

應用類神經網路於銀奈米流體熱管之性能預測

陳育堂

德霖技術學院機械系

摘要

本研究以銀奈米流體為溝槽式熱管之工作流體，實驗使用 10nm、35nm 兩種不同粒徑之銀奈米粒子，並配成 1ppm、5ppm、10ppm、50ppm、100ppm 等五種不同濃度之奈米流體，於不同加熱功率：30W、40W、50W、60W，完成 39 組實驗並分析熱阻值。另以 MATLAB 內建 Neural Network Toolbox 套裝程式進行倒傳遞類神經網路學習，以加熱功率區分為：全部功率(30W、40W、50W 以及 60W)、低功率(30W、40W)、高功率(50W、60W)以及各單一功率，來進行交叉比對，藉此來預測具有非線性關係之熱管熱阻值。結果顯示，在使用本實驗預設函數以及隱藏層公式時，皆可準確有效預測溝槽式熱管之熱阻值，且隨機抽取之驗證準確率達 100%。

關鍵字：銀奈米流體、溝槽式熱管、倒傳遞類神經網路

Performance Forecasting of Silver Nano-Fluid Heat Pipe Using Artificial Neural network

Yu-Tang Chen

Department of Mechanical Engineering, De Lin Institute of Technology

Abstract

In this study, silver nano-fluid was utilized to be the working fluid on grooved heat pipes. The silver nano-particles in two different particle sizes (10nm and 35nm) were used in this experiment. Also, combined with nano-fluid in five different kinds of concentration: 1ppm, 5ppm, 10ppm, 50ppm, and 100ppm, the 39 sets of thermal resistance values in this experiment were completed under different heating power: 30W, 40W, 50W, and 60W.

Besides, the suite program "Neural Network Toolbox" embedded in METLAB was utilized to perform the Back-Propagation Artificial Neural Network Learning. The heating power were divided to the whole power (30W, 40W, 50W, and 60W), low power (30W, and 40W), high power (50W, and 60W), and respective single power, for performing cross reference, so as to predict the thermal resistance values of the heat pipes having non-linear relations. The findings indicated: When the preset functions and hidden layer formulas in this experiment were utilized, the thermal resistance values of the grooved heat pipes could be predicted accurately and effectively. Also, the verification precision rate of random sampling could reach 100%.

Keywords: silver nano-fluid, grooved heat pipe, Artificial Neural Network

壹、前言

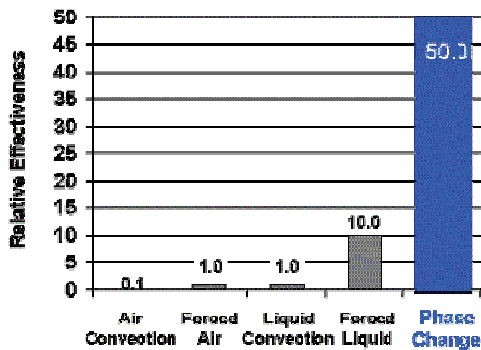
隨著雲端科技的發展，使得儲存能力與運算能力越來越強大，連帶地散熱元件之性能也越重要；儲存設備、CPU 或圖型處理電晶體所帶來之高溫影響，對筆記型電腦(Notebook, NB)與相關電腦元件之性能[1]，甚至壽命將大幅降低。因此，如何降低上述元件所帶來之高溫，為發展雲端科技、NB 產業或是 LCD 相關產業最重要之問題之一。隨著輕、薄、短、小及功能性多的設計概念下，在封閉有限空間內具有相當高的熱通量，是無法如同桌上型電腦以鰭片與風扇結合的散熱模組來散熱；因此發展出將熱管嵌入鰭片中變成一組合式的散熱模組。由於熱管內的工作液體藉由相變化(Phase change)傳輸熱量，其熱傳效益是強制空冷(Force Air)的 50 倍(如圖一美國 Kryotech 公司資料[2])，因此可得到極高的熱傳導係數，進而達到均溫的效果。

