



(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 I809083 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：108112201

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 04 月 08 日

(51)Int. Cl. : F25B9/14 (2006.01)

F25B41/20 (2021.01)

F25B49/02 (2006.01)

(30)優先權：2018/04/09 美國

62/655,093

(71)申請人：美商艾德華真空有限責任公司(美國) EDWARDS VACUUM LLC (US)
美國

(72)發明人：伯特列 艾倫 BARTLETT, ALLEN J. (US)；沙維迪 馬特歐 SALVETTI, MATTEO F. (IT)；賽索耶夫 謝爾蓋 SYSSOEV, SERGEI (US)；史提拉 馬克 STIRA, MARK A. (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

CN 103261816A

US 4543793

US 4862695

US 2011/0126554A1

審查人員：羅彬秀

申請專利範圍項數：29 項 圖式數：12 共 59 頁

(54)名稱

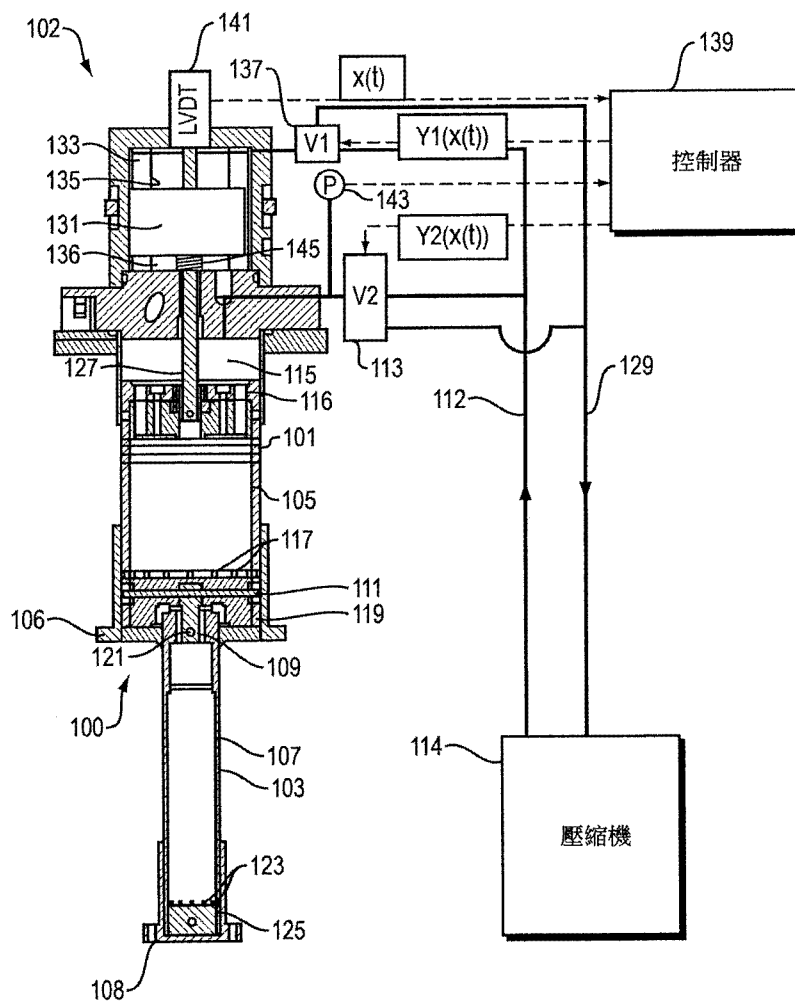
氣動驅動的低溫冷凍機

(57)摘要

一種吉福特-麥克馬宏(Gifford-McMahon)低溫冷凍機包含一在冷凍體積內的往復式排出器(displacer)。該排出器被一在氣動驅動體積內的驅動活塞氣動地驅動。在該氣動驅動體積內的壓力係藉由閥門(valving)來控制，該閥門透過該驅動活塞的衝程來造成該驅動活塞依循一程式化的位移曲線。該驅動閥門(drive valving)可包括一比例閥，其連續地提供驅動流體的可變式供應及排放。在一按比例地控制的回饋系統中，該閥進入該驅動體積內被控制，用以將一位移訊號和一被程式化的位移曲線之間的誤差最小化。對於該冷凍體積的暖端的閥門亦可以是成比例的。一被動力量產生器(譬如，機械式彈簧或磁鐵)可施加與該驅動流體所施加的驅動力相反的力量至該活塞。

A Gifford-McMahon cryogenic refrigerator comprises a reciprocating displacer within a refrigeration volume. The displacer is pneumatically driven by a drive piston within a pneumatic drive volume. Pressure in the pneumatic drive volume is controlled by valving that causes the drive piston to follow a programmed displacement profile through stroke of the drive piston. The drive valving may include a proportional valve that provides continuously variable supply and exhaust of drive fluid. In a proportionally controlled feedback system, the valve into the drive volume is controlled to minimize error between a displacement signal and a programmed displacement profile. Valving to the warm end of the refrigeration volume may also be proportional. A passive force generator such as a mechanical spring or magnets may apply force to the piston in opposition to the driving force applied by the drive fluid.

指定代表圖：



符號簡單說明：

- 100 . . . 兩階段冷指件
- 101 . . . 第一階段鋼筒
- 102 . . . 氣動驅動器
- 103 . . . 第二階段鋼筒
- 105 . . . 第一階段排出器活塞
- 106 . . . 熱站
- 107 . . . 第二階段排出器活塞
- 108 . . . 熱站
- 109 . . . 桿
- 111 . . . 銷
- 112 . . . 供應管線
- 113 . . . 冷凍體積閥
- 114 . . . 壓縮機
- 115 . . . 暖端體積
- 116 . . . 埠口
- 117 . . . 埠口
- 119 . . . 活塞
- 121 . . . 環狀空間
- 123 . . . 埠口
- 125 . . . 活塞
- 129 . . . 氬氣回返管線
- 127 . . . 桿(活塞軸)
- 131 . . . 活塞
- 133 . . . 氣動體積
- 135 . . . 遠端室
- 136 . . . 近端室
- 137 . . . 電子控制的閥
- 141 . . . 位移感測器
- 139 . . . 控制器
- 143 . . . 壓力感測器

- 145 . . . 彈簧
- $x(t)$. . . 訊號
- $Y1(x(t))$. . . 訊號
- $Y1$. . . 控制訊號
- $V1$. . . 驅動閥
- $Y2$. . . 訊號
- $V2$. . . 暖閥



I809083

【發明摘要】

【中文發明名稱】

氣動驅動的低溫冷凍機

【英文發明名稱】

PNEUMATIC DRIVE CRYOCOOLER

【中文】

一種吉福特-麥克馬宏(Gifford-McMahon)低溫冷凍機包含一在冷凍體積內的往復式排出器(displacer)。該排出器被一在氣動驅動體積內的驅動活塞氣動地驅動。在該氣動驅動體積內的壓力係藉由閥門(valving)來控制，該閥門透過該驅動活塞的衝程來造成該驅動活塞依循一程式化的位移曲線。該驅動閥門(drive valving)可包括一比例閥，其連續地提供驅動流體的可變式供應及排放。在一按比例地控制的回饋系統中，該閥進入該驅動體積內被控制，用以將一位移訊號和一被程式化的位移曲線之間的誤差最小化。對於該冷凍體積的暖端的閥門亦可以是成比例的。一被動力量產生器(譬如，機械式彈簧或磁鐵)可施加與該驅動流體所施加的驅動力相反的力量至該活塞。

【 英文 】

A Gifford-McMahon cryogenic refrigerator comprises a reciprocating displacer within a refrigeration volume. The displacer is pneumatically driven by a drive piston within a pneumatic drive volume. Pressure in the pneumatic drive volume is controlled by valving that causes the drive piston to follow a programmed displacement profile through stroke of the drive piston. The drive valving may include a proportional valve that provides continuously variable supply and exhaust of drive fluid. In a proportionally controlled feedback system, the valve into the drive volume is controlled to minimize error between a displacement signal and a programmed displacement profile. Valving to the warm end of the refrigeration volume may also be proportional. A passive force generator such as a mechanical spring or magnets may apply force to the piston in opposition to the driving force applied by the drive fluid.

【指定代表圖】第(1B)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

100：兩階段冷指件

101：第一階段鋼筒

102：氣動驅動器

103：第二階段鋼筒

105：第一階段排出器活塞

106：熱站

107：第二階段排出器活塞

108：熱站

109：桿

111：銷

112：供應管線

113：冷凍體積閥

114：壓縮機

115：暖端體積

116：埠口

117：埠口

119：活塞

121：環狀空間

123：埠口

125：活塞

129：氮氣回返管線

127：桿(活塞軸)

131：活塞

133：氣動體積

135：遠端室

136：近端室

137：電子控制的閥

141：位移感測器

139：控制器

143：壓力感測器

145：彈簧

$x(t)$ ：訊號

$Y1(x(t))$ ：訊號

$Y1$ ：控制訊號

$V1$ ：驅動閥

$Y2$ ：訊號

$V2$ ：暖閥

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

氣動驅動的低溫冷凍機

【英文發明名稱】

PNEUMATIC DRIVE CRYOCOOLER

[相關申請案]

本案主張2018年4月9日提申之美國暫時申請案第62/655,093號的權利。上述申請案的全部內容藉此參照被併於本文中。

【技術領域】

【0001】本發明係關於一種氣動驅動的低溫冷凍機。

【先前技術】

【0002】在吉福特-麥克馬宏(Gifford-McMahon, GM)式低溫冷凍機(譬如,揭露在美國專利第2,906,101號及第2,966,035號中者)中,高壓工作流體(譬如,氮氣)被閥門調控地進入一鋼筒(cylinder)內的冷凍體積的暖端(warm end)。然後,該流體藉由壓差及一排出器活塞的運動而被朝向該暖端通過一再生基質(regenerative matrix),該排出器活塞可攜載該再生基質。該流體在它通過該再生基質時被冷卻。該流體然後被膨脹且在該排出器活塞的冷端被從

該暖端經過一排放閥排出的流體的廢氣進一步冷卻。該排出器活塞被朝向該冷凍體積的冷端往回移動，用以在流體流過時冷卻該再生基質。在原始的Gifford專利中，該活塞被一來自一旋轉馬達的曲柄驅動且連接至該冷凍體積的暖端的閥門被同一轉動驅動所控制，用以將活塞運動與閥控制同步。亦參見美國專利第3,625,015號，在該專利中一旋轉馬達控制旋轉閥門且透過一蘇格蘭軛(scotch yoke)直線運動地驅動一排出器活塞。該方式直到今日仍運用在多數GM冷凍機中。

【0003】許多年來仍存在於市面上的GM冷凍機中的是它們依賴氣動力來造成該排出器往復運動於冷凍機鋼筒內。例如，參見美國專利第3,620,029號及第6,256,997號中，這些設計會遭遇該排出器上的力量不平衡，這造成該排出器撞擊該鋼筒的底部或頂部。那些力的不平衡會在寄生力(譬如，摩擦力或黏滯力)隨著時間改變而產生。美國專利第6,256,997號提出了使用能量吸收緩衝墊，用以吸收排出器撞擊在該鋼筒上的能量。然而，該撞擊仍會造成所不想要的振動及其它有害的功能上的特性的結果。

【0004】運用閥門來控制流體流動至一氣動驅動體積的氣動驅動設計已被提出。美國專利第3,188,819號、第3,188,821號及第3,218,815號提出了用機械性裝置(譬如，凸輪)來控制閥時機(valve timing)。在一種方式中，與短軸閥(spool valve)相關聯的凸輪被一從該冷凍機排出器延伸出的桿子上的圓盤驅動。在其它實施例中，短軸閥係藉

由與該排出器相關聯的埠口來氣動地控制。在每一種情形中，該閥和該排出器在結構上係緊密地相關聯但閥的時機並不能容易地被調整。美國專利第3,188,821號額外地建議一實施例，在該實施例中一短軸閥係被一獨立於該排出器活塞之外的螺線管所控制。最近，美國專利第4,543,793號提出一種氣動驅動器，其中連接至該氣動驅動體積的閥是由一回應排出器活塞之電驅動的短軸閥來控制。具有閥門式氣動驅動系統的特定實施例則未有所聞。

【發明內容】

【0005】一種低溫冷凍機包含一冷凍體積，其包含一或多個互連的膨脹室，其具有暖端及冷端、及一在該冷凍體積內的往復式排出器。一在該氣動驅動體積內在該冷凍體積的暖端的驅動活塞被耦合至該排出器。冷凍體積閥門，其控制流至該冷凍體積及從該冷凍體積流出的加壓冷凍氣體的循環供應及排放。驅動閥門，其控制驅動流體流至及流出該氣動驅動體積的供應及排放。一電子控制器用一或多個輸入的驅動控制訊號來控制該驅動閥門，該驅動控制訊號變更該驅動活塞的整個衝程，用以造成該驅動活塞遵循該驅動活塞的整個衝程的一程式化位移曲線(profile)。

【0006】該低溫冷凍機可包括一回應該驅動活塞或排出器的移動的位移感測器，用以提供一位移訊號，且該電子控制器可控制該驅動閥門，用以將該位移訊號和該驅動

活塞的整個衝程的該程式化的位移曲線之間的誤差最小化。

【0007】該驅動閥門可以是比例驅動閥門，其與來自該電子控制器的電子驅動控制訊號成比例地提供驅動流體的連續可變的供應及排放。或者，該電子控制器可以足夠的速率打開及關閉連接至個別的供應及排放管線的該驅動閥門，用以提供該氣動驅動體積內的供應及排放壓力之間可變的壓力控制。

【0008】該低溫冷凍機可進一步包含一被動力量產生器，其施加與該驅動流體所施加的驅動力相反的力至該活塞。該被動力量產生器可以是彈簧，且該彈簧可包含兩個或更多個彈簧元件，其被設置在該驅動體積內部或外部且經由一軸被耦合至該活塞。或者，該被動力量產生器可包含磁鐵。

【0009】該驅動活塞可將該氣動驅動體積分隔成一鄰近該排出器的近端驅動室和一遠離該排出器的遠端驅動室。該驅動閥門可供應驅動流體至該遠端驅動室及將驅動流體從該遠端驅動室排出。該驅動閥門亦可或替代地供應驅動流體至該近端驅動室及將驅動流體從該近端驅動室排出。或者，該近端驅動室可被直接耦合至一驅動流體排放裝置(exhaust)或與該冷凍體積的暖端流體聯通。

