

SHIP & OFFSHORE ENGINEERING


船舶与海洋工程 结构设计技术

赵耕贤 编著

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

船舶与海洋工程结构设计技术

赵耕贤 编著

 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书较全面地论述了“船舶”和“海洋工程”结构设计的共性技术,系统而实用地介绍了 FPSO 和大(超大)型船舶等船型结构设计技术,如总强度与极限强度分析,以及海洋工程中生产模块支墩、火炬塔架、内转塔系统等特殊结构分析等内容。

本书可供造船专业的设计、研究人员以及高等院校师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶与海洋工程结构设计技术/赵耕贤编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2014.9

ISBN 978 - 7 - 5661 - 0925 - 5

I. ①船… II. ①赵 III. ①船舶—结构设计
②海洋工程—结构设计 IV. ①U66②P75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 219682 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 889mm × 1194mm 1/16
印 张 25
字 数 800 千字
版 次 2014 年 12 月第 1 版
印 次 2014 年 12 月第 1 次印刷
定 价 200.00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

序

海洋是人类赖以生存的大宝库。造船业是国家海洋经济快速发展的重要产业。造船技术发展与开发利用海洋活动休戚相关。近代世界大国之崛起,无一不是起步于造船,经略于海洋。具有高技术、高附加值特征的船舶和高风险、高投入、高技术、高回报特征的海洋工程装置,成为衡量一个国家能否跻身于世界海洋大国的重要标志之一。造船业是“综合工业之冠”,是国家工业水平的象征。造船业的发展直接关系到国家的安全,而且具有较强的产业拉动作用。特别是海洋油气资源开发已成为我国海洋维权四种方式之一。造船业发展前景十分广阔。

人们所构想的功能不同、形式各异的船舶与海洋工程之所以得以实施,首先也取决于最为基础、最为关键的结构力学这门学科,以及结构设计技术的发展。船舶与海洋工程结构设计是一个完整的概念。解决结构的载荷、响应与衡准,做出符合“常理”、而又能适应环境、使其功能得以正常发挥的决断过程。

当赵耕贤先生拿着《船舶与海洋工程结构设计技术》一摞文稿要我为之作序时,感触颇深。年有七十多岁的他,依然精力充沛、执着认真地挥笔编著。当信手翻动着这些文稿,一幅幅彩图、一篇篇文章,一段段字语,逐一映入眼帘。一个个产品、一项项技术,浮现在眼前。看到了作者参与和主持中国多项首例产品(第一艘新设计、中国十大名船之一“渤海友谊号”FPSO、第一艘新设计、台风中不解脱“南海奋进”FPSO、第一艘FPSO的“海上浮式LPG回收”、第一艘出口的苏伊士最大型“WILOMI YANGZE”油船、国内首例超大型油船开发、当代最新的深水半潜钻井平台等)的设计经验,展现了作者半个世纪的辛勤手笔。本书着重编写了真实产品中结构设计技术,其实用参考价值是不言而喻的。

20世纪70年代,我在主持远望测量船设计过程中,与赵耕贤相识。他作为所内技术专家参与设计评审,对事讲科学的严谨性,给我留下了较深的印象。在第一艘万吨级远洋科学考察船、远洋救生打捞船的施工设计期间,他又作为技术骨干参与设计图纸校审,热情、虚心是他待人的风格,认真、细心是他工作的原则。在减摇鳍箱、重要设备下的加强、直升机起落平台、长桥楼以及艉轴轴毂等结构设计方面,有独到见解。

