

旋转导向钻井技术应用研究及其进展

姜伟¹ 蒋世全² 付鑫生³ 陈平⁴

1. 中国海洋石油总公司 2. 中海油研究总院 3. 西安石油大学 4. 西南石油大学

姜伟等. 旋转导向钻井技术应用研究及其进展. 天然气工业, 2013, 33(4): 75-79.

摘要 旋转导向钻井技术随着油气田开发过程中人们对于钻井井眼轨迹的新要求应运而生。中国对该项技术的研究始于“九五”期间,到“十一五”期间便完成了旋转导向钻井系统工程化的研究,最终形成了一套旋转导向钻井工具系统。2009—2012年,在甘肃、四川、渤海油田等区域进行了 20 余次不同类型的井眼轨迹控制实钻试验,该系统已基本实现了地层参数测量、工程参数测量、定向井井眼轨迹测量和控制、信号脉冲反馈及收发等 4 项功能,试验最大造斜能力为 $6.73^\circ/30\text{ m}$,达到了预期的目标和设计要求。在 3 大关键技术方面取得了突破:①从井下工具的测控原理到方法上取得了突破;②在定位总成的设计原理和技术上取得了突破;③在偏心稳定器获得尽可能大的侧向力的研究和设计上取得了突破。今后还将把工具的长期稳定运行和轨迹控制精度作为重点试验内容,以期尽快实现其在钻井工程中的实用化目标。

关键词 旋转导向 钻井技术 偏心稳定器 工具系统研制 钻井试验 稳定运行 轨迹控制精度 实用化

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.04.013

Application of rotary steering drilling technology and its research progress

Jiang Wei¹, Jiang Shiquan², Fu Xinsheng³, Chen Ping⁴

(1. CNOOC Co., Ltd., Beijing 100011, China; 2. CNOOC Research Institute, Beijing 100083, China; 3. Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 4. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 4, pp.75-79, 4/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The rotary steering drilling technology arose in response to the new requirement for well track in oil and gas drilling. Such systematic research of this technology through engineering approaches had already been completed during the period between the 9th and 11th Five-Year Plans in China. Also, over 20 times of such practical drilling pilot tests had been performed on well track control in different types of boreholes in Gansu, Sichuan, and Bohai oil fields during 2009 - 2012. In conclusion, this rotary steering drilling system implemented the functions of formation parameter measurement, engineering parameter measurement, directional well track survey and control, pulse feedback and transceiver. While in the pilot tests, the maximum build-up rate reached up to $6.73^\circ/30\text{m}$, which met both the designed needs and the anticipated goal. In summary, a breakthrough has been made in the following three aspects: the principles and methods of observe and control of downhole tools; the design principle and technology of the orientation assembly; the research and design of the eccentric stabilizer to obtain the maximum lateral force. The further pilot tests should focus on the long-term stability of this rotary steering drilling system and its well control accuracy and thereby to improve its practicability and reliability in the future drilling practices.

Key words: rotary steering drilling, eccentric stabilizer, tool system development, well drilling test, well track control

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)“旋转导向钻井工程技术研究课题”之部分研究内容(编号:2007AA090801)。

作者简介: 姜伟, 1955 年生, 享受国务院政府特殊津贴专家, 教授级高级工程师, 博士, 本刊第七届编委会委员; 从事海洋石油钻井完井技术研究与管理工。地址: (100010) 北京市东城区朝阳门北大街 25 号海洋石油大厦。电话: (010) 84522639。E-mail: jiangweiwanglan@sina.com.cn

油气田勘探和开发过程中,人们对于钻井的井眼轨迹提出了很多新的要求,特别是水平井技术、大位移钻井技术、薄油层钻水平井的技术、水平分支井技术^[1-2],这些技术要求钻井工具去满足越来越复杂的地层条件,同时还要为了暴露更多的储层,以期获得更大的产能。因此提出了越来越复杂的井眼轨迹要求。同时为了能提高钻井效率、降低昂贵的钻井成本和减少钻井井下作业的风险,旋转导向技术应运而生,它的出现立刻在渤海钻井作业^[3-4]中得到了广泛的应用,20世纪90年代以来,以 Baker Hughes 的 Auto Trak 系统、Schelumberger 公司的 Power Drive 系统、Hullibuton 公司的 Geo-pilot 系统为代表的旋转导向钻井技术^[5],给井眼轨迹的测量到控制掀起了一场革命,同时也在技术上和商业上展开了激烈的竞争。

