

第五章 穩度與俯仰

船隻建造時，船體結構的設計，大部份決定了船隻的穩定性能。一般稱為剛性

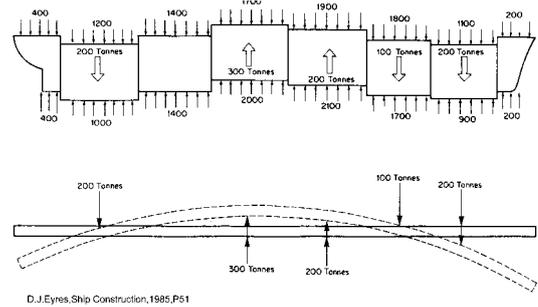
(Stiff) 與柔性 (Tender) 船隻者，係依據其傾斜恢復的難易與否為斷；而船性「剛柔」之取捨、造船設計師乃根據船隻的用途、裝運貨物等等條件加以決定，但一般言之，應考慮船體在結構上應承受最大之應力 (Maximum Stresses) 且具備最大之適航性 (Seaworthy)。船上官員在船隻設計方面的影響力雖小，但對船隻特性之了解與使用卻居重要地位。因此船隻航行於海上之屬性，操控於裝載官員所下之決定上。

船上裝貨狀況，可增加或減少船隻構造上局部的應力。而其耐航力卻與船上貨物的分佈、有極密切關連。

本章之目的，不在於單純講解穩定性，而在說明此穩定性在保持船體應力於正常限度方面，為一極重要的課題；且亦強調裝載上良好之措施，將使任一船隻趨吉避凶，保持安適的航行。

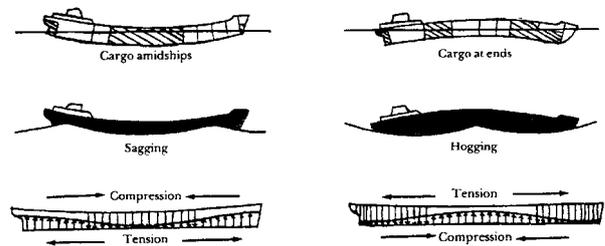
第一節 船體應力之分析

圖表示一艘普通形狀船隻、空載在一靜止之水面上，為了說明方便說明、試將船體劃分為八段 (艙間)，各艙將依其重量各自下沉至某一深度，以達到其所排開水重與其此重量相等為止。惟在船體設計上艏與艉部份，兩皆尖小，這兩個艙間所佔體積，不如船中艙間為大，為維持浮力平衡，必需下沉更深，吃水較大。中央艙的體積雖亦呈小，但含有主機重量亦大，故猶如艏艉兩艙，下沉較深。由於以上各艙浮沉程度不一；各段浮力之作用，使船承受著一種縱向彎曲之力 (Longitudinal Bending)，以應力線 (Line of stress) 表示之。



基於以上現象，船舶之中間主艙，應裝載重貨，前後艙留以裝載較輕貨物；以抵消減少船體彎曲之應力。

船隻在航行中受海浪扭曲之情況。在第一種情況下，船體中部被浪峰拱起，艏艉兩端因浮力不足呈懸空狀態，亦即相似船之首尾兩端載重大，使兩端下座，船中上拱之現象，稱之謂中拱 (Hogging)。反之第二種狀況，是船體兩端被二個相鄰浪峰拱起，船中適居於浪谷凹處，這猶如載重集中於船體中部，船中向下垂沉，稱之謂中垂 (Sagging)。所有船隻，不論其輕載或重載，在航行中皆會承受以上中拱及中垂之應力。



Hogging and sagging.

William E. George, Stability and Trim for the Ship's Officer, 1990, P159

雖然，把重貨集中裝載於船隻中部，將有利於抵消船體的應力，但在裝卸計劃作業時，除針對船體原有彎曲之趨向施以改進外，對貨物之配載 (Distribution) 尚應作通盤之安排，仔細地考慮。

如全部接受重貨裝載中央，兩端留載輕貨之原則，即在風平浪靜水面上，亦將使船體中拱與中垂之現象更為增加；而船體在設計上所生之應力狀況亦無從抵銷故一般船隻之設計與個別性能，將成為決定配載 (Distribution) 比例之因素。大副或負責裝

載官員，在其決定本船裝配方式之前，通常需要二三個航次經驗，分別施以不同方式之配載，以考驗其最適應之方式。據統計一般型式船隻之配載原則：以 60% 貨重裝載於船中，剩下 40% 重量適當分配兩端，將可得到相當滿意之效果。

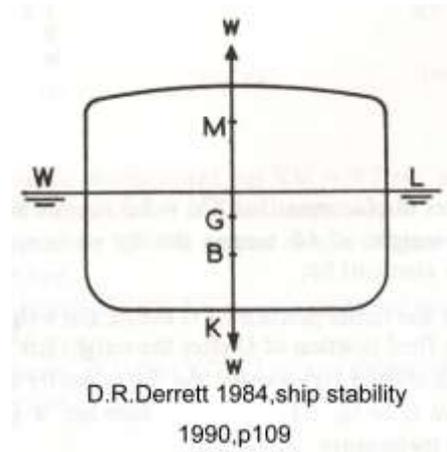
此種將適當量分裝於艙艙之措施，除了管制船體應力外，亦能改良船隻航行中的縱搖 (Pitching)。若縱搖速度緩慢，船頭部份易向下沉，引上多量海水，此項額外增加之海水，將使前甲板增加了局部的應力。進而將發生前艙進水，導致貨損之現象。由於避免上述不良因素，故船隻之縱搖速度，乃寧取急促，力避緩慢。英國作戰運輸部，基於海上人命安全觀點，曾建議裝載貨物應使船隻縱搖運動，變得輕快為原則，由此可見其一斑。配載與船體平衡的關係，在以下章節中將作進一步之說明。

