

壓電驅動的節能引導式氣壓閥技術

講師：君帆工業股份有限公司

陳耀津總經理

日期：2014/08/29

台灣區流體傳動工業同業公會

103年度流體傳動與自動化控制技術研討會

綱要

1. 前言

1.1 去年德國漢諾威工業展的啟示-壓電閥

1.2 近幾年日本工業發展的啟示-綠色企業

1.3 去年公司擬定永續發展的環境策略-節能減碳產品

1.4 台灣製造的電磁式氣壓閥-仿製日本產品

2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

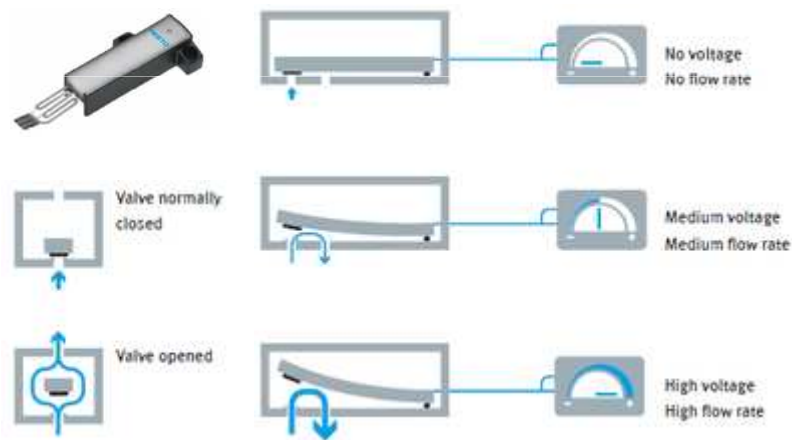
4. 結語

1.前言

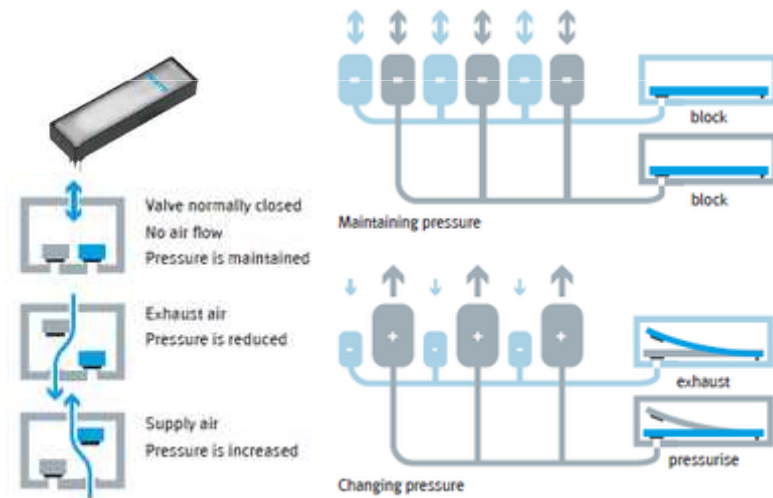
1.1 去年德國漢諾威工業展的啟示-壓電閥

--Festo

- Piezo valve VEMR for flow control



- Piezo valve VEMC for pressure regulation

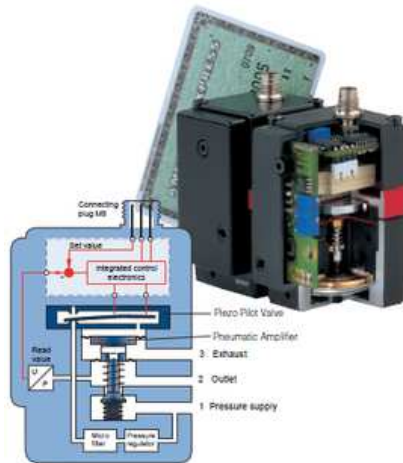
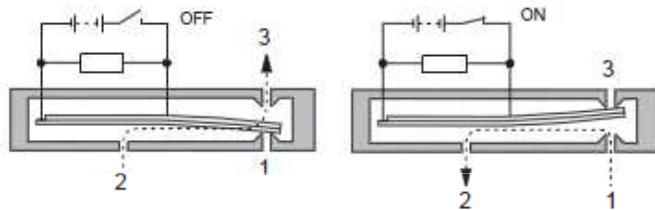


1.前言

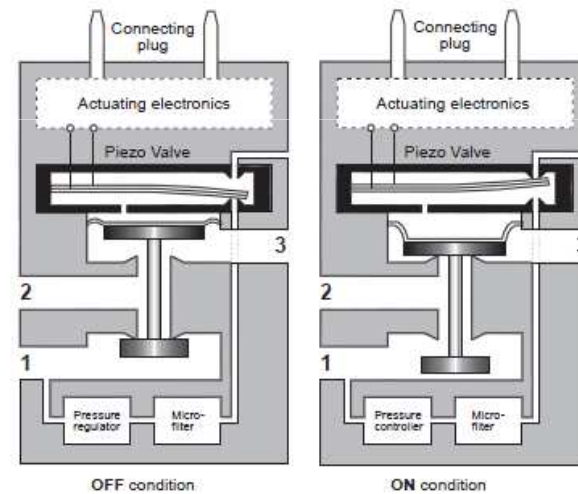
1.1 去年德國漢諾威工業展的啟示-壓電閥

--Hoerbiger

■ Piezo Valve



■ Pressure Regulating Valve

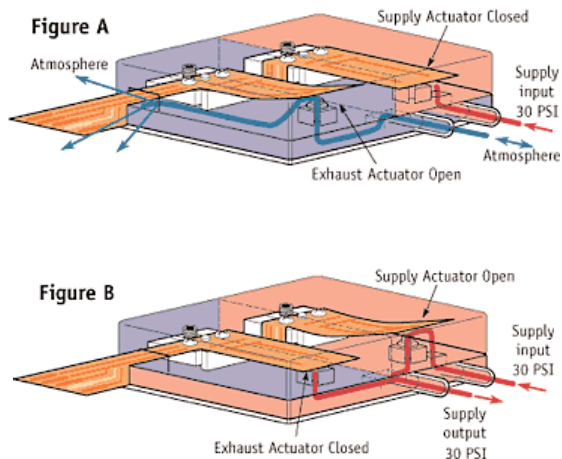


1. 前言

1.1 去年德國漢諾威工業展的啟示-壓電閥 --Midé Technology

- QuickPack® piezoelectric bimorph actuator
- Valve Actuator for Heating Ventilation and Air-Conditioning (HVAC)

- Compared to [Solenoids](#)
- Piezoelectric bimorph actuators offer several key benefits over traditional solenoid actuators used in valves, as shown below:



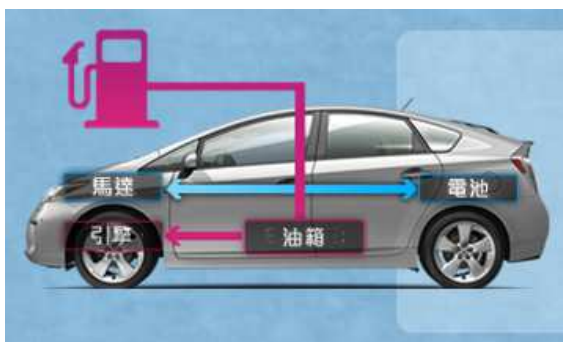
PIEZO BIMORPH ADVANTAGES OVER SOLENOIDS	
POWER CONSUMPTION AC OPERATION	100 TIMES LESS POWER. Piezo bimorphs consume just 100's of milliwatts of power (100-200V at 1mA); while solenoids consume 10's-100's of watts (10-100V at 1-10A).
	NO DUTY CYCLE LIMITATIONS. Solenoids are often limited to <25%.
POWER CONSUMPTION DC OPERATION	PRACTICALLY ZERO POWER CONSUMPTION. Depending on the application, piezo bimorphs consume 100-200V at less than 0.01mA. Solenoid power consumption ranges from less than 1 watt to 100's of watts of power, with typical consumption in the 10's to 100's watt range.
RESPONSE TIME	1 MS RESPONSE TIME. Unlike piezo bimorphs, solenoids rarely operate under 5 ms.
SIZE	10 TIMES THINNER. Piezo bimorphs can be less than 0.025 inches thick compared to solenoids, which are typically greater than 0.250 inches in diameter.
RELIABILITY	NO MOVING PARTS TO WEAR AND BREAK

