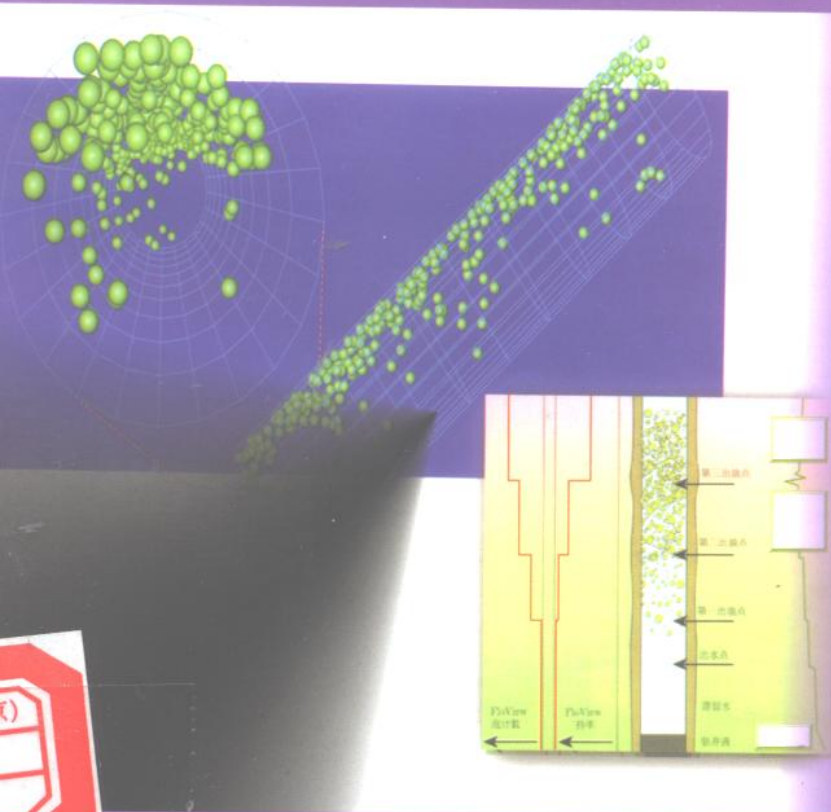


现代油气勘探理论
和技术培训教材

中国石油天然气总公司勘探局 编

油气钻探新技术

九



石油工业出版社

现代油气勘探理论和技术培训教材·九

油气钻探新技术

中国石油天然气总公司勘探局 编

石油工业出版社

内 容 提 要

《油气钻探新技术》一书是为了适应我国油气勘探开发新的形势需要而编写的,以总结和推广一些油气钻探新技术并培训现场技术骨干为主要目标。全书共分九章,除了第一章(绪论)的综合性讨论外,其余各章主要介绍了油气井设计、实钻地层特性评估、井壁稳定、井眼轨迹控制、保护油气层、井控、提高深井钻速及油气井固井等关键技术内容,具有实用、综合及新颖等特点,它们在一定程度上反映了编者多年来的研究、实践与知识积累之精华。

本书既可作为现场中高级钻探技术人员的培训教材,也可供从事钻探工作的科研人员及高等院校的有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气钻探新技术/中国石油天然气总公司勘探局编.

北京:石油工业出版社,1998.6

现代油气勘探理论和技术培训教材 9

ISBN 7-5021-2308-3

I. 油…

II. 中…

III. 油气钻井-技术培训-教材

IV. TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 13024 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 8 $\frac{1}{2}$ 印张 208 千字 印 1—3000

1998 年 6 月北京第 1 版 1998 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2308-3/TE. 1925

定价: 16.00 元

《现代油气勘探理论和技术培训教材》

编 委 会

主 任 邓隆武

副主任 朱筱敏

委 员 (按姓氏笔划排序)

孙镇城 张厚福 张 霞 陆克政 李承楚 金之钧

赵澄林 尚作源 钟宁宁 欧阳健 周家尧 高德利

《油气钻探新技术》

著 者 高德利等

序

石油工业的迅速稳步发展必须依靠先进的油气勘探理论和能切实解决生产难题的技术。中国数十年油气勘探实践已证明，油气勘探方面的理论发展和技术进步在深入油气勘探、增加油气储量、提高勘探效益等方面发挥着极为重要的作用。

自 1978 年以来，中国原油产量已超过亿吨，并保持稳步发展的势头，成为世界产油大国之一。中国油气资源是丰富的，但与世界石油资源平均探明程度和常规天然气资源平均探明程度相比，中国油气资源的探明程度还很低，所以油气资源勘探潜力还比较大。众所周知，对于具有复杂地质结构的中国含油气盆地，随着勘探程度的加深，油气资源勘探的难度越来越大。在本世纪末至下世纪初，中国石油工业的发展都将坚持“稳定东部、发展西部、油气并举，以及合理利用国外油气资源”的勘探战略。

