

328445

船舶穩性实用基础

梅 琴 生 編 著

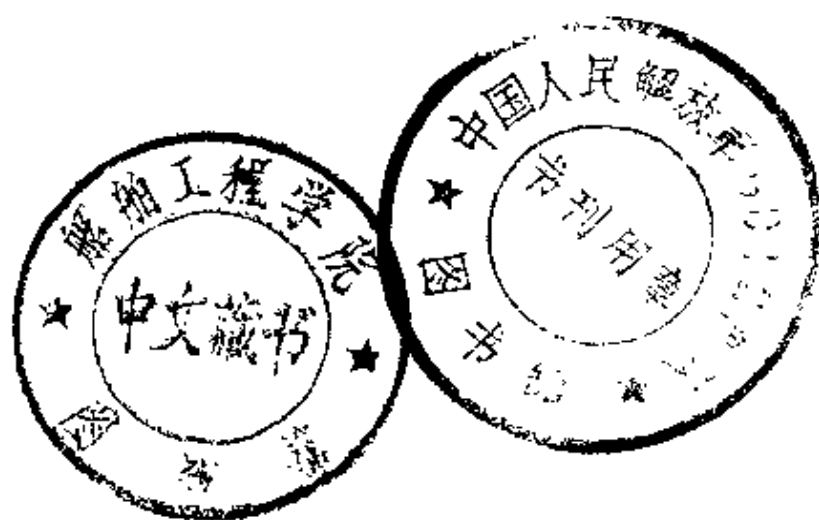
人 民 交 通 出 版 社

328445

40088

船舶穩性实用基础

梅 琴 生 編 著



人 民 交 通 出 版 社

本書系統地講述了各類船舶在各種不同情況下的穩性，分析了影響船舶穩性的因素和使船舶發生傾斜的外力，介紹了穩性計算方法；書中對我國和蘇聯的幾種船舶穩性規範也作了介紹，同時還附有穩性計算實例。

本書讀者對象為各地中小型船廠技術人員，也可供水運學校學生以及有關水運工作人員閱讀。

船舶穩性實用基礎

梅琴生 編著

*

人民交通出版社出版

（北京安定門外和平里）

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人民交通出版社印刷廠印刷

*

1962年12月北京第一版 1962年12月北京第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張：6 $\frac{1}{2}$ 張 插頁5

全書：195,000字 印數：1—1,000冊

統一書號：15044·6242

定價(10)：0.98元

目 录

第一章	緒論	3
第二章	初稳性	4
§ 1	小傾角橫傾的定义	4
§ 2	漂心、浮心、稳心与稳心半径	6
§ 3	船的平衡	7
§ 4	稳心半径与初稳性高的計算	8
§ 5	初稳性的选择	14
§ 6	傾斜試驗	16
第三章	纵稳性	22
§ 7	稳心与縱傾	22
§ 8	縱傾力矩和稳心半径的計算	23
§ 9	縱傾后的新水綫位置計算	27
第四章	大傾角稳性	32
§ 10	靜稳性力矩与力矩臂	33
§ 11	靜稳性曲綫性質	34
§ 12	靜稳性曲綫的形状分析	36
§ 13	靜稳性的計算	38
§ 14	綜合稳性曲綫及其应用	65
§ 15	动稳性	67
§ 16	动稳性的图解与計算	68
第五章	影响稳性的因素	72
§ 17	貨物等移动所引起的影响	73
§ 18	貨物等装卸所引起的影响	75
§ 19	自由液面对稳性的影响	78
§ 20	散貨及活动貨对稳性的影响	79
§ 21	变更重心对稳性的影响	81
§ 22	变更船舶尺度对稳性的影响	84

§ 23	船舶浸水后对稳性的影响	86
第六章	使船横倾的外力	86
§ 24	风力引起的横倾	87
§ 25	波浪引起的横倾	90
§ 26	船舶迴轉引起的横倾	95
§ 27	横向急牵引引起的横倾	100
§ 28	搁浅引起的横倾	104
第七章	各类船舶的稳性	106
§ 29	船舶对于稳性的共同要求	106
§ 30	大船与小船、海船与河船	108
§ 31	拖轮的稳性	112
§ 32	渔轮的稳性	115
§ 33	客货轮的稳性	119
第八章	海损稳性或破舱浸水后的稳性	122
§ 34	海损进水情况	122
§ 35	浮力损失法和装卸重量法	123
§ 36	海损稳性的计算	126
§ 37	影响海损稳性的因素	141
第九章	稳性规范的应用介绍	143
§ 38	稳性规范说明	143
§ 39	我国“海船稳性规范”介绍	143
§ 40	苏联“海洋及泊地船舶稳性定额”介绍	147
§ 41	苏联“内河船舶稳性标准”介绍	148
第十章	附录	153
一、	介绍我国“海船稳性规范”的“计算举例”	153
二、	I级沿海拖渔轮稳性计算举例	156
三、	“O”级内河拖轮稳性计算实例	174
四、	内河“O”类区间客货轮稳性计算实例	190
五、	倾斜试验报告实例	208

第一章 緒 論

船舶在水面正浮位置，受到外力的作用产生傾斜，当外力撤除，即能够使船舶恢复到原来正浮位置的能力称作船舶的稳性。

船舶的任何傾斜，一般地都可分为縱向傾斜与橫向傾斜，因此，船舶的縱向与橫向都具有这种抗拒傾斜的能力，縱向的称縱稳性，橫向的称橫稳性。

促使船舶发生傾斜的外来力矩，如使船舶产生向左舷或右舷一侧的傾斜，我們称作傾側力矩，或称橫傾力矩；如使船舶产生向船首或船尾的傾斜，我們称作吃水差力矩，或称縱傾力矩。假若上述这些力矩之逐漸增加，对船舶傾斜并未引起角速度的变化，則这种傾斜下的抗傾能力称作靜稳性，若在这些力矩之驟然作用下，傾斜伴随着速度的变化，那末在这种傾斜之下的稳性称作動稳性。

研究船舶稳性时，誘导稳性参数的計算公式对于大的傾斜角与小的傾斜角不能一体适用。为了簡化船舶稳性的研究起見，一般将稳性分作二个部分来叙述：1.小傾角稳性，即在傾斜角由 0° 到 15° 或 10° 之間的船舶稳性；2.大傾角稳性，即在傾斜角大于 15° 以上时的船舶稳性。由于橫傾比縱傾大得很多，船舶不乏有遭橫向傾复失事的，而絕少有縱向傾复的，因此从安全观点出发来了解与研究橫向稳性是极为重要的，至于縱向傾斜，絕少有大傾角的，而研究縱向稳性主要是为了求得发生縱傾后的新的船舶水綫。目前一般談論的船舶稳性多半就是指的基于安全观点的橫向稳性，本书亦是如此。

每艘船均有它自身的稳性参数，这些参数到目前为止还是仅依靠船的主要尺度、船型及假設船是漂泊在靜水中而利用靜力学的方法計算得来的。每艘船的抗傾能力即稳性情况，不能單純依仗稳性参数，因为实际上船是在风浪中运动，必須將稳性参数結合外力的作用共同来衡量才能识别出来。为了这个目的，有关航行安全机关就有必要制訂出相应的

稳性标准，以它来作衡准每艘船的安全程度。

但是显然航行中的船舶稳性参数，由于船身水下压力的分布与静水漂泊时不同而相异。据近期的試驗及計算得出，实船在波峯上航行要較静水时的稳性低，又証实航行时船的稳性变化很大。因此船舶的稳性标准，目前还只能根据对过去海损失事与安全航行的船舶的稳性参数加以統計与分析，再結合稳性的理論知識相对地制定出来，作各类船舶在設計、修造时的标准。若要有一个能絕對正确地分析船舶在风力与外力作用下，在不規則波浪中运动时的稳性标准，限于目前的認識水平，这似乎是难以办到的。

由于对每艘船的稳性参数都須結合外力因素来共同考虑才能确切了解是否安全，而促使船舶傾斜的外力又是多方面的，主要是风和浪以及伴随营运条件而来的外力，如拖輪的急牽、客輪旅客的一枝集中、油輪自由液面等等。显然，外力与船舶的营运性能、航行区域、尺度及类别有关。远洋不同于沿海，长江不同于內河，客輪有异于拖輪，漁輪有异于油輪。甚至同为拖輪，在同样航区内大船与小船不同，长航拖輪与港作拖輪也不同。既然不同，稳性要求亦应不同。所以制定稳性标准时，亦必須考虑航区及船舶类别。

船舶稳性不好，会导数重大的生命财产损伤事故。过去由于条件不足，船舶稳性标准都借用苏联的规范，現在我国的海船稳性规范已經同世，內河船舶的稳性规范也正在編制之中。

第二章 初 稳 性

§ 1 小傾角橫傾的定义

当船正浮在靜水面上时，若船旁左右方向的水压力相互抵銷可以不計，則作用在船体上的力是浮力和重力。这时由于船体左右是对称的，浮力綫与縱軸剖綫重合，并与正浮时的水綫垂直，如图 1 所示。

若現有某外力使船體發生緩慢的橫向傾斜，傾斜度微小，傾斜角不超過 10° 或 15° 。由於一般船舶的舷旁綫型，在水綫附近近乎直立，再加傾角微小，則傾斜前後水綫所夾的楔形如圖2所示，其體積也可認為近乎相等。在上述相互相等的基础上，

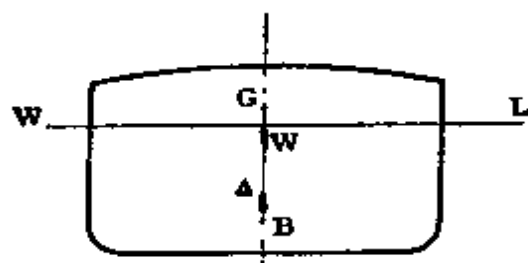


圖 1

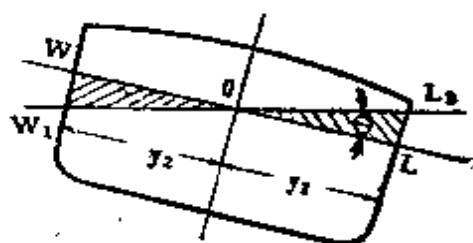


圖 2

$$\text{出水楔形面積 } WW_1O = \frac{1}{2} y_2 \overline{WW_1}$$

$$\text{入水楔形面積 } LL_1O = \frac{1}{2} y_1 \overline{LL_1}$$

在 θ 傾角很微小時， $\overline{LL_1}$ 和 $\overline{WW_1}$ 可視作圓弧處理，因而：

$$\overline{LL_1} = y_1 \theta$$

$$\overline{WW_1} = y_2 \theta$$

設楔形 LL_1O 的面積是 A_1 ，楔形沿船長 l 方向的體積是 V_1 ，楔形 WW_1O 的面積是 A_2 ，沿船長 l 的體積是 V_2 ，於是：

$$A_1 = \frac{1}{2} y_1 y_2 \theta$$

$$A_2 = \frac{1}{2} y_1 y_2 \theta$$

$$V_1 = \int_0^l \frac{1}{2} y_1^2 \theta dx$$

$$V_2 = \int_0^l \frac{1}{2} y_2^2 \theta dx$$

因为已经认为出入水两楔形体积相等，所以得出：

$$\int_0^l \frac{1}{2} y_1^2 \theta dx = \int_0^l \frac{1}{2} y_2^2 \theta dx$$

将上式左右项各消去 $\frac{1}{2} \theta$ ，得：

$$\int_0^l y_1^2 dx = \int_0^l y_2^2 dx$$

不难看出，上式是 $W_1 L_1$ 水线的出入水楔形面积各对船纵中线的力矩，并且力矩相等。由此可得出倾斜前后两水线必然相交于纵中线的结论。

§ 2 漂心、浮心、稳心与稳心半径

船体是左右对称的，正浮水线面积的重心即漂心，当然它位于贯穿面积的纵中线上。船在微倾时，倾斜前后两水线的交点既证明在中线，也就证明水线的交点与倾斜前水线面的漂心重合。漂心既是水线面的重心，其位置随面积形状而定，那末倾斜后的水线面漂心就会偏在中线的一边，相继的另一水线又必通过这偏离中线的漂心。所有漂心的轨迹称漂心曲线。倾斜前后水线的交点必通过前一水线面的漂心，这个规则只有在小倾角时才是正确的。利用这一规则，知道了倾斜前的水线面漂心，就随而能知道倾斜后的水线位置。

如图 3 所示，船体水下部分的重心称浮心 B_0 ，它代表浮力的集中作用点。由于船的横倾使水下体积起了变化， B_0 点随面向倾斜的一舷移动，到移至相当于 θ 横倾角时的浮心 B_θ 点为止。通过 B_θ 的浮力线和倾斜水线垂直，并和正浮时的浮力线或纵中线相交于 M 点。 M 点是船在小角度横倾时，各不同倾角

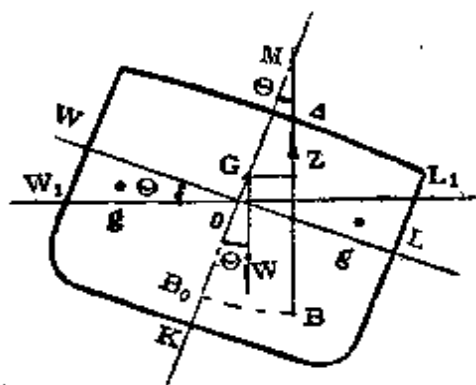


图 3

的浮力綫交点，相当于 M 是圓心， BM 是半径，船以这一半径繞 M 点傾斜，因此 BM 也称穩心半径， M 則称橫穩心或称穩心。当然显而易见， $B_1M = B_0M$ 。 M 点在这小角度橫傾阶段中是不移动位置的。

§ 3 船的平衡

船平衡正浮于靜水面上时，浮力 Δ 与船重 W 相等而方向相反，并相重合于一綫。但当外力作用在船体，使船产生緩慢的小角橫傾如图 3 所示，重力 W 与浮力 Δ 虽尚相等，却已不位在一直綫上，这形成力偶：

$$\begin{aligned}\text{力偶} &= GZ \cdot \Delta \\ &= GM \sin \theta \Delta\end{aligned}$$

船是沿順时針方向傾斜的，这力矩与之方向相反而起抗傾作用，故称抗傾或回復力矩，亦有称傾复力矩的。它与外力的橫傾力矩相平衡于傾角为 θ 的位置，一待外力撤除，它即能使船舶回复到原来正浮的平衡位置。

凡具有这种穩性的船，对它的原始平衡状态而言，是穩定的，所以称为穩定平衡。

另外，当船受到外力橫向微傾至 θ 角，如图 4，傾斜方向是順时針。由于傾斜而产生的力矩也是順时針方向，它俩方向相同，就不仅不起抗傾作用，反而起着助傾作用，加大船舶傾斜以至傾复。

凡具有这种穩性的船，对于它的原始平衡状态而言是不穩定的，所以称不穩定平衡。

还有，当船受到外力而产生緩慢的順时針橫微傾，如图 5 所示。由于

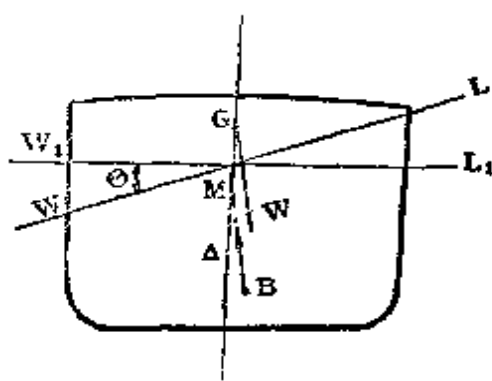


图 4

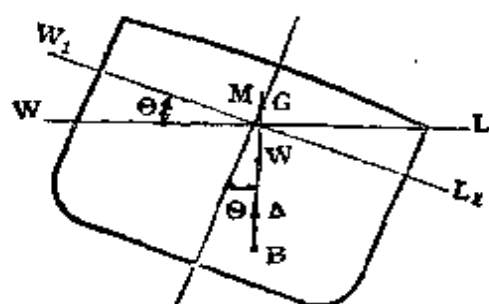


图 5

G 与 M 两点重合一起，力矩变为零，则既不能抗倾也不能助倾，而是起中性作用。当外力撤除后船不会回复原来位置，也不会继续变化，随遇而定。对于这类船的原始平衡称随遇平衡或中性平衡。

船在水面上的原始平衡状态，不外乎上述三种。

船舶的原始平衡状态，所以有上述三种区分，其主要原因在于船横倾后所形成的力矩性质：方向相反起抗倾作用，方向相同起助倾作用，力矩为零起中性作用。在图3中， M 在 G 之上，这使力矩抗止倾复。在图4中， M 在 G 之下，这使力矩帮助倾复。在图5中， M 与 G 重合，致使力矩为零。现若认为 M 在 G 之上， GM 为正值，反之为负值， M 与 G 重合时， GM 为零，那末：

稳定平衡的抗倾力矩 $= GM \sin \theta \Delta$

不稳定平衡的抗倾力矩 $= -GM \sin \theta \Delta$

比照上式可知，在一定排水量与微横倾时，力矩的大小与 GM 成正比。船的稳性如何，主要凭 M 与 G 二点的位置相互上下及二点间距离的大小而定。

在小倾角时，船倾度由零度开始，逐渐横倾至一定值（不超过 10° 或 15° ），因此称此种稳性为初稳性。初稳性已证明是依据 GM 来衡量的，所以 GM 就作为研究和分析船舶初稳性的主要数据。

GM 称初稳性高，也称定倾高。

§ 4 稳心半径与初稳性高的计算

如图3所示，

$$GM = KB + BM - KG$$

式中，

KB 是浮心离船舶基线的垂直高；

KG 是船重心离船基线的垂直高。

要计算 GM ，必先求出 KB 、 KG 及 BM 。

现分别叙述 BM 、 KG 、 KB 等的求法。

1. 求 BM

在图 3 中，出入水的楔形面积和体积根据 § 1 的阐述是相等的。现设 g 分别代表楔形面积的重心。由于微倾时，船旁线型可视为直立，楔形就可视为三角形，面积重心 g 的位置是在中线离顶点 $2/3$ 处。现以 y 代表半宽，即得：

$$og = \frac{2}{3}y$$

根据 § 1 所述，楔形体积 $V = \frac{1}{2} \theta \int_0^l y^2 dx$

$$\begin{aligned} V \cdot gg &= \frac{1}{2} \theta \int_0^l y^2 dx \times 2 \times \frac{2}{3}y \\ &= \frac{2}{3} \theta \int_0^l y^3 dx \end{aligned}$$

再根据楔形水线面积对纵轴线的惯性力矩：

$$i = \frac{1}{3} \int_0^l y^3 dx$$

$$V \cdot gg = \theta[i + i] = \theta I$$

I = 整个水线面对船纵轴线的惯性力矩；根据图 (3)；

$$BB_0 = BM \cdot \theta$$

$$V_0 \cdot BB_0 = V \cdot gg$$

式中 V_0 是船的排水体积，倾斜前后 V 的数量保持不变，所以：

$$\begin{aligned} BM &= \frac{BB_0}{\theta} = \frac{1}{\theta} \cdot \frac{V}{V_0} \cdot gg \\ &= \frac{1}{\theta} \cdot \frac{1}{V_0} \cdot \theta I = \frac{I}{V_0} \end{aligned}$$

• • •

I 和 V_0 可以通过查现成的静水船性曲线图而得。假若要计算, 最好通过表格; 如表 1 及表 2 可用来分别计算水线面积, 惯性力矩 I 和漂心、浮心位置, 以及排水体积。

表 1:

水綫 № _____		水綫間距 S: _____			
水綫号	水綫面積	$\frac{1}{2} S.M.$	$f(V)$ (2) \times (3)	Z	$f(m)$ (4) \times (5)
1	2	3	4	5	6
基 綫	A_0	$\frac{1}{2}$		0	
1	A_1	I		1	
2	A_2	1		2	
3	A_3	2		3	
4	A_4	$\frac{1}{2}$		4	
			$\Sigma f(v)$	$\Sigma f(m)$	
			$V_0 = \frac{1}{2} S \Sigma f(v) =$		
			$KB = \frac{\Sigma f(m)}{\Sigma f(v)} S =$		

BM 在初步设计或资料不齐全时, 可利用下述近似公式估算:

$$1) \quad BM = n \cdot \frac{B^2}{dc_b};$$

式中: B = 型宽或吃水为 d 时的船宽;

c_b = 吃水为 d 时的方型系数;

n = 水线面惯性系数, 与水线面系数 C_w 有关, 在 0.04~0.06 之间; 肥的船型取大数, 瘦的取小数。或 $n = C_w(0.0106 + 0.0727C_w)$, 也可由图 6 查得。

$$2) \quad BM = \frac{(C_w + 0.04)C_w}{12} \cdot \frac{B^2}{dc_b};$$

表 2

水綫№			垂綫間距 h:				
站号	半寬	$\frac{1}{2} S.M.$	$f(A)$	y^3	$f(I)$	Z	$f(m)$
1	2	3	$(2) \times (3) = 4$	5	$(3) \times (5) = 6$	7	$(4) \times (7) = 8$
0	y_0	$\frac{1}{2}$				5	
$\frac{1}{2}$	$y_{\frac{1}{2}}$	1				4 $\frac{1}{2}$	
1	y_1	$\frac{3}{2}$				4	
2	y_2	2				3	
3	y_3	1				2	
4	y_4	2				1	
5	y_5	1				0	$\Sigma f(m_1)$
6	y_6	2				1	
7	y_7	1				2	
8	y_8	2				3	
9	y_9	$\frac{3}{2}$				4	
9 $\frac{1}{2}$	$y_{9\frac{1}{2}}$	1				4 $\frac{1}{2}$	
10	y_{10}	$\frac{1}{2}$				5	

$$A = \frac{2}{3} h \Sigma f(A) = \quad (\text{計算垂綫數} \geq 3 \text{ 的奇數})$$

$$I = \frac{2}{3} h \Sigma f(I) = \quad (\text{計算垂綫數} \geq 3 \text{ 的奇數})$$

$$\text{水綫面漂心距舳艫} f = \frac{\Sigma f(m_1) - \Sigma f(m_2)}{\Sigma f(A)} \cdot h =$$

注: S.M. 为辛氏乘積系数
 $\Sigma f(m_1)$ 和 $\Sigma f(m_2)$ 分別为前后段 $f(m)$ 的和。

$$3) \quad BM = \frac{C_w + C_w^3}{24} \cdot \frac{B^2}{dc_b};$$

$$4) \quad BM = \frac{C_w^3}{K} \cdot \frac{B^2}{dc_b};$$

$K = 11.3 \sim 11.5$, 一般取 11.4。

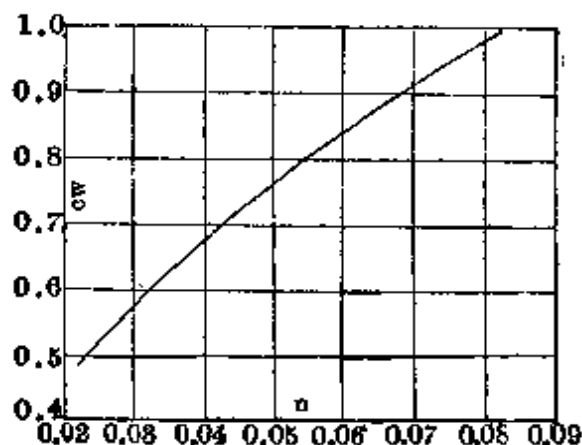


图 6

2. 求 KB

KB 可以查現成的靜水船性曲綫，无該項資料时，最好用表 1 的格式計算。

KB 在初步估算阶段中，可利用下述諸公式：

$$1) \quad KB = d \left(\frac{5}{6} - \frac{1}{3} \cdot \frac{C_b}{C_w} \right)$$

$$2) \quad KB = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_w}{C_b}} \cdot d$$

$$3) \quad KB = \frac{C_w}{C_w + C_b} \cdot d$$

$$4) \quad KB = 0.60 \sim 0.62 d$$

3. 求 KG

KG 随船的构造及載重情形而异。相似之船，在同样載重情形下 KG 与船深 D 应有一定之比值。一般船舶之比值約在下列范围之內：

$$KG = \varphi D$$

若系內河淺水船舶，船型扁寬，建議用下式估算：

$$KG = (D + d)k$$

k ——系数，在 0.65~0.75 之間

表 3

船 型 \ 裝 載	空 載	滿 載
最小干舷貨船	0.62~0.68	0.62~0.65
遮蔽甲板貨船	0.58~0.68	0.60~0.65
客 船	0.65~0.80	0.62~0.76
油 船	0.56~0.80	0.55~0.59
拖 船	0.70~0.85	0.70~0.80
漁 船	0.75~0.83	0.70~0.78

若船舶資料齊整，則最好用表 4 來計算 KG 。

表 4

[illegible]

$$KG = \frac{\sum m}{\sum W}$$

$$\text{縱向 L.C.G.} = \frac{\Sigma m_2 - \Sigma m_1}{\Sigma W} =$$

§ 5 初稳性的选择

GM 与船型有关，也与它本身的结构型式、装载物等的布置情况有关。一般来讲，各类船舶的 GM 均有其常用的范围，现介绍于表 5 以供参考。

表 5

船 别	GM (米)
内河客船	3.00~5.00
远洋快速客船	0.30~1.50
海洋中小型客船	0.60~0.80
大型客货船	0.60~1.20
中型客货船	0.60~0.80
拖 轮	0.50~0.70
大型货船	0.30~1.00
运木船	0.10~0.40
大型油船	1.50~2.50
破冰船	1.00~4.00
中型货船	0.30~1.00
渔 轮	0.50~0.80

GM 之选择，主要依据船舶之种类、用途、工作范围及航线而定，它和船之大小并无直接的关系，这从上面介绍的数据中即能了解。

BM 和 GM 的关系最为密切，而它本身又和水线面的宽度立方成正比。所以船宽度的数据最能影响 GM 。凡是感到初稳性不足，需要增大 GM 的船，通常在改建中都以增加船宽为最有效的措施。

兹将普通商船之横稳性高度 GM 与船宽 B 的比值列于表 6 中。

为了能迅速简易地了解船舶在某一吃水时的初稳性，可以利用稳心图。

图 7 就是常见的稳心图。它的右边是浮心和稳心曲线，左边是水尺以及相应的排水量。各不同吃水时的每厘米下沉所需的载重量也列在图的左边。有的稳心图上还注明各吃水时的船舶重心的位置。曲线上各 M

表 6

	船 别	$\frac{GM}{B}$
1	货 船	0.04~0.05
2	客 船	0.04~0.05
3	内 河 船	0.15~0.20
4	油 船	0.08
5	河 港 拖 輪	0.15

和 B 的数值，是分别代表在各不同吃水时的稳心与浮心高度。每一水线 与 45° 斜线 交点的高度，即代表船的吃水。由该交点 垂直往下量，可得相应水线下的浮心离基 线高度。同样，由该交点垂直往下和稳心 曲线相交于一点，该点即代表这一吃水时 的稳心高。

利用稳心图不仅可以很简便的查知稳 心和浮心的高度，而且可以利用重心位置 来估算出初稳性高。

初稳性 GM 是根据静水中船的平衡位 置而算出的，事实上没有绝对的平 静 水 面，船舶不论停泊或是航行，它所遇到的水面总是起伏不定的。因此， 在波浪中船舶的 GM 可能和静水中所推演出的不同，这点也已由试验证 明了。根据试验证明，船在波浪中航行时，船舶的初稳性是随着航速和 所处波浪的环境而定。航速越高，船身上的水压力分布的差越大，兴波 也越大。船位于波峰时， GM 降低；船位于波谷时， GM 略增。波峰越 高， GM 降低越多，而最危险的是波长和船长接近相等的陡峭波。一般 小船的船长在 20~30 米左右，最易遇到这种波浪。

船位于波峰，若无横倾力矩作用着，纵然 GM 降低，往往尚可无 恙。但若此时适有横倾作用，降低之 GM 可能会使稳性不足。船舶若是

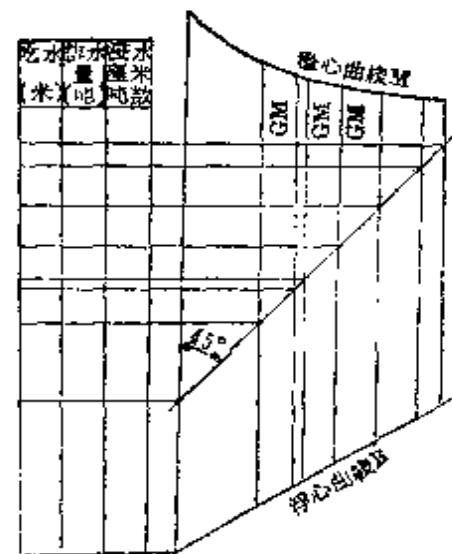


图 7

順浪前進，船速又與波速接近，那末船舶置臨波峯的機會就會增多，因而易遭危險。所以有人建議：穩性應該建立在波峯基礎上才能保證安全。但由於波浪的成因複雜，影響它的因素又多，這是個不規則的自然現象。人類限於對它的認識條件，對各因素還不能確切掌握，目前階段還只能以靜水作為初穩性的計算基礎。

§ 6 傾斜試驗

試驗是為了找船舶的重心位置及了解其穩性情況。

船在設計階段，重心位置是經過計算的，待船舶新建或改建完畢出航作交船試航前，必須查驗重心位置，以便和設計相比照。這是在設計時，船的部件的重量、重心很難算正確。再加上在實際施工過程中，一切設備及所用的材料等又會有一定數量的增減，布置也有一定的修改和調整。上述這些變動就使重心與重量產生變動。用傾斜試驗可以檢驗這種變動。

1. 傾斜試驗的原理

1) 在試航前，將某一重物 W 由船的一舷向另一舷移動一距離 l ，見圖 8。移動使船產生橫向微傾而平衡於 θ 角。由於平衡，此時傾復和回復兩力矩相等，即：

$$M_{kp}(\text{傾復力矩}) = Wl \cos \theta$$

$$M_{on}(\text{回復力矩}) = \Delta GM \sin \theta$$

$$\Delta GM \sin \theta = Wl \cos \theta$$

$$GM = \frac{Wl}{\tan \theta \Delta}$$

由上式得到的 GM 是試航前船舶的初穩性。

比照这时的排水量 Δ ，查靜水船性曲綫得穩心高 KM ，從而就得出这时的重心位置 KG 。

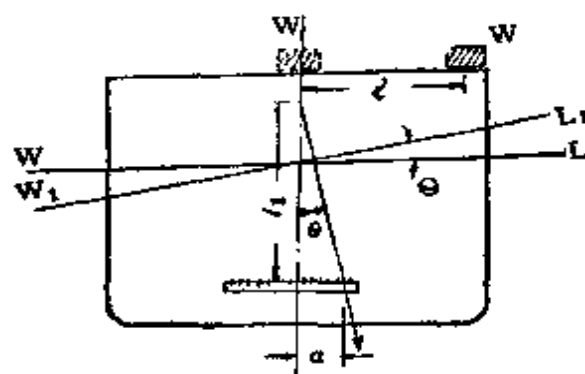


圖 8

2) 將試航與設計兩情況作一比較，比較試航階段較設計情況多出的

和缺少的裝載物重量及其分布位置，得出設計情況時船的重心位置 KG 与排水量 Δ_1 ，根据 Δ_1 查靜水船性曲綫得穩心高 KM_1 ，从而設計情況時的初穩性 G_1M_1 就經試驗求知。

3) 試驗在于求得 W 、 Δ 、 l 和 $\tan \theta$ 的正确数字，只要上述一系列数据正确，得到的 GM 也可正确。因而一切試驗步驟主要在保障試驗結果的正确可靠。

2. 傾斜試驗的步驟

1) 准备阶段。試驗以空船还是以滿載情况进行，当視需要而定。但正常航行时所应配置的各种設備、仪器、各件等均按規定的位置、应有的方式布置。其余无关人員与物件一律下船。

船上不应有滑动或流动的物件。如門窗必須关闭，舵置正中，錨鍊收紧。液体艙应彻底打空或灌滿，尖底艙与船底內积水最多只允許 5 ~ 6 毫米深，燃煤表面要扒得平整。鍋炉內应装水至工作水面。

試驗所选择的天气，应是无风（或风力小于 2 級风标）晴日，在靜水河汊或船塢中进行。船舶側向碼頭。船首針對风向或水流，視何者的影响大而定。系纜繩松弛以便船在試驗过程中能自由傾側。船应泊于不偏 1° 以上的正浮位置。

使船傾斜的压載物，其重量 W 約为全船排水量的 0.5 ~ 1.0%，以使船的傾斜不致超过 6° ，保持試驗結果的正确。压載物取容易計算其重量与重心的物件，如矩形的等大的生鉄块，或方石块等（也有用人做压載物的，重心高取身高的 60%）。压載物通常是分作四堆（每堆压載物之重心与重量均取相等，以利計算），放置在甲板二舷的中間，每舷二堆，如图 9 所示。量出其将来拟移动之位移 l ，并填入記錄。

为了正确地記錄傾角，在船上至少应放置两根摆錘，分別悬置在船的首尾縱中綫处。摆錘綫宜长，但限于位置条件时至少不能短于 1.5 米。摆之錘头最好放在水或油槽內使讀数正确。靠近錘头水平横放一标尺。由标尺平面至摆錘悬点的間距为 l_1 。量 l_1 并填入記錄。



图 9

一切就緒后，將船上多余或缺少的物件的重量，重心亦記入記錄。所謂缺少或多余是指試驗時船的裝載與設計荷載時的比較。然後在船的首尾左右兩舷，分別正確量出其吃水，算其平均水尺并記入記錄。

2)試驗階段。為了使結果正確，在進行試驗前，再將上述諸准备工作檢查一下，看有無遺漏和誤差；然後所有留在船上參加試驗的人員，均須各有固定位置，如觀察員站在擺錘之前等等。試驗的進行，應有一專人作指揮員，其他人員均听其指揮。當指揮員發出“人員就位”和“松纜”的口令，船舶可能有原始傾斜，觀察員在標尺上讀出并記下這第一次的擺動極限值在讀數表中。

接着就按預先擬定的壓載物移動路線（參閱圖10），進行第一次壓載物的搬移。搬移結束時，指揮員發出“人員就位”和“松纜”的口令，於是觀察員記下第二次擺動極限值于讀數表中。如此按預定移動壓載物的計劃，逐項進行并記錄讀數，一直至計劃執行完畢為止。

試驗過程中，船上人員應固定不變，所站位置也應固定不變。其次壓載物都是成倍數的在移動，因而按理說；擺距 α 也應相應地接近于倍數的增或降，否則，船上必有活動物件，必須查清再試驗。

3)整理與計算階段。試驗完畢后，將資料和數據整理和計算成“試驗報告”。這一報告應具的主要內容是：

(1)船只在試驗時所處的情況。

(2)試驗開始時的船舶吃水記錄，包括艏、舯、艉左右各舷的數據。

(3)船舶裝載情況，以及壓載物的重量與分布情況。

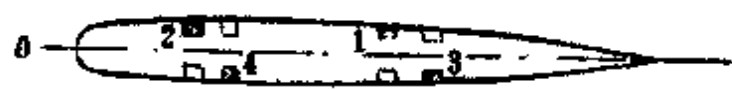
(4)擺錘位置與擺臂的計算長度。

(5)試驗時船上多余和缺少的載重表，內容包括重量與力矩分布，以及公共重心的位置。

(6)壓載物的移動力矩和這一移動力矩引起的傾斜力矩計算表。



(7)各擺錘的讀數表，以及傾斜角度的計算表。讀數表內有每次觀察的讀數和其平均值。計算傾角的表內，是各次傾側的平均讀數，扣除原始平均讀數后的擺距與擺臂的比，以得各傾角。

(8)根據吃水記錄的排水量計算出浮心縱位置。在計算時應考慮龍筋的修正值。



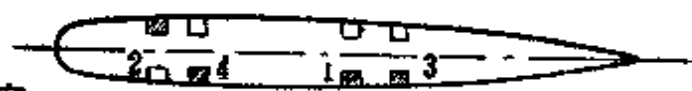
說明

觀察 1

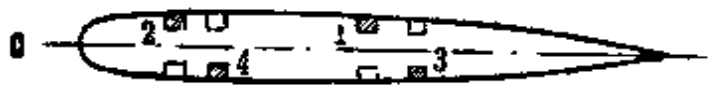
1. 有 "0" 者表示原始位置
2.  表示压載物
3.  表示无压載物的空白位置
4. 在压載物旁的阿拉伯数字表示压載物的编号



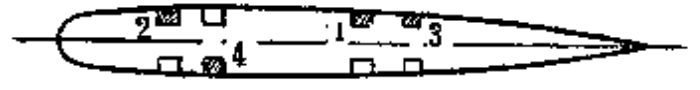
觀察 2



觀察 3



觀察 4



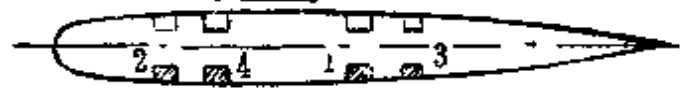
觀察 5



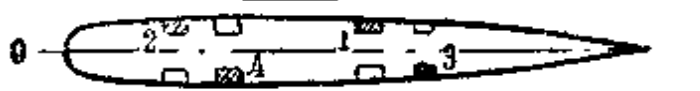
觀察 6



觀察 7



觀察 8



觀察 9

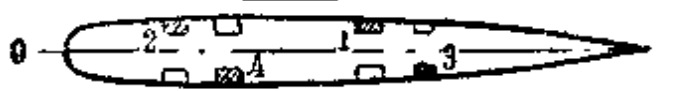


图 10

(9) 船在試驗情况时的初稳性高計算表以及从而計算得的設計荷載时的初稳性高。另应有对試驗中可能发生的誤差，进行系列校驗以保証結果的可靠。

通常，傾斜試驗报告須按設計部門或航行安全部門提出的格式及要求，由船厂或其他相当机构执行后填报。

資料的整理，应按試驗报告的要求进行。

計算时須注意的事項有：

(1) 排水量乃是依据水尺計算。船上所标水尺，通常是由龙筋底緣起算，而采用靜水船性曲綫或郭琴曲綫上的水尺时，該水尺却由龙筋上緣計算，因此要加以修正。

(2) 在傾斜过程中，由于某种原因，可能有个別讀数不正确。在計算中可用如图11的方法进行檢驗。若某傾角 $\tan \theta$ 时的傾側力矩值不位于 OA 直綫上或不接近这根直綫，那末这讀数就是不正确的，須舍弃不用。

(3) 进行試驗时允許存有的誤差如表7，須分別校驗。

表上 ϵ 是 h 即 GM 的誤差。

h 是 GM ， V 是容量排水量， P 是压載物重量， L 是力臂长。

試驗报告的格式与計算实例，可參閱本书附录，这里不再叙述。

进行傾斜試驗时，若現場条件不允許用摆錘測傾角，可以改用連通玻璃管的方法来代替。如图12所示，在甲板上平置一根橡皮管，两头各縛一根等直径的玻璃管。管端开口，高一米左右，分置在左右两舷的同一水平位置，然后量出玻璃管的水平間距为 l 。裝置妥当

后，在管内灌入顏色水至管身的一半高。船若正浮，顏色水的平面应相互平齐，若有初傾度，可以預量出两管間水平面的原始差 a_0 来，船傾側后，量出管間水平面高底差 a_1 ，于是与摆錘的測法相仿，同样可得傾角值。

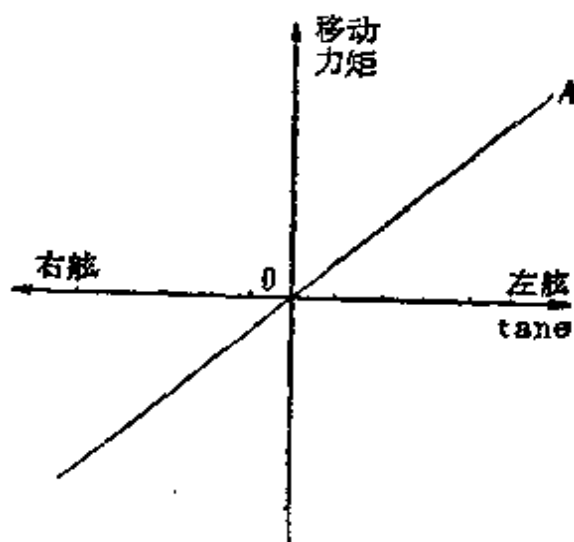


图 11

表 7

序 号	名 称	符 号	誤差允許比例%	
			海 船	內河船
1	讀數誤差	s/h	3.5	3.5
2	穩心分式誤差	$\Delta h/h$	1.0	1.0
3	排水量確定之誤差	$\Delta V/V$	1.0~2.0	1.0
4	壓載重量確定之誤差	$\Delta P/P$	1.0	1.0
5	移動力臂確定之誤差	$\Delta L/L$	0.5	0.5
6	總 共 誤 差	$\delta h/h$	7~8	7.0

$$\tan \theta = \frac{a_1 - a_0}{l}$$

船的抗傾力矩 $M_{on} = \Delta GM \sin \theta$ ，若將根據傾斜試驗求得的 GM 值代入上式，即能知道在小傾角時的抗傾力矩 M_{on} 。

$$M_{on} = \Delta \sin \theta \frac{Wl}{\tan \varphi \Delta}$$

上式中 Δ 是排水量， W 是壓載物重， l 是 W 的位移， φ 是船受 Wl 移動力矩作用時的傾角。

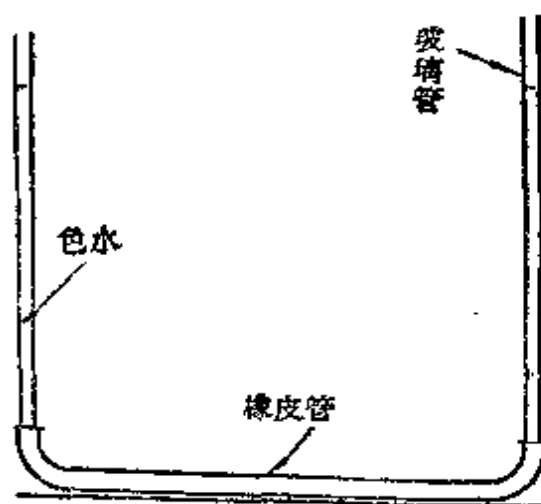


图 12

設移动力矩 $Ml = M_{kp}$ ，則

$$M_{on} = M_{kp} \frac{\sin \theta}{\tan \varphi}$$

因为 $\sin \theta \propto \theta$ ， $\tan \varphi \propto \varphi$ ；

所以
$$\frac{\sin \theta}{\tan \varphi} = K \frac{\theta}{\varphi}$$

則
$$M_{on} = M_{kp} K \frac{\theta}{\varphi}$$

系数 K 随船型及船工作性質而定，相似船舶以及同类型船舶，其 K 值的变化范围很接近。

第三章 縱 稳 性

在本章內所提到的諸稳性参数名詞和符号，本应冠以縱字以別于横稳性。現为简化計免冠，但注意均是指縱向的。

§ 7 稳 心 与 縱 傾

船舶浮在艏艉与龙骨平行的水綫上，称为平浮状态。反之，假使前后傾斜有吃水差，称为縱向傾斜，或简称縱傾。艏吃水深的叫艏縱傾，艉吃水深的叫艉縱傾。

当船舶受到外力作用时产生縱傾，如图13所示，縱傾角是 θ ， WL 是平浮水綫， W_1L_1 是縱傾水綫。这两水綫之交点是 F ，根据第二章 § 2 的敘述， F 点是平浮水綫面的漂心。船重心 G 移至 G_1 ，浮心 B 移至 B_1 。縱傾前后两浮力綫自 B 和 B_1 出发，各分別与所属水綫垂直；平浮时浮力綫 BG 和傾斜的浮力綫 B_1G_1 相交于 M 点，这 M 点就是縱稳心。

由于縱傾的发生都在小傾角范围以內，可以根据第二章計算横稳心半径的原理，相仿地导出縱稳心半径 BM 来，

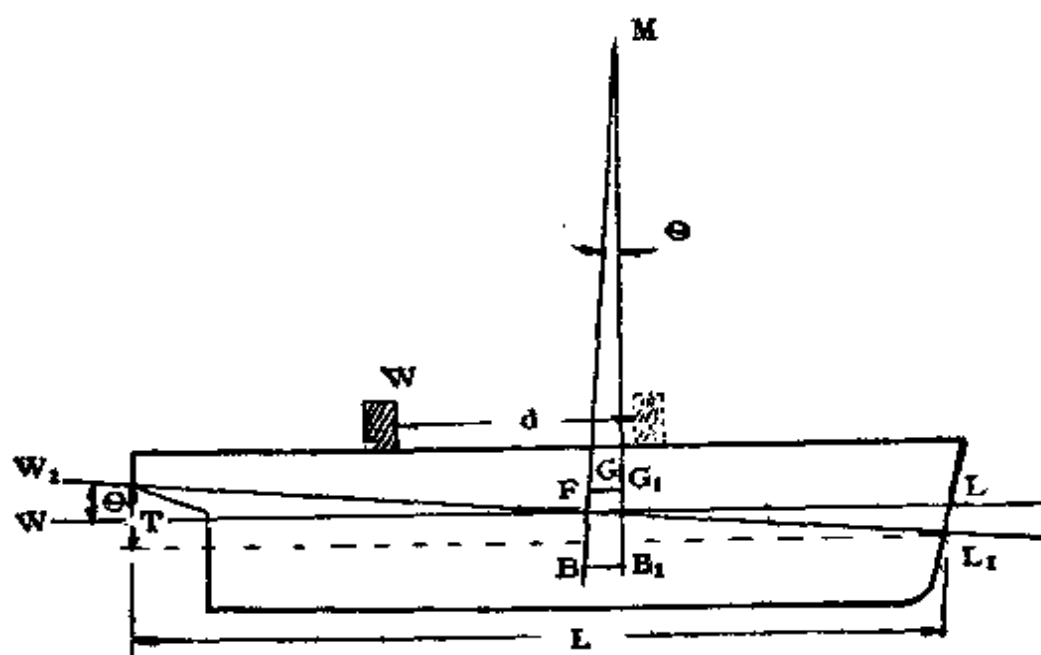


图 13

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

式中： V = 船的排水体积；

I = 縱傾前的水綫剖面对通过其漂心下的横軸綫的慣性力矩。

§ 8 縱傾力矩和穩心半径的計算

慣性力矩 $I = I_{\text{面}} - Af^2$

式中： $I_{\text{面}}$ = 平浮水綫剖面对于經艏站号横軸綫的慣性力矩；

A = 平浮水綫的剖面积；

f = 漂心 F 点至艏站号綫的水平距；

I 最好用表 8 来計算，或查現存的靜水船性曲綫图。

通常穩心半径也可和横穩心半径一样，采用如下近似公式作初步估算：

$$BM = \frac{n_1 L^2}{c_b d} \quad (\text{米})$$

站号间隔 $h =$

表 8

站号	半 宽	$\frac{1}{2} \times S.M.$	$f(A)$ (2) \times (3)	Z	$f(M)$ (4) \times (5)	$f(I_x)$ (5) \times (6)
1	2	3	4	5	6	7
0	y_0	$\frac{1}{2}$		5		
$\frac{1}{2}$	$y_{\frac{1}{2}}$	1		$4 \frac{1}{2}$		
1	y_1	$\frac{3}{2}$		4		
2	y_2	2		3		
3	y_3	1		2		
4	y_4	2		1		
5	y_5	1		0	$\Sigma f(M_1)$	
6	y_6	2		1		
7	y_7	1		2		
8	y_8	2		3		
9	y_9	$\frac{3}{2}$		4		
$9 \frac{1}{2}$	$y_{9 \frac{1}{2}}$	1		$4 \frac{1}{2}$		
10	y_{10}	$\frac{1}{2}$		5		
总 和			$\Sigma f(A)$		$\Sigma f(M_2)$	$\Sigma f(I_x)$

計

$$\text{面 積 } A = \frac{h}{3} \times 2 \times 2 \times \Sigma f(A) =$$

$$\text{慣性力矩 } I_x = 2 \times \frac{h}{3} \times h \times 2 \times h^2 \times \Sigma f(I_x) =$$

算

$$\text{漂心位置 } f = \frac{\Sigma f(M_2) - \Sigma f(M_1)}{\Sigma f(A)} \times h =$$

$$\text{慣性力矩 } I = I_{\text{面}} - A f^2 =$$

L —— d 吃水时船的水綫长, (米);

e_b —— d 吃水时的方形系数;

n_1 ——水綫面縱慣性系数, 见图14;

或 $n_1 = C_w(0.091 C_w - 0.013)$

C_w ——水綫面系数。

亦有用下式作近似估算的:

$$BM = 0.0735 \times \frac{A^2 L}{BV} \quad (\text{米})$$

B ——型寬，（米）；

V ——排水体积，（米³）；

A ——水綫面积，（米²）；

L ——船舶水綫長，（米）。

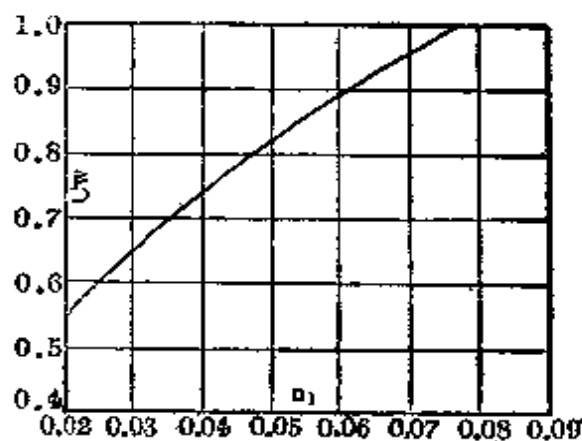


图 14

現參閱圖13，船既縱傾至 θ 角達到平衡，若縱傾是由于重物 W 移動了 d 距離所造成，那末必然是：

$$GG_1 = \frac{W \cdot d}{\Delta}, \quad \text{其中 } \Delta \text{ 為排水量}$$

$$\tan \theta = \frac{GG_1}{GM}$$

$$= \frac{W \cdot d}{\Delta \cdot GM}$$

現若以 t 代表吃水差， $\tan \theta = \frac{t}{L}$ ， L 為船長，于是

$$\frac{t}{L} = \frac{W \cdot d}{\Delta \cdot GM}$$

所以縱傾力矩：

$$W \cdot d = \frac{\Delta \cdot GM \cdot t}{L}$$

現在假使把 t 規定為某一單位吃水差，就可相應地得到單位縱傾力矩。又因 t 值的大小隨水綫面積的大小而變，因而每一水綫都有它固定的單位縱傾力矩。若 Δ 的單位為噸， GM 為米、 L 為米、 t 為厘米或 $\frac{1}{100}$ 米，則每厘米吃水差所需的力矩 m_c 為：

m_c (厘米縱傾力矩) = $\frac{\Delta \cdot GM}{100L}$ (噸·米)；同樣，每吋吃水差所需的力矩 m_i 為：

m_i (吋縱傾力矩) = $\frac{\Delta \cdot GM}{12L}$ (噸·呎)；單位縱傾力矩一般都可在靜水船性曲綫上查得。

若發生縱傾的力矩 M_{KP} 已知，單位吃水差可利用下式很快算出：

$$t = \frac{M_{KP}}{m_c} \text{ (厘米)}$$

GM 是縱定傾高，由它來決定縱穩性。船舶的縱穩心都高出重心很多，因而回復力矩是有很大的正值，無虞傾復。在實用上，縱穩性主要用來決定由縱傾所引起的吃水差，或從而求得船舶的新水綫位置。

GM 的計算方法與橫的 GM 相仿：

$$GM = KB + BM - KG$$

上式中的 BM 是縱穩心半徑，只要 BM 已知， KB 和 KG 以及 GM 就不難求出。由事實上可知， $(KB - KG)$ 與 BM 值相比很小，可略而不計，因而若不知 G 的高度時，可以 BM 值來代替 GM 不會產生大的誤差。所以 GM 的近似公式為：

$$GM = BM = \frac{n_1 L^2}{c_b d}$$

隨而得出 m_c 的近似公式：

$$m_c = \frac{\Delta \cdot GM}{100L} = \frac{\gamma V n_1 L^2}{c_b d \cdot 100L}$$

$$= \frac{\gamma \delta n_1 L}{100}$$

式中的 γ 是水的比重，海水取 1.025，淡水取 1.00。

若为内河船舶，則：

$$m_c = 0.01 n_1 BL$$

$$m_i = 3 n_1 BL$$

§ 9 縱傾后的新水綫位置計算

通常发生船舶縱傾的原因有：貨物装卸不勻、擱淺、破艙进水、拖曳及由江河进出海洋等等。但無論是何种原因，縱傾都是由于船体上的浮力在数量上和分布上发生了变化所造成的。有时不仅艏艉吃水有差額，平均吃水也会受到浮力增减而有上下。所以新水綫的确定，可分作二步进行：先算平均吃水的增减，再算艏艉吃水差。

在发生縱傾前的船舶状况，不外乎平浮与不平浮两种。原始位置有傾斜的船舶，已含有縱傾力矩，計算时較為繁复，現分述于后。

1. 船舶原來是平浮的

过去已講过，船舶发生縱傾是由于重心和浮心不在一垂直綫上，由此形成的力矩臂使船繞經漂心的橫軸旋轉而造成的。力臂作用在艏部之前則造成艏縱傾，反之為艉縱傾。計算时須分作如下的步驟：

1) 假設外力所造成的浮力影响，仅引起排水量的增或减，不会造成重心的位移，那末，船只有平行上升或下沉，新水綫可由船性靜水曲綫查得。

2) 考虑浮力变化所造成的重心有移动，用这重心位移 d 和經变化后的浮力 Δ 相乘得縱傾力矩。

3) 在靜水船性曲綫上，查出新的平浮水綫时的 m_c 值，算出其吃水差 t ，并利用船性曲綫图查出漂心位置。縱傾水綫既然必定会通过漂心，那就能繪出該水綫的位置。

为便于說明起見，可參閱图15，設浮力变化是因重物 P 作用在离艏

处所致。船舶原排水量为 Δ ，浮心 B 或重心 G 距舳部距离为 GF 。暂先不考虑纵倾，用 $\Delta + W$ 来查静水船性曲线得平浮吃水 d 及浮心至舳线距 B_1F 。

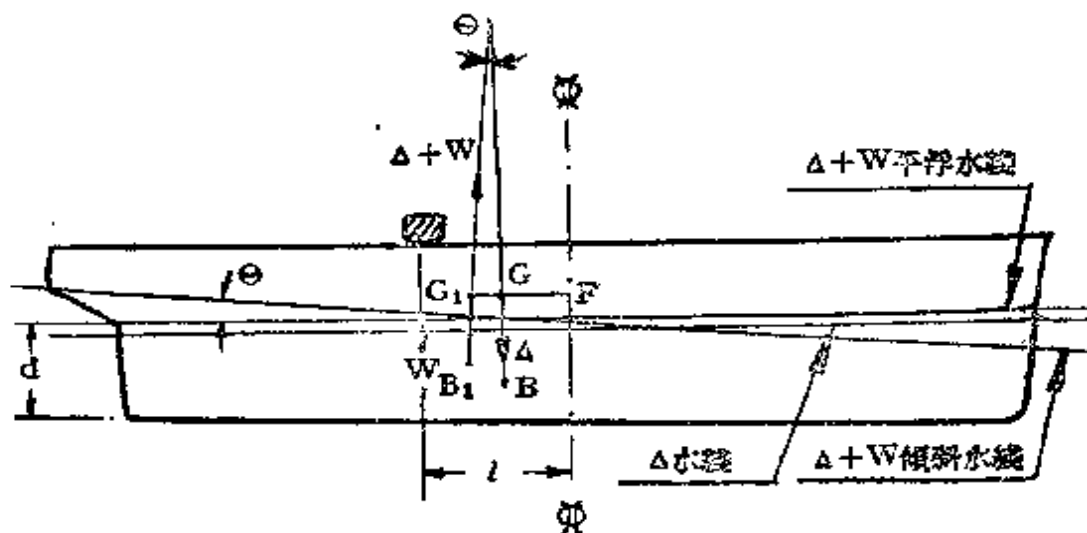


图 15

现若考虑因 W 作用而使船重心移至 G_1 ，则 G_1 到舳部距离 G_1F 必然是：

$$Wl + \Delta \cdot GF = (W + \Delta)G_1F$$

$$G_1F = \frac{Wl + \Delta \cdot GF}{\Delta + W}$$

船重心位移 $= G_1F - B_1F = B_1G_1$

$$B_1G_1 = \frac{Wl + \Delta \cdot GF}{\Delta + W} - \frac{B_1F(\Delta + W)}{\Delta + W}$$

