

船舶推进

张佐厚 胡志安 主编

国防工业出版社

130568

船舶推进

张佐厚 胡志安 主编



国防工业出版社

内 容 简 介

本书内容以螺旋桨推进为主。首先介绍螺旋桨的几何形体和制造工艺；其次介绍螺旋桨的工作原理和各项性能；最后介绍按图谱和按环流理论设计螺旋桨的方法、船-桨-机的配合、螺旋桨试验等问题。同时，本书对其他推进形式也作了简要介绍。书中适当反映了国内外在船舶推进领域中的近代科研成果。为了便于应用，书中附有必要的例题，附录中收入设计图谱 18 幅，书末还附有参考文献，供查考。

本书可作为高等工业院校船舶设计与制造专业的教材，也可供船舶设计、工艺及科研人员参考。

船 舶 推 进

张佐厚 胡志安 主编

*

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

*

787×1092¹/₁₆ 印张 19¹/₂ 454 千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷 印数：0,001—4,700册

统一书号：15034·2117 定价：2.00元

前 言

本书是根据 1978 年全国高等院校造船类专业教材编审会所拟订的船舶设计与制造专业“船舶推进”课程教学大纲编写的。

本书以讲述螺旋桨推进为主,对其他推进形式也作简要介绍。全书共分十二章。第一章叙述螺旋桨的几何形体等基本概念,可通过教学实践,使学生获得感性认识。第二章论述螺旋桨的工作原理,着重讨论螺旋桨的水动力性能。第三至第七章分别研讨螺旋桨在敞水、船后及产生空泡和激振等不同条件下的工作特性,以及螺旋桨的强度问题。从而使感性认识上升为理性认识。第八至第十章讨论了按图谱和按环流理论设计螺旋桨的方法,以及船-桨-机的相互配合问题。主要目的在于使读者应用前述各章知识根据一定条件设计性能优良的螺旋桨。第十一和第十二章分别介绍导管螺旋桨等特种推进器和实船试速问题。

在螺旋桨设计方面,根据我国目前的实际情况,本书重点讲述按图谱设计螺旋桨的方法。但考虑到造船科学技术的进展,对螺旋桨的升力线理论设计螺旋桨的方法,实船推进性能预估,空泡、斜流、激振以及交变负荷下的桨叶强度计算等方面的近代科研成果,也作了一定的介绍。

由于各院校专业性质的差异,对本课程的要求和学时安排不尽相同,因此在内容安排上除考虑了各专业可能统一的教学顺序外,还考虑了各院校在使用本书时能按具体条件酌情取舍,其中带*号的章节为选学内容。有的章节,在讲授时可根据教学需要作适当调整,如第一章中§1-2和§1-3可在进行螺旋桨设计的教学实践中讲授,第二章中§2-3至§2-9也可与第九章一起讲授。

本书由华南工学院下列同志分工编写:胡志安编写第四、第五、第六、第七章及第十一章中§11-3;袁毅之编写第三和第十二章;周汉仁编写第八章;陈加善编写附录I;张佐厚编写绪论及第一、第二、第九、第十章及第十一章中§11-1、§11-2、§11-4、§11-5。最后由张佐厚、胡志安统一整理和校订。

在本书编写过程中,为了吸取有益的教学经验和教学内容,参考了国内有关院校的“船舶推进”教材,同时,702研究所等单位也提供了一些宝贵的资料。初稿完成后,上海交通大学的盛振邦、吴藻华两同志予以审阅,提出许多宝贵意见。初稿修改稿完成后,有关院校的蔡绳武、许维德、瞿守恒、陈祖庆、崔承根、张云彩、张忠业、宋国英等同志参加了会审,也提出了许多宝贵意见,在此一并致以谢意。

由于我们的水平不高、经验不够,错误之处在所难免,殷切期望使用本教材的各院校师生以及其他读者提出宝贵意见。

编 者
于华南工学院

目 录

绪论	1
§ 0-1 推进器的作用和类型	1
§ 0-2 船舶推进发展简史	3
第一章 螺旋桨几何形体及制造工艺	6
§ 1-1 螺旋桨几何形体	6
§ 1-2 螺旋桨制图	14
§ 1-3 螺旋桨制造工艺	19
第二章 螺旋桨的理论基础	28
§ 2-1 理想推进器和理想螺旋桨理论	29
§ 2-2 螺旋桨的水动力性能	34
§ 2-3 环流理论引言	38
§ 2-4 无限叶数涡旋理论	42
§ 2-5 螺旋桨水动力性能的计算	45
* § 2-6 中负荷有限叶数螺旋桨自由涡的诱导速度场	54
* § 2-7 确定诱导速度场的势法	58
* § 2-8 螺旋桨水动力性能计算及其他问题	64
* § 2-9 升力面修正	70
第三章 螺旋桨模型的敞水试验	76
§ 3-1 敞水试验的相似条件	76
§ 3-2 螺旋桨模型敞水试验方法和数据表达	80
§ 3-3 螺旋桨模型系列试验及性征曲线组	82
第四章 螺旋桨与船体间的相互作用	86
§ 4-1 伴流	86
§ 4-2 推力减额	91
§ 4-3 功率与效率	93
§ 4-4 船模自航试验	97
§ 4-5 实船推进性能预估	102
§ 4-6 估计伴流分数、推力减额分数和相对旋转效率的公式	105
第五章 螺旋桨的空泡现象	111
§ 5-1 空泡的成因	111
§ 5-2 翼型及螺旋桨的空泡现象	114
§ 5-3 螺旋桨模型的空泡试验	117
§ 5-4 空泡对螺旋桨性能的影响	120
§ 5-5 空泡校验	122
§ 5-6 有关螺旋桨空泡问题的技术措施	132
第六章 螺旋桨的某些特殊问题	133
§ 6-1 斜流对螺旋桨性能的影响	133

§ 6-2	螺旋桨激起的振动	136
§ 6-3	谐鸣和噪音	142
第七章	螺旋桨强度	145
§ 7-1	在静态负荷下螺旋桨的强度计算	145
* § 7-2	在交变负荷下螺旋桨的强度计算	155
§ 7-3	强度储备	159
§ 7-4	螺旋桨重量及惯性矩估算	161
§ 7-5	计算桨叶强度的实例	162
第八章	螺旋桨设计	168
§ 8-1	设计螺旋桨时应考虑的若干问题	168
§ 8-2	B- δ 型设计图谱及其应用	179
§ 8-3	K-J型设计图谱及其应用	185
§ 8-4	螺旋桨数目及多桨船螺旋桨设计特点	193
§ 8-5	螺旋桨设计综合例题	195
第九章	按环流理论设计螺旋桨的方法	201
* § 9-1	螺旋桨理想效率最佳的条件(尾流能量损耗最小的条件)	202
* § 9-2	有限叶数最佳负荷分布的螺旋桨	207
* § 9-3	确定最佳螺旋桨理想效率的图谱	213
* § 9-4	翼型阻力和摩擦效应	218
* § 9-5	桨叶切面几何尺度的选择	220
* § 9-6	按环流理论设计螺旋桨的步骤	224
第十章	船体-螺旋桨-主机的相互配合问题	231
§ 10-1	船-桨-机相互配合计算及分析	231
§ 10-2	螺旋桨的设计状态	238
§ 10-3	螺旋桨倒车性能及部分螺旋桨工作性能	239
第十一章	特种推进器	245
§ 11-1	导管螺旋桨	245
§ 11-2	可调螺距螺旋桨	254
§ 11-3	串列螺旋桨和对转螺旋桨	257
§ 11-4	喷水推进器	259
§ 11-5	隧道螺旋桨	261
第十二章	实船试速	263
§ 12-1	实船试速的条件和方法	263
§ 12-2	试速结果的数据整理和分析	265
附录 I	翼型切面的基本知识	272
§ 1	关于拱线和厚度分布的若干知识	272
§ 2	NACA翼型介绍	275
§ 3	翼型流体动力性能的近似计算	282
§ 4	组合翼型切面计算	285
附录 II	设计图谱	289
图 1	B3-35 K_T-K_Q-J 图谱	289
图 2	B3-50 K_T-K_Q-J 图谱	289

图 3	B3-35 B_p - δ 图谱	290
图 4	B3-50 B_p - δ 图谱	290
图 5	B4-40 K_T - K_Q - J 图谱	291
图 6	B4-55 K_T - K_Q - J 图谱	291
图 7	B4-70 K_T - K_Q - J 图谱	291
图 8	B4-40 B_p - δ 图谱	292
图 9	B4-55 B_p - δ 图谱	293
图 10	B4-70 B_p - δ 图谱	294
图 11	3-50 K_T - J 图谱	295
图 12	3-80 K_T - J 图谱	296
图 13	3-11 K_T - J 图谱	297
图 14	高恩图谱	298
图 15	导管 K_a 3-65 K_T - K_{T_n} - J 图谱	298
图 16	导管 3-65 B_p - δ 图谱	299
图 17	导管 4-55 B_p - δ 图谱	300
图 18	导管 K_a 4-55 K_T - K_{T_n} - J 图谱	301
参考文献		301

绪 论

§ 0-1 推进器的作用和类型

船在航行时必然遇到来自周围介质的阻力，为了克服这种阻力，必须供给船舶一定推力，使船舶能保持一定的速度航行。为了获得推力必须消耗部分能量。能量来源于原动力，即自然力（如风力）和机械力（如各种动力机械）等。把原动力转换为推船运动的推力的机构称为船舶推进器，例如，帆把自然风力转换成推力，螺旋桨把主机的旋转力转换成推力，帆和螺旋桨就是不同形式的推进器。

下面介绍船舶推进器的各种类型，以对它有一个概貌的认识。

1. 螺旋桨

它是由若干个桨叶组成，桨叶固定在桨毂上（见第一章图1-1），其旋转轴沿船舶运动方向布置。螺旋桨构造简单，造价低廉，使用方便，效率较高，自十八世纪六十年代以来一直是海上船舶的主要推进器。

2. 导管螺旋桨

就是在螺旋桨的外围套上一个纵切面为机翼型的套筒，其外形如第十一章图 11-1 所示。在负荷较重时，其效率较普通螺旋桨高，多用于拖轮和拖网渔轮中。

3. 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转动的螺旋桨，由于桨叶的螺距可适当调整，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。

