



小井眼钻井技术

刘硕琼 谭 平 张汉林 蔺志鹏 温学丽 编著

DRILLING

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

“九五” 钻井新技术丛书

小 井 眼 钻 井 技 术

刘硕琼 谭 平 张汉林 蔺志鹏 温学丽 编著

刘硕琼 谭平 张汉林 蔺志鹏 温学丽 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以中国石油天然气集团公司“九五”重大科技工程项目研究成果为基本素材编写而成,系统反映了“小井眼钻井技术”的关键内容及其研究进展。全面系统地阐述了小井眼钻井工程方案设计,设备、工具、仪器的配套,钻井液技术、固井技术;重点介绍了小井眼定向井(丛式井)钻井技术以及作为油气田开发的重要技术措施的应用情况。

本书可供钻井科研人员及高等院校有关专业师生阅读参考,也可作为现场中高级钻井技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

小井眼钻井技术/刘硕琼等编著.

北京:石油工业出版社,2005.11

(“九五”钻井新技术丛书)

ISBN 7-5021-5254-7

I. 小…

II. 刘…

III. 油气钻井-小口径钻进

IV. TE 246

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 118880 号

小井眼钻井技术

刘硕琼 谭 平 张汉林 蔺志鹏 温学丽 编著

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:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:9.75

字数:242 千字 印数:1—3000 册

定价:40.00 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

《“九五”钻井新技术丛书》

编 委 会

主 任 孙 宁

副主任 钟树德 张福祥 罗平亚

成 员 (按姓氏笔画为序):

马宗金	王永清	王瑞和	付鑫生	石 凯	孙振纯
刘希圣	许树谦	刘乃震	刘硕琮	刘长生	刘延平
孙建成	沈忠厚	李克向	李鹤林	李相方	苏义脑
陈 平	杨 龙	杨 杰	何新民	邱正松	张 镇
张彦平	张嵇南	张春光	张育慈	杜晓瑞	陈生官
李雪辉	林 建	周国强	金维一	周英操	屈建省
柳贡慧	俞新永	胡世杰	施太和	高德利	徐惠峰
郭小阳	夏述明	黄荣樽	谢熙池	鄢捷年	廖润康
潘卫国					

《小井眼钻井技术》编写组

会 委 员

主编：刘硕琼

成员：赵业荣 胡世杰 刘硕琼 谭 平 宁 怀 孙 主

杨呈德 张汉林 蔺志鹏 温学丽 蔡树坤 孙主福

高德利 翟应虎 赵雄虎 王 利 李 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主 王 利 孙 主

王 利 孙 主

序 言

《“九五”钻井新技术丛书》重点反映了“九五”期间中国石油天然气集团公司所属钻井系统承担的国家重点科技攻关项目和中国石油天然气集团公司（原中国石油天然气总公司）重点科技攻关项目的研究成果。

国家重点科技攻关计划最早始于1982年五届人大第五次会议通过了国家计委、国家经贸委、国家科委共同编制的《“九五”国家科技攻关计划》，其特点是面向国民经济主战场，集中力量攻克产业升级和社会发展急需解决的关键技术和共性技术。从“六五”开始，中国石油天然气集团公司始终积极参与国家科技攻关计划，本丛书中的《侧钻水平井钻井配套技术》分册就是集中反映了这一攻关过程中所取得了各项科技成果。中国石油天然气集团在积极参与国家重点科技攻关计划的同时，也针对中国石油天然气集团公司不同时期（五年）在海内外勘探开发生产中所面临的一系列技术难题和生产技术瓶颈制定了相应的五年科技攻关计划。