围绕着旋转导向钻井技术,中国自“九五”以来就开始了研究,并且在国家“十五”期间研制出旋转导向的原理样机,在此基础上,“十一五”期间我们又开展了旋转导向钻井系统工程化的研究^[6-10],并且“十一五”期间在3个关键技术方面取得了重大突破:①从井下工具测控原理到方法上取得了突破;②在定位总成^[11-12]的平台稳定性和控制方法上取得了突破;③在偏心稳定器^[13]的造斜能力上从原理到结构设计上取得突破。并且,该技术和工具在现场入井进行了钻井的实钻检验,取得了很好的效果,为掌握旋转导向钻井关键技术奠定了坚实的基础。

1 旋转导向钻井工具系统关键技术研究

1.1 总体方案

目前,改进的旋转导向钻井系统已实现两大功能:

测量和轨迹控制。我们在“十五”期间的 MWD 井眼参数测量的基础上,在测量工具单元上增加了环空压力测量、钻井钻压和扭矩等参数的测量,这些测量的单元数据经过信号的通道来实现井下和地面的连通。

另一个重要的单元就是可控偏心稳定器^[13],它是井眼轨迹参数控制的工具^[14],目前用的是钻井液液压推动偏心稳定器翼肋的伸缩,以此来达到改变井斜和定位的目的。

连接这两个单元的信息通道采用 RS232 总线连接,由地面计算机和编码解码器接收井下数据和下达控制工具指令,一方面实现井下上传的数据解码还原成井下地层参数测量数据(LWD)、井眼参数测量数据(MWD)、环空压力以及工程参数测量数据;另一方面地面发出的井眼轨迹控制指令编码也是通过数据总线传达给井下工具,由井下工具执行地面的指令实施轨迹控制和导向。井下一地面数据流方案见图1。

1.2 旋转导向钻井工具系统

旋转导向钻井工具系统井下部分的主要结构主要由偏心稳定器的翼肋总成及传动部分、定位总成等5大部分构成(图2)。

1.3 关键部件及单元的测试

1.3.1 室内测试和实验

旋转导向工具在室内进行了大量的测试和实验,其系统的各单元测试工作结束以后,又专门在西安石油大学钻井模拟实验室进行了模拟实验,经历了120 r/min 的转速条件下的连续测试实验,验证了3个翼肋伸出状态下工具的工作稳定。