为了贯彻实施中国石油工业发展的战略方针，使中国油气产量及储量处于世界前列，就必须发挥科学技术是第一生产力的作用，造就一大批既懂先进油气勘探理论，又熟悉现代油气勘探技术；既有丰富的油气勘探实践经验，又能从事石油勘探经营管理的油气勘探高级人才。为此，中国石油天然气总公司勘探局先后多次组织各油田的勘探处长、勘探公司经理和总地质师进行现代油气勘探理论和技术以及经营管理的继续教育。为了更好地提高油气勘探高级管理技术人才的油气勘探理论和技术水平，中国石油天然气总公司勘探局决定，成立《现代油气勘探理论和技术培训教材》编委会，公开出版相关系列教材。本套教材共计 11 册，包括 6 册油气勘探理论基础、4 册油气勘探技术和 1 册油气勘探经营管理。即第一册《现代地层学在油气勘探中的应用》、第二册《石油构造地质学》、第三册《储层沉积学》、第四册《层序地层学原理及应用》、第五册《石油地质学新进展》、第六册《石油地球化学进展》、第七册《油气资源评价技术》、第八册《地震勘探新技术》、第九册《油气钻探新技术》、第十册《测井新技术与油气层评价进展》和第十一册《油气勘探经营管理》。与其他教材相比，本教材着重反映国内外油气勘探新理论、新方法、新技术，结合国内外油气勘探实例分析，解决实际问题。希望这套教材的出版能在提高广大油气勘探技术和管理人才的油气勘探综合素质方面发挥积极的作用。

高瑞祺

1997 年 4 月

前 言

钻井是油气勘探开发的基本手段，也是耗资巨大的技术密集型专业工程。先进的钻井技术，对于高效勘探开发地下油气资源，具有举足轻重的独特作用。我国地下油气资源相对不足，而且探明程度较低，在油气勘探和开发的现实工作中面临着许多难题，其中钻井问题十分突出，如深井、高温高压井的钻探及保护储层问题，水平井及大位移井的钻井与完井问题，等等。为了有效地解决这些问题，既需要大力开展钻井科技攻关，同时又需要积极推广应用已经基本成熟了的钻井新技术，并培训现场技术骨干。《油气钻探新技术》一书就是为了适应这种形势需要而编写的，我们希望它能够成为广大钻探科技工作者的良师益友。全书共分九章，包括绪论，油气井设计，实钻地层特性评估技术，井壁稳定技术，井眼轨迹控制技术，保护油气层技术，井控技术，提高深井钻速技术以及固井技术等，分别由长期从事有关研究与实践的专业教师或科研人员编写，其内容具有实用、综合及新颖等特点。

本书既可作为现场中高级钻探技术人员的培训教材，也可供从事钻探工作的科研人员及高等院校的有关师生参考。

参加本书编写的单位有石油大学（第一章至第八章）和大庆钻井研究所（第九章），具体参编人员及其分工是：第一章和第五章由高德利教授编写，第二章由刘畅副教授编写，第三章由高德利教授与杨进、张辉、詹俊峰等同志合作编写，第四章由黄荣樽教授（第二节）和李健鹰教授（第一节）编写，第六章由鄢捷年教授编写，第七章由李相方教授编写，第八章由蔡镜仑教授与李树盛副教授、谭春飞等同志合作编写，第九章由罗长吉高级工程师编写。全书由高德利教授进行统稿，由刘希圣教授审核并提出了宝贵的修改意见。

由于编者水平有限，再加上时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，恭请广大读者批评指正。

高德利

1998年4月5日于北京

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 油气钻井问题.....	(1)
第二节 面向 21 世纪的钻井技术简介	(3)
第二章 油井设计	(9)
第一节 前期准备	(10)
第二节 组织与收集资料	(12)
第三节 油井钻井与完井设计	(13)
第三章 地层钻井特性评估技术	(24)
第一节 地层压力评估技术	(24)
第二节 地层岩性评估技术	(30)
第三节 地层可钻性的评估方法	(34)
第四章 井壁稳定技术	(41)
第一节 井壁化学稳定技术	(41)
第二节 井壁不稳定问题的力学分析	(45)
第五章 井眼轨迹控制技术	(59)
第一节 基本概念	(59)
第二节 井眼轨迹的测量与计算	(63)
第三节 直井防斜打直理论和技术	(66)
第四节 定向控制技术	(70)
第五节 井眼轨迹控制技术发展趋势	(77)
第六章 保护油气层技术	(79)
第一节 保护油气层技术概论	(79)
第二节 油气层损害的评价方法	(81)
第三节 油气层损害机理	(86)
第四节 钻井过程中的保护油气层技术	(91)
第七章 井控技术	(95)
第一节 井眼与地层压力关系	(95)

