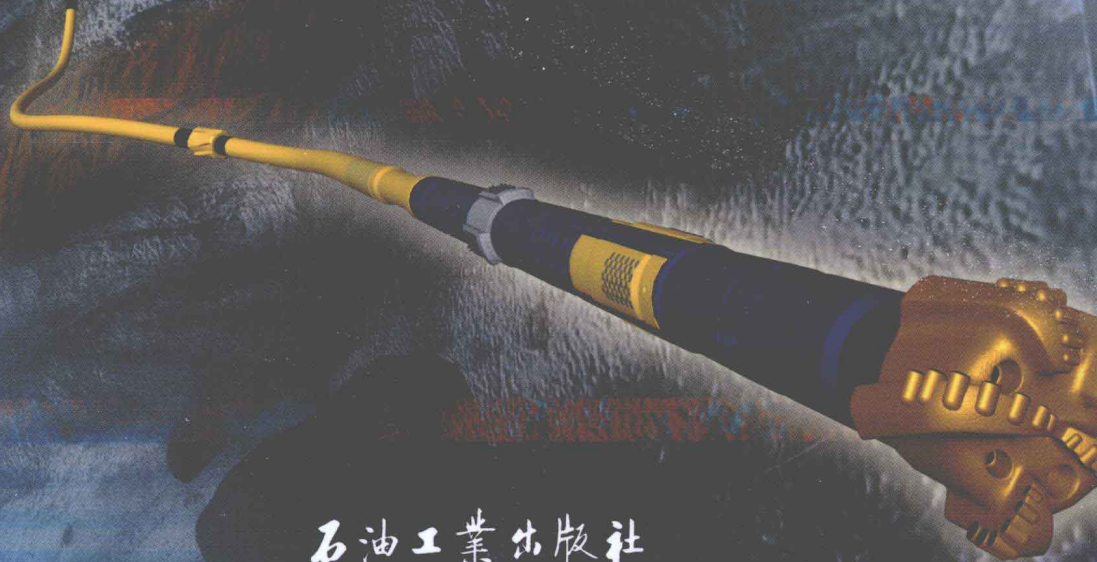


可控三维轨迹

钻井技术

姜 伟 等◎编著

ROTARY STEERABLE
DRILLING TECHNOLOGY



石油工业出版社

内 容 提 要

本书汇集了国家“十五”863 计划“可控三维轨迹钻井技术”课题组成员在课题研究过程中撰写的部分学术论文。该书总结了课题组关于“可控三维轨迹钻井技术”的部分研究成果,旨在与国内同行交流经验,为研究具有我国自主知识产权的工程化旋转导向钻井技术和分支井钻完井技术提供有益的参考。

本书可供石油工程和井下机电仪专业的工程技术人员、管理人员和大专院校师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

可控三维轨迹钻井技术/姜伟等编著.

北京:石油工业出版社,2010.7

ISBN 978-7-5021-6686-1

I. 可…

II. 姜…

III. 油气钻井-技术-文集

IV. TE242-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 107964 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.cn

编辑部:(010)64523583 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:15.25

字数:366 千字 印数:1—1000 册

定价:68.00 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

21 世纪世界石油钻井技术发展的趋势是向自动化和智能化方向发展。主要特点是:一是将钻井、电测、信息采集、传输与控制技术结合;二是从地面人工控制发展为由计算机下传控制指令与井下闭环控制相结合,从以地面为主的信息采集发展为井下连续的信息采集和实时传输,能够随钻监测和调整井眼轨迹。

旋转导向钻井技术是逐步迈向自动化、智能化钻井的重要标志和里程碑,以旋转导向钻井系统为核心的三维井眼轨迹控制钻井技术,代表了当今石油钻井工程的领先水平,该技术使世界钻井技术发生了一次质的飞跃。国内外在水平井、多分支井、大位移井、三维多目标井、深水井等各种复杂井中,广泛采用旋转导向钻井技术。实践表明:采用旋转导向钻井技术,钻柱的连续旋转,井眼光滑,提高了井眼质量,井眼摩阻小,钻井延伸能力强,可以钻更大水平位移的大位移井;井眼清洁,减小了卡钻的风险;无需起下钻调整工具面,减少了起下钻时间,提高了钻井效率。

国外目前主要有三种不同类型的商业化旋转导向钻井系统,即:贝克休斯公司的 AutoTrak 旋转钻井系统、斯伦贝谢公司的 PowerDrive 调制式全旋转导向钻井系统和哈里伯顿公司的 GeoPilot 偏心环控制旋转导向钻井系统。除三家大公司外,世界范围内(包括中国)还有几十家公司在研制和跟踪该项技术。近年来,我国海上油田每年花费在旋转导向工具和 LWD 系统的服务费近 10 亿人民币,服务费用达每天数万美元。由此可见,我们研究旋转导向钻井技术,一方面,推动旋转导向钻井工具的国产化,降低油田钻井成本;另一方面,它将减小我国钻井技术与世界水平之间的差距,提高我国钻井技术在国际市场的竞争能力。

我国旋转导向钻井技术的研究起始于“九五”期间。1997 年,中海石油研究中心组织承担了国家“九五”863 计划项目“海底大位移井钻井技术”的研究工作,与中海石油渤海公司、西安石油学院三家合作,共同研究开发了用于二维井眼轨迹控制的“井下闭环可变径稳定器”样机。该课题成果为旋转导向钻井技术的研究奠定了良好的基础。

2001 年以来,中海石油研究中心承担了国家“十五”863 计划课题“可控三维轨迹钻井技术”和“十一五”863 计划重点项目“旋转导向钻井系统工程化技术研究”的研究工作,分别与西安石油大学、中国石油集团科学技术研究院、西南石油大学、中海油田服务有限公司、中天启明股份有限公司、中海石油(中国)

