

水冷散熱系統於工業自動化之設計與實做

- 以電腦水冷系統為例

楊遠志

趙春棠

南台科技大學電機系

na020005@stut.edu.tw

tang@mail.stut.edu.tw

摘要

工業自動化技術日新月異，但其伴隨之高熱源，也間接地影響各模組之使用年限，模組運作時，熱源如何有效的控制，且妥善的利用，將成為未來技術開發之方向。本文的目的在應用程式式控制器搭配人機介面，設計工業自動化之水冷散熱系統，並以電腦水冷系統為例，進行設計與實作。在溫控設計方面，本論文設計了兩組控制模式，分別可依照實際工作溫度，自動線性調整輸出，以驅動被控元件，如馬達、風扇等；或可由使用者依熱源情況，自行設定負載輸出，以驅動被控元件。工業自動控制中，多元介面之結合與搭配，可有效提升工作效率，並促進節省能源。水冷散熱具有安靜、降溫穩定、成本較小等優勢，希望藉由本文的實現，能提高工業自動化之水冷散熱系統設計技術，促進節能科技的發展。

關鍵詞：水冷系統、可程式控制器、人機介面

1. 導論

工業發展至今，熱源一直是影響各式模組的重要關鍵，模組在驅動運作時，熱源如何有效的控制，將成為未來發展重要的趨勢。熱源影響到的範圍相當廣泛，也間接地影響到各模組的使用年限，倘若能適當的控制熱源，並加以妥善利用，便能有效的利用能源，使能源妥善的回收。再者，欲解決能源短缺之辦法，即為尋找替代能源，替代能源被搜尋或研發之前，節約能源是世界各國追尋的趨勢，而目前各方追求的目標為：減少或降低能源之應用與妥善的回收二次能源。

由民國100年台灣車輛統計表來看，一般內燃機的內部能量之分配，如圖1.所示，僅只有25%的能量被用來驅使汽車前進，5%是磨擦損耗，卻有將近70%的能量是被消耗以及排放掉，其中約有30%的能量是用於汽車引擎的冷卻系統，剩餘的能量則是經由排氣管排放到大氣中[1]。因此，若能對內燃機之燃燒熱能，規劃良好的設計與控制，將有助於節能科技之發展。

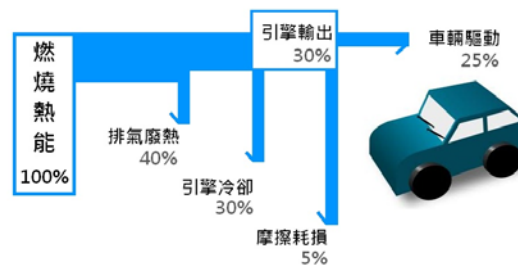


圖 1. 汽車消耗能源分布圖

目前市售之重型機車，由於駕駛時引擎溫度高於一般之市售機車，所以皆採用水冷系統，其運作原理為引擎汽缸外圍，幫浦驅動水在流體散熱器(熱交換器)與引擎汽缸之間循環流動，藉由水的吸熱散熱，達到冷卻的效果[2]。

重型機車之引擎冷卻，皆仰賴其水箱冷卻系統。其中冷卻水循環系統是由引擎水套、分水管、溫度調節閥、水幫浦、及水箱所組成，而空氣側則是由導風罩、風扇所組成，如圖2.所示。藉由水箱內之冷卻液與外圍空氣進行熱交換來達成其冷卻效果，因此機車水箱系統之冷卻效果是其引擎冷卻設計上之重點。

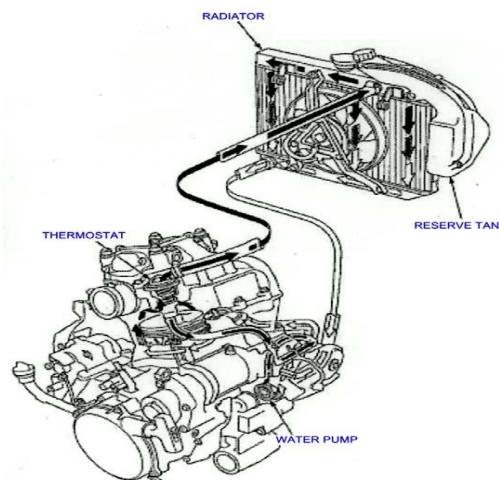


圖 2. 重型機車冷卻系統

由於水冷系統的諸多優勢，在工業自動化中，勢必越來越受到重視。本文即希望利用工業上普遍應用之可程式控制器，及現今人機介面技術，設計工業自動化之水冷散熱系統，首先以電腦水冷系統為例，進行設計實做，進而達到智慧節能之控制。本自動化控制系統，舉凡微處理機散熱元件設計，操作介面之人機介面編程、可程式控制器與其搭配模組之設計，水冷控制系統之馬達與散熱風扇驅動等，皆是所探討之主題。

