



当代石油和石化工业技术普及读本

# 海洋石油勘探

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

亢峻星 执笔



中国石化出版社

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

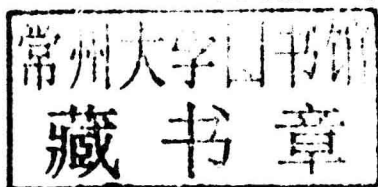
当代石油和石化工业技术普及读本

# 海洋石油勘探

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

亢峻星 执笔



中国石化出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

海洋石油勘探 / 中国石油和石化工程研究会组织编写. —2 版. —北京: 中国石化出版社, 2012. 4  
(当代石油和石化工业技术普及读本)  
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1457 - 1

I. ①海… II. ①中… III. ①海上油气田 - 油气勘探 - 普及读物 IV. ①P618. 130. 8 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 030745 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](mailto:press@sinopec.com)

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

850 × 1168 毫米 32 开本 4. 875 印张 90 千字

2012 年 4 月第 2 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

定价: 15.00 元

# 前 言

《当代石油和石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版共包括了11个分册,2000年出版发行;2005年起根据石油石化工业的新发展和广大读者的要求,在修订了原有分册的基础上,补充编写了海洋石油开发、天然气开采等8个新的分册,于2007年出版发行了《普及读本》第二版;2009年我们又组织编写了煤制油、乙醇燃料与生物柴油等7个分册。至此,《普及读本》第三版共出版了26个分册,涵盖了陆上石油、海洋石油、开采与储运、天然气开发与利用、石油炼制与化工、石油化工绿色化及信息化、炼化企业污染与防治等石油石化工业相关领域的内容。

《普及读本》以企业经营管理人員和非炼化专业技术人员为读者对象,强调科普性、可阅读性、实用性、知识及技术的先进性,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业各个技术领域的概貌有一个基本了解,使其能通过利用阅读掌握的知识更好地参与或负责石油石化业的管理工作。这套丛书作为新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版项目,从开始组织编写到最后出版,我们在题材的选取、大纲的审定、作者的选择、稿件的审查以及技术内容的把关等方面,都坚持了高标准、严要求,力求做到通俗易懂、深入浅出、由点

及面、注重实用，出版后，在社会上，尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响，受到了广泛好评。为了满足读者的需求，其中部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行，对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用，并荣获2000年度中国石油化工集团公司科技进步三等奖。

近年来，石油石化工业的发展日新月异，先进技术不断涌现；随着时间的推移，原有部分分册中的一些数据已经过时，需要更新。为了进一步完善《普及读本》系列读物，使其内容与我国石油石化工业技术的发展相适应，我们决定邀请国内炼油化工领域的专家对第一版及第二版的19个分册进行修订，组织该书第四版的出版发行，从而使该系列读物与时俱进，更加系统全面。

《普及读本》第四版的组织编写和修订工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华以及中化集团的大力支持。参与丛书编写、修订工作的专家、教授精益求精、甘于奉献，精神令人感动。在此，谨向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢！

中国工程院院士



二〇一一年八月八日

# 引 言

海洋是生命的摇篮，孕育了人类的文明。人类自古以来就向往、崇拜蓝色海洋，在不断探索中认识、开发海洋。随着人们对海洋的认识逐步深化，海洋呈现在人们眼前的形象不仅仅是世界交通的通道，还日益显示出是丰富的资源和广阔的活动空间之所在。

人类的生存和发展将越来越多地依赖海洋，全面开发和利用海洋的资源和空间，发展海洋经济，已经成为各沿海国家的发展战略。历史和事实已经证明，谁在海洋资源和空间上利用得好，占有一定的地位，谁就发展壮大，谁就富有，谁就有“发言权”。目前，世界上有100多个沿海国家和地区正在加紧对海洋高新技术进行开发。海洋环境探测、海洋资源调查、海洋油气开发成为世界高新技术竞争的热点，海洋经济也成为沿海国家和地区国民经济新的增长点。

