

書叢小學工

船 造

著 源 仁 胡

行 發 館 書 印 務 商



3
3

工學小叢書

造 船

胡仁源著

3886

商務印書館發行

中華民國二十三年一月初版
中華民國三十四年四月版

(93203)

1. 學
小叢書

造

船

定



印刷地點外另加運費

著 者 胡

源

發 行 人 朱

上

農

印 刷 所 商

務

廠

發 行 所 商

各

務

印

書

* 有 所 權 版 *

ろ
*

造船

目次

第一章	緒論	.....	一
第二章	船體之計算	.....	五六
第三章	穩定率	.....	一一三
第四章	阻力	.....	一六三

造船

第一章 緒論

浮力，靜水中之壓力，常與水之深度，及其單位容積之重量，成正比例，在華氏表六十二度時，每立方英尺之淡水，重六二·五磅，每立方英尺之鹹水，（海水）重六四磅，故在華氏表六十二度時，十英尺深海水之下，每平方英尺面積之壓力，爲一〇乘六四，即六四〇磅。

假想一箱形之立體，浮於靜水面上，四面垂直，而箱底與水面平行時，則四面之壓力，彼此相消，箱底之壓力，與此立體之重量，互相平衡，箱底上每一小部分面積之壓力，常等於此面積之大小（平方英尺數）乘水平面與面積重心之距離（英尺數），再乘每立方英尺水之重量，換而言之，即垂直壓力，等於面積之水平投影，與水之深度，及單位容積之重量三者相乘之積。

但面積投影與水之深度相乘，即等於立體入水之容積，故垂直壓力，常等於與立體入水部分同量容積之水之重量，此容積通常稱為排水量 (displacement) 在靜水中，排水量之重量，即垂直壓力之總和，常與浮於水面物體之重量相等，故通常每稱物體之重量為排水量。

其他任何形狀之物體，其情形亦均與此相同，在入水部分面上之每一點，所有壓力，可以分析為水平與垂直兩部分，前者必須彼此相消，否則將使物體發生移動之傾向，後者之總和，常與物體之重量互相平衡。

因此，欲求浮於水面物體之重量，只須求得其入水部分之容積，而計算與此容積相同之水之重量，或者，反而言之，欲供給浮力，以支持一定重量之物體，必須有一定之入水容積（即排水之容積），其重量與物體之重量相等。

上述定理，亦可以用他種方法證明，假想將浮於水面之物體取出，而將所留下之空穴，以同樣之液體，充滿其中，則必須保持平衡，故物體之重量，必須與貯滿此空穴中之水，即所排去之水之重量，彼此相等。

重心及浮力中心，爲平衡起見，排水容積之重心，必須與垂直壓力之合力，同在於一直線之上，此排水容積之重心，通常稱爲浮力中心 (centre of bouyancy)，並且爲平衡起見，垂直往下之合力，必須與浮力中心，同在一一直線之上，因此，如物體往下之力，僅有其本身之重量，則欲求其重心，只須求其排水容積之重心，即浮力中心，反之，欲保持船體之平衡，必須將船上之重量，如此分配，使其重心恰與浮力中心，同在一垂直線之上，

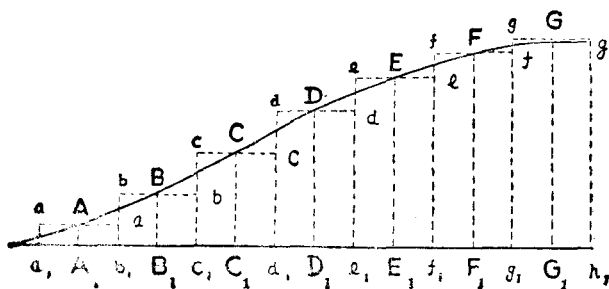
因此，欲知船身在水面上之地位，是否平衡，必須先求得其入水之容積，以及此容積重心之所在。

容積及重心之計算，求立體容積之方法，可以假想將此立體，用相等距離之平行平面，截斷爲若干部分，求得每一截斷面之面積，而以各平面間之距離乘之，則得若干不同之容積，此等容積之總和，即與立體容積，約略相等，兩平面間之距離愈小，則二者之相差，愈益微細，因此物體容積之計算，實不過截斷面積之計算而已。

求得此等截斷面積以後，如以垂直坐標 AA_1, BB_1, CC_1 等代表其數量，再將 A, B, C 等點，

彼此連接，則得截斷平面之曲線，如第一圖，此曲線兩坐標間之面積，即等於立體上兩切斷面間之容積，在每兩坐標之中間，再畫一垂直虛線，如 aa_1, bb_1, cc_1 等，而完成多數之長方形，如 aa_1b_1b, bb_1c_1c 等，則此等每一長方形之面積，即與兩坐標間之面積，約略相等，故其總和，可以約略代表立體全部之容積，兩坐標間之距離愈小，則其相差愈益微細，因此，計算容積之方法，可以分爲二步，第一，求各切斷面之面積，第二，畫出代表此等面積之曲線，再求得其面積，即得所要之容積。

求平面曲線上面積之方法，有若干種，凡有一定形式之平面曲線，均可以用固定之規則計算，其詳細當於下節述之，在造船學上，所用船體曲線，多係任意造成，以適合於特殊之需要，並無一定形式，故必須有一種規則，可以適用於一般之場合。



第一圖

例如有曲線，在其上之任何一點，橫縱兩坐標之乘積，永遠成爲常數，則此曲線之方程式，爲 $xy = c$ ， x 爲橫坐標， y 爲縱坐標， c 則爲常數。

此種曲線面積，可以普通之積分方法計算，例如欲求 $x = h$ 與 $x = H$ 兩坐標間之面積，可將此面積分爲若干部分，每兩坐標間之距離極小，設 dx 等於此距離，則每部分之面積，爲 $y dx$ ，總面積爲 $\int_h^H y dx$ 因 $xy = c$ 即 $y = \frac{c}{x}$ 故總面積 $= \int_h^H \frac{c}{x} dx = c \log_e \frac{H}{h}$ 。

依照同樣方法，如曲線之方程式，爲 $y = x^n$ ，則 h 及 H 兩坐標間之面積，等於 $\int_h^H y dx =$

$$\int_h^H x^n dx = \left[\frac{x^{n+1}}{n+1} \right]_x=h^x=H = \frac{H^{n+1} - h^{n+1}}{n+1}$$

，如曲線之方程式爲 $y = ax^2 + bx + c$ 則 h 及 H 兩坐

標間之面積，等於 $\int_h^H y dx = \int_h^H (ax^2 + bx + c) dx = \left[\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx \right]_h^H = \frac{a}{3} (H^3 - h^3) + \frac{b}{2}$

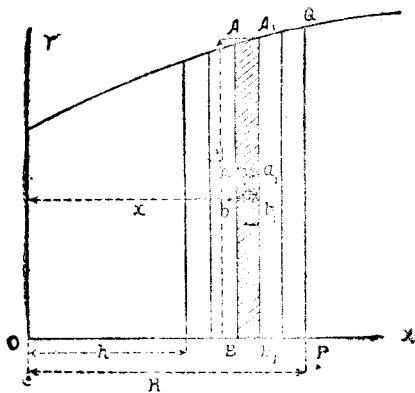
$$(H^2 - h^2) + c(H - h)$$

一般而論，如曲線之方程式爲 $y = f(x)$ 即 y 爲 x 之函數，則 $x = h$ 與 $x = H$ 兩坐標間之面

積，等於 $\int_h^H f(x) dx$ ，如其此函數為已知之函數，即可以用積分公式計算得之。

面積之重心，凡面積對於一定軸線之勢量，可以下

列之方法求之，先將面積分為若干極小之部分，再將每一部分之面積，與其離軸線之垂直距離相乘，此等乘積之總和，即等於面積對於軸線之總勢量，各部分之分割愈小，則其相差之數，愈益微細，如第二圖所示， abb_1a_1 為極小之面積， OY 為軸線，則面積 abb_1a_1 等於 $(x dy)$ ，而此面積對於 OY 之勢量，等於 $x dx dy$ ，面積 ABB_1A_1 對於 OY 之勢量 $= \int_0^{AB} x dx dy$ ，面積 $ONAB$ 對於 OY 之勢量 $= \int_0^{AB} \int_A^{AB} x dx dy$ ，在此積分中 $x dy$ 之限度，為 O 與 AB ，而後者即等於 y ，故 $\iint x dx dy = \int xy dx$ 如曲線之方程式為 $y = f(x)$ 則



第二圖

在 $x = h$ 及 $x = H$ 兩坐標間面積對於軸線 OY 之勢量等於 $\int_h^H xy dx$ ，而其面積則等於 $\int_h^H y dx$ ，

Ydx ，設前者為 M_x ，後者為 A ，由重心至軸線之距離為 \bar{x} ，則 $M_x = \int_h^H xy dx$ ， $A = \int_h^H y dx$ ，

$$\bar{x} = \frac{\int_h^H xy dx}{\int_h^H y dx} \quad \text{即} \quad \bar{x} \times \int_h^H y dx = \int_h^H xy dx$$

如軸線經過面積之重心時，則 \bar{x} 等於零，故 $\int_h^H xy dx$ 等於零。

面積對於軸線 OX 之勢量，可以下列方法求之，假想將面積分為若干細條，每條重心與軸線間之距離為 $y - \bar{y}$ ，其勢量等於 $y dx \times \frac{y}{2}$ ，總勢量為此式之積分，故等於 $\frac{1}{2} \int_h^H y^2 dx$ ，設 M_y 為

$$\text{面積對於軸線 } OX \text{ 之勢量，} \bar{y} \text{ 為其重心與軸線 } OX \text{ 間之距離，則 } \bar{y} = \frac{M_y}{A} = \frac{\int_h^H y^2 dx}{2 \int_h^H y dx}$$

$\int y dx$ ，面積重心之所在，可以由此完全確定。

以上述方法，應用於各種曲線時，其程序如下：（一）曲線之方程式為 $y = ax^2 + bx + c$ ，

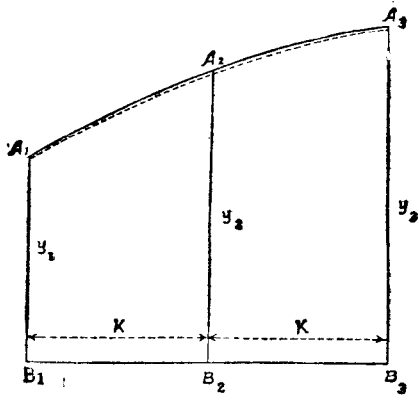


圖 三 第

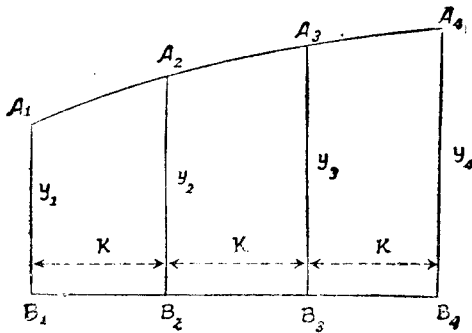


圖 四 第

$$\begin{aligned} \text{取 } M_x &= \int_h^H xy dx = \int_h^H x (ax^2 + bx + c) dx = \left[\frac{ax^4}{4} + \frac{bx^3}{3} + \frac{cx^2}{2} \right]_h^H = \frac{a}{4} (H^4 - h^4) + \frac{b}{3} (H^3 - h^3) + \frac{c}{2} (H^2 - h^2), \\ A &= \int_h^H y dx = \frac{a}{3} (H^3 - h^3) + \frac{b}{2} (H^2 - h^2) + c(H - h), \\ \bar{x} &= \frac{M_x}{A} = \frac{a}{4} \frac{(H^4 - h^4)}{(H^3 - h^3)} + \frac{b}{3} \frac{(H^3 - h^3)}{(H^3 - h^3)} + \frac{c}{2} \frac{(H^2 - h^2)}{(H^3 - h^3)} \\ &= \frac{a}{4} \frac{(H^4 - h^4)}{(H^3 - h^3)} + \frac{b}{3} \frac{(H^3 - h^3)}{(H^3 - h^3)} + \frac{c}{2} \frac{(H^2 - h^2)}{(H^3 - h^3)}, \\ \text{如 } h=0 \text{ 則 } M_x &= \frac{a}{4} H^4, A = \frac{a}{3} H^3, \\ \bar{x} &= \frac{M_x}{A} = \frac{3}{4} H, \bar{y} = \frac{1}{2} \int_0^H y^2 dx = \frac{1}{2} \int_0^H a^2 x^4 dx = \frac{a^2 H^5}{2 \times 5}, \bar{y} = \frac{M_y}{A} = \frac{3}{10} a H^2 = \frac{3}{10} H y_{10}. \end{aligned}$$

普通船體之曲線，多不能以一定之方程式表示，故上述之積分方法，不能直接使用，但若用多數平行坐標，將曲線分為若干部分，則每部分之曲線，可以假定一種方程式，而不至有極大之差數，在此假定之下，上述方法，可以適用於船體之曲線，造船學上，用以計算面積及重心之規則，種類甚

多，茲特略舉數種如下：

(一) 梯形規則，此規則係假定兩坐標間之曲線，為一直線即 $y = ax + b$ ，設 y_1, y_2, \dots 為坐標之長， K 為兩坐標間之距離，則第一部分之面積等於 $\frac{y_1 + y_2}{2} \times K$ ，第二部分等於

$$\frac{y_2 + y_3}{2} \times K \text{ 以此類推，全部面積則等於各部分之總合，即 } K \times \left\{ \frac{y_1 + y_2}{2} + \frac{y_2 + y_3}{2} + \frac{y_3 + y_4}{2} + \dots \dots \dots \right\} = \frac{K}{2} (y_1 + 2y_2 + 2y_3 + \dots \dots \dots + y_n)。$$

(二) 辛木生氏第一規則，此規則係假定兩坐標間之曲線，為二次拋物線，即 $y = ax^2 + bx$

$$+ c \text{ 故面積 } A_1 B_1 A_3 B_3 = \int_0^{2K} y dx = \int_0^{2K} (ax^2 + bx + c) dx = \frac{8aK^3}{3} + \frac{4bK^2}{2} + 2cK =$$

$\frac{K}{3} (8aK^2 + 6bK + 6c)$ ，在此式中， a, b, c 為未知數，可以 y_1, y_2, y_3 等代之如下：

設 $x=0$ $y_1=0$

“ $x=K$ $y_2=aK^2+bK+c$

“ $x=2K$ $y_3=4aK^2+2bK+c$ 以四乘 y_2 與 y_1, y_3 相加

則得 $y_1+4y_2+y_3=8aK^2+6bK+3c$ 即 $\int_0^{2K} y dx = \frac{K}{3}(y_1+4y_2+y_3)$ 將此規則適用於

全部曲線，則面積 $A_1, B_1, A_n, B_n = \frac{K}{3}(y_1+4y_2+2y_3+4y_4+\dots+y_n)$ 用此規則時，因第三坐標，

為積分之終點，故必須單數。

(三) 辛木生氏第二規則，此規則係假定兩坐標間之曲線，亦為二次拋物線，即 $y=ax^2$

+bx+c, 面積 $A_1, B_1, A_n, B_n = \int_0^{nK} y dx = \int_0^{nK} (ax^2+bx+c) dx = \frac{1}{3}an^3K^3 + \frac{1}{2}bn^2K + Kc =$

$\frac{1}{3}K(24aK^2+12bK+8c)$, 此式中之 a, b, c 等為未知數，可以已知 y_1, y_2, y_3, y_4 等代

之如下：

設 $x=0$ $y_1=0$

$x=K$ $y_2 = aK^2 + bK + c$

$x=2K$ $y_3 = 4aK^2 + 2bK + c$

$x=3K$ $y_4 = 9aK^2 + 3bK + c$ 以三乘 y_2, y_3 與 y_1, y_4

相加則得 $y_1 + 3y_2 + 3y_3 + y_4 = 24aK^2 + 12aK + 8c \therefore \frac{3}{8}(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + y_4) = \int_0^{3K} y dx =$

面積 $A_1 B_1 B_4 A_4$ 一般之場合，如坐標之數為 n 則 曲線面積 $= \frac{3}{8} (y_1 + 3y_2 + 3y_3 + 2y_4$

$+ 3y_5 + 3y_6 + 2y_7 + \dots + y_n)$ 此式中之 n 等於 $3p+1, p$ 為整數。

如假定此曲線之方程式為三次拋物線，即 $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ ，亦可以用同樣方法證

明，面積 $A_1 B_1 B_n A_n$ 等於上述公式。

謝拜楷夫氏規則，上述各種規則，各坐標間之距離，均係彼此相等，雖有時為精密起見，於兩坐標間再加一中間坐標，然其距離，仍等於共同距離之一半，或其他倍數，謝氏規則則截然不同，其坐

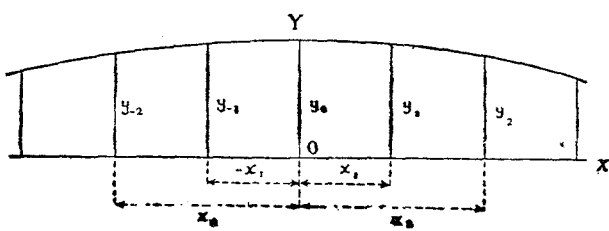
謝氏規則之程序簡單，顯然可見，用九個坐標時，其計算工作，與用九坐標之梯形規則，幾於全然相同。

此規則係假定曲線之方程式，為二次拋物線，即 $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$ 其證明方法，亦與辛氏第一及第二規則，大略相同，姑略之。

此規則之實際應用，可以下列例題說明之，設第五圖為船形水平線之曲線，船長為三百五十英尺，假定用七個坐標，則依照上表，得下列各式 $x_0 = 0, x_1 = 32391 \times 175 = 56.684, x_2 = 52966 \times 175 = 92.691, x_3 = 88386 \times 175 = 154.676$ ，以上列各點，各立一垂直坐標，則得 $y_0 = 23.8, y_1 = 21.2, y_{-1} = 23.1, y_2 = 15.9, y_{-2} = 20.6, y_3 = 2.8, y_{-3} = 5.5$ 。

各坐標之總和 $\Sigma y = 112.9$ ，面積 $= 112.9 \times \frac{350}{7} = 5645$ (英尺)²

圖 五 第



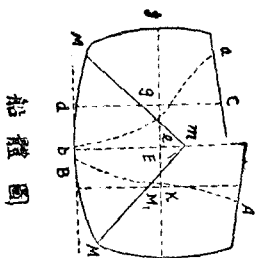
船體形狀，凡物體之形狀，可以多數之平行切斷面定之，尋常多用三個互相垂直之平面，爲此等切斷面之標準平面，船體圖形所用之標準平面，計爲下列三種：（一）經過船體兩端中點之垂直橫斷面。（二）經過船體兩側中點之縱斷面。（三）與水面平行經過船底之平面。

第六圖 a 屬於第一種，普通稱爲船體圖 (body plan) b 屬於第二種，稱爲邊形圖 (sheer plan) c 屬於第三種，稱爲半平面圖 (half breadth plan) 因船體之左右兩方，形狀相同，故此等曲線，均僅示半面之形狀。

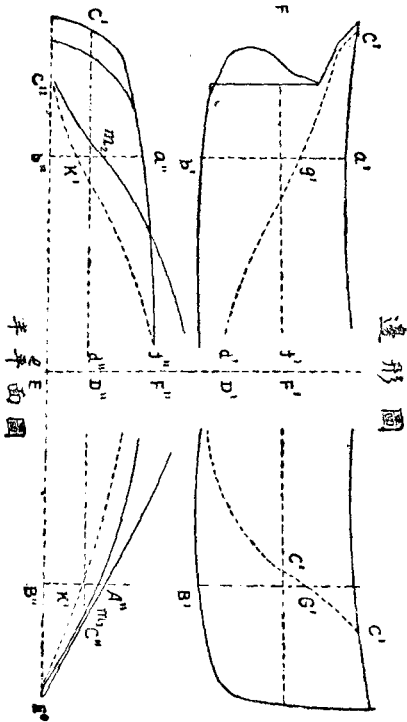
經過船底之平面，普通假定爲與船身吃水最深時之水平斷面，互相平行，後者通稱爲重載水平面，凡商船之龍骨，多與重載水平面成爲平行，惟兵艦與游艇，不在此例。

第七圖爲第六圖之簡單外形，圖中實線，指示每方面之最大切斷面，其虛線則在每一方面，指示一個一定地位之切斷面，最大之橫斷面，經過中點，將船身分爲二段，通常稱爲船之前部及後部，AB, A'B', A''B'' 爲前部上一橫斷面在各圖上之投影，ab, a'b', a''b'' 則爲後部上一橫斷面之同樣投影，CD, C'D', C''D'' 爲前部上與中線平行縱斷面在各圖上之投影，cd, c'd',

$c''d''$ 則為後部上同樣斷面之投影， $EF, E'F', E''F''$ ，為前部上一水平斷面在各圖上之投影， $ef, e'f', e''f''$ 則為在後部上同樣斷面之投影，所可注意者，此等曲線之投影，僅在一方面為曲線，與實在之形狀相同，而在其他兩方，均係直線，為此曲線在各該方面之投影，其長度均在兩



船體圖



邊形圖

半平面圖

圖

七

第

方面可以同時顯出，例如 $B'G'$ 之長，與 DG 相等， $B''K'$ 之長，與 EK 相等。

凡垂直橫斷面，僅在船體圖上，成爲曲線 AB 及 ab 等，此等曲線，稱爲橫斷線，(sections) 垂直縱斷面，僅在邊形圖上，成爲曲線 $c'd'$ 及 $D'C'$ 等，此等曲線，在船體後部者，稱爲尾線 (buttock lines)，在船體前部者，稱爲首線，(bow lines)，水平斷面，僅在半平面圖上，成爲曲線 $e''f''$ 及 $E''F''$ 等，此等曲線，稱爲水線，(water lines) 第六圖所示之船體形狀，此係以此等三方面之曲線構成，此等曲線，完全確定船體入水部分之形狀。

在船體圖上，斜角斷面，成爲一直線 Mn ，此斷面之實在形狀，如半平面圖上之曲線 mm ，係將此斷面旋轉至水平面上而成，在船體圖上，此直線與各橫斷線相交之處，多近於直角，故可以用爲求此等曲線之幫助。

船體尺寸，船體尺寸，分爲下列三項，即 (一) 長度，(二) 闊度，(三) 深度或高度，長度之量法，係用與縱斷面及水平面平行之方面，闊度之量法，係用與橫斷面及水平面平行之方向，深度之量法，係用與橫斷面及縱斷面平行之方向，凡一點吃水之深淺，係此點當船身浮於水面時，在水平

線下之垂直距離，船身之尺寸，均係依照上述三種方向計算之。

船身尺寸，通常有三種量法，(一)船型尺寸，(Moulded dimensions) (二)全部尺寸，(Overall dimensions) (三)註冊尺寸，(Dimensions for classification rules)

(一)船型尺寸，凡船體入水部分之計算，均以此項尺寸為標準，其長即船體兩端垂直線間之距離，稱為垂直長度 (length between perpendiculars) 或簡稱為 L. B. P. 此等垂直線，在後端係從舵柱量起，前端則從船頭在水平面上之點量起，闊度係中間橫斷面上之最大闊度，吃水之深淺，在多數船舶，船底與重鐵水線，互相平行，可以從船底龍骨上面之任何一點算起，倘二者不平行時，則吃水尺寸，必須以中間橫斷面為準，船之深度，係最高完全甲板之中點，與船底間之距離。

(二)全部尺寸，此項長度，通常稱為總長，(Overall length) 係船體兩極端之距離，其闊度為最闊之橫斷面之最大尺寸，通常稱為極端闊度 (extreme breadth) 極端吃水 (extreme draught) 則為船底入水最大之尺寸。

(三) 註冊尺寸，此項尺寸之計算，各註冊公司所規定，彼此稍有不同，大概長度係以最高甲板兩端之距離為準，闊度則為船體最闊之尺寸，深度則為最高甲板之中點，至船底之距離。

水線及橫斷面間之距離，通常水線及橫斷面間之距離，彼此相等，惟與船底及兩端相近處，因變化曲線較速，必須另加一斷面，以期計算之正確，此斷面多加於原有兩斷面之中間，故其距離為原來二分之一。

用二分之一之距離，於面積及容積之計算，極為便利，因吾人若採用辛氏第一規則，其倍數為 $1, 4, 2, 4, 2 \dots 4, 1$ ，將此等乘積相加，再以距離之三分之一乘之，即得所求之面積或容積，用二分之一之距離時，辛氏倍數，與前相同，而以一半距離之三分之一乘之，但吾人亦可將辛氏倍數，減去一半，變為 $1/2, 4/2, 2/2, 4/2, 2/2, \dots 4/2, 4/2$ ，而將此等乘積之總和，仍以距離之三分之一乘之，因此，若許多坐標中，有若干為二分之一之距離時，吾人可以同時並用兩種倍數，茲舉例如下：

第八圖為船體之水平圖，由 A 至 B，兩坐標間之距離等於 K ，由 D 至 A 及由 B 至 C，每兩坐標間之距離，各等於 $K/2$ ，其倍數為：

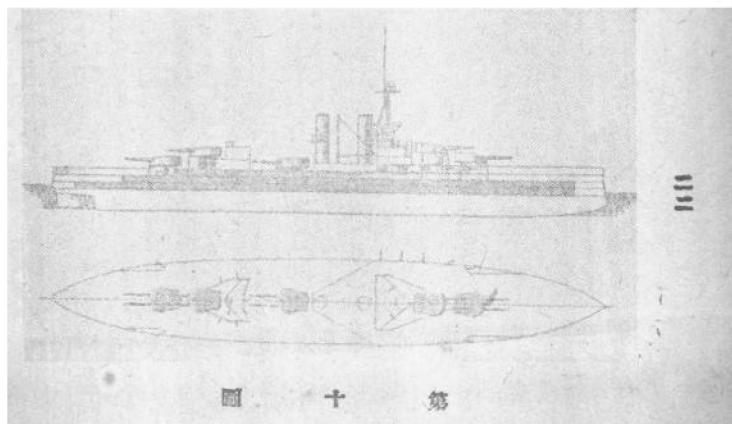
合，但在普通方面，亦須與一般船舶建造之原則相符，故以下各節，僅就第一第二兩類詳細論之。

(一) 戰艦，凡戰艦皆隸屬於國家，其目的在於捕捉或毀壞敵人之船隻，抵抗海上之侵襲，有時並須保護本國之商業航路，近代戰艦可分爲下列各種：(a) 戰艦，(b) 海防艦，(c) 戰艦巡洋艦，(d) 巡洋艦，(e) 魚電艇及驅逐艦，(f) 潛水艇。

在戰爭時，此等戰艦之效用，各有不同，戰艦必須有在前線作戰之力量，必須在任何氣候之下，均可以安穩航行，在構造上必須可以抵禦敵人之砲彈，遇有損傷時，必須可以限制於一小部分，而不至使全船受其影響，並且必須有相當之速度，及較大之轉舵力，爲達到此等目的起見，戰艦必要設多數重砲，以爲攻擊之用，必須有極厚之鐵甲，使敵彈不易洞穿，船身必須分爲若干部分，互至彼此隔離，使其遇有損壞時，不至容易沈沒，船身必須如此設計，縱使遇有極惡劣之氣候，仍可以在海上繼續工作，艦上士兵，必須有安適之宿所，並且必須可以載運多量燃料及用品，以便爲遠洋之航行，因此戰艦常爲海軍中最重之船隻，最大之戰艦，其排水量常在三萬噸以上。

近數十年來，戰艦之排水量，繼續增加，一九〇四年英國海軍部所建造之無畏艦 (Dread-

nought) 始開一戰艦設計之新時代，此艦之長，爲五二〇英尺，排水量一七九〇〇噸，自此以後，世界各大海軍國均一致倣造，在此以前，英國最大戰艦，爲納爾遜式 Load Nelson，其長爲四三五英尺，排水量一六三五〇噸，最近建造之無畏式戰艦鐵公爵號，主要各點如下，水線上長度，六二〇英尺，闊八九英尺，又六英寸，吃水，二七英尺，又六英寸，排水量，二五〇〇〇噸，砲位，十三英寸半十門，六英寸十二門，三磅砲四門，鐵甲，兩旁主要甲帶，十二英寸，發動機，三〇〇〇〇馬力透平機，速率，二十一海里，此後所造戰艦，伊利沙白 Queen Elizabeth 號，排水量二七五〇〇噸，主要重砲，爲十五英寸砲八門，馬力六萬匹，速率二十五海里。



戰鬪艦船身之防禦設備，略如下述，多數近代戰鬪艦，其重要部分，如機器，鍋爐，彈藥艙等，多置於保護鋼甲板之下，此甲板之中線，約高出水平線三英尺，但兩端逐漸放低，達於水平線下五至十英尺，其兩側亦逐漸傾斜，約與平面成爲四十度角度，在重鐵水平線下五、六英尺之處，與船邊相連接，此甲板係以雙層或三層之鋼板合成，共厚二英寸至三英寸，傾斜處厚二英寸至四英寸，保護甲板上，更有主要甲板，厚約一英寸半，在此兩甲板上，凡機器及鍋爐間之窗洞，風笛，煙突，及梯口等，均以鋼製格子遮蔽，其厚薄與甲板相同，使破彈及碎片等，除洞穿甲板以外，絕對不能進入艙內。

但是船身最重要之防禦設備，厥惟鐵甲帶，此甲帶在船之兩側，與水平線相近，闊約十五英尺，與船身同樣長短，或占船長之大部分，最厚處約十二至十三英寸，兩端逐漸減少，達於六英寸，主要甲帶之上端，更有九英寸厚之鐵甲，至上甲板爲止，其長亦佔船身之大部份，爲保護前後攻擊起見，有時在保護甲板與上甲板之間，更置有橫斷或傾斜之鐵甲板，其厚薄較小於主要甲帶。

戰鬪艦之船底均係依照夾底之原則造成，此夾底占船長之大部分，利用縱斷及橫斷龍骨之連結，將船底裏層及外層之間，分爲若干隔水部分，凡貨艙，彈藥艙以及一切隔斷均係完全隔水，所

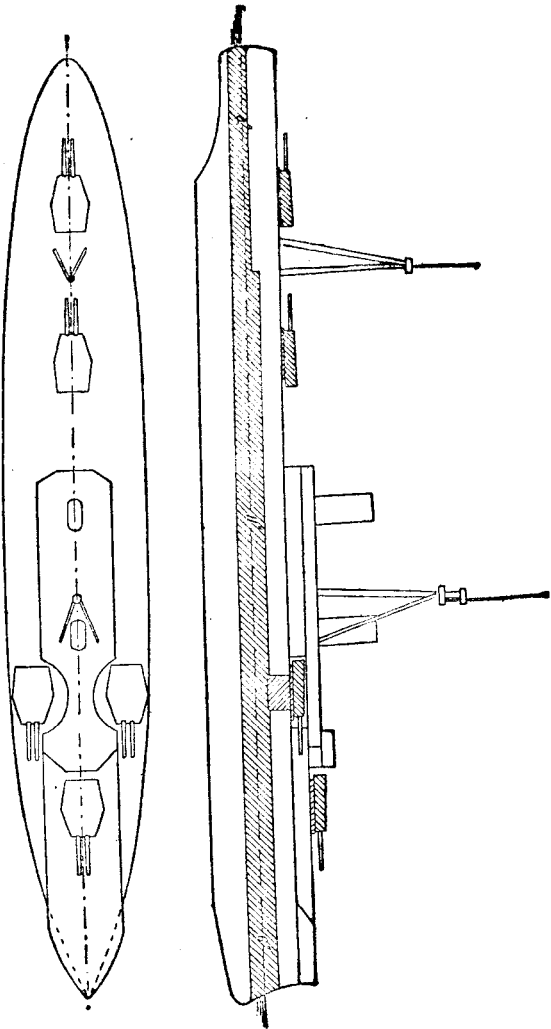
有門戶，均可以用機械在甲板上，隨時關閉，並且各艙間之隔斷，均極堅固，在水滿時可以抵抗所有壓力，煤艙均位置於機器及鍋爐之兩旁，及其兩端，此種煤艙及船底隔水艙之分配方法，在防禦上占極大之效力，如船身在水線下有一部分損壞，只有損壞處之隔水艙，可以進水，故非至損壞如此重大，有多數之隔水艙，均已被水浸入，使上甲板沈至水平線以下，或使船身失去平衡，傾側入水，決不至有沈沒之虞。

煤艙之抵抗礮彈力量，約計每三英尺之煤層，等於一寸之鐵甲，惟最近之戰鬪艦，多用煤油爲燃料，其存儲之方法，自與上述不同，故其防禦力量，較爲減少。

除船身以外，礮位之保護，亦爲重要問題，凡戰艦上之礮位，可以分爲二種，卽主力礮與次等礮，主力礮包含一切重礮，通常爲十二英寸至十五英寸口徑，此等礮位均有鐵甲保護，而以機械力運轉之，次等礮包含一切輕礮，通常置於較高之地位，除礮身之遮板以外，或完全無他種之保護，此等礮位之轉動，及其彈藥之運送，均可以用人力爲之。

近代戰鬪艦，均備有十尊至十二尊之重礮，十二至十五英寸口徑，每兩尊同置於一旋轉礮塔

圖 一 十 第



之中，歐戰前德國海軍中，有三尊並列者，惟此種裝置方法，始終未能通行，無畏號礮塔之配置，如第十一圖，後來之戰艦，多倣照此方式而略加以變通，但現時最通行之方法，係將所有重礮礮塔，均配置於船身中線之上，一在船前，一在船後，第三第四兩塔，則置於前二者之後，但位置較高，使子彈可以從上面放出，最中一塔，則置於上甲板上面，僅可以向兩旁射擊，最近所造之戰艦，則將此塔除去，只有八尊最大口徑之重礮，此等礮塔之塔底，均用鐵甲圈環，以保護士兵及操縱彈藥之機械，前後四塔，均可以左右旋轉，與船身之中線，兩面各成一百五十度角度，在此範圍以內，甲板上不能有任何建築物，以免為施放之阻礙，中塔之旋轉範圍，在兩面各為一百二十度，礮塔之鐵甲，側面為十英寸至十二英寸，頂上以極厚之鐵板遮蔽之，塔座以下以鐵甲圈環繞，厚十英寸至十二英寸，直至保護甲板為止，新式戰艦，僅用一種口徑之重礮，使內部彈藥艙等之支配，較為簡單。

以前之戰艦，備有數種重礮，其口徑大於六英寸，如八英寸，十英寸之類，其配置方法，亦與上述重礮相同，亦有每塔僅置一礮者，一種方法，係將此等重礮，每塔一對，置於十二英寸礮塔之上，或者將八英寸礮配置於兩端，可以向前面或後面及兩側施放，近代所用六英寸口徑，均係快礮，其配

置方法，有種種之不同，茲不具論。

六英寸礮之彈藥，係用起重機械由鐵甲筒內取出，而以人工實彈，至於十二英寸至十五英寸之重礮，其子彈運輸及實彈工作，均係以特殊之機械爲之。

戰鬪艦之其他要點，爲速率及燃料之供給，近世戰鬪艦之速率，最大爲二十五節（每小時二十五海里）燃料供給之最大限度，約二千七百噸，在尋常狀態之下，（即吃水深淺，在設計之重載水平線時）爲九百噸。

各國海軍中，備有一種極小之戰艦，稱爲海防艦，其效用與戰鬪艦相同，故亦可以列爲一類，此種戰艦之排水量，爲二千噸至四千噸，其效用僅在於防守海岸，與戰鬪艦最不同之點，爲速率較小，船身出水較低，因排水量之限制，不

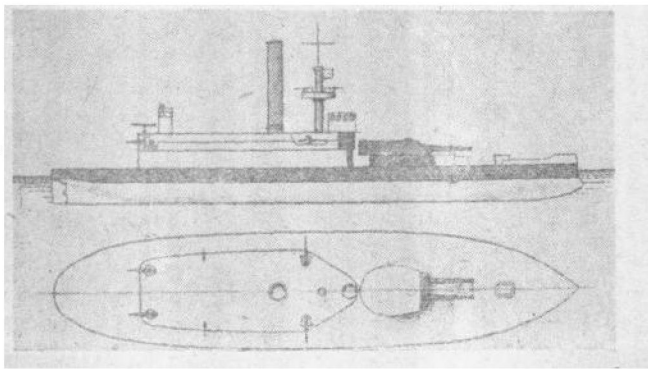


圖 二 十 第

能多載燃料及供給，因船身極小，出水較低，不能有安適之住所，及抵抗風雨之力量，故不能遠離軍港，而爲遠洋之航行，此等戰艦，備有重礮及極厚之鐵甲，但一被擊中以後，因其出水較低，易於沈沒，所恃者僅其船體之目標較小而已。（第十二圖）

在無畏號開始建造之際，又有一種新式之戰船，現在所稱爲戰鬪巡洋艦者，同時計畫完成，此種戰艦，具有近代戰鬪艦之一切特長，而且有極大之速率，不過爲增加速率起見，不得不在其他方面，稍有犧牲，故較之無畏式各艦，重礮數目較少，鐵甲較薄，戰鬪巡洋艦，有充分之威力，在戰爭時，可以列入前線，同時因其速率較大，可以自動尋覓敵船，並且遇見敵人礮力較強而速率稍遜時，可以從容避免，此種戰艦之最初三隻，於一九〇四年開始建築，長五百六十英尺，闊七十八英尺六寸，排水量一七二五〇噸，所備透平機四萬馬力，速率二十五節，較之當時所有之最速戰鬪艦，約高六節，較之無畏號亦高四節，主力礮爲十二英寸者八尊，分置於四塔上，主要甲帶，厚七英寸。

戰鬪巡洋艦，亦與戰鬪艦情形相同，其排水量有逐漸增加之趨勢，第十三圖爲獅號式（Lion）之戰鬪巡洋艦，其主要各點如下：長，六七五英尺，闊，八六英尺六寸，吃水，三〇英尺，排水量，二六三五

