

地球上有七成面積都是海洋，為使國家發展佔據更有利的地位，無論是因為資源開發抑或軍事用途，水下載具都成為了世界各先進國家爭相投入的發展目標，我國多所大專院校及研究機構亦分別投入資源進行相關研究，由於水下載具涉及多種技術發展，包含結構、材料、水下動力、通信…等，本文僅就舵控邏輯部分進行簡述。

水下載具依照後舵翼機構的設置角度，基本區分為十字型舵及 X 型舵(衍生發展之其他特殊舵型，不在本文討論範疇)，如字形所表達之意，十字型舵就是由載具尾端往前視，會有與地面垂直的上下舵板及與地面水平的左右後平衡翼所組成的十字型舵翼機構，X 型舵之舵翼機構則是由載具尾端往前視，由四片翼板於載具尾端成 X 型設置組成，其中，十字型舵發展較早技術成熟，而 X 舵則為近年發展趨勢，而兩者的優缺點概述如下：

十字型舵：

優點-結構簡單、操作直覺，無電腦輔助亦可以人力控制行徑方向。

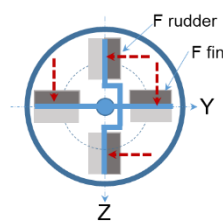
缺點-單一舵翼損壞對轉向控制影響較大，在靠近海底位置操作時，下舵板撞擊損壞風險高。

X 型舵：

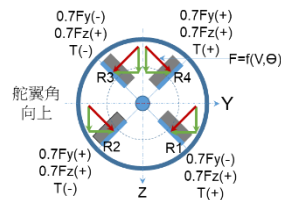
優點-操作效率高，可大幅增加載具靈活度，理論上即使有一兩個舵翼損壞，也仍然可以執行全方位轉向。

缺點-操作複雜，通常需要電腦系統輔助計算舵翼操控角度組合。

如上所述，X型舵的操作複雜，那到底是為何會稱之為複雜，需要電腦輔助才能有效控制呢?首先來看傳統十字型舵，由於是縱向的舵與橫向的翼分別各自運作，且上下舵與左右翼都分別是連動運動，因此操作很直觀，舵翼角度打多少，載具就會相對應的轉向，載具本身也不會有旋轉扭力產生。



$$\begin{aligned} F_y &= (+/-) 2.0 F_{\text{fin}} \\ F_z &= (+/-) 2.0 F_{\text{rudder}} \\ T &= 0 \end{aligned}$$

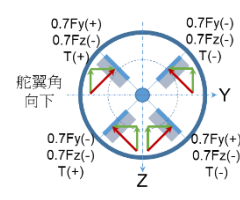


靜力方程式

$$F_y = R1y + R2y + R3y + R4y = -2.8 \sim +2.8F$$

$$F_z = R1z + R2z + R3z + R4z = -2.8 \sim +2.8F$$

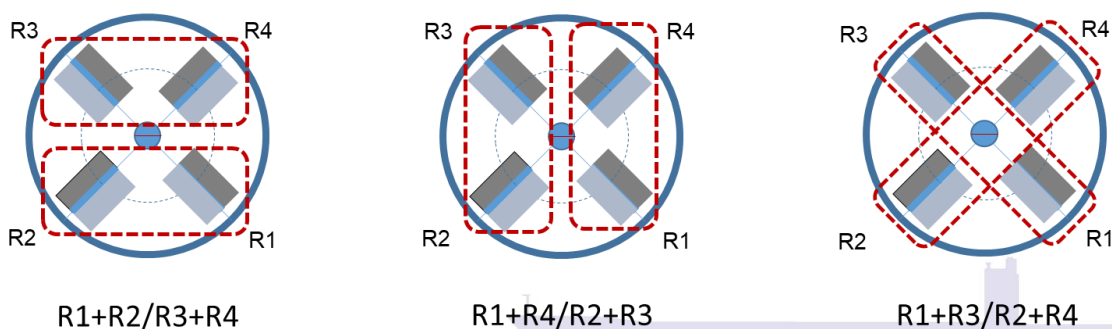
$$T = R1t + R2t + R3t + R4t = -4.0Fd \sim +4.0Fd (\text{翼片半徑})$$



到了X型舵，由於舵跟翼的功能已經合併了，無法再以直觀的人力感覺去控制，在舵翼控制時，常會有扭力產生，控制不當則將造成載具艙身旋轉，另外，各舵翼板若是四片可各自獨立進行隨意角度變換，會造成變數過多，即使使用電腦輔助，也難以產出對應控制邏輯去整合，因此，適當的限制舵翼活動，減少變數因子，才能讓舵翼系統成為可控的，以上所述，還是在各舵翼板作動正常的狀況下，實際上，還需考慮當舵翼系統部分故障，當可操控的舵翼板剩單片、雙片或三片的狀況，都大幅增加了控制的困難。

為了讓舵翼變數成為可控，我們可以設定在四片舵翼板分別獨立運作的狀況下，各翼板可以進行等角度的正向、負向與零度中位三種姿態活動，並依照排列組合，產出了 81 種運作模式，並經過分析，發現總計有 62 種組合都會產生扭力，會造成載具旋轉，另有 3 種組合在力抵銷後會讓載具保持原姿態，僅有 16 種組合實際可供載具運用(含 6 種組合僅影響縱向深度變化，6 種組合僅影響橫向航向變化，以及 4 種組合同時可影響縱向及橫向變化但不會產生旋轉扭力)。

為使輔助電腦能依程式有效控制舵翼機械，舵翼板應設計為兩兩聯動運作，基



本組合有以下 3 種：

其中，前兩種組合經評估，都僅能讓載具做縱向或橫向之單向運動，惟有第 3 種組合，由對角的翼片分別做反向的聯動，才能使載具做到縱向及橫向的運動。

水下載具採用 X 型舵已為當代主流，由本文淺談相關內容可知，雖然其控制邏輯遠較十字型舵為複雜，卻並不是一個遙不可及的空中閣樓，當然實際發展產製還有許多因子須納入考量，如航速、舵角限制、機械材料、機電整合控制、以及前文所提故障應變處理等，但憑國內之學術能量及工業技術，絕對是可達成的目標，期望後續在政府凝聚產學合作更緊密的推動下，我國水下載具的發展也能達到世界一流水準。

參考資料：

鍾慶富，2021，X 型舵翼系統控制邏輯

