

第二次国际石油工程会议论文集

3



中国 北京

1986.3

目 录

- SPE 14070 1981—1986年钻井技术的成就及其发展方向
- SPE 14071 随钻测量技术的现状及其在勘探开发钻井中的应用
- SPE 14137 用多门热中子衰减测井监测储集层
- SPE 14078 移动式海洋钻井装置的海上安全问题
- SPE 14079 海流速度剖面测试仪的拖箱试验
- SPE 14134 涡轮泵的研制、应用与选择
- SPE 14113 俄克拉何马州Osage县北布尔邦克A区块聚合物驱方案的综述与评价
- SPE 14121 用计算机化生产井模型使采油最优化
- SPE 14122 计算机在Ekofisk综合生产系统中的应用
- SPE 14138 中加海上活动采油系统的技术概况
- SPE 14128 油田水的现场分析
- SPE 14091 中国油层增产处理的研究
- SPE 14136 用烃类溶剂代替酸清除某些地层堵塞
- SPE 14108 北海白垩油藏的表面特性和自动吸水作用
- SPE 14130 水平井的蒸汽驱油过程评价
- SPE 14098 多相流动试井分析
- SPE 14102 用示踪剂测试方法进行油藏描述
- SPE 14131 应用井下流量和压力数据估算多层油藏的渗透率和表皮因数
- SPE 14059 注氮气提高反凝析富气-挥发油油藏采收率
- SPE 14081 半潜式平台用作浮式采油装置

- SPE 14082 喀麦隆Mokoko-Abana油田的中央生产平台甲板的安装
- SPE 14084 蓝水塔式叉骨系泊系统
- SPE 14109 复杂油藏模拟技术
- SPE 14110 天然裂缝油藏模拟的发展及其应用实例
- SPE 14111 开采多油层的油井的动态

1981—1986年钻井技术的成就 及其发展方向

K. K. Millheim
Amoco Production Co.

陈元顿 译
周焜辉 校

摘 要

过去的五年里,在钻井技术的应用和发展方面取得了重要的成就,本文对钻井新技术及其如何应用于油田施工进行了综述,对以下几个主要技术发展专题进行了讨论:

1. 计算机工具的发展,如新的钻井计算方法;
2. 实时钻井与信息传递;
3. 钻头技术和泥浆马达的先进设计;
4. 泥浆和固相控制技术的进展;
5. 随钻监测和其他技术的进展。

本文所展示的钻井前景是十分令人振奋的。钻井操作中的集中控制将被迅速推广;密闭的泥浆系统和与新型优质泥浆一起应用的处理装备将被研制出来;新的小型自动化钻机也将发展起来;大水平位移的定向钻井将会越来越多地应用于陆地和海上油田的开发;新型的高速钻头和泥浆马达对转盘钻井提出了挑战。所有这些新技术为勘探钻井、深层钻井和海上开发展示出新的前景。

引 言

自从旋转钻机发明以来,其基本形式没有发生根本性的变化,还是由钻机来提升和下放钻柱、旋转钻柱,并利用泥浆泵将流体泵入钻柱内,再从钻头循环出来上升至环形空间。多年来,钻机的变革仅在于钻机使用地区及可钻深度上的变化,这些变革与在更复杂的地质条件下钻井、海上钻井以及钻更深的油气藏的要求是直接相关的。

钻井技术正是根据这些钻井的要求而发展起来的。五十年代初期,在俄克拉何马州为钻更深的地层,就需要寻求一种钻井方法,以克服在大倾角地层中的井斜问题;钻深井还需要设计钻头,这样可经济地钻更坚硬且研磨性更强的地层;海上石油勘探及油田的开发加速了在固定平台上钻定向井的工作;井越深就意味着井底温度也越高,这样也就需要发展适用于高温的泥浆体系;Gulf 海岸超高压的地质情况给加重泥浆体系带来了发展;定向钻井以及在那些引起井身稳定性问题的地层钻井引出了为保证井身稳定性的泥浆体系的设计;深井和定向

钻井都需要改变钻柱设计,这样就发展了下部钻具组合、减震器、震击器、厚壁钻杆和容积式泥浆马达。

钻井的经济性问题也推动了钻井技术的革新。为控制井斜,开始是采用很小的钻压钻井,在这种情况下,钻井时间则要增加二到三倍,从而也就大大增加了井的成本。基于这种经济上的问题,Lubimski^[1,2,4,5,6]和Woods^[3,4,5]在井斜控制方面获得了重大进展,他们提出将稳定器置于适当的位置并配合较高的钻压,可使井斜保持在一个可以接受范围内。应用铣齿钻头钻坚硬地层从经济角度上看是昂贵的,其主要问题是钻头齿很快就被磨钝了,由于这个原因人们发明了镶硬合金齿的牙轮钻头,从而迅速提高了总的钻井速度。人们已认识到钻井速度的提高是与泥浆体系的改进相联系的,固体颗粒的积聚和粘滞性看来是影响钻井速度的主要因素,有关固相控制和泥浆体系的新概念促使了新型固相控制设备和泥浆体系的发明。

在五十年代和六十年代,大石油公司、钻井泥浆公司和一些大学关于钻井研究的规划对石油工业的革新起了直接的作用。这一期间,在石油工业方面的杂志上刊登的文章是很多的。

在五十年代和六十年代初期,几乎不存在钻井工程,直到六十年代末期,一些大石油公司和承包商们开始认识到钻井工程对他们那些非常困难的油井的需要,这样就导致了钻井工程师的出现。起初,钻井工程师只是一个在现场从事工程基本情况的钻井人员,在许多情况下,钻井工程师是一个钻井监督或是一位工长。那时,大多数的钻井工程有水力设计、套管柱设计、钻头选择、注水泥和一些基本的泥浆工程。

到了六十年代末期,海上钻井变得非常活跃,从而要求陆地的钻井技术要适用于海上钻井。墨西哥湾和北海石油的进一步勘探,大大地促进了海上钻井技术的发展。

在1965年至1973年间,钻井技术的应用到了顶峰,而钻井的研究却处于低潮。1973年的石油禁运是这种局面的转折点,预计石油价格的提高以及中东以外石油需求量的增加,推动了勘探和开发钻井的发展。而此种情况使得钻井行业和石油公司对这种迅速增长的局面缺乏准备,因而缺乏训练有素的人力、设备和新的钻井技术。七十年代是钻井技术发展新时代的开始。北海的勘探和开发钻井使欧洲共同体在钻井技术的发展中起了积极的作用。活跃在挪威和英国北海海域的石油公司开始增加了他们在美国海上和内地的研究活动。钻井泥浆公司、钻头公司和其他一些钻井服务公司开始了新的研究项目。美国的Sandia实验室着手把主要钻井研究工作的重点放到地热钻井上。