有限公司天津分公司合作,研制和开发了具有自主知识产权的旋转导向钻井系统和以膨胀管坐挂定位为技术特征的分支井钻完井技术。所研制的旋转导向钻井系统主要包括旋转导向钻井工具、随钻电阻率及自然伽马测井工具(LWD)、随钻钻井工程参数测量工具、随钻信息传输工具、地面监控装置等部分。旋转导向钻井系统试验样机在陆地及海上油田已进行了 10 多次现场钻井试验,取得了标志性成果。所研究的膨胀管坐挂定位分支井钻完井技术,为国内外首次应用,并在海上油田进行了 4 口井的现场应用。

本书汇集了课题组成员在课题研究过程中撰写的部分学术论文,主要作者有姜伟、蒋世全、付鑫生和李汉兴等。本书总结了“可控三维轨迹钻井技术”的部分研究成果,旨在与国内同行交流经验,为研究具有自主知识产权的工程化旋转导向钻井技术和分支井钻完井技术提供有益的参考。

目 录

我国旋转导向钻井工具系统的研究应用与展望	姜伟 蒋世全 盛利民等(1)
旋转导向钻井偏心稳定器横向振动研究	姜伟(9)
可控偏心稳定器钻具组合弹性稳定性研究及其应用	姜伟(15)
旋转导向带挠性接头变刚度钻具组合的弹性稳定性分析	姜伟(23)
旋转导向钻井技术研究进展	蒋世全 姜伟 付鑫生等(32)
可控偏心器旋转导向钻具组合的性能分析	李汉兴 姜伟 高德利(40)
可控偏心器旋转导向钻井工具研制与现场试验	李汉兴 姜伟 蒋世全等(47)
可控偏心器旋转导向钻井工具偏心位移控制分析	李汉兴 姜伟 蒋世全等(53)
A method to realize the surface - to - downhole communication while drilling	Jing Zhou Xingsheng Fu Haiyan Shang et al(61)
内置式可控偏心器伺服平台稳定控制模型	姜东霞 周静 付鑫生(72)
可控偏心器液压系统自适应井径变化能力的分析	胡金艳 周静 付鑫生(82)
智能旋转导向工具核心控制器的仿真研究	胡金艳 周静 尚海燕等(87)
利用敏感井底钻具振动传递地面信息的方法	周静 付鑫生(92)
液压定位控制器的系统辨识	周静 姚文彬(97)
用可控偏心器实现井眼轨迹的闭环控制	胡金艳 周静 付鑫生(102)
基于 3D 参数化技术的旋转导向钻具虚拟设计	张光伟(107)
新型旋转导向井下闭环钻井工具	张进双 胡金艳 余志清(111)
现代井下钻井工具及旋转导向闭环钻井系统	张进双 胡金艳(117)
闭环钻井由地面向井下通讯的一种实现方法	尚海燕 周静 付钢(123)
钻井液脉宽调制方法实现下行通道	尚海燕 周静 付鑫生(129)
三维井眼轨道设计模型及其精确解	唐雪平 苏义脑 陈祖锡(134)
井下可变径稳定器本体振动特性分析	张光伟(141)
井下闭环可变径稳定器本体有限元分析	张光伟(146)
井下闭环可变径稳定器的设计计算	张光伟(150)
井下闭环可变径稳定器	张光伟 付鑫生 周静等(156)
无线传输通讯模块在数据采集系统的应用	李春杰 王天庆(161)
基于 232 通讯模块的闭环钻井系统的通信接口设计	李春杰 李安 姚文彬(165)
调制式可控偏心器伺服平台的滚动稳定控制系统仿真	周静 付鑫生 姜东霞等(169)
应变测试法测试钻井参数的数据采集系统设计	胡泽 陈平 黄万志等(175)
基于 DSP 技术的钻井参数数据采集系统的设计	胡泽 赖欣 顾三春等(181)
基于 DSP 的井下参数测试仪的设计	赖欣 胡泽 蒋曼芳等(186)

DSP 在随钻井下管柱参数测量系统中的应用 赖欣 胡泽 赖晓斌等(191)

计算机控制下行通讯方法研究 周静 邢动秋 张晋凯(196)

膨胀管弹塑性力学特性分析与设计研究 姜伟(201)

NB35-2 油田应用膨胀坐挂定位分支井新技术实践 姜伟 蒋世全 陈健等(208)

膨胀管定位分支井技术在渤海埕北油田的应用 姜伟 蒋世全 陈健等(214)

膨胀管定位多分支井技术 徐长安 陈健 任荣权萍(220)

膨胀管定位多分支井钻井完井技术与应用 任荣权 张燕萍等(226)

多分支井工具 FMECA 分析 任荣权 高向前 陈健等(232)

我国旋转导向钻井工具系统的研究应用与展望

姜 伟¹ 蒋世全¹ 盛利民² 苏义脑² 付鑫生³ 周 静³

(1 中海石油研究中心 2 中国石油集团钻井工程技术研究院 3 西安石油大学)

【摘 要】 本文总结了国家“十五”863 课题“旋转导向三维可控钻井技术研究”的研究工作进展及其在现场试验的情况。根据国外在旋转导向钻井技术方面的进展及其技术特点,我们研制出具有独立知识产权的旋转导向技术,其主要性能和特点是:(1)用旋转导向偏心工具来实现钻头的转向和井斜的改变;(2)使用泥浆脉冲技术来实现井下测量数据的传输;(3)具有井眼轨迹和主要地质参数的测量功能;(4)具有井下实际钻井工程参数的测量功能;(5)该工具系统集成旋转钻井、地质参数测量、工程参数测量、随钻测量的功能为一体,具有我国独立知识产权。该工具系统已经进行了陆上和海上油田的井下工具钻井试验,为今后该工具系统的进一步完善与推广和应用,奠定了坚实的基础,并具有十分重要的意义。

