

「中華民國自來水協會第 23 屆自來水研究發表會」 雙計量機構水量計之設計開發

***魏欽益 **黃佑仲**

*空軍軍官學校航太系 副教授 **弓銓企業股份有限公司 董事長

摘要

一般葉輪型水量計，包括全流量式及插入式兩種，均採用單一計量機構（葉輪）來執行計量工作。雙計量機構（兩只葉輪）水量計則是利用插入式水量計的觀念，在水量計內並聯安裝兩只獨立運作的葉輪，水量計內的流道因此將一分為二。從流場的角度來看，雙計量機構水量計內各流道的流場穩定性與均勻度通常較單計量機構水量計內的流場為差，以至於影響到雙計量機構水量計的計量準確度與穩定性。但只要在雙計量機構水量計內建立適當的整流模式，仍可有效確保水量計內的兩個計量機構的獨立穩定運作，以達到準確計量的目的。

雙計量機構水量計之設計開發，乃弓銓公司累積十餘年水量計研發製造之經驗自行開發完成，並取得專利之肯定。雙計量機構水量計的優點很多，除了計量準確之外，還有自我查核與自我平衡等功能：

- 一、準確計量：在適當的整流模式下，雙計量機構水量計的各葉輪均可獨立準確計量，必要時亦可採兩只葉輪輸出的平均值（或加權平均值）來計量，以進一步提升計量的穩定性。
- 二、自我平衡：在上游流場不穩定，或其他因素而可能造成兩葉輪所對應的流道內的速度差異，導致兩葉輪所量測之流量值不同時，可利用平均或適當的加權運算，以獲取合理的量測值。
- 三、自我查核：當其中一只葉輪因故損壞致計量不準確甚至完全無法運轉時，吾人除仍可藉由另一只葉輪的讀值持續計量外，並可藉由兩葉輪輸出值的差異，判斷得知其中一只葉輪故障的訊息，以安排適當的時機進行維修或更換葉輪。

簡介

一般速度型之水量計可歸類為全流量式與插入式兩種，全流量式水量計係指葉輪（或其他型式的計量機構）所涵蓋的面積幾乎達到全部的管道面積，因此，隨著水管直徑的增大，水量計內的葉輪（或對應的計量機構）亦須同步增大，亦即不同口徑的水量計須搭配相對應直徑的葉輪（或計量機構）。以 50 到 300 口徑的葉輪型水量計為例，包括 50、75、100、150、200、250 及 300 七種口徑的水量計，就須設計七種尺寸的葉輪模具，而且口徑越大的葉輪，其模具開發及葉輪生產的成本都顯著提高，但其市場銷售量反而急速下降，因此其開發成本與風險均相對提升。

插入式水量計係指葉輪（或其他型式的計量機構）所涵蓋的面積只佔管道面積的一部分。因此，隨著水管直徑的增大，水量計內的葉輪（或計量機構）並不須同步增大，不同口徑的水量計可搭配相同尺寸的葉輪（或計量機構）。因此，對大口徑的水量計或一系列不同口徑但可共用相同尺寸的葉輪（或計量機構）之水量計而言，將可顯著降低研發與生產成本，大幅提升產品的競爭力。

插入型水量計又可分為點流速計型和徑流速計型兩種。點流速計型插入式水量計的工作原理是量測管道中某特定位置的局部流速，然後依據管道內流速分佈及儀表與管道的幾何參數關係（如速度面積法[1]等）推算出管道內的流量值，此類水量計包括皮托管式流速計、靶式水量計及插入式渦流水量計等。徑流速計型插入式水量計的工作原理是依據管道直徑上流速量測的綜合值，再依據管道流速及儀表特性推算出管道的流量值，例如熱式或差壓式均速管型水量計等。此外，超音波水量計雖不屬於插入式水量計，但其工作原理則與徑流速型水量計相當。