2. 工業水冷散熱系統架構

工業水冷散熱系統架構，牽涉廣泛，首先必須了解熱源傳遞與水冷散熱原理，其次為工業水冷系統設計、利用溫度控制模組進行溫控設計、PLC 程式設計、人機介面設計等，茲分節說明如下。

2.1 熱源傳遞與散熱原理

由熱力學的角度研究，物體的吸熱、放熱是相對的。若有溫度差存在，就必然出現熱源從高溫處傳遞向低溫處的現象，其中的差異為熱源的傳導速度。熱源傳遞可歸類有以下 3 種方式：

A 傳導

熱能的交換是藉由分子間的互相接觸碰撞或是自由電子移動所產生。不同溫度的分子具有不同的運動能量，因此能量的轉換永遠是由高溫往低溫處傳遞。

B 對流

熱對流定義為固體與液體間的熱交換，而在電子設備散熱中，此流體通常是空氣。熱對流又分為由於溫度差產生流體密度變化而流動的自然對流，及由外力造成流體流動的強制對流。

C 輻射

輻射熱輻射可以在大氣中或是真空中發生能量的傳遞，而不需要任何介質。物體本身具有溫度，以電磁波的方式不斷地往外界放射即為熱輻射。大部份的物體都會吸收部份的輻射熱，其餘的熱能將反射或穿過去。

任何散熱器皆可能使用以上三種傳遞方式，只是應用有所不同，在散熱方式中我們初步歸類了以下五種散熱方式：風冷散熱、液冷散熱、熱管熱、半導體制冷、化學制冷。

其中液冷散熱是通過液體在馬達帶動下強制

循環帶走散熱器熱量，而出於成本和易用性考量導熱液體通常採用水，所以液冷散熱常被稱為水冷散熱。

水冷散熱相較於風冷散熱有安靜、降溫穩定、環境依賴較小等優勢，而成本較風冷高，但相較於熱管、半導體、化學制能成本卻低了許多，所以本實驗主要採用水冷散熱機制。

2.2 水冷散熱原理

上節中所歸納之五種散熱方式，其中液冷散熱是利用液體的循環流動帶走散熱器熱量。在成本和易用性考量下，導熱液體通常採用水，是以液冷散熱常被稱為水冷散熱。國際標準組織(International Organization for Standardization) ISO/TC147中，對於冷卻水之定義為：用於吸熱或散熱的水。

目前水冷於工業應用中，即為較廣泛的冷卻方式。在所有的液體中，水的比熱較大，為4.18 J/g°C，為較佳的熱交換介質。水冷系統利用水作為冷卻介質，將系統中的高熱帶走，多數的水冷系統，都會將水做有效的循環使用。其次選用水冷散熱的因素為：水的化學穩定性佳，不易分解；水的熱容量較廣，在常溫範圍內不會產生明顯的膨脹或壓縮；水的沸點較高，在常用條件下，在熱交換器中不易汽化；水的資源較廣泛，且流動性好，易於輸送和分配等。

水冷系統之熱量傳遞公式為，由溫度差乘上總熱傳係數再乘以總傳熱面積。

$$Q=U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

Q：熱傳量
U：總熱傳係數
A：總傳熱面積
 ΔT ：溫度差

本文以電腦水冷系統為例，以 CPU 做為熱源，說明工業自動化水冷系統設計。其中整個散熱過程包括 4 個環節：第一是 CPU，熱源產生者；第二是散熱片，是熱的傳導體；第三為風扇，乃增加熱傳導和指向熱傳導的媒介；第四即為空氣，此為熱交換的最終流向[3]。

2.3 工業水冷系統設計

工業之水冷系統設計中，熱交換器是一相當普遍與重要的裝置，有關熱交換器之選擇或設計正確與否，除影響運轉或產品生產成本外，對能源使用合理與否亦有相當的決定性。在設備或製程中之熱交換器種類相當多，如蒸汽系統各加熱裝置(如加熱器 Heater 及再沸器 Reboiler 等)，冷凝回收裝置(如蒸汽冷凝器 Steam condenser)，單元操作程序中之蒸發器(Evaporator)，輕沸物或塔頂，尾氣冷凝

回收裝置(如尾氣冷凝器 Vent condenser)，冷卻設備(如冷卻器 Cooler)，及公用系統之冷卻水塔(Cooling tower)等均是熱交換器或其系統之應用範圍。

