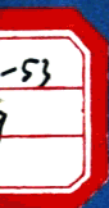


漁船穩性论文集



中国水产科学研究院科技情报研究所

1981年4月

出版说明

船舶稳性在近代数学和船体运动学理论以及电子计算技术的配合、推动下，较之以往，确实取得了不小进展，但某些重要课题，例如倾覆的机理、完整稳性衡准等方面的研究成果，远远不能令人满意。完全符合“规范”要求的船，遭受覆灭之灾的，仍时有所闻，特别是渔轮，这是因为它：（1）尺度小、装备简、结构上的弱点较多，一句话先天不足，因而抵抗风浪、横摇、谐振、结冰、甲板浸水等等后天作用的能力也相对地弱；

（2）客观环境条件很严峻，经常需要在恶劣的海况下坚持作业；（3）稳性衡准之类课题涉及非线性随机事件，问题复杂、因素繁多，要通过建立数学模型或物理试验去获取准确可靠、简单易行的答案，需要投入相当的人力、物力、财力做较长时间的努力；（4）渔轮等小型船舶的科研、设计工作从来就不如军舰、大型民船那样受到应有的重视，这种倾向在国际上如此，在我国更是如此，完整稳性和倾覆问题的研究基本上还是空白；

（5）渔轮船员的船舶科学水平较低，有待培训提高。

所幸近数年来，上述偏向已开始引起重视，某些主要渔业国，以及联合国粮农组织（FAO）、国际劳工协会（ILO）、政府间海事协商组织（IMCO）等国际会社相继开展了一些课题研究、召开了一些专业会议、制订了一些稳性衡准、通过了一些公约，有关学者也发表了一些论文，尽管任重而道远，总算有了良好的开端。

在这本小册子中，我们选择了近几年国外有关这方面的文章，由于船模试验对船舶性能的研究和发展具有决定性的影响，我们在本集末尾一并刊出了美国水航公司纪念柏林船池建池七十五周年的文章，希望能对我国渔轮稳性研究工作起一点参考作用。由于原始资料不多，我们水平有限，疏漏之处，在所难免，欢迎读者多提意见。

《渔船与渔港》编辑部

1981年4月

渔船稳性论文集

目 录

1. 船舶稳性的过去现在和未来.....	(1)
1. 序言.....	(1)
2. 发展史的简单回顾.....	(1)
3. 现在的发展动态.....	(5)
4. 稳性衡准.....	(6)
5. 对现有水平的评论.....	(8)
6. 对于未来发展的设想.....	(10)
参考文献.....	(11)
附件 1	(17)
附件 2	(17)
2. 拖船和渔轮完整稳性衡准的推导.....	(26)
1. 前言.....	(26)
2. 对船队的分析.....	(28)
3. 船模选定.....	(31)
4. 试验方案.....	(35)
5. 船模试验程序.....	(36)
6. 试验结果.....	(39)
7. 衡准的推导.....	(45)
8. 建议性的稳性衡准.....	(47)

9. 试验数据的应用	(63)
10. 结 论	(66)
参考文献	(66)
附录 I 性能手册样本	(67)
附录 II 定义	(72)
附录 III 静稳性衡准	(83)
附录 IV 动稳性衡准	(85)
3. 船舶有理稳性衡准和倾覆的概率	(87)
1. 前言	(87)
2. 倾覆的概率	(87)
3. 推导合理衡准的可能途径	(88)
4. 船舶危险境况的考虑	(89)
5. 选择典型的危险境遇	(91)
6. 各种境况的物理模型	(91)
参考文献	(92)
4. 论确定不规则波中倾覆概率的统计精度	(98)
1. 前言	(98)
2. 随机试验中的概率背景	(98)
3. 精度和试验	(98)
4. 应用随机实验法作倾覆前提试验	(99)
5. I 类误差	(101)
6. II 类误差	(102)
7. 泊松分布和指数分布	(103)
8. 倾覆前的时间概率	(105)
9. 随机试验的设计	(107)

10. 结 论	(107)
参考文献	(108)
附录	(109)
5. 渔轮稳性的一种理论计算法	(116)
1. 前言	(116)
2. 应考虑到事故因素	(116)
3. 实际用途	(118)
4. 应用的例子	(118)
5. 结论	(118)
参考文献	(119)
6. 舷拖渔船横浪倾覆的模拟研究	(124)
1. 绪言	(124)
2. 船模试验	(124)
3. 船模试验结果讨论	(125)
4. 运动方程式	(126)
5. 波谱	(128)
6. 横浪倾覆模拟	(128)
7. 结论	(129)
参考文献	(130)
附录 I 模拟程序数字参数	(130)
附录 II	(131)
7. 渔船在任意载荷下吃水与稳性诺谟图	(137)
8. 小型船舶风暴时在近海浅水区的安全航行	(140)
9. 随浪中船舶稳性衡准的比较	(145)
参考文献	(149)

