

SANZHUANGUWU

散装谷物

船舶的稳性

沈同熹 编

人民交通出版社

CHUANBO DE WENXING

散装谷物 船舶的稳性

沈同熹 编

人 民 交 通 出 版 社

1979年·北京

内 容 提 要

本书简述了船舶装运散装谷物时在稳性上所发生的问题和历届国际海上人命安全公约对装运散装谷物船舶的稳性要求，并推荐了各种校核稳性的计算方法及改善稳性的措施，且附有计算实例。此外，对作者根据数年来工作实践，独创的一种简便而准确的计算方法，也作了较为详细的叙述。书中还说明了如何填写各谷物输出国船舶的稳性衡准的计算表格，最后指出了现有的国际海上人命安全公约中对装运散装谷物所存在的问题。

本书可供船舶设计部门、船厂的技术人员、船员，大专院校师生和航运部门的管理人员参考。

散装谷物船舶的稳性

沈 同 熹 编

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

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：5.125 字数：113 千

1979年12月 第1版

1979年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,750 册 定价：0.42 元

前 言

近年来由于我国散装谷物运输任务的繁忙，使散装谷物船队发展迅速。为了使广大的造船技术人员，航运部门的管理人员和船员能比较全面地了解国际上关于此类船舶稳性上的规定，从而能合理满足此类船舶稳性上的要求，充分发挥和利用现有散装谷物船队的潜力，合理的运输和管理，以适应我国社会主义经济高速度发展的需要，我将近年来工作中的实践体会总结编写了这本书。

本书主要介绍船舶装运散装谷物时在稳性上所发生的问题，简述了历届国际海上人命安全公约对装运散装谷物船舶在稳性上的各项要求，并推荐了各种校核稳性的计算方法和改善稳性的措施，且附有实例。此外，还说明了如何填写各谷物输出国船舶的衡准稳性的计算表格，最后指出了现有国际海上人命安全公约中对装运散装谷物所存在的问题。

在编写该书过程中不少同志给予鼓励和提供资料，特此表示感谢。但由于本人水平有限和经验不够，时间又较仓促，因此本书的错误及不妥之处在所难免，因此，恳切地希望广大读者提出宝贵的批评和意见。

编 者

目 录

第一章	概述	1
§1	谷物概述.....	1
§2	散装谷物船稳性要求的历史演变.....	8
第二章	散装谷物船舶的稳性要求及校核方法	10
§1	历届国际海上人命安全公约的要求.....	10
§2	散装谷物船舶稳性校核的计算方法.....	27
§3	简易衡准法.....	39
第三章	稳性计算实例	53
§1	专用散装谷物船稳性校核实例.....	53
§2	干货船谷物倾侧力矩计算实例.....	71
第四章	各谷物输出国对散装谷物船稳性衡准的计算表格	86
§1	加拿大的稳性衡准的计算表格.....	86
§2	澳大利亚的稳性衡准的计算表格.....	111
§3	世界主要谷物输出国的稳性衡准的计算表格.....	125
第五章	影响稳性的因素和改善稳性的方法	140
§1	影响稳性的因素.....	140
§2	改善稳性的方法.....	147
第六章	散装谷物船舶稳性的展望	153
§1	公约的来由及存在的问题.....	153
§2	展望散装谷物船舶稳性衡准的标准.....	156

第一章 概 述

§1 谷 物 概 述

一、谷物的特性

谷物包括小麦、玉蜀黍、燕麦、稞麦、大麦、大米、豆类、种子及其自然状况具有与谷物相同特点的制成品。谷物具有以下诸特性。

(一) 散落性

在船舱内的散装谷物因船舶摇摆谷粒能自动松散流动的性质称散落性。散落的程度与谷物颗粒形状、表面光滑程度、含水量、夹杂物的多少等因素有关。谷物的松散流动程度一般以休止角大小表示。所谓休止角即谷物由空中徐徐倒下，在地面上自然形成的圆锥体的边线与地面的夹角，以 μ 表示，见图 1-1。

