

淺談潛艦「舵型」 性能分析與比較

An Overview and Comparative Analysis of X-Type Rudder
Designs in Submarines

海軍少校 黎立珊、海軍少校 梁偉立

提 要：

- 一、潛艦在現代海上戰爭中扮演著關鍵角色，尤其在反制敵方海上力量、執行戰略打擊和保護國家海上利益，維護海上生命線等方面；而擁有一定數量的潛艦，不僅能夠增強我國在區域安全中的地位，也能一定程度嚇阻中共封鎖的企圖。
- 二、由於潛艦自製需要大量的技術研發和製造能力，除有助科技及製造業發展，更能強化對海上交通線的保護；尤其潛艦能大幅提升海上戰略自主性、確保航道安全與能源物資穩定運輸，進一步保障國家經濟命脈。故在建造過程中，船體、動力、武器等型式都會帶動相關產業鏈的發展，從而創造就業機會並促進經濟增長，而「舵型」設計與選擇也是其中的關鍵項目。
- 三、本文旨在介紹潛艦舵型，從「十字舵」到「X舵」舵面設計的演進，同時兩型舵的差異也映照著國防工業背後的系統性思維與技術深度。本文僅探討造艦專業中的一個面向，期許國人能對「國艦國造」投入更多關注，並支持政府賡續推動「國防自主」的決心。

關鍵詞：潛艦國造、X型舵、十字型舵

Abstract

1. Submarines play a crucial role in maritime warfare, particularly in countering enemy naval forces, conducting strategic strikes, and safeguarding national maritime interests. The development of indigenous submarines can strengthen Taiwan's strategic position within the regional security environment.
2. The development of indigenous submarines requires significant investment in research and development, as well as advanced manufacturing capabilities. This not only promotes technological advancement but also

drives the growth of related industries, creates employment opportunities, and contributes to economic development.

3. Both X-type and cross-form rudders are commonly used in submarine design. Due to its simpler structure, the cruciform rudder is often preferred when internal space is limited, as it integrates more easily with other onboard systems. On the other hand, the X-type rudder, which is increasingly adopted in modern submarines, offers greater maneuverability and is highly effective in situations requiring rapid responses—an advantage in contemporary warfare.

Keywords: Submarine, X-form rudder, cross-form rudder, cruciform rudder

壹、前言

德國在「第一次世界大戰」中使用大量「U艇」¹成功封鎖英國海上補給線，使潛艦逐漸成為世界各國廣泛使用的武器，並在各國海軍中占據了主導地位。時至今日，我們生活在海洋面積占有七成的地球，潛艦更已在現代軍事中扮演著至關重要的角色，兼對國家的安全和戰略地位有著深遠的影響，其所具備之戰場效益也是任何水面艦具無法替代的。

為使國家軍事發展與能力占據更有利地位，水下艦具的設計與建造便成為各國積極投入的項目之一。對我國而言，潛艦的適當部署能有效破壞敵方的海上優勢，其具備的高隱匿性與機動性，更能在「第一島鏈」內自由行動，並可對敵方艦隊、補給線與登陸兵力形成重大威脅。尤其在戰時可執行潛艦伏擊、海上封鎖與情報蒐

集任務，迫使敵方需投入大量資源進行「反潛作戰」，大幅增加軍事成本與戰略壓力。正因為潛艦的存在本身即是一種嚇阻，有助於延遲或挫敗敵方進犯的決心；因此國軍也透過建造潛艦，來強化防衛能力，俾擴大我國的防衛縱深，並進一步維護區域安全。

評估潛艦的操控性能時，「舵型」設計與選擇扮演著重要角色，直接影響潛艦的機動性、穩定性及戰術靈活度。當其在水下環境運動時，須面對來自流體的各種力與力矩，而舵面的配置與形狀決定其操縱能力與控制效率。「舵型」設計對潛艦運動的性能影響巨大，除一般常見的「十字型」及「X型」外(以下簡稱十字舵、X舵)，亦存在特殊舵形如H型、T型、木字型等；且由於十字舵或X舵在性能技術上各有其獨特的優點，潛艦使用何種設計，則應根據具體的應用需求和構型要求來評

註1：〈U艇〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/U%E5%9E%8B%E6%BD%9C%E8%89%87>，檢索日期：2025年3月28日。



十字型舵



X型舵

圖一：潛艦「十字型舵」(圖左)與「X型舵」(圖右)外觀圖

資料來源：參考Howard Altman, “First Look At Columbia Missile Submarine’ s X-Shaped” , The Warzone, Jan. 10, 2024, <https://www.twz.com/first-look-at-columbia-missile-submarines-x-shaped-stern>；陳治程，〈被制裁了還能造？俄軍再獲基洛、北風之神和亞森級三艘潛艦〉，《自由時報》，2023年12月6日，<https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4512526>，檢索日期：2025年4月30日，由作者彙整製圖。

