

20mm 葉輪型水錶器差特性、干擾及壓降量測

廖世平¹、林俊利²

摘要

本文主要依據 CNS、ISO 及 OIML 三種規範，建立一套量測器差性能之標準設備，選定水錶 20mm 管徑螺紋式為測試對象，包括國內主要兩家生產廠商生產之六只，輔以美製 Badger 與德製 Zenner 各一只，根據上述三種規範中各等級所要求檢驗流量範圍，檢測其水錶之器差性能是否合乎各規範中之要求。結果分大、小流量兩區域範圍繪製誤差圖式，其中以兩只國外製水錶合格率較高達 97%，產品精度列於 ISO 中 C 級是無庸置疑。反觀國內生產水錶廠商共六只水錶依 ISO 之 C 級標準量測其合格率僅為 65%，若依 B 級標準則提升至 88%，應列屬 ISO 之 B 級水準。此外，兩只水錶串聯及無流體直流器等干擾狀況亦予考慮，國內水錶受干擾時不合格率增加，然而美製 Badger 水錶在干擾測試中仍能符合規範要求。

本研究另一目的在量測水錶之壓降，量測值依平方公式修正至相當於最大流量時之水錶壓力降，結果發現八只受測水錶於大流量範圍以美製水錶 0.28 巴最低、德製水錶 0.7 巴其次，而國內製水錶 0.8 巴及 0.94 巴最高。然而均能符合 ISO 最寬鬆等級及 OIML 規範要求之壓力損失 1 巴以內，並由不同流量實驗發現在公稱流量附近進行壓力損失檢驗最有利。

一、簡介

水錶為度量衡儀器，品質應符合國際標準，量測準確才能具有公信力，對於自來水公司及用戶之權益也才有保障。近年來由於加入 WTO，面臨成本下降及品質要求提升的壓力，對於沒有雄厚競爭力的傳統產業無疑是雪上加霜；所以建立標準的檢驗設備及程序，提高產品的品質，符合國際規範要求，才能使傳統產業走進國際舞台。

1. 國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系 教授

2. 國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系 碩士

二、規範要求及研究目標

本研究主要參考 CNS [1-3]、ISO [4、5] 及 OIML [6、7] 三種目前最常用規範，小口徑水錶依標稱流量 q_n 比例，在 ISO 分爲 A、B、C、D 四個度量等級，如表一所示，就精度而言，A 級最低，D 級最高。

表一 ISO 4064/I 之各等級分類 [4]

水錶公稱流量 $q_n < 250\text{L/min}$		
A 級	$q_t = 0.1 q_n$	$q_{\min} = 0.04 q_n$
B 級	$q_t = 0.08 q_n$	$q_{\min} = 0.02 q_n$
C 級	$q_t = 0.015 q_n$	$q_{\min} = 0.01 q_n$
D 級	$q_t = 0.0115 q_n$	$q_{\min} = 0.0075 q_n$

水錶積算盤顯

示之量測值準確度

或稱之爲「器差」(measurement error)，在小流量帶 (q_{\min} 至 q_t) 及大流量帶 (q_t 至 q_{\max}) 範圍之容許誤差分別爲 5% 及 2%。我國 CNS-565 [3] 檢驗方法一向沿用 ISO 的部份規定，性能主要執行靜態耐壓及流量器差檢驗，要求項目也較 ISO 少，精度只相當於 ISO 中的 B 級。水錶性能之要求日趨嚴格，較近發行之 OIML 將小口徑水錶列屬精度二級，且比 ISO 增加了水溫、水壓、逆流、干擾等檢驗項目，然而這些檢驗亦需使用到與檢驗器差相同之裝置。

因此本研究首先依 ISO-4064/III [5] 與 OIML R49 第二部份 [7] 規範內容，建立一套量測器差性能之標準設備，選定測試水錶 20mm 管徑螺紋式爲對象，包括國內兩家公司生產之六只，輔以美製 Badger 與德製 Zenner 各一只，檢測其水錶之器差性能是否合乎各規範中之要求。

