

钻探技术新进展

姚爱国, 彭金龙

(中国地质大学工程学院, 武汉 430074)

[摘要]介绍了国外近几年钻探技术的某些新进展,主要包括自动控向钻进系统,电动柔杆钻进系统,全球定位系统在钻探中的应用以及模拟钻进系统在钻探教育中的应用。

[关键词]钻探技术 自动控向钻进 全球定位系统 模拟钻进系统

[中图分类号]P634 [文献标识码]A [文章编号]10495-5331(2000)02-0001-04

20 世纪末是钻探技术快速发展的时期。世界各国普遍重视钻探技术的发展与应用,美国曾制定了宏伟的钻探掘进计划(NADET 计划),认为钻探和掘进在若干应用领域中,具有战略性和社会重要性,是两项关键技术,希望通过发展钻探与掘进行业带动其他相关行业^[1]。中国制定的“上天、入地、下海、登极”的科学发展计划也使得钻探处于一个非常重要的位置^[2]。

众所周知,现在是信息时代,计算机及通信技术的高度发展给社会带来了革命性的变革。同样,处于这个时期的钻探技术也在越来越多的吸收这些高新技术。本文介绍的国外近几年出现的新的钻探技术可以看出钻探技术的发展方向。钻进向自动化、科学化发展。

1 自动控向钻进系统

由于地层以及机械的原因,钻孔弯曲是不可避免的。为使钻孔轨迹沿着预先设计的方向前进,各种防斜纠斜技术应运而生。在早期纠斜钻进或者钻定向井中采用偏心楔等造斜器具,后来发展到用定向马达或涡轮钻具进行定向钻进或造斜钻进。定向泥浆马达虽然有许多优点(这里从略),但随着钻井行业的发展,它已不能很好的满足现代钻进技术的

要求^[3]。它的主要不足表现在以下几点:钻进效率低,机械钻速慢,难以与 PDC 钻头配合取得高钻速。从而使定向钻进成本高居不下。为解决这些问题,发展了回转导向钻进系统^[4]。新型的回转导向系统大都采用自动化定向方式。在钻进过程中给钻具以适当的横向力,使钻进的方向逐渐改变。这样,可以减小钻孔的“够腿强度”,对钻深井及大位移井特别有利^[5]。这类钻具在井下进行导向,信息处理不受地面的影响,所以又称作“闭路循环系统”(Closed loop system)^[6]。

一般讲自动控向钻进或回转闭路循环钻进系统(Directional rotary drilling system or Closed-loop steerable drilling system)主要包括 4 个部分^[7]:测量系统、井下信号双向传输系统、井下信号采集与处理系统、钻具侧向支撑系统。由测量系统在井下测出钻孔的顶角与方位角,根据这些信息在地表由操作人员或者由井下钻具自动作出是否孔斜的判断,并根据情况发出是否增大横向支撑力的指令,以便侧向支撑机构给出一个适当的横向力推动钻具朝要求的方向钻进^[8]。有人形象地说,这等于给钻具安上了一双眼睛,一双手。让钻具能自动按照预先设计的轨迹钻进。图 1 是钻具结构示意图,图 2 描述了钻具纠斜的原理。这是一种全新概念的设计,与原来的定



图 1 自动控向钻具结构示意图

向钻具有根本的不同。目前国外研制这种新钻具,如:

公司的旋转闭环钻井系统 RCLS;

1) 美国的贝克休斯(Baker Hughes INTEQ)工具

2) 英国的 CAMCO 钻井公司的旋转导向钻井系

统 SRD;

