

油气田开发地质学

OIL FIELD PRODUCTION GEOLOGY

[英] Mike Shepherd 著

张为民 魏晨吉 刘卓 王玉学 高严 钱其豪 等译

石油工业出版社



中国石油勘探开发研究院出版物

油气田开发地质学

[英] Mike Shepherd 著

张为民 魏晨吉 刘卓 王玉学 高严 钱其豪 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

该书系统地阐述了地质家在油田开发中的作用,以及开发地质学主要研究内容与工作流程,内容涵盖了开发地质家在油田开发中的职责、目前国际上通用的开发地质工作流程、流体地质学、地质统计学与三维地质建模技术、寻找剩余油的方法、钻井部署与设计,最后总结了形成储层的各种沉积环境及其油气藏开发特征等内容。

本书可供从事国内外油气田开发和开发地质研究相关专业人员参阅,还可供高等院校相关专业师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气田开发地质学/(英)迈克·谢菲尔德
(Shepherd, M)著;张为民等译. —北京:石油工业出版社,2017. 11

书名原文:Oil Field Production Geology

ISBN 978 - 7 - 5183 - 2297 - 8

I. ①油… II. ①迈… ②张… III. ①石油天然气地质 IV. ①P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 298201 号

Translation from the English language edition: “Oil Field Production Geology” by Mike Shepard, ISBN:978 - 0 - 89181 - 372 - 9

Copyright © 2009 American Association of Petroleum Geologists

本书经 American Association of Petroleum Geologists 授权石油工业出版社有限公司翻译出版。版权所有,侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01 - 2016 - 4213

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64523543 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

889 × 1194 毫米 开本:1/16 印张:20

字数:560 千字

定价:180.00 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

《油气田开发地质学》

译者及审定人员

张为民	魏晨吉	刘卓	王玉学	高严
钱其豪	刘建良	陈宇航	刘雄	刘丽
侯建锋	付秀娟	纪淑红	侯伯刚	宋本彪
李清	吴青松	冯金德	姜正龙	兰朝利
罗洪	刘双双	刘浪	周家胜	鲍敬伟
李玉红	李冉	苏海洋	赵亮	邓西里

序

油气田开发地质学现在已经成为一门独立的应用科学,油气田开发地质学不同于石油地质学,它的特殊性在于着重描述控制和影响油气开发效果的地质特征,而不是描述所有的石油地质特征。“认识油气藏”和“改造油气藏”是始终贯穿油气田开发全生命周期的两大任务。油气田开发地质学的主要任务是认识油气藏,指导油气藏科学、经济的开发。油气田开发地质学是油田开发工程学的地质基础,油田开发技术的进步(如水平井、三次采油技术)和新类型油气藏的出现(如非常规油气藏)又在不断地发展和完善着油气田开发地质学。

中国的油气田开发地质学也是随着几十年来不同类型地质条件的油田开发而逐步发展起来的,作为现代石油地质学与油气田开发工程的交叉学科,油气田开发地质学为提高油气田开发水平及技术应用效果发挥了重要作用。油藏描述技术是油田开发地质的核心,中国的油藏描述技术,在油田开发几十年的实践中,通过大量生产实践和科学研究不断完善提高,并指导了油田的开发,使我国的油田开发技术达到相当高的水平。20世纪60年代初,大庆油田针对陆相多层砂岩油藏突破了“小层对比”和“测井岩石物性解释”,在石油开发地质学上创立了油砂体是控制油水运动的基本单元为核心的“油砂体理论”。这种描述和认识当时在国际上尚无先例。为了解决上述问题,根据多油层砂岩油藏非均质性比较严重的特点,大庆油田研究发展了一整套以分层注水为中心的“六分四清”采油工艺。70年代初,开展了储集层沉积相研究,将大庆油田储集层细分到沉积亚相、微相;到70年代末80年代初,又进一步提出了“细分流动单元”的概念,并应用这一概念寻找剩余油富集区,指导进行加密调整井的布置和确定射孔部位,开展二次和三次井网加密调整,以提高油层的动用程度,实现接替稳产,提高了油田采收率。针对我国已开发油田大部分已进入双高阶段的现状,从20世纪90年代开始,中国石油大力推广“精细油藏描述”技术。1998年在大港油田港东油田“精细油藏描述”的试点成功,形成了注水开发油田中高含水期以查明剩余油分布为目的的精细油藏描述技术。2003年中国石油在大港油田召开了“精细油藏描述典型经验扩大会”,集中介绍了大港油田的经验和做法,得到了同行业专家的高度评价并开始在全国油田推广。近年来,中国石油开展以重构地下认识体系为重点的“二三结合”,是以单砂体为基本单元的精细刻画与剩余油分布研究,丰富了油气田开发地质学的内容。

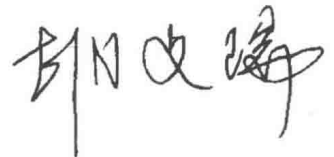
当前,随着中国石油走向海外,不断与国际接轨,需要进一步借鉴和融合国外油气田开发地质学的技术与成果。《油气田开发地质学》这本译著对于了解国外油公司在开发地质方面的工作流程,开发地质家在油田开发中的作用及职责,以及他们在编制地质方案、油藏地质建模、可采储量标定、井位设计等方面的主要做法和思路是很重要的,此时的翻译出版无疑进一步完善了我们这方面的工作。该书作者 Mike Shepherd 是英国著名

