



钻井废水

处理技术及工程实例

ZUANJING FEISHUI

CHULI JISHU JI GONGCHENG SHILI

中国石油集团川庆钻探工程有限公司
安全环保质量监督检测研究院

编著

四川科学技术出版社

钻井废水

处理技术及工程实例

ZUANJIING FEISHUI

CHULI JISHU JI GONGCHENG SHILI

中国石油集团川庆钻探工程有限公司
安全环保质量监督检测研究院

编著

四川科学技术出版社

· 成都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

钻井废水处理技术及工程实例 / 中国石油集团川庆
钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院编著.
—成都: 四川科学技术出版社, 2017.4
ISBN 978-7-5364-8604-1

I. ①钻… II. ①中… III. ①钻井-污水处理 IV.
①X703

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第083667号

钻井废水处理技术及工程实例

编 著 者 中国石油集团川庆钻探工程有限公司
安全环保质量监督检测研究院

出 品 人 钱丹凝

责任编辑 肖 伊

封面设计 墨创文化

责任出版 欧晓春

出版发行 四川科学技术出版社

成都市槐树街2号 邮政编码 610031

官方微博: <http://e.weibo.com/sckjchs>

官方微信公众号: sckjchs

传真: 028-87734035

成品尺寸 170mm × 240mm

印 张 14 字数 237 千

印 刷 四川机投印务有限公司

版 次 2017年5月第1版

印 次 2017年5月第1次印刷

定 价 30.00元

ISBN 978-7-5364-8604-1

邮购: 四川省成都市槐树街2号 邮政编码: 610031

电话: 028-87734035 电子信箱: SCKJCBS@163.COM

■ 版权所有 翻印必究 ■

《钻井废水处理技术及工程实例》编委会

主 编 田建军 张祥来 蒋学彬

副主编 何天鹏 张志东 陈立荣

编 委 刘 石 李 淼 黄 敏 李 辉 莫正平

贺吉安 王麒麟 舒 畅 卢 另 余思源

李子睿 张 敏 李盛林 黄 涛 譙国军

邓勇刚 干汉川 李向碧 冯永东 蔡 苑

陆晓萍 杨永红 肖 红 肖 波 万书宇

谢海涛 郭建伟 唐小虎 牟笑春 闫瑞景

李渠江 陈 搏 刘安宇 唐 琳

前言

石油天然气开采离不开钻井工艺,而钻井废水就是钻井作业过程中产生的一种特殊工业废水,含有油类、重金属盐类、难降解的有机物、细菌等有毒有害物质,色度高、悬浮物含量高、COD 值高,其组成和浓度随钻井液体系的变化而变化,具有点多、面广、污染物种类复杂、间歇性排放及不可控排放等特点,是石油行业比较难以管理和处理的废水污染源之一,也是油气田工业废水环保达标处理的重点和难点。但随着史上最严厉的《水污染防治行动计划》(简称水十条)的实施,将系统推进水污染防治、水生态保护和水资源管理,全面依法推进,实行最严格环保制度。因此,实现油气开采和环境生态保护的协调发展,如何有效处理钻井废水是油气企业所必须面临及亟待解决的问题。而目前国内没有专门关于钻井废水处理的书籍,本着关注“钻井废水污染工艺技术、侧重应用”的指导思想,编者在国家油气重大科技专项“长宁—威远页岩气开发示范工程”课题七“页岩气开发效益评价方法与环保技术研究及应用(2016ZX05062-007)”的实施过程中查阅了国内外多年来钻井废水处理研究资料及应用成果,编著了该书。

