



21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶工程专业

船舶舾装工程

CHUANBO XIZHUANG
GONGCHENG

主编 刁玉峰
主审 彭 辉



哈尔滨工程大学出版社



21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶工程专业

船舶舾装工程

**CHUANBO XIZHUANG
GONGCHENG**

主编 刁玉峰

主审 彭 辉

江苏工业学院图书馆
藏书章

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书重点介绍了舵设备、锚设备、系泊设备、拖曳设备、救生设备、起货设备、舱口盖和滚装设备、人孔盖和小舱口盖、船用梯、舱室设备等的组成情况、类型及布置要求;还介绍了船舶舱室内部环境设计及船舶舱室门、窗设计。

本书既作为高等职业学校和高等学校船舶工程专业教学用书,又可作为船厂工人的培训教材,亦可供船厂的技术人员和技术工人在修造各类船舶时参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶舾装工程/刁玉峰主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006

ISBN 7-81073-881-X

I. 船… II. 刁… III. 舾装 IV. U671.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 101782 号

出版发行	哈尔滨工程大学出版社
社 址	哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码	150001
发行电话	0451-82519328
传 真	0451-82519699
经 销	新华书店
印 刷	哈尔滨工业大学印刷厂
开 本	787mm×1 092mm 1/16
印 张	16.25
字 数	360 千字
版 次	2006 年 9 月第 1 版
印 次	2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数	1—2 000 册
定 价	26.00 元

高等职业教育系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任	孙元政				
副主任	刘 义	刘 勇	罗东明	季永清	
	施祝斌	康 捷			
委 员	丛培亭	刘 义	刘 勇	孙元政	
	陈良政	肖锦清	罗东明	季永清	
	俞舟平	胡适军	施祝斌	徐立华	
	康 捷	蔡厚平			

前言

船舶舾装工程

CHUANBO NIZHUANG GONGCHENG

《船舶舾装工程》是一门多学科的综合专业课程,其内容庞杂、涉及范围广。在本书中,介绍了七种主要的甲板舾装和两种舱面属具以及三种船舶内舾装。随着造船技术的发展,各种船舶舾装新的结构形式层出不穷,本书在内容上着重扩大读者的视野,反映最新技术。

本书中的各种船舶舾装配置要求及有关计算标准,都是以国际、国内和行业的法规、规则及标准为依据的,其中主要有《钢质海船入级与建造规范》、《船舶起货设备规范》、《海船救生规范》、《国际海上人命安全公约》等。本书以职业岗位的需要为出发点,始终围绕职业教育的特点,具有较强的针对性。教材较好地贯彻了“以全面素质为基础,以能力为本位”的教育教学指导思想。在内容的编写上以“必须和够用”为原则,紧扣大纲,深度、广度适中,体现了理论和实践的结合,强化了技能训练的力度。

参加本书编写工作的有渤海船舶职业学院刁玉峰副教授(第一章至第九章)、刘旭(第十章至第十三章);全书由刁玉峰担任主编,渤海船舶职业学院彭辉教授担任主审。

限于编者经历及水平,教材内容可能存在错误和不足之处,希望广大读者提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

编 者

2006年4月

目 录

21世纪
SHIJI GAOZHIGUANBO XILIE JIAOCAI
船舶工程系列教材

船舶工程

■ 概述	1
■ 第一章 舵设备	3
第一节 概述	3
第二节 舵的类型及其几何特性	5
第三节 舵叶水动力的一般概念	7
第四节 舵参数的选择和水动力特性计算	13
第五节 舵设备的一般布置	22
第六节 舵设备零部件尺寸的确定	25
第七节 操舵装置	41
第八节 特种舵及其他操纵装置	46
■ 第二章 锚设备	59
第一节 锚设备的组成与布置	59
第二节 抛锚时作用于船舶的环境力	62
第三节 锚索悬链状态特性分析	65
第四节 按船级社规范配置锚设备	67
第五节 船用锚	72
第六节 锚索	80
第七节 掣链器和掣锚器	85
第八节 锚链舱	87
第九节 锚索导向装置	89
第十节 锚的收存	91
第十一节 锚链根部的固定和弃锚装置	96
第十二节 锚机	97
■ 第三章 系泊设备	102
第一节 系泊索配置	102
第二节 系泊属具	105
第三节 系泊设备布置	109
■ 第四章 拖曳设备	114
第一节 拖曳设备的配置	114
第二节 拖索具	117
第三节 固定拖曳设备	121
■ 第五章 救生设备	128
第一节 救生载具	128
第二节 个人救生设备	136
第三节 艇降落装置	139

