

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

電熱式觸媒轉化器應用於機車引擎冷起動過程之研究
Motorcycle Engine with an Electrically Heated Catalytic
Converter under Cold Start Conditions

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2212-E-168 -013

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

計畫主持人：洪榮芳

共同主持人：

計畫參與人員：許天秋 林智鉉 何柏村 廖政勳 劉忠益 邱韋丞

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：崑山科技大學

中華民國 92 年 9 月 16 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

電熱式觸媒轉化器應用於機車引擎冷起動過程之研究

Motorcycle Engine with an Electrically Heated Catalytic Converter under Cold Start Conditions

計畫編號：NSC 91-2212-E-168-013

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：洪榮芳 崑山科技大學機械工程系

計畫參與人員：許天秋 林智鉉 何柏村 廖政勳 劉忠益 邱韋丞
崑山科技大學機械工程系

一、中文摘要

本文主要目的在於針對機車引擎冷車起動過程，預熱式觸媒轉化器的加熱功率及加熱位置對於污染排放的影響進行實驗研究。在引擎冷起動過程中，引擎及觸媒均未達工作溫度，故以預熱方式提升觸媒溫度，使觸媒提早反應，達到改善觸媒轉化效果的目的。

實驗參數除了加熱溫度及 CO 設定濃度外，另亦加入加熱功率及加熱位置等。設定加熱溫度範圍包括 100°C、140°C 及 180°C 等；加熱塞分別以 240W、360W 及 480W 三種不同加熱功率及六種不同加熱位置組合進行研究。另外，具有儲熱材料的觸媒轉化器反應特性亦為探討對象之一。

由實驗測試結果得知，以較高的 CO 設定濃度，使觸媒達自行反應狀態所需之加熱塞加熱能量越低。總輸入能量越高，CO 的轉化效率越高。於觸媒前端加熱者，CO 的轉化效率越高。以較高的排氣加熱溫度配合較高的 CO 設定濃度，均可使觸媒達到自行反應的狀態。

關鍵詞：機車引擎、冷車起動、電熱式觸媒轉化器、輸入能量

Abstract

The heat from heaters and oxidation of unburnt gases on the emissions of an electrically heated catalyst of a motorcycle engine was investigated in cold start conditions.

The studied parameters were heating position, heating temperature, and CO setting

level. The heating temperature included raw temperature, 100°C, 140°C and 180°C. Six different heating positions were adopted. The catalyst with and without heat storing material was also investigated.

The experimental results showed that the heating energy requirement from the heaters for the self-initiated reaction of the catalyst was lower for the higher CO setting level. The higher total input energy will lead to higher CO conversion efficiency; higher CO conversion efficiency was also obtained by heating in the inlet of the catalyst. Furthermore, higher heating temperature with higher CO setting level was easier to achieve the self-initiated reaction of the catalyst.

Keywords: Motorcycle engine, cold start, electrically-heated catalyst, input energy

二、緣由與目的

我國機車產業排名世界第四位，並將於 2004 年起開始實施冷車起動的污染法規測試模式。我國現行的空氣污染防治法規，在機車部份仍為熱車測試，即機車引擎在起動之後先以定速行駛暖車之後，再進行污染排放的取樣測試。引擎在冷車起動及暖車期間，因為引擎及觸媒轉化器均未達正常工作溫度，極易因燃料揮發不良與油氣混合不佳而造成燃燒不完全，導致引擎的污染排放。所以引擎的污染排放有大部分是來自於冷車起動過程所排放，所以針對冷車過程污染排放的改善是相當重要的。

