

出國報告（出國類別：廠驗）

超音波流量計流量驗證試驗

服務機關：台灣中油液化天然氣工程處
台灣中油台中液化天然氣廠

姓名職稱：洪維展 儀電監造技術員
林琮彥 儀電監造工程師

派赴國家：荷蘭

出國期間：106年5月13日~106年5月19日

報告日期：106年6月08日

摘要

超音波流量計(USM)被廣泛用於天然氣的流量量測，而天然氣是一種熱能，流量的大小代表輸送能源的大小，也就是代表計費的多寡，因此 USM 被稱為市場交易儀器(Fiscal or custody measurement instruments)。

為了維持公平交易，USM 通常要做實測標定，以確認該 USM 的量測結果均能被天然氣的買賣雙方接受，我們此行的工作就是來見證 SICK 所製造的 16” FLOWSIC600 USM 由 EuroLoop 實驗室做實測標定的過程及結果。

目次

摘要.....	2
目次.....	3
壹、目的.....	4
貳、過程.....	4
1、USM 的製造集實測	4
2、AGA Report	5
3. 國際上依 ISO17025 認證通過之實驗室.....	6
4. 實測之流量規定.....	6
5. AGA Report 對 USM 之性能要求.....	8
6. 量測的不確定性(Uncertainty).....	9
7. EuroLoop 的成立經過.....	11
8. EuroLoop 實驗室實流標定 USM (超音波流量計)的能力.....	11
9. EuroLoop 實驗室使用的天然氣校準原理.....	12
10. EuroLoop 實驗室的方法製程.....	12
11. USM 實測主要步驟.....	13
12. 實際流量測試.....	14
13. 量測的追溯體系(Traceability of measurement).....	15
14. 實測結果.....	17
參、心得與建議	18
附錄	
附圖一.....	19
附圖二.....	20
相關照片.....	21

壹、目的

為因應國家能源政策，天然氣發電，極可能成為台灣未來主力能源，台灣中油股份有限公司，積極拓展能源原料之取得以及提供穩定發電原料之供應，於台中天然氣廠積極擴建第二期興建工程，為配合本興建工程案，所採購天然氣超音波流量計設備，將用於天然氣流量之計算，以維持供起穩定之用途。

貳、過程

本次荷蘭超音波流量計流量驗證試驗

行程規劃如下：

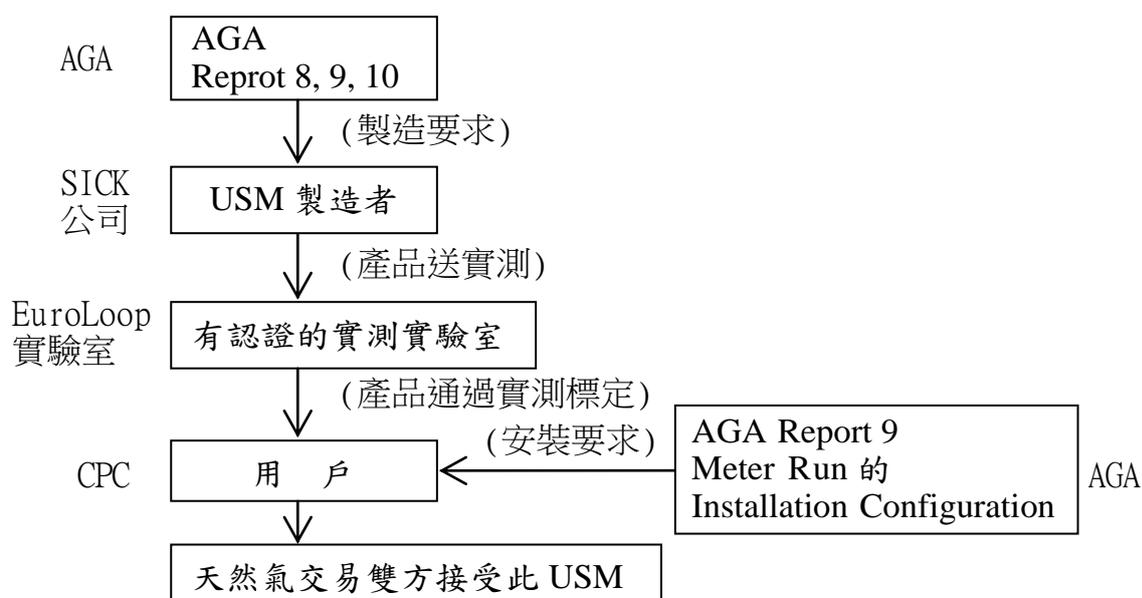
日期 (當地時間)	行程	備註
5/13	去程交通時間(台灣→阿姆斯特丹→鹿特丹)	
5/14	超音波流量計實測會驗前討論	
5/15	參觀 EuroLoop 實驗室	
5/16	SICK USM (FLOWSIC 600) 實測	
5/17	自由活動	
5/18	回程交通時間(阿姆斯特丹→台灣)	

1. USM 的製造及實測

在業界大家均同意 USM 之所以能取代差壓方式或正位移方式的流量計而成為天然氣流量計測的主力，其最主要的功臣便是 AGA (美國瓦斯協會 American Gas Association)。AGA 並不是製造商，也不代表 USM 的用戶，但它公佈的 Report 很公正的以一個第三方的立場提出 USM 相關的理論依據、性能要求、Meter Run 的管路配置原則等，使製造者及使用者均對 USM 有所依循及信心。

在 USM 製造完成後，為了確認製造者的產品是否符合 AGA Report 的要求，因此產品在交貨前仍要經由不代表 AGA、不代表製造者、不代表用戶的一個獨立實驗室來做實測的認證，實測認證符合的結果做為用戶安裝 USM 後，天然氣買賣雙方信賴此儀器的憑證。

