

運用層級分析法研討提升 AH-1W 直升機 機體結構故障改進成效之關鍵因素 筆者/吳德彥

提要

本研究主要是藉陸軍 AH-1W 攻擊直升機使用現況及研究者執行直升機相關保修之工作經歷，說明直升機機體結構故障狀況漸有增多趨勢，因此藉蒐集及整理國內外相關學者，針對直升機機體結構故障產生及預防管理之相關文獻，並透過問卷調查方式，產生影響 AH-1W 攻擊直升機機體結構維持之關鍵因素，續運用分析層級程序法找出最適結構維持的關鍵因素，俾提供修護單位主官(管)參考運用。

經透過相關分析，發現多數人認同提高品管檢驗故障狀況判斷能力，並對結構故障狀況限期完成改正為最適結構維持的關鍵因素。因此，根據研究結果，分就政策及計畫執行等兩單位，提出相關精進建議。

關鍵詞：陸航攻擊直升機、層級分析程序法、結構維護、故障判斷。

壹、前言

隨著高科技及高技術發展，地面戰場已進入立體化整體作戰型態，以致地空整體作戰必須短時間內獲得決定性戰果，本軍航空特戰指揮部基於此項作戰構想，遂於 1992 年間向美國購買 AH-1W 攻擊直升機，並分別佈署於桃園龍潭、台中新社及台南歸仁等地區，以有效發揮其優良的攻擊及機動能力。

本軍另於 2013 年陸續接裝 AH-64E 攻擊直升機，以進一步強化地面立體化攻擊能力，但是 AH-1W 攻擊直升機雖已使用 29 年之久，仍保有其不可取代地位，且性能也始終維持高度可靠，故迄今仍為主要武器裝備之一；另因應中共始終不放棄武力犯臺企圖，在 2015 年軍改後，加強發展軍力，持續模擬演練犯臺軍事行動，及進行灰色地帶襲擾，對我安全威脅與日俱增，¹因此唯有勤訓精練，才能維持可恃戰力，基此，AH-1W 攻擊直升機飛行訓練時數同步大為提升，而伴隨狀況就是機體結構故障逐年增加；囿因美軍於 2020 年 10 月正式將 AH-1W 攻擊直升機辦理除役，並換飛新一代的 AH-1Z 攻擊直升機，²以致美國針對 AH-1W 攻擊直升機相關維修零組件將逐漸減少生產，故在結構故障持續產生，維修料件減量生產狀況下，機隊維護成本將逐漸增加，所以後續機隊的妥善維持及修護品質提升將是不可或缺的課題。

在研究動機方面，AH-1W 攻擊直升機機體結構使用材料主要是由金屬及複合材料組成，又以金屬材料占大多數，譬如機體、動力傳動系統、主（尾）旋翼系統及起落架等主要部件，均大量採用了金屬材料，而這些材料中又以鋁合金及鎂合金為主，且隨著直升機機齡的增長，飛行時間及起落次數的不斷累積下，機體結構不可避免地出現老化現象，特別體現在發生金屬疲勞及腐蝕等故障狀況方面。1981 年 8 月 22 日我國遠東航空公司從台北飛往高雄的波音 737 客機（編號 B-2603），因機體發生嚴重故障（腐蝕）狀況，導致機身蒙皮破裂，進而發生空中解體，造成 110 人死亡；1988 年 4 月 28 日美國阿羅哈航空公司一班來往夏威夷希洛和檀香山的定期航班波音 737 客機（編號 N73711），亦因飛機機身嚴重故障（腐蝕），造成 73 人輕、重傷及 1 人死亡，客機機體嚴重損壞³及我國陸軍攻擊直升機於 2015-2021 年間均有在執行定期檢查時，發現機體部份組件因生鏽、脫層及裂痕等狀況，造成妥善率不佳（如表 1）等案例，顯見機體結構故障如未先期預防或狀況發生後未立即處理，輕則影響飛機妥善及日常戰備、演訓等任務執行，重則肇生飛危事件，導致人員及裝備損毀等不幸狀況。

¹國防部，《110 年四年期國防總檢討》（國防部，2021 年 3 月），頁 8

²羅添斌，《自由時報-台海軍情》，〈<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/3411884>〉（檢索日期：2021 年 09 月 26 日）

³阿羅哈航空 737 客機事故，《aviation safety network》，〈<https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19880428-0>〉（檢索日期：2021 年 12 月 13 日）

表 1、陸軍直升機近年機體故障統計表

年份	機種	機體故障	
		部位	狀況
2015	AH-64E 攻擊直升機	尾齒輪箱	多處生鏽
2019	AH-1W 攻擊直升機	尾桁	多處鉚釘鬆動
2020		尾旋翼葉片	尖端脫層超限
2020		傳動箱	加強樑裂痕
2020		滑橈管	斷裂
2021		尾桁	直尾翅脫層超限

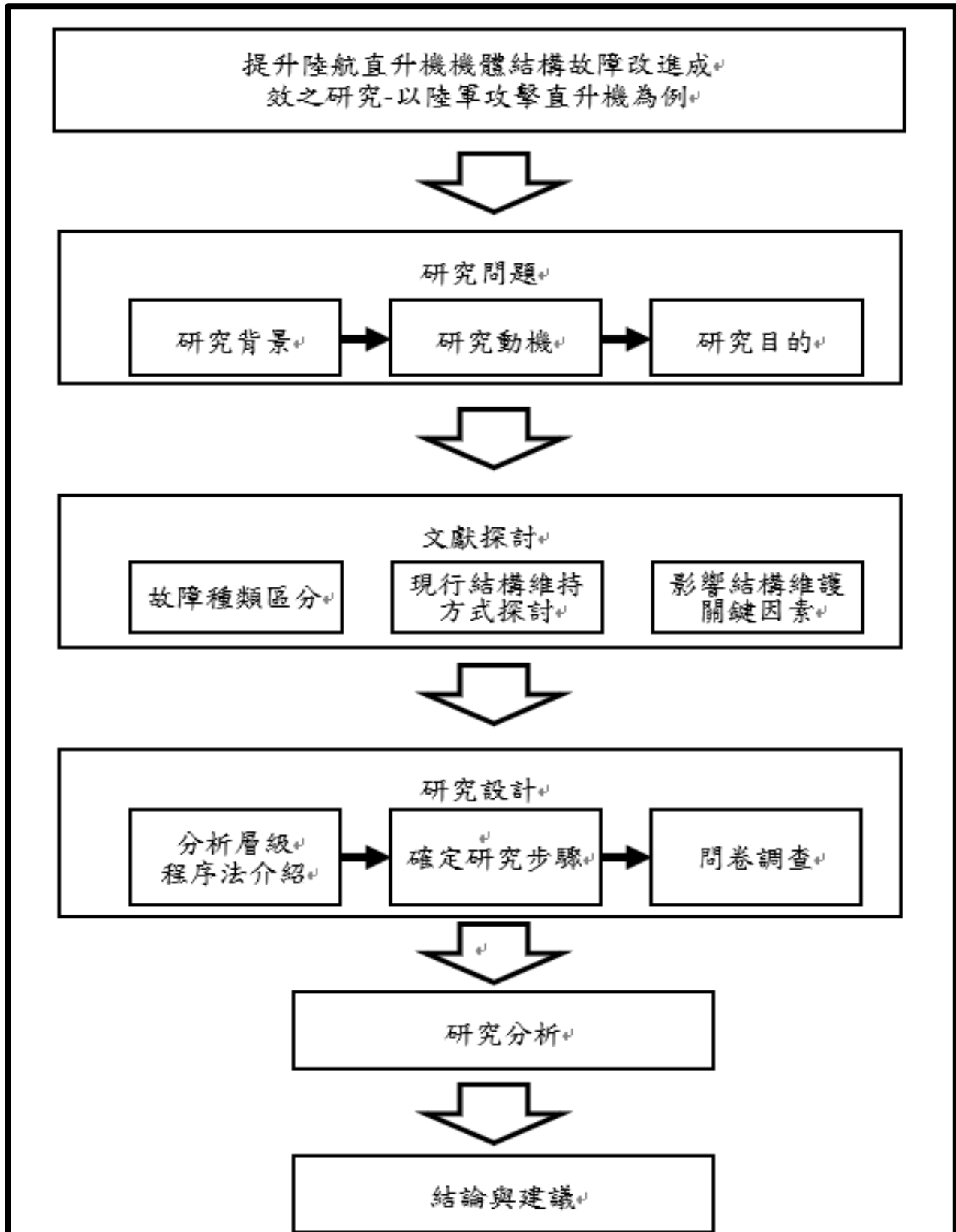
資料來源：本研究整理

為了維持該型直升機原有結構強度，避免各項飛危事件發生，航特部參考機種技令及歷年裝備使用經驗，制定了相關結構維持及維修措施，並藉定期檢查發掘機體結構故障狀況並針對狀況實施修護改正，然直升機執行檢查及維修時，均須花費一定修護工時，期間將無法實施飛機派遣作業，故藉此研究，提供陸軍各航空旅(含飛行訓練指揮部)轄下 AH-1W 攻擊直升機所屬單位(後稱作戰隊)及飛機保修廠(後稱飛保廠)在不影響飛行訓練任務執行，且兼顧飛行安全下，能夠有效維持該型機機體結構的關鍵成功方式，俾利各項訓練順遂執行。