3) Cambridge 钻井自动化中心研制的导向钻井系统(Appleton 系统)。

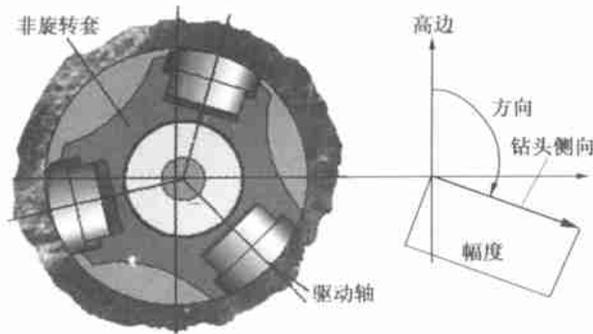


图2 自动控向钻具导向原理

其中贝克休斯公司研究的最早,并且产品即将进入商业化阶段。1985年该公司即开始指定研究计划,90年代初,第一种能够自动控制钻孔轨迹的钻具问世,即用于德国大陆超深井钻进项目(KIB)中的垂直钻进系统^[9]。这种垂直钻进系统经过4次改进,使用200多回次,使得KIB项目能够在结晶岩中钻进9000 m^[10,11]。1993年贝克休斯公司与意大利的AGIP公司合作开始研制能沿任意给定轨迹钻进的回转闭环钻进系统。研制的首要目的是能够在超深水平井进行导向钻进^[12,13]。研制分为3个阶段:(1)对各部件,特别是侧向支撑部件的液压系统进行大量的室内试验;(2)在一口井内进行试验以评价整个系统的导向能力和各部件的可靠性;(3)进行商业性钻进试验,检验现场使用性能及其使用寿命。整套系统的首次试验在苏格兰Montrose地区的TAY培训中心进行^[14]。在保证轨迹的前提下,要求在试验中验证下述问题:(1)原理证实;(2)加有泥浆马达条件下旋转钻井和工具的工作情况;(3)导向钻进模式;(4)有、无方位漂移的稳斜钻进模式;(5)双向数据传输;(6)造斜率的可预测能力。在两次单独的试验,验证了这种设计概念是正确的,钻具能在造斜和稳斜段表现出较好的控向能力,并针对存在的问题做了进一步的改进。1998年4月开始样机现场实验。试验由Statoil公司和AGIPs.p.A公司代表AWP协会计划、监测执行。试验场地为:位于挪威Stavanger的Rogaland研究中心的Ullrigg基地、苏格兰Montrose Tay培训中心(即现在的国际先进钻井培训中心)以及意大利CortemaggioreAgip试验场地。试验了7套旋转导向系统,有4套试验成功了,表明该

旋转闭环系统确有导向能力,但是有3套系统完全失败了^[15,16]。1998年8月在位于路易斯安那州的East Lake Palourde油田P.R.Norman No. B-4定向探井中进行了命中多个靶点的试验,试验取得了成功^[17]。多次试验结果表明应用这种旋转导向系统,钻进效率高,降低了钻进成本,减少了钻孔弯曲强度,降低了井壁对钻杆摩擦力。原来无法钻进的超深孔及大水平位移井,用这种钻具可以顺利完成。因而有人认为,这将是21世纪重点发展、推广使用的钻具^[18]。

2 电动柔杆钻进系统

柔杆钻进,(COILED-TUBING有人翻译为“连续油管钻井”,按字面翻译为“盘管钻进”较好)采用一条很长的柔性钻杆直接下到井底,一般由一根或几根组成^[19]。在起下钻时,可以连续地将柔性钻杆缠绕在一个大直径的滚筒上,中间不需要拆装钻杆,实现了连续起下钻具。采用柔杆钻进可以大量减少起下钻的辅助时间。另外与常规钻机相比,柔杆钻机结构紧凑,重量轻,被认为是一种很有发展前景的钻进系统。柔杆钻进在西方国家已有十多年的历史,使用范围逐年增加。起初多用于老井的修复工作,现在可以从地表钻进,为老井钻侧孔。

最近研制成功了井下电动钻具,使柔杆钻进发展到一个新阶段。电动柔杆钻进系统第一阶段的研究已经结束。第一阶段的目标是验证电动柔杆钻进的可行性。试验中已创下连续钻进190 h无事故的记录。

概括起来这种钻进系统有如下优点:

- (1) 钻头的速度不受流量的影响;
- (2) 通过高质量的遥测途径数据可立即反馈;
- (3) 钻具稳定性增加;
- (4) 可用于欠平衡钻进;
- (5) 循环液压力可与地层压力动态平衡。

传统的柔杆钻进需要液压能驱动孔底钻具中的正排量马达,从而带动钻具回转。较高的液体压力容易使柔性钻杆疲劳,以致破坏。这需要使用柔性钻杆完整性监测系统在整个钻进过程中监测钻杆,才能达到安全、优化钻进的目的^[20]。电动柔杆钻机采用了一个常规的电动潜水泵马达代替普通柔杆钻进中用的正排量泵,从而减小了钻杆中的压力,最终可以减缓钻杆的疲劳,延长钻杆的寿命。这个潜水电泵马达由连接在柔性钻杆终端的计算机控制。计算机与变速驱动器连接,计算机控制改变驱动器的

电流,即可改变孔底电动马达的转速。马达另一端与行星齿轮箱连接,利用行星齿轮大副减速的特性,可以在较小的空间获得合适的转速。

为了保险与节约,第一阶段实验采用了工厂生产的 15 马力的潜水马达。当然它的某些性能不能很好的满足柔杆钻进的需要。这个项目的第二阶段要研制一个功率较高且不带齿轮箱的马达,还将用电缆把孔底钻具与地表传感器连接起来以测试钻压和钻速。第三阶段要把孔底定向传感器与控向能力结合起来。最终研制出一个闭环电动柔杆钻进系统。