上述說明以圖表示如下：



2. AGA Report

有關 AGA Report，整理如下：

AGA Report	主要內容	備註
AGA 1	1930 年發表，天然氣使用流孔板量測的相關要求及計算	
AGA 2	1935 年修正，天然氣使用流孔板量測的相關要求及計算	
AGA 3	1955 年發表，差壓方式的流量平方根計算公式	ISO5167 相當於 AGA 3
AGA 5	由量測的體積流量，加入天然氣的溫度及壓力補償，計算天然氣的熱值流量 (combustion heat flow)	
AGA 7	1980 年發表，1984 年及 1996 年修正 (係有關使用 Turbine flowmeter 量測天然氣的文獻) 使用有流量調節器 (flowing line conditioner) 之正位移方式量測的體積流量計量式	
NX-19	1963 年發表一系列的天然氣壓縮性 (compressibility) 計算式。根據天然氣的成份、比重、溫度及壓力來計算出天然氣的壓縮性 (Z 值)	已被 AGA 8 取代
AGA 8	1992 年發表 內容包括 NX-19，但計算式更複雜更精確，並把實流條件下的體積流量轉成基準狀態的體	

	積流量	
AGA 9	2007 年發表 使用多路徑(multipath)的超音波流量計來量測天然氣流量	ISO17089-1 相當於 AGA 9
AGA 10	音波在天然氣及其他氣體之速度 SOS (Sound of Speed)計算	ISO20765 相當於 AGA 10

註：CPC 之超音波計量設備規範規定之國際規範為依循 AGA 8, 9 及 10。

3. 國際上依 ISO17025 認證通過之實驗室

在國際上依 ISO17025 認證通過可做 USM 高壓天然氣實測的實驗室有下列：

名稱	國家	地點	流量範圍 (m ³ /hr)	壓力 (barg)	溫度 (°C)	實測結果 之不確定度 (uncertainty)
Pigstar	德國	Dorsten	8-6500	14-50	--	0.16 %
Force Technology	丹麥	Vejen	8-10000	0-50	15-25	0.18-0.30 %
GL Nobel Denton	英國	Durham	20-19500	33-55	5-15	0.19-0.24 %
NMi EruoLoop	荷蘭	Rotterdam	20-30000	0-60	常溫	0.15 %
CEESI	美國	Iowa	10-34000	70	--	0.23 %
TCC	加拿大	Manitoba	30-55000	60-70	--	0.19 %

註：NMi Netherland Measurement Institute 荷蘭國家計量院

Pigstar 德國國家標準高壓天然氣實驗室

CEESI Colorado Engineering Experimental Station, Inc.

TCC TransCanada Calibrations 加拿大輸氣校驗公司

4. 實測之流量規定

依 CPC 規範實測之流體規定有幾個重點要求：

1) 實流校正流率至少包括下列 7 個流率：

Q_{min} , $0.1 Q_{max}$, $0.15 Q_{max}$, $0.25 Q_{max}$, $0.4 Q_{max}$, $0.7 Q_{max}$ 及 Q_{max}

2) 天然之壓力為 50 bar 以上

3) Q_{max} 不可低於 $6500 \text{ m}^3/\text{h}$

4) 流量計的不確定度(Uncertainty) 在 $0.1 Q_{max}$ 以上時應等於或優於 $\pm 0.3\%$

SICK 依此要求提出的實測流量如下：

實測點	% of Q_{max}	實際流量 A m^3/hr	管路流速 m/s	流量管流速 m/s
第 1 點	100 %	12000	30.5	32.7
第 2 點	70 %	8400	21.3	22.9
第 3 點	40 %	4800	12.2	13.1
第 4 點	25 %	3000	7.6	8.2
第 5 點	15 %	1800	4.6	4.9
第 6 點	10 %	1200	3.0	3.2
第 7 點	Q_{min}	120	0.3	0.33

註：

1) 依 CPC FE-1501 Data sheet，天然氣的條件為：

分子量 = 17.03，正常操作壓力 = $80.69 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ ，

正常流量 = 450000 kg/hr (Mass Flow)

把 Mass Flow 換算成 Volumetric Flow

$$\begin{aligned}
 Q(\text{Nm}^3/\text{h}) &= \frac{\text{Mass Flowrate} [\text{kg/h}] \times 22.41 [\ell/\text{mole}]}{M(\text{分子量}) [\text{g/mole}]} \\
 &= \frac{450000 \times 22.41}{17.03} \\
 &= 592,160 \text{ Nm}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

把 Standard Condition 的 Q_{normal} 換算成實際操作條件的 Q_{actual}

$$\begin{aligned}
 Q_{actual} &= Q_{normal} \times \frac{P_{abs}(\text{Normal})}{P_{abs}(\text{Actual})} \times \frac{T_{abs}(\text{Actual})}{T_{abs}(\text{Normal})} \\
 &= 592,160 \times \frac{1.0}{81.69} \times \frac{273+25}{273+15} \\
 &= 7500 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

把實際操作條件下的 Q_{actual} 換算成實測壓力的 Q_{test}

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{test}} &= Q_{\text{actual}} \times \frac{\text{實際操作壓力}}{\text{測試壓力}} \\
 &= 7,500 \times \frac{81.69}{51} \\
 &\approx 12,000 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

因此 EuroLoop 定義 12,000 m³/h 為測試的 Q_{max}

- 2) 介質的密度愈大，音速愈高。例如在空氣中的音速為 331.3 m/s，在水中的音速為 1450 m/s，在高壓的天然氣約在 400 m/s。
- 3) 天然氣的比重依其成分而不同，但大約介於 0.6~0.75 之間。

5. AGA Report 對 USM 之性能要求

AGA 9 Chapter 4 在性能上有一些規定，為說明這些規定，有一些名稱的定義要先說明如下：

1) Q_{max} 為 maximum flow

Q_{max} 是 USM 製造商標明流量計能流通的最大流量

Q_t 是 USM 製造商定義的流量，Q_t 是代表 Transition flowrate，如果流量低於 Q_t 時，則該流量計所量測之量的誤差(error)將會大於製造商所標明 (specify) 的誤差值。

Q_t 也可以定義為高流量區(high flow region)與低流量區(Low flow region) 的分界點，大於 Q_t 的區域稱為高流量區，小於 Q_t 的為低流量區。Q_t 值可由製造商標示，但其 Q_{max} 至少必須大於 10 倍的 Q_t，即 Q_{max} ≥ 10 Q_t。

