



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I831777 B

(45) 公告日：中華民國 113 (2024) 年 02 月 11 日

(21) 申請案號：108114999 (22) 申請日：中華民國 108 (2019) 年 04 月 30 日

(51) Int. Cl. : G05D7/06 (2006.01) H01L21/67 (2006.01)

(30) 優先權：2018/05/07 美國 15/973,190

(71) 申請人：美商 MK S 儀器股份有限公司 (美國) MKS INSTRUMENTS, INC. (US)
美國(72) 發明人：丁君華 DING, JUNHUA (US)；雷貝西 麥可 L'BASSI, MICHAEL (US)；科爾
韋恩 COLE, WAYNE (US)

(74) 代理人：林志剛

(56) 參考文獻：

TW	201546422A	CN	103502779B
US	2003/0234045A1	US	2013/0025715A1
US	2017/0370763A1	WO	02/052363A1
WO	2017/040100A1		

審查人員：黃彥豪

申請專利範圍項數：39 項 圖式數：8 共 57 頁

(54) 名稱

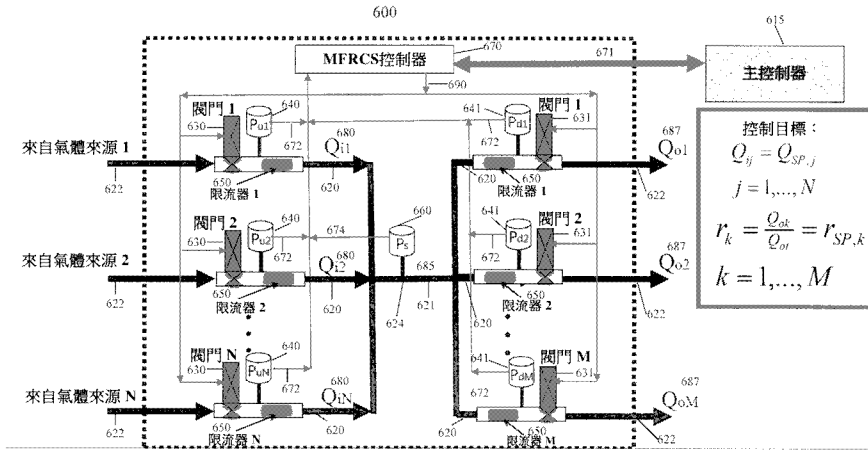
用於多通道質量流量和比例控制系統的方法和設備

(57) 摘要

提供了流體控制系統，其包含質量流量控制系統、質量流量比例控制系統，和質量流量及比例控制系統，以及用於流體控制的對應方法。這些系統允許一個共用壓力感測器被用於多個流動通道，以及可以基於由此共用壓力感測器檢測的流體壓力精確地確定質量流量的控制器。

Fluid control systems, including mass flow control systems, mass flow ratio control systems, and mass flow and ratio control systems, as well as corresponding methods for fluid control are provided. These systems allow one shared pressure sensor to be used for multiple flow channels, and a controller which can accurately determine mass flow on the basis of fluid pressure detected by this shared pressure sensor.

指定代表圖：



【圖 6】

符號簡單說明：

600 ··· 整合多通道
質量流量和比例控制
系統

615 ··· 主控制器

620 ··· 流動通道

621 ··· 共用流動通
道

622 ··· 第一位置

624 ··· 第二位置

630 ··· 上游閥門

631 ··· 下游閥門

640 ··· 壓力感測器

641 ··· 壓力感測器

650 ··· 限流器

660 ··· 內部共用壓
力感測器

670 ··· 控制器

671 ··· 通訊

672 ··· 壓力訊號

674 ··· 共用壓力訊
號

680 ··· 質量流量

687 ··· 質量流量

690 ··· 閥門控制訊
號

控制目標：

$$Q_{ij} = Q_{SP,j}$$

$$j = 1, \dots, N$$

$$r_k = \frac{Q_{ok}}{Q_{of}} = r_{SP,k}$$

$$k = 1, \dots, M$$



I831777

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於多通道質量流量和比例控制系統的方法和設備

【英文發明名稱】

METHODS AND APPARATUS FOR MULTIPLE CHANNEL MASS
FLOW AND RATIO CONTROL SYSTEMS

【中文】

提供了流體控制系統，其包含質量流量控制系統、質量流量比例控制系統，和質量流量及比例控制系統，以及用於流體控制的對應方法。這些系統允許一個共用壓力感測器被用於多個流動通道，以及可以基於由此共用壓力感測器檢測的流體壓力精確地確定質量流量的控制器。

【英文】

Fluid control systems, including mass flow control systems, mass flow ratio control systems, and mass flow and ratio control systems, as well as corresponding methods for fluid control are provided. These systems allow one shared pressure sensor to be used for multiple flow channels, and a controller which can accurately determine mass flow on the basis of fluid pressure detected by this shared pressure sensor.

【指定代表圖】第(6)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

600：整合多通道質量流量和比例控制系統

615：主控制器

620：流動通道

621：共用流動通道

622：第一位置

624：第二位置

630：上游閥門

631：下游閥門

640：壓力感測器

641：壓力感測器

650：限流器

660：內部共用壓力感測器

670：控制器

671：通訊

672：壓力訊號

674：共用壓力訊號

680：質量流量

687：質量流量

690：閥門控制訊號

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於多通道質量流量和比例控制系統的方法和設備

【英文發明名稱】

METHODS AND APPARATUS FOR MULTIPLE CHANNEL MASS
FLOW AND RATIO CONTROL SYSTEMS

相關申請案

本申請案是 2018 年 5 月 7 日提交的美國申請案第 15/973,190 號的延續案。上述申請案的整體教示藉由參照的方式併入本文中。

【技術領域】

【0001】本發明關於用於多通道質量流量和比例控制系統的方法和設備。

【先前技術】

【0002】多通道質量流量控制系統被用於控制穿過多個通道的流體流動，允許來自多個通道的流體以所需比例結合到共用流動通道。多通道質量流量比例控制系統被用於控制流體從共用流動通道流入所需質量流量比例的多個通道中。這種系統例如被用於半導體製造系統和其它材料處理系統中。

【0003】半導體製造製程可涉及在若干處理步驟中以各種數量輸送數種不同的氣體和氣體混合物。通常，氣體係儲存在處理設施的罐中，並且氣體計量系統被用於將計量數量的氣體從罐輸送到處理工具，諸如化學氣相沉積反應器、真空濺鍍機、電漿蝕刻器等。通常，諸如閥門、壓力調節器、質量流量控制系統(MFCS)、質量流量比例控制系統(FRCS)的部件包含在氣體計量系統中或從氣體計量系統的處理工具的流動路徑中。

【0004】在諸如半導體製造應用的某些應用中，空間通常非常有限，系統需要是靈活的(例如，希望可以在現有的MFCS或FRCS之內輕易地增加、移除或交換額外的流動通道)，並且需要高精確度。此外，通常需要低成本和低複雜度系統。

【發明內容】

【0005】提供了流體控制系統，其包含多通道質量流量控制系統、多通道質量流量比例控制系統，和多通道質量流量及比例控制系統，以及對應的流體控制方法。與現有的對應系統相比，這些系統和方法允許空間有效率、靈活、成本有效率且更簡單的流體控制。

【0006】流體控制系統的實施例包含複數個流動通道，每個流動通道包含限流器、流量調節閥門以及所述限流器與所述流量調節閥門之間的通道壓力感測器；共用流動通道，其將流體承載至所述複數個流動通道或從所述複

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

數個流動通道承載流體，對於每個流動通道，所述限流器係位於所述通道壓力感測器與所述共用流動通道之間；所述共用流動通道中的共用壓力感測器，其配置成檢測共用流動通道壓力；以及控制器，其基於通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述流動通道中之各者的質量流量並且控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【0007】 所述複數個流動通道中的每個流動通道可包含溫度感測器。

【0008】 所述控制器可以基於流過其中的所述流體的性質、所述限流器的性質以及所述限流器與所述共用壓力感測器之間的流動通道性質來確定通過每個流動通道的質量流量。所述流動通道性質可以是從所述限流器到所述共用壓力感測器的所述流動通道的體積和長度。

【0009】 所述控制器可以遞歸地確定(1)與所述限流器相鄰並且與所述複數個流動通道的所述通道壓力感測器相對的位置的通道壓力，(2)通過每個流動通道的質量流量，以及(3)通過所述共用通道的總質量流量。

【0010】 所述控制器可以藉由(i)假設與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的所述通道壓力感測器相對的流動通道壓力，所述通道壓力感測器提供經檢測的流動通道壓力，(ii)基於與所述限流器相鄰並且與所述通道壓力感測器相對的所述流動通道壓力和所述流動通道的經檢測的流動通道壓力來確定通過所述流動通道的所述質量流量，

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

(iii)基於通過所述複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量來確定總質量流量，(iv)使用在步驟(iii)中確定的所述總質量流量來計算與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的所述通道壓力感測器相對的所述流動通道壓力，以及重複步驟(ii)至(iv)，來確定通過所述複數個流動通道中的流動通道的質量流量。

【0011】所述共用流動通道可以是位於所述複數個流動通道的下游。

【0012】所述共用流動通道也可以是位於所述複數個流動通道的上游。

【0013】在進一步的實施例中，流體控制系統還包含第二複數個流動通道，所述第二複數個流動通道中的每個流動通道包含限流器、流量調節閥門以及所述限流器與所述流量調節閥門之間的通道壓力感測器；所述共用流動通道，其將來自所述複數個流動通道的流體承載至所述第二複數個流動通道；對於所述第二複數個流動通道中的每個流動通道，所述限流器係位於所述通道壓力感測器與所述共用流動通道之間；其中所述控制器還基於通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述第二複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量並且控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【0014】所述第二複數個流動通道中的每個流動通道還可包含溫度感測器。

【0015】所述複數個流動通道可以是整合系統的一部分。

【0016】所述複數個流動通道和所述第二複數個流動通道可以是整合系統的一部分。

【0017】所述共用壓力感測器不需要是整合系統的一部分(即，它可以是外部的)。

【0018】所述流體可以是液體或氣體；然而，通常，它是氣體。

【0019】另一個實施例是流體控制方法。所述流體控制方法包含使流體流過複數個流動通道，每個流動通道包含限流器和流量調節閥門；使流體透過共用流動通道流到所述複數個流動通道或從所述複數個流動通道流出；檢測所述共用流動通道中的共用流動通道壓力；對於每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道壓力；基於所述流動通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述流動通道中之各者的質量流量；以及控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【0020】所述流體控制方法可以還包含對於每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道溫度。

【0021】通過每個流動通道的質量流量可以基於流過其中的所述流體的性質、所述限流器的性質以及所述限流器與所述共用流動通道壓力之間的流動通道性質來確定。

【0022】通過每個流動通道的質量流量、與所述限流器相鄰並且與所述複數個流動通道的所述通道壓力感測器相對的位置的通道壓力，以及通過所述共用通道的總質量流量可以遞歸地確定。

