電容式聚合物露點計之自動品質檢測系統研製

——文/邱瑞慶、吳振廷、蔡明忠、朱仁誠

本研究目的在建構低濕度環境控制與電容式聚合物露點計之自動品質檢測系統，系統包含PC控制器(含人機介面)、實驗腔體、雙流量閥控制模組、露點感測器、露點儀MBW 973、露點計微處理器晶片模組、資料擷取模組、通訊系統及線性補償系統。本研究首先建構可控制露點量程之實驗腔體，再將露點感測器安裝於實驗腔體中，進行露點的量程檢測。由PC端透過DAQ卡輸出電壓控制雙流量閥以控制腔體濕度(-60℃~20℃)，藉由冷鏡面式露點儀MBW 973作為參考標準源。並運用伺服回授控制乾、濕空氣的流量控制閥，來達到低露點至高露點的混流量測。參考IEC 61298-2規範完成系統在不同濕度下之輸出訊號控制完成自動品質檢測系統。本系統可設定各人機介面參數與品質檢測模式、標準參考源參數等並自動記錄與輸出品管報表，完成品質檢驗。本研究透過自動量程實驗設計，建立了乾濕控制閥輸出匹配與回授機制，完成露點測試腔體之流量控制參數。各量程的目標露點藉由伺服回授控制皆可以使腔體達到所要求的±1℃範圍內。

關鍵字：濕度、露點、電容式聚合物露點計、資料擷取、品質檢測。

前言

濕度在許多的產業中，如紙張工業、食品業、電子產業等，是環境中重要之物理參數。假如忽略了水氣的產生，將可能會造成儀器或設備的損壞，或是管道的腐蝕。因此對於濕度的量測與監控，在各產業中變得越來越重要。近年，和溫濕度及露點相關的研究主題及量測技術開發，也逐漸盛行[1-8]。

目前最常見的電子式相對濕度計爲電阻式或電容式。這兩種濕度計是依據感測元件之電子物性變化而分類，以電阻改變作爲訊號爲電阻式，同理以電容變化作爲訊號爲電容式。加工方法的不同，導致有不同的特性，互有優缺點，端看使用者的選擇[6,9]。

電阻式相對濕度計以聚合物作爲基底，跟電極結合，當相對濕度產生變化會引起離子導電性不同造成電阻改變。電阻式元件根據一個穩定聚合物材料，產生穩定的訊號變化，可是在高濃度的腐蝕環境依然會傷害感測元件。一般的電阻式相對濕度計在低於15%RH環境下表現不盡理想，不過一般相對濕度計也沒好表現。在接近100%RH時，電阻式相對濕度計有好的性能[4]，這不是電容式相對濕度計所能相比。

電容式聚合物式的感測器常作爲相對濕度的檢測方式，並藉由待測計上簡易的溫度量測來達到對於露點的檢測功能。電容式聚合物式相對濕度計是使用聚合物薄層跟電極結合，並置於上下兩電極之間，當水氣吸附在薄層上，相對濕度產生變化會引起離子導電性不同，會改變介電係數。一般此類型濕度感測器的材料需具備低介電常數(約3~4Fm^{-1})與高電阻的特性，由於水的介電常數爲80(Fm^{-1})，當材料隨著吸濕量的增加時，介電常數值隨著環境濕度會有增加的趨勢，此現象可讓電容變化與相對濕度有一正比的線性關係[9]。

電容式聚合物露點計與穩定濕度環境控制

電容式聚合物相對濕度計與露點計

電容式聚合物式相對濕度計的基本構造是使用聚合物薄層跟電極結合，並置於上下兩電極之間，製作在玻璃與陶瓷基板上面，如**圖1**所示[10]。當水氣吸附在薄層上，相對濕度產生變化會引起離子導電性不同，會改變介電係數。相對濕度越高，電容值會增加，如**圖2**所示[11]。此型濕度計如同其他形式相對濕度計一樣，曝露在汙染和極端條件的環境

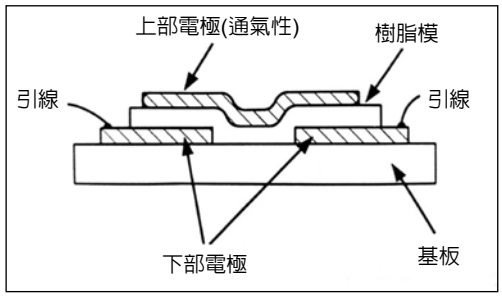


圖1　電容聚合物濕敏元件結構圖[10]

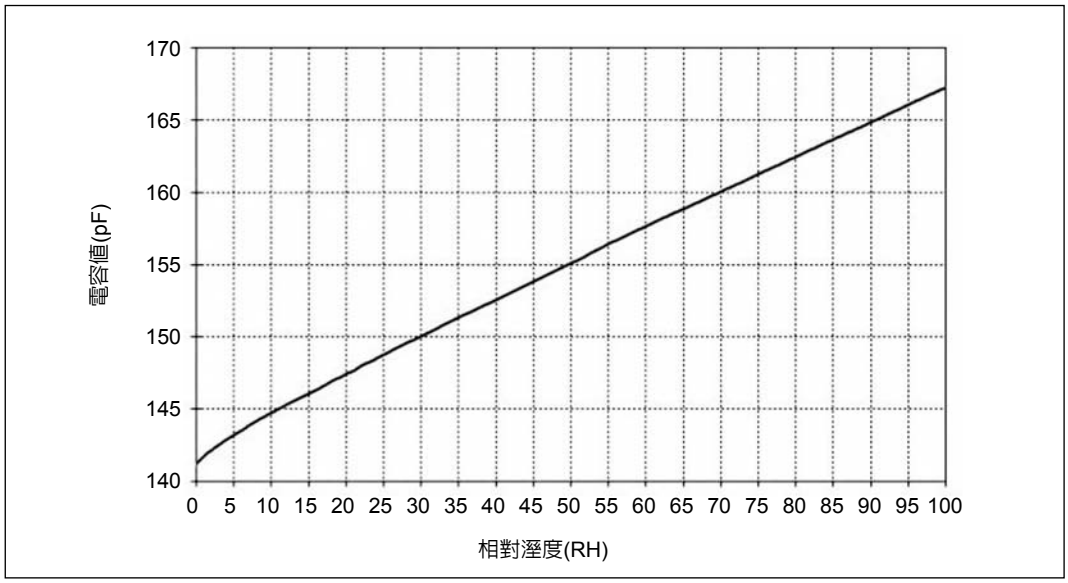


圖2　電容聚合物濕敏元件相對濕度響應曲線[11]