【0010】該冷凍體積閥門亦可包含比例閥門，其與一電子冷凍劑控制訊號成比例地提供對該冷凍體積的連續可變的冷凍劑氣體供應以及排放。該驅動流體可從相同的冷

凍劑供應回返管線被閥門調控。

【0011】除了位移回饋控制之外或者作為該位移回饋控制的替代物，該電子控制器可進一步提供自適性前饋控制(adaptive feedforward control)。

【圖式簡單說明】

【0012】以上所述從附圖中所示的示範性實施例的下面更詳細的描述中將更為明顯，在附圖中相同的元件標號標示在不同的圖式中相同的部件。圖式並不一定按比例繪製，而是重點部分會被置於例示的實施例中。

【0013】圖1A是本發明的實施例的剖面圖；

【0014】圖1B是本發明的另一實施例，其進一步包括一彈簧作為一被動力量產生器；

【0015】圖2例示本發明的一實施例中的閥時機(timing)；

【0016】圖3是圖1B的實施例的示意圖，其中一近端驅動室與一冷凍體積流體聯通；

【0017】圖4是本發明的另一實施例的示意圖，其中一近端驅動室被耦合至一排放裝置且不與一冷凍體積流體聯通；

【0018】圖5是本發明的另一實施例的示意圖，其中近端及遠端驅動室皆被閥門調控用以供應及排放；

【0019】圖6A例示被應用於本發明的PID控制器；

【0020】圖6B是本發明的一實施例中的電子控制器的

操作的流程圖；

【0021】圖7A例示在一亦可被實施在本發明的冷凍機中之傳統的GM循環冷凍機內排出器位置和閥排氣及進氣時機；

【0022】圖7B例示一亦可被實施在本發明的冷凍機中之傳統的GM冷凍機的PV圖；

【0023】圖8A-8F例示可被實施在該系統中之示範性排出器位置與閥時機曲線；

【0024】圖9是依據本發明的一替代的氣動驅動器的剖面圖；

【0025】圖10是依據本發明的另一替代的氣動驅動器的分解圖；

【0026】圖11A-C例示依據本發明而使用的一比例閥在關閉狀態、完全打開供應狀態、及完全打開回返狀態的例子；及

【0027】圖12例示一可被用來實施本發明的前饋式電子控制器的方塊圖。

【實施方式】

【0028】下面將描述示範性實施例。

【0029】主流的馬達驅動的吉福特-麥克馬宏(GM)低溫冷凍機目前的實施有以下的一些性能上的侷限：

1)該高扭矩馬達所產生的寄生磁場需要低溫冷凍機的電磁屏蔽來確保適當的應用性能；

2)使用在電動馬達內的磁性材料會扭曲一特定應用(如，MRI及NMR)所需要的主要磁場；

3)該排出器本體透過一蘇格蘭軛對該驅動馬達的直接耦合會造成對於該應用(如，MRI及NMR)嚴重的機械性振動傷害結果；

4)排出器與馬達的直接耦合會造成所不想要的聲音發生；

5)介於該排出器位置和氦氣(He)入口/排氣閥時機之間的直接接械式連妨礙該冷凍機能力及效率的最適化；

6)冷凍能力是不可調整的，用以只提供所需的冷動量，用以抵銷該系統上的熱負荷，藉以只消耗該特定應用所需的電能；

7)一GM冷凍機的傳統馬達驅動器的尺寸和重量讓現場更換很困難；

8)對於該特定的應用的有限的低溫冷凍機可調整性造成了指定應用的設計解決方案；

9)密封件和墊片的可觀的磨損限制了該低溫冷凍機的使用壽命。

【0030】取決於該GM低溫冷凍機所服務的特定應用(用於半導體工業、MRI/NMR等等的低溫泵)，上述的侷限性會變成對於消費者的應用而言是很嚴重的限制因子。

【0031】本文所提出的解決方案是想要降低或消除上文所述的限制。被揭露的實施例藉由用一配備有電子控制閥的主動控制式氣動驅動機來取代該電動機驅動器和蘇格

蘭軛機構藉此消除它們。被動地驅動的冷凍機提供振動減小、磁性材料減少、聲音減小、尺寸及重量減輕、更好的熱動力循環效率等好處以及有利於應用(譬如，MRI)的其它好處。

【0032】該被揭露的氣動式驅動設計在尺寸及重量這兩方面可以比典型的電流馬達驅動器小。該氣動力量可藉由將來自該壓縮機的氦冷凍氣體流的一部分轉向來提供。該氣體被用來填充一驅動體積內的一或多個室，在該驅動體積內發展出來的該合力(resulting force)被該氣動力及發展於包含一或多個膨脹室的該熱動力(thermodynamic, TD)冷凍體積內的摩擦的/分散的力抵銷掉，該排出器係往復運動於該等膨脹室內。該壓力/力平衡是被電動閥控制，在一些實施例中，該電動閥是符合成本效益的比例式短軸閥(proportional spool valve)，其調節氣體進入該驅動體積及TD膨脹體積的進氣口及排氣口。一位置感測器可被用來根據排出器位置(及當額外地使用壓力感器時的TD體積壓力)來偵測該排出器的位置，該驅動體積壓力被調整以造成該排出器受控制的運動。因為該排出器並不是被機械式地連接至該閥致動機構，所以與排出器的位置被機械地連接至閥時機的傳統GM冷凍機不同的是，本發明可控制該排出器在整個熱動力循環中移動的直線距離，這與控制氦氣流入及流出該TD體積的閥何時被作動無關。以此方式，該冷凍機的壓力-體積(PV)圖可變成是可高度調整的；該控制系統可調整該膨脹體積的大小、該膨脹體積的

大小的改變率、以及該體積依據被程式化的曲線被填充的壓力。

【0033】該裝置的實施例可包括一被作成適當大小的軸向機械彈簧或磁鐵，其係作為一被動力量產生器以協助該排出器之被該等驅動室內的壓力高低所決定的運動。該力量產生器可在無需複雜的控制演算法下確保該排出器位置的高度可控制性(這包括避免在該鋼筒的頂部及底部的碰撞)。該力量產生器可以是可調整的。例如，總彈簧長度/彈簧的負荷可以是可手動地或是用一馬達機構(如，具有螺桿驅動器的電動馬達)調整的。而且，一或多個電磁鐵可被使用。如果該彈簧/磁鐵是可調整的，則吾人可微調用以例如補償製造變異或將該被動力量產生器的好處最佳化。該調整可以是在該驅動器的操作之前或操作期間。例如，它們可在操作期間飛快地被調整。

【0034】圖1A顯示本發明的一實施例的詳細剖面圖。在此實施例中，該兩階段冷指件(two stage cold finger)100可以是傳統GM冷凍機的兩階段冷指件。雖然被顯示為兩階段冷指件，但本發明亦可適用於單一階段或三階段或更多階段的冷凍機。該GM冷凍機是被一將於下文中描述的氣動驅動器102所區別。

【0035】該兩階段冷指件包括一第一階段鋼筒101，其耦合至一縮小直徑的第二階段鋼筒103。該第一階段鋼筒101被一熱站106封閉，其亦圍繞該鋼筒的冷端。該第二階段鋼筒103被一圍繞該鋼筒的冷端的第二階段熱站108封

閉。該第一階段熱站可被冷卻至例如 55K-100K 的溫度範圍，而該站的第二階段可被冷卻至 4K-25K 的溫度範圍。一第一階段排出器活塞 105 在該第一階段鋼筒內往復運動且一第二階段排出器活塞 107 在該第二階段鋼筒內往復運動。每一活塞封圍一再生基質，氣體經由該再生基質從一端流到另一端。在冷凍模式的操作中，該氣體在其流向該冷端時被冷卻並且在它朝向暖端回流時冷卻該基質。該兩個活塞被一桿 109 和銷 111 耦合，用以一起往復運動。

【0036】在操作時，來自一壓縮機 114 的氮氣冷凍劑氣體被閥調控從一供應管線 112 經過一冷凍體積閥 113 流入到該第一階段鋼筒的一暖端體積 115。與傳統 GM 冷凍機不同的是，該閥 113 沒有被一驅動該等排出器活塞的旋轉馬達作動。雖然閥 113 可被排出器運動驅動，但較佳的是，一被電動地控制的閥將於下文中被詳細地描述。

【0037】高壓氮氣冷凍劑氣體被導入該冷凍機的 TD 體積的暖端 115。該等往復運動的排出器活塞被向上拉動以促進該工作氣體通過該等再生基質的運動並填充在該等鋼筒的下端的冷室。該氣體流經在該排出器活塞 105 的頂端的埠口 116 進入到該活塞的該再生基質室中。該氣體流經該再生基質且被冷卻。該被冷卻的氣體流入到介於該活塞的一端 119 和該熱站 106 之間的空間中。在此設計中，該氣體從該再生基質流經埠口 117 進入一介於該活塞和該鋼筒之間的環狀空間 (annulus) 並向下流到該活塞 119 底下的空間。該氣體然後流經一圍繞該桿 109 的環狀空間 121 進入

該第二階段活塞107內的該再生基質中。該氣體在它通過埠口123進入一在該活塞125的冷端上方的環狀空間之前在該第二階段再生基質內被冷卻。

【0038】接下來，經由該閥113被排放至連接到該壓縮機的該氮氣回返管線129的氣體造成該冷凍氣體在該第一及第二階段活塞的體積內膨脹。該膨脹造成熱站106及108的低溫冷卻。在排放期間，該等排出器活塞被回返至該冷凍機的冷端，用以將氣體向上移動通過該再生基質以冷卻該基質並在它離開該低溫冷凍機並回到該壓縮機之前從該工作流體汲取冷卻能力。該循環然後重新開始。

【0039】與傳統馬達驅動的GM冷凍機不同的是，驅動該等往復運式排出器活塞的桿127是被一在氣動體積133內往復運動的活塞131所驅動。該活塞將該體積133分隔成一遠端室135和一近端室136並往復運動以回應這兩個室之間的壓力差。或者，該活塞可延伸穿過該氣動體積的整個近端，只留下一遠端室。與傳統馬達驅動的GM冷凍機不同的是，跨該活塞131的壓力差是被一電子控制的閥137所控制。閥113和137這兩者是被回應該等驅動活塞和排出器的位置的該控制器139所控制。該位置感測器可以是一線性可變位移感測器(LVDT)141。該位移感測器141將一訊號 $x(t)$ 饋送至該控制器，其透過一將被描述的回饋控制，藉由訊號 $Y1(x(t))$ 來控制流經一閥137的時機和流動。閥113和137較佳地是比例閥，但亦可以是簡單的on/off方向閥，只要它們的作動速度可以對於流體流入及流出該TD

及驅動室的時機及流體流動提供足夠的控制性即可。比例閥可以允許與閥位置成比例之連續的可變流動程度，該閥的位置係與一電子輸入訊號 Y 成比例。在圖1的實施例中該近端室136的壓力跟隨該TD體積的暖端115的壓力。其它實施例將於下文中描述。

【0040】該位置感測器的另一實施例包括埋設在該活塞或該排出器本體內的合適位置處的永久磁鐵。在運動的同時，在一給定的位置的磁鐵所產生的磁通量線的不同的強度被放置在該低溫冷凍機鋼筒上的靜態的接收感測器線圈偵測到。一關聯等式然後被用來將該磁通量的強度與該活塞/排出器的實際位置關聯在一起。

【0041】一具有對於背景磁場的存在不敏感的優點的替代的位置感測器實施例係基於一埋設在該驅動室或該TD冷凍體積內的光學感測器的使用。其它位置感測器亦可被使用。

【0042】該控制器139可以是一比例-積分-微分控制器(PID controller)，這將於下文中作詳細的描述。該比例控制器能夠產生該位移訊號 $x(t)$ 和一被界定的位移曲線之間的誤差訊號並提供一回饋訊號 $Y1$ 以控制流經該比例閥137的氣體流。該氣體流施加壓力至該遠端室135內，其驅動該活塞131用以將該誤差最小化。該控制器亦控制進入該TD體積的氣體流以回應一被界定的壓力vs.位置曲線。該系統亦可被提供一壓力感測器143以提供壓力會饋至該控制器，用以允許透過壓力誤差來控制該閥113。

【0043】圖2例示一替代實施例，其與圖1實質相同但它額外地包括一被動力量產生器，其施加除了被施加在該活塞和該排出器組件上的既有力量之外的力量於該活塞上。在圖2中，該被動力量產生器是一彈簧145，其以在壓縮狀態的向上力量回應該活塞從靜置位置開始的向下運動且以一在擴張狀態的向下回應該活塞從靜置位置開始的向上運動。一替代的被動力量產生器是在該活塞和該鋼筒上彼此磁性相反的一或多個磁鐵。

【0044】該暖閥113，亦即，冷凍體積閥門，控制氮氣進入及離開該低溫冷凍機的第一及第二熱動力室的流動。經由該控制器，該暖閥可被作動以界定被作動以界定用於供應及排放之被選定的相對於排出器位置的閥打開及關閉曲線。該控制器能夠界定該排出器的循環的期間，在此期間內該閥被按比例地打開至該排放側(該低氮氣壓力側)、或該供應側(該高氮氣壓力側)，或者它被關閉而沒有流體流經該閥。圖2例示該暖閥相關於該排出器位置的典型的作動時機。該暖閥113可以是一個三向閥或一對雙向閥。較佳地，它們是比例閥或具有用於可變的流量控制之夠快的作動速度的開/關閥，但開/關方向性閥可被使用在該被提出的控制中。

【0045】該驅動閥137依據使用者所選擇的被界定的軌跡曲線來控制該排出器的位置。該驅動閥可以是一三向比例閥或一對雙向比例閥。具有夠快的作動速度的開/關閥亦可被使用。該控制器讓使用者能夠選擇排出器軌跡，

譬如正弦運動、梯形運動、三角形運動，或一般而言，可被作用在該排出器和活塞組件上的該力平衡支持的任何所想要的曲線。使用者輸入一運動曲線，其界定該排出器在該循環的任何時間點的所想要的位置。該位置感測器偵測該排出器的實際位置；該控制器將被偵測到的位置和在該時間點的所想要的位置相比較、計算位置誤差、然後送出指令給該驅動閥137以修正該誤差。