春华秋实数载，科技攻关历经了四个国家和中国石油天然气集团公司五年科技发展规划。我国石油钻井科学技术在这四个五年计划攻关中，一步一个台阶，取得了长足的发展和进步。回首当年，我们再来评估“稳定东部，发展西部，走油气并举之路与合理利用国外油气资源”这一“九五”期间我国陆上油气勘探的发展方向，确实具有很强的前瞻性和科学性。以两项应用基础技术（石油管柱与管线力学研究、强化井壁稳定机理研究）、三项前沿技术（井下增压、径向水平井、井眼轨迹控制技术）五项重大技术攻关（侧钻水平井钻井配套技术、复杂条件下深井超深井钻井配套技术、探井保护油气层技术、深井测试技术、小井眼钻井配套技术）项目构成了“九五”期间我国钻井科技工作的主体。这些研究项目历经五年攻关和多年现场试验，已经取得累累硕果，为了更好的推广这些技术，使科研与生产更好的结合，中国石油天然气集团公司科技发展部和石油工业出版社决定根据集团公司“九五”钻井重点技术科研项目出版一套《“九五”钻井新技术丛书》，具体分册如下：

1. 复杂地质条件下深井超深井钻井技术；
2. 侧钻水平井钻井配套技术；
3. 深井测试技术；
4. 探井保护油气层技术；
5. 小井眼钻井技术；
6. 强化井壁稳定技术；
7. 石油管柱与管线力学；
8. 特殊固井技术；
9. 径向水平井钻井配套技术。

这套丛书就侧钻水平井钻井技术、复杂地质条件下深井超深井钻井技术等九个方面的科技成果进行总结、分析、提炼、集成后汇编成册，力求较为全面真实地反映这一时期我国钻井技术的发展概况。

“九五”期间国家共安排了251个项目，5100多个课题，投入资金53亿元，1000多个

研究院所，700 多个大专院校的 7 万多人参加了科研项目的实施，取得直接经济效益 950 亿元。为实现国民经济翻两番的最终目标铸就了一座历史丰碑。

攻关是一种精神，攻关也是一面旗帜。在这面今天依然高高飘扬的旗帜下所集聚的一大批为我国石油工业科技发展而奋斗的仁人志士，他们当年焕发出的激情和奋斗精神仍然需要我们继承和发扬。

我有幸直接参与了“九五”石油钻井科技攻关，回首当年令人奋发的激情岁月，我谨代表“丛书”的所有作者和编辑，愿把这套丛书作为礼物，奉献给所有参与我国“九五”钻井科技攻关的同行，并向他们表示衷心的感谢。

科学技术对石油工业发展的影响是巨大的，利用新技术已取得的进步也是人们难以想象的。我国海内外石油勘探技术发展和需求，为广大石油科技工作者提供了一个大展宏图的黄金时期，我相信本丛书的出版发行必将对钻井技术的学术交流起到推陈出新、承前启后的作用。

孙宁

2004 年 10 月

前 言

人类社会进入 21 世纪以后对能源需求量是越来越大，而石油这种方便快捷的液体能源是越来越重要。但是，如何把埋藏在地球深处的石油最有效、经济地开采出来，是石油勘探开发工作者为之奋斗不息的崇高目标。

中国地大物博，油气资源丰富，但人口众多，人均资源量却相对较少，而已探明的油气资源有许多是储藏在低渗透甚至是特低渗透的储层中，如大庆、吉林、新疆、长庆等油田。这些资源开采难度很大，为此中国石油天然气集团有限公司在“九五”期间组织了长庆、大庆、吉林等油田以及石油大学（北京）、大庆石油学院等单位进行科技攻关（项目编号 970401—04），对小井眼钻井技术进行了系统的研究，形成了实用的、较低廉的钻井配套技术，并推广应用到低渗透油气藏开发之中见到了很好的效果。如长庆油田位于鄂尔多斯盆地的安塞油田中的长 2、长 3 油层，具有埋藏浅（油藏埋深在 800m 左右）和“三低”（低压、低渗、低产）的特点，适宜于钻小井眼井，而安塞地区的地表山大沟深，梁卯交错的地形特征又非常适合钻丛式井。因此，长庆油田在安塞油区在 1998 年完成 10 口小井眼直井的基础上，1999—2000 年开展了小井眼定向井（丛式井）钻井技术与攻关，并形成配套技术，推广应用 102 口井，取得了良好的技术和经济效益。2003 年长庆油田又钻成 2 口 3500m 井深的小井眼天然气井，进一步推动和发展了中国在该技术领域的应用。