熱交換器有些可單獨使用，有些則須與其他輔助設備合併使用，如冷卻水塔者，因此其使用效率得當與否必須整體考量始可[4]。圖 3.所示為冷卻水塔之系統架構，探討其能源使用是否合宜之相關問題，則關鍵首在其冷卻能力是否足適。

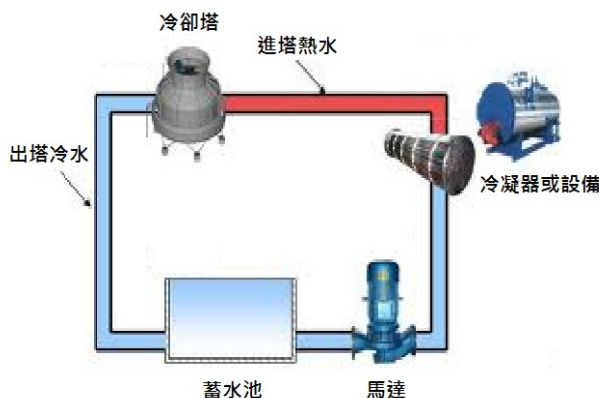


圖 3. 工業用冷卻水塔之系統架構

冷卻水塔之用途就是將挾帶廢熱的冷卻水在塔內與空氣進行熱交換，使廢熱傳遞給空氣並散入大氣。冷卻水塔之基本結構為：塔體、填充材、配水管(含噴頭)、擋水器、蓄水池(盤)、入風百葉(入風口網)、風機與風筒。冷卻塔在系統中，使用水作為循環冷卻劑，動作原理為從系統中吸收熱量，排放至大氣中，以降低水溫的裝置；冷卻藉著水的蒸發熱交換過程來完成，並使冷卻水可以繼續的循環使用，可降低成本，是非常有經濟效益。

冷卻塔冷卻方式，為熱源經過散熱元件，與通過之移動空氣相接觸，此時，熱源與冷空氣之間，產生明顯之熱交換作用，同時部份的熱被蒸發，即蒸發交換散熱，其蒸發之熱源被排放至空氣中，最後經冷卻的水在流回蓄水池內，再利用幫浦將水傳送至熱交換熱器中吸收熱量[5]。

根據熱力學定律，熱水經過冷卻塔時，放出之熱量相等於空氣由入口至出口時所吸收之熱量。

$$L \times (t_2 - t_1) = G \times (h_2 - h_1) \quad (2)$$

- L：循環水量 LPM (GPM)
- t₂：熱水溫度 °C (°F)
- t₁：冷水溫度 °C (°F)
- G：風量 kg/min(lb/min)
- h₂：出風口空氣熱焓 kcal/kg of dry air (BTU/lb of dry air)
- h₁：入風口空氣熱焓 kcal/kg of dry air (BTU/lb of dry air)

- L/G：水/空氣比
- e：空氣熱焓差 kcal/ kg of dry air (BTU/lb of dry air)
- R：水溫度差 °C (°F)

2.4 利用溫度控制模組進行溫控設計

水冷系統最基本之節能概念即是在於如何提高其冷卻效率，及保持最佳操作狀態。溫度控制系統廣泛運用在工業控制的各個領域，溫控系統控制方法的好壞、運行性能的合適與否，直接影響到產品品質、運行效率等。PLC 在溫度控制系統中得到了有效的運用，也為溫控系統提供安全可靠和比較完善的解決方案[6]。本文採用永宏 FBS 系列 PLC 控制之溫度控制系統，由 PLC 作為核心所構成之系統，可方便地運用軟體調整參數，利用類比功能模組和功能指令，在週邊電路的配合下實現類比溫度信號採集、A/D 數位轉換等，硬體設備如如圖 4.所示。

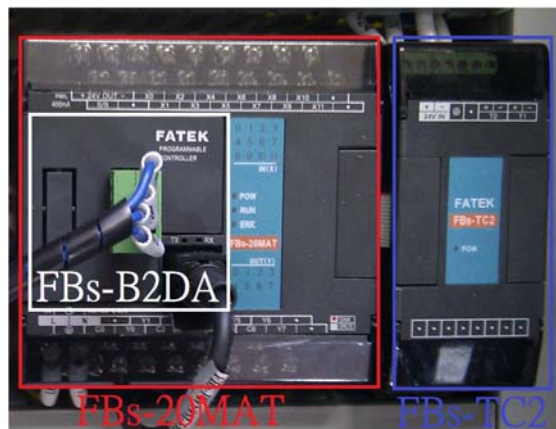


圖 4. PLC 溫度控制模組

圖4.所示為FBS-B2DA功能模組，以及雙通道熱電偶感應溫度量測FBS-TC2模組。FBS-B2DA是FATEK FBS系列PLC之類比輸出信號擴充板，其提供兩通道之類比輸出信號，應用時可依配線方式來決定輸入或輸出訊號的型態(電壓或電流)。在安全防護方面當CPU超過0.5秒未對模組進行存取時，輸出會自動變為零輸出，即變為0V或0mA，如圖5. 所示，FBS-B2DA功能模組之數值表示法：14 bits (0~16380)；輸出範圍：0~10V(電壓輸出)，0~+20mA(電流輸出)。