第二节	溢流与环空气液两相流	(96)
第三节	地层流体侵入检测	(97)
第四节	溢流关井程序	(98)
第五节	压井计算与压井方法	(100)
第八章	提高深井钻速的技术	(103)
第一节	影响深井钻速的主要原因	(103)
第二节	提高深井钻速的有效途径	(107)
第九章	固井技术	(111)
第一节	固井工艺概述	(111)
第二节	油井水泥	(113)
第三节	前置液与水泥外加剂	(116)
第四节	固井质量检测	(119)
第五节	提高固井质量的途径	(121)
参考文献		(124)

第一章 绪 论

地下蕴藏着丰富的可供人类利用的资源,如石油、天然气、原煤、地热、水及其它矿产资源等,都是极其宝贵的有限资源。其中石油、天然气和原煤是目前世界能源结构中的主要组成部分,是人类赖以生存和发展的重要物质基础。

井,是人类探查地下资源并将它们采出地面的必要通道。钻井,就是围绕井的建设而实施的耗资巨大的技术密集型工程。在若干应用领域,钻井是一项关键技术,具有战略或社会重要性。它的主要应用领域包括:①地下资源的勘探与开发;②环境监测与治理;③地球科学研究;④地下掘进、非开挖铺设及地基工程,等等。因此,发展钻井科技,降低钻井成本,减少钻井污染,培养高素质钻井科技和管理人才,不断提高钻井整体水平,对于实现地下资源可持续利用的战略目标具有重要意义。

在各种不同用途的钻井活动中,油气钻井具有代表性。我国的地下油气资源相对不足,而且探明程度较低。在油气勘探和开发的现实工作中面临着许多难题,其中钻井问题十分突出,如深井钻探及保护储层问题,高温高压海洋钻探问题,水平井及大位移井钻井与完井问题,等等。在我国西部,由于地面和地下条件复杂以及油气埋藏深等原因,勘探中面临着各种意想不到的技术挑战。例如,在深井钻探中,经常遭遇井塌、井漏、井斜、卡钻、钻具失效及低钻速等复杂和事故,采用常规技术往往很难驾驭这种场面,结果不仅造成了巨大的直接经济损失,而且制约了西部油气勘探的步伐。在我国东部老油田,“稳油控水”及提高采收率的难度很大,同时还需要进行外围及深部勘探工作,对钻井技术提出了更高的要求。例如,水平井技术(包括钻井、完井、测井、采油及修井等配套技术)还需要进一步研究与完善,以便在技术和经济上适应东部油田开发生产的新要求。

第一节 油气钻井问题

井眼是由钻头破碎岩石形成的,钻头后面有一条长长的“尾巴”叫钻柱,钻柱(中空)是由一根根优质“钢管”(包括钻铤、钻杆及接头等)连接而成的,直径要比钻头小,井有多深钻柱就有多长。当钻进时,地面上用大功率液泵(俗称“泥浆泵”)将钻井液通过钻柱泵入井底,并通过钻头形成高压射流,既辅助钻头破碎岩石,又将岩石碎屑通过钻柱与井壁之间的环形间隙带到地面。因此,钻井中涉及许多学术和技术问题。

一、主要学术问题

(1) 钻井流体力学。①钻井环空流体力学,以流体力学为基础,主要研究钻井环空水力学理论及钻井液携岩理论,不同流体(牛顿、宾汉、幂律)在环空中的流场分布,气液两相或固液两相在环空中的运移流动特性,不同井身剖面(直井、定向井、水平井)中岩屑床的形成及运移规律等,以便优化钻进水力参数设计,提高机械钻速和保证钻进安全。②高压水射流技术是应用射流动力学、两相流、空化与气蚀理论、机械学、材料科学等众多学科知识,研究和开发出的一系列以射流为能量载体的工具和技术,主要用于提高岩石破碎效率,加快

钻进速度,也可用于固体切割、工业清洗等作业。

(2) 钻井管柱力学。综合应用基础科学的理论和方法,测试和分析各种管材的性能(包括管材的物理性能、化学性能、力学参数及密封性能等),研究管柱在各种井眼(直井、定向井及水平井)中的力学特性,如管柱的稳定性、动态特性、整体受力及机械强度等,为管柱的优化设计、合理使用及其寿命预测等提供科学依据。

(3) 钻井岩石力学。以岩石力学基本理论和实验技术为基础,研究深井和定向井安全快速钻井问题,指导钻井工程的合理设计。主要研究内容包括:①深井岩石的强度、塑性、可钻性及研磨性等力学特性随井深变化的规律;机械、水力破岩机理和规律;破岩工具的研制;钻速方程和模拟仿真等。②油田构造的地应力研究,模拟深部温压条件下的岩石强度、弹性模量、力学参数及流变特性等试验,主要解决井壁稳定及套管的变形和损坏的诊断和预防等问题。

(4) 钻井化学。以化学学科、粘土矿物学及石油地质学为基础理论,解决与钻井液、完井液有关的生产实际问题,主要研究新型钻井与完井液的处理剂、体系配方、流变性、废弃液处理以及计算机在钻井与完井液工程中的应用等,以满足各种复杂条件下钻井、完井及特殊工艺的要求,实现安全、高速、优质钻进,有效地保护油气层及矿区环境。

