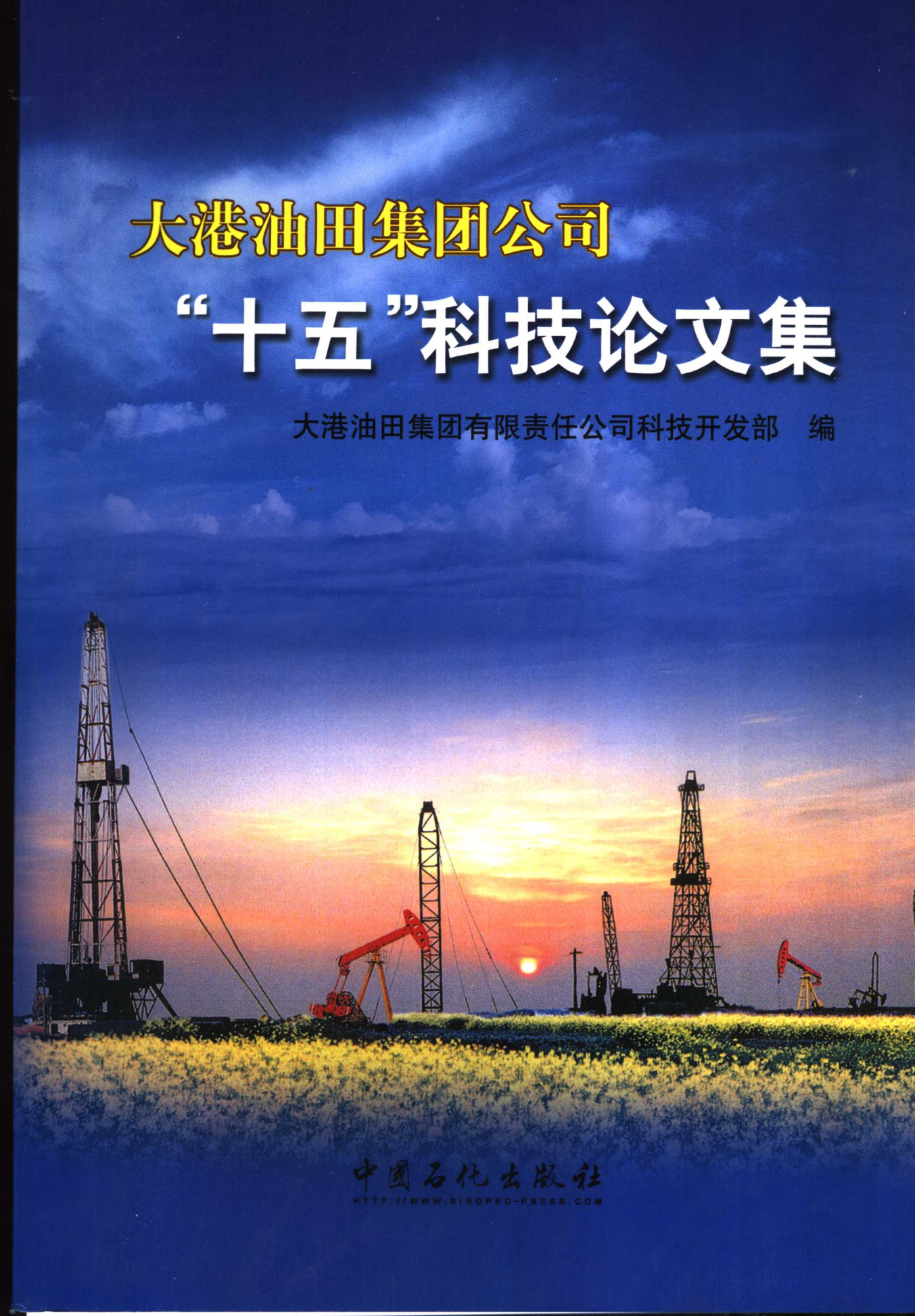




大港油田集团公司

“十五”科技论文集

大港油田集团有限责任公司科技开发部 编

中国石化出版社

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

大港油田集团公司 “十五”科技论文集

大港油田集团有限责任公司科技开发部 编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

大港油田集团公司“十五”科技论文集/大港油田集团有限责任公司科技开发部编.
—北京:中国石化出版社,2007
ISBN 978-7-80229-314-4

I.大… II.大… III.石油工程-文集 IV.TE-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 056935 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

北京密云红光制版公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 48.5 印张 1235 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

定价:150.00 元

《大港油田集团公司“十五”科技论文集》

编 委 会

主 任：张宝增

副主任：徐学军

委 员：(以姓氏笔画为序)