在研究目的方面本研究藉蒐集及整理國內外相關學者，針對直升機機體結構故障產生及預防管理之相關文獻，並透過問卷調查方式，產生影響 AH-1W 攻擊直升機機體結構維持之關鍵因素，續運用層級分析法實施數據分析各項關鍵因素之優序，以達到藉綜合評估找出最適結構維持之關鍵成功因素，及依研究結果研提相關建議事項供政策單位參用之目的。

在研究流程方面依據本研究動機及目的，藉透過各國內外專家學者撰擬之文獻、書報及期刊並廣泛閱讀取其精華，另參照研究者工作實務經驗，綜合實施問卷設計，並交由與研究工作相關之實務人員填寫調查，於完成後回收資料，實施內容分析，最後依照分析結果，提出結論及建議，本研究之流程如圖所表示：

圖 1、研究流程圖



資料來源：本研究繪製

貳、研究方法

本次研究將運用分析層級法實施研究，首先依設計規劃制定層級架構後，並完成問卷製作、發放及回收，其次依層級分析法之運算方式獲得相關數據後，據以判斷最適關鍵成功因素。

一、研究設計流程

本節參照分析層級分析程序法據以擬定研究設計步驟，計區分 4 個步驟，如下所述：

- (一)針對文獻探討結果，歸納完成主、次準則建立及定義。
- (二)完成專家問卷設計，並由選定專家依初次完成之主、次準則內容實施評選及修訂，其目的為藉各專家從事多年直升機修護管理經驗，而獲得意見後，對問卷內容實施調整。
- (三)依專家問卷回收結果並完成主、次準則修訂後，接續完成正式問卷設計、發放及回收。
- (四)運用層級分析程序法，研究關鍵因素相對權重及優先順序，並說明及分析，以利後續建議提供。

二、分析層級程序法介紹

(一)理論

- 1.分析層級程序法(Alytic Hierarchy process；簡稱 AHP)為美國匹茲堡大學教授 Thomas L.Saaty 於 1971 年發展的研究方法，目的在解決決策時所面臨的困難。⁴
- 2.此方法廣泛應用於各類產業、電力配額、運輸系統、武器管制等多項研究，經不斷驗證及修改，於 1980 年後使 AHP 這項理論更成熟及完備。由於該理論運用容易，在量化研究分析時亦能加入專家學者意見，使其實務層面更具實用性，其普遍應用範疇如后：
 - (1)優先順序的決定
 - (2)可行方案的產生
 - (3)最佳方案的選擇
 - (4)需要條件的決定
 - (5)根據效益成本分析制定相關策略
 - (6)重要資源的如何分配
 - (7)風險評估的預測結果
 - (8)工作效率與效能的衡量
 - (9)系統的相關設計
 - (10)系統穩定性的確保
 - (11)最佳化

⁴朱豔芳、謝復剛，《國防實務研究方法》（前程文化事業有限公司，2005 年 6 月），頁 254

(12)事情的規劃

(13)衝突的解決

3.因本次研究是應用 AHP 找出最適結構維持之關鍵成功因素，藉以維持裝備妥善，所以符合上述 13 項應用範疇之「最適化」。

(二)目的與假設

此項研究方法的發展目的主要就是將比較複雜的問題予以系統化，並且在不同的層面中實施層級分解；另外，透過一些量化的方式，找出各層級的關聯性後實施綜合評估，並將評估結果提供決策人員予以選擇合適的方案。⁵

(三)實施步驟

AHP 的實施步驟大致為依循著認定決策問題、舉例相關評估要素、建立層級架構、評估成偶比對、成偶比對矩陣建立、各比對矩陣優先向量及最大特徵值的計算、求解一致性指標與一致性比率、計算整體層級的一致性指標與一致性比率及計算整體層級的總優先向量等方式作業。⁶

參、文獻探討

為深切探討研究主題，本章將藉陸軍 AH-1W 攻擊直升機現行結構檢查機制及現況、直升機結構故障發生原因及處理預防等相關文獻實施蒐集整理，以確認研究構面，俾利後續研究方法運用。

一、直升機結構故障發生成因探討

直升機現所使用的機身結構材料，大都以金屬材料為主，因此機身結構在長期使用下特別容易因為金屬特性的關係，產生不可避免的故障現象，就如前言中所述以金屬疲勞及金屬銹蝕等兩項因素而產生之故障為最，現就上述兩種特性之定義及產生狀況，分述如下：

(一)金屬疲勞

1.定義

(1)金屬疲勞是指材料在循環應力或循環應變作用下，在一處或幾處逐漸產生局部永久性累積損傷，經一定循環次數後產生裂紋或突然發生完全斷裂的過程，所以因金屬疲勞而產生的故障常不易被及時發現，且一發生就容易造成事故的產生。

(2)陳致翔（2009）提到當材料、零件或構件承受負荷時，所產生的破壞模式通常取決於所承受負荷的型態，假如結構承受過度負載時，將會使得結構物產生材料降伏或挫曲；而結構承受循環負荷時，則會在高應力區

⁵ 鄧振源、曾國雄，《層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)》（中國統計學報，第 27 卷第 6 期，1989 年 6 月），頁 13767-13870

⁶ 同註 16，頁 256。

造成初始裂縫，若繼續承受循環負荷，則結構的裂縫會擴展，最後達到破壞斷裂，即為疲勞破壞。⁷

- (3)何志勤、沈坤耀（2011）說明疲勞產生為金屬結構長期遭受動態或規律性變動應力時所形成的一種損壞模式，而其破損可能發生於應力值低於靜態負載之降伏強度情況下，⁸其中結構疲勞產生皆發生於使用階段，當結構受到動態變動應力作用，應力集中區域就容易發生裂縫，而此時裂縫的狀況對飛機結構不構成威脅。但裂縫持續受到應力作用而逐漸擴大成長，等擴大到一定程度即形成結構失效，進而造成飛危意外。⁹

2.產生狀況

依何志勤、沈坤耀（2011）對於飛機結構發生金屬疲勞之研究，可分為三個階段及現象，分述如后：¹⁰

(1)裂縫初始期：

初始點較常發生於材料表面瑕疵處，如鑄造件的氣孔、表面的刮傷及應力的集中處，均能列為檢查的重點區域。而當金屬材料經過穩定的受力週期後，表面部份會產生位移，另隨著受力循環的頻次增加，滑移帶將會加大深度及寬度，進而在表層產生裂縫。此過程是屬於隨機過程，影響的因素較為複雜，而且行為不好預測，但是可以作為檢查起始期間之依據。

(2)裂縫成長期：

當拉伸應力作用在金屬材料的裂縫時，其裂縫尖端會造成局部變形，並沿著相對於裂縫角 45 度方向產生滑移。所以在裂縫擴張期間，會在斷裂表面形成「海灘紋」或「條紋」。「海灘紋」在物理學上屬於巨觀尺度，可以肉眼實施觀察；「疲勞條紋」在物理學上則屬於微觀尺度，必須使用放大鏡或顯微鏡觀察。而此階段過程其行為可以從實驗數據中實施預測，其此裂縫成長的數據則可作為擬定重複檢查區間的主要依據來源。

