

科钻一井钻探施工技术总论

王 达, 张 伟

(中国大陆科学钻探工程中心, 北京 100011)

摘 要 介绍了中国第一个硬岩、深孔、连续取心钻探项目——中国大陆科学钻探工程科钻一井的钻探实施情况, 涉及该井的钻探技术设计、钻孔结构和套管程序, 进行取心钻进、扩孔钻进和纠斜钻进时采用的方法和技术。此外, 还介绍了科钻一井的施工过程以及在钻进施工中遇到的各种技术难题和采取的解决措施、获得的主要技术经济指标。

关键词 中国大陆科学钻探 施工技术 科钻一井 深孔 取心

中图分类号 TP634 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7428(2005)S1-0016-07

A General Introduction on the Drilling Operation and Techniques of the CCSD-1/WANG Da, ZHANG Wei (CCSD Engineering Center, Beijing 100011, China)

Abstract A brief introduction on the implementation of the China's first deep hole, hard rock continuous coring project, CCSD-1 drilling project, is made in this article, concerning the casing program, methods and the technologies used in core drilling, hole opening and directional drilling phases. In addition, the drilling process of the CCSD-1 and the technical problems encountered while drilling and the measures adopted to solve the problems are described, technical and economic data presented.

Key words : CCSD ; drilling operation and techniques ; CCSD-1 ; deep hole ; coring

中国大陆科学钻探工程科钻一井于 2001 年 6 月 25 日开钻, 到 2005 年 3 月 8 日现场钻井、测井和地球物理施工任务全部完成, 整个工程历时 1353 天。工程方面为地学研究提供了充分的原始样品和信息, 对科学研究成果起到了重要保证作用, 同时工程本身也获得一大批优秀成果。在坚硬的结晶岩中施工 5000 m 深的连续取心钻孔, 不仅在我国没有先例, 在世界上也属于高难度钻井工程, 目前世界上只有极少数国家完成了这样的钻井工程。我国的钻探技术人员在施工科钻一井过程中, 克服了重重困难, 解决了大量技术难题, 完全采用我国自己开发、研制的钻探技术与装备, 实现了高难度的钻进目标, 钻井施工取得了高效、优质、经济的好效果。

科钻一井在施工过程中研究开发了一大批新型的钻井技术, 包括硬岩深井取心钻探技术、坚硬岩层的扩孔钻探技术、科学探井的防斜纠斜技术、“四低一高” LBM-SD 泥浆的应用技术、活动套管的应用技术, 小间隙套管的固井技术以及国家重大科学工程钻探项目的独特的组织管理模式研究等。

中国大陆科学钻探工程由钻探子工程、测井子工程、地球物理子工程、分析测试子系统、数据管理

及信息工程子系统组成。

钻探子工程是中国大陆科学钻探工程的关键, 它的成败对整个工程具有决定性的作用。钻探子工程的任务是在坚硬的结晶岩中钻进 5000 m 科学钻孔, 全面获取地学研究所需要的岩心、岩屑和流体, 为测井、孔内试验和长期观测提供通道。这是一项不同于其他任何钻探项目的特殊的高难度钻井工程。这类工程国内以前从未实施过, 国外也没有成熟的技术可以直接利用。

1 科钻一井钻探技术设计

1.1 钻探工程的具体要求

(1) 终孔直径 为保证测井的实施, 终孔直径 ≤ 152 mm (实际为 $\varnothing 157$ mm)。

(2) 取心 全孔岩心采取率 $\leq 80\%$, 如较长孔段取不到岩心, 则需进行侧壁补心。

(3) 取样 先导孔每 1 m 取一个岩粉样 ; 注孔 0 ~ 2000 m 不取心段每 1 m 取一个岩粉样和一个岩屑样, 2000 ~ 5000 m 取心段每 1 m 取一个岩粉样 ; 先导孔和主孔每钻进 1 m 取一个流体样。

(4) 先导孔井斜 $\leq 14^\circ$, 主孔不超过 18° 。

收稿日期 2005-06-30

作者简介: 王达(1943-), 男(汉族), 天津人, 中国大陆科学钻探工程中心主任、教授, 博士生导师, 探矿工程专业, 从事钻探技术研究与管理
工作, 北京市西城区黄寺大街 24 号院 21 楼, (010) 51632300, wangda@ccsd.cn。