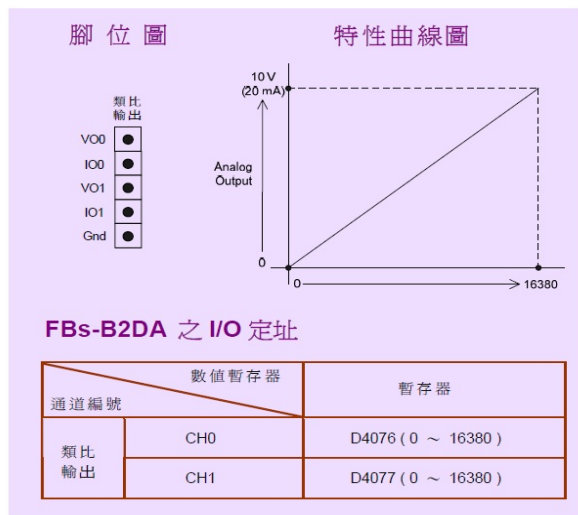


圖 5. FBs-B2DA 類比輸出模組功能圖

FBs-TC2 是 FBs-PLC 系列 2 通道熱電偶溫度量測模組。其解析度有兩種，當更新周期為 1 秒時解析度為 1 °C 而更新周期為 2 秒時解析度為 0.1 °C。本模組有內建之冷接點補償及感溫線斷線檢測電路。模組內各通道間採隔離方式設計，應用時可使用感測延遲較小之接地式感溫器而不會有通道間相互干擾之情況。為有效降低現場雜訊對正常信號的干擾，本模組亦提供了讀值平均之功能。感測器種類、更新速率及讀值平均次數的設定均採軟體規劃的方式，設定時使用者不須動到跳線或開關等硬體元件。FBs-TC2 之溫度模組 I/O 軟體規劃如圖 6 所示。

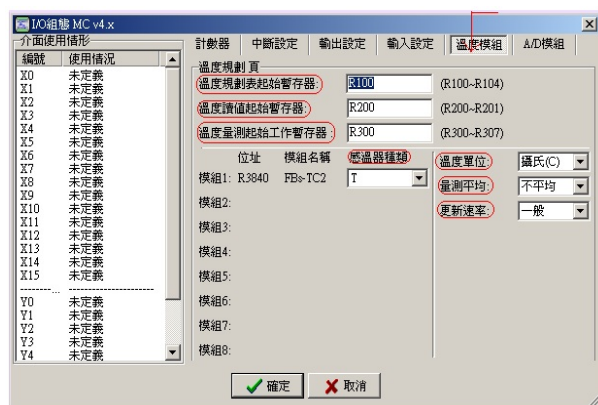


圖 6. FBs-TC2 溫度模組 I/O 軟體規劃圖

溫度控制一般的情形為：溫度量測模組首先將溫度的變化轉換成電壓信號，再將電壓信號輸入到 PLC 類比頻道中。PLC 通過指令讀入類比量，並轉換成數位值，再通過比較指令將輸入量與程式給定值相比較，從而作出相應的操作。若輸入量小於給定值，則說明實際溫度小於要求溫度，PLC 將經由功能模組，導通加熱接觸器，開始加熱；若輸入值大於給定值，則表示實際溫度大於要求溫度，

PLC 將斷開加熱接觸器，停止加熱。溫度的調控也就是對熱電阻絲的通斷電的控制。加溫時，使熱電阻絲通電；欲降溫，則使熱電阻絲斷電。

本文以電腦水冷系統為例，主要的目的在降溫，故無加热的考量，FBs-B2DA 功能模組輸出，則是連接風扇以及水循環馬達。本系統設計兩套控制模式，分別為：依照工作溫度線性調控參數設定，以及負載百分比手控設定，如圖 7 所示，以下分別說明之。



