

对深孔大口径取心钻探工艺的一些认识

——以 WFSD-2 号孔 0~897.66 m 段施工为例

秦 沛

(北京市地质工程设计研究院,北京 密云 101500)

摘 要:深孔大口径取心钻探,钻孔口径大、地层复杂、钻孔结构复杂、深孔段效率低,钻进工艺尚不成熟,钻探工程难度较大。结合 WFSD-2 号孔 0~897.66 m 段施工情况,介绍了施工中存在的主要问题及采取的主要技术措施;对各种施工工艺、技术方法进行了对比分析,提出了建议。

关键词:深孔;大口径;取心钻探;汶川地震断裂带;科学钻探

中图分类号:P634.5 **文献标识号:**A **文章编号:**1672-7428(2011)11-0007-07

Some Knowledge of Coring Drilling Technology in Large Diameter Deep Hole/QIN Pei (Beijing Geological Engineering Design Institute, Miyun Beijing 101500, China)

Abstract: Drilling is difficult for coring in large diameter deep hole because of large diameter, complex formation and bore-hole structure with immature drilling technology. According to the construction of the section of 0~897.66m of hole WFSD-2, the paper introduced the main problems and technical measures in construction. Comparative analysis was made on different construction technologies and technical methods, and some suggestions were put forward to the similar project.

Key words: deep hole; large diameter; coring drilling technology; Wenchuan seismic fracture zone; scientific drilling

0 引言

近年来,随着科学钻探、重大工程、能源勘探逐步增多,对深孔大口径取心钻探工作需求加大,大口径深孔取心钻探工作量越来越多。

由于大口径深孔取心钻探的特殊性,使其面临许多工艺(技术)难题。一是取心直径大,钻孔口径大,因此,钻进效率低;二是深孔钻进取心技术(特别是绳索取心钻进技术)尚不成熟,影响钻进效率和取心效果;三是取心难度大,通常,取心钻进较合适的公称直径为 76~110 mm,直径过大,岩心卡取及保护比较困难;四是大口径深孔取心钻探多以科学研究钻探为目的,钻孔多选择在地质构造较复杂的区域,如断裂带、沉积松散层、含有特殊的(液气)等复杂地层。因此,对钻探工艺技术提出了更高的要求,使大口径深孔取心钻探施工复杂程度远远高于其他钻探工程。

汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)项目主要任务是在龙门山“北川—映秀”断裂及龙门山前缘“安县—灌县”断裂附近实施 5 口科学群钻,通过钻探获取信息,揭示汶川地震断裂带的深部物质组成、结

构、产出、构造属性;恢复汶川地震过程中的岩石行为、流体行为、能量状态与破裂过程以及逆冲断裂发震机理;同时监测余震,提供深部无干扰条件下余震的直接信息。本文所述内容属我单位承担的 WFSD-2 号孔 0~897.66 m 孔段部分。

1 工程概况

1.1 地理位置、地层

WFSD-2 号孔位于四川省都江堰市虹口乡境内的一条简易公路旁河床上,距断裂带地表露头约 650 m,距 WFSD-1 号孔约 300 m。海拔高度约 1150 m,属于龙门山中央断裂带。

钻遇地层:0~14 m 为第四系冲(坡)洪积漂砾石层;14~599.4 m 为震旦系花岗岩、花岗闪长岩,厚 585.4 m;599.4~897.66 m 为三叠系碳质页岩、碳质砂岩、石英砂岩、长石砂岩、角砾岩、碎裂岩等。

1.2 技术要求

钻孔深度 3000 m(后变更为 2000 m);钻孔倾角 90°(直孔);终孔直径 150 mm。

取心要求:岩心采取率 $\geq 85\%$,岩心保持原状;

收稿日期:2011-10-31;修回日期:2011-11-09

基金项目:科技部科技支撑计划专项“汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)”项目之“科学钻探与科学测井”课题资助

作者简介:秦沛(1963-),男(汉族),甘肃镇原人,北京市地质工程设计研究院总工程师、高级工程师,探矿工程专业,硕士,从事工程施工技术管理工作,北京市密云县园林东路 1 号,101qinpei@163.com。