估，並依需要做出最適的選擇。因此透過分析不同「舵型」的性能表現，不僅能優化性能選擇，也能為未來潛艦的建造準備，提供更具前瞻性的設計規劃。

世界各國海軍在建造潛艦前需考量任務需求、性能與技術能力、成本效益和未來發展等面向，也會對十字或X型舵做出最適選擇；而船艦操控技術的進步，反映出各國在船舶研發上的深厚實力與不斷創新的精神，俾持續提升潛艦戰力，確保國家安全。囿於潛艦的設計與技術細節常涉及國家機密，對外公開資訊及照片有限；文內將儘可能蒐整各國公開資訊，使讀者可更加瞭解這兩種「舵型」對船艦操縱的影響。期望我國潛艦設計者能由首艘「海鯤艦」設計過程中獲取更多經驗，並納入

後續潛艦建造過程中參考改進，為我國「潛艦國造」樹立新的里程碑，這也是撰寫本文的主要目的。

貳、潛艦「舵型」發展與運作原理

船舵一般是設置在船體外，利用其與流體的相對運動在葉面上產生的作用力，並對船舶施加回轉力矩而控制船舶航向的設備，它是船艦方向的主要操縱設備，當舵轉動時，一側比另一側更容易受到流過它的水流的力量，船艙將被推離舵所在的一側，讓船偏離原來的航線，並藉此進行轉向。²區分「十字型舵」與「X型舵」最簡易的方式便是從外觀判定(如圖一)，「十字舵」係由一個垂直和水平的控制面組

註2：Britannica, “Rudder” , https://www.britannica.com/technology/rudder?utm_source=chatgpt.com，檢索日期：2025年4月28日。



成，形成一個「十字形」而得名；而「X型舵」的外觀則類似於一個交叉的「X形」建置在水平面和垂直面之間。以下就兩種「舵型」之發展、操作模式及原理分別說明如后：

一、舵的發展歷史

舵是操縱船舶、船隻或飛機的重要裝備，它的設計可以追溯到古代，有關船舵發展歷史，概要說明如後：

(一)古代和中世紀最早的舵是像槳一樣簡單的裝置，安裝在船艙。通常由木材製成，操作也非常簡單。一般來說是通過繩索或滑輪製成簡易系統來控制，而隨著船舶設計的不斷進步，舵逐漸發展成更高效的設備。15世紀，船舵最重大的發展是

從側裝槳舵轉向船艙安裝舵的轉變，艙舵基本已取代了早期使用的槳舵，使得船隻的轉向更加有效率和精確，也大大提高船隻操縱能力。到了16世紀，船舵已成為造船業的關鍵組成部分，尤其隨著「大航海時代」³的興起，大型船舶和軍艦均仰賴精心設計的操舵系統，讓船舶運轉更靈活。隨著船舶噸位越來越大，17到18世紀出現對轉向系統更強大與更精確的需求，雙舵系統開始出現在大型船隻上，兩個舵安裝在船艙外部的兩側(如圖二)，通常不是精確的「X」或「十字」配置，卻成為之後數個世紀中複雜設計的先驅。

(二)隨著蒸汽動力船舶的出現，標示著船舵發展的另一重大轉折。19世紀蒸汽

註3：15世紀至17世紀，歐洲船隊頻繁出現在非洲、亞洲、美洲的海洋上，尋找新的貿易路線和貿易夥伴，也發現了許多當時歐洲人從未知曉的土地，這就是所謂的「大航海時代」或「地理大發現」。〈首選珍藏：福爾摩沙命運的戰役-大航海時代的金銀島〉，典藏臺灣，<https://digitalarchives.tw/Exhibition/2523/9.html>，檢索日期：2025年4月28日。

機的引入，代表船舶不再仰賴風力移動；因此，船隻可以達到更高的速度，也代表需要能在更高速度下維持操控力的新舵設計。傳統舵設計效率較低，但新式船舶需要更堅固、更精確的設計，以處理高速與更複雜的操縱，進而衍生出更多先進的船舶也開始使用「X型」舵取代「十字舵」以進行船舶設計，以提升操縱的靈活性。

(三)20世紀中期，大型商業和軍用船舶越來越頻繁地採用雙舵系統來因應高速性能的需求，這也使得X型舵在先進船舶設計中變得更加突出，特別是軍艦在戰鬥中需進行複雜的機動操作，精準控制成為至關重要的條件。當前材料與電腦技術的提升，進一步完善舵的設計與發展精進，許多大型貨櫃船和郵輪甚至開始使用複雜的多舵系統(包括雙舵甚至三舵)，以確保各種海況下的穩定性和操控能力。

二、工作原理

潛艦「十字型舵」水平的操縱面主要負責控制的下潛或上浮，垂直的操縱面則用來改變潛艦的航向，潛艦上的操作通常由舵手通過一套系統來操縱，這套系統包括液壓和電動裝置以靈活(或迅速)的方式控制潛艦的上浮、下潛或轉向。「X舵」的工作原理與「十字舵」類似，但是它具有更高的靈活性和控制能力，且每一片舵

