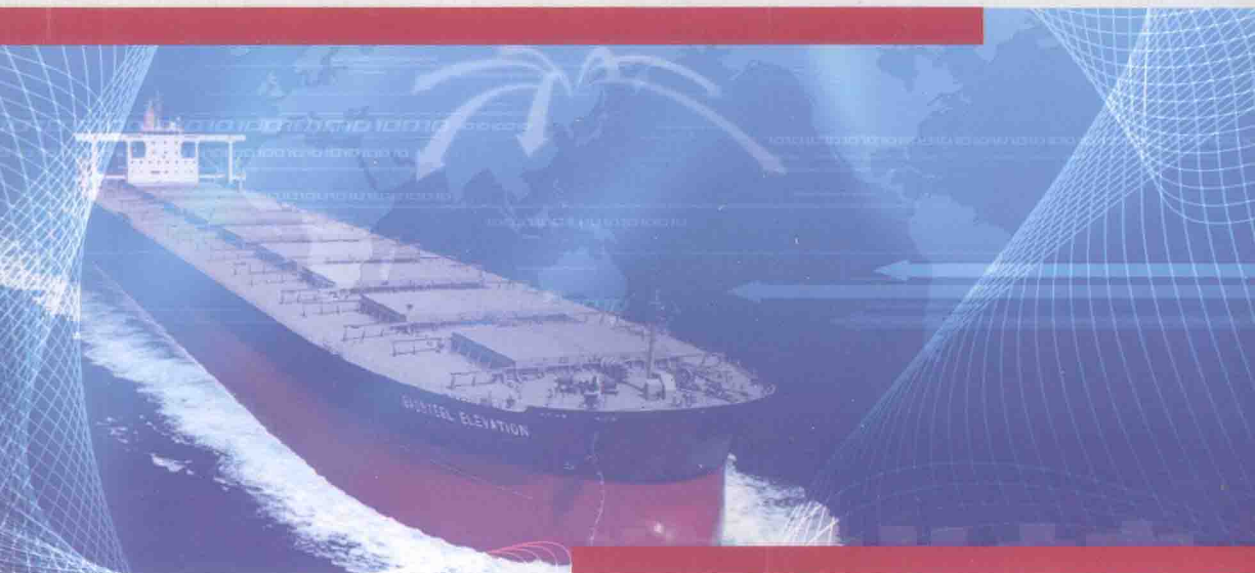




船舶与浮式海洋 结构物参数化设计

Parametric Design of Ship and Floating Ocean Structure

◎于雁云 林焰 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

船舶与浮式海洋结构物



参数化设计

于雁云 林焰 著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了三维参数化技术在船舶、海洋平台等浮式海洋结构物设计中的应用,提出了基于参数化技术的船体曲面设计、分舱与布置、浮性与稳性、结构建模、结构有限元前处理及结构优化设计等总体设计的基本理论与方法。书中重点研究两方面问题,一是构造尺度驱动的浮式海洋结构物参数化模型,二是建立基于三维参数化模型的浮式海洋结构物设计方法。提出了由船体曲面、主要结构型表面、浮体、舱室、设备和结构6个参数化子模型组成的浮式海洋结构物参数化模型,解决了基于三维曲面和三维实体模型的各类性能计算方法,实现了浮式海洋结构物自上而下的设计流程。

本书可供船舶与海洋工程领域相关专业人员阅读,亦可供本科生、研究生和高校教师参考。书中提出的方法均通过编制软件加以验证,各种算法通过编程实现,并给出工程应用算例。

图书在版编目(CIP)数据

船舶与浮式海洋结构物参数化设计/于雁云,林焰
著. —北京:国防工业出版社,2014.3
ISBN 978-7-118-09341-4

I. ①船... II. ①于... ②林... III. ①海洋沉积
物—参数—设计 IV. ①P736.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第026126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100048)

北京嘉恒彩色印刷有限公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 13¼ 字数 231千字

2014年3月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价69.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