于长录	于新哉	马建国	马金山	王绍刚	王树龙
王润玲	邓建华	白武厚	孙勤亮	张松杰	张景成
李云富	李 丽	杨希军	杨松乔	杨 锋	苏 泉
运志森	柴细元	郭继岩	郭志勤	陶瑞东	黄继庆
熊腊生	翟延平	蔺玉水			

顾 问：付吉如 郑花锡 瞿锡先 李延美 杨起泽 尹肇学

序

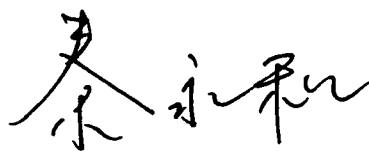
“十五”以来，大港油田集团有限责任公司坚持以科学发展观为统领，向科技要市场，向科技要效益，向科技要发展。先后实施了提升整体实力的“三以”、“四着四增”、“12355”发展战略，大力推进技术的自主创新、集成创新和模拟创新，技术实力显著增强，科技成果丰硕，优特技术培育取得突破，科技支撑市场成效显著，大大提高了公司的核心竞争力。

公司承担并开展了从石油工程、钻采机械、油气合作开发到生产服务，共 460 项科研项目的立项攻关。先后获得国家科技进步奖 2 项，国家新产品奖 5 项，中油集团公司技术创新奖 8 项，天津市科技进步和技术创新奖共 86 项。取得并形成了以钻采一体化工程方案设计、大位移井、水平井、侧钻水平井、多联作测试等综合配套技术为代表的十项特色技术；以德玛系列录井仪、DG - MWD 测量仪、螺杆钻具等为代表的具有自主知识产权的十项特色产品。这些特色技术及产品有效地引领和支撑了市场开发，为公司实现跨越发展提供了重要保障。

科技创新以人为本。公司坚定不移地实施“人才强企”战略，为科技人才的脱颖而出和发挥作用奠定了坚实的基础，初步形成了一支事业心强、敢于创新的科技人才队伍。公司拥有享受国务院政府特殊津贴专家 24 人，中油集团高级技术专家 3 人，公司技术专家 50 人。正是这以享誉国内同行的科技领军人物和“术业有专攻”的拔尖人才为代表的科技队伍，推动了公司科技创新能力和科技创新水平的不断提高。

《大港油田集团公司“十五”科技论文集》的出版，将更好地展示“十五”科技攻关和新技术推广取得的成果，记载“十五”科技发展历程，搭建科技人员技术交流的平台，提供了解大港油田科技的窗口。每一篇论文都是科海中的一朵浪花，从一个侧面折射出大港油田科技工作者攀登的足迹，拼搏的汗水。

回顾“十五”科技所取得的成果，展望“十一五”的发展远景，大港油田集团有限责任公司实施“五路并进”扩张型发展战略，势必需要不断提升原有产业的技术含量，加快新兴产业的建设和发展，这就需要广大科技人员勇挑重担、努力研发拥有自主知识产权的优特技术和产品，以“领先一步、敢为人先”的精神抢占科技制高点，进而赢得竞争优势，为建设“国内一流、国际知名”的技术型企业多做贡献。



二〇〇七年四月二十一日

目 录

一、石 油 工 程

大港油田大位移井钻井实践和技术最新进展	秦永和(3)
大位移定向井钻井实践	运志森 梁志丰 冯志明(9)
大位移井钻井摩阻预测及井眼轨道优选	董德仁 齐月奎 何卫滨 泰建民(23)
大位移井下套管摩阻预测技术	齐月魁 徐学军 陈维恒 聂上振 李 民(27)
赵东油田 C-39 大位移水平井钻井技术	张松杰 邱岩松 寇海成(33)
张海 502FH 开窗侧钻大位移水平井钻井技术	张松杰 寇海成 饶开波 王 灿(38)
提高大位移井固井质量方法	齐月魁 聂上振 尹 伟 罗昭素 刘秋豹(43)
三维大斜度定向井实践	刘秋明 周洪林 方天军 田 戈(49)
大斜度井压裂工艺技术研究	牛增前 隋向云 张 平(60)
大港油田陆上施工的第一口鱼骨型分支井技术	徐学军 徐 滨 岳发辉 张 恒(64)
TK908DH 分支水平井钻井技术	马金山 张克正 王福强(71)
高精度(薄油层)水平井轨道设计与轨迹控制技术	李培佳 周洪林 邱 林(81)
侧钻水平井钻井柱动力学几个关键问题研究	张宝增 王瑞和(88)
侧平苏 204 井开窗侧钻水平井钻井技术	高俊奎 寇海成 张雪松 刘 彬(92)
水平井、侧钻井固井技术研究与应用	徐学军 樊松林 郭志勤 齐月魁 刘宏梁(96)
水平井管外封隔器分层完井技术在大港油田的应用	刘德正 孟宪武(102)
小井眼侧钻井完井工艺技术研究与应用	张高峰(106)
官 8-9K 侧钻井小井眼扩孔技术实践	杨士明 张 恒 于成水 刘德均(113)
欠平衡钻井技术在超深井中的应用	何卫滨 于成水 付建华(117)
玉门青西逆掩推覆体地层防斜打快技术	蔺玉水 何卫滨(125)
旋冲钻井技术在逆掩推覆体地层的应用	王 雷 郭志勤 王文刚 窦同伟 孙洪娟(134)
阿塞拜疆 K&K 油田钻井复杂问题探讨	李志刚 范学良 修留永(139)
T760 井膏盐层钻井技术	刘永存 刘立超 刘汝军(144)
阿塞拜疆 B-1 井钻井实践	饶开波 解作栋 陈建华 高学生(152)
镇探 2 井钻井施工实践与认识	张向荣 郭 亮 杨 静(163)
大港长芦油田提高钻井速度施工实践	王眉山 窦同伟 白武厚 王泽明(171)