依據 CNS-562 [2]、ISO-4064/I [4] 及 OIMLR49-1 [6] 對於水錶的檢驗流量的規定彙整於表二，其中 20mm 水錶之公稱流量值 q_n 等於 $2.5\text{m}^3/\text{hr}$ 或 41.6 L/min ，OIML 之最高流量 Q_1 則僅爲公稱流量之 1.25 倍，遠較 CNS 或 ISO 之 q_{\max} 爲小；OIML 分類系列甚多，其中 Q_1/Q_2 值 50 及 100 約相當於 ISO 之 B 及 C 級。此外 OIML 增加了干擾(flow disturbance)試驗，要執行的項目甚多；目前國內製造廠商限於空間，常串接數個水錶同

時量測器差，

表二 20mm 水錶各規格流量

圖式符號	規格依據	流量(L/min)
A	q_s (CNS)	0.25
B	q_{\min} (ISO-C) , Q_l (OIML-100)	0.4166
C	q_l (ISO-C)	0.625
D	Q_2 (OIML-100)	0.666
E	q_{\min} (CNS , ISO-B) , Q_l (OIML-50)	0.83
F	Q_2 (OIML-50)	1.33
G	q_l (CNS)	2.5
H	q_l (ISO-B)	3.328
I	小流(CNS)	5
J	大流(CNS)	33.3
K	q_n (CNS , ISO) , Q_3 (OIML)	41.6
L	Q_l (OIML)	50
M	q_{\max} (CNS , ISO)	83.3

本文亦
舉是否

探究此
會影響

器差。量測水錶之壓降為本研究另一目的，CNS-565 中並未揭示此項量測方法及強制性，然而 ISO 及 OIML 對於裝置、配管、接頭等均有詳細規定，OIML 規定在最小及超載流量間通過水錶的壓降，不得大於 1 巴 (bar)，ISO 則將壓力損失分類為 1，0.6，0.3，0.1 巴四級。

本文針對不同流量下量測各水錶之器差特性及壓力損失，藉著與其他先進國家產品切磋，以本研究發展出來之設備及實驗方法為基礎，提供往後改良零件尺寸、變更結構形狀及公差訂定之驗證標準，確保性能品質之提高，期望在不久的將來國內水錶公司亦能提昇到國外水錶相同之水準。

三、實驗設備於步驟

本實驗決定器差的方法是採用收集法，是利用容器收集一段時間內流經過水錶的

量，然後以容積決定集水量。管路配置係採用循環式管路，待維持在水流穩定流動狀態下，再將管路切換導入收集量桶內，結果與水錶讀數相互比對，將所計算得誤差值繪圖，依精度等級比對。實驗系統如圖一管路圖所示，管路包括兩個串聯之 500L 供水槽、加壓泵、閥組、止回閥、直流器、電子式差壓計、銅製壓力接頭、水錶進出口連接管段、待測水錶、流量計、數據資料擷取系統、350L 標準量桶等。主要實驗設備說明如下：

加壓泵

由於檢驗流量之範圍分佈相當廣，因此使用兩具泵，一為高流量之穩壓泵，供應最大流量可以達到 167L/min，相當於最大檢驗流量之兩倍，另一具為沈水式泵最大流量為 5L/min 專供低流量檢測所需。

流體直流器(flow straightener)

流體直流器由一支長 500mm 內徑 50mm 透明壓克力管，管內填滿內徑 0.5mm 六十八根吸管成束網綁，其功用是整流，將流體的脈動及不穩定性降低，以減少進入水錶水流造成之干擾。

水錶連接管

當自泵出口加壓之水流流經過一連串之閥組後，其流體的狀態呈現脈動較大的情形，當經過吸管束整流器後流場較穩定，脈動及渦漩度均顯著減少；為確保在水流進入水錶連接管之前達到完全展開流；依據規範值，在水錶進及出口連接管長度均須大於 15 倍水錶標稱口徑。本設備因考量將來亦可改裝適用較大口徑水錶，因此連接管進及出口長度均設計為 1000mm，在 20mm 管徑實驗中，其值為 50 倍，遠高出規範要求。