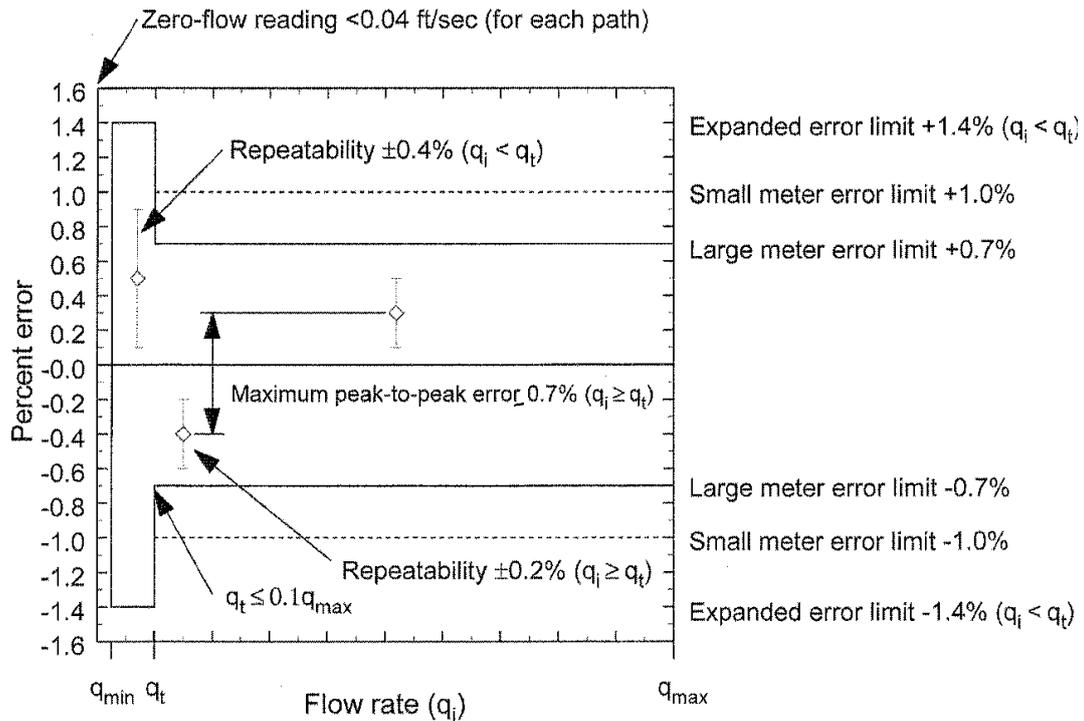
Q_{min} 為 minimum flow，是使用者可能操作的最低流量，低於此流量時，此流量計的誤差值不受 AGA 9 的規定。

2) AGA 9 把流量計的尺寸分成兩類

大尺寸流量計(Larger meter)：指 12” 及以上之流量計。

小尺寸流量計(Small meter)：指小於 12” 之流量計。

USM 性能規範總圖



AGA 9 對 USM 之性能要求之規範總圖如上圖，可歸納出幾個重點：

- 1) 大尺寸流量計 (12" 及以上) 的誤差允許為 $\pm 0.7\%$ 。
小尺寸流量計 (12" 以下) 的誤差允許為 $\pm 1.0\%$ 。
- 2) 當流量介於 Q_{min} 與 Q_t 之間時，誤差允許為 $\pm 1.4\%$ 。
- 3) 當流量小於 Q_{min} 時，誤差允許值沒有規定。
- 4) 當流量大於 Q_t 時，最大的峰值誤差(maximum peak-to-peak error，也可想成 linearity) 要小於 0.7% 。
- 5) 流量計的重覆性(Repeatability)
當 Q_i (Indicating flow) $> Q_t$ 時為 $\pm 0.2\%$ 。
當 $Q_i < Q_t$ 時為 $\pm 0.4\%$ 。

為了 USM 的準確性及減少量測的不確定性(Uncertainty)，下列的措施是必須的：

- 1) 流量實測調校(Flow calibration)。
- 2) 流量管(Meter Run)的安裝架構(Installation Configuration)符合 AGA 9 的推薦。
- 3) SOS 計算精度的提高。

6. 量測的不確定性(Uncertainty)

在量測領域上，常常使用準確度(accuracy)、精密度(precision)及不確定性(uncertainty)來表示量測結果的優劣，這幾個名稱其物理意義是不同的，其主要的差異以下述量測例來說明：

有兩組人使用不同的儀器來量測某一辦公室的溫度，每組人各量測 5 次，兩組的量測結果如下：

A 組： 22.6 °C，22.5 °C，22.5 °C，22.4 °C，22.3 °C

B 組： 21.0 °C，22.0 °C，20.8 °C，21.5 °C，22.1 °C

假定這個辦公室的真正室溫為 21 °C，則 A 組所量測的為 22.5 ± 0.2 °C

B 組所量測的為 21.0 ± 1.1 °C

則 A 組所量測的 5 點均很接近，但與實際溫度差 1.5 °C，而 B 組很接近 21 °C 但其分散比較大 (± 1.1 °C)，因此 A 組的量測很精密但不準確，而 B 組的量測很準確但不精密。

以上的結論根基於實際的真正溫度為已知，但在實務上，誰能告訴我們，真正(Actual)的溫度為多少。同樣的疑問會出現在工業儀表上，工業儀表的製造商都會在其資料上註明其準確度(Accuracy)，但問題是在實際使用時，無人能知道當時真正的正確值為多少。因此對於量測儀器漸漸有使用量測不確定性(Uncertainty)來描述儀器的精準狀況。

不確定度的文字定義為：

不確定度為一與量測結果相關之參數，以表徵合理歸因於受測量的值之離散程度。

(Uncertainty is a property of a measurement result that defines the range of probable values of the measurand.)