圖 7. 溫度控制之兩種模式

模式一：工作溫度線性調控參數設定

如前所述，FBs-B2DA 功能模組連接風扇以及水循環馬達，假定其輸出(電壓或電流)之極小與極大值分別如下：

$$4\text{mA} \sim 20\text{mA} \quad (3)$$

$$0\text{V} \sim 110\text{V} \quad (4)$$

此時讓使用者設定溫度的範圍：

$$\text{最低溫} \sim \text{最高溫} \quad (5)$$

當量測溫度介於最低溫與最高溫之間，此時利用式(3)-(5)，進行簡單的線性運算，即可求得輸出(電壓或電流)大小，自動線性調整被控元件(馬達、熱交換器風扇)的轉速高低，亦即工作溫度升高時，系統將自動調高被控元件轉速，達成降溫之目的。

模式二：負載百分比手控設定

此模式提供使用者，以手控的方式，不考慮現行系統工作溫度，直接調整被控元件的轉速高低。例如當使用者設定負載百分比為 0%，表示 FBs-B2DA 功能模組輸出為(3)、(4)式之最小值；反之，若使用者設定負載百分比為 100%，則表示 FBs-B2DA 功能模組輸出為(3)、(4)式之最大值，即滿載輸出。負載百分比介於 0%-100%者，則對式(3)、(4)，進行線性運算，求得輸出(電壓或電流)大小。與模式一相較，本模式與量測溫度無關，故此時之系統及節能效率較差。

2.5 PLC 及人機介面程式設計

PLC 程式設計方面,採用永宏電機可程式控制器,電腦連線編輯 WinProLadder 軟體撰寫階梯圖程式[7],如圖 8.所示。人機介面則採用 ADP 6.0 軟體撰寫,如圖 9.所示,並執行相關的離線模擬及連線監控。

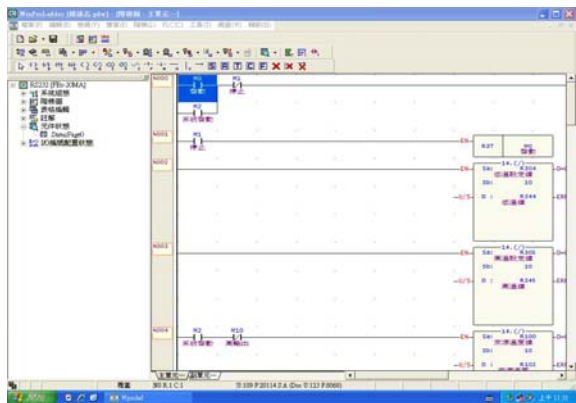


圖 8. PLC WinProLadder 軟體撰寫

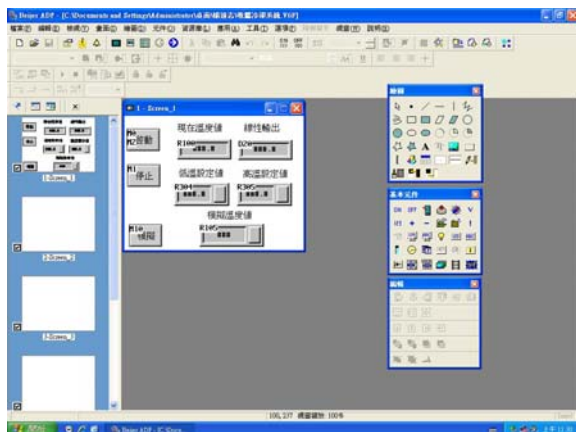


圖 9. 人機介面 ADP 6.0 軟體撰寫

人機介面(圖控)操作之設計,取決於應用端與客製化,圖控軟體與程式控制器之溝通為資料庫建立。利用資料庫的建立,可以達成軟體及硬體之相互溝通,即可實現控制系統之設計。操作介面利用匯入/匯出(Import/Export)方式,將程式控制器資料庫轉換成圖控資料庫,使兩資料庫進行同步處理[8]。

3. 實做結果

本論文以電腦水冷系統為例,說明工業自動化水冷散熱系統之設計與實做。採用 PLC 做為水冷控制器,並以此為基礎架構,設計了一套親和的人機操作介面,讓水冷系統操作與運行更有效率。圖 10.所示,為電腦水冷系統之整體架構流程。