第二節 重心、浮力中心、穩定中心

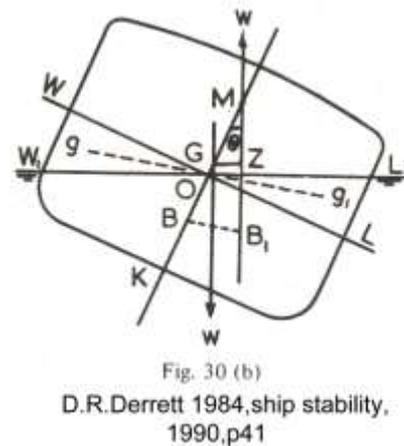
船是浮行在水面，本身有其重量，有重量當必有重心 (Center of Gravity)，船的整個重量便集中在此一重心點，而由此一點代表全體的重量。其作用方向係與水平面垂直，迫使船體普遍下沉。其下沉的深度，根據浮力原理，必是船體所排開水的重量應與船重完全相等為止。此時船不上浮，亦不下沉，呈靜止狀態；而船在水平面以下，所排去水的體積中心，便是浮力中心 (Center of Buoyancy)。船體所受水下浮力，使作用在此一浮力中心點上，其力量的大小是和船重相等，而方向相反，亦即取與水平面垂直的方向向上托，船便是藉此托力浮在水中的。

如圖所示，G 表船之重心點，B 表浮力中心點，則船在平正 (Upright) 的狀態下，船之重量在 G 點依箭頭向下壓，水的浮力則在 B 點依箭頭向上托，二者力量相等，方向則相反，且二者皆位於船的中心線 ww 上。圖上 K 點是表船底龍骨，船的深度是自此點

起計，W.L. 是表水平面線。



但船行駛在海上是不能永遠維持此種平正狀態的，遇有風浪會產生船身的擺動，而在橫向方面的擺動稱之為橫搖 (Rolling)。船身一經搖擺，便會對原來的狀態有所的改變，如圖便是以上同一的船突經外力影響暫時把船頃向右側的例子。



船隻傾斜時，假設船內所有一切重量，分佈情況完全原封未動，則重心點 G 仍在原處，即船重 W 仍是經過此點，取與水平面垂直的方向下壓 (GW)，但浮力中心 B 點此時則不能再守住原來位置，自 B 點移至 B_1 點位置上。蓋船身在水平面下所排除水的體積形狀有所改變 (即原是 W_LK ，現則是 W_1L_1K)，新浮力中心 B_1 應為 W_1L_1K 水下體積之中心。於是全部浮力亦改為通過此一 B_1 點，沿與水平面垂直方向 B_1w 使船上浮。此時因 G 點未曾移動，尚在船的 MK 線上，而新的浮力既須通過 B_1 垂直上推，則 B_1w 線必和船

中線 MK 相交於一點 M。M 點稱為穩定中心 (Metacenter)。沿船中線 MK 上量自重心點 G 至穩定中心 M 之距離 GM 稱之為穩定中心高度 (Metacenter Height)。在貨物裝載上至為重要。請參閱下節之討論。

第三節 船隻復正之諸力

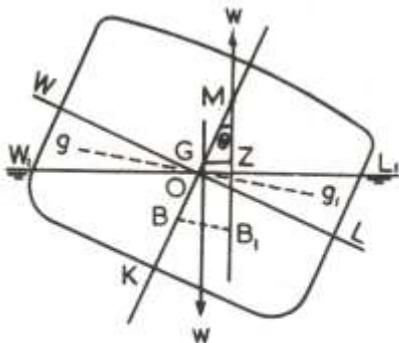


Fig. 30 (b)
D.R. Derrett 1984, ship stability,
1990, p41

在圖中，由於船身傾斜，已產生了兩根扭力作用的線：一根是受浮力作用的向上垂直線 B_1M ；另一根是受船重力作用的向下垂直線 GW ，此二根線互相平行。此二線間之距離 GZ ，係引自重力線的 G 點向浮力線 B_1M 的垂線，依力學原理以上兩種力量必定會產生扭力 (Couple)。由此種扭力，企圖使船體回復平正。即由浮力作用經 Z 點能使船的右側上浮；同時由左側的船重作用經 G 點，能使船的左側下降，且該二力大小相等，方向相反，終能使船身回復平正。

依以上所論可以看出，此種自船本身產生能使船身回復到平正的把力，是與此一 GZ 長短有絕大關係。因扭力的力矩 (Moment) 是由於距離與重量相乘而產生：

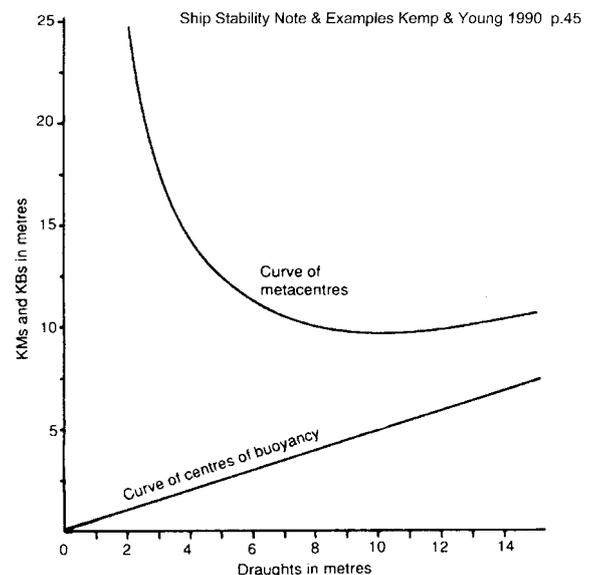
$$\text{扭力力矩 (Moment)} = GZ \times W$$

在上述公述中， W 即是船重，亦即等於浮力，如 w 量為一定值，則此扭力動量的大小，係直接由 GZ 長短來決定。舉例來說：如一船的排水量為 10,000 噸， GZ 長 1 公尺，其扭力力矩便是 10,000 噸 \times 1 公尺 =