國內在於引擎冷啟動污染排放方面的研究仍不多。杜啟綸等人[1]曾針對機車引擎在冷起動之的惰轉狀況及 ECE-40 行車型態的污染排放進行研究；洪榮芳等人[2-9]以配備有電熱式觸媒轉化器的四行程機車引擎為載具，進行冷起動過程污染排放特性研究，發現冷起動期間觸媒預熱，以較高的 CO 排氣濃度的設定值，可使觸媒快速達反應溫度，引擎的污染排放亦可獲得明顯的改善；但在較低的設定 CO 排放濃度下，即使經過多次預熱，觸媒仍無法達反應溫度。Boam 等人[10]針對汽車引擎冷起動及暖車過程中碳氫化合物的來源進行探討；Ludykar 等人[11]則分別在環境溫度 22°C、-7°C 及 -20°C 等狀況下，探討三元觸媒轉化器汽車的冷起動污染排放特性；Umehara 等人[12]探討冷車起動的污染排放，以點角度的延後使排氣溫度升高，藉以使未燃氣在排氣管中再反應，以降低排氣污染。Joumard 等人[13]以小引擎探討多種行車型態(Driving patterns)對於冷車與熱車污染排放的影響，發現引擎的污染排放受到冷車起動影響的里程超過 3.5 公里以上。Lafyatis 等人[14]則針對使冷車快速升溫的方法進行研究，他們所採用的方法是提高排氣中 CO 濃度的排放，使排氣溫度快速提升，因為 CO 的氧化放熱可協助觸媒轉化器的快速升溫。Kirchner 等人[15]則發展出一套數學模式來研究觸媒轉化器的冷車啟動特性，在計算結果中提供了相關幾何尺寸及加熱控制策略。Bissett 等人[16]亦建立一套電腦模式，來模擬加熱式觸媒轉化器，結果發現在各種設計尺寸下均有其最佳的加熱器設計尺寸。

本研究主要係針對電熱式觸媒轉化器於機車引擎冷啟動狀況下，以各種 CO 設定濃度及不同的加熱溫度，在不同的加熱位置、不同的輸入能量等條件下，探討其對於未燃氣的轉化特性，促使觸媒轉化器溫度迅速提升、並快速達致正常轉化效果。

三、實驗方法及步驟

1. 實驗設備

本研究所採用的主要實驗設備包括，150c.c. 四行程機車、機車車體動力計（德國 MAHA LP2000 型）、廢氣分析儀（日本

Horiba MEXA 554JA）、排氣預熱系統、數據擷取系統、空氣流量計及燃料流量計等。排氣預熱系統包括加熱塞、熱電偶、溫度控制裝置及繼電器等。觸媒轉化器係經改裝成可裝置加熱器及熱電偶探針等，如圖 1 所示。

2. 實驗方法

本實驗控制參數為加熱位置及排氣加熱溫度與 CO 設定濃度，其中排氣管內觸媒轉化器前段進口處及中段各安裝兩支加熱塞，通以 12V 電壓進行加熱，電流約為 10 安培。實驗進行之前先行預熱 5 秒，再發動引擎。排氣管內於觸媒轉化器上游氣流中裝上一熱電偶探針，感測進入觸媒轉化器的排氣溫度；在觸媒轉化器下游出口中裝上一熱電偶探針，感測觸媒轉化器出口的排氣溫度，並回授給加熱控制器，以控制加熱器電路，使排氣溫度維持在設定溫度之上。每次實驗於引擎起動前 20 秒啟動數據擷取系統，開始記錄引擎的運轉資料，經過 800 秒之後停止記錄，此即完成一次引擎冷車起動過程的測試。

實驗於冷車起動狀況下進行測試，並同時量測排氣溫度、加熱塞通電電壓、電流及排氣污染等。冷車測試每次的間隔時間必須在六小時以上，待引擎各部位溫度均已回到室溫才可再進行下一次的冷車測試。

3. 相關計算

輸入能量計算

$$E_{heat} = P \times t$$

$$E_{CO} = h_{CO} \times \Delta m_{CO}$$

$$\dot{Q}_{heat_gas} = \dot{m} \times c_p \times (T_2 - T_1)$$

其中， E_{heat} 為加熱器所提供的熱量， P 代表加熱功率， t 為加熱時間； E_{CO} 為 CO 經過觸媒反應之後所釋放出的熱量， h_{CO} 為單位質量 CO 的反應熱，總輸入熱量為 E_{heat} 與 E_{CO} 之和； Δm_{CO} 為經過觸媒前後 CO 的反應量，經由燃料消耗率與化學平衡式計算而得。 \dot{Q}_{heat_gas} 為加熱於進出觸媒排氣的熱傳率， \dot{m} 為經過觸媒的氣體流率， c_p 為氣體的等壓比熱， T_1 及 T_2 分別為觸媒進出口溫度。因為四行程引擎 HC 排放濃度很