开发地质家,有扎实的油田地质理论基础和丰富的油田开发实践经验,全书重点突出,深入浅出,从大量国外油田开发地质方面的案例出发,图文并茂,从而拓宽了我国油田开发地质家的视野。

本书在以张为民博士为主的翻译团队集体努力之下,经过几轮的修改完善,终于面世了。该团队由部分研究生和多年从事与 BP、Exxon 等国际石油公司合作研究的众多专业的专家构成。张为民博士曾先后主持吉林扶余、大庆葡西、伊拉克鲁迈拉、马吉努等 20 余个国内外油田地质及开发方案的研究工作,教学和油田现场实践经验丰富,在人才培养和国际合作方面具有真切的体会。

衷心希望通过这本书的出版,能够进一步丰富我国油气田开发地质学内涵,并在学习国外油公司先进技术和经验的基础上促进我国油气田开发地质学的进一步发展,以期在国内外油田开发实践活动中,更加自信、更加从容地面对不同类型的复杂油气藏,以及所在国的社会人文背景,为国内外油田开发创造更好的经济效益!

中国工程院院士:
2017. 12. 18



译者的话

开发地质学是集石油地质学、构造地质学、沉积学、生物地层学、层序地层学、流体力学、地质统计学、地球物理等基础学科,与油藏工程、钻井工程、油藏管理、技术经济学等应用学科的多专业综合学科。研究内容涵盖从宏观的地球演变到微观的孔隙喉道,兼融确定性实验成果与不确定性评估预测,旨在支撑油气田高效开发,具有阶段性、时效性、动态性、预测性、实用性。

开发地质学在原苏联称为油矿地质学,在欧美称为开发地质学,在国内一些高校称为油藏地质学,概念说法不一。国外的开发地质专著出版较早,如原苏联 M. Ф. 钦克 1946 年出版的《油矿地质学》和美国 L. W. 里诺 1949 年出版的《地下地质学》。我国开发地质学发展归功于大庆油田的开发,通过大量的地质研究和开发试验,逐步形成了具有中国特色的油田开发地质学。从 20 世纪 80 年代开始我国开发地质研究方兴未艾,先后出现了很多颇有建树的油田开发地质家,如:闵豫、裘亦楠、陈立官、熊琦华、薛培华、徐本刚、吴胜和等教授,并出版了许多有关专著,如《油矿地质学》(徐本刚,1982)、《油气田地下地质学》(陈立官,1983)、《开发地质学》(胡征钦,1989)、《裘亦楠开发地质文集》(裘亦楠,1997)、《油矿地质学》(吴胜和,2005)、《油藏开发地质学》(李阳,2007)等。

油气田开发归根结底属于系统的石油工程,因此优化工程经济效益是最终落脚点。译者认为《油气田开发地质学》——《Oil Field Production Geology》(AAPG Memoir 91)是迄今为止最具权威理念的一本关于油气田开发地质学的专著,该书于 2009 年由英国著名开发地质家 Mike Shepherd 编著出版,内容涵盖了开发地质家的职责、目前国际石油公司通用的地下研究团队的组织机构与开发地质工作流程、流体地质学、地质统计学与三维地质建模技术、寻找剩余油的方法、钻井设计,以及不同沉积环境储层类型及其油气藏开发特征等内容,可以说这是目前开发地质领域最受欢迎的经典著作之一。

随着中国石油海外战略的实施,国际合作日益频繁,符合国际规范的开发地质研究似乎在内容和流程上均给我们提出了更多的挑战,诸如研究内容上首先要体现对每个研究环节的质量控制、特别看重对每个阶段甚至每个结论的不确定性研究、每个时期每个结论与方案的风险评估等,这都是非常重要并不可或缺的关键内容。该书则从油藏的生命周期出发,阐述了国际油公司开发地质家及其地下研究团队的组成,并且描述了开发地质家在油藏生命周期的不同阶段所起到的不同作用及其角色的转换,同时给出了国际合作中各个阶段油藏管理和联合经营的背景知识。在油藏管理和地质研究过程中,始终以经济效益为准则,每个阶段地质方案的制定都随时要与公司股权份额的收益分配及成本直接挂钩,书中以大量著名油田的案例分析,阐述了开发地质认识的正确与否及其所导致的经济后果,是一部深入浅出、不可多得的开发地质案例解剖与油藏管理教程。此书的另一个特点是译者在该书对于常用的专业术语给予了中英文双语对照,以便于学

生学习与专家修正。

作者 Mike Shepherd 博士生于苏格兰阿伯丁市,第一份工作就是作为 BP 公司的开发地质家为北海最大的 Forties 油田部署井位,作者和译者均相信在油气资源越来越少的当今,开发地质学的作用会变得越来越重要。因此,利用给研究生授课和业余闲暇之际,选择了这些年来陪伴我们时间最长的手边书之一——《Oil Field Production Geology》和学生们一起翻译出来,既深入研读了这本经典著作,也学习了专业知识,还提高了专业外语水平,同时规范统一了国际交流的专业术语,一举多得,收获颇丰。现拟将其出版发行,旨在为我国油田开发的同行走向海外市场提供一些相关专业的背景知识及开发地质工作流程。希望该译著能供具有相同专业的海外油田研究人员查阅,特别适合参与国际合作项目研究或者是国际油田交易的有关人士参考,也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本书的翻译工作是在所有翻译、校译人员的共同努力下完成的。主要翻译人员由中国石油勘探开发研究院油藏描述课程的教师团队和研究生团队共同完成。教师团队主要是张为民博士、刘卓博士;学生团队主要是中国石油勘探开发研究院近年来选修油藏描述课程的部分博士和硕士研究生,他们是刘建良、陈宇航、李玉红、邓西里等。此外,参加本书校译的还有开发所的侯建锋、付秀娟、侯伯刚、宋本彪、鲍敬伟等,以及规划所冯金德博士、地质大学姜正龙博士、石油大学兰朝利博士、华北油田勘探开发研究院专家李清、吴青松等高级工程师组成的专家团队完成,其中多数专家都具有多年从事油田开发国际合作的经验。全书最后由张为民、魏晨吉、刘卓、王玉学、高严、钱其豪等校译、统稿、审定完成。