下，準確性會下降，但因爲材料的改進，電容式相對濕度計可以在高溫(100℃)環境使用，且線性度佳爲其優點。

而檢測電容變化有幾個方法，例如以電感與電容L-C振盪電路爲主要構造，依振盪頻率的改變偵測濕度的方法，也有利用頻率變化量測濕度的方法[11]。

而電容式相對濕度計，是使用聚合物薄層在電極之間，當水氣吸附在薄層上，會改變介電係數，使電容改變。其電容式相對濕度計計算公式如下[6,9]：

$$C = \frac{\varepsilon \times \varepsilon_0 \times A}{L} \quad \text{.....(1)}$$

式中ε爲聚合物介電係數(通常在2~6Fm^{-1}之間)、ε_0爲眞空介電係數(8.55×10^{-12}Fm^{-1})，A爲電極的面積(m^2)、L爲聚合物的厚度(m)以及電容值C。

電容式相對濕度計可以在很寬的露點溫度範圍(-60℃~100℃)進行量測，成爲高溫環境量測相對濕度好用的工具，適合在大氣環境或工業界使用。採用電容式相對濕度感測器作爲露點計時，須配合溫度量測藉以推算出露點溫度*Td*，如下式[12]：

$$T_d = \frac{b\cdot\alpha(T,RH)}{a-\alpha(T,RH)}$$

$$\alpha(T,RH) = \frac{a\cdot T}{b+T} + 1n(RH)$$

with a=17.27

and b=237.7 .....(2)

式中T_d爲露點溫度(℃)、*T*爲溫度(℃)、*RH*爲相對濕度(0.001 ~ 1.0)。

穩定濕度環境控制

混流法可將乾空氣和飽和氣體充分混合產生不同的相對濕度值[6,9]。實

際使用通常會將乾空氣分成兩股，一股保持乾燥，另一股通過飽和器產生飽和濕氣，再將兩股氣體混合。此方法特點在於可以快速產生任意濕度值，這方法由於簡單，因此廣泛應用在度量衡實驗室，如**圖3**。

其基本原理是根據兩股不同的乾濕氣體做混合，在不考慮壓力、溫度變化下所獲得的理論相對濕度公式如下：

$$RH(\%) = \frac{F_{wet}}{F_{dry} + F_{wet}} \times 100\% \quad .....(3)$$

F_{wet}爲相對濕度100%之濕空氣流量(L/min)，F_{dry}爲相對濕度0%之乾空氣流量(L/min)，爲可得到一雙流混合後的相對濕度值，因此改變比例控制閥中所進氣的飽和濕空氣，即可得到想要的相對濕度值。可根據預設的相對濕度值反推出腔體所需的混合飽和濕空氣，固定乾空氣，改變濕空氣的閥門大小，不同濕度開啓腔體不同的進氣量大小，其中單位皆以每分鐘進氣的量(L/min)。

例如：濕空氣的流量F_{wet}爲2L/min，若要達到20%的相對濕度值，則根據(3)可計算出比例控制閥所需輸入對應的乾空氣流量F_{dry}爲：

$2/(F_{dry} + 2)=20\% \rightarrow F_{dry}= 8\text{L/min}$ ....(4)

本研究所採用分流法作爲穩定濕度環境控制，以進行後續露點計的品質量測，此方法的好處是在設備機構上有很大的彈性，可以使用自製或簡易的濕氣產生桶，配合數個流量控制閥與開關數位閥做一段或多段的氣體混合，便可達到露點值的靈巧控制。只是該方式可能會因爲經常替換其測試腔體與設備，而造成替換前後所產生的濕度環境有所差異，故本研究運用伺服回授原理，控制乾、濕空氣的流量控制閥，以獲得穩定的露點計測試環境。

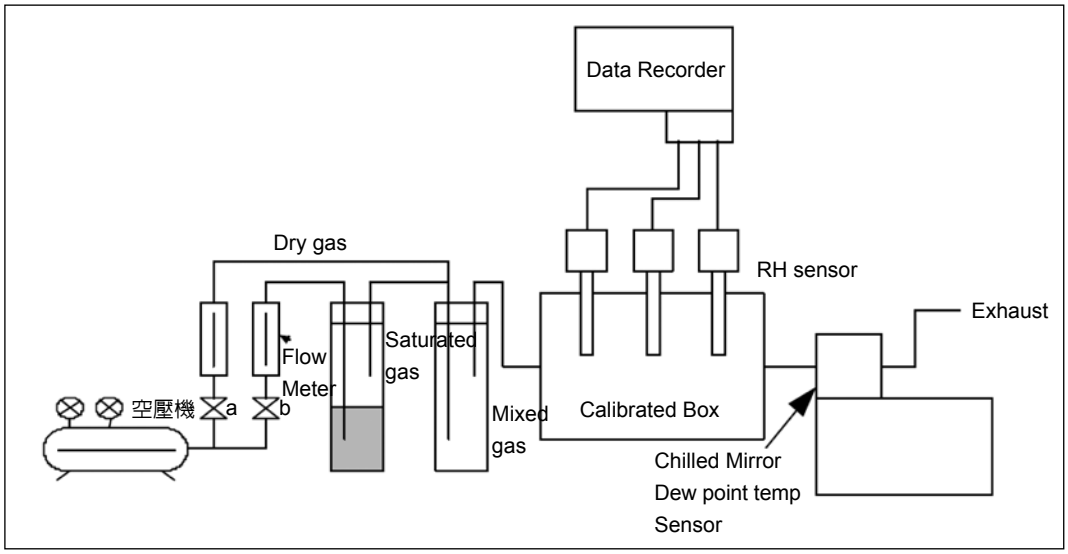


圖3　簡易型分流法濕度控制示意圖[6]

系統架構與軟硬體設計

實驗平台架構

本研究使用之待測露點計爲電容式聚合物露點計，其主控芯片採用ST公司STM32F單晶片[13]，運用DAQ訊號擷取卡[14]直接控制輸出電壓乾濕流量控制閥，產生穩定的濕度環境。電腦端採用NI公司的LabView[15]作爲控制平台，通過RS485與待測端STM32F進行通訊(Modbus)[16]，實現濕度環境之生成控制與電容式聚合物露點計之自動品質檢測。

本研究針對露點計品質檢測採用動態訊號擷取，其待測露點計本身是由微處理器與硬體感測裝置組合而成的韌體，而檢測平台的硬體架構有DAQ訊號擷取卡、流量控制閥、濕氣產生桶、空壓機氣源、傳送裝置、MBW973標準源[17]、氮氣筒與露點計載放架構，其系統架構如圖4所示。