本书的第一章由谭平、张汉林高级工程师编写，第二章由刘硕琼、张汉林高级工程师编写，第三章由张汉林、谭平高级工程师编写，第四章由蔺志鹏工程师编写，第五章由刘硕琼、温学丽高级工程师编写。在编写过程中，高德利教授、翟应虎教授、赵雄虎教授、王利高级工程师等提供了许多宝贵资料。全书由刘硕琼统稿，谭平负责审核。

借此机会，衷心感谢参与本项目组织管理和攻关研究的全体同志，包括有关领导、专家学者、科技人员及试验推广人员等。

由于作者水平所限，书中难免有疏漏和错误，敬请广大读者批评指正。

编者

2005 年 8 月于西安

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 应用小井眼技术的目的	(1)
第二节 国外小井眼钻井技术发展概况	(1)
一、第一个发展阶段	(1)
二、第二个发展阶段	(2)
三、第三个发展阶段	(2)
四、第四个发展阶段	(2)
第三节 国内小井眼钻井技术发展概况	(3)
一、小井眼钻井工艺	(3)
二、设备与工具的发展	(4)
第二章 小井眼钻井装备与工具	(5)
第一节 小井眼钻机	(5)
一、国外钻机系列	(5)
二、国内钻机系列	(6)
三、设备选型配套方法	(8)
第二节 小井眼钻井工具	(13)
一、钻头	(13)
二、小井眼定向井钻井螺杆钻具及测量仪器	(21)
三、小井眼取岩心工具	(22)
四、变径稳定器	(22)
五、打捞工具	(23)
第三节 小井眼井控设备	(25)
第三章 小井眼钻井工艺技术	(28)
第一节 小井眼直井钻井工艺	(28)
一、井身结构	(28)
二、钻井参数	(28)
三、水力参数	(28)
四、钻头选型及使用	(28)
五、复合钻井	(29)
第二节 小井眼定向井(丛式井)钻井工艺技术	(29)
一、井身结构	(29)
二、井组设计	(29)
三、单井设计	(30)
四、表层井段钻进	(30)
五、直井段钻进	(30)
六、定向造斜地面准备	(30)

七、定向造斜施工	(31)
八、增斜钻进	(33)
九、稳斜钻进和降斜钻进	(34)
十、扭方位	(34)
第三节 小井眼定向井井眼轨迹控制技术	(35)
一、造斜点的选择与工具造斜率的优选	(35)
二、底部钻具组合分析与试验	(36)
三、底部钻具组合特性力学分析	(37)
四、钻井参数对井眼轨迹的影响	(42)
五、钻头类型差异对井眼轨迹的影响	(43)
第四节 套管开窗侧钻小井眼技术	(43)
一、概述	(43)
二、开窗侧钻小井眼工艺技术	(43)
三、开窗侧钻小井眼事例	(45)
第五节 小井眼钻井取心技术	(49)
一、小井眼钻井取心工具	(49)
二、小井眼钻井取心工艺	(49)
第六节 小井眼钻井水力参数及循环压耗计算	(51)
一、钻井液流变模型的建立	(51)
二、小井眼环空压耗模式的建立	(51)
三、小井眼中环空钻井液流动状态的判别	(53)
四、小井眼环空水力学模型现场应用	(54)
第七节 小井眼井控技术	(55)
一、环空体积的影响	(55)
二、系统压力损失	(55)
三、小井眼的井控方法(动态压井法)	(56)
第八节 小井眼钻井技术的认识与发展方向	(57)
一、对小井眼钻井工艺技术的认识	(57)
二、小井眼钻井技术的发展方向	(57)
第四章 小井眼钻井液技术	(59)
第一节 概述	(59)
一、国内外在小井眼钻井液方面的研究	(59)
二、小井眼钻井液体系	(60)
三、长庆油田对小井眼钻井液技术进行的主要研究	(61)
第二节 小井眼井壁失稳及地层岩心理化性能分析	(61)
一、泥页岩矿物组分及其水化作用对井壁稳定性的影响	(61)
二、地层岩心理化性能分析	(63)
三、阳离子交换容量(CEC)—亚甲基蓝实验	(66)
四、泥页岩吸附等温线	(68)
五、地层岩心的 ζ 电位	(70)
第三节 小井眼钻井液配方与性能研究	(71)

