



中国石油勘探工程技术攻关丛书

ZHONGGUO SHIYOU KANTAN GONGCHENG JISHU GONGGUAN CONGSHU

复杂深井钻井 技术及应用

○ 中国石油勘探与生产分公司 著



石油工业出版社

0645915

TE245

中国石 009 术攻关丛书

复杂深井钻井技术及应用

中国石油勘探与生产分公司 著



石油大学

0725438

石油工业出版社

内 容 提 要

本书总结了2006—2008年中国石油勘探工程钻井技术攻关取得的研究成果及其应用情况,阐述了气体钻井技术、垂直钻井技术、钻头个性化设计与优选技术、堵漏与控压钻井技术、非常用井身结构及配套技术、抗高温钻井液技术、高温高压及酸性天然气井固井技术等攻关所形成和完善的重大技术进展。

本书适合钻井技术人员与管理人员,以及大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

复杂深井钻井技术及应用/中国石油勘探与生产分公司著.
北京:石油工业出版社,2009.11

(中国石油勘探工程技术攻关丛书)

ISBN 978-7-5021-7470-5

I. 复…

II. 中…

III. 钻井-油气钻井-科技成果-中国

IV. TE245

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第192080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) 64523586

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

2009年11月第1版 2009年11月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:17.75

字数:450千字 印数:1—2000册

定价:90.00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

《中国石油勘探工程技术攻关丛书》

编 委 会

主 任：周吉平

副主任：赵政璋 贾承造

委 员：（按姓氏笔画排序）

马新华	王元基	王玉华	王招明	付锁堂	冯志强
匡立春	孙 宁	孙龙德	杨 华	杜金虎	吴 枚
吴 奇	吴永平	吴国干	何江川	邹才能	张 玮
张国珍	陈建军	周明春	周海民	周家尧	周新源
郑新权	孟卫工	赵文智	赵邦六	赵志魁	赵贤正
袁士义	贾 东	夏义平	徐凤银	徐春春	梁世君
董月霞	董焕忠	魏顶民			

《复杂深井钻井技术及应用》

编 写 组

主 编：吴 奇

副 主 编：孙 宁 郑新权 徐春春 安文华 张凤民

刘 合

主要成员：陈 刚 王 峰 毛蕴才 汪海阁 骆发前

查永进 吴仕荣 唐继平 吕光明 魏风奇

叶新群

顾 问：周煜辉 钟树德 孙振纯 董 杰 刘雨晴

朱明亮

序

中国石油作为我国能源行业的特大型骨干企业，在保障国家能源安全方面具有义不容辞的光荣使命。经过半个多世纪的大规模勘探开发，国内油气勘探已进入一个新的发展阶段，特别是随着勘探开发的不断深入，勘探领域发生了很大变化。从地面条件看，勘探对象已从平原向山地、沙漠、滩海大幅度延伸；从地质条件看，低渗透、复杂碳酸盐岩、火山岩等复杂储层和稠油等复杂油藏所占比例大幅度增加。在这种情况下，如何继续大幅度增加储量以满足油气产量持续增长的需要成了摆在我们面前的迫切问题。

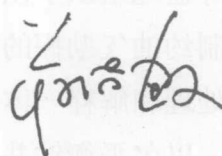
为了积极应对这种挑战，2005 年我们明确提出了“油气勘探必须走技术发展之路”的要求，并按照“突出重点探区、依托重点项目、注重实际效果”的思路，设立专项投资，发挥中国石油整体优势，分物探、钻井、测井、试油四个专业，重点在塔里木、四川、准噶尔、渤海湾、柴达木、松辽、鄂尔多斯等盆地组织了以现场为主体的工程技术攻关。通过几年的不懈努力，一大批制约油气勘探的瓶颈技术得以攻克，针对复杂地表和高陡构造的地震采集、处理和解释一体化技术取得明显突破，发现了一批具有战略意义的勘探目标；以欠平衡钻井、垂直钻井等为主的低压储层保护和高陡构造防斜打快技术极大地提升了钻井能力，保障了勘探发现；以成像测井为主的采集技术和以复杂油气藏饱和度研究为主的解释技术研发成功，较好地保障了火山岩、低渗透等复杂储层识别与评价的需要；以大型酸化和压裂改造为主的增产技术，提升了低渗透油气层的商业价值。一大批工程技术的突破不仅提高了其在油气勘探中的保障能力，也增长了工程技术服务队伍的竞争能力，更为重要的是拓展了新的油气勘探领域，开阔了找油找气的视野，进一步坚定了我们不断寻找大油气田的信心和决心。