面都可以獨立地移動，這意味著「X舵」可以產生更多樣化的方向控制，以應對水下複雜的海況。

三、操作模式

(一)「十字型舵」

「十字舵」的潛艦操作模式，可能會因應設計和任務需求而有所不同，一般操作模式如後：

1. 通常用於潛艦的深度及方向控制，向上傾斜舵面可以使潛艦上升，向下傾斜舵面則可以使潛艦下潛，通過控制「十字舵」的左右移動來實現轉向。

2. 此舵也可以用來幫助維持潛艦的靜態穩定性，通過微調舵的位置，可以使潛艦克服水下洋流變化以保持水平或特定的深度；在某些情況下，「十字舵」還可以用來實現特殊操作，例如在水面上進行救援行動時，即可以使用舵板來控制潛艦的姿態。

(二)「X型舵」

藉X型的舵版來控制潛艦的水平方向和轉向，操作模式同樣會因應不同的設計和任務需求而有所不同。操作方式概況如后：

1. 「X舵」的四片舵面均可獨立移動，因此可以用來控制潛艦的水平方向，如果需要向左移動，則右側的舵面會向右移動，同時左側的舵面會向左移動，產生一

註4：Freddy chen，〈貿易大歷史觀後感-(1)科技對貿易演變的影響〉，Freddy chen的沙龍，2023年6月26日，<https://vocus.cc/article/648b0fc5fd89780001b3f6d1>，檢索日期：2025年5月22日。



艦長×艦寬	107.6×12.2公尺
吃水	10.6公尺
水面排水量	7,460噸
潛航排水量	8,600噸
最高潛航速率	35節
潛航深度	大於600公尺

圖三：美國「海狼級」核潛艦諸元表

資料來源：參考〈海狼級核動力攻擊潛艦(1)〉，MDC軍武狂人夢，<http://www.mdc.idv.tw/mdc/navy/usanavy/SSN21.htm>，檢索日期：2025年4月21日，由作者彙整製表。

個向左的推力；反之亦然。

2. 當艦上人員調整「X舵」的舵面位置時，可以產生側向推力，從而使潛艦轉向。例如，如果需要向左轉，則右側的舵面會向左移動，產生一個向左的推力，使潛艦轉向。除控制方向外，此型舵通過微調舵板的位置，可以使潛艦保持水平或特定的姿態，從而改善潛艦的穩定性；另此種舵型較難以採直覺操縱，且部分作動模式會有扭力發生，操縱不慎可能會造成艦身旋轉。

整體而言，「X舵」及「十字舵」通過調整舵板的位置和角度，達到對潛艦深度、方向和靜態穩定的精確控制。

參、各國潛艦「舵型」使用概況

「X型舵」與「十字型舵」在操作上各有其特殊之處，每種設計都有其獨特的優缺點，選擇哪種舵的設計，則應根據具

體的應用需要和性能規格來進行評估；在不同的情況權衡不同的因素，並做出適當的選擇。以下就世界各國海軍潛艦設計採取的「舵型」，簡介如下：

一、「十字型舵」

(一)美國「海狼級」(Seawolf class)核潛艦

該型潛艦承繼自「洛杉磯級」(Los Angeles-class)核動力攻擊潛艦，始建於「冷戰」末期的1989年代，並被認為是當代噪音最小的核潛艦(如圖三)。根據美國海軍的分析指出，「海狼級」潛艦在水下全馬力高速航行時的噪音，要比改良型「洛杉磯」潛艦低10倍，而靜音程度卻比舊型的「洛杉磯級」潛艦高出70倍；所以能以兩倍艦速，於水下寂靜地快速航行。⁵該艦型裝備「戰斧」(Tomahawk)巡弋飛彈及MK-48線導魚雷，不僅擁有8具魚雷發射管，其魚雷艙更可攜帶多達50枚各型武

註5：吳宗宜編譯，〈美軍海狼級核動力潛艦在南海撞上海底山脈，艦長等三名高階幹部遭解職，中國關切情蒐意圖〉，關鍵評論，2021年11月8日，<https://www.thenewslens.com/article/158601>，檢索日期：2025年4月28日。



艦長×艦寬	97×11.3公尺
吃水	10公尺
水面排水量	7,400噸
潛航排水量	7,800噸
最高潛航速率	35節
潛航深度	大於300公尺

圖四：英國「機敏級」潛艦諸元表

資料來源：參考〈Astute-class submarine〉，維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/Astute-class_submarine，檢索日期：2025年4月26日，由作者彙整製表。

器。⁶

(二) 英國「機敏級」潛艦 (Astute-class submarines)

此為英國目前最為先進、攻擊力最強大的潛艦(如圖四)，自2001年展開研發與建造作業，用於取代「特拉法加級」(Trafalgar-class)潛艦。該潛艦由英商「BAE系統」公司在巴羅因弗內斯(Barrow-in-Furness)建造，計畫建造7艘，截至2025年4月已完成5艘，剩餘2艘預計於2025年及2026年交艦。該型艦強調靜音性能和先進的作戰能力，包括反潛、對地攻擊和情報蒐集等。配備美商「雷神公司」(Raytheon)製造的「戰斧」巡弋飛彈；共6具魚雷發射管，能搭載36枚飛彈與魚

