



当代石油和石化工业技术普及读本

钻井和完井

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

陈宝万 执笔



中国石化出版社

当代石油和石化工业技术普及读本

钻井和完井

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

陈宝万 执笔

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

钻井和完井/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,2005
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 7-80043-962-3

I. 钻… II. 中… III. ①油气钻井-普及读物
②完井-普及读物 IV. TE2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 112350 号

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

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

850×1168 毫米 32 开本 3.625 印张 66 千字

2006 年 3 月第 2 版第 3 次印刷

定价:10.00 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》)第一版于1999年组织编写,2000年完成全部出版工作。第一版《普及读本》共出版了11个分册,其中上游4个分册,包括勘探、钻井和完井、开采、油气集输与储运系统;下游7个分册,包括石油炼制——燃料油品、石油炼制——润滑油和石蜡、乙烯、合成树脂、合成橡胶、合成纤维、合成氨和尿素。

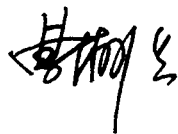
从一开始组织编写《普及读本》,我们就把这套书的读者对象定位在管理人员和非本专业技术人员,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业技术的概貌有一个整体了解。这套丛书列入了新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版规划;出版后在社会上,尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响;为了满足读者的需求,部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行,对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用,并荣获2000年度中国石化集团公司科技进步三等奖。

近年来,石油石化工业又有了快速发展,先进技术不断涌现;海洋石油勘探开发、天然气开发与利用在行业发展和国民经济中的地位越来越重要;随着时间推

移，原有分册中的一些数据已经过时，需要更新；各方面读者也反映，要求继续补充编写一些新的分册等。在征求各方面专家意见的基础上，我们决定对原先出版的11个分册进行修订，并补充编写9个新的分册，包括海洋石油勘探、海洋石油开发、天然气开采、天然气利用、石油沥青、炼油催化剂、炼油助剂、加油站、绿色石油化工。这9个分册分别邀请中海油、中石油、中石化以及中国石油和石化工程研究会相关领域的专家进行编写。原有分册的修订工作主要是补遗、更新、完善，不做大的结构性变动。

《普及读本》第二版修订、增补工作得到了中国石油化工股份有限公司的大力支持；参与丛书修订、编写工作的离退休专家、教授，勤勤恳恳、兢兢业业，其奉献和敬业精神令人感动。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



二〇〇五年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

第二版

编 委 会

主任：曹湘洪

编委：（按姓氏笔画为序）

王子康	王少春	王丙申	王协琴
王国良	王毓俊	尤德华	亢峻星
刘积文	刘镜远	孙梦兰	孙殿成
孙毓霜	陈宝万	陈宜焜	张广林
张玉贞	李润清	李维英	吴金林
吴明胜	法琪璘	庞名立	赵 怡
宫 敬	贺 伟	郭其孝	贾映萱
徐嘏东	秦瑞岐	翁维琬	龚旭辉
黄伯琴	梁朝林	董恩环	程曾越
廖谟圣			

引 言

钻井是勘探和开发油气田的重要环节。在勘探中要通过钻井证实油气的存在,在开发中要通过钻井生产石油和天然气。勘探阶段要钻初探井(野猫井)、探井和详探井(评价井),开发阶段要钻生产井和注水井。钻井费用在石油勘探和开发投资中占有相当大的比重。提高钻井速度和采用钻井新技术是提高勘探成功率、开发效率和降低石油生产成本的重要手段。

完井是钻井作业的重要组成部分。完井质量对钻井的效益有直接的影响。针对油气藏的特点,采用保护油气藏的方法,可提高勘探井的成功率和开发井的采收率。

健康、安全、环保(HSE)策略是现代钻井企业生产和管理的重要组成部分,也是钻井竞争能力的重要标准。它不仅涉及到钻井的经济效益,也会对人身安全和环境保护产生重大影响。

目 录

引 言

第一章 旋转钻井	(1)
第一节 钻井的基本构成	(1)
第二节 钻井的工艺技术	(15)
第三节 快速钻井	(38)
参考文献	(41)
第二章 钻井技术的发展和应	(42)
第一节 向“横”的方向发展	(42)
第二节 向“深”的方向发展	(60)
第三节 向“小”的方向发展	(68)
第四节 向“巧”的方向发展	(71)
第三章 钻杆测试和完井作业	(76)
第一节 钻杆测试	(76)
第二节 完井作业	(83)
参考文献	(98)
第四章 钻井的技术安全和环境保护	(99)
第一节 钻井的技术安全	(99)
第二节 钻井作业的环境保护	(104)
参考文献	(105)
第五章 钻井技术发展展望	(106)

