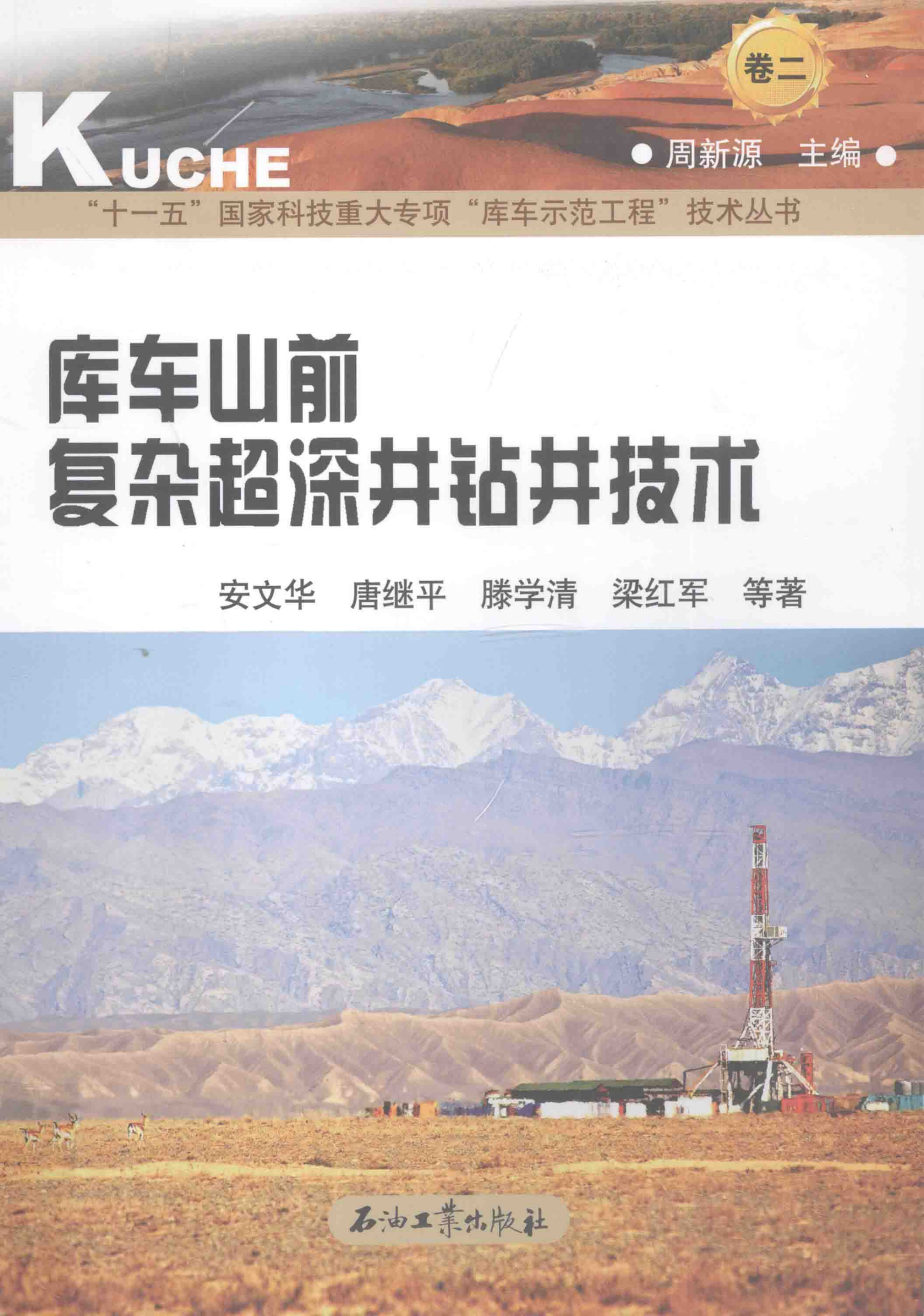




KUCHE

卷二

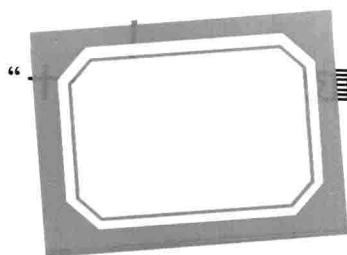
● 周新源 主编 ●

“十一五”国家科技重大专项“库车示范工程”技术丛书

库车山前 复杂超深井钻井技术

安文华 唐继平 滕学清 梁红军 等著

石油工业出版社



重大专项“库车示范工程”技术丛书（卷二）

周新源 主编

库车山前复杂超深井 钻井技术

安文华 唐继平 滕学清 梁红军 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要内容为库车山前复杂超深井“十一五”攻关后面面临的技术难点,以及攻关后钻井的关键技术,同时对库车山前复杂超深井井身结构优化设计、气体钻井技术、“三高”钻井液技术及固井技术、盐膏层钻井工艺技术等进行了阐述。

本书可供石油行业从事钻井工作的技术人员、管理人员以及石油院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

库车山前复杂超深井钻井技术/安文华等著.

