



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1688948 B

(45) 授权公告日 2010.05.26

(21) 申请号 03822352.X

G05D 7/06 (2006.01)

(22) 申请日 2003.07.17

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

60/397,285 2002.07.19 US

US 6155283 A, 2000.12.05, 说明书全文.

US 5524084 A, 1996.06.04, 说明书全文.

CN 1275217 A, 2000.11.29, 说明书全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

2005.03.21

US 5911238 A, 1999.06.15, 说明书全文.

US 5062446 A, 1991.11.05, 说明书全文.

US 6138708 A, 2000.10.31, 说明书全文.

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2003/022435 2003.07.17

审查员 张晓霞

(87) PCT申请的公布数据

W02004/010234 EN 2004.01.29

(73) 专利权人 布鲁克斯器具有限公司

地址 美国宾夕法尼亚

(72) 发明人 约翰·迈克·卢尔 王均

小约瑟夫·A·塞吉奥

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 过晓东

(51) Int. Cl.

G05B 13/04 (2006.01)

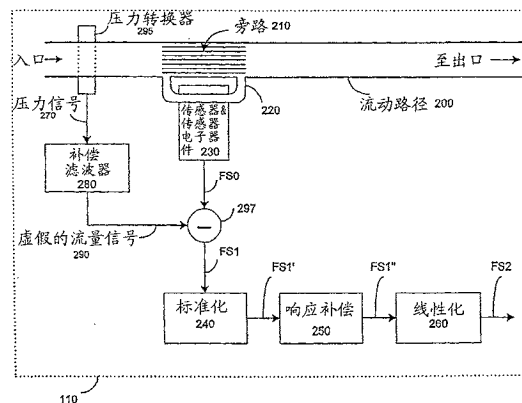
权利要求书 4 页 说明书 41 页 附图 17 页

(54) 发明名称

在质量流动控制器中用于压力补偿的方法和装置

(57) 摘要

质量流量控制器的性能可能易受在与控制流体流动的控制器耦合的流动路径中的压力瞬变现象的影响。本发明提供系统和方法用来减少或消除压力环境改变引起的质量流量控制器的性能下降、不稳定和/或不准确。具体地说,提供用来补偿流动路径和质量流量控制器的压力环境中的压力瞬变现象的方法和系统。



1. 一种调节传感器输出信号的方法,该传感器输出信号是在包括与有入口边和出口边的流体流动路径耦合的流量传感器的流动控制器中,该流量传感器适合提供的指示感受到的经过流动路径的流体流量的传感器输出信号,所述方法包括下述步骤:

测量在流动路径的流体压力,所述压力对应于流动路径中的压力瞬变现象;

提供对应于测量压力的压力信号;

构成模拟由于压力瞬变现象所产生的流量传感器的响应的虚假流量信号;以及在虚假流量信号的基础上调节传感器输出信号。

2. 根据权利要求 1 的方法,其中构成虚假流量信号的步骤包括过滤压力信号的步骤。

3. 根据权利要求 1 的方法,其中调节传感器输出信号的步骤包括从传感器输出信号中减去虚假流量信号的步骤。

4. 根据权利要求 1 的方法,其中构成虚假流量信号的步骤包括延迟压力信号的步骤,以致压力信号实质上及时地对准传感器输出信号。

5. 根据权利要求 1 的方法,其中构成虚假流量信号的步骤包括计算压力信号的导数的步骤。

6. 根据权利要求 1 的方法,其中构成虚假流量信号的步骤包括用至少一个滤波器过滤压力信号的步骤,所述至少一个滤波器有模拟流量传感器对压力瞬变现象变化的响应的转移函数。

7. 根据权利要求 6 的方法,其中至少一个滤波器包括众多串联的二阶滤波器,而来自众多二阶滤波器中每一个的输出都被按比例缩放和相加,以便提供虚假的流量信号。

8. 一种从由与流动路径耦合的流量传感器提供的传感器输出信号中把虚假的流量信息除去的方法,虚假的流量信息起因于流量传感器对压力瞬变现象引起的流量变化的响应,该方法包括下述步骤:

测量在流动路径的流体压力,所述测量压力对应于流动路径中的压力瞬变现象;

提供对应于测量压力的压力信号;

依据压力信号构成虚假的流量信号;以及

从传感器输出信号中减去虚假的流量信号,以便提供流体路径中的流体流量的流量信号指示。

9. 一种失效体积补偿方法,该方法包括下述步骤:

预测传感器对流体填充由于流动路径中压力瞬变现象造成的失效体积的响应;以及

以预测的响应为基础修正传感器提供的传感器输出信号,以便从传感器的输出信号中除去虚假的流量信息。

10. 一种确定在导管中流动的流体的流速的方法,该方法包括下述步骤:

a) 测知在导管中流动的流体的流速;

b) 测量流入导管的流动流体的压力变化,压力的变化对应于压力瞬变现象;

c) 确定压力变化对步骤 (a) 测知的流体流速的影响;以及

d) 基于压力变化的影响修正测知的流体流速以确定在导管中流动的流体的流速。

11. 一种在阀门受控部分的位置方面补偿流体压力引起的变化的方法,该方法由下述步骤组成:

在阀门环境中测量压力,所述测量的压力对应于压力瞬变现象;

提供对应于测量压力的压力信号；
以压力信号为基础计算阀门受控部分的位移；以及
产生补偿驱动电平把阀门的受控部分移动幅度与计算出来的位移相等但符号相反的量。

12. 一种防止阀门的受控部分由于压力瞬变现象运动的方法，该方法由下述步骤组成：

预测位移，该位移是压力瞬变根据阀门环境的至少一个压力测量将要迫使阀门的受控部分移动的位移；以及

移动阀门的受控部分以抵消预测的位移。

13. 一种为与流动路径耦合的质量流量控制器的控制回路提供基于压力的补偿的方法，该控制回路包括流量计、控制器、阀门调节器和阀门，所述的方法由下述步骤组成：

测量流体路径环境中的压力，所述测量压力对应于流体路径环境中的压力瞬变现象；

提供对应于测量压力的压力信号；

构成虚假的流量信号以便再造起因于流量计对压力瞬变现象的响应的虚假的流量信息；

以虚假的流量信息为基础确定至少一个补偿信号；以及

将至少一个补偿信号应用于质量流量控制器的控制回路。

14. 根据权利要求 13 的方法，其中将至少一个补偿信号应用于控制回路的步骤包括将虚假的流量信号应用于控制回路以补偿由于压力瞬变现象造成的流量计响应的波动步骤。

15. 根据权利要求 13 的方法，其中确定至少一个补偿信号的步骤包括确定指示为补偿由于压力瞬变现象造成的阀门位移预定的驱动电平的位移补偿信号。

16. 根据权利要求 13 的方法，其中确定至少一个补偿信号的步骤包括确定虚假的流量信号和位移补偿信号。

17. 一种流量计，其中包括：

适合测知流体流动路径中的流体流量并且提供指示测知的流体流量的传感器输出信号的流量传感器；

适合在流体流动路径环境中测量压力和提供指示实测压力的压力信号的压力转换器，测量压力对应于流动路径中的压力瞬变现象；以及

接收压力信号并且构成与压力信号有关的虚假流量信号的补偿滤波器；

其中虚假的流量信号是为了再造起因于流量传感器对在流动路径中由压力瞬变现象引起的流量波动的响应的虚假的流量信息而构成的。

18. 根据权利要求 17 的流量计，进一步包括：

减法器，接收传感器输出信号和虚假的流量信号并且提供与传感器输出信号和虚假的流量信号之差有关的流量信号。

19. 根据权利要求 18 的流量计，其中补偿滤波器包括延迟组件，所述延迟组件延迟压力信号使之实质上及时地对准流量传感器对压力瞬变现象的响应，而且延迟组件提供被延迟的压力信号。

20. 根据权利要求 19 的流量计，其中补偿滤波器包括接收被延迟的压力信号的微分网络，该微分网络适合确定被延迟的压力信号的导数，以便提供导数信号。

21. 根据权利要求 17 的流量计,其中补偿滤波器进一步包括:
微分网络,其适合用于接收压力信号,确定压力信号的导数,和提供导数信号;以及
至少一个有转移函数适合把导数信号转换成指示流量传感器根据压力瞬变现象产生的虚假的流量信息的虚假的流量信号的滤波器。

22. 根据权利要求 17 的流量计,进一步包括:
用来接收压力信号和提供指出补偿与流动路径耦合的阀门因压力瞬变现象变化引起的阀门位移的驱动水平的位移补偿信号的位移补偿装置。

23. 根据权利要求 22 的流量计,其中位移补偿装置包括用来以阀门的力学模型为基础计算位移补偿信号的装置。

24. 根据权利要求 23 的流量计,其中阀门的力学模型包括阀门的磁性模型。

25. 根据权利要求 23 的流量计,其中阀门的力学模型有指出阀门环境压力梯度的参数。

26. 根据权利要求 17 的流量计,其中补偿滤波器包括模拟流量传感器对流动路径中的压力瞬变现象的响应的转移函数。

27. 根据权利要求 17 的流量计,其中为了提供流量信号将虚假的流量信号从传感器输出信号中减去。

28. 根据权利要求 17 的流量计,其中流量计包括在质量流量控制器中,所述质量流量控制器进一步包括:

与流量计耦合适合至少部份地基于流量信号提供驱动信号的控制器;

适合接收来自控制器的驱动信号的阀门调节器;

适合受阀门调节器控制并且与流体流动路径耦合的阀门。

29. 根据权利要求 17 的流量计,其中压力转换器测量流动路径的入口压力并且提供入口压力信号。

30. 根据权利要求 29 的流量计,其中补偿滤波器有模拟流量传感器对起因于入口压力变化的流体流量的响应的转移函数。

31. 根据权利要求 29 的流量计,其中虚假的流量信号是为再造起因于入口压力变化的传感器输出信号的虚假流量信息组成部分构成的。

32. 根据权利要求 28 的流量计,其中流量信号是通过从传感器输出信号中减去虚假流量信号确定的。

33. 根据权利要求 17 的流量计,其中补偿滤波器包括接收压力信号并且提供指示维持阀门受控部分在阀门的压力环境中实质上不动的驱动电平的位移补偿信号的位移补偿装置。

34. 根据权利要求 33 的流量计,其中位移补偿信号被加到驱动信号上以补偿在阀门的压力环境中起因于压力梯度的阀门位移。

35. 根据权利要求 33 的流量计,其中位移补偿信号部份地建立在阀门的力学模型基础上。

36. 根据权利要求 35 的流量计,其中阀门的力学模型包括阀门的磁性模型。

37. 根据权利要求 35 的流量计,其中阀门的力学模型包括用于至少一个横跨阀门的压降的参数。

38. 根据权利要求 17 的流量计,其中补偿滤波器构成虚假流量信号以再造起因于响应于压力瞬变现象的虚假流量信息,和其中补偿滤波器包括位移补偿装置以接收压力信号并且提供指示补偿压力变化引起的阀门位移的驱动电平的位移补偿信号。

39. 根据权利要求 17 的流量计,其中补偿滤波器包括众多滤波器,其中的至少两个是串联连接的,而且其中那至少两个滤波器各自的输出中的每个都被按比例缩放和相加。

40. 根据权利要求 39 的流量计,其中补偿滤波器进一步包括适合计算压力信号的导数并且将求导后的信号提供给众多滤波器的微分网络。

41. 根据权利要求 39 的流量计,其中补偿滤波器进一步包括延迟压力信号,并且将延迟的压力信号提供给众多滤波器的延迟电路。

42. 一种根据权利要求 1 的调节传感器输出信号的方法,其中流动控制器包括处理器,其中所述的方法由存储在计算机可读媒体中的程序所实施,而且其中所述的方法通过处理器来执行。

在质量流量控制器中用于压力补偿的方法和装置

[0001] 本发明的技术领域

[0002] 本发明一般地涉及用来控制流体流速的方法和系统,更具体地说,涉及包括质量流量控制器的方法和系统。

[0003] 本发明的现有技术

[0004] 许多工业过程需要精确控制各种不同工作流体。例如,在制药工业和半导体工业中,质量流量控制器被用来精确测量和控制引进处理室的工作流体的数量。术语“流体”在此被用来描述在任何状态都能流动的任何类型的物质。人们将会理解术语“流体”适用于液体、气体和包括任何物质的组合的淤浆或可能对其受控流动感兴趣的物质。

[0005] 传统的质量流量控制器通常包括四个主要部分:流量计、控制阀、阀门调节器和控制器。流量计测量流动路径中流体的质量流速并且提供指示那个流速的信号。流量计可能包括质量流量传感器和旁路。质量流量传感器测量流体在与旁路流体耦合的传感器导管中的质量流速。流体在传感器导管中的质量流速近似地与在旁路中流动的流体的质量流速成比例,两者之和是通过受质量流量控制器控制的流动路径的总流速。然而,人们应该领会到,一些质量流量控制器可能不使用旁路,照此,所有的流体可能都流过传感器导管。

[0006] 在许多质量流量控制器中,使用包括一对按隔开的位置缠绕传感器导管的电阻(每个电阻都有随温度变化的电阻)的测温质量流量传感器。当流体流过传感器导管的时候,热量从上游的电阻向下流的电阻传递,温差与流过传感器导管和旁路的流体的质量流速成正比。

[0007] 控制阀被放置在主要的流体流动路径中(通常在旁路和质量流量传感器下游)而且能被控制(例如,打开或关闭)以便改变流过主要的流体流动路径的流体的质量流速,控制是由质量流量控制器提供的。阀门通常受阀门调节器控制,其中阀门调节器的例子包括螺线管调节器、压电式调节器、步进式调节器等等。

[0008] 控制电子组件基于指示希望质量流量控制器提供的流体的质量流速的设定点和来自质量流量传感器指示在传感器导管中流动的流体的实际质量流速的流量信号控制控制阀的位置。然后,诸如比例控制、积分控制、比例-积分(PI)控制、微分控制、比例-微分(PD)控制、积分-微分(ID)控制和比例-积分-微分(PID)控制之类传统的反馈控制方法被用来控制流体在质量流量控制器中的流动。在每种上述的反馈控制方法中,控制信号(例如,控制阀门的驱动信号)是基于误差信号产生的,该误差信号是指示预期的流体质量流速的设定点信号和与质量流量传感器测知的实际的质量流速有关的反馈信号之间的差。

[0009] 许多传统的质量流量控制器对组成部分性能是敏感的,其中组成部分的性能可能取决于若干操作条件,包括流体物种、流速、入口和/或出口压力,温度等等。除此之外,传统的质量流量控制器可能对在生产质量流量控制器时使用的组成部分的组合呈现某些特定的不一致性,这将导致质量流量控制器的不一致的和不受欢迎的性能。

[0010] 为了解决一些这样的问题,质量流量控制器可能在生产期间进行统调和/或校准。生产通常包括在一组操作条件下在测试流体上操作质量流量控制器和统调和/或校准质量流量控制器,使之呈现令人满意的性能。

[0011] 如同熟悉这项技术的人公知的那样,统调和 / 或校准质量流量控制器的过程是费用高的劳动密集型过程,往往需要一个或多个熟练的操作员和专用设备。例如,质量流量控制器的质量流量传感器部分可能是通过使已知量的已知流体流过传感器部分和调节某些滤波器或组成部分提供适当的响应进行统调的。然后,可以将旁路安装到传感器上,用已知的流体统调旁路,以便反映以各种不同的已知流速在主要的流体流动路径中流动的已知流体的适当的百分比。然后,质量流量传感器部分和旁路可以配对控制阀门部分和控制电子组件部分,再在已知的条件下被统调一次。

[0012] 当终端用户使用的流体类型不同于在统调和 / 或校准中使用的流体类型的时候,或者当终端用户使用的诸如入口和出口压力、温度、流速范围之类的操作条件不同于在统调和 / 或校准中使用的操作条件的时候,质量流量控制器的操作通常会降级。因为这个缘故,附加的流体(被称为“代用流体”)和 / 或操作条件往往被再次统调或校准,以便将提供令人满意的响应所需的任何变化储存在查询表中。

[0013] 虽然使用不同的流体在不同的操作条件下进行附加的统调和 / 或校准能用来改善质量流量控制器的性能,但是这种类型的代用品统调和 / 或校准是耗费时间的和高费用的,因为统调和 / 或校准程序必须至少针对每种代用流体重复进行,而且有可能必须针对若干不同的操作条件用每种代用流体进行重复。此外,因为代用流体在性能上仅仅接近终端用户可能使用的各种不同类型的流体,所以质量流量控制器在终端用户位置的实际操作可能实质上不同于在统调和 / 或校准期间的操作。考虑到使用质量流量控制器的工业和应用的广泛范围,终端用户用于质量流量控制器的工作流体和操作条件可能不同于统调和 / 或校准质量流量控制器所采用的测试流体和操作条件,尽管质量流量控制器的统调和 / 或校准是用若干不同的代用流体和操作条件完成的。所以,需要一种装置,它对操作条件是不敏感的而且不需要同样多的校准和 / 或统调。

[0014] 为了控制流体流量与质量流量控制器耦合的流动路径可能包括流量计测知流量的部分,该部分有上文所述的旁路和传感器导管。流动路径往往配备压力调节器以便控制在流动路径入口一侧的压力。通常,压力调节器是在流动路径与流量计耦合部分上游提供的。

[0015] 压力调节器维持预期的流动路径入口压力。压力调节器通常正常操作而且可能把压力瞬变现象或其它偏离预期压力的现象引进流动路径。这些偏离可能对质量流量控制器的性能有不利的影响。质量流量控制器往往必须尽可能最好地吸收这些不受欢迎的压力瞬变现象,而这些不受欢迎的瞬变现象通常降低质量流量控制器的控制精度和性能质量。

[0016] 本发明的概述

[0017] 本发明的一个方面把某种方法包括在包括与有入口边和出口边的流体流动路径耦合的流量传感器的流量控制器之中,该流量传感器适合提供指示测知的经过流动路径的流体流量的传感器输出信号,方法包括测量流动路径的至少一个压力的行为和基于测量至少一个压力的行为调节传感器输出信号。依照一个实施方案,该方法进一步包括以至少一个压力为基础形成至少一个压力信号的行为。依照一个实施方案,方法进一步包括对至少一个压力信号进行滤波提供模拟流量传感器归因于流动路径中的压力变化的响应的虚假流量信号的行为。依照一个实施方案,方法进一步包括调节传感器输出的行为和从传感器输出信号中减去虚假流量信号的行为。

[0018] 本发明的另一方面包括修正来自流量传感器的传感器输出信号的方法,该方法由下述行为组成:基于流动路径的至少一个压力测量结果构成与压力变化造成的流量传感器响应相对应的虚假的流量信号以及从传感器输出信号中减去虚假的流量信号。依照一个实施方案,该方法进一步包括提供指示那至少一个压力测量结果的压力信号的行为。依照一个实施方案,方法进一步包括构成虚假的流量信号的行为包括这样延迟压力信号的行为以致它实质上及时地对准传感器输出信号。依照一个实施方案,方法进一步包括构成虚假流量信号的行为包括计算压力信号的导数的行为。依照一个实施方案,方法进一步包括构成虚假流量信号的行为包括用至少一个滤波器对压力信号进行滤波的行为,那至少一个滤波器有模拟流量传感器对流动路径中的压力变化的响应的转移函数。依照一个实施方案,那至少一个滤波器包括众多串联连接的二阶滤波器,而且来自众多二阶滤波器的输出每个都被按比例缩放和相加,以便提供虚假的流量信号。

[0019] 本发明的一个方面包括从与流动路径耦合的流量传感器提供的传感器输出信号中把虚假的流量信息除去的方法,虚假的流量信息起因于流量传感器对压力瞬变现象所引起的流量变化。该方法包括测量流动路径的至少一个压力的行为、提供指示那至少一个压力测量结果的至少一个压力信号的行为、依据那至少一个压力信号构成虚假流量信号的行为和从传感器输出信号中减去虚假的流量信号提供指示流体路径中的流体流量的流量信号的行为。

[0020] 本发明的第二方面包括失效体积补偿的方法,该方法包括预测传感器对流体填充因流体流动路径中压力变化造成的失效体积的响应的行为和基于预测的响应修正传感器提供的传感器输出信号从本质上把虚假的流量信息从传感器输出信号中除去的行为。

[0021] 本发明的第三方面包括确定在导管中流动的流体的流速的方法,其中包括下述行为:a) 测知在导管中流动的流体所流速,b) 测量在导管中流动的流体的压力变化,c) 确定压力变化对通过行为(a)测知的流体的流速的影响和基于压力变化的影响修正测知的流体流速以确定在导管中流动的流体的流速。

[0022] 本发明的第四方面涉及包括适合测量流动路径中的流体流量的流量传感器(该流量传感器根据在流动路径中测知的流体流量提供传感器输出信号)、在流动路径中测量至少一个压力的至少一个压力转换器(那至少一个压力转换器提供至少一个与相应的至少一个实测压力有关的压力信号)、接收那至少一个压力信号的补偿滤波器(该补偿滤波器适合构成与流量传感器对流动路径中的压力瞬变现象的响应近似的虚假的流量信号)和接收传感器输出信号和虚假的流量信号并且提供与传感器输出信号和虚假流量信号之差有关的流量信号的减法器的流量计。依照本发明的一个实施方案,补偿滤波器包括延迟那至少一个压力信号使之实质上及时地对准流量传感器对压力瞬变现象的响应的延迟组件,而且该延迟组件提供至少一个被延迟的压力信号。依照本发明的一个实施方案,补偿滤波器包括接收被延迟的压力信号的分网络,该分网络适合确定被延迟的压力信号的导数提供导数信号。

[0023] 本发明的第五方面涉及用来从压力信号产生虚假流量信号的补偿滤波器,该补偿滤波器包括接收指示流体路径中压力的压力信号的分网络(该分网络适合确定压力信号的导数提供导数信号)和至少一个有适合把导数信号转变成指示流量传感器响应压力瞬变现象产生的虚假流量信息的虚假流量信号的转移函数的滤波器。

[0024] 本发明的第六方面涉及补偿在阀门的受控部分的位置的流体压力次生变化的方法,该方法由下述行为组成:在阀门环境中测量至少一个压力、提供分别指示那至少一个压力测量结果的至少一个压力信号、基于那至少一个压力信号计算阀门受控部分的位移和产生把阀门的受控部分移动实质上与计算出来的位移大小相等但符号相反的数量的补偿驱动电平。

[0025] 本发明的第七方面包括避免阀门的受控部分由于压力瞬变现象运动的方法,该方法由下述行为组成:基于阀门环境的至少一个压力测量结果预测压力瞬变现象将迫使阀门的受控部分移动的位移和移动阀门的受控部分以便抵消预测的位移。

[0026] 本发明的第八方面包括与流动路径耦合的装置,该装置包括在流动路径环境中测量至少一个压力并且提供指示那至少一个实测压力的至少一个压力信号的压力测量装置和用来接收那至少一个压力信号并且提供指出补偿与流动路径耦合的阀门因流动路径环境中的压力变化引起的阀门位移的驱动电平的位移补偿信号的位移补偿装置。

[0027] 依照一个实施方案,位移补偿装置包括用来基于阀门力学模型计算位移补偿信号的装置。依照另外的一个实施方案,阀门力学模型包括阀门的磁性模型。依照一个实施方案,阀门力学模型有指出阀门环境中的压力梯度的参数。

[0028] 依照本发明的第九方面,提供一种包括适合测知流体流动路径中的流体流量并且提供指示测知的流体流量的传感器输出信号的流量传感器、适合测量流体流动路径环境中的至少一个压力并且提供指示那至少一个实测压力的至少一个压力信号的至少一个压力转换器和接收那至少一个压力信号并且构成与那至少一个压力信号有关的虚假流量信号的补偿滤波器的流量计。

[0029] 依照一个实施方案,虚假流量信号是为了再造起因于流量传感器对流动路径中的压力瞬变现象所引起的流量波动的响应的虚假流量信息构成的。依照另一个实施方案,补偿滤波器包括模拟流量传感器对流动路径中的压力瞬变现象的响应的转移函数。依照一个实施方案,为了提供流量信号将虚假的流量信号从传感器输出信号中减去。依照本发明的另一方面,在与流动路径耦合的质量流量控制器(该质量流量控制器有包括流量计、控制器、阀门调节器和阀门的控制回路)中,提供一种由下述行为组成的方法:测量流体路径环境中的至少一个压力、提供指出至少一个压力测量结果的至少一个压力信号、基于至少一个压力测量结果确定至少一个补偿信号和把那至少一个补偿信号加到质量流量控制器的控制回路上。

[0030] 依照一个实施方案,该方法进一步包括确定至少一个补偿滤波器的行为包括构成虚假的流量信号以便再造起因于流量计对流动路径环境中的压力瞬变现象的响应的虚假流量信息。依照另一个实施方案,该方法进一步包括把那至少一个补偿信号加到控制回路上的行为包括把虚假的流量信号加到控制回路上补偿流量计在流体流量方面因流动路径中的压力瞬变现象造成的响应波动的行为。依照进一步的实施方案,方法进一步包括确定那至少一个补偿信号的行为包括确定指示补偿因压力瞬变现象造成的阀门位移的驱动电平的位移补偿信号。依照一个实施方案,方法进一步包括确定至少一个补偿信号的行为包括确定虚假流量信号和位移补偿信号。

[0031] 依照本发明的第十方面,提供一种质量流量控制器。包括适合测知流体流动路径中的流体流量并且提供指示流动路径中的质量流速的流量信号的流量计、与流量计耦合并

且适合至少部份地基于流量信号提供驱动信号的控制器、适合接收来自控制器的驱动信号的阀门调节器、适合受阀门调节器控制并且与流体流动路径耦合的阀门、测量质量流量控制器环境中的至少一个压力并且提供指示那至少一个压力测量结果的至少一个压力信号的至少一个压力转换器和接收至少一个压力信号并且把至少一个补偿信号提供给控制回路补偿质量流量控制器环境中的压力变化的影响的至少一个补偿装置,其中质量流量控制器的控制回路包括流量计、控制器、阀门调节器和阀门。

[0032] 依照一个实施方案,那至少一个转换器测量流动路径的入口压力和提供入口压力信号。依照一个实施方案,那至少一个补偿装置包括接收入口压力信号并且依据入口压力信号构成虚假流量信号的补偿滤波器。依照另一个实施方案,流量计包括适合测知流动路径中的流体流量而且适合提供指示测知的流体流量的传感器输出信号的流量传感器。依照另一个实施方案,补偿滤波器有模拟流量传感器对起因于在入口压力变化的流体流量的响应的转移函数。

[0033] 依照另一个实施方案,虚假流量信号是为了再造传感器输出信号起因于入口压力变化的虚假流量信息组成部分而构成的。依照一个实施方案,流量信号是通过从传感器输出信号中减去虚假流量信号确定的。依照一个实施方案,补偿装置包括位移补偿装置那接收入口压力信号并且提供指示在阀门的压力环境中维持阀门受控部分实质上不动的驱动电平的位移补偿信号。依照一个实施方案,位移补偿信号被加到驱动信号上以补偿起因于阀门压力环境中的压力梯度的阀门位移。依照一个实施方案,位移补偿信号部份地建立在阀门力学模型基础上。依照一个实施方案,阀门的力学模型包括阀门磁性模型。

[0034] 依照一个实施方案,阀门的力学模型包括至少一个横跨阀门的压降参数。依照一个实施方案,补偿装置包括接收至少一个压力信号并且提供为再造由流量计响应压力瞬变现象产生的虚假流量信息而构成的虚假流量信号的补偿滤波器和接收至少一个压力信号并且提供指示补偿压力变化引起的阀门位移的驱动电平的位移补偿信号的位移补偿装置。

