

科技部補助專題研究計畫報告

水冷式四行程機車使用複合碳系奈米流體之熱性能、引擎性能 及PM2.5排放研究

報告類別：精簡報告
計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 108-2221-E-003-007-
執行期間：108年08月01日至109年10月31日
執行單位：國立臺灣師範大學車輛與能源工程學士學位學程

計畫主持人：呂有豐
共同主持人：鄧敦平、洪翊軒

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：楊顯皓
碩士班研究生-兼任助理：夏麒原
碩士班研究生-兼任助理：陳昱榮
碩士班研究生-兼任助理：蕭暉亮
大專生-兼任助理：許展華
大專生-兼任助理：陳泯亨

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)
本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

中華民國 109 年 11 月 02 日

中文摘要：針對水冷四行程機車之冷卻液散熱效果進行相關研究，利用冷卻系統添加複合碳系奈米流體(HCBNF)溶於原廠冷卻液，再加入分散劑GA(阿拉伯膠)進行電磁加熱攪拌3 h與超音波震盪1 h，以製備複合碳系奈米冷卻液(HCBNC)。分別進行在不同濃度及溫度的沉降、比熱、導熱、黏度及磨潤試驗探討基礎性質，實驗分別試驗base、0.02 wt.%、0.04 wt.%、0.06 wt.%的HCBNC，基礎試驗中沉降試驗的結果發現HCBNC在靜置30天，0.04 wt.%效果非常穩定幾乎沒有沉澱現象。黏度試驗發現0.06 wt.%黏度高於其他的濃度；比熱試驗發現0.04 wt.%濃度低於其他濃度和base；熱傳導試驗0.04 wt.%為最佳導熱係數；最後磨潤試驗0.04 wt.%、0.06 wt.%兩者的磨耗改善率高於base。綜合以上四項試驗結果，選用濃度0.04wt.%進行後續實驗。

將最佳濃度0.04wt.% HCBNC加入於熱交換系統平台及實車實驗，在熱交換系統平台中水散熱性能改善率為37.5 %、空氣散熱性能改善率為6.45%，而引擎暖車性能實驗中水散熱性能改善率為23 %、空氣散熱性能改善率為7.94%。在實車HCBNC分別與原廠冷卻液與純水相比ECE-40行車型態燃油消耗量改善12 %、14 %，定速50 km/h行車型態燃油消耗量改善9 %、13 %，平均燃油消耗量(km/L)改善11 %、14 %。平路與爬坡行車型態測試油門開度固定25 %，平路行車型態車速改善率3 %、4 %，爬坡行車型態車速改善率8 %、18 %。

在四項實驗ECE-40 行車型態試驗、定速行車型態試驗、爬坡行車型態試驗、平路行車型態試驗，HCBNC分別與原廠冷卻液與純水相比平均對於汽缸壁溫度下降17.25 %、10.5 %；出水口溫度改善率9.5 %、9.25 %；汽缸壁(排氣管)溫度下降9.75 %、7.75 %；火星塞溫度下降8.25 %、8.75 %。在廢氣排放添加HCBNC分別與原廠冷卻液與純水相比的HC排放總量減少13 %、20 %；CO排放總量減少39 %、49 %，而CO₂排放總量減少20 %、28 %。在PM排放測試，粒徑2 μm 以上總量減少79 %、61 %，粒徑3 μm 以上總量減少20 %、77 %。

中文關鍵詞：複合碳系、奈米流體、冷卻液、熱交換系統平台、磨潤試驗

英文摘要：The hybrid carbon base nanofluid (HCBNF) was added to the original coolant for prepared hybrid carbon base nanofluid (HCBNC). The sedimentation, specific heat, thermal conductivity, viscosity and wear tests at different concentrations and temperatures were carried out to explore the basic properties. As a result, it was found that the a concentration of 0.04wt.% HCBNC was selected for subsequent experiments.