目 录

21
SHUI GAOZHICHUANBO XILIE JIAOCAI
世纪高职船舶系列教材

船舶舾装工程

第六章 起货设备	145
第一节 吊杆起重设备的形式	145
第二节 吊杆装置几何参数的确定	149
第三节 吊杆装置的受力计算	151
第四节 船用起重机	155
第七章 舱口盖和滚装设备	159
第一节 舱口盖的结构形式	159
第二节 舱口盖	163
第三节 盖板结构强度	168
第四节 滚装设备	183
第八章 人孔盖和小舱口盖	192
第一节 人孔盖	192
第二节 小舱口盖	195
第九章 船用梯	198
第一节 船外梯	198
第二节 船内梯	201
第十章 船舶舱室内部环境设计	204
第一节 舱室空间设计	204
第二节 环境布置设计	206
第三节 舱室色彩环境设计	208
第四节 光照环境的设计	210
第五节 舱室陈设	216
第六节 典型舱室布置实例	218
第十一章 船舶舱室门、窗设计	222
第一节 舱室门	222
第二节 窗与窗斗	225
第十二章 舱室设备	226
第一节 船用家具	226
第二节 船用厨房和餐饮设备	232
第十三章 船舶舱室绝缘	235
第一节 船舶结构防火的基本要求	235
第二节 舱室内装材料及安装工艺	235
参考文献	251



概 述

船体建造工作的完成仅给船舶提供了一个可以漂浮的壳体,要使船舶完成预期的使命,还必须将各种船用设备、仪器、装置和设施安装到船上,这一工艺阶段称为船舶舾装。在“壳舾涂一体化”思想以及成组技术理论指导下,随着造船工艺的不断改进,船舶舾装工程的地位也日益提高,舾装工作的进展顺利与否将会直接影响到造船周期的长短。下面对船舶舾装工程做以简要介绍。

一、舾装作业的内容

船上安装的各种机械、仪器、装置和设施等常统称为船舶舾装。船舶舾装名目繁多,但按功能可分为以下十大类。

1. 机舱设备 船上产生动力用的各种设备和附属设施(即动力装置),包括主机、轴系装置,各种辅机、锅炉、箱柜等等。

2. 航海设备 船舶航海用的各种设备,包括各种航海仪器,通讯设备以及声、光、旗等信号装置。

3. 舵设备 船舶操纵用的设备,包括舵叶、舵轴、舵柄、舵机和转舵机构等等。

4. 锚设备 船舶在锚地停泊时用的设备,包括锚机、锚链、掣链器、导链轮、弃链器、锚链管和锚等。

5. 系泊与拖曳设备 船舶在泊位停泊和在航行中拖带用的设备,包括导缆孔、导缆器、带缆桩、卷车、绞车等系泊设备,和拖钩、弓架、承梁、拖缆孔、拖柱、拖缆绞车等拖曳设备。

6. 起货设备 船舶装卸货物用的设备,包括起货机、桅杆、吊杆、钢索、滑车、吊钩等。

7. 通道与关闭设备 船上通行和通孔启闭用的设备,包括梯、栏杆、门窗、人孔盖、舱口盖和货舱盖等。

8. 舱室设备 船员生活用的各种设备,包括家具、卫生用具、厨房设备、冷库设备和空调装置等。

9. 救生设备 船舶在海难中救生用的设备,包括救生艇、吊艇架、起艇机、救生筏、救生圈和救生衣等。

10. 消防设备 船上发生火警时报警和灭火用的设备,包括报警装置、自动喷水灭火系统、消防水龙、灭火器和消防杂件等。

此外还有船舶特种设备,如横向侧推装置、防摇鳍、滚装跳板等。

船舶舾装工作除了需按要求安装上述各种设备外,还需要用各种材料对船体表面直接进行工程处理,称作船体表面工程。根据工程处理目的的不同,船体表面工程可分为防腐蚀处理、防火绝缘处理和舱室装饰处理三大类。

二、舾装作业的分工

现代造船将舾装按专业类别不同分为船装、机装(机舱舾装)和电装(电气舾装)三大类。其中船装指除机舱设备和电气以外所有的安装和处理工作。为了便于船装作业的组织 and 管



理,通常将其进一步划分为内舾装、外舾装两大类。

内舾装作业包括绝缘、敷料等的敷设,舱室非钢质围壁、天花板、门、窗、家具、卫生设备等的安装,以及厨房、冷库、空调设备的安装等。其作业范围主要是在上层建筑舱室内部,因而称为内舾装,也叫住舱舾装,简称内装。

外舾装作业包括舵设备、锚设备、系泊设备、拖曳设备、救生设备、起货设备、舱口盖和滚装设备、消防杂件、自然通风部件以及各种管路的安装。此外,根据不同用途船舶的需要,还可以包括集装箱绑扎装置、运木装置、活动甲板、延伸跳板、防滑天桥和各种特殊装置的安装。因为这些设备分布在上层建筑以外各层甲板上,所以称为外舾装,也叫甲板舾装,简称外装。

