

船用螺旋桨技术研究及系列图谱
Marine Propeller Technique Research and Series Diagram

钱晓南 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

船用螺旋桨

技术研究及系列图谱

Marine Propeller Technique Research and Series Diagram

钱晓南 著

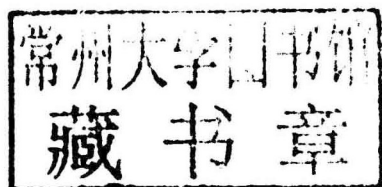


上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

船用螺旋桨 技术研究及系列图谱

Marine Propeller Technique Research and Series Diagram

钱晓南 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书从工程实践和物理概念方面做些探讨。其中,第一部分包括螺旋桨的几何形状、桨叶剖面翼型的变化;在复杂运动状态(变速、调速和不同方位角时)中,螺旋桨的流体动力状况和相应工程技术对策;空泡现象和船后伴流场的模拟试验和评估等。为应对现代各种用途船舶对螺旋桨的要求(控制空泡、减振、降噪等),出现了现代径向变螺距、周向侧斜、轴向预置纵倾的翼形剖面桨叶船用螺旋桨。第二部分包含一些经过实验检验,证明可用的新的螺旋桨系列图谱,它们分别针对不同类型船舶所需载荷系数各异的螺旋桨。

本书可供从事船用螺旋桨研发和使用的工程技术人员参考,也可供船舶和海洋工程专业的大学生、研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

船用螺旋桨技术研究及系列图谱/钱晓南著. —上海:上海交通大学出版社,2017

(船舶与海洋出版工程)

ISBN 978-7-313-17009-5

I. ①船… II. ①钱… III. ①船用螺旋桨—图谱 IV. ①U664.33-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 088333 号

船用螺旋桨技术研究及系列图谱

著 者: 钱晓南

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 郑益慧

印 制: 苏州市越洋印刷有限公司

开 本: 889mm×1194mm 1/16

字 数: 796 千字

版 次: 2017 年 5 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-17009-5/U

定 价: 298.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 14.75

印 次: 2017 年 5 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0512-68180638

著者简介

钱晓南 上海交通大学研究员,浙江杭州人,1933年生,1994年退休。

1959年毕业于苏联列宁格勒造船学院。1959年起在上海交通大学造船系任教,历任助教、讲师、副教授、研究员。曾编写一些新教材,如船舶阻力类和船舶操纵等。1960年主持研制成功我国第一台潜体水下阻力仪。1980年代起参与过多型舰船用推进器的技术研发。曾成功判定某国外引进挖泥船的可调螺距螺旋桨设计失误,及参与论证某型舰由国外引进螺旋桨设计可行。先后参与开发 JQ-5-81 系列鹰翅型螺旋桨,受托参与 SQ-5-70 低振动螺旋桨、H-4-60 螺旋桨、H-5-75 螺旋桨等系列的研发。设计过多型船舰推进用螺旋桨及推力器,包括水面、水下舰艇、货船、高速交通艇、渔船等的螺旋桨、可调螺距螺旋桨和导管螺旋桨。规划和设施过一些特种试验,如螺旋桨 360°全方位性能试验,螺旋桨倒车强度校核试验等。



前言

著者曾有机会接触、参与国内船舶研究、设计部门船用螺旋桨的技术研发工作。出于学习的目的,多年来对参加试验所获得的数据和看到的资料,结合公开文献,做了收集、整理、分析,希望查清各类船舶螺旋桨的实际技术品质。对一些反映良好的螺旋桨,也想找出其知识含金量,加以消化吸收,并努力有所创新,形成适当的文字资料,作为参与技术讨论和决策的依据。特别是当出现某些技术困惑和争论时,还想弄清问题出在哪里。正是基于上述意愿,多方请教,努力完成螺旋桨的研发、设计课题。其中,有的工作延续时间长达数十年,才得以初步完成,有的甚至现在还没完成。所有陆续汇集的资料,都源于技术责任部门的支持和个人履行职责的义务,并不是仅仅依靠某个人努力就能完成的。