The 0.04wt.% HCBNC was used into the thermal platform and the actual vehicle experiment. In the heat exchange system platform, the water heat dissipation performance improvement rate was 37.5%, the air heat dissipation performance improvement rate was 6.45%, and the engine warm-up performance test. The improvement rate of reclaimed water heat dissipation performance was 23%, and the

improvement rate of air heat dissipation performance was 7.94%. Compared with the original coolant and pure water, HCBNC in real vehicles has improved ECE-40 type fuel consumption by 12% and 14%, and fixed speed 50 km/h type fuel consumption by 9% and 13%. The average fuel consumption (km/L) improved by 11% and 14%. The throttle opening is fixed at 25% for flat road and hill-climbing mode tests, the speed improvement rate for horizontal road mode is 3% and 4%, and the speed improvement rate for hill-climbing mode is 8% and 18%.

In the ECE-40 running mode test, constant speed running mode test, climbing mode test and flat road mode test, HCBNC was compared with the original coolant and pure water on the average cylinder wall temperature decreased by 17.25%, 10.5%; water outlet temperature improvement of 9.5%, 9.25%; cylinder wall (exhaust pipe) temperature decreased by 9.75%, 7.75%; spark plug temperature decreased by 8.25%, 8.75%. Exhaust emissions reduces the total HC emissions by 13% and 20%; the total CO emissions reduced by 39% and 49%, and the total CO₂ emissions reduced by 20% and 28%. In the PM emission test, the total PM emission of particle size above 2 μm reduced by 79%, 63%, and the total PM emission of particle size above 3 μm reduced by 20%, 77%.

英文關鍵詞： hybrid carbon base、nanofluid、coolant、thermal platform、tribology

科技部專題研究計畫期中/成果報告

水冷式四行程機車使用複合碳系奈米流體之熱性能、引擎性能 及PM_{2.5}排放研究

The heat transfer, engine performances and PM_{2.5} emission of a water-cooled four-stroke engine motorcycle using hybrid carbon-based nanofluids

學 門 歸 屬 : 能源學門
計 畫 編 號 : MOST 108-2221-E-003-007-
執 行 期 限 : 108年08月01日至109年07月31日
執 行 機 關 : 國立臺灣師範大學車輛與能源工程學士學位學程
主 持 人 : 呂有豐
共 同 主 持 人 : 鄧敦平、洪翊軒
E - m a i l : 60870023h@ntnu.edu.tw
研 究 人 員 : 夏麒原、楊顯皓、蕭暉亮、陳昱榮、許展華、陳泯亨

摘要

本研究針對添加複合碳系奈米材料與分散劑於原廠冷卻液中製備複合碳系奈米冷卻液(HCBNC)，並探討添加於實車運行的溫度特性變化、燃料消耗率(km/L)與廢氣排放作為實驗的評估效率依據。

調配3種不同濃度，並進行5種基礎試驗，最終選定0.04 wt.%為最佳濃度。將HCBNC、原廠冷卻液與純水添加於熱交換系統平台及實車進行測試，後將數據紀錄並分別與原廠冷卻液及純水比較，以評估HCBNC改善率。熱交換系統平台空氣散熱性能改善率分別為37.5 %及6.45 %，引擎水箱散熱性能改善率分別為23 %及7.94 %。在ECE-40燃油消耗量分別改善12 %及14 %；定速50 km/h行車型態燃油消耗改善9 %及13 %，平均燃油消耗量(km/L)改善11 %及14 %。平路與爬坡行車型態測試油門開度固定25 %，車速改善率分別為3 %及4%。爬坡車數改善率分別為8 %及18 %。

測試汽缸壁溫度平均下降17.25 %及10.5 %；出水口平均下降9.5 %及9.25 %；汽缸壁排氣管側下降9.75 %及7.75 %；火星塞溫度下降8.25 %及8.75 %。廢氣排放方面，

