溫濕度感測器自動化品管檢測系統研發

周佳德[1]　蔡明忠[1]　朱仁誠[2]

[1]國立台灣科技大學 自動化及控制研究所
[2]宇田控制科技股份有限公司

摘要:本文提出一套溫濕度感測器自動化品管檢測系統，系統包含一可自動控制濕度感測腔體、待測溫濕度感測器與露點儀(標準參考源)、USB 資料擷取模組以及 PC-based 控制人機介面系統。溫濕度感測腔體以乾溼雙壓法做基礎，透過 USB 資料擷取模組的電壓輸出調整濕氣閥的壓力值，建構出一套可控制濕度腔體，可達到檢測所需穩定的腔體濕度。本系統透過程式自動計算與調整濕氣壓力閥，控制設定濕度值並達穩態後，立即檢測待測物與標準參考源並作誤差值比較，最後將檢測結果匯出至 EXCEL 報表與繪出品質特性圖，提供品管人員參考。經實際驗證，確實有效的將自動化檢測技術導入溫濕度感測器品管作業，除增進產品品質之可靠度，亦可節省人工與品管時間。

關鍵字：相對濕度、露點、溫度濕度感測器、品管檢測、自動化資料擷取。

一、前言

溫濕度為環境中重要之物理參數，其對人類生活品質或工廠產品加工品質有重大的影響。因此溫濕度的量測與監控，在各行業就越來越普遍。近年來，相關的溫濕度感測器發展與抗凝結研究也逐漸盛行[1,2]。現代電子廠房對溫濕度控制的要求更高，一般要求溫度與相對濕度需控制在設定範圍內。一般廠房內水分往往是由空調送入空間中，因此空調系統之加濕和除濕的工作情況也就會由送入空間中的水分所決定。尤其，在低濕條件下採用較精準之露點量測對溫濕度控制也就相對重要，只要露點溫度波動則相對濕度自然會波動，根據回授溫濕度的設定值從低限到上限變化進行溫濕度調控。

另外在空壓系統迴路中，壓縮空氣或氣體配給網路中的壓力露點測量一樣變得益加重要，壓縮機製造商也逐漸認識到氣壓管道中存在過多的水氣會帶來諸多負面的影響。如管路的生銹腐蝕、氣動元件壽命的縮短、致動器的故障等，除對整個壓縮空氣系統的污染與零組件的損壞、以致造成非計畫的生產中斷與附加的生產成本上升等影響[3]。若由於維護因素，用來去除氣體中的水氣的乾燥機效能無法按預期的運轉下，溫濕度或露點測量便能視為一種輔助系統，作為監測乾燥機的除濕性能，即可在測量值超出設定範圍時發出警報。因此空壓系統中之溫濕度或露點測量優點包括(1)持續對壓力露點的監測，可以及時發現並處理在壓縮空氣在乾燥過程中出現的問題 (2)延長壓縮空氣系統及其元件的壽命 (3)提高維護空壓系統的效率 (4)減少系統運行時故障的發生，以確保產品的品質穩定[3]。

環境控制通常需要控制氣體的溫度與濕度。而真實的空氣環境乃含有水蒸氣的潮濕空氣，常用的濕度量測方法有冷卻鏡面(Chilled Mirror technology)、電容式聚合物層(Capacitive Polymer)、電容式金屬氧化層(Capacitive Metal Oxide)等。其量測原理簡介如下：

(1)冷卻鏡面技術:當空氣通過鏡面時，鏡面會逐漸冷卻直到鏡面結露為止，鏡面是否結露由

光感應器判定，若反射回來的光線強度達到一定的反射率，表示鏡面有水珠附著，同時量測當時溫度，即為露點溫度。但此法的光感測器需要極為靈敏，因此鏡面若附著髒汙、油垢或灰塵等，皆可能影響到測量結果。但其感應精度較高，價格較為昂貴，適合應用在低濕條件下之高精度檢測。

(2)電容式金屬氧化層:電容式金屬氧化層式的相對溼度計作用原理與電容式聚合物式相對溼度計的作用方式大同小異，主要係利用金屬具有高度熱脹冷縮的膨脹率，因此量測到的露點值能夠低至(-100˚C)，但卻不易使用於高濕度範圍。

(3)電容式聚合物層:電容式聚合物式相對溼度計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，相對溼度產生變化會引起離子導電性不同，會改變介電係數(dielectric)。相對溼度越高，電容值增加。此型溼度計如同其他形式相對溼度計一樣，曝露在汙染和極端條件的環境下，準確性會下降，但因為材料的改進，電容式相對溼度計可以在高溫（100℃）環境使用，但受到熱脹冷縮的影響並不大。

為有效的確定溫濕度感測器在其感測濕度範圍內是否合乎誤差值範圍，因此於本系統設計一套具有濕度控制功能、即時監控的人機介面與自動匯出檢測報表的自動溫濕度品管檢測軟硬體。透過電流轉電壓的轉換器與資料擷取模組，將溫濕度感測器感測到的溫濕度值顯示於人機介面上，系統開始時須設定相關參數，爾後即進入自動品管檢測步驟，等待穩定時間與各待測點檢測完畢後，將會自動匯出檢測報表並繪出資料曲線，提供品管人員參考。

二、濕空氣特性參數

濕度一般在氣象學中指的是空氣濕度，代表空氣中水蒸氣的含量，與空氣中的水分質量有關係，亦與蒸氣壓與飽和蒸汽壓呈現比值關係。然而水蒸氣含量極低甚至趨近於零的空氣被稱為乾空氣，一般可看作為理想氣體，一但乾空氣的水氣成分增高，其理想性越低。

在 ASHRAE 濕氣圖中如圖 1 [4]，垂直座標代表濕度比，等比濕度線在圖上則為水平直線。水平座標表示為乾球溫度，等乾球溫度線均係直線上升。

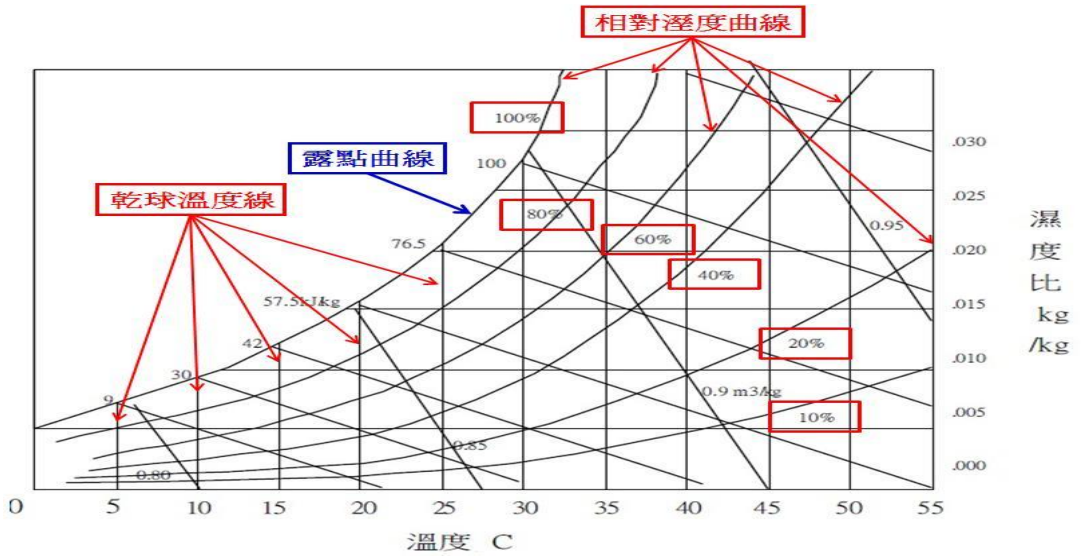


圖1 簡易ASHRAE濕氣圖

水平座標軸代表 0%相對濕度，較高值之等相對濕度線為線組群，由圖之左下角起逆時針旋轉而上，100%等相對濕度線稱為飽和曲線。故露點、濕球及乾球等溫度均表示在飽和曲線上。



