

文章编号: 1000-0747(2005)01-0092-04

地质导向钻井技术概况及其在我国的研究进展

苏义脑(中国工程院院士)

(中国石油勘探开发研究院)

摘要:地质导向钻井技术以近钻头地质参数与工程参数的随钻测量、传输、地面实时处理解释和决策控制为主要技术特征,问世后的3年中已被13家公司用于欧洲和非洲6个国家的近50口井,累计进尺超过32 187m,取得了显著技术效果和重大经济效益。以IDEAL系统为例,介绍了地质导向钻井系统的结构组成和技术特点。我国首台CGDS-1型地质导向钻井系统由CGMWD无线随钻测斜仪、CAIMS测传马达、CFDS地面信息处理与决策软件包3个子系统组成。CGMWD无线随钻测斜仪系统已在2口定向井中进行了实钻试验和应用,指标达到设计要求;CAIMS型测传马达目前正在进行样机制造和下井实验准备;NBLOG-1型近钻头测量短节样机已经进行了7次单元与整机现场下井实验,取得了较好的研究进展。应大力促进地质导向系统这一高新技术在我国的研究与应用;有关部门应进一步加大对CGDS-1型地质导向钻井系统的支持力度,使之尽快完成研制过程而投入生产应用。图1表1参3

关键词:地质导向;钻井;系统构成;应用效果;研制

中图分类号:TE242.9

文献标识码:A

0 引言

20世纪80年代至今是国际钻井工程技术发展最快的时期,最突出的技术特征之一是信息技术和控制技术开始用于油气钻井工程,表现在井下新测量仪器和新控制工具的研制成功、不断改进并组成满足地质、开发更高需求和钻井新工艺的大型技术系统,以地质导向钻井系统和应用技术为典型代表。

地质导向钻井技术的特征在于把钻井技术、测井技术及油藏工程技术融合为一体,形成带有测近钻头地质参数(伽马、电阻率)、近钻头钻井参数(井斜角)及其他辅助参数的短节,用无线信号(电磁波)短传方式传至MWD/LWD,再传至地面控制系统;用地面软件系统(含地层构造模型、参数解释和钻井设计控制3个主要模块)适时做出解释与决策,实施随钻控制。

目前国际钻井界对地质导向的定义尚无统一权威性表述。文献[1]曾指出:“对它好的定义是,用地质准则来设计井眼的位置。”笔者认为,“用近钻头地质、工程参数测量和随钻控制手段来保证实际井眼穿过储集层并取得最佳位置”来定义“地质导向”更为明确。采用地质导向钻井技术,能大大提高对地层、构造、储集层特征的判断和钻头在储集层内轨迹的控制能力,从而提高油层钻遇率、钻井成功率和采收率,实现增储上产,节约钻井成本,经济效益重大。1993年Schlumberger公司(Anadrill)首先推出的以IDEAL系统为代表的地质导向钻井系统已被国际钻井界公认为是最有发展前景的、21世纪的钻

井新技术。

1 国外地质导向钻井技术概况

1.1 地质导向钻井系统的结构特征

地质导向钻井系统一般包括:钻头+测传马达(含近钻头测量短节)+无线短传+MWD/LWD+井场信息接收和处理系统。本文以Anadrill公司1993年推出的IDEAL系统(Integrated Drilling Evaluation and Logging,综合钻井评价和测井系统)为例^[2],介绍地质导向钻井系统的结构特征。

1.1.1 测传导向马达(Instrumented Steerable Motor)

这是一种完全仪器化的导向马达(其壳内装有传感器组件),直接与钻头相连,能测量近钻头处地层电阻率、方位电阻率、自然伽马以及井斜和钻头转速等参数。这些参数通过电磁波传送到马达以上的MWD(Measurement While Drilling)或LWD(Logging While Drilling),再由钻井液脉冲传送到地面。借此,司钻和地质家可实时了解钻头处的岩性变化并检测钻头处的油气显示情况,通过对钻头进行导向,保证井眼在储集层内延伸,达到增大储集层泄油面积、提高单位进尺的产量和降低完井成本的目的^[3]。