1.3.2 钻井测试

在渤海陆地实验井的钻井测试:从2009年10月

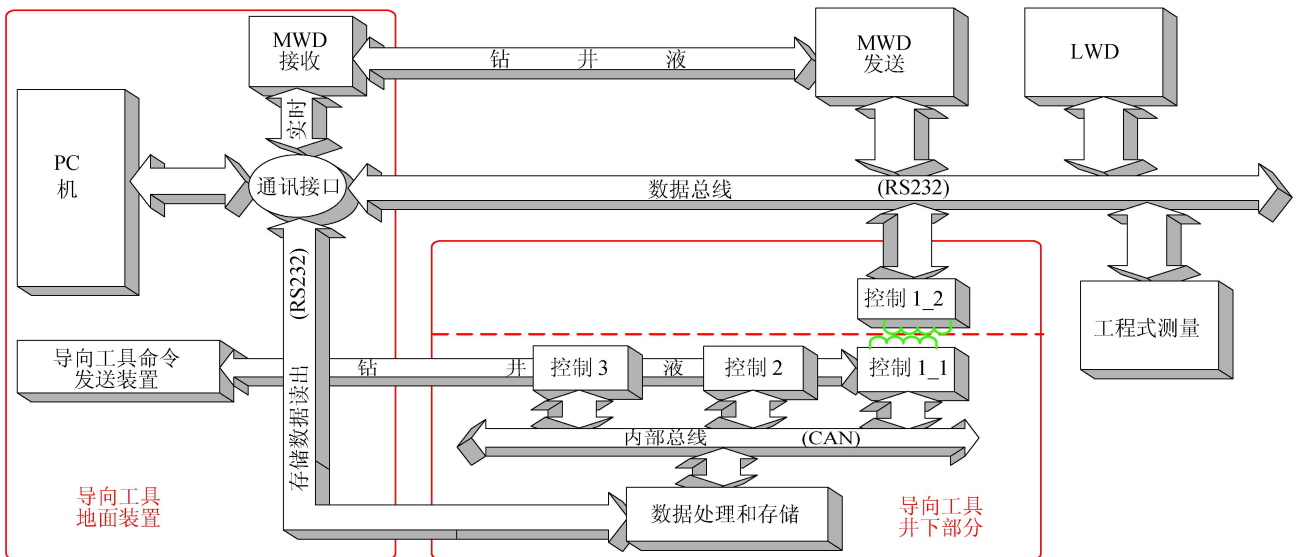


图1 井下一地面数据流框图

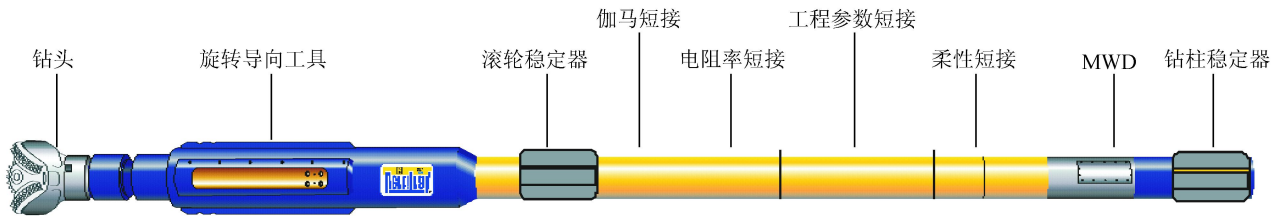


图2 旋转导向工具的主要构成示意图

至2011年9月课题组在渤海油田塘沽实验基地进行了7次下井实验。

1) JJSY-1井实验井基本数据: 井深2 125 m, $\varnothing 244.5$ mm 套管下至井深1 440 m, $\varnothing 177.8$ mm 尾管下至井深1 348~2 120 m。

2) 测试工具的钻具组合安全参照实钻钻具组合配置: $\varnothing 215.9$ mm 钻头+ $\varnothing 171.45$ mm 旋转导向钻井工具+ $\varnothing 171.45$ mm 挠性短接+ $\varnothing 171.45$ mm MWD+ $\varnothing 216$ mm 稳定器+信息接收短接+ $\varnothing 127$ mm 钻杆。

3) 钻机设备: N/V 1QP-160 钻井泵两台, 最高泵压为30 MPa, 钻机型号是JZ 50DBS。

4) 测试工具在JJSY-1井入井5次, 全面测试了偏心稳定器的工作状态。紧接着又在JJSY-4井进行了实际钻井试验, 总计井下钻井时间为25 h, 钻井井段分别为744~865 m、1 006~1 062 m, 期间对旋转导向钻井工具的主要性能和功能做了全面的测试。

至此, 工具测试全面完成了室内评价和实验井钻井测试阶段的工作, 测试结果达到了油气田测试的指标要求且具备了实钻的水平, 主要取得了以下3个方面的技术进展:

1) 在室内旋转钻井实验偏心稳定器在120 r/min的条件下连续钻进1 h, 定位总成工作稳定, 偏心稳定器翼肋无转动和转动位移。

2) 在实验井测试下井7次, 在JJSY-4井的724 m处, 增斜狗腿度达到 $2.7^\circ/30$ m, 充分说明该工具在上部软地层具有一定的造斜能力。

3) 地面传输控制指令; 井下传输测量数据编码解码正常, 控制翼肋动作按照程序执行, 达到设计要求。

2 钻井现场试验

从2009年4月1日起就陆续开始了在油气田的下井试验, 3年多的时间先后在甘肃省和四川省等4个油气田进行了9次钻井作业。试验中为了取得满意的工具系统在实钻中的导向准确性、工具可靠性等效果, 对实钻方案做出了充分的准备, 试验中获得了大量第一手的宝贵资料。