该书的翻译出版得到了中国石油资深专家张正卿教授、中国科学院李继亮教授、中国工程院袁士义院士、中国科学院刘家麒院士等老前辈及学、商跨界精英——上市公司洲际油气董事长姜亮教授等的不吝赐教;得到了中国石油勘探开发研究院胡永乐总工程师和开发所领导的大力支持。同时,借此机会,对于长期以来给予译者指教与帮助、提携与眷顾的所有专家和学者,以及中国石油勘探开发院鲁迈拉技术支持项目部的所有同事与开发所各科室的同事们多年来的鼓励与支持,一并致以衷心的感谢!

最后,谨以此书献给各位尊敬的恩师们、献给所有参加翻译和校译成员的父母、爱人和孩子们!

由于水平有限,译文中不足之处,敬请读者批评指正!

译者

二零一七年盛夏 于北京

目 录

第1章 开发地质家及油藏	(1)
1.1 开发地质家的职责	(3)
1.2 钻井	(5)
1.3 油藏的生命周期	(11)
1.4 储层流体	(28)
1.5 油气田采收率的影响因素	(36)
第2章 地质方案	(48)
2.1 资料来源	(49)
2.2 岩石和流体性质	(64)
2.3 平面图和剖面图	(68)
2.4 井间预测	(72)
2.5 油藏格架	(77)
2.6 岩相图	(88)
2.7 岩石物性分析	(92)
2.8 构造地质:断层	(100)
2.9 构造地质:裂缝	(118)
第3章 流体地质学	(125)
3.1 生产数据及分层	(126)
3.2 油藏平面分区	(139)
3.3 平面波及系数的分析方法	(141)
3.4 排驱单元	(147)
第4章 油藏建模与地质统计学	(149)
4.1 地质统计方法	(149)
4.2 三维地质网格单元建模	(164)
4.3 储量	(177)
4.4 油藏不确定性分析	(182)
4.5 与油藏工程师的合作	(187)
第5章 标定剩余储量	(194)
5.1 剩余油分布	(194)
5.2 剩余油分布的定性分析方法	(198)
5.3 剩余油分布的定量分析方法	(201)
5.4 开发潜力评价	(206)
第6章 钻井设计	(208)
6.1 井型	(208)

6.2	井网	(215)
6.3	钻井设计	(216)
6.4	问题井	(224)
第7章	沉积储层及其流体特征	(227)
7.1	风成沉积相储层	(227)
7.2	曲流河相储层	(232)
7.3	辫状河相储层	(243)
7.4	三角洲相储层	(246)
7.5	滨岸相硅质碎屑岩沉积和障壁岛储层	(258)
7.6	海相深水储层	(261)
7.7	碳酸盐岩储层	(267)
7.8	稀有储层	(276)
7.9	结语	(277)
参考文献	(279)

第 1 章 开发地质家及油藏

石油资源的未来已引起人们的广泛关注。自 20 世纪 60 年代以来,随着世界人口的增加,油气资源的需求量不断上升,新发现的石油储量却呈递减趋势。

尽管通过勘探新油田得到的石油储量日益减少,但通过提高现有油田的采收率,从而增加了相当一部分储量。储量(*reserves*)即石油公司预期在油田生命周期结束时采出的石油量。近期的数据表明,目前勘探发现的原油储量和已开发油田的储量增长基本相当(表 1.1)。

表 1.1 目前全球勘探发现的新增储量及现有油田的储量增长

	体积(10^9 bbl)
2004 年	
勘探井发现储量	10.9
现有油田的储量增长	12.1
总计	23
2004 年世界产量	28.5
2005 年	
勘探井发现储量	13.5
现有油田的储量增长	9.5
总计	23
2005 年世界产量	29

注:数据引自 Pete Stark 和 Ken Chew, IHS - Energy(2007)。

那么,为什么已开发油田能增加这么多储量? 这些石油又是从何而来?

要回答这些问题,首先要了解的一个基本事实是在过去这些油田的原油采收率一直较低。通常情况下,大量的原油被滞留在油藏中未被采出。据估计目前世界上已发现原油总储量中,预计可采储量仅约为 30% ~ 35% (Conn, 2006 年)。一旦生产不再产生良好的经济效益,剩余的 65% ~ 70% 储量将被遗弃在世界范围内的各个油田中。

导致原油采收率低的原因主要是地质非均质性、人为原因及经济性等综合因素。储层复杂性致使确定各油藏中原油的位置及评估剩余储量难度增加,从而导致原油的经济开采面临重大的技术挑战。尽管存在这些问题,石油公司一直仍在致力于更精细的油藏研究,目的是提高最终采收率。自 20 世纪 50 年代以来,每十年就会涌现出一批更好的新技术,从而增长地下油气藏的储量(表 1.2)。专业的石油地质期刊中给出了很多利用现代储层表征方法更好地了解储层地质构型的例子,这些成果极大地推进了油田采收率的提高及可观的储量增加(图 1.1)。