○噸，速率，二八節，主力礮，一三英寸半口徑八尊，分置四塔，次等礮四英寸口徑者十四尊，輕礮九尊，主要甲帶厚九英寸，礮位保護鐵甲，亦厚九英寸。

除上述各點以外，戰鬪巡洋艦之構造及設備，均與戰艦完全相同。

巡洋艦，此種戰艦建造之目的，共有二種，（一）巡緝，（二）保護商業航道，加入戰鬪艦隊時，其職務則在於巡邏，及傳報敵船接近之消息，同時阻止敵人巡船，使其不能偵知自己艦隊之位置及力量，在保護商業航道時，巡洋艦或與敵人之巡洋艦發生戰爭，爲達到此等目的起見，巡洋艦之速率，必須遠超過於戰鬪艦，但速率之增加，必須在其他方面，稍有犧牲，同時此種戰艦，必須有相當之戰鬪力，及

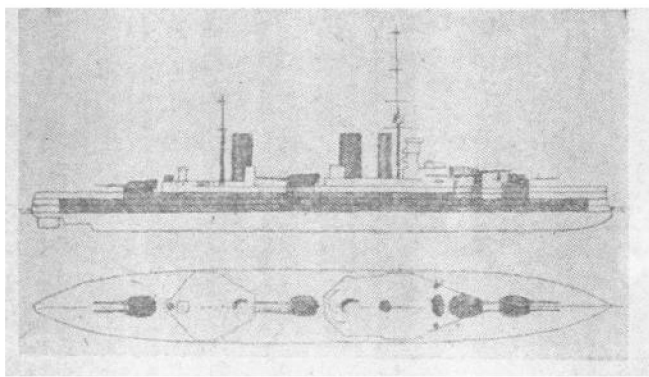


圖 三 十 第

行駛遠洋之優良性質，從前所稱爲裝甲巡洋艦者，現在久已停止建造，其職務則以戰鬪巡洋艦代之，但是現在所稱爲輕巡洋艦者，有時亦備有保護鐵甲，厚二英寸至三英寸，配置於船身中部之兩側面，故在一定程度上，亦可認爲裝甲巡洋艦。

裝甲巡洋艦，將頭等巡洋艦，加以鐵甲，卽成爲裝甲巡洋艦，故二者之間，僅以鐵甲之有無爲區別，多數裝甲巡洋艦，實際上卽係一種戰鬪艦，不過較普通之戰鬪艦，礮力較小，防禦較弱，而速度方面，則有二節或三節之增加，故此種戰艦，在一定程度上，具有戰鬪艦之性質，而可以稱爲快速戰艦，其船身之設計及配置，亦大致與戰鬪艦相同，此種戰艦之最大者，長五〇〇英尺，排水量一四五〇噸，鐵甲帶之配置，亦與戰鬪艦相同，但最厚處極少超過六英寸以上，主力礮較戰鬪艦減少，首尾兩端，僅各有九・二英寸一尊或八英寸兩尊，礮塔之鐵甲，厚十英寸，但有時亦僅厚六英寸，次等礮爲六英寸口徑，其配置情形，與戰鬪艦相同，輕礮則分置於上甲板及望橋上比較便利之地位，以礮身前面之鐵板保護之，設計之速率，約二十一節至二十三節，最大之巡洋艦，欲達到此速率，必須三萬匹馬力，故鍋爐及機器艙所占地位，較之同時代之戰鬪艦，超過甚巨，因爲後者，通常不過有十

九節速率，一萬九千匹馬力，此種戰艦之燃料供給量，約二千噸，故以十節速率航行時，其航程之距離，亦大略與戰艦相同。

保護巡洋艦，此等巡洋艦，多為航行遠洋及駐紮海外之用，因其職務上之關係，故船身之大小及造價有種種之不同，以前將此等戰艦分為三類：（一）頭等巡洋艦，（二）二等巡洋艦，（三）三等巡洋艦，現時所稱為輕巡洋艦者係包含上述第二及第三兩種，以及最新式之船隻，後者船身較長，速率增加甚多。

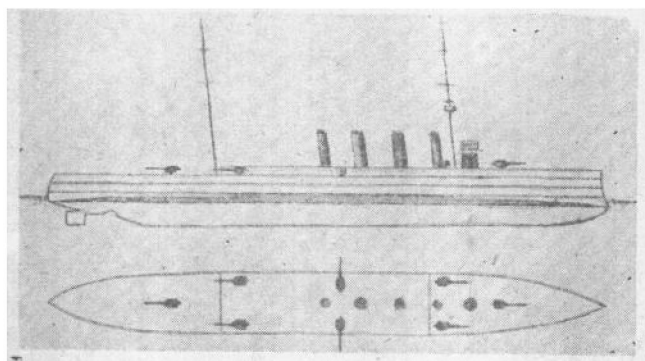
此三種戰艦之區別，最重要者為船身之大小，及造價之高低，頭等巡洋艦，常為最大及最貴之船隻，故泛論巡洋艦時，裝甲巡洋艦，亦可以列入頭等巡洋艦之內，頭等巡洋艦之構造及礮力，實際上完全與上述之裝甲巡洋艦相同，不過在防禦方面，僅有鐵甲甲板，其構造與戰艦上之鐵甲甲板相同，此種巡洋艦之排水量，較之同樣礮力及速率之裝甲巡洋艦，當然減少，約一一〇〇〇噸，此種巡洋艦，現時已停止建造。

二等巡洋艦，較之第一等略次一級，船身較小，造價較低，速率及礮力，亦較有遜色，惟船身之設

計，與上述各種相同，此種巡洋艦，約長三百尺至三百五十英尺，排水量三千五百至六千噸，速率約二十節，燃料之供給，約六百噸至九百噸。

通常有六英寸口徑快礮一尊，置於前樓，兩尊置於望臺，護以六英寸厚之鋼板，或鋼兜，後者配置於礮架上，與礮身同時旋轉，側面礮位，通常每面有六英寸口徑快礮一尊，四·七英寸口徑快礮三尊，但後來所造各艦，亦有每面備有六英寸快礮四尊或四尊以上者，此等快礮，僅以鋼板保護之，因此等巡洋艦，多分駐海外各處，所在地，或未有船塢之設備，故多有抽木及銅皮包裹船底，以防止其污穢及腐蝕，而使航行速率減少。

三等巡洋艦，較之第二等者，船身更小，造價更低，速率，



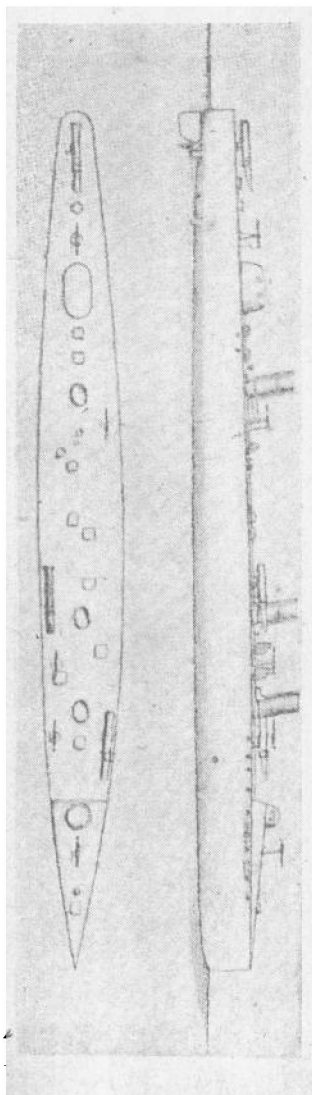
防禦及礮力，亦均相當減少，船身之設計與二等大致相同，此種巡洋艦之平均排水量約二千噸，速率約十九節，主力礮爲四英寸者十二尊，燃料之供給約五百噸。

輕巡洋艦，此種戰艦，包括現在最新式船隻，以及以前之二等三等巡洋艦，前者之建造，開始於一九〇四年，同時所造者，共有八艘，長三百六十至三百七十英尺，闊約三九英尺，排水量約三千九百噸，防禦力僅有保護甲板，亦有數艘，在船身中部之兩側，置有甲帶，主力礮爲四英寸快礮九尊，此等船隻之速率爲二十五節，較當時所有戰艦，固已超出甚巨，嗣後所繼續建造者，與戰艦情形相似，其尺寸有逐漸增加之傾向，大麥遲 (Dartmouth) 號造於一九一一年，長四百三十英尺，闊四八英尺六寸，排水量五二五〇噸，速率二五節，仍與以前各船相同，備有六英寸快礮八尊，三磅礮四尊，防禦力與前相同，最近所建造者，長度增至四五〇英尺，速率增至三〇節，惟排水量較前減少，僅三五二〇噸，三等巡洋艦，有時可供淺水礮艦及內河巡船之用，不過建造時其主要各點，須依照特殊情形設計。

下表所列，爲各種戰艦之特點及造價，可以供比較之用。

長一〇〇英尺，速率二七節，後來增至二一〇英尺，速率三〇節，第十五圖爲此種魚雷艇，第十六圖爲驅逐艦之形狀。

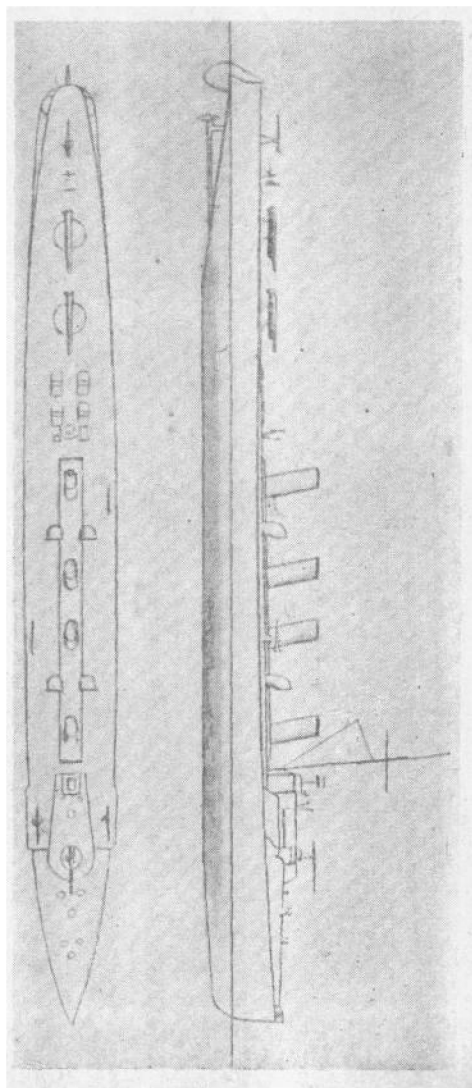
驅逐艦之目的，在於捕護敵人之魚雷艇，或至少消滅其活動之力量，但同時此種船隻自身，又可以放射魚雷，故在敵船之攻擊方面，與魚雷艇有同樣之效用，驅逐艦之設計，最重要者，爲得到最大可能之速率，故必須將船殼及其他設備，竭力減輕，將所節損之重量，加於機械方面，以期得較大



之馬力，後來所造者，有三二節之速率，而用透平發動機者，最高速率，達於三十六節。

因有如此高速率之故，此種戰艦，對於海岸巡防，及附屬於艦隊時，均有極大之效用，與巡洋艦

圖 十 海 軍



相似，可用以巡緝，並且可用以傳送文件，不過在海上風浪時，此種船隻之速率，減退極速。

一九〇二年以前之驅逐艦，長二〇〇至二一五英尺，吃水五至七英尺，排水量四五〇噸，燃料供給，通常約八十至九十噸，備有十二磅快礮一尊，六磅礮五尊，魚雷管二具，船身之構造，僅一極薄之鋼殼，上有一不斷之甲板，自船首直達船尾，十二磅礮置於前樓之上，兵士宿舍位於船首，官長宿舍及存儲室則在船尾，鍋爐及機器室，約占船艙全部容積三分之二，魚雷放射管，置於船身中部甲板上面。

後來因為此種驅逐艦，船身之構造，不甚堅實，不適宜於外海之航行，故又改變一種式樣，此種驅逐艦，長二二二英尺，闊二三·五英尺，吃水九·五英尺，排水量六百噸，而設計之速率，較前減少，僅有二六節，炮位與前式相同。

後來又有一種較大之驅逐艦出現，此種驅逐艦，稱為海洋驅逐艦，長二六〇英尺，闊二七英尺，吃水一七英尺，排水量八〇〇噸，設計速率三三節，燃料供給力，以一四節速率，可以航行一五〇〇海里，機械方面，係用透平發動機及水管鍋爐，而以煤油為燃料，備有四英寸礮二尊，魚雷管二具。

現時之魚雷艇，長一六〇至一八〇英尺，速率約二六節，排水量二五〇噸，載煤四〇噸，除魚雷管三具以外，並備有小礮二尊，以一二節速率，可以航行一千五百海里。

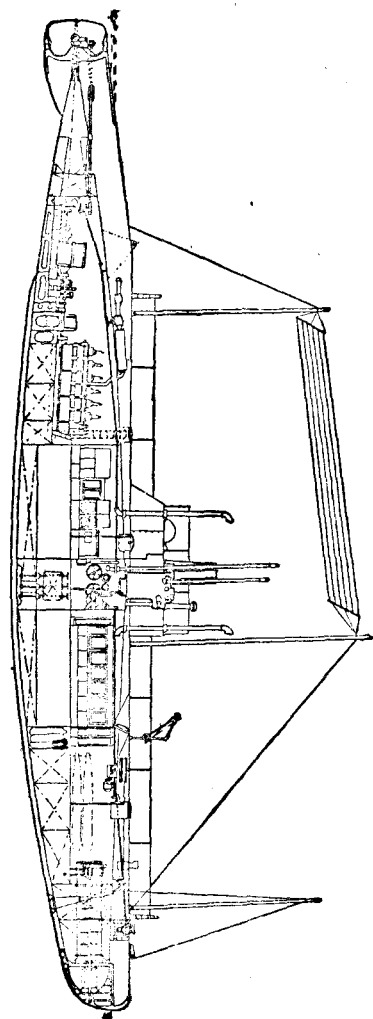


圖 七 十 第

七圖之形狀，在水面航行時多用重油機推進，潛航時則用電力，船上有儲水艙，可以任意變更船身之位置，將儲水艙充滿，則全船沈入水中，欲上升時，則用空氣壓力或抽水機，將艙中之水排去，使其重量減少，近代潛水艇，均備有四具或四具以上之魚雷管，以及若干魚雷，可以在潛航時放出，長約一〇〇至三〇〇英尺，最大者總排水量約二千噸。

(二)客運及貨運船此種船隻之較大者，均為輪船，隸屬於各航業公司，專供國際商業之用，其中又分為二類，(甲)定期航行船，(乙)不定期航行船，前者於一定時期，往來於一定路線之上，有時並受政府津貼，為之載運郵件，則稱為郵船，後者多以貨運為主要營業，航行日期及線路均無一定，此種船隻，大抵速率極小，一切設備均極簡單，故造價亦較為低廉。

多數客運及貨運船，均係依照各輪船註冊公司所規定之等級建造，此種公司，在英國有勞合註冊局，(Lloyd's Register)，及大英註冊公司，(British Corporation)，法國有偉爾達註冊局，(Bureau Veritas)，德國有德意志勞合公司，(Germanischer Lloyd's)，美國有內外船隻登錄所，(Record of American and Foreign Shipping)，此項等級，係依照船身之構造及設備而定，海

上保險時，卽以此爲標準。

凡一定等級之船隻，船身各部分之尺寸，均有一定規則，此種規則，係由各註冊公司規定，以保持均一之重量，及充分之抵抗力量，裝運一種特殊貨物之商船，必須分別設計，以期適用，但船身之普通構造，亦與其他各種船隻，大致相同。

凡商船除有特殊情形以外，船底之構造，均係夾層，第十八圖爲夾層之斷面圖，此夾層將船底分爲內層與外層，中間隔以托板，按照一定距離排列，自船首直達於船尾，夾層中央，有一直立托板，與橫斷之托板相連接，此種構造，非但遇船身外層受有損害時，不至發生危險，並且可以使抵抗力加增，同時船身上部則由甲板橫梁及艙壁支持，而甲板自身，亦以鐵柱支持之。

凡航行外海之商船，鍋爐及機器艙，均位置於中部，通風及透光之窗戶，均由艙內向上，達於船頂，貨艙則在鍋爐及機器艙之前後，貨物進出之門戶，多位

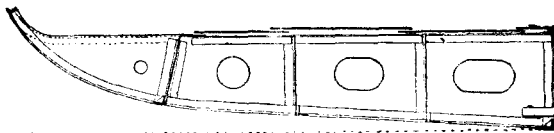


圖 八 十 第

置於甲板上比較便利之地位，船首最前部分，為鐵練室，存儲室及貯水艙等，後二者有時亦位置於船尾，客艙及船員宿舍則分布於甲板上。

水手艙普通置於前樓，客艙及職員室，則在橋樓或舵樓上面，載客較多之船，有時將客艙分置於大甲板，及下層甲板，頭等艙常在中間，以避免風浪之震動，上甲板上面，有時亦備有客艙，大號客運船，並且在上甲板之上，更建造一運動甲板，上面備有休息室吸煙室等等，小艇甲板，更在運動甲板之上層，現在最大客運船，其甲板層數之多，已超出舊有名稱以外，不得不用城市之街路一樣分

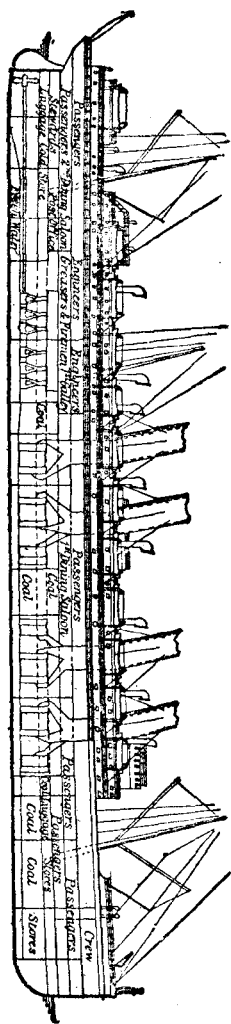
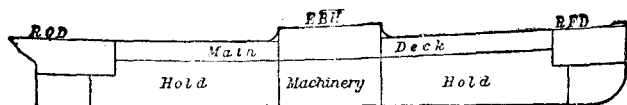
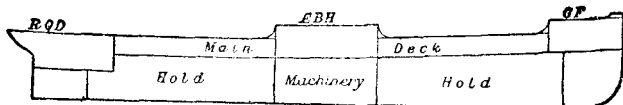


圖 九 十 第



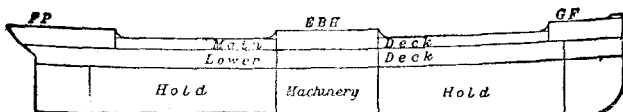
One-deck Steamer with short raised quarter and fore decks and enclosed bridgehouses.

圖 十 二 第



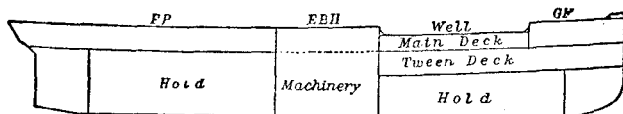
One-deck Steamer with short raised quarter-deck, enclosed bridgehouses, and topgallant forecastle.

圖 一 十 二 第



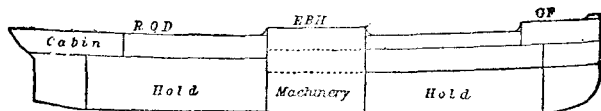
Two-deck Steamer with full poop, enclosed bridgehouses, and forecastle.

圖 二 十 二 第



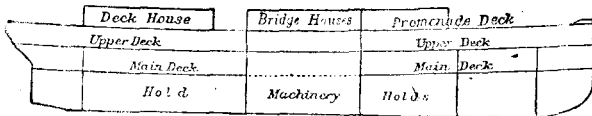
Steamer with long full poop, enclosed bridgehouses, and topgallant forecastle. Known as a "well-decker."

圖 三 十 二 第



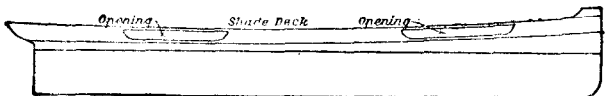
Steamer with long raised quarter deck, enclosed bridgehouses, and topgallant forecastle. Also known as a "well-decker."

圖 四 十 二 第



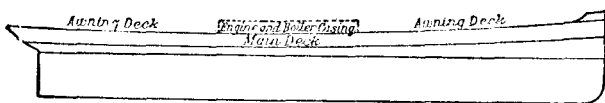
Steamer with promenade deck and long bridgehouses.

圖 五 十 二 第



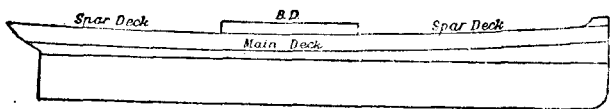
"Shade-deck Vessel." This type of vessel has a continuous upper deck of light construction with openings in the sides.

圖 六 十 二 第



"Awning-deck Vessel." This type of vessel has a continuous upper deck of light construction and the sides completely enclosed above the main deck.

圖 七 十 二 第



"Spar-decked Vessel." This type of vessel is constructed with the scantling above the main deck heavier than an "awning-decked vessel," but not so heavy as for a "three-decked vessel."

圖 八 十 二 第

別給與名稱或號數，第十九圖爲大號客運船之縱斷面圖，此船係航行大西洋定期客運船，共有七層甲板。

各種船隻之等級，有下述各種：（一）單層甲板船（one decker）（二）雙層甲板船（two deckers）（三）三層甲板船（three deckers）（四）上甲板船（spar decker）（五）篷甲板船（awning decker）（六）輕甲板船（shelter decker）（七）井甲板船（well decker）（八）塔形船。

上述各式船隻之分別，非明瞭乾舷計算之規則，不易了解，今僅就其構造上不同之處，分別述之。

第一第二第三三種，船身鋼骨，均接至最高甲板爲止，在此甲板以下，船身兩旁完全不能透水，上面所有建築物，如前樓，橋樓，舵樓等，則均係輕便建築，普通客運船，多係三甲板式，其吃水較深者，有時在下甲板之下，更加一層額外甲板，稱爲最低甲板（Orlop deck）此甲板之構造，極爲簡單，往往僅在貨艙內增加一排鐵梁，上面鋪以木板，以爲放置貨物之用，遇有裝載大件貨物時，則可以上

面木板除去。

上甲板船，亦有三層甲板，不過船身鋼骨，僅接至大甲板爲止，上面部分之構造，較三板式輕便，此種船上最高之甲板，稱爲輕便甲板。

篷甲板船與四種相似，但大甲板以上部分之構造，較第四種更爲輕便。

輕甲板船在上甲板以上，更有一層輕便之甲板，專爲客貨遮蔽之用，但現時大號客運船此甲板之構造，多較以前堅固，有時且竟成爲船上最堅固之甲板，而船身兩側，有時且接至上甲板以上，在大號客運船，此甲板即稱爲運動甲板 (promenade deck)。

井甲板船之上甲板，僅造至中部爲止，中間空出一段，再繼續接至船尾，後面一段，較前面稍高，約爲通常兩甲板間距離之一倍半，中間空處，成爲井形。

塔形船之切斷面，如第二十九圖，第三十圖爲此種輪船之一般布置，塔形船與普通輪不同，壓艙水可以裝在船中任何部分，而不必一定在船底夾層之中。

(三) 雜類船，此類船隻有種種之不同，不能爲一般之敘述，每一種各有其特殊之任務，以下

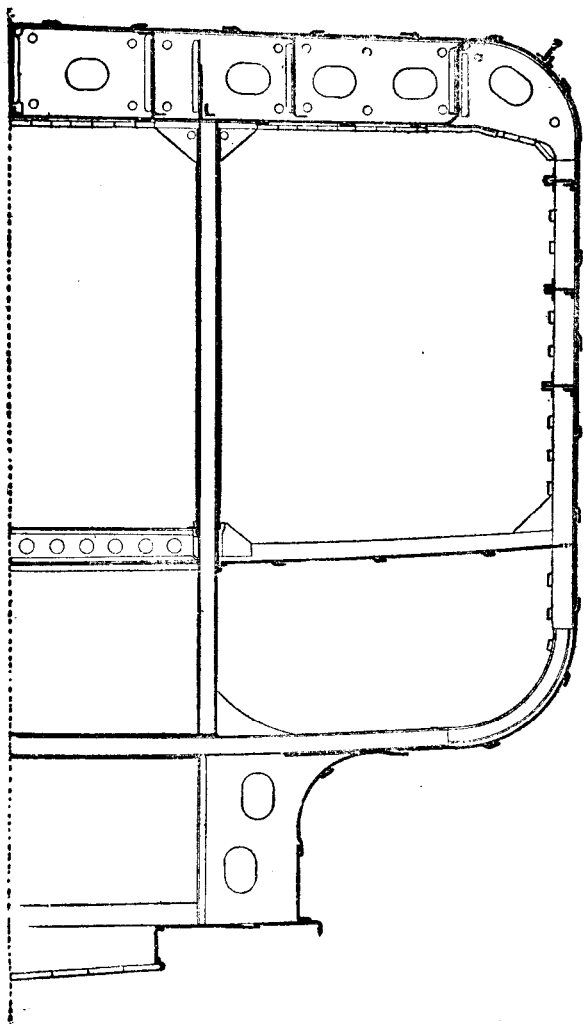
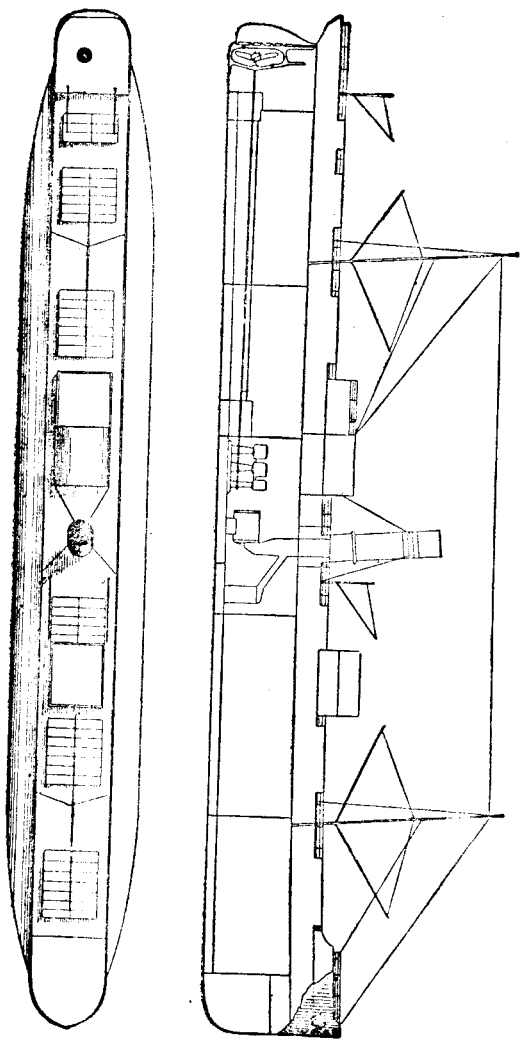
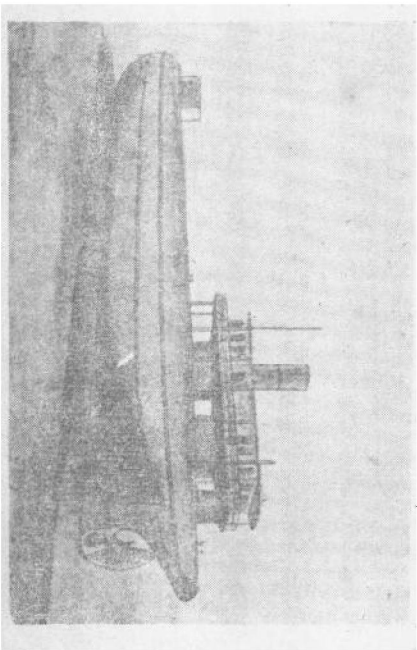


圖 九 十 二 第





四九

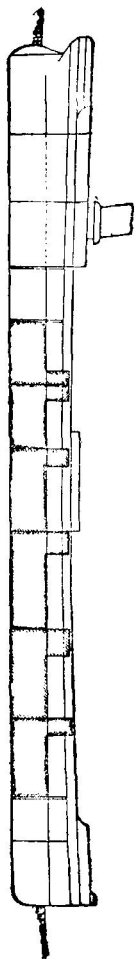
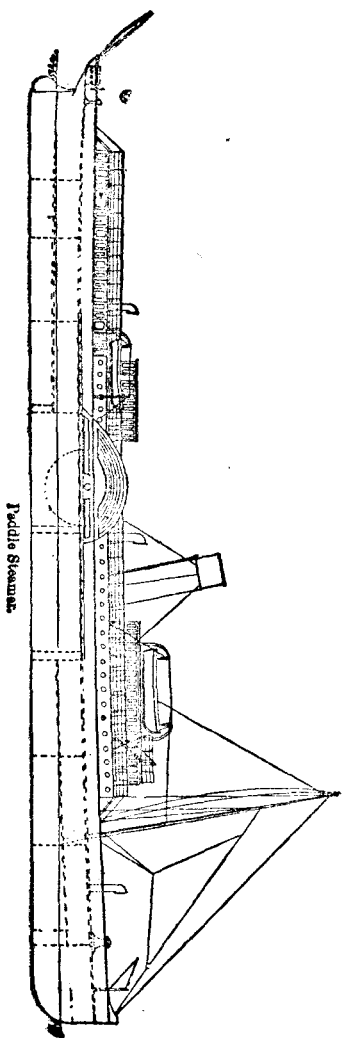


圖 一 十 三 第

各節，僅就其最普通者，略舉數例。

第三十一圖為運油船之縱斷面圖，此種船之船艙，分為若干部分，以極堅固之艙壁隔斷，使其完全不能透水，第三十二圖為一種特別式之輪船，稱為鯨背船者之圖，此種船惟美國沿海及大湖上有之，第三十三圖為明輪輪船之圖，往來內河之輪船，均係此種，大都吃水極淺，第三十四圖為大

圖 三 十 三 第



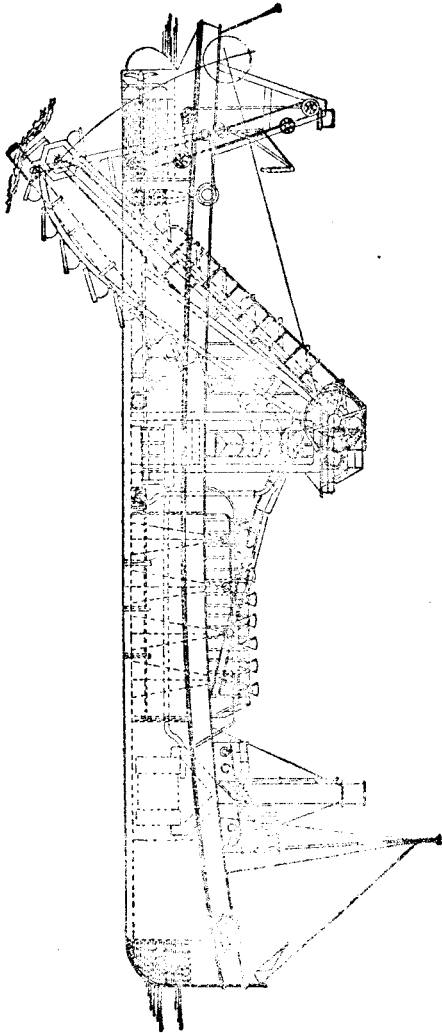
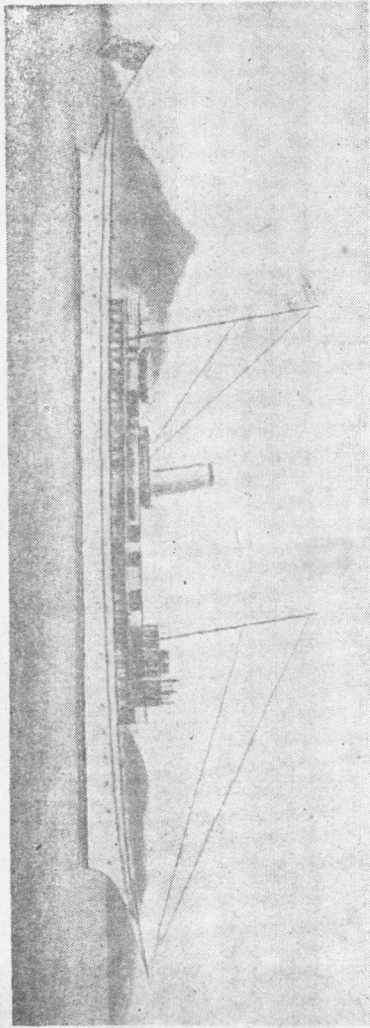
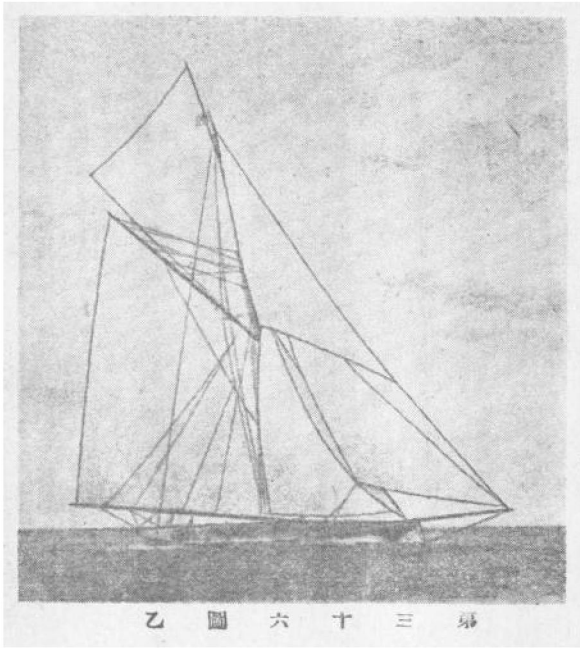


圖 四 十 三 第





乙 圖 六 十 三 第

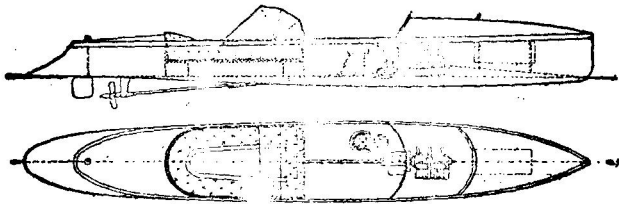


圖 七 十 三 第

第二章 船體之計算

凡建造新船時，船體曲線之設計，均係以原有同樣船隻之係數為依據，本章所論，係船體曲線確定以後，尋常畫圖室中所用之各種計算方法，此等計算，非但設計時為一種必要工作，並且造成以後，在航行中亦有極大之用途，例如將計算之結果，列表或製成曲線，則船主隨時可以從吃水之深淺，知道排水量之多少，並且由此等曲線，可以斷定，將船上貨物如何分配，可以在海上航行時，不至有危險之虞。

本章所述計算方法，可分為下列各項，排水量，(displacement) 浮力中心，(centres of buoyancy)，水平面積，(areas of waterplanes)，橫斷面積，(areas of sections)，安定中心，(metacentres)，首尾傾斜(trim)，各種係數(coefficients)，此等計算，通常列成表格，稱為排水量計算表。

第一表指示排水量及浮力中心之計算方法及其結果，第二表包含安定距離(metacentric

heights) 之計算。

從排水量計算表上可以求得者，計有下列各項：(一) 排水量，(二) 垂直浮力中心，(三) 縱浮力中心，(四) 中橫斷面積，(五) 水平面積，或每英寸噸數，(六) 橫安全中心，(七) 縱安全中心，(八) 各水平面重心，(九) 每英寸傾斜之勢量，(十) 立體係數，(十一) 棱形係數，(十二) 中橫斷面積係數，(十三) 水平面積係數，以下各節，就此等計算方法依次述之。

排水量，排水量之定義，已於前章述及，所謂排水量者，即被船身排去之水之容積，通常以一噸或三五立方英尺為單位，因每三五立方英尺之海水，計重一噸，故將排水量之立方英尺數，以三五除之，即得船身之噸數重量，遇船在淡水時，則當以三五·八四除之，因淡水每噸之容積，等於 $\frac{35 \times 46}{62.5} = 35.84$ ，此數之得來，係因在華氏表六二度時，每一立方英尺之海水，計重六十四磅，而每一立方英尺之淡水，則僅重六十二磅半也。

凡載貨船之排水量，必須說明與一定之吃水相當，在尋常航行狀態之下，吃水之限制，計有兩種，為輕載吃水，及重載吃水，前者為空船狀態時之吃水量，即除去一切貨物，燃料，供給，人員，壓艙水，

淡水及鍋爐用水等等，換而言之，即除船殼、機械及必要之設備以外，毫不裝載任何之貨物，備重吃水，為滿載貨物、燃料、壓艙水時，應有之吃水量，通常船之載重，不能超過此項限度，在此限度以內，各種吃水量及縱傾斜之排水量，均須一一算出，有許多船隻，輕載吃水及重載吃水之排水量，相差至一倍以上，有時二者之差，甚至達於重載排水量之四分之一相近。

各種不同之排水量，最好以曲線表示之，因此之故，在計算表上，必須就四個或四個以上吃水之尺寸，而分別計算其排水量、浮力中心之位置，亦可以從第一計算表上算出，與每一排水量相當，同時計算其浮力中心，將所得結果，製成曲線，由此曲線，可以得到任何吃水時浮力中心之位置。

