

船舶水动力学

Hydromechanik
zum Schiffsentwurf

成培林 译
施内克鲁特(德) 著

上海交通大学出版社



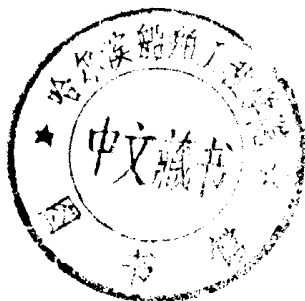
数据加载失败，请稍后重试！

335694

船舶水动力学

原作者:施内克鲁特

译者:咸培林



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书译自德国施内克鲁特教授所著“Hydromechanik zum schiffsentwurf”第三版(1988年Koehler出版社出版)。内容包括:船舶的浮性与稳性、船舶振动(摇摆)、船舶阻力、船舶推进以及船舶的转向机构与转向操作。施内克鲁特教授是当今世界船舶技术的先驱之一。他特别重视船舶理论在造船实际中的应用,所发明的螺旋桨进流导管得到了广泛的应用,被称为施内克鲁特进流导管。该导管在本书中也以一定的篇幅予以介绍。

本书不仅可作为船舶设计制造专业的教材,而且对从事船舶设计制造的工程技术人员亦能提供有价值的参考资料。

0298/06

船舶水动力学

上海交通大学出版社·出版

(上海市番禺路 875 号 邮政编码:200030)

新华书店上海发行所·发行

海峰印务公司·印刷

开本: 889×1194(毫米)1/32 印张: 16.5 字数: 422,000

版次: 1997年1月 第1版 印次: 1997年1月 第1次

ISBN 7-313-01752-9/U·057 定价: 30.00元



施内克鲁特·赫伯特教授

施内克鲁特·赫伯特教授简历

- 出生年份： 1921 年
- 职 业： 1964~1986 年任莱茵-威斯特法伦州亚琛工大造船设计和船舶水动力学教授
- 兴 趣： 船舶设计
船舶水动力学
航海史
- 所受高等教育：在柏林工大获博士学位，论文题目为“船舶设计的最佳方案”
- 经 历： 1950~1956 年在不莱梅伏尔肯船厂任船舶设计师
1956~1964 年任国防部航海设计科科长
- 社会活动： 自 1952 年起为造船技术协会会员
自 1971 年起参加航海及海军历史协会
1973~1977 年任主席
1979~1992 年任副主席
- 发表作品： 《船舶设计》，1980 年
《高效且经济的船舶设计》，1987 年
《船舶水动力学》，1988 年
- 电 话： 0049-241-74494
- 私人地址： Am Adamshäuschen 6
52074 Aachen
Germany
- 公司地址： 施内克鲁特水动力开发经营有限公司
Schneekluth Hydrodynamik
Entwicklungs-und Vertriebsgesellschaft mbH
Kleiststrasse 52
46539 Dinslaken
Germany

中文版序

本书译自德文著作:Hydromechanik zum schiffsentwurf
船舶水动力学

第三版,1988年由海尔福特(Herford)(现为汉堡 Hamburg)的葵乐(Koehler)出版社出版。

本书是亚琛工大下述几个课题的教学基础:

船舶浮性

船舶稳性

船舶阻力

船舶推进

船舶振动

船舶操纵梗概

本书兼顾到船舶制造厂及技术部门的需要,然而没有深入地讲述计算机技术的应用。在船舶设计中计算机技术的应用目前尚处于发展之中,并且各个部门应用的程度各有不同。本文所讲述的专业内容在很多情况下可以作为计算机技术应用的专业基础。

本书由于篇幅所限没有全面地讲述气垫船及双体船的水力学原理。书中所应用的专业术语及符号标志尽量以船舶水池会议所制订的标准为基准。

本书的第一版是应我的学生的要求于1975年出版的。这一版本基本上是我课堂授课用的笔记及我自己工作中的经验总结。在我的教学笔记的很多章节中可以看到我的老师 F. Horn 教授及 W. Sturtzel 教授的智慧及经验。