【关键词】 旋转导向 随钻测量 地质参数 工程参数 技术研究 现场试验

在 20 世纪 90 年代中期以后,国外陆续在油田的现场开始应用旋转导向钻井技术,以 Halliburton、Baker 和 Schlumberger 三大服务公司为代表的旋转导向钻井技术的研究与应用,极大地改变了传统定向井工艺技术。用旋转导向全部取代了滑动钻井,在作业效率和作业安全上,对于技术本身,起到了突破性的进展和根本的变革。尤其是在海上的大位移钻井技术中,传统的定向井技术由于在定向和调整井眼轨迹时受到限制,还要受井眼条件、井眼净化、井下安全等多方面因素和条件的限制,制约和影响了大位井的位移和延伸的水平发展,同时也对井下安全造成影响^[1,2]。因此在这种情况下,国内旋转导向钻井技术的研究工作就应运而生了。

在“十五”期间,我们在国家科技部和立题专家组的支持和指导下,由中海石油研究中心牵头,联合石油勘探开发研究院钻井所、西安石油大学、西南石油大学、中海油服、中天启明公司等单位开展了旋转导向钻井技术的研究和技术攻关工作。对于开展我国旋转导向钻井技术研究,系统的开展了旋转导向钻井工具——可控偏心器的技术研究、随钻地质参数测量工具的技术研究、随钻工程参数测量工具的技术研究以及泥浆脉冲技术随钻信息传输技术研究。

经过艰苦努力和技术攻关,我们成功研制出了旋转导向可控偏心稳定器、随钻工程参数测量的井下工具、随钻地质参数测量的井下工具、随钻测量信息传输的泥浆脉冲器及控管,并在此基础上形成了一套旋转导向钻井工具系统。并且在“十五”末,将这套工具系统成功的在陆上油田和海上油田进行了钻井试验,并取得了实践和应用的成果。

本课题为国家“十五”863 渤海大油田勘探开发关键技术重大专项可控三维轨迹钻井技术研究课题之部分研究内容(课题编号 2003AA602012)

姜伟,男,高级工程师,1982 年毕业于西南石油学院钻井工程专业,现在中海石油研究中心钻完井总工程师。地址:北京市东城区东直门外小街 6 号海油大厦(邮编:100027)。电话:010-84522639

一、旋转导向三维可控轨迹钻井关键技术的研究

针对旋转导向工具系统的特点,以及国家科技部有所为有所不为的精神,我们开展了重点攻克旋转导向技术瓶颈的技术攻关和关键技术的研究,同时根据海上和陆上钻井作业特点,特别是考虑到在油田开发中,为提高钻井效率、有效降低油田开发的综合成本,更有效和准确地评价地层的性质、指导和控制井眼轨迹,有效的揭示地层,高效的开发油层,我们开展了旋转导向关键技术研究。

1. 旋转导向钻井工具系统的特点及其组成

该工具系统的总体方案如图 1 所示。

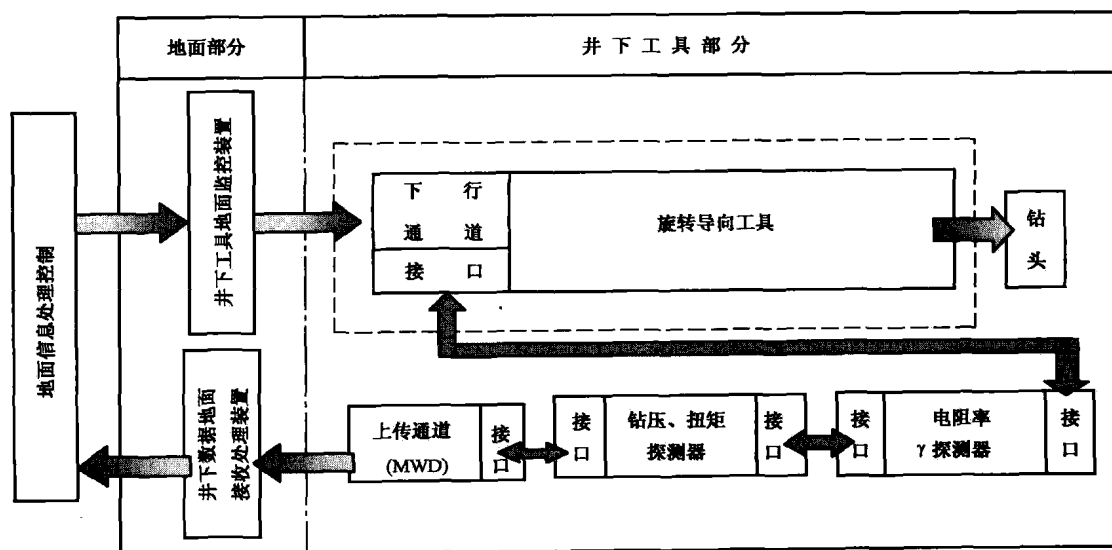


图 1 旋转导向钻井工具系统总体方案

该工具是实现旋转导向钻井的关键工具之一,其主要技术特点是利用非旋转外套上的可控翼肋,在不同方向上的不同伸出量达到控制井眼轨迹的目的。

该工具系统最大特点是集旋转钻井与定向控制、地质工程参数测量、随钻测量数据合为一体,具备三大功能:对井眼轨迹的有效控制要做到像常规的定向井工具那样,可以实现带有弯探头工具的定向造斜、扭方位、井斜控制的功能;对旋转钻井,它在扭方位和造斜以及控制井眼轨迹过程中,始终都在旋转钻具,因此,避免了滑动钻具带来的钻井技术风险;它通过信息传输技术和工程与地质参数的随钻测量技术就可以及时将地质参数和工程参数进行综合对比分析,及时调整井眼轨迹。旋转导向钻井工具系统主要组成部分为:φ215.9mm 钻头 + φ215.9 ~ 203.2mm 旋转导向偏心稳定器 + φ215.9mm 上稳定器 + φ165.1mm 伽马测量短节 + φ165.1mm 电阻率测量短节 + φ165.1mm 工程参数测量短节 + φ120.65mm 柔性短节 + φ165.1mm MWD。

