

出國報告（出國類別：廠驗）

「(GDA0726001)台中液化天然氣廠計量設施及  
管線工程」超音波流量計實流校正

服務機關：台灣中油液化天然氣工程處

姓名職稱：儀電工程師 柯智偉

機械工程師 林正欣

派赴國家：荷蘭

出國期間：108年10月19日~108年10月26日

報告日期：108年11月26日

## 摘要

此次目的主要係針對台中液化天然氣廠計量設施及管線工程案(工程案號:GDA0726001)中所採購之 4 部 16 吋超音波流量計，於德國工廠製作完成後運送至荷蘭鹿特丹之 EuroLoop 流量校正實驗室進行天然氣氣體實流校正，並於校正過程中親赴實驗室參與校正流程目的係了解該實驗室取得認證所需之過程以及超音波流量計運抵實驗室後之測試方法與測試程序以了解該產品從廠製完成至完成校正後出貨至客戶端所需之相關流程以確保本案完成通氣試俾後所安裝之超音波流量計其計量量測結果均能被天然氣買賣雙方所接受。

## 目次

摘要.....	2
目次.....	3
壹、目的.....	4
貳、過程.....	4
參、心得與建議 .....	20
附錄	
附錄一.....	21
附錄二 .....	22

## 壹、目的

目前全球開發中國家皆飽受空氣汙染議題所困擾當然也包括台灣在內，因如此國家在能源政策上也重新布局目標於 2025 年要達成非核家園，且擴大使用天然氣發電達總發電量 50%以降低火力發電廠的汙染與碳排放，故天然氣發電將成為台灣未來主力能源，台灣中油股份有限公司，除多方面積極拓展天然氣供應來料之取得外，為提供穩定發電之備援系統，於台中天然氣廠至通霄段增設 36 吋路管工程，本案所採購之天然氣超音波流量計設備系統即為用於台中天然氣廠之天然氣流量計量用途。

## 貳、過程

本次超音波流量計實驗室流量驗證試驗行程規劃如下：

日期 (當地時間)	行程	備註
10/19	去程交通時間(台灣→阿姆斯特丹→鹿特丹)	
10/20	(阿姆斯特丹→鹿特丹)	
10/21	說明測試相關流程，及相關準備工作	
10/22-23	超音波流量計實流校正測試	
10/24	(鹿特丹→阿姆斯特丹)	
10/25	回程交通時間(阿姆斯特丹→台灣)	

