

本生式與紅外線式瓦斯爐燃燒性能之探討

姜進榮／臺南分局秘書
張慧棟／臺南分局技正

壹、前言

在瓦斯爐具未被普遍使用的 50~60 年代，生活煮食用爐灶，以柴火燃燒加熱鍋具，隨時代演進，進階使用煤球燃燒，產生通紅蓄熱體加熱鍋具。那年代兩者燃燒煮食所呈現熱的型式，各有不同。至今科技進展，石油、瓦斯能源的利用，家庭已普遍使用瓦斯爐烹煮，其燃燒器有多種材質、型式，燃燒所呈現熱亦有不同的型態；如本生式燃燒器，係利用金屬爐頭之火焰加熱鍋具，也是目前普遍使用的瓦斯爐具，另一種是紅外線式燃燒器，亦以空氣與液化石油氣混合至燃燒器，燃燒加熱陶瓷爐體，產生紅熱狀態加熱鍋具，此型與早期煤球燃燒使用的熱體相似。同樣是瓦斯爐具，其燃料使用及爐具結構配置皆相符，僅燃燒器爐頭面之型式不同，兩者燃燒所產生的熱型態顯現卻不同。在節能時代，探討兩者瓦斯爐燃燒狀態的差異及優劣比較。另探討市面有關業者所稱，可節省瓦斯的紅外線金屬節能網之問題。

貳、燃燒、熱與紅外線作用原理

家庭用瓦斯爐之使用，利用瓦斯燃燒火焰在爐頭上的熱加熱鍋具，藉由鍋具之熱間接烹煮食物。如欲提升瓦斯燃燒效能之利用，對鍋具加熱傳遞的方式需予瞭解，其熱的傳遞方式，不外是傳導、對流、輻射。實際瓦斯爐具燃燒所呈現的熱，並非單一方式的傳遞熱，而是有不同組合性的熱傳遞，或以某一方式為主的熱傳遞，例；本生式金屬爐頭以傳導、對流熱為主，紅外線式陶瓷爐頭以輻射熱為主。

一、燃燒的作用

燃燒之要素；燃料、氧氣、溫度和連鎖反應，合稱為燃燒四要素。燃料欲達到完全燃燒，通常需要足夠的燃燒時間、適當的溫度及燃料與氧氣充分的混合。燃燒現象以火焰呈現，亦是燃料和氧化物在適當環境下產生的放熱化學反應，其所產生的光和熱可以轉換成動力或作為熱源利用，家庭用瓦斯爐利用液化石油氣燃燒，產生高溫火焰來炊煮食物。爐具之瓦斯屬氣化之燃料，它可以直接燃燒並產生火焰，其火焰最佳狀態的顏色呈現藍色，代表有充足的氧氣供應燃燒，其溫度約 2500 °C。一般蠟燭的火焰以黃色呈現，其火焰溫度約 1400 °C。蠟燭的火焰是黃色，而瓦斯的火焰是藍色的，主要是因為溫度不同的緣故。

二、熱傳遞的作用

當熱力系統內有溫度差時，熱將從高溫區移往低溫區，欲使該系統內溫度均勻化。熱的移動有三種型式；傳導、對流、輻射。有關熱的傳遞型式，基本運用方式如下：

- (一) 傳導：熱經由物體的高溫區移至低溫區，物體本身的分子並沒有移動，只是向同一物體中之分子間，或與其接觸之他物體分子，作熱的移動。例爐具燃燒器火焰（熱）對鍋具（固體）及鍋內烹煮物的熱傳導。物體中熱之移動公式：
$$Q = \lambda \frac{A \langle T_1 - T_2 \rangle}{\ell}$$
（ λ ：導熱係數， ℓ ：厚度， A ：面積， T ：溫度差）。物體導熱係數 λ （kcal/m.h. °C）；鋁：175，鐵：30~50，水：0.5，空氣：0.022，顯示鋁材是良好的傳導物質。
- (二) 對流：氣體或流體受熱膨脹，密度變小而上升，其周圍之較冷氣體或流體因密度較大，則產生下降移動補充其位置，利用溫度差所造成的比重不同，產生對流作用，其公式：
$$Q = h.A (T_1 - T_2)$$
（ h ：對流係數， A ：面積， T ：溫度）。對流係數（W/m²k）與流體性質、溫度、速度及界面體的溫度及形狀有關。

