

FUZA JIEGOU YOUQIJING
KAIFA JISHU YANTAOHUI LUNWENJI

复杂结构油气井 开发技术研讨会论文集

张 煜 汪庐山 主编

石油工业出版社

复杂结构油气井开发技术 研讨会论文集

张 煜 汪庐山 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了复杂结构油气井开发方面的论文 66 篇,是我国在复杂结构油气井开发方面的最新成果和应用经验的总结。书中对复杂结构油气井在钻井和采油方面的典型问题作出了分析并且给出了解决方法,有助于读者解决复杂结构油气井开发中的实际问题。

本书适合于复杂结构油气井开发工作的管理者、技术人员和研究人员以及高校相关专业师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂结构油气井开发技术研讨会论文集/张煜主编.

北京:石油工业出版社,2009.9

ISBN 978-7-5021-7231-2

I. 复…

II. 张…

III. 油气钻井-学术会议-文集

IV. TE2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 098165 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) 64523735 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:25.75

字数:654 千字 印数:1—1000 册

定价:92.00 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

前 言

近年来,为适应新的油藏开发地质条件,不断提高油气藏单井产量,降低综合成本,提高采收率和综合经济效益,石油工作者们在利用水平井开发油气藏,特别是在采用大位移水平井、多分支水平井等复杂结构油气井的钻井、完井、井下作业技术、油气藏工程研究与评价以及开发工艺等方面都取得了很大进展,有新的理论发展和技术突破,这些新理论和新技术在油气田开发中显示出了良好的应用前景。

为进一步促进我国复杂结构油气井开发技术水平的提高,广泛交流复杂结构油气井技术成果,中国石油学会与中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司于2008年9月共同组织召开了“2008复杂结构油气井开发技术研讨会”,会议邀请到了有关教授、专家作了专题报告,同时面向全国各油田单位、研究院所和大专院校的科技人员,广泛征集论文进行了研讨交流。交流的内容包括复杂结构钻井轨迹优化设计、测控技术,欠平衡钻井和空气钻井技术,复杂结构井完井技术和油层保护技术,复杂结构井测试和酸化、分段压裂、堵水调剖等增产技术,复杂结构井开采工艺及修井技术等方面的新理论、新技术方法和应用实例。

这次研讨会以大位移水平井和多分支水平井等复杂结构油气井的钻井和开采技术与工艺为研讨主题,紧密围绕当前我国油气田钻井开发技术应用热点和难点问题,面向生产实际,面向科研基层,许多新技术新工艺有较强的研讨交流和推广意义。本论文集收录此次研讨会论文66篇,集中反映了研讨会的技术成果,供广大石油钻井与开发工程技术人员参考,与广大读者共享。

中国石油学会
2009年5月

目 录

钻 井 部 分

无线随钻测量测井系统在大庆薄油层水平井中的应用	张晓帆 (3)
国内外径向水平井技术探讨	邓胜聪 李瑞营 张智强 张晓帆 (7)
分支井关键技术及主要工具设计	张庆豫 李玉海 金志富 郑殿富 (13)
长春岭超浅层大位移水平井井眼轨迹控制技术研究	刘广道 陈照刚 朱 军 (19)
欠平衡钻井技术在沈 289 井潜山高凝油油藏中的应用	郝 涛 高富成 (24)
MGT 磁导向钻井实现对超稠油 SAGD 成对水平井的精准控制	陈 勋 陈福军 彭会新 (28)
大港油田复杂结构井钻井过程保护油气层技术	王兴伟 胡成亮 韩项勇 宋玉文 (33)
千米桥潜山油藏水平井欠平衡钻井工艺配套技术研究与应用	唐世忠 张东艳 张晓峰 (38)
庄海 8Nm - H3 大位移水平井摩阻扭矩分析研究与应用	李 娟 唐世忠 李正文 李文娟 种东升 (42)
渤海湾浅海钻井平台水平井裸眼砾石水充填防砂技术	郑永哲 李洪俊 王绍刚 于学良 宫英杰 (48)
完善的鱼骨型分支井完井技术	张 恒 徐学军 王绍刚 李洪俊 郑永哲 杨文领 (54)
强抑制性硅酸盐钻井液体系研究及其在大港油田的应用	王绍刚 苏秀纯 李洪俊 于永新 黄达全 张 恒 (59)
川西致密气藏水平井钻完井技术	刘 伟 李 勇 薛丽娜 李 丽 吴建忠 (67)
气体钻井井斜机理研究及在马蓬 1H 水平井的应用	王 波 蒋祖军 吴建忠 (73)
川东北空气钻井燃爆分析与预防	刘东峰 侯树刚 胡建均 (79)
抗高温水包油钻井液的研究与应用	史沛谦 王善举 黄桂春 张和平 周亚贤 王依健 杨 建 孙善刚 (85)
气体钻井技术在川东北地区成功应用	侯树刚 刘新义 杨玉坤 (93)
平湖修井机钻水平多分支小井眼井	周俊昌 邹阿七 罗 勇 (99)
KQC 系列空气锤的研制及其在油田中的应用	胡 贵 王向东 孟庆昆 (105)
丁苯胶乳水泥浆体系的研究	徐依吉 赵红香 (111)
复杂结构井眼设计与控制一体化技术的例证	高德利 覃成锦 (117)
辐射式分支井井型优化数值模拟研究	张庆生 安永生 吴晓东 (125)
复杂结构井岩屑床清除技术	王智锋 (131)
井壁稳定性分析技术及应用	崔 杰 赵金海 孙正义 高兴坤 (135)

