

《现代船舶力学》丛书

Mechanics in Ship Fabrication

船舶制造工艺力学

纪卓尚 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



《现代船舶力学》丛书

船舶制造工艺力学

Mechanics in Ship Fabrication

纪卓尚 等编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

船舶制造工艺力学/纪卓尚等编著. —北京:国防工业出版社, 2005. 8

(现代船舶力学丛书)

ISBN 7-118-03843-1

I. 船... II. 纪... III. 造船—工艺学: 力学
IV. U671

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 028201 号

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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16 289 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 55.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

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。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,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,原国防科工委于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. 在国防科学技术领域中,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,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备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,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,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,由总装备部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,原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和武器装备建设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 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	刘成海			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	彭华良	蔡镛		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	韩祖南	舒长胜	

《现代船舶力学》丛书 编辑委员会

名誉主任委员 黄平涛

顾问 姜来根

主任委员 吴有生

(以下按姓名笔画排序)

副主任委员 王国强 吴德铭 翁长俭 盛振邦

委员 尤子平 石仲堃 冯丹宇 许西安

刘应中 纪卓尚 杨士莪 吴秀恒

何友声 张圣坤 陈铁云 耿广生

徐秉汉 郭日修 崔维成 董世汤

彭华良 戴仰山 戴遗山

秘书 陈燮麟 赵德会 康伯霖

总 序

历史上蒸汽动力装置在船舶推进中的应用,改变了船舶在波浪中的航速与航线,也促进了 19 世纪中期船舶运动理论的诞生。从此,在牛顿力学的基础上,船舶力学开始了漫长的发展历程,于 20 世纪上半叶形成了自身较为系统的专业格局,并且在 20 世纪下半叶取得了突飞猛进的发展。

在 20 世纪后 40 年,随着世界经济大循环模式的形成,船舶的产量、品种大幅增长,船舶设计制造技术频频更新,改变着船舶与海上运输的面貌。21 世纪将是海洋的世纪,海洋经济、海洋开发与海洋军民装备的发展需求更将给海洋运载器技术的进步以前所未有的巨大动力。船舶力学是一个与船舶工程紧密结合的力学领域。船舶类型的每一步更新与发展,都包含着在船舶力学的领域中认识与把握船舶所遭受的随机、复杂、险恶的环境载荷,改进航行性能,保证船体安全可靠等方面的科学与技术的进步。凡是船舶力学研究最活跃的地方,往往就是需求最明确、船舶新技术出现最快的地方。可以说,现代船舶发展的历史,也就是船舶力学发展的历史,船舶力学是船舶技术创新的重要源泉之一,而船舶的工程需求又是船舶力学发展的基石,两者紧密结合,与时俱进。因此,可以预见,进入 21 世纪以后,不用太长的时间,船舶力学发展的历史必将翻到崭新的一页。

面对这样的历史机遇,有必要对世纪之交船舶力学若干主要领域的前沿内容,以及我国船舶科技工作者希望有更多了解的新内容作一些归纳与介绍。这不仅是我国广大船舶科技工作者的愿望,也有助于为进一步发展船舶力学打好基础。

20 世纪 80 年代初以来,我国的船舶工业与船舶技术取得了迅速的发展,船舶总产量在 20 世纪末已稳居世界第三位。为奠定我国船舶技术与船舶工业发展的基础,我国的船舶力学工作者含辛茹苦,摩胼胝地工作,取得了丰硕成果,有的领域接近和达到了国际先进水平。本世纪初是我国船舶工业和船舶技术跨越式发展的重要历史时期,为进一步振兴我国的船舶技术与船舶工业,有必要把所取得的成果与国际动向结合起来,作必要的提炼与总结,供我国船舶与海洋工程界科技人员和高等学校师生参考。

本着上述目的,中国造船工程学会船舶力学学术委员会及部分船舶力学工作者倡议,在世纪之交,组织国内船舶力学的专家们,集体编著一套现代船舶力学丛书。这个倡议很快得到了原国防科工委和国防科技图书出版基金委员会的赞同。

1996 年成立了编委会。编委会的日常工作挂靠在中国造船工程学会船舶力学学术委员会,并在中国船舶科学研究中心的大力支持和国防科技图书出版基金委员会与国防工业出版社的指导下开展工作。