谷物的休止角一般在 $35 \sim 37^\circ$ ，如果谷物是很干燥的，则休止角为 $30 \sim 31^\circ$ 。

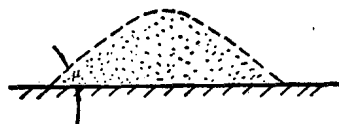


图 1-1

(二) 孔隙性

指谷粒之间有空隙的特性，一般用孔隙率 C 表示。

$$C = \frac{V - V_1}{V} \cdot 100\% \quad (1-1)$$

式中： V ——谷物在船舱内占的总体积；

V_1 ——谷物所占的纯体积。

谷物的孔隙率较大，因而在船舶航行中经摇摆和颠簸后

会产生下沉，从而使舱内的谷物出现可以自由流动的表面。

(三) 吸附性

谷物极易感染或吸附异味或有害气体，一经感染很难去除。

(四) 吸水和散发水分的特性

谷物能吸收水分和散发水分。当外界湿度过大，谷物会吸收水分而使本身重量增加；相反，外界湿度小时，谷物会向周围散发水分。谷物含水量超过一定限度时，将引起呼吸作用的加强和微生物、害虫的繁殖，从而导致谷物自热和发霉变质。含水量较低的谷物在运输中可以耐较高的温度而不变质，含水量较高的谷物就不能耐高温和不适合于远洋长途运输。因此，远洋船舶装运谷物以前，必须严格检验谷物的含水量。一般谷物的安全含水量在 10~15%。含水量在 10% 以下的谷物可以久藏。

(五) 呼吸特性

谷物由呼吸而维持生命，其中含水量和湿度及通风条件都会影响呼吸作用。而含水量的多少是决定呼吸强弱的主要因素，由于谷物的呼吸作用将使谷物中的水和二氧化碳含量增加并发生热量。因此装运谷物时，除了控制谷物的含水量外，还须使船舱有适当的通风，以防止热量积聚和汗湿而导致谷物发霉变质。

二、谷物移动的条件

如图 1-2 所示，当谷物的粒状在斜面 AB 表面上时，此时：

谷物的下滑力 $P_t = P \sin \varphi$

谷物的下滑阻力

$$P_s = CP_n = CP \cos \varphi$$

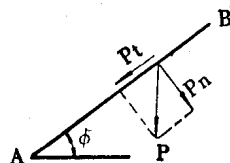


图 1-2

式中: P ——谷物的重量,

P_n ——谷物的正压力,

φ ——谷物表面的倾侧角。

谷物发生移动的条件为:

$$P_t > P_s$$

$$\text{即 } P \sin \varphi > C P \cos \varphi$$

$$\therefore \tan \varphi > C$$

$$\because C = \tan \mu$$

$$\therefore \tan \varphi > \tan \mu \quad (1-2)$$

式中: C ——摩擦系数;

μ ——休止角。

谷物不发生移动的条件为:

$$\tan \varphi < \tan \mu \quad (1-3)$$

由此可知, 当谷物表面倾侧角超过其固有的休止角时, 谷物表面就会发生移动, 直至使谷物表面最后形成具有固有的休止角为止。

当船舶以横摇角 θ 运动时, 由于横摇增加了惯性力和离心力, 如果忽略升降和纵摇等影响, 那么向船舶原始倾斜角同一方向倾侧时, 如图 1-3 所示, 此时:

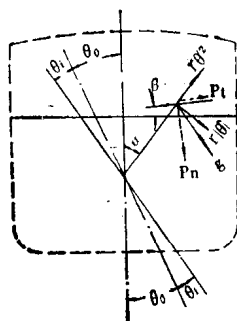


图 1-3

$$\left. \begin{aligned} P_n &= g \cos(\beta - \theta_1 - \theta_0) + \gamma |\theta''| \sin(\alpha + \beta) \\ &\quad - \gamma \theta'^2 \cos(\alpha + \beta) \\ P_t &= -g \sin(\beta - \theta_1 - \theta_0) + \gamma |\theta''| \cos(\alpha + \beta) \\ &\quad + \gamma \theta'^2 \sin(\alpha + \beta) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中: g ——谷物的重量;

β ——谷物表面的倾侧角;