1.1.2 井场信息系统

井场信息系统是IDEAL系统的中枢,通过结合所有的地面数据和井下数据来监测钻井过程。原始数据由解释程序转换成井场决策人员所需信息,并在高分辨率彩色监控器上以彩图的方式直观显示,使用方便。此外,IDEAL系统还有一些独立的井下测量短节,如近钻头电阻率短节,可不用测传马达而和转盘钻井配

合使用。由于该系统采用 LWD 仪器作为随钻测井和上行通道,所以还包括比一般 MWD 更多的地质参数传感器。

1.2 国外地质导向钻井技术现状及应用效果

国外目前仅有 Schlumberger、Baker Hughes 和 Halliburton (Sperry Sun) 公司拥有此项技术。Schlumberger 公司 (Anadrill) 于 1993 年推出 IDEAL 系统之后,又推出了 Power Drive 系统;Baker Hughes 拥有 RCLS(闭环旋转自动导向)系统和 Navigator 系统。但他们目前只进行高价技术服务而不出售商品工具,已收到巨大经济回报。

IDEAL 系统已在北海成功钻成几口复杂的水平井。在墨西哥湾的某油田,钻前 8 口井的总日产量仅为 146.8m^3 ;Anadrill 公司应用地质导向技术在该油田钻成一口高质量的水平井,日产原油达 285.1m^3 ,使这一枯竭的油田得以复活。

有资料表明,地质导向钻井系统问世后的 3 年中,已被 13 家公司用于欧洲和非洲 6 个国家的近 50 口井,累计进尺超过 32 187m,取得了显著技术效果和重大经济效益。如英国 BP 公司 Wytch Farm 油田,地质导向系统(测传马达)与变径稳定器(位于测传马达上部)配合使用钻大位移井,几乎全部实现了旋转钻进,提高钻速和井身质量,大大减少了井下事故和风险。英国北海 Texaco 的一口开发井中使用地质导向工具(测传马达),至少避免了两次侧钻(井场地质师用近钻头方位伽马射线确定井眼上下是否钻遇泥岩,通过正确的导向控制将井眼扭回砂岩储集层)。KerrMcGee 所钻的一口井由于地质导向系统的近钻头电阻率的资料,比原有技术(电阻率传感器在马达上部)多获得 14% 的产层进尺,其结论为:①具有近钻头参数的地质导向系统在每次油藏丢失之后,可减少 30.48m 的非生产进尺,这对于经济钻井十分关键;②由于地质导向钻井技术,现在考虑从英寸的精度而不是英尺的精度来控制垂深已成为可能。这对于存在水、气运移问题及较少渗透障碍的油藏来说,可带来巨大的经济效益。

我国塔里木油田的 TZ40-H7 井在钻井过程中曾由 Schlumberger 公司的 Power Drive X5-475 型地质导向系统进行技术服务,收到很好的技术效果:在 0.8~1.2m 厚的目的层中钻水平段 545m,油层钻遇率高达 87.5%;纯钻时间 75.5h,平均机械钻速 7.22m/h,油层内最高钻速达 40m/h。

1.3 地质导向的作用与特点

地质导向能综合钻井、随钻测井/测斜、地质录井及其他各项参数,实时判断是否钻遇泥岩以及识

别泥岩位于井眼的位置,并及时调整钻头在油层中的穿行,具有随钻辨识油气层、导向功能强的特点;直接服务于地质勘探可提高探井发现率和成功率;适合于复杂地层、薄油层钻进的开发井,可提高油层钻遇率和采收率。

2 我国 CGDS-1 型地质导向钻井系统研究进展

2.1 概况

由于地质导向钻井技术可根据随钻监测到的地层特性来实时调整和控制井眼轨道,所以广泛用于水平井(尤其是薄油层水平井)、大位移井、分支井、侧钻井和深探井,是国内十分需要的一项高新技术,也是今后我国钻井队伍参与国际技术竞争的需要。

