

高等学校统编教材

船舶推进

王国强 盛振邦 编著

国防工业出版社

船 舶 推 进

王国强 盛振邦 编著



国防工业出版社

内 容 简 介

本书的内容以螺旋桨推进为主。书中除讲述螺旋桨的基本原理、几何特征、水动力性能、船体与螺旋桨的相互影响外，着重介绍螺旋桨的图谱设计及船-机-桨的配合问题。对于螺旋桨的理论设计方法（升力线理论加升力面修正）及螺旋桨激振力等问题也作必要的介绍。作者在编写本书时力求反映近代科技成就以适应当今的教学要求。

本书可作为高等工科学校船舶设计制造专业的教材或其他有关专业的教学参考书，也可供船舶设计及研究部门的科技人员参考。

船 舶 推 进

王国强 盛振邦 编著

*

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

*

787×1092 1/16 印张18¹/₂ 428千字

1985年12月第一版 1985年12月第一次印刷 印数：0,001—5,270册

统一书号：15034·3012 定价：3.80元

前 言

本书系根据高等学校船舶工程系船舶设计制造专业“船舶推进”课程的教学大纲编写而成。鉴于近代船舶推进器的主要型式是螺旋桨，故在内容上以螺旋桨为主，而在取材方面侧重于船舶设计制造专业的需要。

研究船舶的推进问题对于节约能源、改善船舶快速性以及避免严重的船尾激振具有重大的作用。因此，“船舶推进”是船舶设计制造专业的一门重要专业课程。

近二十年来，由于船舶向巨型化、大功率发展，螺旋桨的负荷不断增加，出现了诸如严重空泡、桨叶剥蚀损坏、船尾剧烈振动等一系列问题。致使船舶推进方面考虑问题的出发点必须改变，例如在推进器设计中，已从主要考虑效率问题转变为综合考虑效率、空泡、激振等问题的所谓权衡设计。在这种情况下，编者认为：在本书中除阐述螺旋桨的基本原理、几何特性、水动力性能、螺旋桨图谱设计及船-机-桨的配合等问题外，对于螺旋桨的理论设计方法及激振力等问题也应作必要的介绍，以适应当前技术发展的需要。

在本书编写过程中，参考了王公衡教授编著的《船舶推进》、盛振邦同志主编的《船舶推进》、张佐厚和胡志安同志主编的《船舶推进》、董世汤同志编著的《船舶螺旋桨理论》等教材以及国内外有关书刊。感谢各兄弟院校的许多同志对本书编写工作的帮助和支持，特别是武汉水运工程学院陈祖庆同志对本书的前身《船舶推进讲义》提出了详尽的意见，使我们受益匪浅。海军工程学院瞿守恒同志在百忙中仔细审阅了本书手稿，并提出了许多宝贵的意见，特致深切的谢意。

作者在编写本书时力求既能反映近代科技成就，包括我国的最新成就，又能适合当今的教学要求，但这毕竟是一种尝试。因此本教材的缺点错误在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者
于上海交通大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 马力及效率	6
第二章 螺旋桨的几何特性	8
第一节 螺旋桨的外形和名称	8
第二节 螺旋面及螺旋线	9
第三节 螺旋桨的几何特性	10
第三章 螺旋桨基础理论及水动力特性	14
第一节 理想推进器理论	14
第二节 理想螺旋桨理论(尾流旋转的影响)	17
第三节 作用在桨叶上的力和力矩	20
第四章 螺旋桨模型的敞水试验	28
第一节 螺旋桨的相似定理	28
第二节 临界雷诺数和尺度效应	31
第三节 敞水试验方法及测量数据的表达	35
第四节 螺旋桨模型系列试验及性征曲线组	38
第五章 螺旋桨与船体间的相互作用	41
第一节 伴流——船体对螺旋桨的影响	41
第二节 推力减额——螺旋桨对船体的影响	46
第三节 推进系数及推进效率的各种成分	48
第四节 估算船体与螺旋桨相互影响系数的公式	52
第六章 螺旋桨的空泡现象	60
第一节 桨叶表面产生空泡的原因	60
第二节 叶切面的空泡现象, 空泡对叶切面性能的影响	65
第三节 螺旋桨的空泡现象, 空泡对螺旋桨性能的影响	67
第四节 螺旋桨模型的空泡试验	70
第五节 空泡校验	73
第六节 螺旋桨的噪声和谐鸣现象	78
第七章 螺旋桨的强度计算	81
第一节 规范校核法	81