所以

$$B_1G_1 = \frac{W(l - B_1F) + \Delta(GF - B_1F)}{\Delta + W}$$

若 W 较小，水线剖面变化不大，则 G 点可以视作与 B_1 在同一垂直线的纵位置上。因而 $GF = B_1F$ 。又假设 B_1F 较小，因而 $W \cdot B_1F$ 可略而不计。于是可取：

$$B_1G_1 = \frac{Wl}{\Delta + W}$$

又算出：

$$\begin{aligned}\text{縱傾力矩} &= \text{位移} \times \text{总浮力} \\ &= B_1G_1 (\Delta + W)\end{aligned}$$

又查 $(\Delta + W)$ 时的靜水船性曲綫得 m_G 和 f ，从而就算出：

$$\text{吃水差 } z = \frac{B_1G_1 (\Delta + W)}{m_G}$$

設 y = 漂心至艏柱距离，則漂心至艉柱距离是 $(L - y)$ 。艏艉吃水就分別可用下式算出：

$$\text{艏吃水 } d_f = d \pm \frac{y}{L} \cdot z;$$

$$\text{艉吃水 } d_a = d \pm \left(1 - \frac{y}{L} \right) z$$

$$\text{又設漂心至船舦距离为 } X_f, \text{ 則 } y = \frac{L}{2} \pm X_f$$

$$\text{則 艏吃水 } d_f = d \pm \left(\frac{1}{2} \mp \frac{X_f}{L} \right) z$$

$$\text{艉吃水 } d_a = d \mp \left(\frac{1}{2} \pm \frac{X_f}{L} \right) z$$

上式中的符号 \pm 按下述原則決定：

若为艏縱傾 X_f 在舦前，艏吃水取 $+$ ，艉吃水取 $-$ ；

若为艉縱傾 X_f 在舦后，艉吃水取 $+$ ，艏吃水取 $-$ 。

2. 船舶原始位置已有縱傾的

1) 先找出原始縱傾位置时的船重心 G 点， G 位置可以至舦的距离 GF 为代表。由于不平浮的 G 点难找，只有采用找同等排水量的正浮时的浮心縱位置 BF 的方法，然后利用已有縱傾吃水差值及同等排水量正浮时的单位縱傾力矩来算出重心位移 BG ，于是得 $GF = BG + BF$ 。

2)以后可以仿照原始位置是平浮的进行计算。

具体计算可以图16来说明。仍用重物 W 作用在距舭 l 处,使已有縱傾 ϵ 的排水量为 Δ 的船产生新縱傾。利用靜水船性曲綫查 Δ 正浮时的 m_0 和 BF 。潛在的縱傾力矩 $=m_0\epsilon$; 船重心位移 $GG_1=\frac{m_0\epsilon}{\Delta}=BG_1$,

$\therefore G_1F=BG_1+BF$, 这样就可迎刃而解。

再以排水量为 $(\Delta+W)$ 查船性曲綫得 m_{01} 及 B_1F 。由于 W 是作用在 l 处,新的船重心到舭的距离为:

$$G_1F = \frac{\Delta \cdot GF + Wl}{\Delta + W}$$

重心位移 $B_1G_1 = G_1F - B_1F$

$$= \frac{\Delta \cdot GF + Wl - B_1F \cdot \Delta - W \cdot B_1F}{\Delta + W}$$

$$= \frac{\Delta(GF - B_1F) + W(l - B_1F)}{\Delta + W}$$

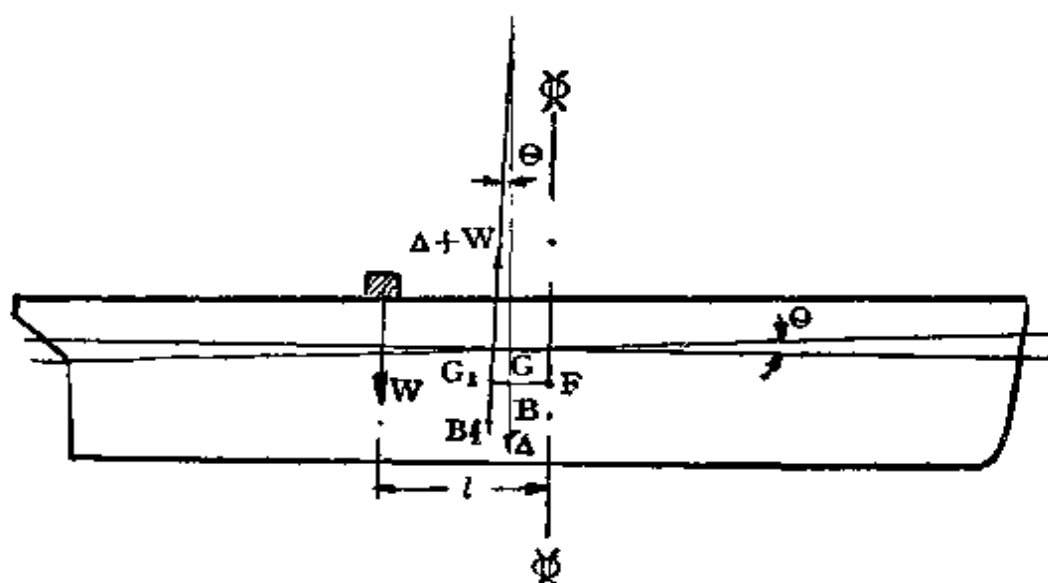


图 16

若 W 較小, B_1F 也較小, 則和原始船舶位置为正浮时一样。此时的重心位移可取 $=\frac{Wl}{\Delta+W}$; 縱傾力矩 $=B_1G_1(\Delta+W)$; 吃水差

$$\epsilon = \frac{B_1 G_1 (\Delta + W)}{m_{c_1}}。$$

再从 $(\Delta + W)$ 的正浮水綫面漂心位置查出后，量得漂心至艏柱水平距为 y ，至艉柱为 $L - y$ ，于是：

$$\text{艏吃水 } d_f = d \pm \frac{y}{L} \cdot \epsilon$$

$$\text{艉吃水 } d_a = d \pm \left(1 - \frac{y}{L} \cdot \epsilon \right)$$

式中符号 \pm 的意义和 1 中相同。 d 是 $(\Delta + W)$ 在正浮时的吃水，由静水船性图上查到。

有时在縱傾的实际应用上，常遇到利用固定重量 W 的物件，放置在艏前或艏后的某一距离 l 以調整所需的艏艉吃水。例如要不致使艉吃水增加，則所加之重物 W 必須放在艏前何处？

若 W 較小（与 Δ 相比），可用下式演算，

$$d_a = d + \delta - (1 - y)\epsilon$$

式中 d 是原始平均吃水； δ 是吃水平行增加值。由于 W 較小，則，

$$\text{縱傾力矩} = GG_1 (\Delta + W) = Wl$$

$$\text{縱傾值 } \epsilon = \frac{Wl}{m_c}$$

若在該 $(\Delta + W)$ 吃水时， P 为每下沉 1 厘米的荷重，則 $P = \frac{A}{100}$

A 为水綫面积，所以可得：

$$\delta = \frac{W}{P}$$

$$\text{或} \quad \delta = \frac{100W}{A} \quad (\text{米})$$

由于 $d_a = d$ ，則

$$\delta = \left(1 - \frac{y}{L} \right) \frac{Wl}{m_c}$$

$$\frac{100W}{A} = \left(1 - \frac{y}{L} \right) \frac{Wl}{m_c}$$

就得出,
$$l = \frac{m_c \times 100}{A \left(1 - \frac{y}{L} \right)} = \frac{m_0 \times 100L}{A(L-y)}$$

第四章 大傾角穩性

当船受到外力发生横傾角超过 $10 \sim 15^\circ$ 以上的傾斜时,叫大角度橫傾。討論大角度橫傾时船的穩性,就称大傾角穩性。

船在大角度傾斜时,不外乎有二种情况发生:一是橫傾沒有伴隨角速度的变化,或引起船舶的慣性力作用;另一个是伴隨有角速度的变化。前者此时的穩性称靜穩性,后者的称动穩性。两者相应的力矩与力矩臂也分別称为靜穩性力矩或靜穩性力矩臂等等。

在研究船舶初穩性时,由于橫傾角較小,它在傾斜前后的水綫交点,可視在中綫上。从这个基础推导出如下几个主要結論:

1. 傾斜后,出入水两楔形体积相等。
2. 傾斜前后水綫的交点在中綫上。
3. 浮心的作用綫与中綫的交点,就是橫穩心 M 的位置。
4. 初穩性可以用 GM 来决定其优劣。

現在假使船是大傾角傾斜,則船艙綫型就不能再視為直立,傾斜前后水綫的交点就不会在中綫上,出入水的两楔形体积就不会再相等,浮力綫与艙綫交点也不再代表 M 点;并且因为 M 不再在中綫, GZ 就不能等于 $GM \sin \theta$, 所以大傾角穩性就不能沿用初穩性的經驗用 GM 来决定优劣,而只能用 GZ 。 GZ 就是靜穩性力矩臂。

§ 10 静稳性力矩与力矩臂

如图17所示, 当船发生小倾角时, 船的回复力矩 $= \Delta GZ$, GZ 的表达式是:

$$V \cdot BR = v \cdot h_1 h_2$$

$$BR = \frac{v \cdot h_1 h_2}{V}$$

$$\therefore GZ = BR - BG \sin \theta$$

$$= \frac{v \cdot h_1 h_2}{V} - BG \sin \theta$$

上式中, v 代表出入水的楔形体积, $h_1 h_2$ 代表两楔形体积重心间的距离, V 为船的排水量, BR 为浮心移动距离。

上式就是有名的阿德华氏公式, 阿氏公式是计算 GZ 的基本公式。但由于船在大倾角时, 楔形体积不再相等, 水线不再交于中点, 因此必须对阿氏公式进行

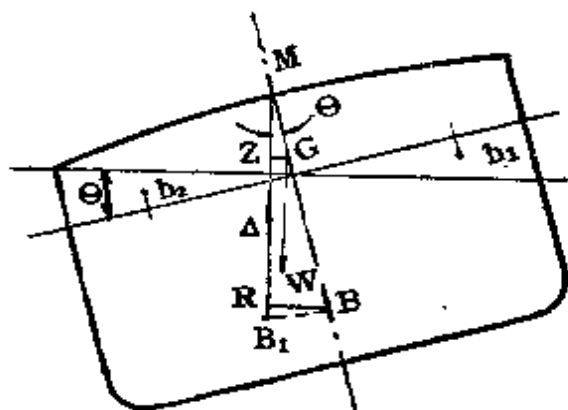


图 17

某些修正, 才能符合大倾角横稳性计算的需要。

GZ 的另一表达式是:

参阅图18, 原船的浮心 B 在 origin, 横倾后浮心移至 B_1 , B 和 B_1 分别以座标 $(0,0)$ 及 (x,y) 表示。

$$\begin{aligned} GZ &= BR - BG \sin \theta \\ &= BC + CR - BG \sin \theta \\ &= x \cos \theta + y \sin \theta - \\ &\quad BG \sin \theta \end{aligned}$$

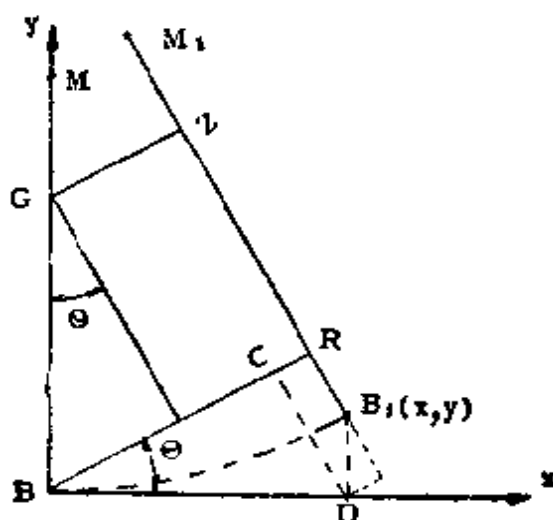


图 18

上式是常用的表达式。

在小傾角中, $GZ = GM \sin \theta$, 或者 $GZ = BM \sin \theta - BG \sin \theta$, 这一公式与大傾角的 $GZ = x \cos \theta + y \sin \theta - BG \sin \theta$ 相比, 两者都有 $BG \sin \theta$, $BG \sin \theta$ 一项的数值, 决定于重心 G 与浮心 B 间的距离, 因而称作重力稳性力臂。剩余的 $x \cos \theta + y \sin \theta$ 这一项, 由于系由船型决定, 因而称形状稳性力臂。

现将分别代表静稳性和初稳性的 GZ 值, 繪成曲线如图19。从图上可知, 两曲线在初起时很接近, 至傾角大后才逐渐分开。这说明了利用初稳性原理来处理小傾角时的稳性的可能性。

由 GZ 所繪成的曲线, 称静稳性曲线。

静稳性力矩 $= \Delta \cdot GZ$, Δ 排水量是一定数, 只要将 GZ 乘上 Δ , 也能繪成力矩曲线, 由 $\Delta \cdot GZ$ 繪成的力矩曲线, 也称静稳性曲线。因而静稳性曲线既可以表示 GZ , 也可以表示 $\Delta \cdot GZ$, 只要在图上采用不同的比例, 如图20所示即是。

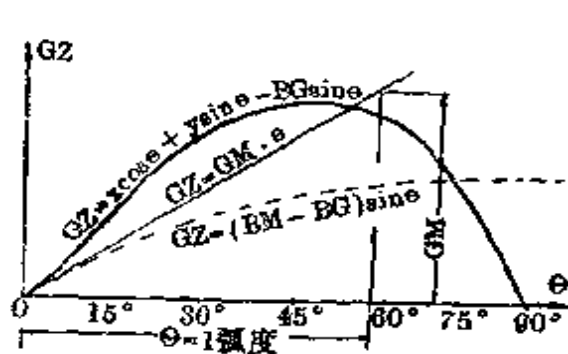


图 19

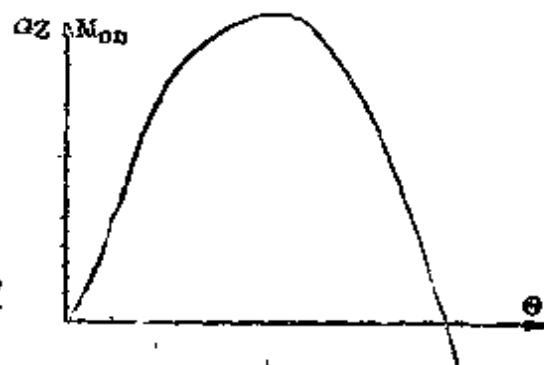


图 20

§ 11 静稳性曲线性质

1. GZ 对横傾角的导数是初稳性高, 即在 GZ 曲线图上, 作和曲线切于原点 O 的直线, 另在傾角 $\theta = 57.3^\circ$ 处, 作一垂线向上与这切线相交, 由这交点至他本身的垂足距离就等于初稳性高 GM 。这一性质可証明如下:

参閱图21, 船的横傾角 θ 有一微增角 $d\theta$, 于是浮心 B_1 移至 B_2 , 相应地增一微量 dx 和 dy 的座标值。

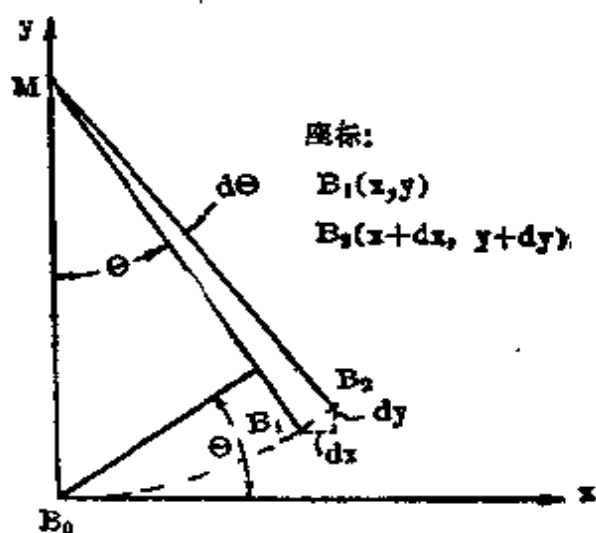


图 21

$$\begin{aligned} \widehat{B_1B_2} &= BM \cdot d\theta \\ dx &= BM \cdot \cos \theta \, d\theta \end{aligned}$$

$$\frac{dx}{d\theta} = BM \cdot \cos \theta$$

$$dy = BM \cdot d\theta \sin \theta$$

$$\frac{dy}{dx} = BM \cdot \sin \theta$$

因为 $GZ = x \cos \theta + y \sin \theta - BG \cdot \sin \theta$, 并进行微分得:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\theta} [GZ] &= \cos \theta \frac{dx}{d\theta} - x \sin \theta + \frac{dy}{d\theta} \sin \theta + y \cos \theta - BG \cos \theta \\ &= \cos^2 \theta \cdot BM - x \sin \theta + BM \cdot \sin^2 \theta + y \cos \theta - BG \cdot \cos \theta \\ &= BM - x \sin \theta + y \cos \theta - BG \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

当 $\theta=0$ 时, 可得 $\cos \theta=1$ 以及 $\sin \theta=0$; 并且 B 点也无位移发生, 致使 $x=0, y=0$ 。将这些关系代入上式得:

$$\therefore \frac{d}{d\theta} [GZ] = BM - BG = GM$$

$$\therefore GZ = GM \cdot \theta$$

上式显然可知是靜穩性曲綫切于原点的一根直綫。当取 $\theta = 1$ 弧度，或在图上取 $\theta = 57.3^\circ$ ，則 $GZ = GM$ ，如图19所示。

上述性質也可用初穩性公式来証明：

$$\because \text{已知 } GZ = GM \cdot \sin \theta$$

由于傾角微小， $\theta \rightarrow 0$ 时， $\sin \theta \rightarrow \theta$

$$\therefore GZ = GM \cdot \theta$$

虽然通过上述演述，知道在 GZ 曲綫图上，可以求取 GM 。但由于作图时多有誤差，致使实际上很少有如此作法以求精确的 GM 值。

2. 在力矩穩性曲綫图上，外来使船橫傾的傾复力矩与曲綫的相交点，就是傾复力矩与回復力矩相互平衡的交点。交点的垂足所在的橫傾角，就代表力矩平衡时的靜傾角。凡交点所代表的靜傾角是否稳定，須視这交点有否越过曲綫的頂点。凡交点沒有超越頂点，是稳定平衡角，因为越过这一交点以后，回復力矩还会增大。反之，若交点已越过曲綫峯頂，在这点之后力矩改为逐渐降低。所以在頂点以后的靜傾角，称不稳定平衡角。如图22所示， θ_A 为稳定平衡角， θ_B 为不稳定平衡角，在曲綫頂峯那点 C 的垂足靜傾角 θ_C 为最大靜傾角。在靜穩性中，主要是根据稳定平衡角来决定穩性，頂峯以后的傾角是不考虑的。

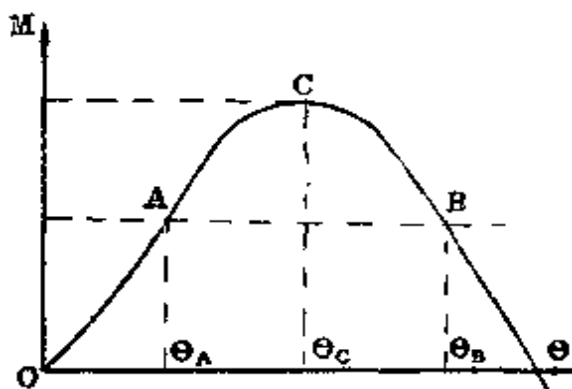


图 22

§ 12 靜穩性曲綫的形狀分析

商船普遍的靜穩性曲綫形式如图23所示。当橫傾角逐渐增大时， GZ 值也相应增大。但受出入水楔形重心外移速度的降低影响（見阿氏公式）， GZ 上升較為平坦，到甲板边沿浸水瞬間上升最緩。过此 GZ 猛升，形成反折点 A 。曲綫頂点为力矩最大值。当然峯頂居后为佳，至少相应的靜傾角不少于 $20 \sim 30^\circ$ 方为适宜，以便能承受較大的橫傾斜，一般峯頂相应应在 35° 到 40° 之間出現。

曲綫过頂点开始降落，到 B 点时 GZ 为零，直至靜稳性全部消失，相应的 θ_B 称稳性消失角。由 O 至 B 亦称稳距，以度数表示其单位。稳距一般在 $60 \sim 75^\circ$ 之間，过此曲綫再往下， GZ 就成負值。船将傾复。稳距在靜稳性中作用不大，主要是用来衡量动稳性大小，这点以后会叙述。

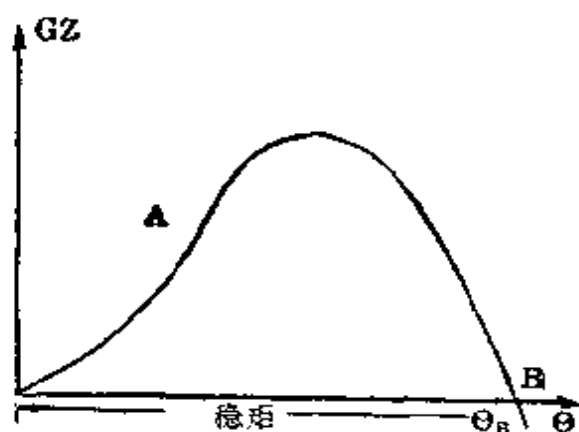


图 23

現举几艘船的稳性曲綫作例，以說明各船之稳性情况。

1. 如图24所示，稳性曲綫原点附近处凸起較大。这說明原点附近切綫的夹角必較大，同样說明这船的 GM 值必較大。其次，这一曲綫的頂点出現較早，稳距又較小，說明这船是寬而扁的，干舷較小，不能承受較大的横傾角。內河船舶都頗类似这种情况。

2. 參閱图25，稳性曲綫原点附近凹进，跟上面理由相反，說明 GM 較小。其次峯頂出現較居后，稳距也大。說明这船不十分寬，吃水虽深，而干舷較高，能承受大的横傾斜。一般海洋船舶的靜稳性曲綫类都如此。

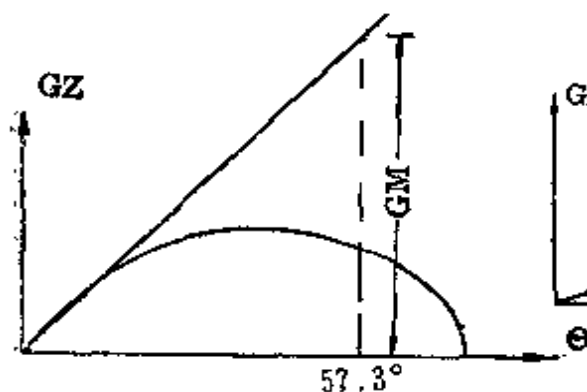


图 24

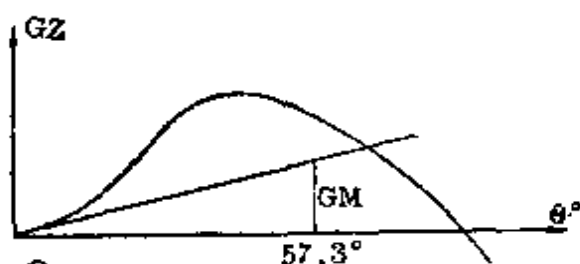


图 25

3. 參閱图26，这船的 GZ 曲綫在起初有負值，說明这船的裝載有問題，或許由于其他原因所致。船重心偏离縱中綫，或重心位置較高引起

初穩性高， GM 在若干度傾角內是負值，船在這一範圍內不能正浮，橫傾于 φ 角始達到平衡。這曲綫顯出穩距較大，峯頂出現亦較後，在大傾角時，航行仍可安全。運木船等曲綫，頗近此例。

4. 參閱圖 27，曲綫穩距不小，但 GZ 最大值不高，整個曲綫顯出低矮。說明這船虽有較高干舷，但船狹而高，寬度小，回復力矩不大，穩性較低。

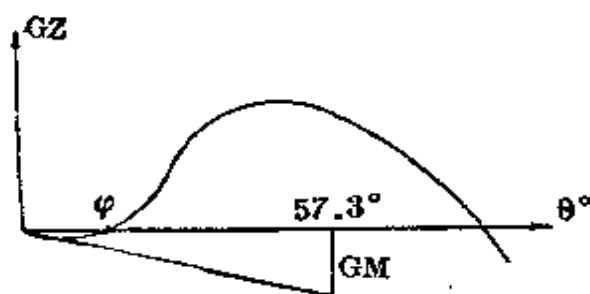


圖 26

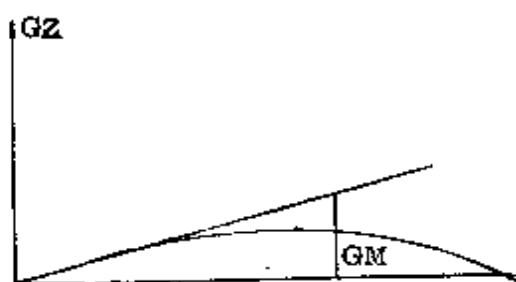


圖 27

§ 13 靜穩性的計算

初穩性用 GM 來衡量。大傾角穩性要用 GZ 來衡量，所以靜穩性的計算就是指 GZ 的計算。

在 GZ 的表达式中，已知它是由重力穩性力臂和形狀穩性力臂所組成。重力穩性力臂不受浮心移位的影响較易算出，形狀穩性力臂隨着浮心位置的變化而定；浮心位置的變化又隨船型而定，所以較難確定某一傾角值時的形狀穩性力臂。雖然如此，所有計算 GZ 的方法，都不外乎找出浮心的變化位置。

計算 GZ 的方法很多，用于設計初期和缺乏必要計算資料時，有布氏法、符拉索夫法、今井信男法。利用綫型圖等計算資料以求精確答案的有如巴氏法，借用儀器之助的力矩儀法，以及直接法、李都氏法等等。其他還有利用模型計算的白隆氏法、海克氏法、賴美琪法等。但上述諸法中，實用較普遍的是力矩儀法及巴氏法。力矩儀法既精確又簡捷，但須借助于力矩儀。沒有儀器時可用巴氏法，其中又以蘇聯表格計算法應用最普遍。

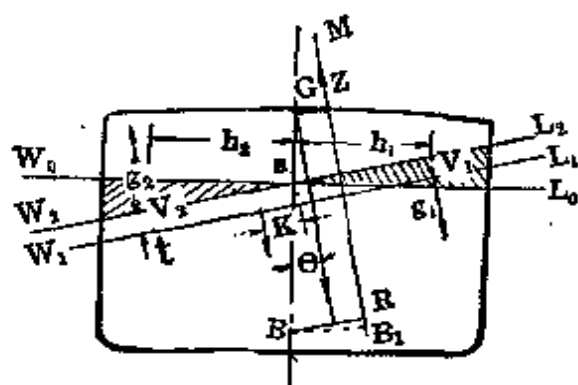
現將各法分別介紹于下：

1. 巴氏法

巴氏法是根据阿德华氏公式，经过某些修正的计算GZ的方法。它都是采用计算表格来进行的。由于表格方式的根据不同，目前用的一般有二法，第一种是用船舶原有线型图上的站号垂线作若干横剖面，再利用辛氏律来计算。第二种是用船舶的线型图，在其上另用乞氏九垂线作出若干横剖面，以梯形律来计算。现分述如下：

1) 第一法的理論根據是認為傾斜後，船的排水量不變。

參閱圖 28，設水綫 W_2L_2 和水綫 W_1L_1 相平行，又和水綫 W_0L_0 相交于中綫 S 點， W_2L_2 水綫下的體積必然已非原船的排水體積，增出 W_2L_2 和 W_1L_1 間的水層體積。 W_1L_1 是傾斜後的實際水綫，船的排水量既不變，只有找到這 W_1L_1 水綫。



28

令楔形 SW_0W_3 与 SL_0L_2 分别为 v_2 及 v_1 体积，则水层体积必然是 v_2 与 v_1 的差。假设水层体积的重心位置至交点 S 的距离为 K ， g_1 和 g_2 是 v_1 和 v_2 的重心，它们至 S 的距离各为 h_1 和 h_2 。又 V 为原排水体积，则参阅图上可得：

$$GZ = BR - BG \sin \theta$$

$$V \cdot BR = v_1 h_1 + v_2 h_2 - (v_2 - v_1)K$$

或
$$BR = \frac{v_1 h_1 + v_2 h_2 - (v_2 - v_1)K}{V}$$

$$\therefore \quad GZ = \frac{v_1 h_1 + v_2 h_2 - (v_2 - v_1)K}{v} - BG \sin \theta$$

第一法的目的是維持原排水量，算出真正的水綫位置，以便算出 $v_1 h_1 + v_2 h_2 - (v_2 - v_1) K$ 來，從而再算得 GZ 。

按上式計算時， v_1 和 v_2 以及 $v_1 h_1$ 和 $v_2 h_2$ 都是用表格以辛氏律算出。体积差額($v_2 - v_1$)被除以 $W_2 L_2$ 的水綫面积就能得出水层厚度 t ，于是真正的水綫位置 $W_1 L_1$ 就能得到。利用 $W_2 L_2$ 和 $W_1 L_1$ 两水綫面的漂心，得出水层体积重心位置 K 。至此，公式就能进行計算。

計算的具体步驟：

(1) 先将原站号垂綫的横剖面图繪出，如图29，剖面应横截至甲板边缘，連同甲板綫包括梁拱在內。在图上还須繪出中綫与垂直于中綫的若干水平水綫。水綫的上限或下限，应包括这艘船可能到达的排水量范围，一般至少用3~4根。

甲板以上有水密建筑物等結構时，在計算中亦应包括在横剖面內。

(2) 另用一张透明紙繪出

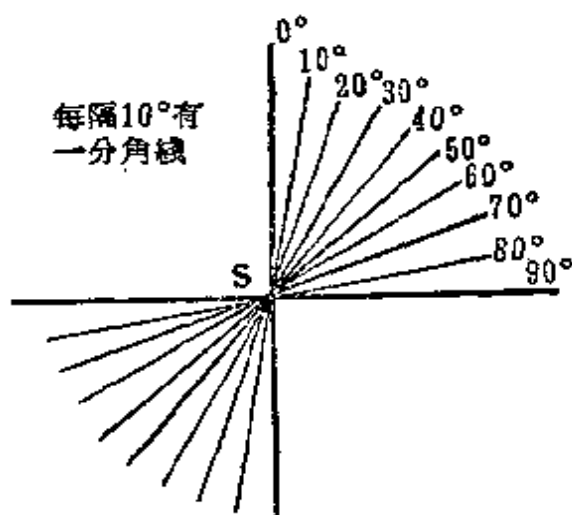
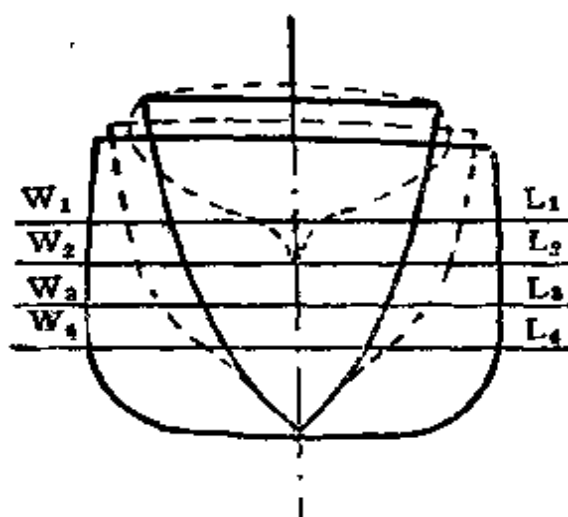


图 30

合。图31所示为計算 $W_3 L_3$ 的稳性。

(4) 在横剖面图上，分別量取每一傾角 WL 的水綫寬，在 S 右边是



虛綫是后体綫型

实綫是前体綫型

图 29

相互垂直的交錯綫，其交点即为欲計算的某一排水量时的水綫和中心綫的交点 S 。通过 S 点，每隔10°或15°繪出等分角綫，参閱图30。

(3) 將繪有等分角綫的透明紙盖复于諸站号横剖面图上，使 S 点与横剖面图上該排水量水綫与舳綫的交点重合，并使透明紙上的交錯綫分別和横剖面图上的水綫及中心綫重

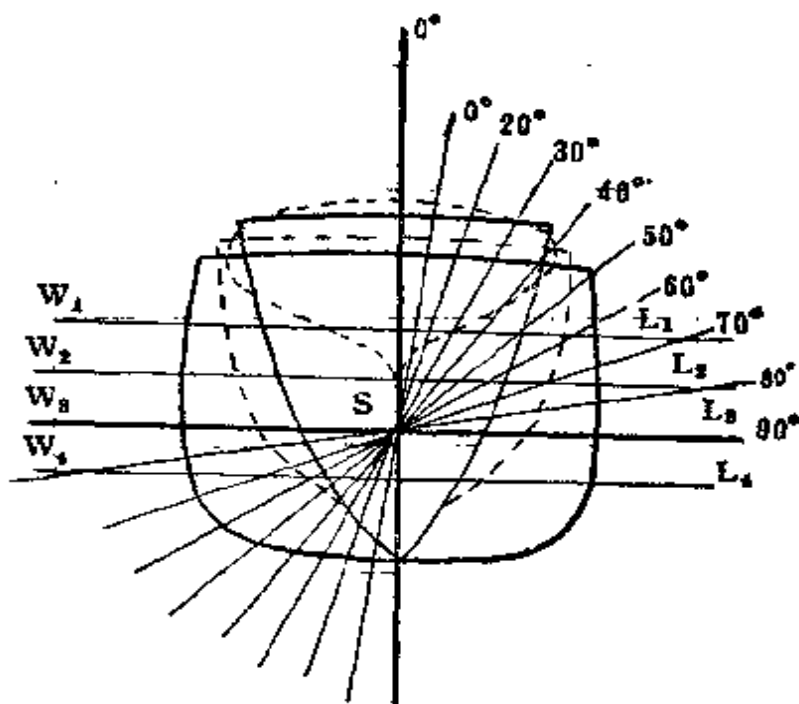


图 31

入水，左边是出水。把这些水线宽記入记录，再应用辛氏法则求出该水线的剖面积 A 、漂心位置点 F 等。

(5) 求出每一倾角的出入水楔形体积差为 v ，求出每一倾角值时的水层厚 t ， $t = \frac{v}{A}$ 。若 t 小于 30 厘米，水层重心位置可用漂心 F 代替，以得到 K 值。小型船的这 30 厘米 t 值尚应根据船型，即 t 范围内的水线面形状变化程度而定。

(6) 利用辛氏律，求出每一倾角时的两个楔形体积对 S 点的力矩和。

(7) 求出校正水层体积对 S 点的力矩是 $v \cdot SF$ 。

每一倾角均须有二张表格进行计算，一为表 9，一为表 10，格式如下。

对于表 9 及表 10 的具体计算过程，可借鉴后面的实例。现对表的内容作择要的解释：

(1) 表 9 为计算准备表，每一倾角均需一张。本表为另一表的资料准备。

(2) 表 10 内的 $\Delta\theta$ 是指的等分角度数，若分角次序是 0° ， 15° ，

表 9

倾角 θ : _____ 站号间距 h : _____

水线 № _____

站号	$\frac{1}{2}S, M.$	入			水			楔			形			出			水			楔			形		
		y_i	y_i^2	y_i^3	a_i	v_i	i_i	y_e	y_e^2	y_e^3	a_e	v_e	i_e												
1	2	3	4	5	$(2) \times (3)$ 6	$(2) \times (4)$ 7	$(2) \times (5)$ 8	8	10	11	$(2) \times (9)$ 12	$(3) \times (10)$ 13	$(2) \times (11)$ 14												
0	$\frac{1}{2}$																								
$\frac{1}{2}$	1																								
1	$\frac{3}{2}$																								
2	2																								
3	1																								
4	2																								
5	1																								
6	2																								
7	1																								
8	2																								
9	$\frac{3}{2}$																								
$\frac{1}{2}$	1																								
10	$\frac{1}{2}$																								
总		和			Σa_i	Σv_i	Σi_i				Σa_e	Σv_e	Σi_e												

水线面积 $A = \frac{1}{3} h \times 2 \times (\Sigma a_i + \Sigma a_e) =$ 漂心距 S 点 $K = \frac{1}{3} \times \frac{\Sigma v_i - \Sigma v_e}{\Sigma a_i + \Sigma a_e} =$ $\Sigma i_i + \Sigma i_e =$

表10

水线No. θ 始与间距h 等分度角 $\Delta\theta$

项目	$\Delta\theta$	S. M.	Σv_i	Σv_o	(3)-(4)	$f(v)$	$\Sigma i_i + \Sigma i_o$	(2) \times (7)	cosa	$f(M)$
1	1	2	3	4	5	$(2) \times (5)$ θ	7	8	9	$(3) \times (9)$ 10
1	0°	1							cos θ	
2	$\Delta\theta$	4							
3	$2\Delta\theta$	2							
4							cos $2\Delta\theta$	
5							cos $\Delta\theta$	
∴	θ°	1							cos θ°	
∴		总	和			$\Sigma f(v)$				$\Sigma f(M)$

两楔形体积差 $v = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \times h \times 2 \times \Sigma f(v) \times \frac{\pi}{180} \times \Delta\theta \times \frac{\pi}{180}$

校正水层厚 $\tau = \frac{v}{A}$

两楔形体积对S力矩和 $M = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \times h \times 2 \times \frac{\pi}{180} \times \Delta\theta \times \frac{\pi}{180} \times \Sigma f(M) =$

$\sin \theta =$ $BG =$ $BG \sin \theta =$ 校正水层体对S力矩 $= vK =$

排水量 $V =$

$GZ = \frac{M - vK}{V} - BG \sin \theta =$

30°……則 $\Delta\theta = 15^\circ$ ，若是次序為 $0^\circ, 10^\circ, 30^\circ, \dots$ 則 $\Delta\theta = 10^\circ$ 。

(3) 表10內的 $\cos \alpha$ (即第9欄) 是以傾角 θ 為基礎至相應的分度角綫之間的交角，如項目第三項中的 $\cos \alpha = \cos(\theta - 2\Delta\theta)$ 。

(4) 表10中的 V 就是船在該正浮的計算水綫下的排水體積。

應用本法時，由於每個傾角都須經計算，而一般是每根水綫約有6個等分傾角。若船舶在其排水量變化極限以內，計算3~4根水綫，則計算的勞動量很大。而且每張傾角的準備表是計算 GZ 的原始資料，一有誤差，就會影響整體。查校起來，由於表格數量多，也較費精力。但計算結果是很精確的。

船舶的 GZ 曲綫，有以 SZ 曲綫的面貌出現。這是因為船的重心並非固定，而是隨時隨裝載情況在變化。為在實用上求得方便起見，往往預定一固定的虛重心位置來代替任何裝載情況時的重心，以便算出的 GZ 曲綫能轉而繪成綜合穩性曲綫（詳見 §14）滿足實際運用。這一虛重心一般在計算時都選某一水綫與中綫的交點 S 來擔任，由此得出的 GZ 曲綫，習慣上不再寫 GZ ，而改寫 SZ 以便識別。

用本方法在計算時，可以算真實重心位置的力矩臂曲綫 GZ ，也可算以虛重心位置的力矩臂 SZ 曲綫。

2) 第二法是蘇聯表格法，亦屬巴氏法範疇。表格適于求 SZ 曲綫，它的依據是，如圖32所示，設傾斜後水綫 W_1L_1 猶與原水綫交於中綫，則 W_1L_1 水綫下排水量已較原排水量 V_0 微增一 ΔV_θ ，變成 V_θ ，即：

$$V_\theta = V_0 + \Delta V_\theta$$

$$\Delta V_\theta = v_1 - v_2$$

式中的 V_0 是原正浮水綫下的排水體積； v_1 和 v_2 分別代表入水和出水楔形體積。

對 S 點的力矩：

$$V_\theta \cdot SZ = v_1 h_1 + v_2 h_2 - V_0 d_0 \sin \theta \quad (d_0 = BS)$$

$$\text{設} \quad V_\theta \cdot SZ = M_\theta$$

$$v_1 h_1 + v_2 h_2 = M_\theta' - V_0 d_0 \sin \theta = M_\theta'$$

$$\therefore M_{\theta} = M_{\theta}'' + M_{\theta}'$$

$$\therefore SZ = L_{\theta} = \frac{M_{\theta}}{V_{\theta}} \quad (\text{令 } SZ = L_{\theta})$$

本法的优点，在于可不求真正的倾斜水线位置，因此计算就简单了。其次是虽然须在綫型图上另外立出乞氏垂线并繪出各該垂线的横剖面图，但由于横剖面只有9个，且因免掉每个傾角的单独计算准备表，工作量减少很多。

计算具体步骤如下：

(1) 在船舶綫型图上，以乞氏九垂线划出乞氏剖面的垂线位置。系数是：0， ± 0.1679 ， ± 0.5288 ， ± 0.6010 ， ± 0.9116 。

其中系数0表示位于船中部。 (\pm) 符号在舭之前，取 (+)，舭之后取 (-)。

(2) 根据垂线所在，在綫型图上的縱剖面图和水线面图上，分别横截量出半宽及高来，然后另在紙上——繪出各相应的横剖面图。这种剖面称乞氏剖面。乞氏剖面也应横截至甲板边缘，包括梁拱一齐繪出，而且左右两舷都繪出，如图31所示，标号方向自艏向艉。

(3) 乞氏图上須繪出中心线及垂直于中心线的若干水线。水线数目一般取3~4根，地位根据船的排水量上下极限选定。

(4) 也与第一法一样，用透明紙繪出交錯垂直线并和乞氏剖面图重合于S点，S点即为中线水线的交点。通过S点所繪的若干等分角线的分法与第一法不同；若准备划 0° ， 10° ， 20° …… 60° 等的SZ，则这些等角线为 5° ， 15° ， 25° …… 55° 6条。

(5) 在每一等分角线上，分别量出各乞氏剖面的宽度，在S右边为入水，左边为出水。把各傾角水线的乞氏剖面宽度記入表11，作为计算资料。

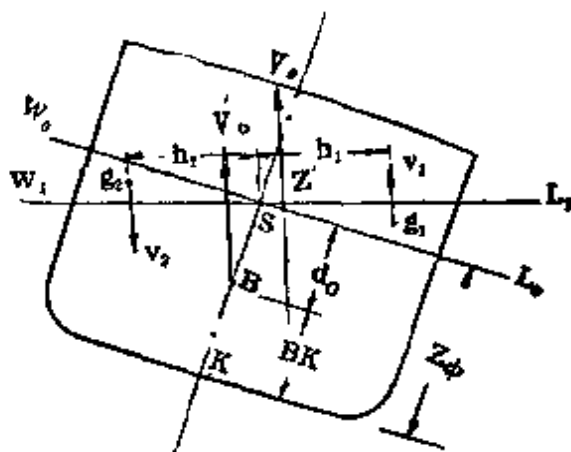


图 32

(6) 通过上述表格计算所得的各 W 及 I 值, 经过表12的演算, 可得到该交点 S 的 SZ 。

(7) 与第一法一样, 为了配合综合稳性曲线的绘制, 在计算各水线的稳性时, 预选定某一水线与中线的交点 S 来担任虚重心。然后针对这 S 点作为重心来算出(6)的 GZ 值, 这 GZ 值以 SZ 面貌出现, 以便使人知道, 它的重心是虚设的。

表11分作二张, 一为入水楔形表(11a), 一为出水楔形表(11b), 对表12及13说明如下:

(1) a_1 、 b_1 等分别代表出入水楔形水面宽。1、2等字母分别表示各倾角时的水线。

(2) n 代表垂线数目, ΔL 代表乞氏垂线的站号间距。 T_0 代表该计算水线的吃水值, V 代表此正浮水线的排水体积, Z_c 代表正浮时的浮心到基线的垂间距即 KB 。

(3) Z_ϕ 代表任何计算水线所通用的虚重心位置到基线的垂间距。

(4) m 是体积系数, 参阅图33。图上楔形面积 $A = \frac{1}{2} a^2 \cdot \Delta \theta$, 则

$$\begin{aligned} \text{楔形体积 } v &= \frac{L}{n} (A_1 + A_2 + \dots) = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{n} \cdot \Delta \theta (a_1^2 + a_2^2 + \dots) \\ &= m (a_1^2 + a_2^2 + \dots) \end{aligned}$$

(5) $\mu = \frac{1}{3} \cdot \Delta L \cdot \Delta \theta$ 是力矩系数, 参阅图34。图上楔形面积力

矩 $M_A = A \cdot \frac{2}{3} a \cos \frac{\Delta \theta}{2}$, 或 $M_A = \frac{1}{3} \cdot a^3 \cdot \Delta \theta \cdot \cos \frac{\Delta \theta}{2}$, 则体积

力矩 M_v 是:

$$M_v = \frac{L}{n} (M_{A_1} + M_{A_2} + \dots)$$

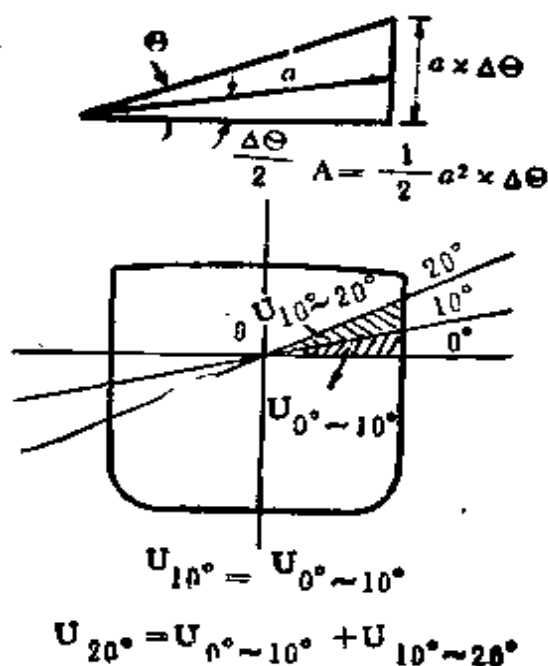


图 33

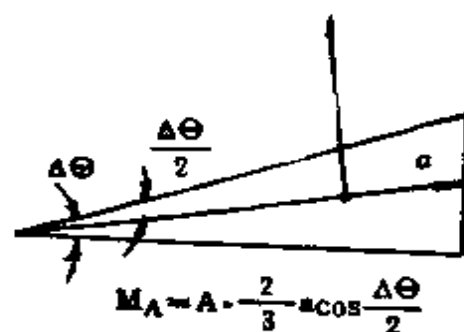


图 34

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{n} \cdot \Delta \Theta (a_1^3 + a_2^3 + \dots) \cos \frac{\Delta \Theta}{2}$$

$$\therefore M_v = \mu (a_1^3 + a_2^3 + \dots) \cos \frac{\Delta \Theta}{2}$$

(6) 由于在计算时采用 $\cos \frac{\Delta \Theta}{2}$ ，即如倾角 10° 时的楔形体积力矩 $M_{v_{10^\circ}} = M_{v_{0^\circ \sim 10^\circ}} \cos 5^\circ$ ，倾角 20° 时， $M_{v_{20^\circ}} = M_{v_{10^\circ \sim 20^\circ}} \cos 5^\circ + M_{v_{0^\circ \sim 10^\circ}} \cos 15^\circ$ ，如图 35 所示。因而本法在计算某倾角时，水线倾角度均错

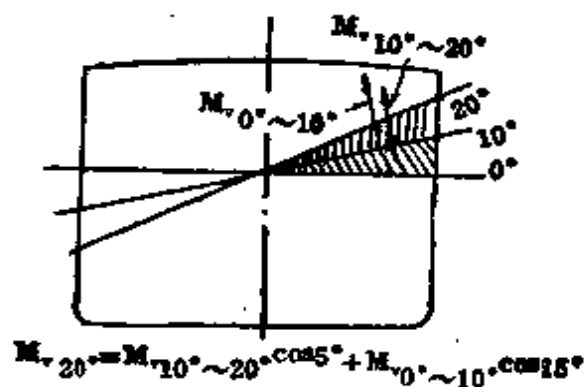


图 35

$-\frac{1}{2} \Delta \Theta$ 数值。

(7) L_s 是对于本水线 S 交点的稳性力臂值，即等于 SZ 。这交点 S

表 14

站号间距 h : 30 呎 θ : 30°

水线 No: 7

站号	S.M.	入 水 楔 形			出 水 楔 形			i_e
		y_1 (呎)	y_1^2	y_1^3	a_1	u_1	i_1	
1	2	3	4	5	$(2) \times (3)$ 6	$(2) \times (4)$ 7	$(2) \times (5)$ 8	$(2) \times (11)$ 14
0	1/4	4.5	20	91	1.1	5	23	26
1/2	1	18.4	338	6,230	18.4	339	6,230	2,828
1	3/4	28.6	818	23,394	21.5	614	15,746	7,350
2	2	33.8	1,142	38,614	67.6	2,284	77,228	40,692
3	1	35.5	1,260	44,739	35.5	1,260	44,739	35,288
4	2	35.6	1,267	45,118	71.2	2,534	90,236	98,862
5	1	35.6	1,267	45,118	35.6	1,267	45,118	55,743
6	2	35.6	1,267	45,118	71.2	2,534	90,236	97,254
7	1	35.6	1,267	45,118	35.6	1,267	45,118	37,933
8	2	35.6	1,267	45,118	71.2	2,534	90,236	50,308
9	3/4	33.8	1,142	38,614	25.4	857	28,981	10,111
9 1/2	1	26.9	724	19,465	26.9	724	19,465	4,827
10	1/4	14.3	205	2,924	3.6	51	731	148
总 和					550.3	17,878	597,817	454,818

$$\text{水线面积 } A = \frac{1}{2} h \cdot 2 \times (\Sigma a_1 + \Sigma a_e) = \frac{1}{2} \times 2 \times 30 \times (550.3 + 477.3) = 20640 \text{ 呎}^2$$

$$\text{漂心距离 } K = \frac{\Sigma a_1 + \Sigma a_e}{\Sigma u_1 + \Sigma u_e} = \frac{17,878 + 14,251}{1027.6} = 1.77 \text{ 呎}$$

$$\Sigma i_1 + \Sigma i_e = 597,817 + 454,818 = 1,052,436$$

表15

站号间距 h : 30呎 θ : 30°

水线 No: 7

项目	$\Delta\theta$	S.M.	Σv_1	Σv_0	(3)-(4)	(2)×(5)	$\Sigma i_1 - \Sigma i_0$	(2)×(7)	$\cos \infty$	(8)×(9)
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	15,340	15,340	—	—	974,388	974,388	0.866	843,820
2	10	4	15,760	15,167	603	2,412	990,153	3,360,612	0.940	3,721,787
3	20	$\frac{9}{2}$	16,840	14,766	2,074	3,110	1,034,251	1,551,377	0.985	1,527,798
4	25	2	17,701	14,640	3,061	6,122	1,066,711	2,133,542	0.996	2,125,434
5	30	$\frac{1}{2}$	17,878	14,251	3,627	1,814	1,052,436	526,218	1.000	526,218
6	总			和		13,458				8,745,065

$$\text{两横形体积差} v = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} h \times 2 \times \Sigma f(v) \times \frac{\pi}{180} \times \Delta\theta \times \frac{\pi}{180} = \frac{1}{2} \times 30 \times 13,458 \times \frac{1}{2} \times 10 \times 0.01745 = 7839 \text{呎}^3$$

$$30^\circ \text{倾角处水线面积} A = 20540 \text{呎}^2$$

$$\text{校正水层厚} t = \frac{v}{A} = \frac{7839}{20540} = 0.382 \text{呎}$$

$$\text{两横形体积对S力矩} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} h \times 2 \times \frac{\pi}{180} \times \Delta\theta \times \frac{\pi}{180} \times \Sigma f(M) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 30 \times 2 \times \frac{1}{2} \times 0.1745 \times 8,745,065$$

$$= 3,391,336 \text{呎}^4$$

$$\text{校正水层体积对S力矩} = vk = 7839 \times 1.77 = 13,875 \text{呎}^4$$

$$BG = 11.90 \text{呎}$$

$$V = 398,080 \text{呎}$$

$$BG \sin \theta = 11.90 \times \sin 30^\circ = 5.95 \text{呎}$$

$$GZ = \frac{3,391,336 - 13,875}{398,080} = 5.95 = 2.53 \text{呎}$$

距該船固定虛重心 S' 的距离若是 SS' , $SS' = Z_{\Phi} - T_0$ 。对应于 S' 点的稳性力臂值即修改为 $S'Z$, 即 l_{θ} , 或 $S'Z = SZ - SS' \sin \theta$ 。

(8) 对于表12的具体計算应用, 可参閱表13。

現举实例說明以上二法的实际演算过程。

例一、某船排水体积398,090 呎³, 此时的 $BG = 11.90$ 呎, 求傾斜角 30° 时的 GZ , 試用第一法演算。又已知站号間距 $h = 30$ 呎。

解: 量出在 30° 时水綫面的各站号处寬, 填入表14, 并計算:

根据同样方法, 若已算就 $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ \dots 30^\circ$ 的上述表格数字, 代入表15再計算。

例二、某船排水体积为 $307.8M^3$, 船計算长度 $27M$, 已知浮心离基綫高为 $1.85M$, 假設虛重心离基綫 $2.60M$, 求吃水 $3M$ 时的 对于該虛重心的各 SZ , 并繪成曲綫。試用第二法演算。

解: 垂綫数 = 9, $L = 27M$, $\Delta L = 3M$ 。

等分角度取 $10^\circ, 20^\circ \dots 60^\circ$, 因此繪出等分角綫是 $5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ$ 6根。分別將各傾角的水綫面寬, 比照出入水填录入表16进行計算, 再轉填入表17进行計算得 l_{θ} 值。