伴随着工程技术的进步，近年来我们已经进入新的油气储量增长高峰期，连续六年探明石油地质储量大于 5 亿吨，连续三年探明天然气地质储量大于 3000 亿立方米。新发现并落实了长庆苏里格、塔里木库车等储量规模万亿立

方米的气田和目标区，发现并落实了长庆姬塬和西峰、塔里木塔北、准噶尔西北缘等一批储量规模 5 至 10 亿吨的规模储量区。由于勘探的快速发展，油气资源基础不断夯实，油气田开发也进入了快速发展的新阶段，原油产量从 2006 年开始连续三年创历史新高，天然气产量从 2005 年开始连续五年换“百”字头。

《中国石油勘探工程技术攻关丛书》系统总结了这几年来技术攻关的丰硕成果，凝聚了攻关单位数百名科技工作者的辛勤劳动。相信这套《丛书》的出版，必将对提高技术人员的业务素质和管理人员的驾驭能力、提升勘探技术应用水平起到带动和促进作用，也必将为推动中国石油上游业务的发展起到重要作用。

认识没有止境，攻关永不停步。随着勘探难度的增加，许多新的问题需要解决，大量技术难题有待攻克。我们必须继续坚定走技术发展之路不动摇，继续狠抓技术攻关不松劲。只有这样，才能持续推动工程技术进步，才能更好地为“储量增长高峰期工程”和“稳定并提高单井日产量工程”提供技术保障。



2009 年 11 月 2 日

前言

随着油气勘探开发的不断深入,勘探目标日趋复杂,尤其是面向复杂岩性油气藏、碳酸盐岩油气藏、火成岩油气藏以及前陆盆地等领域,发现新油气藏的难度不断加大。2004—2005年间,中国石油经过不懈努力,相继在塔里木盆地库车山前、松辽盆地深层火成岩以及四川盆地川东北海相储层勘探上获得重大突破,展现了油气勘探的良好前景。然而,这些地区高陡构造、高温高压、低压漏失、窄密度窗口、高研磨性地层等复杂地质条件给油气勘探工程提出了严峻的考验和挑战,钻井过程中复杂事故与安全隐患多、钻井安全风险大、钻井周期长、钻井成本高,严重制约了这些地区油气勘探开发的进程和效益。

为了满足我国经济持续快速发展对油气资源需求的日益增长,保证我国能源战略安全,中国石油天然气股份有限公司进一步加大了油气勘探力度。在2005年的中国石油勘探年会上,蒋洁敏总理做出了“油气勘探必须走技术发展之路”的指示。从2006年开始,中国石油勘探与生产分公司以“立足重大领域,依托重点项目,攻克关键问题,形成配套技术”的原则,发挥整体优势,以联合平行技术攻关为指导思想,开展了新一轮大规模、全方位、多层次的工程技术攻关。在组织方式上发挥中国石油的整体优势,相关油田公司、施工服务企业、科研院所共同参与;在实施上突出重点探区,依托重点项目,注重实际效果;旨在通过成熟技术集成配套与引进技术的消化吸收再创新,尽快攻克瓶颈技术,形成相关领域的配套工程技术系列。