此文字定義不容易真正了解其真正物理意義，如果說得更白話一些可以這樣解釋：

不確定性是一種以統計的方法，把所有可能影響量測準確性的因素加總起來(非代數加總，而是方根值)，計算出可能造成的全部量測誤差(An estimate of the possible error in a measurement)。量測結果的表示方式為

量測值 \pm Uncertainty [單位為 %]

這意思是說量測結果一定分布在量測值 \pm 不確定度之範圍內，而且最重要的是真正的正確值一定會落在所分布的範圍以內。

也就是說由量測值 \pm 不確定度可以確定真正值在那個範圍內(此與 Accuracy 要想知道真正值是不同的)。

本次由 EuroLoop 實測的結果將只告訴我們 SICK FLOWSIC600 USM 的量測 Uncertainty 而不會告訴我們它的 Accuracy。

依 CPC 規範，其所要求的量測不確定度為

$\pm 0.3\%$ ($> 0.1 Q_{\max}$)

$\pm 0.7\%$ (Q_{\min} 至 $0.1 Q_{\max}$)

以上是 Review USM 實流測試的要求，基本上 SICK 提出的實測計劃書均符合 CPC 的規範。而且 EuroLoop 實驗室也是 CPC 認可的實驗室之一，且 EuroLoop 是第三方(Third Party)，它的負責對象為 CPC、SICK、AGA 及 RvA，因此 EuroLoop 應能公正的實施此次的實流測試。

7. EuroLoop 的成立經過

EuroLoop 是 2009 年由荷蘭 Dutch Innovation Company 及 Process Instrumentation Manufacturer Krohne 兩家公司出資，並由 NMi (荷蘭國家計量院)及 VSL (NMi 委託執行國家計量標準的實驗室，VSL 為私人公司但執行公共事務)的專家規劃設計，成立之後由 NMi 委託執行液體及天然氣流量計之實流標定工作，所以一開始此實驗室名稱為 NMi EuroLoop 實驗室，但後來 EuroLoop 與國際 TIC (Testing, Inspection and Certification)公司 Kiwa 簽署伙伴關係，且對全世界提供服務，因此目前不再用 NMi EuroLoop 而只使用 EuroLoop 名稱。



註:1. 氣態天然氣球槽 2. 物料儲存區 3. 乾式測試區 4. 濕式測試區 5. 控制中心

EuroLoop 實驗室是依下列國際規範建造的：

- 1) ISO/IEC 17025 : 2005 (Calibration)
- 2) ISO/IEC 17043 : 2010 (InterLaboratory Comparison)
- 3) ISO Guide 34 (Reference material)

EuroLoop 運轉後便取得荷蘭國家認證機構 RvA (Dutch Accreditation Council)對上述 3 個 ISO 標準的認證，也因而取得國際實驗室認證聯盟(ILAC)的認可。

8. EuroLoop 實驗室實流標定 USM (超音波流量計)的能力

可校正的流量計尺寸： 2~30"

流量計法蘭規格： ANSI 150#，ANSI 300#，ANSI 600#，ANSI 900#

天然氣壓力調整範圍： 1~60 Bar (Gauge)

天然氣壓力的穩定度： 壓力可穩定在壓力設定值的±5mbar 以內

天然氣溫度的穩定度： 溫度可穩定在常溫的±0.05°C 以內

天然氣流量的範圍： 20~30,000m³/h (Actual)

1.8×10⁶ m³/h (Normal Condition)

天然氣的 measuring section： 8

Mast meters： 8 個 Turbine Flowmeter

做為 8 個 Measuring Section 的標準流量計

Slave meters： 8 個 Ultrasonic Flowmeter

做為 8 個 Master Flowmeter 的 Diagnostic Flowmeter

整體最佳的不確定度： $\pm 0.15\%$

(Best overall uncertainty)

實驗室運轉： 不受天候影響可做 24/7 全年運轉

(24/7 指一天 24 小時，每週 7 天)

每年可實測的流量計： 800~1500 個

實驗室大樓的防爆等級： ATEX ZONE 1

9. EuroLoop 實驗室使用的天然氣校準原理

在油氣工業(Oil and Gas Industry)，最常被用來決定碳氫化合物的性質及相態(Phase Condition)的 4 種狀態方程式 EOS (Equation Of State) 為：

a) Pen - Robinson (PR) EOS

b) Soave - Redlich - Kwong (SRK) EOS

c) GERG - 2004 EOS

d) AGA8, AGA10 and API Chapter 14.2 EOS

EuroLoop 實驗室採用 GERG - 2004 的 EOS。

EuroLoop 實驗室使用的天然氣校準原理是根基於質量持恆(mass conservation)原理，然後使用 GERG - 2004 EOS 去計算天然氣的實際密度及天然氣雷諾數，然後將質量流量(mass flow rate)轉成體積流量(volumetric flow rate)。

10. EuroLoop 實驗室的方法製程

EuroLoop 標榜其系統為密閉系統(Closed System)且實驗室可全年每天 24 小時運轉，因此其備有容量為 3500m^3 的圓形儲槽(balloons)兩個，總容量為 7000m^3 。此兩個圓形儲槽成為 EuroLoop 的地標，進入工業區後便可遙望到此兩顆白色的圓球體。

此天然氣儲槽有雙層的槽壁(Double-walled structure)，外層的材質為自熄性的塑膠材質可抵擋 200 km/h 的強風，內層牆壁類似一個大袋(a large bag)，如果內層有漏氣至外層與內層之間的空間，則會被偵測出且不會溢至大氣中。

此天然氣儲槽所儲存的天然氣壓力僅為 30 mbar (300 mmH₂O)，壓力很低，比較沒有安全的顧慮，而且當測試工廠於檢修需要排空時，管內或設備內的天然氣可以容易的回到低壓儲槽內，不需要排放至大氣。

為了將天然氣加壓至 50~60 Bar，EuroLoop 使用 3 台高壓氣缸壓縮機來加壓，再用一台 2500KW 可變速的鼓風機以改變天然氣的流量。因天然氣經壓縮後溫度會升高，為了控制天然氣的溫度使維持在室溫，因此使用二階段的熱交換器，熱交換器使用液胺為熱交換的冷卻劑，液胺把天然氣熱量帶走後自身變成氨氣，控制液胺的沸點(控制蒸發壓力)及量便能很精準的控制天然氣溫度在常溫的 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 以內。

在熱交換器之後會裝有 GC 及溫度計，以得到天然氣的成分以便帶入 EOS 計算天然氣的密度及壓縮性等。

EuroLoop 有 5 條大流量的量測 stream 及 3 條小流量的量測 stream，所謂 stream 是指

一段管路的佈置，此段管路由隔離閥、Master Turbine 流量計、偵錯的 Slave USM 流量計及隔離閥串聯而成，每一個 Stream 均由此 4 個元件串聯而成。