本书共分四章,第一章主要是石油天然气及非常规油气开发过程中钻井工艺概述,钻井废水的主要来源、性质特征、危害,钻井废水污染控制技术,钻井废水再利用的途径及相关的水环境法规与标准;第二章按照物理法、化学法、生物法、物理化学法等分类方法,主要介绍了钻井废水处理中涉及的混凝、沉降、酸化中和、氧化、环境电化、生物处理、吸附、膜处理等工艺技术及复合处理技术在钻井废水处理方面的研究进展及相关研究成果,同时也总结了国内外钻井废水处理技术的不足及新技术发展方向;第三章主要介绍了国内外钻井废水处理典型工艺及设备研究进展和成果,同时介绍了钻井废水处理工艺技术及装备的发展趋势;第四章主要介绍了“混凝微电解组合处理钻井废水达标技术研究成果”“预处理—混凝沉降—微电解—催化氧化—活性炭吸附”工艺在油田生产现场处理钻井废水的现场试验情况,同时还介绍了钻井废水处理技术在多个油田的现场应用工程实例及国外处理技术工艺及设备情况。

这是一本综合介绍有效处理钻井废水理论与实践问题的图书，较全面反映了目前国内外钻井废水处理工艺技术，设备的最新研究应用进展、成果、发展动态及钻井现场清洁生产技术；同时也总结了国内外钻井废水处理技术的不足及钻井废水处理新工艺技术及装备的发展趋势。具有一定的综合性、针对性、指导性和实用性。

本书的出版得到了中国石油川庆钻探工程有限公司、中国石油西南油气田分公司各级领导和专业技术人员的大力支持，本书参考了现已出版的有关油气田环境保护方面的著作，也包含了很多研究者发表的有关钻井废弃物（废钻井液、污水）处理的研究论文、硕博论文、论著、手册、操作规范、工程设计及部分研究者科研课题成果报告的部分内容及网站资料等，在此对众多专家和同行一并表示衷心的感谢。

由于编者水平、阅历及经验所限，书中疏漏与不足在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 11 月

目 录

1 概 述	1
1.1 钻井工艺概述	1
1.1.1 钻井概述	1
1.1.2 钻井工艺和生产特点	8
1.1.3 钻井主要区域情况	10
1.2 钻井废水的主要来源特征及污染控制	14
1.2.1 钻井液概述	14
1.2.2 钻井废水的来源	22
1.2.3 钻井废水的水质特性	23
1.2.4 钻井废水的危害	27
1.2.5 钻井废水污染控制	27
1.3 相关水环境法规与标准要求	29
1.3.1 我国相关水环境法规及办法	29
1.3.2 国家出台的环保相关办法及通知	32
1.3.3 环境生态保护与资源利用方面的相关文件	32
1.3.4 环境监管相关文件	33
1.3.5 水环境相关监管标准	33
1.4 钻井废水的再利用达标标准	35
1.4.1 排放标准	35
1.4.2 回注标准	36
1.4.3 回用标准	36
1.4.4 钻井废水回用用途	38

- 2 钻井废水处理技术 39
 - 2.1 物理法..... 39
 - 2.1.1 沉淀法..... 39
 - 2.1.2 除油..... 40
 - 2.1.3 离心分离..... 41
 - 2.1.4 调节均衡法..... 42
 - 2.1.5 截留法..... 43
 - 2.2 化学处理法 44
 - 2.2.1 混凝法..... 44
 - 2.2.2 臭氧氧化法..... 51
 - 2.2.3 二氧化氯氧化法..... 58
 - 2.2.4 Fenton 试剂法..... 59
 - 2.2.5 酸化法..... 72
 - 2.2.6 气浮选法..... 76
 - 2.2.7 电化学法..... 82
 - 2.2.8 固化法..... 93
 - 2.3 物理化学法 94
 - 2.3.1 吸附法..... 95
 - 2.3.2 光催化氧化法..... 101
 - 2.3.3 膜分离法..... 104
 - 2.3.4 钻井废水喷雾干燥法..... 105
 - 2.4 生物法 106
 - 2.4.1 生物法的基本概念..... 106
 - 2.4.2 生物法处理钻井废水..... 107
 - 2.5 典型的钻井废水复合处理技术..... 110
 - 2.5.1 物化组合处理技术..... 110
 - 2.5.2 化学电化学氧化混凝组合处理技术..... 116

