

# 檜樹飛彈系統－空壓機妥善率提升之研析

作者：張之綸、彭天宏

## 提要

- 一、M48A2 自走式檜樹防空飛彈系統現為本軍近程野戰防空武器，係一簡單可靠、反應靈敏、高效率及有全面性攻擊能力之改良型地對空飛彈系統，能抵禦、攔截敵方高速，低飛進襲之目標，隨著裝備服役年現增長，裝備故障的機率也因而提高，而裝備妥善率是武器系統效能評估之重要指標，其妥善與否，攸關有形戰力之發揚，直接影響作戰機動效能，因此統計出陸軍飛勤廠歷年總成及次總成高故障項目，研討改良因應對策為筆者研究方向。
- 二、筆者運用特性要因圖及故障樹分析法，探討造成裝備故障之原因，擬定故障裝備分析標準作業程序，並以次總成「空壓機」為例，依程序實施故障分析，找出裝備故障原因，進而提出保修技術精進作法，以降低裝備損壞。
- 三、筆者最後提出確實檢討年度計畫性備料、提升保修作業能力、美方原廠實施構型變更及國防自主實施構型變更等 4 項建議，期能避免裝備因人為操作及零件壽限與待料等因素損壞，並能精準備料或構型變更等作為，提升裝備妥善，發揮應有之戰力，遂行野戰防空戰備任務。

關鍵詞：飛彈、故障樹、空壓機

## 前言

### 一、研究背景與動機

(一) 研究背景：國防部依政府政策指導推動「精實案」、「精進案」及「精粹案」後，使組織及員額均能依計畫整併、精簡及兵力結構調整，然陸軍各作戰區野戰防空部隊，由防空群簡併為防空營後，人力精減（含技術人員）、裝備服役年限增長及部隊任務日益繁重，而裝備是否仍維持部頒妥善率，對戰力之影響極為重要。飛彈裝備乃高精密度、機密性之主戰裝備，唯具高可靠度<sup>1</sup>及高妥善率才能發揮有效戰力。然裝備妥善的維持，有賴各級維護作業的施行，但現今在國防預算逐年降低，致人員訓練及後勤補給等經費相對減少，為了有效維護主戰裝備壽命週期，應運用一套分析方法，以了解裝備故障要因，俾利提早預防以降低成本之支出及強化人員操作保養素質，藉以提升裝備妥善率。

(二) 研究動機：檜樹飛彈系統內建之空氣壓縮機次系統位於基座內之右側，其主要功能為提供 3000PSI 無塵、無濕之純淨高壓空氣，以冷卻飛彈導引部

<sup>1</sup>在任意指定的一段時間內及相同運作條件下，此系統不會發生故障且能發揮其正常功能的機率，稱為累積 (Cumulative) 可靠度，〈國軍武器系統與裝備整體後勤支援教則〉，《國防部》，民國 104 年 12 月，頁 4-2-25。

之偵測器，增進其對紅外線之靈敏度，達成自動追蹤之任務。<sup>2</sup>然該次系統故障數量逐年增加，嚴重影響全系統妥善，導致主戰裝備停用，使部頒妥善率過低，故需探討是否為人員保養不當、機件壽限因素或備料不足等問題，為本文研究動機。

## 二、研究目的

檯樹飛彈系統屬近程野戰防空飛彈，自民國 78 年成軍迄今，現服役於海軍陸戰隊防警群及陸軍野戰防空部隊，擔任台灣本島近海要港及低空防衛任務，為維持裝備妥善率及確保武器性能發揮，本研究係以近年此裝備進廠翻（檢）修情形，針對高故障次總成之空氣壓縮機，加以分析統整歸納，探討維護要領及保修精進作法，以教導保養工作及提供專業知識，提升裝備妥善，進而優化保修（養）人員素養及縮短裝備損壞時限，使有效發揮裝備效能。

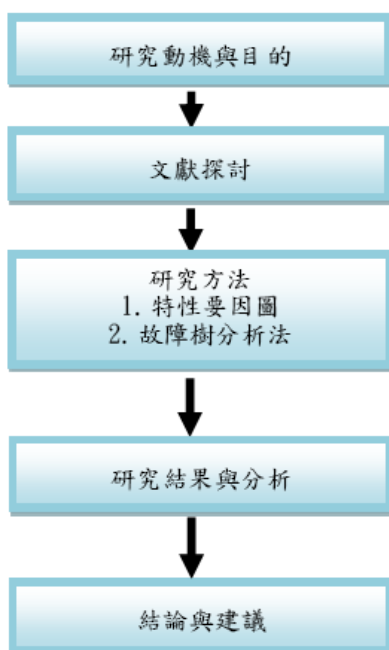
## 三、研究範圍與現制

（一）研究範圍：本文研究以陸軍後勤指揮部飛彈光電基地勤務廠野戰防空所檯樹小組近年參與各項操演訓（聯勇、精準實彈射擊、長青、基地訓練）及各部隊（陸軍及海軍陸戰隊）檯樹裝備進廠實施翻（檢）修之裝備為範圍。

（二）研究限制：檯樹飛彈系統除本國有部屬使用外，目前計有以色列等 8 個國家使用，因研究的相關期程及資料蒐集參數，礙於國際因素，故僅採用本國資料，來分析及探討，並列出相關具體做法，以利提升裝備妥善率。

## 四、研究流程

圖一 研究流程示意圖



資料來源：作者自行繪製整理

<sup>2</sup>《檯樹防空飛彈系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 89 年 12 月），頁 2 - 21。

(一) 前言：介紹本文研究動機與架構。

(二) 研究方法：介紹故障樹分析法、特性要因圖的定義及程序。

(三) 研究分析：以特性要因圖檢討空壓機損壞原因，以故障樹分析法分析，再利用特性要因圖對損壞之單件，實施分析並檢討故障裝備損壞原因，以提出具體改進方式，提供技術人員及部隊改進，提升裝備妥善。

(四) 結論與建議：分析問題並提出建議作法。

## 文獻探討

### 一、檜樹飛彈系統簡介

檜樹飛彈系統 (CHAPARRAL，如圖二)，為美國加州福特航太公司研製，<sup>3</sup> 為一地對空短程防空飛彈系統，採紅外線熱追蹤，具全天候作戰能力、射後不理、反應時間快、操作簡單、保修容易、機動力強、精確度高之優點，國軍陸軍於民國 77 至 79 年間陸續引進檜樹系統，為目前陸軍最有效之低空防禦武器。

檜樹飛彈系統由「M730 系列履帶車載具」及「M54 系列發射站」組成，載具及發射站結合後定名為「M48 檜樹防空系統」，於 I - III 階段完成改良及基本性能提升；在 IV 階段之性能提升中 M48 構改為 M48A1，其中提升部份為加裝敵我識別次系統、提升砲塔驅動電子總成，以達到和 AN/DAW - 1B (飛彈導引部段) 在操作上相容，故新型發射站命名為 M54A1；另 M730 載具獲裝冷卻系統及乙具較重懸吊系統，故載具更名為 M730A1；V 階段加裝乙具「前視紅外線」及乙具「柴油引擎」之主動力單元 (MPU) 至 M54A1，故發射站更名為 M54A2，而全系統則更名為 M48A2；VI 階段加裝核生化 (NBC) 裝備及新式空調裝置至 M54A2，故發射站更名為 M54A2E1，全系統則更名為 M48A2E1。