目前手头形成、积累的船用螺旋桨技术资料,包括已经向相关责任部门呈送的、受委托参与开发的、与国外交流获得的、整理归纳破译的等。这次整理出版的部分,都是著者本人在国内教科书中未看到过的内容,将侧重从物理概念方面加以阐述。全书包括两部分:第一部分涉及螺旋桨几何、力学、工程实践方面遇到的问题,且在教科书中尚未得到应有反映的,例如,当代船舶螺旋桨的图纸表达和所用剖面翼型的变化;螺旋桨在复杂运动状态(变速、调速和不同方位角时)的受力情况和相应工程技术对策;空泡现象的模拟试验和评估等。试图在实验和分析的基础上,结合工程实践,通过个例分析,加以阐述和解释。第二部分主要内容是一些螺旋桨系列图谱。20世纪60年代起,陆续出现径向变螺距、周向侧斜、轴向预置纵倾的翼形剖面桨叶船用螺旋桨。与传统的等螺距圆背形剖面螺旋桨不同,现在可供选择的螺旋桨参量(翼形、螺距、侧斜等)多了,同一型号的舰船的数量通常有限,加上甚至姐妹船的船-机参数和使用要求也有差异,都需要专配螺旋桨,导致研制工作量剧增。因此,充分吸收可能得到的、已有进展的技术信息和经验,建立相应的数据资料库-系列图谱,用作研制新船螺旋桨的范本,成为相对便捷和有效的办法。书中的螺旋桨系列图谱,包括直接从模型试验的,或从文献检索资料得到的,都通过实践装船检验,才能入选;凡由文献检索资料转载的,除标明出处外,还都经重新整理,个别图谱作了不影响推进性能、却对空泡、振动有益无害的轻度修正。各个螺旋桨系列分别适用于不同类型的舰船。图谱中的螺旋桨动力和空泡性能数据,尽量用最常见的无量纲系数表达,以便于理解物理含义。这些图谱曾多次保证以设计一个方案,顺利地达到满足技术任务书要求的结果。直到2013年,这些资料的应用范围已涉及差不多各类舰船的螺旋桨。必须强调,与传统螺旋桨叶梢宽度为零不同,系列图谱中的螺旋桨,给定了桨叶梢有限宽度,并提出了对桨叶梢端的“泥鳅脊”和“斧口脊”修整建议,即对螺旋桨梢部加工检测提出了要求。这对控制螺旋桨激励船体振动和降低螺旋桨水噪声很重要。关于加强螺旋桨叶梢部位的加工控制,在国外舰船用螺旋桨产品上,也已现端倪。

再者,对国内数十年来出版的《船舶推进》教材内容,著者以为更新不够及时,未能反映当代发展水平,觉得与国家发展的现实不适应,也有所不安。但个人已退休,且年事已高,体力也难支撑编新教材的重任,只得将当年案头专题报告和一个个螺旋桨系列图谱的形式整理出来。由于书中所有文稿形成于各个课题的研发过程中,时间跨越多年,每次独立叙述、整理成文的东西,现在汇编到一起,可能会有重复。这次只能将书中所用标记、索引文献等尽量统一;略加整理后,在所有专题报告前面加上“报告主旨”,也是为说明当时准备报告的背景。

现在以《船用螺旋桨技术研究及系列图谱》为书名发表这些东西,是希望:能给从事船用螺旋桨研究、设计、制造和运行的工程技术人员提供参考;也为有关部门的“螺旋桨资料数据库”补充点材料。著者深知,造船技术在发展和进步,书中关于船用螺旋桨的看法和资料是否正确,也必须接受时间和实践的检验,该否定和淘汰的,还是得否定和淘汰。

本书撰写时假定读者具有船舶推进的基础知识。

最后,感谢上海交通大学船舶工程系对著者工作提供的支持和条件,特别要感谢海军和工业部门有关舰船院、所和工厂给与著者的工作机会和支持,这一切实际上都是对个人的培养,没有这种帮助,著者只能一事无成。因此将书中这些东西整理出来供参考,也确是著者的责任。书中若有技术内容上的遗漏或错误,应归著者本人,并祈惠于指正。