10. 渔船稳性	(150)
1. 前言	(150)
2. 研究动向.....	(150)
3. C 系数理论在渔船上的应用.....	(152)
4. 自航船模倾覆实验.....	(159)
5. 结语.....	(164)
参考文献.....	(164)
11. 船舶稳性研究的现状及今后课题	(165)
1. 前言.....	(165)
2. 倾覆试验.....	(165)
3. 倾覆现象的研究.....	(169)
4. 今后的课题——代结束语.....	(172)
参考文献.....	(173)
12. 展望未来七十五年中的船模试验池	(175)
1. 前言.....	(175)
2. 展望前途.....	(175)
3. 作为船池工作伙伴的计算机.....	(178)
4. 作为船池竞争对象的计算机.....	(179)
5. 新的装备.....	(181)
6. 结束语.....	(182)
参考文献.....	(183)

船舶稳性的过去现在和未来

英国Strathclyde大学A·Y·ODABASI

英国商业部 H·BIRD

合著

1. 序言

一切水工建筑物,包括船舶在内,无论设计,建造和使用各个方面都应安全、有效地满足特定的要求。因此它们在动态中的稳性就具有极其重大的意义,这正是造船工作者有时在应用数学家的协助下,对这项课题表现出这么浓厚兴趣的原因。本文力图对稳性理论的过去和现在作一番回顾,并对未来可能发展的方向发表一些看法。对于过去发展的回顾,仅集中在理论概念方面而不是在具体数学细节上,希望这种方式能对该读者有所帮助。作者还曾努力采取对各种不同的理论和实际的方法加以区别对待的形式去突出稳性发展动态这个主题。在本文中稳性衡准处于特殊地位,因为它是估量稳性是否充分的手段。我们从中得出的结论是:对现有的稳性衡准,无论从理论和实践观点上衡量,都是不够完善的,为此,我们提出了批评,并指出加强这方面基础研究的必要性。最后,我们表达了对未来工作的意见,并建议建立两套不同类型的规范,以分别适应船长和主管、验船机关的不同需要。

2. 发展史的简单回顾

船舶稳性理论尽管目前还远非完善,但却已经历了一段冗长的发展时期。在这段时期中,对这项课题的各个方面都曾经有人作过许多研究,限于本文的范围,将它们大致分为以下三组:

- 1) 常规船舶静水中稳性的研究;
- 2) 运动中船舶大幅度横摇及其稳性的研究;
- 3) 稳性衡准的研究。

上述分类虽带随意性,但对回溯过去发展经历颇为方便。

第1组研究课题假定船的稳性能够通过它的几何形状和重量分布决定。由船舶在静水中横倾时的重量和浮力构成的力矩便是一种衡量稳性的标准,通常用这力矩的力臂 GZ 作为代表量。

显然,这种船舶稳性概念的解释是很陈旧的。推导这种稳性理论的主要方法如下:

Piere Bouguer (文献1) 首先在1746年,将稳心半径 BM 定义为水线面惯性矩 I 与浸湿体积 V 之比值,即: $BM = I/V$ 从而用以衡量稳性的标志稳心高度 GM 便可给定如下:

$$GM = KB + BM - KG$$

式中KB为浮心的垂向坐标, KG为重心的垂向坐标。复原力臂 可据 $GZ = GM \sin \theta$ 或 $GZ = GM \theta$ 二式加以概算, 式中 θ 为横倾角, 以弧度计。

1796年, Atwood文献(2)为更准确地计算复原力矩推导出以他的姓氏命名的著名的Atwood公式如下:

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

式中, v 为入水或出水楔块的体积, $h_1 h_2$ 为体积转移力臂, BG 为浮心与重心间的垂距。

1850年Canon Mosely (文献3), 创立了尔后称为准动稳性的“动态稳性”的理论。他推导出船在受到具有位能的外力影响下所作的功的表达式, 并将此功表示为复原力矩曲线下的面积。

按此定义, 只要不等式 $\int_0^{\theta_{\max}} [M_r(\theta) - M_e(\theta)] d\theta > 0$ 成立, 便可认为船舶是稳定的,

式中 $M_r(\theta)$ 和 $M_e(\theta)$ 分别为复原力矩和倾覆力矩, $\theta_{\max}$ 为最大横摇角。Mosely这项研究的意义在于它试图把船舶的稳性和横摇运动联系起来。虽然这个公式早已在造船工作者中广为流传, 但他的原理直到近十年前还未能向前发展一步。

Barnes在1861年发表了一个计算稳性交叉曲线的数值方式和许多附带的计算方法说明。该研究开创了理论知识应用于实际的可能性(见文献4)。

Scribanti在1904年推导出下列直舷船舶GZ值的表达式:

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

突出了从零或负初稳心高度所带来的问题, (见文献5)。

嗣后对这方面的研究有的是为了修正, 有的是为了建立现有理论的应用技术。这方面的著作有1947年Prohaska所发表的有关剩余稳性的原理(见文献6), 以及Grim, Wendel, Kerwin, Pauling和许多其他人所论述的关于风浪中复原力矩变化对船舶稳性的影响等等。后一方面进展至关紧要, 将在下节中加以讨论。

