

出國報告（出國類別：會議）

2016 Flomeko 流量量測與計量研討會

服務機關：台灣中油股份有限公司

煉製研究所、天然氣事業部

姓名職稱：羅仁聰、徐雪屏

派赴國家：澳洲

出國期間：105 年 09 月 25 至 10 月 02 日

報告日期：105 年 11 月 01 日

摘要

Flomeko Conference 為國際上最知名的流量計量研討會，相關產官學界業者皆於此會議發表最新型的量測技術、法規與科技等，會議主題包括：液體、氣體和多相流，空氣速度，烴類流，例如：LNG，CNG、LPG 等，原級標準，新校正設備和國際比對，音速噴嘴，流量測量法定計量，不確定性評估、CFD 等技術。本會議討論內容可歸納為以下幾點：以雷諾數進行各型流量計校正器差迴歸，修正不同流率下之器差線性已成趨勢，並為國際主要校正實驗室所認可；以科氏力流量計進行 LNG 計量是未來發展的趨勢，但溫度(-162℃)對流量計材質之彈性造成變化，影響了流量計器差(5-7%)，影響相當大，各流量計材質的勁度受溫度影響的曲線應建立並進行適當修正，以免造成計量誤差；目前各國家實驗室積極開發 LNG 計量之原級追溯標準，以科氏力流量計為二級傳遞標準，並追溯至原級稱重單位，荷蘭 VSL 國家實驗室建置了兩校正系統，一套為原級標準系統(PSL)，並校正二級高流量校正系統(MSL)之標準件，完成標準追溯；CEESI 愛荷華州的校正實驗室透過原級追溯精度提升、查核件定期查核、實驗室間比對等方式降低量測不確定度由 0.23%降至 0.2%；台灣工研院量測中心近期安裝一套加熱系統於高壓氣體 blowdown 下吹式校正系統中，降低因為溫度降造成計量不準確之問題；日本 NMIJ 亦介紹一套 hydrocarbon 校正系統，標準件追溯至稱重系統(原級)，校正日本國內之烴流校正實驗室之標準件。

目錄

摘要	1
目錄	2
壹、 前言	3
貳、 研討會議題及內容.....	4
2.1. 雷諾數對流量計計量/校正的影響	4
2.2. 流場模擬研究(CFD)	7
2.3. LNG 計量	9
2.4. 質量式流量計	12
2.5. 高壓氣體流量校正.....	14
2.5.1. CEESI 位在愛荷華州高壓天然氣校正實驗的系統改善	14
2.5.2. 台灣 ITRI/CMS BLOW-DOWN 校正系統的穩定性改良	15
2.6. 液體流量校正(HYDRO CARBON).....	18
參、 心得與建議	20
肆、 參考文獻.....	21

壹、前言

第十七屆國際流量量測研討會(International Flow Measurement Conference, FLOMEKO 2016)於澳洲雪梨舉辦，本活動匯集來自世界各地的流量計廠商、石化公司、計量實驗室和國家測量學院的流量和體積測量的專家，討論議題包括：多相流(液、氣相)、空氣速度，體積、流體性質、烴類流，例如：LPG、LNG、CNG 等；原級標準及新校正設施和國際比對；音速噴嘴；法定計量；不確定性評估；流量計技術性能開發；微流技術；醫療保健、節省能源和保護環境的新應用；CFD 計算機建模等多項主題。

近幾年來隨著環保意識抬頭，核能及燃煤限量使用，天然氣扮演角色漸重，對天然氣的需求量不斷增加，天然氣貿易量快速攀升，進口量逐年遞增，消費量持續增長。在此形勢下，天然氣貿易過程中的品質和計量越來越受到政府和社會各界的關注，對於天然氣計量的要求包括：公正、準確、高效率等基本要求。伴隨著天然氣應用的普及，對天然氣計量的方式已逐漸由體積式流量計往質量式發展，強化電腦計算和計量技術發展，並配合國際標準建立、研究和修訂，以確保天然氣貿易計量的準確可靠和公平。合格的品質、準確的計量直接關係到國家、企業及消費者利益，為消費者提供安全、經濟、滿足期望的高品質天然氣，保證公平交易，是天然氣供應商的首要任務。本會議主題雖然為流量標準與流量量測，但與天然氣計量議題結合，有相當多天然氣計量的文章發表，與天然氣相關的議題包括：LNG 計量、國際比對、實驗室量測不確定度、質量式流量計、高壓氣體計量等主題。

貳、研討會議題及內容

本次會議討論主題自 9/26-30(最後一天為 AGNMI(澳洲國家計量院)參訪)共計 5 天，分為兩組討論，擇其與天然氣相關議題說明如下：

2.1. 雷諾數對流量計計量/校正的影響

流量計(不論液體或氣體)的性能受到雷諾數控制，此為業界所公認，CEESI 的資深研究員 T. Cousins 指出，早期認為正位式流量計的性能只與黏度相關的，然而除了黏度外，其它因子亦影響流量計性能表現，經實驗與歸納，流量計受到雷諾數控制，即慣性力與黏性力影響，雷諾數是確定誤差曲線或流量計的性能特徵之一，亦是任何液體或氣體流量計的關鍵參數。每種流量計都具有與雷諾數相關的特性，包括 USM，科氏力，正位式，渦輪和差壓型流量計等，即使科氏力流量計屬於質量式流量計亦受到雷諾數影響，流量計廠商都將雷諾數以複雜的計算公式對儀表校正和性能進行修正，並在計量端呈現。詳細執行方法是通過線性化(Lineralization)，也稱為校正曲線的數據迴歸，獲得器差線性的配合與預測，進行校正曲線的迴歸，迴歸的基礎必須穩定、合理且可重複驗證。對於流量計，器差的基準是雷諾數，確定雷諾數所需的變量是流速，黏度，運動學和密度等，然而個別去探討這些變數並不實際，通常以一整合的現象來詮釋雷諾數，例如速度剖面(velocity profile)，以多路徑 USM 為例通常使用速度剖面作為雷諾數顯現的替代公式，在完全發展流的速度剖面和雷諾數之間存在關係，並透過速度剖面形狀的變化進行計量偏差的修正。

