



水下噪音量測簡介

設計處 陳柏仰、徐書鴻

一、摘要

因應本公司積極推動船艦與海工市場之發展，新船振動與噪音之預防極為重要。就海洋研究船而言，以 HNO 1088 1090 為例，將分別依據法規進行水下噪音量測，皆需符合法規標準。近年來國際環保團體與制定相關法規之部門，不斷增加海洋生態之保育措施，規範海事工程開發前必須施行環境影響評估，主要目的為讓海洋環境得以永續發展。海事工程進行當中，工作船與機械器具所產生的水下噪音，是普遍被認為可能影響到海洋生態的因素之一，因此也是環評的重點項目；其目的為確保相關的水下噪音，對海洋動物的干擾或威脅程度能降到最低。至於水下噪音對於艦艇而言，則有匿蹤之需求，其輻射噪音之要求更是嚴謹，而充分掌握船艦之聲紋資料，也是作戰敵我辨識之重要基石。

於第二次世界大戰時期對潛艦偵測之戰略需求，為提高探測遠距離目標的能力，海洋環境噪音 (Ocean Ambient Noise) 特性之研究開始進入白熱化的階段，對於水中噪音量測及訊號處理而言，充分瞭解複雜的海洋環境噪音，是相當重要的一環。

二、水下噪音介紹

水中聲學主要研究聲波在水下的產生、傳播和接收，相較於電磁波，聲波在海水中衰減較小，是唯一能夠在水中遠距離傳播的波動，用以解決與水下目標探測和訊號傳輸過程有關的問題。在海洋中發射聲波訊號時，存在於環境周

遭的聲音，稱為海洋環境噪音，亦稱為背景噪音 (Background Noise)，而海洋中的訊號容易受到環境噪音影響，因此了解環境噪音的特性，成為水中聲學學門重要的學習課題。

海洋環境噪音的組成相當複雜，來源包括天然 (natural) 與人為 (man-made) 因素，兩者在特性上亦有顯著不同。在天然噪音中，包括海底地震、風浪、海洋降雨 (冰雹) 及海洋生物等；而人為噪音則有船舶航行噪音(如圖-1所示)、近岸鑽探工程等。這些噪音來源，大部份已經知曉，但仍然有部分尚未確定，因此，有關的研究一直仍在持續進行中。Wenz (1962) 同時整理並歸納出幾個頻率範圍的主要噪音來源，可瞭解各種噪音的頻率分佈，如圖-2所示。海洋環境噪音有兩個主要來源，一個是船舶在航行時所發出的聲音，另一個則是海表面風浪所產生的噪音。其中風浪噪音的頻率分佈為 100~20,000 Hz，遠船航運則為 10~1,000 Hz。然而，海洋環境噪音會因其時空變化，受地形、氣候、潮汐等影響，而有不同的表現。

