

文章编号:1673-5005(2009)04-0064-07

世界钻井技术新进展及发展趋势分析

沈忠厚^{1,2}, 黄洪春^{1,3}, 高德利¹

(1. 中国石油大学 石油天然气工程学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 石油工程学院, 山东 东营 257061;
3. 中国石油集团 钻井工程技术研究院, 北京 100195)

摘要:从钻机、随钻测量、复杂结构井、特殊工艺、深井超深井、自动化钻井、井下管材和完井等 8 个方面阐述世界钻井技术最新进展, 分析钻井关键技术发展趋势, 指出未来钻井技术发展方向及所需解决的核心技术问题。结合中国钻井技术发展现状建议: 加强瓶颈技术的攻关试验和现场应用; 适当引进国外先进技术; 加大基础理论和前沿储备技术研究。

关键词:世界钻井技术; 新进展; 发展趋势; 趋势分析

中图分类号:TE 21

文献标识码:A

Analysis on new development and development trend of worldwide drilling technology

SHEN Zhong-hou^{1,2}, HUANG Hong-chun^{1,3}, GAO De-li¹

(1. Faculty of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

3. Drilling Research Institute, CNPC, Beijing 100195, China)

Abstract: The new development of worldwide drilling technology was described through eight aspects including drilling rig, measurement while drilling, complex structuring well, particular drilling operation, deep and super-deep well, automatic drilling, downhole pipe assembly and completion. And the development trend of key drilling technologies were also analyzed. The advancement direction of future drilling technology and the core technical problems that need to be solved were both presented. The recommendation on the development of drilling related technologies were proposed in the combination of the present drilling situation in China. The recommendations are to strengthen the testing and field application of bottleneck technology, properly introduce foreign advanced technology and strengthen the research of basic theory and front reservation technology.

Key words: worldwide drilling technology; new development; development trend; trend analysis

钻井工程作为石油天然气勘探开发的主要手段和关键环节, 具有技术密集、高投资和高风险的特点。钻井费用占勘探开发总投资的 50% 以上, 钻井技术的优劣和水平直接影响油气勘探开发效益。伴随着油气勘探开发的深入, 国外钻井设备配套、工具仪器研发、钻井高新技术研究与应用得到了高度重视和快速发展, 钻井前沿技术不断突破, 储备技术研究投资不断加大。目前, 钻井技术不仅仅只是打开和建立油气通道, 已经成为提高油气井产量、提高采收率等增储上产的新途径和主要手段^[1,2]。

1 世界钻井技术新进展

1.1 石油钻机

钻机是实现钻井目的最直接的装备, 也直接关系到钻井技术进步。近年来, 国外石油钻机能力不断增强, 自动化配套进一步完善, 使钻机具备更健康、安全、环保的功能, 并朝着不断满足石油工程需要的方向发展。主要进展有:

(1) 采用模块化结构设计, 套装式井架, 减少钻机的占地面积, 提高钻机移运性能, 降低搬家安装费

收稿日期: 2009-04-30

作者简介: 沈忠厚(1928-), 男(汉族), 四川大竹人, 中国工程院院士, 博士生导师, 从事石油钻井和水射流技术研究。

用。

(2) 高性能的“机、电、液”一体化技术促进石油钻机的功能进一步完善。

(3) 采用套管和钻杆自动传送、自动排放、铁钻工和自动送钻等自动化工具,提高钻机的智能化水平,为提高劳动生产率创造条件。

1.2 随钻测量技术

1.2.1 随钻测量与随钻测井技术

21 世纪以来,随钻测量(MWD)和随钻测井(LWD)技术处于强势发展之中,系列不断完善,其测量参数已逐步增加到近 20 种钻井工程和地层参数,仪器距离钻头越来越近。与前几年的技术相比,目前,近钻头传感器离钻头只有 0.5 ~ 2 m 的距离,可靠性高,稳定性强,可更好地评价油、气、水层,实时提供决策信息,有助于避免井下复杂情况的发生,引导井眼沿着最佳轨迹穿过油气层。由于该技术的市场价值大,世界范围内有几十家公司参与市场竞争,其中斯伦贝谢、哈里伯顿和贝克休斯 3 家公司处于领先地位^[2-3]。

