

中国石油化工集团公司

钻井承包商协会论文集

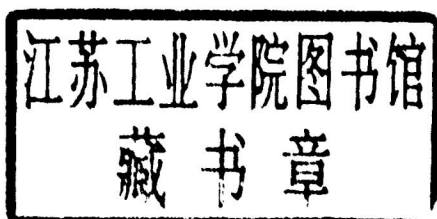
2004

中国石化钻井承包商协会 编

中国石化出版社

中国石油化工集团公司
钻井承包商协会论文集
2004

中国石化钻井承包商协会 编



中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国石油化工集团公司钻井承包商协会论文集.2004/
中国石化钻井承包商协会编.
—北京:中国石化出版社,2005
ISBN 7-80164-830-7

I.中… II.中… III.油气钻井-学术会议-2004-文集
IV.TE2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 057227 号

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.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 33.75 印张 764 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

定价:98.00 元

前 言

随着中国石化“稳定东部、发展西部、准备南方、开拓国外”资源发展战略的实施，油气勘探开发正逐步从浅层走向深层、从构造油气藏走向隐蔽与岩性油气藏、从东部地区走向西部与南方海相地区、从陆地走向海洋、从国内走向国外，勘探领域或对象有了很大的变化，工作领域不断拓宽，对钻井工程施工技术的要求也越来越严格。特别是近两年来西部新区和南方海相地区油气勘探的不断突破，勘探开发生产对钻井工程及其配套工艺技术提出了更高的要求。

2004年以来，广大钻井工作者克服困难，励精图志，在钻井工艺技术方面作了很多的探索和努力，积累了许多成功的施工经验，满足了油田勘探开发的要求。一方面，通过钻井、固井、钻井液等方面的技术创新和项目攻关研究，解决了钻井施工过程中的技术难题；另一方面，通过引进、消化国外先进技术，开发、应用先进工具，加大了钻井新技术推广应用，促进了技术水平的提高。

为了更好的总结钻井工艺技术和现场施工经验，进一步满足股份公司油气勘探开发对钻井工作的要求，迎接新区块新领域对钻井工程施工带来的挑战，全面提高钻井技术水平，保持中国石化钻井系统的技术优势。中国石化钻井承包商协会从协会各会员单位中征集了近两年来未在有关期刊上公开发表的90篇钻井方面的论文，进行编辑出版，旨在加强技术交流，达到互相学习，互相促进，共同提高的目的。该文集共包括钻井工艺技术、钻井液技术、固井工艺、钻井装备与工具、钻井信息与管理等几部分。

本论文集的编辑出版得到了中国石化钻井承包商协会理事会等领导的高度重视，各会员单位和相关单位也给予了大力支持，在此谨向他们表示衷心的感谢。由于时间仓促，水平有限，编辑过程中可能有许多不足之处，敬请各位同仁批评指正。

目 录

中国石化集团钻井技术现状及发展趋势·····	刘汝山	孙清德	李占英	叶海超(1)
西部新区钻井工程难点及对策·····	孙兆玉	蔡雨田	刘新义(12)	
川东北探区钻井难点分析与探讨·····			于文平(20)	
塔河油田盐下超深井钻井技术·····	梁朝晖		王宗培(25)	
中石化西部深井钻井技术探讨·····	唐世春		崔龙兵(32)	
影响川东北地区深井机械钻速的原因及对策 ·····	王吉东	刘以明	燕静	瞿佳(42)
国内外深井钻井技术进步与经济评价探析·····			何金南(46)	
塔中超深井钻井实践与认识·····	王兴武		何继廷(58)	
薄油层水平井钻井技术·····	都振川		王升廷(65)	
塔里木盆地 HD4 - 27H 深层水平井存在的问题及对策 ·····	朱红莲	李俊波	陈明增(70)	
薄油层水平井王西平 2 井井眼轨迹控制技术·····	王金国		李增科(76)	
超深水平井钻井技术研究与应·····	孙海芳	付新宾	贺兆顺(82)	
基于地质导向的水平井中靶优化设计·····	黄根炉	赵金洲	赵金海(89)	
TK110H 水平井钻井技术 ·····	苒新平	许云	李燕华(94)	
江苏油田开窗侧钻井存在问题及对策·····	杨晓东		陈小元(98)	
侧平苏 185 井钻井工艺技术·····			沈建中(103)	
WC51 - 180 小井眼侧钻技术·····			刘志义(107)	
桩斜 146 高难度较大位移定向井轨迹控制技术·····	魏文忠		练钦(110)	
埕岛西 A 丛式井组井眼轨迹控制技术 ·····	耿应春	冯光通	唐洪林	唐志军(114)
桩 139 平台海油陆采丛式井钻井技术·····	赵金华	杨彦明	李绪锋	许瑞玲(118)
低渗透油藏欠平衡钻井应用探讨·····	陈永明	李宗清	燕修良(122)	
欠平衡技术在塔里木盆地 TK436CH 侧钻水平井的应用 ·····	席勤锋	夏潜江	谢新社(127)	
欠平衡钻井技术在高气油比地层的应用 ·····	陈永明	燕修良	周 鲲	曹强(131)
天然气钻井井控安全技术应用·····	张联波	袁晓明	刘新元(136)	
搞好川西高压气井井控的几点认识·····			夏家祥(141)	
钻井中漏涌伴生复杂情况的处理探讨·····	李金贵		梁书奇(146)	
松辽盆地腰英台地区浅层气安全钻井固井技术初探·····	徐斌		何金南(150)	
盐 61 - 32 井密闭取心技术 ·····	李让	范红康	朱红莲(161)	
大斜度井取心技术·····	王智锋	薄万顺	许俊良(166)	
塔河油田长裸眼井身结构的选择与探讨·····	周玉仓		赵炬肃(170)	