现代船舶力学丛书包括船舶水动力学、船舶结构力学、船舶设计和制造工艺中的力学问题等方面的专著。丛书注重理论与应用相结合,着眼于选题内容相对新颖与先进,并不追求覆盖范围全面与广泛。丛书内容难免会有缺陷与不足,但编委会希望在我国船舶科技界各有关院所、高校与造船企业的关怀和参加编著的专家学者的共同努力下,它的出版能够对推动我国船舶与海洋工程技术的发展,促进我国船舶工业的技术创新,以及加强中外船舶工程界的学术交流有所贡献。

吴有生

2002 年 9 月 8 日

前 言

船体制造过程中的许多环节都有力学问题存在,这些力学问题与其他工程领域的力学问题不同,与船舶设计时考虑的力学问题也不相同,问题的性质及求解方法都有船舶制造的专业特殊性,解决好这些力学问题对提高工艺水平和船舶制造质量相当重要。造船科学发展到今天,船舶制造工艺力学的研究还相当不够,深度不够,广度也不够,未成系统,未形成一个明确的研究方向,因此至今还没有系统的成果,这方面的论文虽已有一定数量,但还未见船舶制造工艺力学方面的专门著作。

《现代船舶力学》丛书编辑委员会规划编写一部《船舶制造工艺力学》,这是一个有科学远见的决策,将会促进船舶制造工艺力学学科方向的形成,推动这一方向上研究工作的开展。鉴于此,本书作者高兴地接受了编写任务,希望本书作为一部尝试性的著作起到抛砖引玉的作用,以求引起同行对工艺力学和工艺展开理性的思考,有更多的同行参与船舶制造工艺力学研究,有一批更好的论文和专著出现,以推动船舶制造水平的提高。

本书不是离开工艺讲力学,也不是离开力学讲工艺,而是力求从力学理论与制造工艺实践相结合的角度去说明船舶制造中的力学问题,并进一步理解工艺过程的合理性或存在的问题,以求深入理解造船工艺并对其进行合理改进。具体做法是,基于船舶制造工艺的主要过程,阐述其中的力学表现,揭示其力学机理,导出其有效解法,使读者进一步理解造船工艺过程中的力学问题及其对工艺过程的影响,使工程人员能应用给出的力学原理和具体算法解决船舶制造中的实际工程问题。

本书在介绍一些成熟内容的同时,还介绍了一些国内外最新研究成果,目的是让读者了解本领域的研究动向及前沿,所介绍的内容不一定是公认正确的,仅是为了使本书具有启发作用,引起读者的兴趣及更多的思考和研究,促进船舶制造工艺力学研究的开展。

本书适用于船舶及海洋工程专业的高年级学生学习参考,也可供船舶及海洋工程领域的科技人员学习参考。通过对本书的学习,使读者对船舶制造工艺中的力学问题能有更深入的理解和思考,从把握住力学本质的角度去考虑造船工艺的改进途径,提高造船科学的水平。

船舶制造工艺力学包含的内容很多,由于国内外研究工作的不足和材料搜集

上的困难,本书作为初次尝试,不可能把内容写得很全,只写了船体制造中的钢料加工、装配、焊接及船体下水等主要环节中的力学问题。在编写时,采用专题式结构,每章为一个专题,各专题相互独立,之间没有很多联系。

有多位作者参加本书的编写,各章的主要内容及作者为:第一章绪论,介绍了力学与船舶制造的关系,船舶制造工艺力学的定义、内涵、特点和研究任务,国内外的研究现状,由纪卓尚编写;第二章第一节为船舶构件型材冷弯中的力学问题,由茅云生编写,第二章第二节为管材冷弯中的力学问题,由王呈方编写,并由王呈方汇总为第二章;第三章为船体曲面钢板水火成形中的力学问题,由刘玉君编写;第四章为船舶焊接中的力学问题,由桂赤斌编写;第五章为船舶下水中的力学问题,其中第一节由叶家玮编写,第二节由顾永宁编写,第三节由陈铁云编写,由顾永宁汇总成第五章;第六章介绍了国际上船舶制造工艺力学领域的研究动向,由聂武编写;全书主编为纪卓尚。

作者感谢丛书编委会对本书的关心,就本书编写专门进行的几次讨论是非常有益的,给作者的工作提出了明确的方向,使本书的编写得以顺利完成。感谢吴有生院士、徐秉汉院士和王勇毅教授,他们仔细阅读过本书的编写大纲和书稿,多次提出过非常好的意见,使本书的编写质量得到很大提高。

