



张煜 冯永训 编著

海洋油气田 开发工程概论

HAIYANGYOUQITIAN
KAIFAGONGCHENGGAILUN

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

海洋油气田 开发工程概论

张煜 冯永训 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书对当今世界海洋油气田工程开发的模式进行了综述,并对海洋钻采平台、海洋立管、水下生产系统、海底管道工程等海洋油气田工程开发相关技术进行了系统介绍,并对当前世界上不同海域、不同水深的典型海上油气田进行了系统介绍,重点描述了开发的模式及采用的相关工程设施。

本书大部分内容来自于国内外现有海上油气田开发工程的调研资料、公开发表的参考文献以及相关网站内容,可供从事海洋油气田工程建设的相关工作者参考,也可供石油高等院校海洋工程专业的学生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

海洋油气田开发工程概论 / 张煜, 冯永训编著.
—北京: 中国石化出版社, 2011.3
ISBN 978-7-5114-0754-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 032748 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭,
或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010)84271850

读者服务部电话: (010)84289974

http: //www. sinopec-press. com

E-mail: press@ sinopec. com. cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 10.75 印张 14.1 千字

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

定价: 46.00 元

序

辽阔的海洋蕴藏着丰富的油气资源，近10年来发现的大型油气田，在海洋领域的约占60%。随着能源供需矛盾的日益突出，海洋油气勘探开发已被纳入世界各国的重要发展战略。

我国海洋油气勘探开发区域主要集中于渤海、黄海、东海及南海大陆架，这四大海域中除了黄海油气勘探尚未获得重大突破外，南海已成为目前海洋油气生产的主战场，渤海则是近期增储上产的主力区，而东海处在战略接替位置。海洋油气对我国的重要性将日益增加。

为顺应需求的增长，世界上海洋石油开发技术蓬勃发展，日新月异，根据不同海域、不同水深，不同储存、不同产量开发研究了不同的钻井、开发技术，如固定式生产技术、浮式生产技术、水下生产技术等。我国三大石油公司——中海油、中石油和中石化也都在积极进行海上钻井装备及工程建设技术的研究开发。长期以来，国家高技术研究发展计划（“863”计划）一直致力于组织和支持这一领域的研究攻关，国家“十一五”海洋能源规划也提出要形成3000m水深油气开发技术和装备的概念设计和基本设计能力，建成能模拟4000m水深的研究基地。

海洋油气田尤其是深海油气田的开发具有高投入、高风险、高技术等特点，因此，认真了解、学习、引进、消化走在我国前面的发达国家的成功经验和失败教训十分必要。当然，在此基础上，针对实际情况开拓创新，大胆研究开发和应用新技术、新手段和新装

备，形成具有自主知识产权的工程技术，对我国更显重要。

《海洋油气田开发工程概论》正是在这样的背景下编辑出版的。该书在对世界上正在运营和开发的海上油气田调研的基础上，对海洋油气田的开发模式及相关配套技术进行了较为系统的介绍和归纳，应能对我国海洋石油工程建设有指导和借鉴的作用。

顾心峰

前 言

随着各国海洋油气资源战略的实施，从陆地走向海洋、从浅海走向深水是今后较长时期内的发展趋势。目前，世界各大石油公司把海洋油气资源开发目标都转向了深水区域，投入相当数量的人力、物力来研究深水开发技术。国内三大石油公司——中海油、中石油以及中石化也都在积极进行深水油田开发钻井装备及海工工程技术的研究。

“十一五”期间，在中国石化集团公司科技部的支持下，我们开展了“深水油气田开发海工关键技术预研”及“中深水油气田开发海工优化设计技术研究”。通过网络、专家咨询，国内外实地考察，国内外科研机构及工程公司合作等各种信息渠道的广泛调研，收集了国内外海上油气田特别是深水油气田开发工程技术的应用状况和发展动态。

《海洋油气田开发工程概论》是在“深水油气田开发海工关键技术预研”取得的成果的基础上组织编写的。主要内容包括：海洋油气田工程的开发模式、海洋油气田开发平台、海洋立管系统、水下生产系统、海底油气管道铺设技术以及国内外主要典型的海洋油气田开发工程介绍等。

全书共分6章，绪论由冯永训编写，第一章由张建编写，第二章由张衍涛、刘锦昆编写，第三章由冯春健、徐志刚编写，第四章由孙广领、赵海培编写，第五章由蒋习民、刘锦昆编写，第六章由