API 現在近來發現一些數據迴歸的問題，例如分配計量的標準，目前想法雖是零碎的，但需有一個好的論據，有一單獨的標準與流量計的數據相擬合，以確保迴歸方法、計量完整性和不確定性計算的適用性。美國 CEESI 實驗室選用不同儀表進行確認，並評估雷諾數的影響，包含可用的方法、線性化等分析。流量計透過正確校正，了解流量計的操作，以及如何開發標準曲線以減輕由於數據擬合的誤用而導致校正結果的失真，並進一步討論線性外插的問題。

線性流量計是指量測數據與實際流量值成正比，例如流量以 2:1 改變將導致流量計輸出呈 2:1 改變。然而，大多數流量計並非遵循此標準，某些時後它們將不是線性的，例如，對於 2:1 的流量變化，0.5% 的範圍誤差，它們現在可以是 2.01:1。科氏力流量計在高雷諾數處通常將保持 0.1% 內的線性關係，但是在低雷諾數處，這可以增加到超過 1%。

如果在 0.1%的限度內操作，流量計不需要任何校正或線性化，然而超過限度內操作，流量計必須進行某些操作以校正流量計。

圖 1 顯示了在 CEESI 校正設備校正 8" 渦輪計量表的結果，以 meterfactor (MF)vs 流速(flowrate)繪製。可看出即使在相同流速下，當黏度(壓力)不同時，MF 亦呈散射狀，因此流量計校正時，當黏度改變，流量計將需要重新校正。

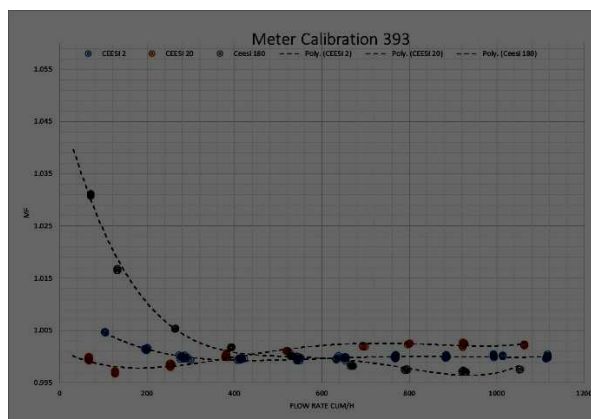


圖 1 在 CEESI 實驗室校正 8" Turbine Meter

如果校正結果根據雷諾數進行迴歸，圖 2 可以看出即使溫度、黏度有變化，校正結果仍遵循雷諾數連續曲線，以渦輪流量計為例，若不考慮軸承摩擦影響，流量計的器差變化符合迴歸特性及線性化，經過雷諾數修正與迴歸，校正曲線(Meter factor)性能將被只隨流率值而變動。一般流量計的校正曲線受黏度、雷諾數、儀表類型和設計有關。例如，螺旋式流量計校正結果經雷諾數處理後，其線性程度比平葉式渦輪計更佳。

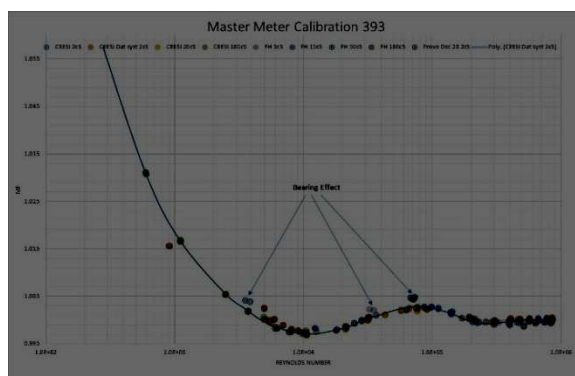


圖 2 以雷諾數迴歸 8" Turbine Meter 校正結果

圖 3 顯示了在大範圍雷諾數(流率、壓力、黏度變動)下，10”超音波流量計(USM)的校正結果。與前述渦轉流量計一樣，透過雷諾數迴歸的曲線有很好的迴歸結果(即校正曲線只與流率相關)，在相同流速但不同參數條件下，除了過渡點(transition)外，各流率點迴歸的校正曲線呈一致性，擬合成雷諾數曲線，但若校正的流量計將來要當標準件校正其它流量計時，對於單獨流率點的特性要特別謹慎，尤其在低雷諾數時，其迴歸有時僅僅以雷諾數亦無法消除其它因素的影響。

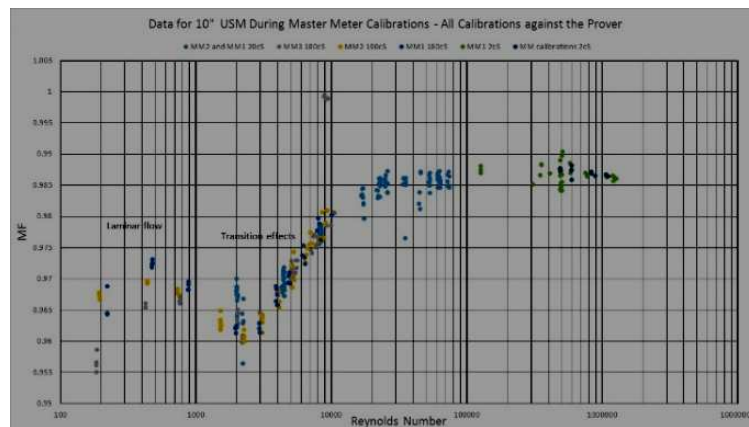


圖 3 以雷諾數迴歸 10"超音波流量計(USM)之校正結果

2.2.流場模擬研究(CFD)