2.1 检验了工具可靠性

1) 工具经历了四川省的德阳、广汉, 甘肃省华池、庆阳等4个区域不同地质情况的钻井试验(表1)。

2) 工具下井接受的检验时间最长的井是M23-1H井, 纯钻时间达24.3 h。

3) 单次下井进尺最长的井为X2-1H井, 进尺达286 m, 在四川地区钻井这个进尺应该说工具已有不错的表现。

2.2 检验了工具的轨迹控制能力

检验旋转导向钻井工具系统的造斜能力, 在不同

表1 旋转导向钻井工具系统下井钻井试验情况表

序号	日期	地点	井号	井段/m	进尺/m	狗腿度/ $[(^\circ) \cdot (30\text{ m})^{-1}]$	纯钻时间/h	起钻原因
1	2009-04-01	甘肃华池	G126-174	760.0~864.0	104.0	0.6	6.25	井下通讯异常
2	2009-10-30	甘肃华池	G39-208	611.0~643.0	32.0	3.1	2.60	导向工具无信号
3	2011-12-12	甘肃庆阳	Y304-29	482.0~520.0	38.0	3.3	5.60	MWD失去通讯
4	2011-10-17	四川德阳	X2-1H	1 137.0~1 423.0	286.0	6.3	13.67	正常, 工程需要
5	2012-01-15	四川德阳	M23-1H	1 625.0~1 675.0	50.0	6.8	24.33	正常, 工程需要
6	2012-04-22	甘肃庆阳	H43-33-1	525.0~650.0	125.0	1.4	13.00	正常, 工程需要
7	2012-05-01	甘肃庆阳	H43-33-2	471.0~637.0	166.0	0.8	7.40	正常, 工程需要
8	2012-05-09	四川德阳	M23-3HF	1 211.4~1 279.4	158.0	5.6	18.75	正常, 工程需要
9	2012-05-28	四川广汉	S6-1HF	1 583.0~1 659.5	76.5	4.7	14.91	正常, 工程需要

的井况经历了不同的验证(表2)。

1)工具系统经历了不同的井斜的工作状况,主要分为3大类:①井斜小于 10° 的井如G126-174井;② $10^\circ\sim$

23° 以内的井,这类井如G39-208井、Y304-29井、H43-33-1井、H43-33-2井和M23-3HF井;③属水平井井斜大于 85° ,如X2-1H井、M23-1H井和S6-1HF井。

表2 井眼轨迹数据与钻井参数表

井号	井段/m	井斜角/ $^\circ$	方位角/ $^\circ$	狗腿度/ [$^\circ\cdot(30\text{ m})^{-1}$]	钻压/ kN	转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	泵压/ MPa	排量/ ($\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$)
G126-174	760.0~864.0	4.4~6.4	200.0~220.0	0.6	40~80	100	10~11	40
G39-208	611.0~643.0	13.4~13.6	324.0~330.0	3.1	1 204	30		
Y304-29	482.0~520.0	11.5~11.8	310.0~311.0	3.3	30~50	73	8~9	30
X2-1H	1 137.0~1 423.0	87.6~91.2	267.0~268.0	6.0	60~100	60~100	8~14	30~40
M23-1H	1 625.0~1 675.0	86.7~89.7	68.9~69.2	6.8	80~100	80~90	18	30~40
H43-33-1	525.0~650.0	16.0~22.5	349.0~348.0	1.4	20~40	60	4	30
H43-33-2	471.0~637.0	6.9~18.4	336.4~335.9	0.8	30~80	60	10	30
M23-3HF	1 211.4~1 279.4	15.3~23.0	182.5~180.0	5.6	70~100	60~100	12~18	30~40
S6-1HF	1 583.0~1 659.5	88.9~90.8	278.0~279.0	4.7	70~90	90	18~19	30~40