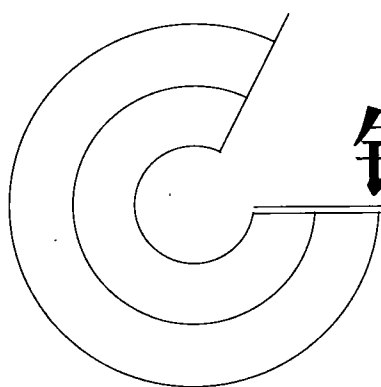
金平 1 井浅层长水平段水平井钻井技术

.....	唐洪林 唐志军 闫振来 祁宏军 李 涛	(143)
钻杆信号传输技术	王智锋	(149)
鱼骨型分支水平井轨道优化设计	油艳蕊 韩来聚 唐志军	(155)
鱼骨状水平井钻井技术在稠油热采井中的应用	史洪军	(160)
滩海油气田不同井型最优钻井成本预测	钟水清 蒋祖军 王 波 田冠群 钟雨师	(166)

采 油 部 分

胜利油田水平井完井采油技术	叶金胜 李玉宝 张 峰 刘希明 田启忠	(173)
大庆油田低渗透油层水平井分段酸化技术研究及应用	李胜利 王 鑫 李清忠	(179)
水平井双管注汽技术在曙光油田的研究与应用	李晓玲 张守军 宋福军 吴 非 张 岩 薛银娇	(184)
大规模酸压技术在大港油田潜山大斜度井的应用	杨 静 宋友贵 韩岐清 刘平礼 纪朝凤 刘永征	(190)
复杂断块油田水平井举升工艺优化配套	刘 琳 韩岐清 周建文 李登金 唐 庆 王新红	(195)
大港油田水平井完井工艺适应性分析	牛艳花 吴杰生 韩岐清	(200)
筛管完井产量与地层出砂关系研究	李洪俊 王绍刚 张 恒 杨文领	(204)
水平井割缝筛管受力分析研究	张 恒 葛贵付 王绍刚 杨文领 张立娜 杨士明 于 燕	(211)
川西复杂结构井储层伤害因素与保护对策	欧 彪 任 茂 周建平	(217)
川西低渗致密气藏水平井开发探索与讨论	任 山 杨永华 刘 林 黄禹忠 林立世 薛丽娜	(222)
水平井射孔优化在塔河油田的应用	张军杰	(226)
超深高温高盐水平井化学堵水实践浅析	孙同成 张 烨 孙 桓	(231)
非均质性碎屑岩底水油藏水平井产液井段预测方法研究	吴文明 王 雷 路以文	(238)
塔河油田碎屑岩水平井卡封堵工艺应用与实践	杨建清 赵海洋 任爱军	(243)
塔河油田砂岩水平井生产测井应用	马立新	(249)
低渗碳酸盐岩油藏水平井前置液闭合酸压技术应用	袁 萍 虞建业 马 巍 卢敏慧	(255)
小井眼修井工艺技术研究及应用	刘海明 张国华 陈广超 叶红	(261)
水力喷射泵 + 抽油泵复合举升工艺实践与认识	潘昭才 姜文钦 朱家欢 肖 云 王春生 沈建新 田新建 毛小飞	(266)
压力脉冲复合化学解堵技术研究	张建国 郝爱刚 郑 铎 杨洪英	(273)
压裂水平井产能影响因素实验研究	张凤喜 吴晓东 隋先富 安永生 陈勇光	(281)
基于电模拟实验的复杂结构井增产机理探讨	隋先富 吴晓东 安永生 胡 博	(288)
滑脱效应对低渗透气藏水平井和直井产能的影响	李冬瑶 程时清	(293)
底水驱水平井两相流不稳定试井分析方法研究	张利军 林 革 程时清	(300)

