

電子式控制閥恆溫裝置一 使用在加工油冷卻系統的改善

國立臺北科技大學 能源與冷凍空調工程研究所博士班 林謙育
臺北市立南港高級工業職業學校 冷凍空調科 邱品逢

摘 要

金屬加工作業所使用的切削油可分為油性切削油、水溶性切削油、合成切削液三類，本文主要針對油性切削油 (LACTUCA LT 3000C)，討論應用冷凍系統將切削加工油，所產生之高溫以油冷卻器進行油溫度控制。早期油冷卻器所採用的冷媒都為 HCFC 冷媒於蒙特婁 (Montreal) 公約中被列為過渡性冷媒，預定將於 2020 年面臨停產。目前商品化的工具機切削油用冷卻器替代冷媒以 ODP 為零 HFC-407C 與 HFC-410A 冷媒為趨勢。

本文先以冷媒軟體作模擬。再以實驗測試，進行毛細管長度測試，並比較變更不同之冷媒分析其性能。而在恆溫控制方面，先以壓縮機起動停止 (ON/OFF) 控制，隨後加裝電子式熱氣旁通閥 (hot gas by pass) 作恆溫控制，實驗發現電子式熱氣旁通閥恆溫範圍約在 $\pm 0.3 \sim 0.5^{\circ}\text{C}$ ，有極優秀之表現。

壹、研究動機與目的

臺灣工具機的出口值 2014 年位居全球前四名 (資料來源：臺灣區工具機暨零組件工業同業公會)，近年來隨著汽車產業的擴張，航空產業投資活躍，工具機未來需求，並無衰退。此外，由於現今工具機的發展趨向於高精密化及穩定化，即使工具機搭配線性馬達 (linear motor) 之操作亦須適時仰賴恆溫控制冷卻器。

本文除建立 HFC-407C 冷媒測試機組外，並將與商業冷媒軟體作模擬比對驗證。在實驗測試部分，進行毛細管長度測試對冷媒系統的性能影響。而在恆溫控制方面，先以壓縮機起動停止 (ON/OFF) 控制，本控制方式壓縮機起動停止頻繁有過熱現象，因此加裝電子式熱氣旁通閥作恆溫控制。雖然變頻控制方式為現今較好之恆溫控制方式，系統均存在有最小須求轉速，因此於小型冷卻器非為最佳選擇。故本文將設計電子式控制閥配合熱氣旁通之控制方法進行恆溫實驗測試，最後配合 Simulink 控制軟體與 Ziegler-Nichols 方法找尋電子式控制閥最適化之 PID 控制參數。

貳、理論與方法

一、研究方法與步驟

本研究將先由國內之相關論文與資料作為入門知識的踏板了解探討，再以冷媒性質之文獻資料出發，接著對現有系統的影響參數，同時並將文獻資料之重點作分析與探討整理，以作為後續實驗結果之參考。

在實驗量測部份，先對本量測 HCFC-22 原型機，隨後將系統冷媒換裝為 HFC-407C 冷媒，並作實際之量測，發現系統性能下降，對系統之毛細管管長調整，並量測性能變化。在恆溫控制方面先以壓縮機起動停止之控制方式作實測，隨後為提升其恆溫性能，特別在其冷卻系統之壓縮機出口加裝旁通迴路至蒸發器入口，並探討其各種不同控制方式之恆溫效果。而為了使系統更接近恆溫之效果，

量測系統性能曲線，藉由控制軟體 Simulink 以 Ziegler-Nichols 法建構動態特性模式，找出最佳化之 PID 參數。

二、Ziegler-Nichols 之 PID 恆溫調整之理論分析

(一)、自動調整 (AUTO-TUNING)

自動調整是一常見的調整法，它包括了自動調節器 (self-tuning regulator)，因此參數會依我們所要控制的系統特性變化調整，而大致上可分為兩種方式：

- 1、控制的對象為固定系統，輸入測試訊號後，自動調節器依系統特性為基準，自動調整設計出 PID 值；而此法僅需數次的調整就能將控制對象的影響抑至最小的範圍。
- 2、照 1 的方式做 PID 調整器的初始值，再由閉迴路系統所產生的特性，自動調節器會依系統的變化而同步改變 PID 進而控制；使此方法調節器會隨系統的變動而調整，所能控制的精確度高。