圖2　三線式溫濕度傳送器(EYC THS系列)[5]

因為空氣中的水蒸氣的飽和度與空氣的成分本身無關，而只與水蒸氣的溫度有關，空氣的溫度越高，它容納水蒸氣的能力就越高。在同一溫度下真空中的水蒸氣的飽和度與空氣中的水蒸氣的飽和度實際上是一樣高的，因此欲達到穩定的相對濕度值，必須先確保腔體內部的溫度與環境溫度一致，方可進行氣體混合。如圖2為三線式溫濕度傳送器(EYC THS系列)[5]

假如飽和的空氣的溫度降低到露點以下和空氣中有凝結核的話，空氣中的水就會凝結，雲、窗戶玻璃和其它冷的表面上的凝結水、露和霧、人在冷空氣中哈出的汽等等許多現象就是這樣形成的。偶爾水蒸氣可以在露點以下也不凝結，這個現象叫做過飽和。

(1)　絕對溼度(AH, Absolute Humidity)

絕對溼度是指單位體積空氣中所含的含水質量，一般單位為(g/m^3)，是一呈現空氣中濕度含量的指標之一，水氣含量越多，絕對濕度值越高。若含水量達到單位體積所含的最大容量時，稱之為飽和水蒸氣含量，下面是計算絕對濕度的公式[6]：

$$d_v = \frac{M_w}{V} \qquad (1)$$

其中的符號分別代表：

d_v　：　濕空氣絕對溼度值，單位是克/立方米(g/m^3)

M_w　：　濕空氣中含水的總質量，單位是克(g)

V　：　濕空氣的體積，單位是立方米(m^3)

(2)　相對溼度(RH, Relative Humidity)

相對溼度表示空氣中的絕對濕度與同溫度下的飽和絕對濕度的比值，以百分比表示，亦可以水蒸氣壓力來做計算，此物理意義為同壓同溫下，空氣中水蒸氣之蒸氣壓與飽和空氣中水蒸氣之蒸氣壓的比值，一旦相對濕度超過 100%時，空氣中的水蒸氣會開始凝結出小水滴，此時的溫度可稱為露點溫度，隨著溫度的增高，空氣中可以含的水就越多，以下是計算相對濕度的公式[6]：

$$rH\% = \frac{d_v}{d_{v.\max}} \times 100\% = \frac{e}{E} \times 100\% \qquad (2)$$

其中的符號分別代表：

$rH\%$ ： 濕空氣相對溼度值(%)

d_v ： 濕空氣絕對溼度值，單位是克/立方米(g/m^3)

$d_{v.\max}$ ： 濕空氣絕對溼度最大值，單位是克/立方米(g/m^3)

e ： 空氣中水蒸氣之蒸氣壓，單位是帕斯卡（Pa）

E ： 飽和空氣中水蒸氣之蒸氣壓，單位是帕斯卡（Pa）

三、溫濕度感測器自動品管檢測系統架構

3.1 系統組成

溫濕度感測器自動品管檢測技術的系統架構分成三部分，分別為PC系統控制端、實驗腔體機構、溫濕度感測檢測與品質分析，系統組成圖如圖3，各部分分別詳述如下。

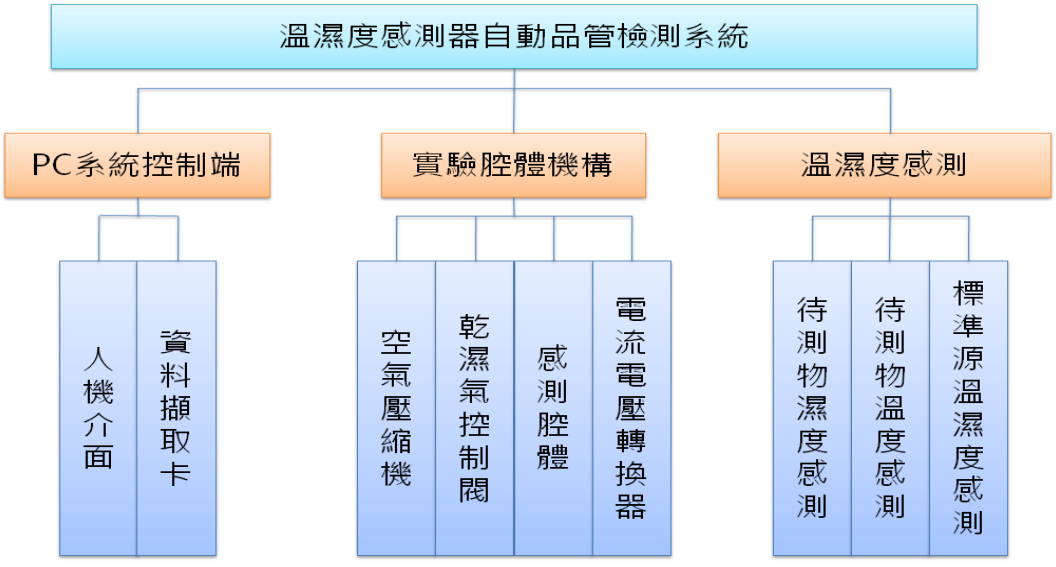


圖3 溫濕度感測器自動品管檢測系統組成圖

3.2 溫濕度感測器介面

為對於出貨前的感測器做必要的品管作業及工程驗證，因此，除了待測感測器之外，必須在擁有另一作為標準值的參考源做對照。標準源採用 MBW 973 露點儀[7]，其主要透過風扇將腔體內的空氣吸入機台的冷鏡面元件，直到冷鏡面結露出現霧面後量測其露點值，進而計算出相對濕度值，本系統透過 RS-232 抓取 MBW 973 人機介面上的濕度值及溫度值做為即時參考標準。

宇田公司出產的溫濕度感測器，濕度輸出界面為 4~20mA 對應 0~100%相對溼度值，溫度輸出界面為 4~20mA 對應 0~50℃與 0~100℃不等。在測試過程中，使用的溫濕度感測器界面如圖 4 所示。此款感測器輸出接腳有一 24V 的驅動埠以及溫度與溼度電流訊號輸出，4-20mA 對應相對濕度值 0-100%，溫度對應 0-50℃。但 DAQ 只接受電壓訊號，因此接上一 4~20mA 轉 0~10V 的轉換器，將 4-20mA 的電流轉換成 0~10V 的電壓值，其線性輸出關係與電氣訊號轉換如圖 5。