第二节	分析计算法	84
第三节	桨叶厚度的径向分布	90
第四节	螺距修正	92
第五节	螺旋桨重量及惯性矩计算	94
第八章	螺旋桨图谱设计	98
第一节	设计问题和设计方法	98
第二节	B- δ 型螺旋桨设计图谱及其应用	99
第三节	K-J型设计图谱	119
第四节	设计螺旋桨时应考虑的若干问题	126
第五节	船体-螺旋桨-主机的配合问题	133
第六节	螺旋桨图谱设计举例	143
第七节	螺旋桨总图的绘制	150
第八节	螺旋桨制造工艺	160
第九章	船模自航试验及实船性能预估	170
第一节	船模自航试验	170
第二节	实船性能预估	174
第三节	实船试航速度预报、螺旋桨与主机的配合情况	180
第四节	实船船模的相关分析	183
第五节	实船试速	184
第十章	特种推进器	188
第一节	导管螺旋桨	188
第二节	可调螺距螺旋桨	199
第三节	其他形式特种推进器简介	206
第十一章	螺旋桨升力线理论	209
第一节	螺旋桨升力线理论引言	209
第二节	螺旋涡线的速度势	220
第三节	螺旋涡线对升力线处的诱导速度	225
第四节	螺旋涡片的诱导速度	228
第五节	等螺距螺旋涡片的诱导速度的正交性	230
第六节	最佳环量分布螺旋桨设计问题	231
第七节	任意环量分布螺旋桨设计问题	242
第八节	用升力线理论求解螺旋桨的正问题	245
第十二章	螺旋桨几何尺度的确定	248
第一节	桨叶切面的选择	248
第二节	螺旋桨升力面理论修正	255
第三节	翼型阻力影响	256
第四节	强度校核	259

第十三章 螺旋桨激振力	262
第一节 概述	262
第二节 螺旋桨激振力的预估方法	265
第三节 减振措施	274
附录一 设计图谱	278
图 1 MAU4-40 K_T, K_Q-J 图	278
图 2 MAU4-55 K_T, K_Q-J 图	278
图 3 MAU4-70 K_T, K_Q-J 图	279
图 4 AU5-50 K_T, K_Q-J 图	279
图 5 AU5-65 K_T, K_Q-J 图	280
图 6 MAU5-80 K_T, K_Q-J 图	280
图 7 MAU4-40 $\sqrt{B_P}-\delta$ 图谱	281
图 8 MAU4-55 $\sqrt{B_P}-\delta$ 图谱	281
图 9 MAU4-70 $\sqrt{B_P}-\delta$ 图谱	282
图 10 AU 5-50 $\sqrt{B_P}-\delta$ 图谱	282
图 11 AU 5-65 $\sqrt{B_P}-\delta$ 图谱	283
图 12 MAU 5-80 $\sqrt{B_P}-\delta$ 图谱	283
图 13 B 4-55 K_T, K_Q-J 图	284
图 14 B 4-55 $B_{P1}-1/J$ 图谱	285
图 15 B 4-55 $B_{P2}-1/J$ 图谱	286
附录二 常用单位换算表	287
参考文献	288

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、“船舶推进”课程研究的对象

船在水面或水中航行时遭受阻力，其大小与船的尺度、形状及航行速度有关。为了使船舶能保持一定的速度向前航行，必须供给船舶一定的推力(或拉力)，以克服其所受的阻力。作用在船上的推力是依靠能源来产生的(例如：人力、风力以及各种形式的发动机)。但是仅有能源还不能直接产生推力，故在船上还需要设有专门的装置或机构，把能源(发动机)发出的功率转换为推船前进的功率，这种专门的装置或机构统称为推进器，例如：桨、篙、橹、帆以及明轮、螺旋桨等。船舶快速性是船舶的重要性能之一，所谓快速性，是指船舶在给定主机马力(功率)情况下，在一定装载时于水中航行的快慢问题。快速性不论对民船或军舰都是很重要的问题。在船舶设计中要满足用船部门对快速性的要求，应当从下述四个方面来考虑：

① 船舶于航行时所遭受的阻力要小，即所谓优良线型的选择问题；

② 选择推力足够，且效率高的推进器；

③ 选取合适的主机；

④ 推进器与船体和主机之间协调一致。本课程主要研究：推进器在水中运动时产生推力的基本原理以及它的性能好坏(效率高低)等问题，然后解决如何根据生产实际的要求设计出一个性能优良的推进器问题。

二、推进器的类型

推进器的类型甚多，下面分别叙述常见的几种推进器，并简要地指出这些推进器的特征。

1. 螺旋桨

它是由若干桨叶(二叶至六叶)组成，桨叶固定在桨毂上，各邻近叶片之间相隔的角度相等，如图 1-1 所示。当螺旋桨转动时，桨叶拨水向后，而自身受到水流的反作用力，其推力通过桨轴和推力轴承传递至船体上。螺旋桨构造简单、造价低廉、使用方便、效率较高，是目前应用最广的推进器。

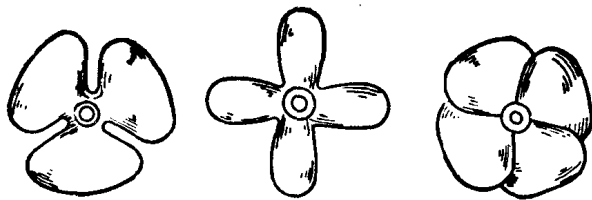


图 1-1

根据不同船舶工作条件的要求，一些特种推进器在普通螺旋桨的基础上发展起来，例如：

导管螺旋桨 在螺旋桨的外围套上一个纵切面为机翼型或类似于机翼剖面的折角线形的套筒，其外形如图 1-2 所示。在负荷较重时，其效率较普通螺旋桨为高，主要用于拖网渔轮和拖轮等多工况船舶。

