

钻井工艺技术基础

钻井
工艺

技术基础

王瑞和

主编·石油大学出版社



石油大学

学(北京)

E24
213

书号	123861
分类号	TE24
卷号	013

钻井工艺技术基础

王 瑞 和 编

sy44/29



石油0117416

石油大学出版社

鲁新登字 10 号

内 容 提 要

本书是为石油工程专业的学生进行钻井认识实习和生产实习而编写的教材。内容包括：钻井设备和工具、洗井和洗井液、钻进基本要素与参数选择、固井及完井、井下复杂情况及事故处理、特殊钻井工艺技术及钻井工程、石油地质和钻井技术经济指标等方面的基本知识。

本书可作为石油高等院校石油工程专业学生的钻井认识实习和生产实习之教材，也可用作非钻井专业学生学习“钻井工程”的教材，亦可供石油钻井现场技术人员和管理人员参考。

钻井工艺技术基础

王瑞和

*

石油大学出版社出版

(山东省东营市)

新华书店发行

山东省东营新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 12.375 印张 27.7 千字

1995 年 2 月第 1 版 1995 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—1200 册

ISBN 7-5636-0610-6 TE·113

定价：11.00 元

前 言

本教材是以《钻井生产实习教材》为基础,参考国内外多种教材和文献,结合近十多年钻井专业现场实践教学和非钻井专业的钻井工程课教学的体会和经验,根据石油钻井技术的发展和教学需要而编写的。

本书全面系统地介绍了一般石油钻井工程的各基本工艺环节、技术和方法,同时也介绍了特殊钻井工艺、新钻井技术的发展及基本的经济技术指标等方面的知识,并对所用工具、设备及基本操作也给予了必要的阐述。

本书在编写过程中得到了石油大学(华东)钻井教研室全体教师的大力支持和帮助,陈庭根教授审阅了全部教材的初稿,给予了精心指导,提出了许多宝贵意见,姜仁教授在编辑过程中亦给予了精心指导和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间限制,书中缺点和谬误之处在所难免。敬请有关师生和读者提出宝贵意见。

编 者

1994年7月

目 录

第一章 石油钻井概论.....	1
第一节 钻井方法.....	1
第二节 转盘旋转钻井工艺.....	5
第三节 油气钻井类型.....	7
第二章 石油地质基础.....	9
第一节 地壳.....	9
第二节 沉积岩	13
第三节 油气藏	15
第四节 石油勘探	17
第三章 钻井设备	20
第一节 钻机的组成及分类	20
第二节 起升系统	22
第三节 旋转系统	27
第四节 循环系统	30
第五节 驱动与传动系统	32
第六节 钻机气控系统	35
第七节 井控系统	42
第八节 设备安装和校正	45
第四章 钻井工具与仪表	51
第一节 钻头	51
第二节 钻柱	61
第三节 井口工具	69
第四节 井口仪表	73
第五章 洗井与洗井液	77
第一节 洗井	77
第二节 洗井液功能及类型	77
第三节 洗井液性能及(维护)处理	79
第四节 洗井液的计算	84
第五节 洗井液原材料及处理剂	87
第六节 洗井液固相控制	88
第六章 钻进基本要素与参数选择	92
第一节 影响钻进的主要因素	92
第二节 钻进参数选择	97

第三节 井斜及控制.....	103
第七章 固井及完井.....	112
第一节 固井.....	112
第二节 油井完成.....	124
第八章 井下复杂情况及事故处理.....	131
第一节 地下压力预测.....	131
第二节 井喷与压井.....	134
第三节 井漏及处理.....	138
第四节 卡钻及处理.....	139
第五节 钻具事故及处理.....	143
第六节 落物事故及处理.....	146
第九章 特殊钻井工艺技术.....	149
第一节 取心钻井.....	149
第二节 定向钻井.....	155
第三节 水平钻井.....	164
第四节 海上钻井.....	170
第十章 钻井技术经济指标.....	178
第一节 钻井时效分析.....	178
第二节 钻井技术经济指标.....	180
第三节 钻井资料的统计和收集.....	184
第四节 钻井生产组织与井队岗位分工.....	186

第一章 石油钻井概论

钻井是利用一定的工具和技术在地层中钻出一个较大孔眼的过程。石油工业中常用到的井一般是直径为 100~500mm,几百米到几千米深的圆柱形垂直井眼。石油钻井是油、气田勘探和开发的重要手段。要直接了解地下的地质情况,要证实用其它方法勘探得到的地下油气构造和其含油、气情况及储量,要将地下的油、气资源开发利用,都要通过钻井工作来实现。钻井工作始终贯穿在油、气田勘探开发的地质勘探,区域勘探和油田开发的三个阶段中。钻井的速度和质量,直接影响着油、气田的勘探和开发的速度和效益。只有快打井,打好井,才能保证高速度、高水平地勘探和开发油、气田,高效益地采掘地下油、气资源,提高油、气田勘探开发的综合经济效益,促进石油工业的高速发展。

第一节 钻井方法

所谓钻井方法,就是指为了在地面以下岩层中钻出所要求的孔眼而采用的钻孔方法。不同的方法所采用的工具和工艺也就不同,其主要区别在于如何破碎岩石,怎样取出岩屑,净化井眼。在石油钻井现场上使用的钻井方法主要有顿钻钻井法和旋转钻井法。目前普遍使用的是旋转钻井法。另外,近十多年来又发展起了射流钻井法,美国和加拿大已成功地用此法钻出了数千口水平井。但此种方法尚不完善,仍在改进中,目前也只用于钻小孔径的水平井。