基于 BHA 受力分析的井眼轨迹预测	杨培杰	王延江	孙正义	曹锡玲(173)
分支井连接井段井眼力学特性有限元分析			李枝林(179)	
9½"井眼加大一级塔式钻具组合在塔河油田的应用	何 鹏		龚泽民(184)	
φ139.7mm 套管密封失效修补工艺技术的应用认识	刘新元		杨永霞(190)	
巨厚砾石层钻井技术	胡吉本	杜明军	张江陵(193)	
负压脉冲钻井技术理论及方法探讨			王智锋(198)	
地质导向钻井技术在埕 71 - 平 4 井中的应用	阎振来	赵金海	冯光通	耿应春
POWERV 旋转导向垂直钻井技术在克拉 2 - 3 井中的应用	张军伟		袁鲜花(203)	
连续管钻井底部钻具组合的研发新进展	彭军生		朱孝峰(209)	
国内外随钻扩眼技术发展现状	许俊良	马清明	蔡西茂(213)	
西部新区准噶尔盆地钻井技术分析	吴仲华		陈 辉(219)	
准噶尔盆地莫西庄地区钻井技术	范中平	梁金成(224)		
沙 1 井钻井实践	范中平	柳金钟	刘长友(230)	
西南地区钻井技术难点及对策			王兴武(235)	
贵州赤水地区陆海相钻井实践及认识	尹洪生	赵国喜	孙继明(242)	
中原油田富县探区钻具事故分析和预防措施探讨	李俊波	杜 嘉	聂平安(247)	
河南油田安棚碱矿钻井技术应用分析	陈宏伟	吴天乾	万 强(253)	
沙特 UTMN 油田定向井钻井技术	王 斌		蒋学锋(259)	
正电性钻井液完井液体体系研究与应用	王喜朝		王进忠(264)	
聚合醇钻井液技术	苏长明	刘汝山	于培志(269)	
硅酸盐钻井液技术的研究与应用	赵淑芬	朱开顺	于留柱(279)	
HRD 系列高效紊流冲洗隔离液研究与应用	马文英	吴 健	刘 军(283)	
TGZ - 1 钻井液快钻剂的研究与应用			宋雅静(288)	
CB251E - P1 井钻井液技术	吕振华	司贤群	郭祥鹄	刘学英
STARDRILL 钻井液体系在苏丹 5 区 THAR JATH 2 井中的应用	党良昌	刘金明	胥洪彪	朱自生
微泡钻井液在吐哈油田雁 653 井的应用	李国庆	王 飞(298)		
钻井液部分处理剂标准检测方法	武学芹	李公让	何兴贵	唐代绪
钻井液固相控制技术效果及认识	经淑惠	乔 军	于克敏	寇永强(308)
循环时差法确定漏失深度及应用	任 俊	许 云	张冬玲(312)	
桥浆先期承压堵漏关键技术	李佩武	裴建忠	赵成霞(319)	
石灰堵漏工艺在陕北地区表层中的应用	段明祥	耿建华	刘同富(325)	
卫 2 - 87 井防漏钻井技术	叶文超		王 东(329)	
塔河油田深部盐膏层钻井液技术难点及对策研究			卢国乾(336)	
胜利海区钻井液技术及发展	胥洪彪		崔衍生(340)	
鄂西渝东碳酸盐岩气藏钻井液油气层保护问题分析			赵炬肃(343)	
赤水地区官渡构造官 8 井钻井液技术实践	杜明军	张振营	党良昌(352)	
文南油田优快钻井配套钻井液技术	孙东营	杨永霞	童伏松(360)	
			刘瑞杰(366)	
			邵泽利(371)	