1.2.2 电磁波传输式随钻测量技术

为适应气体钻井、泡沫钻井和控压钻井等新技术快速发展的需要,电磁波传输 MWD (electromagnetic MWD tools, EM MWD) 技术研究与应用已有很大进展,测量深度已经达到 4.420 km。

1.2.3 随钻井底环空压力测量技术

为适应欠平衡钻井监测井筒与储层之间负压差的需要,哈里伯顿、斯伦贝谢和威德福等公司研制出了随钻井底环空压力测量仪(annular pressure measurement while drilling, APWD),在钻井过程中可以实时测量井底环空压力,通过 MWD 或 EM MWD 实时将数据传送到地面,指导欠平衡钻井作业。

1.2.4 随钻陀螺测试技术

美国科学钻井公司将航天精确陀螺定向仪封装在 MWD 仪器中研制出随钻陀螺测试仪(gyro measurement-while-drilling, gMWD),截至 2007 年底, gMWD 已经在美国的多分支井中成功应用数百口井,特别是在需要精确定向或对接井中起到了关键作用。

1.2.5 井下随钻诊断系统

美国研究人员开发出了井下随钻诊断系统(diagnosics-while-drilling, DWD),包括井下温度、压力、钻头钻压、钻头扭矩、井斜方位和地层参数等各种参数测量仪器,高速实时数据传输系统及其相关的仪器,地面数据校验和分析软件。该系统可将井下地

层和钻井状况与地面数据实时联系起来,优化钻井参数和井眼轨迹,指导钻井作业,减少井下复杂情况的发生,提高速度,获取最大钻井效果。

1.2.6 随钻核磁共振成像测井技术

哈里伯顿 Sperry-Sun 公司和 Numar 公司联合研制出了随钻核磁共振成像测井仪器(nuclear magnetic resonance MWD tool, NMR-MWD),其原理是将核磁共振成像测井仪与 MWD 仪串接,在钻井过程中实时测量。

1.2.7 随钻地层测试技术

随钻地层测试(formation testing while drilling, FTWD)技术是在钻井过程中对储层实施实时测量的一种新技术,其最大好处是节省钻机时间,特别适合海上钻井平台,可降低费用。该技术由斯伦贝谢公司首创,于 2005 年 1 月开始商业化服务,至 2008 年底,已使用 300 余井次,效果良好。目前已有几家公司投入研发和商业化应用。

1.2.8 随钻地震技术

随钻地震(seismic while drilling, SWD)技术是将地震检波器置于井下钻具上,在钻井过程中对地层实施地震波测量并实时传输到地面的一种新技术,可用于实时构造解释、地层评价、地质导向和井眼故障分析等,并可精确确定取心层位和套管应该封隔的地层位置,提高勘探效果,降低成本。斯伦贝谢公司用了 15 a 时间于 2003 年研制成功,可用井眼尺寸(Φ)为 215.9 ~ 660.4 mm^[3]。

1.3 复杂结构井钻井技术

水平井、多分支井和鱼骨井由于可提高油气藏暴露面积,有利于提高油气井产量和采收率、降低“吨油”开采成本而得到推广应用。

1.3.1 水平井

水平井从 20 世纪 80 年代大规模工业化应用以来,全世界已完成 50 000 多口水平井。2008 年美国钻了 7 194 口水平井,占年钻井总数的 12%;加拿大 2008 年钻水平井数量占年钻井数的 18%。美国水平井最大水平段长 6.118 km,最大垂深 6.062 km,最大单井进尺 10.172 km,实现了厚度 0.5 m 以下薄油层有效动用,水平井油层钻遇率和地质效果得到极大地提高。根据美国《油气》杂志统计,53% 的水平井用于裂缝性油藏的开发,33% 用于底水或气顶油藏的开发。美国水平井钻井成本已降至直井的 1.5 ~ 2 倍(最低达到 1.2 倍),水平井的产量是直井的 3 ~ 8 倍^[1,4]。