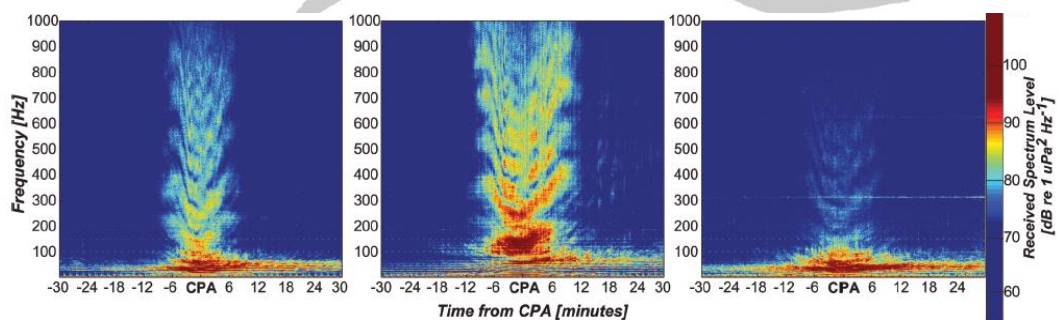


圖-1 不同型船舶之水中噪音為準

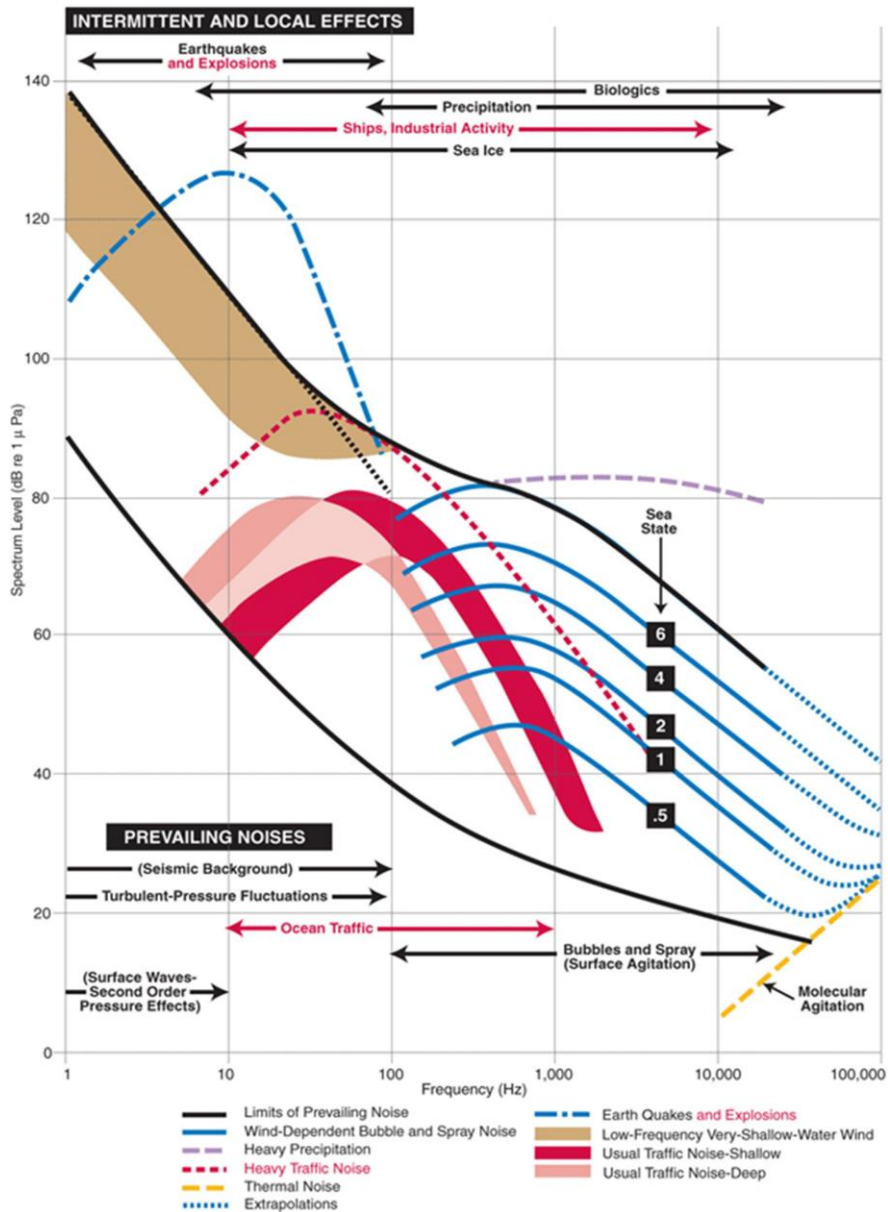


圖-2 海洋環境噪音主要聲源頻率與聲壓位準 (Wenz 1962)

2.1 人為噪音

除了自然界的聲音，人為噪音在近年來也逐漸被重視。特別是近岸淺海的開發常伴隨填海、疏濬、水下打樁等工程，皆會產生高強度的噪音，如離岸風力發電機組在建設過程中會產生水下打樁的噪音，其高強度的脈衝聲，可能會對近距離內的鯨豚造成聽力損傷、行為衝擊；而營運期間機器運轉會產生低頻噪音，雖然低頻噪音對於鯨豚產生的長期生理影響與行為改變仍不清楚，但長