塔里木山前构造固井水泥浆体系研究·····	李玉海	刁胜贤(376)
快硬早强油井水泥在煤层气固井中的应用研究·····	陈道元 姚平均	王正军(380)
特殊固井工具在西北地区的应用·····	郑晓志 马开华 王建全 楚广川	张元星(385)
F27A 增韧防漏水泥浆体系的研究及应用 ·····	吴叶成 刘金余 董去安 黎学年	姚 晓(391)
水平状态水泥浆自由液实验新方法·····	刘金余	胡中磊(395)
利用内推外引法解决固井前井漏问题·····	陈道元 胡念东	李 强(398)
小井眼微间隙完井技术·····	刘新元	李广续(401)
川西深井完井技术初探·····		夏家祥(405)
提高水泥环第二界面胶结质量的固井技术与方法·····	石 强	邵唤彬(409)
国外新近研制的石油钻机·····	彭军生	杨 利(414)
“复合型钻机”的新构想·····	罗爱民 韩权义	李保锋(419)
50D 钻机电控系统改造·····	李冬生 陆 明	宋旺吉(425)
ZJ45D 钻机升级改造配套技术·····	赵厚民 阎立信	陆 明(430)
浅议 PDC 钻头的修复·····	任 俊 许 云	曹汉江(435)
F-320-3DH 钻机改造与应用·····	张景波 刘金峰	李铁军(438)
PZ12V190 型柴油机风扇自动控制器的研制与应用·····	黄书义 朱红莲	黄艳朝(444)
ZLJ-2000 钻井参数仪的开发与应用·····	王佑宁	张德安(448)
混合切削结构 PDC 钻头浅论·····		王福修(454)
PDC 钻头定向性能研究·····	于建宾 王福修 田京燕	张崇砚(458)
鄂尔多斯大牛地气田 PDC 钻头的开发应用·····	王福修	李百胜(463)
方钻杆调质状态下自动焊接工艺·····	王 鑫 吴 鹏	王延文(470)
φ127mm G105 新钻杆焊后处理工艺的选择与应用 ·····	刘光磊 党峰君 张国伟 孟 磊	李 林(473)
钢管拉伸实验试样选择探讨·····	欧阳岚	恽伟华(478)
一种经济适用的桶形基础平台沉降技术·····	张士华	李德堂(481)
GQC250Ⅲ-A 型除砂器研究及应用·····	张景波 刘金峰	刘 颖(484)
实时钻井信息技术的发展与创新·····	王建华 林 楠 蔡西茂	彭军生(489)
石油钻井企业专利工作的现状与对策·····	毛国忠 张洪泉	杨晓莉(495)
“4225”考核办法在单井考核中的应用·····	曹其强	林龟年(498)
实施市场开拓战略创建国际知名钻井公司·····		高绍智(504)
参与国际钻井合作的几点认识·····		邱传俊(508)
沙特钻井工程承包管理实践与认识·····	刘宇峰	郭建光(514)
坚持“四性”基本原则 提高钻井设计水平·····		张桂林(520)

中国石化集团钻井技术现状及发展趋势

刘汝山¹ 孙清德² 李占英¹ 叶海超²

(1. 中国石化集团公司油田企业经营管理部 2. 中原石油勘探局钻井工程处)

【摘要】 中国石化钻井技术通过近几年的攻关,形成了一批成熟配套技术。深井超深井钻井、水平井钻井、欠平衡钻井、盐膏层钻井、新型钻井液、固井、保护油气层等技术水平大幅度提高,钻井速度和质量进一步提升。随着勘探领域的不断增加和剩余储量的挖潜,钻井面临着新难题和挑战,整合钻井成熟技术,研究攻克钻井生产中的“瓶颈”难题,探索前沿技术成为钻井技术发展的趋势。

【关键词】 钻井钻井液 深井 固井

一、概 述

钻井作为勘探开发的基本环节,是发现油气田、开发油气藏、提高采收率和增储上产的重要手段。中国石化钻井通过近几年的科技攻关,形成了一批成熟配套技术,提高了钻井速度和钻井质量,施工能力进一步增强,成为国内外钻井行业最有实力的钻井专业化队伍之一。

(一) 队伍装备基本情况

石化集团现有通过资质认证的钻井队 328 支,海洋钻井平台和钻井船 11 台套。其中电动钻井 44 台,5000m 以上钻机 118 台,4500m 钻机 91 台,4000m 以下钻机 119 台,欠平衡压力钻井装置 16 套,顶驱 25 台,固井水泥车 171 台,无线随钻测量仪 61 套,有线随钻测量仪 74 套,各类防喷器 1021 台。

(二) 钻井指标

石化集团成立 6 年来,共完成内部油气井施工 13144 口,钻井进尺 3083.7×10^4 m,在平均井深略有增加的情况下钻井速度稳步提高,主要钻井技术指标见图 1。

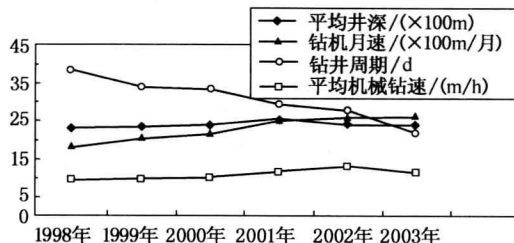


图 1 近 6 年主要钻井技术指标对比

(三) 钻井技术高指标

(1) 国内陆上目前最深的井——中 4 井,是一口深探井,位于塔里木盆地塔中区块,完钻井深 7220m。

作者简介:刘汝山,教授级高级工程师,现任石化集团公司油田企业经营管理部副主任。孙清德,1983 年毕业于江汉石油学院钻井工程专业,教授级高级工程师,现任中原石油勘探局副局长。

- (2) 国内陆上目前水平位移最大的井——埕北 21 – 平 1 井，水平位移 3167.34m。
- (3) 国内陆上水平井水平段最长的井——孤平 1 井，水平段长 1054.15m。
- (4) 世界水平段最长的超薄水平井——DK586 井，水平段 1632.51m。
- (5) 国内套管开窗侧钻、侧钻点最深井——库侧 1 井，在 $\phi 177.8\text{mm}$ 套管内，井深 6335m 处开窗侧钻一次成功。
- (6) 国内深井钻井速度最快、钻井周期最短的新纪录——是在塔河油田 TK731 井施工中创造的，5740m 深井，钻井周期 43.51d。
- (7) 国内单只 PDC 钻头单次入井进尺最高纪录——是使用 $\phi 244.5\text{mm}$ PDC 钻头一次入井钻井进尺达 4280.19m。
- (8) 国内单只 $\phi 244.5\text{mm}$ PDC 钻头最高进尺纪录——是使用一只 $\phi 244.5\text{mm}$ PDC 钻头 10 次入井，累计进尺达 10027m。
- (9) 国内单只 $\phi 215.9\text{mm}$ PDC 钻头最高进尺纪录——是使用一只 $\phi 215.9\text{mm}$ PDC 钻头 22 次入井，累计进尺达 8455.91m。