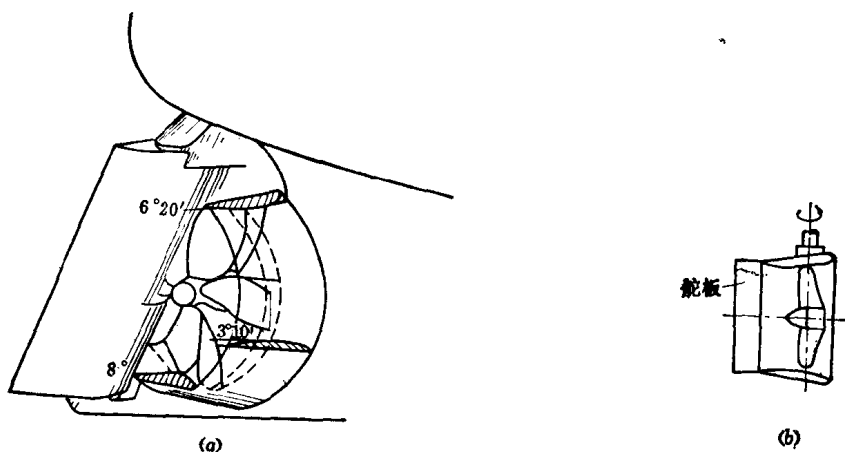


图 1-2

(a) 轴向不对称导管及尾部布置；(b) 转动导管桨（导管舵）。

可调螺距螺旋桨 它是一种利用设置于桨毂中的操纵机构能使桨叶绕垂直于桨轴的轴线转动以改变其角度（螺距）的螺旋桨。由于桨叶的螺距可根据需要进行调节，故在不同航行状态时，主机均能充分发挥功率和转速，但机构较复杂，造价和维修费用比较高。

对转螺旋桨 又称双反转螺旋桨，就是两只普通螺旋桨分别装于两根同心轴上，并以等速或不等速反向转动。这种推进器传动装置比较复杂，多用于鱼雷和潜艇。

串联螺旋桨 它是两个螺旋桨串联装于同一轴上以相同的转速运转的推进器。

2. 风帆

自远古时代至上世纪的初期，风帆一直是船舶主要的推进器。风帆推进器虽然可以利用无代价的风力，但其所能得到的推力依赖于风向和风力，以致船的速度和操纵性能都受到限制。故自蒸汽机作为船舶主机以后，帆就被其他型式的推进器所代替，仅在游艇、教练船和小渔船上仍有采用。目前由于燃料紧张，为节省能源，国内外又在研究风力的利用，提出了风帆助推方案，并已在一些船上实施，称为风帆助航节能船。

3. 明轮

明轮是局部没水的推进器，外形略似车轮，其水平轴沿船宽方向置于水线之上，轮之周缘装有蹼板（或称桨板）。明轮在操作时，其蹼板拨水向后，而自身受到水流的反作用力，此反作用力经轮轴传至船体，推船前进。安装于舷侧的明轮叫边轮，安装于船尾的叫尾轮。边轮增大船宽，对横稳性有利，但在风浪中不易保持航向。尾轮适用于狭窄航道。明轮有定蹼式和动蹼式两种。定蹼式明轮的蹼板沿径向固接在轮幅上（图1-3(a)），构造简单，造价低廉。其缺点是蹼板入水时产生拍水现象，而在出水时又产生提水现象，因而效率较低。动蹼式明轮可以借偏心装置控制蹼板，以调节出水和入水的角度（图1-

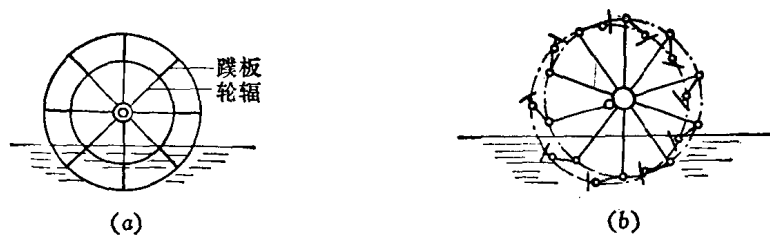


图 1-3

3(b)), 消除了上述缺点, 故其效率较高。明轮曾广泛用作海船的推进器, 但由于本身的机构十分笨重, 且在波涛中不易保持一定的航速和航向, 且蹼板易损坏, 故目前仅应用于部分内河船舶。

4. 直叶推进器

直叶推进器也称竖轴推进器或平旋轮推进器, 是由若干垂直的叶片(四叶至八叶)组成, 叶片在圆盘上是等间距的, 圆盘与船体底部齐平, 如图 1-4 所示。圆盘绕垂直轴旋转, 各叶片以适当的角度与水流相遇, 因而产生推力。直叶推进器的偏心装置可以控