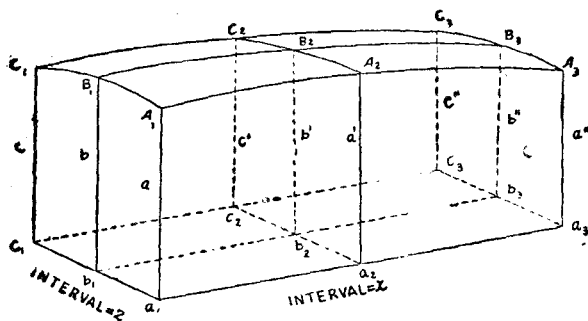
為明瞭第一表上之計算方法起見，可以簡單立體之例證，說明如下：

第三十八圖 $A_1A_2C_2C_1$ 可認為船體面積之一部份， $a_1a_2c_2c_1$ 為其在 xz 標準平面上之投影，設 a_1a_2 等於 $2x$ ， a_1c_1 等於 $2z$ ，求 a_1c_2 之容積，吾人可以適用上述之規則，即將此容積切為若干平行部分，計算每一切斷面之面積，而以積分方法求之，例如在 a_1c_1 中間，用一與 $A_1a_1a_2A_2$ 平行之平面，將此立體分為兩部分，而得新切斷面 $B_1b_1b_2B_2$ ，故此立體上，現有三個平行切斷面，

每二面間之距離為 z ，設 A, B, C ，為此等切斷面之面積，則依照辛氏第一定律，此立體之容積，等於 $\frac{z}{3}(A+4B+C)$ 。

又如在 a_1a_2 中間，用一與 $A_1a_1c_1C_1$ ，平行之平面，將此立體，分為兩部分，而得新切斷面 $A_2a_2c_2C_2$ ，與上述切斷面，在 B_2b_2 相交，設此等切斷面之面積，為 A', A'', A''' ，則此立體之容積，等於 $\frac{x}{3}(A'+4A''+A''')$ ，二者既係同一立體之容積，彼此必須相等，即 $\frac{z}{3}(A+4B+C) = \frac{x}{3}(A'+4A''+A''')$ ，二者比較，可以糾正計算之錯誤。

設 A 面之坐標為 a, a', a'' ， B 面為 b, b', b'' ， C 面為 c, c', c'' ，則 $A = \frac{x}{3}(a+4a'+a'')$ ， $B = \frac{x}{3}(b+4b'+b'')$ ， $C = \frac{z}{3}(c+4c'+c'')$ ，立體之容積等於 $\frac{z}{3}(A+4B+C)$



第三十八圖

$$= \left\{ a + 4b + c + 4(a' + 4b' + c') + a'' + 4b'' + c'' \right\} \times \frac{xz}{3 \times 3}$$
 從另一方面積分，用與 $A_1 a_1 c_1 C_1$ 平行之平面，則 $A' = (a + 4b + c) \frac{z}{3}$ ， $A'' = (a' + 4b' + c') \frac{z}{3}$ ， $A''' = (a'' + 4b'' + c'') \frac{z}{3}$ ，立體之容積，等於 $(A' + 4A'' + A''') \frac{x}{3} = \left\{ a + 4b + c + 4(a' + 4b' + c') + a'' + 4b'' + c'' \right\} \frac{xz}{9}$ ，此式

與上節積分式，顯然完全相同，括弧內之數目，稱為排水量之函數， $\frac{xz}{9}$ 則稱為排水量之乘數，

排水量計算表上之行列，係如此畫成，使上述之交互糾正，可以自然運用，排水量之計算，為一種極繁複之工作，用上述校正方法，其所得結果，當然比較可靠，但有時同樣之錯誤，同時發生於兩方面，則此種方法，亦不能加以糾正。

上述方法，更有一種便利，即縱線直線兩方面之浮力中心位置，可以同一計算求得之。

例如將此法應用於簡單之立體，則吾人但須將各面積在 x 方面之勢量，加以積分，而以總容積除之，即得 x 線上重心之位置，在 x 方面之重心，亦以同樣方法求之。

爲簡單起見，假定各垂直線之數目如下：

$$\begin{aligned} a &= 1.5 & b &= 1.6 & c &= 1.4 & x &= 3' \\ a' &= 1.8 & b' &= 1.9 & c' &= 1.7 & z &= 3' \\ a'' &= 1.6 & b'' &= 1.7 & c'' &= 1.5 & \end{aligned}$$

水量等於 $63.6 \times \frac{K^2}{9} = 63.6$ 立方英尺，浮力中心在 z 方面之位置等於 $\frac{63.0}{63.6} \times z = 29.7$ 英尺，浮

力中心在 x 方面之位置等於 $\frac{64.2}{63.6} \times x = 30.3$ 英尺。

排水量計算表之預備，此表之上端，詳載下列之主要各點：(一) 船名，(二) 計算排水量之長度，(三) 船型尺寸，(四) 船型吃水，(五) 龍骨之深度，(六) 水平距離，(七) 垂直距離，(八) 中間橫斷面之位置，其預備之手續如下，假使吾人有一套已經畫成之船體曲線，第一步當先確定各切斷面之位置，通常積分之方向，爲垂直及縱長兩方，故必須在每一方，用一定數目之切斷面，以與辛氏規則或其他所用之規則相適合，採用辛氏第一規則時，通常依照船身之長短及其形狀，將縱長線分爲十，十二，十四，或十六等分，而在首尾兩端，有時更將每一等分，分而爲二，因船身較豐滿之船隻，兩端之曲線，變動甚速，必須另加一切斷面，以期計算之正確也。

此等等分線，確定各橫斷面之位置，此等斷面，可以移轉於船體圖上。

垂直方面，若用辛氏第一規則，可以將重備水線及船底間之距離，分爲八至十二等分，在遊船及戰艦，重備水線，往往不與船底龍骨相平行，則此項距離，係從重備水線，量至最低之完全水線爲止，在此以下之部分，稱爲附屬部分，其容積及重心，完全另行獨立計算。

凡船體之形狀，大都在船底相近處，變換極速，故必須另加一個或一個以上之水平面，以期計算正確，所有此等水線，均在船體圖上畫出，而半橫坐標線之長短，可以從此圖上，或從半水平圖上，一一量出，分別記入表內相當之地位。

欲知任何吃水時之排水量，非有排水量曲線不可，製成此曲線，至少須有四點，因此積分之程序，必須分爲四級或四級以上，第一表中係分左列四級。

第一級至二號水平面爲止，吃水二英尺，第二級至四號水平面爲止，吃水六英尺，第三級至六號水平面爲止，吃水十英尺，第四級至八號水平面止，吃水十四英尺，僅就第一級而論，則垂直方面所用之辛氏倍數 $\frac{1}{2}, 2, \frac{1}{2}, 2$ ，爲縱長方面爲 $\frac{1}{2}, 2, \frac{1}{2}, 2, 1, \frac{1}{2}, 2, 4, 2, 4, 2, 4, 2, 4, 1, \frac{1}{2}, 2, 2$ ，及 $\frac{1}{2}, 2$ 所

得排水量之函數爲 $500 \cdot 29 \cdot 2$ ，上項函數，必須乘以 $\frac{1}{3}$ ，即 112.86 英尺，再乘以 $\frac{1}{3}$ ，即 37.28 英尺，再乘以 2 ，以得兩面之和，再以三五除之，以得排水之噸數，故

$$\text{排水量之乘數} = \frac{11.243 \times 2 \times 2}{3 \times 35} = 4283.$$

至二號水平面爲止之排水量 = $500.29 \times 4283 = 214.3$ 噸

將表內「面積倍數」行內之數，與最後一行第五號橫斷面之距離，一一相乘，則得次行所列之勢量函數，(moment functions)，將此項函數，附以相當之正負符號，一一相加，則得所要之勢量函數，正負之分別，係以在五號橫斷面前方者爲正數，後方爲負數，此數所用之勢量乘數爲

$$\frac{x}{3} \times \frac{y}{3} \times \frac{z}{35} \times x$$

$$\text{勢量函數} = 393.84 - 280.98 = 112.86, \quad \text{排水量係數} = 500.29.$$

$$\text{故浮力中心至五號橫斷面之距離} = \frac{112.86 \times 33.29}{600.29} = 7.61 \text{ 英尺}.$$

即縱浮力中心，在五號橫斷面前七·六一英尺之距離也。

求垂直浮力中心時，則用水平面積對於船底或重載水線之勢量。

第一表上各水平面對於船底之距離，爲 0, 1, 2, 3, 等，至二號水平面止之勢量函數等

於三一·一·六四，故浮力中心之高 = $\frac{311.64 \times 2}{500.29} = 1.246$ 英尺。第二步爲二號至四號水平面

之計算，此項計算方法，有時先算此兩水平面中間之排水量，但不如將所得之函數，加於第一步之函數，較爲便利，因如此則至最後水線全部容積浮力中心，在縱直兩方之位置，均可以一式求得之。

如排水量係每一步分別計算，則全部容積之浮力中心，可以下法求得之。

設 v = 吃水 d 時之容積， $h = v$ 之浮力中心至軸線之距離，

v_1 = 由吃水 d 至 D 兩水線間之容積， $h_1 = v_1$ 之浮力中心至軸之距離，全部容積 =

$$v + v_1 \quad \text{則} \quad v + v_1 \quad \text{之浮力中心至軸線之距離} = \frac{vh + v_1h_1}{v + v_1}$$

各種乘數，在計算表上，將「面積乘數」行內之數字相加，即得排水量之函數，將「勢量函數」直行內之數字相加，則得排水量在縱線方面之勢量函數，將橫行內之數字相加，則得排水量在垂直方面之勢量函數，各種函數之乘數如下：

排水量之計算上，因縱線上之積分，須乘以 $\frac{1}{3}$ ，因垂直方面之積分，須乘以 $\frac{1}{3}$ ，再乘以 2，以得

兩面之和，再以 85 除之，以得噸數，此外凡在縱長方面之勢量，須再以 $\frac{1}{3}$ 乘之，垂直方面之勢量，須再以 $\frac{1}{3}$ 乘之，故其結果如下：

$$\text{排水量噸數之乘數} = \frac{2xy}{9 \times 35} = \cdot 4283 \text{英尺,}$$

$$\text{垂直方面英尺噸數勢量之乘數,} = \frac{2xy^2}{9 \times 35} = \cdot 8566 \text{英尺}$$

$$\text{縱長方面英尺噸數勢量之乘數,} = \frac{2x^2y}{9 \times 35} = 14.44 \text{英尺}$$

從以上關係並得下列各公式，設 M = 垂直勢量函數， M_1 = 縱長勢量函數，

F = 排水量函數，則垂直方面之浮力中心位置

$$= \frac{M_2^2 x^2 y^2}{9 \times 35} \Big/ \frac{F_2 x y}{9 \times 35} = \frac{M_2 y}{F}$$

縱長方面之浮力中心位置 = $\frac{M_1^2 x^2 y}{9 \times 35} \Big/ \frac{F_2 x y}{9 \times 35}$

$$= \frac{M_1 x}{F}$$

故浮力中心位置之計算，只須將排水量函數，除勢量函數，再將其結果，以所用間隔之距離乘之。

排水量及浮力中心曲線，排水量與浮力中心之位置，可以曲線表示之，此等曲線，以吃水之數為底線，通常將底線置於方面，第三十九圖指示製成此等曲線之方法，船身中橫斷面之吃水尺數，記於垂直線 O A 之上，在

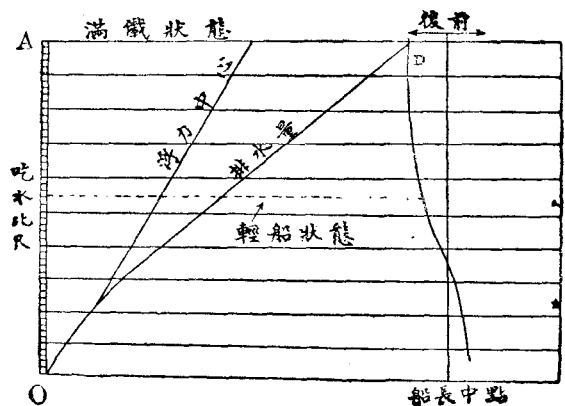


圖 九 十 三 第

各吃水尺數上，畫一橫線，以表示排水量之噸數，此曲線之範圍，自零點直達於重載水線，有時或延長至此線以上若干尺寸，此曲線依照所用之比例尺寸，每一英寸等於若干噸。

浮力中心之高度，亦可以用同樣方法，製成曲線，此曲線每一英寸等於若干英尺，每曲線之比例尺寸，畫在圖之上端，故排水量及浮力中心之高度，可以隨時量得之。

縱浮力中心之曲線，須以另一垂直線爲底線，此底線代表中橫斷面，但可以置於圖上任何便利之處，一面表示正數（在前）一面表示負數（在後）之距離。

附屬部分之計算，從計算表上所求得之容積，僅算至船骨外面爲止，其他部分之浮力，必須作爲附屬部分，分別計算，普通船隻附屬部分，包含下列各項：（一）船殼或船皮，（二）船底龍骨及其襯板，（三）船舵，（四）主軸及推進器之托圈。

此等附屬部之容積及浮力中心，須逐項分別計算，用以改正計算表上所得之結果，第一項之計算，須先估計在一定吃水時之沾水面積，此項面積之估計方法，可以先求周線之中數，而以船身之長乘之，但通常以用一種簡單公式計算，較爲便捷，設 Δ 爲沾水面積， L 爲船長（英尺）， ρ 爲吃

水（英尺） V 爲在此吃水時之排水容積（立方英尺）則 $A = 1.71d + \frac{V}{d}$ （平方英尺）

算出沾水面積以後，再計算船殼鐵板之平均厚薄，設後者等於七英尺則 船殼之排水量 $\frac{At}{35}$ 在每一吃水時，均用此法計算，而將所得結果，加入原有之排水量，以得每一吃水時排水之實在噸數。

第二項龍骨及其襯板之排水容積，可以容易求得，此數在任何吃水時，均係相同。

第三項可以估計在每一吃水時船舵之大概尺寸，而求得其容積，但在使用單面舵之船隻，因其爲數甚微，可以不必算入。

第四項差數較巨，在使用雙螺旋推進器且有托圈環繞主軸之船隻爲尤甚。

凡不同托圈之船隻，則但須計算主軸托架，及螺旋推進器之容積。

如船體之後部，係製成托圈形狀，以容受主軸時，則其排水容積，必須將此部分，分爲若干切斷面，用上述之積分方法求之。

第一、二、三項之浮力中心，在垂直及縱長兩方面之位置，均可以不必計算，但第四項在用螺旋推進器之船隻，容積較大，且偏在船身後部，故其對於浮力中心之影響，必須加以相當改正，其計算方法，與上節所述第一種之求浮力中心方法相同，凡遊船及戰艦，在最低水線下之附屬部分，亦須用普通積分方法，以計算其容積及勢量。

淡水中之排水量曲線，假想有排水容積 \triangle 立方英尺，其所排去海水之重量，等於 $\frac{62\frac{1}{2}}{1}$ 噸，若此船浮於淡水上面，而有同樣排水容積，則其重量當等於 $\frac{62\frac{1}{2}}{1}$ 噸， $\frac{62\frac{1}{2}}{1}$ 代表每噸淡水之立方英尺容積，極端純潔之淡水，在華氏表六二度時 $\frac{62\frac{1}{2}}{1}$ 等於三五·八四，如將排水量曲線之橫線，依照三五與三五·八四之比例，加以變更，則得一新曲線，可以代表在淡水中之排水量（噸數），有許多河川及海港，水質均極污濁，故船之重量及水之比重，須以水壓表檢定之。

中橫斷面積，中橫斷面，尋常係指兩垂線中間之橫斷面而言，在第一計算表上，此橫斷面之位置，在五號斷面之前三·九英尺，但其形狀與後者相同。

第四十圖之右方，為中橫斷面之形狀，按照計算表，五號斷面，至二，四，六，八各水線為止之面積函數，係如下表所列。

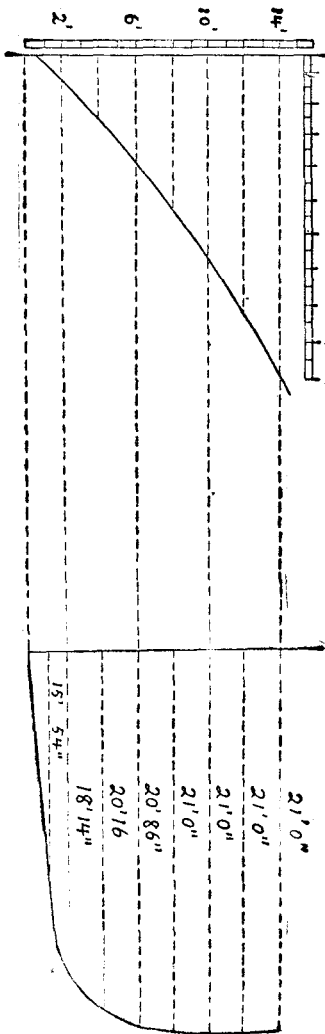


圖 十 第

水準號數	面積函數	乘數	$\frac{2Y}{3}$	中橫斷面積
2	39.12	1.333		52.2
4	158.76	.....		211.1
6	284.62	.....		379.5
8	410.62	.....		546.9

表內所列面積，可以吃水為底線，製成曲線，第四十圖左側，即此種曲線也。

水平面積或每英寸噸數，各水平面之面積，可以從每一直行內之總和計算而得，將此等數字，分別列入表內，而以 $\frac{2x}{3}$ 即 111.4 八六英尺乘之，則得各水平面之實在面積（平方英尺數）

如下表所示。

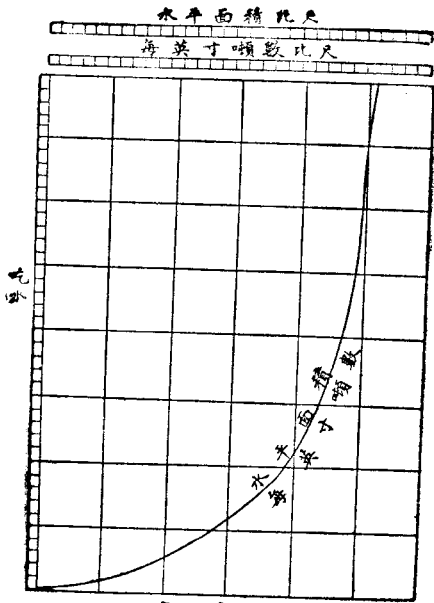
水平面號數	水平面積函數	面積方英尺	每英尺噸數	每英寸噸數
1	0	0	0	0
1 1/2	150.31	425.0.0	122.3	10.2
2	242.61	5456.0	155.9	12.97

3	286.77	6672.0	190.7	15.80
4	330.10	7423.0	212.1	17.67
5	385.35	7995.0	228.4	19.03
6	376.84	8473.0	242.1	20.17
7	395.83	8900.0	264.3	21.19
8	413.66	9301.0	265.8	22.15

表內所列各數，可以吃水為底線，製成水平面積曲線，如第四十一圖。

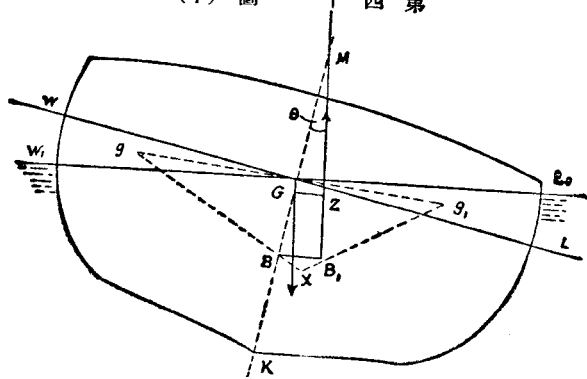
每英寸噸數 (tons per inch) 係指使船身之吃水，加增一英寸時，所需要之重量而言，假定新水平線，係與原有之水平線平行，在排水量計算上，有時稱為每英尺噸數 (tons per foot)，其意義與上述相同。

假想船身垂直下沈，其吃水增加一英寸時，則其浮力之增加，當等於 $\Delta \times \frac{1}{12}$ 立方英尺， Δ 為



底線

(甲) 圖一十四第



(乙) 圖一十四第

水平面積之平方英尺數，若以噸數計算，則此浮力，當等於 $A \times \frac{1}{12} \times \frac{1}{35} = \frac{A}{420}$ 噸，故吾人將水平面積之平方英尺數，以四二〇除之，即得每英尺寸噸數。

吾人所應注意者，在箱形船體，水平面積 Δ ，無論吃水深淺，均不變換，故上述公式，可以始終適用，即在尋常船體，雖 Δ 之數量，隨時變動，但吾人若謂在 Δ 平方英尺之水平面時，每英尺噸數，等於 $\frac{A}{420}$ ，固亦絕對正確也。

因每英寸噸數，係以四二〇除水平面積而得，故此二種曲線，天然同係一物，所不同者，僅其比尺之差異而已，通常以同一曲線供兩種用途，曲線上端，分列兩個不同之比尺，二者之差，為一與四二〇之比例。

每英寸噸數之曲線，在船上增加若干重量時，計算新吃水量，極為便利，或新吃水量為已知數，則船上重量之加增，亦可由此曲線求得之。

穩定中心 (metacentres) 穩定中心之詳細說明，當俟諸下章，本節所論，僅就初步穩定率之

關係上，略述大概而已。

凡在靜水中平衡之物體，若由外力使之略為傾側，而仍保持其原有之排水量時，則物體中各分子運動之徑路，常與一垂直之平面相平行，與此平面平行而包含原來浮力中心之平面，在傾側以後，新浮力中心，是否仍在此平面之上，殊不一定，如仍在其上時，則經過原來浮力中心之垂直線，與經過新浮力中心之垂直線，必相交於一點，若傾側之角度係無限小時，此交點稱為穩定中心。

如新浮力中心，與原來浮力中心，並不同在一垂直平面之上，則上述之二直線，不能相交，但傾側之角度，減至無限小時，則二者之相交與否，殊不一定，假定仍不能相交，則經過新浮力中心之垂直線，在上述平面上之投影，與經過原來浮力中心之垂直線，必相交於一點，此交點即稱為在此傾側方向之穩定中心。

第四十一圖紙上之平面，即為傾側平面，傾側後之浮力中心，及經過此中心之垂直線並不在此平面之上，圖上所示者僅此等垂直線之投影，此等投影，必須在所稱為穩定中心之一點，彼此相交。

穩定中心 M ，有極重要之關係，因船身係在穩定平衡，中性平衡，或不穩定平衡，皆由此點與重心之相互位置決定。如 M 之位置較高於 G ，則船身係穩定平衡， M 之位置與 G 合一，則係中性平衡， M 之位置較低於 G ，則係不穩定平衡，船身在穩定平衡時，如有外力使其稍有傾側，外力除去以後，自然恢復原來位置，在中性平衡時，則外力除去以後，既不能恢復原狀，亦不能更加傾側，在不穩定平衡時，則依其自身之力量，使其傾側益甚，橫穩定中心 (transverse metacentre)，第四十二圖為船體經過浮力中心 B 之橫垂直斷面， WL 為船身在水面平衡時之水線，假想船身在紙面即經過 B 點之垂直平面方向，有一極微細之傾側 θ ，設 G 為船身之重心，必須在傾側平面上， B_1 為新浮力中心在此平面上之投影， W_1L_1 為傾側以後之水線，假定排水量之數，始終不變， WL 與 W_1L_1 在 O 點相交，因船身傾側之故，楔形容積 W_1OW 移至 L_1OL ，其移動之方向，係沿兩楔形重心相聯之直線進行。

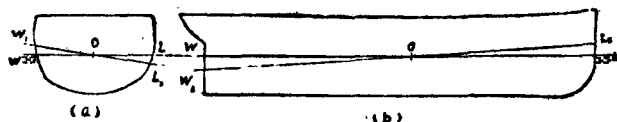


圖 二 十 四 第

BM 距離之公式，G 與 M 間之距離，稱為穩定中心高度，圖中 M 點，為在橫垂直面上傾側時之穩定中心，稱為橫穩定中心，如其傾側之方向，係在前後兩端，則其穩定中心，稱為縱穩定中心，(longitudinal metacentre)。

依照上面假定，排水量始終不變，故楔形 WOW_1 之容積，等於楔形 LOL_1 之容積，設 g_1 及 g_2 為兩楔形重心在橫傾側面上之投影，連接 g_1B 及 g_2B_1 再將兩線延長，相交於 X 點，則 W_1K_1L 之重心，必須在直線 g_1B 之上，同時此重心又必須在直線 g_2B_1 之上，換而言之，即 X 為 W_1K_1L 之重心。

設 v 為每一楔形之容積， V 為排水量之總容積，計算二者對於 X 點之力率，則 $v \cdot g_1 X$

$$= VBX, \text{ 及 } v g_2 X = VB_1 X \therefore \frac{g_1 X}{g_2 X} = \frac{BX}{B_1 X} \text{ 即 } BB_1 \text{ 係與 } g_1 g_2 \text{ 平行，而且 } \frac{g_1 g_2}{BB_1} = \frac{V}{v}$$

$$\therefore v \cdot g_1 g_2 = v \cdot BB_1 = v \cdot BM \cdot \theta \text{ (因 } \theta \text{ 為極小之數) 但 } v = \int \frac{1}{2} y^2 dx \text{ 此式中之 } x \text{ 為前後}$$

之方向， y 為 OL 或 OW 之距離，又在 dx 長之楔形 $Og_2 = \frac{2}{3} y_1$ 若吾人假定楔形之各切斷

面均爲三角形，則其力率 $v \cdot g_1 g_2 = \int \frac{1}{2} y^2 \theta \times \frac{4}{3} y dx \therefore V \cdot BM \cdot \theta = \int \frac{2}{3} y^3 \theta dx =$

$\frac{2}{3} \theta \int y^3 dx \therefore BM = \frac{2}{3} \int \frac{y^3 dx}{V}$ ，此積分式中之 y 包含左右兩方 OL 及 OW 之一切

價值 x 之積分限度，包含船身全長，直至兩極端爲止，如 OL 不等於 OW 則上式變爲 $BM =$

$\frac{1}{3} \int \frac{(y_1^3 + y_2^3) dx}{V}$ ，如水線之形狀，左右兩方，完全相同，則每一 x 之價值，其相當之 y 數量，

兩面相等，即 y_1 等於 y_2 故 $BM = \frac{2}{3} \int \frac{y^3 dx}{V}$ ，在數學上 $\frac{1}{3} \int y^3 dx$ 稱爲水平面積 WL 之

一面，對於經過 O 之軸線之惰性力率，通常以 I 代表之，故 $BM = \frac{I}{V}$ ，此式中之 I 爲水平面全部

面積，對於繼續水平面交線之惰性力率，所謂繼續水平面者，係指兩水平面，不相平行，但其所成之角度極小，而其所切斷之排水量，彼此相同者而言，在船體之場合，因垂直平面之兩側，形狀完全相同，故在 θ 極小之時，此兩水平之交線，常在其中間等分線之上。

第四十二圖 θ 及 σ ，指示船身在橫線及縱線方面極小角度之傾側，如排水量保持不變，則楔形 WOW_1 之容積，必須等於楔形 LOL_1 之容積，即 $\frac{1}{2}\theta \int y_1^2 dx$ 等於 $\frac{1}{2}\theta \int y_2^2 dx$ ，式中 y_1 及 y_2 為水平面上左右兩方之垂直距離，因上式中之 θ 係不變數，故 $\frac{1}{2} \int y_1^2 dx = \frac{1}{2} \int y_2^2 dx$ ，但依照前章所述，上式中之左右兩項，係水平面 WOL 之入水及出水部分，對於垂線之力率，此等力率既彼此相等，則此垂線必須經過水平面 WOL 之重心，因此構成此二相等容積楔形之交線，必須經過水平面之重心，而與傾側斷面為垂直。

上述關係，在 θ 極小之時，比較相近，只有在 θ 等於零時，絕對正確，故此垂直線所經過之點，必係原來水平面之重心。

在縱線傾側之場合，兩楔形之容積，亦必須彼此相等，即 $\frac{1}{2}\theta \int x_2^2 dy = \frac{1}{2}\theta \int x_1^2 dy$ 故

$$\frac{1}{2} \int x_2^2 dy = \frac{1}{2} \int x_1^2 dy, \text{ 此關係之證明, 與上述場合, 同樣有效。}$$

依照上節所述橫穩定中心之公式，爲 $BM = \frac{I}{V}$ I 爲水平面對於經過重心軸線之慣性力率，此關係在任何方面之傾側，同樣有效，如適用於縱線方面，則 I 之公式爲 $\frac{1}{3} (x_2^3 + x_1^3) dy$ ，在前章中關於 I 之數量，尙有另一公式，即 $I = \int x^2 y dx$ 實際上計算縱線傾側時之 BM 多係用此公式。

在船身之場合， O 常在水平面之中線上，故 $y_1 = y_2$

橫 $I = \frac{2}{3} \int y^2 dx$ ，縱 $I = \int x^2 y dx$ ，一般之公式爲

$$BM = \frac{I}{V}$$

此公式可以適用於一切之場合，例如長方形之容器，

浮於水面，（第四十三圖）設吃水爲 d ，其他之尺寸，爲 L ，

B, D ，則橫 $I = \frac{1}{12} L \cdot B^3$ ， $V = L \cdot B \cdot d$ ， $MB = \frac{LB^2}{12L \cdot B \cdot d} =$

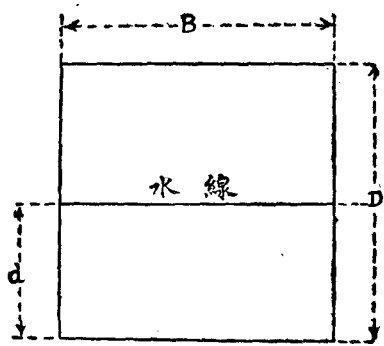


圖 三 十 四 第

$\frac{B^2}{12d}$ 。因同樣關係，縱穩定中心距離之公式為 $BM = \frac{I^2}{12d}$ ，浮力中心之高度為 $\frac{d}{2}$ ，故此容器之重心，若在 $\frac{d}{2} + \frac{B^2}{12d}$ ，之高度時，此容器在橫面係中性平衡，若重心之高，大於 $\frac{d}{2} + \frac{B^2}{12d}$ ，則係不穩定平衡，小於 $\frac{d}{2} + \frac{B^2}{12d}$ ，則係穩定平衡。

又如此容器係均一物質構成，則重心之高度，為 $\frac{D}{2}$ ，容器之穩定率，須視 d 及重心 G 與 D 之關係而定，即其平衡之為穩定，中性，或不穩，須視 $\left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} - \frac{B^2}{12d}\right)$ 之大於，等於，或小於零也。

又如圓柱形之容器浮於水面時，(第四十四圖)設半徑為 r ，高為 H ，吃水為 K ，則 $BM = \frac{I}{4} = \frac{\pi r^4 + \pi r^2 K}{4K}$ ，浮力中心 B 之高度為 $\frac{K}{2}$ ，故穩定中心 M 之高度，等於 $\frac{K}{2} + \frac{r^2}{4K}$ 。

又圓錐形之立體，浮於水面，頂點向下時，(第四十五圖)設底面之半徑為 r ，高度為 H ，吃水為 K ，在水平線之半徑等於 $\frac{rK}{H}$ ，則 $BM = \frac{I}{V} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{rK}{H}\right)^4 \div \frac{\pi K}{3} \left(\frac{rK}{H}\right)^2 = \frac{3}{4} \frac{r^2 K}{H^2}$ ，浮力中心

B至頂點之距離，等於 $\frac{3}{4}K$ ，故 M 至頂點之距離等於 $\frac{3}{4}K + \frac{3}{4}H^2 = \frac{3}{4}K(1 + \frac{r^2}{H^2})$ 。

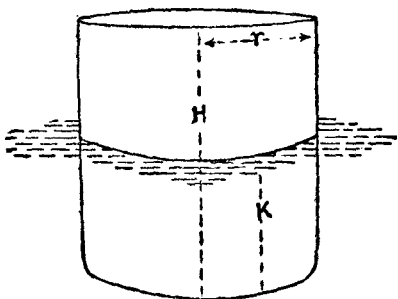


圖 四 十 四 第

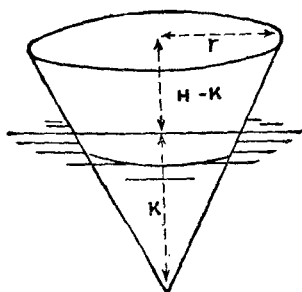


圖 五 十 四 第

在此等簡單之立體，容積及 M 之數量，均可以一定公式計算得之，但在船體之場合，其計算之方法，比較困難，不能遵循一定之程序，茲先將求橫面上 B 之方法，略述如下，此項計算，通常於

第二排水量計算表爲之，所用之公式爲 $I = \frac{2}{3} \int y^2 dx$ ，其計算程序，略如下表所示。

第二水平面

縱長距離 = 337.29'
垂直距離 = 2'0"

乘數 = $\frac{2x}{9} = \underline{7.4953}$

$I = 346300ft^4$

$BM = \frac{46206}{500.29 \times 2} = \underline{46.18}$

CB 與船底之距離

= 1.25 英尺

M 與船底之距離

= 46.18 + 1.25

= 47.43 英尺

斷面號數	y	y ³	乘	數立方函數
0	0	.....	1/2	.....
1/2	0.32	.....	2	.....
1	1.28	2	1 1/2	3
2	3.72	51	4	204
3	8.38	688	2	1176
4	14.96	3348	4	13392
5	18.14	5069	2	11938
6	16.00	4096	4	16384
7	10.62	1198	2	2369
8	5.58	174	4	696
9	2.12	10	1 1/2	15
9 1/2	0.80	1	2	2
10	.....	.....	1/2	.....

