

~~342097~~
高等学校教学用书

船舶推进

盛振邦 主编



北京科学教育编辑室

PDG



~~342097~~

39478

高等学校教学用书



船 舶 推 进

戚振邦 主编



北京科学教育编辑室

內 容 提 要

本书系根据高等工业学校船舶制造专业“船舶推进”課程的教学大纲编写而成，全书共計十二章。鉴于近代船舶的推进器絕大多数为螺旋桨，故在本书的內容上以螺旋桨为主，书中除一般地讲述螺旋桨的基本原理、几何性征及制造工艺外，着重地介紹环流理論、模型試驗及螺旋桨的設計等問題。对于其他型式的推进器也作了必要的介紹。

本书可以作为高等工业学校船舶制造专业的試用教科书或其他有关专业的教学参考书。此外，本书还可以供船舶設計及研究部門的技术人員参考之用。

船 船 推 进

盛 振 邦 主 編

北京科学教育編輯室出版
商务印书館上海厂印刷
新华书店上海发行所发行

开本：850×1168 1/32 印張：18 插頁：14 字數：311,000

印數：0,001—2,000

1963年8月第1版 1963年8月上海第1次印刷

定價：2.11 元

編 者 序

本教材是根据高等工业学校船舶制造专业“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制造专业的需要。对于其他型式的推进器仅给以简要的基本知识。

研究船舶的推进问题对于改善船舶快速性具有重大的作用。因此，“船舶推进”是船舶制造专业一门重要的专业课程。为了更好地提高教学质量，在编写过程中，除考虑到过去教学实践中产生的问题以外，着重参考了原编讲义、王公衡教授编著的船舶推进、苏联教材以及国外其他有关书刊，企图能编出一本适用于船舶制造专业的船舶推进教材。

本书由盛振邦、朱超、钱晓南合编，盛振邦编写第一、第二、第三、第四、第五、第九、第十及第十二章，朱超编写第六及第七章，钱晓南编写第八及第十一章。最后由盛振邦、何友声进行整理和校订。

王公衡教授及高志希、姜次平、瞿守恒、何友声等同志校阅了本书手稿，并提出了许多宝贵的意见，特致深切的谢意。

由于我们的水平和经验不够，本教材的缺点和错误在所难免，因此恳切地希望采用本教材的各校师生能提出宝贵的批评和意见，以便今后修改教材时能在大家的帮助和支持下进一步提高质量。

编者 1962年9月于上海交通大学

目 录

編者序	1
第一章 緒論	1
§ 1. 推进器的作用及其分类	1
§ 2. 船舶推进的发展簡史	7
§ 3. 馬力及效率	10
第二章 理想推进器理論	13
§ 1. 理想推进器的工作概況	13
§ 2. 理想推进器的效率	16
§ 3. 理想推进器与实际推进器的比較	18
第三章 螺旋桨的几何性征及制造工艺	20
§ 1. 螺旋桨的外形及名称	20
§ 2. 螺旋面及螺旋綫的形成	21
§ 3. 螺旋桨的几何性征	23
§ 4. 螺旋桨的制图方法	31
§ 5. 螺旋桨的结构型式及材料	41
§ 6. 桨毂的构造及其与尾軸的配合	44
§ 7. 螺旋桨的制造工艺	46
第四章 螺旋桨的水动力性能	53
§ 1. 桨盘后水流的旋轉运动	53
§ 2. 速度多角形	55
§ 3. 螺旋桨的作用力	57
§ 4. 螺旋桨的水动力性征	59
第五章 螺旋桨的环流理論基础	64
§ 1. 螺旋桨的旋渦形式	64
§ 2. 螺旋桨周圍水流中的誘导速度	66
§ 3. 軸向誘导速度与周向誘导速度間的关系	70
§ 4. 有限叶数的影响	75
§ 5. 桨叶上发生的作用力	78
§ 6. 螺旋桨的翼栅作用	84

