

自動量測技術在熱水器燃氣熱效率檢驗之應用

The Application of Automatic Measurement in the Inspections of Gas Thermal Efficiency for Water Heaters

胡明森¹、陶家瑞²

Ming-Sen Hu¹, Chia-Rei Tao²

軍事氣象系副教授¹ 軍事氣象系講師² 空軍航空技術學院

^{1,2}Department of Military Meteorology, Air Force Institute of Technology

摘要

燃氣熱效率檢驗為家庭用瓦斯熱水器在進口或出廠前皆必須完成的重要檢驗項目，目前此二種檢驗均依靠人工作業方式實施，不僅浪費大量人力成本，更須花費冗長的檢驗時間。為解決這些問題，本文應用自動量測技術研發一套可進行熱水器燃氣熱效率檢驗之自動監測計算系統，此系統可在設定之檢驗過程中同時對燃氣與水進行溫度、壓力和流量等各種參數之量測，並依據量測結果自動計算其燃氣熱效率、藉以判定檢驗結果合格與否並產生輸出報表。

關鍵字：產品檢驗、熱水器、燃氣消耗量、燃氣熱效率、自動量測

Abstract

The households gas water heater burned by liquefied petroleum gas (LPG) or natural gas should be inspected by the BSMI. The fuel gas thermal efficiency inspection for the gas water heater is an important examination item which must be completed before the product imported or the ex-work. This examination procedure mainly depends on the artificial work at present. It not only wastes the labor costs but also spends the time longer. The other problem of the manual recording can't be avoid is the accurate insufficiency. In order to solve these problems, we applied the automatic measurement technology to develop a measurement and calculation system for gas thermal efficiency inspection of water heaters. This system could simultaneously measure the flow, temperature and pressure of the gas, and the flow, pressure, input temperature and output temperature of the water automatically. Then, this system can calculate the gas thermal efficiencies of the tested water heater based on the measured parameters, and make a decision qualified or not. At last, the system generated the original record report.

Keywords : commodity inspection, water heater, gas thermal efficiency, automatic measurement

壹、前言

為促使商品符合安全、衛生及環保要求，保障消費者權益，依據「商品檢驗法」[1]規定，凡業者或個人自國外進口或國內生產之應施檢驗商品均應完成檢驗程序並經檢驗合格，且在每件商品貼附「商品檢驗標識」始得輸入或運出廠場進

入市場銷售。所謂「應施檢驗商品」係指經經濟部標準檢驗局[2]評估該商品使用上之安全性而公告強制施行檢驗之商品；現行已公告之應施檢驗商品計包括電子、電器、機械、化工與玩具等五類共 614 項商品[614]。

家庭用瓦斯熱水器屬於機械類應施檢驗商

品，可分為即熱式燃氣熱水器與儲存式燃氣熱水器兩種[3]，以液化石油氣(LPG)或天然氣為燃料。依 CNS13605(家庭用燃氣器具試驗法)標準規定，燃氣熱水器必須先在標準檢驗局經過燃氣消耗量試驗、氣密試驗、無風燃燒狀態試驗、噪音試驗、溫升試驗、燃氣熱效率試驗、反覆使用試驗、...等各項檢驗合格才得以進入市場銷售[5]。

本研究主要以即熱式燃氣熱水器之燃氣熱效率檢驗為考量對象，由於目前此種檢驗均須依靠人工作業方式實施，由檢驗人員操作檢驗設備，控制燃氣與入水之壓力和流量，再由人力紀錄燃氣與水之各項壓力、流量和溫度值，最後依所記錄之數據計算出燃氣熱效率，並製作檢驗之原始紀錄報表。此種檢驗方式不僅浪費大量人力成本，須花費冗長的檢驗時間，更存在人工記錄精確性不足之問題。為解決上述這些問題，本文應用自動量測技術[8,9]研發一套可進行熱水器燃氣熱效率檢驗之自動監測計算系統，此系統可在設定之檢驗程序中同時對燃氣與水進行溫度、壓力和流量等各種參數之量測，並依據量測結果自動計算其燃氣熱效率，藉以判定檢驗結果合格與否，並自動產生所需之原始紀錄報表。本研究成果已獲經濟部智慧財產局審查核准中華民國新型專利[7]。