實驗流程一開始利用DAQ訊號擷取卡搭配圖控程式自動資料處理程式，輸出所需露點值的濕空氣與乾燥氮氣之控制電壓給流量控制閥，來達到目標露點的混合氣體。然而氣源必須將氣壓先轉換成所需要的飽和濕空氣，因此將原本空壓機打出的空氣經過流量控制閥後，

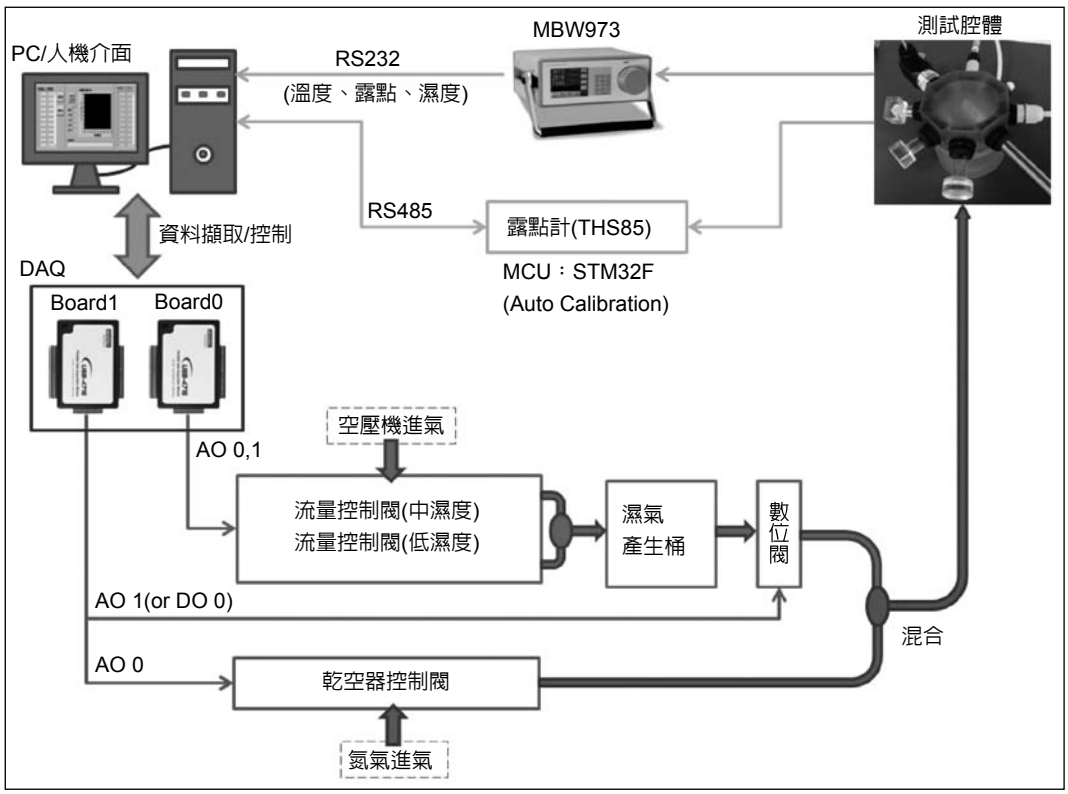


圖4　露點感測器自動品質檢測系統架構圖

注入加濕桶內使其轉換成濕氣壓。轉換成飽和濕空氣後，濕空氣將會和固定流量的乾燥氮氣混合，進入實驗腔體內。其測試腔體爲一八方柱的設計[3,7]，最多可以承載8支載具，而其中兩個載具必須接至標準源MBW973上分別測量環境溫度與露點值。而露點計放在固定的載具上，使感測器可以固定位置感測露點，並透過RS485傳送裝置來達到各量程露點值及溫濕度的記錄。

系統硬體架構

電容式聚合物露點計品質檢測與穩定濕度環境生成系統硬體連接介面圖，由PC端電腦控制系統、DAQ訊號擷取卡、待檢測露點計THS85[7]、STM32F微處理器、標準源MBW973、乾濕流量控制閥、濕氣產生桶、數位閥、混合段、測試腔體與通訊傳輸線裝置所組成。系統基本工作原理：首先使用電腦系統透過DAQ卡控制乾濕流量閥與數位閥輸出氮氣與濕空氣，接著經過混合段混合氣體後進入測試腔體，將露點傳感器與標準源測量出來的露點值透過RS232/RS485傳送裝置回傳給電腦。電腦中的圖控程式對採集到的數據進行資料分析處理，最後自動存檔做爲檢測之記錄。

1. 系統硬體架構說明如下：

(1) 採用3組乾濕流量控制閥，以電壓方式調控流量閥大小，流量閥驅動特性如**圖5**所示。

(2) 需由外部供給24V電壓做爲流量閥驅動電壓。

(3) 乾濕流量閥大小控制方式分別爲：
低濕空氣流量閥(I/O)：
0～10V→0～50 cc/min
高濕空氣流量閥(I/O)：
0～10V→0～5L/min
乾燥空氣流量閥(I/O)：
0～10V→0～10L/min

(4) 由兩組DAQ卡輸出三個AO port分別控制乾空氣與濕空氣流量閥大小，並額外輸出一個AO port控制數位閥的開關，再利用三個AI port分別接收控制閥內部的感測器流量大小。

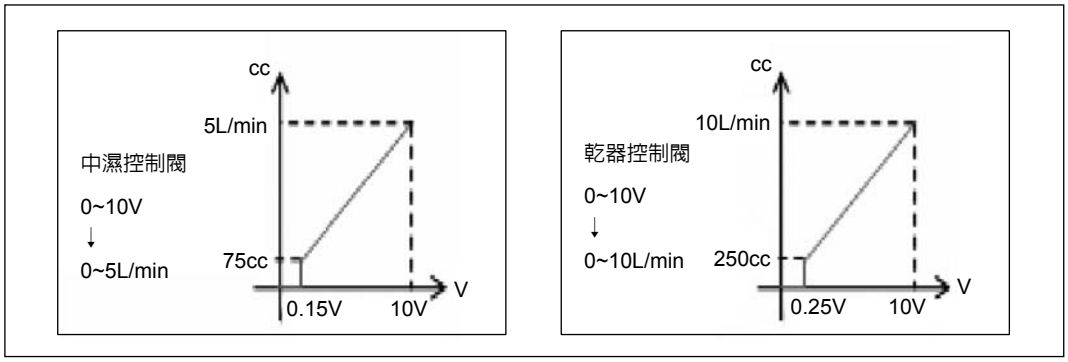


圖5　流量閥驅動特性圖

(5) 由RS232連接標準源MBW 973，接收其相對濕度、溫度及露點的變化值作記錄。

(6) 由RS485連接待測露點計，利用通訊模式進行資料擷取。

利用RS232 to RS485可連結多支露點計同時檢測，藉由轉接頭拉出T/R+、T/R-、接地端三條線來去串聯至各待測露點計STM32F晶片上的通訊埠，完成多支露點計通訊硬體傳輸介面。透過電腦設定其Modbus RTU[16]的通訊協定進行詢問回傳，便可透過圖控程式記錄各待測露點計的動態變化。