北京:石油工业出版社,2012.12

(“十一五”国家科技重大专项“库车示范工程”技术丛书)

ISBN 978-7-5021-9311-9

I. 库…

II. 安…

III. 超深井-油气钻井

IV. TE245

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 240674 号

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.com.cn

编辑部:(010) 64523589 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:15.5

字数:387 千字 印数:1—1000 册

定价:80.00 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

《“十一五”国家科技重大专项 “库车示范工程”技术丛书》 编 委 会

主 编：周新源

副主编：安文华 王招明 何 君 夏义平

编 委：刘依谋 周 旭 梁红军 卢 虎 刘洪涛
乔 雨 常志强 王洪峰 周黎霞

卷二作者：

安文华 唐继平 滕学清 梁红军 卢 虎
尹 达 贾应林 王春生 袁中涛 李 锋
贾国玉 李晓春 冯少波 王延民 李 健
周 健 李 磊 张 志 宋海涛 叶 艳
刘绘新 陈 勉 熊继有 狄勤丰 张晓东
李 皋 卢运虎 刘 潇

序

塔里木油田作为中国油气资源重要战略接替区，肩负着保障国家能源安全的重任。库车山前作为塔里木油气近期增储上产的主战场，面临着众多的复杂地质条件：目的层埋藏深、地层倾角大、上部有巨厚砾石层、深层巨厚膏盐层等，这些因素叠加出现在山前构造，极大地制约了油气井的高效、快速、安全钻进，影响了油气勘探发现进程。同时，由于钻井成本占到整个勘探开发投资的 50% 以上，钻井工程技术水平直接影响到石油勘探开发的效益。如何根据塔里木油田山前超深井的地层特征，探索一条高效勘探开发之路是钻井工程技术人员所肩负的责任。

面对库车山前钻井面临的诸多技术难题，塔里木油田工程技术人员通过艰苦卓绝的努力，开展技术调研和国内外交流，引进先进的管理经验，消化吸收国外先进的技术，以“勤奋、创新、发展”的理念，培育出一批库车山前钻井优秀人才，经过大量的钻井实践，在总结复杂深井经验教训的基础上，已形成了针对山前复杂超深井的钻井技术系列，包括解放钻压的大倾角高陡构造垂直钻井工具及技术，保证了井身质量，提高了机械钻速；应对复杂地质条件的持续井身结构优化技术，自主开发了塔标系列套管，极大地提高了超深井安全钻进的能力；通过研究山前分布极不规则的高压盐水层、复合盐层，形成了以密度设计、井壁稳定为基础的配套盐膏层钻井工艺技术；还有多年攻关所形成的“三高”钻井液技术、高温高密度固井技术、高密度防漏堵漏技术、高压气井井控工艺及井控装备配套技术，都为山前构造超深井安全、提速、增效提供了技术支持，特别是针对山前构造的浅层大段砾石层所开展的气体钻井技术攻关，为塔里木油田的钻井提速又增添了生力军。塔里木油田工程技术人员经过 10 多年的拼搏，钻井工程取得了辉煌成就，实现了山前构造钻井提速的突破。

塔里木油田主要领导以战略角度和开阔的视野领导组织了山前钻井技术攻关，结合当前增储上产的紧迫问题，丰富完善了两新两高的工作方针和油公司体制，组建了勘探开发一体化的项目管理机构，为钻井技术攻关提供了强大的

组织保证，油田主要领导在坚持发展油公司体制的同时注意发挥中石油正体优势，探索并实施了由中石油有实力的钻探集团进行单井区块总承包的作业方式，走出了一条山前提速、提效的新路子，使我国超深井水平得到了很大提高，出现了数口台盆区近 7000m 的超深井不到 50 天钻完的惊人记录。

本书是塔里木油田多年来钻井现场实践的结晶，更是塔里木人攻关过程披荆斩棘的奋斗史。本书通过大量的现场实例，详尽地阐述了现场钻井工作所遇到的难题及解决思路，具有鲜明的观点和技术特色。全书以相关配套技术归类，结构合理，言语朴实，数据翔实，鲜有晦涩难懂之专业术语，力求贴近现场实用，具有很好的参考价值。