在地球5亿平方千米的表面积中，海洋面积约为3.62亿平方千米，占总面积的71%。全世界大陆架总面积2800万平方千米，约占地球表面积的5.6%，占海洋面积的7.7%，而水深超过200米的海洋面积占了绝大部分。根据地质学家的预测，海洋石油、天然气储量约为(1000~2500)亿吨，相当于世界探明的陆地总储量的两倍，经济价值约为(10~25)万亿美元，世界

海洋油气产量已占海陆油气总产量的 30%。再加上天然气水合物，大自然给予人类的能源可谓之为大宝库。虽然人们利用海底油气已有 150 多年的历史，近海油气勘探开发已到高峰期，但勘探程度还有很大潜力，特别是深水和超深水的油气勘探；天然气水合物还未走上商业之路。这就是说，还有许多工作要做，还有许多难题要人们去攻克。当然，要充分开发这些宝藏就需要先进的技术和大量的高科技装备去开发勘探。

“实施海洋开发”，这是党中央发出的指示。这就意味着中央把开发海洋经济提到重要的工作范围。我们必须按照各项规划实施这一战略举措。

开发海洋是我国经济持续发展的战略组成部分，开发海上石油是国家能源开发的迫切需要。随着我国经济的高速发展，对能源的需求也相应快速增长。尤其是从 2000 年以来，中国石油的需求量成猛涨态势，特别是近两年需求增幅达 10% 以上，中国石油的净进口量也出现大幅上涨。国家能源局发布的数字显示。2010 年我国原油需求 4.42 亿吨，其中进口原油 2.39 亿吨，对外依存度达到 54%，分别从沙特、安哥拉、伊朗、阿曼、俄罗斯等 46 个国家和地区进口石油。2011 年上半年，对外依存度达到 55.2%，已经超过美国的对外依存度 53.5%。而未来十几年中，中国原油产量增幅有限，石油供求矛盾更加突出，到 2015 年，我国的石油需求将达 6.4 亿吨/年，石油缺口达 4.4 亿吨。这表明，我们需要大量进口原油，我们对石油输出国的依赖愈来愈重，石油对外依存度还要上升，这对我国能源安全提

出了严重挑战。石油已经成为关系到国计民生、国家经济建设经济命脉和国家经济安全的战略物资。

为使我国经济持续稳定的发展，多渠道开发石油来源十分必要。而开采海上石油，扩大海上石油的开采量是必不可少的。

中国具有辽阔富饶的海洋国土，海岸线长达 18000 多千米，滩涂面积 20779 平方千米，大小岛屿有 6500 多个，海岛岸线长达 14000 多千米，专属经济区的海域面积达 300 万平方千米。经过初步勘探，我国海域海底油气资源十分可观，中国近海已证实存在莺歌海、琼东南、文昌、东海、渤中深凹区等五大天然气富集区，现在正在陆续勘探开发。

相对世界海洋油气勘探，我国起步较晚，海洋勘探开发技术与先进国家相比有一定的差距，深水勘探开发的经验还不够。还有许多具体的技术问题需要解决，要充分认识到深海勘探开发的困难。但是，经过改革开放 30 年的发展，我们的海洋石油勘探开发获得了很大的发展。海洋工程发展到今天，遇到了千载难逢的大好机遇，我们必须抓住机遇，团结一心，从开发海洋，发展海洋经济，维护国家海洋权益，促进世界能源可持续发展的战略高度把海洋石油勘探开发搞上去。

本书作为一册普及读本，着重介绍在茫茫大海中是如何找到石油的？又是如何进行海上钻井的？与陆上钻井有哪些不同？具有哪些特点？从而使您读后对海上油气勘探有一个大概的了解。

由于读者的需要，《海洋石油勘探》在第一版的基

基础上经修订后再版。本书去掉了一些过时的内容，增添了一些最新的技术，使读本的内容与时俱进。

另外，借此次再版的机会，对在第一版编写过程中给予了大力协助的中国石化上海海洋石油局的马惠福、陆元刚、陈敏娟同志表示衷心的感谢。

# 目 录

## 引言

### 第一章 海底石油和天然气的勘探与发现 ..... ( 1 )

#### 第一节 海洋石油勘探简史 ..... ( 1 )

#### 第二节 海上找油气方法 ..... ( 9 )

#### 第三节 海洋地震勘探 ..... ( 14 )

### 第二章 海洋环境及钻井平台定位 ..... ( 23 )

#### 第一节 大陆架及海底地貌 ..... ( 23 )

#### 第二节 海水、风、风浪、海流、潮汐、 海冰、海啸 ..... ( 25 )

#### 第三节 钻井平台定位 ..... ( 38 )

#### 第四节 动力定位 ..... ( 42 )

### 第三章 海洋钻井平台 ..... ( 49 )

#### 第一节 栈桥式钻井平台 ..... ( 50 )

#### 第二节 固定式钻井平台 ..... ( 51 )

#### 第三节 坐底式钻井平台 ..... ( 53 )

#### 第四节 自升式钻井平台 ..... ( 55 )

#### 第五节 半潜式钻井平台 ..... ( 58 )

#### 第六节 钻井船 ..... ( 63 )

#### 第七节 其他钻井平台 ..... ( 64 )

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| <b>第四章 海洋石油钻井工艺 .....</b>    | <b>( 70 )</b>  |
| 第一节 海洋石油钻井的特殊性 .....         | ( 70 )         |
| 第二节 自升式钻井平台的钻井程序 .....       | ( 72 )         |
| 第三节 半潜式钻井平台的钻井程序 .....       | ( 77 )         |
| 第四节 钻井新技术 .....              | ( 86 )         |
| <b>第五章 海洋钻井的一些重要设备 .....</b> | <b>( 93 )</b>  |
| 第一节 海洋石油钻井设备 .....           | ( 93 )         |
| 第二节 升沉补偿装置及张紧器 .....         | ( 107 )        |
| 第三节 水下钻井设备及控制系统 .....        | ( 114 )        |
| 第四节 潜水作业和水下机器人 .....         | ( 122 )        |
| <b>第六章 海洋钻井安全 .....</b>      | <b>( 125 )</b> |
| <b>第七章 海洋石油勘探发展展望 .....</b>  | <b>( 133 )</b> |
| <b>参考文献 .....</b>            | <b>( 143 )</b> |

# 第一章 海底石油和天然气的 勘探与发现

## 第一节 海洋石油勘探简史

陆地地下储藏有石油，后来人们发现海底地下也有石油，人们勘探石油的步伐就逐渐走向海里。

1897 年，美国在加州 Summer land 的潮汐地带上首先架设起一座 250 英尺 (1 英尺 = 0.3048 米，下同) 长的木架，把钻机放在上面打井，这是世界上第一口海上钻井。

同年，美国人 H. L. Williams 在同一个地方造了一座与海岸垂直的栈桥，钻机、井架等放在上面钻井。由于栈桥与陆地相连，物资供应就方便多了。另外，钻机在栈桥上可以随意移动，从而在一个栈桥上可打许多口井。

在海边搭架子，造栈桥基本上是陆地的延伸，与陆地钻井没有差别。能否远离岸边在更深的海里钻井呢？1932 年，美国得克萨斯公司造了一条钻井驳船“Mcbride”，上面放了几只锚，到路易斯安娜州 Plaquemines 地区“Garden”岛湾中打井。这是人类第一次“浮

船钻井”，即这个驳船在平静的海面上漂浮着，用锚固定进行钻井。但是由于船上装了许多设备物资器材，在钻井的时候，该驳船就坐到海底了。从此以后，就一直用这样的方式进行钻探。这就是第一艘坐底式钻井平台。同年，该公司按设计意图建造了一条坐底式钻井驳船“Gilliasso”。1933 年这艘驳船在路易斯安娜州 Pelto 湖打了“10 号井”，钻井进尺 5700 英尺。以后的许多年，设计和制造了不同型式的许多条坐底式钻井驳船，如 1947 年，John Hayward 设计的“布勒道 20 号”，平台支撑件高出驳船 20 多米，平台上备有动力设备、泵等。它的使用标志着现代海上钻井业的诞生。