46206

表中第一行爲切斷面之號數，第二行爲橫坐標之長短， y ，第三行爲其立方乘積 y^3 ，第四行爲辛氏倍數，最後一行，爲所要之函數，故此等立方函數之總和，即爲惰性力率「 I 」之函數，乘數中包
 含下列各因數，乘 2 以得兩方之和，再乘 $\frac{1}{3}$ 以得立方之積分，再乘 $\frac{1}{6}$ ，以與公式 $\frac{1}{6} \int y^2 dx$ 相
 符合，故乘數爲 $\frac{2x}{9}$ ，又排水容積之乘數，爲 $\frac{2xy}{9}$ ，故穩定中心高度，或 BM 之距離等於 $\frac{I}{V}$ =

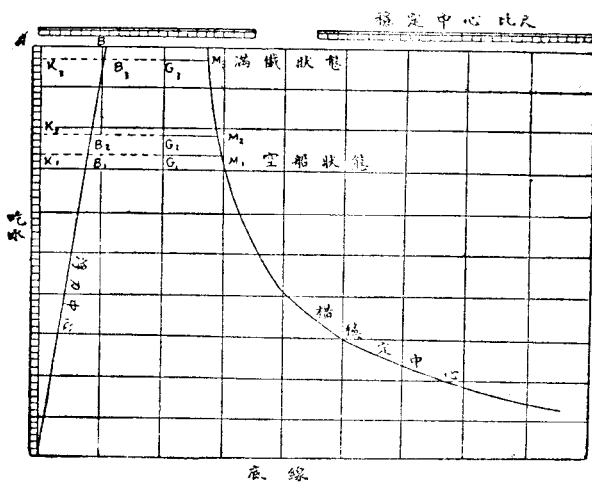
$$\frac{I\text{之函數} \times 2x/9}{V\text{之函數} \times 2xy/9} = \frac{I\text{之函數}}{V\text{之函數} \times y}$$
 依上述計算方法，吾人可用若干吃水不同之水線，分別計
 算其惰性力率，各以相當之排水容積除之，而得若干不同之 BM ，再用曲線方法，可以求得在任何
 吃水時穩定中心之距離。

穩定中心曲線，此曲線通常與浮力中心曲線合爲一圖，如第四十六圖之形狀，底線 OA ，爲吃
 水尺寸， OB ，爲浮力中心曲線， CD ，爲穩定中心曲線，橫線 K_1B_1, K_2B_2 ，等爲浮力中心至船底
 之距離， B_1M_1, B_2M_2 ，等爲穩定中心 M 至浮力中心 B 之距離， K_1M_1, K_2M_2 ，等即爲 M 至船底之
 距離， G_1M_1, GM_2 ，等，即爲重心至穩定中心之距離，故在任何吃水之下，吾人但須在此圖上畫一

橫線，以比例尺量之，即可得 M 之位置，及 BM 與 GM 之長短，如將排水量曲線，亦同畫於此圖上，吾人並可同時量得與此吃水相當之排水量。

此曲線之利便，即為船身在任何吃水狀態之下，吾人均可容易求得其初步穩定率，穩定中心高度，有時係指 BM 之距離而言，但通常所謂穩定中心之距離，多指 M 與重心 G 之間之距離，此距離決定船身之初步穩定率，普通稱為 GM 。

由上節所述，可見 M 之高度，可以容易從排水量表上計算得之，但 G 之高度，並不關係於船身之形狀，而關係於船中各重量在垂直線上的分配，此高度又隨載貨之情形而變更，故 GM 亦



圖六十四第

隨載貨之情形變更。

船身重心高度之計算，爲一種極繁複之工作，但設計時，可用同式船隻之係數，而估計其大概，此係數通常爲重心之高，與船型深度之比例，爲設計之目的起見，如此所得之近似數，已足應用，但有時亦有必須詳細計算之必要。

在船身之建造將近完成時， GM 可以從實驗上確實求得，因 M 之高度，可以計算而得，故在此實驗狀態之下， G 之高度，可以從二者之差求得之。

此種實驗，凡重要之船隻，均須行之，除非係姊妹船，或同式之船隻，在以前已經過實驗者，此種實驗，稱爲傾側實驗，其詳細當於下節述之。

由以上各節所述，吾人已知 $BK = \frac{1}{2} \frac{W}{V} \frac{d^3}{12}$ 之公式可以同樣適用於縱面及橫面之傾側，在每一場合， K 之軸線，均須經過水平面之重心，而與傾側面成爲垂直，在縱面傾側，或縱橫兩者之間，任何方面之傾側， K 均係水平面對於經過水平面重心而與傾側面成爲垂直軸線之惰性力率，因船身

之兩端，形狀不同，故此重心，通常不在中線之中點，縱面惰性力率之計算，因此之故，與橫面稍有不同，從第二表上可以見之。

設 γ 為水平面對於中線之橫坐標， x 為從一定標準軸線計算之縱坐標，則水平面對於軸線 OY 之惰性力率，等於 $\int \int x^2 dy dx = \int x^2 y dx$ ，此式中 x 係對於標準軸線之縱面惰性力率，但實際上所需要者，係對於經過重心之軸線之惰性力率，後者為 $(\int x^2 y dx - Ah^2)$

式中之 h 為重心至 OY 之距離， A 為水平面之面積，後者因已在排水量表上算出，而縱穩定中心之計算表，必須預有計算之準備。

因力率之公式為 $\int xy dx$ ，而惰性力率之公式為 $\int x^2 y dx$ ，故第一步先將排水量表上之坐標函數錄出，而各以至 OY 之距離乘之，以得 $\int xy dx$ 之函數，再以至 OY 之距離乘此等函數，以得 $\int x^2 y dx$ ，其計算程序如下表所示。

第二號水平面
 第五號坐標為標準軸OY。
 縱線距離 = 33.73英尺
 垂直距離 = 2.0英尺

坐標號數 n	坐標長度 Y	辛氏倍數	坐標函數 ydx	OY距離	M函數 xydx	x	I函數
0	.....	1/2	.....	5	.....	5	.....
1/2	.32	2	.64	4 1/2	2.88	4 1/2	12.96
1	1.28	1 1/2	1.92	4	7.68	4	30.76
2	3.72	4	14.88	3	44.64	3	133.92
3	8.38	2	16.76	2	33.52	2	67.04
4	14.96	4	59.84	1	59.84	1	59.84
5	18.14	2	36.28	0	148.56	0	
6	16.00	4	64.00	1	64.00	1	64.00
7	10.62	2	21.24	2	42.48	2	84.96
8	5.58	4	22.32	3	66.96	3	200.88
9	2.12	1 1/2	3.18	4	12.72	4	50.88
9 1/2	.8	2	1.60	4 1/2	7.20	4 1/2	32.40

10	.....	1/2	.....	5	.....	5	.....
		$(h) = \frac{41.8}{242.66}$	242.66		193.36 148.56	差數 (Ah ²) = 8.27	737.60 729.33
h		差數之函數 = (Ah ²) = $\frac{242.66 \times 41.8^2}{242.66^2}$	= 8.27		44.00		
		I 之正確數 = $(737.6 - 8.27) \frac{2x^3}{3}$					$2x^3/3 \dots 255.80$ I = 18638.000

N, I 之乘數, 包含下列各項, $\frac{1}{3}$ 為水平面積之積分, 再 \times 以得力率之函數, 再乘 \times 以得惰性力率之函數, 再乘 2 以得兩面之和, 故為 $\frac{2}{3} (x^3)$ 。

計算差數之實際價值時, 力率之乘數, 為 $\frac{2x^2}{3}$, 再以面積之乘數除之, 後者為 $\frac{2x}{3}$, 然後再以面

積乘此商數, 故差數之乘數為 $\left(\frac{2x^2}{3} / \frac{2x}{3} \right)^2 \times \frac{2x}{3} = \frac{2x^3}{3}$ 與 I 之乘數完全相同, 故此差數可以

從 M, I 之函數內減去, 但通常較為便利之方法, 係先求得 I, 然後再從對於 OY 軸線之 I 數量中,

減去 Ah^2 ，以得對於經過 CG 軸線之
 惰性力率，此口之數，給予水平面上經過
 CG 之橫坐標。

在各不同水線之縱 BM 可用上述
 方法一一算出，而以吃水為底線，製成曲
 線，如第四十七圖，但縱 BM 之數量，通常
 較橫 BM 為巨，故其比尺必須相當縮小，
 並且前者係從船底起算，後者係從浮力
 中心起算，各以不同之比尺量之。

縱穩定中心之高度，在確定船身傾
 斜之變化時，必須用之。

傾斜 (Trim)，所謂傾斜，係指船身浮

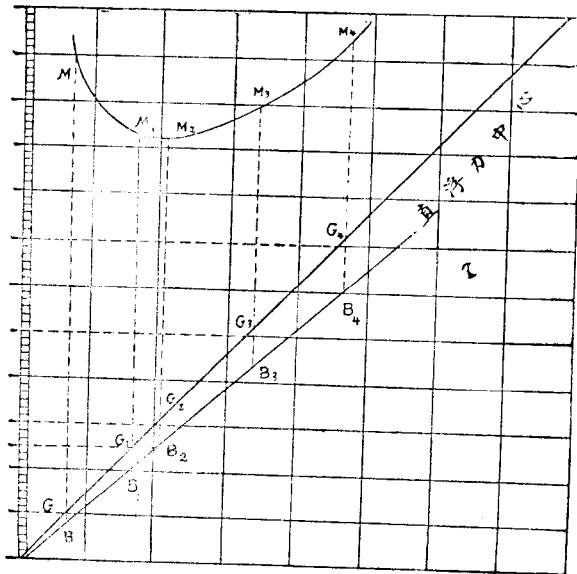


圖 七 十 四 第

於水面時，首尾兩端吃水之不同而言，例如前端之吃水為六英尺六寸，後端之吃水為七英尺，則船身之傾斜為向後六英寸，所謂向前傾斜者，即船身前端之吃水大於後端，如兩端之吃水相同，則船身之位置稱為「平浮」。如將重量加於船之一端，則生下列兩種影響：（一）使船身平行沈下，（二）視所加重量之在前或在後，使船身向前或向後傾斜。

在船上必有一點，若以重量加於此處，可以不至發生傾斜之影響，此理由顯然易見，因為假想先將重量加於前端，則船身當然向前傾斜，如將此重量逐漸向後移動，則其傾斜之角度，勢必逐漸減少，至達於一定地點時，此傾斜之角度等於零。

如船身不發生傾斜，則新加之排水量，必須在兩平行水平面之間，而且新加重量之重心，必須與此薄層之浮力中心，同在於一垂直線之上，因總浮力及總重量二者，必須如此，方能保持平衡之狀態也。

因此，如將重量加於此處，則船身必平行下沈，並且如重量極小時，則此薄層之厚度，亦必極小，此薄層之浮力中心，為計算便利起見，可以假定為與水平面之重心，同在於一垂直線之上。

水平面重心，因此，關於一切傾斜之問題，必須先求得水平面之重心，並且上節已經證明，在船身僅有極微細之傾斜時，新水面與舊水平面之交線，必須經過後者之重心。

各水平面之重心，在縱穩定中心之計算表上，固已分別算出，因對於每一水平面，已求得 ρ 之數量，此 ρ 即為重心至軸線之距離，而後者在此表上，即為第五號坐標。

故各水平面之重心，可以分別算出，製成曲線，如第四十八圖，此曲線上之垂直距離，代表吃水尺寸，而以另一垂線，表示第五號坐標之位置，與每一吃水相當之水平面，其重心或在前方，或在後方，依照其距離之遠近，分別記於圖上，此曲線之形式，與縱浮力中心之曲線相似，此兩曲線通常可以用同樣之比尺，此等曲線可以勿須延長至最低水線，因為船底相近處，其形狀極不容易決定，而且無實用上之價值。

傾斜變動之力率，第四十九圖，設 Δ 為在船面之極小重量， WL 為原來之水線，今將此重量向前移動 δ 英尺之距離，使船身發生傾斜，水線 WL 移動至 WL_1 ，因 W 既係微小，兩水平面間之角度，亦必微小，故 WL 及 WL_1 可以認為在 δ 點相交， δ 即為水平面 WL 之重心。

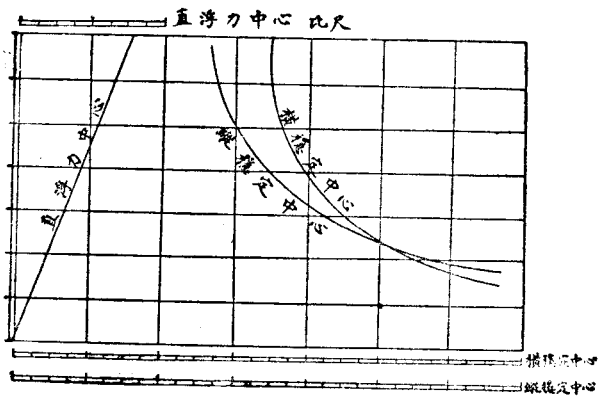
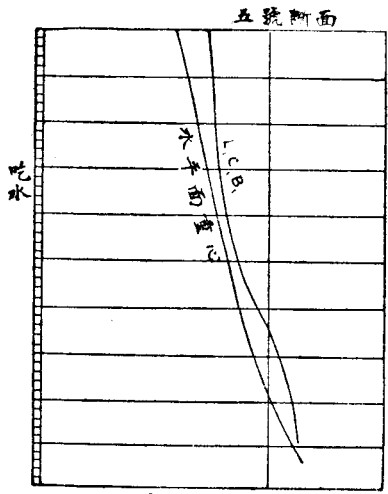


圖 八 十 四 第



底線

圖 九 十 四 第

設 Δ 爲總排水量之噸數，將 Δ 移動 ρ 距離之結果，總重量之重心，將由 G 移至 G_1 ，其關係如下式 $\Delta \cdot GG_1 = wd$ ，由此式可以求得重心在水平線上移動之距離，即 $GG_1 = \frac{wd}{\Delta}$ 。如由 G 及 G_1 各畫一對於水平面 WL 及 W_1L_1 之垂直線，則浮力中心 B 及 B_1 必在此等直線之上，（第五十圖）此等垂直線之交點，即爲縱穩定中心。

假定 θ 極小時，從此圖上可以認爲 $GG_1 = GM \tan \theta$

$$\therefore GM = \frac{wd}{\Delta \cdot \tan \theta} \quad \text{或} \quad wd = GM \cdot \Delta \cdot \tan \theta, \quad wd \text{ 通常稱爲傾斜力率。}$$

又如第五十一圖 $WL=L$, $WW'=a$, $LL_1=f$ 則 $\frac{a+f}{L} = \tan \theta = \frac{wd}{\Delta \cdot GM}$ 在 θ 極小時，上

式可以認爲正確，故傾斜力率 $wd = \Delta \cdot GM \frac{a+f}{L}$ ， $(a+f)$ 稱爲傾斜之變動，如 $(a+f)$ 等於一英寸，

即稱爲一英寸之傾斜變動，在上式中，使 $(a+f)$ 等於一英寸，或十二分之一英尺，則所需要之力率

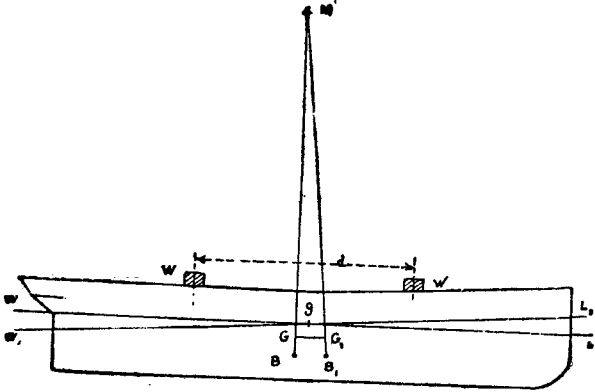


圖 十 五 第

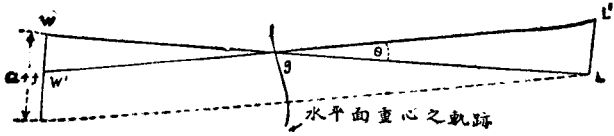


圖 一 十 五 第

$w d$ 等於 $\Delta GM \frac{1}{12L}$ 即等 $\frac{\text{排水噸數} \times \text{縱GM}}{12 \times \text{船長}}$ 。此為一重要之公式，必須記憶者，因一切關於傾

斜之問題，均須以此為依據也。

對於每一英寸傾斜之力率，其單位為英尺噸數，可以用吃水之尺數為底線，製成曲線，此曲線稱為每英寸傾側力率之曲線。

將一定重量在前後方向移動 d 英尺距離以後，欲求首尾兩端之吃水，其程序如下：先畫出原有水線 WL （五十一圖），傾斜力率等於 $w d$ 尺噸，每英寸傾斜之力率，等於 $\frac{\Delta GM}{12L}$ 故傾斜之

變動等於 $\frac{w d \cdot 12L}{\Delta GM}$ 英寸，即 $(a+f)'' = \frac{w d \cdot 12L}{\Delta GM}$ 在任何一端之垂線上，例如後端，設 $W W_1 =$

$a+f$ ，並連接 $W_1 L_1$ ，再經過 WL 與重心曲線之交點 g ，畫直線 $W' L'$ 與 $W_1 L_1$ 相平行，則 $W W' = a$ ， $L L' = b$ 故 $W' L'$ 即所需要之新水線，而首尾兩端之吃水，亦即由此決定矣。

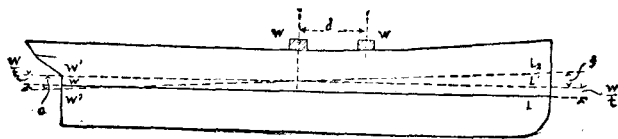
船上增加重量之影響，假想一定之重量，加於甲板之中線上面，則同時當有兩種影響，即（1）

因排水量增加而使吃水變動，(二)使傾斜之角度變動，如第二種影響並不發生，則此重量之重心，必係與新加之浮力中心，同在於一垂直線之上，如增加之重量，比較微細，此浮力中心，在實際上可以認為與水平面之重心，同在一點，假想重量係加於此點之前方或後方 ρ 英尺距離，則吃水及傾斜之變動，可以下法分別計算得之，第一步假想此重量係直接加於水平面重心之上，則吃水之增加，可以從每英寸之排水量求得，再假想此重量，向前或向後移動 ρ 英尺之距離，其傾斜之變動，可以從每英寸傾斜之力率求得，在第五十二圖 $\Delta \parallel$ 河有排水量， $w =$ 增加之重量，則 $\Delta + w =$ 新排水量，

設 $t =$ 在此水線之每英寸排水噸數 則 $\frac{w}{t} =$ 船身平行下沉之寸數。

假想船身現在已下沉 $\frac{w}{t}$ 英寸，新水線 $W_1 L_1$ 與舊水線 $W L$ 平行，如再

將此重量向前或向後移動 ρ 英尺之距離，則其使船身傾斜之力率為 $w \rho$



設 T = 在新水線上每英寸傾斜之力率，則 $(a+f)'' = \frac{wd}{T}$ 。

第五十二圖 WL 為原來水線， W_1L_1 為平行水線， $W'L_1'$ 為傾斜水線，設 g 為 W_1L_1

重心之位置，則 $\frac{a}{f} = \frac{W_{1g}}{L_1g}$ ，又 $\frac{a}{a+f} = \frac{W_{1g}}{W_1L_1} = \frac{W_{1g}}{L}$ ，並 $H \frac{f}{a+f} = \frac{L_1g}{L}$ ，因 $(a+f)'' = \frac{w \cdot d}{T}$

$$\therefore a = \frac{wdW_{1g}}{T \cdot L}, \quad f = \frac{wdL_1g}{T \cdot L}.$$

在前端吃水之變動等於 $f + \frac{w}{t} = \frac{w \cdot d \cdot L_1g}{T \cdot L} + \frac{w}{t}$ 後端吃水之變動等於 $a - \frac{w}{t} =$

$$\frac{w \cdot d \cdot W_{1g}}{T \cdot L} - \frac{w}{t} \text{ 如後端之吃水變動等於零則 } \frac{w}{t} = \frac{w \cdot d \cdot W_{1g}}{T \cdot L}, \therefore d = \frac{T \cdot L}{t W_{1g}} \text{ 如 } W_{1g} =$$

$$L/2 \text{ 則 } d = \frac{2T}{t} = \text{一英寸傾斜力率之二倍} \text{ 此公式給予水平面之重心在中點時，重量應加}$$

之處，方可使船尾之吃水，不致發生變動。

在上述公式中所可注意者，即 a 之大小，並不隨 T 變動，故此位置係屬一定如將重量取去時，

情形亦復相同，但 Δ 之數量須不過大，否則 Δ 及 Δ' 均不能始終為一常數。

側面傾斜，如重量向船面之兩旁移動，則重心及浮力中心，同時移動位置，其關係與上述情形相類似，但尋常並不計算側面傾斜每一英寸之力率，而且在船身兩側亦並無吃水深淺之標記，其傾斜之程度，僅以船面之角度定之，在側面傾斜時，水平面之軸線，為其縱長中線，因重心在此垂直面上，故變動較小時，兩側吃水之變動，彼此相等。

第五十三圖為船身之橫斷面，因將 Δ 移動 d 英尺距離，使側面傾斜，原來水線 WL ，現移至 W_1L_1 ，依照上節所述之關係 $w \cdot d = \Delta \times GG_1$ ，

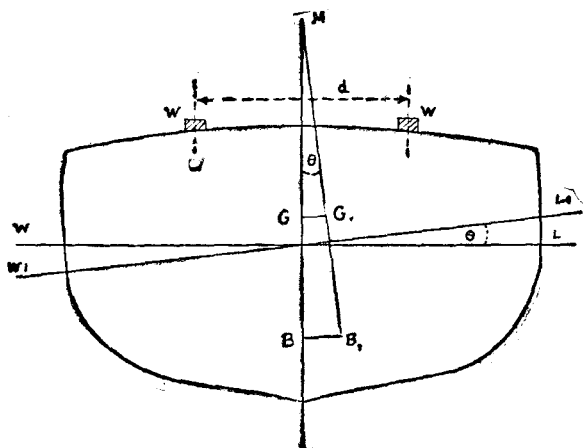


圖 三 十 五 第

故 $GG_1 = \frac{w.d}{\Delta} \cdot \Delta GG_1 = GM \cdot \tan \theta$, $\tan \theta = \frac{GG_1}{GM} = \frac{w.d}{\Delta GM}$ 如 G 及 M 之位置均係已知，則對於一定 $w.d$ 之 θ 價值，可以用上式計算得之，又 $GM = \frac{w.d}{\Delta \tan \theta}$ 故 θ 量得以後， M 係已知數，吾人可以求得 GM ，並從此以求得重心之位置。

傾斜實驗，按照前章所述，在船身設計時，吾人必須約略估計其重心之所在，故為將來之參考起見，在船身之建造將近完成時，必須確實決定其重心之位置，達到此目的之最簡捷方法，係對於一定力率 $w.d$ 觀側其傾斜之角度 θ 。

所謂傾斜實驗，係將一定重量 w ，在甲板上左右移動，同時測定其傾斜之角度，再用上述公式以求得 GM ，通常所用重量，係塊狀之生鐵，稱為「傾斜荷物」。

為使 GM 之價值正確起見，試驗以前，必須有各種之注意。其目的在於避免其他一切力量，影響於船體之動作，而為計算時所不能估計者，應注意者如下。

(一) 傾斜實驗，須在港內或船塢中行之，以避免潮流之激蕩，(二) 如有風時，須將船頭直

對風來之方面，(三)船身須完全有左右傾斜之自由，(四)船上不可以有自由移動而不便於計算之重物，(五)船上不可以有積水，應當觀測者有下列各項：(一)前後之吃水，(二)船身之詳細狀態，(三)傾斜之角度，(四)水之密度用密度表量定之。

(一)船身之吃水，務須確實量定，按照前章所述，以求得其排水量，穩定距離 B_M 及浮力中心 B ，亦須按照本章所述方法，分別計算其確實之價值。

(二)船身之狀態，必須詳細紀錄，多數傾斜實驗，係在船身將近完成時舉行，故船殼及附屬部分之尙未完成者，均須一一記出，凡容易移動之重物，須固定其位置，船殼外面之浮架等，必須完全撤除，船上除供實驗技師及工人外，不得容留他人，如其不能避免，則必須令其始終留在一定之地位，凡移動重量之工人，均須分別在甲板上指定位置，不得自由移動，尋常所用重量，係長方形之生鐵塊，每塊之重量，爲七十磅或八十磅，故三十二或二十八塊恰爲一噸，此等鐵塊集合爲一時，極容易確定其重心之所在。

試驗以後，須預先估計使船身傾斜約四五度時，所須要之重量爲若干，先確定重量及其移動

之距離，然後在甲板上選擇適當地位。

(三) 傾斜角度之觀測，宜用鐵球懸於單線之一端，在橫尺上移動，如第五十四圖，有時在船身中線上各處，分懸多數之鐵球，以減少觀測之差誤，此等單線在可能範圍內，愈長愈佳。

試驗開始時，將重量分為兩部分，彼此相等，分置艙面左右，搬移重量之工人，應站在船身之中線每次工作完畢後，立即回至此處，然後開始觀測，先將單線在橫尺上之地位記出，再由工人將鐵塊完全移至左方或右方，分別觀測單線在橫尺上之地位，最終再將鐵塊分別移置左右，恢復最初狀態重復觀測一次。

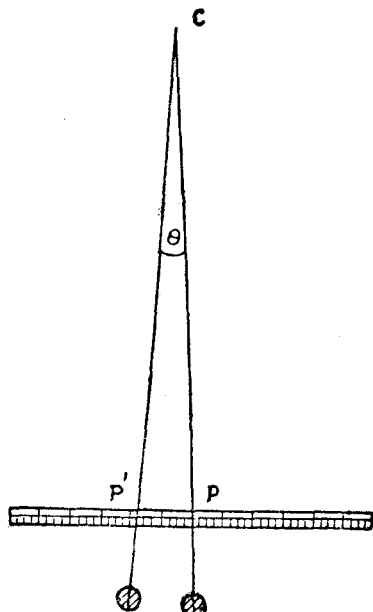


圖 四 十 五 第

此種觀測，至少反復舉行四次，最終仍將鐵塊移回原處，與試驗開始時相同，在此狀態之下，單線在橫尺上，應當恢復原來之地位，如其不然，則在試驗時船上除鐵塊以外，必有他種重物移動，或其他外力之作用，應立時求得其原因，否則試驗所得結果，不能認為有效。

在大號船隻，此等鐵塊，有時分置小車中，並在甲板上敷設臨時鐵軌，以期移動便利，工人人數可以減少。

在兵船上，有時將重砲左右移動，以使船身傾斜，此等砲位之重量，均係一定，故其移動時之力量，可以容易求得之，因兵船船身，多係極闊，而有較大之穩定距離，故移動重砲，較為便利，否則必須用極大之重量，方可以得所要之傾斜角度。

計算時以觀測上之平均數為準，第五十四圖，示振子之裝置，設

$PP' = h$ 水平上之移動距離(英寸)， $CP = L$ 振子之長(英寸)。

$$PP'/CP = h/L = \tan\theta. \therefore GM = \frac{w \cdot d}{\Delta \tan\theta} = \frac{w \cdot d \cdot L}{\Delta \cdot h}.$$

例如 $d = 40$ 英尺， $w = 15$ 噸， $\Delta = 3600$ 噸， $h = 12$ 英寸。

$$L = 216 \text{ 英寸, 則 } GM = \frac{15 \times 40}{3600} \times \frac{216}{12} = 3 \text{ 英尺。}$$

欲求在他種狀態下之 GZ ，須將加入及除去之重量分別記出，而一一計算其力率，以求得重心之移動距離，下表為某快輪之各穩定距離。

客運快輪長 430 英尺

號數	狀	吃水	排水量	重心高度	穩定高度	GM
第一狀態	下艙載貨 1651 噸 煤艙載 1637 噸	25' 3 $\frac{1}{2}$ "	9207.1	19.456	22.44	2.984
第二狀態	同上但除煤炭	21' 7 $\frac{1}{2}$ "	7558	20.667	21.66	0.993
第三狀態	載貨至上甲板止吃水 25' 6" 煤 1744 噸	26' 6"	9300	20.872	22.5	1.628
第四狀態	與第三同無煤	21' 10"	7643	22.372	21.7	0.674

第五狀態	下艙液艙比重為每噸 18 立方英尺煤艙滿載	25' 1 1/2"	9131	19.648	22.4	2.752
第六狀態	與第五同無煤	21' 5 1/2"	7474	20.914	21.625	0.711
第七狀態	與上同但甲板開載艙貨使吃水加至 26 英尺	26' 0"	9525	19.806	22.625	2.719
第八狀態	與第七同但無煤	22' 4"	7866	21.162	21.79	0.628
第九狀態	與第八同但除去 600 貨物, 煤 150 噸移在中煤艙	23' 4"	8300	19.644	21.96	2.336
第十狀態	與第十同但將甲板開之貨物取出一部分, 吃水 26	25' 0"	1033	19.623	22.375	2.752
第十一狀態	空艙狀態	17' 8 1/2"	5870	22.469	21.41	1.087

在上述各種狀態之下最大穩定率之角度為 50° 至 57°，穩定率之消滅均在 90° 外。

係數及船體計算之標準化，(一) 立體係數 (block coefficient) 此係數為船身之排水容積，與同樣尺寸立體容積之比較，船身在水平面下部分之豐滿或瘦削，係由此係數定之，例如駁船

之船身爲最豐滿，故此係數爲最大，遊船及魚雷船爲最瘦削之船隻，故此係數爲最小。

設 L 爲立體之長即船身之長， B 爲立體之闊

即船身之闊， δ 爲立體之吃水即船之吃水。如 V 爲

船身在此吃水時之排水容積， C_B 爲其立體係數

$$\text{則 } C_B = \frac{V}{L \cdot B \cdot d}, \text{ 設 } V = 35\Delta, C_B = \frac{35\Delta}{L \cdot B \cdot d},$$

$$\Delta = \frac{C_B \times L \cdot B \cdot d}{35}, \text{ 故 } C_B \text{ 可以吃水爲底線製成}$$

曲線，在一定吃水之下， C_B 之價值，可以從計算表

上算出，亦可直接從排水量曲線求得之，例如第五

十五圖 OD 爲排水量曲線，在任意之吃水 δ 點，畫

一橫線 Kd ，則 Kd 等於在此吃水時之排水量。

設 $Kd = \Delta$, $C_B = \frac{\Delta \times 35}{L \cdot B \cdot d} = K_0$, 此 K_0 之

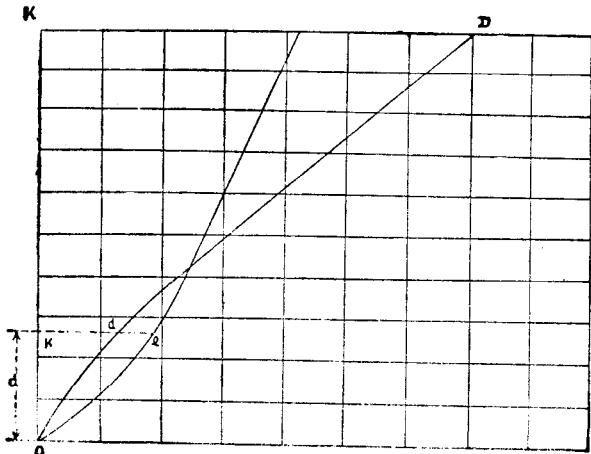


圖 五 十 五 第

價值可以在同一橫線上量出而製成曲線如圖所示。

茲將各種船隻之大概立體係數分列如下。

極豐滿之船隻如駁船之類

• 八五至 • 九〇

極豐滿之貨船，速率在八節以下者

• 八至 • 八五

豐滿貨船，速率十二節以下

• 七六至 • 八二

大號貨船十二節至十四節

• 七至 • 七六

中級船，快貨船及海岸航行船

• 六五至 • 七

大西洋快輪

• 六〇至 • 六五

海峽客運船

• 五〇至 • 六〇

蒸汽捕魚船等

• 五六至 • 六〇

軍艦，戰鬪艦

• 六〇至 • 六五

軍艦，巡洋艦

• 四八至 • 五五

軍艦, 魚雷艇及驅逐艦

• 四〇至 • 四八

使風商船

• 六〇至 • 七二

明輪船

• 四六至 • 五七

蒸汽遊船

• 四五至 • 六〇

使風遊船

• 一五至 • 四二

(二) 棱形係數, 此係數為船身排水容積, 與其環繞之棱形或圓筒容積之比較, 此棱形之長與船相等, 而其橫斷面積, 等於船身在水線下之中橫斷面積, 故棱形係數, 係用於各種不同中橫斷面與船身豐瘦之比較。

設 Δ 代表至 P 吃水為止之中橫斷面積, 則 $L \times \Delta$ 等環繞船身棱形之容積, Δ 等於吃水 P 時之排水容積, C_p 為棱形係數 (prismatic coefficient)

則 $C_p = \frac{V}{L\Delta} = \frac{35\Delta}{L\Delta}$, 棱形係數之曲線, 可以從排水量曲線及中橫斷面曲線比較計算得之。

(三) 中橫斷面係數 (midship areas coefficient) 此係數係在水線下之中橫斷面面積，與其環繞之長方形面積之比較，設 C_A 為中橫斷面係數，則

$$C_A = \frac{A}{B \cdot D}, \quad A = C_A \cdot B \cdot D, \quad \therefore C_p = \frac{V}{L \cdot A} = \frac{V}{L \cdot B \cdot D \cdot C_A} = \frac{L \cdot B \cdot D \cdot C_p}{L \cdot B \cdot D \cdot C_A} \\ = C_B / C_A, \text{ 即棱形係數} = \text{立體係數} \div \text{中橫斷面係數。}$$

(四) 水平面係數 (coefficient of water planes) 此係數為水平面面積與其環繞之長方形 ($B \times L$) 面積之比例，設 C_w 為水平面係數，則 $C_w = \frac{\text{水平面面積}}{L \cdot B}$ ，因 $L \cdot B$ 為常數，故水平面係數之曲線，與水平面曲線，及每英寸噸數之曲線完全相似，僅其比例尺寸有不同而已。

水平面積曲線與排水量曲線之關係，依照前章所述，水平面積之積分，即為排水容積，故吾人若將水平面積之曲線，加以積分，即得排水容積之曲線。

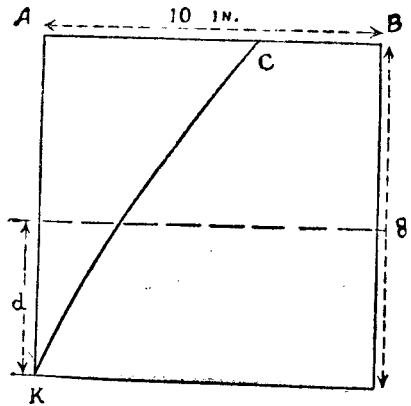
為便於直接比較起見，以上所述各種曲線，如排水量，浮力中心曲線等等，均須加以標準化，其方法茲於以下各節略述之。

例如排水量曲線，普通係以吃水為底線製成，所用比例尺寸，可以任意採用。

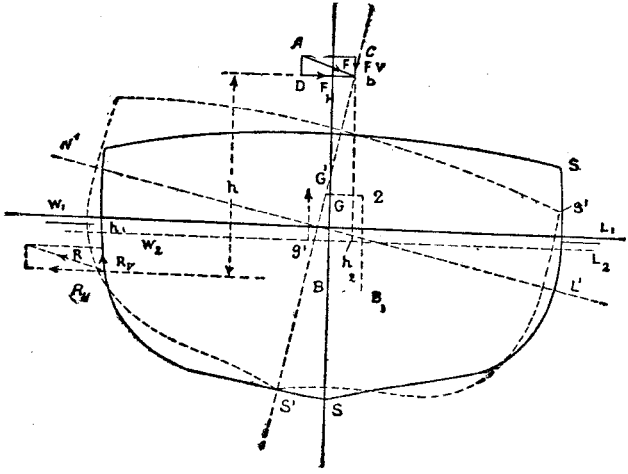
例如排水量之比尺，為每英寸等於一千噸，吃水之比尺，每英寸等於二英尺，此曲線製成以後，在任何吃水時之排水量，可以立時求得，然其效用，亦僅如此而止，對於他項船隻，固全然毫無關係，欲免除此限制，而使各種船隻之排水量，可以直接互相比較，則須將此曲線再加以標準化。

假想有一船隻，其主要尺寸為 L, B, d （長，闊，及重載吃水），則 $\frac{L \cdot B \cdot d}{350}$ 為環繞船身立體之排水量，假如以十英寸長之直線，代表此排水量，同時以十英寸之底線，代表吃水 d ，則排水量之比尺，為每英寸等於 $\frac{L \cdot B \cdot d}{350}$ 噸，吃水之比尺，為每英寸等於 $\frac{d}{10}$ 英尺，在各不同之吃水時，可以用上述比尺，將排水量分別量於橫線之上，而用標準化之排水量曲線 \square ，如第五十六圖。

此曲線非但代表排水量，並且代表各吃水時之立體係數，後者之比尺為十英寸等於一，即每英寸等於十分之一，如將各種船隻之排水量，均用此標準尺寸，分別製成曲線，則其相互之比較，可以一覽得之。



甲 圖 六 十 五 第



乙 圖 六 十 五 第

除排水量以外，其他各種計算之結果，亦可以用同樣方法，製成標準化之曲線，惟其所用之標準尺，當分別一一規定之，茲將各種曲線所用標準尺，分列如左。

曲線名稱	垂線比尺	橫線比尺
排水量	$1'' = \frac{d}{10}$ 吃水尺數	$1'' = \frac{L \cdot B \cdot d}{350}$
水平面積	$1'' = \frac{d}{10}$,,,,,,,,,	$1'' = \frac{L \cdot B}{10}$
水平面積係數	$1'' = \frac{d}{10}$,,,,,,,,,	$1'' = \cdot 1 \text{ 即 } \frac{L \cdot B}{10}$
中橫斷面積	$1'' = \frac{d}{10}$,,,,,,,,,	$1'' = \frac{B \cdot d}{10}$
縱浮力中心	$1'' = \frac{d}{10}$,,,,,,,,,	$1'' = \frac{L}{100}$
浮力中心 K.B.S	$1'' = \frac{d}{10}$,,,,,,,,,	$1'' = \frac{d}{10}$

第三章 穩定率 (Stability)

正向力距及力率 (righting arms and moments) 前章所述初步穩定率及穩定距離之計算，僅限於傾斜角度 θ 極小時而言，在 θ 較大時，此力率之變化，及其計算方法，當於本章詳細論之。

第五十六圖，設 B 爲船體 $SS'S'S'$ 之浮力中心， G 爲其重心，在船體不動時，可以認爲全部重量集中於 G ，全部浮力集中於 B ，二者大小相等，方向相反，而同在於一直線之上，假想有外力 W 加於 G 點，使船身向時針之方向傾斜，而停止於新的位置，如圖上虛線斷面 $S_1S_1'S_1'S_1'$ ，則 G 點將移至 G_1 ，但對於船體之位置，仍與以前相同，而其排水容積，則與船身正浮時，不必一定相同。

假使使此船身移動之外力 W ，係加於直線 AB 方向，與水平面既非平行，亦非垂直，則吾人可用力之分析法，將 W 分爲水平部分 W_H ，及垂直部分 W_V ，前者之方向爲 D_1 ，後之方向爲 C_1 ，此垂

直部分 F_V ，當使船之排水容積增加，此增加容積之重量，必與 F_V 相等，但其重心，不必一定與 C 同在於一直線之上。

設 W_1L_1 為船身正浮時水線之位置， W_2L_2 為船身傾斜後水線之位置，而 W_1L_1 為始終不變之水平面，則吾人可以從船體 $S_1S_1S_1$ 截去在水平面 W_1L_1 下之一部分，使其排水容積之重量，恰與 F_V 相等，水平部分 F_H ，則有使船身向右移動之傾向，而必須有阻力 R 與之平衡，此阻力又可分為水平與垂直兩部分， R_H 及 R_V ，後者與 F_V 方向相反，而有同樣之作用，設 W_2L_2 為與 W_1L_1 平行之水線，則此兩水線間之排水容積重量，當與 F_V 及 R_V 之和相等，設 B 為此排水容積之重心，則 F_V 與 R_V 構成一使船身傾斜之偶力，其力率等於 $F_V \times eh_1 + R_V \times eh_2$ 。

水平阻力 R_H 必須與 F_H 相等，否則船身當向右側移動，故此阻力 R_H 與 F_H 成一偶力，其力率為 $F_H D$ ，船身之重量，經 G 點向下，同時與此相等之浮力，原來與 G 同在一垂直線上者，現由 B_1 向上，此二力亦構成一使船身正向之偶力，其力率為 $WG'Z$ ， W 為船之總重量，故在此狀態之下，有三種偶力，同時加於船身，（一）使船身傾斜之偶力，由 $F_V R_V$ 及薄層浮力構成，其力

率為 $F_v \times Sh$, $+ R_v \times Sh$, (11) 使船身傾斜之偶力, 由 F_H 及 R_H 構成, 其力率為 F_{HD} , (13) 使船身正向之偶力, 等 $W \times GN$, 為保持平衡起見, 此三種偶力之代數總和, 必須等於零數。

為簡單起見, 假定外力 \square 與阻力 \square 均在水平方向, 並且彼此相等, 則排水容積, 始終不變, 為平衡起見, 正向力率 $W \cdot GN$ 必須與傾斜力率 $R \cdot D$ 相等, 此力率隨傾斜角度為變化, 如在各種角度之力率, 均係已知, 則在一定狀態之下, 船身之穩定與否, 可以容易決定, 欲求此等力率, 須先求得每一角度之排水容積, 吾人雖知此容積之數量, 始終不變, 但在一定角度時, 截取同樣容積之新水線, 殊不容易確定, 第五十七圖設