期的影響可能增加鯨豚的生理壓力 (Rolland et al. 2014)。

由船舶所引起的輻射噪音 (Radiated Noise)，主要是來自主機引擎、推進器 (螺槳) 以及流體擾動等，尤其以前兩者的能量最為顯著。主機引擎及輔機運轉所產生的振動，透過船體會將噪音傳至海洋，然而現代造船技術的精進，船舶內部的推進系統與相關機械 (引擎、傳動系統、幫浦等) 振動所產生的噪音，藉由減振設備與船體隔音，已能大幅減低。另一方面，在水中轉動的螺槳葉片，除了因螺槳轉動而造成的振動外，主要噪音源來自空蝕噪音 (Cavitation Noise)，螺槳葉片轉動時因柏努利定律 (Bernoulli's Principle) 產生的局部低壓，釋放了原本溶解在水中的氣體，逸散的氣泡受到水體擠壓爆裂，而產生寬頻聲響 (Rayleigh 1917)，此類的噪音雖可以經由螺槳設計得以減量，但仍為船舶航行中持續且主要的噪音源，是船舶或潛艦之重要聲紋。從 Ross (1985) 的船舶噪音頻率分佈圖 (圖-3) 可知，螺旋槳所產生的空蝕噪音頻率分佈最廣，但是主機引擎在 10~1,000 Hz 所產生的噪音位準卻最大，根據主機及螺旋槳轉速的不同，會使噪音能量及頻寬產生變化。除此之外，船舶航行時，在紊流邊界層 (Turbulent Boundary Layer, TBL) 所產生不規則的波動流與船體磨擦，而引起部分船體的振動，稱之為流動噪音 (Flow Noise)，其噪音的傳播距離，因 TBL 的波動特性、結構對波動的反應和振動部位而異 (Urick 1983)。這些船隻所產生的頻率屬於低頻範圍，大約在數十至數百赫茲。而在航行的區域會產生連續且極大的噪音。

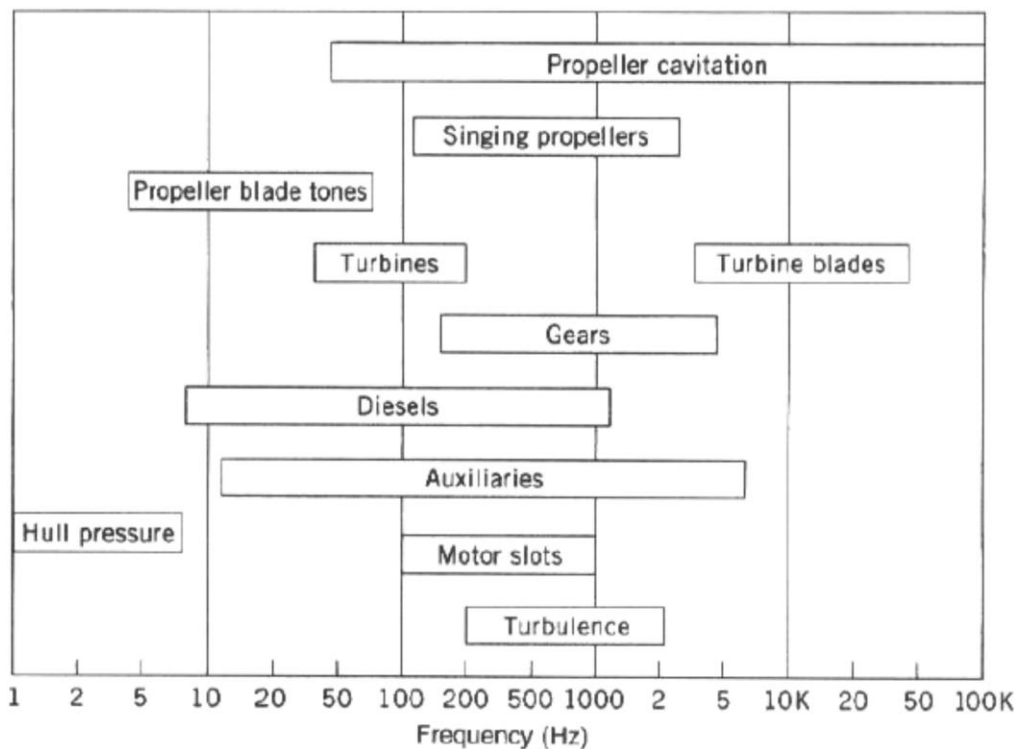


圖-3 船舶噪音頻率分佈圖 (Ross 1985)