θ_i ——船舶横倾角；
 θ_o ——船舶横摇角；
 α ——谷物表面某处和横摇中心联线与纵中剖面的夹角；

γ ——谷物表面某处与横摇中心的距离。

此时不发生移动的条件：

$$\begin{aligned} \tan\mu &> \tan\varphi_1 \\ &= \frac{g\sin(\theta_i + \theta_o - \beta) + \gamma|\theta''|\cos(\alpha + \beta)}{g\cos(\theta_i + \theta_o - \beta) + \gamma|\theta''|\sin(\alpha + \beta)} \frac{+ \gamma\theta'^2\sin(\alpha + \beta)}{- \gamma\theta'^2\cos(\alpha + \beta)} \end{aligned}$$

(1-5)

式中： φ_1 ——当向船舶原始倾斜角同一方向倾侧时，使谷物发生移动时的谷物表面的倾侧角。

如果向船舶原始倾斜角相反方向倾侧时，如图 1-4 所示，此时：

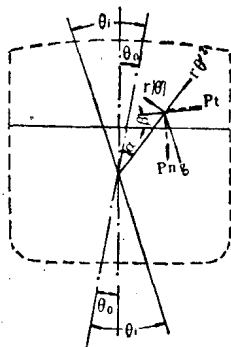


图 1-4

$$\left. \begin{aligned} P_n &= g\cos(\theta_i - \theta_o - \beta) - \gamma|\theta''|\sin(\alpha + \beta) \\ &\quad - \gamma\theta'^2\cos(\alpha + \beta) \\ P_t &= -g\sin(\theta_i - \theta_o - \beta) + \gamma|\theta''|\cos(\alpha + \beta) \\ &\quad - \gamma\theta'^2\sin(\alpha + \beta) \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

不发生移动的条件是：

$$\begin{aligned} \tan\mu &> \tan\varphi_2 \\ &= \frac{-g\sin(\theta_i - \theta_o - \beta) + \gamma|\theta''|\cos(\alpha + \beta) - \gamma\theta'^2\sin(\alpha + \beta)}{g\cos(\theta_i - \theta_o - \beta) - \gamma|\theta''|\sin(\alpha + \beta) - \gamma\theta'^2\cos(\alpha + \beta)} \end{aligned} \quad (1-7)$$

式中： φ_2 ——当向船舶原始倾斜角相反方向倾侧时，使谷物

发生移动时的谷物表面的倾侧角。

假定横摇为谐摇运动，以 $\theta = \theta_0 \sin \omega t$ 表示，则：

$$\begin{aligned}\theta' &= \omega \theta_0 \cos \omega t \\ |\theta''| &= \omega^2 \theta_0 \sin \omega t\end{aligned}\quad (1-8)$$

式中： θ_0 ——横摇幅值；

ω ——横摇圆频率；

t ——时间。

此外，由实验可以证明，移动发生在摆动末，因而

$$\left. \begin{aligned}\theta' &= 0 \\ |\theta''| &= |\theta''|_0 = \theta_0 \omega^2\end{aligned}\right\} \quad (1-9)$$

另外，假定：

$$\left. \begin{aligned}\gamma \cos \alpha &= y \\ \gamma \sin \alpha &= x\end{aligned}\right\} \quad (1-10)$$

将式(1-9)和(1-10)代入式(1-5)和(1-7)后得到谷物表面不发生移动的条件如下：

$$\tan \beta > \tan \varphi_1$$

$$\begin{aligned}& \frac{\sin(\theta_1 + \theta_0 - \mu) + \frac{\theta_0 \omega^2}{g} (y \cos \mu - x \sin \mu)}{\cos(\theta_1 + \theta_0 - \mu) + \frac{\theta_0 \omega^2}{g} (x \cos \mu + y \sin \mu)} \\ & \quad (1-11)\end{aligned}$$

$$\tan \beta < \tan \varphi_2$$

$$\begin{aligned}& \frac{\sin(\theta_1 - \theta_0 + \mu) - \frac{\theta_0 \omega^2}{g} (y \cos \mu + x \sin \mu)}{\cos(\theta_1 - \theta_0 + \mu) + \frac{\theta_0 \omega^2}{g} (y \sin \mu - x \cos \mu)} \\ & \quad (1-12)\end{aligned}$$