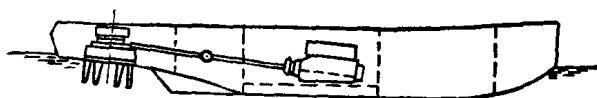


图 1-4

制各叶片与水流相遇的角度, 故能发出任何方向的推力。装有直叶推进器船舶的操纵性能良好, 且在船舶倒退时也无须逆转主机。此外, 直叶推进器的效率较高(约略与螺旋桨相同); 在汹涌海面下, 工作情况也较好。其缺点是机构复杂, 造价昂贵, 叶片的保护性差, 极易损坏。目前这类推进器常用于港口作业或对操纵性有特殊要求的船舶。

5. 喷水推进器

喷水推进器是一种依靠水的反作用力而产生推力的推进器。装在船内的水泵自船底吸水后将水流自喷管向后喷出, 水的反作用力即推船前进。喷水推进器的构造形式很多, 但其作用原理基本上是相同的。

图 1-5 是曾被使用过的一种喷水推进器。船的中部装有离心泵, 水泵与竖轴略作倾斜, 进水口朝向船行的方向, 以便充分利用水流的相对速度。水泵自船底将水吸入, 然后将水流自舷侧的喷管向后喷出, 水流的反作用即产生推力。舷侧的喷管可以借控制机构转动, 因而可以使船舶倒退或就地转向。这类推进器的优点是: 推进器的活动部分在船体内部, 具有良好的保护性; 操纵性能良好。其缺点是: 水泵及喷管中水的重量均在船体内部, 减少了船舶的有效载重量; 喷管中水力损耗很大, 故推进效率低。

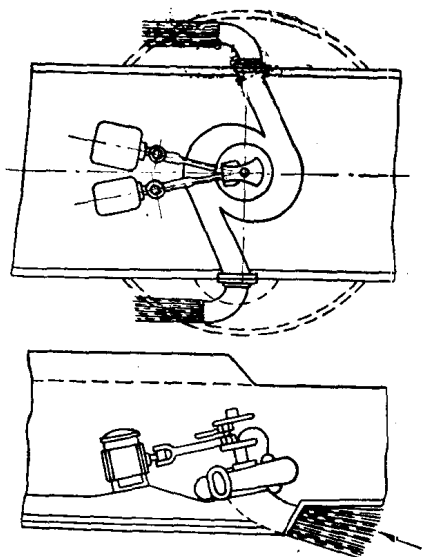


图 1-5

这种推进器多用于内河浅水的拖轮上，近年来也用于滑翔艇、水翼艇等高速船上。

水力锥形推进器是一种较好型式的喷水推进器（图1-6），其外壳2作成圆锥形，锥筒内部装有翼轮3。当主机1驱动翼轮旋转时，水由进水孔4进入锥筒，水流经过翼轮在锥筒内造成旋转运动，在翼轮的作用下水自排水孔5向船后排出，其反作用力即推船前进。

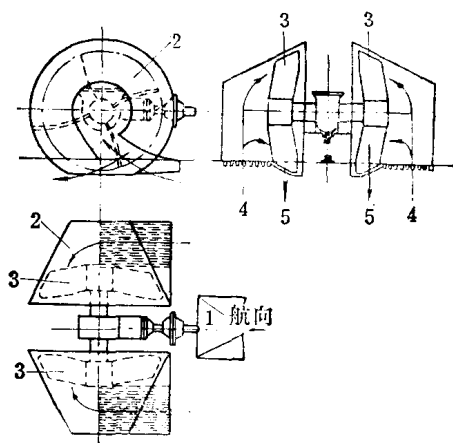


图 1-6

锥形推进器构造简单，设备轻便，由于船内无喷管，其效率较一般喷水推进器为高，航行于浅水及阻塞航道中的船只常采用此种推进器。

表 1-1 中列入几种推进器的效率及重量的大致数值范围，以资比较。

表 1-1

推进器类型	推进器效率	轴系传送效率	推进系数	推进器重量 (kg/hp)
螺旋桨	0.60~0.75	0.95~0.98	0.50~0.70	0.5~2.0
明轮	0.40~0.60	0.70~0.85	0.30~0.50	15~30
直叶推进器	0.55~0.70	0.85~0.95	0.45~0.60	4~8
喷水推进器	0.55~0.60	0.90~0.95	0.50~0.55	—

三、船舶推进的发展简史

人类开始使用船舶即需同时解决船舶的推进问题。在我国古籍文献中专门记载推进器的文字虽不多，但从船舶或航运的发展情况也可略见船舶推进发展之一斑。

在远古时代，我国已使用舟楫。在夏禹时代（公元前2205~2198年）已有“维牵”、“帆”、“橹”等推进工具。船在浅水中用篙撑持前进，深水中则需用桨或橹，沿岸航行可用拉牵，进一步作篷帆以利用风力，既省人工，且能推进船舶的尺度及航行距离也大为增长。以上所述各种推进方法经长期发展沿用至今，其中摇橹为我国所专有，帆船防横漂的披水板也系我国最早采用，以后才传至欧洲。