### 1. USM 的製造及實測

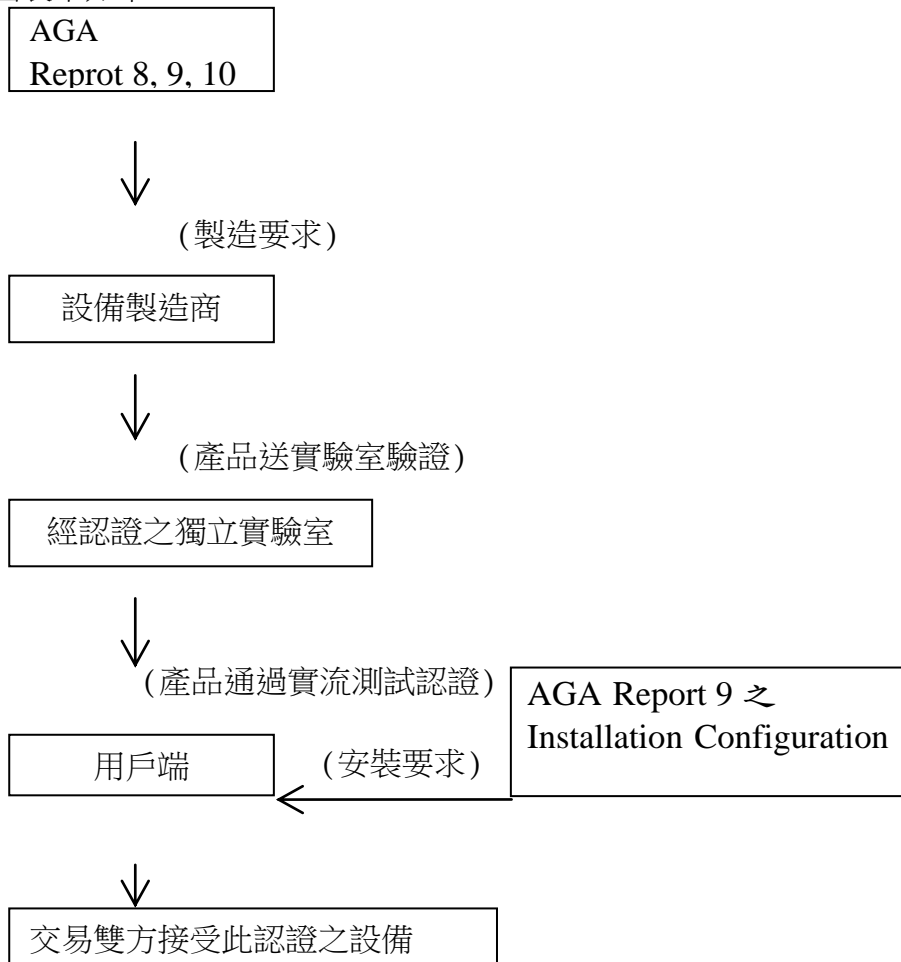
傳統量測天然氣流量之儀器為流孔板其優點為流量計結構牢固，性能穩定可靠，使用壽命長；應用範圍廣泛，目前尚無任何一類流量計可與之相比擬；且檢測件與變送器、顯示儀表分別由不同廠家生產，便於規模經濟生產。但其缺點為測量精度普遍偏低；量測範圍狹窄，現場安裝條件要求高且壓損大(指孔板、噴嘴等)長時間使用後易產生計量誤差。

1970 年代超音波流量計開始它是一種非接觸式測量儀表，可用來測量不易接觸、不易觀

察的流體流量和大管徑流量。且不會改變流體的流動狀態，不會產生壓力損失，且易於安裝，流量計的測量範圍大，管徑範圍從 20mm~5m 皆可使用並且不受被測流體的溫度、壓力、粘度及密度等熱物性參數的影響。

目前天然氣的計量儀器已逐漸由超音波取代差壓式或正位移式的流量計此改變歸功於 AGA 美國瓦斯協會 (American Gas Association)，AGA 並非超音波流量計製造商，亦不代表超音波流量計之使用者，但其發表之報告係以公正的以第三方立場提出其相關的理論依據、性能要求及管路配置原則等，使製造者及使用者均對超音波流量計有所信賴及依循。在流量計製造完成後產品交貨前需要由經過認證之獨立實驗室來進行實測認證，實測認證的結果做為用戶安裝流量計後，天然氣買賣雙方信賴之憑證。

上述說明以圖表示如下：



## 2. AGA Report 發展歷程

有關 AGA Report，相關發展過程整理如下：

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：本次採購之超音波計量設備規範為依循 AGA 8、9、10。

3. 國際上通過 ISO17025 認證之實驗室可以執行超音波天然氣實測的實驗室如下：

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

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. 實測之流量規定及測試結果：

依本案契約規範實測之流體規定有幾個重點要求：

1) 實流校準流率至少包括下列 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) 壓力範圍為 50 bar 以上

3)  $Q_{max}$  可調整但不可低於 6500 m<sup>3</sup>/h

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

製造商依契約要求透過實驗室的實測流量如下(於測試壓力 60bar 條件下)：

(FT-321)	% of $Q_{max}$	設定流量 $m^3/hr$	標準流量 $A m^3/hr$	實際流量 $A m^3/hr$	Dev. (%)
第 1 點	100 %	13000	12829.8	12837.5	0.06
第 2 點	70 %	9100	9079.5	9096.8	0.19
第 3 點	40 %	5200	5178.0	5188.4	0.20
第 4 點	25 %	3250	3193.0	3199.4	0.20
第 5 點	15 %	1950	1920.0	1920.3	0.19
第 6 點	10 %	1300	1305.3	1305.3	0.09*
第 7 點	$Q_{min}$	130	123.1	122.7	-0.36

