

高等学校教材

# 海洋石油工程

陈建民 李淑民 韩志勇 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

石油工业出版社

# 海洋石油工程

第 1 卷 第 1 期 2008 年 1 月



要 容 内

# 高等学校教材

# 海洋石油工程

陈建民 李淑民 韩志勇 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书系统介绍了海洋石油工程所涉及的专业知识。全书共十五章,根据海洋石油开采流程分成三个部分。从第二章到第八章为海洋钻井部分,主要介绍地层压力、岩石特性、钻头、钻柱、钻井液、井眼轨道设计、井眼轨迹控制、井身设计和海上钻井工艺。从第九章到第十二章为海洋采油部分,主要介绍固井、完井、试油、海上油气举升、注水、水力压裂、酸处理和复杂条件下的开采技术。从第十三章到第十五章为海洋油气集输部分,主要介绍海上油气生产、海上油气处理和海洋油气管道输送。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程专业、海洋油气工程专业及相关专业的教材或参考书,也可供从事海洋石油工程的科技人员学习或参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

海洋石油工程/陈建民,李淑民,韩志勇主编.

北京:石油工业出版社,2015.7

(高等学校教材)

ISBN 978-7-5183-0601-5

I. 海…

II. ①陈… ②李… ③韩…

III. 海上油气田-石油工程-高等学校-教材

IV. TE5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 008612 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号 100011)

网 址 <http://www.petropub.com>

编辑部:(010) 64523579 图书营销中心:(010) 64523633

经 销:全国新华书店

排版印刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:27.25

字数:684 千字

---

定价:52.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

# 序

21 世纪是海洋世纪。

海洋是人类社会经济发展的重要支点，是人类科学进步与技术创新的重要舞台。海洋经济和海洋事业的发展离不开海洋科技的引领与支撑。

当今，在全球对石油天然气大量需求的情况下，许多陆上资源已面临枯竭，而海洋油气储量丰富，全球油气工业正在由陆地走向海上，由浅海走向深海，海洋油气市场蕴藏着巨大的潜力。

我国作为全球石油消费第二大国，目前对原油的外依存度已超过 50%。我国东海和南海石油天然气储量极其丰富，中国南海因石油天然气储量极大通常被称为“第二个波斯湾”。海洋石油天然气的勘探开发需要海洋石油科技的支持。

海洋石油工业的蓬勃发展亟需大批从事海洋石油工程的科技工作者。学校是工程师的摇篮，教材是学生的精神食粮。因此，学校是造就科技工作者的基地，教材是培养科技工作者的保障。海洋石油工业日新月异，对海洋科技工作者的要求愈来愈高。不但要求科技工作者理论基础扎实，还要求科技工作者专业知识面宽。在教育部要求高校全面压缩理论课教学学时的情况下，专业课教学将面临“学时在压缩，要求在提高”的困惑。以学生为中心、以需求为导向编写一本好的教材将是化解这一困惑的上上良策，也是造就千千万万个满足我国海洋石油工业发展需要的科技工作者的重要举措。

欣喜地看到中国石油大学（华东）和海洋石油工程股份有限公司相关专家学者打造的《海洋石油工程》，该书以需求为导向选择和优化编写内容，首次将海洋钻井、海洋采油和海洋油气集输三个方面的内容组织在一起形成一个完整的内容体系，解决了相关专业课教学中的“学时在压缩，要求在提高”的困惑。

希望《海洋石油工程》的出版能为飞速发展的我国海洋石油工程工业提供一份帮助和支持。祝愿本书的出版和发行取得圆满成功！

中国工程院院士

曾恒一

2015 年 1 月

试读结束 需要全本请在线购买：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

# 前 言

为了适应我国海洋石油工程工业发展的需要和高等教育改革的要求,2013年中国石油大学(华东)对船舶与海洋工程专业教学计划进行了大幅度的调整与修改,调整的主要内容之一是把原教学计划中的“海洋钻井工程”、“海上油气开采与集输”、“海洋石油工程”三门课合并成“海洋石油工程”一门课。教学计划修订前的“海洋石油工程”课是2001年开始为石油工程专业开设的,设置的课程内容主要是海上部分,不涉及原钻井工程和采油工程课程中的内容,目的是使石油工程专业的学生能进入海洋石油工程领域,为国家的海上大开发输送急需的专业技术人才。就在2001年当年,中国石油大学(华东)为适应形势发展的需要,增设了船舶与海洋工程专业,该专业的教学计划中也设置了“海洋石油工程”课程。这样,从2004年开始,“海洋石油工程”就同时为石油工程、船舶与海洋工程两个本科专业的学生开设。