根据 l_{θ} 值, 繪出重心离基綫 2.60米处的 SZ 曲綫, 如图36所示。

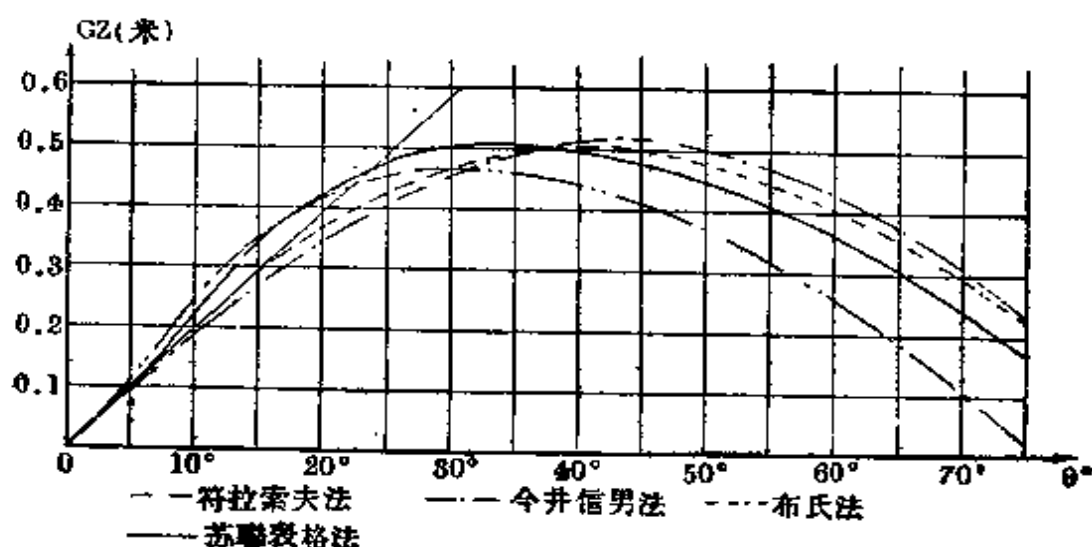


图 36

2. 力矩仪法

力矩仪法有二种：一是8字法；一是周描法。二法都是以力矩仪在面积剖面图上行走的路线不同而区分。现介绍于下。

1) 周描法：

(1) 繪成九垂綫乞氏剖面图，并仿巴氏法步骤，繪出等角水綫。

(2) 另用透明紙繪出力矩仪的軸綫，以及和这軸綫相垂直的3~4根水綫。水綫間距的比例与乞氏剖面图所用的相同。

(3) 将透明紙盖在乞氏横剖面图上，使紙上軸綫与力矩仪的軸綫符合，并与力矩仪的鉄板直槽相平行，以使横剖面中的 S 点与力矩仪的軸綫 $O-O$ 和某水綫的交点重合，如图 37 中的 W_2L_2 即为該水綫。再将横剖面傾側到某一傾角 θ ，以使水綫和 θ 角等分角水綫相互符合。

(4) 用描針 P 从 S 点开始沿順时針方向描繪，先描第一剖面沿 $saobs$ 走一周回到 S 点止。記錄輪 A 与 M 分別記錄該剖面的面积与对 $O-O$ 軸綫的力矩。

(5) 再从 S 开始，依然沿順时針方向，沿着 $scods$ 走一周回到 S 点止。記錄輪 A 与 M 又将第二剖面的面积与力矩录入它所指示的表尺以內。

(6) 如此連續描摹第三、第四……各剖面， A 和 M 的記錄就代表各剖面的面积和力矩的总和。因为是乞氏剖面，記錄数字就代表 W_2L_2 水綫以下的体积和它对 $O-O$ 軸綫的力矩。这力矩被体积除，就得該水綫下的 SZ 值。

(7) 若設有虛重心，則一如前述，力臂值經修正后，也能得相应的 SZ 曲綫。

2) 8字法：

(1) 8字法的步骤及准备工作，基本上与周描法相仿，和周描法的 $a \sim c$ 步骤完全相同。

(2) 它的描摹路线是走8字形，如图38所示，因而得名。它描摹出入水楔形的周围，描摹方向由 S 点出发，沿順时針方向經 a 到 b 回到 S ，再由 S 点出发沿逆时針方向經 c 到 d 回到 S 点为止。

(3) 由于描摹两楔形的方向是相反的, 且各在 $O-O$ 的一边, 所以两楔形的面积是相减, 力矩是相加。

(4) 如此将所有乞氏横剖面图一一继续描完, 则 A 轴所记录的是两楔形体积之差, M 是面积对轴线的力矩和。

(5) 使 W 是原正浮水线下的排水量, B_0 为原浮心。 W 和 w 之和等于倾侧后水线下的排水量, 其微增量 w 是由于假设水线仍交 S 点所致。即: $w_1 =$ 出水楔形的排水量, h_1 是重心。

$w_1 + w =$ 入水楔形的排水量, h_2 是重心。 w 由记录轴 A 记录。根据对 S 点的力矩得: $(W + w)SZ = (w_1 + w)Sh_2 + w_1Sh_1 - WSB_0 \sin \theta$, 式中 $(w_1 + w)Sh_2 + w_1Sh_1$ 可从 M 记录轴上读得:

$$\therefore SZ = \frac{(w + w_1)Sh_2 + w_1Sh_1 - WSB_0 \sin \theta}{W + w} \text{ 可进行计算了。}$$

(6) 同样继续上述诸步骤, 可得其他水线在该倾角时的 SZ 。再继续 $a \sim c$ 步骤, 可得不同排水量时各倾角的 SZ 。

目前使用的力矩仪法, 多半用周描法, 其理由是不仅可以直接读出某倾角时的体积及 SZ 值, 而且描摹方向始终如一, 不易出误差。不过在描摹时应尽量防止因手抖动及桌子不平或纸张皱痕等所引起的差错。

3. 布氏法

布氏法为布洛斯加氏所建议。它利用图39的关系得出稳性力臂 GZ ,

$$GZ = GM \sin \theta + MS$$

又设 $C_{RS} = \frac{MS}{BM}$, 代入上式得:

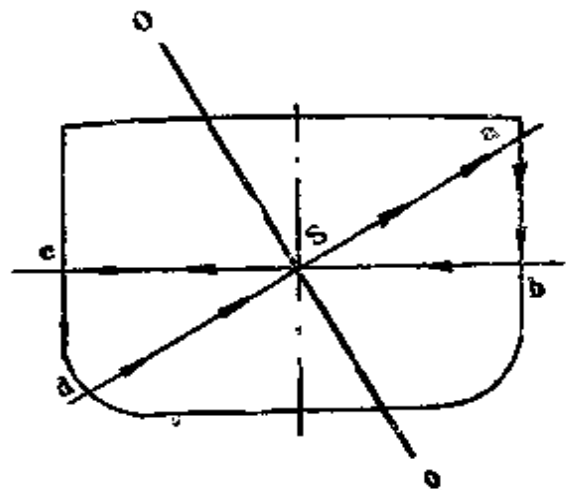


图 38

$$GZ = GM \sin \theta + C_{RS} BM$$

式中: MS ——横稳心移动后的剩余稳性力臂;

C_{RS} ——无因次剩余稳性系数。

通过上式知道: 只要能求得 C_{RS} , GZ 就不难算得。

布氏曾对47艘海船进行了 C_{RS} 的计算与分析。这些船的船型资料是:

$$\frac{d}{B} = 0.2, 0.3, 0.4,$$

0.5 (d 是吃水, B 是船宽)

$$C_b = 0.33 \sim 0.81$$

并将各船的上部结构与舷弧资料来研究对 C_{RS} 的影响, 得出结论如下:

- (1) 水线面积形状对 C_{RS} 的影响极小。
- (2) 方形系数的影响可以忽视。
- (3) 上层结构如艏艉楼或桥楼越长, 影响 C_{RS} 值越大。
- (4) 船舶背舷弧越大, 影响 C_{RS} 越大。
- (5) $\frac{d}{B}$ 比例对 C_{RS} 的影响最大。

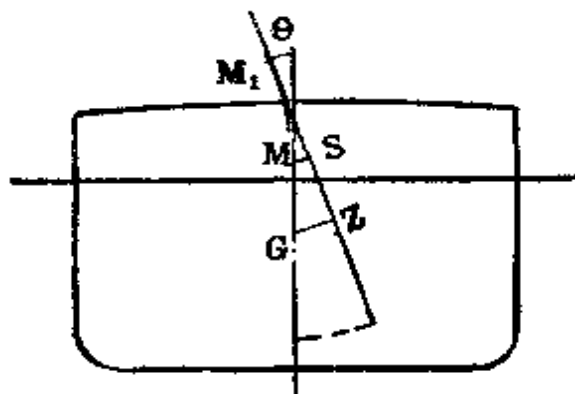


图 39

布氏将这些船型的 C_{RS} 绘成等值曲线, 用 $\frac{D_1}{B}$ 作纵坐标, $\frac{d}{B}$ 作横坐标, 谱成 C_{RS} 曲线图, 图40就是著名的布氏稳性图谱。

图上各符号意义:

$$D_1 = D + \frac{1}{3} \times \frac{SA + SF}{2} + \sum hI$$

D —— 船深;

SA —— 艏舷弧, SF —— 艉舷弧;

h —— 甲板以上水密结构建筑物的高;

l ——該水密建築物長度與船長的百分比；

D_1 ——相當船深。

布氏法是求橫穩性的一種既簡捷又較正確的估算方法，缺陷是它受到一定的船型限制，因而特別對於內河船舶不太適用。

例三．某沿海港口拖輪，其主要規格如下：

吃水 $d=3$ 米

型寬 $B=9.5$ 米

兩柱間長 $L=38$ 米

型深 $D=4.3$ 米

$BG=1.53$ 米

$SA=0.38$ 米

$SF=1.14$

$BM=2.95$ 米

$GM=1.32$ 米

試用布氏法求 GZ 曲綫。

解：

上層建築物名稱	水密部分高 h	水密部分長 l'	$l = \frac{l'}{L}$	hl
1	2	3	4	5
艙部船員室	0.75	5.28	0.14	0.104
機器艙	0.50	7.20	0.19	0.095
機器艙	0.30	9.20	0.24	0.073
艙部船員室	0.30	10.22	0.27	0.081

$$\Sigma hl = 0.35$$

$$\frac{d}{B} = \frac{3}{9.5} = 0.316$$

$$D_1 = D + \frac{1}{3} \times \frac{SA + SF}{2} + \Sigma hl = 4.3 + \frac{1.52}{6} + 0.35 = 4.91$$

$$\frac{D_1}{B} = \frac{4.91}{9.50} = 0.516$$

傾角 θ	C_{RS} 查图(40)	$C_{RS} \cdot BM$	$\sin \theta$	$GM \cdot \sin \theta$	GZ (3)+(5)
1	2	3	4	5	6
15°	0.009	0.027	0.259	0.34	0.37
30°	-0.020	-0.059	0.500	0.66	0.60
45°	-0.050	-0.148	0.707	0.93	0.78
60°	-0.270	-0.797	0.866	1.14	0.35
75°	-0.450	-1.328	0.966	1.28	-0.05
90°	-0.580	-1.711	1.000	1.32	-0.39

现将例二用布氏法来演算，试可比较布氏法的精确度，演算进行前，补充下述数据：船宽 $B=7.7$ 米，型深 $D=3.9$ 米

水线面系数 $C_w=0.73$ ， $BM=1.84$ 米

甲板以上无水密结构建筑物

船首舷弧 $SF=1350$ 毫米，船尾舷弧 $SA=300$ 毫米

解： $BG = Z_{\Phi} - Z_c = 2.6 - 1.85 = 0.75$ 米

$GM = BM - BG = 1.84 - 0.75 = 1.09$ 米

$$D_1 = D + \frac{1}{3} \left(\frac{SA + SF}{2} \right) + \sum hl \quad (\because \sum hl = 0)$$

$$= 3.9 + \frac{1}{6} (0.3 + 1.35) = 4.18 \text{ 米}$$

$$\frac{D_1}{B} = \frac{4.18}{7.7} = 0.54 \quad \frac{d}{B} = \frac{3}{7.7} = 0.40$$

现将上述 $\frac{D_1}{B}$ 与 $\frac{d}{B}$ 利用布氏图谱查出相应的 C_{RS} 值。演算按表18

进行：

将上述诸 θ 时的 GZ 绘在图36上。

表18

	傾角 θ	C_{RS} 查图(40)	$C_{RS} \cdot BM$	$\sin \theta$	$GM \cdot \sin \theta$	GZ (4)+(6)	
1	2	3	4	5	6	7	8
2	15°	0.009	0.017	0.259	0.282	0.299	$BM = 1.84$
3	30°	-0.004	-0.074	0.500	0.545	0.471	
4	45°	-0.150	-0.276	0.707	0.771	0.500	
5	60°	-0.350	-0.652	0.866	0.944	0.392	$GM = 1.09$
6	75°	-0.450	-0.828	0.966	1.053	0.225	
7	90°	-0.650	-1.012	1.000	1.090	0.078	

4. 符拉索夫法

符拉索夫根据波兹久宁等的某些数据, 利用下列公式进行稳性形状力臂 L_{Φ} 的估算。

$$L_{\Phi} = (Z_{90} - Z)f_1(\theta) + y_{90}f_2(\theta) + \rho f_3(\theta) + \rho_{90}f_4(\theta) - BG \sin \theta$$

$$\text{或者: } GZ = (Z_{90} - Z)f_1(\theta) + y_{90}f_2(\theta) + \rho f_3(\theta) + \rho_{90}f_4(\theta) - BG \sin \theta$$

$$\text{式中: } f_1(\theta) = \sin \theta - \frac{1}{8} \sin 4\theta - \frac{1}{32} (35 \sin 2\theta - 9 \sin 6\theta)$$

$$f_2(\theta) = -\frac{1}{8} \sin 4\theta + \frac{1}{32} (35 \sin 2\theta - 9 \sin 6\theta)$$

$$f_3(\theta) = -\frac{1}{8} \sin 4\theta - \frac{1}{32} (\sin 2\theta - 3 \sin 6\theta)$$

$$f_4(\theta) = -\frac{1}{8} \sin 4\theta + \frac{1}{32} (\sin 2\theta - 3 \sin 6\theta)$$

为了简化上述计算, $f_1(\theta)$ 、 $f_2(\theta)$ 、 $f_3(\theta)$ 、 $f_4(\theta)$ 可查阅表19。

亦可查图41。式中 y_{90} 与 $(Z_{90} - Z)$ 分别代表船舶倾斜90°的浮心座标。

$$y_{90} = 0.5 \left(1 - 0.96 \times \frac{d}{D} \right) B;$$

表19

函数 \ θ	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$f_1(\theta)$	-0.036	-0.241	-0.558	-0.722	-0.513	0.026	0.603	0.935	1.00
$f_2(\theta)$	0.050	0.337	0.840	1.279	1.365	1.056	0.583	0.210	0
$f_3(\theta)$	0.151	0.184	0.081	-0.069	-0.155	-0.135	-0.062	-0.010	0
$f_4(\theta)$	0.010	0.062	0.135	0.155	0.069	-0.081	-0.184	-0.151	0

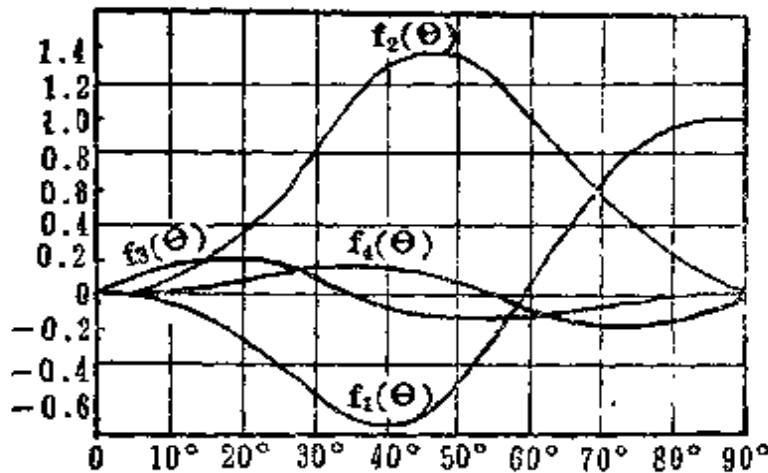


图 41

$$Z_{90} - Z = 0.64 \left(1 - 1.03 \times \frac{d}{D_1} \right) D_1;$$

$$D_1 \text{——相当船深} = \left(1 + \frac{C_b}{C_w} \cdot \frac{V_n}{V_D} \right) D;$$

V_n ——穿过上甲板在縱中剖面处，正浮水线以上船体水密部分的体积，其中尚包括舷弧及梁拱范围内的船体体积；

$$V_D \text{——在吃水 } D \text{ 时的排水体积} = V \left[1 + \frac{C_w}{C_b} \left(\frac{D}{d} - 1 \right) \right];$$

$$\rho_{90} = \frac{(Z_{90} - Z)^3}{(y_{90})^3} \cdot \rho, \quad \rho_{90} \text{ 是船舶倾斜 } 90^\circ \text{ 的稳心半径};$$

ρ ——正浮时的横稳心半径 BM ;

整个计算可按表20进行:

表20

序号	θ 符号与公式	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	$f_1(\theta)$									
2	$f_2(\theta)$									
3	$f_3(\theta)$									
4	$f_4(\theta)$									
5	$(Z_{90}-Z)f_1(\theta)$									
6	$\gamma_{90}f_2(\theta)$									
7	$\rho f_3(\theta)$									
8	$\rho_{90}f_4(\theta)$									
9	L_{Φ}									
10	$\sin\theta$									
11	$BG\sin\theta$									
12	GZ									

例四. 仍以布氏法计算之例二为例, 但增加 $C_b=0.5$ 的数据。

$$\text{解: } D_1 = D \left(1 + \frac{C_b}{C_w} \cdot \frac{V_n}{V_D} \right)$$

$$V_n = L \times B \times \frac{1}{2} (SA + SF) - L \times B \times \frac{3}{5} \times \frac{1}{2} \times (SA + SF)$$

$$= 27 \times 7.7 \times \frac{1}{2} (0.3 + 1.35) \times 0.6 = 68.607 \text{ 立方米}$$

$$V_D = V \left[1 + \frac{C_w}{C_b} \left(\frac{D}{d} - 1 \right) \right]$$

$$= 307.5 \left[1 + \frac{0.75}{0.5} \left(\frac{3.9}{3} - 1 \right) \right]$$

$$= 440 \text{ 立方米}$$

$$\therefore D_1 = 3.9 \left(1 + \frac{0.5}{0.75} \times \frac{68.607}{440} \right) \\ = 4.31 \text{ 米}$$

用布氏法与本法来演算相当船深，公式虽迥不同，结果几乎相同。但布氏法用的公式较简单。

$$BG = 0.75 \text{ 米}$$

$$Z_{90} - Z = 0.64 \left(1 - 1.03 \times \frac{d}{D_1} \right) D_1 \\ = 0.64 \left(1 - 1.03 \times \frac{3}{4.31} \right) \times 4.31 \\ = 0.77$$

$$J_{90} = 0.5 \left(1 - 0.96 \times \frac{d}{D_1} \right) B \\ = 0.5 \left(1 - 0.96 \times \frac{3}{4.31} \right) \times 7.7 = 1.263$$

$$\rho = BM = 1.84$$

$$\rho_{90} = \left(\frac{Z_{90} - Z}{J_{90}} \right)^3 \rho = \left(\frac{0.77}{1.263} \right)^3 \times 1.84 = 0.41$$

将上述诸 GZ 值绘在图36上。

5. 日人今井信男氏法

日人今井信男氏假定：

(1) 瘦型船的浮心移动曲线近于椭圆曲线。

(2) 肥型船的浮心移动曲线，是椭圆曲线与抛物线的连续曲线。曲线连续点相当于船横倾角在 $15 \sim 25^\circ$ 之间，或甲板边缘进水前。

根据上述假设而求出的 GZ ，与他用力矩仪所算出的结果相比较，认为结果相互很接近。计算的船舶有军舰，有民用船舶如渔轮、海上运输船等。

表21

序号	符号公式	θ	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	$(Z_{90}-Z)f_1(\theta)$		-0.028	-0.166	-0.428	-0.556	-0.395	0.020	0.484	0.720	0.77
3	$\gamma_{90}f_2(\theta)$		0.063	0.428	1.061	1.615	1.724	1.334	0.736	0.285	0
4	$\rho f_3(\theta)$		0.278	0.339	0.149	-0.127	0.285	-0.248	-0.114	-0.018	0
5	$\rho_{90}f_4(\theta)$		0.004	0.025	0.055	0.064	0.028	-0.033	-0.075	-0.082	0
6	$(2)+(3)+(4)+(5)$		0.317	0.604	0.837	0.986	1.072	1.073	1.011	0.904	0.77
7	$\sin\theta$		0.174	0.342	0.500	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985	1.0
8	$BG\sin\theta$		0.131	0.257	0.375	0.482	0.575	0.650	0.705	0.739	0.75
9	GZ		0.186	0.347	0.452	0.514	0.497	0.423	0.306	0.165	0.02

計算 GZ 的公式分瘦型及肥型船两种:

瘦型船:

$$GZ = \left[\pm (a-b) \frac{1 + \frac{b}{a}}{\sqrt{\tan^2 \theta + \left(\frac{b}{a} \right)^2}} - (BG-b) \right] \sin \theta$$

θ = 橫傾角

$$a = B \left(0.180 \times \frac{f_1}{d} + 0.072 \right)$$

$$b = d \left(0.520 \times \frac{f_1}{d} - 0.015 \right)$$

a 、 b 也可由图42查得。

B ——船寬, d ——吃水, f_1 ——有效干舷, 即相当船深和吃水

之差, (\pm) 符号是当 $\theta < \frac{\pi}{2}$ 时选用 $(+)$, 当 $\theta > \frac{\pi}{2}$ 时用 $(-)$ 。

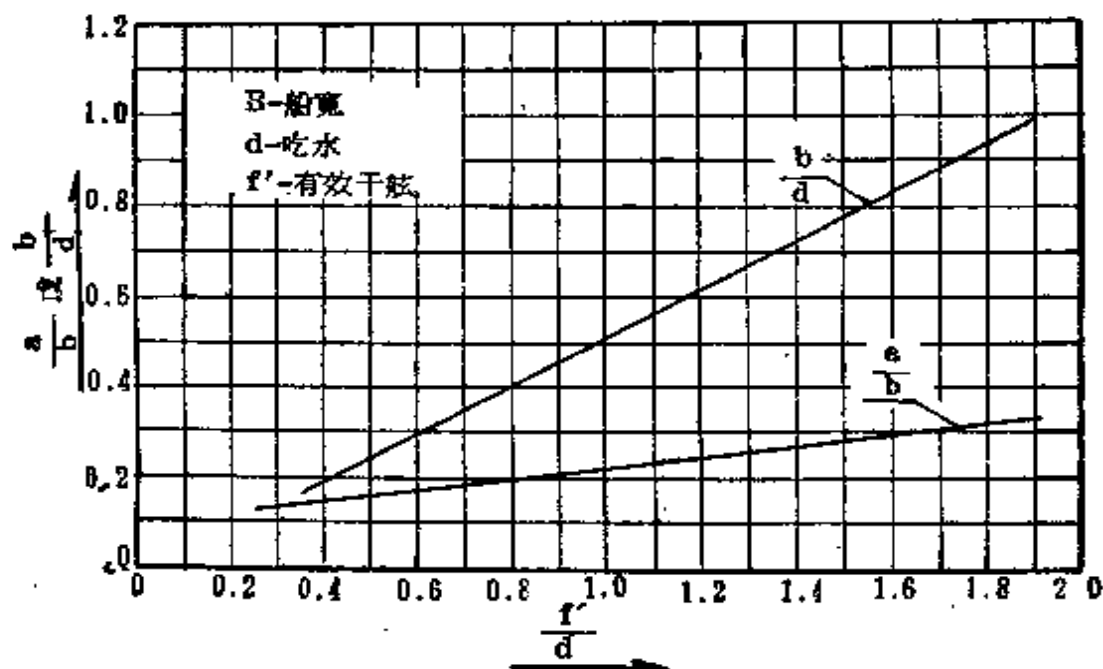


图 42

由上式看出, 当 $\theta = \frac{\pi}{2}$, 则 $\tan \theta \rightarrow \infty$ $\sin \theta = 1$, 公式变为:

$$GZ = b - BG$$

肥型船:

$$GZ = \left(GM + BM \cdot \frac{\tan^2 \theta}{2} \right) \sin \theta$$

上式适用于当 $\theta < 25^\circ$, 或甲板进水前。

当 $\theta \rightarrow 0$ 时, $GZ = GM \sin \theta$

$$GZ = \left[\pm (a - b') \times \frac{1 + \frac{b'}{a'}}{\sqrt{\tan^2 \theta + \left(\frac{b'}{a'} \right)^2}} - \frac{e}{\tan \theta} - (BG - b) \right] \sin \theta$$

上式适用于 $\theta > 25^\circ$ 。

上式中, 符号 (±), 当 $\theta > \frac{\pi}{2}$ 取用 (-), 当 $\theta < \frac{\pi}{2}$ 取用 (+)。

$$a' = \frac{\beta - \alpha \tan \varphi}{\beta - 2\alpha \tan \varphi} \cdot \alpha$$

$$b' = \frac{\beta - \alpha \tan \varphi}{\beta - 2\alpha \tan \varphi} \sqrt{\beta(\beta - 2\alpha \tan \varphi)}$$

$$\alpha = a - BM \tan \varphi, \quad e = a' - a$$

$$\beta = b - BM \cdot \frac{\tan 2\varphi}{2}$$

a 和 b 意义是瘦型船注释

$$\tan \varphi = \frac{2f}{B}, \quad f \text{ 是干舷, } B \text{ 是甲板宽。}$$

$\tan \varphi$ 的 φ 是甲板进水角。若舳部出水角 $\tan \varphi = \frac{2d}{B}$ 比甲板进水角小, 甲板进水角改用舳部出水角代替。

現仍舉上述拖輪為例，試用今井信男氏法求 GZ 。

解：船舶屬於瘦型 ($C_b=0.5$)，採用

$$GZ = \left[(a-b) \frac{\left(1 + \frac{b}{a}\right)}{\sqrt{\tan^2 \theta + \left(\frac{b}{a}\right)^2}} - (BG-b) \right] \sin \theta$$

$$f_1 = 4.18 - 3 = 1.18$$

$$\frac{f_1}{d} = \frac{1.18}{3} = 0.393$$

$$\text{查圖42得 } \frac{b}{d} = 0.18, \frac{a}{B} = 0.15$$

$$b = 0.54 \quad a = 1.16$$

$$\text{據公式：} \quad b = 3(0.52 \times 0.393 - 0.015) = 0.568$$

$$a = 7.7(0.18 \times 0.393 + 0.072) = 1.10$$

$$\text{取上述平均值，得 } a = 1.13, b = 0.55. \quad \frac{b}{a} = \frac{0.55}{1.13} = 0.487, \left(\frac{b}{a}\right)^2 =$$

$$= 0.237, BG-b = 0.20, a-b = 0.58, (a-b) \left(1 + \frac{b}{a}\right) = 0.863$$

將上述諸數字代進表22內進行計算。

將上述諸 GZ 值也繪在圖36上。

根據圖36上諸法算得的各 GZ 曲綫可看出：

(1) 今井信男氏法的結果，在 30 度前基本與例二的曲綫符合，相應出現的靜傾角相符。過頂點後， GZ 值相差較大，穩距出入亦大。

(2) 符拉索夫法與布氏法的結果很接近，兩法結果與例二的曲綫基本上也相符合，出入不大。

(3) 三個近似估算法的穩距與實際結果相差較大。

(4) 三個估算法都尚適用，但布氏法最簡單。若無布氏圖譜可利用，可用今井信男氏法以謀簡捷。

表22

$(a-b)(1+\frac{b}{a})$ =0.863			$(BG-b)=0.20$		$(\frac{b}{a})^2=0.237$		
θ	$\tan\theta$	$\tan^2\theta$	$\sqrt{\tan^2\theta+(\frac{b}{a})^2}$	$\frac{(a-b)(1+\frac{b}{a})}{\sqrt{\tan^2\theta+(\frac{b}{a})^2}}$	$\frac{(5)}{0.20}-\sin\theta$	$\sin\theta$	GZ (6)×(7)
1	2	3	4	5	6	7	8
15°	0.268	0.072	0.556	1.59	1.35	0.259	0.350
30°	0.577	0.333	0.755	1.14	0.94	0.500	0.470
45°	1.000	1.000	1.112	0.78	0.53	0.707	0.410
60°	1.732	3.000	1.800	0.48	0.28	0.866	0.240
75°	3.732	14.028	3.900	0.22	0.02	0.966	0.020
90°	∞	∞	∞	0	-0.20	1.000	-0.020

§ 14 綜合穩性曲綫及其應用

船舶因裝卸貨物或備品消耗致使其排水量與重心隨着變化，要使船上管理人員能夠及時知道各不同排水量時的穩性情況，單純靠靜穩性曲綫是不能滿足要求的。綜合穩性曲綫或稱橫截穩性曲綫就是滿足這種要求的穩性曲綫，如圖43所示。它由各不同排水量時的 GZ 曲綫所組成，

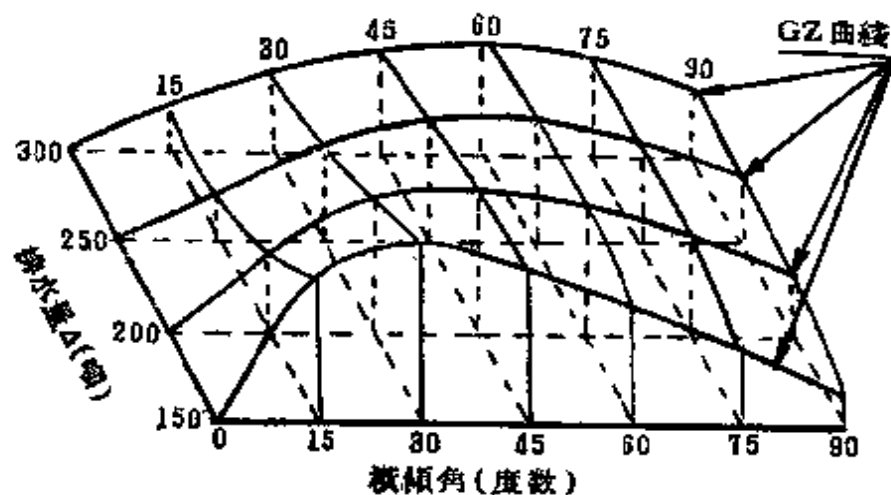


圖 43

而这 GZ 曲线的重心 G 位置都是假设的一个数值，使各水线时的重心都相同，这通用各吃水时的船重心，就称虚重心。因此综合稳性曲线图上，只有一个代表固定的重心位置，在实际应用时，还得将实际重心位置考虑进去，校正曲线，就可随时求得各该排水量时的实际曲线，虚重心习惯以某一水线及中线的交点 S 来代表，所以在综合稳性曲线图上以 SZ 代替 GZ ，称 SZ 曲线。

苏联表格式的计算稳性方法，就专适用于 SZ 曲线的演算。

参阅图44，综合稳性曲线图上是每隔 10° 或 15° 的倾角时的 SZ 曲线簇所组成。在绘制时，将每个排水量的各相同倾角时的 SZ 作为纵坐标，排水量为横坐标，连成的曲线就是不同排水量而同倾角的 SZ 曲线。

图45上的 a 曲线，代表某排水量 Δ_1 时的 SZ 曲线，该曲线由图44上按 Δ_1 的纵坐标和各横截曲线的交点所连成。综合稳性曲线的虚重心至基线垂直距是 KS ，而在 Δ_1 时实际的重心位置是 KG_1 ，两重心相差 SG_1 。将截取的各交点加以修正：

$$G_1Z_1 = SZ - SG_1 \sin \theta$$

连结各 G_1Z_1 成曲线，绘成图45上的 b 曲线。 b 曲线才是真正的这时的稳性曲线。事实上， a 曲线无需绘出，通过重心位置的修正，能直接绘出 b 曲线来。

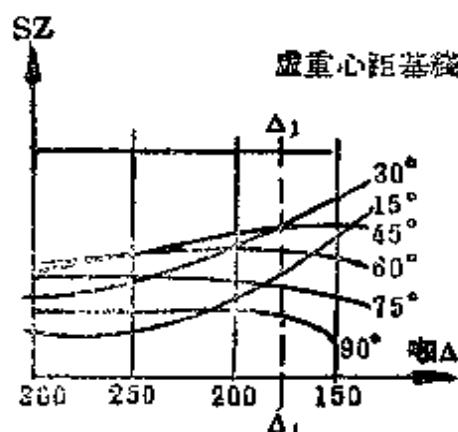


图 44

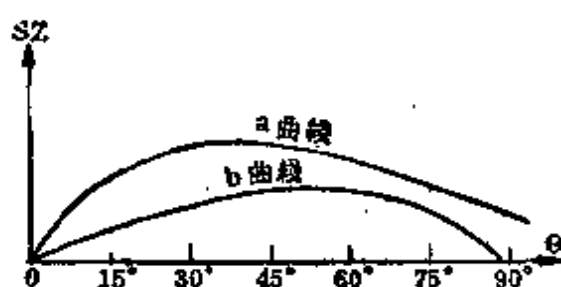


图 45

船舶的静稳性资料，都以具备综合稳性曲线图作代表，新造或改建出厂的船，都应具有这些资料。

§ 15 动 稳 性

假使船舶在突然袭击的外力作用下发生横倾，由于此时船带有明显的角速度变化，这种横倾称动力横倾。船舶抵抗这一动力横倾的能力称动稳性。现参閱图46，船舶受有动力倾斜力矩 M_{kp} 的作用。在这一作用下，若 M_{kp} 是常数，则 M_{kp} 将会以平行于軸綫的直綫出現。 M_{kp} 和靜稳性曲綫交于 A 点。

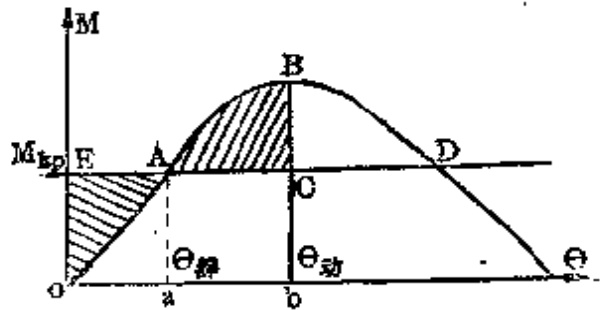


图 46

若 M_{kp} 是靜横倾力矩，則船将在 A 点相应的靜倾角 θ_a 平衡。但因 M_{kp} 是动力矩，有角速度存在，它即使经过 A 点也不会平衡，会繼續倾斜超越 θ_a 角。但过 θ_a 角后的回复力矩已比較动力矩大，使船变为减速度的倾斜。这倾斜直到 θ_b 角处才停止。 θ_b 处为角速度被减速为零处。倾斜过 θ_b 后， B 点的回复力矩开始大于横倾力矩，船将向反方向倾斜，如此就形成反复倾斜的横摇运动，直到能量完全被水阻力消耗尽时止。

在旋轉运动中，运动所作之功，是力矩与旋轉角的乘积。然而从上述現象知道，力矩相等的平衡条件，只能适用于靜稳性情况，在动横倾情况中，由于两力矩方向相反，只有力矩所作之功相等时才会平衡。参閱图46， M_{kp} 所作之功为面积 $OECb$ ，回复力矩所作之功为面积 $OABb$ 。若两功相等，則：

$$OEA = ACB$$

滿足这一平衡条件的 B 点所相应之角 θ_b ，称动稳性平衡角，簡称动倾角。至此知道，可以利用靜稳性曲綫图来解决动稳性的問題。

在动稳性中，回复力矩所具有之功，是决定船舶的动稳性良好与否的主要因素。

参閱图47，动力倾斜力矩 M_{kp} 交靜稳性曲綫于 C 点。由于面积 $OEA =$ 面积 ABC ，所以在 C 点达到动力平衡， C 点相应之角 θ_c 为动倾

角。从图上可见交点C位于曲线之上，过此已无剩余之功面积（不像图46上尚有剩余功面积CBD），所以此 θ_c 角为最大动倾角，或称极限动倾角。 M_{kp} 也相应地称极限动倾力矩。

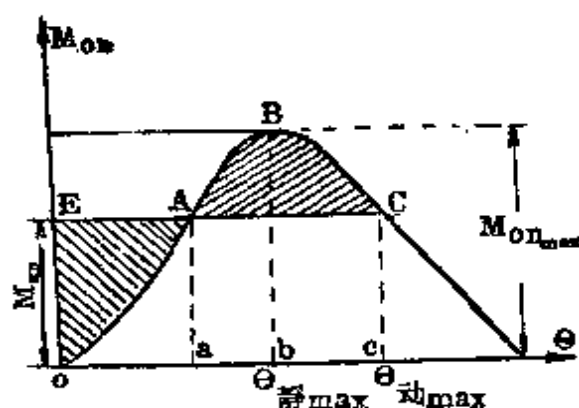


图 47

若现有某外来的常值静倾力矩 M_{0n} ， M_{0n} 交于曲线的顶点 B，其相应之 θ_b 角，已如前述称最大静倾角。由此可见最大动倾角一定比最大静倾角大，也可说动倾角一定大于静倾角。

§ 16 动稳性的图解与计算

在静稳性中已知静倾力矩是：

$$\Delta GZ = \Delta (x \cos \theta + y \sin \theta - BG \sin \theta) = \Delta f(\theta)$$

又知动稳性是以力矩对横倾角所作之功来表现。若功是 W ，则：

$$W = \Delta \int_0^{\theta} f(\theta) d\theta = \Delta \int_0^{\theta} GZ d\theta$$

或将上式化简为：
$$\frac{W^0}{\Delta} = \int_0^{\theta} GZ d\theta$$

因而显然 $\int_0^{\theta} GZ d\theta$ 相当于动稳性力矩臂。这一力矩臂是以 θ 作函数的

曲线，如图48，其纵坐标是力矩 GZ 对该倾角 θ 所作之功。曲线也就是静稳性曲线从 0° 到这横倾角时所包含的曲线面积，称动稳性曲线。

計算動力穩性或動穩性力矩臂時，只須將 GZ 曲線下的面積算出即可。

GZ 曲線包含的面積大，意即船的動穩性良好。這一方面決定于各傾角時的 GZ 值，另一方面決定于穩距的大小。決定穩距大小的主要是干舷的高低。所以船有較高干舷，對抗動力橫傾是有利的。

靜穩性曲線可以解決動穩性問題，動穩性曲線更方便于解決動穩性問題。現分別敘述動穩性曲線的普遍性質，以及曲線的計算方法。

1. 動穩性曲線的性質

(1) 如图48所示，在曲線上相對於靜傾角消失處，出現曲線的最大值；相對於最大靜傾角出現處，出現反折點 A 。

(2) 在靜穩性曲線圖上，已証實靜穩性力矩臂對於橫傾角的導數就是初穩性高。在動穩性曲線圖上，也可相仿地証實動穩性力臂對橫傾角的導數，就等於靜穩性力臂，証明如下：

W = 動穩性力矩

$$\text{動穩性力臂} \frac{W}{\Delta} = \int_0^{\theta} GZ d\theta$$

$$\text{令} \quad L = \frac{W}{\Delta}$$

$$\text{則} \quad dL = GZ d\theta$$

$$\frac{dL}{d\theta} = GZ = \frac{GZ}{1 \text{ 弧度}}$$

$$\therefore \quad \frac{dL}{d\theta} = \frac{GZ}{\theta} \quad \theta = 57.3^\circ$$

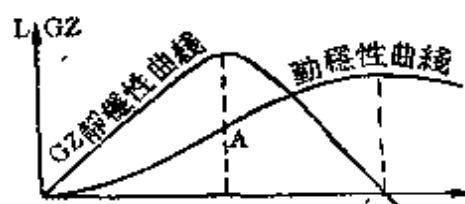


图 48

如图49所示，在動穩性曲線的原點附近作一切綫，這一切綫與 $\theta = 57.3^\circ$ 處的垂綫交於一點，該點至其垂足的距离就等於靜穩性力臂 GZ 。

(3) 在動穩性曲線圖上，按同樣比例繪出外來動傾力矩 $M_{\kappa p}$ 曲線，二曲線的交點即為動傾角。但在實用上， $M_{\kappa p}$ 一般都是常數，即：

$$W = \int_0^{\theta} M_{kp} d\theta = M_{kp} \theta$$

上式表示通过曲线原点 O 的一根直线。现若取 $\theta = 57.3^\circ$ ，则在曲线图上的相应于 $\theta = 57.3^\circ$ 的纵坐标一定就是 M_{kp} ，如图50所示。由这代表 M_{kp} 的纵坐标点与原点 O 连成的直线，即是动倾力矩功 W 。

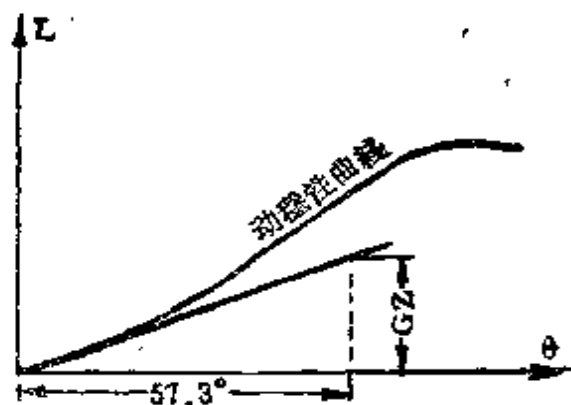


图 49

W 直线与曲线的交点垂足，就是相应的动倾角。在图上该直线与曲线交于 B 点， θ_b 即为该动倾角。

(4) 参阅图51，若连至原点 O 的直线由割线变为动稳性曲线的切线，则切点 B 就表示极限力矩， B 点垂足 θ_b 即为相应的极限动倾角。超出这个范围，船将倾复。

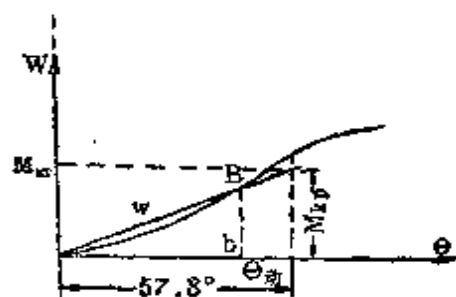


图 50

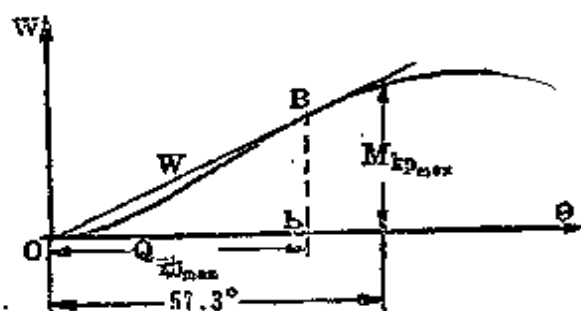


图 51

2. 动稳性曲线的计算

在动稳性中，稳性大小可只以动稳性力臂的大小为转移，理由是排水量是个常数。所以计算动稳性就是计算稳性力臂 L 。

计算按表23进行。

表23第4栏即为各 θ 角的动稳性力臂。

现举例说明如下：

若某船在各倾角时的诸 GZ 值已求出，试用表24算其动稳性，并绘成曲线。

$\Delta\theta$: _____

表23

等分傾角 θ	GZ	積分和 $=2(y_1+\dots)+y_n$	$(3) \times \frac{1}{2} \times \Delta\theta \times \frac{\pi}{180}$
1	2	3	4
θ_1	y_1	y_1	
θ_2	y_2	$2y_1+y_2$	
θ_3	y_3	$2(y_1+y_2)+y_3$	
θ_4	y_4	$2(y_1+y_2+y_3)+y_4$	
\vdots	\vdots	
\vdots	\vdots	
θ_n	y_n	$2(y_1+y_2+\dots y_{n-1})+y_n$	

 $\Delta\theta: 10^\circ$

表24

θ	GZ	(2)的積分和	$\frac{1}{2} \times \Delta\theta \times \frac{\pi}{180}$	L
1	2	3	4	$(3) \times (4)$ 5
10°	0.242	0.242	0.0873	0.021
20°	0.442	0.926	0.0873	0.081
30°	0.564	1.932	0.0873	0.170
40°	0.594	3.090	0.0873	0.270
50°	0.520	4.204	0.0873	0.367
60°	0.353	5.073	0.0873	0.443
70°	0.149	5.575	0.0873	0.487
80°	-0.088	5.826	0.0873	0.491
90°	-0.330	5.495	0.0873	0.480

表上第2栏就是已算知的諸 GZ 值。

根据上表結果，繪成曲綫如图52。

对于动稳性的近似計算，可以采用如下的公式：

$$L = y_{90}f_1(\theta) + (Z_{90} - Z)f_2(\theta) + p_0f_3(\theta) + p_{90}f_4(\theta) - BG(1 - \cos \theta)$$

式中 y_{90} 及 $(Z_{90} - Z)$ 的意义与 § 13 中符拉索夫法的一样，而函数 $f_1(\theta) \sim f_4(\theta)$ 具有表25的諸值。

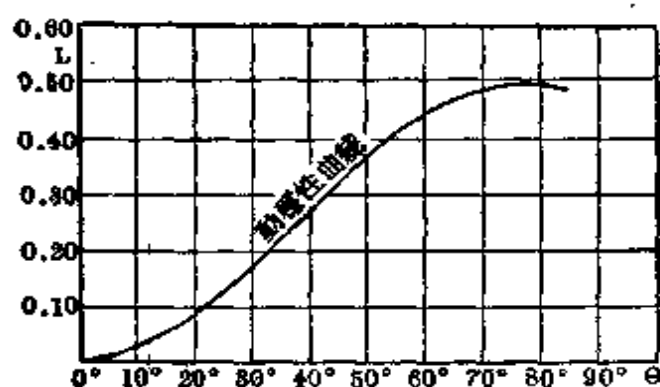


图 52

表 25

θ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$1 - \cos\theta$	0	0.015	0.060	0.134	0.234	0.357	0.500	0.658	0.826	1.000
$f_1(\theta)$	0	0.0017	0.0317	0.133	0.321	0.558	0.774	0.917	0.983	1.000
$f_2(\theta)$	0	-0.0016	-0.0392	-0.093	-0.208	-0.322	-0.367	-0.310	-0.170	0
$f_3(\theta)$	0	0.0142	0.0524	0.0703	0.071	0.050	0.023	0.006	0.0004	0
$f_4(\theta)$	0	0.0004	0.006	0.023	0.050	0.071	0.070	0.052	0.014	0

本法是由符拉索夫求静稳性的公式中导出的，可省略静稳性近似计算的过渡，直接得到动稳性的近似值。

读者可试用本法演算上述实例，并比较其结果。

第五章 影响稳性的因素

船舶稳性除在设计阶段要妥善安排外，在实际营运过程中更须使用得当，否则会使原有稳性恶化，甚至发生危险。在海上失事船舶统计中，货轮因稳性失事的，大部分是由于运用不当和船舶重心移位所致，

2. 横向移动

如图54所示, 重物 W 由 A 水平移至 A_1 , 位移距 $=x$, 使船发生横倾, 在横倾角为 θ 时平衡。

使船微倾的力矩 $= Wx \cos \theta$

此时回复力矩 $= \Delta GM \sin \theta$

两力矩必然在这时相等, 即:

$$\Delta GM \sin \theta = Wx \cos \theta$$

$$\tan \theta = \frac{Wx}{\Delta GM}$$

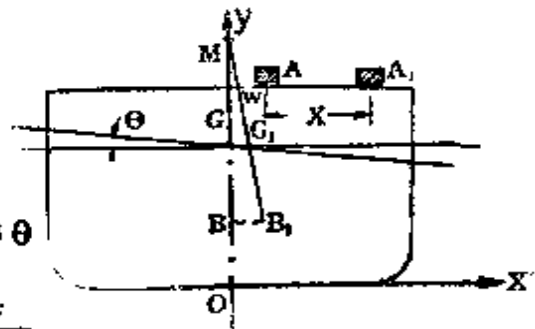


图 54

当倾角微小, $\theta \rightarrow 0$, 则: $\theta = \frac{Wx}{\Delta GM}$

由于这一横倾角的存在, 船减少了甲板进水角的裕量, 提早进水角度对稳性显然是很不利的。

3. 纵向移动

如图55所示, 它的情况与横倾相仿, 由于重物 W 自 A 移至 A_1 , 使船发生艏艉的纵倾角 φ 。若纵向位移距是 l , 则纵倾力矩必然与回复力矩平衡于 φ 角, 即:

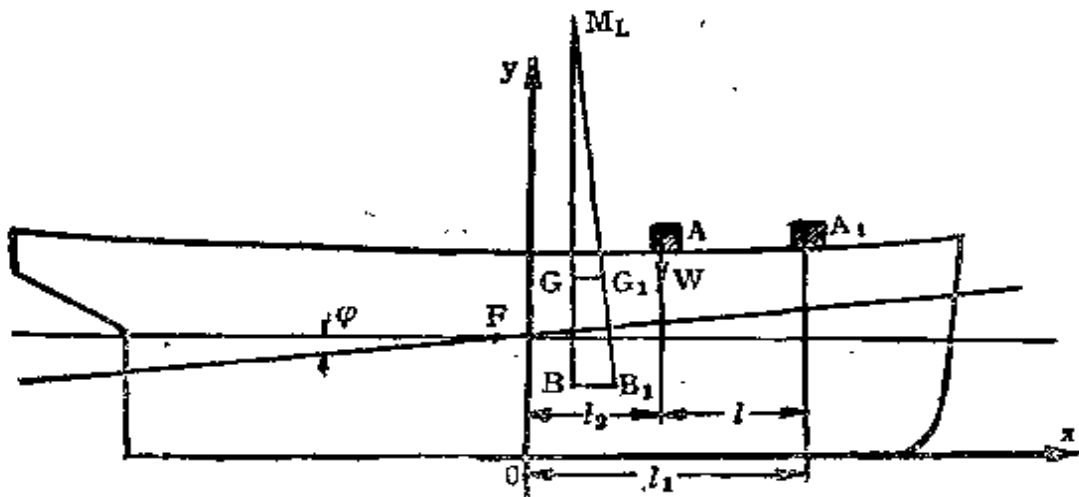


图 55

$$\Delta GM_L \sin \varphi = Wl \cos \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{Wl}{\Delta GM_L}$$

GM_L 是縱定傾高。

4. 重物在任意方向的移动

設重物 W 由 $A(x, y, z)$ 移至任何点 $B(x_1, y_1, z_1)$ 。由这种位移所造成的影响，可利用上述 a 、 b 、 c 三方法算得的结果迭加而得。換句話說，就是考虑到垂向分位移后，先求此初稳性高，然后利用已求得的新 G_1M ，找出横倾角 θ 与縱倾角 φ 。即：

$$\text{新的 } G_1M = GM \pm \frac{W}{\Delta} (z_1 - z)$$

$$\tan \theta = \frac{W(x_1 - x)}{\Delta G_1M_L}$$

$$\tan \varphi = \frac{W(y_1 - y)}{\Delta G_1M_L}$$

在上述四种移动中，假若重物造成的力矩不大，則属于小倾角的傾斜。

§ 18 貨物等装卸所引起的影响

船舶由于貨物、燃料、备品的装卸，会引起排水量及船重心发生变化。这种变化也使船舶稳性受到影响。移动在这里可視為相当于装卸，那末情况也不外乎如 § 17 所述的四种移动，現分述于后。

1. 鉛直位移

如图56所示，設重物 W 是在船重心的垂綫上位移至 A 点，离基綫高是 y 。排水量由原有的 Δ 变为 $\Delta + W$ 。 M 、 B 及 G 均相应的移至 M_1 、 B_1 及 G_1 。增加 $\frac{W}{\Delta}$ 吃水的水层重心是 K 。現假設船作某小角度 θ 的微横傾，如图57所示，則：

$$\text{原有回复力矩} = \Delta GM \sin \theta$$

$$\text{微横倾的力矩} = \pm W A_m \sin \theta$$

$$\text{剩余回复力矩} = (\Delta GM \pm W A_m) \sin \theta$$

上式中的 m 是 K 移动轨迹曲线的曲率中心，曲率半径设为 ρ ，
(\pm) 符号以 A 点地位而定，在 m 之上为负；在 m 之下为正。

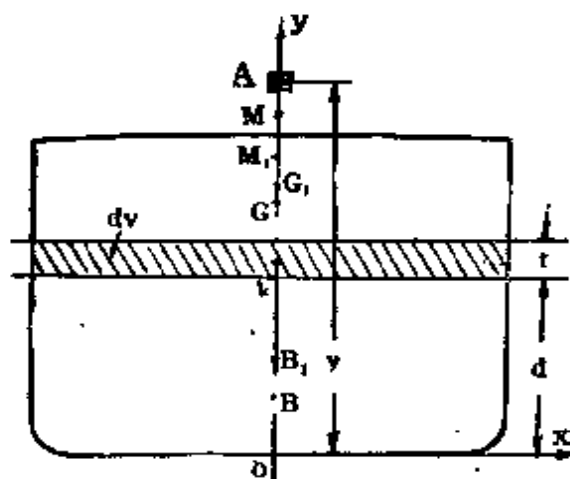


图 56

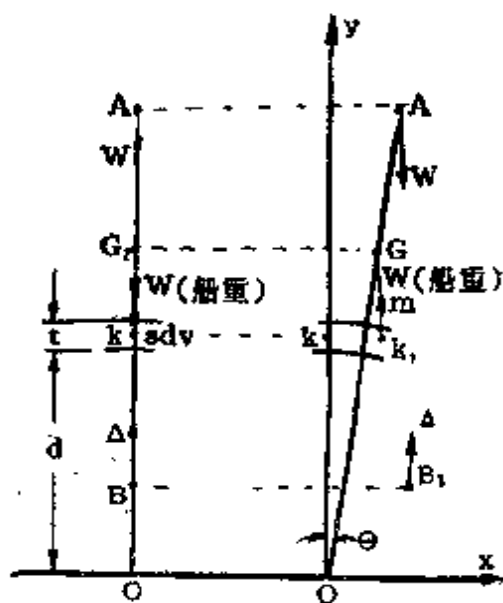


图 57

船的新初稳性可求之为：

$$KG \Delta + W y = (\Delta + W) KG_1$$

$$KG_1 = \frac{KG \Delta + W y}{W + \Delta}$$

利用 $\Delta + W$ 的排水量，查静水船性曲线，可得此时的横稳心 KM_1 ，于是：

$$G_1 M_1 = KM_1 - KG_1$$

将 $G_1 M_1$ 代入剩余回复力矩得：

$$G_1 M_1 (\Delta + W) \sin \theta = (\Delta GM \pm W A_m) \sin \theta$$

$$G_1 M_1 = \frac{\Delta GM \pm W A_m}{\Delta + W}$$

由图上知：

$$AK = \left[y - \left(d + \frac{t}{2} \right) \right]$$

$$AK = Am$$

$$\begin{aligned} \text{那末, } G_1M_1 &= \frac{\Delta GM}{\Delta + W} \pm \frac{W}{\Delta + W} \left[y - \left(d + \frac{t}{2} \right) \right] \\ &= GM + \frac{W}{\Delta + W} \left[\pm \left[y - \left(d + \frac{t}{2} \right) \right] - GM \right] \end{aligned}$$

根据上式知道：若仍要使 $G_1M_1 = GM$ ，即装卸物不影响稳性，只有使

$$GM \pm \left[y - \left(d + \frac{t}{2} \right) \right] = 0 \quad \text{或} \quad GM \pm \left(y - d - \frac{t}{2} \right) = 0$$

一般 $\frac{t}{2}$ 很微小可不计，则 $y = d \pm GM$ 。从上述演算知道，当船上的

重物垂直位移等于 $d \pm GM$ 时，可以不影响稳性。

以上是指重物的装载，若改为卸除仍能适用。

2. 横向位移

由于新初稳性高已经求得，可以套用过去排水量 Δ 不变时求横倾角 θ 的公式以求横倾角。若求得的新定倾高是 G_1M_1 ，则：

$$\tan \theta = \frac{Wx}{(\Delta + W)G_1M_1} \quad (x \text{ 是水平横位移})$$

3. 纵向位移

$$\tan \varphi = \frac{Wz}{(\Delta + W)G_1M_1} \quad (z \text{ 是水平纵位移})$$

4. 任何向位移

重物在船上影响原船排水量的沿任何方向的移动，可将上述 a 、 b 及 c 的结果迭加，就能求得对稳性的影响。

§ 19 自由液面对稳性的影响

船舶的水舱、油舱、锅炉以及凝水柜等内没有将液体装满，当船遇有横倾时，这种液体就会左右摆动。能自由随船摆动或流动的液面称为自由液面。

如图58所示， Δ 是船的排水量， v 是船中自由液面液体的体积， ρ 是该液体的密度。

自由液体重心 b_0 在船微横倾时移至 b_1 ，两作用线交于 m 点。 m 点可视为液体重量的集中点。

液体重量 ρv 由 b_0 移至 b_1 后，设在 b_0 上增一方向相反、大小相等重合一线的两个力，力

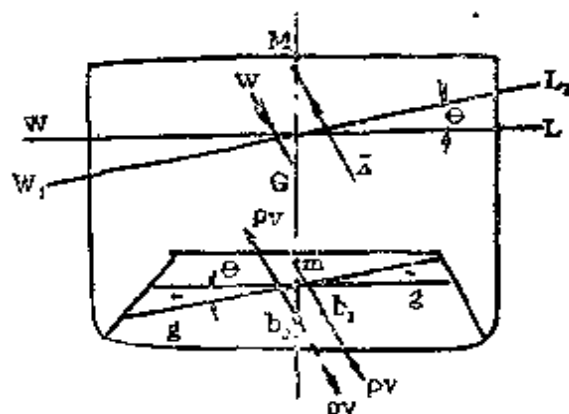


图 58

等于 ρv 。虚设的力弥补船微倾后重心偏移的影响，以使船仍保持有原来的 G 与 M 位置。另一力则与 b_1 之力形成力矩，使船继续横倾。

使船继续横倾的力矩 $= \rho v b_0 m \sin \theta$

在第二章内已知，在小倾角时： $v \cdot b_0 b_1 = v \cdot g g$

式中： v' 是自由液体楔形体积； g 是自由液体楔形体积的重心。

若 i 是液面对中线的惯性力矩，则： $b_0 b_1 = \frac{v'}{v} \cdot g g$

$$\text{或写为: } b_0 b_1 = \frac{i \theta}{v}$$

$$\begin{aligned} b_0 m &= \frac{b_1 b_0}{\theta} \\ &= \frac{i}{v} \end{aligned}$$