2.2 自然噪音

若要在海中進行水下船艦噪音量測分析，船隻本身發出的噪音、航行通過的船舶噪音、風浪噪音、海中生物噪音及降雨噪音都會對欲量測收集的聲音訊號造成干擾，對船艦的水下噪音量測具有相當的影響性。風浪噪音為水下噪音的主要來源，其生成原因是海浪破碎後撞擊海表面產生的噪音，以及海浪在攪動及破碎時捲入的空氣形成氣泡，彼此之間互相撞擊、共振及破碎產生的噪音，其中風浪噪音的頻率分佈為 100~20,000 Hz。海中生物所發出的聲音頻率範圍很廣，通常在 10 Hz 以上，鯨豚甚至可發出 10 kHz 以上的聲音。

三、水下噪音量測與分析

聲音具有波動的性質，因此水中的聲音是靠「水」這個介質來傳遞聲波的能量；水中聲波能量的量測是利用水下麥克風（Hydrophone, 亦稱「水聽器」）將

聲壓訊號轉換為電壓值或電流值，之後電腦再依電壓值或電流值的大小和間隔將聲音量化，讓我們可以在顯示器上看到音量的大小及音調的變化。

水下麥克風的形狀會依作業環境的不同而有所改變（圖-4 左），量測方法也會根據需求有所變化，但常見的量測方式有底錠式（圖-4 右）、船載式與浮標式。



圖-4 左：水聽器 Auspice HN1(Awareocean)。右：底錠式資料量測器具

水下噪音主要針對音強(intensity)、音頻(frequency)與持續時間(duration)這三者資料進行蒐集與分析。一般而言，聲音強度(音強)大小與音波振幅(音量)大小成正相關，其表示單位為 dB(分貝)；從 dB 的定義上可知，在同樣測量距離下測得兩個相差 3dB 的聲源，其聲音強度實際上相差約兩倍，而在相差 10dB 時其聲音強度實際上相差 10 倍，因此分貝值的量測必須斤斤計較，不可不慎；而分貝值是一比值，在水中的分貝值是與 $1\mu\text{Pa}$ 做比較，在陸上的分貝值是與人類的聽力下限 $20\mu\text{Pa}$ 做比較，兩者有所差異，在使用上須特別注意。聲音頻率(音頻)的數值大小與音調高低成正相關，表示單位為 Hz(赫茲)；不同生物與人類活動發

出的聲音都會落在特定的頻率範圍內，例如：座頭鯨的發聲頻率落在 0.03~8kHz 之間、風浪噪音頻率範圍約 0.1~20 kHz、船舶主機噪音範圍約 0.01~1kHz…等。聲音的持續時間也是重要的聲音特徵之一。最後對不同的生物或人為活動做上述三種聲音特徵進行蒐集與處理，可以得到各種聲音的「1/3 八音度頻譜圖」(圖- 5)和「時頻譜圖(Spectrogram)」(圖- 6)，前者是描述某時間段內所記錄到的聲音頻率與強度，後者是呈現每個時間點所記錄到的聲音頻率與強度。

