

近年来国外钻井技术的主要进步与发展特点

张 燕

(中国地质科学院探矿工艺研究所,四川 成都 610081)

摘 要:详细介绍了国外在深井、超深井钻井技术,导向钻井技术,随钻测量技术,新型钻井液护壁堵漏技术,钻孔采矿技术,声波钻进技术和天然气水合物钻井技术方面的主要进步与发展特点。

关键词:深井、超深井;导向钻井;随钻测量;新型钻井液;钻孔采矿;声波钻进;天然气水合物钻井

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)10-0076-04

近年来,国外钻井技术的进步主要体现在科学化钻井、自动化智能钻井方面,本文将重点介绍国外在深井、超深井钻井技术,导向钻井技术,随钻测量技术,新型钻井液护壁堵漏技术,钻孔采矿技术,声波钻进技术和天然气水合物钻井技术方面的主要进步与发展特点。

1 深井、超深井钻井技术

深井、超深井钻探包含了大量的高新技术,几乎所有先进适用的工程技术措施(含人工智能钻井专家系统),都在深井、超深井施工中得到应用。

(1)已经具备钻进深度达10000 m以深的超深井的技术能力,如前苏联的第一口超深井SG-3井深12869 m。截至目前,世界上已完成超深井7口,它们是前苏联SG-3井(井深12869 m)和SG-1井(井深超过9000 m),美国瑟复兰奇1-9井(井深9043 m)、巴登1井(井深9159 m)、罗杰斯1井(井深9583 m)和Emma Lou2井(井深9029 m),德国KTB井(井深9101 m)。

(2)注重深井、超深井钻井技术装备的系列化、标准化、规范化发展,深井钻机从AC-SCR-DC电驱动钻机向AC-GTO-AC电驱动的方向发展。深井钻井技术装备还呈现出向小型化、智能化方向发展的趋势,以满足深井全井小眼钻进取心的需要。井口机械化、井下自动化和整机智能化水平大幅度提高。

(3)深井钻机配套设备水平进一步提高,地面设备多元化、集成化,各种新型井下工具不断涌现。井下动力钻具由原先重视螺杆钻具和涡轮钻具,发展为螺杆、涡轮、电动钻具三者各显神通的局面。钻头设计与制造技术极为成熟且不断提高,有适合各

类井下条件和地层岩性的钻头(如PDC、TSP、BDC、超硬激光镀层牙轮、PCD轴承牙轮及天然金刚石和纳米金刚石钻头)。泥浆MWD、电磁波MUD及包括VDS垂直钻井系统、SDD自动直井钻井系统、ADD自动定向钻井系统、AGS(GeoPilot)自动导向钻井系统、SRD(PowerDrive)旋转导向自动钻井系统、RCLS(AutoTrak)旋转导向闭环系统在内的井眼轨迹控制工具在深井、超深井钻探中得到广泛应用。

(4)前苏联拥有适用高纬度地区的先进深井钻井技术,其中涡轮及电动钻具钻深井方面处于世界领先地位,电磁波MWD、井眼轨迹控制及纠斜技术具有先进水平。德国1990年完成的KTB大陆科钻井井深9101 m,在钻井中应用了大量高新技术,包括VDS垂直钻井系统、顶驱、铝合金钻杆、金刚石绳索取心、无固相抗高温钻井液、耐高温低转速大扭矩螺杆马达、变速涡轮钻具等。

(5)由于深井钻井设备和工具水平的不断提高,钻井速度快、事故少、成本低、效益好。以美国为例,平均单井成本比世界其它地区的低40%~50%。20世纪90年代,美国在复杂地质条件下所钻成的5口深约7500 m的初探井,其完井周期最短的不到1年,最长的不超过2年。据统计,1999~2004年,美国台月钻井进尺是我国的2倍,加拿大则是我国的3倍。欧洲北海是世界上深井集中地区,平均井深超过5000 m,属海上高温高压深井。目前北海地区测量井深8000 m左右的大位移井钻井周期一般只有90天左右。

2 导向钻井技术

导向钻井技术在最近10年有了很大进步,取得

收稿日期:2007-03-22

作者简介:张燕(1960-),女(汉族),贵州人,中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师,探矿工程专业,从事探矿工程、岩土工程情报信息研究工作,四川省成都市一环路北二段一号,zy@cgiect.com。

了突破性的进展,是 21 世纪国际钻井业的前沿与关键性技术。从 20 世纪 80 年代后期,国际上开始研究旋转导向钻井技术,到 90 年代初期多家公司形成了商业化技术,至今已得到不断完善和发展。

