

胜利钻井新技术研究 创新与应用 (2006)



主编 韩来聚

中国石油大学出版社

2006

胜利钻井·新 技术创新与应用

▶▶ 韩来聚 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

胜利钻井新技术研究创新与应用. 2006 年/韩来聚编.
东营:中国石油大学出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-5636-2527-7

I. 胜… II. 韩… III. 油气钻井—工程技术—文集
IV. TE242-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 201732 号

书 名: 胜利钻井新技术研究创新与应用
作 者: 韩来聚

责任编辑: 沈海云 邵 云(电话 0546—8391282)

封面设计: 九天设计(电话 0546—8773275)

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: sanbianshao@126.com

印 刷 者: 东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392565, 8399580)

开 本: 185×260 印张: 39.5 字数: 1 011 千字

版 次: 2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

胜利钻井新技术研究创新与应用

编委会名单

主 编 韩来聚
副主编 李作会 杲传良
编 委 赵金海 王敏生
师 捷 王智锋



《胜利钻井新技术研究创新与应用》一书出版在即,实在是一件可喜可贺之事。

众所周知:“钻头不到,原油不冒。”钻井一直被视为石油工业的龙头,钻井技术在油气勘探开发中占据着举足轻重的地位,发挥着极为重要的作用。随着勘探开发对象的日益复杂,钻井技术水平的重要性更加突出,一线生产对钻井技术的依赖程度越来越大。为了满足加快油气勘探开发步伐、降低油气勘探开发成本的需求,国内外钻井技术正在日新月异、蓬蓬勃勃地发展。以旋转导向为代表的自动化钻井技术、以欠平衡压力钻井为代表的油气层保护新技术、以地质导向为代表的储层有效进尺最大化钻井技术、以大功率交流变频电驱动钻机和高效 PDC 钻头为代表的钻井新装备新工具、以高密度抗高温钻井流体和可循环泡沫为代表的钻井液完井液新技术等,在深井超深井钻探和低效油气田开发中发挥出越来越大的作用;而膨胀管技术、套管钻井技术、连续管钻井技术、三维可视化钻井等新兴技术的研发,更为深层油气资源的勘探和难动用储量的开发蓄足了后劲。

胜利石油管理局钻井工艺研究院(以下简称胜利钻井院)作为中国石化集团公司重点研究院,多年来一直致力于钻井新技术的攻关和创新,广大科技人员敢为人先、锐意进取、精雕细刻、勇于实践,凭借自己的聪明才智和团结协作的团队精神,承担完成了一大批创新成果,获得多项科技奖励。这些成果中有的达到国际领先或国际先进水平,有的开创了国内同领域的先河。创新成果的推广应用,在油田勘探开发中发挥了重大作用,为我国石油钻井新技术的进步做出了积极贡献。

该书是胜利钻井院自 2006 年以来在国内外公开发行的期刊上发表的论文汇编,集中了广大科技人员的智慧和汗水,是近年来科研成果的缩

影,展示了该院科技人员的攻关能力和创新水平。愿胜利钻井院继续发扬攻坚啃硬、勇攀高峰的精神,积极探索,大胆创新,继续创造一流的技术成果,不断培养更多高层次的人才,为中国石化上游油气勘探开发提供强有力的技术支撑,为赶超世界钻井技术先进水平,提高在国内外钻井行业的竞争力而不懈努力。

谨书片言,权以为序。

赵维洲
07.11.23

前言

2006年是“十一五”发展规划的开局之年。胜利钻井院坚持科学发展观,紧紧围绕西部及南方海相地层钻探和东部老区提高采收率的需要,组织开展钻井新工艺新技术的研究攻关和技术服务,努力解决制约油气资源勘探开发的技术瓶颈,在深层海相气井井身结构优化、气体和泡沫钻井、旋转导向和自动垂直钻井、高温高密度钻井液以及实体膨胀管等钻井新技术研究与应用等方面取得了显著成效。