第一章 旋转钻井

钻井的原理说来并不复杂，与采用旋转的钻头在木块上或金属块上钻孔类似。石油钻井是在钻头上给所钻的地层加一定的压力，使钻头的牙齿嵌入地层，然后旋转钻头，利用旋转钻头的扭矩来切削地层，并用循环的钻井液将钻屑带出井眼，以保证持续钻进。钻石油井所面临的任务要艰巨得多，它需要把覆盖在油气层上几百米以至几千米厚的岩层钻穿，而且要使钻成的井眼笔直，或向预定的方向倾斜。这就要有强大的装备，锐利的工具和精湛的工艺技术。

钻井需要通过许多工序才能完成。如像换钻头起下钻、测井、取岩心、下套管固井、试油气和完井等。因此，钻井需要有钻井设备、钻井工具、钻井操作和管理人员与各种钻井专业技术的紧密配合。

第一节 钻井的基本构成

一、钻井设备

钻井设备通常由六个系统组成。如图 1-1 所示。

2. 提升系统

提升系统主要用来提升钻柱和下套管等。一套钻柱的重量可达到数十吨到一百多吨，下套管的重量最重的可达到四五百吨。这套设备由井架、天车、游车、大钩、吊环等组成。一般用最小的提升速度和最大的负载来确定提升系统的能力。例如 2000 米钻机的大钩的最小提升速度为 0.24 米/秒，大钩的最大提升负载为 140 吨，钻机的提升功率约为 370 千瓦。

3. 旋转系统

用来旋转钻柱，向钻头提供扭矩。由转盘、转盘变速箱、水龙头、方钻杆组成。转盘有钻机驱动和马达直接驱动两种。旋转系统还有接、卸钻柱和钻具的功能。旋转系统的能力根据钻井设备的能力而定，中型钻机为 370~447 千瓦，大型钻机为 745 千瓦左右。

近年顶部驱动装置在钻井中得到广泛的使用(见图 1-2)。这套简称顶驱的装置，是在游车大钩下装上有转盘和水龙头合一功能的设备，它既能给钻柱提供扭矩又能使钻井液循环；同时在顶驱的下部装有一套能在游车活动范围内的上卸扣装置，当井下遇到复杂情况时可立刻接上钻柱进行转动和循环。

顶驱给钻井操作提供很多便利。在正常情况时可接立根钻进，能够使钻头有较长钻程的稳定进尺(由 2~3 根钻杆组成一个立根，可钻 24~28 米；而用方钻杆只能接一根钻杆钻进，钻 8~10 米)。接立根钻进可节省 $1/2 \sim 1/3$ 的接单根的时间，因此，可提高钻井的效率。