随着许多油田勘探开发向深部挺进，钻井工程必将面临更多的地层、工程、工具、工艺的难题，复杂情况和事故多、钻井周期长、费用高也必将伴随而至。相信本书的出版必将为各油田和钻探集团的钻井工程技术人员提供宝贵的实战经验，也将为各级主管领导提供有益的借鉴，为推动我国超深井复杂井钻井技术的进步，发挥主要作用。



2012 年 12 月

前 言

塔里木油田山前钻井技术攻关始于“八五”期间的东秋5井，历经“九五”、“十五”、“十一五”持续不断的艰苦攻关，经过在山前克拉苏构造、大北、迪那、塔西南等超深井规模化的应用与实践，已初步形成了山前构造压力预测及塔标井身结构优化技术、山前高陡构造防斜打快技术、复合盐层钻井工艺技术、抗高温抗盐高密度钻井液及水泥浆技术、窄密度窗口安全钻进、气体钻井技术等配套技术。

利用攻关形成的配套技术，提高了深井、超深井钻井水平，2010年库车山前新开井22口，跨年度井11口，完钻井12口，总进尺115960.45米，生产时效89%、纯钻时效36%，事故时效7%，平均机械速度2.75米/小时。例如台盆区近7000m超深井实现50天钻一口井，迪那气田钻井周期基本控制在180天以内，克深7井在盐膏层埋深7945m的复杂地质条件下成功钻至8023m，创国内山前构造探井最大钻井深度纪录；应用顶部驱动钻凿8023米4 $\frac{3}{8}$ "小井眼，创4 $\frac{3}{8}$ "小井眼钻井深度世界纪录；油基泥浆最高钻井密度2.55g/cm³，钻井深度8023米，温度182℃，创油基泥浆综合应用指标世界纪录；创10 $\frac{3}{4}$ "套管下深7087米、重量640吨两项世界纪录和8 $\frac{1}{8}$ "（下深7828米）、5 $\frac{1}{2}$ "（下深7948米）尾管下深两项国内纪录。配套了750吨下套管气动卡盘，填补了国内500吨以上大吨位气动卡盘下套管的空白。大北6井采用空气钻井使机械钻速较邻井提速11.9倍；采用氮气钻进，解放致密气储层，迪西1井目的层平均机械钻速高达5m/h，为邻井依南2井的10.63倍，同时该井还获高产油气流，为邻井泥浆钻井产量的4倍，开创了库车东部致密油气勘探新局面，展示出塔里木油田山前构造深井、超深井钻井持续攻关所取得的成果，标志着塔里木油田复杂深井、超深井钻探技术取得实质性突破。深井钻井能力极大提高，拓展了塔里木油田山前勘探开发领域。

本书注重理论与实践相结合，书中阐述的工艺技术均来自于现场试验结果，来自于经验教训的总结，本书的出版希望能对从事复杂地层深井超深井钻井技术人员有所帮助。

由于本书涉及多学科内容，加之笔者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳求同仁及读者批评指正。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 “十一五” 攻关前钻井概况	(1)
一、主要钻井指标统计	(1)
二、部分 6000m 以上超深井钻井指标统计	(2)
第二节 “十一五” 攻关前面临的主要钻井难点	(3)
一、高温高压超深井复合盐层及高压盐水层普遍分布	(3)
二、山前地震资料品质差, 井身结构极难优化	(5)
三、高陡构造地层防斜与提速矛盾突出	(6)
四、上部大尺寸井眼砾石层发育, 机械钻速极低	(7)
五、窄密度窗口导致溢流、井漏同存, 钻井风险大	(8)
六、超深井对固井和钻井液提出了挑战	(9)
第三节 “十一五” 完成的典型超深井	(9)
一、克深 7 井	(9)
二、克深 2 井	(11)
三、迪那 204 井	(14)
第二章 高陡构造垂直钻井与套管防磨技术	(18)
第一节 高陡构造垂直钻井技术	(18)
一、井斜控制技术研究与应用综述	(18)
二、垂直钻井系统的工作原理与适用条件	(20)
三、垂直钻井技术在规模应用中不断改进提高	(23)
四、垂直钻井技术的应用加快了高陡构造钻井速度	(26)
五、垂直钻井技术在规模应用中不断创新提高	(29)
第二节 套管防磨、减磨技术	(30)
一、套管磨损情况统计	(30)
二、上部井段井眼轨迹控制技术	(31)
三、钻杆耐磨带技术	(32)
四、橡胶钻杆卡箍	(34)
五、高性能减磨剂的应用	(35)
六、减磨加重剂应用	(38)
七、套管磨损预测及检测技术	(40)
八、套管防磨减磨技术措施	(41)

