

風險基準檢查技術應用於 艦船裝備操作與維保之研究

海軍中校 陳長成

提 要：

- 一、風險管理已廣泛應用於國、內外具危險性工作場所的安全工作上。就海軍工作環境而言，艦船內外的環境均屬高危險性工作場所，應用「風險基準檢查(RBI)」概念，對實際檢測進行數據分析，充分掌握適當的檢查、維修之資源及工作，建議最佳檢測時機及維修計畫，將能有效降低意外風險。
- 二、海軍應用風險基準檢查概念與裝備現況評估運用(AEC)、油品分析計畫(NOAP)檢查技術，可使艦船管理及操作人員清楚瞭解艦船裝備運轉情形，並可依風險分級適時調整保養深度、操作使用限制、維修料件籌補等，節省人力及不必要維修料件浪費，進而提升艦船裝備可靠度及維修成本，減少因人員疏忽或效能減低，造成之裝備損壞風險。
- 三、艦船裝備維保制度係採定期檢查與維修方式執行，惟若因人員不當保養及操作不慎影響，恐致裝備進廠前長期異常運轉，造成內部機件耗損，而艦船裝備管理人員仍以一般計畫性維修工程報修，將無法及時發掘潛在損壞風險，應用風險基準檢查RBI概念及技術除可得到最佳檢測時機與規劃外，並藉此瞭解設備運轉狀況，歲修時將工作重點放在最須維護檢查設備，可避免不必要維修工作，縮短歲修的時間，減低不可預期的意外事件發生。

關鍵詞：以風險為導向檢查計畫、裝備現況評估運用、海軍油品分析計畫

壹、前言

「工安」與「作業製程之品質」是工業界一般最重視的兩大問題，如何確保工安與提升品質，一直是業界尋求競爭力必須掌握

的重點¹。風險評估的觀念主要應用在工業安全的評估上，適時及有效系統的應用可提升工業安全，增加企業的營運績效。其實風險管理概念在國、內外早已廣泛應用於危險性場所的工作安全上，如歐盟風險管理準則

註1：李文淵，〈石化工業之工安問題研究〉，全國博碩士論文—國家圖書館，https://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gswe-b?randomimg=E6ibYp_1540518326，檢索日期：2018年10月25日。

(ISO Guide 73:2009)，制定工作場所風險管理的指引，可以讓歐盟許多國家據以制定工作場域風險管理或風險評估的法令²；日本也積極推動工作場所風險管理，除於2005年修改「勞動安全衛生法」增列對危險性及有害性等勞動災害應予調查，並訂頒相關指針及解說³。而我國目前除「勞動檢查法」第26條有規範危險性工作場所應辦理危害評估外⁴，民國91年修訂的「勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法」也對一般工作場所所有原則性的危害評估規定，使國人對風險管理系統有整體的瞭解及遵循依據。

然就海軍工作環境而言，維修工廠及艦船的工作環境均屬高危險性工作場所，像是高溫、高壓的大型鍋爐、高噪音的大型柴油引擎、高危險爆炸型氣體的柴油儲存櫃與高電壓的各類電氣裝備等，雖然海軍亦訂有相關法令規章與技術要求，但人員疏忽、專業技術不足、料件浪費等風險隨時存在。因此，如何有效降低意外風險，也成為海軍各級單位一直重視的議題，透過風險管理概念與分析檢查方法，應用風險基準檢查RBI(Risk-Based Inspection，簡稱RBI)概念及實測數據分析高風險裝備項目，並將裝備維修時的相關資料進行系統化管理，最後建議最佳檢測時機、檢測內容、方法及維修計畫，以充分獲得適當的檢查、維修資源分

配及工作調整。

風險基準檢查RBI可系統化地導出設備的失效機率，以及所造成的後果，不僅可有效的降低操作風險，對於日後檢查計畫亦能提供最佳風險順序與週期的參考⁵；業界現多以風險基準檢查做為作業製程風險管控方案，藉有效的檢查及改進設備的信賴度，使成本能顯著地降低，並減少檢查、維修及風險損失的成本⁶。本文希望就風險基準檢查概念及實務經驗，提供艦船管理及操作人員，如何減少裝備因人員疏忽或效能減低造成之損壞風險，並依風險分級適時調整保養深度，節省人力及不必要維修料件浪費，達到提升裝備妥善率之目標。

貳、以風險為導向檢查計畫的RBI

所有的裝備都可能存在製造瑕疵，這些瑕疵將導致洩漏或災害損失。引用以風險考量為基準的檢查方法，稱為風險基準檢查(RBI)。RBI是一種確認關鍵性設備的雙向溝通分析工具，以更有效的運用控制及監督方式，減少設備失效機率，並結合失效後果分析，獲得失效的關鍵或風險高低。因為製程程序及相關系統會隨著時間改變，任何的風險研究只能反映資料收集時的情況。完整的RBI執行計畫步驟(如圖一)，包含檢查資料的收集、量化風險分析(風險排序、設備等

