

主 编 张 煜
副主编 汪庐山 邓敦夏

石油勘探开发知识读本丛书

石油钻井

张之悦 王会珍 严德熙 编

中国石化出版社

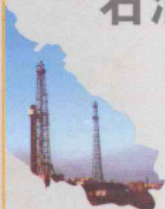
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

编辑推荐语

《石油勘探开发知识读本丛书》是以油气田勘探开发过程为主线，全方位介绍油气田勘探开发基础知识。重点突出油田勘探开发知识的广度，不强求深度，使各级管理和工作人员能够快速便捷地了解石油勘探开发的全过程，初步掌握油气田勘探开发的相关基础知识，增强管理决策的科学性。同时，也为石油石化行业以外的读者提供了一个了解油气田勘探开发知识的窗口。

石油勘探开发知识读本丛书

石油钻井



责任编辑 程天阁 程庆昭
责任校对 吕 宏
封面设计 华海文化

ISBN 978-7-5114-0861-7



9 787511 408617 >

定价：18.00元

石油勘探开发知识读本丛书(张煜 主编)

石油钻井

张之悦 王会珍 严德熙 编

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

石油钻井 / 张之悦, 王会珍, 严德熙编. —北京:
中国石化出版社, 2011. 5
(石油勘探开发知识读本丛书 / 张煜主编)
ISBN 978-7-5114-0861-7

I. ①石… II. ①张…②王…③严… III. ①油气
钻井-基本知识 IV. ①TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 051359 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.cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 6 印张 134 千字

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

定价: 18.00 元

前 言

我国石油石化行业目前实行的上中下游一体化管理运作模式，要求该行业各级管理和工作人员必须对上中下游企业的基本生产运行方式能够有所了解，才能有针对性地做出决策，使工作部署更符合企业实际。同时，由于油气田勘探开发的复杂性，即使是上游企业的管理和工作人员，往往也缺乏对油气田勘探开发全貌的认识。为满足石油石化行业一体化运作模式需要，提高各级管理和工作人员的管理与决策水平，促进上中下游管理和工作人员之间的沟通交流，中国石化出版社组织立项规划了这套《石油勘探开发知识读本》系列丛书，并将陆续出版。

《石油勘探开发知识读本》系列丛书共 12 个分册，包括：

- | | |
|-----------|-------------|
| 1.《石油勘探》 | 2.《石油地质》 |
| 3.《石油钻井》 | 4.《测录井》 |
| 5.《试油试气》 | 6.《采油工艺》 |
| 7.《提高采收率》 | 8.《油水井增产措施》 |
| 9.《井下作业》 | 10.《油水井大修》 |
| 11.《油气集输》 | 12.《采油安全生产》 |

这套丛书的内容以油气田勘探开发过程为主线，全方位介绍油气田勘探开发基础知识。考虑到本系列图书的读者对象主要是非石油专业人员，因此重点突出油田勘探开发知识的广度，不强求深度，使各级管理和工作人员能够快速便捷地了解石油

勘探开发的全过程，初步掌握油气田勘探开发的相关基础知识，增强管理决策的科学性。同时，也为石油石化行业以外的读者提供了一个了解油气田勘探开发知识的窗口。

这套丛书由中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司副总经理张煜任主编，胜利油田采油工艺研究院副院长汪庐山和中国石化出版社副总编邓敦夏任副主编，负责整套丛书的总体规划、制定编写要求、遴选各分册编写及审查人员，以及丛书各分册的审定。

各分册分别由中国石化胜利油田胜利采油厂职工教育培训中心、井下作业公司职工教育培训中心、黄河钻井总公司职工教育培训中心等单位负责组织编写。

《石油钻井》由黄河钻井总公司职工教育培训中心负责编写。

由于水平的限制，书中难免有错误和疏漏，恳请广大读者提出宝贵意见。

目 录

第一章 绪论	(1)
一、石油钻井简介	(1)
二、钻井技术的发展	(2)
三、钻井技术展望	(4)
第二章 钻井工艺流程	(6)
一、钻井设计简介	(6)
二、钻前施工	(10)
三、搬迁安装	(12)
四、钻井	(14)
五、完井	(20)
六、井场恢复	(22)
第三章 钻井设备	(23)
一、钻机提升系统	(23)
二、钻机的旋转系统	(27)
三、钻机的循环系统	(31)
四、钻机的气控制系统	(33)
五、油田常用钻机类型	(38)
六、钻井仪器仪表	(48)
七、井场辅助设备及工具	(57)
第四章 钻进工具	(60)
一、钻头	(60)
二、钻柱	(62)

