

13000 m 科学超深井钻探技术

张金昌, 刘秀美

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:对国内外科学钻探实践进行了简要回顾,对超万米科学钻探工程面临的技术难题进行了分类描述。在此基础上,考虑沉积岩和结晶岩2种地层条件,提出了13000 m科学超深井的钻探技术方案。

关键词:科学钻探;科学超深井;钻探技术;钻机;钻具;钻井液

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)09-0001-06

13000m Drilling Technology of Super-depth Scientific Drilling-well/ZHANG Jin-chang, LIU Xiu-mei (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The article looked back briefly on the history of the scientific drilling practice and described the challenges of the super-depth scientific Drilling-wells. The 13000m drilling technology plan of super-depth scientific drilling-well was put forward.

Key words: scientific drilling; super-depth scientific drilling-well; drilling technology; drilling rig; drilling tool; drilling fluid

1 国内外科学钻探实践综述

地球为人类提供了资源、能源、生活空间和生存环境,但同时又给人类带来了地质灾害(地震、火山和泥石流等)。人类为了自身生存的需要,迫切地希望了解地球。迄今为止,人类对地球内部仍然所知甚少。长期以来,科学家们试图运用地质、地球物理和地球化学等方法来探测与研究地球内部,但所获得的认识都是间接的。科学钻探是目前能直接获取地下实物数据和提供测量信道的唯一技术方法,是人类解决所面临的资源、灾害、环境等重大问题不可或缺的重要手段,被誉为“伸入地壳的望远镜”。

人类最早的科学钻探活动开始于海洋,第一个科学钻探计划是美国的“莫霍面钻探计划”。该计划于20世纪50年代末启动,1966年8月终止。之后,美国于1966年6月,发起了“深海钻探计划”(Deep Sea Drilling Project,简称DSDP),该计划于1983年结束。作为“深海钻探计划”的延续“大洋钻探计划”(Ocean Drilling Program,简称ODP)于1985年1月开始实施,2002年结束。我国于1998年春天作为“参与成员”加入了ODP。

大洋钻探计划(ODP)于2003年10月转入“综合大洋钻探计划(IODP)”的新阶段。IODP以“地球

系统科学”思想为指导,计划打穿大洋壳,揭示地震机理;查明深部生物圈和天然气水合物;了解极端气候和快速气候变化的过程;为国际学术界构筑起新世纪地球系统科学研究的平台;同时为深海新资源勘探开发、环境预测和防震减灾等实际目标服务。

大陆科学钻探始于20世纪70年代,在1996年2月国际大陆科学钻探计划正式成立之前,许多国家就已经开展了大陆科学钻探。

前苏联制定了庞大的科学深钻计划,在一些主要的地震剖面的交点处,布置了20余口7~12 km的科学超深井。1970年开始钻进设计深度15000 m的科拉超深井,至1986年达到12262 m井深,成为当今世界最深的钻井。前苏联共实施了11个科学超深井和深井,除了科拉超深井之外,其他的著名超深井有萨阿特累超深井、乌拉尔超深井、克里沃罗格超深井、第聂伯-顿涅茨克科学钻井、秋明超深井、迪尔劳兹深井等。

德国实施了举世闻名的“联邦德国大陆深钻计划(KTB)”,在华力西缝合带的结晶地块中先后钻了一个4000.1 m深井和一个9101 m的超深井,目的是研究地壳较深部位的物理、化学状态和过程,了解内陆地壳的结构、成分、动力学及其演变。

收稿日期:2014-06-30

基金项目:深部探测技术与实验研究专项“大陆科学钻探选址与钻探试验”之“科学超深井钻探技术方案预研究”(201011063)

作者简介:张金昌(1959-),男(汉族),河北唐县人,中国地质科学院勘探技术研究所所长、党委书记、教授级高级工程师,国土资源部科技领军人才,中国地质科学院研究生院硕士生导师,中国地质大学(北京)特聘教授,工学硕士,探矿工程专业,从事钻探技术研究、钻探装备设计和科技管理工作,河北省廊坊市金光道77号,zjinchang@mail.cgs.gov.cn;刘秀美(1981-),女(汉族),河北廊坊人,中国地质科学院勘探技术研究所工程师,勘查技术与工程专业,从事探矿工程技术研究工作。