4. 对转螺旋桨

这种螺旋桨又称双反桨螺旋桨，就是两只普通螺旋桨分别装于两根同心轴上，并以等速或不等速向相反方向转动的螺旋桨（见图11-4）。这种推进器传动装置比较复杂，多用于鱼雷和潜艇的推进中。

5. 串列螺旋桨

它是两个或三个螺旋桨装于同一轴上并以相同的转速运转的推进器。

6. 喷水推进器

利用水泵吸水并往船后方向喷射以获得水的反作用力而推船前进者称喷水推进。为实现吸水和喷水而设置的管道、水泵等所组成的装置称喷水推进器（见图11-15）。这种推进器多用于内河浅水的拖轮上，近年来也用于滑艇、水翼艇等高速船舶上。

以上几种推进器，除螺旋桨外将在第十一章作更详细的介绍。

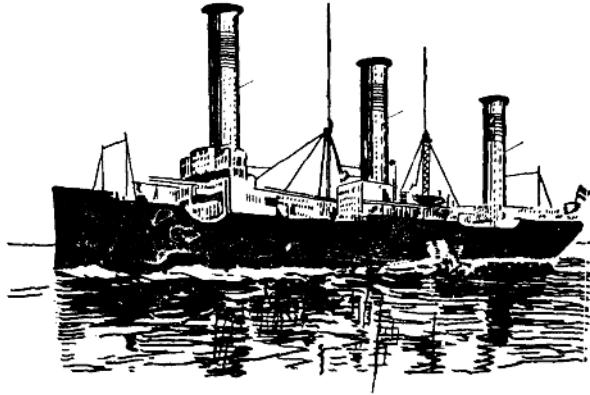
7. 风帆

自远古时代至上世纪初，风帆一直是船舶的主要推进器。其优点是可以无代价地利用风力，缺点是受到风向和风力的限制，使船舶的航速和操纵性受到影响。现代大船都用机

械力代替风力，帆只用于续航力短的小船上，如游艇、教练船等。目前由于燃料紧张，污染严重，国外又在研究风力的利用，开始对帆作系列试验，提出帆加辅机的推进方案。我国近海渔船多用机帆推进，有风时利用风力，无风时则用机器。

8. 旋筒推进器

这是一种装于船舶甲板上的垂直旋转圆筒，如图0-1(a)所示。由于圆筒旋转形成环流，当风吹向圆筒时产生了与风向相垂直的作用力，此作用力在船舶前进方向上的投影形成推船前进的推力，图0-1(b)为风向垂直于航向的情形。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，故未被推广应用。



(a)



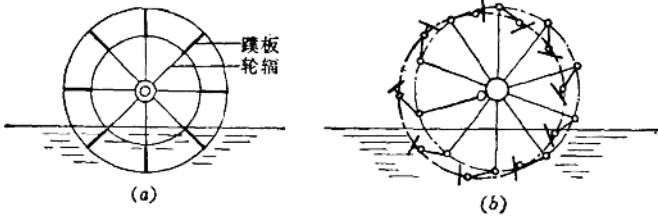
(b)

图0-1 旋筒推进器

9. 明轮

明轮外形如图0-2所示，其中心轴沿船宽方向水平地置于水线之上，轮的周缘装有桨板（蹠板），桨板一般有7~11叶。当明轮旋转时（靠低速主机带动），桨板依次进出水面，利用桨板向后拨水产生反作用力推

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的稳定性。尾轮适用于狭窄航道。桨板有固定式和活动式两种，固定式桨板沿径向固接于轮辐上，如图0-2(a)所示，构造简单造价低廉，但桨板入水时产生拍水、出水时又产生提水现象，因而损耗部分能量，故其效率较低。活动式桨板则由离心装置控制，能调节桨板入水和出水的角度，见图0-2(b)，故其效率较高。



(a)

(b)

图0-2 明轮

明轮的推进效率约在0.3~0.6间，在深水情况下一般较螺旋桨低，且有机机构复杂、笨重等缺点，故仅应用于部分内河船舶中。

10. 平旋推进器

平旋推进器又称直翼推进器或竖轴推进器，由四至八个垂直叶片组成，如图 0-3 所示。叶片等间距地安装于圆盘上，圆盘转动时叶片除绕主轴旋转外，还绕本身的垂直轴线摆动，即除了公转外还有自转。公转与自转相配合，可使各叶片与水流方向构成适当的攻角而产生方向相同的推力。这种推进器的效率与螺旋桨相当。利用圆盘内的控制机构可改变各叶片与水流相对运动的方向，从而产生任意方向的推力，因此装有这种推进器的船舶无需舵设备，操纵性能优异，且在任何航行状态下均能充分利用主机功率。但结构复杂，重量较大，造价高，维修困难，叶片容易损伤。目前多用于港作拖轮等小型船舶，国外有专门公司制造这种推进器，但未能得到普遍应用。