10,000 公尺噸， GZ 長 0.6 公尺，扭力力矩則為 10,000 噸 \times 0.6 公尺 = 6,000 噸 \times 公尺。當 GZ 等於零時，扭力力矩則變為零 10,000 噸 \times 0 = 0。因之 GZ 的長短，是把船回復平正力量的決定因素。故在學理上 GZ 特稱為復元力臂 (Righting Arm)，同時 $GZ \times W$ 量，又稱為復原力矩 (Righting moment)

至此如作進一步觀察，復元力臂 GZ 長短與 GM 的長短有直接的關係。不論是 M 點下移或 G 點上移，皆可使 GM 變小，由於 GM 變小，當會二平行線 B_1M 與 GW 間距離接近，換言之即是 GZ 變短；反之如 M 點上移，或 G 點下降，皆可使 GM 長短變大，當又會使二根平行線間距離拉大，於是 GZ 便會變長。

一船的 M 點距船底龍骨 K 點的相關位置，在一定的水尺，與船身傾斜度不大過 2° 以上情況下，均保持不變的，圖為一中型船 M 點高出龍骨高度的曲線。



簡稱穩定中心曲線，曲線上 $T KM$ 係表橫向 (Transverse) KM 之高度。在圖上可看出當水尺為 5 米時， M 點高出 K 點或 KM 之長度 12.5 米，又在水尺為 10 米時 KM 為 10 米半。此曲線為造船廠設計之各種靜水曲線 (Hydrostatic Curves) 之一，由船廠供給船上官員使用。

至於G點，因是表示船重量的中心，當依船上所載貨物的位置不同而隨時變動。重物在船中位置裝得高，重心G亦必提高，重物裝得低，G點亦必降得低。

前此各圖中所假定船上G點所處的位置，皆是在正常的狀態下，因G點對M點的距離很長，其結果能產生一相當長的復元力臂GZ，於是可生出 $GZ \times W$ 的復元力矩，即是如船原在平正不斜的狀態浮在水上，忽而受風浪外力造成船身傾斜一側時，則此外來之力必須大於此 $GZ \times W$ 之力；而在復正時，船自身亦必須生出此一 $GZ \times W$ 力量，使船回復至原來平正狀態。由此可知具有GZ相當長度的船，是不易受輕微外力而致傾斜的，且一旦傾斜時也極易向復原來平正狀況。船隻裝載貨物時，可使GM發生變化，船舶橫向穩定中心點M高出龍骨基點K關係，於第四節中討論。

第四節 定傾中心及扶正力臂

茲以三種平衡說明之：

一、穩定平衡 (Stable Equilibrium)

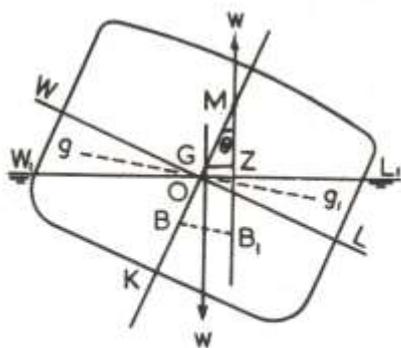
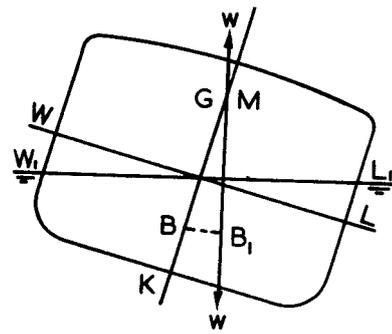


Fig. 30 (b)
D.R.Derrett 1984, ship stability,
1990, p41

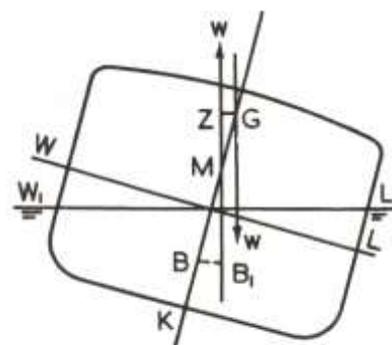
在裝載貨物時，如能保持重心G在穩定中心M之下，如圖所示船體向右侧傾斜，其所生復元力矩 $GZ \times w$ 往往使船立刻回復至平正狀態 (Even Keel)。船處在具有此種復元力量狀態下，不易傾覆，稱之為穩定平衡。

二、隨遇平衡 (Neutral Equilibrium)



如把船中的貨物，自大艙上移至二層艙 (Tween Deck)，其結果必使G點升高，GM逐漸縮短。亦即G漸漸接近M點，最後如圖所示：G與M二點合而為一，此時GZ為零， $GZ \times W = 0 \times W = 0$ ，在此狀況下，船可受極小的外力即會傾斜；且傾斜之後，船隻自身亦不能生出任何復原力矩。船處在此種狀況下，非常危險，稱之為隨遇平衡。

三、不穩定平衡 (Unstable Equilibrium)



D.R.Derrett 1984, ship stability
1990, p43

至此如船上貨物仍繼續上提，而造成G點高出M點如圖，則可看出新浮力中心 B_1 與重心點G的關係位置與穩定平衡適相反。 GW 現作用於 B_1M 的力矩，且向下壓； B_1M 則作用在 GW 的左側，且是向上舉的。此上下兩力量所生之力矩反使船身更向傾斜方向偏轉，加速其傾覆，故稱之傾覆力矩 (Capsizing Moment) 船處在此狀態稱之為不穩定平

衡。

綜合以上，便可下一結論，船舶在裝載貨物時，絕不許可造成重心點高過穩定中心M，以防船身自行傾覆現象的形成。

第五節 GM長度與船隻的穩定度

G與M間之關係既說明如上，GM間之長度，稱之為「穩定中心高度」(Metacentric Height)。M點處在G點之上時，GM為正值；反之G點居於M點之上時，GM為負值。在貨物裝載的要求上，GM必須為正值，蓋有正值的GM方有使船回復平正的力量。