【0023】確定通過所述複數個流動通道中的流動通道的質量流量可以包含：(i)假設與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的所述通道壓力感測器相對的流動通道壓力，(ii)基於與所述限流器相鄰並且與所述通道壓力感測器相對的所述流動通道壓力和所述流動通道的經檢測的流動通道壓力來確定通過所述流動通道的所述質量流量，(iii)基於通過所述複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量來確定總質量流量，(iv)使用在步驟(iii)中確定的所述總質量流量來計算與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的所述通道壓力感測器相對的所述流動通道壓力，以及重複步驟(ii)至(iv)。

【0024】所述流體控制方法還可包含使流體從所述複數個流動通道流過所述共用通道並進入第二複數個流動通道，所述第二複數個流動通道中的每個流動通道包含限流器和流量調節閥門；對於所述第二複數個流動通道中的每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道壓力和流動通道溫度；以及基於所述流動通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述第二複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量。

【0025】所述流體控制方法可以包含對於所述第二複

數個流動通道中的每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道壓力和流動通道溫度。

【0026】以所述流體控制方法控制的流體可以是液體或氣體，並且通常是氣體。

【圖式簡單說明】

【0027】從以下本發明的範例實施例的更具體的描述，前述內容將變得顯而易見，如在圖式中所示，相同的元件符號在不同的視圖中代表相同的部件。圖式不一定按比例繪製，而是將重點放在說明本發明的實施例上。

【0028】圖1是先前技術的單通道質量流量控制系統的示意圖。

【0029】圖2是包含由多個通道共用的內部下游壓力感測器的多通道質量流量控制系統的示意圖。

【0030】圖3是包含由多個通道共用的外部下游壓力感測器的多通道質量流量控制系統的示意圖。

【0031】圖4是包含由多個通道共用的內部上游壓力感測器的多通道質量流量比例控制系統的示意圖。

【0032】圖5是包含由多個通道共用的外部上游壓力感測器的多通道質量流量比例控制系統的示意圖。

【0033】圖6是包含由多個通道共用、在多個通道中的一些通道的下游和其它通道的上游的一個壓力感測器的整合多通道質量流量和比例控制系統的示意圖。

【0034】圖7是顯示對多通道質量流量控制系統的人

口閥門的控制以將質量流量調節到流量設定點的流程圖。

【0035】圖8是顯示對多通道質量比例控制系統的出口閥門的控制以將質量流量調節到流量比例設定點的流程圖。

【實施方式】

【0036】下面是對本發明的範例實施例的描述。

【0037】提供了流體控制系統，其包含質量流量控制系統、質量流量比例控制系統，和質量流量及比例控制系統，以及用於流體控制的對應方法。如下述，與先前技術的系統相比，本文中提供的系統具有顯著的優點。

【0038】圖1顯示先前技術的單一通道質量流量控制系統100，其包含主控制器105和整合質量流量控制系統110。整合質量流量控制系統110包含流動通道120，其配置成允許氣體在流動通道內從上游位置122到下游位置124流動、閥門130，其配置成調節流動通道內的氣體流動、內部(即，整合系統內部)上游壓力感測器140、限流器150、下游壓力感測器160，以及質量流量控制系統(MFCS)控制器170。限流器150致使壓力下降，即，上游壓力感測器140所檢測的壓力高於下游壓力感測器160所檢測的壓力。MFCS控制器170與主控制器105進行通訊171(例如，接收質量流量控制設定點)並接收上游壓力訊號172和下游壓力訊號174，其提供透過藉由整合質量流量控制系統110計算質量流量180(Q_1)的基礎。基於計算出的

質量流量 180 和所需的質量流量設定點，MFCS 控制器 170 控制 190 閥門 130，以調節質量流量 180 到所需的質量流量。

【0039】重要的是，在先前技術的質量流量控制系統中，每個流動通道具有兩個相關的壓力感測器(即，上游壓力感測器 140 和下游壓力感測器 174)，其緊鄰限流器，以允許精確檢測跨越限流器 150 的壓降，因此，準確確定質量流量。

【0040】相對地，本文提供的流體控制系統和方法允許一個壓力感測器(即，質量流量控制系統中的下游壓力感測器或質量流量比例控制系統中的上游壓力感測器)與限流器相距一定距離，並且可以使用單一 MFCS 控制器進行操作，這帶來了數個顯著的優點。由於壓力感測器可以遠離，因此可以被多個通道共用。使用單一 MFCS 控制器以及使用共用壓力感測器更具成本效率並且使流體控制系統更節省空間，後者對於諸如半導體產業的某些產業中的應用尤其重要。此外，當與單一 MFCS 控制器結合時，共用壓力感測器也可以極大地簡化流體控制系統內、壓力感測器和 MFCS 控制器之間以及 MFCS 控制器和主控制器之間的通訊的複雜度。此外，共用壓力感測器可以簡化和改進校準，使多通道系統更加靈活，並允許使用更高精確度和更大的壓力感測器作為共用壓力感測器，這可以提高流體控制系統的整體精確度，而不會增加成本。

【0041】圖 2 顯示多通道質量流量控制系統 200，其包

含與主控制器 215 進行通訊的整合多通道質量流量控制子系統 210。系統 200 具有複數個流動通道 220 (為了便於說明，僅顯示第一、第二和第 N 流動通道)，其可以是相同的 (例如，相同的直徑和相同的長度)，但更通常地是不同的 (例如，不同的長度)，如本文中所示。流動通道 220 被連接以形成共用流動通道 221。每個流動通道 220 配置成允許流動通道內的流體沿著共用流動通道 221 在流動通道的上游位置 222 和檢測下游壓力的下游位置 224 之間流動。每個流動通道還具有配置成調節對應流動通道內的流體流動的閥門 230。所述閥門可以是相同或不同的。每個流動通道 220 還具有上游壓力感測器 240 和限流器 250。內部共用下游壓力感測器 260 檢測在位置 224 處的共用流動通道 221 內的流體壓力。MFCS 控制器 270 與主控制器 215 進行通訊 271 (例如，接收一組質量流量控制設定點) 並且被配置成從每個上游壓力感測器 240 接收上游壓力訊號 272 並且從下游壓力感測器 260 接收下游壓力訊號 274。在此範例中，MFCS 控制器 270 和下游壓力感測器 260 兩者都是整合系統 210 的一部分。然而，在替代實施例中，質量流量控制系統控制器 270 和 / 或下游壓力感測器 260 可以是外部的。此外，在替代實施例中，可以使用一個以上的 MFCS 控制器 270，內部和 / 或外部；然而，通常，使用一個 MFCS 控制器 270，因為額外的 MFCS 控制器增加成本、空間需求以及系統中控制器和感測器之間的通訊的複雜度。MFCS 控制器 270 被配置成能夠獨立地控制閥門 230 中之各者，以控制

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

通過流動通道 220 中之各者的對應質量流量 280，從而控制通過共用流動通道 221 的總質量流量 285。在此態樣中，控制器配置成將閥門控制訊號 290 發送到閥門 230 中之各者。

【0042】下游壓力感測器 260 係遠離限流器 250 中之各者。為了能夠精確地測量流過每個流動通道 220 的流體，需要知道兩側和所述限流器中之各者附近的流體的流體壓力。

【0043】通常，對於給定的流動通道 i ，檢測與其限流器相鄰的流體壓力的對應的內部壓力感測器(例如，上游壓力感測器 240)為給定的流動通道提供這兩個所需的壓力值中的一個，例如，其提供了第 i 個流動通道 $P_{u,i}$ 的上游壓力。在限流器鄰近的位置處的第 i 個流動通道的下游壓力 $P_{d,i}$ 可以藉由以下公式來估算：

$$P_{d,i} = f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) \quad (1),$$

其中 f_{Pd} 是由在沿著共用流動通道的下游位置處的遠端下游壓力感測器(例如，沿著共用流動通道 221 的位置 224 處的壓力感測器 260)檢測的共用下游壓力 P_d 、穿過裝置的總流量 Q_t (即，穿過共用流動通道的流動)，以及在第二位置處從限流器到共用壓力感測器的第 i 個流動通道的體積 V_i 和長度 L_i 的函數。

【0044】函數 f_{Pd} 可以藉由經驗資料或實驗獲得，例如，作為線性表達式

$$f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) = k_{i,1} \cdot P_d + k_{i,2} \cdot Q_t + k_{i,3} \cdot V_i + k_{i,4} \cdot L_i \quad (2),$$

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

其中 $k_{i,1}$ 、 $k_{i,2}$ 、 $k_{i,3}$ 和 $k_{i,4}$ 係經驗和 / 或實驗獲得的線性係數。

【0045】如本領域中已知的，穿過第 i 個通道 (Q_i) 的限流器的流動可以表示為限流器的上游和下游壓力 ($P_{u,i}$ 和 $P_{d,i}$) (即，與限流器緊鄰的壓力)、穿過限流器 (A_i) 的流動路徑的橫截面，以及諸如特定熱比例 γ 和分子量 M 等氣體性質的函數

$$Q_i = f_Q(P_{u,i}, P_{d,i}, A_i, \gamma, M) \quad (3)$$

【0046】函數 f_Q 可以藉由經驗資料或實驗獲得。

【0047】在流量噴嘴作為限流器的情況下，可以使用以下的方程式

$$Q_i = C_i \cdot A_i \cdot P_{u,i} \cdot \left(\frac{RT}{M} \frac{2\gamma}{\gamma-1}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{P_{d,i}}{P_{u,i}}\right)^{1/\gamma} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{d,i}}{P_{u,i}}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]^{1/2} \quad (4)$$

其中 C_i 是第 i 個限流器的排出係數、 R 是通用氣體常數，而 T 是氣體溫度。

【0048】在管線作為限流器的情況下，可以使用以下的方程式

$$Q_i = \frac{\pi d_i^4}{128\mu L_i} \frac{(P_{u,i} + P_{d,i})}{2} (P_{u,i} - P_{d,i}) \quad (5)$$

其中 d_i 是第 i 個管線的直徑、 L_i 是第 i 個管線的長度，而 μ 是氣體黏度。

【0049】可以使用其它限流器和描述穿過這些限流器的質量流量的對應方程式，並且在本領域中是已知的。例如，參見美國機械工程師協會 2004 年發行的「ASME MFC-

3M-2004 Measurement of Fluid Flow in Pipes Using Orifice, Nozzle, and Venturi」。

【0050】穿過裝置的總流量 Q_t 係藉由加總所有個別通道流量 $Q_i (i=1, 2, \dots, N)$ 計算出來的。因為 Q_i 計算取決於下游壓力 $P_{d,i}$ ，需要遞歸計算來確定 Q_i 、 $P_{d,i}$ 和 Q_t 。例如，首先，假設初始 $P_{d,i}$ 值，如上所述地確定初始流量 Q_i 。接著藉由加總所有 Q_i 確定來總流量 Q_t 。接著可以使用總流量 Q_t 來重新計算 $P_{d,i}$ 和 Q_i 。重複此遞歸計算，直到值收斂於設定的收斂臨界值內。