(三) 輻射：沒有中間物質作媒介，熱的現象以電磁波之方式直接傳遞，由高溫物體所發出熱輻射線，以光速直射而抵達低溫物體，到達之熱輻射並非全部由低溫物體吸收，一部份反射，一部份透過。物體吸收熱輻射線之能，而將物體加熱，輻射公式： $E = \epsilon \times 4.88 \times \left(\frac{T}{100}\right)^4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ ， ϵ 稱為發射係數，係表示放出輻射熱難易之數據，其值約 0~1。 $\epsilon = 1.0$ 者稱為黑體。

三、紅外線的作用

紅外線是屬於電磁波的一種，在光譜上它的波長大於可見光，是一種具有強熱作用的放射線，其物理性質與光相似。紅外線的發現，使人了解加熱和傳熱作用與放射有關。依光之領域，肉眼可見的光波域，即是從 0.4 微米（紫）到 0.75 微米（紅）可以被人類眼睛感覺得到，紅外線的波長介於 0.76 微米~1000 微米間。依據光學測定，紅外線又可分為 0.76~4 微米的近紅外線和 4~400 微米的遠紅外線，具有很強熱效應，易被物體吸收，通常作為熱源，透過雲霧能力比可見光強，在通訊、探測、醫療、軍事等方面，用途廣範。（表 1）

表 1 紅外線光譜位置

α 射線	X 線	紫外線	可見光	紅外線	微波
波長 (μ)	10^{-5}	0.2	0.4	0.75	1000
				近紅外線	中間紅外線
				0.76	4
				遠紅外線	
				1000 μ	

參、燃氣爐之結構與燃燒方式

一、燃氣爐的結構

家庭使用之瓦斯爐，以單口爐或雙口爐為主，其構造計：本體外殼、面板、爐架、承湯盤、燃燒器、瓦斯噴嘴、點火器、瓦斯開關、熄火安全裝置等組成。爐體及面板為支撐煮食鍋具的重量，主要為金屬材質，需具有足夠強度，且內部空間需具有燃燒所需的空氣通道。面板中央部位為燃燒器位置，其上置有爐架及承湯盤，面板內部為瓦斯管路，連結瓦斯開關、點火器，開關出口端接噴嘴並導入燃燒器喉管入口，使噴嘴出口瓦斯經文氏管作用吸入空氣混合到燃燒器焰孔。爐體前飾板為瓦斯開關旋鈕及火力大小控制標示。下列為瓦斯爐基本結構圖：(圖 3-1)

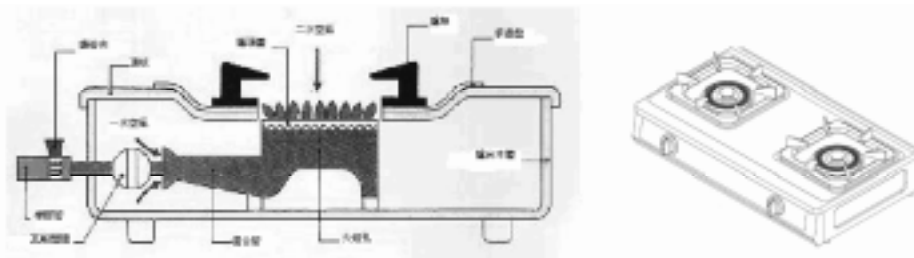


圖 3-1 瓦斯爐內外部結構

二、瓦斯爐燃燒方式

瓦斯之燃燒方法，依瓦斯與空氣混合之處，以及預先混合空氣時一次空氣之量，可分為本生式、半本生式、紅火式、全一次空氣式等燃燒法。依器具結構用途不同，所需的一次空氣、二次空氣分配比例各有不同，燃燒所產生火焰之顏色、長度、溫度亦不同。家庭用瓦斯爐的燃燒器具大部分屬於本生式燃燒法，亦有全一次空氣式燃燒法，該兩種燃燒器其作用方式如下：