C.Y. Tsai 等[3]使用金奈米流體(Gold nanoparticles in nanofluid)作為熱管工作流體，並量測純水與金奈米流體兩種流體對熱管熱阻之影響。結果顯示在相同的工作流體充填量，使用金奈米流體為工作流體的熱管較純水充填之熱管熱阻明顯減少許多。此外，研究中指出在不同的金奈米粉末所混合的奈米流體，對熱管熱阻有著不同的影響。2006 年，淡江大學康尚文教授等研究人員[4]，發表銀奈米流體於溝槽式熱管之效能分析，其研究成果顯示銀奈米流體充填之熱管其溫度分佈較純水充填之熱管低，顯示銀奈米流體有助於溝槽式熱管之性能提升。本研究團隊於 2006 及 2008 年[5,6]分別發表奈米流體於扁平式熱管性能影響之研究，結果顯示奈米流體在扁平式熱管中，也可提升其性能。2009 年，淡江大學康教授[7]更進一步對燒結式熱管充填銀奈米流體進行研究，研究中指出銀奈米流體於燒結式熱管中提高最大熱傳量。

1957 年，Rosenblatt 提出第一種類的神經網路模式-感知機 (Preceptron) 模式，由二元值神經元組成，主要用於理論研究與樣本辨識。Xie[8]使用類神經網路的方式來進行熱傳分析，並將三種不同的殼管式熱交換器的實驗數據與預測值相互比較，結果顯示彼此間的誤差值小於 2%，因此類神經網路對於工程應用上之熱系統能準確預測其結果。2009 年，Tan[9]等發表了應用類神經網路模擬熱交換器的相關研究，文中指出適當訓練過的類神經網路能模擬整體或局部熱交換器的特性，同時證實自組織映射圖網路(Self-Organizing Map, SOM)可藉由識別、分類來監測熱交換器狀態。2002 年，Khandekar[10]等人還利用類神經網路來模擬震盪式熱管(Pulsating Heat Pipes, PHP)的熱傳性能，研究中主要是將實驗中的加熱量與充填率等數據結合類神經網路系統來推測可能的熱阻值，相互比較後結果非常相似。

本研究以銀奈米流體為工作流體對溝槽式熱管之實驗與性能分析，並期能藉由類神經網路來預測具有非線性關係之熱管熱阻值。

Thermal Management



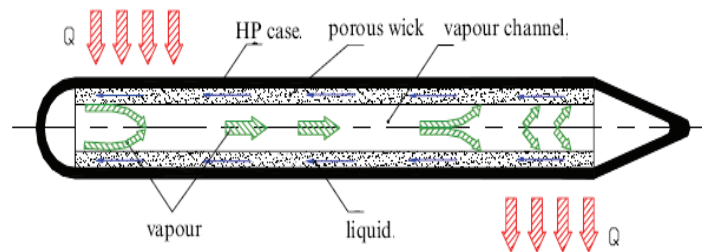
圖一 各種散熱模比較圖[2]

貳、理論簡介

2.1 熱管基礎理論

熱管是一種具有高導熱性能的元素，它藉由內部工作流體吸收熱量後產生的相變化去作為熱的傳遞，由於熱管可以在很小的溫差範圍產生極大的熱傳量，因此又號稱為「熱之超導體」。

一般而言，傳統熱管的構造主要包含三大部分，分別為密閉容器，毛細構造與工作流體(冷凝液)，而就功能而言，其容器又可分為三個區域，即蒸發段(Evaporator Section)，絕熱段(Adiabatic Section)以及冷凝段(Condenser Section)。其作動原理為當熱由蒸發段傳入時，將使得蒸發段中毛細構造內的工作流體吸收熱量，並隨即產生相變化，即由液態轉變為汽態，然後經由蒸氣流道快速的對流，待蒸氣到了冷凝段後，將再一次經由相變化而釋放出潛熱並轉變回液態，接著藉由毛細構造之毛細輸送力，將工作流體輸送回到蒸發段，如此而完成一工作循環，從蒸發端往冷凝端的熱輸送量，其構造及作動原理如圖二 [11]所示。毛細結構是提供液體回流的力量，藉由蒸發區的溫度比冷凝區的溫度來的高，所擁有的毛細力不同，達到液體從冷凝區回到蒸發區的效果。