HC下降13 %及20 %；CO下降39 %及49 %；CO₂下降20 %及28 %。PM測試HCBNC與原廠冷卻液相比在粒徑2 μm以上減少7 %，在粒徑3 μm以上減少77 %。

關鍵字：複合碳系、奈米流體、冷卻液、熱交換系統平台

1. 前言

根據交通部的統計，在民國 109 年全台灣的機車總數量有 14,059,167 輛，是全世界機車密度最高的國家[1]。引擎在運作時，活塞被曲軸帶動，其活塞環與氣缸壁間就會產生摩擦，造成能量的散失，其中就活塞環組件的摩擦損失佔總摩擦損失的約 40~50 %，因此「冷卻與潤滑」就是其中一個影響的關鍵點，若能改善其「冷卻與磨潤」行為以減少冷卻與摩擦損失，則對引擎機件磨耗、使用壽命、油耗與排放 PM 等皆具正面效益。

在 Heris 等人[2]的研究中，添加奈米流體(nano fluids, NFs)與基礎液體相比，可得出奈米流體的導熱係數提高 55 %。而在 Nor Azwadi Che Sidik 等人[3]的研究中可知將奈米顆粒分散在傳統冷卻劑與原冷卻劑相比，傳熱係數可提高 50 %。這樣的設計不

僅可以產生相當大的節能效果，而且還可以減少燃料消耗導致的車輛排放廢氣，從而最大限度地減少全球暖化。

2. 相關理論與分析

2.1 奈米流體

Mintsa et al.[4]研究發現溫度、粒度和體積分數對奈米流體氧化銅和氧化鋁的熱導率的影響，認為奈米流體隨著顆粒體積分數、溫度和粒徑的增加對於熱特性可以得到增強，發現在相同的體積分數下，粒徑越小，奈米流體的有效導熱係數就越大。當以相同的體積分數使用較小的顆粒時，具有流體和布朗運動的顆粒的接觸表面積可以增加，因此會增加奈米流體的熱導率。

Peyghambarzadeh et al.[5] 研究將水和 EG 奈米流體作為汽車散熱器扁平鋁管內冷卻劑的對流傳熱增強特性，隨著奈米顆粒的添加，觀察出總傳熱速率的顯著增加。在兩種奈米流體的最佳條件下均獲得最高增加為 40 %。實驗結果表明，奈米流體的傳熱導強烈依賴於粒子的濃度和流動條件，而對溫度的依賴則微弱。

2.2 車輛冷卻液

Micali et al.[6] 研究實驗結果表明，引擎部件溫度降低是 NFs 中奈米顆粒濃度的函數，且它與引擎負荷有關。與純水相比，在瞬間運行中的最大引擎負載下，與純水相比，NFs 的冷卻液體積為 2.5 vol.%，操作中最大引擎負載下 VP_1 (排氣閥桿)和 VS_1 (排氣閥座)位置的溫度分別降低 4.1 %和 13.6 %，運作行態下，在相同位置的溫度分別降低 1.4 %和 12.5%。

Elsaid et al.[7] Al_2O_3 和 Co_3O_4 的濃度為 0.02、0.05、0.1和 0.2%。將奈米顆粒分散到基礎流體中以產生奈米流體的混合物。通過考慮三種比例的 EG /水 (0 : 100 %，10 : 90 %和 20 : 80 %) 來製備基礎液。 Co_3O_4 與 Al_2O_3 相比， Co_3O_4 有助於提高熱交換器的效率並節省更多能源。奈米顆粒的濃度增加到基礎流體中，將 Nusselt 提高約 31.8 %，而摩擦係數卻提高 16 %。發現隨著奈米流體溫

度的升高，Nusselt 數增加，而摩擦係數降低。當 EG 比率增加到 20 % 時，流體雷諾數減少，並且流體壓降變強，相應地，泵功率增加約 30 %。

3. 實驗方法與裝置

3.1 熱交換系統平台實驗

將 PGO 125 原廠水箱裝設於平台中，利用加熱器模擬 HCBNC 在實車運行中的散熱特性效果。採用中華民國國家標準 CNS-8951 汽車用水箱散熱性能試驗法，在加熱器與水箱的進水口及出水口分別各設置溫度感測器，架構如圖 1 所示