【0046】圖3-5是該氣動驅動器的替代實施例的示意圖，其中一被機械地連接至該排出器105，107的活塞131沿著軸向驅動方向移動於一氣動驅動體積133的上遠端室135和下近端室136之間。該兩個驅動室被該活塞和一在該活塞的外徑上的密封件301將它們彼此分開，用以將跨室的氦氣洩露減至最少。

【0047】在圖3中，與圖1B所示相反的是，該下驅動室136經由一在該桿127周圍的流體路徑而被直接連接至該低溫冷凍機TD冷凍體積。因此，該下驅動室被開放至該TD冷凍體積。

【0048】此構造係基於採用單一電子短軸閥137，其控制上驅動室壓力水準。在此構造中，該下驅動室的加壓被耦合至該TD冷凍體積的即時壓力，且因此之故，此驅動構造不允許該活塞/排出器位置在該熱動力循環的所有階段的完整控制。詳言之，此構造不允許該低溫冷凍機如圖4及5所示的設計藉由修改介於該排出器位置和進入該TD冷凍體積的入口/排氣口氦氣流之間的時機而作為“熱

引擎”的操作。因此之故，實體加熱器將會被用來加速該低溫冷凍機暖化(warm-up)速率或適當地控制該第一及第二階段溫度值及/或冷去能力。在此實施例中，該彈簧係作為“回返”彈簧，其:a)在低溫冷凍機靜止條件時將該活塞保持在位於該驅動器的上側(在最小遠端驅動室體積條件)及b)在該活塞上產生朝向該驅動器的上側的回返力，其與該彈簧的軸向壓縮成線性正比。

【0049】圖4是圖1B的示意實施例。在圖4中，該下驅動室136與該TD冷凍體積的暖端115被一位在該活塞軸127附近的軸襯及一密封件401分隔開，該活塞軸127將該活塞連接至該排出器。重要的是，該加壓氦氣進出該遠端驅動室135的流動被單一電子短軸閥根據一顯示即時的排出器位置的回饋(以及一根據在該TD室內的壓力水準的可能的額外回饋)控制。相反地，該近端驅動室136的壓力被一介於該驅動室136和該壓縮機回返壓力側之間的一開放的氦氣路徑403固定地保持在該壓縮機低壓側水準。此構造的特徵亦在於採用一“回返”彈簧。

【0050】圖5顯示一類似於描述於圖4中的構造的實施例，除了該近端驅動室136並沒有連接至該氦氣壓縮機回返側或該低溫冷凍機TD冷凍體積。在此構造中，一被設置在該活塞軸上的軸襯/密封構件401將該近端驅動室136與TD冷凍體積115隔絕，且兩個分離的電子閥用作為氣動的驅動單元:一個閥137專屬於控制流到該遠端驅動室135的氦氣流動及一第二閥501專屬於控制流到該近端驅動室

136的流動。此解決方式確保了該活塞位置的最佳可控制性。最後，此構造係基於使用了一彈簧，其係藉由a)在低溫冷凍機靜置條件期間將該活塞保持被設置在該驅動室鋼筒的中心(衝程的中間點)，及b)產生一和該彈簧的伸長量或壓縮量成線性正比的力量(其在操作條件下作用，朝向將該活塞帶回到該中心位置)而作為一“定心”彈簧。

【0051】該等彈簧提供更穩定、可預測及可控制的操作，因為在該氣動驅動體積內的氣體壓力抵抗不取決於溫度的該彈簧的靜力。當與沒有彈簧及在該活塞的上方及下方沒有受控制的氣體壓力這兩者(其會造成該等閥回應該成比例的控制回饋時的震盪，這將於下文中被討論)相比較時，該更穩定的操作降低了驅動該系統所需的氣體量。與沒有彈簧相反地，該彈簧可顯著地降低該氣動驅動機構所需的能量要求。讓高壓氣體被閥調控用以只流至該活塞的一側亦顯著地降低能量消耗，這與圖5所示之讓高壓氣體被閥調控流至該活塞的每一側是相反的。因此，具有彈簧且讓高壓氣體只被施加至該遠端驅動室可造成功率消耗降低，否則這將造成對兩個室有高壓控制而沒有彈簧。

【0052】該彈簧的目的是要：

1)為該活塞和排出器組件保持一固定的參考靜置位置。

2)為該活塞和排出器力平衡等式導入一偏動構件，其改善該排出器的位置可控制性以及可隨著時間被該上驅動室及該冷凍體積的不同的壓力水準及壓力變動執行之可控

制的運動曲線的範圍。儘管該上驅動室的壓力曲線被該驅動閥門調節，而該冷凍體積的壓力則是被該冷凍體積閥門的獨立作動調節，但狀況仍會在該活塞和該排出器上的力平衡不允許一沒有彈簧的適當的排出器的位置控制時發生。例如，在沒有該彈簧時，當該冷凍體積被保持在低壓水準(如，抽泵壓力水準)時，該活塞和該排出器不能被朝向該遠端驅動室移動(即，在參考圖3，4及5時是向上的運動方向)。

3)藉由在一降低的閥作動速率下使用單一驅動閥(如，圖3及4)或使用兩個驅動閥(如，圖5)來降低作用該氣動驅動所需的流體消耗。

【0053】該彈簧可被設置在該等驅動室的任何一者的內部或該等驅動室的外部，但仍被連接至該活塞及排出器組件(如，圖10)。

【0054】該彈簧可包含一單一彈簧元件或者多於一個之被並聯地設置的彈簧元件(如，圖10)，用以降低該驅動系統的整體尺寸體積或改善該活塞和該排出器組件之間以及該等冷凍室與驅動室之間的對準。

【0055】在所有構造中，該等驅動室的尺寸(高度和直徑)以及該等彈簧的剛性係根據力平衡計算而被最佳化，用以確保該排出器位置可控制性和該驅動氮氣消耗之間的最佳平衡。

【0056】所有上面的構造可包括彈性體的緩衝器，用以緩衝任何會發生在該活塞/排出器組件之間以及該驅動

室/低溫冷凍鋼筒組件之間的碰撞，但描述於下文中的比例控制應會讓該等緩衝器變成不必要。

【0057】所有描述於上文中的構造依賴使用電控制的閥門調控：一或兩個閥來控制流入及流出該氣動驅動室的氮氣流動及一額外的閥，其調節流入該TD冷凍體積的氮氣流動。該等驅動閥可以是比例電動短軸閥，用以確保該驅動室內部壓力水準精確的比例控制或者亦可以是開/關閥，只要該等開/關閥的作動頻率夠高以確保適當的可控制性。另一方面，服務該TD冷凍體積的該等電動閥可以是比例短軸閥或開/關螺線管閥。

【0058】該氣動驅動的控制演算法被設計來根據一或多個主動回饋訊號(該排出器/活塞位置訊號及可能的位置與壓力訊號的組合)來控制該等低溫冷凍電子閥。

【0059】圖6A顯示一應用到上文所述的實施例的PID控制器的概要圖。該排出器的一所想要的時間位移曲線以 $r(t)$ 的形式被儲存在該控制器中。在被界定在該曲線內的位移和被測得的位移 $x(t)$ 之間的差異在加法器601處被決定，用以產生該誤差訊號 $e(t)$ 。該誤差訊號可被使用於P(比例)、I(積分)、及D(微分)演算法605，607及609的每一者。衍生的輸出可被通過一低通濾波器611以降低雜訊。這些演算法的輸出在603處被加總以決定施加至閥137的控制訊號Y1，用以控制該排出器的運動。已被決定的是，適當的反應是藉由只依賴該控制器的比例控制元件605、將 K_i 及 K_d 設為零來獲得。然而，該I及D演算法607及

609亦可被包括。

【0060】圖6B例示一控制器流程圖，其顯示該控制器的整個操作以提供在氣動驅動及TD壓力控制中的訊號Y1及Y2。在615，使用者將所想要的排出器運動 $r(t)$ 程式化成該控制器記憶體內的一個表。例如，一正弦、梯形或其它曲線可被程式化。使用者亦將該所想要的暖閥作動表曲線程式化，具體地為閥打開程度 vs. 排出器位置及運動方向。在617，使用者選擇在循環中每分鐘的所想要的排出器速度及衝程長度。在619，使用者啟動該低溫冷凍機控制器139。在621，該控制器藉由將連接至氮氣回返管線的閥V1完全打開將時間 $t=0$ 時被放置在最上面的衝程位置的該排出器初始化，使得該彈簧迫使該活塞及該排出器向上。在623，該控制器今高壓氮氣從該供應管線經由閥V1引入，用以開始該排出器的向下運動。如果該低溫冷凍機在625被決定不運作的話，則在627藉由將閥V1開放至排出壓力及操作末端而使得排出器被回返至該原始的最上面的位置。

【0061】隨著一運作中的低溫冷凍機，該系統透過四個步驟629，631，633及635產生該控制訊號Y1，該等步驟對應到圖6A的PID控制器操作。同時地，用來驅動該暖閥V2的訊號Y2在637被產生。在該PID控制器中，在629，該位置 $x(t)$ 從該位置感測器141被接收到。該控制器139在631計算相關於該被程式化的所想要的排出器位置 $r(t)$ 的位置誤差 $e(t)$ 。根據該位置誤差，該控制器使用605，607及609

的被程式化的PID控制計畫在633產生一即時輸入Y1以驅動該閥V1。該驅動閥V1在635接受來自該控制器的該輸入指令Y1，用以將該排出器在整個衝程中的即時位置誤差最小化。

【0062】雖然該PID控制器亦可被用來用訊號Y2控制閥V2，但此精準的控制尚未被認為是必要的。相反地，該控制器139根據該即時排出器位置 $x(t)$ 、運動方向及該程式化的暖閥作動表來啟動該暖閥V2。即使該控制不是成比例的，較佳的是，該閥V2是一比例閥，用以允許流入該TD體積的該暖端的氣體流動有連續的可變的控制，用以例如逐漸地打開該閥V2。或者，一簡單的開/關方向閥可被使用，以只允許一矩形的閥控制曲線，或如果作動的頻率夠高的話，則能夠透過開/關調制(modulation)來逐漸地打開該閥。

【0063】雖然比例閥的比例控制已被描述，但該比例控制可用一能夠高頻率地(至少 $1/20$ 毫秒=5Hz)操作的開/關閥來獲得。在此例子中，該閥可用該氣體流動被調制成在排出器/活塞衝程期間(其對應於將一比例閥打開至所想要的程度)依循一分段式(piece-wise)連續曲線所需的頻率和周期來打開及關閉。

【0064】可看出來的是，關於該控制器和關於該閥，“比例”一詞係以不同的意義被使用。在控制的情形中，一驅動訊號可單純地藉由依循被程式化至該控制器中(例如，一前饋系統中)的曲線而被獲得，如Y2的例子。然

而，更精確的比例控制係透過一PID控制器提供的該回饋而被獲得，如訊號Y1的比例控制。該閥本身是一比例閥(該詞包括伺服閥)，如果它允許一連續的可變流動或壓力控制以回應該可變的電子輸入訊號。然而，即使閥本身不是比例閥，亦即一只是開/關方向閥的閥亦可用高頻率操作來提供一比例控制以回應該PID控制器的比例控制。

【0065】該閥控制器139可以是一整體低溫冷凍機控制器的一個元件，或者它可回應一整體控制器，用以使用多個壓力及排出器運動曲線，這取決於接收自該主要低溫冷凍機控制器的輸入參數。該驅動控制器可適應該排出器運動及流入及流出該低溫冷凍機的氦氣流量，這取決於從該主要控制器饋送給它的即時系統輸入。

【0066】圖7A及7B例示一發動機驅動的GM循環冷凍機的典型操作。如圖7A所示，該排出器被一正弦運動701的旋轉馬達驅動。該供應閥例如在時間703期間打開且在時間705期間關閉。在時間707兩個閥關閉的一短暫的停駐之後，該排放閥在時間709期間打開且在時間711期間關閉。該冷凍循環然後再此開始。該結果壓力體積圖表可見於圖7B中，其顯示在該冷指內的第一階段冷端、第二階段冷端及暖端位置。體現該被揭露的氣動驅動及控制的該低溫幫浦可藉由界定用於該冷凍體積暖閥113的控制的703，705，709及711的曲線以及藉由界定該排出器位置曲線701來提供相同的操作。然而，該被揭露的系統提供更大的使用彈性。例如，圖8A至8F分別顯示不同的位移及冷凍體

積暖閥曲線 801 及 803。在圖 8A-8D 的每一圖中，該被使用的特定的冷凍體積閥在 5 伏被關閉，使得氣體在低於 5 伏的電壓被供應至該 TD 膨脹體積的暖端且在高於 5 伏的電壓從該 TD 體積的暖端被排放。其它比例閥會要求不同的作動指令。圖 8C 及 8F 得到該冷凍機的相反的加熱操作。

【0067】圖 9 例示一替代的氣動驅動，其中該預加載的彈簧 901 被安裝在該氣動驅動室 903 的外面。該彈簧 901 被設置在該驅動室 903 的頂端和—在該驅動軸 909 (其將該活塞 905 耦合至該低溫冷凍機的排出活塞) 的末端的圓盤 907 之間。在靜置時，該彈簧迫使該活塞朝向該氣動驅動體積的遠端。如圖 9 所示，該彈簧因為在該上驅動室內的高壓而處在壓縮狀態。一銷 911 從該圓盤 907 延伸至該位置感測器 913 內。閥 915 控制來自該 TD 體積的該暖端的供應及回返及一閥 917 控制送至該驅動體積的遠端室的供應及回返。該驅動體積的該近端室可被耦合至該回返管線，如圖 4 的實施例。整個氣動驅動組件被封圍在圓頂 919 的一密封的室內，其確保可能漏出該等閥的工作流體仍留在一封閉的加壓迴圈內，而不會散到大氣中。使用不透氬氣的閥會讓該密封的室的存在變成是不必要的。

【0068】圖 10 例示圖 9 的氣動驅動的另一實施例，其中該回返彈簧被設置在該氣動驅動體積的外面。然而，圖 9 的單一彈簧元件被兩個彈簧元件 1001 及 1003 取代，以降低該組件的高度。該等彈簧被設置在一包圍該驅動體積及該等閥的殼體 1006 的頂板 1005 和耦合至該桿 1009 和氣動驅

