

淺談裝備環境規格之設計考量

郭俊毅少校

軍艦上的裝備，因必須承受長期航行的嚴苛條件（潮濕、日曬、長時運轉、鹽分腐蝕…等），故除了基本的海用商規認證外，重要裝備更要達到軍規等級，才能滿足軍艦長時間任務及演訓作戰之需求。然裝備環境規格設計與艦艇性能間須取得一定的平衡，才能兼具操作需求及環境規格要求，而不至於相互抵觸，並同時確保裝備受環境損害時不影響作戰任務遂行，而這些都應該在艦艇設計階段及裝備試研製時納入考量，才不會白白消耗人力、工時、經費等成本。

我國為海島型國家、四面環海，故為確保海上交通線暢通，軍艦的作戰能力相對重要，如此才能避免因封鎖港口造成資源及補給匱乏之狀況。而在近期中共打壓下，海峽兩岸情勢緊張，我國在國際上的採購案也越來越多阻礙，因此執行「國艦國造」可說是海軍目前最可行的解套方式。

軍艦設計須考量的環境規格有很多，從溫溼度要求、電磁干擾、異物防護、鹽霧測試、振動防護、爆震防護、噪音限制等等都是其中一環，而在律定各項環境規格時，並須考量裝備在實際軍艦使用之環境，概述如後：

- 一、 溫濕度：因裝備需承受艦艇上較嚴苛之環境，故溫度及濕度測試為裝備最基本要求(如圖 1)，但依照裝備安裝位置，測試內容會有些許

差異。如安裝在艦外甲板之裝備時常需受日曬雨淋，所以在測試上之溫度要求上限會較高、下限較低、濕度要求也相對較高；相對地，安裝在艙內且於空調區之裝備，則因為有空調機調節溫溼度，所以律定測試的上下限就比艦外甲板裝備低，濕度要求也不會相對嚴苛。

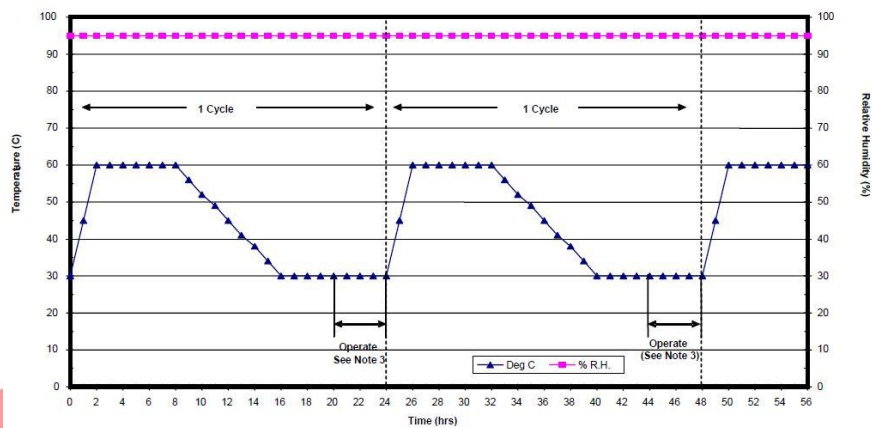


Figure 507.5-7. Aggravated temperature-humidity cycle.

圖 1：MIL-STD-810G 之濕度測試要求

二、 電磁干擾：一般軍艦電子裝備、配電板或控制箱大多會放置於鄰近的空間，以便數據監視及控制，然而如果彼此可能會有干擾狀況，則必須嚴格要求電磁干擾的排除；反之如安裝位置附近並無其他電子裝備，就能考量不需執行電磁干擾與耐受性測試(如圖 2)。

TABLE V. Requirement matrix.