我感谢我的学生、工程师咸培林博士将本书翻译成中文。

在原著的整理出版过程中工程师 Norbert v. d. Stein 博士给

予了很多有价值的建议,工程师 P. Pfeifer, S. Zimdahl, K. D. Karwath, B. Notarpaolo 对原著进行了校阅,工程师 L. Kamar 博士为原著绘制了插图,对他们我也借此表示感谢。

关于出版本书汉语译本一事,这个想法是我在与钱文豪教授(中国上海船舶研究所)进行学术交流中受到的启示而产生的。

出版之事得以实现归功于徐素青教授(中国煤碳部科学研究总院上海分院)的首创性和积极斡旋。对徐教授及赞助单位(上海大众联合发展有限公司、大屯煤电公司、国泰胶带具品有限公司、上海船舶工业总公司第九设计院、上海船舶设计研究院、上海市杨浦区人防管理所)我深表谢意。

如果本书能对中国的船舶制造技术及理论的进一步繁荣有所助益,我将对此甚为欢欣。

施内克鲁特

译者前言

本书作者施内克鲁特教授是当今世界船舶技术的先驱之一。本书是施内克鲁特教授在德国亚琛工业大学机械系船舶设计专业授课时所使用的教科书。

施内克鲁特教授在亚琛工业大学执教 20 余年,其间特别重视船舶理论在造船实际中的应用,并全心致力于船舶设计及螺旋桨进流导管的研究。

施内克鲁特教授所发明创造的螺旋桨进流导管,由于其优异的性能,在船舶制造业中获得了广泛的应用,欧洲造船界称其为施内克鲁特进流导管。

译者有幸在施内克鲁特教授的指导下,在亚琛工业大学完成了船舶设计专业的学业并取得了博士学位。

译者基于自己学习及工作的经验,认为施内克鲁特教授所著的《船舶水动力学》一书,不仅对于在校的、与船舶技术有关的大学生是一部理想的教科书,并且对于在实践中从事船舶设计与制造的工程技术人员亦能提供有价值的参考资料。

咸培林

目 录

第一章 船舶的浮性与稳性	1
§ 1.1 浮力计算	1
§ 1.2 船舶稳性	7
§ 1.3 船舶性能的数值算法.....	59
§ 1.4 船舶特性曲线图.....	79
§ 1.5 稳性力臂曲线的计算方法.....	85
§ 1.6 破舱计算.....	97
§ 1.7 舱位计算	105
§ 1.8 破舱船的稳性	115
§ 1.9 船底触及地面时的船舶稳性	123
§ 1.10 船舶下水.....	126
第二章 船舶振动	146
§ 2.1 船舶振动的分类	146
§ 2.2 刚体振动的一般理论	147
§ 2.3 液体动态质量、阻尼与恢复力.....	148
§ 2.4 为船舶设计而进行的船舶运动简化 分析	152
§ 2.5 船舶在自然海浪中的运动状态	166
第三章 船舶阻力及其他有关问题	169
§ 3.1 船舶阻力的组成部分	169
§ 3.2 船舶功率的定义及估算船舶功率用的“舰 船公式”.....	172

§ 3.3	模型试验基本理论	176
§ 3.4	摩擦阻力	187
§ 3.5	涡旋分离阻力	204
§ 3.6	风动阻力	213
§ 3.7	兴波阻力	219
§ 3.8	海浪阻力	253
§ 3.9	船舶的阻力算法及功率算法	257
§ 3.10	滑行船理论梗概	281
§ 3.11	水翼艇	289
§ 3.12	在狭窄航道中的船舶阻力	296
§ 3.13	船舶航速的测量	317
第四章	船舶推进	322
§ 4.1	理想推进器理论	322
§ 4.2	船体与螺旋桨的相互作用	332
§ 4.3	明轮驱动	347
§ 4.4	螺旋桨	351
§ 4.5	螺旋桨导流器	401
§ 4.6	平旋推进器	422
§ 4.7	空泡现象	430
§ 4.8	螺旋桨环流理论	439
第五章	船舶的转向机构与转向操作	454
§ 5.1	舵	454
§ 5.2	船舶的圆周转向运动	485
§ 5.3	船舶的操纵性能	492
§ 5.4	船舶的制动操作	507

