

海船的稳性与纵倾

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系民主德国格·罗潜原著，通过俄文译本译出。它阐述和研讨了各种类型海轮的稳性及纵倾（吃水差）的一些实际问题。书内较详细地介绍了稳性标准与测定稳性的实验计算方法，理论浅显，文字简明，实例较多，是一本通俗的科技读物，可供广大船员、装卸工人、造船工人和技术员等参考。

海船的稳性与纵倾

人民交通出版社出版

（北京市安定门外和平里）

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

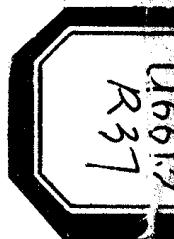
人民交通出版社印刷厂印（北）

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张 $3\frac{1}{4}$ 插页1 字数70千

1972年11月 第1版

1972年11月 第1版 第1次印刷

统一书号：15044·5327 定价（科二）：0.34元



毛主席语录

人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

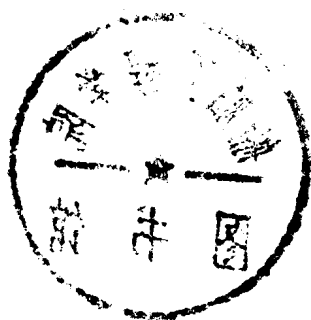
马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。

……学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

目 录

第一章 概 論.....	3
一、浮 性.....	3
二、平均吃水的变量.....	5
三、排水量标尺与载重量标尺.....	6
四、船舶的重心高度.....	10
五、貨物移动时船舶重心高度的变化.....	12
第二章 横稳性.....	14
一、稳性力矩与稳心.....	14
二、用傾斜試驗的方法确定重心高度.....	17
三、靜稳性力臂.....	25
四、靜稳性曲线图.....	29
五、稳性报告.....	36
六、装卸貨物对稳性曲线的影响.....	39
七、液体貨物对稳性的影响.....	46
八、船舶擱浅时的稳性.....	51
九、船舶稳性示例.....	52
第三章 船舶横搖.....	55
一、动稳性.....	55
二、横 搖.....	59
三、测定搖摆周期校验稳性.....	61
四、风 压.....	67
五、风压造成的側傾力矩.....	69

六、波浪特性.....	72
七、船在波浪上的摇摆.....	76
八、人工消摆.....	82
九、风浪对船舶的影响.....	83
第四章 船舶纵倾.....	87
一、纵稳性与纵倾.....	87
二、变动 1 厘米纵倾（吃水差）的力矩.....	90
三、纵倾计算示例.....	91
四、吃水变量图.....	96
附录 I 稳性报告.....	插頁
附录 II 每装卸 100 吨貨物时船首尾吃水变量图表.....	插頁



目 录

第一章 概 論	3
一、浮 性	3
二、平均吃水的变量	5
三、排水量标尺与载重量标尺	6
四、船舶的重心高度	10
五、貨物移动时船舶重心高度的变化	12
第二章 横稳性	14
一、稳性力矩与稳心	14
二、用傾斜試驗的方法确定重心高度	17
三、靜稳性力臂	25
四、靜稳性曲线图	29
五、稳性报告	36
六、装卸貨物对稳性曲线的影响	39
七、液体貨物对稳性的影响	46
八、船舶擱浅时的稳性	51
九、船舶稳性示例	52
第三章 船舶横搖	55
一、动稳性	55
二、横 搖	59
三、测定搖摆周期校验稳性	61
四、风 压	67
五、风压造成的側傾力矩	69

六、波浪特性·····	72
七、船在波浪上的摇摆·····	76
八、人工消摆·····	82
九、风浪对船舶的影响·····	83
第四章 船舶纵倾·····	87
一、纵稳性与纵倾·····	87
二、变动 1 厘米纵倾（吃水差）的力矩·····	90
三、纵倾计算示例·····	91
四、吃水变量图·····	96
附录 I 稳性报告·····	插頁
附录 II 每装卸 100 吨貨物时船首尾吃水变量图表·····	插頁

第一章 概 论

一、浮 性

若要比較各种同体积物质之間的重量，就要用到物质密度这一概念。密度 (γ)，或者是比重，这都是物质的单位体积重量（一立方厘米体积所包含的克数，或者是一立方米体积所包含的吨数）。例如，4°C 时淡水的密度是 1 吨/立方米；海水的密度为 1.015~1.028 吨/立方米，这要看水中所含矿物盐的多寡而定。显然，物质的某部分重量 (γV)，可由該物质的体积 (V) 乘以密度 (γ) 而求得。