2.5.3 物化—生物组合处理技术	117
2.6 国内外钻井废水处理技术的不足及新技术发展方向	121
2.6.1 钻井废水处理技术存在的不足	121
2.6.2 钻井废水处理技术发展趋势	122
3 国内外钻井废水处理典型工艺及装备	124
3.1 国内装备及工艺技术情况	124
3.1.1 国内处理设备研究概况	124
3.1.2 国内处理工艺研究概况	130
3.2 国外处理工艺技术及装备情况	136
3.2.1 德国疏拍螺旋挤压机	137
3.2.2 日本钻井废弃物处理装置	138
3.2.3 美国钻井废水处理装置	140
3.3 钻井污水处理工艺技术及装备的发展趋势	141
4 钻井废水处理技术国内外应用实例	143
4.1 国内钻井废水无害化处理技术现场试验实例一	143
4.1.1 中石化中原油田钻井废水现场达标处理流程	143
4.1.2 现场试验方案	145
4.1.3 现场试验效果与数据分析	146
4.1.4 油田钻井废水无害化处理装置运行参数	152
4.1.5 混凝和微电解二元联合处理技术与国内外钻井废水处理技术对比	152
4.1.6 现场试验小结	153
4.2 国内钻井废水无害化处理技术现场试验实例二	153
4.2.1 中石油川中油气公司钻井废水处理工艺流程	153
4.2.2 “预处理—混凝沉降—微电解—催化氧化—活性炭吸附”工艺现场试验	155
4.3 国内钻井废水处理工艺技术现场应用	156

4.3.1 钻井废水处理技术在中石化大牛地气田的现场应用..... 156

4.3.2 钻井废水深度连续处理装置在川渝地区气田的现场应用..... 158

4.3.3 钻井废水处理工艺在陕北油田的现场应用..... 163

4.3.4 钻井废水处理技术在磨 005-X11 井的现场应用 166

4.3.5 钻井废水处理技术在龙岗 10 井的现场应用 171

4.4 国外钻井废水处理工艺技术现场应用 177

4.4.1 日本钻井废液处理技术在“地球号”钻井平台的应用..... 177

4.4.2 美国 Hydrocal 钻井废水处理系统的应用..... 182

4.4.3 加拿大关于海上钻井废水处理的规定..... 184

参考文献..... 185

1 概 述

1.1 钻井工艺概述

1.1.1 钻井概述

1.1.1.1 钻井的基本概念

井是指用钻井工具向地表以下钻凿而成的圆柱形孔眼，钻井（drilling）是利用机械设备，将地层钻成具有一定深度的圆柱形孔眼的工程。钻井通常按用途分为地质普查或勘探钻井、水文地质钻井、水井或工程地质钻井、地热钻井、石油钻井、煤田钻井、矿田钻井、建筑地面钻井等。地质工作中，利用钻探设备向地下钻成的直径较小、深度较大的柱状圆孔，又称钻孔。钻井的直径和深度大小，取决于钻井用途及矿产埋藏深度等。钻探石油、天然气以及地下水的钻井直径都较大。

钻井的主要作用是：①获取地下实物资料，即从钻井中采取岩心、矿心、岩屑、液态样、气态样等。②作为地球物理测井通道，获取岩矿层各种地球物理场的资料。③作为人工通道观测地下水层水文地质动态情况。④用作探、采结合，开发地下水、油气、地热等。本书中的井是专指石油工业中常遇到的各种井。

1.1.1.2 钻井的发展过程

钻井实质就是破碎岩层，设法取出岩屑，继续加深井深，达到目标层。钻井技术的发展一般可分为以下几个阶段：人工挖掘→顿钻钻井（人力冲击钻、机械冲击钻）→旋转钻井→井底动力旋转钻井→海洋钻井→定向钻井→喷射钻井→优选参数钻井。