二、钻井技术现状

近几年，在优快钻井、保护油气层、新型钻井液、盐膏层钻井等技术方面形成了一批特色技术。适应了不同地区和不同地层的深井超深井、水平井、分支井、欠平衡井、套管开窗侧钻井等钻井施工需要。

(一) 深井钻井速度不断加快

自 1998 年以来，先后完成 4500m 以上的深井 600 余口。其中 2003 年完成深井钻井 112 口，平均井深 5333.3m，平均机械钻速 6.05m/h，平均钻井周期 104.3d。在塔里木盆地的轮南油田，5000m 左右的开发井，一年可实现开 4 完 4；塔里木盆地的东河塘油田 6200m 左右的开发井，一年可实现 2 开 2 完。

1. 深井钻井速度对比

据 2000 ~ 2003 年塔河油田完成 39 口的钻井指标统计，钻井周期由 2000 年的平均 160.76d，降为 2003 年的平均 55.2d，平均机械钻速由 2000 年的 2.64m/h 提高到 2003 年的 9.28m/h。其钻井主要指标见表 1。

表 1 塔河油田深井钻井指标对比

年 份	口 数	平均钻井井深/m	平均钻井周期/d	平均机械钻速/(m/h)
2000	5	5402.69	160.76	2.64
2001	13	5748.36	121.39	4.65
2002	14	5604.9	65.4	7.32
2003	7	5474.7	55.2	9.28

2. 南方海相深探井钻井速度加快

普光 2 井、普光 3 井、普光 4 井、川高 561 井、双庙 1 井、毛坝 3 井等新一批重点深探井，应用新技术、新工艺，机械钻速比第一轮井提高了近 1 倍。其不同井径的完成井与正钻井机械钻速对比见图 2。

(二) 水平井钻井技术不断提高

水平井作为开采浅海、水田等复杂地形下的油气藏,挖掘老油田剩余油气,提高采收率,降低钻井成本的重要手段,先后完成了水平井钻井设计,水平井井眼轨迹控制,钻井参数优选,水平井钻井液,水平井三维防碰、绕障,水平井完井固井等技术的研究。形成了长、中、短半径水平井钻井、完井配套技术。钻井成本由原来直井的 3~5 倍降为目前的 1.2~2.0 倍,油气产量是直井的 3~9.3 倍。

集团公司先后完成水平井 450 余口。2003 年共完成水平井 126 口。最长水平段 1632.5m,最大完钻井深 5823m,最大造斜率 $3.6^{(^\circ)}/\text{m}$,最薄油层 0.5~0.9m。

1. 薄油层水平井钻井技术

1.1 优化设计技术

优化了符合地质、油藏、钻井、测井、完井及采油等多方面要求的工程设计。

1.2 井眼轨迹控制技术

应用 LWD、MWD、FEWD 和可变径扶正器,对井眼轨迹进行测量、校正和钻进,完善了一系列配套技术。

1.3 优化完井技术

根据油藏性质优选套管、裸眼、筛管等完井方法,优化完井管柱和配套作业。

1.4 地质导向技术

引进、开发了地质导向仪,完成了薄油层水平井的地质导向钻井配套技术。现已在 15 口超薄水平井施工中应用。

2. 水平井应用实例

孤东 7-平 1 井,完钻井深 1762.0m,水平位移 569m,水平段长 247m。日产原油 50t,是该地区普通直井产量的 6 倍。

HD1-14H 井是一口双台阶超薄水平井。垂深 5016m,水平段长 300m,横穿油层 297m,穿透率达 99%,油层厚度 0.8~0.9m,钻井周期 112d。

建平 1 井是一口双台阶水平井,完钻井深 4646.2m,最大井斜角 95.2° ,水平位移 1341m,水平段长 1036.1m。无阻产量 $43 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,是相邻直井产量的 9.3 倍。

(三) 欠平衡钻井技术进一步完善

通过欠平衡压力钻井技术的研究,完善了欠平衡实时监测技术、欠平衡作业控制技术、欠平衡循环介质选配技术和欠平衡产出流体的地面处理技术,实现了部分欠平衡钻井装备国产化,形成了一整套欠平衡压力钻井施工工艺。现已完成欠平衡钻井施工 110 余口。2003 年欠平衡钻井施工近 40 口,最低钻井液密度达 $0.46 \text{g}/\text{cm}^3$,最大负压值为 2.5MPa。

渤海 6-5 井完钻井深 4625m,在 4282~4625m 井段实施欠平衡钻井,火焰高 6~8m,获日产原油 129m^3 、天然气 $10 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,比邻井油气产量增加 7~8 倍。

王古 1 井为了解决长达 770 多米井段的严重漏失问题,采用欠平衡钻井工艺,防止了井漏现象的发生,有效地保护了油气层,且钻井速度提高了 70%,在 3421~3444m 井段,经测