美国实施了10多个科学钻探项目,钻孔深度都较浅,最深的只有3997.45 m的圣安德烈斯断层科学钻探项目,其它已实施的科学钻探项目有索尔顿湖科学钻探项目、伊利火山链科学钻探项目、长谷地热勘探项目、瓦莱斯破火山口科学钻探项目、上地壳项目等。

此外,法国、瑞典、瑞士、英国和日本也分别制定了科学钻探计划并组织实施。

我国从2001年开始实施“中国大陆科学钻探工程”,经历了4年时间,在江苏省东海县坚硬的结晶岩中施工了一口5158 m深的连续取心钻井(“科钻一井”),目的是研究大别—苏鲁超高压变质带的折返机制。2005年实施了青海湖科学钻探项目。采用ICDP的GLD800湖泊钻探取样系统,施工了一系列浅钻。该项目的目标是获取高精度的东亚古环境记录,研究区域的气候、生态和构造演变及其与其他区域和全球古气候变化的关系。2006~2007年在大庆实施了“松科一井”项目,施工了深度分别1810和1915 m的两口取心钻井,以研究白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化。设计深度6400 m的“松科二井”于2014年4月13日开钻。汶川特大地震发生之后,从2008年10月开始,我国组织实施了旨在研究地震机制和进行地震监测预报的“汶川地震断裂带大陆科学钻探”,共施工了5口科学钻井,钻井深度范围为550~3350 m。近期,我国在深部探测计划专项的范围内,围绕超万米科学钻井的选址工作,施工了7口深度2000~3000 m的小直径科学钻孔。

为了协调世界范围内的大陆科学钻探活动,减轻各国在实施该项活动时的成本和风险,实现成果共享,最终促进大陆科学钻探在地学研究中的推广应用,1996年2月由德国、美国和中国发起成立了“国际大陆科学钻探计划(ICDP)”,其总部设在德国波茨坦的德国地学研究中心(GFZ)。ICDP成立至今已19年,共有24个成员,包括德国、美国、中国、日本、墨西哥、波兰、加拿大、奥地利、冰岛、挪威、意大利、西班牙、瑞典、法国、以色列、捷克、南非、芬兰、新西兰、瑞士、印度和荷兰共22个国家,以及联合国教科文组织(UNESCO)和斯伦贝谢公司2个团体成员。该计划从启动以来,已资助了数十个科学钻探项目,不断还有新的国家和团体加入或申请加入该计划。我国的“中国大别—苏鲁超高压变质带大陆科学钻探项目”、“青海湖科学钻探项目”和“白垩纪松辽盆地大陆科学钻探项目(松科二井)”先后被列

为ICDP项目,得到了国际大陆科学钻探计划组织的资助。

2 超万米科学钻探工程面临的技术难题

超万米科学超深井是施工难度很大、风险很高的钻井工程,实施过程中将会遇到一系列的技术难题。

(1)地质条件复杂:超万米科学超深井可能会遇到各种各样的地层和复杂情况,如地应力集中、地层压力异常、地层破碎、地层蠕变缩径、高矿化度(高密度)、高硫化氢质量浓度等复杂地质条件。复杂的地质条件可能导致钻井事故和钻进效率降低等不利后果。

(2)高温问题:地壳的平均地温梯度为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,13000 m科学超深井的预计井底温度为 $250\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。以目前的钻井技术水准来说,要在如此的高温条件下进行施工,难度非常之大,许多钻井器材的耐温能力还不能满足要求。

(3)井斜问题:井斜是不可避免的,随着钻井深度加大,井斜一般也会加大。井斜加大后,会给钻井施工带来很多困难,诸如:因为摩擦而导致过高的磨阻及扭矩;在下入和提出测量仪器时遇阻;下套管困难;套管及钻具、特别是稳定器及钻头出现严重的磨损;钻进施工中往往采用低钻压来防斜,其结果导致低的施工效率;井斜加大后,实现钻井目标的深度加大,施工难度加大。