3 全球定位系统在钻进中的应用

全球定位系统(GPS)开始于本世纪 60 年代,美国空军和海军研制了一种以空间为基准的军事定位系统,1967 年开始民用。全球定位系统包含 3 个主要部分,空间部分、控制部分与用户部分。在空间要有足够的卫星,使得接受器能在世界任何地点任何时间观察到 4 颗卫星。一般把 24 颗卫星安排在 6 个平面,每个平面安排 4 颗卫星。卫星与赤道的倾角为 55° ,高度为 20,200 km。GPS 的定位精度可分为五级,从 100 m 到 1 mm。钻探上一般用微分 GPS,它的精度为 $5\text{ m}^{[21]}$ 。美国、澳大利亚、新西兰等国家把 GPS 定位系统用于石油与天然气行业。在油气井施工、地震测量、输油管道铺设以及钻机移位等方面都用到它。美国和俄罗斯都有自己的全球定位系统;美国交通部提供民用 GPS 服务;加拿大在矿业钻进中采用了 GPS 定位系统,据报道由于准确地进行钻机定位,钻孔布置采用了计算机优化,使得爆破效率增加。钻机上安装 GPS 可以去掉传统的测量设备,从而节约钻进成本。由于存在这些优点,加拿大已有 80% 的爆破钻孔采用这类钻进系统钻进,并已生产出多种装有 GPS 系统的钻机。

采石场使用这种 GPS 钻机大致有以下优点:

- 1) 可以减少现场测量工作;
- 2) 为优化设计钻孔布置提供机会;
- 3) 可以更精确更迅速地制定钻进计划;
- 4) 可以把钻孔数据直接传送到爆破车上;
- 5) 由于坑底定位精确,可以减少总钻进进尺;
- 6) 可以改善钻进、爆破、工程和监理人员之间的通讯。

4 模拟钻进系统在钻探教育中的应用

在探矿工程类、采矿类、石油工程类、水资源类以及土木工程类专业的教学计划中,大多都有钻进

这门课。但是钻进技术是一门实践性很强的课程,课堂教学往往不能满足培养学生的需要。各类实习要占大量的时间,少学时的钻探课程很难做到这一点。另外在实习教学过程中,由于各种因素的限制,学生不一定能够接触到较先进的钻探技术。为了弥补这些不足,也由于计算机技术的高速发展,计算机辅助教学特别是多媒体计算机辅助教学也开始走进钻探课教学领域。

贝克西斯公司结合他们的自动控向钻进系统,开发了一个动态模拟钻进系统,这个模拟系统采用解析和数值的方法把孔底钻具的运动用三维图形的方式显示出来^[22]。这样一方面可以训练钻工学习使用自动控向钻进系统,另一方面作为自动钻进系统的一部分,可以进行可视化钻进。该模拟系统可以模拟钻头的跳动、钻头的旋转、钻具扭振以及卡钻等运动。该系统所用数据来自于与随钻系统合成在一起的孔下动态钻进工具,所有地表控制参数和孔内主要参数及地表振动等数据都是在实际钻进试验中记录下来的。这些数据经过过去除异常数据处理后,即可在模拟钻进系统界面中回放。用户界面由按钮与数字组成。所有功能可由鼠标或键盘激活菜单完成。

加利福尼亚大学洛杉矶分校环境工程系的 Tomas Harmon 教授从国家科学基金会申请到资金研制模拟钻进系统。他的模拟钻进系统与城建模拟系统联系在一起,可以从他的工程勘察数据库中读取数据。而那些数据是以 Hughes 机场勘察工地为原型给出的。在这个模拟系统中,钻进小组需要选孔位,把选取的土样送到实验室进行分析,分包任务给其他人员。学生扮演成不同的角色,有的为项目经理,有的为地质工作者,还有的为现场工程师。每人承包的金额是一定的,包括他们的工资。系统中还有一些模拟事故,包括损坏钻头以及某个分包商误了工期等。这个教学软件还可以教会学生怎么计划,怎么考虑时间及费用等问题。该软件预计今年春季完成。

本文作者也正在研制类似的钻进模拟系统。中国地质大学(武汉)曾经研制出“钻进微机监测系统”,该系统可以实时采集钻压、扭矩、钻速、转速、泵量、泵压等 9 个钻进参数。该系统的现场数据库可以记录下岩层、钻头、钻进费用等相关数据。所有这些数据结合起来即可再现整个钻进过程。在模拟系统中,学生可以看到 9 个钻进参数在屏幕上动态显示出来,可以更好的理解钻头与钻进地层的适应性