多分支水平井产能预测方法综述	史 进	吴晓东	李伟超	(306)
西柳 10 区块水平井分段压裂优化技术研究	郭建春	赵金洲	曾凡辉	陈红军 (314)
孤岛油田水平井开发配套工艺技术应用	张 岩	任福生	徐 强	(321)
氮气泡沫技术治理高含水开发水平井的研究	王 建	李健康	王桂勋	崔志坤 唐洪涛 王 艳 (328)
孤东油田复杂结构井组双管射流采油技术应用	张友振	耿鲁营	彭斌望	孙立柱 (337)
复杂结构井开发技术研究及应用			于法珍	(342)
套管井找漏配套技术在临盘油区的应用			韩祥立	(347)
侧钻井投球调剖技术室内模拟及参数优化	赵 磊	付 强	张丁涌	张秀生 李兆敏 (355)
疏松砂岩油藏水平井完井优化设计技术及应用	王桂英	李玉宝	皇甫洁	伊西峰 (363)
水平井分段压裂工艺技术	吕芳蕾	吕 玮	宋相隆	董社霞 李文波 (370)
水平井生产测试技术适应性分析与应用	张 峰	皇甫洁	田玉刚	伊伟锴 宋相隆 杨 慧 (375)
水平井修井技术	伊伟锴	田玉刚	张 峰	杨娟华 杨 慧 (380)
稠油油藏热采水平井完井技术研究与应用	彭汉修	路士朋	伊西峰	刘希明 (387)
东辛油区水平井完井和油层改造工艺现状及发展方向	吴 伟		林正东	(393)



钻井部分

无线随钻测量测井系统在大庆薄油层水平井中的应用

张晓帆

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院)

摘要 随着水平井技术的成熟和推广,大庆油田自 2006 年开始大面积开发薄层油藏和因开采形成的剩余油藏,其中 50% 左右的水平井使用的是斯佩里森的随钻测量系统随钻地层评价(FEWD)和随钻测量(MWD)完成的。在仪器使用的过程中,出现了一些问题,对施工的进行造成一定影响,本文将针对这些问题进行总结分析,并提出一些应对措施和建议。

关键词 随钻测量 薄油层 FEWD MWD

引言

在 2006—2008 年水平井的施工过程中,自造斜段起就开始使用 FEWD 造斜,一些井段由于地质、钻井液性能、钻进参数等因素,摩阻较大,对 FEWD 的磨损冲蚀都较严重,电阻率短节也频频损坏,甚至造成接收天线内部断折。为了减少 FEWD 的磨损,节约施工成本,在造斜段 50°之前,使用 MWD 作为随钻测量仪器。MWD 结构简单,维护费用少,每口井仪器的施工费用可节省(3~6)万元。下面分别针对 MWD 和 FEWD 进行使用问题分析。

1 MWD 现场使用问题分析

根据问题出现的施工阶段,分两部分进行分析。

1.1 浅层测试时不解码

浅层测试的目的在于测试脉冲发生器是否能正常动作,而在井口进行的浅层测试时,通常要把仪器和动力钻具(通常是螺杆)连接。开泵时,由于动力钻具的剧烈震动,很难检测到完整准确的数据。因此,只要能够检测出明显的波形,解码能够看到个别数据即可。如果一直检测不到任何波形,可从以下几个方面入手查找原因:

(1)对定子转子的叶片角度进行分析,适当提高泵排量,尽量使转子转速达到 2600r/min 以上。特别是针对 1200 系统,除了要考虑定子和转子的叶片角度问题,还要注意蘑菇头与限流环之间的间隙以及限流环的内径大小,这个间隙可使用 Winpul3.0 软件计算出来。但在实际使用中,为了增强信号强度,实际的间隙值最好比计算值稍小 5%~10% 左右。限流环内径大小与脉冲信号强度成反比。

(2)检查地面设备的连线,软件设置等是否正确。在确认无误后,检查压力传感器的电压值,在开泵时,压力传感器的电压值应该有明显变化,如果几乎不变或变化小,则表示压力传感器有故障。