在本书的编写过程中,还得到了邬君、陈国龙等在排版、绘图等方面的大力帮助,在此表示衷心感谢。

虽然本书的作者都在各自负责的专题方面从事研究工作,都有一定的成果,但由于这是《船舶制造工艺力学》专著编写的初次尝试,加上作者知识的局限,本书的不足之处在所难免,希望各位同行提出宝贵意见,以便改进提高。

编著者

2003年12月

内 容 简 介

本书基于船体建造的主要的工艺过程,从力学与工艺相结合的角度研究其中的力学问题,揭示其力学行为,建立其数学模型,研究其求解方法,给出解决这些力学问题的具体途径。

本书的目的是通过对造船工艺过程中力学规律的认识,从力学方面找到进一步改进造船工艺,提高船舶建造速度和质量的措施。

本书可作为高校船舶工程类专业研究生及高年级本科学生的参考书,也可给工程技术人员提供工作参考。

This book is to address the mechanics issues in ship-building from the combined perspective of technology and mechanics, revealing the mechanics behavior, establishing the mathematics model, searching for the solutions, and providing some specific approaches to problems concerning technology and mechanics. All these are arranged in accordance with the major technological process of ship hull construction.

The purpose of this book is to offer a better understanding of the mechanics laws in the technological process of ship-building, through which more effective methods could be found, from the mechanics perspective, to further improve ship-building technology and promote its speed as well as quality.

The book could be used as a reference for postgraduate and senior students majoring in ship-building engineering. It is also helpful for the engineering staff in relevant fields.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 造船与力学	1
1.2 船舶制造工艺力学及其研究任务	3
1.3 国内外船舶制造工艺力学的研究状况	4
参考文献	7
第二章 船体构件冷加工中的力学问题	10
2.1 船体板材和型材冷弯加工中的力学问题	10
2.1.1 梁的弹塑性弯曲	10
2.1.2 梁截面上残余应力的分布	16
2.1.3 简支梁弯曲的塑性变形区及曲率分布	17
2.1.4 板材滚弯过程与几何关系	20
2.1.5 板材滚弯塑性变形区的分布	22
2.1.6 莫施宁公式	25
2.1.7 型材塑性弯曲的变形特点	29
2.1.8 型材弯曲自动控制的回弹模型	36
2.2 船体管材冷弯加工中的力学问题	41
2.2.1 管材冷弯加工弯曲应力分析	41
2.2.2 管材冷弯加工的弯矩与弯曲力	45
2.2.3 管材冷弯加工的回弹量计算	47
2.2.4 管材冷弯加工的最小弯曲半径	49
2.2.5 缠绕式弯管机上管子的回弹与伸长规律	51
参考文献	54
第三章 船体曲面钢板水火加工成型工艺力学	55
3.1 概述	55
3.1.1 船体曲面钢板水火加工成型工艺特点	55
3.1.2 国内外研究进展	58
3.2 钢板水火加工工艺的热传导问题	60
3.2.1 水火弯板热传导特点	60

3.2.2 准稳态温度场	61
3.2.3 水火弯板瞬态温度场 ^[33~36]	67
3.3 水火弯板热弹塑性分析	75
3.3.1 水火弯板的力学行为	75
3.3.2 水火弯板热弹塑性的有限元分析	77
参考文献	85
第四章 船体焊接中的力学问题	88
4.1 结构焊接力学行为	88
4.1.1 焊接接头类型	88
4.1.2 焊接残余应力与变形	90
4.1.3 焊接残余应力与变形的研究进展	104
4.1.4 焊接残余应力的消除方法	105
4.1.5 焊接变形的控制方法	109
4.1.6 焊接接头设计和计算	113
4.2 结构焊接断裂力学	129
4.2.1 脆性断裂的特征及影响因素	129
4.2.2 防断设计准则及相关试验方法	131
4.2.3 焊接结构特点及影响结构断裂失效的因素	139
4.2.4 防止脆性断裂的措施	150
4.3 焊接结构的使用安全评定	152
4.3.1 断裂力学的基本概念	152
4.3.2 “合于使用”原则安全评定的发展	156
4.4 焊接结构的疲劳断裂	160
4.4.1 疲劳基本概念	160
4.4.2 船体焊接结构的疲劳寿命评估	162
参考文献	167
第五章 船舶下水工艺力学	168
5.1 船舶纵向下水的动力学问题	168
5.1.1 纵向倾斜船台船舶下水概述	169
5.1.2 船舶下水动力学问题的提出	180
5.1.3 船舶下水动力学的工程计算	186
5.1.4 算例	190
5.2 船舶纵向下水力数值预报与船体损伤的预防	194
5.2.1 船舶纵向下水布置和过程	194
5.2.2 下水船体梁计算模型	196