作为勘探工程技术攻关的重要组成部分,钻井技术攻关结合重点勘探项目,筛选了具有代表性的塔里木库车山前、四川盆地和松辽盆地深层作为攻关对象,确立了塔里木山前高陡构造复杂深井提速攻关、四川盆地复杂深井钻井配套技术攻关和松辽盆地深层天然气钻井配套技术攻关三个项目。通过三年的持续攻关,采取了自主创新与引进吸收、集成配套相结合的形式,以满足勘探与开发生产技术需求为导向,形成了气体钻井提速技术、高陡构造防斜打快的垂直钻井技术、高研磨性地层钻头个性化设计与优选技术、窄密度窗口堵漏与控压钻井技术、复杂地层压力系统非常用井身结构优化设计技术、新型钻具技术、抗高温钻井液技术、高温高压及酸性天然气井防腐防气窜固井技术等配套技术系列,有效地保障了迪那2、龙岗等重点勘探开发项目的顺利实施。正是通过三年的攻关和推广,使空气钻井、垂直钻井等技术得到规模化应用,为深井提速夯实了技术基础,促进深井钻井技术迈上了一个新台阶。三年共完成4000m以上深井909口,机械钻速提高了25.9%,钻井周期缩短了13.6%;完成6000m以上超深井88口,创造了一批深井、超深井纪录,有效地保证了勘探的发现。

三年持续攻关的实践证明,由中国石油天然气股份有限公司根据勘探开发技术需求设立工程技术攻关项目,以重点勘探开发项目为依托,发挥中国石油的整体优势,组织相关单位联合攻关,坚持成熟技术应用与瓶颈技术攻关相结合,有利于技术的集成和尽快见到实效,有利于技术的规模化应用,是非常有效的攻关模式。攻关过程中,针对技术薄弱环节,适当引进国外先进技术,开展瓶颈技术攻关与成熟技术集成应用,对于加快重点勘探工程建设,促进国内对相应技术的研发进程,起到了积极的推动作用。三年攻关成果的应用,保证了一

批复杂深井的有效实施，正是由于工程技术上的突破，为勘探上一个又一个丰硕成果的取得提供了强有力的技术保障。

本书由中国石油勘探与生产分公司组织编写，编写过程中得到了三年攻关各参加单位的大力支持，中国石油勘探与生产分公司多次组织有关人员，就本书编写内容、框架结构进行了充分细致的讨论。在此前提下，各油（气）田及相关协作单位按编写框架要求提交了大量的素材，提供了本文中引用的全部数据，为本书编写奠定了基础。其中前言与启示和建议部分由毛蕴才编写；第一章由查永进编写；第二章由梁红军、谢又新等编写；第三章由刘文忠、邓虎等编写；第四章由韩福彬、白相双等编写；第五章由刘文忠、邓虎、查永进等编写；第六章由梁红军、谢又新、查永进等编写；第七章由郝忠宝、白相双、查永进等编写；第八章由谢又新、韩烈祥、查永进等编写；第九章由迟军、谢又新、查永进等编写；第十章由白相双、韩福彬、查永进等编写；第十一章由刘爱萍编写。本书由郑新权、汪海阁、毛蕴才、朱明亮、刘雨晴、黄洪春、徐显广、耿东士、魏风奇、程荣超、叶新群、邹灵战等参与审查。全书由吴奇、郑新权、毛蕴才统稿。

在项目攻关和本书的编写过程中，得到了中国石油天然气股份有限公司赵政璋副总裁和贾承造院士的大力支持，得到了中国石油集团钻井工程技术研究院的大力帮助，得到了中国石油勘探与生产分公司有关处室的大力配合，工程技术与监督处做了大量具体的组织和技术指导工作，石油工业出版社对出版样稿进行了详细的审查与修改，对本书补益甚大。值此本书正式出版之际，谨向他们表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，本书难以全面反映三年攻关的全部成果，难免有差错与不足，敬请读者给予批评指正。