PID 控制器是一種線性控制器，它依據所給的輸入訊號 $r(t)$ 以及輸出值 $c(t)$ 構成控制偏差 $e(t)$ ，如圖 1 所示，為一 PID 控制器的基本模型，圖中操作量、外部干擾、雜訊都只有一個，為一無向量控制系統 (scalar control system)，外部干擾和操作量加至控制模型中，當系統開始振盪時外部干擾將變成無法測定，而目標值減掉檢測量的值視為控制量所希望得到的值和實際值的差異，而此值為偏差 $e(\text{deviation})$ 或控制偏差 (control deviation)，依照偏差量來決定操作量。

PID 控制器的控制規律為

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + \frac{T_D}{dt} de(t) \right] \quad \left(\begin{array}{l} \text{鄒宏基，自動控制系統，} \\ \text{台北市國家出版社} \end{array} \right)$$

其中， K_p 比例增益 (proportional gain)

T_i 積分時間常數 (integral time)

T_D 微分時間常數 (derivation time)

e 偏差

(二)、暫態響應法 (TRANSIENT RESPONSE METHODS)

因系統會受外界干擾而產生擾動，所以吾人採用環境實驗控制溫度及濕度，視無外部干擾，如圖 2 所示，為系統溫度變化近似為一慣性溫升、溫降，表 1 為步階響應法 (Transient response methods) 對應的調整參數表。