1849年，美国宾夕法尼亚州的塔仑吞某矿井内发现了大量的石油；1854年，美国宾州石油公司的监督埃德温·德雷克（E.L.Drake）发明了顿钻法，并于1859年8月28日打出了第一口油井，井深25 m，日产原油2 t，这口油井被视为现代石油工业的发端。

中国在利用钻井开发地下资源方面有着悠久的历史。据晋朝的《华阳国志》中记载, 2 200 多年前, 即在秦始皇时代, 四川临邛郡凿井开采天然气煮盐, 创造了冲击钻, 其基本原理至今仍为人们所利用; 北宋时代, 人力绳索式顿钻方法得到了发展。其后, 中国在 1521 年就钻凿了油井和火井(天然气井); 1835 年在四川钻成深达 1 200 m 的火井, 这是当时世界上最深的天然气井; 1901 年开始使用以转盘带动钻柱、钻头破碎井底岩石并循环钻井液以清洁井底的旋转钻井方法。

1.1.1.3 主要钻井方法

(1) 顿钻与旋转钻井

顿钻钻井又名冲击钻井, 相应的钻井设备被称为顿钻钻机或钢绳冲击钻机。顿钻是交替地升起和降落钻具以在硬岩石中钻孔的一种方法。该方法利用钻绳连接钻具, 靠钻头的上下冲击作用来钻凿底层, 经过一段时间之后, 用汲砂绳接汲筒将岩层取出使井内清洁后, 又下钻头, 如此反复进行, 直到钻达目标层后, 再下套管及进行完井工作。人力顿钻法的特点是: 破岩与清岩相间进行, 冲击力小, 破碎效率低, 设备简单, 起下钻方便。机械顿钻法的特点是: 下钻速度快, 突然遇阻引起的停顿易导致事故, 造成机械设备损害、人员伤害。尽管在钻井方法发展的历史上, 顿钻法占有一定的地位, 它利用冲击方式以破碎岩石的原理至今仍被应用在一些新的钻井方法上, 但它已经不能适应现阶段石油钻井中“优质快速打深井”的要求了, 代之的便是旋转钻井方法。

旋转钻井法是将破碎岩石的方法由单纯冲击改为冲击、压入、剪切的联合作用, 将原来用打捞筒提捞岩屑改为用洗井液随钻携带岩屑, 这是当前最通用的钻井方法。在石油钻井中, 尽管钻井目的不同, 井的深浅各异, 但不论在陆地还是在海上, 都采用旋转方法钻井, 包括转盘旋转钻、井下动力旋转钻及顶部驱动旋转钻, 而且随着现代科技发展, 旋转钻井法也得到迅速发展, 从钻浅井、中深井发展到深井、超深井; 从钻直井(垂直井)、定向井发展到大斜度定向井、水平井、分支井; 从陆地钻井发展到近海和深海钻井。旋转钻比顿钻钻速快, 并易于处理井塌、井喷等复杂情况。按动力传递方式, 旋转钻又可分为转盘钻和井下动力钻两种。转盘钻在钻台的井口处装置转盘, 转盘中心部分有方孔, 钻柱上端的方钻杆穿过该方孔, 方钻杆下接钻柱和钻头, 动力驱动转盘时带动钻柱和钻头一起旋转, 破碎岩石。井下动力钻是利用井下动力钻具带动钻头破碎岩石, 钻进时钻柱不转动, 磨损小、使用寿命长,

