

建立陸用直升機關鍵零組件預測模型

提要

- 一、因應敵情威脅與複合性災害，陸軍各型直升機任務劇增，但零組件故障及籌補不及影響比例甚高，若能對關鍵零組件建置故障預測系統，在故障前即執行檢修，並提前備料採購，將有助於降低非預期性故障影響裝備妥善。
- 二、本研究以AH-1W型直升機的主承桿、主傳動箱與主旋翼葉片等三大總成件為例，首先採用修正式德菲法 (Delphi Method) 蒐集關鍵因素，再運用李克特五點量表 (Likert) 評選重要項目，再選定2014年至2016年維修資料數據，導入倒傳遞類神經網路軟體 (Alyuda NeuroIntelligence 2.1) 確認關聯性 (Correlation) 與模式配適度 (R-squared) 高達98%以上，可有效預測下一次裝機故障。
- 三、依據零組件壽命預測，強化基礎保養及提升維修深度，並精進備料籌補方式，妥善運用合作補給支援協定案，由美軍庫存支應，後續推廣納入阿帕契AH-64E及黑鷹UH-60M等新型直升機，務求提前獲料與節約國防預算。

關鍵詞：直升機零組件、德菲法、
李克特量表、類神經網路

圖片來源：青年日報

壹、前言

因應作戰、演訓及各種天然災害應變等任務，直升機的維修需求日漸增加，但主承桿、主傳動箱及主旋翼葉片等重要零組件總成，依技令於裝機屆期更換後，可納入庫儲待修件，持續翻修再利用，但目前裝機未達技令時限，就必須更換，且鏽蝕超過限制必須報廢，嚴重影響飛行安全及妥善率，而現有備料政策係於目標年度前24個月開始檢討（如圖一），¹ 作業流程已有罅隙，致使維修零組件無法如期、如質獲得。

以「主承桿」、「主傳動箱」及「主旋翼葉片」為例，AH-1W直升機每100小時實施保養檢查，每400小時會循環一次，屆期零組件應更換並納入待修件重新除鏽及翻修後再運用

（使用時限如表一），但目前裝機使用未達時限² 就報廢，無法再翻修使用，蒐整2014年至2016年間損耗原因，運用科學模擬分析方法，預判故障模式，並探討待修件提前交修及軍售多元籌補管道，納入現行籌補流程修訂參考，確保飛行任務安全。

表一 AH-1W直升機三大總成使用時限³

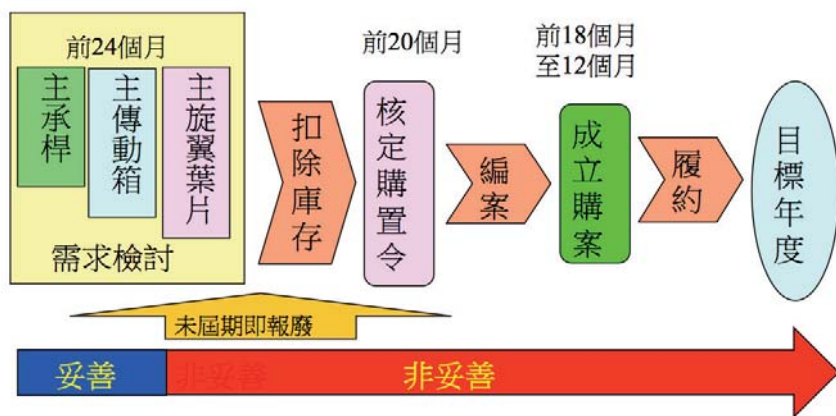
項次	品名	TM技令使用時限
1	主承桿	1,800小時
2	主傳動箱	2,500小時
3	主旋翼葉片	1,100小時

貳、文獻回顧與現況檢視

一、直升機傳動及旋翼系統

AH-1W型直升機操控系統主要區分「旋翼」、「傳動」、「動力」、「航儀電」及「液壓」等5種，其中旋翼系統是損耗率較高的系統。

旋翼（Rotor）是產生上升力的主要組件，同時提供推進力和操控力。



圖一 現行備料流程圖（資料來源：作者繪製）

1 裝備零組件計畫性備料需求檢討暨評鑑指導計畫（陸軍司令部），民國105年12月7日。

2 NAVYAIR 01-H1AAC-2.6 “Main Rotor System, NAVY MODEL AH-1W HELICOPTER,” 2011, p. 26, 27, 76.

3 同註2。

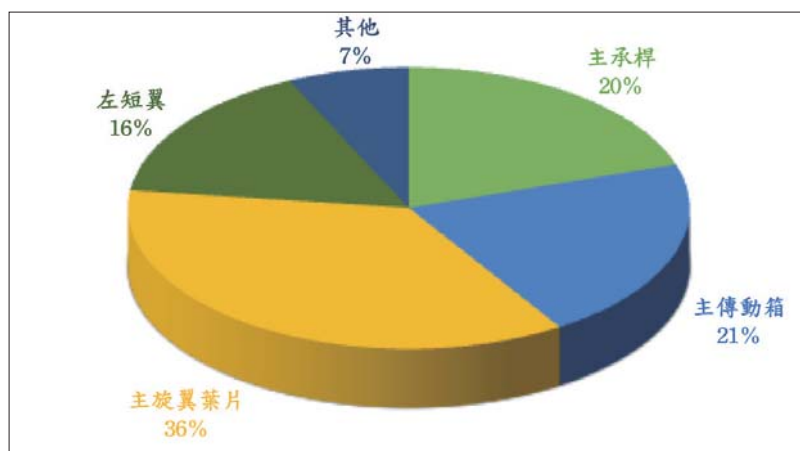
主旋翼系統提供上升力，並作為飛行的動力，基本組成包含主傳動箱、主承桿、主旋翼頭、抑震系統及主旋翼葉片。⁴

彙整2014至2016年AH-1W型直升機檢修情形，傳動及旋翼系統是造成停飛待件主要原因，「主承桿」、「主傳動箱」及「主旋翼葉片」等3項影響妥善比例達77%（如圖二），而這3項可修件卻鏽蝕超過限制報廢（如圖三~五），更因重新採購無法即時獲得，影響妥善更加嚴重，目前美軍及製造廠家並沒有提出有效的技術通報做改善。

二、德菲法的運用

赫爾默（Helmer）和戈登（Gordon）在20世紀的40年代時創立了德菲法（Delphi Method）。美國的蘭德公司

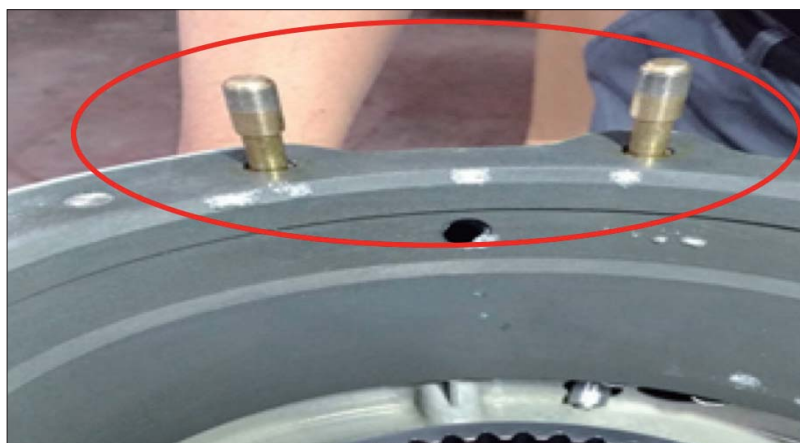
4 〈AH-1眼鏡蛇直升機〉，維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/AH-1%E7%9C%BC%E9%8F%A1%E8%9B%87%E7%9B%B4%E5%8D%87%E6%A9%9F>，檢索日期：西元2017年10月25日。



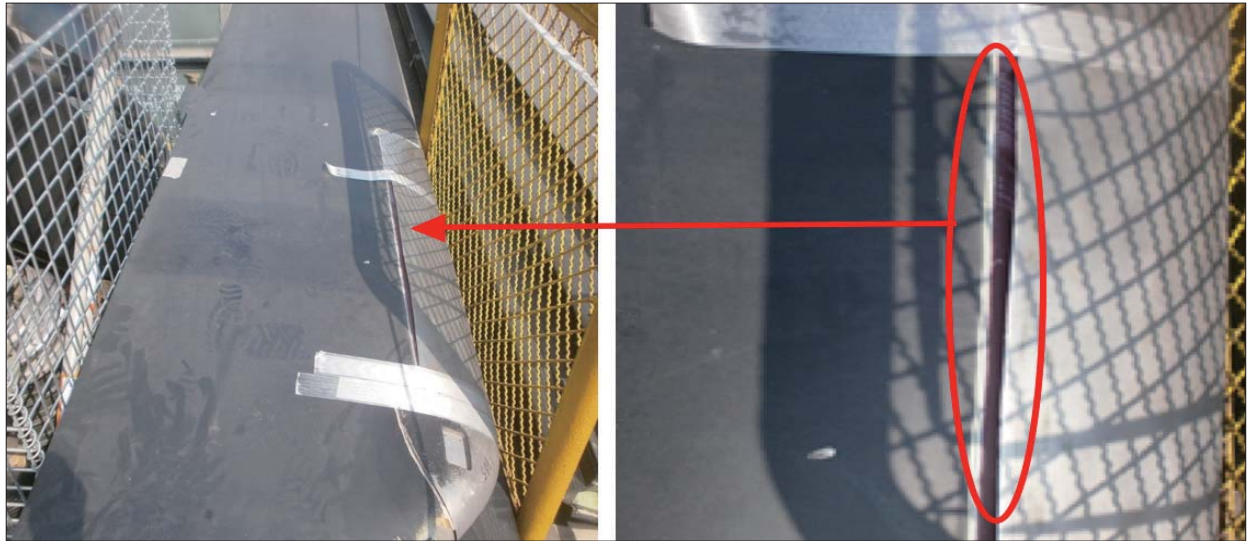
圖二 AH-1W型機影響妥善原因分析圖（資料來源：作者繪製）



圖三 主承桿鏽蝕圖（資料來源：作者拍攝）



圖四 主傳動箱鏽蝕分析圖（資料來源：作者拍攝）



圖五 主旋翼葉片鏽蝕分析圖（資料來源：作者拍攝）

為防範集體討論的壓力，在1946年時，首次運用德菲法來實施預測。美國政府在20世紀中期堅持對北韓發動朝鮮戰爭，蘭德公司預測一定失敗，美國政府不理，果然是以失敗收場。德菲法是以有系統的方式來收集和分析資料，要點是吸取不同的專家經驗與預測，各專家以匿名、書面提供意見方式討論，可獲得比較客觀的共識；而且是採背靠背不具名方式做出自己的判斷，具有高度可靠性。因此，德菲法也普遍被視為一種「平衡意見」的好工具，可以在某一領域內提供專家的權威綜合評析，而不僅是片面的截取少數重量級人士的聲音。⁵ 在1960年代後期，為突破傳統德菲法限制，並迎合複雜性問題而產生了