基於提升天然氣計量性能，除了流量計性能的準確外，安裝效應也是一重要因素，確保流量計的性能與現場環境的搭配，才能呈現正確而有效的計量結果。由於流量量測可能涉及流體交易時據以為計價之依據，其量測準確度的保證則與流量計的裝設有一定的標準規範等。然而在許多作業現場，流量計的裝設因為空間利用上的考慮，而無法達到規範所要求，導致流量計的安裝位置上游仍然有諸如彎頭、閥件、擴張管、收縮管等各種會影響流場的裝置，在這種情況之下，無論在交易上或操作管控上，對流量量測結果的正確與否便會有所疑慮，在無法提供理想的管路安裝條件下，在流量計上游裝置適當整流裝置則可減少空間佔有率，同時可消除或減少流體的渦旋、分離等現象，避免流量計產生量測誤差；所以瞭解各種整流器或整流裝置狀況下之流場。以及該等流況對流量計量測性能之影響，乃研究裝置效應(Installation effects)的基本要務。近來使用計算流體動力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)分析工具，運用在流場變化等與管流流量計之裝置效應研究已有深入探討，一般使用 $k-\varepsilon$ 紊流模式是目前最被廣為使用且最具代表性的紊流模式，可準確預估流場之速度場與紊流場。本次研討會亦有多篇 CFD 相關文章的討論，擇一「超音速噴嘴後的直管道數值模擬及其對排放係數的影響(Numerical Simulation for the Straight Pipeline after a Sonic Nozzle and Its Influence on the Discharge Coefficient)」作介紹：

超音速噴嘴，由於其相當穩定，一般多作為氣體式流量計標準件使用，近年來國內外學者的研究主要集中在噴嘴內部流場的模擬分析。實例包括 Y.M.Choi 等人，研究了低雷諾數下超音速噴嘴的臨界背壓比(critical back pressure ratio)；Arnberg B. T.研究了聲波噴嘴在臨界流量時的排放係數；K. Park 等研究了臨界狀態噴嘴入口形狀對排放係數(discharge coefficients)的影響；C.H.L 研究了擴散角對流速測量的超音速噴嘴排放係數的影響；Yakum Zhao 研究噴嘴內壁的粗糙度對流場的影響。目前相關研究較少涉及噴嘴出口的影響及其對於直管道的內部流場對排放係數的影響，實際應用上，由於缺乏有關設施的實際驗證，噴嘴的背壓比一般使用經驗值，採用符合 ISO 9300 標準的圓形喉道噴嘴作為基準，喉道直徑為 10mm 和 0.96mm 的超音速噴嘴的出口和直管道的數值模擬則是透過 CFD 軟體。

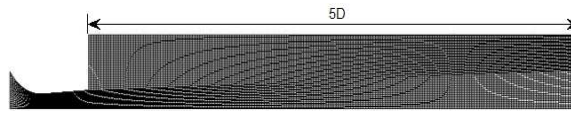


圖 4 超音速噴嘴後之直管段網格(Meshing)

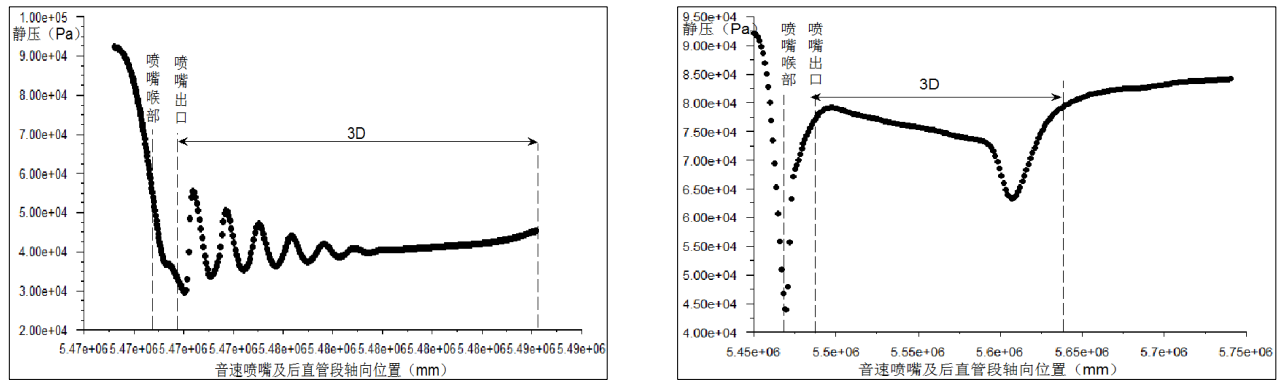


圖 5 (a): Sonic nozzle throat $d=0.96\text{mm}$, back pressure ratio $\beta=0.449$; (b): Sonic nozzle throat $d=10\text{mm}$, back pressure ratio $\beta=0.830$

the Length of Straight Pipeline	Critical Back Pressure Ratio β	
	$d=10\text{ mm}$	$d=0.96\text{ mm}$
3D	0.813	0.755
5D	0.830	0.758
6D	0.692	0.661
7D	0.824	0.635

表 1 音速噴嘴不同喉段的背壓比

2.3.LNG 計量

天然氣被認為是替代傳統燃料如柴油等較清潔的替代品，因為它可顯著的減少 CO₂，NO_x 和 SO_x 等排放，由於有較佳的環境效益，LNG 被認為是一種重要的過渡燃料，一般以液態天然氣(LNG)進行跨洲輸儲。

可靠，準確和有共識的測量方法是國際服務貿易對於 LNG 計量的基本要求。對於現有的燃料運輸，已經建立了用於測量 LNG 量與質的完善的基礎設施。然而，以 LNG 作為跨洲輸儲的情況下，沒有一致的量測方式，計量的基礎設施仍在開發中。雖然對於大規模 LNG 運輸計量有許多 ISO 標準、GIIGNL 或 “Custody transfer handbook “中有提及，然而缺乏大尺寸的原級校正標準，此是由於 LNG 計量標準設施一般要能耐極低溫(-162℃ 以下)，可選用的計量型式並不多，因此 LNG 計量仍不似石油計量能追溯至原級重量單位。