毫无疑问,从1973年到1982年,在钻井方面的最重大发展是研制了聚晶金刚石钻头、随钻测量系统和改进的新型反乳化油基泥浆体系。在镶齿牙轮钻头方面的重大发展有钻软地层的轴承设计和长硬合金齿。海上开发钻井的猛增推动了定向钻井技术的发展和提高了定向钻井器具的性能,这些器具包括:泥浆马达、测量仪器、下部钻具组合以及随钻测量仪。镶硬合金齿牙轮钻头应用的猛增,高钻压和低转速操作的需要,促进了低转速、大扭矩容积式马达的发展。七十年代末和八十年代初,出现了改进的泥浆固相控制设备,这种固控设备起因于象氯化钾聚合物和不分散型凝胶聚合物体系的低固相泥浆体系的需要而产生的。

在1973年到1982年这一时期,大多数革新是与产品和设备有关的,而在如何应用分析技术去预测或最优化钻井系统方面的研究则做得很少。只是在定向钻井、钻速机理和泥浆振动筛方面进行了一定的分析。

到1981年,钻井达到高峰。钻机台数、整个钻机辅助行业以及公司的钻井人员都为最高

值。曾展望的前景是石油价格的增高和钻井业务的增加,但事实上却是一个相反的结果,钻机台数、钻井人员以及辅助设备和产品数量都减少了。但出现了一个有趣的钻井现象,即钻井活动是减少了,而钻井研究工作却迅速增加了。目前钻井分析法的发展和钻井技术的应用正引导着钻井研究工作。本文重点论述自1981年以来钻井技术及其应用的增长情况。

钻井分析法和计算机的出现

1982年以前, Lubinski [1,2,4,5,6] 和 Woods [3,4,5]、Walker [7,8]、Fisher [9]、Bradley [10,11]、Estes [12]、Galle 和 Woods [13]、Lumanus [14]、Wardlaw [15]、Outmans [16,17]、Warren [18]、Millheim [19-30] 和 Hoberork [31] 发展了计算方法,它可用数学来描述钻井过程中的各个部分。这些计算方法包括井斜控制、下部钻具组合、钻井速度、泥浆动失水、定向钻井和泥浆振动筛分析。对此项分析工作的作用而言,大多数只是稍微地影响到油田钻井工作,而其中一些技术与10年、20年、30年前所采用的钻井方法相比则有明显地改变。特别在定向钻井和井斜控制方面,已从以钻井经验为依据发展到以钻井技术为根据。而直接和钻井操作有关的钻速机理及其它分析却没有反映出同样的成功,其原因之一是,由于与油田的结果相对比,计算方法中的一些预测值不好;另一原因则是,从钻井分析的应用中体现的好处不多。

在七十年代,人们在应用钻井分析方法来优化钻井过程方面做了些工作,这项工作要用一些钻井算法来设计钻井,包括钻头选择、水力学及某些情况下泥浆类型的选择。最优化在减少钻井时间和降低钻井成本方面取得了一些成功,但对好处的大小有点争议。图1所示为 Simpson 提出的钻井时间与井深的关系曲线,似乎证明了借助于计算机进行钻井最优化能减少钻井时间这一观点。用一种不同的方法来分析相同的数据,图2则表示出了由方程(1)给出的一条典型学习曲线(Learn Curve)。

$$\text{钻井天数} = c_1 \cdot e^{c_2 \cdot (1-n)} + c_3 \quad (1)$$

式中: n 代表井的工序数 [1, 2, 3, 4 等]; c_1 通常代表钻井的困难程度或人们对钻井准备的程度; c_2 是学习预计钻速或学习曲线系数 (LCC); c_3 是该地区钻井人员的技术或操作水平。通过对世界上海上和内陆的大量钻井分析表明,平均的学习曲线系数为 0.34。但要注意,作为范例的 LCC 是 0.37。这里并没有做大量工作来证明这一观点,即应用优化、分析方法和计算机大大改善学习曲线。可能会说,如果没有分析方法、优化和计算机,学习曲线系数 (LCC) 会低得多或根本不存在,这是一个有争议的问题。

早期的钻井分析法帮助钻井人员确定功率、排量 and 静载荷。由于这类计算用微型计算机很容易完成,所以在井上和办公室中,大多数钻井人员都使用手提式或台式微型计算机。

除去在七十年代末对基本水力学和油田控制计算进行了很少的预测分析外,应用钻井分析法进行预测并没有获得很好的成功。预测精度差的问题以及不能及时地预测分析去促进钻井生产,减慢了新钻井分析法的发展和钻井分析法在日常生产中的应用,这也导致减缓了有待于发展的预测型算法的研究。

钻井分析法的精度不高,可归结为以下几个因素:

1. 算法过分地简化了某一特定过程;
2. 缺乏辅助研究;

3. 不了解过程中的力学问题;
4. 涉及到过程或地质等的基础常数不够;
5. 对在整个钻井系统中起作用的过程缺乏了解。

在五十年代、六十年代期间,以及在七十年代的一段时间里,钻井分析法的大部分均处于过分简单化的形式。大部分关系式都是以经验观察或很基本的物理现象作为基础。Lubinski^[1,2,4,5,6]和Woods^[3,4,5]在没有现代计算机情况下进行井斜控制分析是一重要的发展,它向钻井公司展示了高分辨力分析法在油田中的应用。以后,在七十年代里,Walker^[7,8]、Fisher和Bradley^[10,11]、Millheim和Apostol^[30]借助于计算机进一步发展了算法,使其可预测下部钻具组合的静力和动力。这项工作推动了定向钻井的进步,并使人们具备了设计下部钻具组合以及预测下部钻具组合运转状态的能力。高速计算机和有限元法的出现以及其它一些数字技术的应用,导致了其它分析算法的发展,如预测泥浆振动筛的性能^[31]。这一预测又使得人们设计出一种完全新型的泥浆振动筛。

到了七十年代末期,更多的人认识到:钻井过程的预测能力会影响到钻井操作及钻井的成本。另外也认识到:为准确地预测钻井过程或预测钻井过程中的某一阶段,应将钻井作为一个系统来对待。Millheim^[33]首先提出工程模拟器的概念,并用它作为一种方法来从事描述钻井过程中各不同部分的钻井算法和构成可模拟(预测)系统是如何工作的一个钻井系统。要建造这样的系统,需要发展一种全新水平的钻井算法,并由计算机以快于实际时间的速度算出。这项工作也意味着要研究发展各算法所需要的系数和需要从钻井数据测试公司那里得到高质量的钻井数据。

