

钻掘工程国内外发展水平与差距及建议(上)

左汝强

(国土资源部 咨询研究中心,北京 100035)

摘 要 简介钻掘工程领域国内外发展水平。重点概述在固体矿产岩心钻探、水井钻探、石油天然气钻探、大陆科学钻探、大洋钻探、极地钻探和外星钻探及掘进工程等方面的国内外发展状况与差距,并提出重点研究开发和引进建议。

关键词 岩心钻探 水井钻探 石油天然气钻探 大陆科学钻探 大洋钻探 极地钻探 外星钻探 掘进工程

中图分类号 TP634 **文献标识码** C **文章编号** 1000-3746(2003)01-0001-08

The Development Level of Rock & Soil Drilling and Tunneling, and Their Difference between within and out of China (Serial 1)/ZUO Ru-qiang (Consultation and Research Center of the Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract : The development level of rock & soil drilling and tunneling within and out of China is briefly mentioned. The development status of mining coring, water well drilling, oil and gas drilling, continental scientific drilling, ocean drilling, polar drilling, star drilling, and tunneling, in and out of China, is discussed with emphases. The differences of things above mentioned between China and foreign countries are also discussed. Some suggestions deal with R & D and technology importing are put forward.

Key words : coring ; water well drilling ; oil and gas drilling ; continental scientific drilling ; ocean drilling ; polar drilling ; star drilling ; tunneling

1 固体矿产岩心钻探

1.1 国际发展现状

1.1.1 新一代计算机控制自动化钻机在欧美地区成熟应用

欧美国家有许多公司生产自动化钻机,自动化钻机具有的高生产效率,代表了国际岩心钻机的发展方向。

1.1.1.1 瑞典 Atlas Copco 公司开发成功 Diamec 系列(Diamec264APC 和 Diamec284APC 型)全自动钻机

Diamec 系列钻机适用于地表或巷道内工作,为全液压顶驱,机、电、液一体化操作系统。经矿山实际应用,其具有明显的钻进效率高、钻进成本低和操作简易的优点。

Diamec264APC 型钻机平均时效可达 12 m,台月效率达到 1000 m。其效率高的原因在于它能自动地、连续地测量和监视地下岩层变化与孔底钻具工况,及时地(在 0.1 s 内)调整钻进参数,以保持最佳钻速。能够降低钻进成本是因为这种自动控制钻进方式可以提高钻头寿命,减少钻杆磨损,并对于孔内情况有识别能力,可减少岩心堵塞和烧钻等事故。

Diamec 型自动钻机在野外现场仅需一人操作,钻工所需做的工作只是观察控制台面板,调整相应按钮即可,还可兼做其它工作(如处理岩心样品、检查钻具等)。

Diamec264APC 和 Diamec284APC 型自动化钻机分别开发于 1996 年和 20 世纪 90 年代末,其钻深能力分别为 400 和 800 m。后者更多地用于巷道内钻探。Diamec264APC 型钻机配置有 3 种不同的给进长度(0.8、1.8、3.3 m),以适应不同需要。

1.1.1.2 加拿大 JKS Boyles 公司开发成功 B 系列(B-10、B-15 和 B-20 型等)坑道自动化钻机

该系列钻机也是采取全液压顶驱装置,机、电、液一体化和计算机控制钻进方式。施工现场只需一名操作人员。钻进参数(如钻头转速、孔底压力和给进速度等)完全由计算机监测和控制,钻具升降等作业也全部自动完成。钻进过程也可由设置在地面的通讯操作室(CCR)作连续监视和数据自动记录。

B-10、B-15、B-20 型自动钻机最大钻进孔深分别为 340、600(AQ)、1550 m。B-10 型自动钻机用于圣劳伦斯河大坝工程施工因其高度自动化被誉为“新一代钻探技术”。而 B-20 型自动钻机则

是为了满足克瑞格矿山(Craig Mine)急需高钻探效率的钻机而诞生的。当时该矿山有 14 万 m 钻探工作量,要求在短期内完成,于 1996 年开发成功的 B-20 型自动钻机则完全满足这个要求。第一台钻机使用十分成功,于是后续订货不断。

1.1.2 专用轻便钻探装备及直升飞机搬迁和拆装技术在边远地区应用广泛

美国西部和加拿大蕴藏有丰富的矿产资源,但这片地区多高山峡谷、冰雪覆盖,交通不便,难以到达,故称为边远地区(Remote Area)。在此类地区,地质钻探设备的搬迁十分困难,近 10 多年来,采用直升飞机运送钻探设备开始普及起来。

可用直升飞机搬迁的钻探设备可分 2 类:一类是浅孔(深度 450 m 以内)钻机,另一类是中深孔(深度 450~1500 m)钻机。用于中深孔的钻机有长年 34、长年 38、长年 44 型等。这些钻机具有较大的功率质量比、轻便可拆性好,适用于直升飞机在边远地区搬运。常用的直升飞机有贝尔 212 型和休斯 500 型等。

近几年来,一些著名的钻探制造与承包商专门设计和制造了应用直升飞机迁运的新型钻机。如加拿大 Boart Longyear 公司的 LF-70 型直升飞机-轻便钻机(Heli-portable Drill)和 JKS Boyles 公司称为“飞运钻机”(Fly-in Drill)的 JKS1000 型钻机,等等

LF-70 型是一种长行程、全液压顶驱、轻便可拆装钻机,由 Diversified 机械厂制造。该钻机钻深能力 450(HQ)~1000 m(BQ),采用 LF-70 型钻机比上述长年公司系列常规钻机用直升飞机搬迁次数大为减少,更换一次钻孔工地,后者用直升飞机搬迁需 18 次,而搬迁 LF-70 型钻机则只需 7 次,大大地提高了效率。据实际记录,在崎岖山地由原钻探工地搬迁至 1.5 km 远的新工地,用直升飞机运送全套钻探设备和材料,只需 75 min。LF-70 型钻机的先进设计和制造工艺使之对恶劣环境具有良好的适应性,无论地形多么复杂,气温变化范围多大,均可适用。该型钻机曾用于高温的赤道地区(如印度尼西亚的热带丛林 Irian Jaya 地区)和加拿大北部-50℃的寒冷地区。

直升飞机搬运钻探设备技术除在北美地区广泛应用外,在欧洲和澳洲地区甚至在拉美及非洲国家也正在逐步推广应用。一些直升飞机公司专门从事这方面业务。如设在布鲁塞尔的 Skytech 直升飞机公司提供运送和搬迁钻探设备的国际业务,运用的

机型是俄制 Mil 和 Kamov 型,具有最大提运 20 t 的能力。该公司运送地质勘探装备业务已遍及西伯利亚、巴布亚新几内亚、厄瓜多尔等国的边远地区。Skytech 公司在 1996 年还和非洲乌干达地质调查和矿业局建立了新的直升飞机联合公司,对中非国家提供了单次飞行运送 2.72~20 t 净负载钻探设备的服务。

20 世纪末,西方大型地质钻探承包公司业务日益国际化和全球化。如加拿大 Boart Longyear 公司在 1996 年钻探设备销售和钻探工程承包业务已扩展到 23 个国家(美、欧、亚、非各大洲)。其大量庞大笨重钻探装备的运输则租赁大型运输机,如俄制安东诺夫 124 型等,一次可装载 150 t 钻探设备器材作跨洲际数千千米运输。到基地后,再用小型飞机或直升飞机转运至工地。加拿大在吉尔吉斯斯坦(天山西段)矿山的钻探工程即是如此运作。

1.1.3 钻探超硬材料和金刚石钻头进展迅速

1.1.3.1 高性能超硬材料

世界著名的南非 Debeers 公司研制成功的 SDA2000 系列人造金刚石,其强度、冲击韧性和热稳定性等方面超过原有的 SDA 系列产品。美国通用电气(GE)公司近年又研制成 MBS-900 系列人造金刚石,能承受强冲击力和在大功率条件下工作。经测试,上述两公司新研制的金刚石静抗压强度 30/40 号达 400 N,25/30 号达 500 N,热稳定性达到 1100℃。

在复合片方面,GE 公司的 STRATAPAX 和 Debeers 公司的 SYN drill 用于钻进软至中硬岩层,其磨损比、抗冲击韧性及热稳定性较高。目前研制出的黑冰齿复合片制作钻头效果很好。

在金刚石聚晶方面,上述两公司生产的 Geoset 和 SynDAX3 均为热稳定型,耐温达 1200℃。可用于钻进中硬至硬地层,其应用效果可代替天然金刚石。

1.1.3.2 高效长寿命金刚石钻头

加拿大 Dimatec 公司选用 GE 公司新型优质 MBS970 人造金刚石,采用精良胎体配方和先进制造工艺,生产出 3 种系列(M、MS、GX)的优质金刚石钻头,具有较高的钻进效率和长久的钻头寿命。在中硬以上花岗岩中钻进时,M、MX 和 GX 三种系列的金刚石钻头平均班进尺分别为 22、40 和 48 m。3 种钻头的工作寿命依次平均为 58、130 和 150 m。美国 Christensen 公司、Hobic 公司等也提供先进优质的金刚石钻头。

1.1.4 岩石钻进新方法 (Novel Drilling Methods) 的试验和应用

1.1.4.1 热能钻进法

主要由俄罗斯有关研究所和大学研究完成。

(1) 全俄勘探技术研究所 (VETR) 采用热力钻进法 (利用摩擦生热原理) 首次在花岗岩中钻成 350 m 深的钻孔。钻进效率平均可达 1.7 m/h, 最高达 3 m/h (9 级花岗岩中)。

(2) 圣彼得堡矿业学院采用新型耐热 (高达 2500 °C) 合成材料, 制作成环形高温钻头, 运用热熔法开展钻进新方法研究。采用这个方法在砂岩中钻成了深度为 1.8 m 的钻孔。