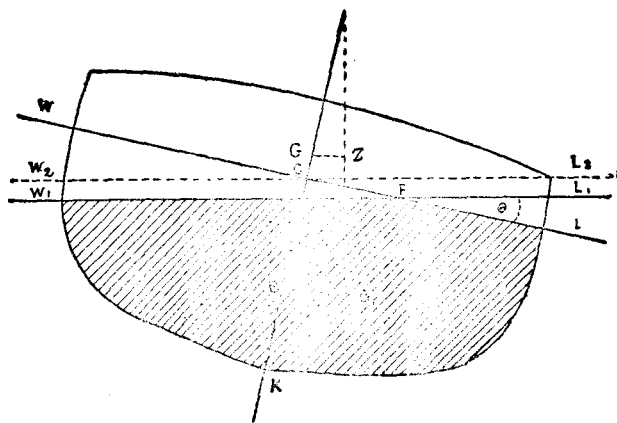


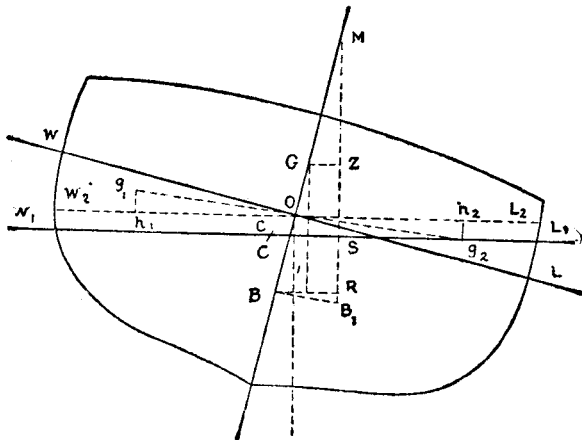
圖 七 十 五 第

WL 爲正浮時水線之位置， W_1L_1 爲傾斜後水線之位置， θ 爲傾斜角度，則容積 $WKL = W_1KL_1$ ，
 $\parallel VV$ 爲排水容積，因 W_1KL_1 在 WKL 及 W_1KL_1 雙方相同故 $WFW_1 = V - W_1KL_1$
 $L_1FL_1 = V$ ， V 爲入水或出水之楔形容積，故出水之楔形容積 WFW_1 等於入水之楔形容積
 L_1FL_1 ，設 B_1 排水容積 W_1KL_1 之浮力中心，則 $V.GZ$ 爲此浮力使船身恢復原來位置之力量，此力量稱爲正向力量，又稱爲船身在一定角度 θ 之穩定率。

如其船體之構造，係如此形式，凡經過 O 點之水線，均截成相等容積，則求此容積之形狀及其浮力中心，當然極爲易，但普通船體並非如此，水線 W_1L_1 從正浮時之船身入水部分，截去楔形容積， WOW_2 而加入楔形容積 LOL_2 稱前者爲 V_1 ，後者爲 V_2 ，則容積 W_2KL_2 等於 $V - V_1 + V_2$ ，此容積較 V 多一薄層之容積 $W_2W_1L_1L_2$ ，稱此容積爲 AK (A 爲水線 W_2L_2 之面積， $K = OO_1$) 則 $V - V_1 + V_2 = V + AK$ ， $\therefore V_2 - V_1 = AK$ ，因此薄層容積 $W_2W_1L_1L_2$ 等於兩楔形 V_1 及 V_2 之差，如其吾人已知此容積 AK 及水線 W_2L_2 之面積 A ，則可以求得 K ，而確定此實在水線 W_1L_1 之位置，求 V_1V_2 及 A 之方法，固已於前章詳述矣。

如其 v_1 大於 v_2 則 W_2L_2 適與圖上相反，不在 W_1L_1 之下，而反在其上。

新浮力中心 B_1 之位置，亦可以下列方法求得之，在時五十八圖，設 S_1S_2 為楔形容積 v_1 及 v_2 之重心，連接 S_1S_2 對於 W_2L_2 各畫一垂直線 $S_1h_1S_2h_2$ ，計算各容積對於軸線 OH 之力率，此軸線與 W_2L_2 成爲垂直，而 $B.P$ 則在水平方向，又與 OH 成爲垂直，計算程序，先以容積 V 及其力率 $V \cdot BP$ 爲起點，第一步減去容積 v_1 及其力率 $v_1 \cdot Oh_1$ 第二步再加上容積 v_2 及其力率 Oh_2 ，最後再減去容積 $W_2W_1L_1L_2$ 及其力率 $(v_2 - v_1)Oc$ ， O 爲從薄層之重心， C 對於 W_2L_2 垂



第五十八圖

線之交點，此等變化之結果，最後所得之容積爲 V ， $(W_1 KL_1)$ 及其對於 OH 之力率等於 $V \cdot PR$ ，將上述變動以代數公式表示，認時針方向之力率爲正號，容積之減少爲負號，則得下列各公式

$$V \cdot BP - v_1 \cdot Oh_1 - v_2 \cdot Oh_2 - (v_2 - v_1) \cdot Oc = -V \cdot PR$$

$$\therefore V (BP + PR) = VBR = v_1 Oh_1 + v_2 Oh_2 + (v_2 - v_1) \cdot Oc \dots \dots \dots (1)$$

又對於 BR 計算力率 $V(B_1R) = v_1 (G_1h_1 + OP) - v_2 (OP - v_2h_2) + (v_2 - v_1)(OP - Oc)$

$$= v_1 G_1h_1 + v_2 G_2h_2 + C_0 (v_2 - v_1) \dots \dots \dots (2)$$

吾人若已知 $v_1 v_2$ 及其重心 $G_1 G_2$ ，用上述公式，可以容易確定 B_1 之位置，

$$BR = BN + NR = BG \sin \theta + GZ \quad \therefore BR - BG \sin \theta = GZ \quad V \cdot BR - V \cdot BG \sin \theta = V \cdot GZ$$

$$\therefore v_1 Oh_1 + v_2 Oh_2 + (v_2 - v_1) \cdot Oc - VBG \sin \theta = V \cdot GZ$$

用同樣方法，可以求得 B_1 在垂直方向之位置，即 $v_1 G_1h_1 + v_2 G_2h_2 - (v_2 - v_1) \cdot Cc = V B_1 R$ 。

在特殊之場合， $V \cdot GZ$ 之公式，稱爲愛特伍德公式 (Atwood's formula) 此公式係愛特伍德從直接觀察求得，但在第一及第二式中假定 $V = v_1 = v_2$ ，亦可得相同之結果，依照此假定

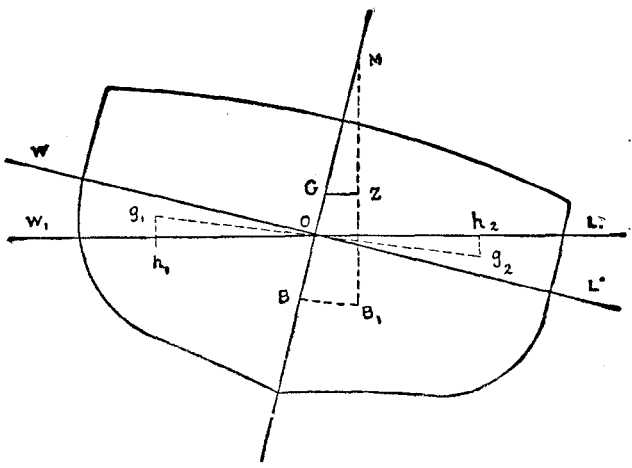
$$V \cdot BR = v(oh_1 + oh_2) = v \cdot h_1 h_2$$

$$\text{即 } V \cdot GZ = v h_1 h_2 - V \cdot BG \sin \theta \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{或 } GZ = \frac{V}{V} h_1 h_2 - BG \sin \theta \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{又 } B_1 R = \frac{V}{V} (g_1 h_1 + g_2 h_2) \dots \dots \dots (5)$$

愛特伍德式中之 BM 假想 θ 之數量極小，經過 B 點之垂線，與經過 B₁ 點之垂線在 M 點相交（第五十九圖）則依照第四公式 $GZ = GM \sin \theta = \frac{V}{V} h_1 h_2 - BG \sin \theta$ 。設 OW 或 OL 等於 S₁ 為重載水線上橫坐標之半長，在角度極小時，三角形 LOL₁ 之面積，可以近似數 $\frac{1}{2} S_1^2 \theta$ 代表之，



第 五 十 九 圖

假想此三角形在與紙面垂直方向，有一薄層，其厚薄為 dx ，則楔形容積，可以左列公式表示

$$\int_0^L \frac{1}{2} y^2 \theta dx, dz \text{ 之限度，爲由零至 } L, \text{ 後者爲水線上船身之長度。}$$

此薄層容積對於 O 點之力率，爲 $\frac{1}{2} y^2 \theta \times \frac{2}{3} y = \frac{1}{3} y^3 \theta$ ，故因楔形容積變動所生之力

$$\text{率 } v h_1 h_2 = 2 \int_0^L \frac{1}{3} y^3 \theta dx, \text{ 故 } GM \sin \theta = \frac{2}{3} \cdot \frac{\theta}{V} \int_0^L y^3 dx - BG \sin \theta$$

$$\text{即 } GM = \frac{2}{3V} \int_0^L y^3 dx - BG \quad (\text{因 } \theta \text{ 極小故 } \sin \theta = \theta)$$

$$BG + GM = BM = \frac{2}{3V} \int_0^L y^3 dx \quad \text{此 } M \text{ 點在造船學上稱爲穩定中心，在前章已有述及矣，上述公}$$

$$\text{式，可以寫作 } BM = \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx / V \quad \text{此式中之分子 } \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx \text{ 等於全部水平面積對於軸}$$

$$\text{線 } OX \text{ 之慣性力率，此軸線係經過 } O \text{ 點而與紙面成爲垂直，故即爲 } WL \text{ 之中線，} \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx = I$$

故 $BM = I/V$.

吾人若求得在一定排水量之下各種不同角度之 GZ ，即可以將此等結果，製成曲線，如第六十圖，此曲線稱為正向力距曲線，而尤其通用之名稱，則為靜穩定率曲線 (curve of statical stability) 吾人亦可稱此曲線為對於一定排水量及一定重心時各種傾斜角度之 GZ 曲線。

假想在縱橫直三方，有三個互相垂直之軸線如第六十一圖，假想對於每一排水容積 V (及一定之重心) 將求得之靜穩定率曲線，畫於圖上，合多數之同類曲線，即成一靜穩定率之曲線面，如用與 ZOY 平行之平面，截斷此曲線面，則得一橫斷曲線如 $P_1P_2P_3$ ，此曲線為在一定傾斜角度，各種排水量之 GZ 曲線，(圖上 OH 代表傾斜角度) 如共有一種獨立計算方法，先求得此等曲線，如 $P_1P_2P_3$ 等，則合多數

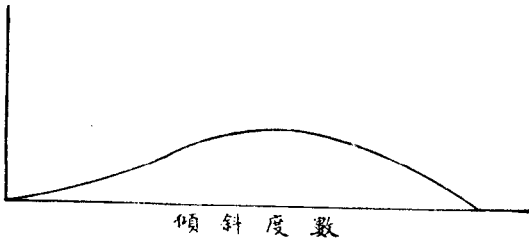


圖 十 六 第

此等曲線，亦可以造成一靜穩定率之曲線面，與用第一種方法造成者，完全相同，此種曲線如 P_1P_1 、 P_2P_2 等，稱為橫斷穩定率曲線 (cross curves of stability)。此兩種曲線不同之點，在於前者係代表一定排水量時各種傾斜角度之 GN ，後者則代表一定傾斜角度時各種排水量之 GN 。此種曲線面之構成，係假定重心之位置始終不變，故對於每一重心之位置，各有一不同之靜穩定率曲線面。

假想有一已知之船體，在一定之傾斜角度時，吾人可用前章所述方法，求得其在水線 W_1L_1 以下之容積 V_1 ，及其浮力中心之位置 B_1 ，並且可以用同樣方法，求得在水線 W_2L_2 、 W_3L_3 等以下之容積 V_2 、 V_3 等，及其浮力中心之位置 B_2 、 B_3 等，以製成浮力中心曲線 $B_1B_2B_3$ 。如第六十二圖，再從此等位置，即可求得橫斷靜穩定率曲線 $P_1P_2P_3$ 等。若吾人對於各種傾斜角度，分別求得此種曲線，即可以完成一靜穩定率之曲線面，此曲線面當然僅限於一定之重心位置，對於其他之重心位置，又各有一不同之曲線面，但亦可以用同樣方法求得之，因此穩定率之計算，實際上不過排水容積及其重心之計算，所用方法，固不外於前章所述，略為加以變通而已。

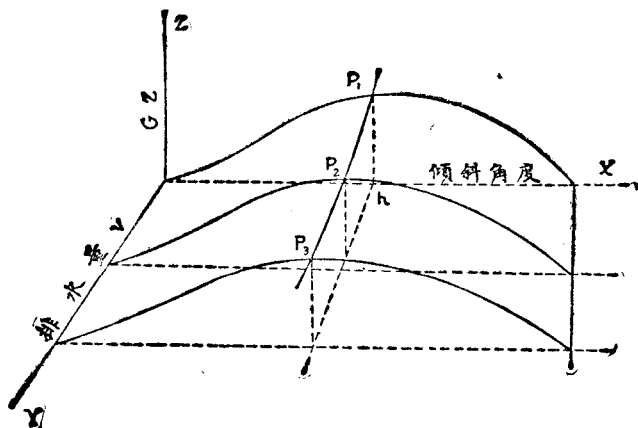


圖 一 十 六 第

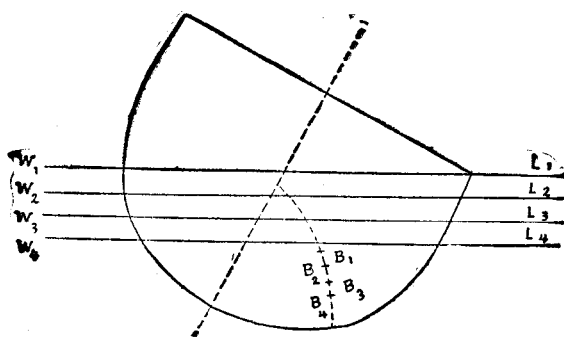


圖 二 十 六 第

穩定中心之移轉，第六十三圖，設 P 爲正浮時之浮力中心， B_1 爲傾斜後之浮力中心， θ 爲傾斜角度，假想此角度增加 $\tau\theta$ ，浮力中心之位置，由 B_1 移至 B_2 ，經過 B, B_1 及 B_2 各畫一垂線 BG, B_1M_1 及 B_2M_1 ，後二線之交點 M_1 即爲在此狀態下之穩定中心，此點之軌跡，稱爲穩定中心之展開線，(metacentric evolute)。

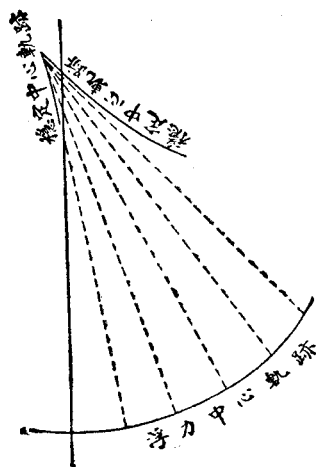
從 B 及 G 對於 B_1M_1 及 B_2M_1 各畫一垂直線 BR_1, BR_2 及 GZ_1, GZ_2 ，設

$$R_1M_1 = u, R_1B = z, R_1B_1 = w, \angle R_1BR = d\theta, rR = dz \text{ 則 } u d\theta = dz。$$

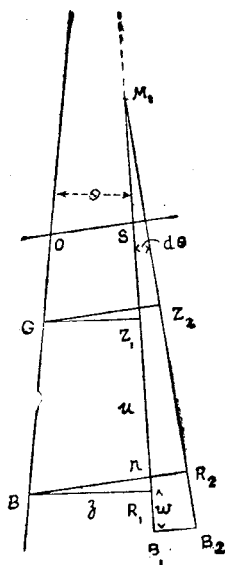
$$\therefore z = \int u d\theta, \text{ 又 } rR_1 = dw \therefore z r d\theta = dw \therefore w = \int z d\theta = \iint u d\theta d\theta。$$

如其吾人有一曲線，表示在各種角度 θ 時 R_1M_1 或 u 之價值，吾人即可用積分方法求得 BR_1 及 B_1R_1 ，第一次積分，所得曲線，即爲 BR_1 或 z 之曲線，第二次積分，則得 B_1R_1 或 w 之曲線，此等曲線之形狀，如第六十五圖，依照上述第五公式

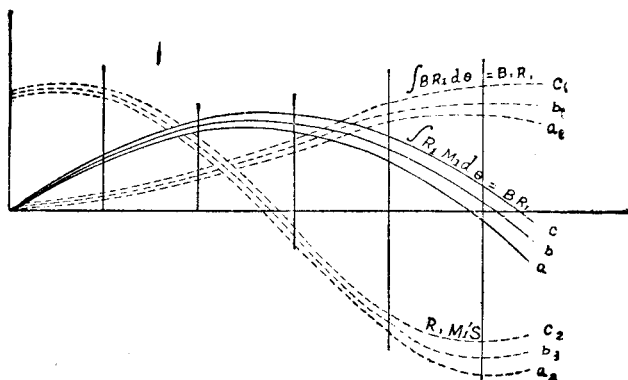
$$B_1R_1 = w = \frac{V}{V'} (h_1 g_1 + h_2 g_2) \therefore \int z d\theta = \frac{V}{V'} (h_1 g_1 + h_2 g_2)。$$



圖四十六第



圖三十六第



圖五十六第

$$\text{但 } z = BR_1 = \frac{V}{V} h_1 h_2 \therefore \int h_1 h_2 d\theta = h_1 g_1 + h_2 g_2$$

動力穩定率 (dynamical stability) 將船身傾斜 $d\theta$ 角度所要之工作，等於力率與角度之乘積，即 $WGZd\theta$ ，故從 θ_1 至 θ_2 之總共工作，等於 $\int_{\theta_1}^{\theta_2} WGZd\theta$ ，此工作之數量，通常稱為動力穩定率，依照上列關係。

$$\text{動力穩定率} = W \int_0^{\theta} GZd\theta = W \int_0^{\theta} BR_1 d\theta - W \int_0^{\theta} BG \sin \theta d\theta$$

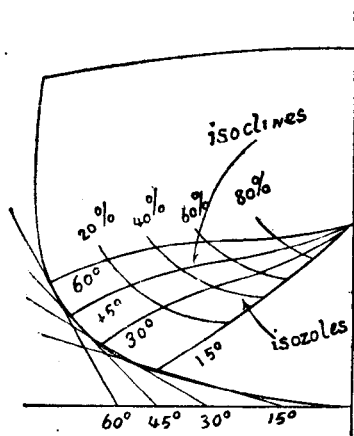
$$= W \cdot B_1 R_1 - W \cdot BG (-\cos \theta + 1) = W (B_1 R_1 + BG \cos \theta - BG)$$

$= W (B_1 Z_1 - BG)$ (參閱第六十三圖) 故動力穩定率等於 $W (B_1 Z_1 - BG)$ 此式中之 $B_1 Z_1 - BG$ 通常稱為動力之力距，以 h 代表之，故動力穩定率，等於 Wh

靜力穩定率曲線及動力穩定率曲線之關係，靜力曲線，係表示 GZ 之各種價值，而動力曲線，則為表示 h 之曲線，因 $W \int GZd\theta = Wh \therefore \int GZd\theta = h$ 。

故動力曲線，為靜力曲線之積分，可以用尋常積分方法由 GZ 求得之。

穩定率之計算法，研究船體形狀之穩定與否，必須完全洞悉在一切狀態下，一切排水量及一切傾斜角度之穩定率，假想有一定形狀之船體，吾人可採用一定之排水量，而逐漸變更其傾斜角度，分別求得其浮力中心之位置，將此等中心，連接成一曲線，再採用另一排水量，以同樣方法，求得另一同樣之曲線，如此繼續不已，吾人可以求得若干曲線，表示在各種排水量時，浮力中心位置之變動，此等曲線，可稱為等容線 (isovolts)，同時吾人又可以假定一定之傾斜角度，而逐漸變更其排水量，分別求得其浮力中心之位置，以製成若干之另一類曲線，此等曲線，可稱為等角線 (isoclines)，在普通船體，此二種曲線之形狀，如第六十六圖，求得此兩種曲線以後，吾人若假定一種狀態，例如在一定之水線及重心之位置，即可以從等容線，直接求得若干穩定率曲線，或假定一定之傾斜角度及重心之位置，而變動其排水量，則可以從等角線求



第六十六圖

得若干橫斷穩定率曲線，因此在一定之重心位置，吾人用等容線或等角線，均可以求得一完全之穩定率曲線面，但計算全部等容線及等高線之工作，極爲繁複，且亦無此必要，因通常所欲求得之穩定率僅限於少數之特種狀態，及在一定限度以內之傾斜角度也。

船隻船行時，排水量之變化，常在空船與滿載吃水之間，在航程開始時，往往吃水最深，因所載貨物之性質，其重心有時可以向上移動，達於危險之程度，例如下艙滿貯輕質貨物，而板上滿載木材之時，或淺水客船，在上甲板，搭客擁擠之時，均有此種危險，在此等情形之下，其穩定率大概較空船時爲更小，在航程中，船中之狀態，亦復隨時變化，燃料及供給，漸次減少，可以影響於重心在垂直線上之位置，故在航程告終時，船之穩定率，可以與最初大相逕庭，有時亦須對於特種狀態，計算船身之穩定率，例如在下水及進塢之時，此等場合大概較空船狀態爲更輕，因下水時之重量，通常僅有鐵殼及一部分之木架，進塢時則鍋爐內之水，往往完全放出，而有船艙下面之重物，亦有一部分取出也。

依照上章所述，GM之距離，實代表船身正浮時之穩定率，通常GM之計算，僅限於在靜水

中或港內時，但穩定率曲線，必須包含一定範圍之內傾斜角度，及在航海中可以發生之狀態，以及在海港內最危險之場合，並且必須知道在各種角度之穩定率，以便估量在重心位置變動時，是否有發生危險之虞，尋常航海商輪，對於以下各種狀態，必須檢查其穩定率，（一）空船狀態，（二）滿載狀態，（三）滿載而煤艙空虛，（四）滿載而煤及供給均已用罄，（五）與（四）相同，但壓艙水裝滿，（六）與（四）相同，但艙內滿載輕質貨物，（介乎空船與滿載之間）上述各種狀態之排水量及其重心，必須分別一一計算，而以圖法表示如前章所述，並對於每一狀態，求得其 GN 曲線。

求 GN 曲線最迅速而且最正確之方法，係用一種儀器稱為積分計者 (integrator)，先求得一組之橫斷穩定率曲線，再由此等曲線，以求在特別狀態下之普通穩定率曲線，但積分計未必常備，故通常多用一種圓周積分方法，稱為巴恩氏法者 (Barne's method) 直接求得各種角度之穩定率，更有第三種最新之方法，係用楷倍豈夫氏積分法，與積分計或積分儀 (integrator) 聯合，以先求得各橫斷穩定率曲線，此三種方法，將於以下各節，依次述之。

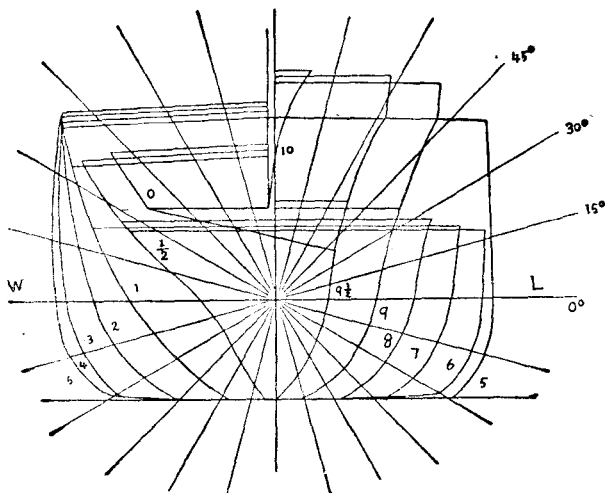
巴恩氏法，此方法須用一種特殊的船體圖，如第六十七圖，此圖與普通船體圖相似，但各切斷面之兩旁，必須延長至最高點，最高甲板上之建築物，必須完全包含在內，此等建築物，如便於積分，則在初步計算時，一併計入，否則認為附屬部分，另行分別計算。

用周線積分以求 ΩN 之方法，共有多種，但其所包含之原則，大致相同，所不同者，僅計算表之排列方式而已。

巴恩氏法所用之公式，為下列二式。

$$V.BR = V_1 \cdot oh_1 + V_2 \cdot oh_2 \pm (V_2 - V_1)$$

$$\Omega c \dots \dots \dots (1)$$



第六十七圖

$$V_1 B_1 R = V_1 g_1 h_1 + V_2 g_2 h_2 - (V_2 - V_1) O c \dots \dots \dots (2)$$

此等公式之意義，已在本章前節說明，第一式給予在 θ 角度時之正向力率，即 正向力率 =

$$V \cdot GZ = V \cdot BR - V \cdot BG \sin \theta, \text{ 第二式表示動力穩定率 } V \cdot h \text{ 即 } V \cdot h = V \cdot B_1 R - V \cdot BG \text{ vers } \theta.$$

上面公式，可以用言詞說明如下，正向力率 $V \cdot GZ$ 等於出水及入水部分對於軸線 O 力率之和，減去或加入改正薄層對於 O 之力率再減去 $V \cdot BG \sin \theta$ 。

第一式中之改正薄層之力率，係正號或負號，可以下列關係定之，如改正薄層之容積為負數，(V_1 大於 V_2) 而其重心在出水方面，或其容積為正數 (即 V_1 小於 V_2) 而其重心在入水方面時，均為負號，與此相反時，均為正號，第二式中之改正薄層力率，常為負號，動力穩定率 $V \cdot h$ 等於出水及水部分對於新水平面之力率減去改正薄層對於新水平面之力率，再減去 $V \cdot BG \text{ vers } \theta$ 。故欲求正向力率 $V \cdot GZ$ 及動力穩定率 $V \cdot h$ ，第一步須先計算出水及入水容積 V_1 及 V_2 ，以及此等容積之力率，此項計算，可以周線積分法行之。

第六十八圖，為船體之一部分，在兩相交之水線之間者，吾人試先研究其容積及力率，應當以

如何方法表示，最為適當，設 O 為此楔形之軸線，與船身之縱長中線，即在 O 點之軸線，設 OAB 及 oab 為相距 x_1 之兩橫斷面， $O'A'B'$ 為另一橫斷面，與 OAB 之距離為 dx ，設圖上全黑部分，為在兩半徑間之一小量面積，此兩半徑之距離為 $d\theta$ ，而其與 OB 所成之角度，則為 θ 及 $\theta + d\theta$ ，設半徑 OP 等於 r ，則此小量面積等於 $dr \times rd\theta$ ，故在兩半徑間之面積當等於

$d\theta \int r dr$ ，而切斷面 OAB 之總面積，等於

$\iint r d\theta dr$ ，在 OAB 及 $O'A'B'$ 兩切斷面間薄層之容積，等於 $\int r d\theta dr dx$ ，故此楔形之全部容積當等於

$$V = \int_0^x \int_0^{\theta_2} \int_0^{\theta_1} r d\theta dr dx, \quad \theta_1 = \angle BOA, \quad x_1 = Oo$$

則

$$V = \int_0^x \int_0^{\theta_2} \int_0^{\theta_1} r d\theta dr dx, \quad r_1 \text{ 為在 } ABba \text{ 面上任}$$

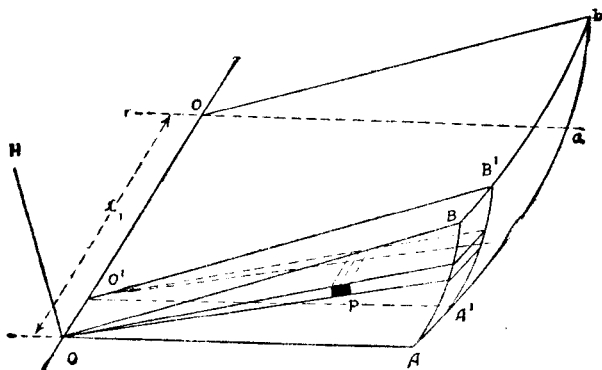


圖 八 十 六 第

何一點至軸線 O_o 之距離，則此楔形之全部容積當等於 $\frac{1}{2} \int_0^1 \int_0^1 r^2 d\theta dx \dots\dots\dots (1)$

經過 O_o 作一與平面 OBb_o 垂直之平面與平面 OAB 在 OH 相交，則此單純薄層對於 OH 之力率，等於 $r^2 \cdot d\theta \cdot dr \cdot dx \cdot \cos\theta$ 。

又同一薄層對於 OB 之力率，等於 $r^2 d\theta \cdot dr \cdot dx \sin\theta$ ，故此楔形容積對於 OH 之總量力率，
 等於 $\frac{1}{3} \int_0^1 \int_0^1 r^3 \cos\theta \cdot d\theta \cdot dx \dots\dots\dots (2)$

同樣對於 OB 之總量力率等於 $\frac{1}{3} \int_0^1 \int_0^1 r^3 \sin\theta \cdot d\theta \cdot dx \dots\dots\dots (3)$

應用此等公式於六十八圖之楔形容積，設 r_1 為出水方面之極坐標距離， r_2 為入水方面之極坐標距離， x 之限度為由 o 至 L ， θ 之限度為由 o 至 α ，前者為船長，後者為傾斜角度，則

$$V_{10}h_1 = \frac{1}{3} \int_0^L \int_0^\alpha r_1^3 \cos\theta \cdot d\theta \cdot dx。$$

$$V_{20}h_2 = \frac{1}{3} \int_0^L \int_0^\alpha r_2^3 \cos\theta \cdot d\theta \cdot dx。$$

$$V_1 = \frac{1}{2} \int_0^x \int_0^{r_1} r^2 \cdot d\theta \cdot dx.$$

$$V_2 = \frac{1}{2} \int_0^x \int_0^{r_2} r^2 \cdot d\theta \cdot dx.$$

欲求改正薄層之重心，吾人必須先求得若干互相平行傾斜水線之重心，後者之計算方法如下，平面 OBb_0 對於 O_0 之力率，等於 $\frac{1}{2} \int_0^x r_1^2 dx$ ，故雙方之力率，等於 $\frac{1}{2} \int_0^x (r_1^2 - r_2^2)$ dx ，全部面積之重心至 O 點之距離等於 $\frac{1}{2} \int_0^x (r_1^2 - r_2^2) dx \div \int_0^x (r_1 + r_2) dx$ 。

上節公式中之 $\int_0^x \int_0^{r_1} r^2 d\theta \cos\theta dx$ 可用下列方法計算之。

第一步在 x 方面，用若干之 r 價值，以求 r_1^2 之積分 $\int r_1^2 dx$ ，再以 $\cos\theta$ 乘 $\int r_1^2 dx$ 然後用周線積分法，以求得楔形容積之力率，此種程序在入水及出水兩方，完全相同，關於楔形容積 $\int r_1^2 dx d\theta$ ，及水平面力率 $\int r_1^2 dx$ 亦須同樣求得，並須積分 $\int r dx$ 以得輻射水線之面積，為

便於周線積分起見，各傾斜水線可用一種幅射形狀，以○點爲中心，如第六十七圖，此圖上O、W、L爲一平行水線，在此水線以下之排水容積與一定之狀態相當，爲吾人所欲計算者，經過○點，作若干角度相等之水線，兩旁各有一水線，必須經過甲板之邊上，因船體曲線，在此處頓變形狀，故必須爲積分之中止點也。

在第六十七圖，此水線之角度爲十五度，爲適用辛氏倍數起見，此線必須爲第三線或第五線，即兩線間之角度，須爲 $7\frac{1}{2}^\circ$ 或 $3\frac{3}{4}^\circ$ 。此圖上所用爲 $7\frac{1}{2}^\circ$ 。

此項積分，須用兩種表格，第一種稱爲初步計算表，係用以計算每一水線之 $\int r_1 dx$ ， $\int r_1^2 dx$ ，及 $\int r_1^3 dx$ ，第二種稱爲聯合計算表，係從第一表所得之結果，完成以下各式之積分， $\iint r^2 d\theta dx$ ，

$$\iint r^3 \cos\theta d\theta dx \quad \text{及} \quad \iint r^3 \sin\theta d\theta dx。$$

初步計算表，分爲兩部分，上端爲入水楔形，下端爲出水楔形，表中第一行，爲與各切斷面相當之號數，第三行爲每一切斷面上之幅射坐標 r ，第五行爲 r 之平方，第八行爲 r 之立方，其他各

行，爲辛氏倍數及 $r_1 r_2$ ，與 r_1^2 之函數。

將此表完成以後，吾人即可將第四，第七及第十行函數之總和，各與共同之距離相乘，再以三除之，以得 $\int r_1 dx$ ， $\int r_1^2 dx$ ，及 $\int r^3 dx$ ，爲避免在聯合計算表上，數目過大起見，在初步表上，即先以三除此等函數之總和，再記入聯合表，直至最後，再以共同之距離與之相乘。

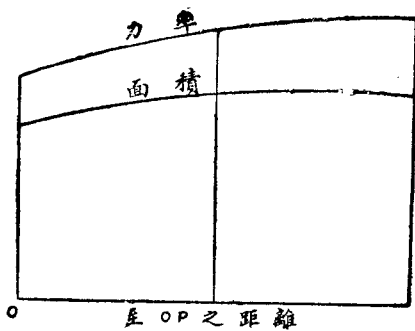
初步表中之 r_1 及 r_2 函數，即逕列入聯合表內， r_2 函數，則兩方相加以後，再列入聯合表內，此聯合表之配置，係用以完成在一定角時之周線積分，以求得在此角度下之 GN 及其動力穩定率，例如四〇度傾斜之聯合計算表，第一行(A)可分 $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ ，而第二行(B)則分別從初步表上所得之 $\int r_1 dx$ 函數，在第三行(C)將 $\int r_1^2 dx$ 之函數分別列入，再以辛氏倍數乘之，則得第五行(E)即爲 $\int \int r_1^2 dx d\theta$ 之函數，以 r_2 乘此函數之和，再乘以辛氏之距離，更以三除之，即得入水容積 V_1 ，以同樣方法，吾人可以從 $\int \int r_2^2 dx d\theta$ 之函數，以求得出水容積 V_2 ，此兩者之差 $V_1 - V_2$ ，即爲改正薄層之容積，如以水平面積除之，即得此薄層厚薄之近似數，楔形容積

之力率 v_1oh_1 及 v_2oh_2 則從聯合表上之右側部分積分而得，表中第一行 (F) 爲 $\left(\int r_1^3 dx + \int r_2^3 dx\right)$ 之函數，此函數在初步表上即已兩側相加，第二行 (G) 爲第一行與辛氏倍數之乘積，第三行 H 爲傾斜角度之餘弦，第四行 (K) 爲第二行 (G) 及第三行 (H) 之乘積，其相加之總和即爲 $\left\{ \int r_1^3 dx \cos\theta + \int r_2^3 dx \cos\theta \right\}$ 之函數，將此函數乘 $1/2$ 周線距離，及縱線距離，再以三除之即得尙未改正之楔形力率 $v_1oh_1 + v_2oh_2$ 。

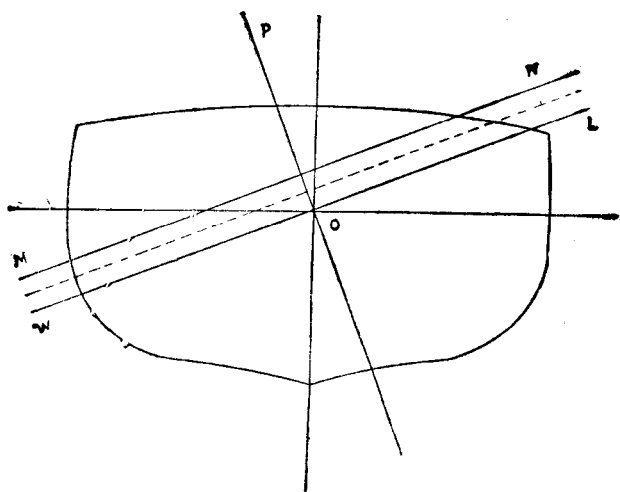
改正薄層之容積 $v_1 - v_2$ ，業已求得，其重心可以下述方法計算之，如 v_1 與 v_2 之差數極小，則其重心可假定爲等於 $\frac{1}{2} \int (v_1^2 dx - v_2^2 dx) \div \left\{ \int v_1 dx + \int v_2 dx \right\}$ 。

如其 v_1 及 v_2 之差數較大，則 $\frac{v_1 - v_2}{(v_1 + v_2) dx}$ 僅等於薄層之厚之近似數，將此數之距離，作

一新水線 MNT (第七十圖) 計算其面積及其對於軸線 OP 之力率，在此二水線之間，再作一水線，亦同樣計算其面積及力率，將此等面積及力率之價值，分別各作一曲線，如第六十九圖，此力率曲線之面積，即等於薄層容積對於 OP 之總共力率，面積曲線之面積，即等於薄層之容積，故此二



圖九十六第



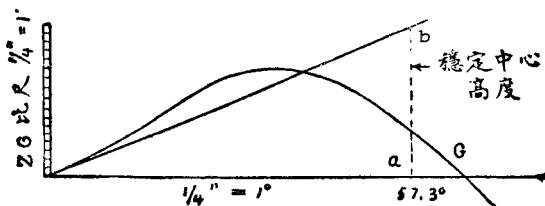
圖十七第

者相除之數，即為薄層重心至軸線 OP 之距離。

此改正後之楔形力率 $V_1oh_1 - V_2oh_2 \pm (V_1 - V_2)Oc$ 即等於 $V_1 BR_1$ ，再由此數減去 $V_1 BG \sin \theta$ 以得 $V_1 GZ$ ，再以 V 除之，即得 GZ 。求 V_h 之方法，亦與求 GZ 時完全相同，不過所乘者非 $\cos \theta$ 而為 $\sin \theta$ ，故再得一行之力率函數，為 $(V_1 g_1 h_1 + V_2 g_2 h_2)$ 之函數。