和上述研究同时开展的尚有另一组研究工作, 目的在于广义地阐明横摇运动而不考虑运动本身的稳性, 其重要演变可概述如下:

W·Froude在1861年(见文献7)略去阻尼效应不计, 假定船宽和吃水远较波长为小, 船的存在不影响波型, 推导出在规则横浪中作横摇运动的方程式。1874年, 他又采用试验所得的最佳阻尼导出减摇效应表达式如下:

$$-\frac{d\theta}{dn} = a\theta + b\theta^2$$

式中 n 为振荡数, a 和 b 系由实验确定的常数(见文献8)。

1896年和1898年 Krylov (见文献9、10)对船舶振荡理论发表了更为易懂的文章以后, 船舶横摇理论便在人们熟知的傅汝德-克雷诺夫假设基础之上进一步发展了。

正当有关横摇运动的其它各种观点纷纷被Scribanti (文献5), Johns (文献12), Lewis (文献13), Havelock (文献14), Serat (文献15), Watane (文献16), Ursell (文献17), 以及其他人等加以扩展之时, Manning (文献11) 提出了波遭遇周期, 把航速和波浪方向的影响包括进去。

很早以前, 船舶的运动和它们稳性之间的关联便已被人们所认识到, 19世纪末 A.M. Lyapunov (文献18) 推导出自由刚性浮体运动的稳性条件。但这篇论文似乎对船舶稳性的认识未产生什么影响。Dahlman 1937 年所指出的“整个倾覆事件是个动态事件, 因为在波浪中不可能产生静态平衡”的说法 (见文献19) 是非常正确的, Grim (见文献20) 首先证明了非线性谐振特性的影响, 此后 Vedeler (文献22), Baumann (文献23), Grim (文献24), Pauling 和 Rosenberg (文献25), 以及其它许多人都进一步作过探讨。本文将在第三章中加以叙述。1953年, Denis 和 Pierson (文献26) 发表了船舶在不规则波中运动的统计方法。这篇具有创见的论文为深入探索船舶运动开辟了新领域, 随后吸引了许多学者, 例如William (文献27), Gartwright 和 Rydill 等都致力于这方面的研究 (见文献28)。Voznessensky 和 Firsoff (见文献29) 提出了对横摇运动统计资料的分析, 以及Grim (见文献30) 运用了随机过程去探讨非线性船的横摇问题。不久, 统计分析方法便越来越普遍了, 本文将在发展动态中叙述它目前的成就。

最后一组研究课题的目标在于为建立稳性衡准确定一个最低安全稳度值。众所周知, 载重线公约早在十一世纪就已经问世了, 可是真正为船舶稳性建立规范投入力量还是1870年以后的事。那是因为一艘英国战舰“Captain”号沉没了, 这才从这一事故中提出了最小安全稳性的课题。20世纪初叶, 德国劳氏船级会社曾经因为大量渔轮沉没事故作了一番稳性的研究。因而灾难性的沉船事故就是当时把如此多的注意力集中在最低稳性问题上的主要原因。在推导船舶稳性衡准过程之中, 曾提出并试验过种种方法, 下面准备按类别而不按先后次序加以综述。

初稳心高度曾作为最初衡量稳性的尺度之一。二十世纪初, 初稳心高度在0.2到0.6米范围 (视船舶类型、尺度而定), 便认为是足够了。Foerster (见文献34) 对此曾作过评论, 认为由于复原力矩是排水量和复原力臂之积, 因此当船舶排水量增加时, 其最低稳性应相应地减小。下面是一部分推荐的最低GM值计算式:

$$GM = \frac{0.213}{C_B} \cdot \frac{A_w}{\Delta_L} \quad (\text{米})$$

$$GM = BM - \frac{\Delta B_0 R_m - K \Sigma M_B}{\Delta \cdot \sin \theta_m}$$

式中, A_w 为风投影面积, C_B 为方形系数, Δ 为船舶排水量, K 为常数, 其值在 2.5 与 3.0 之间时稳性较好, θ 为 GZ 最大时的倾斜角, ΣM_B 为诸倾覆力矩之和, $B_0 R_m = GZ_m + BG \sin \theta_m$ 。由第二个方程式可见它包括了复原力臂曲线各种倾覆力矩。

除初稳心高度衡准外, 同时还把精力集中在确定如何根据船舶主尺度来衡量稳性的原则方面去。采用这种方法主要是为使设计人员工作方便, 但由于存在各种缺点, 实践证明它是无价值的。

用复原力臂曲线判断稳性首先是由Reed在1868年提出的(见文献32)。但是这条曲线是在1887年Denny的文章(见文献33)发表后才开始应用。这类稳性衡准嗣后在船舶设计中经常应用,许多作者还提出了各种建议性标准的曲线,图1所示是其中几条。事实证明,对于各种不同标准曲线之间的争鸣是有益的,下列一些特征具有重要意义:

- a) 复原力臂曲线从零到10度倾斜角这段范围取决于初稳心高度。
- b) 复原力臂曲线达最大值时的倾斜角 θ_m 极为重要
- c) 复原力臂等于零时的消失角 θ_0 也同样重要
- d) 在20、30、40度等处的复原力臂值对船的稳性有巨大的影响。

由复原力臂曲线积分所得的动力臂曲线也用以作为稳性衡准。1913年Benjamin在分析比较了大量公认为营运成功的船只之后,提出了他的建议(见文献35)。他在结论中所提出的最低动态复原力臂值如下:

- 1) 当 $\theta = 60^\circ$ 时, $e_{60} \geq 0.2 \text{米} \cdot \text{弧度}$
- 2) 当 $\theta = 30^\circ$ 时, $e_{30} \geq 0.05 \text{米} \cdot \text{弧度}$

由于限制角的选用,他这条建议受到了强烈的反对。不久, Benjamin 自己修改了这一建议并提出另一条标准曲线来代替它。Pierrottet在1935年提出了一个完整的衡准草案(见文献36)。在这篇著作中,他建议采用一种界限角,并要求在这个角度下的动态复原力臂必须等于或大于所有由风,浪,离心力和旅客活动所作之功的总和。他还提出了数值算法。可是,他这项建议未被广泛采纳,因为标准太严,界限角太大。

1939年, Rahola 在他的博士论文中(见文献37),对订立切实可行的稳性衡准提出了很有价值的见解,这篇论文以三十件左右倾覆事故的官方调查为素材,并有效地应用了当时的理论,他所建议的综合衡准如下:

- 20度时 $GZ \geq 0.14 \text{米}$
- 30度时 $GZ \geq 0.20 \text{米}$
- 40度时 $GZ \geq 0.20 \text{米}$
- $\theta_m \geq 35 \text{度}$
- θ_0 时的 $e = 0.08 \text{米} \cdot \text{弧度}$

其中,界限角 θ_0 定义为最小的 θ_m ,淹没非水密开口的倾斜角,移动货载的倾斜角,或40度。Rahola的研究工作价值重大,并被采纳为几个国家的国家标准的基础,包括1968政府间海事协商组织所公布的标准。

Skinnev(见文献38)在他1951年发表的文章中认为,小船的稳性同时受到风,浪,和流动的水的作用,他得出凭着最大GZ值和相应的角度就足以确定复原力臂曲线的结论。Steel在1956年的文章(见文献39)中考虑到了影响船舶稳性的操作因素,他在分析了几件特定海损事故后声称,不应当机械地接受最低稳性标准,但应适当地按船舶类型、用途和货载的性质具体考虑。Yamagata在1959年(见文献40)发表了日本采用的稳性衡准,它所使用的方法和Pierrottet的建议相似,文中附有算法。

Norrby在他的论文中(见文献41、42)对Rahola的沿海货轮动态稳性衡准作了一些修正。他所建议的动力臂 $e = 0.08 \frac{\Delta_s}{\Delta} \text{米} \cdot \text{弧度}$, 在最低 θ_m 界限角、淹没角,或35度处, Δ_s 为夏季载重水线排水量, Δ 为船舶排水量,他的结论是,一旦稳性衡准确定之后,最低

应有的GM在测量其横摇周期并按Kato求转动半径的公式由船长估计出来。

1962年, IMCO (政府间海事协商组织) 成立了分舱及稳性委员会负责处理各型船舶的稳性问题, 包括渔轮在内。海协所取得的进展, 在渔轮方面, 已由 Nadeinski 和 Jens (见文献43), 总的方面由 Thomson 及 Tope 加以评述 (见文献44)。这些研究的成果是对某些判断船舶稳性的建议, 同 Rahola 所得的成果相差甚微, 后面将加以讨论。

3. 现在的发展动态

前十年中, 船舶稳性研究工作朝着新方向发展, Grim (见文献20) 和 wedel (见文献45) 是其中的先驱者。他们二人都首创了船舶在波浪中的复原力矩随时间而变化的响应, 但将这个变化用于别的目的。事实上, 这个基本概念并不新鲜。Pollard 和 Dudebout (见文献46) 以及 Kempf (见文献47) 早已提过该课题的重要性, 但是其应用却推迟到1952年以后。下面拟将分别综述每种方法。为方便起见, 首先谈 Wendel 的方法。

据海损记录统计分析说明有相当多的船只, 特别是那些长度在30到60米之间的, 在随浪和尾斜浪中受到了蒲氏5到7级风的作用而发生沉没事故的船只。基于这个事实, Wendel 和与他共事的造船工程师们作出了“船舶最危险的情况产生在她受到长度和速度同它一样的波浪作用的时候”的结论。复原力矩的总丧失量被归结为波高、波形、波倾和波峰同船长之间的相对位置的函数。最坏的情况发生在波峰处于中部时, 计算方法是首先把一个单维波形重叠在船的侧视图上, 调整纵倾和下沉量, 再用常规方法计算复原力臂。这些计算常常产生非常严重的不切实际的复原力矩损失。为修正这种结果, Arndt 和 Roden (见文献48) 建议将 Smith 效应, 即水分子的轨道运动的作用引入压力计算中去, 他们计算的结果见图2, 沿此方向深入发展的还有 Pauling (文献49), Upahl (文献50) 以及其他人的著作。此后的课题转向倾覆的概率方面, 成果见文献(51)。