「M54 系列發射站」全長 6.1 公尺、寬 2.69 公尺、高 2.9 公尺，全重 12988 公斤，飛彈塔可升降及 360° 旋轉，最高每秒可旋轉 90°，飛彈發射軌條上下俯仰角度可自 - 9° 至 90°，搭載四行程氣冷式柴油引擎，另配有敵我識別器，可逕行對空中目標實施辨證、具有前視紅外線裝置，可在日、夜間或能見度較差之天候下，執行目標搜索與追蹤、飛彈射出後，具有射後不理之特性，可增加戰場存活率、發射站可與履車分離，配有裝腳架四具，可由直昇機直接吊掛，機動至新陣地放列，遂行防空任務，加裝浮游裝備時，可行兩棲突擊登陸作戰。<sup>4</sup>

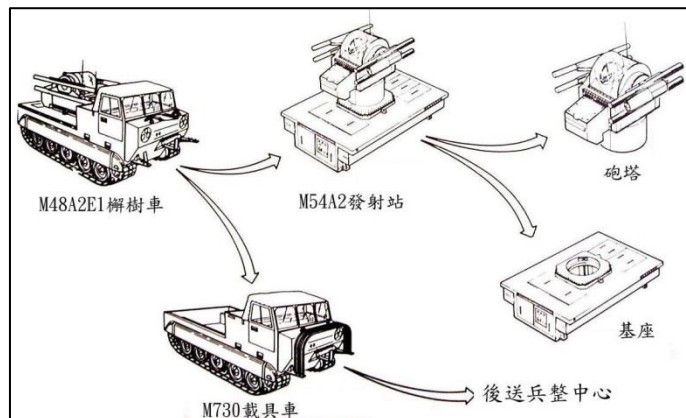
「M730 系列履帶車載具」可提供涉水能力，有助於野戰部署，M730 履帶載具由 M548 履帶載具修改而來，發動機艙及乘員艙位於車體前方，後方則裝置 M54 飛彈發射裝置，多以防水帆布覆蓋作為保護，本型載具採扭力桿承載系統，兩側各有 5 個承載輪，前後方各有 1 個主動輪和 1 個惰輪，第 1 及第 5 個承載輪的

<sup>3</sup> 《尖端科技精華本 16 - 飛彈家族》(臺北：雲皓出版社，民國 86 年 1 月)，頁 66。

<sup>4</sup> 《檜樹防空飛彈系統操作手冊》(桃園：陸軍司令部，民國 89 年 12 月)，頁 1 - 2 至 1 - 5。

扭力桿上裝有油壓避震器，車頭兩側各有 1 組紅外線燈，具有兩棲能力，以履帶打水的方式前進（時速 5.5 公里／小時）。<sup>5</sup>

圖二 檜樹飛彈系統示意圖

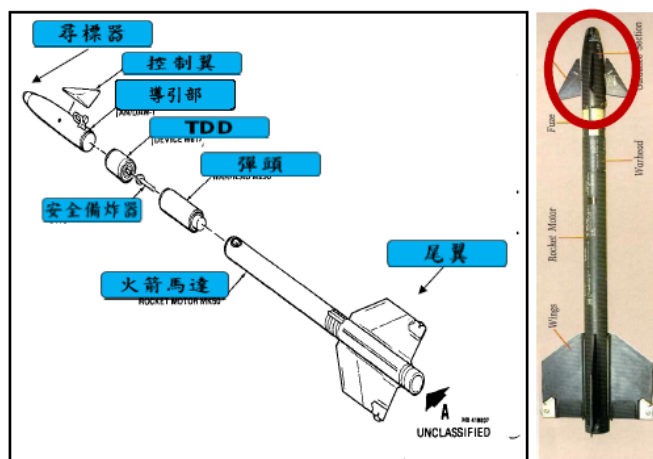


資料來源：筆者參照美軍技術手冊 TM9 - 1425 - 2586 - 10，1984 年 8 月，頁 1 - 4 製作。

## 二、檜樹飛彈導引部簡介（如圖三）：

MIM - 72 檜樹飛彈為 AIM - 9D 響尾蛇飛彈改良自地面發射之飛彈，MIM - 72A 幾乎等同於 AIM - 9D 響尾蛇飛彈，<sup>6</sup>我國使用 MIM - 72F、MIM - 72H（無煙型）及 MIM - 72J（導控段為 AN/DAW - 2A）等三種型式。檜樹飛彈全長 2.9 公尺、直徑 0.13 公尺，彈重 86.3 公斤，有效射程 8000 公尺、有效射高 3000 公尺，飛彈發射後 5 秒速度可達 2.2 馬赫（1 馬赫=330 公尺/秒），以紅外線熱感應方式追蹤目標，為一輕便、超音速、被動式紅外線歸向導引飛彈，<sup>7</sup>導引部位於飛彈最前端，由尋標器、電子組及伺服組三大部分組成，其尋標器內部之致冷器需藉由次系統空壓機造生 3000PSI 高壓空氣，以冷卻使達到所需之工作溫度，增加對外界紅外線靈敏度，提升飛彈命中率。

圖三 檜樹飛彈導引部示意圖



資料來源：〈TM9 - 1425 - 2586 - 10〉，民國 73 年 8 月，頁 1 - 8

<sup>5</sup> 《檜樹防空飛彈系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 89 年 12 月），頁 2 - 33 至 2 - 35。

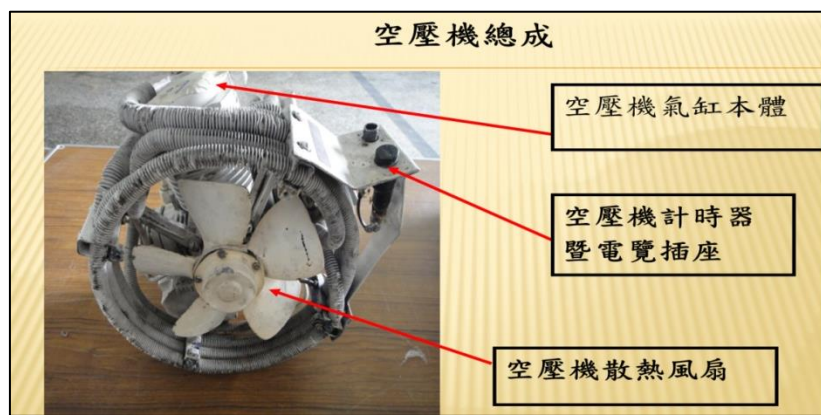
<sup>6</sup> 《尖端科技精華本 16 - 飛彈家族》（臺北：雲皓出版社，民國 86 年 1 月），頁 66。

<sup>7</sup> 《尖端科技精華本 16 - 飛彈家族》（臺北：雲皓出版社，民國 86 年 1 月），頁 1 - 8。

### 三、空壓機簡介

空壓機（如圖四）位於基座動力艙內之右側（如圖五），其在海平面的輸出量每秒鐘 300PSI 之高壓空氣為 1 公升，其運轉累積時間紀錄於主控制面板上之計時器，操作則係自動控制；當壓力低於 2700PSI 時，動力艙內柴油引擎之大皮帶，帶動離合器，使離合器同步驅動空壓機，開始製造高壓空氣，當壓力達 3100PSI 時，則離合器與空壓機即自動停止，並保持到壓力再降至 2700PSI 時之工作循環。<sup>8</sup>另後續將高壓空氣送至空氣清潔器，加以過濾及清潔，使之變為無塵、無濕、無稀有氣體之空氣，並藉系統內空氣軟管，持續不斷地提供各飛彈軌條上飛彈冷卻。<sup>9</sup>