第一章 船舶的浮性与稳性

§ 1.1 浮力计算

一、浮力计算的假定条件

在进行浮力计算时,下述的三个假定条件为计算的前提:

- (1) 水是不可压缩的;
- (2) 水表面不存在表面张力;
- (3) 水面是平静的,水面上不存在波浪现象。

对于实际的船舶而言,忽略水的可压缩性及表面张力现象而得出的计算结果是足够精确的。然而在几乎所有的水面上都存在着波浪现象,并且波浪现象对于船舶在关键时刻的浮性及稳性都产生影响。尽管如此,在实际计算时所采用的水面上不存在波浪现象的假设,对于多数情况都是允许的。另一方面,在海浪中船舶的倾覆过程十分复杂,人们至今无法以完善的计算模型表达这类倾覆过程。今天人们常用的办法是,在平静的水面上或在规则的海浪中进行船舶的稳性计算,而后将此计算结果与经过实航证明为安全的船舶的稳性经验数据进行比较,从而得出对船舶稳性的判断。这就是说,在进行稳性计算时,对船舶在实际海浪中的情况作了极大的简化。

考察图 1.1 所示的坐标系,当一个浮体处于静止状态时,浮体上所受的诸力的合力及其合力矩等于零:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum F_z = 0 \end{array} \right. \quad \text{及} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum M_x = 0 \\ \sum M_y = 0 \\ \sum M_z = 0 \end{array} \right.$$

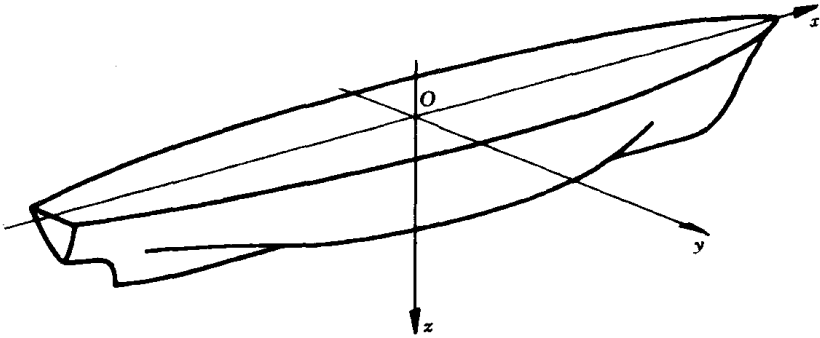


图 1.1 作用在船舶上的力的坐标系

二、作用在一个任意形状的浮体上的力

由于液体在静止状态下不能传递剪切力,故作用在水面下的物体每一单元表面上的液体压力都垂直于此单元表面。这些单元

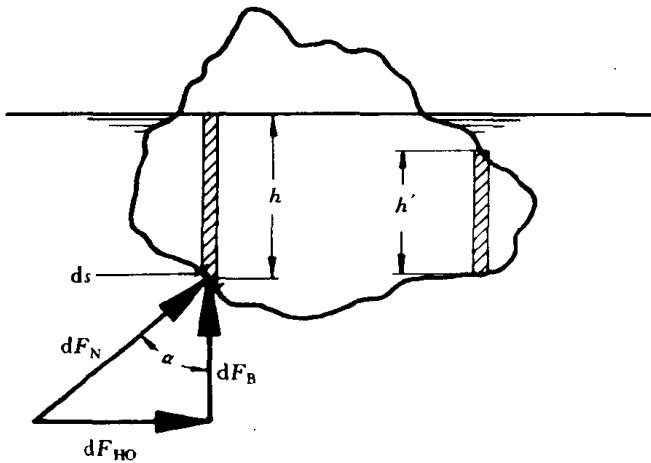


图 1.2 冰山所受的浮力的图示

压力的合力作用线通过浮体在水下部分的体积中心,如图 1.2 所示。图中: F_B 为浮力; F_{HO} 为水平压力; F_N 为法向压力; ds 为单元面积。作用在垂直的单元面积上的液体压力不产生浮力,作用在水平的单元面积上的液体压力完全用来产生浮力,作用在倾斜的单元面积上的液体压力产生的浮力等于液体压力与单元面跟水平液面所夹角的余弦的乘积。