流量計

欲調整測試流量於所需的範檢範圍內，必要裝設流量計；三種規範所需檢驗的器差流量範圍介於 0.25 至 83.3L/min 之間，為精確掌握流量的大小，本設備採用了三種不同流量範圍的參考流量計，其流量分別為：一號 YOKOGAWA 電磁式流量計：0-16L/min、二號中流量計：5-50 L/min、和三號大流量計：20-200 L/min，以並聯方式連結使用。控制係利用流量計進、出口閥組與管路的配合連接，達到相互切換選擇不同參考流量的目的，以達不同流量之下的檢驗要求(如管路圖一所示)。而流量計之進出口連接管長度，也依水錶進出口連接管相同設計，分別以 25 倍(二號)、20 倍(三號)以上口徑連接，減少

槽式兩種型式；本實驗採用開槽式以銅質實心棒車製，前後兩組開槽式取壓孔壓力接頭。差壓計型式 YOKOGAWA EJA 110 用來計量水錶進出口兩端之壓力差，輸出訊號 DC 4~20 mA，適用範圍為 0 至 5 巴。

器差實驗步驟

對於每只待測水錶參照表二規範之流量值進行器差實驗檢測，實驗步驟進行如下：

1. 選定待測流量值。
2. 裝置水錶，切換閥門，維持實驗路。
3. 啓動泵，排除管路內空氣，調整閥門，在穩態下運轉數分鐘，並使參考流量計讀數與待測值相符。
4. 於管路中水流穩定狀態下切換閥門，將流經管路流體導入標準量桶內，同時記錄水錶讀數及時間。
5. 當標準量桶水位達到檢測水量 300L 時，記錄水錶讀數及時間。
6. 將記錄下水錶之讀數與標準量桶之水量作比較，並除以量測時間，計算出該檢驗過程中之平均流量。據此與流量計數值對照。

壓降實驗係依照 ISO 4064/III 規範〔5〕；利用原有器差測試管路，將壓力接頭置於水錶前後連接管上，並將上方垂直之取壓孔連接至電子式差壓計上之高低壓接頭。在選定待測流量值下分別量測有無水錶狀態之壓降。

四、數據分析

本文依 ISO〔5〕及 OIML〔7〕之實驗方法量測及分析，器差數據係由標準量桶水量 V_c 及水錶上指示的讀數流量 V_i 依下式計算

$$\varepsilon = \left(\frac{V_i - V_c}{V_c} \right) \times 100\%$$

以流量為橫座標，器差百分比為縱座標，依不同規範來繪製成器差曲線圖式，並於圖式標示誤差帶，在大量流區域最大容許誤差 $\pm 2\%$ ，而於小流量區域最大容許誤差 $\pm 5\%$ 。於檢驗完每一個流量之器差後，若該流量檢測器差超出誤差帶，則必須再次重複檢驗該點流量。