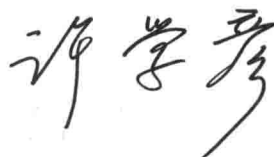
赵耕贤先生是我国船舶与海洋工程设计的资深专家,我国FPSO主要开拓者,是迄今为止中国18位船舶设计大师中唯一的结构设计专家。20世纪90年代初,他从国外回来,依然选择了在第一线工作,除了《船舶设计实用手册——结构分册》(2000版主编、主审2013版)《FPSO船型优化集》(2002版主编)《FPSO设计文集》(2003版主编)《船舶与海洋工程船体结构设计文集》(2008版主编)外,更是倾尽全力地研究结构设计问题。主持FPSO系列产品设计中,遇到了前无先例的技术难题,极具挑战性,他从不退缩,而是认真思索和研究。对不同海域船体波浪载荷预估、生产工艺流程模块支墩形式、特殊系泊系统的相关结构、高耸火炬塔架等设计技术发展,做出了卓有成效的贡献。理念有所突破、技术有所创新。可以从《船舶与海洋工程结构设计技术》一书中,追寻到这一点。

该书的出版,不仅仅是作者半个世纪辛勤工作的经验总结,而且能使读者感悟到:成功解决工程难题,不但要具备扎实的理论基础,还要有探索精神,坚持与实际相结合的工作原则。

真诚祝贺该书出版,为造船业科技发展,添砖加瓦。

是为序。

中国科学院院士



2014年4月15日

编者的话

征程经风霜,岁月催人老;
执着闯难关,苦辣加辛酸。
思念忆往昔,勤业结硕果;
事业需传承,点滴留人间。

20世纪50年代末,幸运地踏进名噪海内外的交通大学,1964年正式加入中国人民解放军总字914部队(中国船舶工业集团公司第七〇八研究所前身),成为一名国防科研工作者至今,弹指一挥间50载。回首往事,风雨坎坷,非常庆幸。执着闯业,终结硕果。

为了适应海洋钢结构物(船舶与海洋工程的统称)结构设计工作者的需要,及时总结经验,留于后人,幸得哈尔滨工程大学出版社沈红宇董事长的热情资助,在哈尔滨工程大学出版社的史大伟、薛力等编辑们的一致努力协助下,经审阅后,最终撰写并出版《船舶与海洋工程结构设计技术》一书。同时,得到了中国船舶与海洋工程设计研究院总工程师李小平研究员的热情支持和有益的建议,谨此表示衷心感谢。本书是本人从业50周年之际收到的最好礼物,由衷地高兴。

本书共分4编:彩图、综述、海洋油气工程、船舶结构设计。并以典型产品设计过程中的结构设计技术作为后记。

本书主要是根据本人设计经验,以及刊登在《中国造船》《中国海洋平台》《上海造船》《船舶》《中国材料进展》期刊杂志、国内外学术论坛交流论文等为基础,进行编写。对早期论文,仅选择了至今为止有重要参考意义的代表作。同时,也适当吸收了近年与他人合作(见相关篇章的参考文献)的文章。对他们曾有有成效的合作,表示感谢,同时,撰写过程也参考或引用了国内外一些专家学者的论著,在此表示感谢!

本书主要是结合真实的工程项目,阐述结构的主要设计技术问题、解决方法与应用实例。编写的原则力求清晰、实用,设计原理不叙或少叙,公式也不作具体推导。并从今天的认识水平,做了重新审视与修改。

造船科学不断发展,技术日新月异。因此,本书所论及的观点与方法,仅供参考。本书编写过程中,尽管做了很大努力,难免有疏失之处,诚望读者不吝指教。

编著者
2014年4月

目 录

第 1 编 彩 图

1.1	海上油田、FPSO 分布图例	3
1.2	典型海洋油气钻采装置图例	4
1.3	以 FPSO 为主体的海洋浮式生产系统图例	13
1.4	中国新设计与建造渤海海域 7 艘 FPSO(1989—2012)	16
1.5	中国新设计与建造南海海域的 4 艘 FPSO(2010—2012)	20
1.6	中国旧船改装的南海海域 6 艘 FPSO(1986—1996)	23
1.7	典型船舶图例	26
1.8	FPSO 系泊系统图例	29
1.9	FPSO 外输油系统图例	35
1.10	FPSO 布置图例	38
1.11	FPSO 模型试验图例	40
1.12	模块支墩图例	47
1.13	FPSO 火炬塔架图例	55