根据中国石油大学(华东)2013版教学计划,我们组织有关教师和现场专家,依据十多年的教学经验和现场工作经验编写了本书。

本书的特色是以学生为中心,以需求为导向优化教学内容,最大限度地满足学生就业后对该领域的知识需求,最大限度地降低课程对教学学时的需要。本书是按64个教学学时编写的。

本书的特点是以石油开采流程为主线,将海洋钻井、海洋采油和海洋油气集输三个方面的内容融为一体,形成了一个完整的内容体系,突破了原来三个方面各成体系进行授课的模式,使学生通过一门课的学习,就可以掌握原来需三门课才能学到的知识体系。因此,本书既可以作为船舶与海洋工程专业、海洋油气工程专业及相关专业的教材,也可以作为计划进入海洋石油工程领域的科技人员的自学教程。

本书第一章至第五章以及第七章至第十一章由陈建民编写,第六章由韩志勇编写,第十二章由陈德春编写,第十三章到第十五章由海洋石油股份有限公司李淑民副总工程师编写。全书由陈建民统稿。

在本书编写过程中,管志川、陈德春、曹学文、刘均荣、温庆志、寇杰、王以法、张足斌和李志刚提出了许多宝贵意见和建议,高苹梅、李俊、孔祥英、孙艳、姚金江、栾道坤、贺正兴、张棋、王佳佳、王少磊、张春燕参与了录入和绘图工作,在此特向他们表示诚挚的感谢。

限于编者水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2015年1月

# 目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 世界海洋石油概况	(1)
第二节 中国海洋石油概况	(2)
第三节 海洋石油工程发展趋势	(7)
习题	(9)
第二章 地层压力与岩石特性	(10)
第一节 地层压力特性	(10)
第二节 岩石的力学性质	(16)
习题	(27)
第三章 钻头、钻柱与钻具组合	(28)
第一节 钻头	(28)
第二节 钻柱	(40)
第三节 钻柱与下部钻具组合设计	(47)
习题	(54)
第四章 钻井液	(55)
第一节 钻井液的定义和作用	(55)
第二节 钻井液的组成和分类	(56)
第三节 钻井液的性能	(57)
第四节 钻井液的固相控制	(61)
第五节 井塌及防塌措施	(63)
第六节 油气层保护及完井液	(65)
习题	(68)
第五章 钻速方程与钻进参数优选	(69)
第一节 钻速方程与钻头磨损方程	(69)
第二节 机械破岩参数优化设计	(77)
第三节 水力参数优选	(82)
习题	(102)
第六章 井眼轨道设计与井眼轨迹控制	(103)
第一节 井眼轨迹的基本概念	(103)
第二节 随钻测量	(107)
第三节 直井防斜技术	(112)
第四节 定向井井眼轨道设计	(118)
第五节 定向井造斜工具及轨迹控制	(124)
习题	(135)

第七章 井身结构与套管柱设计 .....	(136)
第一节 井身结构设计 .....	(136)
第二节 套管柱的设计 .....	(141)
习题 .....	(151)
第八章 海上钻井工艺 .....	(152)
第一节 海洋钻井井口装置 .....	(152)
第二节 各次开钻的施工 .....	(158)
第三节 压力控制钻井 .....	(161)
第四节 海上井控技术 .....	(167)
第五节 钻柱升沉补偿 .....	(186)
习题 .....	(193)
第九章 固井、完井与试油 .....	(194)
第一节 固井 .....	(194)
第二节 完井 .....	(208)
第三节 试油 .....	(221)
习题 .....	(227)
第十章 海上油气举升技术 .....	(228)
第一节 油井流入动态与井筒多相流动计算 .....	(228)
第二节 自喷井生产系统分析 .....	(244)
第三节 气举采油原理及油井举升系统设计方法 .....	(254)
第四节 电潜泵举升技术 .....	(266)
习题 .....	(274)
第十一章 注水、水力压裂和酸处理技术 .....	(275)
第一节 注水技术 .....	(275)
第二节 水力压裂技术 .....	(285)
第三节 酸处理及酸化压裂技术 .....	(301)
习题 .....	(310)
第十二章 复杂条件下的开采技术 .....	(311)
第一节 防砂与清砂 .....	(311)
第二节 防蜡与清蜡 .....	(322)
第三节 堵水与调剖 .....	(326)
第四节 稠油及高凝油开采技术 .....	(335)
第五节 井底处理新技术 .....	(344)
习题 .....	(347)
第十三章 海上油气生产 .....	(348)
第一节 海上油气生产的特点 .....	(348)
第二节 浮式采油系统 .....	(349)
第三节 水下采油系统 .....	(352)
第四节 海上储油系统 .....	(360)
第五节 单点系泊装置 .....	(364)