一般而言，大部分的插入式水量計通常具有以下的主要優點[2]：

1. 結構簡單、重量輕且製造成本低；
2. 安裝通常較為簡便，甚至可做成不斷流抽取式結構，便於維護；
3. 壓力損失較小；
4. 適用的流體種類較多；

5. 適用的流動狀態範圍較廣；
6. 大口徑流速型插入式水量計校驗較簡便，且校驗裝置的口徑無須與水量計的口徑相對應，解決了大口徑水量計不易校驗的困難。
7. 一種規格的流速型插入式流量傳感器可適用多種不同口徑的管道；
8. 有些插入式水量計可做成可攜帶式。

然而，插入式水量計的主要缺點則為：

1. 儀表特性容易受流場的影響，對現場直管段的長度要求較高；
2. 量測精確度較差；
3. 儀表的標準化難度較大。

綜合前述的優缺點可知，插入式水量計的主要優點為簡便、易維護、易校驗及成本低。但其主要缺點則包括流場品質要求較高及量測精確度較低等，而這些缺點則限制了插入式水量計的可應用性。因此，以往插入式水量計的應用通常侷限於對量測精確度要求不高的流道。吾人若能改善插入式水量計的精確度問題，或藉由上游流道適當的整流技巧來提升插入式水量計的精確度，並降低其對上下游直管段長度的要求，則將可有效提升插入式水量計的可應用性。

本研究以橫軸奧多曼式水量計為實例，說明弓銓公司過去幾年來，針對雙葉輪之插入式橫軸奧多曼式水量計的設計開發所付出的努力，目前的實際試驗成果，以及未來展望等。預期此類雙計量機構的水量計將逐漸受到重視，並且在水量計量方面逐漸被推廣使用。

雙計量機構水量計的設計開發

插入式奧多曼水量計

弓銓公司從數年前即開始自行研發橫軸奧多曼式水量計，研發部門自行設計出適合 75 mm 口徑的橫軸奧多曼式水量計的葉輪，並成功研製符合 ISO 4064 國際水量計標準[3,4,5]中度量等級 C 級(高計量靈敏度)的 75 mm 口徑奧多曼式水量計。在開發更大口徑的奧多曼式水量計時，為節省生產成本，吾人乃嘗試利用同樣的葉輪，以插入式水量計的觀念來開發較大口

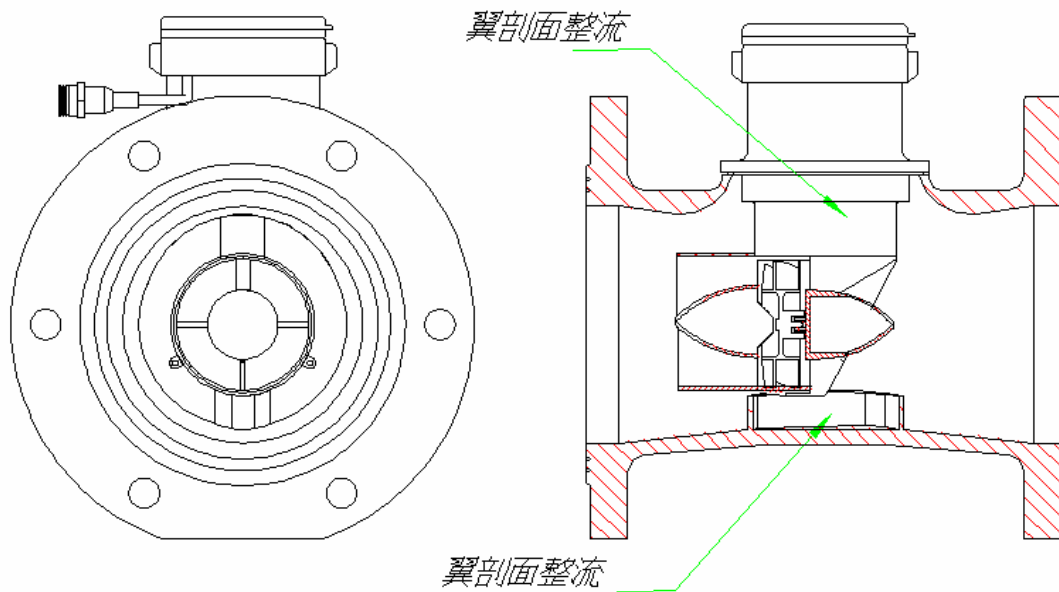
徑的橫軸奧多曼式水量計。經過兩年多的努力，陸續成功開發出口徑 100、150 及 200 mm 的插入式橫軸奧多曼式水量計，而上述各口徑水量計均利用 75 mm 口徑的葉輪來計量。由各項試驗結果顯示，上述各口徑之橫軸奧多曼式水量計的壓力損失、防磁特性、試驗器差與重複性等方面的表現均合乎 CNS 14866 中華民國國家標準[6]的要求，且部份口徑(75 mm 及 100 mm)的性能表現合乎 ISO 4064 之 C 級水表的要求。顯示弓銓公司以插入式水量計的觀念，來開發較大口徑的橫軸奧多曼式水量計的策略相當成功。