圖四 空壓機組成示意圖



圖五 空壓機位置示意圖



資料來源：圖四及圖五為筆者拍攝製作

### 四、保修作業程序

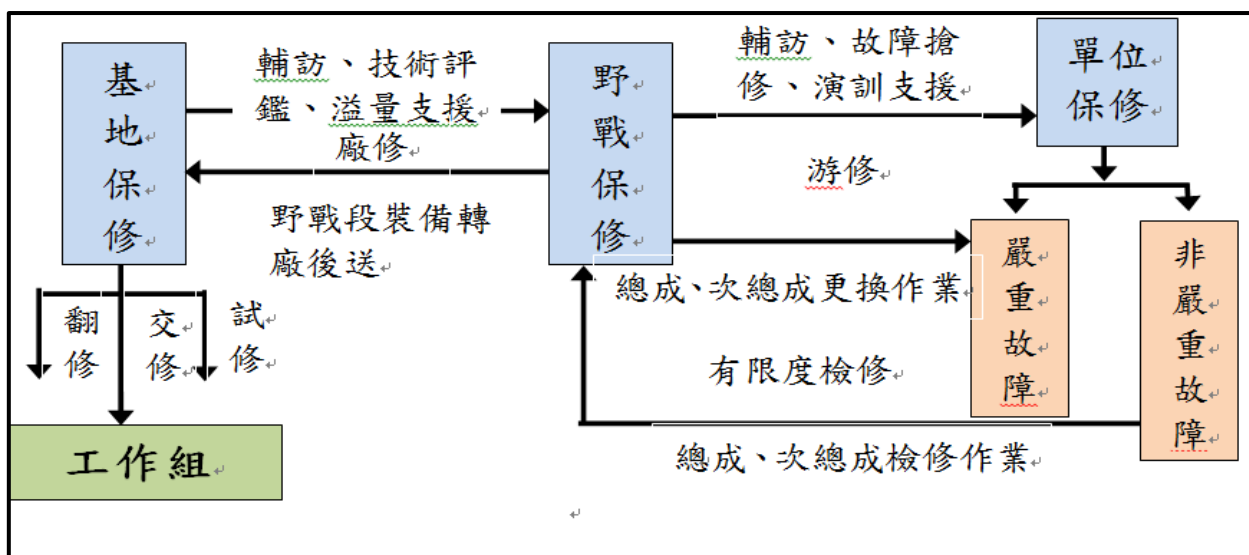
（一）各式飛彈裝備保修作業程序：由於戰備任務特殊，保修能量需與防空作戰配合，適應戰地保修作業編組，依循美軍區分單位、野戰、基地等三段保修制度，三段保修分層負責、相互支援，並依部隊任務、性質、機動性、經費、技術、保修人員、二（三）級廠作業裝備及料件配賦等原則有效分配，賦

<sup>8</sup>《檳樹防空飛彈系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 89 年 12 月），頁 2-21 至 2-22。

<sup>9</sup>《檳樹防空飛彈系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 89 年 12 月），頁 2-22。

予各級特定之保修層級。依『陸軍裝備保修手冊飛彈光電之部』保修權責及支援體系劃分，飛勤廠為飛彈光電裝備五級基地修製作業單位，主要任務依據年度修製計畫於駐地執行基地級修製（翻修）作業暨輔導三級（野戰）支保修作業（如圖六）。<sup>10</sup>

圖六 飛彈裝備保修作業程序示意圖



資料來源：《TM9 - 1425 - 2586 - 10》，民國 73 年 8 月，頁 37。

（二）檜樹飛彈系統保修體系：現今國軍維保制度劃分為維修單位階層與維修深度階層，權責區分為三段四級制，維修單位分為單位（O）、野戰（I）、基地（D），維修深度分一至四級。其保修權責說明如後：

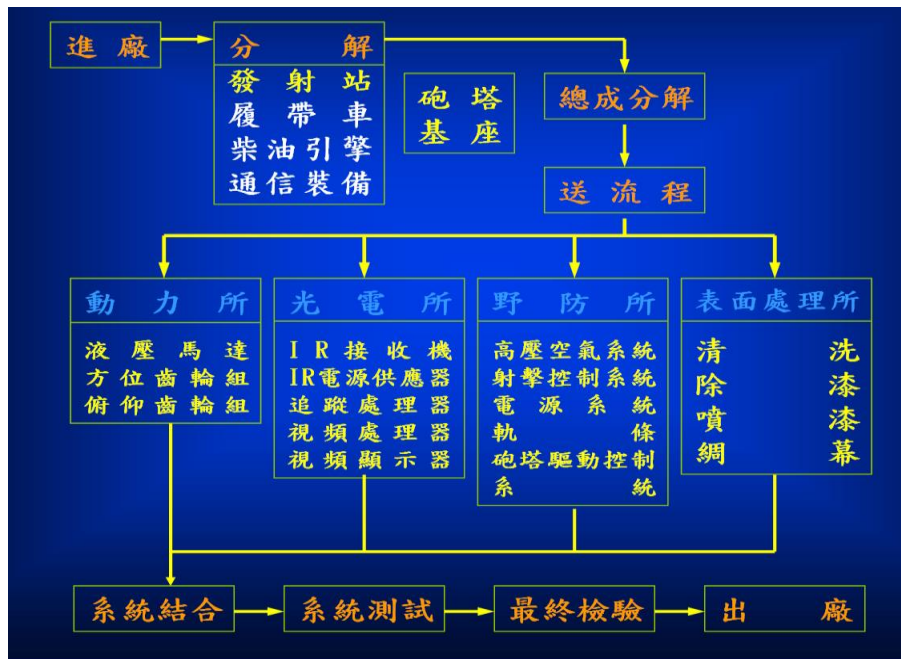
1、單位段：由陸軍及海軍陸戰隊下轄之檜樹防空連執行，操作手執行一級保養，依據技術手冊執行清潔、潤滑、緊定、調整、檢查及協助二級人員作業。二級保修由接受二級專長訓練合格之保修官（士）依據技術手冊及配賦之二級保養工具、料件、器材，執行二級保修權責之裝備測試、保養及故障排除，並指導一級計劃性預防保養作業。

2、野戰段：由飛勤廠光電場下轄之「南綜所」負責檜樹裝備野戰游修任務，支援陸軍司令部各地檜樹飛彈連，由接受三級專長訓練合格人員依據技術手冊直接支援各連修護作業，其作業採游修方式，並對一、二級單位定期實施技術輔導。

3、基地段：由飛勤廠飛彈場下轄之「野戰防空所」負責檜樹裝備執行，依據年度修製計畫，於駐地實施裝備定期之翻（檢）修作業（如圖七），並對各級保修單位實施必要之技術輔導及保修支援。