习题 .....	(369)
<b>第十四章 海上油气处理 .....</b>	<b>(370)</b>
第一节 概述 .....	(370)
第二节 油气分离 .....	(371)
第三节 原油稳定 .....	(380)
第四节 脱水脱盐 .....	(385)
第五节 天然气处理 .....	(391)
习题 .....	(397)
<b>第十五章 海洋油气管道输送 .....</b>	<b>(398)</b>
第一节 海底管道的工艺计算 .....	(398)
第二节 海底管道输油工艺技术 .....	(409)
第三节 海底管道的设计 .....	(412)
第四节 海底管道完整性管理技术 .....	(415)
第五节 海底管道铺设 .....	(422)
习题 .....	(425)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(426)</b>

# 第一章 绪 论

当今世界油气储量迅速递减，陆上石油资源紧缺问题日渐突出，据预测，全球陆上的油气可采年限约为30~80a。随着对石油需求的快速增加，世界随之步入了石油匮乏的时代，也就是所谓的“后石油时代”。

海洋是个巨大的宝库，不仅为人类提供极其丰富的渔业资源、矿产资源、动力资源，而且海底下蕴藏着极其丰富的石油资源。据估计，近海海底的石油地质储量约有 $2500 \times 10^8 \text{t}$ ，约占全世界总储量的45%。目前全世界已经找到的石油储量有 $1600 \times 10^8 \text{t}$ ，海上石油的勘探程度远远没有陆上充分，海上石油工程有着极其广阔的前景。

## 第一节 世界海洋石油概况

### 一、世界海洋石油分布

世界海洋蕴藏着极其丰富的油气资源，但油气资源分布极不均衡，主要集中在三湾、两海和两湖区域。“三湾”即波斯湾、墨西哥湾和几内亚湾，“两海”即北海和南海，“两湖”即里海和马拉开波湖。其中，波斯湾海域石油、天然气含量最丰富，约占总储量的一半左右。第二位是委内瑞拉的马拉开波湖海域，第三位是北海海域，第四位是墨西哥湾海域。当然，远东地区和西非等海域也蕴藏着丰富的油气。在这些海域中，就油气勘探开发国家而言，波斯湾以沙特、卡塔尔和阿联酋为主，里海沿岸以哈萨克斯坦、阿塞拜疆和伊朗为主，北海沿岸以英国、挪威、美国、墨西哥、委内瑞拉、尼日利亚等为主。

### 二、世界海洋油气储量情况

据统计，全球石油探明储量为 $1757 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气的探明储量为 $173 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。全球海洋石油资源量约为 $1350 \times 10^8 \text{t}$ ，探明储量约为 $380 \times 10^8 \text{t}$ ；海洋天然气资源约为 $140 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，探明储量约为 $40 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。

海底可划分为大陆架、大陆坡、大陆基和深海平原，海洋油气资源主要分布在大陆架，约占全球海洋油气资源的60%，其面积仅占整个海底面积的7.49%。在全球海洋油气探明储量中，目前浅海仍占主导地位，但随着石油勘探技术的进步，将逐渐进军深海。目前，根据国际海洋石油业内人士的公认标准，水深小于500m为浅海，水深大于500m为深海，水深在1500m以上为超深海。2000—2005年，全球新增油气探明储量达 $164 \times 10^8 \text{t}$ 油当量，其中深海占41%，浅海占31%，陆上占28%。

