

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G04F 1/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580043027.8

[43] 公开日 2008年4月23日

[11] 公开号 CN 101167025A

[22] 申请日 2005.11.29

[21] 申请号 200580043027.8

[30] 优先权

[32] 2004.12.15 [33] US [31] 11/012,750

[86] 国际申请 PCT/US2005/043148 2005.11.29

[87] 国际公布 WO2006/065528 英 2006.6.22

[85] 进入国家阶段日期 2007.6.14

[71] 申请人 迅捷公司

地址 美国得克萨斯州

[72] 发明人 斯图亚特·A·蒂森 吕时良

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 过晓东

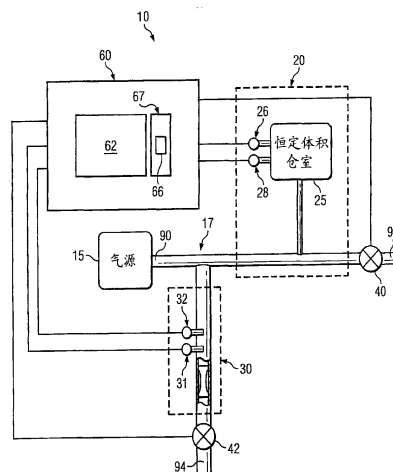
权利要求书 6 页 说明书 15 页 附图 3 页

[54] 发明名称

测量流量的系统和方法

[57] 摘要

本发明的一个实施方案可以包括初级流量测量系统、与初级流量测量系统流体连通的次级流量测量系统和与初级流量测量系统和次级流量测量系统耦合的控制器。所述控制器可以包括处理器和用该处理器可存取的存储器。所述处理器能执行储存在所述存储器上的计算机指令在第一操作模式中使用初级流量测量系统计算流速，而在第二操作模式中使用次级流量测量系统计算流速。所述计算机指令是可进一步执行的，以便基于预先定义的参数在第一操作模式和第二操作模式之间切换。



1. 一种用来确定流体流速的系统，该系统包括：

初级流量测量系统；

与初级流量测量系统流体连通的次级流量测量系统；

与初级流量测量系统和次级流量测量系统耦合的控制器，该控制器包括：

处理器；

所述处理器可存取的存储器，所述存储器储存由所述处理器可执行的指令组成的一系列计算机指令以便：

在第一操作模式中，使用初级流量测量系统计算流速；

在第二操作模式中，使用次级流量测量系统计算流速；

以及

基于预先定义参数在第一操作模式和第二操作模式之间切换。

2. 根据权利要求1的系统，其中所述初级流量测量系统是恒定体积系统、恒压系统或重力流量测量系统之一。

3. 根据权利要求2的系统，其中所述次级流量测量系统是音速喷管系统、层流流量计、作为差压流量计使用的可变电导、超声波流量计、科氏流量计或热质流量计之一。

4. 一种确定流体流速的系统，该系统包括：

恒定体积舱室；

与恒定体积舱室流体连通的音速喷管；

为引导流体流向恒定体积舱室和音速喷管而配置的一个或多个阀门；

为读出流体的一个或多个参数而配置的传感器；

连接到传感器上的控制器，该控制器被配置以接收来自传感器的测量，该控制器包括：

处理器；

所述处理器可存取的存储器，所述存储器储存由所述处理器可执行的指令组成的一系列计算机指令以便：

在第一操作模式中，处理器当流体在恒定体积舱室中累积之时计算流速；

在第二操作模式中，处理器当流体流过音速喷管之时计算流速；以及

在第一操作模式和第二操作模式之间切换。

5. 据权利要求 4 的系统，其中，在第一操作模式中，流速是基于随着时间流逝流体压力的变化计算的。
6. 根据权利要求 5 的系统，其中流速是依照 $dm/dt = (dP/dt)(V/RT)$ 近似计算的。
7. 根据权利要求 4 的系统，其中，在第二操作模式中，所述流速是基于流体压力计算的。
8. 根据权利要求 7 的系统，其中，在第二操作模式中，所述流速依照质量流量速率 $= (PA\sqrt{\gamma RT})/RT$ 近似计算的。
9. 根据权利要求 4 的系统，其中，在第二操作模式中，所述流速基于流体密度计算的。

10. 根据权利要求 9 的系统，其中，在第二操作模式中，所述流速是依照 $A = \rho A \sqrt{\gamma RT}$ 近似计算的。
11. 根据权利要求 4 的系统，其中所述计算机指令进一步包括依照第二操作模式延迟计算流速的指令以允许恒定体积舱室达到平衡。
12. 根据权利要求 4 的系统，其中所述计算机指令进一步包括可执行的指令，以便：

依照第一操作模式计算流速重叠范围中的流速；以及

基于依照第一操作模式算出的流速计算音速喷管的横截面积。
13. 根据权利要求 12 的系统，其中所述音速喷管的横截面积是依照 $A = (\text{质量流量速率} * RT) / P \sqrt{\gamma RT}$ 近似计算的。
14. 根据权利要求 12 的系统，其中所述音速喷管的横截面积是依照 $A = \text{质量流量速率} / \rho \sqrt{\gamma RT}$ 近似计算的
15. 根据权利要求 4 的系统，其中所述计算机指令进一步包括可执行的指令，以便：

依照第一操作模式计算重叠范围中的流速；以及

基于依照第一操作模式算出的流速计算流体的热容比。
16. 根据权利要求 15 的系统，其中所述热容比是依照 $\gamma = (RT * \text{质量流量速率} / PA)^2 / RT$ 近似计算的。
17. 根据权利要求 15 的系统，其中所述热容比是依照 $\gamma = (\text{质量流量速率} / \rho A)^2 / RT$ 近似计算的。