表 1.2 过去 60 年间的主要油田提高采收率技术(细节可在本书指出的章节中看到)

年代	井下技术的发展
20 世纪 50 年代	现代沉积体系相模型使用(详见 2.4)
20 世纪 60—70 年代	油价上涨导致二次采油技术的普遍使用(详见 1.5)
20 世纪 60 年代至今	新型电缆测井工具的继续发展(详见 2.1)



年代	井下技术的发展
20 世纪 60 年代起	计算机性能的提高实现了将大量的数值模拟技术应用于生产预测(详见 4.5)
	提高采收率技术的发展(详见 1.5)
20 世纪 70 年代	地震地层学应用成为前沿技术(详见 2.5)
20 世纪 70—80 年代	1967 年在 Exxon 地区首先进行了三维地震勘探,油藏物理学家在 20 世纪 70—80 年代开始普遍应用三维地震勘探资料(详见 2.1)
20 世纪 80 年代	电缆测井、野外露头数据和地震勘探数据结合建立了高分辨率层序地层学,并将层序地层学的概念从盆地扩展至油藏规模(详见 2.5)
	水平井钻井起始于 20 世纪 80 年代初的美国和欧洲,从此越来越多的非常规钻井提高产量技术实现大规模应用(详见 6.1)
	地质统计学方法在开发地质领域开始大量应用(详见 4.1)
20 世纪 90 年代	寻找剩余油的先进数据集成技术在成熟油田的持续发展(详见第 3 章及 5.1、5.2、5.3)
	三维计算机模型在开发地质学中的普遍使用(详见 4.2)
	三维地震勘探资料的分辨率大幅提高,开始出现用于评估油藏波及系数和规划加密井的四维地震的常规使用(详见 3.3)
	落实构造控制流体分区的方法得到发展,尤其采用封闭性断层的研究方法(详见 2.8)
21 世纪起	随着世界各油田的衰竭,油藏经营管理变得越来越复杂,为了应对此问题,地下油藏地质团队变得更加综合,并采用更加先进的技术如四维地震、储层表征技术及计算机建模等(详见 1.2)

