



中国石油天然气集团公司统编培训教材

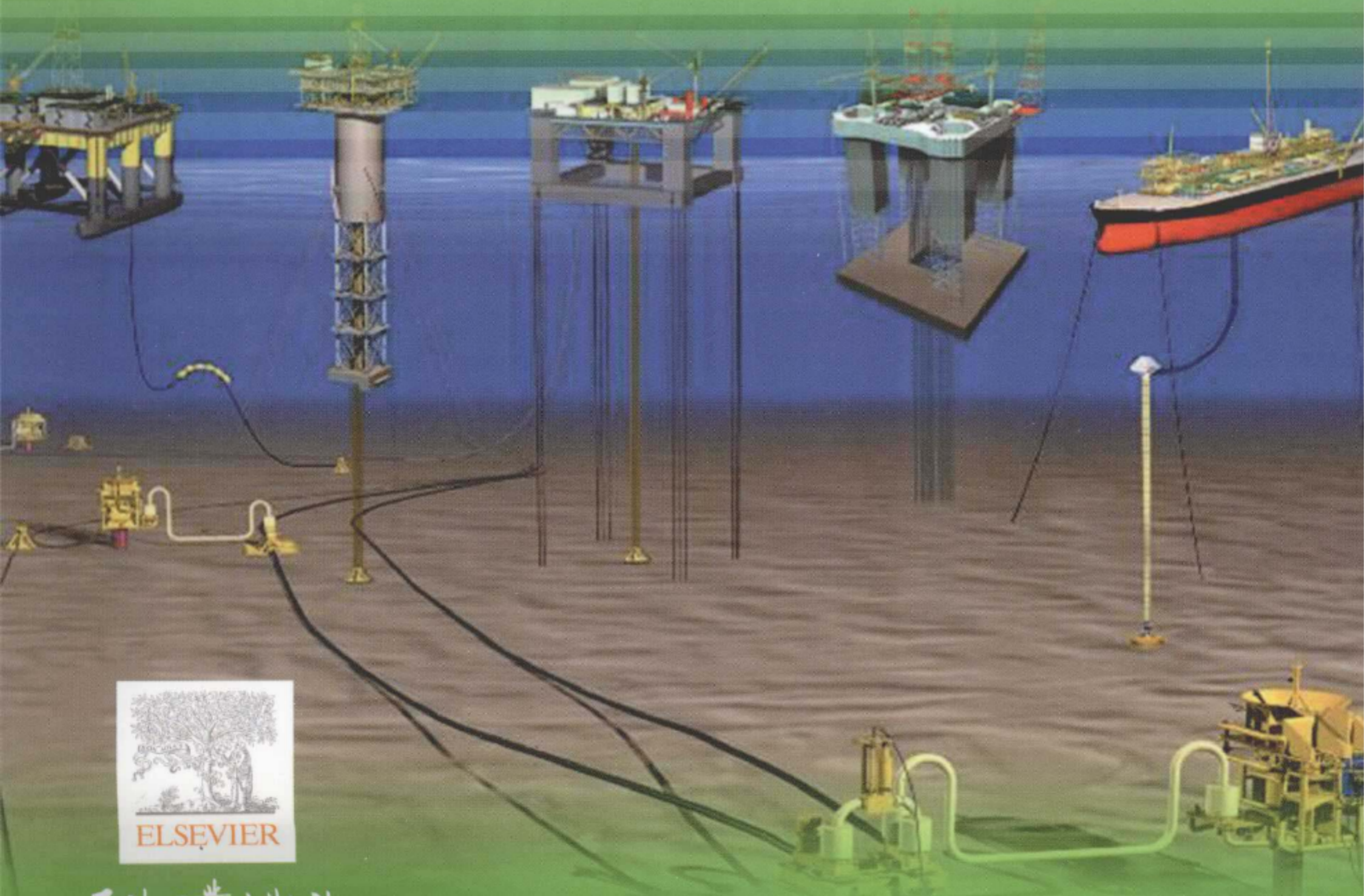
勘探开发业务分册

# 海洋工程手册

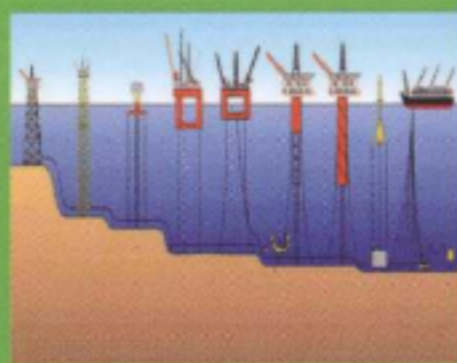
(下册)