5 條大流量的 stream 其管徑均為 16"，每一 stream 的流量為 6500 m³/h。此 5 條大流量的 stream 並聯後接至熱交換器出口的 30" 主管。

3 條小流量的 stream 其管徑及流量分別為：

2" × 65 m³/h

6" × 400 m³/h

10" × 2500 m³/h

此 3 條小流量的 stream 亦為並聯並接至熱交換器出口的 10" 分支管。

在 USM 實測時，依 USM 的 Q_t (transition flow rate)，基本上在實測流量大於 Q_t 時會由大流量的 5 條 stream 去組合成所要的流量(即 5 條 stream 可能只使用 3 條而不是全部 5 條均有流量)，如實測流量小於 Q_t 時則不使用大流量 stream，而由 3 條小流量 stream 去組合成所要的流量，原則上每一條 stream 要保持在額定容量的 50~60%，以便使 Master Flowmeter 在最佳的計量狀態。

此 8 條 stream 的下游合併於 30" 的主管，然後就接上待測試的 USM stream。待測試的 USM stream 包括隔離閥、Double check 用的 USM、待測的 USM 及隔離閥等 4 個元件。安裝 Double check 用的 USM 之目的係因從大小流量 stream 至待測試 USM stream 之間的管路，會有許多彎頭及大小頭等，有必要用另一個 USM 來確認天然氣流動的狀態是否會影響待測 USM 的量測。

待測 USM stream 的下游便接回至壓縮機的入口重新加壓，循環使用天然氣，這就形成了 EuroLoop 所謂的密閉系統(Closed System)。

EuroLoop 的系統方法流程圖如附圖。

11. USM 實測主要步驟

1) 安裝待測 USM stream

安裝 flow conditioners、pipe spool 及 USM，並確認每顆螺絲的鎖緊扭力。然後用氬氣測漏，如確認沒有洩漏，則用天然氣吹驅(Flushing)二次以排出空氣，然後再將天然氣加壓至客戶的指定壓力(但為安全起見，最高不超過 50 Bar)。

2) 測試流量

測試流量從 Q_{max} 開始，且維持至少 30 分鐘。在最大流量時，全部測試的管路系統會有一致的壓力和溫度，然後才逐步降低流量為 $0.7Q_m$ ， $0.4Q_m$ ， $0.25Q_m$ ， $0.15Q_m$ ， $0.1Q_m$ ， Q_{min} 。在各個流量點時至少該流量要維持 10 分鐘。

在測試過程中大量的資料(包括 Mast flowmeter、slave meter、pressure、temperature、tested flowmeter 等)被收集進入電腦系統計算並顯示在監視螢幕上。

實測的結果會與 MID，OIMLR137-1,2，AGA8，AGA9，AGA10，ISO9951，ISO17089-1 及業主規範做比較，必要時在調整後再做第二次實測。

3) 測試完成

測試完成後，測試管路內的天然氣排至天然氣圓形儲槽，但管路仍會殘存一些天然氣，使用 8 bar 的氮氣灌入管路以沖淡天然氣之濃度至爆炸下限，然後排放這些混合後的氮氣。被測試的 USM 等便可拆下裝運至製造商或業主。

12. 實際流量測試

因整個實測過程中，會提取很多的相關資料(包括 Master flowmeter、Slave flowmeter、G. C.、Dew point、Check USM、Tested flowmeter、Gas temperature 及 Pressure)進入電腦演算，EuroLoop 在會議室裝有壁掛型螢幕，運算結果的數據會自動顯示在螢幕上。由於測試大約要 4 小時，因此在等待過程中，我們與 SICK 及 EuroLoop 人員交換意見或提問。

問題: EuroLoop 使用 Turbine Flowmeters 做為標準流量計，那麼此 Turbine Flowmeters 如何證明其量測值比待測的 SICK Flowmeter 為正確。

EnroLoop 的回答：

EuroLoop 實驗室是依 ISO17025 建造並經荷蘭國家認證機構 RvA 認證通過，依據荷蘭國家的追溯體系，EuroLoop 的 Turbine Flowmeter 要追溯回去交給荷蘭國家計量實驗室 VSL，由 VSL 以 Gas Oil Piston Prover (“GOPP”，maximum flow rate of 230 m³/h in a pressure range of 0.1~0.6 MPa)來實流調校，以確認 EuroLoop 使用 Turbine Flowmeter 為標準流量計實測的品質。

這就是所謂的量測追溯體系(Traceability of measurement)，因為量測追溯體系對 EuroLoop 實驗室來說是其信譽的命脈。

問題：超音波流量計如何計算出天然氣的流量。

SICK 回答：

應用超音波來量測流體流量的理論有兩種，一種稱為杜卜勒效應(Doppler Effect)，另一種稱為行進時間差(Time of flight，簡稱 TOF)。

杜卜勒效應主要的特點是它的超音波不是用流體管路的管壁來反射超音波，而是用流體內所含雜質或氣泡來使超音波產生反射，另一特點是它會使超音波的頻率產生偏移。目前杜卜勒原理的超音波流量計只用於量測液體。SICK 的多路徑(multi-path)天然氣流量計是使用 TOF 原理，一對超音波傳感器安裝在氣體管路上且互為斜對角，當下游側的傳感器向上游的傳感器發射超音波而被上游的傳感器收到時，所經過的時間為 t1；接著由上游傳感器向下游傳感器發射超音波，當下游傳感器收到超音波信號時所經過的時間為 t2，t1 一定大於 t2，這是因為超音波由下游側往上游側行進時，其行進速度在管中心線的速度分量與氣體流向相反，因此其速度會被減慢。反過來說當超音波從上游往下游發射時，其分量速度與氣體流向相同因此速度會加快，因此 t2 會比 t1 小。

t1 與 t2 的差距是因為氣體流速所造成，因此從 t1-t2 可以計算出氣體的流速。SICK 的 USM 有 4 個 Path，因此可以分別計算出 4 個氣體流速，分別以 V1, V2, V3 及 V4 代表，則可得到平均流速 V_{avg} ，再依下列計算式得到體積流量：

$$V_{avg} = \frac{V1+V2+V3+V4}{4}$$

$$Q_{raw} \text{ (原始流量值)} = V_{avg} \text{ (平均流速)} \times A \text{ (管路截面積)}$$

$$Q_{flow} = Q_{raw} \times \text{膨脹系數(壓力)} \times \text{膨脹系數(溫度)} \times \text{氣流 Profile 因數}$$