[0035] 本发明的第十一方面包括为在至少部份地不同于质量流量控制器生产期间使用的测试操作条件的工艺操作条件下操作配置质量流量控制器的方法,该方法包括下述行为:在测试操作条件下确定质量流量控制器的响应,以及基于工艺操作条件修正质量流量控制器的至少一个控制参数以致在工艺操作条件下操作的质量流量控制器的响应实质上不改变。

[0036] 依照一个实施方案,方法进一步包括修正那至少一个控制参数的行为包括基于工艺操作条件确定与众多质量流量控制器的组成部分相关联的众多过程增益项的行为,众多组成部分形成质量流量控制器的控制回路。依照一个实施方案,方法进一步包括确定众多过程增益项的行为包括确定通过取众多过程增益项的乘积的倒数形成的过程倒数增益项的行为,过程倒数增益项是至少一个可变的操作条件的函数。依照一个实施方案,方法进一步包括至少一个可变的操作条件包括质量流量控制器环境中的至少一个压力。依照一个实施方案,方法进一步包括至少一个可变的操作条件包括入口压力。依照一个实施方案,方法进一步包括至少一个可变的操作条件包括设定点。

[0037] 本发明的第十二方面包括用在处理器上执行的程序编码的计算机可读媒体,该程序在处理器上运行时实现为在至少部份地不同于一组在生产期间用来确定质量流量控制器的响应的测试操作条件的一组工艺操作条件下操作配置质量流量控制器的方法,该方法

包括下述行为：至少接收工作流体物种信息和工艺操作条件之一作为输入，以及基于输入修正至少一个质量流量控制器的控制参数，以致质量流量控制器的响应在按工艺操作条件操作时实质上不改变。

[0038] 依照一个实施方案，修正那至少一个控制参数的行为包括确定与工艺操作条件下操作的质量流量控制器的众多组成部分相关联的众多过程增益项的行为，众多组成部分形成质量流量控制器的控制回路。依照一个实施方案，确定众多增益项的行为包括确定通过计算众多增益项的乘积的倒数形成的过程倒数增益项的行为，过程倒数增益项是至少一个可变的操作条件的函数。依照一个实施方案，至少一个可变的操作条件包括质量流量控制器环境中的至少一个压力。依照一个实施方案，至少一个可变的操作条件包括入口压力。依照一个实施方案，至少一个可变的操作条件包括设定点。

[0039] 在本发明的第十三方面中，提供一种有控制回路的质量流量控制器。质量流量控制器包括适合测知流体流动路径中的流体流量并且提供指示流动路径中的质量流速的流量信号的流量计、与流量计耦合并且适合至少部份地基于流量信号提供驱动信号的控制器、适合接收来自控制器的驱动信号的阀门调节器、适合受阀门调节器控制并且与流体流动路径耦合的阀门，其中质量流量控制器的控制回路包括流量计、控制器、阀门调节器和阀门，而且控制回路适合在操作期间相对于至少一个可变的操作条件有实质上恒定不变的控制回路增益项。

[0040] 依照一个实施方案，至少一个可变的操作条件包括质量流量控制器环境中的至少一个压力。依照一个实施方案，至少一个可变的操作条件包括入口压力。依照一个实施方案，至少一个可变的操作条件包括设定点。

[0041] 依照本发明的第十四方面，提供一种依据压力信号产生虚假流量信号的补偿滤波器。补偿滤波器包括众多滤波器，其中的至少两个是串联连接的，而且那至少两个滤波器各自的输出被按比例缩放和相加。在本发明的一个实施方案中，补偿滤波器进一步包括适合计算压力信号的导数并且把导数信号提供给众多滤波器的微分网络。依照另一个实施方案，补偿滤波器进一步包括延迟压力信号并且把延迟的压力信号提供给滤波器众多的延迟。

[0042] 附图简要说明

[0043] 图 1 举例说明可以实现本发明的各个方面的示范质量流量控制器的示意方框图；

[0044] 图 2 是图 1 所示流量计的更详细的示意方框图；

[0045] 图 3 举例说明依照本发明一个实施方案质量流量传感器响应流量阶梯式变化的各种不同的输出信号；

[0046] 图 4 是图 1 所示的增益 / 超前 / 滞后控制器电路的更详细的示意图；

[0047] 图 5 是图 1 所示的阀门调节器的更详细的示意方框图；

[0048] 图 6 举例说明图 4 所示的许多信号的信号波形；

[0049] 图 7a-7f 举例说明依照本发明的一个实施方案配置适合在工作流体和 / 或工艺操作条件下操作的质量流量传感器的方法；

[0050] 图 8 举例说明依照本发明的一个实施方案的补偿滤波器；

[0051] 图 9 举例说明依照本发明的一个实施方案的一种补偿压力引起的阀门位移的方法；

- [0052] 图 10 举例说明自由漂浮的柱塞；
- [0053] 图 11A 是在流动路径入口引进的压力脉冲随时间变化的曲线图；
- [0054] 图 11B 是图 11A 所示的压力脉冲产生的压力信号的曲线图；
- [0055] 图 11C 举例说明依照本发明的一个实施方案有检测压力变化的压力转换器的流动路径；
- [0056] 图 11D 展示依照本发明的一个实施方案补偿虚假流量信息的补偿滤波器；
- [0057] 图 12A 举例说明在流动路径的入口边引进压力脉冲形状方面的压力瞬变现象的情形；
- [0058] 图 12B 展示由图 12A 所示的压力瞬变现象产生的传感器输出随时间的变化；
- [0059] 图 13 举例说明依照本发明的一个实施方案补偿压力引起的阀门位移的方法；
- [0060] 图 14 举例说明依照本发明的一个实施方案使自动配置质量流量控制器变得容易的系统；
- [0061] 图 15 举例说明依照本发明的一个实施方案使自动配置质量流量控制器变得容易的另一个系统；而
- [0062] 图 16 举例说明阀门的截面图。
- [0063] 本发明的详细描述
- [0064] 这份申请包含与通过引证在此将其内容全部并入的于 2002 年 4 月 24 日申请的以“SYSTEM AND METHOD FOR A MASSELOW CONTROLLER(用于质量流量控制器的系统和方法)”为标题的美国专利申请第 10/131,603 号有关的题材。
- [0065] 通常流体流动路径存在于压力环境中。压力环境可以包括在流动路径入口边的压力(称之为入口压力)、在阀门出口边的压力(称之为出口压力)和环境中的其它压力。例如,流动路径的压力环境也可以包括压差,例如,横跨旁路或阀门的压降。压力环境也可以包括各种不同的压力瞬变现象,包括调节器引进的脉冲、流量传感器的几何形状引起的湍流、或其它各种不同的压力微扰。然而,压力环境往往不受监测。同样,质量流量控制器的性能可能易受在与用来控制流体流动的控制耦合的流动路径中的压力瞬变现象的损害。
- [0066] 依照本发明的一个方面,申请者已经认识到流动路径的压力环境的测量结果可以用来减少或消除压力环境的改变引起的质量流量控制器性能的下降、不稳定和/或不准确。同样,申请者已经开发出各种不同的用来补偿流动路径和质量流量控制器的压力环境中的压力瞬变现象的方法。
- [0067] 如同上文讨论的那样,质量流量控制器通常包括测知流体流动路径中的流体流量的流量计。用流量计测知的流速往往是反馈控制回路的一部份,它控制在流动路径的出口边提供给工艺(例如,半导体加工工艺)的流体的流速。
- [0068] 在许多情况下,提供给工艺的实际流速必须得到精确控制。然而,压力瞬变现象可能在用流量计测知的流体流量方面引起局部波动。这些局部波动不可能是提供给工艺的实际流速的精确指示。然后,这个虚假的流量信息提供给质量流量控制器的控制回路。然后,控制器可能根据这个虚假的流量信息调节提供给工艺的流速。因此,控制器可能暂时失去对工艺的控制和/或为工艺提供不符合要求的流速。
- [0069] 如同在本文中使用的,术语虚假流量指的是与提供给工艺的实际流量不符的流体流量。例如,实质上在流动路径的出口边不曾经历过的流体流量的局部变化或波动被

看作是虚假流量。同样,虚假的流量信息通常描述与提供给工艺的流速不符的流量指示。

[0070] 依照本发明的一个实施方案,人们将领会到测量流动路径的压力(例如,入口压力)和提供把这个信息合并的控制系统可能是有利的。更具体地说,为了减少因压力瞬变现象造成的性能下降,测量流动路径中的压力和根据压力变化调节质量流量控制器的控制参数可能是符合要求的。

[0071] 本发明的一个实施方案包括测量流动路径的入口压力并且把入口压力测量结果提供给质量流量控制器。例如,压力转换器可以与流动路径耦合以便提供指示流动路径的入口压力的压力信号。

[0072] 申请者已经认识到和领会到:通过把压力信号提供给质量流量控制器能处理在质量流量控制器的传统操作方面的各种不足。因此,申请者已经认识到利用压力信号提高质量流量控制器的性能和准确性的各种方法。依照本发明一个实施方案的一种方法包括补偿由于与质量流量控制器耦合的流动路径中的压力瞬变现象可能发生的不真实的流量信号。

[0073] 下面描述与可能对质量流量控制器有不利影响的流动路径中的压力瞬变现象相关联的一个问题。当流动路径中的压力改变的时候,流体为了填充因压力变化形成的体积(被称为失效体积)加速减少压力梯度。流量计的传感器可以记录由于流体的这种局部加速进入失效体积造成的流体流量增加。然而,因为这个流量不反映提供给工艺的流量,所以这被看作是虚假的流体流量。同样,来自传感器的传感器输出信号携带传播到质量流量控制器的控制回路的虚假流量信息。依照前面的讨论,这个虚假的流量信息对质量流量控制器的精度和性能可能有不希望的后果。

[0074] 图 12A 举例说明在流动路径的入口边引进压力脉冲形状方面的压力瞬变现象的情形。曲线图 1200a 展示压力脉冲 1210 随时间变化的曲线。压力脉冲 1210 是在流动路径的入口边引进的。因此,流量传感器以图 12B 的曲线图 1200b 所示的传感器输出信号 1220 响应。假定流动路径的实际流量(即,递送给工艺的流量)没有改变,那么传感器输出信号的尖峰相对于实际流量包含大的虚假流量组成部分。这样一来,质量流量控制器对流量尖峰产生反应并因此可能暂时失去对工艺的控制。

[0075] 依照本发明的一个实施方案,申请者已经认识到,可以利用流动路径中的压力测量结果预见虚假流量的指示和补偿它们可能招致的对质量流量控制器的不利影响。本发明的一个实施方案包括用来控制流量的方法,该方法包括测量流体流动路径中的压力和基于压力测量结果调节与流动路径耦合的流量传感器提供的输出信号。

[0076] 通过分析流量传感器对压力瞬变现象引起的流体流量波动的响应,申请者已经开发出用来产生再造流量传感器响应压力瞬变现象提供的流量信号的虚假流量组成部分的虚假流量信号的方法。这个产生的虚假流量信号可以被系统用来补偿流量传感器输出的尖峰。例如,这个信号可以被补偿器用来减少输出中的尖峰引起的驱动阀门的运动。

[0077] 图 11A-D 举例说明本发明用来依据指示流体流动路径中的实测压力的压力信号产生虚假流量信号的一个实施方案。然后,这个虚假的流量信号可以从流量传感器提供的流量信号中减去,产生指示不包括虚假流量信息的流量信号。同样,防止虚假的流量信息引起控制器错误的响应(例如,通过把多余的流量提供给工艺)。

[0078] 图 11A 所示的曲线图 1100a 举例说明压力瞬变现象,而且具体地举例说明在操作期间流动路径可能经历的压力脉冲 1110。图 11B 的曲线图 1100b 展示起因于压力脉冲 1110

的压力信号 1120。压力信号可以用与流动路径耦合而且适合在流动路径的某个部分测量压力的压力测量装置（例如，压力转换器）测量。

[0079] 图 11C 展示有流动路径 200 的系统 1100c，其中流量传感器 1140 与流动路径 200 耦合以便测知流动路径 200 中的流体流量。如图所示，压力脉冲 1100 是在流动路径 200 的入口引进流动路径 200 的（例如，由于上游调节器的不理想的性能）。压力脉冲 1100 可能引起流量传感器 1140 测知的流体流量的局部波动。流量传感器 1140 依次产生被虚假的流量信息破坏的传感器输出信号 1150。

[0080] 依照本发明的一个方面，提供用来补偿虚假流量信息的补偿滤波器。在本发明的一个实施方案中，如图 11D 所示，提供补偿滤波器 1180，它接收转换器 295 产生的压力信号 1120 并且产生虚假的流量信号 1160。因为滤波器 1180 接收指示流动路径中某个部分的压力的压力信息，所以补偿滤波器 1180 能预测流量传感器对起因于压力瞬变现象的流体流量波动将有的响应。

[0081] 同样，滤波器 1180 可以构成与传感器产生的虚假流量信息非常相似的虚假流量信号。更具体地说，滤波器 1180 再造流量传感器 1140 产生的虚假的流量信息并且提供这个信息作为虚假流量信号 1160。然后可以把虚假的流量信号 1160 从传感器输出信号 1150 中减去从而有效地消除压力脉冲 1100 的影响。在一个实施方案中，虚假的流量信号包括模拟流量传感器响应压力瞬变现象引起的流量波动的行为的转移函数。

[0082] 依照本发明一个实施方案，提供模拟流量传感器的行为的补偿滤波器 800。更具体地说，图 8 展示包括延时组件 810、微分网络 820、二阶滤波器 830a-f 的串联连接的组件（统称项目 830）和加法器 840 的补偿滤波器 800。补偿滤波器 800 接收压力信号 1120 并且把它提供给延迟组件 810。延时组件 810 这样延迟压力信号，以致被延迟的输出信号及时地对准传感器输出信号（未展示）。具体地说，在数在压力瞬变现象和流量传感器响应压力瞬变现象的时间之间一些有限量的时间流逝（即，在压力脉冲和虚假的流量信息出现在传感器输出信号上的时间之间存在延迟）。同样，压力信号可以被这样延迟，以致产生的虚假流量信号将从传感器输出信号的适当的部分中减去。

[0083] 延迟组件 810 把被延迟的压力信号 815 提供给计算被延迟的压力信号 815 的导数的微分网络 820 并且把导数信号 825 提供给一系列二阶滤波器 830。被延迟的压力信号的导数是计算出来的，因为起因于压力瞬变现象的虚假流量与起因于压力瞬变现象的压力梯度成比例。除此之外，被延迟的压力信号的导数保证恒定不变的压力导致虚假流量信号为零。换句话说，当压力信号恒定不变的时候，补偿滤波器对传感器输出信号没有影响。

[0084] 导数信号 825 是提供给一系列滤波器 830 中第一个二阶滤波器 830a 的。每个二阶滤波器的输出都作为输入提供给系列 830 中的下一个二阶滤波器。除此之外，来自每个二阶滤波器的输出被引出而且提供给各自的用各自恒定不变的增益因子 K_n 按比例缩放每个滤波器相应的输出的增益组件 850a-850f。

[0085] 来自独立的二阶滤波器的每个按比例缩放的输出都对构成虚假流量信号 1160 有贡献。加法器 840 把这些按比例缩放的输出的贡献相加，提供虚假流量信号 1160。在一个实施方案中，虚假的流量信号 1160 是流量传感器响应压力瞬变现象提供的虚假流量信息重建。同样地，为了补偿虚假的流量信息，虚假的流量信号 1160 可以从传感器输出中减去。

[0086] 人们应该领会到图 8 举例说明的滤波器的数目和滤波器的类型是没有限制的。的确,任何阶的任何滤波器配置和安排都可以用来提供虚假的流量信号。图 8 举例说明的配置业已表明提供对申请者已经发现有用的虚假流量信号特性(例如,停滞时间、上升时间、上冲和抛物线属性)的充分的控制,以致与响应压力瞬变现象叠加在传感器输出信号上的虚假流量信息非常相似的虚假流量信号可以被重建。然而,对于熟悉这项技术的人将会发生的其它的滤波器设计和安排可能是适用的并且被看作是在本发明的范围之内。例如,一些组成部分(例如,延迟组件 810、微分网络 820)的次序可能是不同的,和/或这些组件中的一个或多个可能被完全取消。

[0087] 在一个例子中,图 8 所示的滤波器的一个实施方案的设计将在下面予以更详细的描述。二阶滤波器的通用二阶移动函数可以表示成:

$$[0088] \quad K/(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2) \quad (1)$$

[0089] 其中:K = 增益;s = 拉普拉斯算子; ω_n = 固有频率; ξ = 阻尼因子。

[0090] 缩放比例因子可以被这样相加,以致每个滤波器能被设计成相互独立的。同样,滤波器组件 830 可以被优化,以便根据“高度”(增益)、“宽度”(频率响应)和上冲/下冲(阻尼)和通过改变缩放比例因子 ξ 、 ω 和 δ 来提供不同的响应,以致被构成的虚假流量信号的形状可以是“拨号选择的”。

[0091] 一种可仿效的特定转移函数能被表达成:

$$[0092] \quad K\delta\omega_n^2/(s^2+2\xi\delta\omega_n s+\delta^2\omega_n^2) \quad (2)$$

[0093] 转移函数中的 K 项是作为常数增益因子 K_n 举例说明的。同样,来自每个二阶滤波器的输出先乘以 K_n ,然后提供给加法器 840。加法器 840 把来自每个滤波器的贡献相加,提供虚假的流量信号 1160。把虚假的流量信号 1160 从传感器输出信号中减去,提供指示流量信号。同样,由于压力瞬变现象叠加在流量信号上的虚假流量信息是借助所构成的虚假流量信号被减掉的,从而留下指示在流动路径的出口供应给工艺的实际流量的流量信号。

[0094] 质量流量控制器往往由于包括在质量流量控制器的各种不同的组成部分对质量流量控制器的各种不同的操作条件的从属关系方面的非线性在内的诸多因素或其它因素易受不稳定性损害。术语操作条件通常适用于能够受到控制而且可能影响质量流量控制器的操作的各种不同的条件之中的任何条件。具体地说,操作条件适用于可能独立于特定的质量流量控制器受控的各种不同的外部条件。可仿效的操作条件包括但不限于流体物种、设定点或流速、入口和/或出口压力、温度等等。

[0095] 然而,人们应该领会到其它的内在条件在质量流量控制器操作期间可能存在,例如,信号特性、系统噪音或不能独立于特定的流量控制器受控的干扰。具体地说,质量流量控制器所使用的各种不同的信号可能有包含许多不同频率的频率分量。然而,信号的频率组成对信号是固有的而且不被看作是可独立于特定的质量流量控制器控制的。因此,这样的条件除非另有明确的说明都不被看作是被包括在本文使用的术语操作条件的范围内。

[0096] 术语质量流速、流体流量和流速在本文中可交替地用来描述单位时间流过单位体积的流动路径(例如图 1 的流动路径 103)或流动路径的某个部分的流体数量(即,流体质量流量)。

[0097] 术语物种通常适用于特定流体实例的性质。在物种方面的改变适用于在至少一种可能改变或影响质量流量控制器的性能的流体性质方面的改变。例如,在物种方面的改变

可能包括在流体类型方面的改变（例如，从氮气变成氢气），在流体组成方面的改变（例如，如果流体是气体或液体的组合，等等），和 / 或在流体或流体组合的状态方面的改变。术语物种信息通常适用于定义特定的流体物种的若干性质。例如，物种信息可能包括但不限于流体类型（例如氢气、氮气，等等），流体组成（例如，氢和氮）、分子量、比热、状态（例如，液态、气态等等）、粘度等等。

[0098] 质量流量控制器往往包括一些在控制回路中耦合在一起的不同的组成部分（即，流量传感器、反馈控制器、阀门等等）。作为控制回路一部份的每个组成部分可以有相关的增益。一般地说，术语增益指的是在特定的组成部分或组成部分群体的输入和输出之间的关系。例如，增益可能表示输出变化与输入变化之比。增益可能是一个或多个变量的函数，例如，质量流量控制器的一个或多个操作条件和 / 或特性（例如，流速、入口和 / 或出口压力、温度、阀门位移，等等）。一般地说，这样的增益函数在本文中被称为增益项。增益项，更具体地说，增益项的表达可能是曲线、函数的样本、离散的数据点、点对、常数等等。

[0099] 质量流量控制器的各种不同的组成部分或组成部分群体每个都可能具有相关的增益项。没有可测量的增益项的组成部分可以被认为是具有统一增益项。与质量流量控制器的各个组成部分相关的增益项之间的关系往往是复杂的。例如，不同的增益项可能是不同变量的函数（即，各个组成部分的操作条件和 / 或特性），可能是部份非线性的，而且可能是相互不成比例的。

[0100] 因此，与在质量流量控制器的控制回路周围的组成部分相关的每个增益项的贡献本身就是增益项。这个合成增益项本身可能是一个或多个变量的函数而且可能至少部份地对质量流量控制器关于质量流量控制器的各个组成部分的操作条件和 / 或特性的变化的敏感性有贡献。

[0101] 依照本发明的一个实施方案，提供一种有回路增益恒定不变的控制回路的质量流量控制器。依照一个实施方案，恒定不变的回路增益是通过形成与质量流量控制器的控制回路的一个或多个组成部分相关的增益项的乘积的倒数确定倒数增益项和把该倒数增益项应用于控制回路提供的。依照一个实施方案，压力信号被用来调节质量流量控制器的增益（例如，在与质量流量控制器相关的 GLL 控制器中），以提供恒定不变的增益。

[0102] 在本文中使用的恒定不变的回路增益描述相对于质量流量控制器的一个或多个操作条件实质上保持恒定不变的质量流量控制器的控制回路的增益。具体地说，恒定不变的回路增益不随着与质量流量控制器相关的特定的操作条件或随着与控制回路相关的个别增益项改变。人们应该领会到恒定不变的回路增益可能不是精确地恒定不变的。在测量、估算和计算方面的不精确可能导致恒定不变的回路增益改变。然而，这样的变化应该被看作是包括在本文所使用的恒定不变的回路增益的定义之内的。此外，恒定不变的回路增益可能未必在所有的操作范围或条件都是恒定不变的。然而，在操作条件范围内有恒定不变的回路增益的一个好处包括质量流量控制器能够针对一种流体操作（和统调和校准）而且不需要针对其它的流体和 / 或操作条件统调和 / 或校准。

[0103] 人们应该进一步领会到质量流量控制的某些组成部分的增益可能随着操作频率改变，而且质量流量控制器的信号可能有在许多不同的频率下的频率分量。然而，频率不被看作是操作条件，而且同样不被看作是恒定不变的回路增益保持恒定不变的条件。

[0104] 下面是关于依照本发明控制和配置质量流量控制器的方法和装置的各种不同的

概念和实施方案的更详细的描述。这样的可以用来实现各种不同的方面的流量控制器是在通过引证将其内容全部并入的于 2002 年 4 月 24 日申请的以“SYSTEM ANDMETHOD FOR A MASS FLOW CONTROLLER(用于质量流量控制器的系统和方法)”为标题的美国专利申请第 10/131,603 号中具体地描述的。虽然本发明的各个方面可以在其中所描述的质量流量控制器上实现,但是人们应该领会到,任何质量流量控制器都可能被使用,而且本发明不局限于在任何特定的质量流量控制器中实现。

[0105] 人们也应该领会到本发明的各种不同的方面如同前面讨论过的和下面进一步强调的那样可以以许多方式之中任何一种方式实现,因为本发明不局限于任何特定的实现。特定的实现的例子仅仅是为了举例说明的目的提供的。

[0106] 在下面的描述中,本发明的各个方面和特征将予以描述。为了清楚起见,各种不同的方面和特征将被分开讨论。熟悉这项技术的人将领会到这些特征可以有选择地合并到质量流量控制器中,取决于特定的应用。

[0107] A. 质量流量控制器的控制

[0108] 图 1 举例说明依照本发明的一个实施方案的质量流量控制器的示意方框图。图 1 举例说明的质量流量控制器包括流量计 110、增益 / 超前 / 滞后 (GLL) 控制器 150、阀门调节器 160 和阀门 170。

[0109] 流量计 110 与流动路径 103 耦合。流量计 110 测知流体在流动路径或流动路径某个部分中的流速并且提供指示测知的流速的流量信号 FS2。流量信号 FS2 被提供给 GLL 控制器 150 的第一输入。

[0110] 除此之外, GLL 控制器 150 包括接收设定点信号 SI2 的第二输入。设定点指的是打算由质量流量控制器 100 提供的预期流体流量的指示。如图 1 所示,设定点信号 SI2 可以在提供给 GLL 控制器 150 之前首先通过转换速率限制器或滤波器 130 传送。滤波器 130 用来限制相对于直接提供给 GLL 控制器 150 在信号 SI1 中的设定点方面的瞬时变化,以致流量方面的变化发生在指定的时段时间周期内。人们应该领会到转换速率限制器或滤波器 130 的使用对于实践本发明不是必不可少的而且在本发明的某些实施方案中可以被省略,而且各式各样能够提供预期的流体流量指示的信号之中任何一个都被看作是适当的设定点信号。术语设定点描述表达预期的流体流量的数值,不顾特定的信号。

[0111] 部份地基于流量信号 FS2 和设定点信号 SI2, GLL 控制器 150 把驱动信号 DS 提供给控制阀门 170 的阀门调节器 160。阀门 170 通常位于流量计 110 的下游并且允许至少部份地取决于阀门受控部分的位移的某种质量流速。阀门的受控部分可能是横跨流动路径的横截面放置的可移动的柱塞,如同参照图 16 更详细地描述的那样。阀门通过增加或减少横截面中流体允许流体流动的孔口面积控制流动路径中的流速。通常,质量流速是通过使阀门的受控部分机械地位移预期的距离控制的。术语位移通常被用来描述至少部份地独立于质量流速的阀门变量。同样,横截面中的孔口面积与通常被称为阀门位移的受控部分的位移有关。

[0112] 阀门的位移往往受诸如螺线管调节器、压电调节器、步进式调节器之类的阀门调节器控制。在图 1 中,阀门调节器 160 是螺线管型调节器,然而,本发明不局限于此,因为其它替代类型的阀门调节器也可以使用。阀门调节器 160 接收来自控制器的驱动信号 DS 并且把信号 DS 转换成阀门受控部分的机械位移。理想地,阀门位移纯粹是驱动信号的函数。

然而,在实践中,可能存在影响阀门受控部分的位置其它变量。

[0113] 举例说明

[0114] 例如,在图 10 所示的阀门中,在浮子背面 1026 和柱塞正面 1025 之间的压差在喷射孔 1040 和高台 1050 上试图迫使柱塞向喷射口移动。孔口上的柱塞面经受实质上等于流动路径的出口压力的压力。从孔口边缘 1045 到高台外边缘 1055,柱塞面经受压力梯度,在高台的外边缘压力实质上等于入口压力减去经过传感器旁路的任何压降。柱塞的其余部分(包括背面)经受实质上等于入口压力减去经过传感器旁路的任何压降的压力。因此,柱塞 1020 将经受与压力相关的力,它可以表示成: $Force = (P_1 - P_0) * A$, 其中 P_1 等于入口压力, P_0 等于出口压力, A 等于柱塞的有效面积。柱塞的有效面积可能因阀门而异,通常在孔口面积和孔口加高台面积范围之内。

[0115] 同样,当阀门经历压力瞬变现象的时候,这个力改变而且柱塞可能经历不受欢迎的位移。换言之,柱塞可能被平移不同于控制回路所要求的阀门位移的某个距离。这个不受欢迎的位移可能把有不想要的组成部分的流体流量提供给工艺。除此之外,这个不想要的位移可能如同下面描述的那样引起控制回路振荡。

[0116] 然而,如果可能引起阀门受控部分的不受欢迎运动的压力瞬变现象能够检测,那么加给阀门调节器的驱动信号就能被调节,以补偿这个不想要的阀门位移。换言之,驱动信号可以被这样调节,以致它有指示在检测到的压力瞬变现象下保持柱塞静止必不可少的驱动电平的分量。