在開發口徑 100、150 及 200 mm 的插入式橫軸奧多曼式水量計的同時，由於口徑 250 及 300 mm 的橫軸奧多曼式水量計若採用單一葉輪之插入式計量機構的話，將不易避免水量計內流場的不對稱性，而影響到計量的準確度。因此，本公司引進雙計量機構的觀念，利用適當的導流與整流設計，將口徑 250 及 300 mm 的橫軸奧多曼式水量計內部安裝兩只葉輪同時計量，且此項設計已獲得多項專利[7,8]的肯定。

流道設計

速度型水量計內部流場速度分佈的均勻性與穩定性，攸關水量計的準確性。因此，各種速度型水量計都有對應的上下游直管段長度要求，以確保進入水量計的流場為(或近似)均勻穩定的完全發展流(Fully developed flow)。插入式速度型水量計對於內部流場速度的均勻性與穩定性更為敏感，因此設計開發時須特別注意流道內流場的改善。

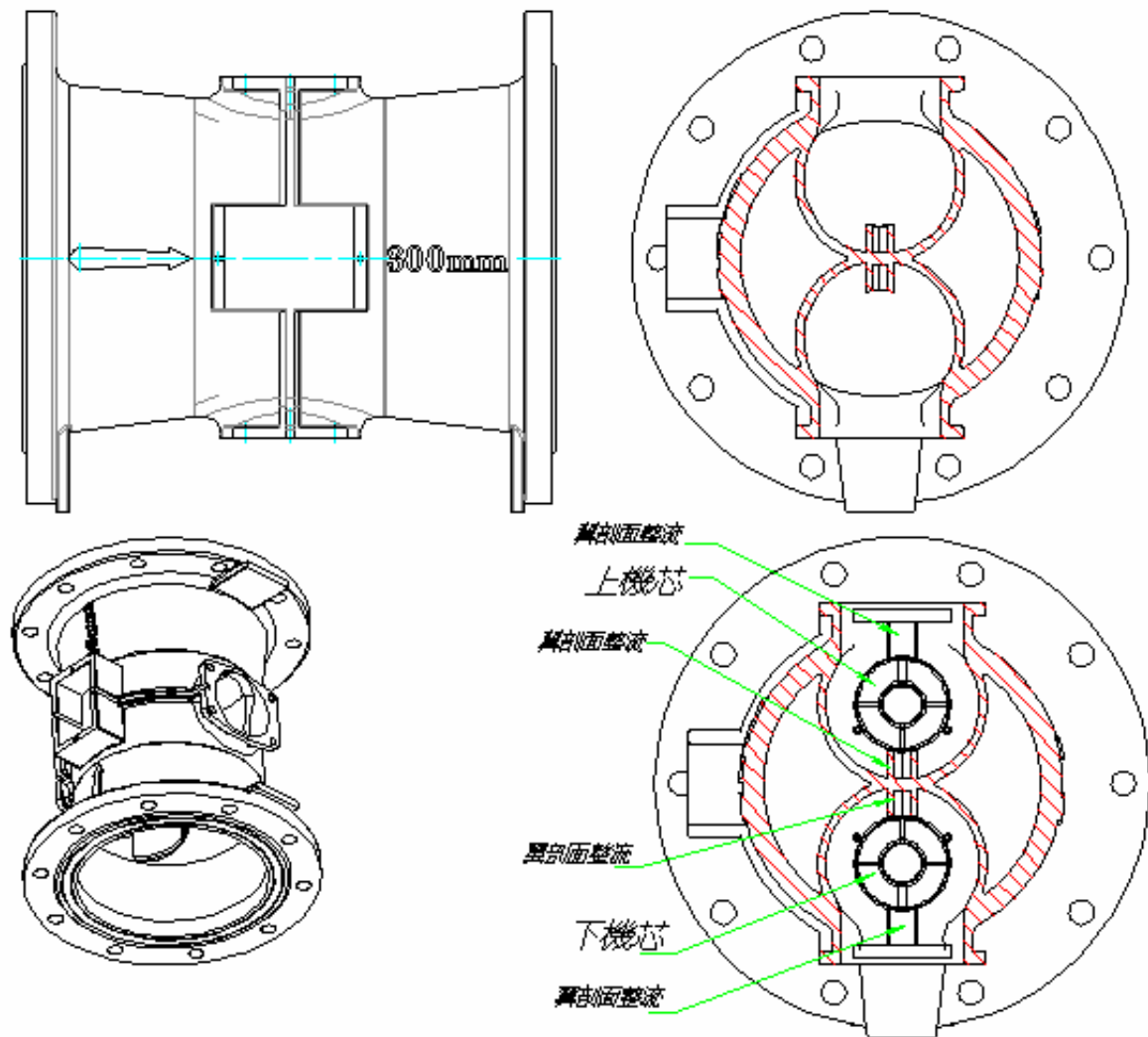
圖一為口徑 150 mm 的插入式奧多曼水量計之內部結構示意圖，由於葉輪之轉動訊號須透過適當的電子線路傳訊至上層的電路板。吾人在葉輪之一端設計一片翼剖面(Airfoil)形狀的流線形(Streamline)支撐機構，一方面作為葉輪的支撐結構，一方面內含感測感應線路以偵測葉輪的轉動訊號。此流線形支撐機構的翼剖面設計有助於降低流動阻力並具有穩定流場的功能。此外，吾人為進一步確保葉輪周圍結構的對稱性以保持流場的穩定，特別在葉輪另一側再加裝一個翼剖面形狀的流線形支撐機構[如圖一所示]，安裝此支撐機構的目的在確保葉輪兩側結構的對稱性，以達到適當調整流場的目的。