(3)瞬間斷裂期：

隨著裂縫的逐漸擴大，其受力面積漸漸地減少，導致應力增加，而當該處應力達到破壞應力時，其結構面將會瞬間斷裂而造成破壞，而此過程的產生是快速的。

(二)金屬銹蝕

1.定義

⁷ 陳致翔，《揚聲器平面彈波之疲勞壽命評估》（交通大學碩士論文，2009 年 8 月），頁 1

⁸ 同註釋 5，頁 1

⁹ 同註釋 5，頁 1-2

¹⁰ 同註釋 5，頁 4

- (1)金屬銹蝕是一種電化學反應，也是自然現象，只是這樣的現象，對人類的生活使用上造成了困擾，甚至導致危險狀況的發生。
- (2)柯賢文（1988）提到銹蝕定義有 4 項，分別是材料和其環境反映造成的損壞；機械方法造成的材料損壞；逆向的冶金反應；材料和環境產生的不良反應。綜合以上定義，造成銹蝕的最大問題就是材料和環境之間的關係，而台灣處於亞熱帶的海洋性氣候，整年溫溼度偏高，飽受高銹蝕率之苦。¹¹
- (3)楊聰仁（1992）也提到台灣因地處亞熱帶氣候區域，大氣潮濕，含鹽量高，因此對金屬材料深具腐蝕性，也因為如此特殊的地緣關係，我們的銹蝕問題也較歐美國家為嚴重。¹²

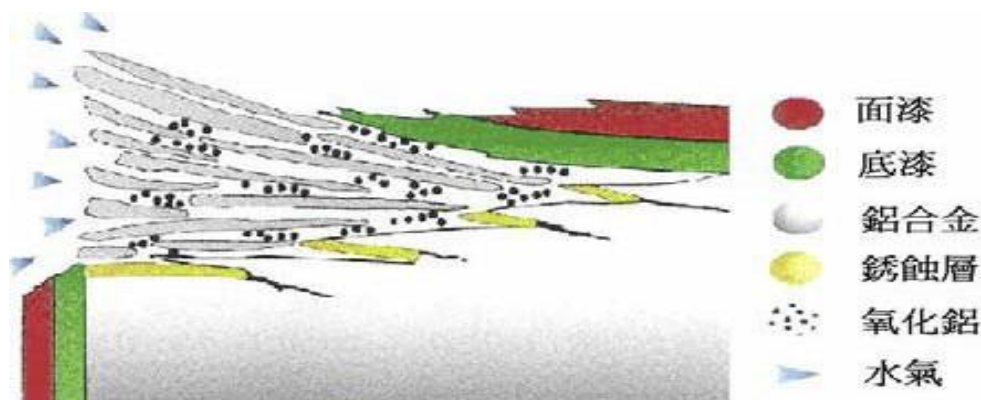
2.產生狀況

依何志勤、沈坤耀（2010）對於飛機結構發生金屬銹蝕之研究，提出常發生銹蝕現象分述如后：

(1)剝離銹蝕：

是一種因空氣中的水氣滲入金屬材料結構中的尾端，進而造成其結構發生腫大且晶粒剝離的現象，而這種現象特別是會發生在「鋁擠型」零件中，如圖 2 所示。

圖 2、剝離銹蝕



資料來源：何志勤、沈坤耀(2010)，航空器結構鏽蝕維修之研究。

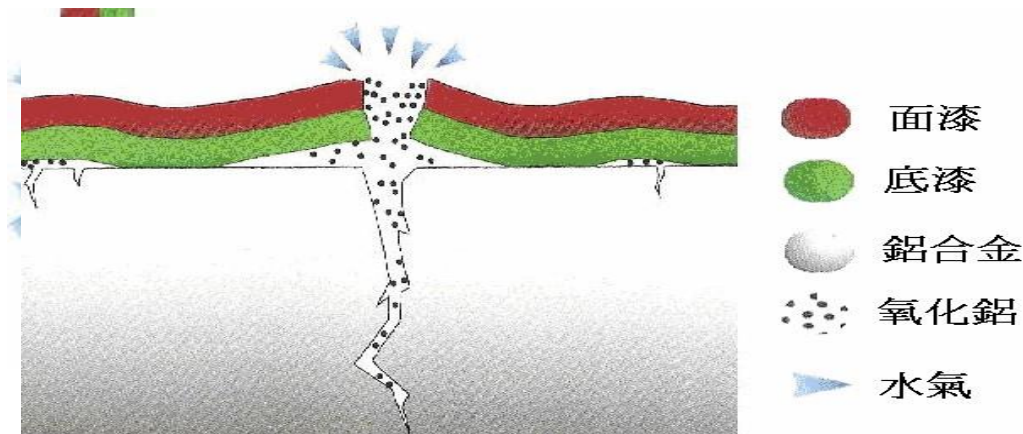
(2)凹孔銹蝕：

此為「區域性」銹蝕，會在金屬表面形成許多凹狀孔洞，此現象的發生是因為金屬材料的化學成分發生變化。鈦合金對大部分的自然環境都有足夠抵抗力，但其在高溫環境下，與表面漆類所產生的鹵化物溶液接觸後，即會發生此種銹蝕，如圖 3 所示。

¹¹ 柯賢文，《腐蝕及其防治》（全華科技圖書股份有限公司，1998年5月），頁5-6

¹² 楊聰仁，《腐蝕概論》（防蝕工程學刊第6卷第2期，1992年6月），頁58

圖 3、凹孔銹蝕

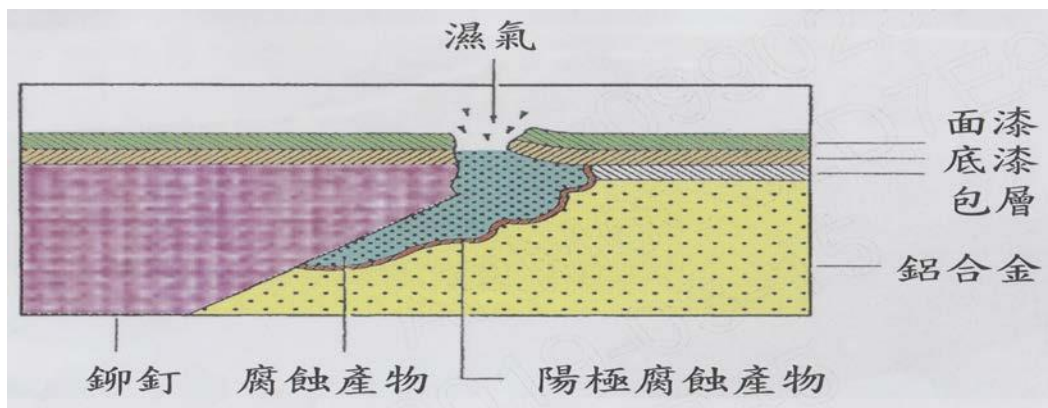


資料來源：何志勤、沈坤耀(2010)，航空器結構鏽蝕維修之研究。

(3) 電位差銹蝕：

當兩種電位差的金屬材料相接觸時，其交接處恰有水分作為電解液，導致陽極較強的材料持續失去金屬離子，而在表面產生銹蝕狀況。其中鋁合金因其金屬活性與其他材料相比較為活躍，而飛機金屬結構金屬又以鋁合金為主，因此電位差銹蝕問題較其他銹蝕問題嚴重，如圖 4 所示。