1.2 科钻一井钻遇岩层的主要特点

科钻一井施工地点在江苏北部的连云港市东海县,位于苏鲁超高压变质带上,钻遇岩石是一套结晶岩,主要有以橄榄岩为代表的超基性岩类,以榴辉岩为代表的基性岩类,以片麻岩(和片岩)为代表的中酸性岩类,以石英为代表的硅质岩类和以大理岩为代表的碳酸岩类。岩石密度大、硬度高、研磨性强,可钻性差,造斜性强。可钻性多数为8~9级,以9级为主,少数岩石达到10~11级。

5000 m 深井的施工方法与地质勘探井有显著区别,与油气井深度相近但是和油气井钻遇的沉积岩层区别较大。

(1) 沉积地层成层状,一般岩石硬度较小,而结晶岩地区由于岩浆活动或构造运动,岩石状态很复杂,不呈层状,岩石硬度及研磨性比较高。

(2) 沉积地层经常有含水或含油层位,而且由于上覆地层的重力会造成这些含水、油的地层具有较高的地层压力,而结晶岩地层一般不采用地层压力的概念,断层或裂隙中的地下水,有时也会造成井涌或井漏,但一般不会产生井喷的现象。

(3) 油气井取心比例很小,即便是油气勘探井也仅在必要井段采取少量岩心,而科探井要求全孔连续采取岩心,采心比率(采取岩心的井段长度与不取心井段长度之比)可达100%。

1.3 钻探技术难点

(1) 坚硬的岩石施工深度5000 m、终孔 $\varnothing 157$ mm 的连续取心钻孔,技术要求高,在我国没有先例,没有现存可用的钻探技术。

(2) 钻进施工遇到的岩石坚硬难钻,研磨性强,导致钻进速度低、钻头寿命短。

(3) 片麻岩各向异性显著,加上岩层产状陡,岩层造斜性强,易井斜。

(4) 某些层段井壁坍塌、破碎严重,扩径显著,易导致事故。

(5) 没有深部资料可参照,施工风险大。

1.4 解决钻探技术难题的基本思路

(1) 采用双孔方案。

(2) 采用组合式钻探技术。

(3) 采用超前孔裸眼钻进方法。

(4) 主要采用我国自己研制开发的钻探技术。

所谓“双孔方案”,即在施工难度较大的5000 m 深钻(主孔)之前,先钻一口2000 m 深的较浅钻孔(先导孔)。这样做的好处是:可预先获得施工经验和进行深钻设计所需的地层参数,提前试验将在深

钻施工时采用的钻进器具和材料,因此有助于降低深钻施工的风险。在双孔方案实施过程中,如果先导孔施工效果好,井内情况不复杂,井斜被控制在允许的范围内,则可直接将先导孔扩孔,下套管升级为主孔。这样可以大量节约时间与经费。

“组合式钻探技术”是石油钻井技术和地质岩心钻探技术的结合,即采用石油钻井设备(转盘钻机、泥浆泵等配套设备),同时采用地质岩心钻探常用的高转速金刚石取心钻进工艺方法(采用薄壁孕镶金刚石取心钻头进行高转速钻进)。以这一套特殊的钻探技术体系来解决大直径、深孔、硬岩连续取心钻进施工的技术难题。值得强调是,我们只是沿用了地质钻探工艺方法的基本原理,现有的地质钻探工艺方法或钻进系统不能直接用于该项目。

该项目的钻孔结构、套管程序和钻进施工程序设计采用了先进的“超前孔裸眼钻进方法”,其特点是:采用活动套管,以小直径取心钻进,需要下套管护壁时,回收活动套管后扩孔钻进。

1.5 钻探技术设计采用的主要技术方法

考虑到钻遇地层的复杂性和难度,设计中采用了“冗余设计”的思路,即将可能遇到的情况,即使是几率很小的事件也要充分估计在内,尽可能多设计一些方法,以备不测。设计中考考虑采用多种钻进方法、技术,多是一些新的和非常规的方法、技术,主要有:

(1) 以金刚石绳索取心钻探技术为主体的多种取心钻探技术。

(2) 改进的液动冲击回转钻探技术。

(3) 井底动力+绳索取心“二合一”或井底动力+液动锤+绳索取心“三合一”钻探技术。

(4) 井斜的控制与纠正技术(含垂孔钻探技术VDS)。

(5) 活动套管应用技术。

(6) 各种泥浆应用技术等。

2 科钻一井的钻井施工情况

2.1 科钻一井的钻探设备

科钻一井钻进施工采用型号为ZJ70D的7000 m 电动钻机(见图1),该钻机由宝鸡石油机械厂生产,是我国制造的能力最强和最先进的钻机。

该钻机采用了当今世界先进的AC-SCR-DC电传动动力系统,绞车、转盘和泥浆泵均可实现无级变速,从而获得优良的钻井特性。该系统的微控制技术、智能技术属国内外同类产品的佼佼者,启动平

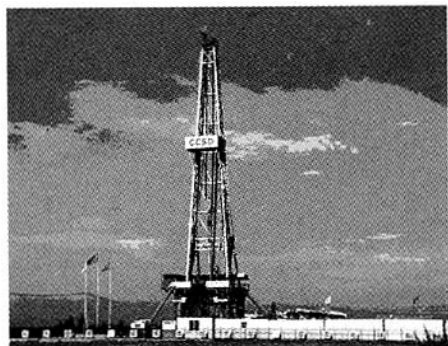


图1 用于科钻一井施工的7000 m 电动钻机

稳,传动效率高。钻机上配备了先进和现代的辅助设备和仪表,如有液压盘式刹车,可实现高精度自动送钻的电子司钻;一套完善的钻进参数数据采集和显示系统,可实时监控钻进情况并记录钻井数据;一套由振动筛、除砂器、除泥器和离心机组成的最新式的泥浆固控系统,能实现泥浆固相含量的精细控制等。

该钻机的主要性能参数:最大钻柱质量 220 t (6 × 7 绳系);最大钩载 4500 kN (6 × 7 绳系);名义钻探深度 (Ø114 mm 钻杆) 7000 m;捞砂滚筒钢丝绳容量 Ø16.3 mm × 5600 m;绞车挡数 4 + 4R, 无级调速;绞车最大输入功率 1470 kW;提升速度 0 ~ 1.6 m/s;井架高度 45 m;底座高度 9 m;泥浆泵最高泵压 50

MPa 泥浆泵最高排量 50 L/s。

2.2 科钻一井钻进施工过程

科钻一井的施工并不是一帆风顺的,施工中遇到了许多技术难题,而钻探技术人员采取了许多技术措施来解决这些问题,钻进施工因此被分成不同的阶段。按施工内容的变化,可将科钻一井的钻进施工分成 7 个阶段,各阶段的施工情况简述如下(见图 2、3)。

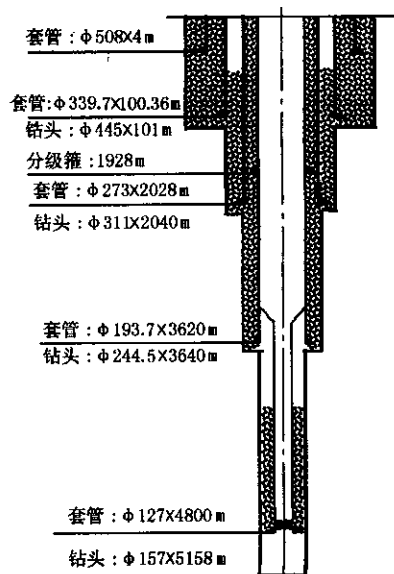


图2 科钻一井的钻孔结构和套管程序

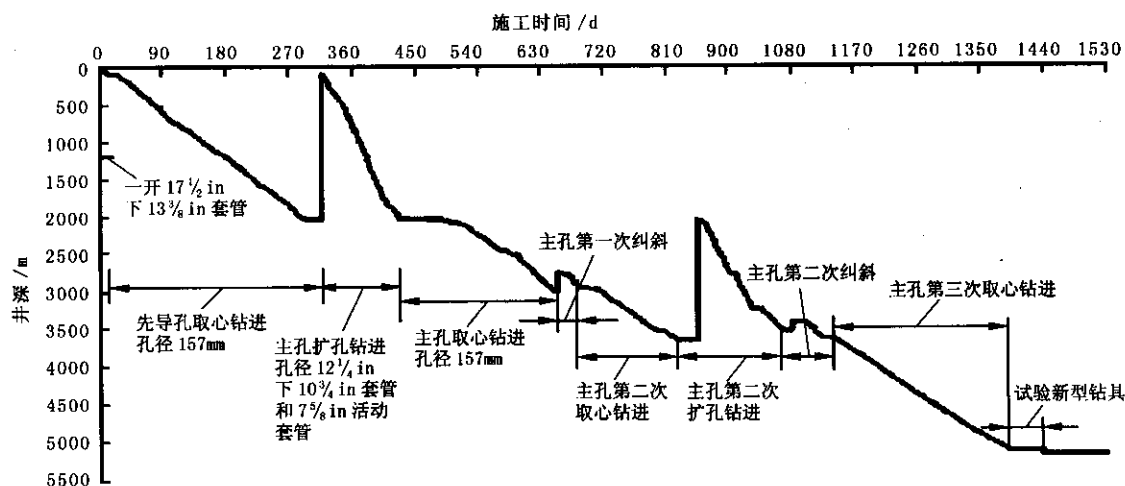


图3 科钻一井施工进度曲线

(1) 第一阶段 先导孔 CCSD - PH 取心钻进。

科钻一井先导孔的钻进施工从 2001 年 6 月 25 日开始。由于钻孔直径大,没有合适的取心钻具,一开施工采用三牙轮钻头全面钻进。一开井径 444.5 mm (17 1/2 in), 完钻井深 101 m。

一开完钻后,下入 Ø340 mm (13 3/8 in) 表层套管 100.36 m, 井进行了固井。然后下入 Ø273 mm (9 5/8

in) 活动套管 101 m。下活动套管一方面可减小环状间隙,改善环空中岩屑的携带效果;另一方面可改善高速回转的钻杆柱的受力状况。

二开施工于 2001 年 7 月 16 日开始,从井深 101 m 开始,采用 Ø157/96 mm 金刚石钻头进行取心钻进,至 2046.54 m 完钻,宣告先导孔钻进阶段结束。

(2) 第二阶段:主孔第一次扩孔和下套管、固

井。

根据《中国大陆科学钻探工程初步设计》,如果科钻一井先导孔施工效果好,钻井情况不复杂,则可在先导孔基础上扩孔钻主孔,而不必移井位(移到距离先导孔 100 m 的地方)后钻主孔。由于先导孔施工质量和井内情况都较好,经请示领导并得到批准后实施扩孔钻后主孔方案,因此实现了二孔合一。

此次扩孔是将 2000 m 先导孔由 157 mm 口径扩大到 311 mm,扩孔完成后将下套管、固井,为主孔 2000 ~ 5000 m 井段取心钻进打下一个稳固的基础。

扩孔施工于 2002 年 5 月 7 日开始,9 月 5 日结束。开始井深为 101 m,完钻井深为 2033 m。扩孔完成后,下入钢级 J55,壁厚 10.16 mm 的 $\varnothing 273$ mm ($10\frac{3}{4}$ in) 套管 2028 m 并固井,然后再下入一层钢级 P110,壁厚 9.52 mm 的 $\varnothing 194$ mm ($7\frac{5}{8}$ in) 活动套管。

(3) 第三阶段:主孔第一段 CCSD - MH 取心钻进。

根据设计,科钻一井主孔 2000 ~ 5000 m 井段采用顶部驱动系统和金刚石绳索取心钻进方法施工。为此,将采用国际大陆科学钻探计划(ICDP)组织提供的 $5\frac{1}{2}$ in 金刚石绳索取心系统,并租用了德国的液压顶驱装置。为安装和使用该顶驱装置,对钻台进行了适当改造。

主孔取心钻进阶段的施工于 2002 年 10 月 4 日开始。此阶段初期钻进施工不正常,遇到了钻具折断、钻头异常磨损和岩心采取率低等技术难题,钻进施工效率非常低。据分析,这是由于套管鞋下方存在一个破碎和扩径带,导致高速回转的钻杆柱工作不稳定。后改用钻进时钻杆柱不回转的螺杆马达/液动锤/金刚石取心钻进方法,钻探生产恢复正常。

进入完整地层后继续采用绳索取心方法钻进,但打捞岩心还是屡屡失败。后经仔细检查和分析发现,德国的绳索取心钻杆存在着严重的加工质量问题,钻杆体和接头连接部位有台阶并且直径偏小,使内岩心管的打捞不能正常进行。为此,我们放弃了顶驱/金刚石绳索取心钻进方法,再次采用螺杆马达/液动锤/金刚石取心钻进方法钻进。改变钻进方法后,获得了很好的施工效果。

(4) 第四阶段:主孔纠斜施工。

CCSD 主孔钻进到 2770 m 后,岩性变成以片麻岩为主,同时岩层倾角增大,岩层造斜性加强。到 2935 m 顶角增加到 16.34° ,增斜率为 $0.55^\circ/10$ m。在井深达到 2935.18 m 后,经研究决定停止取心钻