特别是在起下钻过程中遇到阻卡和铤槽时，可利用顶驱上下划眼，破坏键槽，顺利地起出钻柱。给定向钻井提供更多的安全保障。

顶驱有电驱动和液压驱动两种，前者多用在大型电驱机钻机，后者用在柴油机驱机的中小型钻机。

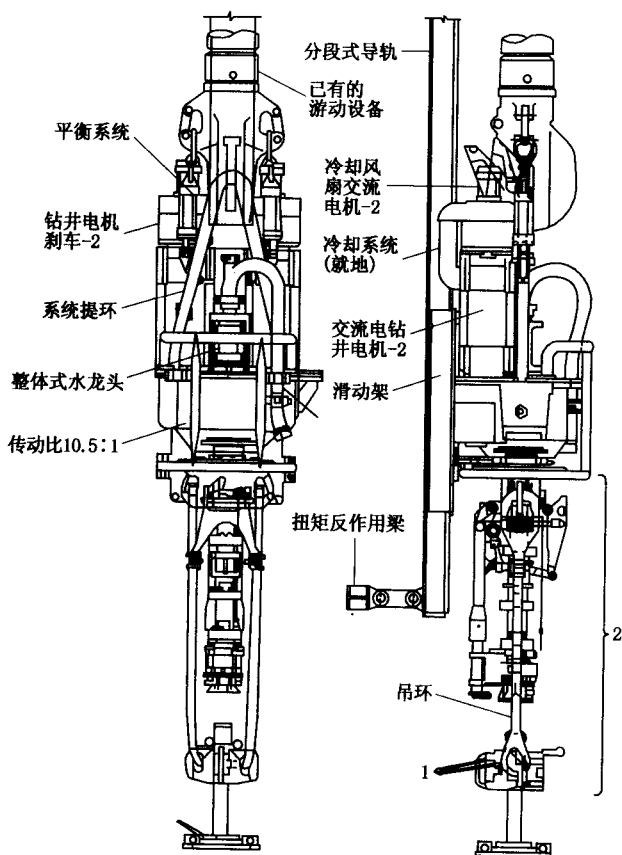


图 1-2 顶部驱动示意图
1—吊卡；2—钻柱上卸扣装置

可根据钻机的能力配备顶驱，大型钻机配备负载 500 ~ 750 吨，驱动能力 820 ~ 840 千瓦的顶驱；中型钻机配备负载 250 ~ 400 吨，520 ~ 590 千瓦的顶驱。

安装顶驱需要适当的提高井架的高度，一些辅助装置和操作仪表。

4. 循环系统

钻井液(通常是用水、黏土和化学处理剂配制成的混合液体)由泥浆泵泵入高压管线到钻台立管，经过水龙头和水龙头，进入钻柱直到井底钻头，通过钻头水眼由环形空间返回地面，再经过泥浆振动筛和除砂、除泥和除气器，清除钻井液中的岩屑和固体颗粒后，返回到泥浆池，构成一个从地面到井下再返回的循环通路。为循环系统配套的还有钻井液的处理装置和储存罐等。

钻井液通过循环系统将钻头切削地层产生的热量和岩屑带出井眼，同时将泥浆泵的一部分水功率通过钻头喷嘴的喷射来冲击地层。近代钻井利用泥浆泵的水功率进行喷射钻井取得显著的效果，这就是“喷射钻井”的原理。

为了适应钻井技术的发展，泥浆泵的功率有逐年增大的趋势，两台泥浆泵的功率已由 1490 千瓦增至 2980 千瓦，占钻机总功率的三分之二。

5. 井控系统

在整个钻井作业过程中，井控系统要对井下可能发生的复杂情况进行控制和处理，以恢复正常作业。井控系统包括四个主要部分，如图 1-3 所示。

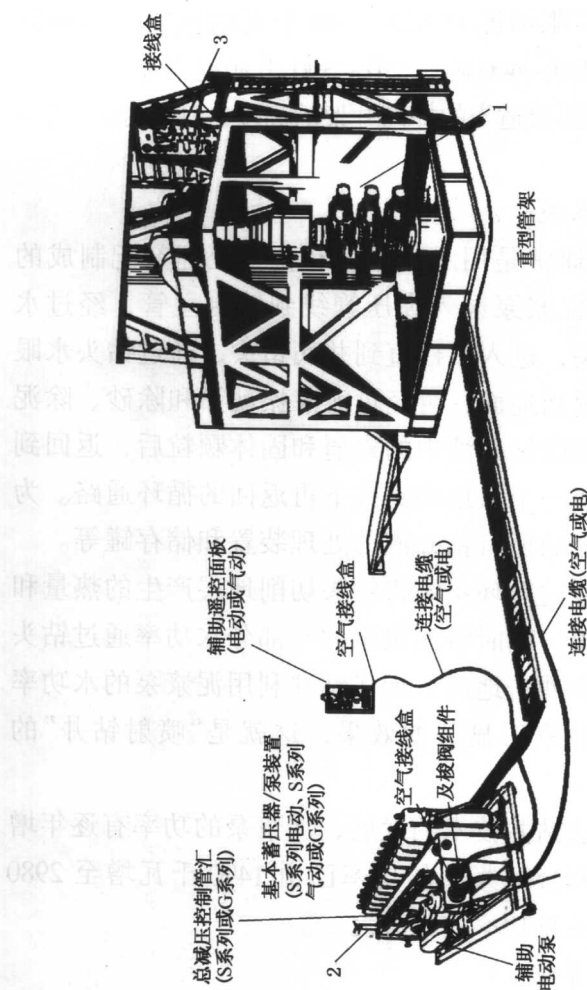


图 1-3 防喷器和储能器机组示意图

(1) 防喷器组。一般由三到六个防喷器组成，这组防喷器组要能封住下入井内的钻杆、钻铤、套管、油管、电缆或测试钢丝绳和空井封闭，以避免钻井事故扩大，形成灾害。防喷器和闸门全部用液压遥控。防喷器组要依据井的深浅和地层压力选择不同的尺寸和压力等级。防喷器的通径与套管尺寸配套，从 7 英寸 (1 英寸 = 2.54 厘米，下同) 到 20 英寸。压力等级有 21 兆帕、35 兆帕、70 兆帕和 100 兆帕。目前在海洋上钻高温、高压深探井使用的是 150 兆帕级的防喷器组。