§ 7. 螺旋桨水动力性能的计算	89
第六章 螺旋桨模型的敞水试验	95
§ 1. 螺旋桨模型试验的目的及其作用	95
§ 2. 螺旋桨的相似定理	93
§ 3. 尺度作用及临界雷诺数	101
§ 4. 敞水试验方法及测量数据的表达	106
§ 5. 螺旋桨模型的定序试验组	110
第七章 螺旋桨与船体的相互作用	113
§ 1. 伴流	114
§ 2. 推力减额	125
§ 3. 推进效率	128
§ 4. 船模自航试验	131
§ 5. 估计伴流及推力减额分数的近似公式	150
第八章 螺旋桨的空泡现象	156
§ 1. 桨叶表面产生空泡的原因	157
§ 2. 空泡现象对翼切面水动力性能的影响	163
§ 3. 空泡现象对螺旋桨性能的影响	171
§ 4. 螺旋桨模型的空泡试验	176
§ 5. 空泡检验	183
§ 6. 螺旋桨的剥蚀	194
§ 7. 对于螺旋桨空泡问题的技术措施	197
§ 8. 螺旋桨的噪音和谐鸣现象	201
第九章 螺旋桨的强度计算	205
§ 1. 分析算法	205
§ 2. 罗姆逊算法	213
§ 3. 计算桨叶强度的实例	217
§ 4. 螺旋桨操作时船体的振动问题	222
第十章 螺旋桨设计	225
§ 1. 设计螺旋桨时应考虑的若干问题	226
(I) 图谱设计法	232
§ 2. 设计图谱与设计问题	232
§ 3. 巴甫米尔设计图谱及其应用	234
§ 4. 楚思德设计图谱及其应用	259
§ 5. 高恩阔叶螺旋桨的设计图谱	273
§ 6. 空泡螺旋桨的设计图谱及其应用	275
§ 7. 三螺旋桨和四螺旋桨船舶的螺旋桨设计	282

§ 8. 拖船及破冰船的螺旋桨设计问题	284
(II) 环流理论设计法	287
§ 9. 螺旋桨理想效率最佳的条件——尾流中能量损耗最小的条件	288
§ 10. 确定最佳螺旋桨理想效率的图谱—— $C_{p0} - \eta_{p0} - \lambda$ 及 $C_{N0} - \eta_{p0} - \lambda$ 图谱	294
§ 11. 外型阻力及螺旋桨的实际效率	300
§ 12. 桨叶切面几何尺寸的选择	304
§ 13. 翼栅效应及摩擦效应的修正	308
§ 14. 理论设计举例	311
(III) 船舶航行特性的计算	319
§ 15. 关于船体——螺旋桨——主机配合问题的概述	319
§ 16. 船后螺旋桨的水动力性能及主机的外特性	322
§ 17. 定级图的计算与绘制	325
§ 18. 部分螺旋桨工作时的航行性能	331
第十一章 特种推进器	334
§ 1. 可调螺距螺旋桨	334
§ 2. 歪筒螺旋桨	345
§ 3. 直叶推进器	366
§ 4. 明轮推进器	373
§ 5. 喷水推进	377
§ 6. 其他型式的特种推进装置	381
第十二章 实船试速	387
§ 1. 试验目的及内容	387
§ 2. 实船试速的条件及方法	388
§ 3. 试验数据的分析	390
§ 4. 风力及潮汐对试速的影响	393
§ 5. 船舶试速时可能发生的误差	397
附录 I. 翼切面的水动力性征	400
§ 1. 翼切面的几何性征	400
§ 2. 作用在翼切面上的升力及阻力	401
§ 3. 升力系数 C_y 及阻力系数 C_p 的计算	407
附录 II. 螺旋桨的设计图谱	407
1. 巴甫米尔设计图谱(图号 № 1—№ 2)	
2. 楚恩德设计图谱(图号 № 3—№ 10)	
3. 高恩阔叶螺旋桨设计图谱(图号 № 11—№ 14)	
4. 空泡螺旋桨的设计图谱(图号 № 15—№ 17)	

