

# 國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩 士 論 文

汽車銅製水箱與鋁製水箱的散熱差異研究

Automobile Copper Radiator and Aluminum Radiator  
Heat Translated Difference Research

研 究 生：張 銘 晃

指 導 教 授：傅 武 雄 教 授

中 華 民 國 101 年 8 月

# 汽車銅製水箱與鋁製水箱的散熱差異研究

Automobile Copper Radiator and Aluminum Radiator Heat

Translated Difference Research

研究生: 張銘晃 Student: Chang-Ming-Huang

指導教授: 傅武雄 Advisor: Fu-Wu-Shung

國立交通大學  
工學院精密與自動化工程學程  
碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science

In

Automation and Precision Engineering

Aug 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年 8 月

# 汽車銅製水箱與鋁製水箱的散熱差異研究

學生：張銘晃

指導教授：傅武雄

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

## 摘要

本論文主要針對水箱構造材料對於散熱的影響。水箱為熱交換器的一種，影響水箱散熱之性能除了鰭片形狀、間距外，鰭片材料亦是一個重要的因素，本論文採用最簡單的方式，直接比較兩個不同材質水箱的散熱能力。

實驗的汽車水箱鰭片材料以常用材料分為銅製水箱及鋁製水箱。為比較銅與鋁的散熱，引擎冷卻水採用純水（逆滲透水），不添加乙二醇（水箱精）。使用三菱汽車共同引擎 1.2 公升架上引擎，使用架上引擎可以排除車身阻礙空氣對流，原廠設計風扇為 ECU 與負溫度係數冷卻水溫感知器控制，為實驗而改使用手動定速電動散熱風扇，以減少實驗變數。藉用相同的設備，不同的實驗方式，在多重比較之下，試驗出水箱散熱性能的優劣。

關鍵字：銅製水箱、鋁製水箱、水箱材料、散熱

Automobile Copper Radiator and Aluminum Radiator Heat Translated  
Difference Research

Student : Chang Ming-Huang

Advisor : Fu, Wu-Shung

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

**ABSTRACT**

The purpose of this proposal is to investigate the influence of the materials of radiators on heat translation. A radiator is one style of heat exchangers, which can be affected by the shapes, the intervals, and the materials of fins. This study adopts the simplest methods to compare the heat translating efficiency of two radiators made of different materials.

Sorted by the materials of fins, the experimental radiators can be classified into copper radiators and aluminum radiators. To compare these two materials, pure water, with no ethylene glycol (also known as radiator rust inhibitor), is used as the coolant. Mitsubishi Automobile 1.2 L on the shelf engine is used to eliminate the interference of air convection. The original fans, which are controlled by ECU and negative temperature coefficient coolant temperature sensor, are changed into manual paced electric fans to reduce variables. In conclusion, by diverse experimental methods, this research evaluates the translating efficiency of different radiators using the same equipment.

Keywords: Copper Radiator 、 Aluminum Radiator 、 Radiator materials 、 Heat Translated

## 誌謝

本文承蒙指導教授 傅武雄教授之悉心指導與逐字斧正，始臻至成。此外感謝口試委員對本論文提供寶貴的意見，使本論文更臻完善。受業期間，在老師的關心與教導下，於待人處世的陶冶及治學精神、研究態度的啟迪，獲益良多。謹此表達心中最誠摯的敬意和感謝。

此外感謝致用高級中學供實驗場地、引擎等等之儀器，在論文寫作、實驗期間所給予需要的幫忙。謹致以由衷的感激。汽車科同仁及進修學校同仁提供的相關專業知識與寶貴的建議，在此一併致謝。

最後將本文獻給我敬愛的家人，感謝他們四年來的支持與鼓勵，使我能夠順利完成學業。同時感謝所有曾經幫助過我的朋友們，謝謝你們。



## 目錄

摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
符號說明.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.1.1 水箱的發展.....	2
1.1.2 銅與鋁製冷卻水箱之特性.....	3
1.2 水冷式汽車引擎冷卻水流動.....	6
1.3 文獻回顧.....	7
1.4 研究目的.....	8
第二章 研究內容與方法.....	12
2.1 研究內容.....	12
2.2 研究方法.....	13
2.3 影響水箱散熱的因素.....	14

2.4 汽車冷卻系統週邊零件 .....	15
<b>第三章 理論 .....</b>	<b>25</b>
3.1 基本假設 .....	25
3.2 理論分析 .....	26
3.3 實驗方式 .....	27
3.3.1 定時升溫實驗 .....	27
3.3.2 定時降溫實驗 .....	27
3.3.3 長時間運轉實驗 .....	27
<b>第四章 實驗部份 .....</b>	<b>29</b>
4.1 實驗設備 .....	29
4.2 測試本體 .....	29
4.3 實驗規劃 .....	29
4.4 實驗操作及實驗數據 .....	30
4.4.1 定時升溫實驗 .....	30
4.4.2 定時降溫實驗 .....	31
4.4.3 長時間運轉實驗 .....	31
4.5 結果與討論 .....	32
<b>第五章 結論 .....</b>	<b>44</b>

5.1 銅製水箱與鋁製水箱的優劣 .....	44
5.2 水箱未來發展 .....	46
參考文獻.....	49
簡歷 .....	50





## 表目錄

【表 2-1】-引擎規格 .....	19
【表 3-1】-銅、鋁密度、比熱之比較 .....	28
【表 3-2】鋁製水箱與各類銅製水箱比較表 .....	28
【表 4-1】銅製水箱定時加熱實驗數據 .....	41
【表 4-2】鋁製水箱定時加熱實驗數據 .....	41
【表 4-3】銅製水箱定時散熱數據 .....	42
【表 4-4】鋁製水箱定時散熱數據 .....	42
【表 4-5】引擎長時運轉數據 .....	43
【表 4-6】引擎長時運轉風扇轉數據 .....	43
【表 5-1】銅製水箱與鋁製水箱散熱比較表 .....	48

## 圖目錄

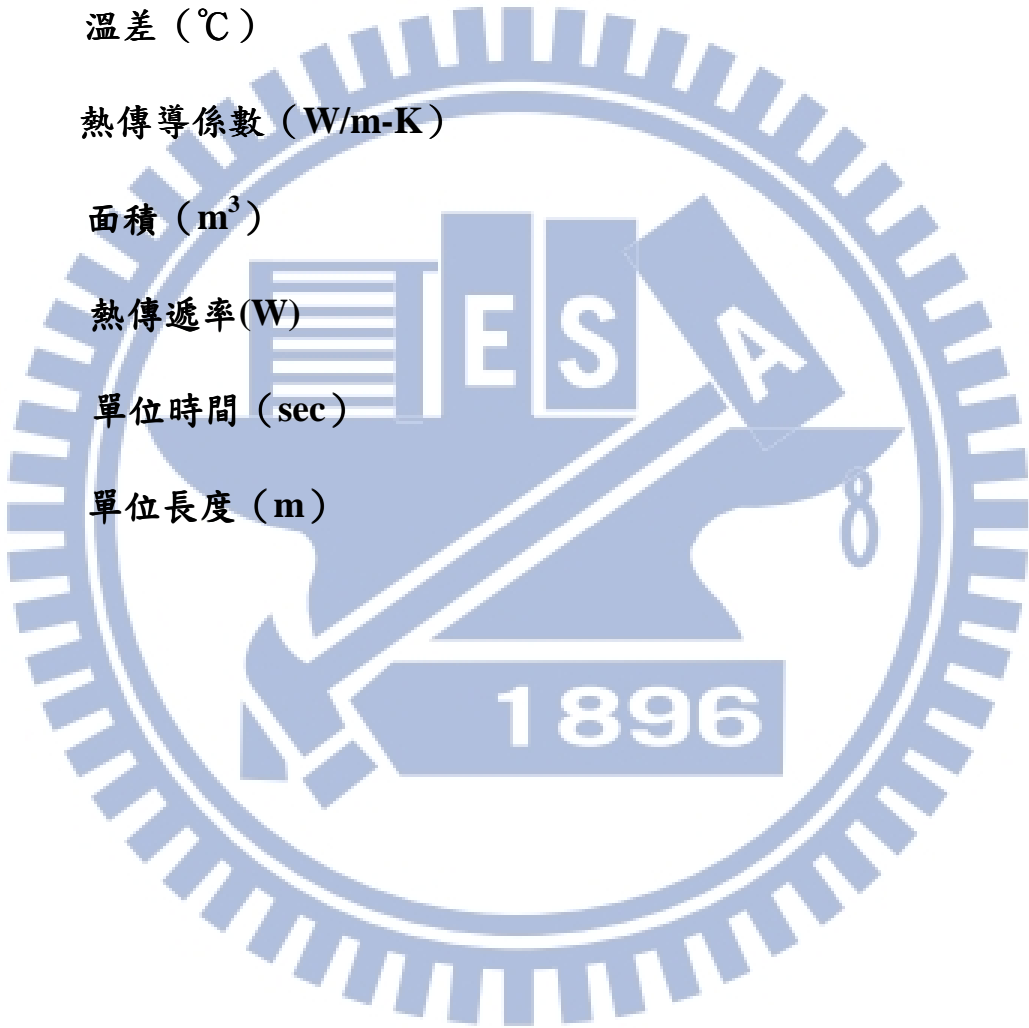
【圖 1-1】引擎溫度與燃料消費率 .....	10
【圖 1-2】水箱構造.....	10
【圖 1-3】水箱扁式水管.....	11
【圖 1-4】引擎冷卻系統.....	11
【圖 2-1】上下流動式水箱 .....	20
【圖 2-2】橫流式水箱.....	20
【圖 2-3】水泵構造.....	21
【圖 2-4】水泵葉片型式.....	21
【圖 2-5】水箱風扇罩.....	22
【圖 2-6】水箱蓋構造.....	22
【圖 2-7】引擎冷卻水-小循環.....	23
【圖 2-8】引擎冷卻水-大循環.....	23
【圖 2-9】節溫器及鉤閥.....	24
【圖 2-10】節溫器鉤閥作動示意圖 .....	24
【圖 4-1】酒精式溫度計.....	34
【圖 4-2】電子式溫度計-上水管（黑） .....	34
【圖 4-3】電子式溫度計-下水管（白） .....	35
【圖 4-4】數位電子溫溼度計 .....	35

【圖 4-5】紅外線溫度計.....	36
【圖 4-6】萬用電錶.....	36
【圖 4-7】銅製水箱.....	37
【圖 4-8】銅製水箱安裝圖 .....	37
【圖 4-9】鋁製水箱.....	38
【圖 4-10】鋁製水箱安裝圖 .....	38
【圖 4-11】銅、鋁水箱上水管及上部水箱表面溫度比較圖 .....	39
【圖 4-12】銅、鋁水箱下水管及下部水箱表面溫度比較圖 .....	39
【圖 4-13】上水管冷卻水溫度比較圖 .....	40
【圖 4-14】下水管冷卻水溫度比較圖 .....	40