张宗峰、刘震编写。另外，孙宝江、文世鹏、段梦兰对本书的编写提供了建议，张煜、冯永训担任本书的主编，并负责本书的组织和审查工作。

在本书的编写过程中得到了许多领导和专家的关心和支持，在此谨向他们表示衷心感谢。

本书编写过程中查阅了大量的资料，有些资料可能没有在参考文献中列出，在此谨向这些资料的所有作者表示诚挚的谢意。

由于本书技术性强，涉及面广，加之编者经验不足、水平有限，错误难免，殷切希望读者给予批评和指正。

编 者

目 录

绪论	(1)
第一章 海洋油气田工程的开发模式	(4)
1.1 以固定式导管架平台为基础的开发模式	(4)
1.2 以浮式生产储油轮(FPSO)为基础的开发模式	(5)
1.3 以张力腿平台为基础的开发模式	(6)
1.4 以 Spar 平台为基础的开发模式	(6)
1.5 以半潜式平台为基础的开发模式	(7)
1.6 以自升式平台为基础的开发模式	(7)
1.7 利用水下回接到已有设施进行开发	(8)
1.8 无任何水面设施的生产系统	(9)
1.9 租赁的生产系统	(9)
第二章 海洋油气田开发平台	(10)
2.1 固定式平台	(10)
2.2 移动式平台	(19)
2.3 浮式平台	(22)
2.4 海洋平台弃置	(51)
第三章 海洋深水立管系统	(56)
3.1 概述	(56)
3.2 海洋深水立管主要形式	(56)
第四章 水下生产系统	(61)
4.1 概述	(61)

4.2	水下生产系统组成	(61)
4.3	水下生产系统应用	(64)
第五章	海底管道铺设	(68)
5.1	概述	(68)
5.2	海底管道分类	(68)
5.3	海底管道铺设方法	(69)
第六章	典型海洋油气田开发工程	(77)
6.1	水深 40 ~ 300m 的海上油田开发工程	(77)
6.2	水深 300 ~ 500m 的海上油田开发工程	(110)
6.3	水深 500 ~ 1000m 的海上油田开发工程	(131)
6.4	水深 1000 ~ 1500m 的海上油田开发工程	(150)
6.5	水深 1500 ~ 3000m 的海上油田开发工程	(156)
	参考文献	(160)



绪 论

石油是人类最重要的能源材料和战略物资，与全球政治、经济和国家战略紧密相关。有人说，在美国，控制了石油等于控制了世界；在俄罗斯，石油左右政治局势；在委内瑞拉，石油是国家的经济命脉；而在中东，石油是财富，也是灾难的源泉。在这种背景下，中国石油资源却面临着重重危机，当中国从世界石油出口国转变为世界第二大石油消费国、第三大石油进口国的时候，中国深水开发势在必行，中国能源之未来也必将走向深水。

近年来，深海开发中的油气勘探和生产活动大大增加，水深与几年前相比增加了一倍。海洋工业正在更深的海域中建造生产系统，更多地采用新技术并较大幅度地发展现有技术，这是世界海洋石油天然气工业发展的趋势，也是中国海洋石油工业的实际情况。回溯到20世纪60年代末期，当中国海洋石油工业刚从渤海湾起步时，该地区典型水深约为20m。到了80年代末期，在南中国海的联合勘探和生产开始在水深100~400m的范围内进行。最近的勘探活动显示在南中国海水深1500m发现了油气资源。油气开发的目标水深每年都在增加，考虑到技术可行性和经济因素，深水开发的挑战更需要创新的思想观念和先进的工程方法、新型材料和焊接技术。

深水油田的开发对于缓解我国能源供需矛盾十分必要。据统计，世界海洋石油资源量占全球石油资源总量的34%，全球海洋石油蕴藏量约 $1000 \times 10^8 \text{t}$ ，其中已探明储量的为 $380 \times 10^8 \text{t}$ 。在我国，海洋石油资源也相当丰富，经权威机构初步估算，整个南海的石油地质储量大致在 $230 \times 10^8 \sim 300 \times 10^8 \text{t}$ ，约占我国石油总资源量的三分之一，堪称第二个波斯湾。而自20世纪60年代在南海发现石油之后，越南、菲律宾、马来西亚、新