[美] 苏布拉塔·查克拉巴蒂 编

《海洋工程手册》翻译组 译



石油工业出版社



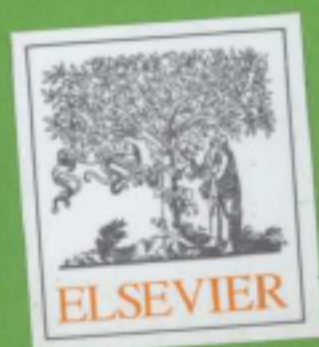
# 海洋工程手册

HAIYANG GONGCHENG SHOUCHE

责任编辑：何 莉 章卫兵 李 中

封面设计：赛维玉

责任校对：黄京萍



ISBN 978-7-5021-8867-2



9 787502 188672 >

定价：280.00 元（上、下册）

中国石油天然气集团公司统编培训教材

勘探开发业务分册

# 海洋工程手册

(下册)

[美] 苏布拉塔·查克拉巴蒂 编

《海洋工程手册》翻译组 译

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书介绍了海洋结构物的发展史、新型和边际油田的海洋结构、海洋环境、荷载及响应、结构的概率设计、固定式平台设计、浮式平台设计、系泊系统、钻井和生产立管、上部组块的总体布置、海底管道的设计与建造、人员和组织因素、物理模拟、海上安装、海上材料、工程地质设计等。

本书适用于从事海洋工程技术人员的培训,也可供工程设计和管理人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

海洋工程手册(下册)/[美]查克拉巴蒂(Chakrabarti, S.)编;《海洋工程手册》翻译组译. —北京:石油工业出版社, 2012.11

书名原文: Handbook of Offshore Engineering  
(中国石油天然气集团公司统编培训教材)

ISBN 978-7-5021-8867-2

I. 海…

II. ①查…②海…

III. 海洋工程-技术培训-教材

IV. P75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 261460 号

Copyright©2005 Elsevier Ltd. All rights reserved

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without the prior written permission of the publisher

本书经 Elsevier Ltd. 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。

[01-2008-1470]

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523535 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:81.25

字数:1323 千字

---

定价:280.00 元(上、下册)

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

# 《中国石油天然气集团公司统编培训教材》 编 审 委 员 会

主任委员：李万余

副主任委员：金 华 白泽生

委 员：王志刚 连建家 胡宝顺 马晓峰

卢丽平 杨大新 吴苏江 杨 果

方朝亮 王同良 刘江宁 卢 宏

周国芳 雷 平 马新华 戴 鑑

上官建新 陈健峰 秦文贵 杨时榜

何 京 张 镇

秘 书：张玉文 王子云

## 《海洋工程手册》编委会

主任：赵政璋

副主任：赵文智 吴奇 杜金虎 张国珍 王元基

马新华 吴国干 胡炳军 何江川

委员：赵邦六 李松泉 郑新权 廖广志 何海清

穆剑 刘墨山 范文科 李铮 曾少华

王永祥 刘德来 王喜双 尚尔杰 任东

胡海燕 张守良 汤林 于博生 李国欣

赵刚 苏春梅 何刚 雷怀玉 吴晓敬

段红 陈莉

## 《海洋工程手册》翻译组

组 长：吴 奇 屈建省

副 组 长：苏春梅 康荣玉 段梦兰

翻译人员：王金龙 王 琴 王 懿 张庆元 张莹洁

李丽娜 李婷婷 陈邦敏 何 同 杨 扬

苏宁宁 周 帆 徐崇崑 梁园华 程 闵

校译人员：李冬梅 徐 辉 包清华 杨涵婷 祖淑玲

王宝毅 王立洋 王文文 张国华 赵 波

孙春梅 李 敬 施昌威 张凤连 曾 晖

李 绂 佟光军 张爱霞 李 欢 于 莉

冯 珩 王 顺 郭建军 王洪福 刘忠彦

李建明 贾泽林 杨新明 王文海 曹明强

审定人员：苏春梅 赵 辉 沙 秋 崔新村 董新国

刘杰鸣 王友华 任润卯 龚 闽 袁中立

王志超 温宝贵 胡洪勤 李忠刚 关伟殊

# 序

企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，



按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序推进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司首批39门“统编培训教材”已按计划编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培训工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011年4月18日