因此視此系統為一慣性及延遲系統，而冷凍系統之標準轉移函數 $G(s)$ 為：

$$G(s) = \frac{ke^{-ts}}{1+T_s s}$$

而典型的 PID 控制器為：

$$G_C(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$$

其中，K 增益

L 時間延遲

T 時間常數

又由圖 2 可知

$$T_1 - L = T, \quad \frac{a}{k+a} = \frac{L}{T_1}, \quad \text{經化簡可求得}$$

$$a = k \frac{L}{T}$$

運用所得到的式子求出 a 、 L 便可計算出最佳 PID 值，計算出 a 、 L 值便可代入求得系統的轉移函數。

表 1 調整參數表

Controller	K_p	T_I	T_p
P	$1/a$	-	-
PI	$0.9/a$	$3L$	-
PID	$1.2T/a$	$2L$	$0.5L$

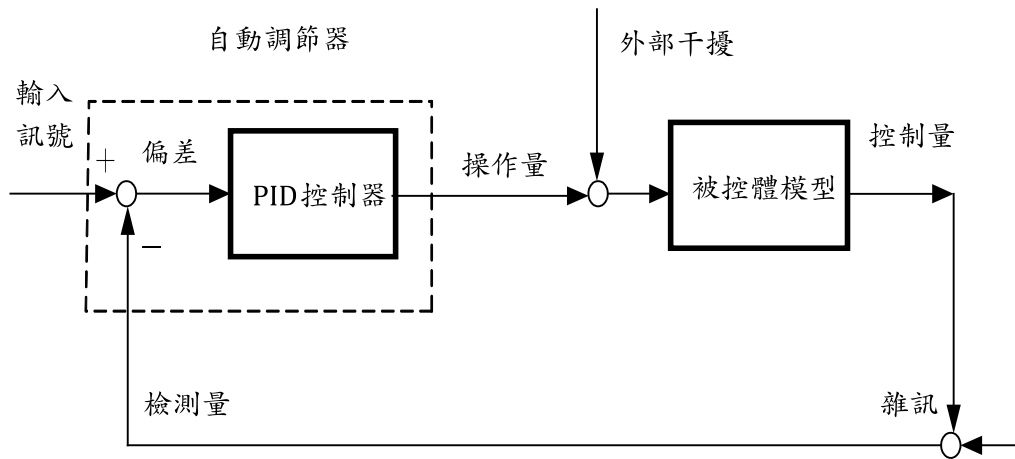


圖 1 PID 基本模型

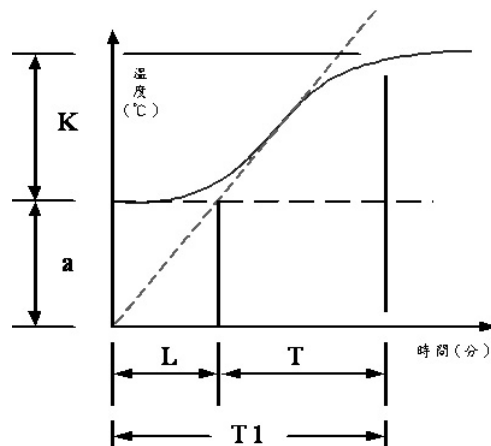


圖 2 系統曲線

參、實驗步驟

一、實驗方法與步驟

本節內將分為三個部分作說明，分別為 1、汰換原型機 HCFC-22 為 HFC-407C 環保冷媒；2、針對換裝 HFC-407C 油冷卻新型機變更毛細管長度實驗；3、HFC-407C 油冷卻機系統裝設電子式控制閥與 ON/OFF 電磁閥作熱氣旁通恆溫系統之實驗。以下將詳細說明。

二、系統性能量測實驗之描述

(一)、汰換 HCFC-22 原型機為 HFC-407C 環保冷媒

針對以商品化之 HCFC-22 油冷卻器系統在換裝 HFC-407C 環保新冷媒後之性能變化，作量測後記錄其數值，並做系統分析。

(二)、變更毛細管長度之系統描述

HFC-407C 油冷卻器新型機變更毛細管測試循環系統之示意圖，如圖 3，在本實驗系統中，藉由使用了多個手動閥的方式以便變更不同的毛細管，其中，測試時所採用的毛細管管徑固定 0.75 mm，其毛細長度變化 60、90、120 與 150 cm，而系統之壓縮機為 HFC-407C 冷媒專用壓縮機、冷凝器為氣冷式、蒸發器為管圈式。系統之模擬加熱負載則應用加熱器模擬工具機之發熱量，固定為 0.46 kW。

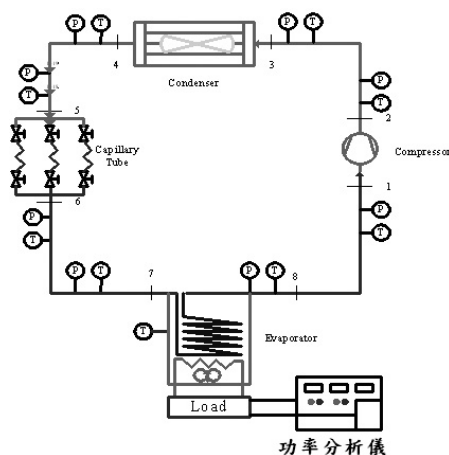


圖 3 HFC-407C 油冷卻器新型機毛細管測試

(三)、熱氣旁通恆溫系統

工具機之切削油冷卻器恆溫量要求也越精密，先以熱氣旁配合 ON/OFF 控制閥，此方法會產生油溫過熱與過冷，在較高精密度之應用，造成工位變型，因此在設計恆溫系統時則選用 PID 搭配電子控制閥之熱氣旁通，來做系統恆溫控制。圖 4 所示，為使用 HFC-407C 冷媒油冷卻器循環系統示意。工具機與油冷卻器系統實體配置圖，如圖 5。

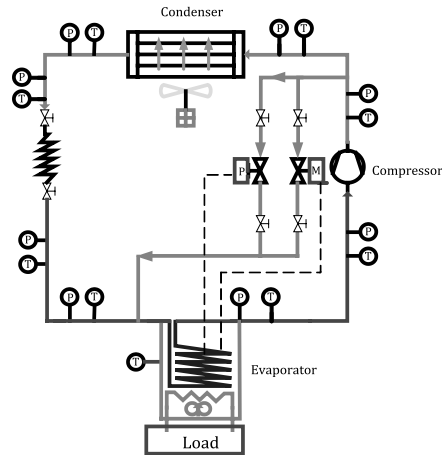


圖 4 恆溫測試循環系統



肆、實驗結果與討論

一、換裝環保冷媒性能實驗

由圖中 6 亦可看出 HCFC-22 冷媒系統於不同室溫時，其表現之冷卻能力優於 HFC-407C 環保新冷媒系統，而且在各個室溫下 HCFC-22 冷媒系統量測之冷卻介質出口溫度皆較 HFC-407C 冷媒系統低 4°C 左右，也就是換裝冷媒後油冷卻性能的差異相當明顯，此乃由於 HFC-407C 冷媒為非共沸冷媒，因此系統本身存在有溫度滑移現象進而導致系統性能遜色。