由此可知裝貨配載的基本原則、乃是GM必須為正值，又依以上的圖解可看出欲使船無傾覆危險，最好是將正值的GM適度地加長，因如前所論，G'M長，G'Z亦長，結果所產生的GZ xW之復原力矩亦大。船自無傾覆的危險。但在此必須注意，GM又不可過長，因GM過長，便會造成GZ xW力量太大，而太大的復元力矩，能很迅速地將一已傾斜的船身，回復至平正狀態。此項扭力愈大，所需回復時間愈短，所施以船體之震動亦愈烈；船在此種情況下，稱之為船呈「剛性」(Stiff)。人在此船上感覺極不舒適，所裝貨物亦易移動。船體結構將的招致損害。因此之故，船隻在裝載分配貨重時，如將貨重盡量積載於下大艙，造成G點極低，GM過份加長，雖無覆舟危險，然因貨物移動亦會造成船體嚴重之損害。反之船的配載情況使GM正值過短，船隻易感受外力而傾斜，同時又難於即時自行回復平正狀態，亦即船隻需要較長的時間慢慢回復原狀，船在此種情況下，稱之為船呈「柔性」(Tender)；人在船上感覺比較舒適，貨物不易移動，船體結構亦不會損傷。但柔性過大的船，GM必甚短，其穩定狀況不佳，因此如在配貨時，將重貨位置不慎提高，極易造成G點接近M點之情態，此亦貨物裝載上最忌諱狀態之一。

至此吾人又可下一結論：裝貨配載時，必須使GM為正值，而GM之長度又必須不可過長或過短。過長GM會將船變成過份剛性；過短GM把船變成過份柔性。吾人要在此二者之間選擇GM之長度。

船隻合適的GM值，隨各船而異，一艘萬噸左右貨輪，其值應在60公分左右。自船舶設計的觀點言，如裝載貨物時能依照「裝貨慣則」來分配貨重，最後所得的GM值均能接近其原設計的理想長度。該項「裝貨慣則」一般言之：即貨重三分之二在下大艙，三分之一在中層艙。

現時對GM的長度合適與否，有一很接近的概估方法已為大家所接受；即以船舶之寬度為準而取寬度之某一百分比數，作為合理之長度。下表為不同種類船舶，所取船寬百分比之情形：

船類	GM應相當船寬之百為比
客輪	2%
乾貨輪	5%
油輪	8%

如各船舶寬皆為15米，則各船GM之合理長度為：

$$\text{客輪} : 15\text{M} \times 2\% = 30\text{cm}$$

$$\text{乾貨輪} : 15\text{M} \times 5\% = 75\text{cm}$$

$$\text{油輪} : 15\text{M} \times 8\% = 120\text{cm}$$

以上不同類型船隻，其GM長度互有差異之原因，除因船型之構造不同的因素外，則是在不損害船體安全之原則下，盡量以達到使人員在船上生活舒適為目的，客輪以搭客為主，當以舒適為先，其GM之長應在穩定的安全限度內盡量縮短；乾貨輪及油輪，則在船員能接受之搖擺情況範圍內，盡量將GM加長，亦即將重貨裝入下大艙之比例可予增加。

第六節 水尺變化與俯仰差

(一)穩心高度 (GM) 之計算

計算程序及公式如下：

- 1、由垂向力矩計算出KG，所用公式如下：

$$KG = \frac{\text{Total Weight Moment}}{\text{Total Weight}}$$

Total weight moment 為輕載狀態重量力矩加載重量力矩。

Total weight 為輕載狀態重量加載重量。

輕載狀態 (Light Condition) 重量在 Dead Weight Scale 或穩定性藍圖資料中查出，有些資料寫為 Light Ship。空船輕載狀態重量力矩為輕載狀態重量乘以其垂向重心高 (VCG)，VCG 在穩定性資料中查出，載重量為燃油、淡水、壓艙水、常積量及貨物重量之和。載重量力矩為各重量乘以其各別之 VCG，各 VCG 在油水艙容量及穩定性資料中查出。

- 2、由靜水曲線圖中之橫向穩心龍骨上高 (Transverse Metacenter height above keel) 曲線上或穩定性資料中以平均水尺查出 KM。

- 3、算出GM，所用公式如下：

$$GM = KM - KG$$

(二)自由液面效應之計算

- 1、全船重心虛升？

$$GG_0 = \frac{\text{Total Free Surface Moment}}{\text{Displacement}}$$

Total free surface moment 為有自由液面效應之各艙櫃之自由液面力矩之和。

艙櫃之自由液面力矩 = IP

I 為艙櫃之自由液面體積力矩，在艙櫃測尺容量表 (Tank Scale Table) 中查出。

P 為該艙櫃液體之密度。

- 2、因自由液面效應修正之穩心高度

$$G_0M = GM - GG_0$$

(三)俯仰差之計算

- 1、傾心力矩法求俯仰差之變化

此法用於少數重量之裝卸頗準確，但用於大量重量之裝卸則為近似值。所用公式如下：

公制船

$$\text{俯仰差變化 (cm)} = \frac{\text{Net Trimming Moments About Tipping Center}}{MTC}$$

或

$$\text{俯仰差變化 (m)} = \frac{\text{Net Trimming Moments About Tipping Center}}{MTC \times 100}$$

傾心 (Tipping Center) 又稱浮面心 (Center of Floatation)，符號為 T. C. 或 F。其位置之表示，自舳線起算者為 ⊗ F，有時以「-」代表其在 ⊗ 之前，以「+」號代表其在 ⊗ 之後；甚多歐洲船之資料中自艏垂線 (A P) 起算者為 A P - F。

公式中 Net Trimming Moments about Tipping Center 為對傾心之淨俯仰差力矩。淨俯差力矩為 T. C. 之前者，俯仰差變化為艏重，在 T. C. 之後者俯仰差變化為艉重。