壓降 Δp_{meter} 係以所測得壓力差扣除無水錶前後連接管路之壓力差，並經下式修正至相當於最大流量 q_{max} 下之壓降 Δp_{max}

$$\Delta p_{max} = \frac{(q_{max})^2}{(q_{test})^2} \times \Delta p_{meter}$$

五、結果與討論

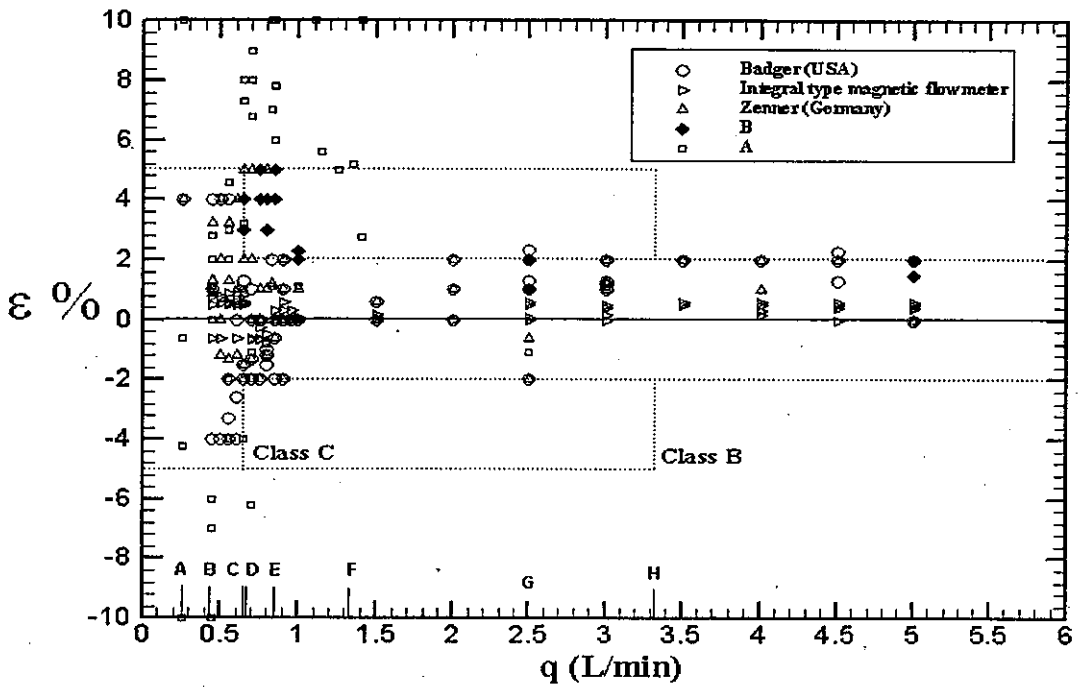
器差特性

主要的檢驗錶共有八只分別為：國內製 A 廠商四只、B 廠商二只、美製 Badger 一只、德製 Zenner 一只。實驗設備以電磁式流量計針對小流量區域之器差性能進行校正，在小流量區域共檢測了 80 個量測流量點，於 0.45 至 5L/min 間，其誤差皆在 $\pm 1\%$ 內，數據繪於圖二。

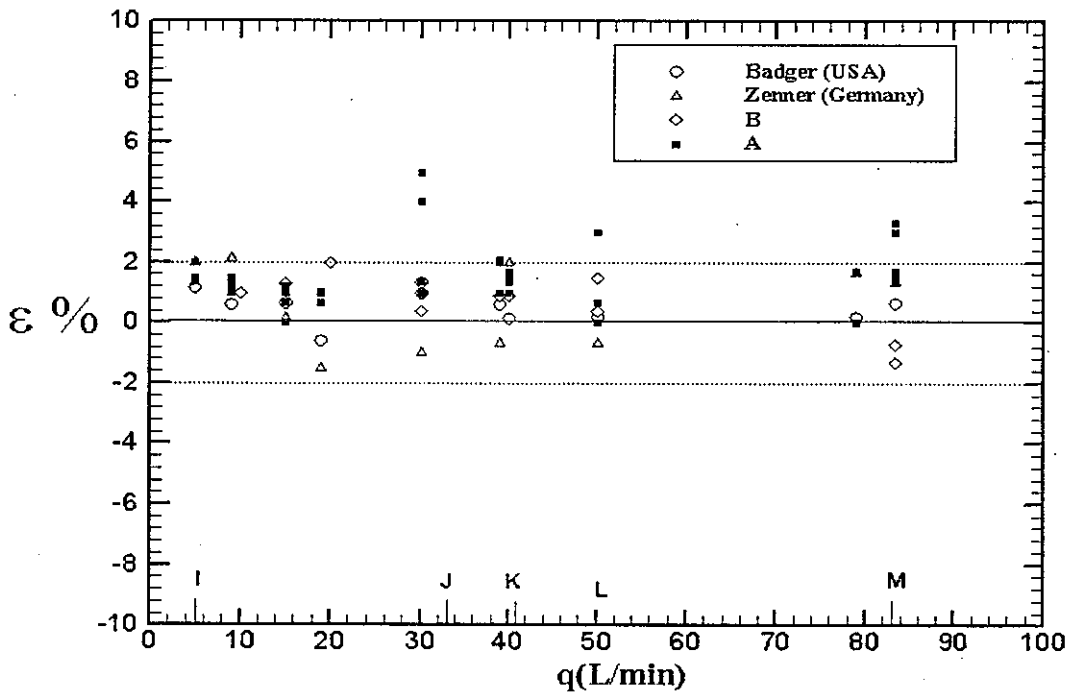
圖二及圖三分別綜合上述 8 只水錶小流量、大流量之器差量測值，表二之各流量值亦以英文字母標示於圖式下方。基本上大部分誤差偏正值，此點對消費者比較不利；另外，國內兩家公司生產的水錶，其變化的幅度也較大，亦即性能穩定性較差，合格率偏低，且不合格點大多集中於小流量區域。