### 三、世界海洋石油发展历程

海洋石油的勘探开发是陆地石油勘探开发的延续，经历了一个由浅水到深海、由简易到复杂的发展过程。

1887年，在美国加利福尼亚海岸数米深的海域钻探了世界上第一口海上探井，拉开了

海洋石油勘探的序幕。

1920年，委内瑞拉在马拉开波湖利用木制平台钻井，发现了一个大油田。

1922年，苏联在里海巴库油田附近用栈桥进行海上钻探成功。

1936年，美国在墨西哥湾的海上开始钻第一口深井，1938年建成世界上最早的海洋油田。

1947年，美国在墨西哥湾发现第一个近海油田，标志现代海洋石油的开端。

1951年，沙特阿拉伯发现了世界上最大的海上油田。

1964年，英国开发北海油田。

1967年，我国渤海海1井发现工业油流。

20世纪70年代，尼日利亚开发西非海上油气。

20世纪80年代，巴西加大深海油气勘探开发技术研发，到90年代为其油气产量的大幅度增加奠定了基础。

20世纪90年代至21世纪初，中国南海海域成为开发的热点，北极地区得到更多重视。

## 第二节 中国海洋石油概况

### 一、中国海洋石油发展历程

我国海洋石油勘探开发的艰苦探索历程起始于1956年，莺歌海盐场筹备处根据群众报告，在海南岛西南角的莺歌海村滨岸浅海海域进行过初步的油气苗考察。1957年在国家科委海洋组领导组织下，于渤海、渤海海峡和北黄海西部海区进行了多船同步调查，调查每季度一次，一年共进行4次。通过调查，首次获得了系统的海洋资料，从而揭开了我国大规模海洋综合调查的序幕。

1960年我国用驳船安装冲击钻，在海南莺歌海盐场水道口浅海钻了2口井，井深26m，首次获得重质原油150kg。

1964年，在浮筒沉垫式简易平台上安装陆用钻机，在莺歌海岸边水深15m处钻了3口井，井深388m，获原油10kg。自此，莺歌海成为中国海洋石油的发祥地。

1966年完成了我国第一座桩基式钻井平台的设计，同年12月完成我国自己设计的混凝土桩基钢架固定式1号钻井平台的制造。

1966年12月21日，海1井（QK17-2）正式开钻，1967年5月6日钻达2441.49m上的馆陶组地层时完钻，6月14日凌晨海1井喜喷原油。经过测试，从新近系明化镇地层中用6mm油嘴自喷49.15t。这是中国海上第一口真正的石油探井，也是中国海上第一个含油构造。后来，在1号钻井平台上又钻斜井3口，将平台改建成1号试验采油平台，投产后，当年采油1963t，到1967年底累计产油20100t，从此开始了我国海上生产原油的历史，开创了渤海油气勘探开发的新局面。

1967年，我国自行设计建造的渤海1号平台投产，标志着我国海洋石油工程建设的起步。

1971年，我国在渤海发现海四油田，先后建立了2座平台，年高峰产油量 $8.69 \times 10^4$ t，累计采油 $60.3 \times 10^4$ t，这就是我国第一个海上油田。渤海也被称为中国的马拉开波湖。

1973年，燃料化学工业部海洋勘探指挥部从日本引进自升式钻井平台“渤海2号”，随

后又引进了渤 4 号、渤 6 号、渤 8 号、渤 10 号、南海 1 号和勘探 2 号自升式钻井平台，以及南海 2 号半潜式钻井平台，并从法国购进一艘数字地震船“南海 501 号”。与此同时，我们还自行设计和建造了渤海 3 号、渤海 5 号、渤海 7 号、渤海 9 号、渤海 11 号自升钻井船，滨海 102 起重船（500t），滨海 107 海上打桩船（60t），以及滨海 306、滨海 307 导管架下水驳船等大型海上设备。

1999 年，在西沙海槽发现了海洋天然气水合物（可燃冰），总资源量达 700 多亿吨油当量，约相当于我国近海石油天然气总资源量的一半。南海资源的开发正显示出前所未有的潜力。

2000 年，发现歧口 18-2 含油构造，勘探发现了曹妃甸 12-1 含油构造。

2002 年初，东海西湖天然气联合开发项目启动。

2003 年，中海油、中石化和壳牌公司及尤尼科石油公司共同签订了春晓气田群项目开发合同，涉及开发总面积 22000km<sup>2</sup>。

2003 年，东方 1-1 气田投入开发，产量为  $16 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，2006 年全面投产，产量达至  $27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。它是中国第一个自营开发气田。

2004 年，为了加强海洋石油的开发，中国石油海洋工程公司成立。

2005 年，春晓气田投产，产量约为  $19 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2005 年，发现了南堡油田。

2006 年，通过与哈斯基公司的精诚合作，中国海上第一口水深超千米的探井——荔湾 3-1-1 井获得成功。南海珠江口盆地荔湾深水天然气构造的重大发现，填补了中国深水油气发现的空白。该构造拥有约  $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$  的探明储量，大大增强了对中国海域深水勘探前景的信心。

