发器以相应于流过该流量管的物质密度的基频激振的至少一个流量管中的激励增益，以检测变化值来确定经所述至少一个流量管的多相流动的存在。为应答流经该流量管的物质的多相流动的存在的确定，提供该物质的校正密度值。

本发明的另一方面是对比该激励增益和阈值，以确定是否该激励增益超过作为多相流动指示的阈值。

本发明的另一方面是该阈值是包含气体和液体的多相流动的指示。

本发明的另一方面是对比该激励增益和第二阈值，以确定是否该激励增益超过作为包含液体和固体物质的多相流动的指示的第二阈值。

本发明的另一方面是提供一个不同于相应于所述基频的密度值的新密度值。

本发明的另一方面是提取相应于过去密度测量的数据，用作另一密度值。

本发明的另一方面是在时间间隔内平均该过去的密度测量，以提一平均密度值。

本发明的另一方面是对该过去的密度测量进行统计分析，以消除或减少包含在该平均密度值中的谬误测量值。

本发明的另一方面是提取代表自实验室测量获得的密度测量值的数值，用作所述另一密度值。

本发明的另一方面是提取代表自一关系式中获得的密度测量值的数据，用作所述另一密度值。

本发明的另一方面是将流量管的进口联接到至少一个生产井，以

测量自该井流出的物质，并在产物自井中流出时停止正在进行中的井试验。

本发明的另一方面是应答多相流动的确定起动一个多相流动的警报指示。

本发明的另一方面是提供激励增益，作为仪器的输出。

附图简述

图 1 绘出一科里奥利流量计；

图 2 是科里奥利流量计中的仪器电子设备的方块图；

图 3 绘出一激振弹簧和重量系统的简图；

图 4 绘出类似于图 3 的激振弹簧和重量系统的简图，但还包括了类似于多相流动系统中气体的气体阻尼器；

图 5 绘出传递系数对振动频率的曲线，包含一假想液体系统和被附加的多相流动中气体成份阻尼的假想液体系统之间的对比；

图 6 绘出在需要校正的不稳定气泡作用期间激励增益对时间的曲线；

图 7 绘出演示校正图 6 中所示不稳定气泡作用的方法的过程控制简图；

图 8 绘出了井测试系统的简略方块图。

优选实施例详述

总图 1 中的科里奥利流量计

图 1 表示一科里奥利流量计 5，包括一流量计组件 10 和流量计电子设备 20。流量计电子设备 20 经引线 100 连接于流量计组件 10，以提供密度，质量流量率，容积流量率，总质量流量率和沿路径 26 的其它数据。业内人士应当明白，本发明能应用于任何型式的科里奥利流量计，而与激发器的数量及拾取传感器的数量无关。

流量计组件 10 包含一对法兰 101 和 101′，岐管 102 和流量管 103A 和 103B。连接于流量管 103A 和 103B 的是激发器 104 与拾取传感器 105 和 105′。系杆 106 和 106′用作限定各流量管 103A 和 103B 绕其振荡的轴线 W 和 W′。

当将流量计组件 10 插入到一输送被测量的物质的管道系统（未示）内时，物质经法兰 101 进入流量计组件 10，通过岐管 102，在那里，引导该物质进入流量管 103A 和 103B，流过流量管 103A 和 103B，

而后返回到岐管 102，在那里，经法兰 101'流出流量计组件 10.

选择流量管 103A 和 103B，并适当地安装于岐管 102 上，以便基本上具有分别绕弯曲轴线 W－W 和 W'－W'的相同的质量分布，惯性矩和弹性模数．这些流量管以基本上平行的方式自该岐管向外延伸．

流量管 103A 和 103B 由激发器 104 沿相反的方向绕它们各自的弯曲轴线 W 和 W'并以被称作流量计的快速输出弯折（first out of bending fold）激振．激发器 104 可包括许多公知结构中的一个，诸如一个安装于流量管 103A 的磁铁和一个安装于流量管 103B 的对置线圈．交流电流通过该对置线圈，使两流量管振荡．一适当的激发信号电流量计电子设备 20 经引线 110 作用于激发器 104.

关于图 1 的说明，仅作为 科里奥利计流计的操作例子而提供的，并不想限制对本发明的说明．本发明同样可应用于其它型式的 科里奥利流量计，包括单管流量计以及具有多个传感器或多个激发器的流量计．

流量计电子设备 20 接收分别出现在导线 111 和 111'上的左右速度信号．流量计电子设备 20 在导线 110 上产生激发信号，使激发器 104 去振荡流量管 103A 和 103B．如本文所述的本发明能从多个激发器上产生多个激发信号．流量计电子设备 20 处理左右速度信号来计算质量流量率，并为本发明提供确认系统．通道 26 构成一输入和输出装置，它允许流量计电子设备 20 与操作器连系．

总图 2 的流量计电子设备

图 2 图示完成本发明有关过程的流量计电子设备 20 的部件方块图．通道 111 和 111'自流量计组件 10 将左右速度信号传输到流量计电子设备 20．该速度信号由流量计电子设备 20 内的模/数（A/D）转换器 203 接收．A/D 转换器 203 将左右速度信号转换为处理机 201 能用的数字信号，并将通道 213 上的数字信号传输给 I/O 总线 210．该数字信号由 I/O 总线 210 传输到处理机 201．I/O 总线上的一些激发器信号被传输到通道 213，后者将这些信号加到数/模（D/A）转换器 202．来自 D/A 转换器 202 的模拟信号经通道 110 被转换到激发器 104．通道 26 连于 I/O 总线 210，并将这些信号传输到输入和输出装置（未示），后者允许流量计电子设备 20 操作器接收数据，并将数据传输给操作器．

处理机 201 读出完成流量计各种功能的指示，包括，但并不限于，经通道 221 根据只读存储器（ROM）220 计算物质的质量流量率，计算物质的容积流量率，和计算物质的密度．这些数据和完成各种功能的指示被存储在随机存取存储器（RAM）230 内．处理机 201 经通道 231 读出并写入 RAM 中的各种操作．从广义上讲，流量计电子设备 20 包含附上的控制装置和其它的处理机，它们可任选地连于通道 26 上的流量电子设备 20.