欲使图 1-3 和 1-4 中的谷物都不发生移动，必须使

$$\varphi_1 < \beta < \varphi_2.$$

一般若向右舷动倾而发生移动，是由于谷物自左向右移动之故，按图 1-3 所示， β 增加；若向左舷动倾时 β 减少。所以若移动前 β 满足 $\varphi_1 < \beta < \varphi_2$ ，谷物就不发生移动。但若 $\beta < \varphi_1$ 时，向右舷动倾时 β 增至 φ_1 ； $\beta < \varphi_2$ 时，向左舷动倾时 β 减至 φ_2 。因此，在 $\varphi_1 < \varphi_2$ 时， β 值与表面倾斜 β 的最初值大小无关，无论取为 φ_1 或 φ_2 或其中间值，都不发生移动。而 $\varphi_1 > \varphi_2$ 时，由于当 $\beta \rightarrow \varphi_1$ 时不能满足式(1-12)，当 $\beta \rightarrow \varphi_2$ 时不能满足式(1-11)，因此往往在动倾同时发生移动情况。

欲使谷物不发生移动则必须满足 $\varphi_2 > \varphi_1$ ，我们将式(1-11)和(1-12)作简化后即得以下的关系式：

$$\theta_1 + \theta_s < \beta \quad (1-13)$$

式中： θ_1 ——船舶初始横倾角；

θ_s ——船舶因谷物移动而引起的横倾角；

β ——谷物表面的倾侧角。

因此，要使谷物不发生移动的条件为谷物表面的倾侧角必须大于船舶的初始横倾角和船舶因谷物移动而引起的横倾角之和。

三、装运散装谷物引起的船舶稳性问题

谷物是海上运输的大宗货物，近三年来全世界谷物货运量每年达 7000 万吨左右，谷物的装运方式有散装和包装两种。谷物的散装运输具有很大的优点，它可以比包装运输多载货 10~12% 以上，此外还能节省大量的包装材料和费用，有利于全面实现装卸机械化而减少船舶装卸货时间，缩短船舶营运周期。因此，目前谷物一般都采用散装运输方式，仅仅是一些经过加工后的谷物制品（如大米等）和种子才采用

包装的运输方式。装运散装谷物的船舶，因为散装谷物具有孔隙性的特征，当船舶航行中摇摆、颠簸、振动时不论是满载舱（指散装谷物经装载与平仓后，使其充满甲板下及舱口盖下的一切空间达到最大可能装满程度的货舱）内或部分装载舱内（即没有装满谷物的货舱，也称松动舱）的谷物就会下沉，谷物下沉后在舱内必定存在一定的空隙体积。由于谷物具有散落性的特征，如果船舶摇摆后使谷物表面的倾侧角超过其固有的休止角时，谷物的表面也将随之发生移动，从而产生与自由液面相类似的情况。

见图 1-5 所示，船舶经过一段时间航行后，舱内下沉的谷物表面 ab 与甲板顶表面之间存在一个空档，则当船舶因风浪作用而出现横倾角 θ ($W_1 L_1$) 时，如果舱内的谷物表面由 ab 移至 cd 。此时，舱内的谷物由 cbd 移至 $aecf$ ，由于这部分谷物的移动，它的重心由 g_1

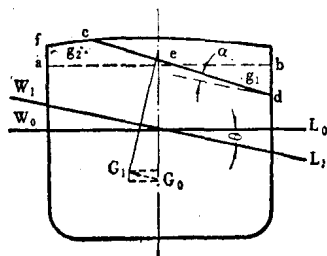


图 1-5

移至 g_2 ，使船舶重心由 G_0 移至 G_1 。由图 1-5 可知：因为谷物的移动将产生横向倾侧力矩和垂向倾侧力矩，其结果使船舶重心提高，初稳性高度降低，复原力臂减小，并出现横倾角，这些情况，都使船舶的稳性状况变坏，严重时甚至会发生翻船事故。据统计自 1898 年到 1948 年五十年间，在倾覆的船舶中有 57% 是散装货船，自 1954 年至 1964 年的十年间又有 150 余艘散装货船发生海损事故。散装货船发生海损事故的教训，促使人们不断地从生产实践中总结经验，终于逐步地完善了散装谷物船稳性要求的规则。