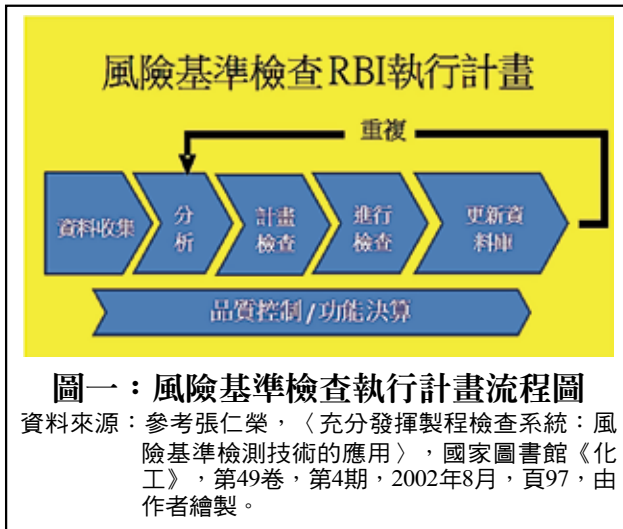
註2：〈國際標準ISO Guide 73:2009〉，法治世界網，<https://www.lawlove.org/index/ajax>，檢索日期：2018年10月25日。

註3：〈日本勞基法的5堂課〉，世界旅學，<https://www.gtec.tw/blog/nihonnroudoukizyunn-2/>，檢索日期：2018年10月25日。

註4：〈勞動檢查法第26條〉，法源法律網-相關法條，<https://www.lawbank.com.tw>，檢索日期：2018年10月25日。

註5：黃清賢，《危害分析與風險評估》，三民網路書局，2000年3月1日，<https://sanmin.com.tw/Product/Index/00092406>，檢索日期：2018年10月25日。

註6：林啟良，〈核能電廠系統可靠改善最佳化之研究〉，全國博碩士論文-國家圖書館，https://ndltd.ncl.edu.tw/c-gi-bin/g32/g3web.cgi?randomimg=qmj5y_1540518849，檢索日期：2018年10月25日。



級劃分)、依風險分析結果計畫檢查項目、按計畫執行風險檢查、隨時更新資料庫，並重複此一步驟不斷改善風險基準檢查計畫，以有效品質控制及功能決算(計算適當風險檢查功能)⁷。

一、RBI的起源

以往為確保老舊石油生產設備的可靠度而設計的檢查，通常是以時效為基準的檢查方法，惟此方法無法分辨設備失效的風險，及失效後造成的後果⁸。而RBI起始於1993年5月美國石油協會(American Petroleum Institute，簡稱API)22家石化公司所發起並贊助之計畫。該項技術是以風險為優先考量，應用於管理檢測的有效方法。在一般工廠裡，較小比例的設備數量佔有極大比例的風險，RBI即是有效的分配資源於高風險的設

備，達到降低風險的目的，同時投注少量的資源於低風險設備，降低檢查及保養資源的浪費，透過降低風險及成本兩大策略的作用，確保工廠運轉的安全。

二、RBI的基礎概念

API對於風險的定義是考慮損壞事件的「潛在頻率(Likelihood of Failure, LoF)」與「潛在後果(Consequence of Failure, CoF)」兩項指標，以半定量風險分析進行評估，組成風險矩陣圖(如圖二)⁹，潛在頻率等級須考慮設備損壞、檢查、維修、製程、機械設計等因子，並以同類型設備有近似的失效模式和機率做為計算基礎；而潛在後果則須考慮化學特性、存量、狀態、災害擴大、可靠性及損壞潛在等因子，並以損壞特性、可能影響的範圍、擴散模式、評估故障事件處理的效用、損壞所造成的生產與環保損失等為計算範圍，二者的乘積即為潛在風險值Risk¹⁰。

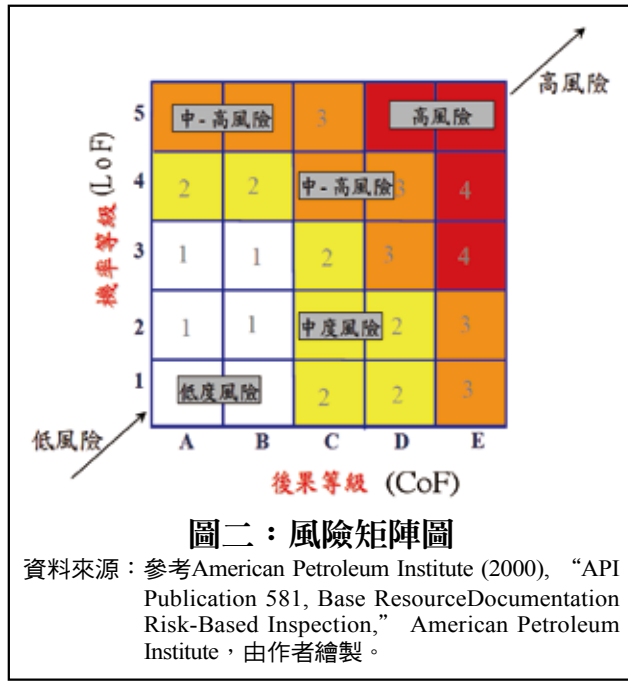
風險矩陣關鍵等級共分為五級(如表一)，標示「1」的設備，屬低度故障風險(第1級)，標示「2」的設備發生機率較第1級高，屬中度故障風險，執行定期保養即可維持歸為第2級(第2級)，「3」和「4」分表橘色與紅色區域的設備，發生機率最高，屬高度故障風險，即為工場的重大設備或關鍵設備，也就是設備完整性工作的重點對象歸為第

註7：張仁榮，《充分發揮製程檢查系統：風險基準檢測技術的應用》，國家圖書館《化工》，第49卷，第4期，2002年8月，頁92-97。

註8：Tweeddale, M. (2003), "Managing Risk and Reliability of Process Plants," Oxford, England: Gulf Professional Publishing.