岩心直径 ≥ 85 mm;孔斜率:钻孔顶角 $\leq 15^\circ$,最大“狗腿”度 $2^\circ/30$ m;完井要求:底部井段为裸眼,供安放监测仪器;其他要求:配合完成WFSD-2号孔测井和科学实验测试工作。

1.3 工程难点

1.3.1 地层破碎、复杂

上部花岗岩、花岗闪长岩、变质火山岩裂隙发育,裂隙面、小断层多且断层倾角大(图1),易造斜,易造成岩心堵塞,影响回次长度。下部三叠系岩性以石英砂岩、碳质页岩夹煤线为主,受多次地震活动的影响,地层比较破碎,孔内涌水、掉块卡钻、超径、水敏缩径、泥包钻头等情况时有发生;泥质含量高的孔段地层(图2)易吸水软化、膨胀造成堵心,影响回次进尺长度,岩心易被冲蚀、易脱落,取心比较困难,钻具结构和钻进参数选择较困难;地层掉块、缩径引发孔内事故。



图1 花岗岩较陡的节理面



图2 三叠系地层泥质含量较高

1.3.2 施工工艺及设备不成熟

1.3.2.1 $\varnothing 150$ mm 取心钻进工艺尚不成熟

WFSD-2号孔采用 $\varnothing 150$ mm半合管单动双管取心方法,非膨胀地层普通双管钻头内径为103 mm/101 mm,绳索取心钻头内径为93 mm,在断层泥、页岩膨胀地层,为避免半合管胀开,钻头内径适当缩小,分别为 $\varnothing 95$ 和93 mm。

大口径深孔取心钻进,以往地质钻探中很少使用,钻进工艺及钻具都不成熟,只能边试验边改进。

1.3.2.2 钻探设备不成熟

WFSD-2号孔前期使用HXY-8B型钻机,后

期使用KZ3000型钻机,两台钻机均属于新研制钻机,没有经过生产试验,设计存在一些不足。

和常规的小口径钻探施工不同,钻塔、钻井液循环系统、固控设备等在选取购置方面有着很高的要求,施工工艺尚不成熟,设备选型方面缺乏可借鉴的经验。

1.3.3 其他难点

复杂地层泥浆、扩孔技术,小间隙固井及活动套管技术,都是大口径取心钻进施工的技术难点,能否处理好这些问题也是大口径取心钻进施工成功与否的关键。

2 施工主要技术措施

2.1 断裂带复杂地层取心

WFSD-2号孔自599.4 m进入三叠系地层后,地层碎裂,造成岩心堵塞,影响回次长度,岩心易脱落,影响岩心采取率。局部地层怕冲蚀并且岩心膨胀,钻具结构和钻进参数选择稍有不慎就会影响岩心采取率,岩心膨胀造成堵心,影响回次长度。如何提高岩心采取率,提高回次进尺,就成了钻进中亟待解决的问题。

本孔施工,采用了 $\varnothing 150$ mm普通双管钻具及SI50绳索取心钻具,两种钻具结构较复杂,但取心效果好。岩心采取率分别达到92.5%及89.3%。钻具都采用半合管技术(抱箍式及嵌入式半合管),有效防止了岩心被冲蚀、扰动,保证了岩心采取率及取心质量。

钻进参数选择,需要根据地层情况及时进行调整,泥质含量较高的缩径地层,每回次钻进前轻压慢转扫孔到底以消除缩径影响,并严格控制回次进尺。

2.2 全面钻进防斜保直

2.2.1 孔斜因素

2.2.1.1 地层造斜

WFSD-2号施工中,47.8~311.39 m孔段采用 $\varnothing 245$ mm牙轮钻头全面钻进,地层为花岗岩,通过取心发现,岩心破碎,岩心中存在较多倾角较陡的节理面、小断层,其倾角在 70° 左右,说明受地壳运动和多次地震的影响,花岗岩地层中的节理比较发育,而且小断层多,当钻遇倾角比较陡的节理和断层时,再加上钻孔环壁间隙大,导致钻头顺节理面和断层面滑动,形成“顺层溜”。