↑
依 AGA 8, 9, 10
修正後的流量

↑
管路截面積因氣體溫度
及壓力產生變化

↑
因流速、氣體成分
等不同而變化

$$Q_{base} = Q_{flow} \times \left(\frac{P_{abs \ flow}}{P_{abs \ base}} \right) \times \left(\frac{T_{base}}{T_{flow}} \right) \left(\frac{Z_{base}}{Z_{flow}} \right)$$

Q_{base} = 換算成標準狀態之流量

$P_{abs \ flow}$ = 在實際流體條件下的天然氣絕對壓力

$P_{abs \ base}$ = 在標準狀態下的天然氣絕對壓力

T_{flow} = 在實際流體條件下的天然氣絕對溫度

T_{base} = 在標準狀態下的天然氣絕對溫度

Z_{flow} = 在實際流體條件下天然氣的壓縮因素

Z_{base} = 在標準狀態下天然氣的壓縮因素

註：EuroLoop 使用的標準狀態 (Base Condition) 係採用 ISO5024 之定義，

$$\text{即 } P_{base} = 1.01325 \text{ Bar}$$

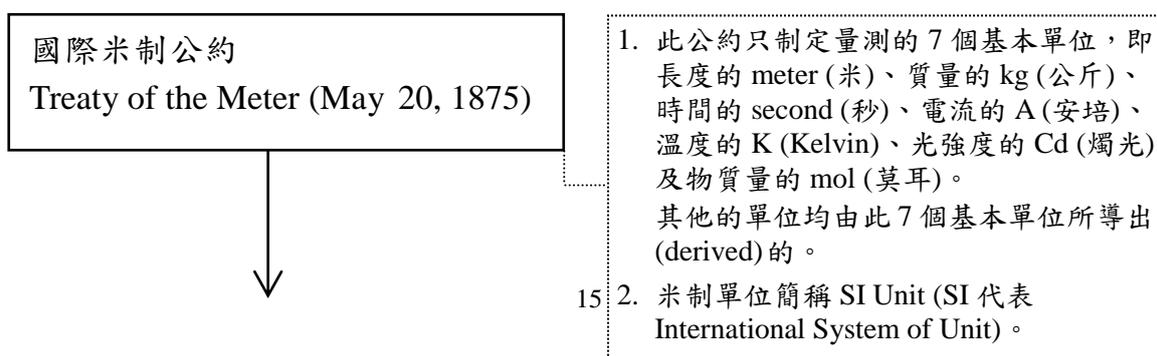
$$T_{base} = 15^\circ\text{C}$$

今天 EuroLoop 實測報告上的流量將為 Q_{flow} 而不是 Q_{base} 。

13. 量測的追溯體系 (Traceability of measurement)

量測的追溯體系最主要的目的是要讓全世界任何人對於同一種量測的結果能夠有相同的理解及相容 (Compatible)。為了達到此目標，全世界各國家均必需參與且成立專責的部門來執行此工作。

目前量測追溯體系以下圖來說明：



國際度量衡大會 CGPM
General Conference of Weights & Measures

- 1. CGPM 為法文 Conférence générale des poids et mesures 的縮寫。
- 2. CGPM 為米制公約的最高權力機構，每 4 年開一次會，由各國的政府代表參加。

國際度量衡委員會 CIPM
International Committee of Weights & Measures

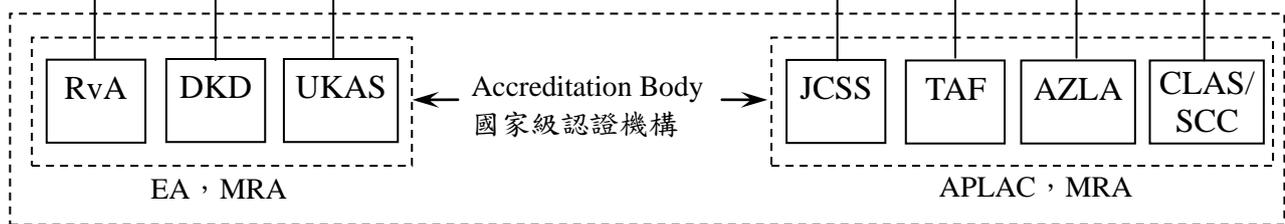
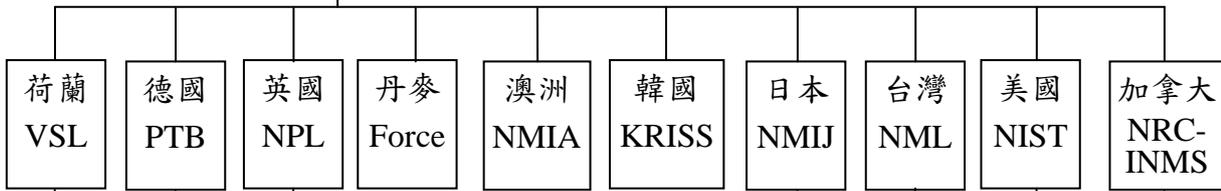
- 1. CIPM 為法文 Comité internationale des poids et mesures 的縮寫。
- 2. CIPM 執行米制公約及 CGPM 的決議，及監督 BIPM 的業務。

國際度量衡局 BIPM
The International Bureau of Weights & Measures

- 1. BIPM 為法文 Bureau internationale des poids et mesures 的縮寫。
- 2. BIPM 是一永久性的科技實驗室。
- 3. BIPM 的主要任務為：
 - 1) 收集基本標準原器。
 - 2) 執行國際間標準件的比對。
 - 3) 提供 KCDB website 供各國 NMI 量測追溯。

各會員國政府的 NMI (國家度量衡局)
(National Metrology Institute)
(僅列出下列重要或相關的國家)