假设作用于单元面积 ds 上的液体压力为 dF_N , 而此压力所产生的浮力为 dF_B , 则有下列关系式成立:

$$dF_N = \rho \cdot g \cdot h \cdot ds,$$

$$dF_B = dF_N \cdot \cos\alpha = \rho \cdot g \cdot h \cdot ds \cdot \cos\alpha = \rho \cdot g \cdot d\Delta,$$

$$F_B = \rho \cdot g \cdot \int d\Delta = \rho \cdot g \cdot \Delta.$$

其中: ρ 为液体密度; g 为重力加速度; α 为单元面与水平面的夹角; $d\Delta$ 为与单元面积 ds 相对应的单元柱体的体积; Δ 为浮体位于水面以下的总体积。

由于浮体的重力与浮力处于平衡状态,故有: $W = F_B = \rho \cdot g \cdot \Delta = \Delta \cdot g$ 。其中: Δ 为浮体所排开液体的质量,而 Δ 为浮体排开液体的体积。如果所观察的某一单元柱体的上表面亦处于水面下,如图 1.2 中的 h' 柱体,则此单元柱体的上表面承受一向下的压力,而作用在此单元柱体的上、下表面的压力差仍为 $\rho \cdot g \cdot d\Delta$, 此处 $d\Delta$ 为单元柱体的体积。由上述的讨论可推导出物理学中的阿基米德定律。作用于单元柱体的表面上的水平分力为:

$$dF_{HO} = \rho \cdot g \cdot h \cdot \sin\alpha \cdot ds$$

浮体所受的水平合力为零: $F_{HO} = \int \rho \cdot g \cdot h \cdot \sin\alpha \cdot ds = 0$ 。

利用反证法亦可推证此结论的正确性:假设浮体所受的水平合力不等于零,则浮体在此不为零的水平合力的作用下会永恒地自行

运动,实际上这种情况是不存在的。

三、阿基米德定律

“浸入液体中的物体受到一个向上的浮力,其大小等于物体所排开的液体的重量。”

$$F_B = \rho \cdot g \cdot \nabla。$$

阿基米德(公元前 285~公元前 215 年),希腊人。除了这项以他的名字命名的浮力定律之外,他还首创地叙述了杠杆定理,引出了数学中幂的概念。另外,他还远在牛顿及莱布尼兹之前,表达了积分的概念。

四、阿基米德定律的三种应用形式

1. 应用于浮在水面上的物体(船舶)

浮在水面上的物体,当其重量发生变化时,其排水体积能自动地随之变化而保持物体的平衡状态。例如,当船舶的重量由于燃油的消耗而减小时,船舶的排水体积随之减小。当船舶从淡水港驶入海域时,船舶的吃水会由于海水密度大于淡水密度而减小 2% 到 2.5%。

2. 应用于悬浮在水中的物体(潜水艇)

在水中悬浮的物体的重量等于其浮力: $F_B = W$ 。悬浮在水中的物体的平衡属于不稳定平衡。当物体的重量或水的密度发生变化时,悬浮物体会因失去平衡而沉至水底或浮出水面。加剧这种不稳定平衡的另外一个因素是,当悬浮体向着水面方向浮起时,其体积由于水的压强的降低而增大。潜水艇在水中向上浮起时,其体积由于水压的减小而增大。沉船在水中被吊起时,船舱中所闭锁的空气也会随着沉船的升起而膨胀。上述的体积变化加剧了悬浮状态的不稳定性。在悬浮体上升的过程中,水的密度变化是可忽略不计的。例如,在水深 200m 处,水的体积变化为千分之一,而一直径为