1.3.2 多分支井、鱼骨井和 MRC 技术

多分支井技术已成熟配套,实现了系列化和标准化,可满足各类油藏的开发需要,在降低开发成本、提高采收率等方面见到了很好的效果。国际上按完井技术满足“连接性、分隔性、贯通性”的程度,以及结构由简单到复杂,将分支井完井系统分为6级。实现了分支井窗口的有效密封和自由可重入,密封完井方式正在逐步增加。据美国 HIS 能源集团统计,截至2007年,全世界共钻多分支井6895口,其中美国4128口,加拿大2076口。

鱼骨井属于多分支井的范畴,已经成为高效开发油气藏的理想井型之一,并在美国煤层气开采中成功应用。在鱼骨井的基础上提出了最大储层接触(maximum reservoir contact, MRC)钻井技术, MRC井是指一口井在储层中的累积长度(单井筒或多分支井筒)超过5 km的井。目前已经完成100多口MRC井,其中进尺最长的是位于沙特阿拉伯 Shaybah 油田的 shyb-220井,8个分支井筒储层段累积进尺达到12.3 km,投产日后产原油1907.7 m³。目前世界上多家公司正在探索该技术在低渗透气藏开发中的应用^[3,5]。

1.3.3 大位移井技术

大位移井是定向井、水平井技术的延伸,主要应用于海上油田的开发和海油陆采。国外已成功地钻成数百口大位移井,其中英国 Wytch Farm 油田的 M16井的水平位移达10.7284 km,水平垂深比达6.55。最近,BP公司把大位移井和多分支井有机结合在一起;埃克森美孚公司定量研究了大位移井眼轨迹方向与井壁稳定性;斯伦贝谢公司提出大位移定向难度指数法理论;哈里伯顿公司用膨胀管技术封隔复杂地层,确保钻达大位移井的靶位。大位移井的水平位移和“水垂比”越来越大,钻井风险减小,钻井成功率大幅度提高^[3]。

1.4 特殊工艺钻井技术

1.4.1 欠平衡和气体钻井技术

各种循环介质的欠平衡和气体钻井技术已在世界范围内得到了广泛应用,并将欠平衡、气体钻井与水平井和套管钻井等技术结合起来,取得显著效果。欠平衡钻井装备已逐步完善配套了包括旋转防喷器、制氮设备、可循环泡沫、可循环气体、套管控制阀和不压井起下钻作业装置等,形成了一套适合欠平衡和气体钻井地层筛选与评价技术^[6]。据最新资料统计,2007年美国欠平衡和气体钻井数约占当年总井数的28%,美国75%的井在钻井过程中都安装

了旋转控制头,90%的煤层气井采用空气钻井。欠平衡和气体钻井已用于探井、开发井、水平井和特殊工艺井等,有效发挥了发现和保护油气层、减少工程复杂程度和提高钻井速度的作用。

1.4.2 套管钻井技术

除表层套管和技术套管钻井外,国外又发展了尾管钻井技术,如贝克斯公司的 EZCase 套管/衬管钻井系统,它通过钻杆丢手工具连接尾管悬挂器,用尾管部分代替钻柱进行钻进,钻达设计井深后不起钻直接将尾管与钻杆脱开留在井内完井。还发展了套管钻井的取心作业、钢丝绳换钻头和套管欠平衡钻井等技术。目前,套管钻井工艺可用于直井、定向井、水平井和开窗侧钻井中。Tesco 公司套管钻井节约钻井时间30%以上。

1.4.3 控制压力钻井技术

美国研究人员于20世纪90年代起开始研发控制压力钻井技术,主要用于解决裂缝性、岩溶性碳酸盐岩等地层钻井过程中的恶性井漏及当量循环密度(ECD)引发的钻井问题,如在大位移井中ECD过高引发的井漏和窄密度安全窗口问题等^[7]。2007年,美国陆上有四分之一的井是利用密闭循环系统进行欠平衡钻井,其中又有四分之一的井是采用控制压力钻井理念进行钻井的。最近威德福公司研制出降低当量循环密度工具,斯伦贝谢公司发展了随钻测量地层压力的 StethoScope 技术,这些技术的发展为控制压力钻井技术注入了新的活力。