船舶与移动式海洋平台等浮式海洋结构物是人类设计、建造的尺度最大的移动式建筑物,是人类探索和利用海洋资源的必要装备,担负着海上运输与海洋资源勘探、开发等重要任务。从原始社会起,人类就能够建造竹筏、木筏和独木舟等运输工具,这些工具是浮式海洋结构物的最原始形式。设计是建造的基础,即使最原始的浮式海洋结构物的制造也存在设计过程,只是早期的设计是一种不自觉的行为,主要凭借建造者自己的或者前人传授的经验完成。此后,浮式海洋结构物的这种凭借经验的设计模式持续了几千年。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(Leonard 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)提出了船舶总强度的准则,此后基于科学计算的近代浮式海洋结构物设计方法逐渐发展起来,并沿用至今。随着人们赋予浮式海洋结构物的功能使命越来越复杂,以及对海洋工程安全性和海洋环境保护要求的逐年提高,浮式海洋结构物设计所涉及的内容越来越广泛,设计工作也越来越复杂。基于经典设计螺旋的传统设计方法虽然能够完成满足设计要求的设计方案,但是存在设计周期长、设计成本高和产品的优化设计困难等问题。

参数化设计是 20 世纪 60 年代提出的一种设计方法,由于其尺度驱动等良好的特性,80 年代中后期起参数化设计方法在机械设计、航空航天和汽车制造等工业领域中得到广泛的应用,是提高设计质量、缩短设计周期、降低设计成本的有效方法。但是,由于浮式海洋结构物的几何复杂性及其诸多功能性、安全性等要求,目前参数化设计方法在浮式海洋结构物设计中的应用非常有限,不能从根本上提高设计效率和设计质量。

针对上述问题,本书在对各类浮式海洋结构物设计以及通用的参数化设计方法深入研究分析的基础上,提出了一种基于参数化技术的浮式海洋结构物设计方法,以解决传统方法设计效率低、设计周期长等问题。该方法改变了传统的设计思路,采用自上而下的设计流程,基于统一的数据库建立尺度驱动的、可变性好、通用性强的浮式海洋结构物三维参数化模型,并在三维参数化模型的基础上提出各种性能计算方法,完成浮式海洋结构物的设计任务。

本书内容组织结构如下。第1章对几何造型技术、参数化技术及浮式海洋结构物设计中用到的几何造型技术等做概述。第2章提出了一种船体曲面参数化设计方法,解决了传统的船体型线设计中船型变换方法有限,船型局部修改困难及船型变换过程中光顺性难以保证等问题。基于三维 NURBS 曲面,采用统一的船型变换函数完成不同设计任务的船型设计,如整体变换、局部变换和 UV 度变换等。第3章探讨一种基于二维几何约束求解、三维特征造型的参数化设计方法,实现浮式海洋结构物主要结构型表面模型参数化设计。第4章研究基于参数化设计方法的浮式海洋结构物分舱与总布置设计问题,建立尺度驱动的分舱和总布置模型,基于三维模型完成相关的总体性能计算。第5章探讨浮式海洋结构物的浮体模型参数化建模以及基于三维模型的浮性和稳性计算问题,提出了基于参数化 B-Rep 浮体模型的浮式海洋结构物稳性通用计算方法,解决了传统的稳性计算方法通用性不好、精度不高和与前期设计(船体型线设计、分舱布置设计等)的关联性差等问题。第6章研究浮式海洋结构物的结构参数化建模问题,根据浮式海洋结构物类型和结构设计任务的不同,分别提出了基于几何约束求解、构造历史和程序参数化设计方法的三种参数化建模方法,并解决了基于参数化模型的浮式海洋结构物有限元前处理问题。第7章在参数驱动的结构模型及其有限元模型的基础上,提出浮式海洋结构物结构优化设计方法,包括结构尺寸优化设计和结构形状优化设计两种方法。综合运用两种方法,能够在全面考虑各种工况和载荷的前提下,实现浮式海洋结构物的结构优化设计。

本书可供船舶与海洋工程领域相关专业人员阅读,亦可供本科生、研究生和高校教师参考。本书由于雁云执笔,林焰主审。作者依托书中的研究内容发表了多篇学术论文^[1-9],提出的浮式海洋结构物参数化设计方法均通过编制软件加以验证,各种算法在软件中通过编程实现,并在实际工程中得到应用。