2. 研制情况

在完成系统工具构造的基础上,课题组各承担单位开展了各单元样机的技术攻关和研制工作,并且在单元样机研制后进行了地面的调试,并根据调试情况,适时组织单元样机的钻井试验,让样机接受实战的考验。

(1)旋转导向可控偏心器单元样机^[3],于2005年上半年进行了地面调试,在此基础上,又再接再厉,在长庆油田对单元样机进行了钻井试验。2006年5月30日在长庆油田N37-32井进行了首次钻井实验,此次下井的目的主要是为了检查可控偏心稳定器的整机井下工作的适应性以及井口的可操作性、井下的导向性能。该井下钻井深1020m,用 $\phi 212.3\text{mm}$ 钻头带 $\phi 120.65\text{mm}$ 钻铤,钻井进尺60m,图2是可控偏心稳定器实验的压力曲线和翼肋伸出动作曲线。

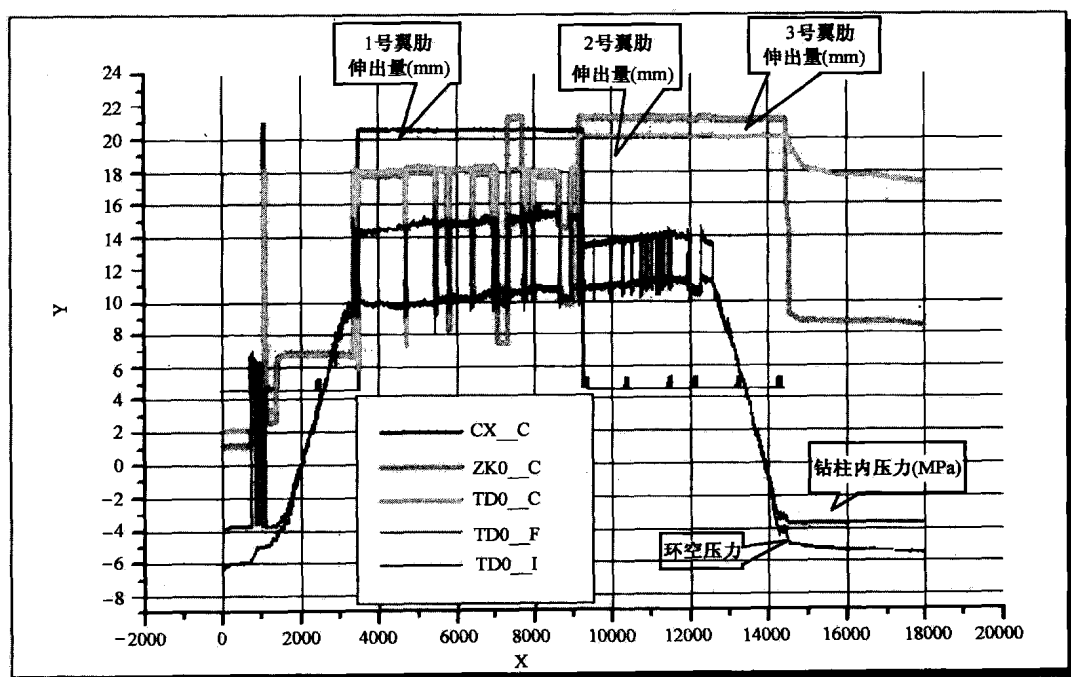


图2 旋转导向钻井工具下井实际压力曲线和翼肋伸出动作曲线

通过这次实钻检验,我们得到以下成果:

① 首次在国内利用拥有自主知识产权的旋转导向可控偏心器钻井技术成功的钻井60m,这是一个零的突破。

② 起钻以后检查井下CPU工作正常,从工具中提出可储存的测量数据,说明了设计的合理性和可操作性,为进一步研究和改进单元样机奠定了基础。

(2)随钻电阻率、自然伽马测量工具。于2002年开始至2005年上半年总共进行了在陆地油田的7次钻井实验^[4]。该工具主要技术指标:最高耐压140MPa,最高工作湿度150℃,连续工作时间200h,从单元样机到挂接系统运行,都很好地完成了实验任务。图3是在陆地油田