(4)钻井器材对超长井深的适应性问题:超万米特深井施工对钻井器材,尤其是井内的器材提出了极大的挑战。超长的钻杆柱本身的重力就可能使钻杆柱发生断裂,何况钻杆柱还要承受钻进施工中的拉伸、压缩、弯曲、扭矩等复杂载荷的作用。各种井底器具,可能承受高达 $140\sim 150\text{ MPa}$ 的压力,其强度和密封性会受到严峻的考验。

(5)井身结构设计困难:超深井地质构造、地层压力体系复杂,地层层序和压力预测精度差,同时随着井深的增加,井下复杂情况多,不可预见因素多,给井身结构设计带来极大的难度。尤其是山前高陡构造带超深井钻井,几乎集中了所有的超深井钻井技术难点,地层层序预测误差大,复杂地层井段难以确定,导致井身结构设计不能完全符合施工要求和应对预想不到的复杂情况,钻井施工难度及风险加大。而在实施科学超深井的地方,往往没有钻过深井或超深井,对较深部位的地层条件缺乏了解,进一步加大了井身结构设计和施工的风险。

3 13000 m 科学超深井的钻探技术方案

制定我国 13000 m 超深科学井钻探技术方案时要遵循以下基本原则:(1)制定的方案应该在技术上可行;(2)在技术可行的基础上,考虑方案的经济性最佳;(3)参考和借鉴国内外已经完成的深钻和超深钻的实施经验,并充分利用当今世界钻井领域的最新技术成果;(4)主要立足于国内的设备和器材,确有必要时进行适当的技术引进;(5)主要立足于现有技术,确有必要时开展适当的研究与开发。

我国 13000 m 科学超深井,将根据实现的科学目标要求确定施工地点,钻遇地层可能是沉积岩,也可能是结晶岩。作为预研究项目,制定的钻探技术方案兼顾了这 2 种情况。沉积岩钻井的井身结构和套管程序比结晶岩复杂,因此本项目的井身结构和套管程序设计以沉积地层为目标;钻进方法和经济性分析考虑 2 种地层条件。

3.1 钻孔结构和套管程序

参考世界各国已实施的类似项目的经验,13000 m 超深井考虑 2 种套管程序和钻进施工程序,即“超前孔裸眼钻进方法”和“等井径钻进方法”。图 1 是 13000 m 超深井套管程序图(超前孔裸眼钻进方法)。

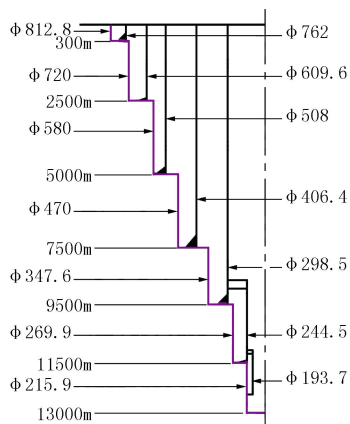


图 1 13000 m 超深井套管程序图

“超前孔裸眼钻进方法”是科学深钻施工中常用的方法,如前苏联科拉超深井,德国 KTB 先导孔,中国大陆科学钻探科钻一井、汶川地震科学钻探项目的钻井中都得到过应用。该方法的优点是,适合在地层条件未知的情况下使用,有利于解决大直径井段的取心问题、垂孔钻进问题和测井问题。该方法的基本原理如下:全井以一种较小的直径取心钻进,施工效率高、成本低,容易实现。小直径取心钻进时,上部的大环间隙会给钻探施工带来多种不利:泥浆上返流速太低,岩粉携带和排除效果差;钻杆柱受力恶劣,容易发生断钻杆事故;孔底钻具工作不平

稳,导致钻头寿命低、取心效果差。为了解决这个问题,取心钻进前,先下一层与取心钻头直径接近的可回收套管(活动套管),遇到复杂情况必须下套管护孔时,将活动套管拔出,扩孔钻进穿过不稳定层,并下套管和固井,然后继续往下钻。根据套管直径和钻孔深度情况决定,下部钻进时是否再下活动套管。