流体密度计算

图 3 绘出一无阻尼的动力弹簧组件 300，它依据在单相流动中的科里奥利流量计 5 的流量管 103A 和 103B（参图 1）同样的物理原理工作．弹簧 302 连于一支撑物 304 和一质量 306．质量 306 在平行于双箭头线 308 的路途上往复运动或振动。组件 300 的基频为：

$$① \quad f_n=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{ks}{m}}$$

其中 ks 为弹簧 302 的弹簧常数，而 m 为质量 306 的质量．在科里奥利流量计 5 的情况下，m 为流量管 103A 和 103B 与这些管内的物质质量的综合重量．

方程式（1）在应用于流量管 103A 或 103B 的情况下，变为：

$$② \quad \rho=\frac{A}{f_n^2}-B$$

其中 A 和 B 为用传统方式确定的科里奥利流量计的标定常数，ρ 为流经这些流量管的介质密度，f_n 为基频．这样，已知基频，便能确定该流体的密度．

科里奥利流量计通过测量激振传感器管，如流量管 103A 和 103B（参图 1）中的一根的科里奥利扭曲来测量质量流量率．该传感器管的振动具有改变在该管内流动的流体角动量的效果．科里奥利扭曲力较小，而 这些流量管刚性较大．为使该管 103A－103B 以充分大振幅振动，以使科里奥利扭曲力可以检测到，该流量计的电子设备 20 产生一激励电压来激励线圈 104，线圈 104 使流量管 103A 和 103B 以其基频振动．于是，处理机 201（参图 2）提供输出，后者以通常的方

式连续地使科里奥利流量计的传递系数比（transmissivity ratio）或激励增益最大．例如激励电压通常随传递系数比或激励增益的降低而增大。同时，该激励电压不能增大到超出某个最大极限值，否则该电压最终会变得太大，结果该流量计因过大的电压或过大的振幅而损坏。

气体对该系统阻尼的影响

图 4 绘出一受阻尼的动力弹簧和质量组件 400，它依据与以包含气体和液体的多相流动方式工作的科里奥利流量计 5（参图 1）的流量管 103A 和 103B 相同的物理原理工作．在可能的情况下，对图 3 和 4 中相同的零件保留与图 4 中相同的编号．图 4 不同于图 3 在于附加了一阻尼器 402，它具有沿通道 308 减小振幅的效果．方程式（1）和（2）仍适用于图 4 所示的系统，但总的振幅因阻尼器 402 而较小．

图 5 是演示气体对科里奥利流量计 5（参图 1）的流量管 103A 和 103B 的频率谐振的实际阻尼影响的假设数据曲线．将传递系数的对数例如在频率 f_0,f_1 和 f_2 时画成施加于激励线圈 104 的交流电压的函数．传递系数比 T_r 等于传感器输出除以激励输入，即 T_r 为激励增益。

$$(3)\ T_r=\frac{\text{输出_传感器线圈Vac}}{\text{输入\quad 激励电线Vac}}$$

其中传感器线圈 Vac 是来自传感器 105 和 105′的导线 111 和 111′上的交流电压，而激励电线 Vac 是通至激励线圈 104 的导线 110 上的交流电压。这些电压可由一标定正常数成正例地调节，以计及激励线圈 104 和传感器 105 与 105′之间标尺的不同。第一曲线 500 相当于方程式（1）和图 3 的无阻尼系统，即在被测的流体中无气体存在．第二曲线 502 相当于方程式（3）的有阻尼系统．两曲线 500 和 502 在基频 f_n 处分别具有最佳值 504 和 504′．曲线 500 和 502 至 f_n 左侧的区域 506 代表流量管 103A 和 103B（参图 1）同相振动的情况．曲线 500 和 502 至 f_n 右侧的区域 508 代表流量管 103A 和 103B（参图 1）异相振动的情况．最佳点 504′由于其幅值减小，比最佳点 504 更难测定．由于气体阻尼随着幅值减小，科里奥利流量计 5（图 1）不再能完成有效的流量测定，和流量计的灵敏度有关。

流量计电子设备 20 用来监测激励增益或通过量，并根据传感器线圈的电压和激励线圈的电压之比使传递系数的幅值最佳．该最佳值根据曲线 500 的斜率分析完成的．例如，取自由激励线圈的较快振动

频率产生的新数据的第一前差分会产生具有零值（最佳情况）、负值（区域508）或正值（区域506）的斜率。流量计的电子设备然后按这些数值的斜率指示的需要，较快或较慢地激振，直到获得最佳的传递系数。图6是表示激励增益和随机事件600的时间之间关系的假想数据曲线，其中不稳定气泡在时间602进入科里奥利流量计5(参图1)，而在时间604泄出。激励增益在图6中被表示为一百分比，并断断续续地被画成为时间，如 t_1,t_2 和 t_3 的函数。按照本发明的构思，处理机201（亦见图2）基于激励增益或传递系数以阈值编成程序。在曲线608的激励增益或传递系数超过门槛时606处时，处理机201停止采用以传统方式按方程式(2)计算得到的密度数值。处理机201然后按图7中所示的流程图计算密度。

图5-6中所示的结果类同于包含液体和例如带有石蜡、沙子、流体中的水锈，或带有在流量管103A和103B内壁上已实际生成的水锈的固体的多相流动的结果。这样，能检测气体和液体多相流动的系统也能利用同样的原理检测包含气体和固体，液体和固体或流量管内的水锈的多相流动。