限于作者的学识水平,本书不完善的地方甚至错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

绪论	1
第 1 章 参数化设计方法概述	8
1.1 几何造型技术的发展历史	8
1.1.1 二维线框造型技术	8
1.1.2 三维线框造型技术	9
1.1.3 曲面造型技术	9
1.1.4 无约束实体造型技术	10
1.1.5 参数化技术	11
1.2 参数化设计方法的分类	12
1.2.1 程序参数化设计方法	12
1.2.2 基于构造历史的参数化设计方法	13
1.2.3 基于几何约束求解的参数化设计方法	14
1.2.4 混合式参数化设计方法	15
1.3 草图三要素	16
1.3.1 几何图元	16
1.3.2 几何约束	16
1.3.3 几何约束求解	18
1.4 特征造型实体造型技术	21
1.5 船舶与海洋结构物设计中常用的几何造型技术	22
第 2 章 船体曲面三维参数化设计方法	23
2.1 船体曲面表达	23
2.1.1 船体曲面整体表达法	24
2.1.2 船体曲面的分片表达	25
2.2 船体曲面参数化设计基本原理	29

2.2.1	传统的船舶线型设计方法	29
2.2.2	船体曲面光顺性准则	30
2.3	船型变换函数	30
2.4	船型变换函数光顺性证明	32
2.4.1	船型变换函数 C^2 连续性证明	32
2.4.2	船型变换函数满足光顺性准则(2)的证明	33
2.4.3	船型变换函数满足光顺性准则(3)的证明	34
2.5	变换函数的应用	34
2.6	船体曲面局部变换	34
2.6.1	首尾曲面局部修改	35
2.6.2	局部增加排水量	36
2.7	船体曲面整体变换	39
2.7.1	船体曲面整体线性变换(1 - C_p 法)	39
2.7.2	船体曲面二次变换(Lackenby 法)	41
2.8	船体曲面 UV 度变换	41
2.9	小结	43
第 3 章	浮式海洋结构物主结构型表面参数化设计	45
3.1	TSPS 参数化建模	46
3.2	TSPS 草图	46
3.2.1	几何图元	46
3.2.2	几何约束	47
3.2.3	过约束与欠约束处理	49
3.2.4	几何约束求解	50
3.3	基于特征造型法建立 TSPS 三维模型	51
3.4	海洋平台 TSPS 参数化设计	53
3.4.1	海洋平台 TSPS 草图	54
3.4.2	海洋平台 TSPS 三维模型	55
3.5	船舶 TSPS 参数化设计	56
3.5.1	船舶 TSPS 分类	56
3.5.2	船舶 TSPS 草图	57
3.5.3	船舶 TSPS 三维建模	60
3.6	浮船坞 TSPS 参数化设计	61

3.6.1	浮船坞 TSPS 草图	61
3.6.2	浮船坞 TSPS 参数化建模	63
3.7	小结	63
第 4 章	三维参数化总布置与分舱设计	65
4.1	实体造型技术	65
4.1.1	单元分解表示法	65
4.1.2	构造实体几何表示法 (CSG)	67
4.1.3	边界表达法	67
4.1.4	B-Rep 与 CSG 混合表达法	68
4.1.5	ACIS 三维几何造型内核	69
4.2	三维参数化总布置设计	70
4.2.1	总布置草图的几何约束求解系统	72
4.2.2	通过总布置草图调整设备的空间位置	73
4.3	三维参数化分舱	75
4.3.1	双层结构舱室模型	75
4.3.2	围成舱室的 B-Rep 曲面集建立	76
4.3.3	基于 ACIS 构造舱室 B-Rep	77
4.4	船舶参数化分舱优化设计方法	79
4.4.1	ISP 及舱室参数化模型	80
4.4.2	船舶参数化分舱优化设计优化模型	81
4.4.3	设计变量的分类	81
4.4.4	基于参数化技术的船舶分舱优化设计方法	81
4.4.5	油船参数化分舱优化设计方法	82
4.4.6	船舶内壳结构参数化优化设计特点	90
4.5	小结	90
第 5 章	三维参数化浮性与稳性计算方法	92
5.1	传统的完整稳性计算方法概述	92
5.1.1	基于插值法的自由浮态稳性计算方法	93
5.1.2	基于优化方法的自由浮态下稳性计算方法	93
5.1.3	传统稳性计算方法的局限性	94
5.2	浮体参数化建模	95