(3) 俄罗斯国家南方设计局运用液体火箭推进原理, 试验研究了新的热熔钻进岩石方法。在装有高能装置的试验台上试验, 在花岗岩上的钻进速度可达 16.7 m/h。

(4) 乌克兰正计划开展火焰钻进方法的研究。

1.1.4.2 低温冷冻钻进法 (Cryo-drilling)

此方法在美国研究成功并付诸实际应用。适用于松散、非固结的难钻地层, 钻进垂直孔、斜孔和水平孔。该方法曾多次用于生产, 其中成功地打了一口 25 m 深的钻孔。

运用该方法的原理是利用即时挥发的氮气作清洗孔底岩屑介质。液氮能产生 -196 °C 的低温, 故在钻进过程中能冻结孔壁。

冷冻钻进方法有以下优点:

(1) 冷冻孔壁有足够强度, 防止孔壁坍塌;

(2) 地层中液体污染物被冻结住, 不会上升流向地面, 有利于环保;

(3) 地层或土壤的孔隙度、渗透性及钻孔周围物质结构仅在冻结时受影响, 待融化后即恢复原状。

采用低温冷冻法钻探原则上利用现有回转钻探设备, 只需少许改进 (如水龙头、钻杆等), 配以氮气罐和泵即可。

1.2 国内近 10 年的主要成就

1.2.1 研制成功几种新型岩心钻机

CD-3 型 (钻深 1000 m)、交流变频 CD-2 型 (钻深 600 m) 和 FD-300 型钻机 (钻深 300 m) 为“八五”期间研制成功的新机型。CD-3 型为新型立轴式钻机, 具有双液压卡盘不停钻自动倒杆装置, 基本实现了长行程连续给进的要求, 性能达到国际同类钻机先进水平。交流变频 CD-2 型钻机简化了钻机结构, 拓宽了无级调速范围, 在国内首次实现了升降钻具机械化。FD-300 型钻机为液压传动顶

部驱动车装钻机, 具有无级调速、长行程给进、机械化程度高、工作可靠等优点, 更换高速马达可用于岩心钻探。

1.2.2 定向钻探技术水平大大提高

将 LF-54 型螺杆钻具造斜技术应用于福建紫金多金属矿钻探, 在 952 m 主孔钻进 630 m 分支孔, 缩短了矿山勘探周期。

用 LZ-54 型连续造斜器在多宝山铜矿陡斜矿体成功地施工了 5 个深度较大的定向孔, 累计工作量 4486 m, 最深定向孔 1100.9 m, 避免了 1123 m 的钻探工作量报废。

“九五”重点项目‘定向钻进新技术及其应用’取得良好进展。该项目包括‘小直径短螺杆马达及造斜器研制’、‘挠性钻杆’和‘小直径中半径水平定向孔钻探工艺研究’等课题。利用整套技术于 2000 年在江苏淮安盐矿生产试验, 分别于钻孔孔深 1080、1116 和 1181 m 三处造斜, 其首末两段造斜率分别达到 0.26 °/m 和 0.68 °/m, 达到中曲率半径要求。其钻孔下部 1282 ~ 1412 m 段, 钻孔顶角达 85°左右, 为水平孔段。该项成果已达到固体矿产岩心钻探定向钻进国际先进水平。

2000 年 4 月, 由中国地质科学院勘探技术研究所负责施工的淮安盐矿采卤对接井创井深新记录。该工程两井地面相距 200 m, 于孔深 1371 m 实现对接连通。采用对接井技术采卤比用 2 个单井产量之和提高 3 倍以上, 且可降低生产成本。该技术已用于湖南、湖北、江苏等省多个盐矿区。

中国地质科学院探矿工艺研究所研制并推广钻孔测斜仪系列 (8 种)。其中 YT-1 型压电陀螺测斜仪为世界首创, 具有较高的测量精度。

1.2.3 中心取样 (CSR) 钻探技术国产化取得重要进展

该项目研制了 CSR73/33、73/39 型双壁钻杆、6 种孔下钻具组合、全套样品收集与处理装置等, 适用于国产钻探设备, 工艺研究先进。在河南、宁夏等省区金矿生产试验, 其小时钻进效率可比常规取心方法提高 3 ~ 5 倍, 其平均台月效率可以提高 5 ~ 8 倍。

1.2.4 金刚石钻头进展

北京探矿工程研究所研制成功了金刚石钻头设计、制造专家系统和微机自控烧结技术, 中国地质大学 (武汉) 研制成功获国家专利的电镀复合片钻头等。

1.2.5 研制成功多品种系列化 (十几个系列 60 多种规格) 液动锤钻具, 整体上达到国际先进水平

1.2.6 吉林大学研制成功系列化贯通式潜孔锤及

配套钻头、钻具,等等

1.3 国内与国际先进水平的技术差距

1.3.1 钻探设备明显落后,自动化钻机和直升飞机搬迁钻探装备技术仍属空白

(1)目前我国尚无自行研发的计算机控制,机、电、液一体化操作,具有优越性能和高生产效率的自动化钻机。据了解,现在尚未开展这方面的研究,也未在生产实践中(进口样机)应用。