一、顿钻钻井法

顿钻钻井法又名冲击钻井法。是我国劳动人民发明的一种最古老的钻井方法。早在公元 1041~1053 年,用顿钻法钻小口井的钻井方法在我国就已发展成熟。这种钻井方法从 19 世纪起在世界范围内得到了广泛的应用,相应的钻井设备称之为顿钻钻机或钢绳冲击钻机,其设备组成及钻井工作原理见图 1-1 所示。

用该法钻井的工艺过程是:钻头用钢丝绳悬吊,周期地将钻头提到一定的高度后再释放以向下冲击井底,将井底岩石击碎,使井眼向下加深。在不断冲击的同时,向井内注水,使岩屑、泥土混合成泥水浆,当井眼加深了 0.3~0.5m 后,井底堆积的岩屑阻碍了钻头继续接触并击碎井底岩石,这时为了清除岩屑,需将钻头自井内提出,下入捞砂筒捞出井内的泥水浆,经过多次提捞后,基本将井内的岩屑捞净,使新井底暴露出来,然后再继续下入钻头冲击钻进。如此交替进行直至钻达所要求的深度为止。

顿钻钻井法的钻头和捞砂筒都是用钢丝绳下入井内,所以起、下钻费时少,所用设备也很简单。但是因为它破碎岩石,取出岩屑的作业都是不连续的,钻头功率小,破岩效率低,钻进速度慢,不能进行井内压力控制,且只适用于钻直井。目前只有少数地区仍用来打直井。

二、旋转钻井法

旋转钻井法包括地面动力转盘旋转钻井法和井底动力钻具旋转钻井法。

1. 转盘旋转钻井法

该钻井法的设备组成和工作原理如图 1-2 所示。

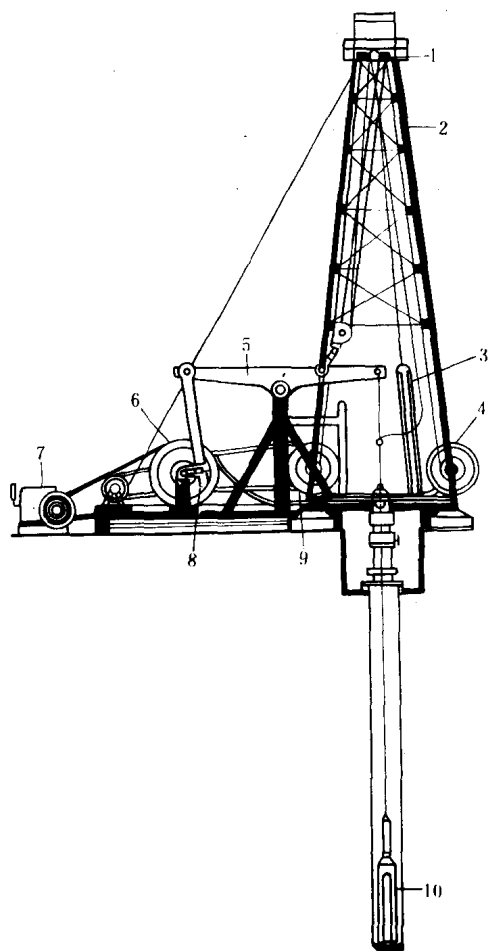


图 1-1 顿钻钻井示意图

1—天车；2—井架；3—捞砂筒；4—钻井绳滚筒；5—游梁；6—大皮带轮；7—动力机；8—曲柄与连杆；9—吊升滚筒；10—钻头

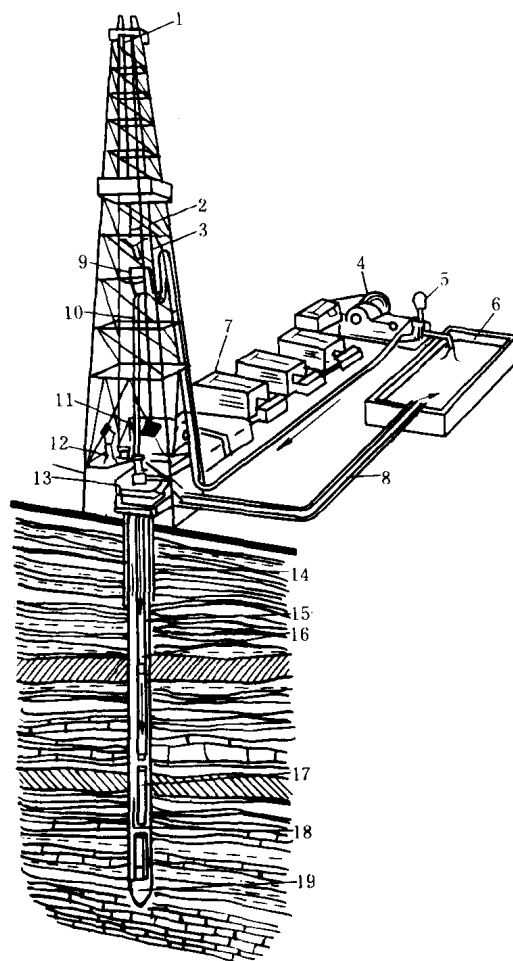


图 1-2 转盘旋转钻井示意图

1—天车；2—游动滑车；3—大钩；4—泥浆泵；5—空气包；6—泥浆池；7—动力机；8—泥浆槽；9—水龙头；10—方钻杆；11—绞车；12—转盘；13—防喷器；14—表层套管；15—井眼；16—钻柱；17—钻铤；18—洗井液；19—钻头