【0051】基於計算的質量流量 Q_i ，MFCS 控制器可以使用回饋控制方法將每個流動通道的閥門控制到所需的質量流量設定點。

【0052】在圖 2 中所示的多通道質量流量控制系統中，共用下游壓力感測器 260 是內部感測器，並且是整合系統的一部分。如圖 3 所示，此下游壓力感測器也可以是外部的。

【0053】圖 3 顯示多通道質量流量控制系統 300，其包含與主控制器 315 進行通訊的整合多通道質量流量控制子系統 310。系統 300 具有複數個流動通道 320 (為了便於說明，僅顯示第一、第二和第 N 個流動通道)，其可以是相同的 (例如，相同的直徑和相同的長度) 但更通常地是不同的 (例如，不同的長度)，如這裡所示。流動通道 320 被連接以形成共用流動通道 321。每個流動通道 320 係配置成允許流動通道內的流體沿著共用流動通道 321 在流動通道的上

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

游位置 322 和檢測下游壓力的下游位置 324 之間流動。每個流動通道還具有配置成調節對應流動通道內的流體流動的閥門 330。所述閥門可以是相同或不同的。每個流動通道 320 還具有上游壓力感測器 340 和限流器 350。外部共用下游壓力感測器 360 檢測位置 324 處的共用流動通道 321 內的流體壓力。MFCS 控制器 370 與主控制器 315 進行通訊 371 (例如，接收一組質量流量控制設定點) 並且被配置成從上游壓力感測器 340 中之各者接收上游壓力訊號 372 並且從下游壓力感測器 360 接收下游壓力訊號 374。在此範例中，MFCS 控制器 370 是整合系統 310 的一部分。然而，在替代實施例中，MFCS 控制器 370 可以是外部的。此外，在替代實施例中，可以使用一個以上的 MFCS 控制器 370 (內部和 / 或外部的)；然而，通常，使用一個 MFCS 控制器 370，因為額外的 MFCS 控制器增加成本、空間需求以及系統中控制器和感測器之間的通訊的複雜度。MFCS 控制器 370 被配置成能夠獨立地控制閥門 330 中之各者，以控制穿過流動通道 320 中之各者的對應質量流量 380，從而控制穿過共用流動通道 321 的總質量流量 385。在此態樣中，控制器配置成將閥門控制訊號 390 發送到閥門 330 中之各者。控制器還配置成使用上面的方程式 (1) 和 / 或 (2) 來估計在與限流器相鄰的位置處的第 i 個流動通道的下游壓力 $P_{d,i}$ 。利用這些計算的下游壓力，MFCS 控制器可以根據方程式 (3) 和 / 或 (4) 或 (5) 進一步估計流動通道中的質量流量。

【0054】圖 4 顯示流體控制系統 400，其包含多通道質

量流量比例控制系統 405 和多通道質量流量控制系統 407，其向系統 405 提供流體輸入。整合質量流量比例控制系統 405 被配置成與主控制器 415 進行通訊，並且具有複數個流動通道 420 (為了便於說明，僅顯示第一、第二和第 N 流動通道)，其可以是相同的 (例如，相同的直徑和相同的長度)，但更通常地是不同的 (例如，不同的長度)，如這裡所示。流動通道 420 被連接以形成共用流動通道 421。每個流動通道 420 配置成允許流動通道內的流體沿著檢測共用的上游壓力的共用流動通道 421 在流動通道的上游位置 424 和下游位置 422 之間流動。每個流動通道 420 還具有配置成調節對應流動通道內的流體流動的閥門 430。所述閥門可以是相同的或不同的。每個流動通道 420 還具有下游壓力感測器 440 和限流器 450。內部共用上游壓力感測器 460 檢測位置 424 處的共用流動通道 421 內的流體壓力。多通道流量比例 (MCFR) 控制器 470 與主控制器 415 進行通訊 471 (例如，接收質量流量控制設定點) 並且配置成從下游壓力感測器 440 中之各者接收下游壓力訊號 472 並且從共用上游壓力感測器 460 接收共用上游壓力訊號 474。在此範例中，MCFR 控制器 470 是整合系統 405 的一部分。然而，在替代實施例中，MCFR 控制器 470 可以是外部的。此外，在替代實施例中，可以使用一個以上的 MCFR 控制器 470 (內部的和 / 或外部的)；然而，通常，使用一個 MCFR 控制器 470，因為額外的 MCFR 控制器增加成本、空間需求以及系統中控制器和感測器之間的通訊的複雜度。MCFR 控制器 470 被

配置成能夠控制閥門430中之各者以控制穿過流動通道420中之各者的對應質量流量480，以藉由已知的回饋控制方法(例如PID控制方法)實現關於總輸入流量485的目標流量比例設定點。在此態樣中，控制器配置成將閥門控制訊號490發送到閥門430中之各者。共用上游壓力感測器460係遠離限流器450中之各者。為了能夠精確地測量流過每個流動通道420的流體，需要知道兩側和限流器450中之各者附近流體的流體壓力。

【0055】通常，對於給定的流動通道 j ，檢測與其限流器相鄰的流體壓力的對應的內部壓力感測器(例如，下游壓力感測器440)為給定的流動通道提供這兩個所需的壓力值中的一個，例如，其提供了第 j 個流動通道 $P_{d,j}$ 的下游壓力。在限流器鄰近的位置處的第 j 個流動通道的上游壓力 $P_{u,j}$ 可以藉由以下公式來估算：

$$P_{u,j} = f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) \quad (6),$$

其中 f_{Pu} 是由在沿著共用流動通道的上游位置處的遠端上游壓力感測器(例如，沿著共用流動通道421到限流器450的上游位置424處的壓力感測器460)檢測的共用上游壓力 P_u 、穿過裝置的總流量 Q_t (即，穿過共用流動通道，例如，通道421的流動)，以及在上游位置處從限流器到共用壓力感測器的第 j 個流動通道的體積 V_i 和長度 L_i 的函數。

【0056】函數 f_{Pu} 可以藉由經驗資料或實驗獲得，例如，作為線性表達式

$$f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) = k_{j,1} \cdot P_u + k_{j,2} \cdot Q_t + k_{j,3} \cdot V_j + k_{j,4} \cdot L_j \quad (7),$$

其中 $k_{j,1}$ 、 $k_{j,2}$ 、 $k_{j,3}$ 和 $k_{j,4}$ 係經驗和 / 或實驗獲得的線性係數。利用這些計算的壓力，MFCS 控制器可以進一步根據上面的方程式 (3) 和 / 或 (4) 或 (5) 來估計流動通道中的質量流量。

【0057】如圖 4 所示，整合多通道質量流量比例控制系統 405 可以與先前技術已知的多通道質量流量控制系統 407 結合，但是其也可以直接從流體來源 (這裡未顯示) 接收其流體輸入。多通道質量流量控制系統 407 可包含多個先前技術已知的質量流量控制系統 491，例如，如圖 1 所示的，其配置成使得來自複數個通道 492 的流動被結合到共用流動通道 421 中。質量流量控制系統 491 中之各者接收來自來源 493 的流體。

【0058】在圖 4 的整合多通道質量流量比例控制系統 405 中，共用上游壓力感測器 460 是內部感測器、整合系統的一部分。此上游壓力感測器也可以是外部的，如圖 5 所示。

【0059】圖 5 顯示流體控制系統 500，其包含整合多通道質量流量比例控制系統 505 和多通道質量流量控制系統 507，其向系統 505 提供流體輸入。整合質量流量比例控制系統 505 被配置成與主控制器 515 進行通訊，並且具有複數個流動通道 520 (為了便於說明，僅顯示第一、第二和第 N 流動通道)，其可以是相同的 (例如，相同的直徑和相同的長度) 但是更通常地是不同的 (例如，不同的長度)，如此處

所示。流動通道 520 被連接，以形成共用輸入流動通道 521。每個流動通道 520 配置成允許流動通道內的流體在流動通道的上游位置 524 和下游位置 522 之間沿檢測共用上游壓力的共用流動通道 521 流動。每個流動通道 520 還具有配置成調節對應流動通道內的流體流動的閥門 530。所述閥門可以是相同的或不同的。每個流動通道 520 還具有下游壓力感測器 540 和限流器 550。外部共用上游壓力感測器 560 檢測在位置 524 處的共用流動通道 521 內的流體壓力。MCFR 控制器 570 與主控制器 515 進行通訊 571 (例如，接收質量流量比例控制設定點) 並且被配置成從下游壓力感測器 540 中之各者接收下游壓力訊號 572 並且從共用上游壓力感測器 560 接收共用上游壓力訊號 574。在此範例中，MCFR 控制器 570 是整合系統 505 的一部分。然而，在替代實施例中，MCFR 控制器 570 可以是外部的。此外，在替代實施例中，可以使用一個以上的 MCFR 控制器 570 (內部的和/或外部的)；然而，通常，使用一個 MCFR 控制器 570，因為額外的 MFCS 控制器增加成本、空間需求以及系統中控制器和感測器之間的通訊的複雜度。MCFR 控制器 570 被配置成能夠控制閥門 530 中之各者，以控制穿過流動通道 520 中之各者的對應質量流量 580，以透過已知的回饋控制方法 (例如 PID 控制方法) 實現關於總輸入流量 585 的目標流量比例設定點。在此態樣中，控制器配置成將閥門控制訊號 590 發送到閥門 530 中之各者。控制器還配置成使用上面的方程式 (6) 和/或 (7) 來估計在與限流器相鄰的位置處的第 i

個流動通道的上游壓力 $P_{u,i}$ 。利用這些計算的上游壓力，MCFR控制器可以根據方程式(3)和/或(4)或(5)進一步估計流動通道中的質量流量，並且進一步針對每個流動通道計算對應的流量比例。

【0060】如圖5中進一步所示，整合多通道質量流量比例控制系統505可以與先前技術已知的多通道質量流量控制系統507結合，但是其也可以直接從流體來源(這裡未顯示)接收其流體輸入。多通道質量流量控制系統507可包含多個先前技術已知的質量流量控制系統591，例如，如圖1所示，其配置成使得來自複數個通道592的流動被結合到共用流動通道521中。質量流量控制系統591中之各者接收來自來源593的流體。

【0061】本文描述的多通道質量流量控制系統(例如，圖2的系統200)可以與本文描述的多通道質量流量比例控制系統(例如，圖4的系統405)結合，以形成多通道質量流量和比例控制系統。結合起來，這些系統僅需要一個共用壓力感測器，其作為質量流量控制系統的共用下游壓力感測器並且作為質量流量比例控制系統的共用上游壓力感測器。此外，結合的系統僅需要一個控制器，其同時作為MCFR控制器和MFCS控制器。

【0062】圖6顯示了整合多通道質量流量和比例控制系統600。整合質量流量比例控制系統600被配置成與主控制器615進行通訊，並且具有複數個流動通道620其被分成用於質量流量控制側的第一組的N個流動通道(即，第一複