- 18.** 根据权利要求 4 的系统, 进一步包括:
- 一个或多个阀门以引导通过系统的流动; 以及
- 其中计算机指令进一步包括用来控制所述的引导流动的一个或多个阀门的可执行指令。
- 19.** 根据权利要求 18 的系统, 其中所述的一个或多个阀门包括:
- 在恒定体积舱室下游的第一阀门; 以及
- 在音速喷管下游的第二阀门。
- 20.** 根据权利要求 4 的系统, 其中所述流速包括质量流速。
- 21.** 根据权利要求 4 的系统, 其中所述流速包括体积流速。
- 22.** 根据权利要求 4 的系统, 其中计算机指令是可执行的以基于预先确定的参数在第一操作模式和第二操作模式之间进行切换。
- 23.** 根据权利要求 4 的系统, 其中所述音速喷管是可变孔音速喷管。
- 24.** 一种用来确定流体流速的方法, 该方法包括:
- 对于第一操作模式, 当流体在适合第一流速范围的恒定体积舱室中累积的时候计算流速;
- 对于第二操作模式, 当流体流过音速喷管的时候计算流速; 以及
- 完成第一操作模式和第二操作模式之间的切换。
- 25.** 根据权利要求 24 的方法, 其中, 在第一操作模式中, 所述流速是基于随着时间流逝流体压力的变化计算的。

26. 根据权利要求 25 的方法，其中，在第一操作模式中，所述流速是依照 $dm/dt = (dP/dt)(V/RT)$ 近似计算的。
27. 根据权利要求 24 的方法，其中，在第二操作模式中，所述流速是基于流体压力计算的。
28. 根据权利要求 27 的方法，其中，在第二操作模式中，所述流速是依照质量流量速率 $= (PA\sqrt{\gamma RT})/RT$ 近似计算的。
29. 根据权利要求 24 的方法，其中，在第二操作模式中，所述流速是基于流体密度计算的。
30. 根据权利要求 29 的方法，其中，在第二操作模式中，所述流速是依照 $A = \rho A\sqrt{\gamma RT}$ 近似计算的。
31. 根据权利要求 24 的方法，进一步包括在依照第二操作模式延迟计算流速以允许恒定体积舱室达到平衡。
32. 根据权利要求 24 的方法，进一步包括：
依照第一操作模式在流速的重叠范围中计算流速；以及
基于依照第一操作模式算出的流速计算音速喷管的横截面积。
33. 根据权利要求 32 的方法，其中所述音速喷管是可变孔音速喷管。
34. 根据权利要求 32 的方法，其中所述音速喷管的横截面积是依照 $A = (\text{质量流量速率} * RT) / P\sqrt{\gamma RT}$ 近似计算的。
35. 根据权利要求 32 的方法，其中所述音速喷管的横截面积是依照 $A = \text{质量流量速率} / \rho\sqrt{\gamma RT}$ 近似计算的。

36. 根据权利要求 24 的方法, 进一步包括:

依照第一操作模式在重叠范围中计算流速; 以及
基于依照第一操作模式算出的流速计算流体的热容比。

37. 根据权利要求 36 的方法, 其中所述热容比是依照 $\gamma = (RT * \text{质量流量速率}/PA)^2/RT$ 近似计算的。

38. 根据权利要求 36 的方法, 其中所述热容比是依照 $\gamma = (\text{质量流量速率}/\rho A)^2/RT$ 近似计算的。

39. 根据权利要求 24 的方法, 进一步包括:

控制一个或多个阀门以便调节到恒定体积舱室和音速喷管的流量。

40. 根据权利要求 24 的方法, 其中所述流速包括质量流速。

41. 根据权利要求 24 的方法, 其中所述流速包括体积流速。

测量流量的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明的实施方案一般地涉及流量测定系统，更具体地说涉及利用初级流量测量技术和次级流量测量技术两者测量流量的系统和方法。

背景技术

[0002] 一些流量测量技术现在用来校准质量流量控制器。初级流量测量技术从性质常数或从诸如质量和时间之类其它的初步测量结果推导它们的精确性，这类技术包括重量分析技术、恒压技术和恒定体积技术。第一种初级技术(重量测量)包括测量在某个时间间隔里得到或遗失的质量。重量分析技术对于在质量损失相当大的情况下测量较高速率的流动通常是足够的，但是在测量较低速率的流动方面有一些缺点，因为它们通常没有足够的分辨率测量每分钟几微摩尔的质量流速。

[0003] 第二种初级技术(恒压技术)使用变体积舱室保持气体压力恒定不变。质量流量是基于气体状态方程测量的，质量流速取决于随着时间推移体积的变化。这种技术能很好地在一系列质量流速范围内工作，但是可能需要用来控制压力舱室体积的精细系统。因此，恒压技术在校准质量流量控制器方面受到限制，因为构造恒压舱室(即，变体积舱室)可能需要相当多的移动零部

件，这将导致机械的复杂化。随着为它配置恒压舱室的质量流速范围增加，恒压系统的复杂性和成本也将增加。

[0004] 第三种初级流量测量技术(恒定体积技术)依靠与恒压技术相似的状态方程，但是质量流速取决于随着时间流逝压力而非体积的变化。这种技术因为系统简单(即，只有极少的移动零部件)已成为用来校准质量流量控制器的主流技术。然而，恒定体积技术在校准质量流量控制器时再一次表现出其不足，因为恒定体积技术通常只能用于小范围的质量流速。这个限制存在，因为如果就给定的舱室体积而言流速太高，与那个高质量流速相关联的压力变化将变得太突然以致无法精确测量而且可能很快地超过该舱室的安全限制。虽然能构建较大的恒定体积舱室，但是实际的安全考虑、空间和成本构成这种流量测量技术的能力的上限。

[0005] 一般地说，初级流量测量技术的缺点是每种技术都局限于特定的流量范围，在该范围内那种技术的不确定性和设计限制是最适当的。由于这个原因，使用者通常必须使用多种独立的流量校准系统，这些系统利用几种不同的初级技术覆盖适用于工业测量的流量范围。作为替代，使用者可以使用独立的次级技术，例如，音速喷管(也被称为临界截面文氏管或临界截面喷管)、层流流量计、超声波流量计、科氏流量计、热质流量计，等等。这些技术能用于某个流速范围但是必须不断地校准。