舾装作业不仅包括外场(分段或船上)的安装、调整与试验,还应包括内场(车间)的加工与组装。如家具制作、管件弯制、铁舾装件制作、单元组装、电器成套等都由相应的职能车间或工段在内场完成。

三、舾装作业的工艺阶段

现代造船已普遍采用分段建造法建造船体,采用区域舾装法进行船舶舾装。典型的舾装工艺阶段为舾装件采办—单元组装—分段舾装—船上舾装—动车和试验。

1. 舾装件采办

舾装件采办包括订购、外协和自制三种途径。如柴油机、雷达等机电设备可以向专业厂订货;螺旋桨、锚等舾装件可以委托外厂代为加工;管子、风管等则可由本厂自行制作。

2. 单元组装

单元是指一个与船体结构脱离的基本舾装区域。在同一舾装区域内的元件预先组装成一个整体,这一工艺过程称为单元组装,或称单元预舾装。因为单元与船体结构无关,所以单元组装可以在车间内进行,作业条件较好。通常采用的单元有设备单元、管件单元、箱柜单元、阀件单元和配电板单元等。

3. 分段舾装

在分段(总段)建造的适当阶段将分段(总段)所属的舾装件或单元安装到分段(总段)上,这一工艺过程称为分段舾装,或称分段预舾装。分段舾装的典型实例如:在双层底分段装入各种管子,在甲板分段的顶面安装管子、风管、电缆固定架等,在上层建筑总段内进行内舾装等。

4. 船上舾装

船体在船台(船坞)总装期间的船台预舾装以及下水后在码头安装期间的码头舾装这两个阶段的舾装工作统称为船上舾装。一般的船上舾装件仅限于:

- (1)过大或过重而不能在分段上安装的舾装件或单元;
- (2)容易碰坏和易受天气影响、在舱室遮蔽之前安装可能损坏的舾装件;
- (3)分段与分段之间的舾装件,单元之间的舾装连接件。



第一章 舵 设 备

第一节 概 述

舵是船舶的主要操纵设备。

作为船舶重要性能之一的操纵性包含着两个相互有关的性能,即航向稳定性和回转性。而良好的操纵性则必须依靠操纵设备来保证。

航向稳定性——船舶保持既定航向,作直线运动的能力。

回转性——船舶按需要由直线航行进入曲线运动的能力。

船用舵是平板或机翼型结构,设置于船的尾端。当它转动时,舵上产生的水动力的合力在垂直于船体中心线的方向上的分力相对船体重心取矩形形成了转船力矩。

舵的形式很多,除了普通舵之外还有:襟翼舵、制流板舵、鱼尾舵、转柱舵等。主动舵是一种带有小螺旋桨的舵。

除了舵以外,船舶常用的操纵机构还有:转动导流管、侧向推进器、Z形推进器(又称全回转导管螺旋桨)等。

一、舵的作用原理

利用转动舵叶来改变航向时,会产生一系列水动力作用过程。

当舵以速度 v_0 运动,或者说水以速度 v_0 流经舵时,舵就相当于一个在流场中运动的有限翼展的机翼。当舵角为零即舵处于正中位置时,舵叶两面流线对称,舵上并不产生水动力。当舵转过某一舵角 α 时,就相当于机翼以攻角 α 速度 v_0 运动,此时舵叶两侧流线对称性被破坏,见图 1-1。由柏努力方程可知:翼背处流线长、流速高、压强低;翼面处流线短、流速低、压强高,在机翼的两侧形成了压力差。压力分布如图 1-1 中双点划线所示,舵叶上各点压力均取舵叶表面的法线方向。由于流体具有黏性,对舵产生沿舵叶表面切线方向上的摩擦力。二者的合力,即为舵上总水压力(动压力),简称为舵压力 Z 。 Z 力的作用线与舵叶对称表面的交点称为舵的压力中心 O ,其位置通常以其离舵叶导缘的距离来度量。将 Z 力沿流体动力垂直于流体运动的方向分解,得到舵叶的阻力 X 和舵叶的升力 Y ,见图 1-2。 Y 可用于计算由舵上水压力产生的转船力矩;若将 Z 力沿舵叶中心线方向和垂直于中心线方向分解,则可得舵叶的切向力 T 及舵叶的法向力 N 。 N 可用于计算水压力产生的舵杆扭矩。根据力的平移定理,力 Y 可用一转船力矩 $YL/2$ (L 为船长)和作用于船舶重心 G 的横向力 Y 所代替。在转船力矩和横向力的作用下,船首向转舵方向转动。此时船舶还将产生反向横移和轻度的横倾。并且船舶的阻力将增加,航速将下降。