(FT-322)	% of $Q_{max}$	設定流量 $m^3/hr$	標準流量 $A m^3/hr$	實際流量 $A m^3/hr$	Dev. (%)
第 1 點	100 %	13000	12991.9	12997	0.04
第 2 點	70 %	9100	9135.7	9152.1	0.18
第 3 點	40 %	5200	5188.5	5198.9	0.2
第 4 點	25 %	3250	3195.6	3201.7	0.19
第 5 點	15 %	1950	1920.7	1924.2	0.18
第 6 點	10 %	1300	1305.4	1307.4	0.15*
第 7 點	$Q_{min}$	130	123.2	123.2	0.01

註：1.EuroLoop 定義 13,000  $m^3/h$  為測試的  $Q_{max}$

2.\*不確定度於 0.1  $Q_{max}$  以上時應等於或優於  $\pm 0.3\%$ (符合契約要求)



5. AGA Report 對流量計之性能要求

AGA 9 Chapter 4 在性能上有一些規定，針對這些規定，有一些名稱的定義說明如下：

1)  $Q_{max}$  為 maximum flow 係製造商標明流量計所能流通的最大流量

$Q_t$  是製造商定義之流量， $Q_t$  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。

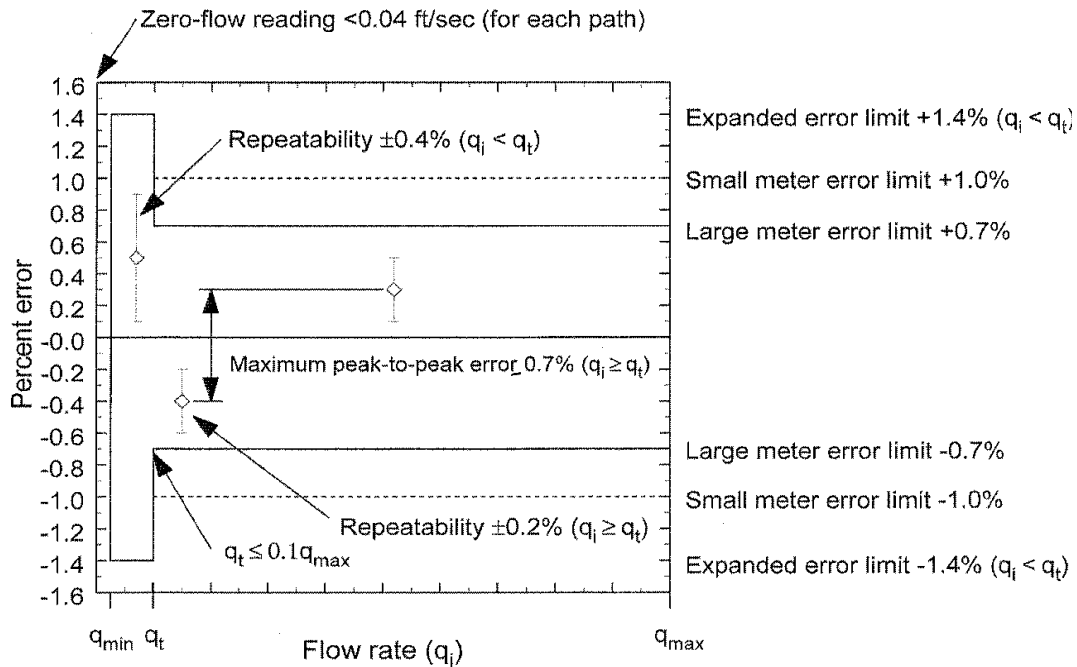
$Q_t$  也可以定義為高流量區(high flow region)與低流量區(Low flow region)的分界點，大於  $Q_t$  的區域稱為高流量區，小於  $Q_t$  的為低流量區。 $Q_t$  值可由製造商標示，但其  $Q_{max}$  至少必須大於 10 倍的  $Q_t$ ，即  $Q_{max} \geq 10 Q_t$ 。

