

### 一、前言

浮力穩定 (buoyancy stability) 是軍艦設計中不可妥協的核心原則之一，牽涉到艦艇在靜止與運動中抵抗傾斜、保持穩定以及在損害後能否繼續浮航與戰鬥的能力。

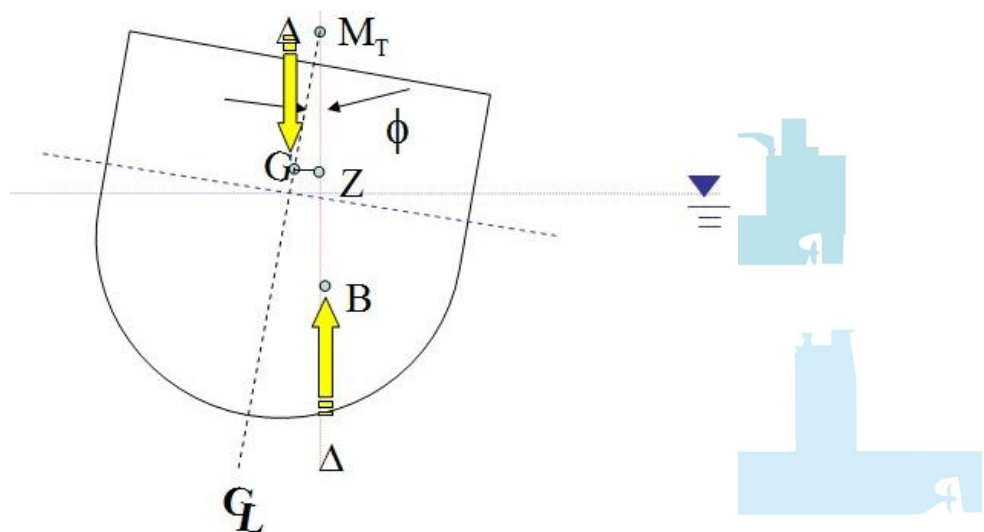
當穩定性不足時，不僅會降低作戰效能，更可能在關鍵時刻導致艦艇傾覆或沉沒。因此，理解浮力穩定的原理並在設計階段妥善運用，是軍艦設計環節不可或缺的根本。

### 二、浮力穩定介紹

(一) 浮力穩定主要依賴以下幾個參數(如圖一)：

1. 浮心 (B, Buoyancy Center)：浮力的作用點，位於排開水量的幾何中心。
2. 重心 (G, Center of Gravity)：艦體重力作用的中心，取決於內部設備、裝備與燃料分布。
3. 穩心 (M, Metacenter)：當艦艇傾斜一小角度時，新的浮心與原垂直線交點即為穩心。若穩心高於重心，艦艇具有正穩定性。
4. 穩性高度 (GM 值)： $GM = M - G$ ，是評估艦艇初穩性的關鍵指標。GM 值過小則穩性不足，過大則艦艇容易劇烈搖擺。

良好的浮力穩定性使艦艇在受到外力影響後能迅速恢復直立狀態，維持船體與系統操作的正常功能。



圖一：浮力穩定示意圖

## (二) 浮力穩定的重要性

### 1. 防止傾覆與沉沒

艦艇在實際海況中將不斷面對各類干擾力：如風浪衝擊、轉向過急、被敵火命中等。此時，艦體若無足夠穩性，很容易發生過度傾斜甚至翻覆。特別是在重心較高的設計（如配備大型雷達塔、垂直發射系統等）中，更需透過艦體線型與重量配置來抑制傾覆風險；軍艦相較商船更頻繁進入高風險區域、實施高速航行與戰術轉向，因此穩定性不只是舒適性問題，更是生存關鍵。

### 2. 維持作戰系統效能

軍艦上的武器、雷達與飛行作業對平台穩定性極為敏感。過度搖晃或傾斜會導致火控系統瞄準誤差上升、雷達追蹤與資料處理效率下降、垂直發射系統（VLS）發射安全降低以及艦載直升機（無人機）起降風險大幅增加，因此，穩定設計也與戰術表現直接掛鉤，不可輕忽。

### 3. 增強生存與應急能力

一艘具備良好浮力分布與穩定設計的艦艇，即使遭受嚴重損傷（如爆炸、進水），仍可能保持浮航狀態。例如二戰後期的艦艇便已普遍採用多重隔艙設計，確保局部破損不會導致整艘艦體喪失浮力；而現代軍艦進一步導入主動穩定系統（如自動壓載系統）、損管監控系統，以即時調整重心與浮力狀態，維持穩定並延長戰場存續時間。

## (三) 破損穩度 (Damage Stability)

「破損穩度」是軍艦在部分艙室進水或遭受損壞後，是否仍具備足夠穩性與浮力維持航行或作戰的能力。這是軍艦與商船在設計思維上的重大差異之一。

### 1. 水密隔艙與區隔設計

現代軍艦艙體通常劃分為多個水密區段（如橫向與縱向水密艙壁），可隔離損傷範圍。例如某艦若遭水雷命中船艏，透過自動關閉水密門可限制進水範圍，減少重心偏移與失去浮力的風險。

### 2. 破損穩度計算

設計階段會模擬各種損壞情境，包括單艙、雙艙甚至三艙同時破損，評估艦艇是否能保有最小傾斜角、最低 GM 值與最小自由浮力。若艦艇在破損後無法恢復穩性，即使未立即沉沒，也可能逐步翻覆。

### 3. 軍事規範要求

各國軍艦設計標準（如美國《NAVSEA 技術規範》或英國 MoD 標準）對破損穩度有嚴格規範，通常要求能在「至少兩個鄰接艙室同時進水」情境下仍保持正 GM 值與可操作性。

### 三、設計上的挑戰與取捨

#### (一) 高重心裝備與穩定性對抗

現代軍艦普遍配備大量上層建築與重型雷達、電戰系統等，使重心上升。此時設計者需透過以下條件實施取捨來調整整體 GM 值：

1. 壓載艙設計（加裝可調水艙）
2. 鋼材與複合材料優化配置
3. 機艙與彈艙下移等方式

#### (二) 艦型與排水量考量

艦體線型設計會影響初穩性（如寬度增加 GM 值）與航速（細長艦體有較高航速但穩性差）。軍艦設計常需在速度、穩定與匿蹤能力間平衡。例如：

1. 巡防艦重視穩定性與續航能力，艦體寬大
2. 匿蹤護衛艦（如瑞典 Visby 級）則採用低可視艦型，但需透過壓載與智能穩控補償穩性劣勢

#### (三) 載重變化影響穩定性

軍艦在任務中會因燃料消耗、裝備更換或損壞等因素導致重量重分布。設計需預留一定「穩定裕度」，並搭配動態穩定管理系統，自動調整壓載水與艙壓來維持 GM 值在安全範圍。

### 四、結論

浮力穩定與破損穩度是軍艦設計中的核心概念，直接關乎其生存性、戰鬥效能與操作安全。軍艦不只是能「浮起來」的戰鬥平台，而必須在損害與極端環境下持續維持作戰狀態；以俾斯麥號為例，其雖設計有良好穩性，但遭英軍魚雷重創舵機後失控，再經長時間砲擊造成進水與重心改變，最終無法維持破損穩度而沉沒。

一艘軍艦若無法在破損後保持穩定，就無法完成任務，也無法保全艦員生命。現代軍艦設計正日益重視主動穩控、智能損控與浮力模組優化等科技，讓軍艦在極限條件下依然「浮得穩、打得準、逃得掉」。

