

船舶的耐波性 和在波浪上的稳定措施

國防工業出版社

船舶的耐波性 和在波浪上的稳定措施

〔苏〕 A. H. 霍洛季林 著
A. H. 什梅列夫

许百春 鄢明川 蔡根源 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系船舶静力学和动力学手册两卷本(作者C. H. 勃拉戈维辛斯基、A. H. 霍洛季林, 列宁格勒造船工业出版社, 1975年)的续篇。书中收集了船舶耐波性和稳定性方面的理论和试验资料, 介绍了有关海浪的参考资料, 讨论了船舶的耐波性及提高耐波性的途径和方法, 并且对某些特殊的问题, 诸如砰击及非排水量船、多体船、液货船、散货船在波浪上航行时的特点和拍岸浪对船的作用等也作了介绍。此外, 本书还附有各种算例和大量图表资料。

本书可供造船专业的工程技术人员及高等院校的师生参考。

本书第一、二章由许百春同志翻译, 第三章由邬明川同志翻译, 第四章由蔡根源同志翻译。

Мореходность и стабилизация судов на волнении

А. Н. Холодилин А. Н. Шимурев

Издательство «Судостроение» Ленинград 1976

*

船舶的耐波性 和在波浪上的稳定措施

А. Н. 霍洛季林 著
〔苏〕 А. Н. 什梅列夫

许百春 邬明川 蔡根源 译

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张14¹/₂ 308千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷 印数: 0,001—1,600册

统一书号: 15034·1914 定价: 1.50元

作 者 的 话

表征船舶海上性能主要特性的船舶耐波性汇总了所有航海性能。所以，很难说有这样一个作者，他研究船舶动力学的一般问题而又不在其著作中涉及耐波性问题的。只是在近五十年内，由于对船舶海上性能起积极作用的船舶稳定方面取得了相当大的成就，才不仅有可能把耐波性与稳定联系起来，而且有可能对这些学科的理论和实践的发展加以总结。

C. H. 勃拉戈维辛斯基对船舶耐波性和稳定的理论基础和实践作了完整的总结（《船舶原理手册》，列宁格勒造船工业出版社，1950年、《船舶摇摆》，列宁格勒造船工业出版社，1954年）。但是，这两本书出版以来已经过了相当长的时间，而1961年和1972年先后两次出版的《船舶减摇装置》（列宁格勒造船工业出版社，第一版时作者为A. H. 什梅列夫、B. A. 莫连希利德特、C. Г. 依利娜，第二版还增加了A. И. 戈利金）只讨论了稳定的问题。

本书总结了船舶耐波性和稳定方面的最新研究成果，所以可供造船专业的工程技术人员以及高等院校的师生使用。

本书共分四章，分别探讨了海浪、船舶的耐波性和稳定问题，并在第四章中集中讨论了一些有关耐波性方面的专门的、比较新的问题，这些问题在有关船舶耐波性和稳定的一般教材和专著中是很少涉及的。

前言与第一章的§5～§8，第二章的§17，第三章的

§ 21 以及第四章由科学技术博士 A. H. 霍洛季林执笔。随机过程理论的主要术语及第三章 (§ 17 除外) 由科学技术博士 A. H. 什梅列夫执笔。其他的执笔者有: 科学技术副博士 Д. B. 康德利柯夫 (§ 9 与 § 10)、科学技术副博士 B. B. 利比斯 (§ 11)、科学技术副博士 Ю. И. 涅查也夫 (§ 12)、工程师 Г. Б. 伏伊托夫 (§ 20)、科学技术副博士 M. H. 布善列夫 (§ 22)、科学技术副博士 B. B. 加里卡夫 (§ 23)、科学技术副博士 B. A. 杜勃洛夫斯基和工程师 С. Б. 苏图罗 (§ 24, 后者还编写了 § 6 中的“横摇计算中的统计线性化”) 以及科学技术副博士 B. B. 米罗欣 (§ 25) 等。

前 言

在整个航海历史中，人们一直在研究船舶的各种性能并逐步地加以改进。同时，人们对船上的技术装备和生活条件的要求也在改变。十九世纪蒸汽机代替了船帆，从此，船舶发生了根本性的转变。动力装置在船上的出现使得有可能用新的方法来进行船舶设计，对船舶的技术要求也发生了变化，船上动力装备的水平、船舶的自给力和抗气候影响的能力都有所提高。正是在这样的条件下产生了现代船舶按性能分类的要求。在最早的一些分类者中间包括有海军上将С.О.马卡罗夫，在他的《海军战术问题的探讨》（莫斯科海军出版社，1943年）一书中，把船舶的海上性能（Морские качества）解释为“船在任意海况和气候条件下迅速而安全地航行的能力”。