符 号 表

- A_d ——螺旋桨盘面积, $A_d = \pi D^2 / 4$; 带有其他下标时专门将说明;
- a ——纵倾, 指倾斜剖面基准线与桨叶参考面(线)交点在桨轴方向人为移动的距离;
- C ——螺旋桨叶剖面宽;
- C_M ——可调螺距螺旋桨转叶力矩系数;
- CPP——controllable pitch propeller, 可调螺距螺旋桨;
- C_R ——船的阻力系数;
- C_T ——螺旋桨推力载荷系数, $C_T = T / [(\rho/2)v^2 \cdot (\pi D^2/4)]$;
- D ——螺旋桨直径;
- D_n ——导管直径, 实指导管内壁螺旋桨置放段的直径;
- d ——直径, 有时用来表示孔或其他小物体的直径, 常带相应下标; 在船舶推进术语中“ d ”常特定为螺旋桨“桨毂”直径;
- EAR——螺旋桨盘面比; 螺旋桨展开面积 A_E 与螺旋桨盘的面积 A_d 之比;
- e ——饱和蒸汽气压[单位: 帕(Pa)];
- f ——频率, 有时标记为: cps(cycle per second);
- f ——螺旋桨叶剖面拱度值, 剖面中点距基准线高(厚)度, “+”指向叶背;
- H ——潜深(单位: m), 除特别说明外, 通常指螺旋桨轴系潜深;
- J ——螺旋桨进速系数, $J = v/nD$;
- J_P ——计及伴流后的螺旋桨进速系数, $J_P = v_P/nD = v_A(1 - \omega)/nD$;
- K_T ——螺旋桨推力系数, $K_T = T/\rho n^2 D^4$;
- K_Q ——螺旋桨扭矩系数, $K_Q = Q/\rho n^2 D^5 = Q\omega/2\pi\rho n^3 D^5$, $\omega = 2\pi n$;
- kn——“节”, 表示速度, 为英文“knots”的简写, 每小时航行的海里数, $1 \text{ kn} \approx 0.5144 \text{ m/s} \approx 1851.8 \text{ m/h}$;
- L ——线性尺度(单位: m, ft);
- [L]——基本量线性尺度之量纲标记(单位: m);
- [M]——基本量“质量”的量纲标记(单位: kg, g);
- m——用作下标时指模型的相应数据;
- N ——每分钟转数, r/min 与 rpm (rotations per minute)同;
- N——牛顿(力的单位), Newton;

- N_i ——物体运动到空泡初生时的每分钟转数；
 ND——用作下标，表示“新设计(New Design)”；
 n ——每秒钟转数， s^{-1} ， $N = 60n$ ；
 P ——螺距，桨叶剖面绕桨轴转 360° 后前进的距离；
 P/D ——螺距比，为螺距与桨直径的比值；
 P ——功率[单位：瓦(W)]；
 P_D ——螺旋桨收到(或吸收)功率， $P_D = \omega Q = Q \cdot 2\pi n$ ；
 P_E ——螺旋桨有效功率，即克服船舶阻力所需功率；
 p ——流体中的压力[单位：帕(Pa)]， p 带下标时指特定含义的压力；
 p_0 ——流体中的静压力；
 Pa——帕，压力单位， $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ；
 Q ——螺旋桨扭矩；
Rake——桨叶纵倾；
 r ——指螺旋桨上任一点的半径；
 $\bar{r}$ ——螺旋桨上任一点的相对半径， $\bar{r} = 2r/D$ ；
 s ——用作下标时指实物(舰船或螺旋桨)的相应数据；
 S ——船的湿面积，单位： m^2 ；
 T ——周期性变动量的循环周期[单位：秒(s)]；
 T ——螺旋桨推力；
 t ——螺旋桨叶剖面厚度值；
 u ——表示速度，通常为周(切)向速度， $u = 2\pi n$ ；
 v ——表示速度，通常为船行速度；
 v_A ——表示舰船前进速度，单位： m/s ；
 V_S ——表示舰船航行速度，单位： kn ；
 v_p ——表示螺旋桨盘面处的水速度，单位： m/s ；
 w ——表示螺旋桨上任一点的合速度，单位： m/s ；
 W ——抗弯模数；
 w ——伴流分数，有时亦称伴流系数；
 Z ——舰船螺旋桨桨叶数；
 Z_p ——舰船螺旋桨轴数，即螺旋桨只数；
 β ——螺旋桨叶剖面的螺距角；
 Δ ——舰船排水量(单位： m^3)；
 γ ——螺旋桨叶剖面的绕流的进速角；
 ϵ ——降压系数；
 $\epsilon_{\min}$ ——降压系数最小值；
 η ——舰船推进各种效率系数，常带下标说明；
 η_p ——螺旋桨推进效率系数；