系統軟體架構

電腦端圖控軟體所設計的程式分別有流量閥電壓控制、回授露點、量程數據採集分析、通訊介面和品管報表輸出程式。由圖控程式LabView與STM32F微處理器的程式互動。程式一開始由LabView透過DAQ卡輸出電壓來控制乾濕雙流量閥與數位開關閥，接著藉由RS485通訊介面，由電腦端向各待測露點計訊問其露點值，並回傳露點訊號給電腦端作記錄。在檢測量程時，程式會透過回授標準源露點值來進行控制閥電壓補償，然後判斷每一個量程的目前露點是否都在所設定的準確度範圍內。而每當一個量程測量結束時，會自動記錄到人機介面的表單上，並傳送標準源的露點值給待測計微處理器作記錄(**圖6**)。

最後當品質檢測程式結束時，會由圖控程式自動輸出品管報表(Excel)於資料夾內，開啓報表後便可得知所有待測露點計的誤差值與量程曲線。

量測循環及待測點數設定

本研究參考IEC61298-2[18]與GB/T 18271.2-2000版標準[19]中測量程序有既定的標準，並對待測點數值及循環數做了修正，目的爲自由增加上行和下行的循環數，並使其採樣點更自由，且可自行由使用者介面決定要使用上數(由低到高)或下數(由高到低)的系統量程，如**表1**。

品質檢測之不重複性是在相同的工作條件下，以相同的輸入值從一個方向做全範圍移動時，在短時間內對輸出做多次連續測量取得的差異。回差值定義爲同一試驗點上任何一個試驗循環中相鄰的上行程與下行程輸出之差。而其他感測器品質檢測報表常用品質因子包括量程(span)、

表1　量測循環及待測點數設定

測量循環數量	試驗點數量	試驗點的位置(輸入量程的%)
1或2或3	6	由低到高或由高到低自行輸入
	11	
	5	

誤差、最大正偏差、最大負偏差、最大測量誤差、最大回差(遲滯性)、多循環之不重複性等定義可參閱[18-20]。

實驗結果與討論

實驗步驟

電容式聚合物露點計品質檢測之實驗步驟如下：首先，確認類比數位資料擷取DAQ卡與控制流量閥已驅動，並確認USB to RS232裝置與所有管線均已正確連結，然後將待測計與標準源管線安裝至測試腔體上，接下來便由露點計品質檢測系統將標準源與待測露點計的訊號自動載入。品質檢測程式是以量測待測露點計數據爲目的，當檢測完成時可以藉由報表觀察並比較各待測計量程誤差值與總量程曲線圖，完成電容式聚合物露點計品質檢測自動化流程。

測試腔體伺服控制結果

本實驗利用伺服回授法控制乾、濕雙流量閥，來混流出各量程所要求的目標露點於測試腔體中。實驗結果(一)設定爲1循環、露點範圍在-60℃~20℃、取樣點數11點、間隔爲10%、準確度爲±1℃。其量程穩定時間設定在8分鐘，但由於準確度設定範圍較高，其回授的

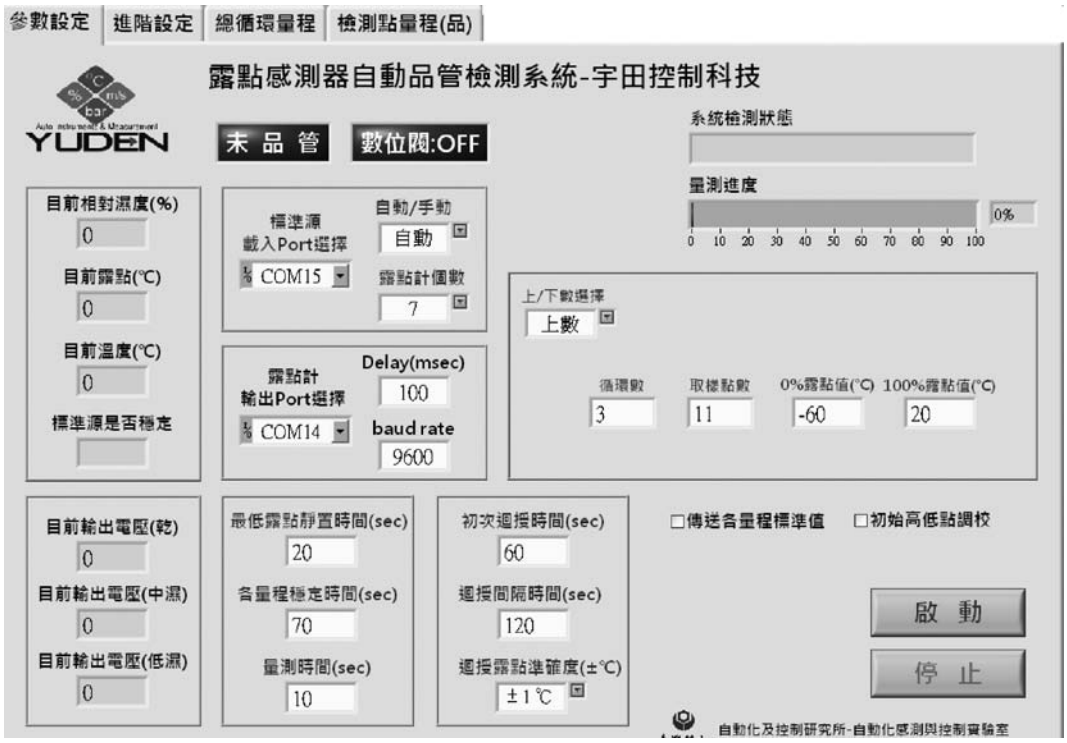


圖6 電容式聚合物露點計自動品質檢測系統人機介面

次數較多，所以各量程經回授機制後之檢測穩定時間約爲8~14分鐘。其輸出結果如**表2**所示，可以觀察出準確度皆可以控制在所要求的±1℃以內。

圖7爲理想露點值與回授後標準源露點值的總循環曲線圖。可以由圖中觀察出，本實驗所設計的伺服回授控制可以將各量程的目標露點控制在±1℃以內，使得上行與下行的落差減少，提高待測計在各量程的準確度，但可能需要較長的穩定時間。