(2) 储能器机组和防喷器组遥控面板。储能器机组产生并储备足够的高压液体，即使动力源被切断，储能器内的高压液体仍能对防喷器组和闸门进行有效地控制。防喷器组可由装在储能器机组上的遥控阀，钻台上的遥控面板和值班房内的遥控面板进行控制。

(3) 测试管汇。钻进中遇到高压油气水层，因钻井液密度不够压不住油气水而进入井内时，要关闭防喷器，利用测试管汇控制井内压力和流量，同时测算井底压力，做压井准备。

(4) 压井管汇。根据测算的地层压力，调整钻井液密度。在控制井口压力和排出流体的状态下，开动压井泵，通过压力管汇逐步地用调整后的钻井液压住地层中的油气水，直到井下恢复正常。

6. 监测系统

通过地质和钻井综合录井对井下的作业情况进行监测。通过司钻操作台的仪表对钻进参数如大钩负载、钻

压、转数、扭矩、泵压、排量、钻速等进行记录和测量；另外，通过泥浆振动筛、泵房、钻杆堆场等地的探测器对钻井液中的天然气和硫化氢进行监测。

二、钻进工具

1. 钻头

钻头是钻进中最重要的工具。“工欲善其事，必先利其器”。钻头的不断改进促进了钻井技术的发展。钻井初期使用的是刮刀钻头，这种钻头靠刮刀片在地层上硬刮实现钻进，比较适合在松软地层上使用，但遇到较硬或不均匀的地层，因刀片吃入地层不稳定，往往会发生跳钻和蹩钻，对钻柱的损伤很大，因扭矩过大经常发生钻杆折断和钻具粘扣等事故。另外，这种钻头的底部外缘极易磨损，使井眼的直径上大下小，俗称“塔式井眼”。井径不能保持一致，给钻进和井眼质量造成不良的后果。刮刀钻头的形状如图 1-4 中 1 所示。

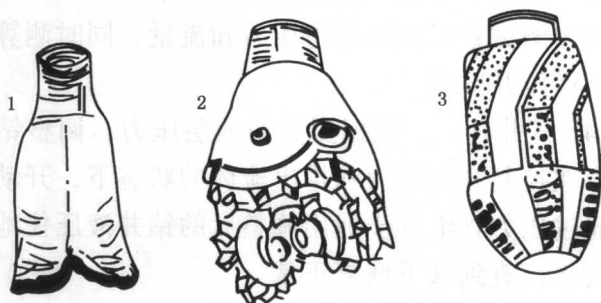


图 1-4 各种类型钻头示意图

1—刮刀钻头；2—牙轮钻头；3—PDC 钻头

由于刮刀钻头的局限性太大，不能满足钻井工艺和地层多种变化的要求，于是出现了牙轮钻头，如图 1-4 中 2 所示。这种钻头把刮刀钻头切削层的刀片改进成可以滚动切削地层的牙轮，实现了切削方式的重大变革，从而使钻压加在牙轮齿尖的压力加大，滚动切削使钻柱承受的扭矩变小。由于钻头牙齿吃入地层加深，钻柱的转数加快，再配合适当的钻井液排量，钻井速度比刮刀钻头快得多。加之这种钻头对地层的软、中、硬有较大的适应能力，因而在钻井中得到广泛的使用。但是，随着石油勘探和开发要求钻井有更快的速度，牙轮钻头也逐渐暴露出一些弱点，主要有：①一种牙齿类型的钻头，譬如适用于软地层的大牙齿钻头在中硬和硬地层中就不适用；②牙轮轴承的润滑不能始终保持一致，钻头使用一段时间后，轴承内部往往混入固体颗粒，轴承因润滑不良造成过早地磨损；③牙轮外缘使用一段时间后，因磨损而使井径变小，往往增加了新钻头下到井底前的划眼工作。所以一只牙轮钻头平均只能工作几十个小时和钻进几百米的能力。针对牙轮钻头的弱点对地层岩性和可钻性的研究，创造出一种新型的钻头——聚晶金刚石复合片钻头 (PDC, Polycrystalline diamond compact)，俗称“西瓜皮”钻头(如图 1-4 中 3 所示)。这种钻头利用喷嘴的科学布局，使钻头在软泥岩钻进中不被泥包，在硬地层中金刚石又能起到“硬碰硬”的作用，而西瓜状的外形可保持钻出井眼的井径一致。PDC 钻头取消了轴承，使钻头的寿命延长，钻速加快，一只钻头