一、钻井液体系的设计	(71)
二、小井眼钻井液配方	(74)
三、钻井液流变性与滤失性的研究	(75)
四、钻井液性能的室内评价	(80)
第四节 次生有机阳离子形成剂 CSJ-1 的抑制机理研究	(83)
一、CSJ-1 对地层岩心 ζ 的影响	(83)
二、CSJ-1 成分的红外分析	(88)
三、CSJ-1 对地层岩心颗粒度分布的影响	(91)
第五节 小井眼钻井液技术现场应用	(93)
一、长庆安塞油田的应用	(93)
二、长庆苏里格天然气井应用	(95)
第五章 小井眼井固井技术	(101)
第一节 概述	(101)
一、国外发展情况	(101)
二、国内发展趋势	(101)
第二节 小井眼井固井技术难点和关键技术	(102)
一、小井眼井固井技术难点	(102)
二、小井眼井固井关键技术	(103)
三、长庆小井眼井固井特点	(105)
第三节 小井眼井固井套管柱设计	(107)
一、套管设计的原则	(107)
二、套管设计的方法	(107)
三、安塞小井眼丛式井管串结构设计	(107)
四、延迟固井套管柱结构设计	(108)
五、苏里格气田小井眼井套管柱结构设计	(109)
第四节 小井眼井水泥浆流变学研究	(110)
一、基本概念	(110)
二、水泥浆流动特性	(111)
三、小眼井固井顶替效率研究	(112)
第五节 小井眼井固井水泥浆研究	(117)
一、水泥浆性能设计	(117)
二、小井眼丛式井固井水泥浆研究	(119)
三、延迟固井技术水泥浆研究	(124)
四、苏里格气田小井眼井固井水泥浆研究	(127)
第六节 小井眼井注水泥技术	(130)
一、设计原则	(130)
二、设计方法	(132)
三、注水泥相关计算	(133)
四、现场应用	(134)
参考文献	(141)

第一章 概 述

关于小井眼的定义,不同国家、不同油公司有各自不同的理解,有的根据环空尺寸,有的是依据井径,有的则根据 90%或更多井段用小于 $\phi 177.8\text{mm}$ 钻头钻进的井眼来定义。比较普遍认可的定义是:70%的井深直径小于 $\phi 177.8\text{mm}$ 的井为小井眼井。

第一节 应用小井眼技术的目的

小井眼钻井技术最早用于采矿工业,之所以受到石油工业的青睐,主要是因为其所需设备小而少,所消耗的材料、管材、燃料少,井场占地面积小,对环境影响小,可节约勘探、开发成本。国外一些钻井承包商、油公司的实践表明,小井眼可节约成本 30%左右,边远探井或后勤供应困难的地区应用小井眼钻井技术成本节约 50%~75%。由于小井眼能够大幅度降低钻井成本,各国钻井承包商和油公司纷纷应用小井眼技术,使之成为石油工程界的又一热点技术,其应用领域主要集中在以下几个方面:

(1) 探井。新探区或边际探区环境比较恶劣(如沙漠、沼泽、海滩、丛林、山区等),而且远离生产基地,后勤供应组织困难,导致钻井成本高。探井的主要目的是获取地质资料,在满足取资料的要求前提下,应尽量节约投资,因此,应用小井眼可节约材料、燃料及相应的运输费用。

(2) 浅油气藏开发。浅油气藏一般埋深在 600~1000m,应用常规井眼开发,意味着动用比较大的设备,形成大马拉小车的局面,浪费材料、燃料,钻机作业费用高。应用小井眼开发能够降低开发成本。

(3) “低压、低渗、低产”油气藏的开发。如果用常规井眼开发“低压、低渗、低产”油气藏,由于单位成本(每桶原油成本)高,在市场上没有竞争能力,因此,要应用小井眼来开发,降低开发成本。