“等井径钻进方法”是石油天然气领域的一个重大突破。该技术利用可膨胀管的技术特性,用可膨胀管代替套管,在井眼内下入多级同一尺寸的膨胀管并固井。采用该技术形成的井身结构与传统井身结构相比,具有如下显著的优点:

(1)有助于地面设备的标准化。在深井钻井作业中,大量的时间花费在钻台上,如更换底部钻具组合、从钻台上甩钻杆和吊钻杆、防喷器组的尺寸受所设计的人井套管柱的限制等。采用等井径钻井技术可以将不同尺寸的地面设备标准化,可以使用一种尺寸的钻柱和钻头,缩小防喷器组的尺寸,从而大大降低一口井的钻井、完井费用。

(2)有利于环保并减少总建井投资成本。因为不需要下入多层大尺寸套管,用小型钻机钻井即可,因而等井径系统能明显地降低环境影响,同时减少对材料的消耗。据报导,采用等井径钻井技术平均每口井可节省 44% 的钻井液用量,降低 42% 的套管质量,节约 42% 的固井水泥,节省 59% 的岩屑处理费用。

(3)有利于钻井作业安全。常规作业,在设备处理过程中经常会造成人身伤害。等井径钻井技术虽不能取消这些作业,但可明显减小处理设备的尺寸,获得更安全的工作环境。

13000 m 科学超深井的钻进包括全面钻进、取心钻进和扩孔钻进。每一种钻进的技术方案涉及钻进方法、取心钻具(仅对取心钻进)和井底动力钻具。

3.2 取心钻进的钻进方法

取心钻进方法的选用,与钻井直径密切相关。在大直径井眼中取心钻进,一般选用牙轮取心钻进方法。在这种条件下,如果采用金刚石取心钻头,机械钻速、回次长度和钻头寿命都很低,钻进成本会相当高。牙轮取心钻头在机械钻速和钻头使用成本方面都要明显优于金刚石取心钻头。因此,前苏联和德国实施科学深钻项目时大井眼取心钻进都采用牙轮钻头。

小直径井段取心钻进,采用金刚石钻头会获得更好的技术经济指标。钻头种类根据地层条件确定,原则上软岩用聚晶金刚石复合片钻头,硬岩用孕镶金刚石钻头。由于 13000 m 钻井的上部井段可能

是软岩,也可能是硬岩,因此在取心钻进时采用复合片钻头和孕镶金刚石钻头的可能性都存在。而不管是在沉积岩还是在结晶岩中打钻,钻进到下部小直径井段时岩层必定是硬岩,因此13000 m 钻井的下部井段取心钻进主要考虑采用孕镶金刚石取心钻头。

我国在实施“中国大陆科学钻探工程”(CCSD)项目时,对硬岩取心钻进方法进行了系统的试验和研究。总共试验了6种取心钻进方法,基本包括了目前世界上主要的硬岩取心钻进方法。试验结果表明,螺杆马达-液动锤-金刚石取心钻进方法(参见图2)是最佳的硬岩取心钻进方法。

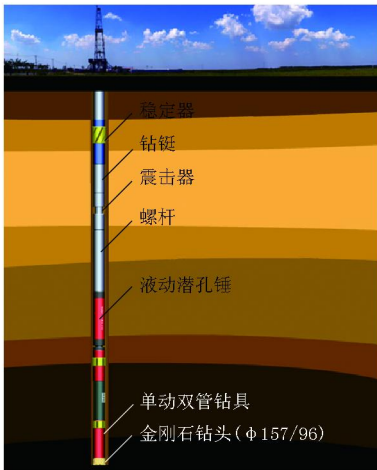


图2 CCSD科钻一井取心钻进钻具组合

总结科学钻井取心钻探实践,可根据表1选择科学超深井的取心钻进方法。

表1 取心钻进方法的选择

| 地层条件 | 井眼直径 | 取心钻头类型 | 井底动力 | 备注 |
|------|------|--------------|---------------|----------|
| 软岩 | 大直径 | PDC 钻头 | 螺杆马达 | |
| | 小直径 | PDC 钻头或巴拉斯钻头 | 螺杆马达 | |
| 硬岩 | 大直径 | 牙轮钻头 | 螺杆马达 | |
| | 小直径 | 孕镶金刚石钻头 | 螺杆马达或 涡轮马达 | 加液 动锤 |