加坡等周边国家都前往开采石油。目前在南沙海域每年开采的石油超过 $5000 \times 10^4 \text{t}$, 相当于我国大庆油田一年的产油量。在我国南海的争议海域, 石油勘探开采的作业水深需 1000 ~ 2000m, 而以我国目前的勘探开采技术, 实际作业水深只能达到 300 多米, 这与国际先进水平的 3000m 技术相去甚远, 而且也达不到南海石油开发的基本要求。这种技术瓶颈也是阻碍我国深水石油勘探开采的最根本原因。

在海洋油气资源开发的初期, 把油井产出物输送到诸如海洋平台上或岸基设施那样的干环境中, 再进行与陆上油气田开发类似的各种后续处理, 这是顺理成章的解决办法。在当时看来, 与浅水固定式生产平台相匹配的干式采油树及其有关的水(地)面处理设备在监控、维护、产量调整和最佳化等方面的优点都大大超过了水下生产系统。

海洋油气开发中深水这一概念也随着技术的不断发展而发生变化, 10年前所谓的深水一般指水深 > 300m, 但根据 2002 年世界石油大会对海洋勘探开发水深的划分, 400m 以内为常规水深, 400 ~ 1500m 为深水, 1500m 以上为超深水。与此相对应, 人们对于水下生产系统的理解也逐渐发生变化, 对其作用和意义的认识也日益加深。世界海洋水深的划分如下表所示。根据我国现有装备和技术能力, 以及国际上深海工程实践, 我国深水的定义采用巴西的定义较为合理。

世界海洋水深的划分

定义	美国	北海	巴西
浅水(大陆架)	<400m	<300m	<300m
深水	400 ~ 1300m	300 ~ 2000m	300 ~ 1500m
超深水	>1300m	>2000m	>1500m

随着油气资源开发不可避免地向深水、超深水延伸, 除了国内海洋石油钻采装备界时常关注的半潜式钻井平台、钻井浮船和浮式生产储卸油轮 (FPSO)、张力腿(TLP)生产平台、Spar 生产平台、铺管船等需要向深水发展外, 海洋油气开发的相关配套设施也应跟上发展, 以便经济、安全地进行海上油气田, 特别是深水油气田的开采。



海洋油气田，尤其是深水开发项目，投资巨大、风险高，已成为石油天然气工业的重点关注对象，在前期开发阶段往往需要反复论证，目的是尽可能把投资减小到最少，把风险控制到最小。因此，前期方案选择的正确性和可行性显得至关重要，由于它的改变往往是耗资最大的。这点适合于海洋油气田开发工程系统的所有组成部分，如海洋立管部分的设计，是海底水下生产系统和浮式装置之间的关键连接。基于对整个海上油气田开发系统实际的、正确的评价是势在必行的。这种评价不仅要理解技术细节和每种设计的功能限制，也要分析每种设计的相关可靠性和可行性，如它们的接口要求、施工要求和成本控制等。在相关实践中，既要借鉴以往海上油气田开发的成功经验和失败教训，又要开拓创新，大胆应用新技术、新手段和新设备来加速对海洋油气田的顺利开发。

本书在对目前世界上正在运营和开发的海上油气田的广泛调研基础上，对海洋油气田工程的开发模式及相关配套技术进行了系统介绍，供参与海洋油气田工程建设的管理人员、专业技术人员在相关工作实践中参考。



第一章 海洋油气田工程的开发模式

1.1 以固定式导管架平台为基础的开发模式

固定式导管架平台作为海上油田开发的传统方式，经过半个多世纪的海上油田开发实践，已经证明是一种技术相当成熟、安全可靠的开发方式。固定式平台由于其完善的设计和使用的多样化，不仅能用于钻井、修井、生产，而且能用于生活居住和动力平台，许多大、中型海上油田都是利用固定式导管架平台来开发钻井和生产的。但深水固定式平台造价高，无法重复利用，对于储量小、开发寿命期较短的小油田是难以承受的。随着水深的增加，这一特点将会越来越明显。

固定式导管架平台与浮式生产设施相结合进行海上油田的开发，可以充分发挥各自的优势，如我国南海珠江口盆地的惠州(HZ)油田就是利用固定式平台与浮式生产储油轮(FPSO)等组成一套生产系统，对油田进行经济开发，HZ32-2和HZ32-3各建一座四腿导管架平台，生产出的原油通过HZ26-1油田的平台泵输到约26km外的HZ21-1油田的FPSO上进行处理和外输。