(4) 老油气田挖潜改造。老油气田由于生产时间长,一些井因套管已经被腐蚀损坏而停产,因此采用在套管内开窗侧钻小井眼,既能使老井恢复生产,又能避免打新井,节约钻井成本。

在老油气区下部地层发现新储层,在套管内进行加深;在老井套管内进行开窗侧钻水平分枝井,提高单井产量和采收率。

第二节 国外小井眼钻井技术发展概况

小井眼钻井技术迄今已有 50 多年的发展历史,最早的小井眼钻井是用于采矿工业,以后才被应用于石油工业,经历了四个发展阶段。

一、第一个发展阶段

从 1942 年开始到 20 世纪 50 年代末期,Setkoll 石油公司就已完成了井深从 91.44~1524m 不等的小井眼井 1000 多口;采用 $\phi 173.03\text{mm}$ 套管, $\phi 125.4\text{mm}$ 油管完井,并安装抽

油机和有杆泵采油。

二、第二个发展阶段

20 世纪 60 年代初期,有 131 家公司在世界范围内已钻成 3261 口,井眼尺寸 $\phi 161.93\text{mm}$ 或更小的小井眼井,平均井深 1376.1m,其中大部分井深在 3658m。在这个时期,小井眼钻井异常兴旺,相应地开发出小井眼多种完井技术和专门的工具。

1. 小井眼完井技术

- (1) 多层管柱完井(同时可下三层套管柱);
- (2) 注水泥和挤水泥固井;
- (3) 伽马和井径测井;
- (4) 喷砂和射孔;
- (5) 取心。

2. 小井眼专门工具

- (1) 卡瓦;
- (2) 吊卡;
- (3) 防喷器;
- (4) 封井器。

三、第三个发展阶段

20 世纪 60 年代中后期至 70 年代,由于小直径($\phi 152.4\text{mm}$)牙轮钻头轴承易损坏,钻头寿命短,以及井控问题两大障碍,使得小井眼钻井技术沉默了 15 年之久。

四、第四个发展阶段

20 世纪 80 年代中后期,随着钻井技术的进步,以及降低钻井成本压力的增加,小井眼钻井技术又一次受到重视,并在全世界掀起高潮,小井眼钻井工艺、设备、工具迅速发展。

1. 设备与工具方面

(1) Longyeas 公司制造出了 Longyear Rig 小井眼钻机,这是一款典型的矿用连续取心钻机;

(2) 阿莫科公司制造出了 Narbors Rig170 型钻机;

(3) Sweden's Microdrill 公司研制出了 MD-1500 \ 1700 \ 2000 系列钻机;

(4) 瑞典一公司生产出 Diamec-700 型和 Diamec-1000 型微型小井眼钻机;

(5) 法国 Forsol 钻井承包商采用拖车装钻机 W-N Apach 进行小井眼钻井;

(6) 井下马达;

(7) 液力加压器;

(8) TSD(热稳定金刚石)和 PDC(聚晶金刚石复合片)钻头;

(9) 金刚石、PDC、镶嵌金刚石取心钻头。

2. 小井眼钻井系统

在钻井工艺方面取得的进展以先进的钻井设备和工具为前提,包括了转盘钻进、井下马达钻进、连续取心钻进三种钻井系统。这些小井眼钻井系统的主要优点是采用小型钻机和高转速钻进,并减少了套管费用,所以,钻井成本仅为现用常规钻井系统的 30%~60%。

(1) 转盘钻进。旋转取心小井眼钻井系统采用小直径钻柱,配小直径金刚石钻头(钻头尺寸可小到 $\phi 50.8\text{mm}$),金刚石钻头与牙轮钻头不同之处是能够在高转速下钻进。在高转速下金刚石钻头的钻速可达到 6m/h 以上。

