



# 船舶与海洋平台专业设计软件开发

Software Development of Ship and Platform Design

于雁云 林 焰 著



科学出版社

船舶与海洋结构物先进设计方法

# 船舶与海洋平台专业设计 软件开发

Software Development of Ship and Platform Design

于雁云 林 焰 著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书主要研究船舶与海洋平台设计软件的开发原理、算法与开发技术。全书共 10 章:第 1 章为绪论;第 2 章介绍船体型线与船体曲面设计软件开发技术;第 3 章介绍基于三维切片模型的船舶静水力特性计算方法;第 4 章介绍船舶装载稳性与总纵弯曲强度校核软件开发技术;第 5 章介绍船舶与海洋平台有限元分析软件开发技术;第 6 章论述基于参数化技术的船体结构有限元软件开发技术;第 7 章论述海洋平台总体设计软件开发技术;第 8 章论述船舶浮态与船体变形耦合分析及其软件开发技术;第 9 章论述船舶与海洋平台结构优化设计方法与软件开发技术;第 10 章为总结与展望。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程领域相关专业本科生、研究生的教学用书,也可作为相关领域科研人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶与海洋平台专业设计软件开发=Software Development of Ship and Platform Design/于雁云,林焰著. —北京:科学出版社,2016  
(船舶与海洋结构物先进设计方法)  
ISBN 978-7-03-049768-0

I. ①船… II. ①于…②林… III. ①海上平台-设计软件-软件开发  
IV. ①TE951-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 209962 号

责任编辑:裴 育 陈 婕 / 责任校对:郭瑞芝  
责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2016 年 9 月第一次印刷 印张:25 1/2

字数:514 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## “船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书编委会

名誉主编:纪卓尚(大连理工大学)

主 编:林 焰(大连理工大学)

副 主 编:刘祖源(武汉理工大学)

何炎平(上海交通大学)

陈超核(华南理工大学)

冯 峰(哈尔滨工程大学)

金良安(中国人民解放军海军大连舰艇学院)

秘 书:于雁云(大连理工大学)

裴 育(中国科技出版传媒股份有限公司)

编 委:(按姓氏汉语拼音排序)

蔡琰先(中国船级社)

陈 明(大连理工大学)

陈 武(集美大学)

湛志新(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)

管伟元(中国船舶工业集团公司第七〇八研究所)

蒋志勇(江苏科技大学)

李玉平(中远造船工业公司)

李忠刚(中船重工船舶设计研究中心有限公司)

陆 晟(上海船舶研究设计院)

马 坤(大连理工大学)

盛苏建(中海油能源发展股份有限公司)

王和文(中国人民解放军军事交通运输研究所)

王立真(中国船级社)

谢新连(大连海事大学)

谢永和(浙江海洋大学)

詹树明(中远船务工程集团有限公司)

战希臣(中国人民解放军海军航空工程学院)

张维英(大连海洋大学)

## “船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书序

船舶与海洋结构物设计是船舶与海洋工程领域的重要组成部分,包括设计理论、原理、方法和技术应用等研究范畴。其设计过程是从概念方案到基本设计和详细设计;设计本质是在规范约束条件下最大限度地满足功能性要求的优化设计;设计是后续产品制造和运营管理的基础,其目标是船舶与海洋结构物的智能设计。“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书面向智能船舶及绿色环保海上装备开发的先进设计技术,从数字化全生命周期设计模型技术、参数化闭环设计优化技术、异构平台虚拟现实技术、信息集成网络协同设计技术、多学科交叉融合智能优化技术等方面,展示了智能船舶的设计方法和设计关键技术。

(1) 船舶设计及设计共性基础技术研究。针对超大型船舶、极地航行船舶、液化气与化学品船舶、高性能船舶、特种工程船和渔业船舶等进行总体设计和设计技术开发,对其中的主要尺度与总体布置优化、船体型线优化、结构形式及结构件体系优化、性能优化等关键技术进行开发研究;针对国际新规范、新规则和新标准,对主流船型进行优化和换代开发,进行船舶设计新理念及先进设计技术研究、船舶安全性及风险设计技术研究、船舶防污染技术研究、舰船隐身技术研究等;提出面向市场、顺应发展趋势的绿色节能减排新船型,达到安全、经济、适用和环保要求,形成具有自主特色的船型研发能力和技术储备。