5.2.1	外部模型	95
5.2.2	内部模型	97
5.3	基于 B-Rep 的静水力特性计算	98
5.3.1	基于三维实体模型的静水力曲线计算	99
5.3.2	基于三维实体模型的稳性插值曲线计算	100
5.3.3	基于三维实体模型的邦戎曲线计算	101
5.4	基于三维浮体模型的复原力臂直接迭代算法	102
5.4.1	基于三维 B-Rep 浮体模型的复原力臂计算原理	102
5.4.2	复原力臂计算方法的正确性验证	103
5.5	基于三维浮体模型的静稳性曲线计算实例	105
5.5.1	50000 DWT 成品油船静稳性曲线计算	106
5.5.2	3000m 深水半潜式钻井平台静稳性曲线计算	107
5.5.3	300 英尺自升式钻井平台静稳性曲线计算	108
5.5.4	8 万 t 浮船坞静稳性曲线计算	109
5.6	基于 B-Rep 浮体模型的破舱稳性计算方法	110
5.6.1	传统破舱稳性计算方法	110
5.6.2	基于三维实体模型计算浮式海洋结构 物破舱稳性基本原理	111
5.6.3	基于 B-Rep 浮体模型的舱室破损后 静水力性能计算	112
5.6.4	基于 B-Rep 浮体模型的舱室破损后浮态计算	113
5.6.5	舱室破损后稳性计算	114
5.7	稳性曲面及其应用	114
5.7.1	静稳性曲面定义	115
5.7.2	静稳性曲面建立	115
5.7.3	静稳性曲面的性质	116
5.7.4	静稳性曲面应用	116
5.8	小结	118
第 6 章	船舶与海洋结构物结构参数化设计	119
6.1	浮式海洋结构物的结构表达	119
6.2	浮式海洋结构物结构参数化建模	120
6.3	船体结构程序参数化建模方法	121

6.3.1	船体结构功能模块定义	122
6.3.2	船体结构模型定义	124
6.3.3	参数的选取	126
6.3.4	程序结构参数化设计方法的特点	127
6.4	基于三维几何约束求解的船舶结构参数化设计	128
6.4.1	船舶结构参数化机制	128
6.4.2	三维几何约束求解	129
6.4.3	板材附属结构参数化建模	131
6.4.4	尺度驱动特性	132
6.4.5	基于三维几何约束求解的船体结构参数化 建模方法的特点	133
6.5	基于几何约束求解的结构参数化建模方法	133
6.5.1	板材的参数化建模	134
6.5.2	附属结构参数化建模	134
6.6	浮式海洋结构物结构三维模型的应用	135
6.6.1	三维参数化模型在船体结构属性计算中的应用	136
6.6.2	三维结构模型在管系及通风等系统设计中的应用	137
6.6.3	三维结构模型在结构 FEA 中的应用	138
6.7	结构有限元分析	138
6.7.1	传统的有限元前处理技术	138
6.7.2	基于参数化设计方法的船舶结构有限元前处理	140
6.7.3	两次划分的网格生成方法	141
6.7.4	初步网格划分	142
6.7.5	曲面板的初步网格划分	145
6.7.6	二次网格划分	149
6.8	小结	153
第 7 章	浮式海洋结构物参数化结构优化设计	154
7.1	浮式海洋结构物结构优化设计概述	154
7.1.1	浮式海洋结构物结构优化设计方法研究现状	155
7.1.2	结构尺寸优化方法	155
7.1.3	结构形状优化方法	156
7.2	浮式海洋结构物结构尺寸优化方法	156

7.2.1	相关概念	156
7.2.2	结构构件尺寸优化的优化模型	157
7.2.3	基于屈服强度和屈曲强度的结构尺寸优化方法	158
7.2.4	板缝分布优化设计	160
7.2.5	板缝分布优化方法	161
7.2.6	对规范尺度的考虑	163
7.2.7	62000DWT 散货船尺寸优化设计算例	165
7.2.8	结构尺寸优化方法的特点	171
7.3	浮式海洋结构物参数化结构形状优化设计	171
7.3.1	参数化结构形状优化的优化模型	172
7.3.2	优化方法的选择	173
7.3.3	浮式海洋结构物结构形状优化设计流程	175
7.3.4	参数化结构形状优化设计实例	175
7.4	小结	178
结语		179
附录 A		181
附录 B		183
参考文献		194