圖一 150 mm 的插入式奧多曼水量計結構示意圖。

圖二則顯示吾人將口徑 300 mm 的插入式雙葉輪奧多曼水量計內部以類 8 字形分隔板隔成兩個獨立的近似圓形的流道，各流道內分別自上而下插入一只葉輪（簡稱上葉輪），以及由下而上插入另一只葉輪（簡稱下葉輪），而個別流道內則仿照圖一的方式，在上葉輪下方加裝一片翼剖面形狀的流線形支撐機構[如圖二所示]，同時亦在下葉輪上方加裝一片翼剖面形狀的流線形支撐機構，以確保葉輪兩側結構的對稱性，並達到適當調整流場的目的。

此外，在 8 字型分隔版及其兩側的流道方面，吾人亦將分隔版前緣與水量計周邊的壁面適當地圓弧化，以減小水量計內流場的擾動。同時，8 字形分隔板外側所形成的狹長形流道亦經過適當設計，以減少其上下兩側的尖角造成流道內流場的角落效應(Corner effect)，避免其影響到 8 字形流道內的流場，進而降低葉輪計量的準確性與穩定性。



圖二 300 mm 的插入式雙計量機構奧多曼水量計結構示意圖。

試驗結果

在雙計量機構奧多曼式水量計的開發過程中，本公司研究團隊先嘗試規劃出數種可能的流道設計。經多次反覆地研討評估後再挑選出二至三種較為可行的方案，然後視情況以手工或開模方式製作出數只水量計原型機殼。水量計原型機殼製作完成後，再於水量計內分別安裝上下葉輪並連接電子表頭，待訊號試驗正常之後便可實際通水執行器差試驗。