(5) 钻井测量与控制。运用力学、测量及计算机等技术,采集、处理和分析钻井信息,从中提取地层等参数,诊断井下复杂情况,进而研究和采取各种有效的措施(包括硬件、软件及工艺操作等),实现钻进过程的安全与质量控制,以提高钻井效率,降低钻井成本。

二、钻井关键技术问题

在钻井过程中,如何使钻头沿预置轨道钻进并保持井眼稳定性(减少或避免漏、涌、塌、卡等井下复杂与事故),如何优选钻头和参数以提高钻进速度,如何实现钻井自动化与智能化以减少钻进间断和缩短钻井周期,如何有效地保护储层以提高钻探效果等等,都是关键技术问题,也是钻井科研中的重点和难题。

1. 井眼轨迹控制技术

所谓井眼轨迹控制,就是采用合理措施(包括底部钻具组合、操作参数及测控系统等),强制钻头沿预置轨道破碎地层而定向钻进的过程。按井眼轨道的不同设计要求,井眼轨迹控制技术可分为直井防斜打直技术和定向控制技术两个方面,其中定向控制又包括定向造斜与增斜、定向降斜、定向稳斜等钻进过程。在井眼轨迹控制中,测斜与计算是不可缺少的井眼轨迹监测手段。导向钻井系统的应用,使井眼轨迹控制技术发展到令人鼓舞的新水平。导向钻井系统,通常由导向马达、可遥控的井下工具、高效钻头及随钻测量系统等单元组成,具有连续控制井眼轨迹的多功能特性。例如,由导向马达(地面可调弯角)、可变径稳定器、随钻测量系统及特制的PDC钻头组成的导向钻井系统,在国内外一流的大位移钻井中获得成功应用。

2. 井眼稳定技术

井眼稳定技术,是钻井安全保障技术中的关键,包括钻井液的化学和力学稳定技术,地层压力评估与井控技术,防漏与堵漏技术,以及井身结构优化设计技术等,主要解决钻井过程中的井塌(或缩径)、井漏、井涌(或井喷)及阻卡等复杂问题。

3. 高效破岩与洗井技术

高效破岩与洗井技术,是提高钻井速度的关键技术之一,主要包括岩石可钻性评价与钻头合理选型技术,高压射流破岩技术,水力与机械联合破岩技术,钻井参数优选技术,以及

高效清洗与携带钻屑技术等。

4. 保护油气层技术

在目前世界油价仍然偏低的形势下,国外比过去更加注重通过油气层保护的手段来提高勘探、开发的效益。随着近年来钻探和采油新技术的发展,以及岩心分析和其它检测技术方面取得的突破性进展,目前工业界在诊断和治理油气层损害方面已具有很大的潜力。今后几年,预计保护油气层技术发展的重点技术内容包括:油气层损害机理的快速诊断技术,针对裂缝性油藏的钻井液暂堵技术,探井保护油气层技术,以及欠平衡钻井技术等。

5. 现代油井设计技术

钻井今天所面临的技术和经济挑战,使得油井设计与技术综合运用比已往任何时候都更为重要。欲钻油井的目的,适当的油藏描述,钻井参数的全面理解,以及明确在钻井、完井和采油作业之间的相互关系等,对于现代油藏开采来说是非常重要的。由于需要不同学科专业的信息和经验,客观上要求经济、地质、钻井、测井、完井及采油等诸方面的专家应集合在一起,讨论和制定油井设计的优化方案。

三、其他钻井问题

(1) 钻井成本问题。在世界范围内,油气钻井的费用占油气勘探总成本的55%~80%。在我国塔里木地区,1996年统计结果表明,油气钻探费用占勘探总成本的80%以上,油田开发钻井费用占开发总成本的50%以上。1990~1991年,中国海洋石油总公司曾在崖城21-1构造上先后开钻两口井,设计深度4580m,结果在钻井过程中频繁发生井涌、井漏、卡钻等井下复杂情况,导致两口井相继失败而报废,造成1.6亿元人民币的巨额损失;两年后在该构造上又开钻了第三口井,钻至井深4680m完钻,但钻井时间长达268d,钻井费用近1.3亿元人民币(不包括完井测试费用),代价也是相当高的。国际石油会议强调,应依靠技术进步和科学管理,在未来使钻井成本逐渐降低,以稳定世界油价。

(2) 钻井污染问题。在油气钻井过程中,因预防措施不力而对井喷失去控制,将会对周围环境造成十分严重的污染,后果难以估量;若对废弃钻井液及其它废弃物处理不当,则会对周围环境或水源产生污染,甚至危及其中的生物;在钻井过程中遇到地下有害气体(如 H_2S 等),如处理不当,也会污染周围环境,甚至殃及人畜的生命。