在科技创新不断取得进展的同时,胜利钻井院的广大科技工作者认真总结归纳,积极撰写论文,并在国内公开发行的学术期刊上发表。为便于交流经验、促进石油钻井及相关专业技术的发展,我们对胜利钻井院2006年在国内外公开发行的学术期刊上发表的论文进行筛选和审核,汇编出版《胜利钻井新技术研究创新与应用》(2006)一书。本书共汇编论文106篇,内容包括钻井工艺、钻井设计、钻井液技术、钻井装备仪器、钻井工具与钻头、配套技术、固井与完井、计算机技术与模拟、海洋工程、技术综述等十一个方面。本书是《胜利钻井新技术研究创新与应用》丛书的第二册,是胜利钻井院组织编写的又一力作。

本书的出版,凝结了广大科研和技术服务人员的心血和汗水,得到了有关领导及同仁的大力支持和精心指导,在此谨致谢意。

由于时间仓促,水平有限,本书会存在一些失误和不足,恳请广大读者提出宝贵意见。

《胜利钻井新技术研究创新与应用》编委会

2007年11月

目 录

CONTENTS

钻井工艺

提高塔里木盆地钻井速度的认识与对策	(2)
新疆雅克 6 地区首口水平井施工实践	(7)
欠平衡钻井技术在胜利油田的应用	(11)
气体钻井水力计算	(18)
欠平衡钻井技术在腰深 1 井的应用	(23)
全过程欠平衡钻井中的不压井作业	(28)
钻井中双级流量分配的理论研究	(33)
自动垂直钻井系统纠斜性能仿真	(40)
塔河油田盐上裸眼承压堵漏技术	(48)
CDXA 大型丛式井组浅表层定向钻井技术	(54)
基于室内破岩机理试验研究的 PDC 钻头选择与使用方法探讨	(58)
自振空化射流提高钻井速度的实验研究	(71)
围压条件下岩石声学特性的技术特征	(79)

钻井设计

胜利油田钻井工程设计技术及应用	(86)
深层海相气井井身结构优化及应用	(93)
复杂多目标井靶区轨道设计方法	(99)
一种新的限定目标点井眼方向待钻轨道设计方法	(105)

钻井液技术

钻井废弃物处理:实例证明有效处理钻井废弃物可减少建井总费用	(112)
甲基葡萄糖甙钻井液抑制机理研究	(119)
深井钻井液高温高压密度特性实验	(124)
CB6D-P3 海水水平井钻井液技术	(128)
合成基密闭液研制与应用	(133)
计算高温高压条件下的钻井液当量循环密度	(137)
非渗透钻井液在渤 930 井泥岩裂缝易塌地层的应用	(150)
屯 1 井三开钻井液工艺技术	(154)
钻井密闭取心用合成基密闭液的评价与应用	(158)

▶ 钻井装备仪器

JC-30DB 型交流变频电机直驱单轴绞车设计	(162)
LW400×1200 型变频控制高速离心机研制	(171)
一种全自动闭环控制钻井液高速离心机	(175)
凸轮机构恒流量往复泵动力端设计	(181)
钻井液离心机沉降区结构参数的选择与影响因素分析	(187)
井下套管阀研究及室内试验	(193)
XXJ300/600 液压蓄能修井机的技术改进	(198)
液压蓄能修井机伺服调速系统设计	(201)
最新随钻声波测井仪的技术性能与应用实例	(205)
一种新型的 MWD 无线随钻测量系统	(211)
基于 CPLD 的测井信号切换卡的设计	(216)
组态软件在油管静水压试验自动监控系统中的应用	(220)
POWER V 和机械式随钻测斜仪在黑池 1 井的应用	(224)
智能仪表在钻机控制方面的应用	(230)
哈里伯顿随钻核磁共振测井仪 MR-LWD 井下部分的介绍	(238)
机械式无线随钻测斜仪在深井、超深井中的现场应用分析	(242)
径向水平井弯曲转向机构影响因素仿真研究	(247)