进,进行纠斜。用水泥回填了 230 m 井段后,从井深 2749 m 至 2974.59 m,采用 $\varnothing 157$ mm 螺杆马达和弯外管钻具,将井斜角 18° 降低到 6° 左右。

(5) 第五阶段:主孔第二段 CCSD - MH - 1C 取心钻进。

纠斜结束后,从 2974.59 m 开始,继续采用 $\varnothing 157$ mm 螺杆马达 + 液动锤 + 金刚石取心钻进系统钻进。

2003 年 10 月 2 日,钻进到井深 3665.28 m 时,发生了下扩孔器公扣断裂,扩孔器和钻头掉落在井内的事故。由于井深较大,加上事故落鱼的上方有一段较长的坍塌、扩径带(3200 m 以下有 4 个扩径较明显的大肚子,其中最大的一个长度约 50 m),致使打捞“落鱼”施工的难度和风险都很大。在采用各种方法打捞皆无效果后,决定先扩孔下套管,创造一个安全的环境后再来处理,以避免事故上叠加事故。

(6) 第六阶段:主孔第二次扩孔和下套管、固井。

第二次扩孔钻进是将井眼直径由 157 mm 扩大到 245 mm,采用 $\varnothing 245$ mm 导向式牙轮扩孔钻头,从 2028 m 开始钻进。扩孔钻进到 3480 m 时,遇到了该井最大坍塌、扩径带,该带的长度近 50 m,平均直径比取心钻头直径(157 mm)大 50%,最大直径为 430 mm,比取心钻头直径大 170%。该扩径带井壁的岩石在不断的塌落,加上以前落井的套管扶正器簧片和钻头导向头堆积在此处,造成扩孔钻进无法正常进展。采用了多种措施处理,无明显效果,同时考虑到井底还有待处理的钻头和扩孔器,决定采用侧钻绕障的方法,避开复杂井段和事故钻具。

用水泥回填部分井段后,从 3400 m 开始,采用螺杆马达和弯外管钻具进行侧钻。侧钻非常成功,不但实现了绕障,还借此机会进行了纠斜,从 3400 ~ 3445 m,将井斜角从 9.4° 降到了 1° 。

完成侧钻后,采用三牙轮钻头全面钻进到 3623.91 m,下入 $\varnothing 194$ mm ($7\frac{5}{8}$ in) 套管至 3620 m 并进行固井。

(7) 主孔第三段 CCSD - MH - 2C 取心钻进。

2004 年 5 月 9 日,主孔第三段 CCSD - MH - 2C 取心钻进从 3623.91 m 深度正式开始,一路顺利,至 2005 年 1 月 23 日钻进到 5118.20 m 整个取心钻进施工任务圆满完成。

为了科学钻探工程今后发展的需要,指挥部决定将在试验钻孔中试验比较成功的“三合一绳索取

心钻具’和‘螺杆马达造斜器”,在主孔最深部位进行实钻试验,截止 2005 年 3 月 8 日试验获得初步成功,井深到达 5158 m。

最后,完成测井、下入 $\varnothing 127\text{ mm}$ (5 in) 尾管并固井,做垂直地震剖面测量 (VSP) 和井场二维三分量地球物理工作,于 4 月 19 日正式停工。

3 科钻一井的钻进技术

3.1 科钻一井的取心钻进技术

在科钻一井中共试验过 8 种取心钻进方法(钻进数据参见表 1),以便从中优选最佳的方法。结果表明,螺杆马达-液动锤-金刚石双管取心钻进方法效果最佳,科钻一井的取心钻进施工主要采用了该方法。

表 1 科钻一井取心钻进数据统计表

取心钻进方法	回次 /n	进尺 /m	回次长 /m	钻速/ (m · h ⁻¹)	岩心采取率/%
转盘或单管取心钻进	12	19.55	1.63	0.47	58.2
顶驱+双管取心钻进	8	5.87	0.73	0.36	5.1
顶驱+绳索取心钻进	5	7.62	1.52	0.63	13.8
顶驱+液动锤+绳索取心钻进	3	8.27	2.76	0.89	99.5
螺杆马达+绳索取心钻进	8	6.72	0.84	0.33	71.9
螺杆马达+双管取心钻进	398	908.36	2.28	0.74	88.2
螺杆马达+液动锤+先导孔	269	1100.76	4.09	1.11	87.2
双管取心钻进主孔	371	2938.12	7.92	1.14	85.3