因为这时剩下的回复力矩 $= \Delta G M \sin \theta - \rho v b_0 m \sin \theta$

将 $b_0 m = \frac{i}{v}$ 代入上式，可得：回复力矩 $= \Delta \sin \theta \left[G M - \frac{\rho i}{\Delta} \right]$ 。从

上式可以知道，船舶原有初稳性高显然被缩短了 $\frac{\rho i}{\Delta}$ 。应该设法使 $\frac{\rho i}{\Delta}$ 的缩短值降低到极小值以维持原有稳性。

i 的大小主要由液面的宽度而定，通常多以设置纵隔舱作为降低自由液面影响的措施。现假设貯放液体的舱的水平剖面为长是 l 、宽是 b 的矩形。当船横倾时，它对于船纵向轴的惯性力矩是：

$$i = \frac{1}{12} l \cdot b^3$$

现若将舱等分为二的纵向隔开，则 i 将变为：

$$\begin{aligned} i &= \frac{l \left(\frac{b}{2} \right)^3}{12} + \frac{l \left(\frac{b}{2} \right)^3}{12} \\ &= \frac{1}{4} \times \frac{l \cdot b^3}{12} \end{aligned}$$

証出舱被等分为 2 个后，惯性力矩 i 降低为原来的 $1/4$ ，即隔舱数的平方的倒数。同样不难证明，若舱被纵向等分隔成几个舱，则：

$$i = \frac{1}{n^2} \times \frac{l b^3}{12}$$

因而可说明，若采用纵向分隔液体舱的话，对于降低自由液面对初稳性的影响是很有效的。除此以外，将舱灌满或罄尽也是方法之一。

自由液面对稳性的影响，在渔轮、油轮及运送淡水等船只中有独特的意义。

§ 20 散货及活动货对稳性的影响

船舱中装有粒状货物，如散装的稻、豆、麦等，在船横倾时，这些散货会发生移动，造成对稳性有害的影响。

参阅图 59， ac 原为货物平面，移动后平面成为 cf ， def 移至 $abcd$ ，重心由 g_1 移至 g_2 。若移动部分的货重为 Δ ，船重为 Δ ，那末由于货物位移使船重心由 G 移至 G_1 。此时：

$$\text{货物重心水平位移 } h = g_1 g_2 \cos \theta$$



貨物重心垂向位移 $d = g_1 g_2 \sin \theta$

船重心水平位移 $= GM \sin \theta$

船重心垂向位移 $= GG_1 \sin \theta$

船舶初穩性高 GM 因 G 有位移而改变为 G_1M ;

$$G_1M = GM - GG_1 \cdot \sin \theta$$

但从 $W \cdot g_1 g_2 \cdot \sin \theta = \Delta \cdot GG_1 \cdot \sin \theta$

$$GG_1 = \frac{W \cdot g_1 g_2}{\Delta}$$

$$d = g_1 g_2 \cdot \sin \theta$$

$$\text{知道 } G_1M = GM - \frac{W \cdot g_1 g_2}{\Delta} \cdot \sin \theta = GM - \frac{W}{\Delta} \cdot d$$

所以初穩性被縮短了一个 $\frac{W}{\Delta} \cdot d$ 值。

$$\text{又从 } \sin \theta \cdot GM \cdot \Delta = g_1 g_2 \cdot \cos \theta$$

$$\tan \theta = \frac{W \cdot g_1 g_2}{\Delta GM} = \frac{W \cdot g_1 g_2 \cdot \cos \theta}{\Delta \cdot GM \cdot \cos \theta} = \frac{Wh}{\Delta GM}$$

$$\text{或者 } \tan \theta = \frac{Wh}{\left(GM - \frac{Wd}{\Delta} \right) \Delta} = \frac{W \cdot \frac{h}{\Delta}}{GM - \frac{Wd}{\Delta}}$$

上式証明橫傾角被增大了。这就减少了原有的甲板进水角，对穩性是不利的。尤其是較小之船，占因貨物移动而失事的比例数很大。

現假若 θ 很微小，那末 $\cos \theta \rightarrow 1$ ， $\sin \theta \rightarrow 0$ ， $h = g_1 g_2$ ， $d = 0$

$$\tan \theta \rightarrow \theta$$

$$\therefore \theta = \frac{W \cdot g_1 g_2}{\Delta \cdot GM}$$

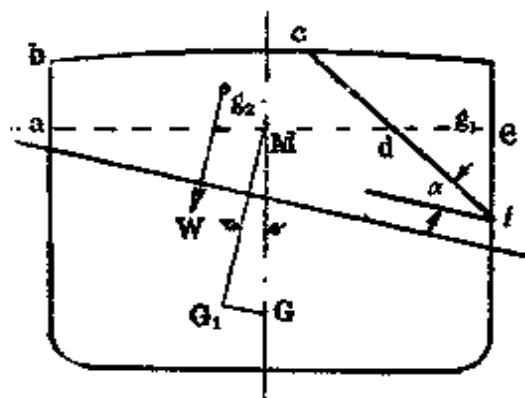


图 59

一般裝載粒狀散貨的貨船，都用移動木板來作縱中綫隔壁，以免貨物移動過大而增加船的橫傾度。在船重心以上的散裝貨最易移動，通常是不宜裝載散貨的。

活動貨物通常是指懸掛物，如懸掛之肉類、救生艇、漁輪起網、貨物用吊杆裝卸時等等。活動貨物對於穩性之影響，可參閱圖60。有一未固定的掛於A點之重物W，其重心為B，懸綫長l。若在船傾一小的橫傾角 θ 後，B移到B₁。現在B點設有二個大小相等於W的力，其方向相反且重合一綫。如此以虛綫表示之力可代替正浮時的原掛物，以不使船的重心位置受到影響。剩下一力與B₁之力形成力偶，促使船繼續橫傾。至此，船的回復力矩顯然已變為：

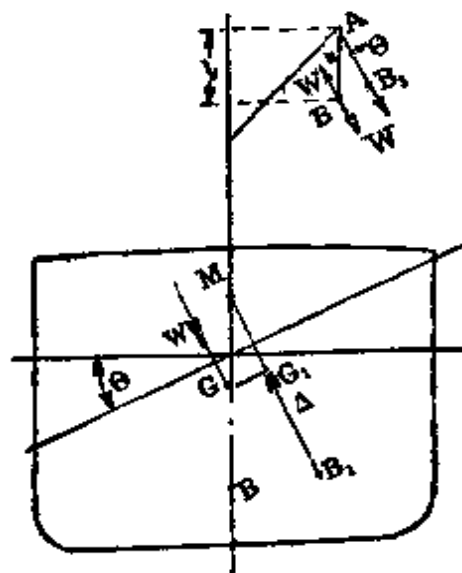


圖 60

$$= \Delta \cdot GM \cdot \sin \theta - Wl \sin \theta$$

$$= \Delta \sin \theta \left[GM - \frac{Wl}{\Delta} \right]$$

上式証明，由於活動貨物的影響，當船橫傾時，它就使原初穩性縮小了 $\frac{Wl}{\Delta}$ 值。

起重工作船在工作時，漁輪起網時均屬上例。

§ 21 變更重心對穩性的影響

上面已敘述了船在微傾時因重心移動而造成的穩性影響。現設船的尺度不變，排水量不變，現其造成之影響究竟如何，以便進一步研究大傾角時的穩性影響。

(1) 如图61, G 是原先的重心位置, 现设因某种原因使 G 点沿船的縱中綫上升至 G_1 。此时靜稳性显然发生变化:

$$G_1Z_1 = GZ - G_1G \cdot \sin \theta$$

将上式繪成 G_1Z_1 的曲綫图, 如图62所示, 說明力臂及稳距都被縮小, 稳距由 θ_c 縮至 θ_D 。 G 点的上升不仅对初稳性不利, 对大傾角 傾斜依然不利。

(2) 如图62, 重心 G 水平偏离縱中綫至 G_2 点, 新的力臂变为

$$G_2Z_2 = GZ - GG_2 \cos \theta$$

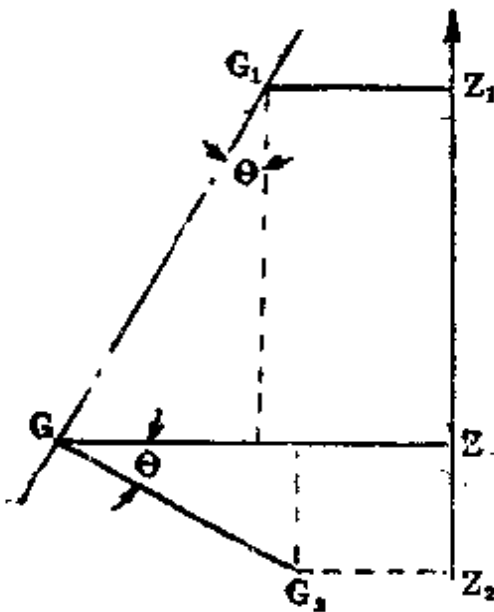


图 61

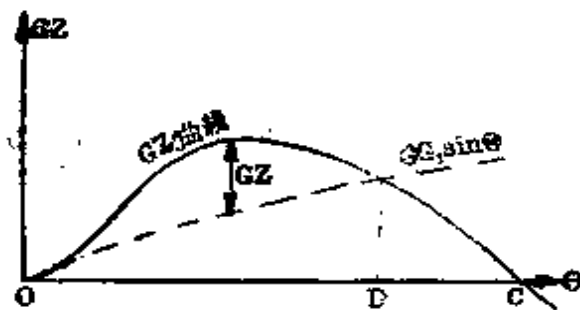


图 62

将上式繪成新力臂曲綫图, 如图63所示, 稳距由原来的 θ_c 縮短至 $(\theta_D - \theta_A)$, G_2Z_2 亦被縮短。并且船要橫傾至 θ_A 角始有回復力矩发生作用, 因而还有永傾角 θ_A 。这可說明重心的水平移动对稳性影响来說, 較向上的垂向移动更为不利。

(3) 如图64, 设 G 由原来位置沿任意方向移动至 G_3 点, 则可由作图法, 经 G_3 点作垂直线到 GG_1 , 并与其之交于 G_4 点, 再由 G_4 作垂直线交于 GZ 线上的 A 点。于是新稳性力臂将为:

$$\begin{aligned} G_3Z_3 &= GZ - GA - AB \\ &= GZ - G_4G_3 \cdot \sin \theta - G_4G_3 \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

用迭加作图法作出 G_3Z_3 如图65。由图上知道, 稳距由 θ_c 被缩为 $\theta_b - \theta_a$, 且有永倾角 θ_0 存在, 稳性力臂亦减少。

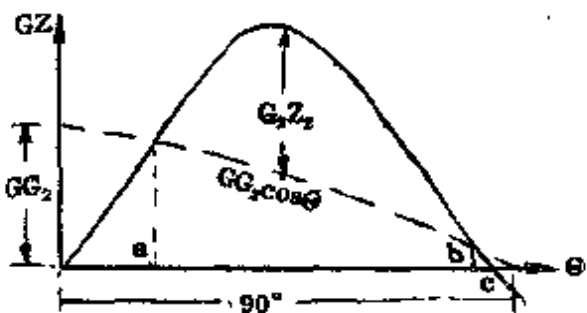


图 63

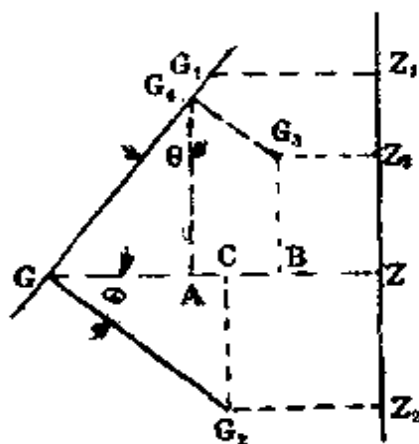


图 64

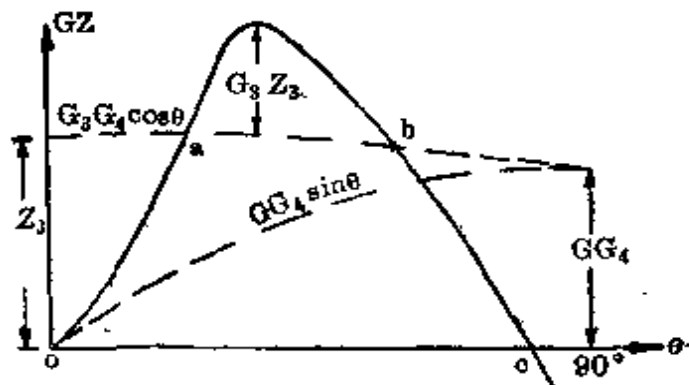


图 65

根据上面的叙述, 船的重心变化后, 新的静稳性可以不必从头计算, 将原有的静稳性曲线的重心实在位移考虑之后进行校正, 就能得到。

有了上述结果, 就可转而研究船舶在大重物装卸后的大倾角时的稳性情况, 计算步骤可如下述:

(1) 把重物 W 放在中綫离基綫 y 高的垂向位置上, 以使不产生横倾与縱倾而便于计算。船原重 W , 则新的船的重心位置 KG_1 将会:

$$W \cdot KG + wy = (W + w) \cdot KG_1$$

$$KG_1 = \frac{W \cdot KG + wy}{W + w}$$

新重心位置就求出来了。

利用排水量 $\nabla + w$ 查静水船性曲线图，得新的吃水线 d 。

(2) 利用新水线查静水船性曲线或计算得出横稳心 M 点之高 KM_1 ，于是新的初稳性高 $G_1M_1 = KM_1 - KG_1$ 就得到了。

(3) 再将重物 w 横向移到 x 距离处的所须位置，并求船重心偏离位置：

$$G_1G_2 = \frac{wx}{\nabla + w}$$

利用 d 吃水的排水量，即 $\nabla + w$ ，查综合稳性曲线图上相等于此排水量的稳性力臂 GZ ，若图上是虚重心位置 KG_2 ，则修正为，

$$(GZ)_0 = GZ - G_1G_2 \cdot \sin \theta - G_1G_2 \cdot \cos \theta$$

若无综合稳性曲线图可参阅，那末只有算出 d 吃水时的重心为 KG_1 的稳性曲线来，然后修正以 $G_1G_2 \cos \theta$ 即得。

§ 22 变更船舶尺度对稳性的影响

船的宽度、吃水、干舷、重心位置等的变化，对稳性都有很大影响。为易于说明起见，假述下面被讨论的船的排水量是不变的；除了叙述的尺度外，其他尺度也假设以调整船的长度来维持不变。

1. 船的宽度发生增减

船舶水线面横惯性力矩 I 与船宽 B 的立方成正比，横稳性半径与 I 成正比，而 BM 的增减，意味着初稳性高 GM 也随而成正比的增减。其次，按照 § 13 所述，静稳性力臂 $GZ = \frac{\nu \cdot h_1 h_2}{\nabla} - BG \cdot \sin \theta$ ，船宽是与

$\frac{\nu \cdot h_1 h_2}{\nabla}$ 一项成正比地变化的，显然船宽增加， GZ 也会增加。再其次，

甲板浸水角为： $\tan \varphi = \frac{2f}{B}$ ， f 是干舷，若 B 增大，显然减小了甲板浸水角，也就是提早了甲板边进水的横倾角，提早了最大 GZ 的出现，这不能对船舶在较大倾角时有利。

以上所述可简单综合为以下结论：船的宽度的增减，对初稳性高成

正比地增减，对 GZ 力臂也是如此，但 GZ 的增减不如 GM 的显著。一般船在初稳性不足时，都以加宽的措施来弥补。增加船宽并不是绝对有利的，它缩小了甲板浸水角，提早了最大 GZ 的出现，其次，因过宽而造成 GM 的过大值，会促成船的摇摆加剧，一方面降低了使用性，另一方面也是不安全的。

2. 船的重心位置发生变化

如上节所讲，船重心上移与旁移不仅要降低初稳性高，也恶化了静稳性，而且影响远较其他尺度所具有的显著。例如船的加宽措施一般是为了改善稳性的。现设船重心上移而欲使加宽船来弥补因重心而引起的稳性损失，看是否有效？假若船宽是随重心变化而增减以维持 GM 不变。结论是船宽的增加，对初稳性是弥补了，但对静稳性并不有利。这是因为：

$$GZ = x \cos \theta + y \sin \theta - BG \cdot \sin \theta$$

G 的上升致使 BG 增大。 BG 这项在倾角 θ 越大时对 GZ 削减越多，更何况船的加宽又带来 GZ 最大值出现时，其相应的静倾角变小。综上所述可知，船的重心位置实在是影响稳度的最主要因素。其次是某船在小倾角处境时，初稳性良好的，或稳性符用的，到静稳性时却不一定良好，或者不能适合大倾角的安全要求，这是必须加以注意的。

3. 干舷增减发生的变化

干舷大，甲板进水角大，也就是说在静稳性曲线上，最大静力臂或力矩值会延迟出现，因此干舷大小与静稳性最大值的出现迟早成正比，对 GZ 及稳距大小也起正比的作用。干舷的大小对初稳性不起作用。综上所述可知，干舷对船的稳性起很大作用，尤其是大倾角倾斜情况较多的船只，然而一般说来，无论对于那种稳性和那类船舶，有较大干舷，就有较大储备浮力，总是安全有利的。所以客船的干舷一般比货船高。

若船增加干舷，而船重心相应增高，那末这种加高干舷的措施并不能挽回因重心升高而致的稳性损失。不仅初稳性降低，静稳性与稳距亦会减小。

4. 船舶吃水增減使穩性發生的變化

船舶吃水有增減，促成浮心的垂向座標有增減，橫穩心半徑也有增減。因此，增加吃水會使初穩性和靜穩性降低。由於吃水增加，艏部出水角將會增加，因而由艏部出水角所影響的最大 GZ 值將會延遲出現。所以船舶吃水增減，有好的一面，也有不利的一面，須視具體情況而定。

§ 23 船舶浸水後對穩性的影響

當船因受到某種不測原因，如遭到擱淺觸礁等海損事故，致使一艙或數艙破裂進水。進水將影響原有的穩性。多數船舶艙內進水後，影響穩性的主要原因是：

(1) 艙內水面與船外水綫齊平，減少了船水綫面積的一定數量。

(2) 艙水不均勻的分布，船重心向左或向右偏移（包括有縱向傾斜的可能）造成橫傾，使甲板進水角提早。

(3) 艙內進水後，船舶下沉，減少了貯備浮力及干舷。

所以在船舶安全知識中，所謂一艙進水不沉，不僅是對剩餘浮力的極限安全水綫而言，還有剩餘穩性的安全因素在內。

船艙進水後影響穩性之程度，須視進水後新的平衡位置，以及在這新水綫時的剩餘穩性而定。新水綫位置及穩性影響又須視破裂艙在船體的位置以及進水量之多少而定。但不論如何，進水後對 GM 、 GZ 、穩距等都有削弱的可能。（海損穩性見第八章）

第六章 使船橫傾的外力

初穩性、靜穩性及動穩性僅是某艘船舶穩性如何的內在因素，引起船舶橫傾的外力却是外在條件。只有當內在因素能滿足外在條件的要求時，船的穩性才算良好。外力對於船舶的橫傾作用，視船的營運性能、航行區域等而定，並不是都一樣的。僅注意外力而不考慮穩性是不對的，單獨考慮穩性而不去結合外力的作用，更是不全面的。引起船舶橫

傾的外力很多，主要的有：

1. 风力或风压；
2. 波浪；
3. 操縱所引起的如迴轉时的离心力；
4. 橫向急牽力；
5. 貨物不均匀裝載引起船舶重心偏离中綫；
6. 海水濺入。

上述之 1、2 兩項是基本的，也是主要的外力。后四項視船舶的營運条件而定。海水濺入船体虽然对某些型式的船來講是个須注意的問題，但因牽涉到航区、气候、甲板洩水設備，甚至船型等种种复杂因素，对稳性的影响目前还难以捉摸，要加以解决是困难的。其余五項中，貨物不均匀的影响已在前面講过，現只將剩余四項外力敘述于以下几节中。

§ 24 风力引起的橫傾

突然襲来的、作用于船縱剖面上的风力（又称橫风）对橫傾影响最大。但由于作用于船上的风力之大小与方向是不規則的，随着時間及船速而变化，因此在研究风力的作用时，除以橫风为作用方向外，并假設风力在作用过程中是固定不变的。

作用在縱中剖面的受风面积上的风压力为：

$$P = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2 \text{ (公斤)}$$

式中： ρ ——空气密度，0.125公斤-秒²/米³；

C_D ——空气阻抗系数，或风压系数，靠实验测定，一般取其平均数1.25；

A ——承受风压的面积（米²）；

v ——风的速率（米/秒）。

风速在实用上是根据船航区内的风力資料选用的，稳性规范有規定时，应按照規定选用。若无上述資料，則一般多取用蒲氏 12 級风力标准。

蒲氏风力标

風力級数	風的名称	速 度 (米/秒)		单位压力 公斤/米 ²	
		平 均	最 大	平 均	最 大
0	无 風	0.2	0.4	0.04	0.13
1	軟 風	1.4	2.6	0.16	0.55
2	輕 風	2.8	5.1	0.64	2.12
3	微 風	4.3	7.7	1.53	4.82
4	和 風	6.0	10.5	2.92	8.95
5	清勁風	7.9	13.8	5.07	15.46
6	強 風	10.0	17.2	8.12	24.00
7	疾 風	12.0	20.7	12.10	34.80
8	大 風	14.7	24.7	17.60	49.50
9	烈 風	17.3	28.7	24.30	66.90
10	狂 風	20.1	33.0	32.80	80.40
11	暴 風	23.0	37.2	43.00	112.50
12	颶 風	25.0	40.6	50.80	129.80

由于 ρ 及 C_D 接近于固定, 所以每种风速就显然可代表单位面积上的某种风压力, 如蒲氏风标上所载。在应用蒲氏表时, 还须注意表上是指距离水平面上 2 米高度的风力。若风力作用点与上述高度不同, 则须修正如下:

表26

水平面以上高度	3 米	4 米	5 米	8 米	10米	15米
風压增加的系数	1.10	1.16	1.22	1.35	1.41	1.53

使船横倾的风力矩 $M = Ph$ (公斤-米)。

式中: h ——船的受风面积中心与浸湿面积中心的垂间距 (米)。

船的受风面积, 是指水线以上縱剖面的面积, 亦称帆面积, 其几何中心称帆心。

现将船受风力的作用情况, 分稳定风, 突然风二种来讨论:

1. 在受穩定風作用時

若船受到穩定風的作用，則船是在一常風力與常風力矩的作用下，以橫傾角 θ 作漂航。所謂漂航即指橫方向有位移運動。因為是常力矩作用，橫傾不伴隨角速度變化，亦無慣性力在船重心上發生。在船上作用着的，只有帆心上的常風力 P 及抗阻漂航運動的水阻力 R ， R 作用在濕面積中心，相當於吃水 d 的一半。由於已經是穩定作用，風壓 P 與水阻力 R 達到相等，它們形成一個力偶，使船受到靜橫傾力矩 $M_{\text{сп}}$ 的橫傾作用，如圖 66 所示。 $M_{\text{сп}}$ 的值为：

$$M_{\text{сп}} = PH - R \frac{d}{2} = P \left(H - \frac{d}{2} \right)$$

此時可以按靜穩性曲線來求出船的穩定性情況。參閱圖 67， $M_{\text{сп}}$ 力矩與曲線交於 A 點，相應的靜穩角是 θ_a ，也就是船平衡於 θ_a 角。

常風力在蒲氏表上是選用平均壓力一欄的。

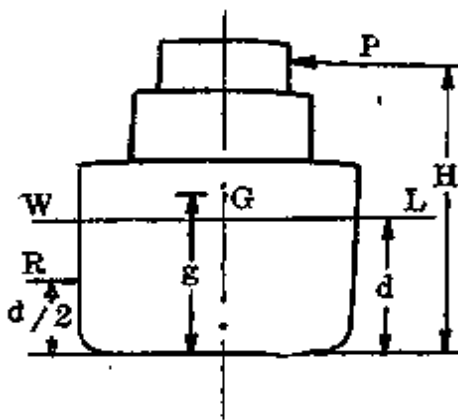


圖 66

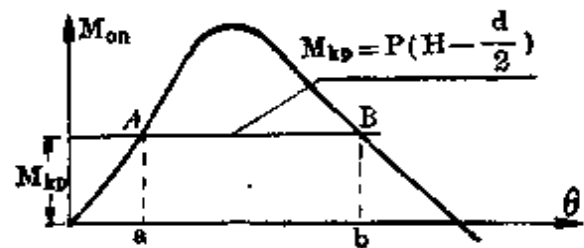


圖 67

2. 在受突然風作用時

若船受其作用的风是突然来的，則船的橫傾伴隨有速度的變化而開始作動力傾斜。由於在瞬時風力自零變為 P ，船尙無橫向漂航產生，背

风一舷水下部分的水阻力不产生,而在船重心 G 上受到惯性力 Q 的作用,除此以外,由于帆心不一定与 G 重合在一綫,船在此瞬間还会繞通过 G 的垂向軸旋轉。参閱图68,此时作用于船上的动力平衡式为:

$$P - Q = 0$$

$$Ph - QH + I_x \ddot{\theta} = M_{kp}$$

式中: $\ddot{\theta}$ 是角加速度, $P=Q$, 因而上式轉化为:

$$P(h-H) + I_x \ddot{\theta} = M_{kp}$$

在选用 P 值时,应为蒲氏表中属于該級的最大风力栏。 M_{kp} 是动力横傾力矩,在其作用下的稳性情况,要根据动稳性曲线来决定。如图69所示,动横傾力矩功曲线 W_2 与动稳性曲线 W_1 交于 B 点,相应之垂足即为动稳角 θ_b 。

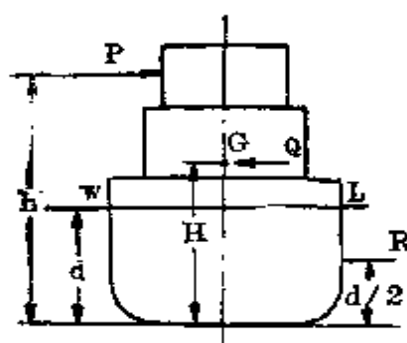


图 68



图 69

在风力作用下,船的稳性要以横风及突然作用情况来考虑。但由于突然风的不可捉摸,在应用时,只能仍以稳定风的方式出现,不过其数值已增大以储备安全因素。各国的稳性规范,对于风力都按照船所属航区的条件,考虑了风力资料及突然袭击的因素,作出规定数字,并且以稳定风的计算公式来处理。

§ 25 波浪引起的横倾

由波浪引起的船舶横倾或横摇,对稳性影响很大。图70所示为船由于风横倾力矩的作用而发生横倾。若这风力矩 M_{kp} 是一常数值,它与该船的静稳性曲线相交于 B 点,相应的垂足 θ_b 就是船在风力矩作用下的静平衡角。 F 点的垂足 θ_f ,就是相应的动平衡角。但在船受到风力矩

作用的同时，船体由波浪引起一个与风倾斜相反方向的横倾角 θ_e 。这时，风力矩必先使船由 θ_e 倾角处回复过来，转变到正浮位置，然后再向另一侧横倾。因而此次风力矩所作之功，除使船横倾以外，还包括抵偿波浪所引起横倾的功在内。显然，风力之功是增大了。如图70所示，本来面积 $BFH = ABO$ ，现在由于风之功是面积 $EDABO$ ，在稳性曲线图上与之平衡之面积也相应扩大为 $EBFGCHB$ 。曲线上平衡力矩 G 处的垂足 θ_g 是动平衡角，显然 θ_g 比 θ_f 大。

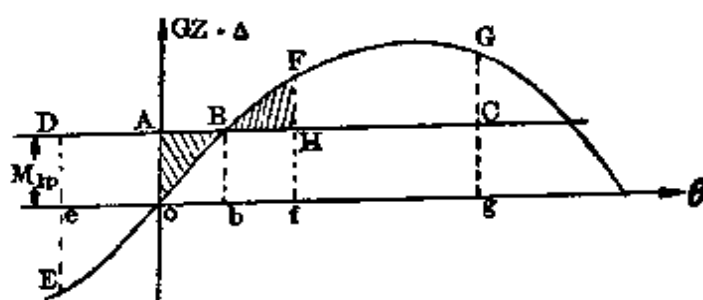


图 70

由此证明，船由波浪所引起的横摇，恶化了稳性，尤其是当横摇时，适逢横风袭击，危险性特别严重。

上面讲的是用静稳性曲线说明的问题，若利用动稳性曲线仍然可以说明这种情况； θ_e 是由波浪引起的横摇角。由于 θ_e 的存在，曲线原点移至 e ，如图71所示。 L_{\max} 是未受横摇角影响前的最大动稳性力臂； L'_{\max} 是受到横摇角 θ_e 影响后的最大动稳性力臂。显然：

$$L'_{\max} > L_{\max}$$

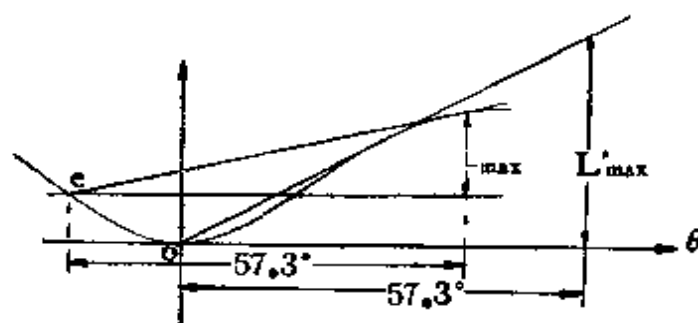


图 71

稳性被恶化了。

船在风与浪的共同作用下，其稳性情况可仿下法确定：

若已知波浪引起的横摇角为 θ_0 ，在已绘制的船舶动稳性曲线图上，将动稳性曲线伸展到横坐标为负值的一侧去，如图72所示。自原点O向左量取一段等于 θ_0 的距离，在 θ_0 点垂直向上交曲线的延伸部分于E点。由E点向右作平行横轴的直线，并在这一直线上量取一段等于 57.3° 弧度的距离于A点。在A点作向上的垂直线，并在这垂直线上量取一段等于风动力矩臂 l 的距离，得B点。从B点连E点为一直线，这一直线与曲线相交于C点，其垂足 θ_c 即为风浪作用下的动平衡角。若BE直线已越过曲线顶，不能有相交处了，这就说明在波浪引起的横摇角 θ_0 及风动力矩臂 l 的共同作用下，船的稳性不致有倾复危险。

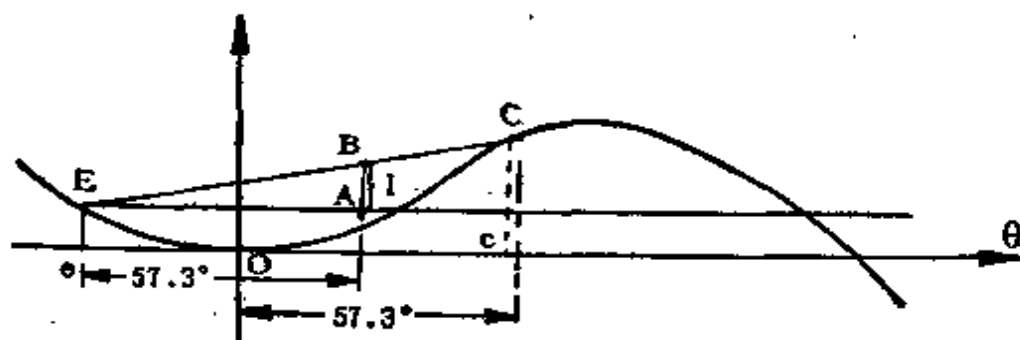


图 72

船舶在波浪中的横摇角 θ 的计算：

$$\text{横摇角 } \theta = \frac{(1-q)\alpha_m x^2}{\sqrt{(1-X^2)^2 + 4\mu^2 x^2}}$$

式中：

$$x = \frac{\sigma}{n}$$

σ 是波浪的频率； n 是船舶的横摇频率。

若船舶的横摇频率与波浪的频率相同，则会出现共振现象。共振现象是船舶横摇处境最严重的时期。考虑横摇稳性的最大横摇角的出现，应以共振现象，即上述公式中 $X=1$ 为对象。所以上式变为：

$$\theta = \frac{(1-q)\alpha_m}{2\mu}$$

$$1-q = \frac{I_0}{I_1}$$

I_0 ——船舶对縱軸的慣性力矩；

I_1 ——船舶連同附隨水質量在內对縱軸的慣性力矩。

$$I_0 = \frac{\Delta(B^2 + 4h^2)}{12g}$$

(B —船寬， h —重心高， Δ —排水量， g —重力加速度)

或取經驗公式： $I_0 = \frac{\Delta}{g} \times 0.144B^2$

$$I_1 = \frac{\Delta}{g} C^2 \times 0.25B^2$$

C 是系数，見表27

表27

船 型	C
小型客船	0.77
重載貨船	0.78
曳網漁船	0.76
空載貨船	0.81
拖 輪	0.76
較大的快艇	0.80

$$\begin{aligned} \therefore 1-q &= \frac{\frac{\Delta}{g} B^2 \times 0.144}{\frac{\Delta}{g} B^2 \times 0.25C^2} \\ &= \frac{0.576}{C^2} \end{aligned}$$

α_m ——实际波浪的最大斜波角，即波形的切綫与水平綫之間的夾角，也稱波浪的波面角：

$$\alpha_m = k_1 k_2 \alpha$$

α ——波浪的理論最大斜波角，

$$\alpha = \frac{\pi H}{\lambda}$$

λ ——波长， H ——波高 $=0.07 \lambda^{3/4}$

k_1 和 k_2 为 α 角的校正系数， k_1 随 $\frac{B}{\lambda}$ 而变， k_2 随 $\frac{d}{\lambda}$ 及 $\frac{C_b}{C_w}$ 而变，

即 $k_2 = 1 - \sqrt{C_w} \left(\frac{d}{\lambda} \right)^2$ 。 k_1 和 k_2 可分別查图73及图74。

$\alpha\mu$ 是橫搖时无因次衰减系数，随橫搖角大小及船型肥瘦而定，一般在 0.06~0.12 之間，或 $2\mu = 0.85kLB^4 \times \frac{\theta_m}{I_1}$ ， $x=1$ 时，

$$2\mu = 0.85kLB^4 \frac{\theta_m}{I_1}$$

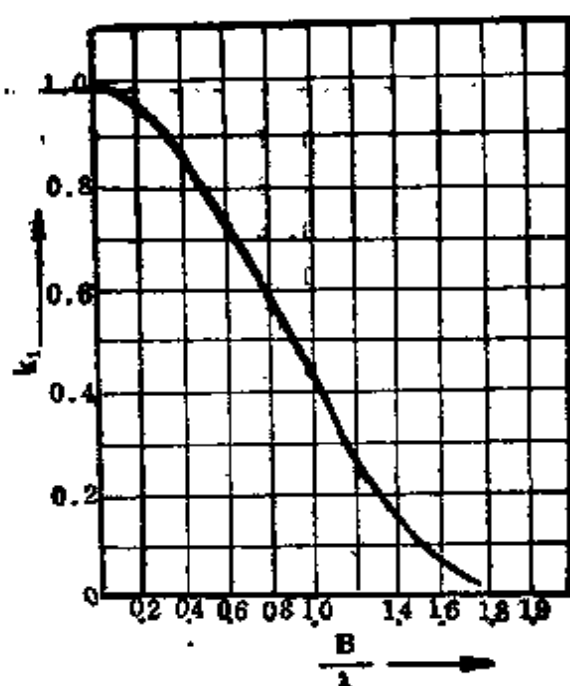


图 73

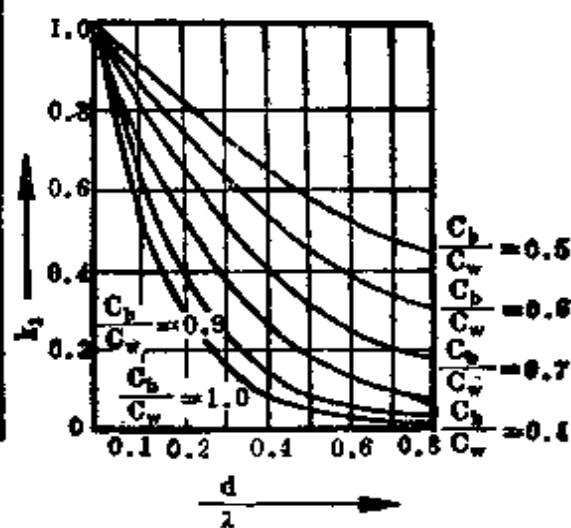


图 74

k 是系数見表 28。

表28

船	型	k
无肋骨而艏部呈圓形		0.001
有肋骨而艏部突出		0.002
艏部尖銳突出		0.003

而在共振时, $\theta_m = \alpha_m \sqrt{\frac{(1-q)^2 + 4\mu^2}{4\mu^2}}$ (θ_m ——横搖振幅)

要应用公式 $2\mu = 0.85kLB^4 \frac{\theta_m}{I_x}$ 时, 要先試探 2μ 的估計数值代入公式

求出 θ_m , 然后将 θ_m 值代入 $\theta_m = 2\mu \sqrt{\frac{(1-q)^2 + 4\mu^2}{4\mu^2}}$ 式中, 求出 2μ 。

若这先后两 2μ 相等, 就是正确可用的数值, 否則要重新試探。 2μ 既求

出, 代入 $\theta = \frac{(1-q)\alpha_m}{2\mu}$ 式中, 共振时的横搖角就求得了。

在上述計算横搖角公式中, 尚有一波浪长 λ 无法确定, 这 λ 值須視每个航区的水域情况而定。

波浪是不規則的自然現象, 由风、行船、日月吸力以及地震等因素所造成。但常遇到的是风力所引起的波浪。虽然波浪极不規則, 人們到目前为止还没有完全掌握其运动規律, 但为容易掌握船在不規則波浪上的运动起見, 一般以規則波来处理, 即所謂正弦波。船在波浪上的搖摆, 基本上决定于波浪的振幅与頻率, 上述的那些求横搖角或横搖振幅有关的公式, 都是設在正弦波上的振幅、頻率等基础上的。船在規則波上的横搖振幅, 多半比在不規則波上要大, 因此以它討論可偏安全。

由于有关波浪的資料数据目前多半只能供参考, 在实际計算上, 都根据稳性规范上提供的数据与計算公式进行。

§ 26 船舶迴轉引起的橫傾

船在迴轉时, 若旋轉圓的直径已經穩定, 或已达到穩定的旋轉, 参

閱圖75，作用于船上之力，有在重心 G 的慣性向心力 Q ，另一力是由船轉向產生漂航而引起的水阻力 R 。 G 离基綫垂高为 h ， R 作用于吃水 d 之一半。若可不計舵叶上的力的影响，那末使船橫傾的力矩为：

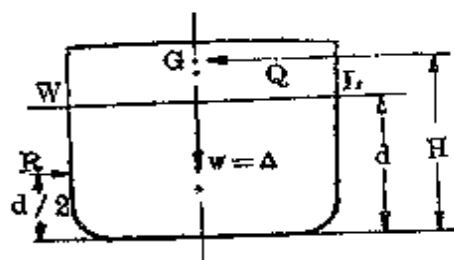


圖 75

$$M_{\text{KP}} = Qh - R \frac{d}{2}$$

由于 $Q = R$ $\therefore M_{\text{KP}} = Q \left(h - \frac{d}{2} \right)$

若 V 是船的圓航綫航速， ρ 是該船旋轉圓的半徑， Δ 是排水量，則慣性向心力可得：

$$Q = \frac{\Delta}{g} \cdot \frac{V^2}{\rho}$$

g ——重力加速度

設由于上述的橫傾力矩作用，使船橫傾至 θ 角而平衡，此时回復力矩必然和橫傾力矩相等，即：

$$\Delta \cdot GM \cdot \sin \theta = \frac{\Delta V^2}{g \rho} \left(h - \frac{d}{2} \right)$$

或者化成：

$$\sin \theta = \frac{V^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{g \rho GM}$$

設若橫傾角微小，即：

$$\theta \rightarrow 0 \quad \sin \theta \rightarrow \theta$$

則可視為：

$$\theta = \frac{V^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{g \rho GM}$$

上式中的 V 是船的圓航綫速度。

由于船在圓航时，航速受到水阻力的影响， V 必然小于直綫航速 V_0 。 V 和 V_0 有一定的相互关系，一般很难精确算出，在实用上有逕取 V 和 V_0 相等来计算橫傾，并可偏于安全。

圓航速 V 可按型船的試驗資料或按費尔索夫氏所提出的經驗公式求得：

$$V = V_0 \tanh \frac{\rho}{2.45L}$$

L ——船的水綫长；

ρ ——迴旋或圓航半径。

在利用上式时，可按数学公式：

$$\tanh x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}$$

这儿的 $x = \frac{\rho}{2.45L}$ ， $e = 2.718 \dots$

代入上式得：

$$\tanh \frac{\rho}{2.45L} = \frac{e^{\frac{\rho}{1.225L}} - 1}{e^{\frac{\rho}{1.225L}} + 1}$$

有人根据試驗知道，当圓航半径 $\rho \leq 2.63$ 船长 L 时，造成的橫傾力矩将接近最大值。現若用 $\rho = 2.63L$ 代入費尔索夫公式，得：

$$\tanh \frac{\rho}{2.45L} = \frac{e^{\frac{2.63L}{1.225L}} - 1}{e^{\frac{2.63L}{1.225L}} + 1}$$

或得：

$$V = V_0 \cdot \frac{2.718^{2.15} - 1}{2.718^{2.15} + 1} = \frac{8.6 - 1}{8.6 + 1} \cdot V_0 = 0.79 V_0 \text{ (米/秒)}$$

而横倾力矩为:

$$M_{xp} = \frac{\Delta V^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{g \rho} \quad (\text{公斤-米})$$

最大横倾力矩 $M_{xp \max}$:

$$\begin{aligned} M_{xp \max} &= \frac{\Delta V^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{2.63 L_B} \\ &= \frac{0.624}{2.63} \cdot \frac{V_0^2 \Delta \left(h - \frac{d}{2} \right)}{g L} \\ &= 0.233 \cdot \frac{\Delta V_0^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{g L} \end{aligned}$$

相应的最大横倾角 θ_{\max} :

$$\theta_{\max} = 1.4 \cdot \frac{V_0^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{LGM} \quad (\text{度})$$

上式亦称费尔索夫氏公式。由于资料来源之关系，上式不大适用于宽扁的内河船，最适用于航速较高的或一般海船。

圆航时，遇有湍急的流速影响，圆航速率应该采用相对航速代入上述公式内。若流速 V 和航行的方向相同，而船的直航速率为 V_0 ，则横倾角写成:

$$\theta = \frac{(V + v)^2}{g \rho G M} \left(h - \frac{d}{2} \right) K$$

K 是直航速与圆航速的比例系数，一如前式的1.4。

船舶迴轉时所产生的定直圆半径 ρ ，可用下式近似估算：

$$\rho = \frac{KC_b LBd}{C_n \cos \varphi A} \quad (\text{米})$$

式中：

K 是系数，见表29。

φ ——舵角（度）；

A ——舵面积（平方米）；

C_n ——舵面水压力作用系数。

表29

$\frac{C_b B}{0.9L}$	0.050	0.055	0.060	0.065	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140
K	1.410	1.285	1.100	0.960	0.845	0.670	0.550	0.460	0.400	0.370	0.355	0.345

$$C_n = \frac{0.811 \sin \varphi}{0.195 + 0.305 \sin \varphi}$$

船舶迴航时所产生的横倾角，其数值大小，根据前述诸公式显而易见和航速有莫大关系，航速越大，倾角越大。其次，倾角与初稳性高及圆航半径也有莫大关系，二者越大，倾角也越小。但是 GM 是近乎固定的，要想缩小横倾角，最好从降低迴航速、增长圆航半径着手。

在客船圆航时，不宜采用急速及小圆航半径进行，以免引起过大的圆航横倾角。一般当横倾角到达 $8 \sim 12^\circ$ 时，已可引起船上旅客的惊慌，所以通常这种惊慌角就限止在 10° 左右，视各船的具体情况而定，除此以外，客船还规定横倾角不应超越甲板进水角的一半。其他船舶也不应大过进水角，以免丧失稳性而出事。

内河诸航区中，常有急湾以及湍流，船舶航行于其中，横倾角实有现实意义。当船舶必须以小半径急速通过这段地区时，务须加强浸水和水密设施，或提高干舷等。因为不仅横倾角大，而且经常会遇到甲板边缘搭水。假使在这时适逢横风助倾，或遇有其他因素，稳性差些的船

或干舷較小的船往往会甲板上水，若水密設施差，洩水不及，就会因丧失浮力而傾复。

§ 27 橫向急牽引起的橫傾

拖輪的主要任务，是在海河中拖帶船队进行營運，或拖曳其他特殊物出險。因而拖索的橫向急牽对于拖輪而言，較之其他船舶有特殊的重要意义。为簡明起見，就以拖輪为叙述对象。

拖輪拖帶船队航行时，如因某种因素偏航一个不大的偏航角，而这偏航角如小于 50 度，那末拖索随着这一角度对船舷也发生一小的偏航角，产生了对船的橫傾力矩。

由于偏角不大，且不是驟然产生的，这一橫傾力矩可視為靜力矩。这一靜力矩数值較小，一般也不会使拖輪产生傾复的危險，由于这一橫傾度的存在，仅仅恶化了航行性能。

拖索对拖輪的危險橫傾，主要发生在拖索近乎和拖輪船舷垂直的情况。尤其是在这种情况下，由于风浪、潜流或其他外力对被拖物的冲击作用；这一作用使被拖船离开拖輪，并会使拖索发生突然綑紧或拉紧的瞬时冲击現象，这对拖輪来講会产生极大的瞬时被牽引速。一般拖輪的質量远小于被拖船的，因而这就对拖輪形成极大的瞬时牽引力。极大的牽引力遇上正橫向的拖曳，产生的橫傾力矩是很可观的。这些現象形成对拖輪来講是一种可怕的橫向急牽，这种急牽造成的动力橫傾力矩往往会使拖輪傾复。

因而动力橫向急牽，簡称动力急牽是考核拖輪稳性是否良好的主要尺度。

动力急牽过程中，拖輪所遭受的动力及运动情况很复杂。为了便于研究分析、在不影响安全的前提下，且作下述假設：

- (1) 在急牽时拖輪不移动，仅被拖船对拖輪发生运动。
- (2) 拖索由松而紧，产生瞬时急牽速度，拖索与拖輪船舷垂直。
- (3) 拖索不計重量。
- (4) 拖輪質量与被拖船相比很小。

利用衡量原理：

$$(M+m)V = MV_m + mv_m$$

$$V = \frac{MV_m + mv_m}{M+m}$$

式中： M ——被拖船之質量；

V_m ——被拖船之速度；

m ——拖輪質量；

v_m ——拖輪的速度；

V ——瞬时急牽速度。

由于在上述假設中 $v_m=0$ 以及 $\frac{m}{M} \rightarrow 0$

再将上式右面的分子分母各除以 M ，不难看出：

$$V = \frac{V_m}{\frac{M}{M} + \frac{m}{M}}$$

$$V \doteq V_m$$

即：瞬时急牽速度 \doteq 被拖船之速度

动力急牽可分作二个过程：

1. 冲击瞬时阶段

由于瞬时，在极短的时间內，速度由零增至 V ，但此时尚无偏航情形产生，因而无水阻力作用在船上。參閱图76，由于急牽力 P 及慣性力 Q 在船上的作用，此时的动力平衡式为：

$$P - Q = 0$$

$$P(y-x) - I_x \ddot{\theta} - M_d = 0$$

P ——作用于垂高为 y 的 A 点的急牽力；

Q ——作用于垂高为 x 的重心 G 的慣性力；

I_x ——包括附有水質量在內的、

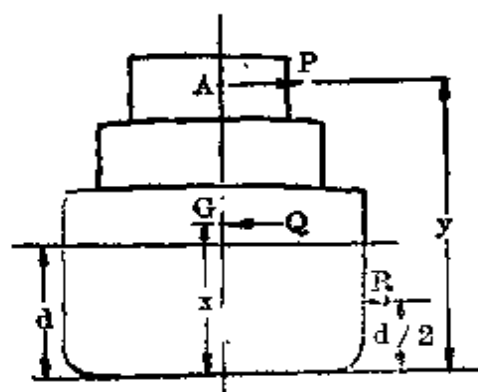


图 76

船繞 XX 軸的慣性力矩, XX 軸為貫穿 G 的縱向(艏艉)軸;

$\ddot{\theta}$ —— 繞 XX 軸旋轉的角加速度;

M_d —— 動力橫傾力矩。

2. 急牽以後階段

船以橫向偏航等速度 v 發生運動, 此時已無慣性力的作用存在。但由於船有橫向偏航, 致有水阻力 R 作用在船水下吃水的一半處, 參閱圖76。

若假設此時偏航速 $v =$ 急牽瞬時速 V , 則此時的平衡方程為:

$$P - R = 0$$

$$P \left(y - \frac{d}{2} \right) - M_d = 0$$

在第一階段的急牽過程中, 由於瞬時後即會過渡到第二階段, 而且第一階段為時既短, 情況又複雜, 急牽力 P 的大小也難確切掌握, 因而一般不用此第一階段作急牽作用的討論對象, 而以第二階段急牽以後來代表急牽運動的過程研究討論之。

現以上述公式轉而進行穩性計算:

$$M_d = P \left(y - \frac{d}{2} \right)$$

或
$$M_d = R \left(y - \frac{d}{2} \right)$$

若用 $M_d = P \left(y - \frac{d}{2} \right)$ 來計算, 困難的是 P 數值難以掌握, 在實用上, 照顧到安全, 往往有將 P 考慮為系樁拖力, 亦有比照指示功率, 乘上一定係數, 轉算為拖力 P 的, 除此以外, 再將動傾力矩的因素考慮進去, 增加一安全係數, 如:

$$M_d = kP \left(y - \frac{d}{2} \right), \quad K \text{ 就是安全係數, } K > 1$$

或以動穩性力臂 l 來表示
$$l = \frac{kP \left(y - \frac{d}{2} \right)}{\Delta}$$

又水阻力作用在船上的位置也很难确定，为簡易計，往往就当作作用于水面，另在安全系数上考虑其影响。

若用 $M_d = R \left(y - \frac{d}{2} \right)$ 来计算， R 的确定也是个较困难的事，一般多以下式代表：

$$R = C \cdot \frac{1}{2} \rho A f^2 V^2 \text{ (吨)}$$

C ——水阻力系数，一般可取0.9；

ρ ——水密度，海水为0.104，淡水为0.102；

A ——拖輪水下的縱投影面积 $\approx 0.9Ld$ (米²)；

d ——拖輪平均吃水 (米)；

L —— d 吃水处船长 (米)；

V ——急牵速度 (米/秒)，很难确切掌握其数值，一般依照机器总功率乘以系数换算，或根据文件規定；

f ——拖鉤位置的修正因素，因为拖鉤离船重心的縱向位置可以影响急牵速度。

$$M_d = \frac{1}{2} \rho C A f^2 V^2 \left(y - \frac{d}{2} \right)$$

$$\text{或 } l = \frac{1}{\Delta} \times \frac{1}{2} \rho C \times 0.9Ld (fV)^2 \left(y - \frac{d}{2} \right)$$

$$= 0.45 \times \frac{Ld}{C_B L B d} \rho C (fV)^2 \left(y - \frac{d}{2} \right)$$

$$= 0.41 \times \frac{\rho C (fV)^2}{C_B B} \left(y - \frac{d}{2} \right) \quad (C \approx 0.9)$$

上述之一是以 R 为計算稳性的主要因素，另一个是以 P 为主要因素，但由于考虑之因素不同，不仅表现形式迥异，且計算結果也会有一定出入，因而在实际上，只有依据稳性规范上之規定进行。

在动稳性曲綫上，动力橫傾力矩 M_d 与曲綫原点 o 的連綫，割曲綫于 B 点，相应之 θ_b 就是拖輪动力急牵时的动平衡角。

§ 28 擱淺引起的橫傾

若船擱淺，但艙底不破裂，未曾進水，縱傾亦不顯著。參閱圖77，船擱淺在A點，A點處受到向上的反作用力P，顯然浮力減少了，變為：

$$\Delta = W - P$$

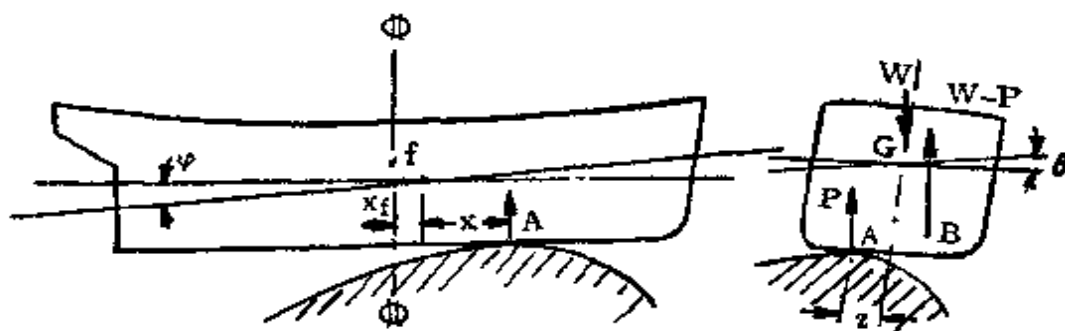


圖 77

上式中的 Δ 是浮力， W 是船重。

擱淺以前的回復力矩 $M_{on} = GMW \sin \theta$

擱淺以後的回復力矩 $M'_{on} = (WGM' - PAM') \sin \theta$

上式中的 M' 是擱淺後，排水體積變小，橫穩心的新位置。

若擱淺不多， M' 接近於原橫穩心 M ，那末 $GM = GM'$ ， M'_{on} 寫為：

$$M'_{on} = (WGM - PAM') \sin \theta$$

$$\frac{M_{on}}{W} = GM \sin \theta$$

$$\frac{M'_{on}}{W} = \left(GM - \frac{P}{W} AM' \right) \sin \theta$$

因而由上式可以看出，擱淺後的 GM 顯然已被縮小了 $\frac{P}{W} AM'$ ，這當然是對穩性不利的。

有些穩性差的船， GM 值原較小，處在這種情況下，就會有復傾的危險。

擱淺地方 A 點的位置，可以根據船舶吃水的改變來近似的確定。若擱淺後，艏部抬高 h_1 ，艉部抬高 h_2 ，則平均抬高 $H = \frac{1}{2}(h_1 + h_2)$ 。 A 點處所受到的反力 P 等於：

$$P = rs \frac{h_1 + h_2}{2}$$

r ——水密度；

s ——水綫面積。

若 A 點離水綫面重心 f 的縱向距離是 X ，則由於 P 的存在，造成縱傾力矩 M_L 等於

$$M_L = x P$$

但是已知： $M_L = \Delta G M_L \sin \varphi = \Delta G M_L \frac{h_1 - h_2}{L}$ (L = 船長)；

$$\therefore X = \frac{\Delta}{P} G M_L \frac{h_1 - h_2}{L} = G M_L = \frac{2 \Delta}{rs(h_1 + h_2)} \cdot \frac{h_1 - h_2}{L}$$