▶ 钻井工具与钻头

PDC 钻头在长庆榆林气田的试验应用	(256)
PDC 钻头在鄂尔多斯盆地大牛地气田的应用	(262)
适用于长庆陇东地区的 PDC 钻头研发与应用	(265)
国外钻头新技术	(270)
有效控制 PDC 钻头质量的探讨	(277)
基于开挖方法的井底应力场有限元模型	(280)
双级 PDC 钻头井底应力场分析	(286)
常规 PDC 钻头结构设计概述	(294)
中国大陆科学钻探工程科钻一井扩孔器的研制及应用	(302)
水力脉冲工具的研制与应用	(305)
水力脉冲诱发井下振动钻井工具研究	(309)
一种新型机械式 PDC 随钻扩眼工具	(315)
钻头腔内转子调制式脉冲钻井工具	(319)
PDC 切削齿破岩受力的数值模拟研究	(325)
随钻扩眼工具井眼内运动的动力学仿真研究	(331)
随钻扩眼工具及技术研究	(337)
三牙轮三喷嘴钻头井底射流辅助破岩机理分析	(342)
PDC 切削齿破岩受力的试验研究	(347)
随钻扩眼工具与岩石摩擦接触的数值模拟研究	(353)



石油钻井用机械式 PDC 随钻扩眼工具的研制	(360)
高压 PDC 钻头结构参数对破岩效率的影响规律	(364)
PDC 扩眼钻头的研制与试验	(371)
配套技术	
利用测井资料预测地层压力的误差处理方法	(378)
义 64-1 井小井眼取心实践与认识	(384)
机械加压式取心工具在井斜小于 40° 定向井中的应用	(388)
胜利密闭取心技术在准噶尔盆地庄-104 井的应用	(392)
利用岩屑床破坏工具和可膨胀套管稳定器改善井眼质量	(396)
钻井流体黏度对钻柱纵向振动的影响初探	(402)
固井与完井	
新型水泥浆实心减轻材料 FXW 室内研究	(410)
矿渣 MTC 固化滤饼能力实验研究	(413)
实体膨胀管内涂层研究	(417)
计算机技术与模拟	
计算机模拟技术在钻井工程中的应用及展望	(422)
基于支持向量机的虚拟测井声波速度重构技术研究	(429)
海洋工程	
海底输油管道内智能引导装置研究	(438)
海底管道内缺陷检测技术的研究	(443)
国内外浅海采油平台的研发动态	(448)
浅海单井早期生产试验平台的研究设计	(456)
自升式平台桩腿开孔后的强度计算分析	(460)
埕岛油田海上平台的防腐研究	(468)
浅海海底管线维修技术和装备研究	(473)
滩海粉土起动装置设计及试验研究	(481)
技术综述	
现代垂直钻井技术的新进展及发展方向	(488)
MPD 技术及其应用	(495)
海上钻井发展综述与展望	(502)
参数研究对煤层气储层中钻水平井和多底井的作用	(507)
水平深气井应用地质导向技术的钻井性能新突破	(517)
三维可视化技术在钻井工程中的应用	(530)
连续管钻井装备与钻具组合的研发动态	(535)
微井眼连续管钻井技术	(539)
“智能钻杆”技术走向全面商业化	(544)

用旋转导向系统进行套管定向钻井的试验研究	(548)
高压玻璃钢管及其在石油工程中的应用综述	(554)
胜利油田地质导向钻井技术研究进展	(561)
天然气水合物及其勘探前景	(570)
煤层气发展给石油工程带来的机遇浅析	(575)
天然气在合成基流体中的溶解度与井控问题	(581)
其他	
自振空化射流改善油层特性实验研究及现场应用	(588)
超声波采油技术研究及应用	(595)
基于 GPS 技术的油田车辆监控系统设计	(603)
基于集团用户的 GPS 定位技术——“黑匣子”车辆安全管理系统	(606)
串口扩展芯片 GM8125 在多功能车载移动终端中的应用	(611)
多功能车载移动终端的设计与实现	(615)

ZUANJI GONGYI

钻井工艺

胜利钻井新技术研究创新与应用

提高塔里木盆地钻井速度的认识与对策

唐志军 马桂清

摘要

本文针对塔里木盆地地面条件恶劣、地质构造复杂、钻探难度大等特点,分析了地层特性、机械破岩能量、水力参数、钻进参数及钻头等因素对深探井、大尺寸井眼钻井速度的影响,通过分析对比,提出了提高机械钻速的技术对策,为加快深探井钻井进度提供了技术参考。