[0117] 因此,依照本发明的一个实施方案包括依据压力测量结果确定位移补偿信号,其中位移补偿信号是阻止由于压力瞬变现象造成的柱塞移动必不可少的驱动电平。然后,把位移补偿信号加到阀门驱动信号上。因此,加到阀门上的阀门驱动信号有指出质量流量控制器的控制回路所预期的阀门位移的分量和指出在用压力测量结果记录的压力环境中保持柱塞稳定必不可少的驱动电平的分量。

[0118] 术语压力环境通常指的是阀门经历的各种不同的压力。当阀门的不同的部分在不同的时间可以“看到”不同的压力的时候,术语压力环境意欲表示可能影响作用在阀门上的力的整组压力。类似地,阀门环境指的是作用在阀门上的一组力,而且可以包括压力、磁力、弹簧力,机械力等等,下面将更详细地描述。

[0119] 依照本发明的一个实施方案包括使用阀门力学模型依据指示阀门环境中的至少一个压力测量结果的压力信号预测压力引起的阀门位移。

[0120] 图 9 举例说明压力引起的阀门位移的补偿方法。图 9 举例说明流动路径 200 的出口边。阀门 170 与流动路径耦合以控制经过出口给工艺的流体流量。阀门调节器 160 控制取决于用驱动信号 D' 指出的驱动电平的阀门位移。例如,阀门和阀门调节器对 170 和 160 可以与结合图 1 描述的那个一样。

[0121] 除此之外,压力转换器 295' 与流动路径耦合。压力转换器测量阀门环境中的至少一个压力。压力转换器 295' 提供指示阀门环境中的至少一个压力(例如,入口压力,出口压力,等等)的至少一个压力信号。为了这个例子,压力转换器测量流动路径的入口压力而且提供指出入口压力的压力信号 270"。尽管压力转换器被举例说明成在阀门的上游,但是人们应该领会到它可以被放置在阀门的下游。除此之外,为了测量阀门环境中的任何想要的压力和输出相关的指示压力测量结果的压力信号,可以沿着流动路径安排不止一个压力

转换器。

[0122] 压力信号 270" 提供给位移补偿组件 920。位移补偿确定实质上足以制止压力引起的位移受压力信号 270" 指出的压力环境对阀门的影响的驱动电平。位移补偿组件 920 把位移补偿信号提供给求和组件 950。在求和组件 950, 位移补偿信号被加到从控制器 150 发出的驱动信号 DS 上。例如, 控制器 150 可能是图 1 举例说明的 GLL 控制器。然后, 相加后的驱动信号 DS' 提供给依照驱动信号 DS' 机械地平移阀门受控部分的阀门调节器。

[0123] 因此, 驱动信号 DS' 有有效地把压力环境对阀门位移没有作用的力抵消的分量和由控制回路提供的分量。同样地, 起因于阀门环境的净阀门位移是质量流量控制器的控制回路需要的位移。

[0124] 在位移补偿的一个实施方案中, 为了确定在压力环境中压力引起的阀门位移, 使用阀门的力学模型。图 13 与图 9 类似, 然而, 位移补偿 920' 包括模拟阀门环境中的力的力学模型 1300。关于适合用自由漂浮的柱塞操作的阀门的力学模型是在以“阀门力学模型”为标题的段落 E 中描述的。

[0125] 为了在压力环境中预测压力引起的阀门位移, 可以制定许多不同的力学模型。力学模型可以因阀门的类型和预计的阀门操作条件改变。本发明不局限于任何特定的力学模型。

[0126] 依照前面的讨论, 质量流量控制器的各个组成部分可以有与其操作相关的增益项。例如, 图 1 举例说明分别与流量计 110、GLL 控制器 150、阀门调节器 160 和阀门 170 相关的增益项 A、B、C、D。这些组成部分和它们相关的输入和输出信号 (具体地说, 流量信号 FS2、驱动信号 DS、阀门信号 AD) 和在流动路径 103 中流动的流体形成质量流量控制器的控制回路。增益 A、B、C 和 D 依次与所述的输入和输出之间的关系相关联。人们应该领会到在这个控制回路周围的增益项对合成的控制回路增益都有贡献。

[0127] 通常, 这个控制回路增益项是在控制回路周围的增益项的乘积 (即, 控制回路增益项等于乘积 $A*B*C*D$)。如同在本文中使用的, 合成的增益项描述包括众多个别增益项的贡献的任何增益项。用于在此使用的合成增益项的记号法将作为用来表达对合成增益项有贡献的个别增益项的符号的符号串出现。例如, 上述的控制回路增益项将被表达为增益项 ABCD。除非另有说明, 假定上述的用于合成增益项的记号法是其成份增益项的乘积。

[0128] 与质量流量控制器的控制回路相关的个别增益项可以有不一致特性和导致可以有多样性的从属关系的合成增益项的从属关系。这些从属关系或变量可以包括设定点或流速、流体物种、温度、入口和 / 或出口压力、阀门位移等等。

[0129] 申请者已经认识和领会到, 有任意的控制回路增益项的质量流量控制器可能易受不稳定性损害而且可能对上面提到的一些或全部从属关系的改变是敏感的。下面描述图 1 举例说明的每个可仿效的增益项。

[0130] 增益项 A 与流量计相关并且表示通过质量流量控制器的实际流体流量和流量计的指示流量 (例如, FS2) 之间的关系 (例如, 指示流量的变化除以实际流体流量的变化)。增益项 A 经过校准至少是流速的常数函数。然而, 这个常数可能至少取决于与质量流量控制器一起操作的流体物种。

[0131] 增益项 B 与 GLL 控制器相关并且表示从流量计收到的指示流量信号 FS2 和提供给阀门调节器的驱动信号 DS 之间的关系。增益项 B 与在 GLL 控制器的反馈控制中使用的各

种不同的增益和常数有关。

[0132] 增益项 C 与阀门调节器相关并且表示阀门的驱动信号和位移之间的关系。增益 C 可以包括两个分开的增益（包括与驱动信号转换成电流或电压控制信号相关联的增益和与控制信号和阀门受控部分的机械位移相关联的增益）的组合。

[0133] 增益项 D 与阀门相关并且表示质量流量控制器的流速和阀门位移之间的关系（例如，流速的变化除以阀门位移的变化）。增益项 D 可能取决于包括流体物种、入口和出口压力、温度、阀门位移等等的多种操作条件。依照下面更详细地描述的本发明的一个方面，提供阀门的物理模型，以使在任意的流体和操作条件下确定与阀门相关联的增益项变得容易。

[0134] 增益项 G 是由增益项 A、C 和 D 的乘积的倒数形成的倒数增益项。如同人们将从本文的讨论中进一步领会到的那样，增益项 G 通过把恒定不变的回路增益提供给质量流量控制器的控制回路允许质量流量控制器不顾操作条件以一致的方式操作。

[0135] 依照本发明的一个方面，系统增益项是针对特定的质量流量控制器通过确定在质量流量控制器的控制回路周围的各个部分的合成增益项确定的。倒数增益项是通过计算系统的倒数增益项形成的。然后，这个倒数增益项加到控制回路上，以致控制回路以恒定不变的回路增益操作。因此，当改变控制回路周围的各种不同的增益项的时候，为了维持恒定不变的回路增益，可以改变倒数增益项。

[0136] 因为质量流量控制器的回路增益不顾与质量流量控制器一起使用的流体类型和不顾操作质量流量控制器的操作条件保持恒定不变，所以质量流量控制器在不同的流体和/或操作条件下的响应能变得稳定并且呈现与在质量流量控制器生产期间就测试流体和测试操作条件观察到的性能相同的性能。

[0137] 除非另有说明，系统增益项是在与质量流量控制器的各个组成部分相关联的控制回路周围固有地随着一个或多个操作条件改变的增益项的合成。例如，图 1 中的系统增益项是合成增益项 ACD。

[0138] 在图 1 的组件 140 中，倒数增益项 G 被通过计算系统增益项 ACD 的倒数并且把它作为输入之一加到 GLL 控制器上形成的。人们应该领会到倒数增益项可能是比与环绕质量流量控制器的控制回路的各个组成部分相关联的全部增益项少的增益项的倒数。例如，在控制和稳定性方面的改进可以通过形成合成增益项 AC、AD、CD 等等的倒数得以实现。然而，在优选的实施方案中，增益项 G 是这样形成的，以致回路增益保持恒定不变（即，增益 G 是系统增益项的倒数）。

[0139] 依照本发明的一个方面，压力可以是在入口测知的，而压力信号（例如，压力信号 190）可以是这样产生的，以致它能与质量流量控制器结合使用。例如，压力信号可以是这样产生的，以致它能在质量流量控制器的流量传感器部分中用来补偿由于压力瞬变现象造成的假指示。进而，压力信号可以用于阀门的前馈控制。另外，压力信号可以用来调节 GLL 控制器的增益。

[0140] 图 2 举例说明流量计 110 的更详细的示意方框图。流量计通常指的是测知通过流动路径或流动路径某个部分的流速和提供指示流速的信号的各种不同组成部分之中的任何组成部分。图 2 的流量计 110 包括旁路 210、传感器和传感器电子器件 230、接收来自传感器和传感器电子器件 230 的传感器信号 FS1 的标准化电路 240、与标准化电路 240 耦合的

响应补偿电路 250 和与响应补偿电路 250 耦合的线性化电路 260。线性化 260 的输出是在图 1 的质量流量控制器中举例说明的流量信号 FS2。

[0141] 虽然在图 2 中未展示,但是在一些实施方案中,传感器信号 FS1 可以在使用模数(A/D)转换器的情况下被转换成数字信号,以致质量流量控制器 100 所有进一步的信号处理可以用数字计算机或数字信号处理器(DSP)完成。虽然在优选的实施方案中,质量流量控制器 100 完成的所有信号处理都是通过数字完成的,但是本发明在模拟处理技术可以作为替代被使用的时候不局限于此。

[0142] 在图 2 中,传感器导管 220 转移一部分通过流动路径流动的流体,流体的其余部分和大部分通过旁路流动。传感器和传感器电子器件 230 与传感器导管耦合,测量通过导管的流速。压力转换器 295 与旁路上游的流动路径 200 耦合,以便在流动路径 200 的入口边测量入口压力。压力转换器 295 提供指示入口压力的压力信号 270。

[0143] 如同前面讨论的那样,压力瞬变现象可能在用传感器和传感器电子器件 230 测知的流体流量方面引起波动。然而,这被看作是虚假流量信息,因为它不指示在流动路径的出口边提供给工艺的流速。同样地,流量信号 FS0 可能被起因于入口压力的瞬变现象的虚假流量信息破坏。例如,流量信号 FS0 可能包含起因于流体急忙填充压力脉冲或其它的压力瞬变现象造成的失效体积引起的局部流体流量波动的虚假流量信息。

[0144] 为了减轻虚假流量信息的影响,补偿滤波器 280 接收来自压力转换器 295 的压力信号 270 而且构成虚假的流量信号 290。虚假的流量信号 290 是为了模拟传感器和传感器电子器件 230 由于压力瞬变现象引起的流体流量波动造成的错误响应构成的。也就是说,构成的虚假流量信号 290 等于或极近似于作为压力瞬变现象的结果叠加在流量信号上的虚假的流量信息。一种适当的补偿滤波器是参照图 8 和 12 详细描述。然后,将虚假的流量信号 290 从流量信号 FS0 中减去(例如,用减法器 297),以便提供已将虚假流量信息有效地减掉的传感器信号 FS1。

[0145] 然后,传感器信号 FS1 被进一步处理,以便提供指示流量信号 FS2。具体地说,流过导管的流体数量与在旁路中流动的流体成比例。然而,在操作质量流量控制器的流速范围内,导管流速和旁路流速之间的关系可能不是线性的。

[0146] 除此之外,热传感器通过检测在某段导管上的温度变化测量流速。因此,在一些实施方案中,尤其是那些实现热传感器的实施方案,可能存在某种对温度的依从关系,尤其是在质量流量控制器操作流速范围的两个极端(在此分别被称为零流量和满刻度流量)。

[0147] 标准化电路 240 接收传感器信号 FS1 并且在零流量和满刻度流量对潜在的温度依从关系进行校正。具体地说,当没有流体流过导管和/或旁路的时候(即,零流量),传感器产生的传感器信号可能不是零。此外,这个虚假的流量指示可能取决于温度。类似地,传感器信号 FS1 在满刻度流量可能经历取决于温度的波动。在零流量下流量信号 FS1 随温度变化的校正可以通过先在零流量测量传感器信号 FS1 在许多不同的温度下的数值然后基于传感器的温度把校正因子加到信号 FS1 上得以完成。在满刻度流量下传感器信号 FS1 随温度变化的校正可以基于测量不同温度数值下的传感器信号和应用基于温度的适当的校正因子以类似的方式完成。

[0148] 除此之外,温度依从关系可以以类似的方式沿着整个预期的质量流量控制器操作范围对特征点进行测量。因此,作为流速和温度的函数的校正曲线可以与取自零流量、满刻

度流量和其间的若干特征点的测量结果拟合。这条校正曲线可以在操作质量流量控制器的流速范围内针对温度依从关系提供校正。除此之外,关于正在使用的流体和已知的传感器性质随温度变化的知识可以被用来提供或提高校正因子和 / 或标准化 240 的校正曲线。

[0149] 标准化电路 240 还可以把固定的标准化增益提供给信号 FS1, 以致在满刻度流量通过传感器导管时获得适合标准化信号 FS1' 的特定数值, 而在零流量下获得另一个特定数值 (例如零)。

[0150] 例如, 在一个实施方案中, 标准化 240 保证在零流量通过传感器导管时, 标准化信号 FS1' 具有 0.0 的数值, 而在满刻度流量通过导管时, 标准化信号 FS1' 具有 1.0 的数值。人们应该领会到任何数值都可以在零流量和在满刻度流量下为标准化信号 FS1' 选定, 因为在此使用的数值仅仅是可仿效的。

[0151] 人们应该领会到, 标准化信号 FS1' 可能缺乏动态特性, 以致在响应流体流量方面的阶梯式变化时, 信号 FS1' 相对于通过流量传感器的实际流量被及时地延迟和变得平滑。这是因为当温度变化发生在比较长的时间周期中的时候热流量传感器通常有缓慢的响应时间。

[0152] 图 3 是这种特性的例证, 其中时间在水平的 X 轴上绘出而流量在垂直的 Y 轴上绘出。如图 3 所示, 响应通过测温质量流量传感器的实际流量方面的单位阶梯式变化, 传感器提供的信号 FS1 被及时地延迟和变得平滑。

[0153] 为了对这些传感器效应进行校正和提供对流体流量变化比较好的动态响应, 标准化信号 FS1' 提供给响应补偿电路 250。响应补偿电路 250 在功能上是一个滤波器, 它大体上是传感器和传感器电子器件 230 的转移函数的反函数。响应补偿电路 250 可以被这样调节或统调, 以致由响应补偿电路 250 提供的条件信号 FS1'' 有预定的上升时间, 有预定的上冲和 / 或下冲的最大水平, 在预定的时帧之内拉平, 和 / 或是对就质量流量控制器特定的实现而言可能符合需要的其它特征统调的。

[0154] 如图 3 所示, 经过补偿的信号 FS1'' 有更接近地反映图中举例说明的通过传感器的流体流量的阶梯式变化轮廓的轮廓。质量流量控制器的流量计在质量流量控制器的生产期间可以被调节, 以便提供这样的经过补偿的信号。具体地说, 动态响应可以是在下面进一步详细讨论的传感器统调步骤期间统调的。

[0155] 如同前面简短地讨论, 流过传感器导管的流体与流过旁路的流体的比例可能取决于流体的流速。除此之外, 传感器和传感器电子器件的非线性进一步使实际流体流量和传感器在不同的流速下提供的测知流量信号之间的关系变得复杂。结果是代表测知流量随流体流量变化的曲线可能不是线性的。

[0156] 人们应该领会到这些非线性中大部份贯彻标准化 240 和响应补偿 250。因此, 下面的讨论与任何传感器信号 FS1、FS1' 和 FS1'' 有密切关系。术语传感器输出在此将被用来描述在完成线性化 (即, 上述的线性化 260) 之前的传感器信号。具体地说, 除非另有说明, 传感器输出描述传感器产生的和 (例如, 分别借助标准化 240 和响应补偿 250) 已被标准化和补偿的但是尚未线性化的信号 (例如, FS1'')。人们还应该领会到标准化步骤和补偿步骤不需要遵守它们在图 2 中应用次序, 事实上是可互换的。

[0157] 线性化 260 校正传感器输出 (即, FS1'') 的非线性。例如, 线性化 260 提供将有数值在零流量为 0、在满刻度流量的 25% 为 .25、在满刻度流量的 50% 为 .5、在满刻度流量

为 1.0 依此类推的流量信号。线性化 260 提供为图 1 举例说明的 GLL 控制器 150 的输入准备的流量信号 FS2。术语指示流量通常将被用来描述流量计提供的已被线性化的流量信号（例如流动信号 FS2）。

[0158] 虽然有许多线性化传感器输出的方法，例如多项式线性化、分段线性近似等等，但是在本发明的一个实施方案中，使用样条，具体地说使用三次样条来线性化这个信号。关于三次样条的讨论是在通过引证在此将其全部内容并入的 Silverman B. W. 以“Some Aspects of the Spline Smoothing Approach to Non-Parametric Regression Curve Fitting”为题发表在 Journal of the Royal Statistics Society 上的文章中给出的。

[0159] 依照本发明的这个方面，来自传感器和传感器电子器件 230 的实际的输出信号 FS1 是在许多不同的（已知的）流速下对测试流体或气体进行测量的，然后就所有的测量点将实测的流速对已知流速绘图。这条实测流速随已知流速变化的曲线定义传感器和传感器电子器件 230 的转移函数，然后使三次样条与传感器和传感器电子器件 230 的转移函数的反函数拟合。然后，传感器输出的实测数值作为输入被用于三次样条，以便提供标准化的、经过补偿的和线性化的指示流量信号（例如，FS2）。

[0160] 如同下面将进一步详细讨论的那样，线性化电路 260 可以包括使传感器输出的线性化变得容易的线性化表（未展示）。在本发明的替代实施方案中，三次样条是与传感器和传感器电子器件 230 的转移函数本身拟合的，而不是与它的反函数拟合。

[0161] 在补偿传感器和传感器电子器件 230 中的非线性和经过传感器导管 220 的流体流量的变更部分之后，把条件流量信号 FS2 提供给 GLL 控制器 150，而且为了显示也可以提供给滤波器 120（图 1）。条件流量信号 FS2 的例证被称为“条件测知流量（FS2）”并且被展示在图 3 中。

[0162] 如图 1 所示，增益项 A 与流量计 110 相关联。这个增益项表示在流动路径 103 中流动的流体和指示流量（即，流量信号 FS2）之间的关系。具体地说，增益项 A 是指示流量的变化与实际流体流量的变化之比。人们应该从前面关于流量计 110 的讨论中领会到，这个关系（即，流体流量随指示流量变化的曲线）已经变成线性的。因此，指示流量的变化与实际流体流量的变化之比（即，流体流量随指示流量变化的曲线的导数）是流速的常数函数。因此，增益项 A 对于特定的流体物种是常数。

[0163] 因为增益 A 是常数，而且因为指示流量在满刻度流量下被定义在某个特定的数值，增益 A 能基于与在生产质量流量控制器时使用的流体相关联的满刻度流量针对特定的流体确定下来。在指示流量已被调到在满刻度流量具有 1.0 的数值的可仿效的流量计中，增益 A 只是满刻度流量的倒数。

[0164] 人们应该领会到通过质量流量控制器的满刻度流量可以由于用不同的流体操作质量流量控制器而改变。因此，质量流量控制器将有取决于流体物种的满刻度范围。所以，虽然增益 A 至少是流速的常数函数，但是这个常数在用不同的流体物种操作质量流量控制器之时可能改变。

[0165] 然而，申请者已经确定与流量计相关联的增益（例如，增益项 A）怎样随着流体物种变化。依照前面的讨论，流量计的增益能直接从满刻度范围（即，质量流量控制器的满刻度流量）计算出来。因此，确定适合工作流体的满刻度范围考虑到直接确定流量计的增益。工作流体的满刻度范围可以通过把转换因子应用于与测试流体相关联的满刻度范围确定

下来。转换因子可以依据用打算针对它确定满刻度范围的特定的流体测量的结果用经验公式推演出来。

[0166] 图 4 举例说明 GLL 控制器 150 的一个实施方案的细节。虽然控制器 150 在此是作为增益 / 超前 / 滞后 (GLL) 控制器描述的,人们应该领会到本发明不受这样的限制。例如,本发明的各个方面可以与诸如比例积分微分 (PID) 控制器、比例积分 (PI) 控制器、积分微分 (ID) 控制器之类其它类型的反馈控制器一起使用。人们还应该领会到图 4 举例说明的 GLL 控制器 150 的许多数学等价物可以被替代地使用,因为本发明不局限于本文举例说明的特定的控制器结构。

[0167] GLL 控制器 150 接收三个输入信号:流量信号 FS2(也被称为指示流量);设定点信号 SI2;和倒数增益项 G。如同前面提到的那样,设定点信号 SI2 可以首先通过转换速率限制器或滤波器 130 传送,以防止把设定点信号的瞬时变化提供给 GLL 控制器。

[0168] 如同前面提及的那样,增益 G140 如同在此详细地讨论过的那样是通过计算与环绕质量流量控制器的控制回路的各种不同的组成部分相关联的增益项的乘积的倒数(即,系统增益项的倒数)形成的倒数增益项。增益 G 可以沿着控制回路被加到任何地方而且不局限于被加在质量流量控制器的控制器输入上。然而,倒数增益项 G 可以如同在图 1 和 4 中举例说明的那样方便地加到 GLL 控制器的输入上。

[0169] 依照本发明的一个实施方案,增益项 G 可以借助与质量流量控制器相关联的微处理器或数字信号处理器确定下来。处理器如同下面讨论的那样可以被集成到质量流量控制器之中或可以是外部的。

[0170] 如图 4 所示,流量信号 FS2 被提供给微分网络或 D- 项的电路 410。因为电路 410 不是完全一致的微分网络,所以它在此被称为“D- 项”电路。的确,在 D- 项电路 410 内,流量信号 FS2 被微分、低通滤波和乘以常数,然后与条件流量信号 FS2 相加。人们应该领会到,本发明不局限于在此描述的 D- 项电路 410 的特定的实现,因为其它类型的微分网络电路也可以使用。从功能上说,D 项电路 410 提供相对于条件信号 FS2 “被加速的”修正流量信号 FS3,借此构成 GLL 控制器 150 的“超前”。D 项电路 410 还提供阻尼。如同熟悉这项技术的人应该领会到的那样,D- 项电路 410 从功能上说提供指示流量信号正在怎样变化和变化有多快的修正流量信号 FS3。

[0171] 然后,把修正流量信号 FS3 与设定点信号 SI2 一起提供给取出修正流量信号 FS3 和设定点信号 SI2 并且基于它们的差值产生误差信号 E 的减法电路 420。然后,误差信号 E 被乘以增益项 G(因此在增益 / 滞后 / 超前 GLL 控制器中有“增益”一词)并且提供给比例增益项 440 和积分增益项 450。

[0172] 比例增益项将信号 EG 乘以固定的常数 K_p ,然后把输出信号 EGK_p 提供给求和电路 470。比例增益项 440 从功能上说用来基于信号 EG 提供把控制阀门 170 移动某个固定距离的驱动信号分量,借此允许控制阀门 170 在误差信号 E 变化之时快速地构成接地。

[0173] 比例增益项 440 还提供阻尼,从而帮助避免驱动信号 DS 和最后得到的流量方面出现振荡。例如,当误差信号 E 减少而来自积分器 460 的输出信号增加的时候,误差信号 E 乘以 K_p 的数值减少,因为常数 K_p 优选小于 1,借此减少发生的上冲量。

[0174] 积分增益项 450 将信号 EG 乘以另一个固定的常数 K_I ,然后把输出信号 EGK_I 提供给积分器 460 的输入。积分器 460 将信号 EGK_I 积分而且将积分后的输出提供给求和电路

470 的第二输入。从功能上说,积分器 460 的输出提供指示随着时间推移变化的误差信号 E 并且表示误差信号过去怎样变化的信号(因此在增益/超前/滞后 GLL 控制器中有“滞后”一词)。给定误差信号 E,积分器 460 从特定的斜率出发,并且随着指示流量(例如,FS2)逐渐增加(假定新的较高的设定点已被输入),误差信号 E 逐渐减少,以致积分器 460 停止积分,(即,减慢其变化速度),而且来自积分器 460 的驱动信号输出的组成部分停止逐渐增加。然后,积分后的输出信号 EGK_I 在求和电路 470 中与比例增益项 EGK_p 的输出相加,并且把求和后的输出信号 DS 作为驱动信号提供给阀门调节器 160。

[0175] 除此之外,当控制器正在从零流量到受控的流动状态转换的时候,可以提供脉冲基底电平(未展示),以便当控制器从零流量过渡到受控流动状态的时候把积分器 460 预先设定到特定的数值。脉冲基底电平描述加到积分器上的时候将提供刚好在打开阀门并允许流动必不可少的驱动电平以下的驱动电平 DS 的数值。以这种方式,积分器直线上升到脉冲基底电平数值必不可少的时间能被忽略,而且控制器对在零流量和受控流量之间的过渡将有逐渐增加的响应时间。

[0176] 如图 5 所示,求和电路的输出将提供给通常包括与电机械调节器 520 耦合的阀门驱动电子器件电路 510 的阀门调节器 160。任何适当的阀门驱动电子器件电路 510 都可以用来接收驱动信号 DS 并且将驱动信号 DS 转换成能够把阀门 170 移动到预期的位置给出预期的流速的电压信号、电流信号或其它的信号。此外,阀门驱动电路 510 可以包括任何技术上已知的用来驱动螺线管激励的控制阀门、压电效应激励的控制阀门的适当的阀门驱动激励电路。依照本发明的一个利用螺线管激励控制阀门的实施方案,阀门驱动电子器件电路 510 可以如同下面进一步详细描述的那样包括在螺线管激励的控制阀门中减少磁滞现象的影响的电路系统。

[0177] 图 6 举例说明前面参照图 4 描述的一些信号,其中水平的 X-轴代表时间而垂直的 Y-轴代表被识别的信号水平。如图 6A 所示,在时间 T_0 ,提供信号 SI2 的设定点的阶梯式变化(到水平 F_0)。在这个时刻,误差信号 E 上升到水平 F_0 ,因为误差信号 E 等于条件流量信号 FS2(仍然在其先前的状态)和信号 SI2 的设定点数值(现在它在数值 F_0)之差。因此,误差信号乘增益项 G(即,信号 EG)步进到高的数值,然后随着时间以图 6B 所示方式逐渐减少。因为比例增益项 440 的输出是信号 EG 乘以(小于 1 的)常数 K_p ,所以信号 EGK_p 有类似的形状,虽然在幅度方面略微减少,如图 6C 所示。如图 6D 所示,在时间 T_0 ,积分输出信号 EGK_I 是零,但是由于误差信号 E 的大小开始快速地向上升。表示输出信号 EGK_p 与积分输出信号 EGK_I 之和的求和电路 470 的输出用 DS 标注并且被展示在图 6E 中。基于提供给阀门驱动和阀门驱动电子器件电路 160 的驱动信号 DS,控制阀门 170 被打开增加的数量,而指示流量信号(例如,流量信号 FS2)开始增加到 SI2 设定点的新水平。随着时间推移,误差信号 E 减少,比例增益项 440 的输出信号 EGK_p 与积分输出信号 EGK_I 一样逐渐减少,于是流速在新的设定点水平被建立。