第五章 钻井液	(65)
一、钻井液的组成及功用	(65)
二、钻井液性能与钻井工作的关系	(66)
三、钻井液固相控制	(72)
四、钻井液常用处理剂	(75)
五、有关钻井液计算	(80)
六、保护油气层	(81)
第六章 钻井技术参数优选	(99)
一、喷射钻井	(99)
二、优选参数钻井	(104)
三、防斜钻井技术	(108)
第七章 井控技术	(112)
一、一级井控	(112)
二、二级井控	(114)
三、压井工艺	(118)
四、液压防喷器	(123)
五、防喷器控制系统	(127)
六、节流压井管汇	(132)
第八章 钻井过程中的井下情况判断及处理	(134)
一、卡钻的种类	(134)
二、卡钻的处理	(137)
三、钻具事故和落物事故	(138)
四、井漏	(139)
五、电缆事故	(140)
第九章 特殊工艺井钻井技术	(142)
一、定向井	(142)
二、水平井	(148)

三、套管开窗井	(149)
第十章 中途测试与完井	(159)
一、中途测试	(159)
二、下套管固井	(166)
三、完井方法	(168)
第十一章 钻井地质录井	(172)
一、岩心录井	(172)
二、钻时录井	(175)
三、岩屑录井	(176)
四、荧光录井	(177)
五、综合地质录井	(178)

第一章

绪 论

一、石油钻井简介

旋转钻井的基本方法是钻柱把地面动力(扭矩)传递给钻头并给钻头加压,使钻头破碎岩石形成井眼;通过钻柱及钻柱与井壁之间提供的从钻机到钻头再到地面的钻井液通道,钻井泵使钻井液连续循环,把钻头破碎的岩屑携带上来,钻井液的连续循环还可冷却、润滑钻头等。

钻井是油田勘探开发的主要手段,随着油田勘探开发的深入发展,对钻井技术的要求越来越高。钻井是一个系统工程,技术含量高,在油田建设资金投入中所占比例最大,钻井费用的投资约占整个油田开发总投资的 40%,钻井的发展,直接影响到油田勘探开发效益,钻井在石油行业中占有重要位置。

钻井队是钻井行业的基层队,每个井队约有 50~60 人,钻井队管理操作着一台钻机,一台钻机的固定资产几百万,甚至几千万,钻机主要由下列部分组成:

(1) 动力系统。多数为柴油机,通过联动装置将动力传给所驱动的设备,主要有绞车、转盘、钻井泵等。少数钻机用柴油机发电机组,通过 SCR 控制的直流马达驱动各部分,电动钻机操作易控制,可降低环境污染。近年来出现了网电钻机,用工业电网的电力作为动力源,它具有运营成本低,操作简便等



特点。

(2) 旋转系统。转盘、水龙头等，是带动钻柱转动的部分。顶部驱动装置，则起到了转盘和水龙头的双重作用。

(3) 起升系统。是由绞车、天车和游车组成的滑轮组，利用钢丝绳的拉力，通过滑轮系统提拉钻具。

(4) 循环、固控系统。由钻井泵、高压循环管线、钻井液罐、振动筛、除砂除泥器等组成的循环系统，保证钻井液从地面—钻具内—井底—钻具与井眼的环空—地面循环系统。

(5) 井控系统。井口防喷器组、防喷器控制装置、节流压井管汇等实现对油、气井压力的控制。

(6) 辅助系统。发电、照明、保温、供油等。

钻井行业的核心是钻井公司，另外还有一系列相关的服务公司，主要有：

(1) 定向服务。提供测量仪器及相关工具，指导钻井按井眼轨迹设计的井斜、方位钻进，最终达到靶点。

(2) 固井。提供水泥泵车、水泥罐车、水泥及相关地面设备、井下工具，在下完套管之后，将水泥浆按设计泵入环空段，使套管与地层固结在一起。

(3) 测井。利用测井仪器和有关地面设备根据要求测量曲线。

(4) 录井。利用专用仪器，通过钻井液、岩屑所取的岩心和相关钻进参数，判断所钻地层情况及含油气情况。

二、钻井技术的发展

20 世纪 20 年代，我国就利用钻机进行旋转钻井，但钻井技术发展缓慢，到 20 世纪 60 年代钻井工艺还基本处于经验钻井阶段，主要技术措施是实施“重钻压、大排量、适当快转数”和一

系列防斜打直的钻具组合，钻井液为分散体系，后期使用钙处理钻井液，设备主要使用乌德钻机，Y8-3 钻井泵，钻具为苏制细扣钻杆，单一的转盘钻，井型基本为直井。

1976~1980 年，我国推广应用了喷射钻井技术，这期间主要消化研究了钻井水力学、钻井液流变学、破岩机理和优选水力参数的设计计算方法；耐高压的大功率钻井泵，改造高压循环系统，能产生持续高压射流；喷射式钻头；低固相不分散体系钻井液；钻井液固相控制装置。