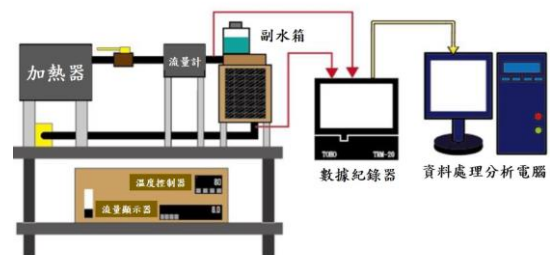


圖 1 熱交換系統平台架構

3.2 實車實驗

將 PGO 125 裝設於四象限機車底盤動力計 (Dynamometer, Chief, Taiwan) 進行四行程機車性能測試，測試內容分別為 ECE-40、定速 50 km/h、平路測試及爬坡測試，並測量其燃油消耗量、溫度、引擎性能與廢氣排放，架構如圖 2 所示。

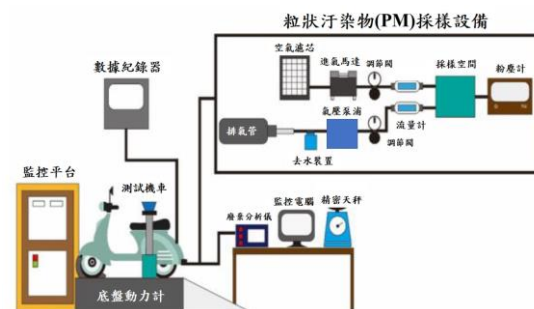


圖 2 實車實驗系統

4. 實驗結果與討論

4.1 熱交換系統平台-水箱散熱性能量測

純水、原廠冷卻液與HCBNC進行比較，以純水作為基準與其他兩者計算出冷卻液散熱量改善率，可發現原廠冷卻液水散熱量為-29.6%下降情況，原廠冷卻液因加入乙炔乙二醇會影響熱傳遞，而加入HCBNC改善率大幅提升 37.5%。

4.2 熱交換系統平台-空氣散熱量測

純水、原廠冷卻液與HCBNC進行比較，以純水作為基準與其他兩者計算出冷卻液散熱量改善率，可發現原廠冷卻液散熱量下降情況，而0.04 wt.% HCBNC改善率提升 6.45%。

4.3 熱交換系統平台-引擎暖車性能量測

純水、原廠冷卻液與HCBNC進行比較，以純水作為基準與其他兩者計算出冷卻液散熱量改善率，可發現原廠冷卻液散熱量下降情況，而0.04 wt.% HCBNC改善率大幅提升 7.94%。

4.4 實車實驗-能源改善率試驗

4.4.1 燃油消耗量試驗

HCBNC與純水相比在ECE-40行車型態改善14%，在定速行車型態改善32%的燃料消耗量，HCBNC與原廠冷卻液相比在ECE-40行車型態改善12%，在定速行車型態改善27%的燃料消耗量。由此數據可以得知本實驗所使用的HCBNC在ECE-40市區行車型態中有較高的改善效率，表示在長時間的速度變化，HCBNC提供較快的暖車效果減少引擎運作時間中能量的散失。最後經過平均油耗的計算後，得出HCBNC比較純水的平均油耗改善了25%，HCBNC比較原廠冷卻液的平均油耗改善了20%。

4.4.2 引擎性能試驗

HCBNC的爬坡車速比原廠冷卻液及純水的爬坡車速高出4 km/h及9 km/h，這是因

為爬坡在相同油門開度的情況下，HCBNC因為機車加快暖車之關係，使活塞與汽缸的阻力降低，故爬坡車速能比原廠冷卻液與純水略高，分別改善率為18%、7%。

4.4.3 各點溫度量測

以HCBNC為基準分別與原廠冷卻液及純水進行比較，汽缸壁溫度測試平均下降17.25%及10.5%；出水口溫度平均下降9.5%及9.25%；汽缸壁排氣管側溫度下降9.75%及7.75%；火星塞溫度下降8.25%及8.75%。

