

淋浴用流量控制裝置之 彈性元件位移與流場之 模擬分析

◎機電工程學系
彭冠衡 碩士生
黃宜正 教授
◎金屬工業研究發展中心
智慧技術組
崔海平
陳弘毅
林庭凱
姚志宏

摘要

衛浴產品為基本民生必需品，其中淋浴裝置的最新功能要求在於以高效能流量控制為新的訴求。本計畫將針對人體在淋浴時的節水量，運用設計元件控制的技術，以有限元素分析彈性元件作動特性在對節水流場之影響，達到控制水流量之需求。其中彈性元件材料的特性耦合於流場的因素將作分析，利用分析結果，設計出可以因應輸入端水壓條件的變化，與即時反饋並自動修正輸出端出水流量值的控制流量之運動彈性機構。利用機構自動反饋的原理，使輸入端水壓條件在20~80psi的範圍內能使輸出端的流量穩定的控制在1.5~2.0gpm之範圍，提供給衛浴五金產業，在淋浴裝置設計上之重要參考設計依據，達水資源永續發展之目標。

關鍵字：流量控制彈性元件、自動反饋、有限元素分析、淋浴裝置

1. 計畫背景與目標

衛浴產品為基本民生必需品，由早期單純的止水功能不斷的演變，除了基本功能，消費者也要求外觀品質，為了使用安全也加入了許多功能如溫控、流量、逆流等規範，生活水準的提升對於衛浴裝置的功能與性能要求更高，隨者產業的發展衛浴產品已與3C結合，通訊、無線控制、行程安排等功能也已開發，衛浴產品的使用條件成了評斷國家發展與生活水準之依據。因應目前全球氣候變遷的問題與節能減碳的需求，水資源成為一個相當需要重視的研究課題。因此，以衛浴淋浴裝置為主的嵌入式

之節水元件，可作為一高效能流量控制體，此一訴求研究，包含彈性元件材料特性與入水出水之流場分析。因此以外銷為導向的台灣，必需對此衛浴產品進行開發設計，並且符合國家標準及國外大廠產品之研發腳步。分析工程技術在於穩定流場條件下的流體裝置上，利用其反饋式控流的功能，使出水流量值穩定，若將其嵌在裝置的上游端，可以使下游端的流場條件穩定，使後端流體控制機構所呈現的效能更為精準與穩定，排除惡劣的供水條件，將使後端的流體控制技術有更多元化的發展。本研究產生之高效能節水淋浴裝置可以符合國際規範ASME A112.18.1/CSA B125.1與美國環保局Water Sense標章所要求的流量控制標準。研發水控制元件功能成果，有助於我國衛浴五金產業聚落價值創新上有新的突破，建立起關鍵性技術零組件、模組與系統之整合。

2. 理論基礎

圖1、圖2所示為彈性元件其流固耦合模組在因應不同水壓時其作動原理的示意圖，會因為進口壓力之不同進行彈性元件的被動式位移。本研究將利用Multiphysics COMSOL模擬分析軟體，針對流量控制閥體之輸出入端及內部流道之流場效果進行分析，找出最佳之設計機構。研究步驟如下：(1)建立流固耦合元件電腦物理模型並確立多重物理量分析模型(2)彈性元件的位移在壓力與時間及作動速度之響應(3)入流端的流線(streamline)與流量(flow rate)分析(4)腔體混合區其流線(streamline)與流量(flow rate)分析(5)出口的流線(streamline)與流量(flow rate)分析。



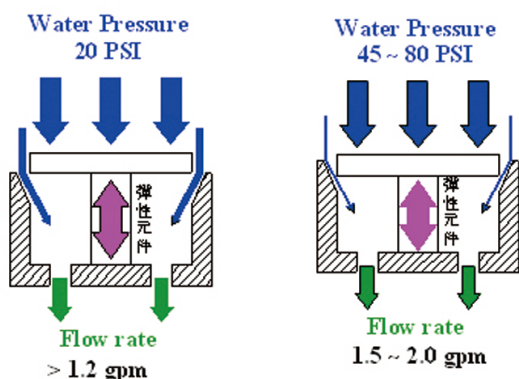


圖 1 彈性元件作動原理示意圖

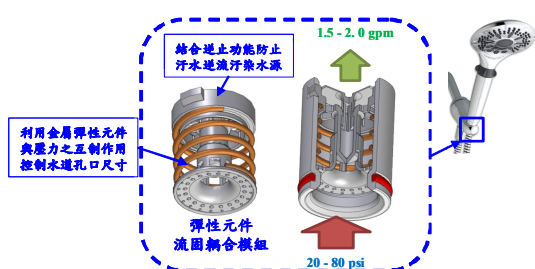


圖 2 彈性元件示意圖

由圖1可以看出輸出的流量反應到使用者的淋浴感受，因此利用軟體計算得以測得出口之流速，乘上出口截面積即得流量(單位體積流率)，再做公英制換算(1GPM=3.785LPM)，可得彈性控制流量運動機構之響應數據。