不稳定气泡校正模式

总是最好采用按方程式(2)得到的测量结果作为包含密度值的流量计输出；然而，由于多相流动中气体阻尼的有害影响，不总是能采用方程式(2)的。图7绘出当不稳定气泡进入科里奥利流量计5时以气体阻尼影响来校正密度值的过程P700。过程P700是按照下述前提制定起来的：虽然气体阻尼可产生实时测量困难，然而从科里奥利流量计获得的随后最佳密度值是最新测定的密度值。过程P700的各相应步骤在也出现在图6中的标号的上下文中得到说明。

在步骤P 702中，由于曲线608在602处已和阈值606相交，处理机201确定激励增益已超过阈值606。由于曲线608居先时间602部分，因要进入流量计的气泡的作用，可能具有某些噪音，在步骤P 704中，在一预定时间间隔610到平均间隔612内，处理机201追溯。平均间隔612可相应于单个数据点，但最好包括一个包含多数据点的间隔，以便使可能向上形成蜂值的谬错测量结果614趋于光滑，而不超过阈值。

在步骤P 706中，处理机201确定在平均间隔612内是否有任何

测量结果超过阈值 606. 若有，在步骤 P 708 中，在计算中，可采用多次或部分追溯（look back）间隔 610，经重复步骤 P 704 来得到一个新的平均间隔 612. 若经步骤 P 706 重复的尝试没有得到没有一个点大于阈值 606 的间隔 612，则包含那些大于阈值 606 的谬误测量结果，如测量点 614，能用统计分析加以剔除. 该统计分析可包含计算一标准误差，并忽略在标准误差之外的所有数值，或忽略所有大于阈值 606 的数值，只要在平均间隔 612 内的某些测量结果小于阈值 606. 或者将处理机 201 编成程序，以输出一预定的密度值，诸如可从实验室测量获得的密度值.

步骤 P 710 包含将平均间隔 612 内的密度值平均化，以提供一个相应于平均间隔 612 的有代表性的平均密度值. 用于计算该平均值的数值可通过和步骤 P 706 有关的上述讨论的统计分析加以调整. 在流量计诊断表明由于气体阻尼它不在正确地工作以进行质量流量率测量的情况下，流量计的质量流量率输出也能按这些相同的原理进行平均化.

按照步骤 712，处理机 201 提供自步骤 P 710 获得的平均密度值作为流量计输出，直到该时间由于曲线 608 在时间 604 降到低于阈值 606 为止. 因此，过程 P 700 在步骤 P 714 完结，处理机离开不稳定气泡校正模式而返回到由按方程式（2）完成的测量结果组成的流量计输出.

阈值 606 的追溯间隔 610 和平均间隔 610 的精确值或延续时间与流量计的型式和尺寸以及要应用的环境有关. 例如，对于安装在每天生产一千桶石油的油井上跟生产一桶石油的油井上的流量计，这些数值是不同的. 在实践中，操作者决定科里奥利流量计 5 以无气泡工作的阈值 606. 该决定是由经验、试凑法，制造商的推荐，或在要应用的环境中的长时间的记录的综合作出的. 操作者将该值输入流量计电子设备 20，作为用于过程 P 700 的一套数值. 该流量计电子设备不间断地监测该激励增益值. 不稳定气泡校正技术的应用不限于石油工业，它包括可遇到包含气体和液体的多相流动的任何场合.

图 5 中所示的跟曲线 500 和 502 对比相同的阻尼原则适用于其时多相流动包含固体和液体的场合，虽然在较低的程度上适用. 多相流动也可包含气体、液体和固体的混合物. 在石油工业应用环境中，出

现流体流包含天然气、石油或冷凝液，水、石蜡、沙子和/或油页岩的情况。因此，图6和7的原理可用于校正由于包含固体和液体，或气体和固体，以及气体和液体的多相流动而出现的谬误的密度或质量流量率测量结果。

上述的处理过程包括存储在存储媒体上的各种指示。这些指示可由处理机保持和执行。一些指示的例子为软件、程序卡和同件操作系统。一些存储媒体的例子为记忆装置、磁带、软盘，集成电路和伺服器。这些指示当被处理机执行时可用来指导处理机按本发明工作。术语“处理机”指单个处理装置或一组相应配合工作的处理装置。一些处理机的例子为集成电路、计算机和逻辑电路。业内人士都熟悉这些指令，处理机和存储体。

科里奥利流量计和被装备来实现上述不稳定气泡校正原理的相关的仪器电子设备都能应用于包含多相流动的任何环境，在校正瞬间油雾和细泡方面，这些仪表工作特别好。在本文中，“瞬间”意指瞬时或周期性地存在的流动情况。在校正团状流动或塞式流动（play flow）中的气体效应方面，这些仪表也工作良好，可以接受，虽然，在这些流动条件下，所计算的容积流量率比油雾流动条件下的可靠性较小。具体的应用包括在反应器或工艺流送管、食物处理罐中伴随气体生成的化学处理，伴随气体生成的微生物处理，以及伴有多相流体的任何系统，如在石油工业中的生产井，在那里，在仪表前后有安装分离器。

用于石油井检验测量的系统

如图8方块简图所示，系统800包括一个带有若干电子作动井头阀803，803′和803″的岐管802，每个阀对管子804提供包含气体、液体和固体的多相流动。阀803，803′和803″最好为三通电子起动气动阀，诸如带MATRYX MX200作动器的Xomox TUFFLINE 037 AX WCB/316井切换阀。使阀803，803′和803″有选择地构形，以便在每一时刻有一个井经岐管802和检验管对科里奥利流量计806提供多相流动，流量计806可以跟 科里奥利流量计5相同。流经科里奥利流量计806的井处在其容积流量率的检验之中，以决定其总销售组成。井803，803′和803″的其余部分流到集流管808，以便流经第二仪表810，第二仪表可以是销售仪表。经Criolis流量计806的流动排入仪

表排出管 812，并进入井中出水量仪表 812。该流动随后与集流管 808 中的流动汇合，以便经第二仪表进行测量。流量计 806 和 810 的示例性结构形式包括 ELITE Models CMF 300 356 NU 和 Model CMF 300 H 551 NU，它们可从科罗拉多州 Boulder 的 Micro Motion 买到。