根据阿基米德定律，浸入液体的物体，它所失去的重量即等于它所排开的液体重量。由此可得出結論：在淡水中能浮起密度小于 1 克/立方厘米的物体。密度愈小，物体的浸水部分也愈小。例如，軟木塞的密度是 0.25 克/立方厘米，它只有 $\frac{1}{4}$ 的体积浸水。

阿基米德定律还可作出这样的定义：浸入液体的物体，除了重力（物体的重量）外，还有浮力的作用，它等于該物体所排开的液体重量。物体在液体中下沉到浮力与重力相等时为止。

船体并不是同一种类的物体，故密度这一物理概念对它是不适用的。船体的材料主要是鋼，鋼的密度等于水的密度 7.8 倍。但水密船体內部的大部分体积都充滿空气，由于这一緣故，漂浮的条件才能存在。船体浸水部分所排开水体积

的重量等于船重。

物体的重量，如本例中的船重（图 1），可当作它集中于 G 这一点，而排开的水重则可当作它集中于 C 这一点，于是，在这两点上就能作出两个方向相反的力：在重心 G 处，作用着的是重力（船重），它的方向垂直向下，而在浮心 C 处，起作用的则是浮力，它等于船体排开的水重，方向是垂直向上。

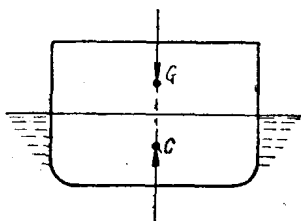


图 1

船体倾斜时，它的重心位置并不变动，而浮心则移向倾斜的一方。

船舶要处于平衡状态须保持有下列二个条件：

（1）重力与浮力必须相等。若浮力小于或大于重力，则船体就要相应地沉至或浮至该二力保持相等时为止。

（2）重力与浮力必须作用在同一根垂线上，即重心与浮心应当处在同一垂直线上。若重心与浮心不在同一垂直线上，则平衡状态就要遭到破坏而产生迴转力矩。它可能会出现这样两种情况（图 2）：

第一种情况（图 2a），浮心离开重心移向船舶倾斜的一方。在此情况下，恢复力矩作用于船舶。在此力矩的作用下，船舶向倾斜的反方向回复，直至浮心与重心同处于一垂直线上时为止。

第二种情况（图 2b），浮心离开重心移向船舶倾斜的反方向。在此情况下，侧倾力矩作用于船舶。船舶在此力矩的作用下，即向倾斜增大的一方旋转，以致浮心不再与重心处于同一垂直线上；既然不能回复到同一垂直线上，于是，

船舶即遭傾覆。

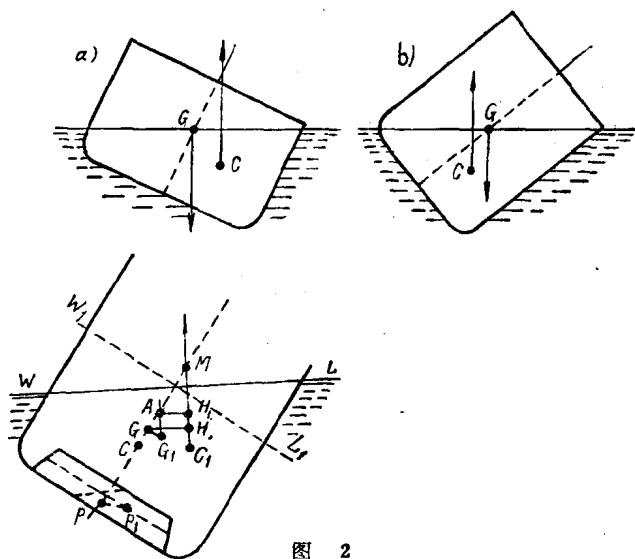


图 2

傾斜成某一角度的船舶回复到原来位置的能力称为稳性。上面談到的两种情况中，图 2a 为正稳性，图 2b 为負稳性。

若把浮心当作支点，則产生恢复力矩的条件（即正稳性的条件）可这样构成：船舶傾斜时，如浮力与中线平面的交点处在重心之上，則在此情况下，重力与浮力所形成的力矩称为恢复力矩。船舶的重心愈低，它的恢复力矩也就越大。如重心处于浮心之下（例如快艇），則船舶傾斜时，作用于其上的都只是恢复力矩。

二、平均吃水的变量

海水的密度平均等于 1.025 吨/立方米。因此，船舶在

負載相同的情況下（即重量不變），在海水中排開水的容積要比在淡水中排開的為少，也就是，在海水中的吃水要小些。若船舶從淡水中航行到海水中去，它就要上浮。故船舶的裝載若在淡水港進行的，為了使船舶於出海時能達到最大的容許吃水，則應該適當超載。多裝貨物的噸數可由排水量（船舶連同貨物的總重）乘上 0.025（為海水與淡水的密度差）而求得；換言之，超載量為排水量的 2.5%。

（例 1）某輪在一河港的吃水如等於在海水中最大吃水，此時的排水量為 5,600 噸，則該輪在此情況下可適當超載 $5,600 \times 0.025 = 140$ 噸。

由於海船上一般都有淡水和海水的水尺標志，故在實際工作中，沒有必要進行此種計算。船舶在水的含鹽量不大的港口裝貨時也就不需要上述那樣計算了。在此情況下，容許多裝的貨物噸數是以各港口水的密度與海水密度之差求得。各港口的水密度可用比重計測出。

（例 2）某輪在水密度為 1.012 噸/立方米的某港按海水水尺標志的排水量 4,400 噸貨裝載，為使該輪於出海時能達到這一吃水，故船上應適當多裝 $4,400 \times (1.025 - 1.012) = 57$ 噸。

三、排水量標尺與載重量標尺

假如船體下沉部分的體積為已知，則根據阿基米德定律，船舶的重量即可由此體積乘以水的密度而求得。以立方米表示的船體下沉部分的體積稱為排水體積；以噸表示的船舶重量稱為排水噸位，或簡稱排水量。

各個不同水線時的排水體積是根據船舶線型圖用專門的方法和計算公式求得。將各個不同吃水時的排水體積乘以水

的密度，即得該吃水时的排水吨位。排水量与吃水的关系图叫做排水量标尺。

空船（无貨）时的船重通常都是已知的；若在各不同吃水时的排水量中除去空船的船重，則所得之差即为船舶在各該不同吃水时的載重量。載重量与吃水的关系图称为載重量标尺。

淡水与海水中的排水量标尺和載重量标尺都是繪成标尺或曲线图（图 3）。

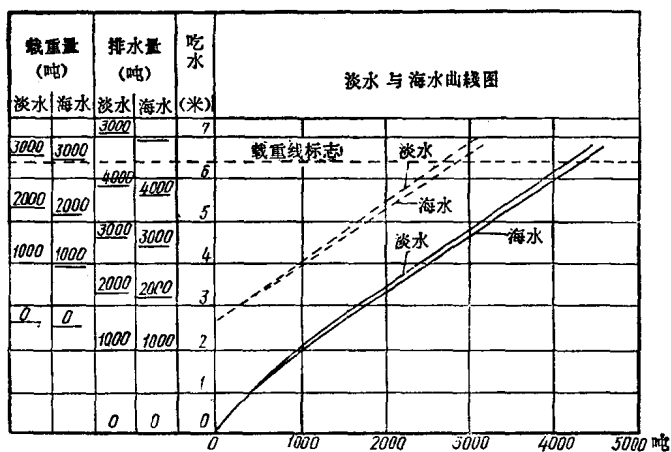


图 3

曲线图和标尺上都标有該轮容許最大吃水的載重线，該載重线以載重线标志形式繪于船舷。从图 3 中可以看出，相应于載重线吃水时的海水排水量为 4,600 吨，載重量为 2,900 吨。假如从船上卸下 300 吨貨物，則平均吃水即降低至 6.10 米。因为 $6.40 - 6.10 = 0.30$ 米 = 30 厘米，这一吃水变量相

