



高等院校石油天然气类规划教材

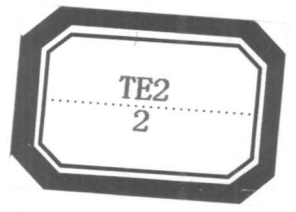
钻井工程

主 编 ◎ 楼一珊 李 琪

副主编 ◎ 龙芝辉 熊青山



石油工业出版社
Petroleum Industry Press



高等院校石油天然气类规划教材

钻井工程

主 编 楼一珊 李 琪

副主编 龙芝辉 熊青山

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了油气井钻井基本原理、理论及工艺技术。内容主要包括钻井工程地质条件、钻头、钻柱、钻井液、井眼轨道及井身结构设计、钻进参数优选、井眼轨迹测算及控制、钻进过程压力控制、固井与完井、井下复杂情况及事故处理、其他钻井技术等。

本书既可作为石油工程及其相关专业本科生教材,也可供现场工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

钻井工程/楼一珊,李琪主编.
北京:石油工业出版社,2013.9
(高等院校石油天然气类规划教材)
ISBN 978-7-5021-9656-1

- I. 钻…
- II. ①楼…②李…
- III. 油气钻井-高等学校-教材
- IV. TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 144533 号

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:<http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010)64523579 发行部:(010)64523620

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

2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:18.75

字数:468 千字

定价:32.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

“钻井工程”是石油工程专业的核心课程,各石油高校都非常重视。目前,影响比较广泛有中国石油大学(华东)陈庭根、管志川主编的《钻井工程理论与技术》和西南石油大学陈平等编著的《钻井与完井工程(第二版)》。但随着油田技术和理论的发展,为满足新时期石油工程人才培养需要,不少石油高校石油工程专业将“钻井工程”课程中的“完井工程”部分独立出来,新开设了“完井工程”专业课。为此,在2008年7月“石油工程与储运工程专业教学与教材规划研讨会第二次会议”上,各学校代表一致认为需要编写新的具有行业水准的《钻井工程》和《完井工程》教材。

2009年11月,长江大学、西安石油大学、东北石油大学、中国地质大学(北京)、重庆科技学院等5所学校的老师和专家聚集一堂,认真讨论了“钻井工程”课程定位,研究了该课程的教材内容,比较了现行教材的特点和优劣,并结合各校讲义,最终形成了高等院校石油天然气类规划教材《钻井工程》的编写大纲。

经过各参与院校的倾力打造,最终将本教材呈现在读者面前。本教材全面贯彻了理论联系实际教学方式,注重工程实践环节,并将钻井工程的新发展、科研成果融入其中,做到了实用、够用、管用。

本教材由长江大学楼一珊、西安石油大学李琪担任主编,重庆科技学院龙芝辉、长江大学熊青山担任副主编。具体编写分工如下:绪论、第三章、第六章由熊青山编写,第一章、第二章由长江大学楼一珊、朱亮编写,第五章由长江大学夏宏南、东北石油大学李士斌编写,第九章由熊青山、夏宏南编写,第四章、第十章、第十一章由西安石油大学李琪、杨振杰、聂翠平编写,第七章由李士斌编写,第八章由龙芝辉编写。中国地质大学(北京)范洪富、赖枫鹏为本书的编写提出了许多宝贵意见。楼一珊、熊青山对全书进行了统稿,对相关内容、图表、格式等进行了整理,并最终定稿。

本教材是5所石油高校钻井专业老师多年教学成果的积累和心血的结晶。在本书的编写过程中编者参考了大量国内外相关教材、专著和文献,在本书的出版过程中中国石油大学(华东)金业权提出了大量宝贵建议和意见,在此,编者对参与本书编写的老师、参考文献的作者,以及支持和帮助本教材出版发行的单位、领导和师生表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点与错误,恳请读者批评和指正,以期日后修改与提高。

编者

2013年6月

目 录

绪论	(1)
第一节 钻井工程在石油工业中的地位	(1)
第二节 钻井技术的发展	(1)
第三节 建井过程	(3)
第四节 钻井分类及特点	(5)
第一章 钻井工程地质条件	(9)
第一节 岩石分类与结构	(9)
第二节 岩石工程力学性质	(11)
第三节 地下压力特性	(27)
第四节 井底压力条件下岩石的力学性质及其影响因素	(41)
习题	(46)
第二章 钻头	(47)
第一节 牙轮钻头	(47)
第二节 金刚石钻头	(58)
习题	(68)
第三章 钻柱	(69)
第一节 钻柱组成	(69)
第二节 钻柱受力分析	(81)
第三节 钻柱设计	(84)
习题	(90)
第四章 钻井液	(92)
第一节 钻井液概述	(92)
第二节 钻井液的基本性能及其控制	(94)
第三节 常用钻井液基本材料	(100)
第四节 主要水基钻井液体系	(102)
第五节 与钻井液有关的复杂情况及其处理	(104)
习题	(106)
第五章 井眼轨道与井身结构设计	(108)
第一节 基本概念	(108)
第二节 井眼轨道设计的原则与方法	(114)
第三节 井身结构设计	(120)
习题	(131)