在超深井取心钻探中往往发生岩心失落甚至取不到岩心的情况,这时就要借助侧壁取样技术进行补取岩心。现有多种侧壁取样方法,包括压入式侧壁取样方法、射孔式侧壁取样方法、造斜钻进式侧壁取样方法、连续切割式侧壁取样方法、旋转式侧壁取样方法等。其中的造斜钻进式侧壁取样方法、连续切割式侧壁取样方法和旋转式侧壁取样方法相对较适合应用于科学超深井钻探的补取岩心。对于深度超万米的超深科学钻井,主要要解决这些方法的高温高压耐受能力。

3.3 全面钻进的钻进方法

根据地层条件来确定使用钻头的种类。软岩钻进采用螺杆马达驱动的金钢石聚晶复合片钻头,硬岩采用高速涡轮钻具配合孕镶金刚石钻头。研究与试验结果表明,涡轮钻具的转速可达每分钟几百至上千转,与孕镶金刚石钻头配合,可大大提高硬岩钻进的机械钻速,比牙轮钻进至少提高50%,高的达100%,甚至更多。

3.4 扩孔钻进的钻进方法

扩孔钻进分2种情况,一种是领眼式扩孔,另一种是套管下扩孔。

领眼式扩孔是在小直径超前孔施工后进行,采用领眼式扩孔钻头(见图3)。这种钻头的领眼部分插入已钻成的小井眼中,起导向作用,靠后部的切削具扩大井眼。根据地层条件,可采用复合片或者牙轮作切削具。

套管下扩孔是在套管内下入双心扩孔钻具(见图4),在套管的下方扩出比套管直径还大的孔眼。



图3 领眼式扩孔牙轮钻头



图4 套管下扩孔钻进

3.5 井下动力钻具

对于超万米超深井钻进,采用井底动力驱动是必然的选择,开展井下动力钻具研究对于万米超深井的施工具有十分重要的意义。当前采用的井下动力钻具主要有螺杆钻具、涡轮钻具和液动锤3种。其中螺杆钻具和涡轮钻具属于提供回转动力的钻具,液动锤是利用冲击能量进行破岩钻进的钻具。根据目前的技术水准,螺杆钻具和液动锤的耐温能力约为150℃;涡轮钻具是全金属部件,是目前能适应高温井施工唯一的动力钻具,其耐温能力可达300℃。

超深井中使用井下动力钻具首先应该保证所在工况条件下的适应性和安全性,应该考虑如何保证在高温高压下密封可靠、操作简单、使用安全和较长的使用寿命等要求。深井超深井钻井工具的技术开

发应从钻井工艺与钻井参数研究、工具结构设计、材料选择、钻具的匹配等方面开展工作。

3.6 复合钻柱的设计

钻杆柱是钻探施工中非常关键的一个环节,对于超深井钻进施工更是如此。钻杆柱在钻进中要承受拉伸、扭矩、振动、摩擦引起的附加阻力和温度等多项载荷的复合作用,工作条件十分恶劣。当钻井超过某一深度后,单是钻杆柱的自重就可能使钻杆柱发生破坏。用于科学超深井的钻杆柱有2种,即铝合金钻杆柱和钢钻杆柱。此外,要使钻柱有更大的许下深度,可对上部和下部钻柱采取不同规格、

(上大下小)、不同壁厚(上厚下薄)和不同钢级(上高下低)的措施,形成复合钻柱,以减轻钻柱的总重。复合钻柱结构比起单一规格尺寸的钻柱来说优点众多,其既能满足强度要求,又能减轻钻柱的总重,也可在现有钻机负荷能力下钻达更大的井深。

