



当代石油和石化工业技术普及读本

石油钻井

中国石油和石化工程研究会 组织编写

韩志勇 执笔



中国石化出版社

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

当代石油和石化工业技术普及读本

石油钻井

中国石油和石化工程研究会 组织编写

韩志勇 执笔

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

石油钻井 / 中国石油和石化工程研究会组织编写.
—北京: 中国石化出版社, 2012. 3
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1413 - 7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 030809 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

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 3.875 印张 69 千字

2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

定价: 12.00 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》)第一版共包括了11个分册,2000年出版发行;2005年起根据石油石化工业的新发展和广大读者的要求,在修订了原有分册的基础上,补充编写了海洋石油开发、天然气开采等8个新的分册,于2007年出版发行了《普及读本》第二版;2009年我们又组织编写了煤制油、乙醇燃料与生物柴油等7个分册。至此,《普及读本》第三版共出版了26个分册,涵盖了陆上石油、海洋石油、开采与储运、天然气开发与利用、石油炼制与化工、石油化工绿色化及信息化、炼化企业污染与防治等石油石化工业相关领域的内容。

《普及读本》以企业经营管理人员和非炼化专业技术人员为读者对象,强调科普性、可阅读性、实用性、知识及技术的先进性,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业各个技术领域的概貌有一个基本了解,使其能通过利用阅读掌握的知识更好地参与或负责石油石化业的管理工作。这套丛书作为新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版项目,从开始组织编写到最后出版,我们在题材的选取、大纲的审定、作者的选择、稿件的审查以及技术内容的把关等方面,都坚持了高标准、严要求,力求做到通俗易懂、深入浅出、由点

及面、注重实用。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，受到了广泛好评。为了满足读者的需求，其中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年度中国石油化工集团公司科技进步三等奖。

近年来，石油石化工业的发展日新月异，先进技术不断涌现；随着时间的推移，原有部分分册中的一些数据已经过时，需要更新。为了进一步完善《普及读本》系列读物，使其内容与我国石油石化工业技术的发展相适应，我们决定邀请国内炼油化工领域的专家对第一版及第二版的19个分册进行修订，组织该书第四版的出版发行，从而使该系列读物与时俱进，更加系统全面。

《普及读本》第四版的组织编写和修订工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华以及中化集团的大力支持。参与丛书编写、修订工作的专家、教授精益求精、甘于奉献，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



二〇一一年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

(第四版)

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 | 刘跃文 | 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 | 法琪瑛 | 庞名立 |
| 赵 怡 | 官 敬 | 贺 伟 | 郭其孝 |
| 贾映萱 | 徐嗥东 | 翁维琬 | 龚旭辉 |
| 黄志华 | 黄伯琴 | 梁朝林 | 董恩环 |
| 程曾越 | 廖谟圣 | | |

引 言

钻井的目的是为油气勘探和油气开发服务。在油气勘探阶段，钻探井是寻找油气资源的最直接、最重要的手段。人们常说“钻头不到，石油不冒”。只有钻探井出了油气，才能最后确认找到了油气。只有根据足够的探井资料，才能最后确认油田有多大，油层有多深，油层有多厚，油气储量有多少，油的品质如何，等等。在油田开发阶段，钻井是油田最重要的基本建设。油井是油气从地下流出的唯一通道，也是人们对油藏采取各种增产措施的唯一空间。只有钻足够多的生产井，才能形成规模化的油气产量。而且随着油田开发的延续，还要不断地根据油藏的变化，钻大量的调整井，弥补油井产量的递减。

显然，钻井在油气勘探开发中，占据着极其重要的地位。钻井的费用，占油气勘探开发总投资的40%~80%。一个国家的钻井技术水平，在很大程度上代表了该国石油工业的发展水平。

除了勘探开发油气资源以外，钻井还是寻找和开采许多其他矿产资源、地热资源等的重要工具，也是人类认识地球内部的重要手段。目前，世界上最深的井，主要是进行大洋钻探和大陆钻探的。

我们的祖先，曾发明了古代顿钻钻井技术，为人类文明作出过重大贡献，被誉为中国古代的“第五大发明”。每个中国人都应该知道这段历史。所以本书开篇

就讲钻井发展史。接下来，本书为您介绍油井的分类，井身的结构，钻井的基本工艺过程。第二章介绍了钻井的组织系统和钻井队的人员构成，以及钻井需要的设备、工具、仪器等。这些内容将使您对钻井的全貌有个基本的了解。第三章介绍了主要的钻井技术。您将首先了解钻井中可能遇到的主要问题。各种各样问题的解决，就形成了各种各样的钻井技术。考虑到本书的读者对象主要是非钻井专业人员，所以本章主要讲解的是各种技术的基本概念和基本原理。如果您想进一步了解深层次的内容，那就需要阅读专业书籍了。第四章为您介绍钻井工程的安全与环境保护的要求。