數個流動通道)以及用於質量流量比例控制側的第二組的M個通道(即,第二複數個流動通道);為了便於說明,僅顯示了每側的第一、第二和第N或M個流動通道),其可以是相同的(例如,相同的直徑和相同的長度),但更通常地是不同的(例如,不同的長度),如這裡所示。流動通道620被連接,以形成共用流動通道621。每個流動通道620配置成允許流動通道內的流體沿著檢測共用壓力的共用流動通道621在流動通道的第一位置622和第二位置624之間流動。每個流動通道620還具有閥門(上游閥門630或下游閥門631),其配置成調節相應流動通道內的流體流動。所述閥門可以相同的或不同的。每個流動通道620還具有壓力感測器(用於系統的質量流量控制部分的上游640和用於系統的質量流量比例部分的下游641)和限流器650。內部共用壓力感測器660檢測在位置624處的共用流動通道621內的流體壓力。控制器670與主控制器615進行通訊671(例如,接收一組質量流量和質量流量比例控制設定點),並且被配置成從壓力感測器640中之各者和壓力感測器641中之各者接收壓力訊號672,並且從共用壓力感測器660接收共用壓力訊號674。在此範例中,控制器670是整合系統600的一部分。然而,在替代實施例中,控制器670可以是外部的。此外,在替代實施例中,可以使用一個以上的控制器670(內部的和/或外部的);然而,通常,使用一個控制器670,因為額外的控制器增加成本、空間需求以及系統中控制器和感測器之間的通訊的複雜度。控制器670被

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

配置成能夠獨立地控制閥門 630 和 631 中之各者，以分別透過流動通道 620 中之各者控制相應質量流量 680，並且透過流動通道 622 中之各者控制相應質量流量 687，並且由此透過共用流動通道 621 控制總質量流量 685。在此態樣中，控制器配置成將閥門控制訊號 690 發送到閥門 630 中之各者。控制器還配置成使用上面的方程式 (1) 和 / 或 (2) 來估計 (對應於質量流量控制部分的第一組通道的) 第 i 個流動通道的下游壓力 $P_{d,i}$ ，並且使用上面的方程式 (6) 和 / 或 (7) 來估計在與限流器相鄰的位置處的 (對應於質量流量比例控制部份的第二組通道的) 第 i 個流動通道的上游壓力 $P_{u,i}$ 。分別利用這些計算的下游和上游壓力以及檢測到的上游和下游壓力，控制器可以根據方程式 (3) 和 / 或 (4) 或 (5) 進一步估計流動通道中的質量流量。

【0063】 僅使用一個共用壓力感測器 (例如，作為如圖 6 所示的多通道質量流量和比例控制系統的一部分) 是特別有利的，例如，因為其可以允許自校準和交叉驗證。

【0064】 範例性自校準方法包含以下步驟：

(1) 關閉所有上游 (入口) 閥門 630 並打開所有下游 (出口) 閥門 631；

(2) 抽空流動通道內的系統壓力 (例如，透過將一或多個泵直接或間接地連接到具有打開的下游閥門 631 的一或多個流動通道) 並監測共用的壓力感測器讀數；

(3) 當系統壓力下降到預定的低壓臨界值時，關閉所有下游閥門 631；

(4)為第*i*個入口質量流動通道提供質量流量設定點(例如，如圖6中所示從氣體來源1)，並且控制器打開並控制第*i*個上游閥門630，以將質量流量調節到流量設定點(透過基於壓力的流量感測器測量為 Q_m)；

(5)透過共用壓力感測器和氣體溫度來測量系統中的壓力；

(6)透過壓力上升的速率的方法來計算實際質量流量 Q_a ，即，

$Q_a = V * T_{stp} * [d(P/T)/dt]$ ，其中 V 是第*i*個上游閥門630和所有其他下游閥門之間的總系統體積(假設所有其他閥門都關閉)；

(7)關閉第*i*個上游閥門630並打開所有下游閥門以降低系統壓力；

(8)以涵蓋針對給定應用所考量的第*i*個流動通道的整個流量範圍的不同流量設定點重複步驟(3)至(7)；

(9)儲存實際流量測量值(Q_a)和測量流量(Q_m)作為第*i*個入口流動通道的校準資料；

(10)對下一個入口流動通道重複步驟(1)至(9)，直到所有入口流動通道都已被校準；

(11)關閉所有上游閥門630和下游閥門631；

(12)打開第*j*個下游(出口)閥門631；

(13)為第*k*個入口流動通道提供流量設定點並穩定質量流量；

(14)將第*k*個入口流動通道的測量流量儲存為 Q_a ，並

將第 j 個出口流動通道儲存為 Q_m ；

(15)以涵蓋第 k 個出口流動通道的整個流量範圍的第 j 個入口流動通道的不同流量設定點重複步驟(11)至(14)；

(16)儲存實際流量測量值(Q_a)和測量流量(Q_m)作為第 j 個出口流動通道的校準資料；

(17)對下一個入口流動通道重複步驟(11)至步驟(16)，直到所有出口流動通道都已被校準；

【0065】 範例性交叉驗證方法包含以下步驟：

(1)關閉所有上游閥門630和下游閥門631；

(2)向第 i 個入口流動通道提供流量設定點並打開第 j 個下游閥門；

(3)比較第 i 個入口流量測量值和第 j 個出口流量測量值之間的流量差異；

(4)如果流量差異超過預定的流量誤差臨界值，則第 i 個入口或第 j 個出口流量測量值不準確；

(5)對所有入口和出口流動通道重複步驟(1)至(4)。

【0066】 所述流體控制系統可以是整合的系統，即，該系統的元件都包含在殼體或外殼內。通常，對於本文中所述的流體控制系統，殼體至少提供流體輸入和輸出，並允許訊號的輸入和輸出，其允許在較大的系統中將整合的系統結合。

【0067】 多個流動通道中的每個流動通道可以是單獨的整合系統的一部分，或者流動通道的子集或全部可以是整合系統的一部分。通常，對於作為整合系統的一部分的

每個流動通道，位於閥門和限流器之間的一個閥門、一個限流器和一個流體壓力感測器也是整合系統的一部分，並且可選地，溫度感測器也是整合系統的一部分。

【0068】 在整合的流體控制系統中，整合系統的一或多個流動通道允許從整合系統的入口到整合系統的出口的流程流動。

【0069】 流體控制系統可以具有一或多個控制器；然而，通常，系統具有一個可以被整合的控制器，例如，如圖 2 至 6 所示。控制器也可以是外部的。外部控制器可用於控制本文中提供的複數個整合系統。例如，僅各包含一個閥門、一個限流器、在閥門和限流器之間的一個壓力感測器，以及一個可選的溫度感測器的複數個整合系統可以利用外部控制器來控制。這種整體流體控制系統設置容許很大的靈活性。例如，可以容易地改變應用現場的具有外部控制器和外部共用壓力感測器的現有流體控制系統，以從整個系統增加、移除或交換整合系統。

【0070】 商業上可獲得的控制器可在這裡提供的流體控制系統和流體控制方法使用。然而，控制器和通訊系統必須配置成允許如本文中所提供的流體控制系統的操作。

【0071】 另外，如本領域中已知的，可以選擇可商購的閥門、壓力感測器、流動通道以及通訊系統，其取決於特定的應用需求。

【0072】 所述流體控制系統具有複數個流動通道(例如，至少兩個、至少五個或至少八個流動通道)。通常，

所有流動通道都被連接(即，在操作期間允許流體連接)，以形成共用流動通道。例如，在圖 2 中(系統 200)、在圖 3 中(系統 300)、在圖 4 中(系統 405)、在圖 5 中(系統 505)和在圖 6 中(系統 600)顯示了所有流動通道都被連接到一個共用流動通道的整合流體控制系統。

【0073】通常，希望閥門和限流器之間的流動通道壓力感測器在盡可能靠近限流器的位置檢測通道內的流體的壓力，也就是說，希望壓力被檢測的位置與與限流器之間的距離(或者，更具體地，流體進入或離開限流器的位置)實際上盡可能短。然而，距離可能更大，這將導致較低精確度的流量測量值。通常，該距離小於流體流動的管道的直徑。所提供的流體控制系統還具有共用的壓力感測器，該壓力感測器被配置成在遠離與系統的流動通道相關聯的限流器的位置處檢測共用流動通道中的流體壓力。在多通道系統中，此壓力感測器可以安裝在共用流動通道中或沿著共用流動通道安裝。遠端和共用壓力感測器的使用允許了壓力感測器在整合的多通道系統外部，例如，如圖 3 和圖 5 所示。然而，為了精確的流量測量值和控制，需要確定每個通道的限流器壓降。通常，期望檢測到共用壓力的位置與每個限流器之間的距離(或者，更具體地，流體進入或離開限流器的位置)實際上盡可能短。這裡提供的流體控制系統允許對於每個限流器的此距離遠大於給定流動通道的通道壓力感測器與其限流器之間的距離。例如，距離可以大於流體流動的管道的直徑。

【0074】商業上可獲得的和先前技術中已知的限流器可在所提供的流體控制系統中使用。合適的限流器包含但不限於噴嘴、孔口、層流元件和多孔介質。

【0075】流體控制系統的流動通道可包含溫度感測器。通常，每個流動通道具有溫度感測器，該溫度感測器檢測閥門和流動通道的限流器之間的位置處的流體溫度。這在流過處於不同溫度的複數個流動通道中的流動通道的流體(通常為氣體)的應用中尤其重要。然而，當複數個(和/或第二複數個)流動通道中的數個或所有流動通道處於相同溫度時，可能需要較少的溫度感測器。例如，包含流過其中的氣體的數個或所有流動通道可以保持在相同的溫度，並且可以使用一或多個(但是每個流動通道少於一個)溫度感測器來測量流動通道(或甚至整個整合系統)保持的溫度。

【0076】在進一步的實施例中，提供了流體控制的方法。這些流體控制方法可以使用本文所述的任何流體控制系統。

【0077】在進一步的實施例中，所述多通道質量流量控制系統(例如，如在圖2和3所示的)和相應的流體控制方法允許入口閥門(例如閥門230或閥門330)的獨立控制，以調節通過複數個流動通道中的每個流動通道到質量流量設定點的質量流量。圖7顯示了允許這種控制的方法的範例性流程圖。所述方法包含在步驟710中從主控制器(其通常由所有流動通道，例如215或315共用)更新或接收流量設

定點(通常，對於複數個流動通道中的每個流動通道)。所述方法還包含在步驟 720 測量所有上游壓力(例如，利用壓力感測器 240 或 340)、共用下游壓力(例如，在位置 224 或 324 處利用共用壓力感測器 260 或 360)和所有溫度(在複數個流動通道中的各別流動通道處於不同的溫度的情況下，通常，每個流動通道包含溫度感測器，其通常檢測流動通道的閥門和限流器之間的流體溫度；否則，在多個流動通道處於相同溫度的情況下，可能需要較少的流動通道；而且，在實施例中，溫度感測器可以是外部的)。利用在步驟 720 測量的資訊，可以如上所述計算每個通道的質量流量。此外，利用這些計算的質量流量，可以計算所有的下游壓力(參見步驟 740)。重複步驟 730 和 740，直到收斂到設定的收斂臨界值(參見 750)。步驟 730 和 740(因此 750)通常由控制器(例如，215 或 315)執行，該控制器接收測量的資訊，並執行上面詳細描述的計算。在步驟 760，將測量的流量饋送到控制器以產生所有入口閥門的控制訊號，在步驟 770，控制器根據該控制訊號來控制入口閥門以調節流向設定點的流量。