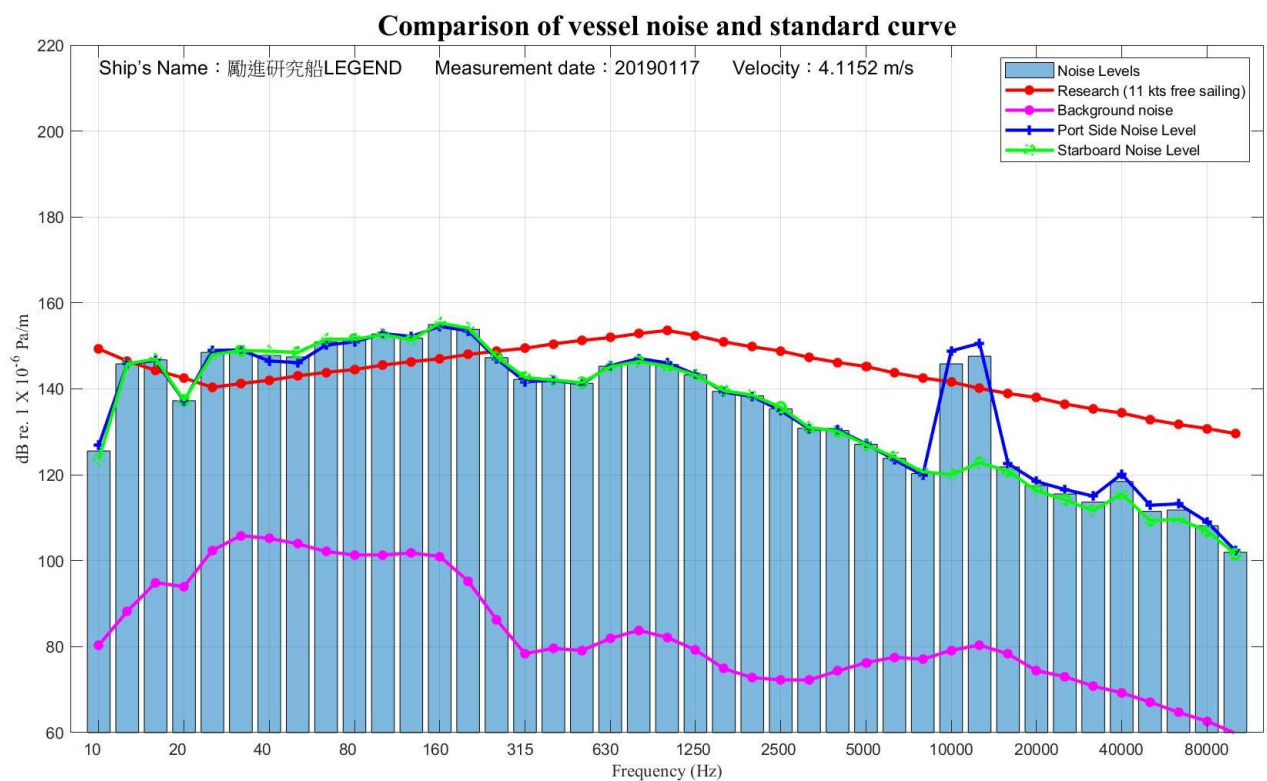


圖-5 勵進號之 1/3 八音度頻譜圖 (船速 8 節)