第六章 钻进参数优选	(133)
第一节 水力参数优选	(133)
第二节 机械破岩参数优选	(155)
习题	(164)
第七章 井眼轨迹测算及控制	(166)
第一节 井眼轨迹测量及计算	(166)
第二节 井眼轨迹控制	(171)
第三节 短曲率半径及径向水平井钻井系统简介	(187)
习题	(191)
第八章 钻进过程压力控制	(192)
第一节 平衡井内压力的钻井液密度确定	(192)
第二节 溢流发现及关井	(195)
第三节 天然气溢流对井内压力的影响	(201)
第四节 地层流体侵入的控制	(205)
习题	(210)
第九章 固井与完井	(211)
第一节 套管柱强度设计	(211)
第二节 注水泥工艺与技术	(221)
第三节 完井技术	(239)
习题	(248)
第十章 井下复杂情况及事故处理	(249)
第一节 井控中的特殊问题及其处理	(249)
第二节 井漏及其处理	(251)
第三节 卡钻及其处理	(254)
第四节 钻具事故及其处理	(258)
习题	(264)
第十一章 其他钻井技术	(266)
第一节 欠平衡钻井技术	(266)
第二节 套管钻井技术	(271)
第三节 连续油管钻井技术	(276)
第四节 取心技术	(279)
第五节 套管开窗技术	(288)
习题	(291)
参考文献	(292)

绪 论

第一节 钻井工程在石油工业中的地位

石油与天然气是世界各国经济发展所需最重要的战略性资源之一。自 19 世纪大规模商业性开采以来,世界石油天然气的消费和需求不断增长,在全世界能源消费结构中的比重急剧上升。然而地下油气资源通常都埋藏在地表以下几百米到近万米深的各种岩层内。为了勘探开发这些油气资源,人们必须从地面或海底建立一条通往地下油气藏的通道,于是出现了石油工业及油气钻井工程。

石油工业是指从事石油和天然气的勘探、开发、炼制、储运的生产部门。油气钻井工程则是通过快速高效破碎井底岩石、取出岩屑、保护井壁等一系列的工艺技术,建立起一条开采油气通道,勘探开发地下油气资源不可或缺的重大工程,主要包括钻井、固井、完井和测井等多种工程技术,涉及地质学、岩石矿物学、物理学、化学、数学、力学、机械工程、系统工程和遥测遥控等多种学科,是一项多学科、多工种、技术复杂、造价昂贵的地下建设工程。

石油勘探方法虽有多种,但钻井是判断地下是否有油气最重要、最直接的手段。当一个地质圈闭经钻探并确认有工业开采价值的油气后,接下来的工作就是查明它的具体范围和出油能力。为此,要通过钻井查清油层层数、深度、厚度,搞清油层的岩性和其他物理性质,测试油层油气生产能力,分析原油性质,然后再扩大钻探,进一步探明圈闭含油气情况,计算出地下油气储藏量。

油田开发是指在认识和掌握油田地质及其变化规律的基础上,在油藏上合理地分布油井并确定投产顺序,以及通过调整采油井的工作制度和其他技术措施,把地下石油资源采集到地面的全过程。

由上可知,在石油勘探、开发各个阶段都要进行钻井。钻井是勘探、开发地下油气资源的基本手段,是探明油气储量和提高油气田产量的重要环节,直接影响着勘探开发的安全与进程,具有技术密集、高投资和高风险的特点。在世界范围内,油气钻井费用占油气勘探总投资的 55%~80%,占油气田开发总投资的 50% 以上,钻井技术的优劣和水平直接影响着油气勘探开发效益。伴随着油气勘探开发的深入,钻井设备配套、工具仪器研发、钻井高新技术研究与应用得到了高度重视和快速发展,钻井前沿技术不断突破,储备技术研究投资不断加大。目前,钻井技术不仅仅只是建立油气通道,而且成为提高油气井产量、提高采收率等增储上产的新途径和主要手段。

第二节 钻井技术的发展

在远古时代,人类为生存和取得地下资源就已经开始掘井工作。我国在利用钻井开发地下资源方面有着悠久的历史。据记载,早在两千多年前我国在四川就已经钻凿了盐井,并创造了冲击钻,其基本原理至今仍为人们所利用。在北宋时代,人力绳索式顿钻方法得到了发展。