- θ_{sk} ——桨叶侧斜角,叶剖面中点到螺旋桨轴的垂线与桨叶参考线在桨盘面上投影之夹角;
- Λ ——讨论流体力学模拟问题时,舰船、推进器模型缩尺比;
- μ ——微, 10^{-6} 的标记;
- ρ ——水密度(单位: kg/m^3);
- σ ——空泡数,常带下标,借以指明计算该无量纲 σ 数时选用的速度,例如, nD 、 u 、 v 等;
- σ_n ——转数空泡数 $\sigma_n = 2(p - e)/\rho n^2 D^2$;
- σ_v ——进速空泡数 $\sigma_v = 2(p - e)/\rho v^2$;
- σ_u ——转速空泡数 $\sigma_u = 2(p - e)/\rho(\pi n D)^2$;
- e ——临界空泡数,以 $e = \sigma_{\text{临界}}$ 空泡现象导致螺旋桨推力系数 K_T 开始下降“失推”的空泡数;
- ϕ ——螺旋桨叶径向剖面线与桨叶参考线的夹角;
- ω ——角速度,以每秒弧度计,与转数和频率的关系为: $\omega = 2\pi n = 2\pi f$, 有时称“圆频率”;
- SIAD——Skew Induced Axial Displacement,由于沿螺距线侧斜,导致叶剖面中点在螺旋桨轴方向的位移;
- TAD——Total Axial Displacement,叶剖面中点在螺旋桨轴方向,到桨盘(面)的总距离(位移);
- ZT——Zero thrust,螺旋桨零推力的标记;
- FR——free running,螺旋桨在水流冲刷下自由旋转的标记。

目 录

第一部分 专题报告

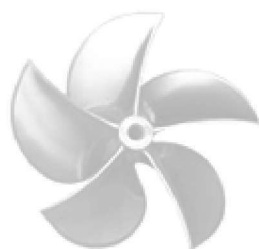
船用螺旋桨几何形状及其工程图纸表达	3
可调螺距螺旋桨叶形状表达及避免(调距时)互碰	10
螺旋桨剖面翼型若干资料分析的汇总	16
螺旋桨叶惯性数据及变速运动时与加速度有关的作用力	26
可调螺距螺旋桨流体动力设计的一些问题	44
关于“低振螺旋桨”直径及螺距比选择	54
低振螺旋桨直径及螺距比选择实例分析	60
可调螺距螺旋桨快速性	68
螺旋桨剖面空泡及伴流场的试验和模拟	79
B-4-55 系列螺旋桨在 $0\sim 360^\circ$ 方位角运行时的流体动力性能(汇编资料)	86
吊舱推进器螺旋桨 360° 全方位流体动力研究	102
多桨舰船低速航行时的闲置螺旋桨	120
螺旋桨设计中船-机-桨匹配若干问题	129

第二部分 螺旋桨系列图谱

关于螺旋桨系列图谱的说明	153
JQ-5-81 系列鹰翅型螺旋桨图谱及其使用说明	156
H-5-75 系列螺旋桨(5 叶、 25° 侧斜)图谱	164
H-4-60 四叶 25° 侧斜螺旋桨系列图谱	169
Eu-5-75 系列螺旋桨 40° 侧斜	173
Eu-4-60 系列螺旋桨图谱	178
SQ-5-70 系列低振动螺旋桨	181
SQ-4 系列 20° 侧斜螺旋桨	187

RSM-4-75 系列螺旋桨	195
RSM-4-65 系列螺旋桨	200
P-3-65 系列螺旋桨	204
螺旋桨初步设计参考资料	208
导管螺旋桨初步设计参考资料	214
参考文献	221

第一部分



专 题 报 告

船用螺旋桨几何形状及其工程图纸表达

报告主旨

当代船用螺旋桨,已是径向变螺距、周向有侧斜、轴向带纵倾的三维叶片状几何体。采用传统的表达方法,有时造成误解,导致螺旋桨(实物和模型)成品与图纸不符,类似问题在国内外均有发生。为此,建议对桨的图纸做出必要的说明和相应的规定。