雷，可執行多樣化任務。⁸

(三) 日本「親潮級」(おやしお)潛艦

此型潛艦採用「葉捲型」設計，使艦身加長、艦寬縮小，此種設計主要應用於裝設艦側陣列聲納(如圖五)。艦體表面設置橡膠製消音瓦，可改善艦體表面流體動力特性，減少航行阻力、提高航速，降低敵人主動聲納探測能力，並且抑制自身艦體的噪音和輻射噪音。該型艦裝配「ZQQ-5B型」聲納，並搭配「89式」魚雷及美軍「魚叉」(Harpoon, UGM-84)潛射攻船飛彈，武器總裝載量16枚，亦可執行水雷布放作業。⁹

(四) 中共「093型」(商級)核潛艦

該型核攻擊潛艦採用拉長水滴形船殼

註6：SIBC, “Los Angeles & Seawolf Classes,” <https://submarinesuppliers.org/programs/ssn-ssgn/los-angeles-seawolf/>，檢索日期：2025年5月10日。

註7：BAE Systems, “Astute Class Submarines,” https://www.baesystems.com/en/product/astute-class-submarines?utm_source=chatgpt.com，檢索日期：2025年4月29日。

註8：Naval Technology, “SSN Astute-Class Nuclear Submarines, UK,” <https://www.naval-technology.com/projects/astute/?cf-view>，檢索日期：2025年5月10日。

註9：陳昭羽，〈日本海上自衛隊應對中共海軍威脅之研究 以潛艦發展戰略為例〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第53卷，第6期，2019年12月1日，頁72。



艦長×艦寬	84×9.1公尺
吃水	7.4公尺
水面排水量	2,950噸
潛航排水量	4,200噸
最高潛航(浮航)速率	20(12)節
潛航深度	小於500公尺

圖五：日本「親潮級」潛艦諸元表

資料來源：參考〈親潮級潛艦〉，維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/Oyashio-class_submarine，檢索日期：2025年4月28日，由作者彙整製表。



艦長×艦寬	107×13公尺
吃水	10公尺
水面排水量	6,000噸
潛航排水量	7,000噸
最高潛航速率	20節
潛航深度	大於500公尺

圖六：中共「093型」核潛艦諸元表

資料來源：參考“China unveils new 6,200-ton Type 093B nuclear submarine model with 18 Vertical Launch Units,” Army Recognition, Jun. 13, 2024, <https://armyrecognition.com/news/navy-news/2024/china-unveils-new-6-200-ton-type-093b-nuclear-submarine-model-with-18-vertical-launch-units>，檢索日期：2025年5月1日，由作者彙整製表。

，是中共加強海軍力量建設的重要部分(如圖六)。隨著「冷戰」結束及中共海軍的現代化需要，其設計重點在提高遠程打擊能力和海上作戰自主性。該型艦於2002年下水，用來取代1970年代開始服役的「漢級」核動力潛艦，不僅滿足隱蔽性和高速性能要求，也增強水下攻擊能力。¹⁰

二、「X型舵」的潛艦

(一)日本「大鯨級」(たいげい)潛艦

此型潛艦據稱艦體設計比起前一款「蒼龍級」更難被敵方發現，並與後期生產的「蒼龍級」潛艦一樣搭載鋰離子電池，且「大鯨」級完全棄用「絕氣推進」(Air-Independent Propulsion, AIP)技術，改以大容量鋰電池做為主要動力來源(如圖七)，使其在滿電狀態下，可維持20節航速連續潛航15小時，並在電量耗盡後，僅需2至3小時柴油機充電即可恢復滿電

註10：Vicky Tsai，〈中國核潛艦沉沒55名船員殉職〉，Arts & Life News，2023年10月5日，http://www.artslifenews.com/news_in.aspx?siteid=&ver=&usid=&mnuid=1115&modid=2&mode=&isgb=&nid=7338&noframe=，檢索日期：2025年4月28日。



艦長×艦寬	84×9.1公尺
吃水	8.5公尺
水面排水量	2,950噸
潛航排水量	4,200噸
最高潛航速率	20節
潛航深度	約500公尺

圖七：日本「大鯨級」潛艦諸元表

資料來源：參考〈大鯨級傳統動力攻擊潛艦〉，MDC軍武狂人夢，<http://www.mdc.idv.tw/mdc/navy/jmsdf/ss513.htm>，檢索日期：2025年4月22日，由作者彙整製表。