在1521年就钻凿了油井和火井(天然气井),1835年在四川钻成1200m的火井(天然气井),这是当时世界上最深的井。中国陆上第一口油井在陕西延长油矿,目前日产量还有200kg。公元前—1840年的钻井为中国古代钻井,创造了辉煌历史(绳索顿钻);1841—1948年间的钻井为中国近代钻井,水平由领先沦为落后(旋转钻);1949—2000年的钻井为中国现代钻井,此期间中国钻井奋起直追,逐步缩小差距;2001年开始的钻井为中国21世纪钻井,期望第二次走向辉煌。

在世界上,美国于1859年在宾夕法尼亚州泰特斯维尔小镇打了一口20m深的油井,也就是所谓的世界上第一口油井;俄罗斯在1863年也打出20m深的井。

一、钻井方法发展进程

钻井方法的发展一般分为4个阶段,即人工掘井、人力冲击钻、机械顿钻(冲击钻)与旋转钻。

(1)人工掘井:1521年之前的钻井。

(2)人力冲击钻(1521—1835年):是靠人力、捞砂筒、特殊钻头、悬绳、游梁等来完成,实际上是利用了杠杆原理及自由落体的下落冲击作用来实现钻井。

(3)机械顿钻(冲击钻):1859—1901年,是现代石油钻井的开始。其优点是设备简单、起下钻方便;缺点是靠冲击作用破岩,钻头功率小,破岩效率低,钻井速度慢。

(4)旋转钻:1901年发展起来,靠动力带动钻头旋转破碎井底岩石,同时循环钻井液以清洗井底。旋转钻井又分为转盘钻井、井下动力钻具钻井、顶部驱动旋转钻井及复合式钻井。其特点是破岩与清岩同时进行;旋转动力大,转速高,破碎效率高;设备复杂,起下钻繁琐。

到目前为止,旋转钻井方法仍然是石油钻井的主要方法。随着现代科学技术的发展,旋转钻井工艺技术也得到迅速发展,其特点是:从经验钻井发展到科学化钻井;从浅井、中深井发展到深井、超深井;从钻直井(垂直井)、定向井发展到钻大斜度定向井、丛式井、水平井;从陆地钻井发展到近海和深海钻井。

二、旋转钻井技术的发展

旋转钻井技术的发展经历了概念阶段、发展阶段、科学化钻井阶段与自动化钻井阶段。

1. 概念阶段(1901—1920年)

在这个阶段,开始把钻井和洗井两个过程联系在一起,并使用了牙轮钻头和注水泥封固套管的工艺。

2. 发展阶段(1920—1948年)

这个时期的钻井工艺、固井工艺、牙轮钻头、钻井液等均得到进一步发展,同时出现了大功率钻井设备。

3. 科学化钻井阶段(1948—1968年)

所谓科学化钻井,就是优化钻井工程设计和施工措施,科学地进行钻井工程施工,达到钻井工程所追求的最终目标。其内容主要包括科学化钻井设计、科学化钻井施工以及油气层保护。这个阶段开展了大量的科学研究,使钻井技术得以迅速发展。突出的技术成就有高压喷射钻井、高效牙轮钻头(镶齿、滑动密封轴承钻头)、优质钻井液(低固相、无固相不分散体系钻井液)以及优选参数钻井(优选钻压、转速和水力参数)等,这些技术使钻井速度产生了大的飞跃。地层压力检测技术、油气井压力控制技术、钻井液固相控制技术、平衡压力钻井技术等使钻井速度又一次产生了大的飞跃。

4. 自动化钻井阶段(1968 年至今)

这个时期主要体现电子仪表、自动测量和计算机在钻井工程中的应用,如钻井参数的自动测量、综合录井和随钻测量技术等。自动化钻机、井口机械化自动化工具、井眼轨迹遥控及自动闭环控制等技术也应运而生。由于以上新设备、新技术、新工艺的应用,才得以实现最优化钻井以及自动化钻井。

近些年来发展了小井眼井、大位移井、分支井、控压钻井、连续管钻井、套管钻井、膨胀管技术等,这些工艺技术的发展都有利于提高钻井效率,提高油田产量和采收率。

三、世界钻井技术发展趋势

1. 钻井技术总体发展趋势

据相关公司统计预测:世界范围未来几年内钻井井型将更趋复杂,但仍以常规井为主,水平井等复杂结构井(包括分支井、大位移井和老井重入侧钻水平井等)为辅;近三分之一的井(包括复杂结构井和直井防斜打快)要使用旋转导向技术;连续管钻井完井、井底压力及温度测量仪的应用增长快,控压钻井和气体钻井略有增加,主要在陆地上应用;智能完井维持在一一定的比例,主要在海上应用。