发明内容

[0006] 本发明的实施方案提供实质上减少或消除与先前研发的流量测量方法和系统相关联的缺点的用来测量流量的系统和方法。更具体地说，本发明的实施方案为了覆盖较宽范围的动态流量通过把初级流量测量技术的特征和次级流量测量技术的

特征结合起来提供用来测量横跨一系列流速的流体流量的系统和方法。

[0007] 本发明的一个实施方案可以包括初级流量测量系统、与初级流量测量系统流体连通的次级流量测量系统和与初级流量测量系统和次级流量测量系统耦合的控制器。控制器可以包括处理器和可供处理器存取的存储器。处理器能执行储存在存储器上的计算机指令以便在第一操作模式中使用初级流量测量系统计算流速和在第二操作模式中使用次级流量测量系统计算流速。为了以预先定义的参数为基础完成第一操作模式和第二操作模式之间的切换，计算机指令可能是可进一步执行的。

[0008] 本发明的另一个实施方案能包括恒定体积舱室，与恒定体积舱室的流动沟通的音速喷管，为引导流体向恒定体积舱室和音速喷管流动而配置的一个或多个阀门，为读出系统中流体的一个或参数而配置的传感器和为接受来自传感器的测量而配置的与传感器耦合的控制器。该控制器可以包括处理器和可用处理器存取的存储器。处理器能执行储存在存储器上计算机指令，以便在第一操作模式中当流体在恒定体积舱室中累积的时候计算流速、在第二操作模式中当流体流过音速喷管的时候计算流速和完成在第一操作模式和第二操作模式之间的转变。

[0009] 本发明的又一个实施方案能包括用来测量流速的方法，该方法包括：就第一操作模式而言，当流体在恒定体积舱室中累积之时计算第一流速范围的流速；就第二操作模式而言，当流体流过音速喷管之时计算流速；以及完成第一操作模式和第二操作模式之间的切换。

[0010] 因此，本发明的实施方案能使用初级流量测量技术获得精确测量能力同时使用次级技术扩展初级技术的流量测量

范围。因为本发明的实施方案使用多种流量测量技术，所以本发明能提供能自动校准并且可升级到宽广的流量范围的流量测量系统。

[0011] 本发明通过把初级流和次级流量测量技术接合起来提供超过先前研发的质量流量测量技术的优势。这允许超过流速范围校准质量流量控制器而不需要独立的初级技术和次级技术。

[0012] 本发明的实施方案通过提供以来自初级流量测量系统的测量结果为基础校准次级流量测量系统的系统提供另一种优势。因为次级流量测量系统(例如，音速喷管系统)能以来自初级技术(例如，恒定体积系统)的流量测量结果为基础实时地再次校准，所以次级流量测量系统不必从待再次校准的流量测量系统中移出。

[0013] 本发明的实施方案提供优于先前研发的流量测量技术的第三种优势，因为使用次级流量测量技术获得的测量结果能与使用初级流量测量技术获得的测量结果进行比较。如果检测到误差，这可能意味着次级流量测量技术必须再次校准。因此，本发明的实施方案能发现何时需要对次级流量测量技术进行再次校准。

[0014] 本发明的实施方案通过使用次级流量测量技术扩展初级流量测量技术的范围提供优于先前研发的流量测量系统和方法的第四种优势。

附图说明

[0015] 为了更全面地理解本发明的实施方案及其优势，现在连同以相似的参考数字表示相似的特征的附图一起参看下面的描述，其中：

[0016] 图 1 是流量测量系统的一个实施方案的图解表达；

[0017] 图 2 是音速喷管的一个实施方案的图解表达；

[0018] 图 3 是举例说明音速喷管的各种不同实施方案的性能特性的例子曲线图；

[0019] 图 4 是依照本发明的一个实施方案举例说明一种测量流速的方法的流程图。

具体实施方法

[0020] 本发明的优选实施方案是用附图举例说明的，在这些附图中使用相似的数字表示图中相似的和对应的部分。

[0021] 本发明的实施方案通过把初级流量测量技术的特征和次级流量测量技术的特征结合起来提供一种用来在整个流速范围上测量流体(例如，液体、气体、气体蒸汽混合物或其它流体)的流速的系统和方法。在本发明的一个实施方案中，初级流量测量系统(例如，恒压系统、恒定体积系统、重量分析测量系统或其它技术上已知的初级流量测量系统)可以与次级流量测量系统(例如，音速喷管系统、层流流量计、超声波流量计、科氏流量计、热质流量计或其它技术上已知的次级流量测量系统)流体连通。控制器能接受来自与初级流量测量系统和次级流量测量

系统相关联的传感器的流体参数(例如, 温度、压力或其它技术上已知的流体参数)的测量结果。该控制器能在第一操作模式中使用初级流量测量系统计算流体的流速, 而且能在第二操作模式中使用次级流量测量系统计算流体的流速。该控制器能基于一个或多个预先定义参数自动完成操作模式之间的切换。控制器算出的流速能用来校准质量流量控制器, 质量流量计和其它仪器。

[0022] 图 1 是使用初级流量测量系统和次级流量测量系统的流量测量系统 10 的一个实施方案的图解表达。流量测量系统 10 可以包括用来经由气体管线系统 17 给恒定体积系统 20 和音速喷管系统 30 提供气流的气源 15。恒定体积系统 20 可以包括恒定体积舱室 25 和用来读出系统 10 中气体的压力(例如, 压力传感器 26)、温度(例如, 温度传感器 28)和/或其它参数的传感器。同样, 音速喷管系统 30 可以包括音速喷管 35 和检测仪器(例如, 压力传感器 31 和温度传感器 32), 这些仪器可能与恒定体积系统 20 利用的仪器相同或不同。音速喷管 35 可能有不可调节的横截面积或可调节的横截面积。阀门系统(例如, 阀门 40 和阀门 42)能调节通过流量测量系统 10 的气流。

