

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01F 1/84 (2006.01)  
G01F 25/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480044022.2

[45] 授权公告日 2009 年 11 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 100559132C

[22] 申请日 2004.9.17

[21] 申请号 200480044022.2

[86] 国际申请 PCT/US2004/030492 2004.9.17

[87] 国际公布 WO2006/041427 英 2006.4.20

[85] 进入国家阶段日期 2007.3.19

[73] 专利权人 艾默生电气公司

地址 美国密苏里州

[72] 发明人 M·A·施洛泽 J·C·迪尔

J·L·怀特利

[56] 参考文献

EP0701107B1 2000.3.15

US6502466B1 2003.1.7

WO00/71979A1 2000.11.30

审查员 王 蕾

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王 岳 陈景峻

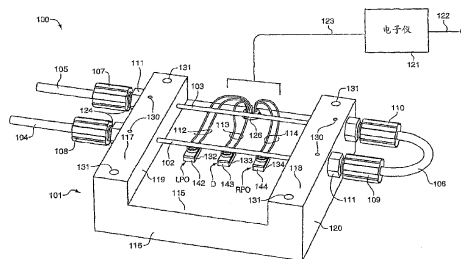
权利要求书 6 页 说明书 20 页 附图 13 页

[54] 发明名称

用于 Coriolis 流量仪的补偿方法和设备

[57] 摘要

本发明公开了一种用于为 Coriolis 流量仪提供温度流速补偿的方法和设备(121)。所描述的补偿补偿流量振荡因素和当前技术中称给“零”的额定时间延迟。在一个 Coriolis 流量仪被安装到一个过程之后, 不管该流量仪是用于校准还是用于实际的过程使用, 在安装之后它在整个生命周期中只需要被归零一次。相对于在压力或温度的微小改变或安装之后可能需要重新归零的当前技术 Coriolis 流量仪, 这是显著的改善。



1. 一种为具有至少一个流管的 Coriolis 流量计提供热补偿的方法，所述方法包括以下步骤：

生成表示所述流管的 Coriolis 偏差的第一信号；

生成表示所述流量计的特性的第二信号，其中所述特性包括所述 Coriolis 流量计的驱动频率  $F$  和导致的时间延迟  $\Delta t$ ；

特征在于提供使用所述第一和第二信号的电子仪，该电子仪用于提供对所述 Coriolis 流量计的所述输出信号的热补偿。

2. 权利要求 1 所述的方法，其中所述提供热补偿的步骤包括：

从主 Coriolis 流量计接收校准的质量流速，和

使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿。

3. 权利要求 2 所述的方法，其中所述提供热补偿的步骤包括：

使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来导出所述 Coriolis 流量计的校准常数；和

使用所述校准常数来为所述 Coriolis 流量计提供热补偿。

4. 权利要求 1 所述的方法，还包括响应于所述生成所述第一和第二信号和为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿，来确定所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速的步骤。

5. 权利要求 1 所述的方法，还包括如下步骤：

接收表示所述 Coriolis 流量计的校准常数的第三信号；和

使用所述第一和所述第二和所述第三信号和所述校准常数来确定所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速。

6. 权利要求 4 所述的方法，还包括以下步骤：

根据所述第二信号确定驱动频率  $F$ ；

导出用于零的线性频率校准常数  $\alpha_F$ ；和

使用所述驱动频率  $F$  和所述用于零的线性频率校准常数  $\alpha_F$  来导出所述热补偿的流速。

7. 权利要求 6 所述的方法，还包括以下步骤：

导出流量的系数  $\alpha_m$ ；

使用所述驱动频率  $F$  和所述用于零的线性驱动频率常数  $\alpha_F$  和所述流量的常数  $\alpha_m$  来导出所述热补偿的流速。

8. 权利要求 7 所述的方法，还包括以下步骤：

导出流量的线性频率临时常数 $\alpha_{mF}$ ；和

使用所述驱动频率 F 和所述用于零的线性驱动频率常数 $\alpha_F$ 和所述流量的常数 $\alpha_m$ 和所述流量的线性频率临时常数 $\alpha_{mF}$ 来导出所述热补偿的质量流速。

9. 权利要求 3 所述的方法，其中所述导出所述校准常数的步骤包括以下步骤：

从主 Coriolis 流量计接收质量流速 $\dot{m}$ ；

使用所述接收的质量流速 $\dot{m}$ 和所述第二信号来导出所述 Coriolis 流量计的所述校准常数。

10. 权利要求 9 所述的方法，其中所述生成所述校准常数的步骤还包括以下步骤：

接收所述第二信号，以便导出流导致的时间延迟 $\Delta t$ 和所述 Coriolis 流量计的所述驱动频率 F；和

使用所述第一信号和所述流导致的时间延迟 $\Delta t$ 和所述驱动频率 F，来导出所述 Coriolis 流量计的所述校准常数。

11. 权利要求 10 所述的方法，其中所述生成所述校准常数的步骤还包括以下步骤：

导出额定时间延迟 $\Delta t_0$ 的线性驱动频率常数 $\alpha_F$ ；

使用所述驱动频率 F 和所述额定时间延迟 $\Delta t_0$ 的线性驱动频率常数 $\alpha_F$ 来导出所述校准常数。

12. 权利要求 9 - 11 中任何一个权利要求所述的方法，其中所述校准常数是：

$\Delta t_0$ ， $\alpha_F$ ， $\alpha_m$ ， $\alpha_{mF}$ ，

其中

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  与流量校准因素 FCF 相关的系数

$\alpha_{mF}$  线性频率临时常数。

13. 权利要求 2 所述的方法，还包括以下步骤：

根据生成所述第一和第二信号以及为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿，确定为所述 Coriolis 流量计的热补偿流速。

14. 权利要求 3 所述的方法，还包括以下步骤：

根据生成所述第一和第二信号以及为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿，确定为所述 Coriolis 流量计的热补偿流速。

15. 权利要求 3-11 和 13-14 中任何一个权利要求所述的方法，其中所述导出所述校准常数的步骤包括求解下式的步骤：

$$\begin{bmatrix} \Delta t_0 \\ \alpha_F \\ \alpha_m \\ \alpha_{mF} \end{bmatrix} = \text{pinv} \left( \begin{bmatrix} 1 & (F-F_0) & m & m(F-F_0) \end{bmatrix} \right) \Delta t \quad 1.10$$

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$m$  质量流速

$F$  驱动频率

$F_0$  驱动频率 - 额定零流量

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  与流量校准因素 FCF 相关的系数

$\alpha_{mF}$  线性频率临时常数。

16. 权利要求 4-8 和 13-14 中任何一个所述的方法，其中所述确定所述热补偿的质量流速的步骤包括求解下式的步骤：

$$m = \frac{\Delta t - \Delta t_0 - (F - F_0) \alpha_F}{\alpha_m + (F - F_0) \alpha_{mF}} \quad 1.5$$

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$m$  质量流速

$F$  驱动频率

$F_0$  零驱动频率

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  与流量校准因素 FCF 相关的常数

$\alpha_{mF}$  线性流量校准因素 FCF 频率临时常数。

17. 一种为具有至少一个流管的 Coriolis 流量计提供热补偿的设备；所述设备包括：

生成表示所述流管的 Coriolis 偏差的第一信号的装置（1002）；

生成表示所述流量计的特性的第二信号的装置（1004），其中所述特性包括所述 Coriolis 流量计的驱动频率  $F$  和导致的时间延迟  $\Delta t$ ；

特征在于提供使用所述第一和第二信号电子仪（121），该电子仪用于提供对所述 Coriolis 流量计的所述输出信号的热补偿。

18. 权利要求 17 所述的设备，其中所述提供热补偿的装置包括：从主 Coriolis 流量计接收校准的质量流速的装置（1003），和使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿的装置（1006，1106）。

19. 权利要求 18 所述的设备，其中所述提供热补偿的装置还包括：

使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来导出所述 Coriolis 流量计的校准常数的装置（1006）；和

使用所述校准常数和所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来为所述 Coriolis 流量计提供热补偿的装置（1106）。

20. 权利要求 17 所述的设备，包括响应于所述生成所述第一和第二信号和为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿，来确定所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速的装置（1106）。

21. 权利要求 17 所述的设备，还包括：

接收表示所述 Coriolis 流量计的校准常数的第三信号的装置（1106）；和

使用所述第一和所述第二和所述第三信号和所述校准常数来确定所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速的装置。

22. 权利要求 17 所述的设备，还包括：

根据所述第二信号确定驱动频率  $F$  的装置（1004）；

导出用于零的线性频率校准常数  $\alpha_F$  的装置（1006）；

导出流量的系数  $\alpha_m$  的装置（1006）；

导出流量的线性频率临时常数  $\alpha_{mF}$  的装置（1006）；

使用所述驱动频率  $F$  和所述用于零的线性频率常数  $\alpha_F$  和所述流量

的常数 $\alpha_m$ 和所述流量的线性频率临时常数 $\alpha_{mF}$ 来导出所述热补偿的质量流速的装置(1106)。

23. 权利要求19所述的设备, 其中所述导出所述校准常数的装置(1006)包括:

从主 Coriolis 流量计接收质量流速 $m$ 的装置(1006);

接收所述第二信号以便导出流导致的时间延迟 $\Delta t$ 和所述 Coriolis 流量计的所述驱动频率 $F$ 的装置(1006);

导出额定时间延迟 $\Delta t_0$ 的线性驱动频率常数 $\alpha_F$ 的装置(1006);

使用所述驱动频率 $F$ 和所述额定时间延迟 $\Delta t_0$ 的线性驱动频率常数 $\alpha_F$ 和所述质量流速 $m$ 来导出所述校准常数的装置(1006)。

24. 权利要求19、21和23中任何一个权利要求所述的设备, 其中所述校准常数包括

$\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$ ,

其中

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  与流量校准因素 FCF 相关的系数

$\alpha_{mF}$  线性频率临时常数。

25. 权利要求21和23中任何一个权利要求所述的设备, 其中所述导出所述校准常数的装置(1006)包括求解下式的装置:

$$\begin{bmatrix} \Delta t_0 \\ \alpha_F \\ \alpha_m \\ \alpha_{mF} \end{bmatrix} = \text{pinv} \left( \begin{bmatrix} 1 & (F-F_0) & m & m(F-F_0) \end{bmatrix} \right) \Delta t \quad 1.10$$

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$m$  质量流速

$F$  驱动频率

$F_0$  驱动频率 - 额定零流量

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  与流量校准因素 FCF 相关的系数

$\alpha_{mF}$  线性频率临时常数。

26. 权利要求 18 所述的设备, 包括确定装置 (1106), 用于根据生成所述第一和第二信号以及为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿, 确定为所述 Coriolis 流量计的热补偿流速。

27. 权利要求 19 所述的设备, 包括确定装置 (1106), 用于根据生成所述第一和第二信号以及为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿, 确定为所述 Coriolis 流量计的热补偿流速。

28. 权利要求 20、22、26 和 27 中任何一个权利要求所述的设备, 其中所述导出所述热补偿的质量流速的装置 (1106) 求解下式:

$$\dot{m} = \frac{\Delta t - \Delta t_0 - (F - F_0)\alpha_F}{[\alpha_{\dot{m}} + (F - F_0)\alpha_{mF}]}$$
 1.5

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$\dot{m}$  质量流速

F 驱动频率

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_{\dot{m}}$  与流量校准因素 FCF 相关的常数