绪 论

船舶、移动式海洋平台、浮船坞、FPSO、FLNG 等漂浮于水上的大型钢制海洋结构物统称为浮式海洋结构物。浮式海洋结构物是人类利用海洋运输,勘探与开发海洋资源的必要装备。与普通的钢制结构物不同,浮式海洋结构物并非一个简单的大型钢制结构物,而是一个复杂的系统,其设计要同时满足功能性、安全性、经济性、节能环保和舒适性等多项性能的要求。

(1) 功能性要求。为保证设计功能的发挥,浮式海洋结构物的设计首先必须满足其功能性的要求,即设计产品要能够完成设计任务书中规定的所有任务。例如,对于营运船舶,其建造目的是在规定的时间内将一定量的货物从一个港口运送到另外一个港口。所以营运船要有足够的载重量,同时航速和续航力等也要满足运输的要求。对于移动式钻井平台,海上钻井是其主要的任务,所以移动式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,以保证在设计任务中规定的各种条件下钻井作业的顺利进行。功能性要求通常决定了浮式海洋结构物的主要尺度、总体布置和主要设备配置等。

(2) 安全性要求。与其他钢制结构物不同,浮式海洋结构物的一个显著特点是要长期在海上航行或者生产作业。为实现安全运输和生产的目,浮式海洋结构物的设计要满足严格的安全性要求。首先,浮式海洋结构物要满足钢制结构物的基本安全性要求,即具有足够的结构强度和刚度,在各种设计载荷作用下结构不会发生屈服、屈曲和疲劳破坏。其次,在漂浮工况下浮式海洋结构物必须具有足够的稳性,以保证在各种设计装载工况下并考虑到设计任务规定的风、浪作用,具备足够的稳性。同时,浮式海洋结构物要满足抗沉性的要求,在碰撞、搁浅及爆炸等事故中发生舱室进水后仍然具有一定的生存能力。此外,浮式海洋结构物的设计要满足防火、逃生等要求,确保在可能发生的各类事故中工作人员的生命安全。

(3) 经济性要求。在完成规定的任务时,资金的消耗和积累情况标志着浮式海洋结构物的经济性。经济性主要由两方面因素决定,即收益和成本,其中成本包括建造成本和营运成本两方面。经济性要求产品具有较大的收益成本比和较短的投资回收期。显然,功能性和安全性是经济性的前提,如果功能性和安全

性不满足,经济性就没有意义。但是如果仅考虑功能性和安全性而忽略经济性,设计方案势必很保守,产品的经济性会很差,达不到预期的经济效益。所以,经济性同样是评价浮式海洋结构物性能优良与否的一个重要指标。

(4) 节能环保要求。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。为适应低碳经济的发展要求,2011 年国际海事组织海上环境保护委员会第 62 次会议通过了《防止船舶污染国际公约》有关减少温室气体排放的强制措施,将船舶能效规则正式纳入附则 VI 修正案,使得针对新船或重大改建船舶的能效设计指数(EEDI)成为强制性要求,并于 2013 年 1 月 1 日正式生效^[10]。EEDI 提出之前,节能问题通常只是船舶经济性的一部分,而不是一个强制性的要求。EEDI 执行以后,所有适用的新造船或重大改建船舶必须通过 EEDI 检验与认证才能进入国际营运市场,船舶的能效指标直接关系到船舶能否被允许正常投入营运。目前,EEDI 仅针对于 400 载重吨以上的营运船舶。但不久以后,针对其他船舶、其他浮式海洋结构物的类似要求也会逐步推出。所以,节能环保指标在浮式海洋结构物的设计中的地位将迅速提升。

(5) 舒适性要求。浮式海洋结构物要长期营运或者工作于海上,需要满足其工作人员日常生活的要求。早期的浮式海洋结构物设计通常不注重工作人员的舒适性,所以经常存在航行过程中横摇严重、船员生活空间狭小、卫生条件差等问题。随着工业产品人性化设计思想的逐步完善,现代浮式海洋结构物的设计中对舒适性要求也在不断地提高。提高浮式海洋结构物的舒适性,不仅有利于改善工作人员在船上的生活质量,同时也会使船员在工作中的精力充沛,提高工作人员的工作效率,并降低操作失误引发的事故发生概率。

