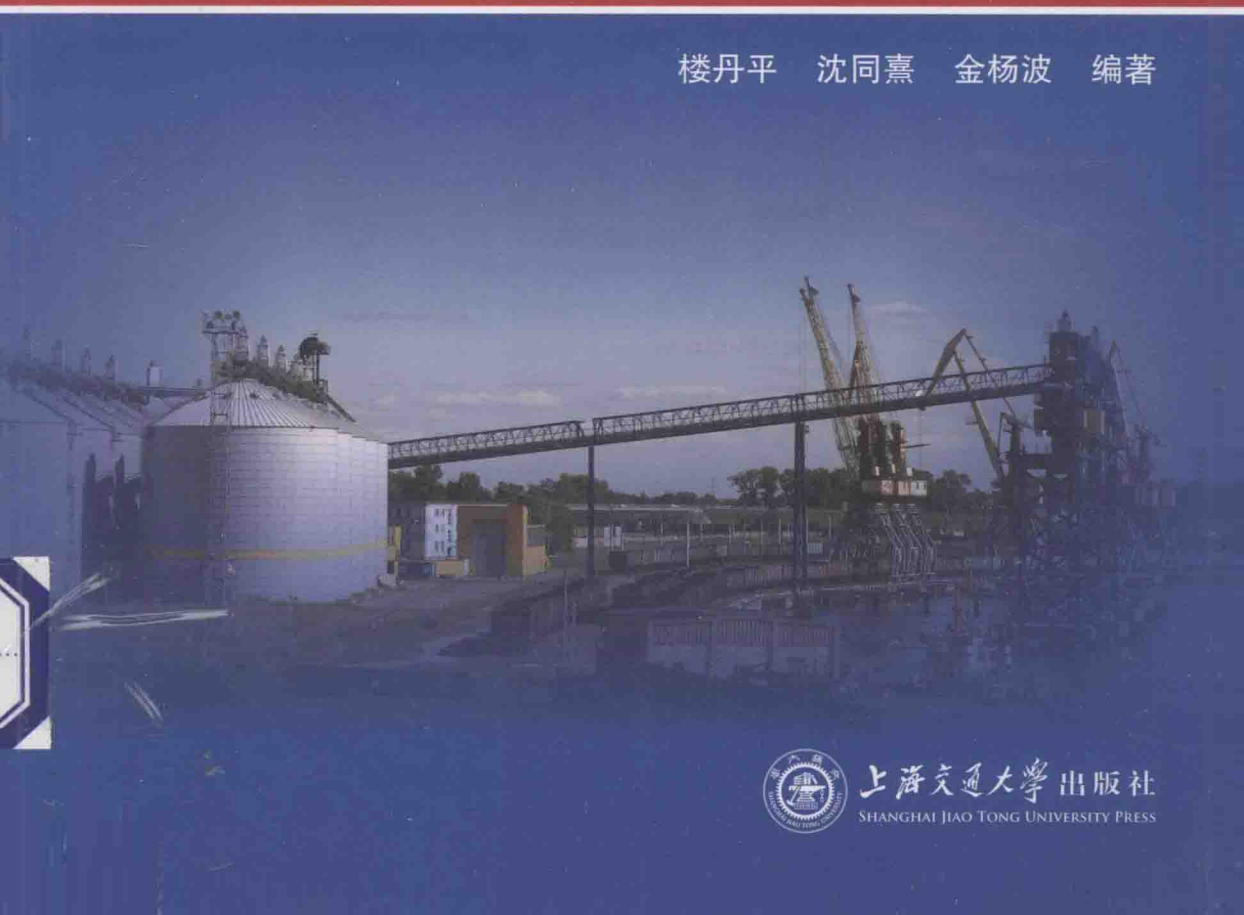




散装谷物船舶的稳性

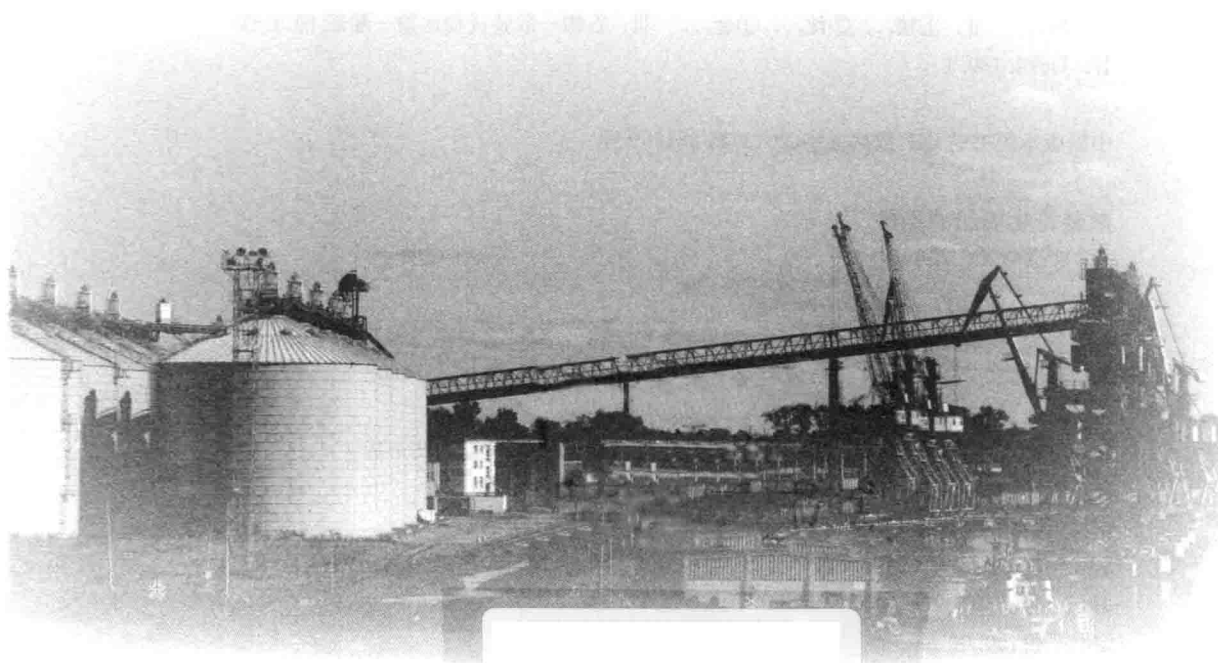
楼丹平 沈同熹 金杨波 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

散装谷物船舶的稳性

楼丹平 沈同熹 金杨波 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书简述船舶装运散装谷物时引起的船舶稳性问题和历届国际海上人命安全公约和有关法规对装运散装谷物船舶的谷物稳性要求,并阐明散装谷物船舶稳性应满足的强制性法定要求,叙述了专用散装谷物船舶和多用途干货船的谷物移动倾侧力矩计算原理和方法并附有多个计算实例,推荐了各种校核谷物稳性的计算方法及改善谷物稳性的措施。最后说明如何填写各主要谷物输出国的谷物稳性衡准的计算表格。

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

图书在版编目(CIP)数据

散装谷物船舶的稳性 /楼丹平,沈同熹,金杨波编著. — 上海:上海交通大学出版社,2013
ISBN 978-7-313-10648-3

I. 散... II. ①楼... ②沈... ③金... III. 谷物—散装货物运输—船舶稳定性
IV. U674.130.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 281569 号

散装谷物船舶的稳性

编 著:楼丹平 沈同熹 金杨波

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海颀辉印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:232 千字

版 次:2014 年 2 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-10648-3/U

定 价:50.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:12.25

印 次:2014 年 2 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-57602918

前 言

这本书是迄今为止有关散装谷物稳性方面最系统,最全面,最有实际指导意义的书籍。

为了使广大的造船技术人员,大专院校师生,航运部门的管理人员和船员能比较全面的了解近年来国际公约和法规对散装谷物船舶所颁布和更新的谷物稳性要求编写了本书。本书的编纂也是为了适应我国由一个散装谷物船舶的建造大国向强国转变的需要。本书将沪东中华造船(集团)有限公司自1970年以来设计建造的批量25000吨,36000吨,42000吨,74500吨,76000吨和87000吨散货舱及17300吨多用途干货船的体会和实践经验融入其中;结合了沈同熹同志在英国劳氏(LR)船级社上海审图中心船舶稳性部门15年工作经验,期间审查了中国、日本、韩国各著名船厂、设计单位的大量船舶,吸取了他在1979年编写的同类著作和国内外有关谷物稳性的论文精华。