目 录

引言

| | |
|-------------------------|---------|
| 第一章 概述 | (1) |
| 第一节 钻井技术发展史 | (1) |
| 第二节 油气井的分类 | (6) |
| 第三节 井身结构 | (9) |
| 第四节 钻井的基本工艺过程 | (13) |
| 第二章 钻井的基本组成 | (23) |
| 第一节 钻井作业队伍 | (23) |
| 第二节 地面钻井设备 | (24) |
| 第三节 钻井工具和仪器 | (31) |
| 第四节 钻井液 | (38) |
| 第三章 钻井技术简介 | (42) |
| 第一节 钻井工程的基本技术问题 | (42) |
| 第二节 喷射钻井和优选参数钻井技术 | (48) |
| 第三节 井控技术与地层压力监测技术 | (53) |
| 第四节 垂直井的防斜打直技术 | (57) |
| 第五节 定向钻井技术 | (61) |
| 第六节 深井钻井与深水钻井技术 | (82) |
| 第七节 欠平衡钻井技术 | (87) |
| 第八节 其他钻井技术 | (91) |
| 第九节 未来钻井技术的发展方向 | (99) |
| 第四章 钻井工程的安全与环保 | (105) |
| 参考文献 | (112) |

第一章 概 述

第一节 钻井技术发展史

人类最早的井是水井，是用手工工具挖井而成的，显然这还称不上“钻井”。人类历史上真正的钻井技术，诞生于距今大约 2800 年前的中华大地上，这就是顿钻钻井技术。现代钻井技术就是在我国古代顿钻钻井基础上发展起来的。至今，钻井技术的发展已经历了四个阶段。

一、大口径顿钻钻井

大约从西周末期(公元前 8 世纪)开始，随着冶铁业的发展，劳动工具的不断改进，特别是机械工具，如滑轮、杠杆、水碓等的发明与应用，在我国出现了顿钻钻井技术。顿钻钻井的地面设备，主要由踩架和井架组成。踩架上有碓板(杠杆)。碓板一端悬挂着钻头，钻头是直接钻凿岩石的工具，碓板另一端供人踩踏，使钻头反复上提、下顿，产生冲击运动。井架是用来提捞吊升的支架，顶部横梁上装有滑轮。井下凿碎的岩石(即岩屑)使用捞砂筒用绳索提捞到地面上来。绳索穿过井架上的滑轮，一端连接提捞筒，另一端通过滚筒由人力牵引。由于需要人员在井下扶持钻头破碎岩石，并把岩

屑装入提捞筒内等，所以井眼直径较大，大约 5 尺(1 尺 \approx 0.33 米)。所以称为大口径顿钻钻井。

顿钻技术不仅用于钻凿水井，而且被扩展用于钻盐井。在 2200 多年前的秦朝，我国古代著名水利专家——李冰，在广都(今四川双流县)成功地使用顿钻钻井技术广开盐井，大大促进了四川经济的发展。据史料记载，东汉时期的顿钻井深度可达 60 余丈(1 丈 \approx 3.33 米)。顿钻的盐井和火井(天然气井)已普及到四川 16 个县，到了唐代，开始使用立轴式的大绞盘，并可使用畜力牵引，顿钻的盐井和火井已普及到四川 64 个县。

二、小口径顿钻钻井

从北宋初年开始，我国古代顿钻技术又有了重大发展。所有工作都可由人在地面上操作完成，不再需要人员下入井下，所以井眼直径大大缩小。这就是小口径顿钻钻井，如图 1-1 所示。井眼直径只有碗口大小，称为卓筒井。为了清除井底钻屑，先向井内灌水与岩屑混合，然后下入底部带有活门的捞砂筒进行提捞。为了打捞掉入井下的物品，发明了多种多样的打捞工具。为了加固井壁，防止地层水的浸入，发明了木竹，即木制套管。由于井眼缩小，钻井速度大大加快，钻井深度大大加深。所以，卓筒井的出现，乃是钻井发展史上的一次重大技术革命。

时至清代，我国已形成了由“相井、开井口、下石圈、抽小眼、刮大口、扇泥、下木竹、锉小口、见功”

