



海洋深水油气田开发工程技术丛书

丛书主编 曾恒一

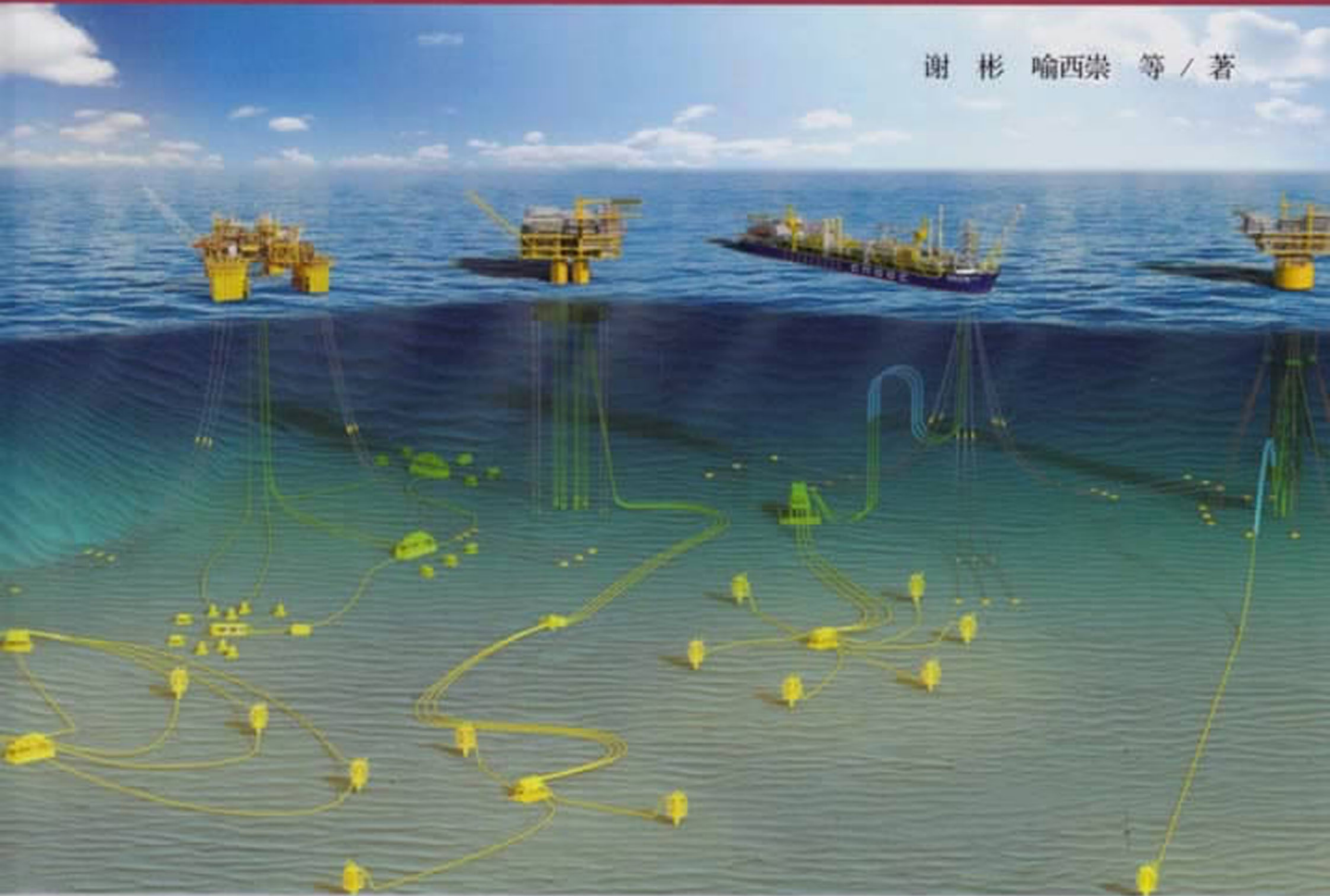
丛书副主编 谢彬 李清平



# 海洋深水油气田开发工程技术总论

Introduction to Offshore Deepwater Oil and Gas Field Development Engineering Technology