為了解決 LNG 計量件的校正，荷蘭實驗室 VSL 與業界合作，開發兩個校正設施，包含一個原級校正及一個二級校正系統。其中較小的原級系統(稱 small primary standard loop, PSL)量測能量從 0 到 25 m³ / h，另一個校正能量為 400m³/h(larger Mid-Scale loop, MSL)，追溯到 PSL 原級標準，MSL 根據 ISO EN 12838 標準開發，還將成分量測標準納入系統中。PSL 已在早期的研究項目中開發，但是目前正在升級以降低測量不確定性，從而實現質量流量的 0.10%的目標。MSL，質量流量測量的不確定目標為 0.15%。二套校正系統的組成，包含以下各項：

- Primary standard loop (PSL);
- LIN and LNG vessels;
- LNG pumps;
- Heat exchangers;
- Master meters(科氏力流量計);
- Meter-under-Test (MuT);
- Working standards.

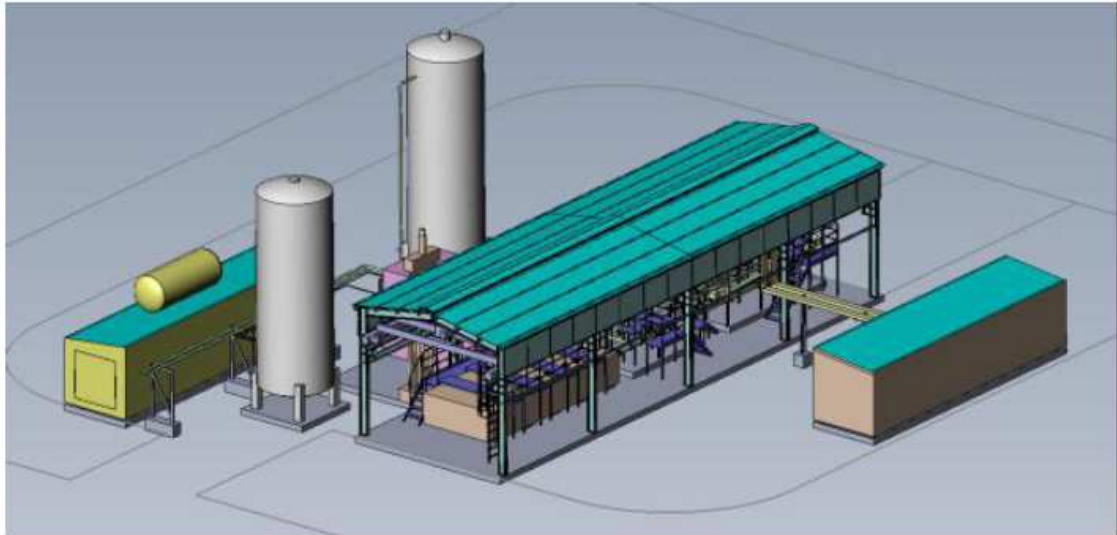


圖 6 LNG 計量設施外觀，左側建築為 PSL 標準區，再延申過來為 LNG 儲槽，主建築為 MSL 系統包含工作標準件及待校件，右側則為控制室

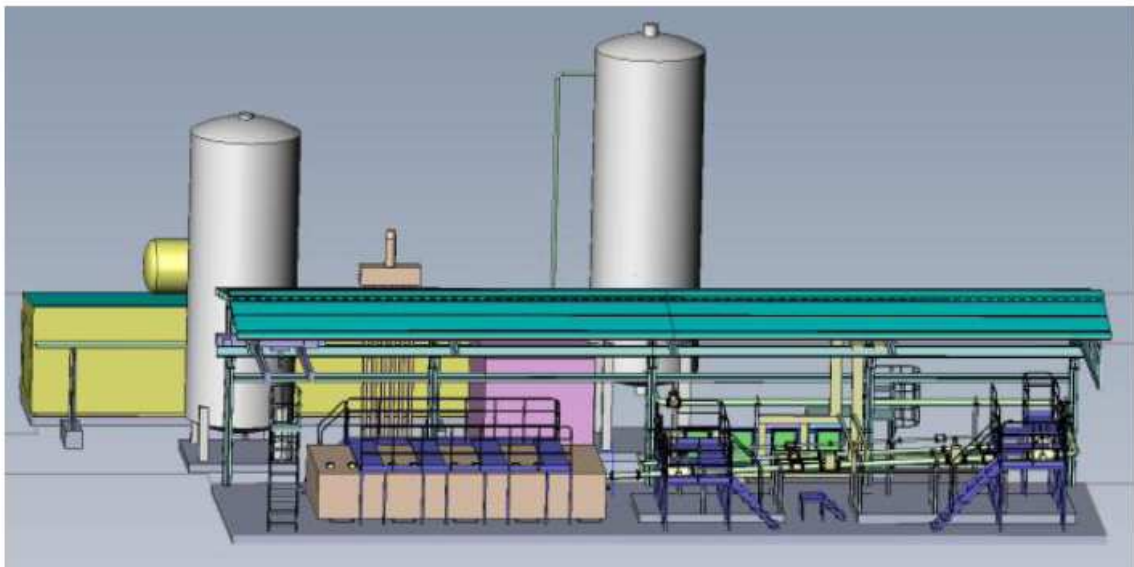


圖 7 LNG 校正迴路區，含 master meter、working standard 及待校件(Meter under test)，master meter 安裝於 cold box 左測 (褐色箱子內)；待校件安裝於 cold box 右測