20 世纪 40 - 50 年代广为应用的是等螺距螺旋桨,各半径处的叶剖面,有相同的螺距,当桨叶绕桨轴旋转一周(360°)后,都沿桨轴方向螺旋移动同一距离——螺距 P 。出于提高效率、减小振动、避免剥蚀、降低噪声等目的,现代桨叶变成了形状复杂的工程制品。无论是军舰用桨,还是民船用桨,例如,欧洲厂商 Rolls-Royce 名下的 KaMeWa 公司桨,还是日本三菱的 MAP 桨,虽然还是在以桨轴为中心轴的圆柱面上,以一定角度布放机翼型剖面,当螺旋桨旋转时,这些剖面提供升力(推力),推船航行。出于改善桨性能的目的,先是将各个半径处的螺距角加以调整,导致各剖面的螺距不相同,是为变螺距螺旋桨。再将剖面在圆柱面内的周向位置,按工程意图设定,成了侧斜螺旋桨。还是为了改善桨性能的目的,再将剖面在桨轴方向推前拉后,设定非线性纵倾,得到实质上是三维调控的螺旋桨叶,可称三维调控螺旋桨。经过在 r 半径圆柱面内设定螺距(角),再将剖面周向绕桨轴转个角度,又将剖面沿桨轴方向移动,桨叶剖面的空间位置有待严格界定。与早先用“刮板”绕桨轴沿螺距三角板可“刮”出圆背型剖面压力面相比,机翼型剖面的压力面不是直线,难以用作剖面形状和螺距的基准。为表达机翼型剖面的形状,选定直线段为“基准线”,在线两侧(吸力面和压力面)沿基准线弦向分布拱度和厚度,这种表达方式,也用于螺旋桨叶剖面的定位和表达。将剖面基准线与圆柱面上的(等螺距)螺旋线叠合,从而确定了该剖面在圆柱面内的螺距角,这样确定各半径处剖面的螺距,得到整片桨叶的径向螺距分布。要将这些剖面在圆柱面上侧斜(变化周向位置)及纵倾(移动轴向前后),先要选定参考坐标系,如图 1 所示。用做桨叶剖面周向定位的叫做“桨叶参考线”;用做桨叶剖面轴向定位的叫做“桨盘面”。要确定桨叶剖面的空间位置,当知道其所在 r 半径圆柱面内的螺距角方位之后,可以“盯”住剖面基准线上“ M ”点(任意选定)的周向位置 θ 及轴向位置 z ,则剖面在圆柱面内位置固定。整片桨叶各半径 r 的剖面相继定位后,相隔 $360^\circ/Z$ (Z —桨叶数)处重复布放,得螺旋桨几何外形。

为说明桨叶几何形状的确定,以右旋螺旋桨为例,按图 1 选定 x, y, z 坐标系,图 2 标出以桨转轴为柱坐标轴的柱坐标系 r, θ, z 及以 r 为半径圆柱面上的等螺距线及其上的 M 点,若选用 Ox 轴为该半径上叶剖面的母线(见图 2 中 OA 线段),沿螺距线由 A 点爬升到图上 M 点位置时, M 点旋转角在 xOy 平面上的投影角为 θ ,沿 z 轴方向提升高 $MM' = z$ 。意味着 xOz 面为桨叶参考面(在 xOy 面上看见“线”为参考线), xOy 面为桨盘面。两组坐标系的关系为: $x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$, $z = z$ 。

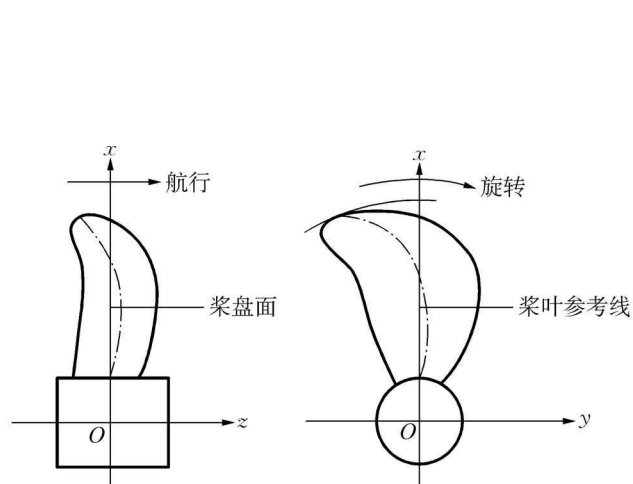


图1 螺旋桨坐标系(右旋桨)