谢彬 喻西崇 等 / 著



上海科学技术出版社

海洋深水油气田开发工程技术丛书

曾恒一 丛书主编

谢 彬 李清平 丛书副主编

# 海洋深水油气田开发 工程技术总论

谢 彬 喻西崇 等  
著

上海科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

海洋深水油气田开发工程技术总论 / 谢彬等著. —  
上海: 上海科学技术出版社, 2021. 3  
(海洋深水油气田开发工程技术丛书)  
ISBN 978-7-5478-5252-1

I. ①海… II. ①谢… III. ①海上油气田—油田开发  
②海上油气田—气田开发 IV. ①TE5

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第046400号

---

海洋深水油气田开发工程技术总论  
谢彬 喻西崇 等著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行  
上海科学技术出版社  
(上海钦州南路71号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19  
字数 415 千字  
2021年3月第1版 2021年3月第1次印刷  
ISBN 978-7-5478-5252-1/TE·4  
定价: 158.00 元

---

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

# 内 容 提 要

本专著通过介绍世界和我国深水油气田开发工程装备和技术现状,以及我国深水油气田开发工程装备和技术发展历程,结合我国南海及海外深水油气田开发的实际需求,分析了我国南海深水油气田开发面临的挑战,基于我国南海深水油气田开发工程模式所需的关键装备和技术,结合深水油气田开发工程的特点,从深水钻完井、深水平台、水下生产系统、深水流动安全保障、深水海底管道和立管、浮式钻井生产储油卸油装置、深水油气田开发应急救援等方面,分别介绍每种关键装备和技术的组成、特点、选用原则、设计/实验技术等相关内容。

本专著可为从事海洋深水油气田开发工程研发、设计以及现场操作等领域的专业工作人员提供指导与借鉴,也可供海洋油气工程专业高年级本科生和研究生学习参考。

## 丛书编委会

主 编 曾恒一

副主编 谢 彬 李清平

编 委 (按姓氏笔画排序)

马 强	王 宇	王 玮	王 清	王世圣
王君傲	王金龙	尹 丰	邓小康	冯加果
朱小松	朱军龙	朱海山	伍 壮	刘 健
刘永飞	刘团结	刘华清	闫嘉钰	安维峥
许亮斌	孙 钦	杜宝银	李 阳	李 博
李 焱	李丽玮	李峰飞	李梦博	李朝玮
杨 博	肖凯文	吴 露	何玉发	宋本健
宋平娜	张 迪	张 雷	张晓灵	张恩勇
陈海宏	呼文佳	罗洪斌	周云健	周巍伟
庞维新	郑利军	赵晶瑞	郝希宁	侯广信
洪 毅	姚海元	秦 蕊	袁俊亮	殷志明
郭 宏	郭江艳	曹 静	盛磊祥	韩旭亮
喻西崇	程 兵	谢文会	路 宏	裴晓梅

# 专家委员会

主任 李建民

副主任 王建中 陈虹 杨建民

委员 (按姓氏笔画排序)

李有安 李忠利 李建宇 李树林 李航宇

李福明 肖龙飞 邹利明 宋雷钧 张利

张勇 陈远 金祖国 俞华 夏峰

顾永维 钱志康 高则伟 陶安祥 黄焱

黄大军 凌仲秋 傅强 詹良斌 潘文林

薄伟

办公室 田立群 周海锋 赵宝祥 蒋明迪 杨文英

方思敏 王娜娜 王体涛

单位 中国造船工程学会《船舶工程》编辑部

## 丛书序

目前,海洋能源资源已成为全球可持续发展主流能源体系的重要组成部分。海洋蕴藏了全球超过 70% 的油气资源,全球深水区最终潜在石油储量高达 1 000 亿桶,深水是世界油气的重要接替区。近 10 年来,人们新发现的探明储量在 1 亿 t 以上的油气田 70% 在海上,其中一半以上又位于深海,深水区一直是全球能源勘探的前沿区和热点区,深水油气资源成为支撑世界石油公司未来发展的新领域。