如果防爆箱被损坏,也检测不到信号。因为防爆箱的两个压力检测端口里面都有信号处理装置,有时该信号处理装置被烧毁会导致检测不到信号。有时为了防止防爆箱信号处理装置烧毁,施工时可将其中不用的一个压力检测端口的信号连接线拆下不用,以免同时烧毁两个压力检测端口。

压力信号的单位采用毫伏较好,比采用 PSI 灵敏。因此,将压力信号的单位设置成毫伏,在井下仪器工作正常的情况下,能检测到比较弱的信号。

(3)检查地面管汇连接情况。确保地面管汇无刺漏,特别是立管焊接座焊接完好。检查空气包的压力是否达到立管压力的 30% ~ 40%;检查闸门开关是否正确,不利于上水的管线应全部关闭。冬季施工时,三通到压力传感器间传送压力的通道里面有可能被冻结,压力传感器感应不到立管压力的变化,也会导致检测不到信号。

(4)继续下钻试验。在下入 5 ~ 10 柱钻杆后开泵试验,若仍无信号,则应考虑起钻更换仪器。

1.2 下钻到底无信号

下钻到底无信号的问题检测方法为:

(1)检查地面设备和各通讯电缆。结合浅层测试的情况,首先检查地面仪器和电缆,排除地面故障。

(2)考虑排量是否满足定子、转子及孔板的工作需要。钻井液密度过大、黏度过大以及限流环偏大、限流环和蘑菇头之间的距离偏大等因素通常都会导致信号衰减较快,从而导致地面检测不到信号。此外排量不足也可使信号紊乱。

(3)检查立管压力。在超深井施工时,压力在 16 ~ 19MPa 时,不影响信号的传输。当立管压力高达 20 ~ 24MPa 而上水又不好时,钻井泵上水时的瞬间高噪音信号往往会覆盖掉有用信号,而导致检测不到信号。这时可以在满足井下仪器正常工作的情况下适当降低泵冲数,以降低瞬间高噪音信号对正常信号的干扰。

(4)检查数据传输率。数据传输率对信号的影响很大。如果井下仪器和地面设备的数据传输率不一致,正确的信号肯定检测不到。同时,根据施工经验,当井下仪器数据传输率为 0.8Hz 时,因与泵的干扰频率相近,容易受到干扰,即使地面设备的数据传输率也为 0.8Hz,有时也检测不到有用信号。这时,可以将井下仪器和地面软件的数据传输率均改为 0.5Hz,从而提高信号质量,并延长仪器的使用寿命。

(5)改变泵冲。泵冲频率应避免与仪器工作的数据传输频率相近,否则会导致有用信号的丢失。特别是 350 系统,施工前应通过改变缸套尺寸使正常施工的泵冲避开 30 和 48 冲/min。

(6)检查钻井液是否存在气侵。对于高压油气层,钻井液往往会受到气侵,这时信号的衰减特别厉害。因此,需要在钻井液中加入除泡剂,并充分循环钻井液。

(7)在下钻过程中,灌钻井液时往往会在钻具中留下一些空气柱。刚下钻到井底时,由于空气柱的存在信号传不到地面上来。这时,循环钻井液一周,排除空气柱,信号即可恢复正常。

1.3 小结

现场施工中,影响信号质量的因素较多,有仪器本身的原因,有技术参数选配的原因,也有现场作业环境的影响。因此,出现问题时,应综合考虑所有相关因素,以准确判断问题出现的原因,减少不必要的作业中断。

2 FEWD 现场使用问题分析

综合近两年的现场使用情况分析,常见的主要问题包括电阻率短节损坏、与仪器的通讯时信号易受干扰、伽马短节“死机”等几方面。

2.1 电阻率短节损坏

电阻率短节损坏时,深浅电阻的测量值为 $300 \sim 2000 \Omega \cdot m$,但是当仪器在井下遇到附近有套管、金属矿藏或电阻率短节上粘附金属物质时,也会有异常显示,此时可以用短起 3 ~ 5 柱钻杆,然后开泵测试的方法或者在地面上进行致信试验的方法来区别电阻率内部损坏还是受到干扰。通常,如果电阻率内部天线断折或者电路板烧毁时,在致信试验中都可以体现出来,特别是相移这项,它的正常值应该在 -2 到 +2 之间,但在损坏后,其值一般为 -50。其他的一些测试项也都有不同程度的偏差,一般来说,偏差超出正常范围的 5% ~ 10% 以上是不正常的。