研究小組則依據反覆的器差試驗結果（包括計量準確性與重現性等），再進一步進行水量計原型的局部修改，以改善水量計的計量特性。以 250

mm 口徑之奧多曼式水量計的開發為例，表一所列為吾人開發過程中的兩只奧多曼式水量計(表 A 及表 B)原型的試驗結果。試驗時串聯兩只雙計量機構奧多曼式水量計(表 A 及表 B)，各水量計上與下兩個葉輪個別計量，因此每次試驗每只表可獲得兩個器差值，前後串聯兩只表共可獲得四個器差值。然後再將兩只水量計的前後位置對調，重覆試驗一次。上述兩次試驗分別稱為原位置試驗與變換位置試驗。試驗流量與收集體積均依據 CNS 14866[6] 及 CNMV 49[9]等規範所要求之試驗流量與收集體積來執行，以確保試驗之合理性與有效性。

表一、250 mm 口徑雙計量機構奧多曼式水量計之器差測試結果

測 試 流 量 (m ³)	器 差 (%) 表 A 上葉輪	器 差 (%) 表 A 下葉輪	器 差 (%) 表 A 平均	器 差 (%) 表 B 上葉輪	器 差 (%) 表 B 下葉輪	器 差 (%) 表 B 平均
800(原位)	-0.64	-0.59	-0.615	-0.64	0.50	-0.070
800(變位)	-0.94	0.00	-0.470	0.50	-0.05	0.225
400(原位)	1.06	0.86	0.960	1.00	0.91	0.955
400(變位)	0.93	1.03	0.980	0.50	-0.31	0.095
80(原位)	0.08	-0.38	-0.150	0.08	0.23	0.155
80(變位)	-1.16	-0.83	-0.995	1.08	0.46	0.770
12(原位)	-0.28	-0.28	-0.280	0.12	-0.28	-0.080
12(變位)	-0.28	-0.68	-0.480	0.92	0.12	0.520

由表一的結果可知，表 A 與表 B 的上下兩只葉輪在原位置試驗時，在各流量點的器差表現均符合 $\pm 2\%$ 法定公差的要求，且表 A 與表 B 在變換位置試驗的器差表現亦符合 $\pm 2\%$ 的要求。由此可知，250 mm 的插入式雙計量機構奧多曼式水量計的開發是可行的。

但由表一的試驗結果仍可看出，表中所列的試驗結果有幾個器差絕對值略大於 1%，或接近 1%，顯示此水量計的器差輸出特性仍有進一步改善的空間。

表二所列為開發過程中的另兩只奧多曼式水量計(表 C 及表 D)原型的重複性試驗結果，測試時同樣將表 C 與表 D 串聯，試驗分兩批次進行，每一批次重複試驗三次以求取其葉輪轉動所對應的體積參數，表列之重複性

則係將該三次試驗所得的三個體積參數的最大差值(亦即最大體參減最小體參)除以三個體參的平均值，以了解三次試驗中體積參數的重複性的表現。第二批次則是重複第一批次的試驗，以比較兩批次試驗之間的試驗結果是否有明顯的差異。

由表二的結果可知，兩批次各流量試驗的結果，除了表 C 的上葉輪在最大流量時其重複性略大於 1% 之外，其他各流量各批次的試驗的重複性均在 1% 以內。由此可知，表 C 與表 D 的重複性大致良好，但仍有進一步改善的空間。

表二、250 mm 口徑雙計量機構奧多曼式水量計之重複性測試結果

測 試 流 量 (m ³)	重複性(%) 表 C 上葉輪	重複性(%) 表 C 下葉輪	重複性(%) 表 C 平均	重複性(%) 表 D 上葉輪	重複性(%) 表 D 下葉輪	重複性(%) 表 D 平均
800(第一批)	1.00	0.33	0.665	0.90	0.38	0.640
800(第二批)	1.08	0.68	0.880	0.82	0.76	0.790
400(第一批)	0.38	0.41	0.395	0.63	0.23	0.430
400(第二批)	0.41	0.40	0.405	0.99	0.35	0.670
80(第一批)	0.05	0.08	0.065	0.28	0.16	0.220
80(第二批)	0.08	0.19	0.135	0.13	0.11	0.120
12(第一批)	0.33	0.47	0.400	0.14	0.25	0.195
12(第二批)	0.12	0.27	0.195	0.58	0.11	0.345