[0178] 理想地,希望响应在质量流量控制器中应用于设定点的阶梯式输入在实际流量方面获得阶梯式响应。虽然这实际上是不可能的,但是本发明的实施方案可以用来不顾阶梯式输入相对于满刻度流量究竟表示递增 2% 还是递增 100%、不顾所用的流体和不顾入口或出口压力等等都响应设定点的阶梯式输入提供一致的响应。为了获得这种一致性,本发明的实施方案提供回路增益恒定不变的质量流量控制器。

[0179] 人们从上文应该领会到,虽然与沿着质量流量控制器的控制回路的各个组成部分相关联的各种不同的增益可能作为不同变量的函数改变,而且可能取决于多种不同的操作条件,但是质量流量控制器的一致且稳定的操作能通过提供有恒定不变的控制回路增益的质量流量控制器的控制回路针对一组操作条件获得。

[0180] 人们应该领会到质量流量控制器的控制的各种不同的方面可以用微处理器来实现。例如, GLL 控制器 150 可以是作为微处理器、数字信号处理器之类实现的。同样,诸如倒数增益项(例如,增益项 G)之类各种不同的控制参数的确定可以用微处理器提供。质量流量控制器的控制的各种不同的方面可以使用技术上众所周知的技术在软件、固件或硬件中实现。

[0181] B. 质量流量控制器配置

[0182] 人们应该领会到在许多情况下为了使质量流量控制器以稳定的方式始终如一地操作,质量流量控制器在生产期间必须经过统调和 / 或校准。手工统调和 / 或校准往往是费时、费力、费用浩大的过程。除此之外,当工艺需要配置在不同于生产期间使用的流体物种和 / 或操作条件下操作的质量流量控制器的时候,即使质量流量控制器已用许多工作流体统调和校准过,质量流量控制器的性能也将无法呈现在质量流量控制器生产期间观察到的同样的性能。换句话说,质量流量控制器在用与质量流量控制器统调和 / 或校准时不同的流体和 / 或操作条件操作的时候可能有不同的响应。

[0183] 依照本发明的一个方面,提供一种配置质量流量控制器的方法,该方法允许在采用工作流体和 / 或工艺操作条件的情况下的质量流量响应实质上变得与采用测试流体和测试操作条件统调和 / 或校准质量流量控制器时的响应相同。

[0184] 在本发明的一个实施方案中,在统调和 / 或校准质量流量控制器期间用单一的测试流体和一组测试操作条件获得配置数据。这个配置数据可以用来配置在任意的工作流体和 / 或工艺操作条件下操作的质量流量控制器,因此减轻了由于在与生产期间使用的那些不同的流体和 / 或操作条件下操作造成的性能下降和取消了质量流量控制器关于多种代用流体的费用浩大的、费时的统调和 / 或校准。

[0185] 提供质量流量能够采用任意的流体和操作条件操作而且呈现令人满意的响应的质量流量控制器往往包括如下步骤,其中包括最初质量流量控制器的生产和后来质量流量控制器的配置。图 7a 依照本发明的一个实施方案举例说明生产和配置的步骤。

[0186] 如同在本文中使用的,术语生产在用于质量流量控制器的时候通常描述参与准备适合采用特定的流体物种和特定的一组操作条件操作的质量流量控制器的各种不同的工作。生产可以包括用各种不同的组成部分建造质量流量控制器,用测试流体在测试操作条件下操作质量流量控制器,和统调和 / 或校准质量流量控制器的各种不同的组成部分和 / 或控制参数,以致质量流量控制器在采用测试流体和测试操作条件的情况下呈现令人满意的行为和性能(即,有令人满意的响应)。

[0187] 如同在本文中使用的,术语配置在用于质量流量控制器的时候通常描述参与使质量流量控制器适合用任意的流体在任意的操作条件下操作的各种不同的步骤。具体地说,配置描述卷入使质量流量控制器适合采用与生产期间质量流量控制器遭遇的流体不同的流体(在此分别称之为“工作流体”和“测试流体”)在可能与质量流量控制器生产期间使用的那组操作条件不同的条件(在此分别称之为“工艺操作条件”和“测试操作条件”)

下操作以致质量流量控制器的响应实质上与生产期间观察到的相同的步骤。人们应该领会到质量流量控制器的配置可以在生产之后的任何时候在任何位置完成,包括但不限于制造位置(例如,为已知的应用配置质量流量控制器)或现场(例如,在终端用户的操作位置)。

[0188] 一般地说,术语令人满意的响应指的是质量流量控制器在特定的质量流量控制过程或任务的一组给定的允差范围内实现的响应。具体地说,质量流量控制器的动态和静态响应在意欲操作质量流量控制器的允差范围内实现。

[0189] 为了对任意一组允差有令人满意的响应,质量流量控制器可以在生产期间进行统调和/或校准。因此,在用测试流体和一组测试操作条件统调和/或校准之后质量流量控制器的响应除非另有说明都应该被看作对于那种测试流体和操作条件有令人满意的响应。然而,当质量流量控制器用不同的流体和/或操作条件操作的时候,响应可能发生实质性的变化,以致响应不再是令人满意的。

[0190] 一般地说,当两种响应都令人满意(即,两种响应都在意欲操作质量流量控制器的允差范围内实现)的时候,质量流量控制器被看作对测试流体和测试操作条件和对工作流体和/或工艺操作条件有同样的响应。

[0191] 如同图 7A 举例说明的那样,在生产 710 期间,质量流量控制器是采用测试流体在一组测试操作条件下操作的。质量流量控制器的操作特性被获得并且作为配置数据 712 储存起来。配置数据 712 可以如同参照图 7b-7f 进一步详细描述的那样在生产 710 的各种不同的统调和/或校准步骤期间获得。

[0192] 术语统调描述包括提供对流体流量和流体流量的变化和/或预期流体流量的变化(即,在设定点的变化)令人满意的动态响应和行为的步骤。术语校准通常指的是包括提供质量流量控制器的令人满意的稳态或静态响应的步骤。

[0193] 术语配置数据通常适用于在质量流量控制器的统调和/或校准期间获得的信息。具体地说,配置数据描述在用测试流体和测试操作条件操作期间质量流量控制器的特性和/或从质量流量控制器取得的测量结果。在质量流量控制器的生产期间获得的配置数据然后可以用来配置涉及工作流体和/或工艺操作条件的质量流量控制器。

[0194] 如同前面扼要地讨论过的那样,术语测试流体和测试操作条件被用来描述在质量流量控制器的生产期间使用的流体和操作条件。术语工作流体和工艺操作条件描述对于质量流量控制器的特定应用终端用户通常需要的流体和操作条件。

[0195] 人们应该领会到同样的一种或多种类型的流体和操作条件可以用于测试和工艺两种目的。然而,因为质量流量控制器不可能用每种流体和/或在所有的操作条件下统调,所以本发明的某些方面包括在生产期间用特定的测试流体在特定的一组测试操作条件下统调和校准质量流量控制器,以致质量流量控制器能被配置成用不同的流体和/或在其后操作条件下操作。因此,人们应该理解术语“工作流体”不被用来描述不同类型的流体,而是表明该流体可能与统调和/或校准质量流量控制器期间采用的流体不同。类似地,术语“工艺操作条件”描述一组与统调和/或校准质量流量控制器期间采用的测试操作条件可能有所不同的操作条件。一组工艺操作条件之中的一个、一些或全部可能不同于测试操作条件。

[0196] 在配置步骤 720 中,在生产期间获得的配置数据 712 可以用来使质量流量控制器涉及工作流体和/或工艺操作条件的配置变得容易。依照一个实施方案,配置数据 712 在

配置 720 期间用来确定与质量流量控制器相关联的准许质量流量控制器采用工作流体和 / 或工艺操作条件操作的控制参数。具体地说,在生产步骤 710 期间获得的配置数据 712 用来确定促成采用工作流体和工艺操作条件的质量流量控制器配置使质量流量控制器呈现令人满意的响应(即,质量流量控制器被配置成采用工作流体和 / 或工艺操作条件实质上与在生产期间使用测试流体和测试操作条件观察到的响应相同的响应)的控制参数。

[0197] 在此使用的术语控制参数通常指的是与质量流量控制器相关联的有利于质量流量控制器操作的参数。控制参数可以包括但不限于滤波系数、增益项、控制器常数、线性化曲线等等。具体地说,控制参数指的是当质量流量控制器被配置成适合采用任意的工作流体和 / 或工艺操作条件操作(即,被配置成呈现令人满意的响应)的时候可能需要改变、修正或相加的参数。

[0198] 在本文中使用的,片语“被配置成适合... 操作”倾向于描述以这样的方式配置质量流量控制器以致质量流量控制器在操作的时候呈现令人满意的响应(即,响应不令人满意的质量流量控制器通常不被看作是可用的)。

[0199] 人们应该领会到,一般地说,生产 710 只需要用单一的测试流体和一组测试操作条件完成一次。然而,配置 720 在质量流量控制器的存续期间可以被重复若干次。具体地说,每当需要用不同的工艺流体和 / 或操作条件操作质量流量控制器的时候,就可能需要用新的工艺流体和 / 或工艺操作条件重复配置 720,以使质量流量控制器用新的工作流体和 / 或工艺操作条件呈现令人满意的响应。

[0200] 人们应该进一步领会到,不同类型的质量流量控制器的生产和配置和不同的质量流量控制器实现可能需要不同的步骤。然而,生产应该包括这样的步骤,以致质量流量控制器已被适当地表征和针对在一组测试操作条件的操作建立令人满意的响应,而且充分的配置数据已经获得,从而使质量流量控制器后面的配置变得容易。同样,配置大体上应该包括建立在用一组工艺操作条件操作的时候实质上与在生产期间观察到的响应相同的响应所需的步骤。

[0201] 图 7b 举例说明依照一个实施方案的方框图,其中包括在质量流量控制器的生产和配置期间可能完成的各种不同的步骤(例如图 7a 中的步骤 710 和 720)。生产 710 可以包括传感器统调步骤 10、阀门表征步骤 20、反馈控制器统调步骤 30 和校准步骤 40。人们应该领会到,生产 710 可以包括在生产 710 中未展示的其他步骤,例如,技术上已知的诸如旁路匹配之类与建造质量流量控制器有关的步骤。

[0202] 在生产 710 的各种不同的可仿效的步骤 10-40 中,描绘质量流量控制器的特征,并且用一组测试操作条件建立令人满意的响应。配置数据是在生产期间获得的,它使质量流量控制器的配置在一组工艺操作条件下操作变得容易,下面将进一步详细描述。

[0203] 在传感器统调步骤 10 中,质量流量控制器的流量计是这样统调的,以致它呈现令人满意的动态响应。具体地说,流量计的各个组成部分是这样统调的,以致传感器输出(例如 FS1”)令人满意地响应通过传感器的流量变化。例如,如同结合图 2 讨论的那样,传感器统调可以包括这样提供标准化和响应补偿滤波器系数、校正曲线和 / 或增益,以致流量计用有阶梯形状的传感器输出响应极为类似流动路径中流体流量阶梯式变化的流体阶梯式变化。除此之外,补偿滤波器 280 可以经过统调提供极为接近传感器和传感器电子器件对压力瞬变现象的响应的虚假流量信号。诸如滤波系数、校正曲线和 / 或增益项之类在统

调步骤 10 期间获得的信息可以作为配置数据 712 被储存起来。

[0204] 依照一个实施方案,质量流量控制器包括至少一个数字滤波器。这个数字滤波器能通过编程实现补偿起因于压力瞬变现象的虚假流量指示的补偿滤波器(例如,在图 8 和 12 中描述的补偿滤波器 280)。

[0205] 具体地说,滤波器的转移函数(例如,等式 6 和 / 或 7)能在传感器统调步骤 10 期间通过给数字滤波器依下式编程得以实现:

$$[0206] \quad J_0 = (2J_{n-1} - J_{n-2}) + [(1 - J_{n-1})Q - (J_{n-1} - J_{n-2})]P \quad (3)$$

[0207] 其中:

$$[0208] \quad P = 4t\xi\omega_p / (t^2\omega_p^2 + 2\xi\omega_p + 1),$$

$$[0209] \quad Q = t(\omega_p / \xi), \text{ 而}$$

$$[0210] \quad t = T_{\text{sample}} / 2.$$

[0211] 其中:

[0212] ω_p :极频率。控制上升 / 下降时间和“波瓣宽度”。也影响波瓣的高度(增益)

[0213] ξ :阻尼因子。控制上冲量。也影响波瓣的宽度和高度。

[0214] K:增益。设定运算法则输出的每个滤波段部分。影响响应的高度

[0215] t:抽样周期 T 除以 2。

[0216] J_0 是从取滤波器转移函数的双线性变换产生的。具体地说,等式 7 的转移函数。P 和 Q 的数值是这样计算的,以致补偿滤波器构成预期的虚假流量信号。为了统调滤波器提供适合补偿重叠在传感器输出信号上的虚假流量信息的虚假流量信号,在此称之为可修正参数的参数 ω_p 、 ξ 和 K 能被改变。

[0217] 一种在生产期间统调这些参数的方法描述如下。在生产期间把压力脉冲引向传感器,并且记录传感器的响应。除此之外,还记录压力转换器对脉冲的响应。然后,调节可修正参数,将滤波器的输出与记录的传感器响应拟合。例如,最小二乘拟合可以用来使滤波器输出和记录的传感器响应之间的误差最小。

[0218] 各种不同的优化方法对于熟悉这项技术的人将会发生,这些方法能用来在不脱离本发明的范围的情况下调节滤波参数。在此描述的方法是实现最小二乘拟合的方法之一。

[0219] 一组默认参数是为滤波器选定的。就这个例子的目的而言,待统调的补偿滤波器类似于结合图 8 描述的那个。照此,六个二阶滤波器中每个都将有三个可修正参数要统调,总共十八个参数。一组可仿效的默认参数展示在下表中。

[0220]

参数	滤波器 1	滤波器 2	滤波器 3	滤波器 4	滤波器 5	滤波器 6
K(无单位)	0	0	.295	.225	.11	.2
ω_p (rad/sec)	600	200	63	63	30	2
ξ (无单位)	1	1	.56	.79	1	1

[0221] 来自压力转换器与引向传感器的压力脉冲相对应的压力读数是对默认补偿滤波

器的输入,从而有提供默认波形的默认参数。然后,产生储存与默认波形相对于可修正参数的变化怎样变化的信息的矩阵 W 。矩阵 W 是通过将可修正参数逐个改变某个 Δ (例如,默认值的 1%) 和用改变后的参数产生来自滤波器的波形产生的。然后,将这些波形中的每个波形从默认波形中减去,以产生差值波形。照此,提供用来统调图 8 描述的滤波器的 18 个差值波形。这些差值波形每个都作为入口储存在矩阵 W 中,从而提供 $M \times N$ 维的矩阵,其中 N 是可修正参数的数目,而 M 是从滤波器输出取出的样本数目。所以,矩阵包含描述滤波器输出的每个参数的作用的信息。

[0222] 如同技术上众所周知的那样,18 个参数的优化计算上可能费用浩大。同样地,通过认识每个参数的贡献的重要性已减少可修正参数的数目。参数的实际减少可以依据滤波器输出的实现和预期特征和控制改变。

[0223] 滤波器 1 和 2 主要用于它们提供的延迟。同样地,这些滤波器的增益项可能不需要不同于它们的默认值。对于 K_3 、 K_4 、 K_5 和 K_6 ,减少增益项将是优化的。滤波器 1、2、5 和 6 将总保持阻尼因子为 1。照此,可能只有 ξ_3 和 ξ_4 是需要优化的。除此之外,可能只有改变 ω_3 和按比例缩放其它频率参数以保留在举例说明可仿效的默认值的表中展示的关系是必不可少的。因此,需要优化的可修正参数的数目被减少到 K_3 、 K_4 、 K_5 、 K_6 、 ξ_3 、 ξ_4 、 ω_3 ,从而使计算工作变得易于处理。依照这个可仿效的参数减少,最终产生的矩阵导致 $M \times 7$ 矩阵。

[0224] 如同前面讨论的那样,矩阵 W 描述滤波器输出相对于可修正参数的改变怎样改变。依据这个信息,可修正参数方面的一组变化可以这样求解,以致满足表达式:

$$[0225] \quad W * \text{ParameterDelta} = \text{WaveformError} \quad (\text{式 } 9)$$

[0226] 和

$$[0227] \quad \text{WaveformError} = (\text{SensorOutput} - \text{DefaultWaveform}) \quad (\text{式 } 10)$$

[0228] 其中:

[0229] SensorOutput = 由于压力脉冲造成的传感器的输出

[0230] DefaultWaveform = 在默认参数下补偿滤波器的输出

[0231] W = 所产生的差值矩阵 ($M \times N$)

[0232] $\text{ParameterDelta} (N \times I)$ = 描述 N 个可修正参数之中每个参数变化的列向量。

[0233] 式 9 在某种最佳拟合意义上可能是正确的,而且可能不表达绝对的相等。 ParameterDelta 可以依照熟悉这项技术的人想得到许多方法求解。然后,把储存在 ParameterDelta 向量中的 N 个可修正参数的变化加到参数默认值上,以提供储存在与经过统调的传感器一起使用的数字滤波器中的补偿滤波器的最后数值。

[0234] ParameterDelta 可以迭代求解。照此,每次迭代之后更新 DefaultWaveform 并且提供 CurrentParameter 向量以储存 ParameterDelta 的累积值可能是必要的。如果 n 是迭代次数,那么,

$$[0235] \quad \text{CurrentParameter}_0 = \text{默认参数}$$

$$[0236] \quad \text{CurrentParameter}_n = \text{CurrentParameter}_{n-1} + \text{DeltanDefault}_n$$

$$[0237] \quad \text{DefaultWaveform}_n = \text{使用储存在 CurrentParameter}_n \text{ 中的数值的滤波器输出}$$

$$[0238] \quad \text{WaveformError}_n = (\text{SensorOutput} - \text{DefaultWaveform}_n)$$

[0239] 统调补偿滤波器的参数的各种方法对于熟悉这项技术的人将想得到。然而,本发明不局限于获得滤波器参数的方法。获得补偿滤波器的各种方法和途径被看作是在本发明

的范围之内。

[0240] 在阀门表征步骤 20 中,质量流量控制器被充份地表征,以致它可以被配置成响应各种不同的操作条件和 / 或特性的变化以一致且稳定的方式操作。依照一个实施方案,质量流量控制器的控制回路的系统增益项可以被确定下来,而且系统增益项的倒数被确定下来并且被应用于控制回路,以便提供恒定不变的回路增益。除此之外,在确定系统增益项期间获得的测量结果可以作为配置数据储存起来,并且稍后在配置期间使用,下面将参照图 7c 进一步详细地讨论。

[0241] 在反馈控制器统调步骤 30 中,与反馈控制器相关联的控制和控制电子器件是这样统调的,以致质量流量控制器对设定点的改变呈现令人满意的动态响应。依照一个实施方案,结合图 4 讨论的各种不同的 PID 参数可以被这样设定,以致 GLL 控制器呈现符合要求的动态特性,例如调定时间、最大的上冲和下冲等等。

[0242] 在校准步骤 40 中,质量流量控制器被这样校准,以致它呈现令人满意的稳态响应。依照一个实施方案,质量流量控制器是为了在意欲操作质量流量控制器的流速范围内提供通过质量流量控制器的实际流量和流量计指示的流量(例如流量信号 FS2,也叫做指示流量)之间的线性关系而校准的。

[0243] 在配置 720 中举例说明的可仿效的步骤 50 和 60 中,在生产 710 期间获得的配置数据和关于用来把质量流量控制器配置成适合操作的工艺操作条件的信息被用来这样修正质量流量控制器的控制参数,以致生产期间建立的响应在用工艺操作条件操作质量流量控制器的时候实质上不改变。

[0244] 如同图 7b 举例说明的那样,质量流量控制器的配置 720 可以包括系统增益分解步骤 50 和系统配置步骤 60。在系统增益分解步骤 50 中,系统增益项被获得,然后至少部份地基于在质量流量控制器的生产 710 期间获得的配置数据被分解成它的子增益项。

[0245] 然而,系统增益分解步骤 50 可能在质量流量控制器的一些实现中并非必不可少,而且仅仅表示一种可以把调节器行为模型提供给系统配置步骤 60 的方法。

[0246] 因此,人们应该领会到,在本文讨论的例子中,包括系统增益项的测量和随后的分解在内的步骤在与质量流量控制器的各个组成部分相关联的增益项能直接获得的环境下可能是不必要的。例如,在一些质量流量中控制器,可以使用步进式调节器,因为相关联的增益项可以从调节器的机械设计直接获得。在这种情况下,生产期间系统增益的测量(例如,在图 7c 中的阀门表征步骤 20 期间记录 CDA')和在配置期间系统增益项的分解(例如,步骤 50)可以省略,因为通过分解系统增益项提供的信息(例如,增益项 C)能从调节器本身直接获得。

[0247] 然而,在生产期间获得系统增益项信息和在配置期间分解系统增益项的方法提供用来配置质量流量控制器的方法,该方法一般地说可以适用于质量流量控制器的任何实现,以便在没有其它信息可用或这样的信息不能直接获得的场合提供,例如,调节器的模型。同样地,这种方法的细节已被并入在图 7c-7f 举例说明的实施方案中描述的生产和配置步骤。然而,本发明的各个方面既不局限于使用这种方法,也不局限于这种方法可能必不可少的质量流量控制器。

[0248] 在系统配置步骤 60 中,控制参数是这样针对用来配置质量流量控制器的工艺流体和 / 或工艺操作条件确定的,以致质量流量控制器在用工作流体和 / 或工艺操作条件操

作的时候呈现令人满意的响应。依照一个实施方案,倒数增益项可以从与在工艺操作条件下操作的质量流量控制器的各个组成部分相关联的个别增益项的乘积的倒数形成。增益项可以依据阀门和阀门调节器的物理模型确定。倒数增益项可以应用于质量流量控制器的控制回路以便提供恒定不变的回路增益。

[0249] 现在结合图 7c-7f 描述可仿效的生产步骤和配置步骤的进一步的细节。

[0250] 图 7c 和 7d 举例说明一个用来在统调期间获得配置数据和 / 或在生产期间校准质量流量控制器的可仿效的程序。

[0251] 图 7e 和 7f 举例说明另一个用来配置用与统调和 / 或校准质量流量控制器时所用的那些不同的工作流体和 / 或工艺操作条件操作的质量流量控制器的可仿效的程序。

[0252] 用于图 7c-7f 举例说明的生产和配置的程序可以适用于与图 1 举例说明的质量流量控制器类似的质量流量控制器。然而,人们应该领会到,本发明的这些方面不受这样的限制,而且可以适用于有多种不同的组成部分和操作特性的多种质量流量控制器。

[0253] 在图 7c-7f 中,可以在质量流量控制器的生产期间作为配置数据储存的可仿效的信息是在标题“配置数据”下举例说明的并且被放在标注 712 的方框中。人们应该领会到图中举例说明的信息不是限制性的,也不应该看作是必要条件。质量流量控制器的每个实现都可以有不同的一组使配置用工艺流体和 / 或工艺操作条件操作的质量流量控制器变得容易的配置数据。

[0254] 图 7c 依照本发明的一个实施方案举例说明传感器统调步骤 10 和阀门表征步骤 20 的进一步的细节。在传感器统调步骤 10 中,质量流量控制器的流量计是这样统调的,以致它呈现令人满意的动态响应,例如,对流体的阶梯式变化。流体的阶梯式变化指的是在流体流量方面有阶梯函数特征的变化,包括流体流量方面正的和负的阶梯式变化两者。

[0255] 在步骤 12 中,流体阶梯式变化被加到流量传感器上。然后,流量传感器在步骤 14 中是这样统调的,以致响应流体阶梯式变化,提供阶梯形的流量信号。这种阶梯形流量信号的符合要求的特征可以包括上升时间、调定时间、最大的上冲和下冲等等。例如,回过去查阅参照图 1 和 2 描述的质量流量控制器,举例说明来说解决,向后地对被有关于。统调流量传感器的步骤可以包括统调传感器和传感器电子器件 230、标准化 240 和响应补偿 250。例如,响应补偿滤波器 250 的滤波系数可以通过统调改造图 3 所示的信号。人们应该领会到,一般地说,质量流量控制器的每个实现可以有不同的一组可以统调的参数。然而,传感器统调过程 10 的意图是保证流量传感器呈现令人满意的动态特性。如图 7c 所示,与提供 1.0 的传感器输出作为通过传感器导管的满刻度流量相关联的标准化增益可以作为配置数据记录下来。

[0256] 在阀门表征过程 20 中,测试流体在已知的入口和出口压力下按一组选定的设定点之中不同的设定点提供给质量流量控制器。在每个设定点,由此产生的驱动电平被记录下来。术语驱动电平描述提供给阀门调节器的驱动信号的数值。例如,驱动电平可以是电流或电压的实测值。驱动电平也可以是转换成电信号控制阀门的机械位移的数字控制信号的数值。图 1 中的信号 DS 是驱动信号的例子,其数值是驱动电平。

[0257] 在一个实施方案中,尚未统调但是已知会收敛的 GLL 控制器被用在这个步骤期间。因此,在那组选定的设定点之中每个设定点对传感器输出都将收敛。在一些实施方案中,在这个步骤期间记录的传感器输出和驱动电平信息被用来计算质量流量控制器的合成

增益项。例如,在图 7c 的阀门表征步骤 20 中,对应于与阀门调节器 160、阀门 170 和流量计 110 相关联的增益项的乘积的合成增益项 CDA' 是依据在阀门表征期间获得的信息计算出来的。

[0258] 在步骤 21 中,把来自选定的一组设定点的一系列设定点提供给质量流量控制器。那组选定的设定点可以是以任何适当的方式选定的。例如,在一个实施方案中,那组选定的设定点是在某个水平计算出意欲操作质量流量控制器的范围的满刻度流量的各种不同分数。选定的设定点不需要横跨该数值范围均匀地隔开。除此之外,可以选择许多设定点。一般地说,选定的设定点的数目应该足以在意欲操作质量流量控制器的范围内适当地描述阀门调节器的特征。

[0259] 在图 7c-7f 中举例说明的每组选定的各种设定点不需要彼此完全相同。为了举例说明设定点不需要在每组中相同,例如,下标 vt 、 cb 和 cf 已被用来分别指出为阀门表征步骤、校准步骤和配置步骤选定的设定点。然而,人们应该领会到,这些组可以是部份地或完全地相同的。

[0260] 在步骤 21 中,第一个设定点 ${}_{vt}S_0$ 是从选定的一组设定点 $\{{}_{vt}S_0, {}_{vt}S_1, {}_{vt}S_2, \dots\}$ 中选出的。小偏离量 n 是作为对设定点 ${}_{vt}S_1$ 的偏移量选定的。然后,把 ${}_{vt}S_0+n$ 加到控制器上,和允许控制器收敛。当控制器收敛的时候,传感器输出将等于外加的设定点。在步骤 22 中,由此产生的驱动电平是对应设定点 ${}_{vt}S_0$ 记录的。

[0261] 在步骤 23 中, ${}_{vt}S_0-n$ 被加到控制器上并且允许收敛。由此产生的驱动电平再一次如步骤 24 所示被记录下来。在步骤 25 中,合成增益项 CDA' 被确定下来。例如,合成增益项可以通过取出两个设定点中的变化(即, $2n$) 并将该变化除以在步骤 22 和 24 中记录的驱动电平的变化确定下来。这个比值表示与设定点 ${}_{vt}S_0$ 对应的合成增益项 CDA' 。增益项 C 和 D 如同前面描述的那样分别与阀门调节器和阀门相关联。增益项 A' 与流量计相关联而且代表在没有线性化 260 的贡献的情况下流量计的增益(即,与传感器输出相关联的增益)。就每个设定点 ${}_{vt}S_1$ 而言质量流量控制器收敛到的传感器输出数值和在那个设定点确定的合成增益项 CDA' 可以作为配置数据储存起来。