(2)至今我国尚无专门研制轻型易拆用于直升飞机搬迁和拆装的岩心钻探设备及轻质钻具(如铝合金钻杆等),也未运用直升飞机钻场搬迁技术于西部边远地区。据报道,四川曾从 Boart Longyear 公司(澳大利亚分部)进口 2 套专用直升机运输的 LF-70 型钻机,因体制、技术和管理上的问题,此钻机并未用直升机搬迁至工地,仍采取人工和畜力搬运。我国广大西部高山峻岭,采用直升飞机搬迁技术早该提上日程。我国正面临西部大开发的战略任务,早日运用这种先进高效的技术和装备应引起高度重视。我国自产的直-9 和直-11 等型号直升飞机能够完成此项任务,但是目前尚缺少专门设计用于此目的的钻探设备,在管理体制等方面也需解决相关问题。

(3)在常规岩心钻机方面,国际上已普遍应用液压传动顶驱式钻机,传统的立轴式钻机目前在发达国家已很少制造和应用。而我国目前除了 FD-300 型属于顶驱式钻机外,主要仍采用立轴式岩心钻机,特别是还大量使用 20 世纪六七十年代研制的 XY 型等系列立轴式钻机。这类钻机通用性和标准化程度较差,钻进工艺适应性有限,且缺少超过 2000 m 深度的钻机型号,等等。20 世纪 90 年代研制的 CD-2 和 CD-3 型立轴式钻机虽结构和性能有所改善,但由于缺少系列产品、钻深超过 1000 m 空档,不能满足需要。而且从总体上看,也摆脱不了立轴式钻机的本质性缺陷。

1.3.2 超硬材料和金刚石钻头存在较大差距

我国人造金刚石生产能力虽位居世界首位,但产品品种属中、低档,且品种单一。在金刚石粒度、强度、抗冲击性能和热稳定性等方面有较大差距。

金刚石钻头制造方法上,发达国家已广泛采用二次焊接法,国内采用不多。

国内金刚石钻头钻进效率低和工作寿命短,不利于提高钻探台月效率和降低钻探成本。

1.3.3 岩石钻进破碎新方法近 40 年来未开展研究

我国于 20 世纪五六十年代曾开展过超声波和

水电效应及等岩石钻进破碎新方法研究,后因故中止。目前国外采用热能法和低温冷冻法等钻进新方法已获得成效,而我国目前尚未开展此类新钻进破碎岩石新方法的研究。

1.4 有关发展建议

1.4.1 建议开展国际科技合作的项目

1.4.1.1 边远地区岩心钻探现代方法和新技术合作交流

合作内容:边远地区直升飞机迁运和拆装钻探装备、技术及管理;自动化岩心钻机的研发和应用。

合作对象:加拿大自然资源部地质调查局; Boart Longyear 钻探公司; JKS Boyles 钻探公司。

1.4.1.2 国家先进钻探和掘进技术(NADET)合作交流

合作内容:固体矿产、油气、地热、环境各领域钻探高新技术和先进掘进技术。

合作对象:美国能源部及有关机构、公司。

1.4.2 需要加强研制、引进的关键技术

(1)加强研制计算机控制自动化钻机(钻探 300 ~ 600 m)。引进瑞典 Atlas Copco 公司 Diamac264APC 型(钻深 400 m)钻机,或加拿大 JKS Boyles 公司 B-20 型钻机(钻深 1550 m)。

(2)加强研制用于直升飞机搬迁和拆装的专用轻便钻探设备和钻具,建立直升飞机迁运管理体制。引进加拿大 Boart Longyear 公司 LF-70 型直升飞机专用钻机。

(3)研制和完善全液压顶驱岩心钻机系列(600、1000、1500、2000 m)及配套设备。

(4)研制新型电驱动无级调速岩心钻机(1000 m)。

(5)研制中深孔孔底动力钻具(螺杆钻、涡轮钻)与绳索取心组合钻具。

(6)研制中温烧结(840 ~ 880 ℃)激光焊接金刚石钻头。引进德国飞羽公司技术和设备。

(7)研制硬岩钻进金刚石复合片钻头和聚晶钻头。

(8)研制气相沉积金刚石(CVD)复合片钻头。

(9)研制高精度双轴速率陀螺测斜仪。

(10)研究钻孔水力、溶浸采矿技术和设备。

(11)研究岩石钻进破碎新方法(如热能钻进、低温钻进等)。

2 水井钻探

2.1 国际发展现状

2.1.1 发达国家各制造公司均能提供由浅至深的系列化水井钻机

美国英格索兰(Ingersoll - Rand)公司制造的车装水井钻机(如 TH10 - LM、T2W、T4W - DH 和 RD20 型等)可以钻进井深从 406 ~ 1455 m 的范围。意大利、英国、德国和日本等国许多公司也具备生产完整系列的水井钻机的能力。