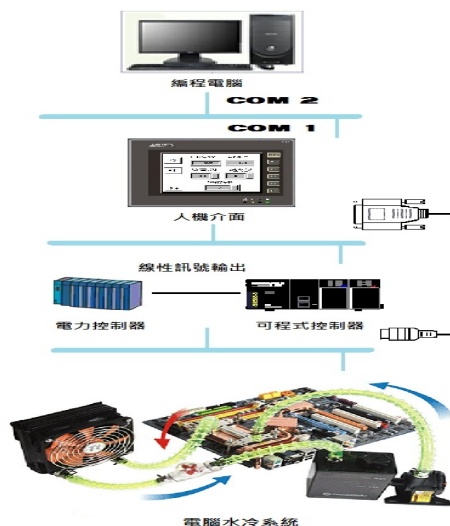


圖 10. 電腦水冷系統之架構流程

CPU水流散熱元件之設計,是以流道式的水流方式,帶走接觸熱源的最高溫度,再利用流體散熱交換器把熱排到大氣中,冷卻後的水再回流至流體儲存器內,完成一個循環,形成閉迴式的封閉系統。

水冷系統利用熱交換的傳導原理,當電腦啟動時,水冷系統開始同步啟動,液體在馬達的驅動下,開始在管路中做定向流動,水冷頭將晶片熱量通過導熱液體迅速傳遞至散熱排,最後經由風扇將熱量散發出去[9]。

3.1 電腦水冷系統元件介紹

電腦水冷系統主要是由流體儲存器(水箱)、馬達、流體散熱管、CPU散熱元件、以及流體散熱交換器五個元件組成,如圖 11.所示。

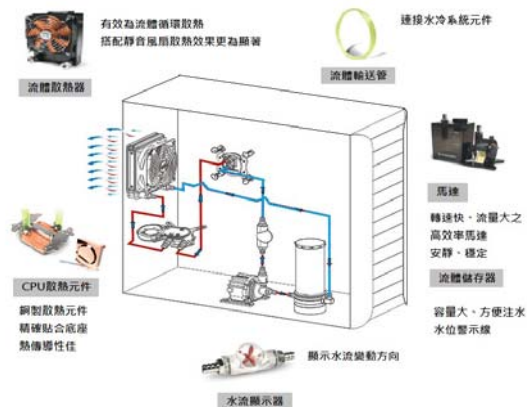


圖 11. 電腦水冷系統與各部位元件

製作電腦水冷系統時,元件選取與機構設計互為相輔相成,選擇元件應考慮適用性與水冷系統散

熱能力；機構設計之考量則為安裝簡易與水冷系統流體之流動性。主要元件之完成實體圖如圖 12.所示，以下將簡介本系統之各部位重要元件。

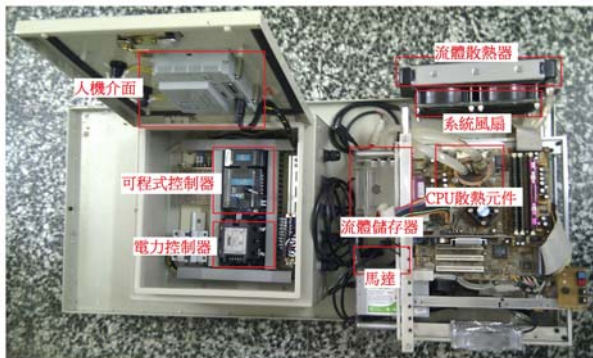


圖 12. 電腦水冷系統重要元件之完成實體圖

CPU 散熱元件

電腦水冷系統中，普遍常見的熱源有：中央處理器、顯示卡晶片等，此元件散熱原理為：將具有熱能之中央處理器，透過馬達將水輸入至元件內，並將熱量傳遞到水中，經過設計之水流道將熱能輸出。設計此元件須與中央處理器搭配，本研究選用元件為 AMD462 系列之中央處理器，元件大小與材質亦將影響散熱之優劣，圖 13.為設計的成品，圖 14.則為元件之尺寸設計圖。



圖 13. 中央處理器散熱元件設計

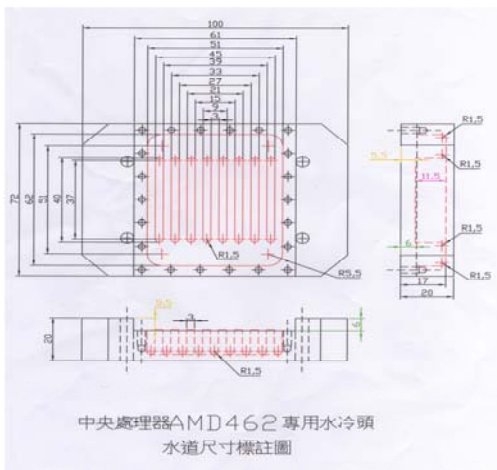


圖 14. 中央處理器散熱元件尺寸設計圖

馬達

馬達之關鍵因素為：低噪音、故障率低、傳輸水量的壓力是否足夠等，其中以故障率低與傳輸壓力是否足夠最為重要。例如馬達若不慎停止，那可能使中央處理器燒毀；若傳輸壓力不夠，不足以使流體在系統中有良好的流動，同樣也難以使元件達成散熱的目的。表 1.為本論文所使用馬達之輸出功率與適用電壓。