艦長×艦寬	99×8.8公尺
吃水	7.3公尺
水面排水量	4,700噸
潛航排水量	5,300噸
最高潛航速率	25節
潛航深度	大於300公尺-

圖八：法國「蘇弗朗級」核潛艦諸元表

資料來源：參考Inder Singh Bisht, “Naval Group Rolls Out France’s Third Barracuda-Class Nuclear Sub,” The Defense Post, July 24, 2023, <https://thedefensepost.com/2023/07/24/naval-group-barracuda-sub/>，檢索日期：2025年4月25日，由作者彙整製表。

狀態，¹¹潛航時間更長。「大鯨級」潛艦配備「赤龍號」（「蒼龍級」8號艦）的潛艦魚雷防禦系統，以及高性能呼吸管與採用光纖技術的先進聲納系統，優異的隱蔽性不在「蒼龍級」之下。¹²

（二）法國「蘇弗朗級」核潛艦(Barracuda-class)

此型潛艦(法語Classe Suffren)，是法國海軍下一代核動力攻擊型潛艦(如圖八)。設計上採用「凱旋級」(Classe Le Triomphant)彈道飛彈核潛艦的技術，可執行的任務包括反艦與反潛作戰、對地攻擊、情報蒐集，危機處理和特種作戰。¹³該型艦可搭載巡弋飛彈(Missile de

註11：李宣萱，〈應對中國艦隊擴張威脅！日本最強「大鯨」級潛艇「雷鯨」號正式服役〉，Newtalk，2025年3月8日，<https://newtalk.tw/news/view/2025-03-08/959687>，檢索日期：2025年5月12日。

註12：〈大鯨級潛艦〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A4%A7%E9%AF%A8%E7%B4%9A%E6%BD%9B%E8%89%A6>，檢索日期：2025年4月28日。

註13：〈蘇弗朗級潛艦〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%98%87%E5%BC%97%E6%9C%97%E7%B4%9A%E6%BD%9B%E8%89%A6>，檢索日期：2025年4月28日。



艦長×艦寬	60×6.3公尺
吃水	5.6公尺
水面排水量	1,500噸
潛航排水量	1,800噸
最高潛航(浮航)速率	20(11)節
潛航深度	約300公尺

圖九：瑞典「哥特蘭級」潛艦諸元表

資料來源：參考朱明，〈海軍海發中心紀念品曝光 揭露IDS構型呈X型尾翼〉，上報，2019年1月26日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=1&SerialNo=56618，檢索日期：2025年4月25日，由作者彙整製表。

Croisière Naval, MdCN)、「F21」重型線導魚雷及升級版的「飛魚」攻船飛彈(Exocet, SM39)，以實現遠距離深入打擊之目標。¹⁴

(三) 瑞典「哥特蘭級」潛艦(Gotland-class submarine)

此款瑞典海軍自製的防禦潛艦，它是「哥特蘭級」潛艦的首艦(如圖九)，1996年開始服役，它是世界上第一艘裝配「史特靈發動機(Stirling Engine)」的「絕氣推進系統」(AIP)潛艦，該系統能延長潛艦在水中潛航耐力達數天甚至數週之久，並有效降低傳統動力系統運作產生的噪音。¹⁵此型艦配備4具21英吋艦艏魚雷發射

管以及2具15.7英吋發射管，可發射「62型」重型魚雷(Type 62)及輕型「45型」或「47型」魚雷，最多可攜帶12枚重型魚雷與6枚輕型魚雷。¹⁶

(四) 德國「212A型」潛艦(HDW Class 212A Submarine)

此型潛艦是由該國「哈德威造船廠」(HDW)製造的一款先進常規動力攻擊潛艦，廣泛服役於德國和義大利海軍(如圖十)。該潛艦以其優異的隱蔽性和持續作戰能力而聞名，採用了平面光滑的水滴形設計，艦艇艏部是圓錐型尖尾，採用7葉大斜式單螺旋槳推進，可降低噪音、提高隱蔽性、提升推進效率。¹⁷特別的是，「212A

註14：“Naval Group Delivers 3rd Barracuda type Submarine,” Naval news, Nov.18, 2024, <https://www.navalnews.com/naval-news/2024/11/naval-group-delivers-3rd-barracuda-type-submarine/>，檢索日期：2025年4月29日。

註15：〈哥特蘭級潛艦〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%93%A5%E7%89%B9%E8%98%AD%E7%B4%9A%E6%BD%9B%E8%89%87>，檢索日期：2025年5月3日。

註16：Eric Wertheim, “Sweden’s Gotland-class Subs: AIP pioneers of the Baltic Sea,” Proceedings Vol. 149/10/1,448, October 2023, U.S Naval institute, Nov. 2024, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2023/october/swedens-gotland-class-sub-aip-pioneers-baltic-sea>，檢索日期：2025年4月29日。

註17：〈212A級潛艦〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/212A%E7%B4%9A%E6%BD%9B%E8%89%87>，檢索日期：2025年4月28日。