纵观 21 世纪,世界钻井技术发展总的趋势是向自动化、智能化以及更加注重质量、健康、安全与环保(QHSE)等方向的发展,并以信息化、智能化为特点,将钻井、电测、信息采集和控制技术紧密结合,多技术集成一体化,最大限度地发现和保护油气藏,提高油气井产量和油气田采收率,提高钻井速度,降低成本,提高勘探开发的综合效益。

2. 钻井单项技术发展趋势

未来需要发展或继续发展的单项技术有旋转导向、随钻录井(LWD)、顶驱下套管、钻直井眼的马达、钻台机械化、大位移井、膨胀套管(尾管)、高温井、连续管钻井、钻井最优化技术等,以期提高钻井速度,降低每米进尺费用。

第三节 建井过程

一口井从最初确定井位等到最后试油、投产,要完成许多作业,按其顺序可分为钻前准备、钻进、固井与完井三大部分,而每个阶段又包括许多具体工艺作业。

一、钻前准备

在定好井位及完成井的设计之后,开始钻井施工中的第一道工序——钻前工程,主要包括以下内容。

1. 修公路及桥涵

公路及桥涵应满足建井周期内运送钻井设备及器材的车辆安全通行。

2. 平井场及打基础

井场是陆上打井时为了便于钻井施工在井口周围平整出来的一片平地。井场用于安装钻井设备,存放管柱,放置油罐、水罐、钻井液罐、灰罐、钻井液材料、值班房、发电房、库房等。井场面积大小应能满足搬家、安装、固井作业时大批车辆进出、摆放等要求,与钻机级别有关。若在海上钻井,则用钻井平台或钻井船来代替井场。

在钻井过程中,为防止钻井设备出现不均匀沉降等,需打基础。设备(包括井架、钻井泵、

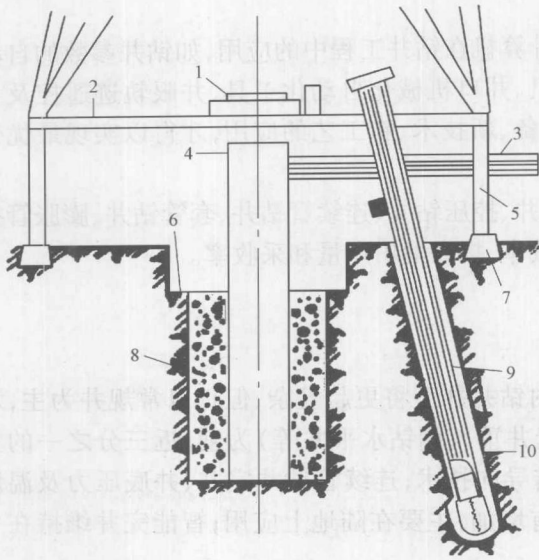


图 0-1 导管及鼠洞示意图

1—转盘;2—钻台;3—钻井液出口;4—导管;5—井架底座;
6—圆井;7—井架基础;8—水泥砂浆;9—鼠洞管;10—鼠洞

数鼠洞是用水直接冲刺出来的。

5. 备足钻井所需各种工具及器材

该项工作主要包括钻杆、钻铤、钻头及钻井泵等必要配件以及钻井液处理剂等的准备工作。

二、钻进

钻井方法虽说有多种,但目前常用的是通过转盘带动钻柱破碎岩石的旋转钻井法。直接破碎岩石的工具称为钻头。

1. 钻进的内涵

钻进是指给钻头施加一定的压力,并使钻头旋转,使之破碎井底岩石,井眼逐渐加深的过程。给钻头施加压力(钻压),可使钻头切削刃吃入岩石中;钻头旋转,可剪切掉切削刃之间的岩石。钻压通过部分钻柱(钻铤)的重量获得,钻头的旋转可通过转盘、井下动力钻具或顶驱实现。钻进速度的快慢可用机械钻速等来表示。

2. 洗井

钻头破碎井底岩石产生的小碎块称为岩屑。钻头工作时不断钻出岩屑,若不及时用冲洗介质将岩屑冲离孔底而带到地表,则会造成井底岩屑重复破碎,不仅影响钻进效率,加剧钻头及钻具的磨损,降低钻头使用寿命,而且会造成烧钻、卡钻等孔内事故,所以要及时清除井底岩屑。岩屑通过循环冲洗介质被携带到地面上来,这一过程称为洗井。冲洗介质可以是水、油等液体或空气、天然气等气体。现场所用冲洗介质常称为钻井液,俗称泥浆。