表三及表四將各水錶之合格與否數據分大、小流量加以整理，表三以測量精度 ISO C 級為標準檢視，國內 A 製水錶器差數據中，82 個流量檢測點中有 31 點超出公差帶屬不合格，更有 9 個誤差值超過 10%，總合格率為 63%；B 水錶則合格率為 68%，在 28 個流量檢測點中有 9 點是不合格的，亦有 2 個流量檢測點是超出 10%，因此國內 A、B 兩家水錶在小流量區域精密程度較差，未達 ISO 規範中之 C 級標準。

國外製水錶雖有少數幾點誤差稍大，但均在合格邊緣，總合格率在 96%以上，符合標示之 C 級水準無庸置疑，甚至以 D 級標準檢視，美製水錶 93%、德製水錶 89%合格。反之，若以較寬鬆之 ISO 規範 B 級為標準檢視，國內製水錶合格率則如表四顯示，提昇至 87 及 89%。



圖二水錶器差性能圖---小流量區域



圖三水錶器差性能圖---大流量區域

表三 以 ISO 之 C 級標準檢驗各水錶合格率

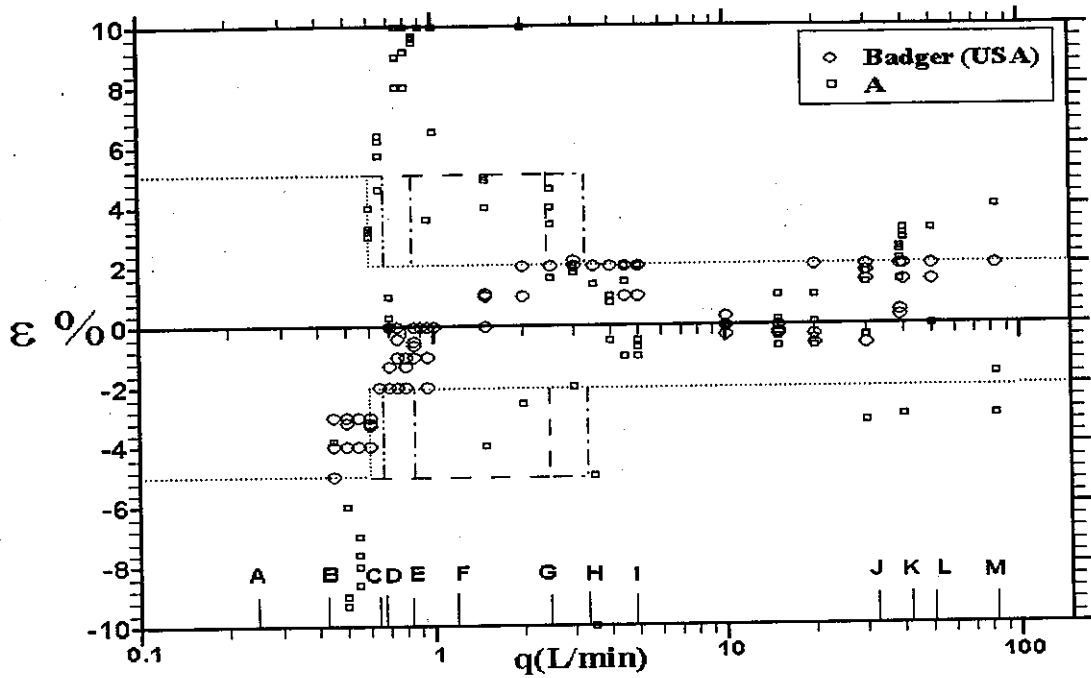
ISO 之 C 級	美 Badger	德 Zenner	國內 A	國內 B
小流量區域合格點	39	39	17	7
小流量區域不合格點	0	0	23	9
大流量區域合格點	58	56	34	12
大流量區域不合格點	2	4	8	0
總合格率	98%	96%	63%	68%