(2) 井下马达钻井系统。应用小型井下马达配套金刚石钻头可以代替转盘钻井, 即井下马达钻井系统。应用外径 $\phi 38.1 \sim \phi 85.73\text{mm}$ 的小型井下马达 (转速 $500 \sim 1000\text{r/min}$) 来快钻 $\phi 50.8 \sim \phi 114.3\text{mm}$ 小井眼井, 在许多地层钻进比转盘钻进快 $3 \sim 5$ 倍。

(3) 连续取心钻井系统。采用薄壁钻杆和电缆可回收岩心筒与矿用连续取心钻机配套, 可实现小井眼连续取心钻井。

3. 小井眼钻井工艺技术

随着勘探开发的深入, 一些老油田和主力油田已进入中后期阶段, 而新发现的大储量的油气层越来越少, 小井眼开窗侧钻技术开始出现, 对那些开发中后期阶段的油气田提供了用其他方法开发无利可图的机会。

第三节 国内小井眼钻井技术发展概况

中国的小井眼钻井技术于 20 世纪 70 年代初期开始, 吉林油田用于浅油层开发 (井深 400m), 但由于钻机、工具不配套而中途停止。90 年代小井眼钻井技术在国内又一次兴起, 首先被应用于老油田的挖潜改造方面进行开窗侧钻。90 年代中期应用于浅油藏、“低压、低渗、低产”油气藏的勘探开发, 钻井工艺、装备、工具也随之迅速发展起来。

一、小井眼钻井工艺

1. 开窗侧钻工艺

20 世纪 90 年代初期开始, 各油田相继在 $\phi 177.8\text{mm}$ 和 $\phi 139.7\text{mm}$ 套管内进行开窗侧钻小井眼, 井眼尺寸为 $\phi 152.4\text{mm}$ 和 $\phi 120.65\text{mm}$, 开窗井深有浅有深。吐哈油田在玉东平 1 井 (水平井) 内侧钻水平井, 开窗井深 2395m , 侧钻井段长 570m , 水平段长 100m , 成为国内第一口双层套管开窗侧钻水平井。

2. 深井小井眼钻井工艺

深井小井眼是小井眼钻井技术新的应用领域。塔里木油田在迪那 11 井采用转盘 + 井下马达复合钻井方式, 在 $5844 \sim 6050\text{m}$ 井段钻成 $\phi 101.7\text{mm}$ 小井眼。

3. 以提高经济效益为目的的小井眼钻井工艺

如果说套管开窗侧钻小井眼、深井小井眼钻井是为了工艺需求, 那么将小井眼钻井技术用于浅层油气藏、“低压、低渗、低产”油气藏开发, 使得小井眼钻井技术成为降低钻井成本的有效措施。小井眼钻井技术用于降低油气藏开发成本, 以吉林油田、长庆油田、大庆油田为主。

1) 吉林油田

20 世纪 70 年代初期吉林油田在扶余县境内的浅油层 (井深 400m 左右) 进行了小井眼钻井试验, 井眼尺寸 $\phi 170\text{mm}$, 套管有 $\phi 139.7\text{mm}/\phi 127\text{mm}/\phi 114.4\text{mm}$ 三种规格, 由于钻井工具、完井工具等不配套而没有推广应用。

1994 年吉林油田又一次掀起应用小井眼钻井技术的热潮, 井深 $400 \sim 800\text{m}$ 井眼尺寸 $\phi 152.4\text{mm}$, 套管尺寸 $\phi 101.6\text{mm}$; 井深大于 1000m , 井眼尺寸 $\phi 152.4\text{mm}$, 套管尺寸 $\phi 114.3\text{mm}$; 钻井成本降低 20% 。

1997 年在一个平台上完成 4 口小井眼定向井, 井眼尺寸 $\phi 152.4\text{mm}$, 套管尺寸 $\phi 114.3\text{mm}$, 平均完钻井深 1860m , 钻井成本下降 19% 。

2) 长庆油田

1998 年长庆油田开始进行小井眼钻井尝试, 主要应用于边际探井, 全年钻井 10 口 (直井), 井深 675~1475m, 井眼尺寸 $\phi 158.75\text{mm}$, 套管尺寸 $\phi 114.3\text{mm}$ 。