[0262] 步骤 21-25 是对那组选定的设定点中的每个设定点 ${}_{vt}S_i$ 重复。结果是一组点对 {传感器输出、 CDA' } i 。在一个实施方案中,那组点对 {传感器输出, CDA' } i 是作为用于人工统调质量流量控制器的配置数据记录的。除此之外,对于每个在步骤 20 中记录的 CDA' , 可以形成倒数增益项 $G = 1/CDA'$ 。这个倒数增益项 G 可以在随后的控制器统调步骤中提供给控制器以便把稳定性提供给控制器。

[0263] 在反馈控制器统调步骤 30 中,统调与质量流量控制器的反馈控制器相关联的各种不同的参数,以便提供令人满意的对质量流量控制器提供的一系列流体阶梯式变化动态响应。人们应该领会到质量流量控制器的每个实现可能有不同的控制方法(例如, GLL、PID、ID 等等)。现在结合图 4 描绘 GLL 控制器描述用来统调质量流量控制器的反馈控制器的可仿效的程序。

[0264] 在步骤 32 中,依据在步骤 20 中获得的测量结果形成的倒数增益项 G 被加到 GLL 控制器上。在步骤 34 中,通过使设定点步进把流体阶梯式变化提供给质量流量控制器。例如,图 1 中的 SI2 是借助设定点方面的一组不同的变化 ΔS_i 修正的。不同的 ΔS_i 可以这样选定,以致控制器对于大的阶梯式变化(例如, ΔS_i 为满刻度流量的 100%) 和小的阶梯式

变化（例如， ΔS_i 为满刻度流量的 5%）都被适当地统调。各种不同的 ΔS_i 的数目和大小对于每个实现依照特定的质量流量控制器实现的不一致的操作需求可能是不一致的。

[0265] 在步骤 36 中，GLL 控制器的各种不同的参数是这样设定的，以致 GLL 控制器令人满意地响应用各种不同的 ΔS_i 定义的设定点的不同变化。例如，包括 PID 常数 K_p 、 K_i 等在内的参数可以通过统调对设定点方面的变化提供预期的响应。可以统调的各种不同的控制器特性包括但不限于：上升时间、最大的上冲 / 下冲、调定时间等等。

[0266] 在校准步骤 40 中，已经对预期的动态响应完成传感器和控制器的统调，而且已经获得用于各种不同的设定点的合成增益 CDA' ，质量流量控制器将经历遭受校准步骤以保证质量流量控制器有令人满意的稳态响应。质量流量控制器部份地被这样校准，以致实际流量和指示流量之间的关系是线性的。除此之外，如同在图 7b 的校准步骤 40 中描述的那样可以获得使质量流量控制器关于工艺流体和 / 或工艺操作条件的配置变得容易的配置数据。

[0267] 在校准步骤 40 的步骤 41 中，定义质量流量控制器的满刻度范围。依照一个实施方案，测量与 1.0 的传感器输出相对应的实际流量。近似的线性化曲线是这样提供的，以致在定义的满刻度流量，指示流量将有在或接近 1.0 的数值。然后，近似的线性化曲线被应用于流量计 110。人们应该领会到用于最大的传感器输出和指示流量的数值 1.0 是可仿效的而且可以用任何预期的数字代替。

[0268] 在步骤 43 中，第一设定点 $_{cb}S_0$ 是从一组选定的设定点 $\{_{cb}S_0, _{cb}S_1, _{cb}S_2, \dots\}$ 中选定的而且被加到质量流量控制器上。然后，测量流动路径（例如，流动路径 103）中起因于该设定点的实际流体流量。与每个设定点相对应，记录传感器输出和实际流体流量。人们应该领会到，如果更方便可以记录分数流量（即，与测试流体相关联的实际流体流量除以满刻度范围）代替实际的流体流量，而且相关信息在两种表达中都存在。然后，如同在步骤 44 和 45 中举例说明的那样，针对那组选定的设定点中的每个设定点 $_{cb}S_i$ 重复步骤 41 和 43，从而导致可以作为配置数据储存的一组点对 { 传感器输出，实际流体流量 }_i。

[0269] 在点对 { 传感器输出，实际的流体流量 }_i 之间的关系描述以不同的流速流过传感器导管和质量流量控制器的流体比例之间的与传感器相关联的非线性。因此，为了保证流体流量和指示流量之间的关系是线性的，可以依据这些点对确定线性化曲线。在一个实施方案中，确定对与点对 { 传感器输出，实际的流体流动 }_i 相关联的非线性进行校正的一组点。三次样条是与那一组点吻合的，以致提供连续的并且通过点 (0, 0)（即，流体流量 = 0 和传感器输出 = 0）的线性化曲线。在步骤 46 中，线性化曲线被应用于质量流量控制器。人们应该领会到，许多其它的曲线拟合方法可供使用，包括但不限于分段线性近似、多项式近似等等。

[0270] 在步骤 10-40 期间，配置数据已经在质量流量控制器关于测试流体和测试操作条件的各种不同的生产步骤中记录下来。配置数据包含使质量流量控制器关于在工艺气体和 / 或工艺操作条件下操作的配置变得容易的信息。人们应该领会到那组在人工统调质量流量控制器期间记录的配置数据可能是不同的，取决于质量流量控制器的特定的实现，而且可能不同于在图 7c 和 7d 中举例说明的那些。因此，配置数据对于质量流量控制器的任何特定实现都仅仅描述在质量流量控制器在生产期间获得的使质量流量控制器关于用工作流体和 / 或工艺操作条件操作的配置变得容易的数据。

[0271] 例如,在图 7c 和 7d 举例说明的实施方案中,在步骤 10-40 期间记录的配置数据包括传感器统调参数、来自传感器统调步骤的单一增益、统调条件、校准条件、一组点对 { 传感器输出, CDA' }_i、一组点对 { 传感器输出, 实际流体流量 }_i 和适合测试流体的满刻度范围。

[0272] 在阀门表征步骤 20 中,点对 { 传感器输出, CDA' }_i 被记录下来。如同前面讨论过的那样,合成增益项 CDA' 是分别与阀门调节器、阀门和流量计相关联的增益项的乘积。然而,增益 C, D 和 A' 各自对合成增益项 CDA' 的贡献是未知的。另外,值得注意的是 A' 仅仅是与流量计相关联的总增益项 A 的一部分。

[0273] 在系统增益分解 50 中,对合成增益项 CDA' 有贡献的个别增益项是从合成增益项中分离出来的,以便它们在随后的系统配置步骤 60 中可以针对工艺流体和 / 或工艺操作条件被确定下来。然而,人们应该领会到,步骤 51-56 对于质量流量控制器的某些实现 (例如,在精确的阀门调节器模型是可用的或与调节器相关联的增益对于一组工艺操作条件可以直接获得的情况下) 可能不是必不可少的。如同前面讨论的那样,系统增益分解 50 提供建立阀门调节器行为模型的更普遍适用的方法 (例如,获得适合一组工艺操作条件的增益项 C 的方法)。

[0274] 在步骤 51 中,增益项 A 被确定下来。在先前描述的实施方案中,流量计已被这样统调和 / 或校准,以致 25% 满刻度流量导致指示流量为 .25, 50% 满刻度流量导致指示流量为 .5, 75% 满刻度流量导致指示流量为 .75 等等。流动路径中的流体流量和指示流量之间的关系是线性的,因此与流量计相关联的增益 (即,增益 A) 是常数。

[0275] 因此,增益 A 能在步骤 51 中通过在任何预期的点将指示流量除以流体流量被直接确定下来,最简单的是满刻度流量和相关的用线性化曲线保证为 1 的指示流量。因此,在指示流量最大值为 1 的实施方案中,增益 A 等于满刻度范围 (即,对于特定的流体物种通过质量流量控制器的满刻度流量的数值) 的倒数。一般地说,增益 A 等于指示流量最大值除以与特定的流体物种有关的满刻度范围。

[0276] 在步骤 52 中,形成合成物增益项 CDA 。增益项 A' 是与没有线性化曲线的贡献的流量计相关的增益,而增益项 A 是与包括线性化曲线的流量计相关的增益。所以, A' 和 A 之间的关系根据定义是线性化曲线。因此,合成增益项 CDA 能通过加进线性化曲线性的贡献,也就是说,通过将 CDA' 乘以与线性化曲线相关的增益项 (例如,将 CDA' 乘以线性化曲线的导数) 被直接确定下来。在步骤 52 的每次迭代中,增益项 CDA_i 是在设定点 $a_i S_i$ 形成的并且是提供给步骤 53 的。

[0277] 在步骤 53 中,增益项 A 的贡献被除去。因为合成增益项 CDA 和个别增益项 A (满刻度范围的倒数) 两者现在都是已知的,所以增益项 A 的贡献能从合成增益项 CDA 中分离出来,留下与阀门调节器和阀门相关联的合成增益项 CD。如同在步骤 53 中举例说明的那样,增益项 CD_i 是在设定点 $a_i S_i$ 形成的并且是提供给步骤 54 的。

[0278] 如同前面讨论的那样,增益 C 是阀门位移的变化除以驱动信号 (例如, GLL 控制器提供的 DS) 相应的变化。增益 D 是流体流量的变化除以阀门位移相应的变化。

[0279] 在步骤 54 中,在选定的一组设定点确定增益项 D 和计算阀门位移。为了进一步计算合成增益项 CD 的导数,阀门的物理模型被用来确定在特定的一组操作条件下实现特定的流体流量必不可少的阀门位移 (即,确定增益 D)。可以用来完成这个确定任务的一个阀

门物理模型是在下面以“阀门物理模型”为标题的段落 D 中举例说明和描述的。人们应该领会到不同的阀门和阀门类型可以有不同的物理模型。此外,可能有不止一个物理模型可以用来模拟任何特定阀门的特性。因此,本发明不局限于任何特定的阀门模型。

[0280] 在一个实施方案中,增益 D 是通过计算实现用一组选定的设定点 $\{aS_0, aS_1, aS_2, \dots\}$ 表示的每个流体流量必不可少的阀门位移确定的。偏离量 n 可以是选定的,而增益项 D 是通过计算在 aS_i-n 和 aS_i+n 的阀门位移以及形成设定点的变化与阀门位移的变化之比(例如, $2n/\Delta$ 位移)确定的。另外,为了确定在 aS_i 的位移 i ,可以确定在 aS_i 的位移,即在 aS_i-n 和 aS_i+n 的位移的平均值。如同举例说明的那样,在步骤 54 的每次迭代中,增益项 D_i 和阀门位移 i 是在设定点 aS_i 确定的。

[0281] 在步骤 55 中,将增益项 D 从合成增益项 CD 中除去,从而把增益项 C 分离出来。除此之外,产生一组点对 $\{C, \text{位移}\}_i$,以使用生产 710 期间所用的那组测试操作条件提供调节器的行为模型。众所周知,增益项 C(与阀门调节器相关的增益)虽然可能是阀门位移的函数但是通常不直接依赖于工艺流体和/或工艺操作条件。在步骤 55 的每次迭代中,增益项 C_i 是通过除去增益项 D_i 对在设定点 aS_i 计算的位移 i 的贡献形成的,并且被储存在那组 $\{C, \text{位移}\}_i$ 中。

[0282] 对每个选定的设定点 aS_i 重复步骤 52-55,以致产生一组把关于阀门调节器在那组测试操作条件下的行为的信息提供给随后的配置步骤的点对 $\{C, \text{位移}\}_i$ 。

[0283] 在系统配置步骤 60 中,控制参数是针对工作流体和/或工艺操作条件确定的。物理模型考虑流体物种、入口和出口压力、温度等等。因此,增益 D 可以通过把流体物种信息和工艺操作条件提供给物理模型以及计算实现各种不同的代表性的流体流量数值必不可少的位移针对工作流体和/或工艺操作条件计算出来。增益项 C 可以从依据阀门的物理模型和阀门调节器的行为模型确定的位移针对工作流体和/或工艺操作条件计算出来。在一个实施方案中,调节器的行为模型是在系统增益分解步骤 50 中产生的点对 $\{C, \text{位移}\}_i$ 。然而,在阀门的行为是已知的或能直接测量的实施方案中,增益 C 能直接从阀门确定。因此,在已经获得增益项 C 和 D 的情况下,合成增益项 CD 可以形成。随后,增益 A 能通过针对工作流体确定满刻度范围计算出来。因此,系统增益项 CDA 能针对工作流体和/或工艺操作条件确定下来。

[0284] 系统增益项的倒数可以形成而且适用于 GLL 控制器的控制回路(例如,增益项 G)。人们应该领会到, G 可以是质量流量控制器的诸如设定点、入口和/或出口压力、温度之类的一种或多种操作条件的函数。倒数增益项 G 可以这样应用于 GLL 控制器,以致质量流量控制器的控制回路有至少相对于 G 将随之变化的一种或多种操作条件恒定不变的回路增益。因此,质量流量控制器已被配置成适合针对工作流体和/或工艺操作条件操作,下面将进一步详细讨论。

[0285] 在步骤 61 中,确定与即将用它来配置质量流量控制器的工作流体相关的满刻度范围。确定满刻度范围的一种方法是以工作流体和测试流体的比热比乘与测试流体相关的满刻度范围为基础计算转换因子。人们应该领会到其它的方法可能也适合计算与特定的工作流体相关的满刻度范围。例如,如果适当,与特定的工作流体相关的满刻度范围可以直接测量。

[0286] 在步骤 62 中,增益项 D 是通过把工作流体物种信息和/或工艺操作条件应用于

物理模型和计算实现一组代表性的流量值 $\{_{cf}S_0, _{cf}S_1, _{cf}S_2, \dots\}$ 必不可少的位移针对工作流体和 / 或工艺操作条件从阀门的物理模型确定的。依照前面的讨论, 增益 D 可以通过选择偏离量 n 、按 $_{cf}S_{i-n}$ 和 $_{cf}S_{i+n}$ 计算阀门位移和形成设定点的变化与阀门位移的变化之比 (例如, $2n/\Delta$ 位移) 确定下来。另外, 为了按 $_{cf}S_i$ 确定位移 i , 在 $_{cf}S_i$ 的位移可以被确定下来, 即在 $_{cf}S_{i-n}$ 和 $_{cf}S_{i+n}$ 的位移的平均值。因此, 在步骤 62 的每次迭代中, 在设定点 $_{cf}S_i$ 阀门的增益项 D 和位移都是针对工作流体和 / 或工艺操作条件确定的。

[0287] 在步骤 63 中, 增益项 C 是针对工作流体和 / 或工艺操作条件确定的。在本发明的某些实施方案中, 增益项 C 可以直接从调节器本身测量。作为替代, 增益项 C 可以依据储存在系统增益分解步骤 50 所产生的点对 $\{C, \text{位移}\}_i$ 中的信息确定。在任一种情况下, 在步骤 63 的每次迭代中, C_i 都是按照与设定点 $_{cf}S_i$ 对应的位移 i 针对工作流体和 / 或操作条件确定的。

[0288] 在步骤 64 中, 增益项 D 乘以增益项 C, 产生合成增益项 CD。如同举例说明的那样, 在步骤 64 的每次迭代中, 来自步骤 53 的增益项 C_i 和来自步骤 52 的增益项 D_i 的乘积被取出, 以便形成在设定点 $_{cf}S_i$ 的合成增益项 CD_i 。

[0289] 在步骤 65 中, 增益项 A 的贡献被除去。因为增益项 A 仅仅是满刻度范围的倒数, 所以合成增益项 CD 可以除以与工作流体相关的工艺满刻度范围, 形成系统增益项 CDA。如同举例说明的那样, 在步骤 65 的每次迭代中, 合成增益项 CD_i 除以满刻度范围, 形成在设定点 $_{cf}S_i$ 的系统增益项 CDA_i 。

[0290] 在步骤 66 中, 系统增益项 CDA 的倒数被计算出来, 形成倒数增益项 G。如同举例说明的那样, 在步骤 66 的每次迭代中, 形成 CDA_i 的倒数, 而且把在设定点 $_{cf}S_i$ 产生的 G_i 提供给方框 67 形成倒数增益项 G。人们应该领会到增益项 G 可以用许多技术表达。例如, 曲线可以与点 G_i 吻合, 点 G_i 可以储存在查询表中, 或增益项 G 可以以前面结合增益项的定义讨论过的任何方式或其它方式表达。除此之外, 增益项 G 可以是一种或多种操作条件的函数。在图 7f 举例说明的实施方案中, 增益项 G 是设定点的函数。然而, 增益 G 也可以是不止一个操作条件的函数, 取决于质量流量控制器的特定实现的需要。

[0291] 为了针对配置质量流量控制器操作的工作流体和 / 或工艺操作条件确定倒数增益项 G, 对每个选定的设定点 $\{_{cf}S_0, _{cf}S_1, _{cf}S_2, \dots\}$ 重复步骤 62-66。

[0292] 在步骤 68 中, 增益项 G 的倒数被加到质量流量控制器的控制回路上, 以便提供至少相对于设定点恒定不变的回路增益。一般地说, 增益项 G 将提供至少相对于它将作为其函数的操作条件恒定不变的回路增益。

[0293] 人们应该领会到通过以关于工作流体和 / 或工艺操作条件的信息为基础确定质量流量控制器的系统增益和通过把系统增益的倒数增益项应用于质量流量控制器的控制回路, 质量流量控制器已被配置成适合针对工作流体和 / 或工艺操作条件操作。换句话说, 质量流量控制器在用工作流体和 / 或工艺操作条件操作的时候将呈现与生产质量流量控制器之后用测试流体和测试操作条件观察到的响应相同响应, 也就是说, 质量流量控制器在用工作流体和 / 或工艺操作条件操作的时候将呈现令人满意的响应。

[0294] 人们应该领会到配置质量流量控制器的过程可以通过使用计算机实现自动化。例如, 步骤 50 和 60 可以完全受储存在诸如个人计算机之类的计算机的存储器中并在其处理器上执行的程序控制。因此, 质量流量控制器可以被自动地配置成适合针对任意的工作流

体和 / 或工艺操作条件操作。

[0295] 在此使用的术语自动的或自动地通常适用于主要凭借计算机或处理器的控制或在计算机或处理器的控制之下完成的状态。具体地说,自动的工作、步进、处理和 / 或程序不需要大量的操作员干预或监督。因此,质量流量控制器的自动配置描述不需要人工干预的适合针对工作流体和 / 或工艺操作条件操作的质量流量控制器的配置。质量流量控制器在计算机程序控制之下的配置被看作是自动配置。

[0296] 人们应该领会到诸如把质量流量控制器接到计算机或处理器上、初始化程序的执行之类的例行工作通常是靠人工完成的。然而,这样的工作被看作是例行公事而且可以作为质量流量控制器自动配置的一部份。

[0297] 图 14 举例说明使针对任意的工作流体和 / 或工艺操作条件自动配置质量流量控制器变得容易的系统。该系统包括质量流量控制器 1000 和计算机 800。

[0298] 质量流量控制器 1000 包括存储器 1002、处理器 1004 和结合图 1 举例说明和描述的质量流量控制器 1006 的各种不同的组成部分。处理器与存储器耦合,而且可以至少与质量流量控制器的一些组成部分连接。依照前面的描述,质量流量控制器的操作可以在处理器的控制下实现,以致 GLL 控制器 150 是用处理器 1004 实现的。质量流量控制器 100 进一步包括在质量流量控制器生产期间获得的储存在存储器 1002 中的配置数据 1012。

[0299] 计算机 800 包括存储器 802、处理器 804、输入装置和储存在存储器 802 中的程序 810。程序 810 包括当它们在处理器 804 上执行的时候完成在把质量流量控制器配置成适合在工作流体和 / 或工艺操作条件下操作时牵扯到的各种不同的步骤(例如,图 7a 中的步骤 712,图 7b、7e 和 7f 中的步骤 60 和 70,等等)的指令。

[0300] 人们应该领会到计算机 800 可以是任何数量的技术上已知的计算装置。例如,计算机 800 可以是个人计算机、膝上型电脑、掌上电脑、或任何其它能够运行程序的计算装置。此外,计算机 800 可以以技术上已知的许多方式与质量流量控制器连接和通信。例如,计算机 800 可以经由电缆使用许多标准的通信方法来连接,包括但不限于标准的并行口通信、串行口通信、通用串行总线(USB)等等。作为替代,计算机 800 可以有与质量流量控制器的无线连接。因此,人们应该领会到,本发明不局限于特定类型的计算装置、输入装置、连接类型或通信方法,因为可以适当地使用多种类型的计算装置、连接类型和通信方法。

[0301] 依照本发明的一个实施方案,为了针对工作流体和 / 或工艺操作条件配置质量流量控制器,计算机 800 可以被连接到质量流量控制器上。然后,可以在处理器 804 上运行程序 810。配置输入可以提供给输入装置 808。配置输入可以包括但不限于工作流体物种信息、工艺操作条件和 / 或与质量流量控制器的配置相关的其它信息。输入装置可以是任何数量的能够接收信息的装置,包括但不限于键盘或小键盘,用来接收来自鼠标、指针等等的输入的接口软件。

[0302] 然后,程序 810 可以获得储存在质量流量控制器 1002 的存储器 1012 中的配置数据。依据配置数据和配置输入,程序 810 为质量流量控制器确定使质量流量控制器的操作在工作流体和 / 或工艺操作条件下变得容易的控制参数。然后,程序 810 可以通过修改现有的控制参数或通过把附加的控制参数加到质量流量控制器上把控制参数加到质量流量控制器上。以这种方式,质量流量控制器可以被自动地配置成适合采用工作流体和 / 或工艺操作条件操作。

[0303] 在图 15 举例说明的替代实施方案中, 程序 810 可以储存在质量流量控制器 1002 的存储器中, 并且可以在也可以用来实现 GLL 控制器 150 的处理器 1004 上运行。输入装置 1008 可以被加到质量流量控制器上, 使质量流量控制器能够接收配置输入。因此, 图 15 举例说明的质量流量控制器 1000 是自动配置的。

[0304] D. 阀门物理模型

[0305] 依照本发明的另一方面, 申请者已经建立流体在主要由两个分量 (粘滞性压降和非粘滞性 (动态) 压降) 组成的不同的入口和出口压力下流动的物理模型。通过在就每个分量而言阀门的有效位移相等的情况下把这些分量中每个分量的贡献相加, 阀门的有效位移可以凭经验使用下列方法确定下来。如同前面提到的那样, 在特定的流体流速下阀门与特定的流体有关的有效位移的确定使与阀门相关联的增益项 (例如, 增益项 D) 能够被确定下来, 并因此使与阀门调节器相关联的增益项 (例如, 增益项 C) 能够被确定下来。

[0306] 参照图 16, 允许用 P_1 表示上游或入口压力, 用 P_2 表示下游或出口压力, 那么在用 Q 表示的质量流速下, 阀门升高用 H 表示, 而且粘滞性作用独自使压力从 P_1 减少到每个中间压力 P_x 。非粘滞性压缩流动进一步使压力从中间压力 P_x 减少到 P_2 。基于流体在两个平行板之间 (例如, 在阀座和喷嘴表面之间) 的粘滞性流动的物理模型建立横跨阀门 170 的粘滞性压降模型, 在两个平行板之间的距离 H (例如, 阀门 170 的位移) 是由下列等式提供的:

$$[0307] \quad H^3 = \frac{24 \cdot \mu \cdot QLRT}{w(P_1^2 - P_x^2)} \cdot 1.654 \times 10^{-18} (f^3) \quad (\text{方程式 1})$$

[0308] 其中:

[0309] P_1, P_x : 在粘滞表面上游和下游的压力 (psi);

[0310] Q : 质量流速; (sccm)

[0311] L : 流动路径的长度 (ft);

[0312] H : 在两个平行表面之间的距离 (ft);

[0313] w : 流动路径的宽度, w 等于 $\pi \phi$, ϕ 是高台 1650 的平均直径, 基于被测试的阀门, ϕ 等于 .040";

[0314] μ : 气体的动力粘度 (厘泊);

[0315] T : 绝对温度 (度, 绝对华氏温标);

[0316] R : 通用气体常数, 1545.33 (ft-lbf/lb-Mole-deg. R);

[0317] R : 气体常数 (ft-lbf/lbm-deg. R)。

[0318] 基于流体经过孔口或喷嘴的非粘滞性流动的物理模型建立横跨阀门 170 的非粘滞性压降模型, 提供适合受阻流动的:

$$[0319] \quad \frac{Q}{A} = 1.2686 \times 10^6 P_{x,o} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\left(\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)} \right)} \sqrt{\frac{\gamma}{M_w T_{1,o}}} \quad (\text{方程式 1})$$

[0320] 以及适合非受阻流动的:

$$[0321] \quad \frac{Q}{A} = 1.2686 \times 10^6 P_{x,o} \left(\frac{P_2}{P_{x,o}} \right)^{\left(\frac{\gamma + 1}{2\gamma} \right)} \sqrt{\frac{2\gamma}{(\gamma - 1) M_w T_{1,o}} \left\{ \left(\frac{P_{x,o}}{P_2} \right)^{\left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right)} - 1 \right\}} \quad (\text{方程式 3})$$

[0322] 其中如果:

$$[0323] \quad \frac{P_2}{P_{x,0}} \leq \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right)} \quad (\text{方程式 4})$$

[0324] 则流动受阻, 否则流动不受阻, 而且

[0325] Q = 通过阀门的流量 (sccm);

[0326] $A = \pi \phi H$ = 阀门的有效面积 (平方英寸);

[0327] ϕ = 孔口 1640 的直径;

[0328] M_w = 气体分子量 (gm/mole);

[0329] $P_{x,0}$ = 上游的总压 (torr);

[0330] P_2 = 下游静态压力 (torr);

[0331] $T_{1,0}$ = 气体温度 (K);

[0332] γ = 比热比。

[0333] 依据上述的粘滞性和非粘滞性方程, 阀门 170 的有效位移 (即, H) 可能很容易确定下来。虽然用于上述的非粘滞性计算的一些单位似乎不同于在粘滞性计算中使用的那些, 但是在方程之间没有属类差异, 而且单位转换因子已经在每个方程中构成数字常数。

[0334] 为了确定阀门的有效位移, 假定实测的质量流速是 Q 、实测的上游和下游压力分别为 P_1 和 P_2 , 而且忽略速度头对总压的贡献, 计算阀门 170 的有效位移的方法可以完成。一种计算有效位移的可仿效的方法是借助逐次逼近法估计中间压力 P_x , 其中依据粘滞性流动理论 (H_v , 式 1) 和非粘滞性理论 (H_i , 式 2 或 3) 两者 (取决于流动是否受阻 (式 4)) 计算 H 的数值。因此, 如果中间压力是出口压力的大约两倍, 则假定流动受阻并且把式 2 用于计算的非粘滞性分量, 反之, 如果入口压力小于出口压力的大约两倍, 则把式 3 用于计算的非粘滞性分量。对于给定的 Q 、 P_1 和 P_2 , 当 H_v 和 H_i 相等的时候获得正确的 P_x 。因此, 为了获得 P_x , 计算方案包括连续的迭代。计算从选择介于 P_1 和 P_2 之间的 P_x 开始。然后计算粘滞性阀门升高 (H_v) 和非粘滞性阀门升高 (H_i)。如果确定 H_v 大于 H_i , 意味着与非粘滞性流动相比对于粘滞性流动没有充足的压差递送速需要的流量, 那么在下次迭代期间将选择略低的压力 P_x' , 即, 介于下游压力 P_2 和前一个压力 P_x 之间。迭代继续进行直到两个计算的阀门升高 H_v 和 H_i 相差在 0.1% 之内。依照本发明的另一方面, 可以在软件中实现这个迭代过程。用来实现这个迭代计算的软件对于熟悉这项技术的人可能是容易完成的, 而且可以在计算机上实现。因此, 基于上述的方法, 阀门 170 的有效位移可以针对许多不同的流速中的每个流速被确定下来。