## 符號說明

<b>H</b>	熱量 (Kcal)
<b>m</b>	質量 (kgw)
<b>s</b>	比熱 (cal/g°C)
<b><math>\Delta T</math></b>	溫差 (°C)
<b><math>\lambda</math></b>	熱傳導係數 (W/m-K)
<b>A</b>	面積 (m <sup>3</sup> )
<b>Q</b>	熱傳遞率(W)
<b>t</b>	單位時間 (sec)
<b>L</b>	單位長度 (m)



## 第一章 緒論

### 1.1 前言

內燃機（引擎）為燃燒燃料產生壓力，驅使活塞下行而產生動力。在動力行程時，會產生混合氣燃燒會產生大量熱能，其溫度大約可高達 2500°C 之高，而燃燒後所能產生的熱能，僅約有 28 % 可轉變為有用的機械能，約 32 % 的熱能隨著廢氣排放至大氣之中，10 % 為摩擦損失，30 % 由冷卻系統帶走。大約有 70% 不能轉為引擎機械動量，約有一半直接作用在引擎機件上。其中引擎的汽缸蓋、氣缸體、活塞頂及進、排氣門等，因與燃燒的火焰直接接觸到，承受的熱能最多，溫度也較高，若氣缸壁的溫度超過 260 °C 時，則潤滑油將失去保持油膜的能力，導致失去潤滑能力，甚至使潤滑油燃燒；而由金屬材料製成的機件，也可能因受高溫而變形，使相互配合的間隙不適合運轉，甚至相互卡住而產生縮缸卡死，且材料在高溫時之強度亦相形降低，會造成引擎機件異常磨損，安全堪慮。因此引擎必須保持一定的工作溫度，約 80~90°C，各機件才能維持正確的膨脹及間隙。燃料及潤滑系統也才能正常作用，因此引擎需要水箱散熱的以維持最佳運作。下圖即是引擎在正常工作溫度時的油耗表現，若是引擎工作溫度過高、過低都無法使燃料消費率維持在最佳狀態【圖 1-1】。

此外吸入的混合氣受熱膨脹，導致減少吸入混合氣量，降低了引擎的容積效率，也會降低引擎輸出馬力。若引擎過熱，於內部產生熱點，即會導

致混合氣自行燃燒，亦即所謂的自燃，以致不能配合點火時間，導致產生爆震，不僅降低效率，更可造成機件變形及嚴重磨損。但運轉溫度亦不能過低，過低則會減少其效率，也會因混合氣在過低溫度下燃燒，造成燃燒不完全，增加燃料的消耗量，且未燃燒之混合氣流入油底殼，會使潤滑油沖淡，降低潤滑能力，故內燃機的運轉溫度，不宜過高，亦不宜過低，必須保持在一適當工作溫度始可發揮其性能。

### 1.1.1 水箱的發展

世界上汽車工業高度發達國家的水箱業都很發達。日本著名的汽車製造公司在採用新材料和新工藝方面相對於歐美競爭對手的滯後時間通常不會很長，但是在汽車水箱以鋁代銅方面卻是一個相當引人注目的例外。日本出於自身的國情及其汽車出口競爭性方面的考慮，直到 90 年代中期仍主要傾向於採用銅製水箱，但到 90 年代末已明顯轉向以鋁製水箱為主。而歐美汽車廠家則以降低新車製造成本為根本出發點，又不必考慮水箱的維修，所以早已致力於廉價鋁水箱的開發與應用。[2]

隨著汽車科技愈來愈進步、愈要求大馬力、大扭力的時代，傳統水箱已無法擔當起高性能引擎的散熱工作。如何提升水箱的散熱能力，一直是汽車產業中努力的一環，如何產出性能更好、體積更小、材料更省、讓系統運轉更節能的水箱，要滿足引擎在各種工況下運轉的需要以及全球節能的需求，更有效率的運用地球有限資源，減少對環境產生負面的影響，必然

成為未來發展的趨勢，同時也可能降低產品製造的成本，提升企業的競爭力。而提升水箱的散熱能力，除了從風扇、介質（水、乙二醇）來著手改善。目前最多廠家採用的即是改變水箱鰭片材質。散熱水箱一般都裝在汽車前方，材質常以銅或鋁製成。水箱由上水箱、下水箱、散熱芯子、水箱蓋、進水口、出水口、放水塞等零件所組成【圖 1-2】。

使用於汽車上的扁管型波翼式鰭片，由於波翼式鰭片可以非常快速的大量生產，而且導熱性能較平板型鰭片為佳，故在汽車水箱上大多採用此型式之鰭片。車用散熱水箱大多使用硬焊的方式來接合傳熱管與鰭片，幾乎清一色使用扁管（而且多是銅或鋁合金擠製管）。根據 Webb and Jung (1992) [3] 的研究，相較於圓管，使用扁管有下列熱流考量上的優點：

1. 空氣通過鰭片時幾乎與傳熱管的方向垂直。
2. 扁管後面無效的熱傳區較小。
3. 鰭片效率較高。
4. 扁管造成的壓降較小。[3]【圖 1-3】

### 1.1.2 銅與鋁製冷卻水箱之特性

自從 1901 年世界上第一個汽車水箱誕生至今，銅一直被優先為水箱結構材料，並獨占水箱市場 70 年之久。雖然鋁水箱具有品質輕、原料成本低、散熱性能好等優點，但其焊接工藝性差、生產設備投入大是長期難以解決的問題，限制了鋁水箱的廣泛應用。直到 20 世紀 80 年代中期，美國採用硬

焊工藝製造鋁水箱取得成功後，才使鋁水箱的規模化生產和應用成為可能。近年來鋁製水箱開始稱霸市場，所有小型車輛出場時皆配備鋁製水箱。每種材料的利弊。早已被科學數據化了，銅傳熱比鋁更好。且銅製水箱一旦破損、漏水比較容易修復，近幾年銅比鋁成本要高得多。銅水箱的主要缺點是重量差異，同樣大小的水箱，鋁比銅還要輕了三分之一左右。且銅製水箱芯子要與鰭片用焊錫固定導致傳熱不夠快而減慢傳熱速度，讓銅製水箱無法像理論上般將引擎的廢熱快速散去。

鋁的熔點  $660^{\circ}\text{C}$  遠比銅的熔點  $1083^{\circ}\text{C}$  低很多，所以鋁製水箱在製作時，鋁芯子與鰭片是直接熔接在一起，由於銅、鋁水箱採用的焊接設備和工藝方法上的不同，其產品的結構強度差別較大。鋁水箱焊接為硬焊，焊接溫度為  $577\sim 612^{\circ}\text{C}$ ，而銅水箱採用的是軟焊，焊接溫度低於  $450^{\circ}\text{C}$ 。鋁水箱焊接接頭的剪切強度為  $50\sim 58\text{MPa}$ ，抗拉強度為  $86\sim 96\text{MPa}$ ，而銅水箱錫焊抗扭強度為  $34\sim 37\text{MPa}$ ；所以鋁水箱的結構強度要高於銅水箱很多。鋁水箱芯子與鰭片兩者之間無其他介質，導熱更快、更不易因高溫而變型。傳熱系數一直是評價水箱散熱性能的重要參數。影響因素眾多，其中水箱材料的導熱性能和焊接品質對其影響最大。水箱的工作條件惡劣，一般位於汽車前端迎風處，不僅要經受風吹雨淋和汽車排出的廢氣以及砂土、泥漿的污染，而且還要承受反覆的熱迴圈和週期性的振動。另外，水箱內長期流動著冷卻液，對水箱有銹蝕及腐蝕作用。因此，為保證水箱可靠地發揮散熱作用，對水



箱材料性能有如下要求:具有良好的導熱性能、具有一定的強度和較強的耐腐蝕性、良好的加工性能及焊接性能、良好的經濟性。

鋁水箱的維修較銅水箱要困難一些。因為銅水箱材料的基體材料熔點分別為 1052~1080°C，而所採用的銅焊料(錫合金)的熔點為 320°C 以下，比較容易採用火焰焊接實現修補。而鋁水箱採用的複合材料其焊料的熔點為 577~627°C，而基體材料的熔點為 643~654°C。兩者僅相差 46°C，因此在焊接時溫度控制要求極嚴格，否則焊接時易造成基體鋁材料熔化，因此必須要用在專業設備上進行焊接，一定程度上限制了鋁水箱的維修便利性。

銅與鋁散熱跟比熱大小有關:(比熱大"難熱難冷",比熱小"易冷易熱"),條件必須是同質量但是同大小的散熱器質量不同，由下面公式驗證：

鋁(0.215cal/g°C) 銅(0.092cal/g°C)

$$\text{公式: } H = m * s * \Delta T \quad (1)$$

相同引擎產生的熱量設定為 1,且達熱平衡(熱導忽略)

$$\Delta T = 1 / m * s \text{ (這邊考量材質銅、鋁的升溫部分)}$$

m 質量部分跟材質密度有關同體積時，密度與質量成正比

(銅密度 8.9 g/cm<sup>3</sup>，鋁密度 2.7 g/cm<sup>3</sup>)

重量=密度\*體積

同體積的銅=8.9g 鋁=2.7g

$$\text{銅: } \Delta T_1 = 1 / 8.9 * 0.092$$

$$\Delta T_1 = 1.2213$$

鋁： $\Delta T_2 = 1 / 2.7 * 0.215$

$$\Delta T_2 = 1.7227$$

所以同體積面積,同樣的熱源,忽略熱傳導,所以同樣的熱源,鋁會比銅還要來的溫度高,然而環境的冷空氣,與高溫的鋁,熱對流比較好(散熱好),至於比熱小,就易冷易熱。

但上述假設不代表鋁的散熱就比銅好,因為單位時間內,熱傳導的能力銅遠大於鋁。因此上列假設是不計算熱傳導的,實際上還是要考量到金屬的熱傳導能力,才有辦法定義出銅或鋁的散熱性能較佳。

## 1.2 水冷式汽車引擎冷卻水流動

市面上九成九以上汽車的冷卻系統均為強制水冷式(Water cooling),是利用引擎冷卻水吸收內燃機的廢熱後,再由強制對流的空氣將冷卻水的熱量帶至大氣中,以此達到引擎散熱的目的。其主要構造為水箱、風扇、風扇罩等組成。如【圖 1-4】所示。

在風扇裝於引擎與水箱中間,風扇有皮帶驅動、電動兩種型式,近年來車輛全以電動驅動為主。風扇將車前冷空氣吸入,冷空氣經過水箱,將水箱中已被加熱到 90°C 的冷卻水,經過冷卻後的水,再流入引擎水道。如此不斷循環,以維持引擎在一定的工作溫度。引擎內冷卻水流動方式依水溫決定「小循環」、「大循環」。在冷卻水低溫時(76°C 以下),冷卻水只在引

引擎水套及水泵之間循環，稱為小循環。冷卻水在高溫時（76°C 以上），節溫器打開，冷卻水從引擎水套流出，經過節溫器、上水管、水箱、下水管、水泵後，再流回引擎水量，稱之為大循環。本試驗即讓引擎冷卻水在大循環時，才作上、下水管冷卻水溫度量測。