电阻率短节的损坏主要集中在接收极天线的断折,而引起这种损伤的原因除了疲劳破坏以外,还有以下两个主要原因:(1)井眼轨迹的设计造斜率较高,在 $8^\circ/30m$ 左右。而在实际施工中,很容易就会超过这个设计造斜率,使狗腿度较大,造成仪器应力集中,长时间在这种井段中施工会导致电阻率短节损坏。要改变这种状况,只能从井的工程设计开始入手,减小设计造斜率。(2)在井下施工过程中震动过大。通过钻柱动力学传感器(DDS)短节监测仪器的震动情况,根据不同的监测值可判断震动是属于何种震动。由钻具引起的震动主要有钻头弹跳、扭转震动、钻头涡动、钻具涡动、横向震动和震动耦合等,为减少这些震动,可以采取改变一些钻井参数(减小转盘转速和钻压)的方法加以控制。

2.2 与仪器的通讯受到干扰

在大庆地区打水平井的钻机多数都是变频电机驱动,这种电机形成的电磁场对地面计算机与仪器之间的有线通讯干扰十分严重,在做致信试验、下载和读取之前必须查找出电磁干扰源,关闭之后才能顺利进行通讯。

2.3 伽马短节“死机”

伽马短节“死机”现象与中央控制处理器(HCIM)有关,属于仪器内部通讯故障,它的表现是伽马原始测量值为 0cnts,不能再进行解码。遇到这种情况只能将仪器起至地面重新下载,仪器参数重置之后,伽马即可恢复正常。

3 对仪器在使用中保护措施的建议

2.2 及 2.3 中提到的问题,已经被很好地解决。因此,预防电阻率短节的损坏成为现在最受关注的问题。对于预防措施,提出以下几点建议:

(1)严格控制造斜率。

严格控制设计造斜率在 $25^\circ/100m$ 以下。科学、合理的选择动力钻具,严格控制随钻测井仪器(LWD)施工井段,实际造斜率控制在仪器要求范围内。

(2)严格技术措施,规范现场作业。

根据技术措施执行不彻底,现场作业不规范的情况,应进一步完善现有的仪器操作规程,

并要求施工人员严格执行。对部分年轻技术人员,应强化技术培训,从技术素质、业务水平和责任心几方面从严要求。强化技术措施,使现场施工做到标准化、规范化,杜绝不规范作业,降低仪器作业风险。针对仪器作业中经常出现的问题和事故,制定应急措施和应急预案,配套相应的工具,特别是要针对仪器断钻具落井事故,研制配套专用打捞工具,提高事故处理的效率和成功率。杜绝仪器的落井报废事故,避免资产损失。

(3) 加强横向协调和技术交流,改善仪器施工环境。

注重利用合理的途径与各施工单位加强横向的协调和技术交流。使其详细了解仪器作业的性能指标和对施工环境的要求,便于现场技术措施的落实,改善仪器施工环境,提高仪器作业成功率和井下安全性。特别是加强对钻井液技术指标的监控,整体提高钻井液性能。

(4) 依靠技术进步,提高仪器性能和抗冲蚀性。

加强技术革新和配件国产化,提高仪器性能和抗冲蚀性,降低仪器运行成本,是减少仪器受到意外损害时造成损失的有效途径。加强仪器耐磨环和下井零配件的国产化的研究。进一步针对伽马短节封装钻铤和控制短节封装钻铤开展国产化技术攻关,以降低下井仪器的整体费用,降低风险。

(5) 建立风险机制。

形成风险共担机制,使施工各方对井下安全和仪器的意外损害都负有责任,易于技术措施的落实。个别井队经常忽视仪器正确使用的规章制度,就是因为仪器发生损坏后的赔偿责任不清,使一些钻工没有把仪器操作员的忠告认真记取,经常造成仪器的过度震动、磕碰以及仪器部件的冲蚀。

4 结束语

目前,虽然已经可以对电阻率内部电路进行一些维护和修理,但程序比较复杂,维修后的效果还有待实践验证,因此还要在严格执行操作规程,采取有效的对策措施上下工夫,使仪器的使用走上科学化、规范化的轨道。同时借鉴国际惯例和先进的仪器保护手段,尽量减少仪器配件的磨损和延长仪器的使用寿命。

参考文献

- [1] 刘西林. 地质导向无线随钻测量仪器 FEWD 现场施工常见问题探讨[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(4): 73 - 74.
- [2] 胡文. LWD 测量仪器使用中的井下安全问题[J]. 西部探矿工程, 2005(10): 49 - 51.
- [3] 赵景山. 胜利油田薄油层水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(5): 72 - 74.