$Q_{min}$  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 將流量計測試的尺寸分成兩類

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。



性能規範總圖

AGA 9 對流量計之性能要求之規範總圖如上圖，可歸納出重點如下：

- 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  $\pm 0.4\%$ 。

為了提升流量計的準確性及減少量測的不確定性(Uncertainty)，必須執行下列措施：

- 1) 實際流量調整校正(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)

經本次由 EuroLoop 所進行的實測報告結果得知本次所採購之 SICK FLOWSIC600-XT 超音波流量計之實測 Uncertainty 依 CPC 規範，其所要求的量測不確定度為

$Q_{\min}$  至  $0.1 Q_{\max}$  範圍須維持在  $\pm 0.7\%$  以內

$0.1Q_{\max}$  至  $Q_{\max}$  範圍須維持在  $\pm 0.3\%$  以內

針對以上超音波流量計實流測試的要求，製造商所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 實驗室建造

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 Comparision)
- 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 實驗室可校正的能力(超音波流量計):

	GAS	LIQUID
Flow	20 - 30,000 m <sup>3</sup> /h	10 - 5,000 m <sup>3</sup> /h
Diameter	4" - 48" (100 - 1200 mm)	4" - 50" (100 - 1250 mm)
Test Lines	10" / 16" / 24"	10" / 24"
Length of test lines	19m / 44m / 45m	22m / 29m
Calibration pressure	9 - 61 bar	8 bar
Temperature stability	< 0,05 °C	< 0,1 °C
Medium	Natural gas (hi-cal)	Hydrocarbon 1-25-300 cSt
Lowest uncertainly	0,16%	0,02%

資料擷取至 Euroloop 官網(<https://www.euroloop.nl/>)

天然氣的 measuring section : 8 個 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(Best overall uncertainty) : ±0.15%

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 氣體儀表校正

Euroloop 的燃氣設施是世界上最大，最準確的高壓和高流量燃氣表校準設施。由於採用閉環原理，因此不受任何季節性影響。天然氣儲槽可提供天然氣總容量為 7,000 m<sup>3</sup> (3500m<sup>3</sup> 的圓形儲槽(balloons)兩個)。此兩個圓形槽成為 EuroLoop 的地標，進入工業區後便可遙望到此兩顆白色的圓球體(圖 10.1)。



圖 10.1 3500m<sup>3</sup>的圓形儲槽 圖片擷取至 google map

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每小時 200 km 的強風，內層牆壁類似一個大袋( a large bag)。

此天然氣儲槽所儲存的天然氣壓力為 30 mbar (300 mmH<sub>2</sub>O)，因為壓力很低，所以在安全上相對較安全。若當測試工廠須檢修而排空時，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。

使用閉環設備可以在自由選擇的 9 至 61 bar (a) 之間的壓力下校準流量計。使用獨特的鼓風機配置可在 20 至 30.000 Am<sup>3</sup> / hr 之間產生穩定的流量，並使用平衡多級冷卻系統使在能夠不間斷地保持溫度穩定性。

Euroloop 利用質量守恆原理的方式。為了使體積與質量有所關聯，使用 GERG2004 狀態方程來計算實際密度和實際氣體因子。該計算是從 GC(gas composition)中取得氣體成分。對所有測得的量進行校正以消除已知偏差，並且使用雙重計時方法來避免在執行校準運行的時間間隔內脈衝被截斷。

EuroLoop 共有 8 線 stream，分別有 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/h、6" × 400 m<sup>3</sup>/h、10" × 2500 m<sup>3</sup>/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，示意圖如圖 10.2。

在超音波流量計實測時，依超音波流量計的  $Q_t$  (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 去組合成所需的流量，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，主管後即是待測試的超音波流量計。待測試的超音波流量計 stream 包括隔離閥、雙重確認用的超音波流量計、待測的超音波流量計及隔離閥等 4 個元件。安裝雙重確認用的超音波流量計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，所以用另一個超音波流量計來確認天然氣流動的狀態是否會影響待測超音波流量計的量測。