2)在观察工具的造斜能力时,可以发现与钻井参数有关系,特别是与钻压关系较大。

①狗腿度大于 $6^\circ/30\text{ m}$,钻压大约在100 kN,如表2中X2-1H井和M23-1H井。

②狗腿度约等于 $5^\circ/30\text{ m}$ 时,钻压高限大约在80 kN,如表2中M23-3HF和S6-1HF井。

3)造斜能力与转速也是有规律的变化,如表2。

①狗腿度大于 $6^\circ/30\text{ m}$,转速高限为90 r/min,如X2-1H井和M23-1H井,其为70~90 r/min。

②转速低于70 r/min很可能提高造斜能力,如M23-3HF井,低转速端为60 r/min,同时又配合较高的钻压70~80 kN,其狗腿度为 $5.6^\circ/30\text{ m}$ 高于S6-1HF井的 $4.7^\circ/30\text{ m}$ 。

2.3 检验了不同钻具组合的造斜率

2.3.1 钻具组合

1)四川地区钻具组合为: $\varnothing 215.9\text{ mm}$ PDC+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ 旋转导向工具+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ 挠性短节(3.31 m)+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ MWD+ $\varnothing 215.9\text{ mm}$ 稳定器+ $\varnothing 127.0\text{ mm}$ 钻杆 $\times 110$ 根+ $\varnothing 127.0\text{ mm}$ 加重钻杆 $\times 51$ 根+ $\varnothing 158.75\text{ mm}$ 震击器+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ 加重钻杆 $\times 13$ 根+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ 钻杆。

2)长庆地区钻具组合为: $\varnothing 215.9\text{ mm}$ PDC+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ 旋转导向工具+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ 挠性短节+ $\varnothing 171.45\text{ mm}$ MWD+ $\varnothing 209.55\text{ mm}$ 稳定器+ $\varnothing 165.1\text{ mm}$ 钻铤 $\times 9\sim 12$ 根+ $\varnothing 127.0\text{ mm}$ 钻杆。

2.3.2 造斜率

1)四川地区采用 $\varnothing 215.9\text{ mm}$ 稳定器的效果优于

长庆地区 $\varnothing 209.55\text{ mm}$ 稳定器。

2)四川地区采用稳定器后给 $\varnothing 127.0\text{ mm}$ 钻杆的挠性比长庆地区的 $\varnothing 165.1\text{ mm}$ 钻铤大,造斜率要高一些。

3 结束语

旋转导向钻井技术研究经过了国家“十一五”期间的技术攻关与试验,在偏心稳定器的研制、工程参数测量、MWD和LWD信号传输方面都取得了很大的进展,特别是针对目前旋转导向钻井的关键技术取得了突破。

1)旋转导向系统已经成功实现了地层参数测量、工程参数测量、定向井井眼轨迹测量和控制与信号脉冲反馈及收发等4个功能,研制的成果在油气田现场应用完全达到了预期的目标。

2)目前旋转导向工具的造斜能力已达到设计要求,但造斜能力与钻井参数的关系也十分密切,偏心稳定器的造斜能力受到了地层特性的影响,这是在工具使用中要注意的问题。

3)旋转导向的关键技术之一的偏心稳定器设计方案合理、结构与原理可行,现场单井试验最长时间只有24 h,需要更多的试验检验其持久性和可靠性。

4)渤海油田完善的实验井为旋转导向钻井工具的功能测试发挥了重要作用,配备完备的工程化实验手段和设备是开展技术攻关、将科研成果转化为工程化的装备和工具不可缺少的重要手段。

5)中国旋转导向钻井技术的研发已经走过了十多

年的历史,在基本原理的研究、原理样机和工程样机的研制过程中掌握了一批核心技术,在油气田现场应用中又进一步完善了旋转导向系统的功能和实际操作的可靠性,同时还培养和锻炼了一批科研队伍和人才,我们还要继续努力,在理论和实际结合上推动旋转导向钻井技术的进步和发展。