$\alpha_{mF}$  线性流量校准因素 FCF 频率临时常数。

## 用于 Coriolis 流量仪的补偿方法和设备

### 技术领域

本发明涉及用于 Coriolis 流量仪的补偿方法和设备。

### 背景技术

已知使用 Coriolis 效果质量流量仪测量管线之中流过的材料的质量流量和其它信息，如在 1985 年 1 月 1 日授权给 J.E. Smith 等人的专利号为 4, 491, 025 的美国专利和 1882 年 2 月 11 日给 J.E. Smith 的 Re. 31, 450 中所公开的。填充在流管 (flow tube) 中的每种材料被驱动以这些自然模式之一的谐振而振荡。这种自然振荡模式部分由所述流管的组合质量和流管中的材料来定义。材料从在进口侧连接的管线流入流量仪。该材料随后经过一个或多个流管并且传送到在出口侧连接的管线。

驱动器施加使得流管振荡的力。当没有流量通过 Coriolis 流量仪时，沿着流管的所有点以相同的相位振荡。当材料开始流动，Coriolis 加速度使沿着流管的每个点相对于沿着流管的其它点具有不同相位。在该流管入口侧的相位滞后于该驱动器；在出口侧的相位领先于该驱动器。在该流管上的拾取 (pick-off) 传感器产生表示该流管的运动的正弦曲线信号。在两个传感器信号之间的相位差正比于流经该一个或多个流管的材料的质量流速。

已知对具有不同流管结构的 Coriolis 流量仪的使用。这些流管结构有单流管、双流管、直流管、弯流管和不规则结构的流管。大部分 Coriolis 流量仪由金属构成，比如铝、钢、不锈钢和钛。玻璃流管也是已知的。在当前技术中，大部分直连续路径 Coriolis 流量仪由金属构成，特别是由钛构成。

已知随着操作因素改变，Coriolis 流量仪的特性可能受到影响。这些因素可以是内部因素，比如，与 Coriolis 流量仪的发送器相关的电子部件的偏差，或者是外部因素，比如，输送管气压、浓度、粘度的波动，或是周围温度的变化和 Coriolis 流量仪的驱动频率的变化。大部分当前技术关注的是通过更新或修改电路配置或通过调整流量校准因

素来补偿这些变化。这些方法的例子如 Zolock 所有的美国专利号 5,231,884 和 Van Cleve 等所有的美国专利申请号 09/343,836 中所述。

Coriolis 流量计可以在受控条件下运行，其中压力、浓度和粘度维持恒定，以便减小补偿这些参数的波动的复杂性。但是，这并非总是可行的，因为通常难以阻止工艺材料的温度或 Coriolis 流量计所在的操作环境的温度的波动。当压力、浓度和粘度保持恒定的时候，可以通过使用附着在 Coriolis 流量计的一个或多个部分的热传感器（通常称为 RTD）来实现对该 Coriolis 流量计的温度补偿。该 RTD 测量它所附着的流量计部分的操作温度。RTD 信息和驱动频率信息被施加到电子仪，该电子仪产生温度补偿的质量流速输出。流管拾取信号生成未补偿的质量流量信号，该信号被施加到所述电子仪，该电子仪改变未补偿的接收的质量流速信号以产生驱动频率补偿的质量流量输出信号。

使用 RTD 热传感器来进行温度补偿存在缺点。第一个缺点是该热传感器不能附着在该流管的振荡部分，因为该传感器的附加重量将会改变该流管的振荡特性并且降低输出信号的准确度。因而，该热传感器必须附着在该 Coriolis 流量计的其它部分，或者是该 Coriolis 流量计的输入或输出线上。因此，该热传感器不能用于直接测量该流管的振荡部分的工艺材料的温度。因为精确的温度补偿要求测量该流管的活动部分内的材料的温度，使用其它安装位置，比如流管的输入或输出线上的位置，得到的温度不同于期望的温度。这导致该电子仪产生的该温度补偿的流速输出信号不准确。

使用热传感器的第二个缺点是，因为它们不是安装在振荡的流管的活动部分，在该热传感器检测到热变化的时间和该流管材料温度改变的时间之间存在时间差。该时间差进一步导致该流量计产生的补偿的质量流速输出信号中的不准确性。

当前技术包括题目为“用于 Coriolis 质量流量计中用于液体可压缩性补偿的系统和方法”的美国专利 6,502,466，其中公开了一种具有流管和耦合到该流管的执行电路的 Coriolis 质量流量计，该执行电路在振荡的变化频率激发该流管，还公开了一种同样操作液体可压缩性的补偿效果的方法。在一个实施例中，该 Coriolis 质量流量计包括：

(1) 耦合到该流管的流速测量电路，用于测量以第一振荡频率流经该

流管的液体的第一质量流速和以第二振荡频率流经该流管的液体的第二流速，和(2)耦合到流速测量电路的液体可压缩性补偿电路，其应用该第一和第二质量流速来确定该液体的频率响应和根据该频率响应调节的液体可压缩性补偿。

当前技术包括题目为“振荡管仪”的W000/71979，其中公开了一种诸如Coriolis仪的振荡管仪，通过测量振荡特性，特别是两个不同振荡模式的谐振频率，可以获得对诸如浓度的液体参数的精确测量，基本与应力无关。根据所述测量可以确定应力和其它变化。因为对应力的测量或补偿直接基于振荡特性，比使用传统的应变仪来测量应力能获得更高的精确度。所公开的技术可以给出精确结果，而不需要对仪器设计的特别约束。

当前技术包括题目为“振荡测量仪器”的EP0 701 107 A，其公开了由相位差计算单元获得的相位差的精确性通过频率比计算单元和温度计算单元的校正得到改善，该温度计算单元认为振荡传感器的每个输出信号的相位或时间差表示液体的质量流量或浓度是温度和测量管上的轴向力的函数，或者该轴向力是两个振荡频率之间的比率的函数。

#### 发明内容

本发明通过提供一种避免使用热传感器来对Coriolis流量计进行温度补偿的方法和设备，解决了上述和其它问题并且实现对当前技术的改进。本发明的方法和设备监控所述流管的驱动频率以提供温度补偿。该Coriolis流量计在除了温度以外对于该流管频率有影响的所有参数都被保持恒定的环境中运行。这些因素包括稳定性或校准因素敏感性，它们都可以影响驱动频率。其它这样的参数包括材料浓度、粘度和压力。在这些受控环境下，振荡频率的改变一定由于温度的改变，这改变了早期系数(Young modulus)和振荡的流管稳定性。

依照本发明的优选实施例设计的Coriolis流量计在补偿领域具有优点。本发明不仅能补偿流量校准，还可以调整当前技术中称为“零”的额定的时间延迟 $\Delta t_0$ 。这意味着在一个Coriolis流量计被安装到一个过程中之后，不管该流量计是用于校准还是用于实际的过程使用，在安装之后只需要被调整归零一次。相对于在压力或温度的微小改变之后可能需要重新归零的Coriolis流量计，这是显著的改善。

在仪器校准时在所述流管上的温度影响通过监视该材料流的频率和温度变化来表征，并且实际温度被改变。随后在所述电子仪中确定和存储用于补偿流量的校准常数。在运行期间，监视该材料流和该流管的振荡的频率。来自于所述仪器的得到的温度变化和频率信息被施加到该电子仪，该电子仪使用所存储的校准常数来计算温度补偿的质量流速  $m$ 。

使用流管频率来产生温度补偿的质量流量，相对于使用热传感器是有利的，因为对频率中的变化加以检测以便一旦检测到频率变化就立刻产生补偿的质量流速信号中的改变。流管频率的瞬时变化被施加到所述电子仪，该电子仪产生相对于流管温度的变化具有增加的准确性的校正的补偿的质量流速信号。

本发明的一个方面包括用于为具有至少一个流管的 Coriolis 流量计提供热补偿的方法；所述方法包括以下步骤：

生成表示所述流管的 Coriolis 偏差的第一信号；

生成表示所述流量计的特性的第二信号，其中所述特性包括所述 Coriolis 流量计的驱动频率  $F$  和导致的时间延迟  $\Delta t$ ；

特征在于提供使用所述第一和第二信号电子仪，该电子仪用于提供对所述 Coriolis 流量计的所述输出信号的热补偿。

优选的，该方法所包括的提供热补偿的步骤包括以下步骤：

从主 Coriolis 流量计接收校准的质量流速，和

使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿。

优选的，该方法包括的提供热补偿的所述步骤包括以下步骤：

使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来导出所述 Coriolis 流量计的校准常数；和

使用所述校准常数来为所述 Coriolis 流量计提供热补偿。

优选的，该方法还包括另一个步骤，即响应于所述生成所述第一和第二信号和为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿，来确定所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速。

优选的，该方法还包括如下步骤：

接收表示所述 Coriolis 流量计的校准常数的第三信号；和

使用所述第一和所述第二和所述第三信号和所述校准常数来确定

所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速。

优选的，该方法还包括以下步骤：

根据所述第二信号确定驱动频率  $F$ ；

导出用于零的线性频率校准常数  $\alpha_F$ ；和

使用所述驱动频率  $F$  和所述用于零的线性频率校准常数  $\alpha_F$  来导出所述热补偿的流速。

优选的，该方法还包括补偿的质量流速，包括以下附加步骤：

导出流量的系数  $\alpha_m$ ；

使用所述驱动频率  $F$  和所述用于零的线性频率常数  $\alpha_F$  和所述流量的常数  $\alpha_m$  来导出所述热补偿的流速。

优选的，该方法还包括以下步骤：

导出流量的线性频率（临时）常数  $\alpha_{mF}$ ；和

使用所述驱动频率  $F$  和所述用于零的线性频率常数  $\alpha_F$  和所述流量的常数  $\alpha_m$  和所述流量的线性频率（临时）常数  $\alpha_{mF}$  来导出所述热补偿的质量流速。

优选的，该方法还包括导出所述校准常数的步骤，该步骤包括：

从主 Coriolis 流量计接收质量流速  $m$ ；

使用所述接收的质量流速  $m$  和所述第二信号来导出所述 Coriolis 流量计的所述校准常数。

优选的，该方法包括产生所述校准常数的步骤，该步骤包括：

接收所述第二信号，以便导出流导致的时间延迟  $\Delta t$  和所述

Coriolis 流量计的所述驱动频率  $F$ ；和

使用所述第一信号和所述流导致的时间延迟  $\Delta t$  和所述驱动频率  $F$ ，来导出所述 Coriolis 流量计的所述校准常数。

优选的，该方法包括的产生所述校准常数的步骤包括以下步骤：

导出额定时间延迟  $\Delta t_0$  的线性驱动频率常数  $\alpha_F$ ；

使用所述驱动频率  $F$  和所述额定时间延迟  $\Delta t_0$  的线性驱动频率常数  $\alpha_F$  来导出所述校准常数。

优选的，该方法还包括如下校准常数：

$\Delta t_0$ ， $\alpha_F$ ， $\alpha_m$ ， $\alpha_{mF}$ 。

优选的，该方法还包括导出所述校准常数的步骤，其包括求解下式的步骤：

$$\begin{bmatrix} \Delta t_0 \\ \alpha_F \\ \alpha_m \\ \alpha_{mF} \end{bmatrix} = \rho \nu \left( \begin{bmatrix} 1 & (F-F_0) & m & m(F-F_0) \end{bmatrix} \right) \Delta t \quad 1.10$$

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$m$  质量流速

$F$  驱动频率

$F_0$  驱动频率 - 额定零流量

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  与 FCF 相关的系数

$\alpha_{mF}$  线性频率 (临时) 常数

优选的, 该方法还包括确定所述热补偿的质量流速的步骤, 其包括求解下式的步骤:

$$m = \frac{\Delta t - \Delta t_0 - (F - F_0) \alpha_F}{[\alpha_m + (F - F_0) \alpha_{mF}]} \quad 1.5$$