2.1.2 发达国家几乎所有型号水井钻机均采用先进的全液压传动机构、顶部驱动装置,并配置机械手和存管架,实现钻杆操作半自动化

美国英格索兰公司,意大利土力(Soilmec)公司(G 型系列)、Fraste 公司(MultidrillXL 型)、Massenza fu Giuseppe 公司(MI 系列,6 种型号),日本利根(TONE)公司以及德国维尔特(Wirth)公司生产的水井钻机均具有所述的先进结构和优良性能,从而具有较高的钻探效率,好的钻井质量,低的劳动强度。

2.1.3 多数型号水井钻机具有多用途、多功能和多工艺的优点

上述各国公司生产的水井钻机中许多型号可以完成地质岩心钻探、地热钻探和基础桩施工钻探作业。多数水井钻机适用于多工艺要求,既可以完成常规回转钻进,又可以实现空气正、反循环钻进,及空气潜孔锤钻进、空气泡沫钻进等。

2.1.4 自动化钻杆操作系统已开始应用,进一步提高劳动生产率

由意大利弗瑞斯特(Fraste)公司开发的自动操作系统对于执行钻进过程中和提下钻具拧卸钻杆等工序实现自动化,无需操作人员做任何体力劳动。该项技术革新获得 2000 年巴黎颁发的 Interimat 创新奖。

2.2 国内近 10 年的主要成就

多工艺空气钻进技术成果于 20 世纪 90 年代先后列入原地矿部和国家科技成果推广计划及“九五”地矿行业科技成果推广项目指南。其推广应用效果显著 提高了钻探总体技术水平,国内应用广泛并用于非洲、中东、东南亚等 10 多个国家水井钻探施工;解决了河南、吉林、宁夏等多处金矿复杂条件下钻探难题 提高了水文水井钻进效率(比常规、回转钻进提高几倍至十几倍)和成井质量,取得了巨大的经济效益,据不完全统计,总计创产值 1.1 亿元,利税 2000 余万元,出国承包水井工程合同额 6400 余万元 解决我国干旱缺水地区打井技术难题,社会效益十分显著。

推广多工艺空气钻进方法,累计完成各类井孔

3.1 万余眼,总钻探工作量超过 120 万 m。

2.3 国内与国际先进水平的技术差距

(1)我国现有水井钻机结构主要是落后的机械传动转盘式,只有极少型号(如 SDY - 600 型等)是液压传动顶部驱动型,和发达国家几乎全部是液压顶部驱动方式水井钻机相比,生产效率低,不能适应多工艺钻探要求。

(2)国产水井钻机钻进深度小,大部分型号只能完成 300 ~ 600 m 中深水井的钻进。虽有少量型号可钻 1000 m 以深,但钻机为转盘式,性能落后,不能满足需要,特别是不能完成在干旱地区和岩溶地区寻找深层(1000 m 以深)地下水的任务。

(3)现有国产各型水井钻机升降工序和起下钻杆作业劳动强度大、效率低、事故多。

2.4 需要加强研制、引进的关键技术

(1)研制适用于多工艺钻探的全液压顶驱水井钻机系列(最深达 2000 m);

(2)研制反循环双壁钻杆系列、钻头、潜孔锤及配套设备;

(3)研制半自动化(机械手)水井钻机。

3 石油天然气钻探

3.1 国际发展现状

3.1.1 油气钻探设备和钻具发展迅速

(1)顶部驱动装置(TDS)近年内迅速应用。由美国瓦科(Varco)公司最早于 20 世纪 80 年代开发并始终领先。目前全世界有 10 余家油气钻井 TDS 制造商。现在海上石油钻井几乎全部用 TDS 替代了低效笨重的转盘式钻机,陆上钻井也在推广中。据统计目前使用的 TDS 钻井设备 400 余套。美国、德国等国家实现了盘式刹车自动送钻一体化技术。

TDS 发展方向,正以交流变频驱动取代现有的交流发电—可控硅整流—直流驱动,以获得调整范围广、稳速精度高、体积小、质量轻等优点。

(2)无绞车、全液压轻便石油钻井将在浮式石油钻进设备上推广应用。这可以用升降液压油缸代替笨重庞大的绞车,以降低钻机总质量,提高钻井效率达 20% ~ 25%。德国 Wirth 公司、意大利 Soilmec 公司和挪威 MH 公司开发了全液压顶驱钻机。