我国帆船航行海外的历史悠久，纪元前即来往于南洋一带。据阿拉伯史家记载：在五世纪，中国帆船常远航至幼发拉底河畔的希拉城下，在八、九世纪远航至红海口的亚丁。明朝初年（十五世纪初），我国航海家郑和曾率船队七下西洋（即今南洋一带），远达非洲。在前世纪，我国帆船常远航至美洲西岸。

在历代史传中，有不少关于用桨轮来推进船舶的记载，各书中虽描述桨轮船航速之飞快，但无具体数据，对于推进器机构的叙述也极其简略，有待进一步考证。在汽船输入我国之前，此类桨轮船多系供军用。图 1-7 为明朝王圻所著《三才图会》中的轮船简图。鸦片战争时，我国曾有明轮军舰参加吴淞战役，此时也有用脚踏机构转动船尾明轮的快班客船来往于上海、苏州之间。

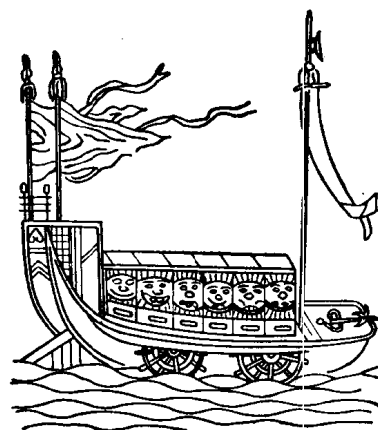


图 1-7

其他各国关于用人力及风力推进船舶方法的演进过程与我国约略相似。纪元前几千年，埃及、亚述、腓尼基和巴比伦就已造过装桨的船只，并用奴隶的体力来划桨。当时长期在海上航行的大型船只，用大量的桨（50~100副）成排地装在舷侧，最大速度曾达 7~8 kn。

由于船舶尺度和航行距离的不断增长，便出现了桨和帆兼用的船舶，这样可以缩减划桨人员，对经济上更为有利。在军舰和商船上兼用帆-桨作为推进器延续了很长时期，至十六世纪才进入纯粹用帆来推进的军舰和商船时代，前世纪中帆船设计有很大的发展，快速帆船在顺风条件下，航速可高达 15~20 kn。但自船上开始应用蒸汽动力以后，帆船逐渐被其他型式的推进器所代替。

在蒸汽机发明以前，即已有人研究喷水推进器，并试图用以推进船舶，但由于此类推进器效率过低，经济性差，并未获得圆满效果，所以没有得到广泛的应用。

自蒸汽机发明以后，有许多人致力于船舶使用蒸汽动力的研究，其问题则为使用何种推进机构最切实用，所从事设计与试验的推进器包括机动篙、机动划桨、明轮及螺旋桨等。就当时蒸汽机的性能及工业条件而言，则以明轮最为适宜。十九世纪上半叶，明轮推进器有很大的发展，至 1830~1840 年间，明轮推进器的应用最为广泛，当时明轮船极为盛行。但是，明轮作为航海船只的推进器有许多缺点，在风浪情况下，明轮的桨板会局部地或完全露出水面，致使船舶不能维持一定的航速和稳定的航向。海浪的强烈冲击常使桨板损坏，影响船舶的正常营运。此外，明轮的转速较低，不得不采用低速而笨重的主机。所以十九世纪中叶以后，在海船上大多改用螺旋桨作为推进器。

关于使用螺旋桨作为船舶推进器的思想在很早就已确立，各国发明家先后提出了很多螺旋推进器的设计。十九世纪初期，各国竞事于螺旋桨的研究并试用于实际船舶，曾有人于 1867 年作过统计，与“发明”螺旋桨有关者不下 470 人。图 1-8 表示几种初期螺旋推进器的形式。1836 年史密司号船采用木制单螺纹蜗杆形螺旋推进器（形式略似图 1-8 (a)，但具有两全周）以 8 kn 的速度航行了 400 nmile(海里)，在试航中其推进器触物

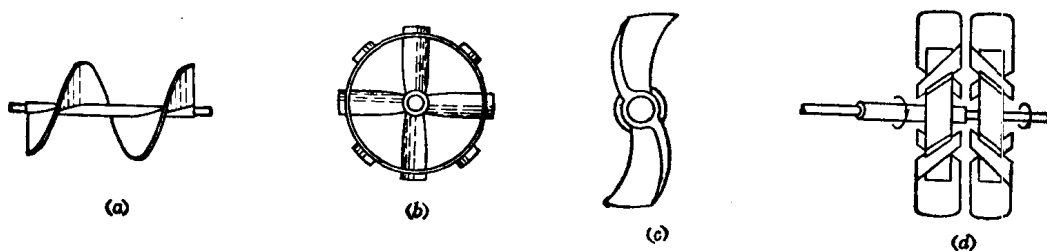


图 1-8

损伤一部分，但船速反而增加。其后经多方研究改进，螺旋桨的航行成效也日益显著，故从十九世纪中叶以后，螺旋桨就获得了广泛的应用。在长期的实践过程中，螺旋桨的形状不断改善，桨叶螺旋面的长度逐步减小，桨叶的形状也逐渐趋于完善。和其他类型的推进器相比较，螺旋桨的构造简单，效率较高，故目前仍是军舰和商船上应用最为广泛的推进器。