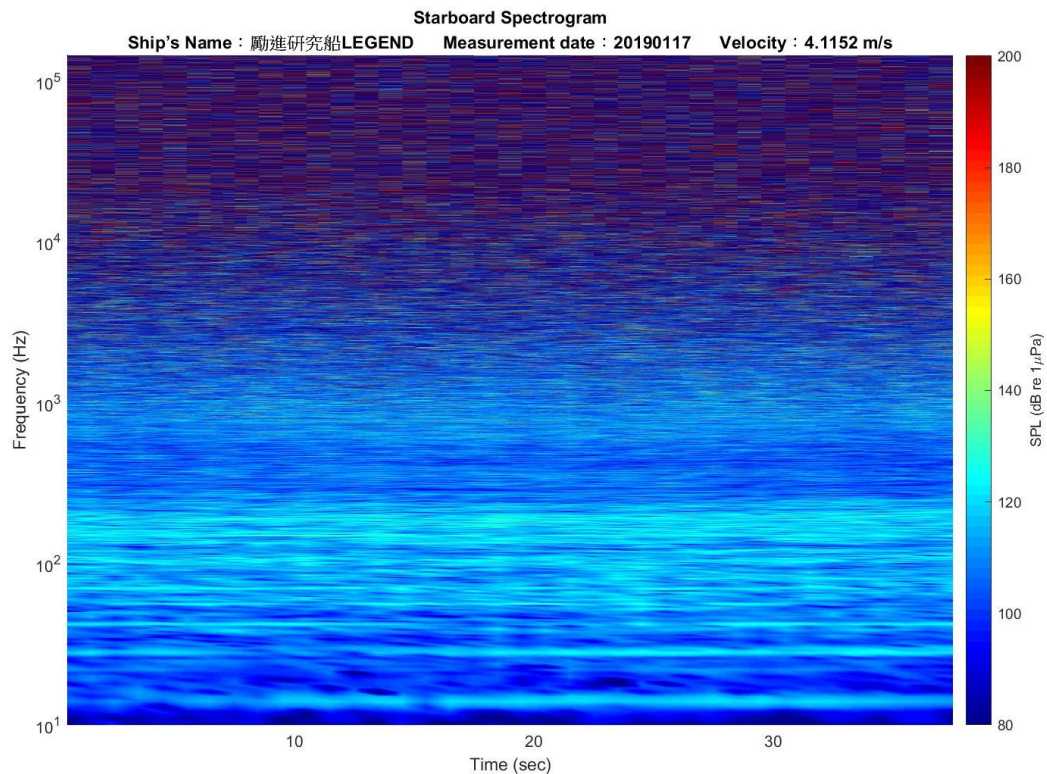


圖-6 勵進號之時頻譜圖 (船速 8 節)

四、水下噪音的影響與法規制定

水下噪音會對水中生物產生許多影響，以短期高能的聲音(如離岸工程基礎打樁時產生的巨大聲響或進行海洋地質探測所使用的空氣槍震測)為例，對海豚這類聲音靈敏度較高的生物可能會造成短暫性或永久性的聽力損害；而持續性的低頻噪音如船舶主機噪音或螺旋槳空蝕噪音，在水中會形成一層遮罩(masking)影響水中生物的訊息傳遞，甚至改變他們的行為模式。

隨著科技與經濟的快速發展，離岸工程規模越來越大，海上航行的船隻也越來越多，使世界各國為了保護各自的海洋生物資源，開始研擬水下噪音的量測標準，但是在不了解聲音在水中的傳遞範圍、水中生物的生存區域、生物的聽力範圍等資訊的情況下，導致水下噪音量測至今仍未有統一的標準，各國針對水下噪音量測的相關研究與法規制定都正在進行中，如：ISO、歐盟…等相關組

織，台灣目前在海洋研究與風力發電產業的日益蓬勃，對於此議題的重視程度今非昔往，且船籍協會水下聲噪法規也日益推陳出新(如圖-7)，可以預見噪音預防與量測在未來有相當的大進步與發展的空間。

船舶水下噪音規範



圖-7 船舶水下噪音規範

洋船

五、参考文献

- [1] Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.34(12). pp.1936-1956
- [2] Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K.E., Castellote, M., Corkeron, P.J., Nowacek, D.P., Wasser, S.K. and Kraus, S.D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*. Vol. 279(1737). pp.2363–2368.
- [3] Rayleigh, L. (1917). On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity, *Philosophical Magazine Series 6*. 34 (200). pp.94–98.
- [4] Ross, D. and Collier, R.D. (1985). Mechanics of underwater Noise, Course Notes, Applied Technology Institute, Columbia, MD.
- [5] Urick, R. J. (1983). *Principles of underwater sound*. New York: McGraw-Hill
- [6] Chitac Vergil, Pricop Mihail, Atodiresei Dinu, Gheorghe Florin, Ristea Marian, Bautu Andrei, Pricop Codruta. (2010). *Sound Parameters Identification for the Bottlenose Dolphins from N-W Black Sea, Using Time-Frequency Analysis*. 3rd International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering, pp.120~pp.125
- [7] Brandon L. Southall, Leila Hatch, Amy Scholik-Schlomer, Trisha Bergmann, Michael Jasny, Kathy Metcalf, Lindy Weilgart, Andrew J. Wright, M.E. Perera(2018). Reducing Noise from Large Commercial Ships - Progress and partnerships. *Coast Guard Journal of Safety & Security at Sea, Proceedings of the Marine Safety & Security Council*. Vol.75(1), pp.58-65.
- [8] Discovery of Sound in the Sea. <https://dosits.org/> (Jen 13, 2019)
- [9] Frequency Ranges of Marine Animal Sounds.
<https://www.whoi.edu/oceanus/v2/viewArticle.do?id=174029&pid=174029> (Jen 13, 2019)