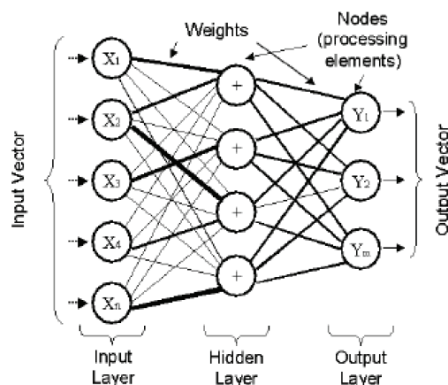


圖二 管式熱管[11]

2.2 類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)

類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)起源於 1950 年代，為基於腦與神經系統研究所開發出資訊處理技術，原理乃利用電腦程序運算進而模擬人類大腦中神經細胞網路傳遞之科學，其中模擬人體大腦組織之系統及運作方式稱之為「感知機」(perceptron)的神經元模型，通常被拿來做為分類器(classifier)使用，這也是早期最簡易類神經模型。然而早期類神經網路之理論基礎尚未純熟，且當時並未受到重視，故實際使用並不廣泛，當時專家系統(expert system)為人工智慧主流基礎。直至 1980 年代專家系統之運用開始遭遇無法突破之瓶頸，而霍普菲爾(Hopfield)於 1982 年提出神經網路理論後才逐漸被受到重視，現今電腦強大的運算速度效能，使類神經網路運算運用層面也更加為廣泛其功能更強大，至今類神經網路仍有新的理論及架構不斷的被提出運用。

類神經網路是一種計算系統，包括軟體與硬體，它使用大量簡單的相連人工神經元來模仿生物神經網路的能力。人工神經元是生物神經元的簡單模擬，它從外界環境或者其它人工神經元取得資訊，並加以非常簡單的運算，並輸出其結果到外界環境或者其它人工神經元。類神經網路主要分為幾種訓練模式：監督式學習、無監督式學習、聯想式學習及最適化應用網路，而這之中以監督式學習中的倒傳遞網路(Back-Propagation Network, BPN)最普遍所應用[12]。倒傳遞網路架構如圖三所示，分為輸入層、隱藏層與輸出層等三種，輸入層主要是輸入單元變數，隱藏層是表示輸入單元之間的相互影響，隱藏層越多則輸出層的結果誤差越小，而輸出層是指最終的輸出結果。倒傳遞網路利用前饋式(Feedforward)的架構來建立網路，是指在執行前向式架構前先計算各層之間的處理單元，利用回饋式將結果反覆計算得知。



圖三 類神經網路架構圖 [12]

2.3 類神經網路的操作

類神經網路的組成概念係來自於生物神經網路，其在邏輯上的運算與架構之組成皆相似於生物神經網路。因此，類神經網路具有人類大腦部分的運作原理，其運作中最重要三項過程：

1. 學習、2. 回想、3. 歸納推廣。[13][14]

1. 學習過程(Learning)

於學習過程中，藉由特定之學習演算法，從大量的歷史資料中學習，經反覆運算後，以調整網路之連結加權值及偏權值。一般而言，類神經網路可隨外界環境的變化而調整其表現之行為，此學習過程亦可稱為訓練過程(Training)。

2. 回想過程(Recalling)

於回想過程中，網路接收到一輸入訊號，並依據回想演算法，經反覆運算後，網路產生一輸出訊號值輸出。於此運作過程，網路之權重值及偏權值不作任何調整與改變。

3. 歸納推廣(Generalization)