(2) 海洋结构物设计及设计关键技术研究。开展海洋工程装备基础设计技术研究,建立支撑海洋结构物开发的基础性设计技术平台,开展深水工程装备关键设计技术研究;针对浮式油气生产和储运平台、新型多功能海洋自升式平台、巨型导管架平台、深水半潜式平台和张力腿平台进行技术设计研究;重点研究桩腿、桩靴和固桩区承载能力,悬臂梁结构和极限荷载能力,拖航、系泊和动力定位,主体布置优化等关键设计技术。

(3) 数字化设计方法研究与软件系统开发。研究数字化设计方法理论体系,开发具有自主知识产权的船舶与海洋工程设计软件系统,以及实现虚拟现实的智能化船舶与海洋工程专业设计软件;进行造船主流软件的接口和二次开发,以及船舶与海洋工程设计流程管理软件系统的开发;与 CCS 和航运公司共同进行船舶系统安全评估、管理软件和船舶技术支持系统的开发;与国际专业软件开发公司共同进行船舶与海洋工程专业设计软件的关键开发技术研究。

(4) 船舶及海洋工程系统分析与海上安全作业智能系统研制。开展船舶运输系统分析,确定船队规划和经济适用船型;开展海洋工程系统论证和分析,确定海

洋工程各子系统的组成体系和结构框架;进行大型海洋工程产品模块提升、滑移、滚装及运输系统的安全性分析和计算;进行水面和水下特殊海洋工程装备及组合体的可行性分析和技术设计研究;以安全、经济、环保为目标,进行船舶及海洋工程系统风险分析与决策规划研究;在特种海上安全作业产品配套方面进行研究和开发,研制安全作业的智能软硬件系统;开展机舱自动化系统、装卸自动化系统关键技术和 LNG 运输及加注船舶的 C 型货舱系统国产化研究。

本丛书体系完整、结构清晰、理论深入、技术规范、方法实用、案例翔实,融系统性、理论性、创造性和指导性于一体。相信本丛书必将为船舶与海洋结构物设计领域的工作者提供非常好的参考和指导,也为船舶与海洋结构物的制造和运营管理提供技术基础,对推动船舶与海洋工程领域相关工作的开展也将起到积极的促进作用。

衷心地感谢丛书作者们的倾心奉献,感谢所有关心本丛书并为之出版尽力的专家们,感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助,感谢广大读者对丛书的厚爱!



大连理工大学

2016 年 8 月

## 前 言

船舶、海洋平台等浮式海洋结构物是人类探索和利用海洋资源的必要装备,担负着海上运输、海洋资源勘探与开发等重要任务,对推动社会经济发展、保护海洋生态环境、维护国家海洋权益等具有重要意义。人类设计与建造浮式结构物可以追溯到新石器时代。早在 5000~9000 年前,人类制造的独木舟即为浮式结构物的最初形式。早期的浮式结构物功能相对简单,主要凭借经验完成设计与建造。18 世纪中期,法国的天文学家布盖尔(Bouguer)和俄国彼得堡科学院院士欧拉(Euler)提出了船舶的浮性理论,创立了船舶原理科学。19 世纪初,英国物理学家托马斯·杨(Thomas Young)提出了船舶总强度准则,之后,基于科学计算的船舶设计体系逐渐发展起来,结束了数千年的纯经验设计模式。科学设计理论体系的建立,推动船舶与海洋平台向大型化、多样化方向迅速发展。