徐家围子油田防共振钻具应用	黎青海	刘呈岭(178)
地层压力剖面在复杂井钻探中的应用	何谋军 常 青	赵俊华 程维恒(183)
批钻丛式井防碰技术应用	龚雅明	周洪林 孙铁良(188)
小井眼钻井装备及配套工具	郭志勤 张全立	强 杰 杨松乔(193)
套管钻井技术简介	许京国	岳新庆 刘学领(197)
潜山凝析气藏完井工艺技术研究	郭志勤 赵 庆	王玉云 常 青(204)
提高开窗侧钻井固井质量的探讨	王 灿 李志斌	付家文 刘 彬(209)
振动波在固井技术中的应用	齐月魁 李 民	刘德均 张文华 徐学军(215)
青海油田开 2 井高密度水泥浆固井技术	李贵宾	修留永 张志湖(225)
套管回接工艺介绍	肖仰德 刘 刚	齐金涛 王利华 高学生(231)
含温流变参数和小间隙环空摩阻系数估算方法应用研究	孙勤亮	杨远光(236)
枯竭油气藏改建地下储气库钻采工程方案设计	刘延平	刘 飞 董德仁(242)
枯竭油气藏改建地下储气库钻井完井技术	温庆和	董德仁 李国韬(247)
储气库区废弃井封井工艺技术	张 平 刘世强	张晓辉 刘建梅 薛清祥(258)
超低渗透钻井液技术研究	于永新 樊松林	代礼杨 杜 娟 黄达全(264)
甲酸盐钻井液体系研究与应用	黄达全	周光正 田增艳 陈彩凤(269)
低固相钻井液体系研究与应用	王小月 孙亚珍	于永新 尤秋彦 杜 娟(278)
环保型正电聚醇钻井液体系在大港油田研究与应用	许京国	张松杰 马运庆(283)
渤海海域海水钻井液体系优化研究及初步应用	朱玉江	王作为(292)
无机硅酸盐钻井液体系防塌机理与配方研究及应用	苏秀纯 李洪俊	徐加放 于永新 邱正松(301)
抗腐蚀水泥浆体系研究	郭志勤	赵 庆 强 杰(310)
纤维水泥浆体系研究	樊松林 李洪俊	官英杰 林志辉 尹 伟(315)
不收缩微膨胀水泥浆研究	刘宏梁	代礼杨 朱玉江(321)
无氯低温早强水泥浆的应用研究	尹 伟	侯占东 王贵宏 杨振梅(327)
FM 固井隔离液研究与应用	胡志勇	林志辉 王贵宏 尹 伟(334)
特种材料在港 5-57 K 井钻井过程堵漏应用	樊松林	于永新 安元华 赵俊锋(340)
理想充填暂堵技术在大港油田舍女寺应用的室内研究	郑淑杰 李洪俊	代礼杨 杨小平 官英杰(343)
防漏型压井液研究与应用	郭元庆	杨小平 安元华 钟惠敏(348)
大港油田钻采一体化油层保护技术研究与应用	苏秀纯	徐学军 李洪俊 杨小平(357)
水平井保护油层技术研究与应用	黄达全	陈少亮(365)
塘沽油田深井、低能、高凝油井开发工艺技术	崔会凯 吴广海	于庆红 王树强(376)
NRF-无残渣压裂液在低渗透油藏的应用研究	张胜传 陈紫薇	程运甫 张 平 唐秀群(380)
深层低渗油藏压裂改造技术研究与应用	程运甫	张胜传 康玉江(388)