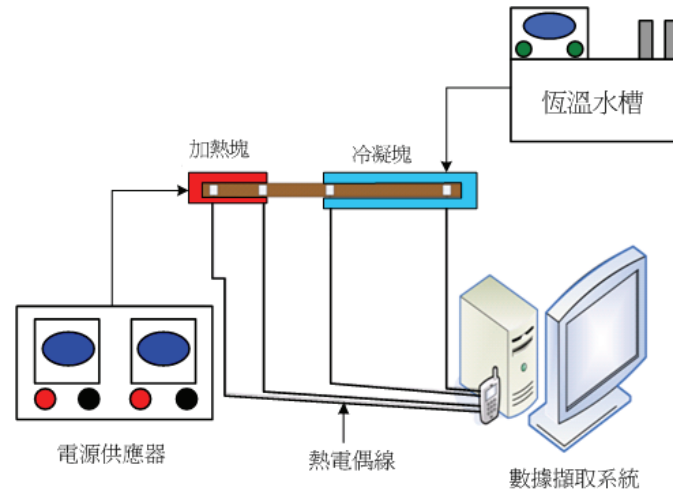
經學習完後之網路系統，不只是對學習過程中之歷史資料有合理的反應，亦可應付許多不同的輸入訊號。簡單而言，即系統可藉由觀察局部的資料，而描述出其整體之特性。

選擇合適的歷史資料及學習演算法，用於改變或調整網路系統之權重值及偏權值，使網路系統的輸出值與吾人所設定之目標值差異，愈小愈佳。因此，適當的學習過程及學習演算法是構成類神經網路系統的基本條件。

參、實驗架設與測試

3.1 實驗設備與架設

本實驗系統架設如圖四所示，實驗所使用之電源供應器(CT605D)準確度為0.5%，利用溫度量測擷取系統(Spartan-L)，測量記錄溫度並處理實驗數據，且透過電腦的擷取可即時監測溫度反應。冷卻系統為水冷式，其中包括一個冷凝塊與一個恆溫水槽，並將熱管水平置入冷凝塊，使冷卻液通過其中循環，使得熱量於強制冷卻循環下被帶出；恆溫水槽的溫度則設定為40°C，此溫度是經反覆測試所得較佳之恆溫溫度，並可確保冷凝塊的溫度介於40°C~45°C，而恆溫水槽的誤差值為0.1°C。加熱塊則使用電木(0.233 W/m-K)，並利用電源供應器提供直流電壓、電流以供應加熱所需之功率；並利用玻璃纖維(0.034 W/m-K)將其包覆以防止熱量散失。熱電偶線(SHINETSU X-23-7762, 0.9 W/m-K)直徑為10mm，使用時須在量測點接觸位置塗上導熱膏，以避免環境溫度影響。



圖四 實驗系統架設

3.2 實驗結果

圖五顯示不同奈米粒徑與濃度在各種功率與熱阻值之關係圖，其中35nm之銀奈米工作流體在各種濃度下皆有較佳之熱性能，及較小之熱阻。以1ppm工作流體濃度為例，如圖五(a)所示，粒徑10nm的奈米熱管其熱阻值在不同加熱功率(30W~60W)下分別為0.0045°C/W、0.0031°C/W、0.0019°C/W以及0.0025°C/W，而其中30W加熱功率時，35nm奈米流體的熱阻值比10nm奈米流體熱阻值低了30%；圖五(b)則顯示濃度為5ppm，加熱功率50W時，使用35nm奈米流體的熱管其熱阻值比10nm奈米流體更低達52%。此實驗結果清楚顯示，使用35nm奈米粒徑的熱管其熱阻值明顯低於10nm奈米粒徑之熱管。故在本實驗中使用較大的奈米粒徑(35nm)，其熱負荷及熱阻值會低於較小的奈米粒徑流體(10nm)。因此可判斷在本研究中不同顆粒大小之奈米流體對熱管性能具有極大之影響。