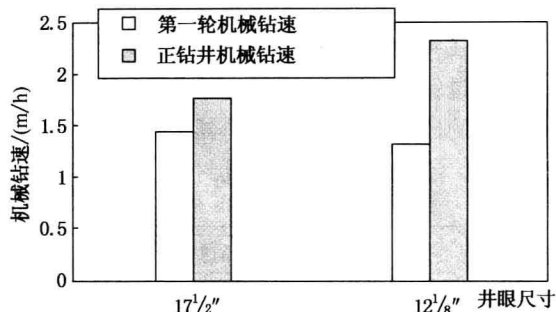


图 2 南方海相地区不同井径完成井与正钻井机械钻速对比

试产油 467m³/d, 天然气 3504m³/d。

中-1 井完钻井深 5581.7m, 在四开井段(奥陶系)实施欠平衡方式钻进, 钻井液密度为 1.01~1.07g/cm³, 负压值 0.5~2.5MPa, 火焰高度 2~8m, 在 5362~5388m 发现 16m 厚的油气层, 实现了新区勘探突破。

(四) 套管开窗侧钻技术显著提高

套管开窗侧钻技术作为老油田增储上产、完善开发井网的一种有效措施, 得到了广泛应用。近几年完成开窗侧钻井近 400 口。

通过钻头优选和评价、小间隙井眼轨迹控制、小间隙固井、随钻扩眼、钻井液体系优化等技术的研究。开发了斜向器——铣锥一体化开窗工具、随钻扩眼器、液力加压器等新工具新技术, 实现了一趟钻完成封堵、定向、开窗、修窗和近距离钻进。应用随钻扩眼技术, 井眼由原来的 $\phi 118\text{mm}$ 扩大为 $\phi 130 \sim \phi 140\text{mm}$ 。固井、井身质量大幅度提高, 钻井周期明显缩短。

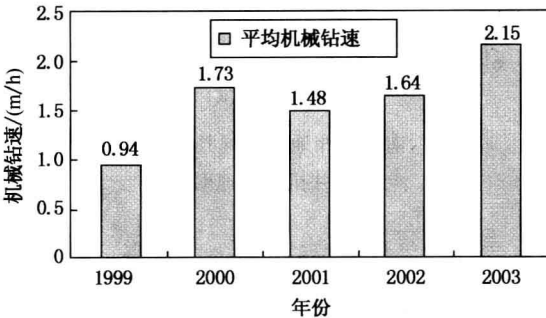


图 3 $\phi 139.7\text{mm}$ 井眼侧钻井机械钻速对比

2003 年中原油田共完成 $\phi 139.7\text{mm}$ 井眼侧钻井 91 口, 其中中原钻井完成了 23 口, 平均完钻井深 2490m, 平均开窗深度 1973m, 平均裸眼段长 517m, 平均钻井周期 18.13d, 平均建井周期 33.35d, 平均机械钻速 2.15m/h。与往年相比技术水平有了明显的提高。 $\phi 139.7\text{mm}$ 侧钻井机械钻速对比见图 3。

(五) 分支井钻井技术得到应用

分支井是指在一个主井眼中钻成两个或多个井眼, 分为单层分支井和多层分支井, 其关键技术是完井方法和分支工具的应用, 根据分支井完井类型、完井方式和完井难度, 国外把分支井完井技术分为 TAML6 级。

其主要优点: 一是有效增大井眼与油藏的接触面积, 提高泄油效率; 二是减少无效井段; 减少井眼的套管费用; 三是减少地面井口, 节约井场征地、道路建设所需土地和地面管汇建设等。

到 2003 年底, 集团公司共完成分支井 10 口, 最多分支是 2 支。完井水平达到 TAML 第 5 级, 实现了分支井固井、射孔完井。

(六) 深层天然气藏钻井技术效果明显

深层天然气藏主要分布在四川、中原、滇黔桂、新疆、江汉等地区以及鄂尔多斯盆地。由于天然气低密度、高压、高含硫、可压缩、易燃易爆等特性, 其钻井风险比油井钻井大的多。施工中气窜严重、井喷来势凶猛、容易失控, 固井质量难以保证等。深层天然气藏钻井难题主要有: 一是如何做好井控工作、确保施工安全; 二是如何更好地保护天然气层; 三是如何提高钻井速度。

通过开展深层气钻井井控、深层特低渗油气藏保护、深层天然气快速钻进技术的研究, 形成了天然气藏钻井配套技术, 实现了深层天然气井钻井施工安全、快捷、高效。

1. 深层气藏钻井配套技术

1.1 深层气井井控技术

开展了气侵早期检测技术与装置研究、安全井控理论与方法研究、溢流储层压力确定技术研究、压力参数实时监测与井控装置/防 H₂S 装置的规范化配套研究,开发了多相流计算的软件等。

1.2 深层气井固井技术

根据深层天然气藏的物性特点,优选钻井液体系及防气窜添加剂;研发出酸溶性渗透水泥固井、低密高强水泥固井、多级多凝水泥固井技术;水泥充填管外封隔器衬管完井,筛管顶部注水泥等完井固井工艺。

1.3 深层气井钻井液技术

掌握了天然气井储层伤害的主要原因,结合地层特性,优选钻井液体系,优化钻井液性能,实施屏蔽暂堵及配套措施,提高了气层的保护效果,经检测渗透率恢复值静、动态均大于 85%。

2. 应用效果

川东地区普光 1、毛坝 1、官 8 井应用深层气藏钻井配套技术,取得了重大发现,实现了勘探突破。普光 1 井共发现气层 92 层,累计厚度 235m,测试产量 $42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