貳、系統設計

即熱式燃氣熱水器具有與供應冷水連動可開閉燃氣通路之構造，冷水在通過熱交換器時即被加熱以供熱水[3]，為進行燃氣消耗量與燃氣熱效率之檢驗，必須開啟燃氣閥與入水閥，並調控兩者之壓力以啟動熱水器之燃燒，待燃氣流量穩定之後，同時進行燃氣溫度、壓力與流量，以及入水(冷水)溫度、壓力、流量和出水(熱水)溫度等資料之量測，以供計算燃氣消耗量與燃氣熱效率並製作原始紀錄報表。本研究所提自動監測系統之系統架構如圖 1 所示。

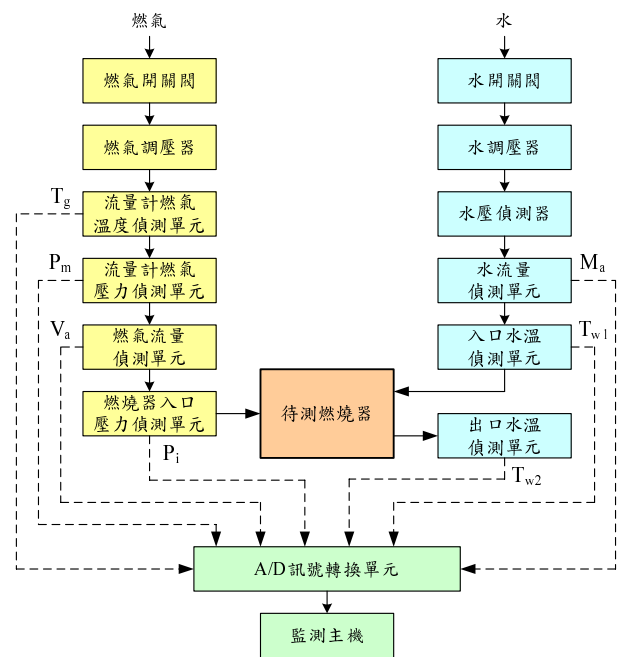


圖 1. 自動監測計算系統架構

各組成單元之功能分述如下：

1. 待測燃燒器：待檢驗之即熱式燃氣熱水器。
2. 開關閥：用於開啟或關閉燃氣或入水之閥門。
3. 調壓器：用於調整燃氣或水之壓力。
4. 燃氣溫度偵測器：用於偵測通過流量計之燃氣溫度(T_g)。
5. 流量計燃氣壓力偵測器：用於偵測通過流量計之燃氣壓力(P_m)。
6. 燃氣流量偵測器：即燃氣流量計，用於偵測燃氣之流量(V_a)。
7. 燃燒器入口壓力偵測器：用於偵測經過流量計壓損後進入燃燒器之燃氣壓力(P_i)。
8. 水壓偵測器：用於偵測冷水之入水壓力。
9. 水流量偵測器：即水流量計，用於偵測冷水之流量(M_a)。
10. 入口水溫偵測器：用於偵測進入燃燒器之冷水溫度(T_{w1})。
11. 出口水溫偵測器：用於偵測離開燃燒器之熱水溫度(T_{w2})。
12. A/D 訊號轉換單元：為 Advantech USB-4711A

介面卡，可將各偵測單元所量測之溫度、壓力及流量等類比訊號轉換為數位資料，並傳入監測主機進行處理。

13. 監測主機：為一個人電腦，可執行自動監測計算軟體，以供使用者設定各項檢驗參數，並依預定期程執行二階段之監測計算作業。在每一階段作業中皆自動擷取各偵測單元所量測之溫度、壓力及流量數據進行處理，再計算其燃氣消耗量與燃氣熱效率，藉以判定檢驗合格與否，最後製作原始紀錄報表。