第二节 面向21世纪的钻井技术简介

水平井技术、老井侧钻技术及连续柔管技术等,特别适合于老油田增产挖潜及提高采收率;深井技术,对于高效勘探与开发地下深处的油气资源,是必不可少的关键技术;大位移井技术,特别有利于海洋及滩海油气资源的勘探与开发;小井眼钻井技术及油气层保护技术等,对于降低钻井成本及提高勘探与开发效益具有重要意义。进入本世纪90年代,这些技术在国外已经成熟或正在发育成熟,并将在下个世纪发挥重要作用。以美国为代表的欧美等发达国家,已钻成逾万米的超深井及高难度大位移定向井等,从而有力地推动了地球科学研究、石油工业及其它有关工业的发展。目前,我国已经掌握了常规的水平井及深井钻井技术,并且正在积极试验其余的钻井新技术。然而,我国在上述钻井技术领域的现状,与国际先进水平相比仍存在较大的差距。

关于油气钻井技术的国内外发展概况,可参阅表1—1。

表 1-1 国内外主要钻井技术及发展阶段对比 (王同良等, 1997)

	60 年代	70 年代	80 年代		90 年代		21 世纪展望
			“六五”期间	“七五”期间	“八五”期间	“九五”期间	
国外	研究 试验	* 优选参数钻井	△水平井	△大位移井 ○小井眼	△分支井、短半径水平井 ★连续管钻井 △自动化钻井		
国外	应用	* 平衡压力钻井 * 喷射钻井 △定向井、丛式井		△水平井	△大位移井 ○小井眼	△分支井、短半径水平井 ★连续管钻井	△自动化(闭环)钻井
中国	研究 试验	* 喷射钻井 △定向井 △水平井	* 优选参数钻井 * 平衡压力钻井	△定向井、丛式井	△水平井 ◇深井	△分支井、短半径水平井 ○小井眼 ◇深井	
中国	应用		* 喷射钻井	* 优选参数钻井 * 平衡压力钻井	△定向井、丛式井	△水平井 ◇深井	
国外	研究 试验	△随钻测量 ☆PDC 钻头	★顶部驱动	△随钻测量	△地质导向仪		
国外	应用	●API 水泥规范 \$ 低固相不分散聚合物 泥浆 \$ 保护油层 ☆镶齿密封轴承牙轮钻头 ★电驱动钻机	▲实时钻井数据库 ☆PDC 钻头	△随钻测量 △导向钻井 \$ 正电胶泥浆	△随钻测量 ★顶部驱动	△地质导向仪	
中国	研究 试验	\$ 聚合物泥浆 ★电驱动钻机		\$ 保护油层 ☆PDC 钻头 ▲实时钻井数据库	\$ 正电胶泥浆 ★电驱动钻机		
中国	应用	☆镶齿密封轴承牙轮钻头		●API 水泥 \$ 聚合物泥浆	\$ 保护油层 ☆PDC 钻头 △随钻测量 △导向钻井 ▲钻井数据库(非实时)	\$ 正电胶泥浆	

注: * 优选参数钻井类; ◇深井钻井类; ▲钻井数据类; △水平井钻井类; ★钻井装备类; ☆钻头类; ●固井类; ○小井眼类; \$ 泥浆类。

一、深井、超深井钻井技术

深井,是指完钻井深为 4500~6000m 的井;超深井是指完钻井深为 6000m 以上的井。深井、超深井技术,是勘探和开发深部油气等资源必不可少的关键技术。进入 21 世纪,我国西部及东部深层钻探工作将进一步加强,需要完成的深井、超深井比例将进一步增加。我国深井、超深井比较集中的地区有:塔里木盆地、准噶尔盆地、四川地区以及南海莺琼大气区等。近几年的实践证明,由于地质情况复杂(诸如高温高压、高陡构造、难钻地层、多压力系统及不稳定岩层等),我国在这些地区(或其它类似地区)的深井、超深井技术尚未过关,表现为井下复杂事故频繁,建井周期长,工程费用高,从而极大地阻碍了勘探开发步伐。

在深井、超深井钻井中,需要解决的关键技术包括:井眼稳定技术、井斜控制技术、高效破岩与洗井技术、固井技术、钻井与完井液技术以及管柱优化设计技术等。井眼稳定技术,需要重点解决大段泥页岩的井壁坍塌问题,软泥岩的缩径问题,高压盐水层、多套压力系统地层、盐岩层及膏泥盐地层的安全钻进问题,以及高温高压气层的井眼不稳定问题等。井斜控制技术,需要重点解决易斜地层(如高陡构造等)的防斜打快问题。高效破岩与洗井技术,需要重点解决深部井段、大尺寸井眼及难钻地层的高效快速钻进技术问题。深井、超深井固井技术,应着重解决的技术问题包括:①多油层小间隙($\phi 216\text{mm}$ 井眼下 $\phi 177.8\text{mm}$ 套管, $\phi 149.2\sim 152.4\text{mm}$ 井眼下 $\phi 127\text{mm}$ 套管)尾管固井技术问题;②抗复合盐、超高密度水泥浆技术问题;③长封固段、高压复合盐水油气层的固井工艺问题等。深井、超深井钻井与完井液技术,主要包括分层段钻井液控制技术,高压差防卡钻井液技术,高温($150\sim 250^{\circ}\text{C}$)、高密度(大于 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$)钻井液体系,以及储层(特别是石炭系油层)保护技术等。管柱优化设计技术,应考虑高温高压、动力载荷、摩擦与磨损及腐蚀等因素的严重影响。