桥 78 井应用深层气藏钻井配套技术,建井周期与往年相比缩短了近 1/3,发现 7 层天然气藏,射孔后未经压裂获产天然气 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上。

(七) 优快钻井技术应用广泛

通过对钻具结构优化、钻头优选、复合钻井配套、MWD 无线随钻、新型钻井液和固相控制等技术的整合与集成,研发的优快钻井技术,实现造斜、增斜、稳斜钻进连续施工。钻井速度大幅度提高,2003 年与 2000 年相比,在平均钻井深度略有增加的情况下,钻井周期缩短 12.28d,钻井速度提高了 3.3m/h。2000~2003 年钻井速度对比见表 2。

表 2 2000~2003 年钻井速度统计

年 份	2000	2001	2002	2003
平均井深/m	3035	3268	3321	3196
机械钻速/(m/h)	6.99	7.97	8.56	10.31
钻井周期/d	40.08	39.36	36.5	27.8

(八) 盐膏层钻井技术更加成熟

盐膏层主要分布在中原、塔里木、江汉、胜利等油田的部分区块,中原油田的文 9 盐、文 23 盐、塔里木的寒武系的盐膏层,埋藏深、厚度大、压力高、层间变化大,塑性变形严重,井壁失稳,特别是夹层盐膏层在一定温度压力下发生蠕变,极易造成井壁跨塌、卡钻等事故。

通过对盐膏层的分布情况、盐膏层蠕变规律、深层盐溶解速度、井壁失稳等技术研究,建立了盐膏层蠕变速度(井径变化)和钻井液密度关系模板,研发出了饱和盐水、欠饱和盐水钻井液体系,形成了一套完善的盐膏层钻井工艺技术,很好地解决了盐膏层钻井难题。中原钻井现已在中原、塔里木等油田钻成了几百口深层盐膏层油气井。井深、缩径与钻井液密度关系见图 4。

1. 盐膏层钻井的关键技术

该项技术主要包括建立区块钻井液密度模板,饱和、欠饱和盐水钻井液体系,钻井配套

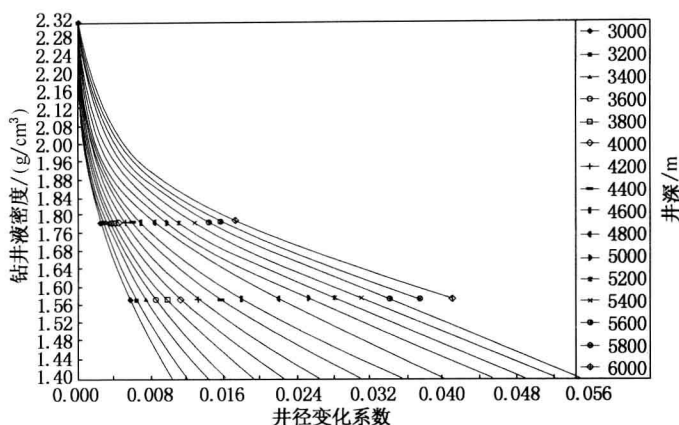


图4 井深、缩径与钻井液密度关系示意图

技术和应用新型高抗挤套管与复合管柱技术等。

2. 应用实例

库1井，盐膏层埋藏深度5001~5601m，厚600m，以膏岩、泥质膏岩、泥岩、泥质盐岩互层为主。使用聚磺欠饱和盐水钻井液，控制盐含量在 $(15 \sim 17) \times 10^4 \text{mg/L}$ 之间，钻井液密度 $2.00 \sim 2.08 \text{g/cm}^3$ ，简化钻具组合，强化技术等措施，顺利地钻穿了盐膏层，井身质量优良。

(九) 防漏堵漏技术创新

随着勘探开发的不断深入，井漏问题日益突出，成为钻井施工中最为突出的技术难题之一。在西部新区、南海相及东部老油田普遍存在井漏现象，如双庙1井在 $\phi 311.2 \text{mm}$ 井眼漏失钻井液 3220m^3 多；在1953.5m固 $\phi 244.5 \text{mm}$ 套管时，虽然采用双级注水泥固井，施工中仍然发生了井漏，严重影响了固井质量。为解决井漏这一难题，开展了多项技术攻关，形成了堵防结合的工艺措施。在防漏方面以改善泥饼质量提高地层抗破能力为主；在堵漏方面以随钻堵漏、复合桥堵、化学综合堵漏为原则，提高了堵漏成功率；对漏失严重、漏层难以判断的井，使用找漏技术，取得了良好的效果。

1. 复杂地层找漏技术

利用地层压力、地层温度、流量等技术参数开发研制复杂地层找漏技术，能判断漏层位置和漏失情况，为长裸眼、复杂地层堵漏施工制定措施提供依据。

2. 成网固化堵漏技术

利用成网、固化、交联、充填等机理，研发的高强度堵漏剂，能在漏层近井带快速吸附交联，形成三维网架结构，并驻留漏层，形成高强度人工井壁和封堵层。抑制堵漏浆向漏层深部漏失，大大提高堵漏效率。

(十) 油气层保护技术不断完善

开展了油藏伤害机理与防护方法、油气层保护效果现场评价方法、新型钻井液、深层特低渗储层与深层气保护等技术的攻关；推广应用钻井新技术、新工艺和固相控制技术、优质钻井液完井液及屏蔽暂堵等技术，提高钻井速度，减少油气层浸泡时间，油气层保护效果明显。

