

现代钻井技术的发展与油气勘探开发的未来^{*}

胡书勇¹ 张烈辉¹ 廖清碧² 敬兴胜³ 杜波³ 余华洁³

(1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院 2.吐哈石油勘探开发研究院 3.西南油气田分公司)

胡书勇等.现代钻井技术的发展与油气勘探开发的未来.天然气工业,2005;25(2):93~96

摘要 在油气勘探开发中,钻井是必不可少的基本环节。钻井技术从上世纪至今已经历了经验钻井、科学化钻井、自动化智能钻井3个阶段。21世纪钻井技术发展的主导趋势是向钻井自动化及智能控制系统方向发展。文章综述了钻井技术的发展,阐述了它对于促进油气勘探开发的作用;钻井技术的发展极大地提高了油气勘探开发的效益,改善了油气田勘探开发的效果。同时,随着石油工业的发展,由于油气勘探开发领域的进一步扩大及可持续发展战略等的要求,对钻井技术提出了越来越高的要求,促使钻井技术有新的较大的发展,以满足油气勘探开发的需要。并展望了现代钻井技术的发展与油气勘探开发的未来,指出钻井技术必将进一步在剩余油挖潜、提高采收率、开发边际油气田、改善油气田开发效果、进一步提高油气田勘探开发经济效益等方面发挥更大的作用,为油气工业作出更大贡献。

主题词 钻井技术 油气勘探 油气开发 技术革新

目前,我国陆上已开发油田相继进入高含水或特高含水阶段,剩余油可采储量开发难度越来越大,而每年新增储量大多具有“低、深、难”特点,油气储量的增长满足不了油气生产需要。如何进一步攻克现代钻井技术中的关键难题,以满足油气开发对钻井技术的新要求;如何有效地利用现代钻井技术高效、经济地开发老油田及海上石油,进一步拓宽钻井技术在油气开发中的应用领域等等,这些问题对于适应新形势下的石油工业具有极其重要的战略意义。

一、现代钻井技术的发展

钻井技术从上世纪至今已经历了经验钻井、科学化钻井、自动化智能钻井3个阶段^[6]。70年代末期出现了PDC钻头,是钻井技术向前推进的一个明显的进步标志;进入80年代,相继出现了随钻测量(MWD)仪器,可控井下马达、以及水平井钻井技术等;进入90年代,随钻测井(LWD)和随钻地震(SWD)等先进测量技术不断投入使用,大位移井、多分支井钻井技术以及连续管技术等得到迅速发展和应用^[2]。目前,水平井技术、老井重钻技术、复杂结

构井(如多分支井、三维多目标井等)钻井和完井技术,高温高压钻井技术、深井及超深井钻井技术、大位移钻井与完井技术、连续油管钻井技术、小井眼钻井技术、欠平衡钻井技术,以及油气层保护技术等在国外已经成熟或正在发育成熟。而我国在上述钻井技术领域的现状与国际先进水平相比存在较大差距,特别是在复杂结构井、大位移井及连续油管钻井技术方面几乎还是空白。

1. 深井、超深井钻井技术

深井,是指完钻井深为4500~6000 m的井;超深井是指完钻井深为6000 m以上的井。深井、超深井技术,是勘探和开发深部油气等资源必不可少的关键技术。进入21世纪,我国西部及东部深层钻探工作将进一步加强,需要完成的深井、超深井比例将进一步增加。近几年的实践证明,由于地质情况复杂(诸如高温高压、高陡构造、难钻地层、多压力系统及不稳定岩层等),我国在这些地区(或其它类似地区)的深井、超深井技术尚未过关,极大地阻碍了勘探开发步伐。

2. 特殊工艺水平井技术

目前我国钻的水平井,大多属于中半径水平井。

^{*} 本文系中国石油天然气集团公司石油科技中青年创新基金项目(编号:04E7047)、高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划(TRAPOYT)和四川省学术和技术带头人培养资金项目(2200320)资助。

作者简介: 胡书勇,1973年生,在读博士研究生,主要从事油藏工程和油藏数值模拟研究。电话:(028)83032581,13072837536。E-mail:hsylylhjb@126.com

而水平井技术中特别引人注意的是特殊工艺水平井,它包括径向水平井、侧钻水平井及多分支井技术等。径向水平井(又称超短半径水平井)钻井技术,要求配备专门的井下钻井系统,并采用高压射流破岩方法,可从直井(一般是老井或工程报废井等)中径向打小井径(一般为100 mm)水平孔,水平段长度为15~60 m。它需要地面设备较少。侧钻水平井技术,可以用来在老井和工程报废井中侧钻水平井(主要是小井眼短半径水平井),这特别有利于老油气田的挖潜开采。多分支井钻井技术,允许在同一主干井眼(直井、定向井、水平井及老井等)中侧钻两口或多口分支定向井(通常是水平井)、以便更高效地开发离散的“布袋”油藏,节省平台和投资,特别适合于海洋及“破碎”油气藏的开发,也有利于稠油开采。多分支井一口井可以节省18口直井的井场,而产量却能增加20%,它在环境保护方面的作用与小井眼类似,可减少钻屑和其他要处置废物的数量,如果用连续管钻井会进一步减轻对环境的污染。

