

话说中国海洋

HUASHUOZHONGGUOHAIYANG



产业系列

ZhongguoHaiyangyouqichanye

中国海洋油气产业

孙珍 主编



广东省出版集团
广东经济出版社

中国海洋油气产业

孙 珍 主编

廣東省出版集團
廣東人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国海洋油气产业 / 孙珍主编. — 广州: 广东经济出版社, 2011. 8

(话说中国海洋丛书)

ISBN 978 - 7 - 5454 - 0896 - 6

I. ①中… II. ①孙… III. ①海洋石油工业—概况—中国②海洋—天然气工业—概况—中国 IV. ①F426. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 162756 号

出版发行	广东经济出版社 (广州市环市东路水荫路 11 号 11~12 楼)
经销	全国新华书店
印刷	广州市岭美彩印有限公司 (广州市荔湾区花地大道南海南工商贸易区 A 幢)
开本	730 毫米×1020 毫米 1/16
印张	16 2 插页
字数	246 000 字
版次	2011 年 8 月第 1 版
印次	2011 年 8 月第 1 次
印数	1~8 000 册
书号	ISBN 978 - 7 - 5454 - 0896 - 6
定价	45.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与承印厂联系调换。

本社营销网址: <http://www.gebook.com>

本社市场部地址: 广州市环市东路水荫路 11 号 11 楼

电话: (020) 38306055 邮政编码: 510075

广东经济出版社常年法律顾问: 何剑桥律师

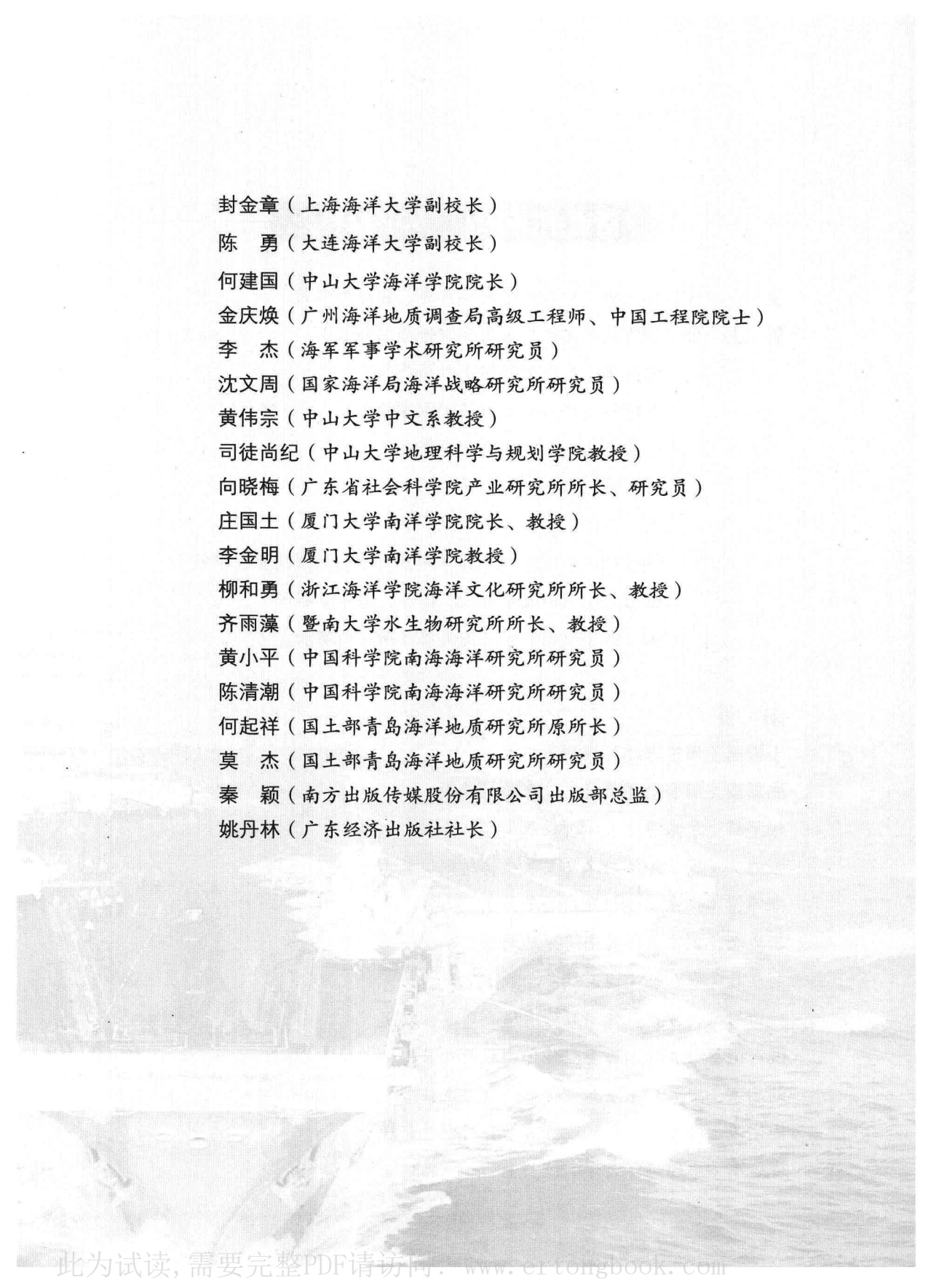
• 版权所有 翻印必究 •

《话说中国海洋》丛书编委会

- 主 任：林 雄（中共广东省委常委、宣传部部长）
- 副 主 任：顾作义（中共广东省委宣传部副部长）