[0335] 如同先前讨论的那样, 基于用多种不同的流体或气体测试的经验, 申请者已经确定质量流量计的增益 A 的部分贡献当它主要受所用的流体或气体的比热支配的时候从一种气体到另外一种气体怎样变化。因此, 一旦质量流量控制器 100 已经用已知的流体或气体校准, 这个增益怎样变化对于其它类型的气体是已知的。此外, GLL 控制器 150 的增益 B 的部分贡献对于质量流量控制器 100 是已知的, 因为确定这个增益的各种不同的常数可以储存在质量流量控制器 100 的存储器中, 而且阀门调节器 160 的增益 C 的部分贡献是有效的常数或已知的。因此, 剩下的是针对不同的气体和不同的操作条件确定阀门 170 和气体路径的增益 D 的部分贡献怎样变化和应该如何补偿由于流体或气体与最初校准质量流量控制器 100 所用的不同在质量流量控制器 100 的范围方面的变化的方法。

[0336] 依照本发明的另一方面,提供一种配置已经在知道的条件之下用已知的流体或气体统调过的质量流量控制器的方法,该方法可以用来针对与原先统调不同的流体或气体或操作范围将质量流量控制器统调到具有几乎同一的响应。依照前面的讨论,质量流量控制器 100 最初是针对已知的气体(例如,氮气)在已知的入口压力和已知的出口压力下统调的。为了简单明了,本发明的一个实施方案选择已知的入口压力大于两个大气压,而出口压力是环境压力。入口压力和出口压力的这种选择由于两个理由是有利的。首先,使用与受阻流动有关的入口压力和出口压力使建立阀门和阀门气体路径的物理模型变得容易,因为只有受阻流动条件能被用于非粘滞性压降方程。其次,这种类型的操作(即,压降大约为两个大气压)是终端用户使用的典型的操作类型。在这些条件之下,气体路径的增益可以被定义为:

[0337] 增益 = [(气体流量的变化)/(满刻度流量范围)]/[(阀门驱动的变化)/(最大阀门驱动)] (式 5)

[0338] 为了针对气体“x”用新的满刻度流量范围操作这同一台质量流量控制器,质量流量控制器 100 的闭环增益可以被期望变成:

[0339] 关于气体 x 的新增益 / 关于 N₂ 的旧增益 =

[0340] $(1/Cfc_x)^{0.4} (Mw_{N_2}/Mw_x)^{0.2} [(旧 N_2 范围)/(新 N_2 范围)]$

[0341] (式 6)

[0342] 其中 Cfc_x = 用于气体 x 的转换因子“C”, Mw = 气体分子量

[0343] 上述的等式是近似的,因为有作为入口压力、温度和和比热比的函数的附加项。然而,这个附加项的影响是 0.4 次幂而且在正常情况下能被忽略。例如,假定质量流量控制器 100 的校准最初是用氮气作为已知的流体或气体完成的,这个附加项的数值从适合氮气和其它双原子气体的 .684 上升到适合单原子气体的 0.726 和下降到适合多原子气体的 0.628 变化范围是 0.4 次幂。因此,来自氮气的差异最多是大约 3.5% 而且通常是可以忽略的。为了补偿由于使用与校准时所用的那些不同的气体和或不同的操作条件在增益方面造成的上述变化,增益项 G 可以借助上述的比值的倒数改变,以便不顾所用的设定、操作条件、流体或气体类型为质量流量控制器提供恒定不变的闭环增益。换句话说,如果质量流量控制器的闭环增益是 $A*B*C*D$, 那么增益项 G 被设定成恒定不变的时间 $1/(A*C*D)$, 以便提供与校准期间所用者相同的常数闭环增益。

[0344] E. 阀门力学模型

[0345] 适当的力学模型将连同图 10 举例说明的使用自由漂浮柱塞的阀门一起予以描述。柱塞 # 的位置受几个力的平衡控制。第一个力是试图使柱塞恢复其复位位置的弹簧力。第二个力是试图在电子器件的控制之下把柱塞从其静止位置移开的来自螺线管的磁性力。第三个力学是在柱塞背面和柱塞正面之间的压力差,它作用在喷嘴孔口和高台上试图迫使柱塞向喷嘴移动(对于向前流动的阀门)或远离喷嘴(对于反向流动的阀门)。第四个力是在喷嘴高台区域外面在柱塞背面和柱塞正面之间随流量变化的压差。这个作用能适当地受喷嘴设计控制。

[0346] 作用在柱塞上的磁性力取决于阀门机械设计(结构和材料)、阀门驱动电流和阀门位移。在零压降,在驱动电流和位移之间的关系能够计算出来。这能利用名义阀门的磁性模型完成。人们应该领会到,驱动电流和位移之间的关系也可能依据在指定的流体流量下

阀门增益的测量结果计算出来,或它可能借助通过喷嘴向上凝视的激光干涉计直接测量。

[0347] 在任何给定的位移和驱动电流下,磁性力相对于驱动电流的导数 (dF/dL) 都能计算出来。这能从名义阀门的磁性模型计算出来。

[0348] $F_g(p)$ 是压降 p 加在柱塞上的力

[0349] $F_m(d, l)$ 是在升高 l 下阀门驱动 d 加在柱塞上的力

[0350] $F_s(l)$ 是在升高 l 下弹簧加在柱塞上的力

[0351] L = 阀门升高

[0352] D = 为了在零压降下提供升高 L 需要的阀门驱动

[0353] D_d = 在阀门驱动方面小的变化

[0354] D' = 为了在压降 P 下提供升高 L 所需要的阀门驱动

[0355] P = 横跨阀门的压降,

[0356] 对于给定的阀门,我们(从阀门的磁性模型)知道:

[0357] $F_m(D, L)$

[0358] $F_s(L)$

[0359] 在平衡和零压降下,我们有:

[0360] $F_m(D, L) + F_s(L) = 0$

[0361] 这允许我们计算零压降的 $L(D)$ 。

[0362] 我们希望对于任何的阀门升高 L 有:

[0363] $F_m(D, L) = F_m(D', L) + F_g(P)$

[0364] 我们将假定对于小的 D_d , F_m 是线性的:

[0365] $F_m(D+D_d, L) = F_m(D, L) + D_d * dF_m/dD$

[0366] 这给我们:

[0367] $F_m(D, L) = F_m(D, L) + D_d * dF_m/dD + F_g(P) = >$

[0368] $D_d = -F_g(P) / dF_m/dD$

[0369] 因为 F_g 与 P 成比例,我们能把它改写为:

[0370] $D_d = K_p * P / (dF_m/dD)$

[0371] 这允许我们通过从 D' 而不是 D 开始计算阀门驱动使柱塞位置与 P 无关:

[0372] $D' = D + K_p * p / (dF_m/dD)$ (式 11)

[0373] 因此,式 11 能如同在上文中描述的那样被位移补偿使用(例如,在图 9 和 13 中描述的位移补偿)。具体地说,压降 P 可以是依据阀门环境中的压力测量结果确定的。指示压降的压力信号可以作为对位移补偿组件的输入。位移补偿信号可以与 $K_p * P / (dF_m/dD)$ 相关。例如,位移补偿信号可以是实现 $K_p * P / (dF_m/dD)$ 所描述的位移必不可少的驱动电平。然后,为了补偿压力引起的阀门位移,这个位移补偿信号可以被加到从控制回路发出的驱动信号上。

[0374] 例如,质量流量控制阀门调节器或驱动器可以接收来自 GLL 控制器的阀门驱动信号 D ,将它转换成预期的电流 I ,然后将那个数值转换成必需的 PWM 设定。我们需要计算经过校正的阀门驱动信号 D' :

[0375] $D' = D + K_p * (P_i - P_o) / dF(D)$

[0376] 其中:

[0377] K_p 是阀门驱动属性，

[0378] P_i 是入口压力，

[0379] P_o 是假定的或实测的出口压力，而

[0380] $dF(D)$ 是 D 的任意函数， dF_m/dD 是在 D 估算的。

[0381] 因此，位移补偿可以是为了补偿阀门见到的由入口和出口压力之间的压力梯度引起的压力阀门位移而实现的。

[0382] 项 $dF(D)$ 对于给定的控制器 / 阀门组合可能是固定的，而且针对特定的阀门类型确定 $dF(D)$ 和供有那种类型的阀门的每种质量流量控制器利用是可能的。照此， $dF(D)$ 可能因阀门而异，并因此可能需要针对不同的阀门类型被确定下来。一种用来确定 $dF(D)$ 的方法将在下面描述。

[0383] 阀门的磁性模型能用来针对特定的阀门确定 $dF(D)$ 。作用在阀门柱塞上磁性力是阀门驱动和升高两者的函数。在零压降的升高是磁性力和弹簧常数两者的函数，因此也是阀门驱动的函数。

[0384] 给定阀门几何学和弹簧常数，名义阀门的有限元磁性模型能针对各种不同的阀门驱动电平给我们力对升高的曲线。类似地，弹簧常数针对弹簧给我们弹簧力对升高的直线。

[0385] 力对升高曲线（对于给定的驱动电平）和弹簧力对升高的直线的交点给我们在那个驱动电平下的名义升高。几条力对升高的曲线（在不同的驱动电平下）与那条的十字路口和弹簧力对升高的直线的交点给我们作为驱动的函数的名义升高 $L(D)$ 。

[0386] 借助定义， $dF(D)$ 是作用在阀门柱塞上磁性力相对于阀门驱动 D 的导数，给出在零压降下对阀门驱动 D 期望的固定升高。

[0387] 就每个驱动电平而言，我们能计算名义上的升高 $L(D)$ 。对于每个升高，同样的阀门有限元磁性模型能给我们力对电流的曲线。 $dF(D)$ 仅仅是针对 $L(D)$ 计算的力对电流的曲线在 D 估算的导数。

[0388] 因此，匹配的数对 D 和 $dF(D)$ 能被制作成表供控制器使用。例如， $dF(D)$ 可以是对阀门驱动器、螺线管和阀门的行为的分段近似。一个实施方案包括形成用 (D, dF) 数值对指定的分段近似。那组点对可以作为阀门的磁性模型储存在质量流量控制器中。为了如同上文描述的那样计算位移补偿信号，这些点对可以被编入索引。

[0389] K_p 是可以在生产质量流量控制器时测量的阀门属性增益项。一种确定 K_p 的方法依下列各项进行：

[0390] 1. 选择满足下列要求的 2 对（入口压力、设定点）：

[0391] a. 两对要求每个组合的粘滞性 / 非粘滞性阀门模型有同样的阀门孔洞。

[0392] b. 高入口压力下的压降是低入口压力下的压降的至少 2 倍（优选 4 倍以上）。

[0393] c. 当粘滞性和非粘滞性模型两者对结果的贡献相等的时候，阀门模型是最少正确的。对于两对，流动（无论是粘滞性流动还是非粘滞性流动）应该在很大程度上用同一模型确定。当这与事实一致的时候，阀门模型将在两种情况下给出在同一极端（入口或出口）附近的中间压力。

[0394] d. 流动对阀门孔洞非常敏感。对于粘滞性流动，这发生在最高的设定点。对于非粘滞性流动，这发生在最低的设定点。

[0395] 2. 在控制器中设定 $K_p = 0$ 。

[0396] 3. 使入口压力和设定点在选定的数值对之间至少循环 4 次（优选 10 次）。每次都在流动稳定之后记录在高的和低的入口压力下的指示入口压力信号 P_i 和指示阀门驱动信号 D 两者。

[0397] 4. 计算记录数值的平均值, 给出:

[0398] P_{i1} = 在低入口压力下的平均指示入口压力

[0399] P_{i2} = 在高入口压力下的平均指示入口压力

[0400] D_1 = 在低入口压力下的平均阀门驱动 D

[0401] D_2 = 在高入口压力下的平均阀门驱动 D 。

[0402] 5. 定义:

[0403] P_o = 被转换成单位与 P_{i1} 和 P_{i2} 相同的测试期间的平均出口压力。

[0404] 6. 计算:

[0405] $P_{d1} = P_{i1} - P_o$

[0406] $P_{d2} = P_{i2} - P_o$

[0407] $D_0 = D_1 - (D_2 - D_1) * (P_{i1} - P_o) / (P_{i2} - P_{i1})$

[0408] $K_p = ((D_2 - D_1) / (P_2 - P_1)) / dF(D_0)$

[0409] 照此, K_p 必须是在生产期间对每个单元统调的。

[0410] 其它的改进和变化依照本发明的各个方面可以进行。例如, 依照本发明的一个方面, 前馈补偿可以在系统上使用压力信息得以完成。因为压力瞬变现象（甚至不同数值的静态压力）影响阀门操作, 所以可以预测压力对阀门操作的影响并进行补偿。例如, 压力对阀门的影响可以被确定, 而阀门驱动信号可以得到补偿, 以便减少由于压力和压力瞬变现象造成的任何诱发的阀门运动。在一个实施方案中, 预测维持阀门的柱塞静止所需要的阀门驱动信号的变化。

[0411] 在一个实施方案中, 前馈补偿可以通过创造待用阀门的模型、选择至少两组需要同样的阀门孔洞的流速 / 压力状态和测量阀门驱动信号产生可以用来产生操作系统的参数的校准数值得以完成。具体地说, 阀门的模型可以依据力对位移对驱动电流的曲线创建。使用阀门本身以物理学为基础的模型, 选定对于模型化的阀门需要同样的阀门孔口的至少两个流速和至少两个对应的压力状态。压力和设定点在这些选定的操作条件对之间循环, 而且记录在每个操作条件下的阀门驱动设定。这个阀门驱动设定提供能和阀门模型一起使用产生适合该装置的操作参数的校准常数。为了获得令人满意的测量结果, 好的电子压力控制器可以用来适当地使压力循环。进而, 可以有一些时间针对所用的每种阀门配置努力研发力对位移对驱动电流的曲线。

[0412] 在一个实施方案中, 校准常数可以通过在两个不同的入口压力下测量阀门脉冲基底电平（恰好刚刚开始打开阀门的电流）和假定（尽管是虚假的）调节器增益是常数推演出来。调节阀门脉冲基底电平与适当的阀门模型相结合是超越其它的补偿方法的重大改进。

[0413] 依照本发明的另一个实施方案, 也使用压力信息（例如, 压力信号）的失效体积补偿统调过程可以完成。更具体地说, 压力信号可以被用来调节 GLL 控制器的增益提供恒定不变的增益。人们已认识到, 压力瞬变现象影响阀门物理模型, 所以为了补偿这些压力影响可以调节增益。

[0414] 在一个实施方案中,补偿可以使用下面的程序完成:

[0415] 1. 把压力阶梯式变化输入控制器。在一个例子中,入口压力可以从大约 30PSIG 步进到大约 32PSIG。其它的压力也将工作,但是人们认识到压力的阶梯式变化太大产生提供误导的结果。用来提供入口压力的测试装置可以经过改造使压力的阶梯式变化尽可能接近方波。

[0416] 2. 在阶梯式变化期间记录压力转换器和流量传感器两者的输出。

[0417] 3. 通过补偿滤波器(包括微分网络)的模型运行记录下来的压力转换器的输出,并且把转换器的输出与被记录下来的流量传感器的输出进行比较。每逢再运行模型,调节滤波器参数使两个信号之间的差异减到最小。当差异在令人满意的水平范围内的时候,可以停止滤波器调节,记录测试条件,而且可以把最后的滤波器参数设定在装置中。

[0418] 虽然上述的最小化方法可以使用,但是人们应该领会到,许多最小化方法也可以使用,而且本发明不局限于任何特定的方法。例如,一种方法可以包括使用依据典型的设备确定的默认的滤波器参数,调节滤波器参数使前沿协调,冻结这些参数,调节其它的参数使峰值相匹配,冻结它们,然后调节剩余的参数使后沿相匹配。在每个步骤中,例如,各种不同的线性最小二乘法拟合可以被用来调节参数。此外,其它的最小化算法同样是可用的。

[0419] 另外,失效体积补偿可以是针对每种工作气体配置的。在这个实施方案中,有作为微分网络(例如,图 8 的微分网络 820)部份的增益调节。微分网络增益等于增益常数除以环境温度(例如,开尔文温度),而且增益常数可以被设定成上述的统调软件请求的增益乘以收集统调信息时的环境温度(开尔文温度)除以从统调气体到工艺气体的转换因子。

[0420] 1. 如果设备将在很宽的温度范围内操作,性能可以通过选择与 $1/T$ (T 是绝对温度)成比例的总增益在那个范围的末端得到改善,因为对于理想气体由于压力变化造成的总质量流量与 $1/T$ 成比例,而且通常使用的传感器是质量流量传感器。

[0421] 2. 气体物种影响流量传感器的增益。如果设备将被用于与统调该设备时所用的气体不同的气体,那么总增益需要被适当地调节。如果增益未被相应地调节,那么失效体积补偿实际上能使其性能变得比没有失效体积补偿将具有的性能更差。

[0422] 3. 气体物种也影响流量传感器的响应。如果滤波器参数作为气体物种的函数得到调节,那么算法的性能可以得到改善。

[0423] 4. 流量传感器的增益也随着流速变化,增益(通常)在高流速下减少。在高流量水平下的性能可以通过使总增益变成流速的函数得到改善。增益可以被描述成:

[0424] 增益 = $g_0 + KG * \text{设定点}$

[0425] 其中 KG 是小的(相对 g_0),而且通常是负值。假定设定点是流速的合理的模拟量,那么上述的这个关系有效地减少作为流速的函数的增益。作为替代,可以改为使用实际的指示流速。

[0426] 此外,可以获得其它的改进,包括使增益变成流速的更复杂的函数,或在使线性化传感器之后减去虚假的流量信号。

[0427] 5. 流量传感器的响应也随着流速变化。就现在的硬件而言,这种变化很小,然而,在性能方面如此次要的改进可以通过使滤波器级联参数变成设定点或流速的函数得以完成。

[0428] 至此已详细地描述了本发明的一些实施方案,各种不同的修正方案和改进方案对

于熟悉这项技术的人将容易发生。这样的修正方案和改进方案倾向于落在本发明的范围之内。因此,前面的描述仅仅是作为例子,不倾向于作为极限。本发明只受权利要求书及其等价文件的限制。