由于经济原因，自升式钻井平台开始兴起，滨海钻井承包商们认识到在 40 英尺或更深的水中工作，升降系统的造价比坐底式船要低得多。自升式钻井平台的腿是可以升降的，不钻井时，把腿升高，平台坐到水面，拖船把平台拖到工区，然后使腿下降伸到海底，再加压，平台升到一定高度，脱离潮、浪、涌的影响，得以钻井。1954 年，第一条自升式钻井船“迪龙一号”问世，12 个圆柱形桩腿。随后几条自升式钻井平台，皆为多腿式。1956 年造的“斯考皮号”平台是第一条三腿式的自升式平台，用电动机驱动小齿轮沿桩腿上的齿条升降船体，桩腿为桁架式。1957 年制造的“卡斯 2 号”是带有沉垫和 4 条圆柱形桩腿的平台。

随着钻井技术的提高，在一个钻井平台上可以打许多口井而钻井平台不必移动，特别是近海的开发井。这

样，固定式平台也有了发展。固定式平台就是建立永久性钻井平台，大都是钢结构，打桩，然后升出海面，也有些是水泥结构件。至今工作水深最深的固定平台是“Cognac”，它能站立在路易斯安娜州近海 1020 英尺水深处工作。

1953 年，出现了第一条钻井浮船，即 Cuss 财团建造的“Submarex”钻井船，它由海军的一艘巡逻艇改装建成，在加州近海 3000 英尺水深处打了一口取心井。

1957 年，“卡斯一号”钻井船改装完毕，长 78 米，宽 12.5 米，型深 4.5 米，吃水 3 米，总吨位 3000 吨，用 6 台锚机和 6 根钢缆把船系于浮筒上。用浮船钻井会带来一系列问题，由于波浪、潮汐至少给船带来三种运动，即漂移、摇晃、上下升沉，钻头随时可能离开井底，泥浆返回漏失，钻遇高压油气大直径的导管伸缩运动而不能耐高压等。这样就把防喷器放到海底。该船首先使用简易的水下设备，从而把浮船钻井技术向前推进了一步。

浮船钻井的特点是比较灵活，移位快，能在深水中钻探，比较经济。但是它的缺点是受风浪海况影响大，稳性相对较差，给钻井带来困难。

1962 年，壳牌石油公司用世界上第一艘“碧水一号”半潜式钻井船钻井成功。“碧水一号”原来是一条坐底式平台，工作水深 23 米。当时为了减少移位时间，该公司在吃水 12 米的半潜状态下拖航，在拖航过程中，发现此时平台稳定，可以钻井，这样就受到了启示，后

把该平台改装成半潜式钻井平台。1964 年 7 月，一条专门设计的半潜式平台“碧水Ⅱ号”在加州开钻了。第一条三角形的半潜式平台是 1963 年完工的“海洋钻工号”，第二条是 1965 年完工的“赛特柯日-135”。

随着海上钻井的不断发展，人类把目光移向更深的海域。半潜式钻井平台就充分显示出它的优越性，在海况恶劣的北海，更是称雄，与之配套的水下钻井设备也有发展，从原来的简单型逐渐趋于完善。半潜式钻井平台一般都是用锚系定位的，而深海必须使用动力定位。第一条动力定位船是“Cussl”，它能在 12000 英尺水深处工作，获取 600 英尺的岩心。以后出现了动力定位船“格洛玛、挑战者号”，它于 1968 年投入工作，一直用于大洋取心钻井。世界上真正用于海上石油勘探的第一条动力定位船是 1971 年建成的“赛德柯-445”钻井船，工作水深在动力定位时可达 600 米以上，可抗 100 节（1 节=0.514 米/秒）风，21 米浪高，性能显然是良好的。