第三章 复杂深井井身结构优化设计技术	(43)
第一节 钻前工程地质预测技术	(43)
一、基本思路	(43)
二、钻前工程地质预测技术的应用	(46)
第二节 山前构造复杂深井井身结构优化设计技术	(50)
一、山前构造井身结构演变历程	(50)
二、复杂超深井井身结构优化设计	(51)
三、常规井身结构的优化设计	(55)
四、超深盐下水平井井身结构优化设计	(56)
第三节 新型钻具设计与应用	(59)
一、高抗扭双台肩钻具设计与应用	(59)
二、127mm (5in) 塔标钻杆设计与应用	(61)
三、非标小接头钻杆设计与应用	(63)
四、新型钻具现场应用效果	(65)
第四章 深层巨厚复合盐层、盐水层钻井工艺技术	(66)
第一节 盐膏层(高压盐水层)成因、分布及特征	(66)
一、古近系复合盐层的成因及特征	(67)
二、库车山前地区高压盐水层地质成因	(69)
第二节 盐膏层、盐水层对钻井工程的危害	(72)
一、克拉苏构造带盐膏层钻井事故、复杂情况统计分析	(72)
二、盐膏层、盐水层对钻井工程的危害	(75)
第三节 盐膏层地层的井壁稳定性	(75)
一、盐膏层岩石理化性质	(75)
二、盐膏层的蠕变规律	(77)
三、盐膏层井眼失稳机理	(79)
第四节 盐膏层、高压盐水层安全密度设计	(84)
一、克拉苏构造带高压盐水层分布规律	(84)
二、高压盐水层安全钻井液密度窗口	(85)
三、深部巨厚盐膏层钻井液密度窗口	(87)
四、盐膏层漏封段钻井液密度确定方法	(89)
第五节 盐膏层、盐水层钻井配套工艺技术	(90)
一、盐膏层钻井工艺技术	(90)
二、盐膏层固井工艺配套技术	(94)
第五章 抗高温高密度钻井液技术	(96)
第一节 国内外深井超深井钻井液技术	(96)
第二节 塔里木深井钻井液面临的难题	(97)

第三节 DDM 水基钻井液技术	(98)
一、DDM 水基钻井液技术特点	(99)
二、DDM 水基钻井液体系配方及性能	(99)
三、现场维护处理措施	(100)
四、英深 1 井应用情况	(101)
第四节 UDM -1 水基钻井液技术	(103)
一、UDM -1 水基钻井液体系特点	(103)
二、UDM -1 水基钻井液体系性能	(104)
三、UDM -1 水基钻井液体系在现场应用情况	(104)
四、UDM -1 水基钻井液体系的技术优势	(106)
第五节 UDM -2 油基钻井液技术	(107)
一、UDM -2 油基钻井液体系的特点	(107)
二、UDM -2 油基钻井液体系的基本配方及性能	(107)
三、UDM -2 油基钻井液体系的维护处理工艺	(108)
四、克深 7 井的应用及效果	(109)
第六节 高密度防漏堵漏技术	(111)
一、井漏特征	(111)
二、井漏预防技术	(111)
三、常规桥接堵漏技术	(112)
四、高失水复合堵漏技术	(114)
五、雷特高承压堵漏技术	(116)
六、沉淀隔离法压井堵漏技术	(118)
第六章 高温高密度固井技术	(121)
第一节 超高密度抗高温水泥浆体系	(121)
一、超高密度固井加重剂	(121)
二、高密度抗高温抗盐水泥浆体系	(125)
三、超高密度水泥浆体系现场应用实例	(129)
第二节 大吨位长裸眼下套管技术	(133)
一、山前井钻机提升能力评估	(133)
二、大吨位下套管工具安全校核	(135)
三、大吨位长裸眼套管下入技术应用	(140)
四、大尺寸套管下入技术规范	(141)
第三节 超高密度固井地面施工工艺技术	(142)
一、地面设备配套系统	(142)
二、地面水泥浆配套配制工艺	(145)
三、固井地面施工要点	(147)