表 1. 馬達標示規格及流量

MODEL	MR-6-LO8
MAX.CAPACITY (最大流量)	8/9 l/min
MAX.HEAD	1.0/1.4 m
SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR CAPACTOR-RUN	
*POLES (極數)	2
*VOLTAGE (電壓)	100 V
*FREQUENCY (頻率)	50/60 Hz
*CURRENT (電流)	0.12/0.13 A
*OUTPUT (輸出)	3 W
*POWER CONSUMPTION(功率消耗)	13/15 W
*SPEED (速率)	2800/33100 rpm
*CAPACITOR (電容器)	1.5 μ

流體散熱器

此元件散熱原理與冷氣、重型機車水冷系統內之散熱器原理相同。流體將熱能導入散熱器鰭片中流通，熱交換的同時，風扇也將熱能快速吹散。散熱器鰭片內之熱導管大小也為注意要點，若導熱管太大，水流速度會加快，不易整體散熱。若導熱管太細，可能增加馬達的負荷，減緩整個水冷系統水流循環速度，本研究所使用之流體散熱器如圖 15.所示。



圖 15. 流體散熱器

3.2 人機介面圖形監控

圖 16.所示為本系統之人機介面控制操作畫面，在水冷系統運作後，人機介面會顯示現在溫度值。2.4 節中所提到的溫度控制兩種模式，在圖 16.中，以虛線上下隔開，虛線上方顯示者，為模式一：

工作溫度線性調控參數設定之操作介面；虛線下方者，則為模式二：負載百分比手控設定之輸入介面。

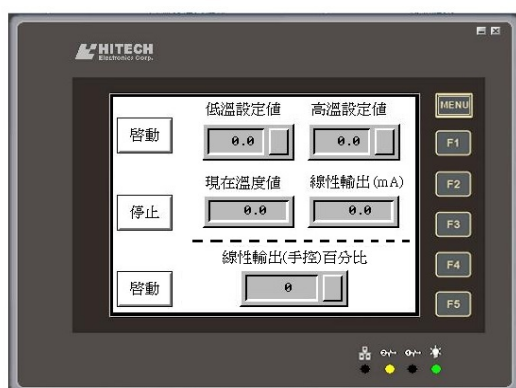


圖 16. 人機介面控制操作畫面

在模式一的狀況下，假定人機介面系統顯示現在工作溫度為 25 度，工作者可設定低溫設定值為 0 度，高溫工作值為 50 度，依照 FBS-B2DA 功能模組線性特型(數值為 4~20mA)，則 FBS-B2DA 功能模組輸出及介面顯示之線性輸出數值即為 12mA；倘若工作者將高溫設定值為 25 度，則 FBS-B2DA 功能模組輸出及人機介面顯示之線性輸出數值為 20mA。

而在模式二的狀況下，系統之被控元件(馬達、熱交換器風扇)的驅動電力，將由使用者在人機介面輸入線性輸出(手控)百分比(0%~100%)之數值來決定。例如系統啟動後，工作者希望被控元件之輸出為半載輸出，則在介面輸入 50%，被控元件將依照線性特性，給予對應之電壓 55V 左右之驅動電壓；倘若工作者希望被控元件之輸出為全載輸出，則在介面輸入 100%，則此時對應之驅動電壓輸出為 110V。

本系統提供兩種模式供使用者選擇，增加了實用上的彈性。圖 17. 為本系統之完成實體圖，可與圖 12. 對照。



圖 17. 電腦水冷系統完成圖

3.3 交流馬達轉速控制

電動機控制在工業自動化技術中，一向為重要的科技。馬達的種類繁多，大致可分為直流馬達與交流馬達，本系統所採用之馬達為交流馬達[10]。交流馬達依供給電源不同，又可分為單相及三相兩種。一般電腦運用水冷系統時，常使用單相的電源，因此本系統使用的都是單相交流馬達，以下簡介交流馬達轉速控制的方法。

A 調整電壓之高低

各國電壓不同，所選用之設備與元件也不盡相同。系統設計時控制元件選用時，工作者使用環境之電壓機是考慮之首要條件，調整電壓高低控制交流馬達轉速時，也須了解電壓為單向電壓或是三向電壓。

B 改變電源之頻率

此項方法必須採用變頻器控制，頻率降低時，交流馬達將會變成直流感應而提高電流，導致馬力相對應的減少，但扭力保持相同，若將頻率調高則磁力線減少導致扭力減少，但是馬力相對增加。若是單向交流馬達，則無法使用變頻器控制轉速。