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$m$  质量流速

$F$  驱动频率

$F_0$  零驱动频率

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  与 FCF 相关的常数

$\alpha_{mF}$  线性 FCF 频率 (临时) 常数

本发明的另一个方面包括用于为具有至少一个流管的 Coriolis 流量计提供热补偿的设备; 所述设备包括:

生成表示所述流管的 Coriolis 偏差的第一信号的装置;

生成表示所述流量计的特性的第二信号的装置, 其中所述特性包括所述 Coriolis 流量计的驱动频率  $F$  和导致的时间延迟  $\Delta t$ ;

特征在于提供使用所述第一和第二信号的电子仪，该电子仪用于提供对所述 Coriolis 流量计的所述输出信号的热补偿。

优选的，所述提供热补偿的装置包括：

从主 Coriolis 流量计接收校准的质量流速的装置，和  
使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿的装置。

优选的，所述提供热补偿的装置还包括：

使用所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来导出所述 Coriolis 流量计的校准常数的装置；和

使用所述校准常数和所述第一和所述第二信号和所述校准的质量流速来为所述 Coriolis 流量计提供热补偿的装置。

优选的，该设备还包括响应于所述生成所述第一和第二信号和为所述 Coriolis 流量计提供所述热补偿，来确定所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速的装置。

优选的，该设备包括：

接收表示所述 Coriolis 流量计的校准常数的第三信号的装置；和  
使用所述第一和所述第二和所述第三信号和所述校准常数来确定所述 Coriolis 流量计的热补偿的流速的装置。

优选的，该设备还包括：

根据所述第二信号确定驱动频率  $F$  的装置；  
导出用于零的线性频率校准常数  $\alpha_F$  的装置；和  
导出流量的系数  $\alpha_m$  的装置；  
导出流量的线性频率（临时）常数  $\alpha_{mF}$  的装置；  
使用所述驱动频率  $F$  和所述用于零的线性频率常数  $\alpha_F$  和所述流量的常数  $\alpha_m$  和所述流量的线性频率（临时）常数  $\alpha_{mF}$  来导出所述热补偿的质量流速的装置。

优选的，所述导出所述校准常数的装置包括：

从主 Coriolis 流量计接收质量流速  $m$  的装置；  
接收所述第二信号以便导出流导致的时间延迟  $\Delta t$  和所述 Coriolis 流量计的所述驱动频率  $F$  的装置；和

导出额定时间延迟  $\Delta t_0$  的线性驱动频率常数  $\alpha_F$  的装置；

使用所述驱动频率  $F$  和所述额定时间延迟  $\Delta t_0$  的线性驱动频率常

数  $\alpha_F$  和所述质量流速  $\dot{m}$  来导出所述校准常数的装置。

优选的，所述校准常数是：

$$\Delta t_0, \alpha_F, \alpha_{\dot{m}}, \alpha_{\dot{m}F}$$

优选的，所述导出所述校准常数的装置包括求解下式的装置：

$$\begin{bmatrix} \Delta t_0 \\ \alpha_F \\ \alpha_{\dot{m}} \\ \alpha_{\dot{m}F} \end{bmatrix} = \text{pinv} \left( \begin{bmatrix} 1 & (F-F_0) & \dot{m} & \dot{m}(F-F_0) \end{bmatrix} \right) \Delta t \quad 1.10$$

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$\dot{m}$  质量流速

$F$  驱动频率

$F_0$  驱动频率 - 额定零流量

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_{\dot{m}}$  与 FCF 相关的系数

$\alpha_{\dot{m}F}$  线性频率（临时）常数

优选的，所述导出所述热补偿的质量流速的装置求解下式：

$$\dot{m} = \frac{\Delta t - \Delta t_0 - (F - F_0) \alpha_F}{\alpha_{\dot{m}} + (F - F_0) \alpha_{\dot{m}F}} \quad 1.5$$

其中

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  额定时间延迟

$\dot{m}$  质量流速

$F$  驱动频率

$F_0$  零驱动频率

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_{\dot{m}}$  与 FCF 相关的常数

$\alpha_{\dot{m}F}$  线性 FCF 频率（临时）常数

附图说明

参考以下结合附图对本发明的详细说明，能够更好地理解本发明的这些和其它特征和优点，其中：

图 1 示出了实现了本发明的第一示例性 Coriolis 流量计的透视图；

图 2 是图 1 的实施例的顶视图。

图 3 是图 1 的实施例的前视图。

图 4 是沿着图 2 的线 4-4 的截面图。

图 5 是示出驱动频率和流管温度之间的关系的曲线图。

图 6 是示出驱动频率和材料浓度之间的关系的曲线图。

图 7-9 是示出在校准期间的数据收集的视图。

图 10-11 是用于校准 Coriolis 流量计和确定质量流速  $m$  的方法的流程图。

图 12 示出了校准常数的推导。

图 13 和 14 示出了使用频率变化来提供热补偿和使用 RTD 提供热补偿之间的可比精确性。

图 15 示出了图 1 的电子仪 121 的其它细节。

## 具体实施方式

### 术语

FCF 当前技术流量校准因素

$\alpha$  当前技术 FCF 温度系数

$\Delta t$  流导致时间延迟

$\Delta t_0$  零流量的额定时间延迟

$m$  质量流速

F 操作驱动频率

$F_0$  制造商选择的额定驱动频率（在一般热条件下）

ZERO (F) 描述没有额定时间延迟的效果频率， $\Delta t_0$  等于  $\Delta t_0 +$

$(F - F_0) \alpha_F$

$\alpha_F$  用于零的线性频率常数

$\alpha_m$  将  $\Delta t$  与质量流量相关联的比例系数。与当前技术中的 FCF 类似。

$\alpha_{mF}$   $\alpha_m$  的线性频率（临时）系数。与当前技术中的  $\alpha$  类似。

FMUT 被测试的流量计。

### 图 1 的描述

图 1 是实现了本发明的 Coriolis 流量计的第一可能示范实施例的透视图。该图示出了流量计 100，其具有通过基板 101 的引脚 117、118 插入的流管 102。拾取器 LP0 和 RP0 和驱动器 D 耦合到流管 102。流量计 100 接收来自供应管 104 的工艺材料，并且通过工艺连接件 108 将流动延伸到流管 102。流管 102 被驱动器 D 驱动，以与材料流共振的频率来振荡。得到的 Coriolis 偏差由拾取器 LP0 和 RP0 来检测，该拾取器通过导体 112 和 114 将信号提供给 Coriolis 电子流量计 121。Coriolis 电子流量计 121 接收拾取器信号，确定两个拾取器信号之间的相位差，确定振荡的频率并且将关于该材料流的信息通过输出路径 122 提供给利用电路，该利用电路在图中未示出。电子仪 121 在图 15 中详细描绘。

该材料流从流管 102 流向管 106，管 106 引导该材料流通过返回管 103，然后该材料流通过工艺连接件 107 到达出口管 105，出口管 105 将该材料流传送给用户应用。

工艺连接件 107、108、109 和 110 将管 104、105 和 106 连接到流管 102 和返回管的端部。该工艺连接件具有固定部分 111，该部分包括螺纹 124。锁孔 130 容纳固定螺丝 411 以便将部件 111 与基板 101 稳固连接，如图 4 所示。工艺连接件 107 的可移动部分通过 110 旋到阳螺纹 124 上，以便将它们各自的管连接到该工艺连接件的固定体上，六角螺母部分 111 是该固定体的一部分。这些工艺连接件以与已知的铜管扩张 (copper tubing flared) 工艺连接件类似的方式工作，将管 104、105 和 106 连接到流管 102 和返回管 103 的端部。关于该工艺连接件的细节在图 4 中进一步描述。

### 图 2 的描述

图 2 是图 1 的流量计 100 的顶视图。拾取器 LP0 和 RP0 和驱动器 D 各自包括线圈 C。这些元件每一个还包括附着在流管 102 的底部的磁体，如图 3 所示。这些元件每一个都包括基底，比如驱动器 D 的 143，以及材料薄片，比如驱动器的 133。该材料薄片可以包括印刷线路板，线圈 C 和其绕组端固定到该印刷线路板。拾取器 LP0 和 RP0 也具有相

应的基底部件和固定到该基底部件顶部的薄片。该结构有助于安装驱动器或拾取器，通过以下步骤来完成，将磁体 M 粘贴到流管的下侧，将线圈 C 粘贴到印刷电路板 133（对于驱动器 D 来说），将线圈 C 的开口放置得围绕磁体 M，向上移动线圈 C 以使得磁体 M 完全进入线圈 C，然后将基底部件 143 置于印刷电路板 133 下方，并且将这些部件粘合在一起，使得基底 143 的底部通过粘合固定到大基板 116 的表面。

图 2 示出了工艺连接件 107-110 的阳螺纹 124。这些元件每一个的内部细节在图 4 中示出。开口 132 容纳导体 112、113 和 114。为了简化起见，图 2 中没有示出图 1 的 Coriolis 电子流量计 121。但是，应该理解导体 112、113 和 114 延伸通过开口 132，并且进一步在图 1 的路径 123 上延伸，到达图 1 的 Coriolis 电子流量计。

#### 图 3 和图 4 的描述

图 3 示出了拾取器 LP0 和 RP0 和驱动器 D，它们包括附着在流管 102 底部的磁体 M，和附着在拾取器 LP0 和 RP0 和驱动器 D 每一个的基底的线圈 C。

图 4 是沿着图 2 的线 4-4 的剖面。图 4 公开了图 3 的所有元件，还有工艺连接件 108 和 109 的细节，以及 O-rings 430。O-rings 430 将流管 102 耦合到基板 401。图 4 还公开了基板 101 上的开口 402、403 和 404。这些开口的每一个的顶部延伸到拾取器 LP0 和 RP0 和驱动器 D 的基底的下表面。线圈 C 和磁体 M 如图 4 所示彼此关联。图 1 的 Coriolis 电子流量计 121 在图 3 和图 4 中没有示出，以便简化附图。工艺连接件 108 的元件 405 在流管 102 的入口；工艺连接件 109 的元件 406 在流管 102 的出口。

工艺连接件 108 的固定部分 111 包括阳螺纹 409，该固定部分旋入基板 401 上的容纳孔 420 内的配合螺纹之中，以便将固定部分 111 附加到基板 101 的 401 部。右边的工艺连接件 109 的固定部分类似的通过螺纹 409 安装和附加到位于基板 101 的 401 部内的容纳孔 420 之中。

工艺连接件 108 的固定部分 111 还包括带螺纹的部分 124，其螺纹容纳工艺连接件 108 的可移动部分 415。工艺连接件 109 类似装配。工艺连接件 108 的固定部分 111 在其左端还包括圆锥形的短柱 413，其与可移动部分 415 一起作为适合将输入管 104 的右端压在固定部分 111

的圆锥形的短柱 (stub) 413 上的端部接头 (flare fitting)。这产生了将供应管 104 的扩张开口 (flared opening) 紧密固定到该工艺连接件的固定部分 111 的圆锥形的短柱 413 的压缩接头。流管 102 的入口位于工艺连接件的固定部分 111 中, 并且与短柱 413 的面 425 齐平。通过该装置, 供应管 104 传送的工艺材料由流管 102 的入口 405 接收。该工艺材料通过流管 102 流向右侧, 到达工艺连接件 109 的固定部分 111, 其中流管 102 的出口与短柱 413 的面 425 平齐。这将流管 102 的出口紧密固定到了连接器 109。图 1 的其它工艺连接件 107 和 110 与图 4 中对工艺连接件 108 和 109 的细节所述的相同。