[0023] 控制器 60 能接受来自传感器的温度、压力和/或其它测量结果和计算气体通过系统 10 的流速。控制器 60 能以气体的状态和恒定体积系统或音速喷管系统的配置为基础确定气体通过系统 10 的质量流速或体积流速。这项分析能以储存在可由计算机认读的存储器 67(例如, 随机存取存储器、ROM、磁性储存装置或技术上已知的其它计算机易读的存储器)中的软件指令 66 为基础由微处理器 62 完成。另外, 控制器 60 能将控制信号发送给阀门 40 和阀门 42, 使那组阀门配置引导气体流向音速喷管 35 和/或恒定体积舱室 25。人们应该注意到: 尽管控制器 60 被展示成单一的控制装置, 但是控制器 60 的功能可以分配给多个控制

器，这些控制器可能是恒定体积系统 20 和/或音速喷管系统 30 的一部分。此外，来自微处理器 62 的输入和输出信号可能经历诸如数模转换之类附加的中间逻辑和/或调节(为了简化未展示)。

[0024] 由于点 90 的压力高于点 92 或 94 的压力这一事实，气源 15 能通过气体管线 17 提供气流。如同熟悉这项技术的人将会理解的那样，有多种方法提供这种横跨系统 10 的压差。当阀门 40 和阀门 42 都打开的时候，气体将流向点 92 和 94，最后流出系统 10。当只有阀门 42 关闭的时候，气体将流向点 92 并且流出系统 10。当只有阀门 40 关闭的时候，气体将流向点 94(即，通过音速喷管系统 30)。当阀门 40 和阀门 42 两者都关闭的时候气体将会在恒定体积舱室 25 中累积。因此，通过改变那些阀门的打开或关闭，控制器 60 能控制气体向恒定体积系统 20 或音速喷管系统 30 的流动。

[0025] 在图 1 的实施方案中，当阀门 40 和阀门 42 两者都关闭的时候，气体将会在恒定体积舱室 25 中累积，因此，恒定体积舱室 25 中的压力将会增加。在这种情况下，控制器 60 能在气体在恒定体积舱室 25 中累积的时候使用压力随时间的变化计算流速。由于在固定的体积中气体的质量取决于该体积的大小、气体的压力和气体的温度而且因为体积和温度没有重大的偏离，所以控制器 60 能使用恒定体积系统 20 近似计算质量流速，即：

$$dm/dt = (dP/dt)(V/RT) \quad \text{[方程 1]}$$

P = 压力

T = 温度

R = 气体常数

t = 时间

V = 体积

[0026] 如同熟悉这项技术的人将会理解的那样，方程 1 是很容易向混合气体和气体蒸汽混合物推广的。另外，如同技术上理解的那样，可以使用气体压缩系数。此外，控制器 60 能依照技术上已知的任何方案以 dP/dt 为基础计算质量流速。另外，控制器 60 可以被进一步配置成使用众所周知的热力学方程考虑可能发生的任何气体温度变化。体积流速可以以与质量流速类似的方式计算出来或者以系统 10 中气体的质量流速和密度为基础计算出来。

[0027] 依照本发明的实施方案，初级流量测量技术可以如同 ISO 5725-1 所描述的那样完成，或者可以包括斜率技术，例如，通过引证在此被全部并入的 Tison 等人于 2004 年 8 月 7 日以“Method and System for Flow Measurement and Validation of a Mass Flow Controller”为题申请的美国专利申请第 10/887,591 号。

[0028] 当阀门 42 打开(在图 1 的例子中阀门 40 保持关闭)的时候，气体能流过音速喷管 35。在这种情况下，控制器 60 能使用音速喷管系统 30 计算流速。通过音速喷管 35 的质量流速可能受气体温度(T)、气体热容比(γ)、气体常数(R)、气体密度(ρ)(它要么是已知的，要么可以基于气体常数、的上游压力和温度计算)和音速喷管 35 的横截面积(A)支配，以致：

$$\text{质量流量速率} = (\rho\sqrt{\gamma RT})/RT \quad [\text{方程 2}]$$

或

$$\text{质量流量速率} = (PA\sqrt{\gamma RT})/RT \quad [\text{方程 3}]$$

A = 音速喷管的横截面积

R = 气体常数

T = 温度

P = 音速喷管的上游压力

ρ = 气体密度(已知的或者等于 $P/(RT)$)

γ = 热容比

[0029] 如方程 3 所示, 在系统 10 中质量流速与音速喷管 35 的上游压力成正比。因此, 控制器 60 能基于音速喷管 35 的上游压力或气体的密度计算流速。对于现在的音速喷管, 为了近似地遵从方程 2 和方程 3, 该上游压力(P)应该至少是下游压力(例如, 点 92 的压力)的两倍, 虽然本发明能把研发时需要较小的压力差的新音速喷管并入。人们应该注意到音速喷管的横截面积可能是可调整的。

[0030] 因此, 依照本发明的一个实施方案, 控制器 60 能在第一操作模式中基于压力随时间的变化计算流体在恒定体积舱室中累积时的流速而且能在第二操作模式中基于流体密度或音速喷管上游的流体压力计算流体经过音速喷管时的流速。

[0031] 在图 1 所示的实施方案中, 音速喷管 35 和恒定体积舱室 25 都在第一阀门 40 的上游。因此, 当阀门 40 关闭而阀门 42 打开引导气体流向音速喷管系统 30 的时候, 恒定体积舱室 25 中的压力最初将上升, 直到恒定体积舱室 25 平衡。当这种情况发生的时候, 稳定的压力(P)将在音速喷管 35 的前面(即, 上游)建立。控制器 60 可以被配置成在恒定体积舱室 25 已有时间达到平衡之前依照第二操作模式延迟计算流量。