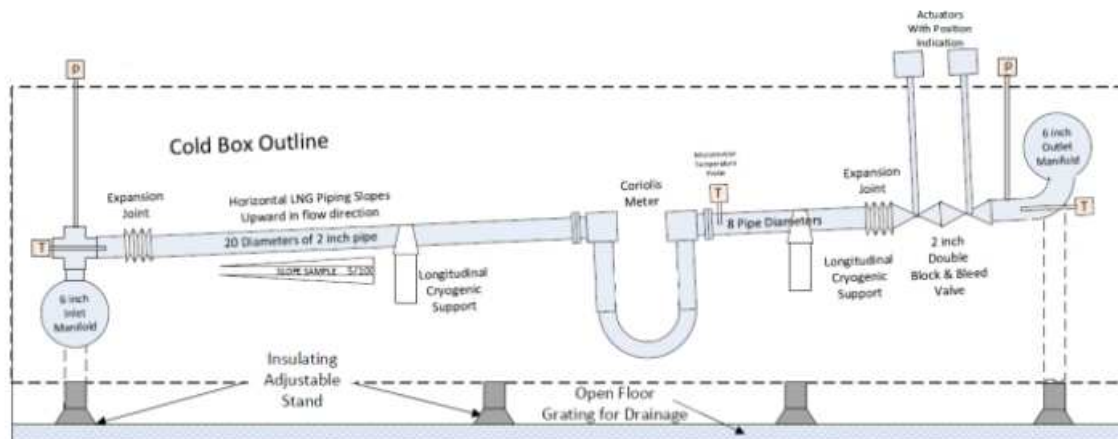


圖 8 Master meter 校正系統，管路稍微傾斜以避免氣體阻塞，U 形物體是科氏力流量計，冷箱內的棕色箱是溫度傳送器，而冷箱外的棕色箱是壓力傳送器。

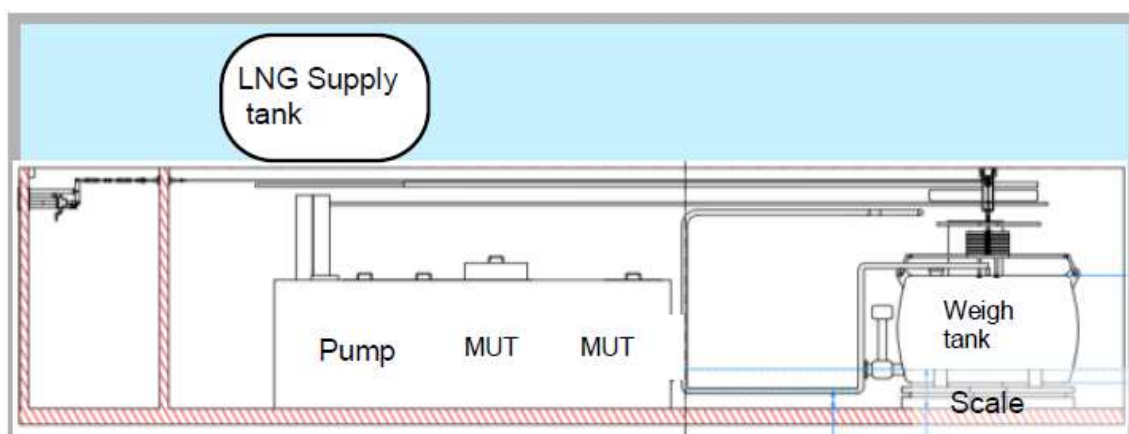


圖 9 原級標準示意圖，透過稱重方式進行追溯，因此 LNG 從供應槽（頂部）透過 Pump 打入 MUT，然後送入稱重罐（右側）。

2.4. 質量式流量計

在天然氣計量中，由於能量物料平衡以及儲存、計價及經濟核算等所需要的都是質量，並非體積，所以在測量工作中，常常需要將已測出的體積流量乘以密度或能量密度換算成質量流率或能量流率。由於密度是隨流體的溫度、壓力而變化的，因此，在測量體積流量時，必須同時檢測出流體的溫度和壓力，以便將體積流量換算成標準狀態下的數值，進而求出質量流量。然而在溫度、壓力變化頻繁的情況下，不僅換算程序麻煩，有時甚至難以達到即時輸出的要求，進而降低量測精度。採用測量品質流量的方法，直接測量出質量流量，無需進行上述換算，有利於提供準確流量，省去了繁瑣的換算和修正。

質量流量計大致可分為兩大類：一類是直接式質量流量計，即直接檢測流體的質量流量；另一類是間接式或推導式質量流量計，這類流量計是通過體積流量計和密度計的組合來測量質量流量。直接式質量流量計中的一種科里奧利質量流量計，簡稱科氏力質量流量計(CMF)，量測原理是基於流體在振動管中流動時，將產生與質量流量成正比的科氏力。

以直式科氏力流量計而言，當流體以振動發生器為中心流過振動直管時，將產生朝向兩個相反方向的科里奧利力。當 CMF 進口處的科氏力與振動方向相反時，使得振動減弱和延遲，在 CMF 出口處的振動方向與振動方向一致，使得振動加強並前進。這使得在入口和出口處的振動輸出的相位間隙。理論上，測得的相位間隙與質量流量成比例。直線型科氏力流量計的結構示意圖如圖 10 所示。

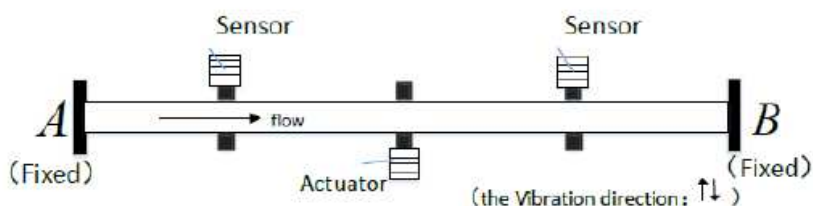


圖 10 直線型 CMF 示意圖

科氏力流量計 (CMF) 用於 LNG 量測時，需考慮低溫(-162°C)對流量計的影響，包含對材料的衝擊，對量測準度的影響，首要考慮即溫度對勁度(stiffness)的影響造成材質楊氏係數(Young's modules)的變化。基於剛度模型，理論基礎由歐拉-伯努利樑(Euler-Bernoulli beam)簡化的簡