【0078】 在進一步的實施例中，所述多通道質量比例控制系統(例如，如圖 4 和圖 5 中所示的)和相應的流體控制方法允許出口閥門(例如閥門 430 或閥門 530)的獨立控制，以調節穿過複數個流動通道中的每個流動通道到質量流量設定點的質量流量。圖 8 顯示了允許這種控制的方法的範例性流程圖。所述方法包含在步驟 810 中更新或接收來自

主控制器(其通常由所有流動通道，例如 405 或 505 共用)的流量比例設定點(通常，對於複數個流動通道中的每個流動通道)。所述方法還包含在步驟 820 測量所有下游壓力(例如，利用壓力感測器 440 或 540)、共用上游壓力(例如，在位置 424 或 524 處利用共用壓力感測器 460 或 560)和所有溫度(在複數個流動通道中的各別流動通道處於不同的溫度的情況下，通常，每個流動通道包含溫度感測器，其通常檢測流動通道的閥門和限流器之間的流體溫度；否則，在多個流動通道處於相同溫度的情況下，可能需要較少的流動通道；而且，在實施例中，溫度感測器可以是外部的，例如，當整個整合系統保持在給定溫度時)。利用在步驟 820 測量的資訊，可以如上所述地計算每個通道的質量流量。此外，利用這些計算的質量流量，可以計算所有的上游壓力(參見步驟 840)。重複步驟 830 和 840，直到收斂到設定的收斂臨界值(參見 850)。步驟 830 和 840(以及因此 850)通常由控制器(例如，405 或 505)執行，該控制器接收測量的資訊，並執行上面詳細描述的計算。在步驟 860，將測量的流量饋送到控制器以產生所有出口閥門的控制訊號，在步驟 870，控制器基於該訊號控制出口閥門，以調節流向目標流量比例設定點的流量。

【0079】 在進一步的實施例中，所述多通道質量流量和比例控制系統(例如，如在圖 6 中所示)和相應的流體控制方法允許入口閥門(例如閥門 630)和出口閥門(例如，閥門 631)的獨立控制，以調節通過複數個流動通道的每個流

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

動通道到質量流量設定點的質量流量。系統的質量流量控制部分可以使用如圖7的流程圖所示的方法，並且系統的質量流量比例控制部分可以使用如圖8的流程圖所示的方法。在這些系統中，共用壓力是質量流量控制部分的下游壓力和質量流量控制系統的上游壓力。

【0080】本申請案的流體控制系統可以僅僅是硬體，但是通常，本申請案的流體控制方法在硬體系統中的軟體中實現(通常，作為在控制器上實現的軟體)，所述硬體系統包含資料處理器、關聯記憶體和輸入輸出裝置。處理器例程(例如，本文所述控制器的處理器例程，包含對應於本文描述的計算和方法步驟的例程)和資料可以作為電腦程式產品儲存在非暫態電腦可讀媒體上。

【0081】所有的專利、公開的申請案和本文引用的參考文獻的教示係透過引用的方式將其整體併入本文。

【0082】雖然本發明已經參照其範例實施例來具體顯示和描述，但是本領域的技術人員可以理解，在形式和細節上的各種變化可以在不脫離由所附申請專利範圍包含的本發明的範圍的情況下完成。

【符號說明】

【0083】

100：單一通道質量流量控制系統

105：主控制器

110：整合質量流量控制系統

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

- 120：流動通道
- 122：上游位置
- 124：下游位置
- 130：閥門
- 150：限流器
- 160：下游壓力感測器
- 170：質量流量控制系統(MFCS)控制器
- 171：通訊
- 172：上游壓力訊號
- 174：下游壓力訊號
- 180：質量流量
- 190：控制
- 200：多通道質量流量控制系統
- 210：整合多通道質量流量控制子系統
- 215：主控制器
- 220：流動通道
- 221：共用流動通道
- 222：上游位置
- 224：下游位置
- 230：閥門
- 240：上游壓力感測器
- 250：限流器
- 260：內部共用下游壓力感測器
- 270：MFCS控制器

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

- 271：通訊
- 272：上游壓力訊號
- 274：下游壓力訊號
- 280：質量流量
- 285：總質量流量
- 290：閥門控制訊號
- 300：多通道質量流量控制系統
- 310：整合多通道質量流量控制子系統
- 315：主控制器
- 320：流動通道
- 321：共用流動通道
- 322：上游位置
- 324：下游位置
- 330：閥門
- 340：上游壓力感測器
- 350：限流器
- 360：外部共用下游壓力感測器
- 370：MFCS控制器
- 371：通訊
- 372：上游壓力訊號
- 374：下游壓力訊號
- 380：質量流量
- 385：總質量流量
- 390：閥門控制訊號

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

- 400：流體控制系統
- 405：多通道質量流量比例控制系統
- 407：多通道質量流量控制系統
- 415：主控制器
- 420：流動通道
- 422：下游位置
- 430：閥門
- 440：下游壓力感測器
- 450：限流器
- 460：內部共用上游壓力感測器
- 470：多通道流量比例(MCFR)控制器
- 471：通訊
- 472：下游壓力訊號
- 474：共用上游壓力訊號
- 480：質量流量
- 485：總輸入流量
- 490：閥門控制訊號
- 491：質量流量控制系統
- 492：通道
- 493：來源
- 500：流體控制系統
- 505：整合多通道質量流量比例控制系統
- 507：多通道質量流量控制系統
- 515：主控制器

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

520：流動通道
522：下游位置
524：上游位置
530：閥門
540：下游壓力感測器
550：限流器
560：外部共用上游壓力感測器
570：MCFR控制器
571：通訊
572：下游壓力訊號
574：共用上游壓力訊號
580：質量流量
585：總輸入流量
590：閥門控制訊號
591：質量流量控制系統
592：通道
593：來源
600：整合多通道質量流量和比例控制系統
615：主控制器
620：流動通道
621：共用流動通道
622：第一位置
624：第二位置
630：上游閥門

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

631：下游閘門
641：壓力感測器
650：限流器
660：內部共用壓力感測器
670：控制器
671：通訊
672：壓力訊號
674：共用壓力訊號
680：質量流量
687：質量流量
710：步驟
720：步驟
730：步驟
740：步驟
750：步驟
760：步驟
770：步驟
810：步驟
820：步驟
830：步驟
840：步驟
850：步驟
860：步驟
870：步驟
880：步驟

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種流體控制系統，包含：

承載流體的複數個流動通道，每個流動通道包含限流器、流量調節閥門以及所述限流器與所述流量調節閥門之間的通道壓力感測器；

共用流動通道，其將流體承載至所述複數個流動通道或從所述複數個流動通道承載流體，在每個流動通道中的所述限流器係位於所述通道壓力感測器與所述共用流動通道之間；

所述共用流動通道中的共用壓力感測器，其配置成檢測共用流動通道壓力；以及

控制器，其基於通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述流動通道中之各者的質量流量並且控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量，其中所述控制器透過遞歸計算來確定(1)與所述限流器相鄰並且與所述複數個流動通道的所述通道壓力感測器相對的位置的通道壓力，(2)通過每個流動通道的質量流量，以及(3)通過所述共用通道的總質量流量。

【第2項】

如申請專利範圍第1項的流體控制系統，其中所述複數個流動通道中的每個流動通道還包含溫度感測器。

【第3項】

如申請專利範圍第1或2項的流體控制系統，其中所述

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

控制器基於流過其中的所述流體的性質、所述限流器的性質以及所述限流器與所述共用壓力感測器之間的流動通道性質來確定通過每個流動通道的質量流量。

【第4項】

如申請專利範圍第3項的流體控制系統，其中所述流動通道性質係從所述限流器到所述共用壓力感測器的所述流動通道的體積和長度。

【第5項】

如申請專利範圍第1項的流體控制系統，其中所述控制器藉由(i)假設與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的所述通道壓力感測器相對的流動通道壓力，所述通道壓力感測器提供經檢測的流動通道壓力，(ii)基於與所述限流器相鄰並且與所述通道壓力感測器相對的所述流動通道壓力和所述流動通道的經檢測的流動通道壓力來確定通過所述流動通道的所述質量流量，(iii)基於通過所述複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量來確定總質量流量，(iv)使用在步驟(iii)中確定的所述總質量流量來計算與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的所述通道壓力感測器相對的所述流動通道壓力，以及重複步驟(ii)至(iv)，來確定通過所述複數個流動通道中的流動通道的質量流量。

【第6項】

如申請專利範圍第1項的流體控制系統，其中所述共用流動通道係位於所述複數個流動通道的下游。

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

【第7項】

如申請專利範圍第1項的流體控制系統，其中所述共用流動通道係位於所述複數個流動通道的上游。

【第8項】

如申請專利範圍第1項的流體控制系統，還包含

第二複數個流動通道，所述第二複數個流動通道中的每個流動通道包含限流器、流量調節閥門以及所述限流器與所述流量調節閥門之間的通道壓力感測器；

所述共用流動通道，其將來自所述複數個流動通道的流體承載至所述第二複數個流動通道；

對於所述第二複數個流動通道中的每個流動通道，所述限流器係位於所述通道壓力感測器與所述共用流動通道之間；其中所述控制器還基於通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述第二複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量並且控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【第9項】

如申請專利範圍第1項的流體控制系統，其中所述控制器使用方程式(1)來計算與限流器相鄰並且與第*i*個流動通道的通道壓力感測器相對的流動通道壓力，所述第*i*個流動通道係位於所述共用流動通道的上游：

$$P_{d,i} = f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) \quad (1);$$

其中， f_{Pd} 係藉由所述共用壓力感測器所檢測的下游壓力 P_d 、通過所述共用流動通道 Q_t 的總流量，以及從其限流

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

器到所述共用壓力感測器的所述第 i 個流動通道的體積 V_i 和長度 L_i 的函數。

【第 10 項】

如申請專利範圍第 9 項的流體控制系統，其中 f_{Pd} 係由經驗資料和/或實驗獲得的。

【第 11 項】

如申請專利範圍第 9 或 10 項的流體控制系統，其中 f_{Pd} 係由方程式 (2) 提供：

$$f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) = k_{i,1} \cdot P_d + k_{i,2} \cdot Q_t + k_{i,3} \cdot V_i + k_{i,4} \cdot L_i \quad (2);$$

其中 $k_{i,1}$ 、 $k_{i,2}$ 、 $k_{i,3}$ 和 $k_{i,4}$ 係經驗和/或實驗獲得的線性係數。

【第 12 項】

如申請專利範圍第 1 項的流體控制系統，其中所述控制器使用方程式 (6) 來計算與限流器相鄰並且與第 j 個流動通道的通道壓力感測器相對的流動通道壓力：

$$P_{u,j} = f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) \quad (6);$$

其中， f_{Pu} 係藉由所述共用壓力感測器所檢測的上游壓力 P_u 、通過所述共用流動通道 Q_t 的總流量，以及從其限流器到所述共用壓力感測器的所述第 j 個流動通道的體積 V_j 和長度 L_j 的函數。