2009 年，陆丰 13-1 油田成为中海油第一个因石油合同到期而回归自营的油田。

2009 年，中国海洋油气产量突破  $5000 \times 10^4 \text{ t}$  油当量，成为我国重要的油气供给基地。

2013 年，中国海域油气产量连续 4 年达 5000 万吨级油当量；海外油气净产量比 2012 年翻一番；中国海洋石油总公司全年生产原油  $6684 \times 10^4 \text{ t}$ ，天然气  $196 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2014 年，“海洋石油 981”钻井平台在南海北部深水区测试获得高产油气流。据测算，这是中国海域自营深水勘探的第一个重大油气发现，测试日产量相当于 9400bbl 油当量。

中国的海洋油气资源十分丰富，主要集中于渤海、黄海、东海及南海北部大陆架。

## 二、渤海海洋石油现状

渤海湾地区已发现 7 个亿吨级油田，其中渤海中部的蓬莱 19-3 油田是迄今为止中国最大的海上油田，又是中国目前第二大整装油田，探明储量达  $6 \times 10^8 \text{ t}$ ，仅次于大庆油田。2010 年渤海海上油田的产量达到  $5550 \times 10^4 \text{ t}$  油当量，成为中国油气增长的主体。

渤海油田与辽河油田、大港油田、胜利油田、华北油田、中原油田属于同一个盆地构造，有辽东、石臼坨、渤西、渤南、蓬莱 5 个构造带，总资源量在  $120 \times 10^8 \text{ m}^3$  左右。其地质油藏特点是构造破碎、断裂发育、油藏复杂，储层以河流相、三角洲、古潜山为主，油质较稠，稠油储量占 65% 以上。

1967 年，我国海上第一口探井“海 1 井”出油，拉开了渤海油田生产史的序幕，也标志着渤海油田正式进入了现代工业生产阶段。1975 年，渤海油田产量只有  $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，到 2010 年，渤海油田实现了油气产量  $3000 \times 10^4 \text{ t}$  的历史新跨越，达到  $3005 \times 10^4 \text{ t}$ 。

截至 2010 年底，渤海油田累计发现三级石油地质储量近  $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，发现了蓬莱 19-3、绥中 36-1、秦皇岛 32-6、渤中 25-1、金县 1-1、锦州 25-1/南等数个亿吨级大油田，形成四大生产油区和 8 个生产作业单元，在生产油田超过 50 个，拥有各类采油平台 100 余座。

渤海湾盆地含油层系多，油藏类型多，领域广阔。在以拉张应力为主形成的渤海湾断陷盆地油藏的圈闭类型是多样的，突出的有断块型、背斜型、潜山型、披覆型、斜坡型、超覆型以及岩性尖灭型，它们的出现往往是相互交织、互为因果，组成了许多“复式油气聚集带”。

### 三、黄海海洋石油现状

黄海海域的石油资源分布在南黄海和北黄海两个盆地。南黄海盆地远景资源量为  $4.44 \times 10^8 \text{ t}$ ，地质资源量为  $2.98 \times 10^8 \text{ t}$ ，可采资源量为  $0.72 \times 10^8 \text{ t}$ ；北黄海盆地远景资源量为  $8.02 \times 10^8 \text{ t}$ ，地质资源量为  $4.24 \times 10^8 \text{ t}$ ，可采资源量为  $0.85 \times 10^8 \text{ t}$ 。

黄海海域的天然气资源全部分布在南黄海盆地，盆地天然气远景资源量为  $4163.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地质资源量为  $1847.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，可采资源量为  $1071.26 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

由于勘探程度很低，对盆地结构还不了解。据不完全统计，在黄海北部盆地中国钻井 4 口井，与英国克拉夫石油公司合作 2 口井。

### 四、东海海洋石油现状

东海油田油气资源丰富，估计蕴含石油  $250 \times 10^8 \text{ t}$ ，天然气逾  $8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。东海海域探明的天然气储量达  $700 \times 10^8 \text{ m}^3$  以上，由中国海洋石油总公司（以下简称中海油）和中国石油化工集团公司（以下简称中石化）投资建设。目前，东海海域主要油气田有春晓、平湖、残雪、断桥和天外天等。其中，春晓油气田是在东海陆架盆地西湖凹陷中开发的一个大型油气田，被称为“东海西湖凹陷区域”，是目前中国最大的海上油气田。东海大陆架可能是世界上最丰富的油气区之一，可能成为“第二个中东”。下面主要介绍一下春晓油气田及邻近的平湖油气田的发展状况。

春晓油气田为距上海东南 500km、距宁波 350km 的东海海域，所在位置被专家称为“东海西湖凹陷区域”。这个目前中国最大的海上油气田，由春晓、残雪、断桥、天外天等 4 个油气田组成，总面积为  $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，由中海油和中石化投资建设。1995 年发现，2005 年正式投产，年产量达  $25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