2.2.1.2 技术因素

钻具结构以及钻进规程参数的选择,对孔斜的控制至关重要。

以WFSD-2号孔为例,在47.8~234.9 m采用 $\varnothing 245$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 203$ mm钻铤+ $\varnothing 178$ mm钻铤+ $\varnothing 159$ mm钻铤+ $\varnothing 121$ mm钻铤+ $\varnothing 89$ mm钻杆塔式钻具结构,发现孔斜。其后,在234.9~311.39 m孔段采用 $\varnothing 245$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 203$ mm钻铤+ $\varnothing 243$ mm稳定器+ $\varnothing 178$ mm钻铤+ $\varnothing 159$ mm钻铤+ $\varnothing 121$ mm钻铤+ $\varnothing 89$ mm钻杆钟摆钻具结构,孔斜仍未得到控制,孔深311.39 m时钻孔顶角达到 6.2° 。

$\varnothing 245$ mm牙轮钻头全面钻进中采用低压(25~50 kN)、慢转(27~46 r/min)钻进,采取了这些措施后孔斜并未得到有效控制,可见大口径钻探施工与小口径钻探施工有所不同,在孔斜控制方面钻具结构的选择更为重要。

2.2.2 防斜措施

(1)把好安装开孔关,开孔后尽量选取“长、刚、直”的钻具组合。WFSD-2号孔开孔后的漂砾石层地层松散、软硬不均,容易导致孔斜。采用了 $\varnothing 377$ mm钢粒钻进,钻具组合为: $\varnothing 377$ mm钢粒粗径钻具+ $\varnothing 89$ mm钻杆,这种钻具组合具有钻具与孔壁之间间隙小、刚性大、能保直的特点,实践证明其在WFSD-2号孔的使用达到了有效的防斜效果。

(2)在地层造斜强烈的孔段,宜采用满眼钻具组合:一般采用3个以上的稳定器和适当的粗径钻铤配合。WFSD-2号孔在 $\varnothing 245$ mm牙轮钻头全面钻进阶段,由于缺乏本地区施工经验,没有及时采用满眼钻具组合,使得孔斜未能得到有效控制。

2.3 复杂地层绳索取心工艺的冲洗液

2.3.1 泥浆体系、性能及其调整

838.66~894.17 m孔段三叠系沉积岩采用S150绳索取心钻进,由于地层以碳质页岩、碳质砂岩为主,水敏膨胀,应力释放膨胀。为了满足绳索取心工艺需求,提出2种泥浆方案:(1)甲酸盐无固相体系;(2)普通低固相加重体系,即对分散体系泥浆以重晶石适当进行加重。

方案一中,甲酸盐钻井液中的甲酸盐可使用甲酸钾、甲酸钠或甲酸铯,可单独使用一种,或2种或3种同时使用。甲酸盐钻井液的密度范围可通过选择甲酸盐类型和加重材料,如碳酸钙、重晶石和赤铁矿粉加重在 $1.60 \sim 2.30 \text{ g/cm}^3$ 之间调节。同时使用增稠剂、降失水剂、润滑剂和消泡剂以使甲酸盐钻井液具有满意性能。

方案二中,继续采用分散钻井液体系,可配制适应于复杂地层的高密度、低失水、低粘度、低渗透泥浆,处理剂以磺化类降失水剂、防塌剂为主,考虑到

钻井液的加重问题,选取悬浮重晶石性能比较好的降失水处理和防渗漏的成膜剂。为了降低摩擦阻力,必须具有较强的润滑减阻特性,同时为了避免发生孔内卡钻事故,或发生卡钻事故能较好地实现钻具的解卡,泥浆体系还应该具有防卡解卡的功能,因此选取具有润滑和防卡双重功效的T型润滑防卡剂。配比:4%~5%钠土+0.3%~0.5%CMC+1%S-1+2%~3%SAS+1%SMC+1%X-1+0.5%T型润滑剂。性能:密度为 $1.16 \sim 1.22 \text{ g/cm}^3$;失水量为4.5~6.0 mL/30 min;漏斗粘度为23~28 s;表观粘度为 $17.5 \sim 20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;塑性粘度为 $12 \sim 17 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;泥皮厚度 $\leq 1 \text{ mm}$ 。