二、水平井技术

(1) 定义:水平段是指井斜大于 86° 的井段;长半径水平井,造斜段的曲率半径 $R=859\sim 215\text{m}$,造斜率 $K=2^{\circ}\sim 8^{\circ}/30\text{m}$;中半径水平井,造斜段 $R=191\sim 57\text{m}$, $K=9^{\circ}\sim 30^{\circ}/30\text{m}$;中短半径水平井,造斜段的 $R=55\sim 28\text{m}$, $K=31^{\circ}\sim 60^{\circ}/30\text{m}$;短半径水平井,造斜段的 $R=28\sim 9\text{m}$, $K=60^{\circ}\sim 180^{\circ}/30\text{m}$ 。目前钻的水平井,大多属于中半径水平井,因为这种类型的水平井具有比较多的优点,如造斜段较短、摩阻较小、定向控制中靶精度较高及不需要特殊完井等。

(2) 技术关键:①优化设计技术,需要多学科专业人员协同工作,综合考虑地质、钻井、测井、完井及采油等多方面的要求进行优化设计;②井眼轨迹控制技术,要求控制精度高,按“矢量中靶”要求进入水平段,并保持钻头在油藏内水平或横向钻进达最终目标;③优化完井技术,根据水平井几何类型及油藏特性等,确定合理的完井方法,优化设计完井管柱等。

(3) 特殊工艺水平井:在工艺上具有一定特殊性的水平井,包括径向水平井、侧钻水平井及多分枝井技术等。径向水平井(又称超短半径水平井)钻井技术,要求配备专门的井下钻井系统,并采用高压射流破岩方法,可从直井(一般是老井或工程报废井等)中径向打小井径(一般为 $\phi 100\text{mm}$)水平孔,水平段长度约为 $15\sim 60\text{m}$ 。侧钻水平井技术,可以用来在老井和工程报废井中侧钻水平井(主要是小井眼短半径水平井),这特别有利于老油田的挖潜开采。多分枝井钻井技术,允许在同一主干井眼(直井、定向井、水平井及老井等)中侧钻两口或多口分枝定向孔(通常是水平孔),以便更高效地开发离散的“布袋”油藏,节省平台和

投资，它特别适合于海洋及“破碎”油气藏的开发，也有利于稠油开采。

三、大位移井技术

大位移井(Extended-Reach Well, 简称 ERW)目前有两种定义:一种是指测深(Measured Depth)等于或大于垂深(True Vertical Depth) 2 倍的定向井或水平井,当大于 3 倍时,则称为特大位移井(Mega-reach Well),这是在第 14 届世界石油大会上提出的(来源于挪威);另一种是指水平位移(Horizontal Displacement)等于或大于垂深 2 倍的定向井或水平井,这种定义法主要来源于英国的 BP 公司和美国的 ARCO 公司。大位移井钻井与完井的技术关键包括:井身剖面和钻柱优化设计,降低摩阻和扭矩及下套管技术,井壁稳定技术,井眼轨迹测量与控制技术,洗井与固控技术,套管磨损预测与防治技术,以及钻柱振动控制技术等。在海洋及滩海油气勘探与开发中,应用大位移井技术,可获得明显效益。

四、连续柔管技术

连续柔管技术(Coiled Tubing, 简称 CT),是最近几年在石油工业中引起广泛重视的一项新技术。CT 是一种高强度、低碳钢管(杨氏模量 $2.0387 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$, 屈服强度 $4921 \sim 6327 \text{kg/cm}^2$),连续制造,一般长约 $914.4 \sim 7620 \text{m}$ 。传统的油井作业中,操作者需要将平均长为 9.144m 的钻杆一节节连接起来,并需要用井架悬持。而在使用 CT 的时候,柔管缠绕在两端有凸缘、筒径为 3.81m (甚至更小)的滚筒上,象打捞绳一样在井中起下。传统钻井中使用的钻杆平均直径为 $41.275 \sim 168.275 \text{mm}$,而连续柔管的直径和壁厚分别为 $25.4 \sim 12.7 \text{mm}$ 和 $2.032 \sim 6.35 \text{mm}$ 。与传统的技术比较,CT 由于其经济合算、操作高效及有益环保等特点,因而在油气钻井、完井、修井及测井等作业中逐渐得到推广应用。单就钻井而言,CT 技术在侧钻水平井及小井眼钻井中已获得成功应用。

五、其它钻井技术的进步

1. 小井眼钻井技术(Slimhole Drilling)