實驗結果(二)的設定爲1循環、露點

表2　伺服控制各量程目標露點誤差值(設定為±1℃)

量程點數	第1點	第2點	第3點	第4點	第5點	第6點	第7點	第8點	第9點	第10點
理想露點值	-60.00℃	-52.00℃	-44.00℃	-36.00℃	-28.00℃	-20.00℃	-12.00℃	-4.00℃	4.00℃	12.00℃
回授後標準源露點	-60.10℃	-51.61℃	-44.01℃	-35.88℃	-28.12℃	-20.54℃	-12.73℃	-4.97℃	3.73℃	12.34℃
誤差值	0.10	-.0.39	0.01	-0.12	0.12	0.54	0.73	0.97	0.27	-0.34
量程點數	第11點	第12點	第13點	第14點	第15點	第16點	第17點	第18點	第19點	第20點
理想露點值	20.00℃	12.00℃	4.00℃	-4.00℃	-12.00℃	-20.00℃	-28.00℃	-36.00℃	-44.00℃	-52.00℃
回授後標準源露點	19.63℃	11.47℃	3.82℃	-4.18℃	-12.46℃	-20.68℃	-28.22℃	-35.78℃	-43.44℃	-52.03℃
誤差值	0.37	0.53	0.18	0.18	0.46	0.68	0.22	-0.22	-0.56	0.03

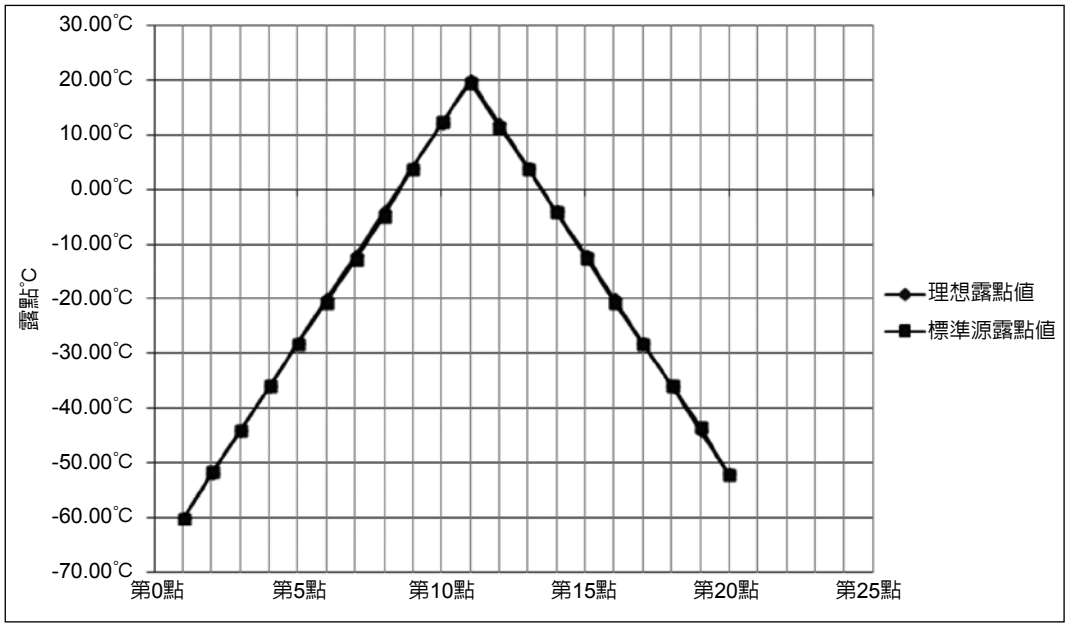


圖7　各量程目標露點控制與理想露點比較圖(設定為±1℃)

範圍在-60℃~20℃、取樣點數11點、間隔爲10%、準確度爲±2℃。其量程穩定時間設定在8分鐘，但由於準確度的設定範圍增加，其回授的次數減少，使得各量程經回授機制後之檢測穩定時間縮短爲8~12分鐘。其輸出結果如**表3**所示，可以觀察出準確度皆可以控制在所要求的±1.5℃以內。

圖8爲理想露點值與回授後標準源露點值的總循環曲線圖。可以由圖中觀察出，準確度設定在±2℃時依然有貼近理想標準源的曲線，不過造成上行與下

表3　伺服控制各量程目標露點誤差值(設定為±2℃)

量程點數	第1點	第2點	第3點	第4點	第5點	第6點	第7點	第8點	第9點	第10點
理想露點值	-60.00℃	-52.00℃	-44.00℃	-36.00℃	-28.00℃	-20.00℃	-12.00℃	-4.00℃	4.00℃	12.00℃
回授後標準源露點	-60.50℃	-51.49℃	-43.76℃	-35.97℃	-27.65℃	-20.67℃	-11.72℃	-3.50℃	4.48℃	11.19℃
誤差值	0.50	-0.51	-0.24	-0.21	-0.35	0.67	-0.28	-0.50	-0.48	0.81
量程點數	第11點	第12點	第13點	第14點	第15點	第16點	第17點	第18點	第19點	第20點
理想露點值	20.00℃	12.00℃	4.00℃	-4.00℃	-12.00℃	-20.00℃	-28.00℃	-36.00℃	-44.00℃	-52.00℃
回授後標準源露點	20.79℃	13.55℃	4.87℃	-3.35℃	-11.41℃	-19.99℃	-26.59℃	-34.04℃	-44.69℃	-50.73℃
誤差值	-0.79	-1.55	-0.87	-0.65	-0.59	-0.01	-1.41	-1.96	0.69	-1.27