× × 井中随钻测量电阻率曲线与电缆测井的电阻率曲线的对比。

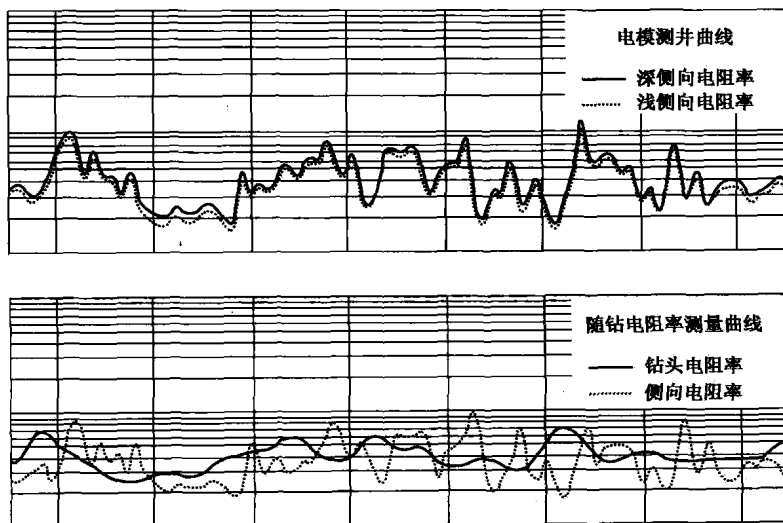


图3 电阻率曲线的对比情况

该单元样机的下井钻井作业随钻测量获得成功有以下几个方面的意义：

① 首次在国内进行了随钻电阻率和地层自然伽马测量,实现了国内在随钻电阻率和地层自然伽马测量方面零的突破。

② 工具的实验成功证实了在电阻率和自然伽马工具设计中,思路和方法是正确的并且经历了实钻的考验。

(3) 泥浆脉冲上传信息技术及 MWD 工具的研制。该工具是专门负责对测量参数进行传输的专用仪器,其功能是将测量得到的数据,用脉冲信号向上传输到地面进行处理,从而让我们获取井下井眼轨迹和地质参数的信息。脉冲发生器在室内完成 150℃ 温度测试和 200Hz 的振动频率测试以后,进行了钻井实验,2005 年以来,分别在四川、冀东和渤海等油田进行了钻井实验,钻井深度达到 2850m、2361m,工作时间达到 86h,最长时间 200h,完全达到了设计要求。目前该系统在井下的软件和硬件接口以及总控系统都已经完全可以满足作业需求,并与其他井下仪器具有良好的兼容性能。

(4) 井下工程参数测量短节的研制。该测量工具主要用于测量钻压、扭矩、环空压力以及钻头侧向力等 4 个主要钻井参数。这对于我们在大位移井、水平井作业中,了解和掌握井下钻井状态以及实际的钻压和侧向力都十分重要和有意义。该仪器在室内完成 125℃ 温度和 250kN 钻压测试和标定的情况下,在陆地油田进行了下井实验,2005 年 1 月在四川 MP37 井下井实验,钻井作业 40.95h,钻井进尺 320m,取得了较好的实验效果。

二、陆地和海上油田钻井试验情况

旋转导向钻井工具系统在经过技术攻关和单元样机下井试验以后即开始了系统工具的连接和调试工作,并且于 2005 年 11 月开始了系统挂接和陆地钻井实验。

[例1] 系统工具第二次钻井实验。时间:2005年11月5~6日;地点:长庆油田;井号:N37-32井;井型:定向井;下钻井深998m;起钻井深1202m;钻井进尺204m;纯钻时间33.5h;钻进井段:稳斜段。采用钻具组合:8 $\frac{3}{4}$ in钻头+可控偏心稳定器+8 $\frac{3}{4}$ in刚性稳定器+6 $\frac{3}{4}$ in非磁钻铤 $\times$ 1+6 $\frac{3}{4}$ in钻铤 $\times$ 14。钻井参数:钻压210kN;泵压:8MPa;转速60~80r/min。实际井眼轨迹控制效果:工具工作正常,增斜和降斜都有一定的效果,满足钻井井眼轨迹控制的要求,详细情况见表1。

表1 系统工具在N37-32井钻井实验数据

序号	测量井深 m	井斜 (°)	方位 (°)	实际井斜 变化率 (°)/30m	实际方位 变化率 (°)/30m	狗腿严重度 (°)/30m	轨迹 控制 要求	实际 控制 效果	备注
1	1009	29.74	275.8						
2	1056	27.32	275	-1.58	-0.52	1.6	降井斜	满足要求	
3	1092	25.69	274	-1.32	-0.64	1.38	降井斜 降方位	满足要求	
4	1128	25.13	274.2	-0.46	0.1	0.46	增井斜	未达到指令	
5	1168	25.77	273.9	0.52	-0.24	0.53	增井斜	满足要求	

从表1我们发现:

(1) 录用旋转导向可控偏心器稳斜钻井时,平均井斜变化率在 $-1.58^{\circ} \sim 0.52^{\circ}/30\text{m}$ 之间变化,平均方位变化率在 $-0.64^{\circ} \sim 0.1^{\circ}/30\text{m}$ 之间变化,证明该工具系统具有较好的稳斜钻井能力。

(2) 通过该井在254~618m用 $1.5^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 弯接头造斜,其平均造斜率为 $0.7^{\circ}/30\text{m}$,而采用旋转导向偏心稳定器钻井,平均狗腿可达到 $0.46^{\circ} \sim 1.6^{\circ}/30\text{m}$,并且在全力增斜时,最大狗腿可达到 $1.6^{\circ}/30\text{m}$ 。显然,这个造斜能力是该地区弯接头造斜率的2倍以上,说明该工具亦有很好的造斜能力。

(3) 由于采用旋转导向钻具组合提高了钻压,最高钻压可达240kN,比原来在该地区采用的螺杆钻具机械钻速提高30%,具有很好的实用性。

[例2] 2005年11月旋转导向钻井工具系统第三次在陆地油田下井做钻井实验。地点:长庆油田;井号:X28-022;井型:定向井;下钻井深:1375m;起钻深度:1485m;钻井进尺:110m;纯钻井时间:10h;钻进井段:稳斜井段;钻具组合:8 $\frac{3}{4}$ in钻头+可控偏心稳定器+刚性稳定器+6 $\frac{3}{4}$ in MWD+6 $\frac{3}{4}$ in非磁钻铤+6 $\frac{3}{4}$ in普通钻铤 $\times$ 14;钻井参数:钻压200kN;转速:60~80r/min;平均机械钻速11m/h。从井眼轨迹控制上看,基本满足控制要求,井下仪器工作正常,表2是该井在实钻过程中井眼轨迹控制数据及情况。