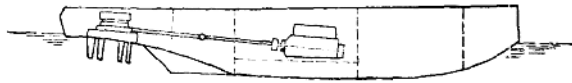


图 0-3 平旋推进器

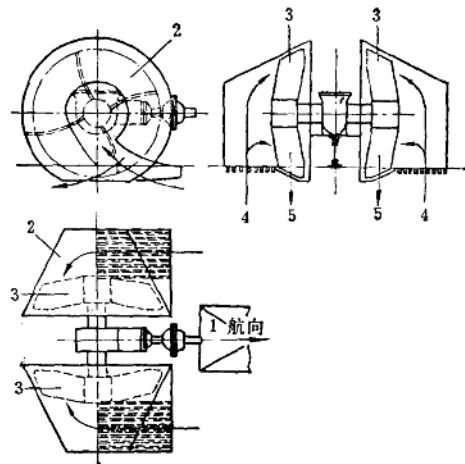


图 0-4 双锥筒推进器

11. 双锥筒推进器
这种推进器就其作用原理来说，双锥筒推进器属喷水推进器，其外形如图 0-4 所示。这种推进器的外壳 2 为圆锥形，锥筒内部装有翼轮 3。当主机 1 驱动翼轮旋转时，水由进水口 4 进入锥筒，在翼轮的作用下水流在锥筒内形成旋转运动，并自排水口 5 向船后排出，其反作用力即推船前进。

双锥筒推进器构造简单，设备轻便，由于船内已无喷管，故不必考虑管道效率损失。航行于浅水狭道中的船舶，有一部分采用这种推进器。

表 0-1 中列入几种推进器的效率与单位功率（马力）重量的数值范围，以资比较。

表 0-1

推进器类型	推进器效率	轴系传达效率	推进系数	推进器重量 (公斤/马力)
螺旋桨	0.30~0.75	0.95~0.98	0.27~0.70	0.5~2.0
明轮	0.40~0.60	0.70~0.85	0.30~0.50	15~30
平旋推进器	0.55~0.70	0.85~0.95	0.45~0.60	4~8
喷水推进器	0.30~0.45	0.90~0.95	0.25~0.35	—

§ 0-2 船舶推进发展简史

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”、“楫”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，沿岸航行时可用拉牵，进一步作蓬帆以利用推力，这种简易的推进方法在许多地方至今仍在使月。

我国帆船航行海外的历史悠久，纪元前即来往南洋一带。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（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。在“汽船”输入我国之前，此类桨轮船多系供军用。图0-5为明朝王圻所著“三才图会”中的轮船简图。鸦片战争时期，我国曾有明轮船参加吴淞战役，此时也有用脚踏机构转动船尾明轮的快船客船来往于上海苏州之间。

其他国家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。公元前几千年，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）成排地装在船舷上，最大速度曾达7~8节。



图0-5 古代轮船

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，这样可减少划桨人员，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，风帆逐渐为其他形式的推进器所代替。

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，但由于当时此类推进器效率过低，经济性差，并未获得圆满效果，所以没有得到广泛应用。

自发明蒸汽机之后，有许多人致力于应用蒸汽机作为船舶动力的研究，其中也包括究竟选用哪种推进机构为有效的问题。当时从事设计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，以明轮最为适宜。十九世纪上半叶，明轮推进器有很大发展，至1830~1840年间，明轮推进器的应用最广泛，明轮船极为盛行。但是明轮作为航海船舶的推进器有许多缺点，且其效率较螺旋桨为低，故自十九世纪中叶以后，在海船上螺旋推进器已占统治地位。

关于使用螺旋桨作为船舶推进器的思想很早就已确立，各国发明家先后提出很多螺旋推进器的设计。十九世纪初，各国从事螺旋桨的研究并试用于实船的很多，有人于1867年作过统计，当时与发明螺旋桨有关者不下470人。图0-6表示几种初期螺旋推进器的形式及其演变过程^[10-21]。1836年史密斯（Smith）在一只6吨的小艇上以6马力的蒸汽机带动一个木制推进器（图0-6(c)），在试航中与另一只停在岸边的船相碰，使其推进器叶沿边长损了一半，但航速反而提高。其后经过多方研究改进，螺旋桨船的成效也日益