(3)高资金投入(数亿美元)和高技术含量的海上钻井平台、钻井船和水下作业装备不断发展。

西方几个发达国家均能制造钻井平台并各具特色。如美国、英国(固定式采油平台)、挪威(水泥重

力平台)、法国(半潜式、自升式平台)和日本等。近年来韩国和新加坡的海洋钻井平台建造也具有相当实力。钻井船正向更深更现代化方向发展。

目前,超深井(1.5~2.0 万 m 钻深)的海上石油钻机及其钻井船正在美国埃姆斯科(EMSCO)公司制造。

(4)海洋地质调查、海洋油气及固体矿产勘查用的各式水下装备近年来有较大发展。目前日本已研制成工作水深 11000 m 的 KAIKO 型深海遥控作业车(ROV),工作水深 6500 m 的 SHINKAI 型载人深潜器,工作水深 6000 m 的 JAMSTEC/Deep Tow 海底测量拖曳以及可在水深 3500 m 作业的 URASHIMA 型自动操作机等。由俄罗斯和芬兰合作研制的‘和平号’载人深潜器曾在大西洋中应用到水下 6170 m 的深度,并发现和研究了洋底热液矿床等。美国、挪威、英国和法国等国在这个领域有强劲的实力和较高的水平。

(5)油井钻头技术成熟、品种繁多,适应于各种岩层要求(包括 PDC 钻头、TSD 钻头、聚晶金刚石轴承牙轮钻头、超硬激光镀层牙轮钻头等)。

3.1.2 定向钻井在近 10 年是油气钻探工程发展最迅速的领域

3.1.2.1 随钻测量(MWD)和导向钻井技术

由性能优良螺杆马达(PDM)、不同型式偏斜钻具、柔性钻杆、可变径稳定器、高精度随钻测斜仪和泥浆脉冲信息传输等高技术集成的随钻测量(MWD)和导向钻井使油气定向钻井技术大大推进了一步。所提供的组合技术可以完成钻井进行中曲率半径($9^\circ \sim 30^\circ/(30\text{ m})$),甚至小曲率半径($60^\circ \sim 180^\circ/(30\text{ m})$)的钻进,使得大位移钻井和水平井钻井取得显著成效。

美国、加拿大、德国、英国许多公司均能生产性能可靠的钻井导向系统,其测量钻孔顶角和方位角、工具面向角的精度均可达到 $\pm 0.1^\circ$ (如 Sharewell 公司生产的 MGS 系统等)。已研制成功高精度双轴速率陀螺测斜仪,等等。

随钻测井(LWD)技术已可测量 20 余种钻井和地层参数,井底传感器的安放位置离钻头近至一二米的距离。随钻地震(SWD)技术也在进展中。美国 Baker Hughes、CAMCO 和 HALLIBURTON 等公司开发的自动旋转导向钻井系统可以实现地质导向,已在多口钻井应用。

3.1.2.2 大位移井钻井技术

主要用于岸上开发近海油田,或是以少建平台

开发海上油田,可以大大减少钻探成本。此项技术在美国西海岸和英国北海应用较多。1998 年英国 M-11 井已突破 1 万 m 水平位移记录,达到 10114 m,其测量井深为 10658 m。目前世界上水平位移最大钻井的水平位移已超过 11000 m。岸边钻大位移井的方案比在近海钻井平台或人工岛上钻井可节约成本 1 亿美元左右。

3.1.2.3 水平井钻井技术

水平井的油气产量是直井的 4~8 倍,但钻井成本只是直井的 1.5~2 倍,故近 10 年来,水平井已广泛应用于各种类型的油气藏开发。美国、加拿大等各国普遍钻水平井。至 1999 年初,水平井最大水平段超过 6000 m,最大垂深近 6000 m。

3.1.3 小井眼钻井技术日趋成熟

为降低钻井成本,提高钻进效率,近 10 年来小井眼钻井技术发展日益成熟,目前已可提供钻进 $\varnothing 76.2\text{ mm}$ 井眼的钻机和钻具。

3.1.4 自动化或人工智能钻井技术已处于研究和初步应用阶段

这项技术是把地面人工控制的导向钻井系统进一步发展到完全自动控制的闭环导向钻井系统。目前已完成和应用的有美国 Baker Hughes 的 Auto Trak 系统和 HALLIBURTON 的 TRACS 系统、德国的 VDS 垂钻系统及英国 Camco 公司的 SRD 系统等。美国 Pool 公司已开发成只需 2 人操作的全自动钻机。

3.1.5 先进可靠的岩心提取技术发展迅速

应用成熟的钻井取心技术有胶体取心、Core-gard 低污染取心、防卡取心、螺杆马达取心、液力提升全封闭取心与高压/高温取心技术和钻具等,可提高岩心采取率,保证岩心质量。

3.1.6 钻井冲洗液(泥浆)材料和技术各方面取得进展

3.1.6.1 新型钻井液的研制和应用

(1)抗高温水基钻井液。如 MA-1 钻井液公司研制的耐高温(232°C)和高压的水基钻井液。

(2)第二代合成基钻井液。20 世纪 90 年代初首次成功使用第一代合成基钻井液,其润滑性能好,适用于大位移井和水平井等。后又研制成第二代合成基钻井液,比第一代有以下优点:成本低,钻井效率高,对环境的影响小,对海洋生物安全等。

(3)微泡型钻井液。由美国 Acti Systems 公司研制成,称为 Aphrom 钻井液。该钻井液中直径为 $10 \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 的气泡结构和尺寸十分稳定,可重复使