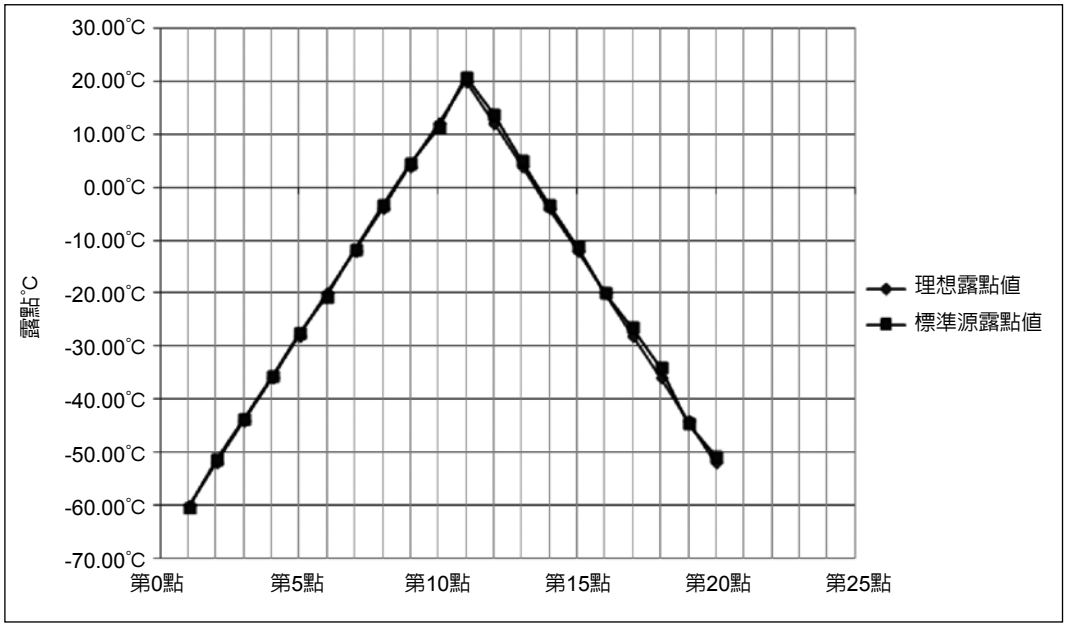


圖8　各量程目標露點控制與理想露點比較圖(設定為±2℃)

行的落差增加，但由於準確度的範圍變大，其回授的次數減少，相對的減少了量程的穩定時間。

實驗結果(三)的設定爲1循環、露點範圍在-60℃~20℃、取樣點數11點、間隔爲10%、準確度爲±4℃。其量程穩定時間設定在3分鐘，但由於準確度的設定範圍較大，其回授的次數大幅減少，使得各量程經回授機制後之檢測穩定時間只要3分鐘。其輸出結果如**表4**所示，可以觀察出準確度皆可以控制在所要求的±3℃以內。

圖9爲理想露點值與回授後標準源露點值的總循環曲線圖。可以由圖中觀察出，準確度設定在±4℃時將造成上行與下行落差明顯的增加，但因爲減少了回

表4　伺服控制各量程目標露點誤差值(設定為±4℃)

量程點數	第1點	第2點	第3點	第4點	第5點	第6點	第7點	第8點	第9點	第10點
理想露點值	-60.00℃	-52.00℃	-44.00℃	-36.00℃	-28.00℃	-20.00℃	-12.00℃	-4.00℃	4.00℃	12.00℃
回授後標準源露點	-60.10℃	-52.09℃	-44.17℃	-36.51℃	-28.29℃	-21.26℃	-12.37℃	-3.41℃	3.59℃	10.31℃
誤差值	0.10	0.09	0.17	0.51	0.29	1.26	0.37	-0.59	0.41	1.69
量程點數	第11點	第12點	第13點	第14點	第15點	第16點	第17點	第18點	第19點	第20點
理想露點值	20.00℃	12.00℃	4.00℃	-4.00℃	-12.00℃	-20.00℃	-28.00℃	-36.00℃	-44.00℃	-52.00℃
回授後標準源露點	20.46℃	14.12℃	4.39℃	-4.10℃	-11.88℃	-20.34℃	-26.79℃	-34.15℃	-41.02℃	-50.15℃
誤差值	-0.46	-2.12	-0.39	0.10	-0.12	0.34	-1.21	-1.85	-2.98	-1.85

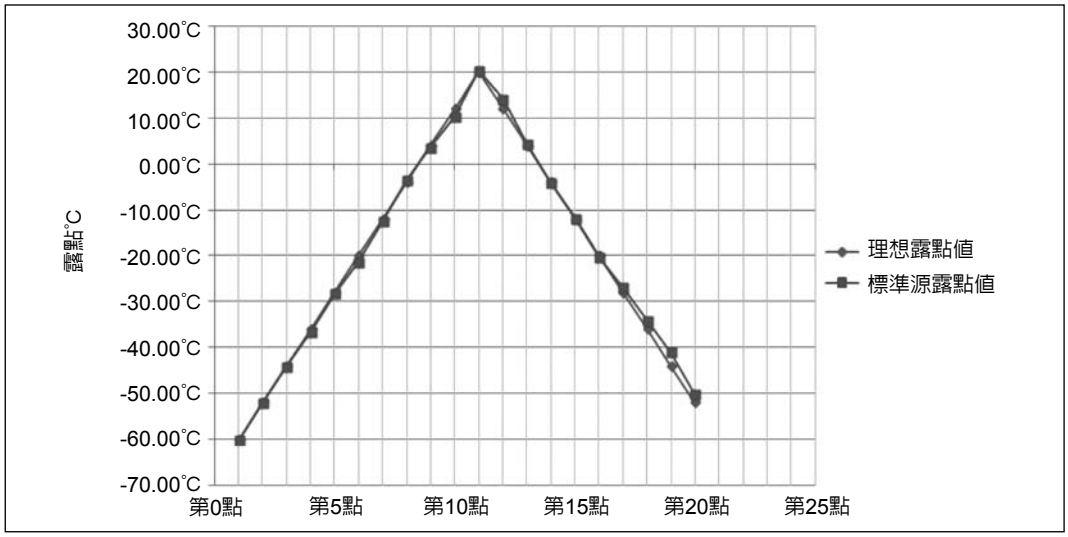


圖9　各量程目標露點控制與理想露點比較圖(設定為±4℃)

授的次數，相對大幅減少了各量程所需的穩定時間。

露點計自動品質檢測結果

本實驗檢測樣本(A)爲THS85-02(02爲站號)、標準源爲MBW973，總量程範圍在-60℃~20℃、循環數爲1循環、取樣點數11點、間隔爲10%、準確度在±4℃。每一間隔於穩定後，將其總循環最後10秒的數據拿去平均作爲量程檢測的數據，其**圖10**爲此待測計與標準源的總循環量程圖。其量程穩定時間設定在3分鐘，但在經過迴授後各量程的穩定時間約爲3~5分鐘。

經自動品質檢測後，其輸出的表單以標準源作爲量程基準0-100%，如**圖11**所示。爲程式輸出的品質檢測表單，包含了輸出誤差值與誤差值曲線，並可從誤差圖中看出最大的正負誤差、回差與不重複性。發現待測計在高濕度時，其上下行誤差較小，但在極低濕度時，會產生較大的遲滯性誤差，表示待測計於相對濕度低於在小數點一位數以下會有明顯的不穩定問題，所以還須提高微處理器對於較低濕度的解析度。待測露點計A之三循環量程曲線示意圖如**圖12**所示。