修正式德菲法，先將論題明確化後，設計問卷，經分析問卷結果後，發展後續問卷，參與者的意見，雖不一定取得共識，但對問題、目標、選項及其後果，則可能得到最具創意的總結。

三、類神經網路

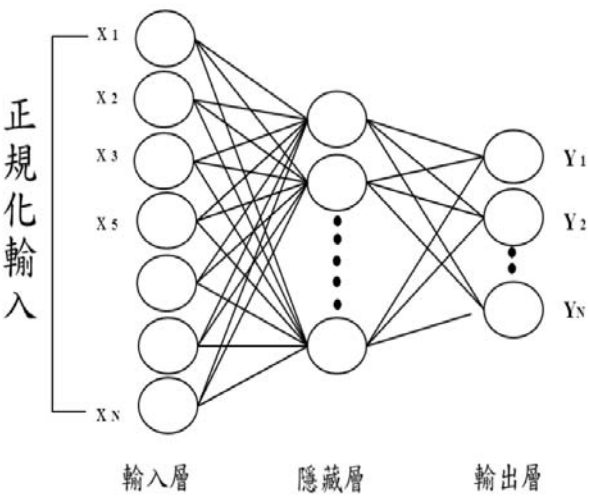
類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 或翻譯為人工神經網路，是指一種模仿生物神經網路的資訊處理系統。是被設計來模擬人腦的腦神經網路，並期望能有大腦的特質，能像大腦一樣運作、學習而累積知識，產生智慧。⁶ 類神經網路是一種計算系統，包括軟體與硬體，它使用大量簡單而且相連的人工神經元來模仿生物神經網路的能力。

5 黃鴻順，〈德爾菲法 (Delphi Method)〉，http://ken.hd.org.tw/modules/tad_book3/page.php?tbdsn=71，檢索日期：西元2017年10月22日。

6 蔡瑞煌，《類神經網路概論》（臺北：三民書局，西元1995年），頁4。

- (一) 在1957年類神經網路模式-感知機 (Perceptron) 就被提出，但因為理論和技術無法實現「神經電腦」而沒落。自1980年代中期，霍普菲爾網路 (Hopfield Neural Network, HNN)，與倒傳遞網路 (Back-propagation Network, BPN) 在類神經網路的理論及模式有了突破，解決電腦科學與人工智慧難題，讓類神經網路的研究開始興起 (分類如表二)。
- (二) 類神經網路的運作過程區分「學習過程」及「回想過程」，學習過程依學習演算法，從範例中學習，以調整網路連結加權值過程；回想過程則依回想演算法，以輸入資料決定網路輸出資料的過程。
- (三) 目前最具代表性及相關實務應用最為普遍的就是倒傳遞類神經網路模式。其中監督式的學習網路適合診斷和預

測。它是由許多單層的網路作連結，每一層有數個神經元 (Neuron) 或節點 (Node)，並經許多單層網路連結，網路架構包含「輸入層」、「隱藏層」及「輸出層」(如圖六)。



圖六 倒傳遞類神經網路架構圖⁷

- (四) 倒傳遞網路之學習過程，首先決定網路層數及各層間神經元數目，隨機設定

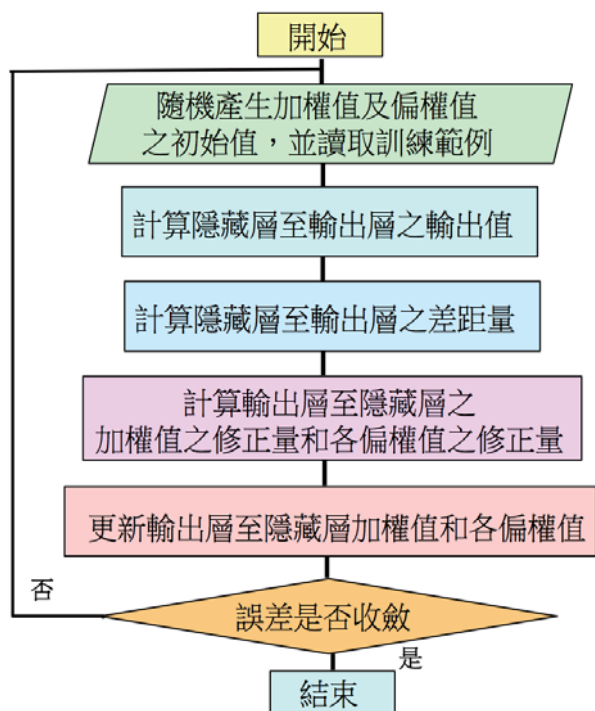
表二 類神經網路分類表

項次	分類	說明
1	監督式	從問題中取得訓練範例 (有輸入變數值，也有輸出變數值)，並從中學習輸入與輸出變數的內在對映規則。
2	無監督式	從問題中取得訓練範例 (只有輸入變數值)，並從中學習範例的內在聚類規則。
3	聯想式	從問題領域中取得訓練範例 (狀態變數值)，並從中學習範例的內在記憶規則。
4	其他	類神經網路除了「學習」外，還有最適化應用網路 (Optimization Application Network) 對一問題決定其設計變數值，在設計限制下，使目標達最佳狀態的應用。

資料來源：本研究整理

7 賴育民，〈建立飛機環控系統重要組件維修策略〉《管理資訊計算》(臺北)，第4卷第1期，民國103年3月，頁234-251。

權數與偏權值之初始值，再隨機選取一訓練組輸入，以及調整權數及偏權值，後續重複隨機輸入訓練組，直至網路收斂為止（如圖七）。



圖七 倒傳遞類神經網路架構圖⁸

四、計畫備料作業

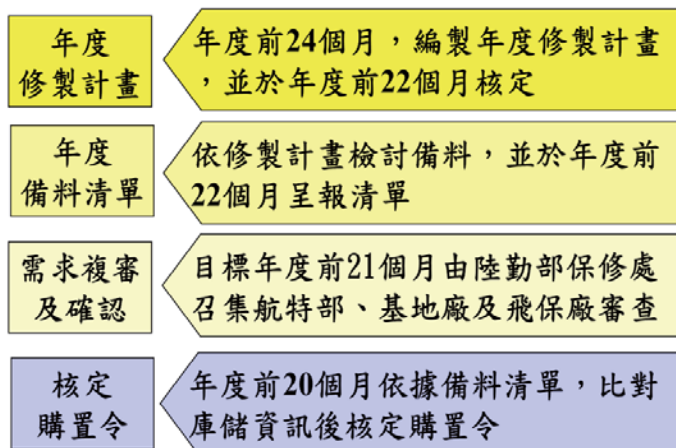
依單位、野戰、基地逐級結合保修作為與再發性需求，於目標年度前22個月核頒初次修製計畫，續依計畫檢討備料需求，經陸勤部召集各軍團（地支部）及基地廠（中心）

等辦理審查後，於目標年度前20個月下達計畫備料購置令（流程如圖八）。⁹

五、華美軍售作業

軍事售予案的標準類型主要區分為個別式、開放式、合作補給支援協定等，說明如后：¹⁰

- （一）個別式軍事售予案（Defined Order Case）適用於重要軍品裝備，以及其初次備份支援、爆炸性物資、特殊技術服務、具分類保密等級之物資（含軟體）與技術資料包件等。
- （二）開放式軍事售予案（Blanket Order Case）依零附件屬性，區分標準件與非標準件（包含商用規格、非美軍制式及消失性商源品項）。



圖八 計畫備料作業流程圖（資料來源：作者繪製）

8 曾瑞穎，〈建立直升機主旋翼葉片維修策略〉《管理資訊計算》（臺北），2015年第4卷特刊1，民國104年8月，頁136-147。

9 同註1，頁3-16。

10 Defense Security Cooperation Agency, “Security Assistance Management Manual,” <http://www.samm.dsca.mil/listing/esamm>, Retrieved 26 Dec. 2017.

(三) 合作後勤補給支援協定 (CLSSA) 提供買方國家裝備預建存量，屬買方與美軍有共同使用之國防武器裝備零組件及可修件，處理作業程序與美軍一致，且悉依「買方國家兵力活動指標 (FAD) 優先等級」及「物資統籌移運與優先排序」辦理，區分為軍購一號訂單 (FMSO I) 及軍購二號訂單 (FMSO II) 等兩類案型。

參、實證分析與結果

以修正式德菲法方式調查，並運用李克特五點量表說明專家評分結果與彙整專家的重要度指標，在獲得其中的重要關鍵因素後，運用倒傳遞類神經網路建立預測模式。

一、修正式德菲法問卷調查

對國內亞洲航空公司及陸軍 (含航特部飛保廠與航空基地勤務廠) 等對 AH-1W 型直

升機有修護及保養經驗的專家發出 20 份問卷，彙整獲得 14 項關鍵因素。並篩選 2 次專家均建議刪除計「製造廠家」、「操作環境」及「材質材料」等 3 項因素 (統計如表三)。審視專家其他意見，並無其他疑義。

二、量表問卷評分結果

為能更具體以量化方式展現各項關鍵因素，採量化方式由專家依重要程度給予 1~5 分，1 分為最不重要，2 分為不重要，3 分為重要僅屬一般性，4 分為重要，5 分為最重要。將回收的專家問卷整理分析，並同時計算各關鍵因素的平均數及標準差，重要度 Mean > 4 且標準差 (SD) < 1 者，則可視為專家判定重要度指標及趨於一致性的指標，並具有一定的共識，獲得「飛行時數、平均溫度、相對濕度、雨水 pH 值 (The power of Hydrogen 氫離子濃度指數、酸鹼值，簡稱 pH 值)、日照時數、累積降雨量及降雨天數」等 7 項重要關鍵因素 (結果如表四所示)。

表三 修正式德菲法問卷結果統計表

項次	關鍵因素	單位	項次	關鍵因素	單位
1	平均溫度	度	8	日照時數	時
2	操作環境	區域	9	累積降雨量	毫米
3	不當操作	訓練	10	製造廠家	獨家
4	相對濕度	百分比	11	降雨天數	天
5	起降次數	次	12	製程管控	品質
6	材質材料	品質	13	飛行時數	小時
7	安裝方式	訓練	14	雨水 pH 值	酸鹼值