显著。在长期的实践过程中，螺旋桨的形状不断改善，桨叶的螺旋面的长度逐渐缩短，叶形逐渐趋于完善。由于螺旋桨的构造简单、效率较高，故目前仍是舰船上应用最广的推进器。

本世纪中，除在三十年代出现了平旋推进器和导管螺旋桨外，几乎没有出现用于成批生产的新型推进器。但是船舶推进仍取得不少进步。

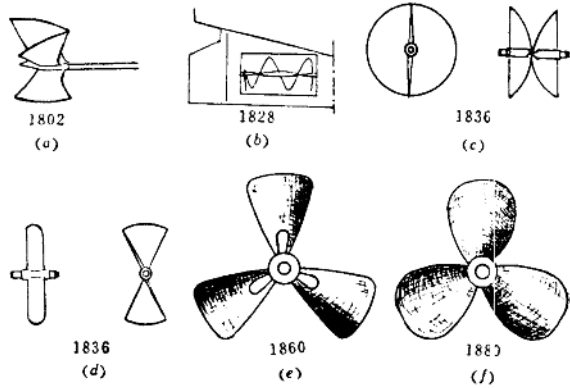


图0-6 螺旋桨外形演变

在普通螺旋桨方面，由于空气动力学的发展，特别是升力定理的发现，为螺旋桨理论的研究奠定了基础。1912年出现了茹可夫斯基的螺旋桨涡旋理论，1919年出现了升力线理论，四十年代有了升力面理论。在五十年代已有许多设计、计算螺旋桨的理论方法。至六十年代升力面理论得到更深入的研究，目前已有许多用升力线理论、升力面理论设计、计算螺旋桨的计算机程序。在试验研究上也取得不少成果，目前已发表的螺旋桨系列模型试验不下于50个，几乎包括了绝大部分船舶所需的螺旋桨。其他方面，如空泡、强度、激振等问题也取得了不少成果。目前的研究是与船舶的舰型结合起来，使研究工作更加切合螺旋桨的实际工作条件。

近二十年来，对一些特种推进器（如导管螺旋桨、对转螺旋桨、串列螺旋桨和喷水推进等）也进行了更深入的研究，并取得许多重要成果。

早在1934年，科特(Kort)发表了导管螺旋桨的研究结果，但当时没有得到广泛的应用，直到第二次世界大战之后，才逐步为人们所重视。五十年代，荷兰船模试验池进行了大量的试验研究。导管螺旋桨设计图谱及按环流理论设计导管的方法也先后出现。导管的系桩拉力可达13~17公斤/马力，这是普通螺旋桨所不能比拟的（通常在10公斤/马力以下，而可调螺距螺旋桨也仅为12公斤/马力左右）。对于负荷较轻的情况，只要导管选择得当，在某些船舶上也有应用的可能。我国科研工作者在这方面也取得一定成果^{[150][152][173]}。

对转螺旋桨（双反转螺旋桨）广泛地应用于鱼雷推进中，近年来许多国家作进一步的研究，并开始应用于某些货船和潜艇上。由于前后桨的尾流旋转方向相反，可减小尾流旋转运动损失，提高推进效率，两桨的转矩可取得平衡，因而能保持理想的横向稳定性。对功率相同的船舶，对转桨的负荷较单桨轻，附体阻力比双桨低，但传动装置比较复杂。

在减轻螺旋桨负荷方面，串列螺旋桨也是一条途径，我国对串桨的研究已取得一定成果，已有系列设计图谱并成功地用于内河船舶中^{[158]~[164]}。

近十几年来，喷水推进形式获得了新的发展。目前这种推进器除了用于浅水拖轮外，还用于水翼艇、滑艇等快艇上。

大体说，在六十年代以前，船舶推进的研究工作着重点在于效率方面。近20年来，由于主机功率的增大，船速的提高，使一些原来并不十分重要的问题显得突出起来，故目前的研究工作，除了效率方面以外还注重于空泡、激振等方面的问题。

第一章 螺旋桨几何形体及制造工艺

这一章，我们首先从几何上的意义认识螺旋桨，说明螺旋桨的构成；其次讲述螺旋桨制图；最后简要介绍螺旋桨的制造工艺。

§ 1-1 螺旋桨几何形体

(一) 螺旋桨各部分名称

螺旋桨俗称车叶，其外观如图 1-1 所示。通常由桨叶和桨毂构成（图 1-2）。

桨叶又称叶片，固定于桨毂上，是产生推力的部件。普通客货轮的螺旋桨常用 3 叶或 4 叶，大吨位大功率的船舶，如油轮常用 5 至 6 叶，2 叶螺旋桨多用于机帆船或小艇上。从螺旋桨后向船首方向看，看到的桨叶的一面称为叶面，相反的一面称为叶背。正车转动时在转向上靠前的叶边称导边，靠后的称为随边。桨叶与桨毂相连的地方称叶根，远离桨毂的一端称叶梢。

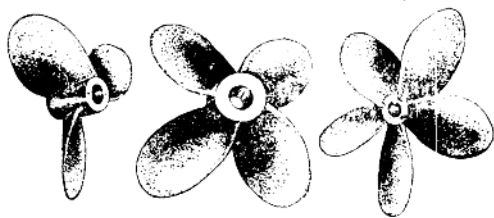


图 1-1 螺旋桨外形

桨毂形如锥形体，起固定桨叶和联接桨轴作用，它不产生推力。为了减小水阻力，在桨毂后端加一整流罩，与桨毂形成一光顺流线形体，称为毂帽。

螺旋桨就地旋转时，叶梢的轨迹形成一个圆，称为梢圆。梢圆的直径称螺旋桨直径，用 D 表示，而螺旋桨半径 $R = D/2$ 。梢圆的面积称盘面积，用 A_0 表示，显然 $A_0 = \pi D^2/4$ 。

从螺旋桨后向船首方向看，正车时顺时针方向旋转的螺旋桨称为右旋桨，逆时针方向旋转的称为左旋桨；对双桨船，因对称性要求，两侧螺旋桨的转向不同，如右舷桨为右旋者称外旋，反之称内旋。