(一) 本生式爐具的燃燒方式

其燃燒器為金屬材質有鑄鐵、鑄銅、鋁合金等，爐頭一般以圓環形呈現，爐面上有均佈的孔供瓦斯混合氣燃燒產生焰錐，爐頭有整體式及可供分離型式。燃燒方式依瓦斯與空氣流路順序；一次空氣調節閘、噴嘴、混合管、爐頭與焰孔。瓦斯經噴嘴孔噴出之流動能產生吸

引效果，將一次空氣由空氣調節閘導入混合管，使瓦斯與空氣充分混合，再流至爐頭經由焰孔噴出而燃燒，此時再由火焰周圍獲取燃燒所需之空氣，稱為二次空氣。其空氣比率：一次空氣 40~70 %，二次空氣 60~30 %。燃燒產生火燄狀態的調節，依一次空氣流入量控制。憑肉眼可識別火焰顏色，判斷燃燒狀態是否良好。本生式燃燒器之火焰可分二部份，內焰具圓錐狀、淡藍色，又稱還原焰。外焰呈現在內焰外側錐狀、青藍色，屬氧化焰。火焰中最高溫度之位置在內焰錐上方。理論火焰溫度丙烷 2150 °C、丁烷 2200 °C。家庭用台爐的燃燒器具大部分屬於本生式燃燒法，備有空氣調節板，供調節火焰顏色及燃燒狀態，調節不當將產生紅火、浮火、回火等現象，降低燃燒效率並增加廢氣中一氧化碳含量。(圖 3-2) 為本生式燃燒器之空氣調節：



空氣調節板

瓦斯、空氣混合入口

一次空氣調節控制

圖 3-2 空器調節器

(二) 紅外線式陶瓷爐具的燃燒方式

紅外線陶瓷爐利用瓦斯燃燒加熱紅外線陶瓷片，在攝氏 900 度時，陶瓷片發紅並產生具有紅外線之輻射熱，供加熱鍋具。紅外線式陶瓷爐具其型式結構同金屬爐具，差異處在爐頭燃燒器之材質、形狀。陶瓷爐頭為砂孔性圓柱體，屬全一次空氣燃燒方式，所需空氣全部以一次空氣由喉管吸入並混合瓦斯，經點燃加熱陶瓷蓄熱體，後續混合瓦斯經高溫紅熱蜂巢孔爐頭，而在孔部位燃燒產生紅外線輻射的

發熱體，此型無火焰噴出，不需二次空氣。其構造除爐頭使用陶瓷材質，焰孔形同蜂巢外，其它燃氣通路作用方式同本生式。由於紅外線式瓦斯爐主要是靠輻射熱傳遞加熱鍋具，因此對流熱損相較於本生式瓦斯爐低，可提升熱效率值，且蓄熱體容積足夠，表面將無火焰產生。因不需二次空氣可降低爐架高度，同時紅外線式瓦斯爐類似無焰燃燒，較不易被風吹熄。設計上若無法達到完全燃燒所需之一次空氣量，將使 CO 排放量大幅增加，且陶瓷體過熱易使混合瓦斯在未經爐頭處產生回火，另陶瓷材質不良易產生破裂，因此陶瓷爐燃燒器之設計相當重要。實用上陶瓷燃燒器的設計與製造成本，大於金屬爐具燃燒器。(圖 3-3) 為紅外線式陶瓷爐燃燒器：



紅外線陶瓷爐

陶瓷爐結構

混合氣喉管入口

圖 3-3

(三) 金屬網的燃燒作用

金屬網需配合金屬爐頭口徑，以環狀圈之鐵框成型，外框設等間隔凹槽，供金屬線交叉編織成網狀圓形面的一層粗篩目，使用時置於金屬爐頭上，被火焰加熱產生紅熱線絲，但火焰碰觸線絲即產生紅火現象，呈現未完全燃燒狀態。由於薄薄一層線網，並未具有蓄熱功能，因此利用紅外線輻射熱有限，且線網燃燒易產生碳化物，不利燃燒效能，造成廢氣 CO 值偏高，在通風不良處易造成一氧化碳中毒。此附屬器具誣稱能提升本生式瓦斯爐熱效率，殊屬不當。