- 朱仲南（广东省新闻出版局局长）
- 王桂科（广东省出版集团董事长）
- 于志刚（中国海洋大学党委书记）
- 潘迎捷（上海海洋大学校长）
- 何 真（广东海洋大学校长）
- 徐根初（中国人民解放军军事科学院原副院长、中将）
- 张召忠（国防大学教授、博导，海军少将）
- 张 僊（中国科学院南海海洋研究所所长）

编 委

- 王殿昌（国家海洋局规划司司长）
- 吕彩霞（国家海洋局海岛管理司司长）
- 朱坚真（广东海洋大学副校长）
- 张海文（国家海洋局海洋发展战略所副所长）
- 郑伟仪（广东海洋与渔业局局长）
- 李立新（国家海洋局南海分局局长）
- 吴 壮（农业部南海渔政局局长）
- 杜传贵（南方出版传媒股份有限公司总经理）
- 倪 谦（中共广东省委宣传部出版处处长）
- 刘启宇（中共广东省委宣传部发改办主任）
- 何祖敏（南方出版传媒股份有限公司副总经理）
- 李华军（中国海洋大学副校长）



封金章（上海海洋大学副校长）
陈 勇（大连海洋大学副校长）
何建国（中山大学海洋学院院长）
金庆焕（广州海洋地质调查局高级工程师、中国工程院院士）
李 杰（海军军事学术研究所研究员）
沈文周（国家海洋局海洋战略研究所研究员）
黄伟宗（中山大学中文系教授）
司徒尚纪（中山大学地理科学与规划学院教授）
向晓梅（广东省社会科学院产业研究所所长、研究员）
庄国土（厦门大学南洋学院院长、教授）
李金明（厦门大学南洋学院教授）
柳和勇（浙江海洋学院海洋文化研究所所长、教授）
齐雨藻（暨南大学水生物研究所所长、教授）
黄小平（中国科学院南海海洋研究所研究员）
陈清潮（中国科学院南海海洋研究所研究员）
何起祥（国土部青岛海洋地质研究所原所长）
莫 杰（国土部青岛海洋地质研究所研究员）
秦 颖（南方出版传媒股份有限公司出版部总监）
姚丹林（广东经济出版社社长）

Zong Xu 总序

林 雄

自古以来，华夏文明的辞典中，就不乏“海国”一词。华夏民族，并不从一开始就是闭关锁国的，而是有着大海一般宽阔的胸怀。正是大海，一直激发着我们这个有着五千年历史的文明古国的想象力和创造力。一部中国海洋文化的历史是波澜壮阔的历史，让后人壮怀激烈，意气风发。