Millheim^[34,35]提出了发展钻井用工程模拟器的性能。Millheim^[35]、Brett和Summer^[37]、Brett和Yoder^[38]、Oynia^[39]、Reymolds^[40]、Shidmore^[41]和Warran^[42,43]对钻井工程模拟器(ESD)中的各种算法做了进一步的描述。钻井模拟器正在广泛地被应用于计划和评价钻井、钻机、泥浆、固相控制系统和钻井系统中的其它系统。它也可与实时钻井操作一起使用,以预测钻井速度、泥浆和固相控制操作、油井控制状况、定向钻井预测以及作其它多种应用。工程模拟器正被推广到预测海上钻井船和半潜式平台的工作情况。在ESD中有70多个独特的算法,并有近30个算法被用于海上钻井的工程模拟器(ESD)上。

油基泥浆应用的增加以及侵入油基泥浆的危险气体引起了新的油井控制算法的发展^[44]。这就产生了一项研究项目,即要测量气体在油基泥浆体系中的侵入和析出时的相的关系,同时还要计划测量垂直井段和井斜段的气泡运动情况。

对预测钻头寿命、钻井速度以及新型钻头设计的再次关注,使得许多公司进行了大量的实验项目,从而产生了新一代的钻头分析方法。预测聚晶金刚石钻头(PDC)动态性质的算法已被研究出来了,并正在进行鉴定。

八十年代初期的另一件重要事情是发展了延伸钻井(ERD)程序,由于它的出现而产生了新的钻井分析方法,而特别重要的是在钻柱力学^[46,47]和井眼阻力^[48]方面的应用。

为了使钻井研究与新计算方法的发展得到进一步地协作而成立了钻井工程协会(DEA)。DEA可召集各公司进行讨论,对任一公司进行钻井研究投标,其它公司可以参加并分担开支。这种做法成了一种推动力促进了新钻井技术的发展。

显而易见,在1982年到现在这段时间里,用于钻井分析方法的高技能计算机的迅速增加,已开始对钻井操作和钻井设备的设计起着重要的影响。

实时钻井和信息传递

历史上, 钻井承包合同有三种形式: ①计日合同; ②钻井进尺合同; ③一揽子合同。计日承包通常由作业者负责钻井计划并监督承包商执行计划。一般来说, 要完成这一工作, 需要委派一名“公司人员”或钻井工长去监督钻井。而钻井进尺合同和一揽子合同对作业者来说只需要少量的监督工作, 这是因为只要不是全部风险的话, 承包商要承担绝大多数的工作, 这就需要承包商自己进行监督, 通常是由一个钻井技师时时进行检查。主要的问题是作业者和承包商要监管钻机, 并要在现场随时决定大多数的问题, 这并不意味着在现场以外不要计划, 而相反总是要有一个计划。所以在多数时间里, 井场监督与远离井场在办公室工作的上一级监督之间要有一定的通讯联系。

20年前, 几乎不存在钻井工程。自从出现了钻井工程以后, 钻井工程师从作为钻井监督的基本辅助人员成为一名钻井设计人员, 并在很多情况下也起着钻井监督与钻井工程师的双重作用。

无论钻井现场的监督是否是一个工程师, 他一直是主要实时决策人。他做出决策的基础是他所具有的钻井实践经验、对钻井的系统知识和肉眼检查能力。他的决策线索来自对钻井系统的观察和亲身参与钻井工作的经验。这项工作就如同增加一点钻压, 然后观察进尺速度是否增加一样简单, 或者就象稍微改变一点泥浆的化学成分, 然后等待去观察井眼稳定性是否有所改进一样微妙。

在很多时候, 钻井监督面临这样的钻井情况: 实际情况偏离了钻井计划, 或者是感觉到要发生什么情况。当发生这样的事情时, 钻井监督通常是在他的经验范围内做出改变, 或与上一级监督人员联系, 说明他的观察意见, 期望支持他的决定或请求他的上级做出决定。例如, 发生了卡钻问题, 如果没有很快地解卡, 钻井现场监督通常要与他的老板进行联系。

由于远离井场, 信息的流通通常是靠每天的钻井晨报, 并以井场监督与他的上司之间的口头联系作为补充。钻井办公室的工作人员通过这两种信息来源便可绘出钻井状态的图表, 然后提出建议或直接命令井场监督去完成。当出现问题时, 通过无线电、电话或电传与井场监督进一步联系, 以了解钻井和钻井系统的状况。

多年来, 人们采用的钻井方法和操作方法今天仍在沿用着。但随着井深的增加变得更加复杂了, 有些人员和公司已认识到, 采用传统的钻井方法耗资高, 有些情况下油井出现问题的机率大, 甚至会发生井喷。这一问题推动了数据录井行业的发展, 其初期产物有泥浆录井和地质测井服务。数据录井除了获取地层样品和为监测泥浆流中的天然气外, 还有泥浆池液量报警器和装在管线上的流量指示器。后来, 更多的传感器被用于测量钻压、转速和泵压、泵冲数以及扭矩。“D”指数和改进的“D”指数被计算出来, 页岩密度也可绘成曲线。这种信息大多数只是用于井涌指示, 而不是为了钻井效率。数据录井虽已出现在钻井现场, 但只有很少一部分资料是用于做出实时钻井决策的(除井涌指示外)。在七十年代后半期, 计算机被应用到了现场数据录井装置上, 给井场监督提供了更多、更好的输出数据。然而, 井喷仍然发生, 钻井费用还在增加, 井眼问题并没有消除。造成这种困境的原因很简单: 钻井数据没有得到实际应用, 而仅仅是钻井数据而已; 另一方面, 收集数据并没有取得降低钻井成本、消除问题和帮助制订正确决定的效果。那么为什么还要花钱去收集数据呢? 而随钻测量系统(MWD)就不一样了, 它可以直接给定向钻井司钻提供反馈信息, 以帮助他做出决

策。

八十年代,可以看到对于实时钻井数据、井场与公司办公室之间的通讯联系和钻井决策过程等概念有了重要转变。一些公司采用了新的步骤,并利用微波、硬线或卫星将数据送到中心站。在中心站,数据被实时地处理和显示,钻井工作人员将其绘制成不同趋向的曲线与图表。有些中心站是24小时全天工作的,而且还有报警能力。

尽管如此,实时数据的应用还是有限的。随着为制定计划和实时决策应用的增加,其应用结果还是令人振奋的,并将继续得到改进。这要取决于新型分析仪器的的发展,例如ESD和应用这些数据的专用程序。