应用这项技术,可大幅度降低油田勘探开发的钻井成本。实践证明,与常规井眼相比,小井眼探井和评价井的钻井成本可降低 $40\% \sim 60\%$ 或更大,生产井和注水井的钻井成本可降低 $25\% \sim 40\%$ 或更大。目前,小井眼钻井技术越来越多地应用于老井加深、侧钻水平井、多分支水平井、欠平衡钻井及 CT 钻井等,为老油田增产和提高采收率提供了一个有效的途径。

2. 欠平衡钻井技术

采用这种技术,在钻进过程中允许地层流体进入井内,循环出井,并在地面得到控制。欠平衡钻井有利于发现低压储层,避免对储层的损害,并且能够提高机械钻速,降低钻井费用,还可减少储层增产作业等。据美国调查结果表明,油公司对欠平衡钻井能够有效地减轻或避免储层伤害最感兴趣,而技术服务公司则更关注欠平衡钻井的高效率。

只有在合适的地质条件下,才能实施欠平衡钻井。实践表明,欠平衡钻井技术适合的地质层包括:硬地层,欠压或衰竭地层,高渗(大于 1000mD)胶结良好的晶间砂岩和碳酸盐岩,高渗弱胶结砂岩,裂缝开度大于 $100 \times 10^{-3} \text{mm}$ 的大裂缝地层,对水基钻井液过敏成分含量过高的地层,可能与钻井液滤液极不相容的地层,接近束缚水饱和度或残余油气度的脱水地层等。欠平衡钻井的关键技术包括:欠平衡条件的产生与保持技术,井控及产出流体的地面处理技术,以及相适应的测量技术等。

3. 随钻测井 (LWD: Logging While Drilling) 技术

这是测井技术与钻井技术相结合的一种新技术。为了使油层沿井眼更好地裸露, 需要用复杂的“地质靶子”(如地层中不同岩层或流体的界面) 代替简单的“几何靶子”, 而这些“地质靶子”的精确位置往往是难以预测的。随钻测井技术, 就是利用邻井测井资料建立测井响应模型, 当一口新井接近或钻进这样的“地质靶子”时, 可将实时随钻测井响应与上述模型响应进行比较, 以帮助识别底部钻具组合相对“地质靶子”的位置, 从而可将实钻井眼保持在适当轨道内, 更好地达到地质勘探和油藏开发的目标。随钻测井系统由井下测量工具和井场计算机系统两部分组成。

井下测量工具主要包括: ①测传导向马达 (Instrumented Steerable Motor)。这是一种完全仪器化的导向马达 (其壳内装有传感器组件), 它直接与钻头相连, 能够测量近钻头处地层电阻率、方位电阻率、自然伽马以及井斜和钻头转速等参数。这些参数通过电磁波传送到马达以上的 MWD, 再由钻井液脉冲传送到地面。据此, 司钻和地质家可实时了解到钻头处的岩性变化和油气显示情况, 以及钻头相对地质轨道的位置等。②近钻头电阻率测量工具 (RAB: Resistivity at the Bit)。这是一种仪器化的近钻头稳定器, 直接与钻头相连, 可测量近钻头处地层电阻率/自然伽马和井斜等参数, 其最大特点是, 利用这些实时测量数据, 可在地层被污染之前进行高质量的地层评价, 检测裂缝或薄产层或渗透性产层。这种工具可代替测传导向马达用于转盘钻井。③力学测量工具。该工具直接接在 MWD 工具下端, 用于接收地质测量工具或近钻头电阻率测量工具的电磁信号, 并传到 MWD。该工具也可测量钻压、扭矩、钻柱内钻井液压差和环空压力等钻井参数。④泥浆脉冲发生器。运用连续载波编码技术将数据传送到地面, 数据传输速度高达 10 位/秒。⑤补偿双电阻率 (CDR: Compensated Dual Resistivity) 及方位密度中子仪器。它可实时测量井眼补偿感应电阻率、自然伽马、密度和中子, 据此可进行初期地层评价、地质对比及孔隙压力评价。

井场计算机系统是随钻测井系统的中枢, 可通过综合处理地面与井下测量数据来监测钻进过程。原始数据经过专门的解释程序计算与绘图处理后, 可转换成井场决策人员所需要的信息资料, 并在高分辨率彩色监控器上以彩图方式直观显示。

4. 随钻地震 (SWD: Seismic While Drilling) 技术

这是地震技术与钻井技术相结合的一种新技术, 也称为反向 VSP (垂直地震剖面) 或钻头 VSP。它是利用钻进中钻头的振动作为井下震源, 通过安装在钻杆顶端的参考传感器和埋置在井旁地面的检波器分别接收沿着钻杆向上和沿着地层向上传播的钻头波场, 然后把它们所记录的参考信号和地震信号进行一系列处理, 可获得高分辨率的地震信息, 从中可挖掘出有用的地层信息, 不仅对勘探开发具有重要的参考价值, 而且对优化钻井设计与施工提供了有用的基础数据。