附加功能

由前述所舉例的試驗結果可知，雙計量機構之插入式奧多曼水量計的設計開發是可行的。在流道適當規劃設計的條件下，兩只葉輪可獨立個別準確計量，且其重複性亦可達到一定的合理範圍。值得吾人持續開發以進一步改良其輸出品質。

此外，雙計量機構的水量計還可以發揮兩只葉輪相互查核的功能。一般使用流量計的過程中，除非流量計本身產生了很大的計量偏差，甚至無法計量，否則，在正常情況下我們很難研判流量計的計量正確性是否已經偏離要求。對此，電子式雙計量機構的水量計在使用過程中，電腦程式將

可隨時監測兩只葉輪的輸出特性（相互查核）。當兩只葉輪的輸出差異值超出預設的範圍時，水量計會自動提出警告訊息，提醒使用者應適時進行進一步的檢測，以確保水量計的精確計量。

此外，由表一及表二的內容可知，雙計量機構的輸出值還可以透過直接平均或適當地加權平均來獲得更為穩定的輸出值，這對進一步提升水量計的穩定與重複性有相當大的幫助。

當雙計量機構水量計內的某一只葉輪故障或阻塞時，將明顯造成兩只葉輪的輸出值呈現顯著的差異，水量計內可設計適當的電腦程式來判斷此異常狀況，並適時發出警訊。控制中心獲知此異常訊息後，若因故無法立即停水維修時，該水量計仍可利用另一只正常運轉的葉輪持續計量，而不至於影響到水量計的正常運作。此時，控制中心則可以有足夠的緩衝時間來安排適當的時機進行維護或檢修。

結語

由前述的奧多曼表的範例可知，雙計量機構水量計的開發是一個可行的方向。尤其當大口徑的水表內可以改用小型的計量機構(如葉輪)來計量時，將可節省相當大的生產成本。而此類插入式或雙計量機構的設計所面臨的最大困難在於流道內流場的控制，必須有適當方法且有足夠的能力確保流道內流場的穩定，以獲得準確的計量結果。弓銓公司在此方面的研究開發領先國際大廠，這是台灣計量產業的一項驕傲。並且為雙計量機構水量計奠立了一個新的里程碑，正式開啟了雙計量機構水量計的新紀元。

參考資料

- [1] “Measurement of fluid flow in closed conduits—Velocity area method using Pitot static tubes”, International standard ISO 3966, 1977.
- [2] 蔡武昌，孫淮清，楊根生，邵朋城，姜仲霞，拜國良，“流量測量方法和儀表選用指南”，中國儀器儀表學會過程檢測控制儀表分會，1994, Dec.
- [3] “Measurement of water flow in closed conduits—Meters for cold potable

- water— Part 1 : Specifications”, International standard ISO 4064-1, 1993.
- [4] “Measurement of water flow in closed conduits—Meters for cold potable water—Part 2 : Installation requirements and selection”, International standard ISO 4064-2, 2001.
- [5] “Measurement of water flow in closed conduits—Meters for cold potable water—Part 3 : Test methods and equipment”, International standard ISO 4064-3, 1999.
- [6] CNS 14866：密閉導管內水流量之量測---冷飲水用水量計，中國國家標準，2004。
- [7] 新型專利【多葉輪型流量計】，台灣，新型第 M258280 號，創作人：黃佑仲、魏欽益、吳文賜、莊進預，2005/03/01~2014/05/24。
- [8] 新型專利【多葉輪型流量計】，中國，新型第 ZL2004 2 0066911.6 號，創作人：黃佑仲、魏欽益、吳文賜、莊進預，2004/06/10~2014/06/09。
- [9] CNMV 49：水量計檢定檢查技術規範，第二版，經濟部標準檢驗局，2005。