国内外径向水平井技术探讨

邓胜聪 李瑞营 张智强 张晓帆

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院)

摘要 本文主要对国内外一种较新的钻井技术——径向水平井技术进行简要介绍,针对目前国内外径向水平井技术的发展现状及现场应用情况进行了分析和对比,并找出国内该技术与国外的差距,明确今后在该技术上的研究方向,可在一定程度上解决我国剩余油难开采的问题。

关键词 径向水平井 国内外现状 技术分析 发展趋势 应用前景

1 径向水平井的简介

径向水平井是一种新的水平井钻井技术,它的曲率半径(仅0.3m)比常规水平井的曲率半径更短,故也称“超短半径水平井”。该技术的工作原理^[1]是在设计施工的目的层段内,通过锻铣套管、扩孔形成一个井径约为630mm的井眼,高压喷射管经转向器在该井段内以0.3m的曲率半径由垂直转为水平伸出,其上的喷嘴随高压喷管前进的同时,喷出高压流体,以旋转射流的方式进行破碎岩石,从而形成直径约为100mm的径向水平井眼。

径向水平井的主要配套工具由两部分构成,即地面设备和井下工具。地面设备包括修井机、高压泵组、井口装置(包括井口密封、进液三通)、自动送钻控制系统和数据采集系统。井下工具包括锻铣工具、扩孔工具、转向器系统、高压管柱、钻头及完井工具等。其中自动送钻控制系统、数据采集系统、大直径扩孔工具、转向器系统及特殊的完井工具为该技术的专用设备。径向水平井系统组成可参见图1。

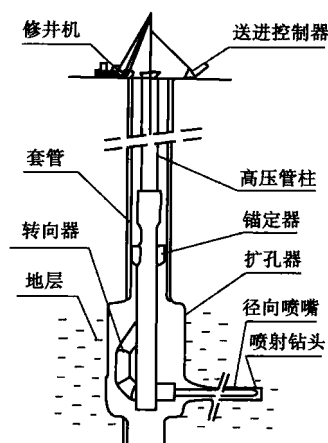


图1 径向水平井钻井系统组成简图

2 国内外径向水平井技术的发展现状及现场应用情况

随着油田生产时间的不断延长,油田的产量逐年下降。径向水平井在开发老油田上有很大的发展潜力,应用范围不断加大。而该项技术的难点体现在施工工艺和工具配套两个方面。所以,下面主要就这两个方面来简述目前国内外径向水平井的发展状况及现场应用情况。

2.1 国内径向水平井配套工具的发展现状

转向器^[2]是径向水平井钻井系统的关键部件,我国从20世纪90年代初也开始对转向器进行研制。

2.1.1 Z5 型转向器系统

Z5 型转向器系统是在系统液压驱动力作用下使钢质钻杆由垂直方向向水平方向转向,转弯半径仅为 0.3m,使钻杆通过它作连续弯曲和伸出运动。由于我国大部分油田油层套管是 5½in 套管,所以研制了适合于 5½in 套管尺寸的 Z5 型转向器,这种转向器具有以下几个特点:

(1) 采用双向弯曲挂钩形的转筒组合结构,适合于大直径圆周扩孔工艺技术,它所需扩孔直径同国外第一代转向器相比减少了一半,扩孔施工成本大大降低了。

(2) 在竖起机构上,有机械竖起机构和液压竖起机构,二者在结构上各有优点,在整体结构上,可实现在井下多次定向,多次喷射钻进。

(3) 可重复使用。

2.1.2 YDZ5 型转向器系统

为了进一步开展径向水平井钻井技术在吉林油田的应用,中国石油天然气集团公司科技局组织对套管单侧水力开窗的径向水平钻井技术进行研究。研制出了适合于吉林油田应用的套管单侧水力开窗为特点的径向水平井钻井用的 YDZ5 型转向器。YDZ5 型转向器是单向弯曲的,它对径向水平井技术新型系统的研究作了重要的探索。其主要技术成果在于:优化了转向轨迹,整体结构小巧。与套管圆周整体开窗和扩孔工艺相比,扩孔空间降低至约原来的 2/3,总施工成本可降低 40%~50%。该技术具有施工周期短、不占用钻机、套管破坏小等优点,在替代打调整井和贯通邻近井眼方面可能会更节约成本。