由于甲酸盐无固相钻井液成本过高(约20000元/t),WFSD-2号孔采用分散体系加重钻井液。在复杂地层基本满足绳索取心钻进需求,在维护孔壁稳定性的同时,较好地保证了取心钻进的正常进行,其成本约为甲酸盐无固相钻井液的30%左右。

2.3.2 固相控制

复杂地层绳索取心工艺对固相控制的要求较高,WFSD-2号孔采用三级固相控制,即振动筛、离心机以及除泥清洁剂。

振动筛具有最先、最快分离泥浆固相的特点,担负着清除大量钻屑的任务,其能够清除固相颗粒的大小,依赖于网孔的尺寸和形状,现场准备了80和100目两种筛网,绳索取心钻进时,岩粉较细,振动筛的作用甚微;主要用离心机来清除细小的岩屑颗粒,现场使用的TGLW350-692T型离心机,可以分离大于 $5 \mu\text{m}$ 的固相;除泥器的分离点是 $43 \mu\text{m}$,能够除出较细的固相颗粒。

上述的三级固控在WFSD-2号孔的使用中,较好地控制了绳索取心阶段钻井液中的有害固相含量,保持了泥浆性能的稳定,减少了泥浆材料的浪费,起到了比较好的除砂除泥效果。

2.4 复杂地层扩(修)孔

大口径深孔取心钻探,扩孔是一个重要工序。WFSD-2号扩孔施工主要包含2方面困难:坚硬地层扩孔及局部小级差扩(修)孔。

2.4.1 坚硬地层扩(修)孔

WFSD-2号孔的扩孔段地层以坚硬的花岗岩、花岗闪长岩以及较硬的砂岩、页岩为主,在此地层条件下,采用 $\varnothing 252$ mm牙轮钻头扩孔辅以 $\varnothing 253$ mm金刚石二次扩孔的方法扩孔施工。

本孔二开 $\varnothing 152$ mm牙轮钻进孔段和 $\varnothing 150$ mm取心钻进孔段采用 $\varnothing 252$ mm牙轮钻头扩孔方法扩孔,

牙轮扩孔钻头带有 $\varnothing 140\text{ mm}$ 前导向。对于扩孔钻具组合的选择,必须兼顾扩孔钻压的选择,而坚硬地层扩孔需要足够的钻压,因此必须保证钻铤的数量。

由于牙轮扩孔钻头磨损严重,不能一次性达到扩孔目的, $\varnothing 252\text{ mm}$ 牙轮扩孔的同时采取 $\varnothing 253\text{ mm}$ 金刚石修孔钻头二次修孔。扩、修孔钻进参数见表 1。

表 1 扩(修)孔钻进参数

扩(修)孔方法	孔段	钻压/kN	转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	泵量/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	备 注
$\varnothing 152/252$ 、 $150/252$ 牙轮	311.39 ~ 632.45	20 ~ 30	46	1200	499.4 m 以浅为花岗岩,
$\varnothing 252/253$ 金刚石	328.13 ~ 497.68、506.31 ~ 600.01	5 ~ 8	46	1200	499.4 m 以深为页岩、砂岩

2.4.2 级差较小孔段扩孔

WFSD-2 号孔在 $\varnothing 245\text{ mm}$ 牙轮钻头全面钻进孔段,扩孔到 $\varnothing 253\text{ mm}$ 口径,理论单边扩孔量 4 mm ,实际更小。这种小级扩孔,必须采用金刚石钻头进行,同时对施工操作提出了更高要求。

扩孔钻头、扩孔器采用镶焊工艺,钻头前导向 $\varnothing 241\text{ mm}$,前导向长 170 mm ,扩孔部分长 160 mm ,扩孔器工作外径 253.5 mm ,工作长度均为 200 mm ,稳定器外径 250 mm 。