1930年在摩托汽艇上首先使用了直叶推进器，以后经不断改善，用在港口工作船和扫雷艇上获得了成功，但由于构造复杂和重量大的缘故，在大型船只上至今还没有得到广泛的应用。

船舶推进器的种类虽多，近代船舶绝大多数是用螺旋桨作为推进器，故本课程中即以此为主，对于其他形式的推进器在有关章节中仅作简略的介绍。

第二节 马力及效率

一、有效马力

设船舶以等速度 v 直线运动时遭受阻力 R ，为使船舶维持此项运动，则必须对船供给有效推力 T_e 。对于自航船舶而言，有效推力 T_e 与船舶所遭受的阻力 R 大小相等，方向相反，即

$$T_e = R \quad (1-1)$$

对于多螺旋桨船，上式中的 T_e 指各螺旋桨有效推力之总和，在本书中如无专门说明，则均指单桨船。对于拖船来说，其所需的有效推力 T_e 必须克服拖船本身的阻力 R 和驳船的阻力 F (亦即拖船拖钩上的拉力)，即

$$T_e = R + F \quad (1-2)$$

下面我们只讨论自航船舶的情况。若船以速度 v 航行时所遭受的阻力为 R ，则阻力 R 在单位时间内所消耗的功为 Rv ，而有效推力 T_e 在单位时间内所作的功为 $T_e v$ ，两者在数值上是相等的，故 $T_e v$ (或 Rv) 称为有效功率，表示推进器所产生的实际有效功率。若以马力计，则称为有效马力或拖曳马力，简写作 P_E 。公制的有效马力可写作：

$$P_E = \frac{T_e v}{75} = \frac{Rv}{75} \quad (\text{UShp}) \quad (1-3)$$

为方便起见，以后 UShp 均简化表达为 hp。英制的有效马力可写作：

$$P_E = \frac{T_e v}{76} = \frac{Rv}{76} \quad (\text{UKhp}) \quad (1-4)$$

式中， T_e 为有效推力 (kgf)； R 为阻力 (kgf)； v 为船速 (m/s)。

公制马力和英制马力的换算关系为：

$$1 \text{ UKhp} = 1.014 \text{ hp} \quad (1-5)$$

二、主机马力和传送效率

推进船舶所需要的功率由主机供给，主机发出的马力称为机器马力，以 P_s 表示。机器马力经过减速装置、推力轴承及主轴等传送至推进器，如图 1-9 所示。在主轴尾端与推进器联接处所量得的马力称为推进器的收到马力，以 P_o 表示。由于推力轴承、轴承、

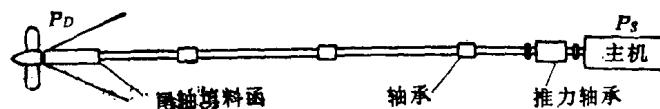


图 1-9

尾轴填料函及减速装置等具有摩擦损耗，故推进器收到马力总是小于机器马力，两者之比值称为传送效率或轴系效率，以 η_s 表示。

$$\eta_s = P_D / P_S \quad (1-6)$$

三、推进效率和推进系数

推进器所收到的马力为 P_D ，而最后为克服船体阻力的功率是有效马力 P_E 。由于推进器本身在操作时有一定的能量损耗，且船身与推进器之间有相互影响，故有效马力总是小于推进器所收到的马力，两者之比值称为推进效率，并以 η_D 表示（推进效率也称为似是推进系数 QPC），

$$\eta_D = P_E / P_D \quad (1-7)$$

有效马力与机器马力的比值称为推进系数，以 $P \cdot C$ 表示。

$$P \cdot C = P_E / P_S \quad (1-8)$$

由 (1-6) 及 (1-7) 两式可知：

$$P \cdot C = \frac{P_E}{P_D} \cdot \frac{P_D}{P_S} = \eta_D \cdot \eta_s \quad (1-9)$$

推进系数为多种效率相乘之综合名称，通常可以表示用某种机器及推进器以推进船舶之全面性能，推进系数越高，船舶的推进性能越好。

从以上对各种效率的简要分析可知，快速性良好的船舶除应具有优秀的船型（即航行时遭受的阻力最低）以外，还必须具有最佳的推进性能。由此可见，研究船舶的推进问题对于改善快速性具有重大的作用。