1981~1985 年，我国攻关推广了优选参数钻井，这期间发展和证实了水力参数和机械参数在破岩中存在交互作用的理论；根据地层水力指数优选泵压水力参数的新理论；发展了优选钻井液流变参数的理论。创立和证实了压差影响系数是随井深而变化的新理论。成功地应用动态规划方法，实现了全井钻头序列优化，应用模糊数学方法，统计建立了钻速模式。实现了一套包括钻井模式、优选程序、数据库和程序库、不分散低固相钻井液、钻井液净化装置、大功率钻井泵、全井钻头序列优化等软硬件相结合的有效配套的优选参数钻井新的工艺技术成果。

1986~1990 年，我国推广了定向井丛式井技术。1991~1995 年，攻关推广了水平井技术。1996 年以后，攻关短半径侧钻水平井技术，使特殊工艺井技术得到很大发展。

钻井装备、配套工具、化学药品等随着工艺技术的发展也有了较大进步和完善，大马力钻井泵、大功率发电机组、无细扣钻杆、动力钻具、打捞工具、取心工具、井下三器、定向工具、仪器等得到普遍推广使用，高压油气井井控装置实现了按标准配套，近几年，从国外引进了多种先进设备，电动钻机、顶部驱动、大功率水泥车、MWD、LWD 等。通过国际合作，管理水平、软件的使用等方面也具有一定水平。目前，钻井总体

技术水平已进入科学钻井阶段，达到国际 20 世纪 80 年代末、90 年代初水平，个别领域进入世界先进行列。

钻井是油田勘探开发的主要手段，钻井技术一直是为发现和保护油气层，降低钻井成本和提高油井寿命而努力的，现代科学技术在钻井行业的广泛应用，使钻井所涉及的学科越来越多，钻井工艺也逐步得到了完善，为了发现和保护油气层，发展了油气层保护技术、欠平衡钻井技术；为降低钻井成本，完善了高压喷射钻井、优选参数钻井；为了提高油井使用寿命，采用高质量的套管，发展了提高固井质量的整套技术。近 10 年来，钻井技术进步较大的方面有：水平井钻井、大位移井、深井钻井、油气层保护、提高固井质量、小井眼钻井、欠平衡钻井、电驱动钻机的使用、顶部驱动的使用、随钻测量、地质导向和连续管钻井方面，初步实现了根据油气层情况钻井，满足油田勘探开发的需要。

三、钻井技术展望

未来的钻井技术将以降低勘探开发总成本和钻井直接成本为主要目标，以实现自动化钻井为核心研究内容带动整个钻井技术进步。钻井技术将更好地与地质、地震、测井和录井等专业技术紧密结合，形成一套高效的钻井系统，不断提高油气勘探成功率和单井产量，缩短钻井时间，提高油气井的寿命。

钻井技术发展方向将主要包括以下几个方面：

(1) 多分支井。多分支井的钻井完井技术将进一步得到完善和发展，并将广泛应用于老油田和海上油田。

(2) 大位移井。大位移井钻井技术将进一步为降低成本、减少风险和提高成功率的目标而努力，并广泛地用于海上油田、滩海油田和其他地面条件受到限制的油田。

(3) 欠平衡钻井。欠平衡钻井技术将进一步向安全、简便和适用的方向发展。这一技术对保护油气层和提高钻井速度意义重大。

(4) 钻井信息技术。包括随钻测量、随钻测井、随钻地震、地质导向和实时三维井眼轨迹监测等技术。各种井下传感器的位置将进一步朝钻头靠近，能探测钻头前方的地层信息，更好地实时监测地下情况，修改地质模型，实现地面地下的双向通信。

(5) 连续管钻井技术。连续管、连续管钻机和连续管钻井配套的钻井工具，如小直径井下马达、钻头和测量工具等将会得到进一步的发展。该技术在分支井和小井眼钻井方面有广泛的应用前景。

(6) 可膨胀套管技术。这一技术的重要意义是：可简便有效地解决复杂井段的井壁稳定问题；可以减少上部井眼的尺寸和套管层数；可以修复老井被损坏的套管；可以大大降低成本。

(7) 自动化钻井。继续开发井下钻井、地质信息收集处理技术，遥控井下工具和井下自动执行工具。

(8) 深水钻井。为有效开发深水油气资源，深水钻井技术将得到很大发展。

第二章

钻井工艺流程

钻井是一项复杂的系统工程，每一口油、气井的完成都包括钻井设计、钻前施工、钻井施工、完井作业和井场恢复四个阶段。每一项工程阶段又有一系列的施工工序。就钻井工程总体而言，其主要施工工序一般包括：钻井设计、定井位、道路勘测、基础施工、安装井架、搬迁、安装设备、一次开钻、二次开钻、钻进、起钻、换钻头、下钻、完井、电测、下套管、固井作业、井场恢复等。下面对上述工序分别予以介绍。