用于钻井分析的系统需要大型计算机,而在钻机上要安装这些计算机是不太实际的。因此,为了具有实时分析能力,必须有以实时为基础的高质量钻井数据。另外,在钻井现场和分析中心还需要有一批经过训练的工作人员,以便正确地应用这些仪器。这就直接涉及到需要有可靠的通讯系统和有条理的整理分析仪器、实时数据、经特殊训练的工作人员和工作系统相连的通讯系统。图3所示为临界钻井装置(CDF)系统,还表示了数据是怎样从钻机送到中心站的以及在中心站是如何应用的过程。Veenkant^[51]和Foreman^[52]两人都列举了该系统的通讯和数据处理能力。这套系统已进行过操作,曾在落基山和白令海海上钻井中进行了应用。Zaremba和Millheim^[50]报导了在白令海的应用结果。

钻头技术和泥浆马达的成就

第二次世界大战之后,钻井的演变是围绕着滚柱和滚珠轴承的三牙轮钢质钻头或铣齿钻头进行的。钻头泥包和齿的磨损是钻井速度低和钻头失效的两个常见原因,轴承的磨损是导致钻头失效和有时掉牙轮的另外一个原因。在六十年代中期,在钻头上装上了喷嘴,加强了钻头表面的水力能量。优化水力学也被应用到了钻井技术上。另一个重要的突破则是发明了镶齿牙轮钻头。研磨性岩层很快便磨钝了普通钢齿钻头,并在钻头的寿命初期就使钻进速度下降。由于用碳化钨硬合金齿代替铣齿,并采用硬合金球齿保径,这种镶硬合金齿的牙轮钻头提高了钻头的寿命,并增加了在研磨性硬岩层中的总钻进速度。镶齿牙轮钻头还有一个重要的作用,即应用普通铣齿钻头钻井时的转速为每分钟120到350转,而镶齿牙轮钻头的转速减少到了每分钟40—70转。镶齿牙轮钻头在用较大钻压时,也使轴承受的应力增大,这样就导致了由于轴承失效而引起钻头过早失效。从而发展出了新的轴承技术,出现了密封轴承和密封轴颈轴承镶齿牙轮钻头。

金刚石钻头技术最初应用的有金刚石取心钻头和由高速涡轮钻具驱动的金钢石钻头。金钢石钻头由于没有轴承,特别适用于钻小直径的井眼,而用普通三牙轮钻头钻这种井眼由于轴承小,比大直径钻头又很容易失效,所以受到了限制。人们发现,应用特殊等级的立方晶系或球状工业金刚石,既可钻软地层又可钻硬地层。人们还发现,金钢石钻头可以设计成各种形状,如阶梯形钻头用于钻软地层,平底式钻头用于钻硬岩层。但是应用金钢石钻头亦会遇到许多问题,如加工费用太高、对不同地质结构需要特殊设计钻头、金钢石钻头的质量控制难、对如何使用金钢石钻头的争议、进行水力设计时需要反复试验,还有一个最大的问题就是不能在各种类型的岩层中钻井都具有良好的经济效果。虽然在五十年代和七十年代之间,金钢石钻头并没有对钻井产生太大的影响,但它却使人们发明了聚晶金钢石切削块和聚晶金钢石钻头(PDC)。

七十年代末和八十年代初,在钻井技术方面最大的突破之一可能就要算人造金刚石的商品化生产以及将它们固结到碳化钨基体上。然而也正如人们所预料的,在初期这种钻头的设计并不很成功。根据北海钻井情况,设计成阶梯形的翼状钻头与井下涡轮钻具配合使用在软地层中最先获得成功。平底式PDC钻头在国内开始展示出一些希望,这种钻头使用较高的钻压和常规转速。无论在北海还是在Tuscaloosa探区,这两种PDC钻头在均质白垩岩地层中的工作时间都很长。不久以前,人们发现这两种钻头在油基泥浆中工作情况更好。特别是溢流设计(Flooded Design),使得钻头面上的水力能量要求较低。

通过在现场进一步使用不同结构的PDC钻头,其结果表明:采用高的比水马力(每平方英寸8—12)和用水基泥浆的钻井效果将是用低水马力及油基泥浆钻井效果的两倍。与金刚石钻头相同,聚晶金刚石钻头的设计也仅是在钻均质厚层时才是经济实用的。如果地层很不均匀,要钻软的弹性地层和更硬的脆性地层时,PDC钻头的切削齿便会受到损坏。为此,人们又设计出新型PDC切削块,小三角型的切削齿。尽管有了新型PDC切削块的设计,但仍不能经济有效地在各种岩层中进行钻进。由此,又引起了PDC钻头设计两项重大改革。第一是在碳化钨垫块上增加人造金刚石层的厚度,以增加切削块的耐高温性而不易快速磨损;第二则是设计出各种不同形状和尺寸的切削块。目前尽管大多数PDC钻头仍主要应用于较厚的均质地层中,但对PDC钻头的利用已处于稳定阶段。

泥浆马达技术

1934年,苏联第一次使用了用井下泥浆马达(涡轮钻具)驱动钻头。1959年法国采用了涡轮钻井马达。后来在1960年这一技术被引入美国。除苏联以外,应用涡轮钻井获得的成果十分有限。在美国,用涡轮钻所钻的进尺数不到总进尺数的百分之一(1%),而在欧洲则要高得多,在苏联则要占总钻进数的50~60%。在当代,应用涡轮钻要遇到三个主要问题。第一个问题是在保证正确的钻压以便产生最佳钻井效果时,涡轮钻速如何控制。一些公司现在试图发展一种有足够精度和数据值的转速计,以便精确控制涡轮钻速。涡轮钻的第二个问题是如何设计有合适钻头和水力因素的涡轮钻系统。第三个问题是如何设计轴承组件和钻头,使涡轮钻比起转盘钻井和容积式马达(PDM)钻井更经济,更具有生命力。采用与涡轮钻相结合的PDC钻头,并用油基泥浆作为钻井液,使得在北海使用PDC钻头钻井获得了一些早期成功。然而,后来发现如果把PDC钻头设计为:在油基泥浆中,用较高的水马力,更高的钻压和采用转盘钻井,则涡轮钻井与使用PDC钻头的转盘钻井的经济效果是相同的。对涡轮钻的进一步分析结果表明,涡轮钻井没有传递预期的功率,实际上它是以低得多的钻头转速进行钻井的。关于这一点,可认为是在轴向载荷作用下,轴承要消耗比预想要多的功率。另外一种解释是,缺乏一种钻头速度监测计,以保证涡轮钻在最佳状态下工作。在这些问题没有解决之前,涡轮钻将继续在转盘钻井的操作和在经济上不能取得令人满意的效果时作为一种特殊工具使用。

1966年,美国第一次研制和应用了容积式马达(PDM),最初在定向钻井上使用的容积式马达的设计是一瓣转子和二瓣定子,后来容积式马达被用于一些直井钻井的特殊情况中。在直井段使用的早期容积式马达基本上局限于高转速低扭矩,所以它只适用于铣齿钻头,而对需要低转速、高钻压也就是高扭矩的镶齿钻头则不适用。这就提出要求发展多瓣高扭矩马达,这种马达的转子/定子可设计为3/4、5/6、9/10。在直井钻井上,应用高扭矩容积