当前我国能源供需矛盾突出,原油、天然气对外依存度逐年攀升,原油对外依存度已经超过 70%,天然气的对外依存度已经超过 45%。加大油气勘探开发力度,强化油气供应保障能力,构建全面开放条件下的油气安全保障体系,成为当务之急。党的十九大报告提出“加快建设海洋强国”战略部署,实现海洋油气资源的有效开发是“加快建设海洋强国”战略目标的重要组成部分。习近平总书记在全国科技“三会”上提出“深海蕴藏着地球上远未认知和开发的宝藏,但要得到这些宝藏,就必须在深海进入、深海探测、深海开发方面掌握关键技术”。加快发展深水油气资源开发装备和技术不仅是国家能源开发的现实需求,而且是建设海洋强国的重要内容,也是维护我国领海主权的重要抓手,更是国家综合实力的象征。党的十九届五中全会指出,“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位,把科技自立自强作为国家发展的战略支撑”,是以习近平同志为核心的党中央把握大势、立足当前、着眼长远作出的战略布局,对于我国关键核心技术实现重大突破、促进创新能力显著提升、进入创新型国家前列具有重大意义。

我国深海油气资源主要集中在南海,而南海属于世界四大海洋油气聚集中心之一,有“第二个波斯湾”之称。南海海域水深在 500 m 以上区域约占海域总面积的 75%,已发现含油气构造 200 多个、油气田 180 多个,初步估计油气地质储量约为 230 亿~300 亿 t,约占我国油气资源总量的 1/3,同时南海深水盆地的地质条件优越,因此南海深水区油气资源开发已成为中国石油工业的必然选择,是我国油气资源接替的重要远景区。

深水油气田的开发需要深水油气开发工程装备和技术作为支撑和保障。我国海洋石油经过近 50 年的发展,海洋工程实践经验仅在 300 m 水深之内,但已经具备了 300 m 以内水深油气田的勘探、开发和生产的全套能力,在 300 m 水深的工程设计、建造、安装、运行和维护等方面与国外同步。在深水油气开发方面,我国起步较晚,与欧美发达

国家还存在较大差距。当前面临的主要问题是海洋环境及地质调查数据不足,工程设计、建造和施工技术匮乏,安装资源不足,缺少工程经验,难以满足深水油气开发需求,所以迫切需要加强对海洋环境和工程地质技术、深水平台工程设计及施工技术、水下生产系统工程技术、深水流动安全保障控制技术、海底管道和立管工程设计及施工技术、新型开发装置工程技术等关键技术研究,加强对深水施工作业装备的研制。

2008年,国家科技重大专项启动了“海洋深水油气田开发工程技术”项目研究。该项目由中海油研究总院有限责任公司牵头,联合国内海洋工程领域48家企业和科研院所组成了1200人的产学研用一体化研发团队,围绕南海深水油气田开发工程亟待解决的六大技术方向开展技术攻关,在深水油气田开发工程设计技术、深海工程实验系统和实验模拟技术、深水工程关键装置/设备国产化、深水工程关键材料和产品国产化以及深水工程设施监测系统等方面取得标志性成果。如围绕我国南海荔湾3-1深水气田群、南海流花深水油田群及陵水17-2深水气田开发过程中遇到的关键技术问题进行攻关,针对我国深水油气田开发面临的诸多挑战问题和主要差距(缺乏自主知识产权的船型设计,核心技术和关键设备仍掌握在国外公司手中;深水关键设备全部依赖进口;同时我国海上复杂的油气藏特性以及恶劣的环境条件等),在涵盖水面、水中和海底等深水油气田开发工程关键设施、关键技术方面取得突破,构建了深水油气田开发工程设计技术体系,形成了1500m深水油气田开发工程设计能力;突破了深水工程实验技术,建成了一批深水工程实验系统,形成国内深水工程实验技术及实验体系,为深水工程技术研究、设计、设备及产品研发等提供实验手段;完成智能完井、水下多相流量计、保温输送软管、水下多相流量计等一批具有自主知识产权的深水工程装置/设备样机和产品研制,部分关键装置/设备已经得到工程应用,打破国外垄断,国产化进程取得实质性突破;智能完井系统、水下多相流量计、水下虚拟计量系统、保温输油软管等获得国际权威机构第三方认证;成功研制四类深水工程设施监测系统,并成功实施现场监测。这些研究成果成功应用于我国荔湾周边气田群、流花油田群和陵水17-2深水气田工程项目等南海以及国外深水油气田开发工程项目,支持了我国南海1500m深水油气田开发工程项目的自主设计和开发,引领国内深水工程技术发展,带动了我国海洋高端产品制造能力的快速发展,支撑了国家建设海洋强国发展战略。