随着人类赋予船舶与海洋平台的使命越来越复杂,以及对海洋工程安全性和海洋环境保护的要求逐年提高,船舶与海洋平台设计所涉及的内容越来越广泛,设计工作越来越复杂。为完成复杂的设计任务,客观上要求有专业的高效设计工具。20 世纪 40 年代第一台电子计算机诞生之后,计算机技术被迅速应用至船舶设计与制造领域。早在 50 年代初,美国就出现了船舶静水力计算程序。60 年代初期,计算机辅助设计(CAD)技术诞生,并逐步应用于船舶与海洋平台设计。70 年代之后,出现了大量船舶专业 CAD 软件系统,计算机辅助绘图、专业软件计算逐渐取代了画板和计算尺等计算工具,改变了传统的设计模式,使设计效率与设计质量有了质的飞跃。此外,70 年代之后,计算机硬件技术的飞速发展使得有限元、边界元等数值计算方法在工程中广泛应用成为可能,随后出现了大量计算机辅助工程(CAE)软件,并广泛用于船舶与海洋平台设计中,解决了浮体的运动响应与载荷计算、结构力学响应分析等设计问题。CAE 软件的普及应用对优化船舶与海洋平台的性能、提高结构安全性起到关键性作用。

本书系统阐述曲面造型、实体造型、参数化造型等 CAD 技术,以及各种优化设计方法在船舶与海洋平台设计中的应用,探讨船舶与海洋平台 CAD/CAE 一体化实现途径与关键算法,研究运用新理念、新方法与新技术开发专业设计软件,以提高船舶与海洋平台的设计效率与设计质量。

本人自 2003 年开始从事船舶与海洋平台专业设计软件理论与算法研究工作,相关研究成果已在国内外期刊中发表多篇学术论文,并先后负责开发船体型线设计软件、船体曲面设计软件、参数化船体结构有限元分析软件、自升式钻井平台参

数化设计软件、船舶建造精度分析软件等多套实用专业软件系统,所开发的软件已在船级社、船厂、船公司以及高校中推广应用。上述软件的开发经验是完成本书的实践基础,书中阐述的设计方法、核心算法与关键技术均经过软件验证,通过大量工程实践证明了其正确性与实用性。对于型线设计、静水力计算、装载稳性计算、空间杆梁结构有限元分析及结构尺寸优化方法等内容,附录中给出程序设计实例,供读者参考。

本书由本人执笔,林焰主审,其出版得到国家自然科学基金项目(5140090324)、辽宁省教育厅科学技术研究项目(L2013037)、工信部高技术船舶科研项目(财政部[2014]498)、大连市科技计划项目优秀青年科技人才基金(2013J21DW013)资助。

在本书的出版过程中,得到纪卓尚教授、陈明副教授的悉心指导,同时得到大连理工大学船舶工程学院多位教师的热心帮助;林焰教授与本人的多位已毕业或在职研究生在相关的软件测试中做了大量工作,并给出建设性建议,在此一并致以深切的谢意。

同时,感谢我的妻子、父母和岳父岳母对我工作的理解与支持,有了他们的鼓励我才能顺利完成本书的创作。

限于本人的学识水平,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

于雁云  
2016年2月



# 目 录

## “船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书序

### 前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                 | 1  |
| 1.1 船舶与海洋平台设计问题概述 .....        | 1  |
| 1.1.1 设计任务的复杂性 .....           | 1  |
| 1.1.2 螺旋上升式设计过程 .....          | 2  |
| 1.1.3 设计任务的高度重复性 .....         | 3  |
| 1.2 研究专业软件开发的必要性 .....         | 5  |
| 1.2.1 发展民族工业的需要 .....          | 5  |
| 1.2.2 弥补商业软件的不足 .....          | 6  |
| 1.2.3 优化设计的客观要求 .....          | 8  |
| 1.3 CAD 技术在船舶与海洋平台设计中的应用 ..... | 9  |
| 1.3.1 二维线框模型 .....             | 9  |
| 1.3.2 三维线框模型 .....             | 10 |
| 1.3.3 三维表面模型 .....             | 11 |
| 1.3.4 自由实体造型技术 .....           | 13 |
| 1.3.5 参数化技术 .....              | 15 |
| 1.4 广义参数化设计方法概述 .....          | 16 |
| 1.4.1 程序参数化设计方法 .....          | 16 |
| 1.4.2 基于构造历史的参数化设计方法 .....     | 17 |
| 1.4.3 基于几何约束求解的参数化设计方法 .....   | 17 |
| 1.5 船舶与海洋平台软件开发概述 .....        | 18 |
| 1.5.1 船舶与海洋平台 CAD 技术的特点 .....  | 18 |
| 1.5.2 船舶与海洋平台设计软件开发模式 .....    | 19 |
| 1.5.3 船舶与海洋平台专业软件开发基本要求 .....  | 23 |
| 参考文献 .....                     | 24 |
| 第 2 章 船舶型线与曲面设计软件开发 .....      | 26 |
| 2.1 样条曲线理论及其关键算法 .....         | 26 |