3. 有限元素分析結果

有限元素分析法為一種有效數值分析方式，其基本觀念為任何連續量均可用一不連續函數的形式做近似表示，此形式乃為有限區域的集合分段連續函數所組成。一般完整的有限元素程式(Finite Element Program)包含前置處理(Preprocessing)、解題程式(Solution)和後置處理(Postprocessing)，已被廣泛地運用於求解結構力學、結構動力學、熱力學、電磁學、電路學、流體力學等連續性問題[1]。

首先利用Solid Works建立所設計之運動閥體的3D模型，其組合圖如圖3和圖4所示，由於模型孔洞相當多，在執行模擬時須要非常大

的運算時間量，利用此元件為對稱結構，為了節省運算空間與時間，在此我僅採取1/8的結構來進行有限元素分析，其模型圖如圖5、圖6所示，其中彈性體如圖中箭頭所示處。

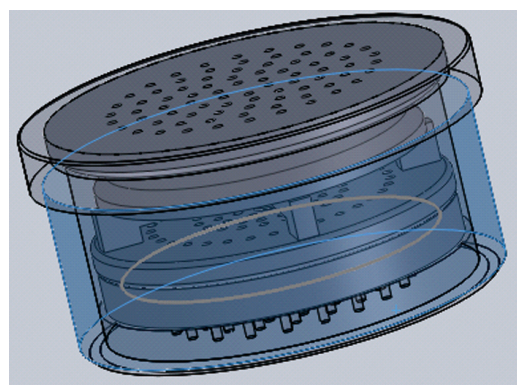


圖3 閥體組合圖

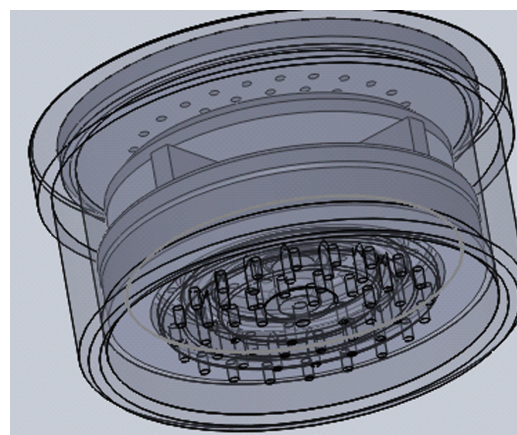


圖 4 閥體組合圖

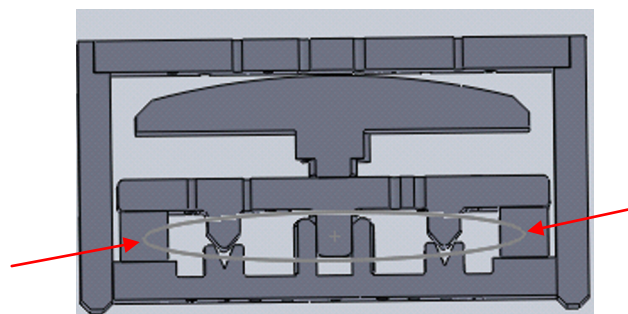
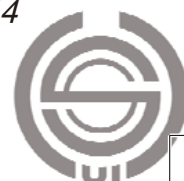