5m、外板厚 2cm 的球形潜体的体积变化为千分之十二点五。

沉船不可能悬浮在水中。潜水艇只有在下述条件下才可能在水中悬浮：

(1) 不断地用水泵来校正潜水艇的重量,从而实现外观上的稳定悬浮状态。

(2) 当潜水艇处于分层的水流中(例如在江河的入海处,密度大的海水处于下层而密度小的淡水处于上层时),潜水艇可能处于稳定的悬浮状态(见图 1.3)。

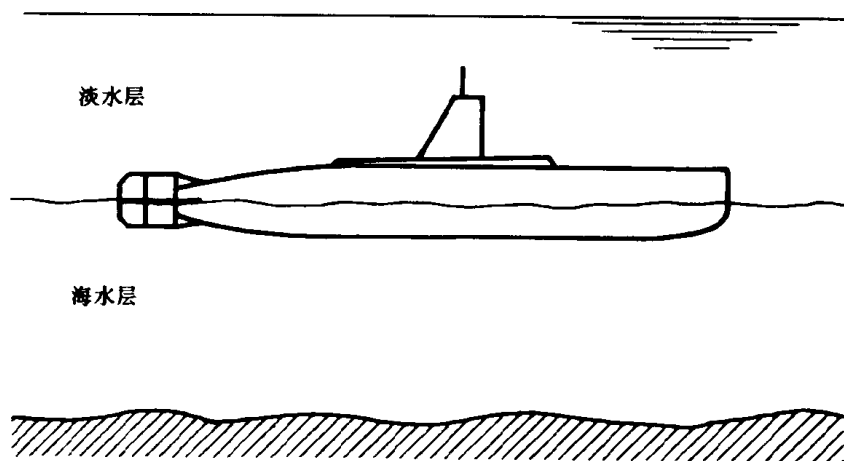


图 1.3 潜水艇处于淡水海水的过渡区中可能保持稳定的悬浮状态

潜水艇能在一定的水深中稳定航行的原因是其升降舵及其壳体在水中运动时产生升降力。与飞机的机翼相类似,这种升降力随潜水艇速度的升高而增大。

Piccard 设计的 Bathyscaph 号潜水体具有稳定的悬浮性能,这是因为在其浮力箱中充满了压缩性比水小的轻度汽油。当潜水体由于外界的影响在水中上升或下降时,浮力箱受到附加的与其运动方向相反的恢复力的作用,因此其悬浮性是稳定的。与此相类似的例子是气球在空气中的升降。气球与潜水艇一样,本身不具有高度稳定性。气球高度的调整是靠下抛压舱物或排放承载气体来

进行的。对于热气球来说,则利用中间加热的方式来调整其高度。

3. 应用于在水底搁浅的物体(沉船、潜水艇、搁浅的船舶)

对于躺在水底的物体来说,其重力大于浮力: $W > \rho \cdot g \cdot \nabla$ 。物体对于水底的残余压力 F_R 等于其重力与浮力之差: $F_R = W - \rho \cdot g \cdot \nabla'$ 。上式中的 ∇' 是残留排水体积,其值小于船舶浮在水面上时的排水体积。假设沉船全部由钢铁部件组成,并且在船舱中不含有闭锁的空气,则有 $\nabla' = W / (\rho_{st} \cdot g)$,其中 ρ_{st} 为钢铁的密度。水的密度随着地理位置及季节的不同而有所变化,表 1.1 列出了淡水及不同地区的海水的密度值。

表 1.1 不同地区的海水密度及含盐重量百分比

	密度 $\rho / t \cdot m^{-3}$	表层含盐重量百分比
淡 水	1.000	0
波罗的海(东部)	1.003	0.4~0.8
波罗的海(西部)	1.015	0.8~1.1
北海,各大洋	1.025	3.5
红 海	1.044	3.8~4.0
亚 速 海	1.060	5~14
死 海	1.278	25
船舶设计用的平均值	1.025	3.5

五、沉船的捞起过程

在打捞沉船时,须区分两种不同情况:

(1) 沉船和海底只有局部的点接触。此时打捞所需的升船力等于沉船对海底的残余压力。

(2) 沉船紧密地贴合在海底上,船壳和海底的泥沙形成了面接触,沉船仿佛被吸附在海底上。此时,船壳和海底之间的海水完全被挤出接触面,沉船打捞所需的起升力等于沉船的残余重量及压在沉船与海底的接触面上的水柱压力及大气压力的总和,升船力与海水深度有关,见图 1.4。