如此計算所得之結果，製成曲線，即為穩定率曲線，通常此種曲線，係以一種標準尺寸製成，底線上之比尺，為每度等於 $\frac{1}{4}$ 英寸，垂線即 GZ 或 V 之比尺，為每 $\frac{1}{10}$ 英尺，等於 $\frac{1}{4}$ 英寸，故在此種曲線上 $\frac{1}{4} \times \frac{V}{350}$ 即等於靜的或動的穩定力率之英尺噸數也。

在底線上 θ 。等於 57.3° 。即 θ 之周線數量等於一單位之處，作一垂線，使其長短與 GM 相等，如第七十一圖， ΔG 為靜穩定率曲線， ab 等於 GM ，連接 ba 則 ba 為此曲線在零度上之切線，因在六十三圖



第七十一圖

$$RM = \frac{dB_R}{d\theta}.$$

$ZN = \frac{dGZ}{d\theta}$ 故 θ 逐漸減小至於 0 時 Z 與 G 相合，故在 θ 等於 0 時 $\frac{dGZ}{d\theta}$ 等於 GM ，即

在 A 點之切線，與底線間所成角度之正切等於 GM ，故在 θ 等於一之處作一垂線 $ab = GM$ 則 bA 即爲此曲線在 A 點之切線也。

依同樣關係 $\frac{dB_1R}{d\theta} = BG \sin \theta + GZ$ ，但 $B_1R - BG \cos \theta = h$ ，故

$$\frac{dB_1R}{d\theta} - BG \sin \theta = \frac{dh}{d\theta} \text{ 故 } GZ = \frac{dh}{d\theta}, \text{ 故在 } 0^\circ \text{ 等於 } 0 \text{ 故在 } 0^\circ \text{ 時 } \frac{dh}{d\theta} = 0 \text{ 換而言之即動}$$

力穩定率曲線，在 0° 之切線，常爲水平線，在他處 GZ 等於 0 時亦然，故在平衡狀態時，此切線之角度，常等於零。

用積分計求穩定率之方法，吾人在前節已經述及，如有一組之普通穩定率曲線，即可以作成在各種角度時之橫斷曲線，反之若有一組之橫斷曲線，亦可以容易求得在各種排水量之普通穩

初步計算表 傾斜角度 = 40°
入水楔形

號數	r ₁	辛氏 倍數	r ₁ 乘 辛氏倍數	r ₁ ²	辛氏 倍數	r ₁ ² 乘 數	r ₁ ³	辛氏 倍數	r ₁ ³ 乘 數
1	0.2	1	0.2	0.0	1	0.0	0.0	1	0.0
2	4.0	4	16.0	16.0	4	64.0	64.0	4	256.0
3	8.4	2	16.8	70.6	2	141.2	592.7	2	1185.4
4	7.6	4	30.4	57.8	4	231.2	439.0	4	1756.0
5	6.9	2	13.8	47.6	2	95.2	329.0	2	658.0
6	6.1	4	24.4	37.2	4	148.8	227.0	4	908.0
7	5.8	2	11.6	33.6	2	67.2	195.0	2	380.0
8	5.4	4	21.6	29.2	4	116.8	157.5	4	630.0
9	5.2	2	10.4	27.0	2	54.0	140.6	2	281.2
10	5.6	4	22.4	31.4	4	125.6	175.6	4	702.4

11.	6.4	1	6.4	41.0	1	41.0	262.1	1	262.1		
出 水 模 形										入水模形 出水..... 雙方總數	
3)174.0			3)1085.0			3)7029.3					
面積函數|58.0			力率函數|361.7			2345.1 1708.2 4051.3					
1	0.2	1	0.2	0.0	1	0.0	0.0	1	0.0		
2	2.4	4	9.6	5.8	4	23.2	13.8	4	55.2		
3	4.5	2	9.0	20.3	2	40.6	91.1	2	182.2		
4	6.0	4	24.0	36.0	4	144.0	216.0	4	864.0		
...		
...		
3)144.7			3)830.8			3)5124.8					
面積函數|48.2			力率函數|276.9			|1708.2					
出 水 模 形											

穩定率聯合計算表 $\theta = 40^\circ$

傾斜角度 θ	A B r_1 函數	C r_1^2 函數	D 辛氏 倍數	E 乘積	F 形 $(r_1^2 + r_2^2)$ 編函 N	辛氏 倍數	G 乘積	H 靜 穩定率		I 動 穩定率	編函 r_1 $\sin \alpha$
								$\sin \theta$	$\cos \theta$		
								$\sin^2 \theta$	$\cos^2 \theta$		
0°	...	460.6	1	460.6	7456.4	1	7456.4	.766	5711.6	.6028	4743.0
10°	...	525.8	4	2103.2	7471.7	4	29886.8	.866	25882.0	.5	14943.4
20°	...	622.6	2	1245.2	7945.6	2	15891.2	.940	14937.7	.3420	5434.8
30°	...	491.1	4	1964.4	5749.3	4	22997.2	.985	22652.2	.1736	3992.3
40°	58.0	361.7	1	361.7	4051.3	1	4051.3	1.000	4051.3	.0000	0000.0
				$\iint r_1^2 dx d\theta$ 6135.1		$\frac{3}{2} \frac{73234.8}{24411.6}$		$\frac{3}{2} \frac{12163.5}{9721.2}$			
				$\iint r_2^2 dx d\theta$ 4215.9		$\frac{1}{2} \frac{1919.2}{196.29}$		$\frac{1}{2} \frac{058}{77.76}$			

\bullet 959.6
 $\frac{1}{s^{\theta}} \times .058$
 $\frac{7.6768}{47.980}$
 $\frac{55.6568}{501}$
 縱線間隔.....X...9
 改正容積 501

1220.58
 $\frac{1415.87}{7.6768}$
 縱線間隔.....X...9
 力率...12742.83
 改正數.....200.40
 $\frac{12542.43}{5425}$
 排水量 5425 2.312
 .502

486.06
 $\frac{563.83}{9}$
 $\frac{5074.47}{-131.20}$
 $\frac{14943.27}{.91}$
 5425
 $\frac{.18}{h = .73}$

出 水 機 形

0° ...	460.6	1	460.6
10° ...	399.0	4	1596.0
20° ...	341.2	2	682.4
30° ...	300.0	4	1200.0
40° 48.2	276.9	1	276.9

$\int r_s dx + \int r_d x =$
 傾斜水平面之積 =
 58.0 + 48.2

$= 106.2$

入水方面力率
 出水方面力率

$\frac{9}{955.8}$
 平方英尺
 361.7
 276.9
 差數 2184.8
 $\frac{42.4}{955.8}$

薄層厚度

$\frac{501}{955.8} = .524$ 英尺

GZ 改正數 = 容積 × 重心
 距離 = 501 × .4
 = $\frac{200.4}{2}$

h 改正數

$\frac{.524}{2} = 501 \times \frac{.524}{2} = 131.2$

$\int r_s dx + \int r_d x = 4215.9$
 重心至軸線之距離 = $\frac{42.4 \times 9}{955.8} = .4$

定曲線，故穩定率之計算，可以先求得此種橫斷曲線，其最簡捷之方法，為使用積分計，其程序略如下述。

首先準備者為一船體圖，此圖與巴恩氏法所用者完全相同，各切斷面均須面側完全畫出，排水量之範圍，必須預先決定，通常所用之最高及最低水線，須在重載以上，空船以下，在另一蠟紙上，作若干平行線，以代表所需要之水線，此水線之數，普通為四線至六線，依船體在此部分之形狀而定，各線間之總距離，係如此決定，即將此蠟紙置於船體圖上面時，最高及最低之線，須在重載水線之上，及空船水線之下，在船體圖上更須作若干力率之軸線，此等軸線可以從任何定點引出，但以用船底之中點為最便，此等軸線與圖上中線所成之角度，即為傾斜角度，通常兩線間之角度，為十五度，故假定最大傾斜角度為九十度時，（通常須要者約七十五至八十度）可以得六個橫斷曲線。

用積分計以求水線下容積之程序如下，假定傾斜角度為十五度，先將船體圖釘於較大之圖畫板上，遂將蠟紙置於其上，使各水線與力率之軸線，成為垂直，如第七十二圖所示，此圖上共有

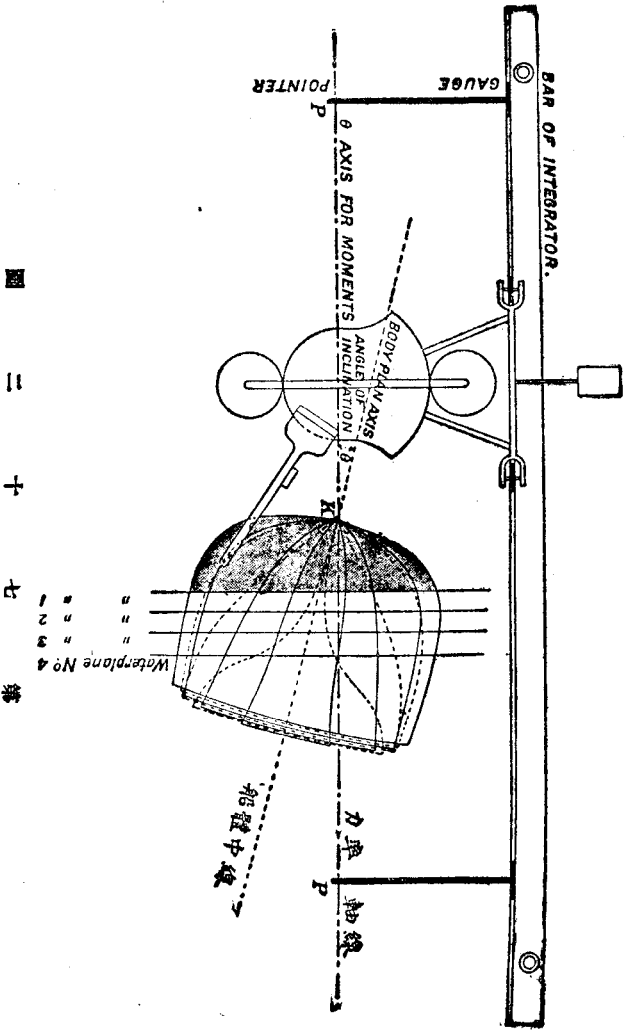


圖 二 十 七 第

(一)(二)(三)(四)等四水線，力率軸線 P_1P_2 經過船底之中點 F ，此軸線與船體圖中線所成之角度爲十五度，積分計之位置，亦在此圖上指示明晰，鋼條之位置，係與 P_1P_2 成爲平行，其距離則由兩端之準尺 P_1P_2 定之，積分計如此位置，使其可以在鋼條之軌道內，往復移動，則力率輪上所指示之數量，卽爲對於軸線 P_1P_2 之力率，任意以一點爲起點，將積分計之導針，依照時針方向，在水線下第一切斷面之四圍，環繞一周，俟導針回至起點時，分別記錄面積及力率之數量，然後依次環繞其他切斷面，分別記錄其面積與力率之函數，與前相同，再將如此所得之結果，記入表內。

對於每一傾斜角度，例如十五度，須用一表，而此表又分爲四部分，每一水線，各各爲一部分，表中每一數字，爲在一定角度時，一定水線下，某一切斷面積及其力率之函數，如切斷面之間隔，係依照辛氏規則分配，吾人可將此等數字，與辛氏倍數相乘，記入另一行內，再彼此相加，卽得所須要之函數。

面積行內各數之和，卽爲相當水線下容積之函數，力率行內各數之和，卽爲同一容積在此角度時對於 P_1P_2 力率之函數，此等函數，在表內以 M_{A1} 及 M_{E1} 代表之，正向力距等於力率及容

積相除之數，故等於 $\Sigma a_1 / \Sigma n_1 \times$ 比尺之因數，決定此因數之方法如下，設積分計面積之比尺爲二十，(即每單位等於二十平方英寸)力率之比尺爲四十，(即每單位等於四十平方英寸乘英寸)船體圖之比尺爲 n (即每一英寸等於 n 英尺)縱線之間隔距離爲 1 英尺，則

$$\text{容積 (立方英尺單位)} = \Sigma a_1 \times n^2 \times 20 \times \frac{1}{3}$$

$$\text{力率 (英尺四乘單位)} = \Sigma m_1 \times n^3 \times 40 \times \frac{1}{3}$$

故水線下容積之浮力中心至軸線 PKP 之距離

$$= KN_1 = \frac{\Sigma m_1 \times n^3 \times 40 \times 1/3}{\Sigma a_1 \times n^2 \times 20 \times 1/3} = 2n \times \Sigma m_1 / \Sigma a_1$$

求得此等 KN_1 以後，可以排水量爲底線，製成 KN_1 曲線，如第七十三圖，此曲線之比尺，應與 GZ 曲線相同，即每 $1/4$ 英寸，等於 $1/10$ 英尺，此比尺如嫌過大時，底線可以不必從零數算起。

以同樣方法，適用於其他之傾斜角度，即可以求得一組之 KN_1 曲線，(第七十五圖)再由此曲線，製成 GZ 之橫斷曲線，及普通穩定率曲線，(第七十四圖)其方法如下。

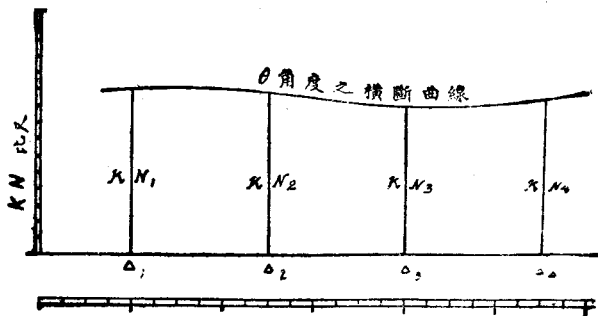


圖 五 十 七 第

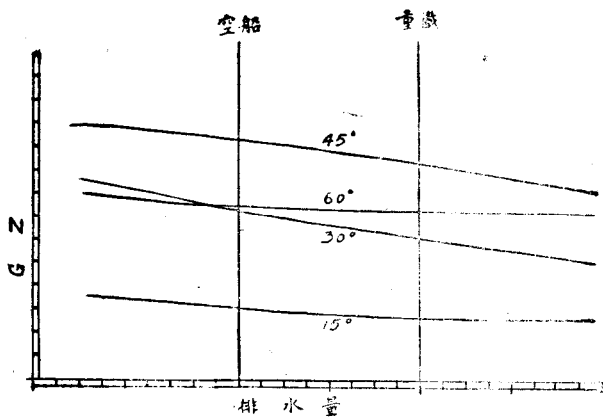


圖 四 十 七 第

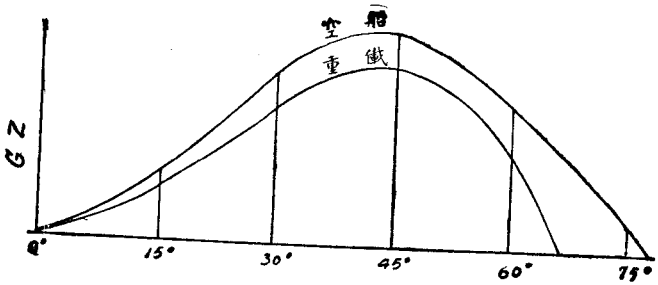


圖 五 十 七 第

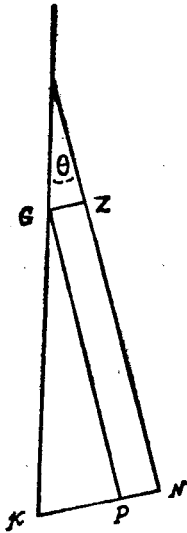


圖 六 十 七 第

設在某一吃水狀態時 G 爲重心之位置, G' 爲此重心至船底中點之 Δ 距離, Δ 爲其排水量, 如第七十六圖, 則 $KN = KG \sin \theta + GZ$, $\therefore GZ = KN - KG \sin \theta$ 故從與此狀態相當之 KN 減去 $KG \sin \theta$ 即得 GZ 也。

橫斷曲線計算表 傾斜角度 θ

辛氏倍數	斷面號數		第一面積		實際面積比尺 $= \frac{20 \times 1^2 \times 1}{3}$	實際力率比尺 $= \frac{40 \times 1^2 \times 1}{3}$	
	數函	數指	數函	數指			
$1\frac{1}{2}$	0				$KN = \sum m / \sum a \times 2h$		
2	$1\frac{1}{2}$			$\sum a_1$			$\sum m_1$
$1\frac{1}{3}$	1						
4	2						
2	3						
4	4						
2	5						
4	6						
2	7						
4	8						
$1\frac{1}{2}$	9						
2	$9\frac{1}{2}$						
$1\frac{1}{2}$	10						

第三水線				第二水線			
面積		力率		面積		力率	
數指	數函	數指	數函	數指	數函	數指	數函
	Σm_3		Σa_3		Σm_2		Σa_2
					$KN_3 = \frac{\Sigma m_3}{\Sigma a_3} \times 2n = \dots \dots \dots$ 英尺		$KN_4 = \frac{\Sigma m_4}{\Sigma a_4} \times 2n = \dots \dots \dots$ 英尺
					$KN_2 = \frac{\Sigma m_2}{\Sigma a_2} \times 2n \dots \dots \dots$ 英尺		
					$KN_1 = \frac{\Sigma m_1}{\Sigma a_1} \times 2N \dots \dots \dots$ 英尺		
							$\Delta_1 = \left(\Sigma a_4 \times 20 \times n^2 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{35} \right)$ 噸

第四面積		水力線	
數指	數函	數指	數函
	Σa_4		Σm_4
$\Delta_3 = \left(\Sigma a_3 \times 20 \times n^2 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{35} \right)$ 噸	$\Delta_2 = \left(\Sigma a_2 \times 20 \times n^2 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{35} \right)$ 噸	$\Delta_1 = \left(\Sigma a_1 \times 20 \times n^2 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{35} \right)$ 噸	

尚有用積分儀 (Integrator) 以求穩定率曲線之方法，亦極簡捷，本書因篇幅所限，故略之。

以下各圖為實際上各種船隻之穩定率曲線，第一種 A (七十八圖) 為大西洋客運船，圖中各曲線，與各種之吃水狀態相當，此等狀態，在附表中詳列，各線中最穩定之狀態，為第五號曲線，與航程終止之時相當，GM 為 1.46 英尺，最不穩者為第二號曲線，與進塢時之狀態相當，GM 僅 0.5 英尺，但在各種狀態 GM 均為正數，有時此種船隻，在某種狀態之下，或呈負號之 GM，若在航行，發現此種情形，可用適當方法救濟之。

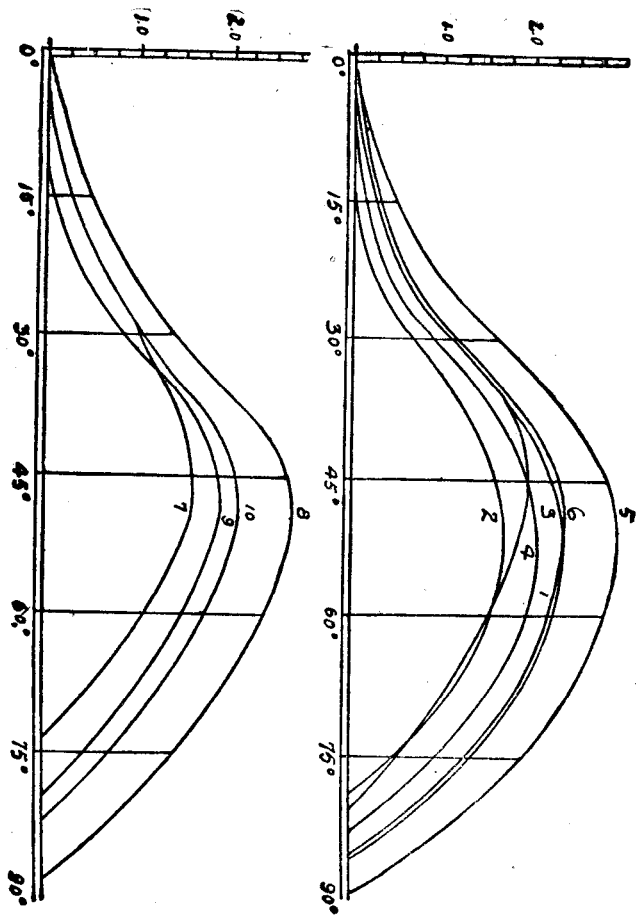


圖 七 十 七 第

第 一 種 A

狀 態	船 號	載 貨 情 形	噸 數	煤	客,行李,及用品等	水 艙	噸 數	排 水	吃 水	水	GM	附 註
空 船	1	.....	...	...	.....	.....	...	10295	19'-4"		.4	
鍋爐無水 小鍋爐有	2	.....	...	...	.....	.....	...	9920	18'-9"		.05	
進 塢	3	.....	...	...	.....	1,2,3,4 滿,2號有 生鐵75噸	510	10430	19'-7 $\frac{1}{2}$ "		.75	
下艙載貨	4	下艙1,2,3,4 號及上艙12, 13號	900	2650	420	.....	..	14220	25'-3"		...	
中艙載貨	5	,,	900	100	283	1,2,3及7 號滿	506	12038	21'-11 $\frac{3}{4}$ "		1.46	
載貨,但 無煤	6	,,	900	...	283	.....	...	11432	21'-1"		.7	
滿載,煤 爐亦滿	7	中間2號艙及 上艙3,12,13, 號餘5,4兩	1798	2650	421	.....	...	15118	26'-7"		.52	

與五號同 滿載但蒸 煤	8	"	1798	100	283	1,2,3,4, 5,7,均滿	766	13196	23'-9" 4	1.39
	9	"	1798	...	283	.....	...	12330	22'-6"	.16
	9A	.....	1798	...	283	7 號槍滿	190	12520	22'-9" 4	.5

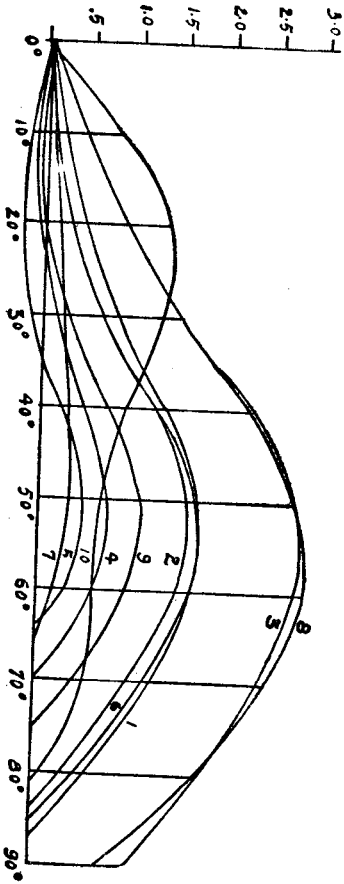


圖 八 十 七 第

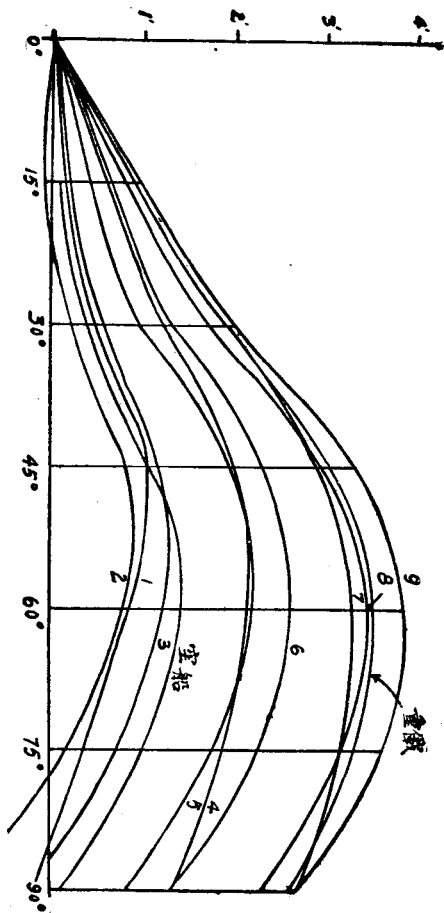


圖 九 十 七 第

第二種 B (七十八圖) 爲運貨兼載客船, 長四〇〇英尺, 闊四五英尺, 吃水二五英尺六寸, 此船在第五號狀態時, 因載貨情形, 極不適宜, 故現負號 GZ , 在煤艙全空以後, 此負號 GZ , 大至一。

七七英尺，除下水狀態以下，最佳者，為第三號狀態，此時裝有壓艙水八百五十噸，如將此數之壓艙水，加在第五號狀態時，可將負數一·七七英尺之GM變為正數·一二英尺，此船之各種狀態，具詳下表。

第 二 種 B

號數	狀 態	吃 水	排 水 量	重心至艙底距離	BG
1	主甲板上載貨 3900 噸，煤 1000 噸	24'-0"	10350	21.64	.24
2	主甲板上載貨 3900 但無煤	22'-1"	9350	21.97	-1.32
3	主甲板上載貨 3900 無煤壓艙水 850 噸	23'-8"	10200	20.37	1.45
4	上甲板載貨 3900 噸，煤 1000 噸	24'-0"	10350	22.9	-1.0
5	同 上 但無煤	22'-1"	9350	23.4	-1.77
6	同 但有壓艙水 850 噸 上 無煤	23'-8"	10200	21.7	.12
7	空 船	13'-7"	5250	24.0	.8
8	空船 有壓艙水 850 噸	15'-4"	6100	21.0	1.3

9	煤輪滿, 但不載貨	16'-6"	6635	23.1	1.18
10	下水時狀態, 有壓艙水 95 噸	10'-9"	3830	23.0	2.65

第三種 C (八十圖) 爲與 B 大小相同之貨船, 此船在各種狀態之下, GM 均爲正數, 惟在第二號狀態時, 負數之 GM, 大至三英尺, 因此船身必須側轉至二十二度, 始能有正向之穩定力率, 在空船狀態時 GM 爲最小, 僅 0.194 英尺, 除下水狀態以外, 以貨艙, 煤艙, 及水艙均滿時爲最大, 計 3.48 英尺。

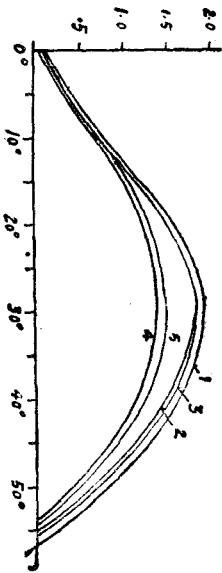


圖 十 八 第

下表所列爲此船之各種狀態。

第三種 C

號數	狀	應	吃水	排水量	載貨重量	煤重	重心至船底距離	GM	乾舷	貨物比重
1	上甲板載比重均一之貨物，煤箱滿		25'-0"	9010	3398	890	19.37	.6	9'- $\frac{1}{2}$ "	78.7
2	同上 無煤		22'-11"	8129	，，	.....	19.83	-3.0	11'-1 $\frac{1}{2}$ "	，，
3	同上 煤箱水箱均滿		23'-8"	8427	，，	水 307	19.2	.46	10'-4 $\frac{1}{2}$ "	，，
4	主甲板載比重均一之貨物，煤箱滿		25'-0"	9010	，，	890	17.86	2.13	9'- $\frac{1}{2}$ "	58
5	同上，無煤		22'-11"	8129	，，	—	18.16	1.38	11'-1 $\frac{1}{2}$ "	，，
6	同上，無煤，但水箱滿		23'-8"	8427	，，	水 307	17.59	2.08	10'-4 $\frac{1}{2}$ "	，，
7	下甲板載比重均一之貨物，煤箱滿，主甲板及下甲板上並載有牲畜		25'-0"	9010	3426 牲畜在內	890	16.54	3.43	9'- $\frac{1}{2}$ "	40.9
8	同上，無煤		22'-11"	8129	，，	.....	16.7	2.8	11'-1 $\frac{1}{2}$ "	，，
9	同上，無煤，但水箱滿		23'-8"	8427	，，	水 307	16.18	3.48	10'-4 $\frac{1}{2}$ "	，，
	輕船狀態		13'-10"	4354	無	無	18.81	1.94	20'-2 $\frac{1}{2}$ "	
	下水狀態		12'-2"	3675	，，	，，	17.34	3.63	21'-10 $\frac{1}{2}$ "	

第四種 D 爲海峽輪船，長三一〇英尺，此船在五種狀態下之穩定率，如第八十圖，在輕船狀態時，此船亦極穩定，其 GM 爲二·八五英尺，而以第四號狀態時爲最穩定，GM 等於三·二英尺，此種船隻，通常均不用夾層船底，載煤僅九十噸上下，重心之變動極小，故無用水艙之必要，從此等曲線，吾人可以求得每船之穩定角度範圍，及其最大之正向力距。

第四種 D，海峽運船，長 310，闊 42，吃水 18 英尺

號數	狀	總排水量	吃水	水	GM 英尺	最大力距
1	輕載，船中設備完全儲爐有水	1921	10'—10' $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ "	2.85'	1.87
2	輕載，煤艙，旅客室，用品空均滿，淡水，預備水完全，牲畜艙滿	2265	12'—3' $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ "	3.0'	1.79
3	與上同，但無煤及預備水	2142	11'—9' $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ "	2.84'	1.8
4	貨艙滿，餘與第(2)號同	2901	14'—8' $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ "	3.2'	1.82

5	與(4)號同但無煤,淡水,預備水及供給均用盡	2725	13'-11"	3.07'	1.46
---	------------------------	------	---------	-------	------

以上各節,僅就一班之場合,略舉數例,實際上每種船隻,在一定氣候狀態之下,應有若干穩定力率,只可以從經驗決定,每一船隻,在任何假定狀態之下,所有正向力距,及穩定角度之範圍,均可以上述方法求得之,至其在一定氣候狀態時,所須變之力距,可以從過去同樣船隻之經歷,而斷定其多少。

第四章 阻力 (Resistance)

凡物體浮於靜水上面時，如有外力相加，則可以自由在一直線上向前移動，對於此移動之阻力計有二種，爲物體自身之惰性，及其四圍液體之阻力，此二者各消耗一部分之能力，能力之耗於戰勝惰性者，產生速度，若外力之應用，繼續不已，而四圍之液體，並不加增阻力時，則此速度當以一定之比例，繼續加增，但速度增加，此阻力亦同時隨之增加，到一定時間，其數量可以增至極大，至與應用之力，完全相等更無餘力以用於抵抗本身之惰性，達到此點以後，則物體之速度不再變更，換而言之，即成爲等速運動，所有全部能力，均消耗於抵抗平體之阻力，此阻力即通常所稱爲船身之阻力，關於其數量之研究，即爲船身阻力之學說，在船身以平均速度向前進行時，與此阻力平衡之力量，通稱爲推進力，決定此推進力數量之研究，即構成船身推進之學說，此推進力可以由外而供給，亦可以在船內造成，拖帶，張帆等屬於前者，如搖櫓，噴管，明輪，螺旋推進器等，屬於後者，有時可以

二者並用，如內河駁船，以人力推進，同時亦使用風篷，蒸汽遊艇，備有帆檣，用汽力推進之外，並同時使用風力。

今試進而研究抵抗船身惰性所必須之力，此問題可以認為一種時間之問題，即船身在水中移動時，由速度等於零，漸次增加，達到其最大速度所須之時間。

爲簡單起見，假定船身之重量或排水量爲一千噸，發動機有六百馬力，可以推進之最大速度爲十節，馬力係在一定時間中供給能或工作之單位，即每一馬力在每分鐘所供給之能力，爲三三〇〇〇英尺磅數，每節之速度，爲每小時航行一海里即六〇八〇英尺，故六百馬力每分鐘可以供給之能力等於六〇〇〇與三三〇〇〇之乘積，即六〇〇〇乘三三〇〇〇，等於一九八〇〇〇〇英尺磅，如其此項工作，完全用於抵抗在十節時之阻力，則此阻力當等於

$$\text{工作} \div \text{距離} = 19,800,000 \div \frac{6080}{60} = 19540 \text{ 磅或 } 8.72 \text{ 噸。}$$

發動機之力量，並不能完全用於此項阻力之抵抗，至多不過達於半數以上，關於此點，當俟以後再詳論之。

假定有效之力爲五噸，則此問題爲以五噸之力，加於一千噸之重量，從此二者之關係上，吾人即可計算此力之應用，須經若干時間，方可使船之速度，從零數增至最大速度 $\frac{6088}{60} = 1013.1$ 每分鐘，假想此物體從空中落下時，地心之吸力爲一千噸，其加速度爲每秒中加每秒三二·二英尺，今此有效之力僅有五噸，則每秒中所加之速度，僅有每秒 $\frac{5}{1000} \times 32.2$ 英尺，如此力繼續應用至一分鐘時，所加之速度，當爲每秒 $\frac{5}{1000} \times 32.2 \times 60$ 英尺，即每分有 $\frac{5}{1000} \times 32.2 \times 60 \times 60$ 英尺，即每分鐘五七九·六英尺，故從零數增至每分鐘一〇一三·三英尺所要之時間，等於 $\frac{1013.3}{579.6} = 1\frac{3}{4}$ 即一·七五分也，故假定除船體自身之惰性以外，更無他項阻力，則以五噸之推進力，只須一·七五分鐘時間，即可以從零數，達到十節之最高速度，但實際上速度加增，阻力亦隨之而增，故可以用爲抵抗自身惰性之力，逐漸減少，在五節之速度時，所有阻力，約等於在十節時四分之一，即一·二五噸，故只餘下三·七五噸，可以用於抵抗惰力，在八節之速度時，此阻力約爲三·二噸，而餘下者只有一·八噸。

假定此推進力始終不變，常為五噸，而液體阻力之變動，與速度之平方成正比，則在零數及十節之間，無論何種速度，吾人均可計算此推進力，留有若干餘數，可以為抵抗自身惰性之用，第八十一及八十二圖，即表示此種計算之結果。

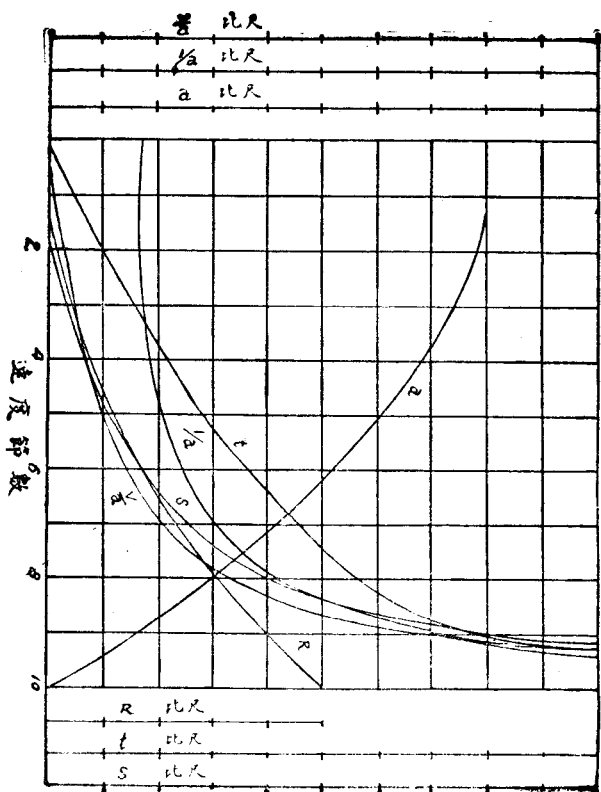
此公式 $R = KV^2$ 給予在 V 速度時所有阻力 R 之數量， K 為一常數，可以從在十節速度時，阻力等於五噸求得之，即 $K = \frac{R}{V^2} = \frac{5}{10^2} = \frac{1}{20}$ ，吾人可以由此計算在 V 等於 \circ 及 V 等 $1\circ$ 之

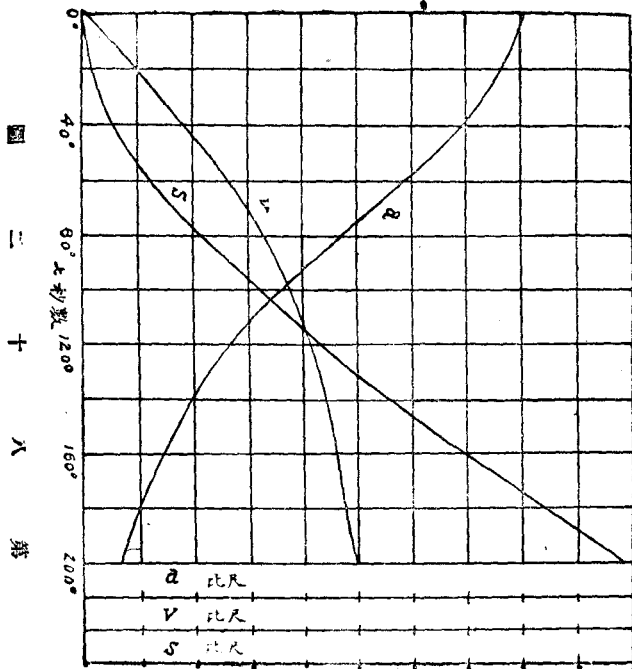
間任何速度時，尚有若干餘力，可以供抵抗船身惰性之用，並且可以由下列公式求得船身之加速度， $\frac{W}{g}a = T - R$ 或 $\frac{W}{g}a = (T - KV^2)$

此式中 W 等於船之重量（噸數）， T 等於全部推進力（噸數）， R 等於在 V 速度時之阻力（噸數）， a 等於船身之加速度。

第八十二圖曲線 a 表示在各速度時之加速度，從此曲線，吾人以由下列公式求得距離及時間之曲線，因 $\frac{dV}{dt} = a \therefore t = \int \frac{1}{a} dV$ 由此公式可以求得 t V 曲線，應用此公式之最簡捷方法，為