1.前言

1.2 近幾年日本工業發展的啟示-綠色企業

TOYOTA

油電複合車、電動車



大金

R32環保冷媒空調

二氧化碳排放量只有25%，是新一代家用及商用空調冷媒中最具前景的物質，不會破壞臭氧層，對全球暖化及氣候影響最小

Panasonic ECO NAVI

生活的環保創意

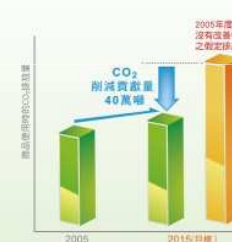
商品的環境貢獻

ECO NAVI 商品的連續推出

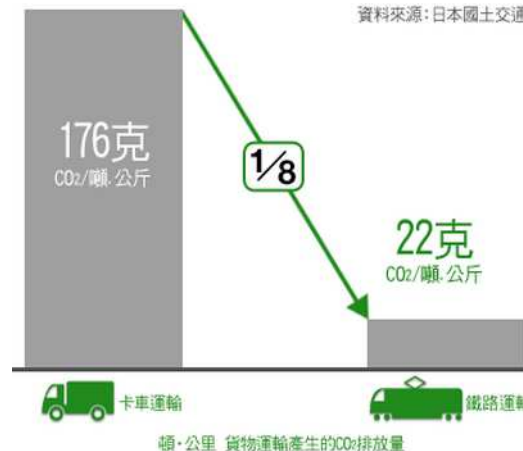
除了省能源技術，使用ECO NAVI技術實現更省能，額水在2015年度前對象商品的銷售金額構成比50%以上

透過ECO NAVI商品的擴大削減CO2

2015年度CO2削減貢獻量與2005年相比40萬噸



資料來源：日本國土交通省



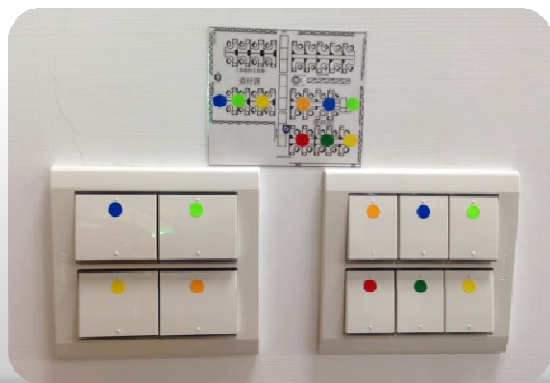
噸·公里 貨物運輸產生的CO2排放量

1.前言

1.3 去年公司擬定永續發展的環境策略

--節能減碳實際作為

(1) 從員工生活小細節做起



節能

(2) 採用Low-E玻璃，降低室內溫度



3) 屋頂/路燈太陽能板設置發電



(4) 雨水回收再利用設施

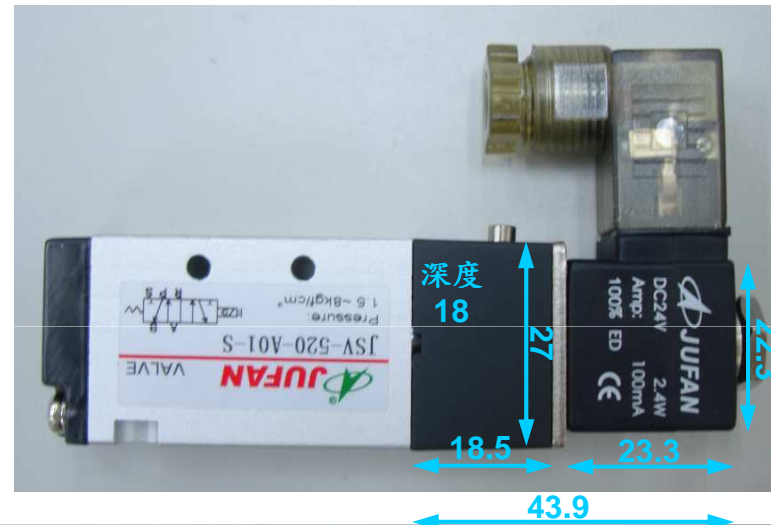
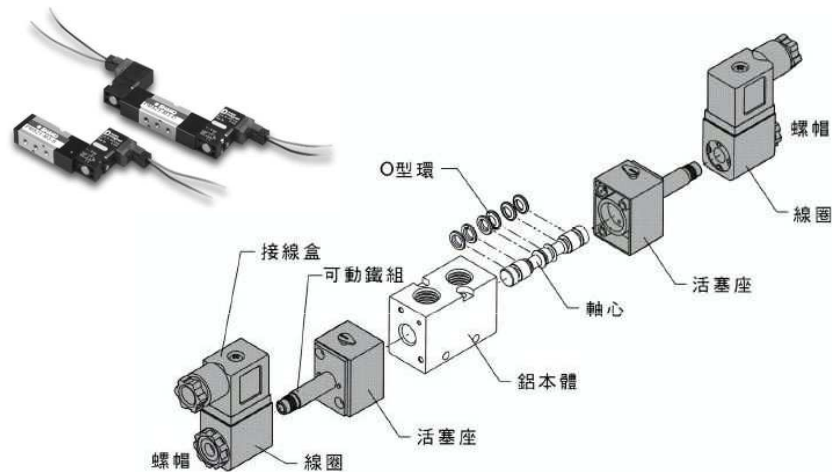


減碳

1.前言

1.4 台灣製造的電磁式氣壓閥-仿製日本產品

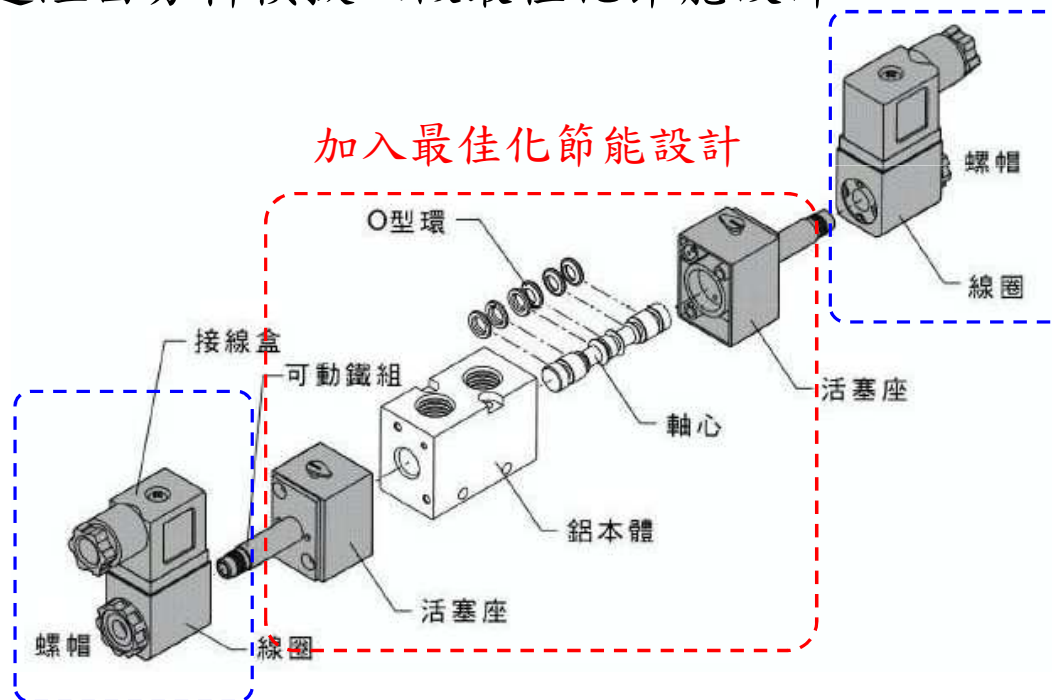
--現有市售電磁閥構造:君帆五口二位引導式電磁閥(無錫廠)



2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

-- 新型電磁閥閥軸機構

- 紅色區域，包含閥體與活塞座與軸心(閥軸)
 - 構造經由分析模擬以做最佳化節能設計。



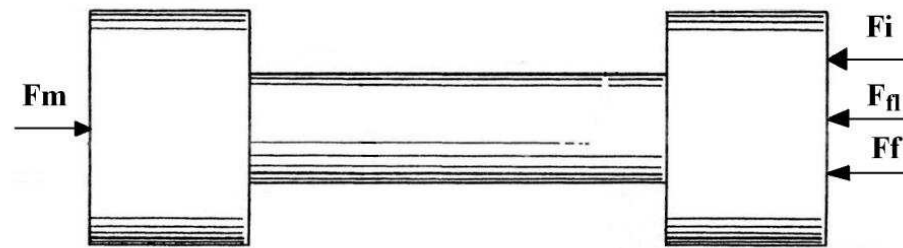
2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

-- 電磁閥流動力概述

- 電磁閥是一種電磁能轉換為機械能的電磁元件，並利用電磁力完成開或閉的作動，其原理是電磁線圈激磁產生電磁推力，藉由電磁推力推動閥室內的閥軸，斷電後利用彈簧將閥軸回復至中立位置。