C 更改馬達之極數

改變馬達極數也可有效的控制馬達轉速，根據馬達轉速公式 $= (120 / \text{馬達極數}(P)) * \text{頻率}(\text{Hz})$ ，假設電源頻率為 60Hz，則可得 2 極馬達，轉速達 3600 轉；4 極馬達，轉速達 1800 轉；6 極馬達，轉速達 1200 轉，8 極馬達，轉速達 900 轉等。但交流馬達要改變極數，在施作上非常不容易，必須拆除原有繞組，然後再重新繞製。

交流馬達的優點為價格低廉、構造簡單、維修容易、速率變動小，而且結構簡單、生產容易、無接觸零件較不用保養，且使用期限長。交流馬達的缺點則為，轉速受電源頻率固定，使用一般交流頻率無法使馬達高速運轉，最高僅達 3600rpm，高速馬達必需用變頻器來產生需要的工作頻率，速度控制須改變頻率或加裝其他回授器則較為麻煩。

3.4 效能測試

本研究應用電腦水冷系統中，並將電腦系統設置為超頻使用，其目的為提高電腦系統效能。不過超頻雖可提升電腦系統效能，但電腦系統穩定性仍甚為重要，否則因使用高效能處理電腦，而使電腦系統常常當機，就得不償失了。

本系統提供兩種模式之選擇，實驗用之電腦系統設定為超頻處理，監測軟體選用 3DMARK 軟體測

試，在軟體監測 10 至 30 分鐘後，發現模式一與模式二在運用上之設定，皆可使電腦系統之穩定度相對提升。一般電腦系統之 CPU 工作溫度常接近 70 度，故在模式一設定下，高溫設定值設定為 70 度，低溫設定值為 0 度，則此時系統會自動線性調整被控元件(馬達、熱交換器風扇)的轉速高低，圖 18. 中，人機介面顯示現在溫度 46°，線性驅動輸出為 14mA，此時若以軟體監測(圖 18. 下方)，軟體顯示 CPU 核心溫度為 45 度左右。



圖 18. 電腦水冷系統應用模式一之實現圖

在模式二操作下，由於電腦使用超頻設定，此時若設定負載百分比為 100%，人機介面將驅動線性輸出 20mA。利用軟體監測，可發現溫度值變化較為平穩，但此模式下節能效率較差，如圖 19. 所示。



圖 19. 電腦水冷系統應用模式二之實現圖

4. 結論

本文的目的在應用 PLC 及控制模組，結合人機介面，設計工業自動化之水冷散熱系統。由於熱源模擬不易，遂以電腦水冷系統為例，應用工業自動化技術，設計降低 CPU 熱源之水冷系統。首先設計中央處理器散熱元件，繼而設計 PLC 程式，及人機介面。在溫度控制方面，本系統提供了兩種模式，供使用者選擇，以增加本系統在使用上的彈性。模式一為工作溫度線性調控參數模式，模式二為負載百分比手控設定模式，前者在節能效率上，有不錯的表現。相較於風冷散熱等方式，水冷散熱有安靜、降溫穩定、環境依賴較小等優勢；雖然成本較風冷高一些，但相較於熱管、半導體、化學制能等方式，成本卻低了許多。希望本論文的實現，能有助於工業自動化之水冷散熱系統設計，及促進節能科技的發展。

參考文獻

- [1]沈彥成，採用水冷式散熱方法之引擎廢熱發電研究，南榮技術學院工程科技研究所碩士論文，2011。
- [2]吳嘉晏，氣冷及水冷式機車引擎之三維熱動性能分析，國立成功大學機械工程學系碩士論文，2009。
- [3] 新一代電子散熱技術研討會，工業技術研究院能源與資源研究所，2003。
- [4] 黃錦文，冷卻水塔之熱流原理(上)，中國冷凍空調雜誌，No. 31，pp. 118-133，1997。
- [5]黃錦文，冷卻水塔設計實務，熱流技術工作室出版，1993。
- [6]蔡佳仁、曾逸敦，整合型監控系統之開發，國立中山大學機械工程研究所碩士論文，2001。
- [7]廖文輝，可程式控制器應用-基礎篇(附範例光碟片)(修訂二版)，全華圖書，2006。
- [8]王進德，機電整合-圖形監控應用實務，全華科技，2003。
- [9]陳律安，電腦水冷散熱系統之效益研究，國立成功大學工程科學研究所碩士，2006。
- [10]Takashi Kenjo，Electric Motor and Their Control，五南出版社，2003。