[0032] 现在的恒定体积系统能在每分钟 0.01 标准立方厘米(0.01sccm)到每分钟 5 标准升(5slpm)的范围内精确地测量流速(例如在 1%以内), 而现在的音速喷管系统能在 3slpm 到 30slpm 的范围内精确地测量流速。

[0033] 因此, 本发明的实施方案能使用有重叠的可操作性范围的恒定体积系统 20 和音速喷管系统 30。当系统 10 的流速接近恒定体积系统 20 的可操作性范围的上限(或通常在重叠范围中任意的其它界限)的时候, 控制器 60 能打开阀门 42, 借此让气体流过音速喷管 35。作为交替使用恒定体积系统 20 和音速喷管系统 30 确定气体流速的例子, 假定恒定体积系统 20 使用 10 公升的恒定体积舱室 25。如果控制器 60 发现流速(例如, 来自系统 10 中的压力变化速率)已经超过 4.5 slpm(即, 压力变化速率大于 7 psi/min), 控制器 60 可以打开阀门 42, 借此引导气体流向音速喷管 35。同样, 如果检测到的流速降低到预先设定的数值以下, 比如说 4slpm, 控制器 60 可以关闭阀门 42, 借此引导气体流向恒定体积系统 20。因此, 本发明的实施方案能使用能够易察觉地从使用恒定体积的低流速测量切换到使用音速喷管的高流速测量(即, 在第一和第二操作模式之间切换)的智能系统。前面讨论过的预先设定的阈值仅仅是作为例子给出的而且任何预先定义参数和阈值都可以采用。此外, 本发明的实施方案能在研发时将恒定体积系统和音速喷管系统合并, 因此有比较宽的可操作性范围, 而且前面给出的范围不限制本发明的范围。

[0034] 依照本发明的一个实施方案, 控制器 60 能使用重叠的可操作性范围自动校准, 以解决系统 10 中的变化, 例如, 音速喷管横截面积的变化。虽然音速喷管的横截面积通常保持稳定, 但是钨、六氟化物和三氯化硼的气体和与其它与半导体制造业有关的有毒气体可能在音速喷管 35 中留下沉积物, 从而引起音速喷管 35 的喉部面积改变。如果不解决, 这可能导致计算用在音速喷管系统 30 上的质量流速不精确。本发明的实施方案能通过再次校准来补偿这样的变化而不需要拆除和更换音速喷管 35。

[0035] 使用早先的例子，在该例子中恒定体积系统和音速喷管系统有从 3 slmp 到 5 slmp 的重叠范围，气流能被引进系统 10，而且控制器 60 能使用上述的方程 1 计算来自恒定体积系统 20 的质量流速。如果流速在重叠范围(例如，按照体积流速，3-5 slmp)之内，控制器 60 能使阀门 42 打开，借此引导气体流向音速喷管 70。当恒定体积舱室 25 达到平衡，而且稳定压力在音速喷管 35 的上游建立的时候，控制器 60 能使用音速喷管系统 30 计算流速。如果使用音速喷管系统 30 算出的流速与使用恒定体积系统 20 算出的流速在可接受的误差范围内不匹配，这能表明音速喷管 35 的横截面积已经改变。控制器 60 能用下面的方程式计算音速喷管 35 的新横截面积(A):

$$A = \text{质量流量速率} / (\rho \sqrt{\gamma RT}) \quad [\text{方程 4}]$$

或

$$A = (\text{质量流量速率} * RT) / (P \sqrt{\gamma RT}) \quad [\text{方程 5}]$$

A = 音速喷管的横截面积

ρ = 气体密度(已知的或等于 $P/(RT)$)

R = 气体常数

T = 温度

P = 音速喷管上游的压力

γ = 热容比

质量流量速率 = 从恒定体积系统计算的流速。

[0036] 控制器 60 现在能在计算通过音速喷管 35 的流速的时候使用新的数值作为音速喷管 35 的横截面积。以这种方式，

本发明的实施方案能使用重叠范围(例如,从 3 slpm 到 5 slpm)实时地校准音速喷管。音速喷管的工作特性考虑到点校准和向较高的流量扩展。音速喷管 35 的再次校准能依照预定的时间表或在事先没有准备的情况下发生。人们还应该注意,如果音速喷管 35 是可调整的,同样的方法能用来针对各种不同尺寸的孔口确定音速喷管 35 的横截面积。

[0037] 本发明的实施方案也能使用重叠范围来计算使用恒定体积系统 20 的气体的 γ (热容比)。为了计算 γ , 如同前面讨论的那样, 可以将气流引向恒定体积系统 20 并且可以确定该气体的流速。如果流速在重叠范围之内(例如, 3-5 slpm), 控制器 60 能将气流引向音速喷管系统 30。当稳定的压力在音速喷管 35 上游建立的时候, 控制器 60 能按照下面的方程计算 γ :

$$\gamma = (\text{质量流量速率}/\rho A)^2/RT \quad [\text{方程 6}]$$

或

$$\gamma = (RT * \text{质量流量速率}/PA)^2/RT \quad [\text{方程 7}]$$

γ = 热容比

A = 音速喷管的横截面积

ρ = 气体密度(已知的或对等于 $P/(RT)$)

R = 气体常数

T = 温度

P = 音速喷管上游压力

质量流量速率 = 从恒定体积系统计算的流速。

[0038] 除了计算未知的 γ 之外, 为了确定控制器是否必须再次校准, 本发明的实施方案能在已知 γ 的情况下计算气体的

γ 。控制器 60 能针对已经知道 γ 的气体(例如, 氮气)使用方程 7 或方程 8 计算 γ 。如果算出的 γ 与已知的 γ 不匹配, 这可能表示控制器 60 使用的“ A ”的数值是不精确的, 应该重新计算。另外, 计算气体的 γ 的能力允许确定在各种不同的温度下气体的声速, 因为气体的声速等于 γRT 的平方根。