-- 流動力理論分析

閥軸受力示意圖

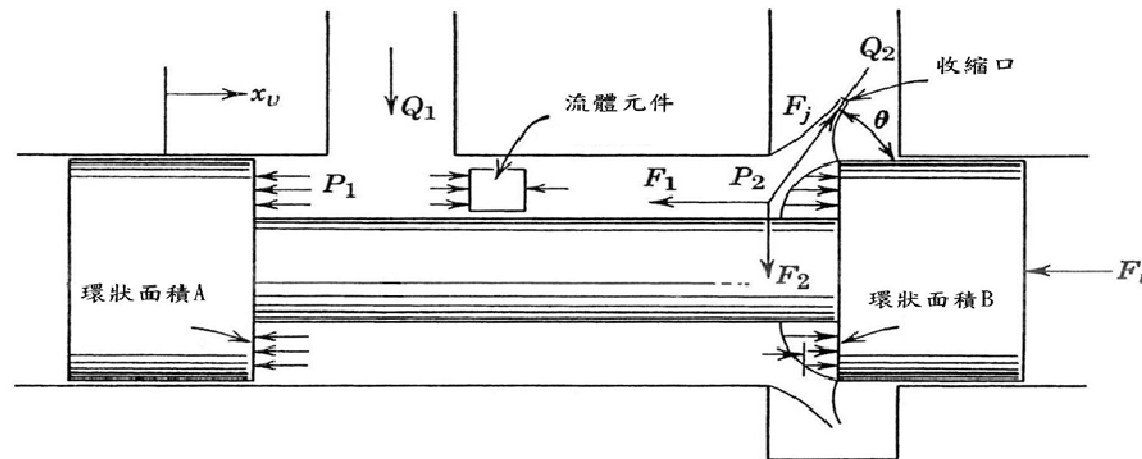


F_m : 電磁推力 F_f : 摩擦力 F_{fl} : 流動力 F_i : 慣性力

2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

--流動力形成原因

- 當閥軸往右移動時，流體會經由閥室從孔口流出，並在環狀面積 A 及環狀面積 B 產生不同的壓力。
- 因高壓流體垂直接進閥室，所以壓力會在環狀面積 A 平均分佈，
- 環狀面積 B 因為是孔口開啟處，因而壓力分佈為一漸減曲線，且作用力與壓力成正比。
- 所以面積 A 的力量會大於面積 B，且兩力作用方向相反，其合力則為向左的阻力，即為圖中所示 F_t ，該力量為傾向將閥口關閉之流動力



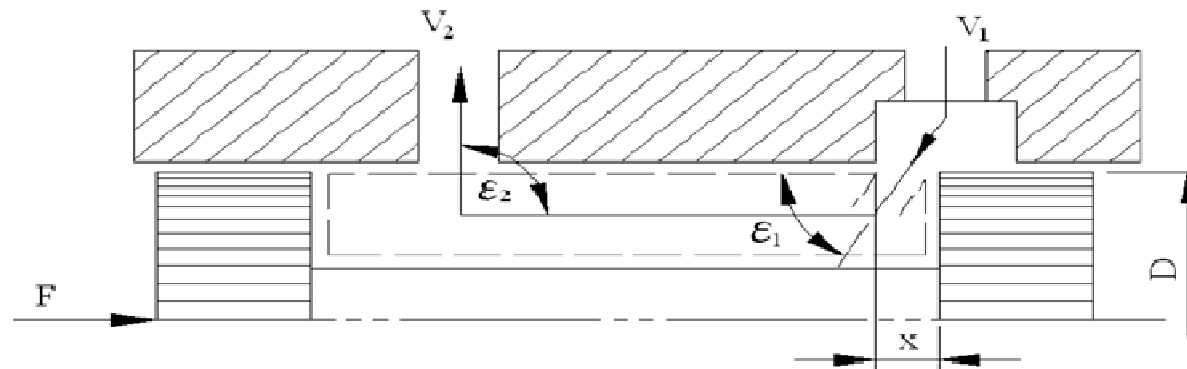
2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

閥軸分析設計基礎上，利用流動力補償之流速轉向法作為閥軸設計基礎，又分為下列兩項-1.流入型2.流出型

■ 流入型流動力理論與分析

流動力表示式為：

$$F_{fl. stat} = -\rho Q (V_2 \cos \varepsilon_2 + V_1 \cos \varepsilon_1) \quad F_{fl. dyn} = +\rho l \frac{dQ}{dt}$$



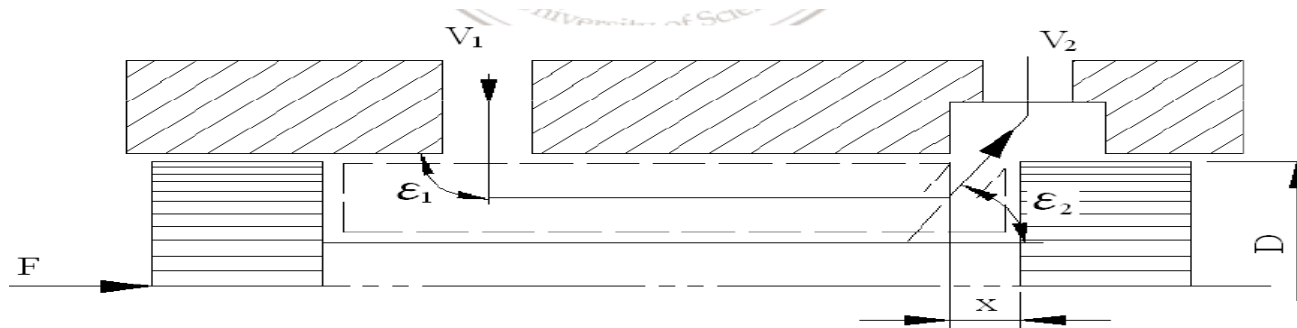
ρ :空氣密度 V_1 :入口速度(m/s) ε_1 :入口角度
 Q :空氣流量 V_2 :出口速度(m/s) ε_2 :出口角度

2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

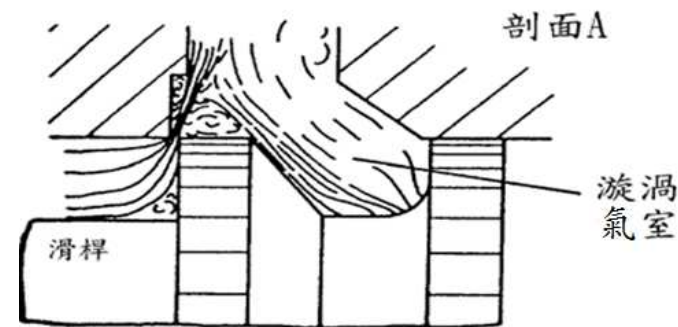
閥軸分析設計基礎上，利用流動力補償之流速轉向法作為閥軸設計基礎，又分為下列兩項-1.流入型2.流出型

■ 流出型流動力理論與分析

$$\text{流動力表示式為: } F_{fl.stat} = -\rho Q(V_2 \cos \varepsilon_2 + V_1 \cos \varepsilon_1) \quad F_{fl.dvn} = -\rho l \frac{dQ}{dt}$$



流出型之流動力補償較不易達成，一般做法是在流出孔口之後端多加工出漩渦氣室(principle of the recirculation lands)(如圖-剖面A)。



2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

-- 流入型與流出型加總

一般而言，由於電磁閥為對稱設計，而在電磁閥作動時，會同時具有流入及流出兩種形式之流動力，因此需將兩種型式之暫態流動力($F_{f1.dvn}$)跟穩態流動力($F_{f1.stat}$)相加，其中在暫態流動力中剛好一正一負($+\rho l \frac{dQ}{dt}$ $-\rho l \frac{dQ}{dt}$)，相互抵消。

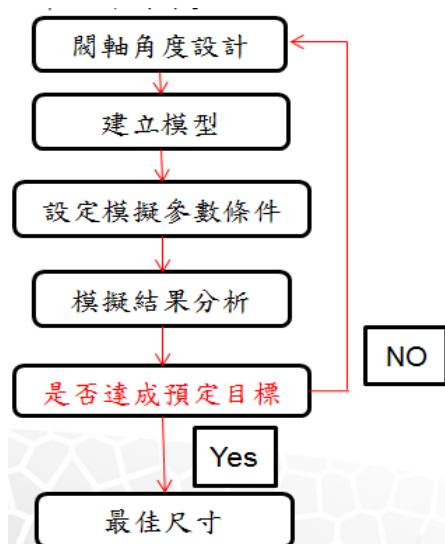
另外，穩態流動力在入口速度等同於出口速度，也就是 $V_1=V_2$ 的前提下，可將上述公式合併，因此總流動力值為：

$$F_{f1} = -2pQv \cos(\epsilon)$$

2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

流動力補償設計--建立模擬方式

- 補償流動力方法中，其流動的理論分析為使用衝量定理(Principle of impulse)，即可不必了解閥體內部流場之情形，考慮進出口的流體動量變化，即可估算出流動力之大小，令動量(momentum)表示為： $\vec{I} = m\vec{V}$
則動量變化所產生的作用力可表示成：
$$\vec{F} = \frac{\partial}{\partial t} \vec{I} = \frac{\partial}{\partial t} (m\vec{V}) = \frac{\partial m}{\partial t} \vec{V} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} m$$
- 使用CFD-RC分析軟體，根據閥軸尺寸及位置進行各種不同錐度變化模擬設計
- 設計流程與參數設定