第 2 编 综 述

2.1	我国的海洋钢结构物	59
2.2	结构设计方法	71
2.3	结构强度	76
2.4	船舶振动	91
2.5	结构极限强度	100
2.6	海洋钢结构物的水动力分析	120
2.7	船体波浪载荷预报	127
2.8	海洋钢结构物的钢材应用	137

第 3 编 海洋油气工程

3.1	“船”形 FPSO	149
3.2	船体边舱优化技术	178
3.3	浅水超大型 FPSO 结构设计	182
3.4	船体抗撞能力分析	188
3.5	模块支墩结构分析	197
3.6	火炬塔架结构设计	217
3.7	内转塔系泊系统的船体结构分析	227
3.8	甲板室的噪声预报	235
3.9	全焊透焊接的应用	243
3.10	内转塔浮子穴结构建造工艺	249
3.11	防辐射结构的应用	253
3.12	海上原油生产工艺	262

3.13 海上液化石油气(LPG)生产工艺	273
-----------------------------	-----

第4编 船舶结构设计

4.1 大型油船结构设计	285
4.2 油船舱段有限元方法比较	300
4.3 油船中剖面结构优化	305
4.4 超大型油船中剖面设计	312
4.5 超大型油船设计的新理念	317
4.6 直升机起落平台结构强度计算	323
4.7 船体扭转强度的实用计算方法	344
4.8 散货船剖面剪应力分布计算	360
4.9 油船剖面剪应力分布计算	366
4.10 大型浮船坞的结构设计	373
4.11 船体结构损坏事故案例	377
参考文献	383
后记	389

第 1 编 彩 图

海洋是地球上最后的可开辟疆域,谁能最早、最好地开发利用海洋,谁就能获得最大的利益。经过数千年世界航运业发展,具有各种运输功能的“船舶”,应运而生。百余年来世界海洋油气产业的迅速发展,外形不一、构造各异、功能不同的“海洋工程”呈现在世人面前。

海洋油气资源开发已成为我国“海洋维权”重要方式之一。无论在浅海,还是在深海,海洋油气田的“浮式生产系统”(Floating Production System,简称 FPS)中最为耀眼的是“浮式生产储卸装置”(Floating Production Storage Offloading,简称 FPSO),不可缺失。

本编集中编辑了本书所涉及的“船舶”与“海洋工程”的 115 幅彩图,分为 13 部分。它们是:海上油田、FPSO 分布、典型海洋油气钻采装置、以 FPSO 为主体的海洋浮式生产系统。重点列出了我国南海海域与渤海海域的 17 座 FPSO,以及典型船舶的图例。还包括了 FPSO 的典型布置、模型试验、特殊的系泊系统、外输油系统、模块支墩与火炬塔架的形式等图例。