特别适于打定向井。井下动力钻有涡轮钻、螺杆钻和电动钻等。钻井设备按功能分为旋转系统、提升系统、钻井液循环系统及动力与传动系统和控制系统等。

顿钻由于是靠重物冲击岩石,随着打击深度的增加,时间、难度相应增加。且顿钻是破岩和清理岩屑相间进行,效率很低,据估计,打一口1 000多米的井,顿钻法往往需要几年的时间。古代顿钻法打井的最大深度为1 200 m,近代顿钻法打井的最大深度不超过1 500 m;旋转钻使用机械破岩和水力破岩同时进行的方法,在破岩的同时,通过钻井液把破碎的岩屑从井底带上来,使得打井的速度大大提高,特别是打泥页岩等不是很坚硬的岩层时更快。旋转钻井的最大钻深,中国最大作业水深3 000 m,最大钻井深度12 000 m。顿钻钻速慢,效率低,不能适应井深日益增加和复杂地层的钻探要求,逐渐被旋转钻代替。但它有设备简单、成本低、不使用钻井液、不污染油层等优点,还是可用于一些浅的低压油气井、漏失井等。

钻井是勘探和开发油气田的主要手段。钻井质量的优劣、速度的高低,直接影响着勘探与开发油气田的速度和水平。只有不断提高钻井工艺技术水平,优质、高效地钻井,才能适应石油工业飞速发展的需要,满足国民经济日益增长的要求。

(2) 定向钻井

这是一种沿预先设计的井眼方向(井斜角和方位角)钻达目的层位的钻井方法,主要用于:①受地面地形限制的油气田(如埋藏在城镇、高山、湖泊或良田之下的油气田);②海上丛式钻井;③地质构造特殊(如断层、裂缝层或地层倾角太大等)的作业区,钻定向井有利于油、气藏的勘探开发;④处理井下事故,如侧钻,为制止井喷着火而钻的救险井等。

定向井的剖面设计,一般由直井段、造斜段、稳斜段和降斜段组成。造斜和扭方位井段常使用井下动力钻具(涡轮钻具或螺杆钻具)加弯接头组成的造斜钻具。当井眼斜度最后达到或接近水平时,称为水平井。定向钻井时,必须经常监测井眼的斜度和方位,随时绘出井眼轨迹图,以便及时调整。常用的测斜仪有单点、多点磁力照相测斜仪和陀螺测斜仪。近年来,多开始采用随钻测斜仪。该仪器不需起钻就可随时了解井眼的斜度和方位,其按信号传输方式分有线及无线两种,前者用电缆传输信号,后者用钻井液脉冲、电磁、声波等传输信号。

钻井工艺丛式井又称密集井或成组井,即在一个位置和限定的井场上向

不同方位钻数口至数十口定向井，使每口井沿各自的设计井身轴线分别钻达目的层位，通常用于海上平台或城市、良田、沼泽等地区，可节省大量投资，占地少，并便于集中管理。

（3）喷射钻井

将钻井液泵输送的高压钻井液通过钻头喷嘴形成高速冲击射流，直接作用于井底，充分利用高压水流的能量（一般使泵水功率的 50% 以上作用于井底），使岩屑及时冲离井底或直接破碎地层，可大幅度提高钻井速度。合理的工作方式是采用较高的泵压、较低的排量和较小的钻头喷嘴直径。

（4）优选参数钻井

在分析已钻井资料的基础上，以电子计算机为手段，用最优化的方法，将影响钻井速度的各种可控因素（例如钻头类型、钻压、转速、钻井液性能、水力等），根据最低成本原则建立数学模型，编成计算程序，进行优选配合，使钻井工作实现优质、快速、低成本。

1.1.1.4 油气勘探开发钻井的种类

钻井是勘探开发油气田的一个非常重要的手段，要了解地下的地质构造、油藏状况，要把地下的油气开采出来，都需要通过钻井来完成。石油勘探开发工作的阶段不同，所钻井的种类就不同。常可分为三个阶段，每个阶段要钻不同的井。如地质普查阶段主要是研究地层剖面，寻找油气构造，就要钻地质井、基准井、制图井、构造井等；区域勘探阶段主要是寻找油气藏，研究其储量性质，就要钻预探井、详探井、边探井等；油田开发阶段主要是把油气开采出来，就要钻生产井等。