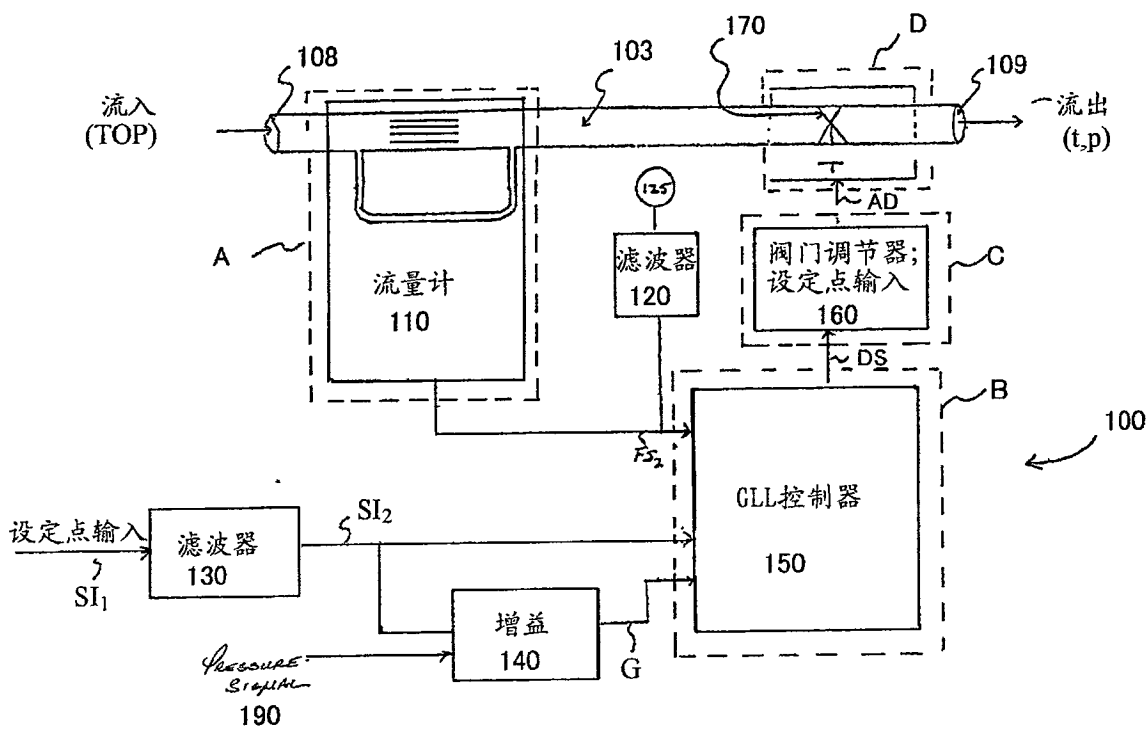


图 1

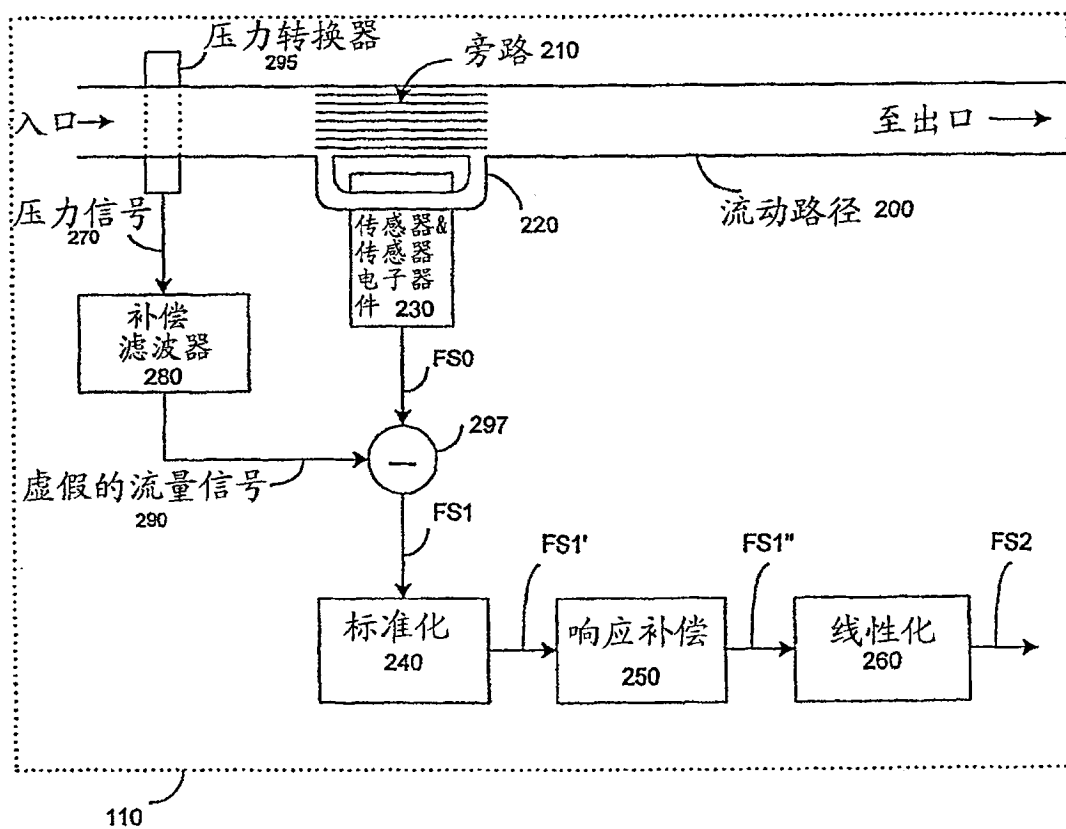


图 2

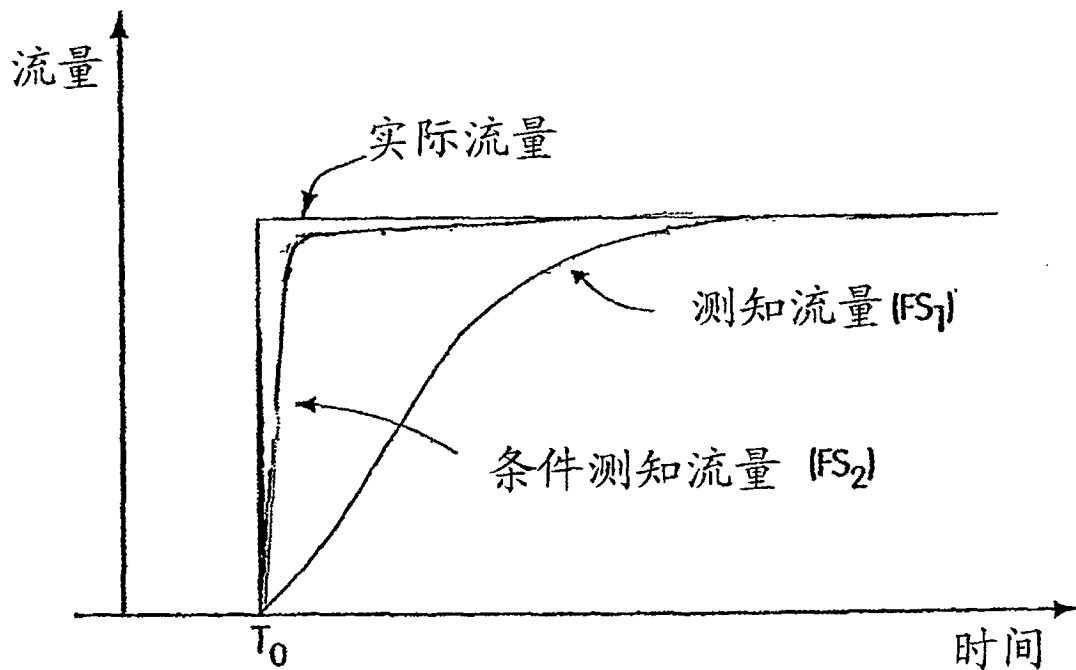


图 3

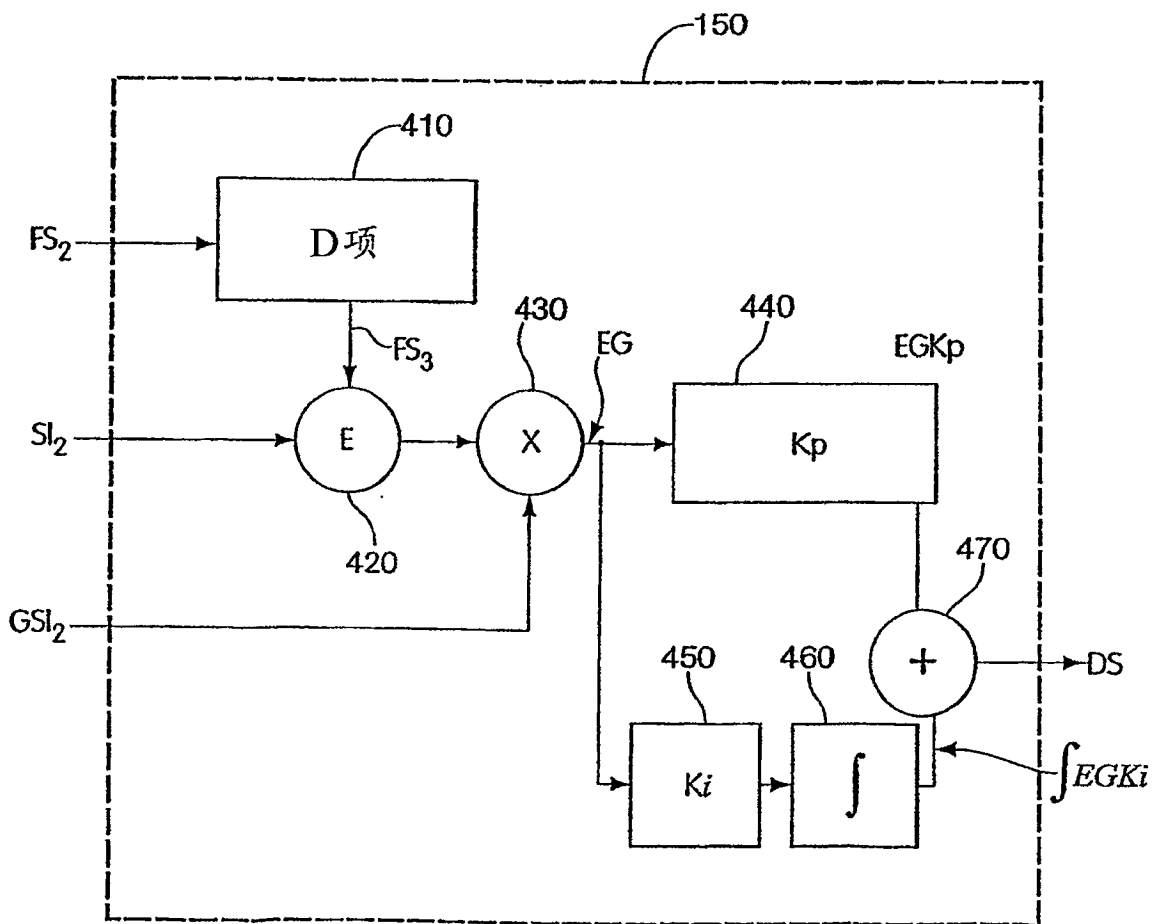


图 4

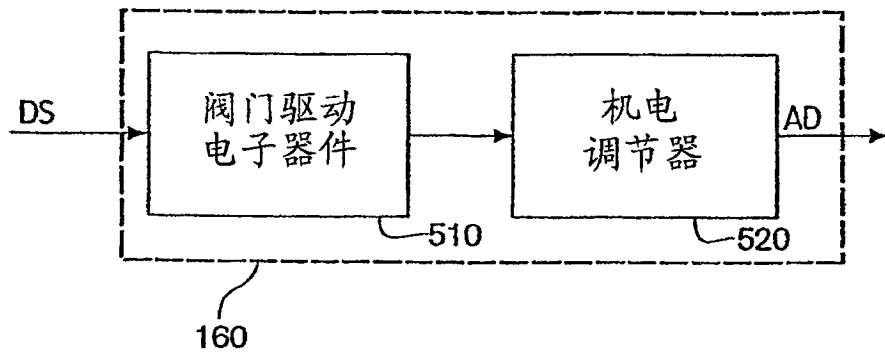


图 5

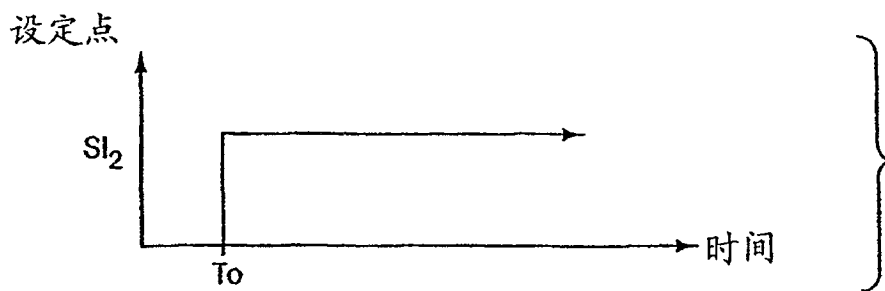


图 6A

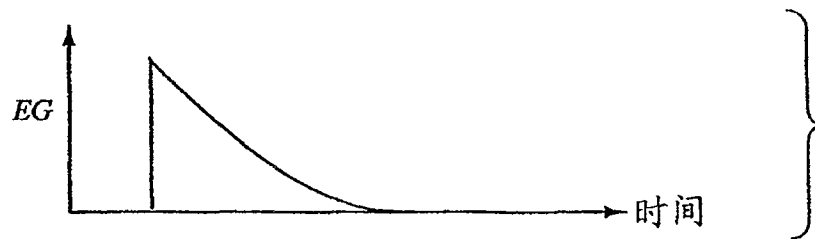


图 6B

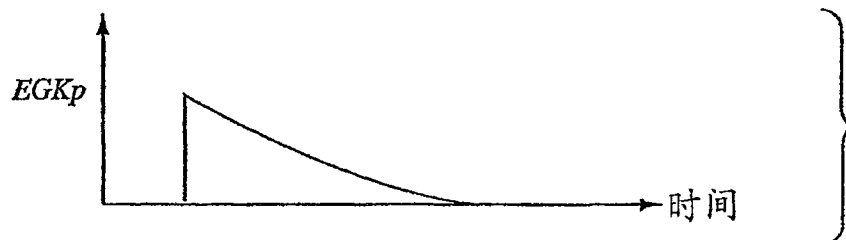


图 6C

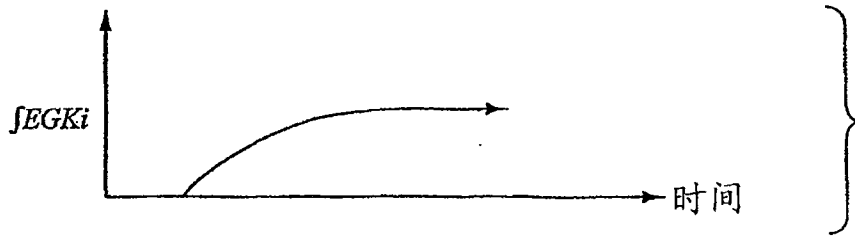


图 6D

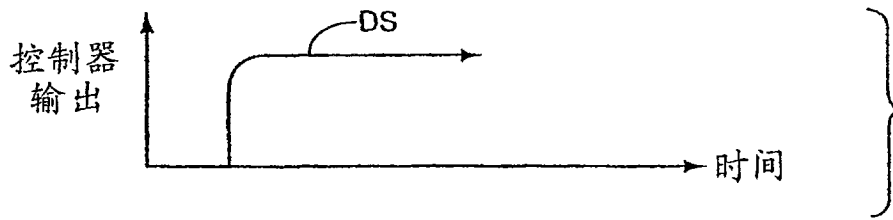


图 6E

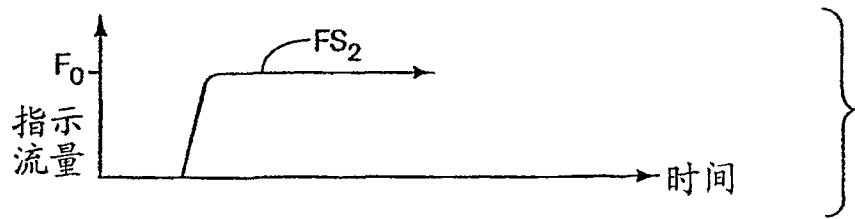


图 6F

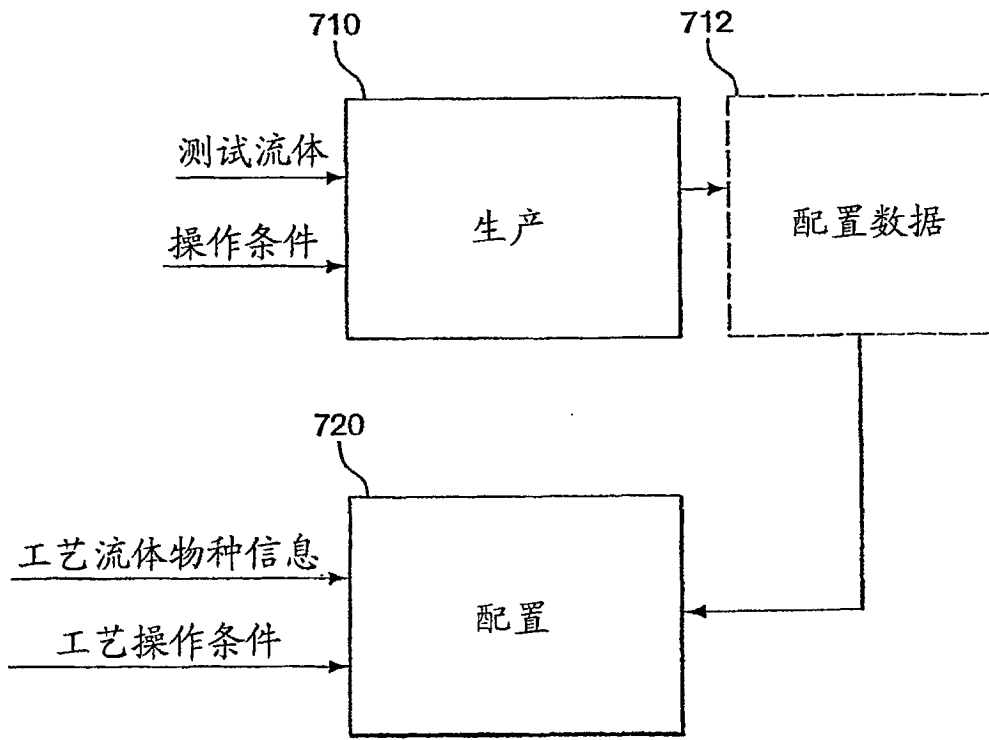


图 7A

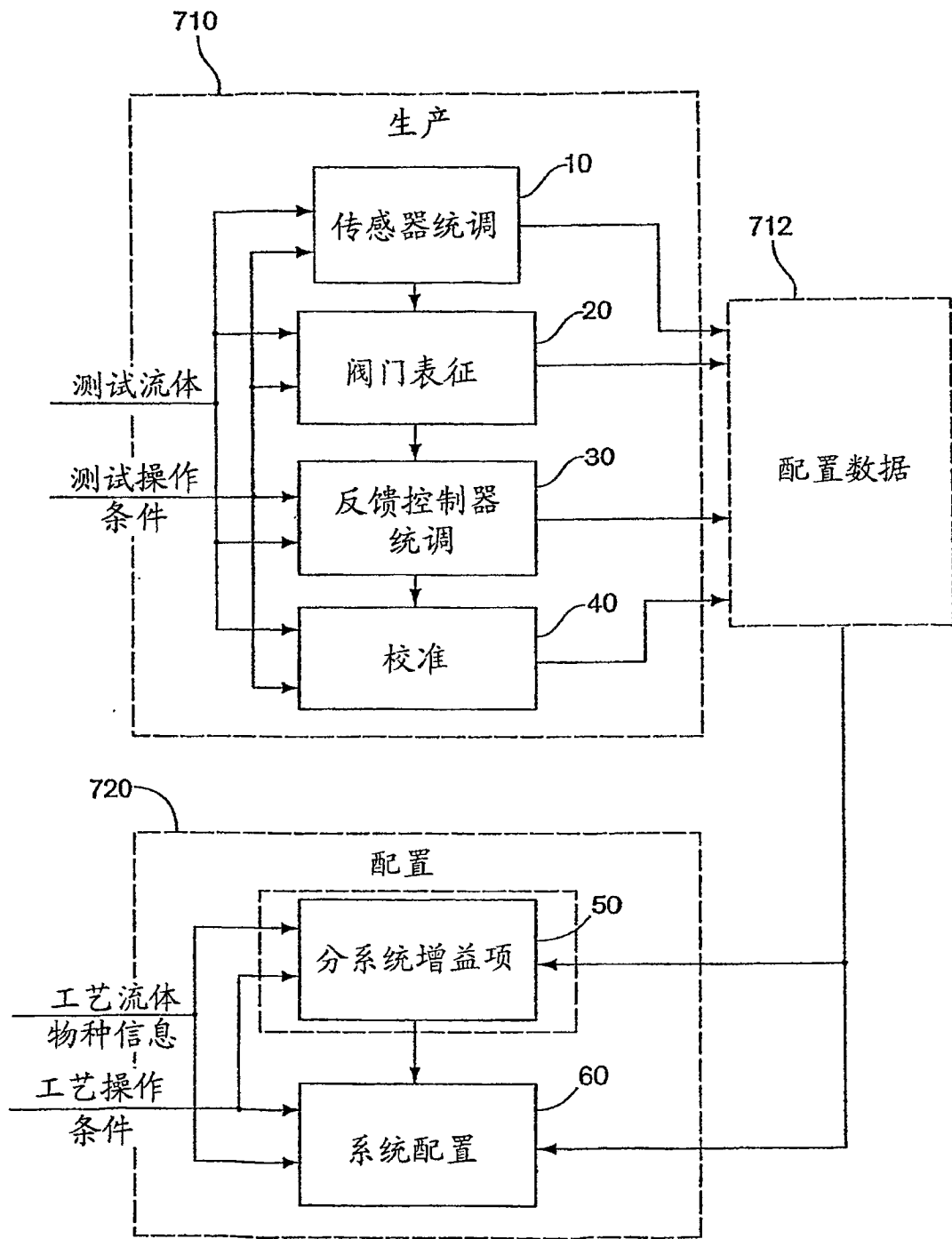


图 7B

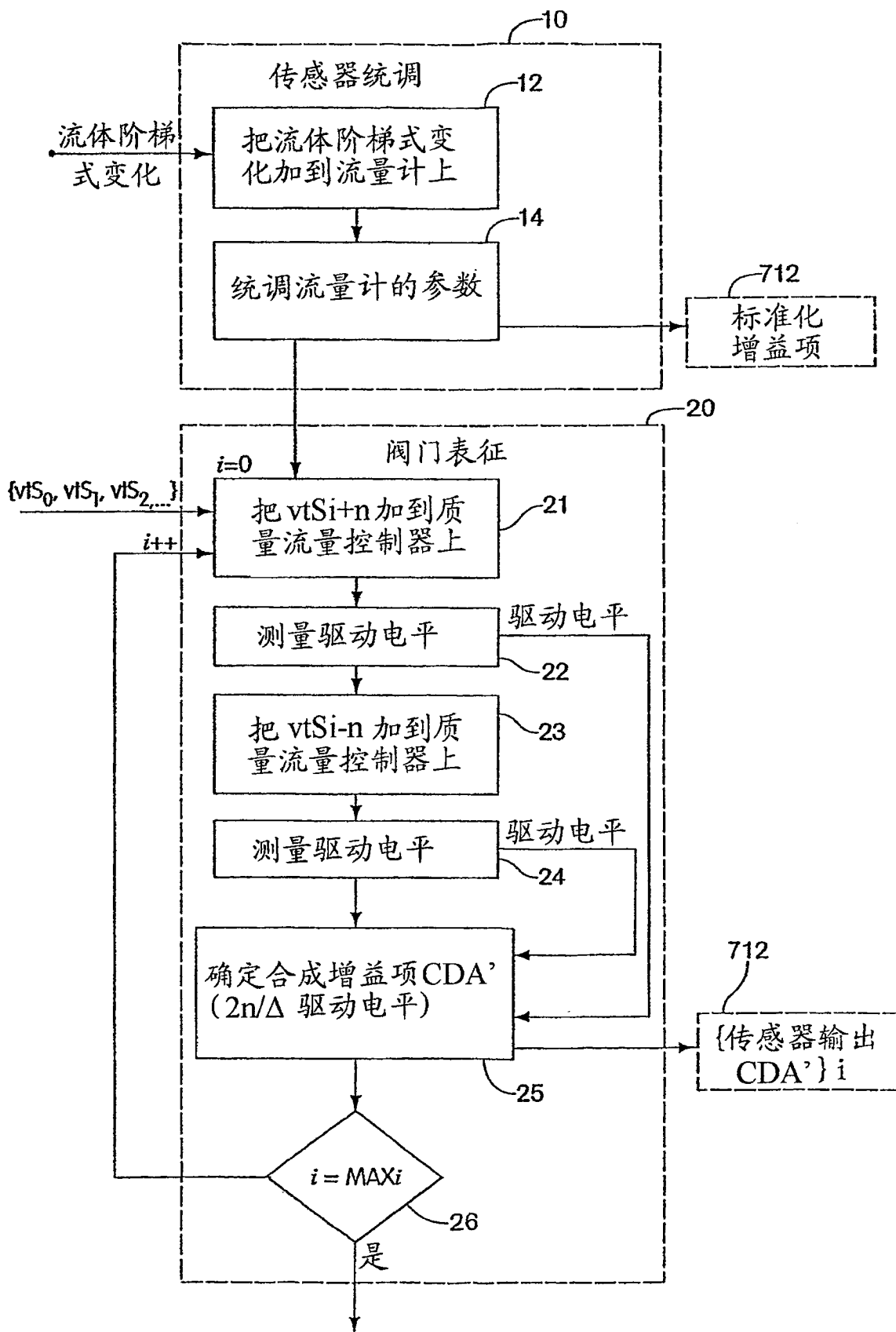


图 7C

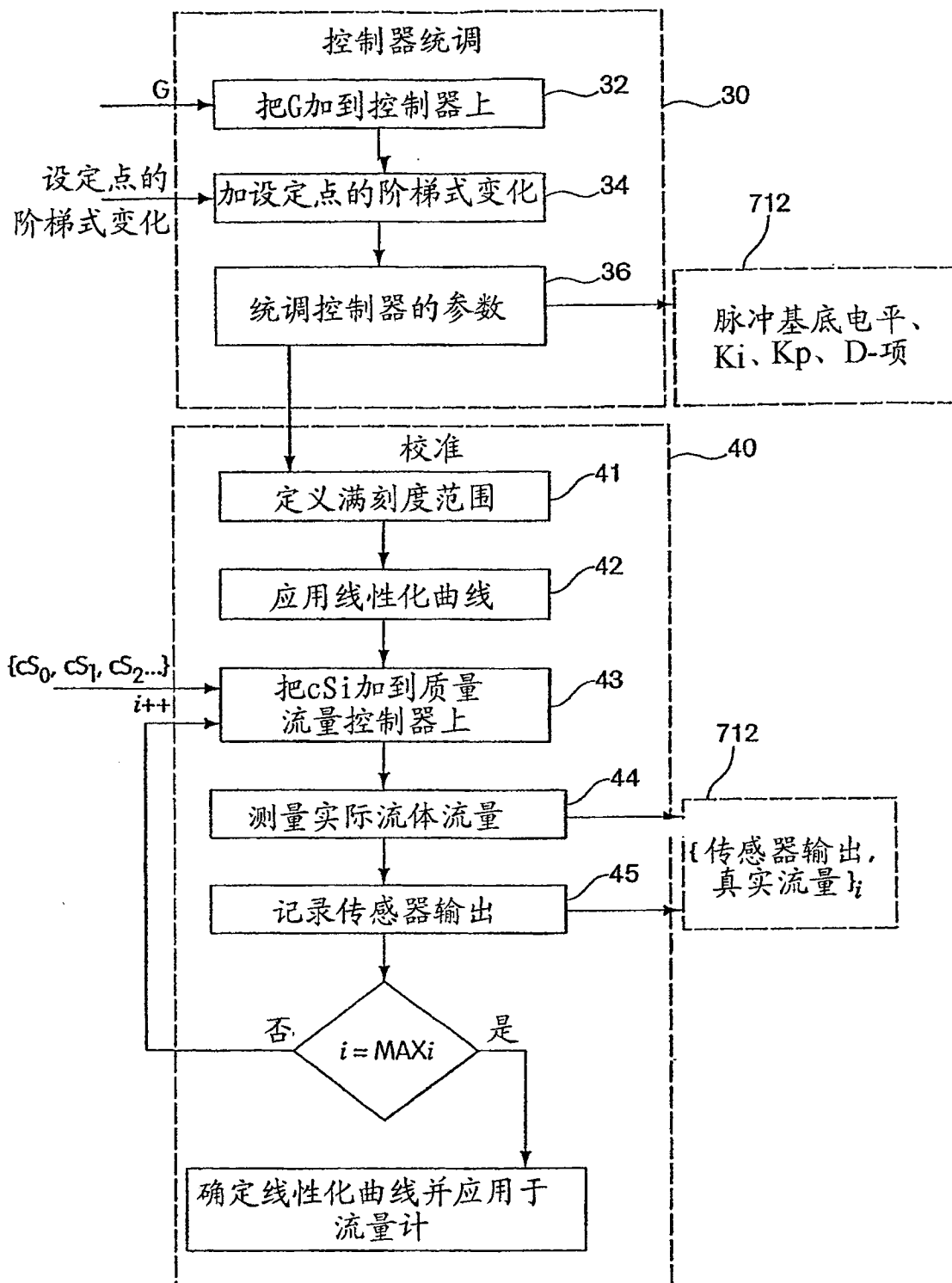


图 7D