目 录

序 前言

复杂深井钻井技术攻关进展

第一章 概述	(3)
第一节 攻关前钻井基本情况	(3)
第二节 攻关前中国石油钻井面临的突出难点	(4)
第三节 攻关取得的总体效果	(8)
第二章 塔里木盆地山前复杂深井钻井技术攻关	(12)
第一节 塔里木山前构造钻井面临的难题	(12)
第二节 攻关形成的特色技术	(14)
第三节 攻关取得的效果	(18)
第四节 工程示范井应用实例	(20)
第三章 四川盆地复杂深井钻井配套技术攻关	(27)
第一节 四川盆地复杂深井钻井面临的难题	(27)
第二节 形成的配套技术	(28)
第三节 攻关取得的效果	(36)
第四节 工程示范井应用实例	(38)
第四章 松辽盆地深层天然气钻井配套技术攻关	(41)
第一节 松辽盆地深层钻井面临的难题	(41)
第二节 形成的配套技术	(43)
第三节 攻关取得的效果	(47)
第四节 工程示范井应用实例	(48)

复杂深井钻井新技术

第五章 气体钻井技术	(59)
第一节 气体钻井技术概述	(59)
第二节 气体钻井装备与工艺	(60)
第三节 气体钻井技术现场应用	(82)
第六章 垂直钻井技术	(96)
第一节 垂直钻井技术概述	(96)
第二节 垂直钻井技术现场应用	(100)
第三节 国内垂直钻井系统研究进展	(112)

第七章 钻头个性化设计与优选技术	(114)
第一节 钻头优选技术新进展	(114)
第二节 钻头优选技术现场应用	(122)
第八章 堵漏与控压钻井技术	(128)
第一节 堵漏钻井液技术	(128)
第二节 波纹管堵漏技术	(147)
第三节 控压钻井技术	(150)
第四节 井下监测技术	(160)
第九章 非常用井身结构及配套技术	(186)
第一节 钻井地质风险预测技术	(186)
第二节 非常用井身结构技术	(193)
第三节 新型钻具技术	(198)
第十章 抗高温钻井液技术	(204)
第一节 松辽深层抗高温钻井液技术	(204)
第二节 火成岩气藏储层保护技术	(211)
第十一章 高温高压及酸性天然气井固井技术	(215)
第一节 固井技术难点	(215)
第二节 水泥浆技术	(217)
第三节 固井工具和装备	(246)
第四节 固井工艺技术	(252)
第五节 技术应用效果	(262)

启示和建议

第十二章 认识和启示	(267)
第十三章 存在问题与下步攻关建议	(269)
第一节 深井钻井目前存在的问题	(269)
第二节 下步攻关建议	(270)
参考文献	(271)

复杂深井钻井技术攻关进展

第一章 概 述

第一节 攻关前钻井基本情况

2005 年，中国石油共完钻井 12807 口，钻井进尺 $2137.4 \times 10^4 \text{m}$ ，平均井深 1668.91m，平均机械钻速 11.81m/h，平均钻井周期 12.57d，平均完井周期 16.05d，取心收获率 95%，井身质量合格率 99.84%，固井质量合格率 99.75%（表 1-1）。完钻井平均生产时效 91.72%，非生产时效 8.28%，纯钻时效 36.89%，事故时效 1.75%，复杂时效 2.71%，组织停工时效 1.79%（表 1-2）。

表 1-1 中国石油 2005 年钻井指标

项目	井数 (口)	进尺 (10^4m)	平均 井深 (m)	平均机 械钻速 (m/h)	平均钻 井周期 (d)	平均完 井周期 (d)	取心 收获率 (%)	井身质量 合格率 (%)	固井质量 合格率 (%)
全部井	12807	2137.4	1668.91	11.81	12.57	16.05	95	99.84	99.75
探井	827	221.2	2674.76	5.41	47.1	55.22	93.36	99.22	99.0
>4000m 深井	189	94.48	4998.82	3.32	141.03	155.54	90.08	99.47	99.47