[0039] 因此, 控制器 60 能使用恒定体积系统和音速喷管系统在流速的范围内计算通过系统 10 的流速。如同熟悉这项技术的人所理解的那样, 控制器 60 算出的流速能用来校准质量流量控制器。如果恒定体积系统和音速喷管系统有交叠的可操作性范围, 控制器 60 能使用利用恒定体积系统算出的流速为计算音速喷管的横截面积、特定气体的 γ 、某种气体中的声速和其它参数。

[0040] 依照本发明的一个实施方案, 能使用特定的气体校准系统 10 而且这个信息可以推广到其它气体。举例来说, 音速喷管的横截面积能针对系统 10 使用氮气确定。然后, 这个数值能被用于测试系统 10 中的其它气体。

[0041] 因此, 本发明的实施方案可以包括初级流体流量测量系统(例如, 恒定体积系统)、次级流体流量测量系统(例如, 音速喷管系统)和控制器。在第一操作模式中, 控制器可以是为使用初级流动流量测量系统计算流速配置的, 而在第二操作模式中, 可以是为使用次级流量测量系统计算流速配置的。控制器能在第一操作模式和第二操作模式之间自动地切换。如果两种操作模式重叠的可操作性范围, 控制器能使用从初级流量测量系统算出的流速校准次级流量测量系统。然后, 针对一种气体确定的校准数据能用于其它的气体。

[0042] 图 2 是能用于本发明的各种不同的实施方案的音速喷管 35 的一个例子的剖视图。音速喷管 35 可以有入口 102 和出口 104 和限制横截面的区域或喉部 106。通常, 就遵从方程 2 和

方程 3 的音速喷管 35 而言, 上游压力(例如, 入口一侧的压力) 必须至少是下游压力(例如, 出口一侧的压力)的两到三倍。对于许多应用, 选择音速喷管时的主要参数是横截面积或喉部直径, 这个参数通常是基于所需要的流量范围选定的。图 3 是表达适用于可仿效的音速喷管实施方案的计算结果的图表。轴 110 代表所需要的流量范围, 音速喷管将在该流量下工作, 轴 112 代表音速喷管 35 上游的压力和线 114 代表有各种不同的喉径的音速喷管。在图 3 中, 如果本发明的实施方案是为设计在 10-100 Torr 的压力范围(近似地用区域 116 表示)中操作, 那么, 作为例子, 可能选择直径从 0.2 厘米到 1 厘米的音速喷管。依照本发明其它的实施方案, 可以使用变孔径音速喷管。俄亥俄州克里夫兰的 Swagelok 公司制造的针形阀能起变孔径音速喷管的作用。

[0043] 图 4 是依照本发明的实施方案举例说明一种测量流速的方法的流程图。在本发明的一个实施方案中, 图 4 的方法能用一组计算机指令实现, 这组计算机指令是计算机处理器可执行的而且储存在控制器的计算机存储器中。依照本发明的一个实施方案, 控制器在步骤 202 能配置一组阀门以允许气体在恒定体积舱室中累积。当气体在恒定体积舱室中累积的时候, 控制器能接受来自一个或多个传感器的气体参数(例如, 温度、压力和或任何技术上已知的其它气体参数)的测量结果(步骤 204)而且能基于气体压力随时间的变化计算气体的流速(步骤 206)。举例来说, 这可能是依照方程 1 完成的。

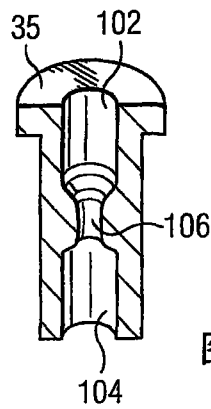
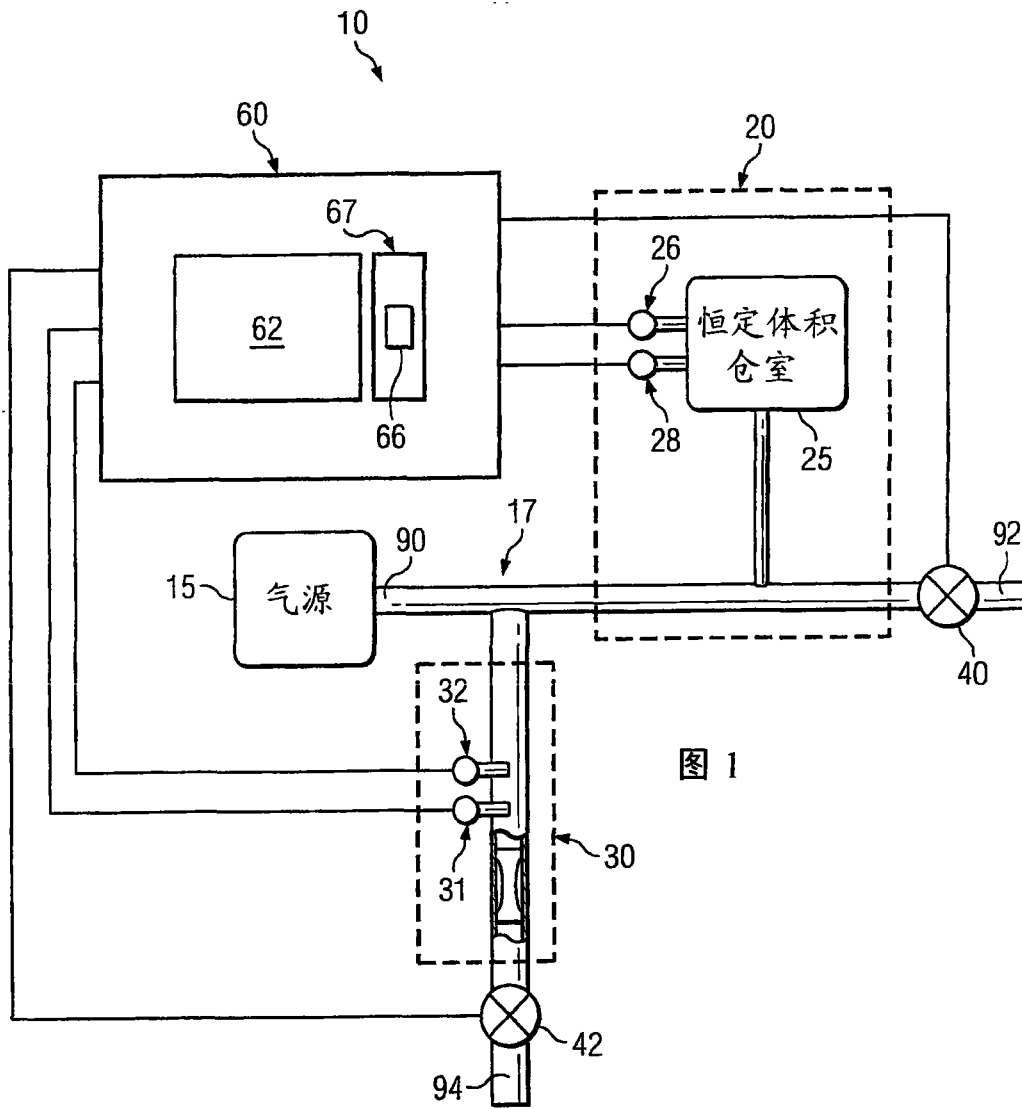
[0044] 在步骤 208, 控制器能将算出的流速与阈值流速 210 进行比较。如果算出的流速不超过阈值流速 210, 则控制能返回到步骤 204。另一方面, 如果算出的流速超过阈值流速 210, 则控制器在步骤 212 能配置那组阀门以允许气体通过音速喷管。当阀门被配置成允许气体通过音速喷管的时候, 气体可能仍然在恒定体积舱室中累积一会儿。为了解决这个为题, 或为了以别的方