4.4.4 廢氣排放試驗

以HCBNC為基準分別與原廠冷卻液及純水進行比較，排放HC總量共降低了13%與20%；排放CO總量共降低了39%與49%。

4.4.5 PM排放試驗

HCBNC在0.3 μm 、0.5 μm 、1 μm 、2 μm 、3 μm 及5 μm 的PM中，比原廠冷卻液高，原因在於添加HCBNC之機車因暖車速度較快使引擎的效率提升，在燃燒時可使燃燒得更完全，產生更細微的PM。但3 μm 及5 μm 的PM是少於原廠冷卻液與純水，PM排放HCBNC與原廠冷卻液相比粒徑2 μm 以上總量減少7%，在粒徑3 μm 以上總量減少77%。

5. 結論

- (1) 在基礎性質實驗中，統整數據並進行綜合評估，最後選用黏滯係數及熱導性兼優異的0.04 wt.%。
- (2) 在熱交換系統平台中以HCBNC為基準與純水和原廠冷卻液相比，水箱散熱性能上升溫度時間減少52 及675 s、降溫時間減少558 及675 s，水箱散熱性能冷卻液散熱量改善率為37.5 及67.1%，引擎暖車性能上升溫度時間減少119 及37 s、降溫時間減少4 及288 s，引擎暖車性能冷卻液散熱量改善率為23 及77.4%。

- (3) 2. 在熱交換系統平台中以 HCBNC 為基準與純水和原廠冷卻液相比，水箱散熱性能空氣散熱量上升溫度時間減少 20 及 40 s、降溫時間增加 122 及 24 s，水箱散熱性能冷卻液散熱量改善率為 6.45 及 9.13 %，引擎暖車性能上升溫度時間減少 406 及 319 s、降溫時間增加 174 及 127 s，引擎暖車性能冷卻液散熱量改善率為 7.94 及 13.48 %。
- (4) 在實車測試中，ECE-40 行車型態燃油消耗率減少 14 %，定速(50 km/h)燃料消耗率減少 13 %，而平均燃料消耗率減少 14 %。
- (5) 以 HCBNC 為基準，與原廠冷卻液及純水進行比較。溫度測試汽缸壁平均下降 17.25 % 及 10.5 %；出水口平均下降 9.5 % 及 9.25 %；汽缸壁排氣管側下降 9.75 % 及 7.75 %；火星塞溫度下降 8.25 % 及 8.75 %。
- (6) 在實車測試中，以 HCBNC 為基準，與原廠冷卻液及純水進行比較，HC 排放總量減少 13 % 及 20 %，CO 排放總量減少 39 % 及 49 %，而 CO₂ 排放總量減少 20 % 及 28 %。
- (7) PM 排放測試結果中，以 HCBNC 為基準，與原廠冷卻液進行比較，在粒徑 2 μm 以下總量減少 7 %，在粒徑 3 μm 以上總量減少 77 %。

6. 誌謝

本報告為科技部計畫編號 MOST 108-2221-E-003-007-之計畫，由於科技部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