註9：American Petroleum Institute (2000), "API Publication 581, Base Resource Documentation Risk-Based Inspection," American Petroleum Institute。

註10：Merrick, E. A., C. R. Leonard, P. Eckhardt, and H. Baughman (1999), "Risk-based methods optimize maintenance work scope," Oil & Gas Journal, Vol. 97, No.31, pp.47-52。



表一：關鍵等級定義

等級	關鍵性
1	不嚴重，可根據人力與物力限制，酌量減少自動檢查和定期保養。
2	定期保養即可。
3	重要設備，採用狀況監測手法，即使用預防保養和非破壞性檢測技術。
4	非常重要，即不容許事故發生，可考慮加強檢測，以降低風險性。
5	不可接受的風險，可考慮變更設計及加強檢測頻率以降低風險的發生。

資料來源：Merrick, E. A., C. R. Leonard, P. Eckhardt, and H. Baughman (1999), "Risk-based methods optimize maintenance work scope," Oil & Gas Journal, Vol. 97, No. 31, pp.47-52。

3、4級，而第5級已超出風險矩陣圖之範圍，屬不可接受的風險，須做變更設計的考量及加強檢測頻率，才能降低風險的發生。

RBI有許多效益，像增加廠房的運作時

間，可以改善或至少維持目前之等級。風險是失效機率及後果的產物，用來確認哪些設備最須要執行檢測服務。而詳實地考慮每一個衰退之機械組件，便可以發展出一個合適的特定檢查計畫，包括建議的檢查方法、等級及頻率¹¹，有助提高檢查效率。

三、風險基準檢查RBI的應用

RBI主要考量設備發生損壞的機率及發生損壞的影響性，如安全損失及環保、產能損失等，依據外國的經驗，大部分的風險集中在百分之十至二十的裝備上；亦即若能加強這些少部分高風險設備的檢查規劃，將能降低大部分既有的風險¹²。RBI是運用計算風險值高低，來排定檢測計畫的優先次序，並使計畫執行可以充分發揮的方法；以風險為基準的檢測技術，讓檢測及維修資源轉移至高風險的設備項目，並對低風險的設備給予適當的關注，真正找出潛在的風險，降低其風險成本。

舉例來說：有一石化工廠實施風險基準檢查評估前(1998年)資料顯示，116項設備中，高風險計15項，依趨勢估算，至2000年將成長為17項，實施風險基準檢查後，其高風險設備將由15項降至8項，儘管中高及中度風險設備變化量不大，但最後決算每年在設備檢查與維護的費用上保守估計可節省10萬8,334元美金，折合新臺幣約34萬604元¹³，效果確實相當明顯(如表二)。

事實上，完整的風險基準檢查應該包含

註11：王博正、吳文方、關延洲，〈考量風險為基準檢測與可靠度分析之風險評估方法〉，中華民國第五屆可靠度與維護度技術研討會論文集，2003年，頁251-262。

註12：吳清平，《台塑石油公司：環保資訊月刊》，第71期，2004年，頁29-30。

註13：Tronskar J. P. (2002), "Benefits of Risk Based Inspection to the Oil, Chemical and Process Industries," Third International Conference on Loss Prevention (Safety, Health & Environment) in the Oil, Chemical and Process Industries, Singapore。

表二：石化工廠實施RBI前後風險值比較

風險等級	1998年 (週期為4年)		2000年(週期為6年) 風險基準檢查前		2000年(週期為6年) 風險基準檢查後	
	項	總和百分比%	項	總和百分比%	項	總和百分比%
高風險	15	12.93	17	14.66	8	6.9
中高度風險	58	50.0	56	48.28	62	53.45
中度風險	43	37.07	43	37.07	46	39.66
低風險	0	0	0	0	0	0
設備數	116		116		116	
實施RBI 之後預估每年在設備檢查與維護可節省的费用						
周轉成本	每年花費成本 (週期為4年)	每年花費成本 (週期為6年)	每年節省	風險基準檢查 研究成本		
2,500,000	625,000	416,666	108,334	30,000		

註：上述成本計算均以美金為計算單位。

資料來源：參考Tronskar J. P. (2002), "Benefits of Risk Based Inspection to the Oil, Chemical and Process Industries," Third International Conference on Loss Prevention (Safety, Health & Environment) in the Oil, Chemical and Process Industries, Singapore. 由作者繪製。