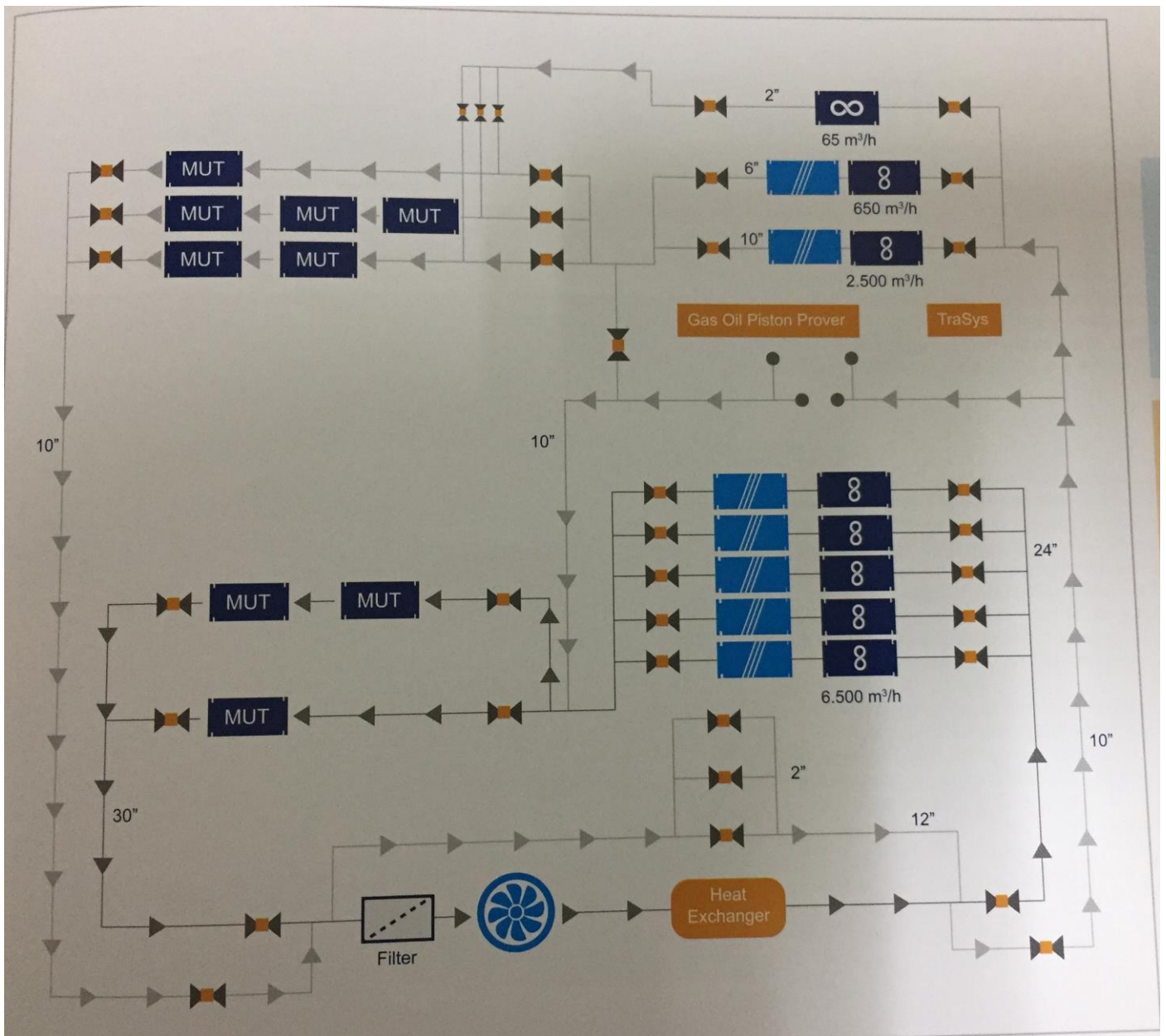


圖 10.2 8 條 stream 示意圖

## 11. 超音波流量計實測主要步驟

### 1) 安裝待測超音波流量計 stream

安裝限流板(flow conditioners)、pipe spool 及超音波流量計，並確認每顆螺絲的鎖緊扭力。然後用氮氣測漏，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。