7. 參考文獻

- [1] 中華民國交通部統計查詢網，2020。
<https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/StatisticsSummary/StatisticsSummary-List?node=47df1>。
- [2] S. Z. Heris, “Experimental study of heat transfer of a car radiator with CuO/ethylene glycol-water as a coolant,” J Dispers Sci Technol, vol. 35, pp. 67–84, 2014.
- [3] C. S. N. Azwadi, M N.A.W. Mohd Yazid, and R. Mamat, “Recent advancement of nanofluids in engine cooling system,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 75, pp. 137-144, August. 2017.
- [4] H. A. Mintsas, G. Roy, C. T. Nguyen, and D. Doucet, “New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids,” International Journal of Thermal Sciences, vol. 48, pp. 363-371, February. 2009.
- [5] S. M. Peyghambarzadeh, S. H. Hashemabadi, S. M. Hoseini, and M. S. Jamnani, “Experimental study of heat transfer enhancement using water/ethylene glycol based nanofluids as a new coolant for car radiators,” International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 38, pp. 1283-1290, November. 2011.
- [6] F. Micali, M. Milanese, G. Colangelo, and A. Risi, “Experimental investigation on 4-strokes biodiesel engine cooling system based on nanofluid” Renewable Energy, vol. 125, pp. 319-326, September. 2018.
- [7] A. M. Elsaid, “Experimental study on the heat transfer performance and friction factor characteristics of Co₃O₄ and Al₂O₃ based H₂O/(CH₂OH)₂ nanofluids in a vehicle engine radiator” International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 108, pp. 104-263, November. 2019.

108年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：呂有豐		計畫編號：108-2221-E-003-007-		
計畫名稱：水冷式四行程機車使用複合碳系奈米流體之熱性能、引擎性能及PM2.5排放研究				
成果項目		量化	單位 質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)	
國內	期刊論文	0		
	研討會論文	6	<p>1. 呂有豐、楊顯皓、蕭暉亮* (2019年12月)。四行程機車使用奈米氮化硼齒輪油對機車性能影響之研究。中國機械工程學會第三十六屆全國學術研討會論文集，國立臺灣師範大學 台北市。科技部：MOST-108-2221-E-003-007。</p> <p>2. 呂有豐、夏麒原、陳昱榮、夏德耀、羅煌傑* (2019年12月)。複合碳系奈米流體應用於水冷式機車冷卻系統之性能實驗研究。中國機械工程學會第三十六屆全國學術研討會論文集，國立臺灣師範大學 台北市。科技部：MOST-108-2221-E-003-007。</p> <p>3. 呂有豐、夏德耀、羅煌傑*、陳昱榮 (2019年12月)。HFC-134a壓縮機轉速與外在環境溫度及不同填充量對汽車空調之影響。中國機械工程學會第三十六屆全國學術研討會論文集，國立臺灣師範大學 台北市。</p> <p>4. 呂有豐、羅煌傑、夏德耀*、陳昱榮、夏麒原 (2019年11月)。奈米石墨烯齒輪油基礎性質之研究。中華民國自動機工程學會2019第二十四屆車輛工程學術研討會，崑山科技大學機械工程系，台灣台南，2019年11月29日，崑山科技大學機械工程系，台灣台南。科技部：MOST-107-2221-E-003-017。</p> <p>5. 呂有豐、蕭暉亮*、吳柏震、王亮勛、張晉誌 (2019年6月)。奈米氮化硼齒輪油基礎性質之研究。車輛工程學刊第十三期p. 33-43，中華民國汽車工程學會。本人為第一作者。</p> <p>6. 呂有豐、夏麒原、蕭暉亮*、陳彥名、莊証巖 (2019年6月)。複合碳系奈米冷卻液基礎性質之研究。車輛工程學刊第十三期p. 45-56，中華民國汽車工程學會。</p>	
	專書	0	本	
	專書論文	0	章	
	技術報告	0	篇	
其他	0	篇		

國外	學術性論文	期刊論文	1	篇	Shun-Chang Chang and Yeou-Feng Lue, A study of the nonlinear response and chaos suppression in a magnetically levitated system. Australian Journal of Mechanical Engineering (AJME). Vol. 18, No. 1, p. 94-105, 2020.
		研討會論文	0		
		專書	0	本 章 篇 篇	
		專書論文	0		
		技術報告	0		
		其他	0		
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	許展華、陳泯亨
		碩士生	0		夏麒原、楊顯皓、蕭暉亮、陳昱榮
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					