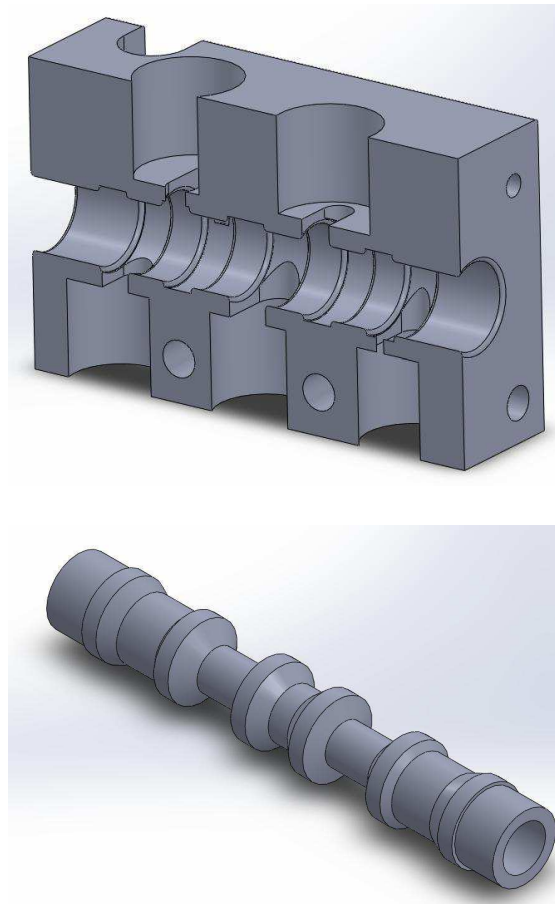


名稱	單位
Dynamic viscosity	$1.789 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$
temperature	20 °C or 293 K
air density	1.189 Kg/ m ³
Input air pressure	6bar

2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術 --3D CAD建模

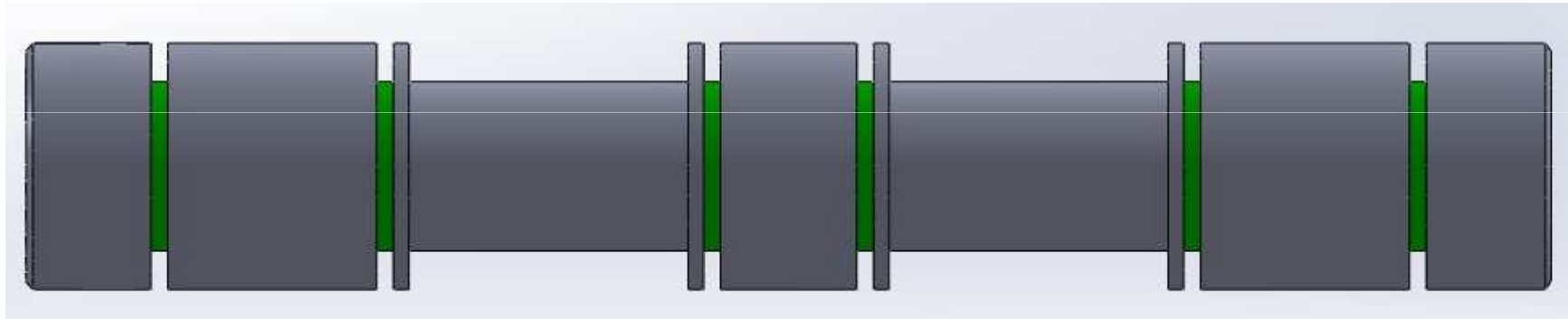


閥軸實體圖1/8"~ 1/2"



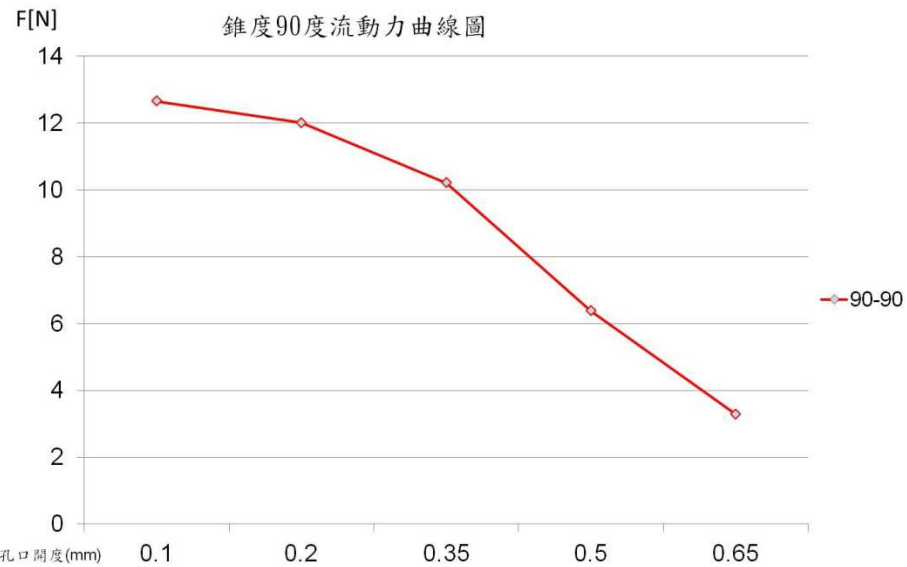
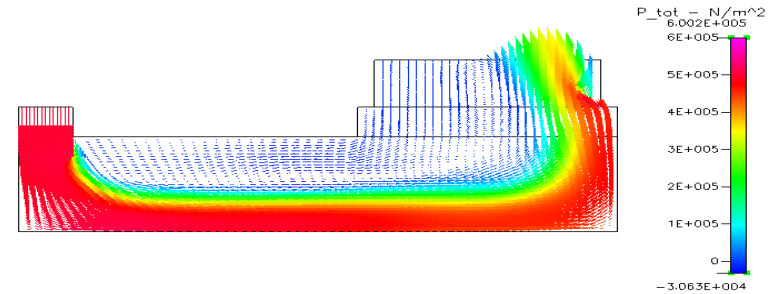
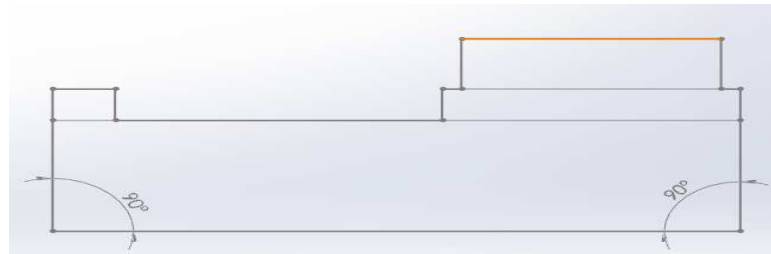
2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