关键词

钻井速度 影响 高陡大倾角 大直径 能量 对策 塔里木盆地

1 概述

2.1 地质因素

塔里木盆地地面条件极为恶劣,既有沙漠,又有山地、沼泽,钻前工作量大,成本高;油气埋藏深,所钻的井多为深井和超深井,平均井深在 5 000 m 以上,最深达 7 200 m;含油气层系多,从第三系到奥陶系均已发现油气,有时一口井有多个目的层;地质条件极为复杂,山前与台盆区存在较大差异;山前构造带存在多套高压盐水层、漏失层、坍塌层,且大多为高陡构造,钻探难度大。塔里木盆地的钻井难点主要集中在山前构造地区,而该区地质条件的不确定性(地质分层、地层产状和岩性、地层压力及完井深度等不确定)是导致山前构造带钻井难度大的主要原因。

塔里木盆地地质条件复杂,钻探井深;投资大、周期长、钻头用量多;地层倾角大,井斜难以控制;地层可钻性级值高, $\phi 444.5$ mm 大尺寸井眼及深部小井眼机械钻速低等诸多因素,制约着该地区钻井速度的提高。

2 影响钻井速度的原因

在诸多钻井技术难题中,深井钻井速度低、井身质量难以控制最为突出,也迫切需要解决。表 1 为塔里木山前构造带几口典型深探井的基本情况。由表 1 可见,5 000 m 以上深井完井周期基本上在 700~1 000 d,造成钻井速度低、钻井周期长的主要原因有以下几方面:

表 1 塔里木部分深探井钻井情况

地 区	井 号	井深/m		完井周期/d	备 注
		设 计	实 际		
库车拗陷	南喀 1	6 000	5 314	889	侧钻 5 次,非生产时效 65%
	东秋 5	6 400	5 314	820	复杂和事故时效 10.78%
	克参 1	6 000	6 150	961	复杂和事故时效 8.89%
	库 1	6 864	7 000	677	复杂和事故时效 2.3%
塔西南拗陷	柯深 1	6 800	6 481	1 002	复杂和事故时效 15.65%
	英科 1	6 500	6 406	999	复杂和事故时效 13.61%
	胜和 1	5 500	5 854.5	738	复杂和事故时效 6.7%

2.1 地质因素

塔里木山前构造带深层地质年代跨度大(从新生界到下古生界),老地层井段长(多数地区揭开表层后即进入中生界),岩石可钻性级值高(可钻性级值在 6~8 级),地层岩性复杂,容易引起井漏、井喷、井斜、井壁垮塌和卡钻等事故。在地质情况不十分清楚的情况下常因地质预告不准确而导致井身结构设计不合理,致使钻井过程中常发生复杂情况,造成钻井速度低和钻井周期长。

2.2 大直径井眼机械钻速低和钻头用量大

机械钻速低和钻头用量大是塔里木地区深井普遍存在的问题,胜和 1 井 $\phi 444.5$ mm 井眼长 1 083 m,共使用钻头 17 只。东秋 5 井在 373.7~2 072.3 m 井段,进尺 1 698.6 m 耗用了 55 只牙轮钻头。库 1 井 $\phi 660$ mm 井眼段长 1 269.46 m,共消耗钻头 49 只(见表 2)。正是由于钻头用量大,起下钻频繁,造成了机械钻速低和钻井周期长。

表 2 塔里木山前构造带部分井大尺寸钻头应用情况

井 号	钻头尺寸 /mm	钻进井段/m	进尺/m	钻头用量 /只	单只钻头进尺 /m	机械钻速 /($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)
胜和 1	$\phi 444.5$	100.26~1 183.5	1 083.24	17	63.72	0.53
东秋 5	$\phi 444.5$	373.7~2 072.3	1 698.6	55	30.88	0.48
库 1	$\phi 660$	0~1 269.46	1 269.46	49	25.91	0.26