“海洋深水油气田开发工程技术丛书”由国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术(一期)”项目组长曾恒一院士和“海洋深水油气田开发工程技术(二期、三期)”项目组长谢彬作为主编和副主编,由“深水钻完井工程技术”“深水平台技术”“水下生产技术”“深水流动安全保障技术”和“深水海底管道和立管工程技术”5个课题组长作为分册主编,是我国首套全面、系统反映国内深水油气田开发工程装备和高技术领域前沿研究和先进技术成果的专业图书。丛书集中体现海洋深水油气田开发工程领域自“十一五”到“十三五”国家科技重大专项研究所获得的研究成果,关键技术来源于工程项目需求,研究成果成功应用于工程项目,创新性研究成果涉及设计技

术、实验技术、关键装备/设备、智能化监测等领域,是产学研用一体化研究成果的体现,契合国家海洋强国发展战略和创新驱动发展战略,对于我国自主开发利用海洋、提升海洋探测及研究应用能力、提高海洋产业综合竞争力、推进国民经济转型升级具有重要的战略意义。

中国科协副主席  
中国工程院院士

Handwritten signature in black ink, consisting of three characters: 周, 训, 武.

## 丛书前言

加快我国深水油气田开发的步伐,不仅是我国石油工业自身发展的现实需要,也是全力保障国家能源安全的战略需求。中海油研究总院有限责任公司经过 30 多年的发展,特别是近 10 年,已经建成了以“奋进号”“海洋石油 201”为代表的“五型六船”深水作业船队,初步具备深水油气勘探和开发的能力。国内荔湾 3-1 深水气田群和流花油田群的成功投产以及即将投产的陵水 17-2 深水气田,拉开了我国深水油气田开发的序幕。但应该看到,我国在深水油气田开发工程技术方面的研究起步较晚,深水油气田开发处于初期阶段,国外采油树最大作业水深 2 934 m,国内最大作业水深仅 1 480 m;国外浮式生产装置最大作业水深 2 895.5 m,国内最大作业水深 330 m;国外气田最长回接海底管道距离 149.7 km,国内仅 80 km;国外有各种类型的深水浮式生产设施 300 多艘,国内仅有在役 13 艘浮式生产储油卸油装置和 1 艘半潜式平台。此表明无论在深水油气田开发工程技术还是装备方面,我国均与国外领先水平存在巨大差距。

我国南海深水油气田开发面临着比其他海域更大的挑战,如海洋环境条件恶劣(内波和台风)、海底地形和工程地质条件复杂(大高差)、离岸距离远(远距离控制和供电)、油气藏特性复杂(高温、高压)、海上突发事件应急救援能力薄弱以及南海中南部油气开发远程补给问题等,均需要通过系统而深入的技术研究逐一解决。2008 年,国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术”项目启动。项目分成 3 期,共涉及 7 个方向:深水钻完井工程技术、深水平台工程技术、水下生产技术、深水流动安全保障技术、深水海底管道和立管工程技术、大型 FLNG/FDPSO 关键技术、深水半潜式起重铺管船及配套工程技术。在“十一五”期间,主要开展了深水钻完井、深水平台、水下生产系统、深水流动安全保障、深水海底管道和立管等工程核心技术攻关,建立深水工程相关的实验手段,具备深水油气田开发工程总体方案设计和概念设计能力;在“十二五”期间,持续开展深水工程核心技术研发,开展水下阀门、水下连接器、水下管汇及水下控制系统等关键设备,以及保温输送软管、湿式保温管、国产 PVDF 材料等产品国产化研发,具备深水油气田开发工程基本设计能力;在“十三五”期间,完成了深水油气田开发工程应用技术攻关,深化关键设备和产品国产化研发,建立深水油气田开发工程技术体系,基本实现了深水工程关键技术的体系化、设计技术的标准化、关键设备和产品的国产化、科研成果的工程化。

为了配合和支持国家海洋强国发展战略和创新驱动发展战略,国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术”项目组与上海科学技术出版社积极策划“海洋深水油气田开发工程技术丛书”,共6分册,由国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术(一期)”项目组长曾恒一院士和“海洋深水油气田开发工程技术(二期、三期)”项目组长谢彬作为主编和副主编,由“深水钻完井工程技术”“深水平台技术”“水下生产技术”“深水流动安全保障技术”和“深水海底管道和立管工程技术”5个课题组长作为分册主编,由相关课题技术专家、技术骨干执笔,历时2年完成。