若 X_f 是 f 點離舢的距离，則在縱向， A 點離舢的距离 = $X_f + X$ ；

同樣理由，橫傾力矩 $M_{kp} = zP$ (z 是 A 點至縱中綫距离)

$$M_{kp} = \Delta G M \sin \theta = zP$$

設擱淺後任一舷在舢部抬高了 δ ，則

$$\sin \theta = \frac{\delta - \frac{1}{2}(h_1 + h_2)}{\frac{1}{2}B} = \frac{2\delta - (h_1 + h_2)}{B}$$

$$Z = \frac{2 \Delta}{rs(h_1 + h_2)} \cdot G M \frac{2\delta - (h_1 + h_2)}{B}$$

於是 A 點的座標位置就求得了。

假使在这时船的干舷较低，甲板进水角小于动平衡角，海水就会涌上甲板，使浮力减小，甚至发生倾覆危险。

(3) GM 大，也意味着船宽较大。但这种类型的船遭受海损破舱，所损失的水线面积也较多，剩余的 GM 就较少。

GM 在设计中是必须考虑的一个因素，因此在设计阶段，须权衡轻重，统一上述矛盾，以便获得适当的 GM 值。

每一类型船舶都有其合适的 GM ，而 GM 都和其船型、营运性质、航行区域、季节及水密分舱情况有关。一般来说， GM 不宜小于 30 厘米。它的适用值，以大船来讲，满载出航时约为船宽的 4~5%；空载时约为船宽的 1~2%。以小船来讲，满载时约为船宽的 10% 左右；空载时约为船宽的 6~7% 左右。海运船舶的 GM 值，相对地较河运船舶的小。尺度规格较大的船，其 GM 值也相对地可较小。当然 GM 的下限值，务必根据船舶的具体情况，如考虑自由液面、海损破舱、航区条件等因素来选定，才能适用。

GM 对于船的主要尺度的关系，以船的宽度 B 最为密切，而且影响显著。在船舶初步设计阶段时，往往利用下述公式来估算船的宽度，以求取预为选定的 GM 值。公式是由一系列求 GM 的有关公式所组成，如：

在第二章中，已知：

$$GM = KB + BM - KG$$

$$KG + GM = \left[\frac{5}{6} - \frac{C_b}{3C_w} \right] d + \frac{nB^2}{C_b d}$$

因为横稳心离基线垂直高度 $KM = KG + GM$ ，所以：

$$KM = \left[\frac{5}{6} - \frac{C_b}{3C_w} \right] d + \frac{nB^2}{C_b d}$$

$$\text{或得：} \quad B^2 = \frac{C_b d}{n} \left[KM - d \left(\frac{5}{6} - \frac{C_b}{3C_w} \right) \right]$$

$$\text{即得：} \quad B = \sqrt{\frac{C_b d}{n} \left[KM - d \left(\frac{5}{6} - \frac{C_b}{3C_w} \right) \right]}$$

上述公式，一般船舶都能适用。

現举实例說明如下。

某內河拖輪，已知在吃水1.6米时的 $C_b=0.5$ ， $C_w=0.75$ ，此时船的重心在距基綫1.625米高处，假使預选定 $GM=0.8$ 米，試求相应的船寬要多少。

解：

$$d=1.6\text{米}$$

$$C_b=0.5\text{米}$$

$$C_w=0.75\text{米}$$

$$KG=1.625\text{米}$$

$$GM=0.8\text{米}$$

$$KM=GM+KG$$

$$=2.425\text{米}$$

查图 6 得 $n=0.048$ ，代入下式：

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{\frac{C_b d}{n} \left[KM - d \left(\frac{5}{6} - \frac{C_b}{3C_w} \right) \right]} \\ &= \sqrt{\frac{0.5 \times 1.6}{0.048} \left[2.425 - 1.6 \left(\frac{5}{6} - \frac{0.5}{3 \times 0.75} \right) \right]} \\ &= \sqrt{16.67 \times 1.450} = 4.92\text{米} \end{aligned}$$

应选4.92米的船寬来适合預定的0.8米的 GM 值。

§ 30 大船与小船、海船与河船

船舶尺度对稳性的影响很大，不仅在他本身的尺度比例上是如此，就是比例尺度相同，或尺度虽异而几何形状相似的諸船舶，其稳性影响也是如此。根据历年来因稳性失事的船舶統計資料来看，海船若以60米以下为小船范畴，以上为大船范畴；河船30米以上为大船，以下为小船，那末其中小船失事約占70~80%左右。各失事的原因虽互有不同，但总的說来，是受到尺度小的影响。現将因尺度大小不同而造成的稳性影响，擇要叙述如下：

(1) 尺度大的船，其排水量或船的重量較大。回复力矩是船重和靜穩性力臂的乘积，它和船重成正比。相同的橫傾力矩作用于尺度相异的船，造成的結果就不同。排水量大的船，其回复力矩也較大，穩性当然也比小回复力矩的船要好。小船在风浪中顛波搖晃不定，而大的船仍能在同样风浪中航行，就是区别于排水量的大小不同。其次，如为較大吨位的客貨輪，客貨移位所造成的橫傾，对穩性影响有时尚可忽視，但在較小客貨輪上移动相同吨位所造成的橫傾，对穩性影响却不容忽視。例如过河輪渡，船小客多，旅客集中一舷所造成的橫傾，往往会肇事不測。綜上所說，小船的穩性条件受船舶吨位的限制，較大船更为不利。

(2) 船舶寬度 B 是和穩性力臂 GZ 、初穩性高 GM 有密切的关系，已如前述。假使 GM 、 GZ 和 B 的比例，不論大小船舶，一律保持相同，如 $10\%B$ 或 $15\%B$ 等等，由于大船 B 較大于小船之 B ，那末显然可見，在同样比例条件下，小船的 GM 或 GZ 就会較小。若仅仅以船寬主要尺度的比例来选取，而不考虑穩性下限的絕對值，那对于小船来講是不妥当的。也就是說，小船选取的 GM 和 GZ 的絕對值可能会偏小，对小船的回复力矩不利，从而影响到穩性較差。

大船由于寬度大，單純从 B 的比例来选取而不考虑 GM 的过大会反遭不利，那也是不妥当的。所以 GM 、 GZ 对 B 的比例，在大小不同的船舶上应分別对待。

(3) 船的干舷大小对穩距、 GZ 有显著关系。大小吨位不同的船，虽然假若保持有相同的甲板进水角，但小船干舷的絕對值要較大船的为小，遇有风浪，甲板就易較大船上浪。何况有些工作船，原尺度本已較小，如漁輪、拖輪等，贪图甲板上工作的方便，往往将干舷造得較低，舷弧造得較小，这更使穩性条件恶化。

(4) 海波經常出現的周期在 6 到 9 秒之間，此时的风級約在 7 級以下，为船舶航行的正常环境^①。航行于海洋的小型船舶，一般船寬在 8 米以下，其在靜水中自由橫搖周期与上述波浪的周期很接近。如此，它在多数航行时期內，将会較大船遭受接近共振的大幅度橫搖。陷入共振

^① 船舶原理 A.A. 罗卡塞維奇等著，李世謨等譯，191 頁表 23，人民交通出版社 1955 年

的橫搖后船舶將難以操縱而頻險境。其次，小型船的貯備馬力受有一定限制，當陷入共振橫搖處境后，在擬變更航向、航速以擺脫這種不利情況的努力中，不如大型船來得容易奏效。

所以對尺度大小不同的船舶，在處理穩性時，小船更應妥善處置。

(5) 經過試驗知道，船舶穩性在船艙在波峯上時為最差。假使船速接近波速，又是順浪航行，這對於小船來講容易使它置在波峯上的機會增多。因為波浪的長度還是以接近13~30米左右為多數，小船的船長正在這範圍內，因此較大船的失穩機會多。

船舶航區對穩性的影響也很顯著。海洋和河湖可以代表兩種截然不同的航區。它們主要的相異點是：

(1) 海洋水域無邊無際，風力猛，波浪洶湧而又持久不息。因而海面多數時間是波浪重迭，波峯如棋布星羅。

內陸河湖一般水域狹小，除似內陸海或大湖形的水區外，風力造波的作用不太大，因此波浪影響每可不計。但對風浪情況接近內海或大湖的仍須考慮。蘇聯1959年頒布的內河船舶穩性標準中，就已將這點較1949年頒布的進行了修正，規定除“P”及“П”類船外，“M”、“O”類船尚應考慮波浪的影響。我國內河如長江下游等水域亦宜考慮。

(2) 海洋水域遼闊、空間大。航行於其間的船舶，尺度比例可以不受其限制。

河湖水域多淺灘礁石，水流湍急。水道曲折多彎，往往曲率半徑較小，轉彎困難。加上航區擁擠狹窄，空間小，航行於其間的船舶尺度要受其限制。

(3) 海洋區域遼闊，茫無際涯，遇有風浪襲擊，不易迴避。

內河港汊多、容易迴避，且出事后也較海船容易施救。

根據上述各不同條件，海船和河船在船型布置方面、結構設施方面，以及在滿足最大的經濟使用性能方面，應分別對待，以解決各自的穩性要求，籠統處理是不相宜的。

在海船方面，主要是減弱風及波浪所造成的、對橫傾穩性有不良影響的諸因素。一般採用的措施不外乎：

(1) 採用適當的 GM ，既保證小橫傾時的穩性，又適合風浪中的營

运。 GM 值可比照类似或姊妹型船舶选用。

(2) 采用较大的干舷和舷弧, 并且甲板以上有良好的排洩設備和水密結構, 以增加貯备浮力, 扩展稳距、延迟甲板进水角的出現。

(3) 采用較深的吃水, 减少水面以上的縱向受风面积, 削弱风动力矩的影响。

(4) 在艏部采用較尖銳的舳結構, 增大无因次橫搖衰减系数 2μ , 促使因波浪所造成的橫搖角降低。

(5) 考虑到船舶遭受破艙等海損的諸影响, 船身采用双层船底的結構。双层底中有貫通左右舷的管道, 使进艙海水不会貯集一舷而造成严重的橫傾側。

在內河船舶方面, 旅客移位、貨物装卸、操舵駕駛等所造成的橫傾, 是影响稳性的主要因素。对风动力矩也須考虑, 对于波浪的橫搖影响, 一般可无庸考虑。因而內河船舶主要是减弱上述影响稳性的諸因素, 采取的措施, 往往不外乎良好的船型、布置以及妥當的駕駛。尤其是:

(1) 內河港湾汉道屢見, 航道曲折多弯, 船只常須有較小的圓航半径(迴轉半径)才能通过。假設在这地方遇有滩水湍流, 可以造成很可觀的橫傾角。

(2) 內河航道港埠每每相隔数十里即有一个, 貨物旅客上下頻繁, 少量貨物的装卸不勻, 即能造成可觀的橫傾。遇有旅客集中在单舷觀賞两岸风物, 或等候上下碼頭, 两者合併所造成的橫傾力矩每不容忽视。

(3) 內河船舶受河床空間的限制, 船型都采用寬而扁的比例, 吃水也較淺。这类船往往干舷会大过吃水, 以致甲板进水角会比舳部出水角小。在考虑該船的稳性曲綫情况时, 它的最大平衡角不能用甲板进水角来衡量, 而須改用舳部出水角。这类船由于水下部分較小, 重心多半位于甲板以上, 并且水上縱向受风面积也較大, 偶然有风暴驟然吹来, 也会造成危險。

(4) 內河航行的船舶属于小型的占多数。航区内风緩浪小, 干舷可以較海船选用得低, 甲板以上水密設備也配置較少, 梁拱較小, 洩水設備也差。縱然船上有一定的水密裝置, 由于风平浪靜的时候居多, 船員

們也有習慣于不用的。一旦有事故發生，往往措手不及，或臨時驚惶失措，以致造成不應有的損失。

總的說來，海船失事，直接原因多半是風及浪的連合作用。內河中雖然也有不測的風暴，但多河灣港汊容易躲避。內河船失事于風暴的不多，而多于使用不當，駕駛失慎，加之個別船員對穩性失事的警惕不及海船船員的高。所以對內河船的穩性要求雖不似對海船的嚴格，但失事船隻也不斷在發生。因而對內河船舶的穩性也應給予適當的重視。

§ 31 拖輪的穩性

拖輪穩性的一般性質與要求，已經在前面講過。拖輪不獨是自身航行，往往拖帶龐大的船隊進行營運，或者擔當拖拉擱淺的船舶出險等任務。在考慮它的穩性條件時，任何時候都應以拖輪處於拖牽的情況下來着手，即風力袭击與橫向急牽要合併考慮。海洋拖輪除此以外，還應考慮波浪對它的橫搖作用。

拖輪的穩性事故，在各類船舶的穩性失事統計中占有很大比例。這些穩性事故的主要發生原因，又以在急牽過程中，因穩性不足而占絕大多數。

拖輪的穩性與其他各類船舶一樣，視其工作性質和航區條件的不同而各異。海洋拖輪、內河拖輪、港作拖輪各有其穩性方面的特點，如：海洋拖輪長拖情況居多。航區寬廣，拖索可以放長以緩衡急牽過程的動力負荷。甚至有些海洋拖輪還具備有自動絞纜車，能隨牽應力的大小，自動調整纜索長短以緩衡負荷。再由於水面遼闊，迴航操作較少，被拖船與拖輪間的偏航角很少會接近相互垂直的正橫情況。其次是水密裝置以及對它們的運用也較好。

以上舉的是海洋拖輪的有利條件，但海浪洶湧，時有暴風襲擊，被拖船隊的操縱困難較多，以致可能發生橫向急牽的情況也較多。而且已如上述，在海洋中風與浪的連合作用對穩性是否足夠，這是個嚴格的考驗。從而知道，應該很重視海洋拖輪的穩性。

內河拖輪的航區，一般風浪較小，又多港汊可以躲避風暴。因此一般人總認為內河拖輪的穩性可較次要，其實不然。內河拖輪往往須適應湍

急河流、弯曲航道，拖索不能放长，亦无缓冲缆索上动负荷的装置。其次，转弯圆航情况较多，有些曲率半径较小的航道，必须采用小半径的迴航，这些都会造成与被拖船間較大偏航角，甚至会有近乎正横的情况造成。在这种时候，假若遇有水流湍急，急流冲击被拖船以左右拖輪。这一反拖拖輪的急牵力每会很大，甚至致拖輪于傾复。例如图79中有一拖輪A，正拟拖曳一大囤船B入港。拖輪A駕駛失当，以小半径迴航进入港口，但此处水流湍急，囤船B被急流冲向下游，形成对A拖輪的横向急牵，牵力过大，A拖輪被傾复。

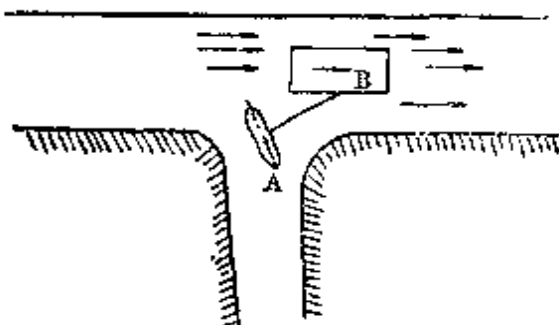


图 79

内河拖輪的船型受航道限制，一般是与其他内河船一样，采用宽而扁的船型比例，甲板进水角較小，甲板上的水密装置多数近乎沒有。这类船干舷又小，常因横傾致甲板进水而丧失浮力失事。

港作拖輪的稳性要求，較其他各类拖輪更宜重視。这是由于它經常在水面狹小、船舶拥挤的港口内进行工作。工作任务頻繁，圆航操縱多、敏轉度要求高、拖索又不能放长，而且常常会拖曳近乎固定的特殊物，如沉船、搁浅船等，受到被拖曳物的反牵应力較大，受到横向急牵的可能性也特別多。这些都是港作拖輪的特别是与一般拖輪不同的地方，但是港作拖輪每因贪图工作方便，利用港内风平浪靜的条件，干舷、艏柱弧一般选得更为低小，水密装置又多閒置不用，結果遭甲板进水而失事的事例就較其他諸类拖輪为多。

上面是各类拖輪的稳性注意要点。下面来叙述影响急牵的几个因素，以便能掌握如何削弱急牵的作用。

1. 拖鈎位置的影响

拖輪拖鈎位置有离基綫的垂直高和离舳的水平距两部分，这两部分对稳性都有影响，尤其是前者为最。

拖鈎位置高度的影响，可利用 § 27 中的公式：

$$M_d = P \left(y - \frac{d}{2} \right)$$

由上述公式知道，拖鈎位置离基綫高 y 的数值越大，动傾力矩 M_d 也越大。所以在安裝拖鈎时，对其高度的选择应在不妨碍操作的原則下力求降低，使发生的动傾力矩也随而降低到一定值。

在船的方向性能上，我們已經知道拖鈎越靠近船的重心附近，舵的敏轉性越好。这个应舵灵敏、操縱裕如的性能对于迴航頻繁的拖輪尤其是港作拖輪更屬需要。拖鈎位置安裝得离重心稍远，敏轉性能虽低，但由于拖力会使船繞重心的垂直軸的轉动力矩增大，而因就消耗了部分橫傾的力 P 的作用，显然也就削弱了动力急牽的影响。因此可以看出，拖鈎縱向位置在敏轉性与稳性的要求之間是有矛盾的。其次，拖輪应该以拖帶航行为考虑稳性时的目标。在它拖帶航行时，本身敏轉性好，假使所拖曳的船队跟不上，那末結果有时反会不好，这种例子是很多的。再者，若将拖鈎过于装后，以求有利于稳性，事实上也往往会适得其反，由急牽而生的船尾縱傾，会使船尾吃水增加很多，假設拖輪艏舷弧較小，舷牆又低，則有可能使艏甲板进水而失事。

綜上可知，一般难以定出一公式来确切計算每艘拖輪的适宜拖鈎位置，应该根据工作条件、航区、船型等具体情况来选择。有些人根据多年来的实际經驗，認為拖鈎最适宜的縱位置，是在接近艏部稍后处，約为船长的15%左右。这一数据可能仍有上下，当然不可能划定所有类型的拖輪都适用，但可供作参考。

2. 甲板进水角的影响

在稳性曲綫上衡量最大稳性平衡角，是以甲板进水角或艏部出水角来比照的，这二个角以何角为小作准。甲板进水角在曲綫上的提早出現，对稳性是十分不利的。要增大进水角，延迟它在曲綫上的出現，除裝置并充分运用水密設置外，尤須提高干舷及背舷弧的数值。片面从拖輪的工作便利观点出发，不愿有一定高度的干舷及艏舷弧是不妥当的。在内河及港作拖輪中，个别船只对水密裝置縱有設置也不习惯于应用，这些也应亟力克服。

为了照顾拖轮的工作方便，又照顾到稳性要求，如何对于舢等的要求取得上述諸矛盾的統一，是桩重要的事情。一般来讲，拖轮的干舷不得小于其船宽的10%。图80是苏联有关文件对拖轮干舷最低值的規定，干舷是与船长作对比。从图上可知，内河或港口拖轮的干舷，要比海洋拖轮的高得多，按理海洋区域风浪大，甲板容易上浪，但因港口、内河拖轮水密装置差，开口多，只有提高干舷来保障安全。

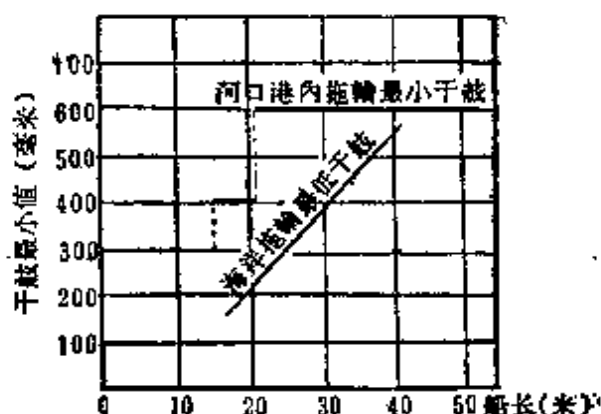


图 80

其次如弹簧拖钩、自动绞缆车等非刚性系缆連結，对缓冲急率应力起有一定作用，拖轮宜视条件许可采用之。

由于拖轮的营运性质及船型等条件关系，它的初稳性高 GM ，一般在0.5米到1.0米之间。它与船的宽度有一定的比例。海洋拖轮的 GM 约为其宽的10%左右，内河拖轮较之海洋拖轮为高，约为其船宽的12%左右，港作拖轮可高达其船宽的15~20%左右。

对于各类拖轮的最大静稳性力臂及其相应出现的最大静倾角，一般虽视各自的具体情况不同而有异，但出入不大。总的说来，最大的 GZ 约为其船宽的3%左右，相应出现的静倾角必须大于 30° 。至于稳距角，在任何情况下都不宜小于 60° 的。

内河及港作拖轮每由于干舷及背舷弧较低，以及船宽较大等因素， GM 与船宽的比例虽较海洋拖轮的为大，但绝对值却小， GZ 数值也较小。从此也可知道内河及港口拖轮的急率稳性须强调重视的理由。

§ 32 漁轮的稳性

漁轮稳性的一般性质与要求，也已经在前面讲过。它因为需要长年累月、昼夜不分地在风浪里工作，在海上失事的船舶中占的比例相当大。因此为了安全生产，漁轮的稳性是首须重视的。

漁輪的種類很多，有內河的，有海洋的。以其捕撈方法分，有拖網的，有圍網的，有漂網的。它們的穩性要求，也須視其工作性質及捕撈航區的不同而有區別。但是區別雖有，總的要求不外乎：

1)經常須在六、七級風浪中捕撈，多半是甲板上工作，要求橫搖周期較長。橫搖程度不致妨礙甲板工作的繼續進行，不使捕撈任務因而停止。有足夠的貯備浮力，能承受風浪和其他動傾力矩的作用，在任何情況下，穩距角不應小於 60° ，最大的穩性力臂 GZ 值至少要保持在 20 厘米以上，其相應出現的靜傾角不少於 30° 。

2) GM 值和船寬 B 有密切關係，要求 B 之值在 0.3~0.18 的船長 L 之間。如此不僅有較大的艙容可利用，有較大的甲板面積可工作，並且能有足夠的 GM 值來保障穩性。過大的 GM 值對漁輪的穩性來講，和其他諸類船舶一樣，也是不相宜的。伴隨大的 GM 值而來的是橫搖周期縮短和擺幅增大，有時反而會陷穩性於不利。

3)在衡量穩性是否足夠時，各類漁輪均須考慮的是：

(1)起網和甲板上有濕網等情況，魚、水及網等的引起船重心升高及偏移。

(2)寒冬天氣，甲板以上有冰凍霜結，尤其是桅杆、吊杆、建築物頂等高離水面的部分。冰霜存在引起船重心升高，受風面積擴大，穩心變動。

(3)漁輪中有自由液面存在，影響 GM 值。

(4)漁輪在各裝載情況下，由於裝載不同也影響穩性，如漁輪滿載出港時、抵達漁場投入捕撈時、捕撈結束離開漁場時、漁輪返抵港內時等等，要注意它可能遇到的最不利裝載，驗算這時的穩性條件是否夠用。

(5)漁輪不迴避在風浪中工作。波浪的存在會影響原有 GM 的數值。船處波峯時， GM 值降低最多。

4)一般中小漁輪的橫搖周期，約在 5~8 秒之間，這個數據與海波的平均出現的周期很接近。這就容易使漁輪陷入共振的處境。減少陷入共振境域的可能，或削弱共振所造成的影響，除具有一定航速潛力以便能及時改變航向、逃出共振處境外，另應設法採取增加橫搖的阻尼，如

采用舳龙骨、底龙骨、尖锐的舳部结构等。

漁輪貯备浮力及稳距情况，是衡量稳性的主要根据之一。貯备浮力及稳距的大小，主要决定于干舷。当然干舷和背舷弧过大，对捕捞操作是不方便的。图81中的资料录自日本漁輪图册、中国漁輪图册、漁輪設計手册等，将数十艘中外实有的机动出海拖网漁輪的干舷与船长的关系，以座标表示之。座标黑点集中地方連成曲綫如图。船有鋼質也有木質。可見現有漁輪的干舷，約在0.3~0.9米之間，0.45~0.75米似为常用的数据。

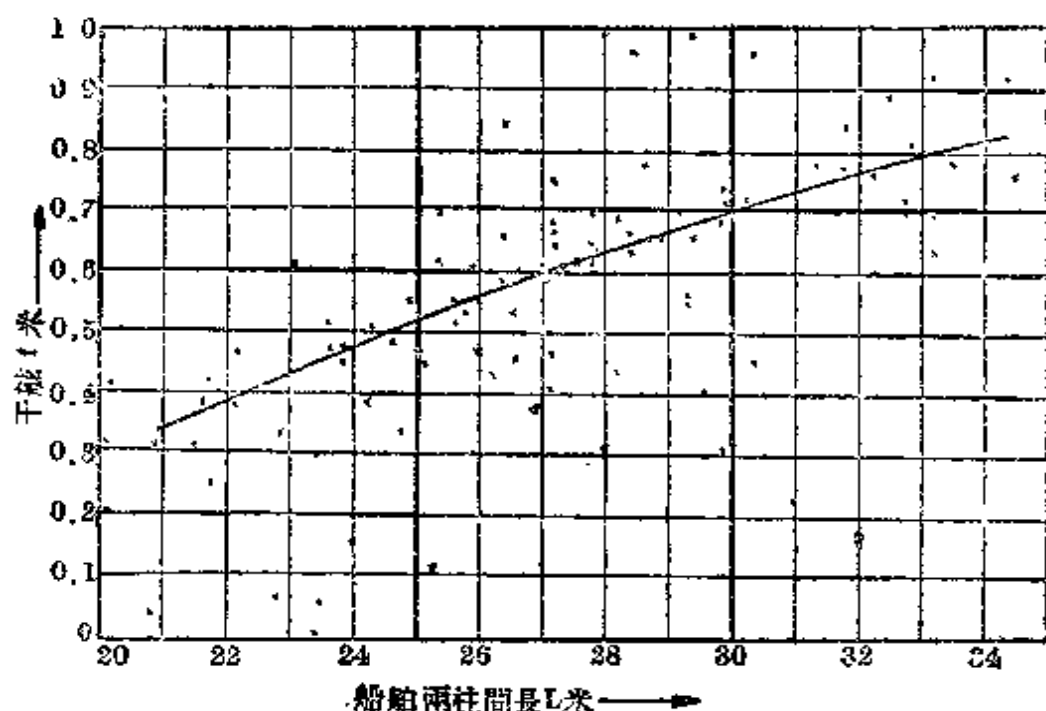


图 81

漁輪初稳性高度变化很广。当船是駛近海波航行，舳部位于波峯和波谷的不同处境时， GM 都随之有不同。其变化范围約在140~160毫米左右，甚至有200毫米的。在波峯时 GM 最小，波谷时最大。已如上述，由于各不同的载荷情况， GM 也会有很广之变化范围。一般离港出发时，滿载淡水、食品、燃料等物品，重心較低， GM 較大。到达漁場时，由于上述物品的逐渐消耗，促使 GM 也逐渐降低。当在漁場工作时，魚貨入艙， GM 又有可能略回升，以后 GM 將繼續下降。当漁輪返抵港时，

往往 GM 值降低至最小值。当然合理的设计，应该设法使渔轮由满载出港到渔场工作，至满载离渔场到返抵渔港止，其整个过程中的 GM 变化范围应尽量的小，如此就易于控制稳性。对于 GM 值的控制，因为须视上述数种装载情况，就有人认为渔轮在到达渔场和空载起网时， GM 不宜低于 0.60 米。无论在何种最坏情况下， GM 均不能低于 0.33 米。又认为出港时 GM 值约可为其船宽的 10% 左右，到返港时约可为其船宽的 6% 左右。

图 82 所示是根据数十艘中外拖网渔轮的 GM 资料，比照其各自的船宽 B ，以坐标黑点表示的。资料来源同图 81。在黑点汇集处通过曲线如图，以示拖网渔轮在各不同情况下的 GM 值，并显示出 GM 值选用时的一般趋势。

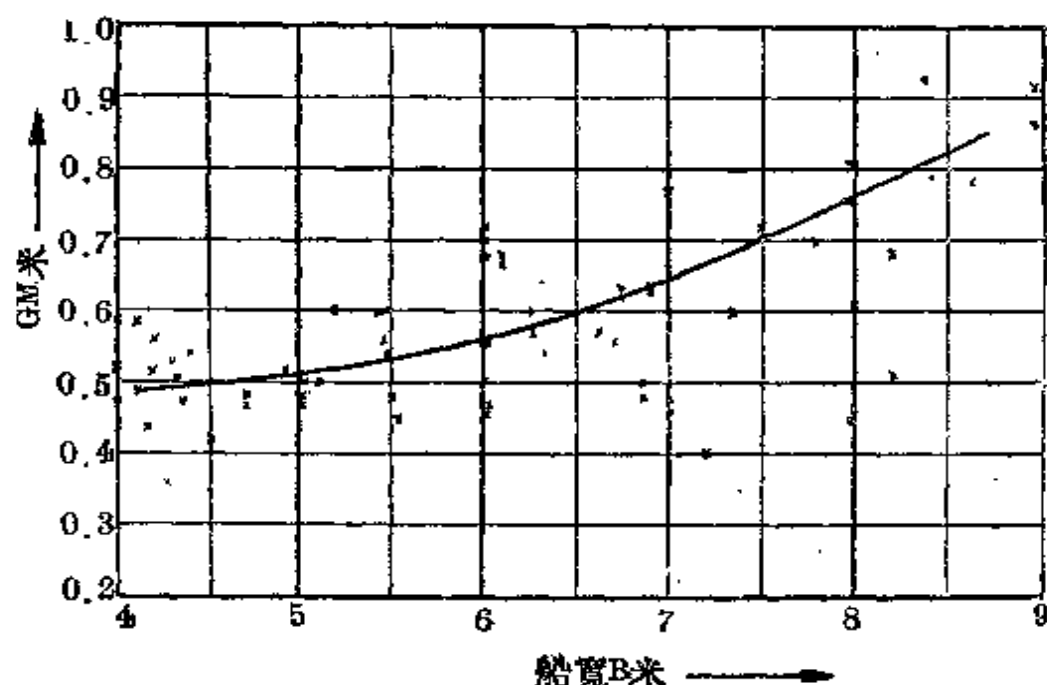


图 82

渔轮与拖轮相似，船长大多在 60 米以下，我国沿海各渔轮船长也大都在 30 米左右，是属于小型船范畴以内。其抗倾复的性能，受船重影响，先天上是较弱的。其次，渔轮的工作有较长一段非单独行驶的过程，这也与拖轮相似。尤其是拖网或围网渔轮，网层受到水流、鱼群等的冲撞作用，再加上横风横浪的连合作用，往往会有严重的横倾产生。

內河漁輪，在湖沼江面上捕撈，自然条件虽比海洋漁輪优越，但因每有个別船只忽視了必要的干舷及水密裝置；穩性失事亦屢有发生。故在注意海洋漁輪穩性的同时，对內河漁輪的穩性亦不宜輕視。

我国內河漁輪較少，大多数是无机动力的风帆漁船，即使是沿海方面，也以无机动力的风帆漁船为多数。船型小，船长一般在20米以下、10米左右为最普遍。船型虽小，目前在我国漁撈事业中，仍属主要力量。这类船都属我国劳动人民几千年以来的智慧的結晶，优点很多。例如在有关穩性安全方面，采用水密橫隔艙代替橫向肋骨，不仅起了橫强度作用，更能起安全作用。其次，如舷側縱壳板材，采用原木对开，貫通艏艉，不仅充分利用木材以防挠，尙能对波浪的橫搖起阻尼作用。但一般來說，包括改装后的帆帆船在內，干舷較低，平均为其船寬的4~5%左右。由于船型小，干舷絕對值仅在30厘米左右，甲板亟易上浪，仅仗較大梁拱以洩水，究属不妥。其次，一般船型較寬， GM 較大，橫搖周期較短，凌波性差。因此在重視漁輪的穩性同时，如何对占有广大数量的漁船穩性注意起来，进行合理的船型改建，必要的設施添置，这已是刻不容緩的事了。

§ 33 客貨輪的穩性

客輪主要是以运送旅客为營運目的，一切应以安全为第一。所以对它的穩性要求更应重視。客輪穩性的一般性質也和其他船舶一样，已在前面講过。它需要有一适宜的初穩性高、較大的靜穩性力臂、相应的最大值出現角，在穩性曲綫上不小于 30° 甚至 35° ，穩距也应在 65° 以上。因此显然易見，客船的干舷一般要比其他类型船为高。在衡量客輪的穩性时，除須校核当其受到一定的风动力矩和波浪橫搖的連合作用时所具有的穩性外，尙須根据其營運性質、船吨大小、航区条件等具体情况作如下的校核：

- (1) 船遭海損致破艙进水后，其剩余的穩性是否犹能維持安全；
- (2) 船在必要时作急速圓航，所产生之橫傾角会否危及安全；
- (3) 旅客在船上遊动集散，所影响船重心的偏移或造成的动傾力矩，会否碍及安全。

作上述校核，理应根据有关的稳性规范的文件规定进行。

一般海上客轮的吨位巨大，设备较全。航行亦多属长航情况。所以因旅客的走动或圆航所造成的横倾，一般影响较小，主要的应该考虑破舱进水，以及善后施救的安全问题。当然海洋客轮在海洋上航行，风浪的联合作用仍然是威胁稳性的主要因素。

内河客轮一般船型较小，抗倾复能力要较海船为低。加之内河流速湍急，航道多曲折，水面又拥挤，船的水密设施、洩水设备又较差，因而上述三个校核对内河客轮，实有显著意义。

例如有某内河客轮，已知航速每时为11哩，船长为40米，船宽为8米， GM 为0.6米，船的重心至水阻力作用中心的垂直距离为2.2米，主甲板即为干舷甲板，甲板以上没有水密装置，试校核圆航时的横倾角，观有否危险。

利用 § 26 的公式：

$$\sin\theta = \frac{v^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{g\rho GM} \quad (\text{设圆航速与直航速相等})$$

假设此时迴航半径 $\rho = 2.63L$ ，则，

$$\begin{aligned} \sin\theta &= \frac{v^2 \left(h - \frac{d}{2} \right)}{gLGM} \times \frac{1}{2.63} = \frac{(11 \times 0.515)^2 \times 2.2}{9.8 \times 2.63 \times 0.6 \times 40} \\ &= \frac{70.60}{623.28} = 0.1132 \\ \theta &= 6.5^\circ \end{aligned}$$

这船干舷若为0.7米，那末甲板进水角

$$\tan\varphi = \frac{2f}{B} = \frac{1.4}{8} = 0.175$$

查得进水角 $\varphi = 10^\circ$ ，无危险。

但若进一步假设，这地方正好是水流湍急，流速方向与船速相同，流速每时达10.5哩，再核校这时的圆航角有无危险？

$$\begin{aligned}\sin \theta &= \frac{[(11+10.5) \times 0.515]^2 \times 2.2}{2.63 \times 9.8 \times 40 \times 0.6} \\ &= \frac{289.61}{623.28} \\ &= 0.4326 \\ \theta &= 25.7^\circ\end{aligned}$$

此时船舶的 $\theta > \varphi$ ，必将倾复失事。

从上述例子可见流速对横倾角有莫大影响，而上述流速值每秒5.4米在内河某些地区确实存有。因此内河船舶如何增加干舷或加强水密装置，确系特别重要。

内河客轮多属短航性质，吨位既小而载客量多，旅客游动散聚而造成的横倾力矩相对地要较大，尤其是旅客集中一舷或船在急速圆航时所造成之倾斜，促使旅客惊惶奔集一舷，这种横倾力矩往往很大，甚至使船倾复。在短航渡轮方面，上述情况尤为严重，如船在到离码头时，旅客在一舷等候上下，以及船在中流时旅客集中一舷观赏景物等等。一舷集中的影响不仅大，而且这种可能情况又较多，所以对短航客轮的旅客集结一舷，必须严格控制。

旅客集中一舷所造成的倾侧力矩，可近似地用下式计算，

$$M = \frac{1}{4}PB$$

式中：P——旅客重量；

B——船宽。

小型短航客轮的布置，可以将舷侧走道移在船中间，这样就可以避免船在到离码头时旅客集结一舷。

其次，客轮在安全原则下，尚须使旅客舒适地渡过旅程，因此在GM方面应防止过大。

在貨輪方面的穩性要求，主要已在第五章§17至§22中講過了。除與其他船舶一樣，需有一定的 GM 、 GZ 及穩性消失角等等以滿足穩性的一般要求外，裝載特殊貨物的船，必須按照所裝載的情況進行一系列的校核，或對穩性進行修正。如油輪、漁輪對自由液面的修正，運煤船、運糧船等其他散裝貨輪等對流動貨物的穩性修正等等。貨輪的穩性，一方面依靠船型良好，具有足夠的穩性，但主要方面還在於運用得當，妥善掌握貨物的裝卸與堆放。常有穩性良好的貨輪，由於中途貨物移動，或因裝卸不宜，船重心發生偏移而失事的事例。管理得當在貨輪穩性方面是主要的因素。

第八章 海損穩性或破艙浸水後的穩性

§ 34 海損進水情況

在第五章中曾述及船舶遭遇海損有一艙或一艙以上破裂進水，致使原有穩性受到影響。影響後的穩性稱海損穩性或破艙穩性。海損穩性的數值受破艙位置、進水多寡及進水情況而定。破艙位置偏離艙部，則會引起較大的艙艙縱傾；偏離縱中部艙，則會引起較大的橫傾。但其作用又和進水量的多寡有密切關係。海損穩性和船艙進水情況更有密切關係，進水情況往往也會影響到進水量之多寡。一般進水分作下述三種情況來研究：

1. 艙室上部封閉並位於水綫下，進水量受到固定，無自由液面影響。

2. 艙室上部開啟，但不和舷外水連通，水量雖不隨傾斜而增減，但有自由液面影響。

3. 艙室上部開啟，並和舷外水連通，艙內水平面不論傾斜如何，始終會和舷外水平面會合，即損失原有水綫面積。

上述諸情況中，以第三種影響穩性最為嚴重，以第一種在有雙層底的商船中為最普遍。

第一、二两种情况的进水量固定，因而可視作定量的貨物因裝載而影响船舶稳性一样。可以利用第五章中所述（仅須考虑自由液面及渗透等因素）公式进行計算。第三种情况由于进水量不固定，在水綫位置未定前，进水量多少难定，致第五章中的貨物裝卸法就不太适用，而且計算方法也較繁复得多。

§ 35 浮力損失法和裝卸重量法

要决定进水后的水綫位置，在第一、二种船艙进水时，可用第五章的貨物裝卸法求解：

$$G_1 M_1 = GM + \frac{W}{\Delta + W} + \left(d + \frac{t}{2} - y - GM \right)$$

式中： $G_1 M_1$ ——海損后稳性；

GM ——海損前稳性；

W ——进水量；

Δ ——原排水量；

d ——吃水；

t ——因 W 而有之吃水增量；

y ——破裂艙离基綫之垂高。

若 X 是破裂艙离縱中綫的水平距 Z 是离原重心的縱向距，則可得橫傾角 θ ：

$$\tan \theta = \frac{W x}{(\Delta + W) G_1 M_1}$$

縱傾角 φ ：

$$\tan \varphi = \frac{W Z}{(\Delta + W) G_1 M_L}$$

M_L 是进水后的縱稳心

第三种进水須改用浮力損失法。浮力損失法認為船艙进水后已脱离船体，成为海之一部分，但由于船重依旧，势必会下沉一定水尺，以弥

补浮力的损失。在实用上通常以表格进行计算。现介绍浮力损失法定海损后的水线，即海损水线。

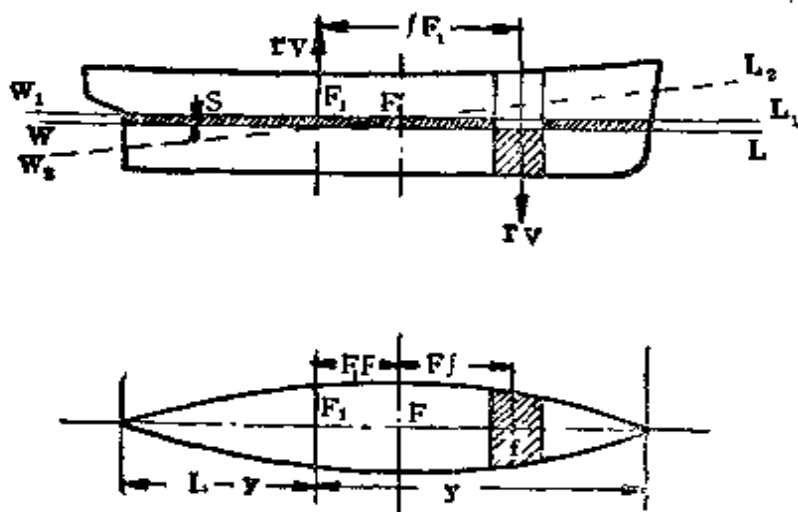


图 83

如图83所示，原排水量 Δ 的船浮在 WL 的水线上，水线面积为 A ，体积是 V 。对其水线面漂心 F 的纵惯性力矩是 I_F ，对纵中线的横惯性力矩是 I_X 。现设船进水后只有纵倾的下沉，但排水体积仍为 V 未变。于是：

$$A_1 \cdot FF_1 = a \cdot F_1 f \quad (a = A - A_1)$$

$$BM_L = \frac{I_{F_1}}{V}$$

式中： A_1 和 a 分别为未损及损伤面积， F_1 和 f 分别为其重心。若 I_F 和 i_f 分别为其过重心的纵惯性力矩，则：

$$\begin{aligned} I_{F_1} &= I_F - [i_f + a(fF_1)^2] - \frac{a^2(fF_1)^2}{A_1^2} A_1 \\ &= I_F - i_f - \frac{a(a + A_1)}{A_1} (fF_1)^2 = I_F - i_f - (fF_1)^2 \frac{aA}{A_1} \end{aligned}$$

若浮力损失 v 的体积致下沉 $S = \frac{v}{A_1}$

縱傾力矩 $= \nu r (fF_1)$ r 是水的密度。

縱傾值 $t = \frac{\nu r (fF_1)}{M_c}$ M_c 是單位縱傾力矩

新水綫位置：

$$\text{艏吃水: } d_{f1} = d_f + S \pm \frac{y}{L} t$$

$$d_{a1} = d_a + S \mp \frac{L-y}{L} t$$

新水綫必然通過 F_1 ，所以縱傾後新水綫位置就決定了。

再轉而來計算新橫向穩心半徑。若 i_x 是 a 對縱中綫的慣性力矩，那末新的水綫 A_1 的橫慣性力矩必然等於 $I_x - i_x$ ，於是橫穩心半徑：

$$BM = \frac{I_x - i_x}{V} = \frac{I_x}{V} - \frac{i_x}{V}$$

BM 顯然被縮小了 $\frac{i_x}{V}$ 的數值。

上述是指進水後貫通左右舷，重心無偏移的情況。現若進水後並非左右對稱如圖84所示。 A_1 面積重心偏離中綫為 d ， a 面積重心偏在中綫的 C 距離。那末：

$$A_1 d = Ca, \quad d = \frac{Ca}{A_1}$$

$$BM = \frac{I_x}{V} - \frac{i_x}{V} - \frac{A_1 d^2}{V}$$

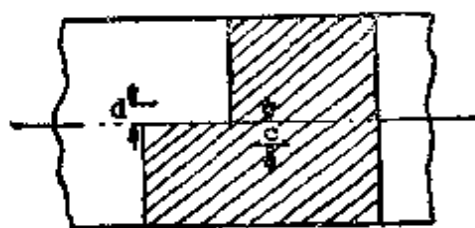


圖 84

事實上，若水進入艙內，新水綫面積大過原未損面積時，往往新 BM 由于水綫面積之增大，抵消 $\left(-\frac{A_1 d^2}{V} - \frac{i_x}{V} \right)$ 因素後仍會比原有的大。其次，船艙不會是空艙，往往裝有各種貨物。水量進艙多寡，猶

須視貨物之滲透率來決定。凡進艙之水容積與艙容積之比稱體積滲透率，以符號 μ_v 代表；凡水面積與艙面積之比稱面積滲透率，以 μ_s 表示。這兩個滲透率隨各種裝載物之性質而定，影響進水量很大。在計算時應考慮滲透率的影響，將進水艙的水綫面積與容積分別乘以 μ_s 及 μ_v ，始能得到損傷水綫面積與體積。面積力矩、慣性力矩均應分別乘以滲透率。現將體積滲透率（民用船舶）列於表30中。通常也有採用 $\mu_v = 0.55 \sim 0.68$ 作為貨艙的平均滲透率的。至於面積滲透率，一般取等於體積滲透率。但若該破艙已位於海損后的新水綫下，那末 μ_s 通常就取為一。

表30

艙內各部	μ_v	低滲透率貨物	μ_v	較高滲透率貨物	μ_v	一般雜貨	μ_v
客艙、船員艙、 尖艙及艙底等	95%	包裝面粉等	29%	傢俱箱裝	80%	羊肉、皮、 麥等	56.2%
蒸汽機艙	80%	牛油箱裝	20%	機器箱裝	85%	烟草橡胶	67.8%
柴油機艙	85%	罐裝食物	30%	車胎	85%		
鎢鎂艙、煤艙、 行李艙、軸隧、 郵件間、貯藏間	60%	軟木包裝	24%	汽車	95%		

損失浮力法中，船的重心是認為不移動的。

§ 36 海損穩性的計算

新水綫既得，就能轉而進行進水后的穩性計算。縱穩性已在前面提到，橫穩性分作二部分計算；--為小傾角時的初穩性高 GM ，一為大傾角時的 GZ 。計算宜通過表格，以求簡化。

1. 海損 GM 的計算

1) 若進水部分在船中央，且左右舷貫穿對稱於縱中綫。

如圖85所示，原浮心 B 移至 B_1 。進水艙內水體積重心是 b ； b_1 是船下沉后補充浮力的水層重心。

船的浮心上升距离 $BB_1 = \frac{v \cdot bb_1}{V}$

現利用浮力損失法求得 B_1M_1 ，新的穩心高度就得：

$$KM_1 = KB + B_1B + B_1M_1$$

已知重心位置 KG 是不变的，
所以： $GM_1 = KM_1 - KG$

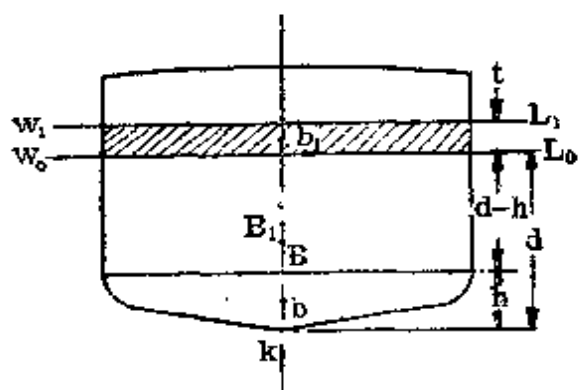


图 85

2) 船艙进水地位不在艙部重心附近，致有下沉的縱橫傾斜新水綫。

仍旧利用浮力損失法，求出进水后的橫穩心半径 B_1M_1 ，并找出新縱傾水綫 W_1L_1 。現因 W_1L_1 水綫下未損部分的浮心 B_1 位置未定，穩心距基綫确切高度无从决定。要計算 KB_1 須先算出 W_1L_1 下每个站号剖面面积的重心，再轉而算出此水綫下全部体积的重心距基綫的距离 y 。若損伤体积是 $\mu_v V$ ，其重心距基綫位置为 d ，則

$$KB_1 = \frac{(V + \mu_v v)y - \mu_v vd}{V}$$

∴ 就求得 $GM_1 = KB_1 + B_1M_1 - KG = KM_1 - KG$

具体的計算用表格进行。

(1) 先用表31算損失的浮力体积。表中的站号距可用肋骨距，一般取三个或五个，視具体情况而定。

(2) 用表格32算所損失之水綫面积 a ；

若所損失之艙位部分并未貫穿全船，即进水后的水面左右不对称，表32第2栏要用破艙的全寬。 a 計算公式变为： $\frac{1}{3} h \Sigma f(a) \mu_s$ 。

(3) 用表格33算未进水前原有水綫面积及漂心：

表33中， $\Sigma f(M)_1$ 是 0 ~ 4 站号的 $f(M)$ 之和； $\Sigma f(M)_2$ 是站号 6 到 10 的 $f(M)$ 的和。站号 5 的 $f(M)$ 由于 Z 是零而等于零。

(4) 未損水綫面积及漂心位置：

未損水綫面积 $A_1 = A - a$

站号 h :

表 31

站号	站号剖面 a	$S.M.$	$f(v) (2) \times (3)$	力矩臂 Z	$f(M) (4) \times (5)$
1	2	3	4	5	6
1	a_1	1		0	
2	a_2	4		1	
3	a_3	2		2	
4	a_4	4		3	
5	a_5	1		4	

$\Sigma f(V)$

$\Sigma f(M)$

损失浮力体积 $V = \frac{1}{3} h \mu_v \Sigma f(V) =$

站号 (1) 距舢 (前后) 的距离 $l =$

V 体重心距舢 (前后) 距离 $K = L \pm \frac{\Sigma f(M)}{\Sigma f(V)} \cdot h =$

站号距 h :

表 32

站号	半宽	$S.M.$	$f(a) (2) \times (3)$	力矩臂 Z	$f(M) (4) \times (5)$
1	2	3	4	5	6
1	y_1	1		0	
2	y_2	4		1	
3	y_3	2		2	
4	y_4	4		3	
5	y_5	1		4	

$\Sigma f(a)$

$\Sigma f(M)$

损失水线面积 $a = \frac{1}{3} h \times 2 \Sigma f(a) \mu_s =$

站号 (1) 距舢距离 $l =$

损失水线面积的漂心 f 距舢距离 $= l \pm \frac{\Sigma f(M) h}{\Sigma f(a)} =$

站号距 h :

表 33

站 号	半 宽	S.M.	$f(A)$ (2) × (3)	力矩臂 Z	$f(M)$ (4) × (5)
1	2	3	4	5	6
0		$\frac{1}{2}$		5	
$\frac{1}{2}$		2		$4\frac{1}{2}$	
1		$1\frac{1}{2}$		4	
2		4		3	
3		2		2	
4		4		1	
5		2		0	$\Sigma f(M)_1$
6		4		1	
7		2		2	
8		4		3	
9		$1\frac{1}{2}$		4	
$9\frac{1}{2}$		2		$4\frac{1}{2}$	
10		$\frac{1}{2}$		5	

 $\Sigma f(A)$ $\Sigma f(M)_2$

$$\text{面积 } A = \frac{1}{3} h \times 2 \Sigma f(A) =$$

$$\text{漂心距舳 } F \text{ 距离} = \frac{\Sigma f(M)_2 - \Sigma f(M)_1}{\Sigma f(V)} \cdot h =$$

$$\text{其漂心 } F_1 \text{ 距舳 (前后) 距} = \frac{AF \pm af}{A - a}$$

(5) 算其平行下沉的正浮水线:

$$\text{平行下沉 } S = \frac{v}{A_1} = \frac{\text{损伤浮力体积}}{\text{未损伤水线面积}}$$

新水线: 船吃水 d_{f_1} = 原船吃水 d_f + S 艏吃水 d_{a_1} = 原艏吃水 d_a + S

(6) 将上述新水线划在水线型图上, 再量其各站号之水线面宽。以表

求新水綫面积表的格式与表33同，得出面积 A' 。

再在新水綫上量出損失水綫部分之各站号寬，仿用表33求出其損伤面积 a_1 。算出新水綫上未損水綫面积为 $A' - a_1 = A''$ 。

$$\text{平行下沉 } S_1 = \frac{2v}{A'' + A_1}$$

$$\text{新水綫: 艏 } d_{12} = d_1 + S_1$$

$$\text{艮 } d_{a2} = d_a + S_1$$

將其水綫在綫型图上划出。(5)中已算出了 S ，得出新水綫位置，但若在(5)中算出之 S 的数字过大而超过30厘米，由它所划出之新水綫不够正确，应再由这水綫繼續算一次未損伤面积，以求較正确的进水后水綫位置。如本(6)中所述，若 S 不过大，則可就以(5)中所得之水綫进行(7)的計算步驟。

若免除(6)，則續用(5)的符号进行(7)的計算。

(7)以(5)項的水綫來計算其全面积、漂心位置及縱向慣性力矩。計算可按表格 34 进行，但本項的慣性力矩是对貫穿艏的橫軸而言，即

$$I_{L\text{ 艏}} = \frac{1}{3} \times 2 \times 2h^3 \Sigma f(I)。$$

現按表34計算損伤的水綫面积及漂心对艏的慣性力矩，

$$\text{未損水綫面积 } A_2 = A_1 - a_2$$

$$\text{漂心位置离艏部距离 } F_2 = \frac{F_1 A_1 \pm a_2 f_2}{A_2}$$

$$\text{未損水綫面对艏的縱慣性力矩} = I_{L\text{ 艏}} - i_{\text{艏}} - A_2 F_2^2$$

(8)縱傾計算，

$$\text{縱傾力臂} = \text{損失的浮力体积的重心距艏的距离 } K \text{ 加上 } \frac{1}{2}(F_2 + F_1)，$$

$$\text{即縱傾力臂 } x = K + \frac{1}{2}(F_2 + F_1)$$

$$\text{縱傾力矩} = v r x_1$$

$$\text{縱傾值 } \tau = -\frac{v r x}{M_c}$$

从而得新吃水綫，

站号距 h :

表 34

站号	半 宽	$S, M,$	$f(a)$ (2) × (3)	Z	$f(M)$ (4) × (5)	$f(i)$ (6) × (5)
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
			$\Sigma f(a)$		$\Sigma f(M)$	$\Sigma f(i)$

$$\text{损伤水面积 } a_2 = \frac{2}{3} h \mu_s \Sigma f(a) =$$

$$(1) \text{号离舦 (前后) 距离 } l_2 =$$

$$\text{漂心位置 } f_2 = l_2 \pm \frac{\Sigma f(M)}{\Sigma f(a)} \cdot h =$$

$$\text{对贯穿舦部横轴的惯性力矩 } i_{x_0} = \frac{4}{3} \mu_s h^3 \Sigma f(i) + a_2 f_2^2 \mu_s =$$

$$\text{船吃水: } d_{t_2} = d_t + S \pm \frac{V}{L} \cdot t$$

$$\text{艏吃水: } d_{s_2} = d_s \mp \frac{V}{L} \cdot t$$

演算至此, 已将进水后船的新平衡位置求出。

往下就进行 GM 的计算。

(9) 计算 d_{t_2} 、 d_{s_2} 新水线下的, 每站号剖面积的重心离基线的 bk 距离。计算通过表 35 进行。

再利用表 36 求这新水线下的排水体积、浮心垂向位置以及对纵轴的惯性力矩。

水线距 S:

表 35

水线号	全宽	S, M.	$f(a)$ (2) × (3)	Z	$f(m)$ (4) × (5)
1	2	3	4	5	6
1		1		0	
2		4		1	
3		2		2	
4		4		3	
5		1		4	
			$\Sigma f(a)$	$\Sigma f(m)$	
			$kb = \frac{\Sigma f(m) S}{\Sigma f(a)} =$ $a = \frac{1}{3} S \Sigma f(a) =$		
			本表水线号 (1) 代表基线		