圖 4、電位差銹蝕

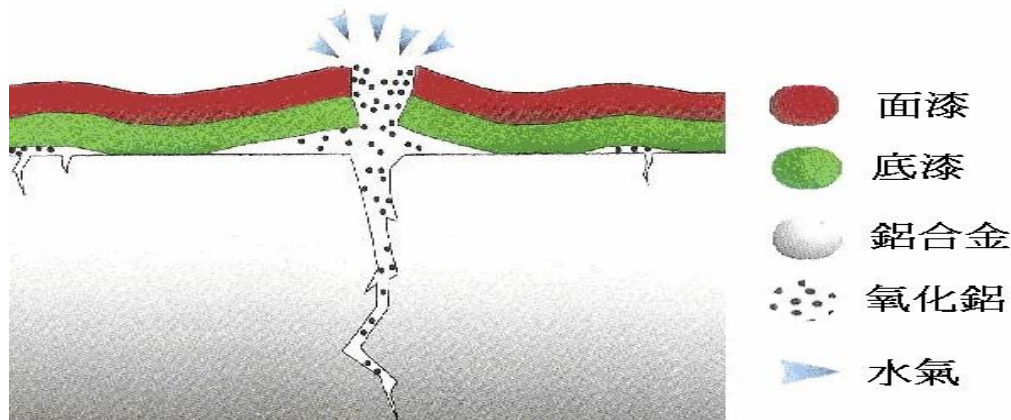


資料來源：何志勤、沈坤耀(2010)，航空器結構鏽蝕維修之研究。

(4) 應力銹蝕：

當拉伸應力與銹蝕環境共存時，即會產生「應力銹蝕」。金屬合金材料因銹蝕產生裂縫，而這些裂縫在長期使用過程中，受到拉伸應力作用而漸漸擴大；另外，金屬合金材料在發生銹蝕現象時，亦容易脆化，導致材料在應力未達降伏點時，即發生毀壞。就鋁合金言，此種銹蝕常發生在厚度 6 毫米以上的結構板與鍛件中，如圖 5 所示。

圖 5、應力銹蝕

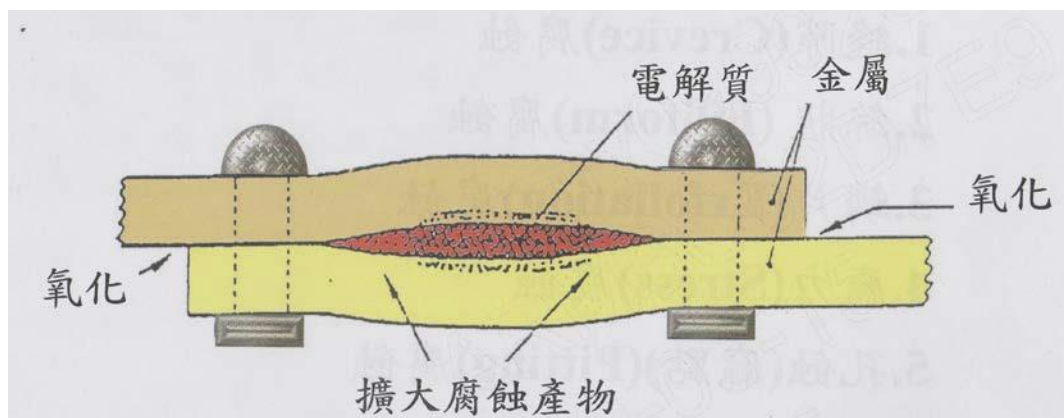


資料來源：何志勤、沈坤耀(2010)，航空器結構鏽蝕維修之研究。

(5)接縫銹蝕：

濕氣侵入金屬結構的接縫中，形成電解液，進而使金屬合金發生化學變化，造成接縫氧化產生銹蝕。此種現象發生在鉚釘與金屬的接合處，亦是「鈦合金」主要銹蝕問題，如圖 6 所示。

圖 6、接縫銹蝕



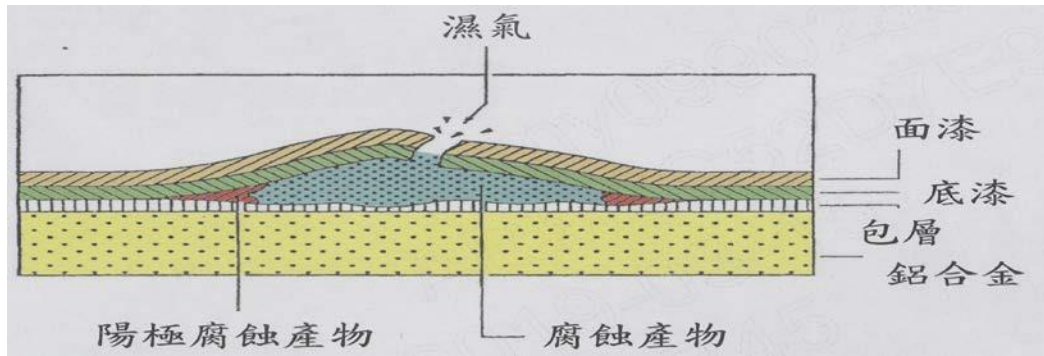
資料來源：何志勤、沈坤耀(2010)，航空器結構鏽蝕維修之研究。

(6)表面銹蝕：

A.是一種表面與空氣接觸氧化而形成的銹蝕現象，會造成金屬表面的光澤變得暗淡或是變換顏色，極易用目視檢查出來。這種銹蝕也顯示金屬表面的保護層已有損壞，致使空氣中的溼氣滲入金屬表面，形成氧化。因此，為了防止表面發生更嚴重的銹蝕狀況，必須盡速修補，如圖 7 所示。¹³

¹³ 何志勤、沈坤耀，《航空器結構鏽蝕維修計畫擬定程序之研究》（空軍學術雙月刊，2010 年 12 月），頁 116-125

圖 7、表面銹蝕



資料來源：何志勤、沈坤耀(2010)，航空器結構鏽蝕維修之研究。

- B.綜合以上所述，可以知道「金屬疲勞」及「金屬銹蝕」對金屬材料的危害，不但多樣化而且時時刻刻都在進行中，如果初期沒有及時發現及處理，後續就會造成裝備的損壞，甚至是產生安全疑慮的意外事件。
- C.何志勤、沈坤耀（2011）提到人類發明飛機後，一直困擾航空業者的問題就是結構疲勞如何預防，而許多空勤人員及搭機旅客也因為飛行途中，飛機結構產生金屬疲勞，進而發生意外犧牲寶貴性命，如飛機解體；¹⁴曹楚南（2001）也說明因為金屬銹蝕造成的非常規損失、人員傷亡、各種間接損失及額外耗費的人力物力是無法統計估算的，¹⁵因此如何有效地去發現狀況及改正狀況是刻不容緩的。
- D.經彙整 AH-1W 攻擊直升機於 2017 年至 2021 年 8 月間機體結構重大故障紀錄，並依金屬疲勞及銹蝕成因實施分類，其中就金屬疲勞言，以瞬間斷裂期所產生故狀況占多數；就金屬銹蝕言，以剝離銹蝕狀況占多數(如表 2)，而這兩者狀況經單位品管人員分析原因後，皆為故障未即時發現而造成，所以提升故障檢查能量可視為維持機體結構可靠度之關鍵因素之一。

表 2、AH-1W 攻擊直升機歷年重大機體結構統計表

區分	金屬疲勞			金屬銹蝕					
	裂縫起始	裂縫成長	瞬間斷裂	表面銹蝕	剝離銹蝕	接縫銹蝕	凹孔銹蝕	電位銹蝕	應力銹蝕
重大故障百分比	40%	15%	45%	18%	25%	15%	12%	10%	20%
合計	100%			100%					

資料來源：本研究整理

¹⁴ 何志勤、沈坤耀，《飛機結構疲勞之預防與維修》（空軍學術雙月刊，2011 年 12 月），頁 1

¹⁵ 曹楚南，《悄悄進行的破壞：金屬腐蝕》（牛頓出版股份有限公司，2001 年 3 月），頁 10

二、AH-1W 攻擊直升機結構檢查機制及現況

(一)結構檢查機制

主要依據《陸軍航空部隊保修手冊》將修護能量區分三段五級，並由航空基地勤務廠、航空 602 旅(含飛行訓練指揮部)飛保廠之直修、主附件工場及飛機所屬作戰隊依技令規範執行歷期(以日期為管制週期，如每年、每半年、每月、每日等)及歷時(以飛行時間為管制週期，如每 25 小時、50 小時及 100 小時)等兩大項週期性檢查(如

表 3)，其作業劃分如后¹⁶

1.單位保養(一級)：

由作戰隊機工長實施，主要是實施簡單且工時短的工作包含飛行前中後檢查、飛行任務歸詢、飛機清洗及基本防腐防鏽等，於檢查期間如發現相關故障狀況，即將狀況填註於飛機表格內並循系統辦理發工作業，續由修護權責單位執行狀況審視、籌料及狀況改進等修護作為。