低渗透油藏压裂技术在江苏油田的应用	牛增前	张 平	王亚东	贾 雁	(393)
长井段储层均匀布酸与水力泵排液联作工艺技术研究与应用	聂 锴	姬 智	王亚东	聂 瑄	尤秋彦(400)
酸液稠化剂 TP-1 的合成及性能	王冬梅	刘建梅	于永生	杜为华	王 浩(403)
砂岩油层缓速酸酸化技术研究与应	王洪斌	南守芝	(407)		
不动管柱分段酸化工艺技术研究	王树龙	(412)			
段六拨地区酸压效果分析	张义敏	王洪斌	(415)		
人工井壁压裂防砂技术在大港油田南部油区的应用	杜承强	吕洪叔	王洪斌	焦津会	(423)
柴达木盆地涩北气田压裂充填防砂先导试验	何志勇	张 平	季红新	赵金洲	胡昌得(428)
有限防砂技术在稠油油藏中的研究及应用	刘长军	张东廷	黄满良	韩 莉	齐书颖(432)
蒸汽吞吐工艺在南部稠油油田的试验性应用	刘理民	刘成亮	(435)		
大港油田官 109-1 断块稠油油藏碱/表面活性剂吞吐采油技术	何志勇	徐新俊	贾金辉	贾洪战	商立军(441)
油水井水流大孔道模糊识别与封堵工艺技术研究	于永生	邹小萍	王冬梅	王 浩	廖翰明(447)
机械找堵水一次完成工艺技术在	郭 群	薛清祥	赵 庆	张东亭	曾晓辉(458)
东海平湖油气田 A4 井大修打捞技术介绍	王丕政	肖仰德	王守歧	边 江	(461)
套损套变井机械整形与加固补贴	黄满良	刘世强	张晓辉	张 研	张东亭(466)
高温油藏调驱技术研究与应	邹小萍	代晋光	张秋红	廖翰明	刘 贺(474)
水平井试油测试技术研究与应	孟宪武	(481)			
滩海快速试油测试工艺技术研究	张世林	王淑丽	(487)		
新型水力泵排液工艺研究与应	聂 锴	张宏伟	朱洪梅	王晓梅	杨小芳(495)
测井资料在岩性地层油气藏地质分析和储层评价中的应用	燕兴荣	柴细元	邵维志	郭保华	(500)
多级脉冲深穿透射孔技术研究与	王树强	李洪山	张景寿	刘永征	赵 英(507)
高孔密射孔技术研究与应	陈家猛	董拥军	魏光辉	(513)	
MR Explorer 核磁共振测井技术	邵维志	柴细元	丁娱娇	吴淑琴	(518)
测井新技术在砂泥岩裂缝储层	舒卫国	章成广	韩 成	高 艺	(527)
滩坝砂岩性油气藏测井评价方	燕兴荣	柴细元	邵维志	丁娱娇	常静春(533)
利用测井新技术精细描述和评	谢 忠	方林林	高 艺	李国英	(539)

远探测声波反射波成像测井方法与仪器研究	李国英	赵旭东	刘炳中	汪宏波(546)
浅谈欠平衡钻井条件下的录井技术应用	安文武	宋庆彬	杨昭智(557)	
录井技术现状分析与发展方向		姬月凤	邢立(563)	
中外地质录井的差异比较		管震	(571)	
岩屑 P-K 物性分析技术研究及应用	焦香婷	申红梅(580)		
气测录井 C ₂ /C ₃ 烃比值法的应用探讨		鲁宝菊(585)		
气测录井定量快速色谱分析技术	宋庆彬	陈玉新	甄建(590)	
水分析技术在古潜山探井的应用		鲁宝菊(596)		
地层压力随钻监测新技术及在现场中的应用	付素英	贾维慎(600)		
电位法井间监测技术	张金成	石华荣	郑永哲(608)	

二、机械装备

直线电机智能抽油机研制	刘延平	杨继军	李洪山	柴希军	杨小芳(621)
螺杆钻具的应用现状及未来发展建议		李明谦	黄继庆(626)		
石油钻具扭矩旋扣机的开发与应用		李明谦	黄继庆(632)		
PDC 钻头计算机辅助系统的开发与应用	张松峰	左惠明	陈洪涛	李树盛(635)	
PDC 钻头切削齿工作角度的设计理论	李长权	周东	滕惠婷(643)		
单螺杆抽油泵试验台	吴频	运乃东	邢剑	申煜亮(648)	
提高双螺杆多相混输泵使用寿命的研究	许明	赵红超	杜玉琴(652)		
可调弯壳体螺杆钻具(AKO)的推广应用	王春阳	夏秀文	李良君(656)		
薄壁斜耳支撑式潜油电动机打捞器	柯建仁	汪卫军	邵红霞	邢厚伟	吴频(661)
新型人字齿轮传动装置在双螺杆泵中的应用	赵红超	朱春兰	柯琳	李艳凤(664)	
聚合物分散溶解装置的特点及应用	于新哉	李淑玲	乔学武	余泽华(667)	
橇装式模块化注聚合物站的设计	于新哉	余泽华	郑波(672)		
强启闭柱塞抽油泵的研制及应用	王志明	陈砚军	卢时林	梁守才(676)	
摩擦焊抽油杆和锻造抽油杆性能、成本对比		张艳敏	崔兰(679)		
井控装置标准化配置——液气分离器的研究与应用		张宏威(685)			
关于悬臂式单转子离心机械临界转速的讨论	黄满良	刘长军	张广叶	刘世强	张晓辉(690)
校核组合实心抽油杆柱强度的图解法	黄满良	张晓辉	薛清祥	张东亭	胡金铜(695)