第一章 緒論

§ 1. 推进器的作用及其分类

由“船舶阻力”課程中已知,船于水面或水中航行时遭受阻力,其大小視船之尺度、形状及航行速度而定。为了使船舶能保持一定的速度向前航行,必須供給船舶一定的推力以克服所遭受的阻力。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(蒸汽往复机、內燃机、渦輪机等)。但是仅有能源还不能直接产生推力,故在船上还需要設有專門的装置或机构把能源(发动机)发出的能轉換为船舶前进的能,这种專門的装置或机构統称为推进器。桨是最簡單的一种推进器,人在划桨时桨板激动附近的水,水的反作用便产生推力,故桨把人的筋肉能轉为船舶运动的能。用篙撑船則取得地面的反作用力,也是把人的筋肉能轉为船舶运动的能。帆是把风的能量轉換为船舶运动的能。各种机械的推进器(例如:螺旋桨、明輪等)都是把主机的能轉換为功以克服阻力的作用。

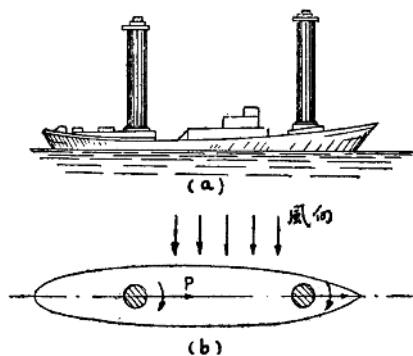
通常船舶推进器可分为主动式和反应式两类。主动式推进器的能源就直接作用于船上(例如风对帆的作用),帆及旋筒推进器都是主动式推进器。帆是推进器和发动机的結合体,它利用风的能量直接获得推力。凡推进器依靠撥水向后(即将水往船舶运动的相反方向推开)的方法获得推力者称为反应式推进器,桨、明輪、螺旋桨、直叶推进器及噴水推进器等都是反应式推进器。反应式推进器又可分为叶片式推进器和噴水式推进器两种。叶片式推进

器撥水向后时,水的反作用力直接由浆叶来承受。各浆叶上流体反作用力合力的向前成分就是推进器产生的推力,推力通过推进器的軸和推力軸承傳遞到船体上。噴水式推进器噴水向后时,水的反作用力直接由固定在船体上的导管或其他結構来承受。

下面分別叙述常見的几种推进器,并簡要地指出这些推进器的特征。

1. 风帆: 自远古时代至上世紀的初期,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了限制。故自蒸汽机作为船舶主机以后,帆就为其他型式的推进器所代替。現在在游艇、教练船和小漁船上还有利用帆作为推进器者,某些备有器机的民船上附装风帆,以便遇到順风时可以节省燃料,也有虽备有机器但仍以风帆推进为主者。

2. 旋筒: 旋筒推进器是垂直的旋轉圓筒,圓筒位于甲板上,



并由电动机使其轉动,如图 1-1a 所示。当风吹向圓筒时,由于圓筒旋轉形成环流,因而产生了与风向相垂直的作用力推船前进,如图 1-1b 所示。这种推进器的作用完全依赖于风力和风向,当无风或风向不合适时就无法产生推力或控制船舶