# 前言

随着海洋石油工业的发展，海洋石油工程的设计水平和管理水平在不断提高，海洋石油工程相关行业和从业队伍也不断壮大。海洋石油工业是高投入、高风险、高科技行业，大的项目投资可达几百亿元，决策和操作失误将造成巨大的经济损失。因此掌握先进的海洋油气田开发工程技术和管理经验对于当前正在开发或已经开发的油气田的产能建设、生产、经营都非常重要。

为适应海洋石油的高速发展和不断提高海洋石油工程设计管理水平，中国石油勘探与生产分公司组织中国石油大学、中国石油海洋工程公司、中国船级社、中船重工等单位具有丰富实践经验和理论基础的工程技术人员，用了近3年的时间翻译了《海洋工程手册》(上、下册)，翻译过程中克服了工作量大、大量名词术语国内尚无统一译法等困难。该手册内容丰富，是一部关于海洋石油工程设计的指导性工作手册。

本教材的翻译出版可为从事海洋石油开发的人员系统了解海洋油气田开发工程技术和管埋提供参考，整体提高海洋石油的开发水平。由于知识、经验所限，难免有不当之处，恳请广大读者给予批评指正。

《海洋工程手册》编委会

2011年7月7日

# 原书前言

随着海洋领域的飞速发展，尤其是深海油气田的勘探开发，该领域的科学和工程技术有了显著的提高。这些先进的技术并不是该领域从业人员的唯一参考。

海洋矿物质的勘探和生产在过去几十年里已经取得巨大的进展，这使得应用于深海领域的新概念、结构和材料得以开发和发展。因此我们迫切需要一本用于描述海洋工程目前最先进技术水平的参考书。

本手册填补了这一空白。它涵盖了海洋结构设计、安装和操作等重要内容。本书包含了基本背景材料及其在海洋工程中的应用。本文特别强调理论在实际问题中的应用，包括海洋结构物实际问题的设计指南，海洋工程的各个组成部分及其功能的简单描述。

本手册介绍了当前的所有参与海上开发的海洋结构物的功能和运作。作为执业工程师的专业参考用书，还应便于设计工程师的参考，并供海洋工程和海洋结构设计参考使用。本手册强调的是实际问题，而不是在海洋工程领域的研究中所需要的理论论述。特别是，它描述了海洋结构各方面该做什么和不该做什么，并包括了许多实践经验。简单的公式及指南贯穿本手册，详细的设计计算、软件开发的研讨和数学背景在本书中不进行详述。本书不提供详细的设计方法，但应结合书中的知识和指导进行应用。这并不意味着他们对于海洋结构物的设计是不必要的。通常情况下，比较复杂的公式由专门的软件来进行处理。本手册的主要目的是提供海洋工程的重要的实际问题而非深入讨论详细的设计。应该尽量避免使用复杂的公式和数学推导，但某些必须的公式尽量以简单的形式表达。有时通过插图说明，或采用参考表和设计图的形式提供信息，通过例子来解释理论在结构设计中的应用。本手册中的许多的例子源于当今海上深水结构工程，包括它们整个系统的组成和材料。

本手册包括以下内容：海洋结构的发展史、新型和边际油田海洋结构、

海洋环境、荷载和响应、海洋结构的概率设计、固定式海洋平台设计、浮式海洋平台设计、系泊系统、钻井和生产立管、上部组块总体布置、海底管道的设计和建造、可靠性设计、海洋结构的物理模拟、海上安装、海上应用材料、地球物理和工程地质设计。

本手册共 16 章，由国际公认的海洋工程领域的专家提供宝贵的见解和目前的最新进展。每一章均邀请一位或几位海洋工程领域的世界知名专家撰写，每一章均是各位专家多年实践经验的积累，本书是许多专家集体智慧的结晶。我们所选择的作者都有着丰富的工程经验，他们知道怎么才能将图纸变成实际，他们与设计工程师、运营工程师和建造者一起工作，确保结构物与设计一致。