1.4.4 无风险钻井技术

无风险钻井(no drilling surprise, NDS)技术由斯伦贝谢公司研发,并得到商业化应用。NDS是通过钻前充分利用地震、邻井钻井、测井和录井等资料建立待钻井的地质模型,通过MWD和PWD实时监测井下环空压力、扭矩等各种参数来分析钻井情况,及早发现复杂事故发生的预兆,及时采取措施,预防复杂情况与事故的发生,从而优化钻井技术措施,减少或避免井涌、卡钻和井漏等复杂事故的发生,达到安全快速钻井的目的。

1.5 深井超深井钻井技术

深井超深井钻井技术是勘探开发深部油气资源必不可少的关键技术,也是衡量一个国家或公司钻井技术水平的重要标志之一。近年来,国外对深井钻井技术研究的投入力度很大,技术发展迅速:先后发展并逐步完善了垂直钻井、无风险钻井、气体钻井、高效钻头、膨胀管和波纹管等高新技术,有效地解决了深井超深井易斜地层的快速钻进、复杂地层

的漏失、窄密度窗口安全钻进和深层高研磨性地层提速等技术难题;大量采用非常规井身结构,拓展套管层次,应对钻井风险;深井钻井效率和探井发现率得到大幅度提高。美国2007年完成4.5 km以上的深井1485口,2008年达到1610口,6 km左右的深井平均钻井周期90 d左右,平均单井耗用钻头19只^[4]。

1.6 自动化钻井技术

自动化钻井技术是21世纪钻井技术的重要发展方向,包括井下自动化和地面钻机自动化两大部分。

1.6.1 旋转导向与地质导向技术

导向钻井已从初级导向钻井、地面人工控制的导向钻井逐渐发展到目前的全自动井下闭环旋转导向钻井,也正是这一技术的发展,提高了复杂结构井、薄储层等钻井速度、质量和成功率。2008年美国导向钻井使用量占到定向井总进尺的40%。

(1)斯伦贝谢公司于2002年推出了第二代导向工具(Power Drive Xtra),该工具采用偏置钻头的导向方式。2005年又推出新一代近钻头随钻地质导向PeriScope 15工具,能连续探测距钻头前方5 m处流体界面和地层的变化,具有360°测量和成像能力。经美国康菲石油公司现场应用统计,PeriScope 15在薄储层钻遇率由常规MWD/LWD技术的50%~60%提高到93%,产量比预期值提高60%^[3]。

(2)哈里伯顿公司于2000年2月研制出第二代旋转导向系统(Geo-Pilot),该系统采用偏置钻柱、不旋转外筒式导向方式,同年10月份开始商业化应用,实现了井眼轨迹控制精确、水平井扭矩摩擦降低、井下复杂和卡钻事故等减少的目的。

(3)贝克休斯公司于2002年推出第三代Auto-Trak导向系统,该技术把闭环导向技术与螺杆钻具结合在一起,增加了旋转导向马达的钻井能力,速度、可靠性和精度更好。该系统可精确地按设计钻出井眼轨迹,可以用连续旋转钻井的方式在油藏内自动精确导向钻达目标,实现了旋转闭环钻井。

1.6.2 自动垂直钻井技术

自动垂直钻井(vertical drilling system, VDS)技术源于1988年原联邦德国的大陆超深井科学钻探计划。近几年,随着旋转导向技术进步,为解决高陡构造、断层和盐层等复杂易斜地质条件下深井防斜打快的难题,自动垂直钻井技术得到快速发展。国外同类技术及产品已经相当成熟,并进入大规模商业化应用阶段^[8]。