注:引自 Fisher(1991)、Weimer 和 Slatt(2004)。

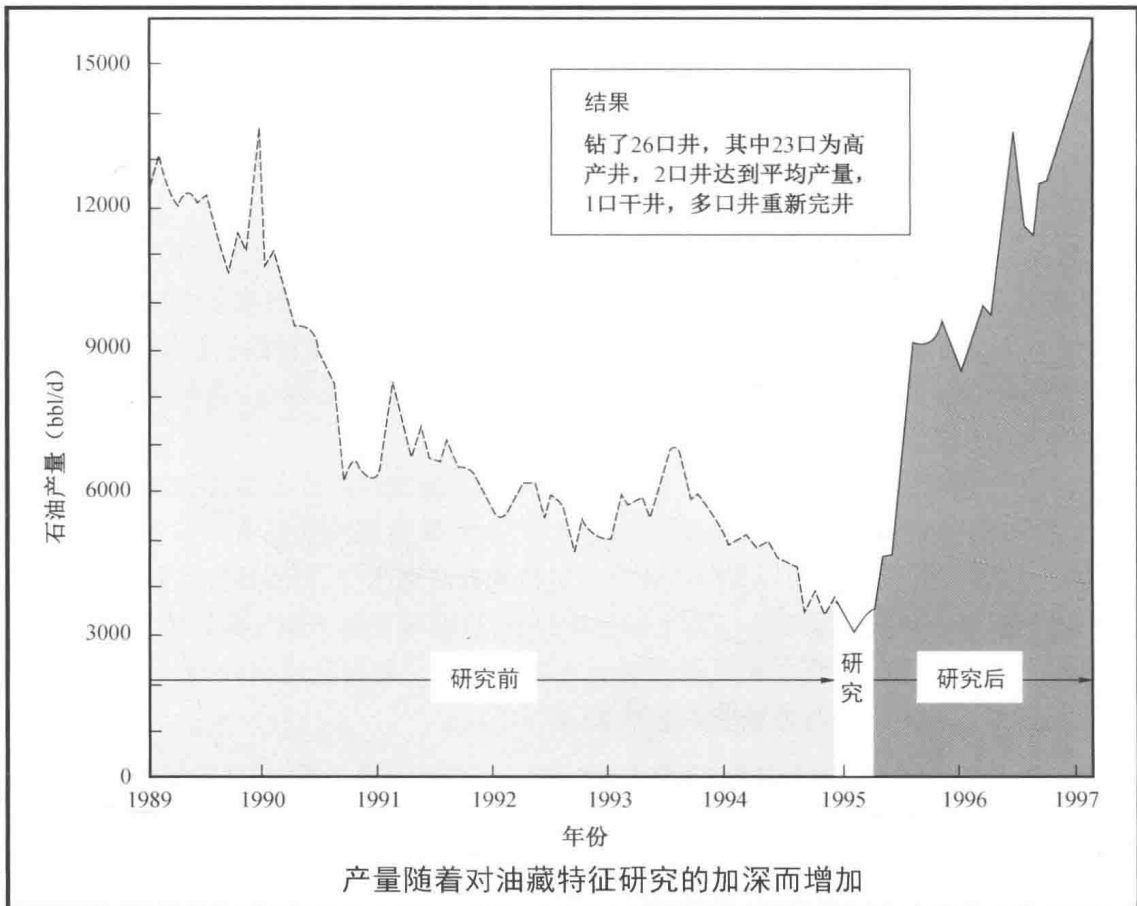


图 1.1 一个取自委内瑞拉的典型实例,通过认识油藏从而有助于提高产量和采收率(改编自 Hamilton, et al., 2002) 经 AAPG 授权转载

人们感兴趣的是更好的油藏管理可使常规石油资源的采收率提高多少？也就是说通过更好的油藏管理来提高传统石油资源的采收率，这样的思考方向是很有意义的。在2006年海德堡举行的美国石油地质家学会(AAPG)油气资源会议上，埃克森美孚的凯思·金(Keith King)提出了这一命题，并指出采收率可能增加的范围预计在4%~13%之间(基于最大资源量的情况)。如果目前采收率停滞不前、不再增加，则将出现其下限情况(4%)；如果提高采收率技术在未来取得进步且得到全面应用，尤其是广泛应用于世界大型油田中，则将出现其上限情况(13%)。

值得注意的是，采收率提高13%可增加的石油供应量，将与目前世界范围内已消耗的量差不多。要从现有油田中开采这么多石油尚需付出相当大的努力，但假如可以做到，这将对解决世界能源问题产生深远影响。当然，能否实现还有待于不断探讨，但在现有油藏中的确存在大量的油气资源是一个不争的事实。

本书结构：本书主要关注的是在从已开发油田中开采出更多的油气资源的工作中，开发地质家如何发挥其作用，共分为7章。第1章的1.1是开发地质家与油藏的关系，阐述了石油公司内开发地质家的职责及其如何与地下(研究)团队其他专业成员协调合作。

第1章中1.2~1.5的内容放在一起以便整体理解这一工作，包括有关开发地质家和油藏生命周期的内容，油藏生命周期显示了其工作性质随着油气资源成熟程度的变化，并讨论了油田生命周期结束时大量石油未开采出来的原因。如果地质家可以确定剩余油在地质构造中的相对位置，那么原油采收率将会更高。开采剩余油还涉及钻井，1.2中简要介绍了如何开展这项工作。

本书的第2章更贴近主题，从开发地质家的角色开始，描述开发地质工作流程，明确开发地质家的工作就是要给油藏建立一个概念性的地质构架，并可以转换成计算机能够表示的、供团队其他成员使用的油藏地质模型。

第3章主要讨论流体地质学。地质家进行详细的“侦探”以尝试认识更多控制油田生产的因素，这将有助于根据储层流体的流动特性修改地质方案。

本书的第4章描述了使用地质统计学技术建立三维地质模型的方法。计算机模型可用来计算含烃量、定位成熟油田中的剩余油及部署新井。地质家可通过它来了解油藏的不确定性，尤其是评估原始油气储量时涉及的问题。油藏工程师以此计算机模型为基础来模拟油藏动态特性及估计油田动态储量。地质家将和油藏工程师共同建立这些模型。

本书第5章主要描述开发地质家确定油田中剩余油位置的各种方法，储层中众所周知的几种原油的滞留模式。推断已开发油田的原油分布，从而确定剩余油的位置与规模，即可将油田可采储量最大化。

本书第6章给出了有关油气井布井的建议，在此地质家的角色非常重要，根据剩余油的具体情况，钻不同类型的井。钻井是开发地质家帮助采出剩余油的重要手段。

第7章即最后一部分，总结了形成储层的各种沉积环境，并描述了各类沉积环境是如何生成油气的，这些知识将帮助地质家在其所研究的油田中寻找类似的模式。

1.1 开发地质家的职责

开发地质家究竟做什么？

开发地质家属于油田开发地下(研究)团队(subsurface team)，工作任务是管理油田生产并致力于采出更多的油气。开发地质家有一个特定的角色，即他们负责研究储层的地质构架(地质特征)，通常利用计算机软件即油藏地质模型将其表征出来(图1.2)。建立地质模型的目的是帮助大家理解油藏地质特征及其如何影响所开发油田储层内流体的流动，以及落实死油区(dead ends)产生的潜在圈



闭,在较大的隐蔽死油区部署新井可能会有所发现。如果这些井可产生经济效益,那么地质家将牵头 (*take a leading role*) 和钻井工程师一起规划和设计井位。