圖 5 1/8剖面結構側視圖



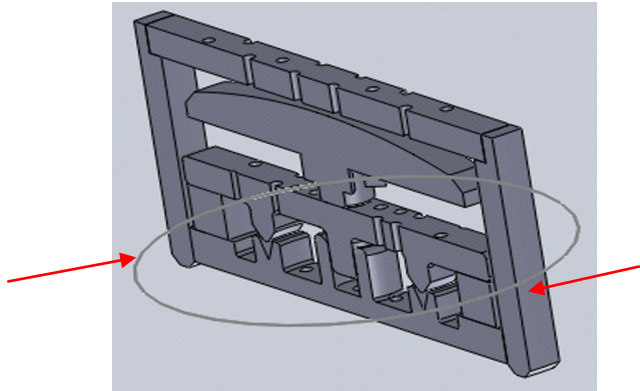


圖6 1/8剖面結構斜視圖

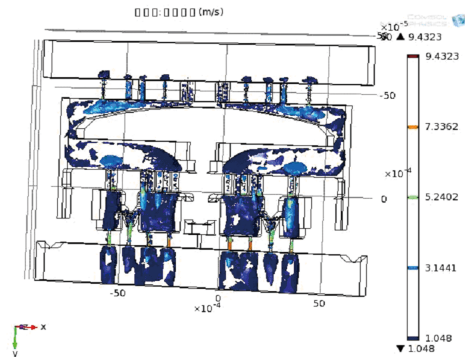


圖10 壓力80psi下彈性體厚度1.5mm之情形

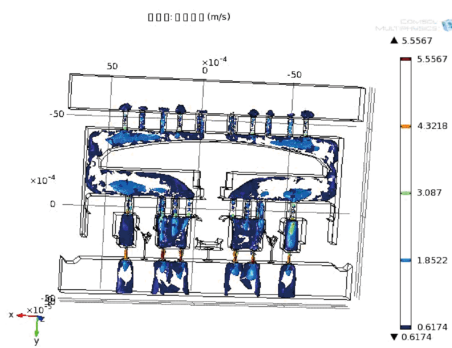


圖7 壓力45psi下彈性體厚度於1.3mm流場情形

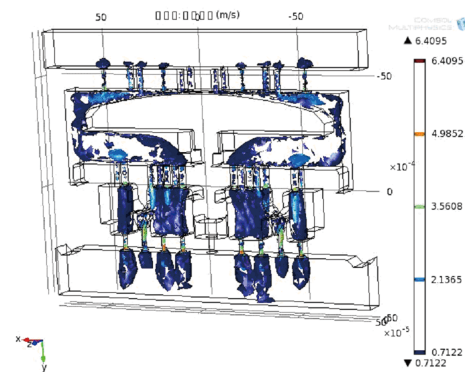


圖11 壓力45psi下彈性體厚度1.7mm之情形

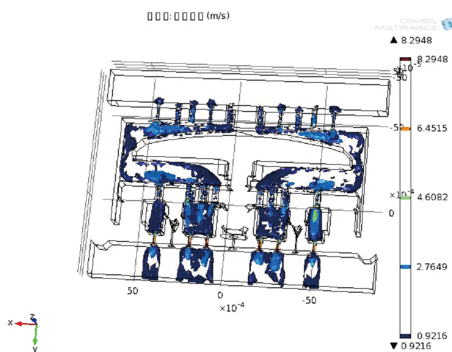


圖8 壓力80psi下彈性體厚度於1.3mm流場情形

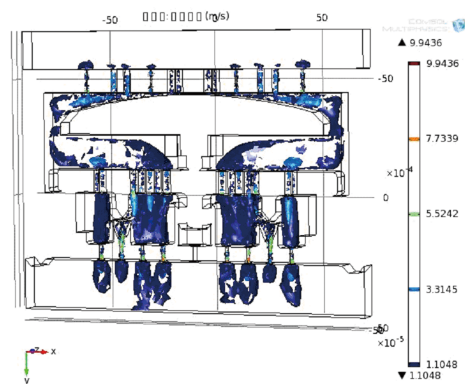


圖12 壓力80psi下彈性體厚度1.7mm之情形

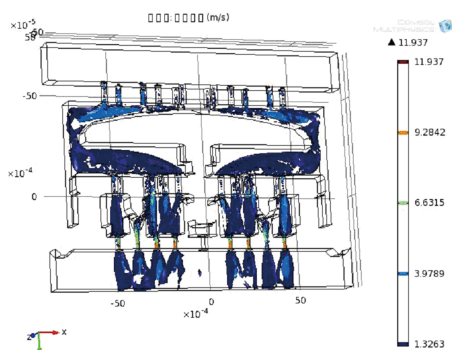


圖9 壓力45psi下彈性體厚度於1.5mm流場情形

為尋求適當的彈性元件機械特性，以作為日後實體設計的依據，分別設定進水口之壓力為15psi、20psi、45psi、60psi與80psi，而出水口維持在1大氣壓的情況下，改變彈性體運動量壓縮厚度由1.7mm、1.6mm、1.5mm、1.4mm至1.3mm之出入流速情形。其中水的密度為 1000kg/m^3 ，動黏滯性為 $0.001\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。由軟體模擬可以計算出入口壓力與彈性體厚度共同影響