(10) 按表 31 求损伤体积 v 及其体积浮心离基线的距离 KB' 。这个体积就是在 d_{s_2} 、 d_{f_2} 水线下的破舱体积。计算方法与 (9) 相同, 按表 35 先求每个站号剖面积的重心, 然后代入表 36 内, 即不难求出 v 及 KB 和 $i_{\text{破}}$ 来。 v 及 $i_{\text{破}}$ 都须分别乘以 μ_v 及 μ_s 。

于是在 d_{s_2} 、 d_{f_2} 水线以下未损部分的体积和横向惯性力矩分别是:

$$V_1 = V - v$$

$$KB_1 = \frac{V \cdot BK - v \cdot KB'}{V_1}$$

$$I_1 = I_{\text{原}} - i_{\text{破}}$$

若进水地位是左右体积对称的, 那么就可进行横稳心半径的计算了。若不是对称的, 则未损伤水线面对纵中线的横惯性力矩还得修正如下。

站号距 h

表 36

站号	a	S.M.	$f(v)$ (2) × (3)	kb	$f(m)$ (4) × (5)	半宽	$(7)^3$	$f(2)$ (8) × (3)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0								
$\frac{1}{2}$								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
$9\frac{1}{2}$								
10								
			$\Sigma f(V)$		$\Sigma f(M)$		$\Sigma f(I)$	
排水体积 $V = \frac{1}{3} h \Sigma f(v) =$								
浮心垂向高 $KB = \frac{\Sigma f(m)}{\Sigma f(V)} =$								
对纵中线横惯性力矩 $I_x = \frac{1}{3} \times \frac{2}{3} h \times 2 \Sigma f(I) =$								

(11) 对未损伤水线面的横惯性力矩的修正:

按表 37 求损伤部分在 a_{s_2} d_{t_2} 水线的水线面重心离纵中线的距离 y ,未损伤水线面积的重心偏中距离 d ,

$$d = y \cdot \frac{a_2}{A_2}$$

站号距 h :

表 37

站 号	全 宽	S.M.	$f(a)$ (2) × (3)	半宽	% 半宽处至中綫 距 (±) 綫左 (+) 綫右 (-)	$f(m)$ (4) + (6)
1	2	3	4	5	6	7
			$\Sigma f(a)$			$\Sigma f(m)$
	$y = \pm \frac{\Sigma f(m)}{\Sigma f(a)} =$					

a_2 是 d_{a_2} d_{f_2} 水綫下損伤水綫面积;

A_3 是 d_{a_2} d_{f_2} 水綫下未損伤水綫面积。

所以未損伤水綫面积的橫慣性力矩 $I = I_{a_2} - i_{a_2} - A_3 d^2$

(12) 在 d_{a_2} d_{f_2} 水綫下橫穩心半径 $B_1 M_1$ 是:

$$B_1 m_1 = \frac{I}{V_1} = \frac{I_{a_2} - i_{a_2} - A_3 d^2}{V_1}$$

穩心高 $K M_1 = B_1 M_1 + K B_1$,

进水后初穩性高就求得了 $G M_1 = K M_1 - K G_1$,

2. 海損 GZ 的計算

船舶破艙进水有較大的橫傾和穩性变化时。應該計算破損后的靜穩性曲綫，即海損 GZ 來驗算剩余之穩性。計算时要考慮諸滲透率。

計算海損 GZ 最合于实用的方法是，利用未損伤前的綜合穩性曲綫來求的綜合穩性曲綫法，或稱橫截曲綫法。

和上述計算海損 GM 一样，考慮二种常見的破艙进水情况，分別核算。一种是破艙后，隔艙浸水至艙頂，但是与舷外水相通与否并不改变

艙內浸水量；另一種是破艙的艙頂是不封閉的，艙內之水與舷外之水相溝通，艙內水量受傾側度數而有增減。現分述之：

1) 破艙進水，艙頂封閉。

如圖86所示，破艙並未貫穿左右舷。

破艙靜穩性曲線的計算可按下述公式：

$$(V_0 + v)l = L(V_0 + v) - v_0(Z_g - Z_p)\sin\theta - v[y\cos\theta - (Z_p - z)\sin\theta]$$

化簡後為：

$$l = L - \frac{V_0}{V_0 + v}(Z_g - Z_p)\sin\theta - \frac{v}{v + V_0}[y\cos\theta - (Z_p - z)\sin\theta]$$

式中： v ——破艙內浸入之水的體積，可按表31計算；

z ——水體積 v 的重心垂向高；

V_0 ——船舶未破損前的排水體積；

l ——破損後排水量增為 $V_0 + v$ 時海損靜穩性力臂；

L ——在原綜合穩性曲線圖上，以排水量 $V_0 + v$ 時查得的靜穩性力臂，取自圖87；

Z_p ——虛重心垂向高；

Z_g ——船重心垂向高。

2) 破艙進水，艙頂開敞，艙內水平面始終與舷外水平面保持平齊。由於進水量隨橫傾度面變，進水量及體積重心位置難定，情況較第一種進水要複雜。

見圖88海損靜穩性力臂公式可引出如下：

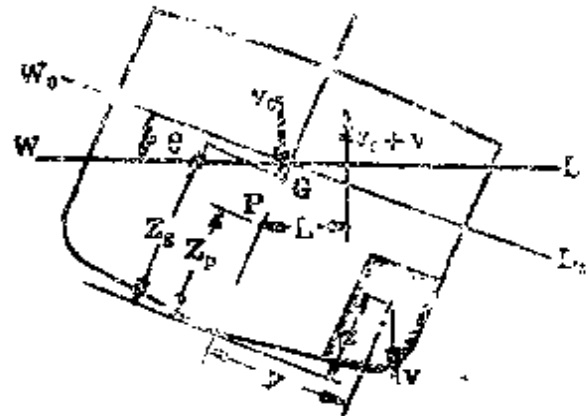


圖 86

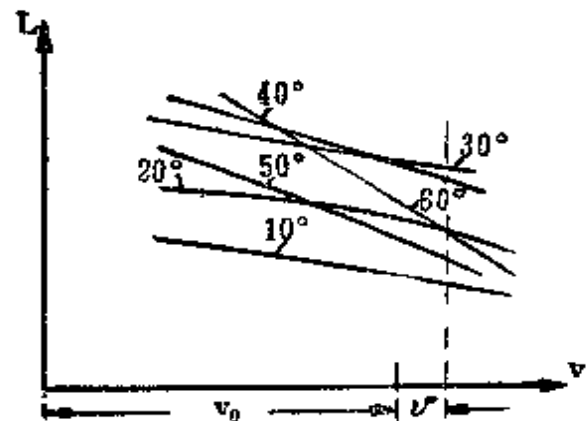


圖 87

$$l = L - \frac{V_0}{V_0 - v_1} (Z_g - Z_p) \sin \theta - \frac{v_1}{V_0 - v_1} \cdot R$$

式中: v_1 ——艙的进水体积;

R —— v_1 的重心力臂;

其他符号同前述。

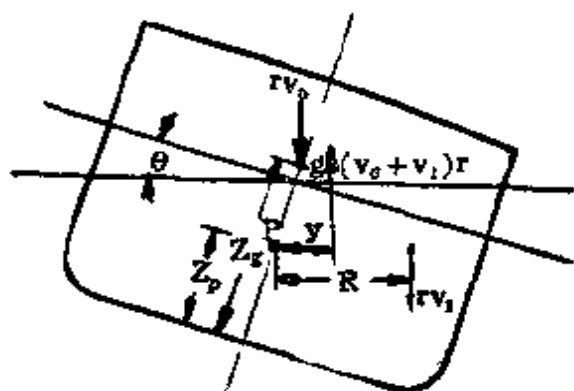


图 88

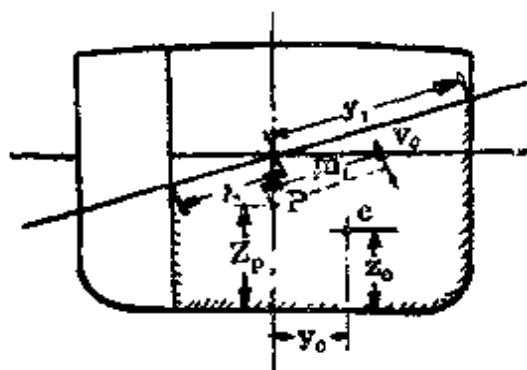


图 89

用本法进行计算时, 假设船舶原有的排水体积是 V_0 , 破艙进水正浮时的进水体积是 v_0 , 其相应的重心坐标是 z_0 及 y_0 。当船横倾 θ 角时, 艙内水量又略增 Δv 值, 变为 v_1 , 即 $v_0 + \Delta v = v_1$ 。见图 89,

$$\Delta v = -\frac{1}{2} \Delta \theta \int_0^l (y_1^2 - y_2^2) dX$$

l 为隔艙的长度;

重心力矩为:

$$M = R(v_0 + \Delta v)$$

$$M = m_1 + m_2$$

m_1 为体积 v_0 对于通过虚重心 P 点的轴线力矩;

$$m_1 = v_0 [y_0 \cos \theta + (z_0 - Z_p) \sin \theta]$$

m_2 为体积 Δv 对 P 点的轴线力矩;

$$m_2 = \Delta v [(f + y_0 \tan \theta) \sin \theta + y_0 \cos \theta]$$

f 为 P 点在原始水线下方距离

$$\therefore \frac{1}{2} \int_0^{\theta} I \Delta \theta = \Delta v y_0 \cdot \frac{1}{\cos \theta}$$

$$m_2 = \Delta v \sin \theta \left[f + y_0 \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right] + \Delta v y_0 \cos \theta$$

$$= \Delta v \sin \theta f + \frac{1}{2} \int_0^{\theta} I \Delta \theta \sin \theta^2 \theta + \frac{1}{2} \int_0^{\theta} I \Delta \theta \cos^2 \theta$$

$$= \Delta v f \sin \theta + \frac{1}{2} \int_0^{\theta} I \sin \theta \Delta \theta \sin \theta + \frac{1}{2} \int_0^{\theta} I \cos \theta \Delta \theta \cdot \cos \theta$$

上式中的 m_1 和 m_2 可通过表 38 及表 39 计算求得。

在利用上述二表时，仿用乞氏九垂线剖面方法，其等分角水线也和第四章所述相同减少 5° ，一切绘图等计算准备工作和步骤和第四章 §13 的第二法相仿。

海损 GZ 的计算尚有直接法可以利用，该法利用浮力损失法求第二种进水情况时的新水线位置，再利用巴氏法的计算程序以求之。其具体步骤如下：

(1) 利用上面所述浮力损失法，将新的水线位置求出。

(2) 用乞氏九垂线站号，将该水线下各站号的横剖面全部绘出，再仿用第四章 §13 的步骤分出等角横倾水线，量出其剖面的水线宽。将其宽填入记录。

(3) 利用表 9 及表 10 求出全船包括损伤和未损伤体积在内的出入水楔形体积的力矩 M 和两楔形的体积差 v 。同样求出其水线面积 A 。

(4) 将破裂部分剔出，将其剖面水线宽填入表 9 内，算出其损伤水线面积 a ，和该面积对中线的力矩系数 $f(i)$ ，体积系数 $f(v)$ 。计算时应该考虑面积渗透率的因素入 a 内。

(5) 用(4)计算的结果，再代入表 10，算出损伤部分出入水楔形体积之差 v ，以及体积对中线的力矩 m 。考虑体积渗透率入内。

(6) 未破舱部分的出入水楔形体积力矩。

站 号	入 水 楔 形											
	5°			15°			25°			35°		
	y_1	y_1^2	y_1^3	y_2	y_2^2	y_2^3	y_3	y_3^2	y_3^3	y_4	y_4^2	y_4^3
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
总 和	Σy_1	Σy_1^2	Σy_1^3	Σy_2	Σy_2^2	Σy_2^3	Σy_3	Σy_3^2	Σy_3^3	Σy_4	Σy_4^2	Σy_4^3

表 38b

水 綫 №

		出 水 楔 形									
站 号	5°	15°		25°		35°		45°		55°	
		x_1^2	x_1^3	x_2^2	x_2^3	x_3^2	x_3^3	x_4^2	x_4^3	x_5^2	x_5^3
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
8											
总 和		Σx_1^2	Σx_1^3	Σx_2^2	Σx_2^3	Σx_3^2	Σx_3^3	Σx_4^2	Σx_4^3	Σx_5^2	Σx_5^3
$W_1 = \Sigma y_i^2 - \Sigma x_i^2$											
$I_1 = \Sigma y_i^3 - \Sigma x_i^3$											
ΣW_1		W_1	W_2	$W_2 + W_1 + W_3$		$W_1 + W_2 + W_4$	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5$	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6$	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7$	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_8$	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_8 + W_9$
$\Delta \theta =$		$h = \frac{I_1}{g}$	$(L = \text{船长})$	$m = \frac{1}{2} \Delta \theta \cdot h =$							
$\Delta \theta = m \Sigma W_1$	$m W_1$	$m(W_1 + W_2)$	$m(W_1 + W_2 + W_3)$								

水綫№: —

表 39

$d =$		$N = 9$				$f =$		$v_0 =$	
$v_0 =$		$h = \frac{L}{N}$				$\Delta\theta =$		$z_0 =$	
I_1	ϕ° $I_1 \sin \theta_1$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	$\sin \theta_1$	θ_1
6	$I_6 \sin \theta_6$						$I_6 \sin \theta_1$		5°
5	$I_5 \sin \theta_5$					$I_5 \sin \theta_1$	$I_5 \sin \theta_2$		15°
4	$I_4 \sin \theta_4$				$I_4 \sin \theta_1$	$I_4 \sin \theta_2$	$I_4 \sin \theta_3$		25°
3	$I_3 \sin \theta_3$			$I_3 \sin \theta_1$	$I_3 \sin \theta_2$	$I_3 \sin \theta_3$	$I_3 \sin \theta_4$		35°
2	$I_2 \sin \theta_2$		$I_2 \sin \theta_1$	$I_2 \sin \theta_2$	$I_2 \sin \theta_3$	$I_2 \sin \theta_4$	$I_2 \sin \theta_5$		45°
1	$I_1 \sin \theta_1$	$I_1 \sin \theta_1$	$I_1 \sin \theta_2$	$I_1 \sin \theta_3$	$I_1 \sin \theta_4$	$I_1 \sin \theta_5$	$I_1 \sin \theta_6$		55°
a	$\Sigma I_1 \sin \theta_i$								
b	$\frac{1}{2} \Delta \theta \Sigma I_1 \sin \theta_i$								
c	Δv								
d	$f \Delta v$								
e	$v_0 (z_0 - Z_p)$								
f	$\sin \phi$								
g	$(b) + (d) + (e)$								
h	$(g) \sin \phi$								
I_1	ϕ° $I_1 \cos \theta_1$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	$\cos \theta_1$	θ_1
6	$I_6 \cos \theta_6$						$I_6 \cos \theta_1$		5°
5	$I_5 \cos \theta_5$					$I_5 \cos \theta_1$	$I_5 \cos \theta_2$		15°
4	$I_4 \cos \theta_4$				$I_4 \cos \theta_1$	$I_4 \cos \theta_2$	$I_4 \cos \theta_3$		25°
3	$I_3 \cos \theta_3$			$I_3 \cos \theta_1$	$I_3 \cos \theta_2$	$I_3 \cos \theta_3$	$I_3 \cos \theta_4$		35°
2	$I_2 \cos \theta_2$		$I_2 \cos \theta_1$	$I_2 \cos \theta_2$	$I_2 \cos \theta_3$	$I_2 \cos \theta_4$	$I_2 \cos \theta_5$		45°
1	$I_1 \cos \theta_1$	$I_1 \cos \theta_1$	$I_1 \cos \theta_2$	$I_1 \cos \theta_3$	$I_1 \cos \theta_4$	$I_1 \cos \theta_5$	$I_1 \cos \theta_6$		55°
i	$\Sigma I_1 \cos \theta_i$								
j	$\frac{1}{2} \Delta \theta \Sigma I_1 \cos \theta_i$								
k	$v_0 \gamma_0$								
l	$[(j) + (k)]$ $\cos \phi$								
m	$(l) + (h)$								
n	$R = \frac{(m)}{v_0 + \Delta v}$								

$$M_1 = M - m$$

未破艙部分的出入水楔形体积差:

$$v_1 = v - v_f$$

未破艙部分的水綫面积:

$$A_1 = A - a$$

校正水层厚:

$$r = \frac{v_1}{A_1}$$

若 r 值不大, 即可用 A_1 的面积重心来计算校正水层的力矩。 A_1 面积重心距中綫的距离是 F_1 :

$$F_1 = \frac{AF - af}{A}$$

上式中, F 和 a 可由表 9 中算出。 F 和 f 分别代表各自的面积重心至中綫的距离。

$$(7) \quad B_1 R = \frac{M_1 - v_1 F_1}{V_0}$$

V_0 是未損前原船舶排水体积

$$B_1 G = B_1 K - KG$$

$B_1 K$ 是海損水綫下未損部分体积重心的垂向高。

(8) 进水后的 GZ :

$$\begin{aligned} GZ &= B_1 R - B_1 G \sin \theta \\ &= \frac{M_1 - v_1 F_1}{V_0} (KB_1 - KG) \sin \theta \end{aligned}$$

§ 37 影响海損穩性的因素

在破艙进水的横傾角大于 10° 以上时, 可视为进水后的 GZ 又受到重心偏移 X 距的影响。于是:

$$G_1 Z_1 = GZ - X \cos \theta$$

可以将上述曲綫繪成图 90。在图上可見海損前的 GZ 曲綫 和 $X \cos \theta$ 交于

θ_m 角, 这 θ_m 角是横倾角也是永倾角。

横倾角的存在, 减少了干舷, 对稳性是不利的。通常船遇到海损进水造成较大横倾时, 多半采用平衡压载或别舱灌水的措施, 使船扶正来削弱倾度的影响。

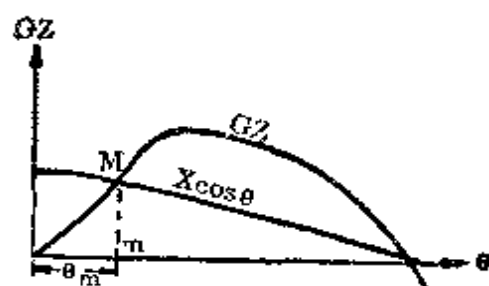


图 90

欲减少进水后对稳性的影响, 除平衡压载外, 一般从减少水线面的损失采取措施。如船 B/d 大的, 由于 B 大, 进水后往往造成水线面较大面积的丧失。 B/d 比例小的船, 进水后由于排水量的增加, 会减少所损失的 BM 值, 致 GM 的损失可减少。这也可说明单纯增加船宽, 在某些船舶并不一定有利于稳性的原因。

海损后, 原来稳性认为够用的, 至此可能会不够。所以船舶对海损后的剩余稳性, 或稳性之丧失, 需有一极限值。进水舱的长短对稳性损失的多寡有很大关系。 B/d 小而船舱长, 稳性损失就较小, 反之就较大。如图91所示, 进水舱长度的增加和 GM 的损失量是先增后减, 但 GM 的损失量主要还是决定在 B/d 的比例上。

对于具有一定 B/d 比例的船只, 若要控制其进水后损失的 GM , 以确保稳性极限时, 可计算出允许进水的舱的长度, 这个舱长就称船舶的稳性进水长度, 它是与确保储备浮力最低额的进水舱长度结合起来, 作为共同保证船舶安全的标志如图92所示。

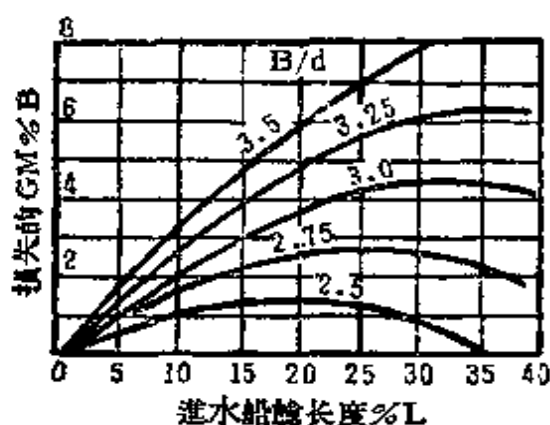


图 91

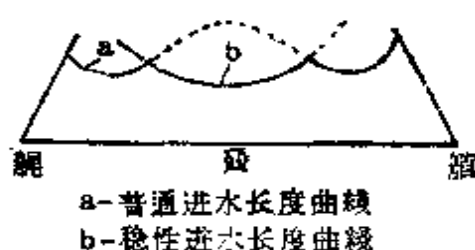


图 92

第九章 穩性規範的應用介紹

§ 38 穩性規範說明

所謂穩性規範，是載明各類船舶應具備的穩性標準。這些標準不是絕對地正確分析、而是相對地說明船舶在各種不同的外力下，在不規則波浪中運動時的穩性。它是考察了過去各類船舶的安全航行經驗，包括沉船的慘痛教訓在內，結合一定的理論探討而得出的。但一切穩性規範都以簡明為原則。

穩性規範在我国的普遍採用，還是近十年來的事，這也說明了政府對於人民的愛護。我國自己的穩性規範“海船穩性規範”已於1960年頒布執行，內河船舶的穩性規範也正在編擬研究之中。在1960年以前，對於海船，我國多數是採用蘇聯船舶登記局1959年公布的“海洋及泊地船舶穩性定額”來校核它們的穩性。現在當然有我國自己的規範可遵循了。對於內河船舶的穩性由於我國尚無規範可守，目前多數是以參考蘇聯船舶登記局1959年公布的“內河船舶穩性標準”來核定的。因此本書僅以上述中蘇三種規範的內容和基本精神作為說明的對象。

我國和蘇聯的穩性規範以船的動穩性作為衡量標準。在使用傾斜的外力方面，都着重考慮了風和浪的作用影響，但由於各航區的地理條件不同、風力和波浪的強弱也各有區別，因此規範對不同航區都有其不同的穩性標準。除此以外，規範還對各不同船類及其裝載工作情況作了不同的限制。

§ 39 我國“海船穩性規範”介紹

規範僅適用於海上的民用船舶，包括客、貨、油、拖及漁輪等，帆船、機帆船等不適用。

規範內分航區為三類：

第一類航區——遠洋無限定航區；

第二类航区——本国沿海距岸不远于25和100浬的限定航区；

第三类航区——本国沿海距岸不超过25浬的限定航区。

由于在海洋上波浪对稳性的影响，规范要求船舶必须考虑共振横摇后，尚能同时满足：

$$\frac{M_q}{M_f} \geq 1 \quad \text{或} \quad \frac{l_q}{l_f} \geq 1$$

式中： M_f ——风压动倾力矩；

M_q ——最小倾复力矩；

l_f ——风压动倾力臂；

l_q ——最小倾复力臂。

风压动倾力矩及力臂的计算公式是：

$$M_f = 0.001 p A Z \quad (\text{吨} \cdot \text{米})$$

$$l_f = 0.001 p A \frac{Z}{\Delta} \quad (\text{米})$$

式中： A ——船舶受风面积（米²），见规范的 § 9 和 § 12；

p ——单位面积上计算风压（公斤/米²），见规范的 § 9 和 § 14；

Z ——计算风力作用力臂，也就是帆心距计算水线的垂直距（米），见规范 § 9 和 § 13；

Δ ——所核算装载情况下的船舶排水量（吨），见规范 § 9。

M_q 可以由静稳性曲线或动稳性曲线上求得，如前数章所述。

船的共振横摇振幅或规范所指的计算横摇角，要求：

$$\theta_1 = 64.46 X \sqrt{0.216 + \frac{Z_z}{T}} \quad (\text{度})$$

式中： T ——核算装载情况下船的型吃水（米）；

Z_z —— T 情况时船重心距基线的垂向高（米）；

X ——根据船舶自摇周期 T_0 和航区由规范的图 4 所选取的系数值；

$$T_{\theta} = 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4 Z^2}{h}}$$

其中: B ——船宽(米);

h ——所核算装载情况下的初稳心高度, 即 GM (米)。

θ_1 适用于圆艏形和有舦龙骨的船。

对于圆舦形而无舦龙骨之船, 其横摇角 θ_2 为:

$$\theta_2 = 1.5 \theta_1$$

尖舦形而无舦龙骨之船, 其横摇角 θ_3 为:

$$\theta_3 = 1.2 \theta_1$$

规范指出静稳性或动稳性曲线可用船舶原理中常用的方法作出, 一如前述。但除船的主体外, 尚可加算符合规范 § 16 中的三项规定的上层建筑物。规范 § 17 指出了自由液面对稳性曲线的影响。规范 § 18 指出要计及船侧、甲板或上层建筑物中非完全关闭的开口的浸水角的影响。规定在浸水角以后的稳性曲线将为无效, 或是稳性丧失一部或全部。

规范另外对静稳性曲线的形式, 作了如下规定:

1. 静稳性力臂的最大值 $l_{\max} \geq 0.25$ 米;
2. 船宽 B 等于或小于 8 米而大于 5 米的, 可以允许 $l_{\max} \geq 0.03 B$, B 等于或小于 5 米的, $l_{\max} \geq 0.15$ 米;
3. l_{\max} 的出现所对应的横倾角应大过 30° ;
4. 船的稳性消失角应大于 60° , 最好接近 90° ;
5. 初稳性高 GM 经自由液面等影响修正后均应为正值。

规范对各类船舶都要求核算其各自典型装载情况下的稳性, 并要求针对其各自的营运情况, 校核基本稳性衡准外的稳性条件。

例如对客船(客货船)方面要求核算的各种装载情况有, 满载进出港、空载(或加压载)进出港、有客无货的进出港和满载时的航行中途。要求另外校核的稳性条件是: 船舶正在迴轉(圆航)时, 旅客集中一舷所造成的横倾度; 其初稳性高经自由液面修正后, 尚能使横倾角符合规范 § 34 的标准。对圆航时的倾侧力矩 M_x 和旅客的计算重量、重心位置都有规定。

例如对拖輪方面要求核算的各种装载情况有：出港、到港（或加压載）。对于到港不加压載和稳性不合格的船舶应加算航行中途的稳性。要求另外增加校核的稳性条件还有拖索急牵的影响，即应滿足：

$$\frac{M_g}{M_f + M_t} \geq 1$$

或者：

$$\frac{l_g}{l_f + l_t} \geq 1$$

式中：

l_t 和 M_t 分別代表拖索急牵动倾力臂（米）和力矩（吨-米）。

$$M_t = 0.046(Kv_1)^2 \frac{Z_t - T}{B C_b} \Delta$$

$$l_t = \frac{M_t}{\Delta}$$

式中： K ——拖鉤縱向位置修正系数 $= 1.0 - 1.7 \frac{X_t}{L}$ 、

其中： X_t 为拖鉤固着点离重心縱向距离（米）， L 为滿載水綫长（米）；

但 K 值对于 1000 馬力及以上者，不小于 0.75，对于 400 馬力及以下者，不小于 0.8；

v_1 ——計算拖索急牵速度（米/秒），根据拖輪馬力（总功率）按下式計算：

$$v_1 = 1.0625N \times 10^{-3} + 0.975$$

假使 $N = 400$ 及 400 以下， $v_1 = 1.4$ 米/秒；

$N = 2000$ 及 2000 以上， $v_1 = 3.1$ 米/秒。

其中 N 是总功率（馬力）；

Z_t ——拖鉤固着点距基綫的垂向高度（米）；

T ——所核算装载情况下的船舶型吃水（米）；

B ——不包括船壳板的最大船寬（米）；

C_b ——所核算装载情况下的方形系数。

除此以外，港作拖輪尚应按照规范 § 35 的要求，校核港內作业时的稳性。

又例如对漁輪方面要求核算的各种情况有：出港捕魚、捕魚过程中、滿获到港、半获到港及空載（或加壓載）到港等。其他如对油輪、运木船等都有規定。航行冰区的船舶，其穩性校驗尚应按照规范 § 33 进行。

规范要求新船或基修改建的船，以及无穩性資料的船舶都应作傾斜試驗来确定其重心位置，从而进行穩性核算。规范还規定須編写穩性报告书。

§ 40 苏联“海洋及泊地船舶穩性定額”介紹

规范适用于总吨大于 20 吨以上的一切民用船舶。对海船的航区划分，类似我国的规范划分为三类：（1）远洋无限定航区；（2）距岸不远于 100 浬的限定航区；（3）距岸 20 浬以下的限定航区。规范和我国的海船穩性规范相同，要求船舶在共振横搖振幅后，风动力矩 $M_{\kappa p}$ 应比傾复力矩 M_{onp} 小，即：

$$\frac{M_{\kappa p}}{M_{onp}} \leq 1$$

式中： $M_{\kappa p}$ 的計算公式和我国海船穩性规范中的 M_f 相似，随計算风压、受风面积及帆心至水綫面垂距而定； M_{onp} 系按动穩性或靜穩性曲綫經過自由液面和横搖处境的影响修正面得，与我国的规范指示相似。

对于共振振幅，规范根据船的艏部形状以及龙骨、甲板进水角存在的大小程度，分別作了不同的規定与修正因素，并規定尚可按該规范 § 10 的方法求取。规范对于穩性曲綫的形式，亦和我国相似，作出了規定。

苏联的海船穩性规范和我国公布的海船规范相似，要求各类船舶都核算其各不同裝載情况下的穩性，并针对各类船舶的工作条件，提出了补充核算的規定。

规范也規定了新船应作傾斜試驗和編写穩性报告书。

由于現在已有我国自己的海船穩性规范，所以对苏联的这本穩性规范就不再詳細介紹了。

§ 41 苏联“内河船舶稳性标准”介绍

内河船舶和普通海船的稳性基本原理相仿，但内河波浪较之海洋虽是次要因素，在某些大湖及水库区域却依然要考虑风和浪的联合作用。所以在本规范中，对于这点已较1949年公布的规范有所改进，除了规定要以风动力矩来校验稳性外，对于在某些航区中航行的船舶必须同时考虑波浪的作用影响。

规范适用于建造及营运的一切内河船舶，并将船舶分为“M”，“O”及“P”（包括“П”）等类以校核稳性，此种分类和河船登记局的建造规范所规定的苏联内河水道航区相同。

“M”级航区中适用的船称“M”类，其他船类亦是类似区别。

“M”级航区有具体地域名称的规定，但统指的是近海港或出海口的河流，如我国长江下游狼山以下吴淞口等区域。“O”级也有具体地域，统指风浪较大的河流，如我国长江狼山至重庆段。“P”和“П”级也有具体地域，统指水区较狭浅的支流区域，基本上可不考虑风和浪的联合作用。

规范又规定船舶航行二个航区以上的，应按较高一级来校核其稳性。

规范对各类船舶的稳性基本衡准是：船舶航行在静水或波浪中纵然处在最坏情况，仍能承受住风压动力作用而无虞倾复，即必须

$$M_{kp} \leq M_{дон}$$

式中： M_{kp} ——风压动力作用下的倾侧力矩，系按照下式决定：

$$M_{kp} = 0.001 P_d S Z \text{ (吨·米)}$$

其中： P_d ——计算动力风压（公斤/米²）；

S ——受风面积（米²）；

Z ——船舶同时倾侧与偏航时的倾侧力矩折合力臂（米）；

而 P_d 、 S 、 Z 都比照规范§15及表1、表2、表3选用。

$M_{дон}$ ——在动力倾斜下相应于倾复角或浸水角时之极限允许力矩。

在确定 $M_{дон}$ 值时，对于“M”和“O”级及在限制天气条件下可按

“O”类船航行的P类船，应考虑波浪的横摇影响。对于“P”和“N”类船可不考虑横摇。

考虑波浪的横摇影响，可按规范 § 16 来求横摇摆幅 θ_m (度)：

$$\theta_m = m_1 m_2 m_3$$

式中： m_1 、 m_2 及 m_3 乘数分别为：

m_1 ——水对于船舶角位移之阻力对横摇摆幅之影响。 m_1 可以按规范中表 4 及 $n_1 = \frac{h_0}{\sqrt[3]{D}}$ 值选用，其中： D 是以相当于实际水线时吃水的排水量 (吨)； h_0 是未计入自由液面影响修正的初稳性高度 (米)。

m_2 ——波浪周期和船舶自摇周期比值对横摇摆幅的影响。按规范中表 5 及 $n_0 \sqrt{\frac{Z_g}{B}}$ 先求得辅助系数 n_1 ，然后按表 6 和 $n_2 = n_1 \sqrt{h_0}$ 选得 m_2 。

其中 B 是计算船宽 (米)； Z_g 是重心在基线上的高度 (米)。

m_3 ——波浪尺度和船体尺度比值对横摇摆幅的影响，根据 $n_3 = n_2 \sqrt[3]{D}$ 和表 7 来决定。

求得 θ_m 后，尚应对舢龙骨止摇的影响进行修正，即修正后的计算横摇摆幅 θ'_m 按下述决定：

$$\theta'_m = m_4 \theta_m$$

式中： θ_m ——上述无舢龙骨船舶的横摇摆幅；

m_4 ——舢龙骨作用的影响，根据表 8 和 q 值决定：

$$q = \frac{S_K}{LB} - \frac{Z_g}{T} \delta$$

式中： S_K ——两舷舢龙骨的总面积 (米²)；

L 、 B 、 T ——相应为船长、船宽及平均吃水 (米)；

Z_g ——船舶重心在基线上的高度 (米)；

δ ——方形系数。

规范更规定若上述求得之 θ_m 或 θ'_m 大于干舷甲板边缘或舷伸甲板上边缘浸水时的倾侧角 θ_n (度) 时，则计算横摇摆幅 θ''_m 按下式计算：

$$\theta_m'' = m_5 \theta_m$$

或

$$\theta_m'' = m_5 \theta_m'$$

式中： m_5 ——表征甲板边缘或舷伸甲板上边缘浸水时横摇摆幅减小的系数，根据表 9 和 $\frac{\theta_n}{\theta_m}$ 比值决定。此时 θ_n 亦可按下式算得：

$$\tan \theta_n = 2 \frac{H - T}{B}$$

式中： H ——舳剖面处计算舷高（米）；

T ——实际水线的平均吃水（米）；

B ——沿甲板或舷伸甲板处取之最大船宽（米）。

在稳性基本衡准方面，规范准许在“P”及“J”和“O”类航行的船，假使是不在舱内装载粒状散装货或不在甲板上装货之干货船和油船，可以不按上述稳性的基本衡准来校核稳性。

按基本衡准校核稳性要应用动稳性或静稳性曲线。规范指出静稳性曲线或动稳性曲线可用船舶原理中常用的方法作出，但若液体货物的自由液面总影响使船舶正浮时初稳性高度减少在 5% 及以上，或在船舶倾侧至 $5^\circ \sim 6^\circ$ 时其减小值不降低到 3% 时，作稳性曲线时应计入上述影响，此时由于倾侧系动力性质，允许将防摇舱壁作为水密舱壁看待。其次作稳性曲线时尚可计及上层建筑及开口和水密封闭设施的影响。

规范规定，对“P”及“J”类之直舢形船按基本衡准校核稳性时，若其风力倾侧力矩不超过下式确定的极限允许力矩，则不要求作稳性曲线：

$$M_{\text{доп}} = 0.0087 D h_0' \theta_{\text{доп}}$$

式中： D ——按实际水线吃水时之船舶排水量（吨）；

h_0' ——按前述指示计入液体货自由液面修正之初稳性高度（米）；

$\theta_{\text{доп}}$ ——甲板边缘或舳部出水角两者之最小者（度）。

规范的 § 18 阐述了在风和浪的联合作用下，用动稳性曲线校核稳性的图示方法。§ 18 中亦述及无动稳性曲线时，用静稳性曲线来核定稳性

的图示方法。

规范对各类船舶都要求核算其各自典型装载情况下的稳性，并要求针对其各自的营运情况，校核它们基本稳性衡准以外的稳性条件。

例如对客货船方面：

应校核的各装载情况如规范 § 20所述：

a. 船满载货物包括全部储备及燃料、旅客和其行李等；

b. 旅客载满包括行李但无货、燃料及储备带10%；

c. 货及旅客都无，但带10%储备及燃料。

对校核稳性的补充要求是：船舶正在圆航时并对旅客集于一舷所造成的静倾侧情况，应符合规范 § 21的要求，并说明在这一情况下，船舶稳性可不计风力及波浪横摇影响。对于旅客集于一舷时产生之倾侧力矩、船舶进入既定迴航时的倾侧力矩以及船舶静倾侧时之极限允许力矩可按规范 § 22及 § 23和 § 24来决定。§ 25中并特别指出旅客集于一舷的极限允许倾角度应不大于10°，而计入迴航时的应不大于15°。

对于校核稳性的另一补充要求是：船舶的受风面积中心在实际水线上超过2米，则应校核旅客集于一舷和受风力作用的稳性必须满足规范 § 26所述，即

$$M_{\pi} + M_{\pi} \leq M'_{\text{доп}}$$

式中： M_{π} ——旅客集于一舷的倾侧力矩；

M_{π} ——风压静力作用的倾侧力矩；

$M'_{\text{доп}}$ ——静倾侧时的极限允许力矩。

而 M_{π} 可以按 § 27 决定， M_{π} 和 $M'_{\text{доп}}$ 可分别照 § 22及 § 24来决定。

客货船在遭遇海损破舱后，其海损稳性必须符合 § 28所述：在任一舱破损进水后，初稳性高度犹能保持正值。

对于旅客超载和不满额装载情况时，可能会有最坏情况，因此应按 § 20附注的要求进行稳性的补充检验。

例如拖轮方面：

除在分别以带全部储备及燃料和带10%储备及燃料的装载情况校核稳性的基本衡准外，尚须按规范 § 33的规定，补充校核拖轮在拖索急牵

的穩性。在補充校核時，規定應滿足：

$$d_{\text{расч}} \leq d_{\text{дон}}$$

式中， $d_{\text{расч}}$ ——相應於拖索急牽時傾角之計算動穩性力臂；

$d_{\text{дон}}$ ——根據 § 35 所取的極限允許動穩性力臂。

此時不計風力及橫搖影響，但應按 § 17 的規定，計入液體自由液面的影響。

$d_{\text{расч}}$ 用下式決定：

$$d_{\text{расч}} = l_0 \frac{F_1 Z_0^3}{e(e + F_2 Z_0^2)}$$

$$Z_0 = \frac{Z_r}{B}$$

式中， Z_r ——拖鉤固着點在船舶重心以上之高度（米）；

B ——實際水綫處的船寬（米）。

l_0 ——急牽之能量，根據表 11 及 $\frac{N_e}{D}$ 決定。其中的 N_e 是主機額定馬力； D 是實際水綫之排水量。

F_1 和 F_2 ——水之慣性力對 $d_{\text{расч}}$ 影響之係數，根據表 12 和 $\frac{B}{T}$ 決定。其中的 B 和 T 分別為船在實際水綫處的寬和吃水（米）。

e ——沿船長方向的拖鉤固着點位置對計算動穩性力臂 $d_{\text{расч}}$ 的影響，根據表 13 和 $\frac{X_r}{L}$ 來確定， X_r 是拖鉤固着點和船舶重心間的水平距離（米）； L 是沿實際水綫處的船長。

例如漁船的校核穩性的基本衡准按下列裝載情況校核：

1. 出航捕魚帶全部儲備及燃料；
2. 自漁場返航在艙內及甲板上滿載捕獲及 10% 的儲備及燃料；
3. 自漁場返航在艙內無捕獲，在甲板上有魚及 10% 的儲備及燃料。

其他对工程船舶、貨船等都有規定。

规范更規定对客船、拖輪、漁业船及甲板載貨的貨船，必須編制船舶穩性報告書，并对穩性報告書应具备之資料作出了規定。

由于我国內河船舶的穩性规范尚未公布，迄今为止，在校核內河船舶的穩性时，一般都参考本规范。

第十章 附 录

一、介紹我国“海船穩性规范”的“計算舉例”

我国的海船穩性规范从第44頁起有一計算舉例，为使讀者易于看懂并掌握有关演算程序，特加以闡述性的介紹。

算例是以Ⅰ类航区、有艏龙骨的客貨船为对象，船总长90.6米，两柱間长82.0米，船寬14.0米，深6.70米，平均吃水4.20米。船已具有綜合穩性曲綫及靜水船性曲綫等資料。要求按照规范的指示核算該船的穩性。

計算之初，先选取一組型排水量如2000吨、2300吨……等5个值，它們分別代表該船的各个不同的裝載情况。以这些排水量 Δ 分別在靜水船性曲綫上查取各相应的吃水 T 如3.14米、3.51米……等，然后展开計算。計算以求其风压临界穩心高度（ GM ）和客貨船須补充校核的旅客集結一舷且迴航时的临界穩心高度为目的，分下述几个步驟进行：

1. 風压临界穩心高度 h 的計算

1) 計算風压动傾力臂

利用选取的該組型排水量 Δ 值及相应的各吃水 T 值，按照船舶的总布置进行受風面积 A 及面积中心离水綫距离 Z 的計算。計算是按照规范的表13到表17的5张表进行的。表上的所謂非滿实系数、流綫型系数均按照规范的§12决定。根据上述5表求得的各个 Z 值去查规范的图1，可以得出各相应的計算風压作用力 P 如73.8公斤/米²、73.3公斤/米²...

……，于是风压动倾力矩 M_f 就可按照公式决定了。

将求出的各不同型排水量 Δ 时相应的 M_f ，比照 $\frac{M_f}{\Delta}$ 的关系可求出相应的一组风压动倾力臂 l_f 。再将诸 l_f 值比照相应的 Δ 列成表格，见规范的表18。

2) 繪制动稳性曲线

仍以各 Δ 值为基础，并针对每一 Δ 值再选取一组初稳心高 h 如 0.2 米、0.3 米、0.4 米……等 4 值。另外又算出相当于各 h 值时的船重心离基线之高 a_0 ，在计算时，公式中的 Z_m 就是横稳心离基线之高， Z_s 就是船的浮心离基线之高。利用规范上的表19到表23 5 张表进行动稳性力臂的计算。表上的序号 5 和 6 指出按“成对相加”及“左边相加”的含义就是前章所述的 y_1 ， $2(y_1 + y_2)$ ， $2(y_1 + y_2) + y_3$ ，……积分和。表上符号：

l_{ϕ} ——静稳性形状力臂，在综合稳性曲线上查取；

$$\frac{1}{2}\delta\theta \longrightarrow \frac{1}{2} \times 10 \times \frac{\pi}{180}。$$

各动稳性曲线的绘制载在规范的图13到图17上。每张图在绘制时是根据一定量的 Δ 及浸水角 θ 为基础，并各根据上述选取的一组初稳心高，结合波浪横摇影响的存在绘出一组动稳性曲线。在绘制阶段：

(1) 浸水角 θ 是采用船舶的总布置图上的开口及装载情况而决定，见规范88页的图20。

(2) 根据各 Δ 时的浸水角极限值，如 $\Delta = 2000$ 吨时的 $\theta = 49.2^\circ$ ，在曲线图上引出垂直于横坐标的直线，这根直线通过动稳性曲线簇，并分别截交于各曲线上的一点，这些点至横轴座的垂距分别为各动稳性曲线的最小倾复力臂 l_{ϕ} 。

(3) 在计算动稳性曲线时的横摇角影响是刊出在规范的第58页到60页上。因为该船是装有舭龙骨的，横摇角 θ_1 和自摇周期 T ，根据规范 § 19所述的公式：

$$\theta_1 = 64.46 \sqrt{0.216 + \frac{Z_T}{T}}$$

$$T_{\theta} = 0.58 \frac{\sqrt{B^2 + 4Z_z^2}}{h}$$

进行计算。先计算 T_{θ} ，用规范的表24到表28进行，然后利用各种不同的 Δ 时的 T_{θ} 、吃水 T 和 Z_m 列成表29进行 θ_1 的计算。表29的(3)栏中取 $\frac{Z_z}{T} = 1.45$ ，是根据规范 § 19所规定：假使 $\frac{Z_z}{T}$ 的比值小于 0.917 时取 0.917，大于 1.45 时取 1.45。

3) 风压临界稳心高度 h

根据规范的图13到图17绘出倾复力臂的曲线图，如规范的图18。图18是利用各种不同的 Δ 及不同 h 的 l_g 值绘成。在图上将规范的18表中各不同 Δ 的风压动倾力臂 l_r 亦以曲线形式绘出。 l_r 曲线与各代表 Δ 的纵坐标的交点，应是相应的 l_g 极限值，见图93。这些点比照附近代表某 h 时的 l_g 曲线，以及所占的位置，可以得出相应的临界 h 值来。将这些各 Δ 所相应的临界风压稳心高度 h 绘成曲线图，见规范的图21。

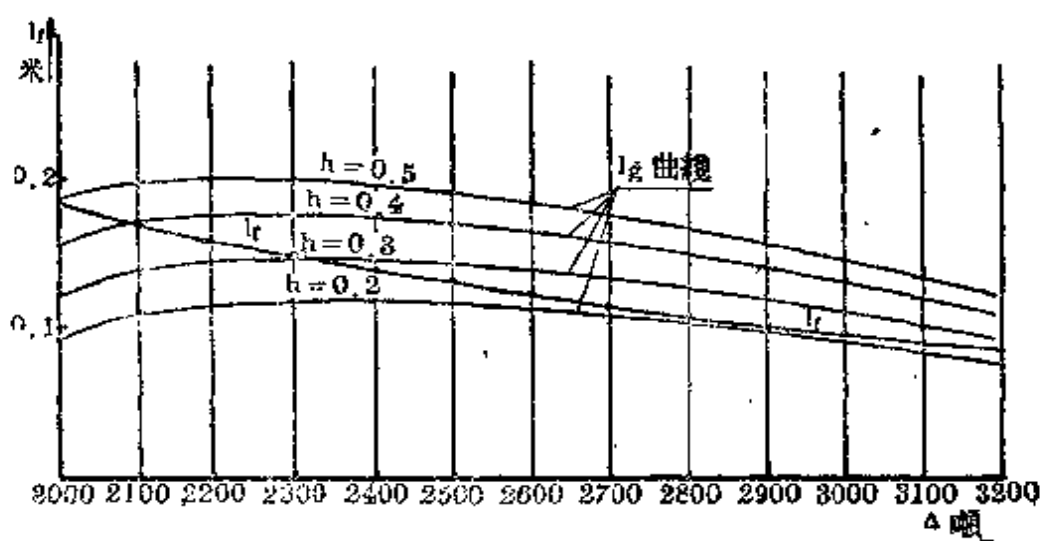


图 93

2. 旅客集于一舷且迴航时的临界稳心高度 h 的计算

计算旅客集于一舷以及迴航时的稳性补充要求，也是以临界 h 来衡量。计算通过规范的表30和表31进行。在表30上旅客人数 520 名是满载

情况，700名是超载情况。旅客重量在核算稳性时，应按规范§34的规定（这种规定重量和确定船舶载荷时的旅客结合行李的重量不同，核算稳性时取每个大人重65公斤，而在核算船的重量重心时取每位大人连行李重100公斤）。表上 δM_2 是由于正常情况下的旅客重心高度（可参阅规范的表41、43、45……等）受到旅客集结遮阳甲板时，重心升高而引起垂向力矩的增加值。这个增值能导致 h 的变化。

规范的表32利用 $h = \frac{M_1 + M_2}{\Delta \sin \theta} + \frac{\delta M_2}{\Delta}$ 公式而算出临界稳心高度，

将此值比照各型排水量绘成曲线，见规范图21。

规范的图21，就是船舶校核稳性的临界初稳性高的资料图，有了它以后，客货船在任何装载情况下，只要根据 Δ 查静水船性曲线找出此时的初稳性高，将这值和临界初稳性高相比，大就是稳性够，反之就不够，不必对每一装载情况另行计算校核。

其他如规范上的采用压载的稳心高度增减量计算和装载30吨货物船艏吃水变化标尺的计算例题介绍从略。

二、II级沿海拖渔轮稳性计算举例

该船主机马力120匹，木质船身结构。

试用我国的“海船稳性规范”校核其稳性。设该船已有静水船性曲线和综合稳性曲线等资料。

1. 各种装载时的水线实际位置、船重心位置以及稳心位置用作校核稳性的准备。

1) 满载出港捕鱼

重量 $W=140.01$ 吨；

排水量 $\Delta=140.01$ 吨；

吃水 $T=2.2$ 米（查静水船性曲线决定）；

重心纵向位置 $X_g=0.433$ 米；

重心垂向位置 $Z_g=2.02$ 米（即 KG ）；

浮心纵向位置 $X_c=0.433$ 米（查静水船性曲线决定）；

漂心纵向位置 $X_f=0.97$ 米（查静水船性曲线决定）；

重量和重心位置計算

項目	名稱	重量 噸	垂 向		縱 向			
			離 開 基 綫		艏 前 (-)		艏 后 (+)	
			力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)
1	空 船 加 壓 載	100.30	2.116	212.335			0.813	81.565
2	濟 水 艙	4.91	2.245	11.030	6.930	34.00		
3	左 右 燃 油 艙	4.54	1.690	7.680			1.400	6.350
4	中 間 左 右 燃 油 柜	2.82	2.082	4.430			1.200	3.140
5	左 燃 油 柜	1.76	2.072	3.635			4.960	8.740
6	右 燃 油 柜	1.63	1.850	3.380			5.163	6.410
7	滑 潤 油	0.35	3.600	0.472			6.310	2.210
8	煤 及 糧 食	1.00	3.300	3.600			7.640	7.640
9	船 員 和 行 李	1.40	1.150	4.610			0.800	1.120
10	冰 鹽	15.00	3.250	17.250	4.050	60.70		
11	魚 箱	0.75	1.200	2.440	2.700	2.02		
12	魚 箱	1.75	2.400	2.100	1.000	1.75		
13	各 品	4.00	1.690	9.800			10.000	40.000
共 計		140.01	2.02	282.542			0.433	60.705

每厘米縱傾力矩 $M_c = 1.20$ 噸-米 (查靜水船性曲綫決定) ;

橫穩心離基綫距 $KM = 2.46$ 米 (查靜水船性曲綫決定) ;

初穩性高度 $GM = KM - KG = 2.46 - 2.02 = 0.44$ 米。

縱傾:

$$\text{縱傾力臂 } l = X_g - X_c = 0$$

$$\text{縱傾力矩 } \Delta l = 0$$

$$\text{縱傾值 } t = \frac{\Delta l}{100 \times M_c} = 0$$

$$\text{艏吃水 } T_u = T - \left(0.5 + \frac{X_c}{L}\right)t - \frac{t_1}{2} = 2.2 - \frac{0.8}{2} = 1.8 \text{ 米} (t_1 = \text{原始縱傾 } 0.8 \text{ 米})$$

$$\text{艉吃水 } T_k = T + \left(0.5 - \frac{X_c}{L}\right)t + \frac{t_1}{2} = 2.2 + \frac{0.8}{2} = 2.6 \text{ 米}$$

2)捕魚中 (魚获量20%, 冰及盐70%)

重量和重心位置計算表

項 目	名 称	重量 (噸)	垂 向		縱 向			
			离船基綫		离舭前 (-)		离舭后 (+)	
			力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)
1	空船加固定压载	100.30	2.116	212.835			0.313	81.565
2	清 水	1.00	1.15	1.150	6.860	6.860		
3	燃 油	1.50	2.062	3.093			4.960	7.440
4	燃 油	0.54	1.00	0.640			1.400	0.896
5	煤 及 粮 食	0.20	3.50	0.700			7.640	1.528
6	船 員 及 行 李	1.40	3.30	4.620			0.800	1.120
7	冰 盐 魚	17.00	1.150	19.550	4.050	68.85		
8	沿 艙 上 吊 魚	1.50	4.90	7.350	4.900	7.35		
9	魚 箱	0.75	3.25	2.440	2.700	2.02		
10	魚 箱	1.70	1.200	2.040	1.000	1.700		
11	各 品	4.00	2.400	9.600			10.00	40.00
12	滑 油	0.18	1.250	0.225			6.31	1.136
		131.77	2.000	263.743			0.356	46.905

重量 $W=131.77$ 吨;

排水量 $\Delta=131.77$ 吨;

吃水 $T=2.078$ 米;

重心縱向位置 $X_g=0.356$ 米;

重心垂向位置 $KG=2.0$ 米;

浮心縱向位置 $X_c=0.315$ 米;

漂心縱向位置 $X_f=0.822$ 米;

每厘米縱傾力矩 $M_c=1.125$ 吨-米;

橫穩心离基綫高 $KM=2.42$ 米;

初穩性高 $GM=KM-KG=0.42$ 米

縱傾:

縱傾力臂 $l=X_g-X_c=0.356-0.315=0.041$ 米;

縱傾力矩 $\Delta l = 131.77 \times 0.041 = 5.403$ 吨-米;

縱傾值 $t = \frac{\Delta l}{100 \times M_c} = \frac{5.403}{112.5} = 0.0313$ 米;

水綫長 $L = 22$ 米;

原始縱傾值 $t_1 = 0.8$ 米;

$$\begin{aligned} \text{艏吃水 } T_H &= T - \left(0.5 + \frac{X_f}{L} \right) t - \frac{t_1}{2} \\ &= 2.078 - \left(0.5 + \frac{0.822}{22} \right) 0.0313 - \frac{0.8}{2} \\ &= 1.663 \text{ 米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{艉吃水 } T_K &= T + \left(0.5 - \frac{X_f}{L} \right) t + \frac{t_1}{2} \\ &= 2.078 + \left(0.5 - \frac{0.822}{22} \right) 0.0313 + 0.4 \\ &= 2.494 \text{ 米} \end{aligned}$$

3) 滿載返港

重量和重心位置計算表

項 目	名 稱	重量 噸	垂 向		縱 向			
			離 基 綫		艏 前 (—)		艉 后 (+)	
			力 臂 (米)	力 矩 (米-噸)	力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力 臂 (米)	力 矩 (噸-米)
1	空船加固定壓載	100.3	2.116	212.335			0.813	81.565
2	清 水	0.5	0.83	0.420	6.820	3.410		
3	燃 油	1.76	2.062	3.640			4.960	8.740
4	滑 油	0.21	1.250	0.262			6.310	1.325
5	煤 及 糧 食	0.10	3.400	0.340			7.640	0.764
6	船 員 及 行 李	1.40	3.300	4.610			0.800	1.120
7	魚、冰、鹽箱	28.50	1.515	43.200	2.540	72.500		
8	各 品	4.00	2.400	9.600			10.000	40.000
	共 計	136.77	2.010	274.407			0.420	57.604

重量 $\mathcal{W} = 136.77$ 吨;

排水量 $\Delta = 136.77$ 吨;

吃水 $T = 2.165$ 米;

重心縱向位置 $X_g = 0.42$ 米;

重心垂向位置 $KG = 2.01$ 米;

浮心縱向位置 $X_c = 0.42$ 米;

漂心縱向位置 $X_f = 0.92$ 米;

橫穩心垂向高 $KM = 2.44$ 米;

初穩性高 $GM = KM - KG = 0.43$ 米;

每厘米縱傾力矩 $M_c = 1.175$ 吨-米;

縱傾:

縱傾力臂 $l = X_g - X_c = 0$

縱傾力矩 $\Delta l = 0$

縱傾值 $t = 0$

原始縱傾值 $t_1 = 0.8$ 米;

$$\begin{aligned}\text{艏吃水 } T_H &= T - \left(0.5 + \frac{X_c}{L} \right) t - \frac{t_1}{2} = 2.165 - 0.40 \\ &= 1.765 \text{ 米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{艉吃水 } T_K &= T + \left(0.5 - \frac{X_c}{L} \right) t + \frac{t_1}{2} = 2.165 + 0.40 \\ &= 2.565 \text{ 米;} \end{aligned}$$

4) 半获到港 (捕获量40%, 冰及盐50%)

重量 $\mathcal{W} = 125.07$ 吨;

排水量 $\Delta = 125.07$ 吨;

吃水 $T = 2.042$ 米;