在钻进时钻头接触地层，在其上部钻柱的加压下吃入地层，并在钻头旋转的过程中破碎整个井底，同时向井内循环洗井液清洗井底，清除岩屑，以便继续钻进。

井架、天车、游车、大钩及绞车组成起升系统，以悬持、提升、下放钻柱。接在水龙头下的方钻杆卡在转盘中，下部承接钻柱（包括钻杆和钻铤）、钻头。钻柱是中空的，可通入洗井液（现场俗称之为泥浆）。工作时动力机驱动转盘通过方钻杆带动井中钻柱，从而带动钻头旋转。通过控制绞车刹把，可调节由钻柱重量施加到钻头上的压力（即钻压），使钻头以适当的压力压在岩石面上，连续旋转破碎岩石。与此同时，动力机也驱动泥浆泵工作，使洗井液经由泥浆池→地面管汇→水龙头→钻柱内孔→钻头→井底→钻柱与井壁的环形空间→泥浆槽→泥浆池，形成循环流动，以连续地携带出被破碎的岩屑，清洗井底。

钻杆代替了顿钻中的钢丝绳,它不仅能够完成起下钻具的任务,还能够传递扭矩和施加钻压到钻头上,同时又提供了洗井液的入井渠道,从而保证了钻头在一定的钻压作用下旋转破岩,改变了顿钻单纯冲击破碎形式为冲击、挤压、剪切等多种破碎形式,提高了破岩效率,并且在破岩的同时,井底岩屑被清除出来,因此提高了钻井速度和效益。另外,由于该法采用了一套完整的井口装置,并与固井套管相配合,便能有效地对井内压力进行控制。目前这种方法在世界各国被广泛使用。

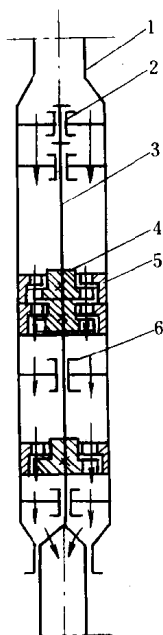


图 1-3 涡轮钻具结构示意图

1—外壳; 2—止推轴承;
3—主轴; 4—转子; 5—
定子; 6—中轴承

2. 井底动力钻具旋转钻井法

转盘旋转钻井法虽然大大提高了破岩效率和钻进能力,但由于用长达数千米的钻柱从地面将扭矩传递到钻头进行破岩,钻柱在井中旋转时不仅消耗掉过多的功率,而且可能发生钻杆折断事故。为了克服这些缺点,钻井工作者设想用钻杆不旋转或不用钻杆的方法进行钻井。这就出现了井底动力钻具旋转钻井法。简称井底动力钻井法。

井底动力钻井法是把转动钻头的动力由地面移到井下,直接接在钻头之上。在钻进时,整个钻柱是不旋转的,此时钻柱的功能只是给钻头施加一定的钻压、形成洗井液通路和承受井下动力钻具外壳的反扭矩。井底动力钻具的动力是由地面泥浆泵提供的、通过钻柱内孔传递到井下的具有一定动能和压力的洗井液流体,或交流电。

目前用于钻井生产的井底动力钻具有三种,即涡轮钻具、螺杆钻具和电动钻具。

(1) 涡轮钻具钻井 涡轮钻具结构示意图见图 1-3。

涡轮钻井的地面设备和钻井原理与转盘钻相同。只是钻头直接由井下的涡轮钻具带动旋转。由钻头、涡轮钻具、钻柱、泥浆泵组成一个工作系统。工作时,泥浆泵将具有一定压力的洗井液经钻柱内孔泵入涡轮钻具中,驱动转子,并通过中心轴带动钻头旋转,破碎岩石。流经涡轮钻具的洗井液然后进入钻头,从钻头水眼喷出,冲击、清洗井底岩屑。

涡轮钻井与转盘钻井相比具有以下优点:其钻柱不转动,故节约了功率,减小了钻柱与井壁的磨擦,使钻杆事故减少,工作寿命延长。而且由于它在定向造斜过程中的工艺简单,起下钻次数少而特别适用于钻定向井和丛式井。这种钻井方法在原苏联、罗马尼亚等国家曾成为基本的钻井方法。我国从 20 世纪 50 年代开始使用涡轮钻井,也取得了较好的效果。

但由于涡轮钻具的结构和工作特性所决定,其转子的转速较高,这样就降低了牙轮钻头的使用寿命。同时,涡轮钻具的止推轴承等部件在高速转动作用下的寿命较短。因此,在一段时间内限制了它在打直井和深井方面的使用。