的航行方向,且在风暴情况下其续航性很差,故未被广泛采用。

3. 明輪: 明輪是局部沒水的推进器,外形略似車輪,其水平

軸沿船寬方向置于水綫之上，輪之周緣裝有蹼板（或稱槳板）。明輪在操作時，其蹼板撥水向後，而自身受到水流的反作用力，此反作用力經輪軸傳至船體，推船前進。明輪有定蹼式和動蹼式兩種。定蹼式明輪的蹼板沿徑向固接在輪輻上（圖 1-2a），構造簡單，造價低廉。其缺點是蹼板入水時產生拍水現象，而在出水時產生提水現象。兩者都要損耗一定的能量，故其效率較低。動蹼式明輪可以藉偏心裝置控制蹼板，以調節出水和入水時的角（圖 1-2b），因為蹼板能以適宜的角度入水和出水，消除了上述缺點，故效率較高。明輪曾被廣泛地用作航海船舶的推進器，但由於其本身的機構十分笨重，且在波濤洶湧的海面上航行時不易保持一定的航速和穩定的航向，海浪的強烈沖擊又易使蹼板損傷，故現時明輪推進器僅應用於內河船舶。

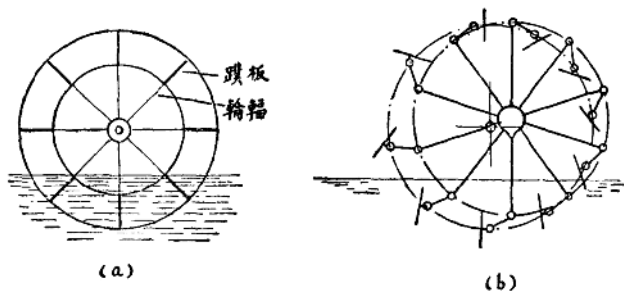


圖 1-2

4. 螺旋槳：螺旋槳是由若干翼形槳葉（二葉至六葉）所組成的推進器，槳葉徑向地固定在殼上，各鄰近葉片之間相隔的角度相等，如圖 1-3 所示。當螺旋槳轉動時，槳葉撥水向後，而自身受到水流的反作用力，其推力通過槳軸和推力軸承傳遞至船體。螺旋槳的構造簡單，重量較輕，效率較高，是目前應用最廣的推進器。

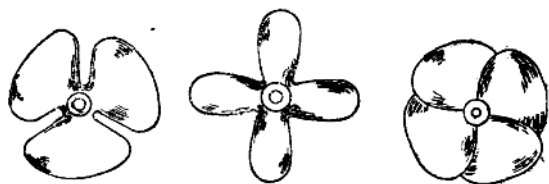


图 1-3

5. 直叶推进器：直叶推进器亦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，圆盘与船体底部装成齐平，如图1-4所示。圆盘绕垂直轴旋转时，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，不必用舵来转向，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）；在浊流海面下，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工作或对操纵性能有特殊要求的船舶。

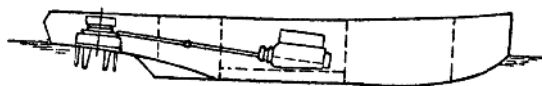


图 1-4

6. 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。舷侧的喷管可以藉控制机构转动，因而可以使船舶倒退或就地转向。这类推进器的优点是：(a) 推进器的活动部分在船体内部，具有良好的保护性。(b) 操纵性能良好。其缺点是：(a) 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。(b) 喷管中水力损耗很大，故推进效率很低。由于上述缺点，喷水推进器一般仅用在需要强力排水工具的救险及消防船上。