<sup>10</sup> 《陸軍裝備保修手冊飛彈光電之部》（桃園：陸軍司令部，民國 95 年 3 月），頁 10。

圖七 檯樹裝備翻修作業流程示意圖



資料來源：作者自繪

## 研究方法

### 一、品質管理七大方法

管理與改善是企業經營中最重要的工作之一，管理是維持現狀、保持實力，而改善是突破現狀、提升實力。藉著運用確實的方法，對於組織建立解決問題的基礎，創造一個滿意的環境。在解決問題中，品質改善工具的基本角色，是為了幫助企業符合顧客的需求。而「品質管理七種手法」就是解決品質問題、發掘問題及解析問題的利器。通常「品質管理七種手法」是指特性要因圖、層別法、查檢表、柏拉圖、直方圖、散佈圖及管制圖，<sup>11</sup>其中「特性要因圖」係為本次主要研究方法。然運用此其七種手法應注意下列關鍵事項：

- (一) 體認改善的需要，並且發掘問題的存在。
- (二) 於工作現場中隨時留意問題，並找出解決的對策。
- (三) 以團隊方式進行，藉著他們在製程中的工作和詳細的知識，共同找出問題點，加以改善。
- (四) 分層別類將事物發生異常的原因彙整出來。
- (五) 改善後設法維持，並加以標準化。

### 二、特性要因圖

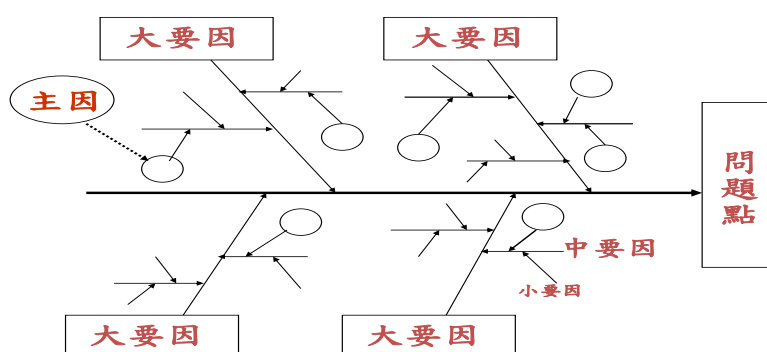
(一) 定義：特性要因圖則是描繪結果（特性）與原因（要因）之間的關係，將要因加以整理，以箭頭連接，詳細分析原因的一種圖形。特性要因圖是由日本品管大師石川馨（Kaoru Ishikawa）博士於 1943 年所發明的，因此又稱石

<sup>11</sup>徐世輝，《全面品質管理》（華泰文化事業股份有限公司，民國 88 年 8 月），頁 142。

川圖。又因為其形狀像一條魚，所以國內一般工廠俗稱為魚骨（fishbone）圖。另外，此圖表是因果關係，亦稱因果圖。

（二）圖形結構：由大小箭頭組合而成，外型類似魚骨，魚頭向右者為原因追求型，而魚頭向左者為對策擬定型。以原因追求型之特性要因圖為例，魚頭右側代表欲研究的影響事件問題之特性，魚骨側代表造成該特性之重要原因，包括背骨（脊椎骨）、大骨、中骨、小骨，分別代表製程、大要因、中要因、小要因，而成為完整之魚骨圖（如圖八）。<sup>12</sup>

圖八 特性要因圖



資料來源：徐世輝，《全面品質管理》（華泰文化事業股份有限公司，民國 88 年 8 月），頁 15。

### （三）繪製步驟

- 1、決定問題特性。
- 2、在背骨（製程）右端記入特性。
- 3、在背骨上下兩側記入大骨之大要因，大要因可直接依作程別分類，一般是依 5M（人、機械、材料、方法、環境）來分類。
- 4、在大骨之左右兩側記入中骨之中要因。
- 5、在中骨兩側記入小骨之小要因，以此類推繼續分析。
- 6、圈選重要要因（原則上四到六個）。
- 7、評估重要要因之影響度（要因評價）。

### （四）使用要領：

- 1、分析要因時，應採用腦力激盪術，並配合專業知識和經驗進行。
- 2、魚骨圖可以配合層別法一起運用，繪製層別魚骨圖，對魚骨圖上的重要要因，進行更深入的探討。
- 3、魚骨圖除了用作結果和原因間的分析外，還可用作目的和手段間的分析，以及全體和要素間的分析。

## 三、故障樹分析法

<sup>12</sup>徐世輝，《全面品質管理》（華泰文化事業股份有限公司，民國 88 年 8 月），頁 143。

(一) 簡介：故障樹分析方法 (Fault - Tree Analysis, FTA) 為 1961 年貝爾實驗室華特森 (H.A. Watson) 開發出來的安全分析技術，用以分析義勇兵飛彈發射管制系統，其後又經該實驗室研究小組加以改進，由於對於繁複系統具有多層面的分析，所以相當獲得人們重視。其後故障樹技術由赫索 (D.F. Haasl) 領導在波音航空公司加以實行，由於近年來對於人員安全的關心及快速高容量計算機的發展，這項技術逐漸被廣泛應用，經常被應用於重大安全顧慮的系統上，如核能發電廠、化學工業、營建業，以防止重大災害的發生。一般常見應用系統分析的方法可區分為歸納法 (Induction) 及演繹法 (Deduction) 兩種。故障樹技術以系統操作時所不願發生之結果為頂端事件 (Top Event)，利用演繹的方法，逐步找出導致該事件發生的事件及原因，依其關係逐一繪成樹狀圖形，即為故障樹圖。<sup>13</sup>故障樹分析即對故障樹進行一定性或定量的分析，以探求樹圖中的各項事件及原因，何者對頂端事件影響較大，此即為系統操作時之弱點，可以之為改善系統可靠度之依據。

(二) 基本定義：以下就故障樹分析法中經常使用的幾個名詞，說明其定義。

1、頂端事件 (Top event)：頂端事件即為系統上不希望發生的事件，故為故障樹之頂端，以此事件向下展開，亦即此項分析的目標，亦有譯為最終事件。

2、割集 (Cut Sets)：基本事件之集合，當集合中所有事項均發生，頂端事件就一定發生，即造成頂端事件發生事件組合之集合，或可譯為斷路集合。

3、最小割集 (Minimal Cut Sets)：如果一個割集不能再簡化，但仍能確保頂端事件的發生，則稱之，系統最小故障模式 (Minimal Failure Modes)，或可譯稱為最小斷路集合。

(三) 分析一般程序：進行故障樹分析時，一般遵循的步驟如下。

1、確定系統中不希望發生的事件，即為頂端事件 (Top event)。

2、通盤瞭解整個系統及其預定之功能。

3、找出導致系統故障的原因，確定在進行故障樹事件分析時低層事件相互關係所產生之影響。

4、繪出各輸入故障事件關係的故障樹圖，所有底層事件需為明確的基本事件，且故障情形必須互相獨立，對於故障樹分析嚴密而有系統的工作步驟，應具備下列各項：(1) 對全系統的確定；(2) 故障樹圖的繪製；(3) 定性的分析；(4) 定量的分析。