二、舵设备的组成与布置

舵设备中除了舵以外,在规定时间内,将舵转到所需要的角度并保证其有效工作,还需要有操舵装置、舵机、转舵装置。图 1-3 为常见的舵设备组成图。

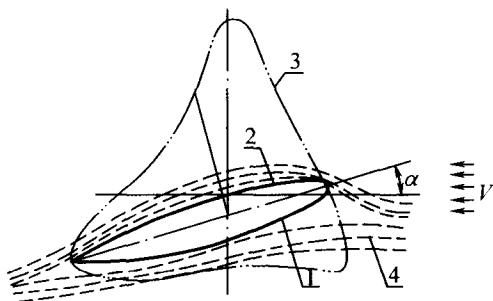


图 1-1 舵叶上水的流态

α —攻角;1—叶面;2—叶背;3—水压力分布曲线;
4—流线

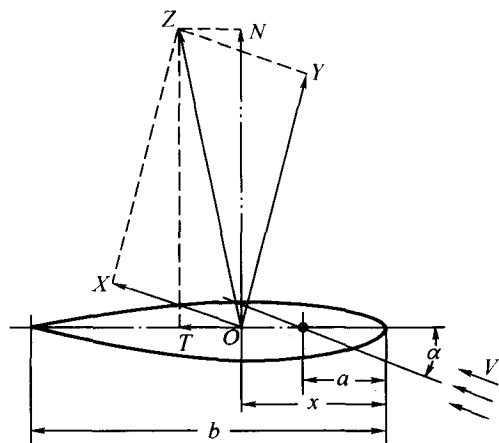


图 1-2 作用在舵叶上的水动力

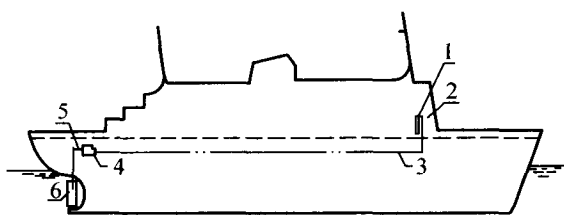


图 1-3 舵设备的组成

1—操舵器;2—舵角指示器;3—传动装置;4—舵机;5—转舵机构;6—舵

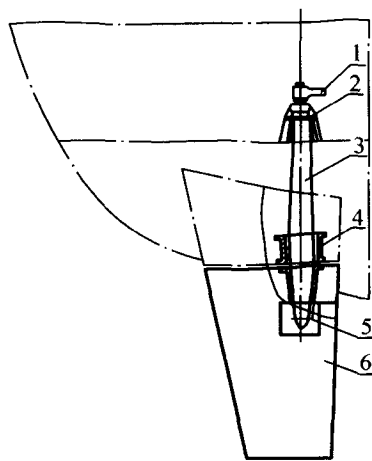


图 1-4 舵叶的支撑和布置

1—舵柄;2—上舵承;3—舵杆;4—下舵承;
5—可拆小门;6—舵叶

舵设备的各组成部分应能在规定的时间内将舵转动,能限制舵的转动角度,能将舵可靠地停止在限制舵角内的任何位置上,能从驾驶室监视舵位。同时还应能迅速地由主要的操舵装置转换为备用的或应急的操舵装置。整套舵设备应坚固、可靠、耐用。在满足使用要求的前提下,应尽量减小各部分的外形尺寸和质量。

图 1-3 中,舵角指示器 2 是反映舵叶转动角度的仪表,装于驾驶室用以了解和监督舵的实际位置。操舵器 1 是供舵工或驾驶人员转舵用的手柄或舵轮。传动装置 3 是将舵机 4



的启动信息由驾驶室传至舵机舱。舵机是带动舵转动的机械,系转舵的原动力,转舵装置(亦称转舵机构)5的作用是把舵机的动力传递给舵。6是舵,它是舵叶、舵杆及其支撑部件的总称。