平湖油气田是我国东海海域第一个发现并投入开发的复合型油气田，总开发面积为  $240 \text{ km}^2$ 。首期开发工程自 1999 年投产以来，平均每天向上海持续、稳定供应天然气  $120 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，并生产相当数量的原油。2003 年扩建一期实施后，日供气规模提高到了  $180 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

### 五、南海北部海洋石油现状

南海北部属于我国近陆海，大致指北纬  $17^\circ$  和西沙群岛以北的南海海域，油气的勘探与开发进行得较早，并且具有相当大的规模。

#### （一）石油资源

南海北部海域石油剩余技术可采储量为  $1.02 \times 10^8 \text{ t}$ （占全国的 3.54%），居全国第 9

位，储采比是7:1，低于全国平均水平（14:1）；待探明地质资源量较大，有较大的勘探潜力。

南海北部海域的石油资源主要分布在珠江口盆地，其次是北部湾盆地，其地质和可采资源量分别占南海北部海域的68.23%和69.65%，北部湾盆地的石油地质和可采资源量分别占南海北部海域的22.80%和17.67%，琼东南盆地的石油地质和可采资源量分别占南海北部海域的8.47%和8.38%。

### 1. 珠江口盆地

盆地石油远景资源量为 $28.87 \times 10^8 \text{t}$ ，地质资源量为 $21.95 \times 10^8 \text{t}$ ，待探明地质资源量为 $15.10 \times 10^8 \text{t}$ ，占全盆地总地质资源量的68.79%；可采资源量为 $7.58 \times 10^8 \text{t}$ ，待探明可采资源量为 $5.06 \times 10^8 \text{t}$ ，占全盆地总可采资源量的66.75%。资源主要分布在新生界；资源分布的深度主要是浅层和中深层，在深层和超深层也有少量分布。地理环境主要是浅水，其次为深水。资源类型主要为常规油，其次为重油或稠油，再次为低渗和特低渗油。

### 2. 北部湾盆地

盆地石油远景资源储量为 $9.70 \times 10^8 \text{t}$ ，地质资源量为 $7.34 \times 10^8 \text{t}$ ，待探明地质资源量为 $5.61 \times 10^8 \text{t}$ ，占全盆地总地质资源量的76.48%；可采资源量为 $1.92 \times 10^8 \text{t}$ ，待探明可采资源量为 $1.48 \times 10^8 \text{t}$ ，占全盆地总可采资源量的77.07%。资源主要分布在新生界；资源分布的深度主要为浅层，其次为中深层，在深层和超深层也有少量分布。地理环境为浅水。

### 3. 琼东南盆地

盆地石油远景资源储量为 $4.26 \times 10^8 \text{t}$ ，地质资源量为 $2.73 \times 10^8 \text{t}$ ，待探明地质资源量为 $2.69 \times 10^8 \text{t}$ ，占全盆地总地质资源量的98.59%；可采资源量为 $0.92 \times 10^8 \text{t}$ ，待探明可采资源量为 $0.89 \times 10^8 \text{t}$ ，占全盆地总可采资源量的97.12%。资源分布在松东、松西凹陷和北礁南洼；分布的层系为新生界，深度主要为中深层，深层、浅层也有分布。地理环境为浅水和深水。资源类型主要为常规油藏，少量为低渗透和特低渗透油藏。

## （二）天然气资源

南海北部海域天然气远景资源量为 $56760.73 \times 10^8 \text{m}^3$ ，地质资源量为 $34083 \times 10^8 \text{m}^3$ （占全国的7.77%），可采资源量为 $21667.86 \times 10^8 \text{m}^3$ （占全国的7.89%）。

天然气探明地质储量为 $3563.41 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中探明气层气地质资源量为 $3291.53 \times 10^8 \text{m}^3$ ，待探明气层气地质资源量为 $30792.05 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占南海北部海域总地质资源量的90.34%。天然气探明技术可采储量为 $2365.54 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中探明的气层气可采资源量为 $2278.96 \times 10^8 \text{m}^3$ ，待探明气层气的可采资源量为 $19388.90 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占南海北部海域总可采资源量的89.48%。

南海北部海域天然气剩余技术可采储量为 $1788.87 \times 10^8 \text{m}^3$ （占全国的5.25%），居全国第5位，储采比是30:1，低于全国平均水平（44:1），有较大的勘探潜力。