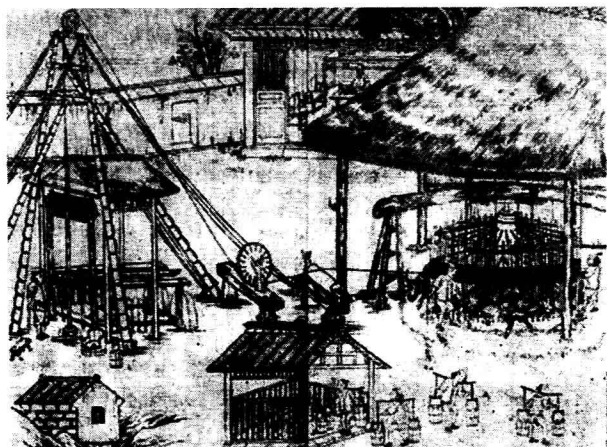


图 1-1 我国古代的小口径顿钻钻井

等一套成熟的钻井工序，即从定井位、安装开钻直至出盐卤或油气，形成了一套同现代钻井相似的钻井工艺流程。1835 年钻成的兴海井首次突破千米大关，被誉为“世界钻井史上的丰碑”。

英国著名学者李约瑟博士是研究中国古代科学技术发展史的专家，在他的著作《中国科学技术史》中列举的由中国传到欧洲的 20 多项重大发明中，就有钻井技术这一项。他说：“今天在勘探油田使用的这种钻深井或凿洞的技术，肯定是中国人的发明，比西方要早 1100 年”，又说：“中国的卓筒井工艺革新，在 11 世纪就传入西方，直到公元 1900 年以前，世界上所有的深井，基本上都是采用中国人创造的方法打成的”。

三、近代顿钻钻井

从 19 世纪中叶到 20 世纪初，西方国家应用工业革

命的成果，在我国古代顿钻基础上，用蒸汽机做动力，采用钢铁设备和工具，采用钢丝绳代替竹绳或麻绳，形成了近代顿钻钻井，也称机械顿钻，如图 1-2 所示。1859 年，美国人缀克(E. H. Drake)在宾夕法尼亚石油湾，使用蒸汽动力的绳式顿钻钻机钻出了美国的第一口具有开采价值的石油井，井深为 21.64 米。

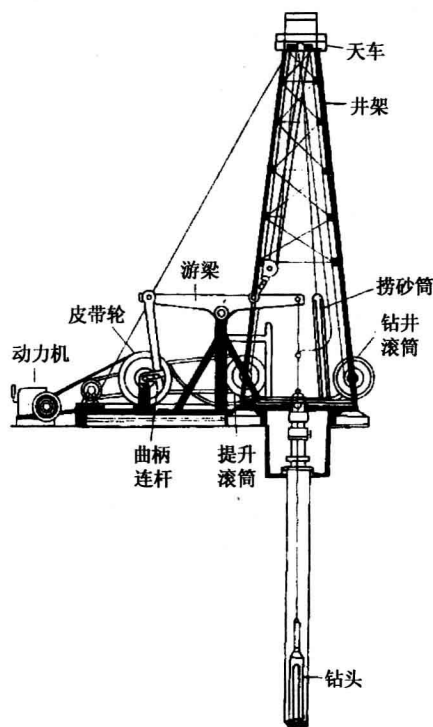


图 1-2 现代顿钻钻井图

直到 20 世纪以前，这种顿钻钻井技术，一直应用于各国的石油钻井。

四、旋转钻井技术

顿钻钻井的最大缺点是：每钻进 30 ~ 50 厘米，就需要把钻头提出来，下入捞砂筒捞取井底的钻屑，然后再下入钻头钻进，……。整个钻进不能连续进行，所以钻进效率非常低。

20 世纪前叶的 1895 年，一种全新的钻井方法——旋转钻井，在美国得克萨斯州的 Corsicana 油田问世。通过转盘驱动钻杆，带动钻头旋转，连续破碎井底岩石，同时通过钻杆循环泥浆，连续不断地把钻屑带出地面。整个钻进可以连续进行，仅仅在加长钻杆时需要停顿。旋转钻井方法极大地提高了钻进效率。

1901 年，美国在墨西哥湾的纺锤顶油田运用旋转钻井获得了日产 10 万桶的高产油井。旋转钻井方法的出现，是整个 20 世纪世界石油工业大发展的重要原因之一。而石油工业的发展和需要，又反过来促进了旋转钻井技术的不断发展和完善。20 世纪 40 年代出现了井底动力钻具，不是通过转盘驱动钻杆带动钻头旋转，而是通过循环钻井液驱动井底动力钻具带动钻头旋转，破碎井底岩石。这样一来，旋转钻井就有两种钻井方式：转盘旋转钻井方式和井底动力钻具钻井方式。