艦長×艦寬	57×7公尺
吃水	6公尺
水面排水量	1,500噸
潛航排水量	1,800噸
最高潛航(浮航)速率	20(12)節
潛航深度	500公尺

圖十：德國「212A型」潛艦諸元表

資料來源：參考“HDW Class 212A Submarine,” Thyssenkrupp.com，<https://www.thyssenkrupp-marinesystems.com/en/products-services/submarines/class-212>，檢索日期：2025年4月25日，由作者彙整製表。

型」潛艦僅需5名軍官和22名水手操作，這提供了額外的睡眠與生活空間，也終結傳統潛艦上的「熱鋪」制度。¹⁸

肆、潛艦「十字型舵」與「X型舵」之比較

船舵系統的設計是決定潛艦機動性、穩定性和作戰效率的關鍵面向。在現代潛艦所使用的各種舵型結構中，十字型和X型舵是兩種具不同操作特性的設計。以下就其操作性能，並以常用的「SWOT」（即優勢、劣勢、機會、威脅）分析比較兩種舵系統的性能、優點和侷限性(如表一)，俾有助更好地瞭解不同設計如何滿足現代潛艦作戰的特定需求。比較分析如後：

一、優勢

(一)「十字舵」

1. 結構相對簡單，由一片垂直和一片

水平的舵板組成，這使得其製造和維護成本較低。相較於其他複雜的「舵型」設計，「十字型舵」更容易被製造和維修。

2. 需要較少的空間來轉動，使得潛艦的設計中保有更多的彈性；尤其在潛艦內部空間有限的情況下，「十字型舵」可以更好地適應艙內其他系統的布局。

3. 操作相對於其他較複雜的舵型設計來說更簡單，也能產生更少的噪音；這對於潛艦的匿踪性至關重要，也降低潛艦在水下被聲納探測的機率。

(二)「X型舵」

1. 此款設計讓操控更靈活，垂直和水平的舵板可以提供多個轉向自由度，使舵手可以更容易地控制潛艦的運動，並讓潛艦能夠在不同的海況下進行穩定的操控，包括在狹窄的水道中機動或迴避敵軍攻擊。

。¹⁹

註18：Peter Suciú， “Type 212A Submarine: A German Naval Masterpiece,” The National Interest, Jan 9, 2024, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/type-212a-submarine-german-naval-masterpiece-208476>，檢索日期：2025年5月11日。

註19：Yoon, H., & Rhee, S. H. “Hydrodynamic Characteristics of X-rudder Configuration for Submarine Maneuvering.” Ocean Engineering, Vol. 82, 2014, pp.64-76。

表一：潛艦「舵型」SWOT分析表

優勢 (Strength)	舵型	劣勢 (Weakness)
設計簡潔、空間效率、穩定性、靜音性。	十字	操控性限制、速度限制、水動力效率。
操控性佳、速度操控性、流體動力學效率、多用途性	X型	複雜性、空間占用、維護困難。
機會 (Opportunity)	舵型	威脅 (Threat)
智能控制技術發展、極地航運需求增加、新型戰艦與特種船舶設計、環保需求推動新設計。	十字	傳統舵技術改進、適用性受限導致市場規模小、維修與人力成本上升、法規與安全標準影響。
技術進步推動應用、現代潛艦需求增加。	X型	傳統「十字型舵」的改進、高成本限制應用。

資料來源：作者自行整理製表。

2. 呈X型的舵板設計，讓潛艦在水下高速轉向時，可以快速且精準的完成，尤其在接戰狀況下能迅速的運動。如瑞典「哥特蘭級」潛艦是最早將X舵導入潛艦實戰設計的國家之一，在「波羅的海」(Baltic Sea)這類狹窄、水淺、障礙多的海域活動，X「舵型」的潛艦很容易就展現其在近岸高機動環境下的運動優勢。

3. 「X舵」的流體動力學設計可以減少水流阻力，提高潛艦的速度和燃油使用效率。換言之，呈交叉狀的組合舵板，讓潛艦轉向時阻力更少，多個轉向自由度讓潛艦有更廣泛的應用，包含適應各種複雜的水文環境和任務要求，並在水下以更高的速度航行，仍不影響操控性能。

二、劣勢

(一)「十字舵」

1. 相對於其他複雜的「舵型」設計，「十字舵」的操控性略差，垂直和水平舵板的組合，限制轉向角度和靈活性。

2. 「十字舵」設計可能導致水流的阻力增加，連帶高速下轉向效率較低；且水動力效率也不如其他類型設計，連帶影響潛艦的速度和燃油效率。

(二)「X型舵」

1. 結構較為複雜，多個舵板增加製造和維護的成本和難度，且相對於一般簡單的「舵型」，「X舵」需要更多的工藝設計和製造成本；²⁰一旦舵葉損壞或故障，因其維護與修理困難，當然也需要浪費更多的時間和資源來修復。

2. 需要較多的空間來轉動，這可能限制了潛艦艙內各系統的布局設計；尤其是在潛艦內部空間有限的情況下，「X型舵」的布設可能會對其他系統的配置產生限制。

三、機會

(一)「十字舵」

1. 透過自動控制與AI航行系統，可最佳化「十字型舵」的使用，使其適應不同

註20：Kerr, M. "Comparison of X and Cross Rudders in Submarine Design." Naval Engineers Journal. Vol. 124, No. 2, 2012, pp.15-22。