低，故本文未予考慮。

四、結果與討論

在引擎冷起動期間，在各種 CO 設定濃度及加熱溫度下，輸入熱量與觸媒出口排氣溫度的變化，及輸入熱量與觸媒轉化特性的關係，為本文所要探討的重點。

圖 2~圖 5 所示加熱位置為 A+B，排氣加熱溫度為 100°C 及 180°C，CO 設定濃度為 1.3% 及 2.3% 的條件下，對於排氣的加熱量與觸媒出口溫度的關係探討。首先，圖 2 所示為排氣加熱溫度設定為 100°C，CO 設定濃度為 1.3% 者之加熱塞與 CO 氧化放熱對於排氣加熱量與觸媒進出口溫度關係分析。由圖中可知，在約 250 秒之前，亦即由加熱塞提供熱量期間，對排氣的加熱率最高約達 0.1kJ/s。之後，加熱塞電源即未再起動加熱，往後的熱量皆來自於未燃氣的氧化放熱所致，但在此一情況下，觸媒出口溫度均低於 125°C 以下，根本未達反應溫度，無有來自於未燃氣的反應熱，所以觸媒出口溫度逐漸與觸媒進口溫度趨近，而且對排氣的加熱量也快速下降。此等條件下，觸媒均未達自行反應溫度。接著再看圖 3，排氣加熱溫度同為 100°C，CO 設定濃度為 2.3% 的條件下，對於排氣加熱量與觸媒進出口的溫度關係圖。由圖可知，加熱塞所釋出的熱量影響約在 250 秒之前，之後即由未燃氣的氧化熱所主宰。亦即，對排氣的加熱量在經過峰值之後即逐漸下降，但約於 500 秒，排氣溫度達 170°C 之後，反應熱即快速上升，所以觸媒出口溫度上升率在稍微趨緩之後即同步快速上升。此時，加熱電源並未起動，所以加熱能量皆來自於未燃氣的反應熱，亦即，此等設定條件下，觸媒已達自行反應溫度。再看圖 4，排氣加熱溫度設定為 180°C，CO 設定濃度為 1.3% 的情況下，排氣加熱量與觸媒進出口的溫度關係分析。由圖中可知，排氣所獲得最大加熱功率約在第 350 秒，此時加熱塞電源已切斷，但其加熱於觸媒本體的熱量仍繼續影響排氣氣流，故出口排氣溫度在電源切斷之後仍繼續上升，亦約在 350 秒時達到峰值，隨後即逐漸下降。在達 600 秒附近觸媒出口排氣溫度低於設定加熱溫度，而再次起動

加熱電源，使排氣溫度再次提升，但觸媒仍未達自行反應狀態。圖 5 所示排氣加熱溫度同為 180°C，CO 設定濃度為 2.3% 情況下，排氣加熱量與觸媒進出口溫度的關係。由圖中可知，加熱塞電源於 265 秒切斷，觸媒出口排氣溫度上升率於第 340 秒趨於緩和，但並未因此下降，仍維持上升趨勢。排氣所獲得的熱量亦於 340 秒時達到峰值，在稍微下降之後即維持在約 0.17 kJ/s 的加熱功率。此一時段之後的加熱全由排氣中未燃氣的反應熱所提供，亦即，觸媒已達自行反應狀態。