### 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 0.7Qm，0.4Qm，0.25Qm，0.15Qm，0.1Qm，Qmin。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 及契約規範比較，若誤差較大需做調校，此流程做 3 次，若有明顯差異時再做第 4、第 5 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。

## 12. 實際流量測試

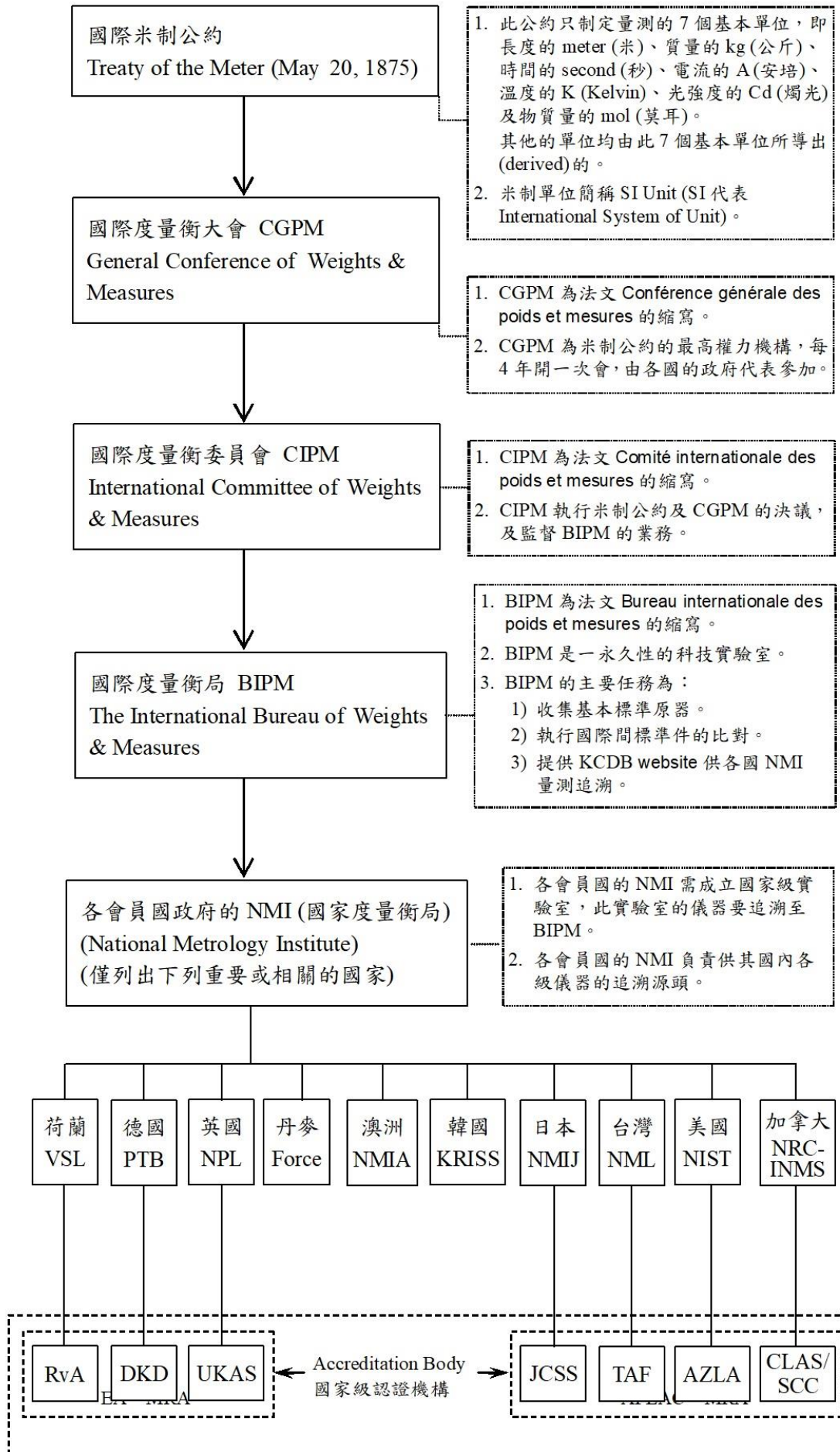
因整個實測過程中，會提取很多的相關資料(包括 Master flowmeter、Slave flowmeter、G. C.、Dew point、Check USM、Tested flowmeter、Gas temperature 及 Pressure)進入電腦演算，EuroLoop 在會議室裝有壁掛型螢幕，運算結果的數據會自動顯示在螢幕上並同步顯示於 sick 在德國的工廠。因此實驗室空間足夠，所以一次可測試兩台超音波流量計(兩台串聯)，一次測試時間約需 6 小時。