|       |                                       |    |
|-------|---------------------------------------|----|
| 2.1.1 | 样条曲线理论及其在船舶型线设计中的应用 .....             | 27 |
| 2.1.2 | 样条曲线求交算法 .....                        | 29 |
| 2.1.3 | 样条曲线插值算法 .....                        | 31 |
| 2.1.4 | 样条曲线积分算法 .....                        | 32 |
| 2.2   | 二维船体型线设计方法 .....                      | 34 |
| 2.2.1 | 二维型线设计模型 .....                        | 34 |
| 2.2.2 | 船体曲面与平面交线计算方法 .....                   | 35 |
| 2.2.3 | 插值计算横剖面、纵剖面与肋骨型线 .....                | 38 |
| 2.2.4 | 点的排序算法 .....                          | 39 |
| 2.2.5 | 型线中折角线的处理 .....                       | 40 |
| 2.3   | 样条曲线的折线表达方法 .....                     | 43 |
| 2.3.1 | 曲线转折线的参数等分转化法 .....                   | 43 |
| 2.3.2 | 曲线转折线的基于曲率转化法 .....                   | 43 |
| 2.3.3 | 两种转化法效果对比 .....                       | 44 |
| 2.4   | 三维船体型线设计 .....                        | 45 |
| 2.4.1 | 船体型线三维设计软件开发概述 .....                  | 45 |
| 2.4.2 | 空间折线与任意平面交线计算 .....                   | 46 |
| 2.4.3 | 船体曲面与任意平面交线计算 .....                   | 47 |
| 2.4.4 | 横剖面、纵剖面与半宽水线插值算法 .....                | 48 |
| 2.4.5 | 三维型线模型转换为二维型线图 .....                  | 49 |
| 2.5   | 母型船改造法船体型线设计 .....                    | 50 |
| 2.5.1 | 1- $C_p$ 法型线设计方法及关键技术 .....           | 50 |
| 2.5.2 | 满足 $C_p$ 与 LCB 要求的 SAC 曲线迭代计算方法 ..... | 51 |
| 2.5.3 | 型线变换方法 .....                          | 52 |
| 2.6   | 船体曲面及其设计方法 .....                      | 53 |
| 2.6.1 | 船体曲面表达概述 .....                        | 53 |
| 2.6.2 | 船体曲面整体表达法 .....                       | 55 |
| 2.7   | 船体型线设计程序设计 .....                      | 58 |
| 2.7.1 | 型线设计模型 .....                          | 58 |
| 2.7.2 | 程序的数据结构 .....                         | 61 |
| 2.7.3 | 主要函数及其功能说明 .....                      | 62 |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 2.8 小结 .....                         | 63        |
| 参考文献 .....                           | 64        |
| <b>第3章 船舶静水力特性计算软件开发</b> .....       | <b>65</b> |
| 3.1 浮体模型的切片表达 .....                  | 65        |
| 3.1.1 水线面边界平面模型建立方法 .....            | 66        |
| 3.1.2 横剖面边界平面模型建立方法 .....            | 67        |
| 3.2 平面闭合连通域属性计算方法 .....              | 69        |
| 3.2.1 平面闭合连通域属性计算 .....              | 69        |
| 3.2.2 由折线段构成的闭合连通域属性计算 .....         | 70        |
| 3.2.3 多连通域与复连通域问题 .....              | 74        |
| 3.2.4 任意平面曲线构成的连通域属性计算 .....         | 75        |
| 3.2.5 商业软件中的边界平面 .....               | 76        |
| 3.3 基于边界平面模型的静水力曲线计算 .....           | 76        |
| 3.4 基于边界平面模型的邦戎曲线计算 .....            | 78        |