### 1.3 文獻回顧

自從 1901 年世界上第一隻汽車水箱誕生至今，銅及黃銅一直被優先用作水箱用結構材料，並獨占水箱市場達 70 年之久[4]。70 年代以後，銅製水箱市場受到鋁材的衝擊，開始出現銅製和鋁製水箱互相競爭的局面。其原因是由於西方能源危機和環境污染日趨嚴重。出於對節能和環保等諸多因素的考慮，發達國家對汽車的立法限制越來越嚴，對汽車輕型化的要求也就應運而生。據日本科技人員測定，汽車重量每減輕 1kg，則每年可節油 12kg [5]。總之，70 年代之前銅質汽車水箱獨占市場，在 70 年代石油危機的影響下，人們的節能節油意識大大強化，因而更加重視鋁制水箱的開發與應用，呈現出銅質和鋁制水箱並行發展的局面，而鋁制水箱在大強化，因而更加重視鋁製水箱的開發與應用，呈現出銅質和鋁製水箱並行發展的局面，而鋁製水箱在小轎車和輕型貨車市場上的優勢更為明顯。[2] 汽車減重是減少油耗和 CO<sub>2</sub> 排放的最有效方法，鋁工業和鋼鐵工業已達成共識— 輕量化是減少交通運輸中溫室氣體（GHG）排放的重要因素。但是過去二十年當中，汽車的平均重量每年都要增加 10kg-20kg，主要原因是增加安全零組件和來

自立法的要求，以及向追求舒適、品質和內部裝飾的客戶做出的讓步。諷刺的是汽車重量不斷在增加，因此有必要進行實質的輕量化，這就有賴於材料之進步了。如果不採用輕量化材料（特別是用鋁和樹脂材料替代鑄鐵和鋼），則重量增加可能會更大。[6]

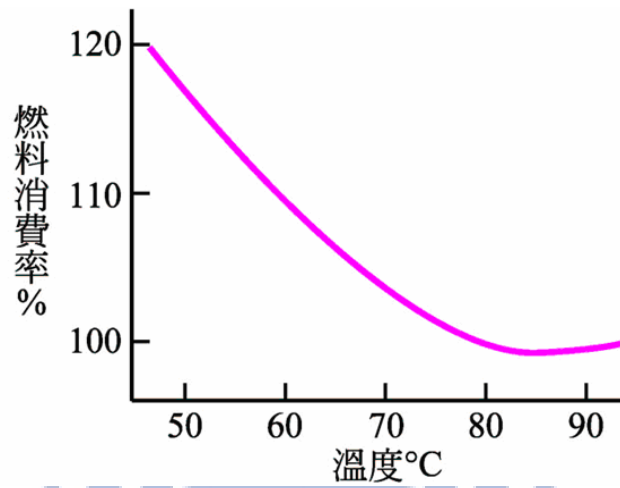
#### 1.4 研究目的

汽車散熱水箱，是一種熱交換器[7]，將高熱的引擎冷卻水經由水箱管道傳給外界低溫的空氣。所以水箱包含三個主要之零件，即「水箱芯子」、「上蓋、下蓋」，和連接通道用「進水口、出水口」，而在一排排細管的周圍又有連在管子上的鰭片，散熱細管由入口通到出口，冷卻水流過水箱芯子；而空氣則在鰭片間流過，高溫冷卻液的熱經過管子傳到鰭片，外界的冷空氣流過鰭片，將鰭片的熱帶走從而降低冷卻水溫度。目前市面上新式車輛改全面改用鋁式水箱，少有使用銅製水箱。但依銅、鋁之金屬特性來看。銅的散熱遠比鋁來得好。但目前市面上新式車輛卻都採用鋁製水箱，因為讓人覺的採用鋁製水箱真的有如水箱製造廠所說的是因為散熱良好才改用鋁製的嗎?目前從各方面得知的鋁製水箱資料，皆提及鋁製水箱之散熱能力較銅製水箱優良，但銅的散熱性能比鋁還要好，但製成水箱後，鋁卻比銅還要好。眾說紛云之下，坐而言不如起而行，實際實驗讓數據來告訴我們事實的真相。

真正評估一個水箱的重要指標，在於散熱介質的接觸面積，但是介質的

散熱面積不代表、也不等於水箱的迎風面！容量大、水裝得多的水箱，效果不見得好到那裡，原因都是和散熱鰭片的總接觸面無關。所以說水箱散熱最重要的要素，在於散熱鰭片的 [迎風總面積][迎風的角度]。過度的迎風角，也會阻礙空氣進出散熱鰭片的速度，進而降低了水箱的總散熱效能。另外水箱材質的運用，一直眾說紛雲，銅或鋁材質的散熱效能，孰優孰劣呢？本文研究的目的即是由兩個唯有材質不相同，其它條件皆一致的水箱，試驗出哪個材質對車輛散發的冷卻水廢熱最有效率。





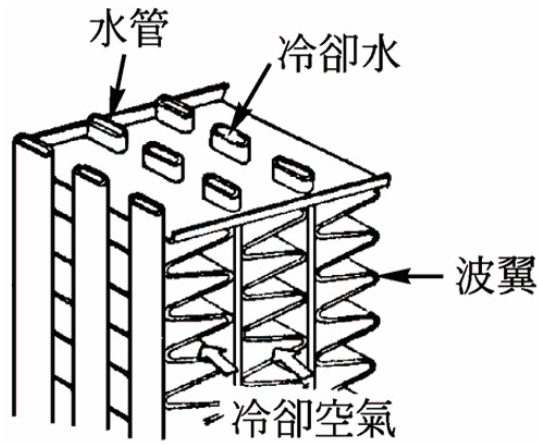
【圖 1-1】引擎溫度與燃料消費率

資料來源：全華圖書



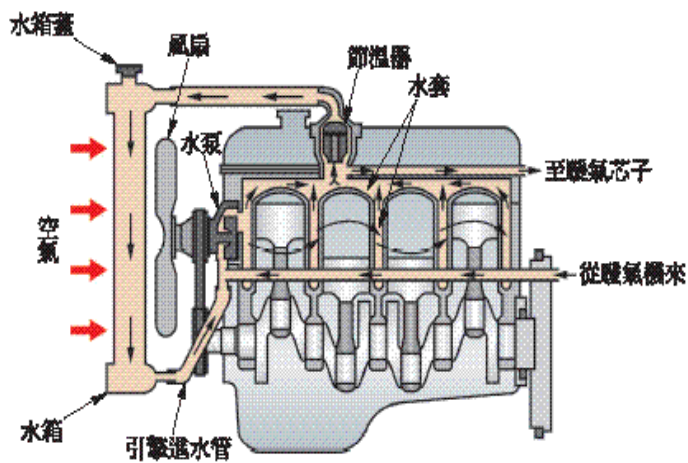
【圖 1-2】水箱構造

資料來源：全華圖書



【圖 1-3】水箱扁式水管

來源：全華圖書



【圖 1-4】引擎冷卻系統

來源：全華圖書

## 第二章研究內容與方法

### 2.1 研究內容

本文選定一顆汽車引擎，包含引擎本體、水箱、風扇、發電機等一切引擎發動所需之軟體、硬體。並依「CNS-8951-D3128 汽車用水箱散熱能試驗法」[8]分析銅製水箱及鋁製水箱之散熱能力。其中標準所用的名詞之意義，說明如下

- (1) 換算散熱量：將冷卻水（以下簡稱水）散熱量換算成入口溫度差（60°C）時之散熱量，以每小時仟卡數（kJ/hr）表示。
- (2) 水散熱量：水所損失之熱量，以每小時/千卡數（kcal/hr）{每小時仟焦耳數（kJ/hr）表示。
- (3) 空氣受熱量：於試驗狀態，冷卻空氣所得到之熱量，以每小時仟卡數表示，{每小時仟焦耳數（kJ/hr）表示。
- (4) 入口溫度差：流入水箱之水溫與空氣之入口溫度差，以°C
- (5) 水流量：通過水箱之水流量，以每分鐘公升數（l/min）表示。
- (6) 前面風速：通過水箱之風量，以散熱芯子前面面積除之所得。以每秒公尺數（m/s）表示。
- (7) 水壓力損失：於試驗狀態，測水箱之水出入口間之靜壓之差，以毫米水銀柱（mm/Ag）表示。

試驗引擎採用架上引擎，以免除車輛引擎室內無法自然對流之干擾。並在



上、下水管開孔放置溫度計，上水管於靠近節溫器側開孔放置溫度計，下水管於靠近水泵側開孔放置溫度計，試驗時記錄環境溫度、溼度與上、下水管冷卻水溫度。

## 2.2 研究方法

試驗之水箱、水、實驗室，試驗裝置及儀錶之條件，如下所述。

- (1) 水箱：水箱係由散熱芯子、水箱殼等主要構件與托架及附屬零件裝備而成，須使用上能滿足水箱誤能之最低限者
- (2) 水：水箱之水迴路所使用之水，並無特別指定，可使用清水。流入水箱口水溫度，保持在  $60^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 試驗室：若無特別指定，保持常溫常溼，於試驗裝置之空氣吸入端，勿使空氣之流動及入口溫度有太大之變動。
- (4) 試驗裝置及儀錶：試驗裝置及儀錶，於試驗差須先檢查並予校正。

試驗裝置及儀錶：

- (1) 試驗裝置大致由水迴路與風洞形成。
- (2) 在水箱的水迴路中，為了避免混入空氣、蒸氣，於水迴路之重要位設置消除空氣裝置。
- (3) 水泵連接在水箱之進水管端或出水管端均可。但須注意，勿使孔蝕之現象發生。實驗中將兩個水箱的變數，包括受測引擎本體、冷卻水（純水）、水箱蓋、風扇轉速、引擎轉速均維持相同。實驗時讓兩組水箱

在相同室溫、溼度之下，用相同引擎做試驗。當試驗完鋁製水箱後，馬上更換銅製水箱，讓實驗時的變數降至最低。實驗時，室內正常通風，不另使用空調或是抽風機，單純只有窗戶使空氣自然對流。讓引擎風扇經由手動控制，不由車輛 ECU 及水溫感知器控制，當上水管冷卻水溫度達 110℃ 時，手啟動風扇開關，當下水管溫度降為 85℃ 時或達實驗設定之風扇運轉時間後，手動關閉散熱風扇，紀錄風扇運轉所需時間。試驗之引擎使用中華 1.2 公升共同引擎，引擎及冷卻系統規格如[表 2-1]所示。

試驗方法分別為「定溫」「定時」「昇溫」「降溫」混合之方式，藉由不同方式來辨定水箱之散熱能力。定溫試驗實驗中將兩個水箱的變數，包括受測引擎本體、冷卻水 (RO 水)、壓力式水箱蓋 ( $0.9\text{kg/cm}^2$ )、風扇轉速、引擎轉速均維持相同。使水箱昇溫、降溫，記錄時間、溫度後，再兩相比較得知散熱性能。

### 2.3 影響水箱散熱的因素

水箱可依流動方式分為兩類：

上下流動式：熱冷卻水由上水箱進入，冷卻過的冷卻水由下水箱流出，再由水泵打入水套中，因能配合水溫與比動之變化，效果好，早期引擎使用較多如圖【2-1】。

左右流動式：又稱為橫流式，貯水箱在散熱芯子之兩端，冷卻水橫方向左右流動。水箱橫方向尺寸可加長，以降低車輛高度，有利於引擎蓋前方

高度的縮減，降低風阻係數，現代引擎常採用之，如【圖 2-2】所示，本實驗之水箱就為此種左右流動式水箱。目前車輛為使散熱良好，不只是在水箱材質上做改變，連基本的冷卻系統週邊也一同改進。除水箱流動方式不同，引擎冷卻系統週邊零件，也分別會影響到水箱的散熱。