以及优化钻进计划等内容。但与上述两个系统相比,无论从包含的内容、所获得的投资、以及上级部门的重视程度,还远远不及前者。

5 结论

20 世纪末世界钻探技术有较大的发展,发展趋势是更多地吸收高新技术,使钻探走向科学化。自动控向钻进技术将为 21 世纪的定向钻进带来革命性的变化,能使钻进基本沿着人们预先设计的轨迹进行,将能够解决过去难以解决的深井垂直钻进,超深水平井钻进等问题。电动柔杆钻进作为一种新的钻进方法将逐步发展。全球定位系统应用于钻探,能够提高钻机定位精度,由此会带来许多潜在的效益,如提高爆破效率等。计算机辅助钻探教学可以使学生在课堂上获得工程实践经验,因而会受到更广泛的关注。

[参考文献]

- [1] 刘广志. 美国未来先进钻探与掘进技术工艺学若干新决策[J]. 探矿工程译丛, 1996, 2:1~7.
- [2] 刘广志. 科学钻探 - 地球科学前沿、入地‘望远镜’[J]. 探矿工程译丛, 1998, 4:45~53.
- [3] 胡宝青. 旋转导向钻井系统[J]. 世界石油工业, 1998, 6:49~54.
- [4] 刘广志译. 德国 KTB 主孔垂直钻进系统与钻探工艺[J]. 探矿工程译丛, 1996 年, 3:1~7, 44.
- [5] 李松林, 王志军. 定向钻井工具的发展方向 - - 自动旋转导向钻井工具[J]. 世界石油工业, 1999, 6:28~31.
- [6] Nelson Emery et al. Closed - loop Steerable Drilling System Tackles Multiple Targets[J]. Oil & Gas Journal, 1999, 2:46~51.
- [7] Tommy Warren. Technology gains momentum[J]. Oil & Gas, 1998, 12:101~105.
- [8] 狄勤丰, 等. 旋转导向工具设计及其旋转导向机理研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998, 8:299~303.
- [9] 刘广志译. 德国 KTB 主孔垂直钻进系统与钻探工艺[J]. 探矿工程译丛, 1996, 3:1~7, 44.
- [10] 刘华先译. 德国 KTB 超深钻技术[J]. 探矿工程译丛, 1996, 1:49~53.
- [11] 胡宝青编译. 改进型旋转闭环钻井系统. 世界石油工业, 1999, 6(2), 31~33, 6(3):29~31.
- [12] 樊顺利, 等译. 移旋转导向系统提高 Statfjord 油田钻井效率和水平位移[J]. 国外石油机械, 1998, 10:1~8.
- [13] Sandro Pbli et al. Advanced tools for advanced wells: rotary closed - loop drilling system - results of prototype field testing[J]. SPE Drilling & Completion, 1998, 6:67~72.
- [14] 王培良, 译. 旋转闭环钻井系统的样机现场实验结果[J]. 国外石油机械, 1998, 4:7~12, 15.
- [15] Tommy Warren. Implementation issues concern operators[J]. Oil & Gas Journal, 1998, 12.
- [16] 赵金海, 等. 使用闭环导向钻井系统命中多个目标[J]. 国外油田工程, 1999, 10:19~20, 29.
- [17] 张伟, 译. 为下一个千年设计的回转式闭环钻进[J]. 探矿工程译丛, 1998, 4:28~31
- [18] 张连山. 2010 年世界石油钻机技术发展水平预测. 钻采工艺[J], 1998, 21(3):40~45.
- [19] P. F. Head et al. Electric coiled - tubing drilling[J]. Journal of Petroleum Technology, 1998, 9:68~69.
- [20] Patrik M. A. Rosen. Coiled tubing integrity monitoring during operation[J]. world oil, 1997, 10:95~97.
- [21] Simon Corbett and Martin Rayson. Global Positioning Technologies Provide Essential Exploration Tool[J]. Oil & Gas Journal, 1999, 6:54~58.
- [22] V. S. Dubinsky and E. R. Baeker. An Interactive Drilling - Dynamics Simulator for Drilling Optimization and Training [J]. Journal of Petroleum Technology, 1999, 2:46~47.

SOME ADVANCES OF DRILLING TECHNOLOGY

YAO Ai - guo , PENG Jin - long

Abstract :Some advances of drilling technology are introduced , including automatically controlled directional drilling or rotary closed - loop drilling system , electric coiled - tubing drilling system , GPS used in drilling and the drilling simulation applied in drilling education.

Key words :drilling technology , automatically controlled directional drilling , electric coiled - tubing drilling , GPS in drilling , drilling simulation in education



第一作者简介:

姚爱国(1955年-),男,副教授,博士研究生。主要从事钻探与基础工程方机的教学与科研工作。
通讯地址:湖北省武汉市 中国地质大学工程学院 邮政编码:430074