南海北部海域的天然气资源主要分布在莺歌海盆地、琼东南盆地和珠江口盆地，其地质资源量分别占北部海域的38.34%、32.69%与21.79%，可采资源量分别占北部海域的37.55%、33.43%与22.28%，北部湾盆地的天然气地质和可采资源量分别占北部海域的1.76%和1.80%。

### 1. 珠江口盆地

珠江口盆地天然气远景资源量为  $10981 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地质资源量为  $7426.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，可采资源量为  $4827 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。天然气探明地质储量为  $4749.90 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明气层气地质资源量为  $659.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，待探明气层气地质资源量为  $6767.34 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全盆地总地质资源量的 91.12%。

天然气探明技术可采储量是  $452.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明的气层气可采资源量为  $417.03 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，待探明气层气的可采资源量为  $4410.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全盆地总可采资源量的 91.36%。

### 2. 北部湾盆地

北部湾盆地天然气远景资源量为  $852.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地质资源量为  $599.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，可采资源量为  $389.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

天然气探明地质储量为  $211.54 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明气层气地质资源量为  $29.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，待探明气层气地质资源量为  $569.25 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全盆地总地质资源量的 95.00%。

天然气探明技术可采储量为  $69.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明的气层气可采资源量为  $18.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，待探明气层气的可采资源量为  $371.28 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全盆地总可采资源量的 95.33%。

资源主要分布在新生界，深度主要为浅层，其次为中深层，在深层和超深层也有少量分布。地理环境为浅水。

### 3. 琼东南盆地

琼东南盆地天然气远景资源量为  $18853.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地质资源量为  $11142.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，可采资源量为  $7242.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

天然气探明地质储量为  $1037.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，全部为气层气，待探明气层气地质资源量为  $10104.40 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全盆地总地质资源量的 90.68%。

天然气探明技术可采储量为  $805.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，全部为气层气，待探明气层气的可采资源量为  $6437.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全盆地总可采资源量的 88.88%。资源分布的层系为新生界，在浅层、中深层、深层、超深层都有分布。地理环境为浅水和深水。

### 4. 莺歌海盆地

莺歌海盆地天然气远景资源量为  $22800 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地质资源量为  $13067 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，可采资源量为  $8137 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

天然气探明地质储量为  $1564 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，全部为探明气层气地质资源量，待探明气层气地质资源量为  $11503 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

天然气探明技术可采储量为  $1038 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，全部为探明的气层气可采资源量，待探明气层气的可采资源量为  $7098 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

资源主要分布在新生界，深度主要是浅层和中深层，髌层也有部分分布。地理环境为浅水。

## 六、南海南部海洋石油现状

南海南部海域具有非常大的油气储量，有资料显示，仅在南海的曾母盆地、沙巴盆地、万安盆地的石油总储量就超过  $100 \times 10^8 \text{ t}$ ，是世界上尚待开发的大型油藏。经初步估计，整个南海的石油地质储量在  $(230 \sim 300) \times 10^8 \text{ t}$  之间，其中有一半以上的储量分布在我国九段线内海域，约占中国总资源量的三分之一，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。南海南部盆地油气资源统计见表 1-1。

表 1-1 南海南部盆地油气资源统计 单位:  $10^8$ t

资源量 分布	远景资源量	地质资源量	可采资源量
曾母盆地	51.38	33.51	12.06
文莱—沙巴盆地	32.37	21.63	8.15
中建南盆地	29.71	19.06	5.81
万安盆地	25.54	16.31	5.88
北康盆地	22.10	13.82	3.59
南薇西盆地	13.21	8.43	2.18
礼乐翁地	8.16	5.24	1.61
西北巴拉望盆地	6.85	4.42	1.59
笔架南盆地	6.60	4.17	1.08
南沙海槽盆地	2.51	1.53	0.40
安渡北盆地	1.15	0.73	0.19
南薇东盆地	1.09	0.69	0.18
九章盆地	0.45	0.28	0.07
永暑盆地	0.42	0.27	0.07

### 第三节 海洋石油工程发展趋势

从世界范围看,由于陆地和浅水石油勘探程度较高,油气产量已接近峰值。世界新增油气储量已由陆地、浅海转向广阔的深水水域。

近年来,全球新增的油气发现量主要来自于海上,尤其是深水和超深水。据了解,近5年来,全球重大油气发现的70%来自深水。2011年,全球10大发现中的6个来自深水。2012年,10大油气发现全部来自于深水。另外,寒冷的北极也是世界油气的新增长点,预计至2025年,北极地区油气年产量将达到 $10 \times 10^8$ t油当量,北极地区将成为重要的资源区域。