第一章介绍了海洋结构物在开采海底油气时的发展历史。介绍了浅水和中等水深中早期海洋结构物的发展史，深水海洋结构物的发展史，并预测超深水的海洋结构物的发展。本章将简要介绍这些结构物的形式以及应用情况。

第二章介绍了各种新颖结构以及为了满足海洋油田的特殊要求而发生的各种演变。书中所提到的结构物中有几种已应用在当今的油田中。少数的几种结构只是概念设计。这章的主要目的是介绍了当为满足某种特殊需要而进行海洋结构概念设计时，设计中应当遵循的逻辑步骤。

第三章介绍了海洋环境。介绍了世界各地不同的海洋环境及其特性。本章提出了恰当的计算环境幅值的公式，以便能够确定出作用在结构物上的环境荷载大小。文中对世界不同地区环境荷载的计算都作了介绍，便于帮助设计者选择合适的海洋环境条件进行设计。

第四章对于如何估算作用在海洋结构物上的荷载以及结构物对于荷载的响应进行了简要描述。本章列出了海洋手册各章所需要的基本公式，便于各章参照，因此在评估本书中的各个特殊结构时，均可参照本章的公式。

第五章介绍了统计设计方法，考虑环境荷载的随机性和不确定性，包括三种设计方法，分别为设计波法、设计风暴法和长期设计法。并给出了相应的例子予以解释说明。

第六章介绍固定式海洋平台的设计方法，设计过程需要遵循固定结构的设计周期，包含不同类型的结构设计，例如管节点设计和疲劳设计。

第七章介绍浮式平台结构设计，重点介绍海上钻井和生产平台，包括永久锚泊平台和移动式平台。浮式平台设计通常需考虑重量控制、稳性，以及

设备、立管、系泊系统和船体本身的动载和疲劳问题。随着设计水平的发展，对墨西哥湾深水强流，北大西洋巨浪和强流，以及西非长周期涌浪等特殊环境对平台设计的影响也在进行研究。同时，在深水设计中，平台、系泊系统和甲板的安装等都面临着新的挑战。

浮式海洋平台具有特定设计的系泊系统。系泊系统的选择和设计在第八章中进行了介绍。该系统中的系泊缆将平台与锚固在海床的系泊锚或桩连接。

第九章介绍了浮式平台立管的作业要求。根据这些要求进行立管的相关设计。在本章中对平台立管进行了介绍，并介绍了立管的选择和设计。

第十章介绍上部组块设计的一些具体要求。设计时考虑甲板设备所需面积以及甲板空间要求。重点介绍了环境条件对甲板设计的影响。还有控制和安全方面的要求，包括着火 / 燃料源的考虑，防火墙和燃火设备的布置等。

第十一章介绍海管设计，包括设计基础、路由选择、管线直径和壁厚选择、坐底稳性、海床粗糙度分析、外腐蚀防护、跨越设计和建造可行性等，希望在海管设计中起到一定的指导作用。

第十二章重点介绍了人员、人员组织以及如何设计海洋结构物达到期望的可靠性。本章的目的是为工程师提供设计指南，帮助他们在设计海洋结构时取得成功。关于指南如何应用以一系列实际的例子进行了阐述。

第十三章主要内容是模型实验，本章描述了海洋结构用小缩尺模拟的必要性、模拟环境和物理试验方法。物理模拟包括比例模型的设计和建造、在合适的装置中模拟环境、测量在比例环境中模型的响应，把测得的响应按比例放大到设计值。

第十四章包括安装、基础、装船和运输这些海上安装。本节将涵盖导管架、顺应塔和重力式平台下部结构的安装方法。介绍了不同基础结构及其安装方法，并介绍了复杂结构的装船和运输方法。

第十五章描述了重要材料在海洋工程中的应用和腐蚀问题。并讨论了影响材料选择和设计的关键问题。该章包括海洋工程常用材料的性能和特性，这些材料包括碳钢、防腐合金、合成橡胶和复合材料。另外，本章还讨论了关键设计问题，如：断裂、疲劳、防腐控制和焊接。

第十六章对地球物理和工程地质设计做了总体概述，并对海底岩土调查给出了有效的解决方案。一个成功的工程需要合格的承包商和技术顾问，其取决于多种因素，如：地质、水深、环境和船舶资源等。

由于手册中选用的例子，大部分来源于世界各地海洋工程经验，无法采用一套统一的工程单位。因此，英制和公制单位贯穿全书。尽可能使用双单位，特别是在开始的章节。并在本手册中给出了单位换算表。