3.3 倒傳遞類神經網路程式

1. BPN網路輸入向量設計：

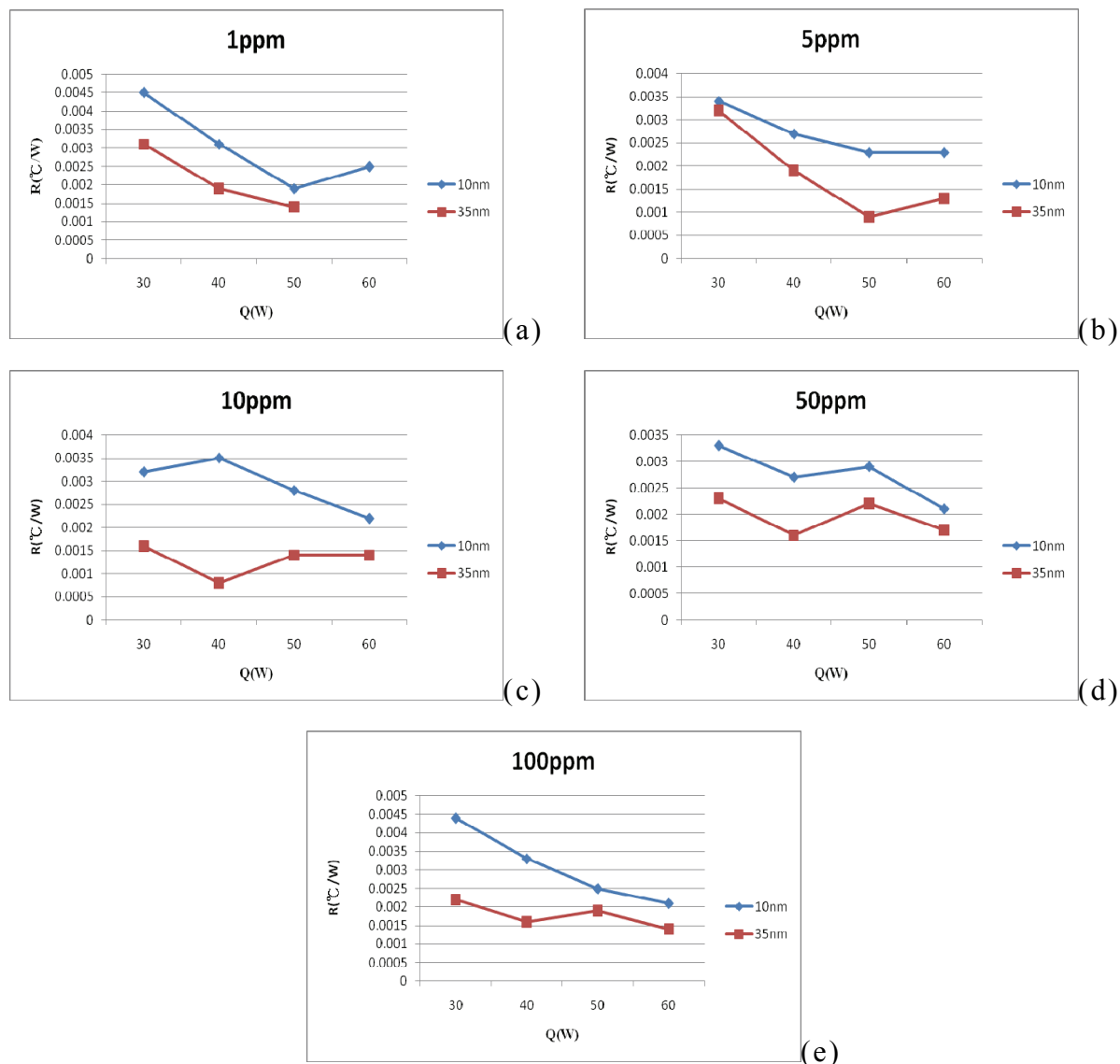
本研究則區分為，加熱功率、奈米顆粒大小與工作流體濃度當成輸入值，實驗結果熱阻值為輸出值。並分類交叉比較其準確性，共有全部功率、低功率、高功率以及各功率共7組作為結果比較。

2. 目標向量設計：

由於本實驗輸出為 2^3 共8組輸出結果，而最小熱阻值及最大值分別為0.0008與0.0045 °C/W，於是將熱阻值每0.0005°C/W作為一間隔，共分成8組，如表一所示。

3. 訓練樣本決定：

本實驗之訓練樣本由各組隨機抽取。如所有功率隨機抽取10組當作學習組，5組當成驗證組；低功率與高功率則隨機抽取7組當成學習組，4組當成驗證組；個別單一功率則隨機抽取5組當成學習組，2組當成驗證組。