§2 散装谷物船稳性要求的历史演变

早在1860年美国纽约、旧金山、新奥尔良等海上保险公司和加拿大温哥华、蒙特利尔港等港口管理局对于装运谷物的运输船舶规定了谷物散装和袋装的装运章程。1880年英国议会也作出了谷物装载的决议，该决议包括对装运谷物的船应强制执行某些规定，以后在1894年、1906年、1949年、1952年英国商船法则中都有关于装运谷物的详细规定。澳大利亚、新西兰、日本等国也曾各自在航海法则中规定了装运谷物船的特殊规定。由于谷物的远洋运输具有国际性质，因此，就逐步地发展成国际性的规则。

在1948年，国际海上人命安全公约(简称为ICSL^①)第六章中首次正式规定了关于装运谷物船的要求，该公约在1948年6月通过，1952年11月19日起生效，现已失效。1960年6月17日各国在伦敦签订了1960年国际海上人命安全公约，该公约的第六章中也规定了装运谷物船的特殊要求。1960年国际海上人命安全公约于1965年5月26日起生效。

1969年10月28日政府间海事协商组织(简称为IMCO^②)大会通过了第A, 184(VI)号决议——“采用对1960年国际海上人命安全公约第六章谷物的装运规则的等效条例”

(简称IMCO 1969年等效条例)。大会决定用第A, 184(VI)号决议来替代原1960年国际海上人命安全公约的第六章，而作为新的第六章，并建议各国尽早采用。1973年11月20日政府间海事协商组织大会又通过了A, 264(VII)

ICSL ①: International Convention of the Safety of Life at Sea
IMCO ②: Inter-Governmental Maritime Consultative Organization

决议（简称 IMCO 1973 年 A，264（Ⅶ）决议）。该两决议案现在均已先后生效，其中政府间海事协商组织大会 1973 年 A，264（Ⅶ）决议的全部内容现在已成为 1974 年国际海上人命安全公约的正式条款了。1974 年国际海上人命安全公约于 1974 年 11 月 1 日已经在伦敦签订，但现在还没有生效。

我国于 1973 年 10 月 5 日宣布正式承认 1960 年国际海上人命安全公约，并且先后接受 1969 年政府间海事协商组织大会第 A，184（Ⅵ）决议和 1973 年政府间海事协商组织大会 A，264（Ⅶ）决议。此外，我国还规定凡国内建造的装运散装谷物的民用海船，除了满足国际海上人命安全公约的要求外，还必须符合我国 1974 年《海船稳性规范》的各项要求。

第二章 散装谷物船舶的稳性

要求及校核方法

§1 历届国际海上人命安全公约的要求

一、1948年国际海上人命安全公约的要求

1948年国际海上人命安全公约是国际上首次对装运散装谷物的船舶提出了要求。当时人们仅仅认识到装运散装谷物的船舶由于谷物的移动引起了船舶的稳性变坏,甚至翻船。因此,如果能有效地制止或限制谷物的移动,船舶的稳性就有了保证。所以,该公约要求的实质是以有无合格的制止谷物移动的止移装置作为能否装运谷物的条件,即以设置强制性的止移装置来对船舶的稳性提供保证。

1948年国际海上人命安全公约的第六章内设有关于装运散装谷物船舶的稳性要求,只有一条六款。公约对于满载舱要求设置添注漏斗、纵隔壁或止移板。其中规定凡采用添注漏斗时,其添注漏斗的容积应是整个舱容的2.5%到8%,如采用纵隔壁或止移板时,要求自甲板底面向下延伸至少 $\frac{1}{3}$ 舱深或2.44米(8英尺),取其中之大者,甲板间的止移板应自下层甲板延至上层甲板直至添注漏斗顶端。对于部分装载舱则需将谷面摊平,于谷面上铺满平板,再于平板上面设置高度不小于1.22米(4英尺)的袋装谷物(即压包)或其他适当的货物,并且需沿龙骨设置能防止谷物移动的足够高度的纵隔壁或止移板。但当装载谷物的量小于 $\frac{1}{3}$ 舱容