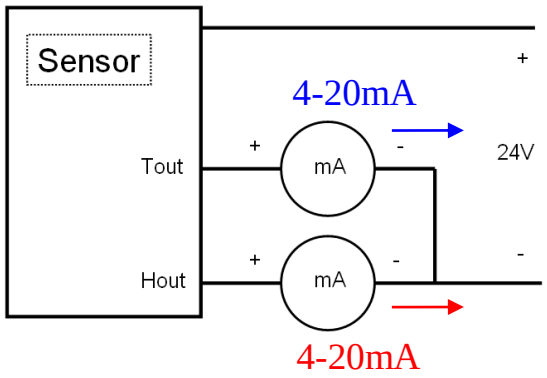
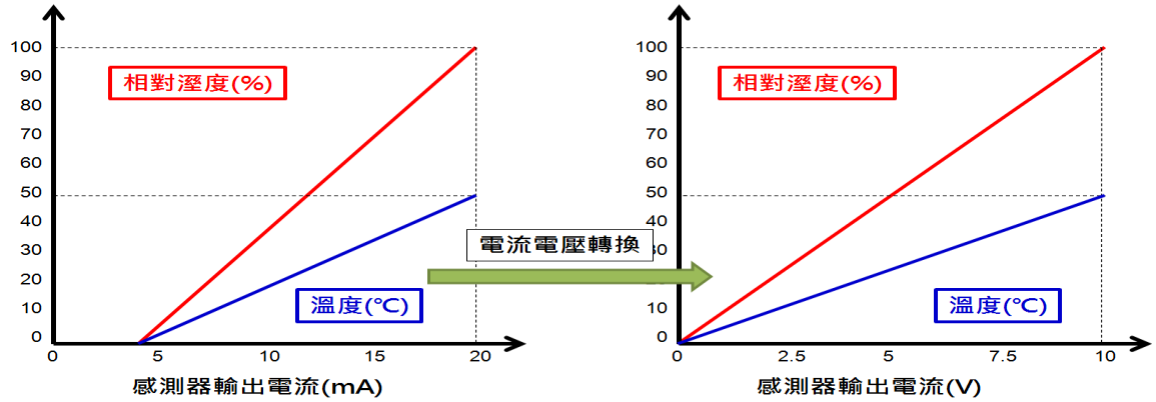


圖4 溫濕度感測器輸出介面



(a)電流輸出　　(b) 電壓輸出

圖 5 溫濕度感測器之線性輸出關係與電氣訊號轉換

由圖 5 感測器電氣訊號及溫濕度輸出值的線性關係可知，圖 5(a)為感測器初始的電流輸出，串接上轉換器後將電流訊號(4~20mA)轉換成電壓訊號(0~10V)，如圖 5(b)。

濕度值之計算如下:

$$RH = \frac{100(I_{out} - 4mA)}{16mA} = \frac{100(V_{out} - 0V)}{10V} = 10V_{out} \quad (\%) \qquad (3)$$

溫度值之計算如下:

$$T_c = \frac{50(I_{out} - 4mA)}{16mA} = \frac{50(V_{out} - 0V)}{10V} = 10V_{out} \quad (℃) \qquad (4)$$

不同的溫濕度值產生不同的電氣訊號，透過 DAQ 轉換成數位訊號傳至 PC 端，於人機介面顯示感測器量測到的腔體溫濕度值。

3.3 實驗腔體機構與濕度控制

實驗腔體機構主要使用雙壓力法，此部分包含最前端的空壓機，空壓機將氣體打入腔體機構中，其間通過比例控制閥產成不同壓力的乾空氣，接著將乾空氣立即打入含有水分的加濕桶槽中轉變成飽和濕空氣 P_1 進入腔體內的常壓氣體 P 做氣體混合，一旦飽和濕空氣 P_1 與腔體內部的常壓空氣 P 做結合，根據理論相對濕度值 $rH\%=P_1/P$ 可得到一雙壓混合後的相對濕度值，因此改變比例控制閥中的濕空氣，即可得到想要的相對濕度值，

本實驗將可自動控制之比例控制閥套用至具雙壓力法理論基礎的系統架構中[8]，如圖 6，將一定溫度下之飽和氣體通過膨脹閥進入另一個相同溫度測試區，量測飽和和測試區的溫度及壓力可得出相對溼度，因此由氣體膨脹前後壓力的調整可產生不同之相對溼度環境。

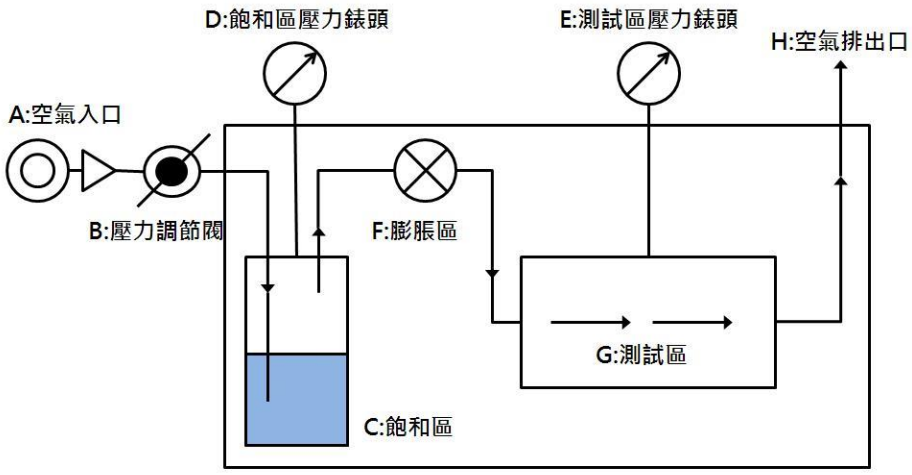


圖 6 雙壓力法之相對濕度產生器示意圖

圖 6 中壓力調節器 B 部分利用旁通分流形式(bypass)可使用手動調節或電壓控制之自動控制比例閥來改變進入腔體的濕空氣壓力值，可根據預設的相對濕度值反推出腔體所需的飽和氣體的壓力值，大氣壓力 P、飽和空氣壓力 P1，不同濕度給予腔體不同的飽和壓力 P1 之倍壓值 ΔP ，其中壓力單位皆為巴(bar)，可反推出倍壓值為

$$\Delta P = P1 - P = \frac{P}{\%rH} - P \qquad (5)$$

而比例閥的 0-10V 電壓輸入對應物理訊號 0-10bar，扣除原本腔體壓力值，只須排入倍壓值的濕空氣即可達到目標濕度。因此得到倍壓與輸出電壓的關係式為 $\Delta P = V$ ，系統從所需倍壓值自動計算出輸出電壓，進而將輸出電壓透過 DAQ 卡的 AO 埠將輸出電壓至比例閥的電壓控制端。但為了防氣流抖動造成壓力值的不精準，系統中於腔體前端加入一壓力穩壓器做輸入飽和濕空氣的穩壓功能，此穩壓器最低驅動壓力值約為 0.7 bar，氣體通過穩壓器時會有大約 0.7 bar 的壓損。因此需要提高倍壓值方可確保進入腔體的飽和濕空氣為穩定的氣流，本系統於程