开发地质家是工作在一个由多学科专家组成的油田开发团队中(图 1.3),在大型石油公司中油

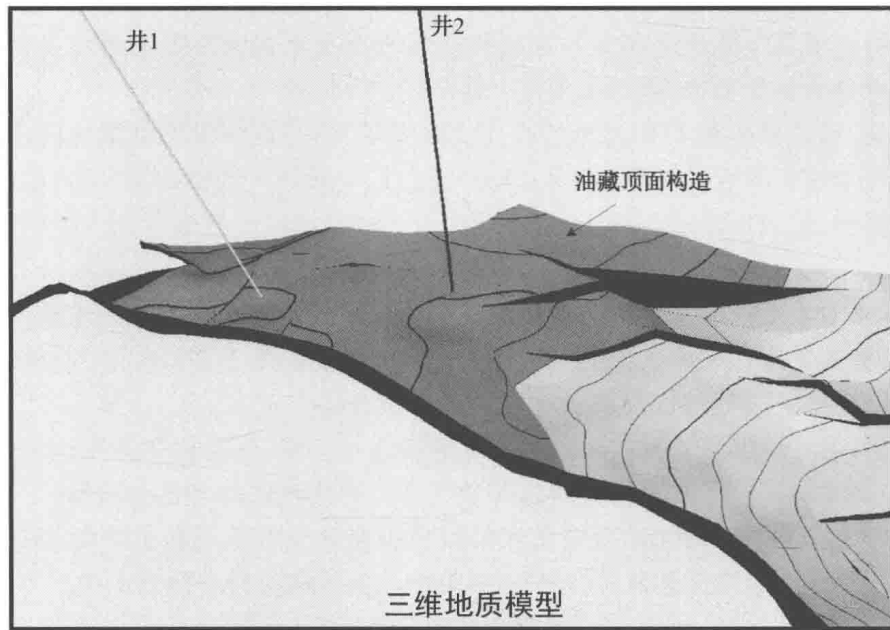


图 1.2 开发地质家建立大型油田的三维地质模型用以表征地质特性。该图显示了油藏顶面的构造,并给出了油藏顶部之上的井轨迹

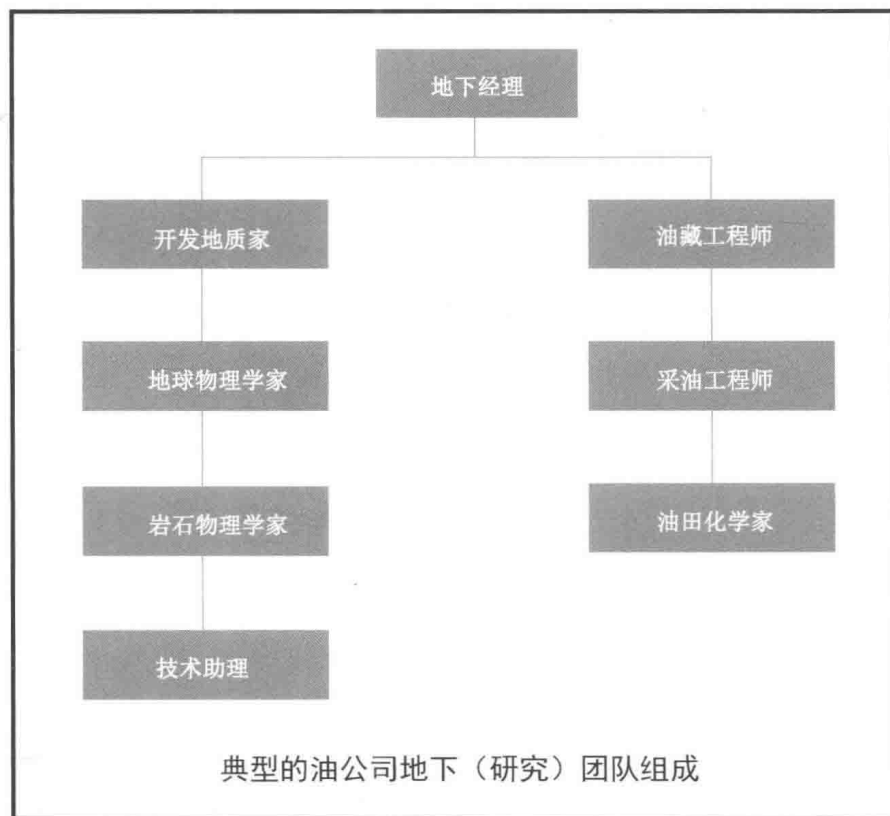


图 1.3 石油公司内开发地质家所在的一个典型工作团队,地下作业非常复杂,因此必须整合每个人有关项目的专业知识来实现高效工作

田开发团队通常包括地下经理、开发地质家、地球物理学家、岩石物理学家、油藏工程师、采油工程师、油田化学家及技术助理,有些团队可能还包括钻井工程师和经济学家(表 1.3)。

表 1.3 (油田开发)地下(研究)团队的专业学科

工作职位	工作描述
地下经理	管理和协调地下(研究)团队每个人的工作
开发地质家	负责了解和建立储层地质格架及地质模型,帮助确定和部署新井井位
地球物理学家	主要负责解释地震勘探数据,落实油藏构造和断层分布;如果地震勘探数据允许,也可表征沉积环境、岩石和流体性质
岩石物理学家	主要任务是分析测井数据,在井眼范围内定量解释储层岩石物性和流体性质
技术助理	为团队提供技术支持,包括数据管理、数据准备和电脑制图
油藏工程师	预测油田可采油气产量,可使用计算机模拟油藏表现并分析其动态特征,并负责油藏管理活动
采油工程师	负责优化从井筒到地面设施的所有机械方面的工作
油田化学家	分析并解决所有储层和地面设施间的结垢、金属腐蚀、钻井液、结蜡及颗粒沉淀等关系油藏和地面设施问题
钻井工程师	计划任何有关钻井操作的机械工作,包括钻新井
经济学家	评估任何与地下有关的经济活动

团队协作(*Teamwork*)非常重要,因为油田地下工作的异常复杂性意味着多专业必须整合各自专业领域的知识,才能使项目得以成功开发(Durrani, et al., 1994)。有的石油公司分地质和工程两个部门,虽然实际上很少这样分部门工作。事实上地下(研究)团队应该做到沟通简洁,以便形成一个包括以分享为目的的团队氛围,可快速发现并在共同一致的行动上快速解决很多问题(Satter, et al., 1994; Neate, 1996)。

1.2 钻井

开发地质家在其职业生涯里要花大量时间设计部署井位,并在钻井期间进行监测。油气井为认识油藏提供了大量地质资料,它也是从已开发油田中采出更多油气的手段。因此,开发地质家需要尽可能详细地了解各个井的钻进及生产后的各种作业情况。

1.2.1 如何钻井?