对倾覆概率课题的研究现今还在继续进行, 海协已对随浪中稳性丧失考虑出一些建议, 见文献(52)和(53)等例。

1952年, Grim 探讨了波浪中复原力矩的变化, 他提出的横摇方程式是

$$I \ddot{\theta} + \Delta(GM + \delta GM \cos \sigma t) \theta = 0$$

式中 I 为绕转轴的虚质转动惯量, Δ 为排水量, GM 为稳心高度, δGM 为稳心高度的最大变化, δ 为波频率, t 为时间, θ 为横摇角。Grim 在应用 Mathieu 方程的著名的稳性研究成果期间曾指出了可能的稳性不足区域。1954年 (见文献24), 他所归纳的横摇运动通式为

$$I \ddot{\theta} + \Delta \cdot GZ(\theta) = M$$

式中 M 为扰动。

Grim 方法的重要性在于能够将船舶稳性和它的运动联系起来考虑, 这个理论已经成为今日大多数研究课题的基础。继 Grim 的研究之后, Vedeler (见文献22), Bauman (见文献23), 和 Kerwin (见文献54) 等人又将这项课题扩展到表征非线性横摇运动的更加广泛的方程组方面去。Paulling 和 Rosenberg (见文献25) 阐述了一些非线性偶合作用所可能引起的不稳定现象, Haddara 在他的论文中 (见文献55) 亟力从 Hill 方程式的答案寻找某些不稳定区域。

正当具有决定意义的船舶倾复稳性案例被广泛研究之际,船舶在不规则风浪条件下的运动响应也同时被许多研究工作者探讨着。继 Pievson 和 St. Denis 开创这项课题之后, Cartwright 和 Rydill 二人(见文献 28)对横摇运动的研究则更为重视。Kato 等人发表了一篇关于试验研究不规则性风浪条件的文章(见文献 56)。这项课题经一组日本学者继续探索之后,不仅提出了当前估计稳性的方法,而且还总结出一套计算稳性所必需的重要因素的计算机程序(见文献 57)。Hasselman(见文献 58)和 Vassilpoulos(见文献 59)揭示了如何处理不规则激励下的非线性问题。Kastner(见文献 60)对这方面的应用加以引伸并研究了横摇运动的相位轨迹的响应问题(参看图 3)。De Jong(见文献 61)在他的哲学博士论文中,借 Fokker—Planck—Kolgomorov 方程式之助亟力想解决上述问题并用阈限交叉的概率去解释稳性,类似的理论和实验两方面的研究工作曾经在许多研究中心展开(见文献 62、63、64 等例子)。

所有这些工作的最重要特征旨在求解单或双非线性横摇方程式然后借助解出的方程去寻求最优稳性。但当船舶运动方程的非线性严重时,这种或多或少将方程组线性化了的近似方法就可能得出不可靠的解答。为克服这种困难,Odabasi(见文献 65)将 Lyapunov 的直接法应用到船舶稳性计算中去。不久以后, Kuo 和 Odabasi 二人又进一步阐述了稳性的全面定义(见文献 66)和估计稳性的方法(见文献 67)。

4. 稳性衡准

稳性衡准是供设计人员和船长衡量船舶稳性的唯一尺度,因此,制订这种规范或建议性规则的必要性是不喻自明的。当然,制订稳性规范是一项艰难的任务,因为要在许许多多影响最佳设计的分歧而矛盾着的要求和因素之中找到一个合理的折衷方案,实非易事。

只须对船舶海损记录稍加浏览,就可以发现它们的尺度、类型、载荷情况,环境条件,总而言之,造成事故的原因真是五花八门的。从最近就英国前十五年间的海损事故抽取实例分析研究所制成的统计表 1 就可以清楚地说明这个事实。在这种情况下,相信一条标准 GZ—0 曲线,或是一个非常简单的图解法就是稳性问题的圆满答案,未免过于乐观了。

观察一遍表 1 备注栏之后,可以明显地看出,人们在判断海损原因的主次,或区别前者和后者哪条更为重要时,经常遇到困难。再说,表中有 6 艘船竟然无缘无故地失事了,这就不可避免地对事故原因分析带来相当大的猜测性。这些海损事故案例中只有少数几个是单纯因为稳性不足失事的,多数事故的环境都很复杂,见表 2 案例中的说明,旁的案例明显地反映出一些不同级分布或附加的主次原因。

即使在那些被认为稳性不足(按海协标准)的事故中,由于缺乏一条“气候衡准”,也无法断定在什么样的海况中这些船本来是能幸存的,对于那些稳性超过海协建议标准仍免不了翻船的事故也是这样,往往对事故作了一番冗长而费钱的调查研究之后,仍然得不出什么经验教训来。