表四 以 ISO 之 B 級標準檢驗各水錶合格率

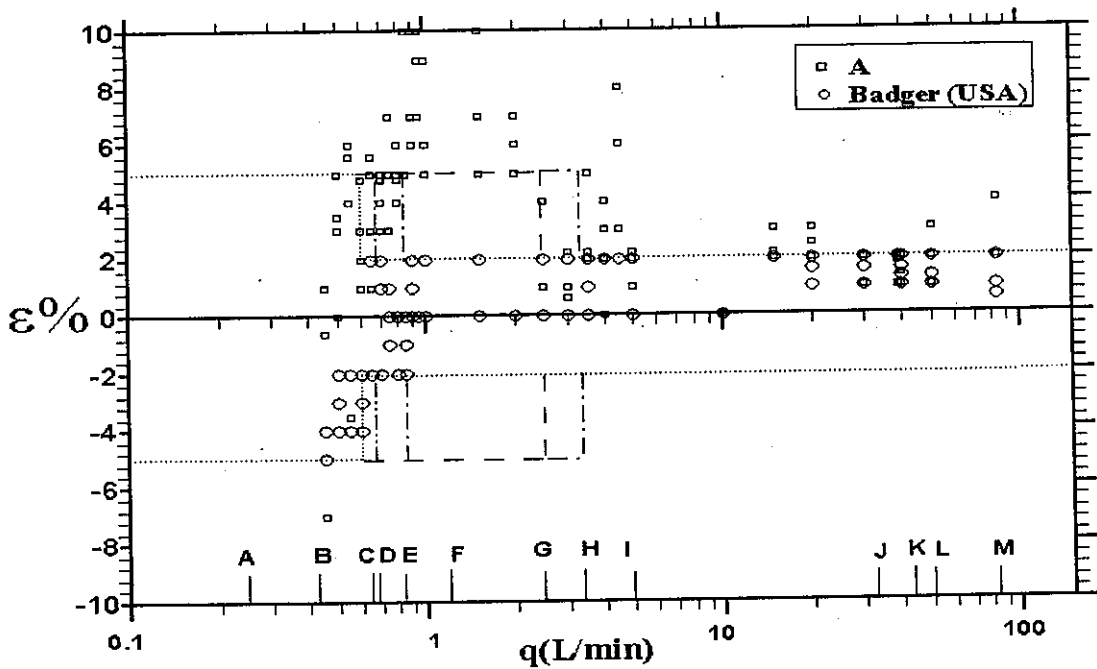
ISO 之 B 級	美 Badger	德 Zenner	國內 A	國內 B
小流量區域合格點	55	55	13	3
小流量區域不合格點	0	0	3	2
大流量區域合格點	17	15	39	13
大流量區域不合格點	1	1	5	0
總合格率	99%	99%	87%	89%

串聯干擾

兩只水錶間以一支 20 公分長直管串聯結合用來探討其間的干擾效應，圖四及是將美製 Badger 水錶置於國內製 A 水錶前端，與前述圖二、三的單一水錶器差特性比較，Badger 水錶在經過下游端有它錶干擾時，在大流量區域器差偏正值，小流量區域器差偏負值，整體仍維持在公差帶內。然而國內 A 水錶受到它錶於上游渦旋流場干擾影響下，144 個檢測點有 80 點落於公差帶外，其中以小流量（3.328 L/min 以下）區域 66 點者佔大多數；與單一水錶比較，數據值正負跳動變大，受渦旋干擾效應明顯。相反的圖五則是將 Badger 水錶置於後端，於流量大於 1L/min 誤差幾乎皆為正值，同樣的 Badger 水錶在大流量區偏正值，小流量區偏負值；至於國內 A 水錶因為沒有前端水錶的干擾而合格率提升，彙集於表五依 ISO B 級標準統計。再者，若卸除前方流體整流器，受進入水流擾動影響，則國內 A 水錶合格率又下降，但是沒有前端水錶干擾來的厲害，如表五和圖六所示。