式中的電壓輸出V_o區塊加上壓力閥的補償電壓V_{comp}，此補償電壓為一經驗值，須要透過反覆測試方可找出最接近的補償電壓值，綜合上述，DAQ卡的輸出電位(即比例閥的控制電位)的計算可改寫為

$$Vo = \Delta P = \frac{p}{\%rH} - p + V_{comp} \qquad (6)$$

3.4 PC控制系統與資料擷取介面

本系統開發設計一套溫濕度感測器自動品管檢測系統，除了具備一檢測程式，還需要將感測器電器訊號轉換成數位訊號，因此使用研華出產的USB 4716[9]，其具備高精度的特性，電腦所使用的訊號為數位訊號，而外界的致動裝置如馬達及感測元件等裝置所使用的訊號很多是類比訊號，如想要使用微電腦來控制這些類比裝置或接受感測訊號，就必須利用特定PC界面卡將數位訊號和類比訊號進行轉換。

以研華所發行的USB 4716作為資料擷取與控制介面端，利用USB的相容性與高速傳輸，能夠更準確地將資料進行傳送與接收，其具備有16位元的分辨率，一秒鐘可接收20萬筆(200kS/sec)的採樣速率，亦具0-10V的類比輸出與輸入的電氣訊號。

提高傳輸的位元數目的為增加擷取資料的精度，假設有一輸入範圍為0~10V的電壓訊號，使用12位元進行轉換傳輸，精度為$10/2^{12}=2.24mV$。若使用16位元進行轉換傳輸，精度可提高為$2^{16}/2^{12}=16$倍，即為$10/2^{16}=152.59\mu V$，對於需要高精度傳輸的溫濕感測器有極大的幫助，並能有效的運用在溫濕度感測品管檢驗上。

擁有穩定的腔體環境後，接著定義溫濕度計自動品管檢測流程，檢測流程分為七大部分，流程如圖7所示。第一部分須設定參數值，輸入報表各項參數值，並對檢測流程設定採樣點及各點目標採樣數值；第二部分啟動量測後必須讓使用者知道目前程式流程，因此啟動量測後指示燈號從停止轉變為動作中，於人機介面顯示當前的量測狀況與穩定時間倒數；第三部分根據採樣點數值反求出輸入腔體的濕空氣倍壓值，並給予比例閥適當的電壓；第四部分等待腔體的穩定時間，以卅分鐘為預設值；第五部分到達穩態之後，感測器的溫濕度與標準參考源MBW 973做誤差值計算，同時將結果匯入第六部份程式的檢測表格中，並進入下點量測重複第三到第六步驟，直至所有待測點檢測完畢，程式結束並將檢測表格匯入第七部分EXCEL制定的範本中。

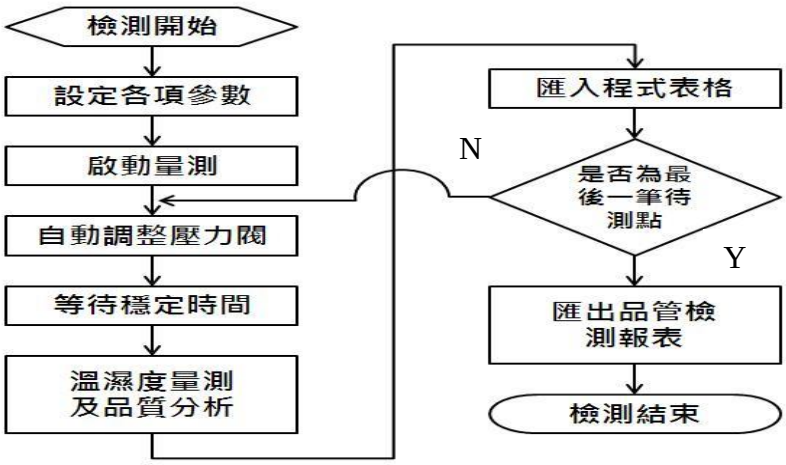


圖7 溫濕度感測自動品管檢測流程

3.5 品管檢測功能設計

如參考 IEC 61298-2-標準[10-11]中之測量程序，首先應測量輸入量程 0%後面的第一個有效標度值，試驗開始時先產生一個相當於範圍下限值的輸入信號，然後將此輸入信號緩慢增大(無過衝)達到第一個試驗點，適當穩定一段時間後記錄輸入和輸出信號的相應值，然後使輸入信號緩慢增大(無過衝)達到下一個試驗點的值，穩定一段時間後記錄輸出信號的相應值。在每一個預定值上重複上述過程，直至達到輸入量程的 100%，在此點上測量以後，緩慢地將輸入信號降至 100%輸入量程的下一個試驗值，再依次降至其他每一個試驗值，直到降低至輸入量程的 0%，即完成一個測量循環。

本系統為符合實際需求，對待測點數值及循環數做了修正，目的為自由增加上行下行循環數，且採樣點更多，平均出來的數值將更有可靠度，亦可更明確的知道該感測器於高濕轉低濕及低濕轉高濕的物理量變化的特性。

由於現行採用空壓機最大只能打到 7 bar 的氣壓值，加上管線內的壓損，使得實驗腔體最小能只能達到 20%左右的濕度值，最大也無法達到 100%濕度值，因此輸入量程的百分比也更改成可任意輸入待測數值，以符合實際現況。

本檢測系統設計的主要檢測功能包括多循環多點檢測、溫濕度誤差值、線性度、回差與報表輸出等多項功能，並同時將檢測數值圖形化，可更明確的了解該感測器的檢測結果。

四、結果與討論

4.1 乾溼雙壓法實驗腔體機構與濕度控制

本系統利用開發出的溫濕度校正系統及測試用腔體，系統外觀如圖 8。利用雙壓法的理論作為基礎，透過手動調壓閥或自動調壓閥，將乾燥的氣源打入實驗腔體中，自動調壓閥使用 NORGREN VP51，如圖 9，可設定其電路的 PID 控制器調整至最佳且穩定的出氣效果。