#### 图 5-12 的一般讨论

本发明通过使用驱动频率作为流管温度改变的指示符来对 Coriolis 流量计的质量流量输出实现温度补偿。Coriolis 流量计通过计算在该 Coriolis 流量计的振荡流管的活动部分的入口和出口端之间的时间延迟 ( $\Delta t$ ) 来直接测量质量流量。测量在零流量的偏移时间延迟 ( $\Delta t_0$ ), 并且从在有流量期间计算的时间延迟中减去该偏移时间延迟, 以产生通过比例常数  $\alpha_m$  与质量流量直接成比例的值,  $\alpha_m$  在当前技术中称为校准因素 (FCF)。

液体浓度也影响该流管的驱动频率。为了理解频率对于温度和浓度的敏感性, 可以表征浓度影响并且将之与温度影响做比较。本发明的 Coriolis 流量计可以用于其特定比重相当有限的稀浆。当使用频率来进行温度补偿的时候, 必须估计和确定液体浓度变化的影响以确定质量流量。

流管材料响应温度的变化。为了准确计算质量流速, 必须考虑这些变化。传统上, 使用热传感器 RTD 来直接测量温度。它们设置在 Coriolis 管的非活动部分。这通常是在撑杆 (brace bar) 之外进行的。所公开的 Coriolis 流量计具有单个直流管。对此不存在可以通过在该流管上设置热传感器在其上进行代表流管的温度测量而不影响输出准确率的非活动位置。

本发明通过监视驱动频率来检测流管温度的变化。依照本发明使用驱动频率来确定温度变化和对流输出进行补偿引起以下问题。当前技术使用安装在流管的次要或非活动部分上的 RTD 热传感器测量温度和推断该 Coriolis 流管的温度。

本发明的方法和设备提高了温度确定的准确度，也改善了检测温度变化的仪器响应时间。

当使用频率作为检测和补偿温度变化的方式， $\Delta t$  上的泰勒级数展开 (taylor series expansion) 将  $\Delta t$  上的频率影响和质量流量隔离开。该展开用于视为流量方程，并且产生了最小平方伪逆问题。假定拾取延迟  $\Delta t$  是质量流量和驱动频率的函数。

$$\Delta t = f(\dot{m}, F) \quad 1.1$$

其可以利用泰勒级数关于一个操作点展开：

$$\Delta t = f(\dot{m}_0, F_0) + (\dot{m} - \dot{m}_0) \frac{\partial f}{\partial \dot{m}} + (F - F_0) \frac{\partial f}{\partial F} + \frac{1}{2} (\dot{m} - \dot{m}_0)(F - F_0) \frac{\partial^2 f}{\partial \dot{m} \partial F} + \dots \quad 1.2$$

公式 1.2 是完全展开，并且可以取出有限数目的高阶项。可以通过获取导致零流量和与温度呈线性关系的 FCF 的项，和导致零流量和与温度呈二次关系的 FCF 的项，来实现最佳拟合。但是，在本发明的传感器的操作温度 (18 - 28C) 上，行为是线性的就足够了，能仅仅使用频率项来线性影响 FCF 和  $\Delta t$ 。这样做并且重新标识偏导数，则得到：

$$\Delta t \equiv \Delta t_0 + \underbrace{(\dot{m} - \dot{m}_0) \alpha_{\dot{m}}}_{\text{zero term linear in frequency}} + \underbrace{(F - F_0) \alpha_F + (\dot{m} - \dot{m}_0)(F - F_0) \alpha_{\dot{m}F}}_{\text{flow term linear in frequency}} \quad 1.3$$

现在，通过将与零流量相关的项和与流量相关的项分组来重新排列所述项：

$$\Delta t \equiv [\Delta t_0 + (F - F_0) \alpha_F] + (\dot{m} - \dot{m}_0) [\alpha_{\dot{m}} + (F - F_0) \alpha_{\dot{m}F}] \quad 1.4$$

为方便起见，选择额定  $\dot{m}_0 = 0$ ，则公式 1.4 可以看作一个流量方程：

$$\dot{m} = \frac{\Delta t - \Delta t_0 - (F - F_0) \alpha_F}{[\alpha_{\dot{m}} + (F - F_0) \alpha_{\dot{m}F}]} \quad 1.5$$

当前技术方程是：

$$\dot{m} = FCF(1 - \alpha T)(\Delta t - \Delta t_0) \quad 1.6$$

在公式 1.5 和 1.6 之间进行类比，可以看出公式 1.5 中与“零”相关的部分是如下的频率函数：

$$ZERO(F) = [\Delta t_0 + (F - F_0)\alpha_F] \quad 1.7$$

并且公式 1.5 的与“流量校准因素”相关的部分是如下频率函数:

$$FCF(F) = \frac{1}{[\alpha_m + (F - F_0)\alpha_{mF}]} \quad 1.8$$

以向量方程的形式重写方程 1.4, 产生最小平方伪逆问题:

$$\Delta t = \begin{bmatrix} 1 & (F - F_0) & m & m(F - F_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta t_0 \\ \alpha_F \\ \alpha_m \\ \alpha_{mF} \end{bmatrix} \quad 1.9$$

假定当我们记录来自与主 Coriolis 流量计相连的序列的质量流量时, 我们可以记录来自该 Coriolis 流量计的  $\Delta t$  和驱动频率, 则我们可以通过在两边乘以行向量的伪逆, 来求解方程 1.4 中的列向量:

$$\begin{bmatrix} \Delta t_0 \\ \alpha_F \\ \alpha_m \\ \alpha_{mF} \end{bmatrix} = \text{pinv} \left( \begin{bmatrix} 1 & (F - F_0) & m & m(F - F_0) \end{bmatrix} \right) \Delta t \quad 1.10$$

方程 1.10 是本发明用来最优化表征传感器的温度依赖性需要使用的方程。

如前所述, 驱动频率具有对温度的线性依赖性。因此, 使用驱动频率来补偿流的温度影响是有利的。

#### 图 5 的描述

图 5 在线 501 和 502 上示出了两个流管传感器的驱动频率和温度之间的关系。该流管传感器被置于一个恒温器中, 其温度在 15 到 35C 之间循环。线性趋势线与线 501 和 502 各自的数据集拟合, 并且传感器的特定操作范围在虚线 503 和 504 之间显示。使用每个趋势线 501 和 502 的范围, 我们可以估计驱动频率的敏感性为整个温度摆幅 (swing) 对应 14Hz。

#### 图 6 的描述

图 6 在趋势线 601 和 602 上示出了对于两个相同传感器驱动频率和液体特定比重之间的关系。该传感器用于测量稀浆的流速, 该稀浆的

液体浓度在 1.0 到 1.3 SG 之间，如趋势线 603 和 604 所示。使用了三种液体来跨越传感器的浓度操作范围。每个传感器取三个数据点，并且趋势线与该数据拟合。使用每个趋势线的范围，我们可以估计驱动频率的敏感性为每个 SF 浓度摆幅 4Hz。这看起来很重要，但是应该注意到，每个 Coriolis 流量计安装在一个使用该范围内的特定液体的特定工艺之中。另外，一旦安装之后，用户通常将它们的工艺校准到实际流输出，消除由于该设备中的新的工艺液体所造成的误差。

图 7-12 的描述

图 7-12 描述了使用本发明的校准过程导出流量方程 1.5 的校准常数  $\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$ 。这些校准参数使用方程 1.10 来求出。一旦导出这些参数，将它们与驱动频率 F 的测量值和  $\Delta t$  (流导致的时间延迟) 用在流量公式 1.5 之中，来确定测量的流速  $m$ 。这在下段中详细描述。使用如下所述的四级过程导出该校准参数  $\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$ 。

主 Coriolis 流量计与要测量的 Coriolis 流量计串联，对其施加测试流。所述对应于下表 1 的运行 (Run) 1-4 的流数据用于校准。用于标识该主测量仪的质量流量和对  $\Delta t$  的温度/质量贡献的测试矩阵如表 1 所示。来自该主 Coriolis 流量计和串联的要测试的 Coriolis 流量计的测量到的质量流量如图 7 所示。

表 1

运行	质量流量 (g/min)	液体温度 C
1	350	28
2	50	28
3	350	18
4	50	18

使用表 1 的四个测试 run 测量到的来自该主 Coriolis 流量计和串联的要测试的 Coriolis 流量计的质量流量，在图 7 中进行描述。在图 7 中，该四个 run 一起示出，并且使用对应的温度值、驱动频率和主 Coriolis 流量计的  $m$ 。线 703 表示主 Coriolis 流量计的流速。

图 8 示出了从图 7 的四个测试 run 获得的数据。这是用来导出校准常数  $\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$  的值的的数据曲线图，如随后为方程 1.1

所描述的。线 803 表示主 Coriolis 流量计的流速。

图 9 示出使用频率补偿和温度 (RTD) 补偿用于稳定流速状态的结果。两个方法都给出了在稳定状态流情况下, 对 Coriolis 流量计的校准的良好数据拟合。图 9 在线 901 上示出了驱动频率, 在线 902 上示出了温度, 在线 903 上示出了每个 run 的流速  $m$ , 和在线 905 上示出了误差率。两个补偿方法的结果由线 905 来表示, 因为它们都与稳定状态流一致。两种方法的由零误差表示的准确性跨越线 905 的所有四个测试 run。

图 1 和 15 所示的电子仪 121, 执行实现图 7-9 所示的操作所需的数据处理函数。

#### 图 10 和 11 的描述

图 10 是描述本发明的用于导出校准常数的方法和设备的方框图 1000。图 10 示出了多个处理或程序步骤, 每个步骤表示在 Coriolis 电子流量计 121 的存储器 1502 中存储的一个或多个程序指令。该指令由 Coriolis 电子流量计 121 的处理器 1502 执行, 结果存储在该电子流量计的存储器 1501 中, 或者输出到用户路径 122。图 10 的过程导出校准常数  $\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$ 。导出的校准常数被输入到图 13, 在那里它们被用于推导出温度补偿的质量流速  $m$ 。

在图 10 中, 元件 1002 接收来自图 1 的 LPO 和 RPO 的输入拾取信号, 并且将它们施加到元件 1004, 该元件 1004 使用接收到信息来导出所测试的流量计的检测到的  $\Delta t$  和驱动频率  $F$ 。元件 1006 从元件 1003 接收表示串联的参考流量计的测量到的流速  $m$  的信号。元件 1006 从元件 1004 和 1003 接收上述的信息, 并且使用它们通过解方程 1.10 来导出校准常数  $\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$ 。

导出的校准常数从元件 1006 提供给图 11 的元件 1106。元件 1102 从图 1 的拾取器 LPO 和 RPO 接收输入拾取信号用于所测试的流量计。该信息被提供给元件 1104, 在元件 1104 导出所测试的流量计的  $\Delta t$  和驱动频率  $F$ , 并且将它们提供给元件 1106。元件 1106 接收元件 1104 和 1006 的输出, 并且通过使用元件 1106 表示的方程 1.5 来导出测试的流量计的温度补偿的质量流速。元件 1006 导出项  $\Delta t$  和  $\Delta t_0$ 。方程 1.5 的分子和分母中的式子  $F-F_0$  由元件 1106 从元件 1104 获取。项  $\alpha_F$  由元件 1004 获取。项  $\alpha_m$  和  $\alpha_{mF}$  从元件 1104 获取。

元件 1106 将所述的所有项应用到方程 1.5 的右边，以便从电子流量计 121 提供温度补偿的质量流速输出给图 1 的用户输出 122。

### 图 12 的描述

图 12 示出了本发明用来使用方程 1.10 导出校准参数  $\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$  的方法。导出测试的流量计 (FMUT) 的校准参数  $\Delta t_0$ ,  $\alpha_F$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_{mF}$  需要:

- 来自与测试的 Coriolis 流量计串联的串联参考流量计的实际流量测量值。

- 来自 FMUT 的温度测量值。

- 来自 FMUT 的驱动频率测量值。

当 FMUT 面临表 1 所示的处理条件时，这些测量值如下所示。

表 2

运行	理想的参考质量流量 (g/min)	理想的液体温度 C
1	350	28
2	50	28
3	350	18
4	50	18

由于 FMUT 基于其校准的流量的可控性的限制，实际的参考质量流量和液体温度与理想的参考质量流量和液体温度可能不同。

对于表 2 的每个 run，进行对于实际质量流量、FMUT 温度和 FMUT 驱动频率的多个测量。令:

M=Run1 期间三个前述数量的测量值的 #。

N=Run2 期间三个前述数量的测量值的 #。

O=Run3 期间三个前述数量的测量值的 #。

P=Run4 期间三个前述数量的测量值的 #。

在图 8 的校准 Run 期间，参考质量流量  $m$ 、FMUT 温度和 FMUT 驱动频率各自被测量 M+N+O+P 次。要求 M+N+O+P 至少等于使用方程 1.10 解出的参数的数值。但是，推荐 M+N+O+P 的和远远大于解出的参数的数值。这是我们试图解决的最小平方问题的定义。

为了减少模糊，假定 M=N=O=P，这样参考质量流量、FMUT 温度和

FMUT 驱动频率的总的测量次数是  $M$  的 4 倍。在尺寸上，图 12 还示出了方程 1.10 中所示、表 1 规定的、并且图 8 描绘的校准问题。

一旦获取了图 8 的数据并且解出了方程 1.10，就获得了四个值，即  $\Delta t_0$ ， $\alpha_F$ ， $\alpha_m$ ， $\alpha_{mF}$ 。这些是期望的校准常数。项  $\Delta t_0$  是 FMUT 的零偏移。该值来自于在传统方式下将该仪器归零（即按下零按钮）。项  $\alpha_F$  是线性频率（因而温度）对 FMUT 的零偏移的效果。项  $\alpha_m$  是 FMUT 的流量校准因素（FCF）。

项  $\alpha_{mF}$  是线性频率（因而温度）对 FMUT 的 FCF 的效果。现在这些校准参数可以在方程 1.5 中使用，以计算频率（因而温度）的 FMUT 质量流量补偿效果。

图 1 和 15 所示的电子流量计 121，执行要实现图 12 所示的操作所需的数据处理。

#### 图 13 的描述

图 13 示出了使用频率确定来实现热补偿和使用 RTD 热传感器来监视流管频率和提供热补偿的比较结果。图 13 清楚示出了基于频率的温度补偿与使用 RTD 的补偿相比的优点。线 1303 表示主 Coriolis 流量计所提供的质量流量。实线 1308 描绘了使用 RTD 传感器获得的结果。虚线 1309 示出了使用依照本发明的频率监视。

线 1303 描绘了驱动频率。线 1302 描绘了温度。线 1301 描绘了得到的质量流速。在线 1303 的直线部分，主仪器的结果、使用 RTD 和频率的结果与另一个结果重合，只在表示质量流速的突然变化的部分 1305、1306 和 1307 所表示的部分出现偏离。元素 1305 包含线 1303、1308 和 1309。线 1303 表示主仪器的质量流速。线 1308 表示 RTD 的响应。线 1309 表示使用频率监视的响应。可以看出，在元素 1305 所表示的转变期间，线 1303 和 1309 的响应基本相同。可以看出，元素 1305 的表示 RTD 的响应的响应 1308 与主仪器的响应明显偏离。可以相对于元素 1306 和 1307 进行同样的观察，其中由线 1309 描绘的使用频率补偿获得的结果比使用线 1308 描绘的表示使用 RTD 热补偿获得的结果，与由 1303 描绘的主仪器的响应更接近。

图 13 的质量流速  $\dot{m}_1$ ， $\dot{m}_2$ ， $\dot{m}_3$ ， $\dot{m}_4$  对应于图 7、8 和 9 相应指定的元素。

从图 13 的分析得出的结论是，当在质量流速的转变条件期间要求

准确性时，使用频率监视提供热补偿比使用 RTD 优越。

图 1 和 15 所示的电子仪 121，执行要实现图 13 所示的操作所需的数据处理。

#### 图 14 的描述

图 14 示出了使用频率监视和使用 RTD 的响应准确性的比较。线 1401 描绘了驱动频率，线 1402 描绘温度，线 1403 描绘质量流速。线 1404 表示使用频率监视与使用 RTD 相比较的补偿误差。可以看出，当质量流速基本恒定时，使用 RTD 与使用频率监视相比产生可比较的结果。但是，元素 1405、1406 和 1407 表示质量流速发生转变的情况。如元素 1405 所示，使用频率监视的响应 1415 比 RTD 的响应 1405 与主仪器的质量流速 1414 更接近。

图 1 和 15 所示的电子仪 121 执行实现图 14 所示的操作所需的数据处理。

#### 图 15 的描述

如图 15 所示，电子仪 121 包括处理器 1501 和存储器 1502。

处理器 1501 可以包括常规 CPU。或者，它可以包括特殊或专用处理器或 DSP。存储器 1502 可以包括任何类型的存储系统，诸如闪存或常规的 ROM 和 RAM，用于长期或短期地存储信息。

电子仪 121 通过路径 123 接收输入信息，并且将其输出信息通过路径 122 提供给用户。电子仪 121 通过路径 123 从拾取器 LPO 和 RPO 接收输入信息。这些拾取器信号在图 10 中在元件 1002 中示出。这些拾取器信号从元件 1002 提供给元件 1004，元件 1004 执行指定的功能并且将信息输出到元件 1006。元件 1002 和元件 1004 与图 11 中的元件 1102 和 1104 是复本。图 10 的元件 1006 接收元件 1004 和 1003 的输出，并且导出指定的校准常数。图 15 的存储器 1502 和处理器 1501 用于该功能。

图 11 的元件 1106 接收元件 1006 和 1104 的输出，并且通过解方程 1.5 导出指定的质量流速。这些功能由图 15 的存储器 1502 和处理器 1501 来执行。

电子仪 121 的存储器 1502 和处理器 1501 还用来执行图 5、6、7、8、9、12、13 和 14 所示的各种计算和功能。

应该理解本发明不局限于对本发明优选实施例的描述，而是包括

---

在本发明的范围和精神之内的其它修改和变更。尽管结合本发明描述了特定关系和方程，应该理解本发明包括对所公开的方程和关系的修改并且可以利用这种修改来实现。虽然结合 Coriolis 流量计示出了本发明的方法和设备，但是应该理解本发明的方法和设备可以使用其它类型的 Coriolis 流量计，包括具有金属、塑料或玻璃流管的 Coriolis 流量计。