1.1 海上油田、FPSO 分布图例

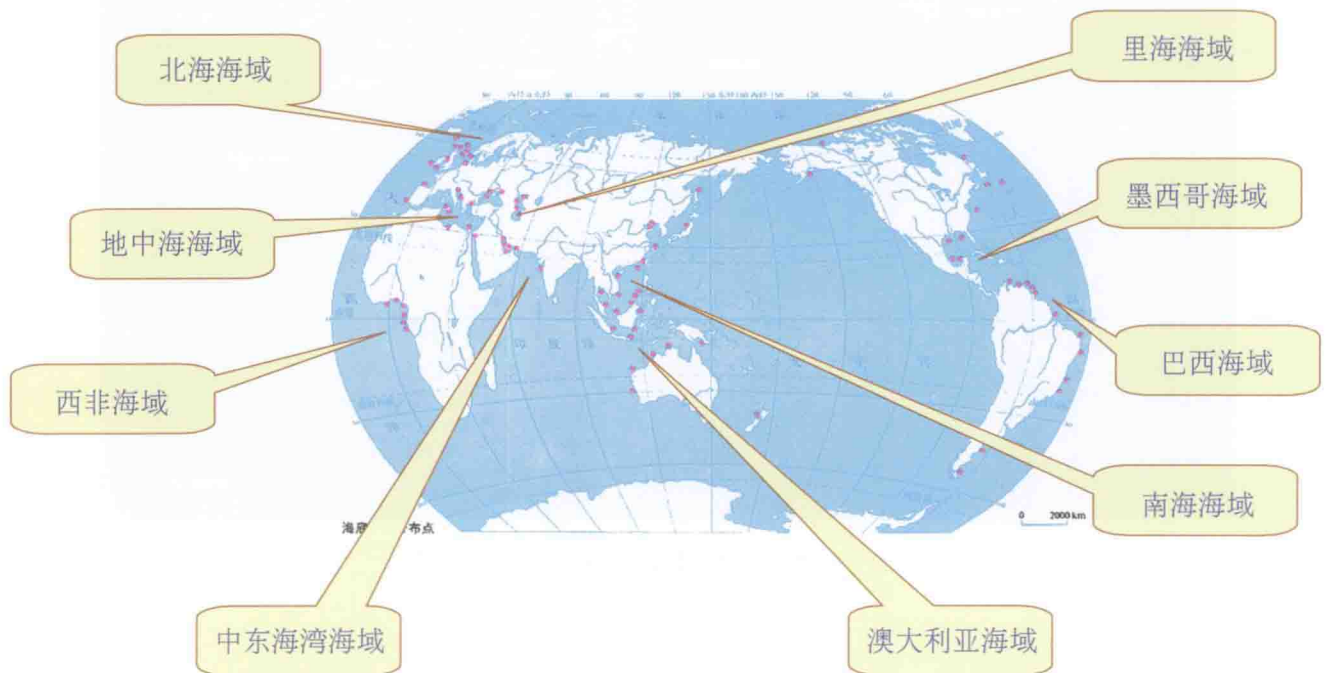


图 1-1-1 世界海上主要油田分布图

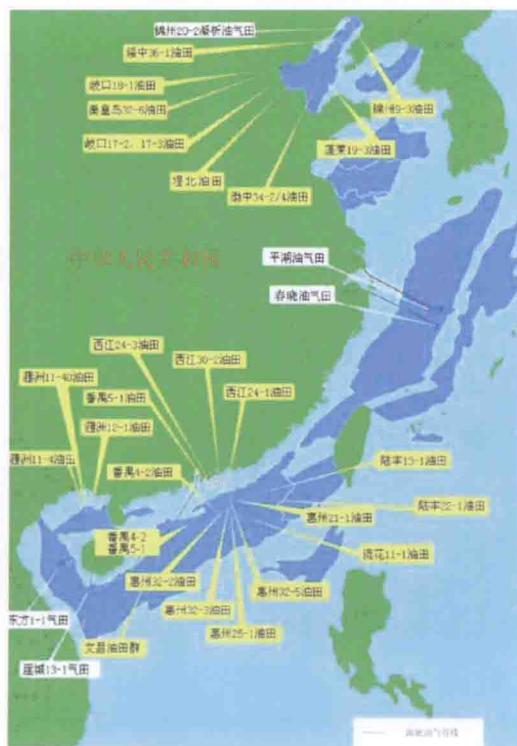


图 1-1-2 中国近海油气田分布图

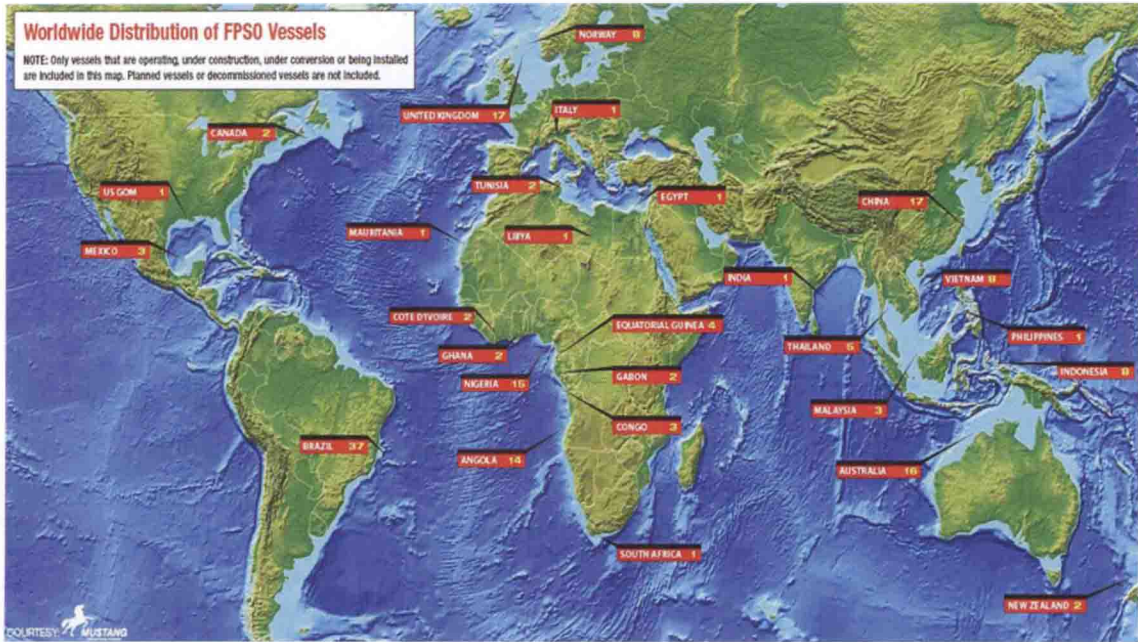


图 1-1-3 世界海上油田的 FPSO 分布图(2010 年)

1.2 典型海洋油气钻采装置图例



(a)



(b)

图 1-2-1 坐底式平台 (Bottom Supported Platform, 简称 BSP)



(a)



(b)

图 1-2-2 固定式平台 (Fixed Platform, 简称 F-P)



(a)圆柱腿式 (港海一号)



(b)桁架腿式

图 1-2-3 自升式平台 (Jack-UP)



(a)四立柱半潜式平台



(b)六立柱半潜式平台



(c)“海洋石油 981”——中国第 1 艘新设计、新建造,作业海域水深 3000 米,可变载荷 9000 吨的半潜钻井平台(世界上第 6 代)。业主是中国海洋石油总公司(CNOOC)和加拿大 Husky 石油公司。由美国 F&G 公司基本设计,中国船舶工业集团公司第七〇八研究所详细设计。由上海外高桥造船有限公司建造,入 ABS 船级。2012 年 5 月在中国南海荔湾 LW3-1 气田正式开钻。

图 1-2-4 半潜式平台(Semi-submerged Platform,简称 Semi)



(a)NKOSSA I——浮式储卸装置(FSO)。载重量为 27 万吨。西非刚果 NKOSSA 油田,水深 126 米。



(b)NKOSSA II——浮式液化石油气储存装置(LPG FSO)。载重量为 5.03 万吨。西非刚果 NKOSSA 油田,水深 135 米。



(c)



(d)世界上第一艘 FSO,由载重量为 5.9 万吨旧油船改装。设计:SBM 公司。改装:西班牙船厂。船级:BV。业主:壳牌石油公司,1977 年用于地中海卡斯特利翁油田作业。系泊系统是 Single Anchor Leg Storage,简称 SALS。



(e)世界上最大的“GIRASSOL”FPSO,载重量为34.3万吨。SBM设计,韩国HHI船厂建造,入BV级。业主道达尔石油公司,2001年用于安哥拉Jasmin17区块油田作业。

图1-2-5 浮式生产储卸装置(Floating Production,Storage and Offloading Units,简称FPSO)



(a)