【第 13 項】

如申請專利範圍第 12 項的流體控制系統，其中 f_{Pu} 係由經驗資料和/或實驗獲得的。

【第 14 項】

如申請專利範圍第 12 或 13 項的流體控制系統，其中 f_{Pu} 係由方程式 (7) 提供：

$$f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) = k_{j,1} \cdot P_u + k_{j,2} \cdot Q_t + k_{j,3} \cdot V_j + k_{j,4} \cdot L_j \quad (7);$$

其中 $k_{j,1}$ 、 $k_{j,2}$ 、 $k_{j,3}$ 和 $k_{j,4}$ 係經驗和 / 或實驗獲得的線性係數。

【第 15 項】

如申請專利範圍第 8 項的流體控制系統，其中所述第二複數個流動通道中的每個流動通道還包含溫度感測器。

【第 16 項】

如申請專利範圍第 1 項的流體控制系統，其中所述複數個流動通道是整合系統的一部分。

【第 17 項】

如申請專利範圍第 8 項的流體控制系統，其中所述複數個流動通道和所述第二複數個流動通道是整合系統的一部分。

【第 18 項】

如申請專利範圍第 17 項的流體控制系統，其中所述共用壓力感測器不是所述整合系統的一部分。

【第 19 項】

如申請專利範圍第 1 項的流體控制系統，其中所述流體是氣體。

【第 20 項】

一種流體控制方法，包含

使流體流過複數個流動通道，每個流動通道包含限流

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

器和流量調節閥門；

使流體透過共用流動通道流到所述複數個流動通道或從所述複數個流動通道流出；

檢測所述共用流動通道中的共用流動通道壓力；

對於每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道壓力；

基於所述流動通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述流動通道中之各者的質量流量；

透過遞歸地計算(1)通過每個流動通道的質量流量，(2)與所述限流器相鄰並且與所述複數個流動通道的所述通道壓力感測器相對的位置的通道壓力，以及(3)通過所述共用通道的總質量流量；以及

控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【第21項】

如申請專利範圍第20項的流體控制方法，還包含對於每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道溫度。

【第22項】

如申請專利範圍第20或21項的流體控制方法，其中通過每個流動通道的質量流量係基於流過其中的所述流體的性質、所述限流器的性質以及所述限流器與所述共用流動通道壓力被檢測處之間的流動通道性質來確定。

【第23項】

如申請專利範圍第20項的流體控制方法，其中確定通過所述複數個流動通道中的流動通道的質量流量包含：(i) 假設與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的經檢測的流動通道壓力相對的流動通道壓力，(ii)基於與所述限流器相鄰並且與所述通道壓力感測器相對的所述流動通道壓力和所述流動通道的經檢測的流動通道壓力來確定通過所述流動通道的所述質量流量，(iii)基於通過所述複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量來確定總質量流量，(iv)使用在步驟(iii)中確定的所述總質量流量來計算與所述限流器相鄰並且與所述流動通道的經檢測的流動通道壓力相對的所述流動通道壓力，以及重複步驟(ii)至(iv)。

【第24項】

如申請專利範圍第20項的流體控制方法，還包含使流體從所述複數個流動通道流過所述共用通道並進入第二複數個流動通道，所述第二複數個流動通道中的每個流動通道包含限流器和流量調節閥門；

對於所述第二複數個流動通道中的每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道壓力和流動通道溫度；以及

基於所述流動通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述第二複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量。

【第25項】

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

如申請專利範圍第20項的流體控制方法，還包含使用方程式(1)來計算與限流器相鄰並且與第*i*個流動通道的經檢測的流動通道壓力相對的流動通道壓力，所述第*i*個流動通道係位於所述共用流動通道的上游：

$$P_{d,i} = f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) \quad (1);$$

其中， f_{Pd} 係經檢測的共用流動通道壓力 P_d 、通過所述共用流動通道的總流量 Q_t ，以及從其限流器到經檢測的共用流動通道壓力的所述第*i*個流動通道的體積 V_i 和長度 L_i 的函數。

【第26項】

如申請專利範圍第25項的流體控制方法，其中 f_{Pd} 係由經驗資料和/或實驗獲得的。

【第27項】

如申請專利範圍第25或26項的流體控制方法，其中 f_{Pd} 係由方程式(2)提供：

$$f_{Pd}(P_d, Q_t, V_i, L_i) = k_{i,1} \cdot P_d + k_{i,2} \cdot Q_t + k_{i,3} \cdot V_i + k_{i,4} \cdot L_i \quad (2);$$

其中 $k_{i,1}$ 、 $k_{i,2}$ 、 $k_{i,3}$ 和 $k_{i,4}$ 係經驗和/或實驗獲得的線性係數。

【第28項】

如申請專利範圍第20項的流體控制方法，還包含使用方程式(6)來計算與限流器相鄰並且與第*j*個流動通道的經檢測的流動通道壓力相對的流動通道壓力，所述第*j*個流動通道係位於所述共用流動通道的下游：

$$P_{u,j} = f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) \quad (6);$$

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

其中， f_{Pd} 係經檢測的流動通道上游壓力 P_u 、通過所述共用流動通道的總流量 Q_t ，以及從其限流器到經檢測的共用流動通道壓力的所述第 j 個流動通道的體積 V_j 和長度 L_j 的函數。

【第29項】

如申請專利範圍第28項的流體控制方法，其中 f_{Pu} 係由經驗資料和/或實驗獲得的。

【第30項】

如申請專利範圍第28或29項的流體控制方法，其中 f_{Pu} 係由方程式(7)提供：

$$f_{Pu}(P_u, Q_t, V_j, L_j) = k_{j,1} \cdot P_u + k_{j,2} \cdot Q_t + k_{j,3} \cdot V_j + k_{j,4} \cdot L_j \quad (7);$$

其中 $k_{j,1}$ 、 $k_{j,2}$ 、 $k_{j,3}$ 和 $k_{j,4}$ 係經驗和/或實驗獲得的線性係數。

【第31項】

如申請專利範圍第24項的流體控制方法，還包含對於所述第二複數個流動通道的每個流動通道檢測在其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道溫度。

【第32項】

如申請專利範圍第20項的流體控制方法，其中所述流體是氣體。

【第33項】

一種流體控制系統，包含：

承載流體的複數個流動通道，每個流動通道包含限流器、流量調節閥門以及所述限流器與所述流量調節閥門之

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

間的通道壓力感測器；

共用流動通道，其將流體承載至所述複數個流動通道或從所述複數個流動通道承載流體，在每個流動通道中的所述限流器係位於所述通道壓力感測器與所述共用流動通道之間；

所述共用流動通道中的共用壓力感測器，其配置成檢測共用流動通道壓力；以及

控制器，其基於通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述流動通道中之各者的質量流量並且控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量，其中所述控制器係配置成基於流過其中的所述流體的性質、所述限流器的性質以及所述限流器與所述共用壓力感測器之間的流動通道性質來確定通過每個流動通道的質量流量，以及其中所述流動通道性質係從所述限流器到所述共用壓力感測器的所述流動通道的體積和長度。

【第34項】

一種流體控制方法，包含：

使流體流過複數個流動通道，每個流動通道包含限流器和流量調節閥門；

使流體透過共用流動通道流到所述複數個流動通道或從所述複數個流動通道流出；

檢測所述共用流動通道中的共用流動通道壓力；

對於每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

之間的流動通道壓力；

基於所述流動通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述流動通道中之各者的質量流量，其中通過每個流動通道的質量流量係基於流過其中的所述流體的性質、所述限流器的性質以及所述限流器與所述共用流動通道壓力被檢測處之間的流動通道性質來確定，以及其中所述流動通道性質係從所述限流器到所述共用壓力感測器的所述流動通道的體積和長度；以及

控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【第35項】

一種流體控制系統，包含

複數個流動通道，每個流動通道包含限流器、流量調節閥門以及所述限流器與所述流量調節閥門之間的通道壓力感測器；

第二複數個流動通道，所述第二複數個流動通道中的每個流動通道包含限流器、流量調節閥門以及所述限流器與所述流量調節閥門之間的通道壓力感測器；

共用流動通道，其將來自所述複數個流動通道的流體承載至所述第二複數個流動通道；

在所述複數個流動通道和所述第二複數個流動通道中的每個流動通道中，所述限流器係位於所述通道壓力感測器與所述共用流動通道之間；

所述共用流動通道中的共用壓力感測器，其配置成檢

第 108114999 號

民國 112 年 4 月 18 日修正

測共用流動通道壓力；以及

控制器，其基於通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述複數個流動通道和所述第二複數個流動通道中的所述流動通道中之各者的質量流量並且控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【第36項】

如申請專利範圍第35項的流體控制系統，其中所述複數個流動通道和所述第二複數個流動通道是整合系統的一部分。

【第37項】

如申請專利範圍第36項的流體控制系統，其中所述共用壓力感測器不是所述整合系統的一部分。

【第38項】

一種流體控制方法，包含：

使流體流過複數個流動通道並流過第二複數個流動通道，每個流動通道包含限流器和流量調節閥門；

使流體透過共用流動通道從所述複數個流動通道流到所述第二複數個流動通道；

檢測所述共用流動通道中的共用流動通道壓力；

對於每個流動通道，檢測其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道壓力；

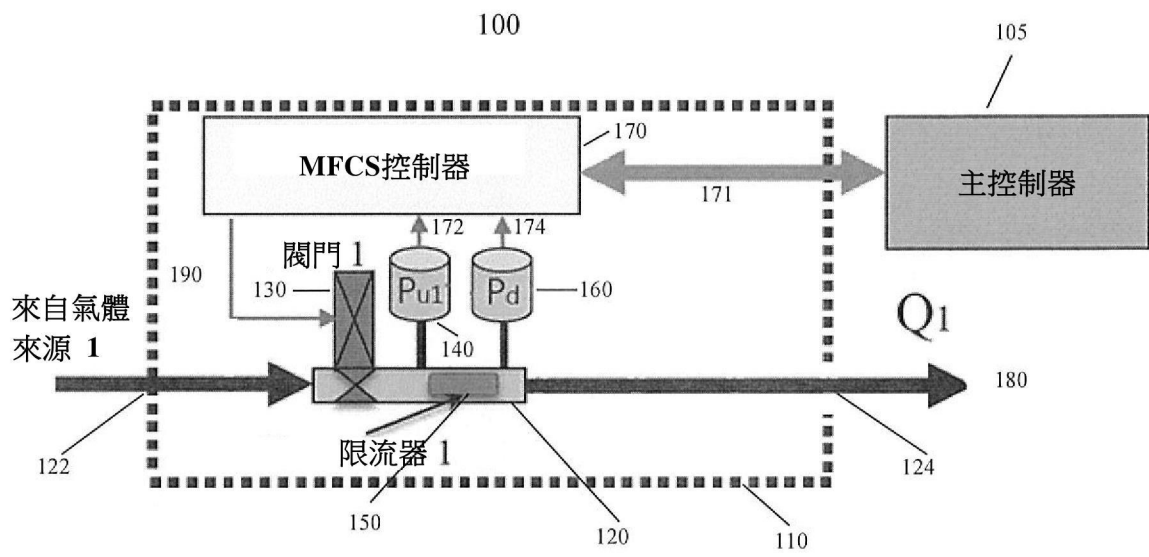
基於每個流動通道壓力和所述共用流動通道壓力來確定通過所述流動通道中之各者的質量流量；