## 2.4 汽車冷卻系統週邊零件

「水泵」引擎之水泵均採用離心式水泵，由泵體、葉片、水泵軸、水封等所組長，如【圖 2-3】所示，水泵之葉片有放射型及漩渦型兩種，如【圖 2-4】所示。水泵軸與風扇皮帶裝在一起，由引擎曲軸皮帶盤驅動。水泵將自水箱來的冷卻水，或從汽缸體經旁通道來的冷卻水，壓入汽缸水套中，強制冷卻水循環作用，以材質分類有鑄鐵、鋁、塑膠，目前部份新式車輛均採用塑膠水泵葉片，藉以節能省碳。。

「風扇」裝在水泵皮帶盤前端，或電動風扇裝在水箱上。舊式車輛採用曲軸皮帶盤直接傳動，這使得車輛不論是否需要散熱，風扇均在運轉，非常浪費動力。而後期改為「矽油離合器風扇」，可讓風扇在低溫時，運動速度變慢，而高溫時因矽油受熱膨脹使風扇離合器接合，風扇開始轉動散熱。現代新式車輛均使用電動風扇，風扇由車輛電腦依照冷卻水溫度決定是否運轉及決定風扇轉速高低。風扇改良的部份不只是單單只有控制與風扇轉速之提高，連同風扇葉片之角度都由電腦輔助設計，以求得最大風速、風量及降低風扇運轉音、使風扇轉速可以提高。風扇材質也由以前的鐵製品

改為塑膠射出成型製品，以減少風扇之重量，但相對的缺點為塑膠風扇常因引擎室之高溫，而使塑膠風扇產生龜裂破損。為使水箱四周獲得良好冷卻，並提高風扇效率，現代車輛均裝用風扇罩。如【圖 2-5】所示。

當汽車輕負載、高速行駛時（60Km/hr），以自然通風量對水箱冷卻即可，但此時傳統式風扇仍轉得很快，不僅損失引擎動力，且使風扇產生很大噪音，故新式引擎裝有風扇傳動控制裝置，或採用電動風扇。現今新型汽油噴射引擎車輛大多已採用電腦控制式風扇，電動風扇的 OFF、低速運轉及高速運轉等，均由電腦控制，可減少風扇的振動及噪音，及保持一定的工作溫度，並有失效-安全（fail-safe）之功能，可避免因水溫感知器故障，而導致引擎過熱受損。

「水箱蓋」現代汽車引擎所使用之水箱蓋均為壓力式，以提高冷卻水之沸點，使冷卻水不易沸騰，同時可以提高水箱內之冷卻水與空氣之溫度差，提高冷卻效率，並且可以減少冷卻水的流失，以免日常保養之麻煩。壓力式水箱蓋所增加之壓力為錶壓力  $0.5\sim 0.9\text{kg/cm}^2$ ，可使冷卻水之沸點提高至  $110\sim 130^\circ\text{C}$ 。其構造如【圖 2-6】所示。當水箱內壓力大於規定值時，壓力閥打開，高壓蒸氣及冷卻水由溢流管流出，或進入貯存箱（副水箱）。當引擎停止，冷卻水溫度降低，體積收縮後，水箱內之壓力會低於大氣壓力，此時真空閥打開，使空氣或貯存箱（副水箱）中之冷卻水流入水箱內，以防止水箱或水管塌陷，並保持冷卻水量。

「節溫器」要使引擎保持最佳效率，延長引擎使用壽命，冷卻水之溫度最好保持在 80~90°C 之間，引擎溫度太低時，燃料消耗率增加，且引擎易磨損。節溫器之作用即使引擎依冷卻水溫度來決定「小循環」、「大循環」。就是冷卻水溫度太低時，不要流到水箱，只有在引擎水套內循環，使冷卻水溫度很快上升到正常的工作溫度。當冷卻水溫度低時，節溫器關閉，冷卻水只在引擎水套與水泵間循環，稱為小循環。如【圖 2-7】所示。

當冷卻水溫度達到規定溫度以上時，節溫器打開，冷卻水從引擎水套出來，經水箱冷卻後流回水泵，再打入引擎水套，稱為大循環，如【圖 2-8】所示。

「節溫器鈎閥」為防止引擎水套循環系統內有空氣存留，影響冷卻效果，節溫器上有鈎閥，以排除空氣，如【圖 2-9】所示。作動如【圖 2-10】所示。

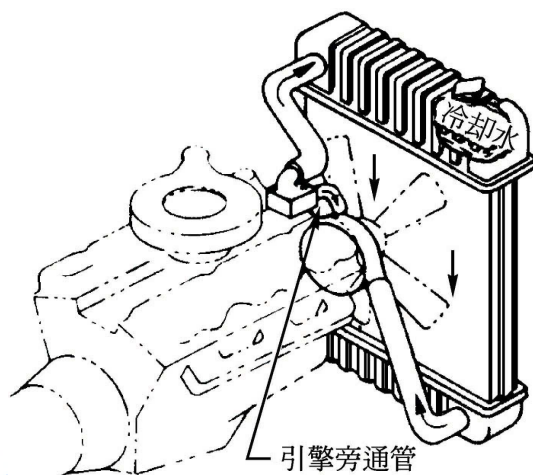
「冷卻液」，水冷式引擎最並遍使用之冷卻液為水，因其價廉取用方便，但需要為清潔之軟水才可，如水中含有鐵、鹽、硫化物等雜質，會使整冷卻系統發生腐蝕或積垢，影響冷卻效果。水之準點又剛好在引擎工作溫度之上，但水之冰點為 0°C，在寒冷地區，引擎停止時，水會結冰膨脹，使引擎卡死無法發動，嚴重時可能使引擎本體或冷卻系統故障，因此在寒冷地區，應加入防凍劑。通常在水箱中必須加入水箱精，而構成所謂的冷卻液。因為純水的沸點為 100°C，而低於 0°C 就會結冰變為固態，水箱精的作用就是將沸點提昇（約 105°C 至 115°C）並且降低冷凍點，且需防止水箱及引擎

水道生鏽。而近年來也由於冷卻系統管路的重新設計，大都採用高壓式水道設計，藉此來升高冷卻液的沸點（可達 130°C 以上）。冷卻液因為添加了水箱精的緣故，是利用化學變化來達到抗凍、高沸點、防鏽功能，當時間到達一定的範圍，因化學變化的物質將失去原有的標準功能，故基本上每年都需更換一次引擎冷卻液，且順便檢查所有的冷卻機件是否正常，在更換完冷卻液、重新添加水箱精時，千萬要注意水箱精濃度及比例的多寡！通常是利用比重計和液體濃度規來偵測，在專用儀器上務必達到抗凍能力在 -30°C 的規範，也就是說必須達到 -30°C 的規格時，水箱精的濃度比例才算標準，正常水與水箱精的比例約為 30%~60%，而台灣地區正常建議 30% 即可，若是要有較為良好之散熱能力，正常建議水與水箱精各 50% 之散熱性能最佳。一般水箱精防凍劑皆採用乙稀乙二醇（又名甘醇）為冷卻液，其優點為沸點較水為高，不易蒸發，冷卻效果較好。且還會在乙稀乙二醇之中加防鏽、潤滑、防止氣泡等添加劑，用以保護引擎冷卻系統。乙稀乙二醇密度大於水，而比熱及導熱度均不如水，與水溫合之比例過高時，其熱傳導系數會越低，亦即不利於散熱，所以在台灣地區，水與水箱精別超過 50% 的比例即可。

【表 2-1】-引擎規格

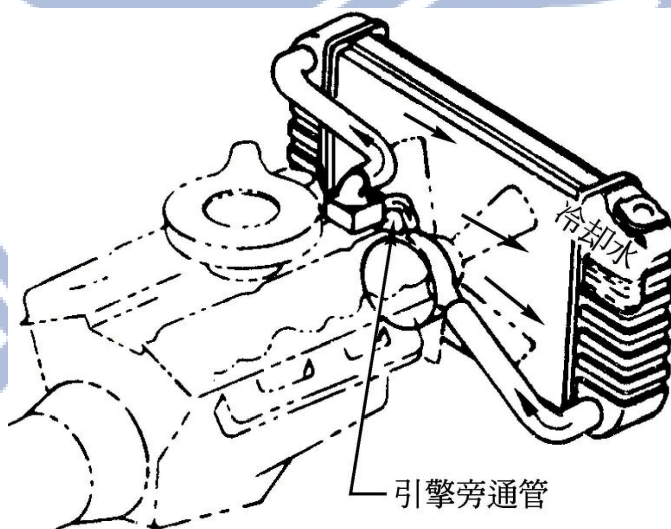
項目	規格
引擎總排氣量	1198 cc
缸徑	74.5mm
行程	68.7mm
壓縮比	9.5
冷卻系統	水冷式強制循環
水泵型式	離心葉輪式
節溫器開啟溫度	79°C~85°C
節溫器全開溫度	96°C
節溫器升程	11mm
壓力式水箱蓋	0.9 kg/cm <sup>2</sup>