式允许气体达到近似的稳定状态，控制器在步骤 214 能延迟预先定义的延迟周期计算流速。

[0045] 控制器能接受各种不同气体参数的测量(例如，温度、压力和/或任何技术上已知的其它气体参数)(步骤 216)，并且当延迟周期已经过去的时候能基于音速喷管上游的压力或音速喷管上游的气体密度依照，举例来说，方程 2 或方程 3 计算气体的流速(步骤 218)。图 4 的程序可以被任意地重复(步骤 220)。

[0046] 在图 4 的实施方案中，控制器基于算出的流速是否超过阈值流速完成第一操作模式(例如，基于压力随时间的变化计算流速)和第二操作模式(例如，基于音速喷管上游的压力或气体密度计算流速)之间的切换。然而，人们应该注意到，控制器能基于任何预先定义的参数完成两种操作模式之间的切换。举例来说，基于压力随时间改变的幅度(dp/dt)或其它任意定义的参数完成两种操作模式之间的切换是可能发生的。另外，用来决定是否从第一模式向第二模式转换的参数可能不同于用来决定是否从第二模式向第一模式转换的参数。举例来说，控制器可能基于(dp/dt)是否超过特定的数值完成从第一操作模式向第二操作模式的转换而基于算出的流速是否降低到预先定义的数值以下完成从第二操作模式向第一操作模式的转换。

[0047] 虽然已经参照说明性的实施方案在此详细地描述了本发明，但是人们应该理解，这些描述仅仅是作为例子而不应该被解释为限制。因此，人们将进一步理解这项发明的实施方案在细节方面的许多变化和这项发明的补充实施方案对于熟悉这份说明书涉及的技术的人将是明显的而且可能被他们完成。预计所有这样的变化和补充实施方案都将在这项发明的权利要求书所定义的精神和真实范围之内。