钻井液罐等)基础可采用现浇混凝土基础、块石基础、混凝土预制基础、桩基础以及金属结构。

3. 搬迁设备并安装

搬迁设备与安装包括设备就位、找正、调整、固定以及油、水、气、电与保温等管线安装。

4. 准备井口

准备井口工作包括挖圆形井、立导管、钻鼠洞以及下鼠管等。如图 0-1 所示,在井口中央挖一个圆形井,下导管,用水泥砂浆固结;在井口中心左前侧不远处钻一个浅洞,下入钢管(鼠洞管),形成大鼠洞,用来存放方钻杆;另外,在井口中心正前方钻一个浅孔,下入一根钢管(鼠洞管),形成小鼠洞,用以存放单根。鼠洞管一般用旧套管制成,大多数鼠洞是用水直接冲刺出来的。

3. 接单根

钻进过程中井眼不断加深,钻柱长度必然也相应增加。每接入一根钻杆称为接单根,打一口井需要接多次单根。

4. 起下钻

钻头在井底破碎岩石时会逐渐磨损,当磨损到一定程度时,需要更换新钻头,为此需将钻头及全部钻柱从井内起出,此过程称为起钻。更换新钻头后,再将新钻头及全部钻柱下入井内,此过程称为下钻。此外,处理各种事故、测井等也需进行起下钻操作。

5. 开钻

钻进过程中会遇到各种地层岩石,有的岩石强度低,有的地层含高压水、油、气等流体,有的含有盐、石膏、芒硝等成分。强度低的地层会发生坍塌或被密度大的钻井液液压裂,地层中的高压流体易进入井眼,含盐、石膏等地层易产生缩径,这些都会妨碍继续钻进。为此需要下入套管并注水泥予以封固,然后用小一级钻头继续钻出新的井段。每改变一次钻头尺寸(井眼尺寸),开始钻新的井段的工艺均称为开钻。一般情况下一口井应有几次开钻。井深和地层情况不同,则开钻次数也不同。开钻的基本工艺过程包括:

(1)第一次开钻,简称一开,从地面钻出较大井眼,到一定设计深度后下表层套管。

(2)第二次开钻,简称二开,在表层套管内下入较小的钻头且继续钻进,若地层不复杂,则可直接钻到目的层后下油层套管完井;如果地层复杂,很难用钻井液控制时,则要下技术套管。

(3)第三(n)次开钻,简称三(n)开,从技术套管内再用小一些的钻头往下钻进。根据情况,或一直钻达预定井深,或再下第二层、第三层、…、第 n 层套管,直到钻到目的地层深度,下油层套管,进行固井、完井作业。

三、固井与完井

1. 固井

为了保护已钻成的井眼及使后续钻井工作进行顺利,或为采油提供通路,应在井眼中下入套管,并在井眼与套管之间环空注入水泥浆以固定套管,封住某些地层,称为固井。一口井从开始到完成往往需要数次固井作业,通常有表层套管、技术套管以及油层套管固井作业。

2. 完井

完井包括钻开生产层、确定完井的井底结构、使井眼与产层连通、安装井底及井口等环节。在整个油井的建井过程中,除上述作业外,还有井下事故处理、取心、录井、测井、地层测试等。

第四节 钻井分类及特点

一、钻井分类

在油气勘探开发各个阶段,需要钻各种类型的井。在地质普查阶段,为了研究地层剖面,寻找储油构造,要钻地质井、基准井、制图井等;在区域详探阶段,为了寻找油气藏,并详细研究

其储量、性质,要钻预探井、详探井、边探井等;在油田开发阶段为了把油气开采出来,要钻生产井、注水井、观察井等。

1. 按钻井深度分类

油气井按钻井深度可分为浅井、中深井、深井、超深井以及特超深井。

- (1) 浅井: 井深小于 2000m 的井;
- (2) 中深井: 井深介于 2000 ~ 4500m 之间的井;
- (3) 深井: 井深介于 4500 ~ 6000m 之间的井;
- (4) 超深井: 井深介于 6000 ~ 9000m 之间的井;
- (5) 特超深井: 井深大于 9000m 的井。

2. 按钻井目的分类

按钻井目的可分为探井和开发井。

(1) 探井: 是指为了探明地质情况, 获得地层油气资源分布及相应性质等方面资料而钻的井。探井又可分为地质浅井、地质探井、预探井与详探井等。

① 地质浅井: 为配合地面地质和地球物理工作, 以了解区域地质构造、地层剖面和局部构造为目的, 一般使用轻便钻机所钻的井, 例如剖面探井、制图井、构造井等。

② 地质探井: 在对地质情况了解不多的地区, 为了了解地层的沉积年代、岩性、厚度以及生储盖层组合, 并为地球物理解释提供各种参数所钻的井。

③ 预探井: 在 seismic 详查和地质综合研究基础上所确定的有利圈闭范围内为了发现油气藏所钻的井, 或在已知油气田范围内以发现未知新油气藏为目的所钻的井。

④ 详探井(评价井): 在已发现的油气圈闭上, 以探明含油气边界和储量、了解油气层结构变化和产能为目的所钻的井。

(2) 开发井: 为开发油气田所钻的各种采油、采气井, 注水、注气井, 或在开发油气田内为保持一定产量并研究地下情况变化所钻的调整井、补充井、扩边井以及检查资料井等。