第二章 螺旋桨的几何特性

螺旋桨是目前应用最为广泛的一种推进器，因而也就成为“船舶推进”课程研究的主要对象。要研究螺旋桨的水动力特性，首先必须对螺旋桨的几何特性有所认识 and 了解。

第一节 螺旋桨的外形和名称

螺旋桨俗称车叶，其外观如图 2-1 所示。

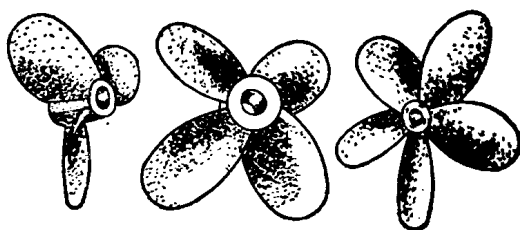


图 2-1

螺旋桨通常装于船的尾部（但也有一些特殊船只在首尾部都装有螺旋桨，如港口工作船及渡轮等），在船尾部中线处只装一只螺旋桨的船称为单螺旋桨船，左右各一者称为双螺旋桨船，也有三桨、四桨乃至五桨者。

螺旋桨通常由桨叶和桨毂构成（图2-2）。螺旋桨与尾轴联接部分称为桨毂，桨毂是一个截头的锥形体。为了减小水阻力，在桨毂后端加一整流罩，与桨毂形成一光滑流线形体，称为毂帽。

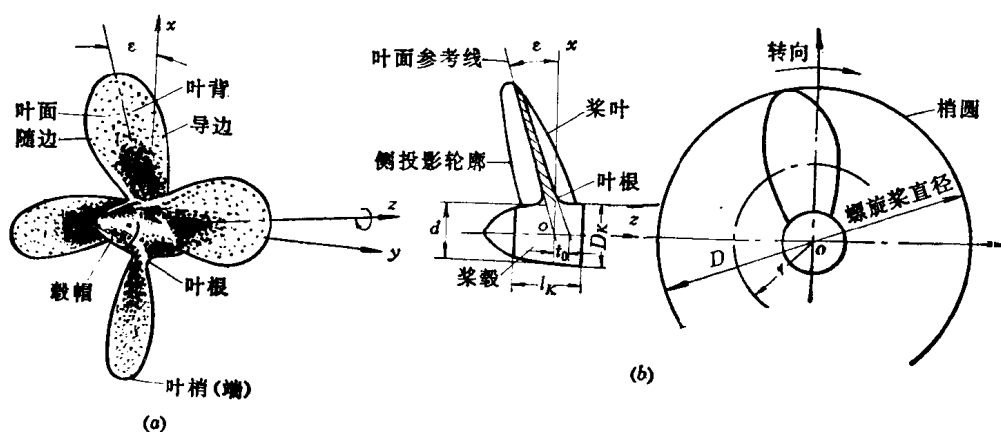


图 2-2

桨叶固定在桨毂上。普通螺旋桨常为三叶或四叶，二叶螺旋桨仅用于机帆船或小艇上，近来有些船舶（如大吨位大功率的油船），为避免振动而采用五叶或五叶以上的螺旋桨。

由船尾后面向前看时所见到的螺旋桨桨叶的一面称为叶面，另一面称为叶背。桨叶与毂联接处称为叶根，桨叶的外端称为叶梢。螺旋桨正车旋转时桨叶边缘在前面者称为导边，另一边称为随边。

螺旋桨旋转时（设无前后运动）叶梢的圆形轨迹称为梢圆。梢圆的直径称为螺旋桨直径，以 D 表示。梢圆的面积称为螺旋桨的盘面积，以 A_0 表示：

$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2-1)$$

当螺旋桨正车旋转时，由船后向前看去所见到的旋转方向为顺时针者称为右旋桨。反之，则为左旋桨。装于船尾两侧之螺旋桨，在正车旋转时其上部向船的中线方向转动者称为内旋桨。反之，则为外旋桨。

第二节 螺旋面及螺旋线

桨叶的叶面通常是螺旋面的一部分。为了清楚地了解螺旋桨的几何特征，有必要讨论一下螺旋面的形成及其特点。

设线段 ab 与轴线 oo_1 成固定角度，并使 ab 以等角速度绕轴 oo_1 旋转的同时以等线速度沿 oo_1 向上移动，则 ab 线在空间所描绘的曲面即为等螺距螺旋面，如图 2-3 所示。线段 ab 称为母线，母线绕行一周在轴向前进的距离称为螺距，以 P 表示。

根据母线的形状及与轴线间夹角的变化可以得到不同形式的螺旋面。若母线为一直线且垂直于轴线，则所形成的螺旋面为正螺旋面如图 2-4(a) 所示。若母线为一直线但不垂直于轴线，则形成斜螺旋面，如图 2-4(b) 所示。当母线为曲线时，则形成扭曲的螺旋面如图 2-4(c) 及图 2-4(d) 所示。