1. 屏蔽暂堵技术

针对油气藏孔隙结构、孔隙大小、温度、地层水质组分等特征，建立和完善了不同区

块、不同层系的屏蔽暂堵保护油气层技术系列。在钻井液中加入超细碳酸钙等架桥粒子，石蜡粉、中低软化点沥青、氧化沥青等变形粒子等材料，快速地在井壁周围形成有效的屏蔽环，阻止钻井液中的固相和液相进一步浸入储层，减少对油气层的伤害。

2. 固相控制技术

采用高性能振动筛、除砂器、除泥器等固相控制设备，提高振动筛目数(推广 150 目，最高 180 目)；推广应用钻井液固相化学清洁剂。通过机械除砂和化学清砂，清除钻井液中的有害固相，减少钻井液固相向地层的浸入。

3. 应用效果

鄂尔多斯盆地北部是低压低渗气藏，应用屏蔽暂堵钻完井技术，80%层位的表皮系数小于 5。山 1 井和盒 1 井天然气产量大幅度提高。探井日产气由原来几千方增加到现在几万方，特别是大牛地气田的大 16 井和大 15 井，在盒 3 段试产获得了 $16 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 和 $21 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的高产油气流。

(十一) 固井技术水平进一步提高

为了解决水泥浆的窜槽和凝固过程中体积收缩及水泥石强度、韧性等原因而产生的固井质量下降，开展了水泥浆特性选配技术、高温深井固井技术、低密度固井技术、延迟固井技术、多级多凝固井技术、低渗透油藏固井技术和 MTC 固井等技术的研究，提高了固井质量。

1. 低密度固井技术

利用紧密堆积理论研究的低密度水泥浆体系，使微细颗粒挤入材料空隙，材料的胶空比大幅度降低，该水泥浆在密度为 $1.2 \sim 1.6 \text{g}/\text{cm}^3$ 的情况下，性能稳定，滤失量可以控制，而且凝固水泥的抗压强度可达到 14MPa，有效保证了长封固段易漏失井的固井质量。

2. 延迟固井技术

在 $\phi 139.7 \text{mm}$ 套管中下 $\phi 101.6 \text{mm}$ 套管的固井施工中，为了保证水泥环的封固质量，开展了延迟固井技术研究，即在注水泥施工完成后(碰压结束后)，起出 100m 左右套管，然后再把起出的套管重新下入井内，使水泥浆能均匀地分布于环型间隙内，提高固井质量。

3. 多级多凝固井技术

通过多级多凝固井技术的研究，实现了在同一井眼中注入不同稠化时间的水泥浆，使水泥浆“失重”呈阶梯式发展，分段压稳不同深度的油、气、水层，达到防窜的目的。采用该技术可降低环空静液柱压力，减少地层漏失的发生，有利于保护油气层，提高固井质量。

(十二) 钻井液技术进步明显

为了满足钻井施工的需要，提高钻井速度，近两年研究开发了多种钻井液新体系、新工艺和高性能钻井液处理剂。满足了不同区块、不同地层和特殊工艺井钻井的要求。

1. 络合物钾盐聚磺钻井液体系

该钻井液性能稳定，抑制性强，有效解决了钻井液高温增稠和井壁坍塌掉块问题，应用效果明显。其结果见表 3。

表 3 络合物钾盐聚磺钻井液与聚磺钾盐钻井液应用对比

体 系	区块	井号	平均井深/ m	建井周期/ d	井径扩大率/ %
聚磺钾盐	桥口	桥口	4209.2	54	13.3
	前梨园	前 9	4335	156	24.5
	白庙	白 43, 44	4210	96	22.2
铝络合 物-钾盐	桥口	4 口井	4300.7	47.41	8.23
	前梨园	前 11	4500	114.5	5.0
	白庙	白 72	4002	55.5	10.0

2. 高钙盐钻井液体系

通过高钙盐钻井液体系对稳定井壁和保护油气层等作用机理的研究,优化了钻井液性能和现场施工工艺,在完成的 3 口井中,钻井液性能稳定、防塌抑制能力强、井径规则,钻井液渗透率恢复值静、动态均大于 90%。

3. 正电钻井液

通过对正电性材料和钻井液处理剂体系稳定性的研究,开发出 ξ 电位大于零的正电钻井液体系。该体系能有效中和粘土矿物所带的负电荷,抑制粘土矿物的水化分散,稳定井壁,降低体系中的亚微粒子含量,提高机械钻速,缩短了建井周期,减少对油气层的伤害。郑 408 区块应用该钻井液体系,初产量提高 20% 以上。

三、钻井面临的难题与挑战

随着勘探力度的加大和老油田开发难度的增加,钻井面临新的难题与挑战越来越多,主要表现在:

1. 地层压力预测精度低

同一裸眼井段多套压力系统共存,导致井下复杂与事故时有发生。

2. 高陡构造防斜、打快难度大

在西部、南方海相山前高陡构造地区,地层倾角较大,一般遮 30°~80°之间,且倾向不一,目前的井眼轨迹控制技术难以从根本上解决防斜、打快的难题。

3. 部分地区井漏严重

西部、南方海相地区的一些地层裂缝、溶洞发育,砂砾岩发育,砾岩胶结较差,普遍存在井漏,且漏失量大,最大达 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 多。目前还没有解决该类井漏的有效方法。

