

船用翼理论

王献孚 著

国防工业出版社

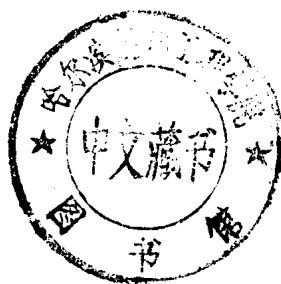
U661
W42

414690

船用翼理论

Marine Air-Hydrofoils Theory

王献孚 著



00414890

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

船用翼理论/王献孚著. —北京:国防工业出版社,
1998. 10

ISBN 7-118-01903-8

I. 船… I. 王… III. 水翼理论 N. U661

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04942 号

DV57/15

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 13% 343 千字

1998 年 10 月第 1 版 1998 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄 宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾 铎		
秘 书 长	崔士义		
委 员	于景元	王小谟	尤子平
(以姓氏笔划为序)	冯允成	刘 仁	朱森元
	朵英贤	宋家树	杨星豪
	吴有生	何庆芝	何国伟
	何新贵	张立同	张汝果
	张均武	张涵信	陈火旺
	范学虹	柯有安	侯正明
	莫梧生	崔尔杰	

前 言

“机翼理论”曾以飞机上的应用为研究对象,在国内外都已出版过一些著名的著作,对航空工业的发展起了重要作用。而以舰船上的应用为研究对象的“船用翼理论”著作尚不多见,然而“机翼”在舰船上的应用也非常广泛,而且会越来越广泛。由于船用翼具有不同于航空机翼的许多特性,因而出版一本论述这方面内容的专著是很有意义的。它可以有助于推进正在开展的高速水翼船、水翼助航船、风帆助航船、船舶新型推进翼和控制翼、水中兵器的各种附翼以及帆船帆板、划船运动桨叶和蹼泳运动的蹼板等水上运动项目器材研究工作的发展。

船用翼包括空中翼和水中翼,如帆翼、机翼、水翼、舵、桨、稳定鳍、支架、帆船龙骨、潜艇和水雷的鳍翼、水下电缆整流片、导弹稳定环、喷水推进器旋叶、各种水泵的叶轮等等,甚至水下船体整个部分在研究其操纵运动时,也可以当作一个短翼,船舶滑行亦可认为是一升力体的运动。所有这些,都是船用翼理论研究的对象。本书仅作为导论,试图以流体力学理论,系统地论述船用翼的基本原理和计算设计方法,对其广泛应用尚不能全面论述,而仅涉及作者所研究过的一些问题。

全书包括船用翼概论、翼剖面理论、三维水翼理论、帆翼和帆航空气-水动力学、振动翼理论、船用翼控制及应用等六方面内容(即六章)。前三章是船用翼理论基础,除一部分为经典理论外,重点介绍的是有关内容中一些近代计算和设计方法;后三章为专题研究内容,主要包括作者和作者所在单位以及国内外同行们的一些研究成果。前三章内容由于具有广泛通用性,将能满足船舶工程类专业、水力机械类专业等高年级学生、研究生的选课使用,以及

广大工程技术人员对水翼理论知识的学习和研究的需要;后三章内容由于具有较强的应用性,许多论题至今还在继续研究发展之中,故可作为继续开展有关研究工作的参考。

本书由武汉交通科技大学章社生副教授和潘卫明教授协助完成。书中第二章附录 2A.2 和第三章附录 3A 的几个影响系数解析算式,以及第五章附录 5A 中西奥道生函数 $C(k)$ 计算表都由章社生副教授作出,并且还提供了第五章 § 9“Weis-Fogh 机构产生升力的分析”一节的初稿。潘卫明教授为本书提供了第六章中 § 3“可控环量船用翼”一节的初稿,其中有一些是尚未发表的资料。

在本书成书过程中,获得武汉海军工程学院董祖舜教授以及华中理工大学许汉珍教授的评阅和指教,使作者受益匪浅。“国防科技图书出版基金”评委会对本书提出了宝贵的修改意见,使书稿质量有进一步提高。此外,在撰著本书稿过程中,还得到武汉交通科技大学出版科徐祖兴同志对本书图稿描绘给予的支持以及其他同志对本书给予的帮助,在此我对他(她)们表示衷心的感谢。