(1) 导向钻井技术由以前的利用造斜器(斜向器)定向钻井、利用井下马达配合弯接头定向钻井、利用导向马达(弯壳体井下马达)导向钻井发展为目前的自动旋转导向钻井。

(2) 现代旋转导向钻井工具的控制、执行、伸缩机构向机电液一体化的高新技术水平发展,其技术指标不断满足复杂井井下恶劣与苛刻工况条件下的环境要求。目前已达到的主要技术指标是:工作温度 125℃ 以上,抗震 5~15g,抗液压 100 MPa,最大轴向载荷承受能力 300 kN,造斜能力 3°~10°/30 m (精度 ±0.15°),寿命 >80 h。

(3) 研制成功了多种“指向钻头”或“推靠钻头”原理的自动旋转导向钻具,如美国 HALLIBURTON 公司的 GEO-PILOT、CAMCO 公司的 POWER DRIVE SRD、BAKER HUGHES INTEQ 公司的 AUTO TRAK RCLS 旋转导向钻具。

(4) 这些钻具配有全系列标准的地层参数及钻井参数检测仪器;配有地面-井下双向通讯系统,可根据井下传来的数据,在不起钻的情况下从地面发出指令改变井眼轨迹;工具设计制造模块化、集成化;可以在 150℃ 以上的高温井中使用;导向自动控制,以保证准确光滑的井眼轨迹。

(5) 由于旋转自动导向钻井技术以旋转导向方式钻井,并且具有不必起下钻自动调整钻具导向性能的能力,因此,使机械钻速和钻井效率大大提高,从而降低了钻井成本。

(6) 国外许多公司已形成了能应用于现场的旋转自动导向钻井系统及应用技术,并且取得了明显的经济效益和社会效益。这些导向钻具的自动化程度、可靠性、适应性大大增强,在世界各地得到广泛的应用,例如 POWER DRIVE 首次用于 1 万 m 以深的延伸井,并创世界记录,累计进尺已达 10 万 m; BAKERHUGHES 公司的 AUTO TRAK RCLS 产品,创造了钻进 167 h、进尺 3620 m 的世界记录。Auto Trak 已累计钻进 16 万 m 以上。国内已有多家石油公司引进和租用这类钻具,取得了较好的应用效果和经济效益。

3 随钻测斜技术

无线泥浆脉冲(MWD)双向传输系统是日前随

钻测斜的主体技术,美、俄、法、英的 MWD 技术日趋完善,其井内仪器已经系列化并大面积推广应用。作为泥浆脉冲遥测的替代技术,电磁遥测技术也一直在发展。

(1) 泥浆脉冲 MWD 传输速率达 10~12 bits/s,能同时传输 20 多个参数,传输深度达到 5~6 km。

(2) 推出了恶劣环境下的 MWD。美国精密钻井计算测井公司已经推广到恶劣环境下(HEL)的 MWD 系统,其操作的可靠性是在井下承压 211 MPa、耐温 180℃ 下标定的,其最高温度可达 200℃。HEL 系统由整体方向性探测、高温方位角伽马射线、环空压力传感器和辅助装置等组成。HEL 系统已经在墨西哥和美国的许多油田试验,在密度 2.280 kg/m³、温度 170℃ 的钻井液中获得成功。

(3) 为了克服电磁波随钻测量(EM-MWD)技术受钻井设备的电气干扰和低电阻率地层的信号衰减问题,推出了新一代电磁遥测系统,即“发射天线延伸型”和“信号中继转发型”。

发射天线延伸型 EM-MWD 通过钻柱通道送下一长电缆,长电缆的下端与井下发射器的发射天线对接,使这长电缆成为延伸发射天线,加装延伸天线后它的上端更接近地面,从而达到减少信号衰减提高遥测深度的目的。

美国专利 649431 公开的“与套管相结合的井眼电磁遥测系统”也属于发射天线延伸型的 EM-MWD,该测量系统把绝缘导线置于由井壁和外层套管形成的环状空间,然后将绝缘导线的一端与套管的末端连接,绝缘导线的另一端与地面 EM 收发器的信号终端连接。通过使用绝缘导线,地面与井内收发器之间的有效距离减少,此外,由于绝缘导线没有附着在地面而是与井底套管连接,在地面或靠近地面引起的电磁噪声也被减至最小,所以 EM 信号衰减基本被消除。

信号中继转发型 EM-MWD 是在钻柱上加装一信号中继转发器,在这中继转发器中有接收器和发射器,当井底发射器发出数据信号时,中继转发器的接收器先接收信号然后对信号进行功率放大,放大后的信号再由发射器发出,随着深度的增加不断加装中继转发器。从理论上讲这种传输信号的方法不受深度限制。