用,适用于定向井和水平井中。

(4)连续软管钻井(CTD)用钻井液。这种钻井液具有降低固相含量、调节流变性能、加强滤失控制及减少粘附卡钻等优点。美国联合化学公司已制备了 4 种 CTD 钻井液体系,其中 3 种为不同密度的体系,一种为抗高温(177 ℃)体系。

(5)甲酸盐聚合物钻井液。该钻井液具有对油气储层损害低,可生物降解不污染环境,稳定泥页岩,高的热稳定性和便于处理、运输、回收等优点,近年来发展很快,已用这种钻井液钻了 100 多口井。

(6)空心玻璃球低密度钻井液。美国能源部研究用空心玻璃球配制密度低于 $1.0 \sim 0.82 \text{ g/cm}^3$ 的钻井液。该玻璃小球密度为 0.38 g/cm^3 ,其抗破裂强度为 21 ~ 28 MPa。现场的离心泵和固控设备不会使其受到破坏。

3.1.6.2 新型钻井液性能测试仪器

(1)Dowell Co 公司研制成功“FMP 钻井液监测仪”,可自动测试钻井液密度、温度、流变参数和 pH 值。

(2)FANN 公司研制成高温(260 ℃)高压的粘度计和失水仪,研制成 DF-610 型井眼循环模拟系统、FDS-800-SPEC 型高温高压动滤失和地层伤害测试岩心驱替系统,等等。

3.1.7 天然气水合物取样技术

天然气水合物在遇到温度和压力变化时,其冰晶体会分解溶化并逸散。所以,在深海取样,其关键是要保压保温(PTCS),即采用保真取心钻具。

在深海钻探计划(DSDP)533 井位使用过一种 3 型保压取心钻具(PCB),用以对天然气水合物取样。在使用 5 次之中有 3 次取样达到保持原位压力 27.5 ~ 32.3 MPa。

在大洋钻探计划(ODP)164 航次采用了更为先进的保压取样器(PCS),达到获得实际保真的天然气水合物样品的目的。目前,美国、日本、俄罗斯等国正加紧开展这方面的研究和开发。

3.2 国内近 10 年的主要成就

我国石油钻井规模目前已列于世界第 3 位。

3.2.1 钻探装备

我国现在年开动石油钻机约 700 台,最多时曾达到 1000 台。目前,我国已形成年产 1500 ~ 6000 m 各种陆地与海洋石油钻机 120 台的能力,并开发了可用于斜井、丛式井和沙漠地区钻井的钻机,及顶部驱动、交流变频驱动等设备,基本满足各种钻井的需要。我国是继美、加、挪、法四国之后第 5 个能生

产顶驱钻井设备的国家。近期研制成功的 ZJ40DB 型交流变频电驱动钻机(钻深 4000 m)达到国际水平。研制成功盘式刹车与自动送钻一体化装置,等等。

我国自行设计建造了渤海 1 号、3 号、5 号和 7 号自升式海洋钻井平台和“勘探三号”半潜式平台。后者为 20 世纪 80 年代制造,于 1994 年安装顶驱系统,至今仍在应用。

“港海一号”极浅海勘探自升式组合钻井平台于 1998 年下水使用。平台自重 2910 t,其壳体由优质钢板制成,性能优良。

中国第一人工岛——大港油田张巨河人工岛于 1992 年建成,岛上可钻井 72 口。所钻张参 1 井钻井深度 3367.8 m。

3.2.2 定向钻井

目前,我国具备钻进各种定向钻井的能力,包括直井、定向井、水平井到大位移井。

由中国海洋石油南海东部公司与菲利普公司合作完成的西江 24-3-A14 井首次应用了十几项世界先进技术,创造了全井水平位移 8062.70 m、裸眼井段长达 5032 m 及 MWD/LWD 实时传输接收信号深度达 9106 m 的世界记录。该井水平位移/垂深比值为 2.7,最大井斜角 86°。该井于 1997 年完成。

海洋 863 计划“海洋大位移钻井技术”专题首次开发成功具有独立知识产权的大位移井控制集成系统,具有空间约束三维轨迹设计、摩阻扭矩计算等功能,研制开发成功 2 种大位移井眼轨道控制工具等。经试验应用,该项成果可实现最大水平位移 4000 m,最大水平位移/垂深比值大于 2 的开发目标。

我国陆上斜深最深大位移井——大港油田承钻的港深 69-1 井于 2000 年初完钻,井斜深 5464 m,垂直井深 4318 m,水平位移 3118 m。

胜利油田于 2000 年钻成我国陆上第一口超过 3000 m 的大位移水平井 辽北 21-平 1 井。该钻井水平位移 3167.34 m,水平位移/垂深比为 1:1.2。此井为我国目前水平位移最大的陆上水平井。