在圖 1 的監測計算系統架構中，燃氣開關閥與水開關閥可分別提供使用者開啟或關閉試驗所需使用之燃氣及入水(冷水)，燃氣調壓器則可提供使用者調整燃氣之壓力，以進一步控制燃氣之流量，而水調壓器可提供使用者調整入水之壓力，以進一步控制水之流量以及入水溫度和出水(熱水)溫度。其他以虛線連接到 A/D 訊號轉換單元者皆為電腦執行自動量測之感測單元，所量測之數據皆在燃氣消耗量與燃氣熱效率之計算中使用。

本監測系統硬體設計之 P&ID (Piping and Instrumentation Diagram)如圖 2 所示，其中 SV 為開關閥，PV 代表壓力調整閥，而各感測器 PT-01(偵測通過流量計之燃氣壓力 P_m)、PT-02(偵測進入燃燒器之燃氣壓力 P_i)、TT-01(偵測燃氣溫度 T_g)、FT-02(偵測冷水流量 M_a)、TT-02(偵測輸入之冷水溫度 T_{w1})、TT-03(偵測輸出之熱水溫度 T_{w2})及 FT-01(偵測燃氣流量 V_a)等之輸出則分別連接至 USB-4711A 介面卡之 AI1 ~ AI7 等類比輸入接腳，做為軟硬體連結之介面。本文中所開發之自動監測計算實驗系統實體之內部配置如圖 3 所示。