中国石油勘探开发研究院钻井工艺研究所从 1994 年开始调研并跟踪这一高新技术的发展,做了相应的技术准备。1999 年开始对这一技术进行攻关,目标是:研制出一套带近钻头传感器(电阻率、伽马、井斜及其他辅助参数)的地质导向钻井系统 CGDS-1,形成地质导向钻井配套技术,用于生产,总体上达到国外 20 世纪 90 年代的水平。

CGDS-1 型地质导向钻井系统由 3 个子系统组成,即 CGMWD 无线随钻测斜仪;CAIMS 测传马达;CFDS 地面信息处理与决策软件包。

系统总体设计技术指标如下:井眼直径为 216~244mm,造斜能力为中、长半径,传输深度大于 4500m,最高工作温度 125℃,传输速率 5 bit/s,连续工作时间不小于 200h,可测近钻头参数:井斜、伽马、电阻率。

2.2 主要研究进展及阶段成果

主要研究内容为 CGMWD 型新型正脉冲随钻测斜仪研制;CAIMS 型测传马达研制;CFDS 型地面应用软件系统研制和应用工艺研究。

2.2.1 CGMWD 新型正脉冲无线随钻测斜仪研制

已完成 CGMWD 仪器系统的全部硬件研制和软件编制,并于 2003 年 10 月至 12 月在大港油田和冀东油田的 2 口定向井中进行了实钻试验和应用,试验指标达到设计要求。

冀东油田柳北 1-19-16 井(五段制定向井)的实钻试验井段为 2322~2993m。根据钻井工程需要,CGMWD 仪器前后下井 8 次,其中包括完钻后的通井作业。CGMWD 仪器累计入井时间 363h,其中工作(开泵)时间 257h,纯钻进时间 244h。试验结果表明,CGMWD 仪器性能稳定可靠,可适应恶劣的工作环境。表 1 为该仪器与单点测斜仪测量结果的对比。

表1 CGMWD在柳北1-19-16井的实验结果表

测点井深 (m)	CGMWD测量结果			单点测斜结果	
	井斜(°)	方位(°)	温度(°C)	井斜(°)	方位(°)
2320	3.62	14	60	3.62	14
2390	3.6	350.51	67	3.6	353
2492	3.54	358.59	72	3.7	1
2602	1.36	32.18	75	1.41	35
2752	2.37	220	78	2.72	218

注:2种测斜结果不完全一致的原因与测点井深不完全一致有关

2.2.2 CAIMS型测传马达研制

本研究较多地集中了CGDS-1型地质导向钻井系统的诸多技术关键和难点,如近钻头电阻率测量、近钻头自然伽马测量、信息无线短传、测传马达的结构设计等等,在国内均属空白。通过几年的攻关研究,关键技术难点已经突破,完成了近钻头电阻率测量、近钻头自然伽马测量、信息无线短传的理论建模、室内验证、单元实验、室内原理样机及性能测定、单元下井实验,取得了较大进展,目前正进行样机制造和下井试验准备。

2.2.3 CFDS地面应用软件子系统研制和应用工艺研究

CFDS型地面应用软件子系统主要由3个软件组成,另外还有效果评价、数据管理和图表输出等模块。应用该软件系统,可对新钻井区块进行初步地层建模,利用钻井过程中实时上传的近钻头电阻率、自然伽马等近钻头地质参数(处理、转换为标准测井曲线)对新钻地层性质作出解释和判断,并对待钻地层(钻头下方某一深度内)进行前导模拟;再根据实时上传的工程参数,对井眼轨道作出必要的调整设计,进行决策和随钻控制。由此可提高探井、开发井对油层的钻遇率和成功率,大幅度提高进入油层的准确性和在油层内的进尺。