3. 大位移井技术

大位移井目前有两种定义:①是指测深等于或大于垂深2倍的定向井或水平井,当大于3倍时,则称为特大位移井,这是在第14届世界石油大会上提出的;②是指水平位移等于或大于垂深2倍的定向井或水平井,这种定义法主要来源于英国的BP公司和美国的ARCO公司。由于多种类型油气藏的需要,从不变方位角的大位移井,又发展了变方位角的大位移井,这种井称多目标三维大位移井。即使中等垂深的大位移井,由于位移大,斜深长,测量井深实际达到了深井、超深井的深度。所以大位移井,实际上是定向井、水平井、深井、超深井技术的综合体现,加上多目标三维大位移井技术复杂、要求高,因此大位移钻井技术,实际上是体现了目前世界上各个方面的最先进钻井技术。大位移井在开发海上油气田方面具有较大的优势。开发近海或海上油气田,用常规定向井、水平井钻井,需要建的人工岛或固定平台的数量多,打井也多,花钱多,如果钻大位移井,少建人工岛或固定平台,少打井,可节省大量投资。靠近海岸的油气田,可钻大位移井进行勘探、开发。此外,不同类型油气田钻大位移井可提高经济效益。小断块的油气田或几个不相连的小断块油气田,可钻一口或两口大位移井开发,少钻不少井,节省投资,便于管理;对于几个油气田,油气层不在同一深度,方位也不一样,这时可钻多目标三维大位移井,节省投资。有些油气藏在环保要求高的地区,

钻井困难,利用大位移井可以满足环保要求。

4. 连续柔管技术

连续柔管技术(Coiled Tubing,简称CT),是最近几年在石油工业中引起广泛重视的一项新技术。CT是一种高强度、低碳钢管,连续制造,一般长约914.4~7620 m。与传统的技术比较,CT由于其经济合算、操作高效及有益环保等特点,因而在油气钻井、完井、修井及测井等作业中逐渐得到推广应用。单就钻井而言,CT技术在侧钻水平井及小井眼钻井中已获得成功应用。此外,还有小井眼钻井技术,它越来越多地应用于老井加深、侧钻水平井、多分支水平井、欠平衡钻井及CT钻井等,为老油田增产和提高采收率提供了一个有效的途径。适应于钻井技术的发展,随钻测井和随钻地震技术也得到发展应用。随钻测井是测井技术与钻井技术相结合的一种新技术,利用该项技术可帮助识别底部钻具组合相对“地质靶子”的位置,从而可将实钻井眼保持在适当轨道内,更好地达到地质勘探和油藏开发的目标。随钻地震技术是地震技术与钻井技术相结合的一种新技术,利用它可获得高分辨率的地震信息,从中可挖掘出有用的地层信息,不仅对勘探开发具有重要的参考价值,而且对优化钻井设计与施工提供了有用的基础数据。而在丛式定向井、大位移井及多分支井钻井中,利用钻井三维可视化技术可以更好地理解大量井眼轨迹或设计剖面数据,以避免井眼之间发生相碰事故。

国外还长期致力于研究和开发一种“智能钻井系统”。它一般由执行机构、随钻测量(或测井)及智能控制等子系统组合而成,代表着钻井与掘进技术的未来发展趋势。它能够自动测量和适应钻头周围和前方的状况以钻达理想目标,当测量结果偏离所期望的状态时,它可以利用一种遥控系统从地面导向或自动导向来修正钻进轨迹。在这方面,英国、德国等欧洲国家也在积极开展研究与开发工作。

二、油气勘探开发的深入发展对钻井技术提出的新要求

钻井今天所面临的技术和经济挑战,比以往任何时候都更为严峻。改革开放以来,我国的国民经济对能源的需求量与日俱增。我国石油天然气工业的发展速度难以适应国民经济的需要,这已经成为制约我国社会进步和经济发展的“瓶颈”。一方面,油气储量的增长不能满足油气生产的需要;另一方面,随着陆上油气勘探开发的深入发展,遇到的对象