控制所述流動通道的所述流量調節閥門，以控制通過每個流動通道的質量流量。

【第 39 項】

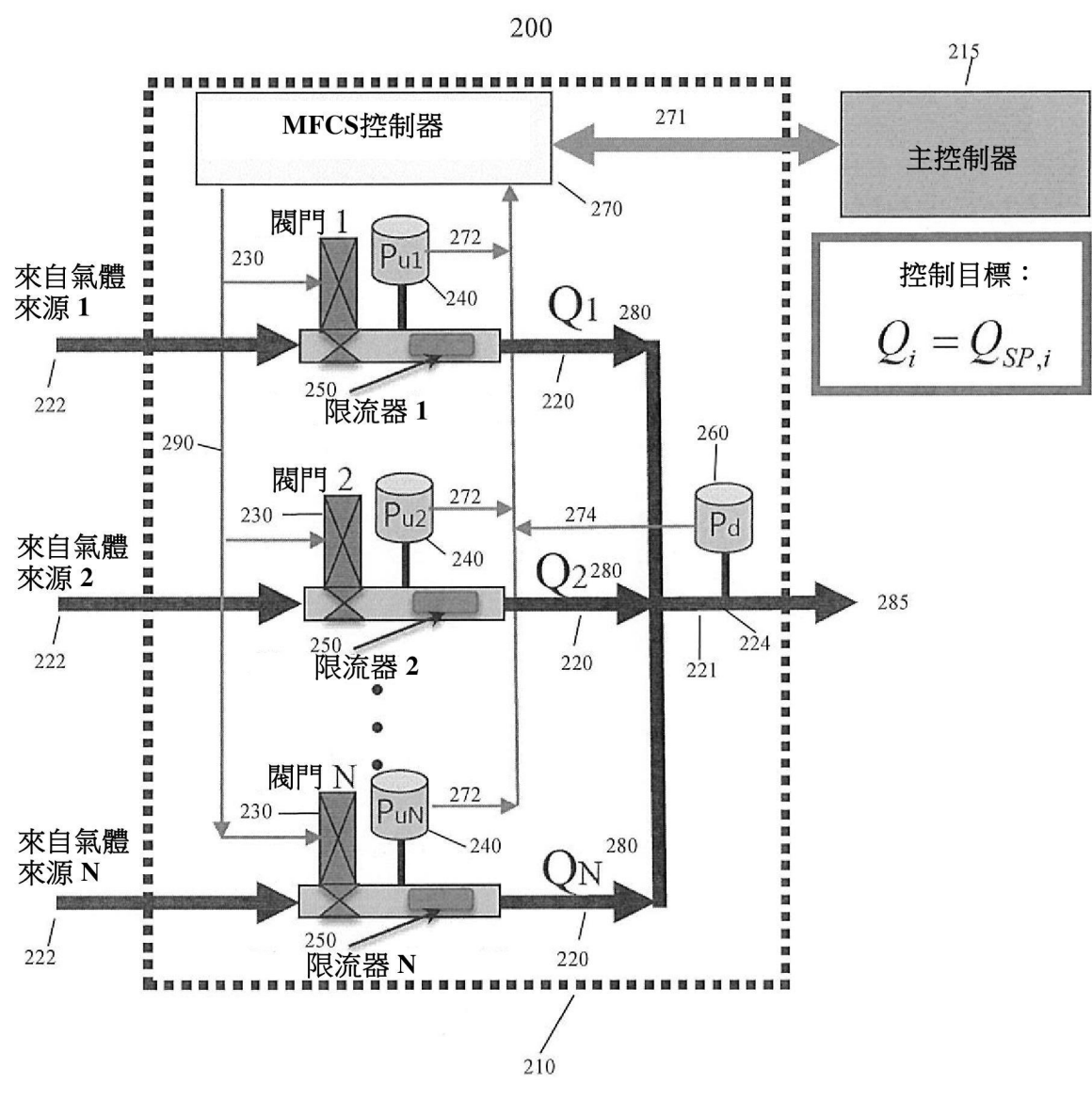
如申請專利範圍第 38 項的流體控制方法，還包含對於所述第二複數個流動通道的每個流動通道檢測在其流量調節閥門與其限流器之間的流動通道溫度。