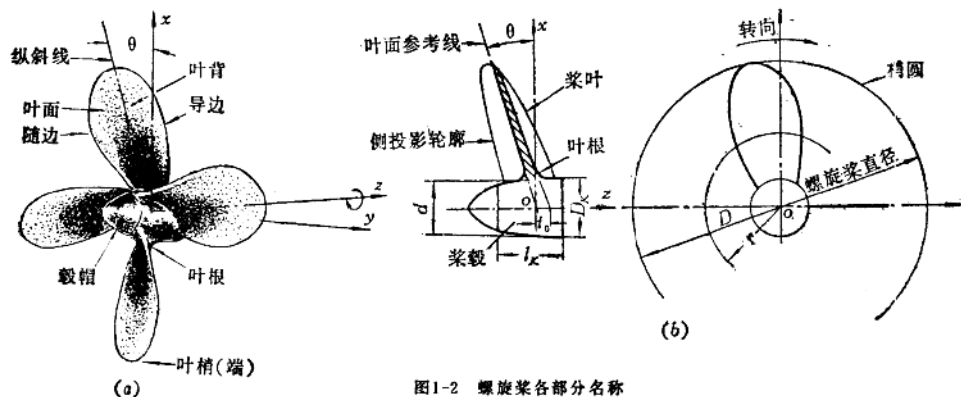


图 1-2 螺旋桨各部分名称

(二) 桨叶的构成

桨叶的叶面由螺旋面形成。为了清楚地了解桨叶的几何特征，首先必须明了螺旋面及螺旋线的几何性质。

1. 螺旋面及螺旋线

设线段 ab 与轴 oo_1 成一定角度 (图 1-3)，若使线段 ab 以等角速度绕轴旋转，同时以等速度沿 oo_1 轴向上移动，则 ab 在空间形成的轨迹称为“等螺距螺旋面”，线段 ab 称为母线。母线绕行一周所上升的距离称为螺旋面的螺距，用 P 表示。若母线为直线且垂直于 oo_1 轴，所形成的螺旋面称为正螺旋面；

若母线为直线而与 oo_1 轴成某一倾角，所形成的螺旋面称斜螺旋面，如图 1-4 所示。弯曲的母线作上述运动时将形成扭曲的螺旋面。

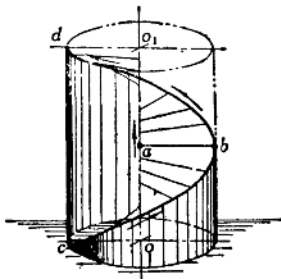
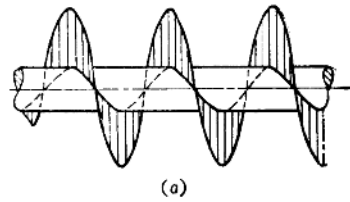
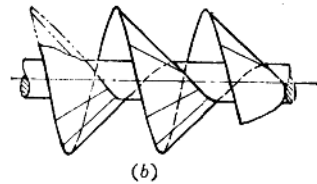


图1-3 螺旋面的形成



(a)



(b)

图1-4 各种螺旋面

(a) 正螺旋面；(b) 斜螺旋面。

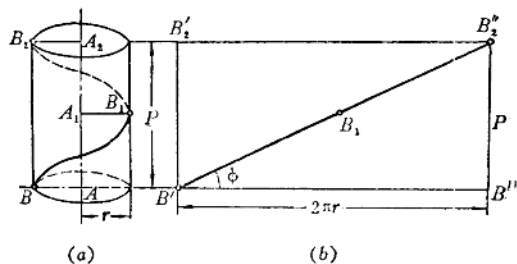
母线上任一点在运动过程中所形成的轨迹即为螺旋线；若以半径为 r 的圆柱面（其中心线与 oo_1 轴同心）去截螺旋面，则两曲面的交线也为螺旋线。如将圆柱面展平，则螺旋线将成为一根等斜率的斜线 (图 1-5(b) 中的 $B'B_2''$)。三角形 $B'B''B_2''$ 称螺距三角形，斜边 $B'B_2''$ 称为节线，角度 ϕ 称螺距角，显然有：

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{P}{2\pi r} \quad (1-1)$$

式中 P 为螺旋线 $B'B_2''$ 的螺距，其值等于按上述定义的螺旋面螺距。

在船用螺旋桨中，常用到径向变螺距螺旋面的概念，它指的是不同半径处螺旋线的螺距不等的螺旋面，其不同半径处的螺旋线展开如图 1-6(b) 所示。

一般而论，还可引出轴向（或周向）变螺距螺旋线和轴向变螺距螺旋面等概念，由于对本学科其实用意义不大，故予省略。



(a)

(b)