四、克深7井现场应用	(148)
第四节 高温高密度固井配套技术成果	(150)
一、实现套管国产化率达100%	(150)
二、超高密度固井合格率大于95%	(152)
三、长裸眼大吨位套管下入一次成功率达100%	(153)
四、固井配套技术屡创国内外记录	(154)
第七章 高压气井井控工艺及井控装备配套技术	(155)
第一节 地层流体侵入和压力控制基础理论	(155)
一、超深井地质环境特征分析	(155)
二、渗透性储层压力控制基础理论	(156)
三、裂缝性储层特征分析	(157)
四、裂缝性储层的溢流机理	(158)
五、裂缝性储层井控技术	(160)
第二节 深井超深井井控安全风险评价技术	(161)
一、井筒安全评价技术	(161)
二、井控安全风险评价技术	(165)
第三节 深井超深井井控装备配套技术	(169)
一、井控装备配套规范	(170)
二、节流管汇的改进	(172)
三、克深2井控装备配置实例	(176)
第四节 深井超深井溢流控制技术	(178)
一、早期微量溢流监测技术	(178)
二、溢流关井方法	(180)
三、井漏失返条件下安全起下钻、电测保障技术	(184)
第五节 深井超深井压井工艺技术	(186)
一、压回法压井技术	(187)
二、反循环法压井技术	(190)
第六节 风险控制钻井技术(NDS)	(192)
一、技术原理	(192)
二、应用及效果	(193)
三、地质力学模型在钻进中的更新和应用	(194)
四、地质力学模型钻后评价	(197)
第八章 气体钻井应用技术	(200)
第一节 克拉苏构造带砾石层工程地质特征	(200)
一、砾石层的分布特征	(200)
二、砾石层岩性特征	(201)

三、地层流体特征及规律	(204)
四、工程实钻特征	(205)
第二节 气体钻井适应性分析	(206)
一、地层出水分析	(206)
二、井壁稳定适应性分析	(208)
三、地层出气及井下燃爆问题	(208)
第三节 气体钻井工艺技术	(210)
一、井身结构优化设计	(210)
二、施工参数优化	(212)
三、地层出水及对策	(213)
四、气体钻井防斜措施	(215)
五、钻井工艺流程	(216)
第四节 气体钻井配套装备	(218)
一、空气钻井地面装备	(218)
二、高压增压机	(219)
三、双出口旋转控制头及双直通排砂管线	(220)
四、柔性空气钻井井口	(220)
第五节 现场应用及效果评价	(221)
一、气体钻井现场应用情况及效果	(221)
二、应用实例	(223)
参考文献	(232)

第一章 概 述

第一节 “十一五” 攻关前钻井概况

塔里木盆地山前构造带钻井技术攻关始于 1993 年的东秋 5 井, 截至 2005 年 10 月, 山前构造累计钻井 75 口, 其中探井 49 口, 评价井 15 口, 开发井 11 口。

“十一五” 技术攻关前, 针对山前构造钻井难点塔里木油田开展了 10 个方向的科研攻关: ① 高陡构造防斜打快钻井技术研究; ② 古近系复合盐层钻井技术研究; ③ 破碎地层、水敏性泥页岩和高地应力地层井壁稳定技术研究; ④ 山前构造 PDC 钻头设计、制造、选型技术研究; ⑤ 山前构造地层压力预测、监测技术研究; ⑥ 山前构造井身结构设计、套管强度设计、校核及非常用套管开发技术研究; ⑦ 高温、高密度、抗盐、抗钙防气窜固井技术研究; ⑧ 高压气井井控技术、井控装备配套技术研究; ⑨ 套管磨损机理及套管防磨技术研究; ⑩ 高密度、窄密度窗口钻井技术研究。

通过技术攻关, 取得了如下成果:

(1) 形成了复合盐层钻井和高密度水基钻井液 2 项成熟技术;

(2) 取得了高陡构造防斜打快技术、PDC 钻头使用技术和高压气井井控装备配套技术 3 项技术进展;

(3) 获得了 4 个方面的技术认识: ① 在现有技术条件难以准确预测地质情况时, 必须提前做好工程预案, 加强技术、工具、装备、材料准备; ② 在窄密度窗口安全钻进必须优化钻井工程参数, 实现近平衡钻井; ③ 必须通过控制井身质量、使用钻杆护箍、添加减磨剂、替代铁矿粉来减小套管磨损; ④ 必须把钻井液技术作为山前构造钻井的核心技术加以重视。

通过应用攻关取得的成果, 加快了山前构造钻井速度。与“八五” 期间相比, 平均钻机月速提高 81.19%, 平均机械钻速提高 104.8%, 平均钻井周期降低 48.14%, 较好地完成了克拉、迪那、羊塔克—玉东大型油气田群的发现、评价、开发任务, 并且在复杂的山前地区钻成了当时中国陆上垂直深度最大的超深井——英深 1 井 (7258m)。

一、主要钻井指标统计

2000—2005 年共完成 6000m 以上深井 53 口, 其中井深大于 7000m 的 2 口; 2005—2010 年完成 6000m 以上深井 445 口, 其中井深大于 7000m 的 29 口, 最深克深 7 井完钻井深 8023m, 深井、超深井数量明显增加。历年超深井数量统计见图 1-1。