動活塞1011的該保持臂1007之間。一被顯示在該模組底下的另一桿1013耦合至該氣動體積1015內的該活塞1011。該殼體1006亦保持用於供應及回返至該TD體積的該閥1017及連接至該氣動驅動體積的閥1019，其係以分解圖被示出。該被示出之特殊的比例閥1019是一短軸閥(spool valve)，其將於下文中被描述。該短軸閥包括一介於端軸環1023及1025之間的中央軸環1021，用以在一閥圓筒內(其未示於圖10中)界定出各別的環狀空間1027及1029。該短軸(spool)被包括彈簧1031及另一彈簧在內的彈簧定心在一控制馬達1033內。該馬達比例地驅動該短軸以回應一閥控制訊號，這將於下文中更詳細地說明。

【0069】圖11A、B及C例示比例閥V1或V2的操作。如圖11A所示，該短軸包含在一中心桿1027上的三個軸環1021，1023及1025。在圖11A中，該短軸被流體壓力平衡和相反的彈簧1031，1101(每一彈簧有一端被固定至該閥殼體1103)保持在中立位置。該短軸的軸向位置係藉由一活動線圈1105的電壓控制而被保持在一固定至該殼體1103的定子磁鐵1107內。在被示出的該閥設計中，圖11A的中立位置係藉由以5伏輸入至線圈1105而被保持，該軸環1021阻擋任何氣體流至該冷凍機埠1109或來自該冷凍機埠的任何流體。高壓氣體從該供應管線112被供應至體積1029且體積1027被保持在回返管線129的低壓。為了供應高壓氣體至該冷凍機，一大於5伏的電壓被供應至該線圈1105，用以造成該短軸向左移動、壓擠彈簧1031並拉伸彈

簧 1101。圖 11B 顯示在具有最大的 10 伏被施加電壓的最左邊處的短軸，其將連接至位在 1102 的供應管線的該冷凍機埠 1109 完全地打開。然而，當被施加的電壓是介於 5 伏至 10 伏之間的任何電壓值時，該短軸 1021 將只部分地打開連接至該高壓體積的該埠口 1109，藉以與被施加的電壓成比例地控制流經該冷凍機埠 1109 的流量及在該冷凍機內的壓力。在圖 1 的驅動閥 137 的例子中，在該上驅動室 135 內的壓力將與被施加的電壓成比例地被控制。在暖閥 113 的例子中，流入該 TD 體積內的流量將相對於該被施加的電壓被成比例地控制。

【0070】圖 11C 顯示該短軸在 0 伏電壓被施加下被移動到最右邊的位置。在此狀態中，連接至該冷凍機的埠口 1109 將對該低壓體積 1027 完全打開，用以在該驅動閥 137 的例子中從該驅動體積、或在該暖閥 113 的例子中從該 TD 體積將氣體從該冷凍機排放出去。在此地，該短軸的位置相對於 0 至 5 伏之間被施加的電壓被成比例地控制，用以控制來自該冷凍機埠 1109 的流量以及該冷凍機內的壓力。

【0071】根據基於一簡單的 PID 控制迴圈及活塞位置回饋訊號所實施的驅動架構的工廠模擬及實驗結果顯示該控制解決方案對於確保高度的活塞可控制性(位置誤差小於完整衝程長度的 5%)而言是適當的。採用更複雜的控制演算閥(如，前饋控制規畫)或額外的感測器(如，壓力感測器)可為了進一步最佳化該 TD 循環以及將位置誤差最小化的目的而被實施。

【0072】因為回饋控制系統永遠補償一誤差狀態，所以該受控制的系統並沒有被保持在穩態的狀態，而是典型地在一特定的設定點附近振盪。該誤差訊號及振盪係藉由使用該彈簧來減小。有或沒有彈簧，在該最佳設定點狀態附近會有一誤差帶，在該誤差帶內，該控制器不會對輸入訊號作出回應，用以防止該控制器將該系統驅動進入一所不想要的振盪狀態或一些其它負面的行為中。在一受氣動控制的GM冷凍機的例子中，有關於該排出器移動太遠的很小的誤差空間。如果該排出器償試要移動的太遠的話，則它將會撞到該冷凍機鋼筒的頂部或底部。因此，任何回饋系統必須將該控制系統會有的該誤差大小列入考量，並將該排出器的所想要的停止位置設定成比該鋼筒的頂部或底部稍微短一些，使得如果該排出器的超過程度(overshoots)在該誤差量內的話，該排出器仍不會實體地撞到該鋼筒的頂部或底部。然而，未利用可用於該排出器的全部衝程會減損該低溫冷凍機的整體熱動力效率，因而是所不想要的。一替代的控制器使用自適性前饋控制概念來將可允許的排出器衝程最大化，因而將該低溫冷凍機的冷凍效率最大化。

【0073】為了讓前饋演算法能夠成功地控制任何系統，該系統對於輸入變數改變的反應必須被知道。這和對系統的行為作出反應且改變輸入變數以回應誤差狀況的回饋式控制系統是明顯不同。該前饋控制系統監視該系統且根據知曉即時系統參數來對輸入變數作調整以達成一所想

要的預測性的系統狀態。該控制系統可監視重要的系統參數(譬如，溫度、排出器位置、排出器速度、排出器加速度、氮氣壓力等等)並根據這些參數來調整可控制的輸入參數用以達成從該最佳的軌跡中勾畫出具有該排出器運動曲線之所想要的系統狀況。此概念於實際應用中能發揮作用所需要的是該系統的反應是可預期的。實際上，這表示該控制系統應能夠學習該系統的輸出反應，用以在輸入變數改變時隨之改變。這是必要的，因為隨著時間過去，該系統的反應將改變，因此需要一自適性前饋演算法。在一自適性前饋演算法中，該控制器學習該系統對於輸入變數的改變的反應，並因為緩慢改變的反應功能而有效地“校定出”效果。一結合式前饋和反饋控制器可在運算複雜性的代價下提供這兩種類型控制系統的好處。然而，現今的低成本處理可輕易地應付實施一結合式控制器系統所需要的運算負荷。

【0074】一前饋演算法的示意代表圖被示於圖12中。

【0075】在此實施例中，該冷凍體積閥113，其在此被標示為循環閥113，是被該控制器139以一簡單的前饋演算法所控制。該控制器控制該閥113以獲得一質量流“m點”其控制該冷凍體積壓力1203，其在此處被標示為循環室壓力。在此前饋控制中，該控制器139依賴該活塞和該排出器在時間 $t+1$ 被偵測到的位置141，用以預期在時間 t 之被需要的“m點”數值。

【0076】一自適性前饋控制被用來控制該驅動閥

137，其在此被標示為驅動室壓力1207。該循環室壓力和驅動室壓力一起控制該活塞和該排出器組件的加速度1209。為了自適性前饋控制，該控制器回應該位置感測器141。它亦將回應在之前完成的循環迴圈期間發生之被計算出來的位置誤差及該被感測到的壓力143。或者，該壓力可根據該活塞和該排出器組件之只使用一個位置感測器計算出來的即時加速度被計算出來。被感測到的壓力可以只是該循環室壓力或者是該循環室壓力和該驅動室壓力兩者。

【0077】在圖12中，無人簡化一前饋演算法的架構，其使用在時間 t 的即時循環(冷凍)室壓力的資訊來決定該活塞和該排出器組件在時間 $t+1$ 所需要的加速度及位置。根據在時間 t 的該循環室壓力，該控制器139計算在時間 $t+1$ 時所需要的活塞和排出器組件的加速度和位置並送出一相應的輸入指令至該伺服閥137。該伺服閥藉由調整流至該驅動室的流量來回應，用以及時地產生在時間 $t+1$ 建立所想要的活塞及排出器組件的加速度所需的流體壓力水準。

【0078】為了控制該循環閥113，該控制器讀取使用者所提供的輸入表，使用者為能夠依據特定的冷凍機和使用需求來修改該表的人。該輸入表包含將該活塞及排出器組件的位置和運動方向與該循環閥的打開程度(即，進入該循環室的流體質量流)關聯在一起的資訊。在此例子中，該控制器的動作是讀取該活塞及排出器組件的即時位置、藉由比較目前的位置和之前的時間步驟期間(如， $t-$

1，t-2，t-3)的位置來計算該排出器組件的運動方向、讀取在該輸入表中的循環閥狀態、及送出相應的指令至該循環閥。

【0079】除了提供一動驅動的冷凍機的前饋控制訊號之外，吾人還包括了和回饋控制穩定性及前饋控制穩定性這兩者(它們是冷凍機損耗及一般健康的指標)有關的診斷。

【0080】如之前提到的，傳統的GM冷凍機使用馬達驅動的蘇格蘭軛機構來驅動該冷凍機的排出器。該氣動地驅動的冷凍機消除了該蘇格蘭軛機構，且與該閥驅動機構的直接連接提供了本文前述部分所描述的優點。氣動驅動和電動閥的結合讓下面無法被任何現有傳統GM冷凍機達成的特徵變成可達成：

【0081】1)能夠電子地圖映(map)該排出器的衝程長度的能力。

【0082】2)能夠控制該冷凍機的TD室內的壓力水準的能力。詳言之，藉由適時地控制流經該TD室的氮氣量來降低該TD循環經歷的壓力變動。

【0083】3)能夠藉由將被選取的運動空間-時間軌跡(正弦、半正弦、梯形等等)來圖映該排出器的運動的能力。這包括了施加非對稱的運動曲線的可能性，為了將該循環的TD效率最佳化而改變在該排出器軌跡的不同點的速度是這些非對稱運動曲線的特點。

【0084】4)電子地圖映該排出器的位置與流經該冷凍

機的氦氣流動之間的時機，用以將該循環的TD效率(即，可獲得的冷卻能力 vs. 總氦氣消耗量)最佳化且亦將該冷凍機如同一熱引擎般操作(即，產生而不是冷卻)。某些目前市面上可獲得的GM冷凍機已經可如同熱引擎般地操作；但是，此實施例不同的地方在於此設計不會將上述的時機侷限在有限數量的時機(通常是兩個)，而是可電子地將該系統圖映至任一任意的時機數值。

【0085】5)以一種在保持固定的冷凍機速度(每分鐘的循環數)以及該排出器的軌跡的同時修改低溫冷凍機的冷卻能力以及效率的方式來電子地圖映該低溫冷凍機的能力。此特徵被預期是與MRI及NMR應用有關，在這些應用中對於在固定的速度及軌跡下保持該冷凍機操作的同時還能改變該低溫冷凍機的冷卻能力存在著需求。此設計可在無需增加該接受系統內的額外硬體構件或犧牲該系統能源效率下實現此用途。

【0086】6)使用機械式彈簧或磁鐵改善該氣動驅動的排出器軌跡的可控制性。

【0087】7)該系統可被一成熟的前饋控制演算法擴大，其允許力的動態平衡、在確保最大能源效率的同時防止該排出器撞擊該鋼筒的頂部或底部、及額外地允許該排出器的衝程長度被調整以允許冷凍能力的最佳化並將該能力與應用需求(即，熱負荷)相匹配。

【0088】8)對控制演算法的適當調整以及構成部件的謹慎明智的選擇允許該系統克服在發明背景中所描述的所

有問題。

【0089】本申請案的電子控制器可以只是硬體，但其通常被實施成一包含數據處理器和相關聯的記憶體且可包括輸入輸出裝置的硬體系統中的軟體。該處理器常程式(routines)和數據可被儲存在一非暫態的電腦可讀取的媒介上成為一電腦程式產品。該控制器亦可以例如是一獨立的電腦、裝置的網絡、一行動裝置或它們的組合。

【0090】本文中提到的所有專利、公開的申請案及參考文獻的內容係藉由參照而被併於本文中。

【0091】雖然示範性實施例已被特別地描述及顯示，但熟習此技藝者將理解的是，在形式或細節上的各種改變可在不偏離被申請專利範圍所涵蓋的實施例的範圍下被達成。

【符號說明】

【0092】

100：兩階段冷指件

101：第一階段鋼筒

102：氣動驅動器

103：第二階段鋼筒

105：第一階段排出器活塞（排出器）（往復式排出器）

106：熱站

107：第二階段排出器活塞（排出器）（往復式排出器）

109：桿

- 111：銷
- 112：供應管線
- 113：冷凍體積閥（閥）（暖閥）（冷凍體積閥門）（冷凍體積暖閥）（循環閥）
- 115：暖端體積（暖端）
- 116：埠口
- 117：埠口
- 119：活塞
- 121：環狀空間
- 123：埠口
- 125：活塞
- 129：氮氣回返管線
- 108：熱站
- 127：桿(活塞軸)
- 131：活塞
- 133：氣動體積（體積）（氣動驅動體積）
- 135：遠端室（上遠端室）（上驅動室）（遠端驅動室）
- 136：近端室（下近端室）（下驅動室）（近端驅動室）
- 137：電子控制的閥（閥）（比例閥）（驅動閥）（電子短軸閥）
- 141：位移感測器（位置感測器）
- 139：控制器
- 143：壓力感測器
- 145：彈簧(被動力量產生器)

301：密封件

401：密封元件（密封構件）（密封件）

403：氮氣路徑

501：第二閥

601：加法器

605：P(比例)演算法

607：I(積分)演算法

609：D(微分)演算法

611：低通濾波器

Y1：控制訊號

V1：驅動閥

Y2：訊號

V2：暖閥

901：彈簧

903：氣動驅動室

905：活塞

907：圓盤

909：驅動軸

911：銷

913：位置感測器

917：閥

919：圓頂

1001：彈簧元件

1003：彈簧元件

- 1005：頂板
- 1006：殼體
- 1007：保持臂
- 1009：桿
- 1011：氣動驅動活塞
- 1013：另一桿
- 1015：氣動體積
- 1017：閥
- 1019：比例閥
- 1021：中央軸環
- 1023：端軸環
- 1025：端軸環
- 1027：環狀空間（中心桿）（體積）（低壓體積）
- 1029：環狀空間
- 1031：彈簧
- 1033：控制馬達
- 1101：彈簧
- 1103：閥殼體
- 1105：活動線圈
- 1107：定子磁鐵
- 1109：冷凍機埠（埠口）
- 1102：供應管線
- 1207：驅動室壓力
- 1209：活塞及排出器組件的加速度

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種低溫冷凍機，包含：

- 一冷凍體積，其具有暖端及冷端；
- 一在該冷凍體積內的往復式排出器活塞；
- 一在該冷凍體積的該暖端的氣動驅動體積；
- 一在該氣動驅動體積內的驅動活塞，其被耦合至該排出器；