資料來源：中華汽車



【圖 2-1】上下流動式水箱

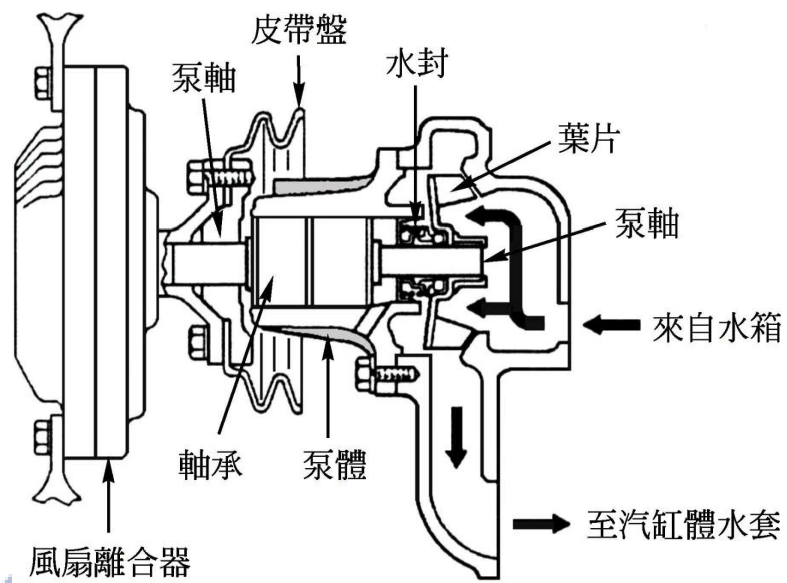
來源：全華圖書



【圖 2-2】橫流式水箱

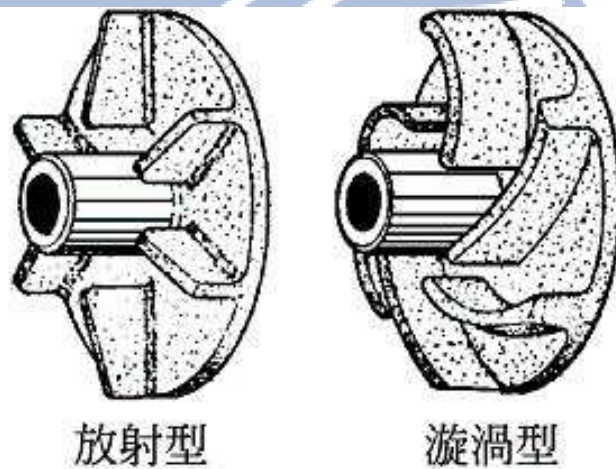
來源：全華圖書





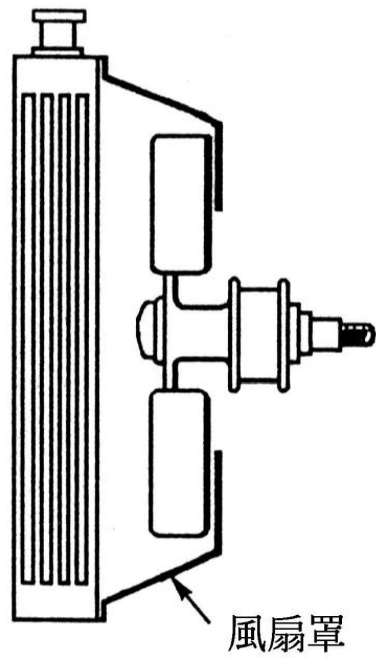
【圖 2-3】水泵構造

來源：全華圖書



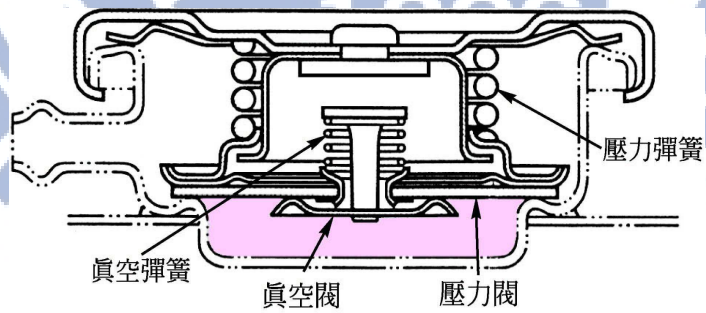
【圖 2-4】水泵葉片型式

來源：全華圖書



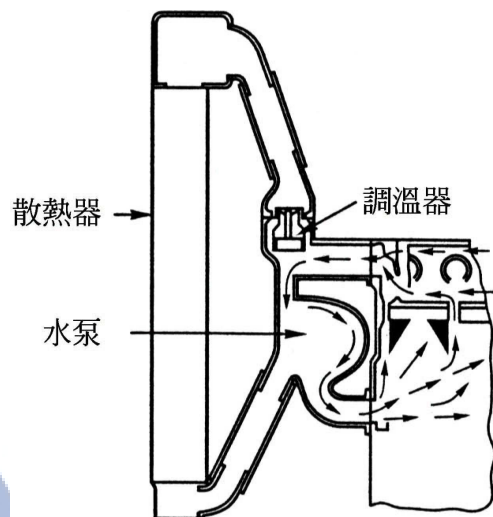
【圖 2-5】水箱風扇罩

來源：全華圖書



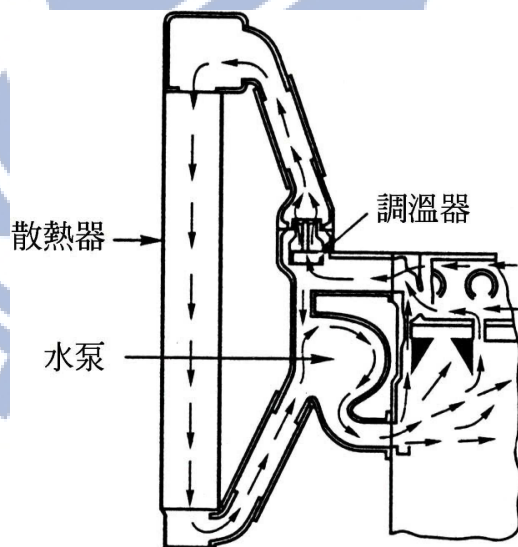
【圖 2-6】水箱蓋構造

來源：全華圖書



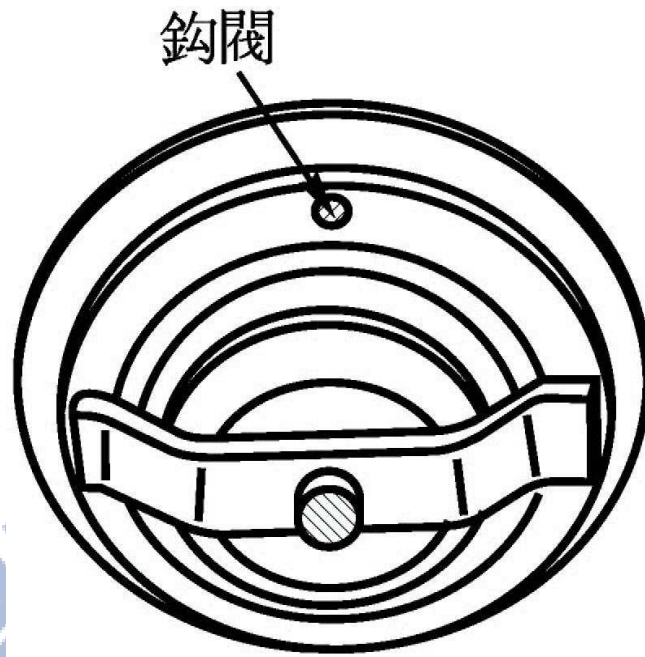
【圖 2-7】引擎冷卻水-小循環

來源：全華圖書



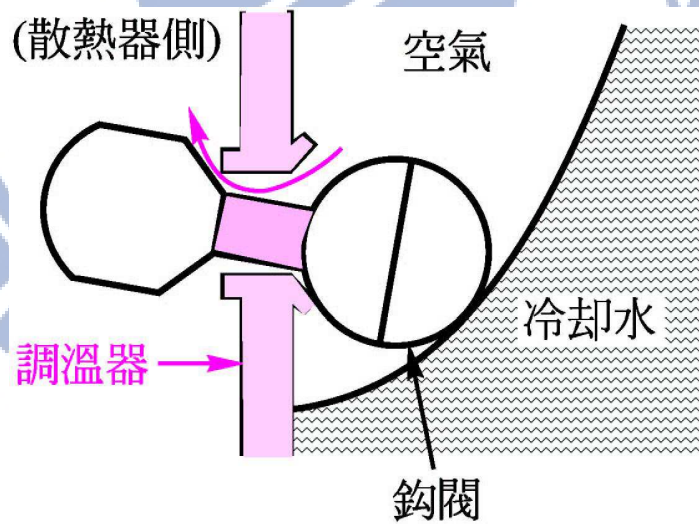
【圖 2-8】引擎冷卻水-大循環

來源：全華圖書



【圖 2-9】節溫器及鉤閥

來源：全華、科友



【圖 2-10】節溫器鉤閥作動示意圖

來源：全華圖書

## 第三章理論

### 3.1 基本假設

比熱和導熱是沒有任何關係的，沒有比熱低導熱速度就快這回事。比熱低易熱易冷，但和熱傳導無直接關係比熱是單位 "質量" 能容納熱能量的能力。熱容，也就是單位 "體積" 能容納熱能量的能力。

由【表 3-1】數據可知，只要 0.5859 cal 的熱量就可以讓一立方公分的鋁上升或下降 1°C 但要 0.8188 cal 的熱量才能讓一立方公分的銅上升或下降 1°C。熱導係數是熱在同介質中傳導熱量的 "速度" 比例常數，越大傳熱越快。

導熱係數越大導熱量越大 Thermal Conductivity -符號  $\lambda$  or  $k$  單位 W/m·K 定義：維持單位梯度( $\Delta L/\Delta T$ )時，在單位時間(t)內流經物體單位橫截面積(A)的熱量(Q)稱為該材料的熱傳導率。

$$\lambda = (1/A) * (Q/t) * (\Delta L/\Delta T) \dots \dots \dots (2)$$

熱導係數是熱在同介質中傳導熱量的 "速度" 比例常數，越大傳熱越快，因此純銅在散熱方面比純鋁優良。

銅的導熱係數 0.092 Kcal/m·s·°C

鋁的導熱係數 0.051 Kcal/m·s·°C

故導熱率：銅 > 鋁

但比熱大小：

鋁(0.215cal/g°C) > 銅(0.092cal/g°C)

由以上公式和數據可知：

熱導熱速率和比熱沒有必然的規律性關係。

但因為焊接方式影響熱傳導，所以鋁製水箱之散熱能力會比銅製水箱優良。

### 3.2 理論分析

銅製與鋁製水箱兩者體積形狀，表面積皆相等，鋁的比重為  $2.1 \text{ g/cm}^3$ ，銅的比重為  $8.9 \text{ g/cm}^3$

1. 故可得知銅的質量為鋁質量的 4 倍，亦即  $\text{Al}:\text{Cu} = 1:4$

鋁的比熱為  $0.217 \text{ kcal/g}^\circ\text{C}$ 、銅的比熱為  $0.093 \text{ kcal/g}^\circ\text{C}$

2. 鋁的比熱與銅的比熱為  $217:93$

$$H = m * s * \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

3. 當同熱量發生於兩散熱器時，溫差與質量比熱積成反比

$$\text{質量比熱積比} \implies \text{Al}:\text{Cu} = 1 * 217 : 4 * 93 = 217 : 372$$

$$\text{溫差比} \implies T(\text{Al}) : T(\text{Cu}) = 1/217 : 1/372 = 372 : 217$$

由此可知道就溫差比較鋁優銅劣(鋁的溫差大於銅的溫差)，也就是鋁製水箱在與銅製水箱以溫差理論相比之下，鋁製水箱的溫差會比銅製的大，因此鋁製水箱散熱能力會比銅製水箱來的好。

但再考量到銅、鋁的導熱係數，銅之導熱係數遠高於鋁，相對的銅把冷卻水的溫度導熱至對流空氣中的能力會比鋁強。但於前面章節提到，因製

程的關係。所以製銅水箱有可能比鋁製的水箱還要差。因此理論上，鋁製水箱的散熱能力會比銅製還要強。銅製水箱與鋁製散熱器的競爭性，如【表 3-2】所示。

### 3.3 實驗方式

#### 3.3.1 定時昇溫實驗

條件：

引擎轉速：855RPM

量測引擎從上水管冷卻溫度達  $95^{\circ}\text{C}$  後運轉至  $110^{\circ}\text{C}$  所需之時間，引擎溫度量測由上、下水管之冷卻水量測。

#### 3.3.2 定時降溫實驗

條件：

引擎轉速：855RPM

量測引擎上水管冷卻水達  $110^{\circ}\text{C}$  後散熱風扇作動，塑銅、塑鋁水箱之上、下水管之溫度。引擎溫度量測由上、下水管量測之。

#### 3.3.3 長時間運轉實驗

條件：兩台相同之架上引擎，分別安裝銅製水箱、鋁製水箱。

引擎轉速：855RPM

風扇控制：ECU 控制時間，風扇用高速運轉。

記錄風扇運轉、及停止後再次運轉間隔時間及上、下水管溫度。

【表 3-1】-銅、鋁密度、比熱之比較

	銅	鋁
密度	8.9 g/cm <sup>3</sup>	2.7 g/cm <sup>3</sup>
比熱	0.092 cal/g-°C	0.217 cal/g-°C
熱導係數	385 W/m-°C	226 W/m-°C
	0.092 kcal/m-s-°C	0.051 kcal/m-s-°C
熱容	0.8188 cal/cm <sup>3</sup> -°C	0.5859 cal/cm <sup>3</sup> -°C

【表 3-2】鋁製水箱與各類銅製水箱比較表

	鋁製水箱	黃銅製水箱	純銅水箱	新製程純銅水箱
水箱上部厚度，英吋	17.01	17.01	17.01	15.55
波翼厚度，英吋	0.0045	0.0015	0.0015	0.0015
管壁厚，英吋	0.015	0.005	0.005	0.004
散熱芯子總重，磅	3.68	4.18	3.95	3.34
冷卻壓降，每平方英寸/磅	0.69	0.48	0.42	0.69
氣壓下降，英寸	1.24	0.87	1.24	1.24

來源：Penn State University Department of Mechanical Engineering.