| 3.4.1 基于二维横剖线计算邦戎曲线 .....            | 78        |
| 3.4.2 基于横剖面边界平面计算邦戎曲线 .....          | 79        |
| 3.5 基于边界平面模型的稳性插值曲线计算 .....          | 80        |
| 3.5.1 船舶正浮稳性插值曲线计算 .....             | 81        |
| 3.5.2 带有纵倾的稳性插值曲线计算 .....            | 83        |
| 3.6 特殊船舶的静水力特性计算 .....               | 84        |
| 3.7 船舶静水力特性计算程序设计 .....              | 87        |
| 3.7.1 程序的数据结构 .....                  | 87        |
| 3.7.2 主要函数及其功能说明 .....               | 88        |
| 3.7.3 文件接口 .....                     | 89        |
| 3.8 小结 .....                         | 90        |
| 参考文献 .....                           | 91        |
| <b>第4章 船舶装载稳性及总纵弯曲强度校核软件开发</b> ..... | <b>92</b> |
| 4.1 船舶装载稳性计算 .....                   | 92        |
| 4.1.1 计入纵倾的静稳性曲线计算方法 .....           | 92        |
| 4.1.2 完整稳性与破舱稳性衡准 .....              | 94        |
| 4.2 船体梁剪力与弯矩计算 .....                 | 94        |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 4.2.1      | 船舶载荷分布曲线计算方法            | 95         |
| 4.2.2      | 浮力分布曲线计算方法              | 100        |
| 4.2.3      | 剪力弯矩分布曲线计算方法            | 104        |
| 4.2.4      | 剪力弯矩分布曲线精确计算公式          | 105        |
| 4.3        | 船舶装载计算程序设计              | 106        |
| 4.3.1      | 程序的数据结构                 | 106        |
| 4.3.2      | 船舶装载计算模型定义              | 107        |
| 4.3.3      | 主要函数及其功能说明              | 108        |
| 4.4        | 船体结构横剖面属性计算             | 109        |
| 4.4.1      | 船体结构横剖面属性计算模型           | 109        |
| 4.4.2      | 横剖面属性计算原理               | 111        |
| 4.4.3      | 横剖面属性计算算法               | 112        |
| 4.5        | 船体总纵强度弯曲应力计算及显示         | 113        |
| 4.5.1      | 弯曲应力计算与校核               | 113        |
| 4.5.2      | 应力云图显示原理                | 114        |
| 4.5.3      | 弯曲应力计算与应力云图绘制           | 114        |
| 4.6        | 船舶总纵强度计算程序设计            | 117        |
| 4.6.1      | 计算模型定义                  | 117        |
| 4.6.2      | 程序的数据结构                 | 117        |
| 4.6.3      | 主要函数及其功能说明              | 118        |
| 4.7        | 小结                      | 118        |
|            | 参考文献                    | 119        |
| <b>第5章</b> | <b>船舶与海洋平台有限元分析软件开发</b> | <b>120</b> |
| 5.1        | 船舶与海洋平台结构有限元分析的特点       | 120        |
| 5.2        | 船体结构有限元分析软件开发基本原理       | 122        |
| 5.2.1      | 通用有限元软件二次开发的基本模式        | 122        |
| 5.2.2      | 宏语言层船舶与海洋平台有限元软件开发基本流程  | 123        |
| 5.3        | 空间杆梁结构有限元前处理程序设计        | 125        |
| 5.3.1      | 结构的定义及结构建模              | 126        |
| 5.3.2      | 有限元软件接口文件               | 126        |
| 5.3.3      | 有限元软件的调用                | 127        |