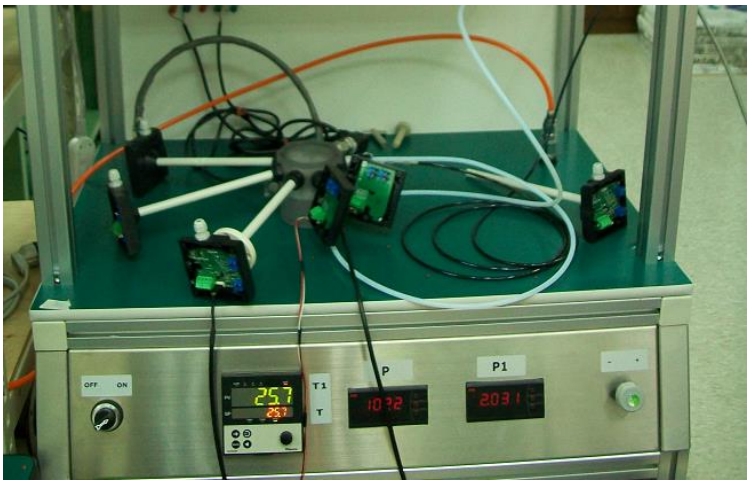


圖 8 溫濕度檢測腔體與濕度控制

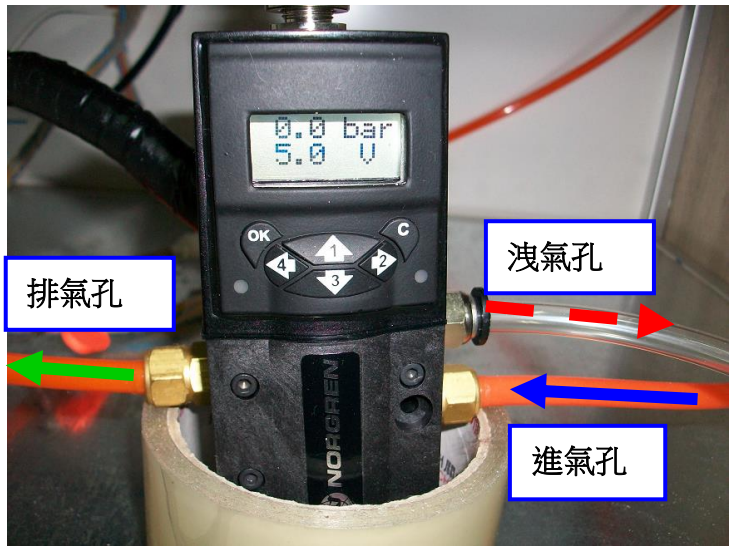


圖 9 自動調壓閥(NORGREN VP51)

乾燥氣源能夠穩定排入腔體中，必須將乾燥氣壓轉換成濕空氣的飽和氣壓，因此乾空氣壓注入加濕桶槽內使得原本壓縮機打出的乾空氣能夠轉換成濕氣壓，然而腔體溫度與輸入氣源溫度必須一致，方可達到接近理想的氣壓混和得到的濕度值，所以在家濕桶槽內尚需做溫度補償使腔體溫度與氣源溫度相對應，加濕桶槽如圖 10。

一旦乾燥空氣順利的轉換成濕空氣後，濕空氣立即注入實驗腔體內，而實驗腔體必須確保除進氣與出氣孔外別無其他會漏氣的孔洞，以防止腔體內部壓力損耗造成的腔體不穩定因素，腔體越小越密閉表示腔體穩定效果越佳。

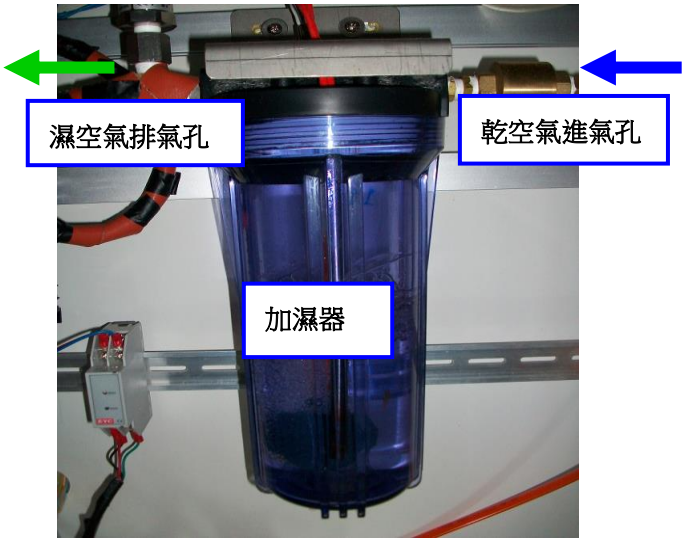


圖 10 加濕桶槽

感測器感測到實驗腔體內部的溫濕度值後，根據產品設計的不同，將以電流或電壓形式輸出，因此設計一組配電的控制盤，其包含驅動感測器的 24V 直流電源供應器、換能器(電流轉電壓)及 DAQ 資料擷取卡與配線等，換能器將感測器的電流訊號透過轉換器統一輸出 0~10V 的電壓訊號至 DAQ 卡中，透過 DAQ 卡將類比電壓訊號轉換成電腦的數位訊號顯示於人機介面上。

做為標準源的設備為 MBW 973 露點儀，如圖 11，透過風扇將腔體內的空氣吸入機台的冷鏡面元件，直到冷鏡面結露出現霧面後量測其露點值，進而計算出相對濕度值，程式透過 RS-232 與程式暫存器同時抓取 MBW 973 露點儀人機介面上的濕度值及溫度值做為即時參考標準。



圖 11 標準源 MBW 973 露點儀人機介面

4.2 自動品管檢測人機介面

根據不同待測點開啟不同程式(如五點、六點、十一點量測)，並於第一頁面設定相關參數如壓力與溫濕度的高低點值與其對應電壓值、待測物型號等如圖 12。



圖 12 人機介面一(參數設定頁面)

系統啟動時第二頁面可供操作者作壓力及溫濕度的即時監控，還需要設定各待測點的待測數值與上行下行的循環數與穩定時間等，確定參數都設置完畢即可啟動量測，如圖 13。每待

測點結束後會將結果列至第三頁面的檢測表格中，如圖 14，程式完整結束後立即將第三頁面的檢測表格匯入 EXCEL 報表中。

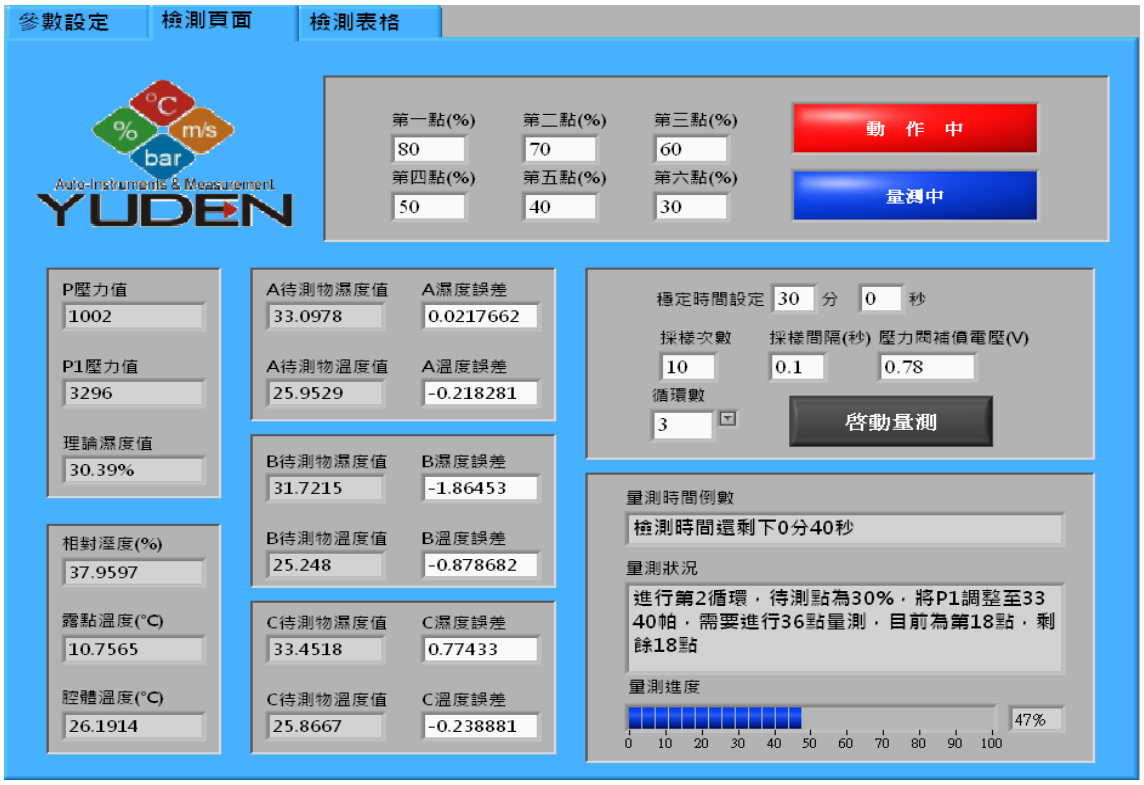


圖 13 人機介面二(品管檢測頁面)