## 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，下圖為目前量測追溯體系。



1



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

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. 意見交流

在等待過程中，有針對一些問題及疑問詢問了SICK及EuroLoop實驗室人員，相關交流如下：

Q1:在校正時使用的標準表是如何認證且使用何種方式確認？

A1: 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 m<sup>3</sup>/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。而校正儀器是使用 IRPP，如下圖：



Q2: 超音波流量計如何計算出天然氣的流量

A2: 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  $t_1$ ；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  $t_2$ ， $t_1$  一定大於  $t_2$ ，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  $t_2$  會比  $t_1$  小。

$t_1$  與  $t_2$  的差距是因為氣體流速所造成，因此從  $t_1-t_2$  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

## 參、心得與建議

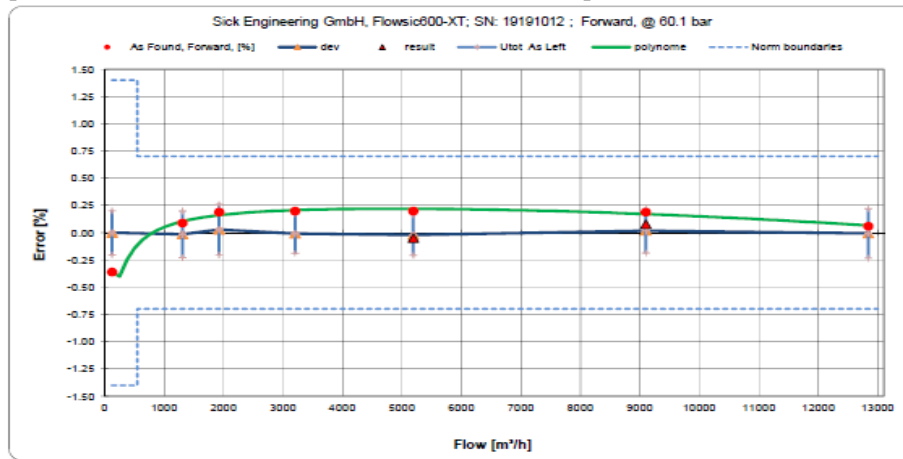
超音波流量計於本案工程中係屬重要設備，未來機械完工後之整體功能運轉測試是否能順利執行取決於超音波流量計之計量是否精確且穩定。藉由此次的 FAT 實驗室廠測可即時得知測試數據與結果並加速交貨時程。

此次校正實驗室 EuroLoop 有取得當地政府(荷蘭)的國家級認證，亦是世界上少有能以 NG 當作校正氣體的實驗室，此實驗室可操作流量範圍可達 20-30000m<sup>3</sup>/h，可校正超音波流量計尺寸最小可接受至 4 吋，最大可達 48 吋。超音波流量計是一個計量非常先進且重要的設備，實際在操作現場無法像一般儀器(例如傳送氣、氣動閥等)可以用一些簡單標準設備即可做校正，幾乎都是要委託外面實驗室，所以這次能到現場實際觀看校證過程及參觀實驗室規模對於超音波流量計可說更進一步的認識，收穫良多，建議日後有機會公司可以多派員參與。