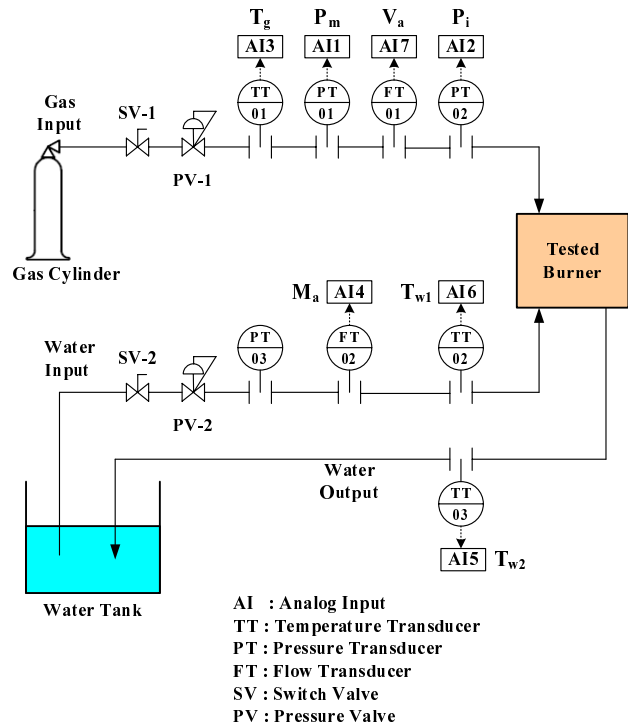


圖 2. 監測系統硬體設計 P&ID

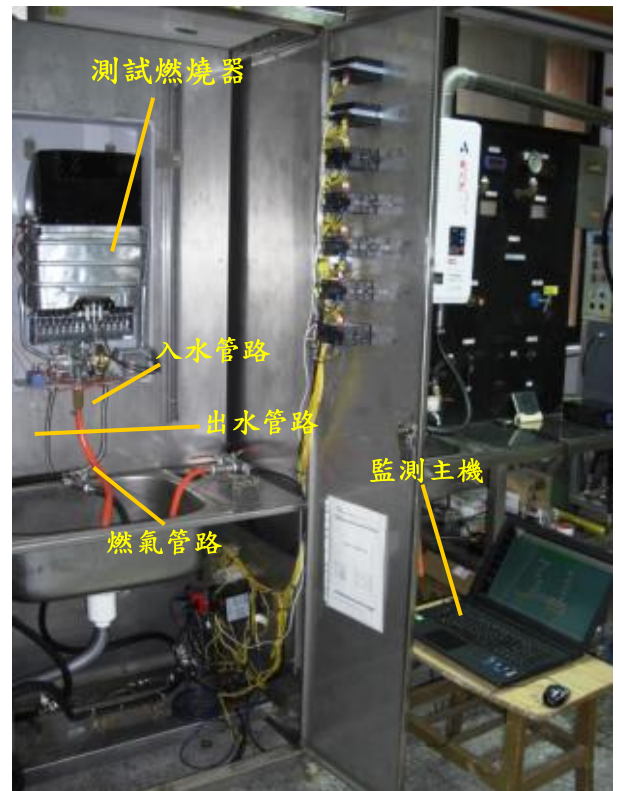


圖 3. 自動量測實驗系統實體內部配置

參、監測計算軟體開發

在本研究中，我們應用 LabVIEW 圖控式語言 [6] 完成此系統的監測計算軟體之開發，此軟體之執行流程主要依據燃氣熱效率檢驗之作業要求規劃而成，其流程圖如圖 4 所示。在圖 4 之流程圖中，系統一開始後先由使用者設定相關檢驗參數，接著進入系統之監測計算程序。在此程序中，系統首先偵測燃氣流量是否已達穩定狀態(即流量誤差已低於可容許之最大誤差)，在燃氣流量穩定後，接著依序進行二階段之燃氣熱效率試驗，每階段試驗時間皆為 T_1 (分)，兩個階段之間則間隔一暫停時間 T_2 (分)。每個階段完成後系統皆會依據所設定之參數與自動量測之溫度、壓力和流量值，計算其燃氣熱效率，供使用者判定檢驗結果合格與否；最後在兩階段皆完成後自動製作輸出報表。

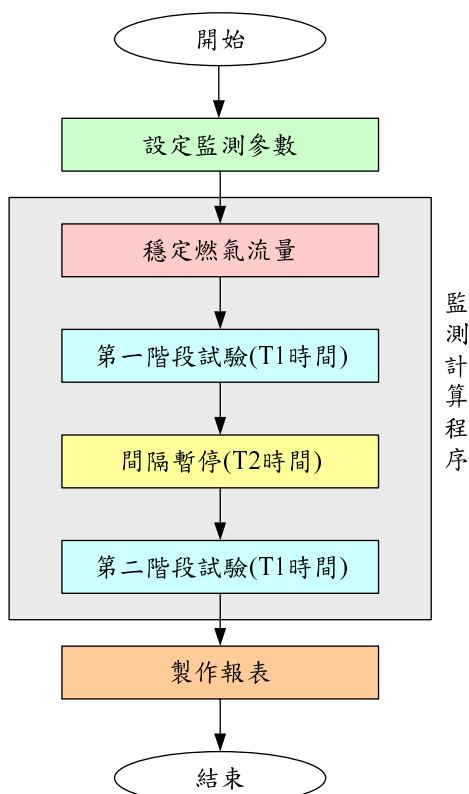


圖 4. 系統執行流程

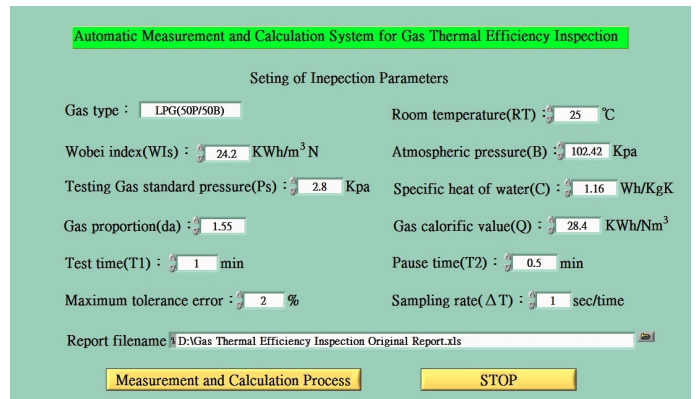


圖 5. 監測系統主畫面

本系統各檢驗參數之設定可在主畫面中進行，如圖 5 所示，圖 5 之主畫面中可供使用者設定燃氣種類(Gas type)、渥貝指數(Wobbe index, WI_s)、室溫(Room temperature)、試驗用燃氣標準壓力(Testing gas standard pressure, P_s)、大氣壓力(Atmospheric pressure, B)、燃氣比重(Gas proportion, d_a)、水比熱(Specific heat of water, C)、燃氣熱值(Gas calorific value, Q)、試驗時間(Test time, T_1)、間隔時間(Pause time, T_2)、燃氣流量最大容許誤差(Maximum tolerance error, E_i)、擷取速率(Sampling rate, ΔT)(秒/次)及燃氣熱效率輸出報表存檔路徑(Report filename)等相關監測參數。在圖 5 畫面中所輸入之燃氣種類「LPG (50P/50B)」代表所使用之燃氣為 50%丙烷與 50%丁烷之混合天然氣。