2000—2005 年共完成山前井 30 口、6000m 以上的深井 12 口; 2005—2010 年完成山前井 48 口、6000m 以上深井 16 口。随着钻井技术的日趋成熟, 平均完钻井深和平均机械钻速都有显著的提高, 平均钻井周期有明显地缩短。山前井主要钻井指标及超深井 (6000m) 主要钻井指标统计数据见表 1-1、表 1-2。

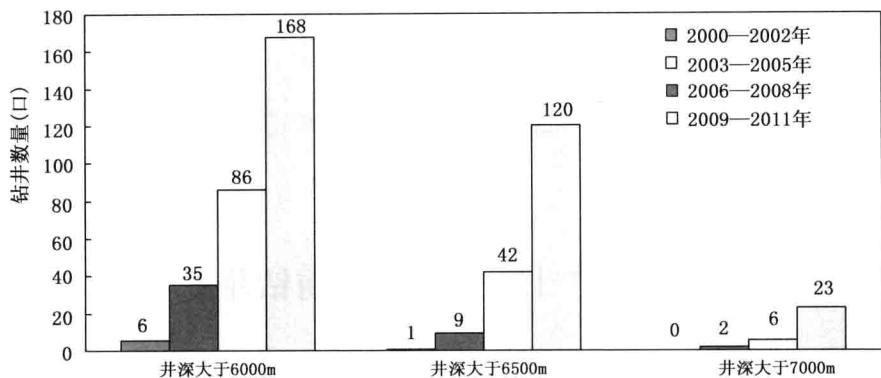


图 1 - 1 超深井（井深大于 6000m）数量统计图

表 1 - 1 山前井主要钻井指标

年度	完成井数 (口)	钻井进尺 (m)	平均完钻井深 (m)	平均机械钻速 (m/h)	平均钻井周期 (d)	生产时效 (%)	纯钻时效 (%)	复杂时效 (%)	事故时效 (%)
2000—2005	30	173401	5780	1.65	347.98	84.19	39.23	6.68	6.68
2005—2010	48	280012.6	5834	2.14	307.6	82.81	33.09	6.85	9.67

表 1 - 2 山前地区深井（6000m）主要钻井指标

年度	完成井数 (口)	钻井进尺 (m)	平均完钻井深 (m)	平均机械钻速 (m/h)	平均钻井周期 (d)	生产时效 (%)	纯钻时效 (%)	复杂时效 (%)	事故时效 (%)
2000—2005	12	76448	6370.7	1.46	412	85.62	41	6.65	6.40
2005—2010	16	104440	6527.5	1.58	458	83.44	35.83	5.18	10.78

二、部分 6000m 以上超深井钻井指标统计

从表 1 - 3、表 1 - 4 可以看出，超深井钻井周期普遍超长，平均钻井周期超过 400 天，平均钻速为 1.7m/h，平均事故、复杂时效偏高。

表 1 - 3 2005 年前部分 6000m 以上超深井钻井指标

序号	年份	井号	完钻井深 (m)	钻井周期 (d)	完井周期 (d)	平均钻速 (m/h)	复杂时效 (%)	事故时效 (%)
1	2003	却勒 4	6172	256.71	322.25	2.11	5.36	6.93
2	2003	秋参 1	6920	646.3	681.46	1.12	4.78	3.28
3	2003	柯深 102	6436	242.44	284.08	1.48	0.03	0.19
4	2003	乌参 1	6394	431.12	455.01	1.55	1.63	0.33
5	2004	野云 2	6248	251.07	289.71	2.99	2.06	22.65
6	2005	八盘 1	6509	372.5	398.33	1.41	4.49	0.4
7	2005	英深 1	7258	691.6	701.04	1.82	16.68	28.36
平 均			6562.43	413.11	447.41	1.78	5.00	8.87

表 1-4 大北—克深地区 2006—2009 年完成井钻井指标统计

序号	井号	完钻井深 (m)	钻井周期 (d)	复杂时效 (%)	事故时效 (%)	平均钻速 (m/h)
1	大北 101	5919	345.21	5.07	1.89	2.07
2	大北 3	7090.88	569.1	1.55	8.67	1.31
3	大北 102	5550	317.83	5.23	3.00	1.92
4	大北 201	6145	540.52	15.17	17.09	1.93
5	大北 103	5946	408.23	14.52	15.08	1.71
6	克拉 4	6392.5	369.76	0.48	9.32	2.34
7	克深 2	6780	368.18	14.27	1.17	2.34
8	大北 202	6100	364.15	4.29	0.20	1.42
9	大北 104	6080	411.54	0.85	0.00	1.12
10	克深 5	6875	411.17	9.21	0.07	2.32
11	大北 301	7085.6	660.21	4.32	31.95	1.66
2006—2009 年平均		6360	433.63	6.94	9.52	1.73