至今,我国大港油田和胜利油田已完成超过水平位移 2 km 的大位移井已有多口,积累了许多经验。

3.2.3 钻井冲洗液

近 10 年来,我国钻井液已基本形成与各种所钻地层相适应的多种类型和体系。在类型上由水基发展到油基、气基、油水乳化基、气水乳化基和合成油

基。在体系上由细分散发展到粗分散、不分散和深井中的上不分散下分散等。化学处理剂已具有 16 类 260 种,与国际相差不多。

地矿系统完成的‘钙膨润土钠化技术’获美国石油学会 API 证书和 1992 年国际发明展览会金奖。至 1997 年底,生产量 10 万 t 以上,供国内油田、固体矿产勘探及出口到东南亚各国的英、美等国石油公司。所研制的‘广谱护壁剂及低软化点沥青防塌剂’和‘页岩抑制剂 DSSAS’保护井壁功效优于国际公认优质产品——美国生产的 Soltex。

石油系统研制的阳离子聚合物钻井液在抗温、抗盐、润滑和护壁等方面具有较好性能,已在几个油田的 200 多口深井、超深井和水平井中应用。所研制的两性离子聚合物钻井液、硅酸盐钻井液、多元醇树脂钻井液和正电胶(BPS)钻井液均具有良好性能,在各油田 10 余口钻井中应用。

3.3 国内与国际先进水平的技术差距

3.3.1 钻探装备落后,需加速国产化进程

国产石油钻机性能差、效率低和寿命短,而且迁移性差、搬迁安装慢。国产钻机机械维修时间约占总生产时间的 5%~10%,而美国则只占 2%~3%。标准化程度低,国产钻机部件和零件与国际标准差距较大。

我国相当数量钻机超期服役,严重老化,约有 50% 国产钻机的新度系数在 0.3 以下。电驱动钻机所占比例为 6.8%,远比国外低(约 30%)。发达国家已相当成熟的 8000 m 以上超深井、沙漠和海洋成套石油钻机以及盘式刹车(自动送钻一体化)等在我国仍然是空白。

我国石油钻机中具有(电动)顶驱系统的比例很低,而在西方日益兴起的全液压顶驱石油钻机我国则刚开始研制。连续管钻进方法在国外已广泛应用,我国则应用很少。目前,在独联体国家钻进进尺占 1.7% 的井底电动钻具我国在 20 世纪 70 年代中断研究和应用。涡轮钻具钻井应用尚不够普遍。

我国虽然自己生产了渤海几种型号和勘探 3 号钻井平台,但是目前正在使用的仍以国外(美国、挪威、日本、瑞典、新加坡)制造的为多。在钻井平台的结构和性能方面,国产的比国外生产的有相当差距。在建造和应用钻井船方面,更有较大差距。

3.3.2 定向钻井技术有较大差距

创世界记录的西江 24-3-A14 大位移井是与外国公司合作完成的。至 1999 年,我国独立完成万方数据

2000 m 以上水平位移的定向井还不到 15 口,而其中,有的钻井的水平位移/垂深比小于 2(大位移井起始值)。我国可变径稳定器的研究尚处于探索阶段。我国目前虽然生产了若干型号用于随钻测量(MWD)的测斜仪,但是从测量精度和可靠性等方面看,有很多不足。

美国已经实现商业化应用的自动旋转导向钻井技术我国刚开始研究。

3.3.3 我国自动化钻井正在探索作初步研究

3.3.4 我国新型金刚石复合片钻头(PDC)、新型牙轮钻头及特种钻头尚有不小差距

3.3.5 钻井冲洗液材料和测试仪器落后

我国在研制和应用高性能新品种钻井冲洗液方面尚有不足。国产泥浆材料品质由于生产工艺设备落后,距国际先进水平有一定差距。测试仪器的测试精度、对使用环境的适应性,特别是动态的高温高压测试仪器和国际上相比存在较大的差距。

在井壁稳定技术、减少冲洗液对环境影响和储层保护技术等方面尚有许多不足。

3.3.6 对天然气水合物钻探取样技术的研究刚刚起步

3.4 需要加强研制、引进的关键技术

(1) 研制深孔(>6000 m)石油钻井设备;

(2) 研制和完善交流变频电驱动石油钻机系列(6000、7000 m 和更深);

(3) 研制适于陆上钻井轻便顶部驱动钻机系列;

(4) 加强研制全液压传动的钻进设备,如引进美国和挪威合资 Maritime Hydraulics 公司全液压钻机;

(5) 加强研究和开发,促进海上钻井平台和钻井船国产化;

(6) 加强研究水平位移超过 2000 m 的大位移井钻井技术、设备、仪器、钻具和钻井工艺;

(7) 加强研制高精度随钻(MWD)测斜仪器;

(8) 研制高性能井底涡轮钻具;

(9) 研制井底电动钻具;

(10) 研究高温高压深井(超过 4500 m)钻井技术;

(11) 研究新型钻井冲洗液和先进堵漏技术;

(12) 研究超高压射流辅助钻井技术;

(13) 加强研制自动导向钻井系统;

(14) 研究自动化闭环钻进技术和设备。

(未完待续)