本系統監測計算程序之起始畫面如圖 6 所示，此畫面左側顯示已設定之各檢驗參數，主要的中間部分則以流量圖(Flow graph)、壓力圖(Pressure graph)和溫度圖(Temperature graph)來顯示試驗過程中各種曲線之變化，流量圖中顯示出水流量(M_a)與燃氣流量(V_a)曲線，壓力圖中顯示燃料供應壓力(P_s)、流量計出口壓力(P_m)與燃燒器入口壓力(P_i)等曲線，而溫度圖中則顯示燃氣溫度(T_g)、入水溫度(T_{w1})與出水溫度(T_{w2})等曲線。

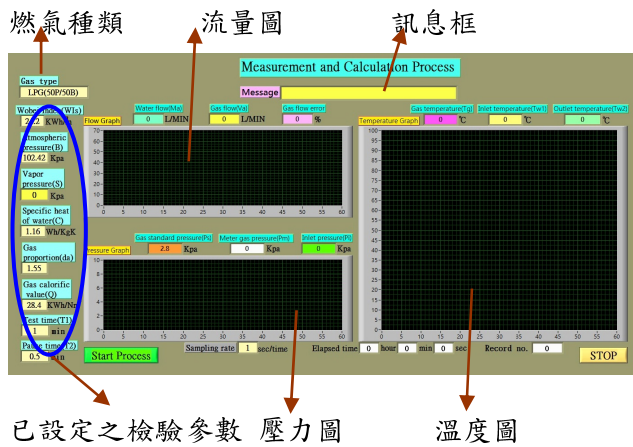


圖 6. 監測計算程序畫面

在每一階段之試驗完成後，系統會自動計算其燃氣熱效率(η_t)， η_t 之計算式如下：

$$\eta_t = \frac{M \times C \times (T_{w2} - T_{w1})}{V \times Q \times 1000} \times \frac{273 + T_g}{273} \times \frac{102.4}{B + P_m - S} \times 100$$

其中 M 為平均出水流量，V 為平均燃氣流量，定義如下：

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n M_a[i]}{n} \quad \text{and} \quad V = \frac{\sum_{i=1}^n V_a[i]}{n}$$

上述 η_t 計算式中的 S 代表水蒸氣壓，其值可由燃氣溫度(T_g)決定，關係式如下：

$$S = 10^\alpha \quad \text{其中} \quad \alpha = 7.203 - \frac{1735.74}{T_g + 234}$$

在完成二階段之試驗程序後，系統將依據所計算之階段一熱效率 η_{t1} 與階段二熱效率 η_{t2} ，進一步求出其平均熱效率 η_{ta} 與熱效率誤差值 $\Delta\eta_t$ ，兩者定義如下：

$$\eta_{ta} = \frac{\eta_{t1} + \eta_{t2}}{2}$$

$$\Delta\eta_t = \frac{|\eta_{t1} - \eta_{t2}|}{\eta_{ta}} \times 100$$

最後可依據兩者之值判斷燃氣熱效率之檢驗是否合格，其判斷規則如下表一所示：

表一：燃氣熱效率檢驗規則表

$\Delta\eta_t$	$\Delta\eta_t \leq 10\%$	$\Delta\eta_t > 10\%$
$\eta_{ta} \geq 75\%$	qualified	not qualified
$\eta_{ta} < 75\%$	not qualified	not qualified

由表一之判斷規則可知，只有當平均熱效率 $\eta_{ta} \geq 75\%$ 且熱效率誤差值 $\Delta\eta_t \leq 10\%$ 時，燃氣熱效率之檢驗結果為合格，否則皆將判定為不合格。