- 2、縱向重心法求俯仰差變化

此法為更準確之算法，用於少量重量之裝卸似嫌過繁，用於大量重量之裝卸則甚準確。計算時因將輕載狀態及載重量均列入，故所求出俯仰差變化套備為俯仰差。所用公式如下：

公制船

$$\text{俯仰差} = \frac{\Delta \times [(\pm \otimes G) - (\pm \otimes B)]}{MTC} \text{ (cm)}$$

$$\text{或} = \frac{\Delta \times [(\pm \otimes G) - (\pm \otimes B)]}{MTC \times 100} \text{ (m)}$$

△ 為排水量

± ⊗ G 為縱向重心 (L C G) 自舳線起算之位置，「+」號為 L C G 在 ⊗ 之

後，「-」為LCG在⊗之前。

±⊗B為縱向浮力心(LCB)自舢線起算之位置，「+」號為LCB在⊗之後，「-」為LCB在⊗之前。

計算結果為「+」值則俯仰差艙重，為「-」值則俯仰差艙重。

3、利用俯仰差調度表(Trimming Table)查算俯仰差變化

利用船上俯仰差調度表可迅速查算裝卸或移動貨物之俯仰差變化

4、移動貨物之俯仰差變化計算。

移動貨物位置而不增減貨重，其俯仰差變化所用公式如下：

公制船

$$\text{俯仰差變化} = \frac{W \times D}{MTC} \text{ (cm)}$$

$$\text{或} = \frac{W \times D}{MTC \times 100} \text{ (m)}$$

W為移動貨物之重量

D為移動貨物之距離

(四)因俯仰差變化求艙艵水尺變化

1、近似算法

俯仰差變化艵重時：

$$\text{艵水尺變化} = -\frac{2}{T}$$

$$\text{艵水尺變化} = +\frac{2}{T}$$

俯仰差變化艵重時，正負號相反。

2、準確算法

俯仰差變化艵重時：

$$\text{艵水尺變化} = -T \times \frac{\frac{LPP}{2} + (\pm \otimes F)}{LPP}$$

$$\text{艵水尺變化} = +T \times \frac{\frac{LPP}{2} + (\pm \otimes F)}{LPP}$$

俯仰差變化艵重時，正負號相反。

(五)因裝卸貨物之平均水尺變化

裝貨後平均水尺增加，卸貨後平均水

尺減少，平均水尺與艵、艵水尺變化量相同，所用公式如下：

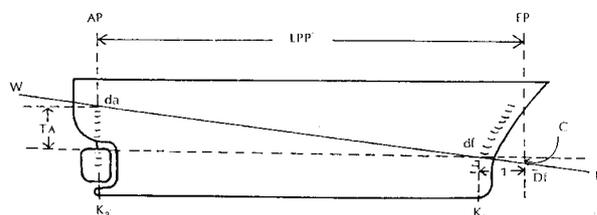
公制船 (cm)

$$\text{平均水尺變化量} = \frac{\text{貨物重量增減變化量}}{TPC}$$

大量重量裝卸，以Dead Weight Scale求最後平均水尺，更為準確，最後平均水尺與原平均水尺之差即為平均水尺變化量，艵艵水尺變化量相同。如以縱向重心法求俯仰差時，以排水量或載重量在Dead Weight Scale圖上直接查出最後平均水尺。

(六)艵水尺修正 (Stem Correction)

船舶之艵材採用斜式或曲線式，故艵水尺標誌不能沿艵垂線(FP)標示。此種艵水尺標誌在船有俯仰差時則不能顯示正確之艵水尺，故需加以修正。此修正也稱為因俯仰差之艵水尺修正 (Fore Draft Correction by Trim)。所用公式如下並參閱附圖。



$$\text{修正數 Corr.} = \frac{1 \times TA}{LPP - 1}$$

艵重 (B/H) 時為「+」值

艵重 (B/S) 時為「-」值

圖中：

WL 為非平浮 (Even keel) 狀態之水線

FP 艵垂線

AP 艵垂線

LPP 艵艵垂線間船長

df 艵水尺，此狀況為非正確之艵水尺，稱之為視艵水尺 (Apparent Fore Draft)。

da 艵水尺，此狀況係沿AP標示者，為正確之艵水尺，稱之為真艵水尺 (True Aft

Draft)。

T_A 為 $da - df$ ，為非正確之俯仰差，稱之為視俯仰差 (Apparent Trim)。

Df 正確之艏水尺，稱之為真艏水尺 (True Fore Draft)。

(七) 艏水尺及舳水尺修正

有些船之艏水尺之全部或部分標示於艏垂線之前，也有些船之舳水尺之全部或部分標示於舳線旁側位置。此種艏水尺或舳水尺在船非平浮 (Even Keel) 時，則不能顯示正確之艏水尺或舳水尺。讀取艏水尺時，如標誌不在艏垂線，則稱之為視艏水尺 (Apparent Aft Draft)；如舳水尺標誌不在舳線，則稱之為視舳水尺 (Apparent Midship Draft)。視艏水尺及視舳水尺在船非平浮時也均需修正，修正方法之原理與艏水尺修正方法相同。

(八) 艏、艏、舳水尺以船上藍圖資料修正

目前船上對艏、艏、舳水尺之修正均有藍圖資料，並不需要上述之公式方法修正，上述之公式方法目的在介紹修正之原理。藍圖之修正資料多為曲線圖式，只要看清楚使用之說明，即可迅速查出該等修正數。

(九) 船體縱向彎曲之水尺修正 (Draft Correction by the Ship's Longitudinal Bending)

船體縱向方面重量分佈與浮力及結構關係，總是不能使保持縱向完全之平直。如艏艏平均水尺小於舳水尺為中垂 (Sagging) 變形，如艏艏平均水尺大於舳水尺則為中拱 (Hogging) 變形，欲求正確之平均水尺 (Mean Draft) 則需予以修正。