在实践中,为克服上述缺点,曾经有人提出过一些方法。其中一部分侧重简单化因而所推导的都是纯经验性衡准。另外一些采用了理想的理论计算作为稳性衡准的基础。不管那一类,它们的共同特点是具有可靠性的实践经验。

我们目前主要遇到下面三种数值不同的估计船舶稳性的衡准（见文献43、68、69）。

1) 以某种GM计算公式或干舷值为基础的衡准

2) 以最低稳性要求所需要的GM，静态和动态复原力臂为基础的衡准。这就是海协采用的方法，最低值的数字计算是根据海损事故记录的统计分析。经海协推荐后，其结果又经许多国家审查和应用过。

3) 以和复原力臂对比的倾覆力臂计算为基础的衡准。虽嫌有些过于简单，但这是唯一显然地应用理论的解法。采纳这类稳性衡准方式的国家主要有苏联，东欧诸国和日本。下面准备概括介绍后两类采用较多的稳性估计方法：

a) 客船和货船：GM ≥ 0.15米

渔轮：GM ≥ 0.35米

甲板载木材的货船：GM ≥ 0.05米

b) $\theta_m > 25^\circ$ ，最好是 $> 30^\circ$ θ_m 为GZ达最大值时的角度

c) 当 $\theta \geq 30^\circ$ 时，GZ ≥ 0.2米

d) 当 $\theta = 30^\circ$ 时，动态力臂 ≥ 0.055米·弧度

e) 当 $\theta = 40^\circ$ 或 $\theta = \theta_i$ 时，动态力臂 ≥ 0.09米·弧度， θ_i 为淹没角

f) 在 $\theta = 40^\circ$ 或 $\theta = \theta_i$ 和 $\theta = 30^\circ$ 之间的动态力臂值之差必须大于0.03米·弧度

除上述规定外，客轮还须满足以下补充要求：

g) 由旅客们的活动产生的倾角必须小于 10° 。

h) 船转舵时由下式表达的转动力矩引起的横倾角必须小于 10° 。

$$M_R = 0.02 \frac{V_0^2}{L} \Delta \left(KG - \frac{T}{2} \right) \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

式中， M_R 为倾复力矩， V_0 为航速， L 为水线长， T 为吃水， KG 为重心垂直距离。

人们不难看出，海协建议衡准和Rohala的结果非常接近（参看图1）。

为说明第三类稳性衡准的重要特征，下面准备将苏联代表提给海协的建议加以综述（见文献70）。根据这条衡准，假如船舶的气候衡准K能满足下列不等式，则将被认为是稳定的：

$$K = \frac{M_c}{M_v} \geq 1.0$$

式中， M_c 是倾覆力矩， M_v 为“动态”倾覆力矩。 M_v 由下式计算：

$$M_v = 0.001 P_v A_v Z \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

式中， P_v 为风压， A_v 为船舶有效水线以上的侧投影面积， Z 为投影侧面积中心和有效水线之间的距离。 P_v 之值按图4选取。

倾覆力矩按一种图解法决定。在此以前，先须按下式求得横摇幅度 θ_r

$$\theta_r = X_1 X_2 Y$$

式中， X_1 ， X_2 ， Y 为系数，分别由图5、图6、图7给定。

如采用静稳性图，则倾覆力矩为

$$M_c = \Delta \cdot \overline{OM}$$

如采用动态力臂曲线, 则倾覆力矩为

$$M_c = \Delta \cdot \overline{BE}$$

$\overline{OM}$ 和 $\overline{BE}$ 之值按图8方法求取:

由于若干时间以来, 许多国家采用海协的建议作为船舶稳性衡准, 促使我们密切注视海协组织的活动。当1968年海协刚提出最低稳性建议之际, 人们普遍地将它当作初步近似法看待, 尽管以后曾有一些代表国, 例如苏联, 提过某些修正方案, 但它们毕竟居于非结论性的。海协组织最近成立了一个新的工作组专门负责改进稳性衡准。细节见附录I。

下面以两艘船的某些具体特征为例, 说明建立改进的稳性衡准的需要性。这两艘船各种参数都超过了海协稳性衡准最低要求, 可是仍然逃不了倾覆的厄运(参看表3、表4和文献71、72、73)。上述实例足以说明单靠海协建议稳性衡准还不能保证船舶安全, 因为上面两艘船失事之时, 气候条件都并不太严峻, 为此, 我们必须努力寻求造成倾覆的其它原因。在英国, 贸易部已经觉察到这种困境并曾颁布了必要的指导原则(见附录II), 此外, 还积极支持有关这方面的研究。

5. 对现有水平的评论

如前章所述, 船舶稳性是根据由船的几何因素和重心高度确定的复原力臂, 以及假定具有势能的风浪力来衡量的。这样便把问题简化为守恒系统的稳性问题。作为这种理论的固有推论或常微分方程, 如无附加的扰动, 船舶应稳定在它的新的平衡位置上。因此, 这种方法只是一种准动态方法。