“海洋深水油气田开发工程技术丛书”重点介绍深水钻完井、深水平台、水下生产系统、深水流动安全保障、深水海底管道和立管等工程核心技术攻关成果,以集中体现海洋深水油气田开发工程领域自“十一五”到“十三五”国家科技重大专项研究所获得的研究成果,编写材料来源于国家科技重大专项课题研究报告、论文等,内容丰富,从整体上反映了我国海洋深水油气田开发工程领域的关键技术,但个别章节可能存在深度不够,不免会有一些局限性。另外,研究内容涉及的专业面广、专业性强,在文字编写、书面表达方面难免会有疏漏或不足之处,敬请读者批评指正。

中国工程院院士



## 致 谢 单 位

中海油研究总院有限责任公司  
中海石油深海开发有限公司  
中海石油(中国)有限公司湛江分公司  
海洋石油工程股份有限公司  
海洋石油工程(青岛)有限公司  
中海油田服务股份有限公司  
中海石油气电集团有限责任公司  
中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司  
中海油能源发展股份有限公司管道工程分公司  
湛江南海西部石油勘察设计有限公司  
中国石油大学(华东)  
中国石油大学(北京)  
大连理工大学  
上海交通大学  
天津市海王星海上工程技术股份有限公司  
西安交通大学  
天津大学  
西南石油大学  
深圳市远东石油钻采工程有限公司  
吴忠仪表有限责任公司  
南阳二机石油装备集团股份有限公司

北京科技大学  
华南理工大学  
西安石油大学  
中国科学院力学研究所  
中国科学院海洋研究所  
长江大学  
中国船舶工业集团公司第七〇八研究所  
大连船舶重工集团有限公司  
深圳市行健自动化股份有限公司  
兰州海默科技股份有限公司  
中船重工第七一九研究所  
浙江巨化技术中心有限公司  
中船重工(昆明)灵湖科技发展有限公司  
中石化集团胜利石油管理局钻井工艺研究院  
浙江大学  
华北电力大学  
中国科学院金属研究所  
西北工业大学  
上海利策科技有限公司  
中国船级社  
宁波威瑞泰默赛多相流仪器设备有限公司

# 本书编委会

主 编 谢 彬

副主编 喻西崇

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 清 王世圣 邓小康 冯加果 刘 健

闫嘉钰 许亮斌 李 焱 李清平 何玉发

张恩勇 罗洪斌 庞维新 郑利军 赵晶瑞

洪 毅 姚海元 秦 蕊 袁俊亮 殷志明

郭 宏 曹 静 盛磊祥 韩旭亮 程 兵

谢文会

# 前 言

近年来,我国油气消费持续刚性增长,油气生产供应保障能力不足,石油和天然气对外依存度逐年攀升,2019年分别达到70.8%和45.2%,能源安全形势日趋严峻。随着我国陆上油气资源开发程度的逐步提高,向深层、深水和非常规等领域拓展成为推进油气增储上产、增强能源安全的必然选择。

我国南海资源丰富,是世界四大油气聚集地之一,石油地质储量约350亿t(占全国1/3),其中70%蕴藏于水深大于300m的深水区。南海深水油气资源已成为我国油气储量和产量的主要接替区,加快我国南海深水油气田开发的步伐对保障国家能源安全、发展海洋经济、建设海洋强国和维护海洋权益具有重要意义。

习近平总书记在全国科技“三会”上提出“深海蕴藏着地球上远未认知和开发的宝藏,但要得到这些宝藏,就必须在深海进入、深海探测、深海开发方面掌握关键技术”,因此有必要加快南海深水能源资源开发。“十五”以来,在科技部、发改委和工信部等持续支持下,我国深水油气资源勘探开发重大装备和技术实现了零的突破;在深水油气方面建立了以“奋进号”“海洋石油201”为代表的“五型六船”深水工程作业船队。目前南海深水油气勘探开发主要集中在南海北部,且勘探开发程度不到10%,而南海中南部油气资源量为北部的3~4倍,我国至今还没打出一口井。我国的深水油气田开发工程技术与国外先进水平相比,仍存在较大差距。为缩短差距,我国自2008年启动了国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术”项目,该项目由中海油研究总院有限责任公司(简称“中国海油”)牵头,联合国内海洋工程领域知名的48多家企业和科研院所组成了1200人的产学研用一体化研发团队,开展海洋深水油气田开发工程关键技术的系统性研究。“海洋深水油气田开发工程技术”项目历经“十一五”到“十三五”科技攻关,取得了海洋深水油气田开发工程关键技术的突破,构建了具有自主知识产权的深水油气田开发工程设计技术体系,建成了一批深水工程实验系统并形成实验技术,研制出一批具有自主知识产权的深水工程水下设备及产品,研制了四类深水工程设施监测系统并成功实施现场监测,基本实现了深水工程关键技术的体系化、设计技术的标准化、关键设备和产品的国产化、科研成果的工程化等“四化”目标,培养和建立了一支引领国内深水工程技术发展的研发队伍,使我国初步具备了自主开发1500m深水大型油气田的工程技术能力,为我国深水油气田的开发和安全运行提供了技术支撑和保障。