三、生产服务

大港油田集团公司信息化实践与体会	马建国	曾宪芬	郝金生(703)
石油天然气钻探现场信息远程传输经济性方案探讨	宋庆彬	孙志宝	曾宪芬(707)
企业施工定额的编制研究初探	苏泉	支学军(711)	
冲击碾压在公路软基处理中的应用	赵雄伟	卢明涛(715)	

公路路基风积沙施工技巧 梁 斌 陈 强(719)

Ar + CO₂ 气体保护焊在管道施工中的应用..... 吕俊怀 赵克春 张银根 唐立志(721)

长输管道干燥技术的应用 韩英波 吕俊怀(725)

浅谈长输管道的焊接技术及发展 宋元丽(729)

浅谈聚乙烯(PE)管材热熔对接的性能和发展的趋势 吕全胜(734)

第三代移动通信系统及其发展走势 路娟绒(744)

数据库备份恢复策略研究 卢广宏 赖纪顺 陶广辉(749)

网络视频监控系统及在油田的应用 李 娜(753)

如何成功实施和应用远程抄表系统 鲍征勇 姜 军(759)

一、石 油 工 程

大港油田大位移井钻井实践和技术最新进展

秦永和

(大港油田集团公司)

摘 要 介绍了大港油田大位移井钻井技术的发展背景和概况。以北堡西 3×1 井为例,从井眼轨道优化设计、钻具组合优化设计、井身结构优化设计以及钻井液技术等方面分析了大港油田大位移井钻井技术措施,并从摩阻/扭矩分析、轨道设计方法、井眼清洁及参数优选、钻井液体系研究、井下工具研制和计算软件开发等方面介绍了大港油田大位移井钻井技术的最新进展情况,对大港油田及环渤海地区的大位移井钻井施工具有一定的借鉴意义。

关键词 大角度斜井 井眼轨迹 钻井液 大港油田 北堡西 3×1 井

1 发展背景

大港油田滩海地区由于滩涂区一极浅海区淤泥厚(10~19m)、承载能力低,多数勘探目标水深 2.5m 左右,陆地钻井设备难以进入,海上钻井船难以到达,勘探开发难度很大。因此,大港油田开展了滩海区大位移井钻井技术研究,以实现“海油陆采”的滩海勘探开发思路。

该油田在 1991 年成功钻成了当时全国水平位移最大的定向井张 17-1 井(井深 3933.88m、井底水平位移 2279.38m),此后,又陆续完成了红 9-1 井、港深 69×1 井、北堡西 3×1 井等大位移井的设计和施工。截至目前,大港油田完成了 100 多口位移超过 1500m 的定向井,其中,水平位移最大达到 4128.56m,井斜角最大达到 96.1°,位移垂深比最大达 1.46,逐步形成了适合于大港油田滩海地区的大位移井钻井配套工艺技术。

2 大位移井钻井技术

2.1 井眼轨迹控制技术

2.1.1 井眼轨道优化设计

1) 造斜点的选择。造斜点应该选在成岩性好、岩层比较稳定的地层,从而有利于较快地实现造斜并确保井眼稳定。由于平原组地层属于软泥、流沙和不成岩地层,因此应尽量避免在平原组地层造斜。同时应尽量加深造斜点,以缩短斜井段的长度,达到降低管柱与井眼之间摩阻与扭矩的效果^[1]。

2) 造斜段类型的选择。造斜段类型有圆弧形和准悬链形两种,但无论选择哪种类型,为了降低摩阻与扭矩和防止套管被严重磨损,造斜率都应尽量控制在 3°/30m 以下。从施工操作的难易程度及摩阻/扭矩的预测值来讲,圆弧形井眼比准悬链形井眼都具优势,因此,一般在大位移井井眼轨道设计中造斜段常采用圆弧形。

3) 井斜角的选择。井斜角应尽量避免 45°~65°范围,井斜角在该区间内,不仅岩屑在井

作者简介:秦永和(1963—),男,河北唐山人,1985 年毕业于华东石油学院钻井工程专业,现为大港油田集团有限责任公司总经理,教授级高级工程师,中国石油大学(北京)兼职教授。