扩孔钻具组合:金刚石扩孔钻头 + 金刚石扩孔器 + 钻铤 + 金刚石稳定器 + 钻铤 + 钻杆。

钻进参数:必须考虑卡钻等孔内事故风险,采用轻压($5 \sim 8\text{ kN}$)、慢转($27 \sim 46\text{ r/min}$)、小泵量(700 L/min)。在操作过程中,机台司钻应严格执行并随时关注回转阻力变化。

3 各种取心方法的应用比较

3.1 $\varnothing 150\text{ mm}$ 普通单管取心

一般小口径普通单管在坚硬、致密、完整地层,岩心不怕冲刷、振动,取出的岩(矿)心较为完整,采心率较高,能较好地保持其原生结构。但对于大口径取心钻进而言,即使满足地层条件,由于卡断坚硬岩心的难度增大,其卡心效果也不甚理想,取心质量时常达不到预期设想。

WFSD-2 号孔取心钻进中,由于使用条件和取心效果的限制, $\varnothing 150\text{ mm}$ 普通单管取心钻具无法在正常取心钻进中被使用。然而,在孔深至 637.56 m 发生断取心钻具事故后,我们采用 $\varnothing 250\text{ mm}$ 普通单管取心钻具对事故钻具进行了套铣,成功打捞出了事故钻具。

3.2 $\varnothing 150\text{ mm}$ 普通双管取心

WFSD-2 号孔取心原计划在震旦系花岗岩、花岗闪长岩地层及以下较稳定的砂岩地层应用绳索取心钻具,因为 $\text{S}127\text{ mm}$ 绳索取心钻杆没能及时到场,只好采用 $\varnothing 150\text{ mm}$ 普通双管取心钻具(以 $\varnothing 150\text{ mm}$ 普通单动双管半合管钻具为主)在上述地层施

工钻进,并且基本达到了相应的技术要求。

下层的三叠系碳质页岩、碳质砂岩、石英砂岩、长石砂岩、角砾岩、碎裂岩等破碎、裂隙发育的复杂地层(包含泥质含量高、水敏性高、易吸水膨胀缩径的地层),也采用了 $\varnothing 150\text{ mm}$ 单动普双半合管钻具。取得了较好的使用效果,满足了汶川地震科学钻探的要求。

$\varnothing 150\text{ mm}$ 普通双管取心钻具能有效避免冲洗液对岩心的冲刷,避免振动、摆动、摩擦等机械力对岩(矿)心的破坏作用;结构上增设了防振、防污(沉砂)、防脱等装置,岩心的采取率、完整度、纯洁性等都有较大提高;另外,半合管的使用,最大程度保持了岩心的原状结构,极大提高了岩心采取率。但与小口径普双钻具相比,由于岩心直径、接触面积、岩心质量等变得更大,取心钻具与岩心的受力情况发生变化,使用 $\varnothing 150\text{ mm}$ 普通双管取心钻具钻进施工中常会出现磨心、堵心等问题,对钻具的单动性提出了更高的要求;同时, $\varnothing 150\text{ mm}$ 普通双管取心钻具对同心度的要求也更高,因为不同心造成的取心钻具弯曲容易引起取心钻进过程中丝扣连接处脱扣,导致孔内事故的发生。

3.3 $\text{S}150$ 绳索取心

小口径绳索取心钻进已属于成熟先进的钻进技术,得到广泛使用。但 $\varnothing 150\text{ mm}$ 绳索取心钻进在我国还属于空白,国外使用也不多。WFSD-2 号孔的使用,填补了我国在大口径绳索取心方面的空白。

鉴于 838.66 m 以深提钻取心纯钻时间利用率较低,尝试了 $\text{S}150$ 绳索取心钻进,并对其进行了完善和改进。

与小口径不同, $\text{S}150$ 绳索取心钻具以及与其配套的 $\varnothing 142\text{ mm}$ 绳索取心钻铤、 $\varnothing 127\text{ mm}$ 绳索钻杆内径较大,钻井液的离心力更大,导致固相颗粒粘附在钻具、钻杆内壁而结垢的问题。因而 $\text{S}150$ 绳索取心钻进对钻井液性能的要求较小口径绳索取心钻进更高。