- 1. 各會員國的 NMI 需成立國家級實驗室，此實驗室的儀器要追溯至 BIPM。
- 2. 各會員國的 NMI 負責供其國內各級儀器的追溯源頭。



ILAC, MRA

EA = European Accreditation 歐洲認證聯盟

APLAC = Asia-Pacific Laboratory Accreditation Cooperation 亞太實驗室認證聯盟

ILAC = International Laboratory Accreditation Cooperation 國際實驗室認證聯盟

MRA = Mutual Recognition Agreement 相互承認協議

EuroLoop 解釋：

EuroLoop 是由 RvA 認證，並透過 EA(歐洲認證聯盟)及 ILAC(國際實驗室認證聯盟)的 MRA(相互承認協議)取得 ILAC 的認證。

EuroLoop 的標準 Turbine Flowmeter 追溯至 VSL。而 VSL 的 GOPP Prover 追溯至 BIPM 的 KCDB (Key Comparison Data Base)網站(website)，此 KCDB website 提供 A complete overview is available of all “calibration and measurement capabilities”，然後再經由 BIPM 追溯至米制公約。

EuroLoop 的量測追溯系統係符合規定的，因此其以 Turbine Flowmeter 為量測的基準是可接受的。

台灣的量測追溯系統：

台灣的 NMI (國家度量衡局)是指經濟部標準檢驗局，台灣的國家級認證機構為財團法人全國認證基金會，簡稱為 TAF (Taiwan Accreditation Foundation)。TAF 為台灣對國際實驗室認證系統連接的負責單位。

台灣的國家級實驗室由經濟部委託下列單位成立實驗室：

工研院 - 1987 年成立國家度量衡標準實驗室。

行政院原能會 - 1993 年建立國家游離輻射標準實驗室。

交通部電信研究所 - 1994 年建立國家時間與頻率標準實驗室。

也就是說在台灣使用的量測儀器均要追溯至上述三個單位，再與國際接軌。

所以對於計測儀器的追溯，並不是將儀器調整到所謂“準確”的程序，而僅是提供儀器追溯至國家標準(及國際標準)的證明。儀器的用戶根據相關認證的實驗室提供之實測報告中的修正量(Deviation)來修正其儀器的顯示值，這就完成了“追溯”的程序。

14. 實測結果

實測結果於下午 8:00 完成(其報告如附圖)。

其結果比對如下：

流量	Dev. [%]	CPC 要求
Q_m	-0.12	$\pm 0.3\%$
$0.7 Q_m$	-0.06	$\pm 0.3\%$
$0.4 Q_m$	0.11	$\pm 0.3\%$
$0.25 Q_m$	0.1	$\pm 0.3\%$
$0.15 Q_m$	0.02	$\pm 0.3\%$
$0.10 Q_m$	0.14	$\pm 0.3\%$
$0.01 Q_m$	-0.35	$\pm 0.7\%$

即 SICK FLOWSIC 600 16” 的 USM 符合 CPC 規範。

參、心得與建議

本公司所採購之超音波流量計設備，無論未來所採用之規格形式是否一致，均為重要之計量設備，為確保此重要設備再進廠安裝操作後功能需符合契約要求，建議本公司可編列相關校正費用(回原廠)，或安排使操作維護人員至原廠接受相關訓練。

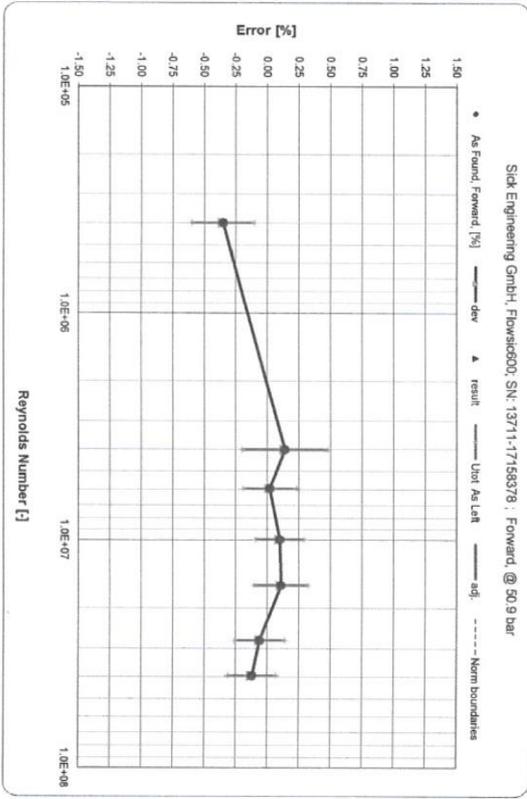
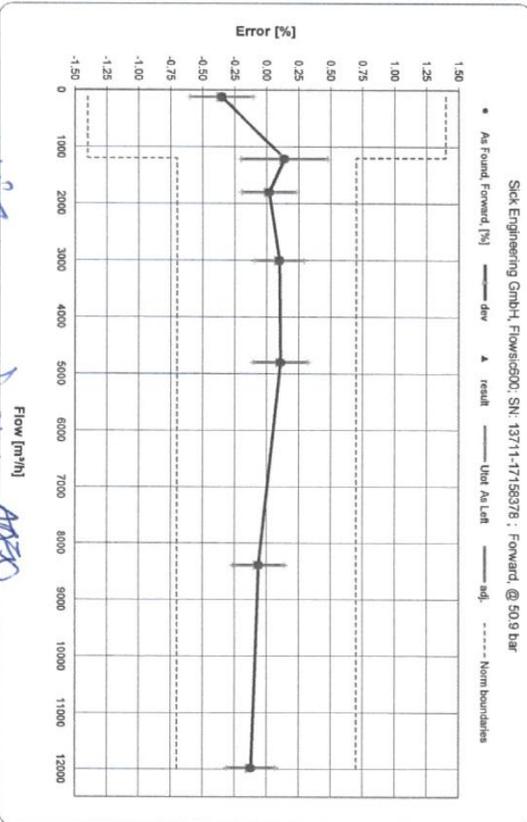
Euroloop

Meter: 13711-17158378, CalPosition: [L2-2] MUT Tag: [F1322], System signal: HF2
AS FOUND Calibration