深海油气资源勘探最直接的风险是极大的施工风险。海洋平台结构复杂、体积庞大、造价昂贵、技术含量高,特别是与陆地结构相比,它所处的海洋环境十分复杂和恶劣。风浪、洋流、海冰和潮汐等时时作用于平台结构,同时还受到地震、海啸作用的威胁。在此环境条件下,环境腐蚀、海生物附着、地基泥层冲刷、基础动力软化、结构材料老化、构件缺陷、机械损伤以及疲劳和损伤累积等不利因素都将导致平台结构构件和整体抗力的衰减,影响结构的服役安全度和耐久性。

虽然进行深水油气勘探开发要面对很大的危险,但深水油气田的平均储量规模和平均日产量都明显比浅水油气田高。因此,尽管深水油田勘探开发费用比浅水高得多,但由于它的储量和产量也很高,就降低了单位储量成本,这吸引了许多油公司开始向深海开发方向发展。



目前，世界海洋石油工程发展正在向大型化、深水化、多样化、信息化等趋势发展。

## 一、大型化

近年来，国际市场上深海钻采装备呈现出大型化趋势，包括甲板可变载荷、平台主尺度、载重量、物资储存能力等各项指标都在向大型发展，以增大作业的安全可靠性、全天候的工作能力（抗风暴能力）和长的自持能力。如BP公司研制了Thunder Horse平台，是世界上最大、最先进的半潜式采油平台，2008年年底用来开发墨西哥湾深海的巨大油气储量。Thunder Horse平台比世界第二大半潜式平台大50%左右。该平台每天能处理 $25 \times 10^4$  bbl的石油和 $2000 \times 10^8 \text{ ft}^3$ 的天然气，可以满足美国650万个家庭日常能源的需求。再如半潜式平台和钻井船，从20世纪70年代前的第1代已发展到目前的第5代、第6代，甲板可变载荷由2000~3000t，发展到目前的2000~23000t，主机功率由5000~10000hp发展到目前的 $(2.7 \sim 5.5) \times 10^4 \text{ hp}$ 等。

## 二、深水化

随着油气开发加速向深水、超深水延伸，半潜式钻井平台、钻井浮船和浮式生产储油轮(FPSO)等装备的设计工作水深与钻井深度、实际钻井深度不断创造新的纪录。如2003年2月，雪佛龙公司用Discover Deep Sea钻井船，在美国墨西哥湾创造钻井工作水深达3051.35m的世界纪录；由Noble公司拥有的“NobleDanny Adkins”号半潜式平台，2009年经过大连船舶重工改建，改造后工作水深已达到3656m，钻井深度为11278m；舍凡钻井公司(Sevan Drilling)拥有的“舍凡钻工”号半潜式平台，由中国江苏韩通船舶重工有限公司承建，该平台工作水深达当前创纪录的3810m，钻探能力也达当前创纪录的12192m超深井钻机。

## 三、多样化

近年来国际市场上不断涌现出浮式液化天然气生产储油船(LNG/LPGFPSO、LNG+FSRU)、浮式钻探生产储油船FDPSO、钻井-FPSO设备船、破冰-FPSO船、结构张力腿平台、深吃水立柱式平台、双钻塔式钻井船等一系列新兴概念的海洋工程装备。部分已有新的订单，部分还在设计过程中。如2007年3月至2008年6月，FlexLNG公司先后与韩国三星重工订造了4艘LNG-FPSO船体建造合同；2007年4月，Golar LNG公司与巴西国家石油公司签订协议，为其提供2艘LNG浮式存储再汽化单元(LNG-FSRU)的长期租赁服务，这2艘LNG-FSRU将由LNG船改装而成；2009年7月29日，壳牌石油公司与法国技术工程公司Technip及韩国三星重工组成的联合体草签了一份LNG-FPSO建造合同，总价达到500亿美元。按照合同，今后15年，壳牌公司将订造10艘LNG-FPSO船，每艘价格包括船体和配套设备在内约50亿美元。

另外，随着俄罗斯进一步提高波罗的海港口石油出口能力以及北极附近油气资源的加速开发，适应冰区航行要求的船舶需求量大幅增加，各国油气公司、航运企业和造船企业也都因此加大了相应的船舶研发和投资力度。如三星重工早在2003年就开始重视海洋工程装备的研发，目前已成为世界上钻井船研发和建造实力最强的企业。该公司于2007年11月向瑞典交付了一艘能工作于极地海域、钻井深度达11000m的钻井船，可适应未来北冰洋航区的发展需求。此外，三菱重工、NYK、三井商船、日商瑞惠银行等在内的15家日本