Equipment and Subsystems Installed In, On, or Launched From the Following Platforms or Installations	Requirement Applicability																		
	CE101	CE102	CE106	CS101	CS103	CS104	CS105	CS109	CS114	CS115	CS116	CS117	CS118	RE101	RE102	RE103	RS101	RS103	RS105
Surface Ships	A	A	L	A	S	L	S	L	A	S	A	L	S	A	A	L	L	A	L
Submarines	A	A	L	A	S	L	S	L	A	S	L	S	S	A	A	L	L	A	L
Aircraft, Army, Including Flight Line	A	A	L	A	S	S	S		A	A	A	L	A	A	A	L	A	A	L
Aircraft, Navy	L	A	L	A	S	S	S		A	A	A	L	A	L	A	L	L	A	L
Aircraft, Air Force		A	L	A	S	S	S		A	A	A	L	A		A	L		A	
Space Systems, Including Launch Vehicles		A	L	A	S	S	S		A	A	A	L			A	L		A	
Ground, Army		A	L	A	S	S	S		A	A	A	S	A		A	L	L	A	
Ground, Navy		A	L	A	S	S	S		A	A	A	S	A		A	L	L	A	L
Ground, Air Force		A	L	A	S	S	S		A	A	A		A		A	L		A	
Legend:																			
A: Applicable																			
L: Limited as specified in the individual sections of this standard.																			
S: Procuring activity must specify in procurement documentation.																			

圖 2：MIL-STD-461G 之測試需求表

三、異物防護 (Ingress Protection Rating, 簡稱: IP 等級): 亦稱作 IP 代碼 (IP Code) 或稱國際防護等級認證 (International Protection Marking), 此項認證遵行的國際法規為 IEC-60529, 因其較為普遍且已相對明確, 故無額外發展之軍規要求, IP 等級包括兩個數字(如: IP 55, 即為防塵且防低壓水柱), 分別代表固態微粒防護與液體滲透防護, 其數字越大代表防護等級越高, 詳細測試如表 1 及表 2 所述:

表 1: IEC60529-第一碼: 固態微粒防護

等級	可防護下列直徑之球體入侵	描述
0	—	等同於直接暴露，無法保護接觸與外物入侵。
1	>50.0mm	可避免身體上任意大表面接觸，但無法阻擋刻意以身體某部位接觸，例如手掌、手背。
2	>12.5mm	可阻擋手指大小或相似大小之物體。
3	>2.5mm	能阻止螺絲起子等工具進入。
4	>1.0mm	隔絕多數電線伸入與細小尖端的工具、或螞蟻等爬入。
5	防塵	無法完全防塵，但必須有足夠的數量才會影響裝置運作，並且完全防止接觸。
6	完全防塵	灰塵無法進入，完全防止接觸。

表 2：IEC60529-第二碼：液體滲透防護

等級	防護狀態	測試目標	測試狀態
0	無防護	—	—
1	垂直滴水	垂直滴水應無負面	● 流量：每分鐘 1mm 雨量。

		效果。	● 測試時間：10 分鐘。
2	滴水 (15°傾斜角)	傾斜到正常姿態的15°時。在傘狀保護下垂直水滴應無負面效果。	● 流量：每分鐘 3mm 雨量。 ● 測試時間：2.5 分鐘/每方向，共四個方向（10 分鐘）。
3	灑水 (60°傾斜角)	加壓噴霧在設備外部上方（垂直線 60 度內）應無滲入等負面效果。	● 流量：0.1L/min/每孔（孔數依擺動管大小來定義，如圖 4 所示）。 ● 噴水角度為±60°。 ● 測試時間：試件於 5 分鐘後水平旋轉 90°，一共測試 10 分鐘。
4	濺水	水從任何角度潑濺到設備上應無負面效果。	● 流量：0.1L/min/每孔（孔數依擺動管大小來定義）。 ● 噴水角度為±180°。 ● 測試時間：試件於 5 分鐘後水平旋轉 90°，一共測試 10 分鐘。
5	低壓水柱	從噴嘴（6.3mm）射出的水柱從任意角	● 噴水口徑 6.3mm。 ● 流量：於試件 2.5~3 米處以

		度噴射到設備外殼上應無負面效果。	12.5L/min 流量持續噴水。 ● 測試時間：至少 3 分鐘以上。
6	高壓水柱	從強力噴嘴（12.5mm）射出的加壓水柱從任意角度噴射到設備外殼上應無負面效果。	● 噴水口徑 12.5mm。 ● 流量：於試件 2.5~3 米處以 100L/min 流量持續噴水。 ● 測試時間：至少 3 分鐘以上。
7	暫時性浸入水中（最多 1m）	設備外殼在明確的條件，包括水壓和時間下，浸入水中（最多浸入 1m）時將不會因浸水而導致設備損壞。	● 試件高度低於 850mm 時： 試件外殼最低點需浸沒於水面以下 1000mm。 ● 試件高度大於 850mm 時： 試件外殼最高點需浸沒於水面以下 150mm。 ● 測試時間：持續浸沒 30 分鐘。
8	持續性浸入水中（超過	設備可在製造商指定的條件下適合於長時間浸入水中。	● 深度及測試時間由買賣雙方協議，但需比 IPX7 嚴格。