钻井最常用的方法是旋转钻井(*rotary drilling*)(Rabia, 1985)(图 1.4)。钻头(*a drilling bit*)由空心钻杆(*drill pipe*)连接,然后地面部分是电机驱动的转盘带动钻杆旋转。现代钻井平台使用顶驱驱动,旋转钻头切割或压碎岩石。钻井平台(*rotary table*)使用顶驱系统(*top drive system*)旋转钻杆,即可从井架空间上部直接旋转钻杆,并沿井架内专用导轨向下钻进,旋转钻头切割或压碎岩石。钻井液,也称泥浆(*drilling mud*)由水或油水混合物、固体颗粒和各种添加剂构成,通过钻杆泵入并循环到井底,从钻头内的喷嘴喷出。钻井液从环形空间(钻杆外的空间)返出到地面上。钻井液可以润滑钻头,防止其因摩擦变得过热,并将钻下的岩屑带出地面。钻井液的密度要和所钻遇地层的压力相匹配。如果钻井液的密度不够大,当钻井遇到高压地层时,地层中的流体将进入井筒,发生井涌(*a kick*)。这种危险情况应及时处理,否则原油会到达地面并导致井喷(*blowout*)。石油从钻机中源源不



断地喷出时,石油工人欢快跳舞的场景只可能在电影中出现,在现实中,油田专业人士对井喷存在的燃烧和爆炸等危险十分重视,要全力以赴防止井喷。

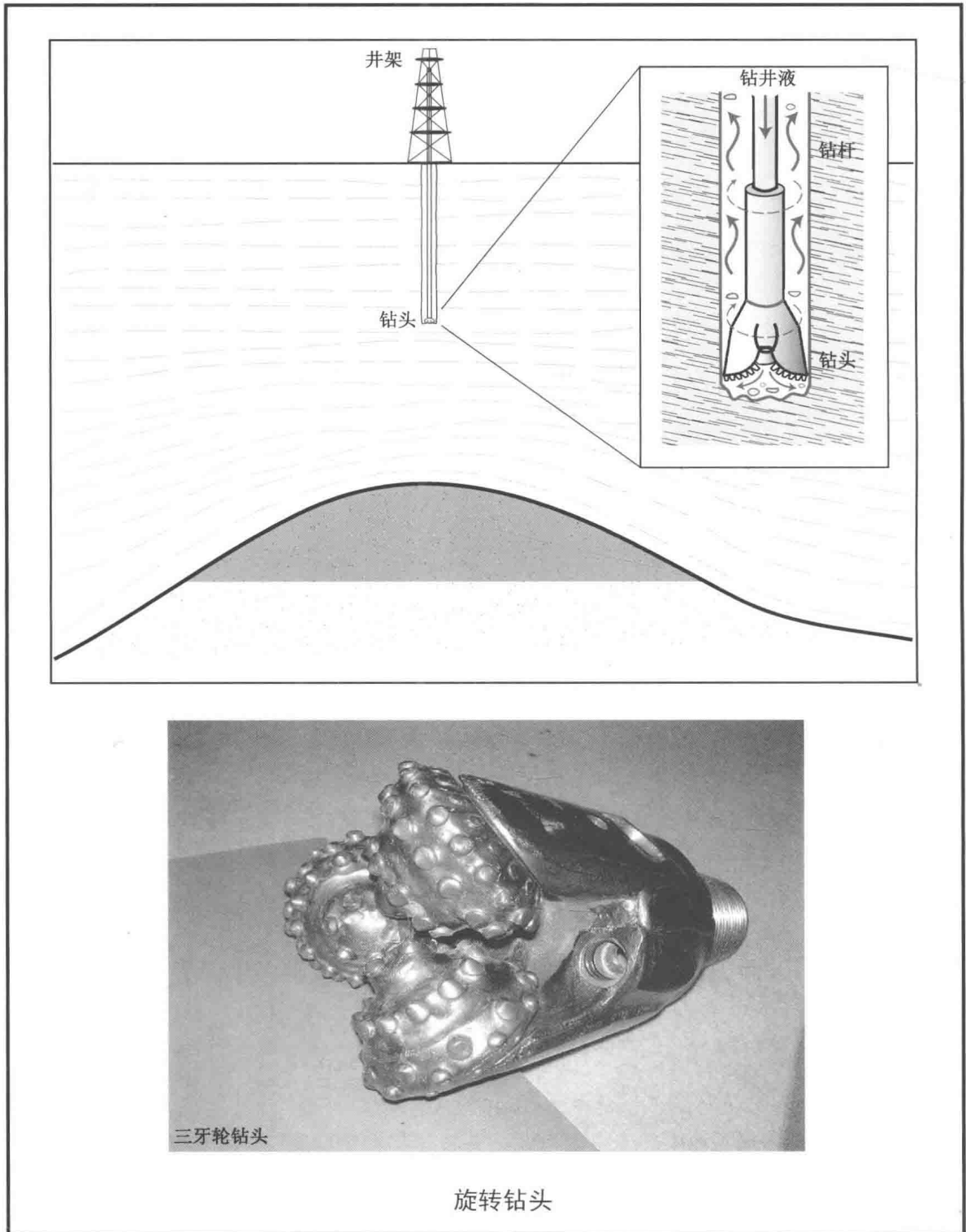


图 1.4 钻头安装在钻杆底端,旋转时切割和压碎其下面的岩石,钻井液通过钻头内的喷嘴喷出,冷却钻头并将岩屑带到地面

陆地井和海上井钻井作业的规模及成本有所不同。陆地井使用相对廉价的陆地钻机 (*land rig*) (图 1.5);而在海上作业时,这一操作要昂贵许多倍。