3. 按适应不同阶段及不同任务的需要分类

(1) 基准井: 在区域普查阶段, 为了解地层的沉积特征和含油气情况, 验证物探成果, 提供地球物理参数而钻的井。一般钻到基岩并要求全井取心。

(2) 剖面井: 在覆盖区沿区域性大剖面所钻的井。目的是为了揭露区域地质剖面, 研究地层岩性、岩相变化并寻找构造。剖面井主要用于区域普查阶段。

(3) 参数井: 在含油盆地内, 为了解区域构造, 提供岩石物性参数所钻的井。参数井主要用于综合详查阶段。

(4) 构造井: 为了编制地下某一标准层的构造图, 了解其地质构造特征, 验证物探成果所钻的井。

(5) 资料井: 为了编制油气田开发方案, 或在开发过程中为某些专题研究取得资料数据而钻的井。

(6) 生产井: 在进行油田开发时, 为开采石油和天然气而钻的井。生产井又可分为产油井和产气井。

(7)注水(气)井:为了提高采收率及开发速度而对油田进行注水(气)以补充和合理利用地层能量所钻的井。专为注水而钻的井称为注水井,专为注气而钻的井称为注气井,两者可统称为注入井。

(8)检查井:油田开发到某一含水阶段,为了搞清各油层的压力和油、气、水分布状况以及剩余油饱和度的分布和变化情况并了解各项调整挖潜措施的效果而钻的井。

(9)观察井:在油田开发过程中,专门用来了解油田地下动态的井,如观察各类油层的压力、含水变化规律和单层水淹规律等,一般不承担生产任务。

(10)调整井:在油田开发中后期,为进一步提高开发效果和最终采收率而调整原有开发井网所钻的井,包括生产井、注入井、观察井等。这类井的生产层压力或因采油后期呈现低压,或因注入井保持能量而呈现高压。

二、钻井特点

(1)生产的连续性。

一口井从开始钻井到完井,整个过程连续进行。除特殊情况外施工不可以中断,否则易造成井下复杂情况甚至事故的发生,如卡钻等。

(2)钻进的不连续性。

钻进过程中要不断地接单根、起下钻,体现出钻进的不连续性。

(3)工作的周期性、单调性与枯燥性。

在正常钻井施工中,其工序是:下钻→钻进→接单根→钻进→起钻→换钻头→下钻……。对各工种而言,工作内容也基本固定。

(4)井下情况的复杂性。

钻头在井下深处旋转破碎岩石,既看不见,也摸不着,属隐蔽钻进,只有借助于地面上的各种仪表和某些设备运转的声音、速度变化等来分析判断井下情况是否正常。由于地层情况的复杂,这些分析判断的正确性受到一定的局限。

(5)工作流动性大。

每钻完一口井,就要搬迁,呈现出流动性。由于建井周期大多较短,故钻井工作流动性大。

(6)工作场所的多变性。

钻井地点可能是在旷野、沙漠,也可能是海洋等,钻井工作场所表现为多变性。

(7)工作场所大、震动大、噪声大。

由于钻井设备较多,多工种协调操作,需有一个较大的场地。其中所摆放设备(如柴油机)功率大,设备传动采用链条、皮带传动,震动大、噪声大。随着钻机的不断完善,震动及噪声在不断降低。

(8)劳动强度较大。

在起下钻过程中,井口所使用的卡瓦、吊卡及吊钳的操作与钻柱移位等都由于工具设备管材笨重而需较大的体力。当然,随着钻机自动化程度的不断提高,劳动强度也在不断降低。

(9)艰苦性。

许多井位人烟稀少,极其荒芜,周围环境极其恶劣,相当一部分钻机作业在露天进行,钻井作业表现出艰苦性。

(10) 需要丰富的经验和知识。

钻井工程在我国有着悠久的历史,前人留下了大量的宝贵经验和教训可以借鉴。但是随着钻井工艺的日趋完善,尤其是近几十年来的飞跃发展,由过去的经验钻井阶段进入科学钻井阶段,又由于井深逐渐增加等问题,要求钻井工作者必须具备多方面的知识,积累丰富的经验,以适应日趋复杂的钻进工艺要求,做到安全、优质、低耗、快速打井。