眼低边容易形成岩屑床,而且在停泵后岩屑存在下滑的趋势,很容易发生卡钻事故。如果井斜角大于 65° ,即使井眼低边有岩屑床存在,在停泵后岩屑也不会向下滑动,这不仅可以避免卡钻事故,而且在钻柱的不断搅动下,岩屑会随着液流不断返到地面,达到清洗井眼的目的。

2.1.2 钻具组合优化设计

在大位移井的施工中,由于井斜角较大,钻头基本依靠钻柱向前推动,如果在钻柱的下端接较多的钻铤,会形成较大的摩阻和扭矩,将无法给钻头加上足够的钻压,导致低效钻进或根本无法延伸井眼。因此,大位移井钻具组合中应减少钻铤的使用。用加重钻杆替代钻铤,以降低钻井时的摩阻/扭矩;或采用倒装式钻具组合,以保证钻压能有效传递到钻头上。

另外,采用大尺寸钻杆,可降低钻具组合内循环压耗,提高环空钻井液返速,从而提高钻井液携岩能力。

2.2 井身结构优化设计

由于大位移井井斜角较大、井眼易坍塌、斜井段长、摩阻/扭矩大,因此,大位移井井身结构设计时必须考虑缩短薄弱裸眼井段被钻井液浸泡的时间,以防止井眼垮塌;缩短下部裸眼段的长度,以降低摩阻/扭矩。

大港油田浅层平原组及明化镇组上段地层成岩性较差、松软、可钻性好、易造浆、易坍塌,而大位移井的造斜点较浅,一般都在明化镇组地层的上部,造斜段较长,因此,在造斜段结束后应立即下入一层套管,以防止该井段出现坍塌现象,避免钻下部井眼时在该井段发生键槽卡钻。大位移井的稳斜段,一般要求下入一层中间套管,封闭上部裸眼井段,以保护上部井段,降低钻柱与井壁之间的摩擦系数,满足清洗井眼的要求,使下部井眼能够继续延伸至目标地层。

2.3 钻井液技术

2.3.1 钻井液优选和性能优化的原则

大位移钻井液优选和性能优化的原则:1)能适合地层要求,满足井眼稳定的需要;2)有较高的润滑性,能充分降低钻柱与井眼之间的摩擦系数;3)有较高的携岩性能,能满足清洁井眼的要求;4)钻井液密度设计合理,钻进时既要平衡地层孔隙压力,又不能压漏地层,同时也能保证井眼稳定;5)对油层的伤害小。

2.3.2 钻井液的选择^[2-3]

针对大港油田及环渤海地区上部地层(平原组、明化镇组、馆陶组、东1段、东2段地层)造浆严重、下部地层(东3段、沙河街组等地层)易水化坍塌的地层特点,大港油田在钻进上部地层时采用具有较强抑制能力、抗污染能力强的钾基聚合物钻井液;在钻进下部地层时要针对不同地区、不同地层特性选择相应的钻井液体系,主要使用防塌能力强、润滑性和井眼净化效果好的有机硅防塌钻井液。

3 大位移井钻井实例

以北堡西 3×1 井为例介绍大港油田大位移井的钻井施工情况。北堡西 3×1 井是大港油田在 2002 年完成的一口大位移井,该井由陆地向渤海延伸,完钻井深 4189m,垂深 2450m,水平位移 3049.79m,钻井周期 59.98d,全井钻井过程中没有出现任何复杂情况和事故。

3.1 井眼轨道设计

为降低降斜段的降斜率，尽可能提高造斜点的位置，降低稳斜段的井斜角。该井造斜点井深 300m，造斜率 2.4°/30m，具体设计参数见表 1。

表 1 北堡西 3×1 井井眼轨道主要设计参数

关键点	斜深/m	井斜角/ (°)	方位/ (°)	垂深/ m	造斜率/ (°)·(30m) ⁻¹	位移/m
造斜始点	300.0	0.00	0.0	300.0	2.40	0
造斜终点	1113.6	65.09	288.0	949.6		414.5
降斜始点	3275.2	65.09	288.0	1860.0	-1.05	2375.0
降斜终点(井底)	4189.0	33.16	288.0	2450.0		3056.9
目标 1	3275.2	65.09	288.0	1860.0		2375.0
目标 2	3867.5	44.40	288.0	2200.0		2856.0

3.2 钻具组合设计

二开(300~1303m 井段，即定向造斜段、稳斜段)钻具组合：φ444.5mm 钻头 + φ244.5mm 导向马达 + φ419.0mm 稳定器 + φ203.2mm 短无磁钻铤 × 1 根 + MWD + φ203.2mm 无磁钻铤 × 根 + φ203.2mm 钻铤 × 1 根 + φ127.0mm 加重钻杆 × 15 根 + φ139.7mm 钻杆。