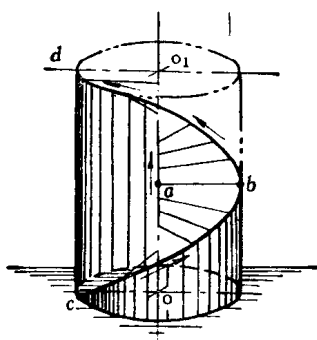


图 2-3

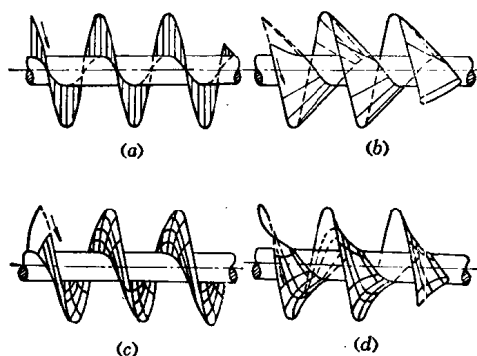


图 2-4

母线上任一固定点在运动过程中所形成的轨迹为一螺旋线。任一共轴之圆柱面与螺旋面相交的交线也为螺旋线，图 2-5(a) 表示半径为 R 的圆柱面与螺旋面相交所得的螺旋线 BB_1B_2 。如将此圆柱面展成平面，则此圆柱面即成一底长为 $2\pi R$ 高为 P 的矩形，而螺旋线变为斜线（矩形的对角线），此斜线称为节线。三角形 $B'B''B_2''$ 称为螺距三角形，节线与底线间之夹角 θ 称为螺距角，如图 2-5(b) 所示。由图可知，螺距角可由下式来确定：

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P}{2\pi R} \quad (2-2)$$

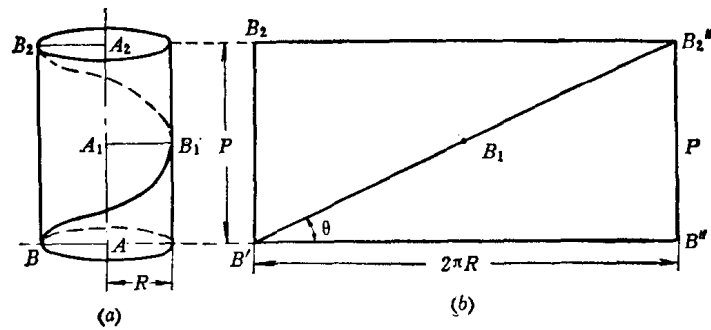


图 2-5

第三节 螺旋桨的几何特性

一、螺旋桨的面螺距

螺旋桨桨叶的叶面是螺旋面的一部分(图2-6(a)),故任何与螺旋桨共轴的圆柱面与叶面的交线为螺旋线的一段,如图2-6(b)中的 B_0C_0 段。若将螺旋线段 B_0C_0 引长环绕轴线一周,则其两端之轴向距离等于此螺旋线的螺距 P 。若螺旋桨的叶面为等螺距螺旋面之一部分,则 P 即称为螺旋桨的面螺距。面螺距 P 与直径 D 之比 P/D 称为螺距比。将圆柱面展成平面后即得螺距三角形如图2-6(c)所示。

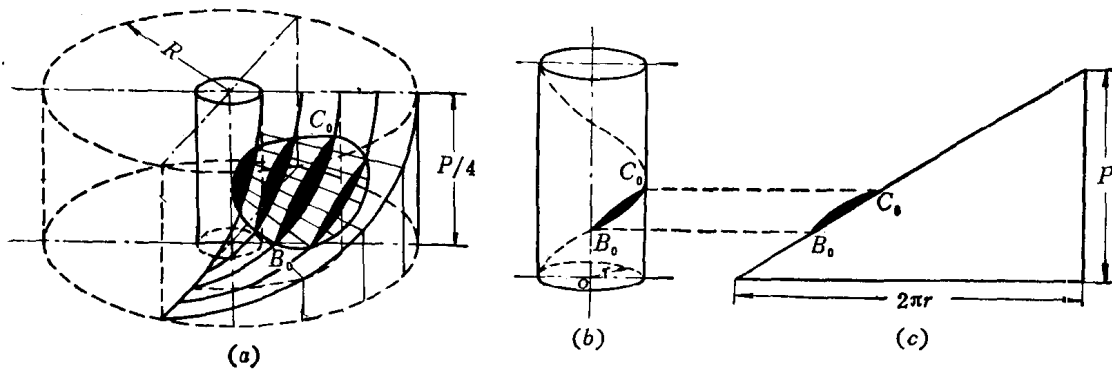


图 2-6

设上述圆柱面的半径为 r ,则展开后螺距三角形的底边长为 $2\pi r$,节线与底线之间的夹角 θ 为半径 r 处的螺距角,并可据下式来确定:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P}{2\pi r} \quad (2-3)$$

螺旋桨某半径 r 处螺距角 θ 的大小,表示桨叶叶面在该处的倾斜程度。不同半径处的螺距角是不等的, r 愈小则螺距角 θ 愈大。图2-7(a)表示三个不同半径的共轴圆柱面与等螺距螺旋桨桨叶相交的情形,其展开后的螺距三角形如图2-7(b)所示。显然, $r_1 < r_2 < r_3$ 而 $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ 。

若螺旋桨叶面各半径处的面螺距不等,则称为变螺距螺旋桨,其不同半径处螺旋线的展开如图2-8所示。对此类螺旋桨常取半径为 $0.7R$ 或 $0.75R$ (R 为螺旋桨梢半径)处