表2 X28-022井井眼轨迹控制情况

序号	测量井深 m	井斜 (°)	方位 (°)	井斜变化率 (°)/30m	方位变化率 (°)/30m	狗腿严重度 (°)/30m	轨迹 控制 要求	备注 说明
1	1375	8.7	306.7					
2	1418	9.1	307.8	0.28	0.28	0.56	增斜	满足控制要求
3	1468	9.7	307	0.36	-0.48	0.36	增斜	满足控制要求

观察表 2 我们可以看出:

(1)该工具具有较好的轨迹控制能力,井眼轨迹控制平滑,稳斜段狗腿严重度控制在 $0.36^{\circ} \sim 0.56^{\circ}/30\text{m}$ 之间。

(2)该井段设计增斜为 $1^{\circ}/30\text{m}$,但实际上狗腿度最大达到 $0.56^{\circ}/30\text{m}$,造斜率低的原因分析可能与没有安放顶部稳定器有关,同时也没有使用挠性接头有关。

(3)在这一地区,长庆油田使用 $1.5^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 弯接头在 1073 ~ 1285m 井段造斜能力为 $0.8^{\circ}/30\text{m}$,而使用旋转导向工具最大狗腿度达到 $0.56^{\circ}/30\text{m}$ 。这说明两方面问题:一方面就其造斜能力来说,目前旋转导向工具还不能达到 $1.5^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 弯接头的造斜力;另一方面,旋转导向工具已经具备了很可观的造斜能力了,因为多数情况下弯接头造斜要比旋转导向工具造斜能力强,并且下部井段由于地层逐步变硬,造斜能力自然降低,这些也是不争的事实。

(4)该井段方位自然漂移率为 $4^{\circ}/30\text{m}$ 左右,而采用旋转导向钻井工具以后,在钻进 100m 后方位自然稳定在 307° 左右,其方位变化率平均为 $0.13^{\circ}/30\text{m}$,表现出了较为稳定的方位控制效果,这是在使用旋转导向工具后表现出来的优越性能。

【例 3】 2005 年 12 月在渤海油田进行了旋转导向钻井工具系统海上第一次钻井实验。在陆地油田钻井实验取得成功的基础上,对工具系统进行了挂接和系统调试,并且将研制的旋转导向偏心稳定器,与电阻率伽马以及地层参数测量仪器都全部装配挂接。

具体情况如下:井号 BHLDS-2-A1 井;钻具组合: $8\frac{1}{2}\text{in}$ PDC 钻头(水眼 $\phi 16 \times 3 + \phi 13 \times 3$) + 偏心稳定器 + $6\frac{3}{4}\text{in}$ 电源短节(偏心稳定器 $8\frac{1}{4}\text{in}$) + 7in 地层参数测量短节(电阻率 + 伽马) + 7in NWD + $8\frac{1}{4}\text{in}$ 稳定器 + $6\frac{1}{2}\text{in}$ FV + $6\frac{1}{2}\text{in}$ 挠性接头/振击器 + 5in HWDP8。

下钻井深:3018m;起钻井深:3147.8m;钻井进尺:129.8m;钻井参数:钻压 40 ~ 50kN,转速 60 ~ 80r/min,控制泵压 21MPa(排量 2150L/min)。

钻进井段为稳斜井段,钻井过程中对增井斜、增方位、稳井斜等功能都进行了测试,取得了很好的效果,具体情况见表 3。

表 3 BHLDS-2-A1 井井眼轨迹实钻情况

序号	钻头位置 m	测量井深 m	井斜 ($^{\circ}$)	方位 ($^{\circ}$)	井斜变化率 ($^{\circ}$)/30m	方位变化率 ($^{\circ}$)/30m	工具面角 ($^{\circ}$)	轨迹控制要求	实际效果	效果评价
1	3029.37	3018	58.7	14.4			3018-3048			达到设计要求
2	3044.37	3033	59	14.7	0.6	0.6	330	增斜	增斜	
3	3059.37	3048	59.5	14.9	1.0	0.4	3048-3078	增斜	增斜	
4	3074.37	3063	59.5	14.5	0	-0.8	30		方位微降	
5	3089.37	3078	59.5	14.7	0.6	0.4	3078-3108	稳斜	稳斜	
6	3014.37	3093	59.8	14.7	0	0	120	增方位	稳方位	
7	3119	3108	59.8	14.9	0	0.4	3108-3147	稳斜	稳斜	稳斜
8	3147	3136	59.8	14.7	0	-0.21	稳斜			

观察表3可以发现:

(1)该井段是在井斜约 60° 的大斜度稳斜井段,井斜控制和方位控制都满足控制要求。

(2)在48m处,最大狗腿度为 $1.06^\circ/30\text{m}$,说明在稳斜井段该工具造斜能力可以达到 $1^\circ/30\text{m}$ 。

(3)工具系统在井下工作正常,完成了预定的工作任务和目标。

三、认识和看法

(1)经过“十五”期间的技术攻关,初步形成了我国在旋转导向钻井技术研究领域里的一支由石油院校、研究所、石油企业、油田技术服务等多方面多学科领域里的研究和应用队伍,并且经过长期的工作,取得了可喜的技术进步,使得我国在该技术领域里已经逐步形成了一支从无到有的队伍,有一批有独立知识产权的技术。为开展我国旋转导向钻井技术研究奠定了良好的基础。

(2)从“十五”期间研究成果来看,我们已经在旋转导向工具研制方面取得了重大进步,已经在井下工具自动化跟踪和轨迹控制方面通过钻井实验获得了许多宝贵的第二手资料,同时,工具也都经过实际钻井作用的检验,在工具的可靠性、功能性和可操作性等方面都得到了实践的考验,为“十一五”期间工程化打下了很好的基础。