2.野戰保修（二、三級）：

由航空 602 旅飛機保修廠下轄之直升機修護工場及主附件工場實施，此階段需使用相關特種機工具、測試裝備及大型固定式吊掛實施初步結構修護檢查；另飛行訓練指揮部(後稱飛訓部)飛保廠僅編制二級保修所，故部分三級能量由同駐地之航空基地勤務廠支援。

3.基地修製(四、五級)：

由航空基地勤務廠(後稱航勤廠)實施，該廠為陸軍航空部隊之最高層級直升機修護單位，因具備高精密設施及機體結構細部拆檢能力，故由該廠對陸軍現有 AH-1W 型機每年執行乙次飛機週期結構檢查(ASPA)及每 30 個月全機非破壞性(NDI)結構檢查；另輔以委商執行結構檢查，以確保機體結構妥善狀況。

¹⁶陸軍司令部，《陸軍航空裝備保修手冊》，2016 年 6 月，頁 1-17-18

表 3、AH-1W 攻擊直升機機體結構檢查區分表

區分			執行內容
不定期	單位 (作戰隊)	飛行前、後保養檢查	配合飛訓，執行操作前（後）全機 360 度檢查。
	基地 (航勤廠)	乙次性結構暨線束檢查	委商針對飛機結構及易腐蝕區域，執行全機結構檢查。
歷期	單位 (作戰隊)	每 7 日特別檢查	執行基本機體防腐防鏽作業，並針對機鼻區等 9 大區域實施結構目視檢查。
歷時	野戰 (飛保廠)	階段檢查	執行計畫維保作業，區分 4 階段，每階段間隔 100 小時。
歷期	基地 (航勤廠)	飛機週期結構檢查	每年執行乙次，依規範執行機鼻區等 48 項結構檢查。
		全機非破壞性結構檢查	每 30 個月執行乙次，針對尾桁區等 5 大區域結構點實施非破壞性結構檢查。

資料來源：本研究整理

(二)現況說明

- 1.依據《陸軍航空部隊保修手冊》規範，由各旅飛保廠修管室擬定月、週、日修護計畫，以管制直升機修護作業能夠依計畫、按期程實施故障改進，¹⁷而之所以律定上述計畫目的除了將技令規範內的歷期（時）等週期性檢查事先完成規劃外，亦同步排定機體故障狀況改進時程，並每週由各旅（飛訓部）飛保廠廠長召開相關會議，要求所屬律定故障改正進度逐項完成改進，惟為了維持平日戰、演訓任務的需求，且因部分結構故障狀況未超出技令容許範圍，故只針對立即影響飛機妥善之狀況加以改進，餘狀況則視故障程度，配合進廠執行高工時檢修工作時予以改進。
- 2.綜上述，機體結構維持及故障改正狀況，雖然已由修護部門依照檢查週期擬訂相關計畫實施機體檢查，但是卻常因直升機的運用規劃而延後執行，且經由個人實務經驗觀察目前的檢查方式僅拆除機體部份蓋板，並以目視及敲擊方式實施，所以整體機體結構的使用程度無法全方位完成檢查，致使初期小損傷未立即改正或深層故障未被發現，進而造成故障狀況愈趨惡化，最終可能需額外耗費更多修護資源與時間，方能完成故障的改善與修復。
- 3.另考量 AH-1W 攻擊直升機自 82 年接裝迄今已使用 30 年，故於 110 年 1 月間針對飛機結構及易腐蝕區域，委商執行乙次性全機結構檢查，並依

¹⁷同註 14，頁 4-54

歷架進廠檢查狀況發現主要缺失集中在結構、電氣及燃油等三大系統，其中以結構缺失佔多數，而結構缺失態樣中又以傳動箱安裝座腐蝕、尾桁區與機身接合面腐蝕、直尾翅蒙皮脫層及傳動箱加強樑裂等，具高飛安風險。

三、影響結構維護關鍵因素

機體結構的良窳，直接影響裝備戰力的發揮，也考驗著維保人員對飛行安全的在乎程度，現彙整各專家學者所提出之航空器修護、保修作業及結構維護等關鍵因素如

表 4 所示，以利主、次準則的建立。

表 4、影響結構維護關鍵因素

類別	年代 (學者)	論文(期刊)	關鍵因素
結構 維護	2011 何志勤 沈坤耀	「航空器結構銹蝕維修計畫擬定程序之研討」	1.強化結構安全，降低飛危意外。 2.依照實際需求執行相關飛機維修檢查，減少維護費用。 3.舊款飛機重新執行相關結構損壞容損評估，及修訂既有維修計畫。
航空器 修護	2012 陳榮榮	「應用習慣領域與層級分析法探討影響飛機修護進度關鍵因素之研究」	1.因為台灣的環境為海島型氣候，維修不易，是影響飛機修護的關鍵因素。 2.飛機使用年限長，所以檢查的範圍要擴大、更要加大修理深度，另對易老化件要全面檢查或更新 3.技術能力因近年人力裁減如精粹案、精進案，將大部分已擁有相當技術的飛機修護人才、人力裁減，並因軍機委商造成大部分已擁有技術人員提前退伍或不願意續留服務，恐造成修護技術斷層，所以對於技術能力的維持更為重要。
保修 作業	2017 葉智瑤	「保修作業關鍵成功因素之研究—以六軍團所屬保修連為例」	保修作業係提升戰力基礎工作，研究結果顯示零件庫存不缺料、修護士的熟練度，為主要關鍵因素。

結構 維護	2018 陳庸仁	「運用風險評量 探討陸航直升機 銹蝕防治作為之 研究」	說明研發耐蝕防護法及避免裝備露儲可 為結構維護關鍵因素。
結構 維護	2019 吳棋賢	「軍用飛機鏽蝕 防護與維護對策 之研究」	發現強化鏽蝕環境因子認知、建立防護 機制作為及加強防護技能等三項要 點，有助於減緩金屬腐蝕對機體結構造 成的危害。
航空器 修護	2020 黃獻明	「探討陸航高齡 直升機修護安全 與品質管理之量 化研究」	1.在保修工作上重視執行高齡直升機各 系統預防保養與執行維修，並且平時 工作也重視高齡直升機產生的腐蝕及 裂紋情形及輕微的損傷（次要缺失） 預防保養，亦會避免不當的維修（程 序）品質，以確保修護工作正確無 誤。 2.分析結果顯示國軍航空部隊必須依照 國際民航法規之規定，適時導入並更 新高齡直升機相關計畫及技術通 報，並在執行高齡直升機保修工作時 應該更要提高警覺。 3.加強品質管理之查核（成因分析）及 利用非破壞性檢驗方式，可以加強及 確認目視檢查的結果，不僅可以消除 隱藏性損傷之飛危安因素，更加確保 直升機保修安全。 4.精進推動完善的高齡直升機年度維修 計畫相關的精進作法，內容包含修護 計畫、保修工作執行方式和工作 SOP 執行及高齡直升機品質管理檢驗系統 優化。

資料來源：本研究整理

經參考上述文獻之關鍵因素與研究者對飛機保修執行現況之瞭解，實施歸納、分析後完成修護機制等 3 項主準則及維修計畫詳實擬定等 9 項次準則（如表 5），俾利運用層級分析程序法實施權重分析。

表 5、影響結構維護主、次準則

項次	主準則	次準則
1.1	1 修護機制	(1)維修計畫詳實擬定
1.2		(2)修護進度確實管制
1.3		(3)機體時數密切管制
2.1	2 品質管理	(4)檢查能量提升
2.2		(5)技術經驗傳承
2.3		(6)故障判斷能力提升
3.1	3 環境影響	(7)隔絕氣候影響
3.2		(8)強化耐蝕防護
3.3		(9)增加防潮措施

資料來源：本研究整理

(一)修護機制

古人說沒有規矩不成方圓，沒有良好的機制規範就沒有妥當的約束力，所以為了確保飛機妥善，以適時達成任務，須建立完善的修護機制，透過詳實計畫與有效進度管制等作為，使相關修護人員不因外力的干涉而影響故障改進的進度，故於修護管制主準則下檢討「維修計畫詳實擬定」等 3 項次準則(如表 6)。