目前,国内虽然有海洋工程领域相关专业技术书籍,但尚没有系统介绍深水油气田开发工程关键系统的专业著作。本书基于我国南海深水油气田开发工程模式所需的关键装备和技术,结合深水油气田开发工程的特点,从深水钻完井、深水平台、水下生产系统、深水流动安全保障、深水海底管道和立管、浮式钻井生产储油卸油装置、深水油气田开发应急救援等方面,分别介绍每种关键装备和技术的组成、特点、选用原则、设计/实验技术等相关内容。

本书内容基于中国海洋石油集团有限公司深水工程重点实验室自2004年成立以来以及国家能源深水油气工程技术研发中心自2013年成立以来依托各类科研生产项目取得的成果,这些成果得到了“十一五”国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术(一期)”项目(2008ZX05026)和课题(2008ZX05026-1、2008ZX05026-2、2008ZX05026-3、2008ZX05026-4、2008ZX05026-5、2008ZX05026-6)、“十二五”国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术(二期)”项目(2011ZX05026)和课题(2011ZX05026-1、2011ZX05026-2、2011ZX05026-3、2011ZX05026-4、2011ZX05026-5、2011ZX05026-6)、“十三五”国家科技重大专项“海洋深水油气田开发工程技术(三期)”项目(2016ZX05028)和课题(2016ZX05028-1、2016ZX05028-2、2016ZX05028-3、2016ZX05028-4、2016ZX05028-5、2016ZX05028-7)等项目的资助支持。

本书由谢彬和喻西崇主编并统稿;喻西崇负责编写第1章和第2章,袁俊亮负责编写第3章,韩旭亮负责编写第4章,闫嘉钰负责编写第5章,姚海元负责编写第6章,张恩勇负责编写第7章,刘健负责编写第8章,殷志明和冯加果负责编写第9章;谢彬、洪毅、郭宏、曹静、李清平、许亮斌、谢文会、王世圣等负责校对工作。

由于作者水平有限,书中不妥之处恳请读者和专家批评指正。

作者

2020年10月

# 目 录

第 1 章 深水油气田开发工程技术概述 .....	1
1.1 世界深水油气资源开发现状 .....	3
1.2 我国深水油气资源开发现状 .....	4
1.3 世界深水油气田开发工程装备和技术现状 .....	5
1.4 我国深水油气田开发工程装备、技术发展历程和现状分析 .....	7
1.4.1 深水勘探装备和技术 .....	9
1.4.2 深水钻井装备和技术 .....	12
1.4.3 深水施工作业装备和技术 .....	16
1.4.4 深水油气田生产装备和技术 .....	20
1.4.5 我国深水应急救援装备和技术 .....	30
1.5 我国南海深水油气田开发面临的挑战 .....	34
1.6 展望 .....	35
第 2 章 深水油气田开发的典型工程模式 .....	37
2.1 深水油田开发的典型工程模式 .....	39
2.1.1 干式井口为主的深水油田开发典型模式 .....	39
2.1.2 湿式井口为主的深水油田开发典型模式 .....	40
2.2 深水气田开发的典型工程模式 .....	46
2.2.1 干式井口为主的深水气田开发典型模式 .....	46
2.2.2 湿式井口为主的深水气田开发典型模式 .....	47
2.3 深水油气田开发工程模式选择的原则 .....	54
2.4 展望 .....	57
第 3 章 深水钻完井工程技术与装备 .....	59
3.1 深水钻采装备及设施 .....	61
3.1.1 深水钻井平台 .....	61
3.1.2 隔水管与防喷器系统 .....	64