根据海军上将С.О.马卡罗夫的观点，所谓船的海上性能就是航速、续航力、回转性、稳性、在大浪上航行的能力和保持摇摆较小的能力。

科学院院士А.Н.克雷洛夫把船舶的航海性能（Мореходные качества）看作是浮性、稳性、波浪上的摇摆平稳性、快速性和回转性。

科学院院士В.Л.波兹久宁把船的主要性能分为营运性能和航行性能两类。С.Т.雅哥夫列夫指出，船舶原理既要研究与静水作用力有关的船舶性能，也要研究与波浪作用力

有关的船舶性能。

按大多数专家所采用的体系，所有的船舶性能分为营运性能（只表征给定类型的船舶）和航海性能（表征所有船舶，不论其用途如何）两大类。

本书的作者之一 А. Н. 什梅列夫提出了另一种分类。根据他的分类，船舶原理教程中所讨论的航海性能（Мореходные качества）在形式上作了某些改变，把它看作是如下性能的总和：浮性、稳性、不沉性、强度、抗砰（击）性、船体和技术设备的航海适应性。

应当指出，在苏联航海界和造船界所采用的术语中，耐波性（Мореходность）一词通常仅理解为船舶在海浪上航行时的各种性能的总和。至于浮性、不沉性和强度等这些性能一般不包括在耐波性范围内。

由于船舶海上性能目前还没有公认的分类，所以本书作者仍然遵循上述术语含义。

目 录

随机过程理论的主要术语	1
第一章 海浪	4
§ 1 风和浪的概况	6
§ 2 波浪的运动特性	12
§ 3 海浪波谱	18
§ 4 海浪的统计特性	24
参考文献	29
第二章 船舶耐波性	30
§ 5 船舶的耐波性	34
✓ § 6 船舶横摇	39
✓ § 7 船舶纵向运动的工程计算方法	63
✓ § 8 估计船舶耐波性的方法	67
§ 9 砰击	75
§ 10 飞溅和甲板淹浸	85
§ 11 船在波浪上的快速性	101
§ 12 船在波浪上的稳性	131
参考文献	153
第三章 船舶在波浪中的稳定措施	154
§ 13 船舶稳定的物理基础和原理	155
§ 14 船舶减摇装置的分类及研究概况	168
§ 15 重力式减摇装置	175
§ 16 流体动力式减摇装置	217
§ 17 船舶的纵向稳定	249

§ 18 陀螺稳定器	262
§ 19 船舶稳定装置效果的估计方法和衡准值	274
参考文献	281

第四章 船舶的耐波性和在波浪中稳定的若干

特殊问题	282
§ 20 船舶在波浪中的偏航和航向稳定	286
§ 21 船形对耐波性及稳定的影响	315
§ 22 非排水量型船舶的耐波性和稳定的特点	319
§ 23 液货船和散装货船的摇摆特点	381
§ 24 多体船的摇摆	391
§ 25 船舶在碎浪中摇摆计算的特点	429
参考文献	455

随机过程理论的主要术语

随机量 x 为一个变量，它可在许多可能值 x_i 中取值。同时，对于连续的随机变量（过程），存在有一个非负的函数 $f(x)$ ，这个函数能满足等式：

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

于是

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

随机量的分布函数（分布律，分布曲线或概率密度）为一个函数（曲线） $f(x)$ ，它表示随机量 x 分别以怎样的概率取某一值或另些值。

概率分布的积分函数等于随机量 x 大于某一给定值 X 的概率 p ，即 $F(x) = p(x > X)$ 。在实际问题中，函数 $1 - F(x)$ 通常称为保证率。

随机量的数学期望（平均值或分布曲线的一阶原点矩）：

$$\bar{x} = M(x) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx$$

随机量的方差（分布曲线的二阶中心矩）：

$$D_x = M(x - \bar{x})^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^2 f(x) dx$$

随机量的均方差（标准差）：

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}$$

随机量 k 阶矩 (分布曲线的 k 阶原点矩):

$$M_k = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f(x) dx$$

正态分布 (高斯分布):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_x}} \exp \left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2D_x} \right]$$