系统 800 包括一计算机 816（如 IBM 兼容机），用数据采集和编程软件将计算机编成程序。该软件的优先形式为 Intellution 软件 DMACS，它可从 Emerson Electric 的子公司 INTELLUTION 买到。该软件特别优先，因为它能发出代表有潜在危险的机械故障的非正常井检验状态的警报。计算机 816 控制控制操作控制器 818 的程序，它包括若干驱动器和界面，它们允许计算机 816 与系统 800 的遥控部件相互作用。遥控操作控制器 818 的一种优先形式是 Fisher Model Roc 364。控制器 818 还可用软件编成程序，以便于执行来自计算机 816 的控制指令。

阀控制连接 820，820′和 820″将控制器 818 和电子作动阀 803，803′和 803″连接，以便有选择地控制这些阀。连线 822 将控制器 818 和压力变换器 824 连接。变换器 824 的示例性形式为 ELITE Model RFT 9739，它可从科罗拉多州，Boulder 的 Micro Motion 买到。连线 826 将控制器 818 和井中出水量仪表 814 连接。可将控制器 818，变换器 824 和计算机 816 的功能结合在诸如仪表电子设备 20（见图 2）的单个处理机内。

系统 800 操作如下，岐管 802 使单井 803，803′或 803″流经科里奥利流量计 806 以检验该井，以检验该井或提供关于该井的质量流量率信息，而这些井的其余部分流入集流管 808，作为第二仪表 810 的混合销售输出。科里奥利流量计 806 对变换器 824 提供密度和质量流量率信息，作为仪表输出，变换器 824 又对连线 822 上的控制器 818 提供信号。计算机 816、控制器 818、变换器 824 或科里奥利流量计 806 之一（一般为计算机 816）按照方程式（4）完成总容积流量率 Q_e 的计算：

$$④\ Q_e = \frac{M_t}{D_t}$$

其中 D_e 为从总混合的油和水的流量流获得的科里奥利基本质量流量率测量结果；而 D_e 为在测量温度 T 时总混合的油、气、水和固

体流量流的密度.

按照方程式（5）计算出油的容积流量率:

$$(5)\ Q_o = Q_e(1-X_w)$$

其中 Q_o 为油的容积流量率; X_w 为水的百分数流量率，其余的变量由上式限定.

按照方程式（6）计算水的容积流量率:

$$(6)\ Q_w = Q_e * X_w$$

其中 Q_w 为水的容积流量率，其余的变量由上式限定.

将容积流量率值乘以在测量温度下的密度并除以在参考温度下的密度,可将容积流量率数值 Q_o 和 Q_w 修正到一标准参考温度 T_{ref} 下，例如，如方程式（7）中那样:

$$(7)\ Q_o = Q_o * \frac{D_{o,T}}{D_o}$$

其中 D_o 在标准温度 T_{ref} 下油的容积流量率; $Q_{o,T}$ 为在温度 T 时测得并按方程式（5）计算的油的容积流量率; D_o 为在参考温度 T_{ref} 下由实验室测量测得的油的密度; $D_{o,T}$ 为在温度 T 时测得的油的密度.

水的百分比流量率计算如下:

$$(8)\ X_w = \frac{D_t - P_{o,T}}{P_{w,T} - P_{o,T}}$$

其中 D_o 为在测量温度 T 时总混合的油（冷凝液）和水的流量流的密度，$P_{o,T}$ 为排除了分离油组份的任何残余水分的纯油（或冷凝液）相的密度; $P_{w,T}$ 为纯水相的密度; 剩下的变量由上式限定.

X_w 值为“井中出水量”（Water-Cut）测量值，是井检测的重要结果. 术语“井中出水量”在本文中被定义为代表在油和水液体混合物中油容量和水容量之间关系的任何比值. 井中出水量仪表 814 采用电容、电阻、微波辐射或其它测量来确定井中出水量的数量. 在某些情况下，水的容量大到超过仪器的极限. 例如，仅仅在水容积小于总流量流的约 20% 至 30% 的场合，电容或电阻监测仪才提供能接受的精确的井中出水量测量结果. 30% 的精度上限远低于从许多生产井观察到的值. 例如，油井的总液体产物容积可以为 99% 的水. 因此，将某些井中出水量监测仪归类为测定在具有低含水量的油组份中的井中出水量. 井中出水量监测仪常常不能用于测定以两相分离器流出的

物质中的水含量，因为总液体组份具有超过 30% 精度上限的水含量。井中出水量监测仪 66 的示例性形式为 Drexelbrook Model CM-2 电容监测仪。因此，方程式（8）提供了计算井中出水量及水和油或冷凝液的容量流量率。数值 $P_{o,T}$ 和 $P_{w,T}$ 可从各别井产出的流体的传统实验室测量结果中获得。

其中 X_w 值处在井中出水量仪表 814 的性能和精度极限内。

$$⑨\ P_{o,T}=\frac{P_t-P_{w,T}WC}{1-WC}$$

油密度相对于水含量的修正可按下式进行:

其中 $P_{o,T}$ 为在温度 T 时水修正的油密度; P_t 为在温度 T 时由科里奥利 流量计 806 测得的混合的井中出水量液体的总密度; P_w 为在温度 T 时由实验室测定或由温度－含盐量传统经验关系式确定的水组分的密度; WC 是由井中出水量仪表 814 测定的井中出水量。