浮式海洋结构物的设计要满足上述各项性能要求,而各项性能指标均与浮式海洋结构物的设计参数相关。所以浮式海洋结构物的设计是一项系统工程,各项功能性、安全性等要求不是孤立的,而是相互影响和相互制约的。单独满足任何一项要求并不困难,而要找一个满足所有设计要求的可行方案,需要从系统工程的角度统筹全局,在协调各项设计任务之间的矛盾以后才能实现。

船舶是人类最早系统研究的浮式海洋结构物。为解决船舶设计中的矛盾,20 世纪 50 年代,Evans^[11]提出一种称为设计螺旋(Design Spiral)的船舶总体设计模式,如图 1.1 所示。在设计螺旋中,设计过程被看成一个循环迭代、螺旋式上升的过程,通过逐步近似的方法解决各项设计任务之间的矛盾,设计过程是一个不断地平衡矛盾的过程。整个设计工作经过数轮循环完成,在每一轮循环中校核各项设计任务对应的性能指标是否满足设计要求,如果不满足或者对其有

影响的前置任务发生变化,则需要修改相应的设计方案,然后按照设计螺旋的方向执行下一个任务。当所有的设计要求都得以满足时,设计结束。此后,随着计算机技术在浮式海洋结构物设计中的广泛应用,设计的方法也随之发生变化,Mandel^[12]、Snaith^[13]、Buxton^[14]、Andrews^[15]和郑玄亮^[16]等学者发展了Evans的理论,提出了一系列改进的设计螺旋。其他浮式海洋结构物设计与船舶具有相似的特点,通常均采用设计螺旋解决设计中的矛盾。至今这种基于设计螺旋的设计模式仍然是浮式海洋结构物总体设计的主导思想。

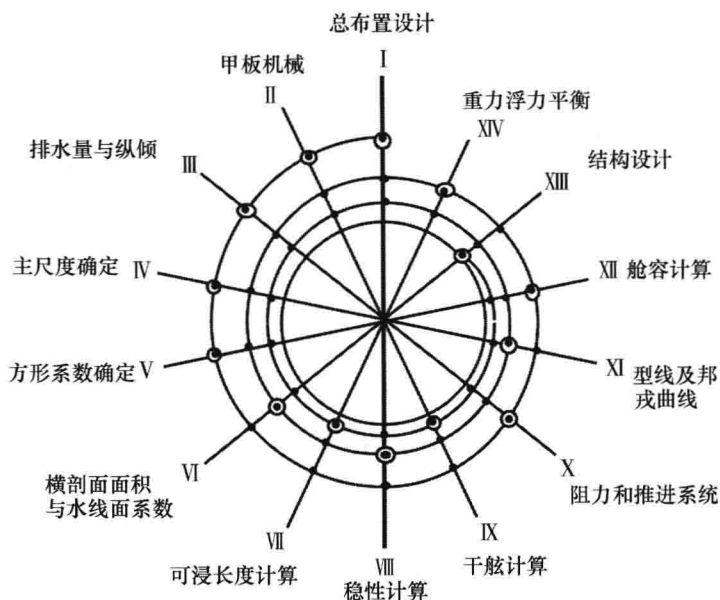


图 0.1 Evans 提出的船舶设计螺旋

设计螺旋是针对浮式海洋结构物设计的复杂性而提出的平衡设计矛盾的一种方法,是解决设计问题的一般性思路。目前浮式海洋结构物设计中,依据设计螺旋的螺旋式上升方向,依次在不同的软件中建立不同的设计模型,相对独立地完成各项设计任务。各设计模型之间的数据传递主要通过手工输入,或者是部分通过软件之间的接口导入,部分通过手动输入的方式来完成。这种多平台的设计方法割裂了各项设计任务之间的联系,将一个系统工程问题拆分为若干个独立任务,通过设计者维持各任务之间的联系。这种经典的设计模式存在以下缺点。

(1) 基于不同软件平台和不同数据库进行产品设计,设计中需要多次重复建模,因而造成大量的冗余数据。例如,船体曲面的数据保存在曲面设计模型,而在稳性计算模型、结构设计模型、结构分析模型、水动力计算模型和分舱总布