---

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 5.3.4 | 程序应用 .....              | 128 |
| 5.3.5 | 有限元模型的三维显示 .....        | 129 |
| 5.4   | 空间杆梁结构有限元后处理程序设计 .....  | 130 |
| 5.4.1 | 后处理模块的数据结构设计 .....      | 131 |
| 5.4.2 | 应力与变形的提取分析 .....        | 131 |
| 5.4.3 | 空间杆梁屈曲强度计算 .....        | 136 |
| 5.4.4 | 材料利用系数图 .....           | 137 |
| 5.5   | 空间杆梁结构有限元分析程序设计 .....   | 138 |
| 5.5.1 | 程序的全局变量设置 .....         | 139 |
| 5.5.2 | 主要函数及其功能说明 .....        | 139 |
| 5.6   | 面向过程与面向对象软件开发模式 .....   | 141 |
| 5.7   | 小结 .....                | 145 |
|       | 参考文献 .....              | 146 |
| 第6章   | 船体结构参数化有限元软件开发 .....    | 147 |
| 6.1   | 船体结构三维有限元软件概述 .....     | 147 |
| 6.2   | 船体结构参数化建模 .....         | 149 |
| 6.2.1 | 平面加筋板的参数化模型及其驱动机制 ..... | 150 |
| 6.2.2 | 参数化加筋板模型的数据结构 .....     | 152 |
| 6.2.3 | 板格模型的建立 .....           | 155 |
| 6.2.4 | 最小回路搜索算法及其应用 .....      | 155 |
| 6.2.5 | 船体曲面建模 .....            | 161 |
| 6.2.6 | 建立船体结构有限元模型 .....       | 165 |
| 6.3   | 舱室与载况定义 .....           | 166 |
| 6.3.1 | 舱室板类与载荷类 .....          | 166 |
| 6.3.2 | 舱室类与舱室状态类 .....         | 167 |
| 6.3.3 | 载况类 .....               | 168 |
| 6.4   | 船体结构有限元前处理模型 .....      | 169 |
| 6.5   | 船体结构屈服强度评估 .....        | 170 |
| 6.5.1 | 应力提取与存储 .....           | 171 |
| 6.5.2 | 单元的分组显示 .....           | 173 |
| 6.5.3 | 组合工况及其应用 .....          | 176 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 6.5.4 材料利用系数图 .....            | 176        |
| 6.6 船体结构屈曲强度评估 .....           | 177        |
| 6.6.1 板格模型的建立 .....            | 178        |
| 6.6.2 板格应力的提取 .....            | 179        |
| 6.6.3 屈曲利用因子图 .....            | 180        |
| 6.7 船体结构参数化有限元软件的数据结构 .....    | 181        |
| 6.8 小结 .....                   | 181        |
| 参考文献 .....                     | 182        |
| <b>第7章 海洋平台总体设计软件开发 .....</b>  | <b>183</b> |
| 7.1 海洋平台设计中的特殊性 .....          | 183        |
| 7.2 海洋平台主结构参数化建模 .....         | 185        |
| 7.2.1 主结构草图 .....              | 185        |
| 7.2.2 主结构参数化模型 .....           | 194        |
| 7.3 参数化分舱及舱室数据结构定义 .....       | 196        |
| 7.3.1 舱室的参数化模型 .....           | 197        |
| 7.3.2 特殊舱室的定义 .....            | 202        |
| 7.3.3 舱室模型的数据结构 .....          | 202        |
| 7.3.4 舱容要素的计算方法 .....          | 203        |
| 7.4 三维参数化总布置设计 .....           | 204        |
| 7.5 波浪载荷计算 .....               | 207        |
| 7.5.1 波浪载荷数据结构 .....           | 207        |
| 7.5.2 线性波理论 .....              | 208        |
| 7.5.3 五阶 Stokes 波理论 .....      | 209        |
| 7.5.4 基于 Morison 方程的载荷计算 ..... | 214        |
| 7.6 基于三维浮体模型的静水力特性计算 .....     | 215        |
| 7.6.1 静水力曲线计算 .....            | 217        |
| 7.6.2 稳性插值曲线计算 .....           | 219        |
| 7.6.3 进水角曲线计算 .....            | 228        |
| 7.6.4 浮体参数化模型 .....            | 234        |
| 7.7 海洋平台自由浮态计算方法 .....         | 235        |
| 7.7.1 目标函数 .....               | 236        |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 7.7.2 优化策略 .....                     | 237        |
| 7.7.3 算例分析 .....                     | 239        |
| 7.8 海洋平台完整稳性计算 .....                 | 241        |
| 7.8.1 假定风力矩方向角下静稳性曲线计算 .....         | 241        |
| 7.8.2 任意风力矩方向角静稳性校核 .....            | 242        |
| 7.9 海洋平台破舱稳性计算关键问题 .....             | 243        |
| 7.10 海洋平台的载况与工况 .....                | 245        |
| 7.10.1 舱室状态与设备状态定义 .....             | 245        |
| 7.10.2 载况与工况定义 .....                 | 246        |
| 7.11 海洋平台参数化总体设计模型 .....             | 247        |
| 7.11.1 参数化模型的构成 .....                | 247        |
| 7.11.2 参数化模型的参数驱动机制 .....            | 248        |
| 7.11.3 总体设计软件的核心数据结构 .....           | 249        |
| 7.12 小结 .....                        | 250        |
| 参考文献 .....                           | 251        |
| <b>第8章 船舶浮态与船体变形耦合分析及其软件开发 .....</b> | <b>252</b> |
| 8.1 船体结构变形与浮态精确计算的意义与必要性 .....       | 252        |
| 8.2 浮态与船体变形耦合迭代求解方法 .....            | 255        |
| 8.2.1 迭代求解方法基本流程 .....               | 256        |
| 8.2.2 迭代求解方法数值算例 .....               | 259        |
| 8.2.3 迭代求解方法的收敛性与效率分析 .....          | 260        |
| 8.3 浮态与船体变形耦合有限元分析法 .....            | 262        |
| 8.3.1 计入结构变形的浮态平衡方程及其离散化 .....       | 262        |
| 8.3.2 计入浮力的单元刚度矩阵 .....              | 263        |
| 8.3.3 总体刚度矩阵及总体平衡方程 .....            | 269        |
| 8.3.4 应用及程序设计基本流程 .....              | 270        |
| 8.3.5 浮力单元的确定及修正算法 .....             | 271        |
| 8.3.6 应用数值算例 .....                   | 273        |
| 8.3.7 算法的正确性验证 .....                 | 275        |
| 8.4 浮态与船体变形耦合作用对船舶设计的影响 .....        | 281        |
| 8.4.1 15000t 下水工作船 .....             | 281        |