圖五 不同奈米粒徑與濃度在各種功率與熱阻值之關係圖

4. BPN網路設計：

對於一般的類神經故障診斷，可以採取三層網路即可解決問題，三層中隱藏層的結點數，經試誤法隻實驗後決定採用採用”隱藏層結點數=輸入層結點數+輸出層結點數”。因此，網路三層架構分別為：輸入層採用三個神經元，輸出層採用三個神經元，隱藏層則採用六個神經元，網路的輸入向量範圍為[0, 1]，隱藏層神經元的傳遞函數採用S型正切函數 tansig ，輸出層神經元傳遞函數採用S型對數函數 logsig ，這是由於輸出模式為0至1之間，正好滿足網路的輸出要求，訓練參數設定如下：

```
threshold=[0 1;0 1;0 1];
net=newff(minmax(P),[6,3],{'tansig','logsig'},'trainlm');
```

5. 網路訓練

本實驗訓練是採用MATLAB內Neural Network Toolbox套裝程式，由於MATLAB Neural Network Toolbox有完善的操作介面與簡單的指令程式，使用上非常便利與正確。訓練過程是一直重複修正權值的過程，通過調整，使網路輸出誤差達到最小，滿足實際的應用要求。訓練的

參數設定如下：

```
net.trainParam.epochs=10000;
net.trainParam.goal=0.01;
LP.lr=0.1;
net=train(net,P,T)
```

6. 測試數據

本研究將熱阻值分為8等份，如表一所示，共計39筆資料當訓練與測試樣本，並隨機抽取樣本當訓練樣本，餘下之樣本再隨機抽取樣本當驗證樣本。測試數據的參數如下：

```
y=sim(net,P_test)'
```

表一目標(熱阻)向量

熱阻值°C/W	輸入代碼
0.0008~0.0012	000
0.0013~0.0017	001
0.0018~0.0022	010
0.0023~0.0027	100
0.0028~0.0032	101
0.0033~0.0037	110
0.0038~0.0042	011
0.0042~0.0047	111

肆、結果與討論

實驗以全部功率(30W、40W、50W以及60W)為數據輸入之診斷，總組數為39組並隨機挑選10組作為類神經網路的學習，另隨機挑選5組作為試驗，以評估倒傳遞類神經網路之效能，經過8037次訓練後均方誤差函數已達本程式設定值0.01。在性能梯度函數，經過8037次訓練後達0.0035873。在輸入向量[P]與目標向量[T]之間，經過8037次訓練後，回歸分析精確度達0.9851。隱藏層6層之倒傳遞類神經網路學習結果為準確率100%。

以低功率(30W、40W)為數據輸入之診斷，總組數為20組並隨機挑選7組當作類神經網路學習後，另隨機挑選4組作為試驗，以評估倒傳遞類神經網路之效能，經過809次訓練後均方誤差函數已達本程式設定值0.01。在性能梯度函數，經過809次訓練後達0.06515。在輸入向量[P]與目標向量[T]之間，經過809次訓練後，回歸分析精確度達0.99154。倒傳遞類神經網路學習結果為準確率100%。

當以高功率(50W、60W)為數據輸入之診斷，總組數為19組並隨機挑選7組當作類神經網路學習後，另隨機挑選4組作為試驗，以評估倒傳遞類神經網路之效能，經過2550次訓練後均方誤差函數已達本程式設定值0.01。在性能梯度函數，經過2550次訓練後達0.079199。在輸入向量[P]與目標向量[T]之間，經過2550次訓練後，回歸分析精確度達0.99825。倒傳遞類神經網路學習結果為準確率100%。

若以單一功率為輸入診斷時，總組數為10組並隨機挑選5組當作類神經網路學習後，另隨機挑選2組作為試驗，以評估倒傳遞類神經網路之效能。則30W、40W、50W、60W分別經過260次、167次、35次與137次的訓練後均方誤差函數皆可達本程式設定值0.01。且在性能梯度函數，經訓練後分別可達1.3144、0.0054342、0.023212、與0.022611。而在輸入向量[P]與目標向量[T]之間，經過訓練後，其回歸分析之精確度皆達99.11%以上；倒傳遞類神經網路學習結果全部為準確率100%。