式马达配合镶齿钻头钻井与用转盘法钻井相比,除非在特殊情况下,一般是不经济的。

定向容积式马达的研制可以说是泥浆马达技术最有意义的成就。定向容积式马达也可以由旋转钻柱带动而向前钻进。当保持钻柱不转时,马达定向钻井钻头偏斜的钻井机理是基于使钻头处于倾斜状态,如使用弯外壳动力钻具,一旦旋转钻柱,钻头的方向是沿着井眼的新轴线方向,因而使得钻头沿这个轴线方向钻进。当地层较软和适应于钻头倾斜的这种机理时,这种方法已被证明在定向钻井中是很成功的。

马达技术的另一项成就是研制了可与涡轮式PDC钻头、金刚石钻头相配合的高速容积式马达(每分钟700—900转)。高速PDM技术仍处于初期试验阶段。

泥浆和固控技术的成就

第二次世界大战以后,泥浆技术得到迅速发展,尤其表现在针对地质条件和深井、定向井,以及复杂井眼条件方面。一种不同于标准木质素磺酸盐胶水质基泥浆体系的是“红石灰泥浆”,它是把薄的栲树皮提取剂加到体系中。另外一些泥浆体系如石膏和油基泥浆在不同的地质区域也得到广泛应用。随着海上钻井的不断增长,海水凝胶聚合物体系也得到普遍应用。六十年代里,在一些坚硬岩石地区的钻井中,引入了低固相不分散泥浆体系(LSND)。这些以聚合物为基础的泥浆体系在七十年代最有效地促进了泥浆技术的发展。

低固相不分散(LSND)泥浆在一些地质区域(大多数为坚硬岩石)获得成功,而在较软地层的地区内,特别是有复杂页岩的地区则效果却不好。认识到页岩问题之后,使人们研制了氯化钾(KCl)泥浆体系,这种泥浆体系在稳定页岩问题上展示了美好的前景。因为在大多数钻机上都存在维护泥浆体系和配备适当固相控制系统的困难,所以限制了早期KCL体系的有效应用。

北海石油钻探所遇到的页岩稳定性问题,以及应用KCl体系效果又不好,便导致人们发明了反乳化油基泥浆体系。这种体系中乳化水相在8%和30%之间,它在水相和所钻的页岩之间起平衡作用^[55]。反乳化油基泥浆体系的研制不仅增加了井眼的稳定性,也改善了定向钻井的质量。油基泥浆、PDC钻头和涡轮钻的应用,比起用三牙轮钻头的普通转盘钻井在钻井速度方面有着显著的进步。在美国,将反乳化油基泥浆应用于令人烦恼的页岩中钻进,也获得了同样的成功。然而,因为成本和环境的原因,限制了反乳化油基泥浆体系在墨西哥湾和东西海岸的海上地区应用。

为了更好地控制固相,再次应用了混合盐氯化钾聚合物体系。由于它对环境因素的影响不太大,这种氯化钾聚合物体系在令人烦恼的页岩地区也显示了良好的井眼稳定性。氯化钾聚合物体系的成本是变化不等的,它可以比反乳化油基泥浆体系还便宜,也可昂贵得无法应用。应用氯化钾聚合物体系钻井的速度通常要低于用反乳化油基泥浆体系。

在软岩层特别是在渗透性砂岩地区,应用反乳化油基泥浆的另一个问题是,大量油浆会明显地漏入岩层内,从而使泥浆费用过高以致无法使用。这一问题以及环境问题推动了泥浆技术的另一进展,即发展了钾石灰 Morex^①(KLM)泥浆体系。采用Morex和氢氧化钾而不用氢氧化钠的KLM泥浆显示出良好的页岩稳定性,而且费用较低,并适用于各种环境^[56]。这种泥浆正越来越多地应用于软岩层地区钻井,并不断获得成功。

^① Morex是一种改性淀粉的商品代号。——译注

油基泥浆技术的另一进展是把磨细的赤铁矿粉作为加重剂以代替重晶石^[57]。之所以采用赤铁矿粉,是因为重晶石的质量控制问题以及发现细磨赤铁矿粉特别在油基泥浆中对泵的零部件磨损量很小。

由于固相控制系统的设计与操作不当,历史地造成了泥浆体系的不完善。当应用复杂的氯化钾聚合物泥浆时,这个问题就显得特别突出,因为这种泥浆非常需要固相控制,以维持聚合物的节省应用。在固相控制方面最有意义的突破要算振动筛的研制,它可采用更细的筛布,并仍可在最佳泵量下进行工作,筛布设计得可以防止堵塞。平底式和负倾角振动床则是另一个改革,这一改革使清除固相颗粒情况比起以前设计的振动筛要好得多,而且在多种情况下可省掉除砂器和除泥器。

八十年代的另一个创新是更多地采用了高速离心机。现在,许多固相控制系统是由三到四台振动筛和多台离心机所组成,并正在不用除泥器和除砂器。

现在正研制的另一个有前途的固控技术是动态细颗粒清除系统。原先是为清除泥浆池中固相而设计的,这种系统(经济性较好)有可能用以处理由振动筛、除砂器、除泥器和离心机排出的细砂,并将钻井用水回送到在用泥浆体系中。

密闭回路泥浆系统(常使用油基泥浆体系)常常在成本高和对环境很敏感的井上使用,该技术在过去五年里是随着固相控制技术的发展而产生的。

随钻测量(MWD)和其它钻井技术的成就

七十年代里,随钻测量装置是随着对定向钻井控制要求的提高而产生的。在很短的时间内已表明,随钻测量仪在传送井斜角、方位角和工具面角方面对降低定向钻井或井斜控制井的成本是经济有效的。随钻测量还可用于测量各种钻井参数和地层特性。这种为钻井服务的随钻测量系统并没有显示出经济效益,而用于地层评价的随钻测量系统却显示出了很好的经济效益。大多数随钻测量仪在钻遇坚硬岩层时,由于钻井时井下振动易受损坏,传感器和电子元件的进一步改进有可能解决这一问题。

在过去的五年里,另一个重要成就是增加使用了顶部驱动系统,用它来旋转钻柱和钻头。五年前,现场上很少见用这种设备,而今天已有一百多台了。今后,大多数大型钻机和一些中型钻机都将采用顶部驱动系统。

其它成就还有管子自动上卸扣设备和可控硅钻机的广泛使用;聚晶金刚石钻头的发展,使之有可能设计出用于取心钻头和井眼扩大器的新型PDC切削块;在井下测试设备和井眼邻近测井方面还有很多其它的进展。在1981年和1986年间,可以看到钻井技术的发展是突飞猛进的。