	待測點	標準值	ths04量測值	ths04誤差值	ths23量測值	ths23誤差值	ths24量測值	ths24誤差值
第1點 濕度(%)	80%	79.4099	75.9933	-3.4165	71.7151	-7.6948	77.7579	-1.6520
第1點 溫度(℃)		25.6795	25.7320	0.0525	25.4419	-0.2376	25.8942	0.2147
第2點 濕度(%)	70%	72.5654	68.6142	-3.9512	65.2405	-7.3249	70.3323	-2.2331
第2點 溫度(℃)		25.6420	25.7080	0.0660	25.3387	-0.3033	25.7812	0.1392
第3點 濕度(%)	60%	62.1415	59.9487	-2.1928	56.6574	-5.4841	61.4081	-0.7334
第3點 溫度(℃)		25.6393	25.6770	0.0377	25.2458	-0.3935	25.6905	0.0511
第4點 濕度(%)	50%	51.9935	50.6183	-1.3752	47.5937	-4.3998	51.8427	-0.1508
第4點 溫度(℃)		25.6843	25.6903	0.0060	25.2187	-0.4656	25.6290	-0.0553
第5點 濕度(%)	40%	41.1459	40.9682	-0.1777	38.4843	-2.6616	41.8358	0.6899
第5點 溫度(℃)		25.7966	25.7346	-0.0620	25.2219	-0.5747	25.6252	-0.1714
第6點 濕度(%)	30%	30.7195	31.1005	0.3809	29.0535	-1.6660	31.5071	0.7876
第6點 溫度(℃)		26.0466	25.8331	-0.2135	25.3136	-0.7330	25.7191	-0.3275
第7點 濕度(%)	30%	30.1991	30.9875	0.7885	29.0405	-1.1585	31.3828	1.1837
第7點 溫度(℃)		26.3035	25.9750	-0.3284	25.4608	-0.8427	25.8980	-0.4055
第8點 濕度(%)	40%	40.3775	40.9908	0.6133	38.8121	-1.5654	41.7624	1.3849
第8點 溫度(℃)		26.4176	26.0807	-0.3369	25.5485	-0.8691	26.0681	-0.3495
第9點 濕度(%)	50%	50.9325	50.7074	-0.2251	48.4459	-2.4866	51.7375	0.8051
第9點 溫度(℃)		26.3826	26.1044	-0.2782	25.5973	-0.7853	26.1558	-0.2268
第10點 濕度(%)	60%	60.7598	59.5627	-1.1971	57.3090	-3.4508	60.8047	0.0449
第10點 溫度(℃)		26.3271	26.1093	-0.2178	25.6195	-0.7076	26.2207	-0.1064
第11點 濕度(%)	70%	68.8709	67.9678	-0.9031	65.5643	-3.3066	69.3811	0.5102
第11點 溫度(℃)		26.2568	26.0889	-0.1680	25.6065	-0.6503	26.2590	0.0022
第12點 濕度(%)	80%	73.7164	75.6311	1.9147	72.5099	-1.2065	77.2459	3.5295
第12點 溫度(℃)		26.1413	26.0815	-0.0598	25.5740	-0.5673	26.2758	0.1345
第13點 濕度(%)	80%	78.7495	76.3507	-2.3988	73.6377	-5.1118	78.0051	-0.7445
第13點 溫度(℃)		26.0440	26.0303	-0.0137	25.5019	-0.5421	26.2305	0.1865
第14點 濕度(%)	70%	76.0121	69.5877	-6.4244	67.8818	-8.1303	71.2143	-4.7978
第14點 溫度(℃)		25.9883	25.9468	-0.0415	25.3479	-0.6404	26.0521	0.0638
第15點 濕度(%)	60%	63.8247	61.1838	-2.6410	59.4376	-4.3872	62.6285	-1.1963
第15點 溫度(℃)		25.9591	25.8953	-0.0638	25.2538	-0.7053	25.9644	0.0054
第16點 濕度(%)	50%	53.1271	51.9077	-1.2194	49.8894	-3.2377	53.0360	-0.0910
第16點 溫度(℃)		25.9965	25.8912	-0.1053	25.2041	-0.7924	25.8772	-0.1193

圖 14 人機介面三(檢測表格頁面)

4.3 自動品管檢測結果與報表輸出

本文除參考 IEC 61298-2 標準中之誤差、不重複性與回差值(遲滯誤差值)等作探討，更增加溫濕度感測器記錄表單、溫濕度感測器濕度量測曲線、線性重現曲線與遲滯曲線，使研發人員或品管廠務可透過檢測結果報表中的圖表了解該感測器是否符合產品的品質需求等。本文接著將以三款溫濕度感測器(THS04、THS23、THS24)為例，說明部份之品質特性檢測結果。

(1) 溫溼度量測資料紀錄表單

在溫濕度之擷取頁面，將人機介面上檢測表格中記錄的各點溫濕度值以及三組待品管感測器與標準參考源的誤差值匯出的結果，供後續頁面做資料運用。此筆資料乃配合多點量測多循環設計需求(如使用十一點量測&三次循環)，穩定時間依經驗預設為卅分鐘，但可自行變更設定待測時間。如啟動時數加長、採樣數值多，更能夠確保的量測穩定性與資料的可靠性。