金轮乍涌三更日，宝气遥腾百粤山。

影聚帆樯通累译，祥开海国放欢颜。

古人寥寥几行诗，便把广东遍被海洋文明之华泽，充分地展现了出来。两千多年的海上丝绸之路，就是从广东起锚，不仅令广东无负“天南库”之盛名，更留下千古传诵的“合浦珠还”等众多的神话传说。而指南针的发明，造船业的兴盛，尤其是航海牵星术，更令中国之为海国，赢得了全世界的声望。唐代广州的“通海夷道”、南汉的“笼海得法”、宋代的市舶司制度，充分显示了我们作为海洋大国的强势地位。明代郑和七下西洋，更创造了古代对外贸易、和平外交的出色典范。尽管自元代开始，有了禁海的反复，但明清“十三行”，在推动开海贸易上功不可没，并带来了大航海时代先进的人文与科学思潮，也为中国近代革命作出长期的铺垫，成为两千多年海上丝绸之路上的华彩乐段。新中国的广交会，可以说是“十三行”的延续，为打破列强的海上封锁，更为今日走向全面的对外开放，功高至伟。改革开放之初，以粤商为主体的国际华商，成为中国来自海外投资最早的，也是最大的份额。这也证实了中国民主革命的先驱孙中山先生所说的，国力强弱在海不在陆。海权优胜，则国力优胜。他的海洋实力计划，更在《建国方略》中一一加以了阐述。进入21世纪，中

国制定了《全国海洋经济发展规划纲要》，提出了要把我国建设成为海洋强国的宏伟目标。海洋强则国家强，海业兴则民族兴。曾经有着辉煌的海洋文明的中国历史和现实充分印证了这一点。

正是在这个意义上，国家的强盛，历史之进步，无不与海洋相关。今日改革开放之所以取得如此巨大的成功，包含了当日海洋文化传统得以发扬光大的成果。在经济腾飞的今天，文化在综合竞争力中的地位已日益突出。而作为华夏文化的重要组成部分之一——海洋文化，更早早显示出其强劲的势头。当我们致力于提高文化的创新力、辐射力、影响力与形象力之际，更应当从海洋文化中吸取取之不竭、用之不尽的活力源泉。

为此，我们出版《话说中国海洋》丛书，给海洋文化建设添加一汪活水，为推动广东乃至全国的海洋经济建设，使我国在更高层次，更宽领域参与国际合作与竞争，发挥一份力量。丛书亦可进一步增强国民的海洋意识，让国民认识海洋，了解海洋，普及海洋知识，激发开发海洋、维护海权的热情。这在当前，是一件很有现实意义的事情。

历经千年不息的海上丝路，来往的何止是数不胜数的宝舶，奔腾而来的更是始终推动世界文明进步的海洋文化。灿烂的东方海洋文化走到今天，当有更辉煌的乐章，从展开部推向高潮部，愈加丰富多彩，愈加激动人心。《话说中国海洋》丛书的出版，当为这一高潮部增色，令高亢、激越的乐曲久久回荡在无边的大海之上，永不止歇！

是为序。

（作者系中共广东省委常委、宣传部部长）

前言

Preface

石油与天然气作为战略资源，是国民经济的血液，是国家安全的重要保证。我国是一个海洋大国，自北向南分布有渤海、黄海、东海和南海四个边缘海。海洋油气资源非常丰富，然而由于海洋石油工业起步晚，海上油气勘探在20世纪80年代才刚刚起步。令人振奋的是，在不到30年的时间里，也就是2009年12月19日，中国海洋石油有限公司（以下简称中海油）年油气总产量就达到了 $5000 \times 10^4 \text{t}$ ，这相当于大庆油田的全年总产量，也占到我国目前总产量 $1.89 \times 10^8 \text{t}$ 的1/4以上。人们把这一天定为中海油建成“海上大庆油田”的日子。海油最初年产油气 $9 \times 10^4 \text{t}$ ，仅用29年时间和2000口井，就实现了年产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 的规模。而国内外同行要达到这个规模，至少要1万口井。过去10年间，全国新增油气的53%来自海洋油气，2010年这一比例超过80%，而深水油气则成为近年海洋油气增加的主体。不到30年的时间，中海油净利润增长5000万倍，它所创造的奇迹成为哈佛教案（豆丁网）。