表 6、「修護機制」主、次準則要項說明

主準則	次準則	定義
1 修護機制	(1)維修計畫詳實擬定	依照各飛機現況及未來須執行任務，並以維護飛行安全為最大宗旨，詳實律定年、月、週等維修計畫，另透過規劃、執行、查核、行動等四階段，確保計畫目標均能達成。
	(2)修護進度確實管制	修護管制及執行單位，需依照修護計畫及裝備使用現況完成修護進度的律定，一經確定，管制人員即須依進度執行。
	(3)機體時數密切管制	確實分配各機體使用時數，不應配合使用單位過度要求而使飛機過度使用。

資料來源：本研究整理

(二)品質管理

良好的修護品質就是飛行人員對他們所使用的飛行器感到安心、安全，可以心無旁騖地專注提升飛行技能，所以如何在各修護/檢查過程中

確保品質穩定性，是至關重要的問題，故於品質管理主準則下檢討「檢查能量提升」等 3 項次準則(如表 7)。

表 7「品質管理」主、次準則要項說明

主準則	次準則	定義
2 品質管理	(1)檢查能量提升	參照歷年結構故障狀況及位置，檢討技令規範不足處，強化檢查能量，以及早發現隱藏故障。
	(2)技術經驗傳承	建立完善工作教導制度，譬如師徒制，並透過示範-實作-驗收-修正等 4 階段循環執行，確認技術經驗完整傳承。
	(3)故障判斷能力提升	提高品管檢驗故障狀況判斷能力，並對結構故障狀況限期完成改正，以利結構強度維持。

資料來源：本研究整理

(三)環境影響

金屬材料的腐蝕介質大致來說以自然環境介質為主，就如大氣、雨水等，並且在自然環境中的腐蝕速度也不是那麼快速，相對來說破壞後果往往不是短期內會顯現出來，因此稍不注意，就可能形成嚴重結構故障問題，所以為減少環境因素影響結構狀況，故於環境影響主準則下檢討「隔絕氣候影響」等 3 項次準則(如表 8)。

表 8「環境影響」主、次準則要項說明

主準則	次準則	定義
3 環境影響	(1)隔絕氣候影響	目前直昇機多以露儲擺放為主，易受天候，使機體表面直接接觸腐蝕介質(雨水、懸浮微粒)，故可研擬具體作法，以隔絕氣候影響。
	(2)落實耐蝕防護	人員常因機務或工作負荷情況，未完整執行防銹作業；因此需依程序步驟落實執行相關耐蝕防護作業。
	(3)增加防潮措施	針對結構易受潮/進水區域，檢討相關防護措施，以減少水氣滲入造成結構腐蝕。

資料來源：本研究整理

肆、研究設計

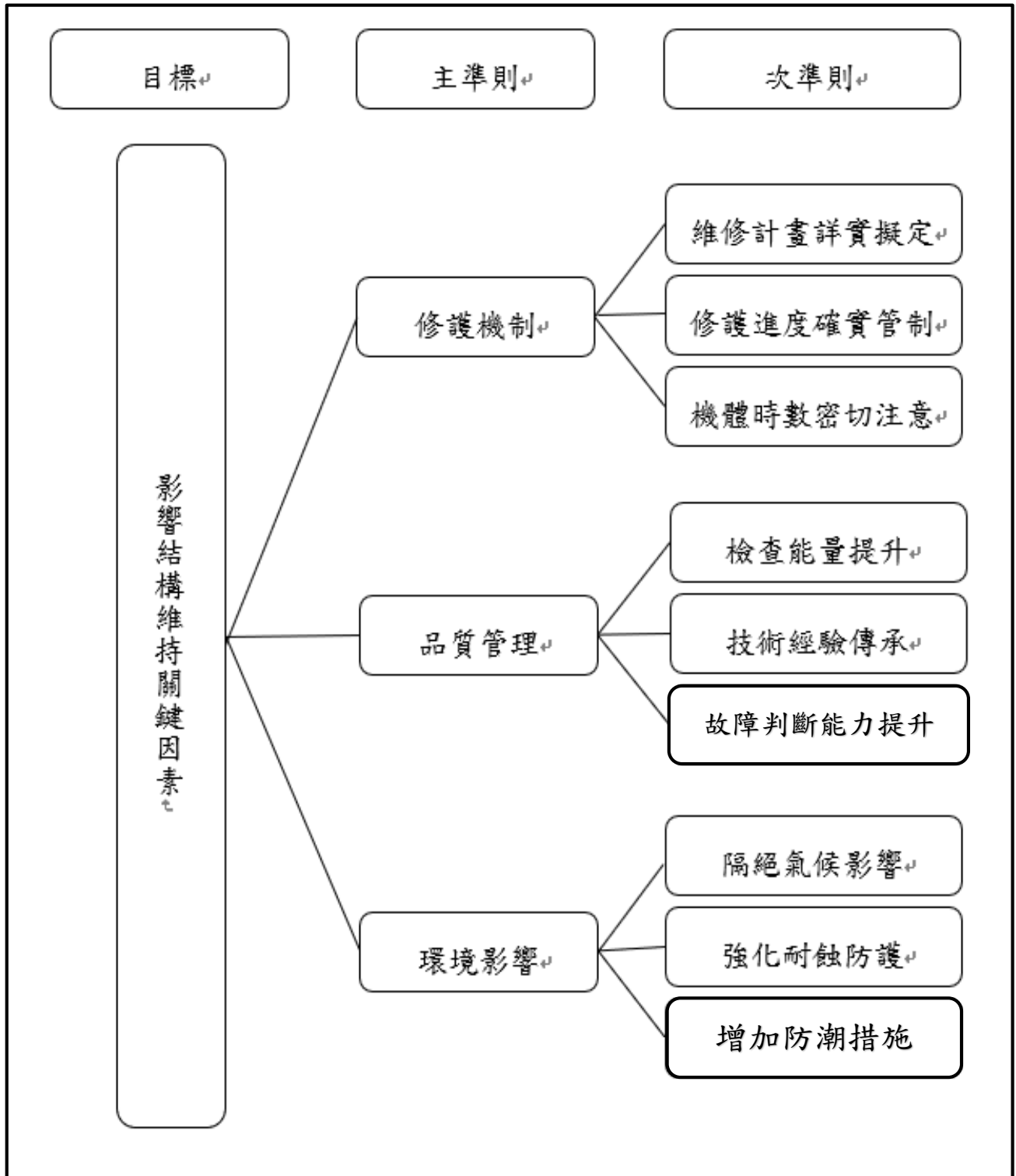
本研究將依據所蒐集的文獻，經整理、分類、歸納並透過研究者對飛機保修執行現況之瞭解，而建構出影響機體結構維護關鍵因素決策指標，其中主準則層級計有「修護機制」等 3 項，次準則層級計有「維修計畫詳實擬定」等 9 項，各準則定義如表 9；層級建構如圖 8。

表 9、決策指標統計表

機體結構維護關鍵因素決策指標			
主準則		次準則	
項目	說明	項目	說明
修護機制	建立完善的管制機制，並達到一切按機制辦事目標	維修計畫詳實擬定	詳實律定年、月、週等維修計畫，另透過規劃、執行、查核、行動等四階段，確保計畫目標均能達成。
		修護進度確實管制	依照修護計畫及裝備使用現況完成修護進度的律定，一經確定，管制人員依進度執行。
		機體時數密切管制	確實分配各機體使用時數，不過度使用。
品質管理	完善修護品質以提升飛行人員對所使用的飛行器感到安心、安全。	檢查能量提升	參照歷年結構故障狀況及位置，檢討技令規範不足處，強化檢查能量。
		技術經驗傳承	建立完善工作教導制度，透過示範-實作-驗收-修正等 4 階段循環執行，確認技術經驗完整傳承。
		故障判斷能力提升	提高品管檢驗故障狀況判斷能力，並對結構故障狀況限期完成改正。
環境影響	材料腐蝕介質以自然介質為主，且腐蝕現象短期不會顯現，因此減少環境因子影響，以確保機體狀況無礙。	隔絕氣候影響	研擬具體作法，隔絕氣候影響。
		落實耐蝕防護	依程序步驟落實執行相關耐蝕防護作業。
		增加防潮措施	針對結構易受潮/進水區域，檢討相關防護措施，以減少水氣滲入造成結構腐蝕。