表 1-2 中国石油 2005 年钻井时效

项目	生产时效 (%)	非生产时效 (%)	纯钻时效 (%)	事故时效 (%)	复杂时效 (%)	组织停工时效 (%)
全部井	91.72	8.28	36.89	1.75	2.71	1.79
探井	89.96	10.04	37.14	2.81	3.45	2.01
>4000m 深井	86.97	13.03	40.32			

2005 年，中国石油共完钻探井 827 口，进尺 $221.2 \times 10^4 \text{m}$ ，平均井深 2674.76m，平均机械钻速 5.41m/h，平均钻井周期 47.1d，平均完井周期 55.22d；平均生产时效 89.96%，非生产时效 10.04%，纯钻时效 37.14%，事故时效 2.81%，复杂时效 3.45%，组织停工时效 2.01%；取心收获率 93.36%，井身质量合格率 99.22%，固井质量合格率 99.0%。

2005 年，中国石油共完钻井深 4000m 以上深井 189 口，完成深井进尺 $94.5 \times 10^4 \text{m}$ ，平均井深 4998.82m；平均机械钻速 3.32m/h，平均单井耗用钻头 24 只，平均钻井周期 141.03d，平均完井周期 155.54d；平均生产时效 86.97%，非生产时效 13.03%，纯钻时效 40.32%；井身质量 99.47%，固井质量 99.47%，取心收获率为 90.08%。

中国石油塔里木油田分公司 2005 年完钻井深 4000m 以上深井 97 口，进尺 $52.5 \times 10^4 \text{m}$ ，

平均井深 5417.25m; 平均机械钻速 4.75m/h, 平均单井耗用钻头 20 只, 平均钻井周期 114.65d, 平均完井周期 126.8d; 平均生产时效 87.18%, 非生产时效 12.82%, 纯钻时效 37.55%。

中国石油西南油气田分公司 2005 年完钻井深 4000m 以上深井 32 口, 进尺 15.2×10^4 m, 平均井深 4740.32m; 平均机械钻速 1.76m/h, 平均单井耗用钻头 38 只, 平均钻井周期 237.25d, 平均完井周期 261.38d; 平均生产时效 85.85%, 非生产时效 14.15%, 纯钻时效 42.99%。

中国石油玉门油田分公司 2005 年完钻井深 4000m 以上深井 14 口, 进尺 6.9×10^4 m, 平均井深 4946.72m; 平均机械钻速 1.71m/h, 平均单井耗用钻头 38 只, 平均钻井周期 237.89d, 平均完井周期 257.89d; 平均生产时效 82.92%, 非生产时效 17.08%, 纯钻时效 46.89%。

中国石油大庆油田有限责任公司 2005 年完钻井深 4000m 以上深井 6 口, 进尺 2.5×10^4 , 平均机械钻速 2.89m/h, 平均单井耗用钻头 21 只, 平均钻井周期 142.7d, 平均完井周期 148.6d; 平均生产时效 87.29%, 非生产时效 12.71%, 纯钻时效 38.38% (表 1-3、表 1-4)。

表 1-3 重点地区 2005 年深井钻井指标

油田	井数 (口)	进尺 (10^4 m)	平均井深 (m)	平均机械钻速 (m/h)	平均钻井周期 (d)	平均完井周期 (d)	平均耗用钻头 (只)
塔里木	97	52.55	5417.25	4.75	114.65	126.8	20
西南	32	15.17	4740.32	1.76	237.25	261.38	38
玉门	14	6.93	4946.72	1.71	237.89	257.89	38
大庆	6	2.51	4157	2.89	142.7	148.6	21

表 1-4 重点地区 2005 年深井钻井时效情况

油田	生产时效 (%)	非生产时效 (%)	纯钻时效 (%)
塔里木	87.18	12.82	37.55
西南	85.85	14.15	42.99
玉门	82.92	17.08	46.89
大庆	87.29	12.71	38.38