圖 6~圖 9 加熱位置分別為 A+B 及 C+D，排氣加熱溫度為 100°C 及 180°C，CO 設定濃度為 1.3% 及 2.3% 狀況下，觸媒出口之排氣溫度與 CO 排放濃度的關係探討。首先看圖 6 所示加熱位置為 A+B，CO 設定濃度為 1.3% 者，排氣溫度分別為 100°C 及 180°C 的 CO 污染排放與觸媒出口排氣溫度的關係。由圖中可知，加熱溫度為 100°C 者，約在 220 秒之後 CO 即維持在未反應的 1.3% 濃度，觸媒出口排氣溫度當然也遠低於觸媒反應的溫度。加熱溫度為 180°C 者，其排氣溫度雖然曾高達約 200°C，CO 排放濃度於初期亦短暫維持在 0.3% 的濃度，但在排氣溫度低於 180°C 之後，排放濃度亦再度攀升。於加熱塞二次加熱，排氣溫度上升之後，CO 濃度再度降低。再看圖 7 所示，加熱位置為 C+D，CO 設定濃度同為 1.3%，排氣溫度分別為 100°C 及 180°C 的 CO 污染排放與觸媒出口排氣溫度的關係探討。由圖中可知，此一狀況的溫度上升率較 A+B 者大，但溫度下降也較快速，在溫度達第一次峰值時，CO 也達到最低點，但隨後溫度又快速下降至 100°C 以下，CO 恢復至未反應的濃度，加熱塞電源再次起動，但溫度只微幅上升之後，即再下降而穩定在約 115°C 附近，CO 當然也恢復至未反應的 1.3%。加熱溫度為 180°C 者，其排氣溫度上升率亦明顯較大，但在達到第一次 210°C 的峰值之後，即快速下降至設定加熱的 180°C 以下，即使再次加熱使溫度上升，但在加熱電源切斷之後，溫度仍快速下降，即使加熱器的多次起動，仍無法使觸媒達自行反應的溫度。此即表示，在此一 CO 設定濃度下，其未

燃氣的反應熱尚不足以使觸媒維持在反應狀態，故應使用較高的 CO 濃度，才可以在加熱塞不必持續提供電源的情況下，使觸媒維持在自行反應溫度之上。

接下來所要探討的，即是採用較高的 CO 濃度—2.3%者。加熱位置分別為 A+B 及 C+D，排氣加熱溫度為 100°C 及 180°C 等，探討觸媒的反應特性。首先圖 8 加熱位置為 A+B，排氣加熱溫度分別為 100°C 及 180°C 的觸媒反應特性。由圖可知，加熱溫度為 100°C 及 180°C 者，其排氣溫度呈現持續上升的趨勢，因為 100°C 者的溫度較低，加熱結束之後，時間約在 270 秒時，排氣溫度大約只為 140°C 左右，隨後溫度上升稍微趨緩，但隨即又持續攀升至 200°C 以上，而且未再有下降的趨勢。CO 污染排放於 400 秒附近曾回升至約 1.0%，隨後即逐漸下降，最終亦降至 0.1% 以下。亦即，此時觸媒已達到自行反應的溫度，未燃氣的氧化使排氣溫度持續上升。加熱溫度為 180°C 者，溫度上升於第 300 秒時稍微趨緩，但隨後即持續上升，且無須加熱塞再次加熱。CO 污染排放於第 180 秒之後即降至 0.5% 以下，並持續降至 0.1% 以下。圖 9 所示則加熱位置為 C+D，排氣加熱溫度為 100°C 及 180°C 等，觸媒反應特性的比較探討。加熱溫度為 100°C 者，在溫度於 170 秒達到峰值之後，隨即快速下降，於 400 秒左右達最低點，至約 490 秒之後才又緩慢上升，但上升率並不大，在 800 秒時只達到 126°C，遠低於觸媒自行反應溫度，所以於 400 秒之後，CO 回到無反應的濃度。加熱溫度為 180°C 者，加熱器所提供的熱量影響所及至約 200 秒，溫度達約 220°C，之後溫度即轉為緩慢持續上升，加熱塞即未曾再起動電源加熱。在冷起動增濃結束之後，CO 污染排放也均維持在 0.4% 以下，亦即此時觸媒已達自行反應溫度，無須加熱器提供熱量，即可自行維持在反應溫度之上。