本實驗總測試組數數據之結果表明，在各熱阻資料使用本實驗設定程式時，隱藏層設為6層之倒傳遞類神經網路輸出數據結果十分準確，都達到100%，所有結果如表2所示。

表二 實驗測試組數數據結果表

類神經網路	隱藏層數	訓練循環數	訓練筆數	驗證筆數	正確率(%)
全部功率	6	10000	10	5	100
高功率	6	10000	7	4	100
低功率	6	10000	7	4	100
30W	6	10000	5	2	100
40W	6	10000	5	2	100
50W	6	10000	5	2	100
60W	6	10000	5	2	100

伍、結論

本實驗結果數據顯示使用本實驗預設之網路架構為輸入層採用三個神經元，輸出層採用三個神經元，隱藏層則採用六個神經元，網路的輸入向量範圍為[0, 1]，隱藏層神經元的傳遞函數採用S型正切函數tansig，輸出層神經元傳遞函數採用S型對數函數logsig，訓練循環次為10000次，收斂值為 10^{-2} ，學習速率為0.1時各熱阻之預測皆達到100%，故可藉此來預測具有非線性關係之熱管熱阻值。

綜合結果顯示本實驗設定之隱藏層公式能準確的預測傳統溝槽式熱管的熱阻值，本實驗所使用隱藏層是6層，正好呼應本研究用來設定隱藏層的基本公式(隱藏層神經元數=輸入神經元數+輸出神經元數)。

陸、參考文獻

1. Hewlett-Packard Development Company, L. P., <http://www.hp.com.tw>
2. Kryotech Inc., <http://www.kryotech.com>.
3. C. Y. Tsai, H. T. Chien, P. P. Ding, B. Chan, T. Y. Luh, and P. H. Chen, "Effect of Structural Character of Gold Nanoparticles in Nanofluid on Heat Pipe Thermal Performance", *Material Letters*, vol.58, pp.1461-1465, 2004.
4. S. W. Kang, W. C. Wei, S. H. Tsai and S.Y. Yang, "Experimental Investigation of Silver Nano-fluid on Heat Pipe Thermal Performance", *Applied Thermal Engineering*, vol.26, pp.2377-2382, 2006.
5. 蔡聲鴻,陳育堂,魏維瑋, "奈米流體應用於扁平式熱管之性能測試", 中國機械工程學會第二十三屆全國學術研討會 (E7-010), 2006.
6. Y. T. Chen, W. C. Wei, S. W. Kang, C. S. Yu, "Effect of Nanofluid on Flat Heat Pipe Thermal Performance", 24th IEEE SEMI-THERM Symposium, 2008.
7. S. W. Kang, W. C. Wei, S. H. Tsai, C. C. Huang, "Experimental Investigation of Nanofluids on Sintered Heat Pipe Thermal Performance", *Applied Thermal Engineering*, vol.29, pp.973-979, 2009.
8. G. N. Xie, Q. W. Wang, M. Zeng and L. Q. Luo, "Heat transfer analysis for shell-and-tube heat exchangers with experimental data by artificial neural networks approach," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, pp.1096-1104, 2006.
9. C. K. Tan, J. Ward, S. J. Wilcox and R. Payne, "Artificial neural network modelling of the thermal performance of a compact heat exchanger," Vol. 29, pp. 3609-3617, 2009.
10. S. Khandekar, X. Cui and M. Groll, "Thermal Performance Modeling of Pulsating Heat Pipes by Artificial Neural Network," Proc. 12th International Heat Pipe Conference, Moscow, Russia, pp. 215-219, 2002.
11. L. L. Vasiliev, "Heat pipes in modern heat exchangers", *Applied Thermal Engineering*, Vol.25, pp 1-19, 2005.
12. S. Khandekar, X. Cui and M. Groll, "Thermal Performance Modeling of Pulsating Heat Pipes by Artificial Neural Network," Proc. 12th International Heat Pipe Conference, Moscow, Russia, pp. 215-219, 2002.
13. 張斐章, 張麗秋, 黃浩倫, "類神經網路理論與實務", 東華書局, 2003.
14. 王進德, 蕭大全, "類神經網路與模糊控制理論入門", 全華科技圖書股份有限公司, 1994.