	1m)	通常這表示該設備是密封的。	
9	高溫高壓水柱噴水	設備可在製造商指定的條件下承受近距離的高溫高壓水柱衝擊。	● 水溫：$80\pm 5^{\circ}\text{C}$ ● 水壓：8~10MPa，距離約 10~15 公分。 ● 流量：14~16L/min 之水柱。 ● 測試方式：分別從 0°、30°、60°、90° 角度對產品噴水（每個角度持續 30 秒，共 2 分鐘），且試件以 $5\pm 1\text{rpm}$ 水平旋轉。

四、鹽霧測試：鹽是世界上常見的化合物之一，常見於空氣與大海中，艦外甲板裝備長時間受海水噴濺待日照曝曬乾燥後，將會在裝備表面形成一層鹽晶體。鹽霧測試目的為評估裝備之保護塗層和塗層材料的有效性，確認鹽分沉積後不會腐蝕裝備，進而導致低絕緣、堵塞…等問題(如圖 3)。



圖 3：裝備螺栓經鹽沉積腐蝕之示意圖

五、振動防護：為了確認船艙設備於船舶結構振動下操作與儲存的可能性，依法規要求，先執行裝備共振探索試驗，在 4~33Hz 下以振幅大小為 0.01 ± 0.002 （英寸）之正弦單振幅波來激振裝備（15 秒/頻率，共 7 分 30 秒）。接著執行變動頻率試驗（如表 3），以表 3 規範頻率之相對應之振幅以 5 分鐘/頻率（共 2 小時 30 分）進行實驗。在裝備共振探索與變動頻率試驗完成後記錄其共振頻率，並執行耐久駐留試驗（如表 4），若僅有一共振頻率，執行 2 小時；兩個共振頻率時，每一共振頻率分別執行 1 小時；超過兩個共振頻率以上，則是每個頻率測試 40 分鐘。若無共振頻率發生，則以最大振幅 33Hz 之振幅規格

執行 2 小時。並在耐久駐留試驗結束後停機確認其外觀、結構及底座…等是否異常，最後對試件執行功能測試是否正常即可。

表 3：MIL-STD-167-1A 之變動頻率試驗

頻率範圍 (Hz)	單振幅波 (英寸)
4~15	0.03±0.006
16~25	0.02±0.004
25~33	0.01±0.002

表 4：MIL-STD-167-1A 之耐久駐留試驗

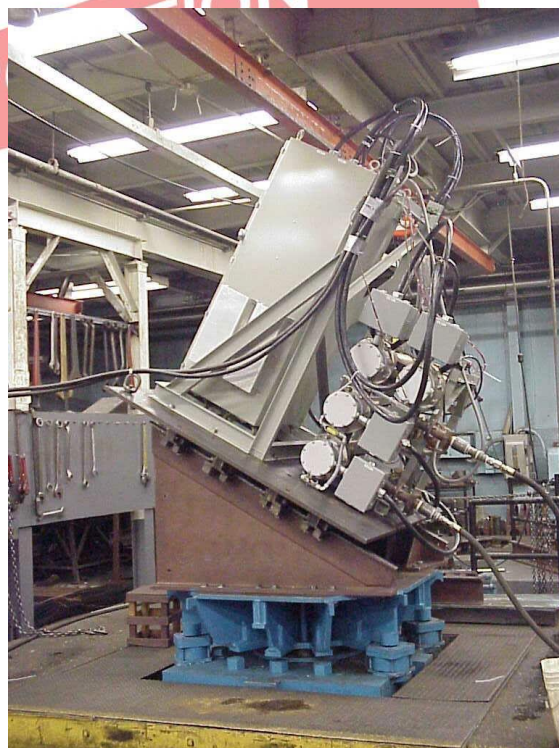
共振頻率個數 (共振探索+變動頻率)	每一共振頻率測試時間	總試驗時長
1	2 小時	2 小時
2	1 小時	2 小時
N>2	40 分鐘	40 x N 分鐘
0	2 小時 (以 33Hz 振幅規格)	2 小時