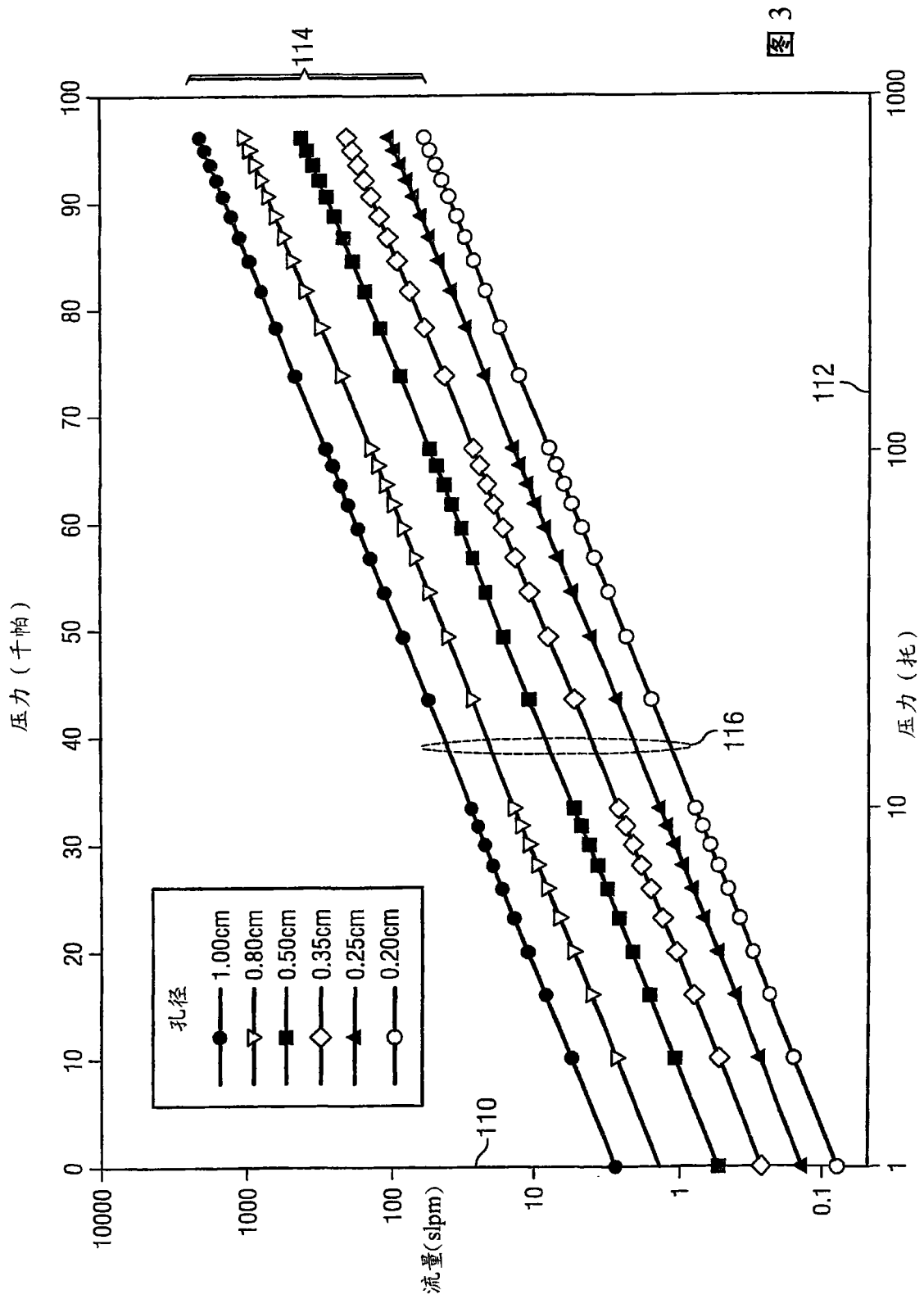


图 3

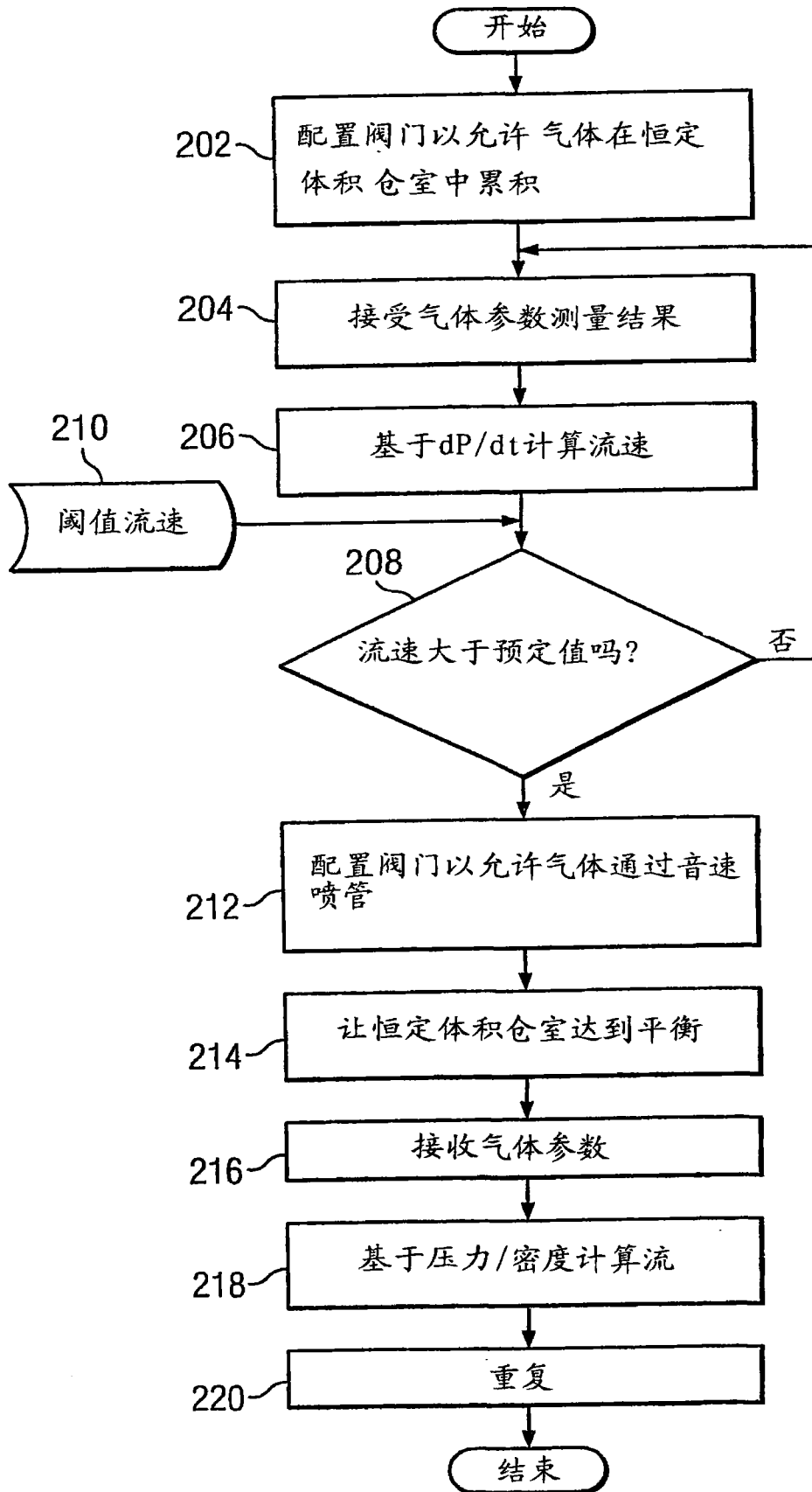


图 4