附錄  
附錄 1

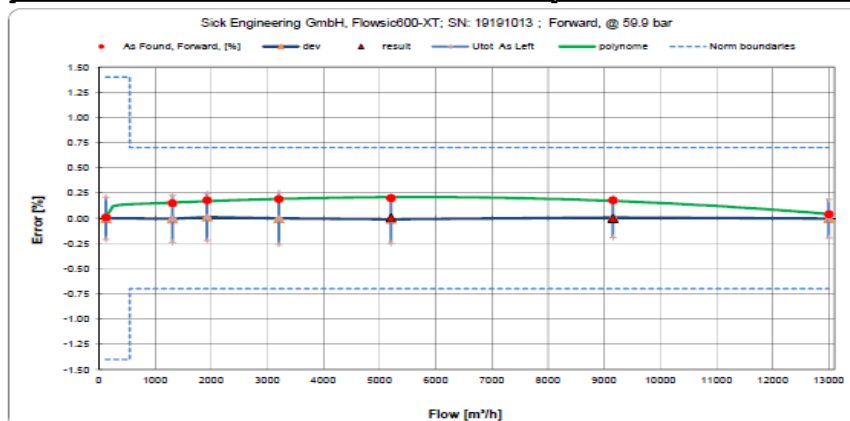
Meter: 19191012 , Cal.Position : [ L2-1 ] MUT Tag: [ FT321 ], System signal : HF2

Actual Flow Qi,mut [m3/h]	Forward Results					run 1	run 2	run 3
	Mean	2xstddev	cmc	utot	Reynolds			
12837.5	0.06	0.14	0.18	0.23	4.91E+07	-0.01	0.14	0.10
9096.8	0.19	0.08	0.19	0.20	3.48E+07	0.23	0.16	0.22
5188.4	0.20	0.05	0.18	0.19	1.98E+07	0.21	0.17	0.21
3199.4	0.20	0.01	0.18	0.18	1.22E+07	0.20	0.20	0.19
1923.9	0.19	0.13	0.19	0.23	7.36E+06	0.16	0.17	0.29
1306.5	0.09	0.08	0.20	0.21	5.00E+06	0.11	0.09	0.04
122.7	-0.36	0.03	0.20	0.20	4.66E+05	-0.36	-0.34	-0.37
9077.2	0.08	0.04	0.19	0.19	3.47E+07	0.08	0.08	0.10
5159.3	-0.05	0.06	0.18	0.19	1.97E+07	-0.07	-0.05	-0.02



Meter: 19191013 , Cal.Position : [ L2-2 ] MUT Tag: [ FT322 ], System signal : HF2

Actual Flow Qi,mut [m3/h]	Forward Results					run 1	run 2	run 3
	Mean	2xstddev	cmc	utot	Reynolds			
12997.1	0.04	0.07	0.18	0.19	4.95E+07	0.05	-0.01	0.05
9152.1	0.18	0.05	0.19	0.20	3.49E+07	0.22	0.20	0.18
5198.9	0.20	0.16	0.18	0.24	1.98E+07	0.15	0.29	0.17
3201.7	0.19	0.18	0.18	0.26	1.22E+07	0.26	0.09	0.22
1924.2	0.18	0.13	0.19	0.23	7.33E+06	0.11	0.11	0.25
1307.4	0.15	0.12	0.20	0.23	4.98E+06	0.23	0.10	0.12
123.2	0.01	0.06	0.20	0.21	4.66E+05	0.00	0.04	-0.01
9126.2	0.00	0.08	0.19	0.21	3.48E+07	-0.05	0.01	0.03
5172.1	0.01	0.04	0.16	0.16	1.97E+07	-0.01	0.01	0.03



附錄 2 相關照片



說明：EuroLoop 實驗室



說明：實驗室人員進行解說



說明：實驗室人員進行解說



說明：現場實測之診斷軟體



FLOWSIC600-XT



FLOWSIC600-XT 流量計上線測試中



EuroLoop 實驗室測試工廠