日趋复杂,特别是东部老油区,已经逐步从比较整装
的背斜油气藏向复杂的小断块、岩性油气藏转移,工
作难度大,面临的困难增多。我国石油储量接替区
带向西部地区和近海、海洋转移。表 1 与表 2 是我
国石油天然气资源在不同自然地理条件下的分布。
由表 1、2 知,我国石油资源量除主要分布于平原、丘
陵等陆地外,还分布于海域和沙漠等条件恶劣的地
方。

表 1 中国石油资源分布的自然地理条件

自然地理条件	原油资源量 (10 ⁸ t)	占全国资源量 (%)
平原	280.97	30.2
海域	245.87	26.43
海滩	24.87	2.67
沼泽(水网)	96.56	10.38
沙漠	188.57	20.38
山区	42.87	2.61
黄土塬	19.08	2.06
高原	31.51	3.39
合计	930.32	100.00

注:据中国矿业网,中国矿产资源。

表 2 中国天然气资源分布的自然地理条件

自然地理条件	资源量 (10 ⁸ m ³)	占全国资源量 (%)
平原	43878.03	11.84
海域	81591.53	21.48
海滩	9559.26	2.52
沼泽(水网)	7297.68	1.92
沙漠	92107.04	24.22
山区	98548.76	25.87
黄土塬	41797.40	10.99
高原	4408.69	1.18
合计	379198.39	100.00

注:据中国矿业网,中国矿产资源。

国家产业技术政策中^①提出要大力发展海洋和
沙漠油气勘探开发技术,以满足国民经济日益增长
的需要。提出海洋工程要重点发展海洋油气田开发
技术,并使其成为海洋产业的主导产业,并对海洋油
气开发技术作出了如下规划:海洋油气勘探技术在
各方面达到国际先进水平;钻井水深将达到 1000
m,钻井井深达 7000 m,钻探能力大于 5000 m。

在石油工业“十五”规划中^②指出,根据目前勘探
开发成果分析,东部地区石油资源量较全国第二轮

油气资源评价结果有明显增加,资源勘探潜力仍然
较大。东部地区仍是我国今后主要的产油区。西部
地区仍有 250×10⁸t 以上石油资源有待探明,整体上
资源探明程度比较低,是我国石油工业增储上产的
主战场以及国家安全的战略后备基地。应加快西部
石油勘探开发,增储上产,早日实现油气战略接替。

在过去数十年,钻井技术提高了勘探开发效益,
可适用于不同的地理区域和特殊的地质条件(高温
高压)下,提高了人们在恶劣环境下开展油气勘探与
开发的能力。这就大大提高了生产效率。但是,在
海洋区域和在我国西部地区,由于自然环境和地理
条件十分恶劣,在这些地方进行石油勘探与开发具
有较大的难度,对钻井技术具有较高的要求。如深
井钻探及保护储层问题,高温高压海洋钻探问题,水
平井及大位移井钻井与完井问题等等。

在我国西部,由于地面和地下条件复杂以及油
气埋藏深等原因,勘探中面临着各种意想不到的技
术挑战。例如,在深井钻探中,经常遭遇井塌、井漏、
井斜、卡钻、钻具失效及低钻速等复杂和事故,采用
常规技术往往很难驾驭这种场面,结果不仅造成了
巨大的直接经济损失,而且制约了西部油气勘探的
步伐^[2]。在我国东部老油田,“稳油控水”及提高采
收率的难度很大,同时还需要进行外围及深部勘探
工作,对钻井技术提出了更高的要求。例如,水平井
技术(包括钻井、完井、测井、采油及修井等配套技
术)还需要进一步研究与完善,以便在技术和经济上
适应东部油田开发生产的新要求。同时,进入新世
纪人们对环保的要求越来越高,可持续发展战略已
成为我国的一项基本国策。人类对“健康、安全、环
境”更高目标的追求,对油气勘探开发也提出了更高
的要求,油气勘探开发的成本也越来越大,这就对钻
井技术提出了更高的要求。如何降低钻井成本、减
少钻井污染、不断提高钻井整体水平,对于实现地下
资源可持续利用的战略目标具有重要意义。

三、现代钻井技术与油气勘探 开发的未来

目前钻井技术已获得了长足进步和发展,但尚
有一些关键技术和难题需要得到突破。在钻井过程
中,如何使钻头沿预置轨道钻进并保持井眼的稳定,
如何优选钻头和钻井参数以提高机械钻速,如何实

①国家产业技术政策,新华网 2002—07—15。
②中国科学院高新技术产业局网站,石油工业“十五”规划,2002 年 5 月 9 日。

现钻井自动化与智能化以减少钻进间断、提高钻井质量和效率,如何有效地保护储层以提高勘探开发效益,等等,这些都是钻井的关键技术或学术难题^[4]。21世纪钻井技术发展的主导趋势是^[5]:以信息论、系统论和控制论作理论基础,把以计算机为核心的三遥(遥测、遥传、遥控)高技术和钻井各工序的实际相结合,开发出多种钻井自动及智能控制系统,并用钻井高新技术改造传统的钻井技术,去取得最大的勘探开发综合经济和社会效益。它将提高发现油气层的效率、提高单井产量、缩短钻井时间、降低“吨油成本”,这样一个高效的钻井系统,将在油气勘探开发中扮演越来越重要的角色。