全系統的確定，在繪製故障樹時最重要的是建立整個系統的範圍，同時注

---

<sup>13</sup> 沈靖傑，《光碟製程設備中射出成型機遠距維護與故障診斷系統初步探討》(國立中央大學碩士論文，民國 96 年)。

意此事項範圍不可與實物的範圍有所混淆，為了使別人對於故障樹能充分瞭解，必須將故障樹所有假設情況逐項列明。

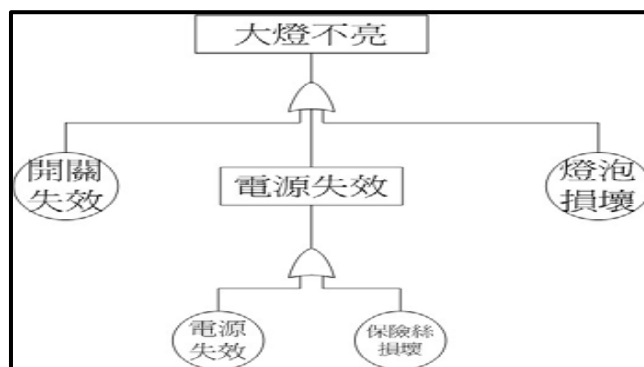
(四) 故障樹繪製方式：故障樹繪製的目的就是以圖形表示系統故障的原因，另外亦可藉此圖形看出系統的缺點所在，通常分析者在進行繪製系統故障樹以前應對整個系統有全盤的瞭解，並考量分析系統重要之影響條件，斟酌加入各種故障因素，故一般繪製故障樹的方法有三：基本故障法、二級故障法、操作故障法。至於該使用何種方法進行分析，應由可靠度分析工程師就實際需求選用。

1、基本故障法 (Primary failure technique)：一個組件在設計規格範圍內如不能達成任務則稱基本故障 (basic or primary fault)。僅利用基本故障法繪製故障樹較為簡單，只要確定組件的基本故障就可完成故障樹 (如圖九)。

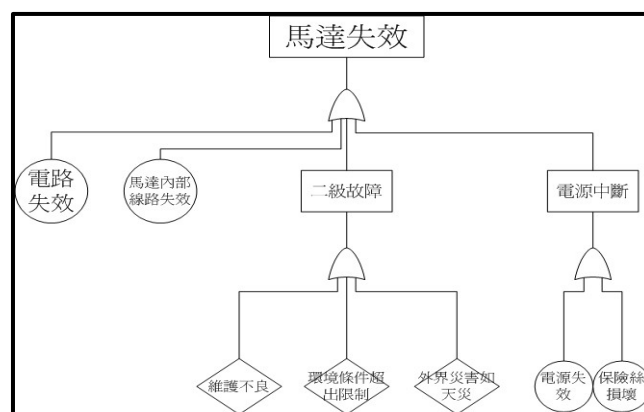
2、二級故障法 (Secondary failure technique)：二級故障的產生主要是因組件受到過度的環境條件或過大的操作應力，包括二級故障的故障樹分析必須對整個系統有更深入之瞭解，分析工作也遠超過基本故障的階層 (如圖十)。

3、操作故障法 (Commanded failure technique)：所謂操作故障是指操作時間或地點不當而引起的故障，此類故障在各階層都可能因操作失調而發生，最常見的實例是對於電動設備給予一錯誤的訊息 (如圖十一)。<sup>14</sup>

圖九 基本故障的故障樹圖

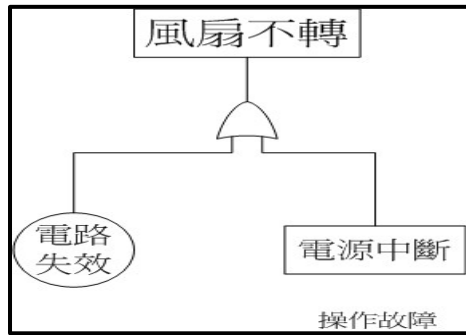


圖十 包含二級故障的錯誤樹圖



<sup>14</sup> 林信昌，〈飛機起落架設計之危害分析評估研究〉(私立逢甲大學碩士論文，民國 98 年)。

圖十一 基本與操作故障之錯誤樹圖



資料來源：圖九至圖十一轉引自林信昌，《飛機起落架設計之危害分析評估研究》（私立逢甲大學碩士論文，民國 98 年）。

## 研究結果

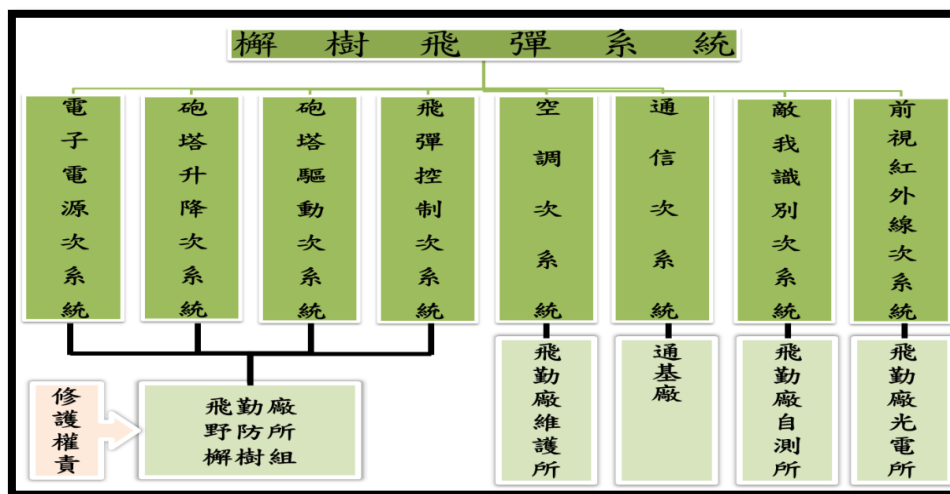
### 一、檯樹全系統損壞狀況分析

（一）檯樹飛彈系統依據技術手冊 TM9 - 1440 - 2585 - 20 - 1 區分為 8 大次系統，分別為電子電源次系統、砲塔升降次系統、砲塔驅動次系統、飛彈控制次系統、空調次系統、通信次系統、敵我識別次系統、前視紅外線次系統，<sup>15</sup>各部隊將裝備後送至陸軍飛彈光電勤務廠實施拆解後，依權責分送各修護所（組）實施修護，本研究以該廠野戰防空所檯樹組修護範圍實施分析（如圖十二）。

（二）近年各部隊檯樹裝備送修、進廠翻（檢）修、交修及支援各項操演等記錄，高故障項目計有發電機控制箱等 9 項（如表一），依上述品項，完成檯樹飛彈系統故障之特性要因圖（如圖十三）。

（三）依特性要因圖可知，飛彈控制次系統損壞為造成檯樹系統故障之最主要原因，參照近年高故障品項清冊，其中又以「空壓機」單件故障數為最高，故以「空壓機」為案例實施分析，研討故障分析之過程。

圖十二 檯樹 8 大次系統及修護權責



資料來源：作者自行繪製

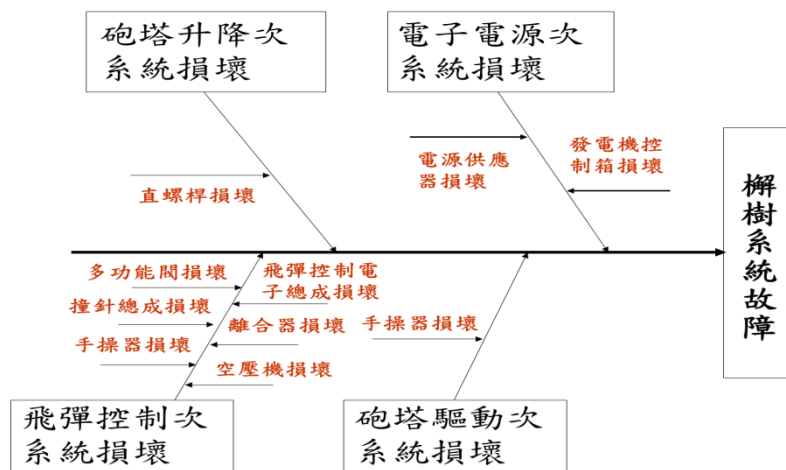
<sup>15</sup> 《TM9 - 1440 - 2585 - 20 - 1》，民國 77 年 7 月，頁 1 - 8。