置模型中都需要有一个独立的备份。数据库的不统一,一方面增加了建模的工作量,严重影响了设计周期,冗余数据为设计的修改造成很大的困难,同时增加了因数据不统一而导致设计错误的可能性。另一方面,各模型之间计算结果的数据共享困难,往往需要设计者进行大量的交互操作才能完成模型间数据的传递。

(2) 不支持自上而下的设计模式。在开始一个新设计的时候,设计者通常先有一个设计想法,即只有一个大概的产品轮廓,而不能确定其精确的尺寸。然后随着设计的深入,不断地细化方案,逐步确定每个设计参数,最终完成整个设计工作。这种设计模式叫做自上而下的设计模式。而常规的浮式海洋结构物设计方法中,设计必须是在有确定尺寸的前提下才能展开,因而设计者必须首先假定一组设计参数展开设计,而这些假定的参数通常需要经过大量的计算以后才能确定是否合适。如果计算中发现设计方案不满足某项性能指标的要求,则需要修改设计参数并重新进行其前面的各项设计工作,如此反复直至找到一组满足所有设计要求的设计参数。在实际工程中,这个过程往往十分繁琐,中间任何一个环节不合适,或者任何一个环节出现错误,都得返回到前面的设计过程,修改参数或者纠正错误以后再重新进行后续的任务。这种自下而上的设计模式不仅严重影响了设计效率,而且与人们正常的设计思维不符,影响了设计者设计才能的发挥。

(3) 设计的可变性差。因为基于不同模型完成设计,模型之间的数据传递主要通过设计者手动建立,因而即使对设计很小的调整也会导致大量的重复设计工作,而且越是前期的设计任务影响范围越大。例如如果船体型线发生变化,几乎所有的后续设计工作都要重新展开。此外,对于多数的设计任务,单个模型也不具备可变性。例如结构有限元模型、舱室模型等,这些模型一旦建成以后很难修改,有时修改一个模型的工作量远大于重建一个模型。

(4) 模型不具有通用性。大多数浮式海洋结构物的设计都属于变型设计或者改进设计,即通过调整部分参数或者对模型进行少量修改得到一个新产品的设计方案。由于传统的浮式海洋结构物设计方法的可变性差,因而无法实现变型设计,即使是仅仅存在少量差别的姊妹船的设计,也需要分别建模计算。因而,传统的设计方法中模型不具备可重用性,造成了设计资源的极大浪费。

(5) 并行设计支持性差。在设计螺旋中,设计的每项任务都有严格的先后顺序。由于基于自下而上的设计模式,所以后面设计工作的开展要求前置任务的所有结果数据都已确定,各项设计工作有严格的前后顺序,导致传统设计方法对并行设计的支持性较差。

因为存在上述问题,传统的浮式海洋结构物设计方法效率很低。为了找到一个满足所有设计要求的可行方案,需要反复迭代多次并进行大量的重复绘图和计算,不仅造成人力和物力的浪费,而且严重影响了设计周期。同时,由于可行解的寻找尚且不容易,对方案的优化设计就更加困难。优化设计的难以实施意味着浮式海洋结构物的性能会受到影响,这不仅会增加产品的造价,也会影响到其投入运输或生产以后的安全性和营运经济性。

提高浮式海洋结构物性能的关键在于设计阶段。一方面,设计的质量决定了产品的作业能力、安全性和营运经济性;另一方面,由于这类装备的造价很高,优秀的设计在保证产品各项性能的同时还应能显著降低其建造成本;此外,这类高成本的海洋工程装备一旦投入营运或生产,其经济效益很高,所以缩短设计建造周期,可以显著提高投资收益率。由于设计周期是整个设计建造周期的重要组成部分,设计周期的长短对浮式海洋结构物的经济性也有很大的影响。因此,研究浮式海洋结构物的设计原理与设计方法,充分运用当前先进的计算机技术,通过先进的设计理念改进浮式海洋结构物的设计方法,进而提高浮式海洋结构物的设计效率和设计质量,无论是从节约成本还是从提高生产率角度来说,都具有重要意义。