肆、燃氣熱效率檢驗

應用本系統進行燃氣熱效率之檢驗時，使用者(檢驗人員)可先在圖 5 之主畫面中完成各項檢驗參數之設定，例如，設定每階段試驗時間 T_1 為 10 min，暫停時間 T_2 為 5 min，燃氣流量之最大容許誤差 E_t 為 2%，取樣速率 ΔT 為 1 秒 / 次，另依 CNS 13603 規範，燃氣熱效率試驗時之出水溫度皆必須高於入水溫度(40 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ ，即 $T_{w2} - T_{w1} = 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

完成檢驗參數之設定後，使用者可點選主畫面左下角之「Measurement and Calculation Process」按鈕，系統將進入圖 6 之監測計算畫面，再點選左下角之「Start Process」按鈕後，系統即開始執行圖 4 流程圖中之監測計算程序。此程序一開始為燃氣流量穩定階段(如圖 7 所示畫面)，使用者可分別開啟燃氣與入水之開關閥門，並透過調壓器分別調整燃氣與入水之壓力，使出水溫度達到高於入水溫度(40 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ ，待燃氣之流量誤差已低於所設定之最大容許誤差 2% 時，系統即完成穩定燃氣流量之目的。

接著系統開始第一階段之試驗，在此試驗中

系統將依取樣速率(1 秒 /次)同時擷取出水流量(M_a)、燃氣流量(V_a)、燃料供應壓力(P_s)、流量計出口壓力(P_m)、燃燒器入口壓力(P_i)、燃氣溫度(T_g)、入水溫度(T_{w1})與出水溫度(T_{w2})等 7 項參數，並將各參數值之變化曲線分別顯示在流量圖、壓力圖與溫度圖中。

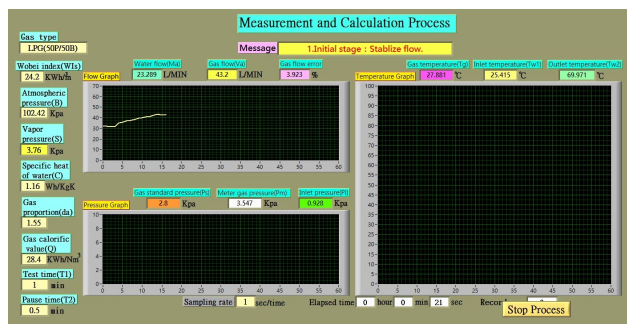


圖 7. 穩定燃氣流量之畫面

待經過 T_1 (10 min)時間之自動量測後，即可完成第一階段之試驗工作，此時系統會依 η_i 之計算公式自動執行燃氣熱效率之計算，並將計算結果顯示在畫面之左上方，如圖 8 所示。在圖 8 畫面中顯示第 1 階段試驗之燃氣熱效率 η_{i1} 為 84.89%。

階段 1 燃氣熱效率 η_{i1}

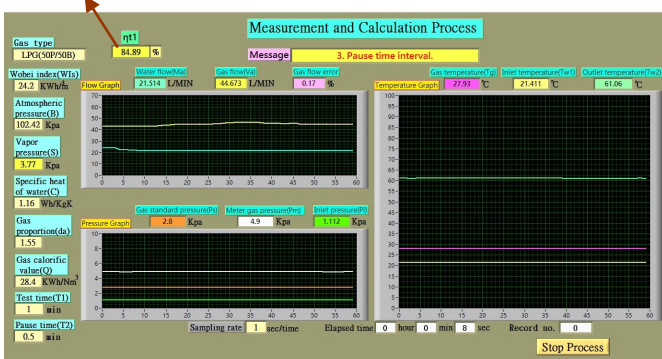


圖 8. 完成第 1 階段試驗之畫面

在第 1 階段試驗完成後，系統會先經過一個 T_2 (5 min)之暫停時間，再開始執行第 2 階段之試驗，其試驗過程與第 1 階段相同，皆須歷經 T_1 (10 min)時間。而在第 2 階段之試驗完成後，系統將會自動執行第 2 階段燃氣熱效率 η_{i2} 、平均熱效率 η_{ia} 及熱效率誤差值 $\Delta\eta_i$ 等參數之計算，計算結果如圖 9 所示之畫面。此畫面中所示之燃氣熱效率 η_{i2} 為 78.8%、平均熱效率 η_{ia} 為 81.84%。