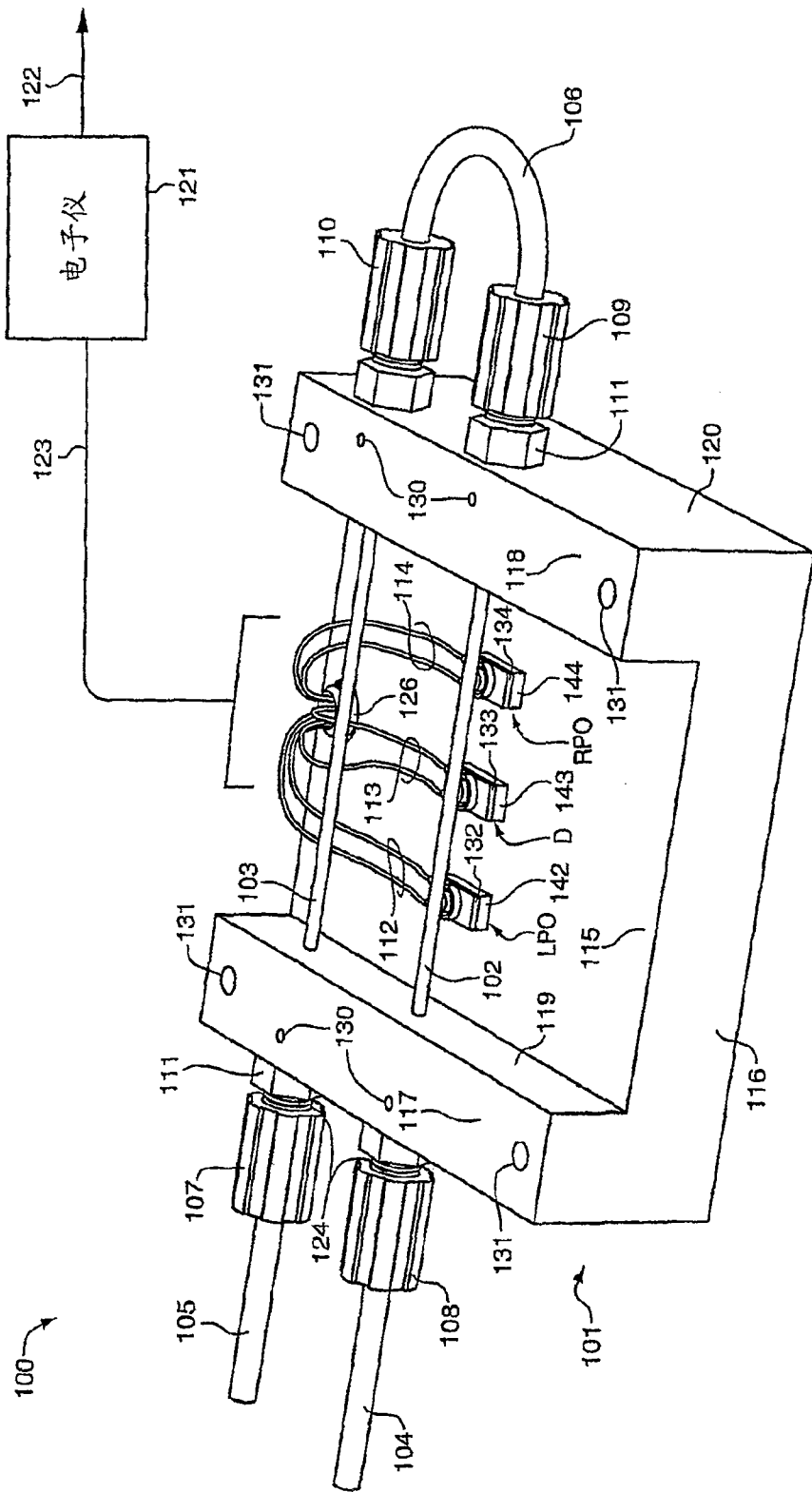


图 1

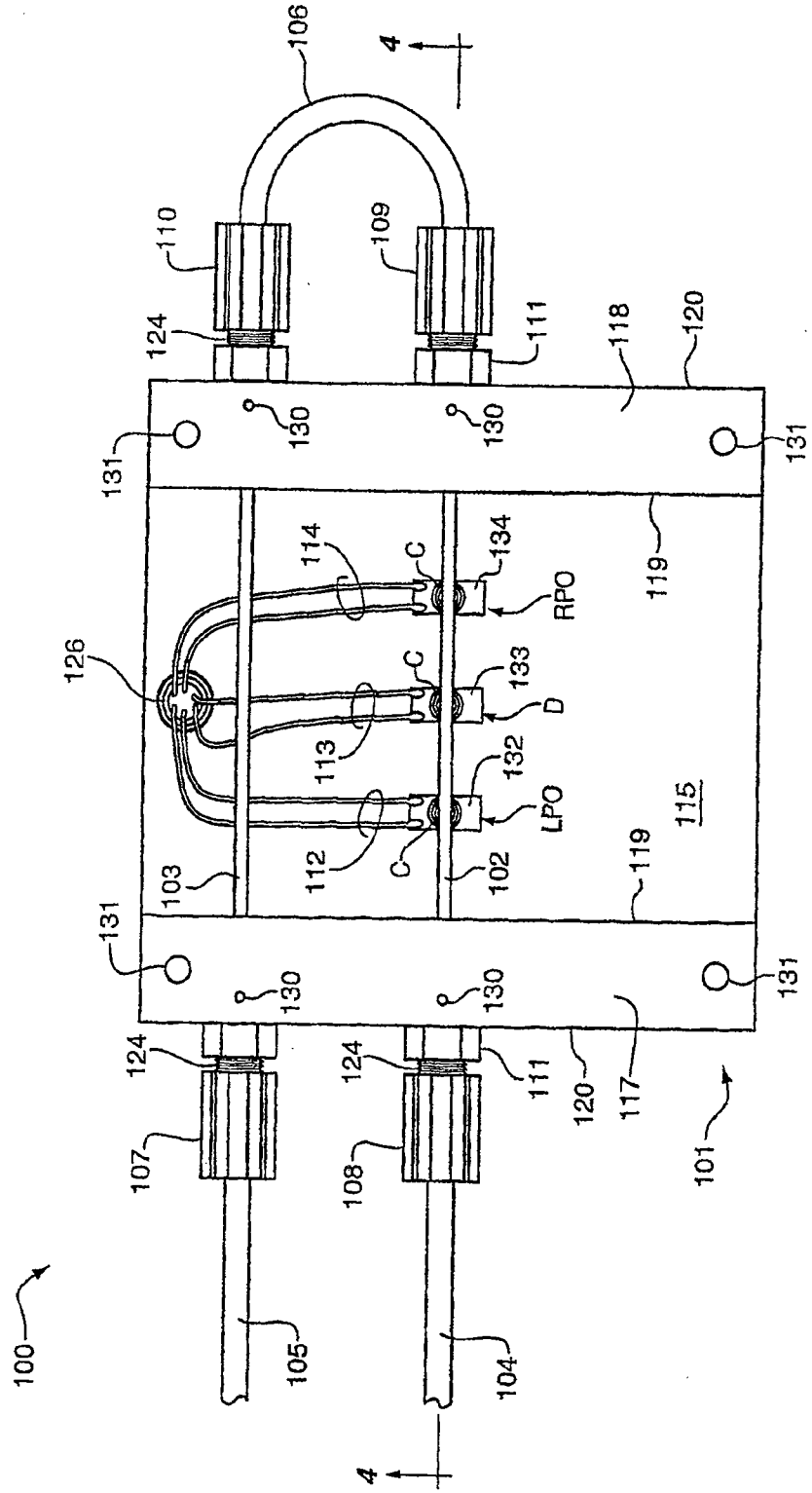


图 2



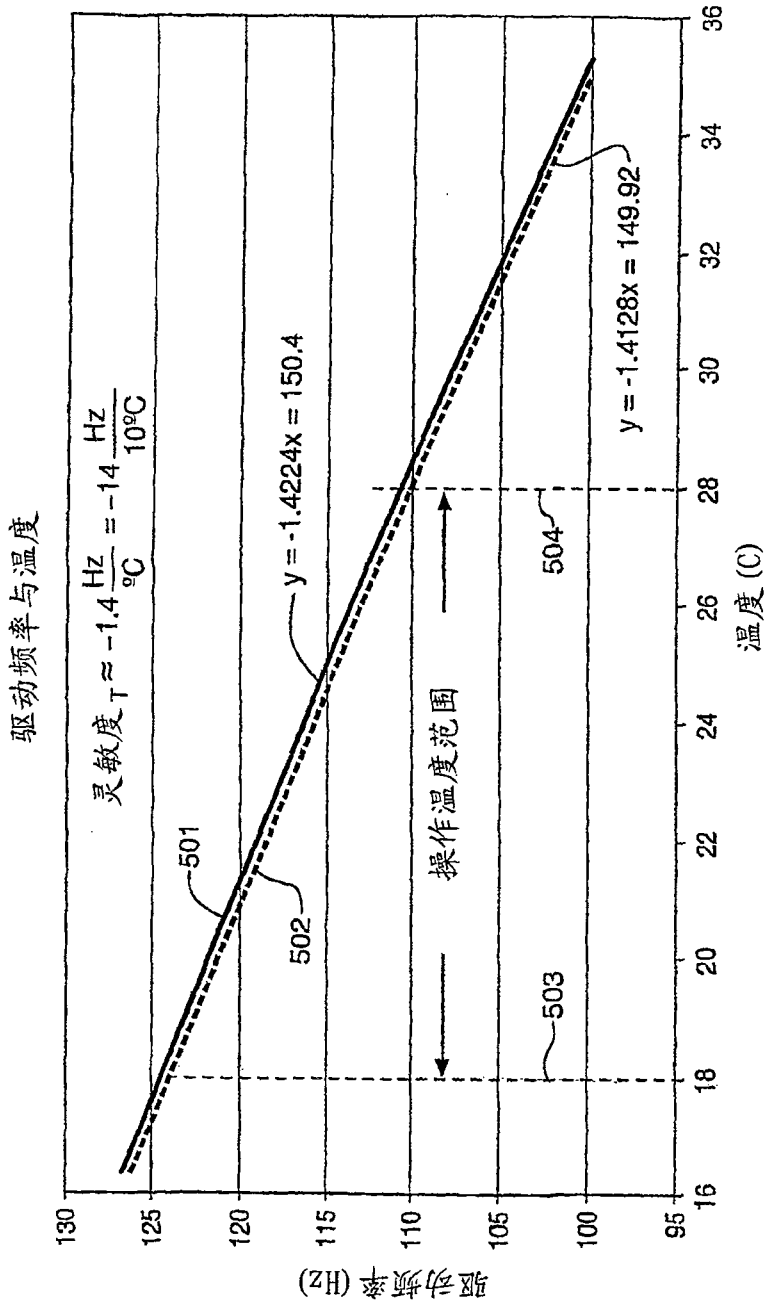


图 5

频率与浓度-2个传感器,3种液体-无流量

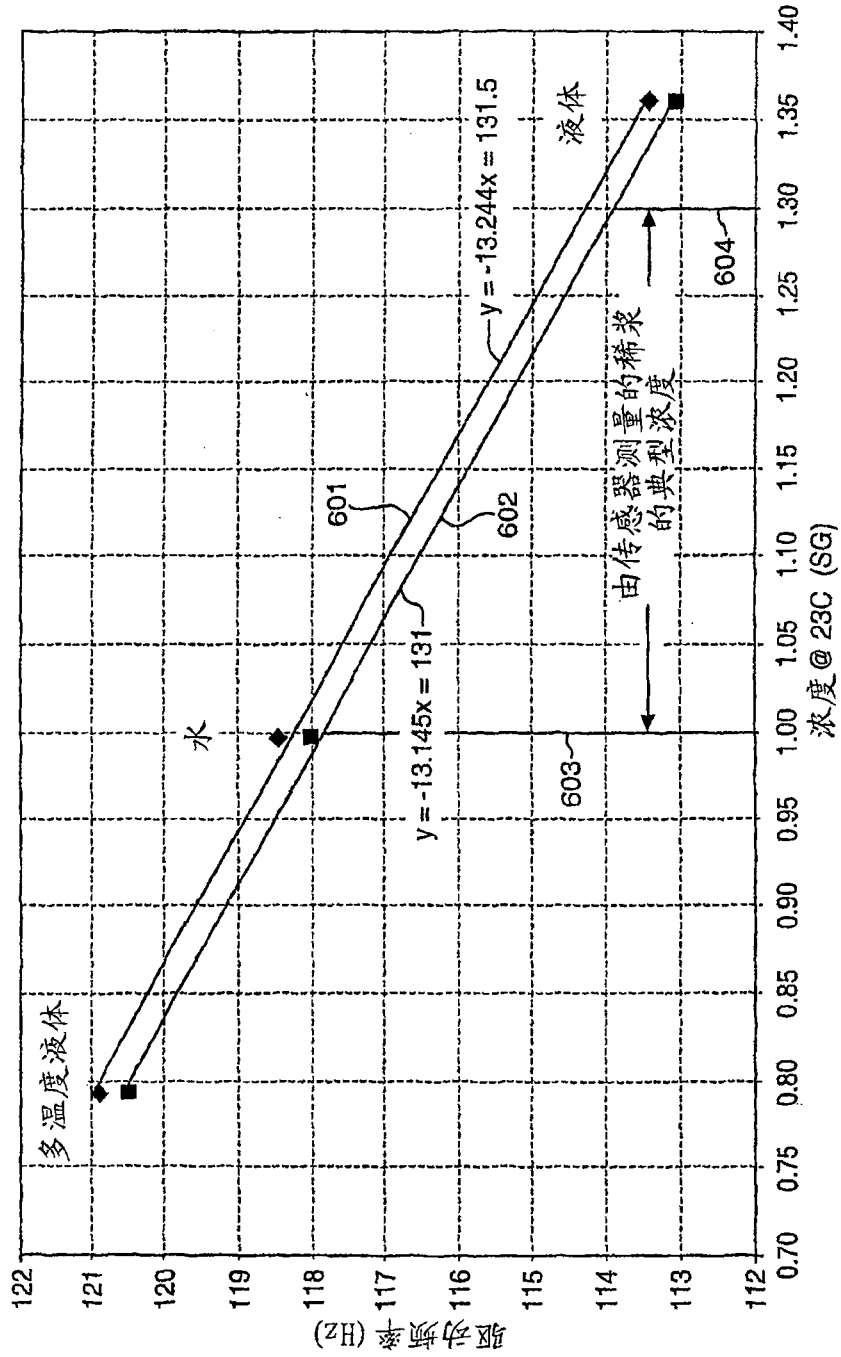


图 6

全流测试图-主流, 测试仪温度和频率