冷凍體積閥，其控制加壓冷凍氣體流至及流出該冷凍體積的該暖端的循環供應及排放；

驅動閥，其提供驅動流體流至及流出該氣動驅動體積的供應及排放，用以施加驅動力至該驅動活塞；及

一控制器，其用一驅動控制訊號來控制該驅動閥，該驅動控制訊號變更該驅動活塞的整個衝程 (through stroke)，用以造成該驅動活塞遵循該驅動活塞的整個衝程的一程式化位移曲線；及

更包含一被動力量產生器，其施加該驅動流體所施加的該驅動力以外的力至該驅動活塞，其中該被動力量產生器是一彈簧，該彈簧係設置定位在該驅動體積外部並經由一軸而耦接至該驅動活塞。

【第2項】

如申請專利範圍第1項之低溫冷凍機，其更包含一位移感測器，其回應該驅動活塞或該排出器的移動以提供一位移訊號，該控制器將該位移訊號和該驅動活塞的整個衝

程的該程式化的位移曲線之間的誤差最小化。

【第3項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其中該驅動閥是比例驅動閥，其按來自該控制器的電子驅動控制訊號成比例地提供驅動流體的連續可變的供應及排放。

【第4項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其中該控制器以足夠的速率打開及關閉連接至個別的供應及排放管線的該驅動閥，用以提供該氣動驅動體積內的供應及排放壓力之間可變的壓力控制。

【第5項】

如申請專利範圍第1項之低溫冷凍機，其中該彈簧包含多個彈簧元件。

【第6項】

如申請專利範圍第1項之低溫冷凍機，其中該被動力量產生器包含磁鐵。

【第7項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其中該驅動活塞可將該氣動驅動體積分隔成一鄰近該排出器的近端驅動室和一遠離該排出器的遠端驅動室，且該驅動閥供應驅動流體至該遠端驅動室以及將驅動流體從該遠端驅動室排出。

【第8項】

如申請專利範圍第7項之低溫冷凍機，其中該驅動閥

進一步供應驅動流體至該近端驅動室及將驅動流體從該近端驅動室排出，且該近端驅動室沒有與該冷凍體積的該暖端聯通。

【第9項】

如申請專利範圍第7項之低溫冷凍機，其中該近端驅動室被直接耦合至一驅動流體排放裝置但沒有被連接至該冷凍體積。

【第10項】

如申請專利範圍第7項之低溫冷凍機，其中該近端驅動室與該冷凍體積的該暖端流體聯通。

【第11項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其中該冷凍體積閥包含比例閥，其與一電子冷凍劑控制訊號成比例地提供對該冷凍體積的連續可變的冷凍劑氣體供應以及排放。

【第12項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其中該驅動流體從冷凍劑供應及回返管線被閥調控。

【第13項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其中該控制器進一步提供自適性前饋控制。

【第14項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其中該控制器提供回饋控制。

【第15項】

如申請專利範圍第1或2項之低溫冷凍機，其更包含一被密封的室，其將該冷凍體積閥和該驅動閥圍起來。

【第16項】

一種低溫冷凍的方法，包含：

提供一在冷凍體積內的往復式排出器活塞，該冷凍體積耦合至一在氣動驅動體積內的往復式驅動活塞；

將加壓的氣體冷凍劑供應至該冷凍體積的暖端及將該加壓的氣體冷凍劑從該冷凍體積的該暖端排出；

用一控制器來控制驅動閥以提供驅動流體至該氣動驅動體積及從該氣動驅動體積排出該驅動流體，用以施加驅動力至該驅動活塞，該控制器將一變更該驅動活塞的整個衝程的電子驅動控制訊號提供至該驅動閥以造成該驅動活塞遵循該驅動活塞的整個衝程的一程式化位移曲線；

更包含施加該驅動流體所施加的驅動力以外的被動力至該驅動活塞，其中該被動力是由一彈簧施加；

其中該彈簧係設置定位在該驅動體積外部並經由一軸而耦接至該驅動活塞。

【第17項】

如申請專利範圍第16項之方法，其更包含感測該驅動活塞或該排出器的位置以提供一位移訊號，該控制器將該位移訊號和該驅動活塞的整個衝程的該程式化的位移曲線之間的誤差最小化。

【第18項】

如申請專利範圍第16或17項之方法，其中該驅動閥是比例驅動閥，其按來自該控制器的電子驅動控制訊號成比例地提供驅動流體的連續可變的供應及排放。

【第19項】

如申請專利範圍第16或17項之方法，其中該控制器以足夠的速率打開及關閉連接至個別的供應及排放管線的該驅動閥，用以提供該氣動驅動體積內的供應及排放壓力之間可變的壓力控制。

【第20項】

如申請專利範圍第16項之方法，其中該彈簧包含多個彈簧元件。

【第21項】

如申請專利範圍第16項之方法，其中該被動力是由磁鐵施加。

【第22項】

如申請專利範圍第16或17之方法，其中該驅動活塞可將該氣動驅動體積分隔成一鄰近該排出器的近端驅動室和一遠離該排出器的遠端驅動室，且該驅動閥供應驅動流體至該氣動驅動體積的該遠端驅動室以及將驅動流體從該氣動驅動體積的該遠端驅動室排出。

【第23項】

如申請專利範圍第22項之方法，其中該驅動閥進一步供應驅動流體至一近端驅動室及將驅動流體從該近端驅動室排出，且該近端驅動室沒有與該冷凍體積的該暖端聯

通。

【第24項】

如申請專利範圍第22項之方法，其中該近端驅動室被直接耦合至一驅動流體排放裝置但沒有被連接至該冷凍體積。

【第25項】

如申請專利範圍第22項之方法，其中該近端驅動室與該冷凍體積的該暖端流體聯通。

【第26項】

如申請專利範圍第16或17之方法，其中加壓的氣體冷凍劑係經由比例閥被供應及被排出，該比例閥係按一電子冷凍劑控制訊號成比例地提供連續可變的冷凍劑氣體供應及排放至該冷凍體積。