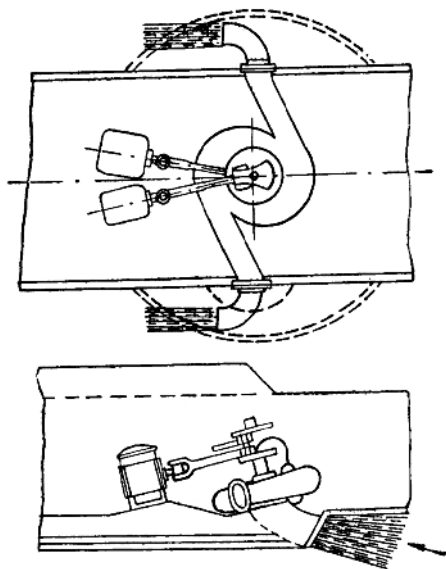


图 1-5

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变

动,在翼輪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。

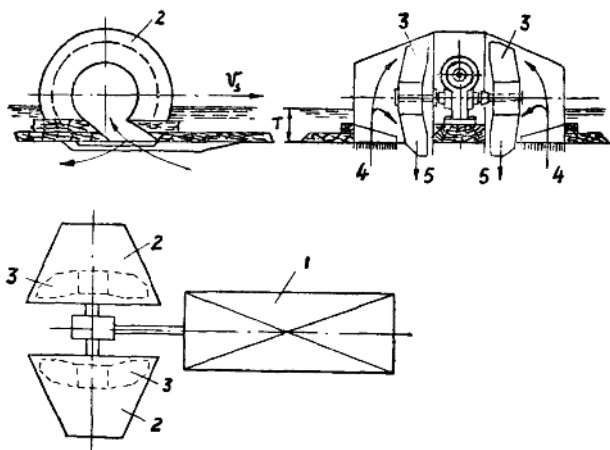


图 1-6

錐形推进器构造简单,设备轻便,由于船内已无喷管,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数值范围,以资比较。

表 1-1

推进器类型	推进器效率	轴系传递效率	推进系数	推进器重量 (每马力公斤数)
螺旋桨	0.60~0.75	0.95~0.98	0.50~0.70	0.5~2.0
明 輪	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	0.30~0.40	0.90~0.95	0.25~0.35	—

§ 2. 船舶推进的发展簡史

人类自开始使用船舶即需同时解决推进問題。孔子(紀元前 551~479)所著易系辞中謂伏羲氏(紀元前 4477~4363?)“剡木为舟,剡木为楫”。通鑑前編外紀則謂“黃帝(紀元前 2697~2598)命共鼓、化狐剡木为舟,剡木为揖”。其他古籍书中紀載我国舟揖的发明者虽不尽相同,但均在远古时代。明朝罗頌所著物原中謂“燧人氏以瓠济水,伏羲氏始乘桴,顓頊(紀元前 2357~2258)作維牽,夏禹(紀元前 2205~2198 在位)作柁,象鯨魚加以蓬、碇、帆、篙”,虽然作者时代較晚,不詳其何所依据,但其所言极合船舶推进及操纵方法的发展程序。总之,船在淺水中可用篙撑持前进,深水中則需用桨或櫓,沿岸航行可用拉牽,进一步作蓬帆以利用风力,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經长期发展沿用至今,其中搖櫓为我国所专有,帆船防橫漂的披水板也系我国最早采用,以后才傳至欧洲。

我国帆船航行海外的历史攸久,紀元以前即来往南洋一带。据阿拉伯史家紀載:在五世紀,中国帆船常远航至幼发拉底河畔的希拉城下,在八、九世紀远航至紅海口的亚丁。明朝初年(十五世紀初)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。在前世紀,我国帆船常远航至美洲西岸。

在历代史乘傳紀中,有不少关于用桨輪来推进船舶的紀載,各书中虽描述桨輪船航速之飞快,但无具体数据,对于推进器机构的叙述也极其簡略,有待于进一步考証。在汽船輸入我国之前,此类桨輪船只多系供軍用。图 1-7 为明朝王圻所著三才图会中的輪船簡图。鴉片战争时,我国曾有明輪軍艦参加吳淞战役,此时也有用脚踏机构轉动船尾明輪的快班客船来往于上海、苏州之間。