## 第四章 實驗部份

### 4.1 實驗設備

1· 酒精式溫度計：【圖4-1】

2：上水管（黑）數位電子溫度計，溫度顯示分辨率：0.1°C 【圖4-2】

3：下水管（白）數位電子溫度計，溫度顯示分辨率：0.1°C 【圖4-3】

4：數位電子溫溼度計，溫度顯示分辨率：0.1°C，準確度：±1°C

溼度範圍：20%~98%，準確度：60%RH±5%RH 【圖4-4】

5：紅外線溫度計，顯示分辨率：0.1°C，準確度：±2°C±2%，更新時間：500ms 【圖4-5】

6：萬用電錶【圖4-6】

### 4.2 測試本體

中華汽車 VARICA 共同引擎 1.2

銅製水箱規格：【圖 4-7】【圖 4-8】

（純銅製）水箱厚度 48mm      水箱芯子厚度 3.4 條

鋁製水箱規格：【圖 4-9】【圖 4-10】

（純鋁製）水箱厚度 44mm      水箱芯子厚度 12 條

### 4.3 實驗規劃

本試驗使用一顆中華 1.2 共同架上引擎，為使測試之誤差值維持在最小，所以每次實驗後，立即更換不同材質水箱。如本次以 30 秒之降溫方式

量測銅製水箱之散熱，在測量完畢後，立即拆下銅製水箱，裝上鋁製水箱，再次進行相同之實驗，以避免引擎內部機件磨耗、水道循環不良、節溫器開啟溫度差、水泵流速等等因素，而影響實驗。

在定溫、定時試驗之後，發覺只是量測水箱升溫及水管之溫度，得知的數據尚嫌不足，因此又規劃出定時升溫、定時降溫之實驗，實驗時除量測上、下水管之水溫，另用紅外線溫度計量測水箱之表面溫度數據，以多種數據來比較銅製水箱與鋁製水箱之散熱比較。

#### **4.4 實驗操作及實驗數據**

##### **4.4.1 定時升溫實驗**

(室溫 30.3°C，溼度 65%)

定時升溫：先啟動架上引擎，維持怠速 850RPM，風扇不運作。待上水管之冷卻水溫度達 95°C 時（因為引擎節溫器於 95°C 時，升程全開，使引擎內部之冷卻水處於大循環，因此本定時升溫實驗才會定於 95°C 時再開始記錄溫度數據），每隔 30 秒量測一次上水管冷卻水溫度及下水管冷卻溫度及水箱於上、下水管相對位置之溫度。待引擎從 96°C 時持續運轉 210 秒後，再手動開啟風扇，因為達 95°C 後，持續運轉達三分鐘，引擎之上水管冷卻水溫度可達到 120°C 以上，若是引擎再持續運轉，將會使引擎機件受損，嚴重時有可能會造成引擎活塞與汽缸咬死，也就是所謂的縮缸。在 210 秒的昇溫實驗完後之後，可得到四組之實驗數據。分別為上水管冷卻水溫度、

下水管冷卻水溫度、上水管水箱相對位置之表面溫度、下水管水箱相對位置之表面溫度。銅製水箱之實驗數據如【表 4-1】所示，鋁製水箱之實驗數據如【表 4-2】所示。銅製水箱及鋁製水箱之比較折線圖如【圖 4-11】  
【圖 4-12】所示。

#### 4.4.2 定時降溫實驗

(室溫 30.1°C，溼度 64%)

定時降溫：啟動引擎，讓引擎怠速運轉，待上水管溫度達 110°C，啟動電動風扇，電動風扇跨接為「高速運轉」。每三十秒記錄一次上水管冷卻水溫度及下水管冷卻水溫度。水箱表面溫度不予記錄。因為風扇運轉時，空氣對流量過大，造成紅外線溫度計判讀誤差過大，溫度數據無參考價值。銅製水箱之實驗數據如【表 4-3】所示，鋁製水箱之實驗數據如【表 4-4】所示。銅製水箱及鋁製水箱之比較折線圖如【圖 4-13】【圖 4-14】所示。定時降溫實驗未記錄外箱表面溫度，原因為引擎散熱風扇之風量約為時速 60km/hr，產生空氣激烈流動，令紅外線溫度槍無法正確量測出水箱之表面溫度。因此水箱散熱時，本實驗不記錄水箱表面溫度。

#### 4.4.3 長時間運轉實驗

(室溫 19°C，溼度 78%)

長時間運轉實驗。引擎達工作溫度。記錄風扇運轉時間、風扇再次運轉之間隔時間。水溫則記錄上、下水管之溫度。不記錄表面水箱表面溫度。

記錄如【表 4-5】，平均運轉及運轉間隔時間記錄如【表 4-6】

#### 4.5 結果與討論

在定時升溫實驗時，發覺到節溫器全開啟行程時，銅製水箱與鋁製水箱之上水管之冷卻水溫度相差不多。但在節溫器行程全開啟一分鐘後，兩水箱之實驗數據開始有明顯的差異。以數據上看來，可明顯看出，銅製水箱之上水管溫度明顯比鋁製水箱低  $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 【圖 4-11】。先前假設鋁之表面溫度會比銅高，但經過實際實驗之後，發覺不論上水箱表面溫度或是下水箱表面溫度，皆是銅製水箱之表面溫度比鋁製水箱的表面溫度還要高【表 4-3】【表 4-4】。熱力學第一定律：能量守恆定律對非孤立系統的擴展。此時能量可以用功  $W$  或熱量  $Q$  的形式傳入或傳出系統。當物體之表面溫度與室溫相差越大時，熱傳導與對流會更快。

在下水箱昇溫實驗之數據更可以看出銅製水箱的優良散熱能力，銅製水箱下水管之溫度平均比鋁製水箱之溫度低  $2^{\circ}\text{C}$  左右，也代表著在無風扇強制對流之下，銅製水箱光是靠著水箱本身的熱傳導能力，就可以讓冷卻水溫度下降  $10^{\circ}\text{C}$  左右。而鋁製水箱只能讓冷卻水降溫  $5^{\circ}\text{C}$  左右。這時更能明顯比較出銅製水箱的散熱能力。

在定時降溫實驗時，當引擎上水管冷卻水溫度達  $110^{\circ}\text{C}$  時，手動開啟電動風扇。以 30 秒為記錄間隔，發現銅製水箱上水管冷卻水之溫度比鋁製水箱上水管冷卻溫度低  $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$  左名。在看下水管溫度紀錄的比較後，更是可

以發現，在風扇作用達 180 秒後，鋁製水箱之下水管冷卻水溫度在  $67^{\circ}\text{C}$  左右，就無太大之變化。而銅製水箱下水管冷卻水溫度則是在 180 秒到 300 秒之後，降到  $51^{\circ}\text{C}$  左右。同樣是 300 秒之風扇作動時間，銅製水箱可冷卻到  $51^{\circ}\text{C}$ ，即關閉散熱風扇。鋁製水箱若讓散熱風扇作用 300 秒以上，則無法再使下水管冷卻水降溫，下水管冷卻水溫度約在  $67^{\circ}\text{C}$  上下移動。在本實驗後，得到結論為銅製水箱不論製程有何影響，銅製水箱之散熱能力依然大於鋁製水箱。

在定時降溫實驗中，最有利於表示散熱的數據為鋁製水箱在風扇作用 180 秒後，下水管的水溫反而有些為提高。這個數據更是明顯表示出鋁的散熱力不足。同樣 180 秒後銅製水箱的上水管溫度固定，但下水管溫度仍然可以下降，這表示出銅的散熱能力優良。本試驗採用 300 秒為風扇作動時間，是因為 300 秒後，銅製水箱之下水管溫度就無太大變化。也代表銅製水箱可使引擎冷卻水降溫的最大限度為  $51^{\circ}\text{C}$  左右。再作用下去，也無法讓冷卻水溫更低。這就是本實驗為何定義散熱風扇作動時間為 300 秒之原因所在。

在長時間運轉時更能看出散熱的差異性能，銅製水箱風扇運轉時間平均比鋁製水箱少 7 秒。風扇再次啟動間隔時間，銅製水箱平均比鋁製水箱多 20 秒。當車輛在市區行駛時，使用銅製水箱可有效降低風扇運轉時間及延長風扇起動間隔，可延長風扇、發電機之壽命也可節省汽車燃料消耗量。



【圖 4-1】酒精式溫度計



【圖 4-2】電子式溫度計-上水管 (黑)