舵叶在船舶尾部的布置和支撑情况可参见图1-4。

第二节 舵的类型及其几何特性

一、舵的类型

图1-5所示为船后舵的主要型式,其分类如下。

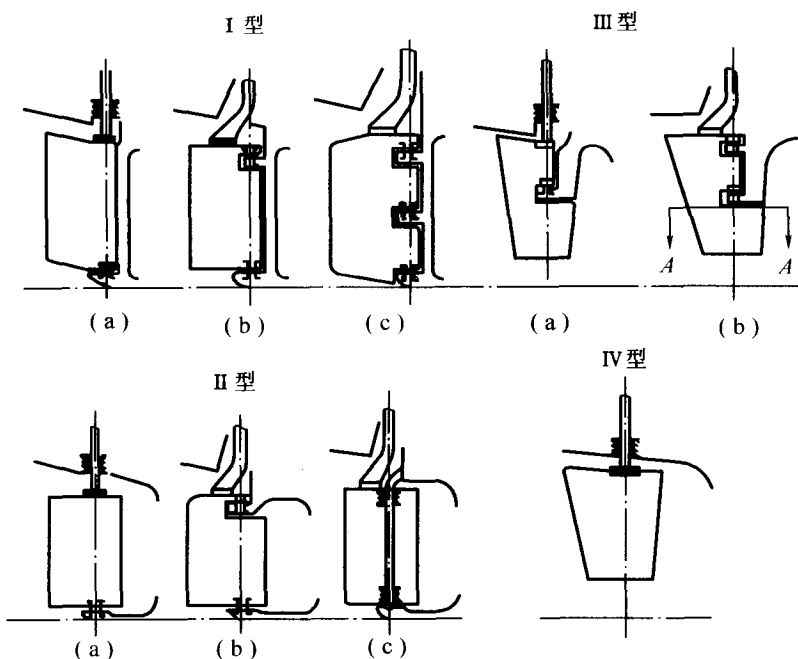


图1-5 船用舵的基本型式

1. 按舵的固定方式分

按舵的固定方式可分为:舵踵支撑的舵(图1-5中的I型和II型),半悬挂舵(图1-5中的III型),悬挂舵(图1-5中的IV型)。

2. 按舵杆轴线在舵叶宽度上的位置分

按照舵杆轴线在舵叶宽度上的位置可分为:不平衡舵——舵杆轴线在接近舵叶前缘(导缘)处穿过,如图1-5所示的I型;平衡舵——舵叶面积分布于舵杆轴线的前后,如图1-5所示的II型、III型和IV型。

3. 按舵叶剖面的形状分

按照舵叶剖面的形状可分为流线型舵和平板舵。除了部分非自航驳船外,绝大多数机动船都采用流线型舵。



二、舵的基本参数

常用的船用舵的基本参数如图 1-6 所示。

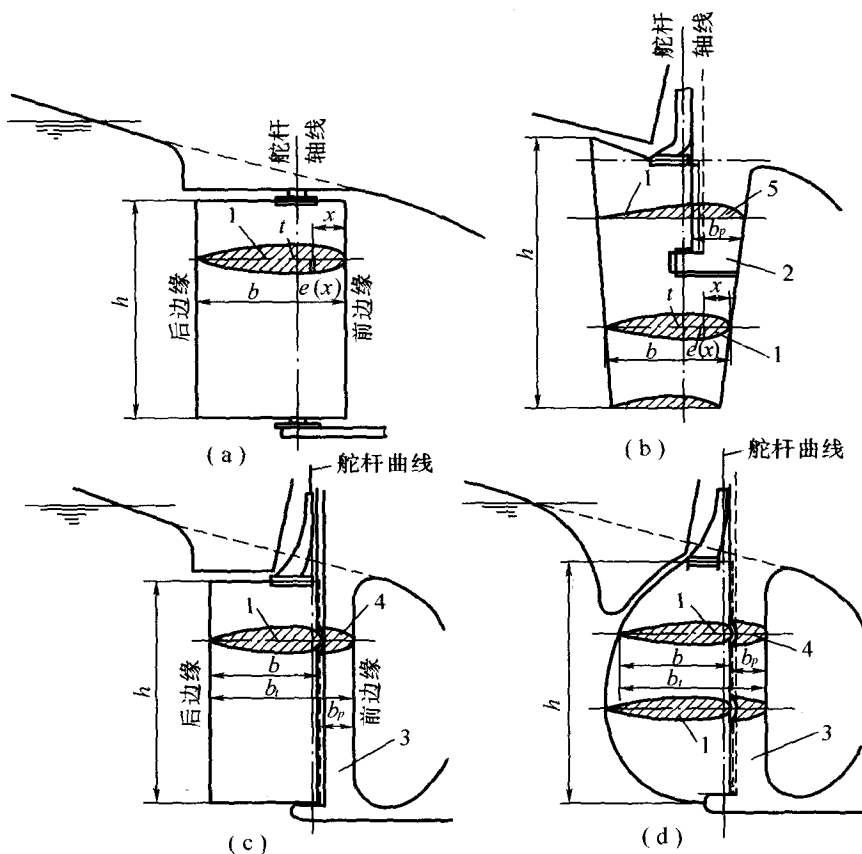


图 1-6 舵叶的基本参数图

(a)舵踵支撑的平衡舵;(b)半悬挂舵;(c)、(d)设置在舵柱后面的舵;

1—舵剖面;2—挂舵臂;3—舵柱;4—舵柱剖面;5—挂舵臂剖面

1. 舵面积 A ——舵叶的侧投影面积。
2. 舵的平衡面积 A_f ——位于舵杆轴线之前的舵叶面积。
3. 舵的平衡系数 β —— $\beta = A_f / A$ 。
4. 舵柱面积 A_p ——舵的高度范围内,舵柱对称面的面积。
5. 挂舵臂面积 A_h ——在舵的高度范围内,挂舵臂对称面的面积。
6. 舵及舵柱(或挂舵臂)组合面积 A_t —— $A_t = A + A_p$ 或 $A_t = A + A_h$ 。
7. 舵高(翼展) h ——对于矩形舵和梯形舵为舵叶上边缘与下边缘之间的距离,对于其他形状舵应取上、下边缘之间的平均距离,即平均高度 h_m 。
8. 舵宽(弦长) b ——在垂直于舵杆轴线的舵叶剖面上,导缘(前边缘)与随缘(后边缘)之间的距离。对于非矩形舵,应取平均宽度 b_m 。
9. 舵柱宽度 b_p ——在垂直于舵杆轴线的舵柱剖面上,舵柱前后边缘之间的距离。