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

表 10-1 钻井工程主要工序及主要设备

第一章 钻井工程地质条件

钻井是利用设备、工具将地层钻出具有一定深度圆柱形孔眼的工程,其主要工作对象是地下岩石。钻井工程地质条件是指与钻井工程有关地质因素的综合。要制定一口井的钻井工程方案,不得不考虑其钻井工程地质条件,其中岩石的工程力学性质是必须要弄清楚的一个重要方面。除此之外,地质因素还包括地层中流体及其压力分布情况等。

了解岩石工程力学性质,是为选用合适的钻头和确定最优的钻进参数提供依据。井眼的形成使地层裸露于井壁上,这又涉及井眼与地层之间的压力平衡问题,对此问题处理不当,则会发生井涌、井喷或压裂地层等复杂情况或事故,使钻进难以进行,甚至使井眼报废。因此,在一个地区钻井之前,充分认识和了解该地区的工程地质资料(包括岩石的工程力学性质、地层压力特性等)是进行一口井设计的重要基础。

第一节 岩石分类与结构

本节主要介绍岩石的分类及结构等内容,以达到在学习岩石工程力学特性之前掌握有关岩石基本概念的目的。

一、岩石的分类

目前钻井工程所开展的主要地层处于地壳范围。地壳由岩石组成,岩石又由矿物组成。从结构和组成上来看,岩石可以看做是由一种或几种矿物按一定方式结合而成的天然集合体。矿物则是由组成地壳的化学元素如 O、Si、Al、Fe、Ca、K、Na、Mg 等的化合物组成,天然产出的这些元素的化合物即为矿物。矿物是具有一定化学成分和特定的原子排列(结构)的均匀固体,如石英、长石、方解石等。

自然界中有各种各样的岩石,不同成因的岩石具有不同的力学特性,因此有必要根据不同成因对岩石进行分类。根据地质学岩石成因,岩石可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类,见表 1-1。

表 1-1 岩石分类

岩石类别	岩石名称	主要造岩物质
岩浆岩	玄武岩	石英、云母、角闪石
	花岗岩	辉石、角闪石、橄榄石
	安山岩	角闪石、辉石、黑云母
沉积岩	泥岩	由高岭石、微晶高岭石及水云母等黏土矿物组成
	页岩	黏土质页岩:由黏土矿物组成
		碳质页岩:由黏土矿物及有机质组成
	石灰岩	石灰岩:方解石含量大于 90%,黏土矿物含量小于 10%
泥灰岩:方解石含量为 75%~50%,黏土矿物含量为 25%~50%		

续表

岩石类别	岩石名称	主要造岩物质
变质岩	大理岩	方解石为主,其次有白云石等
	石英岩	方解石为主,有时含有绢云母、白云母等
	片麻岩	花岗片麻岩:长石、石英、云母为主,其次为角闪石,有时含石榴子石 角闪石片麻岩:长石、石英、角闪石为主,其次为云母,有时含有石榴子石

岩浆是存在于地壳下面的熔融性硅酸盐物质。岩浆沿地壳的薄弱带向地壳表层侵入或喷出而冷凝固化形成的岩石称为岩浆岩,也称为火成岩,如玄武岩、花岗岩等。沉积岩是成层堆积的松散沉积物固结而成的岩石,沉积岩的种类很多,但若考虑到矿物颗粒的大小以及矿物成分等方面的因素,则可以将沉积岩分为砂岩、页岩和石灰岩三类。变质岩是在地球内部高温或高压的作用下,原有岩石发生各种物理、化学变化,使其中的矿物重结晶或发生交互作用,进而形成新的矿物组合体。

尽管岩浆岩占据了地壳总体积的 95% 之多,但在地壳表层分布最广泛的却是沉积岩,沉积岩覆盖了大陆面积的 75% 和几乎全部的海洋地壳面积。

二、岩石的结构

岩石由矿物组成,不同矿物所形成的岩石性质不同。岩石中主要的造岩矿物有正长石、斜长石、石英、黑云母、白云母、角闪石、辉石、橄榄石、方解石、白云石、高岭石、赤铁矿等。不同的岩石,其造岩矿物的含量不同,岩石的结构也不同,如图 1-1 所示。

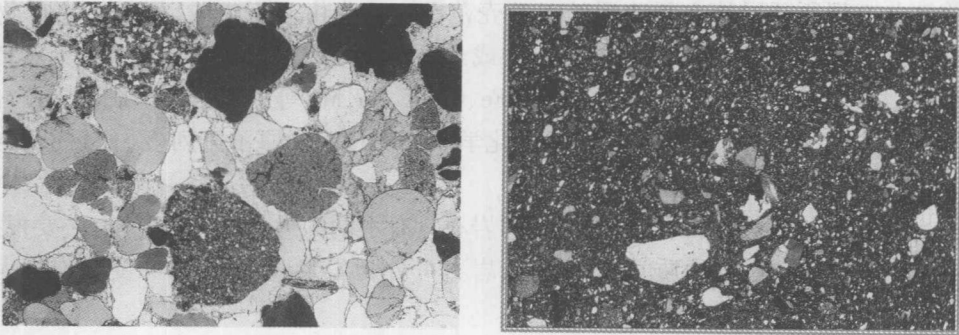


图 1-1 两种不同岩石颗粒结构

岩石的结构是指岩石中矿物及岩屑颗粒相互之间的关系,包括颗粒的大小、形状、排列、结构联结特点及岩石中的微结构面(即内部缺陷),其中,以结构联结和岩石中的微结构面对岩石工程性质影响最大。