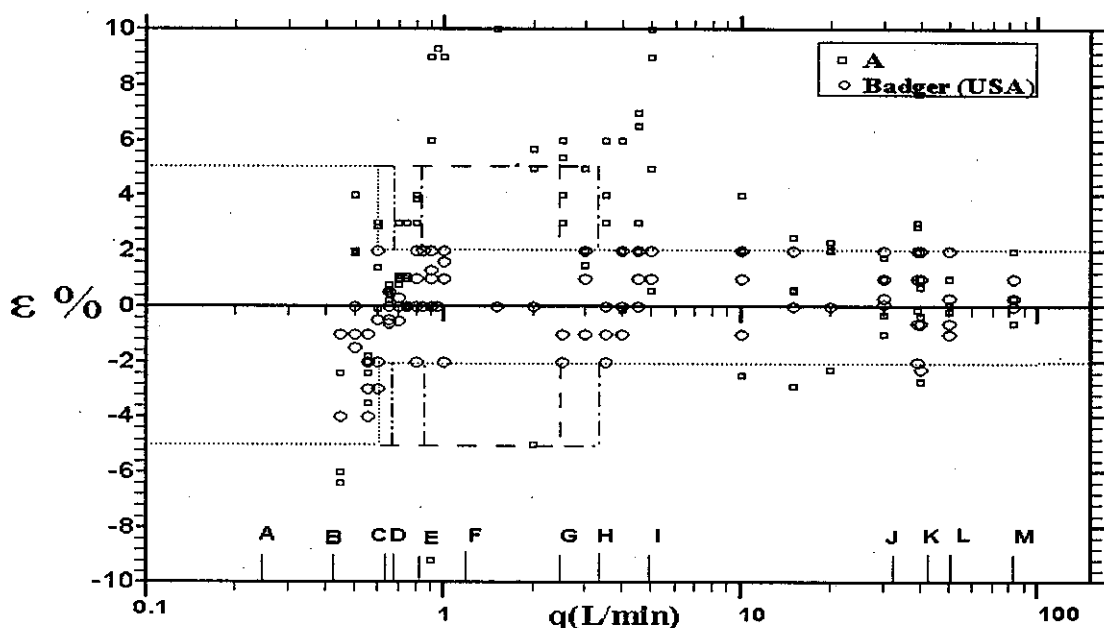
圖四 干擾試驗-美製水錶（前）國內 A 水錶（後）串聯器差性能圖



圖五 干擾試驗-國內 A 水錶（前）美製水錶（後）串聯器差性能圖

表五 干擾實驗--兩只水表串聯之器差合格比例 (ISO-B 級)

位置/整流器	國內 A		美 Badger	
	小流量	大流量	小流量	大流量
後/有	46/112	18/32	112/112	32/32
前/有	51/112	25/32	112/112	32/32
A 前--Badger 後/ 無	50/112	21/32	112/112	31/32