10. 舵 + 舵柱组合体剖面的宽度(弦长) b_t ——在垂直于舵杆轴线的舵叶和舵柱剖面中,从舵柱前边缘到舵叶后边缘之间的距离。

11. 舵的展弦比 λ ——舵的高度(翼展) h 与宽度(弦长) b 之比值,即 $\lambda = h/b$ 。对于非矩形舵: $\lambda = h_m/b_m = h_m^2/A$ 。

12. 舵 + 舵柱(挂舵臂)组合体的展弦比 λ_t ——组合体翼展与弦长之比值,即: $\lambda = h/b_t = h^2/A_t$ 。对非矩形舵: $\lambda_t = h_m/b_m$ (b_m 为组合体平均宽度)。

13. 后掠角 Δ ——舵叶上、下边缘距舵导缘 1/4 弦长的点的连线与舵杆轴线之间的夹角(见本章第四节图 1-13)

三、舵剖面的几何参数

舵剖面是由垂直于舵杆轴线的平面截得的舵叶剖面,通常沿高度方向厚度不变的矩形舵的各个剖面的形状完全相同。非矩形舵虽然各个剖面的弦长不同,但一般均采用相同的厚度比,因而其各个剖面的形状相似。

流线型舵的剖面形状通常为对称剖面,导流管为不对称剖面,如图 1-7 所示为 3 种剖面的形状。

舵剖面的几何参数定义如下:

b ——弦长,连接剖面的前端点和后端点的直线(弦线)的长度;

y_1, y_2 ——从弦线 X 轴垂直量取的剖面轮廓线的纵坐标值;由于对称剖面的中心线为直线,并且与弦线重合,因此 $y_1 = y_2$;不对称剖面的中线坐标值为 $y_0 = (y_1 + y_2)/2$;

e ——剖面在任意 X 值处的厚度: $e = |y_1| + |y_2|$;

t ——剖面的最大厚度;

$\bar{t}$ ——剖面厚度比: $\bar{t} = t/b$ 。

历年来,各国发表了许多船用舵系列的水动力试验结果,它们给出了各种剖面型式、展弦比、厚度比、侧投影形状、尖端形状、后掠角等舵的水动力资料。

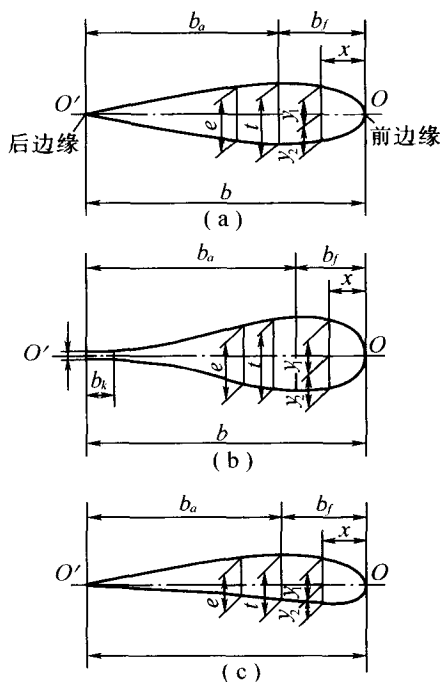


图 1-7 剖面几何参数图
(a)对称剖面;(b)JIS 剖面(凹翼型);(c)不对称剖面

第三节 舵叶水动力的一般概念

一、基本定义

图 1-8 中水动力参数定义如下:

攻角 α ——水流方向同舵叶的对称平面(ox_1)之间的夹角。

几何攻角 α_g ——在舵叶前面无限远处的水流速度 v_∞ 的方向同舵叶的对称平面之间的夹角。



剖面有效攻角或局部攻角 α_e ——局部的水流速度方向同剖面的弦之间的夹角,即计及斜流角时的攻角。

舵的压力中心 O ——舵叶水动力合力与包含该合力的剖面的弦线的交点,通常压力中心的位置由该剖面前端量起的横坐标值 x_p 确定,压力中心系数 $C_p = x_p/b$ 。