我国古代虽然发明了顿钻钻井技术，创造过历史的辉煌，但在近代钻井技术发展中却落在了后面。旋转钻井技术传入我国是在上世纪 40 年代，直到 1949 年全国仅有 8 台钻机。解放后我国钻井技术有了飞快的发展，特别是改革开放以后，钻井技术实现了全面的科学化，

现在基本上达到了世界先进水平。

第二节 油气井的分类

油气井的类别不同，钻井的要求就不同，钻进的难度也有很大区别。

一、按照钻井目的分类

按照钻井的目的不同，油气井可分为两大类：探井和生产井。进一步细分，见图 1-3。

预探井是在一个区域或一个大的构造上钻的第一口井或第一批井。预探井是在对地下情况毫不知情的情况下钻的，俗称为“野猫井”。详探井是在预探井有所发现或取得重大突破的情况下，为了进一步了解地下情况而钻的探井。探边井是为了了解油田的横向面积大小而钻的探井。

基准井则主要目的是获取该区域的地层从上到下的详细资料，所以又称为资料井。基准井往往以钻取岩心为主，所以又称为取心井。根据基准井的资料，将建立该地区的标准地质剖面。当然，基准井如果发现油气显示，也可以中断取心任务，进行测试。例如我国大庆油田的松基三井，原设计井深 3200 米，打到 1000 多米时连续发现油气显示，试油时喷出原油，从而发现了大庆油田。

注水井和注气井，目的是通过该井向油气层注入水或气体，利用水或气驱动原油流向采油井中。开发初期

的井网井距可能较大，之后在原井网中增加的称为加密井。对原井网进行调整而钻的生产井称为调整井。

此外，当某口井由于井喷着火无法控制时，可以在该井旁边安全范围处打一口定向井，打到喷井的喷发地层，进行引流或压井，从而制服失控的井喷。这种井称为救援井。2010年4月美国墨西哥湾震惊全球的钻井平台爆炸漏油事故，各种手段用尽均不能奏效，最后还是依靠救援井解决了问题。

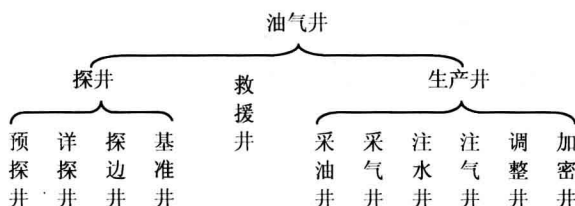


图 1-3 按照钻井目的不同的分类

二、按照井眼轴线形状分类

按照设计的井眼轴线不同，油气井也可分为两大类：垂直井和定向井。进一步细分见图 1-4。

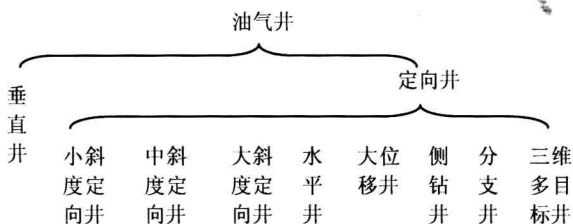


图 1-4 按照井眼轴线不同的分类

垂直井，简称直井，是设计的目标点与井口处在同一条铅垂线上，因而井眼轴线是一条铅垂线。尽管实钻的井眼轨迹总是会偏离铅垂线，但仍然称为垂直井。

定向井，是设计的目标点与井口不在同一条铅垂线上。从井口到目标点的井眼轴线形状，可能有非常大的不同。所以定向井又可以细分为更多种类。

小斜度定向井的最大井斜角在 15 ~ 35 度。中斜度定向井的最大井斜角在 35 ~ 55 度。最大井斜角超过 55 度称为大斜度定向井。

水平井是当井眼钻达目标层后，井斜角接近、达到或超过 90 度，并在目标层内延伸一定长度的井。这个“一定长度”，通常要求大于油层厚度的 6 倍。水平井又可细分为长半径、中半径、短半径和超短半径水平井，还有径向水平井、侧钻水平井、分支水平井等等。

大位移井泛指水平位移很大的定向井（一般超过 3000 米）。国际上认可的大位移井，通常指平垂比（水平位移和垂深的比值）大于 2 的定向井。大位移井又可分为浅层大位移井、深层大位移井以及大位移水平井等。

侧钻井通常是指从已有的垂直井的某个深度处进行侧钻井钻出新的井眼。侧钻出的新井眼如果符合水平井的条件，则称为侧钻水平井。

分支井又称为多底井，泛指具有一个井口、两个以上井底的一簇井。分支井通常是从定向井的某个深度处进行侧钻井钻出新的井眼。分支井眼如果符合水平井的