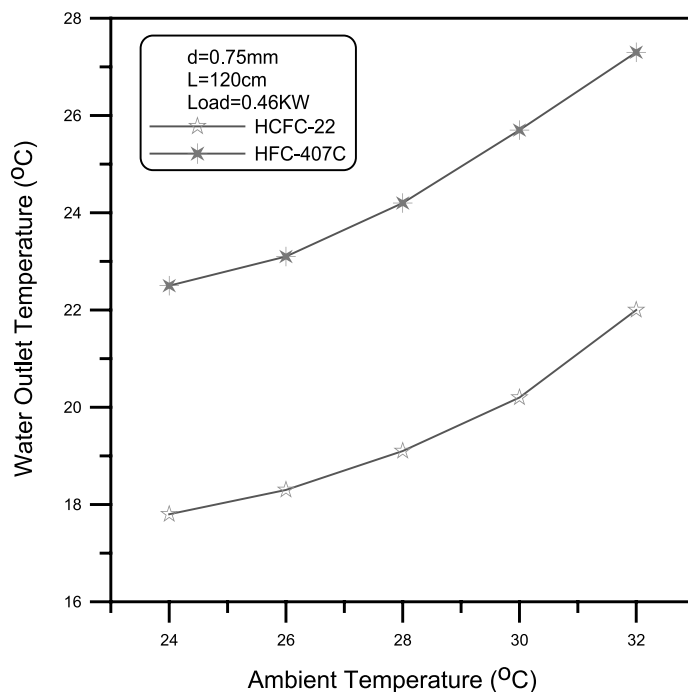


圖 6 冷媒換冷卻性能

二、毛細管長度對系統性能實驗

表 2，為 HFC-407C 冷媒系統搭配不同長度之毛細管於室溫 24°C、26°C、28°C、30°C 及 32°C 下所量測的冷卻性能比較表，其中負載為 0.46kW 時，由表中可得知當毛細管長度由 60cm 增長為 90cm，冷卻介質之出口溫度於各個室溫情形下均可下降 1～2°C 左右，此乃由於毛細管長度增加時，使得壓降增大而導致蒸發溫度下降所造成，因此冷卻介質經蒸發器熱交換後溫度便隨之下降，繼續將毛細管長度由 90cm 增長至 120cm，結果冷卻介質之出口溫度同樣地繼續再下降 1.5～2.5°C 左右，然而，當吾人將毛細管由 120cm 增長至 150cm 時，冷卻介質之出口溫度卻沒有再持續下降，反而與長度為 90cm 時所表現之冷卻性能差不多，原因乃是由於毛細管可能已發生阻流（choked flow）現象，此即表示即使壓降繼續上升，流過毛細管的冷媒流率也不會再增大，導致冷卻性能無法提升，在不同負載下之將態也有相同趨勢，如表 3 所示。

表 2 HFC-407C 系統不同毛細管長度與不同室溫對介質出口溫度值

管長 cm 室溫 °C	60	90	120	150
24	25.4	24.8	22.5	23.5
26	26.2	25.6	23.1	25
28	27.4	26.5	24.2	25.8
30	29	27.1	25.7	27
32	30.8	28.7	27.3	28.6

負載 = 0.46 kW，毛管內徑 = 0.75 mm

表 3 HFC-407C 系統於不同毛細管長度與不同負載對介質出口溫度值

管長 cm 負載 (KW)	60	90	120	150
0.45	27.4	26.5	24.2	25.8
0.55	27.9	27.1	24.7	26.7
0.66	29.1	28	25.3	27.4
0.75	30.4	28.9	26.1	28.6
0.82	31.7	30.2	27.5	29.8

室溫 = 28 °C，毛管內徑 = 0.75 mm

三、恆溫實驗

對於本文之油冷卻機雖有作基本之量測，因此本文將深入探討，其所量測到恆溫控制圖如圖 7 所示，其中環境溫度設定在 30 °C、負載固定 0.4 kW 與冷卻器出口溫設定在 25 °C，圖中縱軸為冷卻油箱溫度，橫軸為油冷卻機運轉時間，從圖中可看出系統最終控制器不同，對於恆溫將有相當大的影響，從中可看出系統應用 PID Control 電子式閥熱氣旁通溫差約 0.3-0.5 °C，而應用 ON/OFF Control 控制閥熱氣旁通溫差約 1-2 °C，而以傳統溫度控制法，即 T Control，此溫度差約 2-3 °C。