因作者水平所限,本书难免还有错误和不妥之处,恳请使用本书的读者给予指正。

作 者

目 录

第一章 船用翼概论.....	(1)
§ 1 船用翼.....	(1)
§ 2 翼和翼剖面几何参数.....	(2)
一、NACA 翼型	(4)
二、其他翼型	(6)
三、理论翼型	(6)
§ 3 船用翼的流体动力特性.....	(8)
一、升力特性	(9)
二、阻力特性	(13)
三、俯仰力矩和压力中心位置	(14)
四、水翼剖面空化水动力学特性	(17)
§ 4 翼型数据	(21)
一、NACA 翼型	(21)
二、E 翼型系列	(22)
三、其他翼型系列	(28)
§ 5 流体对物体作用力计算公式	(30)
第二章 翼剖面理论	(39)
§ 1 薄翼理论	(39)
一、基本概念	(39)
二、升力问题涡层模型求解法	(40)
三、薄翼厚度问题源汇模型求解法	(43)
四、薄翼问题解析解	(45)
五、薄翼的前缘吸力	(49)
§ 2 任意翼剖面绕流 Theodorsen 方法	(50)
一、Theodorsen 方法	(50)
二、求解方法及计算步骤.....	(54)
§ 3 翼剖面计算的面元方法	(57)

一、面元方法概述	(57)
二、源汇和涡组合的面元法	(59)
三、涡层分布面元法	(62)
§ 4 翼剖面粘性修正边界层计算	(65)
一、边界层方程	(66)
二、层流边界层 Thwaites 方法	(68)
三、湍流边界层 Head 方法	(69)
四、湍流边界层 Truckenbrodt 方法	(70)
§ 5 粘性/无粘性(含分离流)相互作用的计算	(71)
一、含分离流的势流解	(71)
二、粘性/无粘性相互作用计算	(74)
§ 6 翼剖面设计	(77)
一、问题提法	(77)
二、Lighthill 方法	(79)
三、面元法设计	(82)
四、多点设计 Eppler 方法	(83)
五、优化设计法	(88)
§ 7 近自由表面二维水翼势流解	(89)
一、高速和低速的两种极限	(89)
二、线性理论及面元算法	(91)
三、Rankine 源算法	(94)
§ 8 二维水翼 Euler/N-S 方程数值解法	(99)
一、问题概述	(99)
二、直角坐标中 Euler 方程数值解	(100)
三、贴体坐标中 N-S 方程数值解	(104)
§ 9 水翼剖面局部空泡和超空泡绕流计算	(108)
一、边值问题	(108)
二、奇点分布面元求解法	(111)
三、数值过程及讨论	(113)
附录 2A	(118)
2A.1 面元方法基础理论综述	(118)
2A.2 影响系数 K_{ij} 和 G_{ij} 计算公式	(122)
2A.3 主值积分 $\oint_0^{\infty} \frac{e^{ik(x-\bar{z})}}{k-\nu} dk$ 计算	(124)
第三章 三维水翼理论	(126)

§ 1 升力面理论·涡格法	(126)
一、升力线和升力面模型	(126)
二、基元马蹄涡诱导速度计算式	(130)
三、涡格法求解过程	(132)
§ 2 船用舵水动力的数值计算	(137)
§ 3 升力面格林函数法	(143)
一、升力面基本方程式	(143)
二、数值求解过程	(146)
三、诱导阻力	(149)
§ 4 三维水翼计算的面元方法	(152)
一、高速和低速的两种极限	(152)
二、Rankine 源计算法	(158)
§ 5 近自由表面翼体非定常运动问题及非线性计算法	(160)
一、数学模型	(160)
二、数值求解过程	(164)
§ 6 三维水翼设计的面元法	(167)
§ 7 三维空泡水翼绕流边界元分析	(174)
一、基本公式	(175)
二、数值求解过程	(177)
§ 8 Euler/N-S 方程求解三维水翼绕流	(181)
附录 3A 影响系数 A_{ij} 的计算	(186)
第四章 帆翼和帆航空气-水动力学	(190)
§ 1 帆翼助航发展	(190)
§ 2 帆翼空气动力特性及示例	(195)
一、帆翼气动特性曲线	(195)
二、风帆助航船气动特性试验研究示例	(198)
§ 3 多元素帆翼	(202)
一、一种二元素帆翼	(202)
二、一种五元素帆翼	(206)
三、多元素帆翼数值模拟方法	(209)
§ 4 软帆的分析计算	(214)
一、二维软帆	(214)
二、三维软帆	(217)
§ 5 帆航空气-水动力学	(220)