檢查作業規劃、檢查資料的收集、更新及不斷的品質改善。風險分析是對一個設施某一段時間做特定之研究，因為程序及系統會隨著時間改變，任何的風險研究只能反映資料收集時的情況¹⁴。由於RBI的分析資訊是由檢查、測試計畫及檢查資料庫的內容取得，因此，可以減少分析的不確定性及減少計算風險結果的不確定程度。本軍雖然沒有業界RBI龐大風險分析資料庫可參考使用，但昔日海軍前輩與先進即有類似想法及概念，並持續引進美海軍精準的分析技術，協助海軍各維修廠庫，建立裝備檢測分析資料庫，相信此類風險基準檢查工作亦可納入艦船裝備操作、維保作業，以降低作業風險、節省修護成本。

參、海軍可應用風險基準檢查的技術

海軍各類型艦船上的裝備，如以工業角度來分析都可算是微型工廠，但一般微型工廠只有單一或數個功能，而艦船的工作環境均屬複合功能工廠，也就是說艦船工作環境的危險性更高。所以除嚴謹的規範及技術手冊外，若能再結合風險基準檢查的概念，應用於高風險裝備，並將裝備維修時的相關資料進行系統化管理，再依評估結果及實際檢測進行數據分析、建議最佳檢測時機、檢測內容、方法及維修計畫，將可充分獲得適當的檢查、維修資源分配及工作調整建議。

檢討目前海軍可應用風險基準檢查RBI概念的計有「裝備現況評估應用(AEC)」及「海軍油品分析計畫(NOAP)」二部分，這兩項專業檢查技術均為美海軍近幾十年來採用之有效檢測方法，並為美軍節省維修經費及精實維修效益，且在海軍已推廣多年，以下就兩項檢查作業方式應用簡述如后：

註14：Fujiyama, K., S. Nagai, Y. Akikuni, T. Fujiwara, and K. Furuya (2004), (Risk-based inspection and maintenance systems for steam turbines), The International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 81, No. 10-11, pp.825-835。

一、裝備現況評估應用 (Assessment of Equipment Condition, 簡稱AEC)

AEC作業係以精密儀器，如振動分析儀、熱影像系統、雷射校中儀及超音波流量計等，於裝備維修前、後實施振動頻譜、校中、流量、壓力、溫度、絕緣、電壓及電流等檢查量測，並分析鑑定裝備的性能運轉現況，提出檢測報告及維修建議，做為維修之依據與參考，如此可提高經濟效益，亦可增加艦艇之妥善率。

(一) 主要鑑測項目

AEC作業的項目可分振動組(包含主機減速齒輪、淨油機、高低壓機、各型馬達、各型泵等)、推進軸系組(包含大軸軸承、艙軸封、隔艙軸封等)、輔機組(包含錨機、舵機、救火、滑油、燃油、空調等系統)及電機組(包含發電機、各電源控制箱接線盒及配電板等)。

(二) 作業方式

測振小組使用測振分析儀及診斷軟體執行裝備振動測試，經微電腦主機診斷軟體處理振動讀值，診斷其損壞發生之部位、原因與其嚴重程度，測試結果判定故障等級，並依其嚴重程度給予適當之建議；另針對各發電機、馬達、裝備控制箱，電機小組以紅外線熱影像測溫儀執行測試，可偵測目視無法辨識電阻高溫及接點異常等潛存危安問題；輔機小組則利用各種儀器設備對艦船輔機裝備記錄測試及比對實際儀表數值，判讀裝備運轉現況。

因此，艦船管理人員於AEC鑑測小組完成測試後，彙整各小組檢測資料分析結果進

行交叉比對，建議裝備維修之調整與施工工項，對艦船裝備實施有效之監控方案，將可提升艦船的妥善率。

二、海軍油品分析計畫 (Naval Oil Analysis Program, 簡稱NOAP)

滑油及冷卻水的使用管理，影響其運轉效能和營運成本甚鉅，定期的舊油分析可使滑油經濟且有效的使用，特別在柴油引擎上是十分必要的。這項傳統的分析技術已行之有年，其主要在於判斷引擎內運轉的機油是否仍維持在良好的狀態，並藉此來建立合理有效的潤滑管理模式，及訂定延長換油保養的間隔；另冷卻水化學檢驗可分析冷卻系統管路及引擎內部機體腐蝕情形，定期的油品、水質檢驗能確保裝備順暢運轉。

(一) 油水分析計畫

海軍油品分析計畫為預防性的維修工具，透過油品、水質抽樣分析、油品的光譜儀器測試及冷卻水質化學檢驗分析，可確認磨耗、磨損及腐蝕的類型和程度，存在油品內磨損及被磨損的金屬元素量與比率，可提供我們分析引擎操作狀態之訊息，判別屬正常或異常的磨耗；冷卻水質化學檢驗則可分析冷卻器內部管路及機體內部銹蝕、腐蝕及結垢狀況。