圖 10 所示為加熱位置為 A+B，排氣加熱溫度分別為 100°C、140°C 及 180°C 等，在不同 CO 設定濃度下的加熱能量與 CO 氧化釋放能量之比較分析。由圖中可知，CO 設定濃度越高，CO 氧化所釋放出的能量也越高；加熱溫度為 100°C 及 140°C 者，加

熱能量與 CO 設定濃度的變化並不明顯，但加熱溫度為 180°C 者，CO 設定濃度為 1.0% 者所需的加熱能量最高，CO 設定濃度為 1.3% 者次之，CO 設定濃度為 1.8% 及 2.3% 者則為最低，且兩者極為接近。由此可見，CO 設定濃度越高，所需加熱能量則越低，但當 CO 設定值高達某一濃度，其所提供的氧化熱量明顯增加後，則可降低來自加熱器的熱量。此一研究中，CO 設定濃度 1.8% 以上，未燃氣所提供的熱量應該即足以降低來自於加熱器的熱量。

圖 11 及圖 12 所示為 A+B、B+C、C+D 及 A+B+C+D 等加熱位置，加熱溫度為 100°C、140°C 及 180°C，CO 設定濃度分別為 1.3%、1.8% 及 2.3% 等條件下，平均 CO 排放濃度與平均 CO 轉化效率與總輸入能量的關係。其中，圖中所示，在同一加熱位置及相同加熱溫度下三點數據為一組，代表不同的 CO 設定濃度，分別為 1.3%、1.8% 及 2.3%，輸入能量較少者為較低 CO 設定濃度者。由圖 11 可以看出，以整體趨勢觀之，呈現出總輸入能量越高，平均 CO 濃度越低的趨勢；另外，加熱位置在中段，包括 C+D 及 B+C，加熱溫度越低者，如 100°C，CO 排放濃度最高；集中於前端加熱者，如 A+B+C+D 及 A+B 等，三種加熱溫度下均有極低的 CO 污染排放濃度；另外，加熱溫度 180°C 者配合 2.3% 的 CO 設定濃度，亦有較低的 CO 污染排放。再對照圖 12 所示的平均 CO 轉化效率可知，與圖 11 所示的平均 CO 污染排放濃度相呼應。以整體趨勢觀之，呈現總輸入能量越高，平均 CO 轉化效率越高的趨勢；集中於前端加熱者，如 A+B+C+D 及 A+B 等，均有極高的平均 CO 轉化效率；另外，加熱溫度 180°C 配合 2.3% 的 CO 設定濃度，亦有較高的平均 CO 轉化效率。

接下來要探討的為，圖 13 及圖 14 所示為 CO 設定濃度為 2.0%，排氣加熱溫度分別為 140°C 與 180°C 的情況下，觸媒具有儲熱材料與無儲熱材料的排氣溫度與 CO 污染排放的比較。由圖 13 可知，具有儲熱材料者，溫度上升較慢，但在加熱電源切斷之後溫度下降較不明顯，無儲熱材料者，在加熱溫度為 140°C 的情況下，其排氣溫度甚至降至 170°C 以下。對照圖 14

所示，具有儲熱材料者，CO 污染排放下降速率雖然較慢，卻都呈下降的趨勢，最終達 0.3% 以下的濃度；反觀無儲熱材料者，加熱溫度不論是 140°C 或 180°C 者，CO 污染排放均於初始達到最低值之後，再度回升至 0.8% 以上。由此可見，具儲熱材料者，其儲蓄的熱量將於加熱電源切斷之後釋放出來，具有維持觸媒於反應狀態的作用。

五、成果自評

針對四行程機車電熱式觸媒於冷起動期間的污染排放特性進行研究，獲得以下結論：

1. 以較高的 CO 設定濃度，使觸媒達自行反應狀態所需之加熱能量越低。
2. 總輸入能量越高，CO 的轉化效率越高。
3. 於觸媒前端加熱者，輸入的能量越多，對於 CO 的轉化效率也越高。
4. 加熱溫度設定在 180°C 配合 2.3% 的 CO 設定濃度，不論在觸媒前端或中段加熱，均可達到觸媒自行反應的狀態。
5. 具儲熱材料者，其儲蓄的熱量將於加熱電源切斷之後釋放出來，具有維持觸媒處於反應溫度之上的作用。