重心縱向位置 $X_g = 0.532$ 米;

重心垂向位置 $KG = 2.092$ 米;

浮心縱向位置 $X_c = 0.39$ 米;

漂心縱向位置 $X_f = 0.77$ 米;

重量和重心位置計算

項 目	名 稱	重量 噸	垂 向		縱 向			
			离 基 綫		艏前 (-)		艏后 (+)	
			力臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力臂 (米)	力 矩 (噸-米)
1	空船加固定压載	100.30	2.116	212.336			0.813	81.565
2	清 水	0.50	0.830	0.420	6.82	3.41		
3	燃 油	1.76	2.062	3.640			4.960	8.740
4	滑 潤 油	0.21	1.256	0.262			6.310	1.325
5	煤 及 糧 食	0.10	3.400	0.340			1.640	0.764
6	船 員 及 行 李	0.40	3.300	4.610			0.800	1.120
7	魚 及 冰、盐	15.05	1.900	28.600	4.10	61.70		
8	魚 箱	1.75	1.200	2.100	1.00	1.75		
9	各 品	4.00	2.400	9.600			10.00	40.000
	共 計	125.07	2.092	261.907			0.532	66.654

每厘米縱傾力矩 $M_c = 1.106$ 噸-米;

橫穩心离基綫垂高 $KM = 2.404$ 米;

初穩性高 $GM = KM - KG = 0.312$ 米;

縱傾 (此时水綫长为22米):

縱傾力臂 $l = X_g - X_c = 0.532 - 0.39 = 0.142$ 米;

縱傾力矩 $\Delta l = 0.142 \times 125.07 = 17.75$ 噸-米;

縱傾值 $t = \frac{\Delta l}{100M_c} = \frac{17.75}{100 \times 1.106} = 0.16$ 米;

原始縱傾值 $t_1 = 0.8$ 米;

艏吃水 $T_H = T - \left(0.5 + \frac{X_f}{L} \right) t + \frac{t_1}{2}$

$= 2.042 - \left(0.5 + \frac{0.79}{22} \right) \times 0.16 - 0.4 = 1.556$ 米;

艉吃水 $T_K = T + \left(0.5 - \frac{X_f}{L} \right) t + \frac{t_1}{2}$

$$=2.042 + \left(0.5 - \frac{0.11}{22} \right) \times 0.16 + 0.4$$

$$=2.516 \text{ 米}$$

5) 空載到港

重量和重心位置的 算

項 目	名 稱	重量 噸	垂 向		縱 向			
			离 基 綫		艏前 (-)		艉后 (+)	
			力臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力臂 (米)	力 矩 (噸-米)	力臂 (米)	力 矩 (噸-米)
1	空船加固定压載	100.30	2.116	212.335			0.813	81.535
2	消 水	0.50	0.83	0.420	6.820	3.410		
3	燃 油	1.76	2.062	3.640			4.960	8.740
4	滑 潤 油	0.21	1.250	0.262			6.310	1.325
5	煤 及 糧 食	0.10	3.400	0.340			7.640	0.784
6	船 員 及 行 李	1.40	3.300	4.610			0.800	1.120
7	魚 箱	1.75	1.200	2.100	1.000	1.75		
8	各 品	4.00	2.400	9.600			10.000	40.000
	共 計	110.02	2.12	232.307			1.165	128.354

重量 $W = 110.02$ 吨;

排水量 $\Delta = 110.02$ 吨;

吃水 $T = 1.820$ 米;

重心縱向位置 $X_g = 1.165$ 米;

重心垂向位置 $KG = 2.12$ 米;

浮心縱向位置 $X_c = 0.35$ 米;

漂心縱向位置 $X_f = 0.70$ 米;

橫穩心垂向高 $KM = 2.57$ 米;

初穩性高 $GM = KM - KG = 2.57 - 2.12 = 0.45$ 米;

每厘米縱傾力矩 $M_c = 1.00$ 噸-米

縱傾:

縱傾力臂 $l = X_g - X_c = 1.165 - 0.35 = 0.815$ 米;

縱傾力矩 $\Delta l = 0.815 \times 110.02 = 89.336$ 吨-米;

原始縱傾值 $t_1 = 0.8$ 米;

$$\begin{aligned}\text{艏吃水 } T_n &= T - \left(0.5 + \frac{X_f}{L} \right) t - \frac{t_f}{2} \\ &= 1.82 - (0.5 + 0.032) \times 1 - 0.4 = 0.888 \text{ 米};\end{aligned}$$

$$\text{艉吃水 } T_k = T + \left(0.5 - \frac{X_f}{L} \right) t + \frac{t_f}{2} = 1.82 + (0.5 - 0.032) \times$$

$$1 + 0.4 = 2.688 \text{ 米}.$$

2. 上述各种装載情况的共振振幅計算

1) 滿載出港捕魚

根据綫型图查得:

水綫长 $L = 22$ 米;

船 深 $H = 2.91$ 米;

船 寬 $B = 5.22$ 米;

吃 水 $T = 2.20$ 米;

船重心距 $Z_z (KG) = 2.02$ 米;

初稳性高 $h (GM) = 0.44$ 米;

$$\frac{Z_z}{T} = \frac{2.02}{2.20} = 0.918 \left(\frac{Z_z}{T} > 0.917 \right)$$

$$\begin{aligned}\text{船舶自搖周期 } T_\phi &= 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4 Z_z^2}{h}} = 0.58 \sqrt{\frac{27.248 + 16.322}{0.44}} \\ &= 5.75 (\text{秒})\end{aligned}$$

現以 T_ϕ 及 I 类航区的条件, 查规范 11 頁图 4 得出 $X = 0.269$

$$\begin{aligned}\text{圓艏形船橫搖角 } \theta_r &= 64.46 X \sqrt{0.216 + \frac{Z_z}{T}} \\ &= 64.46 \times 0.267 \sqrt{0.216 + 0.918} \\ &= 64.46 \times 0.267 \times 1.065 = 18.24 (\text{度})\end{aligned}$$

2) 滿获到港

水綫长 $L = 22$ 米;

船 深 $H=2.91$ 米;

船 寬 $B=5.22$ 米;

吃 水 $T=2.165$ 米;

船重心距 $Z_z=2.01$ 米;

初穩性高 $h=0.43$ 米;

$$\frac{Z_z}{T} \text{ 比值} = \frac{2.01}{2.165} = 0.928 \quad \left(\frac{Z_z}{T} > 0.917 \right)$$

$$\begin{aligned} \text{船舶自搖周期 } T_s &= 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_z^2}{h}} = 0.58 \sqrt{\frac{27.248 + 16.16}{0.43}} \\ &= 5.82 \text{ 秒} \end{aligned}$$

現以 T_s 及Ⅱ類航區的条件, 查規範11頁圖4 得出 $X=0.265$

$$\begin{aligned} \text{橫搖角 } \theta_s &= 64.46 X \sqrt{0.216 + \frac{Z_z}{T}} \\ &= 64.46 \times 0.265 \sqrt{0.216 + 0.928} \\ &= 64.46 \times 0.265 \times 1.067 = 18.23 (\text{度}) \end{aligned}$$

3) 半獲返港

船水綫長 $L=22$ 米;

船 寬 $B=5.22$ 米;

船 深 $H=2.91$ 米;

吃 水 $T=2.042$

船重心距 $Z_z=2.092$

初穩性高 $h=0.312$

$$\frac{Z_z}{T} = \frac{2.092}{2.042} = 1.024 \quad \left(\frac{Z_z}{T} > 0.916 \right)$$

$$\begin{aligned} \text{船舶自搖周期 } T_s &= 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_z^2}{h}} = 0.58 \sqrt{\frac{27.248 + 17.508}{0.312}} \\ &= 6.95 (\text{秒}) \end{aligned}$$

現以 $T_s=6.95$ 查規範得 $X=0.254$

$$\begin{aligned}
 \text{橫搖角 } \theta_1 &= 64.46 X \sqrt{0.216 + \frac{Z_z}{T}} \\
 &= 64.46 \times 0.254 \sqrt{0.216 + 1.024} \\
 &= 18.22(\text{度})
 \end{aligned}$$

4) 捕魚中

船水綫長 $L=22$ 米;
 船 寬 $B=5.22$ 米;
 船 深 $H=2.91$ 米;
 吃 水 $T=2.078$ 米;
 船重心距 $Z_z=2.00$ 米;
 初穩性高 $h=0.42$ 米;

$$\frac{Z_z}{T} = \frac{2.00}{2.078} = 0.962 > 0.917$$

$$\begin{aligned}
 \text{船舶自搖周期 } T_\theta &= 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_z^2}{h}} = 0.58 \sqrt{\frac{27.248 + 16}{0.42}} \\
 &= 5.885(\text{秒})
 \end{aligned}$$

現以 $T_\theta=5.885$ 查規範得 $X=0.267$

$$\begin{aligned}
 \text{橫搖角 } \theta_1 &= 64.46 X \sqrt{0.216 + \frac{Z_z}{T}} \\
 &= 64.46 \times 0.267 \sqrt{0.216 + 0.962} = 18.691(\text{度})
 \end{aligned}$$

5) 空載返港

船水綫長 $L=22$ 米;
 船 深 $H=2.91$ 米;
 船 寬 $B=5.00$ 米;
 吃 水 $T=1.820$ 米;
 船重心距 $Z_z=2.12$ 米;
 初穩性高 $h=0.45$ 米

$$\frac{Z_z}{T} = \frac{2.12}{1.82} = 1.165 > 0.917$$

$$\text{船舶自搖周期 } T_0 = 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_z^2}{h}} = 0.58 \sqrt{\frac{25 + 17.98}{0.45}} \\ = 5.67 \text{ 秒}$$

現以 $T_0 = 5.67$ 查規範圖 4 得 $X = 0.272$

$$\text{橫搖角 } \theta_1 = 64.46X \sqrt{0.216 + \frac{Z_z}{T}} \\ = 64.46 \times 0.272 \sqrt{0.216 + 1.165} = 20.692^\circ$$

3. 該船已具有的綜合穩性曲綫見圖 94，圖上虛重心位置 S 點離基綫距離是 2.2 米。

4. 根據規範 § 18 的規定，繪制出排水量——浸水角曲綫見圖 95，作圖步驟從略。

5. 各種不同裝載時，風壓動傾力臂計算：

1) 吃水 $T = 2.2$ 米

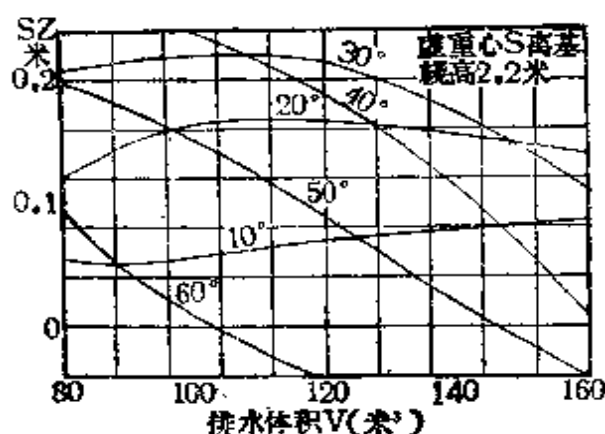


圖 94

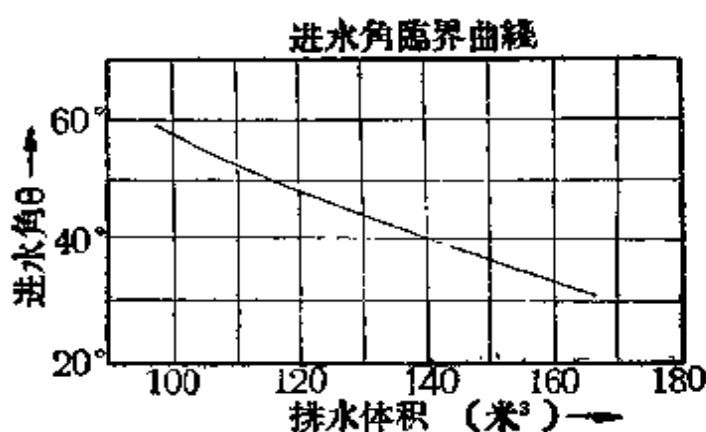


圖 95

根据总布置图及规范指示进行如下计算:

$$T=2.2 \text{ 米}$$

项目	名 称	面 积 A (米 ²)	流綫型 系数	非滿实 系数	折成受風 面积 A (米 ²)	机心离基 綫 Z (米)	力 矩
	1	2	3	4	$2 \times 3 \times 4$ $=5$	6	$7 \times 6 \times 5$
1	船 身 (連舢舨)	59.492	1.0	1.0	59.492	1.445	85.922
2	栏 杆	4.92	1.0	0.6	2.95	3.760	11.11
3	烟 囪	1.69	0.6	1.0	1.015	3.560	3.62
4	救 生 設 备	1.50	1.0	1.0	1.500	3.200	4.800
5	通 風 筒	0.805	0.6	1.0	0.483	3.150	1.555
6	桅 杆	4.300	0.6	0.609	1.648	4.350	7.180
7	其 他	2.661	1.0	1.0	2.661	3.670	9.775
	合 計				69.759	1.775	123.962

根据上表所得的 $Z=1.775$ 查规范图 1, 得 $P=58$ 公斤/米²

$$\begin{aligned} \text{风压动倾力矩 } M_f &= 0.001PAZ = 0.001 \times 58 \times 69.759 \times 1.775 \\ &= 7.202 \text{ 吨-米} \end{aligned}$$

又根据静水船性曲线, 查得当 $T=2.2$ 米时, $\Delta=140$ 吨

$$\text{风压动倾力臂 } l_f = \frac{M_f}{\Delta} = \frac{7.202}{140} = 0.0515 \text{ 米}$$

2) 吃水 $T=2.0$ 米

可以利用吃水 $=2.2$ 米的数据进行计算, 以謀簡捷, 見下表:

$$T=2.0 \text{ 米}$$

项目	名 称	受風面积(米) ²	面积中心 (米)	力 矩
1	2.2米吃水以上部分	69.759	1.975	138.0
2	其 他 面 积	4.640	0.100	0.464
	共 計	74.399	1.860	138.464

查规范图 1, 得 $P=58.5$ 公斤/米²

$$\begin{aligned} \text{风压动倾力矩 } M_f &= 0.001PAZ = 0.001 \times 58.5 \times 74.399 \times 1.860 \\ &= 8.105 \text{ 吨-米} \end{aligned}$$

此时查得排水量 $\Delta = 122$ 吨

$$\text{风压动倾力臂 } l_f = \frac{M_f}{\Delta} = \frac{8.105}{122} = 0.0664 \text{ 米}$$

3) 吃水 $T = 1.8$ 米

$$T = 1.8 \text{ 米}$$

項目	名 称	受風面積 A	面積中心 Z	力 矩
1	2.2米吃水以上部分	69.759	2.175	151.80
	其 他	8.98	0.20	1.796
	合 計	78.739	1.95	153.596

以 $Z = 1.95$ 米，查规范图 1 得 57 公斤/米²

$$\begin{aligned} \text{风压动倾力矩 } M_f &= 0.001 P A Z = 0.001 \times 59 \times 78.739 \times 1.95 \\ &= 9.072 \text{ 吨-米} \end{aligned}$$

此时查得 $\Delta = 104.2$ 吨

$$\text{风压动倾力臂 } l_f = \frac{M_f}{\Delta} = \frac{9.072}{104.2} = 0.0893 \text{ 米}$$

于是将上述各吃水时的受风面积 A 、 l_f 及 Z 繪成图 96。

現分別对上述各裝載情况进行稳性校核。

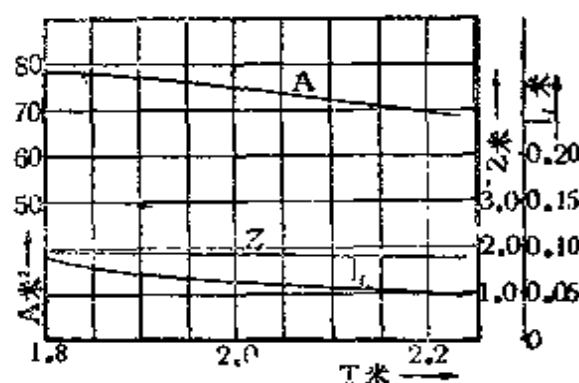


图 96

1) 滿載出港捕魚情况时的稳性計算

总排水量 $\Delta = 140.01$ 吨;

型排水体积 $V=136.6$ 米³ (由静水船性曲线上查得);

平均吃水 $T=2.2$ 米;

初稳性高 $h=0.44$ 米;

虚重心至基线垂高 $KS=2.2$ 米;

虚重心和真重心间距离 $GS=KG-KS=2.02-2.2=-0.18$ 米;

$\delta\theta=10^\circ$;

$$\frac{1}{2} \delta\theta \times \frac{\pi}{180} = 0.08725$$

横倾角 θ	SZ	$\sin\theta$	$SG\sin\theta$	(2)-(4)	(5)的积分和	(6) \times 0.08725
1	2	3	4	5	6	7
10	0.074	0.174	-0.0313	0.1053	0.1053	0.0092
20	0.1595	0.342	-0.0615	0.2210	0.4316	0.0376
30	0.184	0.500	-0.0900	0.2740	0.9266	0.0809
40	0.129	0.643	-0.1159	0.2589	1.4395	0.1255
50	0.023	0.766	-0.1380	0.1550	1.8435	0.1609
60	0.087	0.866	-0.1560	0.0690	2.0774	0.1811

现将上述计算结合波浪的横摇影响绘成图97。根据图97并且再查图96得出在本情况下的风压动倾力臂 $l_f=0.0515$ 米, 而查图95得出进水极限角 θ 等于 42° 。在图97上作出极限倾复力臂 l_q ;

$$l_q=0.100 \text{ 米}$$

由于 $l_q > l_f$, 证明稳性在这时是够用的。

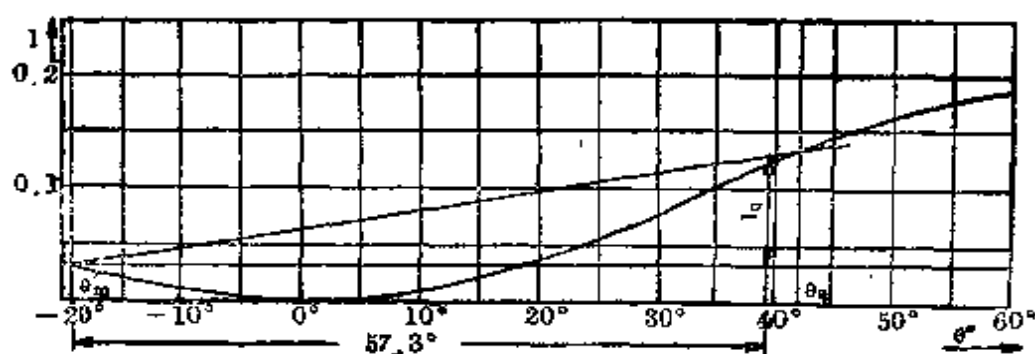


图 97

2) 滿載到港情况时的稳性計算

总排水量 $\Delta = 136.77$ 吨;

型排水体积 $V = 153.5$ 米³;

平均吃水 $T = 2.165$ 米;

初稳性高 $h = 0.43$ 米;

虚重心高 $KS = 2.2$ 米;

真虚重心间距 $SG = KG - KS = 2.01 - 2.2 = -0.19$ 米

$$-\frac{1}{2} \delta \theta \frac{\pi}{180} = 0.08725$$

横倾角 θ	SZ	$\sin \theta$	$SG \sin \theta$	(2) - (4)	5 的 积 分 和	(6) $\times 0.08725$
1	2	3	4	5	6	7
10	0.073	0.174	-0.033	0.106	0.106	0.0093
20	0.161	0.342	-0.065	0.226	0.438	0.0383
30	0.191	0.500	-0.095	0.285	0.950	0.0830
40	0.134	0.649	-0.122	0.256	1.492	0.1302
50	0.038	0.766	-0.146	0.184	1.932	0.1658
60	-0.076	0.866	-0.165	0.087	2.202	0.1922

现将上述計算結果，結合波浪的横搖影响繪成图98。再查图98及图95可得出在本情况下的风压动傾力臂 $l_f = 0.055$ 米，而相应的最小傾复力臂 $l_q = 0.110$ 米，动傾角 $\theta_d = 43.5^\circ$ ，见图95。由于 $l_q > l_f$ ，証明此时的稳性是够用的。

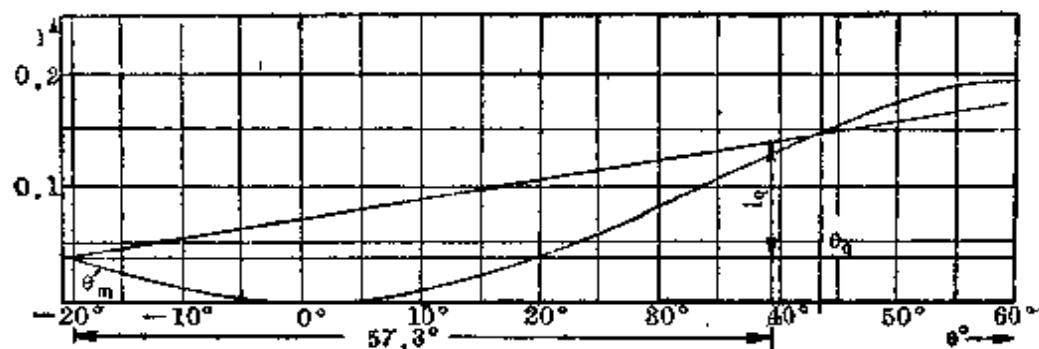


图 98

3) 半載返港情况时的稳性計算

总排水量 $\Delta = 125.07$ 吨;

型排水体积 $V = 122.2$ 米³;

平均吃水 $T = 2.042$ 米;

初稳性高 $h = 0.312$;

虛重心与眞重心間距离 $GS = KG - KS = 0.158$ 米;

$$\frac{1}{2} \delta \theta \frac{\pi}{180} = 0.08725$$

橫傾角 θ	SZ	$\sin \theta$	$SG \sin \theta$	(2)-(4)	(5)的積 分	(6) $\times 0.08725$
1	2	3	4	5	6	7
10	0.067	0.174	-0.0275	0.0945	0.0945	0.0083
20	0.166	0.342	-0.054	0.220	0.409	0.0357
30	0.212	0.500	-0.079	0.291	0.820	0.0802
40	0.174	0.643	-0.1015	0.2755	1.4865	0.1297
50	0.077	0.766	-0.121	0.198	1.960	0.171
60	-0.049	0.866	-0.137	0.088	2.246	0.196

现将上述計算結果繪成图99, 得出:

$$l_f = 0.069 \text{ 米}$$

$$l_q = 0.120 \text{ 米}$$

$$\theta_q = 46.6^\circ$$

$l_q > l_f$ 証明稳性在本情况下是安全的。

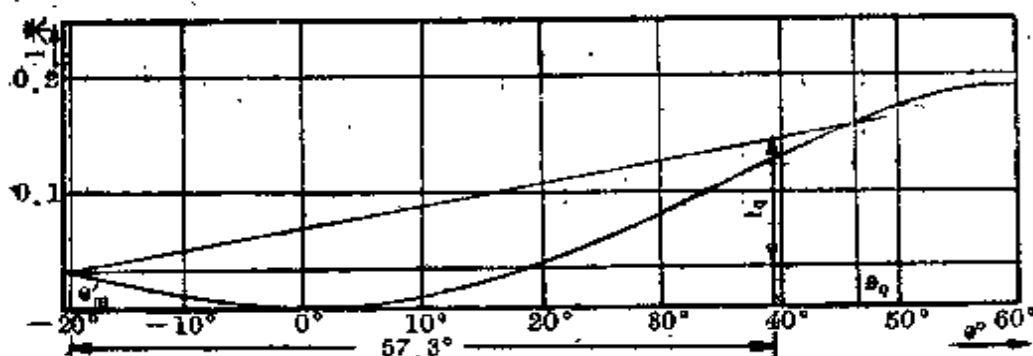


图 99

4) 捕魚中的稳性計算

总排水量 $\Delta = 131.77$ 吨;

型排水体积 $V = 128.50$ 米³;

平均吃水 $T = 2.078$ 米;

初稳性高 $h = 0.42$ 米

虛重心和眞重心間的距离 $GS = KG - KS = 2.0 - 2.2 = -0.20$ 米;

$$\frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{180} = 0.08725$$

橫傾角 θ	SZ	$\sin \theta$	$GS \sin \theta$	(2)-(4)	(5)的積 分 和	(6) $\times 0.08725$
i	2	3	4	5	6	7
10	0.068	0.174	-0.0273	0.0968	0.3968	0.0035
20	0.164	0.342	-0.0547	0.2187	0.4123	0.0360
30	0.206	0.500	-0.0800	0.2860	0.9170	0.0800
40	0.160	0.643	-0.1029	0.2629	1.4659	0.1279
50	0.064	0.766	-0.1228	0.1868	1.9156	0.1670
60	-0.058	0.866	-0.1388	0.0808	2.1832	0.1905

現將上述結果繪成图100, 并得出:

$$l_t = 0.0575 \text{ 米}$$

$$l_q = 0.117 \text{ 米}$$

$$\theta_q = 44^\circ$$

由于 $l_q > l_t$ 証明这时的稳性够用。

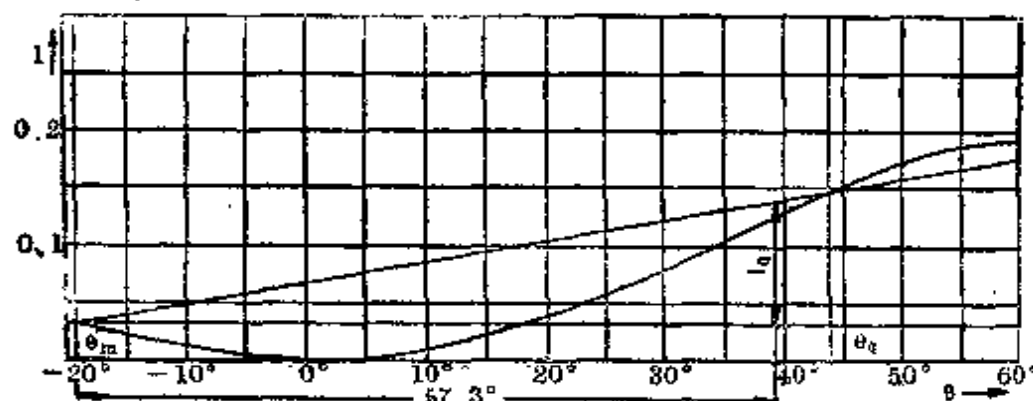


图 100

5) 空載返港情況的穩性計算

總排水量 $\Delta = 110.02$ 噸;

型排水體積 $V = 108.06$ 米³;

平均吃水 $T = 1.820$ 米;

初穩性高 $h = 0.45$ 米;

虛重心和真重心間距離 $GS = KG - KS = 2.12 - 2.2 = -0.08$ 米;

$$\frac{1}{2} \times 80 \times \frac{\pi}{180} = 0.08725$$

橫傾角 θ	SZ	$\sin \theta$	$GS \sin \theta$	(2)-(4)	(5) 累 分 和	(6) $\times 0.08725$
1	2	3	4	5	6	7
10	0.351	0.174	-0.0138	0.0649	0.0649	0.00566
20	0.170	0.342	-0.0274	0.1974	0.3272	0.02854
30	0.218	0.500	-0.040	0.258	0.783	0.0683
40	0.225	0.643	-0.051	0.276	1.317	0.1149
50	0.130	0.766	-0.061	0.191	1.785	0.1557
60	-0.015	0.866	-0.069	0.054	2.030	0.1771

現將上述計算結果繪成圖101，得出：

$l_f = 0.085$ 米 (查圖96)

$l_r = 0.096$ 米

$\theta_q = 53^\circ$ (查圖95)

由於 $l_q > l_f$ ，證明此時穩性安全。

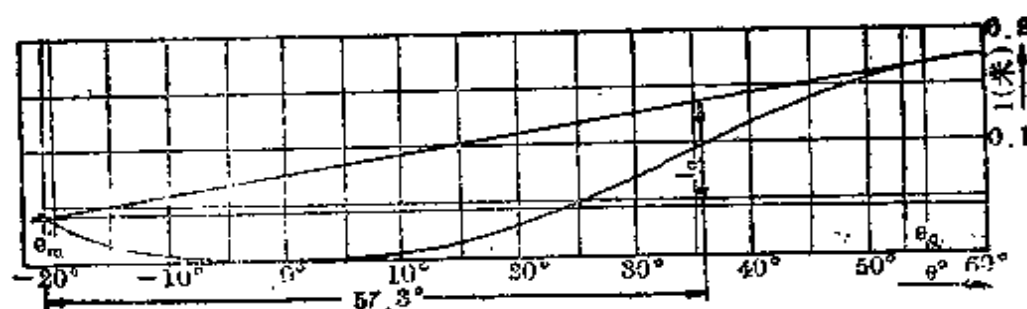


圖 101

三、“O”級內河拖輪穩性計算实例

該船設計水綫長 $L=25$ 米，船寬 $B=6$ 米，吃水 $T=1.2$ 米，有綜合穩性曲綫以及靜水船性曲綫資料。現試用苏联1959年公布的內河船舶穩性标准來校核該船穩性。

1. 求各種裝載時的船舶水綫位置、重心位置和穩心，以便進一步校核穩性時應用這些資料。

1) 空載情況

列表計算船重和重心位置如下：

項 目	名 稱	重量 (噸)	垂 向		縱 向			
			离 基 綫		艏 前 (-)		艏 后 (+)	
			力 臂 (米)	力 矩 (噸·米)	力 臂 (米)	力 矩 (噸·米)	力 臂 (米)	力 矩 (噸·米)
1	船體鋼料	26.50	1.44	38.19			0.76	20.2
2	木作艙裝	22.16	2.23	49.45	9.65	14.38		
3	動力裝置	40.28	1.77	71.01			1.83	73.8
		88.94	1.785	158.65			0.895	79.67

重量 $M=88.94$ 噸；

排水量 $\Delta=88.94$ 噸；

平均吃水 $T=0.945$ 米（查靜水船性曲綫決定）；

重心縱向位置 $X_g=+0.895$ 米；

每厘米縱傾力矩 $M_c=1.557$ 噸·米；

重心垂向位置 $Z_g=1.785$ 米；

浮心縱向位置 $X_c=0.351$ 米，艏后(+)；

漂心縱向位置 $X_f=1.032$ 米，艏后(+)；

橫穩心离基綫高 $KM=3.36$ 米。

上述 KM 、 X_c 、 X_f 及 M_c 都查靜水船性曲綫決定。

初穩性高 $h_0=KM-Z_g=3.36-1.785=1.575$ 米

縱傾：

縱傾力臂 $l = X_g - X_c = 0.895 - 0.351 = 0.544$ 米

縱傾力矩 $\Delta l = 88.94 \times 0.544 = 48.3$ 吨-米

縱傾值 $\tau = \frac{\Delta l}{100 M_c} = \frac{48.3}{100 \times 1.557} = 0.31$ 米

艏吃水 $T_n = T - \left(0.5 + \frac{X_f}{L} \right) \tau = 0.945 - (0.5 + 0.04) 0.31$
 $= 0.778$ 米

艉吃水 $T_k = T + \left(0.5 - \frac{X_f}{L} \right) \tau = 0.945 + (0.5 - 0.04) 0.31$
 $= 1.088$ 米

L = 此时水綫长 25.8 米, 包括导流管在內。

2) 部分装载 (10% 燃料及储备) 情况

重量与重心位置計算

項 目	名 称	重 量 吨	垂 向		縱 向			
			离 基 綫		艏前 (-)		艉后 (+)	
			力臂米	力矩 吨-米	力臂米	力矩 吨-米	力臂米	力矩 吨-米
1	空船情况	88.94	1.785	158.65			0.894	79.67
2	燃 煤	0.18	0.670	0.121	2.75	0.495		
3	清 水 柜	0.15	2.800	0.420	3.30	0.495		
4	船員及行李	2.00	2.000	4.00	1.30	2.600		
5	粮 食	0.10	2.700	0.270	7.10	0.710		
6	炊事用煤	0.08	2.500	0.2000	5.30	0.424		
7	爐 水	2.70	0.725	1.958			7.90	21.35
8	清 水	0.10	4.100	0.410	3.30	0.330		
9	清水 (3~5 号肋骨)	0.17	0.510	0.087			10.5	1.785
10	备 品	0.64	2.90	1.856	5.1	3.26		
	共 計	94.88	1.77	167.972			1.00	94.491

下述諸数据决定的步驟与空载情况采用的相似。

重量 $M = 94.88$ 吨;

排水量 $\Delta = 94.88$ 吨;

吃水 $T=0.984$ 米;

重心縱向位置 $X_g=1.00$ 米;

重心垂向位置 $KG=1.770$ 米;

浮心縱向位置 $X_c=0.467$ 米;

漂心縱向位置 $X_f=1.27$ 米;

每厘米縱傾力矩 $M_c=1.71$ 吨·米;

橫穩心离基綫 $KM=3.13$ 米;

初穩性高 $h_0=KM-KG=3.13-1.77=1.36$ 米

已知自由液面影响为 0.008 米, 則初穩性高修正后 $h=1.352$ 米

縱傾:

縱傾力臂 $l=X_g-X_c=1.00-0.467=0.533$ 米

縱傾力矩 $\Delta l=0.533 \times 94.88=50.571$ 吨·米

縱傾值 $\tau=\frac{\Delta l}{100 M_c}=\frac{50.571}{100 \times 1.71}=0.296$ 米

此时水綫长考虑导流管的存在 $L=25.9$ 米

船首吃水 $T_H=T-\left(0.5+\frac{X_f}{L}\right)\tau=0.984-(0.5+0.05)0.296$
 $=0.821$ 米

船尾吃水 $T_K=T+\left(0.5-\frac{X_f}{L}\right)\tau=0.984+(0.5-0.05)0.296$
 $=1.117$ 米

3) 滿載情况

下述諸数据的決定, 与前述采用的步驟相仿;

船重 $W=120.90$ 吨;

排水量 $\Delta=120.90$ 吨;

吃水 $T=1.224$ 米;

重心縱向位置 $X_g=0.473$ 米;

重心垂向位置 $KG=1.711$ 米;

浮心縱向位置 $X_c=0.473$ 米;

漂心縱向位置 $X_f=1.5$ 米;

橫穩心离基綫高 $KM=2.98$ 米;

重量和重心位置計算

項 目	名 稱	重 量 噸	垂 向		縱 向			
			高 基 綫		艏前 (-)		艏后 (+)	
			力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米
1	空船情况	88.94	1.785	158.65			0.894	79.67
2	燃 煤	18.00	1.20	21.60	3.20	57.6		
3	清 水 柜	1.50	3.10	4.65	3.30	4.95		
4	船員及行李	2.00	2.00	4.00	1.30	2.60		
5	糧 食	1.00	2.90	2.90	7.1	7.10		
6	炊事用煤	0.80	2.70	2.16	5.3	4.24		
7	爐 水	5.35	1.02	5.45			8.03	42.95
8	清 水	1.00	4.30	4.30	3.3	3.30		
9	清水 (*~*肋 骨)	1.67	0.78	1.30			1.05	17.60
10	备 品	0.64	2.90	1.85	5.1	3.26		
	共 計	120.90	1.711	206.86			0.473	57.17

初穩性高 $h_0 = KM - KG = 2.98 - 1.711 = 1.269$ 米;

初穩性經自由液面影响修正值为 0.034 米;

初穩性高最終值 $h = 1.235$ 米;

每厘米縱傾力矩 $M_c = 1.863$ 噸-米

縱傾:

縱傾力臂 $l = X_g - X_c = 0$;

縱傾力矩 $\Delta l = 0$;

縱傾值 $t = 0$;

艏吃水 $T_n = T - 0 = 1.224$ 米;

艉吃水 $T_n = T + 0 = 1.224$ 米

2. 各种裝載情况的穩性力臂計算

1) 空船情况

总重量 $W = 88.94$ 吨;

吃水 $T = 0.945$ 米;

相当于 T 吃水时的型排水量查船性曲线得到:

$$\Delta = 88.3 \text{ 吨}$$

重心垂高 $KG = 1.785$ 米;

横稳心高 $KM = 3.36$ 米;

初稳性高 $h = 1.575$ 米。

利用该船的综合稳性曲线见图 102, 用重心真实位置修正以得静稳性力臂, 其步骤如下:

综合稳性曲线虚重心 S 点离基线 $KS = 1.4$ 米, S 点离重心 G 垂直距 $SG = KG - KS = 0.385$ 米。

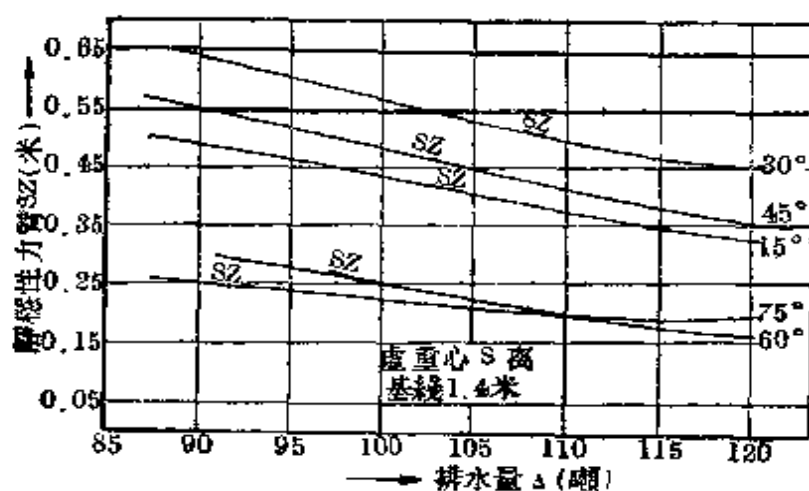


图 102

静稳性力臂 l 计算

横倾角 θ°	相当于 Δ 排水量的 SZ	$\sin \theta$	$SG \sin \theta$	$l \quad (2) - (4)$
1	2	3	4	5
7-号	0.282	0.1305	0.050	0.212
15	0.490	0.2588	0.100	0.390
30	0.655	0.5000	0.193	0.462
45	0.552	0.7071	0.272	0.280
60	0.310	0.8660	0.334	-0.024

• 179 •

静稳性力臂 l 计算

横倾角 θ°	相当于 Δ 排水量的SZ	$\sin\theta$	$SG\sin\theta$	$l(2)-(4)$
1	2	3	4	5
$7\frac{1}{2}$	0.229	0.1305	0.037	0.190
15	0.418	0.2588	0.073	0.345
30	0.558	0.5000	0.142	0.416
45	0.463	0.7071	0.201	0.262
60	0.242	0.8660	0.246	-0.004

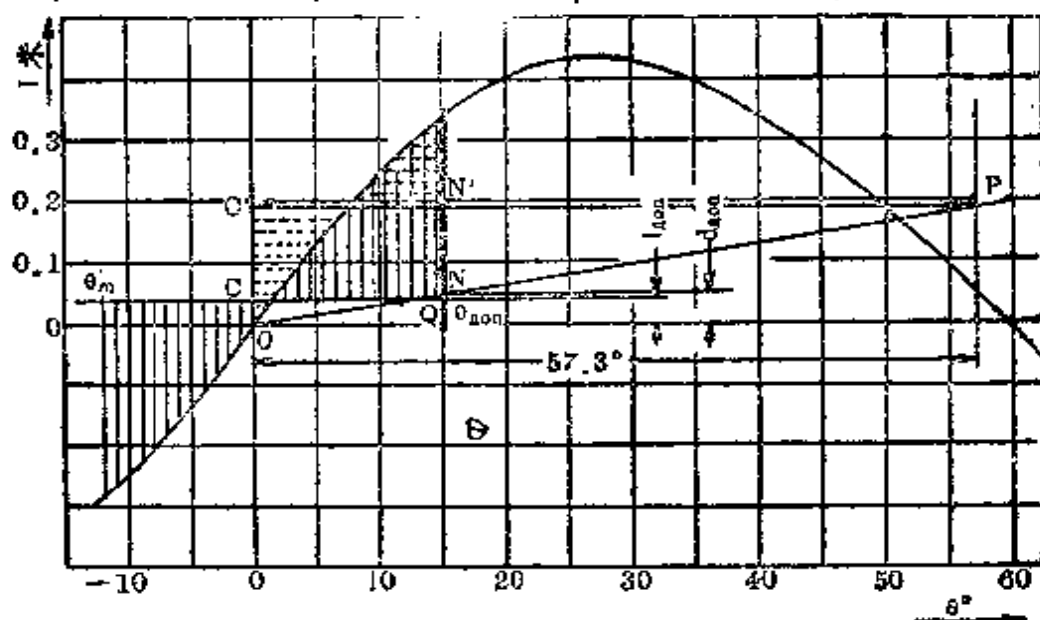


图 104

船重心垂高 $KG=1.711$ 米;

船横稳心高 $KM=2.98$ 米;

船初稳性高 $h=1.235$ 米;

$SG=KG-KS$ ($KS=1.4$ 米) $=1.711-1.4=0.311$ 米

求真实重心时的静稳性力臂 l ;

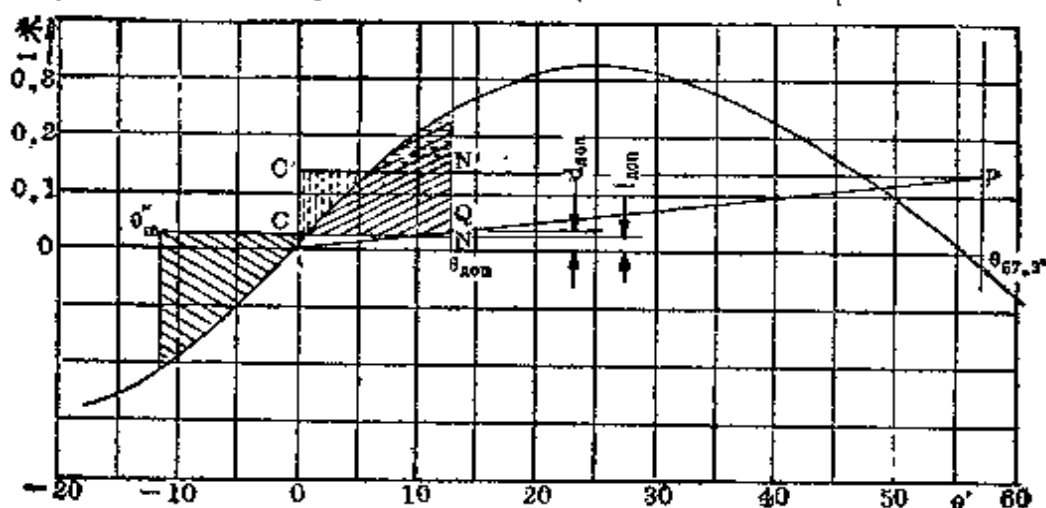
将上述 l 值绘成稳性曲线如图105。

3. 各种装载情况下的稳性校核

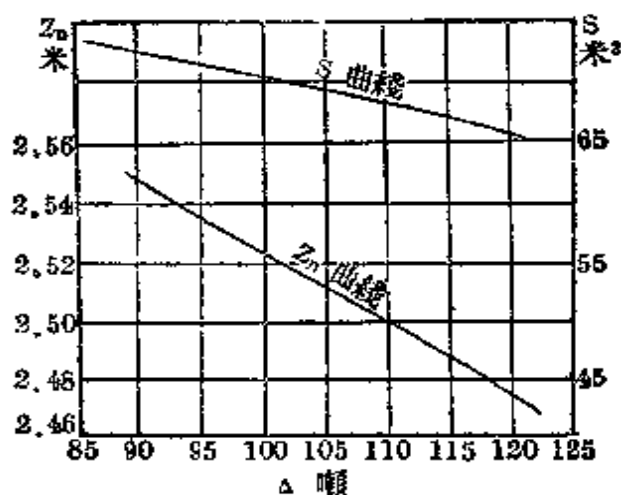
根据本船的总布置图, 结合苏联内河船舶稳性标准 § 15 的规定, 将

靜穩性力臂計算

横倾角 θ°	相当△排水 量的SZ	$\sin\theta$	$SG\sin\theta$	l (2)-(4)
1	2	3	4	5
$7\frac{1}{2}$	0.200	0.1305	0.038	0.162
15	0.339	0.2588	0.075	0.264
30	0.454	0.5000	0.145	0.309
45	0.367	0.7071	0.205	0.162
60	0.170	0.8680	0.252	-0.082



105



106

各不同裝載情況時的受風面積 S 和帆心距基綫高度 Z_n 繪成曲綫，見圖 106。又繪出各不同裝載時浸水角曲綫如圖 107。

1) 空載情況

先校核穩性基本衡准

查圖 106 得到： $S=73.28\text{米}^2$ ；

$$Z_n=2.550\text{米}$$

又已知 $T=0.945\text{米}$ 及船重心 $Z_g(KG)=1.785\text{米}$

$$\therefore \frac{B}{T} = \frac{6}{0.945} = 6.35$$

查該標準 § 15 的表 1 得 $a_1 = -0.877$

$$\frac{Z_g}{B} = \frac{1.785}{6} = 0.294$$

查該標準 § 15 的表 2 得 $a_2 = 0.898$

$$Z = Z_n - a_1 T - a_2 Z_g = 2.55 + 0.877 \times 0.945 - 0.898 \times 1.785 = 1.777\text{米}$$

根據 $Z_f = Z_n - T = 2.55 - 0.945 = 1.605\text{米}$

查標準的表 3，得出計算動力風壓 P_d ：

$$P_d = 27.525\text{公斤/米}^2$$

$$\text{風壓動傾力矩 } M_{kp} = 0.001 P_d S Z = 0.001 \times 27.525 \times 73.28 \times 1.777 = 3.584\text{噸-米}$$

根據圖 107 查得此時的極限浸水角 θ_n ：

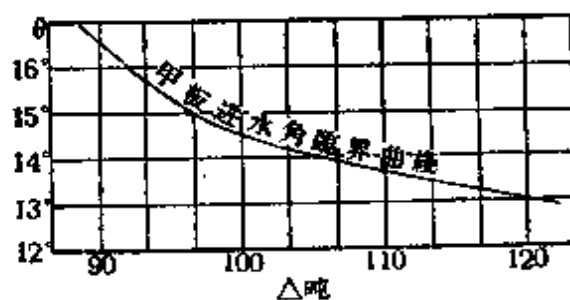


圖 107

$$\theta_n = 16.8^\circ$$

該船艏剖面浸水部分符合標準的圖 2，設有龍骨，其方型系數 $\delta = 0.50$

$$n_0 = \frac{h_0}{\sqrt[3]{D}} = \frac{1.57}{\sqrt[3]{88.94}} = 0.353$$

以这 n_0 值結合舢剖面浸水部分形状，查标准的表 4，得出
 $m_1 = 1.43$

$$\frac{n_0}{\frac{Z_g}{B}} = \frac{0.353}{0.274} = 1.29$$

将上值查标准的表 5，得出： $n_1 = 0.55$ ；

$$n_2 = n_1 \sqrt[3]{h_0} = 0.55 \sqrt[3]{1.575} = 0.69$$

由表 6 查出 $m_2 = 3.82$ ；

$$n_3 = n_2 \sqrt[3]{D} = 0.69 \sqrt[3]{88.94} = 0.69 \times 4.46 = 3.08$$

查表 7 得出 $m_3 = 4.44$

$$\theta_m = m_1 m_2 m_3 = 1.43 \times 3.82 \times 4.44 = 24.254 \text{度}$$

又已知两舷继龙骨的总面积 $S_K = 5.0 \text{米}^2$

$$q = \frac{S_K Z_g \delta}{LBT} = \frac{5 \times 1.785 \times 0.5}{25 \times 6 \times 0.945} \times 0.0315$$

根据这 q 查标准的表 8，得出 $m_4 = 0.48$

$$\theta'_m = \theta_m m_4 = 24.254 \times 0.48 = 11.64 \text{度}$$

将这 θ'_m 值繪在图 103 上，并作平行于横坐标轴之直线 CN，使图上有阴影线的两个面积 S_1 和 S_2 彼此相等。在图上量得的 OC 直线段的值即为船舶倾角时之极限允许力矩的力臂值 $l_{\text{доп}}$ ，即 $l_{\text{доп}} = 0.06 \text{米}$

$$\therefore M_{\text{доп}} = D l_{\text{доп}} = 88.94 \times 0.06 = 5.336 \text{吨-米}$$

由于 $M_{\text{кр}}$ 已算知为 3.584 吨-米

$$\therefore M_{\text{доп}} > M_{\text{кр}}$$

証明在本情况下，船的稳性按基本衡准来说是安全的。

再来校核空载情况下急牵时的稳性

主机馬力 $N_e = 284$ ；

排水量 $D = 88.94 \text{吨}$ ；

拖钩面着点在船舶重心以上高 $Z_e = 1.63 \text{米}$

$$Z_0 = \frac{Z_e}{B} = 0.272 \quad (B = \text{船寬 } 6 \text{ 米})$$

$$\frac{N_e}{D} = \frac{284}{88.94} = 3.20$$

在穩性标准的表11上查得急牽能量

$$l_0 = 0.244 \text{ 米}$$

$\therefore \frac{B}{T} = 6.35$, 查穩性标准表12, 得

$$F_1 = 2.543$$

$$F_2 = 4.610$$

拖鈎固着点距船舶重心間的縱向距 X_e 为。

$$X_e = 0.895 - 0.50 = 0.395 \text{ 米}$$

$$\frac{X_e}{L} = \frac{0.395}{25} = 0.0118$$

將 $\frac{X_e}{L}$ 查穩性标准表13得 $\epsilon = 1.09$

$$\begin{aligned} d_{\text{расч}} &= l_0 \frac{F_1 Z_0^2}{\epsilon \left(\epsilon + F_2 Z_0^2 \right)} \\ &= 0.244 \times \frac{2.543 \times 0.272^2}{1.09(1.09 + 4.610 \times 0.272^2)} \\ &= \frac{0.046}{1.558} = 0.0295 \text{ 米} \end{aligned}$$

又根据图103, $C'N'$ 平行綫和代表 57.3° 的垂直綫相交于 P 点, 由 P 連至 O 点的直綫和代表浸水角的 NN' 直綫相交于 Q 点, Q 点至横座标軸距为 $d_{\text{дон}}$, $d_{\text{дон}} = 0.07 \text{ 米}$

$$\therefore d_{\text{дон}} > d_{\text{расч}}$$

所以在本情況下, 急牽穩性是够用的

2) 部分 (10% 燃料和儲备) 裝載情况

先校核稳性基本衡准

查图106得到:

$$S = 69.96 \text{米}^2$$

$$Z_H = 2.536 \text{米}$$

又已知此时吃水 $T = 0.984 \text{米}$

船舶重心离基线高 $Z_g = 1.77 \text{米}$

$$\therefore \frac{B}{T} = \frac{6}{0.984} = 6.10$$

查稳性标准 § 15 的表 1 得 $a_1 = -0.75$

$$\frac{Z_g}{B} = \frac{1.77}{6} = 0.295$$

同样查得 $a_2 = 0.85$

$$Z = Z_H - a_1 T - a_2 Z_g = 2.536 + 0.75 \times 0.984 - 0.85 \times 1.77 = 1.769 \text{米}$$

根据 $Z_f = Z_H - T = 2.536 - 0.984 = 1.552 \text{米}$

查稳性标准得“0”类船的 $P_A = 27.25 \text{公斤/米}^2$

$$\begin{aligned} \text{风压动倾力矩 } M_{\text{风}} &= 0.001 P_A S Z = 0.001 \times 27.25 \times 69.96 \times 1.769 \\ &= 3.376 \text{吨-米} \end{aligned}$$

根据图107查得此时极限进水角为 15.3°

$$n_0 = \frac{h_0}{\sqrt[3]{D}} = \frac{1.36}{\sqrt[3]{94.88}} = \frac{1.36}{4.56} = 0.298$$

以这 n_0 值结合舢剖面浸水部分形状, 查稳性标准的表 4, 得出 $n_1 = 1.50$

$$\frac{n_1}{\frac{Z_g}{B}} = \frac{0.298}{0.295} = 1.00$$

将上值去查表 5 得出: $n_2 = 0.63$

$$n_2 = n_1 \sqrt[3]{h_0} = 0.63 \sqrt[3]{1.36} = 1.166 \times 0.63 = 0.735$$

由表 6 查出 $m_2 = 3.82$

$$n_3 = n_2 \sqrt[3]{D} = 0.735 \times 4.56 = 33.52$$

查表 7 得出: $m_3 = 4.328$

$$\theta_m = m_1 m_2 m_3 = 1.50 \times 3.82 \times 4.328 = 24.80 \text{ 度}$$

$$q = \frac{S_K Z_g \delta}{LBT} = \frac{5 \times 1.77 \times 0.5}{25 \times 6 \times 0.984} = 0.03$$

以上值 $q = 0.03$ 查稳性标准表 8, 得出:

$$m_4 = 0.48$$

$$\text{計算橫搖振幅 } \theta'_m = \theta_m m_4 = 24.80 \times 0.48 = 11.90 \text{ 度}$$

将这 θ'_m 值繪在图 104 上, 并作一平行于横座标軸之直綫 CN , 使图上兩阴影面积 S_1 和 S_2 彼此相等。在图上量得的 OC 綫段即为 $l_{\text{доп}}$, 即:

$$l_{\text{доп}} = 0.04 \text{ 米}$$

$$M_{\text{доп}} = D l_{\text{доп}} = 94.88 \times 0.04 = 3.7950 \text{ 吨-米}$$

$$\therefore M_{\text{кр}} = 3.376 \text{ 吨-米}$$

$$\therefore M_{\text{доп}} > M_{\text{кр}}$$

証明在本情况下船的稳性基本衡准是够用的。

現在来校核部分 (10% 燃料和儲备) 裝載情况下校核急率时的稳性

$$N_e = 284;$$

$$D = 94.88 \text{ 吨};$$

$$Z_1 = 1.645 \text{ 米};$$

$$B = 6 \text{ 米};$$

$$T = 0.984 \text{ 米};$$

$$Z_0 = \frac{Z_1}{B} = \frac{1.645}{6} = 0.274$$

$$\frac{N_e}{D} = \frac{284}{94.88} = 2.993$$

以 $\frac{N_e}{D}$ 值在表 11 上查得急率能量 $l_0 = 0.205$

$$\therefore \frac{B}{T} = \frac{6}{0.984} = 6.10, \text{ 查表 12 得:}$$

$$F_1 = 2.65$$

$$F_2 = 4.75$$

拖鈎固着点縱向离船重心距 $X_1 = 0.5$ 米

$$\frac{X_1}{L} = \frac{0.5}{25} = 0.02, \text{查表13得:}$$

$$e = 1.092$$

$$\begin{aligned} d_{\text{расч}} &= l_0 \frac{F_1 Z_0^2}{e(e + F_2 Z_0^2)} \\ &= 0.205 \frac{2.65 \times 0.274^2}{1.092(1.092 + 4.75 \times 0.274^2)} \\ &= \frac{0.0408}{1.583} = 0.026 \text{ 米} \end{aligned}$$

又根据图104, $C'N'$ 平行綫和代表 57.3° 的垂綫相交于 P 点, 連 PO 直綫并和 NN' 相交于 Q 点, Q 点之高即为 $d_{\text{дон}}$, 即:

$$d_{\text{дон}} = 0.050 \text{ 米}$$

$\therefore d_{\text{дон}} > d_{\text{расч}}$, 証明稳性够用。

3) 滿載情况

先校核稳性基本衡准

查图106得出 $S = 66.5$ 米²

$$Z_H = 2.467 \text{ 米}$$

又已知吃水 $T = 1.224$ 米

船重心 $Z_G = 1.711$ 米

$$\therefore \frac{B}{T} = \frac{6}{1.224} = 4.902$$

查标准的表1, 得出 $a_1 = -0.36$

$$\frac{Z_G}{B} = \frac{1.711}{6} = 0.285$$

查标准的表2, 得出 $a_2 = 0.876$

$$Z = Z_H - a_1 T - a_2 Z_H = 2.467 + 0.36 \times 1.224 - 0.876 \times 1.711 = 1.409$$