【發明圖式】

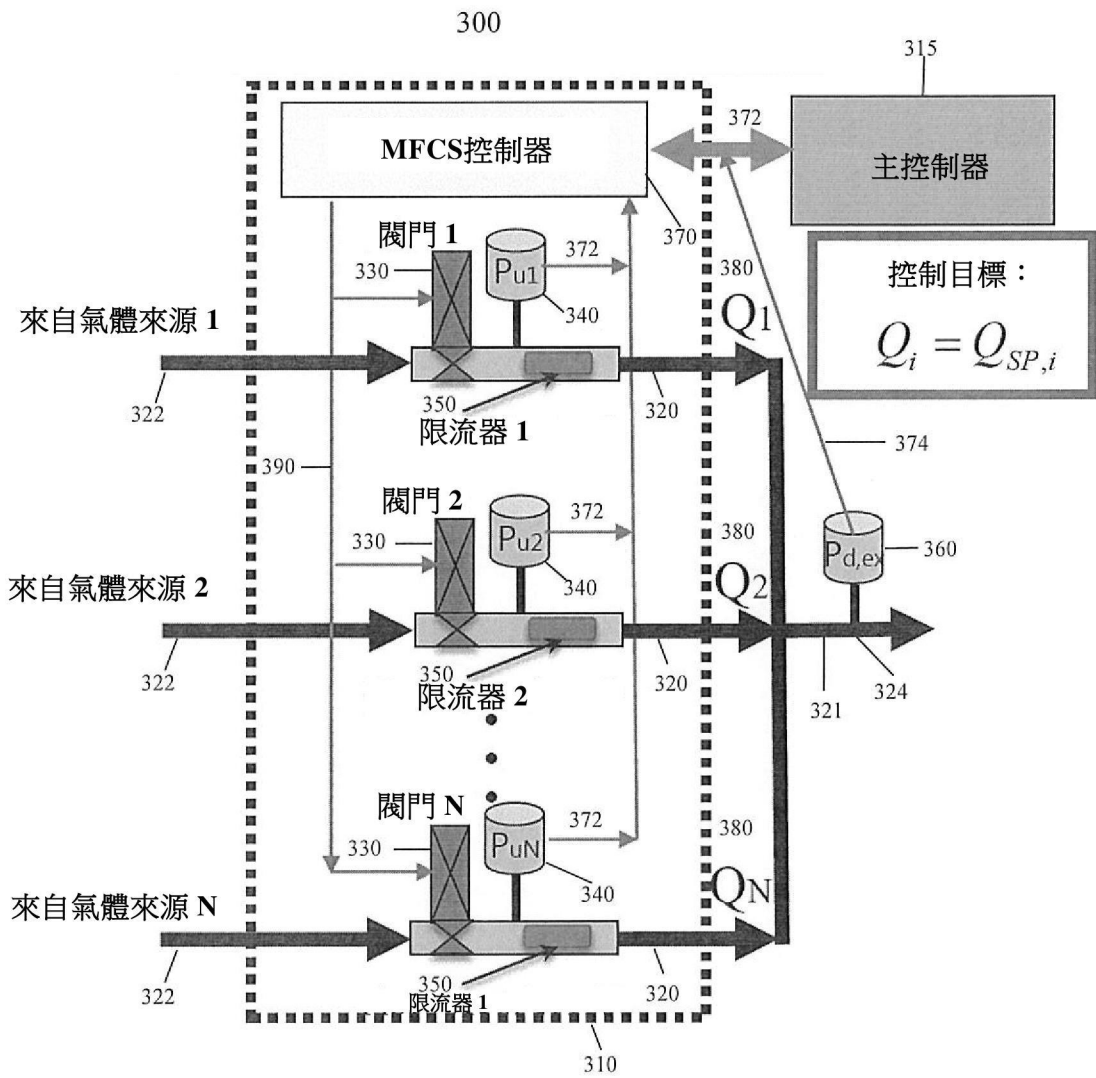


先前技術

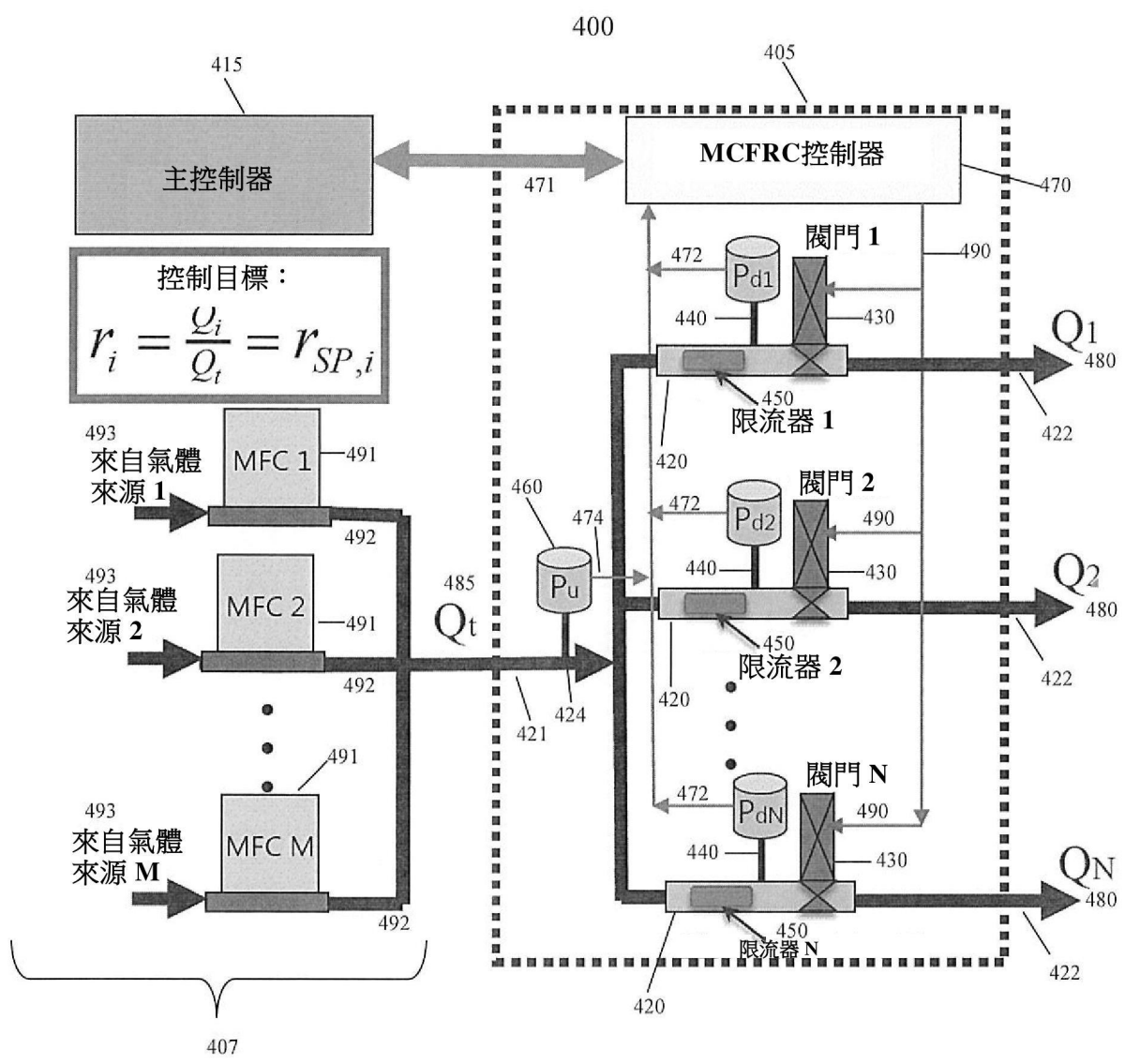
【圖 1】



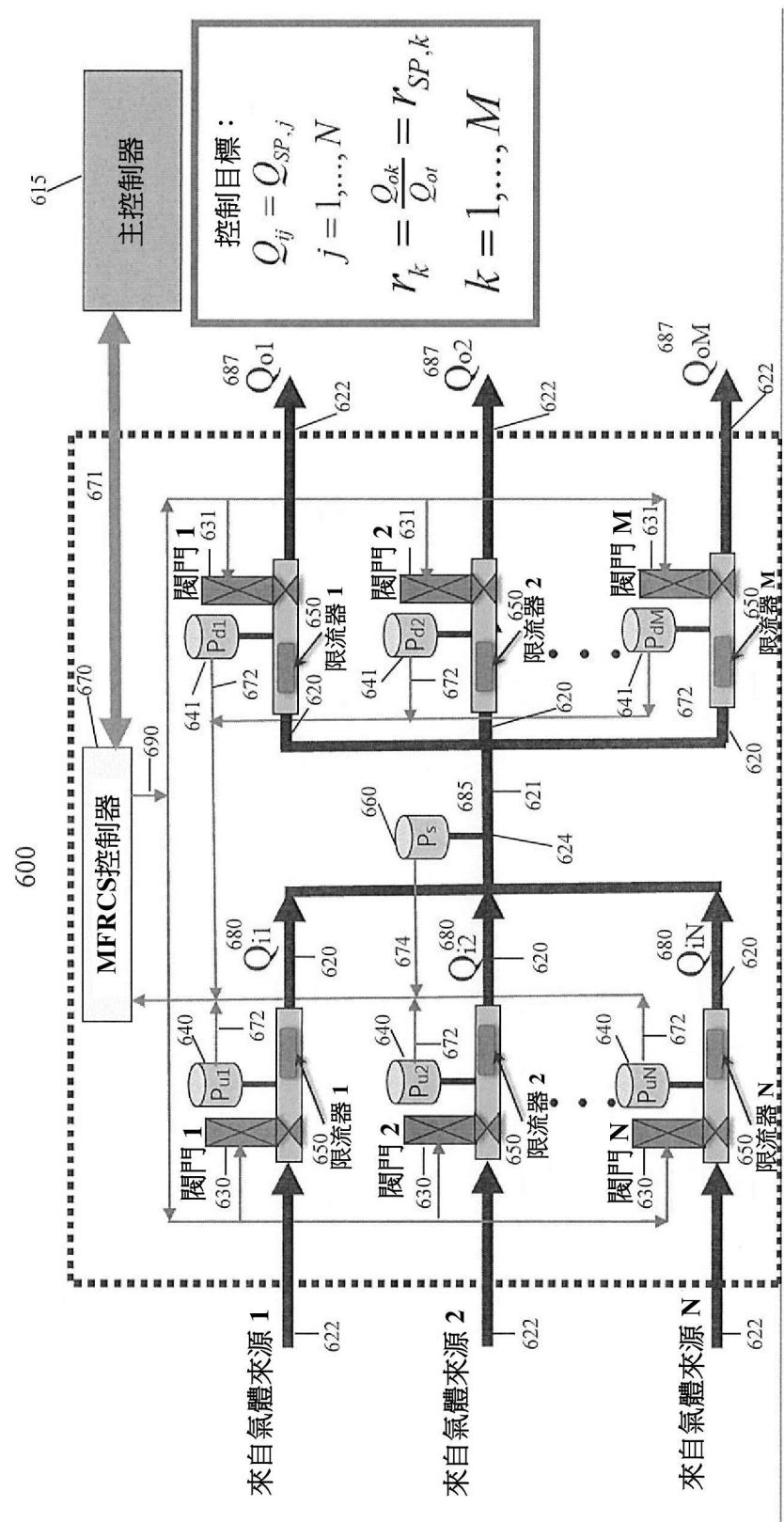
【圖 2】



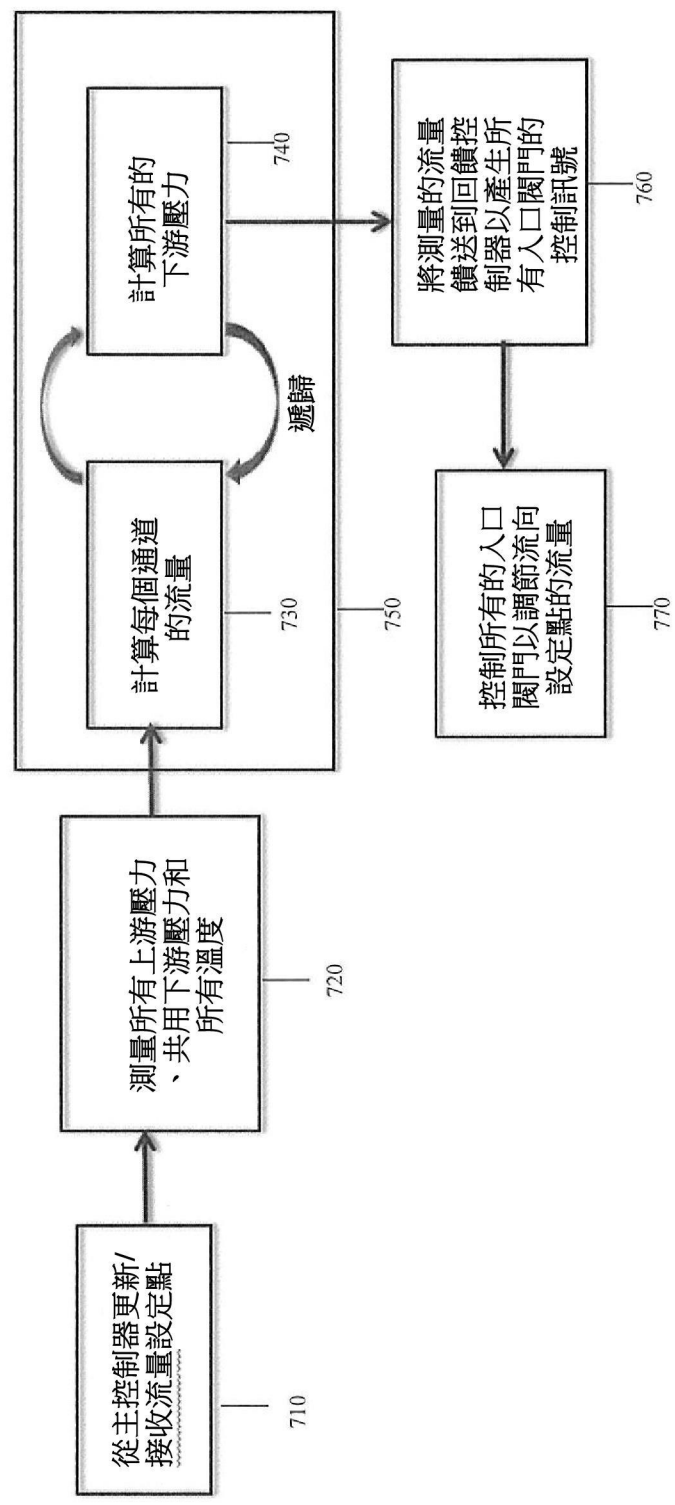
【圖 3】



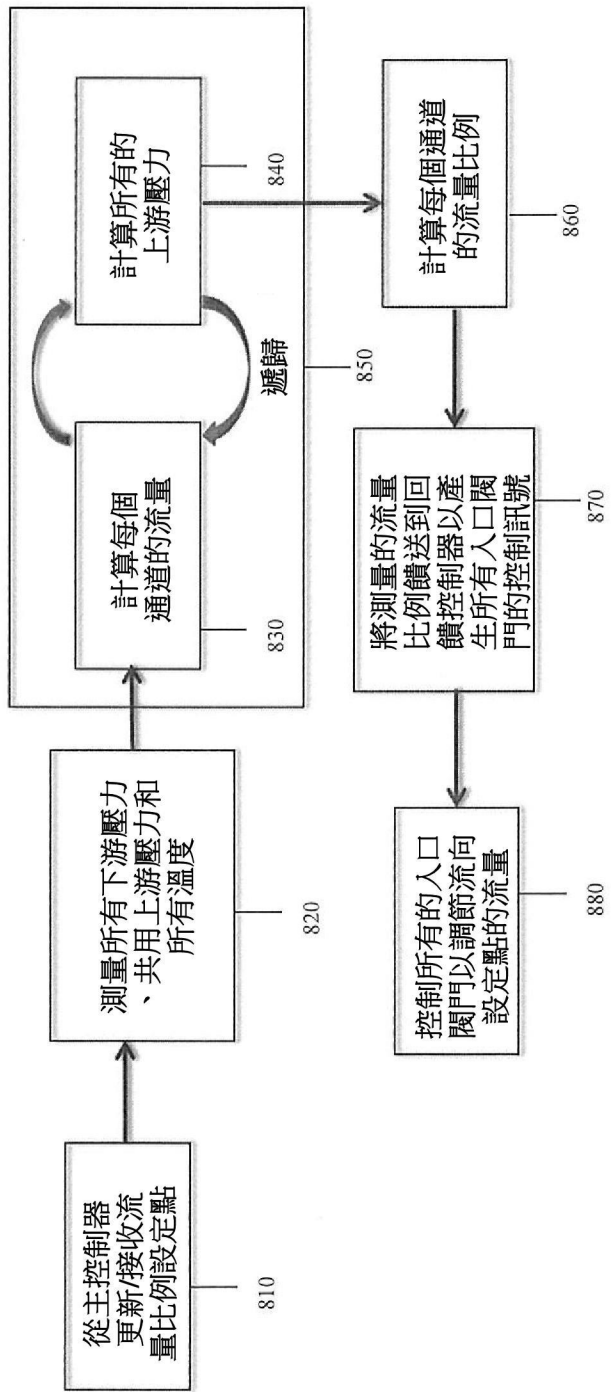
【圖 4】



【圖 6】



【圖 7】



【圖 8】