|             |                                   |            |
|-------------|-----------------------------------|------------|
| 8.4.2       | 75000DWT 原油船 .....                | 283        |
| 8.4.3       | 浮态与船体变形耦合作用对船舶设计的影响分析 .....       | 284        |
| 8.5         | 小结 .....                          | 285        |
|             | 参考文献 .....                        | 285        |
| <b>第9章</b>  | <b>船舶与海洋平台结构优化设计方法与软件开发 .....</b> | <b>288</b> |
| 9.1         | 结构尺寸优化设计方法及程序实现 .....             | 288        |
| 9.1.1       | 空间杆梁结构尺寸优化设计基本原理 .....            | 289        |
| 9.1.2       | 空间杆梁结构尺寸优化模型 .....                | 289        |
| 9.1.3       | 空间杆梁结构尺寸优化模型的求解过程 .....           | 290        |
| 9.1.4       | 结构尺寸优化算例分析 .....                  | 291        |
| 9.2         | 船体结构形状优化设计方法 .....                | 292        |
| 9.2.1       | 船体结构形状优化设计方法概述 .....              | 293        |
| 9.2.2       | 网格变换的基本原理 .....                   | 296        |
| 9.2.3       | 网格变换的基本流程 .....                   | 302        |
| 9.2.4       | 结构应力变化连续性分析 .....                 | 304        |
| 9.2.5       | 基于网格变换法的结构形状优化设计 .....            | 308        |
| 9.2.6       | 基于网格变换法结构形状优化的特点 .....            | 311        |
| 9.3         | 船舶内壳板形状优化设计方法 .....               | 311        |
| 9.3.1       | 船舶内壳板形状优化的意义 .....                | 312        |
| 9.3.2       | 船舶内壳板形状优化设计模型 .....               | 313        |
| 9.3.3       | 船舶内壳板形状优化模型求解 .....               | 316        |
| 9.3.4       | 船舶内壳板形状优化设计工程算例 .....             | 318        |
| 9.3.5       | 船舶内壳板形状优化特点与适用范围分析 .....          | 322        |
| 9.4         | 小结 .....                          | 323        |
|             | 参考文献 .....                        | 324        |
| <b>第10章</b> | <b>总结与展望 .....</b>                | <b>326</b> |
| <b>附录1</b>  | <b>本书中相关工程实例资料 .....</b>          | <b>334</b> |
| <b>附录2</b>  | <b>五阶 Stokes 波理论相关公式 .....</b>    | <b>341</b> |
| <b>附录3</b>  | <b>程序函数定义及说明 .....</b>            | <b>343</b> |