当于排水量改变 300 吨，故装卸 $P = \frac{300}{30} = 10$ 吨貨物时，吃

水即改变 1 厘米。这一数值——每厘米吃水的吨数（吨/厘米）——对各个不同吃水来说是不相同的，一般都将它绘成如图 4 所示之标尺。

排水量表尺系按船舶正浮时的吃水算出制成。若船舶首尾有吃水差，则按平均吃水来运用排水量表尺就比较精确。

例如（见图 4）：某轮在淡水中的船首吃水为 5.80 米，

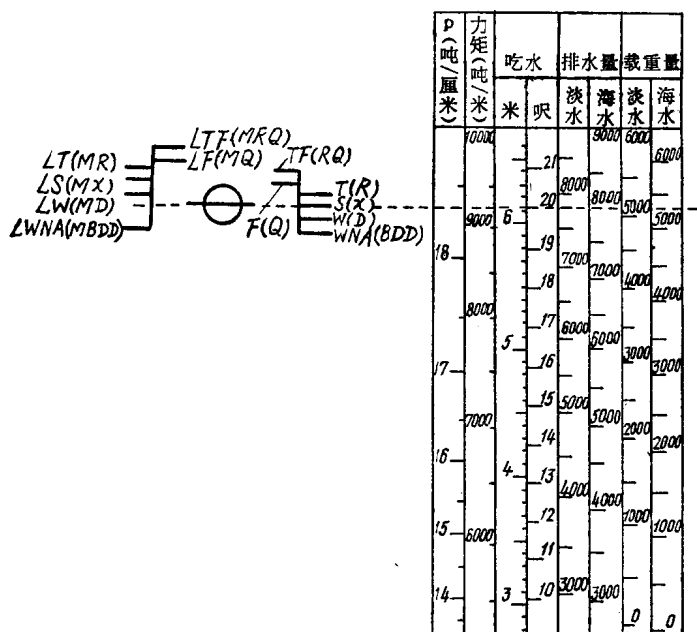


图 4

船尾吃水为 6.00 米。在相应的标尺上查得平均吃水 5.90 米的排水量为 7,430 吨。若以此排水量转换为海水中的吃水，则根据海水的排水量表尺查得吃水为 5.80 米。兹假定在某航次中，在駛抵某港以前，途中共耗去燃料和淡水 150 吨，并

在該港要卸下 200 吨貨物。于是，該輪下次出航时的排水量即为： $4,750 - (150 + 200) = 4,400$ 吨。根据海水的排水量标尺查得这一排水量的相应吃水为 5.61 米。

运用标尺中吃水为 5.80 米时每厘米吃水的吨数 18.1 (吨/厘米)，也可求得同样的结果。即排水量减少 $150 + 200 = 350$ 吨时，吃水减少了 $350 \div 18.1 = 19$ 厘米，便得出相应吃水 $5.80 - 0.19 = 5.61$ 米。

假定該輪在航次中要航行 3,200 浬，航速为 11 节时，淡水和燃料的昼夜消耗量为 21 吨。由于船在一昼夜内共航行 $11 \times 24 = 264$ 浬，故航行时间即为 $3,200 \div 264 = 12$ 昼夜，航行期间淡水和燃料的总耗量就等于： $21 \times 12 = 252$ 吨。今因該輪的每厘米吃水吨数等于 18.1 (吨/厘米)，故平均吃水就要减少 $252 \div 18.1 = 14$ 厘米，也就是抵港时的吃水应为 $5.90 - 0.14 = 5.76$ 米。

注：货轮的船舷两旁也按载重量标尺的相应比例尺绘有载重线标志，它包括“载重线”和“载重线圈”（见图 4）两部分。“载重线”（水平的粗线条）标志是表示船舶航行于各种不同情况下时所容许的最小干舷（显然，每艘船规定的干舷高度都是与一定的吃水相适应的）。载重线标志上的字母*是这样表示的：

T(R)——热带海水中的吃水；

S(X)——夏季海水中的吃水；

W(D)——冬季海水中的吃水；

TF(RQ)——热带淡水中的吃水；

F(Q)——夏季淡水中的吃水。

对于冬季航行于北大西洋区（北纬 36° ）长度小于 100 米的船舶，容许的吃水要小一些，该载重线系以 WNA 表示，它位于 $W(D)$ 这一载重线下方 5 厘米

* . 括号内的字母系中国船舶检验局 1959 年颁布的“海船载重线规范”所规定的汉语拼音字母——译者。

处。

用来装运木材及满足特殊要求的船舶则都有特别高的载重线，标以同样的代号，不过，在其前方另冠以 $L(M)$ 这样一个字母。

载重线圈的水平直径与夏季载重线 S 绘在同一水平线上。

四、船舶的重心高度

上面已经谈到，船舶的稳定程度是以船舶的重心高度决定的。重心愈低，船舶就越稳定，否则就反之。船舶的重心并不是都在同一点上，装卸货时，它的位置就变动。假定装货前的船舶排水量为 D 吨，重心高度为 a_1 米，若装上船的货物是 P 吨，其重心高度为 a_2 米，则货物装入后的船舶排水量就变为 $(D+P)$ 吨，新的船舶重心高度 a 即可按力矩定律自等式 $Da_1 + Pa_2 = (D+P)a$ 中求得。