一、钻井设计简介

钻井设计是钻井施工作业必须遵循的原则，是组织钻井生产和技术协作的基础，是搞好单井预算和决算的唯一依据。钻井设计的科学性、先进性关系到一口井作业的成败和效益。科学钻井水平的提高，在一定程度上依靠钻井设计水平的提高。

（一）钻井设计的基本原则

（1）地质设计应明确提出设计依据、钻探目的、设计井深、目的层、完钻层位及原则、完井方法、取资料要求、井身质量、油层套管尺寸及强度要求、阻流环位置及固井水泥上返高度等要求。水平位移要求严的直井，要考虑钻井的难度和钻井综合成本。

（2）地质设计应为钻井工程设计提供全井地层孔隙压力梯



度曲线、破裂压力梯度曲线、邻区邻井资料、试油压力资料、设计地层油气水及岩性矿物、物性、设计地层剖面、地层倾角及故障提示等资料。新区探井应按科学打探井技术规定，提供五种必需的地质图件（设计井位区域构造及地理位置图、主要目的层的局部构造井位图、过井“十字”地震时间剖面图、过井地质解释横剖面图和设计柱状剖面图）。开发井应提供区块压力等高线图及 500m 井距以内注水井位图和注水压力曲线图。

(3) 调整井地质设计依据是上级批准的油田开发调整实施方案，钻井区块地质构造、区块内已完成井的各种地质、钻井资料，区块井位设计等。甲方地质部门应为钻井工程区块设计提供调整井区块地质设计，为钻井单井设计提供地层分层设计内容，地质要求，设计井邻井油、水井地下压力动态数据资料，设计井位示意图，地下复杂情况，故障提示等。调整井地质设计分层误差应控制在 10m 以内。

(4) 调整井应采用集中打井，分片停注放溢流的原则。调整井开钻前，区块内的注水井应根据井口压力，提前若干天（一般为 10 ~ 30d）采取注水井停注、注水井放溢流、油井转抽降压等具体措施，以降低区块内地层压力，为钻井安全施工，确保固井质量，保护油气层产能，提高综合经济效益创造条件。

(5) 钻井设计必须以地质设计为依据。钻井设计要有利于取全取准各项地质工程资料；要有利于发现和保护油气层，充分发挥每个产层的生产能力；要保证油气井井眼轨迹符合勘探开发的要求；油水井的完井质量满足油田各种作业的要求，保证油气井长期开采的需要；要充分体现采用本地区 and 国内外钻井先进技术，保证安全、优质、快速钻井，实现最佳的技术经济效益。

(6) 钻井设计应根据地质设计的钻探深度和工程施工的最

大负荷,合理地选择钻机装备。选用的钻井负荷不得超过 钻机最大额定负荷能力的 80%。

(7) 钻井设计应根据地质提供的地层孔隙压力梯度曲线及地层破裂压力梯度曲线或邻井邻区试油压力资料,设计钻井液密度、水泥浆密度和套管程序。设计钻井液密度附加值,油井为 $0.05 \sim 0.10 \text{ g/cm}^3$ ($1.5 \sim 3.5 \text{ MPa}$),气井为 $0.07 \sim 0.15 \text{ g/cm}^3$ ($3.0 \sim 5.0 \text{ MPa}$)。此附加值也适用于调整井。对设计钻探多套压力层系的探井,应采用多层套管程序,以利于保护油气层、钻杆中途测试和安全钻井。

(8) 调整井钻井液密度应根据钻井区块所在采油厂提供的地层压力进行设计。

(9) 调整井钻井设计应考虑新钻井的套管防断、防挤毁问题。

(10) 探井应开展随钻压力监测。若随钻压力监测值与地层设计提供的地层孔隙压力梯度不符,应以随钻压力监测值为准及时调整钻井液密度,但应报地质设计审批部门备案。

(11) 在探井钻井设计中,应根据工程需要,设计一定数量的工程取心。

(12) 钻井要按设计的施工进度计划施工。对地貌条件困难或钻前工程耗资较大的地区,应尽量采用定向井或丛式井技术设计。对井斜严重的地区用一般的方法控制井斜较困难时;应利用地层自然造斜规律,移动地面井位,采用“中靶上环”的方法,使井底位置达到地质设计要求。

(13) 费用预算和施工进度计划应建立在本地区切实可靠的定额基础上。每隔 2~3 年进行一次定额指标的修订与核算。

(14) 钻井设计还应包括钻井井场环境要求和装备。