如果说1976年大庆油田实现年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ ，使我国甩掉贫油帽子的话，那么“海上大庆”的建成在我国石油对外依存度高达55%的今天，则标志着我国开始成为世界海洋石油生产大国，并在海洋石油勘探开发、海洋石油工程技术、大型装备建造等领域迈入了世界先进行列。伴随海洋油气的不断发现，是日渐完善和发展海洋油气的研究、勘探、开发，输送、加工和冶炼等科研和产业链进入一个大发展阶段。

广东是我国的海洋大省，其所面临的南海是我国海上油气，尤其是深水油气的重要基地。南海陆缘发育了大小几十个盆地，其中南海北部以珠江口盆地最大，油气产量最高。自从2006年第一口深水钻探井荔湾3—1获得突破，中海石油中国有限公司深圳分公司不断加大研究和勘探力度，并将深水勘探列为近期的勘探重点之一。至2009年年底，珠江口盆地已有13口深水钻井，已在白云凹陷获得荔湾3—1、流花34—2、流花29—1三个重大的油气发现，其中流花29—1—1井共钻遇

总厚度达70m的净气层。初步评价白云和荔湾深水区具有 $200 \times 10^8 \text{t}$ 的天然气资源量。未来5年,预计深水区可达到 $1000 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 的产量,即 $1000 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ 的油当量,从而在珠江口盆地达到每年 $2000 \times 10^4 \text{m}^3$ 的产能。2010年12月15日,中海油与合作伙伴英国天然气集团(BG)在琼东南盆地深水区取得首次突破,在距海岸约130km,水深1338m的64/11区块的陵水22-1-1勘探井钻获气层。

广东沿海相应建起了中海石油炼化、中海壳牌石化、大鹏石化等大型石化加工企业。中海石油炼化惠州炼油项目每年可加工 $1200 \times 10^4 \text{t}$ 海洋高含酸重质原油,是国际上第一个集中加工海洋高含酸重质原油的炼油厂,也是目前国内单系列最大的炼油厂。2009年5月,该项目一次性成功投产,结束了中国海油“有采无炼”的历史。山东海化集团则成为环渤海湾最大的石油炼化企业。

本书就是在这个海洋油气勘探、开发、炼制加工不断取得突破、海洋油气产业迅猛发展时期,应广东经济出版社有限公司邀请整理完成的。全书共包括六个章节,分别从海洋油气分布、勘探、开发、输送、炼制、化工等方面进行介绍,最后一章还介绍了相关各链条上的主要研究和生产单位。本书主要以海洋科普为目的,材料的来源也比较广泛,尤其是关于油气采、炼运输等产业环节,涉及的专著、新闻和网络报道,在参考文献中未能一一详细列出,敬请谅解。希望本书能够让大家对海洋油气和相关油气产业有所了解。

《海洋油气产业》主要编著者名单:孙珍(主编)、张翠梅(第一副主编)、王旭(第二副主编)、李鹏春、孙龙涛、张云帆、邱宁、刘见宝、赵中贤、谢辉、李付成、王章稳、彭佳龙。

第一章和第六章由张翠梅、邱宁、刘见宝和彭佳龙撰写,由张翠梅统稿;第二章和第三章由李鹏春、张云帆、赵中贤和谢辉负责撰写,由李鹏春统稿;第四章和第五章由王旭、孙龙涛、王章稳和李付成撰写,由王旭统稿,其中前言和后记由孙珍撰写。全书由孙珍和张翠梅统稿,校对和统改工作由张翠梅和王旭负责组织完成。

目录

Contents

第一章 海洋油气勘探 1

- 第一节 海洋油气资源现状 /2
- 第二节 海洋油气地质勘探 /20
- 第三节 海洋油气地球物理勘探 /26
- 第四节 海洋地球化学勘探 /61

第二章 海洋石油与天然气资源开发工程 65

- 第一节 海洋油气开发概述 /66
- 第二节 海洋石油开发特点 /67
- 第三节 海洋油气开发钻采工艺 /72
- 第四节 海上油气田开发工程 /91

第三章 海上油气输送 97

- 第一节 油气集输系统 /98
- 第二节 海底管道 /101
- 第三节 油轮 /114
- 第四节 海上油气处理 /119

第四章 海洋石油炼制 123

- 第一节 石油炼制工业概述 /124
- 第二节 石油组成、物理性质和石油产品质量要求 /130
- 第三节 原油评价和加工方案流程 /141
- 第四节 石油产品合成、精制和利用 /158
- 第五节 炼油过程、污染防治及经济分析 /167