2.1.3 YSZ7 型转向器系统研究

随着对转向器系统研究的不断深入,针对辽河油田提供的 7in^① 套管试验井,采用了径向水平井钻杆转向技术试验成果和 ANSYS 有限元力学分析优化计算结果,设计和研制了 YSZ7 型转向器。该转向器转筒组合为双向弯曲结构。测试结果表明:

(1) 系统总阻力与双弯的 Z5 型转向器系统相比减小了约 40%,钻杆伸出转向器后,系统平稳工作阻力一般为 12~15kN;

(2) 持续工作性能提高 5 倍以上;

(3) 既可机械竖起也可液压竖起;

(4) 钻杆可两次笔直伸出转向器(以往仅一次);

(5) 刚度和强度提高 2 倍以上。操作、定位、竖起、收拢简单可靠,运动自如;

(6) 适应恶劣工况能力强。

2.1.4 新型转向器研究

适合 5½in 套管井眼的双向弯曲的 Z5 型转向器设计于 20 世纪 90 年代初,为了提高径向水平井钻井技术适应性,研制完成了新一代适合 5½in 套管井眼的双向弯曲的新型转向器系统,该系统的转向器执行机构既可以实现机械竖起,又可以按照液压方式竖起。对于前期扩孔是旋转扩孔或开槽扩孔的工艺均适应,转向器可以半自动寻找井下槽孔;可以通过竖起判断装置判断井下转向器是否竖起或判断井下扩孔空间是否达到要求;在扩孔尺寸不到位的情况下,转向器不完全竖起,避免了液压竖起给转向器带来的不安全因素;转向器系统完全适合磨料射流工况。现场试验证明,该转向器系统性能优越。

① 1in = 25.4mm。

2.2 国内径向井现场试验进展状况

国内从1990年开始进行径向水平井钻井技术的研究。石油大学(华东)、西安石油大学、江汉机械所、吉林油田、南京航空航天大学、中原油田、辽河石油勘探局等单位曾经单独或联合进行过研究和攻关,有针对性地研究出了专用的井下工具,并对施工工艺进行了有益的尝试。

1992年在中国石油天然气集团公司科技局组织下,成立了径向水平井钻井技术项目组。从1996年开始采用不同的施工方法在吉林油田、辽河油田等单位进行现场工艺性试验。

在辽河油田采用锻铣套管、机械扩孔、清水射流的方法,完成了3口 $\phi 177.8\text{mm}$ 套管井内的径向井水平井钻井试验,单支最长水平井眼达到19.42m。创造了当时国内同类技术最好的技术指标。

在江苏油田的韦5井,完成了3个径向水平井眼,井眼总长度41.93m,单支径向水平井眼长19.55m,钻井周期缩短到277h,刷新了国内同类技术最好纪录。

吉林油田独立研究并试验了水力开窗、水力扩孔、磨料射流的径向井水平井钻井工艺技术。1997—1999年,吉林油田完成了3口径向水平井施工试验,实现了国内在 $\phi 139.7\text{mm}$ 套管井内径向井水平井零的突破。

总的来讲,国内的径向水平井钻井技术正在逐渐走向成熟和完善,可望在不久的将来成为油田挖潜改造的重要技术之一。

2.3 国外径向水平井技术发展状况

在国外,径向水平井钻井技术始于20世纪70年代末,80年代中期投入工业试验,80年代末期进入商业应用。进行这项研究工作的有美国石油物理有限公司和投资公司等。目前已完钻了几千口径向井眼,这些径向水平井有的是在垂直井的同一油层中钻入的,有的是在不同油层中钻入的,单个垂直井中所钻层位最多达5个,每个层位钻入的辐射状径向水平井最多达20个,实现了在多个层位钻多个辐射状径向井的技术。对于这些径向井眼,大部分进行了测井和包括裸眼技术、柔性防砂管技术(径向井眼的衬管)及双向砾石充填技术完井。径向井眼的长度一般在8~46m,依地质情况的不同和所结合的其他工艺(如注蒸气)的不同,垂直井产能提高为2~10倍,平均原油增产约为2~4倍。目前,国外从事该技术研究或拥有该项技术的国家有美国、加拿大、澳大利亚、克罗地亚、英国等,形成了几项主要技术,现分述如下。