①基准井：在区域普查阶段为了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称为基准井。

②剖面井：在覆盖区沿区域性大剖面所钻的井称为剖面井。目的是为了揭露区域地质剖面，研究地层岩性、岩相变化并寻找油气构造。

③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称为构造井。

④参数井：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称为参数井。参数井主要用于综合详查阶段。

⑤探井：在油气田范围内，为确定油气藏是否存在，圈定油气藏的边界，并对油气藏进行工业评价，取得油气开发所需的地质资料而钻的井称为探井。各勘探阶段所钻的井又可分为预探井、初探井、详探井等。

⑥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称为资料井。

⑦调整井：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）称为调整井。这类井的生产层压力呈现低压，或因注入井保持能量而呈现高压。

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，油、气、水分布状况，剩余油饱和度的分布和变化情况，以及各项调整挖潜措施的效果而钻的井称为检查井。

⑨观察井：专门用来了解油田地下动态的井称为观察井，如观察各类油层的压力、含水变化规律和单层水淹规律等。

⑩生产井：采石油和天然气而钻的井称为生产井，又可分为产油井和产气井。

⑪注水（气）井：为了提高采收率与开发速度，而对油田进行注水、注气以补充和合理利用地层能量所钻的井称为注水（气）井。

1.1.1.5 国外成熟及在研的钻井技术

1) 国外比较成熟的钻井技术

(1) 大位移井钻井技术

大位移井（Extended-Reach Drilling, 简称 ERD）是指水平位移深度（HD）与垂直深度（TVD）之比大于 2.0 以上的定向井或水平井；当比值大于 3 时，则称为特大位移井。钻大位移井的主要原因是基于经济上的考虑，在海洋及滩海油气勘探和开发中，该方法可节省近三分之一以上的费用，并大幅度提高了油气采收率。挪威国家石油公司（Statoil）是钻大位移井的代表，中国的大位移井钻井则起步较晚，目前国内陆上油田还没有严格意义上的大位移井；中国海洋石油总公司通过对外合作，曾钻了两口大位移井，其水平位移分别为 8 063 m 和 2 706 m。大位移井钻井的关键技术包括：井身剖面 and 钻柱优设计、降低摩阻和扭矩及下套管技术、井眼轨迹测量与控制技术、井壁稳定技术、洗井与固控技术、套管磨损预测与防治技术及钻柱振动控制技术等。

(2) 欠平衡钻井技术

欠平衡钻井就是在钻井液循环液柱压力低于地层孔隙压力状态下的钻井技术，也称有控状态下“边喷边钻”工艺技术或负压钻井技术。欠平衡钻井作业分为边喷边钻和人工诱导欠平衡钻井。据资料统计，美国全年约有四分之一的油气井和地热井不同程度地采用了欠平衡钻井技术，有的油气田应用

率竟高达 98%。该项技术可提高钻井综合效益,减少对储层的损害,最大限度地发现低压、低孔、低渗产层。欠平衡钻井与常规钻井相比,可避免流体进入地层,减少对油气层的污染和损害;可实现边钻井边生产,钻井作业期间生产的油气直接投入市场,回收部分费用;可消除液柱对岩石的“压持效应”,提高机械钻速,避免钻井液漏失和粘卡事故的发生;可对产层进行实时调查,及时发现油气层。当然也存在费用问题、安全问题、井壁稳定问题等。

(3) 小井眼钻井技术

小井眼钻井技术是一项综合性、技术密集型的钻井配套技术,它包含许多先进的生产工艺,如侧钻水平井、分支水平井、径向水平井、欠平衡钻井及连续管钻井等。小井适于钻浅井、加深井、修井及水平径向井,能节约耕地,利于搬迁,减少人员、环保等费用。与常规井相比小井眼探井和评价井的钻井成本可降低 25% ~ 40% 或更大,从而该技术具有广阔的发展前景。

(4) 超深井钻井技术

国外把井深超过 6 000 m 的井叫超深井。从 20 世纪 60 年代以来,全世界有 20 多个国家能钻超深井。美国是世界上钻超深井历史最长和工作量最大的国家,钻井技术比较先进;其他能钻超深井的国家主要有委内瑞拉、法国、德国、苏联等。

