

第三章 結果與討論

在實驗之前先點燃火燄將整體設備加熱，這是為了縮短到達穩態的時間，雖然白金對氫氣的催化效應在室溫下就可以進行，可是就以 case 1 ($\Phi = 1$ 、 $u_{in} = 0.2 \text{ m/s}$) 的情況來說，須花費三個多小時才讓壁溫從室溫 ($\sim 25^\circ\text{C}$) 上升到 $\sim 34^\circ\text{C}$ ，並且溫度上升的速度在此時也略趨緩慢。但若先將設備加熱後讓壁面冷卻至約三十多度再通入燃氣，則可以在二十幾分鐘左右建立起接近穩定的溫度場。此間之差異性可能是因為反應在低溫時反應慢、放熱少，而整體實驗設備的熱容大，又有熱量散失，所以造成溫升頗為緩慢，但若設備先行加熱後再冷卻，則設備的熱容量已因先加熱而補足，所以反應產生的熱量可使溫升較快也進而促進反應變快。綜合上述，為縮短到達態的時間，遂先點燃氫火焰將整體設備加熱至 $\sim 100^\circ\text{C}$ 後熄掉火焰再通入所要量測的燃氣。

對於實驗中各燃氣條件（如表一）的結果，分為流場溫度和壁面溫度兩部分，對不同的燃氣條件作以下討論。

3.1 壁面溫度

首先從圖四壁面溫度圖中可以看出，各燃氣條件的結果都無局部的高溫點出現，意即壁面溫度分佈中並沒有發現引燃氣相火焰反應。另外分析圖四的結果可以發現，當量比高時會有較高的壁溫，並且相同的當量比下，進口速度較大也會有較高的壁面溫度。若以氫氣體積流率的角度來看，在空氣足夠反應的前提下，增加氫氣的體積流率會使壁面與燃氣整體溫度增加。

在 case 2 ($\Phi=0.5$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 3 ($\Phi=0.35$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 4 ($\Phi=0.35$, $u_{in}=0.27$ m/s) 的結果顯示，最高的壁溫是在燃氣的入口處 10mm 的區域內，此現象與 Dupont et al.[14]的實驗結果（圖五所示）有相似之處。這可能是因為在入口時燃氣已開始快速反應而放出熱量，雖然此處的邊界層較薄、熱對流係數較大，燃氣帶走較大的熱量，但快速反應所放出的熱量仍足以使此區域的壁溫上升。然而在下游處因為上游處已消耗掉大量的氫，所以燃氣的當量比已變得相對較低，因此縱使熱對流係數下降而減少傳到氣流的熱量，但是因反應變弱而無法放出足夠維持壁面溫度的熱量，而造成下游壁溫都程緩緩下降的情況。

在 Case 1 ($\Phi=1.0$, $u_{in}=0.2$ m/s) 中，燃氣入口處的壁溫情況與 case 2 ($\Phi=0.5$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 4 ($\Phi=0.35$, $u_{in}=0.27$ m/s) 頗為類似，但是 case 1 較下游端的壁溫也會逐漸上升。此現象指出在入口

附近的壁面反應可能與 case 2 和 case 4 的反應情況差不多，然而因為 case 1 的當量比較高，燃氣中仍有足夠的氫氣可以繼續讓較下游處的壁面反應，使壁溫有足夠的熱量繼續上升。

另外從 case 5 ($\Phi=0.15$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 6 ($\Phi=0.15$, $u_{in}=0.43$ m/s)、case 7 ($\Phi=0.15$, $u_{in}=0.59$ m/s) 的結果中發現，在 $\Phi=0.15$ 的低當量比時，壁溫會沿燃氣流向緩緩增加，這現象可能是因為在這個時候的燃氣條件使壁面上的反應較慢，因此在進口處氫氣消耗率較低（可由其較低的壁溫得知），因此下游處仍有反應在進行。此外熱對流係數（convection coefficient）沿著板面也會減少而使得下游處的壁面熱量較不易傳入燃氣中，再加上整體溫度還不高，所以熱輻射散失的熱量不多，因此壁面有熱量來使溫度緩緩增加。

在相同的氫氣體積流率方面，可從 case 2、case 4、case 7（氫氣體積流率皆為 $0.244 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ）的比較與 case 3、case 6（氫氣體積流率為 $0.178 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ）的比較來探討。由結果可以看出相同的氫氣體積流率在搭配不同的空氣體積流率時，會有不同的結果。當空氣較少時溫度會較高，因為如此不僅會增加當量比，也增加燃氣駐留時間，並且較少的空氣量似乎也意味著較少的氣流在冷卻壁面的效果，即整體燃氣流速慢而使邊界層較厚，因而減少熱傳量。