1、造船學中以水平面係數 (Water Plane Coefficient) 為依據計算之公式如下：

$$\text{中垂時：平均水尺} = \text{FAM} + \frac{3}{4}d$$

$$\text{中拱時：平均水尺} = \text{FAM} - \frac{3}{4}d$$

FAM：為艏艏平均水尺

d ：為船體彎曲水尺差 (Deflection)，即艏艏平均水尺 (FAM) 與舳水尺之差。

2、水尺檢定 (Draft Survey) 時所用方式
第一次平均 (1st Mean 或 Mean of Mean 或簡寫 M/M)

$$1st\ Mean = \frac{FAM + MidM}{2}$$

第二次平均 (2nd Mean 或 Mean of Mean of Mean 或簡寫 $M/M/M$)

$$2nd\ Mean = \frac{1stMean + MidMean}{2}$$

Mid Mean：為舳水尺左右平均水尺 (Midship Mean)，因舳水尺左右舷常相差較大，故特別寫出平均 (Mean) 之字樣。事實上 FAM 中艏水尺 (F) 及艏水尺 (A) 也應左右舷平均。

以上兩種方法結果相同。

(十) 以平均水尺查出之排水量因俯仰差之修正

1、由浮面心之排水量修正 (Displacement Correction by the Center of Flotation)

船上排水量資料或載重量資料，係以船平浮時之水尺為基準，因船舶不變更其排水量時之俯仰 (小角度) 以浮面心為其支點，並不以船長中心之舳點為支點。以浮面心之水尺查出之排水量始為正確；以船長中心之水尺，即上述修正後之平均水尺，在有俯仰差時查出之排水量則需加修正。修正公式如下。

公制船

$$\text{修正數 (KT)} = \frac{\otimes F \times T}{LPP} \times TPC \times 100$$

修正數之正負之規則如下：

艏重時：F 在舳線前為「-」，反之為

「+」。

艙重時：F 在舢線前為「+」，反之為「-」。

式中之 T 為真俯仰差 (True Trim)，即真艙、艙水尺之差。

2、由水尺差力矩之排水量修正 (Displacement Correction by Trimming Moment)

於俯仰差較大時，僅作浮面心之排水量修正則誤差較大，尚需作俯仰差力矩之排水量修正。通常稱浮面心之排水量修正為第一修正，水尺差力矩之排水量修正為第二修正。第二修正公式如下：

公制船

$$\text{修正數 (KT)} = 50 \times \frac{T^2}{LPP} \times \frac{dm}{dz}$$

$\frac{dm}{dz}$ 為俯仰差力矩之差率，公制為平均水

尺之 0.5M 上及下之 MTC 之差。修正數無論在艙重或艙重之狀況，均為「+」值。

(十一) 因海水密度對排水量之修正

船上排水量或載重量之資料，係以標準海水密度為基準，公制船為 1.025KT/M³ (1025Kg/M³)，英制船為每 35ft³ 排水體積 1 LT (1025OZ./ft³)。如船在非標準海水密度之水域，由平均水尺在資料中查出之排水量，於上述俯仰差之修正後，尚需海水密度之修正 (Density Correction) 或海水比重之修正 (S.G. Correction)，所用公式如下：

$$\text{修正數 } \Delta' = \frac{\Delta(1.025 - S.G.)}{1.025}$$

因絕大多數港口海水密度小於 1.025KT/M³，故修正數多為「-」值，如果所在港口海水密度大於 1.025KT/M³ 時，則修正數為「+」值 (即由公式算出為「-」值時)。

公制船及英制船所用公式相同，式中：Δ' 為排水量修正噸數，公制船為 KT。

S.G. 為所在水域之水比重，測量比重所

用比重表規格為 $d \frac{15}{4} C$ ，此重表所

刻讀數無小數點，故計算時通常也將公式中 1.025 標準比重之小數點略除。

(十二) 由排水量求載貨重量

1、空船裝貨計算方法

(1) 裝貨前求出常積量，算法如下：

常積量 = 排水量 - 當時燃油重 - 當時淡水重 - 當時壓艙水重 - 空船重

(2) 裝貨後求出載貨重量，算法如下：

載貨重 = (如有) - 常積量 - 空船重 - 排水量 (裝貨後者) - 當時燃油重 - 當時淡水重 - 當時壓艙水重

2、已在前一裝貨港裝過部分貨物後再裝貨計算方法

(1) 裝貨前求出原載貨重、常積量及空船重之合計重量，即總不變量，算法如下：

總不變量 = 當時排水量 - 當時之燃油重 - 當時之淡水重 - 當時壓艙水重

(2) 裝貨後求出載貨重，算法如下：

載貨重 = 裝貨後排水量 - 當時燃油重 - 當時淡水重 - 當時壓艙水重 (如有) - 總不變量

(十三) 由排水量求卸貨重量

與上述求載貨量原理相同，狀況相反而已。

(十四) 海水密度不同對水尺之變化

所用公式如下：

公制船

$$\text{水尺增減} = \frac{\Delta(\partial - \partial_1)}{\partial \times TPC}$$

Δ：為排水量

∂：原水域海水比重

∂₁：新水域海水比重

自比重較大之水域駛至比重較小之水域，水尺增；反之則減。

如自標準比重 (1.025) 之水域駛入比重較小

比重之水域，或自較小比重之水域駛至標準
比重水域，其水尺增減公式則如下式：
公制船

$$\text{水尺增減 (cm)} = \frac{\Delta(1.025 - S.G.)}{S.G. \times TPC}$$

$$\frac{\Delta(1.025 - S.G.)}{TPC}$$

以上之公式之分母部分無論是否含有 S. G. 均屬近似值，但實用計算已足夠正確。尚須注意者，此公式與海水密度對排水量公式不同，不可通用。

(十五) 重量貨物預定裝載量之計算

此項計算首先與公司洽定自裝貨港至卸貨港航程所需油水量，補給方面係卸貨港，抑或安排在中途港口，也得加以考慮，雖然為要多裝貨載，應儘量減少船舶油水等 Condition，但對航行中可能額外之消耗量也應預留。茲以一簡單範例將計算說明如下：