【第27項】

如申請專利範圍第16或17之方法，其中該驅動流體係從該冷凍劑供應及回返線路被閥調節。

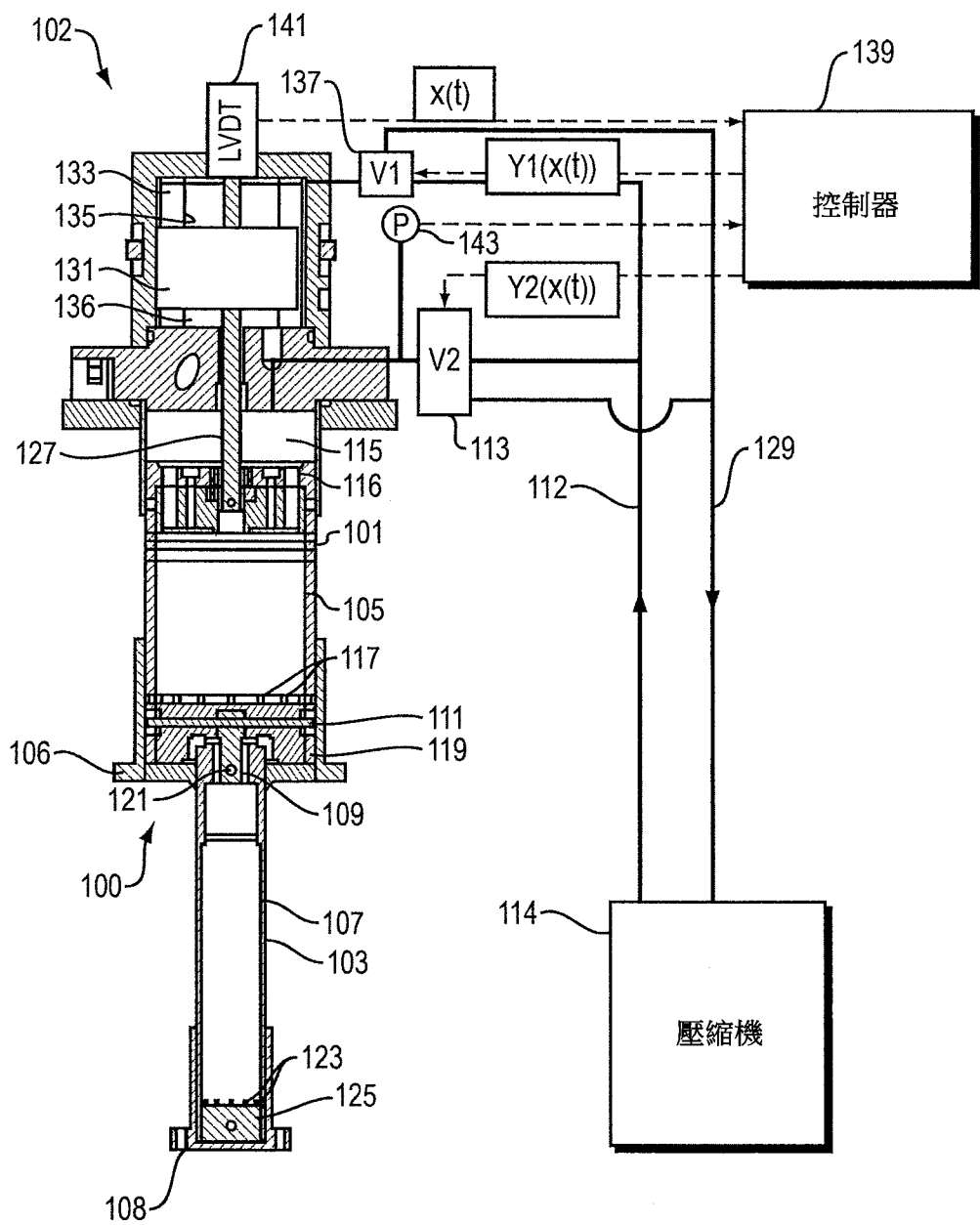
【第28項】

如申請專利範圍第16或17之方法，其中該控制器進一步提供自適性前饋控制。

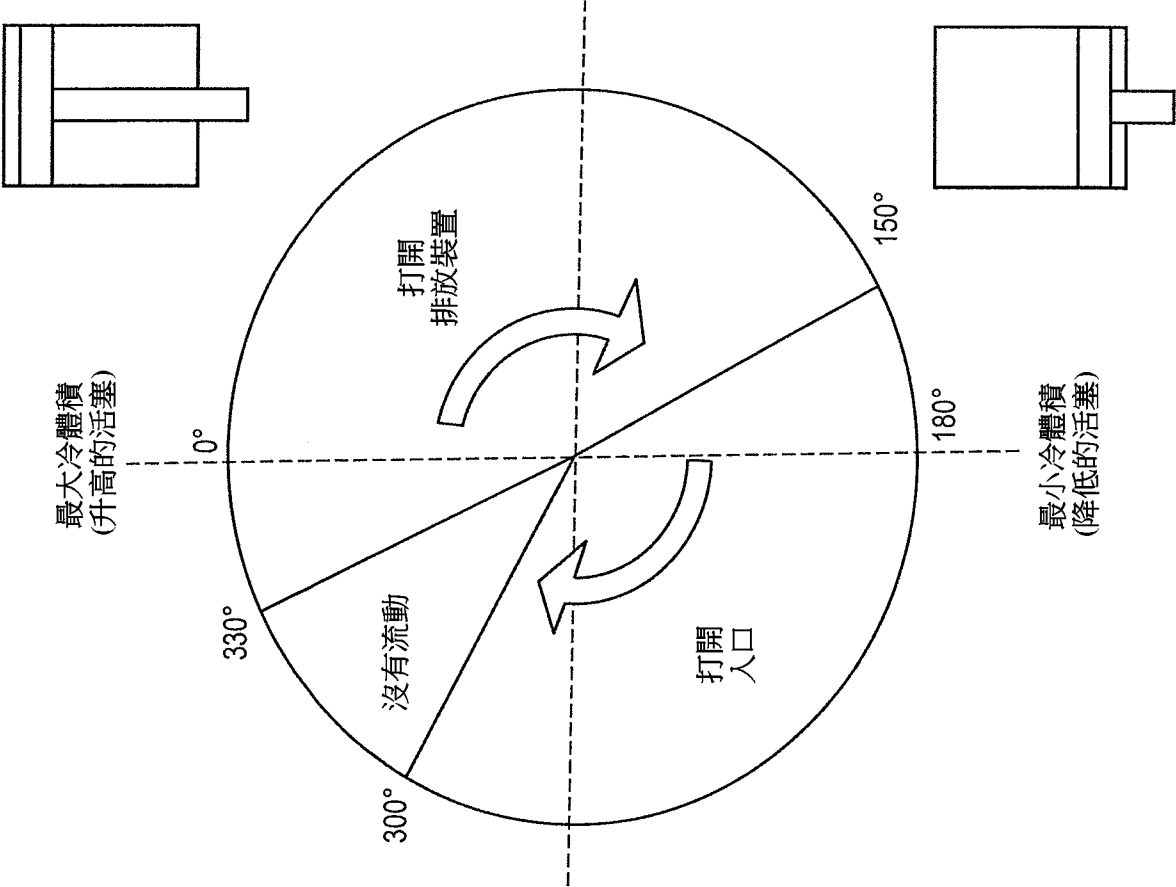
【第29項】

如申請專利範圍第16或17之方法，其中該控制器提供回饋控制。

【發明圖式】

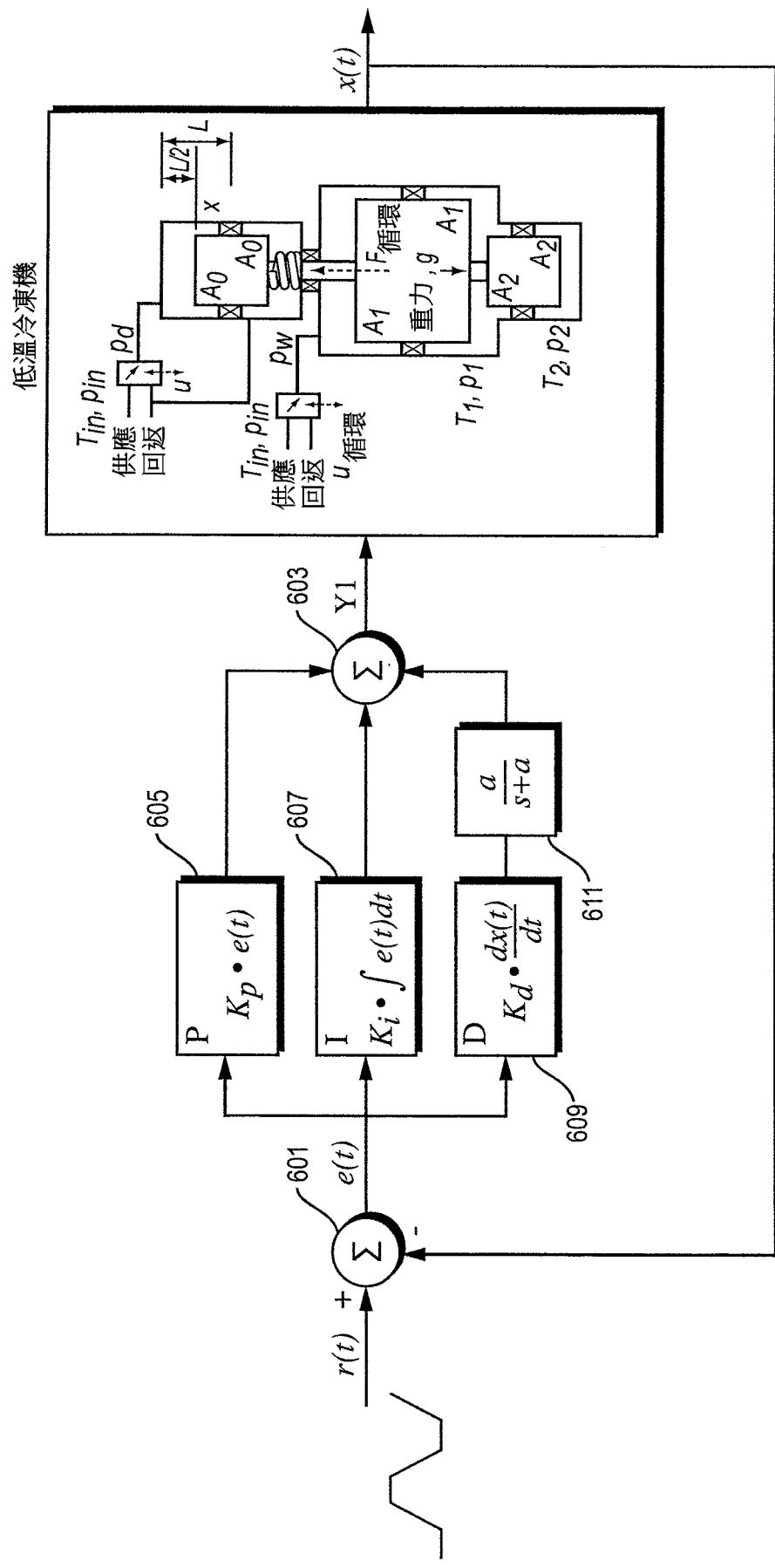


【圖 1A】



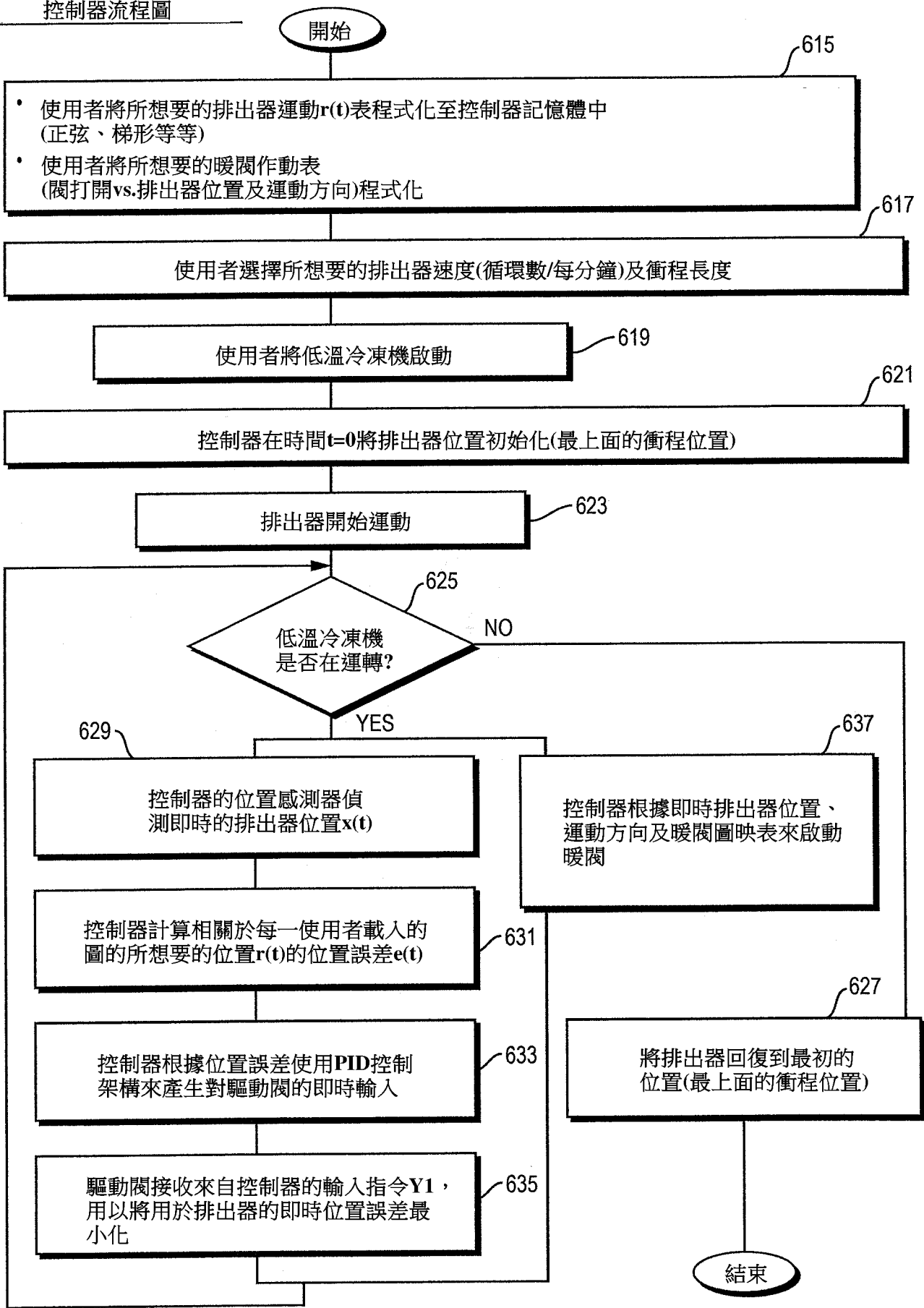
【圖 2】



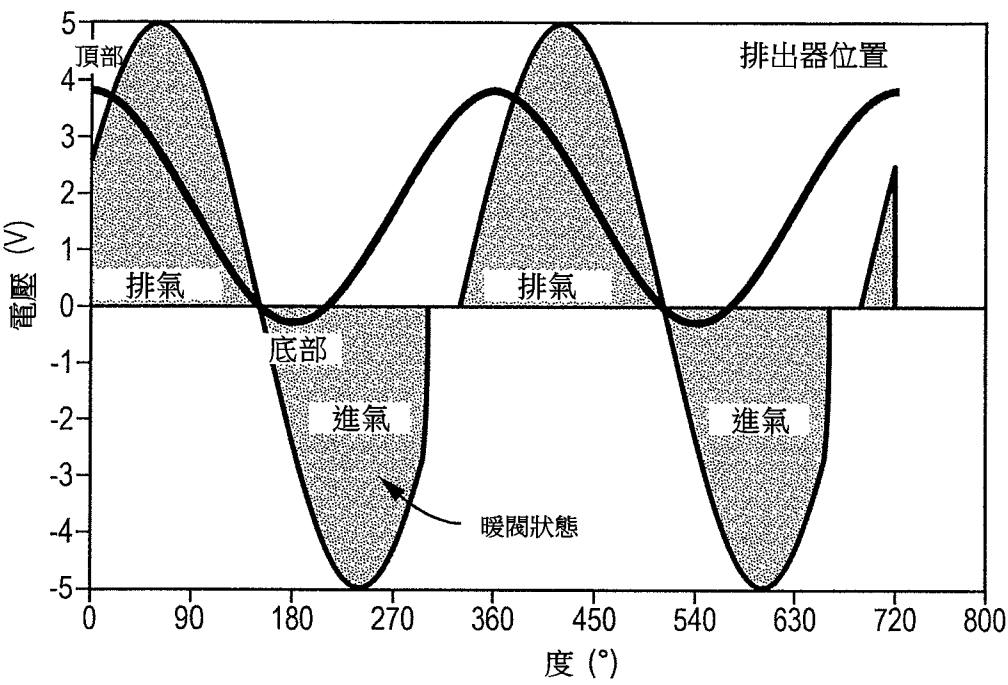