总之，为销售目的，需要流量计的液体测量从质量流量率转换为容积流量率，因为石油产品是按容积出售的。密度值被用来完成自质量流

量率到容积流量率的转换。水和油的百分比流量率是通过井中含水量的直接测量确定的，但这一方法并不总是奏效的，因为仪器先天性地限制着井中出水量仪表。井中出水量的直接测量还能用来相应于在产油井寿命期内油密度值的变化标定仪表。若水和油各自的密度值可从其它的产油源获知，则井中出水量便可根据密度测量确定。气体对该系统的阻尼干扰了方程式（8）和（9）的计算，因为阻尼可严重到使仪表停止对流经流量管的物质提供精确密度读数，或者因为所测得的密度有足够多的气体含量而破坏了为方程式（8）和（9）固有的两相流动的前提。按照美国专利 No. 5,029,482，该气体流量率可由经验关系式确定。

由此可见，图 8 的计算机 816 或控制器 818 具有利用按图 7 获得的密度或质量流量率值来处理的选择自由，同时不稳定气泡在流量计 806 内检测。或者，若不希采用间隔 612 的平均值，则其它的选择包含停止井检验或指示一警报供操作者介入。再一个选择方案是计算机 816 给控制器 818 发信号以部分关闭所选定的阀 803, 803′或 803″中的一个，以提高井内的背压。在油井的情况下，该背压可迫使析出的气

体返回到溶液中，从而由于从产品流体中全部或部分消除了气体，完全或部分地克服了气体阻尼对 科里奥利流量计 806 的影响。

方程式（8）和（9）特别适用于油和水，但这些方程式更广泛地适用于也可能受作为第三相的气体的影响的任何两相不溶混的液体系统，如任何胶溶液。气体对这些系统的有害影响不仅仅只是包含阻尼，因为根据方程式（8）利用密度计算的 X_w 值，在用方程式（9）修正时，考虑到这些方程式是建立在未计及气体的两相不溶混液体的前提下，由于密度值 D_c 减小而具有误差。

因此，本发明人在此声明本发明依靠等同物原理，以保护他在本发明中的全部权利。

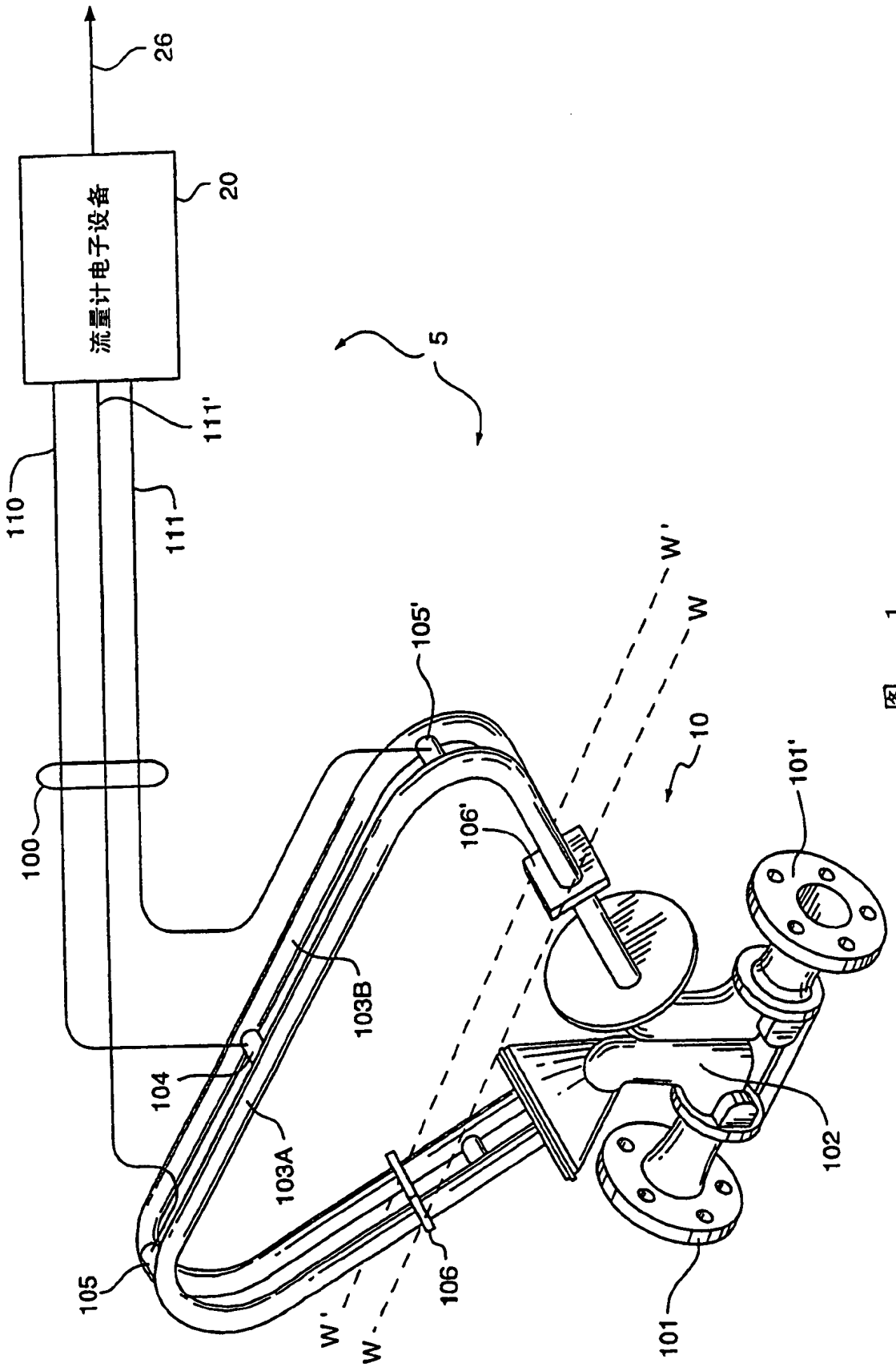

26
流量计电子设备
20
5
111'
110
111
105'
W'
W
10
101'
100
106'
103B
104
103A
102
105
106
W'
W
101