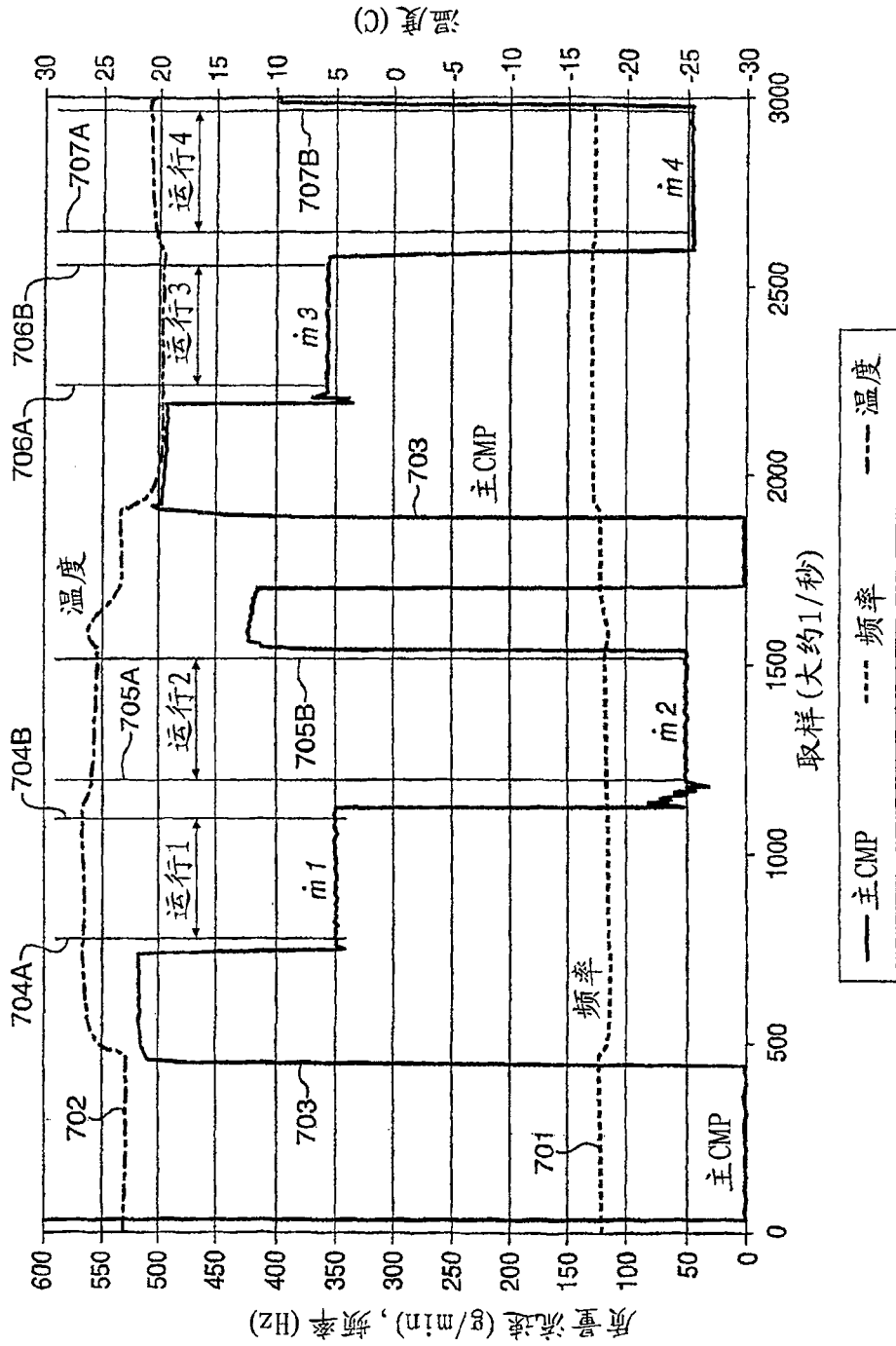


图 7

剪裁流测试图-主流, 测试仪温度

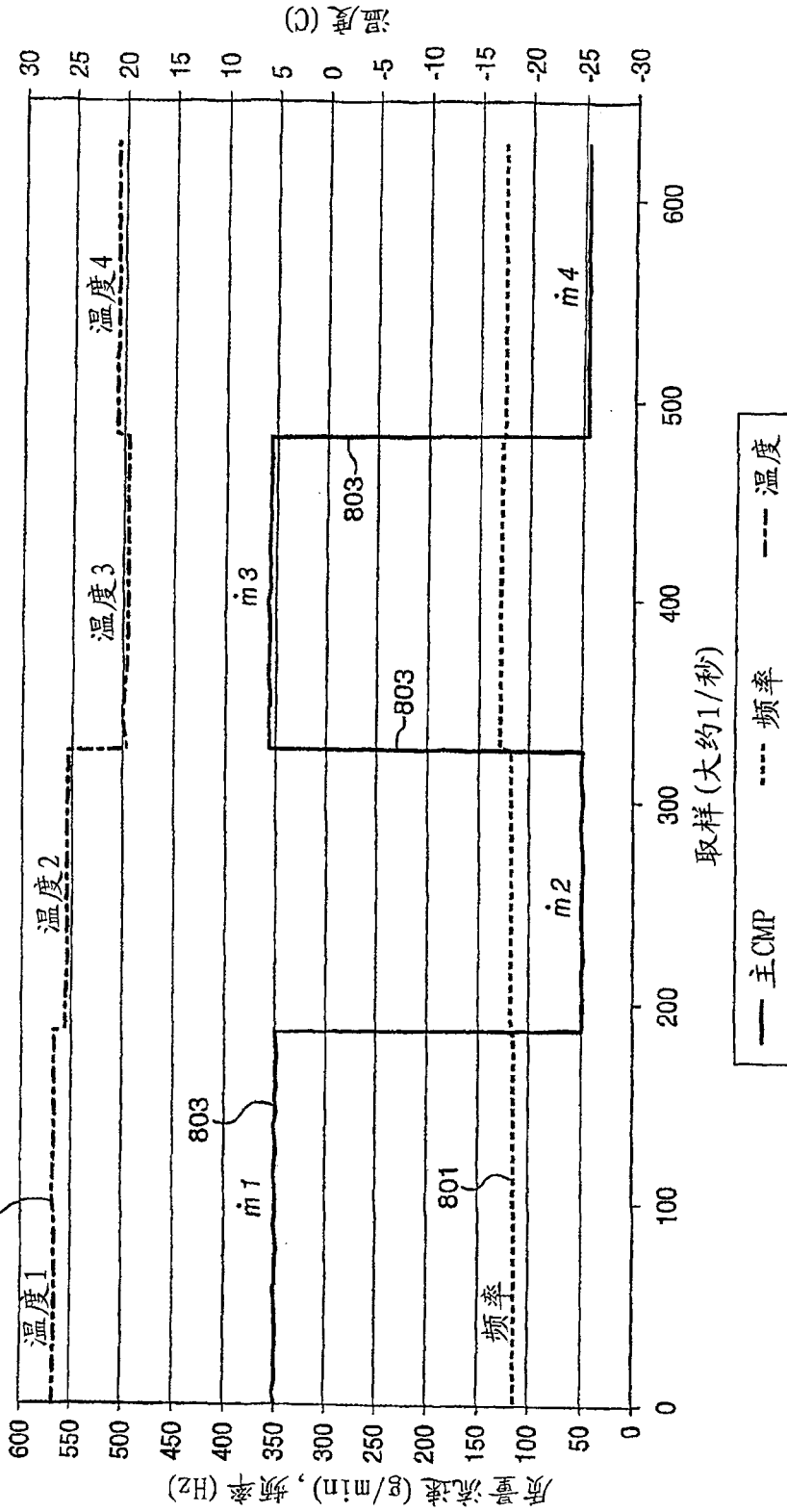


图 8

剪载流测试图-主流, 测试仪温度

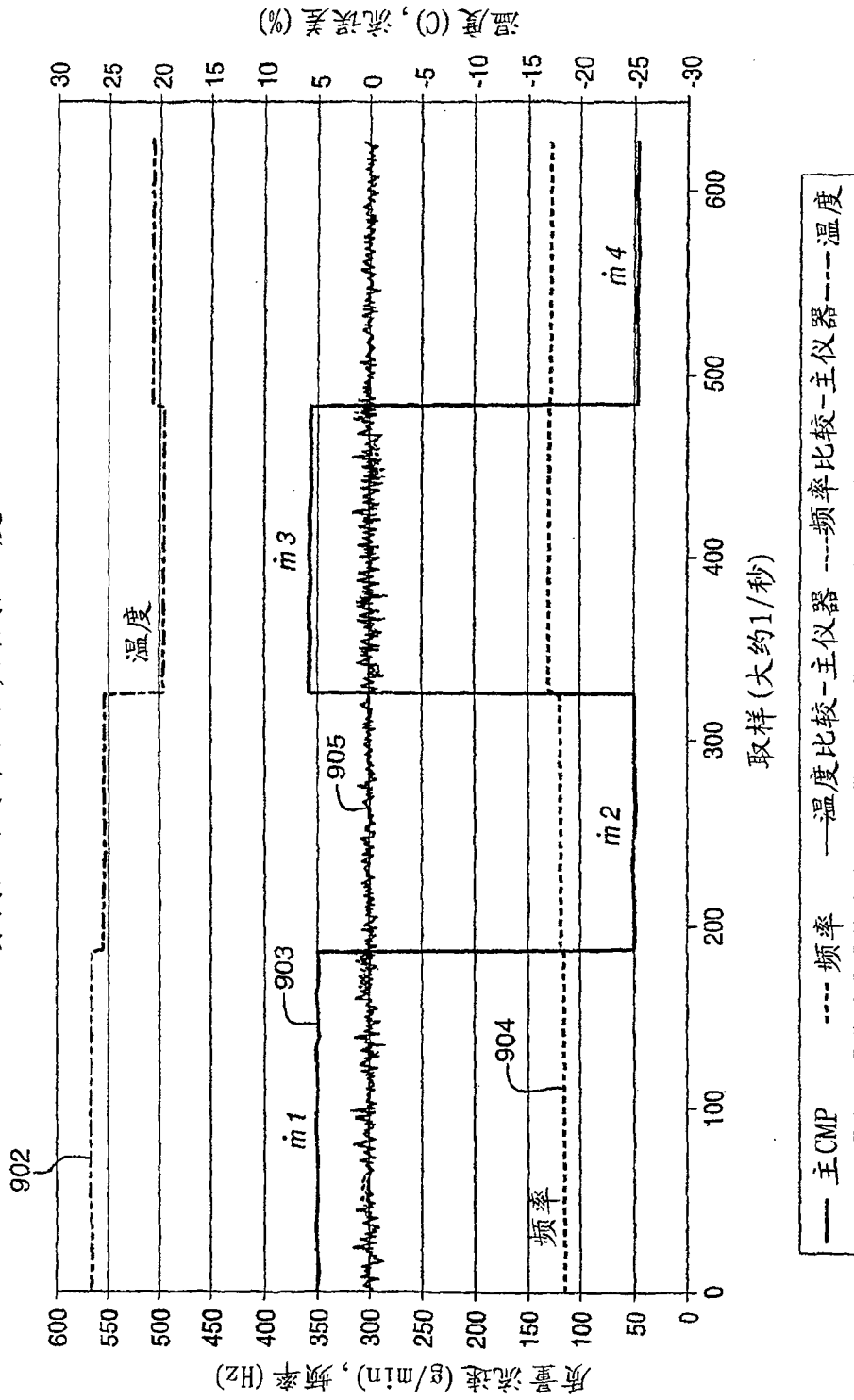


图 9

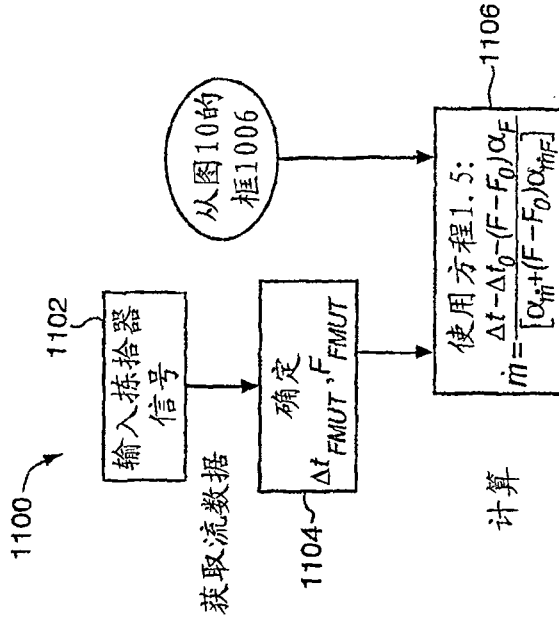