米

根据 $Z_T = Z_n - T = 2.467 - 1.224 = 1.243$ 米

查标准的表 3 得到: $P_A = 25.2 \text{ kg/米}^2$

风压动倾力矩 $M_{kp} = 0.001 P_A S Z = 0.001 \times 25.2 \times 66.5 \times 1.409 =$
 $= 2.361 \text{ 吨-米}$

根据图107查得此时极限进水角为 13° 。该船 n_0 为:

$$n_0 = \frac{h_0}{\sqrt[3]{D}} = \frac{1.269}{\sqrt[3]{120.9}} = 0.259$$

以这 n_0 值结合艏剖面浸水部分形态去查标准的表 4 而得出:

$$m_1 = 1.59$$
$$\frac{n_0}{\frac{Z_g}{B}} = \frac{0.259}{0.285} = 0.906$$

以这值查标准的表 5 得出 $n_1 = 0.67$

$$n_2 = n_1 \sqrt{h_0} = 0.67 \sqrt{1.269} = 0.755$$

以 n_2 查标准的表 6 得出 $m_2 = 3.82$

$$n_3 = n_2 \sqrt[3]{D} = 0.755 \times 4.94 = 3.730$$

以这 n_3 值查标准的表 7 得出 $m_3 = 4.206$

$$\theta_m = m_1 m_2 m_3 = 1.59 \times 3.82 \times 4.206 = 25.707 \text{ 度}$$

$$q = \frac{S_K Z_g \delta}{L B T}$$

$$= \frac{5 \times 1.711 \times 0.5}{25 \times 6 \times 1.224} = 0.0233 \text{ (設 } \delta \text{ 始終不變} = 0.5)$$

以这 q 值查标准的表 8, 得出 $m_4 = 0.587$

計算橫搖擺幅 $\theta'_m = \theta_m m_4 = 25.707 \times 0.587 = 15.090$

由于計算橫搖擺幅大過浸水角 θ_n , 按照标准 § 16 的 (3) 規定,
計算橫搖擺幅按下式進行:

$$\theta''_m = m_5 \theta'_m$$

$$\theta_n = 11.90^\circ$$

$$\frac{\theta_n}{\theta_m} = \frac{11.90}{25.707} = 0.463$$

以上值查标准的表9, 得出 $m_s = 0.77$

$$\theta_m'' = 0.77 \times 15.090 = 11.62 \text{ 度}$$

将这 θ_m'' 值繪在图105上, 并作一平行于横坐标轴的直线 CN , 使图上有彼此相等的两阴影面积。在图上量得的 OC 直线段即为 $l_{доп}$, 即:

$$l_{доп} = 0.025 \text{ 米}$$

$$M_{доп} = D l_{доп} = 120.90 \times 0.025 = 3.023 \text{ 吨-米}$$

証明因为 $M_{доп} > M_{кр}$, 所以稳性够用。

再来校核滿載情况下急率时的稳性

$$N_e = 284;$$

$$D = 120.90 \text{ 吨};$$

$$Z_1 = 1.704 \text{ 米};$$

$$B = 6 \text{ 米};$$

$$T = 1.224 \text{ 米};$$

$$Z_0 = \frac{Z_e}{B} = \frac{1.704}{6} = 0.284$$

$$\frac{N_e}{D} = \frac{284}{120.90} = 2.37$$

以这 $\frac{N_e}{D}$ 值在标准的表11上, 查得急率能量 $l_0 = 0.160$

$$\therefore \frac{B}{T} = \frac{6}{1.224} = 4.902$$

利用上述 $\frac{B}{T}$ 值, 在标准的表12上查得:

$$F_1 = 3.29$$

$$F_2 = 5.56$$

拖鈎固着点縱向离船重心距 $X_e = 0.007$ 米

$$\frac{X_e}{L} = \frac{0.007}{25} = 0.0005 \approx 0$$

查标准的表13, 得出:

$$\epsilon = 1.08$$

$$d_{\text{расч}} = l_0 \frac{F_1 Z_0^2}{e \left(e + F_2 Z_0^2 \right)} = 0.16 \times \frac{3.29 \times 0.284^2}{1.08(1.08 + 5.56 \times 0.284^2)}$$

$$= \frac{0.0426}{1.6504} = 0.026 \text{ 米}$$

又根据图105, $O'N'$ 平行綫和代表 57.3° 的垂綫相交于 P 点, 連 PO 直綫并和 NN' 相交于 Q 点, Q 点之高即为 $d_{\text{доп}}$, 按比例查得:

$$d_{\text{доп}} = 0.035 \text{ 米}$$

$$\therefore d_{\text{доп}} > d_{\text{расч}}$$

所以証明此时稳性够用

全船稳性在各种規定的裝載情况下, 經証明都是够用的。

四、內河“O”类区間客貨輪稳性計算实例

船 长 $L=67.5$ 米;

船 寬 $B=12.5$ 米;

船 深 $H=3.55$ 米;

平均吃水 $T=2.8$ 米;

滿載排水量 $\Delta=1380.35$ 吨,

設計航速 $V=12.3$ 浬。

本算例以1959年公布的苏联內河船舶稳性标准进行。

1. 空船情况

編 号	項 目	重量 噸	垂 向		縱 向			
			离 基 綫		离艏前(—)		离艉后(+)	
			力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米
1	船体鋼料重量	337.01	4.47	1506.457			0.63	219.32
2	木作艙裝重量	288.63	6.45	1861.676			0.98	282.86
3	輪机部分总重	197.10	3.59	707.266			4.80	946.08
	共 計	822.74	4.853	4075.399			1.751	1441.26

重量 $\Delta = 822.74$ 吨;

总排水量 $\Delta = 822.74$ 吨;

吃水 $T = 1.893$ 米;

重心纵向位置 $X_g = 1.751$ 米;

重心垂向位置 $Z_g = 4.953$ 米;

浮心纵向位置 $X_c = -0.87$ 米 (舭前为 -);

漂心纵向位置 $X_f = 0.58$ 米 (舭后为 +);

每厘米縱傾力矩 $M_c = 15.9$ 吨-米;

横稳心离基线 $KM = 7.92$ 米;

初横稳性高 $GM = 7.92 - 4.953 = 2.967$ 米。

上述 X_c 、 X_f 、 M_c 及 KM 都利用靜水船性曲线图查得。

縱傾:

縱傾力臂 $l = X_g - X_c = 1.751 + 0.87 = 2.631$ 米;

縱傾力矩 $l \times \Delta = 822.74 \times 2.631 = 2164.63$ 吨-米;

縱傾值 $\tau = \frac{l \times \Delta}{100 \times M_c} = \frac{2164.63}{100 \times 15.9} = 1.361$ 米;

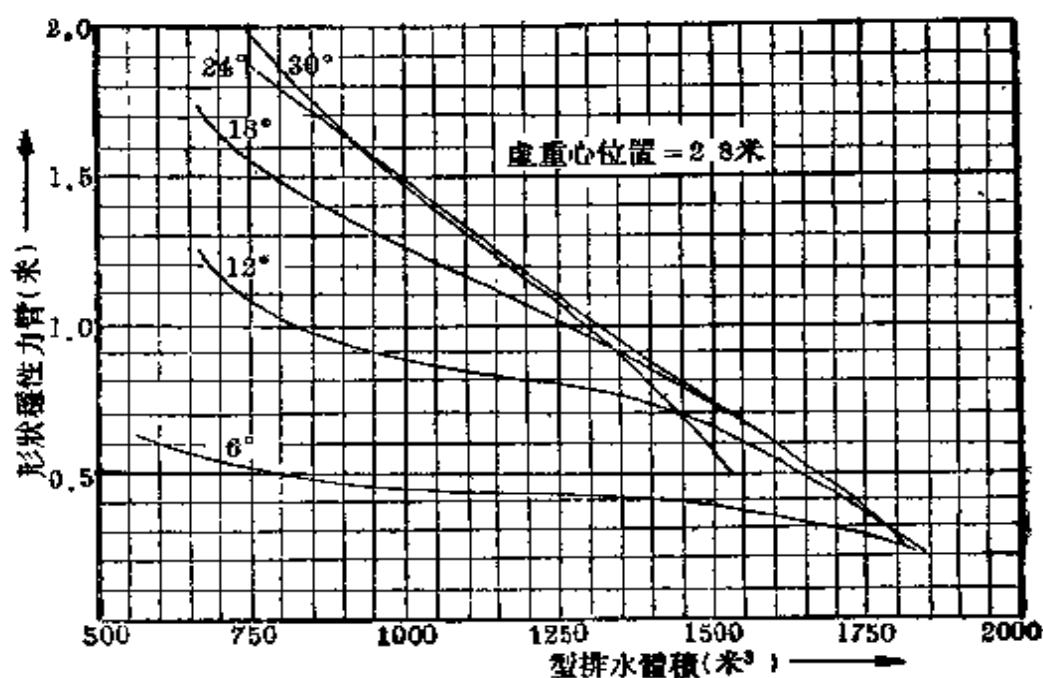


图 108

$$\text{艏吃水 } T_{\text{前}} = T - \left(0.5 + \frac{K_f}{L} \right) t = 1.893 - \left(0.5 + \frac{0.58}{67.5} \right) 1.361 \\ = 1.202 \text{ 米};$$

$$\text{艉吃水 } T_{\text{后}} = T + \left(0.5 - \frac{K_f}{L} \right) t = 1.893 + \left(0.5 - \frac{0.58}{67.5} \right) 1.361 \\ = 2.563 \text{ 米}$$

稳性计算:

空船时型排水体积为819.5米³, 利用该值查本船的綜合稳性曲线图108得各不同傾角时的諸形状稳性力臂SZ值。代入下表計算:

在下表中: $\frac{1}{2} \times \Delta \theta = 0.0524$;

虛重心S离基綫距KS=2.8米;

虛眞两重心間距KG~KS=GS=2.153米;

KG就是Z_g=4.953米。

傾角 θ°	SZ	$\sin \theta$	SG × (3)	GZ (2)-(4)	(5)之 积分和	$\frac{1}{2} \times \Delta \theta \times$ (6)
1	2	3	4	5	6	7
6	0.505	0.1045	0.2250	0.2800	0.2800	0.0147
12	1.010	0.2079	0.4476	0.5624	1.1224	0.0588
18	1.465	0.3090	0.6653	0.7997	0.4845	0.1302
24	1.705	0.4067	0.8756	0.8294	4.1136	0.2156
30	1.785	0.5000	1.0765	0.7085	5.3515	0.2961

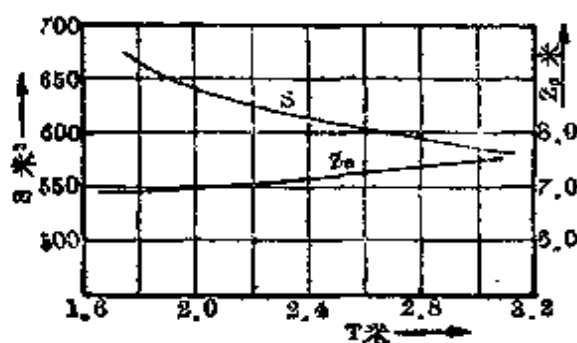


图 108

根据空船时吃水 $T=1.893$ 米, 查图109得到承风面积 S 和受风面积中心离船舶基线高 Z_n ;

$$S=653 \text{ 米}^2$$

$$Z_n=6.903 \text{ 米}$$

又因

$$Z_g=4.953 \text{ 米};$$

$$\frac{B}{T} = \frac{12.5}{1.893} = 6.603$$

查标准的表1, 得 $a_1 = -0.974$

$$\frac{Z_g}{B} = \frac{4.953}{12.5} = 0.4$$

查标准的表2, 得: $a_2 = 0.71$

受风面积计算中心

$$\begin{aligned} Z &= Z_n - a_1 T - a_2 Z_g = 6.903 + 0.974 \times 1.893 - 0.71 \times 4.953 \\ &= 5.230 \text{ 米} \end{aligned}$$

$$Z_r = Z_n - T = 6.903 - 1.893 = 5.010 \text{ 米}$$

查标准的表3得到计算动力风压 P_R

$$P_R = 37.5 \text{ 公斤/米}^2$$

$$\begin{aligned} \text{风压动倾力矩 } M_{RP} &= 0.001 P_R S Z = 0.001 \times 37.5 \times 653 \times 5.23 \\ &= 128.25 \text{ 吨-米} \end{aligned}$$

该船艏剖面符合标准的图1

$$n_0 = \frac{h_0}{\sqrt[3]{D}} = \frac{2.967}{\sqrt[3]{822.74}} = 0.319$$

查标准的表4得出: $m_1 = 1.232$

$$\frac{n_0}{\frac{Z_g}{B}} = \frac{0.319}{0.4} = 0.798$$

查标准的表5得出: $n_1 = 0.71$

$$n_2 = n_1 \sqrt{h_0} = 0.71 \sqrt{2.967} = 1.233$$

查标准的表6得出: $m_2 = 2.42$

$$n_3 = n_2 \sqrt[3]{D} = 1.233 \sqrt[3]{822.74} = 11.5$$

查标准的表7得出:

$$m_3 = 2.55$$

$$\theta_m = m_1 m_2 m_3 = 1.232 \times 2.42 \times 2.55 = 7.58^\circ$$

将上述所算得的 l 結合計算橫搖振幅 7.58° 繪成动稳性曲綫，見圖 110。

又利用在靜水船性曲綫上查知的型排水体积去查圖 111 的临界进水角曲綫，得到艏部出水角 θ_n ：

$$\theta_n = 15.6^\circ$$

将这 θ_n 值入圖 110 去。在圖 110 上得到动抗傾力臂 $l_{\text{дон}}$

$$l_{\text{дон}} = 0.17 \text{ 米}$$

$$M_{\text{дон}} - D l_{\text{дон}} = 822.74 \times 0.17 = 139.87 \text{ 吨-米}$$

$$\therefore M_{\text{дон}} > M_{\text{пр}}$$

証明稳性基本衡准够用。

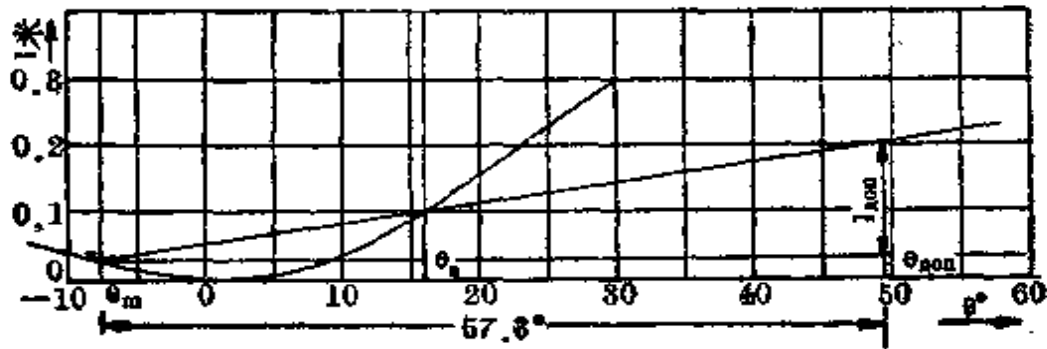


圖 110

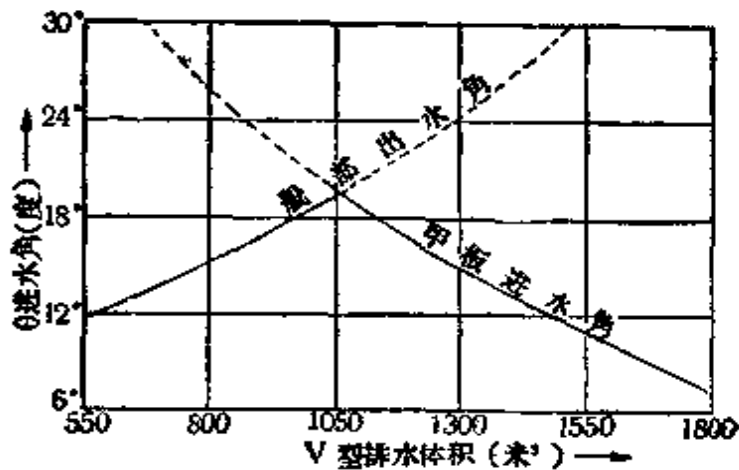


圖 111

重量和重心位置計算表

編 號	項 目	重 量 噸	垂 向		艏 向			
			离 基 綫		艏 前 (-)		艏 后 (+)	
			力 臂 米	力 矩 噸-米	力 臂 米	力 矩 噸-米	力 臂 米	力 矩 噸-米
1	空 船	822.74	4.953	4075.398			1.751	1441.26
2	燃 煤	80.00	2.120	169.600	6.30	504.0		
3	爐 水	18.00	0.400	7.200	15.10	271.8		
4	滑 水	16.00	0.400	6.400	10.80	172.8		
5	滑 水	23.00	2.050	47.150			1.720	39.560
6	遮 水 柜 水	3.00	11.50	34.50			0.650	1.950
7	潤 滑 油	1.80	4.40	7.92			11.05	19.89
	(一) 主甲板							
8	船員24人每人重 150公斤	3.6	5.1	18.36	24.9	89.34		
9	船員24人	3.6	4.75	17.1	9.95	35.82		
10	旅客113人每人 90公斤	10.17	4.80	48.816			24.7	251.2
	(二) 上甲板							
	旅客180人	16.2	7.35	119.07	20.6	333.72		
	旅客92人	8.28	7.10	58.788	7.7	63.756		
	旅客96人	8.64	7.05	60.912			15.15	130.896
14	旅客262人	23.58	8.35	220.47			18	424.44
15	母子室50人(連 小孩每人100公斤)	5.00	7.10	35.5			19.65	98.25
	(三) 遮陽甲板							
16	旅客190人	17.1	9.55	163.3	20.1	343.71		
17	旅客92人	8.28	9.35	77.418	7.8	64.584		
	(四) 駕駛甲板							
18	旅客4人	0.36	11.6	4.176	13.5	4.86		
19	高級船員10人	1.50	9.60	14.40	20	30		
20	第一貨艙	64	2.0	12.8	21.54	1378.56		
21	第二貨艙	58	2.0	11.6	13.4	777.2		
22	前甲板間貨艙	20	4.6	92	17.5	350		
23	第三貨艙	78	2.0	156			14.5	1131.0
24	后甲板間貨艙	20	4.5	90			14.7	294

續上表

編 號	項 目	重 量 噸	垂 向		縱 向			
			高 基 綫		艏 前 (-)		艉 后 (+)	
			力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米
25	郵 件 行 李	20	2.2	44			23.2	464
26	雜 貨	25	11.5	287.5			20	500
27	雜 貨	15	6.5	97.5			8	120
28	各 品 及 其 他	9.5	3.8	36.10	1.94	15.61		
	共 計	1380.35	4.515	8233.579			0.348	480.24

2. 滿載出港情況

重量 $W=1380.35$ 噸;總排水量 $\Delta=1380.35$ 噸;平均吃水 $T=2.80$ 米;重心縱向位置 $X_g=0.348$ 米;重心垂向位置 $KG(Z_g)=4.515$ 米;浮心縱向位置 $X_c=0.348$ 米;橫穩心高基綫 $KM=6.74$ 米;初穩性高 $GM=KM-KG=2.225$ 米;縱傾力臂 $l=X_g-X_c=0.348-0.348=0$;因而縱傾力矩 $l \times \Delta$ 和 M_0 及縱傾值 \pm 等 $=0$ 即: 艏吃水 = 艉吃水 $=T=2.8$ 米

1) 基本衡准穩性計算

滿載出港時型排水體積為 1375 米^3 , 利用該值查圖 108 得各不同傾角時的 SZ 值。

虛重心 S 離基綫垂距 $KS=2.8$ 米虛真兩重心間距 $GS=KG-KS=4.515-2.8=1.715$ 米

$$\frac{1}{2} \times \Delta \theta = 0.0524$$

橫傾角 θ°	SZ	$\sin\theta$	(3) \times GS	GZ (2) $-$ (4)	(5) 之積 分 和	$\frac{1}{2} \times \Delta\theta \times (6)$
1	2	3	4	5	6	7
6°	0.410	0.1045	0.1792	0.2308	0.2308	0.0121
12°	0.740	0.2079	0.3566	0.3834	0.8450	0.0443
18°	0.882	0.3090	0.5298	0.3521	1.5805	0.0828
24°	0.925	0.4067	0.6975	0.2275	2.1601	0.1132
30°	0.870	0.5060	0.8575	0.0125	2.4001	0.1258

根据本情况吃水 $T=2.80$ 米；查图109得到：

$$S=594 \text{ 米}^2 ;$$

$$Z_u=7.35 \text{ 米}$$

又因 $Z_g=4.515$ 米；

$$\frac{B}{T} = \frac{12.5}{2.8} = 4.464$$

查标准的表1得： $a_1=-0.282$

$$\frac{Z_g}{B} = \frac{4.515}{12.5} = 0.3612$$

查标准的表2得 $a_2=0.76$

$$Z=Z_u - a_1 T - a_2 Z_g = 7.35 + 0.282 \times 2.80 - 0.76 \times 4.515 = 4.708 \text{ 米}$$

$$Z_1=Z_u - T = 7.35 - 2.80 = 4.55 \text{ 米}$$

查标准的表3得 $P_R=365$ 公斤/米²

$$M_{sp}=0.001 P_R S Z = 0.001 P_R \times 36.5 \times 594 \times 4.708 = 102.20 \text{ 吨-米}$$

$$n_0 = \frac{h_0}{\sqrt[3]{D}} = \frac{2.225}{\sqrt[3]{1380.35}} = \frac{0.225}{11.12} = 0.2$$

查标准的表4得出： $m_1=1.5$

$$\frac{n_0}{\frac{Z_g}{B}} = \frac{0.2}{0.3612} = 0.554$$

查标准的表 5 得出: $n_1 = 0.983$

$$n_2 = n_1 \sqrt{h_0} = 0.983 \sqrt{2.225} = 1.475$$

查标准的表 6 得出: $m_2 = 1.780$

$$n_3 = n_2 \sqrt[3]{D} = 1.475 \sqrt[3]{1380.35} = 16.40$$

查标准的表 7 得出: $m_3 = 2.15$

$$\begin{aligned} \theta_m &= m_1 m_2 m_3 \\ &= 1.50 \times 1.78 \times 2.15 = 5.74 \text{度} \end{aligned}$$

将上述所算得的 l 結合計算橫搖振幅 5.74° 繪成动稳性曲綫图, 見图112。

再利用已查知的型排水体积去查图111临界进水角曲綫簇, 得悉甲板进水角 $\theta_a = 14^\circ$, 一同繪在图112上。

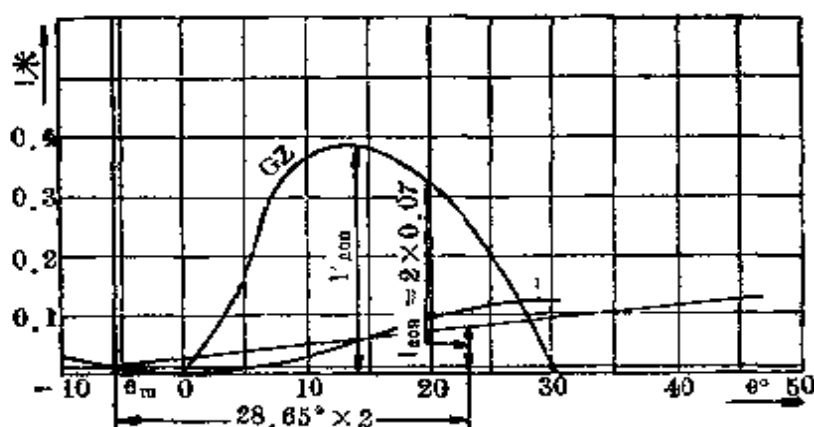


图 112

查图112, 可知动抗倾力臂 $l_{дон}$

$$l_{дон} = 0.14 \text{米}$$

$$M_{дон} - D l_{дон} = 1380.35 \times 0.14 = 193.249 \text{吨-米}$$

∴ $M_{кр}$ 已算知为 102.20 kg/M^2

∴ $M_{дон} > M_{кр}$

∴ 証明稳性基本衡准在本情况下是够用的。

2) 滿載出港时, 在既定迴航并計入旅客集于一舷的靜傾側情况下的稳性附加計算

(1) 旅客聚集于一舷:

計算是依照标准的 § 22 規定进行。

重心离船体縱中綫的水平距离都以各层甲板一舷旅客集結的平均重心計算。

項 目	重 量 噸	Z_g 米	对基綫力 矩 噸-米	重心离縱 中綫距 X_g 米	力 矩 噸-米
1	2	3	4 = 2 × 3	5	6 = 2 × 5
駕駛甲板 4 人	0.26	11.6	3.016	5.5	1.430
遮陽甲板 450 人	28.25	9.45	276.413	5.5	160.875
遮陽甲板 94 人	6.11	9.35	57.129	4.5	27.50
上 甲 板 113 人	34.515	7.20	248.508	5.5	189.833
合 計	70.135	8.36	585.063		379.638

旅客集于一舷的傾側力矩 M_{II} :

$$M_{II} = 379.638 \text{ 噸-米}$$

正常状况下旅客重心位置

項 目	重 量 噸	Z_g 米	力 矩 噸-米
1	2	3	2 × 3 = 4
駕駛室甲板 4 人	0.26	11.6	3.016
遮陽甲板 190 人	12.35	9.55	117.943
遮陽甲板 92 人	5.98	9.35	55.913
遮陽甲板 262 人	17.030	9.35	159.231
上 甲 板 180 人	11.70	7.35	85.895
92 人	5.88	7.10	42.458
96 人	8.24	7.05	43.992
50 人	3.25	7.10	23.075
主 甲 板 113 人	7.345	4.80	36.258
共 計 1079 人	70.135	8.08	566.879

旅客因集結一舷对初稳性高的影响:

正常状态时力矩 $M_1 = WZ_g = 70.135 \times 8.08 = 566.879$ 吨-米
 集結一舷时力矩 $M_2 = 70135 \times 8.36 = 585.066$ 吨-米

$$\delta h = \frac{M_2 - M_1}{\Delta} = \frac{585.066 - 566.879}{1380.35} = \frac{18.187}{1380.35} = 0.0132 \text{ 米}$$

(δh 是初稳性高之影响值)

$$h = 2.225 - 0.0132 = 2.212 \text{ 米}$$

旅客集于一舷时的傾側力矩 M_n :

$$M_n = 379.638 \text{ 吨-米}$$

(2) 船舶进入既定迴航时的傾側力矩 M_u

$$M_u = C \frac{\Delta}{L} V^2 (Z_g - a_3 T)$$

$$C = 0.019$$

$$V = 12.3 \times 0.514 = 6.32 \text{ 米/秒}$$

$$\therefore \frac{B}{T} = 4.464$$

$$Z_g = 4.515$$

查标准的表10得 $a_3 = -0.9$

$$M_u = 0.019 \times \frac{1380.35}{67.5} \times (6.32)^2 (4.515 + 0.9 \times 2.8)$$

$$= 0.019 \times 20.45 \times 40 \times 7.035 = 109.34 \text{ 吨-米}$$

$$M_n + M_u = 379.638 + 109.34 = 488.978 \text{ 吨-米}$$

根据图112, 查得靜稳性力臂 $l'_{\text{доп}}$ 为:

$$l'_{\text{доп}} = 0.385 \text{ 米}$$

$$M'_{\text{доп}} = \Delta l'_{\text{доп}} = 1380.35 \times 0.385 = 531.44 \text{ 吨-米}$$

$$M'_{\text{доп}} > M_n + M_u$$

証明在这情况下稳性是安全的:

3) 旅客集于一舷而受风力作用时的稳性計算

由于受风面积中心在实际水綫上已超过 2 米, 即 $Z_x = 4.55$ 米, 所以应根据标准的 § 26 进行下述試算:

风压静力作用下的倾侧力矩 M_B 为:

$$M_B = 0.001 P_0 S (Z_H - a_3 T)$$

$$P_0 = 0.35 P_K = 0.35 \times 36.5 = 12.775 \text{ 公斤/米}^2$$

$$M_B = 0.001 \times 12.775 \times 594 (7.35 + 0.9 \times 2.8)$$

$$= 0.001 \times 7589.35 \times 9.87 = 74.91 \text{ 吨-米}$$

$$M_H + M_B = 379.638 + 74.91 = 354.55 \text{ 吨-米}$$

$$\therefore M'_{\text{дон}} = 531.44 \text{ 吨-米}$$

$$\therefore M'_{\text{дон}} > M_H + M_B$$

証明在本情况下稳性安全够用。

4) 旅客集于一舷的倾角 θ_1 校核

$$\tan \theta_1 = \frac{M_H}{\Delta h} = \frac{379.638}{1380.35 \times 2.212} = 0.124$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} 0.214$$

$$\therefore \theta_1 = \tan^{-1} 0.214$$

既定迴航角 θ_2 校核

$$\theta_2 = 1.4 \frac{V^2}{hL} \left(Z_g - \frac{T}{2} \right)$$

$$= 1.4 \times \frac{6.32^2}{2.212 \times 67.5} \left(4.515 - \frac{2.8}{2} \right)$$

$$= 1.4 \times 0.27 \times 3.115 = 1.18^\circ$$

$$\theta'_{\text{дон}} = \theta_1 + \theta_2$$

$$\text{而} \quad \theta_1 + \theta_2 = 7.2 + 1.18 = 8.38^\circ$$

$$\therefore \theta'_{\text{дон}} < 15^\circ$$

所以証明符合标准的 § 25 所規定内容。

3. 无貨, 但带 10% 儲备及燃料, 滿客时情况

重量和重心位置計算

編號	項目	重量 噸	垂 向		縱 向			
			離 基 綫		艏 前 (-)		艉 后 (+)	
			力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米	力臂 米	力 矩 噸-米
1	空 船	822.74	4.953	4075.40			1.251	1141.25
2	煤	27	1.50	40.5	6.30	170.1		
3	爐 水	6	0.20	1.2	15.1	90.6		
4	清 水	13	0.30	3.9	10.8	140.4		
5	濾水柜水	3	11.5	34.5			0.65	1.95
6	潤 滑 油	18	4.4	7.92			11.05	19.89
	(一)主甲板							
7	船員24人	3.6	5.1	18.36	24.9	89.64		
8	船員24人	3.6	4.75	17.1	9.95	35.82		
9	旅客113人	10.17	4.80	48.816			24.7	251.20
	(二)上甲板							
10	旅客180人	16.20	7.35	119.07	20.6	333.72		
11	旅客92人	8.28	7.10	58.788	7.7	63.758		
12	旅客96人	8.64	7.05	60.912			15.15	130.896
13	母子室50人	5.00	7.10	35.500			19.65	93.250
	(三)遮陽甲板							
14	旅客190人	17.1	9.55	163.3	20.1	343.71		
15	旅客92人	8.28	9.35	77.418	7.8	64.584		
16	旅客262人	23.58	9.35	220.17			18.0	424.44
	(四)駕駛甲板							
17	旅客4人	0.36	9.45	3.40	13.5	4.86		
18	高級船員10人	1.50	9.60	14.40	20.0	30.0		
19	郵件行李	20.0	2.20	4.40			23.20	464.00
20	雜 貨	25.0	11.50	287.5			20.00	500.00
21	雜 貨	1.50	6.50	9.75			8.00	12.00
22	各品及其他	9.50	3.80	3.61	1.64	15.61		
	共 計	1035.85	5.16	5345.813			1.893	1961.086

船舶重量 $\mathcal{M} = 1035.85$ 噸;

总排水量 $\Delta = 1035.85$ 噸;

吃水 T (查船性曲綫圖決定) $= 2.26$ 米;

重心縱向位置 $X_g = 1.893$ 米;

重心垂向位置 $Z_g = 5.16$ 米;

浮心縱向位置 $X_c = -0.42$ 米 (舳前);

漂心縱向位置 $X_f = 1.5$ 米;

橫穩心離基綫高 $KM = 7.3$ 米;

初穩性 $GM = KM - Z_g = 7.3 - 5.16 = 2.14$ 米;

每厘米縱傾力矩 $M_c = 19.63$ 噸-米。

以上 X_c 、 X_f 、 M_c 、 KM 都在靜水船性曲綫上以 $T = 2.26$ 米查得。

縱傾:

縱傾力臂 $l = X_g - X_c = 1.893 + 0.42 = 2.313$ 米;

縱傾力矩 $l \times \Delta = 2.313 \times 1035.85 = 2395.92$ 噸-米;

縱傾值 $\epsilon = \frac{l \times \Delta}{100 \times M_c} = 1.217$ 米;

艏吃水 $T_H = T - \left(-\frac{1}{2} + \frac{X_f}{L} \right) \epsilon = 2.26 - \left(0.5 + \frac{1.5}{67.5} \right) 1.217$
 $= 1.624$ 米

艉吃水 $T_K = T + \left(0.5 - \frac{1.5}{67.5} \right) \times 1.217 = 2.841$ 米

1) 有客無貨到港情況穩性的基本衡准計算

此時型排水體積為 1031 米³。利用該值查圖 108 得諸橫傾角值時的

82。

虛重心 S 距基綫 $KS = 2.8$ 米

虛與兩重心垂間距 $GS = KG - KS = 5.16 - 2.8 = 2.36$ 米

列表計算

根據本情況吃水 $T = 2.26$ 米, 查圖 109 得到

$$S = 626.5 \text{ 米}^2$$

$$Z_H = 7.04 \text{ 米}$$

因 $Z_g = 5.16$ 米

橫傾角 θ°	SZ	$\sin\theta$	$SZ \times (3)$	GZ (2)-(4)	(5)之 分 和	$\frac{l}{2} \Delta\theta \times (6)$
1	2	3	4	5	6	7
6°	0.446	0.1045	0.247	0.199	0.199	0.0104
12°	0.864	0.2079	0.490	0.374	0.772	0.0404
18°	1.221	0.3090	0.729	0.492	1.638	0.0858
24°	1.347	0.4067	0.960	0.387	2.517	0.1319
30°	1.335	0.5000	1.180	0.155	3.058	0.1603

$$\frac{B}{T} = \frac{12.5}{2.26} = 5.52, \quad \frac{Z_g}{B} = \frac{5.16}{12.5} = 0.413$$

查标准的表 1 及表 2，分別得到：

$$a_1 = -0.57$$

$$a_2 = 0.70$$

$$Z = Z_n - a_1 T - a_2 Z_g = 7.04 + 0.57 \times 2.26 - 0.70 \times 5.16 = 4.72 \text{ 米}$$

$$Z_r = Z_n - T = 7.04 - 2.26 = 4.78 \text{ 米}$$

以上查标准的表 3，得 $P_x = 37.1 \text{ 公斤/米}^3$

$$M_{kp} = 0.001 P_x SZ = 0.001 \times 37.1 \times 626.5 \times 4.72 = 110 \text{ 吨-米}$$

$$n_0 = \frac{h_0}{\sqrt[3]{D}} = \frac{2.14}{\sqrt[3]{1035.85}} = 0.21$$

查标准的表 4 得出：

$$m_1 = 1.524$$

$$\frac{n_0}{\frac{Z_g}{B}} = \frac{0.21}{0.413} = 0.508$$

查标准的表 5 得出：

$$n_1 = 1.08$$

$$n_2 = n_1 \sqrt{h_0} = 1.08 \sqrt{2.14} = 1.59$$

查标准的表 6 得出:

$$m_2 = 1.65$$

$$n_3 = n_2 \sqrt[3]{D} = 1.59 \sqrt[3]{1035.85} = 16.218$$

查标准的表 7 得出:

$$m_g = 2.19$$

$$\theta_m = m_1 m_2 m_3 = 1.524 \times 1.65 \times 2.19 = 5.507 \text{ 度}$$

將上述所算得的力臂 l 值結合計算橫搖擺幅繪成動穩性曲線如圖113。

又利用型排水体积查临界进水角曲线图(111)得趾部出水角是 $\theta_n = 19^\circ$ 。将这一极限值一併繪在图113上。

查图113得出动抗倾力臂 l_{107} 为:

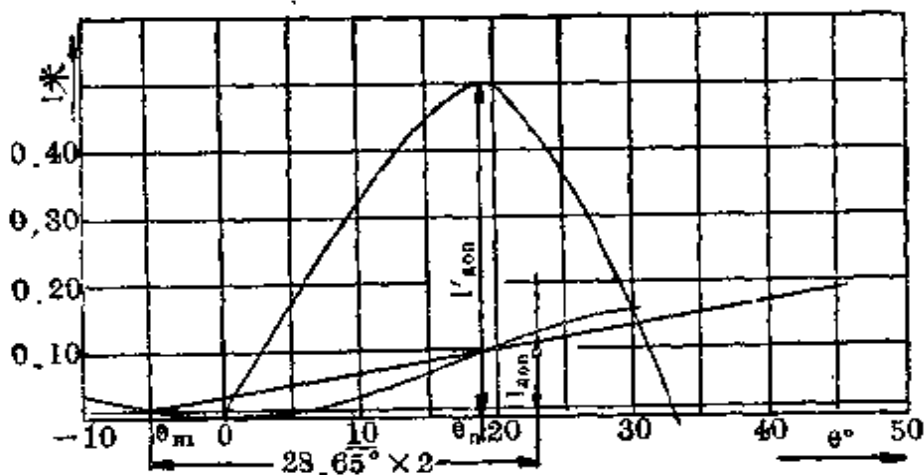


图 113

$$l_{\text{管口}} = 0.20 \text{ 米}$$

$$M_{\text{土油}} = \Delta I_{\text{土油}} = 1035.85 \times 0.20 \text{ 米} = 207.17 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad M_{\text{don}} > M_{\text{kr}}$$

所以証明穩性是够用的

2) 在本裝載情況下，對既定迴航并計入旅客集于一舷的靜傾側情況下的穩性附加計算；

(1) 旅客集結一舷

計算按標準的 § 22 規定進行。

項 目	重 量 噸	Z_g 米	基綫力矩 噸-米	X_g 米	縱中綫力矩 噸-米
1	2	3	4=2×3	5	6×2×5
駕駛甲板4人	0.26	11.6	3.016	5.50	1.430
遮陽甲板450人	29.25	9.45	276.413	5.50	160.875
遮陽甲板94人	6.11	8.35	57.129	4.50	27.50
上甲板113人	34.515	7.20	248.508	5.50	189.833
合 計	70.135	8.36	585.068		379.638

重心离船体縱中綫的水平距离都以各层甲板一舷旅客集結的平均重心进行計算。

得出 $M_n = 379.638$ 吨-米

又旅客集結一舷时的初稳性:

項 目	重 量 噸	Z_g 米	对基綫力矩 噸-米	初 穩 性 米
1	2	3	4=2×3	5
滿客无災10%儲备	1035.85	5.16	5345.813	2.14
正常状态时的旅客	-70.135	8.08	-566.879	
一舷集結时的旅客	70.135	8.36	585.066	
合 計	1035.85	5.18	5364	2.12

(2) 船舶进入既定迴航时的傾側力矩 M_u

$$M_u = C \frac{\Delta}{L} V^2 (Z_g - c_3 T)$$

$C=0.019$ ，見标准的 § 23 規定

$V=6.32$ 米/秒

$$\frac{B}{T} = \frac{12.5}{2.26} = 5.52$$

$Z_g=5.16$ 米

查标准的表10得,

$$a_3 = -1.875$$

$$M_n = 0.019 \times \frac{1035.85}{67.5} \times 6.32^2 (5.16 + 1.875 \times 2.26)$$

$$= 0.019 \times 15.16 \times 40 \times 9.41 = 108.55 \text{ 吨-米}$$

$$M_H + M_n = 379.638 + 108.55 = 488.188 \text{ 吨-米}$$

又在图113上查得静稳性力臂 $l_{\text{доп}}$

$$l_{\text{доп}} = 0.5 \text{ 米}$$

$$M'_{\text{доп}} = \Delta l'_{\text{доп}} = 1035.85 \times 0.5 = 517.925 \text{ 吨-米}$$

因 $M'_{\text{доп}} > M_H + M_n$, 所以証明安全。

(3) 旅客集結一舷而受风力作用时的稳性計算

由于 $Z_1 = 4.78$ 米已超过 2 米, 根据标准的 § 26 进行校核:

$$M_B = 0.901 P_c S (Z_{11} - a_3 T)$$

$$P_c = 0.35 P_d = 0.35 \times 37.1 = 12.985 \text{ 公斤/米}^2$$

$$M_B = 0.001 \times 12.985 \times 626.5 (7.04 + 1.875 \times 2.26)$$

$$= 0.001 \times 12.985 \times 626.5 \times 11.278 = 91.85 \text{ 吨-米}$$

$$M_H + M_B = 379.638 + 91.85 = 471.488 \text{ 吨-米}$$

$$\therefore M'_{\text{доп}} > M_H + M_B$$

所以証明安全稳性够用

(4) 旅客集于一舷的傾角 θ_1 校核

$$\tan \theta_1 = \frac{M_n}{\Delta h} = \frac{379.638}{1035.85 \times 2.12} = 0.173$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} 0.173 = 9.78^\circ$$

圓航时傾角 θ_2 校核

$$\theta_2 = 1.4 \frac{V^2}{hL} \left(Z_g - \frac{T}{2} \right) = 1.4 \times \frac{6.32^2}{2.12 \times 67.5} \left(5.16 - \frac{2.26}{2} \right)$$

$$= 1.4 \times 0.28 \times 5.03 = 1.972^\circ = 2^\circ$$

$$\theta'_{\text{доп}} = \theta_1 + \theta_2$$

$$\theta_1 + \theta_2 = 11.78^\circ$$

$$\theta'_{\text{дон}} < 15^\circ$$

所以符合标准的 § 25 所述内容。

4. 破舱稳性应予校核，以便能符合标准的 § 28 的规定。

演算例子从略。

五、倾斜试验报告实例

红专三号蒸汽拖轮倾斜试验报告

主要尺度	船 长 $L 28m$	型 宽 $B 7m$	型 深 $D 3.5m$	
試驗時間	1960年8月16日14时开始至17时結束			
試驗地点	草鞋峽三号码头			
天气情况	晴天，1級風，靜力，室外温度 $30^{\circ}C$			
試驗主持者	船厂設計科			
試驗参加者	稳船单位、船舶所有人、船厂主管工程师			
船 只 情 况	1. 船側向碼頭，船首向流水； 2. 繫纜系繩有足夠松馳使船內边傾斜无妨碍； 3. 鍋爐处于工作状态； 4. 船舶有原始左傾約 0.5° ； 5. 水密度 $\gamma=1.00$ 。			
試驗开始时 之吃水		右 舷	左 舷	平 均
	艏 舯	2.52M	2.52M	2.52M
	艉	2.71M	2.73M	2.72M
試驗时船舶的平均吃水为2.62M。 按水面情况估計，吃水測量誤差 $\pm 0.005M$				
船舶的載重 情况	1. 除預先平齐裝于煤艙的燃煤外，船舶为空載的状态； 2. 在机爐艙內，用泵排水并以桶清除后，尚留有水，其高出龍骨为5cm； 3. 測量煤艙結果，左艙有煤5.60噸，右艙有煤4.36噸； 4. 船上缺右鏈及右錨鍊，以同样重量的船尾錨代替右艙之錨。			

傾斜壓載總重為1544公斤，分成四組，它們的移動力臂均相同，即 $l=3.56M$					
左 舷			右 舷		
第一組	重 量	0.385噸	第三組	重 量	0.393噸
	位 置	16~18號肋骨處		位 置	18~20號肋骨處
	重 心	基綫上3.30M		重 心	基綫上3.30M
第二組	重 量	0.375公噸	第四組	重 量	0.391公噸
	位 置	48~50號肋骨處		位 置	50~52號肋骨處
	重 心	基綫上3.00M		重 心	基綫上3.00M
測 錘 位 置	№ 1	位於艏首	計 算 長 度	$L_1=2960$ 毫米	
	№ 2	位於艏艙		$L_2=3060$ 毫米	
	№ 3	—		$L_3=$ —	

試驗時船上多余之載量計算，系根據實際測量和計算，按總布置圖填入下表之中。試驗時船上缺少之載重計算亦同下表的步驟。

橫剖面間距： $h=1.234$ （米）

型排水體積 $V=1.234 \times 123.75=152.5$ （米³）

重量排水量 $\Delta=K_r V=1.006 \times 1.00 \times 152.5=153.2$ （噸）

K 是附屬體系數

浮心距艏的距离〔艏前（+）艏后（—）〕：

$$X_c = \frac{h \times \Sigma(6)}{\Sigma(4)} = \frac{1.234 \times (-14.58)}{123.75} = -0.15 \text{ (米)}$$

試驗時可能有的絕對誤差：

$$\epsilon = \sqrt{\frac{\Sigma \epsilon_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Sigma \epsilon_i^2}{6 \times 5}} = \sqrt{\frac{4.83 \times 10^{-8}}{30}} = 0.004 \text{ (米)}$$

n =船舶傾斜次數（不包括原始的位置）試驗的相對誤差百分率，

試驗時船上多余之載量計算

序 号	載重名称	載重位置	重 量 (噸)	力 臂		力 矩	
				基綫上 \bar{z} (米)	距艏(米) X 艏(+) 艉(-)	M_z (4)×(5) (噸-米)	M_x (4)×(6) (噸-米)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	燃 煤	左 煤 艙	5.60	1.96	1.20	10.98	6.72
2	燃 煤	右 煤 艙	4.36	1.92	1.20	8.37	5.23
3	机 油	机 艙 右 側	0.08	3.17	0.60	0.25	-0.05
4	船 員 4 人	船 首 艙	0.30	1.30	6.80	0.54	2.04
5	船 員 3 人	船 尾 艙	0.22	1.80	7.35	0.40	-1.62
6	船 員 1 人	甲板拖纜梁 拱處	0.52	4.10	-3.26	2.15	-1.89
7	船 員 1 人	爐 艙 值 班	0.07	2.25	1.25	0.17	0.09
8	第一測鐘觀 察員 1 人	底層船首甲 板	0.07	6.00	2.30	0.45	0.17
9	第二測鐘觀 察員 2 人	机 艙	0.15	1.50	3.20	0.22	0.48
10	傾斜試驗压 載之物	对称置于甲 板兩舷	1.54	3.15	-0.90	4.85	-1.39
							+14.73
							- 4.77
	总 計		12.91			28.36	+9.98

試驗時船上缺少之載重計算

序 号	載重名称	載重位置	重 量 (噸)	力 臂		力 矩	
				基綫上 \bar{z} (米)	距艏(米) X 艏(+) 艉(-)	M_z (4)×(5) (噸-米)	M_x (4)×(6) (噸-米)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	鋼絲繩	在甲板上 拖纜拱梁之 前	0.48	3.23	0	1.49	0
2	右鐵鍊	鉛鍊艙	0.87	0.98	9.95	0.85	8.30
	总 計		1.33			2.34	8.30

移动力矩及傾側力矩的計算

序 号	重量及位置(噸)		移 动 重 量 (噸)	移动 力臂 (米)	移动力矩 (噸·米)	傾 斜 力 矩	
	左 舷	右 舷				自右至左舷 (噸·米)	自左至右舷 (噸·米)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.385 0.375	0.393 0.391	0	0	0	0	0
2	0 0.375	0.385 0.393 0.391	0.385	+3.56	+1.37	—	1.37
3	0 0	0.375 0.385 0.393 0.391	0.375	+3.56	+1.33	—	2.70
4	0 0.375	0.385 0.393 0.391	0.375	-3.56	-1.33	—	1.37
5	0.385 0.375	0.393 0.391	0.385	-3.56	-1.37	0	0
6	0.393 0.385 0.375	0 0.391	0.393	-3.56	-1.40	1.40	—
7	0.391 0.393 0.385 0.375	0 0	0.391	-3.56	-1.39	2.79	—
8	0.393 0.385 0.375	0 0.391	0.391	+3.56	-1.39	1.40	—
9	0.385 0.375	0.393 0.391	0.393	+3.56	+1.40	0	0

- 注：1.移动力臂自左至右为正值，自右至左为負值；
 2.移动力矩为表中（4）×（5）之積；
 3.傾側力矩每項的具体数字为（6）項自上而下之总和。

測錘的讀數:

觀察 序 號	第一測錘										位置: 船首低層甲板	
	長度 $L=2960$ 毫米										觀察員: ×××	
	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	總 和	平均值
1	195	205	197	202	193	202	199	201	199	202	2000	200
2	260	270	260	274	265	271	266	270	267	269	2680	268
3	333	339	333	339	334	338	335	337	335	337	3360	336
4	365	271	265	270	266	270	267	270	267	269	2680	268
5	194	199	195	197	195	197	196	196	196	196	1960	196
6	128	132	128	132	129	131	129	131	130	130	1300	130
7	64	70	65	70	65	69	65	68	69	69	671	67
8	131	135	132	135	132	134	132	133	133	133	1330	133
9	201	205	202	205	202	204	203	204	203	203	2032	203

測錘的讀數:

觀察 序 號	第二測錘										位置: 機艙內	
	長度 $L=3060$ 毫米										觀察員: ×××	
	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	總 和	平均值
1	185	188	184	186	184	186	184	186	184	185	1848	185
2	264	266	264	266	264	266	265	265	265	265	2650	265
3	340	343	341	343	341	343	341	343	341	343	3419	342
4	263	266	264	266	264	266	265	265	264	265	2648	265
5	184	186	185	186	184	186	184	186	185	185	1851	185
6	105	108	106	109	106	108	106	108	106	108	1070	107
7	33	35	33	35	32	35	33	35	33	35	339	34
8	112	116	113	115	113	115	113	114	113	115	1139	114
9	191	177	192	196	193	195	194	195	193	195	1941	194

傾斜角度 θ 計算

观察 序号	第一測鐘 $L_1=2860$ 毫米					第二測鐘 $L_2=3080$ 毫米					θ 平均值 $\tan\theta = -\frac{1}{2} \times$ (10)
	測鐘的 讀數 (毫米)	原始的平 均值 (毫米)	擺 距 (2)-(3) (毫米)	$\tan\theta$ (4) $\frac{L}{L_1}$	測鐘的讀數 (毫米)	原始的平 均值 (毫米)	擺 距 (2)-(3) (毫米)	$\tan\theta$ (8) $\frac{L}{L_2}$	(5)+(9)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	200	200	—	0	185	188	—	0	0	0	
2	268	200	68	0.0230	265	188	77	0.0252	0.0482	0.0241	
3	366	200	166	0.0480	342	188	154	0.0503	0.0963	0.0481	
4	268	200	68	0.0230	265	188	77	0.0252	0.0482	0.0241	
5	196	200	—	0	185	188	—	0	0	0	
6	130	200	-70	-0.0236	107	188	-81	-0.0265	-0.0501	-0.0250	
7	87	200	-133	-0.0440	34	188	-184	-0.0503	-0.0952	-0.0476	
8	133	200	-67	-0.0226	114	188	-74	-0.0242	-0.0468	-0.0234	
9	203	200	—	0	194	188	—	0	0	0	

注: $\tan\theta$ 的正值为向右傾斜, 負值为向左傾斜。

按邦琴曲线计算排水量:

自舳至 艏横剖面	横剖面面积 (米 ²)		和 数	差 数	积 数
	舳	艏	(2)+(3)	(2)-(3)	(1)×(5)
1	2	3	4	5	6
0	8.85	—	8.85	0	0
1	8.85	8.85	17.70	0	0
2	8.62	8.81	17.43	-0.19	-0.38
3	8.24	8.50	16.74	-0.26	-0.78
4	7.65	8.06	15.71	-0.41	-1.64
5	6.94	7.26	14.20	-0.32	-1.60
6	5.97	6.24	12.23	-0.27	-1.62
7	4.73	5.09	9.87	-0.31	-2.17
8	3.36	3.81	7.17	-0.45	-3.63
9	1.77	2.08	3.85	-0.31	-2.79
10	0	0	0	0	0
总 和			123.75		-14.58
修 正			0		0
最后值			123.75		-14.58

$$\frac{e}{GM} = \frac{0.004}{0.375} \times 100 = 1.1\%$$

排水量确定的比例误差:

$$\frac{\delta}{\Delta} \times 100 = \frac{r \times S \times r}{\Delta} \times 100 = \frac{1.00 \times 83 \times 0.005}{153.2} \times 100$$

$$= 0.3\%$$

S = 水线面积, 由船性曲线图查得。

根据理论图纸计算的精确度, 采取

$$100 \times \frac{\delta}{\Delta} = 1\%$$

稳心公式误差:

試驗条件下穩心高度的計算：

观察 序号	傾斜力 矩 (噸-米)	$\tan\theta$	乘積 (2)× (3)	$\tan^2\theta$ (3) ²	(2) (3) (噸- 米)	各次試驗 的穩心高 $GM_i =$ $\frac{(b)}{\Delta}$ (米)	各次試驗 之誤差數 (米) $\delta_i = GM_i$ $- GM$	δ_i^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	—	—	—	—
2	1.37	0.0241	0.0330	5.80×10^{-4}	56.8	0.371	0.004	16×10^{-6}
3	2.70	0.0481	0.1300	23.10×10^{-4}	56.1	0.366	0.008	81×10^{-6}
4	1.37	0.0241	0.0330	5.80×10^{-4}	56.8	0.371	0.004	16×10^{-6}
5	0	0	0	0	—	—	—	—
6	1.40	-0.0250	0.0350	6.25×10^{-4}	56.0	0.366	0.008	81×10^{-6}
7	2.70	-0.0476	0.1330	22.70×10^{-4}	58.6	0.363	0.008	64×10^{-6}
8	1.40	-0.0234	0.0327	5.45×10^{-4}	59.8	0.390	0.015	225×10^{-6}
9	0	0	0	0	—	—	—	—
总计			0.3967	69.10×10^{-4}	—	—	—	483×10^{-6}

$$\text{試驗条件下的穩心高 } GM = \frac{1}{\Delta} \times \frac{\Sigma(4)}{\Sigma(5)} = \frac{1}{153.2} \times \frac{0.3967}{69.10 \times 10^{-4}} = 0.375(\text{米})$$

$$\frac{\Delta GM}{GM} \times 100 = 1\%$$

压載物重量衡磅时的誤差：

$$\frac{P}{P} \times 100 = 1\%$$

移动力臂測量之誤差：

$$\frac{\Delta L}{L} \times 100 = 0.5\%$$

試驗的相对总誤差：

$$100 \times \frac{\delta GM}{GM} = 100(1.1 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 0.5) = 4.6\%$$

試驗的绝对总誤差：

40088

$$\delta GM = \pm GM \frac{\delta GM}{GM} = \pm 0.375 \times 0.046 = \pm 0.017 \text{ (米)}$$

根据船性曲线图求出横稳性之高度:

$$KM = 2.84 \text{ (米)}$$

重心在基线上之高度:

$$KG = KM - GM = 2.84 - 0.37 = 2.47 \text{ (米)}$$

以上得出船在试验阶段时的重心位置。

计算船舶设计要求阶段时船重心和稳心位置

序号	载重名称	重量 (吨)	力 臂		力 矩	
			自基线 (米)	自船中 (米)	对基线 (吨-米)	对舢 (吨-米)
1	2	3	4	5	6	7
1	试验状态时的船	153.2	2.47	-0.15	378.0	-23.0
2	多余的载量	12.91			28.98	+ 9.96
3	缺少的载量	1.33			2.34	+ 8.30
	空 船	141.62	2.49	-0.17	352	-24.7

根据静水船性曲线图求出在设计阶段时的横稳性高度:

$$KM = 2.81 \text{ (米)}$$

横稳心高度:

$$GM = KM - KG = 2.81 - 2.49 = 0.32 \text{ (米)}$$

如此, 可以将上述根据试验结果而得出的某设计状态时的 GM 0.32 米, 与理论算得之 GM 相比较, 借以相互印证校核。

压载物移动路线如图10所示。