20 世纪 80 年代出现了聚晶金刚石切削片(PDC)钻头及在 PDC 钻头基础上发展起来的热稳定聚晶金刚石钻头(如巴拉斯钻头、马赛克钻头等),它们能在高转速和高温下钻井,这样就给涡轮钻具提供了理想的配套钻头,从而为涡轮钻具的应用开辟了广阔的前景。

随着钻井生产的需要和科学技术的发展,涡轮钻具本身也在不断更新,多节涡轮钻具,低速大扭矩涡轮钻具及带减速器的涡轮钻具等都相继问世,在一定程度上推动了涡轮钻井技术的发展。

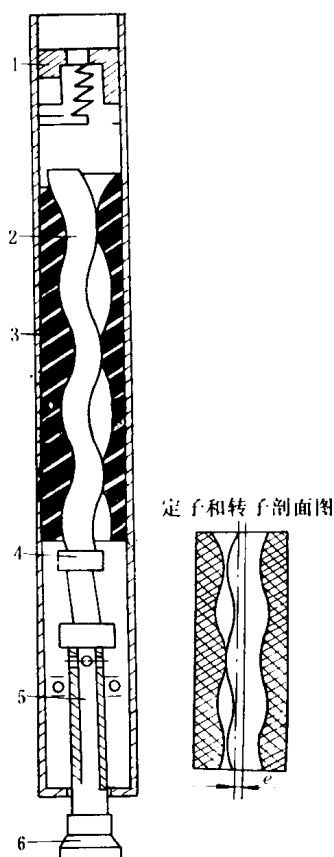


图 1-4 迪纳钻具示意图

1—旁通阀；2—螺杆；3—定子；
4—万向轴；5—主轴；6—接头

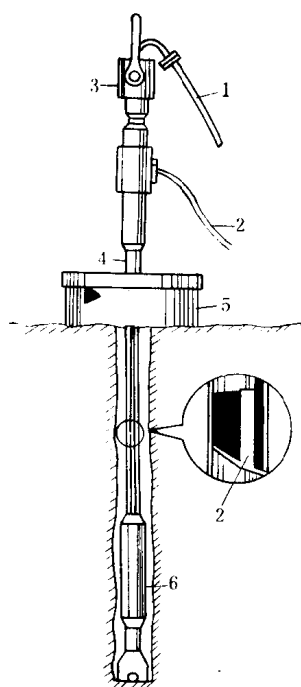


图 1-5 电动钻钻井

1—水龙带；2—电缆；3—水龙
头；4—方钻杆；5—转盘；6—
电动钻具

(2) 螺杆钻具钻井
典型的螺杆钻具——
迪纳钻具的结构如图
1-4 所示。

用螺杆钻具钻井的
过程类似于涡轮钻井。
钻头、螺杆钻具、钻杆柱
和泥浆泵组成一工作系
统。高压洗井液自钻柱
内孔进入螺杆钻具，从
螺杆及衬套间的空间往
下挤。依靠其压力迫使
螺杆不断旋转，产生扭
矩。洗井液连续不断下
挤，螺杆保持旋转，通
过万向轴带动钻头破碎
岩石。通过螺杆钻具后
的洗井液进入钻头冲击
到井底，清洗岩屑。

螺杆钻具的结构简
单，工作可靠，小尺寸
时能得到大的扭矩和功
率，也可实现与常规钻
头相匹配的低转速，可
使钻头进尺比涡轮钻高

得多。并可在小排量下工作，对洗井液的含砂量要求也不高。另外，可做成小尺寸螺杆钻具，用于小井眼和超深井钻井，并能按照地面泥浆泵排出压力的变化控制钻井技术参数。所有这些优点，都使得螺杆钻具得到了比涡轮钻具更广泛的应用，尤其是用于打定向井、水平井和丛式井，是目前使用最普遍的井下动力钻具。

(3) 电动钻具钻井 电动钻井法就是利用井下电动钻具带动钻头破碎岩石。电动钻井法如图 1-5 所示。

电动钻具使用一台细长的电动机带动钻头。电缆装在钻杆里，靠钻杆接头里的特别接头联通。电动钻井时除动力用交流电以外，其它与涡轮和螺杆钻具相同。其优点是电力驱动便于操纵控制。缺点是电机结构复杂，工作条件恶劣，需要特殊的电缆，检查电路故障及换钻头都不方便。

3. 射流钻井法

旋转钻井法固然较之冲击钻井法优越得多，但仍是基于对钻头加压并使其旋转以连续破岩的工作原理；岩石的破碎是靠钻头的机械破碎为主。无论是转盘旋转钻井还是井下动力旋转钻井，能量传递或转化的最终形式仍是机械能，其能量的有效利用率较低。近十多年来，又成功地发展了高压射流钻井法，此法利用高压、高速射流直接冲击到井底，使岩石破碎，并随时由射