半潜式平台有自航的和非自航的。动力定位船所配套的水下设备是无导向绳的水下钻井设备。后来，钻井平台又有新的型式出现。张力腿平台（TLP），其结构型式多种，一般与半潜式平台相似，是一种垂直系泊的顺应式平台，通过数条张力腿与海底相接。一旦锚定之后，平台的起伏倾斜和摇晃运动都将在垂直方向消除，大大有利于钻井。另外一种平台叫“Spar”，这种平台的系泊型式与张力腿不同，它的设计采用了斜线系泊，而

且系泊钢缆中不像张力腿平台那样具有很大的预张力。

随着科学技术的进步，海上钻井技术也逐渐进入成熟期，而海上钻井装置也迎来了建造的黄金时间。20 世纪 70 年代建造了自升式钻井平台 113 座，80 年代建造了 242 座，这 20 年建造自升式钻井平台的数量占目前总数的 90%，是自升式钻井平台建造的黄金时间。后来，这些平台大都进行了升级改造，在海洋钻井业中发挥了主力军作用。90 年代又建造了 17 座平台，进入 21 世纪又建造了 12 座，目前还有多座正在建造中。20 世纪 70 年代建造了半潜式钻井平台 72 座，80 年代建造了 74 座，这 20 年建造的数量占半潜式钻井平台总数的 92%。90 年代建造了 8 座，进入 21 世纪有所回升，已经建造了 14 座，另外还有 10 座在建。由于钻井船移动灵活、停泊简单、造价较半潜式钻井平台低及易维护、适用于较深海区等优点，在 80、90 年代钻井承包商大量建造了适合深水作业的钻井船，其中 80 年代建造了 29 艘，90 年代建造了 34 艘。

另外，海上可移动钻井装置的技术性能也得到了突飞猛进的提升。尤其是在钻井能力、工作水深以及可变载荷这三个方面都有显著提高。随着平台的优化设计，泥浆泵性能、钻井绞车能力的增强，以及 80 年代初开发成功的顶部驱动装置的应用，海上可移动装置的钻井深度得到大幅度的增加。在世界范围内自升式钻井平台有 162 座装有 25000 英尺(7620 米)钻井深度的钻机，43 座装有钻井深度达 30000 英尺(9144 米)的钻机。半

潜式钻井平台有 107 座钻井深度达 25000 英尺，有 22 座平台钻井深度达 30000 英尺，5 座在 30000 英尺以上。钻井船有 33 艘钻井深度达 25000 英尺，有 9 艘在 30000 英尺，6 艘在 30000 英尺以上。

自升式钻井平台由于桩腿长度的限制，工作水深不可能很深。大部分平台的工作水深在 100 米以内，约有 31 座达到 100 米以上，ROWAN 公司的 C. R. Paimer 2 号自升式钻井平台工作水深达 168 米，是目前自升式钻井平台之最。半潜式钻井平台的工作水深是远远超过自升式钻井平台的。随着动力定位技术的采用，目前有 17 座工作水深达 2000 多米，有 2 座工作水深超过 3000 米。钻井船的工作水深比较深，有 9 艘钻井船工作水深达 2000 米，有 12 艘工作水深达 3000 米，有一艘钻井船“Joides Resolution 号”，无隔水管钻井状态工作水深设计能力达到 8230 米。

完全可以相信，人类必将建造出性能更加优异的钻井平台，向更深的海域进军。

我国的钻井平台建造起步相对较晚。1966 年，我国建造了第一座固定平台。1972 年，我国第一条自升式钻井平台“渤海一号”在大连建成。可以在 30 米海深进行钻井，四桩腿圆柱式，排水量 5700 吨，在渤海湾钻井。1974 年，我国第一条钻井浮船“勘探一号”建成并于同年在南黄海试钻成功。这是一条双体浮船，是用两条长 100 米，宽 14 米的货轮拼装而成。1975 年之后，从新加坡和日本相继进口了几条自升式平台，如