钻头选型考虑到水路设计、钻头与卡簧座之间

的配合、钻进效率等方面因素,WFSD-2号孔主要选用底喷式PDC钻头。目前看来,底喷钻头适合钻遇地层的钻探施工,但还需加以适当改进。主要是:(1)内管打捞不动,绳索取心钻进29回次,进尺55.51 m,提钻11次,其中因内管打捞失败而提钻6次,占55%,这说明钻具设计和施工工艺还不够成熟;(2)内管投放不到位,导致磨心、丢心;(3)打捞内管考虑钻井液的抽吸作用,限制绳索取心绞车的上提速度,使得打捞岩心的辅助时间变长(打捞耗时在40~80 min之间),影响了钻进效率;(4)外管总成螺纹扣高不够,抗拉能力差(外管总成的扩孔器、钻头、外管、弹卡室、弹卡弹头的螺纹高度均为1 mm),施工过程中上扩孔器与弹卡室丝扣连接处在较大提升力下极易脱扣,从而造成孔内事故。

钻进参数为:钻压30~50 kN,转速140~156 r/min,泵量230~280 L/min,泵压1.3~2 MPa。

3.4 几种方法比较

根据WFSD-2号孔地层条件及地学研究对取心的要求,本孔以 $\varnothing 150$ mm普通单动双管半合管取心为主和S150绳索取心相结合的方式钻进施工。

$\varnothing 150$ mm普通单管取心钻进在地层复杂的汶川地震断裂带未被采用。

$\varnothing 150$ mm普通双管取心钻进方法虽然劳动强度大、深孔段台月效率低,但在破碎、极易缩径的复杂地层中安全可靠,不易发生孔内事故。在易冲蚀地层通过采用底喷或侧喷式钻头,形成侧向密封,达到了比S150绳索取心钻具更好的防岩心冲蚀效果,WFSD-2号孔施工中,这种钻进方法在坚硬岩层及复杂地层均取得了较好的应用效果,并且逐步走向了成熟。

S150绳索取心钻进方法具有普通单动双管取心钻进的特点,而且具有适应性强、提高钻进效率、降低钻进成本的诸多优点。但对钻杆的材质和加工精度要高,使钻杆的成本昂贵;钻杆柱与孔壁的间隙小,增加了钻杆柱的磨损,也使冲洗液循环阻力增大;绳索取心钻头唇面厚,钻进效果较差,对岩心扰动更大;另外,回转阻力大,动力消耗大,在深孔段影响开高转速。WFSD-2号孔施工中,钻具及工艺不成熟,影响了S150绳索取心使用效果。

4 施工工艺分析

4.1 钻探设备

WFSD-2号孔主要设备(包括:钻机、钻塔、专门设计的钻机底座和泥浆循环固控系统)由甲方提

供。施工中所需的其它设备、钻具、工具和材料,均由施工方配备。

钻机选择:838.66 m之前采用HXY-8B型岩心钻机,之后更换为KZ3000型全液压动力头钻机。HXY-8B型岩心钻机沿用了传统立轴式岩心钻机风格,符合操作人员习惯,但实际应用中,HXY-8B型钻机出现了提升能力不足、离合器打滑等问题。KZ3000型全液压动力头钻机采用数字化操作模式,使得钻进参数控制方面更加量化、更加直观,采用全液压控制,性能可靠稳定,由于是新样机,存在卷扬机平衡阀工作不稳定,造成在某个速度段内卷扬机下钻或提升抖动问题。

钻塔选择:WFSD-2号孔采用K31-135/4.0井架及底座。在钻井平台布局方面,前场设备布置密集,空间局促,而后场布置稀疏,给施工带来了一定不便。为了方便S150绳索取心钻具的使用,后期对钻塔二层平台进行了改造,增加了绳索钻杆平台。

钻井液循环设备:WFSD-2号孔选用TBW1200/7B型、BW320/80型、BW280/30型泥浆泵。泥浆泵的选择满足了大口径牙轮全面钻进施工以及大口径取心钻进施工工艺的要求。