【圖 6A】

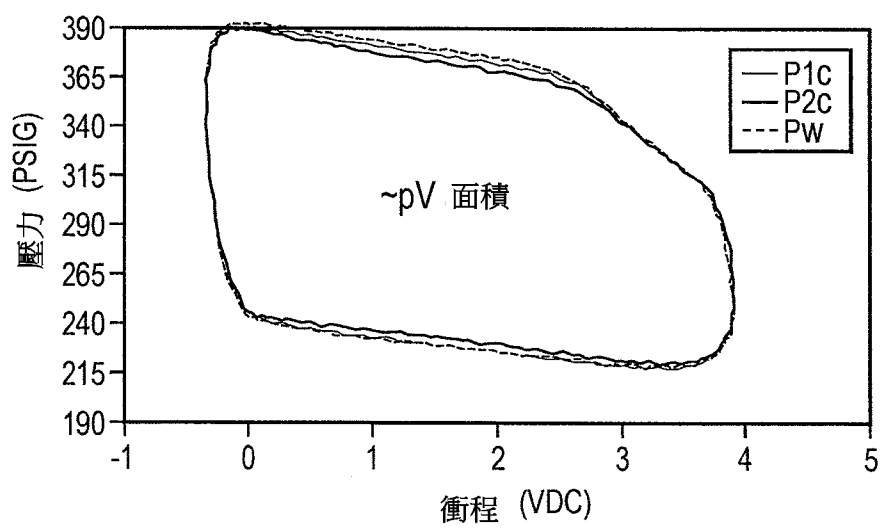
控制器流程圖



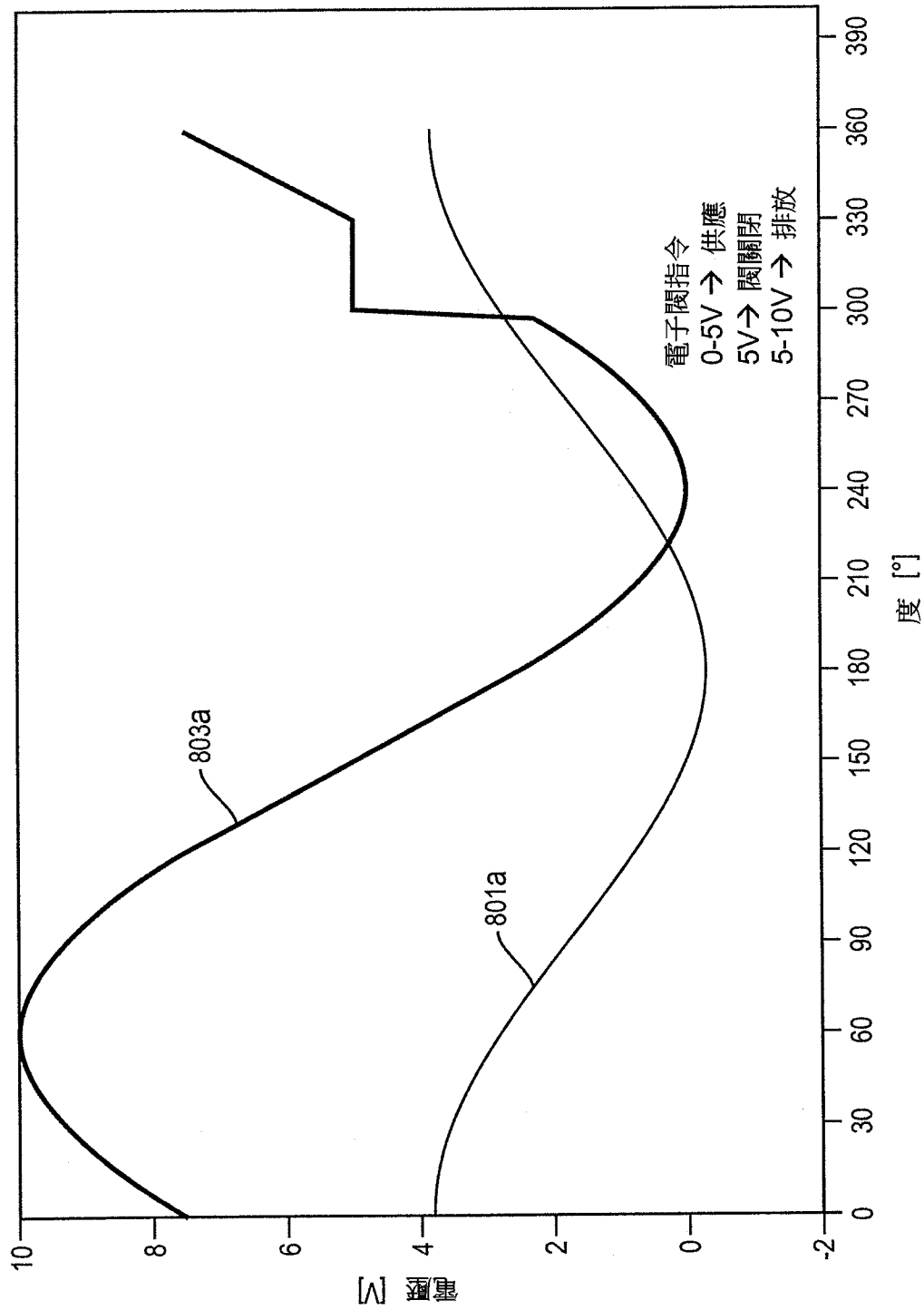
【圖 6B】



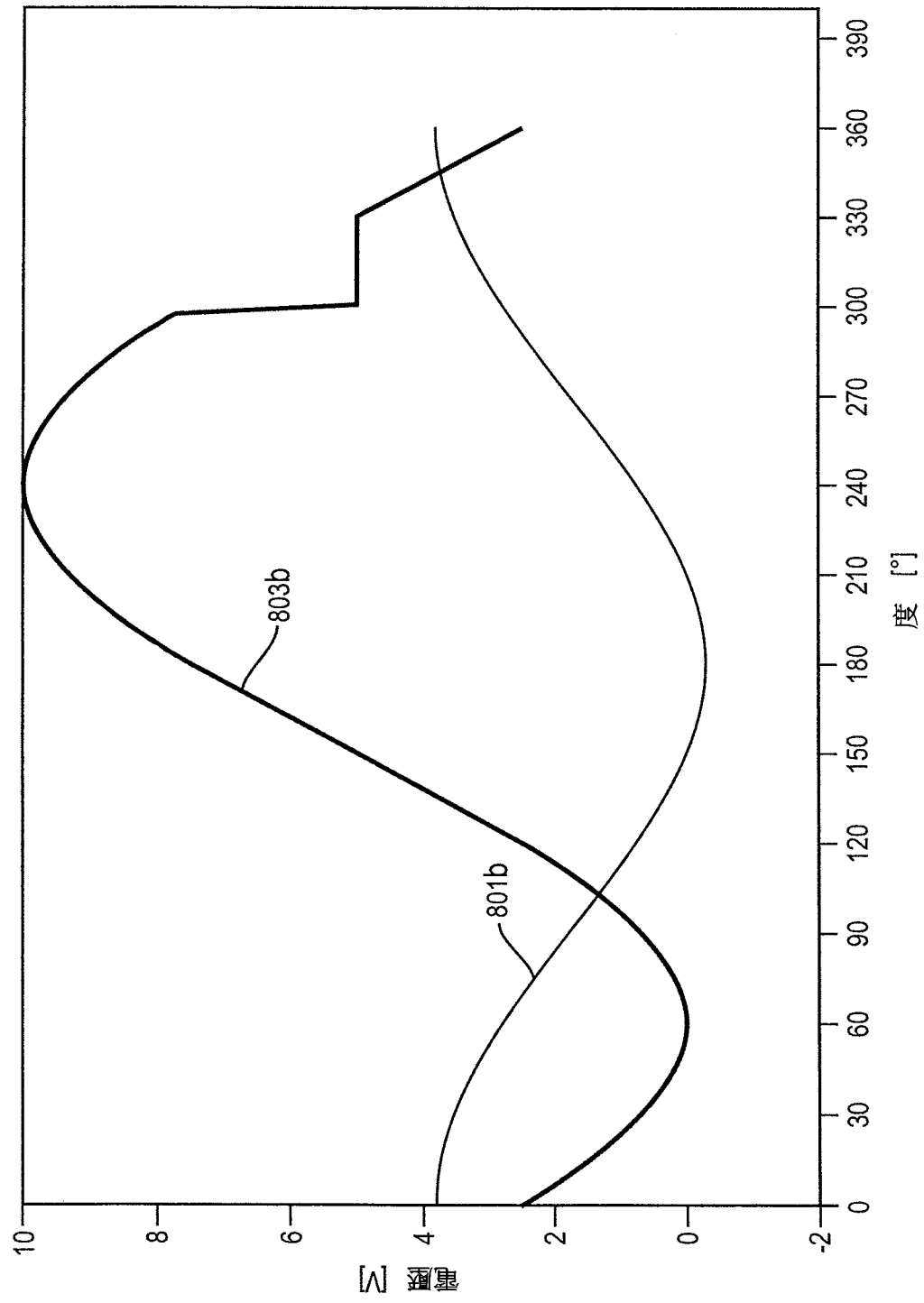
【圖 7A】



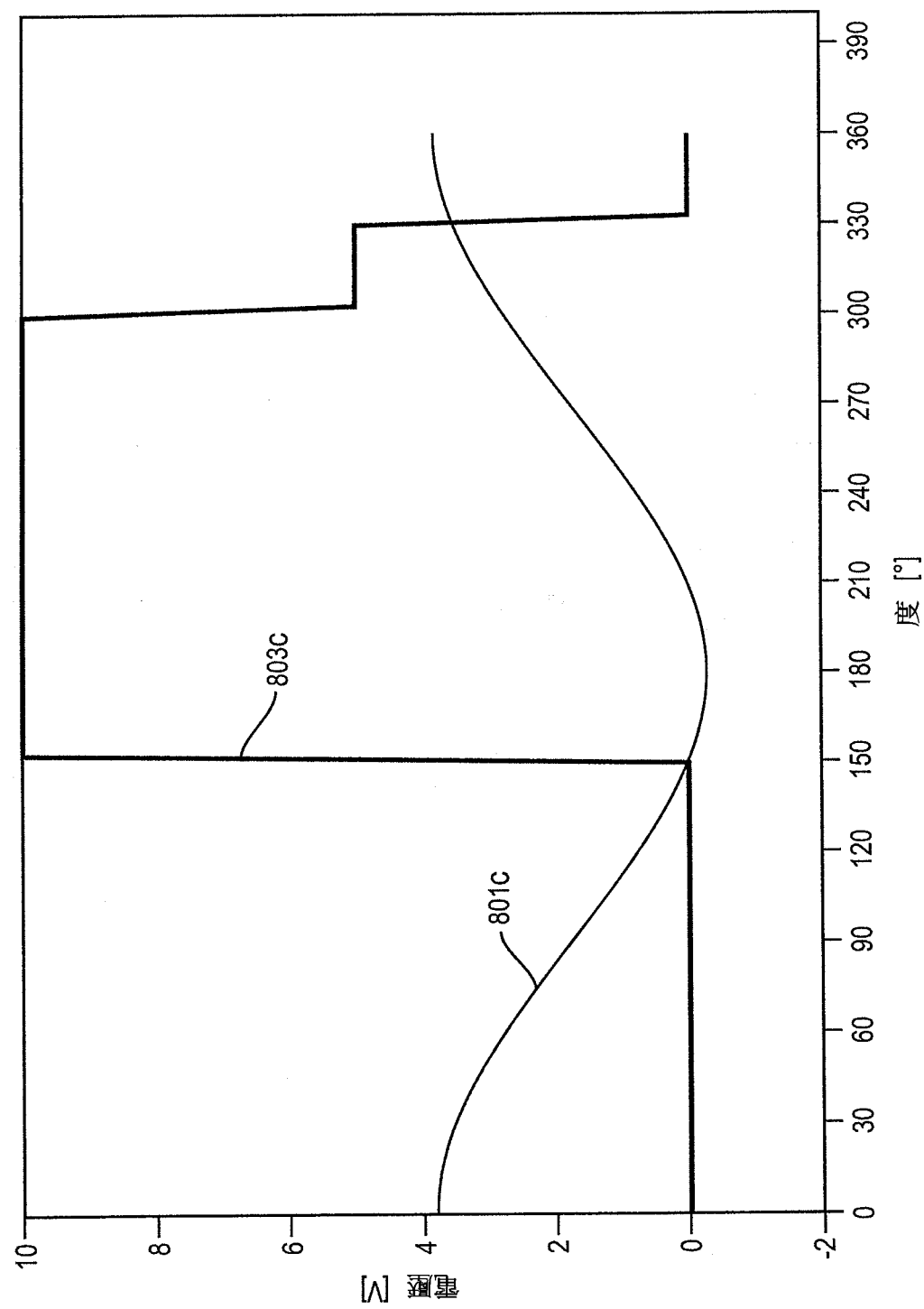
【圖 7B】



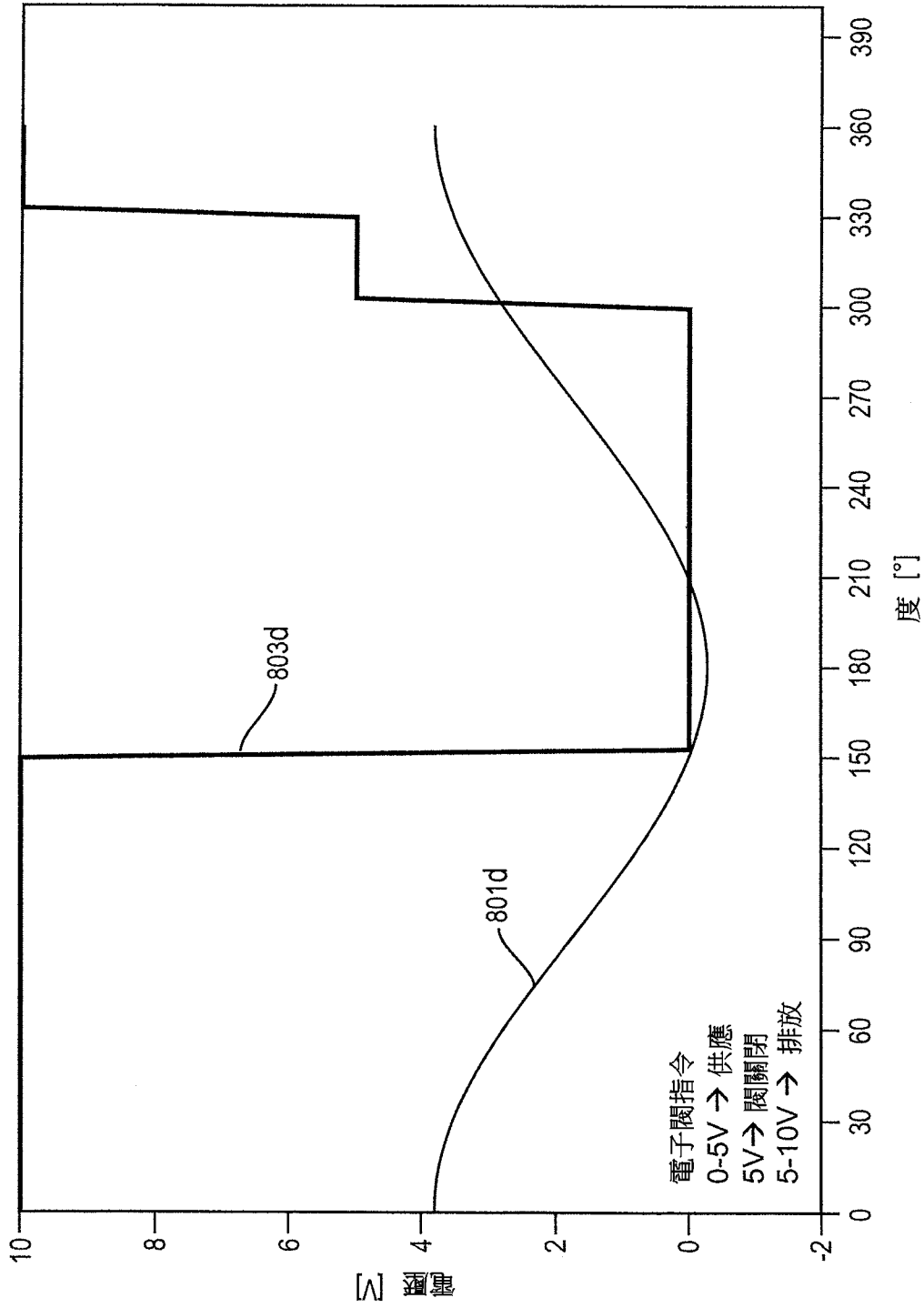
【圖 8A】



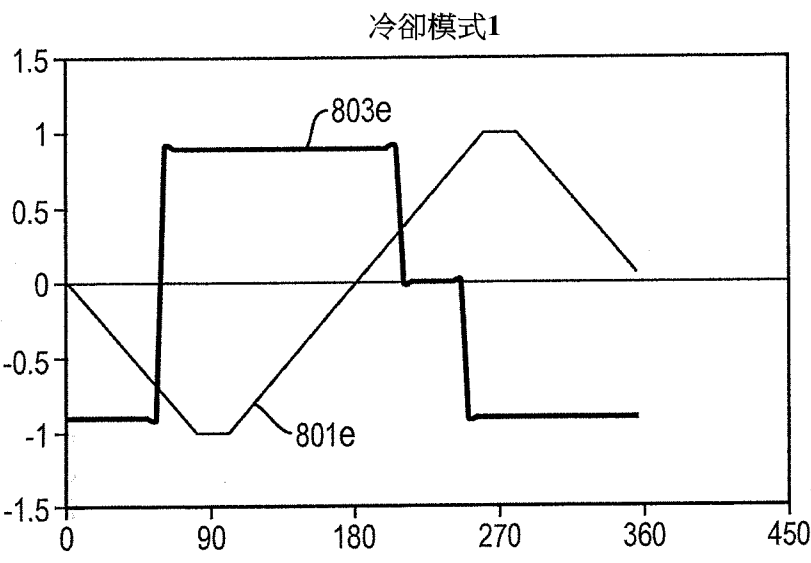
【圖 8B】



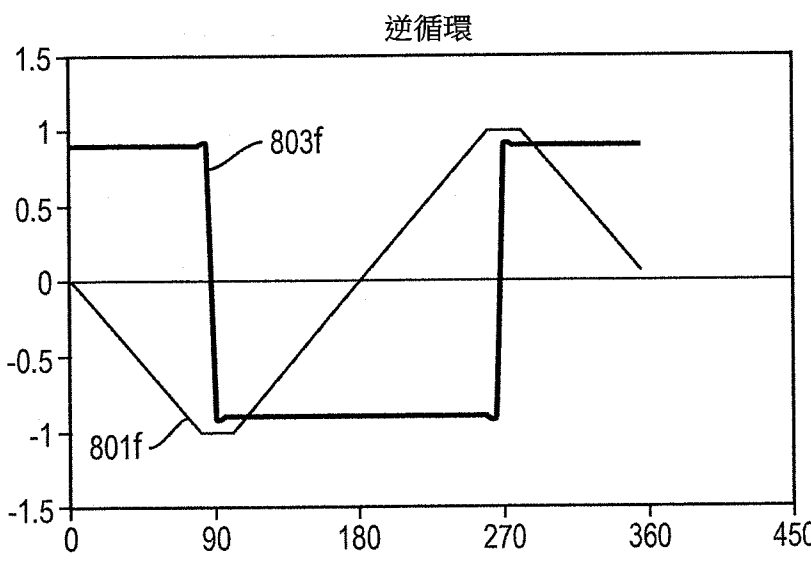