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 船舶与海洋平台设计问题概述

### 1.1.1 设计任务的复杂性

船舶与海洋平台是作业于海上的大型浮式海洋结构物,担负着海洋资源勘探、海上运输、海上施工、海上潜水作业、生活服务、海上抢险救助及海洋调查等重要任务。对于这类海洋结构物,产品的性能取决于设计与建造两个环节,其中设计环节尤为关键。船舶与海洋平台的设计是一项复杂的系统工程,为保证产品的正常营运与作业,设计中需要充分考虑其功能性、安全性、经济性、节能减排、绿色环保、舒适性及人性化等多方面要求。

第一,为保证运输、作业等需要,船舶与海洋平台的设计方案必须满足其功能性要求,如船舶要有足够的载重量、航速和续航力,海洋平台要具有足够的可变载荷能力、作业水深、舱容和甲板面积等。功能性要求是设计的出发点,船舶与海洋平台的基本形式与主要尺度均首先要考虑其功能性要求。

第二,船舶与海洋平台的航行与作业环境条件通常非常恶劣。为保证船体、设备及工作人员的生命安全,船舶与海洋平台必须具有足够的安全性,包括结构强度、完整稳性、抗沉性等,同时总体布置应满足防火、消防与逃生等各类要求。各国船级社规范、海事局、国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)等制定详细的规范、公约或者规则对各类船舶与海洋平台的安全性提出明确要求,如结构统一规范(Common Structural Rules, CSR)<sup>[1,2]</sup>、IMO 的《国际完整稳性规则》<sup>[3]</sup>、国际海上人命安全公约(International Convention for Safety of Life At Sea, SOLAS)<sup>[4]</sup>、我国的《国内航行海船法定检验技术规则》<sup>[5]</sup>等。船舶与海洋平台的设计方案需要满足上述规范、公约或者规则的相关要求。

第三,作为一类典型的工业产品,船舶与海洋平台应满足经济性要求,设计中应充分论证产品的经济性,使产品达到一定的投资收益率,通常要求在营运后若干年内收回建造成本。对于非营运船舶,如军舰、执法船及科考船等,所创造的经济价值难以衡量,但仍然需要保证投入与产品性能的比值在合理范围内。

第四,随着气候变暖,地球资源逐年耗竭,环境污染等全球性问题的日益严峻,以低能耗、低排放、低污染为基础的低碳经济逐渐成为全球经济发展的主要模式。