本书全面系统的介绍了散装谷物船舶稳性应满足的强制性法定要求,详细叙述了专用散装谷物船和多用途干货船在各种不同布置情况下的谷物移动倾侧力矩的计算原理和方法并附有多个计算实例。推荐各种校核谷物稳性的计算方法及改善谷物稳性的措施。此外,还说明如何填写各主要谷物输出国的谷物稳性衡准的计算表格。是一本值得阅读的有关谷物稳性的书籍。

在编写该书过程中得到不少同志给予的帮助和鼓励,尤其得到英国劳氏(LR)船级社刘有华先生的帮助,特此表示感谢。由于我们的水平和经验所限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者提供宝贵意见。

目 录

第 1 章 散装谷物船舶的稳性	001
1.1 谷物的特性	001
1.2 谷物移动的条件	002
1.3 散装谷物船舶的稳性问题	003
1.4 散装谷物船舶稳性要求的发展史	004
第 2 章 散装谷物船舶稳性的法定要求	006
2.1 散装谷物船舶稳性的法定要求	006
2.2 完整稳性要求	006
2.3 谷物稳性要求	011
2.4 破舱稳性要求	017
第 3 章 散装谷物船舶的谷物稳性计算	033
3.1 谷物移动倾侧力矩计算	033
3.2 谷物稳性的校核	060
3.3 谷物装载手册	068
3.4 改善谷物稳性的途径	069
第 4 章 谷物移动倾侧力矩计算实例	076
4.1 专用散装谷物船舶谷物移动倾侧力矩计算实例	076
4.2 多用途干货船舶谷物移动倾侧力矩计算实例	112
第 5 章 装载散装谷物的流程	151
5.1 装载散装谷物的流程	151
5.2 各谷物主要输出国对装载散装谷物船稳性衡准表格	151

附录 1 美国国家货运局的稳性衡准表格 165

附录 2 澳大利亚政府海事安全当局的稳性衡准表格 169

附录 3 加拿大运输公司的稳性衡准表格 175

参考文献 184

索引 185

第 1 章 散装谷物船舶的稳性



1.1 谷物的特性

谷物包括小麦、玉蜀黍、燕麦、稗麦、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。谷物具有散落性、孔隙性、吸附性、吸水和散发水分及呼吸特性。

1.1.1 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，在地面自然形成的圆锥体的边线与地面的夹角，以 μ 表示，如图 1-1 所示。干燥的谷物的休止角约为 $30^{\circ} \sim 31^{\circ}$ 。

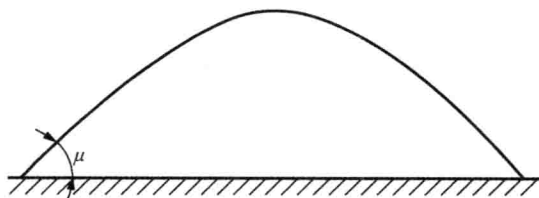


图 1-1 休止角

1.1.2 孔隙性

指谷粒之间有空隙的特性，一般用孔隙率 C 表示。

$$C = \frac{V - V_1}{V} \times 100\%$$

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。

1.1.3 吸附性

谷物极易感染或吸附异味和有害气体,一经感染很难去除。

1.1.4 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,含水量较高的谷物不耐高温且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 $10\% \sim 15\%$ 。含水量在 10% 以下的谷物可以久藏。

1.1.5 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。

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

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;