資料來源：本研究整理

圖 8、決策指標統計表



資料來源：本研究繪製

一、問卷設計

(一)專家問卷

1.設計

為確保本研究所發展出的準則構面均能符合研究所需，首先依前述擬定之主、次準則，完成專家問卷設計，以利選定專家實施準則確認，據此

獲得意見後實施準則調整與修訂，以取得一致評估構面及關鍵因素，俾利後續研究發展。

2. 專家選定

本研究著重於選定提升 AH-1W 攻擊直升機機體結構改進成效之最適關鍵因素，故準則定義評審專家選定以現(曾)任陸軍直升機重要修護決策及管理人員為主，預劃專家調查統計如表 10 所示。

表 10、預劃專家統計表

單位	級職	職務	姓名
陸軍司令部後勤處	中校	後參官	楊○○
陸軍航特部後勤處	上校	處長	蔡○○
	中校	後參官	陳○○
	少校	機管官	陳○○
航特部飛訓部飛保廠	中校	廠長	王○○
	少校	主任	許○○
	上尉	機管官	黃○○
航特部飛訓部教官組	少校	教官	屈○○
航特部 602 旅飛保廠	上校	廠長	甘○○
	中校	主任	許○○
	上尉	機管官	蔡○○

資料來源：本研究整理

(二) 正式問卷

1. 設計

上述專家問卷計發放 11 份，除 1 份未回覆外，餘 10 份均屬有效問卷，經審視各專家回覆情形，均認同擬定之評估構面及定義，據此，完成正式問卷設計（如附件 2），以量表來對各構面兩兩比較，俾利後續運用 AHP 分析軟體獲得相對優先數值。

2. 研究對象

問卷發放對象以現(曾)任陸軍直升機重要修護決策管理及直升機實際修護線上人員為主，合計 12 員，對象分類統計如表 11 所示。

表 11、問卷發放統計表

單位	分類	人數
陸軍司令部後勤處	修護決策管理	2
陸軍航特部後勤處	修護決策管理	1
航特部飛訓部飛保廠	修護決策管理	2
	線上修護	2
航特部 602 旅飛保廠	修護決策管理	2
	線上修護	3
合計		12

資料來源：本研究整理

一、問卷回收

正式問卷回收成果藉 AHP 專門運用軟體「Expert Choice 11」，實施問卷分析，以確定整體層級的「一致性指標」與「一致性比率」是否均達到可接受標準。

本研究之正式問卷計發出 12 份，回收 10 份，回收率為 83%，回收細項情形如表 12 所示。

表 12、問卷回收統計表

單位	分類	份數		回收率 (%)
		發出	回收	
陸軍司令部後勤處	修護決策管理	2	2	83%
陸軍航特部後勤處	修護決策管理	1	0	
航特部飛訓部飛保廠	修護決策管理	2	2	
	線上修護	2	2	
航特部 602 旅飛保廠	修護決策管理	2	2	
	線上修護	3	2	
合計		12	10	

資料來源：本研究整理

將回收之問卷透過 AHP 專門運用軟體「Expert Choice 11」執行權重分析，綜合分析結果依序為「修護機制」權重比 37.4%、「品質管理」權重比 34.9%及「環境影響」權重比 27.7%，分析結果如圖 9，相對權值分析表如表 13。

圖 9、問卷綜合分析結果圖



資料來源：本研究整理

表 13、陸軍直升機結構維持之影響因素相對權值分析表

陸軍直升機結構維持之影響因素相對權值分析表	
主準則	次準則
修護機制(37.4%)	維修計畫詳實擬定(32.3%)
	修護進度確實管制(26.9%)
	機體時數密切管制(40.8%)
品質管理(34.9%)	檢查能量提升(28.0%)
	技術經驗傳承(17.8%)
	故障判斷能力提升(54.2%)
環境影響(27.7%)	隔絕氣候影響(21.3%)
	落實耐蝕防護(35.8%)
	增加防潮措施(42.8%)

資料來源：本研究整理

二、各準則間之權重分析

(一)主準則結果分析

經統計運算後，主準則構面以「修護機制」佔整體權重 37.4%為最高；「品質管理」佔整體權重 34.9%次之，因此就數據顯示多數人認同制定完善之修護機制並貫徹執行可提升直升機機體結構改進成效。

(二)次準則結果分析

1.修護機制

分析次準則「修護機制」層級構面，以「機體時數密切管制」佔整體權重 40.8%為最高，依序為「維修計畫密切管制」佔總比率 32.3%，最後則為「修護進度確實管制」佔總比率 26.9%；顯示大多數受訪者認為在修護機制構面中，密切管制機體時數，而不過度使用，為有助提升機體結構維持成效之最關鍵因素。

2.品質管理

分析次準則「品質管理」層級構面，以「故障判斷能力提升」佔整體權重 54.2%為最高，依序為「檢查能量提升」佔總比率 28.0%，最後則為「技術經驗傳承」佔總比率 17.8%；顯示大多數受訪者認為，在品質管理構面中，以故障判斷能力提升影響最大，所以強化品管檢驗故障狀況判斷能力，並提升直升機結構安全係數，可有利機體結構強度維持。

3.環境影響

分析次準則「環境影響」層級構面，以「增加防潮措施」佔整體權重 42.8%為最高，依序為「耐蝕防護」佔總比率 35.8%，最後則為「隔絕氣候影響」佔總比率 21.3%；顯示大多數受訪者認為，在環境影響構面中，以增加防潮措施影響最大，因此針對結構易受潮/進水區域，檢討相關防護措施，可減少水氣滲入造成機體結構出現腐蝕現象。

三、主、次準則整體層級分析結果

整體層級排序分析結果顯示，在主準則中以「修護機制」排序第一位，影響程度最高，且其相對權重值高達 37.4%，因此如欲提升機體結構故障改進成效，首重修護機制的制定與規範；其次「品質管理」排序第二位，權重值 34.9%，所以在完成修護機制的制定並落實執行後，接續強化修護人員對機體結構故障改進及檢查的品質，應有助提升機體結構故障改進成效。

另本研究歸納次準則計 9 項，其中影響機體結構故障改進成效關鍵因素前 2 項依序為「故障判斷能力提升」，佔整體權重 18.92%及「機體時數密切管制」，佔整體權重 15.26%，如表 14 所示；因此由分析結果可知，提高品管檢驗故障狀況判斷能力，並對結構故障狀況限期完成改正，以提升直升機運用之可靠度，另因任務須執行直升機派遣時，機隊

管理中心須確實審視各機體可使用時數，不超量派遣而使飛機過度使用，據此兩項關鍵因素，為提升機體結構改進成效的優先工作。

表 14、主、次準則整體層級分析結果排序表

主、次準則整體層級分析結果排序表				
主準則(構面)		次準則(因素)		
項目 (權重)	排序	項目 (權重)	整體權重	排序
<u>修護機制</u> (37.4%)	1	維修計畫詳實擬定 (32.3%)	12.08%	3
		修護進度確實管制 (26.9%)	10.06%	5
		<u>機體時數密切管制</u> (40.8%)	<u>15.26%</u>	<u>2</u>
<u>品質管制</u> (34.9%)	2	檢查能量提升 (28.0%)	9.77%	7
		技術經驗傳承 (17.8%)	6.21%	8
		<u>故障判斷能力提升</u> (54.2%)	<u>18.92%</u>	<u>1</u>
環境影響 (27.7%)	3	隔絕氣候影響 (21.3%)	5.90%	9
		落實耐蝕防護 (35.8%)	9.92%	6
		增加防潮措施 (42.8%)	11.86%	4
備註：次準則整體權重計算方式為原始分項權重乘以主準則百分比，例：維修計畫詳實擬定為 37.4%*32.3%=12.08%				

資料來源：本研究整理

伍、結論與建議

本章節係彙整各章要點，並依據分析結果提供研究結論及建議，以供政策單位參用。

一、結論

經藉相關文獻及研究者工作經驗，彙整歸納出關鍵因素主、次準則層級，續運用層級分析法及其專用軟體，獲得各準則間的整體層級權重值及優先次序，其中各專家及實際工作者認為最適機體結構維持的關鍵因素前三項依序為「故障判斷能力提升（18.92%）」、「機體時數密切管制（15.26%）」及「維修計畫詳實擬定（12.08%）」，如表 15 所示，茲就結果歸納說明如下：