三、本生式與紅外線式燃氣爐具產品特性表（如表 2）

表 2

項目	項次	陶瓷爐頭（紅外線式）	金屬爐頭（本生式）
結構	爐頭形狀	圓柱體蜂巢狀，容積大	同心圓環型，柱孔排列
	進氣孔	固定式（火力調節不明顯）	可調式（火焰異常需調節空氣閘）
	爐頭材質	陶瓷土粉末燒結	銅、鑄鐵
	強度	陶瓷體爐頭受外力及高溫冷熱差易裂	爐頭金屬材質不易外力受損
	燃燒空氣	一次空氣（喉管入），瓦斯與空氣於燃燒器混合管進入	一次空氣（喉管入） 二次空氣（爐頭周圍）
燃燒特性	火焰形狀	爐頭紅熱體，無火焰顯現	火焰錐植於焰孔
	著火現象	陶瓷體初期預熱，待穩定期紅熱	直接顯現火焰
	熱的傳遞	主要輻射，傳導、對流次之	主要傳導、對流，輻射次之
	熱效率	可降低爐架提升	設計需洽當
	燃氣消耗量	小	較大
	燃燒溫度	800℃	1300℃
	火力變化	火力開關調節不易觀察	由旋鈕調節控制火苗長短、強弱及火焰顏色變化
	小火	蓄熱能力變弱，控制差，易熄	火焰易控制
	爐架	低（無二次空氣）	高（需二次空氣）
使用	價格	貴（陶瓷體）	爐頭成型簡便，價格便宜
	保養	網孔易受湯汁食物渣阻塞，不易清理，影響燃燒性能	可拆卸清洗
	使用環境	蓄熱體不易受風影響熄滅	火焰易受風不穩定致吹熄
	用途	紅外線輻射適用燒烤	本生式傳導、對流適用烹煮
	防護	需防燒結孔受湯汁物阻塞	異物阻塞易清除

肆、本生式與紅外線式爐具檢測差異性的探討

一、試驗用燃燒器具

- (一) 紅外線陶瓷爐具之陶瓷體爐頭，其圓徑 φ 15.5 cm。(圖 4-1)
- (二) 本生式雙環金屬爐頭，外環圓徑 φ = 11.7 cm，內環圓徑 φ = 4.7 cm。
(圖 4-2)
- (三) 金屬網，護圈 φ = 15.5 cm。(圖 4-3)

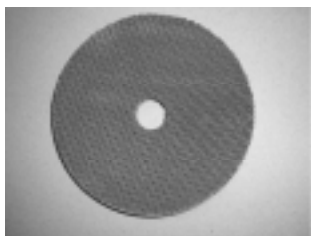


圖 4-1 陶瓷體爐頭



圖 4-2 金屬爐頭



圖 4-3 金屬網

二、檢測儀器

以檢測燃氣消耗量及 CO %為主，計：磅秤、標準鍋、廢氣收集器、燃氣分析儀。

三、檢測項目與過程分析

- (一) 紅外線式陶瓷爐具燃燒狀態蓄熱體的顏色觀察及燃氣壓力不同之關係？
結果：
 1. 顏色觀察，在燃氣壓力 280 mmH₂O 其燃燒狀態呈現如下：
點火前→點火後初期（未紅）→1 分鐘（漸紅）→2 分鐘（紅）→5 分鐘（穩定紅）(圖 4-4)



點火後初期 點火後 2 分鐘 點火後 5 分鐘

圖 4-4

2. 燃氣壓力不同，配合燃氣壓力的變化，各壓力點燃燒 5 分鐘後，陶瓷蓄熱體穩定之燃燒狀態顏色。壓力 mmH₂O 設定點計：220→240→260→280→300→320（圖 4-5）



220 mmH₂O 280 mmH₂O 320 mmH₂O

圖 4-5

分析：

1. 紅外線式陶瓷爐具，係全一次空氣與瓦斯混合燃燒，無明顯火焰呈現，主要燃燒狀態，顯現在初期 2 分鐘燃燒及 5 分鐘後穩定燃燒，陶瓷蓄熱體紅色明暗之差異（圖 4-4），此與本生式可由旋鈕開關控制火力大小及一次空氣調節火焰長度與顏色，判定不同。
2. 由肉眼觀察在 240~320 mmH₂O 壓力，陶瓷爐體燃燒內環產生明顯變化，在 220 mmH₂O 以下，其蓄熱體內環紅色火焰顯有不足（圖 4-5），此乃內環噴嘴孔徑較外環小，陶瓷體受熱不足。
3. 檢測結果，顯示陶瓷爐頭火力大小控制的火焰燃燒狀態之判別，顯然不及金屬爐頭可由火焰大小及顏色明確調控最佳燃燒狀態。