出港時之 Condition：

F.W.	200KT
F.O.	300KT
D.O	60 KT .
B.W.	0
Constant	95KT

Total 655KT

預定載貨重量：

Summer D.W.	8775.5 KT
(裝貨港當時為夏季區)	
Condition	655 KT
Capable Loading Wt.	8120.5 KT
Spare Wt.	60.5 KT

Permitted loading Wt. 8060 KT

預定載貨重量即為 Permitted Loading Wt. 8060 KT，至於在 Capable Loading Wt. 中扣除之備重量 Spare Wt. 60.5KT 為避免

裝載後超過滿載水尺，如水尺讀取之誤差，裝貨計量之誤差，不能泵盡之壓艙水，不能泵出之艙底水，貨物中水份不正確，袋裝貨物之包裝袋重量預估誤差等。

(十六) 因載重線地區之不同而作最經濟裝載量之計算

因裝貨港、卸貨港以及航途所經海洋之載重季節期區域不同，船舶之載重量也因之而異，在裝載計劃時應加考慮，以避免超載或不足載，達到最經濟最大之裝貨量。如裝貨港為夏載重期區域，卸貨港為冬季載重期區域，航程甚遠，途中經過熱帶載重期區域，中途加油水甚為有利，決定在中途補給油水，補給油水港口為熱帶載重期區，載重量計算依下列之步驟及方法。

1、以裝貨港出港時之油水 Condition 算出抵中途補給港剩餘之油水量，算出中途補給港至卸貨港必須之油水量，後者減前者即為中途補給油水量。

2、以裝貨港之 Condition 算出夏季滿載可載貨物重量，以中途航加油水後之 Condition 算出熱帶滿載貨物重量，以抵達卸貨港之油水 Condition 算出冬季滿載可載貨物重量。

3、以裝貨港、中途補給港、卸貨港三者可載貨物重量最小者為裝貨量，則即可達到最大裝載量而不超載。

(十七) 船體所受剪力及彎矩之計算

船舶裝卸貨時，貨物縱向分配不能平均或對船體縱向受力有疑問應計算剪力及彎矩。其剪力及彎矩不超過藍圖資料中之許可限度才可，此項計算自艙至艙以各艙壁 (bulkhead) 為計算點，計算所用公式如下：

$$\text{剪力 (Shearing force)} = W_H + W_D - B$$

$$\text{彎矩 (Bending Moment)} = M_H + M_D - M_B$$

W_H : 為所計算之艙壁至艙間載重量，由造船廠提供列入藍圖資料。

W_D : 為所計算之艙壁至艙間載重量，即其中之載貨、燃油、淡水及壓艙水等重量之和。

B : 為所計算之艙壁至艙間載重量，因水尺及俯仰差不同而有不同，由造船廠依不同之平均水尺或艙水尺列表提供，並提供不同之俯仰差修正之資料，也有不直接提供該浮力之數值，而以積分因數法 (Integral factor method) 提供因數。

M_H : 為在所計算之艙壁處，由 W_H 產生之力矩，即 $W_H \times L$ ， L 為該力矩之力臂，由造船廠提供列入藍圖資料。

M_D : 為在所計算之艙壁處，由 W_D 產生之力矩，即 $W_D \times L$ ，為該部分中各種載貨、燃料油、淡水、壓艙水之各別重量乘以其對所計算之艙壁處之各別力臂所得之各別力矩之總和。各別力臂之數值，由造船廠提供列入藍圖資料。

M_B : 為在所計算之艙壁處，由 B 產生之力矩，稱之為浮力力矩 (Buoyancy Moment)，因水尺及俯仰差不同而異，由造船廠提供，並提供不同之俯仰差修正之資料，也有不直接提供浮力力矩之數值，而以積分因數法提供因數。

Ex1: 某輪長 100 米，寬 12 米，模深 6 米，在密度 1.010 海水中排水量 4040 噸，若已知該輪方塊係數 $C_b=0.75$ ，求該輪儲備浮力 (Reserve buoyancy)。

$$\text{排水量體積} = 4040 \div 1.010 = 4000 \text{m}^3$$

$$\text{船模體積} = 100 \times 12 \times 6 \times 0.75 = 5400 \text{m}^3$$

$$\text{儲備浮力} = 5400 - 4000 = 1400 \text{m}^3$$

Ex2: 某輪在河道上游港，密度 1.002，裝貨至夏季吃水線，然後駛往下游港，密度 1.017，途中消耗油水 25 噸，再裝貨 100 噸，此時水線恰又達夏季吃水，求該輪在海水中的夏季吃水排水量。

$$\text{排水量} = \text{體積} \times \text{密度}$$

$$\text{假設該輪夏季吃水排水體積} = V$$

$$V \times 1.002 - 25 + 100 = V \times 1.017$$

$$V = 5000 \text{m}^3$$

$$\text{排水量噸位} = 5000 \times 1.025 = 5125 \text{噸}$$

Ex3: 某輪排水量 13000 噸，KM10.5 米 (假設不變)，KG9.5 米，裝貨 400 噸於 KG2.9 米，900 噸於 KG6.0 米，1500 噸於 KG10.6 米，2000 噸於 KG8.3 米；卸貨 700 噸於 KG1.5 米，300 噸於 KG12.7 米，求裝卸完成後，新 GM。