图 11

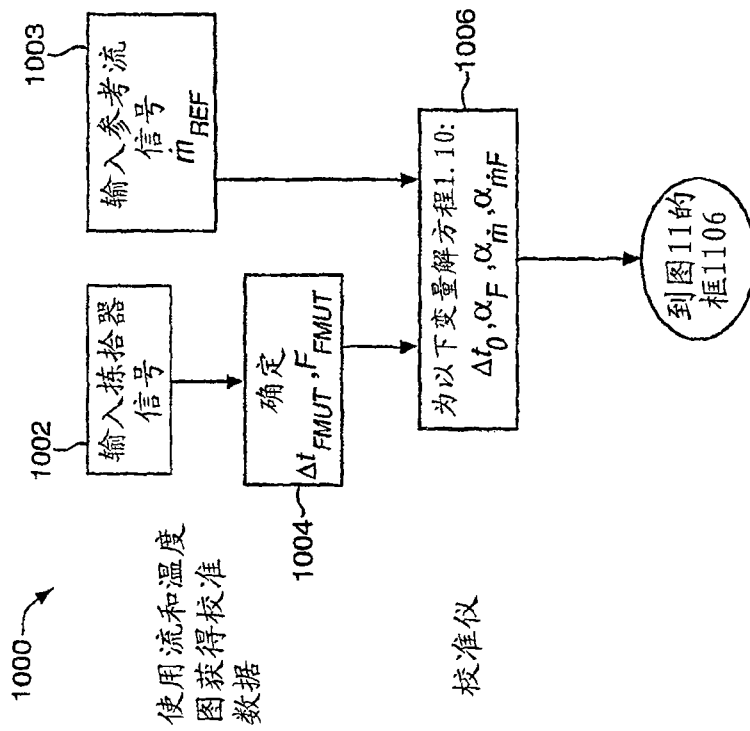


图 10

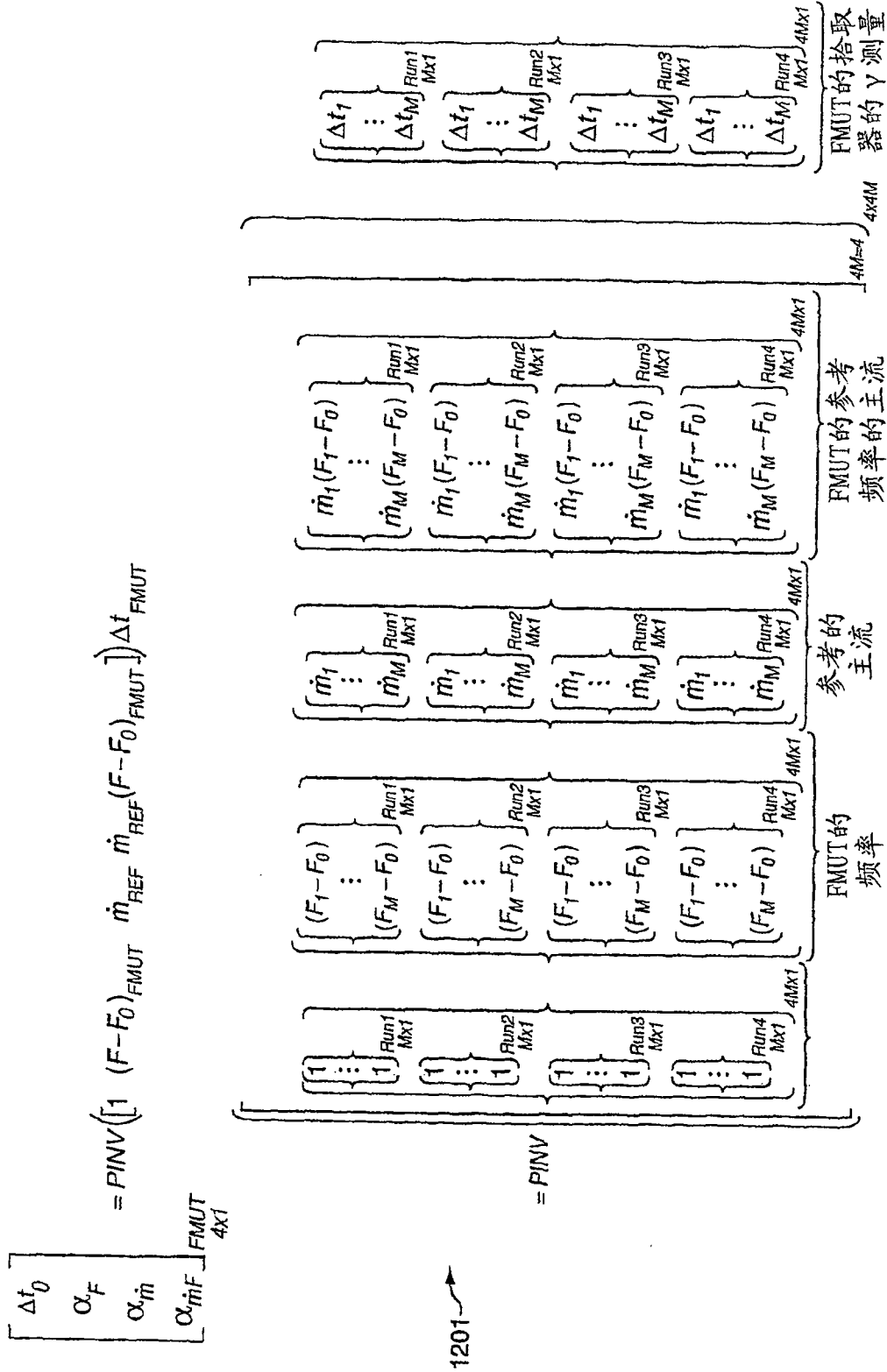


图 12

使用两个不同补偿方案补偿主流的测试仪

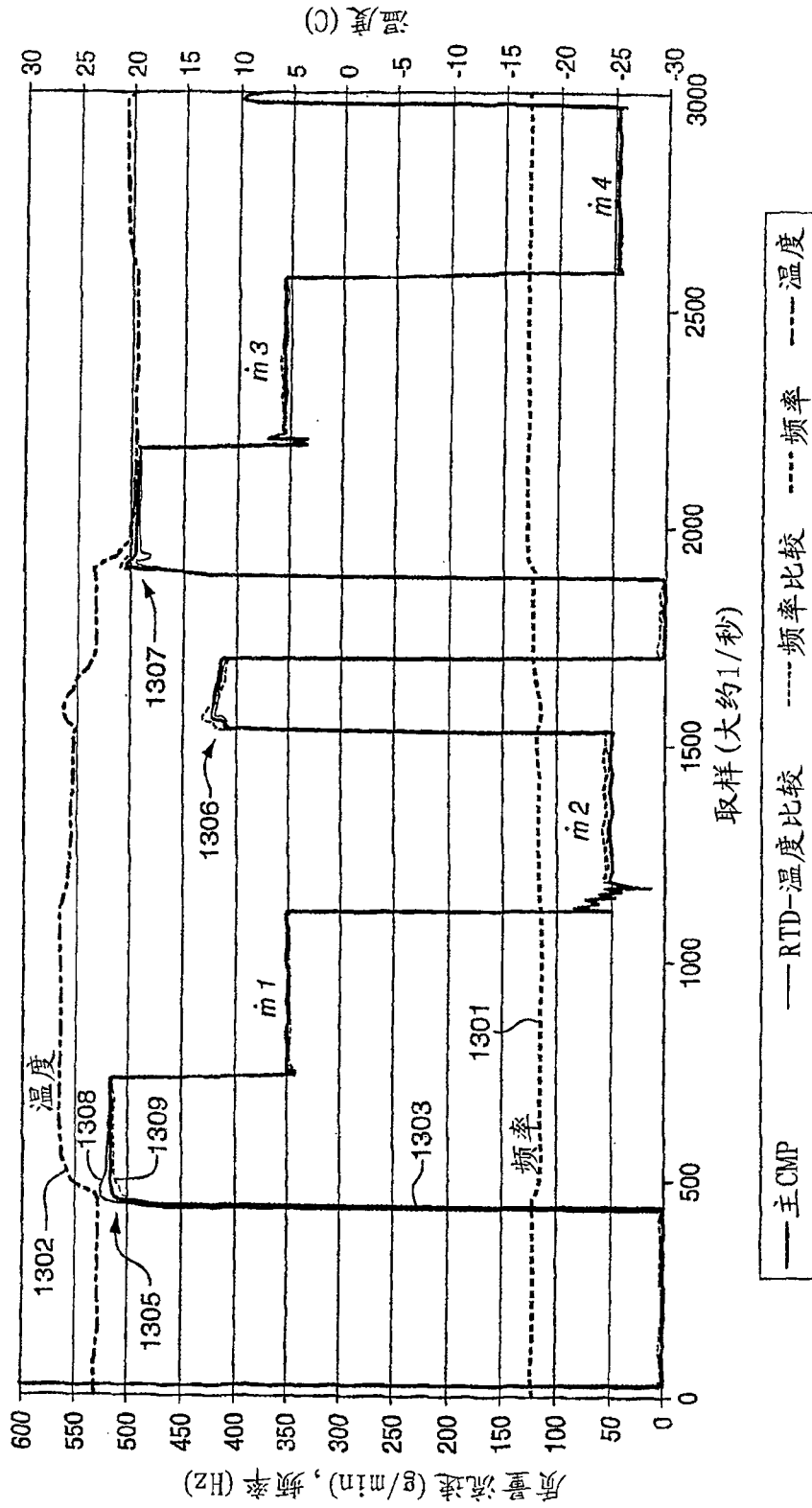


图 13



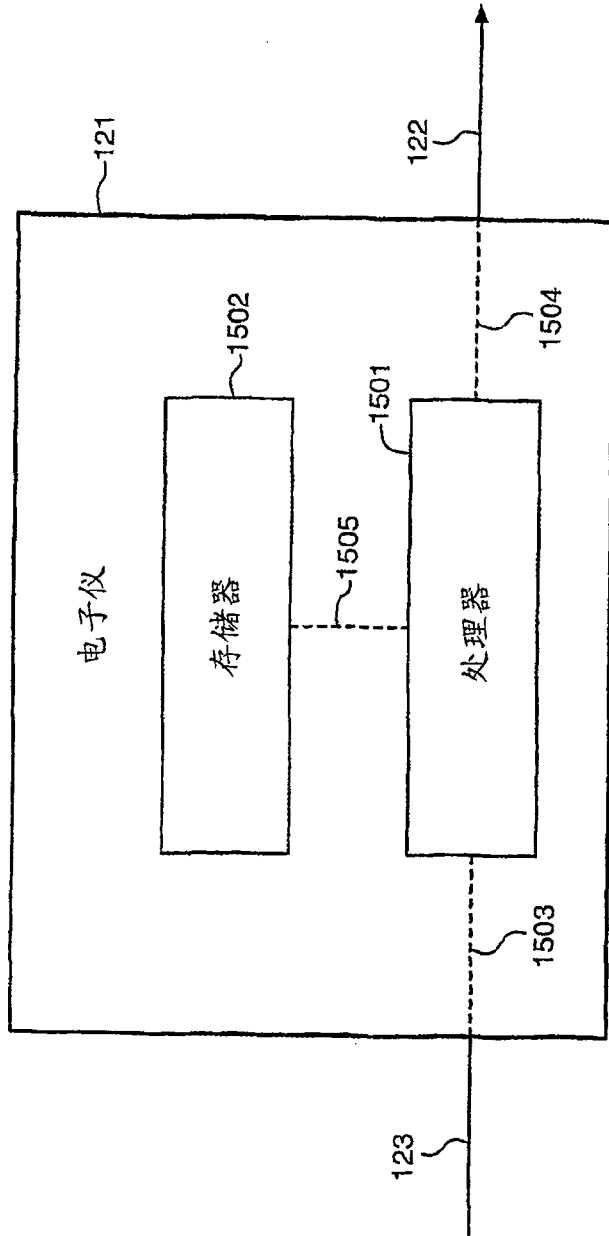


图 15