C ——摩擦系数。

谷物发生移动的条件为

$$P_t > P_s$$

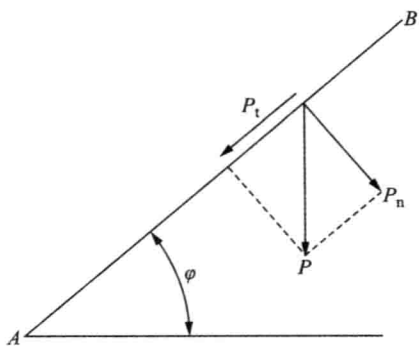


图 1-2 谷物移动的条件

即 $P \sin \varphi > CP \cos \varphi$,

所以 $\tan \varphi > C$,

因为 $C = \tan \mu$,

所以 $\tan \varphi > \tan \mu$

式中: μ ——休止角。

谷物不发生移动的条件为

$$\tan \varphi < \tan \mu$$

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。

散装在船舱内的谷物,由于船舶摇摆,其休止角将明显减小,大约仅为静止时的一半。若船舶横摇角超过静止时休止角的一半时,谷物将开始在舱内移动。

1.3 散装谷物船舶的稳性问题

谷物是海上运输的大宗货物,散装谷物船、油船与集装箱船一起成为三大主要船型。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、振动时不论是原先的满载舱或部分装载舱内的谷物都会下沉,谷物下沉后在舱内必定会存在空档,从而使舱内的谷物出现可以自由流动的表面。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，谷物的表面也将随之发生移动，产生与自由液面相类似的情况。

如图 1-3 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，当船舶因风浪作用而出现横倾角 $\theta(W_1L_1)$ 时，如果舱内的谷物表面由 ab 移至 cd 。此时，舱内的谷物由 ebd 移至 $aecf$ ，由于这部分谷物的移动，它的重心由 g_1 移至 g_2 ，使船舶重心由 G_0 移至 G_1 。由图 1-3 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，并引起横倾。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 50 年间，在倾覆的船舶中有 57% 是散装货船，自 1954 年至 1964 年的 10 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舶稳性要求的规则。

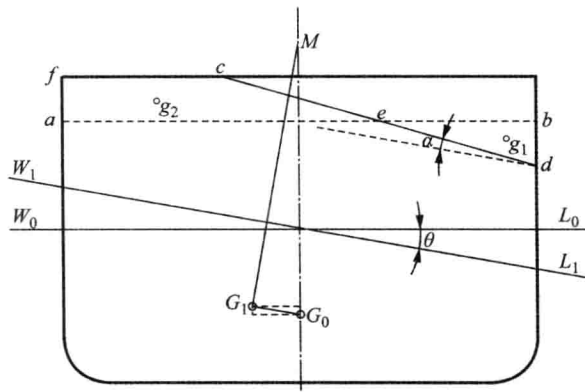


图 1-3 谷物移动引起的倾侧力矩

1.4 散装谷物船舶稳性要求的发展史

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，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(The International Convention For The Safety Of Life At Sea, SOLAS)第VI章首次正式规定了关于装运谷物船舶的要求,该公约在1948年6月通过,1952年11月19日起生效。1960年6月17日各国在伦敦签订了1960年SOLAS,在第VI章中也规定了装运谷物船舶的要求,该公约在1965年5月26日生效。1969年10月28日政府间海事协商组织(International Governmental Maritime Consultative Organization, IMCO)大会通过了A. 184(VI)决议——“采用对1960年SOLAS第VI章谷物的装运规则的等效条例”。大会决定用A. 184(VI)号决议来替代原1960年SOLAS的第VI章,而作为新的第VI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(IMCO)又通过了A. 264(VIII)决议,该决议的全部内容被采纳成为1974年SOLAS第VI章的正式条款。1974年SOLAS于11月1日在伦敦签署。国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)海事安全委员会(The Maritime Safety Committee, MSC)在1982年4月7日通过MSC/Circ. 323决议作为1974年SOLAS第VI章的补充规定。1991年5月23日IMO MSC通过MSC23(59)决议,即国际散装谷物安全装运规则(International Code For The Safety Carriage Of Grain In Bulk,简称 International Grain Code)。该规则的全部内容被采纳成为1974年SOLAS修正案第VI章,并已于1994年1月1日生效。它是散装谷物船舶稳性衡准要求的最终法定规则,一直使用至今。