(二) 探討陶瓷爐頭與金屬爐頭，在點火燃燒初階段及點火後穩定階段，執行熱效率檢測，此二型爐頭分別於二階段測試，所產生的熱效率值，是否有差異？

註：在同環境及時間下，家用燃氣台爐在熱效率的計算其公式如下：

$$\eta = \frac{M \times C(T_2 - T_1)}{V \times Q}$$

結果：紅外線陶瓷爐具與本生式金屬爐具，在燃燒狀態熱的呈現不同，初始狀態亦有差別。本生式金屬爐具點火後，立刻產生熊熊火焰，紅外線陶瓷爐具點火後其蓄熱體，漸由暗紅達到火紅或轉黃紅，此現象在熱效率的檢測有明顯差異。由(表 3)該兩種爐具在燃燒起始階段及燃燒穩定狀態熱效率檢測值：

表 3 本生式、紅外線式不同階段熱效率值測試

	ΔT (°C) 溫升	ΔV (l) 燃氣消耗量	$\eta = \frac{M \times C(T_2 - T_1)}{V \times Q}$ 熱效率
紅外線式陶瓷爐 (燃燒初階段檢測)	52	8.94	47.8 %
紅外線式陶瓷爐 (燃燒穩定階段檢測)	52	8.33	51.5 %
本生式金屬爐 (燃燒初階段檢測)	51	19.52	47.3 %
本生式金屬爐 (燃燒穩定階段檢測)	51	18.59	49.5 %

備註：

檢測方式依 CNS 13602。

紅外線式陶瓷爐燃氣消耗量規格：0.167 kg/h (鍋徑 20 cm，水質量 2 kg)。

本生式金屬爐燃氣消耗量規格：0.298 kg/h (鍋徑 26 cm，水質量 4.4 kg)。

ΔT ($T_2 - T_1$): 水質量溫升 (溫升至 50°C 熄火溫度值)。

ΔV : 燃氣消耗量。 C: 水比熱 = 1 kcal/kg°C。

丙烷熱值：24320 kcal/m³N 燃氣壓力：280 mmH₂O

分析：

1. 紅外線式陶瓷爐熱效率值，於燃燒初始階段測試 $\eta = 47.8\%$ ，於燃燒穩定階段測試 $\eta = 51.5\%$ ，顯示燃燒穩定階段熱效率值 $>$ 初始階段，計提升 3.7% 。
2. 本生式金屬爐熱效率值，於燃燒初始階段測試 $\eta = 47.3\%$ ，燃燒穩定階段測試 $\eta = 49.5\%$ ，顯示燃燒穩定階段熱效率值 $>$ 初始階段，計提升 2.2% 。
3. 依 1、2 項比較，紅外線式陶瓷爐其蓄熱體達穩定燃燒狀態，其熱效率值優於本生式金屬爐， $3.7\% > 2.2\%$ 。
4. 國家標準 CNS 13602 熱效率值測試方法，以初始階段之方式測試，對陶瓷爐具的熱效率測試值而言，與穩定燃燒明顯落差較大。另對兩者爐具而言，穩定燃燒狀態之熱效率測試值，大於初始階段測試值（如表 3）。

註：基本上爐具熱效率的提升，除設計時需符合最佳燃燒狀態，使用上鍋架的高低、材質及鍋徑的大小亦影響熱效率值。

(三) 陶瓷爐頭屬一次空氣燃燒方式，量測該爐具未使用遮罩及使用遮罩前後 CO % 差異值？

結果：圖 4-6（遮罩高 5 cm，周長匹配鍋口徑，遮置於火焰位置）。

1. 陶瓷爐頭未使用遮罩 CO % 值 0.032~0.043
2. 使用遮罩 CO % 值 0.056~0.085

分析：兩者相較，遮罩後 CO % 值略微升高，顯示空氣進氣量不足，其原因有二：一為燃燒器出口通路受阻，造成背壓影響一次空氣進氣量。另一為陶瓷蓄熱體通道出口因燃氣壓力之流速，於陶瓷面仍有火苗產生，需有部份二次空氣補充助燃。