2.3.1 高压水射流技术

高压水射流技术^[3]在石油上的应用已经取得了很大的效果。Maurer所研究的25种新的钻井改进方法,其中高压水射流技术应用前景广阔。埃索也使用水射流作为前期实验的动力进行了应用该技术钻井的研究。现场实验以95MPa的压力喷射使得常规钻头机械钻速提高了10倍。这种成功使得高压水射流喷嘴与常规钻头相结合成为一种发展趋势。这些钻头不只是钻速更快,而且需要的钻压也小,同时寿命也比普通钻头延长75%。Maurer的经济评价表明,虽然高压设备成本提高,但是机械钻速提高到常规钻头的2倍或3倍。最新报道的PDC高压混合钻头能以300m/h的机械钻速钻穿中等强度的岩石。

2.3.2 挠性管水力喷射径向井技术

该项新技术^[4]的主要应用及处理过程有以下4部分:

(1) 挠性管水力喷射钻井。

在过去的 10 年里,高性能的径向水射流钻井系统已经在研究,可以在近井眼损害地区提供延伸完井。所有的射流径向系统使用挠性管作为钻柱。理论上是在同一平面或不同平面的多个方向上钻水平径向井,结果得到一排穿透临近井眼或表皮的径向井眼,提供了一组非破坏径向导管以便自流。

超短半径径向钻井系统已经在某些外国油田投入商业使用。超短半径径向钻井系统是以传统油田设备为基础的,包括修井装备、分段磨铣设备、套管鞋下扩孔设备、高压压裂泵(55.2 ~ 69.0MPa)、规定有一段光滑孔壁螺纹管(89mm)的工作管柱(114mm)以及底部运动控制管柱。

(2) 超短半径径向钻井系统(URRS)。

超短半径径向钻井系统使用非旋转的长 100 ~ 200ft^①、内径 1.25in 的挠性管钻柱,在其顶部有喷射钻头,在已有的井眼上分段磨铣管下扩眼。造斜器由于地面工作管柱的拉伸力而保持竖立。短挠性管柱和喷射钻头被钢缆连接在地面上。造斜器周围液压驱动并且靠水压进入储层,连接地面的钢丝绳提供水力方向控制力并且及时传递信息。使用特殊的圆锥形喷嘴钻穿岩石时形成水锥,其速度为 700 ~ 900ft/s,这个高速的水锥在大多数岩石上剪成一个直径为 2 ~ 4in 的井筒。

(3) 随钻控制。

随钻控制系统用于监测钻头倾角,并随时调节。地表计算机控制系统调整倾角。1.25in 挠性管柱上的电磁线圈激励导阀导致高压钻井液流向几个面,推进式喷嘴垂直轴线。这些推进式喷嘴与操纵火箭或卫星的摇式推进器一样。在控制系统下,操作人员能够对钻头倾角进行调整使其遵循预先设计的轨道,倾角仪数据是随钻可变的。

(4) 完井。

对于任意角度泄油孔,完井方式比较灵活:裸眼井、电解的射孔挠性管、挠性可渗透套管(挠性砂岩边界)以及水平砾石充填。为了进一步减少储层伤害,使用不伤害储层的钻井流体,如水基钻井液。

在大多数应用中,任意角度的泄油孔都使用裸眼方式或砾石充填方式完井。对于裸眼井(直径 1.25in),挠性管柱很容易提升,对于非胶结砂岩应用水平砾石填充。

2.3.3 螺旋管传送钻井技术

螺旋管传送钻井技术^[9]具有很大的优点,这是一种螺旋管传输电动底部钻具组合,它经过合理的设计和研发,一次螺旋管运行就能完成多个分支井眼,且均垂直于主井眼。这些分支井保持裸眼状态,并且是高压状态下泵入流体、经喷嘴头后产生喷射冲击力。此外,喷嘴头处的流体产生能量也为高压软管进入分支井眼提供向前的拉力。

喷射钻井工具主要特点是:能够进行套管开窗,然后穿过井眼中的套管喷射出一个分支井眼,最后进入油层。为实现这一目标,目前已研制出了钻井马达和喷射滚筒。这种钻井马达包括一个钻头,该钻头是靠电动马达和液压枪相连共同驱动的,它能在套管中形成一个直径 1.5in 的井眼。这种喷射滚筒内容纳一个直径 3/8in,50m 长的喷射软管,并螺旋缠绕在圆柱形滚筒上。这种滚筒配有一个电动马达,当正在钻一个分支井眼时,能将软管从滚筒中拉出,然

① 1ft = 0.3048m。