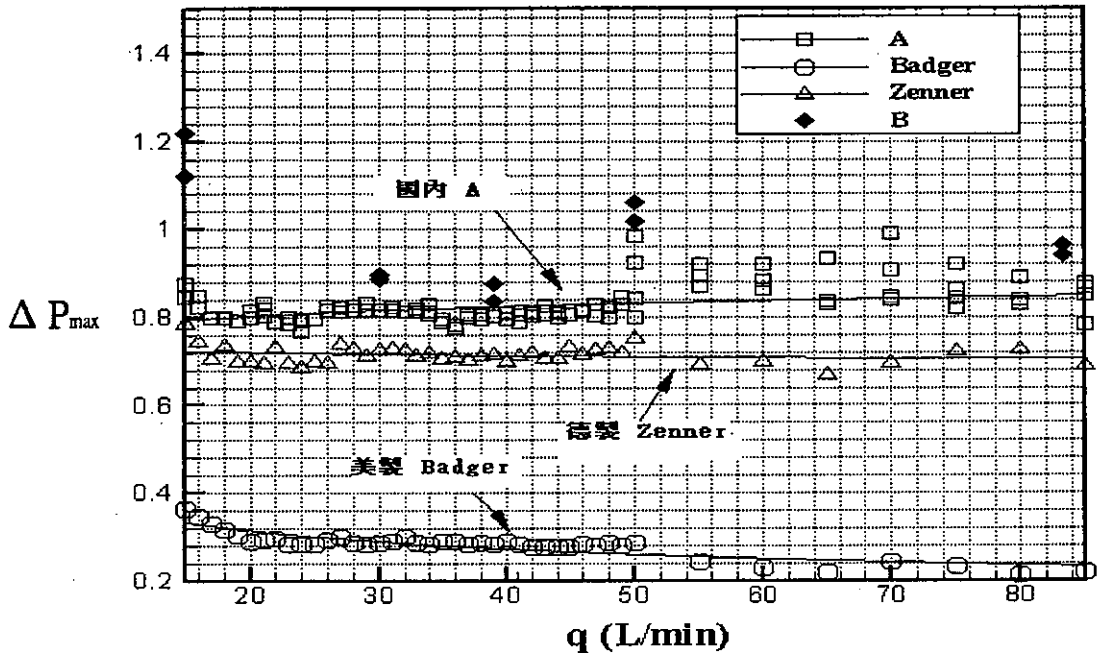


圖六 干擾試驗 (無整流器) --國內 A 水錶 (前) 美製水錶 (後) 串聯器差性能圖

壓降

於水錶進行壓降實驗之前必須檢測在無水錶時，即僅測試管路段之壓力損失，並予以扣除。圖七是上述八只水錶在各流量下經修正至最大流量 q_{max} 下之壓降曲線。其中 Badger 及 Zenner 均隨著流量加大而壓降稍減，國內製 A 水錶卻隨著流量增加，反而修正壓降值增加，亦即在高流量進行此測試結果較為不利；依據 ISO 及 OIML 規範 [5,7]，測試流量須於 q_n 與 q_{max} 間，因此以在稍大於 q_n 附近測試最有利，管路負荷亦較小；至於國內製 B 水錶則更不穩定，在若干流量測試點壓降超過 1 巴。當修正至 q_{max} 時之平

均壓力降，以美製 Badger 水錶係乾式為 0.28 巴最低，其次德製 Zenner 水錶 0.7 巴，至於國內製 A 水錶 0.8 巴，B 水錶 0.94 巴最高，然而均符合 ISO 最寬鬆等級以及 OIML 規範要求 1 巴以內。



圖七 水錶壓力損失修正值回歸曲線比較圖

六、結論

本研究可得到以下結論：

- 1.經由 YOKOGAWA 電磁式流量計裝在本實驗驗證的結果顯示，本檢驗器差性能量測設備設能達到 ISO、OIML 檢驗的標準，可以提供往後水錶品質驗證的指標。
- 2.在測試的外國製兩只水錶，其器差檢驗結果均符合 ISO 規範中 C 級甚至已具有 D 級之水準。
- 3.國內廠商生產的六只水錶，器差數據分佈較為分散亦即性能較不穩定，依 ISO 之 C 級標準量測其合格率為 65%，若依 B 級標準則提升至 88%，應列屬 B 級水準。
- 4.國內 A 水錶受干擾時不合格率增加，上游的干擾比下游明顯，上游串接水錶又比移除整流器的干擾明顯；然而美製 Badger 水錶在數個干擾測試中均能符合規範要求，維持

在公差範圍內。

5. 壓力降損失檢驗修正至 q_{max} 時之壓力降：美製 Badger 水錶 0.28 巴、德製 Zenner 水錶 0.7 巴以國內製 A 水錶 0.8 巴，B 水錶 0.94 巴最高，均在 ISO 最寬鬆等級及 OIML 規範要求 1 巴以內。
6. 針對壓降之檢驗流量以在稍大於 q_n (41.6 L/min) 鄰近處最為穩定有利。

七、謝誌

本研究承蒙儀鎮公司技術、資料及部份設備經費支援，於此僅致謝意。

八、參考文獻

1. CNS 561, B 6020, 水量計總則，經濟部中央標準局 1996 年 1 月。
2. CNS 562, B 6021, 螺紋式水量計，經濟部中央標準局 1996 年 1 月。
3. CNS 565, B 7014, 水量計檢驗法，經濟部中央標準局 1996 年 1 月。
4. International Organization for Standardization (ISO), *Measurement of Water flow in Closed Conduits -- Meters for Cold Potable Water (ISO 4064/I) Part I: Specifications* (1993).
5. International Organization for Standardization (ISO), *Measurement of Water flow in Closed Conduits --Meters for Cold Potable Water (ISO 4064/III) Part III: Test Methods and equipment* (1983).
6. International of Legal Metrology (ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE, OIML), *Water meters intended for the metering of cold potable water, Part 1: Metrological and technical requirements*, OIML—R49—1 (2000).
7. International of Legal Metrology (ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE, OIML), *Water meters intended for the metering of cold potable water, Part 2: Test methods*, OIML—R49 (2001).