4 钻井液护壁堵漏技术

钻井液技术也出现了一些新的研究成果,这些成果的出现是理论上创新的结果。

(1)水基成膜钻井液体系是钻井液技术理论创新的结果之一。根据水基钻井液成膜理论,在水基钻井液中,通过加入一种或几种成膜剂,可以使钻井液体系在井壁表面形成较高质量的膜,这样可阻止钻井液滤液进入地层,起到保护井壁的作用。在水基钻井液中可以形成3种类型的膜:Ⅰ型膜(水基钻井液成膜)、Ⅱ型膜(封堵材料成膜)和Ⅲ型膜(合成基钻井液成膜),其中Ⅱ型膜的膜效率最高。

(2)纳米技术应用于钻井液。纳米技术的特点在于当材料的颗粒大小达到纳米级时,将使材料呈现4大效应:小尺寸效应、表面效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应,4大效应的出现,将给纳米钻井液处理剂带来一些意想不到的优异性能,从而大大改善和提高钻井液的使用性能。目前国内外在这方面的研究还不多,我国石油钻井部门已开展了这项研究。

(3)微泡钻井液防漏堵漏新技术。它是20世纪90年代美国研制的一种新型钻井液,该体系能够形成一种结构复杂、具有极高能量的微泡网结构。与充气泡沫相比,微泡沫钻井液具有配制方便、不需要地面注气设备、可循环使用、成本较低等优点,受到国内外钻井人士的广泛关注。与常规钻井液相比,微泡沫钻井液具有较低的密度和环空循环压耗,能有效降低井下动压力,起到防漏作用;同时,微泡沫钻井液进入漏层后,聚结成“蜂窝”状的泡沫凝胶,对漏失通道产生“气锁”效应和凝胶封堵,起到堵漏的作用。另外,微泡沫钻井液具有非常好的流变性和携岩能力,能有效解决大尺寸井眼的携砂问题。国外微泡沫钻井液多用于漏失地层,我国对微泡钻井液的研究及应用尚处于初期阶段。胜利油田有限公司钻井工艺研究院油化所从2000年开始就致力于发泡剂及泡沫钻井液体系的研究,据称已研制出了具有国内外先进水平的微泡钻井液,并在川东北和吐哈油田用于漏失地层钻井。

5 钻孔采矿技术

随着世界各国经济的飞速发展,普遍面临地下浅部富矿的日趋枯竭,开采深部矿产和浅部贫矿势必造成开采成本增加。传统的地下坑道和露天开采,面临劳动生产率低、开采成本高以及环境保护等问题。所以,人类迫切需要技术含量高、低耗、高效的采矿方法来缓解这一危机。钻孔水力开采技术就是这类最有前景的开采技术之一,它是基于钻孔技术和水力学原理的一种矿产开采新方法。

20世纪六七十年代,除苏联以外,美国、匈牙

利、波兰、印度、澳大利亚、南斯拉夫等国家先后应用钻孔水力开采技术进行开采低强度的磷矿石、煤、建筑砂砾、铝、铀、砂金、锡砂等矿的试验。20世纪八九十年代以来,美国和苏联在孔内采矿工具和采矿工艺以及地面设备等的研究方面都有了显著进展,苏联还发表了许多钻孔水力采矿工具和工艺方面的专利。2000及2004年俄罗斯又发表了新的钻孔水力采矿工具和方法方面的专利。我国在这方面只进行了一些探索性研究。国外的主要技术进步如下:

(1)经过几十年的发展,钻孔水力采矿技术已经趋于成熟,现有的设备、工具、工艺及其方法已经可以开采20~800 m深的多种矿产。

(2)钻孔水力采矿工具向着多功能方向发展,如美国专利6460936公开的钻孔采矿工具,其下部分具有通用连接器,可以按照需求连接各种机械组件和部件,使采矿工具具有不同的用途。

(3)由于钻孔水力采矿工具向着多功能方向发展,其应用范围扩大,可用于原位浸出、激化采油气、地下储藏库结构、建筑基础、地下屏障、放射性污染物、核发射物的竖井、湖底等等领域。

(4)除常用的垂直钻孔采矿技术外,还发展了近似水平钻孔采矿法(见美国专利6688702),通过先钻垂直孔然后钻孔偏斜以近似水平的方向进入矿层实施水力采矿,采用这种方法开采水平矿层,可以节省大量的钻孔工作量,提高采矿产量,显著降低整个水力采矿费用。

6 声波钻进技术

声波钻进技术是钻进许多覆盖层的最好方法,它以钻速快、取心质量好著称。美国和苏联早在20世纪40~50年代就研究过声波钻进技术。国外经过50多年的研究试验,特别是90年代以后,该技术的发展日趋成熟,实现了商业化应用,钻孔工作量不断增加,出现了许多声波钻进承包商,如美国的BO-ART LONGYEAR公司环境钻探部、BOWSER-MORNER公司、PROSONIC SAMLING公司、EIJKEL-AMP公司,加拿大的SONIC DRILLING公司和MIP钻井公司,英国的SONIC DRILLING SUPPLIES LTD,日本的利根公司等。