2.3 大尺寸井眼破岩机械能量和水力能量不足

一般情况下,塔里木 5 000 m 以上的探井, $\phi 660$ mm 钻头钻达井深 500 m 左右; $\phi 444.5$ mm 钻头钻达井深 1 000~3 000 m,个别地区甚至要求钻达井深 3 500~4 000 m。 $\phi 444.5$ mm 井眼和 $\phi 311.2$ mm 井眼的机械能量分别只相当于 $\phi 215.9$ mm 井眼的 35.6%和 60.2%; $\phi 444.5$ mm 井眼和 $\phi 311.2$ mm 井眼每米进尺的破岩量分别是 $\phi 215.9$ mm 井眼的 424%和 208%(见表 3),从而造成了 $\phi 444.5$ mm、 $\phi 311.2$ mm 钻头机械破岩能量的严重不足,因此大大影响了机械钻速。

表3 不同直径钻头破岩体积和破岩机械能量的对比

钻头尺寸 /mm	井底面积 /cm ²	破岩体积 /(cm ³ ·m ⁻¹)	破岩体 积比值 /%	钻压 /kN	单位井底 面积钻压 /(kN·cm ⁻²)	转速 /(r·min ⁻¹)	机械能量 (W×N) /[(kN·cm ⁻³)· (r·min ⁻¹)]	机械能 量比值
φ215.9	366.10	36 610	100	160	0.437	70	30.59	100%
φ311.2	760.62	76 062	208	200	0.263	70	18.41	60.2%
φ444.5	1 551.79	155 179	424	240	0.155	70	10.85	35.6%

φ444.5 mm 井眼直径比 φ311.2 mm 井眼直径大 42.9%，比 φ215.9 mm 井眼直径大 106%，而 φ444.5 mm 井眼井底面积是 φ311.2 mm 井眼的 2.08 倍，是 φ215.9 mm 井眼的 4.24 倍。因此，为了保证携带钻屑所需的最低返速，要求钻井液排量一般不低于 50 L/s。而目前国内 φ444.5 mm 井眼仍大都采用 φ127 mm 内加厚钻杆，在大排量下随着井深的增加，沿程水力损失大幅度增加，钻头可利用的水力能量也随着井深的增加而急剧下降。即使在相同水功率条件下，由于 φ444.5 mm 钻头井底面积大，比水功率只相当于 φ311.2 mm 钻头的 1/4 左右，相当于 φ215.9 mm 钻头的 1/9 左右（见表 4）。由于 φ444.5 mm 钻头井底水力能量的降低，喷嘴距井底又远，因此水力清除井底岩屑的能力大大降低，在大多数情况下因岩屑不能及时清除而导致重复破碎，甚至钻头泥包，致使钻头的机械钻速下降。

表4 不同直径钻头在 2 500 m 井深条件下水力能量对比

钻头尺寸 /mm	排量 /(L·s ⁻¹)	泵压/MPa	循环压耗 /MPa	钻头可用压降 /MPa	返速 /(m·s ⁻¹)	水功率 /kW	比水功率 比值
φ215.9	25	20	5.3	14.7	1.04	367	100%
φ311.1	42	20	12.1	7.96	0.66	320	42%
φ444.5	50	20	16.5	3.56	0.35	178	11%

注：表中数据按 φ127 mm 钻杆，钻井液密度 1.25 g/cm³，塑性黏度 15 mPa·s 计算。

2.4 高陡大倾角地层小钻压钻进影响机械钻速

山前高陡大倾角地层在库车、塔西南两个前陆盆地的前陆逆冲带较为发育。由于天山、昆仑山向盆地的推覆挤压，形成了库车、塔西南和塔东南等规模巨大的三个前陆盆地。在这些前陆盆地的前陆逆冲带挤压褶皱发育，构造多、构造大、线状背斜成排成带分布，是勘探的有利地区，同时在这些构造上地层倾角达 50°~80°，给钻井带来很多困难。如胜和 1 井，自 285 m 进入志留—泥盆系变质岩，厚达 3 307 m，主要岩性为绿灰色千枚岩和浅灰色变质砂岩。从岩心资料看片理发育，片理角 45°以上，最大可达 83°，并见石英脉，产状与片理面相近，沿片理面极易剥落。钻进中钻压超过 20 kN，井斜就会迅速增加，由于井眼尺寸大，钻压小，机械钻速特别低，日进尺不足 10 m，严重制约了钻井进度。