水动力的合力 Z 可分为:升力 Y 和阻力 X ,或是法向力 N 和切向力 T 。如图 1-8 所示,且按下述关系式确定:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \sqrt{Y^2 + X^2} = \sqrt{N^2 + T^2} \\ N &= Y \cos \alpha + X \sin \alpha \\ T &= X \cos \alpha - Y \sin \alpha \\ Y &= N \cos \alpha - T \sin \alpha \\ X &= N \sin \alpha + T \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

合力 Z 相对于 ox_1 轴上距原点的距离为 a 的点的水动力矩为:

$$M = N(x_p - a) \quad (1-2)$$

舵杆的水动力矩按下式计算:

$$M_s = N(x_p - x_s) \quad (1-3)$$

式中 x_s ——在舵叶上包含合力 Z 剖面上,自坐标原点到舵杆轴线之间的距离。

通常把阻挠舵向舷侧方向转动的力矩作为正值;反之,把帮助舵向舷侧方向转动的力矩作为负值。

舵的水动力分量 N, T, Y, X 及力矩 M 还可用无因次形式表示:

$$\left. \begin{aligned} \text{法向力系数} \quad C_n &= \frac{N}{\frac{\rho v^2}{2} A} \\ \text{切向力系数} \quad C_t &= \frac{T}{\frac{\rho v^2}{2} A} \\ \text{升力系数} \quad C_y &= \frac{Y}{\frac{\rho v^2}{2} A} \\ \text{阻力系数} \quad C_x &= \frac{X}{\frac{\rho v^2}{2} A} \\ \text{力矩系数} \quad C_m &= \frac{M}{\frac{\rho v^3}{2} Ab} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中 ρ ——水的密度,淡水为 $1\,000\text{ kg/m}^3$,海水为 $1\,025\text{ kg/m}^3$;

v ——水流速度(m/s)。

上述无因次水动力系数之间的关系如下:

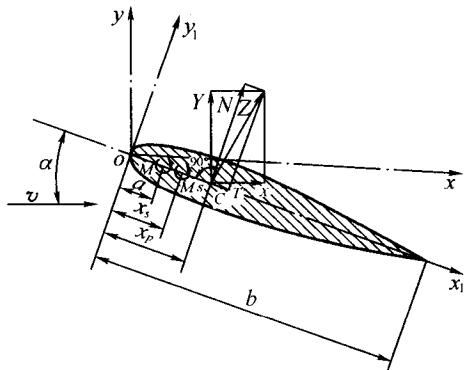


图 1-8 舵叶水动力及坐标系



$$\left. \begin{aligned} \sqrt{C_n^2 + C_t^2} &= \sqrt{C_y^2 + C_x^2} \\ C_n &= C_y \cos \alpha + C_x \sin \alpha \\ C_t &= C_x \cos \alpha - C_y \sin \alpha \\ C_y &= C_n \cos \alpha - C_t \sin \alpha \\ C_x &= C_t \cos \alpha - C_n \sin \alpha \\ C_m &= C_n C_p \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

二、单独舵的水动力特性

船后舵在实际使用中受到船体和螺旋桨的影响。但是,舵的水动力试验通常是在没有船体和螺旋桨的条件下进行的,即所谓的单独舵水动力试验,船体和螺旋桨尾流的影响另行分别考虑。通常水动力试验的结果以无因次形式表达,以便于实际使用。

图 1-9 所示为不同展弦比的 NACA 00 剖面的舵的水动力无因次系数与攻角的关系曲线图。由图可见,攻角 α 小于 $10^\circ \sim 16^\circ$ 时, C_y 的变化与 α 之间呈线性关系。当 α 值大于上述数值时,舵叶表面的水流开始与舵分离, C_y 值的增加趋缓,直到 α 值增加到某一值时(不同的展弦比有不同的值), C_y 值达到最大值 $C_{y_{\max}}$ 。此时的攻角称为临界攻角(或失举角) α_c 。随后,尽管 α 值再继续增大, C_y 值则急剧下降。

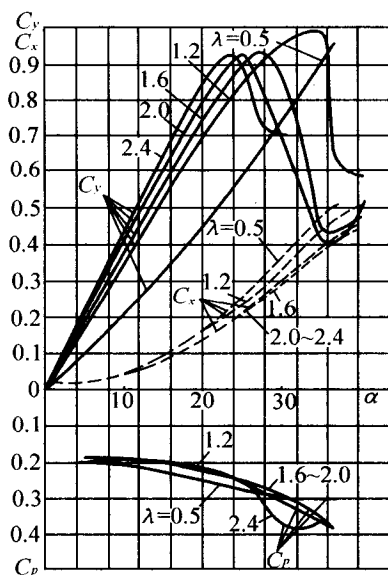


图 1-9 NACA00 剖面的水动力特性曲线

从图 1-9 中还可看出一个现象,即随着 λ 的减小, C_y 曲线的斜率也在减小,而临界攻角 α_c 则增大,以至当 $\lambda \leq 0.5$ 时,曲线 $C_y = f(\alpha)$ 在小攻角时, $C_y = f(\alpha)$ 将不能保持线性关系,直线段已不复存在。