(二) 滑油光譜分析

在引擎開始產生不正常的問題時，首先就是反應在潤滑機油裡的異常狀況，並從油中金屬含量來判別機件的磨損情形。各式污染源會尋各管道進入潤滑機油裡，並在引擎顯示故障徵兆前，顯現在油品中；透過光譜來鑑別污染物質和化學組成，供裝備管理人

判讀屬正常或異常性的磨耗。滑油光譜分析是一種非破壞性試驗技術，在不須拆解引擎或裝備系統的狀況下，分析引擎內滑油金屬元素量，瞭解機械內部情形，發現機械故障前之異常磨損，可提早改進退化物資情況，節省工時和維護費用。

(三) 冷卻水化學檢驗分析

引擎運轉時產生大量熱能，為避免引擎過熱，必須以冷卻水降低溫度。冷卻水是由純水與藥劑按比例調製而成，並藉由藥劑提高冷卻水沸點，常保高溫時仍是液態，才能有效散熱。冷卻水遇熱時會產生雜質造成散熱管阻塞，影響散熱效果，透過定期化學檢驗分析，可在不須拆解引擎或裝備系統的狀況下，經由檢測冷卻水導電度、含氧(氧)量、酸鹼度等，操作人員即可判別冷卻器內部管路銹蝕、腐蝕及結垢狀況。

上述的兩項檢查技術均係透過精密儀器，針對艦船裝備實施檢測，進而分析、鑑定裝備的性能及運轉現況，除可做為維修依據與參考外，亦可使艦船裝備管理者與操作人員，瞭解裝備潛存危安風險，如結合應用RBI對事件發生之機率及其產生之後果，進行半定量化分析，便能針對高風險艦船裝備，適時調整維修週期並操作使用限制，於發生損壞事件前即改善與防止事件破壞範圍擴大，降低風險與成本。

肆、應用風險基準檢查實務分析

海軍艦船於任務出港前，裝備管理者及操作人員均會依標準作業流程(SOP)，執行

重要裝備啟動前檢查與測試，已符合風險基準檢查RBI概念，而將AEC與NOAP檢查結合風險基準檢查的技術，針對高風險裝備故障所造成潛在的後果，藉由增加檢查頻率及加深檢查深度等作為，減低裝備潛在的失效機率，使原為高度故障風險等級降至低度故障風險等級，不僅提升安全等級，另一方面也可節省修護預算。以下就高風險裝備應用RBI實務分析：

一、裝備液壓油及冷卻系統蒸餾水質檢測

2016年6月桃園機場一輛停機位旁的拖車，因冒出白煙，即按緊急熄火開關，幸未發生火警，也未影響航機起降安全，然已造成拖車損壞。航勤公司表示，研判疑為車輛連日於大雨中作業，部分雨水滲入引擎滑油或燃油系統，致引擎燃燒不完全，油品中水分受高溫蒸發形成白色煙霧排出¹⁵。

(一) 風險分析

1. 拖車操作人員任務前，未落實檢查滑油及燃油油品狀況。
2. 在發現油品變質或研判有遭污染時未立即更換油品。
3. 使用遭水污染之油品造成引擎燃燒不完全，而冒出大量白煙損壞拖車。

因此，如果操作人員具風險基準檢查概念，加強裝備啟停前檢查，即可大幅避免車輛故障事件發生。

(二) 實務研討

1. 艦艇於航行期間輪機人員欲換用備用油櫃之燃油，卻未注意操作人員因連日值勤

註15：〈桃勤拖車故障竄出大量白煙〉，中時電子報，2016年6月，<https://www.chinatimes.com.realtimenews/20160610004497-260405>，檢索日期：2018年10月25日。

精神不濟，未依SOP執行轉櫃前油品化驗，輪機值更官員亦未要求檢試抽樣油品即下令轉油，當不合格油品轉入日用油櫃，將導致艦船柴油主機、發電機接續停機失去動力，這就是缺乏風險管理觀念及疏於檢查，肇致裝備損壞之主因。

2. 雷達裝備為艦船航行重要倚賴的電子航儀，為維持雷達裝備高效能運作，透過每季液壓油油品化驗分析，操作人員按時更換變質之液壓油，以保持壓力穩定；另定期檢測冷卻系統蒸餾水水質導電度、含氮量、含氧量、酸鹼度等(如圖三)，操作人員可據以判別冷卻器內部管路銹蝕、腐蝕及結垢狀況，做為更換濾心及後續廠修時依據。

二、機械裝備滑油及馬達絕緣檢測

2012年9月某工廠負責人打開鐵捲門進入廠區，十分鐘後鐵捲門馬達發生短路引發火災。據調查電動鐵捲門馬達平時電源總開關常保持開啟，前一晚大雨，馬達因無遮雨棚，致受雨水侵襲，加上電源保持常開，線路產生短路燃燒¹⁶。