三开(1303~3053m 井段，即稳斜段)钻具组合：φ311.1mm 钻头 + φ244.5mm 导向马达 + φ290.0mm 变径稳定器 + φ203.2mm 短无磁钻铤 × 1 根 + MWD + φ203.2mm 无磁钻铤 × 2 根 + φ165.1mm 震击器 + φ127.0mm 加重钻杆 × 15 根 + φ139.7mm 钻杆。

四开(3053~4189m 井段，即稳斜段、降斜段)钻具组合：φ215.9mm 钻头 + φ172.0mm 导向马达 + φ206.3mm 稳定器 + φ165.1mm 无磁钻铤 × 1 根 + MWD + φ165.1mm 无磁钻铤 × 1 根 + φ127.0mm 加重钻杆 × 18 根 + φ165.1mm 震击器 + φ127.0mm 加重钻杆 × 17 根 + φ139.7mm 钻杆。

3.3 井身结构设计

由于该井井斜角较大，斜井段长，馆陶组有厚达 60m 的玄武岩地层，主要钻探目的层也在馆陶组，因此，φ244.5mm 套管必须下至馆陶组地层以上，封住明化镇组地层。上部造斜井段处于疏松的浅地层中，为了在钻进下部稳斜段时，防止在造斜段产生键槽或出现垮塌现象，必须用 φ339.7mm 套管封住造斜段。因此，该井井身结构及套管程序为：一开，φ660.4mm 钻头钻深 203.0m，φ508.0mm 套管下深 200.0m；二开，φ444.5mm 钻头钻深 1303.0m，φ339.7 套管下深 1300.0m；三开，φ311.1mm 钻头钻深 3053.0m，φ244.5 套管下深 3050.0m；四开，φ215.9mm 钻头钻深 4189.0m，φ139.7mm 套管下深 4185.0m。

3.4 钻井液技术

根据邻井资料、地质设计和井眼轨道的要求，通过预测摩阻/扭矩，该井在施工过程中各井段所应用的钻井液体系为：一开采用预水化膨润土钻井液；二开采用聚合醇-聚合物钻井液；三开采用聚合醇-聚合物防塌钻井液；四开采用聚合醇-硅基防塌钻井液。

从应用效果看，所选用的钻井液体系及其性能基本满足了该井钻井要求，特别是润滑性能完全达到了设计要求，将钻具在套管和裸眼内的摩擦系数分别控制在小于 0.25 和 0.35。

3.5 井眼清洁技术措施

1) 改善钻井液性能，提高携岩能力。在保证钻井液其他性能良好的前提下，使钻井液

全井段保持较高的切力，以增强悬浮和携岩的能力，动塑比控制在 0.40 ~ 0.85。

2) 短起下钻，以破坏岩屑床。在钻井过程中，尤其在大位移井稳斜段的钻进中，每钻进 100m 或 24h，进行一次严格短起下钻，充分循环钻井液，清除岩屑床，保持井眼清洁。

3) 加大钻杆尺寸，提高环空返速。用 $\phi 139.7\text{mm}$ 钻杆代替 $\phi 127.0\text{mm}$ 钻杆，可以减小环空间隙，提高泵排量，降低压力损耗，增大环空返速，从而提高携岩能力。

4) 强化固控，减少含砂量。施工中充分发挥五级固控净化设备的能力，消除有害固相，使钻井液含砂量控制在 0.1% 左右，保证井眼的净化。

3.6 摩阻/扭矩预测

在北堡西 3 $\times$ 1 井的钻井设计过程中，采用了先进的莫尔和兰德马克钻井软件，对摩阻/扭矩进行了较为准确的预测。

3.7 实钻情况

1) 实钻井眼轨迹和设计井眼轨道基本吻合，没有发生方位漂移现象，井斜角基本控制在了设计要求的 $65.09^\circ \pm 3^\circ$ 以内，最大井斜角 67.18° 。造斜一次成功，造斜率基本控制在 $3^\circ/30\text{m}$ 以内，整个井眼没有出现大的狗腿度，为正常钻进和控制摩阻/扭矩奠定了良好的基础。

2) 摩阻/扭矩控制较好，基本与设计预测相符合，扭矩误差在 10% 以内。

3) 完井下套管均很顺利。特别是 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管，经测算套管与井壁之间的摩阻后，采用了常规下套管的方法，顺利下至设计井深，避免了复杂施工与特殊工具的使用。