圖 一 十 八 第





以 v 爲底線， $1/a$ 之數量爲垂線製成曲線，再將此曲線積分之， $1/a$ 曲線及 t 曲線，均見第八十一圖，積分之最迅速及便利方法，可用積分儀爲之，此圖上所可注意者，爲 $1/a$ 曲線之最後垂線，等於無窮大，故 $\int_0^V \frac{1}{a} dv = \infty$ 因 $V = v, a = 0$ ，此關係可以言詞表示如下，如其阻力之變動，始終與速度之平方成正比例，則船之速度永不能達到 V ，而只能達到與其極端相近之數。

又從下列公式 $\frac{V}{a} = \frac{ds}{dt} \div \frac{dv}{dt} = \frac{ds}{dv} \therefore \frac{V}{a} = \frac{ds}{dv}, s = \int \frac{V}{a} dv$ ，從此公式可以求得在各速度時已經航行之距離， s 曲線係由 V/a 曲線積分得之，其最後之數量亦等於無窮大，因 $V/a, a = 0$ 故 $\int_0^V \frac{V}{a} dv = \infty$ 。

通常 v, s, a 曲線，多以時間爲底線製成，其方法係在 t 之各種價值，分別量得 v, s ，及 a 之數量，第八十三圖爲如此作成之 v, s ，及 a 曲線。

此圖上之加速度曲線，成爲底線之漸近線，速度曲線對於 v 等於 V 之水平線爲漸近線，而距離曲線 s ，則對於 $v = V$ 之平行線爲漸近線， V 爲最後之速度，即十節， y 爲與此時間 t 相當之

垂直坐標。

假定阻力與速度有他種之關係，亦可以用上述方法，求得同樣之各種曲線，如實際上之航行阻力曲線，已經給予，則加速度曲線之各坐標數量，更可以計算得之。

現時阻力之學說，此項學說大半根據於弗勞德 (Froude) 氏父子二人之試驗，故通稱爲弗勞德氏學說，此學說假定船行之阻力，可分爲下列三部分：(一) 表面磨擦阻力 (Surface friction)，(二) 旋渦阻力 (Eddy making resistance)，(三) 波動阻力 (Wave making resistance)，當於以下各節分別論之。

在研究此等阻力以前，當先略述弗氏之試驗經過，一八六九年不列顛協會有一委員會，提議一種阻力試驗，將一定形狀之船隻，用拖行方法，以求得其在各種速度時之阻力，同時再由其自身之機力推進，經過各種同樣之速率，以求得二者間之關係，弗勞德氏亦爲當時委員之一，除贊助上述提議以外，並提議爲節省時間及經濟起見，可用十二英尺長之模型，拖行各種速率，以研究其阻力之變化，此提議送達海軍部以後，部中贊成弗氏提議，遂即從事實行。

用模型試驗以決定船行阻力，係根據於下列之假定，船行之阻力，可以分爲兩項，第一項關於表面者可以 R_s 代表之，第二項關於形體者，可以 R_f 代表之，此兩項阻力均隨速度變化，而第一項又依表面之性質及大小而異，其數量可以適用各種不同性質及尺寸平板試驗之結果決定之。

第二項可以從模型之試驗求得，凡與船體相似之模型，其阻力亦可以分爲關於表面磨擦及關於形狀二者，前者可以從實驗之結果求得，已如上述，如其吾人用一種實驗方法，求得模型之全部阻力，減去關於磨擦部分，所餘者即爲關於形狀之阻力，如船體與模型之形狀，完全相似，此模型即以一定比尺代表船體，故吾人若能確定兩個尺寸不同而形狀相似之船體，其阻力之彼此相互關係，吾人即可以求得船體之第二項阻力，再加入第一項即關於磨擦之阻力，即得船體之全部阻力，弗勞德氏發現一種方法，可以求得兩個相似而尺寸不同之船體，在各種速度時，彼此第二項阻力之相互關係，此種方法，實際上早已發見，不過因未嘗爲人注意，故毫無實在之效用，此方法普通稱爲弗氏比較定律 (Froude's Law of Comparison)，可以簡單陳述如下。

如船身之尺寸爲模型之一倍，而模型在 V_1, V_2, V_3, \dots 等速度時，其關於形狀之阻力，爲

R_1, R_2, R_3, \dots 等，則船身在 $V_1 \sqrt{L}, V_2 \sqrt{L}, V_3 \sqrt{L}$ 等速度時，其關於形狀之阻力，當爲 $R_1 l^3, R_2 l^3, R_3 l^3, \dots$ 等，速度 $V_1 \sqrt{L}, V_2 \sqrt{L}, V_3 \sqrt{L}, \dots$ 等，稱爲 V_1, V_2, V_3, \dots 等之相當速度 (Corresponding Speed)。

因此可見船身之阻力，可以從模型之阻力求得。

第一步吾人須先求得一種平面之磨擦阻力，此平面之表面，須與船體及模型表面之性質，完全相同。

一八七二年弗勞德氏在不列顛協會，提出關於此問題之報告書，確定平面之磨擦阻力，關於速率，長短，及表面性質變化之定律，從此等結果，得以確定模型在各種速度時，所遇見之他種阻力，再由此確立一種定律，從速度，大小之關係，以求得與模型相似船體之第二項阻力，再加入由上述方法求得之磨擦阻力，以得船體之全部阻力。

一八七四年弗勞德氏發表英國兵艦灰犬號 (Greyhound) 拖行試驗之結果，在此報告中證明如能選用適當之磨擦係數，則模型試驗之阻力，與船身之實際阻力完全相同，並同時證明，拖行

時所遇之阻力，僅等於發動機能力百分之四五，其餘百分之五五，完全消耗於他種無用之工作，由
此等試驗確立模型試驗，對於決定船體阻力之價值，同時在全部研究領域中，引起對於一定狀態，
以何種船體形狀為最適宜之問題，於是阻力學說，乃建築於試驗基礎之上，自此以來，造船家對於
此基礎之確實，始終未稍變其信仰，灰犬號之試驗，實際上有二重價值，既證明弗氏計算阻力方法
之正確，並暴露普通所用推進工具，其效率極為低下，故在此兩方面均有改進之可能，即船體之形
狀，與推進之效率是也，弗氏在此兩方面，同時迅速擴張其知識，在一八八〇年去世以前，已用定性
及定量方法，決定船身推進時，阻力以外之能力消耗，而建立最初的，及唯一的，關於推進效率學說
之基礎。

弗氏去世以後，其子弗勞德博士（Dr. R. E. Froude）繼續其未竟之工作，直至最近，故關於
阻力學說之進展，可以完全歸功於彼父子二人，雖他人亦嘗有相同之試驗，但大都用以解決實用
上一定之問題，對於有系統之研究，貢獻極其微細。

（一）磨擦阻力，當物體在水中移動時，其磨擦阻力，係由於物體之表面，與水分子之磨擦而

生，而此磨擦之原因，則由於水之黏着，及物體表面之粗糙性質。在理想之完全液體，絕不能有磨擦阻力，或物體之表面完全平滑時，亦不應當有此種阻力。磨擦阻力之數量，與表面之性質有極大關係，而在同樣性質之表面，則其磨擦阻力，常與表面面積及物體在水中移動之速度為比例，因此磨擦阻力，顯然與波浪及旋渦阻力完全不同，後二者均係隨形狀大小，及移動之速度而變化。凡極薄之平板在水中移動時，其所遇見之阻力，幾於全為磨擦阻力，如平板之兩端，均為尖銳形狀，則波浪及旋渦阻力，為數極微，可以完全略去。當物體在水中移動時，凡與物體表面直接接觸之水分子，均因磨擦作用，連帶向前，發生一種運動之傾向，此運動之一部分，漸次傳佈於接近各層之水分子，凡與表面最近之分子，其運動之方向，並非一定向前，而大部分當為一種旋轉運動，在極粗糙之表面，此表面上當有多數之細小旋渦存在，因此在一定境域以內，水之分子發生擾動，假想有一界線，將此擾動之境域，與不擾動之境域，分而為二，吾人可以得到一種稱為磨擦擾動地帶之界限，確實決定此地帶內各分子之運動，固然為不可能，但從實際上之模型試驗，或薄板拖行之觀測，可以容易決定此隨流之速度，凡物體在水中拖行時，其後方均有一種向前之潮流，此潮流通常稱為磨擦水。

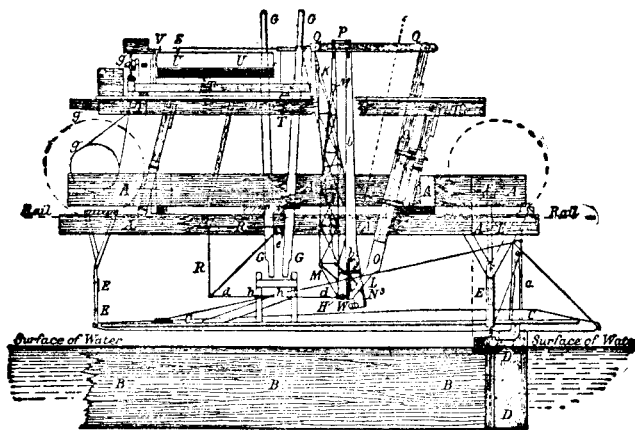
痕 (Frictional wake)，此水痕之速度，通常爲船行速度百分之五，至百分之十五，其效用有使推進器效率增加之傾向。

此等試驗之全部報告，於一八七二及一八七四年，先後在不列顛協會會刊發表，舉行此等試驗之水槽，長二八〇英尺，頂上闊三六英尺，水深九英尺，試驗時係用極薄之平板，直立水中，向前拖行，此平板之下緣，鑲以鉛條，使其在水中常能保持直立之位置，平板在如此拖行時，所遇見之阻力，幾完全由於兩面表面與分子之磨擦而生，拖行及測算阻力之器械，均係弗氏自行設計，因此項設計之主要原理，大概均爲後來所沿用，故殊有詳細說明之價值，裝載全部器械之拖行小車，在一種輕便裝置之鐵軌上行動，此鐵軌高出水面約二十英寸，有鐵索與此小車相連，而同時纏繞於螺線槽痕之圓筭上面，圓筭轉動時，以一定之速度，拖動此小車前進，其速度在每分鐘一百英尺至一千英尺之間，可以隨意變換。

平板B與全部器械之連接，係如此設計，務期將其阻力，減至最小限度，水平拖動力，全部傳達於螺旋彈簧H，一端固定於小車之架上，另一端則與支持平板B之輕便木架CC相連接，彈簧之

延長，與指示桿 K K 位置之變動為比例，由鋼筆 S 自動紀錄，後者常隨指示桿之一端移動，而在包於圓筒 U 之紙張上，畫成阻力指示線，此圓筒係用齒輪與小車之輪軸相接合，故紙面在圓周上之轉動，可以代表前進運動，另一鋼筆 V 用時計機械推動，同時在紙面上記出時間之推移，故每一次試驗，從紙上各線，可以得到所須要之紀錄，以求得平板在此特殊速度時之阻力，第八十三圖，為此種器械之全部形狀。

在每分鐘一百英尺至一千英尺之間，此小車可以任何速度拖動向前，故每一平板或物體在各種速度之阻力曲線，可以容易求得。



弗氏第一次試驗所用平板，厚約 $\frac{1}{16}$ 英寸，長一英尺至五十英尺，闊均十九英寸，裝在拖行器械上面時，其上邊在水線下一·五英寸。

表面磨擦之研究，可以分爲下列三項，(一)決定阻力與速度關係之定律，(二)決定阻力關於表面性質之變化，(三)決定在表面縱長各點上每單位面積所有阻力之差異，如此所得之試驗結果，分別以曲線表示之。

關於表面之性質，第一次試驗，包含下列各種，(一)油漆，(二)蠟面，(三)錫箔，(四)布包，(五)細沙，(六)中等沙，(七)粗沙。全部試驗之結果，均在下表分類詳列。

性質	平面之長由前端至後端 (英尺)											
	2'			8'			20'			50'		
	m	f _m	f _n	m	f _m	f _n	m	f _m	f _n	m	f _m	f _n
油漆	2.00	.41	.300	1.85	.325	.264	1.85	.278	.240	1.85	.250	.226
蠟面	1.95	.38	.370	1.94	.314	.260	1.93	.271	.237	.....	.....	.....

鋼	2.16	.30	2.65	1.99	.278	.263	1.90	.262	.244	1.83	.246	.232
布三包	1.93	.87	.725	1.92	.626	.504	1.89	.531	.447	1.87	.474	.423
蓋	2.00	.81	.690	2.0	.583	.450	2.00	.481	.384	2.06	.405	.337
中	2.00	.90	.730	2.0	.625	.488	2.00	.534	.465	2.00	.488	.456
阻	2.00	1.10	.880	2.0	.731	.520	2.00	.588	.490	.....	.....	.....

表內第一行 m 為阻力與速度乘積比例之指數， l^2 為表面上每平方英尺之平均阻力（磅數）， l 為平板最後部分每平方英尺之阻力（磅數），表內所列各數，其速度均為每分鐘六百英尺，等於每秒鐘十英尺，等於五·九二節。

表內所列指數，均係二或與二相近之數，平板之長增加，此指數有減少之傾向，並且從曲線上可以看出，表內所列速度指數，雖係每分鐘六百英尺時之數，但在試驗所及之範圍以內，無論速度如何變動，此指數始終不變。

全部磨擦阻力，可以下列公式表示之， $R_s = kSv^2$ 此式中之 R_s 為全部磨擦阻力， S 為入水

之表面面積， V 爲物體與靜水之相對速度， m 爲速度之乘積指數， f 爲一係數，此係數隨表面之性質及狀態而異。

m 及 f 之價值，已於表內分別列舉，最重要者，吾人必須選擇一種 m 及 f 之數，可以適用於加漆之船底者，因普通輪船，入水部分，均係加漆也，但船底之狀態，有種種之差異，即在同一船底極污濁時與極清潔時，其速度亦往往有顯然之不同。

在計算磨擦阻力時，通常假定船底係新加油漆而在完全清潔之狀態，故吾人可以選擇一種 m 及 f 之數，適用於一切此類之計算，在較大之船體，假定 m 爲一·八三， f 爲·二五，因須將速度化爲節數，故再以 $\left(\frac{1}{5.92}\right)^{1.83}$ 乘之，即

$$R_f = 255 V^{1.83} \times \left(\frac{1}{5.92}\right)^{1.83} = .0095 V^{1.83} \quad \text{式中 } R_f \text{ 爲磨擦阻力（磅數），} S \text{ 爲入水面積}$$

平方英尺數， V 爲速度（節數）。

抵抗此磨擦阻力所必須之馬力，當等於

$$\frac{R_f \times V \times 101.33}{33000} = \frac{.009 \times 101.33}{33000} \times 5V^{1.83}$$

$$= .00002763 \times S \times V^{1.82} \quad (\text{式中 } 101.33 = \frac{6080}{60} \text{ 爲每節速度之每分鐘之距離})$$

計算 S 之最正確方法，係將各切斷面之周線及水線展開，而求得其所包含之面積，但用下列公式，已可得極近之近似數， $S = 1.71LD + \frac{V}{D}$ L 等於船長英尺，D 等於吃水英尺，V 等於排水容積，立方英尺。

航行之速度爲五·九二節時，其磨擦阻力，可用表內所列之數計算之。

船長	50	100	150	250	200	300	350	400	450	500
f_m 每平方英尺磅數	.265	.242	.235	.232	.229	.228	.227	.226	.225	.225
$f = f_m \times \left(\frac{1}{5.92}\right)^{1.82}$	.00988	.00934	.00907	.00896	.00884	.00880	.00876	.00872	.00869	.00869

下表所列，爲在各速度時 $\left(\frac{V}{5.92}\right)^{1.82}$ 之數。

V	$\left(\frac{V}{5.92}\right)^{1.83}$	V	$\left(\frac{V}{5.92}\right)^{1.83}$	V	$\left(\frac{V}{5.92}\right)^{1.83}$	V	$\left(\frac{V}{5.92}\right)^{1.83}$	V	$\left(\frac{V}{5.92}\right)^{1.83}$
1	.0386	9	2.152	17	6.893	25	13.961	33	23.202
2	.1373	10	2.610	18	7.652	26	14.999	34	24.505
3	.2883	11	3.107	19	8.418	27	16.071	35	25.811
4	.4882	12	3.644	20	9.280	28	17.177	36	27.207
5	.7341	13	4.219	21	10.146	29	18.317	37	28.606
6	1.025	14	4.831	22	11.048	30	19.489	38	30.037
7	1.359	15	5.482	23	11.985	31	20.694	39	31.499
8	1.735	16	6.169	24	12.955	32	21.932	40	32.993

表中各數，可用曲線表示如第八十四圖，故在任何速度時，其價值均可以一覽得之，例如有排水量二二〇噸之船，其尺寸為長三三〇英尺，闊四二英尺，吃水一二英尺則 $S = 1.7LD + \frac{V}{D}$

$$= 1.7 \times 330 \times 12 + \frac{2200 \times 35}{12} = 13150 \text{ 平方英尺。}$$

在二二節之速度時，其磨擦阻力當如下式。

$$R_f = fSV^{1.88} \times \left(\frac{V}{5.92} \right)^{1.88} = .227 \times 11.048 \times 13150 = 33000 \text{ (磅)} \text{ (約數)}$$

(二) 旋渦阻力，此種阻力，係由於形狀之驟然變動而生，在近代船體，其數量極為微細，可以略而不論，通常計算，均將此種阻力，包括於波動阻力之中，關於此點，當俟以後再申論之。

(三) 波動阻力，波浪可分為下列四種 (a) 單波 (Wave of Translation), (b) 擺動波 (Wave of Oscillation, or

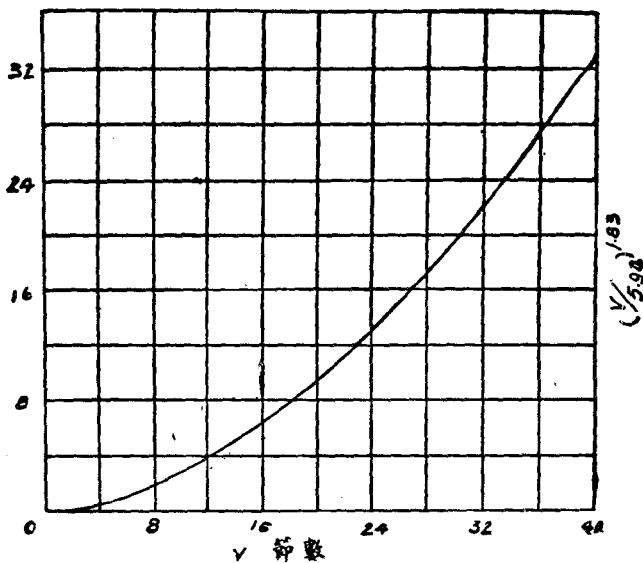


圖 四 十 八 第

Trochoidal Wave) (c) 淺水波 (Shallow water Waves) (d) 漣漪 (Ripples) 其性質當於以下各節依次述之。

單波之構成，其擾動僅限於一定區域，與此外各種，天然成爲一定組合，使其擾動範圍分向各方擴大者，有所不同，假想有一水渠 B K，(第八十五圖) 在其一端 A B，以板 A' B' 隔斷，而以一定容量之水，注入其內，若將隔板 A' B' 驟然取去，則有一部水高出平面之水，自由在平面上向前進行，即成爲一種單波，直至其全部能力，盡消耗於水之黏著力及空氣之阻力，然後停止，此種波浪之速度，等於 $\sqrt{g(d+h)}$ ，d 爲水之深度，h 爲波之高度。

波面之形狀，在較小之波，極與正割之曲線相近，(curve of versed sines) 其底線與半徑 d 之圓弧成正比比例，而垂直坐標，則爲半徑 $h/2$ 圓上之正割，即 $x = d\theta, y = \frac{h}{2} \text{versing} \theta = \frac{h}{2} (1 - \cos\theta)$ ，若 h 極小時，第波長 λ 等於 $2\pi d$ ，在極長之單波 h 與 d 之比例極小，則 ν 之近似數，爲 \sqrt{gd} ，與物

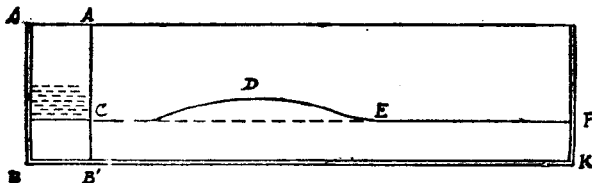


圖 五 十 八 第

體在 ρ 之距離自由落下時，完全相同，因此在 d 英尺深水渠中之長單波，天然之速度，為每秒鐘 \sqrt{gd} 英尺，例如在八尺深之水渠中，其速度當為每秒十六英尺，即十一節上下也，司各德 (Scott Russell) 曾在英國之福遲 (Forth) 及奈克得 (Clyde Canal) 舉行多次試驗，其觀測之結果，認為在航行速度，小於此天然速度時，船後常有一種波系，其速度與航行速度相等，波長則與此速度相當，船之位置，在第一長波之後端如第八十六圖所示。

在理想之完全液體，此船尾波系之長短，當與船行時間之久暫為比例，因水並非理想液體，其黏著力使此波系在船後之一定距離終止，在運河中，因岸邊之波紋上下移動，故此現象極為顯著。

如水之深淺，大於波長之四分三時，此波系之後端，常以船行速度一半之速度，向前進行，因將此船推進之工作，即等於造成此船尾波系



圖 六 十 八 第

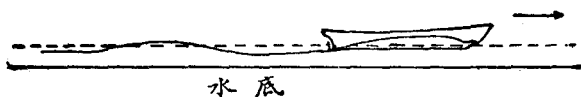


圖 七 十 八 第

所須要之能力，將此能力每分鐘之磅尺數量，以每分鐘航行之距離除之，即得波動阻力之磅數，因為在運河中所能有之最快長波，其速度為 \sqrt{gd} 爲此運河之深度，故如其有船在運河中，以較此更大之速度航行，將不能造成一種規則之波系，因其速度過小，不能追隨船後，故只有一個單純之高波隨船進行，如第八十七圖。

因此，若航行之速度，在此天然速度之上，既不能造成規則之波系，即無須耗能力，換而言之，即波動阻力，等於零數，運河中有一種稱爲捷運船者，即係利用此項原則，船身係以薄鐵板製成，用兩馬引之，最初以較小之速度，在浪後徐行，一見信號，即刻奮力向前，達於波頂，使其阻力減少，以每小時七英里至九英里之速度，繼續前進，在航行速度，等於，或小於此天然速度時，此船尾之波系，陸續延展，故必須有繼續不斷之能力供給，故欲確定波動阻力，必須先求得波系之能力總量，上述原理，在海洋航行，可以同樣適用，但須因環境之關係，略加變通而已。

(b) 擺動波，海洋波浪之確實形狀，因無一定規則，故極不容易決定，但據多數觀測之結果，海洋波紋，與一種擺動曲線，極爲相近，此種波浪，在水力學之原則上，固屬可能，並且亦可以構成規

則之系統，如其假定此種形狀，則壓力變化之計算，極為簡單明確，可以使多數問題，得到滿意之答案。

擺動曲線，係由一點之運動軌跡造成，此點在圓之半徑上，旋轉轉動，同時此圓在另一直線上以等速度滾動，如第八十八圖，此曲線之兩極端限度，為直線及平擺線 (Cycloid)。

此種波浪之可能，可用水力學原則，證明其與液體運動之必要條件，完全符合，造成此種波形，必須假定下列各項。

(一) 原來在靜水中之每一水平面或薄層，在波動時各成爲擺動曲線之形狀。

(二) 波中各水分子，均在垂直平面之圓軌道上以相等速度轉動。

(三) 原來在同一水平面上之各分子，以相等速度，依次加

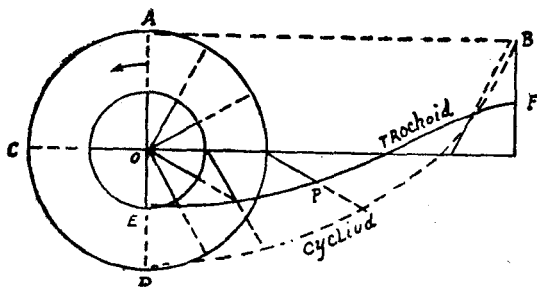


圖 八 十 八 第

入此項運動。

(四) 原來在同一水平面上之各分子，其軌道之半徑，彼此相等。

(五) 原來水平面，在水線下之位置愈深，則此等軌道之半徑愈小。

(六) 在靜水中壓力相同之平面即水平面，在波動時成爲擺線面，其壓力亦相同。

(七) 最上層及下層各擺線面長短完全相等，浪頂及浪谷，均在與軌道平面垂直之直立面上。

設 R 等於滾動圓之半徑 OA ， r_0 等於最上層之軌道半徑 OB ， L 等於波長， h 等於波高，(最高點與最低點中間之距離)， ω 等於轉動之周線速度， V 等於波形前進之速度，則此等數量之間有下列各種關係。

$$L = 2\pi R, \quad h = 2r_0, \quad V = R\omega, \quad R = \frac{g}{\omega^2}, \quad \text{energy} = \frac{bwh^2L}{8} \left(1 - \frac{\pi^2 h^2}{2L^2}\right) \text{ 在 } h/L \text{ 極小之時,}$$

約定於 $\frac{bwh^2L}{8}$ 此式中 b 爲波闊， w 爲每單位容積液體之重量，由此公式可見此種波浪之能力，與

其波長及高度之平方成正比例。

又因 $V = R\omega$, 但 $R = \frac{L}{2\pi}$, 又 $R = g/\omega^2$: $\omega = \sqrt{g/R}$ 故

$$V = R\omega = R \times \sqrt{g/R} = \sqrt{gR} = \sqrt{gL/2\pi} = \sqrt{L} \times \sqrt{\frac{g}{2\pi}}, \text{ 故 } \frac{V}{\sqrt{L}} = \sqrt{\frac{g}{2\pi}}.$$

此波長與速度之比例，係以英尺及每秒英尺為單位，如速度之單位，改用節數，則 $V_1 \times 6080$

$$= V \times 60 \times 60 : V = V_1 \times \frac{6080}{3600}, \text{ 代入上式，則 } V_1/\sqrt{L} = \sqrt{g/2\pi} \times \frac{3600}{6080} = .592 \sqrt{g/2\pi}.$$

又設 r 為軌道中心至水面之距離， r 為其半徑，則 $r = r_0 e^{-\frac{y}{R}}$ 。

此公式確定水面以下各軌道半徑與 r_0 之關係，以上各種公式，均係依照水力學原理推演而得，本書因篇幅所限，對於此等推演方法，姑略之。

(c) 淺水波，在深淺相等之淺水中，各分子之軌道，發生變動，高度減少而兩側與前相同，成爲一種扁圓形狀，與橢圓極其相近，如假定其爲橢圓，則得下列各種關係， $\omega^2 = \frac{b}{a} \cdot \frac{g}{R}$ ，

$$V = \omega R = \sqrt{\frac{b}{a} g R} = \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \frac{g l}{2\pi}}$$

此式中如 b 等於 a ，即成爲擺動波，此速度 V 亦可另用一種公式表示如下。

$$V^2 = \frac{g l}{2\pi} \tan h \frac{2\pi d}{L} = \frac{g l}{2\pi} \times \left(e^{\frac{2\pi d}{L}} - e^{-\frac{2\pi d}{L}} \right) \bigg/ \left(e^{\frac{2\pi d}{L}} + e^{-\frac{2\pi d}{L}} \right)$$

如 d/L 爲數極小時， $\tan h \frac{2\pi d}{L} = \frac{2\pi d}{L}$ ，故 $V^2 = \frac{g l}{2\pi} \times \frac{2\pi d}{L} = g d$ 。

$V = \sqrt{gd}$ ，此式即上節所述單波之公式也，故深水中之波浪，接近海邊時，其軌道首先變爲扁形，成爲淺水波，因水之深度，逐漸益減少，最後遂變爲單波，而將各種浮於水面之物體，推至岸旁，堆積於海灘之上。

(d) 漣漪，上面所述各種波動，其原動力均係由於地心吸力，但在擾動之力量，比較微細時，表面漲力，實爲波動構成之主要原因，如水面之風行速度，或物體在水面拖動之速度，小於每小時半英里時，水面毫不見有擾動之現象，但一至達到此速度，水面即發現一種微細波紋，稱爲漣漪，此

種波紋之構成，幾完全由於液體之表面張力，故擾動之力停止時，波紋亦同時消滅。

海面波浪之發生情形，假想原來完全平靜之海面，忽然有風吹動，其速度逐漸加增，最初風之速度，在每小時半英里以下，平靜之水面，不見有何種擾動，及至風之速度達於此數時，則見水面上滿佈微細波紋，其波長約爲〇·六七英寸，在此時有一種特殊之現象，即風之吹動，如其驟然停止，水面波紋亦同時完全消滅，及風之速度達於每小時二英里時，則有小型波浪，在水面全部平均發生，而原有之漣漪，在波尖上完全消滅，僅在前面及波谷中，尚有留存，及至風之速度漸次增加，所成之波長，亦隨之增加，長波追越短波，並且因其抵抗阻力之能力較大，故其支持之時間，較短波爲久，直至最後，所遺留者，均爲最長之波矣。

在海面上有時有三個或四個獨立之波系，同時並存，其方向彼此不同，每系中之各個波浪，永遠彼此互相平行。

以上各節，就各種波浪之性質，略述大概，今再詳論波動阻力及其計算方法。

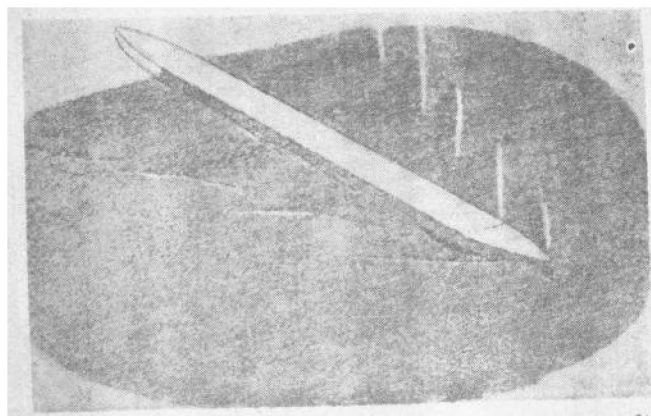
波動阻力，爲船體前後兩方液體壓力相差之淨數，此等壓力，在船體各部分，均與表面成爲垂

直，凡物體浮於平靜之液體中時，其各部分之壓力，均爲靜水壓力，前後兩方壓力之相差，等於零數。若物體在水中移動，則距離水面極遠時，因水流線之關係，其壓力與靜水壓力不同，但其前後兩方之差異，依然等於零數，但物體如在水面或與水面相近之處移動時，因波浪發生之關係，其壓力與靜水壓力更其不同，前後兩方所生壓力之差異，卽爲波動阻力，水面上之波動，何以能使壓力發生變化，因波系之構成，實際上卽係若干水流線之更變位置，故包含一定相當之壓力變化，全部水流線之位置及其壓力，必須完全適合，卽各分子間之動力與其運動量完全相當，但是此等壓力之變化，並非完全有使阻力加增之傾向，卽並非一定加增向後壓力，而減少向前壓力，因大多數之情形，係在某一部分，向後之壓力加增，同時在另一部分，向前之壓力加增，而波動阻力，則等於此二者之差數，但是尙有一必要之條件，卽此向後壓力之淨數，必須等於一定數量，使因將船身推進時，消耗於抵抗此阻力之能力，恰與支持此波系所需要之能力相等。

因此船身航行時，產生兩種主要之波系，一在船首，一在船尾，每系之第一波浪之後，均有隨波，其高度逐漸減少，此外，有時更有次級之波系，例如，因船身中部之壓力減少而生者，在中部較長之

船體，此項壓力，逐漸變化，其差異分散於極長之距離中間，使此種波系，縮至極小，幾於不可辨識，同樣理由，亦適用於船首及船尾之波系，船首及船尾之形狀，與所造成波浪之高低有關，因此常影響於波動阻力。

此等波系之特性，無論在何種情形之下，大致均係相同，（第八十九圖）一部分常為橫波，而另一部分為輻射形狀，其構成之原因，均系由於船首船尾有過量之壓力，凡船在一定之速度航行時，常產生一定形狀之波系，在船面上觀察，此四面環繞之波系，似乎與船身相隨，一同前進，因此，此種橫波兩波頂間之距離，當等於與航行速度相同深水波之波長，而輻射波之波長，則當與其自身之速度，即航行速度在此方向之數量相當。



船首之橫波，與航線成爲直角，在前端一部分，顯然可見，但分向兩旁展開，逐漸減少其高度，如船身中部極長時，此船首之橫波系，在達到船尾以前，完全消滅，而獨留下船尾自身所成之橫波系，其性質與前者相同，但是，若船身並非甚長時，則此二者往往合而爲一，因此有一可以注意之點，即船首波系，並非造成以後，即刻與船體完全相離，故非但造成時需要一定數量之能力，即造成以後，對於阻力尚有發生影響之可能。

觀於第八十九圖，可見輻射波係以若干短波尖構成，各波尖依次後退，成爲一種梯隊形狀，其中線，即最高各點相連之線，與航行方向成爲一定角度，此角度通常頗大，故船首之輻射波系，除第一及第二以外，與船邊相離甚遠，故此種波系，一度造成以後，即與船身隔離，對於阻力，似不至再有何種影響。

主要之輻射波系，係在船首造成，但船尾亦有同樣之波系，不過比較不甚顯著，同一船隻，在各種不同之速度時，此輻射波系之角度，似乎毫無變動，因此，速度增加時，波長與船長之比例加大，在後面之波，逐漸後退，距船愈遠。

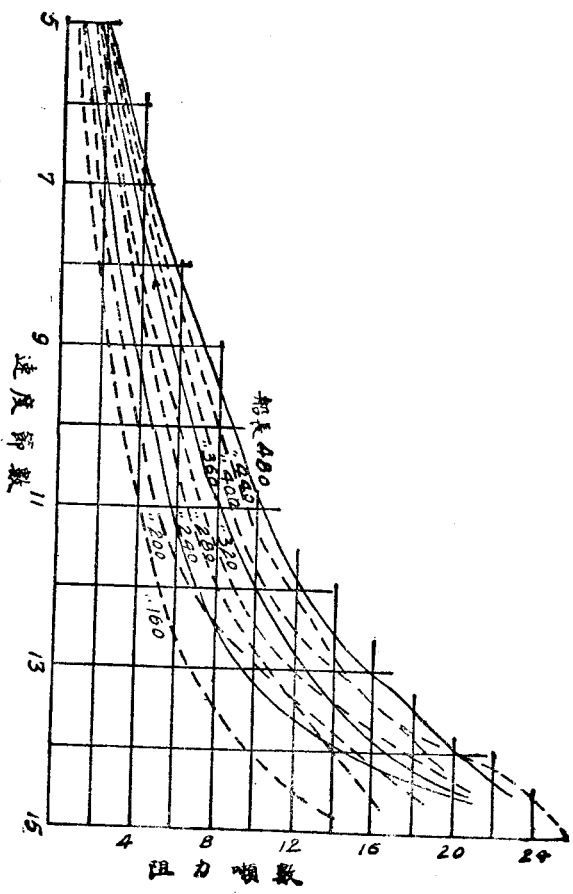
船尾輻射波系，亦有同樣現象，故速度增加時，此系中之第一波尖，逐漸顯露，橫波系亦以同樣之原因，增加長度。

弗勞德氏曾舉行一種試驗，假想有若干船體，其中切斷面及兩端之形狀完全相同，所不同者，僅在於中間平行部分，此部分之切斷面，完全一律，而僅有長短之不同，其最大之尺寸，爲闊三八·四英尺，吃水一四·四英尺，前後部分，各長八〇英尺，中間平行部分，長三四〇英尺，共長五百英尺，最小之尺寸，則長一六〇英尺，即除去中間平行部分，其他尺寸，完全相同，試驗時將此中間部分，從三六〇英尺起，每次減少二〇英尺，而減至六〇英尺以後，每次僅減少十英尺，故對於每一速度，共得二十點，以期作成極精確之阻力曲線。

將如此所得之結果，作成一組之曲線，如第九十圖，此曲線之垂直坐標爲阻力（噸數），而底線則爲速度（節數），與圖中各線相當之船身長短，爲自一六〇英尺，至四八〇英尺，即平行中部之長，自零至三二〇英尺，每線之差，爲四十英尺，其排水量爲一二四五噸至五九三八噸，每線之差，約一四二噸。

第四章 阻力

圖 十 九 第



將此等阻力曲線，細加比較，即見有一極可注意之點，即在速度較低時，每增加四〇英尺，其阻力之增加，大略相等。但在高速度時，此種調和之現象，完全不復存在，例如在一三節時，二〇〇英尺之船，其阻力反較二四〇英尺者爲大，雖後者之排水量，大於前者，有五六八噸之多，又如在一四·五節時，雖此較大之船，阻力較多，但是在一四節時，二八〇英尺之船，其阻力反較二〇〇英尺及二四〇英尺者爲小，雖排水量之相差，達於一一三七及五六八噸，又如在一四·五節時，二〇〇英尺之船，其阻力幾與三六〇英尺者相等，雖然後者之排水量，大於前者爲二二七五噸，其他各船之比較，亦有同樣情形，凡較小之船與較大之船相比較，其阻力有時超過，有時不及，此種變化，在圖上各線間，實爲一種普遍之現象。

形狀阻力之曲線，依照上節所述，船行之阻力，可以分爲三項，第一項爲磨擦阻力，第二爲旋渦阻力，第三爲波動阻力，因後二者僅關係於船體之形狀，故又合稱爲形狀阻力，第一種係與入水面積之多少，成正比例，故中間平行部分加長，面積隨之加多，阻力之增加，當有一定，必不至有特殊之變化，故此種忽大忽小之現象，當係由船首及船尾之距離。對於第二三兩種阻力，即形狀阻力，有一