(一) 風險分析

1. 工廠人員平日啟動電器設備前應量測絕緣值，以確認設備狀況；營業結束後人員未將電源總開關關閉，仍保持電流通流狀態。

2. 電動鐵捲門馬達未加裝遮雨棚，致馬達接觸水滴使電阻變大、絕緣下降，當絕緣值過低啟動電器時，易產生電弧短路現象，導致電氣災害。

3. 一般而言，工廠人員如具風險基準檢



圖三：冷卻水系統水質化學檢驗

資料來源：由作者提供。

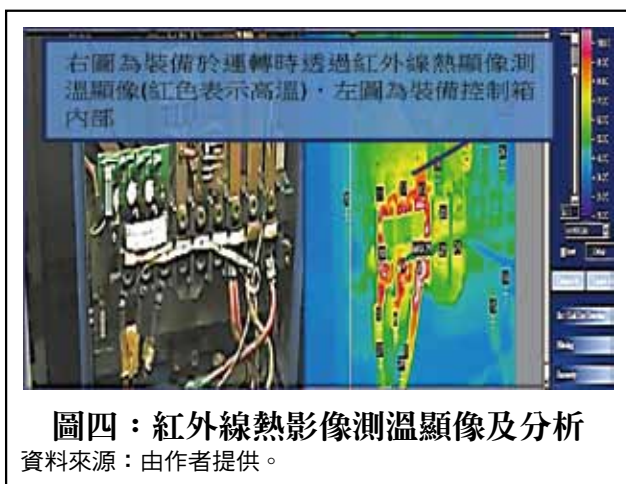
查概念，定期量測裝備絕緣值，並於馬達啟動前確認設備狀況，應可減少裝備異常火損風險。

(二) 實務研討

1. 就電氣裝備及馬達操作研討：一般中字型艦於執行任務時，如操作人員未依航前檢查SOP，將大門絞機控制開關關閉，且未脫離離合器，航行期間有可能因海象不良，海水噴濺至控制開關內，使電路發生短路異常作動，大門絞機可能自行啟動，不斷將鋼纜放出纏絞卡滯，肇致裝備損壞。

2. 艦船錨機、吊臂、絞機等機械裝備負責貨物吊卸、艦船離靠、移泊作業使用，為維持作業過程中操作人員及貨物安全，操作人員透過定期每季液壓油、潤滑油油品化驗分析，適時更換變質滑油，保持壓力穩定；另甲板機械裝備驅動馬達可透過馬達絕緣值量測及紅外線熱影像測溫檢試(如圖四)，可在不拆卸裝備狀態下判別線路接頭、馬達線圈熱故障與短路風險，早期發掘故障肇因及

註16：〈鐵捲門遇火自降廠主燒死〉，蘋果日報網站，2012年9月，<https://tw.appledaily.com/headline/daily/20120921/34524070>，檢索日期：2018年10月26日。



故障排除，提高作業期間機械裝備穩定與可靠度。

三、主、電機滑油、絕緣及振動檢測

2016年3月本田汽車於美國發表10代「Civic」遭爆引擎有瑕疵須召回。經查原因為美國販售車型引擎活塞銷的止動環安裝錯位或未安裝，造成車輛行駛時引擎運轉產生的振動，將致活塞銷脫離原位，對引擎汽缸壁造成損傷，使引擎無預警的減速與喪失加速動力，可能造成事故發生¹⁷。

(一) 風險分析

1. 新車出廠時維修人員未執行引擎高轉速運轉振動量測及分析，且引擎磨合後工程人員未檢驗油品光譜分析，無法發現引擎內部異常金屬磨耗。

2. 車廠維修人員未檢查濾心內異常金屬元素，無法發掘受損零組件。

3. 海軍廠庫維修技師如同車廠維修及工程人員，若具風險基準檢查概念，出廠前執行引擎高轉速運轉振動量測及分析，可避免

引擎振動影響零組件固鎖及作動，減少滲漏滑油的疑慮，即可避免引擎損壞造成裝備失速肇禍事故。

(二) 實務研討

1. 主推進系統為艦艇動力關鍵，航行期間若海象不良，致海浪拍擊俾葉，長時間俾葉運轉，易發生異常振動及噪音；返港後艦船輪機部門軍、士官、兵人員若未依技令實施振動量測，並監控前幾季油品檢驗金屬含量值是否異常上升，可能肇生可變式俾葉內不正常之磨耗及監控系統顯示液壓油堵塞警報，必須緊急進塢更換，影響艦船任務執行。

2. 主機及發電機係攸關動力與電力供應輸出的重要裝備，艦船執行任務期間在不須拆卸分解主、電機引擎或裝備系統情形下，操作人員透過滑油光譜分析結果，發現機械將產生故障前的異常加速磨損，可提早改進退化物資情況，節省工時和後續維護費用；另高負載振動量測透過專家診斷軟體振動分析結果(如圖五)，提供主機及發電機操作人員判別損壞發生之部位、原因與嚴重程度，適時執行維修檢測，並可做為後續廠修時判斷維修級別律訂依據。

四、大軸、軸系及軸承磨耗量測

2018年5月美海軍航空母艦「福特號」於演訓期間發生主推進軸承等重要機械故障，被迫返港進行維修和測試。據美海軍備忘錄指出，航艦航行時，船員與工程師觀察到主軸承溫度高於標準值，為防止設備損壞即緊急返港，且2017年4月亦曾發生類案，通