驗，其試驗過程與第 1 階段相同，皆須歷經 T_1 (10 min)時間。而在第 2 階段之試驗完成後，系統將會自動執行第 2 階段燃氣熱效率 η_{i2} 、平均熱效率 η_{ia} 及熱效率誤差值 $\Delta\eta_i$ 等參數之計算，計算結果如圖 9 所示之畫面。此畫面中所示之燃氣熱效率 η_{i2} 為 78.8%、平均熱效率 η_{ia} 為 81.84%。

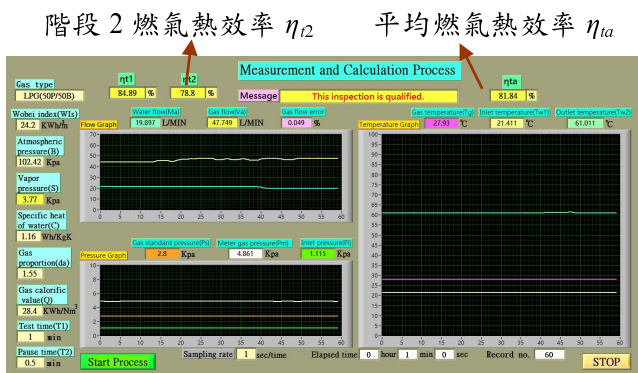


圖 9. 完成第 2 階段試驗之畫面

對於燃氣消耗量檢驗結果合格與否之決定，須依據其燃氣消耗量誤差 ΔI_s 而定， ΔI_s 之計算式如下：

$$\Delta I_s = \frac{I_s - I_{sO}}{I_{sO}} \times 100$$

其中 I_{sO} 為受測燃燒器出廠標示之燃氣消耗量(本例中為 24KW)，若 ΔI_s 低於 10%，表示通過該次試驗，而若 ΔI_s 高於 10%，表示該次試驗失敗；當兩階段之試驗皆通過時，此燃氣消耗量檢驗才算合格。依據圖 9 所示之二階段試驗結果，系統計算第 1 階段試驗之燃氣消耗量誤差 ΔI_{s1} 為-1.75%，第 2 階段試驗之燃氣消耗量誤差 ΔI_{s2} 為-2.63%，由於兩階段之燃氣消耗量誤差皆低於 10%，表示此受測燃燒器之燃氣消耗量檢驗合格。

對於燃氣熱效率檢驗結果合格與否之決定，主要依據兩階段試驗所得熱效率之平均值而定，即：

$$\eta_{ia} = \frac{\eta_{i1} + \eta_{i2}}{2}$$

若其平均值 η_{ia} 高於 75%，表示此次燃氣熱效率檢驗合格；而若 η_{ia} 未達 75%，表示檢驗不合格。經由計算圖 9 所示二階段試驗的熱效率 η_{i1} 與 η_{i2} 之平均值 η_{ia} 為 80.9%，由於 η_{ia} 高於 75%，表示此次受測燃燒器之燃氣熱效率檢驗合格。

本系統除了自動完成 I_{s1} 、 I_{s2} 、 η_{i1} 、 η_{i2} 、 ΔI_{ss} 與 η_{ia} 等資訊之計算，並據以判斷檢驗合格與否，亦可在二階段試驗完成後自動產生此項檢驗之原始紀錄報表，如附表 1 為所產生之燃氣消耗量檢驗之原始紀錄報表，附表 2 則為燃氣熱效率檢驗之原始紀錄報表，這些報表皆可提供檢驗人員後續之運用。