瑞利分布为随机量 x 的幅值的分布规律, x 符合正态分布:

$$f(x_m) = \frac{x_m}{D_x} \exp \left[-\frac{x_m^2}{2D_x} \right]$$

给定保证率 (%) 下随机量幅值与方差间的关系为:

$$x_{m\%} = \sqrt{D_x 2 \ln \frac{1}{F(x_{m\%})}}$$

随机过程自相关函数:

$$K_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) x(t + \tau) dt$$

式中 $T \rightarrow \infty$ —— 乘积 $x(t) x(t + \tau)$ 的时间平均值;

T, τ —— 相关的取样时间和滞后时间。

随机过程的谱密度(谱):

$$S_x(\sigma) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} K_x(\tau) \cos \sigma \tau d\tau$$

谱与方差间的关系为:

$$D_x(\sigma) = \int_0^{\infty} S_x(\sigma) d\sigma$$

两个随机量 x 和 y 的互相关系数为:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{D_x D_y}}$$

线性环节（转换器）的输入和输出随机过程 x 和 y 的辛钦相关定理：

$$S_y(\sigma) = |\Phi_{xy}(\sigma)|^2 S_x(\sigma)$$

式中 S_y, S_x ——分别表示输出和输入过程的谱密度；

$\Phi_{xy}(\sigma)$ ——线性环节（转换器）的传递函数的模，也就是在单位幅度的脉冲作用下决定输出过程的函数。

第一章 海 浪

主 要 符 号

风符号

d_{ET} ——风程, 公里;

t_{ET} ——风时, 小时;

v_{ET} ——风速, 米/秒;

β_{AT} ——波浪吸收风能的无因次系数。

波浪符号

几何学和运动学方面:

c_s ——波速, 米/秒;

g ——重力加速度, 米/秒²;

h_s ——波高, 米;

$h_{3\%}$ ——3% 保证率波高, 米;

$\bar{h}$ ——平均波高, 米;

$\bar{h}_{1/3}$ ——有义波高 (最大的三分之一部分的波高平均值), 米;

$h_{n\%}$ —— $n\%$ 保证率的波高, 米;

$h_{0.5\%}$ ——0.5% 保证率的波高, 米;

H ——水域深度, 米;

k ——波数 (波形频率), 米⁻¹;

r_s ——表面处波幅, 米;

r_z ——水下波幅, 米;

u_a ——波群速, 米/秒;

α ——波倾角, 弧度;

α_0 ——波倾角幅值, 弧度;

γ ——水的比重, 吨/米³;

δ_a ——波陡, $\delta_a = \frac{h_a}{\lambda_a}$;

λ_a ——波长, 米;

ρ ——水的质量密度, 吨·秒²/米⁴;

σ ——波浪频率, 秒⁻¹;

τ ——波浪周期, 秒;

φ_a ——波浪传播的主方向 (通常与风向相同) 与决定波谱密度的方向之间的夹角, 弧度。

不规则波的特征值方面:

Γ ——伽玛函数;

D_z ——波面垂向坐标的方差, 米²;

K ——相关函数, 米²·秒;

m_n ——谱矩, $n = -1, 0, 1, 2, \dots$;

$S_z(\sigma, \varphi_B)$ ——二维波谱密度, 米²·秒;

$S_z(\sigma)$ ——一维波谱密度, 米²·秒;

$S'_z(\sigma')$ ——无因次波谱密度;

$S_a(\sigma)$ ——波倾角谱密度, 度²·秒;

ε ——谱宽;

σ_z ——波浪的标准差, $\sigma_z = \sqrt{D_z}$, 米;

σ' ——无因次频率, $\sigma' = \sigma \sqrt{\sigma_z/g}$;

τ_n ——波浪特征周期, 秒。

§ 1 风和浪的概况

1806年英国海军上将蒲福制定了一个帆船用的估算风力的风级表。这个风级表取100节的风速，即任何一张风帆都不能承受的风力作为上限。1838年这个风级表为世界各国海军所采用，1874年又为国际气象委员会通过。目前，有些国家（如美国等）在采用蒲福风级表计算风速时是指海面以上10米处的风速，而另一些国家（如苏联等）则是指海面以上6米处的风速（见表1.1）。风级表的最大风级是12级，相当于平均风速64节以上。