航行條件，提高效率。²¹

2. 由於北極航道開發，極地適應性良好的「十字型舵」，可能成為未來極地航運船舶的標準配置。²²該型舵也普遍適用於無人水面載具(USV)或新型軍艦，未來透過改良設計以降低阻力與能耗後，預判將會被納入新型的環保型船舶設計中。²³

(二)「X型舵」

隨著計算流體力學和自動控制技術的進步，X舵的設計和控制算法將會獲得優化，提升其應用潛力；²⁴且由於現代潛艦市場對高機動性和匿踪性的要求越來越高，也為此型舵的應用提供更多商機。

四、威脅

(一)「十字舵」

1. 其他舵型(平衡舵、半平衡舵及無平衡舵等，如圖十一)若在材料強化、流體力學優化及結構與傳動機構創新上的持續進展，十字型舵在高效能艦艇應用上的相對優勢可能逐漸被削弱。²⁵

2. 某些國際海事法規對舵系統有特定要求，例如《國際海上人命安全公約》

Balanced rudder 平衡舵指舵板僅舵的頂部與舵桿固定的一種設計。

Semi-balanced rudder 半平衡舵指舵的一部分是平衡，另一部分則是不平衡的。

Unbalanced rudder 無平衡舵將舵桿安裝在舵面最前端位置。

圖十一：平衡舵(上)、半平衡舵(中)及無平衡舵(下)示意圖

資料來源：參考Edward Reyes, “Different Types of Rudder” Facebook, Feb.16, 2023, <https://www.facebook.com/marineinsight/photos/a.324659590891166/6330696303620768/>，檢索日期：2025年5月10日，由作者彙整製圖。

(International Convention for the Safety of Life at Sea, 簡稱SOLAS公約)²⁶在第II-1章，第29條就規定「操舵系統須能在正常航速下，使舵面於28秒內達到35度的舵角」；由於十字型舵在低速轉向反應與小角度微調方面的性能相對有限，

註21：許書耕等著，《數位化與區塊鏈技術應用於我國貨櫃運輸作業鏈之研究》(臺北市，交通部運輸研究所，民國110年7月)，<https://www.iot.gov.tw/uploads/asset/data/66195e0b367376304acd4cb0%E6%95%B8%E4%BD%8D%E5%8C%96%E8%88%87%E5%8D%80%E5%A1%8A%E9%8F%88%E6%8A%80%E8%A1%93%E6%87%89%E7%94%A8%E6%96%BC%E6%88%91%E5%9C%8B%E8%B2%A8%E6%AB%83%E9%81%8B%E8%BC%B8%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E9%8F%88%E4%B9%8B%E7%A0%94%E7%A9%B609.pdf>，檢索日期：2025年5月4日。

註22：Liu, J., Quadvlieg, F., Hekkenberg, R., “Impacts of Rudder Profiles on Ship Manoeuvrability.” Marin, Sep 11, 2015, <https://www.marin.nl/en/publications/impacts-of-rudder-profiles-on-ship-manoevrability>,檢索日期：2025年5月11日。

註23：蔡孟凌，《以區塊鏈強化供應鏈與安全》(臺北市，旗訊科技股份有限公司，2022年10月1日)，頁12-15。

註24：曹植珺、肖昌潤、李士強、梁秋鳳，〈「X型舵」與「十字型舵」潛艦穩定性對比分析〉，《艦船科學技術》(中國上海)，第43卷，第4期，2021年4月，頁51~55。

註25：中國信息通信研究院，《區塊鏈安全白皮書-技術應用篇》(中國北京)，2018年9月，<http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201809/P020180919411826104153.pdf>，檢索日期：2025年4月28日。

此法規可能限制其在特定類型船舶(如需高機動性或運轉靈活的艦艇)中的應用。

3. 「十字型舵」在潛艦設計中具有部分的優勢，如簡潔的結構、空間效率和良好的穩定性，同時也存在部分限制，如操控性和速度。在選擇舵的設計時，應根據具體的應用需求和性能要求進行評估，並權衡各種因素做出適當的選擇，此外，隨著資訊科技的發展，「區塊鏈」技術在分散式資料儲存、安全傳輸與記錄不可竄改方面展現潛力，若能結合潛艦自動導航系統，有望在通訊安全、決策追蹤與多艦協同控制等層面提供支援，可促進整體操控系統的透明度與可靠性。

(二)「X型舵」

傳統的「十字舵」設計經過改進後，可能在性能上接近或超過X舵，並對其形成競爭優勢；且X舵的設計、製造和維護成本較高，自然會限制其在預算有限的前提下遭到排擠。

整體而言，「X型舵」在潛艦設計中仍具有明顯的優勢，如優異的操控性、速度操控性和流體動力學效率；在操控性和速度操控性方面，「X型舵」明顯優於「十字型舵」，特別是在需要快速且靈活的操作時，但仍舊存在部分限制，如複雜性、空間占用和維護困難。而「十字型舵」