表1-1为利用固定式导管架平台开发的典型海上油田。

表1-1 利用固定式导管架平台开发的典型海上油田

油田名称	地理位置	储量/ 10^6 bbl	水深/m	开发方式
Tartan	北海	70	140	导管架平台+海底管线
Heather	北海	84	143	导管架平台+单点系泊+穿梭油轮
Auk	北海	85	82	导管架平台+穿梭油轮/海底管线

油田名称	地理位置	储量/ 10^6 bbl	水深/m	开发方式
Montrose	北海	85	91	导管架平台 + 穿梭油轮/海底管线
Eider	北海	85	157	导管架平台 + 海底管线
Udang	印尼近海	50	91	导管架平台 + 单点系泊 + 穿梭油轮
HZ32 - 2	中国南海	17	109	导管架平台 + FPSO + 穿梭油轮

注: 1bbl = 0.159m³。

1.2 以浮式生产储油轮(FPSO)为基础的开发模式

FPSO 是一种集生产、储存和卸油为一体的生产设施, 在海上油田开发生产中发挥了重要作用。由于它的可移动性, 开采完一个油田, 可以移动到下一个油田继续开发, 是开发海上油田的一种经济有效的生产设施。FPSO 可以是新建造的, 也可以是由旧油轮改装的。新建的 FPSO 投资费用较大, 建造时间也较长, 但具有较长的使用寿命和较低的维修费用; 改装的生产储油轮与新建的相比, 具有较低的改装费用和较短的改装时间, 但使用寿命短, 维修费用高。在海上油田的开发中, 生产储油轮与水下生产系统组成一套生产系统, 生产的原油由穿梭油轮(Shuttle)外输。

表 1-2 为使用浮式生产储油轮生产系统进行开发的典型海上油田。

表 1-2 利用 FPSO 开发的典型海上油田

油田名称	地理位置	水深/m	产率/(bbl/d)	开发方式
Castellon	西班牙近海	117	6000	水下井口 + FPSO + Shuttle
Nilde	西西里海峡	96	8000	水下井口 + FPSO + Shuttle
Cadlao	菲律宾近海	97	5500	水下井口 + FPSO + Shuttle
Tazerka	突尼斯近海	140	10000	水下井口 + FPSO + Shuttle
Kakap - KH	南中国海	90	18000	井口平台 + FPSO + Shuttle
Cyrus	北海	104	7500	水下井口 + SWOPS* + Shuttle
西江	中国南海	300		水下井口 + FPSO + Shuttle

* SWOPS(Single Well Oil Production System): 是一个以油轮为基础的单井生产系统, 它是一艘特别建造的生产储油轮, 处理能力为 45000 bbl/d, 具有 42000t 的储油能力。

1.3 以张力腿平台为基础的开发模式

张力腿平台是半潜式平台的延拓,通过垂直系统(Tether)或系留管(Tendon)将浮式半潜结构系连于海底,系缆或系留管所需张力由半潜结构的浮力提供,一般适用于300m以上的海域。

世界上第一座张力腿平台是1984年由Conoco大陆石油公司在英国北海Hutton油田建造的,水深147m,它的成功显示了张力腿平台在开发深海油气资源方面强大的生命力,到2009年为止,世界上已建成的张力腿平台有24座,采用张力腿平台开发的典型海上油田详见第二章表2-2。

1.4 以 Spar 平台为基础的开发模式

Spar平台技术事实上在30年前就在海洋工程中得到应用。那时的Spar平台是一种储油和卸油的浮筒。1984年,Deep oil Technology Inc.将其发展成特殊的具有钻、采及生产处理能力的并广泛适用于深海开发的平台。

Spar平台是一个浮式柱状结构,通过系缆索锚固于海底,造价低,运动响应小,便于安装,可以重复使用,因而对边际油田比较适用。平台的主体是一个大直径、大吃水的具有规则外形的浮式柱状结构,它由柱与梁板构成,柱体内部可以储油,它的大吃水形成对立管的良好保护,同时其运动响应对水深变化不敏感,更适宜于在深达3000m深水海域应用。与张力腿平台水平运动无法控制相比,它的水平运动能有所控制,被认为是除张力腿式平台外的另一种深海的平台,有很好的发展前途。至2009年,世界上已建成和在建的Spar平台共17座,采用Spar平台开发的典型海上油田详见第二章表2-3。