註17：〈引擎故障率最低 只因本田敢這樣做〉，中時電子報，2016年3月，<https://hottopic.chinatimes.com/20160303003073-260804>，檢索日期：2018年10月26日。



用公司坦承軸承不當加工為根本原因¹⁸。

(一) 風險分析

1. 船廠工程人員於出廠執行海試航行前，未確實量測軸承磨耗，無法提前發掘潛在損壞問題。

2. 推進軸承重複發生高溫磨損情形，艦方及工程師未掌握金屬磨耗趨勢，適時調整維修方式。

3. 通用公司對推進系統主軸承不當之加工，且未發現潤滑油道潤滑不足問題。

美海軍研發中心工程師及廠庫維修人員如具風險基準檢查概念，於艦艇海試階段避免使用不當加工之主軸承，即可降低軸承高溫、振動及異常磨損等損壞風險，肇生失去動力之海事事務發生。

(二) 實務研討

1. 軸系裝備(包含減速機、主軸承、艙軸封等)定期廠級維修保養可維持裝備妥善，如艦船輪機部門軍、士官人員平日執行主、電機裝備維修，未依技令使用原廠軸承配

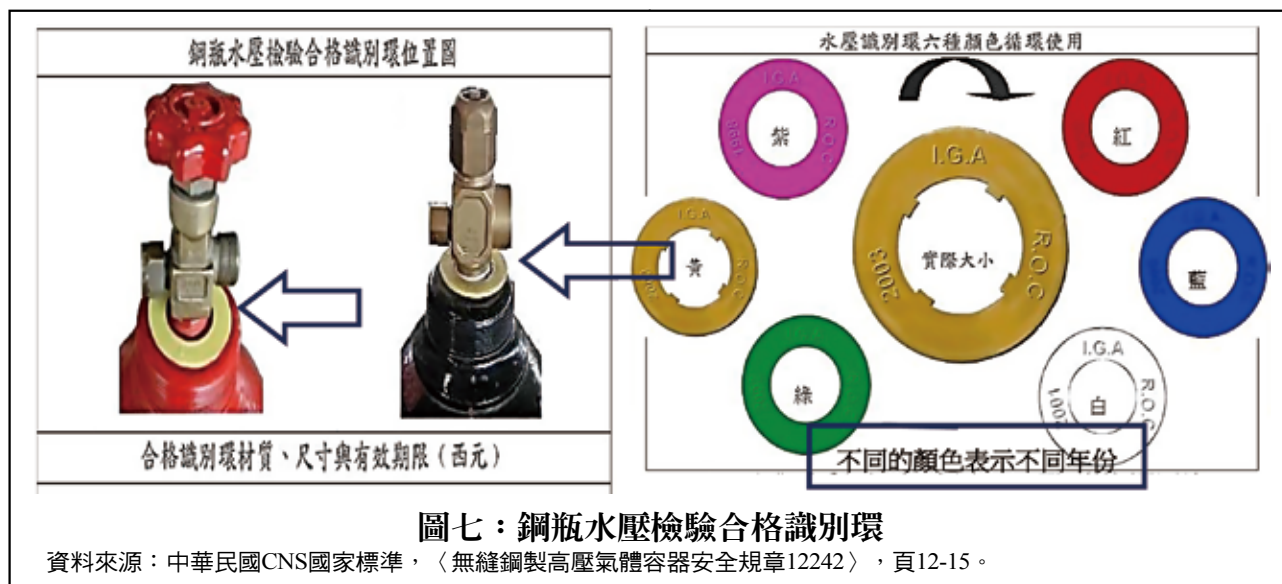
件，艦艇於執行航行任務前暖機作業時，將使主、電機軸承因潤滑不足，導致異常停機；另主、電機曲拐軸則可能因損壞無法加工修復，導致任務必須取消。

2. 艦船推進原動機輸出動力轉速過高，須由減速機減速後帶動大軸及俾葉旋轉產生動能，艦船才能於海上運動，而大軸長度長，中間以軸承及軸承座固定支撐大軸，故透過大軸軸承深度磨耗量測分析(如圖六)，可使艦船裝備管理及操作人員瞭解大軸有無變形彎曲、運轉是否正常，並發掘潛在損壞問題，適時調整維修計畫與執行工法，減少艦船於航行時因軸承高溫、振動及異常磨損等問題，導致喪失動力風險。

六、消防裝備及救災系統壓力檢測

2013年7月高雄市鳥松區1家鐵工廠灌裝氧氣時，疑因鋼瓶老舊發生爆炸，工人遭氣瓶碎片擊中，傷重不治；另同年亦發生工人於拆卸CO2滅火器釋放閥，未按標準程序作業執行洩壓，維修工人遭滅火器鋼瓶擊中頭

註18：〈機械故障 美最新福特號航母被迫返港整修〉，中時電子報，2018年5月，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20180509001711-260417>，檢索日期：2018年10月26日。



圖七：鋼瓶水壓檢驗合格識別環

資料來源：中華民國CNS國家標準，〈無縫鋼製高壓氣體容器安全規章12242〉，頁12-15。

表三：高壓鋼瓶檢測週期表

鋼瓶容積	出廠日期	檢驗週期	出廠日期	檢驗週期	20年以上
50-120L	8年以內	4年1次	8-20年	3年1次	每年1次
25-50L	5年以內	5年1次	10-20年		
25L以下	20年以內	6年1次			