通常舵的展弦比在 0.5~2.5 之间,在这个范围内舵的外形对 C_y 值的影响不大。因此,计算 C_y 值时,舵的形状可不予考虑。但是,这一点对半悬挂舵不适用。因为这种舵在挂舵臂或呆木的底边处剖面宽度急剧地改变,而且挂舵臂和呆木对舵水动力的影响使其有效展弦比大于实际展弦比。因此,对于半悬挂舵不应该采用相同展弦比的矩形舵试验所得到的 $C_y = f(\alpha)$ 数值。

在 $\alpha < \alpha_c$ 的区域内,除了 $\alpha = 0$ 的附近区域外, C_x 值都远小于 C_y 值。由式(1-1)这组计算式可知,同 $Y \cos \alpha$ 相比, $X \sin \alpha$ 值显得很很小,而且法向力 N 与升力 Y 在数值上相差无几。因此,在缺乏 C_x 值的实验资料的情况下, $0.8 < \lambda < 2.5$ 的舵 C_n 可按以下近似确定:

$$C_n \approx C_y \left(1 + \frac{\alpha^3}{2} \right) \quad (1-6)$$

式中 α 的单位为弧度。

单独舵的模型试验资料通常给出的力矩系数 C_m 是相对于舵的前端的数值 C_{m0} 或相对于离开舵的前端 1/4 弦长处的轴线的数值 $C_{m0.25}$ 。如果已知 C_n 和 C_{m0} ,则距前边缘为 a 的轴线处的力矩系数 C_{ma} 可按下式计算:



$$C_{ma} = C_{m0} - C_n \frac{a}{b} \quad (1-7)$$

式中 b 为弦长。

同样:

$$C_{m0.25} = C_{m0} - 0.25 C_n \quad (1-8)$$

采用对称剖面的单独舵, 当 $\alpha = 0$ 时, $C_m = C_{m0} = C_{m0.25} = 0$ 。

压力中心系数为:

$$C_p = \frac{C_{m0}}{C_n} = \frac{C_{m0}}{C_y \cos \alpha + C_x \sin \alpha} \approx \frac{C_{m0}}{C_y \left(1 + \frac{\alpha^3}{2}\right)} \quad (1-9)$$

三、自由水面、船体和螺旋桨的影响

1. 自由水面的影响

自由水面对舵的影响很复杂, 当弗劳德数 $Fr < 0.4$ 时, 自由水面如同坚壁, 穿过水面的舵的有效展弦比相当于其水下部分几何展弦比的两倍。随着 Fr 值的增加, 自由水面的影响减小直到消失。

对较高速度的船来说, 当 $Fr \geq 0.5 \sim 0.7$ 时, 由于自由水面的影响, 舵的升力明显减小。这是因为大气中的空气侵入舵表面的稀释区, 空气的侵入导致升力急剧下降。避免这种情况的最有效的方法是尽可能使舵的上边缘没入水中, 而且把舵布置在尾部船体的下面。

现代海船在大多数情况下, 其尾部型线以及舵与螺旋桨组合体的布置可以使得自由水面对舵的影响减小到足以略去不计的程度。但在空载(压载)航行时, 舵往往非常接近自由水面, 甚至在空载(压载)航行时, 舵设备所承受的负荷比重载航行时小。因此, 设计舵设备时, 自由水面的影响可以不予考虑。

在大多数运输船舶上, 船本身不会产生空泡, 但在高速船舶、滑翔艇、水翼艇上则可能产生空泡。

2. 船体的影响

船后舵的船体影响主要表现在 3 个方面。

(1) 有效展弦比 λ_e 的变化

如果舵的上边缘与船底之间的间隙等于零, 理论上其有效展弦比 $\lambda_e = 2\lambda$ 。 λ_e 随着船与船体之间的间隙的增大而减小, 这一影响对于设置舵原区域是平底的船舶应予考虑。但一般船舶设置舵的区域不是平底, 因此这种影响随着转舵角 α 的增加而迅速降低, 所以在舵的水动力计算中, 船体对 λ_e 的影响通常不予考虑。

(2) 有效攻角 α_e 的变化

船舶在作曲线运动时, 舵受到船体整流效应的影响。当船舶以漂角 δ 和角速度 ω 作回转转动时, 若不考虑船体对水流的影响, 则在舵轴处的几何漂角 β_R 为:

$$\beta_R = \beta + \arctan \frac{x_R \omega \cos \beta}{V + x_R \omega \sin \beta} \quad (1-10)$$

这时舵的几何攻角 α_g 为:

$$\alpha_g = \delta \pm \beta_R \quad (1-11)$$

在式(1-11)中, 若船舶回转运动及舵绕舵杆轴线运动的方向相同, 取正号。方向相反,