(3)通过陆地和海上的油田钻井实践来看,我们新研究的旋转导向钻井工具在井斜、方位控制方面都能较好的完成轨迹控制的任务,并且有很好的井斜和方位控制能力。但是我们还应加强在造斜和增斜井段对井斜的控制能力的研究,特别是在工具的最大造斜能力方面,还需要加强和提高,特别需要增加偏心稳定器的侧向力方面需要多做工作。同时还应在钻具组合特性上继续深入的开展进一步的工作^[5],这是在“十一五”期间我们需要继续努力和加强的方向。

(4)在随钻工程参数测量技术中,我们已经在钻压测量、环空压力测量方面取得了令人满意的结果,但是在侧向力的测量中,还有加工问题需要进一步的改进和完善。特别是在小井斜低钻压条件下,对钻头侧向力的测量,需要加强下井实验,进一步向工程实际应用中结合与完善。

(5)随钻电阻率和伽马测量工具已经在现场作业中得到了应用,并且在陆地油田的多次单元工具下井作业中,经受了考验,这是在我国随钻地质参数测量方面开展技术研究新取得的重大进展,同时我们还应看到在精确分辨地层电阻率方面我们还要进一步提高识别能力,为精确控制和制导钻头轨迹提供技术保障。

(6)“十一五”期间,从旋转导向钻井工具的实际钻井情况来看:还存在一些不足和需要改进的地方,主要体现在以下几个方面:

① 下井的次数还不够,还需进一步增加钻井实验的频度,只有尽可能多的下井才会有更多的认识和发现问题。

② 在造斜率上还要进一步的提高,除在偏心稳定器本身上要设法提高其导向力的作用,同时还要注意提高其稳定性。为了提高钻具组合的整体造斜能力,我们需要加强对于钻具组合的弹性稳定性方面的研究工作,在理论方面进一步摸清钻具的弹性稳定性的主要影响因素

及其规律。

③ 旋转导向钻井系统关键工具之一,就是偏心稳定器,而这当中的机—电方面,有许多的问题是钻井工程与其他专业之间的知识和技术的融合和整合,我们还要进一步提高总体的综合水平能力,确保能按照设计达到钻井工程的要求,保证满足下井使用。

(7)在国家“十一五”期间,我们要针对目前存在的问题和不足,继续做好改进和完善的工作。特别是在旋转导向钻井工具系统中,对于偏心稳定性和导向能力,要做进一步的完善和提高,并且在海上和陆地油田大量开展实验和实际钻井的工作,为工程化做好基础,同时形成一套加工制造的工艺技术。

(8)由于旋转导向钻井技术在井眼轨迹控制等方面的优越性,已经成为我们在油气勘探和开发方面的重要工具,特别是在提高钻井效率降低勘探和开发风险以及降低开发成本等方面,显示了独特的特点和优越性。在“十一五”期间,我们要继续开展好技术研究和工程化研究工作,在总结“十五”成果的基础上,进一步地强化工具系统的性能,同时在“十一五”期间要通过大量的钻井实验,要不断改井和完善,为我国旋转导向钻井技术的进步和发展,做出不懈的努力和贡献。

参 考 文 献

- [1] 姜伟. 大位移钻井技术在渤海 QK17-2 油田开发中的应用. 石油钻采工艺, 2000, 22(3)
- [2] 姜伟. 大位移钻井技术在渤海 QHD32-6 油田的应用. 石油钻采工艺, 2001, 23(4)
- [3] 余志清, 樊志祥. 井下闭环可控稳定器研制. 天然气工业, 2002, 22(1): 40~41
- [4] 苏义脑, 盛利民等. NBCOG-1 型随新近钻头工程地质参数测量工具的研制与现场实验. 见: 钻井基础理论研究与技术开发新进展. 北京: 石油工业出版社, 2005
- [5] 姜伟. 可控偏心稳定器钻具组合弹性稳定性研究及其应用. 中国海上油气, 2007, 19(2)

旋转导向钻井偏心稳定器横向振动研究

姜 伟

(中海石油研究中心)

【摘 要】 旋转导向钻井偏心稳定器横向振动研究是国家 863“可控(闭环)三维轨迹钻井技术”课题研究的部分内容。选取偏心稳定器的心轴作为研究对象,以偏心稳定器心轴连续梁系统的横向振动模型受力分析为基础,根据课题研究所设计的心轴结构形式,建立了与实际情况较为接近的三铰支点的连续梁系统横向振动方程;并分析了偏心稳定器横向振动对钻井工具和钻具系统的影响,为合理进行心轴设计以及偏心稳定器样机在现场的正确使用和钻井参数的合理选择,提供了科学的理论依据和实用的计算方法。计算实例表明,当钻压范围选择在 80 ~ 250kN 时, $\phi 215.9\text{mm}$ 井眼钻进中的确存在 19 ~ 20r/min、61 ~ 63r/min、162 ~ 163r/min 前三阶横向共振转速区间,因此在选择钻井参数时应通过钻压与转速的配合,尽可能避开横向共振转速,以保证下部钻具组合系统及作业安全。

【关键词】 旋转导向钻井 偏心稳定器 连续梁系统 横向振动 频率分析 钻压 转速

随着电子技术的迅速发展,石油钻井技术在智能化和自动化控制方面有了很大的进展,如国外的 Powerdriver, Autotrak 和 Geo - pilot 等技术。