5. 钻井三维可视化技术

在丛式定向井、大位移井及多分枝井钻井中, 利用计算机可视化技术, 可以更好地理解大量井眼轨迹或设计剖面数据, 以避免井眼之间发生相碰事故。同时, 这种可视化的数据显示形式, 在地质导向钻进过程中也将非常有助于钻井解释与决策。另外, 应用三维可视化技术, 对防碰软件及摩阻预测计算系统进行研究和改进, 将有助于从密集的平台钻特殊定向井。

6. 智能钻井系统

1995 年, 美国启动了一项重大的长期研究和开发计划, 称为“国家先进的钻井与掘进技

术 (The National Advanced Drilling & Excavation Technologies, 简称 NADET)”。该项计划的核心任务,是要长期致力于研究和开发一种“智能钻井系统 (The Smart Drilling Systems)”。该钻井系统,一般由执行机构、随钻测量 (或测井) 及智能控制等子系统组合而成,代表着钻井与掘进技术的未来发展趋势。它能够自动测量和适应钻头周围和前方的状况以钻达理想目标,当测量结果偏离所期望的状态时,它可以利用一种遥控系统 (a Remote Guidance System) 从地面导向或自动导向来修正钻进轨迹。在这方面,英国、德国等欧洲国家也在积极开展研究与开发工作。

第二章 油 井 设 计

油井设计需要各方面技术负责人员的共同努力和协调一致的工作，即团队工作，它体现在油气井设计全过程的方框图中（见图 2—1）。需要参加一口井设计的人员应包括地球物理学家、地质学家、钻井工程师、采油工程师和油藏工程师，还包括作业者和后勤服务人员，即钻井负责人、钻井总监、钻井监助、调度、安全、环保人员和采办。上述各方面的技术人员

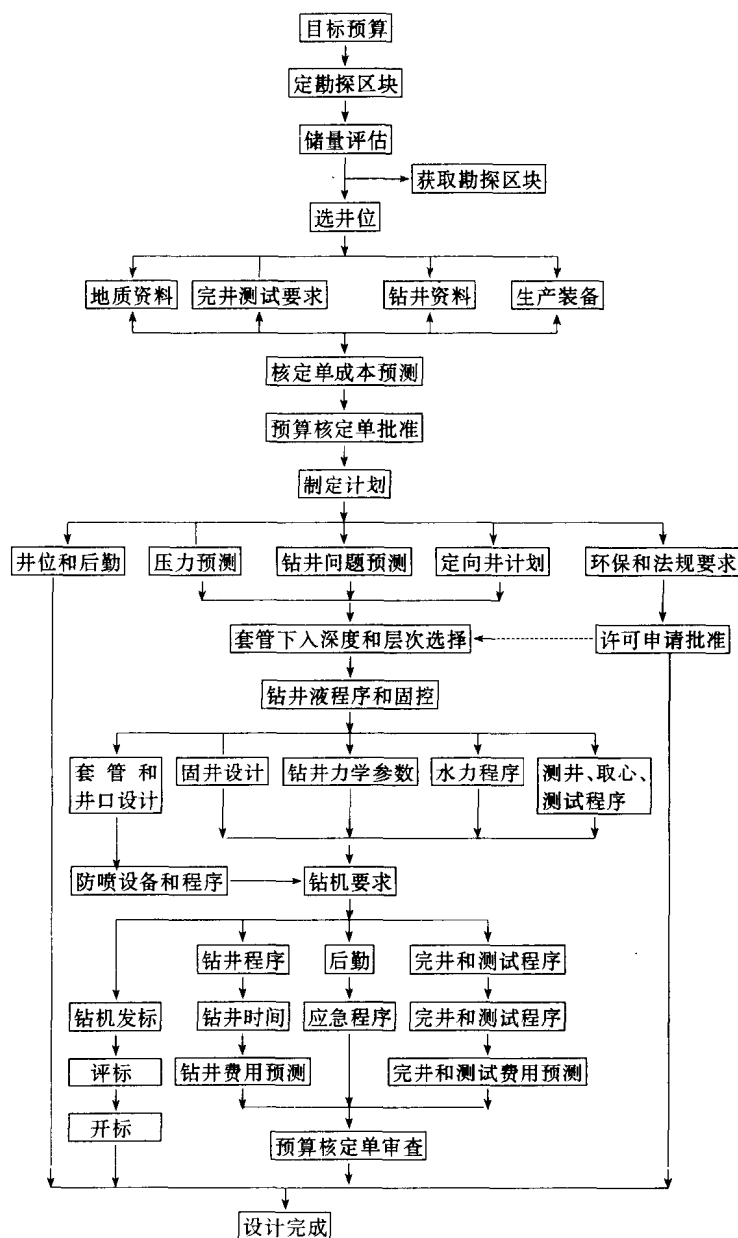


图 2—1 钻井设计流程图