从中国石油整体钻井情况分析可以看出, 中国石油探井存在非生产时效高、钻井周期长的问题; 特别是深探井, 由于地质条件的复杂性, 钻井中事故复杂多、钻井周期长的问题更为突出。

第二节 攻关前中国石油钻井面临的突出难点

“十五”期间的油气勘探成果主要集中在松辽、四川、渤海湾、准噶尔、塔里木、鄂尔多斯等盆地。塔里木油田继发现克拉 2 气田之后, 在山前又相继发现了迪那 2、大北等

气田；西南油气田继罗家寨、铁山坡勘探取得突破后，又在龙岗、七里北等构造取得重要发现；松辽盆地也在深层相继发现了徐家围子、长岭等气田。但随着勘探开发目标日趋复杂，高陡构造地层防斜打快、高研磨性地层提速、恶性井漏防治等问题已严重制约了深井钻井速度，需要钻井不断提高技术水平，提高钻井速度，不断解决勘探开发出现的新问题。

2005年前，塔里木山前、四川盆地井深大于5000m的深井钻井周期均在一年以上，塔里木山前多口井由于地质工程原因导致钻井报废，川东北地区多口井也因发生恶性井漏导致钻井报废。钻井周期长、风险大已严重制约了勘探进程，迫切需要钻井工程技术取得突破性进展。分析塔里木、四川、松辽盆地深层勘探钻井面临的突出难题，主要表现在以下几个方面。

一、山前复杂地区地质认识不清，难以确定合理的井身结构和钻井液密度

山前复杂的地质条件对地震资料的品质造成不利的影响，制订钻井方案时，无论是地质构造形态、地层分层都存在很大的不确定性，钻井过程中经常出现意外，导致井身结构、钻井液密度设计都存在很大的不确定性，增加了钻井难度。

表1-5是塔里木大北地区部分完成井盐膏层对比情况。部分井钻完预测的盐层，下入了封隔盐层的技术套管后又遇到盐层，为封隔意外出现的盐层而需要增加一层套管，致使塔里木山前深部小尺寸井眼钻井非常普遍。为避免小尺寸井眼钻井，必须预留一层到两层技术套管，这样又会导致开钻井眼尺寸加大，使上部井段钻井周期大幅度增加。塔里木山前地区复杂深井本身就面临井身结构层次不够问题，增加预留套管层次必然带来大尺寸套管下得更深，不仅钻井速度大大降低，大尺寸套管的强度也难以满足安全钻井和生产要求，对井身结构的合理设计带来很大挑战。

表1-5 大北地区完成井盐膏层对比

单位：m

古近系地质分层		大北1	大北2	大北3	大北101	大北102	大北103	大北201	克深2井
苏维依组		5283.5 ~ 5451.0	4208.5 ~ 4412.5	5695 ~ 5906	4825.5 ~ 5151	4588 ~ 4786	5060.5 ~ 5270.5	4194 ~ 4419	4472.5 ~ 4710.5
库 姆 格 列 木 组	泥岩段	5570	4555	6000	5216	4875.5	5286	4525	4854
	膏盐岩段		5289	7071	5705	5041.5	5484.5	5923	6510.5
	白云岩段		5293		5708.5	5046.5	5486		6516.5
	膏泥岩段		5541		5725	5315	5677		6564.5
	砂砾岩段		5559	7090.88	5747	5338	5693.5	5940	6571.5

山前探井地层压力预测与钻井液密度设计主要基于地震资料，由于地震资料品质差，制约了地层压力预测的精度。如何科学合理地设计井身结构与钻井液密度，成为钻井面临的主要技术难题。大北地区由于漏封盐层，有5口井被迫采用4~4 1/2in井眼裸眼完井（大北2、大北3、大北101、大北103、大北201井），给试油资料录取带来很大难度（表1-6）。