时或在有轴隧分隔之舱的载谷量不超过其容量一半时，可以免除设置纵隔壁或止移板。对于双层甲板船的甲板间舱或多层甲板船的最上层甲板间舱等上层舱室内，公约规定只允许装载燕麦、轻大麦和棉子，即只允许装载轻谷物。此外，公约尚对于一些具有特殊遮蔽条件的船舶可以免除要求。

二、1960年国际海上人命安全公约的要求

1960年国际海上人命安全公约的第六章内设有关于装运散装谷物船舶的稳性要求，一共有 16 条。

(一)对一般干货船装运散装谷物的要求

1960年国际海上人命安全公约对一般干货船用来装运散装谷物时的要求基本上和1948年国际海上人命安全公约是一致的，仍以设置制止谷物移动的止移装置作为装载谷物的条件，即仍以强制性的止移装置来保证船舶稳性。这些止移装置的要求有的与1948年国际海上人命安全公约的要求完全一样，有的在量上有所改变，但也增加了一些新的内容，现简述如下。

1.满载舱的要求

(1)满载舱内应在中心线或距中心线不超过 5 %型宽处以纵隔壁或止移板分隔，或者不在中心线上，以相互间距离不超过 60 % 型宽的两个纵隔壁或止移板分隔。纵隔壁或止移板应具有适当的结构，且在舱内应从甲板的底面向下延伸 $\frac{1}{3}$ 舱深或者 2.44 米（8 英尺），取其中大者。在甲板间舱和上层建筑内，它们应从下层甲板延伸到上层甲板，在所有的情况下，这种纵隔壁和止移板都必须延伸到它们所置舱间的添注漏斗的顶端。

(2)任何满载舱应设置添注漏斗，以保证谷物自由地全部流入舱内，其容量应不小于添注舱间所载容量的 2 %。

2. 部分装载舱的要求

(1) 部分装载舱应沿中心线或距中心线不超过 5% 型宽处以纵隔壁或止移板分隔, 或不在中心线上, 以相互间距不超过 60% 型宽的两个纵隔壁或止移板分隔。纵隔壁或止移板应具有适当结构, 并应从舱底或甲板延伸至散装谷物表面之上不小于 0.61 米 (2 英尺) 的高度。

(2) 散装谷物的表面应予摊平, 并在其上设置平台, 再于平台上以袋装谷物或其他适当的袋装货紧密堆装。袋装高度在有纵隔壁或止移板分隔时至少延伸 1.22 米 (4 英尺) 而在没有分隔处不小于 1.52 米 (5 英尺)。

(3) 部分装载舱数量不得多于 2 个。但是如果舱内装有袋装货或其他适当货物装满到舱顶时, 或者经修正舱柜自由液面后的初稳性高度对于单层或双层甲板船不小于 0.31 米 (12 英寸), 对于多层甲板船不小于 0.36 米 (14 英寸) 时, 则不在此限。

3. 甲板间舱和上层建筑内的载谷要求

在整个航程中, 经修正舱柜自由液面影响后的初稳性高度, 对于单层或双层甲板船不小于 0.31 米 (12 英寸), 对于多层甲板船不小于 0.36 米 (14 英寸) 时; 或者在甲板上面、双层甲板船舶的甲板间舱或在多层甲板船舶的最高层甲板间舱内所装散装谷物 (其中燕麦、大麦、棉子除外) 的总量不超过中间甲板以下所载散装谷物总重量的 28% 时, 则可以在甲板上面、双层甲板的甲板间舱或多层甲板的最高层甲板间舱装载散装谷物。否则不得装载。

4. 共通装载

双层甲板或多层甲板的船舶, 如果在甲板间舱的甲板与甲板之间或共通处总深度上端的 1/3 部分设置纵隔壁或止移板; 在最上层甲板下面一层甲板的舱口前后的甲板两侧设置