第五章 海洋石油化工 173

- 第一节 石油化学工业概述 /174
- 第二节 石油化工原料、产品、性质及生产工艺 /181
- 第三节 石油化学制品及其催化裂化基本过程 /192
- 第四节 典型石油化工产品及其生产方法 /200

第六章 海洋石油天然气研发机构简介 209

- 第一节 油气相关企业 /210
- 第二节 研究机构 /224
- 第三节 高校 /229
- 第四节 国家海洋局 /234
- 后 记 /237
- 参考文献 /239

第一章

海洋油气勘探





第一节 海洋油气资源现状

一、油气藏概念和形成条件

油气藏是单一圈闭中的油气聚集，是地壳中最基本的油气聚集单元。一个油气藏中具有统一的压力系统和油水界面。油气藏的构成要素包括圈闭和油气流体。如果圈闭中只聚集了石油，则称为油藏；只聚集了天然气，则称为气藏；油气都聚集了，并且形成游离气顶，则称为油气藏。油气藏必须具备的两个条件是油气和圈闭。而油气在由分散到集中形成油气藏的过程中，受到各种因素的作用，要形成储量丰富的油气藏，而且能够保存下来，主要取决于生油层、储集层、盖层、运移、圈闭和保存六个条件。

（一）生油层

生油层主要富集在成烃坳陷中，是地质历史时期广阔的有利于有机质大量繁殖和保存的封闭或半封闭的沉积区；当成熟烃源岩有机质丰度高、体积大，并能提供充足的油气源时，形成具有工业价值的油气聚集。成烃坳陷在不同类型的盆地中有不同的分布形式，由于盆地演化的不同，烃源岩的分布在单一旋回盆地中只能有一套，在多旋回盆地中常发育有多套烃源岩，但主力烃源岩常常只有一个。盆地中油气源是油气藏形成的首要条件，油气源的丰富程度从根本上决定着油气资源的规模，决定着油气藏的数量和大小。

（二）储集层

储集层是指能够储存和渗滤油气的岩层，它必须具有储存空间（孔隙性）和储存空间一定的连通性（渗透性）。储集层的孔隙（包括裂缝和孔洞）是直接影响油气在其中流动的重要因素。

（三）盖层

盖层是指位于储集层之上能够封隔储集层使其中的油气免于向上逸散的保护层。盖层的好坏直接影响油气在储集层中的聚集和保存。常见的盖层有泥岩、页岩、蒸发岩（石膏、盐岩）和致密灰岩，其中以蒸发岩为最好。



当生油层、储集层、盖层本身具有良好的性能，而且在时、空上配置恰当，就会有利于高效输导，富集并保存大油气藏，有利于勘探和开发。此外，输导层的类型及其性能对输导能力起着重要作用。一般来说，生油层和储集层直接接触面积越大，通道越畅通，输导能力就越大；反之，输导能力就越差。互层式、指状交叉式较上覆、下伏式输导能力强，透镜式虽接触面积广，但明显受储集层大小的限制。不连续的生油层、储集层和盖层组合形式中，生油层、储集层虽未接触，但断裂面、不整合面往往输导能力强，在时空上把生油层、储集层连接起来，尤其是不整合面对油气的运移聚集起到重要的作用。