單支撐樑，計算出勁度參數和材料溫度的關係，並根據此理論計算方式，假設材料仍屬彈性變化，可減少流量計在不同溫度下的誤差。計算表達式由材料線膨脹係數和溫差表示，計算溫度範圍從-197℃到+ 7℃的流量計相對誤差。

隨著對測量液體天然氣（LNG）的精度的日益提高的要求，科氏力質量流量計在 LNG 測量和貿易中由於其優異的性能，而逐漸受歡迎。目前科氏力流量計可被視為測量 LNG 的最好選項之一。早期對科氏力流量計的研究沒有考慮溫度對計量器差的影響，近來研究人員，製造商和用戶逐漸交流各自的觀點，當測量範圍擴大，精度的要求亦更嚴苛。在 2003 年，Patten 描述了在低溫溫度下的流量計的操作方法，其本質在於對楊氏模量的溫度的線性變化的校正;在 2008 年，Kenbar 等人報導了使用科氏力流量計的 LNG 測量的結果，其中據報導當在低溫環境下楊氏模量具有非線性補償時，測量誤差可由溫度補償進行修正。2009 年，Yousif Hussain 等得出了一個結論，他們的實驗指出材料的非線性楊氏模數和熱膨脹影響了科氏力流量計的測量精度; 2012 年，Miao Li 和 Kejun Xu 指出流體溫度變化將影響管路的彈性模式(elastic modulus)的變化，進一步影響流量計的儀器係數和測量精度。目前科氏力流量計量測 LNG 流量時，國際上研究人員主要關注溫度對試管楊氏模量的影響。

基於科氏力質量流量計的剛度模型，進行線性試管的楊氏模量和線膨脹係數的研究，對受低溫流體影響科氏力流量計精度進行了量化分析，並累積相當多的數據並加以統計後，歸納出流量計器差與溫度的關係如圖 11 所示。

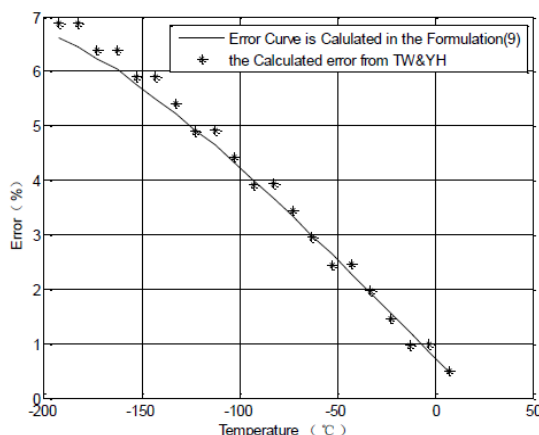


圖 11 溫度對科氏力流量計器差影響

2.5.高壓氣體流量校正

高壓氣體流量校正系統一般用於天然氣流量計校正追溯，包含原級標準(稱重或體積型)、實流校正、二級標準、傳遞件、待校件等議題，本段介紹 CEESI 位在愛荷華州高壓天然氣校正實驗的系統改善降低不確定度及台灣 ITRI/CMS blow-down 校正系統的穩定性改良。

2.5.1. CEESI 位在愛荷華州高壓天然氣校正實驗的系統改善

CEESI 位在愛荷華州高壓天然氣校正實驗室透過擷取系統更新與和分析，目的是降低的不確定度。目前不確定度為 0.23%，目標值小於 0.20%，不確定度的降低包含三個程序：首先透過降低追溯至科羅拉多高壓空氣校正設施的不確定度性，一個新的標準件在愛荷華州及科羅拉多兩個實驗室分別校正。第二個程序導入查核件，並定期查核，量化系統的重現性。第三個程序為定期進行各傳遞標準的相互比對。導過這三個程序降低了實驗室的量測不確定度。

愛荷華州的校正設施基於 10 個 DN300 (12 英寸) 的流量計，其中 9 個正在使用。DN300 標準的流量範圍為 $396\text{--}42,475 \text{ m}^3 / \text{hr}$ (14,000 至 1,500,000 acfh)，愛荷華州設施還使用不同的流量標準件在較低的流速範圍上操作。愛荷華州的校正系統的初始不確定性為 $\pm 0.30\%$ 。經過幾年的運行經驗，不確定性降低到 $\pm 0.23\%$ ，並透過數據分析、查核、比對等降低不確定性目標小於 $\pm 0.20\%$ ，圖 12 為查核件定期校正標準件之 MF 偏移圖。