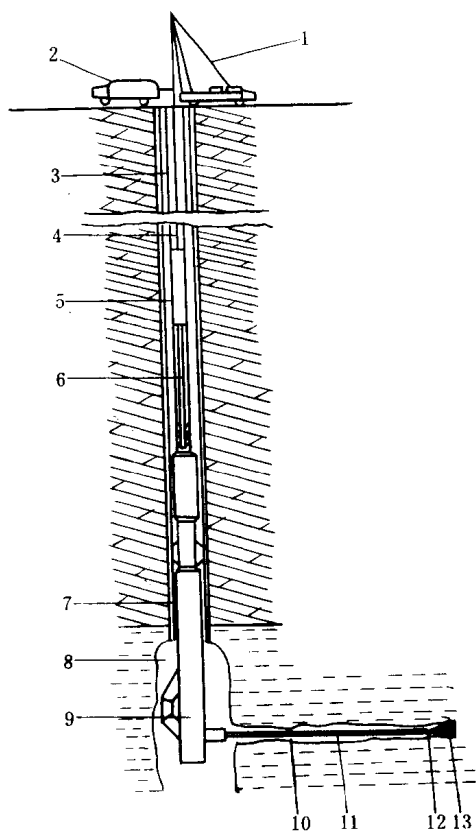


图 1-6 高压水射流钻水平井示意图

1—车装钻机；2—绳车；3—高压管柱；4—钢丝绳；5—运动控制器；6—钻杆；7—套管；8—扩眼段；9—斜向器；10—水平井眼；11—生产管（钻杆）；12—水力钻头；13—高压水射流

流流体将破碎的岩屑清除出去,极大地提高了破岩效率,减少了能量的损失和浪费。并由于钻柱和钻头可以不旋转,不用给钻头施加钻压,因此可以减少井下事故的发生,简化工艺过程,甚至可以用软管代替钻杆钻进。

射流钻井法示意图见图 1-6。大功率泥浆泵提供的大排量、高压力的洗井液通过钻柱内孔(或软管)进入到水力钻头的喷嘴,经过面积较小的喷嘴以较高的速度冲击到井底岩石上,破碎岩石,加深井眼。在整个钻井过程中,高压洗井液流体是唯一的能量载体,它不仅冲击破碎井底岩石,还对水力钻头施以足够的静液压力,推动钻头向前运动,即起到送钻的作用,同时还清洗井底、携带岩屑。

射流法钻井的最突出的优点是:设备简单,合理地利用洗井液作为破岩、送钻、清洗井底的能量载体,不需经过任何形式的能量转换,从而保证了能量传递的方便和高效率,大幅度提高了钻进速度。另外,钻柱和钻头不旋转,减少了钻柱事故的发生,提高了钻头的使用寿命,并给随钻检测和控制带来了极大的方便。目前这种钻井方法已在水平井钻进中取得了新的突破,在垂直井、大井眼井的钻进正在试验阶段。预计在不远的将来,将会在油田钻井现场得到广泛的应用。

随着钻井的深度和难度日趋增加,新的更加方便科学的方法,如用激光钻井,电子束射流钻井,岩

石溶化及气化钻井,化学钻井等方法,都在研究和发展中,新的钻井方法必然会促进钻井技术的新进步。

第二节 转盘旋转钻井工艺

如前所述,在目前的钻井方法中,旋转钻井方法是最普遍使用的钻井方法。在我国的石油钻井中,绝大多数的油井都是用转盘旋转钻井法钻出来的,因此本书将以转盘旋转钻井法为基础进行论述。

一口油井从选择井位开始到最后对生产层进行射孔、试油建成一条永久性的油气流通道,要经过许多个工艺过程。按其顺序可分为三个阶段:即钻前准备、钻进和完井,而每阶段又包括了许多具体的工艺过程。

一、钻前准备

在确定好井位之后开始钻进前的准备工作是非常重要的,是钻井工程的最先一道工序,是钻井工作的基础。这主要包括:

1. 修公路 建立通向井场的运输通道,保证钻井设备、器材和原材料的供应。

2. 平井场 打水泥基础,为设备的安装创造可靠条件。

目前国内钻井现场所用各种类型钻机所需井场大小不同。一般情况下要求井场除能摆放下钻机及动力设备,洗井液固控设备外,井架大门前的长度应保证能进行井架的整体安装与拆卸作业,其宽度要能摆下该井设计的油层或技术套管的全部(按三层排列计算),并能让卡车倒车。

各类钻机所要求的井场面积可参考表 1-1。

表 1-1 推荐的井场面积

钻机钻深能力(km)	3.2	3.5	5	6	7
井场面积(m ²)	65×35	75×35	80×40	95×45	100×50

如果使用大沉淀池及罐式洗井液净化系统,则还要适当加大井场面积。

3. 钻井设备的搬家和安装 设备的就位和安装、找正,是一个非常重要的环节,只有将设备安装得准确、牢固,才能高速度地打出高质量的井。

4. 井口准备 井口准备主要包括打导管(即打一孔并下入导管)和钻鼠洞。如图 1-7 所示。在井口中央掘一圆形井,下入导管,并用水泥砂浆固结。在离井口中心不远处的钻台前侧,钻一深 17~18m 的浅井洞,下入一根钢管称做鼠洞,用来在钻井过程中存放方钻杆和水龙头。

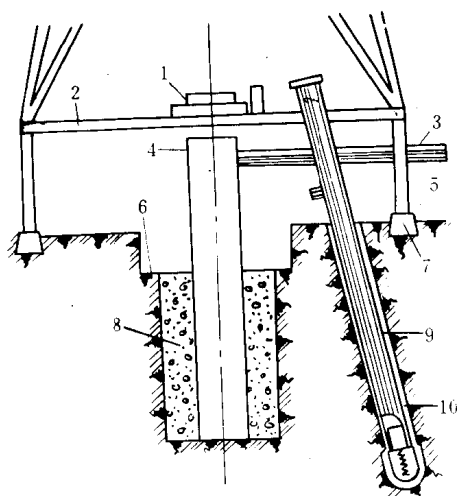


图 1-7 导管鼠洞示意图

1—转盘;2—钻台;3—洗井液出口;4—导管;