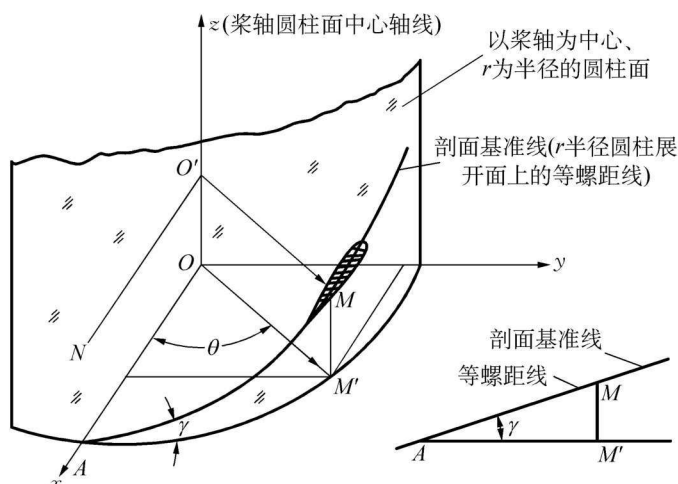


图2 桨叶剖面的几何定位

若表示线段 AM 的长度 $AM = C$, 表示螺距角为 γ , 则有

$$z = AM \cdot \sin \gamma = C \sin \gamma, \quad \theta = \frac{C \cos \gamma}{2\pi r} \cdot 360^\circ, \quad C = \frac{\theta}{360^\circ} \times \frac{2\pi r}{\cos \gamma}$$

按惯例, 将所有线性尺度除以桨直径 D , 用无量纲值表达, 并表示 M 点旋转一周 (360°) 在 z 方向升高值为螺距 P , 可得螺旋桨叶的无量纲几何表达关系:

$$x/D = \frac{\bar{r}}{2} \cos \theta, \quad y/D = \frac{\bar{r}}{2} \sin \theta, \quad z/D = \frac{C}{D} \sin \gamma = \frac{P}{D} \frac{\theta}{360^\circ} = \frac{\theta}{360^\circ} \pi \bar{r} \tan \gamma,$$

$$C/D = \frac{\theta}{360^\circ} \frac{\pi \bar{r}}{\cos \gamma}, \quad \theta = \frac{C}{D} \frac{360^\circ}{\pi \bar{r}} \cos \gamma, \quad \bar{r} = \frac{2r}{D}$$

由上述讨论可知, 只要确定了 r 半径圆柱面上剖面基准线的螺距角 γ 及 M 点的位置 $M(r, \theta, z)$, 则剖面在圆柱面上的位置已定。按国际造船和船检局通用习惯, 用基准线段的中点 (剖面弦长中点) 作为标记点, 计算桨叶剖面实际的侧斜角及轴向位置。