六、爆震防護：爆震防護主旨為確認船艦之所有裝備及其子系統、支援系統、支承系統與結構…等能抵抗爆震所造成之衝擊，不至於傷及

船艦安全及維持連續作戰能力(測試儀器如圖 4)。依航安及作戰需求將裝備分為兩個類別之抗爆震等級：(一)Grade A：代表於爆震時須維持安全及連續作戰之能力，意即裝備不得因爆震失去功能；(二)Grade B：代表於爆震時不得影響艦艇安全及作戰能力，意即該裝備可受爆震影響，惟不可完全受損或危害到操作人員、A 類裝備及艦艇本身。



(a)



(b)



圖 4：裝備爆震測試示意圖

七、噪音限制：裝備噪音主要分為空氣噪音（Air-Borne Noise）及結構噪音（Structure-Borne Noise）。裝備空氣噪音顧名思義就是裝備運轉經由空氣介質傳至人耳之聲音，依法規將等級分為 A3、A12、B、C、D、E 等六個級別，除分別律定其空氣噪音 dB(A)限制值外，尚須考量空間內多個裝備數量將噪音限制值下修。而在執行裝備空氣噪音量測時，若無特殊需求，大多將麥克風擺放置距離裝備 1 公尺（單位距離）處，並控制環境背景噪音小於裝備噪音 10dB 以上，確保可以量測到正確裝備空氣噪音值；而結構噪音則是裝備運轉之振動量級（振動加速度值），結構噪音將藉由裝備傳遞至減震墊再到裝備

基座，最後傳遞至船體結構並藉由船殼振動傳至艦外。結構噪音大多為低頻噪音（波長長、難以抵消、遞減慢），又因水中聲速大約為 1500 (m/s)，故能傳遞的極快極遠，因此若裝備產生大量結構噪音傳遞至艦外，則很有可能被遠處敵艦之聲納所偵測，進而暴露位置及聲紋頻譜，使得匿蹤性能大幅下降。(結構噪音規範如圖 5)