閥軸錐度90度- 原始未作節能最佳化設計之模擬



2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

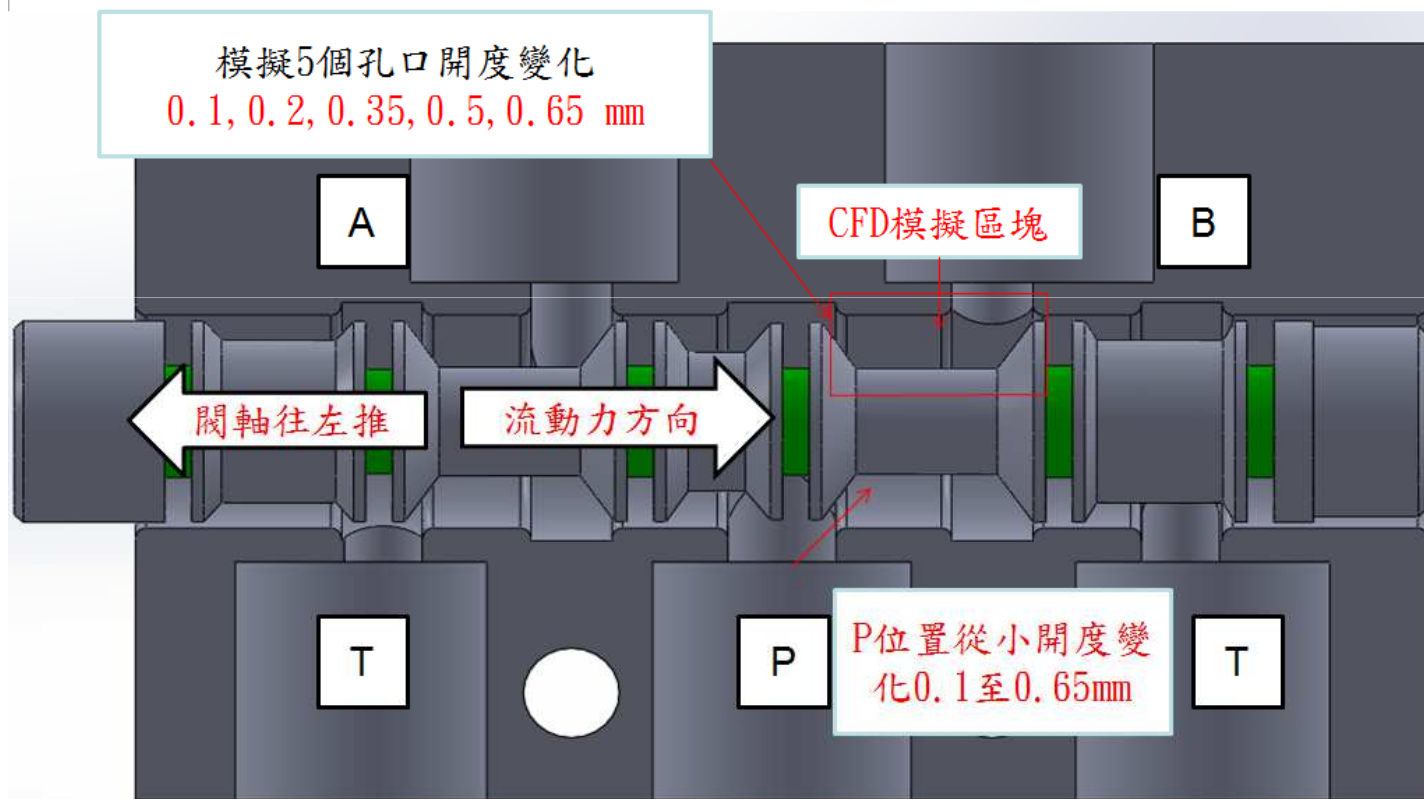
-- 錐度90度之模擬



流動力平均值：8.91(N)

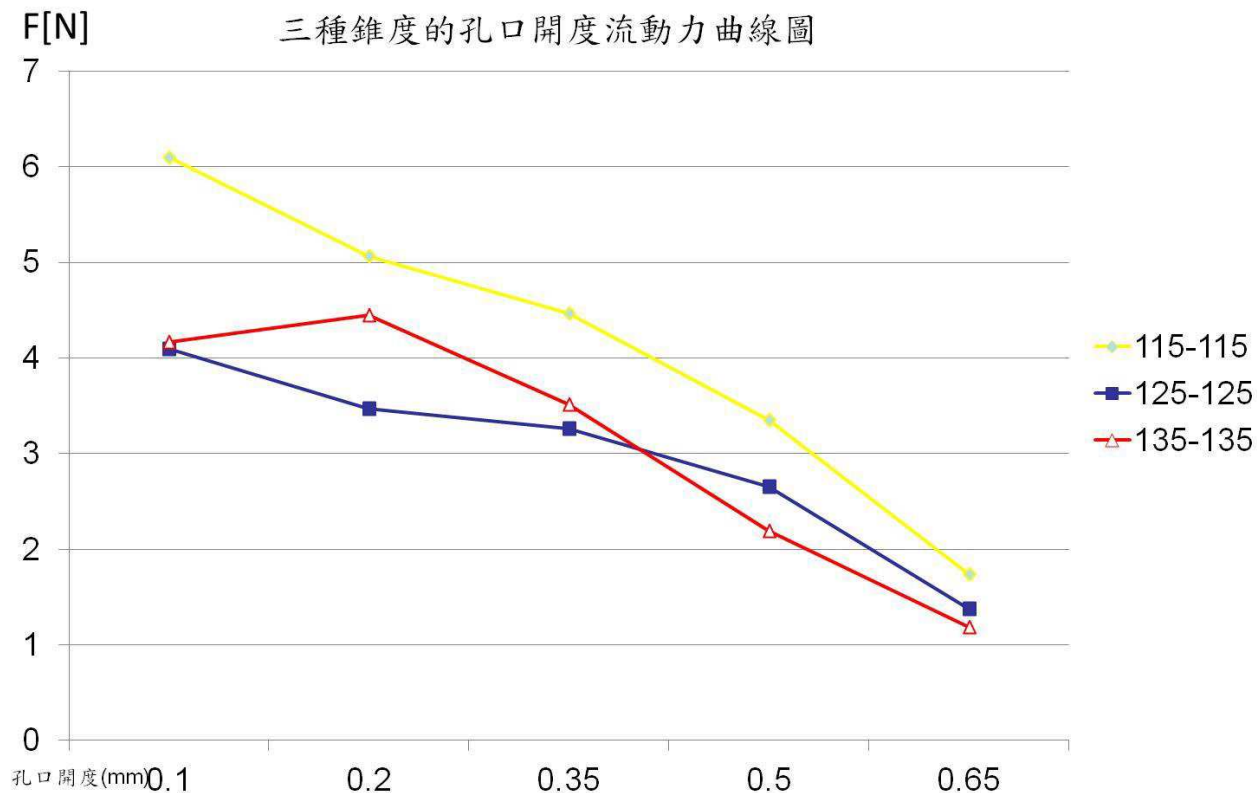
2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

--椎度 > 90度模擬說明



2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

--錐度115 125 135 流動力



流動力平均值：

115-115 4.14(N)

125-125 2.97(N)

135-135 3.1(N)

比較錐角90度與錐角125度，在流入型機構，其流動力有明顯改善

2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

--流出型-漩渦氣室設計原理與方式

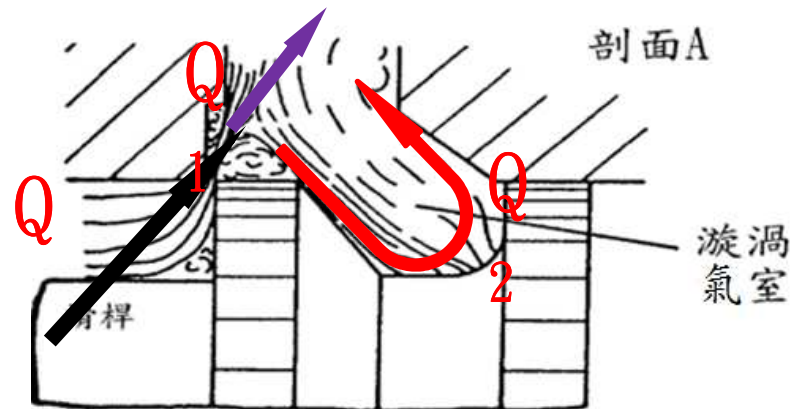
設計方式:

1. 一般導入漩渦氣室設計，會使整個閥軸長度增長至整個閥體積將變大
2. 但為了配合原有閥體尺寸限制，故將流出型的流動力補償設計在閥軸上，而不再額外增加閥體長度。

原理:

流體經由閥室流經孔口時，會因為閥軸上所建構的之漩渦氣室，將流體 Q 一分為二，如下圖所示其中一部分 Q_1 會直接經由孔口流出，並無補償之效果，反之 Q_2 則會流進漩渦氣室，產生類似漩渦之效果進而達到補償的效果，其流動力表示式:

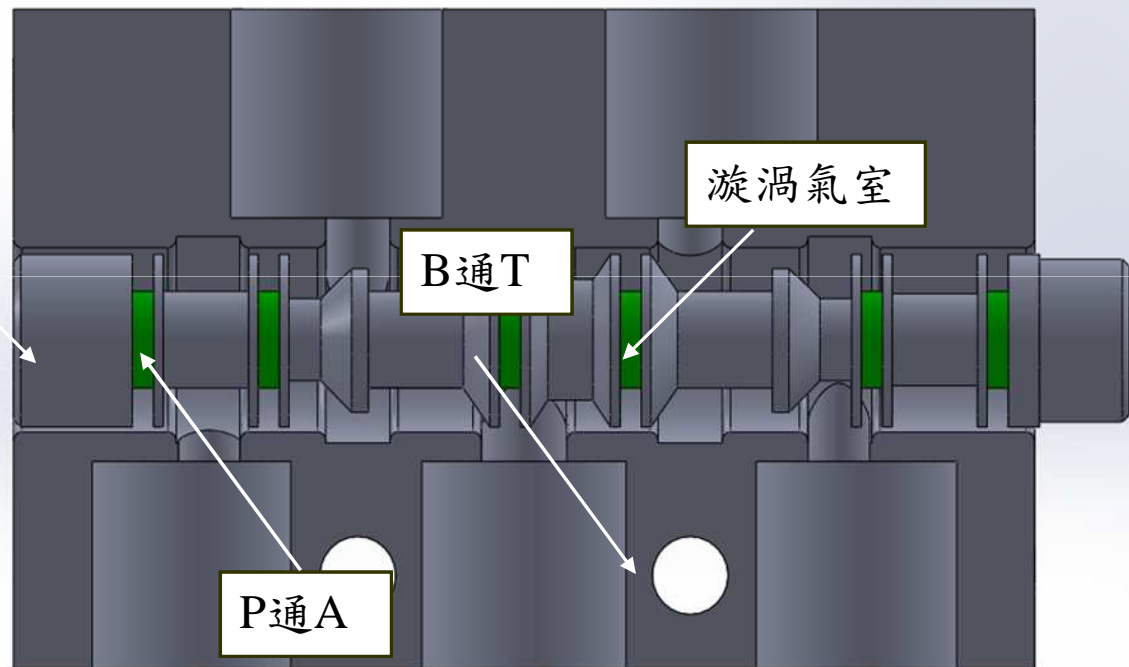
$$F_{fl.stat} = -\rho Q (V_2 \cos \varepsilon_2 + V_1 \cos \varepsilon_1) \quad F_{fl.dvn} = -\rho l \frac{dQ}{dt}$$