第二节 “十一五” 攻关前面临的主要钻井难点

“十一五”期间，塔里木盆地作为中国石油天然气探明储量主要集中区，勘探开发工作量持续增长、勘探开发区域日趋复杂，需要不断提高钻井速度，解决勘探开发出现的新问题。但是，高陡构造地层的防斜打快，研磨性地层提速，中下部巨厚盐膏层、高压盐水层分布无规律，窄密度窗口安全钻井，恶性井漏的防治等难题已严重制约了深井钻井速度。

一、高温高压超深井复合盐层及高压盐水层普遍分布

1. 高温高压超深井难度居世界前列

目前世界范围内开发的高温高压油气田主要分布在北海和墨西哥湾。库车山前超深井的最高压力超过 200MPa，温度接近 200℃。压力接近高压的第三等级，温度为高温的第二等级，高温高压级别与墨西哥湾超深井相当（表 1-5）。

表 1-5 主要盐下超深井钻井区块温度、压力对比数据

地区名称	最高压力 (MPa)	最高温度 (℃)	压力级别	温度级别
塔里木	201.5	186	大于二级，接近三级	接近二级
墨西哥湾	178	232	大于二级，小于三级	大于二级，小于三级
北海	179	203	大于二级，小于三级	二级
巴西	82	160	常压	常温

从表 1-5 中可以看出：塔里木油田的库车山前构造井底压力最高，井底最大压力达到 201.5MPa；其次是北海和墨西哥湾，压力都接近 180MPa。井底静止温度最高的是墨西哥湾，达到 232℃；其次是北海，达到 203℃；库车山前的井则超过 186℃。

2. 古近系巨厚复合盐层普遍分布

库车山前复合盐层属于古近系，盐层分布在 1526~7945m 之间，最大厚度为 5177m，盐间有高压盐水，压力系数最高为 2.47，盐间最高钻井液密度为 2.55g/cm³，井底最高温度为 186℃。该地区已钻井表明，盐层分布的深度、厚度纵横向差异大。库车山前盐层与世界其他地区盐层的对比见表 1-6，其中库车山前盐层分布的井段最广，盐层最多可达 6 套，从 1526m 到 7945m 都有盐层，墨西哥湾盐层虽然最厚达到 5487m，但只有一套盐层，分布均匀。库车山前、北海、墨西哥陆上盐层都是盐、石膏、泥岩、膏质泥岩、盐质泥岩组成的复合盐层，但库车山前复合盐层内高压盐水层发育(表 1-7)，盐水最高压力系数为 2.47，墨西哥南部陆上油田的盐间也有高压盐水，压力系数最高达到 2.27，巴西盐层地层压力为常压。综合对比，塔里木油田山前构造盐层分布之广、岩性之复杂实为世界级难题。

表 1-6 世界主要地区盐层分布情况对比

油田名称	盐层分布井段 (m)	盐层最大厚度 (m)	盐层所属地层	盐层最大套数	高压盐水最高压力系数	盐下压力情况
塔里木库车山前	1526 ~ 7945	5177	古近系	6	2.47	盐下储层压力系数为 1.82 ~ 1.86
墨西哥湾海上	2200 ~ 6700	5487	古近系	1	1.80	破裂压力系数 < 1.6，孔隙压力系数为 1.1 ~ 1.4
北海	2800 ~ 3400	600	二叠纪	多套		盐下压力升高、温度升高
巴西海上	3000 ~ 5000	2000		1	1.1	盐下常压
墨西哥南部	2250 ~ 3750	970	古近系	多套	2.27	盐下地层压力降低

表 1-7 库车山前井高压盐水层统计

井号	层位	压力系数	井深 (m)	复杂简况	复杂事故时间 (d)
克拉 4	E	2.47	6392.5	压井	33.91
阳北 1	E	2.05	6501	循环压井	2.3
大北 201	E ₁₋₂ km	2.03	4464.72	卡钻、侧钻	93.25
大北 103	E ₁₋₂ km	2.38	5668.99	压井、卡钻、侧钻	85
迪那 101	N ₁ J	2.41	4128.29	堵漏、压井、卡钻、侧钻	37.46
迪那 2-3	N ₁ J	2.40	4506.61	卡钻完井	17.35
迪那 2-4	N ₁ J	2.35	4638	压井	2.78