資料來源：本研究整理

表四 專家五點量表評分問卷結果

項目/ 專家評分	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	十三	十四	十五	十六	十七	十八	十九	二十	總分	平均數	標準差
飛行時數	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	90	4.5	0.53
平均溫度	5	4	5	4	5	4	3	5	5	4	5	4	5	4	5	4	3	5	5	4	88	4.4	0.52
相對濕度	4	5	4	5	3	5	4	5	4	5	4	5	4	5	3	5	4	5	4	5	88	4.4	0.52
雨水pH值	4	4	5	3	4	5	5	4	4	4	4	4	5	3	4	5	5	4	4	4	84	4.2	0.63
日照時數	3	4	5	4	5	5	4	3	4	4	3	4	5	4	5	5	4	3	4	4	82	4.1	0.74
累積降雨量	5	4	4	5	3	4	5	4	4	3	5	4	4	5	3	4	5	4	4	3	82	4.1	0.74
降雨天數	4	5	5	3	3	4	3	4	4	5	4	5	5	3	3	4	3	4	4	5	80	4	0.82
不當操作	4	1	2	2	2	3	1	2	3	1	4	1	2	2	2	3	1	2	3	1	42	2.1	0.99
安裝方式	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	34	1.7	0.48
製程管控	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	30	1.5	0.53
拆裝次數	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	28	1.4	0.52

資料來源：本研究整理

蒐整2014年至2016年間安裝於AH-1W直升機上後，直到該零組件從直升機上拆卸下來為止的7項關鍵因素，並以專家評分最高的飛行時數為輸出，另平均溫度、相對濕度、雨水pH值、日照時數、累積降雨量及降雨天數等6項為輸入的關鍵因素。

- (一) 平均溫度：配合訓練任務量測溫度，統計任務執行地區的平均溫度。
- (二) 相對濕度：每日早、晚所量測相對濕度（【實際水汽/當時氣溫的飽和水汽壓】×100%），該型直升機在任務執行地區的相對濕度。
- (三) 雨水pH值：任務執行地區的雨水平均酸鹼度pH值。

(四) 日照時數：該直升機在任務地區的日照時數總和，採累進方式計算，如該直升機進入維修棚場檢查或因任務於棚廠、固定碉堡防護設施儲放時，不列入日照計算。

(五) 累積降雨量：任務地區的雨量總和，採累進方式計算，如該直升機進入棚場檢查或直升機於棚廠、固定碉堡防護設施儲放時，不列入雨量計算。

(六) 降雨天數：任務地區的下雨天數總和，如天氣屬午後雷雨等，採0.5日計算，以累進方式計算，如該直升機進入棚場檢查或直升機於棚廠、固定碉堡防護設施時，不列入雨天數量計算。

三、預測模式訓練結果

以陸軍AH-1W直升機2014年至2016年的主承桿、主傳動箱及主旋翼葉片等3項總成件的維修數據為參考，運用倒傳遞類神經網路軟體「Alyuda NeuroIntelligence 2.1」作為三大總成件使用壽命預測模型的方法。由不同序號維修資料導入類神經網路軟體，建立預測模型如下：

(一) 點選ANN軟體載入資料檔案：三大總成件維修數據以Excel表彙整，點選倒傳遞類神經網路軟體「Alyuda NeuroIntelligence 2.1」後，點選File，選擇Open，並載入Excel表資料檔案（如表五）。

(二) 載入軟體後，於視窗中設定項目與範圍：在視窗畫面右下方Range的前、後兩個欄位中，設定項目及範圍，勾選First row contains column names後，選擇OK鍵確認。

(三) 電腦將採亂數選取並分組：載入資料後，畫面出現主承桿、主傳動箱及主旋翼葉

片三大總成件維修數據表，電腦將採亂數方式各區分為藍色字體 (TRN) 訓練組，紅色字體 (TST) 測試組及綠色字體 (VLD) 驗證組等3組。

(四) 各組資料整理分類：點選Data Partition Options，於Partition選擇Records，依序顯示Training set訓練組，Validation set驗證組及Test set測試組；再點選Order項次，選擇Specific order並鍵入OK確認鍵。

(五) 再接續鍵入Analyze後完成分組：點選左上方的Analyze鍵，電腦自動針對原亂數選擇的藍色字體Training set (代號TRN) 訓練組，綠色字體Validation set (代號VLD) 驗證組與紅色字體Test

TRN	VLD	TST	IGN	平均	相對	日照	降	降雨	雨水P	使用
TRN				24.978688	71.918211	1964.109568	1823.854321	108.2	5.9	1559
TRN				25.953688	71.971782	2162.605996	1517.340035	69.985714	6	1408
TRN				26.133688	74.543211	2225.534568	1532.534321	66.3	6.1	1230
TRN				24.153688	74.11464	1873.048854	1524.140035	114.7	6	1610
TRN				24.153688	74.11464	1873.048854	1524.140035	114.7	6.1	1610
TRN				25.016188	71.418211	1974.672068	1768.666821	109.825	6.1	1610
TRN				25.053688	71.971782	2157.405996	1639.140035	96.7	6	1544
TRN				26.153688	73.876544	2152.234568	1694.820988	75.7	5.8	1099
TRN				24.167974	73.257497	1934.620282	1633.597178	105.842857	5.7	1513
TRN				26.087021	73.876544	2213.567901	1549.887654	67.533333	5.7	1278
TRN				24.133688	73.543211	1929.714568	1867.454321	107.3	5.8	1281
TRN				24.996545	71.828925	2103.563139	1804.811464	95.271429	5.8	1476
VLD				26.153688	73.876544	2152.234568	1694.820988	75.7	5.7	1103
VLD				26.113688	72.943211	2182.234568	1794.574321	70.5	6	1386
VLD				24.203688	74.043211	1951.847068	1582.379321	99.95	6.1	1496
VLD				24.213688	73.743211	1950.854568	1475.694321	100.4	6	1707
VLD				25.053688	71.543211	2034.309568	1922.604321	103.45	5.8	1017
VLD				24.187021	73.043211	1946.801235	1690.570988	104.2	5.7	1513
VLD				24.210831	73.257497	1978.677425	1529.682893	99.842857	5.7	1444
VLD				25.043688	71.843211	2121.544568	1704.484321	97.7	5.8	1655
VLD				25.043688	71.843211	2121.544568	1704.484321	97.7	5.8	1655
TST				26.073688	73.743211	2189.194568	1742.834321	73.7	5.7	1186
TST				26.087021	72.543211	2219.584568	1627.904321	68.533333	5.8	1311
TST				25.028688	72.043211	2139.359568	1704.804321	98.575	5.8	1531
TST				25.028688	72.043211	2139.359568	1704.804321	98.575	5.9	1509
TST				24.993688	72.543211	2001.674568	2013.814321	105.5	5.7	1087
TST				24.970355	72.209878	2095.117901	1828.054321	99.2	5.9	1368
TST				24.853688	72.543211	2013.034568	2164.454321	111.7	6	869
TST				24.153688	72.543211	2009.534568	1853.254321	107.7	6	801
TST				25.003688	72.543211	1992.451235	1968.354321	107.366667	5.9	1231

圖九 主承桿訓練、驗證、測試分組圖 (資料來源：作者繪製)

set (TST) 測試組進行自動分類 (如圖九~十一)。

(六) 確認變數映射區間值：電腦自動分類完成之後，於畫面上方工具列選擇Preprocess鍵，此時在左下方將出現Column Details的圖表，重新確認三大總成件表格的Scaling range，觀察主承桿、主傳動箱及主旋翼葉片的分組分析資料，輸入、輸出變數均在-1到1間，可以確保預測學習所得到的預期效果。

(七) 設定隱藏層及神經元數目：點選工具列Architecture Search鍵，資訊程式自動排列隱藏層及神經元，選擇圖中表列R-Squared及Correlation等2項最接近於1，合格值Fitness最高，錯誤率Test error最低者，並選定輸入層、隱藏層及輸出層神經元，再選擇Train鍵

	(N) 平均	(N) 相對	(N) 日照	(N) 降	(N) 降雨	(N) 雨水P	(N) 使用
TRN	25.5845	71.321109	2100.95	2032.8266	97.52	5.7	1709
TRN	24.717833	72.821109	1868.916667	1800.793267	98.27	6.1	2205
TRN	24.741643	73.035394	1708.028571	1639.905171	93.912857	6	2136
TRN	25.5745	71.621109	1882.83	1814.7066	91.77	6.1	2347
TRN	25.5745	71.621109	1882.83	1814.7066	91.77	5.7	2347
TRN	26.6045	73.521109	1921.18	1853.0566	67.77	5.7	1878
TRN	26.617833	72.321109	1806.25	1738.1266	62.603333	5.8	2003
TRN	25.5595	71.821109	1883.15	1815.0266	92.645	5.7	2223
TRN	25.5595	71.821109	1883.15	1815.0266	92.645	5.9	2201
TRN	25.5245	72.321109	2192.16	2124.0366	99.57	6	1779
TRN	25.511773	71.2302	1903.354545	1835.231145	96.860909	6.1	2397
TRN	25.5345	72.321109	2146.7	2078.5766	101.436667	6	2043
VLD	24.8595	72.071109	1709.375	1641.2516	96.02	6.1	1828
VLD	24.667833	73.987775	1668.15	1600.0266	106.936667	6	2058
VLD	24.7095	72.821109	2025.55	1957.4266	103.02	5.7	1770
VLD	25.527357	71.606823	1983.157143	1915.033743	89.341429	5.8	2154
VLD	26.473389	71.765553	1826.311111	1758.187711	64.658889	5.7	2190
VLD	24.701167	73.487775	1828.616667	1760.493267	95.77	5.7	2083
VLD	24.7445	73.521109	1654.04	1585.9166	94.47	5.8	2367
VLD	24.655929	73.321109	1663.485714	1595.362314	102.341429	5.9	1941
VLD	25.5745	71.621109	1882.83	1814.7066	91.77	5.9	2381
TST	25.4845	71.696109	2009.475	1941.3516	96.395	5.8	2192
TST	24.701167	73.321109	1565.866667	1497.743267	100.936667	5.9	1941
TST	24.762278	73.43222	1674.477778	1606.354378	92.77	5.7	2383
TST	25.6845	69.321109	1843.7	1775.5766	65.77	5.9	1453
TST	25.567833	71.487775	1918.433333	1850.309933	98.436667	6	1923
TST	25.567833	71.487775	1918.433333	1850.309933	98.436667	6	1923
TST	24.6345	73.571109	1721.4	1653.2766	101.395	6.1	2242
TST	24.701167	73.487775	1828.616667	1760.493267	95.77	6.1	2129
TST	25.498786	72.035394	2143.7	2075.5766	97.484286	5.9	1771

圖十 主傳動箱訓練、驗證、測試分組圖 (資料來源：作者繪製)