結論

本研究對分流法露點控制提出了一套自動檢測與迴授功能的機制，並使用電子式的流量控制閥與數位閥，同時搭配自製的測試腔體與冷鏡面式標準源得知混合後的露點值是否有到達預測的

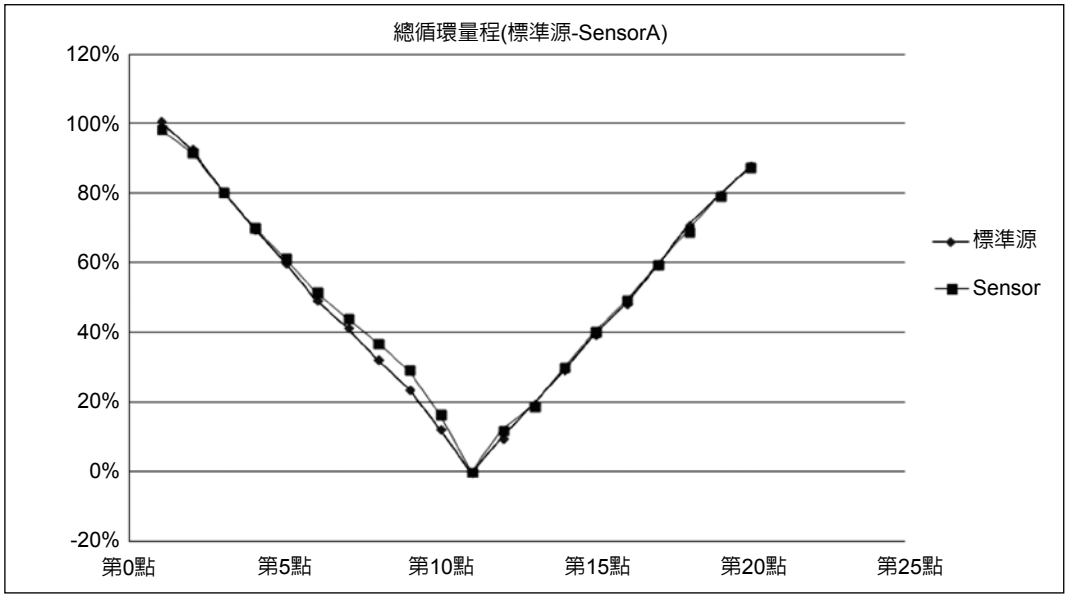
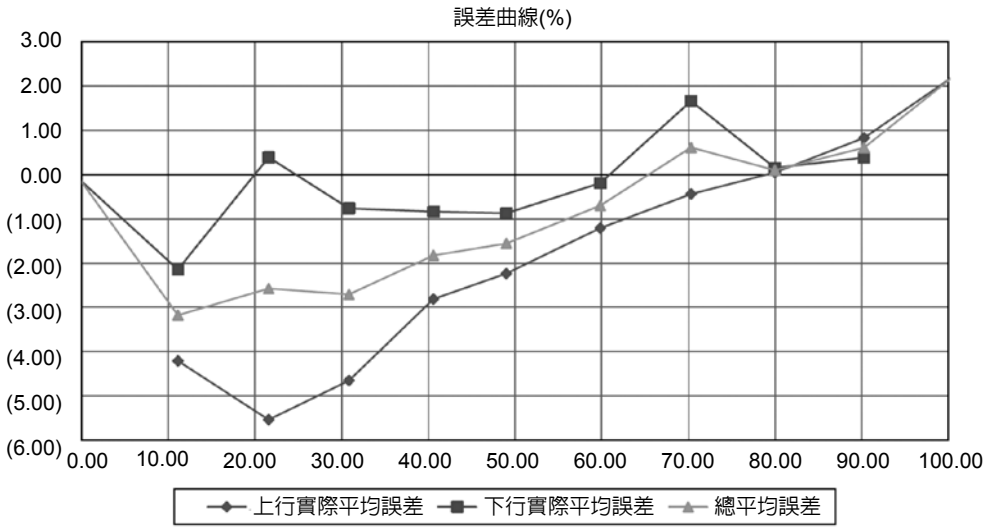


圖10　待測露點計A之品管循環量程曲線圖(單循環)

	輸出誤差一覽表(標準源-SensorA)								
AI0	第1循環		第2循環		第3循環		循環平均		
標準平均	實際上行	實際下行	實際上行	實際下行	實際上行	實際下行	上行平均	下行平均	總平均
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
100.57	2.00						2.22		2.22
90.27	0.83	0.39					0.83	0.39	0.61
79.99	0.05	0.16					0.05	0.16	0.10
70.31	(0.43)	1.67					(0.43)	1.67	0.62
59.84	(1.20)	(0.19)					(1.20)	(0.19)	(0.70)
49.00	(2.23)	(0.87)					(2.23)	(0.87)	(1.55)
40.58	(2.81)	(0.83)					(2.81)	(0.83)	(1.82)
30.83	(4.65)	(0.76)					(4.65)	(0.76)	(2.70)
21.57	(5.53)	0.39					(5.53)	0.39	(2.57)
11.10	(4.21)	(2.14)					(4.21)	(2.14)	(3.17)
-0.31		(0.13)						(0.13)	(0.13)



最大正誤差(%)	最大負誤差(%)	最大測量誤差(%)	最大回差%	最大不重複性%

圖11　待測露點計A之誤差值與誤差曲線

露點準確度範圍內，因露點值各範圍的混合流量不同，乾空氣與濕空氣需照比例混合於測試腔體中，再由自動控制方式判斷預測值差距，並執行迴授補償機制，其檢測結果具有相當高的可靠性，大幅的提高檢測量程露點值的一致性。