Petroleumweg 36 Port number 3125
3196 KD Rotterdam The Netherlands

Forward

Actual Flow Q _{in} [m³/h]	Results										Measuring values									
	Mean	2stddev	cmc	u1ct	Reynolds	run 1	run 2	run 3	run 4	run 5	run 6	run 7	run 8	run 9	run 10	kg·m ⁻³	m·s ⁻¹	bar	°C	
11981.7	-0.12	0.08	0.17	0.19	3.69E+07	-0.15	-0.09	-0.07	-0.16							41.830	402.63	50.33	19.58	
8391.3	-0.06	0.09	0.18	0.20	2.58E+07	-0.02	-0.09	-0.12	-0.03							41.821	402.34	50.84	19.35	
4801.8	0.11	0.12	0.18	0.21	1.48E+07	0.08	0.18	0.08								41.840	402.72	50.96	19.77	
3008.6	0.10	0.09	0.17	0.19	9.27E+06	0.15	0.06	0.09								41.835	402.85	50.99	19.94	
1802.0	0.02	0.04	0.21	0.21	5.56E+06	0.03	0.04	0.00								41.827	402.83	50.98	19.90	
1215.8	0.14	0.12	0.32	0.34	3.74E+06	0.12	0.09	0.23	0.14							41.846	402.88	51.01	19.96	
121.5	-0.35	0.13	0.21	0.25	3.74E+05	-0.35	-0.42	-0.29								41.861	402.93	51.04	20.02	



Handwritten notes: 106.5.16, 106.5.16, 5/16/17, 106.5.16, and other illegible signatures.

Handwritten notes: SICK, 5/3/2017, 106.15/16, R. Van, 16.05.2017

16/05/2017
20:31

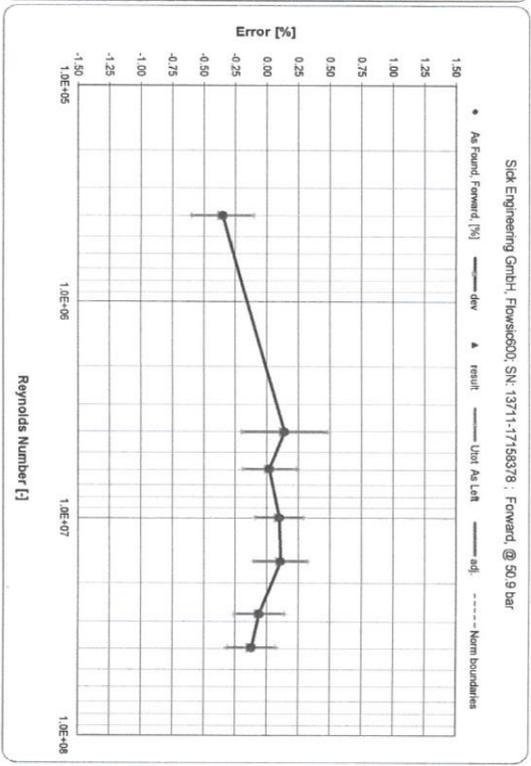
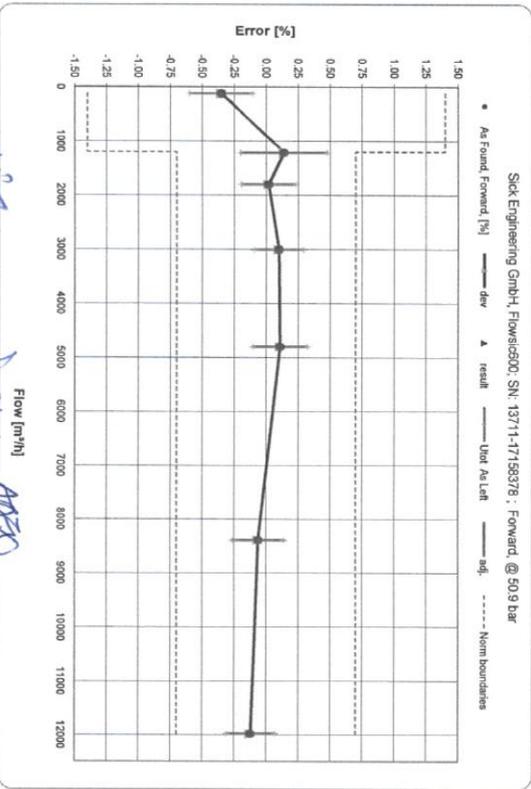
Euroloop

Meter: 13711-17158378, CalPosition: [L2-2] MUT Tag: [F1322], System signal: HF2

Petroleumweg 36 Port number 3125
3198 KD Rotterdam The Netherlands

Average conditions at MUT

Actual Flow Q _{mut} [m ³ /h]	Forward				Measuring values															
	Mean	Zstddev	cmc	utot	Reynolds	run 1	run 2	run 3	run 4	run 5	run 6	run 7	run 8	run 9	run 10	kg/m ³	VOS	p abs	t abs	°C
11981.7	-0.12	0.08	0.17	0.19	3.69E+07	-0.15	-0.09	-0.07	-0.16							41.830	402.63	50.93	19.68	
8391.3	-0.06	0.09	0.18	0.20	2.58E+07	-0.02	-0.09	-0.12	-0.03							41.821	402.34	50.84	19.35	
4801.8	0.11	0.12	0.18	0.21	1.48E+07	0.08	0.18	0.08								41.840	402.72	50.96	19.77	
3008.6	0.10	0.09	0.17	0.19	9.27E+06	0.15	0.05	0.09								41.835	402.85	50.99	19.94	
1802.0	0.02	0.04	0.21	0.21	5.55E+06	0.03	0.04	0.00								41.827	402.83	50.98	19.90	
1215.8	0.14	0.12	0.32	0.34	3.74E+06	0.12	0.09	0.23	0.14							41.846	402.88	51.01	19.96	
121.5	-0.35	0.13	0.21	0.25	3.74E+05	-0.35	-0.42	-0.29								41.861	402.93	51.04	20.02	



Handwritten notes in Chinese:
 106.5.16
 106.5.16
 5/16/17
 106.5.16

Handwritten notes in Chinese:
 SICK
 5/16/17
 106.5.16

16/05/2017
20:31

相關照片



說明：EuroLoop 實驗室



說明：EuroLoop 實驗室



說明：SICK USM (FLAWSIC 600) 實測



說明：SICK USM (FLAWSIC 600) 實測



說明：超音波流量計實測資料螢幕室



說明：超音波流量計實測資料螢幕室