5—井架底座;6—圆井;7—井架基墩;

8—水泥砂浆;9—鼠洞管;10—鼠洞

另外,在转盘外侧(靠大门一侧)离其中心一米多处钻另一浅孔,下入一根钢管,称为小鼠洞,用来在钻进过程中接单根时存放单根钻杆用。一般情况下,鼠洞可以直接用水射流冲出来。

5. 备足钻井所需要的各种工具、器材,如钻杆、钻铤、钻头及泥浆泵必要的配件、洗井液处理剂等。

二、钻进

钻进是进行钻井生产取得进尺的唯一手段,是用足够的压力把钻头压到井底岩石上,使钻头牙齿吃入岩石中并旋转以破碎井底岩石的过程。在井底产生岩屑后,流经钻柱内孔和钻头喷嘴的洗井液,冲击井底,随时将井底岩屑清洗、携带到地面,这一过程称之为洗井。在转盘钻井的整个钻进过程中,不管钻头是否破碎岩石,钻柱是否在旋转,洗井都是始终在进行的,除非在接单根、起下钻或其它无法循环的特殊情况下,洗井液的循环不能停止,否则将会造成井下事故。

在钻进过程中,随着岩石的破碎,井眼在不断加深,因此钻柱也需要及时接长。钻柱主要由钻杆组成,每当井眼加深了一根钻杆的长度时,就向钻柱中接入一根钻杆,此过程叫做接单根。

由于钻头在井底破碎岩石,钻头会逐渐磨损,当磨损到一定程度后需要更换钻头。这样就必须将全部钻柱从井内起出来,更换新钻头。以后,再重新将全部钻柱下入井中,这一过程称之为起下钻。有时为了处理井下事故,测井斜等特殊情况,也需要起下钻。

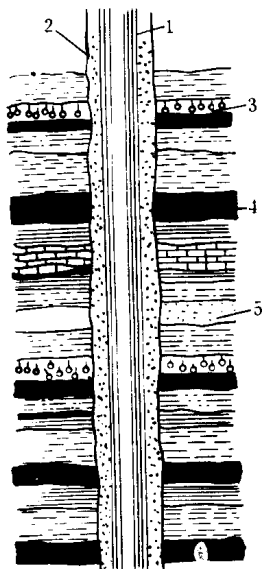


图 1-8 固井后井眼
状况示意图

1—套管;2—水泥环;3—
气层;4—油层;5—水层

进行固井、完井作业。

三、固井与完井

当钻穿油、气层达到预定井深时,钻进阶段即告结束。下一步就要进行油井的加固和完成,即所谓的固井与完井。

固井即是在已钻成的井眼内下入套管,而后在套管与井眼间的环形空间内注入水泥浆,将套管和地层固结成一体的工艺过程。只有通过下套管、固井,才能防止井眼的坍塌,形成永久的油气通道,并防止地下各层流体的互窜,达到开采油气的目的。另外在钻进过程中,为了钻进得以顺利进行,每次开钻结束后也大部分需要固井。固井后的井眼状况见图 1-8。

如果生产层的岩性比较坚硬,不易坍塌,那么在完钻之后生产层段可不必进行固井,可让岩石井壁保持与井眼连通,即称之为裸眼完井。

我国各大油田(除四川等石灰岩性生产层的油田外),大多数采用完钻后下套管固井的方法。对于下套管固井的井,在油层套管的固井完成之后,虽然永久性的油气通道已经建成,但由于下套管固井后将油、气层与井眼隔开,使油、气无法进入井内而被采收到地面,因此还需要进行最后的完井作业,这包括用特定的方法连通油、气层和井筒,替喷或抽吸等方法诱导油、气流进入井筒,然后便可进行采油气生产。

另外,在整个油井的建井过程中,还需要进行电测、气测和岩屑录井等了解井下情况的工作。遇到井下出现复杂情况或事故时,还要进行事故处理等。

第三节 油气钻井类型

油气钻井是为了寻找和开发油气而钻的井。在油气勘探开发过程中,对于一口具体的井,由于其钻井目的的不同,要求不同等,便产生了不同的井类型。井类型的不同主要表征着钻井

目的和要求的不同,其钻井方法、工艺过程等基本上是相同的。

一、按井深划分井的类型

油气井一般比其它用途的井要深,但由于油气埋藏的深度不同,所以要求钻井的深度也不相同。在油田现场也常用井的深度来划分井的类型,虽然这种划分标准不是十分严格,而且随着技术水平的提高,其定义界限也在变化或不同的地区定义也不尽相同,但它可以宏观上给钻井的深度、难度、工作量、费用、设备需求等方面一个基本概念。目前国内可以参考的按井深划分的井类型见表 1-2。