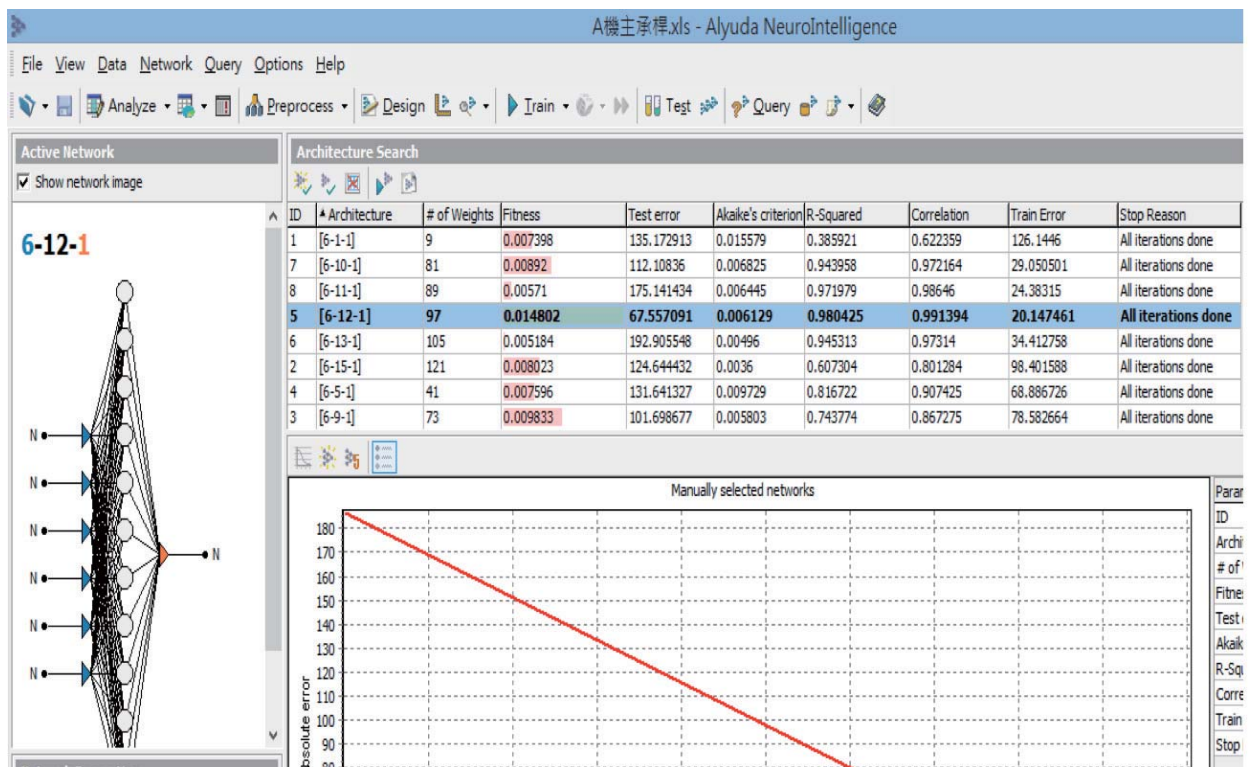
	(N) 平均	(N) 相對	(N) 日照	(N) 降	(N) 降雨	(N) 雨水P	(N) 使用	(N) Column #8
TRN	25.55	71.35	2133.31	1782.83	100	5.8	1032	
TRN	24.683333	72.85	2200.96	1821.18	76	5.9	598	
TRN	24.707143	73.064286	2231.35	1706.25	70.833333	5.7	723	
TRN	25.54	71.65	2151.125	1783.15	100.875	5.9	943	
TRN	25.54	71.65	2151.125	1783.15	100.875	6	921	
TRN	26.57	73.55	2013.44	2092.16	107.8	6	499	
TRN	26.583333	72.35	2106.883333	1906.4	101.5	6.1	780	
TRN	25.525	71.85	2024.8	2242.8	114	6.1	481	
TRN	25.525	71.85	2021.3	1931.6	110	6	1033	
TRN	25.49	72.35	2004.216667	2046.7	109.666667	5.9	643	
VLD	25.466667	72.016667	2311.225	1356.75	60.5	5.8	453	
VLD	25.35	72.35	2029.68	1988.14	108.6	5.9	954	
VLD	24.65	72.35	2106.883333	1906.4	101.5	6.1	852	
VLD	25.5	72.35	2173.542857	1698.942857	70.857143	6	733	
VLD	26.575	73.1	1975.3	2179.275	116.25	6.1	490	
VLD	25.57	71.95	1990.442857	1608.028571	102.142857	6	763	
VLD	25.466667	72.016667	2046.227273	1803.354545	105.090909	5.8	1117	
VLD	26.478571	71.635714	2004.216667	2046.7	109.666667	5.7	763	
VLD	25.45	73.1	1977.425	1609.375	104.25	5.7	548	
VLD	24.707143	73.064286	1890.35	1568.15	115.166667	5.8	778	
VLD	25.477273	71.259091	1904.9	1925.55	111.25	5.8	490	
VLD	25.5	72.35	2115.328571	1883.157143	97.571429	5.7	874	
TST	24.825	72.1	2162.1	1726.311111	72.888889	5.9	910	
TST	24.633333	74.016667	1981.516667	1728.616667	104	5.8	803	
TST	24.675	72.85	1962.62	1554.04	102.7	5.8	1087	
TST	25.492857	71.635714	1897.185714	1563.485714	110.571429	5.8	661	
TST	26.438889	71.794444	2133.31	1782.83	100	5.9	1101	
TST	24.666667	73.516667	2032.7125	1909.475	104.625	5.7	912	
TST	24.71	73.55	1921.066667	1465.866667	109.166667	5.7	661	
TST	24.621429	73.35	1972.544444	1574.477778	101	5.9	1103	

圖十一 主旋翼葉片訓練、驗證、測試分組圖 (資料來源：作者繪製)

表五 網路架構參數表

項次	品名	R-Squared	Correlation	輸入	隱藏	輸出	備考
1	主承桿	0.980425	0.991394	6	12	1	合格值Fitness最高；錯誤率Test error最低
2	主傳動箱	0.968868	0.984765	6	15	1	
3	主旋翼葉片	0.982648	0.991951	6	13	1	

資料來源：本研究整理

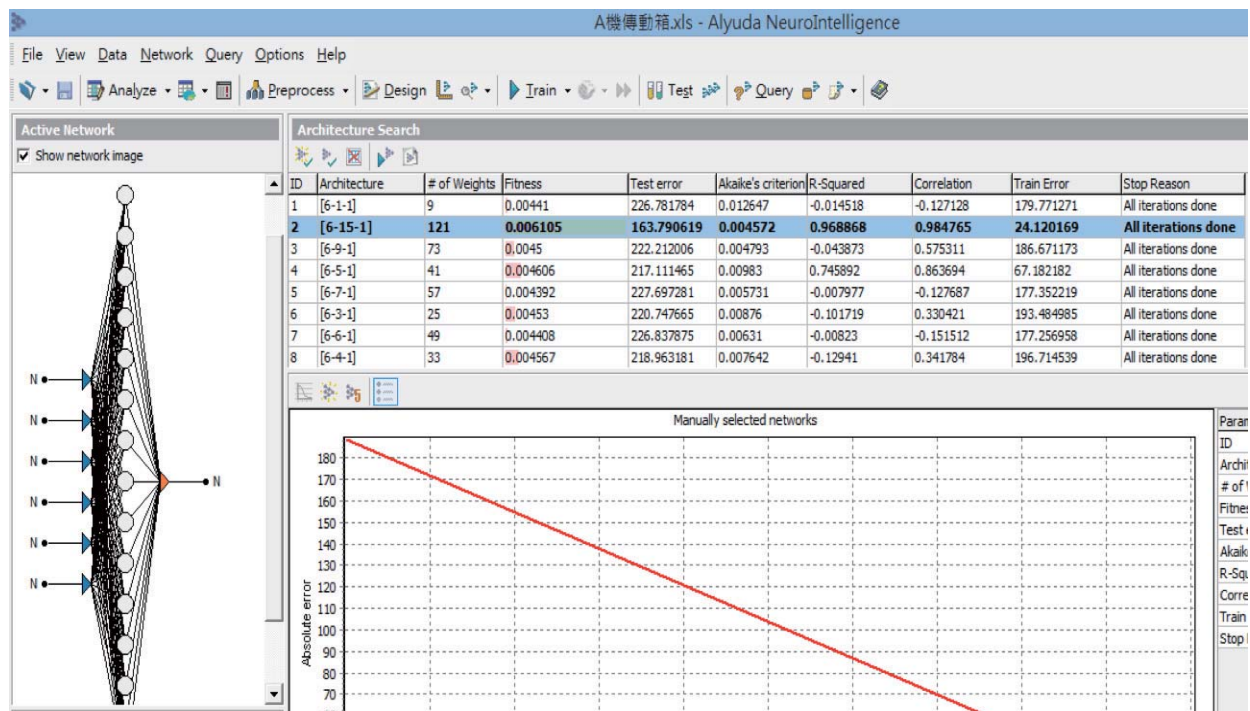


圖十二 主承桿隱藏層及神經元圖 (資料來源：作者繪製)