在整體成果方面均已達成計畫所訂目標，並於研討會發表兩篇文章[7-8]，完成一篇碩士論文[17]；另外，一篇投稿於國外期刊[18] 已被接受，一篇投稿於國外期刊[19]，一篇投稿於第廿屆機械工程研討會[20]已被接受發表。另外，計畫的其他成果亦正準備投稿於相關學術期刊。

本計畫的重要成果為，針對小型引擎的觸媒轉化器的研究，找到適當的加熱方式，使得觸媒轉化器於冷起動期間即能迅速達作用溫度，有效降低冷起動期間引擎的污染排放。

六、參考文獻

- [1] 杜啟綸，盧昭暉，王美文，莊訓城，吳盛忠，陳雄文，機車冷起動對污染排放之影響。高雄市，第六屆海峽兩岸環境保護研討會，pp. 802-807，1999 年。
- [2] 洪榮芳，周煥銘，陳俊維，黃仁昭，陳靖杰，徐振雄，吳建發，機車引擎暫態過程污染排放研究，第十六屆技職研討會，花蓮市，2001 年 4 月。
- [3] 洪榮芳，周煥銘，王國佑，周文河，蔡震華，陳健民，李宗龍，觸媒轉化器對於機車引擎冷起動污染改善之研究，第六屆車輛工程學術研討會，桃園縣，pp.129-135，2001 年 10 月。
- [4] 洪榮芳，周煥銘，蔡震華，陳健民，周文河，王國佑，李宗龍，電熱式觸媒轉化器於四行程機車引擎冷車怠速之溫度及污染特性研究，2002 中華民國燃燒學會/民航學會/航太學會學術聯合會議論文集，高雄市，pp. 49-56，2002 年 3 月。
- [5] 洪榮芳，周煥銘，陳健民，王國佑，周文河，蔡震華，李宗龍，進氣溫度及增濃油量對於機車引擎冷起動特性影響研究，2002 中華民國燃燒學會/民航學會/航太學會學術聯合會議論文集，高雄市，pp. 533-540，2002 年 3 月。
- [6] 洪榮芳，周煥銘，許天秋，林智鉉，江松桓，楊宗陵，黃永嘉，吳銘仲，林億銘，預熱式觸媒轉化器於四行程機車引擎冷起動污染排放影響研究，中國機械工程學會第十九屆學術研討會論文集，雲林縣，pp. 393-400，2002 年 11 月。
- [7] 洪榮芳，周煥銘，吳向宸，許天秋，陳景松，施宏杰，黃國原，進氣額外增濃對於機車引擎冷起動觸媒轉化效果的特性研究，中華民國燃燒學會第十三屆學術研討會論文集，台北市，(光碟片版)，2003。
- [8] 許天秋，施宏杰，蘇祭哲，洪榮芳，周煥銘，吳澤松，加熱功率與加熱位置對於機車引擎冷起動觸媒轉化效果的特性研究，中華民國燃燒學會第十三屆學術研討會論文集，台北市，(光碟片版)，2003。
- [9] **Rong-Fang Horng** and **Huann-Ming Chou**, Transient Behaviour of an Electrically Heated Catalytic Converter on a Motorcycle Engine in Cold-Start Conditions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 217, pp. 183-191, 2003.
- [10] Boam, D.J., Finlay, I.C., Bilddulph, T.W., Ma, T.A., Lee, R., Richardson, S.H., Bloomfield, J., Green, J.A., Wallace, S., Woods, W.A. and Brown, P., The sources of unburnt hydrocarbon emissions from spark ignition engines during cold starts and warm-up. *Proc. Instn. Mech. Engrs., Part D: Journal of Automobile Engineering*. Vol. 208, pp.1-11, 1994.
- [11] Ludykar, D., Westerholm, R. & Almen, J., Cold start emissions at +22, -7 and -20°C ambient temperatures from a three-way catalyst (TWC) car: regulated and unregulated exhaust components. The