(2) 溼度量測誤差檢測結果比較

將第一頁面的量測記錄擷取濕度量測與標準數據與其誤差值，並將各點量測線段描繪出來，可看出哪一區段濕度值較精準或不精準，濕度量測誤差檢測結果如表一與圖 15 所示。

表一 濕度量測誤差檢測結果比較

濕度 data 與量測線段

	待測點	標準值	THS04量測值	THS04誤差值	THS23量測值	THS23誤差值	THS24量測值	THS24誤差值
第1點 濕度(%)	80%	80.3648	77.5212	-2.8436	74.3719	-5.9928	80.4411	0.0764
第2點 濕度(%)	75%	76.2838	73.9728	-2.3111	70.8589	-5.4249	76.1545	-0.1294
第3點 濕度(%)	70%	71.1083	69.5245	-1.5837	66.6661	-4.4422	71.4766	0.3683
第4點 濕度(%)	65%	66.3004	65.0038	-1.2966	62.5713	-3.7292	67.0258	0.7253
第5點 濕度(%)	60%	61.1341	60.6125	-0.5217	58.4354	-2.6988	62.0895	0.9554
第6點 濕度(%)	55%	56.3179	55.9772	-0.3407	54.2885	-2.0294	57.4651	1.1472
第7點 濕度(%)	50%	50.9811	51.1446	0.1635	49.6707	-1.3104	52.4648	1.4837
第8點 濕度(%)	45%	45.728	46.2849	0.557	44.4753	-1.2527	46.9189	1.191
第9點 濕度(%)	40%	40.1434	40.6047	0.4613	39.4708	-0.6726	41.2924	1.149
第10點 濕度(%)	35%	35.6416	36.1404	0.4988	35.0098	-0.6319	36.4175	0.7759
第11點 濕度(%)	30%	30.2091	30.6908	0.4817	29.5319	-0.6772	30.4695	0.2605
第12點 濕度(%)	30%	30.2241	30.6581	0.4341	29.5555	-0.6685	30.4663	0.2422
第13點 濕度(%)	35%	34.9079	35.4922	0.5844	34.0674	-0.8405	35.3586	0.4507
第14點 濕度(%)	40%	40.4188	40.8191	0.4003	39.0492	-1.3696	40.9508	0.532
第15點 濕度(%)	45%	45.0832	45.3685	0.2853	43.3183	-1.7649	45.6619	0.5787
第16點 濕度(%)	50%	50.0952	50.0621	-0.0331	48.0533	-2.0419	50.8975	0.8023
第17點 濕度(%)	55%	55.4183	54.9509	-0.4675	52.9492	-2.4691	56.1971	0.7787

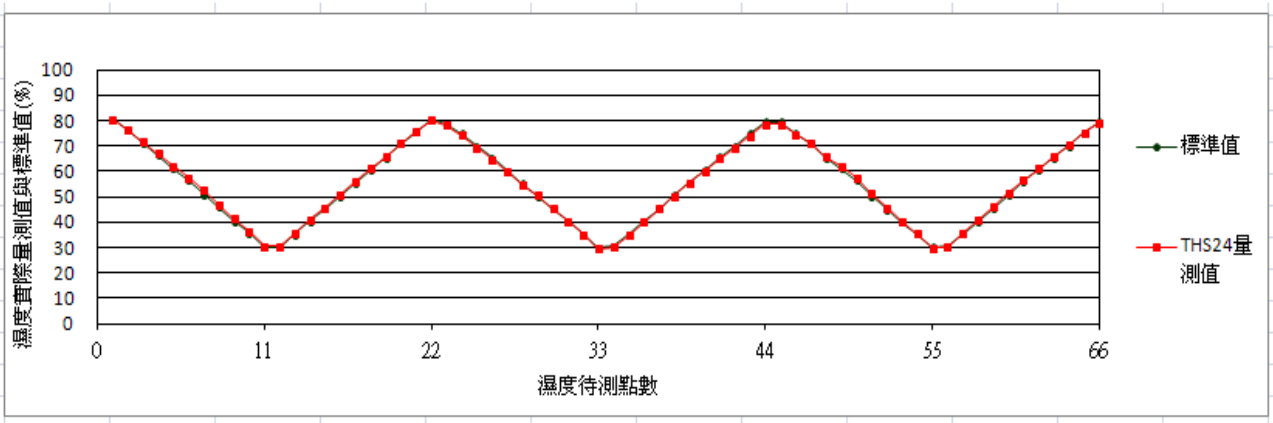


圖 15 濕度量測誤差檢測結果比較圖

(3) 線性重現性檢測結果

線性重現的目的在於不考慮標準源與測試腔體是否達到預設濕度值的情況下，直接利用標準源的量測值與實際感測器量測的量測值作圖形描繪，分為上、下行循環平均與標準源循環平均等三種線性線段如圖 16，透過圖表可得知感測器與標準參考源的線性關係，若感測器的線性線段愈貼近標準源，表示該感測器與標準源的誤差值越小，更符合品質需求。

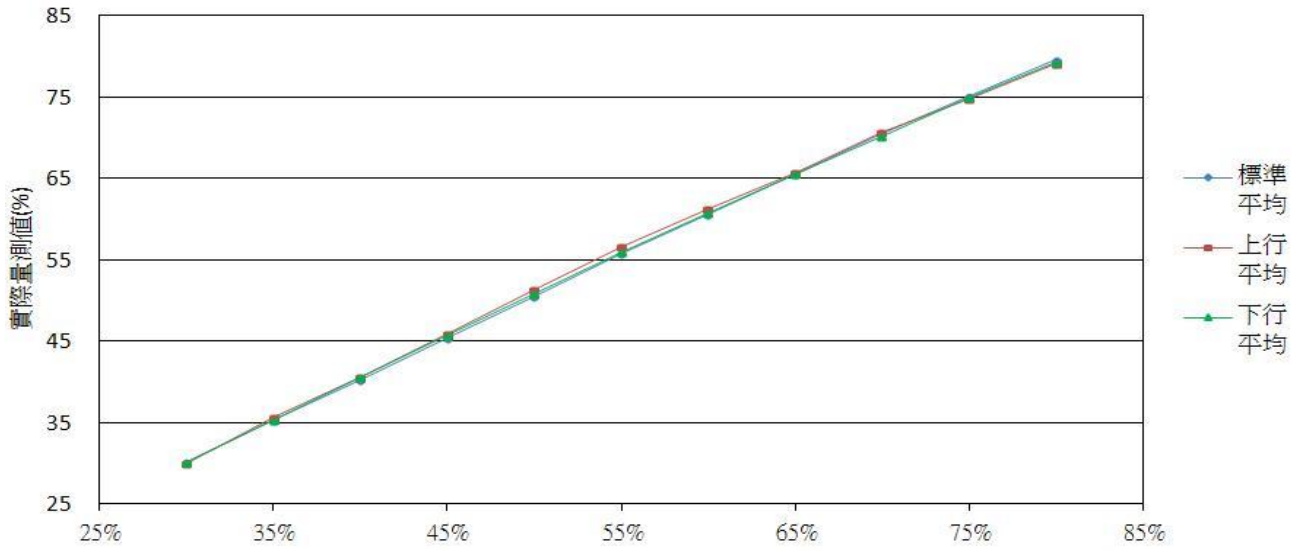


圖 16 各待測點上下行與平均線性檢測結果

(4) 線性誤差檢測結果

IEC 61298-2 標準中提到線性誤差值(偏差)分為上行誤差、下行誤差以及平均誤差，各項誤差為待測物在同循環、同待測點時與其標準參考源之差值。並將上行、下行誤差分別作平均值以及上下行的總平均誤差，透過 EXCEL 表格自動計算後，可描繪出三組誤差值曲線，如圖 17 中分別為上行實際平均誤差、下行實際平均誤差以及平均誤差檢測結果。