图 1

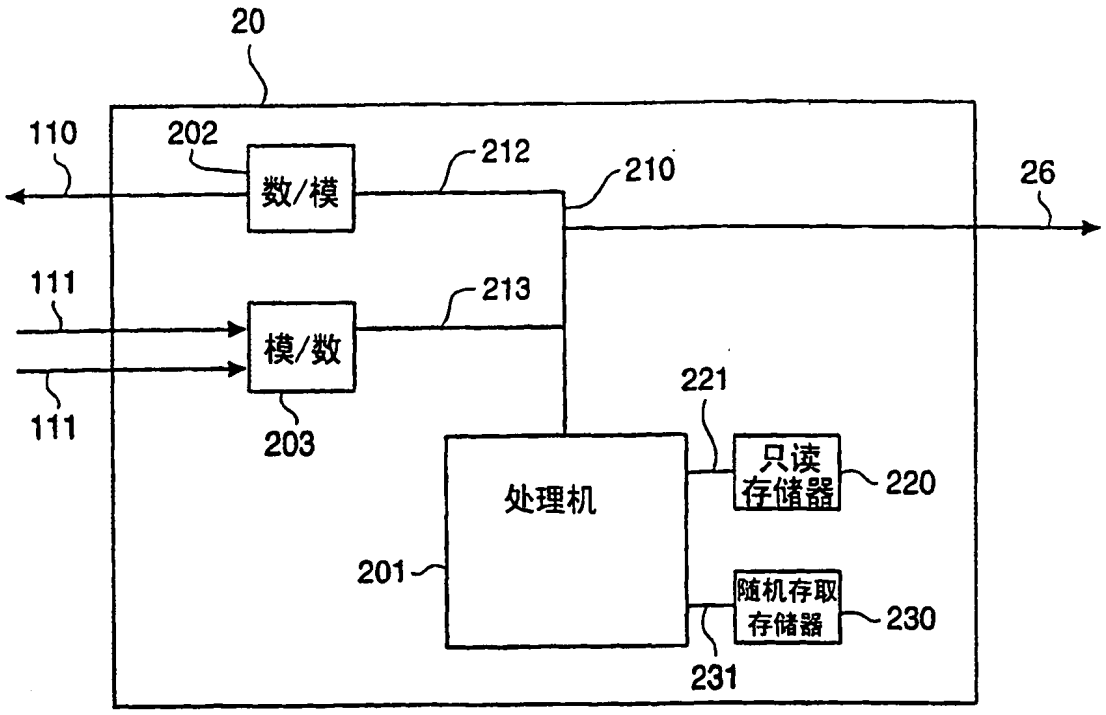

20
110
202
数/模
212
210
26
111
213
模/数
111
203
221
只读存储器
220
处理机
201
随机存取存储器
230
231