（四）运移

沟通生油层和储集层的通道（或输导层）有三种基本形式：孔隙—裂缝系、不整合面和断裂系统（断层或断层系）。当生油层和储集层呈垂直方向或侧向直接相连接时，孔隙系统（或孔隙—裂缝系）是输导油气的主通道；当两者在时、空上不相连时，不整合面和断裂系统可以成为沟通两者的主通道。因此，输导层的形式及其性能对输导能力起重要作用。一般来说，生油层和储集层直接接触的面积越大，管道孔径粗大、两端压差大、形状简单，输导能力就越大；反之，输导能力就差，但这并不否定不整合面和断裂系统的输导能力。断裂型输导层虽然生油层、储集层未接触，但导管粗大，输导效率较高，在某种程度上起一定的弥补作用；而不整合面不仅导管粗大，而且呈区域性分布，与生油层和储集层均有一定规模的接触面积，对输导和富集油气起重要作用，是不少大油气田的重要输导层。输导能力强，生油层、储集层、盖层配置有利于聚集油气的部位，常常也是形成大油气田的有利部位。因此，这就不难理解为什么生油凹陷与大油气田聚集区之间存在多种输导形式。但有一点则是共同的，即大油气田分布的主要部位，都是生油层、储集层、盖层在时空上组合、配置恰当，是位于油气输导的主方向上的有利油气聚集区。

（五）圈闭

圈闭是指能聚集并保存油气的地质体。我们可以将圈闭简单地定义为：储集层中能够聚集并保存油气的场所。圈闭具有聚集并保存油气的的能力，但并非每一个圈闭都聚集并保存了油气。聚集并保存了油气的圈闭便



成为油气藏，其内没有聚集并保存油气的圈闭仅仅为“空”圈闭。圈闭的构成要素包括储集层和封闭条件。储集层的孔隙性和渗透性为圈闭捕集油气提供了储集空间和渗滤条件。但储集层要保存油气还需要外加的封闭条件。例如，储集层上方的盖层储集层上倾方向的遮挡条件等。

圈闭是油气运移的“归宿”，圈闭的规模决定了油气藏的规模和数量，其所处的空间位置和形成时间决定了其捕捉油气的概率，而圈闭的密封程度和水动力条件决定了油气的聚集条件，这些都决定了圈闭是否为有效圈闭。所谓有效圈闭，是指曾经聚集并保存具有工业价值油气藏的圈闭。

（六）保存

已经聚集形成的油气藏是否能够完整地保存下来，是油气藏存在与否的重要前提。在漫长的地质历史中，油气藏将遭受不同程度的破坏，使油气散失、氧化或产生再分布，形成新的油气藏。因此，必要的保存条件是油气藏形成后得以保存下来的关键。油气藏的保存条件受盖层的有效性、后期构造活动强度和地下水活动的影响。盖层是油气藏形成的首要条件，在构造活动不强烈的地区，油气藏的保存条件主要取决于盖层的有效性；在断裂发育地区油气藏的保存条件取决于断裂发育程度，同时还受地下水活动的影响。

从以上各方面分析可见，要形成大型的油气藏并保存下来，必须具备的基本条件是充足的油气源，良好的储集层和有利的生油层、储集层、盖层的组合条件，有效的圈闭及必要的保存条件。

二、世界海洋油气资源概况

海洋被誉为“蓝色国土”，蕴藏着丰富的油气资源。进入21世纪，“谁拥有海洋，谁就拥有未来”已经成为世界各国的共识。因此，海洋资源特别是油气资源的开发利用越来越引起各国的高度关注。世界近海石油生产始于20世纪40年代，到2005年产量已经接近2500万桶/日，占到全球产量的1/3。相比之下，陆上原油用了60年时间才达到2500万桶，可以说海洋油气的发展是非常快的。而且陆上原油在近20年来基本保持在一个平台上，增长非常缓慢，而海洋油气已成为世界油气的勘探前沿和主要的油气产量增长点。据美国地质调查局（USGU）和国际能源机构（IEA）估计，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多亿吨。从目前来看全球已经发现了2000多个海洋油气田，产量也达到了总产能的30%以上，如南美洲盆地（Roncador, Marlin, Albacora和Barracuda等油气田）、墨西哥湾盆地（Mad Dog和Trident等油气田）、北美洲盆地（Shelburne, Shubenacadie, Newburn和Tantallon等油气田）和西非盆地（Dalia和Girassol等油气田）。