【圖 4-3】電子式溫度計-下水管（白）



【圖 4-4】數位電子溫溼度計



【圖 4-5】紅外線溫度計



【圖 4-6】萬用電錶





【圖 4-7】銅製水箱



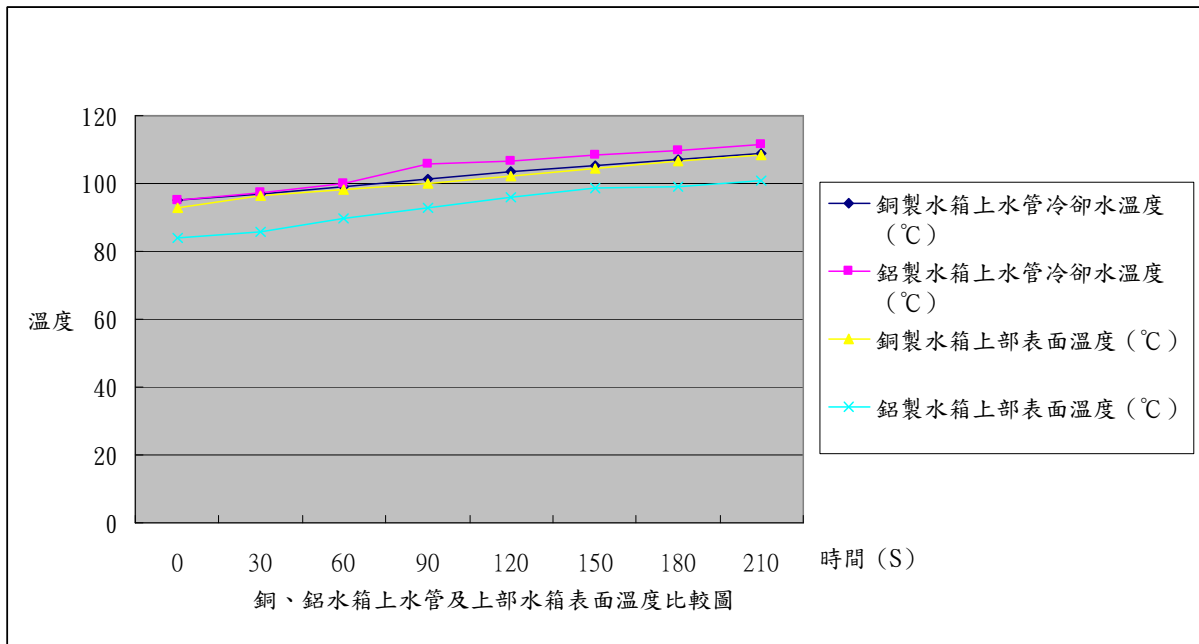
【圖 4-8】銅製水箱安裝圖



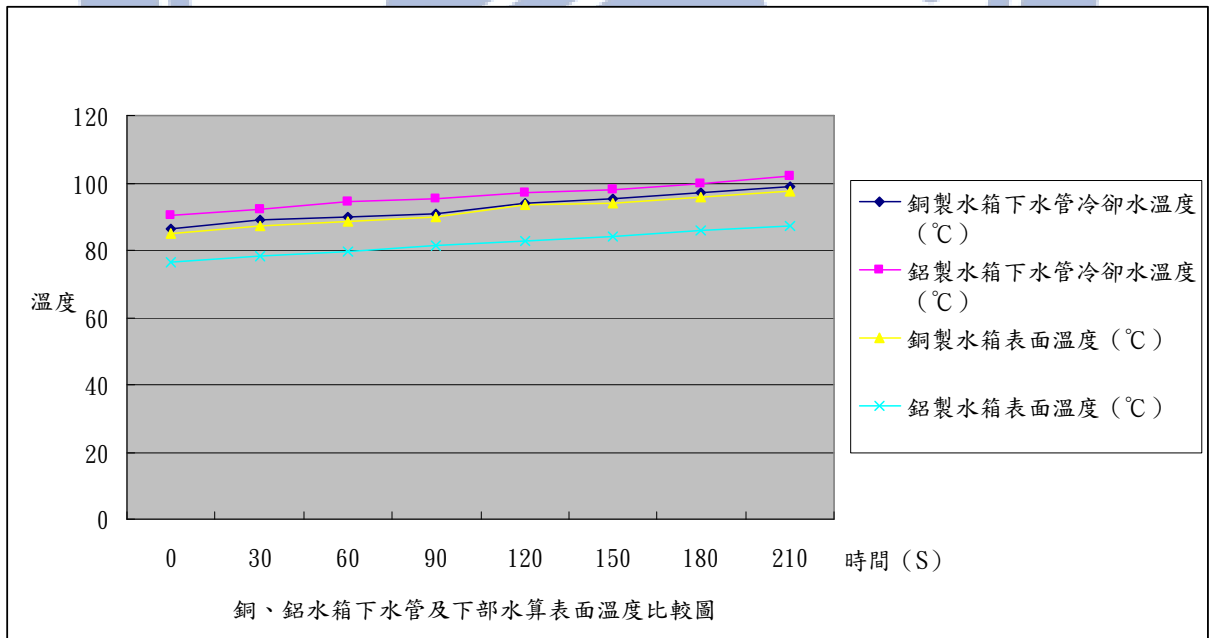
【圖 4-9】鋁製水箱



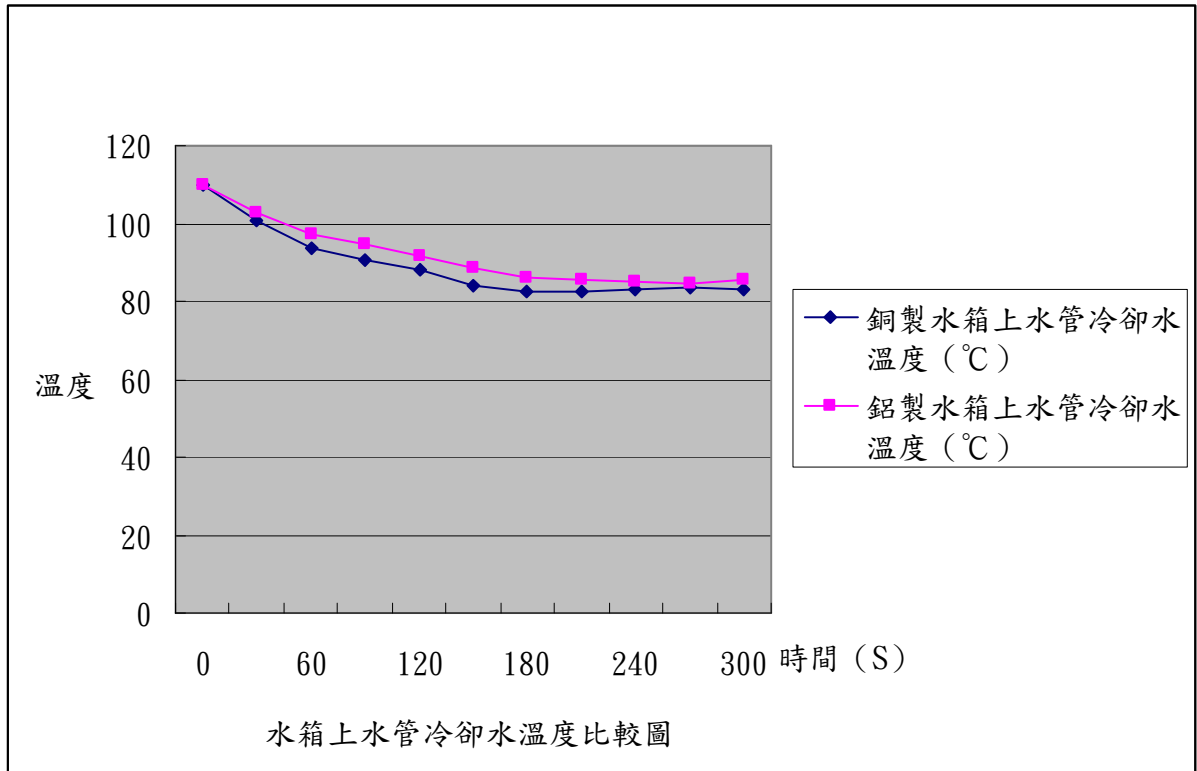
【圖 4-10】鋁製水箱安裝圖



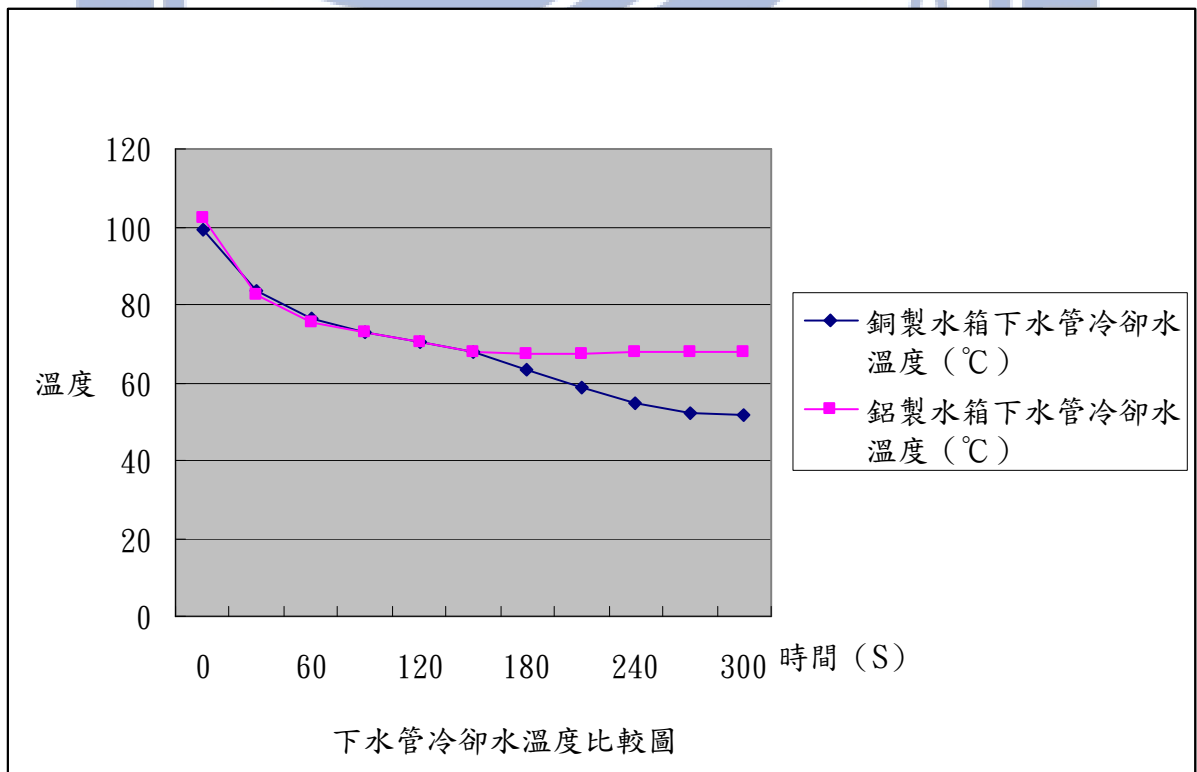
【圖 4-11】銅、鋁水箱上水管及上部水箱表面溫度比較圖



【圖 4-12】銅、鋁水箱下水管及下部水箱表面溫度比較圖



【圖 4-13】上水管冷卻水溫度比較圖



【圖 4-14】下水管冷卻水溫度比較圖

【表 4-1】銅製水箱定時加熱實驗數據

量測時間 (S)	上水管冷卻	水箱表面溫	下水管冷卻	水箱表面溫
	水溫度 (°C)	度 (°C)	水溫度 (°C)	度 (°C)
0	95	94.1	86.1	84.9
30	97.1	96.5	88.9	87.4
60	99.1	98.3	89.8	88.4
90	101.5	100.2	90.8	89.7
120	103.5	102.1	94.1	93.4
150	105.4	104.5	95.2	94.1
180	107.2	106.5	97.1	95.9
210	109.1	108.3	99	97.4

【表 4-2】鋁製水箱定時加熱實驗數據

量測時間 (S)	上水管冷卻	水箱表面溫	下水管冷卻	水箱表面溫
	水溫度 (°C)	度 (°C)	水溫度 (°C)	度 (°C)
0	95	84.5	90.4	76.2
30	97.2	85.9	92.1	78.1
60	99.8	90	94.3	79.5
90	105.9	92.7	95.4	81.2
120	106.5	96	97	82.8
150	108.5	98.6	97.9	84.1
180	109.9	98.9	100	85.8
210	111.5	100.8	102	87.1