(1)声波钻机从最初的孔底振动或地面振动不旋转发展为今天的地面振动加旋转方式。

(2)振动头的专门化、标准化程度也大大提高,使得声波钻机的可靠性增强。

(3)振动头的结构形式由马达驱动一对偏重块

反向旋转产生振动发展为马达驱动两对偏重块反向旋转产生振动。

(4) 声波钻机的应用范围由最初的主要用于环境调查发展为广泛用于矿产勘探、岩土勘察、水井、地热安装孔、地震物探爆破孔、桩孔、锚索孔、灌浆孔等的钻探。钻孔深度为 120 m 左右,最大钻进深度达 300 m,岩土样品直径为 100 ~ 300 mm。

7 天然气水合物钻井技术

天然气水合物的钻探、取样、保存和分析的方法及其配套技术研究受到科学家越来越多的重视。迄今为止,包括技术体系、设备研制与工程作业等在内的,在国外基本上限于 DSDP(深海钻探计划)与 ODP(大洋钻探计划)的成果,但已形成了完整的技术系列,开始进入不断开发和完善阶段。世界以生产天然气为目的的海洋天然气水合物层钻井的例子还没有。

(1) 钻井装备:目前世界上能满足海域天然气水合物钻井的钻井平台为数很少,而且,至今海洋钻井装置还没有以天然气水合物层为目的的实例。深海天然气水合物原位样品的采集,离不开 ODP 或 DSDP 专用船舶及这些船舶上的专用钻探和配套取心工具。长程钻、大吨位和马力、动力定位、保真性、高投入、高技术和国际合作是其主要特点。最重要的技术特征表现在其克服水深的办法,主要是通过从专用船舶上连接几百到几千米的钻杆到海底,然后再进行 500 ~ 1000 m 的钻探。

(2) 取心工具:1995 年美国研制成功天然气水合物保压取心器(PCS),后来又开发成功保压保温

取心器(PTCS)。国外目前使用的保压取心器主要有国际深海钻探计划(DSDP)采用的保压取样筒 PCB、国际大洋钻探计划(ODP)采用的保压取心器 PCS、活塞取样器 APC、日本研制的 PTCS 等。

(3) 至 2002 年 9 月,ODP 科学计划已经完成了 204 个大洋航次,全球采获天然气水合物实物样品 25 处矿点,除加拿大麦肯齐河三角洲 Mallik2L238 井区外,其它均为 DSDP 与 ODP 成果。

参考文献:

- [1] 王达. 探矿工程(地质工程)未来 20 年科技发展战略研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(1).
- [2] 曾义金,刘建立. 深井超深井钻井技术现状和发展趋势[J]. 石油钻探技术,2005,33(5).
- [3] 李娟,何金南,刘建立,曾义金. 国内外深井钻井技术进步与经济评价初探[J]. 石油钻探技术,2002,30(6).
- [4] 李作会,孙铭新,韩来聚. 旋转自动导向钻井技术[J]. 石油矿场机械,2003,32(4).
- [5] 杨剑锋,张绍槐. 旋转导向闭环钻井系统[J]. 石油钻采工艺,2003,25(1).
- [6] 张绍槐. 现代导向钻井技术的新进展及发展方向[J]. 石油学报,2003,24(3).
- [7] 窦宏恩. 几种随钻测量新技术[J]. 石油机械,2004,32(2).
- [8] 李林. 电磁随钻测量技术现状及关键技术分析[J]. 石油机械,2004,32(5).
- [9] 徐同台,赵忠举,袁春. 国外钻井液和完井液技术的新进展[J]. 钻井液与完井液,2004,21(2).
- [10] 王辉,王富华. 纳米技术在钻井液中的应用探讨[J]. 钻井液与完井液,2005,22(2).
- [11] 崔迎春,王贵和. 钻井液技术发展趋势浅析[J]. 钻井液与完井液,2005,22(1).
- [12] Borehole mining tool[P]. 美国:6460930,2002.
- [13] Borehole mining method[P]. 美国:6688702,2004.
- [14] 吴光琳. 声波钻进技术的发展及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(3).



中国桩机钻网和多家媒体均建立了信息共享合作关系,涵盖国内最完整的设备制造商,各基础工程施工单位信息资料数据库体系,收录行业发展情况,政策,服务和行业动态信息等。

● ● ● ● ● ●
 隧道掘进机械
 石油钻井机械
 桩工机械
 非开挖设备
 工程及钻井机械
 地质勘探机械



加入中国桩机钻网
 多一条交易渠道,多一份收获!

地址:北京朝阳区南磨房路37号华腾北塘商务大厦2308室

电话:010-51908782/3

传真:010-51908780

E-mail: alanzjzjcn@163.com; nvday@163.com