据著名的能源咨询公司道格拉斯—韦斯特伍德（Douglas—westwood）统计，1999—2003年，在全球发现的37个大油气田中，多半都为海上油气田，且主要是在深海；2000—2005年，全球新增油气探明储量 164×10^8 t油当量，其中深海占41%，浅海占31%，陆上占28%。根据美国剑桥能源咨询公司（HIS）最新发布的数据：2009年世界油气十大发现（表1-1）和2010年1~7月世界油气十大发现（表1-2），可以发现大部分新发现的大油气田都为海上油气田。众多油气资源咨询公司或能源机构纷纷预测在今后的10~20年时间里海洋油气勘探及开发将得到更快的发展，即在2020—2030年，海洋油气将成为世界油气产量的主要供给区。

表1-1 2009年世界油气十大发现（单位：百万桶油当量）

次序	国家	油田/区块名称	当前作业者	发现日期	类型	规模
1	委内瑞拉	Perlo × 1	西班牙雷普索尔-YPF公司	2009.09.15	浅水陆架	1861
2	伊朗	Halegan 2	伊朗国家石油公司	2009.11.15	陆上沙漠	1581
3	以色列	Tamar 1	美国诺贝尔能源公司	2009.02.10	深水区	1401
4	澳大利亚	Poscidon 1	美国康菲石油公司	2009.05.20	深水区	1377
5	巴西	Corcovado	英国天然气公司	2009.04.15	深水区	1061
6	伊拉克	Shaikan 1	阿联酋—美国联合石油公司	2009.08.06	陆上沙漠	1043
7	巴西	Vesuvio	巴西独立石油公司	2009.10.15	浅水陆架	1025
8	伊拉克	Miran West 1	英国传统石油公司	2009.05.06	陆上沙漠	1017
9	巴西	Pipeline	巴西独立石油公司	2009.11.16	浅水陆架	993
10	利比亚	Arous El Bahar	美国阿美拉达赫斯公司	2009.01.15	深水区	933

数据来源：美国剑桥能源咨询公司（HIS）。



表1-2 2010年1~7月世界油气十大发现（单位：百万桶油当量）

次序	国家	油田/区块名称	当前作业者	发现日期	类型	规模
1	巴西	Franco	巴西石油公司	2010.05.15	海上	5250
2	伊朗	Forooz B3	伊朗国家石油公司	2010.07.05	陆上	3160
3	巴西	Waimea	巴西独立石油公司	2010.02.15	海上	545
4	巴西	Waimea	巴西独立石油公司	2010.02.15	海上	545
5	巴西	Etna	巴西独立石油公司	2010.04.15	海上	512
6	莫桑比克	Windjammer 1	美国安纳达科石油公司	2010.02.18	海上	500
7	加纳	Owo 1	英国塔洛石油公司	2010.07.15	海上	490
8	土库曼斯坦	Agary	中国石油天然气集团公司	2010.06.15	陆上	377
9	美国	Appomattox	英荷壳牌石油公司	2010.03.15	海上	330
10	巴西	Krakatoa	巴西独立石油公司	2010.02.15	海上	326

数据来源：美国剑桥能源咨询公司（HIS）。

目前，世界海洋油气勘探已经形成了由南美洲巴西、中美墨西哥湾和西非三个地区构成的深水油气勘探的“金三角”，特别是在巴西近海、美国墨西哥湾、安哥拉和尼日利亚近海，几乎集中了世界全部深海钻井和新发现储量（表1-3）（Stow and Mayall, 2000）。从近十年来有关海洋油气勘探成果的资料来看，目前世界海洋油气勘探最为典型的特征是“不均匀性”：①大油气田分布不均匀，当前海洋油气勘探效益较好的地区多位于大西洋两侧系列盆地群，如墨西哥湾北部、巴西东南部和西非三大深水区的近10个沉积盆地中（图1-1）（Weimer and Roger, 2004），80%以上分布在美国、巴西、安哥拉、尼日利亚、澳大利亚及挪威等6个国家（表1-3）；②“油”和“气”分布不均匀，石油储量主要分布在墨西哥湾、西非和巴西深水海域；天然气储量则集中在东南亚、地中海、挪威海及澳大利亚西北陆架等深水区。

从勘探历史来看，1897年美国打出第一口海上油井，此后海上油气勘探得到蓬勃发展，1936年美国在墨西哥湾建成世界上最早的海洋油田。1950年由于出现移动式海洋钻井装置，大大提高了油气钻采的效率。20世纪60年代