伍、結論

本研究研製一套可進行瓦斯熱水器燃氣消耗量與燃氣熱效率檢驗之自動監測計算系統，其可同時對燃氣與水進行溫度、壓力和流量等各種參數之量測，並依據量測結果自動計算其燃氣消耗量與燃氣熱效率等相關資訊，據以判定檢驗結果合格與否，最後並可產生輸出報表供檢驗人員運用。本系統之運用將可有效節省檢驗之人力成本，縮短檢驗時間，並提高檢驗之精確性。未來本研究將擴充本系統之檢驗功能，進一步針對燃氣炊煮器具(台爐)[4]提供燃氣消耗量與燃氣熱效率檢驗之自動監測計算功能。

參考文獻

- [1] 商品檢驗法(2007)，96 年 07 月 11 日修正公布。
- [2] 經濟部標準檢驗局 (BSMI)，www.bsmi.gov.tw/wSite/index.jsp。
- [3] 中華民國國家標準 CNS 13603, S1235(2012)，家庭用燃氣熱水器，101 年 2 月 10 日修訂公布。
- [4] 中華民國國家標準 CNS 13604, S1236(2011)，

家庭用燃氣炊煮器具，100 年 3 月 25 日修訂公布。

- [5] 中華民國國家標準 CNS 13605, S2154(2011)，家庭用燃氣器具試驗法，100 年 3 月 25 日修訂公布。
- [6] 蕭子鍵、王智昱、儲昭偉，虛擬儀控程式設計 - LabVIEW 8X，高立圖書 (2010)。
- [7] 胡明森、蘇榮華、陶家瑞、劉正倫，熱水器監測計算系統，中華民國新型專利，104 年 1 月 9 日智專一(四)01256 字第 10440046730 號核准處分書。
- [8] K. C. Yao, J. S. Lai and J. S. Fang (2013), Automatic Measurement Technology, Chuan Hwa Book Publishing.
- [9] K. Sakai and S. Tanaka(2007), The automatic Hydrogen Gas Measurement Apparatus Developed in Sakai Group since 1993, <http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Sakutai/manuals/GC.pdf>.

附表：熱水器燃氣熱效率檢驗原始紀錄報表

熱水器燃氣熱效率檢驗原始紀錄					
檢驗項目：燃氣消耗量試驗			申請書號碼：		
廠牌：		型號：	試驗日期：2013/8/11		
標示燃氣消耗量：		燃氣類別：液化氣			
一、預熱情形：					
A.時間：自 時 分 ~ 時 分					
B.瓦斯壓力：280 mmH ₂ O					
C.水壓：1 kg/cm ₂					
二、燃氣熱效率檢測：（標識號碼：_____）					
試驗內容		單位	代號	試驗一	試驗二
測 試 條 件	試驗燃氣種類	/	/	LPG (50P/50B)	LPG (50P/50B)
	室溫	℃	/	25	25
	水壓(動壓)	Kgf/cm ²	/	1	1
	大氣壓力	Kpa	B	102.42	102.42
	燃氣溫度	℃	Tg	25.22	25.41
	水蒸氣壓	Kpa	S	2.62	2.62
	流量計燃氣壓力	Kpa	Pm	3.24	3.23
	燃氣熱值	KWh/Nm ³	Q	28.4	28.4
	燃氣比重	/	da	1.55	1.55
	測定時間	Sec	T1	60	60
測定燃氣消耗量	m ³	V	0.03	0.03	
單位時間耗氣量	m ³ /hr	Va	1.8	1.8	
水	入水溫度	℃	Tw1	16.52	16.53
	出水溫度	℃	Tw2	36.7	41.02
	水比熱	Wh/KgK	C	1.16	1.16
	出水量	Kg	M	24.19	24.12
熱效率		%	η_t	71.17	86.23
平均熱效率		%	η_t	78.7	
1.熱效率公式：					
$\eta_t = \frac{M \times C \times (Tw_2 - Tw_1)}{V \times Q \times 1000} \times \frac{273 + T_g}{273} \times \frac{101.3}{B + P_m - S} \times 100$					
2.熱水器在同一條件下試驗兩次，其熱效率之誤差在5%以下，且熱效率值在70%以上。					
3.本檢驗規格參照CNS13603第5.2.1節及5.13.1(1)節。					
試驗人員：					