然而從 case 1、case 2 與 case 4 此三種燃氣條件來看，觸媒反應在燃氣入口處附近的壁溫情形看來是差不多的。雖然 case 1 平均溫度最高，但是在 case 4 與 case 2 的入口處壁面溫度有些高於 case 1 的入口處壁面溫度，由此情況可推估觸媒反應的最佳反應當量比可能介於

0.35~0.5 之間，或說在此實驗中以氫氣體積流量 $\sim 0.243 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 時，對入口端附近之壁面有較佳的反應條件。此發現呼應 Bui et al. [10] 所論述的，對於表面反應的當量點 (stoichiometric point) 是 $\sim 15 \text{ vol.}\%$ H_2 的燃氣，即 $\Phi \sim 0.4$ 時為表面反應的當量點，而不是在 $\Phi = 1.0$ 的時候。並且從圖四也發現到，比較 case 2 與 case 4 在進口處 10mm 區域內的溫度情形差不多，由此推估其反應速率可能差不多，亦即當氫氣體積流率在 $0.179 \times 10^{-4} \sim 0.243 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 時，可能是單位壁面面積對氫氣消耗率的極值，也因此雖然 case 1 的氫氣體積流率大於 case 2 與 case 4，可是其壁面溫度分佈的情形在入口處仍與 case 2 與 case 4 差不多。

據文獻[4] 所示，在壁面進行觸媒催化反應時，其溫度可達絕熱火焰溫度，而本實驗的燃氣當量比為 1.0、0.5、0.35、0.15，其對應的絕熱火焰溫度分別約為 2526K、1648K、1312K、783K。比較實驗量得各當量比燃氣的壁面溫度結果時，會發現其間有相當大的落差，僅有低當量比 ($\Phi = 0.15$) 的 case 5 和 case 6 之結果 (最高壁溫 $\sim 650\text{K}$) 較接近該當量比下的絕熱火焰溫度 ($\sim 783\text{K}$)。這原因除了表面的特性可能有所影響外，就是設備的絕熱性不足，使得熱量散失而溫度無法提升。而低當量比時，因為壁溫與環境的溫差較小，所以散失的熱量相對較少，因此在下游壁面溫度較其他當量比之燃氣結果來得接近絕熱火焰溫度。

3.2 流場溫度

燃氣流場的溫度分佈結果繪製圖形為圖六到圖十二，從中可看出流場有類似溫度邊界層的情形，熱量乃由溫度較高的壁面傳向較低溫的流場氣體，並且所有的結果中均未有引燃的現象發生。另外在 case5 的結果圖形中可以看出，當量比在 0.15 時壁面即有反應發生，所以觸媒反應在低於氣相可燃的當量比（文獻[11、27]中指出可燃當量比 ~ 0.28 ）下仍可進行反應。

若從比較 case 5 ($\Phi=0.15$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 6 ($\Phi=0.15$, $u_{in}=0.43$ m/s)、case 7 ($\Phi=0.15$, $u_{in}=0.59$ m/s) 之結果與比較 case 3 ($\Phi=0.35$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 4 ($\Phi=0.35$, $u_{in}=0.27$ m/s) 之結果，則可看出燃氣進口速度對溫度場的影響，從中發現在相同的當量比時，流速增加則溫度分佈會隨之增加。然而當流速增加燃料量亦隨之增加，但也減少駐留時間而使反應時間變短，在這兩種效應似乎以前者影響較大，此原因或許是實驗中所用的流速均不大，駐留的時間均足夠反應所致。

當固定出燃氣進口速度，比較不同當量比之影響時，可以從 case 1 ($\Phi=1.0$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 2 ($\Phi=0.5$, $u_{in}=0.2$ m/s)、case 3 ($\Phi=0.35$, $u_{in}=0.2$ m/s) 與 case 5 ($\Phi=0.15$, $u_{in}=0.2$ m/s) 中發現，當量比越高其溫度分佈也會變高，尤其燃氣於測試區出口的溫度在 case 1 與 case 2 的情況下，已相當接近壁面溫度。

然而溫度場分佈圖中，在流場中央的溫度有反升或曲線不平滑的

情形，顯示其對稱性不佳，這可能是因為熱電偶在量測時受到陶瓷棒的熱傳影響，或是壁面的一些不均勻性所造成，對其改善方式可能需要調整熱電偶之架設方式以及壁面製作時之均勻性(包括加工時的板面厚度、電鍍的白金厚度、隔熱效果等)。