“十五”期间,国家 863 高科技研究项目“可控三维轨迹钻井技术”课题组对井下旋转导向自动控制井眼轨迹的钻井工具进行了研究,并对旋转导向钻井偏心稳定器横向振动进行了分析。偏心稳定器是旋转导向钻井技术的一个重要工具,该工具既要能控制翼片动作,又要能与钻柱同时传递钻压和转动,其主要受力部件是偏心稳定器的心轴。对于偏心稳定器运动状态的研究,特别是对于心轴在转动状态下的横向振动频率的计算和分析,将有助于正确选择钻井参数,保证偏心稳定器在使用过程中不致发生共振而损坏其内部复杂的电子控制部件及液压驱动部件,对于保证井下钻井工具的安全具有重要意义。

一、偏心稳定器横向振动方程

在钻井状态下,钻压和扭矩主要是通过偏心稳定器心轴来传递的,中空的心轴也为钻井液的流动提供了通道,同时心轴还要把受到的钻压、扭矩、钻井液泵压等重载与壳体上的电子电路控制舱、液压控制及控制执行元件分隔开并保护起来。为此,在建立偏心稳定器横向振动方程时,选取偏心稳定器的心轴作为研究对象,对紧靠钻头部位的偏心稳定器的横向振动进行分析和研究,并作以下假设:

国家 863“可控三维轨迹钻进技术”研究课题(合同号 2003AA602012)部分研究内容。

姜伟,男,高级工程师,1982年毕业于西南石油学院钻井工程专业,现任中海石油研究中心钻完井总工程师。地址:北京市东城区东直门外小街6号海油大厦(邮编:100027)。电话:010-84522639。

- (1) 将心轴的轴承视为铰支点；
- (2) 由于偏心稳定器下端直接接钻头, 因此将心轴两端弯矩设为零；
- (3) 心轴的质量是均匀、连续分布的。

偏心稳定器心轴的铰支连续梁系统及其受力模型如图 1 所示。根据文献[1,2], 图 1 中偏心稳定器心轴受到轴向钻压 T 时, 其连续梁系统的自由振动高微分方程为

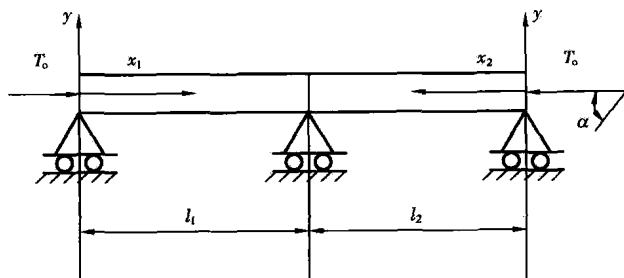


图 1 偏心稳定器心轴连续梁系统的横向振动模型

$$\frac{\partial}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) - T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

假设

$$y(x, t) = Y(x) \sin(ft + \phi) = 0$$

代入式(1)可得

$$\frac{d}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 Y}{dx^2} \right) - T \frac{d^2 Y}{dx^2} - f^2 \rho A Y = 0 \quad (2)$$

又设

$$\alpha = \sqrt{T/(EI)} \quad k^4 = f^2 \rho A / (EI)$$

代入式(2)可得

$$\frac{d^4 Y}{dx^4} - \alpha^2 \frac{d^2 Y}{dx^2} - k^4 Y = 0 \quad (3)$$

解此方程可得到振型函数为

$$y(x) = A \sin \lambda_1 x + B \cos \lambda_1 x + C \operatorname{sh} \lambda_2 x + D \operatorname{ch} \lambda_2 x \quad (4)$$

其中

$$\lambda_1 = \sqrt{-\frac{\alpha^2}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^4}{4} + k^4}}$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^4}{4} + k^4}}$$

由此可以得出图 1 所示的连续梁系统两段的振型函数分别为

$$\begin{cases} y_1 = A_1 \sin \lambda_1 x_1 + B_1 \cos \lambda_1 x_1 + C_1 \operatorname{sh} \lambda_2 x_1 + D_1 \operatorname{ch} \lambda_2 x_1 \\ y_2 = A_2 \sin \lambda_1 x_2 + B_2 \cos \lambda_1 x_2 + C_2 \operatorname{sh} \lambda_2 x_2 + D_2 \operatorname{ch} \lambda_2 x_2 \end{cases} \quad (5)$$

在图 1 所示模型中,端点条件为

$$\begin{cases} x_1 = 0 \\ y_1 = 0 \\ y_1'' = 0 \\ x_2 = 0 \\ y_2 = 0 \\ y_2'' = 0 \end{cases}$$

连续条件为

$$\begin{cases} x_1 = l_1 \\ x_2 = l_2 \\ y_1 = y_2 = 0 \\ y_1' = -y_2' \\ y_1'' = y_2'' \end{cases}$$

由端点条件可得

$$\begin{cases} B_1 = -D_1 \\ B_2 = -D_2 \\ B_1 \lambda_1^2 = D_1 \lambda_2^2 \\ B_2 \lambda_1^2 = D_2 \lambda_2^2 \end{cases}$$

所以

$$B_1 = D_1 = B_2 = D_2 = 0$$

此时,式(5)变为

$$\begin{cases} A_1 \sin \lambda_1 l_1 + C_1 \operatorname{sh} \lambda_2 l_1 = 0 \\ A_2 \sin \lambda_1 l_2 + C_2 \operatorname{sh} \lambda_2 l_2 = 0 \\ A_1 \lambda_1 \cos \lambda_1 l_1 + C_1 \lambda_2 \operatorname{ch} \lambda_2 l_1 = -A_2 \lambda_1 \cos \lambda_1 l_2 - C_2 \lambda_2 \operatorname{ch} \lambda_2 l_2 \\ -A_1 \lambda_1^2 \sin \lambda_1 l_1 + C_1 \lambda_2^2 \operatorname{sh} \lambda_2 l_1 = -A_2 \lambda_1^2 \sin \lambda_1 l_2 + C_2 \lambda_2^2 \operatorname{sh} \lambda_2 l_2 \end{cases} \quad (6)$$