(1)贝克休斯公司的Verti-Trak系统。该系统是采用井下倾角传感器和对付地层自然造斜趋势的膨胀式稳定器的闭环导向系统,其特点是钻井过程中工具可根据实钻井眼轨迹自动向钻头施加侧向力,用以克服地层的自然造斜力,在保持井眼垂直的同时,解放钻压以提高机械钻速。

(2)斯伦贝谢公司的Power-V系统。该系统是Power Drive导向系统的低端产品,主要由电子测控件、机械和辅助装置等3部分组成。根据井斜的变化Power-V系统自动调整促动仪器所发动的侧力以及侧力的方向使井斜快速返回垂直,在整个过程中系统100%旋转,能够大幅度提高井身质量和钻井效率^[3]。

(3)德国SmartDrilling公司的ZBE5000系统。该系统可以选配井下马达,装配有特殊设计的支撑翼肋保证在硬或软地层中具有良好的导向性能,确保井眼垂直。

1.7 井下管材技术

1.7.1 膨胀管技术

膨胀管技术是近年发展起来的一项实用钻井新技术,分为实体膨胀管(SET)、膨胀割缝管(EST)和膨胀防砂管(ESS)3大类,主要用于油井修复、完井和建新井。最近,亿万奇公司成功地完成了膨胀管单一井径建井系统主要工具的试验,并研发两项新技术:一是用厚壁管作膨胀管,这种管材的厚度增加了25%~50%,其抗挤毁能力可增加30%~50%;二是弹性膨胀管技术,实现单井径钻井和建井。威德福公司把膨胀防砂网与层间分隔膨胀管用一段无缝管连接在一起形成一种联合系统,并研制出一种高柔曲性的旋转扩管系统。

1.7.2 连续管技术

连续管钻井为短半径、大位移、多侧向的水平钻井和欠平衡、小井眼钻井提供了安全、先进、有效的技术手段,用连续管钻定向井的费用是常规方法的25%~75%。美国已研制出高强度大直径(Φ 89 mm和 Φ 127 mm)连续管、小直径井下马达、高扭矩导向工具和多路传输接头等工具,注入头的最大拉力已经达到882.6 kN,实现了“机、电、液”一体化,自动化程度高,作业软件功能齐全,井下工具先进。连续管钻井深度已达3.5 km,过油管侧钻井深度已达到5 km。截至2008年底,全世界用连续管钻井已超过11000口,预计今后每年用连续管技术钻新井数量将达1000口左右^[9]。

1.7.3 新型钻杆技术

2004 年以来,美国石油钻杆制造和应用技术的发展具体表现在研制和制造出了具有很高强度、挠性和耐用性而且质量轻、耐腐蚀强的碳纤维钻杆和钛合金钻杆,可大容量、高速度传输井下数据的智能钻杆,以及隔热钻杆和高强度 $\Phi 149.2\text{ mm}$ 钻杆等。另外,实时钻杆遥测技术和钻杆屈曲技术的研究也取得了巨大进展。

1.8 完井新技术

1.8.1 智能完井

智能井(SmartWell)是为了适应现代油藏经营新概念和信息技术在油气藏开采中的应用而发展起来的新技术。该技术特别适用于大位移、大斜度、水平井、多分支井、边远地区无人操作的油井及多层注采井以及电潜泵井。在过去的 5 a 中,智能完井系统的安装以每年 27% 的速度增长^[10]。据美国 SFG 公司预测,到 2010 年智能井市场将增加到 6 亿美元,到下一个 10 a 将超过 10 亿美元。

1.8.2 自动膨胀封隔器完井新技术

Easywell 公司研制出一种遇油气水自动膨胀的智能封隔器,适用于任何体系的钻井液环境,实现更加可靠、经济有效的层段隔离技术。该封堵器安装简单,无须任何工具和专门技能。自 2001 年首次使用以来,已经在 1 000 多口井中应用,故障率为零。