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

約略相似。紀元前几千年，埃及、亚述、腓尼基和巴比倫就已造过

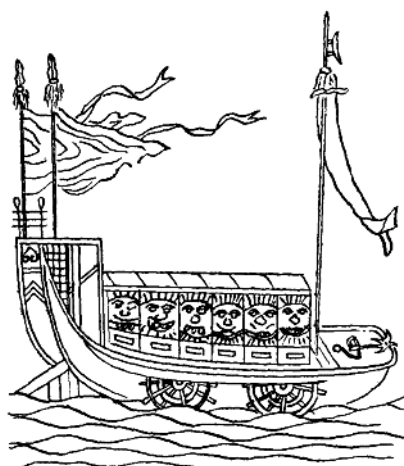


图 1-7

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）成排地装在干舷上，最大速度曾达7~8节。

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节。但自船上开始应用蒸汽动力以后，帆船逐渐为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，即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,当时明輪船极为盛行。但是,明輪作为航海船只的推进器是有許多严重的缺点。在风浪情况下明輪的桨板会局部地或完全露出水面,致使船舶不能維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,明輪的轉数較低,不得不采用低速而笨重的主机。所有这些缺点說明了航海船舶以明輪作为推进器是很不适宜的,故自十九世紀中叶以后,航海船只多改用螺旋桨为作推进器。

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設計。十九世紀初期,各

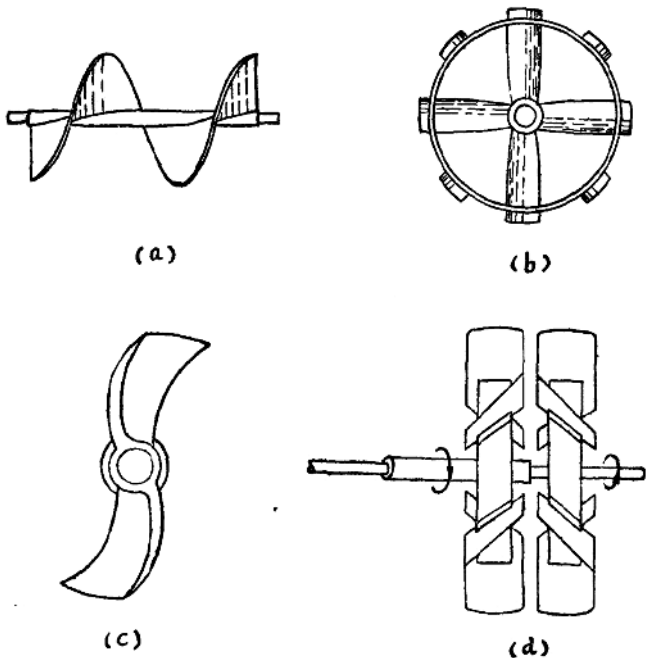


图 1-8

国竟事于螺旋桨的研究并試用于实际船舶，曾有人于1867年作过統計，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紋蠟杆形螺旋推进器(形式略似图1-8a，但具有两全周)以8节的速度航行了400哩，在試航中其推进器触物损伤一部分，但船速反而增加。其后經多方研究改进，螺旋桨船的航行成效也日益显著，故从十九世紀中叶以后，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，桨叶的形状也逐漸趋于完善。和其他类型的推进器相較，螺旋桨的构造简单，效率較高，故目前在軍舰和商船上应用最为广泛。

1930年在摩托汽艇上首先使用了直叶推进器，以后經不断改善，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緣故，在大型船上至今还没有得到广泛的应用。

船舶推进器的种类虽多，唯近代船舶极大多数是用螺旋桨作为推进器，故本課程中即以此为主，对于其他型式的推进器在有关章节中仅作簡略的介紹。

§ 3. 馬力及效率

設船舶以等速度 v ，直綫运动时遭受阻力 R ，为使船舶維持此項运动，則必須对船供給有效推力 P_e 。对于自动推进的船舶而言，有效推力 P_e 与船舶所遭受的阻力 R 大小相等方向相反，即：

$$P_e = R. \quad (1-1)$$

对于拖船來說，其所需的有效推力 P_e 必須克服拖船本身的阻力 R 和駁船的阻力(亦即拖船拖鈎上的拉力 T)，即：

$$P_e = R + T. \quad (1-2)$$

下面我們只討論自动推进船舶的情况。若船以速度 v ，航行时所遭受的阻力为 R ，則阻力 R 在单位時間內所消耗的功为 Rv ，