参数化设计方法是 20 世纪 80 年代中后期首先在机械设计领域中广泛应用的一种先进的计算机技术,由于其尺度驱动等优良特性,随后的 20 余年中在汽车、航空航天、电子产品及化工等领域中得到广泛应用,目前已经成为工业产品设计中最主要的计算机辅助设计方法。然而由于浮式海洋结构物几何形状与设计要求的复杂性,在其设计领域中,参数化设计方法仅在部分设计任务中有局部应用。浮式海洋结构物设计中通常所说的参数化设计是一种狭义上的参数化设计概念,主要是指通过参数驱动设计修改,常用的参数化设计方法为程序参数化方法和基于构造历史的参数化两种方法。而且通常仅将参数化设计方法应用于设计的某一方面,例如型线参数化设计^[17-19]或者结构参数化设计^[20,21]等,而不是设计的全过程。到目前为止没有系统的针对浮式海洋结构物的参数化设计理论和方法,其主要原因有以下几个方面。

首先,浮式海洋结构物是集作业功能和生活功能于一体、对安全性有严格要求的复杂系统,而并非单纯是一套简单的设备,其设计要考虑到大量的专业设计领域特有的问题和复杂计算,因而难以直接将参数化设计方法应用于浮式海洋结构物的整个设计过程。其次,浮式海洋结构物的结构比其他的工业产品更为复杂,构件数目庞大,结构零件数以万计,构件之间的关系错综复杂。此外,船舶等浮式海洋结构物中存在复杂的不规则曲面,而且存在大量的与曲面相连接的

结构构件,参数化设计方法对曲面的处理能力有限。

本书中,在对浮式海洋结构物的总体设计以及参数化设计方法深入研究的基础上,将三维参数化设计方法应用于浮式海洋结构物设计中,提出了系统的、符合浮式海洋结构物设计特点的三维参数化设计流程,并研究基于三维技术的、与参数化设计流程相适应的浮式海洋结构物设计方法,弥补了传统设计方法的不足。本书的重点内容如下。

(1) 提出一种曲面参数化设计方法,实现船体曲面参数化设计。采用 NURBS 曲面片精确表达船体曲面,通过统一的船型变换方程进行船体曲面设计,实现船体曲面整体变换、局部变换和 UV 度变换等功能。提出并证明了船体曲面变换中的光顺性准则,在满足船体曲面光顺性的前提下实现各项设计要求。

(2) 根据浮式海洋结构物主要结构型表面(Theoretic Surface of Primary Structures, TSPS)模型的特点,提出一种基于几何约束求解的浮式海洋结构物 TSPS 参数化设计方法。建立基于变量几何法的二维几何约束求解系统,实现 TSPS 草图的参数化设计。以 TSPS 草图为基础,通过三维特征造型的方法,实现浮式海洋结构物 TSPS 模型的三维参数化设计。

(3) 建立设备与主要结构、设备与设备之间的距离约束、夹角约束等约束关系,通过二维总布置草图实现浮式海洋结构物的总布置参数化设计。通过由 TSPS 构成的外部模型和基于边界表达法(Boundary Representation, B-Rep)的内部模型定义舱室的参数化模型,实现分舱参数化设计。解决舱室由构造模型到 B-Rep 实体模型的转换问题,通过 B-Rep 实体运算,精确计算各种形状舱室的舱容要素。提出一种适用于常规运输船的参数化分舱优化设计方法,以货舱舱容最大为优化目标,在满足各项安全性要求的前提下,完成舱室内壳形状的优化设计,提高船舶的营运经济性。

(4) 建立三维参数化浮体模型,通过三维浮体模型完成浮式海洋结构物的浮态、完整稳性和破舱稳性计算。提出参数化 B-Rep 浮体模型建立方法,基于 B-Rep 浮体模型,提出稳性相关的各种计算方法,如静水力计算、浮态计算、完整稳性和破舱稳性计算等。针对如移动式海洋平台等长宽比相对较小的浮式海洋结构物的特点,提出通过稳性曲面校核其稳性的方法。依据稳性曲面准确计算此类浮式海洋结构物在任意方向外力矩作用下的稳性,比基于静稳性曲线的传统方法更精确、合理。

(5) 根据浮式海洋结构物的结构特点,提出三种结构参数化建模方法,即程序参数化建模方法、基于构造历史的参数化建模方法和基于几何约束求解的参数化建模方法。提出一种网格划分算法,能够将各种复杂的参数化结构模型网