本手册能广泛的适用于海洋工程。很多学科专业都可以从中获益：海洋结构设计和加工；海上油田工程师，钻机运营商和海工结构；咨询工程师，本科生和研究生；海洋工程教职人员及海军建筑部门；大学图书馆；海洋业的人员；设计人员等。

# 缩略词

- ABS ( American Bureau of Shipping ) 美国船级社
- ABL ( Above Base Line ) 基准线以上
- API ( American Petroleum Institute ) 美国石油学会
- BOP ( Blowout Preventor ) 防喷器
- CFD ( Computational Fluid Dynamics ) 计算流体力学
- CG ( Center of Gravity ) 重心
- CRA ( Corrosion Resistant Alloys ) 耐腐蚀合金
- CVAR ( Compliant Vertical Access Riser ) 顺应式垂直通道立管
- DDCV ( Deep Draft Caisson Vessel ) 深吃水沉箱浮式平台
- DNV ( Det Norske Veritas ) 挪威船级社
- DTU ( Dry Tree Unit ) 干式采油树装置
- EP ( Equivalent Pipe ) 等效管
- FE ( Finite Element ) 有限元
- FEA ( Finite Element Analysis ) 有限元分析
- FPDSO ( Floating Production, Drilling, Storage and Offloading System ) 浮式生产、钻井、存储和卸载装置
- FPS ( Floating Production System ) 浮式生产系统
- FPSO ( Floating Production Storage and Offloading ) 浮式生产储卸油装置
- FSO ( Floating Storage and Offloading ) 浮式存储和卸油船舶
- Fr ( Froude Number ) 弗劳德数
- GOM ( Gulf Of Mexico ) 墨西哥湾
- HLV ( Heavy Lift Vessel ) 大型浮吊
- IACS ( International Association of Classification Societies ) 国际船级社协会
- IMO ( International Maritime Organization ) 国际海事组织

IRM ( Inspection, Repair and Maintenance ) 检查、修理和维护  
ISSC ( International Ship Structures Congress ) 国际船舶及海洋结构会议  
JIP ( Joint Industry Project ) 联合工业计划  
JONSWAP ( Joint North Sea Wave Project ) 北海波浪研究联合计划  
KC ( Keulegan-Carpenter Number ) KC 数  
ksi ( Kips per Square Inch ) 1 千磅 / 平方英寸  
LF ( Low Frequency ) 低频  
LRFD ( Load and Resistance Factor Design ) 荷载与抗力系数设计  
MODU ( Mobile Offshore Drilling Unit ) 海上移动式钻井平台  
MPa [ Megapascals ( N/mm<sup>2</sup> ) ] 兆帕  
NDP ( Norwegian Deepwater Programme ) 挪威深水项目  
NDT ( Non-Destructive Testing ) 无损检测  
PDF ( Probability Density Function ) 概率密度函数  
PIP ( Pipe-In-Pipe ) 双层管  
PM ( Pierson-Moskowitz ) Pierson-Moskowitz 谱  
psi ( Pounds per Square Inch ) 磅 / 平方英寸  
QA/QC ( Quality Assurance/Quality Control ) 质量保证 / 质量控制  
Re ( Reynolds number ) 雷诺数  
RFC ( Rainflow Counting ) 雨流计数  
SCF ( Stress Concentration Factor ) 应力集中系数  
SCR ( Steel Catenary Riser ) 钢悬链线立管  
SPM ( Single Point Mooring ) 单点系泊  
SSCV ( Semi-Submersible Crane Vessel ) 半潜式起重船  
Sr ( Strouhal Number ) 斯特劳哈尔数  
SWL ( Still Water Level ) 静水位  
TDP ( Touch-Down Point ) 触地点  
TDZ ( Touch-Down Zone ) 海管触底区域  
TLP ( Tension-Leg Platform ) 张力腿平台  
TSJ ( Tapered Stress Joint ) 锥形应力接头  
TTR ( Top Tensioned Riser ) 顶部张紧立管  
UKCS ( United Kingdom Continental Shelf ) 英国大陆架



UOE ( Pipe Formed From Plate, via a U-shape, then an O-shape, then Expanded )  
管子由板经 U 形、O 形、胀管成型

VIV ( Vortex-Induced Vibration ) 涡激振动