第 2 章 散装谷物船舶稳性的法定要求



2.1 散装谷物船舶稳性的法定要求

任何装运散装谷物的船舶在整个航程中应满足国际海上人命安全公约(SOLAS)和国际载重线公约(International Convention On Load Line, ICLL)及国际散装谷物安全装运规则(International Grain Code)对其稳性的法定要求。其中如果从事散装谷物运输的船舶的尺寸较小,当其小于 500GT 时有关国际海上人命安全公约(SOLAS)的要求可免除;而当船长小于 24m 和小于 150GT 时有关国际载重线公约(ICLL)的要求也可免除。然而,任何尺度的包括小于 500GT 的船舶,有关国际散装谷物安全装运规则(International Grain Code)的要求必须要满足。

由于谷物的远洋运输特性使散装谷物船舶的尺度较大,而且其尺度和载重量一直在不断增大,已由 20 世纪 60 年代的 2~3 万 DWT 发展至今已达 8~10 万 DWT,甚至更大。因而对于散装谷物船舶,其尺度和吨位远远超过了国际海上人命安全公约(SOLAS)和国际载重线公约(ICLL)设定的可以免除要求的范围,所以散装谷物船舶稳性必须满足有关国际公约和规则的如下要求:

- (1) 完整稳性。
- (2) 谷物稳性。
- (3) 破舱稳性。

2.2 完整稳性要求

IMO MSC 第 85 次会议于 2008 年 12 月 4 日通过 MSC267(85)决议—《2008 年国际完整稳性规则》(简称 2008IS 规则)。并以 MSC269(85)决议和 MSC270

(85)决议分别通过了1974年国际海上人命安全公约(SOLAS)和1966年国际载重线公约(ICLL),1988年议定书的修正案,根据1974年国际海上人命安全公约(SOLAS)和1966年国际载重线公约(ICLL),1988年议定书的两项修正案的要求,MSC267(85)决议的附件《2008年国际完整稳性规则》(简称2008IS规则)的引言和A部分的规定成为船舶完整稳性的强制性的法定要求,将适用于船长大于24m以上的船舶并于2010年7月1日同时正式生效。

2.2.1 有关复原力臂曲线特性的衡准

(1) 至横倾角 30° ,复原力臂曲线(GZ 曲线)下的面积应不小于 $0.055 \text{ m} \cdot \text{rad}$,至横倾角 40° 或进水角 φ_t ^①(如果这个角度小于 40°)复原力臂曲线下的面积应不小于 $0.09 \text{ m} \cdot \text{rad}$ 。此外,在横倾角 30° 和 40° 之间或 30° 和 φ_t (如果这个角度小于 40°)之间复原力臂曲线(GZ 曲线)下的面积应不小于 $0.03 \text{ m} \cdot \text{rad}$ 。

(2) 在横倾角等于或大于 30° 时,复原力臂(GZ)至少为 0.2m 。

(3) 最大复原力臂应出现在不小于 25° 的横倾角。如果这样要求不现实,应经主管机关批准后,可以采用基于等效安全水平^②的替代衡准。

(4) 初始稳心高度 GM_0 应不小于 0.15m 。

对于上述的有关复原力臂曲线特性衡准的4个要求中,以(3)即最大复原力臂应出现在不小于 25° 的横倾角时为最苛刻。对于某些船舶的某些装载状态有时为了满足该要求不得不要采取必要的措施以降低船舶重心高度。

2.2.2 突风和横摇衡准(气象衡准)

船舶抵抗横风和横摇的综合效应的能力如图2-1所示:

(1) 船舶承受到垂直作用于船舶中心线的稳定风压,产生稳定风倾侧力臂(l_{w1})。

(2) 由于波浪的作用假定使船舶从平衡角(φ_0)迎风横摇至横摇角(φ_1)。稳定风的作用所造成的横倾角(φ_0)不应超过 16° 或甲板边缘淹没角的80%,取小者。

(3) 然后船舶受到阵风压力,产生阵风倾侧力臂(l_{w2})。

(4) 在这些情况下,面积 b 应等于或大于面积 a ;如图2-1所示。

图2-1中各角的定义如下:

φ_0 ——稳定风作用下的横倾角;

φ_1 ——由于波浪作用向上风一侧的横摇角;

① φ_t 是船体、上层建筑或甲板室中不能作风雨密关闭的开口进水时的横倾角。在适用此衡准时,不会发生连续浸水的小开口不必视为打开。

② 参见《〈2008年国际完整稳性规则〉的解释性注释》(MSC.1/Circ.1281)。

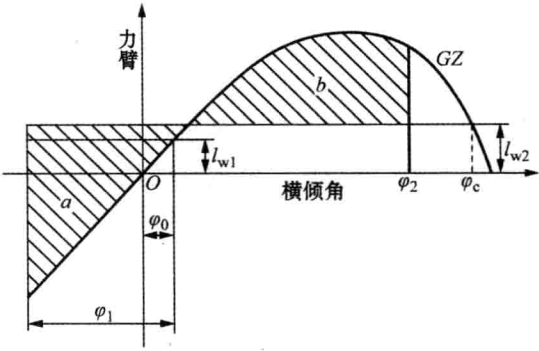


图 2-1 突风与横摇

φ_2 ——进水角(φ_f)为 50° 或 φ_c , 取其小者, 其中: φ_f 为船体、上层建筑或甲板室中不能作风雨密关闭的开口进水时的横倾角。在适用此衡准时, 不会发生连续浸水的小开口不必视为打开。 φ_c 为风压横倾力臂 l_{w2} 和 GZ 曲线间的第二截点角。

在(1)和(3)中所述的风压横倾力臂 l_{w1} 和 l_{w2} 在任何倾斜角度时应为定常值, 并按下式计算:

$$l_{w1} = \frac{PAZ}{1000 g \Delta} (\text{m})$$
$$l_{w2} = 1.5 l_{w1} (\text{m})$$

式中: P ——504 Pa 的风压。限定航区的船舶经主管机关批准, 所用的 P 值可减小;

A ——水线以上船和甲板货的侧投影面积(m^2);

Z ——自 A 的中心至水下侧面积的中心或近似地到平均吃水 $1/2$ 处的垂直距离(m);

Δ ——排水量(t);

g ——重力加速度, 取 9.81m/s^2 。

经主管机关认可同意, 可以接受按 MSC. 1/Circ. 1200 所采用的通过试验的变通办法来决定上述风倾力臂 l_{w1} , 该变通办法是基于假设: 在试验时风速均匀为 26m/s , 在限定航区经主管机关批准后风速可降低。

在(2)中所述横摇角(φ_1)应按下式计算:

$$\varphi_1 = 109 k X_1 X_2 \sqrt{rs} (^\circ)$$

式中: X_1 ——表 2-1 中所示系数;

X_2 ——表 2-2 中所示系数;

k ——与龙骨有关的系数: 对于无舭龙骨或方龙骨的圆舭型船舶, $k=1.0$; 对于尖舭型船舶, $k=0.7$; 对于有舭龙骨、方龙骨或两者皆有的船舶, k 值如表 2-3 所示。

s——表 2-4 中所示系数；

$$r=0.73+0.6\text{ OG}/d$$

式中:OG—— $KG-d$;KG 为重心高度；

d——船舶平均型吃水(m)；

T——船舶自然横摇周期,在缺少足够资料时,可使用下列近似公式计算：

横摇周期
$$T = \frac{2CB}{\sqrt{GM}}(\text{s})$$

其中: $C=0.373+0.023(B/d)-0.043(L_{wl}/100)$ 。

式中:B——船舶型宽(m)；

L_{wl} ——船舶水线长度(m)；

GM——按自由液面效应修正后的稳心高度(m)

表 2-1 X_1 系数值

B/d	X_1
≤ 2.4	1.0
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3.0	0.90
3.1	0.88
3.2	0.86
3.4	0.82
≥ 3.5	0.80

表 2-2 X_2 系数值

C_B	X_2
≤ 0.45	0.75
0.50	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
≥ 0.70	1.00