表一 檝樹系統近年總成及次總成高故障品項清冊

| 項次 | 品名       | 單價<br>(美元) | 損壞數 | 單機<br>裝置數 | 全軍<br>主件數 | 備考 |
|----|----------|------------|-----|-----------|-----------|----|
| 1  | 發電機控制箱   | 21,532     | 11  | 1         | 53        |    |
| 2  | 電源供應器    | 4,116      | 16  | 1         | 53        |    |
| 3  | 直螺桿      | 1,200      | 20  | 4         | 53        |    |
| 4  | 手操器      | 2,390      | 9   | 1         | 53        |    |
| 5  | 多功能閥     | 17,467     | 16  | 1         | 53        |    |
| 6  | 撞針總成     | 5,678      | 24  | 4         | 53        |    |
| 7  | 飛彈控制電子總成 | 11,256     | 16  | 1         | 53        |    |
| 8  | 離合器      | 3,755      | 15  | 1         | 53        |    |
| 9  | 空壓機      | 21,669     | 21  | 1         | 53        |    |

資料來源：陸軍飛彈光電基地勤務廠年度修護紀錄

圖十三 檝樹系統故障之特性要因圖



資料來源：作者自繪

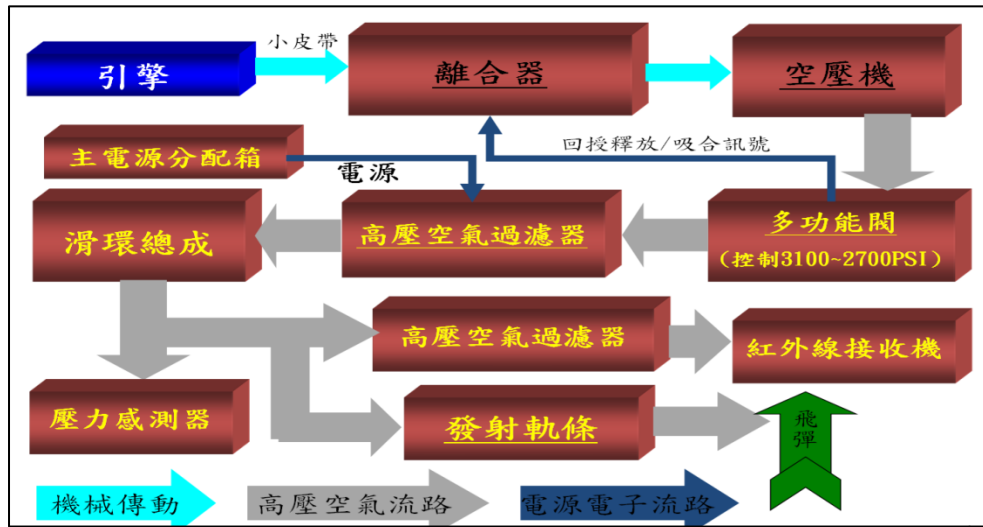
## 二、空壓機案例分析

(一) 飛彈控制次系統作動流程：飛彈控制次系統之功用在於提供檝樹系統啟動、飛彈選擇、發射程序及測試保養功能等所有的操作管制，以執行電源、電子訊號輸出、分配、調節作用及高壓空氣供應等功能，射擊前，高壓冷卻空氣子系統作動，由引擎帶動離合器驅動空壓機集氣，高壓空氣經由多功能閥控制高低壓限制啟停離合器，再傳至空氣過濾器乾燥濾淨後，經滑環總成送至四根軌條的飛彈上（如圖十四）。

(二) 空壓機故障樹分析：依飛勤廠維修紀錄針對高故障品項統計，空壓機近年期間共耗損（維修）21 具，由保修技術人員檢測後，故障單元計有「缸內楔形夾組斷裂」、「曲軸磨損」、「活塞連桿斷裂」及「洩壓閥失效」、「散熱風扇彈簧斷裂」、「油封滲油」及「氣壓閥墊片老化」等 7 項料件，故障原

因可分為壽限因素及一級保養未落實等兩項，料件故障紀錄統計表（如表二）及空壓機故障樹（如圖十五）所示。

圖十四 高壓冷卻空氣子系統作動流程圖



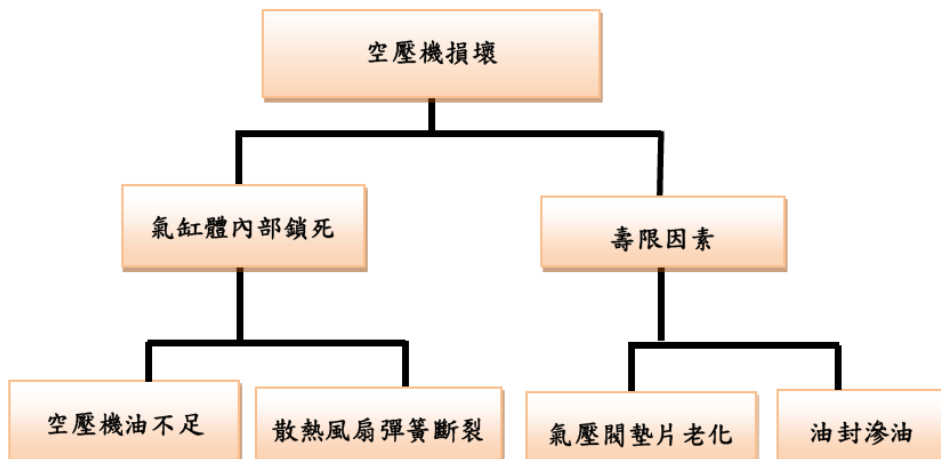
資料來源：作者自繪

表二 空壓機料件故障紀錄統計表

| 項次 | 故障元件     | 損壞數量 | 所佔比例  | 備考 |
|----|----------|------|-------|----|
| 1  | 缸內楔形夾組斷裂 | 10   | 47.6% |    |
| 2  | 曲軸磨損     | 9    | 42.8% |    |
| 3  | 活塞連桿斷裂   | 10   | 47.6% |    |
| 4  | 洩壓閥失效    | 8    | 38%   |    |
| 5  | 散熱風扇彈簧斷裂 | 9    | 42.8% |    |
| 6  | 油封滲油     | 15   | 71.4% |    |
| 7  | 氣壓閥墊片老化  | 15   | 71.4% |    |