现代的风速计能记录到200节左右（360公里/时）的风速，而最高的测量记录为415公里/时。这是平均风速，阵风时将增加20~30%。台风时风速最大。为了估算台风，蒲福风级表又增加了五个风级（从13级到17级），风速可算到460公里/时。

设在关岛的台风预报联合中心由美国空军飞行员对台风的出现和发展情况进行经常性的观察。每次新出现的台风，按英文字母顺序给以一个美国女性的名字。当全部名字按字母顺序用过一遍以后，再从头开始。太平洋西北部台风名称表包括84个女性名字（表1.2）。

最大的一次大气压降系于1885年9月22日台风时在加东各答以南的福耳海角海面上测得，气压降达70毫米汞柱（测得的气压为689.3毫米汞柱）。

1927年8月18日台风时“塞彼罗萨”号船在离吕宋岛以东740公里处测到的气压更低，仅665毫米汞柱。

台风时的最大波高系由美国B-29型气象侦察机在关岛

表1.1.1 蒲福风级表

风

表1.2 台 风 名 称

1. 艾丽斯 (Alice)	29. 霍普 (Hope)	57. 奥利维亚 (Olivia)
2. 贝蒂 (Betty)	30. 艾里斯 (Iris)	58. 波利 (Polly)
3. 科拉 (Cora)	31. 琼 (Joan)	59. 罗斯 (Rose)
4. 多里斯 (Doris)	32. 凯特 (Kate)	60. 沙利 (Sharly)
5. 埃尔西 (Elsie)	33. 路易莎 (Louisa)	61. 特里克斯 (Triks)
6. 弗劳西 (Flossie)	34. 玛尔吉 (Margie)	62. 弗吉尼亚 (Virginia)
7. 格雷斯 (Grace)	35. 诺拉 (Nora)	63. 温特 (Wendy)
8. 海伦 (Helen)	36. 奥帕尔 (Opal)	64. 艾格尼丝 (Agnes)
9. 艾达 (Ida)	37. 佩希 (Pety)	65. 贝斯 (Bess)
10. 琼娜 (Juna)	38. 鲁思 (Ruth)	66. 卡曼 (Carmen)
11. 凯蒂 (Ketty)	39. 萨拉 (Sara)	67. 德拉 (Della)
12. 洛纳 (Lorna)	40. 特尔玛 (Telma)	68. 埃林 (Elin)
13. 玛丽 (Mary)	41. 维拉 (Vera)	69. 费利 (Fairy)
14. 南希 (Nancy)	42. 旺达 (Wanda)	70. 格洛里亚 (Gloria)
15. 奥尔加 (Olga)	43. 阿利 (Aly)	71. 赫斯特 (Hester)
16. 帕梅拉 (Pamela)	44. 贝维斯 (Bevs)	72. 艾尔玛 (Irma)
17. 拉比 (Rabbie)	45. 夏洛塔 (Charlotte)	73. 朱迪 (Judy)
18. 萨莉 (Sally)	46. 黛娜 (Dinah)	74. 基特 (Kit)
19. 蒂尔特 (Tilda)	47. 埃玛 (Emma)	75. 洛拉 (Lola)
20. 维奥莱特 (Violet)	48. 费雷达 (Freda)	76. 梅米 (Mamie)
21. 怀尔特 (Wilda)	49. 吉尔德 (Gilda)	77. 尼娜 (Nina)
22. 安尼塔 (Anita)	50. 赫里塔 (Henrietta)	78. 奥弗丽亚 (Ophelia)
23. 比利 (Billi)	51. 艾维 (Ivy)	79. 菲里斯 (Philis)
24. 克拉拉 (Clara)	52. 琼 (Jean)	80. 丽塔 (Rita)
25. 多特 (Dot)	53. 卡林 (Karin)	81. 苏曾娜 (Susanna)
26. 埃伦 (Ellen)	54. 露西尔 (Lucile)	82. 特斯 (Tess)
27. 弗兰 (Fran)	55. 玛丽 (Marie)	83. 维奥拉 (Viola)
28. 乔治亚 (Georgia)	56. 纳丁 (Nadine)	84. 温尼 (Winnie)

附近测得，达 37 米，但在船上测到的最高记录为 34 米。

台风时产生的风和浪甚至对现代的大船亦有很大的危险，所以要尽量避开，而这一点靠现有的国际气象预报系统是可以做到的。