【圖 8C】



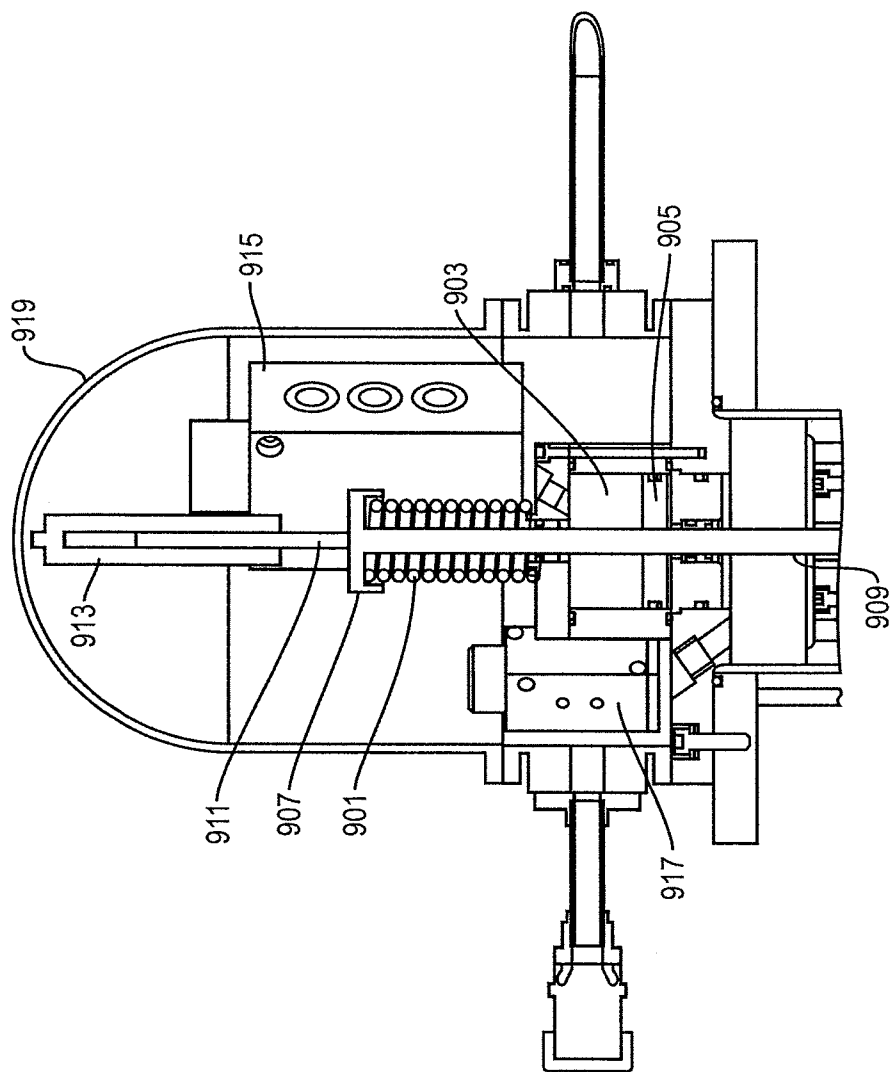
【圖 8D】



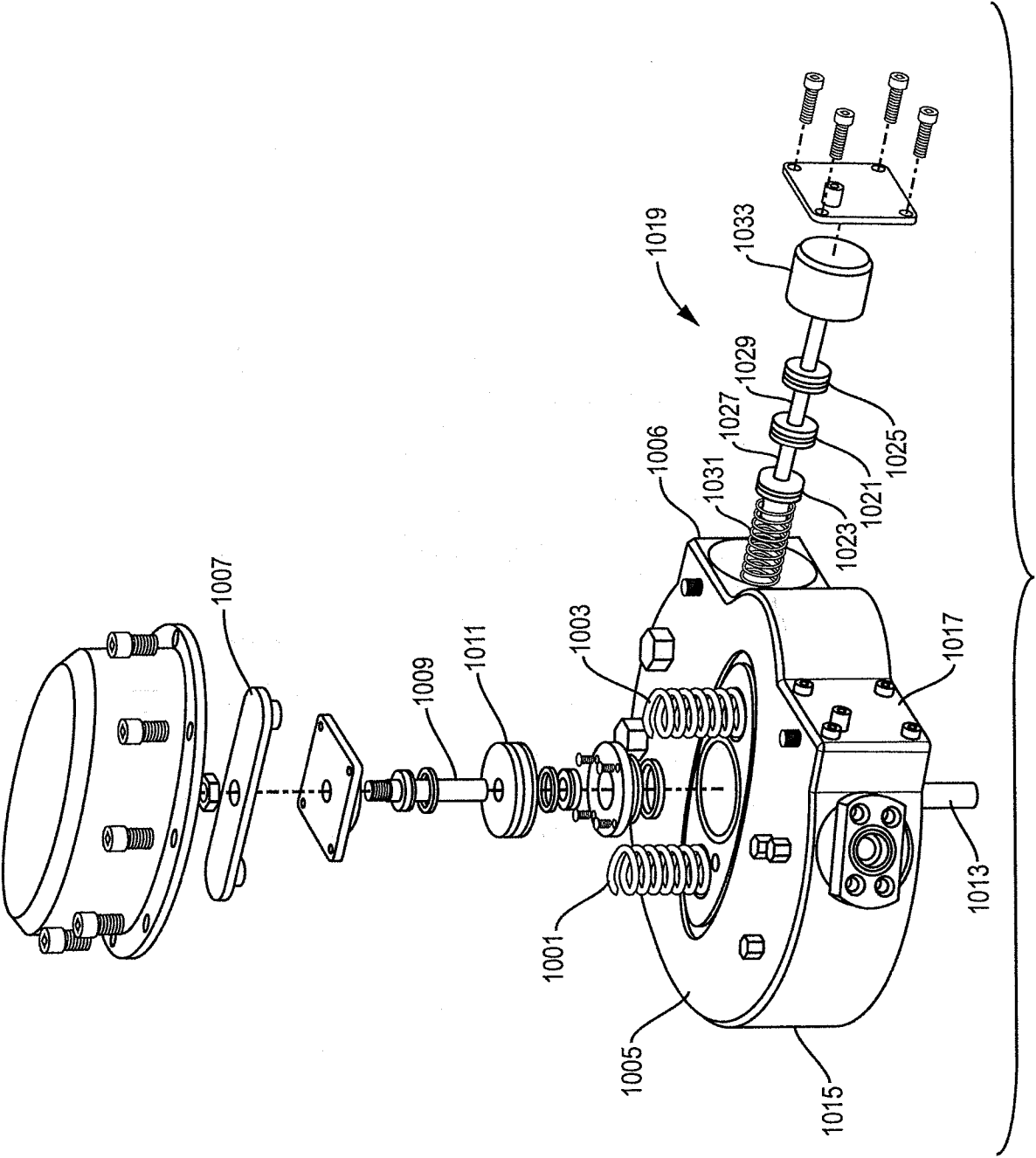
【圖 8E】



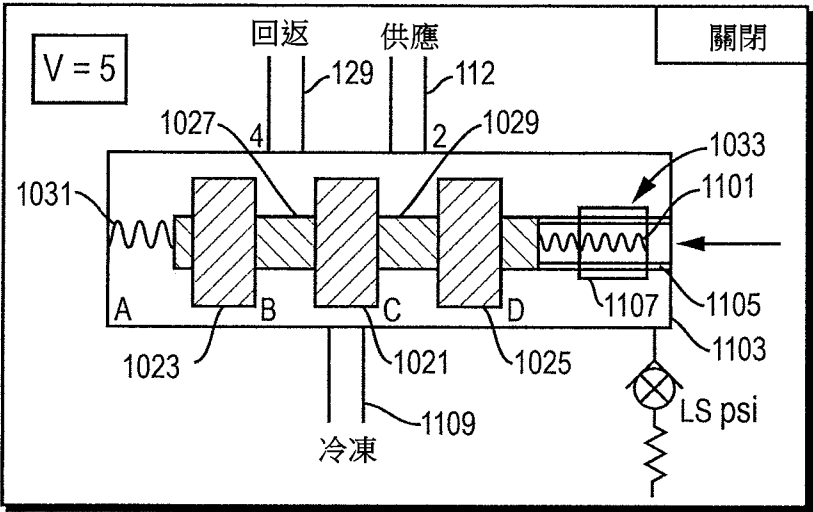
【圖 8F】



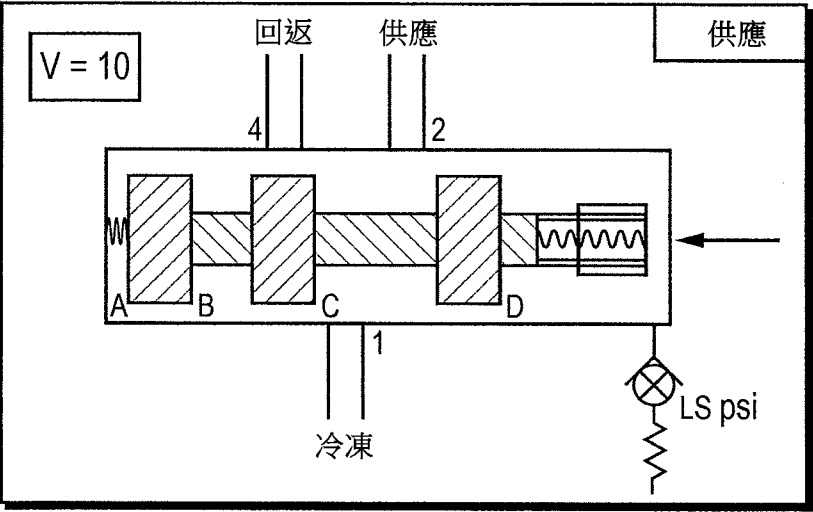
【圖 9】



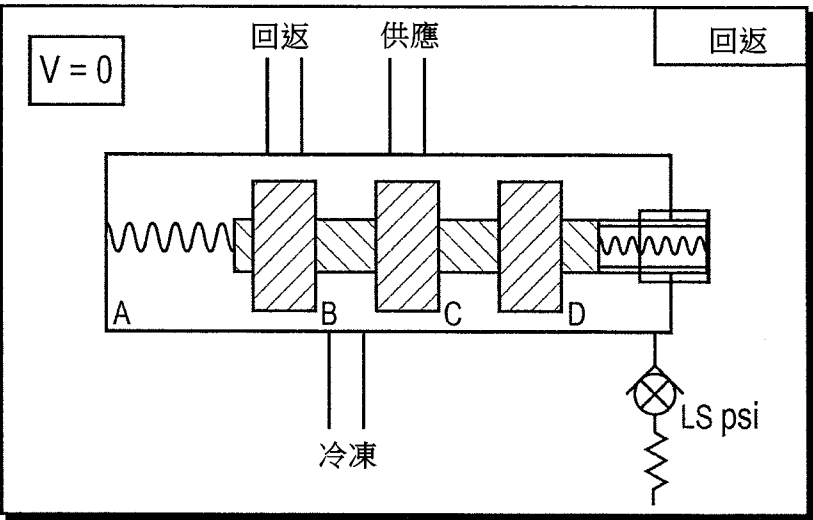
【圖 10】



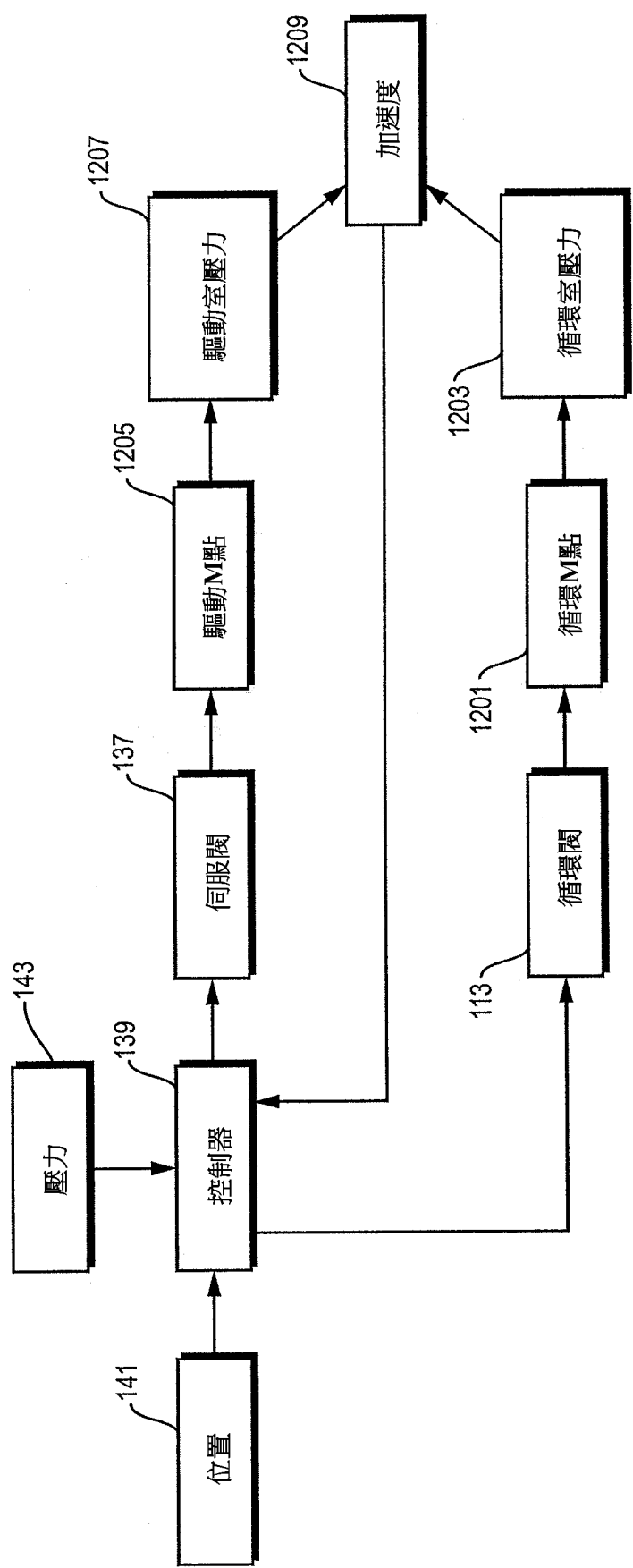
【圖 11A】



【圖 11B】



【圖 11C】



【圖 12】