假设最深井段的钻井参数为:井深13000 m;钻井液密度 1.50 g/cm^3 ;钻头直径215.9 mm;最大钻压200 kN。钻柱组合为: $\text{Ø}158.8 \text{ mm}$ 钻铤 + $\text{Ø}127.0 \text{ mm}$ (或 $\text{Ø}139.7 \text{ mm}$) 钢钻杆 + $\text{Ø}152.4 \text{ mm}$ 方钻杆。采用V150钢级时,设计的塔式钻柱组合见表2。采用U170钢级时,设计的塔式钻柱组合见表3。

表2 使用V150材料时的13000 m钻柱方案

| 序号 | 钻杆柱材料 | 钻杆柱尺寸/(mm × mm) | 分段长度/m | 累计长度/m | 钻井液中重力/kN | 累计重力 $\Sigma G/\text{kN}$ | 钻杆柱运动阻力 F_{hd}/kN | $\Sigma G + F_{hd}/\text{kN}$ | 承载极限 P/kN | 安全系数 $K = P/(\Sigma G + F_{hd})$ |
|----|-------|------------------------------|--------|--------|-----------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 0 | 钻铤 | $\text{Ø}158.8 \times 43.70$ | 245 | 245 | 240 | 240 | 3 | 243 | - | - |
| 1 | SI35 | $\text{Ø}127.0 \times 7.52$ | 7029 | 7274 | 1325 | 1565 | 77 | 1642 | 2822 | 1.72 |
| 2 | SI35 | $\text{Ø}127.0 \times 9.19$ | 2135 | 9409 | 485 | 2050 | 142 | 2192 | 3401 | 1.55 |
| 3 | V150 | $\text{Ø}127.0 \times 10.92$ | 3229 | 12638 | 859 | 2909 | 306 | 3215 | 4778 | 1.49 |
| 4 | V150 | $\text{Ø}127.0 \times 12.70$ | 362 | 13000 | 111 | 3020 | 381 | 3401 | 5472 | 1.61 |

表3 使用U170材料时的13000 m钻柱方案

| 序号 | 钻杆柱材料 | 钻杆柱尺寸/(mm × mm) | 分段长度/m | 累计长度/m | 钻井液中重力/kN | 累计重力 $\Sigma G/\text{kN}$ | 钻杆柱运动阻力 F_{hd}/kN | $\Sigma G + F_{hd}/\text{kN}$ | 承载极限 P/kN | 安全系数 $K = P/(\Sigma G + F_{hd})$ |
|----|-------|------------------------------|--------|--------|-----------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 0 | 钻铤 | $\text{Ø}158.8 \times 43.70$ | 245 | 245 | 240 | 240 | 3 | 243 | - | - |
| 1 | U170 | $\text{Ø}127.0 \times 7.52$ | 9000 | 9245 | 1696 | 1936 | 136 | 2072 | 3503 | 1.70 |
| 2 | U170 | $\text{Ø}139.7 \times 10.54$ | 2400 | 11645 | 685 | 2621 | 218 | 2839 | 5308 | 1.87 |
| 3 | U170 | $\text{Ø}139.7 \times 12.70$ | 1355 | 13000 | 458 | 3079 | 348 | 3427 | 6288 | 1.84 |

3.7 钻机方案

我国现有的最大石油钻机是宝鸡石油机械厂研制的ZJ120/9000DB型钻机,其最大钻井深度为12000 m。ZJ120/9000DB型钻机是一台交流变频电驱动钻机,具有能耗低、操控性好、超载能力强的特点。从载荷能力说,该钻机已基本满足13000 m科学超深井钻进施工的需求。因此可以此钻机为基础,对其进行适当改造,即可形成13000 m科学超深井钻机(参数见表4)。钻机的顶驱、泥浆泵、循环、固控和井控系统可采用现有12000 m钻机的配套设备。钻机改造的基本思路如下:(1)提高钻机井架高度,以实现40 m的立根长度;(2)加装北京石油机械厂的DQ120BSC型交流变频顶驱(参数见表5);(3)配备泥浆冷却系统;(4)配备连续循环钻井系统。

3.8 钻井液方案

在深井、超深井钻井过程中,由于地温梯度和压力梯度的存在,井眼越深,井筒内的温度和压力就会变得越高。在高温条件下,钻井液中的各种组分均会发生降解、增稠、胶凝、固化等变化,从而使钻井液