1999~2000 年应用小井眼定向井 (丛式井) 钻井技术开发安塞油田。钻井 112 口, 90% 为定向井, 井深 750~1054m, 井眼尺寸 $\phi 165\text{mm}$, 套管尺寸 $\phi 114.3\text{mm}$, 井底最大水平位移 366m, 钻井成本降低 16.7%。

2002 年在具有“低压、低渗、低产”特点的苏里格气田应用了小井眼钻井技术, 钻进井段 500~3450m, 目的是降低钻井综合成本。

3) 大庆油田

大庆油田小井眼钻井以井眼尺寸 $\phi 177.8\text{mm}$ 、套管尺寸 $\phi 127\text{mm}$ 为主, 钻成 300 多口小井眼直井。

二、设备与工具的发展

随着小井眼钻井技术的发展, 与之配套的钻机、工具也相继发展起来。

小井眼钻井发展初期, 钻深小于 1000m 的钻机是用车载修井机改造而成, 钻深大于 1500m 的钻机则直接应用国产轻型钻机, 如 ZJ15 或 ZJ20 系列钻机。目前用于小井眼钻机已成系列, 钻井深度可达到 1200~4000m。

小井眼钻井钻头已形成系列, 尺寸有 $\phi 152.4\text{mm}$ 、 $\phi 155.6\text{mm}$ 、 $\phi 165\text{mm}$; 品种有单牙轮、三牙轮、PDC; 还有专用于开窗侧钻的双心扩眼钻头。

小尺寸整体式钻具稳定器、变径稳定器以及专用于套管开窗侧钻的定向工具导向器、段铣工具等。

测量工具: 适用于小井眼钻井的随钻 MWD 测量仪、磁单点测量仪、电子单多点测量仪。

第二章 小井眼钻井装备与工具

第一节 小井眼钻机

小井眼钻机还没有形成配套系列,各国、各钻井承包商、油公司根据自己实际情况,自行设计小型钻井钻机或将现有钻机改造成适用于小井眼钻井的钻机。下面介绍几种国内外小型钻机。

一、国外钻机系列

1. Longyear Rig 系列连续取心钻机

Longyear Rig 连续取心钻机是由 Longyear 公司制造。其主要特色是具有液压控制系统,钻杆的旋转及起下钻作业全部由液压控制,它可以保证钻头上的钻压均匀、机械钻速平稳。如 Longyear Rig PM603 型钻机有以下特点:

- (1) 绞车提升能力: 833kN。
- (2) 顶部驱动: 转速 0~600r/min; 扭矩 10.839kN·m。
- (3) 钻井泵: 2 台。
 - 1# 泵: 最大泵压 17.23MPa、排量 0~1000L/min; 用于正常钻进。
 - 2# 泵: 最大泵压 13.78MPa、排量 0~200L/min; 用于取心钻进。
- (4) 注水泥泵: 单独驱动,工作压力 41.34MPa、流量 0~300L/min,具有 6m³循环混合水泥的能力,可满足固井需要。
- (5) 防喷器: 三闸板、环型防喷器,通径 $\phi 179.4\text{mm}$,工作压力 34.5MPa。
- (6) 钻深: $\phi 215.9\text{mm}$ 井径, 1000m; $\phi 137.97\text{mm}$ 井径, 1400m; $\phi 107.95\text{mm}$ 井径, 2600m; $\phi 76.2\text{mm}$ 井径, 3200m。

2. Nabors Rig170 钻机

Nabors Rig170 钻机是由阿莫科公司和 Nabors 公司联合研制的小井眼钻机。它的最主要特点是在钻机上配有数控系统 (DCS) 和专家井控系统 (XWC)。

(1) DCS 收集钻机上液压传感器、压力传感器、应变仪、位置传感器、磁性流量计、热电偶转速仪、钻井液池面高度传感器、温度传感器的数据。DCS 系统还包括数据收集计算机和检测器、司钻控制台、司钻检测器、人机联作系统数据控制软件。