2.2.4 NBLOG-1型近钻头测量短节研制

NBLOG-1型近钻头测量短节是在近钻头电阻率、自然伽马测量技术取得重要阶段性研究进展的基础上开发的一个独立产品,配合转盘钻井使用。该短节带有近钻头电阻率测量系统(钻头电阻率和侧向电阻率)、自然伽马传感器和相应的发射/接收线圈、电源、控制电路,采用井下存储、地面回放的方式,可在钻进过程中实时测出钻头电阻率、侧向电阻率和自然伽马数据,为勘探开发提供宝贵的地层资料。

历经3年多的研究与开发工作,NBLOG-1型近钻头测量短节样机已经进行了7次单元与整机现场下井试验,取得了较好的进展,在国内首次实现了近钻头地质参数的测量,完整地测到了钻头电阻率、侧向电阻率、自然伽马、钻柱内温度和压力等参数,并与完井电测曲线进行了对比。以电阻率为例,NBLOG-1短节测出的侧向电阻率曲线与完井电测的侧向电阻率曲线形

态吻合很好,但数值偏大,这是由于前者测的是随钻过程的新鲜地层(钻井液未侵入),而后者测的是完钻之后的污染地层(钻井液已侵入),由此可见随钻测量有其独到的优势,数据更真实;另外,完井电测没有钻头电阻率这一参数。图1为NBLOG-1短节随钻测井数据及其与电缆测井数据的比较。

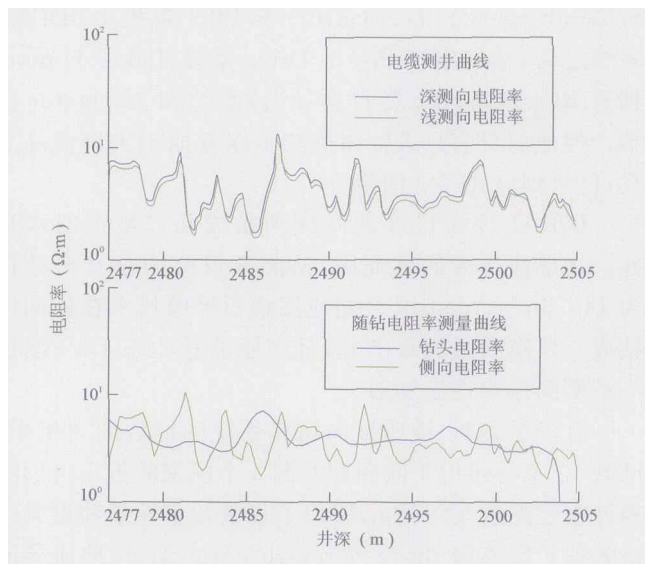


图1 随钻测井数据及其与电缆测井数据的比较

2.3 预期成果、应用前景和效益

2.3.1 预期成果

2004年完成和推出的CGMWD新型正脉冲测斜仪是具有我国独立知识产权的产品,作为一种新型MWD仪器用于生产;完成和推出的NBLOG-1型近钻头测量短节产品(也具有独立知识产权,填补国内空白)进入现场应用。在此基础上,把NBLOG-1型短节和CGMWD有机结合,即可推出国产第一台基本型的LWD样机。拟在2005年研制完成CGDS-1型地质导向钻井系统下井样机,经现场试验和修改定型后,可进入生产应用。同样,CGDS-1型地质导向钻井系统将填补国内空白,并具有我国独立知识产权。

2.3.2 应用前景和效益

如前所述,由于地质导向钻井技术是当前国际钻井界的一项高新技术,目前国外仅有几家石油技术服务公司拥有此类产品,所以外商只进行高价位的技术服务而拒不出售产品。随着国内油气勘探开发难度不断增加,对地质导向、LWD的需求开始出现并将逐步增大。因此,CGDS-1型地质导向钻井系统研制成功的意义为:①可满足国内市场需求,解决生产急需;②可用于国际工程竞标服务,增加CNPC在国际市场的竞争能力;③可对国外高价产品和高价工程服务实行限价;④可以此为依托,建立具有中国石油天然气集团公