2 世界钻井技术发展趋势

2.1 钻井技术总体发展趋势

根据美国 Welling & Company 公司统计预测:未来世界范围内 3~5 a 钻井井型将更趋复杂,但仍以常规井为主,将占总井数的 67%;水平井等复杂结构井(包括分支井、大位移井和老井重入侧钻水平井等)将占 25%;将有 30% 的井要使用旋转导向技术(包括复杂结构井和直井防斜打快);连续管钻井完井、井底压力/温度测量仪的应用增长快,欠平衡钻井和气体钻井略有增加,主要在陆地上应用;智能完井维持在 6% 的比例,主要在海上应用。

综观 21 世纪,世界钻井技术发展总的趋势是向自动化、智能化和更加注重 QHSE 等方向发展,并以信息化、智能化为特点,将钻井、电测、信息采集和控制技术紧密结合,多技术集成一体化,最大限度地发现和保护油气藏、提高油气井产量和油气田采收率,提高速度,降低成本,提高勘探开发的综合效益^[3,11-12]。

2.2 钻井单项技术发展趋势

未来高度需求重点发展的钻井技术有 3 个方面:一是降低每米钻进尺费用技术;二是降低旋转导向费用技术;三是提高钻井速度技术。需求适度高的技术为智能完井和钻井最优化技术。需求适度的技术为旋转导向、LWD、顶驱下套管、钻直井眼的马达、钻台机械化、大位移井、膨胀套管/尾管、高温井、连续管钻井等技术(表 1,其中旋转导向技术的发展权重系数为相对成本而言)。

表 1 未来 3~5 a 需要投入重点发展的钻井技术

Table 1 Key development technologies of drilling in the next 3 to 5 years

技术进步/研发 需求程度	技术种类	发展 权重系数
高度需求	降低每米进尺费用	7.9
	降低旋转导向费用	7.7
	提高钻井速度	7.0
需求适度高	智能完井	6.9
	钻井最优化	6.5
	旋转导向	6.4
	LWD	6.4
	顶驱下套管	6.4
需求适度	钻直井眼的马达	6.3
	钻台机械化	6.3
	大位移井	6.3
	膨胀套管/尾管	6.1
	高温井	6.1
	同心(套)管下扩眼器	6.1
	减摩阻	6.0
	绕性连续管钻井	5.9
需求较低	高压	5.8
	钻头	5.7
	欠平衡和气体钻井	5.6
	钻井液/完井液	5.5
	垂直钻井装置	5.4
	流体分流工具(旁通阀)	5.3

注:发展权重系数为 1~10,数据来源于美国 Welling & Company 公司。

(1)随钻测量和导向钻井技术。发展近钻头测量技术,进一步提高仪器抗高温能力、可靠性和精度,并增加更多的地层参数测量;EM MWD 技术向延长深度方向继续发展,以满足气体欠平衡钻井的需要;随钻地层测试和随钻地震技术将扩大应用。旋转导向钻井仍将是未来油气工业最主要的钻井方法,并且不断向着信息化、智能化和自动化方向发展,最终将实现遥控钻井。当务之急是发展低成本的旋转导向系统和 LWD 技术,以显示出其更强的价值定位,使钻井技术步入自动化钻井阶段。根据美国的统计,过去 3 a 内,大约有 25% 的电缆测井已被 LWD 所取代,未来用 MWD/LWD 结合钻井液

录井取代电缆测井将成为一种趋势^[3]。

(2)膨胀管和连续管技术。膨胀管近两年的发展速度较快,膨胀管钻井已经试验成功,有望实现用一种套管尺寸钻成一口井^[13]。连续管技术方面,朝着发展更先进的超小型连续管钻机以及利用连续管进行足够深度钻井的配套机具发展。一是连续管直径增大(最大为 $\Phi 168.27$ mm),钛合金和复合材料应用增加,强度提高,注入头性能继续加强;二是研制电动连续管系统;三是采用连续管技术进行水平井气体钻井将成为油田增产、难动用储量开采和提高最终采收率的主导技术;四是连续管微小井眼钻井技术和超高压连续管喷射钻井技术作为崭新的油气开发技术,正处于强势发展的初期^[3,14]。