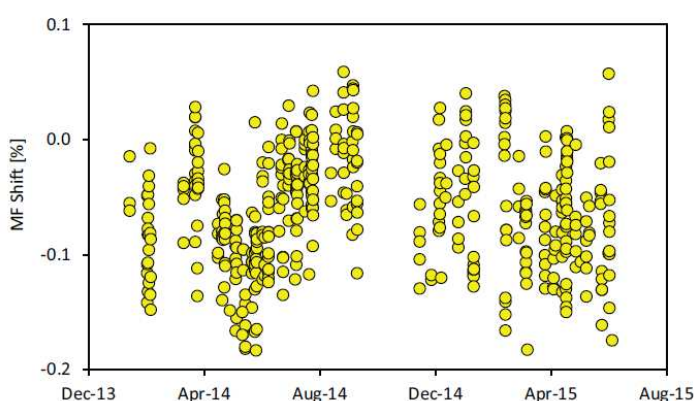


圖 12 查核件 MF 位移

2.5.2. 台灣 ITRI/CMS blow-down 校正系統的穩定性改良

台灣國家流量實驗室自 1996 年以來，在台灣測量標準中心（CMS）建立了一個排氣式高壓氣流校正系統(blow-down)，如圖 13 所示。該設施包括一個採用重量法的原級標準件和一個使用音速噴嘴為二級標準的系統，校正能量包括壓 1bar 至 60bar、流量從 $15\text{m}^3/\text{h}$ 至 $12000\text{m}^3/\text{h}$ 的流量。在流量計校正期間，上游存儲罐中的空氣壓力由於排空設計而連續降壓，導致相應的溫度下降。採取的補救措施為提高設施的性能，並減少流量計校正期間的熱效應。原始音速噴嘴組由可以獨立操作的七個噴嘴組成的新的音速噴嘴陣列替代，新噴嘴的喉部直徑範圍為 2.312mm 至 11.56mm，標稱流量為 $3\text{m}^3/\text{h}$ 至 $75\text{m}^3/\text{h}$ ，並且三個最大噴嘴必須同時操作以實現最大流量，在噴嘴陣列的下游安裝兩個附加的音速噴嘴作為查核件。

通過原級標準的陀螺儀稱重儀(gyroscope weighing system)校正新的噴嘴，顯示噴嘴在層流到湍流狀態下穩定操作，雷諾數為約為 10^6 處發生。在 transition point 可觀察到與噴嘴直徑的正相關性，標準噴嘴之間的一致性、平行組合噴嘴的適用性及長期穩定性和校正能力通過流量測量測試以及與 bell prover 的內部比較而確認。並利用 6 “渦輪表與 PTB 進行的正式雙邊比較(bilateral comparison)，以驗證改進的校正台的能力。在所測試的流量範圍內的 En 值都小於 1，CMS 的不確定度為 0.19%，並安裝兩個附加的熱交換器來回收校正過程中的熱損失，進一步穩定設備性能。



圖 13 blow-down 高壓校正系統

該 HP 系統使用音速噴嘴（SN）作為傳遞標準來校正被測儀表（MUT）。SN 由於結構簡單、穩定、可追溯的便利性，被許多國家的流量測量實驗室用作傳遞標準。該系統的 SN 可以直接追溯到原級稱重系統，標準 SN 的校正週期為 2 年。稱重槽和陀螺儀稱重系統如圖 14

所示。稱重槽的體積為 2 m^3 ，最大設計壓力為 50 bar。



圖 14 高壓稱重校正系統

ITRI/CMS 實驗室使用 bell prover 校正系統，如圖 15 所示。該系統的體積為 600 升，系統已運行了 20 多年，並參與了幾次國際比較，取得了良好的效果。bell prover 的校正流量範圍為 (20 至 1000) L / min，擴張不確定度為 0.11%。



圖 15 bell prover 校正系統

透過渦輪流量計和 PTB 進行非正式國際比對，由校正結果相對偏差 E (%) 如圖 16 所示。通過該比較，可以看出無存在固定方向偏差的差異。它們的差異範圍為約 0.07% 至 0.19%。比較結果的 E_n 值示於圖 17，在不同雷諾數 E_n 小於 1。這證明可以實現由該系統聲明的 0.19% 的不確定性。

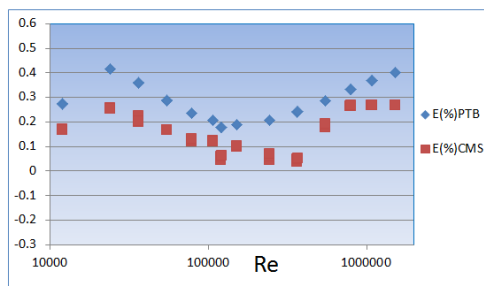


圖 16 CMS 和 PTB 以渦輪流量計為比較件之校正結果比對

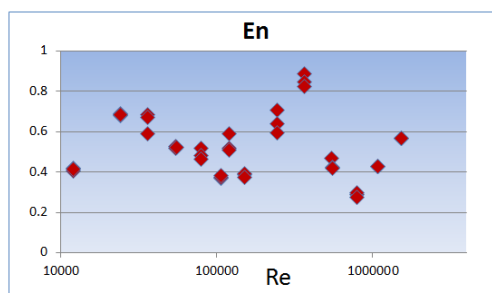


圖 17 CMS 和 PTB 以渦輪流量計為比較件之 En 值

2.6. 液體流量校正(Hydro carbon)

hydrocarbon 流量計的量測與校正是石油產品生產和計量的重要基礎元素。hydrocarbon 流量量測中使用的流量計的精度受液體性質、安裝條件和流量條件的影響。進行週期性地校正流量計，並探討不同流體的特性以便實現高精確的流量測量。本段介紹日本 NMIJ 的 hydrocarbon 流量計校正系統，日本的 hydrocarbon 化合物流量國家標準設施進行校正，並由日本的校正服務系統（JCSS）以嚴謹校正實驗室認證程序進行 reference 標準流量計認證。目前 hydrocarbon 流量量測標準件流速為 $300\text{m}^3/\text{h}$ ，可透過多部流量計並聯安裝使用來擴大流量，未來將擴充各種液體類型的流速範圍。標準流量計和 displacement 流量計建置 hydrocarbon 流量量測的 ball prover 校正系統，ball prover 的工作流量範圍為 $100\text{m}^3/\text{h}$ 至 $1800\text{m}^3/\text{h}$ ，其體積為 10m^3 。最大流量為 $300\text{m}^3/\text{h}$ 的標準件在 NMIJ 進行校正，以可追溯到國家標準的重量單位。通過並聯安裝的標準流量計和 PD 計量器，ball prover 校正系統的流速從 $300\text{m}^3/\text{h}$ 擴大到 $1800\text{m}^3/\text{h}$ 。校正因子對流速的偏差小於 0.04%，系統有良好線性。ball prover 的校正因子經評估其不確定度小於 0.09%。此外，在 NMIJ 處校正的三個流量計並行安裝並且由 ball prover 同時校正，以便確認校正的可信賴性。