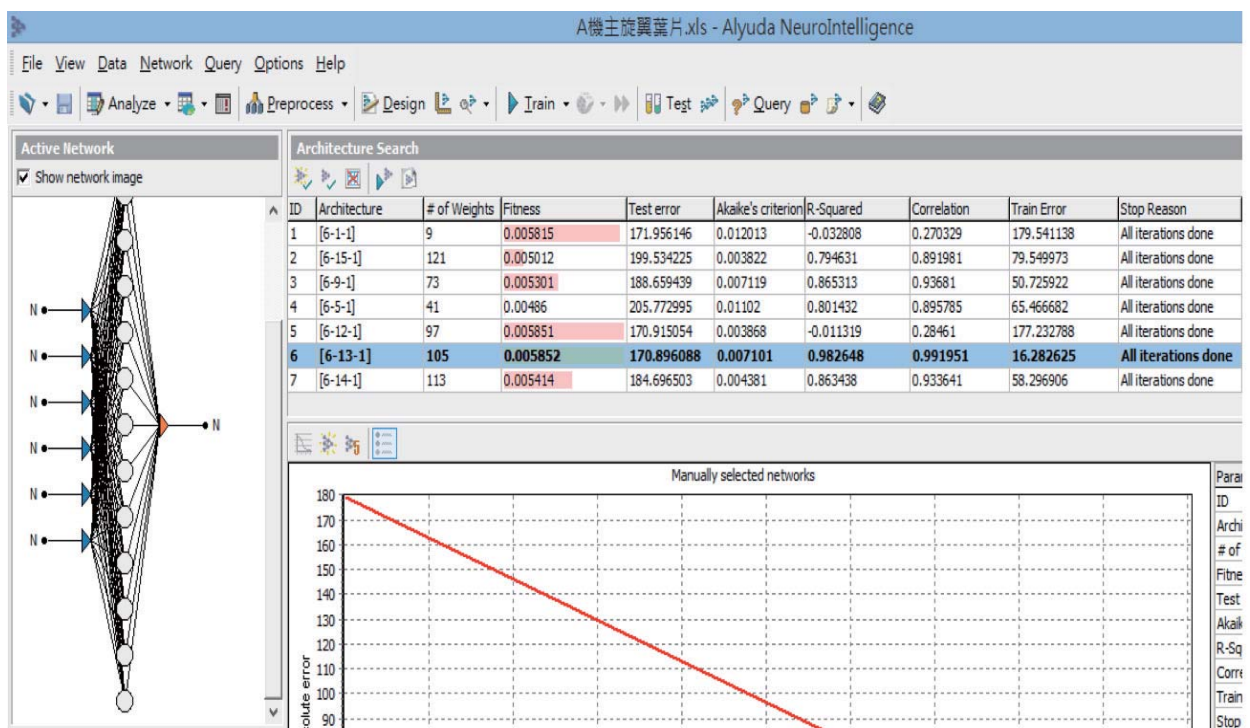
自動配對連結 (如圖十二~十四)。

- (八) 輸入學習速率及循環次數進行訓練：
完成配對連結後，在Learning rate欄位，輸入數值0到100的學習速率，並於右下方輸入學習循環次數。
- (九) 分析收斂情形，確認學習速率及最佳訓練次數：

1. 觀察Training Set藍色訓練線及Validation Set綠色驗證線之間差距是否有擴大的情況。選擇輸入值與輸出值最接近且誤差率最小且已有穩定收斂的情況，確認最佳的學習速率。
2. 觀察誤差率收斂圖中，紅色Error Improvement的錯誤改進線，在多少訓練



圖十三 主傳動箱隱藏層及神經元圖 (資料來源：作者繪製)



圖十四 主旋翼葉片隱藏層及神經元圖 (資料來源：作者繪製)

次數時可以開始收斂，以及後續紅色線是否可以完整收斂，不再揚起而無法持續收斂（如圖十五~十七）。

(十) 確認實際值與預測值：

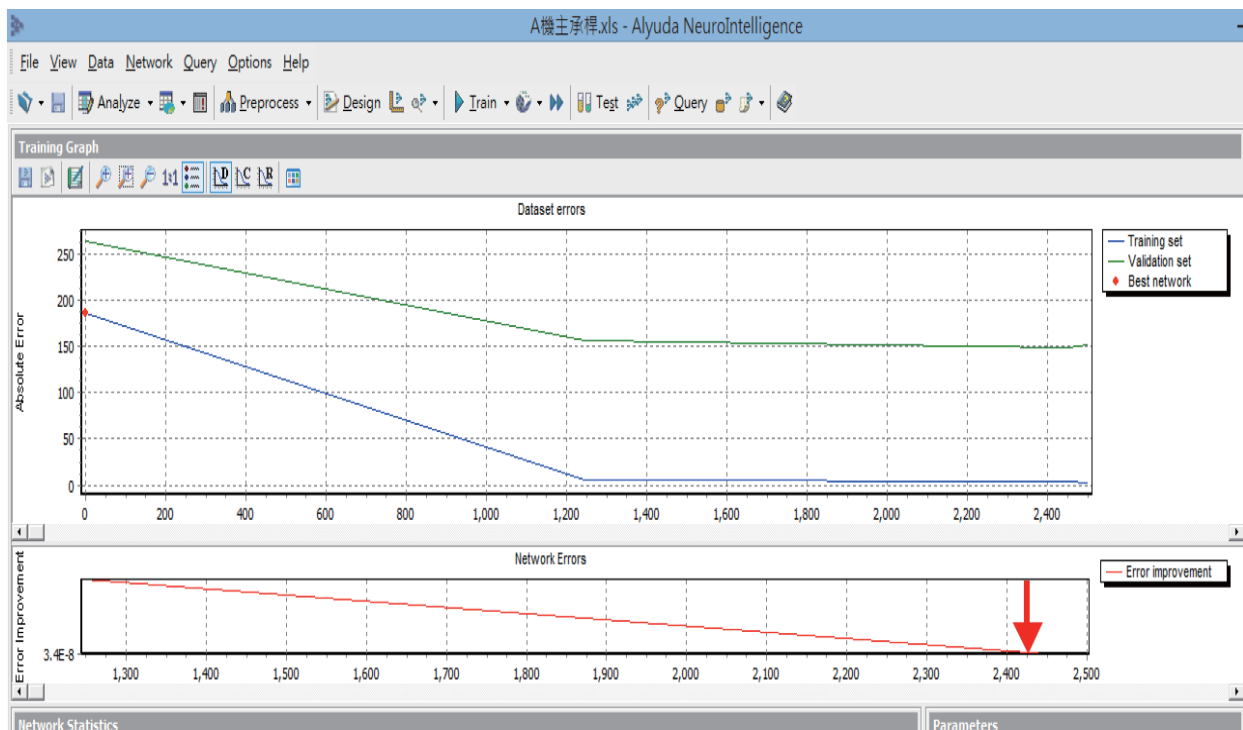
1. 模式配適度：依據平方和 (SSR) 和總變異 (SST) 來計算。配適度介於0和1之間，若求得平方和的值越小，則模式配適度就越接近1，也就是代表目前模型考量的自變數（模型所輸入專家問卷及評量分析所獲得平均溫度、相對濕度、雨水pH值、日照時數、累積降雨量及降雨天數等6項關鍵因素），對應變數（模型輸出值的飛行時數）的解釋能力就越好，模型的配適度也就 (Goodness Of

Fit) 越高（如表六）。

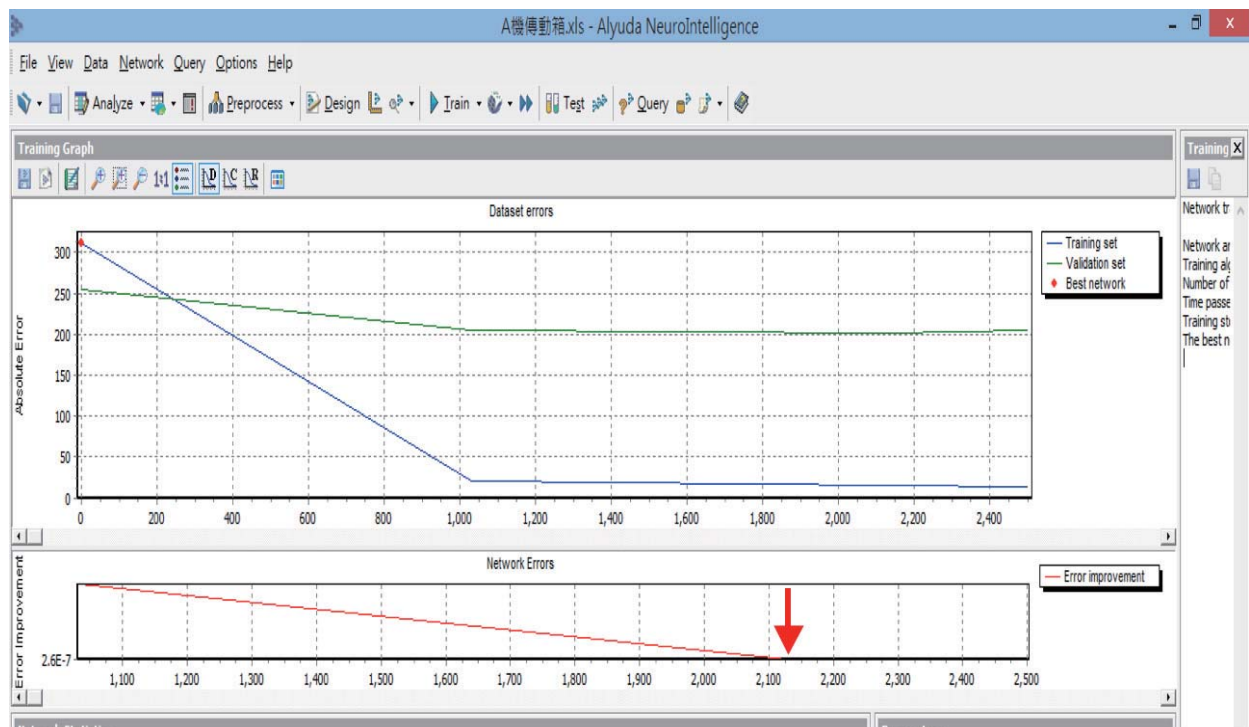
$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

模式配適度公式

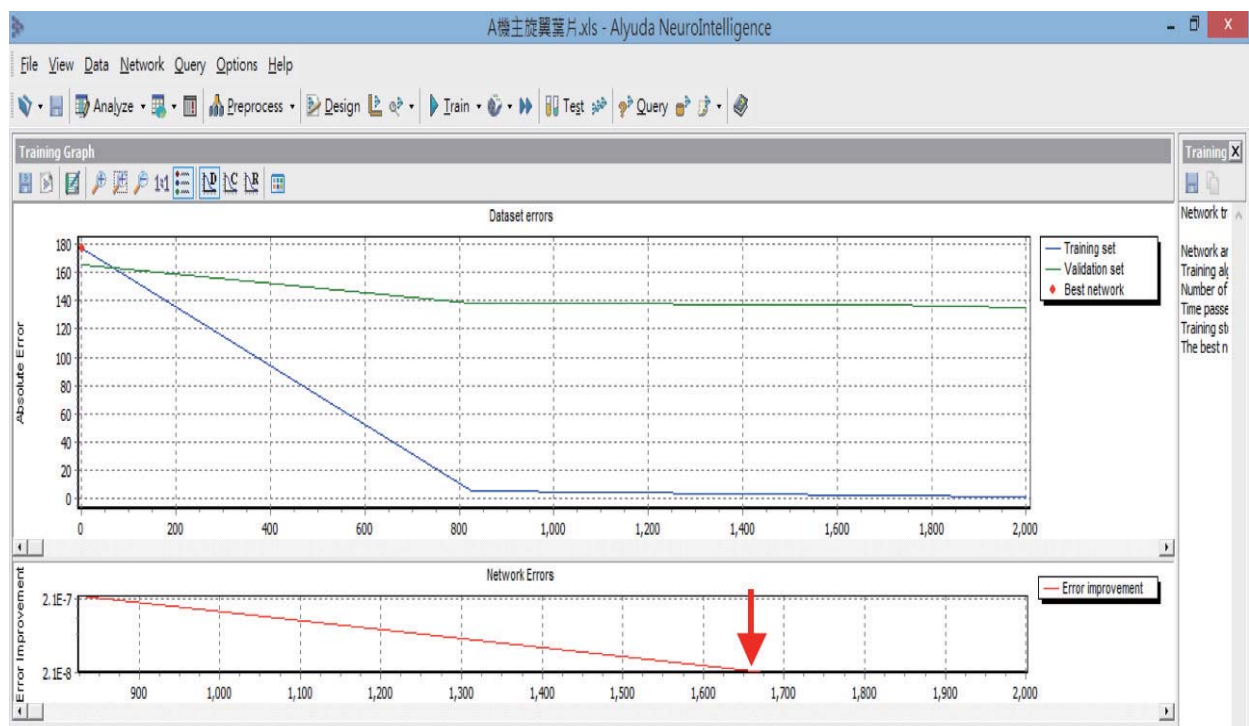
2. 關聯性 (Correlation)：目標值和輸出值的關聯性，數值越接近1者，就代表是高度的正相關，那表示預測準確度也就越高。
3. 鑑入TEST鍵，電腦資訊系統自動運算，觀察其關聯性及模式配適度的數值，是否趨近於1，透過重複訓練的步驟約350次，所顯示的關聯性與模式配適度最低都超過0.8以上，應屬於高度正相關。為達到最高的預測準確性，三大總成件均