司独立知识产权的高新技术企业,形成新的高新技术和经济增长点。

3 认识和建议

地质导向钻井技术是当今国际钻井界的一项高新技术,体现了钻井、测井和油藏工程的结合,对提高勘探开发和钻井总体效益具有重要意义和作用,应大力促进这一高新技术在我国的研究与应用进展。

CGDS-1型地质导向钻井系统的研制已取得突破性进展,阶段产品和成果也逐步完成开发,并投入现场试验与应用。这一组能填补国内空白并具有我国独立知识产权的成果和技术将会给油气勘探开发提供重要的技术支持。建议有关部门进一步加大对其支持力度,使之尽快完成研制过程而投入生产应用。

参考文献:

- [1] 苏义脑,张润香.地质导向的原理与方法[A].李克向,周煜辉.国外大位移井钻井技术[C].北京:石油工业出版社,1998.268.
- [2] 苏义脑,等.地质导向钻井[A].井下控制工程学研究进展[C].北京:石油工业出版社,2001.24-25.
- [3] 王家进,刘心泉.测传马达在欧非三年应用的效果[A].李克向,周煜辉.国外大位移井钻井技术[C].北京:石油工业出版社,1998.303.

作者简介:苏义脑(1949-),男,河南偃师人,中国工程院院士,现从事油气钻井工程技术研究。地址:北京市海淀区学院路20号,钻井工艺研究所,邮政编码:100083。

收稿日期:2004-11-17

(编辑、绘图 郭海莉)

Geosteering drilling technology and its development in China

SU Yi-nao(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

Abstract: Characterized by decision-making and control on measurement, transmission, real-time surface interpretation of near-bit geologic and/or engineering parameters, geosteering drilling technique has been used in nearly 50 wells of 6 countries in Europe and Africa by 13 companies during the 3 years since it came out and the total drilling footage was over 32 187m, which brought great technique effect and economic benefit. The structural composition and technical characteristics of Geosteering Drilling System (GDS) was introduced taking example of IDEAL system. CGDS-1, the first GDS of China, is composed of Chinese Geosteering MWD (CGMWD), CAIMS and surface software package CFDS of information processing & decision-making. CGMWD had been tested and used in 2 directional wells in field and the performance met the design requirements. A prototype of CAIMS is being manufactured and prepared for field test. NBL0G-1 has been tested by unit and integral in field wells by 7 times in total and great progress has been achieved. As a high-tech, GDS should be given an impulse to its research and application. Departments in charge should give more support to CGDS-1 so that the research could be completed and the new-tech be used in production.

Key words: geosteering; drilling; composition of system; effect of application; development

《石油勘探与开发》作者须知(二)

本刊不要求作者完全按此格式顺序列简介,但项目(尤其是性别、出生年和籍贯)不能缺省。作者若不方便提供电话和电子邮箱可不提供,但为便于读者与作者联系,希望提供此方面内容。

5. 参考文献

许多作者来稿中所列参考文献项目不全,尤其是期刊的卷、期、页码往往缺项,有的来稿中甚至连文献作者或文献名称亦缺。参考文献是论文的重要组成部分,著录项目必须要齐全。此外,文献题名后要在方括号内列文献类型标识,对应关系为:

专著[M],论文集[C],论文集集中的析出文献[A],期刊论文[J],学位论文[D],内部研究报告[R],标准[S],专利[P],报纸文章[N],各种未定义类型的文献[Z]。对于论文集集中的析出文献和期刊论文,必须列出其起止页码。

另外,本刊参考文献采用顺序编码制,即按正文中引用的次序编序号,在正文引用处以上标数字加方括号表示。正文中请不要同时使用顺序编码制和“作者,著作年”制引用文献。

《石油勘探与开发》编辑部