表 15、機體結構維持主要關鍵因素彙整表

機體結構維持主要關鍵因素彙整表			
構面	關鍵因素	整體權重	排序
品質管理	故障判斷能力提升	18.92%	1
修護機制	機體時數密切管制	15.26%	2
修護機制	維修計畫詳實擬定	12.08%	3

資料來源：本研究整理

(一)修護機制構面對於機體結構維持影響最大

依上表顯示，關鍵因素排序第 2 及第 3 項均與「修護機制」有關，且於第四章分析結果內，該構面亦屬影響機體結構故障改進成效之最關鍵構面（整體權重值為 37.4%，排序第 1），故藉此結果可知現今已制定之有關機體結構故障改進修護機制，雖已建立，但在詳實擬定維修計畫、確實管制修護進度及密切管制機體時數等方面或許不夠完善，造成結構故障改進成效不如預期，因此機況管制單位制定合理可行之修護機制貫徹執行，必可提升機體結構故障改進成效，進而有效維持機體結構可靠度。

(二)故障判斷能力提升為最適結構維持關鍵成功因素

「飛的安全」一直是航空界最為重視的課題，其中機體結構的良窳更是直接影響安全的首要要素，而透過長期從事陸航直升機維保作業的受訪人員調查，其中達 18.92% 認同現今須提高品管檢驗對機體結構故障狀況判斷能力，並要求結構故障狀況限期改正，為最適結構維持之關鍵成功因素；本研究因以 AH-1W 攻擊直升機為例，且該型機亦為目前使用年限最高之攻擊機種，所以在考慮其機齡及未來使用頻次，提升檢查人員的故障判斷能力及改正效率，將有助飛行安全的維護。

二、建議

依據本研究獲取各層級構面分析所得之關鍵因素，為有效提升機體結構故障改進成效，分就政策及計畫執行等兩單位，提出以下相關建議事項：

(一)政策單位

1.委外執行機體全面結構深層檢查及故障改正

雖然 AH-1W 攻擊直升機現已委外執行機體結構檢查，惟因經費考量，僅針對部分區域實施檢查，且完成檢查後所發現之故障狀況，由各旅飛保廠自行派員改正，然各旅飛保廠平日即有既定修護作業需執行，易造成額外人力負擔，故建議由相關政策單位爭取足額經費，由委外廠商執行機體結構全面檢查並針對檢查所見故障狀況實施改正，並依檢查結果、使用環境及使用者之實際檢查能力，修訂後續維修計畫，使制定之計畫能夠符合實際狀況。

2.依照機體使用現況，修訂既有結構檢查方式

現有 AH-1W 攻擊直升機每年由航空基地勤務廠執行乙次飛機週期結構檢查 (ASPA)，單機檢查工期約為 2-3 個工作天，而執行方次則為拆除機體部份蓋板，並以目視及敲擊等檢查方式實施，致檢查部位及深度均不夠全面，故建議可針對不易察覺或檢查之區域，拆除機體部份主要機件實施深度檢查，另增加全機退漆檢查工作，以強化機體結構檢查深度，增加機體可靠度。

(二)計畫執行單位

1.落實故障數據蒐整，強化故障判斷能力

由各旅修護單位每月運用航空後勤資訊系統蒐整機體結構故障數據，並由單位品管部門針對上述數據實施統計分析，之後針對分析結果，檢討現行檢查執行方式及機體部位，如發現有異常狀況，則召集相關品管檢驗人員擬定相關檢查步驟，並辦理教育講習，藉以增進檢查人員故障判斷能力，以提早發現並改正危害機體結構的潛在故障。

2.結合維保現況，妥善分配機體時數運用

飛行單位在制定飛行時數前，應將維保的相關限制因素及現況納入考量；飛行單位著重在飛行時數的達成，修護單位著重在直升機的妥善維持，所以在派遣直升機執行任務時，由修護單位主動提供機隊可支應飛行任務的機體時數，並由飛行單位檢討調整飛行任務，避免機體時數管制不當，造成機體故障增加情事發生。

3.落實結構故障改進管制，避免狀況持續加劇

機體結構故障狀況有輕微也有嚴重，而依照歷年故障分析結果，通常嚴重狀況大部皆由輕微狀況衍生而來，然因平日戰、演訓任務需求，修護管制部門僅針對已影響飛機妥善之狀況立即加以管制改進，餘狀況則視故障程度，配合直升機進場時機實施改正，此措施往往錯失改正良機，造成後續須花費更多的人力、工時來實施故障改進，因此，建議機體結構故障狀況一經發現，即由品管部門實施嚴重程度判定，並針對該項狀況，擬定適切改正時隔，續由修護管制部門管制相關承修所於時隔內完成故障狀況改進，以避免狀況持續加劇情事發生。

參考文獻

一、中文部分

(一)專書

- 1.柯賢文，《腐蝕及其防治》(全華科技圖書股份有限公司，1998 年 5 月)，頁 5-6
- 2.曹楚南，《悄悄進行的破壞：金屬腐蝕》(牛頓出版股份有限公司，2001 年 3 月)，頁 10
- 3.朱豔芳、謝復剛，《國防實務研究方法》(前程文化事業有限公司，2005 年 6 月)，頁 254
- 4.陸軍司令部，《陸軍地空整體作戰教則(草案)》(陸軍司令部，2015 年 12 月)，頁 1-1-1
- 5.陸軍司令部，《陸軍航空裝備保修手冊》，2016 年 6 月，頁 1-17-18
- 6.國防部，《110 年四年期國防總檢討》(國防部，2021 年 3 月)，頁 8

(二)期刊論文

- 1.鄧振源、曾國雄，《層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)》(中國統計學報，第 27 卷第 6 期，1989 年 6 月)，頁 13767-13870
- 2.楊聰仁，《腐蝕概論》(防蝕工程學刊第 6 卷第 2 期，1992 年 6 月)，頁 58
- 3.何志勤、沈坤耀，《航空器結構鏽蝕維修計畫擬定程序之研究》(空軍學術雙月刊第 615 期，2010 年 12 月)，頁 116-125
- 4.何志勤，《飛機結構疲勞之預防與維修》(空軍學術雙月刊，2011 年 12 月)，頁 1
- 5.葉智瑤，《保修作業關鍵成功因素之研究-以六軍團所屬保修連為例》(陸軍後勤季刊，2017 年 2 月)，頁 76

(三)學位論文

- 1.陳致翔，《揚聲器平面彈波之疲勞壽命評估》(交通大學碩士論文，2009 年 8 月)，頁 1
- 2.陳榮榮，《應用習慣領域與層級分析法探討影響飛機修護進度關鍵因素之研究》(義守大學碩士論文，2012 年 6 月)，頁 83
- 3.陳庸仁，《運用風險評量探討陸航直升機鏽蝕防治作為之研究》(國防大學軍事專題研究，2018 年 7 月)，頁 57
- 4.吳棋賢，《軍用飛機鏽蝕防護與維護對策之研究》(嶺東科技大學碩士論文，2019 年 6 月)，頁 51-52
- 5.黃獻明，《探討陸航高齡直升機修護安全與品質管理之量化研究》(崑山科技大學碩士論文，2020 年 5 月)，頁 58-59 及 67

(四)網際網路

1. 羅添斌，《自由時報-台海軍情》，〈<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/3411884>〉(檢索日期：2021 年 09 月 26 日)

二、英文部分

(一)網際網路

1. 遠東航空 737 客機事故，《aviation safety network》，〈<https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19810822-0>〉(檢索日期：2021 年 12 月 13 日)
2. 阿羅哈航空 737 客機事故，《aviation safety network》，〈<https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19880428-0>〉(檢索日期：2021 年 12 月 13 日)

筆者簡介



姓名：吳德彥

級職：中校主任

學歷：中正理工學院 95 年班、航空正規班 103 年班、陸指參校正規班 111 年班。

經歷：航空器材補給管制官、組長、保養修護計畫官、作戰官、所長、飛機管制官、現任航空 602 旅飛保廠直修工場中校主任。

電子信箱：軍網：s953611@webmail.mil.tw

民網：s953611@gmail.com