(3)欠平衡和气体钻井技术。其趋势是与水平井、分支井、侧钻重入井、套管/尾管钻井和连续管钻井等技术配套使用,起到更好地发现和保护储层、增产增效的作用,解决井漏和钻井提速等工程问题,并朝着控压钻井方向发展。应对地层出水的反循环气体钻井技术已在研发中。据2007年美国《油气》杂志统计,欠平衡技术与特殊工艺井结合使用的效果比单一技术提高产量2~10倍。未来欠平衡和气体钻井的使用量仍然会增加,预计陆上使用欠平衡钻井的比例将达到37%,海上将达到12%。因此,欠平衡和气体钻井要提高设备配套,扩大技术培训和推广力度,发展选井技术。

(4)复杂结构井。以信息化、智能化为特点,将进一步扩大井下闭环钻井技术在水平井、大位移井、多分支井、连续管钻井和精细控制压力钻井中应用,并完善配套这些技术,大量采用复杂结构井技术来大幅度提高油气采收率。

(5)套管钻井。进一步改进回收工具,提高可靠性和井下钻具系统的起出成功率。研制可回收式套管钻井液和气体马达,提高尾管钻井、钻深井或硬地层时的机械钻速,并试验成功膨胀管钻井。

(6)重入井技术。老井再钻技术是在已开采油气井中以重新加深、侧钻或钻多分支井等方式,开采地下剩余油气,提高油气采收率。美国2008年完成2117口老井侧钻,占年钻井总数的3.5%。预计未来老井再钻/侧钻将成为一个庞大的新兴产业^[4]。

(7)复杂深井超深井钻井技术。不断研发抗高温(204℃)高压(140 MPa)自动化钻井设备,完善无风险钻井、控压钻井、新型钻头和自动化钻井等新技术,显著提高复杂深井、超深井的勘探成功率

和钻井速度^[3]。

此外,美国能源部最近又致力于资助石油天然气钻井领域的超前技术与推广项目计划,包括低成本旋转导向、激光钻井和射孔、大功率微小井眼钻井、负压脉冲钻井、先进的可导向空气冲击钻井和钻井液冲击钻井、超高压连续管钻井、高效钻头、新型无污染钻井液完井液和井下流体自动分析仪等新技术。

从世界近年来钻井技术发展趋势看,每一项钻井技术的重大进展都对应着某项高新技术的引入。钻井主导技术的发展实质上是把钻井、录井、测井和信息技术集成于一体,最大限度地实现提高油气层的发现及单井产量、缩短钻井周期、降低“吨油成本”这个目标。可以预见,在钻井技术朝着经济性、高质量、高效率、自动化方向发展的道路上,最终必将走到这几个方面的结合和统一^[9,11,15]。

3 认识与建议

(1)加强瓶颈技术的攻关试验和现场应用。针对国内油气勘探开发面临的主要钻井难题,开展旋转导向钻井、控制压力钻井、NDS钻井、防漏堵漏技术、膨胀管和连续管钻井、深海钻井以及一体化钻井集成技术攻关研究。

(2)适当引进国外先进技术。一是解决制约勘探开发的瓶颈技术问题,加快油气勘探开发节奏;二是通过引进、消化吸收再创新,引导和促进中国钻井技术的发展。

(3)加大基础理论和前沿储备技术研究。用信息技术和多学科技术改造传统的钻井技术,大力发展提高油气井产量、采收率和开发难动用储量的先进钻井技术,探索新的破岩方式、微小井眼钻井、先进闭环自动钻井、激光钻井和智能化完井等技术。

参考文献:

- [1] 沈忠厚. 现代钻井技术发展趋势[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 89-91.
SHEN Zhong-hou. Development trend of the modern drilling technology[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 89-91.
- [2] STEVEN F, ADRIANO C. The use of multilateral well designs for improved recovery in heavy oil reservoirs[R]. SPE 112638, 2008.
- [3] Schlumberger Limited. Drilling industry articles [EB/OL]. [2009-04-30]. <http://www.slb.com/content/services/resources/articles/drilling.asp>