在簡潔性和空間效率方面表現較好，適合運用於空間有限的潛艦設計(如表二)。因此，任何造艦計畫推展時，設計使用何種「舵型」，應針對性能、任務性質、具體的應用等要求，進行全般評估，依需求權衡操控性能、空間利用和製造成本等因素，俾做出適當的選擇，並滿足任務需要。

伍、結語

我國長期面臨安全挑戰，國防自主是確保國家安全的關鍵要素，其中自製潛艦不僅能減少對外國技術和裝備的依賴，更能培養國內的研發與維護能力，確保在面對威脅時，具備獨立應對的實力。當前潛艦在現代海上戰略中扮演關鍵角色，無論是反制敵方海上力量、執行戰略打擊，或是保護國家海上利益，皆不可或缺。因此在「潛艦國造」計畫中，從動力系統、聲納設備到操控機制，每一個細節都至關重要，擁有自主研發的潛艦，能讓我國在區域安全環境中擁有更穩固的戰略地位。

在建造潛艦過程中，船舵做為潛艦操控的核心之一，更是決定潛艦機動性與作戰效能的關鍵。傳統的「十字型舵」設計雖具備成熟的應用經驗，但「X型舵」因其多個轉向自由度，能夠提供更靈活的操控性能，特別適合應對我國周邊海域複雜

註26 《國際海上人命安全公約》是國際海事組織所制定的海事安全公約之一。國際海上人命安全公約及其歷年的修正案被普遍認為是所有公約當中對於商船安全最為重要的公約。〈國際海上人命安全公約〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%B7%E4%B8%8A%E4%BA%BA%E5%91%BD%E5%AE%89%E5%85%A8%E5%85%AC%E7%BA%A6>，檢索日期：2025年5月26日。

表二：潛艦「舵型」性能比較表

X 型 舵	性 能	十 字 舵
能提供靈活的控制，機動性較高，特別是在低速或受限水域內表現優異。	操控性	靈活性較差，尤其在微角度調整與垂直操作上不如X型舵。
相較十字舵，初始穩定性稍低，需依賴控制系統調整。	穩定性	穩定性較高，適合長距離巡航與高穩定需求任務。
轉向半徑小、效率高，適合小範圍機動。	轉向能力	轉向能力較差，操控時較為笨重。
結構複雜、成本高、維護困難。	結構與維護	結構簡單，維護與修理相對容易。
流體阻力較低，效率高，有利於減噪。	水動力性能	傳統設計，水動效率較低，阻力偏大。
可提升艦體整體空間效率，適合小型潛艦。	空間運用性	需配置大面積垂直與水平控制面，空間利用較低。
低速時操控精確，適合近岸與靜水區操作。	速度操控	高速穩定性較佳，適合長距離航行與深海操作。

資料來源：作者自行整理製表。

的地形與戰術需求。近年來，隨著「人工智慧」(AI)、「機械學習」與高效能晶片運算技術的快速發展，使「X型舵」的控制系統能夠更精準地處理高速運轉需求、提升操控穩定性與戰場適應能力。我國正克服一切困難邁向國防自主，水下載具的「舵型」設計也正朝向高機動性的「X型舵」發展，以因應未來多變的戰場環境。這樣的演進，不僅提升潛艦的戰鬥力，也展現出我國在軍工技術領域的持續突破，結果令人期待。

「國艦國造」不僅是一項國防戰略，更是國家未來發展的重要契機，透過強化研發實力、改進設計流程與提升製造能力，國造潛艦設計正逐步導入如「X型舵」等高機動性技術，搭配高速運算控制系統，咸信將明顯提升潛艦操控靈活性與戰場適應能力；這不僅展現我國在軍工科技技術的突破，也為實現國防自主、強化海軍

戰力，奠定基礎。

「潛艦國造」象徵的不僅是軍事裝備的自主，更代表一國科技、產業與戰略思維的整體成熟。藉由持續創新與整合，我國正努力打造具自主性、先進性與靈活性的潛艦戰力，而每一個環節都需要投入高度的專業與創新精神。期許政府能持續匯聚國內產業與人才的力量，讓我國國防實力持續精進；透過科技創新與產業合作，為國家安全與科技發展奠定穩固的基石。✚

作者簡介：

黎立珊少校，海軍專業軍官班102年班，國立中山大學企業管理所碩士110年班，曾任海軍造船發展中心資處官、海軍造船發展中心研發官，現服務於海軍造船發展中心。

梁偉立少校，海軍軍官學校100年班，國防大學理工學院造船及海洋工程碩士班110年班，曾任海軍武夷軍艦輪機官、海軍131艦隊飛彈快艇作戰中隊輪機長、海軍131艦隊修護官，現服務於海軍造船發展中心。