資料來源：中華民國CNS國家標準，〈高壓氧氣鋼瓶安全規章1206〉，頁7。

部意外¹⁹。

(一) 風險分析

1. 鐵工廠未依CNS國家標準定期執行鋼瓶耐壓膨脹水槽試驗、外傷、螺紋、內部及頸環檢查等檢查及標示。

2. 維修工人專業知識不足，未能分辨鋼瓶為不合格品，仍重複使用；另人員未依SOP執行洩壓，貿然拆卸釋放閥。

3. 廠庫維修人員及艦船輪機部門軍、士官人員若具風險基準檢查概念，可藉由識別環簡易判別鋼瓶之現況，將能避免錯誤操作時造成壓力異常，使材質不良鋼瓶爆炸或

釋放閥噴出等意外風險。

(二) 實務研討

1. 海軍廠庫及艦船均配置消防裝備及鋼瓶，如艦艇配賦CO2鋼瓶因識別環檢驗效期逾限，須由艦船人員以人力搬卸至碼頭並運送廠庫辦理繳庫申領作業，艦船軍、士官人員若未依SOP標準程序將鋼瓶釋放閥外蓋固鎖及洩壓，並妥適調整搬運人力，過程中可能發生鋼瓶不慎掉落撞擊地面之意外，造成釋放閥因而鬆脫噴出，誤擊人員。

2. 海軍15磅CO2、乾粉、50磅CO2、海龍滅火器瓶、高低壓儲氣瓶(空氣、氮氣)等消

註19：〈氧氣鋼瓶爆炸碎片四射 工人慘遭割喉身首異處〉，中時電子報，2013年7月，<https://www.chinatimes.com/real-time-news/20130704003886-260402>，檢索日期：2018年10月26日。

防裝備及救災系統，依據國家標準CNS 1261 規範，應實施氣體壓力檢測及耐壓膨脹水槽試驗，鋼瓶永久膨脹率不得超過百分之十，不合格者應予銷毀，其檢測重點包含測試壓力值為使用壓力的1.1倍、外觀目視檢測項目包含：外傷檢查(撞痕、凹陷、火傷檢查)、螺紋檢查(開關閥螺紋檢查)、頸環檢查(鋼瓶頭與開關閥之間)檢查、內部檢查(氧化、銹蝕檢查)、水壓測試時，須拆卸開關閥，只做鋼瓶胴體部分；另鋼瓶O型環(O-RING)及安全破壞片應定期更換(檢查週期，如表三)。完成測試後應依規定更換水壓合格識別環(如圖七)，可清楚使廠庫維修或艦船保養人員即時掌握高壓鋼瓶現況及安全校期，避免鋼瓶於高風險情況下執行操作與維修。

綜上，藉由案例及檢查實務驗證結果顯示，與傳統定期油品檢驗及設備保養方式比較，結合風險基準檢查RBI概念與AEC、NOAP 檢查技術，可使海軍艦隊的官、士、兵清楚瞭解艦船裝備運轉現況，並依風險分級適時調整保養深度、操作使用限制、維修料件籌補時機等，節省人力及不必要維修料件浪費，進而提升艦船裝備可靠度及維修成本，降低裝備因人員疏忽或效能減低所造成之故障風險。

伍、結語

艦船裝備維修保養制度雖採定期檢查與維修方式進行，惟因操作人員不當保養及操

作不慎影響，裝備進廠前長期異常運轉致內部機件耗損，艦船裝備管理人員仍以一般計畫性維修工程報修，未能發掘裝備潛在損壞風險問題。利用RBI技術除可得到最佳檢測時機、檢測內容與檢查規劃以外，尚可藉此充分瞭解設備的運轉狀況，故在歲修時能將工作重點放在最需維護檢查的製程設備上，如此可避免不必要之維護工作，故歲修的時間縮短，並減低不可預期的意外事件及延長開放檢查的週期²⁰。

操作與管理人員對保養工作執行力度、技術熟練程度及專業知識深淺等人員因素，都是可能造成損壞風險之主要原因。檢視各項損壞裝備案例可證，幾乎都是管理及操作人員缺乏風險管控概念與疏忽檢查工作之執行而釀禍，然即便是美國海軍亦多次發生相同錯誤，輕則浪費預算重複維修，重則致使人員傷亡，顯見風險管理概念之重要性。唯有以風險基準檢查RBI概念及應用裝備現況評估應用(AEC)、海軍油品分析計畫(NOAP)等檢查技術，積極發掘危害性設備瑕疵，掌握裝備實際運轉情形，避免錯誤操作致裝備損壞，才能維護裝備妥善及人員安全，確保海軍戰力維持。 ↓

作者簡介：

陳長成中校，海軍官校專88年班、國立海洋科技大學輪機工程研究所碩士106年班，曾任保指部修護官、中平艦輪機長，現服務於國防部海軍司令部督察長室。

註20：同註11。