重量(噸)	重心(米)	力矩(米-噸)
13000	9.5	123500
400	2.9	1160
900	6.0	5400
1500	10.6	15900
2000	8.3	16600
-700	1.5	-1050
-300	12.7	-3810
$\Sigma=16800$		$\Sigma=157700$

$$\text{新 KG} = 157700 \div 16800 = 9.387 \text{m}$$

$$\text{新 GM} = 10.5 - 9.387 = 1.113 \text{m}$$

Ex4: 某輪排水量 5800 噸，KM7.0m，KG6.0m，今欲裝貨於甲板上 KG11.0m 之處，求使 GM 不小於 0.75m 之最大裝貨量。

假設裝貨 w 噸

重量(噸)	重心(米)	力矩(米-噸)
-------	-------	---------

5800	6.0	34800
W	11.0	11w
$\Sigma = 5800 + w$		$\Sigma = 34800 + 11w$

$$\text{新 GM} = \text{KM} - \text{新 KG}$$

$$0.75 > = 7.0 - \text{新 KG}$$

$$\text{新 KG} < = 6.25$$

$$(34800 + 11w) \div (5800 + w) < = 6.25$$

$$34800 + 11w < = 36250 + 6.25w$$

$$4.75w < = 1450$$

$$w < = 305$$

最大裝貨量 305 噸

Ex5: 某輪排水量 6500 噸, KM7.2m, KG6.8m, 船上 100 噸貨向左移 2.3m, 向上移 3.9m。若貨物移動前船身平正, 求移動後傾斜狀況。

垂直位移 GGv = $100 \times 3.9 \div 6500 = 0.06\text{m} \uparrow$ 新 KG = $6.8 + 0.06 = 6.86\text{m}$ 新 GM = $7.20 - 6.86 = 0.34\text{m}$	水平位移 GGh = $100 \times 2.3 \div 6500 = 0.0354\text{m} \leftarrow$ Tan $\theta = \text{GGh} \div \text{GM} = 0.0354 \div 0.34 = 0.1041$ $\theta = 5.94^\circ$ 向左
---	--

Ex6: 某輪排水量 7800 噸, KM6.8 米, KG6.0 米, 向右傾斜 4° , 預計裝 400 噸貨於中甲板 KG6.0 米, 距中線左邊 5.5 米與右邊 3 米處, 應分別裝若干貨使得船身平正。

假設左邊裝 w 噸, 右邊裝 400-w 噸

$$\text{原 GM} = 6.8 - 6.0 = 0.8 \text{ 米}$$

$$\text{GG}_1 = \text{GM} \tan \theta$$

$$\text{GG}_1 = 0.8 \tan 4^\circ$$

$$\text{GG}_1 = 0.05594 \text{ 米}$$

船身平正時中線兩側力矩相等

$$5.5w = 7800 \times 0.05594 + 3(400 - w)$$

$$w = 192.5 \text{ (左邊)}$$

$$400 - w = 207.5 \text{ (右邊)}$$

Ex7: 某輪將 54 噸油貨由第一艙向第二艙移動 20 米, 該輪 MTC120 米噸, 求俯仰差改變量。

$$\text{俯仰差改變量} = (54 \times 20) \div 120 = 9\text{cm by stern}$$

Ex8: 某輪長 120 米, MTC100 米噸, TPC 25, 吃水艙 6.00 米, 艙 6.60 米, 裝貨 250 噸於俯仰中心前 12 米。若俯仰中心在舳後 2 米, 求最後吃水。

$$\text{平行下沉量} = 250 \div 25 = 10\text{cm} = 0.1\text{m}$$

$$\text{俯仰差變化量} = 250 \times 12 \div 100 = 30\text{cm by head}$$

$$\text{艙吃水增值} = (6.0 + 2) \div 120 \times$$

$$30 = 15.5\text{cm} = 0.155\text{m} \downarrow$$

$$\text{艙吃水減值} = (6.0 - 2) \div 120 \times$$

$$30 = 14.5\text{cm} = 0.145\text{m} \uparrow$$

	艙吃水	艙吃水
原吃水	6.000	6.600
平行下沉量	+0.1	+0.1
	6.100	6.700
俯仰增減	+0.155	-0.145
新吃水	6.255	6.555

Ex9: 某輪排水量 6600 噸, 長 120 米, 縱向 GM_L 140 米, 吃水艙 4.80 米, 艙 4.50 米, 若俯仰中心在舳後 2 米, 自第二艙(船舳前 16 米)卸下若干噸貨, 使最後吃水為 15cm 艙坐。

$$\text{MTC} = (6600 \times 140) \div (100 \times 120) = 77$$

原吃水	30cm by head
新吃水	15cm by stern
俯仰差變化量	45cm by stern

假設卸下 w 噸
 $45 = w \times 18 \div 77$
 $w = 192.5$ 噸

新吃水	6.964	7.031
新俯仰差	6.7cm by stern	

Ex10: 某輪長 150 米，寬 18 米，MTC 150 米噸，TPC 25，吃水艏 6.35 米，艉 6.65 米，若俯仰中心在舳後 5 米，裝卸貨資料如下：

裝貨	230T	TC 前 50m
	800T	TC 前 20m
	500T	TC 後 21m
卸貨	200T	TC 前 36m
	105T	TC 前 60m

求裝卸貨完成時新吃水。

重量 (噸)	距離(米)	艏力矩	艉力矩
230	TC 前 50	11500	
800	TC 前 20	16000	
500	TC 後 21		10500
-200	TC 前 36		7200
-105	TC 前 60		6300
$\Sigma 1225$		$\Sigma 27500$	$\Sigma 24000$
		-24000	
		3500	

平行下沉量 $= 1225 \div 25 = 49\text{cm} = 0.49\text{m} \downarrow$
 俯仰差變化量 $= 3500 \div 150 = 23.33\text{cm by head}$
 艏吃水增值 $= (75+5) \div 150 \times 23.33 = 12.44\text{cm} = 0.124\text{m} \downarrow$
 艉吃水減值 $= (75-5) \div 150 \times 23.33 = 10.89\text{cm} = 0.109\text{m} \uparrow$

	艏吃水	艉吃水
原吃水	6.350	6.650
平行下沉量	+0.490	+0.490
	6.840	7.140
俯仰增減	+0.124	-0.109