2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

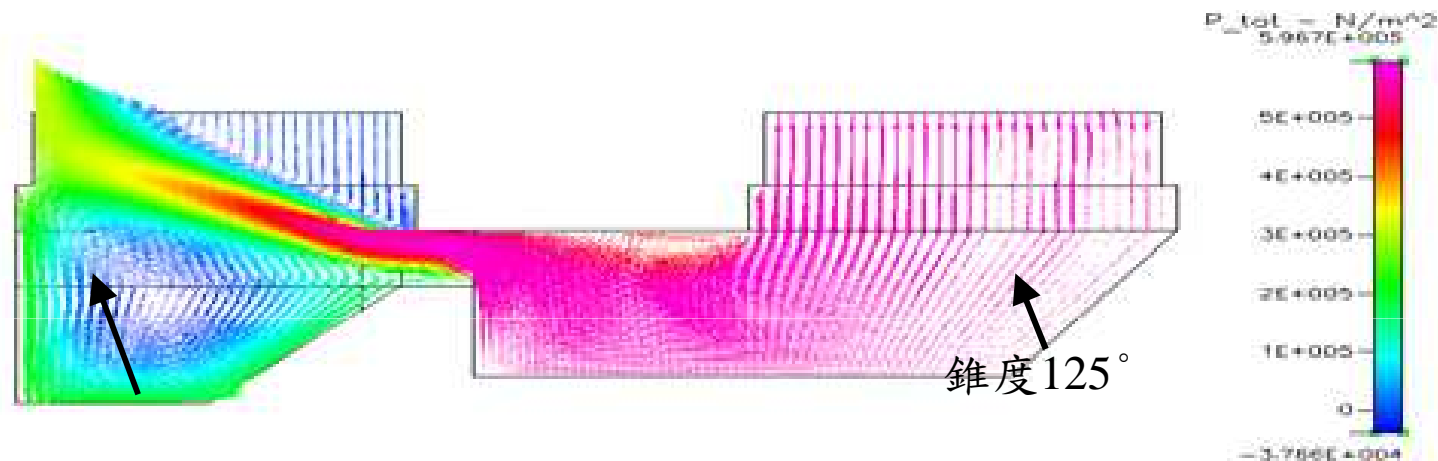
--流出型-漩渦氣室型閥體閥軸設計

同樣將O型環往內移
0.4mm以確保O型環可擋
住氣體



2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

-- 流出型模擬分析



流體經過漩渦氣室內，除直接流出閥體無補償作用外，另外一部分對壁產生作用力進而幫助推動閥軸相對減少流動阻力的作用

2. 新型壓電閥閥軸機構節能技術

-- 閥軸流入與流出型加總最終節能效果

■ 節能效果一覽表:

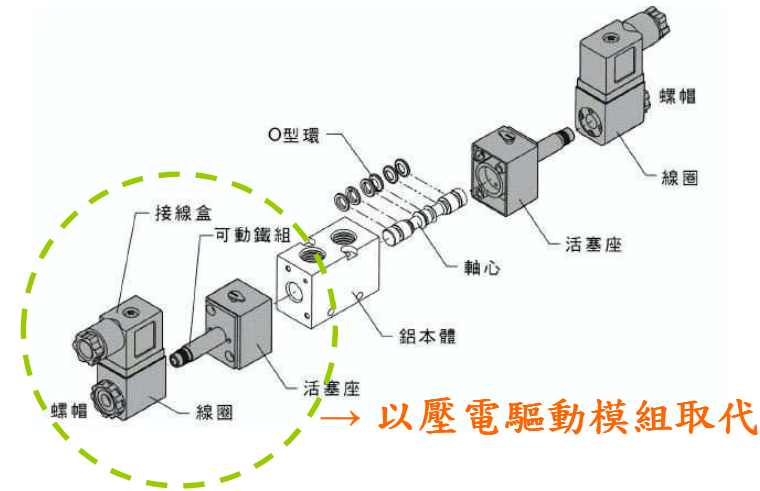
未補償閥軸、流入型補償閥軸、流入型+流出型補償閥軸

閥軸	最低操作壓力	節能效果(%)
未補償閥軸 (錐度90度)	0.55 bar	X
錐度125度閥軸	0.45 bar	與未補償比較 18.18%
錐度125度+ 漩渦氣室設計	0.38 bar	與錐度125度比較 15.55%

3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

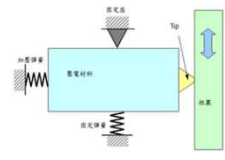
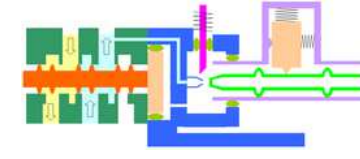
國內廠商面臨問題

- 國內廠商已生產並銷售電磁閥產品多年
→ 可自製機構件，但電控件品質掌控不佳
- 高階(細線徑)電磁線圈
→ 主要仰賴德國Nass與義大利Amisco等公司
- 鐵磁性材料之可動鐵
→ 生產技術掌握在國外大廠



開發技術優勢

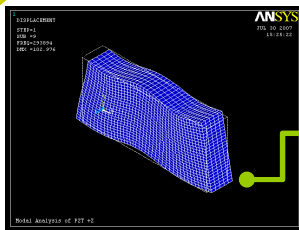
- 壓電驅動柱塞取代電磁線圈驅動可動鐵
- 掌握關鍵技術，擺脫國外大廠束縛，創造新的應用機會
- 壓電驅動與節能氣壓閥設計降低耗能，符合全球節能環保需求

項目	功能與應用
壓電驅動 柱塞模組 開發	<u>壓電驅動柱塞模組</u> - 耗能低 - 行程大 
電磁線圈 與可動鐵 取代機制 設計	<u>引導活塞驅動模組</u> - 取代電磁驅動方式 - 成本降低 

3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

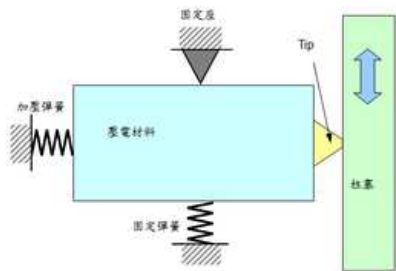
高效能壓電驅動柱塞模組開發--壓電技術創新性說明

壓電致動模組設計



壓電振動行為設計

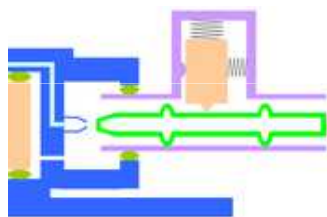
- 驅動電壓 $\leq 25V$
- 致動器出力 $\geq 180g$
- 致動器反應時間 $\leq 10ms$
- 致動器行程 $\geq 5mm$