1.5 以半潜式平台为基础的开发模式

半潜式生产平台(SSPP)一般是由半潜式钻井平台改装而成,与水下生产设施组成一套生产系统,典型的水下生产系统包括一个水下生产底盘、水下管汇及若干口卫星井,水下井生产的流体通过管汇和生产立管进入半潜式平台上的处理设备,经处理的原油由泵通过管线输送至附近的储油轮或装油系统,再由 Shuttle 外输。如果半潜式生产平台是由半潜式钻井平台改装而成,改装工程可在岸边船厂进行,与海上建造和安装相比,可节省费用和时间,并且在改装的同时进行预钻井,可以提前投产。此外,使用半潜式平台开发完一个油田,可移到其他油田重复使用。表 1-3 为利用半潜式生产平台进行开发的典型海上油田。

表 1-3 利用半潜式生产平台进行开发的典型海上油田

油田名称	地理位置	水深/m	产率/(bbl/d)	生产井/口	开发方式
Argyll	北海	80	19000	6	水下井口 + SSPP + Shuttle
Bicudo	巴西近海	130	20000	6	水下井口 + SSPP + Shuttle
Buchan	北海	112	48000	9	水下井口 + SSPP + Shuttle
Pirauna	巴西近海	243	22000	5	水下井口 + SSPP + Shuttle
Dorado	西班牙近海	93	10000	3	水下井口 + SSPP + 外输管线
Balmoral	北海	145	35000	13	水下井口 + SSPP + 外输管线

1.6 以自升式平台为基础的开发模式

自升式平台不仅可以钻井,而且可以作为生产处理平台,是一种移动式生产设施,具有很大的灵活性,能够开发完一个油田转移到另一个油田继续使用。在海上油田的开发中,一般是对自升式钻井进行适当的改装,增加必须的处理设施,就可以开始生产,生产的原油由海底管线外输,或输送到附近的储油系统由穿梭油轮外输,如南海北部湾盆地的涸 10-3 油田的开发(见图 1-1)。利用自升式平台开发的典型海上油田见表 1-4。

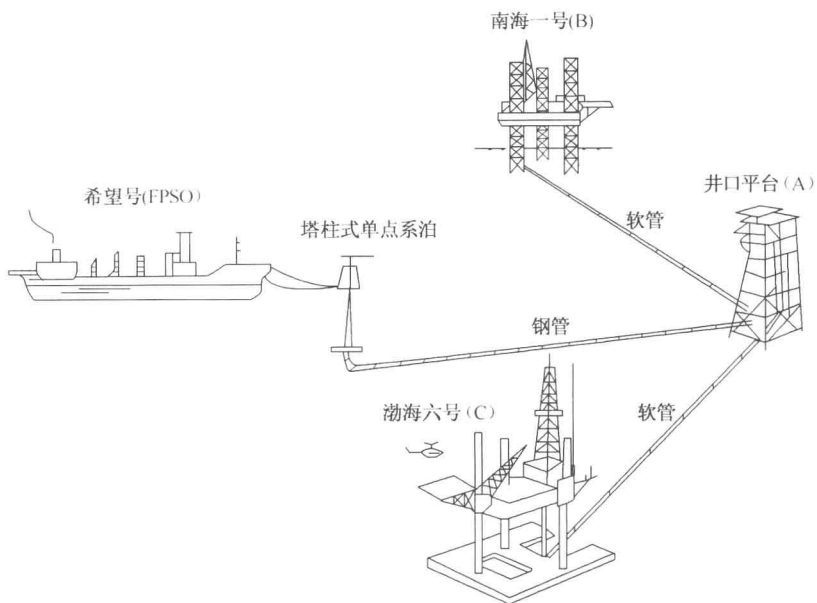


图 1-1 涠 10-3 油田开发方案示意图

表 1-4 以自升式生产平台开发的典型海上油田

油田名称	地理位置	水深/m	产率/(bbl/d)	生产井/口	开发方式
Badejo	坎波斯盆地	94	7400	4	水下井口 + 自升式平台井 + 储油 轮 + Shuttle
Patati	巴西近海	94	7000	4	
Espior	象牙海岸	130	10000	4	
Saleh	阿联酋近海	100	23000	3	井口平台 + 自升式平台 + 储油 轮 + Shuttle
涠 10-3	中国南海	40	20000		

1.7 利用水下回接到已有设施进行开发

利用水下井生产，通过海底管线回接到附近油田的基础设施进行处理和外输，对海上油田开发，只需对基础设施进行适当的改装，省去了单独的生产支撑设施，大大节省了投资费用，是一种经济有效的开发方式，特