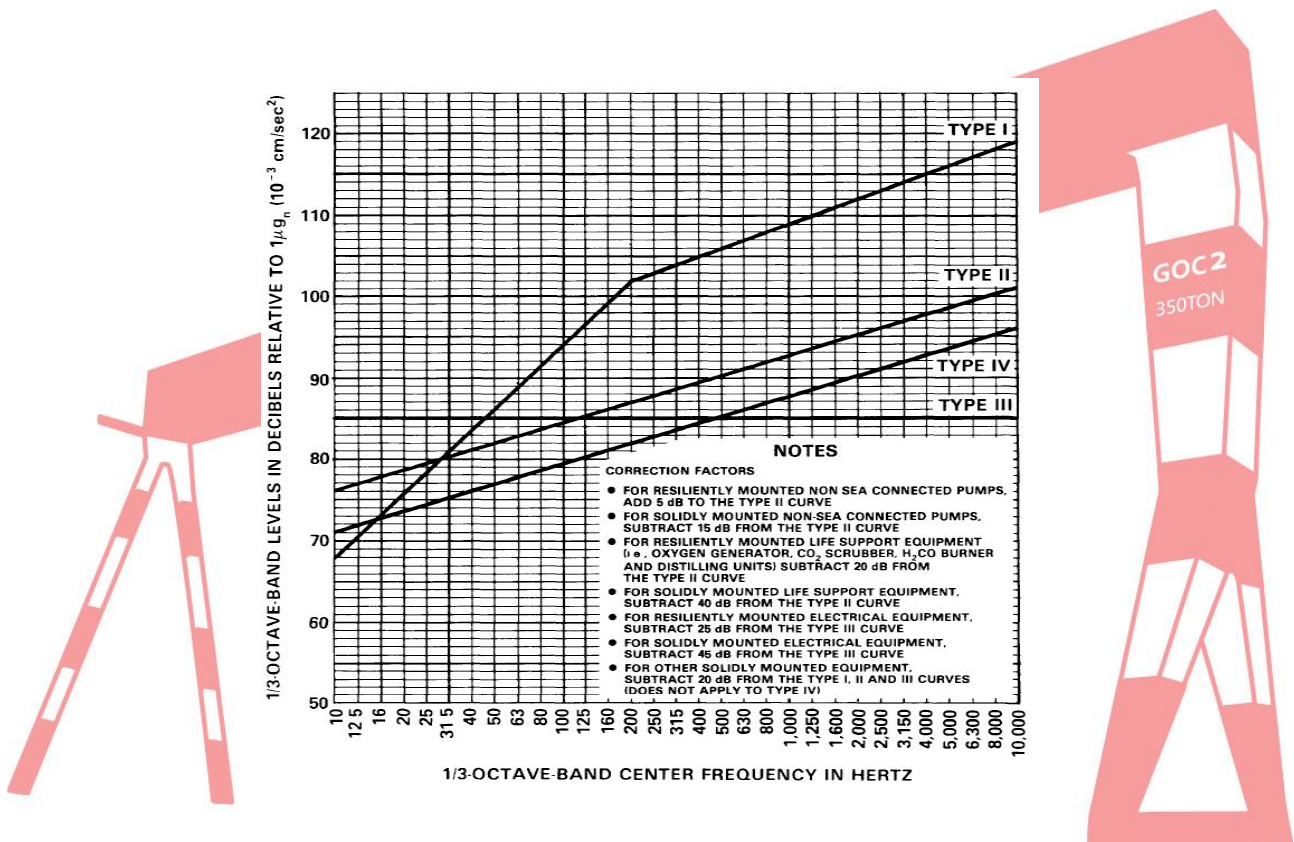


圖 5：結構噪音規範

我國刻正如火如荼地執行「國艦國造」政策，正如國防部在《110 年國防報告書》中所述：將循「長期規劃」、「分批造艦」、「運用國內能量」及「結合產業特性」四個面向為主軸，執行「國艦國造」策略，期望在政府及民

間業界的共同努力下，能夠持續與國外技術領先單位合作，獲取更多週邊硬體設備及整合各單元的技術，以達到培植國內產業、落實「國防自主」穩健發展的願景，達成「國艦國造」政策目標。而除了作戰需求之外，環境規格的驗證也是其中不可或缺的一部分，可說在很大程度上影響了裝備及系統的妥善率，然而現行相關可遵行之法規大多為國外擬定的，如：美國軍用標準（Military Standard，簡稱：MIL-STD）、美軍一般規範（General Specification，簡稱：GEN-SPEC）、英國國防標準（Defence Standards，簡稱：DEF-STAN）、德國軍規（BV）或是 NATO（North Atlantic Treaty Organization）…等，相對而言對我國環境適用性還有所差異。因此也希望台船公司能夠在當前「國艦國造」的經驗及基礎上，持續留用各領域的人才，並配合實際造艦經驗的積累，在未來的某天創造出屬於我國獨有的傳承及法規。

本篇文章由郭俊毅少校及廖科涵工程師共同撰擬

參考資料：

1. 林澄貴，〈從潛艦結構失效模式來探討水下爆炸對潛艦作用方式、破壞機理、損傷模式以及其抗沖擊設計存在的問題〉，《台船季刊》，第 41 卷，第 2 期，民國 109 年 12 月，頁 58。

2. 立法院，〈近年我國推動國防自主及國防科技工業採行措施執行情形之探討〉，民國 110 年 8 月。
3. 郭記玲，〈模擬噪音環境配戴耳罩對聽覺警告訊號之影響〉，《嘉南藥理科技大學/環境工程與科學系研究所碩士論文》，民國 97 年 12 月 29 日。
4. 王兆璋、洪敏偉、陳柏棋，〈海下儀器設計實作考量〉，《科儀新知》，第二十七卷，第六期，2006 年，頁 32。
5. 〈軍艦設計流程〉，中華民國海軍全球資訊網，<https://navy.mnd.gov.tw/PolicyRoom/PolicyInfo.aspx?ID=8&CID=30054&PID=18>
6. 〈鹽霧腐蝕試驗箱的腐蝕試驗判定〉，壹讀，<https://read01.com/2Ky80jE.html#.YnT5h-hBxPZ>，2019 年 12 月 23 日。
7. 〈2016 年高雄國際海事船舶及國防工業展覽會〉，船舶暨海洋產業研發中心電子報，2017 年 1 月 3 日。
8. 四年期國防總檢討編撰委員會，《110 年四年期國防總檢討》（臺北市，國防部，2021 年 3 月）。
9. 國防報告書編撰委員會，《110 年國防報告書》（臺北市，國防部，2021 年 10 月）。