本文下一部分将讨论今后钻井技术发展方向问题的一些见解。

今后的钻井技术与操作

钻井技术发展的历史已表明,钻井技术的发展是与勘探的需要紧密相连的,也就是与钻井深度、地层和环境的不同以及油田开发的情况有关。今后仍将是这样,钻井将取决于勘探和开发的需要。没有人可以设想出将来会进行多少勘探?什么地区是勘探的热门地区?什么时间能源的供应下降到不能满足需要?什么时间石油和天然气的价格要上涨,涨到多少价

钱？有多少公司将继续从事勘探？还会有多少家钻井承包公司和钻井服务公司？钻井研究能达到什么水平？另外一些不可预测的事件，如战争、石油禁运、石油和天然气价格的暴跌都会比其它任何因素都更猛烈和更迅速地影响到未来的钻井。

由于以上各种问题以及可能发生的事件，钻井前景将如何？本文的余下篇幅预示和引证了在未来的五到十年里钻井技术一些可能的发展方向。这些发展方向可大体分成两个主要方面：（1）钻井系统技术；（2）钻井设备系统和新产品。

钻 井 系 统 技 术

显然，将钻井作业当作一完整的钻井系统可以说是钻井技术的最大成就。图4提出了这种未来的钻井系统的模型。这个系统由五个主要部分组成：（1）分析中心；（2）人员定向训练系统；（3）通讯设备；（4）实时资料；（5）系统的方法学（或动力学）。在今后的五到十年里，大多数钻井工作可能由位于世界各战略地区的钻井中心来掌握。

这些钻井中心将由作业公司、服务公司、钻井承包商或者由专门从事这方面服务的咨询公司来经营。

分析这一系统的各组成部分可看出，未来的系统将会由特殊的技术、工具和人员来组成。

分析中心

放置计算机硬件和软件的分析中心是钻井系统的中枢。软件应包括数据库、钻井模拟器、各种钻井算法、人工智能（AI）和各种输入输出功能。硬件应包括：带有多道并行处理能力的专用高速工程结构计算机、阵列处理机，以及具有交互功能并配有彩色图形显示器的人工智能硬件。中心的全部硬件可与其它中心以及更大型计算机联网使用。

工程模拟器将用于钻井的详细计划、钻机的评价和固相控制系统，以及钻井系统问题的实时分析。这种模拟器还可分析与钻井和完井有关的其它作业，如在钻井船和半潜式平台上的海上钻井、注水泥、油井测试、完井和模拟试验等。另外一些专用的计算机分析程序将用于进行钻井和完井系统的特殊过程的独立分析，如套管柱设计，录井分析和模拟设计。随着计算机硬件和软件程序的发展，总有一天工程模拟器会发明一种前所未有的钻井、注水泥和完井的方法。其潜力在于钻井和完井工程师利用工程模拟器则成为有创造力的。这将对钻井作业和设备的设计是有影响的。人工智能技术将被用来增加和加强各作业领域的实时决策能力，如泥浆鉴别、打捞，以及操作井下扩大器、泥浆马达、油井测试、水下设备等其它一些特殊作业。

人员定向训练系统

将来会出现与现在大不相同的钻井人员，他不仅具有独特的钻井技术而且是高度系统定向的。之所以会如此，是因为未来的钻井系统可以让新从事钻井工作的人员学习分析定向工程模拟器、人工智能程序，以及参与钻井中心和现场的钻井工作。这样将给钻井人员以专门的钻井技术，并成为一个系统定向的钻井人员。

这种系统通过培训训练出系统定向的钻井人员，这样就有可能在世界各地组建钻井系统中心，并在这个系统中可以定向地迅速培训钻井人员。这样，将新的钻井技术应用于油田的时间将大大缩短。

通讯

通讯是另一项急速发展的技术，它将应用于今后的钻井系统工作。卫星、微波和后来发

展起来的光导纤维技术应用的不断增加,会使得通讯技术越来越成为有效。将来,除了一些花钱不多的井眼外,都会有某种与钻井系统中心相通的实时通讯设备(电话、传真、计算机终端和数据)。对操作费用较高的井眼来说,要有影像、音响和数据的全功能通讯能力。实时钻井记录、油井测试和其它作业也将通过系统中心来进行。

将来,不仅在通讯设备的硬件上会有很大的改进,而且人们在进行钻井操作时所采用的传递信息与决策的方法也会发生很大变化。在操作中心与钻机间的实时电视传递以及操作过程的实时观察将成为标准的操作方法。

实时数据

将来,钻井操作情况会由安装在钻机系统上的传感器把各种数据实时地传送出来。并可根据井眼特性和总经济效益还可获取其它一些资料,象地质情况的说明、随钻测量数据、钻柱数据和特殊工具的工作情况。今后处理数据的方法与今天的主要区别在于:未来的系统要用人工智能程序来进行数据处理。人工智能程序要控制在数据库中所有数据的存贮、进行数据质量校核、检查遗漏数据、将数据格式化最便于应用的形式等。这种人工智能系统控制装置也可用于寻找关键数据以及作为中心室的报警系统。

未来的数据记录系统将包括,从可传递任何数据的大型数据/通讯模块,到小型便宜的无人控制的数据采集/传送单元。钻机要有标准的传感器,它将作为钻机的一部分,并插入到这些数据/通讯模块中去。与钻机一样,泥浆系统也要完全配备上仪表。

系统方法学(或动力学)

任何一个钻井中心系统的工作效力是由系统的构成、公司管理系统的水平、甚至中心所处的地理位置而决定的。一些公司可能有一个大型工作中心,而另一些公司则可能有许多相互独立或相关的子中心。可以断定,方法学是一种完全的系统,是与整个操作中占突出地位的通讯和技术相适应的。归根到底,单独方法学的成功将会确保钻井计算法成功,这将导致新的变化,它将创立出可以控制未来操作过程的公司操作中心。

钻井设备系统和新产品

从历史上看,钻井设备和产品是由泥浆、钻头、马达和整个生产有关的服务和设备公司分别发展起来的。将来,设备则要依据不同钻井系统的要求而生产,这种现象已经萌发。另外,与产品和服务发展有关的公司将减少纵向发展而增加横向发展。现在已经有一些钻井承包公司开始提供定向钻井和随钻测量服务、数据录井和其它与钻井相关的服务。另外一些钻井辅助公司则从事出售钻头、泥浆马达、提供随钻测量和定向钻井服务、销售泥浆、出售和出租其它钻井设备等。承包商和服务业的方向已转向提供成套服务和成套设备。