表 1-6 大北地区由于卡层不准导致的复杂与事故

井号	盐膏层段 (m)	完钻井深 (m)	套管下深 (m)	事故复杂简况
大北 2	4555 ~ 5287	5831.11	5in × 5737.7	5594 ~ 5701m 井段频繁发生井漏、卡钻, 提前下入 5in 尾管, 4 $\frac{1}{8}$ in 井眼完井
大北 3	6000 ~ 7070	7090.88	5in × 7058.00	5 $\frac{7}{8}$ in 钻头钻至 7072.81m 发生井漏卡钻, 侧钻提前下入 5in 套管, 4 $\frac{1}{8}$ in 井眼完井
大北 201	4525 ~ 5297	6145.00	5in × 5981.00	5920.12 ~ 5981m 井段频繁发生井漏, 起下钻阻卡严重, 钻至 5981m 后提前下 5in 套管, 4in 井眼完井
大北 101	5216 ~ 5705	5919.00	5 $\frac{1}{2}$ in × 5790.00	5711.52 ~ 5790m 井段发生井漏 6 次, 累计漏失钻井液 405.48m ³ , 钻至 5790m 下入 5 $\frac{1}{2}$ in 套管, 4 $\frac{1}{4}$ in 井眼完井
大北 103	5258 ~ 5667	5946.00	5in × 5787.31	钻至 5668.99m 发生井漏, 处理井漏和溢流过程中又发生卡钻, 侧钻至 5649m 中完, 4 $\frac{1}{8}$ in 井眼完井

注: 1in = 0.0254m。

二、山前高陡构造防斜难度大

近几年来, 塔里木、新疆、玉门、西南等油田钻井中普遍遇到高陡构造问题。塔里木油田以库车山前为代表, 浅部地层普遍高陡, 地层倾角大, 往往一口井中地层倾角大于 30° 的井段长达 3000m 以上。玉门油田以青西为代表, 地表出露地层为高陡、难钻的志留系地层, 钻井速度非常慢。西南油气田川东北、川西北地区地层高陡、井深、断层多、地层层序倒转、裂缝发育、岩石可钻性差, 完钻井深超过 5000m, 上部约 3000m 井段地层倾角一般在 30° ~ 87° 之间。

2005 年以前, 围绕高陡构造地层钻井尽管尝试了多种防斜技术, 但效果不理想, 主要表现在:

(1) 不能有效施加钻压, 钻压稍高就严重井斜; 只能采用轻压吊打, 导致钻井速度极低。塔里木油田截至 2004 年 12 月, 在山前构造共钻井 62 口, 上部 (井深 3500m 以上) 大井眼高陡构造地层平均机械钻速只有 2.27m/h, 平均需要钻井时间 100d 以上, 大大低于正常钻压钻进的速度。

(2) 由于上部井身质量不好, 导致套管破损事故多发。塔里木油田由于山前构造有效的防斜手段少, 井身质量差, 加上钻井周期长, 钻柱对套管偏磨问题非常突出, 引起的套管损坏非常严重。2005 年迪那地区 4 口井技术套管严重磨损甚至磨穿, 英深 1 井套管磨穿, 不得已回接 8 $\frac{1}{8}$ in 套管。技术套管磨损、磨穿也给钻井带来很大的安全风险。

三、高研磨性地层钻井速度慢

松辽盆地深层为大段火成岩地层, 钻井面临的主要问题是地层硬、岩石可钻性差。如大庆徐家围子地区岩石硬度高达 2000 ~ 5000MPa, 可钻性级值平均在 7 ~ 9 级之间, 最高达 10 级 (图 1-1)。松辽深层泉二段以下地层平均机械钻速仅为 1.2m/h 左右, 而且钻头磨损快、寿命低、单只钻头进尺少, 导致钻头用量多, 制约了整体提速。

塔里木库车山前上部地层普遍存在大段砾石层, 其中博孜 1 井砾石层厚高达 5479m, 该井段钻井用时 396d, 平均机械钻速只有 0.89m/h, 平均单只钻头进尺 70.5m。大北 3 井砾石