图 2

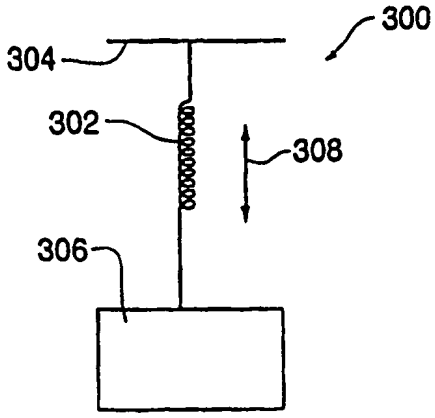

300
304
302
308
306

图 3

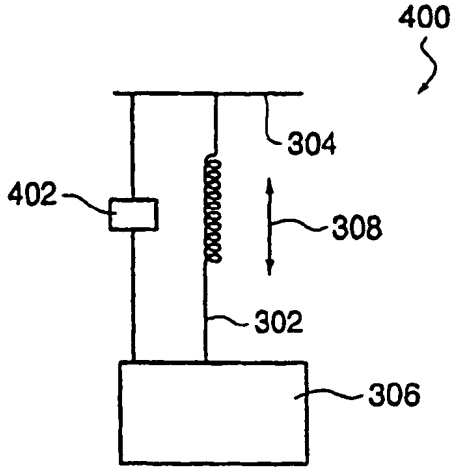

400
304
402
308
302
306

图 4

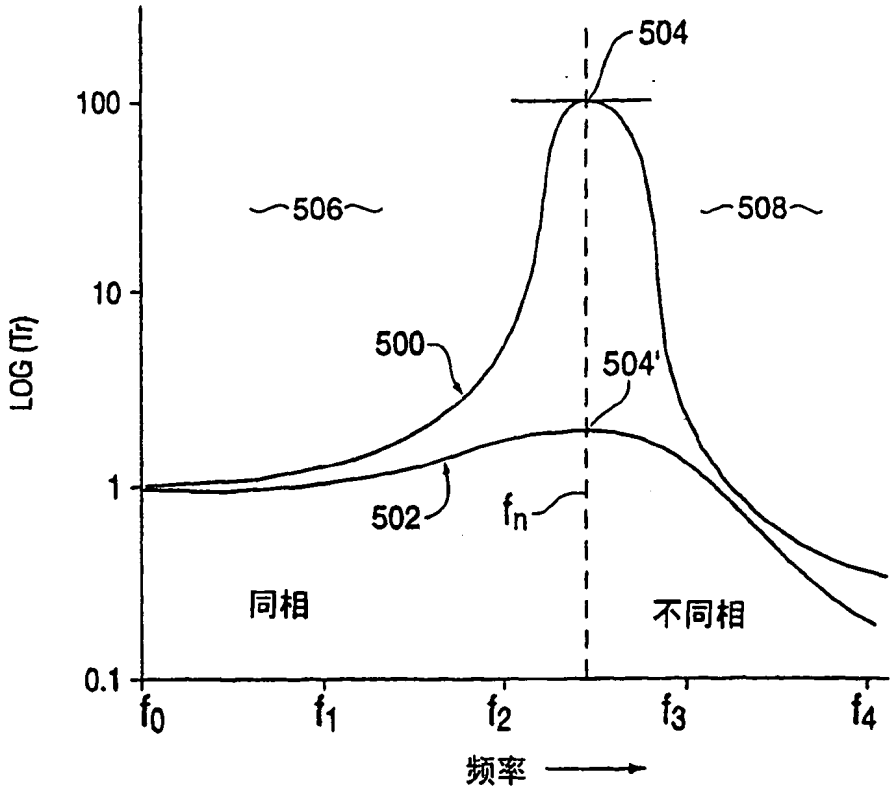

504
100
506
508
10
500
504'
LOG (Tr)
1
502
fn
同相
不同相
0.1
f0
f1
f2
f3
f4
频率

图 5

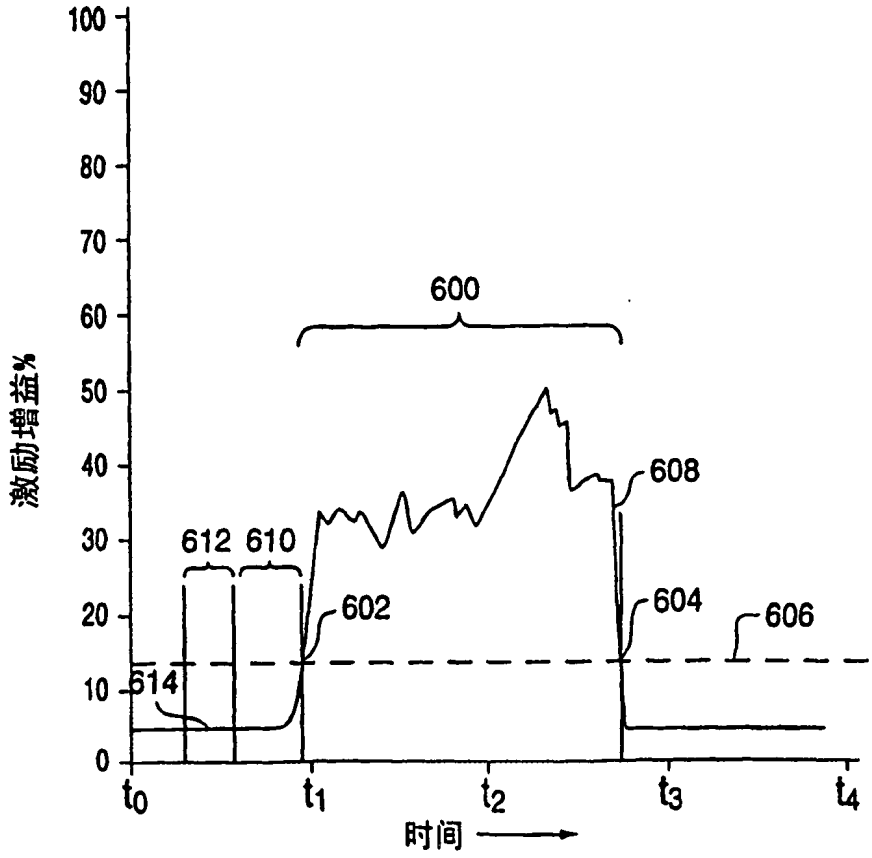

100
90
80
70
600
60
50
激励增益%
40
608
612 610
30
602
604
606
20
614
10
0
t0
t1
t2
t3
t4
时间