表4 ZJ130/9750DB型钻机的设计参数

| 类型 | 交流变频电驱动钻机 |
|--|----------------------------|
| 钻机型号 | ZJ130/9750DB |
| 名义钻井深度($\text{Ø}127 \text{ mm}$ 钻杆)/m | 13000 |
| 最大钩载/kN | 9750 |
| 绞车最大输入功率/kW | 4400 |
| 绞车挡数 | 1挡,无级调速 |
| 提升系统绳系 | 7 × 8 |
| 钻井钢丝绳直径/mm(in) | 48($1\frac{7}{8}$) |
| 转盘开口直径/mm(in) | 1257.3($49\frac{1}{2}$) |
| 转盘挡数 | 2挡,无级调速 |
| 钻井泵型号及台数 | F-2200HL型泥浆泵 × 3台 |
| 井架型式及有效高度/m | T形,60 |
| 底座型式及高度/m | 箱块式,12 |
| 传动方式 | AC-DC-AC |
| 控制方式 | 全数字变频 |
| 柴油发电机组台数及功率/kVA | 5 × 1750 |
| 交流变频电动机台数及功率/kW | 4 × 1100, 6 × 900, 1 × 800 |

钻井作业无法正常进行。13000 m科学超深井的井底温度一般可能在250~400℃之间。在井底温度低于250℃时,采用水基泥浆体系。当井底温度超过250℃后,改换成油基泥浆体系。这2类钻井液体系的特点对比见表6。

表5 北京石油机械厂交流变频顶部驱动钻井装置主要技术参数

| 型号 | 名义钻井深度(Ø114 mm 钻杆)/m | 最大转速度/(r/min) | 最大扭矩/(kN·m) | 最大卸扣扭矩/(kN·m) | 背钳夹持范围/mm | |
|----------|----------------------|---------------|-------------|---------------|-----------|--------|
| DQ90BSC | 9000 | 6750 | 0~200 | 70 | 125 | 87~216 |
| DQ120BSC | 12000 | 9000 | 0~180 | 85 | 135 | |

表6 水基钻井液与油基钻井液综合性能对比

| 钻井液类型 | 优势 | 劣势 |
|-------|--|---|
| 水基钻井液 | 1. 成本低;2. 良好的研究基础,应用广泛;3. 原料易得,工艺成熟;4. 对环境污染相对较小;5. 有利于录井和清洁岩心;6. 设计合理也能较好满足孔壁稳定要求 | 1. 抗污染能力较差;2. 润滑性差;3. 对地层影响较大,不利于井壁稳定 |
| 油基钻井液 | 1. 抗温能力强,热稳定性好;2. 对水敏性地层抑制性强;3. 抗污染能力强;4. 润滑效果突出;5. 对地层破坏小,有利于保持井壁稳定;6. 性能稳定,易于维护 | 1. 成本高;2. 悬浮性和乳液稳定性较差;3. 钻屑和钻井液对环境污染严重;4. 油气显示困难,不利于录井作业;5. 不利于固井作业;6. 安全性差 |

3.9 钻井轨迹控制方案

13000 m 科学超深井的井斜控制计划分成 2 个阶段:第一阶段是主动式井斜控制阶段,将主要采用自动垂直孔钻进系统和导向钻进系统来控制井斜(温度不超过 260 °C 的井段)。第二个阶段是被动式井斜控制阶段,将采用一些常规的防斜和纠斜措施(钟摆钻具和满眼钻具等)来控制井斜(温度超过 260 °C 的高温井段)。

此外,13000 m 科学超深井的套管和固井技术方案、井壁稳定性和钻井安全、钻探数据采集和管理系统、钻进施工时间测算、钻进施工费用测算等都是需要专门研究的问题,由于篇幅所限不再论述。

4 结语

地壳探测工程是一项包含众多学科、众多技术领域、高度集成与融合的重大科学工程,很多装备和技术方法都要开展创新性的、深入的研究。其中难度最大、投入最多、耗时最长的子工程是超万米的钻探工程。