综观钻井技术的发展,它对于推进油气勘探开发具有极大的作用,并直接带来油气勘探开发理论与工艺技术的变革。每一次钻井技术的发展,都给油气勘探开发带来了极大的效益,并拓宽了钻井技术的应用范围。同时,由于油气勘探开发程度的加深、难度的加大,对钻井的质量和效益的要求相应提高,更为迫切要求钻井技术不断革新。这就要求钻井更深地切入到勘探开发中去,力争用更多更好的钻井方法来适应勘探开发的要求。油气勘探开发中的新课题、新难题,为钻井技术的发展和革新提供了更加广阔的应用前景。可以说,钻井技术的发展与油气勘探开发一直互相促进,相互更新的。如今,由于现代钻井有了长足发展和进步,它还在剩余油挖潜、提高采收率、改善油田开发效果、开发边际油田等方面从理论和技术上提供了强有力的支持。如将钻特殊井作为老油田提高采收率的一种有效手段的观念也已开始在人们意识中形成。应该充分认识到,利用钻井技术无论是在老井挖潜还是在老油田中发现新的储量具有重要的意义。在老油田如砂岩注水油田、稠油油藏、低渗透油藏、断块油藏等都不同程度存在一些死油区块、枯竭井等。在这些不同类型的老油田中,应有选择的钻重钻井如老井加深井,套管内侧钻井以及钻多底井(分支井),侧钻水平井、定向井、大斜度井、大位移井(包括三维多目标大位移井即蛇形井)、径向水平井、水平井等^[3],加上使用导向钻井技术,使这些类型井真正成为老油田提高单井产量,降低成本,提高采收率的有利手段。

当前的经济形势使我国油气工业面临着巨大的压力——后备储量严重不足,已开发油田相继进入高含水或特高含水阶段,剩余油可采储量开发难度越来越大,急需解决勘探开发中“低、深、难”的问题及进一步提高经济效益;加之人类对 HSE 更高目标

的追求,对油气勘探开发也提出了更高的要求,油气勘探开发的成本也越来越大。这些问题都将随着钻井技术的发展而迎刃而解。可以预见,钻井技术终有一天会帮助人们去发现目前无法认识或无法开发的油气聚集方式和富集地带,让如今的很多边际油田、海上油气资源变得不再难采,为石油工业的进一步增储上产作出更大贡献!

四、结束语

钻井工程经过 100 多年的不断实践、发展,今天已是一项较完善的、现代化的、系统化、集约化的专业。随着勘探开发程度的加深,钻井工程向更高层次发展已迫在眉睫。同时,其它学科先进的科学技术和自动化、智能化的应用,也为钻井工程技术所面临的一个全新的发展时期创造了技术条件。面向 21 世纪,全球油气资源的可持续利用问题将更加突出,使得钻井科技工作者在技术、成本及环保等方面面临许多新的挑战和技术难题,应该充分抓住当前科学技术革命的历史机遇,促进多学科、多领域的技术的结合,力求进一步突破钻井技术在油气勘探开发应用中的关键技术和理论难题,为石油工业发展作出更大贡献。

参 考 文 献

- 1 高德利等.油气钻探新技术.北京:石油工业出版社,1998
- 2 高德利.21世纪油气钻井技术展望.石油化工动态,2000;8(2)
- 3 李克向.21世纪钻井技术展望.钻采工艺,1999;22(6)
- 4 高德利.油气钻井技术展望.石油大学学报(自然科学版),2003;27(1)
- 5 王关清,李克向,陈元顿等.中国陆上石油钻井科技发展回顾与展望.石油钻采工艺,2000;22(1)
- 6 张东海,席继强,贾建明.国外钻井技术发展现状.断块油气田,2000;7(5)
- 7 汪海阁,张富成,李连江等.开发低渗透油田的小井眼钻井技术.石油钻采工艺,2001;23(3)
- 8 李克向.我国滩海地区加快发展大位移井钻井技术.石油钻采工艺,1998;(3)
- 9 赵卫红,邹枫.国外分支井钻井技术综述.钻采工艺,1999;22(4)
- 10 黄仁山,刘玉华.地矿系统石油天然气钻井技术发展展望.探矿工程,1999;(增刊)

(收稿日期 2004-08-26 编辑 钟水清)