4) 使用了套管滚轮稳定器，减小了下套管摩阻力，提高厂固井质量。

4 大位移井钻井技术最新进展

4.1 摩阻/扭矩分析

大位移井钻井过程中摩阻/扭矩的预测和控制是成功实施大位移井的关键和难点所在。大港油田与中国石油大学联合攻关，根据加权余量法和三弯矩方程的分析思路，推导出一套新的大位移井摩阻与扭矩计算公式，并编制了计算软件。其计算结果与国外兰德马克(Landmark)软件及摩尔(Maurer)软件的计算结果相近，表 2 为利用该公式和兰德马克软件及摩尔软件计算的某一口大位移井不同施工时期的大钩载荷与转盘扭矩。

表 2 某井不同施工方式下大钩载荷与转盘扭矩的计算结果

施工方式	大钩载荷/kN			转盘扭矩/kN·m		
	公 式	Landmark	Maurer	公 式	Landmark	Maurer
起 钻	1097.44	1081.70	1097.09	0	0	0
旋转起钻	877.97	865.4	925.67	28.58	28.15	21.33
下 钻	291.5	290.6	295.23	0	0	0
旋转下钻	431.57	425.7	401.55	22.49	22.16	18.64
滑动钻进	182.40	178.30	183.01	2.00	2.00	2.00
旋转钻进	527.08	519.30	527.02	30.76	30.34	28.56
空 转	628.09	619.30	628.50	30.87	30.42	28.52

4.2 轨道设计方法

1) 推导了造斜段常曲率法中的圆弧剖面、双增剖面及变曲率法中的摆线、悬链线、修正悬链线、准悬链线、侧位悬链线、抛物线的计算公式。

2) 给出了加权评判法计算公式,应用这一公式可根据井眼长度、造斜段长度、造斜率及相应的摩阻/扭矩等因素从诸种曲线中优选出最佳者。

4.3 井眼清洁及参数优选

通过对大位移井环空岩屑传输机理研究,结合固液两相流理论,运用质量守恒和动量守恒等规律,建立了大位移井环空岩屑传输模型^[1]。

在假定已知岩屑床层面积基础上,通过模拟研究了环空返速、井斜角、岩屑床分数、钻杆偏心度、钻井液流变参数、以及岩屑几何特征等对岩屑传输的影响规律。

4.4 钻井液体系

在深入研究携岩性能强、润滑性能好的水基钻井液的同时,大港油田还通过攻关,成功研究出了适合滩海或海上钻井的合成基钻井液体系。该钻井液体系为可生物降解的仿油基钻井液体系,克服了水基钻井液和油基钻井液的缺点,润滑性能好、抑制性强、携岩效果好,有利于大位移井的安全施工。经环保部门 SFT 检测,其空气污染程度比油基钻井液低 10%,允许将钻屑直接排放。

4.5 配套工具的研制

1) 成功研制了 $\phi 139.7\text{mm}$ 和 $\phi 127.0\text{mm}$ 钻杆双作用减扭接头。该接头具有轴向降摩和径向减扭作用,能有效降低大位移井钻进扭矩和下放阻力,同时能较好地保护上层套管。

2) 成功研制了套管滚轮稳定器、固井漂浮接箍、套管磨铣引鞋、循环下套管装置、套管驱动器等工具。套管滚轮稳定器和漂浮接箍降低了下套管阻力,套管磨铣引鞋和循环下套管工具可以破坏下套管过程中遇到的砂床。套管驱动器特别适合于高抗扭套管,与套管磨铣引鞋等工具配合可实现旋转下套管。

4.6 开发了大位移井计算软件

大港油田研究开发了系统的大位移井计算软件,例如:大位移井施工分析系统、大位移井井眼轨道设计及摩阻/扭矩预测、大位移井井眼清洁及水力参数优选、减扭接头安放位置计算等软件,满足了大位移井钻井的需要。

4.7 完成了庄海 4×1 大位移丛式井钻井方案

为了满足庄海 4×1 大位移丛式井(最大水平位移 5454m,垂深 1009m)的要求,大港油田对目前国内先进的 70D 钻机进行了升级改造,设计了双层底座,使之以在横向上和纵向上都能沿轨道自行移动,具有在同一井口槽完成几十口大位移井的功能,同时完成了庄海 4×1 大位移丛式井钻井方案。

5 结束语

大港油田在多年大位移井钻井实践的基础上,通过近几年的系统研究和分析以及配套工具的研制,目前已经形成了一套适合大港油田的比较完整和实用的大位移井钻井技术,拥有了钻水平位移 4000m 大位移井的技术实力,具备了钻水平位移 5000m 大位移井的基础。大港油田即将实施的庄海 4×1 大位移丛式井就是大港油田大位移井钻井技术的综合应用。大位移井钻井技术为大港油田滩海地区以及环渤海地区进一步实施“海油陆采”提供了重要的技术保障。