- [4] SPEARS & ASSOCIATES, INC. Drilling and production outlook 2008 [R/OL]. 2009-03 [2009-04-30]. <http://www.spearsresearch.com>.
- [5] KABIR M, INGHAM S, SIBLEY D, et al. Application of a maximum reservoir contact (MRC) well in a thin, carbonate reservoir in Kuwait [R]. SPE 100834, 2006.
- [6] SALAR B, HANI Q. Reservoir candidate screening is critical to ensure successful application of under balanced drilling technology—case study [R]. SPE 105448, 2007.
- [7] JOHN K. Managed-pressure drilling—recent experience, potential efficiency gains, and future opportunities [R]. IADC/SPE 103753, 2006.
- [8] 杨春旭, 韩来聚, 步玉环, 等. 现代垂直钻井技术的新进展及发展方向 [J]. 石油钻探技术, 2007, 35(1): 16-19.
- YANG Chun-xu, HAN Lai-ju, BU Yu-huan, et al. New development and future direction of modern vertical drilling technology [J]. Drilling Petroleum Techniques, 2007, 35(1): 16-19.
- [9] GARRY G, GORDON M. Latest developments and new technology for coiled-tubing sidetracking applications [R]. IADC/SPE 112587, 2008.
- [10] REDDICK C, CASTRO A, PANNETT I, et al. BP's field of the future program; delivering success [R]. SPE 112194, 2008.
- [11] SAWARYN S J, PICKERING J, WHITELEY N. New drilling and completions applications for a new era [R]. SPE 112094, 2008.
- [12] IGNACIO G, JUAN G, GARY U. Remote intelligence—the future of drilling is here [R]. SPE 112231, 2008.
- [13] GUPTA Y, BANERJEE S N. The application of expandable tubulars in casing while drilling [R]. SPE 105517, 2007.
- [14] 苏新亮, 李根生, 沈忠厚, 等. 连续油管钻井技术与应用进展 [J]. 天然气工业, 2008, 28(8): 55-58.
- SU Xin-liang, LI Gen-sheng, SHENG Zhong-hou, et al. Research on coiled tubing drilling technology and its application [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(8): 55-58.
- [15] dr ROBIN Brooks, dr JOHN Wilson. Drilling better wells cheaper and faster [R]. SPE 112241, 2008.

(编辑 李志芬)

(上接第 63 页)

- [5] 成向阳, 鞠晓东, 卢俊强, 等. 井下大功率多极子声波换能器激励源的设计 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2007, 31(6): 40-43.
- CHENG Xiang-yang, JU Xiao-dong, LU Jun-qiang, et al. Design of downhole multipole acoustic transducer transmitter with high power [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2007, 31(6): 40-43.
- [6] 卢俊强, 鞠晓东, 成向阳. 正交偶极阵列声波测井仪的设计 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(1): 42-46.
- LU Jun-qiang, JU Xiao-dong, CHENG Xiang-yang. Design of cross-dipole array acoustic logging tool [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(1): 42-46.
- [7] 卢俊强, 鞠晓东. 通用串行总线在测井模拟信号采集中的应用 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2005, 29(5): 37-41.
- LU Jun-qiang, JU Xiao-dong. Application of universal serial bus in well logging analog data acquisition [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2005, 29(5): 37-41.
- [8] 鞠晓东, 李会银. 基于 CPLD 的曼彻斯特码高速传输系统设计 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(4): 37-39.
- JU Xiao-dong, LI Hui-yin. Design of a high rate manchester's code transmitting system based on complicated programmable logical devices [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(4): 37-39.
- [9] 李会银, 李向峰. 基于 CPLD 的多功能核能谱测井仪检测系统 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(3): 36-39.
- LI Hui-yin, LI Xiang-feng. A multi-function test equipment for nuclear spectrometry tools based on complex programmable logic devices [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006, 30(3): 36-39.
- [10] Lattice Semiconductor Corp. ispLSI1016/883 datasheet [M/OL]. January 2002. [2005-02-12]. 2002. <http://www.latticesemi.com/lit/docs/military/1016-mil.pdf>.

(编辑 修荣荣)