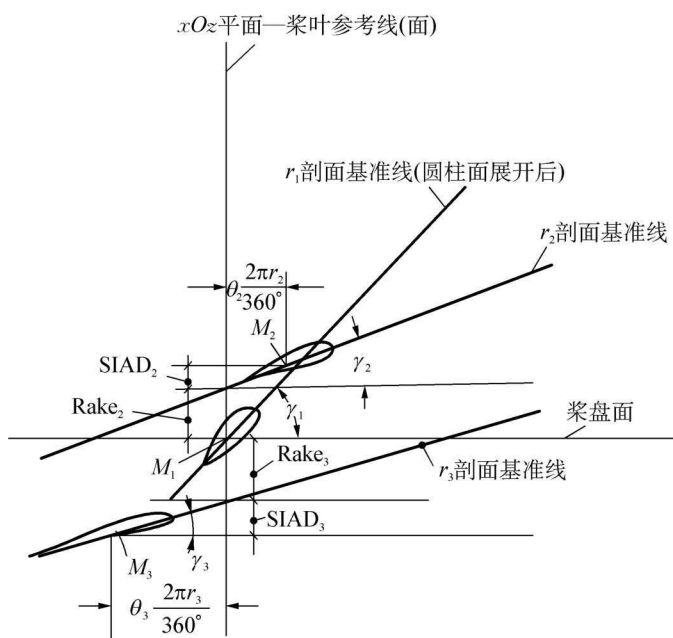


图3 不同半径圆柱展开后剖面的位置

图3为3个不同半径圆柱面的展开碾示意图, 若以 r_1 圆柱面剖面中点 M_1 所处的垂直桨轴 z 的平面为桨盘面, 以通过 M_1 点含桨轴线的平面为桨叶参考面 (在 xOy 平面上为“线”), 在设计给定 r_2 圆柱面内基准线螺距角 γ_2 和 $M_2(r_2, \theta_2, z_2)$, 及 r_3 圆柱面内基准线螺距角 γ_3 和 $M_3(r_3, \theta_3, z_3)$ 的情况下, M_2 点是沿着 γ_2 螺距线由桨叶参考面转 θ_2 角 (图示 $\theta_2 > 0$) 到达的, 在转 θ_2 时, 其 z 方向移动 (上漂) 值为 $SIAD$ (Skew-Induced Axial Displacement, 即“侧斜致轴向位移”, 18届 ITTC 推荐), $SIAD_2 = \frac{P_2}{360^\circ} \theta_2$ 。图示之 $SIAD_2 > 0$, 为剖面沿桨轴前倾。设计要求 M_2 点的轴向位移值为 z_2 , 在将 r_2 处剖面中

工程图纸上,在给定螺旋桨直径 D 后,还给出以下量的径向分布:螺距 $P \sim r$,桨叶宽 $C \sim r$,桨叶剖面中点到参考线沿螺距线的距离 C_{sk} 或侧斜角 θ_{sk} (两者在螺距已定下为函数相关——非独立量 $\theta = \frac{C \cos \gamma}{2\pi r} \times 360^\circ$), 以及各半径剖面的纵倾 $Rake$ ——“ a ”。

$$\frac{C_L}{D} = \frac{C_{sk}}{D} + \frac{1}{2} \frac{C}{D}, \quad \frac{C_T}{D} = \frac{C_{sk}}{D} - \frac{1}{2} \frac{C}{D}$$
$$\theta_L = \frac{C_L \cos \gamma}{2\pi r} \times 360^\circ = \frac{C_L}{D} \frac{\cos \gamma}{\pi \bar{r}} \times 360^\circ, \theta_T = \frac{C_T \cos \gamma}{2\pi r} \times 360^\circ = \frac{C_T}{D} \frac{\cos \gamma}{\pi \bar{r}} \times 360^\circ$$
$$z_L = z_m + \frac{1}{2}C \sin \gamma, \quad z_T = z_m - \frac{1}{2}C \sin \gamma,$$

$$z_m = \text{TAD} = \text{SIAD} + "a", \text{ SIAD} = P \times \theta_{\text{sk}} / 360^\circ$$

这样,桨叶各半径的基准线段(等于翼型剖面弦长)的柱坐标空间位置、导沿点 (r, θ_L, z_L) 及随沿点 (r, θ_T, z_T) 已定。计及 $x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$, 相应点在 x, y, z 坐标系中的位置也已知。桨叶空间的“骨架”已完全确定。现在要对“基准线段”进行“修饰”,使其成为“理想”的翼型剖面。

按照机翼型剖面的表达方法,在桨叶剖面基准线段(弦长)上下两侧,给出垂直基准线的沿弦向拱度分布 f 及厚度分布 t 值。表示剖面吸力面的坐标值 y_s (y_s 为吸力面“Suction”专用,不是螺旋桨坐标系中的 y),压力面的坐标值 y_p (y_p 为压力面“Pressure”),则有

$$y_s = f + \frac{1}{2}t, \quad y_p = f - \frac{1}{2}t$$

由基准线往吸力面方向为正值 y ,往压力面方向为负值 y ,在基准线上为 $y = 0$ 。常见的拱度分布形式有 NACA $a = 0.8$; $a = 0.8, b = 0.05$ 等,常见的厚度分布有 NACA 16, NACA 66; 及 UK-72、UK-80 等等,均以最大拱度 f_0 及最大厚度 t_0 的百分数值沿弦向分布。有时,有的厂商和名牌螺旋桨,对剖面导边和随边有专门规定(如导圆心抬高、导圆直径、随边局剖形状等)。

图 5 为螺旋桨的典型图纸,绘出的“骨架”投影图,通常在图中会加上抗鸣边及毂处填料等示意小图及桨叶剖面型值表等。在该 5 叶 $D = 7.2 \text{ m}$, $P/D = 1.0$ 的桨图上,加填了预置纵倾 Rake——“ a ”,侧斜至轴向位移 SIAD 及总纵倾 TAD 的示意图。绘图数据来源于附表。