圖十五 主承桿收斂圖（資料來源：作者繪製）



圖十六 主傳動箱收斂圖 (資料來源: 作者繪製)

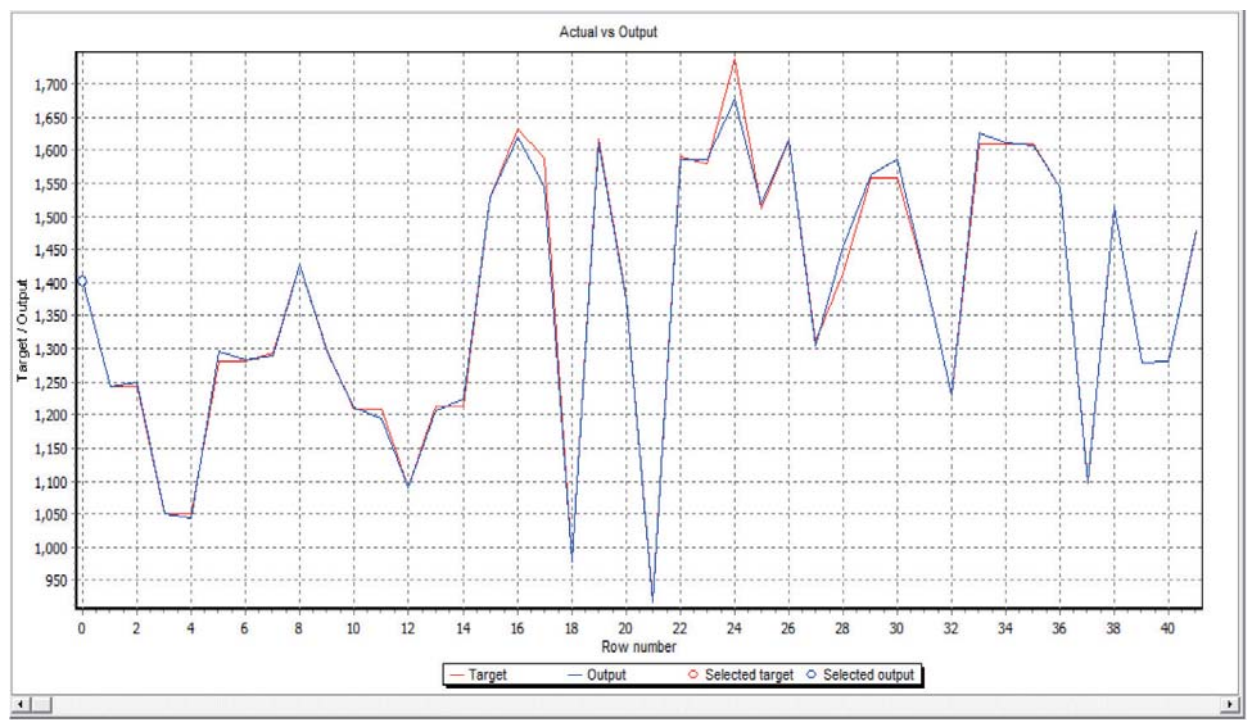


圖十七 主旋翼葉片收斂圖 (資料來源: 作者繪製)

表六 最佳關聯性與模式配適度的模型表

項次	品名	關聯性	模式配適度
1	主承桿	0.997356	0.994552
2	主傳動箱	0.992803	0.985322
3	主旋翼葉片	0.996713	0.990046

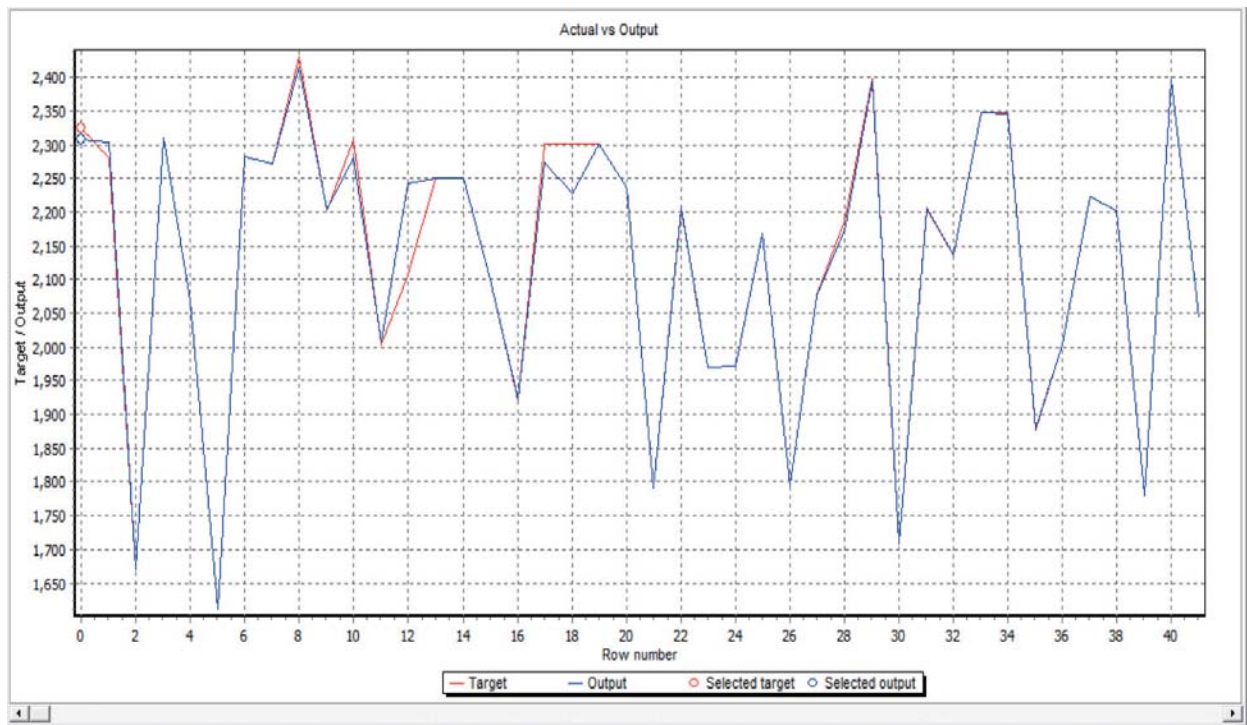
資料來源：本研究整理



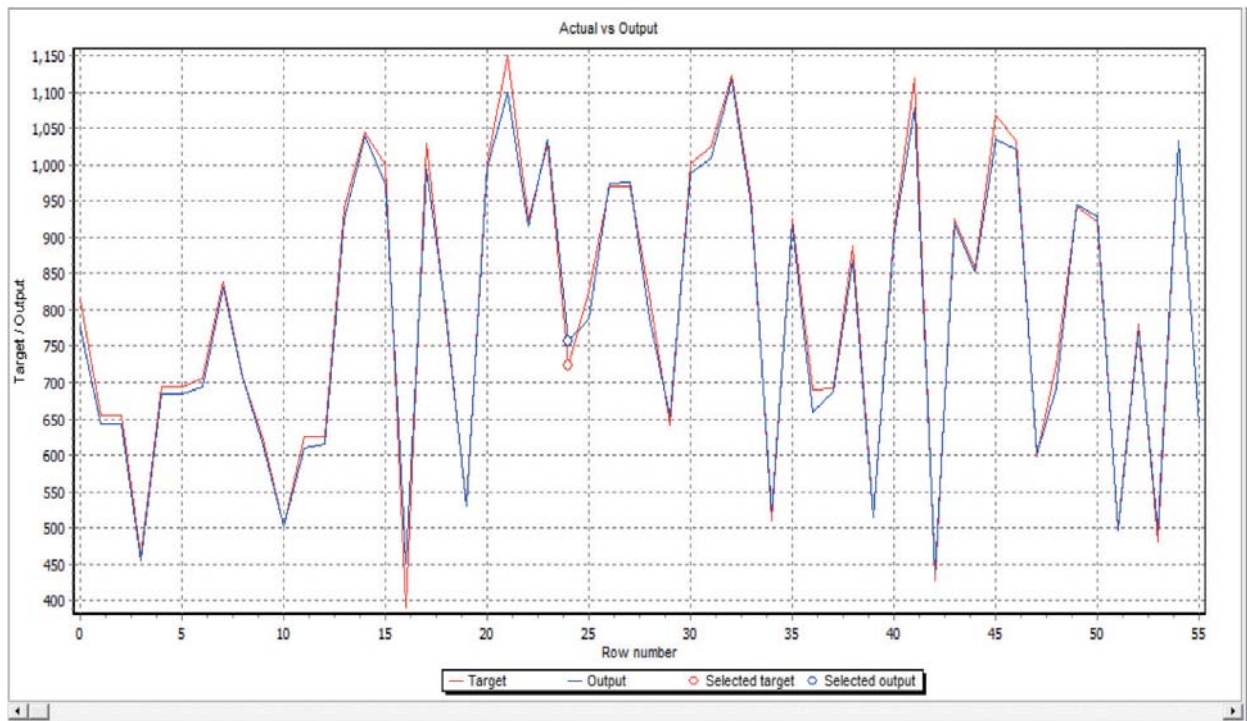
圖十八 主承桿關聯性及模式配適度圖（資料來源：作者繪製）

選擇最佳的一組來做為模型。另持續觀察圖中紅色Target目標線及藍色Output輸出線等兩種線型，兩種線型雖然因為人員操作訓練、修補人員作業技能等因素，無法全盤納入分析而有部分差異，但兩種線型幾乎完全重疊，確認實際值與預測值相近（如圖十八~二十）。