資料來源：陸軍飛彈光電基地勤務廠年度修護紀錄

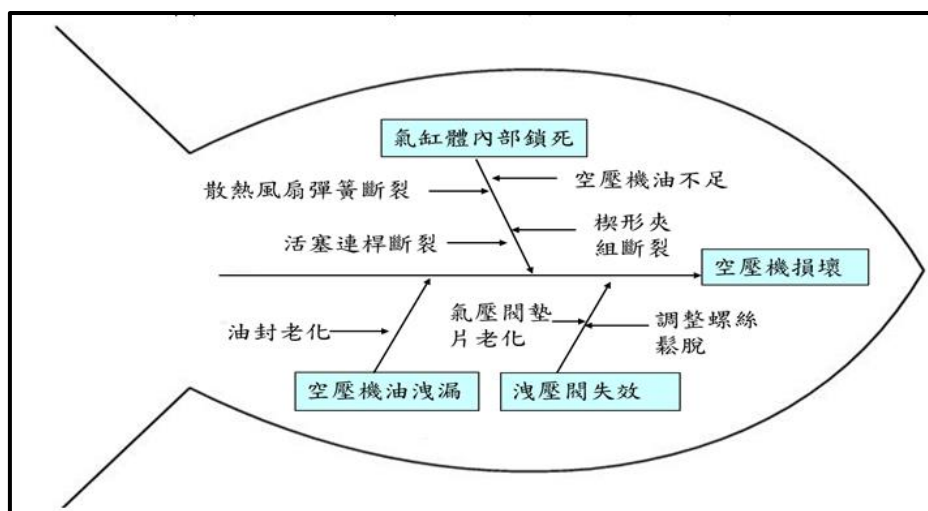
圖十五 空壓機故障樹



資料來源：作者自繪

(三) 研擬特性要因圖：參照空壓機故障樹，並依照裝備技術手冊規範及飛勤廠專業維修人員經驗及訪談，以空壓機為問題點，再擬定其大、中及小要因之特性要因圖所示（如圖十六）。

圖十六 壓機損壞特性要因圖



資料來源：作者自繪

#### (四) 損壞原因檢討

1、氣缸體內部鎖死（縮缸）：氣缸本體為空壓機主要作動製造高壓空氣之核心元件，推斷其縮缸之主要原因有以下二點。

(1) 單位一級裝備操作手未落實開機前實施空壓機潤滑油量（質）檢查，然空壓機油不足或不潔變質，影響內部循環潤滑效果，在金屬元件長期作動下，初期使缸體內部「活塞」及「曲軸」嚴重磨損，最終會導致「楔形夾組」及「活塞連桿」斷裂，而使空壓機內部鎖死（縮缸）（如圖十七）。

(2) 因空壓機均在高溫環境長期運轉下，如期間空壓機風扇內部圈型彈簧（如圖十八）斷裂或脫離，導致風扇停止運轉，在本體熱能無法散熱狀況下，最終因空壓機過熱而致內部機件鎖死（縮缸）。

#### 2、洩壓閥失效：

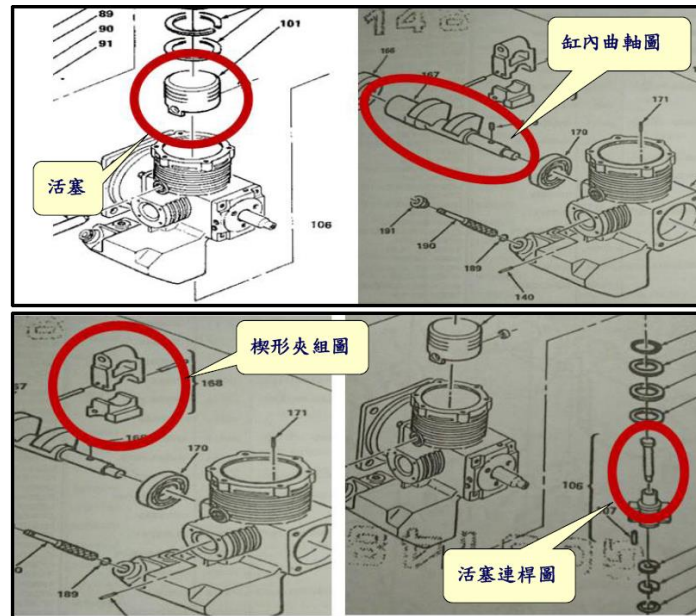
(1) 洩壓閥係使用「氣壓閥墊片」及「壓力調整螺絲」實施空氣壓力管控及調整，然氣壓閥墊片只要防止高壓空氣洩出，當墊圈

在介面接合時會因高壓而變形，在長期使用後易老化，無法提供金屬縫隙良好密合而產生洩氣狀況，導致空氣壓力無法達到標準數值，然墊圈氣密不良亦屬材質及壽限因素。

(2) 空壓機本體因長期運轉產生震動關係，易造成「壓力調整螺絲」（如圖十九）鬆脫，使初始設定壓力值（3000PSI）偏離及降低，導致尚未到達應有壓力時而實施洩壓情形；最終因高壓空氣不足，而無法使全系統作動正常（如影響飛彈發射等）。

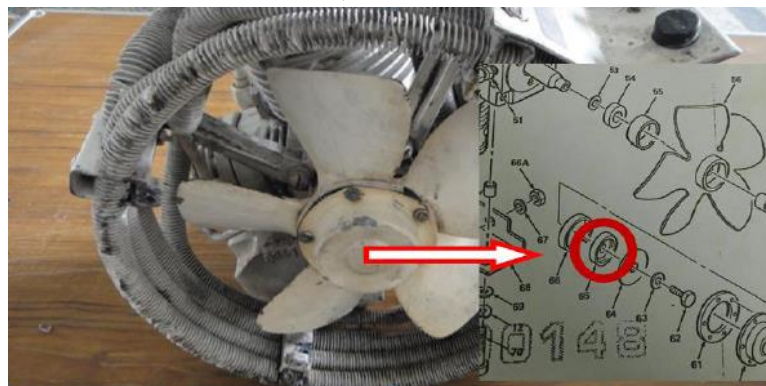
3、空壓機油洩漏：空壓機本體內部重要之接合處，均有橡膠材質之「油封墊片」防止空壓機油洩漏，而油封墊片在長期使用後易橡膠材質硬化及老化，導致機油洩漏狀況，最終因內部潤滑機油不足，使空壓機過熱而縮缸（鎖死），然油封墊片亦屬材質及壽限因素。

圖十七 氣缸體內部重要元件圖



資料來源：〈TM9-1440-1585-24P〉，1991年11月，圖76。

圖十八 空壓機散熱風扇及彈簧示意圖



資料來源：作者自攝整理

圖十九 空壓機壓力調整螺絲



資料來源：陸軍飛彈光電基地勤務廠

### 三、研討與策進

(一) 經統計空壓機之故障情形以「油封滲油」、「氣壓閥墊片老化」之發生率最高，此 2 項均屬材質及壽限因素，損壞率達 71.4%，故凡裝備於部隊送廠維修時均全數更換作業，以維裝備妥善。

(二) 其 1 項故障情形「壓力調整螺絲鬆脫」，可由飛勤廠於空壓機修竣後，由技術人員將調整螺絲使用「安全鐵絲」實施固定作業，以維持系統初始壓力目標，為預防因空壓機運動導致調整螺絲鬆脫狀況；另於操作後，由一級裝備負責人檢查安全鐵絲是否鬆脫或斷裂，如有立即反應由相關技術人員實施改進。