表 1-2 不同深度的井型划分

井型	浅井	中深井	深井	超深井
井深(km)	<2	2~3.2	3.2~5	>5

二、按钻井目的划分

按钻井目的的不同而划分的井类型主要有两大类:探井和开发井。

1. 探井

即指其目的主要是通过钻井而达到探明地质情况,获取地下地层油气资源分布及相应性质等方面资料的井。它包括地质浅井、地层探井、预探井、详探井等。

(1) 地质浅井 是指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的浅探井。一般使用轻便钻机钻进,如剖面探井、制图井、构造探井等。

(2) 地层探井 是指在地质情况了解不多的地区,以了解地层的时代、岩性、厚度、生储盖层组合,并为地球物理解释提供各种参数为目的而钻的井。

(3) 预探井 是指在地震详查和地质综合研究所确定的有利构造上,以发现油气藏为目的所钻的探井。在已知的油气田上,以发现未知的新油气藏为目的所钻的井,也属于预探井。

(4) 详探井 是指在已发现油气的构造上,以探明含油气的面积和储量,了解油气层结构变化和产能为目的所钻的探井。

2. 开发井

是指以开发为目的,为了给已探明的地下油气提供通道,或为了采用各种措施使油气被开采出来所钻的井。一般包括浅油气井、油气井、注水井和检查、资料井等。

(1) 浅油气井(浅生产井) 是指为了开发很浅的油气层,一般用轻便钻机所钻的 500m 以内的采油、采气的井。

(2) 油气井(生产井) 是指为开发油气田,用大中型钻机所钻的采油、采气井,也叫生产井。石油钻井中钻的大多数井是此类井。

(3) 注水井(注入井) 是指合理开发油气田,用大中型钻机所钻的,用于注水以达增产油气的井。

(4) 检查、资料井 是指在已开发的油气田内,为了研究开发过程中地下情况的变化所钻的井。

第二章 石油地质基础

石油钻井的对象是地层,钻井的目的是了解埋藏在地下的油气资源情况,并将它们开发利用。为了保证钻井目的顺利实现,保证钻井的高质量、高速度,每个钻井工作者都应该首先了解自己工作的对象——地层,了解油气生成的条件和构造,了解不同的地层对钻井工具、技术措施的影响和要求。只有对钻井的地质情况有足够的了解才能保证优质、快速、高效益地钻井。

第一节 地 壳

地壳是地球最外面的一层固体硬壳,如图 2-1 所示。地球是一个南北轴稍短,东西轴稍长的椭球体。平均半径约为 6371km。地壳的厚度一般为 30~40km,平均厚度 33km。地壳以下至 2900km 深处,称为地幔。自 2900km 深处至地球中心,称为地核。地球的温度是由外向内逐渐增高,地层内部各圈层物理状况见表 2-1 所示。石油钻井的深度都在地壳的深度范围内。

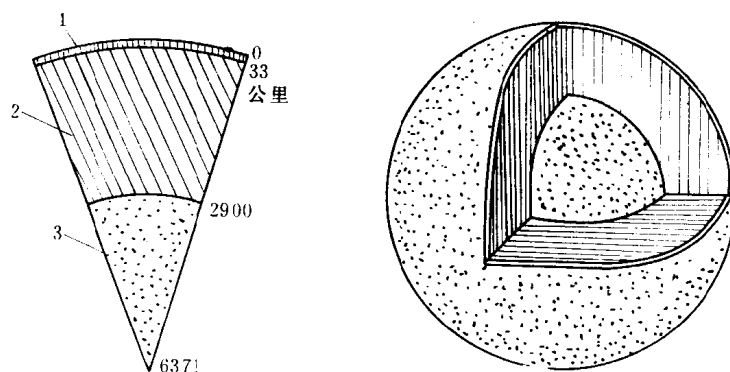


图 2-1 地球的内部结构示意图

1—地壳;2—地幔;3—地核

表 2-1 地球内部各圈层物理状况

圈层	深度(km)	密度(g/cm ³)	压力(MPa)	温度(℃)
地壳	33	2.7~2.9	900	15~1000
地幔	2900	3.32~5.66	136800	1500~2000
地核	6371	9.71~16?	360000	>2000

一、地壳的组成

地壳是由岩石组成的。根据岩石的成因,可以分为三大类,即火成岩、变质岩和沉积岩。

1. 火成岩

火成岩又名岩浆岩,它是由高热的岩浆经冷却以后形成的。火成岩的特点是块状、无层次,

一般都很致密而且很坚硬且无化石。如花岗岩、玄武岩、正长岩等都是火成岩。

2. 沉积岩

它是地表上已经形成的岩石(火成岩、变质岩或早期形成的沉积岩)经过长期的风吹、雨打、温度变化、生物的作用等,被剥蚀、粉碎、溶解、形成了碎屑物质、溶解物质,又经过风力、水流、冰川、湖海等的搬运、在低凹地方堆积下来,越堆越厚,在上部堆积物的重力作用下被压紧、胶结而成的岩石。它的特点是有层次、孔隙、裂缝、溶洞等,并有各种古代生物的遗体 and 遗迹——化石。

3. 变质岩

它是已经形成的火成岩和沉积岩受到地壳内部的高温高压作用以及岩浆的同化作用,而改变了原来的成分和结构的岩石,如石灰岩变成大理岩,花岗岩变成片麻岩等。变质岩常具有片理结构(能被分成平行的片状层),这点与沉积岩相同。但变质岩中没有化石。