一、帆航空气-水动力学问题	(220)
二、帆翼升力和诱导阻力计算	(222)
三、帆船附体的升力和诱导阻力计算	(223)
§ 6 帆航速度预测程序(VPP)	(230)
一、VPP 结构	(230)
二、水动力模型	(235)
三、空气动力模型	(238)
四、VPP 的计算流程	(241)
§ 7 帆船中多孔舵	(244)
附录 4A 帆船剩余阻力 R_R 计算公式	(250)
第五章 振动翼理论	(253)
§ 1 水翼纵摇(pitching)效应	(253)
§ 2 振动薄翼理论: Theodorsen 理论	(256)
§ 3 非定常运动机翼理论: Kármán & Sears 理论	(266)
一、Kelvin 冲量和线性理论的升力和力矩一般表达式	(266)
二、周期性振荡翼线性理论	(272)
三、非线性修正	(276)
§ 4 振动翼的数值模拟方法	(279)
§ 5 划桨推进水动力学分析	(284)
§ 6 弦向柔性振动推进翼性能	(291)
§ 7 三维波板和蹼泳推进水动力学	(295)
一、推力和效率	(295)
二、数值求解方法及算例结果讨论	(299)
§ 8 Weis-Fogh 机构及其在船舶推进装置中应用	(301)
§ 9 Weis-Fogh 机构产生升力的分析	(306)
§ 10 一种振动翼推进装置可行性初探	(312)
附录 5A 西奥道生函数 $C(k)$ 计算	(318)
第六章 船用翼控制及应用	(322)
§ 1 船用翼控制概论	(322)
一、控制方程	(322)
二、转换控制	(323)
三、降低表面摩擦阻力的方法	(325)
四、边界层控制——增升和减阻	(327)
§ 2 动壁效应的利用——转柱舵和转带帆	(329)

一、转柱现象分析	(329)
二、转柱舵	(331)
三、转带帆(舵)	(332)
§ 3 可控环量船用翼	(335)
一、可控环量翼基本原理与特性	(335)
二、可控环量帆翼	(338)
三、可控环量船用舵	(341)
四、可控环量船翼	(343)
§ 4 壁面切向射流特性	(345)
§ 5 可控环量翼流体动力性能的理论预测和数值模拟	(356)
一、利用线源分布圆定理求解可控环量翼所产生的环量	(357)
二、利用边界层积分方程对可控环量翼的数值模拟	(362)
三、利用边界层微分方程对可控环量翼的数值模拟	(367)
§ 6 可控环量翼中圆柱壁面射流的精细试验和 N-S 方程 求解	(369)
§ 7 船体附翼水动力节能装置	(373)
一、船体附翼水动力节能装置简介	(374)
二、W-2 附体节能装置自航船模试验研究	(380)
§ 8 水翼助航单体船的研究	(384)
主题词索引	(388)
人名索引	(394)
参考文献	(398)

Contents

Chapter I	An Introduction to Marine Air-Hydrofoils	(1)
§ 1	Marine Air-Hydrofoils	(1)
§ 2	The Geometrical Constraint of Wing and Wing-Section	(2)
1.	NACA Wing Sections	(4)
2.	Orther Wing Sections	(6)
3.	Theoretical Wing Sections	(6)
§ 3	Marine Air-Hydrofoils Characteristics	(8)
1.	Lift Characteristics	(9)
2.	Drag Characteristics	(13)
3.	Pitching-Moment Characteristics and the Centre of Pressure	(14)
4.	Cavitation Performance Characteristics of Wing Section for Hydrofoils	(17)
§ 4	Profile Data	(21)
1.	Profile NACA	(21)
2.	Families of Profile E	(21)
3.	Other Series Wing Sections	(28)
§ 5	The Force and Moment Formulas on a Wing in Motion	(30)
Chapter I	Theory of Air-Hydrofoil Sections	(39)
§ 1	The Theory of Thin Wing Sections	(39)
1.	Basic Concepts	(39)
2.	Calculation of Lifting Problems for a Sheet Vortex Model	(40)
3.	Calculation of Thickness Problems for Source Distributions	(43)
4.	Analytic Solution of the Thin Wing Section	(45)
5.	A Theory of Foils with Leading Edge Suction	(49)
§ 2	Theodorsen's Method for the Flow about Arbitrary Wing sections	(50)
1.	Theodorsen's Method	(50)