本研究建構露點環境控制與電容式露點計之露點品質檢測，可歸納出以下幾個結論：

1. 本研究建構之分流法露點控制裝置，其範圍可以達到露點-60℃至20℃。藉由管線的設置以及電路模組的裝配。

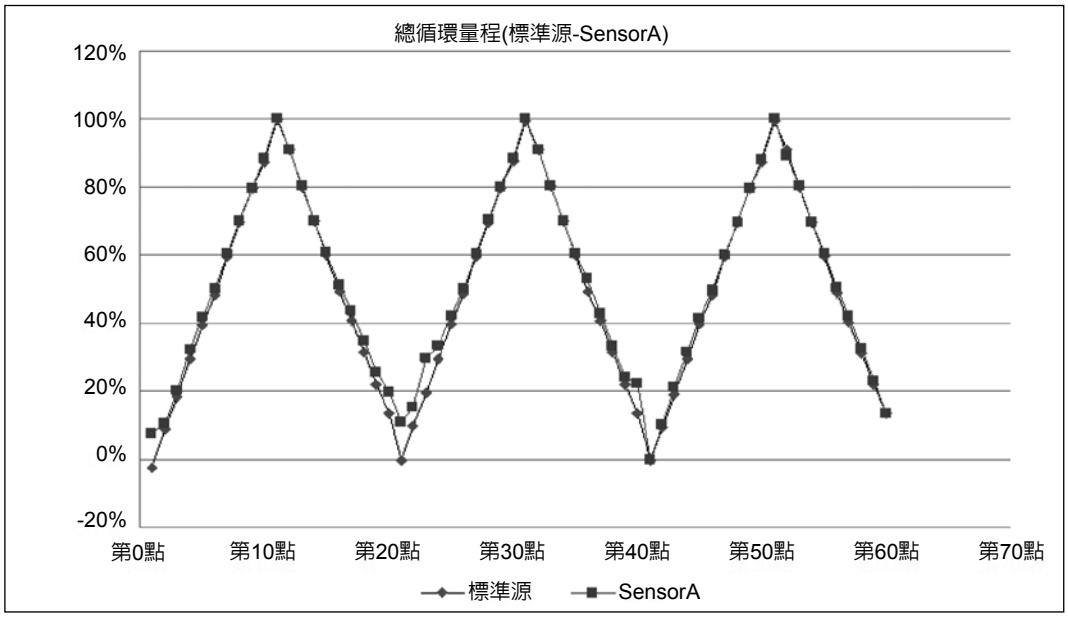


圖12　待測露點計A之總循環量程曲線示意圖(三循環)

搭配濕氣產生桶與濾氣頭，將透過氮氣與空壓機氣源的流量控制大小，成功的混合入自製的露點測試腔體內，並可以裝載多支待測計同時進行品質檢測。

2. 藉由理論推導與實驗確認，針對所有露點範圍，設計對應的流量閥調控電壓，並建立了各分段露點的迴授增益值，達成各量程目標露點的高準確度及穩定性。經由測試腔體迴授控制結果，在較難控制的低濕部分也可以藉由伺服回授控制在準確度±1℃的範圍內，使得待測露點計在品質檢測上有更穩定的測試環境，如設定爲較大穩定區間時，更可大幅降低量程的穩定時間，達成快速的露點檢測目的。
3. 本研究完成一套露點計之自動化品質檢測人機介面，搭配所建立的露點分流法檢測設備，可以達到檢測所需產生的目標露點值，並藉由設置人機介面上的取樣點數及循環數等設定，可以自由操作所要檢測之範圍。
4. 參考標準品質IEC 61298-2的規範，建立露點計之品質檢測報表，並將所檢測到的量程資料自動寫入Excel報表，便可以由對應報表之總循環量程誤差等品質因子，作爲待測計的品質分析與製程參考。

誌 謝

感謝宇田控制科技股份有限公司[24]的產學合作計畫贊助，並提供相關設備與技術支援。

參考資料

1. F. Reverter, O. Casas , “Direct interface circuit for capacitive humidity sensors”, Sensors and Actuators A： Physical, Vol. 143, No. 2, pp. 315-322, 2008.
2. G. Gong , C. Xu , J. Jiao , Y. Liu , S. Xie, “Investigation of moisture condensation on papermaking plant envelopes in high humidity environment by orthogonal analysis and CFD simulation”, Building and Environment 46 (8), pp. 1639-1648,2011.
3. 周佳德、蔡明忠、朱仁誠，「溫濕度感測器自動化品管檢測系統研發」，機械月刊自動化專輯，第444期，pp.26-44，2012年7月號。
4. 陳加忠，「電阻式相對濕度計之校正與性能研究」，興大工程學報(2)：pp.61-68,1998。
5. 黃榮彬，「相對濕度計利用於畜舍環境之評估」，碩士論文，國立中興大學農業機械工程學系 ，2000。
6. 陸慈宏，「相對濕度計校正與量測不確定度之研究」，碩士論文，國立中興大學生物產業機電工作學系 ，2003。
7. 鎰田科技股份有限公司，http：//www.yuden.com.tw/, 2013。
8. Bob Hardy,“Trust but verify-practical approaches to humidity generation and measurement,”RH System, Albuquerque, NM, USA Copyright 2000.
9. Wiederhold, P. R.,“Water vapor measurement”, Marcel Dekker, Inc. ISBN： 0-8247-9319-6, 1997.
10. 陳福春，「感測與轉換器(三版) 」，高立圖書，2004。
11. IST, http://www.ist-usadivision.com/company/
12. Barenbrug, A.W.T., Psychrometry and Psychrometric Charts, 3rd Edition, Cape Town, S.A.: Cape and Transvaal Printers Ltd., 1974.
13. STM32F, http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169
14. Advantech, http://www.advantech.com/, 2012.
15. R. H. Bishop, Learning with LabVIEW 8, Pearson Prentice Hall, 2007.
16. Modbus.Org, http://www.modbus.org.
17. MBW 973, http://www.mbw.ch/product_973.php
18. IEC International standard, “IEC 61298-2:E2 PROCESS MEASUREMENT AND CONTROL DEVICES – GENERAL METHODS AND PROCEDURES FOR EVALUATING PERFORMANCE –Part 2: Tests under reference conditions”, 2008.
19. 中華人民共和國國家質量技術監督局，「GB/T 18271.2-2000過程量測和控制裝置通用性能評定方法與程序 第2部分：參比條件下試驗」，2001。
20. 關玉蘋、蔡明忠、朱仁誠、朱信燁，

「風速計自動品管檢測系統之研製」，智慧自動化產業期刊No.2, pp.37-45, 2012年9月號。
21. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook Fundamentals (I-P edition), Inc. New York, 1993.
22. Digiquartz Dew Point Calculation, http://www.paroscientific.com/dewpoint.htm
23. http://ni.com, 2013.
24. 宇田控制科技股份有限公司，http://www.yuden.com.tw/index.asp, 2013.

作者簡介
邱瑞慶現任職台灣科技大學自動化控制研究所
專長：
•自動化檢測與控制
•Labview程式設計
吳振廷現任職台灣科技大學自動化控制研究所
專長：
•自動化檢測與控制
•Labview程式設計
蔡明忠現任職國立臺灣科技大學自動化及控制研究所教授
專長：
•自動化檢測與控制工程
•機電光整合
朱仁誠現任職宇田控制科技(股)公司董事長
專長：
•經營管理