柱塞驅動模組

- 減少壓電片機械效能損失，提高致動器之出力
- 設計柱塞驅動機構與加壓彈簧，穩定柱塞之出力與位移

動能導體(Tip)設計

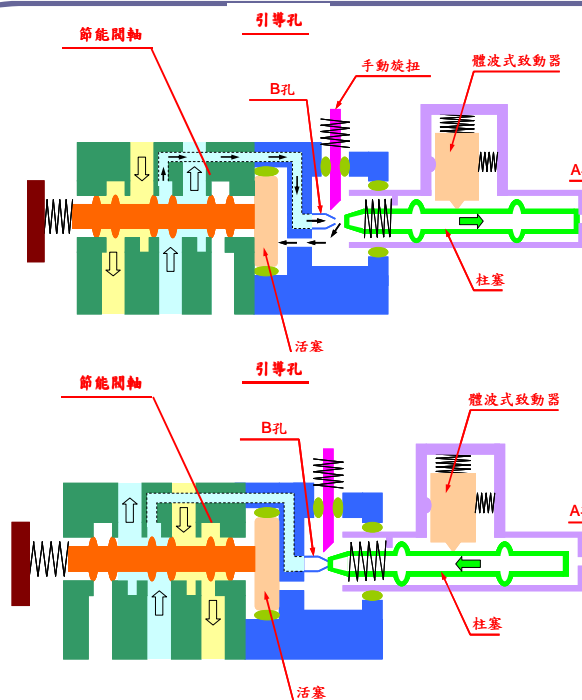


活塞驅動模組

- 考量結構、製程與柱塞、活塞驅動以達到最佳化
- 在出力不減之條件下，以柱塞開關引導孔驅動活塞

- 引導壓持力 $\geq 160g$
- 柱塞反應時間 $\leq 15ms$
- 柱塞行程 $\geq 0.5mm$
- 活塞行程 $\geq 3mm$

壓電致動閥系統設計整合



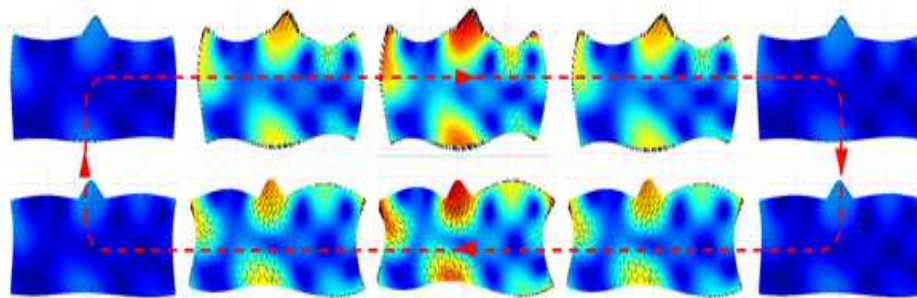
- 引導孔手動開關設計
- 壓電驅動柱塞模組、活塞驅動模組、氣壓閥體等之整合，並依據驅動之狀況進行調整修正
- 最大工作頻率 = 5 Hz
- 反應時間 $\leq 40ms$ (工作壓 = 5 bar時)

3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

高效能壓電驅動柱塞模組開發

---壓電元件有限元素分析

- 對於PZT-QA壓電陶瓷建立有限元素法分析
- 依據該陶瓷材料相關之柔度係數、壓電耦合係數、介電係數等，以FEM求得結構之剛性與質量矩陣，透過數值方法得到結構之自然頻率特徵
- 藉由特徵向量所得到之模態分析，做為後續壓電致動器設計之依據



柔度係數矩陣：

$$[s^E] = \begin{bmatrix} 12.3 & -4.05 & -5.31 & 0 & 0 & 0 \\ -4.05 & 12.3 & -5.31 & 0 & 0 & 0 \\ -5.31 & -5.31 & 15.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 39 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 39 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 32.7 \end{bmatrix} \times 10^{-12} m^2/N$$

壓電耦合係數矩陣：

$$[d] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 550 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 550 & 0 & 0 \\ -135 & -135 & -135 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times 10^{-12} C/N$$

介電係數矩陣：

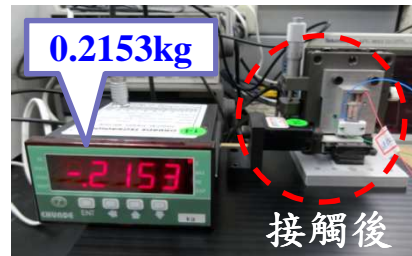
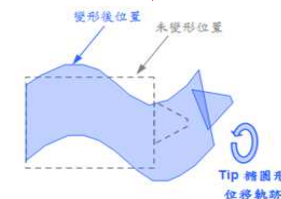
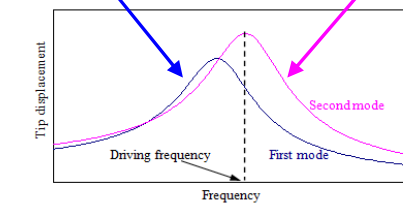
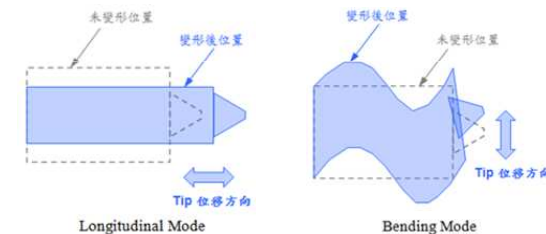
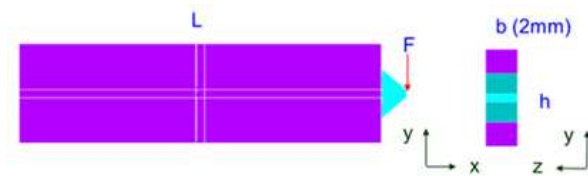
$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} 1610 & 0 & 0 \\ 0 & 1610 & 0 \\ 0 & 0 & 1610 \end{bmatrix} \times \varepsilon_0, \text{ 其中 } \varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} F/m$$

3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

高效能壓電驅動柱塞模組開發

--- 高效能壓電致動器設計與製作 --- 致動器出力 $\geq 180g$

- 針對不同長寬、厚度=2mm的壓電元件(陶瓷材料 PZT-QA)反覆進行有限元素法分析
- 找出結構Longitudinal mode 及Bending mode之自然頻率最為接近且具備斜橢圓位移軌跡之尺寸
- 對 $24 \times 7.2 \times 2mm^3$ 之壓電元件進行出力分析得到致動器出力=203g $\geq 180g$
- 實際以荷重元(Load Cell)進行出力量測，測得致動器出力為215.3g $\geq 180g$

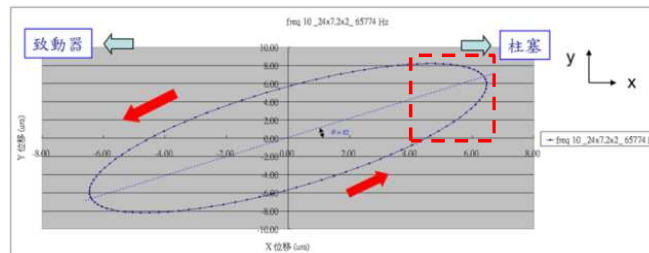
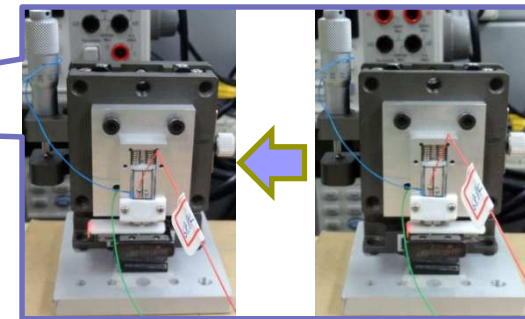
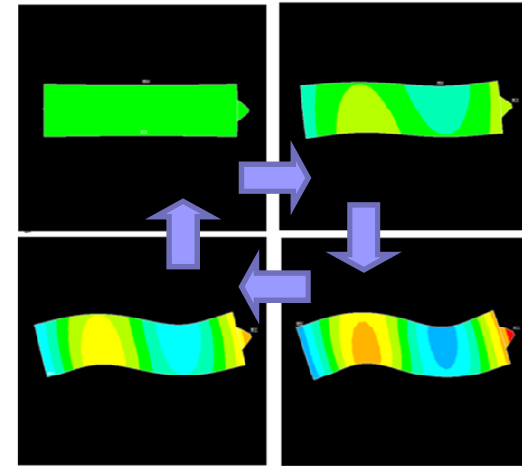


3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

高效能壓電驅動柱塞模組開發

--- 高效能壓電致動器設計與製作 --- 致動器行程 $\geq 5\text{mm}$

- $24 \times 7.2 \times 2\text{mm}^3$ 之 PZT-QA 壓電元件之結構自然頻率為 $65,774\text{Hz}$ ，壓電致動器 Tip 運動週期大約為 $15\mu\text{s}$
- 每個週期 Tip Y 方向之最大正向位移為 $8.2 \times 10^{-6}\text{m}$ ，其中有效推動柱塞移動之位移為 $2.29 \times 10^{-6}\text{m}$
- 推算出致動器以 0.15m/s 之速度推動柱塞移動
- 當推動時間大於 33ms ，行程即可大於 5mm
- 實際以位移計量測，行程為 $11.9\text{mm} \geq 5\text{mm}$