不完全燃燒化學式： $2C + O_2 \rightarrow 2CO$

增加空氣（氧）完全燃燒化學式： $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$



蓄熱體周圍加遮罩 蓄熱體表面火環

圖 4-6

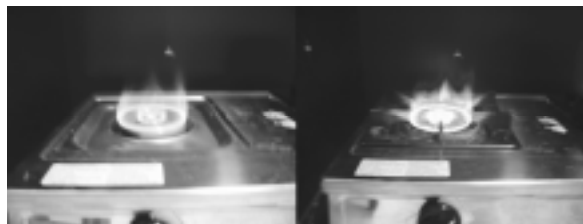
(四) 金屬爐頭加置金屬網與未加置時之 CO 差異值？

註：其理論乾燥燃燒廢氣 CO%計算式：

$$CO = CO_a \times \left[\frac{O_{2t}}{O_{2t} - O_{2a}} \right]$$

結果：圖 4-7

1. 實測金屬爐頭： $CO_a = 160 \text{ ppm}$ ， $O_{2a} = 16.5 \%$ ，計算： $CO = 0.074 \%$
2. 加置金屬網： $CO_a = 772 \text{ ppm}$ ， $O_{2a} = 15.8 \%$ ，計算： $CO = 0.31 \%$



金屬爐頭正常燃燒現象 加金屬網燃燒現象

圖 4-7

分析：

1. 顯示加置金屬網造成不完全燃燒，其現象為火焰碰觸金屬網產生碳化物，呈現不完全燃燒之紅色火焰及紅熱線網，與國家標準 CNS 13602 之規定 CO % 值 0.14 % 以下不符，有別於金屬爐頭燃燒器 CO 值 0.074 % 之燃燒現象。
2. 金屬爐頭屬本生式二次空氣燃燒方式，雖然金屬網之密度符合紅外線

熱的利用，能產生部份紅外線熱，但無法產生蓄熱體。於金屬爐頭上加置金屬網，造成金屬網及護圈阻礙二次空氣的提供，不利本生式金屬爐頭燃燒效能。

伍、結論

欲利用燃燒火焰轉為紅外線蓄熱體之爐具，其陶瓷體基本上要有一定體積厚度及具多孔狀燒結體材質，供瓦斯燃燒熱型式的轉換，此與金屬爐頭火焰燃燒顯現之熱型式有所不同，另欲利用金屬網作為改變亦不同。陶瓷體厚度不足表面將產生火焰及發紅的蓄熱體共生，此紅色火焰顯示未完全燃燒之現象。本主題探討本生式與紅外線式瓦斯爐具，燃燒器結構不同，呈現不一樣燃燒熱的運用。基本上長期於市面銷售之爐具，無論本生式、紅外線式皆需有好的燃燒設計，基於型式不同，其使用功能特色及價格亦有差異，供消費者選項。另一貫名紅外線金屬網，置於本生式金屬爐頭上火焰熱型式的轉換，其配置環圈已阻隔二次空氣之疑，且線絲經火焰接觸產生碳化現象，亦造成不完燃燒 CO 的增加。探討過程裡本生式金屬爐燃燒放熱是立即性，而紅外線陶瓷爐需有預熱期，隨後穩定燃燒，才能產生較佳燃燒效率。另基於家用瓦斯台爐熱效率的檢測或能源標章的取得，由點火開始計算的熱效率，及穩定燃燒後熱效率的計算，其 η 值是有一些差異，值得實驗室檢驗該項目的斟酌及標準的界定。

陸、參考資料

1. CNS 13604 家庭用燃氣炊煮器具/修訂版 92 年 9 月 9 日。
2. 瓦斯工程基礎學/吳瑞禮編著/版次 74 年 12 月。
3. 遠紅外線健康法/青春出版社/著者：山崎敏子/81 年 4 月。