3. 高压盐水层分布无规律

塔里木油田山前构造高压盐水层分布及规律，见图 1-2。压力梯度高，有些井甚至高于上覆岩层压力梯度（如克拉 4 井 $2.42\text{g}/\text{cm}^3$ ，大北 103 井 $2.38\text{g}/\text{cm}^3$ ，迪那 101 井 $2.41\text{g}/\text{cm}^3$ ）；处理难度大，盐水层极难压稳，伴随盐水浸、井漏，关井压力高，压井难度大，而且频繁地进行堵漏压井作业极易造成恶性卡钻。如：迪那 101 井盐层段钻遇高压盐水层 6 层，钻井液密度为 $2.41\sim 2.46\text{g}/\text{cm}^3$ ，发生溢流 2 次，进行堵漏作业 58 次，其中注水泥堵漏 9 次，LCP2000 堵漏 2 次，桥浆堵漏 47 次，累计漏失钻井液 3602.6m^3 ，卡钻报废；克拉 4 实钻过程中用 $2.05\text{g}/\text{cm}^3$ 的钻井液钻至 4397.09m 突然钻遇盐间高压盐水层，关井套压 22MPa ，折算地层压力系数为 2.47，损失时间为 29.5 天。

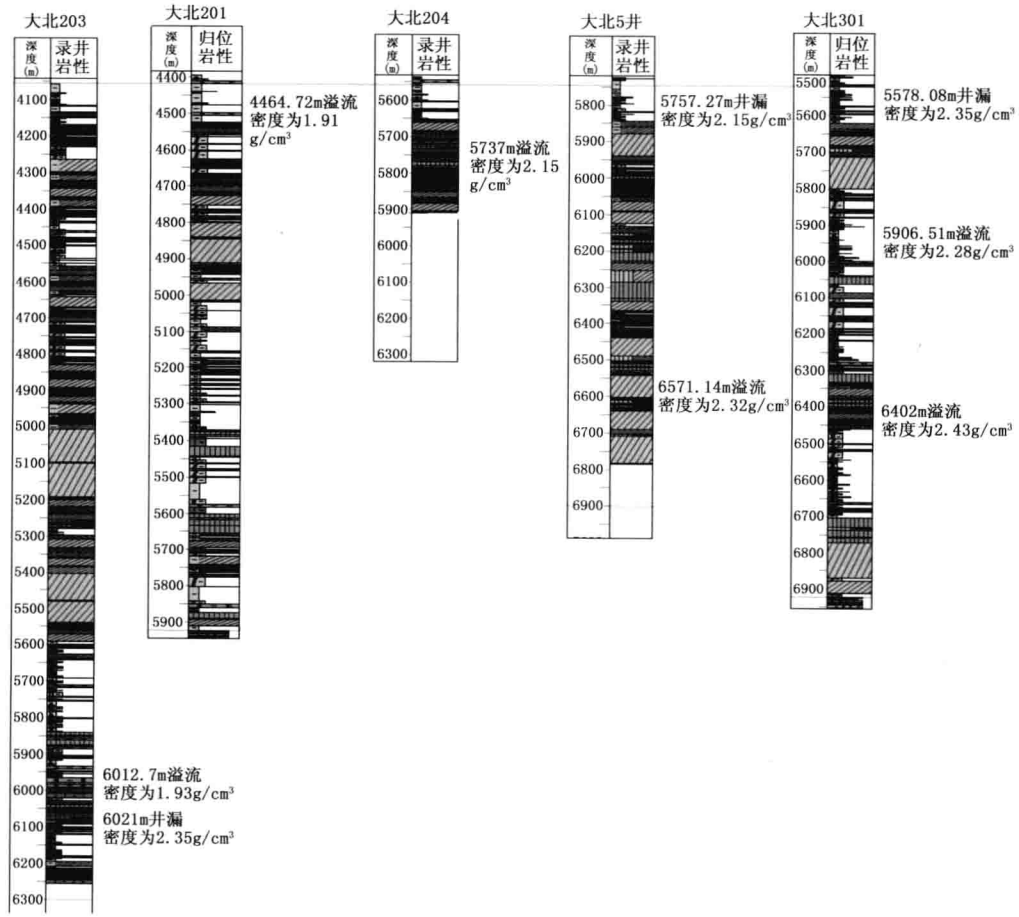


图 1-2 大北区块盐间高压水层分布极不规律图

二、山前地震资料品质差，井身结构极难优化

山前探井的地层压力预测与钻井液密度设计基于地震资料，但复杂的地质条件造成地震资料品质差，难以满足地层压力预测需求。在这种情况下，无论是地质构造形态，还是地层分层都存在很大的不确定性，地质卡层难度大，钻井出现“遭遇战”，钻井过程中井身结构