種意外之影響，欲研究其確實之性質，必須先將此等阻力，分別算出，作成曲線。

第九十一圖，表示此種曲線之形狀，A A 爲底線，其尺寸表示平行部分之長短，在此底線以上之垂直坐標，爲各船之形狀阻力，例如在極右端 B B 線上各點，爲一六〇英尺之船，在各種速度時之阻力，其速度爲六·七五，九·三一，一一·三一，一二·五一，一三·一五，一三·七九，及一四·四三節等等，由此類推。

經過每一速度之各阻力點，作一曲線，此曲線即可以表示在一定速度時，因平行中段長短之不同，而生之第二種阻力之變化，在每一曲線上之中間各點，即約略等於相當平行中段船體之第二種阻力。

同一意義，在底線 A A 下面之各曲線，即代表在各速度時，磨擦阻力之變化，故在一定速度時，船體之全部阻力，可以自上面曲線及下面曲線間之垂直距直距離代表之。

單就第二種阻力而論，其曲線之高低起伏，表現下列各種特性，(一)每一曲線上兩最高點間之距離，似乎始終一致，(二)速度愈高，此距離愈大，其長短顯然似與速度之平方成正比例，(三)

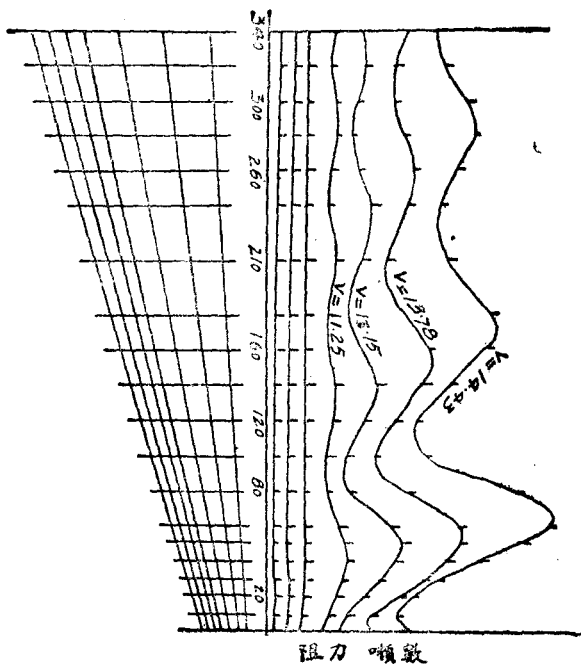


圖 一 十 九 第

最高點與最低點之相差，隨速度爲變化，速度愈高，則其相差愈大，（四）在每一曲線上，此項差數，隨平行中段之加長而減少。

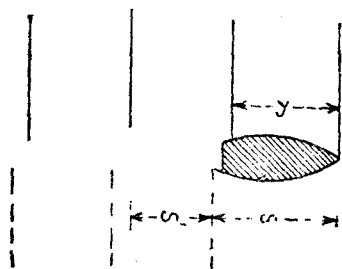
波系之組合，依照理論，凡一定形狀之船首及船尾，應當造成一定之波系，故平行中段及速度之變化，何以能影響於波動阻力，實一亟應研究之問題也，此種起伏之現象，在同一速度時，平行中段愈短，則愈顯著，在同一長短之船身，則速度愈大時，愈益顯著，弗勞德氏認爲此種現象，係由於船首波系與船尾位置之關係而生，如前者之波尖，與船尾相合，當有一種良好之影響，反之如前者之波谷，與船尾相合，則當有一種阻礙之影響，而船尾必須用其自身之能力，而單獨另造一種波系，其結果遂使波動阻力增加。

但其子弗勞德氏（R. E. Froude）證明上述理想，與實驗之結果，不相符合，彼認爲此種現象，係由於波系之互相干涉而生，因船尾波系，顯然必須受船首系餘勢之影響，蓋船首波系構成以後，使水流線上之壓力，發生變化，故影響於船尾波系之構造，此種高低之起伏，表示在某一速度，一部份之能力，重復吸收，而在他速度時則不然，或且與之相反，船首波系及船尾波系之構成，均係由於

水流線之作用，故能力之吸收，亦必由於此水流線上之壓力發生變化，如船首系之能力，一部分已被吸收，則其對於船尾系之影響，必係使後者之造成，發生一種阻礙，換而言之，即船首波系之餘勢與船尾應有之波系，互相干涉，使其阻力發生變化，遂使此等曲線，有上述高低起伏之現象。

就橫波而論，實際上船尾波系，係由兩波系組合而成，一為船首系之餘波，另一則為理想之波系，即假想船首波系，及至船尾時業已完全消滅，而船尾單獨構成之波系也，此理想波系，即天然之船尾波系，並未實在造成，但實際之船尾波系，可以認為上述二者之組合。

干涉之主要效果，為簡單起見，吾人可以假定此船首及船尾波系，均為單波，其波高為 H_1 及 H_2 ，設船首波系達到船尾時，其高為 H_1' ， H_1' 為小於單位之常數，又設 S 為二波系在各獨立構成時，其波尖中間之距離（九十二圖）又設 λ 等於船尾系第一波尖，與船首系最近波尖之距離， λ 等於波長，兩係相同，此兩系



第九十二圖

合組成之波系，即實際上之船尾波系，必須波長相同，而其波高等於 h ， h 之數量如下式。

$$h^2 = K^2 h_1^2 + h_2^2 + 2K h_1 h_2 \cos \frac{2\pi S'}{l} \quad \text{因 } (S+S') \text{ 必須爲 } l \text{ 之倍數，故上式可改爲}$$

$$h^2 = K^2 h_1^2 + h_2^2 + 2K h_1 h_2 \cos \frac{2\pi S'}{l}。$$

設 l 等於船長，而 S 等於 $\frac{1}{2}l$ ，在此式中之 S ，當與單位相近，且因速度之增加，可以略爲增加，如 V 爲每秒英尺之船行速度，則 $l = \frac{2\pi V^2}{g}$ 而 $h^2 = h_1^2 K^2 + h_2^2 + 2K h_1 h_2 \cos \frac{g m l}{V^2}$ 。

波動之能力消耗，已於前節述及，每一英尺闊之波動能力，與其波長及波高之平方成正比比例，故船首波系，在最初之能力，當與 $l h_1^2$ 成正比比例，即等於 $c_1 l h_1^2$ 及至達到船尾時，其能力等於 $c_1 l K^2 h_1^2$ ，故其能力之喪失，當等於 $c_1 l (h_1^2 - K^2 h_1^2)$ 而聯合波系之能力，當等 $c_1 l h^2$ 故每英尺闊波動之能力喪失總量當等於二者之相加，即 $c_1 l (h_1^2 - K^2 h_1^2 + d^2)$ ，以上式中之 h 代入則爲 $c_1 l (h_1^2 - K^2 h_1^2 + h_2^2 + 2K h_1 h_2 \cos \frac{g m l}{V^2}) = c_1 l (h_1^2 + h_2^2 + 2K h_1 h_2 \cos \frac{g m l}{V^2})$

即每一英尺闊之波動阻力，當與 $(h_1^2 + h_2^2 + 2Kh_1h_2 \cos \frac{gmL}{V^2})$ 成正比例。

在一定之船隻，其航行速度逐漸增加時， L 為不變數， m 雖隨速度增加，但因所加甚微，可以假定其常等於一， h_1, h_2 及其係數 K ，亦與速度同時增加，在速度極小時， K 之數略近於零，而在極高之速度，則與一相等，故 $\frac{gmL}{V^2}$ 之數量，逐漸減少，而上式中之 $2Kh_1h_2 \cos \frac{gmL}{V^2}$ 一項，發生高低起伏之現象，此種起伏盤旋於一定中數之間，此中數與 Kh_1h_2 為比例，故隨速度逐漸增大，而其起伏之間隔，則關係於 2π 與 $\frac{gmL}{V^2}$ 之差數，因 m 與 L 均為不變數，故與各最低點或最高點相當之速度，必須如此排列，即其平方，須為調和級數，例如在某一試驗，與最高點相當之速度，約為三四及二一·五節，則其次之最高點，當在於 $\frac{1}{V^2} = \frac{2}{21.5^2} - \frac{1}{34^2} = \frac{1}{284}$ 即 V 等於一六·八節，此數與實際上觀測之結果，恰相符合，又觀於三四及二一·五間之距離，與二一·五及一六·八間之距離，相差甚巨，亦與上節所述之第二項結果，正相符合也。

又如以一定形狀之船首及船尾，且在一定之速度，則 h_1, h_2 及 m ，均為常數，而 K 則隨中段

之延長而減少，故在如此場合，其阻力並非不變，而常盤旋於一定中數之間，此中數與 K 成比例，故亦隨中段之延長而減少，其兩最高點間之距離，則為 $\frac{cmL}{V^2}$ 之相差，等於 2λ 時，故在一定速度而以船長為底線時，其間隔始終相等，而在各不同之速度，則與 V^2 成比例，恰與上述之第一及第二項結果相符合也，例如在一四·四三節速度，依照計算之間隔，為一一·六英尺，而實際上為一一·〇英尺，又如在一三·一五節時，計算之數係九·六英尺，而實際上則為九·二英尺。

最後，凡相似之船體，以相當速度航行時，則 $\frac{V^2}{L}$ 為一常數，可以 C^2 代表之，故每英尺闊之波動阻力，等於 $h_1^2 + h_2^2 + 2Kh_1h_2 \cos \frac{cm}{C^2}$ ，因在相當速度，各波系之形狀完全相同，所差者僅為尺寸之大小， K 與 m 必須相同，故在相當速度時，此種起伏之現象，亦必完全相當。

在各種不同式樣之船隻，例如商船，戰艦，驅逐艦等等，其最高速率之係數 C ，在每一類船隻，大略相同，而在各類之間，則彼此相差甚巨，就中以商船為最小，而以驅逐艦為最大，波動阻力起伏之間隔，在於 $\frac{cmL}{C^2}$ 之價值，加增達於 2λ ，故 C 增加時，此間隔之距離，亦隨之增加，換而言之，在 C 之

數量極小時，略一變動，即可以由最高點移至最低點，在數量較大時則不然，普通商船， C 之價值比較雖小，但因 K_h, h_c 之數量極為微細，無論其在最高點或最低點，均不能十分影響於全部阻力，同時在驅逐艦，雖係數 K_h, h_c 比較巨大，但因 C 之價值亦大，故雖有增加，亦不容易變動曲線上之位置，故其阻力，亦可大約估計，惟在中間之場合，例如巡洋艦及戰艦， K_h, h_c 之數量，比較既巨，而起伏之變化，亦極迅速，故其波動阻力，最不容易以一定之公式表示。

以上各節，業已充分說明波動阻力之特性，吾人可以進而研究各種狀態，對於全部阻力之影響，此問題可分為以下各項，依次論之：（一）形狀相似之船隻，排水量增加對於阻力之影響；（二）排水量相同，而形狀變更之影響；（三）船長及闊不變，而吃水及排水量變動之影響；（四）闊及吃水不變，因中段加長而變動排水量之影響；（五）水之深淺與阻力之關係，此等問題之演繹，所得結果，當然均係比較性質，其最重要者，為最經濟之推進效能，此效能可以在各種速度時每噸排水量之阻力或所須之馬力表示之，故此種數量，包含磨擦阻力及波動阻力兩項，而代表二者聯合之結果也。

凡船體之波動阻力，常隨航行速度及排水量而變化，設 Δ 代表排水量， V 代表速度， R_w 代表波動速度，則其關係可以下列公式表示之 $R_w = a\Delta^m \cdot V^n$ 此式中之 m 及 n 均為一種係數，其價值須以實驗決定之，在較小之船隻，此三者之關係，當然相同，即 $R_w = a\Delta^m V^n$ 故 $\frac{R_w}{L^3}$

$$= \left(\frac{\Delta}{d}\right)^m \left(\frac{V}{v}\right)^n \text{ 依照比較定律, } \frac{V}{v} = \sqrt{\frac{L}{l}} = \sqrt{\frac{\Delta}{d}} \text{ 又 } \frac{R_w}{R_w'} = \frac{\Delta}{d} \text{ 因此如兩船在同樣密度之水中, } \frac{\Delta}{d} = \left(\frac{\Delta}{d}\right)^m \cdot \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{\frac{n}{2}} \text{ 即 } \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{m+\frac{1}{2}n-1} = 1, \text{ 即 } m \times \frac{n}{2} - 1 = 0$$

如船體之阻力，可以用此公式表示，而 m 及 n 之關係，并如上述，則對於 n 之各種價值及其關係可以列表如下。

n	0	1	2	3	4	5	6
m	1	5/6	2/3	1/2	1/3	1/6	0
R_w	$a\Delta$	$a\Delta^5/6V$	$a\Delta^2/3V^2$	$a\Delta^1/2V^3$	$a\Delta^1/3V^4$	$a\Delta^1/6V^5$	aV^6

n 等於零時，波動阻力與排水量成正比例， n 等於六，則此阻力完全不隨排水量而變化，即無

論船之大小，其波動阻力完全相同也。

旋渦阻力，係與速度之平方，及切斷面積成正比，即與 $\Delta^{2/3} V^2$ 成比例，與比較定律相合，故可以包含在波動阻力之中，而磨擦阻力則不然，其變化之方式如下。 $R_s = S V^{1.83} \propto \Delta^{2/3} V^{1.83}$ 故不能以比較定律概括之，並且係數 f 及 n ，在船與在模型，亦各有不同，為明瞭此差數起見，可先假定磨擦阻力，亦可以適用比較定律，再將如此計算之結果，以與實際數目相比較，例如有一船隻，長三四五英尺，排水量 Δ ，九三〇〇噸，沾水面積 S ，三〇一六〇平方英尺，假定此船之模型，係在淡水中拖動，其尺寸為原船十六分之一，即 $l = \frac{L}{16} = 21.5$ 英尺， $S = 117.9$ 英尺²，設船之最高速度，為二三·七節，即每秒四〇英尺，則模型與此相當之速度，為 $\frac{40}{\sqrt{16}}$ 等於每秒十英尺，假定模型之表面為加漆面，則每平方英尺面積之磨擦阻力當等於〇·二七六磅，故其全部磨擦阻力，為

$$.276 \times \frac{30160}{16^2} = 32.4 \text{ 磅。}$$

船在海水中航行時， $f = .0089$ ， $n = 1.83$ 故磨擦阻力 = $30160 \times .0089 \times (23.7)^{1.83}$

＝ 8700 噸，但依照比較定律計算，其結果為 $32.4 \times 16^3 \times \frac{64}{62.5}$

＝ 135800 噸，其超過實際數目，約為百分之五十也。

船身大小與推進經濟效率之關係，設 Δ_1, Δ_2 為兩相似船之排水量， V_1, V_2 為其相當速度，

${}^w R_1, {}^w R_2$ 為在此相當速度之波動阻力，則依照比較定律 $\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)^{1/6}$ ， $\frac{{}^w R_1}{{}^w R_2} = \frac{\Delta_1}{\Delta_2}$ 故在相當

速度 $V_2 = V_1 \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1}\right)^{1/6}$ 時， ${}^w R_2 = {}^w R_1 \frac{\Delta_2}{\Delta_1}$ 如其吾人假定在速度 V_1, V_2 近處，波動阻力之變化，

與 V 之 n 次方為比例，則第一船在 V_2 速度時，其阻力當為 ${}^w R_1 \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1}\right)^{n/6}$ ，故第二船與第一船

之波動阻力比較，當為 $\left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1}\right)^{1-\frac{n}{6}}$ 而其每噸波動阻力之比較，則等於 $\left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1}\right)^{-\frac{n}{6}} = \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)^{n/6}$ 如

第二船較大，而 n 為正號時，則較大之船，每噸之阻力較小，其比例與 n 同時增加，如 $n = 0$ ， $R_w \propto \Delta$ 故不隨速度變化，故 n 等六則 R_w 之變化，完全與排水量無關，而每噸阻力之大小，當與排水量成反比例，在相當速度時，此種阻力，與排水量成正比例，故每噸阻力之數，彼此相同，故單就波動阻

力而論，在一定速度之下，較大之船，每噸之較量較小，磨擦阻力，因不能適用比較定律，故不能包括在內，但如兩船之大小，相差不甚相遠，則用同樣方法計算，所差亦甚微細也。

例如有一驅逐艦，長二二二英尺，排水量三〇〇噸，最高速度爲三〇節，假想有一同型之巡洋艦，長七六五尺，排水量一四〇〇噸，則其尺寸之比例，爲三·六，排水量之比例爲四七，相當速度之比例爲一·九，在此等相當速度下，波動阻力之比例，亦爲四七，驅逐艦之一二節速度，與巡洋艦之二二·八節相當，前者在此速度之下，其總阻力爲一·八噸，故巡洋艦在二二·八節時，依照比較定律計算，略去磨擦阻力之差數，其阻力當爲八四·五噸，即在此速度時，需要之有效馬力，爲一三二五〇，指示馬力，爲二六五〇〇，（假定推進係數爲〇·五），如將磨擦阻之差數，計算在內，大約可減至二五〇〇，即每噸之指示馬力，約爲一·八，又驅逐艦在二二·八節速時，其總阻力約十一噸，故有效馬力，爲一七二五，假定推進效率爲·五七，則指示馬力當爲三〇〇〇，即每噸十馬力，較之巡洋艦，約大五·五倍也。

又如巡洋艦在三〇節速度時，驅逐艦之相當速度，爲一五·八節，後者在此速度下之阻力，爲

三·五噸，故略去磨擦阻力之差數，大船在三〇節速度時，其阻力約爲一六五噸，有效馬力，等於三四〇〇〇，指示馬力，等於六八〇〇〇，若將磨擦阻力之差數，計算在內，約可減至六三〇〇〇，即每噸四·五指示馬力，但驅逐艦在三〇節，其阻力爲一七·五噸，即有效力馬力約三六〇〇，指示馬力約六〇〇〇（假定推進係數爲·六）即每噸爲二〇指示馬力，即較巡洋艦約大四·五倍也，下表所列爲各種巡洋艦之指示馬力數，此等船隻，雖非完全相似，其主要各點，大致相同，表內所列，均係大約數目。

船	長	闊	吃	水	排	量	20 節之 I.H.P.	I.H.P./Δ
1	280	35	13		1800		6000	3.33
2	300	43	16.50		3100		9000	2.65
3	360	60	23.75		7400		11000	1.48
4	450	69	24.50		11000		14000	1.27
5	500	71	26.25		14200		15500	1.09

不論在何種速度，每噸阻力，均隨噸數之增加而減少，但其減少程度，因速度之大小而異，由於速度指數 n 並非常數使然，除魚雷艇及驅逐艦以外，如戰鬪艦及巡洋艦等， n 均隨速度增加，故在較高速度時，其推進之經濟效率，較在低速度為大，下表所列，為第四號及第五號兩艦試車時之結果。

速 度	I.H.P.		I.H.P. 每噸數		No. 5 No. 4
	No. 4	No. 5	No. 4	No. 5	
10	1500	1800	0.136	0.127	0.685
12	2500	3100	0.227	0.128	0.96
14	4000	5000	0.384	0.352	0.97
16	6000	7500	0.545	0.529	0.97
18	9000	11000	0.819	0.775	0.95
20	14000	15500	1.27	1.09	0.86
22	23000	23000	2.09	1.62	0.77

就表中所列，可見在十八節以前，兩船之能力比例，始終爲一常數，小船之設計速度爲二〇·五節，大船則爲二二節。

此種巡洋艦，船殼及設備約占排水量百分之四十，可用之重量，約百分六十，在小者此數爲六千六百噸，大者則爲八千五百噸，其增加約二千噸。

排水量不變而形狀變更之影響，波浪之高度，係由於水流線上壓力變化之遲速，故與船首及船尾之形狀有關，由於弗勞德氏之試驗結果，吾人可以大概推測，形狀及尺寸之變動，對於阻力將有如何影響。

弗勞德氏曾對於四個排水量相同而形狀及尺寸不同之船體，加以試驗，此等船體之主要各點，具載下列第一表，第二表則爲其阻力總數及波動阻力。

今試單就波動阻力，加以研究，A B 二船，排水量及長短均完全相同，但 B 之船面較闊，吃水較深，故其水線較 A 瘦削，而波動阻力，因之始終較 A 爲小，雖然 B 之沾溼面積略大，然其影響甚微，不足注意，故闊度與吃水之增加，若與瘦削之水線同時並用，並但不至增加波動阻力，而反有顯著之

第 一 表

船名	排水量	長				度	闊	吃水	沾水面積	β 立艦係數
		首	中	段	尾					
A	3080	144.0	72	144.0	360	87.2	16.25	18600	.61	
B	,,	179.5	—	179.5	359	45.9	18.03	19130	.47	
C	,,	154.5	—	154.5	309	49.4	19.32	17810	.47	
D	,,	95.0	95	95.0	285	45.6	17.86	16950	.60	

第 二 表

速 度	阻 力 總 數 (噸)				波 動 阻 力			
	A	B	C	D	A	B	C	D
12 節	4.69	4.79	4.67	5.51	1.075	0.76	0.89	1.94
16 ,,	10.7	9.64	9.76	21.25	4.05	2.82	3.45	15.22
20 ,,	33.2	17.32	20.35	—	23.35	7.05	10.8	—

減少傾向。

若再將B C二船加以比較，則見二者均無中段部分，C較B稍闊而且吃水稍深，但較B短五十英尺，故其水線比較豐滿，在一切速度之下，C之波動阻力均大於B，但因C之沾水面積小於B者甚巨，故在十六節以下時，B之全部阻力較C略大，而在十六節時，C之阻力已超過B之數量。

最後將B及D相比較，則見此二船非但排水量相同，並且闊度及吃水實際上亦彼此相同，所不同者，僅D較B短七四英尺，而且有中段部分，故其水線較為豐滿，而其阻力有顯著之增加，但因D之面積小於B者甚巨，故在低速度時，其阻力之相差，尚不至十分顯著。

吃水及排水量變動時對於阻力之影響，弗勞德氏(R. E. Froude)曾舉行一種試驗，所用之船體，為普通商船式，其排水及尺寸，具見下表，所列E F G H四船，除吃水以外，其他尺寸完全相同，而排水量則依次減少。

船 名	排水量噸數	長	闊	吃 水	β	排水量比例	吃水比例
E	5930	400 尺	38' 2"	20' 7"	0.68	1.0	1.0
F	5380	"	" "	19' 1"	0.67	0.608	0.92
G	4480	"	" "	16' 5"	0.65	0.758	0.79
H	4000	"	" "	15' 4"	0.64	0.689	0.73

下表所列為各船每噸之波動阻力（磅數。）

速 度	E	F	G	H
11	1.02	1.12	1.12	1.21
14	2.72	2.78	2.70	2.68
17	7.06	6.74	6.16	6.03
20	18.00	18.20	16.30	15.20
23	30.05	27.80	24.70	23.58

觀於表內數字，可見在十四節以下，凡愈深之船，波動阻力愈小，而在十四節以上，則其關係與此相反，至於磨擦阻力，則因吃水愈淺面積愈小，則此項阻力亦愈小，但其減少之程度，遠不如排水量減少之迅速，因船底面積，占沾水面積之大部分，其數量不因吃水而變動，而排水量則與吃水之深淺為比例也，故吃水愈深，則每噸之磨擦阻力愈小，因此在十六或十七節以下，吃水增加，可以增加推進之經濟效率，而在此速度以上，則不必一定如此。

灰犬號試驗之結果，在十節速度時，空船狀態之阻力總量，較少於滿載狀態，沾水面積，在空船時約減少百分之八，而排水量則減少百分之一九·二五，換而言之，即在十節速度時，滿載之排水量為一一六〇噸，其阻力為一〇四〇〇磅，計每噸八·九六磅，空船之排水量為九三八噸，阻力為九三二五磅，計每噸九·九五磅。

中段之影響，此種影響，已在本章前節詳細說明，在一定速度之下，如中段逐漸加長，同時排水量逐漸加多，則其波動阻力，常盤旋於一種中數之間，而每噸之波動阻力，亦當然有同樣傾向，但中段愈長，則最高數與最低數之間，相差愈小，其中數亦同時減少，至於磨擦阻力，則與排水量同時增

加，故每噸之磅數，始終大約相同。

中段延長對於阻力之影響，已在九十圖用曲線表示，下表所列，即從此曲線上採取之數字也。

船 長 英 尺	排 水 噸 數	阻 力 總 數 (噸數)		每 噸 阻 力 (磅數)		
		速 度	(節 數)	速 度	(節 數)	
160	1245	0.9	3.05	1.61	5.48	17.2
210	2419	1.55	4.60	1.44	4.26	13.67
320	3593	2.20	5.95	1.37	3.71	11.1
400	4767	2.65	7.10	1.24	3.33	8.69
480	5941	3.05	8.30	1.15	3.13	7.66

水之深淺對於阻力之影響，波動阻力，係與能力之消耗為比例，凡船航行時，常有前後兩種波系相隨，此等波系不斷延長，必須消耗一定數量之能力，此項能力，即航行時之波動阻力也，在深水，中此等波系之速度，常等於船行速度之一半，故在船上觀察，彼等似以此項速度，向後退行，但在淺

水或河道中間，水流線之分佈狀態，必與在深水中不同，故各部分之壓力，亦必不同，而所造成之波系，亦必不同，因此當行近淺水或河道時，隨船前進之波系，必須發生變化，而影響於航行之波動阻力。

關於淺水之阻力試驗，爲數甚多，因篇幅所限，不及具述，惟有一極顯著之顯象，最可注意，當船在淺水中行駛，如速度逐漸增加，達於一定程度時，阻力之增加，意外迅速，但超過此速度以後，其增加之速度，重復減退，故阻力曲線，有一部分，成爲隆起之狀，如第九十三圖，與此點相當之速度，與水之深淺，有一定之關係，深度愈小，則此速度亦愈小，其隆起之形狀亦愈顯著，此速度與深淺之關係，可以下列公式表示 $V^2 = gT$ V 爲每秒之航行速度， d 爲水深均英尺數

設 V 爲節數 d 爲英尺數則 $V^2 = 11.3d$ 。

上式中之 V ，實際上即淺水中單波之速度，換而言之，凡航行速度，與所在淺水中之單波速度相近時，波動阻力，驟然增加，但超過此速度以後，其增加之速度，重復減退，此速度通常稱爲極限速度，依照試驗之結果，此速度與單波之速度，有時稍有不同，下表所列爲路塔大佐 (Major Rota)

之模型試驗結果。

水深	英尺	0.98	1.96	3.00	4.10	5.16
極限速度	每秒英尺	5.60	7.80	9.00	10.0	11.0
單波速度	每秒英尺	5.62	7.95	9.85	11.5	12.9

此種現象之原因，可以簡單說明如下，當船駛近海邊或內港時，因水之深度漸少，故原來之擺動波系，漸變為淺水波系，更進而變為單波，因在一定深度之水中，只有一種單波可以存在，其速度等於 \sqrt{gd} ，如航行速度，超過此速度時，即不能有任何波系發生，故波動阻力因以減少。

欲達到此種速度，必須超過極限點，在此點左近，阻力之增加，極為迅速，但一超過此點時，再增加少數速度，阻力反而減少，若再繼續增加速度，阻力亦隨之增加，但其增加之程度，遠不如以前之迅速。

阻力及馬力之估計，依照以上各節所述，波動阻力之定律，為 $R_w \propto \Delta^m V^n$ ，此式中之 m 及 n 並且有左列關係， $E + \frac{D}{6} = 1$ ，又磨擦阻力之定律，為 $R_f \propto \Delta^{2/3} V^{1.88}$ 二者相加得一般之阻力

公式如下 $R = R_w + R_s = a\Delta^m V^n + b \Delta^{2/3} V^{1.83}$ ，此 n 之價值，可以從波動阻力曲線，用對數方法求得，但此曲線上因有高低起伏之狀態，常不能得一始終一致之結果，即 n 之價值，隨處不同，關於全部阻力之變化，可用一種例證說明，例如某一驅逐艦，長二一二英尺，在十一節以下，其阻力約與速度之平方成正比，在十六節時，指數 n 增至三〇，由十八至二十節， n 增至三·三，嗣後此指數又逐漸減少，在二十二節時為二·七至二十五節時，減至二·〇，由此至三十節時，其指數約與摩擦阻力之指數相同。

上述驅逐艦，其第二種阻力（波動阻力與旋渦阻力）之變化如下，至十一節為止而 n 等於二·〇，十二節半至十三節， n 等於三·〇，十四節半左近， n 等於四·〇，在十八節時，此指數大於五，至此以後， n 更逐漸減少，在二十四節時，減至二·〇，在此以上，減至更少之數，故若能用極大力量，將此船推進至二十四節以後，則速度增加與馬力增加之比例，可以較以前大為減少。

摩擦阻力，在一切船隻及各種速度之下，常占重要部分，上述驅逐艦如船底係新加油漆，在十二節時，摩擦阻力，約占全部阻力百分之八十，在十六節時，為百分之七十，二十節時，略小於百分之

五十，三十節時，爲百分之四十五，如磨擦係數增加一倍時，則以最大之馬力及同樣之效率，其航行速度，當減少四節。

又如與上述驅逐艦相似之巡洋艦，長七六五英尺，在十二節速度，磨擦阻力，占全部百分之九十，十六節時，約百分之八十五，二十節時，百分之八十，二十三節時，百分七十，如磨擦係數增加一倍，則在二十三節時，以同樣之馬力及效率，其速度只能有十九節，約減少四節。

依上節所述，欲對於一新船，欲估計其在一定速度時之阻力，及其所需馬力，是否確實可能，實一極可研究之問題也。

在速度最小之船，如商船之類，波動阻力，僅占總數之一小部分，（通常約百分之十至十五）可以假定全部阻力，與 V^2 成比例，同時又與 $\Delta^{2/3}$ 成比例，故其變化，可以 $R \propto \Delta^{2/3} V^2$ 之方式表示之。

在速度較高之船，如郵船及戰鬥艦之類，波動阻力，常占全體之一大部分，此波動阻力與 V^4 成比例，而 n 之價值則在三與六之間，通常價值，可以假定其等於四，則 $R = 1 - \frac{4}{6} = \frac{1}{3}$ ，故此

阻力又與 $\Delta^{1/3}$ 成比例，所以假定 n 等於四者，因水流線經過船體時，其壓力之變化，與速度差數之平方成比例，故波動阻力，當與速度之四次方成比例也，如此計算，當然系將船首波系與船尾波系互將干涉之效果，完全略去，此效果之作用，使波動阻力曲線，發生高低起伏之現象，即使此指數 n ，在各種速度時，價值隨時變動，如再假定磨擦阻力，係與速度之平方成比例，則適用於郵船及戰艦之阻力定律，可以下列公式表示之。

$$R = R_s + R_w = a\Delta^{2/3}V^2 + d\Delta^{1/3}V^4.$$

凡相似船或同一類之船隻，以相當速度航行時，如 L 為船長，則 $\frac{V^2}{L}$ 為不變數，等於 C^2 ，故在速度極小之商船， $R \propto V^2 \Delta^{2/3} \propto C^2 L \Delta^{2/3} \propto C^2 \Delta$ 。

$$\text{在郵船及戰艦， } R = \Delta(aC^2 + bC^4).$$

在巡洋艦之場合，波動阻力之高低之差異極大，而且變化極速，故其阻力，絕不能以一定公式表示，但在速度較此更高之船如驅逐艦之類， C 之價值極大，故阻力曲線上，兩最高點之距離相差亦大，且在此高速度時，波動阻力之增加，重復遲緩，故又可以假定全部阻力，與速度之平方成比例。

而以下列公式表示之。

$$R = a_1 V^2 \Delta^{2/3} = a_1 C^2 \Delta.$$

每噸阻力，係將以上各式中之 R，再用 Δ 除之，下表所列，為哥特呂耳 (Professor Cotterill) 所採用之數字，見於所著之應用力學。

種類	C $L =$ 尺數	$V =$ 節數	波長/船長	由船首至船尾之波數	每噸阻力 (磅數)
商船	1/2—3/4	0.14—0.32	7—3	$a \Delta^{2/3} V^2$ (總數)	$a = .55 - .66$
郵船	3/4—1	0.32—56	3—2	$8C^2(1+C^2)$	
巡洋艦	1—1 1/2	0.56—1.25	2=0.8	無公式	
魚雷艇	1 1/2—2 1/2	1.25—2.5	0.8—0.3	$300C^2$	

設 R 為全部阻力 (噸數) 則在 V (節數) 速度時之有效馬力，當等於 $6.89VR$ 將表由所列各數代入，則得下列各式 (一) 商船 E. H. P. = $\frac{\Delta^{2/3} V^8}{500-600}$ (二) 郵船每噸 E. H. P. =

$$\frac{(C^2 + C^4)V}{45} \quad (III) \quad \text{魚雷艇每噸} \quad E. H. P. = \frac{V C^2}{11}.$$

有效馬力與指示馬力之關係，若船之速度為 V ，其阻力為 R ，則抵抗此阻力之工作，當等於 PV ，在帆船及拖船之類，推進力量，係由船外供給，則其所供給之能力總量，即等於 PV ，但在用明輪，螺旋推進器，或其他推進器之輪船，此種推進力量，並非由外界供給，而係在船內造成，其能力之供給，常超出此數甚巨，但實際上有用之能力，仍不過 PV ，能力之單位，稱為馬力，係每分鐘之供給，等於三三〇〇〇英尺磅數，設 R 之單位為磅數， V 之單位為每分鐘英尺數，則抵抗阻力 R 所需要之馬力，等於 $\frac{RV}{33000}$ ，此數量通常稱為有效馬力，以 $E. H. P.$ 代表之，指示馬力係汽缸內之能力供給數量，等於蒸汽壓力之總數，（磅數）乘每分鐘之距離（英尺）再除三三〇〇〇，通常以 $I. H. P.$ 代表之，此二者之相除 $\frac{E. H. P.}{I. H. P.}$ 即為推進效率，而二者之差，即代表一部分能力之喪失，此等喪失，有可以避免者，有不可以避免者，概括言之，可以分為下列各項。

(一) 內部磨擦阻力，此等阻力，係由於承軸及套圈等之磨擦而生，在發動機開始轉動以前，即須消耗一部分能力。

(二) 荷重磨擦阻力，此種阻力，係由於發動機轉動以後，外面壓之增加而起，例如螺旋推進器之推進力量，常由主軸轉達於船身，此壓力使機械上之磨擦阻力增加，其增加之程度，常與壓力之增加為比例。

(三) 主軸上常有一部分能力，係用於他種目的，而非直接用於轉動推進器者，例如鍋爐進水唧筒，空氣唧筒，水艙唧筒，等等通常多由主軸帶動。

(四) 用螺旋推進器時，因葉子之兩面，轉動時有磨擦阻力發生，須消耗一部分之能力，此項能力之消耗，因並不能增加向前推進力量，故完全為無用。

(五) 附增阻力，凡船被拖行時，環繞船身之水流線運動，在船尾產生向前壓力，與船首之一部分向後壓力，互相平衡，而使前進之阻力減少，在用螺旋推進器時，因葉子之轉動，使船尾壓力，較前減少，故阻力因之增加，此種阻力通常稱為推進器之附增阻力 (Augmental resistance)。

(六) 逆流 (Slip of propeller) 推進器之作用，係將一部分之水，向後推動，藉其反應力量，以抵抗船身前進之阻力，此項向後之推動速度，必須大於航行速度，二者之差，普通稱為 Slip，故船身向前進行時，同時有一部分之水，向後流動，其運動能力，必須由船內供給，在一定程度上，為一種不可避免之損失。

在近代優良之螺旋推進輪船，其各種能力之消耗，略如下表。

- | | |
|------------|-------------------------------------|
| 1. 機械內部磨擦 | • 05 I. H. P. |
| 2. 荷重磨擦 | • 05 I. H. P. |
| 3. 附屬機械 | • 02 I. H. P. |
| 4. 附增阻力 | • 15 E. H. P. |
| 5. 推進器磨擦阻力 | • 15至• 25 E. H. P. |
| 6. 逆流阻力 | • 10 I. H. P. |
| | • 22 I. H. P. • 30至• 40 E. H. P. |

此等消耗之和，即等於指示馬力與有效馬力之差數，其關係可以用公式表示如下。

$$I. H. P. - E. H. P. = 22 I. H. P. + 30 - 40 E. H. P.,$$

$$\therefore .78 I. H. P. = 1.3 - 1.4 E. H. P.$$

$$\therefore \frac{E. H. P.}{I. H. P.} = .6 - .55 \text{ 即推進效率爲百分之六〇至五五也。}$$

下表所列，爲各種輪船之大概推進效率。

雙螺旋器	戰鬪戰及巡洋艦	• 五〇至 • 五五
又	海峽運船	• 五〇至 • 五五
又	雙螺旋器驅逐艦及用汽渦輪之海峽運船	• 四八至 • 五四
又	大西洋快船	• 五〇至 • 五五
又	大西洋中級船	• 五五至 • 六〇
單螺旋器	大西洋普通船	• 六〇至 • 六五
雙螺旋器	貨船	• 五五至 • 六〇

單螺旋器 貨船

• 六〇至• 六五

明輪船之能力喪失，通常較用螺旋推進器者爲大，而且其性質彼此各異，第一項至三項完全相同，第六項亦性質相似，但其數量較大，第四項全不存在，而第五項則可以明輪之激水損失代之。因明輪之機械裝置不同，而且速度較小，故第一項磨擦損失較用螺旋推進器者爲大約百分之八至百分之十。第二項之百分率，大致相同，其分配之情形大略如下：

1. .09 I. H. P.
2. .06 ,,
3. .02 ,,
4.
5. .15 ,,
6. .20 ,,

$$.52 \text{ I. H. P.} = \text{I. H. P.} - \text{E. H. P.} \therefore \text{E. H. P.} = .48 \text{ I. H. P.}$$