【表 4-3】銅製水箱定時散熱數據

量測時間 (S)	銅製水箱上水管	銅製水箱下水管
	冷卻水溫度 (°C)	冷卻水溫度 (°C)
0	110	99.2
30	100.8	83.4
60	93.7	76.3
90	90.8	72.8
120	87.9	70.3
150	83.9	67.7
180	82.3	63.3
210	82.4	58.7
240	82.8	54.9
270	83.3	52.3
300	83.2	51.5

【表 4-4】鋁製水箱定時散熱數據

量測時間 (S)	鋁製水箱上水管	鋁製水箱下水管
	冷卻水溫度 (°C)	冷卻水溫度 (°C)
0	110	102.1
30	102.8	82.5
60	97.3	75.5
90	94.8	73
120	91.8	70.6
150	88.5	67.9
180	86.2	67.1
210	85.7	67.4
240	84.9	67.7
270	84.7	67.8
300	85.4	67.6

【表 4-5】引擎長時運轉數據

記錄時間	銅製水箱上水	鋁製水箱上水	銅製水箱下水	鋁製水箱下水
	管水溫℃	管水溫℃	管水溫℃	管水溫℃
5S	109.5	109.5	101.8	102.4
10S	106.2	110.1	88.3	94.5
15S	103.9	107.2	85.4	91.2
20S	100.7	105.5	83.9	89
25S	97.8	102.7	80.1	86.1
30S	96.2	99.1	79.1	84.6
35S	94.3	97.3	77.3	81.4
40S	93.2	95.9	76.5	79
45S	90.4	93.6	75.7	77.3
50S	風扇停止	92.3	風扇停止	76.1

【表 4-6】引擎長時運轉風扇轉數據

銅製水箱	鋁製水箱	銅製水箱	鋁製水箱
45S	50S	260S	280S
45S	53S	261S	279S
47S	53S	258S	279S
45S	51S	263S	281S
46S	52S	258S	250S

## 第五章 結論

### 5.1 銅製水箱與鋁製水箱的優劣

比熱小的物質容易加熱也容易降溫，當比熱的概念清楚時，很多人會認為，明明銅的比熱就比鋁來得小，為何高性能水箱終究使用鋁製品。原因在於一個好的散熱器，除了本身的材質要比熱低外，接觸介質的面積大也是相當重要！而鋁的延展性相當優異，所以整個水箱的散熱鰭片及管道，相對的都可以作得更加密集且細緻，也就是說和相同重量的銅製品比較，強化型的鋁水箱可以擁有更大的接觸面積，能快速的將熱透過空氣的接觸、輻射的方式散播出去。且鋁質本身有著不易鏽蝕，質輕的特性，所以為何鋁水箱會被要求高效率的散熱系統所採用，其真正的原因在此。但本實驗使用的水箱經過訂製，所以銅製水箱與鋁製水箱迎風的表面積是相同的。若是以同重量比的話。同等重量的鋁製水箱絕對會比同重量的銅製水箱迎風面積大很多。這也是為市面上改裝車輛在改裝水箱時，皆將水箱之迎風表面積加大。

市面上現行轎車、小貨車之散熱水箱皆以鋁製水箱的原因，並不是為了散熱好壞，因本實驗已證明，兩表面積大小相同的水箱，只差別在於銅製或鋁製的不同。其散熱能力是銅製水箱比較優良。汽車製造廠採用鋁製水箱的主要目的為節省成本。因目前市場上的車輛，除部份高級進口車外。國民購車的第一考量為價格是否合理，是否高出其它車廠很多。所以當有



一家汽車製造場採用低成本之鋁製水箱來降低成本，以吸引消費者時，其它的汽車製造廠也只有跟進。鋁製水箱，具有生產工藝簡單、易於加工、材料成本低廉，價格便宜等優點。但缺點是，整體散熱效果欠佳。鋁是汽車工業使用較多的金屬材料，也是汽車輕量化的首選材料。雖然鋁的熱傳導率較銅低，僅為銅的 60%，且鋁還有良好的鑄造加工性能。鋁散熱器具有品質輕、原料成本低等優點，但鋁散熱器之散熱不良是指相對於銅製水箱，鋁製水箱要取代銅製水箱目前只在小型車輛之中，因為大型車量著重於散熱能力，大型車輛有時滿載人員或貨品時，常常使引擎在全負荷之下工作，因此若是散熱能力不足，將使車輛受損。

從銅製水箱、鋁製水箱結構上來說，其產品功能沒有什麼不同，也不影響產品之間的互換。銅、鋁散熱器都是曾遍採用管帶式結構，散熱鰭片採用波翼式結構，唯有銲接方式不同。鋁散熱器銲接為硬銲，銲接溫度為 577~612℃，而銅散熱器採用的是軟銲，銲接溫度低於 450℃。鋁散熱器銲接頭的剪切強度為 50~58MPa，抗拉強度為 86~96MPa，而銅散熱器錫銲抗扭強度為 34~37MPa;所以鋁散熱器的結構強度要高於銅散熱器很多。因此鋁製水箱在結構強度上比銅製水箱耐用。

但鋁製水箱的主要失效形式是腐蝕導致的產品破洞滲漏，腐蝕主要來源於大氣腐蝕和水腐蝕。水腐蝕即是鋁製水箱加入非自來水或添加不適當之水液體而導致水箱的水箱芯子表面呈輻射狀多點漏水。另一式另車主時常

損壞水箱而不易令人發現的鋁製水箱漏水原因為電瓶或車輛本身漏電，漏電會導至水箱原物料電解，使鋁製水箱內座板呈黑色，進而腐蝕漏水。此一現象現在僅存在鋁製水箱。散熱管的穴蝕是常見的現象之一，特別是汽車冷卻系統採用加壓式冷卻系統，當車輛重負荷行駛時，更是容易讓已有腐蝕的水箱破裂滲漏。

銅散熱器的材料是銅，銅化學活性差，在大氣中難於氧化。由於大氣中還有少量的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等氣體，它們都會加速銅的腐蝕。但銅在大氣中腐蝕後形成銅綠，該薄膜組織緻密，與銅基緊密結合，從而起到保護作用，防止基體的進一步腐蝕。但我們看到本試驗時的銅製水箱為黑色，而不是銅製的金色。這個原因為銅製水箱用的是錫焊，所以焊接處會呈現銀色。水箱製造廠為了令水箱產品有好的賣相，因此統一將銅製水箱噴漆為黑色，此面漆對於水箱之散熱並無影響。銅、鋁水箱之散熱比較如【表 5-1】所示，可顯示銅製水箱在散熱方面優於鋁製水箱。

## 5.2 水箱未來發展

隨著對汽車輕量化和節能要求的日益提高，作為汽車重要部件的水箱也日益向高效化和輕量化發展，於 70 年代末期將鋁製水箱推向市場，特別是從 90 年代開始，在解決了焊接、耐腐蝕等一系列的問題之後，鋁水箱表現出強勁的發展勢頭，佔有很大的市場，並有不斷擴大的趨勢。在鋁水箱的激烈競爭之下，傳統的銅制水箱也在不斷改進，一是最大限度地減輕重量，例如管

片式銅制水箱的散熱片由原來的 0.2 mm 厚銳減至 0.025 mm，大大地降低了銅制水箱的重量；進一步提高了耐蝕性和使用壽命。總之，70 年代之前銅質汽車水箱獨佔市場，在 70 年代石油危機的影響下，人們的節能省碳意識大大抬頭。因而更加重視鋁制水箱的開發與應用，呈現出銅質和鋁制水箱並行發展的局面，而鋁制水箱在製造廠大力推行下，汽車廠更加重視鋁製水箱的開發與應用，而鋁製水箱在小轎車和輕型貨車市場上的優勢更為明顯。面對鋁工業的挑戰，為了保住銅制水箱的市場佔有率。國際銅業協會等機構正在研製開發更具市場競爭能力的新型銅制水箱，並期望能在數年內奪回部份被鋁所取代的部份。從目前情況看鋁制水箱完全取代銅制水箱是不現實的。更何況，重型車輛一直沿用銅制水箱。因而，我認為，在可以預見的將來，目前的銅製水箱和鋁製水箱會並行發展，而且，二者激烈競爭的結果，在水箱用材和製造工藝上將會不斷出現新改善和進步，且發展局面將會持續下去。將來為了降低車輛成本，大型車輛也有可能使用鋁製水箱。硬鐸銅，黃銅，這是與傳統技術製成的，具有相同的迎風面積，但空氣壓力降低 30%，且整體重量稍重。硬焊銅以先進的技術製作，可以利用原來鋁製水箱的生產線製造，而不需多花成本再重新建造新的生產線。因新製程的銅製水箱結合了較小的迎風面積和更薄的管壁，因此新式銅製水箱的大小和重量都具有明顯的優勢[10]，銅製水箱也有機會重回小型車的水箱市場。

**【表 5-1】銅製水箱與鋁製水箱散熱比較表**

散熱能力比較	銅製水箱	鋁製水箱
上水管冷卻水溫度	低	高
上部水箱表面溫度	高	低
下水管冷卻水溫度	低	高
下部水箱表面溫度	高	低
風扇運轉平均時間	45S	52S
風扇運轉間隔平均時間	260S	280S

## 參考文獻

1. 賴瑞海 全華圖書，汽車學 1 ，冷卻系統
2. 佟郜靜，洛陽工學院學報，國外汽車水箱材料的發展趨勢，第 21 卷第 2 期，1，2000 年 6 月 6 月
3. Webb,R.L.,Jung,S.H.,"Air-side performance of enhanced brazed aluminum heat exchangers",ASHEAE Transactions, 98(2) : pp391-401,1992
4. 曲芳.新型散熱器技術及汽車用銅和黃銅製散熱器[J]，銅加工， 1988，29(1) : 167 178
5. 趙國強，鋁與汽車[J]，有色金屬加工，1997，39(1) : 31 33
6. 劉文海 金屬中心 ITIS 計畫
7. 吳嘉晏，「氣冷及水冷式機車引擎之三維熱液動性能分析」，國立成功大學，碩士論文，民國九十八年
8. CNS8951 D3128，1982，汽車用水箱散熱性能試驗法，經濟部中央標準局，台北
9. Webb RL Advanced Technology Copper/Brass Radiator Design Competitive with Brazed Aluminum Radiators. ICA Berlin Seminar, 1993
10. 李湘.新型銅-黃銅製水箱成為鋁水箱的強勁競爭對手[J].有色加工動態, 1998, 126( 8) : 6 7.

## 簡歷

姓名：張銘晃

籍貫：苗栗縣

出生日期：1979 年 2 月 18 日

學歷：國立臺中高級工業職業學校-汽車科（1994-1997）

國立臺灣師範大學-工業教育學系-汽車組（1997-2001）

國立交通大學在職專班-精密與自動化工程組（2008-2012）

通訊處：苗栗縣苑裡鎮苑港里 2 鄰 19 之 2 號

聯絡電話：0933410061