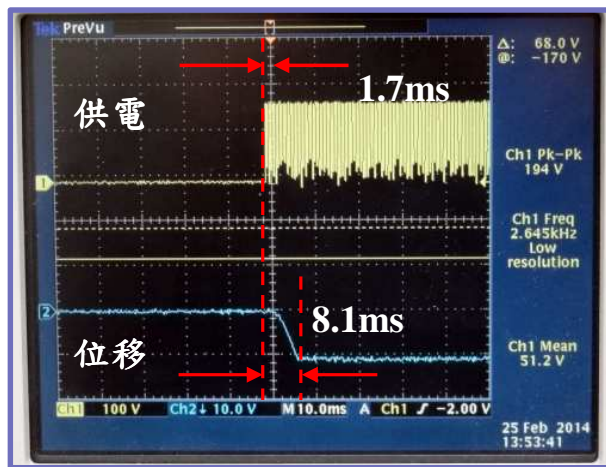
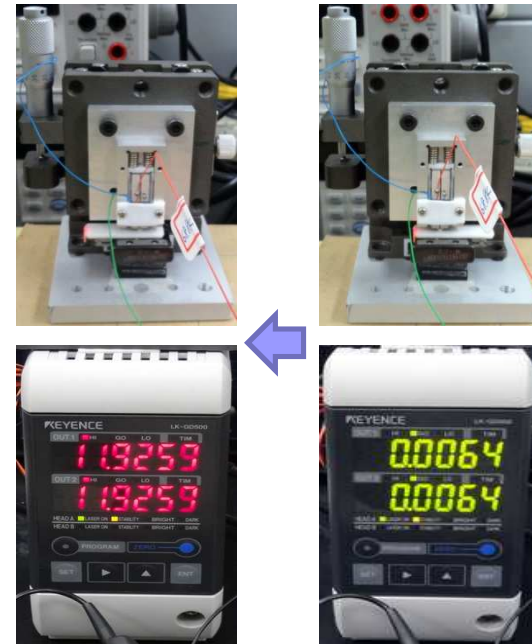


3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

高效能壓電驅動柱塞模組開發

--- 高效能壓電致動器設計與製作 --- 致動器反應時間 $\leq 10\text{ms}$

- 致動器反應時間為供電到移動的間隔時間
- 實際以位移計量測，從開始供電到移動11.9mm，所需時間為 $8.1\text{ms} \leq 10\text{ms}$
- 開始供電到移動瞬間所需時間為 $1.7\text{ms} \leq 10\text{ms}$

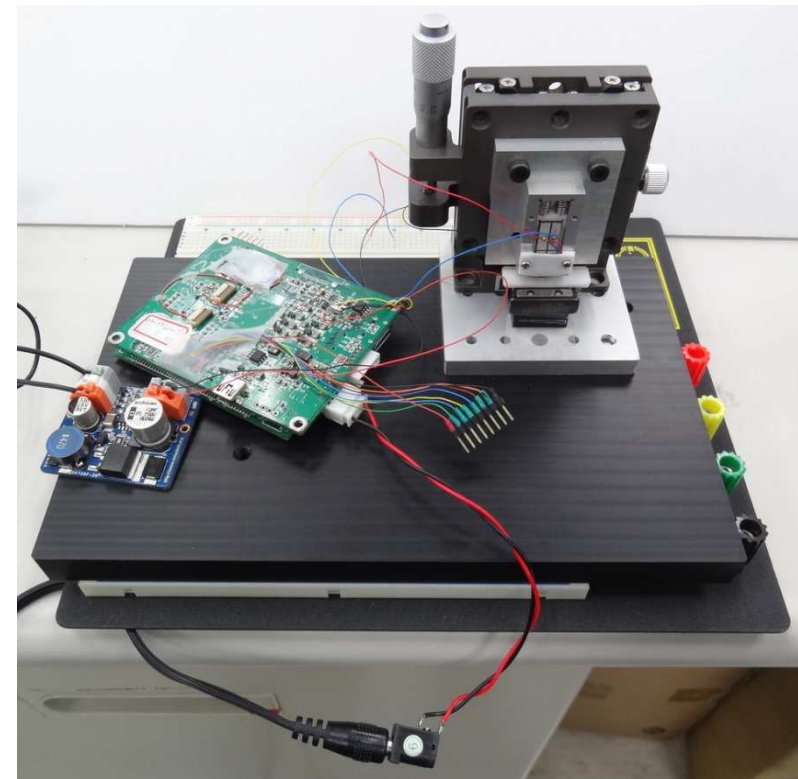


3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

高效能壓電驅動柱塞模組開發

--- 高效能壓電致動器設計與製作 --- 驅動電壓 $\leq 25V$

- 24x7.2x2mm³之PZT-QA壓電元件
- 前述之各項測試皆以24V電壓進行實驗
- 同時開發控制電路以12V電壓進行驅動

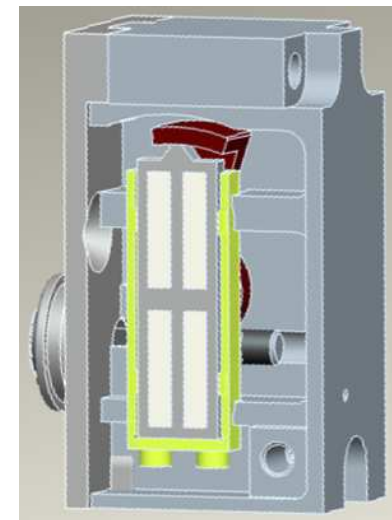
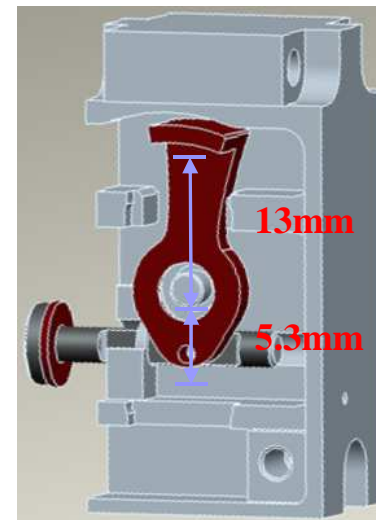
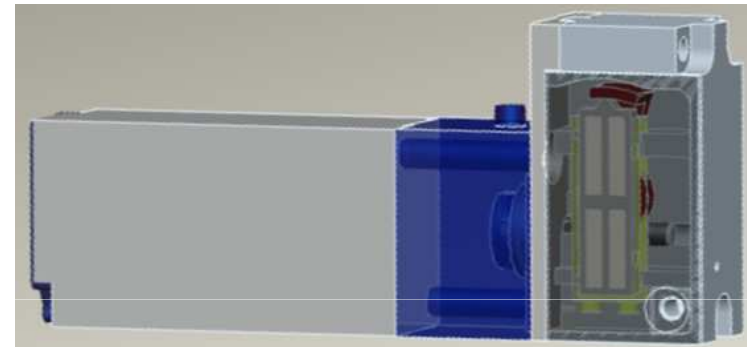


3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

高效能壓電驅動柱塞模組開發



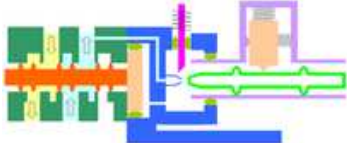
--- 高效能壓電致動器設計與製作 --- 引導壓持力 $\geq 160g$

- 以壓電致動器透過機構驅動柱塞移動，控制腔室內壓力氣體的流動方向
- 當致動器驅動柱塞往右，打開引導孔並關閉排氣孔，壓力氣體推動活塞往左，進而帶動閥軸向左移動
- 當致動器驅動柱塞往左，關閉引導孔並打開排氣孔，壓力氣體由排氣孔排出，閥軸被其左側的彈簧推動至右死點
- 引導壓持力 = 致動器出力 $\times 13/5.3 = 215.3g \times 13/5.3 = 528g \geq 160g$



3. 新型壓電閥壓電驅動節能技術

--壓電致動閥技術優勢比較

優勢比較表			
比較產品	SMC (標竿產品) SY5120-5DSD-01	君帆(對比產品) JSV-520-A01-S	引導式壓電致動閥
驅動原理	電磁驅動	電磁驅動	壓電驅動
引導驅動組件體積	60.9x55x15 mm ³	53.5x48x18 mm ³	50x45x18 mm ³
驅動噪音	有	有	無
驅動溫升	有	有	無
消耗功率	DC 350 mW	DC 500 mW	DC 50 mW
工作壓力	5 bar	5 bar	5 bar
最大工作頻率	5 Hz	5 Hz	5 Hz
最大反應時間	26 ms	50 ms	40 ms

4. 結語

- 節能減碳必為未來產品開發的主要元素。
- 壓電驅動技術為工業自動化所需精密致動器未來發展的可能關鍵技術。

- 壓電式特點：

- * No operating noises
- * Energy efficiency
- * Low weight
- * Proportional properties
- * Small size possible
- * No heat build-up
- * Low power consumption
- * Short response times
- * Sturdy and durable
- * Non-magnetic

謝謝聆聽與指教！
Thank you for your Attention