图 6

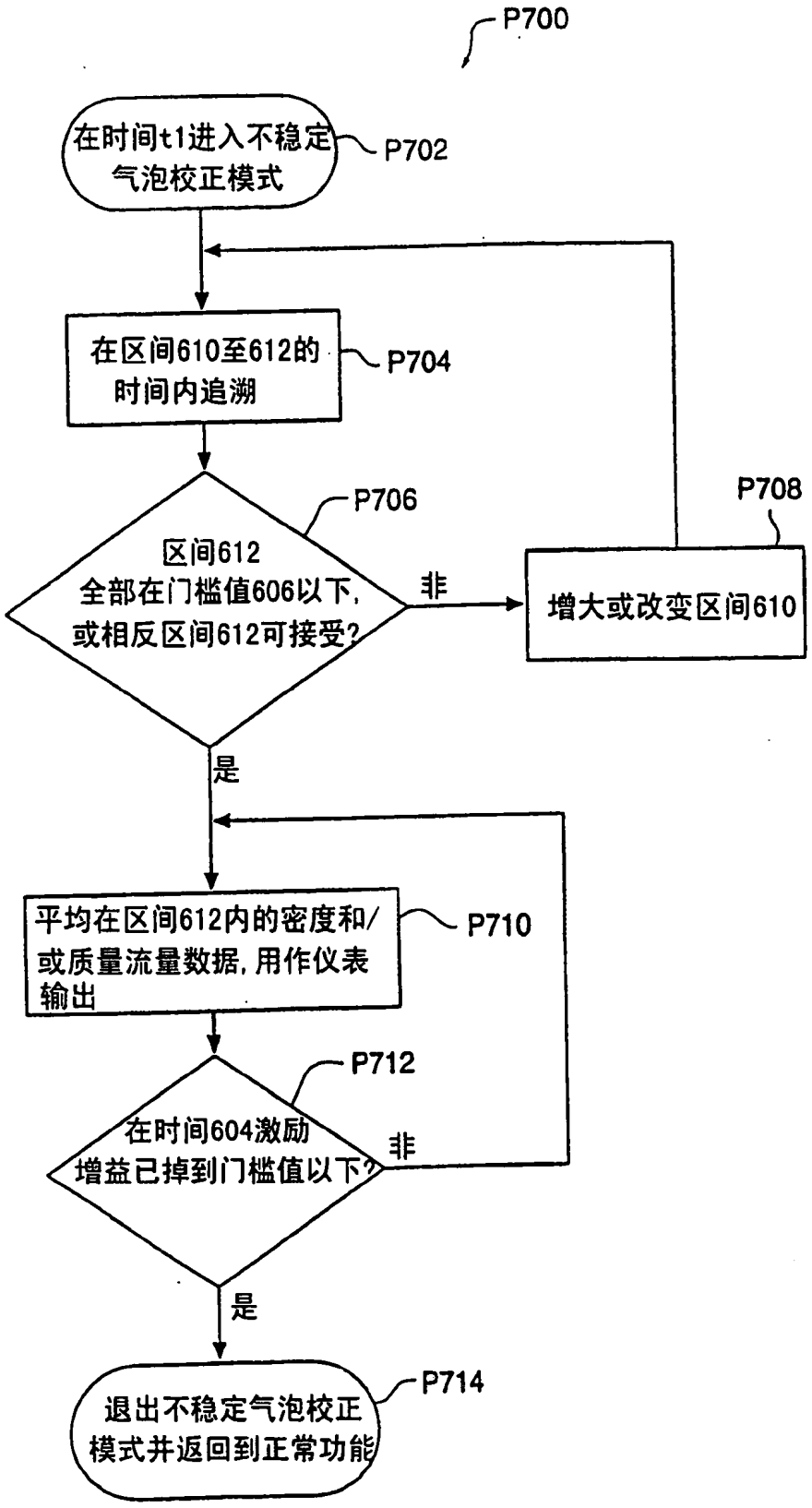

P700
在时间t1进入不稳定气泡校正模式
P702
在区间610至612的时间内追溯
P704
区间612全部在门槛值606以下，或相反区间612可接受?
P706
非
增大或改变区间610
P708
是
平均在区间612内的密度和/或质量流量数据，用作仪表输出
P710
在时间604激励增益已掉到门槛值以下?
P712
非
是
退出不稳定气泡校正模式并返回到正常功能
P714

图 7

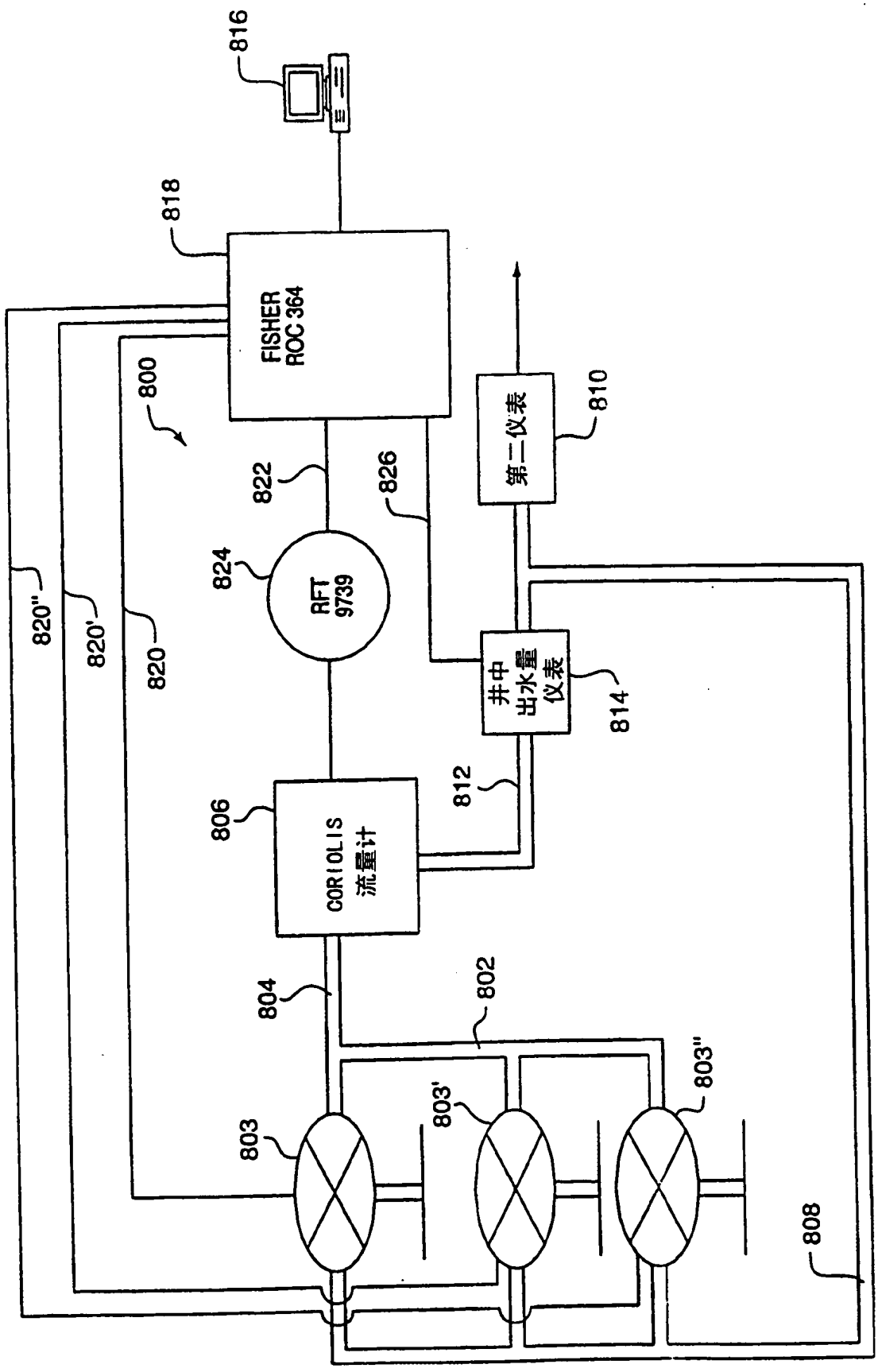

816
818
FISHER ROC 364
800
822
826
第二仪表
810
824
RFT 9739
820"
820'
820
井中出水量仪表
814
806
CORIOLIS 流量计
812
804
802
803
803'
803"
808

图 8