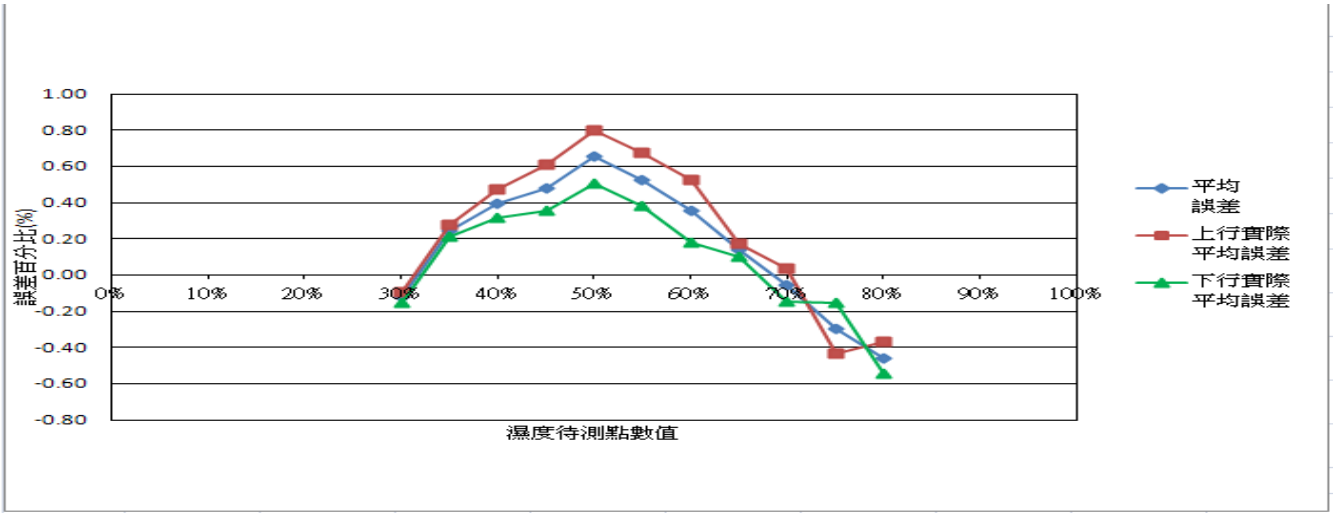


圖 17 各待測點線性誤差檢測結果

(5)回差（遲滯誤差值）檢測結果

回差（遲滯誤差值）係根據 IEC61298-2 標準的定義為任一循環中相鄰的上行誤差與下行誤差的差值，回差值越小，表示上行與下行線性度越接近。

各循環中之回差值檢測，第一待測點的下行誤差值減去上行誤差值，即為該循環第一待測點的回差值；第二待測點的下行誤差值減去上行誤差值，即為該循環第二待測點的回差值，同理至最後一循環的最後一待測點，即可建立回差值數據表格，將該數據作圖形描繪如圖 18 為三循環之各待測點回差檢測結果，誤差百分比若越靠近 0%，表示該感測器於上行及下行時量測同一待測具有高度穩定性。

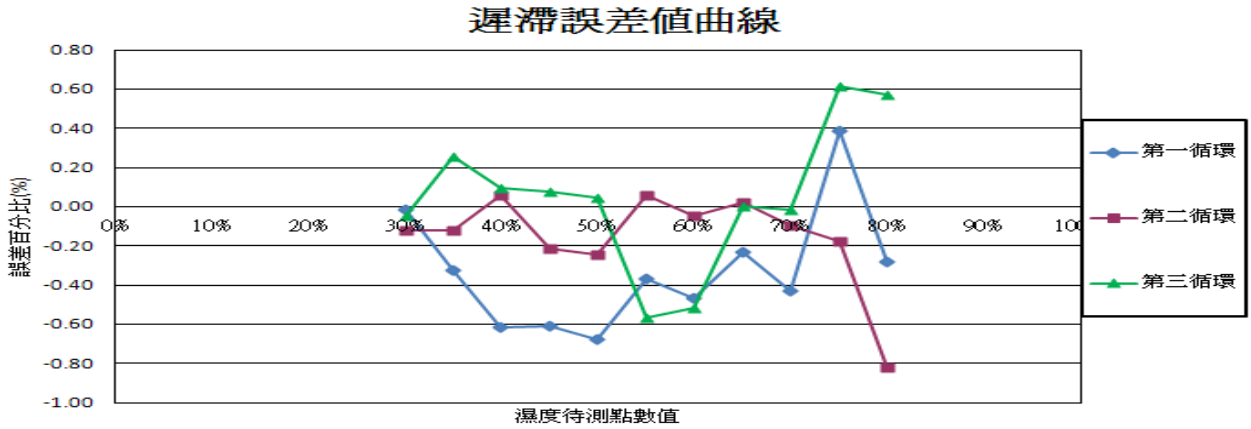


圖 18 三循環之各待測點回差檢測結果

(6)上行及下行不重複性檢測

上行不重複性為上行量測時各循環點彼此間的誤差值範圍;下行不重複性定義亦為相同，各循環間的不重複性越接近零時，表示該感測器與標準線性值的線性誤差於各點時幾近相同。

第一、二循環上行不重複性定義為同一待測點於第二循環上行時的誤差值減去第一循環上行時的誤差值；第二、三循環上行不重複性定義為同一待測點於第三循環上行時的誤差值減去第二循環上行時的誤差值，同理，至所有待測點的兩兩循環的誤差值，同時亦可建立回差值數據表格。

五、結論

本研究完成之溫濕度感測器自動化品管檢測系統優點包括：

(1). 經實際驗證，已有效的將自動化檢測導入溫濕度感測器品管作業，除增進產品品質之可靠度，亦可節省人工與品管時間。

(2) 品管作業人員只要透過人機介面將相關參數輸入至人機介面上，點擊檢測鈕，即可將該檢測的數值顯示於人機介面上，直到所有待測點檢測完畢，除可於電腦上觀看輸出的檢測報表，並可以自行定義檔名另存至電腦中的資料夾，可作為後續之品保分析用途。

(3). 透過檢測報表中的各項數據與圖表，使得操作人員能夠立即的清楚觀察出該感測器的穩定性，除數據表單外亦自動繪出其特性圖，方便管控產品品質。

(4).於軟體設計部分可根據需求修改參數，增加檢測靈活度，如可更改待測點數目與濕度間距、甚至增加待測感測器數目等。

六、誌 謝

感謝宇田控制科技股份有限公司(http://www.yuden.com.tw/)贊助本產學合作研究計畫並提供相關設備與技術支援。

七、參考文獻

[1] F. Reverter, Ò. 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] 上海卓盼電子科技有限公司,http://www.zhope17.com/pdlistone/tech/420515.html, 2011.
[4] 馮丁樹,「濕空氣之特性」,國立台灣大學生機系，2001。
[5] 鎰田科技股份有限公司,自動化儀表/控制元件, p.9,2011. http://www.eyc-tech.com/
[6] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers , ASHRAE Handbook Fundamentals (I-P edition), 1993, Inc. New York.
[7] MBW, Dew Point Mirror 973 user manual,http://www.mbw.ch/product_973.php, 2011.
[8] 陸慈宏， 「相對溼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。
[9] 研華科技, Advantech USB4716 user manual,http://www.advantech.com/ , 2011.
[10] 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.
[11] 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.
[12] R. H. Bishop, Learning with LabVIEW 8, Pearson Prentice Hall, 2007.
[13] 宇田控制科技股份有限公司,http://www.yuden.com.tw/ , 2011.
[14] 維基百科, “濕度”, http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B9%BF%E5%BA%A6, 2011.