C_B 为方形系数

表 2-3 k 系数值

$\frac{100A_k}{L_{wl}B}$	k
0	1.0
1.0	0.98
1.5	0.95
2.0	0.88
2.5	0.79
3.0	0.74
3.5	0.72
≥ 4.0	0.70

A_k 为舢龙骨的总面积,或方龙骨的投影侧面积,或这些面积之和(m^2)

表 2-4 s 系数值

T	s
≤ 6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
≥ 20	0.035

(表 2-1 至表 2-4 中的数据的中值可通过线性内插法获得)。

上述横摇角 (φ_1)的计算公式是基于如下假定:

- (1) B/d 小于 3.5。
- (2) $(KG/d - 1)$ 介于 0.3~0.5 之间。
- (3) T 小于 20 s。

对于参数在以上限制之外的船舶,作为替代方法,横倾角 (φ_1)应按 MSC. 1/Circ. 1200号通函中所述的程序通过模型试验来确定。此外,如果主管机关认为合适,可以接受对任何船舶使用替代的确定方法。

根据经验,在水线以上船和甲板货的侧投影面积平均高度如果小于 0.3 B 时,气象衡准通常不是苛刻的要求。

2.3 谷物稳性要求

按照 1974 年 SOLAS 修正案第 VI 章第 9 条的规定,IMO MSC 第 59 次会议通过的 MSC23(59)决议即 International Grain Code 应强制执行,作为衡准散装谷物船舶稳性的法定要求,并于 1994 年 1 月 1 日生效。

2.3.1 MSC23(59)决议即 International Grain Code 的要求(见图 2-2)

(1) 由于谷物移动使船舶产生的横倾角不大于 12° ,但对在 1994 年 1 月 1 日以后建造的船舶还应考虑甲板边缘浸没角,取两者之较小者。

(2) 在静稳性曲线上,到达倾侧力臂曲线与复原力臂曲线的纵坐标最大差值的横倾角或 40° 或进水角,取其中较小者;该两曲线之间的剩余面积 A ,在所有装载情况下应不小于 $0.075\text{m} \cdot \text{rad}$ 。

(3) 经对各液体舱内自由液面的影响修正后,初稳性高度应不小于 0.3m 。

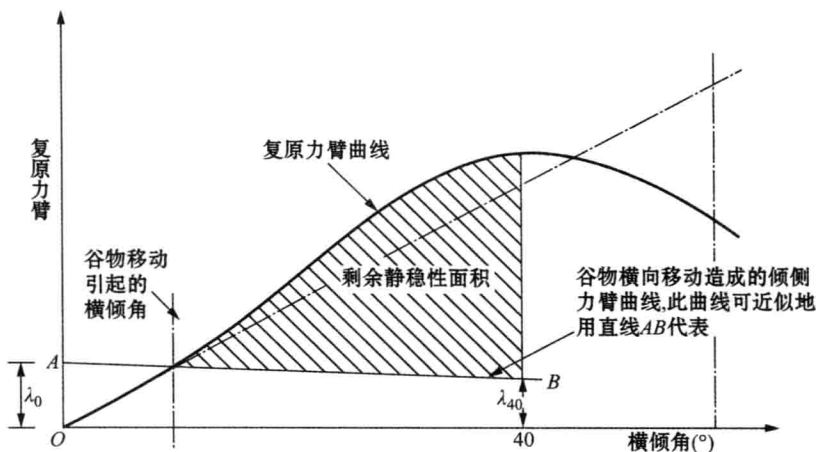


图 2-2 谷物稳性衡准要求

该规则还规定凡在 1980 年 5 月 25 日以前铺龙骨的“现有船舶”,应接受以前 1960 年 SOLAS 第 VI 章第 12 条,或 IMCO A. 184(VI),或 A. 264(VIII)决议所批准的谷物稳性衡准要求。

2.3.2 历届国际海上人命安全公约(SOLAS)和法规对谷物稳性的要求

1) 1948 年国际海上人命安全公约(SOLAS)的要求

1948 年国际海上人命安全公约(SOLAS)是国际上首次对装运散装谷物的船