(2) XWC 专家井控系统能够判断是否发生了井涌,是否通知司钻,以便采取合适的措施。如果司钻在预定的时间内没有做出反应,井控专家系统会自动采取净空措施。

3. MD 系列钻机

MD 系列钻机是由 Sweden's Microdrill 公司研制。MD 系列钻机是采用液压系统上卸扣、驱动、进给、旋转钻具,有些钻机上加装了电动水龙头。

MD-1500 钻机,可钻井深 1500m,钻机重量 140kN;

MD-1700 钻机,可钻井深 1700m;

MD-2000 钻机,可钻井深 2000m;

MD-800 钻机,可钻井深 800m。

4. Diamec 系列钻机

Diamec 系列钻机是由瑞典一家公司研制的微型小井眼钻机。

Diamec - 700 型钻机：重量 50kN，操作高度 6.5m，提升能力 35kN，钻井井眼直径 $\phi 151 \sim \phi 152 \text{mm}$ ，井深 700m，地面钻井液系统容积 2.25m^3 ，井队人员 2 人。

Diamec - 1000 型钻机：重量 50kN，操作高度 6.5m，提升能力 50kN，钻井井眼直径 $\phi 151 \sim \phi 152 \text{mm}$ ，井深 1100m。

5. W - N Apach 钻机

W - N Apach 钻机是一种拖车装钻机，法国钻井承包商 Forsol 采用这种钻机钻小井眼井。这种钻机自动化程度高，有一个 19.5m 高的桅杆式井架，一个简式操作系统和 408kW 顶部驱动装置，钻机可钻井深 2438m，只需要常规钻井 1/3 的工作人员，整部钻机及井下设备仅需要 15 辆卡车便可搬运。

二、国内钻机系列

国内钻机系列可分为钻深能力 1000m 左右钻机和钻深能力大于 1200m 钻机两大类。

1. 钻深能力 1000m 左右钻机

这种类型的钻机没有形成系列，各油田根据自己的实际情况用修井机或车载钻机改造而成。

(1) XJ - 450 钻机是长庆油田用车装修井机改造而成，最大提升能力 784kN，转盘扭矩 $39.2 \text{kN} \cdot \text{m}$ ，配备 F - 500 钻井泵，可钻井深 1200m。

(2) XJ - 350 钻机是长庆油田用车装修井机改造而成，最大提升能力 680kN，转盘扭矩 $39.2 \text{kN} \cdot \text{m}$ ，配备 F - 500 钻井泵，可钻井深 1000m。

(3) TB50 钻机是长庆油田用车装钻机改造而成，最大提升能力 490kN，转盘扭矩 $28.3 \text{kN} \cdot \text{m}$ ，配备 NB - 350 钻井泵，可钻井深 800m。

(4) K61 钻机是吉林油田机械厂制造的车载小井眼钻机，最大提升能力 300kN，配 3NC350 钻井泵，可钻井深 700m。

2. 钻深能力大于 1200m 钻机系列

国内能够制造小型钻机的厂家比较多，其中宝鸡石油机械厂、南阳石油机械厂、第四石油机械厂生产的 ZJ 系列小型钻机种类比较齐全，这些小型钻机可以用于小井眼钻井。

1) 宝鸡石油机械厂钻机系列

宝鸡石油机械厂生产的小型钻机结构形式以传统的模块式为主，开发了电动钻机和适用于丛式井组钻井的钻机（底座带轨道），见表 2 - 1 - 1。

表 2 - 1 - 1 宝鸡石油机械厂 ZJ 型小钻机基本性能参数

钻机型号	最大钩载 (kN)	钻井泵型号 及参数	转盘转速 (r/min)	钻井深度 (m) ($\phi 114 \text{mm}/$ $\phi 88.9 \text{mm}$ 钻杆)	备 注
ZJ10/585	585	F - 500 1 台	29.6~287	1000/1260	
ZJ15/900	900	NB1 - 350 2 台 排量 24.8L/s 泵压 12.7MPa	67~276	1500/1930	
ZJ15/900DB - 1	900	F - 1000 1 台		1500/1930	电动钻机，绞车 无级变速