图1-5 螺旋线及其展开

(a) 螺旋线形成；(b) 等螺距螺旋线展开。

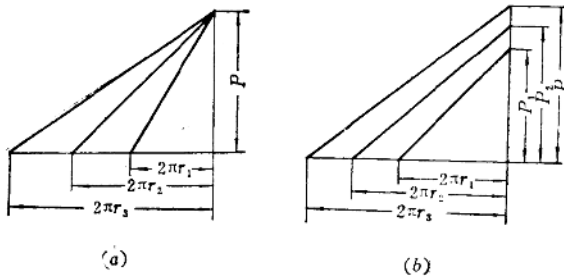


图1-6 不同螺旋面螺旋线展开
(a)等螺距; (b)径向变螺距。

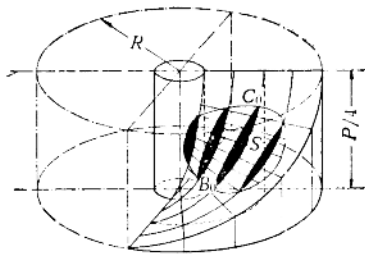


图1-7 桨叶的形成

2. 桨叶的构成

(1) 叶面与面螺距: 桨叶的叶面是螺旋面的一部分 (见图1-7)。由于桨叶承受推力且为了保持良好的水动力性能, 故叶片必须有一定的厚度并保持光滑的切面形状 (图1-7中阴影部分)。

由于同一螺旋桨的各个桨叶, 其几何形状完全相同, 所以, 所谓螺旋桨的螺距系指任一桨叶的螺距, 而桨叶的螺距通常指形成叶面的螺旋面螺距或称面螺距。面螺距一般以切面的面螺距线 (图1-12) 来衡量。对径向变螺距的螺旋面, 通常以 $0.7R$ 或 $\frac{2}{3}R$ 处的面螺距代表螺旋桨的螺距, 记作 $P_{0.7R}$ 或 $P_{\frac{2}{3}R}$; 有时也用平均螺距来表示, 其值可按下式计算:

$$P_m = \frac{\sum r P_i}{\sum r} \quad (1-2)$$

式中 P_i 为半径 r 处的切面螺距。

各类船舶螺旋桨的尺度相差很大 (直径约从 0.2 米至 11 米), 光用尺度的大小不足以说明螺旋桨的特性, 故常以无量纲的相对尺度来表示螺旋桨的几何特性。螺旋桨的螺距 P 与直径 D 之比称螺距比 P/D , 它是一个重要的无量纲几何特征, 它与螺旋桨性能关系很大。通常 P/D 约在 0.4~1.6 间。

(2) 桨叶的外形轮廓及叶面积: 桨叶的外形轮廓可用桨叶的正投影和侧投影来表示。桨叶在垂直于轴线平面上的投影称为正投影, 其外形轮廓称投射轮廓 (见图 1-8 (b))。螺旋桨所有桨叶投射轮廓的面积称螺旋桨投射面积, 用 A_p 表示。投射面积 A_p 与盘面积 A_d 之比称投射面比。桨叶不同半径处的螺旋线在投射轮廓图上均为圆弧, 圆弧半径为螺旋线所在半径。

通常把叶根中点的母线称为叶面参考线或辐射参考线, 如图 1-8 中的 OU , 它是衡量桨叶外形各部分尺寸的基准线。

投射轮廓对称于叶面参考线的称为对称形桨叶; 还有不对称形桨叶, 其叶梢通常往随边方向侧斜, 侧斜值用叶梢至叶面参考线的距离或侧斜角 θ_s 表示 (图 1-8)。具有侧斜的螺旋桨, 叶面积沿盘面的分布比较均匀, 可减小因流场不均匀引起的振动, 推迟空泡的出现,

但由于离心力的作用，使根部切面弯曲应力增加⁽⁹⁾。

桨叶在平行于包含轴线和叶面参考线的平面上的投影称为侧投影(见图 1-8)。把桨叶不同半径处的切面最大厚度画在相应半径处的叶面参考线右边，并把它们连成曲线，此曲线称最大厚度线。最大厚度线表示不同半径处切面最大厚度沿径向的分布情况，并不表示最大厚度沿周向的位置。切面最大厚度通过强度计算确定。

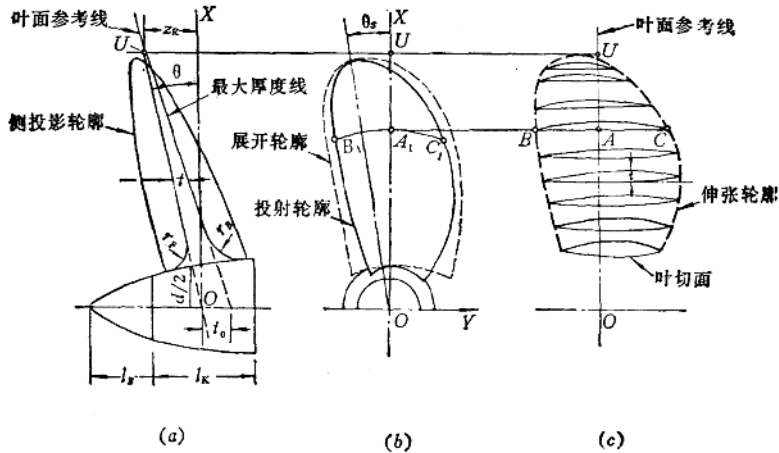


图1-8 桨叶外形

与桨毂相连处的叶切面最大厚度称叶根厚度(除去两边填充角,见图 1-8 和图 1-16)。叶面参考线与最大厚度线的延线在轴线上交点的距离称轴线上叶厚或假想厚度,用 t_0 表示(见图 1-8), t_0/D 称叶厚分数。