将来的钻机会更加自动化和仪表化;顶部驱动系统将是旋转钻杆的标准模式;泵和循环系统的地面压力的额定值要增大;一种新型的、适用于高速聚晶金刚石钻头和泥浆马达的密闭回路轻型钻机将被设计出来,这种高度灵活性钻机有可能将使石油的勘探开发费用大大地降低,并能打10,000~12,000英尺或更深的井(图5),新钻机的另一个特点是,它由计算机来控制防喷器和节流管汇。

今后,要采用的另一个重要系统是,研制在井下和地面有特殊先进系统的高速涡轮钻具和聚晶金刚石钻头。这种新型PDC钻头采用的切削块结构,可以在不同硬度和类型的岩层中钻进。这一系统的关键是采用高转速和低钻压,并需要有特殊的泥浆,以提高聚晶金刚石钻头

的使用性能和保持井眼的稳定性。

定向钻井技术会越来越地应用到那些特殊的原地工程和改善老油田出油的水平井上；大位移定向钻井将继续增加；配备顶部驱动系统、随钻测量、定向/钻进容积式马达（译注：原文为PMS）配PDC钻头这样一种钻井系统将用于钻这类井；其它的定向钻井除单井外还有丛式钻井，以便更好地采油采气。

将来，泥浆池会被取消，将由密闭回路泥浆和固相控制系统取代。一些钻井操作将采用全泥浆处理设备，并使用多种泥浆体系钻井。新型固相控制系统将围绕高性能振动筛、离心机和化学处理舱进行设计，它可以把泥浆中的全部微小颗粒除去，并将除掉固态的水返回到工作泥浆中去。

将来人们应用的泥浆种类要减少。对于一个给定的钻井系统，可以设计出6—8种泥浆体系与其相适应。钻软岩层趋向于应用KLM型泥浆，而对于聚晶金刚钻头和马达可采用油基泥浆。新设计的泥浆将具有更好的井眼稳定性和减少粒子降解。这些新型泥浆会具有更好的环境适应性。

将来，由于钻井和地层评价的需要，随钻测量会继续保持其发展势头。随着井下测量的扭矩、钻压、地层压力、钻头速度、温度和其它参数的应用，随钻测量系统将安装在钻井系统中。随着新传感器的发展，用于地层评价的随钻测量系统将稳步增加。今后，随钻测量系统在完全不用电缆测井的情况下作为特殊的开发钻井程序而被应用。当然，这要取决于其经济性和仪器的发展情况。

在产品和设备方面，肯定还会有许多其它预测不到的重大改进。根据作者的观点，所要进行的大多数突破，将一定是今后钻井系统发展的必然结果。

参 考 文 献

1. McDonald, G. E., and Lubinski, Arthur, "Straight Hole Drilling Crooked Hole Country", Oil and Gas Journal, 5/3/51.
2. Lubinski, Arthur, "Factors Affecting the Angle of Inclination and Dog-Legging in Rotary Boreholes", Oil and Gas Journal, 2/23/53.
3. Woods, H. B., "Effect of Collar Size in Crooked Holes", Mid-Cont., Spring Meeting, Tulsa, 3/55.
4. Woods, H. B., and Lubinski, Arthur, "Problems in Hole Deviation", Oil and Gas Journal, 5/31/54.
5. Woods, H. B., and Lubinski, Arthur, "How to Determine Best Hole and Drill Collar Size", Oil and Gas Journal, 6/7/54.
6. Lubinski, Arthur, "Maximum Permissible Dog Legs in Rotary Bore Holes", AIME-SPE Tech. Publication No. 1543, 1543-F, Denver Meeting, 10/25/60.
7. Walker, H. B., "Some Technical and Economic Aspects of Stabilizer Placement", Journal of Petroleum Technology, June 1973, pages 663-672.
8. Walker, H. B., "Downhole Assembly Design Increase ROP Cuts Cost", World Oil, June 1977, pages 59-65.
9. Fischer, J. F., "Analysis of Drill Strings in Curved Boreholes", SPE Preprint No. 5071, Presented Oct. 6-9, 1974, in Houston.
10. Bradley, W. B., "Factors Affecting the Control of Borehole Angle in Straight and Directional Wells", SPE Preprint No. 5070, Presented Oct. 6-9, 1974, in Houston.
11. Bradley, W. B., and Murphy, C. E., "Advantages of Heavy Metal Collars in Directional Drilling and Deviation Control", SPE Preprint No. 5545, Presented Sept. 28 - Oct. 1, 1975, in Dallas.
12. Estes, V. C., and Randall, B. V., "Practical Application of Optimized Drilling Operations", Presented at Drilling Technology Conference of IADC, March 16-18, 1977.
13. Galle, E. M., and Woods, H. B., "Variable Weight and Rotary Speed for Lowest Drilling Cost", Presented at Annual Meeting of AADDC, New Orleans, LA, Sept. 27, 1960.
14. Lumus, J. R., "Optimized Drilling in the 70's - Analysis of Mud Hydraulics Interaction", Petr. Engr. Reprinted Series.
15. Wardlaw, H. W. R., "Optimization of Rotary Drilling Parameters", Phd. Dissertation, University of Texas, August 1971.
16. Outmans, M. D., "Mechanics of Static and Dynamic Filtration in the Borehole", S.P.E.J., Sept. 1963, pages 236-244.
17. Outmans, M. D., "The Effect of Some Drilling Variables On the Instantaneous Rate of Penetration Rate", SPE Petroleum Transactions Reprint Series No. 6.
18. Warren, T. M., "Drilling Model for Soft Formation Bit", SPE Preprint No. 8438, Presented Sept. 23-26, 1979, in Las Vegas.
19. Millheim, K. K., Jordan, S., and Ritter, C., "Bottom Hole Assembly Analysis Utilizing the Finite-Element Method", SPE Journal, February 1978, pages 265-274.
20. Millheim, K. K., "The Effect of Hole Curvature on the Trajectory of a Borehole", SPE Preprint No. 6779, Presented Oct. 9-12, 1977.
21. Millheim, K. K., "Operators Have Much to Learn About Directional Drilling", Oil and Gas Journal, Nov. 6, 1978.
22. Millheim, K. K., "Proper Application of Directional Tools Key to Success", Oil and Gas Journal, November 20, 1978.
23. Millheim, K. K., "Here Are the Basics of Bottom-Hole Assembly Mechanics", Oil and Gas Journal, December 4, 1978.
24. Millheim, K. K., "Single-Stabilizer Behavior Described", Oil and Gas Journal, December 18, 1978.
25. Millheim, K. K., "Behavior of Multiple Stabilizer Bottom-Hole Assemblies", Oil and Gas Journal, January 1, 1979.
26. Millheim, K. K., "Controlling Hole Direction in Very Soft Formations", Oil and Gas Journal, January 15, 1979.
27. Millheim, K. K., "Controlling Techniques in Medium-Soft and Medium Formations", Oil and Gas Journal, January 29, 1979.
28. Millheim, K. K., "Hard-Formation Directional Drilling Calls for Special Care", Oil and Gas Journal, February 12, 1979.
29. Millheim, K. K., Gubler, F. H., Zarembo, H. B., "Evaluating and Planning Directional Wells Utilizing Post Analysis Techniques and a Three Dimensional Bottom Hole Assembly Program", SPE Preprint No. 8339, Presented Sept. 23-26, 1979, in Las Vegas.
30. Millheim, K. K., and Apostol, M. C., "The Effect of Bottom Hole Assembly Dynamics on the Trajectory of the Bit", JPT, Dec. 1981, pages 2323-2337.
31. Hoberock, L. H., "A Study of Vibratory Screening of Drilling Fluids", JPT, Nov. 1980.
32. Simpson, M. A., "Calculator Program Optimizes Bit, Weight, Rotary Speed, Reducing Drilling Cost", Oil and Gas Journal, April 23, 1984, pages 71-78.
33. Millheim, K. K., "The Role of the Simulator in Drilling Operations", SPE Preprint No. 11170, Presented Sept. 26-29, 1982, in New Orleans.
34. Millheim, K. K., and Huggins, R. L., "The Engineering Simulator for Drilling (Part 1)", SPE Preprint No. 12075, Presented Oct. 5-8, 1983, in San Francisco.
35. Millheim, K. K., and Huggins, R. L., "The Engineering Simulator for Drilling (Part 2)", SPE Preprint No. 12209, Presented Oct. 5-8, 1983, in San Francisco.