钻超深井的过程中,常会遇到坚硬的岩石、高温高压、井壁不稳定、井喷、井漏等复杂情况,国外一般选择大功率、高性能、自动化程度高的钻机,选用先进钻头等设备和井下工具,优化钻井参数,用优质钻井液进行平衡或近平衡钻井,实现科学化钻井作业。还常选用在高温高压条件下,能保证超深井原有钻井液性能的钻井液处理剂。

2) 国外处于研究和开发阶段的钻井技术

(1) 分枝井钻井技术

分枝井是指在一口主井眼中钻出若干进入油气藏的分枝井眼,以增大油气产量、降低钻井费用的一项新技术。目前,已在美国、法国、英国、加拿大、苏联等国进行了广泛的现场实践,总结出了一整套分枝井钻井的钻井工艺、适用条件、工具配套、测井方法等。分枝井中水平井眼居绝大多数,采用的是小井眼径向井钻井技术,其关键环节在于分枝井的完井装置和完井方法。到目前为止,85% 的分枝井都是不带侧向衬管、没有侧向井筒的完井设备或不具备侧向井筒的隔离能力的裸眼侧钻井。一部分井实践了先进的侧钻回接系统或智能井完井系统(ICS)。这些新型的完井系统能有效隔离分枝井间的

流体, 并进行选择性开采或混合开采, 正处于开发和完善阶段。

(2) 连续管 (CT) 技术

连续管技术 (Coiled Tubing, 简称 CT) 亦称挠性油管、盘管, 20 世纪 60 年代引入石油工业, 主要用于修井作业。1991 年, 连续油管钻井引起人们广泛注意; 1994 年, 全球连续管钻井共完井 200 口; 1997 年, 仅加拿大西部连续管钻井就超过了 400 口。与传统技术比较, CT 技术有经济划算、操作高效及有益环保等特点, 连续管侧钻与普通侧钻相比, 费用可节省约 40%。在油气钻井、修井、测井等作业中, 连续管技术已经得到广泛应用, 但从整体上看, 连续油管钻井技术还处于发展的初级阶段, 需对该技术领域的某些方面作进一步探索和研究, 如油管材质及使用寿命、高扭矩定向工具、导向工具、注入头等。我国的大庆、大港等油田已引进连续油管装置, 主要用于修井作业。

(3) 旋转导向钻井系统

旋转导向钻井系统是针对钻井效率低, 比如难以保持预期的工具面、排屑效果差、难以施加钻压等问题而生的, 其目的是减轻或完全消除这些缺陷。目前, 国外在这方面的研究和开发活动有越来越活跃的趋势。Camco、BakerHughesINTEQ、Appleton 以及阿莫科等公司都在开发旋转导向钻井系统, 这些旋转导向钻井系统中, 部分已非常接近商业应用, 有的则仍处于样机研制阶段。

(4) 套管钻井工艺技术

这是一种钻井与完井一体化的技术, 以套管代替钻杆进行钻进作业, 采用顶驱装置驱动, 通过套管传递扭矩。钻头固定在一个特殊设计的钻具组的下部, 钻具组锁定在套管的底部, 通过钢丝绳与绞车相连, 解锁后可起下换钻头。由于钻头直径小于套管内径, 钻具组装有可以伸缩的扩孔钻头, 扩出的井眼大于套管外径。可见, 钻头钻进的过程也是下套管的过程, 完钻后即可进行固井。目前套管钻具工艺还处于研究探讨之中。

(5) 三维可视化技术

在丛式定向井、大位移井及多底分枝井钻井中, 利用计算机可视化技术可以更好地掌握大量井眼轨迹或设计剖面数据, 以避免井眼之间发生相碰事故, 有助于从密集的平台钻特殊定向井。同时, 这种可视化的数据显示形式在地质导向钻进过程中也非常有助于钻井解释与决策。