出口流速之結果，圖7至圖11為以COMSOL進行有限元素分析模擬，可以明顯看出入口壓力、彈性體厚度影響輸出通道截面之水流量、水流速度改變。依彈性體厚度分別整理於表1至表5，由入口壓力15psi模擬資料顯示，雖然在內部元件設計上還有改善空間，但是就計算出的流場數據顯示出非線性的狀態，因此入口壓力就與彈性體運動量壓縮厚度而言，大於20psi的流場壓力才足以推動此彈性體，再以流線的分佈均勻性與輸出流量而言，較符合淋浴流量要求。

4. 結果與討論

綜合表6所示，在彈性體厚度於1.3~1.5mm間，其出口速度在45-80psi條件下，表現線性出口速度的趨勢，可以預測穩定的輸出流量。而在彈性體厚度於1.6~1.7mm間其出口速度在45-80psi條件下表現線性出口速度的趨勢，同樣具有可預測穩定的輸出流量表現。而在相同的入水壓力條件下(如45psi)，彈性體厚度於1.3~1.5mm間，其出水量差不多一樣；彈性體厚度於1.6~1.7mm間，其出水量也差不多一樣。代表此一彈性體的作動範圍，可以因供水壓力不同作被動式適應性(adaptive)的調制出水流量，利用兩段非線性1.3~1.5mm與1.6~1.7mm之區段反應，作出水的輸出穩定。表7之結果顯示，所設計彈性機構流量調整運動，可以因應輸入端水壓條件的變化，作即時反饋，並讓輸出端出水流量值的流量達到有效的控制。

表1彈性體厚度1.3mm

入口壓力	入口流速(m/s)	出口流速(m/s)
15 psi	0.0169	0.0366
20 psi	0.0917	0.1455
45 psi	0.1684	0.3396
60 psi	0.188	0.4192
80 psi	0.2089	0.5088

表2彈性體厚度1.4mm

入口壓力	入口流速(m/s)	出口流速(m/s)
15 psi	0.0416	0.0629
20 psi	0.875	0.1375
45 psi	0.178	0.3367
60 psi	0.1993	0.4168
80 psi	0.2215	0.506

表3彈性體厚度1.5mm

入口壓力	入口流速(m/s)	出口流速(m/s)
15 psi	0.0216	0.076
20 psi	0.0967	0.1388
45 psi	0.1701	0.3335
60 psi	0.1904	0.4133
80 psi	0.2131	0.504

表4彈性體厚度1.6mm

入口壓力	入口流速(m/s)	出口流速(m/s)
15 psi	0.0167	0.0316
20 psi	0.0983	0.1091
45 psi	0.1897	0.2558
60 psi	0.2141	0.3182
80 psi	0.2397	0.3886

表5彈性體厚度1.7mm

入口壓力	入口流速(m/s)	出口流速(m/s)
15 psi	0.0215	0.0317
20 psi	0.0988	0.111
45 psi	0.1879	0.2574
60 psi	0.212	0.3196
80 psi	0.2372	0.39

表 6入口壓力與彈性體厚度之速度比較表

入口壓力與彈性體厚度之速度比較表					
單位:m/s	15 psi	20 psi	45 psi	60 psi	80 psi
1.3 mm	0.0366	0.1455	0.3396	0.4192	0.509
1.4 mm	0.0629	0.1375	0.3367	0.4168	0.506
1.5 mm	0.076	0.1388	0.3335	0.4133	0.504
1.6 mm	0.0316	0.1091	0.2558	0.3182	0.389
1.7 mm	0.0317	0.111	0.2574	0.3196	0.390

表 7入口壓力與彈性體厚度之流量比較表

入口壓力與彈性體厚度之流量比較表					
單位:GPM	15 psi	20 psi	45 psi	60 psi	80 psi
1.3 mm	0.116617	0.463601	1.082	1.336	1.621
1.4 mm	0.200416	0.438111	1.073	1.328	1.612
1.5 mm	0.242156	0.442253	1.063	1.317	1.606
1.6 mm	0.100686	0.347621	0.815	1.014	1.238
1.7 mm	0.101004	0.353675	0.820	1.018	1.243

參考文獻

- [1] 錢信諺、黃宜正、陳泰成、姚志宏，恆溫閥腔內通道冷熱水混溫分析之研究，COMSOL Conference, Taipei, 11/27, 2009。
- [2] “Comsol 範例使用手冊”，皮托科技。