(三) 其餘 4 項故障情形「缸內楔形夾組斷裂」、「散熱風扇彈簧斷裂」、「活塞連桿斷裂」及「曲軸磨損」，主要肇因於一級裝備負責人未落實操作前、中、後檢查及保養，使機油潤滑不足，致內部機件磨損或斷裂，建議可運用游修、年度輔訪及高裝檢等時機，向部隊宣導及查核，請各使用單位依據技術書刊及技術通報落實「預防保養檢查」及「定期功能檢查」作業，期能早期發現異常徵候，以維裝備妥善。

(四) 確實檢討年度計畫性備料：保修零件之獲得乃保修作業之開端，若有良好的技術人員及機具，但裝備長期待料亦無法恢復妥善，因此統計分析裝備零附件損壞率及歷年修護經驗，確實檢討年度計畫性備料需求，停工避免待料情形，影響修竣期程及裝備妥善。

(五) 委外修製作業確保備料無虞：囿於飛勤廠內無維修空壓機活塞缸壁及活塞環套件相關成套工具，致修護能量有限，另鑑於 102 年度曾委由中科院，對空壓機執行試研修作業，均可成功修護交還，故可由廠內先行實施故障整併及缺失隔離確認無法修護之空壓機，轉送委由中科院辦理維修，以確保空壓機備料無虞。

(六) 補足維修能量間隙：囿於飛勤廠內無壓力調校相關專業測檯，無法對空壓機執行壓力調校作業，以確認各氣缸壓力是否符合標準值，故可辦理相關儀具表籌購，以強化維修深度，提升空壓機洩壓閥品質。

### 結論與建議

後勤實為戰力之基石，武器裝備的數量並非決定戰力高低的唯一因素，完善的裝備整備及支援能量，確保武器裝備隨時妥善堪用，才是有效發揮戰力的關鍵要素。飛彈裝備乃高精密度、機密性之主戰裝備，任務屬性與一般保修單位層級不同，必須維持穩定之保修水準，方能確保裝備翻（檢）修品質，隨著檯樹飛彈裝備服役年現增長，裝備故障的機率也因而提高，因此一套完善的故障分析作業可了解飛彈裝備故障原因，以及防止其再次發生，進而改善人員操

作方式、維修程序等問題，因此依據分析結果，歸納以下幾點。

### 一、故障裝備分析標準化

各保修單位應編組相關專業保修幹部，成立故障分析小組，定期檢討高故障軍品項目，分析故障成因後，研擬具體改善方案，並將其此方案呈報司令部核備後，以技術通報及修訂主官裝備檢查表方式轉頒至各相關單位遵循辦理，以提供部隊參照運用，降低裝備故障率。

### 二、追蹤單位改進狀況

為確實追蹤改善方案各單位是否確遵執行，由最高修護單位（飛勤廠）編組，利用年度技術輔導訪問或年度主官裝備檢查等時機，對各使用單位實施督（輔）導檢查，對於所部頒之技術通報是否管制依規定執行，及是否定期依檢查表實施檢查及登載，並驗證改進方案是否有效降低裝備故障率，若無法有效降低裝備故障率，則檢討修正改進方案。

### 三、保修資訊電子化及自動化之運用

目前本軍檜樹裝備故障數據，飛勤廠已建立保修資訊系統（CWS），可隨時運用飛彈保修系統內之相關故障數據，整合故障分析子系統，以利找出造成故障之原因及統計各零組件故障之趨勢，及早發現潛在故障項目。

### 四、持續提升保修作業能力

保修人員對所修護之裝備應以專長及專業類別分組方式訓練維修，通常由一位生手要成為半熟手或熟手，至少要一年以上的時間，因此，強化專業專長訓練即顯重要，把握每次作業機會，於作業中訓練，在有計畫、有步驟、有標準下，循序漸進，以落實保修專業專長訓練，提升保修作業能力。

### 五、美方原廠實施構型變更

根據中時電子報 106 年 1 月 17 日報導，美國已同意提供價值 2,300 萬美元（約 7.3 億台幣）的新零組件，讓台灣將 1980 年代向美購買的數百枚 MIM-72 檜樹地對空飛彈升級。<sup>16</sup>建議藉此機會，由國防部併案規劃將空壓機等相關元件實施構型變更或新品採購，以補救現行窒礙，使檜樹飛彈全系統運作正常，以利提升野戰防空戰力。

### 六、國防自主實施構型變更

針對空壓機等相關高壓空氣元件，建議以國防自主為導向，由國內自行研發（究）實施構型變更，由兵監單位、飛勤廠及中科院相關技術人員編成研究小組，可參照國內復仇者飛彈、雙聯裝飛彈與陸航空射型響尾蛇飛彈系統，以

---

<sup>16</sup> 中時電子報 - 軍事 - 戰略，<http://www.chinatimes.com/realtimenews/20170117004797-260417>。

高壓空氣瓶<sup>17</sup>裝方式提供飛彈冷卻及發射之概念，對檜樹飛彈系統實施構型變更，進而替代空壓機元件，以解決高壓空氣供給問題，提升裝備妥善率，滿足作戰部隊需求，強化野戰防空能力。

### 參考文獻

- 一、《檜樹防空飛彈系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 89 年 12 月）。
- 二、《國軍武器系統與裝備整體後勤支援教則》（臺北：國防部，民國 104 年 12 月）。
- 三、《陸軍復仇者飛彈系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 99 年 11 月）。
- 四、《尖端科技精華本 16 - 飛彈家族》（臺北：雲皓出版社，民國 86 年 1 月）。
- 五、《陸軍飛彈保修手冊飛彈光電之部》（臺北：陸軍總司令部，民國 95 年 3 月）。
- 六、潘浙楠，《品質管理 - 理論與實務》（華泰文化事業股份有限公司，民國 98 年 6 月）。
- 七、徐世輝，《全面品質管理》（華泰文化事業股份有限公司，民國 88 年 8 月）。
- 八、沈靖傑，《光碟製程設備中射出成型機遠距維護與故障診斷系統初步探討》（國立中央大學碩士論文，民國 96 年）。
- 九、林信昌，《飛機起落架設計之危害分析評估研究》（私立逢甲大學碩士論文，民國 98 年）。
- 十、《TM9 - 1440 - 2585 - 20 - 1》（桃園：陸軍司令部，民國 73 年 10 月）。
- 十一、《TM9 - 1440 - 1585 - 24P》（桃園：陸軍司令部，民國 80 年 11 月）。
- 十二、MBA 智庫百科，<http://www.twwiki.com/wiki/%E4%BA%8B%E6%95%85%E6%A8%B9%E5%88%86%E6%9E%90%E6%B3%95>。
- 十三、中時電子報 - 軍事 - 戰略，<http://www.chinatimes.com/realtimenews/20170117004797-260417>。

### 作者簡介

張之綸少校，後勤志願役預官 89 年班、國管院後勤管理正規班 60 期，歷任雷達保修官、連長、飛彈全能技術官、教官，現任職於陸軍飛彈光電基地勤務廠。

彭天宏上校，國防大學管理學院 82 年班、國防大學管理學院採購正規班 89 年班、國防大學管理學院國管戰略班 101 年班、輔仁大學應用統計研究所 95 年班，現任職國防大學管理學院國管中心後勤課程組教官。

---

<sup>17</sup> 《陸軍復仇者飛彈系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 99 年 11 月），頁 2 - 10。