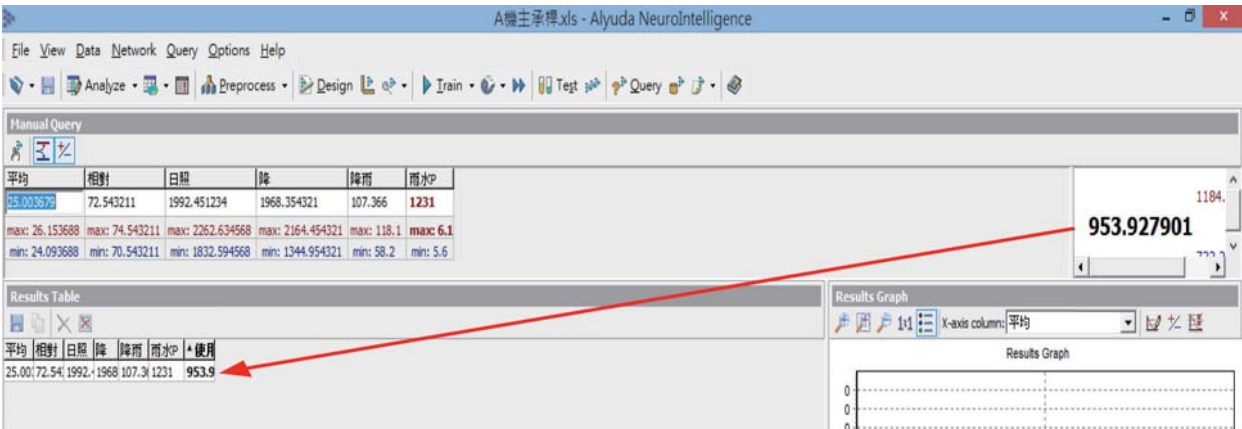
（十一）建立預測值：選擇工具列Query鍵，以三大總成件的裝機飛行時數為目標值，輸入溫度、濕度、起降次數、日照、雨量及降雨天數等主要參數，按Enter鍵，即由電腦自動運算出下一次裝機使用壽命（飛時）的預測值（如圖廿一~廿三）。



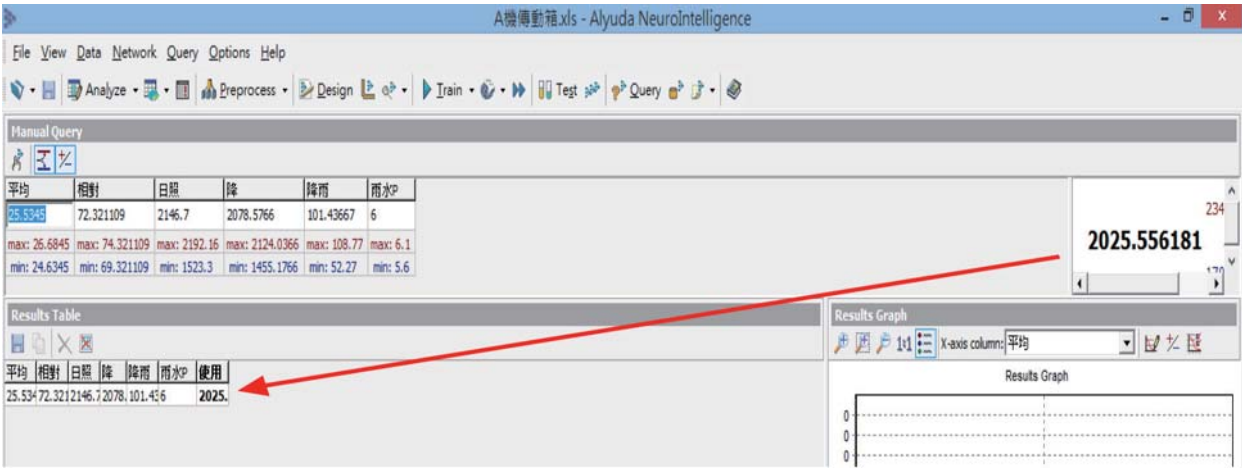
圖十九 主傳動箱關聯性及模式配適度圖 (資料來源: 作者繪製)



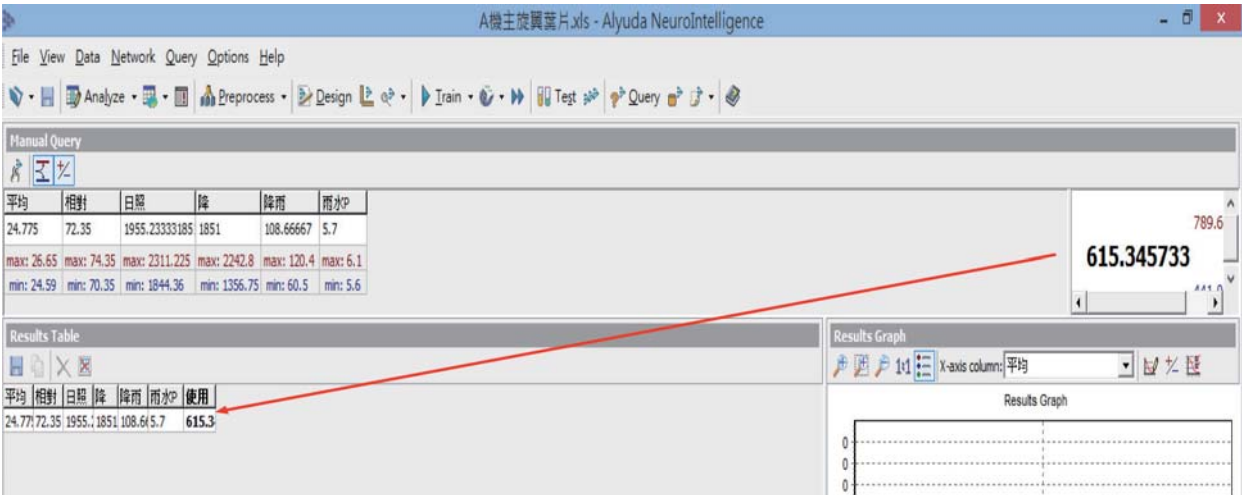
圖二十 主旋翼葉片關聯性及模式配適度圖 (資料來源: 作者繪製)



圖廿一 主承桿預測圖 (資料來源: 作者繪製)



圖廿二 主傳動箱預測圖 (資料來源: 作者繪製)



圖廿三 主旋翼葉片預測圖 (資料來源: 作者繪製)

四、關鍵因素驗證

針對「平均溫度、相對濕度、雨水pH值、日照時數、累積降雨量及降雨天數」等6項重要關鍵因素，採逐項解列方式導入資訊軟體驗證，刪除任一項關鍵因素，誤差率無法完整收斂，驗證本研究確實獲得關鍵因素。

五、預測準確度驗證

計算平均絕對值誤差率 (Mean Absolute Percentage Error, 簡稱MAPE)，以進行準確度驗證 (表七)，彙整陸軍航空特戰指揮部2017年上半年的維修數據，主承桿和主傳動箱各11組，主旋翼葉片15組，再依據每具的輸入項目導入軟體後，獲得裝機飛行時數的預

測值 (輸出值)。再與各組目標值 (實際的裝機飛行時數) 做驗證比對，計算相對誤差主承桿為4.57% (表八)，主傳動箱為2.75% (表九)，主旋翼葉片為4.99% (表十)，屬於高準確度的預測 (平均絕對值誤差率小於10%者)。

表七 MAPE的評估標準表

MAPE (%)	說明
<10%	高準確的預測
10%~20%	優良的預測
20%~50%	合理的預測
>50%	不準確的預測

資料來源：本研究整理

表八 主承桿預測準確度驗證表

項次	平均溫度 (度)	相對濕度 (%)	雨水 pH值	日照時數 (時)	累積降雨量 (毫米)	降雨天數 (天)	實際時數 (時)	預測時數 (時)	差異數 (時)	相對誤差
1	26.00	70.54	5.8	2,263	1,345	58	979	933	46	4.70%
2	25.05	71.54	5.8	2,034	1,923	103	1,017	958	59	5.80%
3	24.18	73.04	6.1	1,893	1,847	109	1,050	1023	27	2.57%
4	24.95	73.29	5.7	1,964	2,101	114	1,050	988	62	5.90%
5	24.99	72.54	5.7	2,002	2,014	106	1,087	1055	32	2.94%
6	24.28	72.54	6.0	1,961	1,400	104	1,091	1028	63	5.77%
7	26.15	73.88	5.8	2,152	1,695	76	1,099	1038	61	5.55%
8	26.15	73.88	5.7	2,152	1,695	76	1,003	968	35	3.49%
9	26.07	73.74	5.7	2,189	1,743	74	1,086	1015	71	6.54%
10	25.00	72.54	5.8	1,992	1,968	107	1,010	975	35	3.47%
11	25.00	72.54	6.0	1,992	1,968	107	1,020	986	34	3.33%
MAPE										4.57%

資料來源：本研究整理

表九 主傳動箱準確度驗證表

項次	平均溫度(度)	相對濕度(%)	雨水pH值	日照時數(時)	累積降雨量(毫米)	降雨天數(天)	實際時數(時)	預測時數(時)	差異數(時)	相對誤差
1	25.53	72.32	6.0	2,147	2,079	101	2,043	2018	25	1.22%
2	24.67	73.99	6.0	1,668	1,600	107	2,058	2037	21	1.02%
3	25.50	70.65	6.1	1,874	1,805	102	2,069	2032	37	1.79%
4	26.64	72.72	6.0	1,973	1,905	65	2,078	2022	56	2.69%
5	24.70	73.49	5.7	1,829	1,760	96	2,083	2025	58	2.78%
6	26.48	71.75	5.9	1,696	1,628	64	2,100	2045	55	2.62%
7	24.68	73.89	5.8	1,714	1,646	106	2,106	2047	59	2.80%
8	24.70	73.49	6.1	1,829	1,760	96	2,099	2006	93	4.43%
9	24.74	73.04	6.0	1,708	1,640	94	2,086	2002	84	4.03%
10	25.53	71.61	5.8	1,983	1,915	89	2,094	2011	83	3.96%
11	25.53	71.61	5.8	1,983	1,915	89	2,088	2028	60	2.87%
MAPE										2.75%