5.2.3 船底支持弹簧刚度计算	197
5.2.4 船底局部刚度计算	198
5.2.5 船舶下水计算	199
5.2.6 计算示例	199
5.2.7 下水安全性评价	206
5.2.8 下水安全性讨论	207
5.3 船舶纵向下水近似计算的解析方法	207
5.3.1 船舶下水过程中三个阶段的力学分析	208
5.3.2 实例计算	213
5.3.3 墩木排列设计计算	215
5.3.4 结束语	218
参考文献	219
第六章 船舶制造与工艺领域研究动向	220
6.1 精确制造	220
6.1.1 一般构件的精确制造	220
6.1.2 大型结构精确制造	221
6.1.3 精度控制中生产数据采集及精度控制仿真实例	223
6.1.4 精度控制分析	229
6.2 初始缺陷对强度的影响	232
6.3 制造中费用——风险综合分析	232
6.4 信息技术(IT)在船舶制造中的发展概况	234
参考文献	235

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Shipbuilding and mechanics	1
1.2 The tectonics mechanics in shipbuilding and its task	3
1.3 The research status of the tectonics mechanics in shipbuilding	4
References	7
Chapter 2 The mechanics of hull elements cold processed	10
2.1 The mechanics of hull plates and sections cold bended	10
2.1.1 The elasto-plastic bending of the beam	10
2.1.2 The distribution of residual stress in the beam section	16
2.1.3 The plastic deformation region and the curvature distribution of simple beam bended	17
2.1.4 The process and the geometrical relation of plate roll-bended	20
2.1.5 The distribution plastic deformation region of plate roll-bended	22
2.1.6 Мошинин formulae	25
2.1.7 The deformation characteristic of sections plastic bending	29
2.1.8 The spring back auto-controlled model of sections bended	36
2.2 The mechanics of hull pipes cold-bended	41
2.2.1 The bending stress analysis of pipes cold-bended	41
2.2.2 The bending moment and bending force of pipes cold-bended	45
2.2.3 The recurrent magnitude calculation of pipes cold-bended	47
2.2.4 The minimum bend radius of pipes cold-bended	49
2.2.5 The spring back and elongation regular of pipe bended in the wrapping pipe bender	51
References	54
Chapter 3 Mechanics of the process of the hull curve plate forming by line	

heating	55
3.1 Summary	55
3.1.1 Characteristics of the process of the hull curve plate forming by line heating	55
3.1.2 Improvement of the research at home and abroad	58
3.2 Thermal conduction of the process of plate forming by line heating	60
3.2.1 Characteristics of the thermal conduction of plate forming by line heating	60
3.2.2 Quasi-steady temperature field	61
3.2.3 Transient temperature field of plate forming by line heating ...	67
3.3 Thermal-elasto-plastic analysis of plate forming by Line heating	75
3.3.1 The mechanical behavior of plate forming by line heating	75
3.3.2 Finite element analysis of the thermal-elasto-plastic analysis of plate forming by line heating	77
References	85
Chapter 4 The welding mechanics in shipbuilding	88
4.1 The mechanics of the construction welding	88
4.1.1 The type of welded joint	88
4.1.2 The welding residual stress and deformation	90
4.1.3 The research progress in the welding residual stress and deformation	104
4.1.4 The method of removing the welding residual stress	105
4.1.5 The method of controlling the welding residual deformation	109
4.1.6 The count of the joint strength	113
4.2 The fracture mechanics of the welded construction	129
4.2.1 The characteristics of brittle fracture and effected factors	129
4.2.2 The design criterion of avoiding fracture and testing methods	131
4.2.3 The characteristics of welded construction and effecting factors on fracture	139
4.2.4 The methods of avoiding brittle fracture	150
4.3 The assessment for using the welded construction of hull with safety	152