地壳的岩石可以大致分为两层:下部是火成岩组成的基岩层;上部是主要由沉积岩也夹有火成岩和变质岩组成的沉积层。上部沉积层中的火成岩是地壳内部高热的岩浆喷出地表或侵入沉积岩中并冷却而形成的。沉积岩和火成岩会变成变质岩;沉积岩、变质岩和火成岩又会在一定条件下变成新的沉积岩。石油钻井的深度一般都在上部沉积层范围内,一旦钻到基岩层就不再向下钻了。

石油和天然气是在沉积岩中生成的,并绝大部分储存在沉积岩中,而火成岩和变质岩中则较少见到油气。所以,沉积岩是钻井工作的主要对象。

二、地层层序和地质年代表

地壳中的沉积岩,是逐渐地堆积而成的。先沉积的在下面,后沉积的在上面。根据岩层中所含的某些元素(如铀、钍、钾等)的蜕变规律,可以计算出该地层沉积的年代离现在有多长时间,准确度可以在一千年以内。研究结果表明,有的沉积岩其形成年代距今已有几十亿年,有的地层距今只有几百万年,最新的地层(第四系全新统)则是从两万五千年前开始沉积的。如果将地层按照形成的先后次序排列起来,就会得到一个地层层序表以及与地层层序相对应的地质年代表。

现在,全国以至全世界已经建立了统一的地质年代表,并将地球上同一地质年代形成的地层,给以统一的命名,以便进行地质研究和地层对比,详见表 2-2。

表 2-2 中所列的界、系、统是地层分层的名称,在统以下还可以细分为层;括弧中的代、纪、世是地质年代的分期名称,世以下还可以分为期。在说明地质年代时就用代、纪、世、期,并将世分为早、中、晚三个时期。

表 2-2 中所列的地层,并非在全世界各地都完整无缺。对某一地区来说,可能某一地层会缺失,这说明该地区在那个地质年代中没有沉积。例如济阳凹陷(胜利油田所在地区)的古生界就缺失晚(上)奥陶统至二叠系地层。在此地区,其上为老(下)第三系直接覆盖。

即使同一地质年代所形成的地层,在不同地区的厚度、岩性也不相同,有的地区厚,有的地区薄;有的地区可能是砂岩类型,有的地区可能是灰岩类型。各地区对地层的命名,也不是完全按照表 2-2 中所列的那样。对“系”以下地层,可以不用“上、中、下”,而用该地层在地表出露的地名来命名,也可不用“统”,而用“群”或“组”,并在统、群、组以下又可分为“段”、“带”等。如表 2-3 中所列的胜利油田地层中,老(下)第三系分为东营组和沙河街组,沙河街组又细分为沙一段、沙二段、沙三段和沙四段。“沙河街组”表示该地层最早在沙河街这个地方发现露头。

表 2-2 地层层序与地质年代表

界(代)	系(纪)	统(世)	距今年龄 (百万年)	生物发展阶段	
				动物界	植物界
新生界 (代) K ₂	第四系(纪)Q	全新统(世) 更新统(世)	1 28 68~72	人类时代	被子植物时代
	新第三系(纪)N	上新统(世) 中新统(世)		哺乳动物时代	
	老第三系(纪)E	渐新统(世) 始新统(世) 古新统(世)			
中生界 (代) M ₂	白垩系(纪)K	晚白垩统(世) 早白垩统(世)	130~140	爬行动物时代	裸子植物时代
	侏罗系(纪)J	晚侏罗统(世) 中侏罗统(世) 早侏罗统(世)	175~185		
	三叠系(纪)T	晚三叠统(世) 中三叠统(世) 早三叠统(世)			
古生界 (代) P ₂	二叠系(纪)P	晚二叠统(世) 早二叠统(世)	220~230	两栖动物时代	陆生孢子植物时代
	石炭系(纪)C	晚石炭统(世) 中石炭统(世) 早石炭统(世)	265~275		
	泥盆系(纪)D	晚泥盆统(世) 中泥盆统(世) 早泥盆统(世)	330~350	鱼的时代	
	志留系(纪)S	晚志留统(世) 中志留统(世) 早志留统(世)	370~390	海生无脊椎动物时代	海生藻类时代
	奥陶系(纪)O	晚奥陶统(世) 中奥陶统(世) 早奥陶统(世)	410~430		
	寒武系(纪)e	晚寒武统(世) 中寒武统(世) 早寒武统(世)	485~515		
	元古界 (代) P ₁	震旦系(纪)Z		580~620	
早元古界(代)			900~1000		
太古界 (代) A			1800~2000	最低等原始生物产生	
地球的“天文时期”					

三、地壳运动和构造

如前所述,地层是一层一层沉积形成的,但这些地层之间的界面并非都是水平的。事实上,完全呈水平状态的地层是很少的。这是地壳运动的结果。

地壳自开始形成的时候起,就处于不断的运动中。这种运动既表现为地层的水平移动,也表现为地层的垂直升降;既表现为我们感觉不出的缓慢运动,也表现为如地震、火山爆发那样的剧烈运动。由于地壳的运动,使地层发生褶皱或断裂。这样就在地层中形成各种形式的地质构造。

主要的地质构造有以下四种。

1. 背斜构造

如图 2-2 所示,地层向上弯曲成拱桥形状,两翼倾斜方向不同,核部地层比外围地层老。

2. 向斜构造