2. Solving Process and Steps of Calculation	(54)
§ 3 Panel Methods for the flow about Arbitrary Wing	
Sections	(57)
1. An Introduction to Panel Methods	(57)
2. The Panel Method with Combined Source-Doublet Distribution	(59)
3. The Panel Method with Vortex Sheet Distribution	(62)
§ 4 Correction for Viscosity Effects by the Computation of	
Boundary Layers	(65)
1. Boundary Layer Equations	(66)
2. Thwaites's Method of the Laminar Boundary Layer	(68)
3. Head Method of the Turbulent Boundary Layer	(69)
4. Truckenbrodt's Method of the Turbulent Boundary Layer	(70)
§ 5 The Computation of Separated Flow Using a Inviscid-	
Viscous Interaction Method	(71)
1. Potential Solution with Flow Separation	(71)
2. Inviscid/Viscous Interaction Effects	(74)
§ 6 Air-Hydrofoils Design	(77)
1. Design Problems	(77)
2. Lighthill's Method	(79)
3. Panel Method	(82)
4. Multi-Point Inverse Hydrofoil Design Method	(83)
5. Optimization Method	(88)
§ 7 Two-Dimensional Potential Flow for Hydrofoils near the	
Free Surface	(89)
1. High-Speed and Low-speed Hydrofoils	(89)
2. A Linearized Theory and Panel Methods	(91)
3. The Computational Method Using Rankine's Sources	(94)
§ 8 Numerical Solution of the Euler/N-S Equations for	
Two-Dimensional Hydrofoils	(99)
1. Introduction	(99)
2. Numerical Solution of the Euler Equations for the Cartesian	
Coordinates	(100)
3. Numerical Solution of the N-S Equations for the Boundary-fitted	
Coordinate System	(104)
§ 9 The Computation of Partical Cavitation and Supercavitation	

Flow for Two-Dimensional Hydrofoils	(108)
1. Boundary Value Problem	(108)
2. Singularity Distribution Panel Method for the Cavitating Hydrofoils	
Calculation	(111)
3. Numerical Procedure and discussion	(113)
Appendix 2A	(118)
2A. 1 A Theoretical Summary of the Panel Methods	(118)
2A. 2 Computing Formulas of the Influence Coefficient K_{ij} and G_{ij}	(122)
2A. 3 Calculation of the Integrating Value of Primary $\oint_0^{\infty} \frac{e^{-ik(z-\bar{r})}}{k-\nu} dk$	(124)
Chapter II Hydrofoil Theory in Three Dimensions	(126)
§ 1 Lifting-Surface Theory. Vortex Lattice Method	(126)
1. Lifting-line and Lifting-surface	(126)
2. Induced Velocity of the Horseshoe Vortex Element	(130)
3. Solving Process of the Vortex Lattice Method	(132)
§ 2 Numerical Solution of the Hydrodynamic Performance for	
Marine Rudder	(137)
§ 3 Lifting-Surface Theory. Green's Function Representation	(143)
1. Fundamental Equation of the Lifting-Surface Theory	(143)
2. Numerical Solving Process	(146)
3. Induced Drag	(149)
§ 4 The Computation of Three-Dimensional Hydrofoil Using a	
Panel Method	(152)
1. High-speed and Low-Speed Hydrofoils	(152)
2. The Computational Method Using Rankine's Sources	(158)
§ 5 Unsteady Motion and Nonlinear Computation for Hydrofoils	
Near the Free Surface	(160)
1. Mathematical Model	(160)
2. Numerical Solving Process	(164)
§ 6 Three-Dimensional Hydrofoil Design Using the Panel	
Methods	(167)
§ 7 A Boundary Element Methods for Cavitating Three-	
Dimensional Hydrofoil Calculation	(174)
1. Fundamental Formula	(175)

2. Numerical Solving Process	(177)
§ 8 Numerical Solution of the Euler/N-S Equations for Three- Dimensional Hydrofoils Flow	(181)
Appendix 3A Computing Formulas of the Influence Coefficient A_{ij}	(186)
Chapter IV Aero-Hydrodynamics of Sailing and the Sail	(190)
§ 1 The Development of Rigid Sail Assistance Ship	(190)
§ 2 An Example of the Aerodynamical Performance of Rigid Sails	(195)
1. Aerodynamical Characteristics Curves of a Rigid Sail	(195)
2. An Experimental Study of Aerodynamical Performance of Rigid Sail Assistance Ship	(198)
§ 3 Multielement Rigid Sails	(202)
1. A Two-Element Rigid Sail	(202)
2. A Five-Element Rigid Sail	(206)
3. Numerical Simulation of the Multielement Rigid Sails	(209)
§ 4 Analysis and Calculation of the Sail	(214)
1. Two-Dimensional Sails	(214)
2. Three-Dimensional Sails	(217)
§ 5 Aero-Hydrodynamics of Sailing	(220)
1. The Problems of Aero-Hydrodynamics of Sailing	(220)
2. Calculation of the Sail Lift and Induced Drag	(222)
3. Calculation of Hydrodynamic Lift and Induced Drag of the Ship Appendages	(223)
§ 6 Velocity Prediction Program (VPP) of Sailing Yachts	(230)
1. Structure of the VPP	(230)
2. Hydrodynamic Model	(235)
3. Aerodynamic Model	(238)
4. Flow Diagram of the VPP	(241)
§ 7 Porous Rudder on Sail Ship	(244)
Appendix 4A Computing Formulas of Residuary Resistance of Sail Ship	(250)
Chapter V Theory of Oscillating Hydrofoil	(253)