地壳探测工程是我国科学家历时多年构思、精心策划的重大科学计划,是我国“上天、入地、下海”挑战自然的壮举,更是解决影响我国经济、社会发展急迫的资源和灾害问题的重大举措和推动我国从地质大国走向地质强国的必由之路。地壳探测工程将极大地深化和扩展我们认识大陆岩石圈结构、活动过程与动力学机制的视野。为把握地壳活动脉搏,开辟深层找矿新空间;了解深部物性参数,实现能源与重要矿产资源重大突破;提升地质灾害监测预警

能力,提供全新科学背景和基础信息,全面提升地球科学发展水平做出重大贡献。

参考文献:

- [1] 张金昌,谢文卫. 科学超深井钻探技术国内外现状[J]. 地质学报,2010,84(6):887-894.
- [2] 王达,张伟,张晓西,等. 中国大陆科学钻探工程-科钻-井钻探工程技术[M]. 北京:科学出版社,2007. 173-300.
- [3] 王达,张伟.“科钻-井”钻探施工技术概览[J]. 中国地质,2005,(2):14-24.
- [4] 鄢泰安,胡郁乐,张涛. 检测技术及钻井工程仪表[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [5] 王达,张伟,汤松然. 俄罗斯科学深钻技术概况和特点——技术考察系列报道之一[J]. 探矿工程,1995,(1):53-57.
- [6] 王达,张伟,汤松然. 俄罗斯科学深钻技术概况和特点——技术考察系列报道之二[J]. 探矿工程,1995,(2):54-55.
- [7] 王达,张伟,汤松然. 俄罗斯科学深钻技术概况和特点——技术考察系列报道之三[J]. 探矿工程,1995,(3):52-54.
- [8] 王达,张伟,汤松然. 俄罗斯科学深钻技术概况和特点——技术考察系列报道之四[J]. 探矿工程,1995,(4):53-56.
- [9] 王达,张伟.“科钻-井”主要技术方案实践与认识[J]. 探矿工程,2001,(5):52-54.
- [10] B. Engeser. 联邦德国大陆深钻计划 KTB 钻探技术报告[R]. 杨志豪,张伟,译. 联邦德国下萨克森州地质调查局,2008. 437-474.
- [11] 高德利. 复杂地质条件下深井超深井钻井技术[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [12] 孙建华. 深孔绳索取心钻探技术现状及研发工作思路[J]. 地质装备,2011,12(4):12-14.
- [13] Boart Longyear. Global product catalogue (coring rods and casing)[Z]. 2009.
- [14] 练章华. 套管偏梯形和圆形螺纹滑脱载荷分析[J]. 石油机械,2008,32(5):7-9.
- [15] 冯清文. 绳索取心钻杆螺纹锥度与强度关系及应力研究[J]. 探矿工程,1995,(6):24-26.
- [16] 况雪军,孙建华. XJY850 高强度精密地质管材的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(6):28-30.
- [17] 梁健. 地质钻探铝合金钻杆材料研制及室内试验研究[J]. 地质与勘探,2011,47(2):304-308.
- [18] 张春波. 绳索取心金刚石钻进技术[M]. 北京:地质出版社,1985. 3-5.
- [19] 王达. 深孔岩心钻探的技术关键[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):1-4.
- [20] 梁健. 科学超深井钻杆柱受力分析与计算[A]. 中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集[C]. 北京:地质出版社,2011. 432-437.
- [21] 刘广志. 中国大陆科学钻探(CSDC)的新进展[J]. 探矿工程,1996,(4):2-4.
- [22] 王建华,苏长寿,左新明. 深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J]. 勘察科学技术,2011,(6):59-64.
- [23] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等. 系列高效液动锤的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):27-31.
- [24] 王人杰,苏长寿. 我国液动冲击回转钻探的回顾与展望[J]. 探矿工程,1999,(S1):140-145.
- [25] 高德利. 易斜地层防斜打快钻井理论与技术探讨[J]. 石油钻探技术,2005,(5):16-19.
- [26] 王三牛,王聪,刘玮,等. 科学深钻扩孔钻头及钻进技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3).