2.5 巨厚砾石层蹩跳钻影响钻速

塔里木山前构造带多数地区上部地层岩性以砂砾岩为主，特别是第四系散砂及砾石，非常松散，几乎没有胶结，且砾石粒径大，最大达 30 cm。因这种胶结差、大粒径岩层造成的钻头蹩跳严重，对正确判断钻头在井下的工作状况增加了相当大的难度。钻进该地层钻压一般较低，同时大尺寸钻头多为钢齿，耐磨性差，致使钻头用量大，钻速低。如和参 1 井，砾石层及含砾砂



岩总厚度达 1 900 m,砂粒粗且泥质少,钻进中蹩跳严重,同时因砾岩研磨性高,钻头磨损相当快,使得钻进该段过程中,单只钻头最少进尺仅 6 m,最低机械钻速只有 0.26 m/h。

2.6 深部井段致密地层影响机械钻速

深部井段的泥页岩和泥质砂岩等在上覆地层压力下变得非常致密,不仅硬度和密度增加,而且机械性能从常压下脆性岩石向塑脆性岩石或塑性岩石转化,牙轮钻头的牙齿在这种硬塑性岩石中破碎起来非常困难。表 5 是塔里木吉迪克组岩石(泥岩),在不同围压条件下楔形齿压入岩心达到体积破碎所需加的载荷和所得的不同破碎体积。从表中可看出当围压从 0 增加到 45 MPa 时,产生体积破碎所需要的破碎力增至原破碎力的 10.6 倍,而破碎坑体积反而缩小了 55%。

表 5 塔里木吉迪克组泥岩在不同三轴围压下的破碎力和破碎体积

围压/MPa	0	10	15	20	25	30	35	40	45
破碎力/kgf	30.5	38.9	43.0	84.2	137.1	151.0	163.0	247.9	319.0
破碎力增加比例	1.00	1.28	1.41	2.76	4.50	4.95	5.34	8.13	10.46
破碎体积/mm ³	15.24	14.70	14.00	13.60	11.90	9.74	8.57	7.19	6.84
破碎体积减小比例	1.00	1.04	1.09	1.12	1.28	1.56	1.78	2.12	2.23

3 提高深井钻井速度的技术对策

3.1 建立地层抗钻特性剖面,优选钻头类型

合理的钻头选型是提高钻井速度的前提,因此应从以下两方面采取对策:

(1) 以实测岩石力学参数和地质、测井、录井、钻井资料为基础,建立不同区块的地层抗钻特性剖面,为钻头合理选型和使用提供依据。

(2) 建立钻头数据库和完善钻头选型方法及软件,合理选择钻头类型,为提高钻井速度提供依据和方法。

3.2 防斜打直技术

对于高陡构造、大倾角地层的勘探开发,井斜问题是制约钻井速度、效益,甚至是钻井成败的关键。深井钻井中直井防斜问题更为突出,其危害也更严重。国内外对井斜机理都进行过比较深入的研究,普遍观点认为,造成井斜的原因有:一是地质方面的因素;二是底部钻具弯曲造成井斜。对于地层方面只能通过准确了解和掌握其特征,利用地层特点合理布置井位,尽量减少地层因素的影响。对于钻具组合方面,可采用刚性强的大尺寸满眼钻具组合,该组合的大直径扶正器在井壁上形成支点,在大钻压下具有较强的防斜能力;利用井下动力钻具复合钻是高陡构造防斜打直和提高深井机械钻速公认的有效手段,可采用小度数的弯外壳动力钻具配合 PDC 钻头复合钻进,随时采用滑动方式调整控制井斜,可解决复杂地层的井斜问题。该技术的关键,一是需要长寿命、低转速、大扭矩的井下动力钻具;二是需要适合不同地层的、适合复合钻进的高效牙轮钻头和金刚石钻头。对于利用上述技术难以实现防斜和提高钻速的地层、造斜能力很强的高陡构造地层,可考虑采用垂直导向钻井防斜技术,该类防斜钻井专用井下工具是解决井斜问题的最有效手段,是防斜打快的必然发展趋势,但目前成本较高。

3.3 提高大直径井眼钻头的水力能量和机械能量

提高大直径井眼的破岩机械能量和井底清岩水力能量,可采取以下技术措施: