



上海納卡什瑪液壓技術有限公司

Nakashima Hydraulics Technology Co., Ltd.

Add: Plant3#, No. 86-150 Pingbei Rd. Zhuangqiao, Minhang District, Shanghai, China 201108
Tel: 400-021-9112 86-21-64901276/2276/3476 Fax: 86-21-64902590
Website: www.nakashima.cn E-mail: sales@nakashima.cn

兩種不同結構電液伺服閥結構分析

射流管式電液伺服閥與噴嘴擋板式電液伺服閥是目前世界上運用最普遍的典型兩級流量控制伺服閥。由於射流管式電液伺服閥在國外屬高端產品，主要運用於航空、航太、軍事等行業，對國內引進實行限制，目前國內除少數電廠隨設備引進較大流量的射流管閥外，一般很少見到該型閥。國內成規模生產該型閥的單位也只有中國船舶重工集團公司第七〇四研究所。而噴嘴擋板式電液伺服閥國內外運用得比較普遍，國內生產該型閥的單位也比較多。本文將對兩種閥的構造與特點作一簡單介紹。

工作原理

2.1 噴嘴擋板式伺服閥的原理

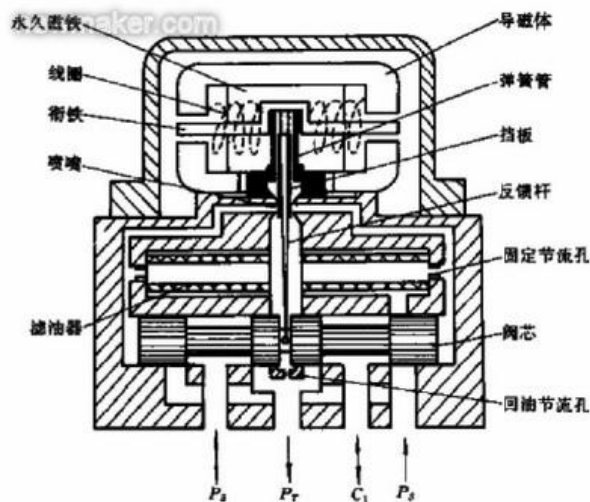


圖 1 雙噴嘴擋板式力回饋電液流量伺服閥

其工作過程為：輸入到力矩馬達線圈的電氣控制信號在銜鐵兩端產生磁力，使銜鐵擋板元件偏轉。擋板的偏轉將一側噴嘴擋板可變節流口減小，液流阻力增大，噴嘴的背壓升高；而另一側的可變節流口增大，液流阻力減小，液流的背壓降低。這樣可得到與擋板位置變化相對應的噴嘴背壓，此背壓加到與噴嘴腔相通的閥芯端部，推動閥芯移動。而閥芯又推動回饋杆端部的小球，產生回饋力矩作用在銜鐵擋板元件上。當回饋力矩逐漸等於電磁力矩時，銜鐵擋板組件被逐漸移回到對中的位置。於是，閥芯停留在某一位置。在該位置上，回饋杆的力矩等於輸入控制電流產生的的力矩，因此，閥芯位置與輸入控制電流大小成正比。當供油壓力及負載壓力為一定時，輸出到負載的流量與閥芯位置成正比。

2.2 射流管式伺服閥的原理

圖 2 為射流管式伺服閥的原理圖。力矩馬達採用永磁結構，彈簧管支承著銜鐵射流管元件，並使馬達與液壓部分隔離，所以力矩馬達是幹式的。前置級為射流放大器，它由射流管與接受器組成。當馬達線圈輸入控制電流，在銜鐵上生成的控制磁通與永磁磁通相互作用，於是銜鐵上產生一個力矩，促使銜鐵、彈簧管、噴嘴元件偏轉一個正比於力矩的小角度。經過噴嘴的高速射流的偏轉，使得接受器一腔壓力升高，另一腔壓力降低，連接這兩腔的閥芯兩端形成壓差，閥芯運動直到回饋元件產生的力矩與馬達力矩相平衡，使噴嘴又回到兩接受器的中間位置為止。這樣閥芯的位移與控制電流的大小成正比，閥的輸出流量就比例於控制電流了。

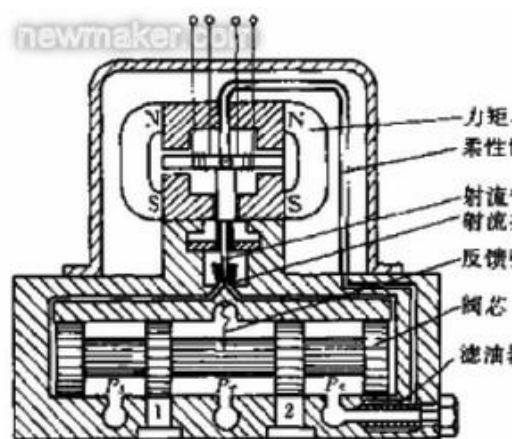


圖 2 射流管式力回饋電液流量伺服閥

3 主要特點

射流管式與噴嘴擋板式最大差別在於噴嘴擋板式以改變流體回路上所通過的阻抗來進行力的控制。相反，射流管式是靠射流噴嘴噴射工作液，將壓力能變成動能，控制兩個接受孔獲得能量的比例來進行力的控制。這種方式的閥與噴嘴擋板式相比因射流噴嘴大，由汙粒等工作液中雜物引起的危害小，抗污染能力強。且射流管式液壓放大器的壓力效率及容積效率高，一般為 70% 以上，有時也可達到 90% 以上的高效率。輸出控制力（滑閥驅動力）大，進一步提高了抗污染能力。同樣其靈敏度、解析度及低壓工作性能大大優於噴嘴擋板閥。另外，由於射流管式由於在噴嘴的下游進行力控制，當噴嘴被雜物完全堵死時，因兩個接受孔均無能量輸入，滑閥閥芯的兩端面也沒有油壓的作用，回饋彈簧的彎曲變形力會使閥芯回到零位上，伺服閥可避免過大的流量輸出，具有“失效對中”能力，並不會發生所謂的“滿舵”現象。但射流管式液壓放大器及整個閥的性能不易理論計算和預計，力矩馬達的結構及工藝複雜，加工難度大。

噴嘴擋板式的閥與射流管閥相比增益特性比較平坦、整閥性能可計算及預測、並能做得比射流管式小。但按其特性，噴嘴與擋板的間隙不能超過噴嘴直徑的 1/4，這就決定了該閥的最小尺寸較小，易被汙物卡住，使用時必須保持油液的清潔度。一般情況下使用噴嘴擋板閥的油液清潔度要求達到 NAS6 級，並要在閥的進油口前設置過濾精度小於 10 μm 的濾器。而在使用射流管閥的場合下，用 NAS8 級已經足夠，且濾器用 25 μm 也夠了。並且，由於噴嘴擋板式伺服閥是利用兩個噴嘴的背壓作為控制力，在工作時如有一側發生雜物堵塞噴嘴擋板的情況，會造成一側壓力上升，使閥芯向一邊移動，閥芯的偏移會形成單方向的流量輸出，使執行機構（如舵機）向一邊偏移直到最大位置，即所謂的“滿舵”現象。另外，噴嘴擋板閥的壓力效率和容積效率約為 50%，比射流管低，其控制力較小，因此，其靈敏度、解析度及低壓工作性能不及射流管閥。

4 結構與可靠性

4.1 先導級最小尺寸

伺服閥抗工作液污染的能力一般由其最小尺寸所決定，特別對於先導級型的伺服閥，其先導部分油路中的最小尺寸往往成為決定性的因素。因為從外部來的輸入電控信號是在先導部分進行轉換的，輸出部分滑閥的動作是由先導級的動作決定的。

射流管閥中的最小尺寸在先導級射流管式液壓放大器中的噴嘴處（見圖 3）。噴嘴擋板式伺服閥的最小尺寸在先導級噴嘴與擋板的間隙（見圖 4），約為 0.03mm~0.05mm，污染顆粒往往很容易在此堵塞、卡死。

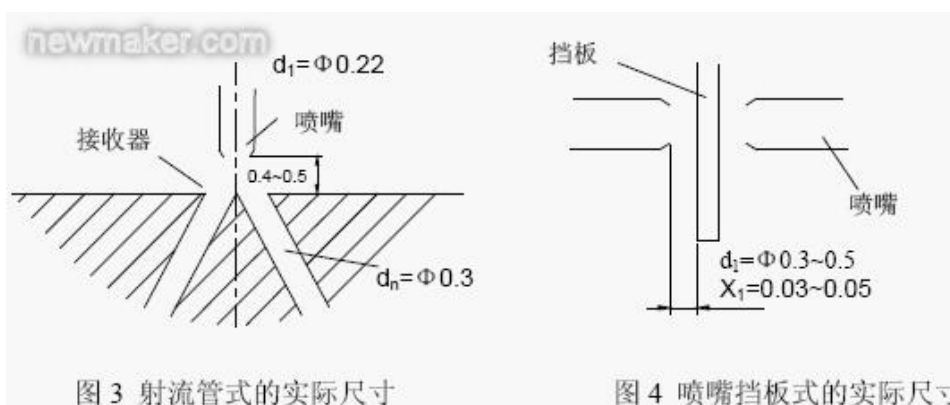


图 3 射流管式的实际尺寸

图 4 喷嘴挡板式的实际尺寸

而射流管閥的最小尺寸在噴嘴處為 0.2mm~0.4 mm，是噴嘴擋板閥的最小尺寸的 5~10 倍，0.2mm 的顆粒很容易通過，所以說射流管式比噴嘴擋板式抗污染能力提高了一個數量級。

4.2 先導級的磨蝕

伺服閥的先導級在工作時會產生磨蝕，但射流管式與噴嘴擋板式比較，其磨蝕的產生與性能變化的程度低於噴嘴擋板閥。這是因為在射流管場合下，噴嘴端面與接受孔間的距離為噴嘴直徑的 1.5~2.5 倍，從特性上講，此距離達到噴嘴直徑的 3.5 倍也完全可以使用。與此相反，在噴嘴擋板場合下，噴嘴擋板間的間隙在特性上的上限為直徑的 1/4，要想增大最小尺寸，只能做到 1/4 的極限值上，因此容易產生磨蝕及特性變化。而且在雙噴嘴擋板式的場合下，兩個噴嘴及擋板左右側所產生的磨蝕不一定對稱，容易產生零位偏移。而射流管式的噴射流是由單噴嘴噴射的，且被接受孔分成兩股，磨蝕的產生一般是对稱的，產生的磨蝕量也比噴嘴擋板式少。再加上其接受器的尖邊即使經高壓油長期冲刷凹陷下去，但仍其著分水嶺的作用，只要其與噴嘴的距離不大於噴嘴直徑的 3.5 倍，對伺服閥性能的影響非常小，故其穩定性、可靠性高於雙噴嘴擋板閥。

4.3 力矩馬達的結構

射流管式伺服閥的力矩馬達零件全部採用壓配及焊接結合成一體，並經嚴格的時效處理消除內應力，結構牢固穩定，零位元漂移小，更能承受強衝擊及振動。而雙噴嘴擋板閥的力矩馬達只靠 4 個 M3 的小螺釘固定，在螺釘應力疏散和受到強衝擊、振動、顛振後，零位漂移大。另外，射流管式力矩馬達的銜鐵處有一對支撐簧片，銜鐵偏轉時只有轉角，沒有撓度，大大改善了彈簧管的受力，抗疲勞性能大大增強，保證了伺服閥的長壽命使用。

4.4 滑閥級尺寸

由於射流管式先導級比噴嘴擋板式的控制力大，所以射流管式伺服閥閥芯的直徑和行程，比噴嘴擋板式的大而長。表 1 為同級別先導級時，其輸出部分閥芯的直徑、行程及驅動力比較。

表 1 閥芯尺寸比較表

	射流管式	噴嘴擋板式
閥芯直徑 mm	6.99	3.96
閥芯行程 mm	0.64	0.13
驅動力 kg (在端面壓力 40 kg/cm ² 時)	15.35	4.92

從上表可以看出射流管閥的閥芯直徑明顯大於噴嘴擋板閥，而閥芯直徑越大，其驅動力也越大，即使有一點雜物和汙粒，滑閥級也能順利工作，從而提高了可靠性。此外，閥芯行程的加長也能提高伺服閥的壽命。因為伺服閥工作時其高速流動的油液會磨蝕滑閥級工作視窗的稜邊，從而引起流量特性的變化。在加長行程後，磨蝕量相對於行程量所占的比例減小，所以工作視窗流通面積的變化減小。這樣，流量特性的變化與伺服閥使用時間的比值減小了，能比閥芯行程短的伺服閥維持更長時間的穩定性。

5 工作性能

5.1 解析度

噴嘴擋板閥的先導級在工作時存在壓力負反饋（即擋板靠向一測噴嘴，由於噴嘴的壓力升高，會增大對擋板的推力，阻礙其靠近），影響其靈敏度及解析度指標。射流管閥的先導級不存在壓力負反饋，而且其射流管放大器的流量效益最高可達 90%，壓力效益亦可達到 80% 以上。所以射流管放大器推動閥芯的力比雙噴嘴放大器高許多，射流管伺服閥的解析度一般可達到小於 0.1% 的程度。

5.2 低壓工作性能

根據前文所述，射流管閥的閥芯驅動力明顯大於雙噴嘴閥，故其低壓工作性能亦優於雙噴嘴擋板閥。通過試驗可得：射流管伺服閥在供油壓力為 1MPa 條件下，其流量曲線的重複性也非常好；在供油壓力為 0.5MPa 的情況下，也能正常工作；在額定供油壓力時，只輸入 $\pm 3\%$ 的額定電流其閥芯位移特性曲線的線性度和重複性都非常好。而所有這些都是雙噴嘴擋板閥在同一條件下無法達到的。

另外，雙噴嘴閥在許多場合需加顫振信號來提高解析度，而射流管閥在絕大多數應用場合均不需要加顫振信號。

5.3 動態回應

一般認為射流管閥的動態回應比較低，其實有所誤解。根據 MOOG 公司的觀點：射流管式先導級具有很高的無阻尼自然頻率，一般可達 500Hz~700Hz 以上，只要有足夠的先導放大級流量增益，射流管閥也可達到較高的動態回應。之所以一般射流管閥產品的增益較低，是因為在國外射流管閥往往應用於航空、航太等高端場合，其對內洩漏要求較高，噴嘴直徑較小，造成頻率特性比雙噴嘴閥稍低一些。而在一般使用場合，只要適當增加噴嘴直徑，就能大大提高射流管閥的動態回應。在國內額定流量在 30L/min 左右的射流管伺服閥其頻率回應亦能達到 160Hz 以上。

6 結論

綜上分析，射流管伺服閥在抗污染能力等可靠性特性方面高於噴嘴擋板閥，並且在靈敏度、解析度、滯環、低壓工作特性等性能指標亦優於噴嘴擋板閥，但噴嘴擋板閥亦有其優點，在國內實際使用也很多，並不能極端地說噴嘴擋板閥比射流管閥差很多。另外，射流管式伺服閥在國外屬對中國限制的產品，國內對其的應用還相當少，瞭解還不多。目前只能通過國外的某些資料來瞭解射流管伺服閥實際應用中的可靠性情況。1965 年~1971 年月 7 年間美國航空公司曾對其使用的 9000 個射流管伺服閥進行追蹤調查，其平均故障率為 115000 小時。

作為國內最大的射流管閥生產單位，七〇四所雖然也有所生產的伺服閥在工業場合連續使用十餘年的記錄，但由於條件限制，還無法對其產品的使用情況作全面準確地統計。但總體來講，射流管伺服閥的工作穩定性和耐久性是相當高的。相信隨著射流管伺服閥的應用越來越廣泛，其優點會被充分理解。