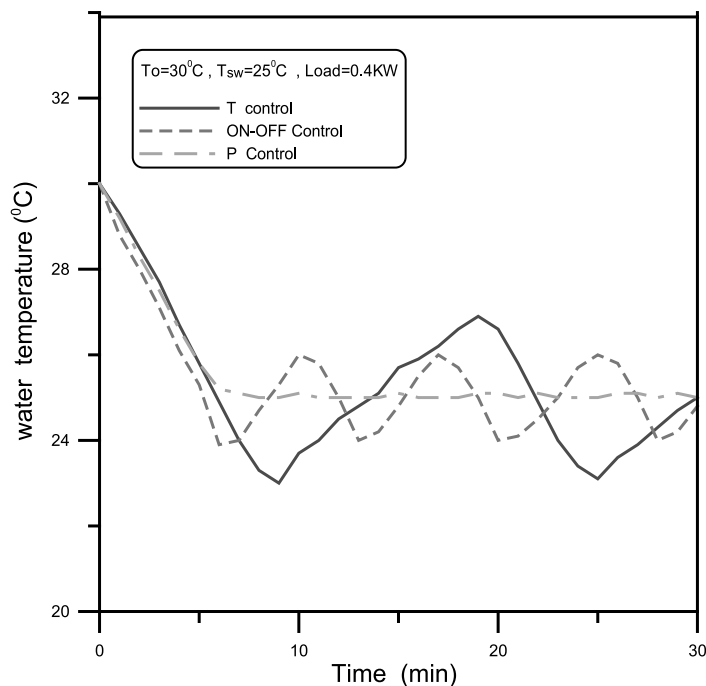


圖 7 不同控制元件恆溫特性

伍、結論

本文研究結果，如下四項進行結論，包含換裝新型冷媒性能討論、電子式閥配合熱氣旁通溫度控制效益、毛細管長度最適化與新型冷媒對環境之影響討論。

- 一、本文實驗結果可得知，當油冷卻器系統換裝為 HFC-407C 冷媒後，冷卻性能明顯降低。
- 二、但找出新系統最佳毛細管長度，性能有改善。環境溫度 28°C 時，新型冷卻器毛細管未經最佳化時系統出液溫度約 26.5°C ，而經毛細管長度最佳化時溫度降低約 2.3°C 。
- 三、使用電子式控制閥做熱氣旁通恆溫控制，油箱溫度與系統設定溫度之變化為 $\pm 0.3\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ ，因此在油冷卻器系統恆溫精度改善上之效果相當明顯。

- 四、換裝環保冷媒目前已成全球一致的共識，開發環保冷媒恆溫油冷卻器，可以減少因 HCFC 冷媒氯離子對臭氧層破壞衝擊，在溫室氣體之減排方面也有不錯之表現。

陸、參考文獻

- 一、陳聰明，許棋欽（2010）。冷凍空調原理 I。臺北市：弘揚圖書。
- 二、許守平（2006）。冷凍空調原理與工程。臺北市：全華圖書。
- 三、王啟川（2007）。熱交換器設計。臺北市：五南圖書。
- 四、蕭明哲（2011）。空調設備。臺北市：全華圖書。
- 五、高健維（2010）。高精度工具機冷卻器系統之性能改善分析。國立勤益科技大學。冷凍空調與能源科技系。
- 六、楊嘉豪（2012）。機油冷卻器熱傳之數值研究。屏東科技大學。車輛工程系。
- 七、姜維明（2007）。使用環保冷媒之工具機冷卻器系統性能分析及改善。國立勤益科技大學。冷凍空調與能源科技系。
- 八、李永興（2004）。油冷卻器性能測試分析與比較。國立中央大學。機械工程系。
- 九、陳俊成（2003）。油冷卻器熱傳與壓降性能實驗分析。國立中央大學。機械工程系。
- 十、郭家欣（1996）。高速主軸多孔性冷卻器之熱傳特性分析。國立中山大學。機械工程系。