等式中的 a_1 、 a_2 及 a 均称为力臂；乘积 Da_1 、 Da_2 及 $(D+P)a$ 均称为力矩。力矩定律的定义是：各作用力的力矩之和等于其合力的力矩。

今可将上列等式改列如下：

$$a = \frac{Da_1 + Pa_2}{D + P}$$

若自船上卸出货物时，则式中的符号须写负号，即

$$a = \frac{Da_1 - Pa_2}{D - P}$$

(例 1) 排水量 $D=3,200$ 吨，重心高度为 5.20 米。试问当双层底水舱中注入 50 吨压舱水(其重心高度为 0.4 米)后，船舶的重心高度如何？

答:
$$a = \frac{3,200 \times 5.2 + 50 \times 0.4}{3,200 + 50} = 5.12 \text{米}$$

(例2) 船舶的最初吃水同例1, 但甲板上装有50吨貨物, 貨物的重心高度为9.5米。試問新的船舶重心高度如何?

答:
$$a = \frac{3,200 \times 5.2 + 50 \times 9.5}{3,200 + 50} = 5.27 \text{米}$$

例1与例2都証明: 当貨物装在船舶重心最初位置的下方时, 船舶的重心就降低; 相反地, 如貨物装在船舶重心最初位置的上方时, 船舶的重心即升高。在前者情况下, 稳性是增大了, 在后者情况下, 稳性降低了。

(例3) 某轮排水量为6,500吨, 重心高度为7.75米, 在此状况下, 船舶的稳性是不足的。为了提高稳性, 特将100吨甲板貨移載到双层底的舱底板上。該批貨物原来的重心高度是15米, 移載后的重心高度是1.5米。

如此, 貨物仍在船上, 只不过力矩减少了, 其新的船舶重心高度則为:

$$a = \frac{6,500 \times 7.75 - 100(15 - 1.5)}{6,500} = 7.54 \text{米}$$

(例4) 某轮排水量为2,450吨, 重心高度为4.4米。从重心高度为6.27米的水柜中排出40吨水。水排出后的船舶重心即降至:
$$a = \frac{2,450 \times 4.4 - 40 \times 6.27}{2,450 - 40} = 4.38 \text{米}$$

(例5) 某轮排水量为6,450吨, 重心高度为4.52米。該轮在某港自艙內(重心高度为2.5米)卸出200吨貨物, 而另外在甲板上(重心高度为5米)装上150吨貨物。

該轮出航时的重心高度即为:

$$a = \frac{6,450 \times 4.52 + 150 \times 5 - 200 \times 2.5}{6,450 + 150 - 200} = 4.59 \text{ 米}$$

五、貨物移动时船舶重心高度的变化

在上节例 3 中已談到貨物在高度上的移載情况。由于移載，船舶的重心移向貨物移往的一方。要求船舶重心的移动位置，可由一简单的公式計出。

若 a_2 与 a_3 各为貨物 P 在移載前后的重心高度，則船舶的重心高度可按下式如例 3 中所述求得：

$$a = \frac{Da_1 + P(a_3 - a_2)}{D}$$

現今 $l = a_3 - a_2$ 为貨物的移載距离，如貨物向上移，式中取正号；如向下移，則取負号。新的船舶重心高度可列为 $a = a_1 + x$ ，即列成原先的高度 a_1 加上移动的高度 x 这样一个

形式：

$$a_1 + x = \frac{Da_1 + Pl}{D}$$

因此，可得

$$x = \frac{Pl}{D}$$

这一公式的简便处就是計算 x 时不要求知船舶重心的原来高度。今可用这样一句話来表达这一公式：船舶重心的位移是由貨物的位移构成的，正如移載的貨物为排水量的組成部分一样。

例 3 这一例题現在可这样解出：貨物的移載距离 $l = 1.5 - 15 = -13.5$ 米；船舶重心的移动距离 $x = \frac{100}{6,500}(-13.5) = -0.21$ 米。

新的船舶重心高度 $a = a_1 + x = 7.75 - 0.21 = 7.54$ 米