4. 部分地区井壁失稳严重

西部、南方海相和东部油田的有些地层泥质含量高,水敏性强,砾石发育,胶结差,地应力集中,地层破碎,断层交错,井壁坍塌严重,致使施工困难。

5. 长裸眼固井难度大

西部、南方海相地区地层埋藏深,同一裸眼井段中,多套压力系统共存(压力系数分布在 0.7~2.2),地层压力高、温度高,裸眼井段长,间隙小,漏失严重,固井施工困难,质量难以保证。

6. 井控硫化氢防护难度大

川东北和新疆部分地区,高压、含硫气藏钻井安全控制难度大,并且存在井控装备与套

管抗内压强度不匹配，投资不足、井控装备数量不足等问题。

7. 深部地层可钻性差

西部、南方海相和东部的一些油藏埋藏深，地层硬度高，研磨性强，可钻性差，钻井速度慢。

四、钻井技术发展趋势

综合国际石油工业的发展趋势和钻井技术的发展过程，石油钻井技术发展的主流趋势：一是提高勘探开发的综合效益，最大限度的发现油气藏、提高油田采收率；二是钻井技术向信息化、智能化为特点的自动化方向发展。

(一) 目前国内外技术状况

目前国际钻井向技术和效益整体结合的方向发展，追求综合经济利益的最大化，考虑油气井全过程的经济性。注重油气井投资与效益关系，包括油气井寿命周期的设计、建井、生产、维护和报废综合效益。概括为：

1. 复杂油气井钻井技术发展方向

水平井、多分支井、大位移井、深水井、小井眼井、深井超深井、高温高压井、单一直径的井等。

2. 现代钻井技术发展方向

连续管钻井、套管钻井、欠平衡钻井、地质导向钻井、旋转导向钻井、可膨胀管钻井、“无排放”钻井等。

3. 完井技术发展方向

智能井、井下分隔等技术。

(二) 石化钻井技术发展趋势

根据国内外钻井技术的发展和油气开发的需求，中国石化集团钻井技术的发展趋势为整合应用成熟技术，攻克制约钻井生产的“瓶颈”技术，探索研究、引进、消化钻井前沿技术和装备，整体提高石化集团的钻井技术水平。

1. 整合推广成熟技术

需要整合推广的成熟技术主要有以下 10 项：

- (1) 深井钻井技术；
- (2) 定向井、水平井钻井技术；
- (3) 欠平衡压力钻井技术；
- (4) 套管开窗侧钻钻井技术；
- (5) 优快钻井技术；
- (6) 保护油气层技术；
- (7) 新型钻井液体系；
- (8) 盐膏层钻井技术；
- (9) 钻井信息化技术；
- (10) 低密度固井技术。

2. 攻克钻井生产“瓶颈”技术

2.1 深井合理井身结构设计技术

开展高精度地层压力预测技术研究,优化井身结构设计,解决同一井眼多套压力系统共存而引起的井下复杂和事故情况发生。降低钻井施工中的风险,提高深探井的钻井效率和成功率。

2.2 山前高陡构造地层防斜打快技术

通过山前高陡构造地层防斜打快技术研究,包括“动力学”防斜打快理论、垂直钻井系统及旋冲钻井技术(空气锤)等,解决高陡构造钻井防斜、打快问题。

开展上部大尺寸井眼、下部小直径井眼提高钻井速度技术的研究,研发新型钻头及井下动力工具,解决国内钻头结构单一、型号少,钻压不足,水力能量匹配不合理等问题,提高上部大尺寸、下部小尺寸井眼钻井速度。

2.3 超高压喷射钻井技术

开展地面超高压和井下增压钻井技术研究,增强水力破岩能力,提高机械钻速。

2.4 地质导向钻井技术

进一步开展地质导向钻井关键配套技术研究,提高薄层、薄互层水平井钻进的地质导向控制精度,提高油气层钻遇率。

2.5 分支井、复杂结构井钻井与完井技术

完善分支井、复杂结构井钻完井技术,开展分支井密封、重入等完井技术研究,提高分支井完井 TAML 级别,满足压裂等后期开发作业。

2.6 长裸眼、小间隙、盐膏层固井技术

解决长裸眼、小间隙、盐膏层固井施工难题;开展高韧性、高强度水泥浆体系和新型固井工具的研究,提高固井质量。

2.7 膨胀管钻井技术

该技术可简化井身结构,加快钻井速度,解决裂缝溶洞型恶性井漏、井涌问题,提高完井固井质量,提高油气田勘探开发的综合效益,需要深入研究。

2.8 井眼稳定技术

开展地层物性分析、地应力分布规律和强抑制钻井液研究,以“物化封固-抑制水化-有效应力支撑”的原则,解决破碎地层、高应力硬脆性岩层、水敏性泥页岩等的井壁失稳难题。

2.9 新型钻井液技术

开展高密度新型钻井液技术研究,增强钻井液的耐温、耐盐和流变性能,提高钻井速度。

3. 探索 5 项前沿技术

3.1 连续管钻井技术

跟踪国外技术发展,开展连续油管钻井技术研究,开展钻头、定向工具、钻铤、井下马达、钻具适配器、紧急分离机构等井下工具的配套技术研究,加快钻井速度,降低钻井成本。

3.2 套管钻井技术

套管钻井技术是目前国际钻井界最新的技术和发展方向之一。该技术应用电动钻机和顶驱设备,在普通的套管上加装特殊的接头来替代常规的钻杆钻井,克服了旋转钻井过程中,