資料來源：本研究整理

表十 主旋翼葉片準確度驗證表

項次	平均溫度(度)	相對濕度(%)	雨水pH值	日照時數(時)	累積降雨量(毫米)	降雨天數(天)	實際時數(時)	預測時數(時)	差異數(時)	相對誤差
1	25.41	72.55	6.1	2,004	2,047	110	622	601	21	3.38%
2	25.50	72.35	6.1	1,955	1,851	109	625	608	17	2.72%
3	24.78	72.35	5.7	1,955	1,851	109	625	610	15	2.40%
4	25.48	71.73	5.9	2,237	1,611	69	642	612	30	4.67%
5	25.49	72.35	5.9	2,004	2,047	110	643	609	34	5.29%
6	25.45	71.73	6.0	2,010	1,818	107	643	612	31	4.82%
7	24.68	72.85	5.7	1,959	1,769	107	656	625	31	4.73%
8	24.68	72.85	5.6	1,959	1,769	107	656	623	33	5.03%
9	25.49	71.64	5.8	1,897	1,563	111	661	628	33	4.99%
10	24.71	73.55	5.7	1,921	1,466	109	661	626	35	5.30%
11	24.67	73.35	6.1	2,010	1,818	107	663	625	38	5.73%
12	25.54	71.65	6.0	2,166	1,744	74	673	628	45	6.69%
13	25.55	71.78	5.9	2,225	1,628	70	690	646	44	6.38%
14	26.65	73.68	5.9	1,941	1,946	110	693	648	45	6.49%
15	25.45	73.10	6.0	2,045	2,149	109	694	655	39	5.62%
MAPE										4.99%

資料來源：本研究整理

肆、結論與建議

一、研究結論

本研究在精進陸軍直升機的零組件籌補流程，以使用經驗較為豐富的AH-1W直升機為研究對象，在建立影響妥善最嚴重的主承桿、主旋翼葉片和主傳動箱等三大總成件的使用壽命預測模式過程中，採用修正式德菲法與五點量表方式，經彙整獲得此型直升機修護專家的一致性指標，計有平均溫度、相對濕度、雨水PH值、日照時數、累積降雨量及降雨天數等6項重要關鍵因素，續將陸軍航特部飛機保修廠的維修數據資料導入類神經網路ANN軟體，由電腦軟體自動亂數選取，區分訓練組、驗證組、測試組等3組，學習與建立三項總成件的故障預測模式。據此強化修護深度，納入計畫備料需求檢討及零附組件籌補規劃，建議陸勤部（保修處零補科、航保科、航勤廠）及陸軍各AH-1W型直升機使用單位，可在三大總成件安裝前，將維修資料的關鍵數據輸入軟體所建立的預測模型，預測安裝於直升機上後可使用的飛行時數（使用壽期），可供修護及補給單位加強維修深度與提前納入需求檢討備料，採購部門納入軍購等提前籌補，並提供裝備使用單位納入任務調派管制，降低危安及維修、籌補、管控人力，有效節約物料成本，發揮有限國防預算最大效益。

二、建議

（一）強化基礎保養及提升維修深度：依陸軍

現行修護技令及相關保養規定，AH-1W直升機每飛行100小時必須實施保養檢查，共區分為A、B、C、D等4種，每400小時則循環一次，已包含各總成件及旋翼系統之檢查，後續可運用每次定時維修保養時，建議採取下列策略以提升維修深度：

1. 配合每100小時保養檢查，強化基礎保養，加強機身及各零組件的外觀清潔，尤其執行出海或海岸周邊沿海飛行任務時，返回駐地時務必加強清洗，遭逢陰雨天或戰備露儲時，任務結束務必將水分擦拭乾淨保持乾燥，特別注意凹槽與夾縫的水分必須清除，另主旋翼葉片溝槽封膠補強前，提升維修深度，修訂以往僅添加補充，修訂為每200小時（執行B、D維修保養時）先行清除原有殘餘封膠，經除鏽、保養後，再以結構膠全面重新封膠，避免水氣及沙石、灰塵等滲入結構造成腐蝕。
2. 考量飛安因素及可修件的再生運用，建議參考飛行時數預測之目標值數據，提前循補給體系提出零組件申請，除可避免零組件持續鏽蝕導致超過限制無法翻修再生利用，亦有利採購單位辦理周轉件籌補；另可同步採用機隊任務管制方式調派直升機任務，控管各機飛行時數，以利零組件於預測時數屆期前獲得周轉件；另主承桿、主傳動箱及主旋翼

葉片等三項達預測數據時，應強制要求更換，確保飛行安全（如表十一）。

(二) 研修計畫備料需求檢討作業：陸軍零附件需求，雖然依照國防部政策於目編年度前24個月已經開始檢討，但各型直升機屬高精密裝備，相關零組件產製限制更大，產期更久，本研究所得的模型與預測數據，建議納入計畫備料作業流程的精進：

- 1. 原計畫備料作業，主承桿、主傳動箱和主旋翼葉片等總成件，係依據技令及

AH-1W直升機飛行時數和用兵時數，檢討未來24個月內定更屆期數量，建議改為依據預測故障模式的數據，提前納入需求備料檢討。

- 2. 彙整近3年飛行線故障頻次較高的系統與長產期的總成件，如本專題研究的三大總成件，於計畫備料作業的需求檢討程序中，增列檢討高故障系統總成件，據以納入零組件申請與補給作業。

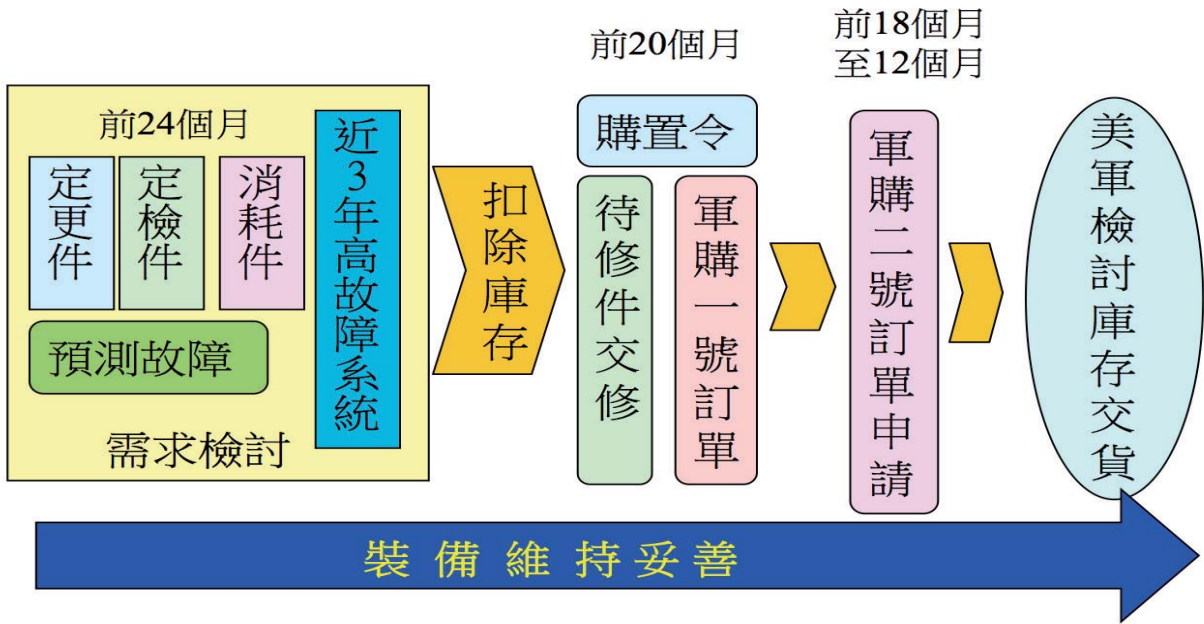
(三) 精進備料籌補方式（如圖廿四）：

- 1. 運用本研究預測模型及提前申補作業，

表十一 研究預測及申補建議分析表

項目	品名	技令使用時限	預測數據	建議提前申補
1	主承桿	1,800小時	953小時	900小時
2	主傳動箱	2,500小時	2,025小時	2,000小時
3	主旋翼葉片	1,100小時	615小時	600小時

資料來源：本研究整理



圖廿四 精進備料籌補作業流程圖（資料來源：作者繪製）

可提前將替換下來的待修品納入翻修再運用，並依鏽蝕狀況逐級分由航特部、保修廠、航勤廠、軍機商維（委商）、送美回修案（軍售或原廠）辦理可修件交修，除了可以提前獲料，更可以避免鏽蝕超過限制報廢，有效縮短重新採購所需時間，並可以節約公帑。

2. 建議將預劃採購數，透過每年華美軍購零附件管理會議，將料件採購需求提供給美軍，要求納入軍購合約補給支援協定CLSSA案，美軍將於軍購一號訂單，將我方的料件需求先行辦理採購及預建存量，我國軍可於實際耗料或保修更換前，循軍購二號訂單向美軍申請，由美軍將檢討庫存數交貨給我方，除可確保軍品素質與立即獲料外，更減輕國外商購案漫長的評核、開標程序，亦可以降低我方庫儲壓力。

三、未來展望

直升機已是陸軍發揚火力和戰術運用最重要的武器裝備之一，但零附料件的供補順遂，影響裝備的妥善狀況甚鉅，不能再以往裝備損壞或定更料件屆期了才去檢討籌補，能夠運用計畫備料的機制，配合本專題研究所建構之預測模式，實可作為各型直升機維修管理和零組件籌補策略的參考措施，有效調節直升機任務派遣，進行裝備計畫性修護，周延零組件需求計算程序，強化可修件交修，精進採購作業規劃與後續維保預算

編列參考，本專題以AH-1W直升機的三大總件為例，建議將此預測模型逐步擴大應用到同類型「高單價、高裝置數及高配換率」的三高品項零組件，循序漸進地擴大應用到其他直升機零組件，本專題研究中所運用倒傳遞類神經網路預測準確度，有可能因訓練組數而產生誤差，後續如運用此研究方式應隨著維修次數與參數增加，持續載入作為訓練的組數也會相對增加，對預測模型的準確度也會相對提升，建議持續納入計畫備料需求檢討，善用送美回修及軍購合作補給支援協定案等籌補方式，務求在「任務考量」與「節約公帑」的兩難中求得平衡，發揮有限國防預算最大效益，確保裝備妥善，滿足陸軍戰演演訓等各項任務遂行。

作者簡介

曾瑞穎中校，國防管理學院企管科87年班，陸軍後勤學校後勤正規班91年班，私立大同大學工程管理研究所103年班，國防大學戰略107年班，現任職陸軍後勤指揮部保修處兵工督導官。

作者簡介

呂宗翰中校，國防管理學院企管科87年班，國防管理學院正規班90年班，國防大學戰略班105年班，現於國防大學教官。