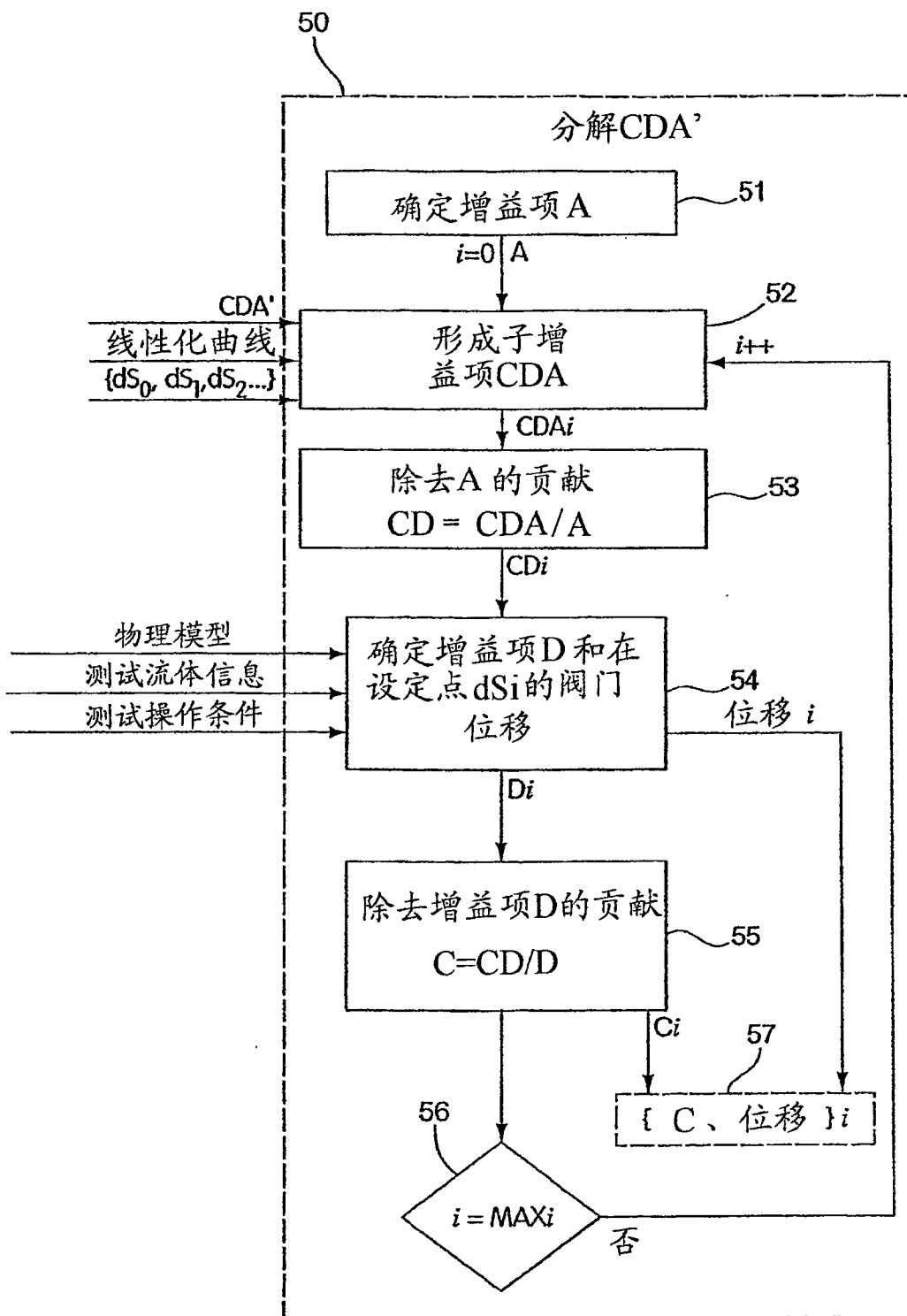


图 7E

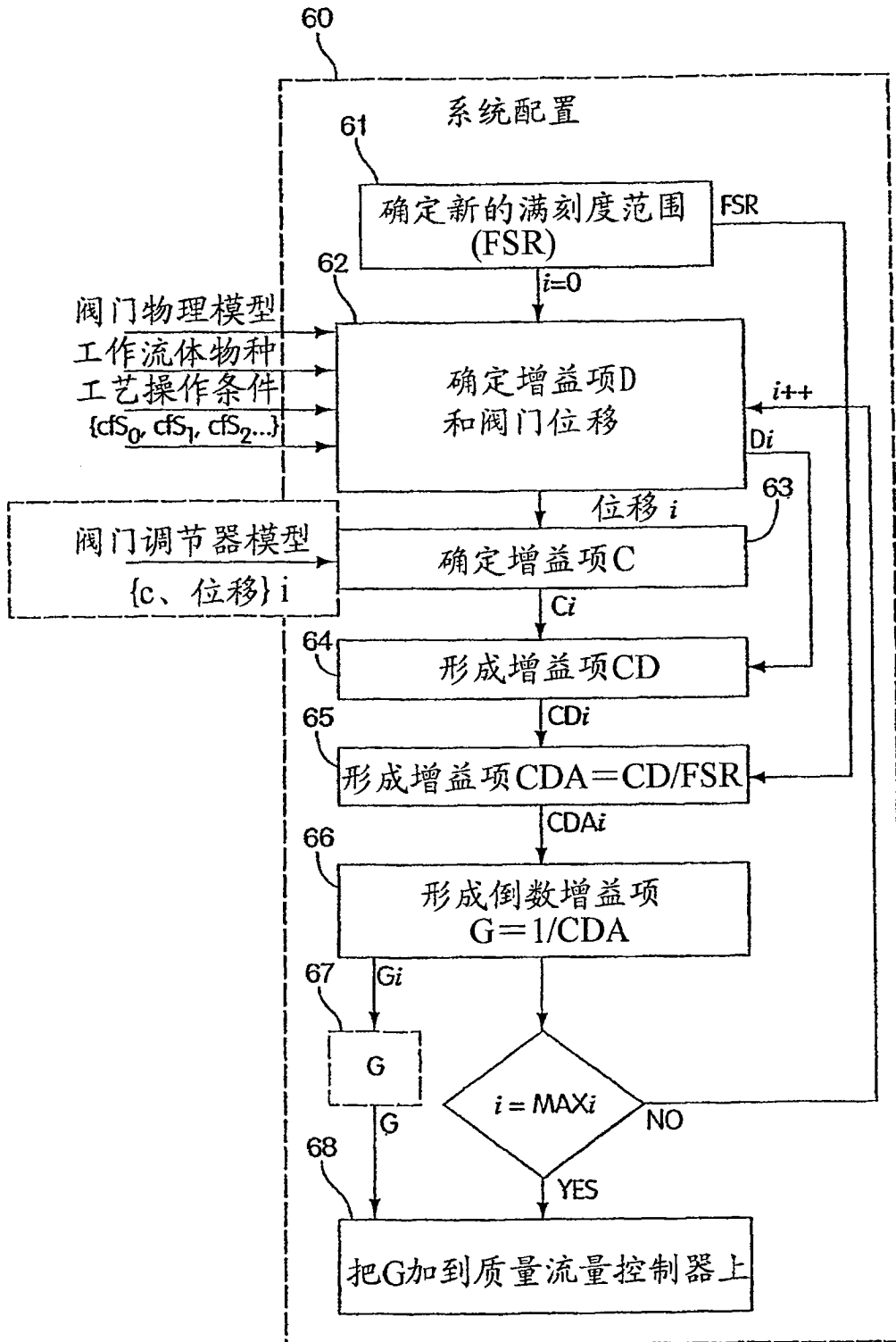


图 7F

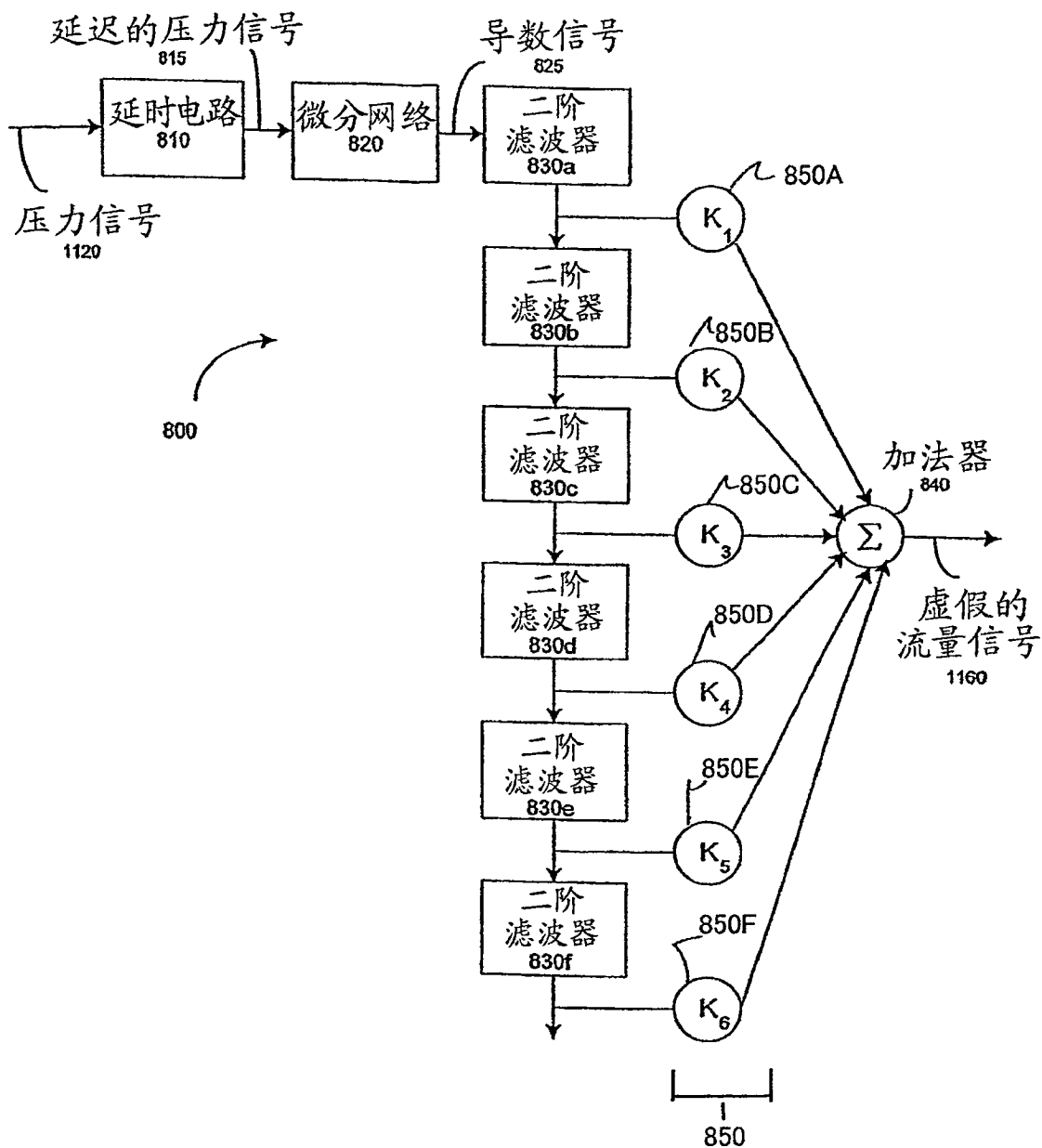


图 8

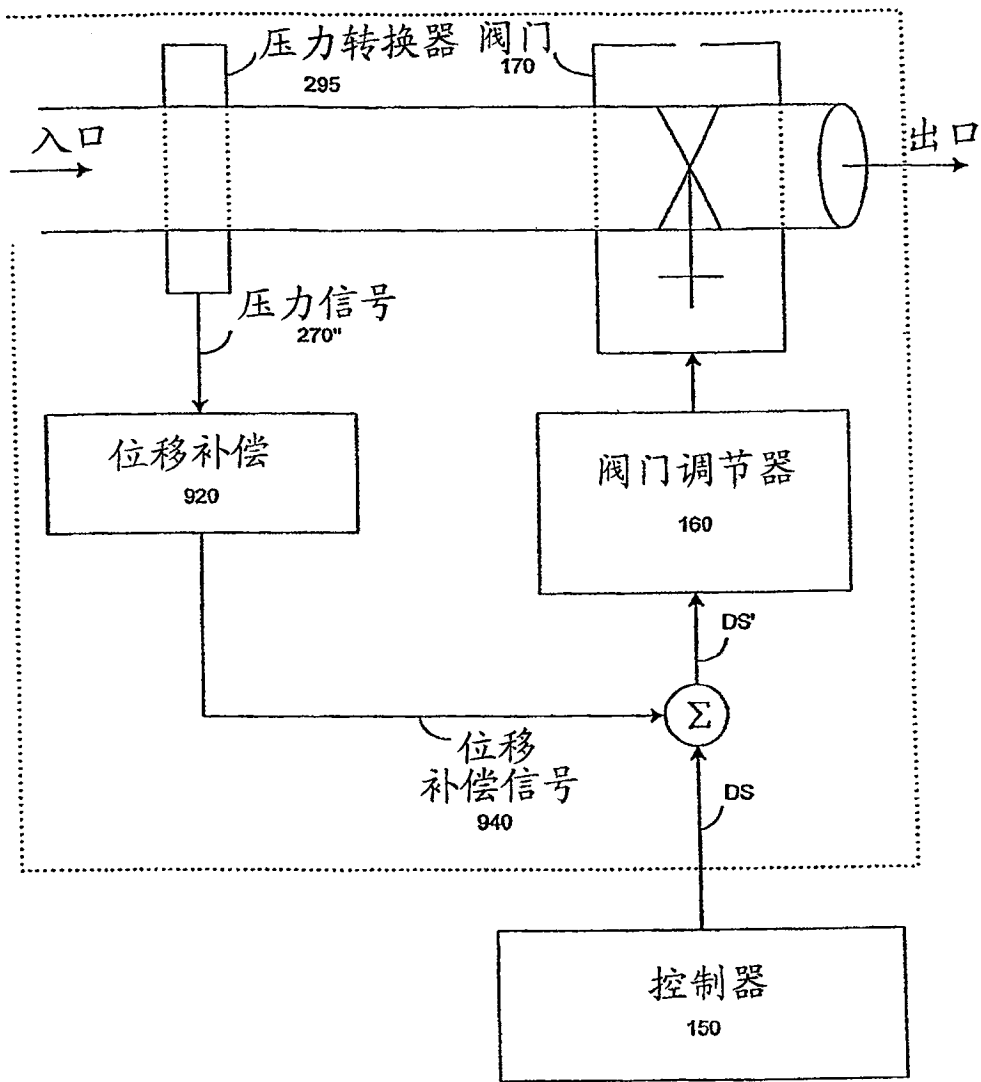


图 9

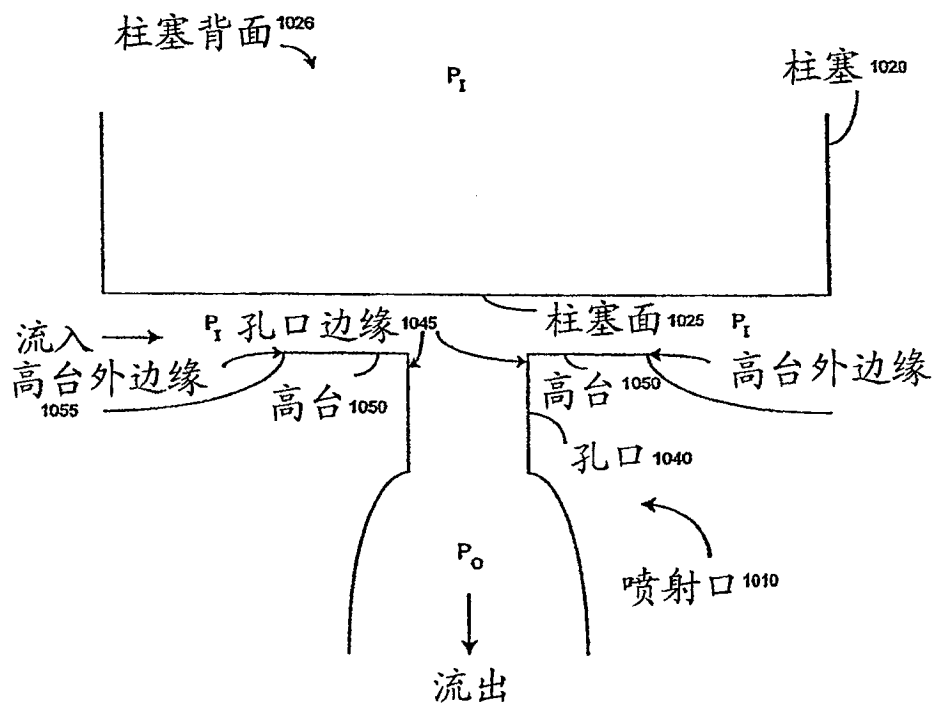


图 10

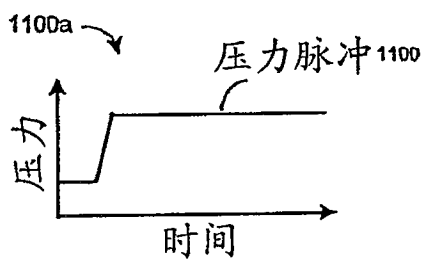


图 11A

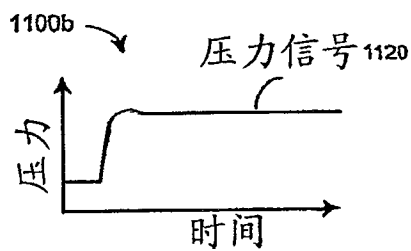


图 11B

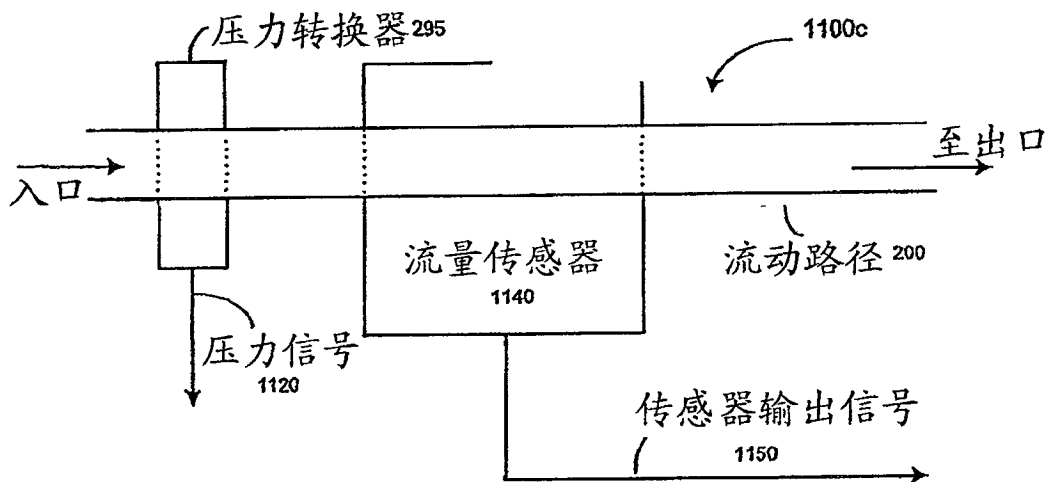


图 11C

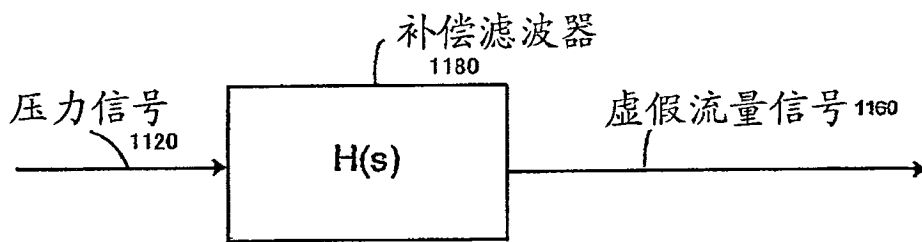


图 11D

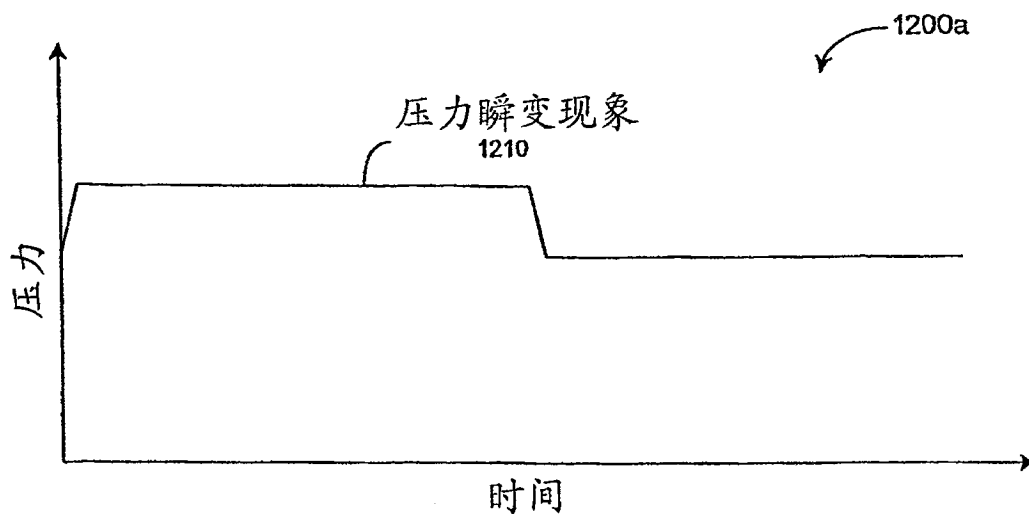


图 12A

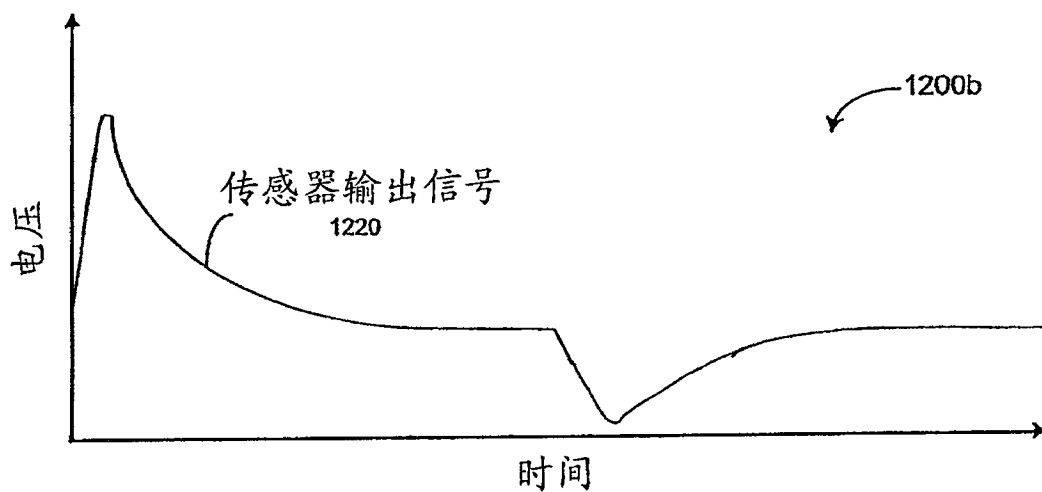


图 12B

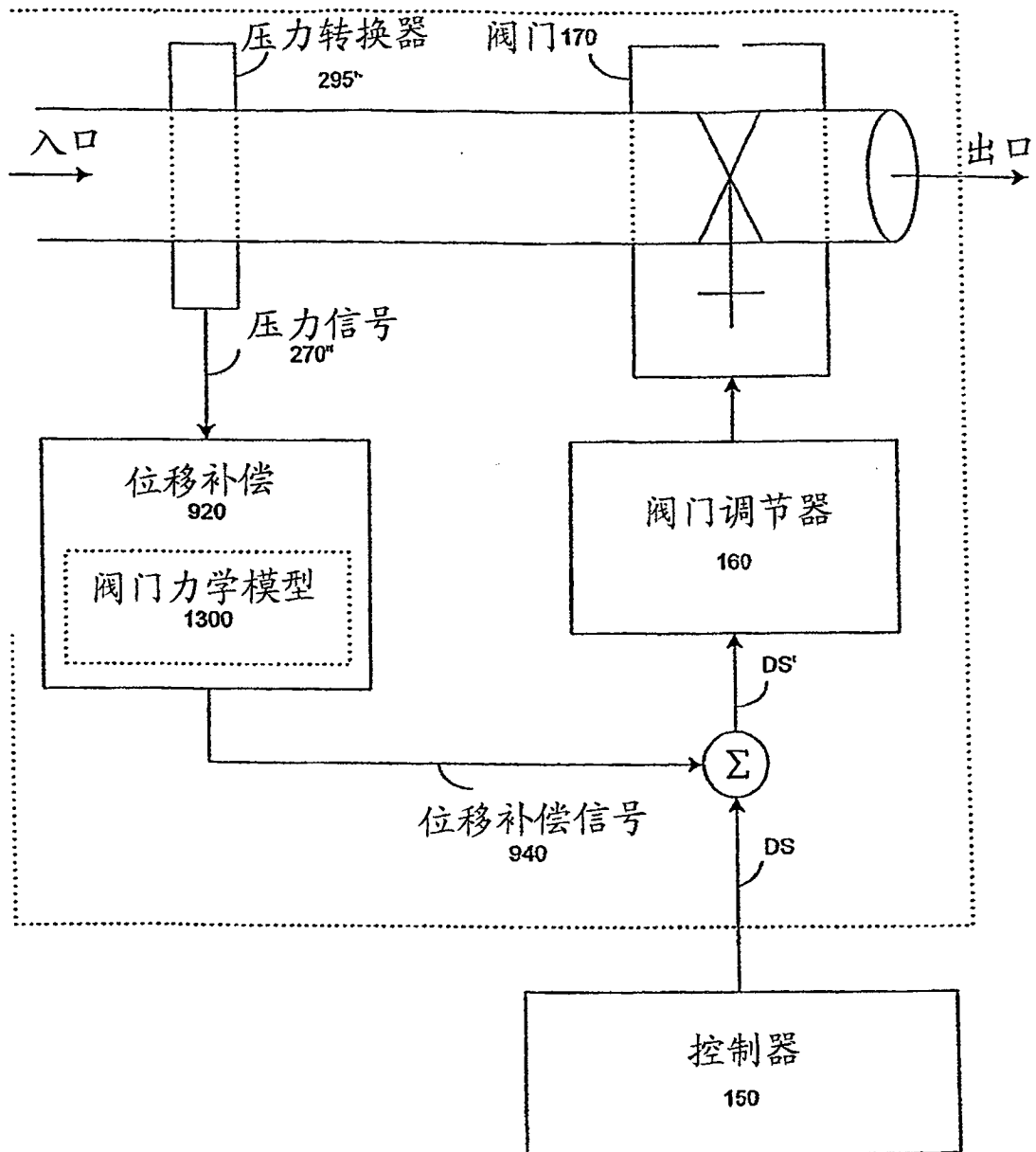


图 13

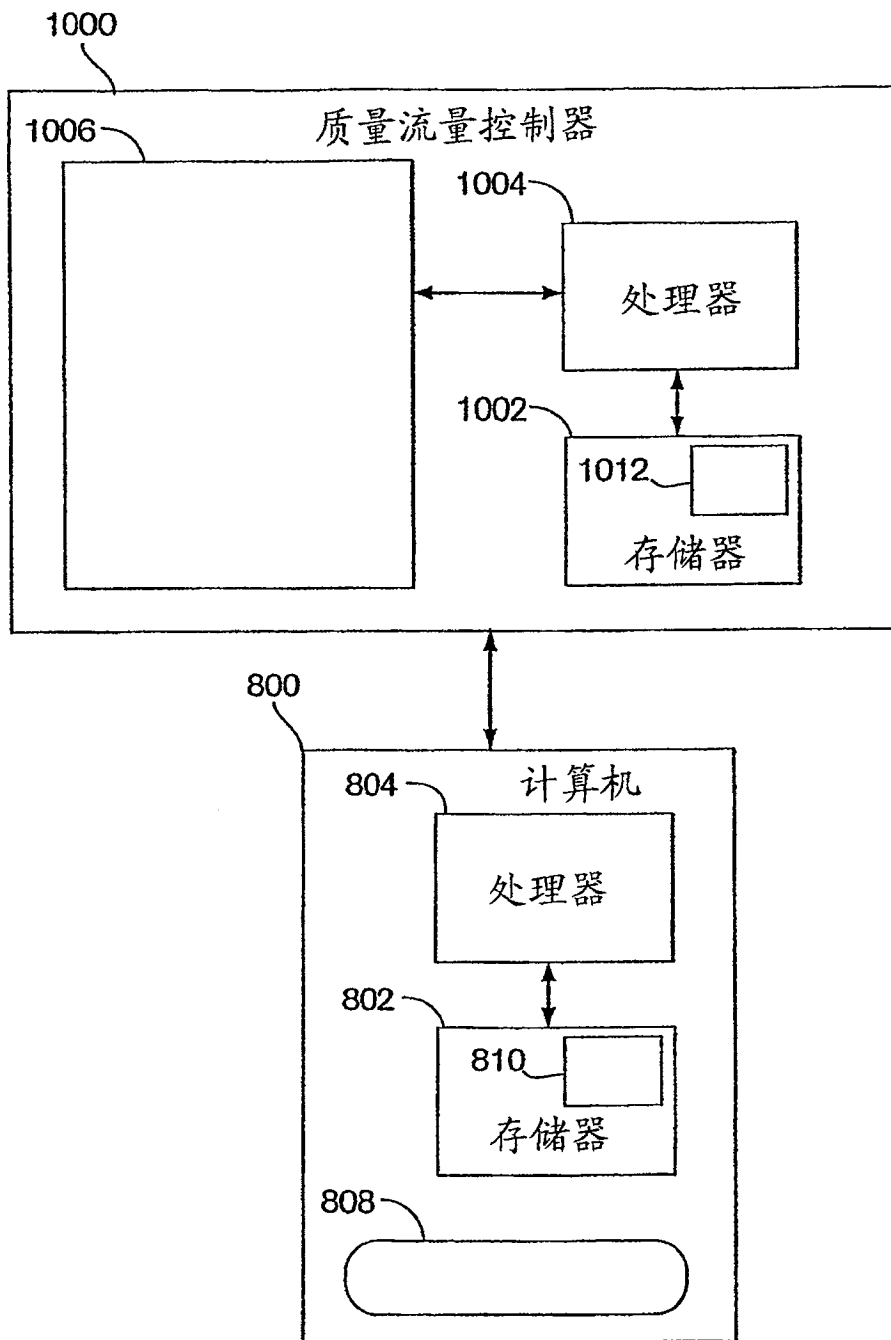


图 14

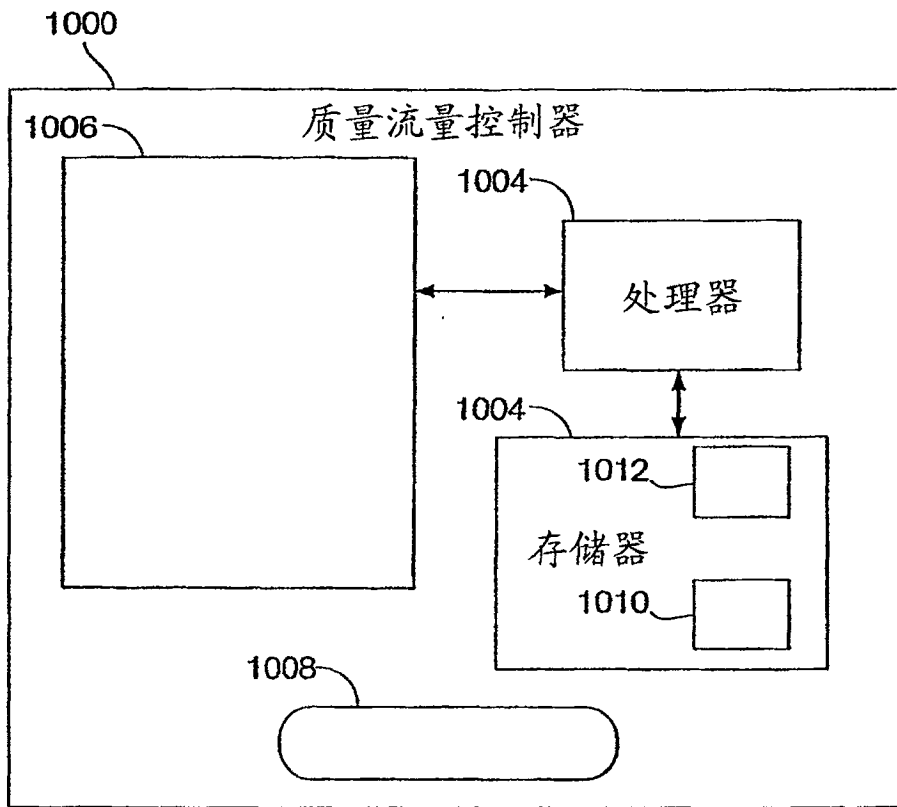


图 15

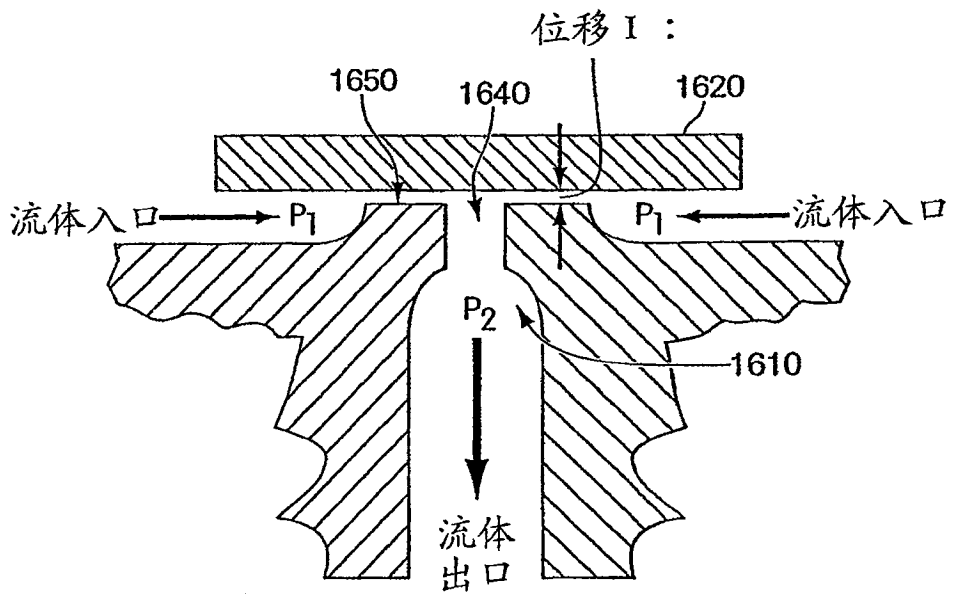


图 16