岩石中结构联结类型主要有两种,分别为结晶联结和胶结联结。

1. 结晶联结

结晶联结的岩石中矿物颗粒通过结晶相互嵌合在一起,如岩浆岩、大部分变质岩及部分沉积岩的结构联结。这种联结使晶体颗粒之间紧密接触,故岩石强度一般较大,但随结构的不同而有一定的差异。一般来说,构成岩石的晶粒越细、越均匀,则强度越高。具有结晶联结的一些变质岩,如石英岩、大理岩等情况与岩浆岩类似。

沉积岩中的化学沉积岩是以可溶的结晶联结为主,联结强度较大,但这种联结的缺点是抗水性差,能不同程度地溶于水,对岩石的可溶性有一定的影响。

黏土岩的联结有一部分是再结晶的结晶联结,其强度比其他坚硬岩石要差很多。

2. 胶结联结

胶结联结指颗粒与颗粒之间通过胶结物胶结在一起的联结,如沉积碎屑岩、部分黏土岩的结构联结就属于这种联结类型。对于这种联结的岩石,其强度主要取决于胶结物及胶结类型。从胶结物来看,硅质、铁质胶结的岩石强度较高,钙质次之,而泥质胶结强度最低。

除了结晶联结和胶结联结外,岩石中还存在着一些特殊的微结构面。这些存在于岩石中的微结构面(或称内部缺陷)是指存在于矿物颗粒内部或矿物颗粒及矿物集合体之间微小的弱面与空隙。岩石中微结构面一般很小,通常需在显微镜下观察才能见到,但是它们对岩石工程性质的影响却是很大的。由于微结构面在岩石中常具有方向性(如裂隙等),因此它们的存在常导致岩石的各向异性。

第二节 岩石工程力学性质

岩石是钻井的主要工作对象。在钻井过程中,一方面要提高破碎岩石效率,另一方面要保证井壁岩层稳定,这些都取决于对岩石工程力学性质的认识 and 了解。本节在岩石概念及分类的基础上,结合钻井工程的需要,阐明岩石工程力学性质以及影响这些性质的有关因素,为正确掌握钻井工程的主要理论与技术打下基础。

一、概述

岩石由矿物组成,按成因,岩石可划分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。岩石成因类型不一样,其工程性质也不一样。

不同岩石构造特征和结构特征决定了岩石的工程力学性质。岩石的构造是指岩石在大范围内的结构特征,岩石的结构是指小块岩石的组织特征。前者可看做是岩石宏观层面上的特征,后者可认为是岩石微观层面上的特征。例如,有的岩浆岩在构造上具有气孔构造、流纹构造,而有的岩浆岩由中细晶质和隐晶质构成,其透水性差,抗风化性能好;对于沉积岩来说,在构造上表现出的主要特点就是层理和页理,层理是岩石在垂直方向上岩石成分和结构的变化,页理是岩石沿平行剖面分裂成为薄片的能力;而变质岩的工程力学性质往往与其原岩性质有关。几种岩石的结构特征如图 1-2 所示。

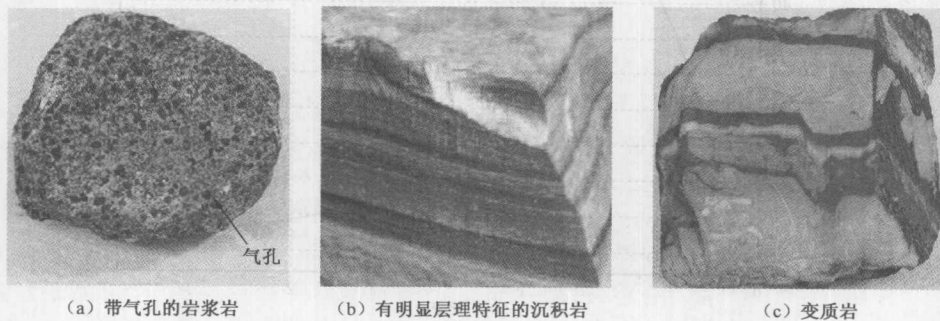


图 1-2 几种岩石的结构特征