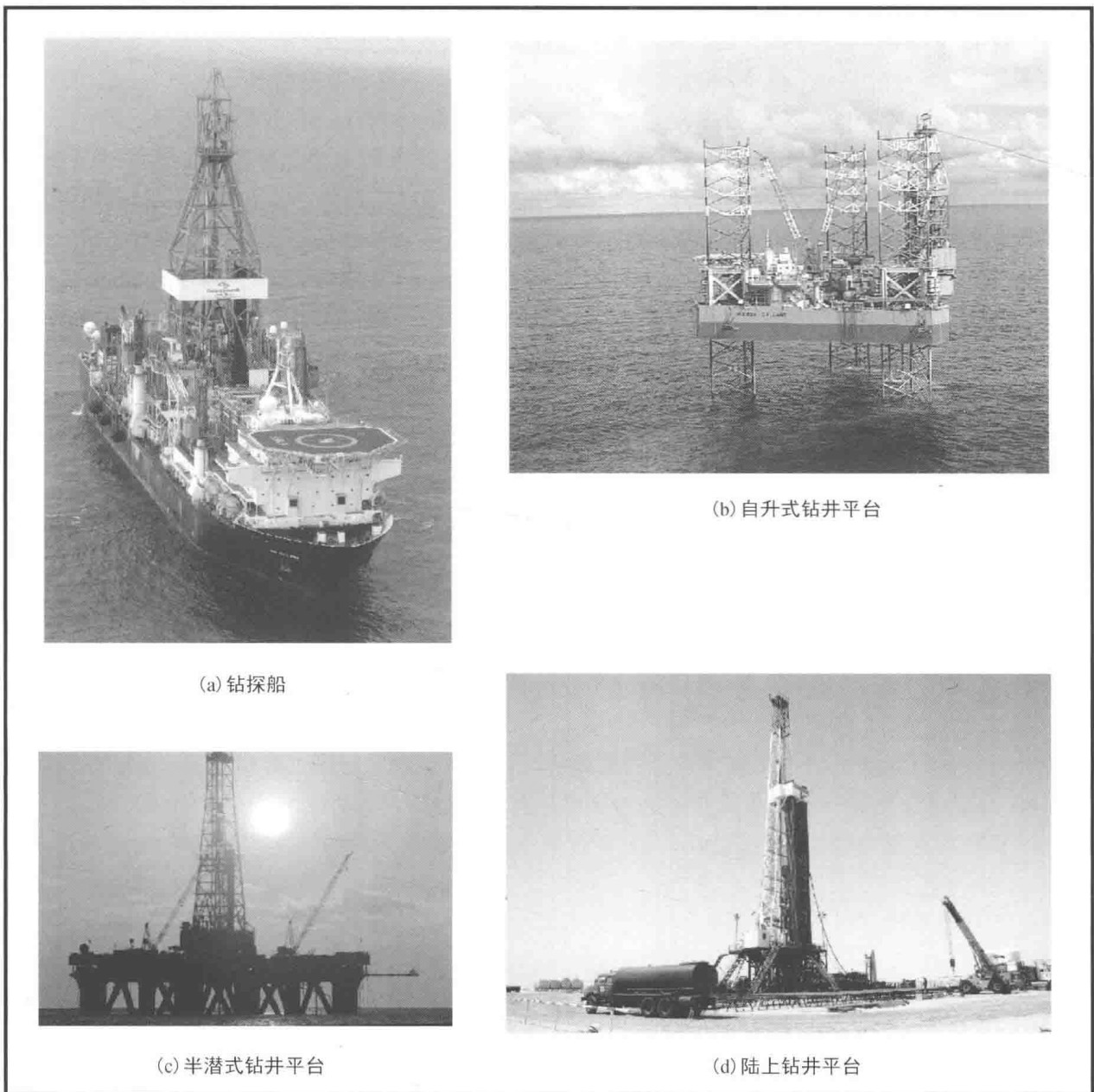


图 1.5 海上和陆地的各种类型的钻井设备

(a) 是 BP 公司提供的钻探船 Jack Ryan (www.bp.com); (b) 是马士基 (Maersk) 油气公司提供的自升式钻井平台 (www.media.maersk.com); (c)、(d) 分别是伍德赛德能源有限公司提供的在利比亚撒哈拉沙漠的半潜式钻井平台和陆上钻井平台 (www.woodside.com.au)

在浅水区 [通常深度约为 6 ~ 45m (20 ~ 150ft)], 使用自升式钻井平台进行钻井。自升式钻井平台 (jackup rig) 具有三个或更多的桩腿坐入海底。在中等水深区域 [深度超过 45m (150ft)], 使用浮式或半潜式钻井平台 (semisubmersible rig), 半潜式钻井平台通过若干个锚固定 (Reed, 1992)。

在深水区, 钻井船 (drill ship) 是首选。深水 (deep water) 的定义是水深在 500 ~ 2000m (1640 ~ 6562ft) 之间 (Weimer and Slatt, 2004)。钻井船通过动态定位 (dynamic positioning) 确保处在合适的位置。电脑通过全球定位系统技术或通过从海底传感器传来的信号响应不断计算钻井船的动态位置, 将信号发送给螺旋桨和船两侧的侧向推进器, 进而对抗风和水流的力量进行调整, 使船的位置保持稳定。