在鉴定实际经验的价值并准备以该项经验的合理分析为基础制定规范时, 最好对下述事态加以重视。

考虑到大多数衡准都是以 Rabola 的结论为基础稍加修改或增添的, 下列观点即使在半经验方法中也显得相当缺乏说服力,

1) 全部答案都好像是从所谓的频率分布曲线得出来的, 实际上被采用的只有遭遇稳性海损事故的船舶的复原力臂和动态复原力臂的柱状(直方)图(见文献43)。所用的统计方法似乎有问题, 使作者们感到陌生, 经过仔细检查这些图表和原始记录之后, 发现:

- a) 这些船的类型和尺度都有很大的差别, 所考虑的范围也过大;
- b) 发生事故时, 各船载荷情况也不一样, 将满载到港当作安全情况的假设显然是没有根据的;
- c) 每件事故的环境条件各不相同, 由此而产生的重大影响被忽略了;
- d) 特别是被称为“现有”船舶的船龄也都不一样;

1) 在被称为“现存的”船舶(假定它们是安全的)之中有些船将来可能遭到海损这桩事实也被忽略了。

由于以上这些原因, 作者们认为, 将来如果开展类似研究课题, 应当建筑在加权统计分析基础上, 加权系数应从上述诸因素中推导出来。此外, 还应当承认这样取得的数据对于非常规的新型船只并不适用。

2) 一条船往往沉没在她因受风浪变化作用的影响正在经受振荡运动的时候。风和浪的作用都不是潜在的, 就是说, 不能够为了把它们引入GZ— θ 曲线而加以理想化。如果是

这种情况,那就不能奢望一种过分简单假定出来的准动态方法会产生适用于所有的船的效能。本文第4节所举出的那些例子并不属于特殊的情况。

3) 当前存在一种将现有稳性衡准扩大到海洋世界的其它部门去的危险倾向。典型的例子是应用到离岸钻探平台上。实际上,这种平台从稳性的角度上看和船舶很少有共同之处。它们肯定会围绕虚质量惯性矩最小的主坐标轴之一作最大的旋转运动,可以想象得到,由于巨大的不对称的上层建筑,这根转轴就不会同水下部分的对称轴相重合。此外,风和浪对这种结构物的影响也和船大不相同。

4) 虽然曾经作过许多努力企图从数学上阐明船舶稳性,例如文献74、75所论述的,但是至今在稳性衡准中尚未能对稳性提出一个合理的定义。作者们认为这便是唯一的首先应当加以解决的课题。有关稳性的各种概念,请参阅文献(76)。

5) 对当前的稳性衡准的最后一个也是最重要的批评是对它的绝对化倾向,一旦某船满足稳性衡准的要求,便不管环境条件如何,也不顾世界上根本不存在绝对稳定的动态系统这种常识,便贸然宣称该船是稳定的。因此,稳性衡准必须和环境条件相结合,至少应当按不同营运地区和季节加以区别规定,在分析海损包括稳性事故的实践中有一个偏向,就是只问出事的船符不符合海协的规定,再不问别的,这样搞下去,既不能接收教训,也不会得到改进。

当前,船舶科学工作者的精力逐渐放到如何明确地鉴定船舶和离岸石油钻探平台的稳性方面来了。现在让我们按照这些活动的规律分组加以剖析。

第一组研究项目继续利用传统的稳性理论并加以修正或变换。这类研究活动多数以修正稳性规范为目标,为此作过一番努力企图推导出某些决定性的和随机的修正。作者们认为传统稳性理论不足以为所有各种海上工程结构物提供安全标准,如果不考虑动态运动,这种研究结果可能无价值。

第二组课题旨在探索随浪和尾斜浪的影响,主要从静态角度出发。目的是推导出计算在确定的或偶然的风浪作用下船舶复原力臂的减额公式,从而将稳性衡准公式化。虽然用这种方法研究可能得出某些有用的结果,但如将这种结果当作静态量理解和使用,那就错了。静态和动态用途的区分的最好解释见图9。由时间关系曲线可见,即使复原力矩减少了25%,对横摇振幅也未引起显著的增加。这种现象也曾多次在试验中观察到,特别是长度超过100米的船(见文献77)。这里还要强调指出,研究的结果只有结合了运动方程式才会得到有效的应用。

最后一组研究工作努力将稳性概念和船舶运动方程式联系起来。这种方法的最终目的是想创立一种估计在确定性或随机性的环境条件下运动着的船舶的稳性的方法。据作者们了解,这是解释和鉴定船舶稳性的最佳可能方法。不过还有几个与这种动态系统方法有关的问题须弄明白,而要想弄清楚它就需要一种比古典造船原理更为广博的知识,因此有必要作下列注释:

1) 模型,亦即数学方程式,无疑是本课题最重要的组成部分之一,值得引起极大的重视,为此,在作假定时必须十分慎重,对于各该模型的正确性的程度也必须心中有数。如果方程式不真,尽管一般总能解出问题的答案,但不可能和真实的物理现象相符。

2) 在数学分析过程中,必须竭力赋予数学符号以物理量,这样肯定有助于了解和解释数学结果和它们与其它相关量之间的关系。

3) 最终的答案必须用简明扼要的方式表达出来,使不懂专业知识的人也能掌握应用到实际问题上去。

6. 对于未来发展的设想

今天,我们对船舶稳性的概念比过去理解得更为正确、更加清楚了。只要稍微浏览一下本届会议的论文题目也可以看出近年来船舶稳性的分析工作的变化。当然,在理论上还存在一些差距,为了将它们应用于实际,对有些概念还需要继续研究,为此作者们建议将精力集中在以下几方面:

1) 理论方面

理论和实际之间存在着很大的差距,看来,理论研究工作沿着正确的方向前进,但是眼下确实存在某些重要的应该优先考虑解决的问题。

a) 关于稳性的意义缺乏用精确的数学和动态特性语言表达,这是当务之急。

b) 大多数研究都热衷于快得出结果,并直接联系到具体的海损事故上去。这种研究所得出的结果只不过是多维面上的一个点,远非决定性的,因此迫切需要用更多的精力去研究稳性分析的基本特性,以便洞察船一波系统参量和船舶运动的稳性之间的内部联系。

c) 最近的一些研究论文学院气氛似乎很浓,数学统治了真实观点。要想在实际应用这种知识方面取得进展,必须紧紧抓住有关方程式的物理含义这一关键,用清楚而精确的语言加以阐明。作者们认为,复杂的方程式如果表达得正确、通俗易懂,那么,应用起来并不是很困难的。控制工程方面的应用为这种哲理树立了一个好榜样。

d) 一些重要因素,例如积水的晃动,货载的移动,货物的种类等等虽然在许多海损中成为事故的主要原因,但在一些理论研究中往往被忽略了。作为一个建设性的步骤,我们可以引用海协制订的货轮安全规则(见文献78)。

e) 应当在不影响安全性能的原则下,通过作出一些修改和加以简化等办法尽力去发挥现有衡准理论的作用。

2) 在应用方面

在实际使用现有衡准过程中已经暴露出某些重要缺点,因此必须在改进制订新的稳性衡准时加以克服。例如:

a) 从海损统计表可以明显看出发生海损事故的船,其中大多数船长在70米以下,特别是渔轮,事故更为明显,它们遭受危险的机会比其它类型的船都大,因为它必须长时间呆在海面上,不论风浪气候条件如何,经常远离可以躲避风浪的地方,并经常被迫保持在危险的位置进行操作。因此,渔轮的稳性规范必须适应这些条件。

b) 调查报告表明,特别是在小船上,船长们不能经常准确地肯定他们船的稳性状态,部分原因是缺乏稳性理论和货载特性两方面的知识,另外是时间不够。因此,应当为船长们提供各式各样的既容易又迅速的判断稳性的资料。联合王国商业部已经在这方面作了某

些推荐(见文献79)。鉴于要想制订在所有条件下既简单易行,又能保证船的安全的稳性规范,虽有可能,但却是极为困难的,如果能够制订两套不同形式的衡准,一套简单明了的专供船长们使用,另一套复杂的供设计人员和审定机关使用,准会受到欢迎。

c) 海损事故统计仍将继续起重要作用。应当牢记,不要把第5节中的所谓直方图和任何有义统计分析相混淆。

d) 海洋生产和海上运输的不断发展已经研制出一些新的特型船舶,如离岸供应船,敷管驳等等。对这类船可能需要加以特殊对待,此点最近已在联合王国和其它国家代表团在政府间海事协商会议上作了讨论过(见文献80)。

3) 教育方面

另外一个重要的实际问题是需要对船长们进行教育,特别对于小船的船长,尤为迫切。

末了,作者还想强调维保和检验工作对于保持稳性和适航性始终处于应有的水平的重要性。

参 考 文 献

- 1) Bouguer, P.
"Traite du Navire, de la Construction et de les mouvements"
Paris (1746)
- 2) Atwood
"Disquisition on the Stability of Ships" Philosophical Transactions
of the Royal Society of London, (1796)
- 3) Moseley, C.
"On Dynamical Stability and the Oscillation of Floating Bodies"
Philosophical Transactions of the Royal Society of London, (1850)
- 4) Barnes, F.K.
"On a New Method of Calculating the Statical and Dynamical
Stabilities of a Ship" Trans INA (1861)
- 5) Soribanti, A.
"On the Heeling and Rolling of Ships of Small Initial Stability"
Trans, INA (1904)
- 6) Prohasha, C.W.
"Residuary Stability"
Trans. INA (1947)
- 7) Froude, W
"On the Rolling of Ships"
Trans. INA (1861)
- 8) Froude, W.
"On the Resistance in Rolling of Ships"
Trans. INA (1874)