36. Millheim, K. K., and Tulga, S. S., "Simulation of the Wellbore Hydraulics While Drilling, Including the Effects of Fluid Influxes and Losses and Pipe Washouts", SPE Preprint No. 11057, Presented Sept. 26-29, 1982, in New Orleans.
37. Brett, J. F., and Summers, M. A., "Planning and Practical Problem Solving Using an Engineering Simulator for Drilling", SPE Preprint No. 13206, Presented Sept. 16-19, 1984, in Houston.
38. Brett, J. F., and Yoder, D. L., "Use of the Engineering Simulator for Drilling for Evaluating and Designing Drilling Rigs", IADC/SPE Preprint No. 13480, Presented March 6-8, 1985, in New Orleans.
39. Onyia, E. C., "Geology Drilling Log (GDL), A Computer Database System for Drilling Simulation", SPE Preprint No. 13113, Presented Sept. 16-19, 1984, in Houston.
40. Reynolds, W. R., "Economic Analysis of Drilling Plans and Contractors by Using a Drilling Systems Approach", IADC/SPE, Preprint No. 13466, Presented March 6-8, 1985, in New Orleans.
41. Skidmore, D. B., and Anderson, C. T., "Solids Control Design and Analysis Using an Engineering Simulator for Drilling", IADC/SPE, Preprint No. 13434, Presented March 6-8, 1985, in New Orleans.
42. Warren, T. M., "Penetration Rate Performance of Roller Cone Bits", SPE Preprint No. 13259, Presented Sept. 16-19, 1984, in Houston.
43. Warren, T. M., "Factor Affecting Torque for a Tricone Bit", SPE Preprint No. 11994, Presented Oct. 5-8, 1983, in San Francisco.
44. Thomas, D. C., and Lea, Jr., J. F., "Blowouts - A Computer Simulation Study", IADC/SPE, Preprint No. 11375, Presented Feb. 20-23, 1983, in San Francisco.
45. Thomas, D. C., and Lea, Jr., J. F., and Turek, E. A., "Gas Solubility in Oil-Based Drilling Fluids: Effects on Kick Detection", SPE Preprint No. 11115, Presented Sept. 26-29, 1982, in New Orleans.
46. Dunayersky, V. A., and Judzis, A., "Conservative and Nonconservative Buckling of Drillpipe", SPE Preprint No. 11991, Presented Oct. 5-8, 1983, in San Francisco.
47. Dawson, R., and Paslay, P. R., "Drill Pipe Buckling in Inclined Holes", SPE Preprint No. 11167, Presented Sept. 26-29, 1982, in New Orleans.
48. Dawson, R., Johnacsik, C. H., Friesen, D. B., "Torque and Drag in Directional Wells - Prediction and Measurement", JPT, June 1984, pages 987-992.
49. Bobo, W. R., and Isaacs, W. R., "Design and Impact of a Real Time Drilling Data Center", SPE Preprint No. 13109, Presented Sept. 16-19, 1984, in Houston.
50. Millheim, K. K., and Zaremba, H. B., "Case History: Designing and Implementing the Operations for Drilling in the Navarin Basin, Alaskan Bering Sea", IADC/SPE Preprint No. 14732, Presented Feb. 10-12, 1986, in Dallas.
51. Veenkant, R., and Vitali, V. D., "Satellite Communications Changes Drilling Operations and Procedures", SPE Preprint No. 14072, Presented March 17-20, 1986, in Beijing, China.
52. Foreman, R. D., "The Drilling Command and Control System", SPE Preprint No. 14387, Presented Sept. 22-25, 1985, in Las Vegas.
53. Black, A. D., Walker, G. A., Tibbits, and Soundstrom, J. L., "PDC Bit Performance for Rotary, Mud Motor, and Turbine Drilling Applications", SPE Preprint No. 13258, Presented Sept. 16-19, 1984, in Houston.
54. Moore, B. W., Lynch, B. W., and Talbot, K. J., "A Case History of Polycrystalline Diamond Compact Bit Performance in the Tuscaloosa Trend", SPE Preprint No. 11944, Presented Oct. 5-8, 1983, in San Francisco.
55. Golis, S. W., "Analysis of the Invert Emulsion Oil Mud Polycrystalline Diamond Bit System in Shallow Permeable Formations", IADC/SPE Preprint No. 11391, Presented Feb. 20-23, 1983, in New Orleans.
56. Zwijsling, D. H., "Analysis of Temperature Distribution and Performance of Polycrystalline Diamond Compact Bits Under Field Drilling Conditions", SPE Preprint No. 13260, Presented Sept. 16-19, 1984, in Houston.
57. Boyd, P. A., Whitfill, D. L. and Allamon, J. P., "New Base Oil Used in Low-Toxicity Oil Muds", SPE Preprint No. 12119, Presented Oct. 5-8, 1983, in San Francisco.
58. Walker, T. O., Dearing, H. L., Simpson, J. P., "The Role of Potassium in Lime Muds", SPE Preprint No. 13161, Presented Sept. 16-19, 1984, in Houston.
59. Walker, C. G., "Alternate Weighting Material", SPE Preprint No. 11116, Presented Sept. 26-29, 1982, in New Orleans.