NMIJ 的 ball prover 校正系統的示意圖如圖 18 所示。可量測汽油，煤油和重油等大流量流量計之校正設備。在日本的研究中，主要集中在煤油計量的大型流量計校正，操作流量範圍為 $100\text{m}^3/\text{h}$ 至 $1800\text{m}^3/\text{h}$ 。操作壓力為 0.1 至 0.4MPa，流體溫度介於 15°C 至 30°C 。標準件選用 spiral gear type 的正位式流量計(positive displacement flowmeter)作為標準件，單向球閥有三個球體作為置換器，體積量為 10m^3 。在最大流量 $1800\text{m}^3/\text{h}$ 時，校正時間最小約為 30 s。兩個球體作為閥設置在閥部分中，以便測量期間上游部分和下游部分之間的洩漏。具有脈衝插值的雙計時方法用於時間測量，可消除脈衝離散誤差的問題。量測流量計的上游和下游壓力作為平均壓力，溫度則取流量計下游的溫度。參考標準件（reference standard flowmeter ,RSF）和正位式流量計（positive displacement meter）的選用方法如表 2 所示

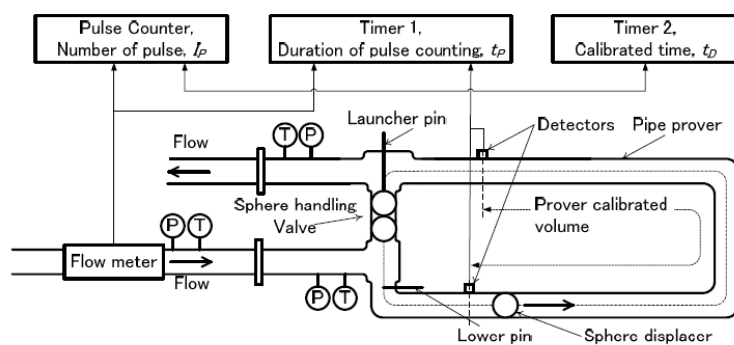


圖 18 大型 ball prover 用於 hydrocarbon flow 校正系統

Table 1: Calibration method.

No.	Measurement standard (calibrated flow rate range)	Device under test	Flow rate (m ³ /h)
1	RSF (~ 265 m ³ /h)	PP	100, 200, 250
2	PP	PDM	200, 250
3	RSF (~ 265 m ³ /h) + PDM (~ 250 m ³ /h)	PP	400, 500
4	PP	RSF & PDM	300
5	RSF (~ 300 m ³ /h) + PDM (~ 300 m ³ /h)	PP	600
6	PP	PDM	600
7	RSF (~ 300 m ³ /h) + PDM (~ 600 m ³ /h)	PP	900
8	PP	PDM	900
9	RSF (~ 300 m ³ /h) + PDM (~ 900 m ³ /h)	PP	1200
10	PP	PDM	1200
11	RSF (~ 300 m ³ /h) + PDM (~ 1200 m ³ /h)	PP	1500
12	PP	PDM	1500
13	RSF (~ 300 m ³ /h) + PDM (~ 1500 m ³ /h)	PP	1800

表 2 標準件的選用方法

參、心得與建議

1. 天然氣在台灣使用量逐年漸增，第三接收站預計 111 年完成，初期年營運量約 300 萬噸/年，台灣一年的接收量將可達 1700 萬噸/年，目前 LNG 的計量多以液位計或壓差型流量計進行計量，然其缺點為受限於管線安裝限制或無法校正，科氏力流量計為近幾年發展用於 LNG 量測的流量計，用於 LNG 計量的問題被逐一克服，本公司同國家量測中心或可共同合作，建立 LNG 計量校正系統，並發展 LNG 計量標準追溯系統，追溯至稱重原級單位。
2. 科氏力流量計可直接量測質量流率、密度與濃度，量測流體種類廣泛包括高黏度液體、含固形物漿體、雙向流體、高密度之中高壓氣體等，且無阻礙件及活動件，對迎流流速不敏感、無上下游直管段要求，對流場流速均勻性要求較小，已逐步發展為未來高壓天然氣或液態 LNG 的計量主流，本所應投入資源評估科氏力流量計計量之可行性。
3. 目前天然氣供應電廠的計量型流量計已納入校正系統，但工業用戶及瓦斯公司計量中小尺寸流量計尚未納入校正系統，本所應建置中小尺寸流量計校正系統並申請 TAF ISO/IEC 17025 實驗室認證，以期將所有天然氣計量用流量計納入校正系統。
4. 流量計量及校正對經濟發展影響極大，對於天然氣而言台灣應發展完整的流量計量追溯鏈，標準件可以追溯至原級標準(重量或長度)，本所氣體大流量實驗室負責高壓天然氣計量件的校正，透過此次會議的參與了解世界各國在流量、計量及校正領域的發展，並了解了各種原級標準的校正系統與方法，未來將不斷吸收世界各國在計量領域的最新發展，並與國際上的國家級校正機構密切合作，吸收最新的校正技術，應用至本所校正系統上，對上應承接準確的追溯鏈，對下進行計量件的校正，確保流量校正標準的準確性。
5. CFD 電腦輔助分析可減少實驗管線的製作與實驗，強化流場分析能力，未來本所應投入資源進行 CFD 模擬與研究，並可協助事業部進行管線安裝設計。

肆、 參考文獻

1. Should Reynolds Number Correction and Linearization of Flow Meters be Standardized.
2. Numerical Simulation for the Straight Pipeline after a Sonic Nozzle and Its Influence on the Discharge Coefficient.
3. Metrological support for LNG custody transfer and transport.
4. Analysis of Coriolis flowmeters effected by cryogenic fluid based on stiffness model.
5. Towards the Improvement of a Blow-Down Type High Pressure Air Flow Calibration Rig.
6. Reducing the Uncertainty of a High Pressure, High Flowrate Calibration Facility.
7. Establishment of Hydrocarbon Flow Traceability for a Large Ball Prover by Using Flowmeters installed in Parallel.