螺杆马达和液动锤都是靠泥浆驱动的井底动力钻具。螺杆马达驱动的特点是钻杆柱不回转,具有减少功耗、降低钻具磨损和对井壁的干扰,防止事故的优点。液动锤是一种具有冲击钻进功能的钻具,可以大幅度提高钻进效率和取心回次进尺长度,并具有减轻井斜的功效。这两种先进的井底动力钻具与金刚石取心钻具结合在一起后,形成了一种新型的、集多种钻进方法的优点于一体的组合式取心钻进系统(见图 4)。与普通的取心钻进系统相比,该系统可提高机械钻速 50% ~ 100%,提高取心回次进尺 1 倍以上,可减轻井斜,并且施工安全,因此是一种高效、优质、安全和低成本的深孔取心钻进系统。

施工中采用的主要钻进参数范围如下:
钻压:10 ~ 30 kN 转速:170 ~ 330 r/min 排量:8 ~ 12 L/s 泵压 随着井深和排量的增加而升高,在 4 ~ 14 MPa 范围内变化。

在井深 1634.38 m 后,为了克服井壁对钻具的摩阻,使钻压更有效地传递到钻头上,采用了“双回转”方式,即在螺杆马达回转的同时,转盘带动钻杆



图 4 螺杆马达、液动锤直和孕镶金刚石取心钻头

柱缓慢回转。不过转盘转速很低,仅为 12 r/min,因此不会对井壁稳定带来不利影响。

3.2 科钻一井的扩孔钻进技术

科钻一井施工中进行了两次扩孔。第一次扩孔钻进是将井眼直径由 157 mm 扩大到 311 mm,扩孔井段为 101 ~ 2028 m,扩孔段长 1927 m。第二次扩孔钻进是将井眼直径由 157 mm 扩大到 245 mm,扩孔井段为 2028 ~ 3525.16 m,扩孔段长 1497.16 m。扩孔钻进的总长度为 3434.16 m。

在硬岩中进行如此长距离的扩孔钻进,在我国属首次,经验很少,难度相当大。主要技术难点是:

(1) 钻进过程中,钻头跳动严重,导致钻头轴承和合金齿过早损坏,同时还造成钻杆柱中的其它部件过早损坏;

(2) 由于岩石坚硬、研磨性强,钻头直径很快变小,导致新钻头下钻困难,须长时间划眼。

针对以上技术难点,主要采取了以下措施:

(1) 通过采用金属密封轴承、最佳的合金齿齿形、钻头结构设计和材质优选以及加强钻头保径等措施优化钻头设计。

(2) 采取减震措施将钻柱系统的震动降至最低,以保证钻进过程的平稳以及工具的长寿命。

(3) 采用金刚石扩孔器,使钻孔直径在较长的时间范围内保持稳定。

二次扩孔皆采用导向式三牙轮扩孔钻头(图 5)。这种钻头的前部有一段 $\varnothing 150 \sim 156\text{ mm}$ 、长度 200 mm 的导向体。钻进时,导向体插入 $\varnothing 157\text{ mm}$ 取心钻头钻成的小直径井眼内,可避免扩孔形成的大直径井眼偏离原来的井眼。扩孔钻进获得的钻进效果见表 2。

表 2 扩孔钻进技术指标表

扩孔尺寸 /mm	扩孔进尺 /m	平均机械钻速 /(m · h ⁻¹)	平均钻头寿命 /m
157/311	1927	1.04	56.8
157/245	1497	1.06	51.62

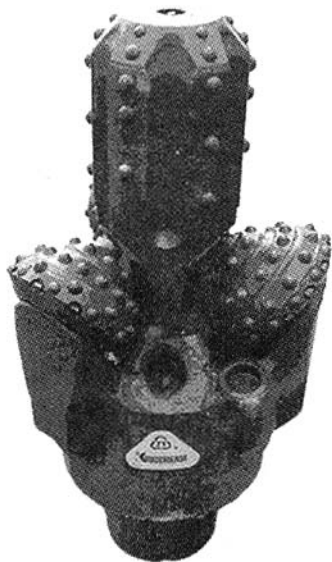


图5 导向式三牙轮扩孔钻头

3.3 科钻一井的井斜控制技术

科钻一井钻进遇到的岩石以片麻岩和榴辉岩为主,岩层产状较陡,且片麻岩各向异性显著,造斜性强,钻进时易发生井斜。

科钻一井的井斜控制体现在两方面,即防斜和纠斜。

3.3.1 防斜技术

岩层条件,即岩层造斜性是自然存在并且不可改变的。防斜即在钻进方法选取以及井底钻具组合和钻进参数设计时,考虑采取措施,抑制或减缓井斜。

科钻一井施工的防斜措施包括:

- (1) 采用螺杆马达井底驱动和液动锤钻进;
- (2) 采用满眼的井底钻具组合;
- (3) 采用低钻压钻进,正常钻进的钻压一般为

20 ~ 30 kN。

这些措施收到了很好的效果,2046 m 深的先导孔的最大井斜只有 4.1°。

3.3.2 纠斜技术

由于岩层的造斜性太强,尽管采取了较好的防斜措施,有时井斜增加还是比较快。当井斜增大到一定程度时,就必须纠斜,以保证下部钻进施工能正常进行。

科钻一井的纠斜施工分成 2 种情况,分别是:

- (1) 侧钻出新眼,即先用水泥回填部分井段,然后侧钻出一个新的井眼,用于绕障或纠斜。在硬岩中进行侧钻的难度很大,主要是因为水泥石与坚硬的岩石在硬度和强度方面差距太大,造斜钻头容易

沿着水泥钻进。在科钻一井施工中通过反复尝试,摸索出了一种行之有效的硬岩侧钻方案,即小径造斜 + 导向扩孔,具体地说就是采用较原钻井直径小的孕镶金刚石钻头以及弯外管/螺杆马达钻具和无线(或有线)随钻测量系统,侧钻出一个新的井眼,然后用导向式金刚石扩孔钻头将钻井扩大到原来的直径。

科钻一井中进行过 2 次侧钻:第一次的目的是纠斜,在 2749 m 处,采用 $\varnothing 140$ mm 小径钻头侧钻出新眼,然后用 $\varnothing 157$ mm 导向钻头扩孔;第二次的目的是绕障,在 3400 m 处,采用 $\varnothing 216$ mm 小径钻头侧钻出新眼,然后用 $\varnothing 245$ mm 导向钻头扩孔。两次侧钻都获得了成功。

(2) 在原井眼或已侧钻出的新井眼中,采用造斜钻头以及弯外管/螺杆马达钻具和无线(或有线)随钻测量系统进行纠斜。试验结果表明,进行此种施工宜采用牙轮钻头。与金刚石钻头相比,牙轮钻头的机械钻速和钻头寿命指标要好得多,并且不容易卡钻。

主孔下部孔段由于地层的自然造斜作用,使井斜增大到 $25^{\circ} \sim 28^{\circ}$,根据原设计指标应进行纠斜。但是经专家建议并认真分析了井底情况之后,报领导小组批准,在不影响科学目标的前提下,继续钻进直至孔底,全孔平均孔斜为 $0.53^{\circ}/m$ 。

3.4 科钻一井的钻井泥浆技术

科钻一井施工采用 LBM - SD 钻井泥浆体系。LBM - SD 低粘增效粉由人工钠土和 LPA 聚合物两种组份构成。该钻井液体系具有低粘度、低密度、低切力、低失水的特点,配制和维护简易,适合于 CCSD - 1 井的螺杆马达 + 液动锤的金刚石取心钻进工艺。加入 GLUB 润滑剂达到高润滑的效果,一方面改善液动锤的阀和活塞的工作条件;另一方面延长液动锤的使用寿命。液动锤的工作可靠性和回次进尺长度方面都得到了明显的改善。与此同时,螺杆马达和泥浆泵部件的使用寿命也得到了明显的提高。

取心钻进泥浆系统的主要性能参数如下:

基浆:3%, LBM - SD。密度:1.06 ~ 1.08 g/cm³。漏斗粘度:35 ~ 40 s。含砂量:<0.1%。API 失水量:15 ~ 20 mL。初切力:0.5 ~ 1.0 Pa。终切力:1 ~ 2 Pa。Fann 粘度: η_{600} 16 ~ 20 η_{100} 4 ~ 6。

施工中采取了严格的泥浆固相控制措施,采用了由振动筛、除砂器、除泥器和离心机组成的有效的泥浆固控系统,使泥浆含砂量一直保持在 0.03% 左

右,对提高钻进效率、减轻钻具磨损、提高螺杆马达和液动锤的使用寿命,起到了很好的作用。

4 科钻一井钻探工程的施工组织管理

中国大陆科学钻探工程组织管理体系构成为:

(1) 中国大陆科学钻探工程领导小组,负责该项目组织实施的领导和重大决策。

(2) 中国大陆科学钻探工程科学顾问委员会,其职责是为领导小组和工程中心提供科学和技术咨询。

(3) 中国大陆科学钻探工程中心,是独立的项目法人和项目的执行机构,其主要职责是承担并组织实施此项科学工程以及与该项目配套的国土资源大调查项目和科研项目以及开展科学钻探领域的国际合作。工程中心下设地学部、工程部和办公室(见图6)。

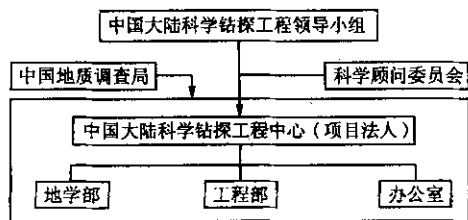


图6 CCSD 组织机构图

考虑到中国大陆科学钻探工程是一项高难度的钻井工程,在国内没有先例。以钻探施工为主线的国家级重大科学工程的施工的组织必须采取一种特殊的方式,同样在国内没有先例,其主要特点是甲方在施工中的参与程度很高。为此,在江苏省连云港市东海县的施工地点设立了现场指挥部,由总指挥、副总指挥、总地质师、总工程师组成现场指挥部领导班子。其中钻探工程方面设立了钻探技术室、生产调度室。

钻探技术室的职责是 进行钻井设计 组织钻探技术研究与开发 进行新技术引进和国际合作 进行钻井物资采购。

生产调度室的职责是 根据钻探施工阶段设计和钻井施工中的各种情况,制定具体的钻井施工措施,并向钻井承包商(乙方)下达施工指令;对钻井施工的质量、安全、进度及成本进行监督。

科钻一井的钻井队伍是中原石油勘探局钻井三公司70101钻井队,是通过公开招标选取的,他们的职责是根据现场钻井监督的指令,执行各项钻井操作。

钻井施工付费采取日费制。所有的钻进器具和

材料都由现场指挥部自行组织采购或研究、开发、引进。

实践证明,这种新型的钻井施工组织管理方式收到了很好的效果。

5 结论

(1) 由于采用先进的钻探技术和卓有成效的施工管理,科钻一井的钻井施工获得了高效、优质的效果,主要的技术经济指标都达到或超过了设计要求。通过项目的实施,研制开发出了适合于大直径、硬岩、深井取心钻进的金金刚石取心钻进系统(包括钻头、扩孔器、取心管、螺杆马达和液动锤等)以及硬岩扩孔钻进系统和硬岩定向钻进系统,这些系统在恶劣的钻井条件下使用经受了考验,得到了改进和完善。研究与开发的钻探技术,极大地提升了我国钻探技术的水平。

(2) 试验成功的螺杆马达-液动锤-金金刚石取心钻进系统属世界首创,该系统研制成功,是取心钻探技术的重大突破。试验结果表明,采用该工艺,可提高机械钻速50%~100%,可提高回次取心进尺长度1倍以上,防斜和降斜效果明显。

(3) 通过反复试验和改进,使液动锤钻进技术得到较明显的改进和完善。我国本来在此方面就居于世界前列,而实施该项目获得的长足进展,确立了我国在该技术方面的世界领先地位。

(4) 研制成功了适合于硬岩和高转速条件的大直径薄壁金金刚石取心钻头。这种钻头在恶劣的岩层条件和液动锤的冲击作用下,也可获得较好的钻头寿命和机械钻速指标。

(5) 在国内首次实现在坚硬的岩石中进行长井段扩孔钻进,摸索出了一整套适用的扩孔钻进技术,包括钻头、井底钻具组合、减振措施和钻进工艺参数。

(6) 摸索出了一套硬岩深井纠斜和造斜技术,在国内首次实现了在大直径、硬岩、深井条件下侧钻和纠斜。

科钻一井的钻探施工已经结束了,它极大地提升了我国钻探技术的水平,在科学探井施工技术、井底动力驱动取心钻探技术、液动锤钻探技术以及井斜控制技术、“四低一高”泥浆应用等方面,我们创造了一系列新的技术、新的记录。本文仅仅是一个极为概要的总结,今后将逐一对科钻一井的钻探施工技术进行总结和介绍,以飨读者。