叶面参考线线段 OU 在轴线上的投影长度称纵斜,用 z_R 表示。若母线垂直于轴线,则投影为零,这时无纵斜,母线倾斜的角度称纵斜角 θ (见图 1-8),桨叶的纵斜角一般在 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。在盘面处,由于尾流的收缩,水流与轴线成某一倾角,具有适度倾斜的桨叶可使水流与桨叶成垂直方向进入,这对提高螺旋桨效率有好处⁽¹⁰⁾。纵斜可增大桨叶外缘与舰框架或船体表面的间距,可减小脉动压力引起的振动,但纵斜后由离心力产生的弯矩使叶根应力增加。

在螺旋桨设计和制造中常常用到伸张轮廓和展开轮廓等概念。将各半径处叶面的螺旋线线段(如图 1-8 中的 $C_1A_1B_1$) 伸直,并把伸直后的线段实长置于相应半径处的水平线上,然后将其端点连成光滑曲线,所得轮廓称为桨叶伸张轮廓。螺旋桨各叶片伸张轮廓的面积之和称为伸张面积,用 A_B 表示。 A_B 与 A_0 之比称伸张面积比,用 a_B 表示。桨叶伸张轮廓的外形如图 1-9 所示。伸张面积接近桨叶叶面的实际(浸水)面积。

桨叶是一个扭曲面,在理论上不能精确地展放在平面上,但实际上为了满足螺旋桨制造的需要,常常将其

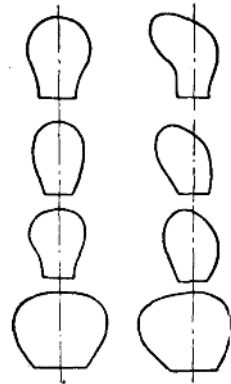


图1-9 伸张轮廓形状

近似地展成平面。其作图法将在下节讲述。螺旋桨各叶展开轮廓所包含的面积总和称展开面积，用 A_D 表示。 A_D 与盘面积 A_0 之比称展开面比，以 a_D 表示。

伸张面比和展开面比在数值上很接近，两者都可称为叶面比或盘面比。

由于桨叶的宽度随径向而变化，故桨叶的宽窄程度一般用平均宽度 b_m 来表示，其值按下式求取：

$$b_m = \frac{A_E}{Z \left(R - \frac{d}{2} \right)}$$

式中 A_E ——螺旋桨伸张面积；

d ——毂径；

Z ——叶数。

若用无量纲值表示，则为：

$$\bar{b}_m = \frac{b_m}{D} = \frac{\pi \frac{A_D}{A_0}}{2Z \left(1 - \frac{d}{D} \right)}$$

式中， \bar{b}_m 称平均叶宽比。

3. 叶切面

若以半径为 r 的共轴圆柱面与螺旋桨桨叶相截，所得截面称叶切面（见图1-10）。半径 r 处的切面在正投影图上是该半径圆弧的一部分。把切面展开，其形状与机翼切面相仿。所以表征机翼切面几何特性的方法，

可以用于桨叶。

切面靠叶背的一边称背线，靠叶面的一边称面线。面线与背线在导边处的交点称导缘，为避免该处过于尖锐常用一圆弧加以光滑（其意义见 § 8-1），故导缘也指圆弧的端点（或曲率半径最小点），形成此圆弧的圆称导缘端圆。面线与背线在随边处的交点称随缘，类似地也有随缘端圆。

船用螺旋桨切面大抵有机翼型切面和弓型切面两类。机翼型切面的最大厚度离导缘约在 25~40% 弦长处；弓型切面的最大厚度则位于弦长中央。一般说来，机翼型切面的叶型效率较高，但空泡性能较差，弓型切面则相反（有关切面的知识见 § 8-1、§ 9-5 和附录 I）。

船用螺旋桨切面大抵有机翼型切面和弓型切面两类。机翼型切面的最大厚度离导缘约在 25~40% 弦长处；弓型切面的最大厚度则位于弦长中央。一般说来，机翼型切面的叶型效率较高，但空泡性能较差，弓型切面则相反（有关切面的知识见 § 8-1、§ 9-5 和附录 I）。

切面的弦长因切面形式不同，其含义略有差别。对于面线向上拱的切面（图1-11(a)），可从切面面线最外缘两点作切线，再从导缘作垂线垂直于切线，所得线段 BC 称切面弦长，用 b 表示，此弦也称外弦。连接导缘与随缘的直线 AB 称内弦。对于桨叶切面，通常称内弦为弦线，而外弦为面螺距线（见图 1-12(a)）。对于面线下凹的切面（图 1-11(a)），弦线与面螺距线有时不平行，如将在第八章介绍的 B 型螺旋桨根部切面；有时平行或重合，如

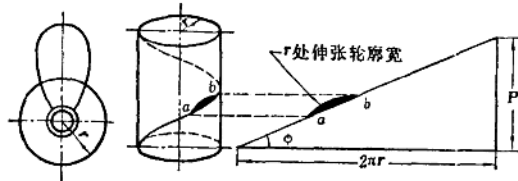


图1-10 切面伸张长度