参 考 文 献

- [1] 陈启文,董瑜,王飞,等.苏里格气田水平井开发技术优化[J].天然气工业,2012,32(6):39-42.
CHEN Qiwen, DONG Yu, WANG Fei, et al. Optimization of horizontal well development technology in the Sulige Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(6): 39-42.
- [2] 徐坤吉,熊继有,陈军,等.深井水平井水平段水力延伸能力评价与分析[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(6):101-106.
XU Kunji, XIONG Jiyu, CHEN Jun, et al. The evaluation and analysis of hydraulic extensions ability of horizontal section in deep horizontal wells[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2012, 34(6): 101-106.
- [3] 姜伟.大位移钻井技术在渤海 QK17-2 油田开发中的应用[J].石油钻采工艺,2000,22(3):1-7.
JIANG Wei. Application of extended reach drilling technology in the development of Bohai QK 17- 2 Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2000, 22(3): 1-7.
- [4] 姜伟.大位移钻井技术在渤海 QHD32-6 油田的应用[J].石油钻采工艺,2001,23(4):1-6.
JIANG Wei. Application of extended reach drilling technology in the development of Bohai QHD32-6 Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2001, 23(4): 1-6.
- [5] 熊继有,温杰文,荣继光,等.旋转导向钻井技术研究新进展[J].天然气工业,2010,30(4):87-90.
XIANG Jiyu, WEN Jiewen, RONG Jiguang, et al. New progress in the research of rotary steerable drilling technology[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(4): 87-90.
- [6] 闫文辉,彭勇.旋转导向钻井工具导向执行机构设计[J].天然气工业,2006,26(11):70-72.
YAN Wenhui, PENG Yong. Design of steering executive unit of rotary steering drilling tool[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(11): 70-72.
- [7] 李琪,彭元超,张绍槐,等.旋转导向钻井信号井下传送技术研究[J].石油学报,2007,28(4):108-111.
LI Qi, PENG Yuanchao, ZHANG Shaohuai, et al. Study on signal transmission technique in rotary steering drilling [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 108-111.
- [8] 李汉兴,姜伟,蒋世全,等.可控偏心器旋转导向钻井工具偏心位移控制分析[J].中国海上油气,2008,20(3):184-188.
LI Hanxing, JIANG Wei, JIANG Shiquan, et al. Analysis on control of eccentric displacement vector of the controllable eccentricizer rotary steerable drilling tool [J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(3): 184-188.
- [9] 姜伟,蒋世全,盛利民,等.旋转导向钻井工具系统的研究及应用[J].石油钻采工艺,2008,30(5):27-30.
JIANG Wei, JIANG Shiquan, SHENG Limin, et al. Research on rotary navigation drilling tools and application [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(5): 27-30.
- [10] 李汉兴,姜伟,蒋世全,等.可控偏心器旋转导向钻井工具研制与现场试验[J].石油机械,2007,35(9):71-74.
LI Hanxing, JIANG Wei, JIANG Shiquan, et al. Development and in-situ test of eccentricity controller for rotary steering drilling [J]. China Petroleum Machinery, 2007, 35(9): 71-74.
- [11] 何忠盛.可控偏心器定位总成双向液压控制系统的建模和分析[J].石油仪器,2011,25(6):14-15.
HE Zhongsheng. Modeling and analyzing of a two-way hydraulic system of the positioning assembly of controlled eccentric [J]. Petroleum Instruments, 2011, 25(6): 14-15.
- [12] 周静,申卫兵,陈光辉,等.可控偏心器定位总成双向液压控制系统的建模和分析[J].流体传动与控制,2011,9(2):18-20.
ZHOU Jing, SHEN Weibing, CHEN Guanghui, et al. Modeling and analyzing a two-way hydraulic system of the position assembly of controlled eccentric [J]. Fluid Power Transmission & Control, 2011, 9(2): 18-20.
- [13] 姜伟.旋转导向偏心稳定器芯轴挠曲特性研究[J].中国海上油气,2010,22(3):183-185.
JIANG Wei. Research on deflection properties of rotary steering eccentric stabilizer spindle [J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(3): 183-185.
- [14] 姜伟.旋转导向偏心稳定器井壁推靠力学特性及影响因素研究[J].中国海上油气,2010,22(6):397-402.
JIANG Wei. Research on mechanical behavior and affecting factor of thrust force from rotary steering eccentric stabilizer [J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(6): 397-402.

(收稿日期 2013-02-18 编辑 凌 忠)