三级固控设备:HS240-3P型振动筛、TGLW350-692T型离心机、HM-100×4-C型除泥器。三级固控设备亦是达到了清除钻井液内有害固相的目的。

动力配置:HXY-8B型岩心钻机以400GF型发电机驱动,KZ3000型全液压动力头钻机则以配套的KZ3000液压动力站驱动,固控设备配有额定电压380 V、额定电流160 A的电控柜1台。

4.2 提升、拧卸、事故处理等工具

与小口径不同,大口径取心钻探施工需要专门的提升、拧卸、事故处理等工具。WFSD-2号孔施工中,选用的提升工具包括5、3½和2⅞ in钻杆, $\varnothing 168.3$ 、219.1、273.1 mm套管专用吊卡,以及不同型号的安全卡瓦。特别是ZQ162-50型钻杆动力钳、B型吊钳、各种规格的自由钳和管钳,钻杆动力钳的使用,大幅度减轻了劳动强度,缩短了起下钻时间,提高了钻进效率。事故处理工具除常用的公锥、母锥、磨鞋、捞杯等,还包括了石油钻井的卡瓦打捞矛、上击器、水力内割刀、反循环强磁打捞器等。

4.3 取心钻具

WFSD-2号孔施工使用了3种普通双管(普通内管和半合管)取心钻具的新产品,经实际使用,钻具的结构及优缺点见表2。

表2 WFSD-2号孔普通双管取心钻具比较

钻具 型号	钻头内外 径/mm	外管 /mm	内管 /mm	半合管 /mm	结构特点	优 点	缺 点
P150	Ø150/103 (96)	Ø139.7 ×9.17	Ø114.3 ×4	Ø114.3 ×6.35	单动机构为半开式,具有伸长机 构;半合管锁扣形式为嵌入式, 中间加接箍,卡簧座丝扣连接	钻头底唇面 小,钻进效率 高	主轴与异径接头连接丝扣靠顶丝防松,经 常出现倒扣;半合管变形大,中间短节容易 倒扣,半合管倒扣以后散开,使用可靠性差
KZ150	Ø150/95	Ø139.7 ×6.98	Ø108 ×5	Ø108 ×5	单动机构轴承为开式泥浆润滑; 半合管锁扣形式为嵌入式,中间 加接箍,卡簧座丝扣连接	单动机构寿 命长;钻具易 损坏少	心轴旷动量大造成内管摆动,影响破碎地 层取心质量;半合管变形大,中间短节容易 倒扣,半合管倒扣以后散开,使用可靠性差
SDB150	Ø150/101	Ø139.7 ×7.72	Ø114 ×5	Ø114 ×5	双级单动,单动机构封闭,钻具 设有单向阀及沉砂管;半合管锁 扣形式为抱箍式,中间不加接 箍,卡簧座插接	单动性好;半 合管变形小, 拆装方便,使 用可靠	钻具连接丝扣多,钻具刚性差,钻具易弯 曲;螺丝头、沉砂管、上扩孔器、外管接头、 外管等连接丝扣损坏快;卡簧座插接不牢, 容易脱落,影响岩心采取率

在沉积岩地层为了保证原状岩心,主要使用SDB150半合管钻具钻进。

如前所述,WFSD-2号孔使用的S150绳索取心钻具,其设计上仍需改进。

4.4 冲洗液

WFSD-2号孔地层复杂,为保证钻孔顺利施工,泥浆护壁是关键。开钻前,针对WFSD-1号孔泥浆使用情况,汶川地震断裂带科学钻探工程中心组织专家多次研讨,初步确定了WFSD-2号孔的泥浆方案。施工中经过大量试验,针对地层情况、施工工艺要求确定具体的泥浆配方及性能,钻进中根据孔内情况适时调整泥浆性能,保证了孔壁稳定和孔内岩屑的携带正常。

一开采用钢粒钻进,采用普通的淡水钠基分散体系泥浆,泥浆材料也比较简单,主要是普通膨润土+碳酸钠,在表层泥浆漏失时采用粘土球堵漏。

二开Ø245 mm牙轮钻头全面钻进时采用聚合物泥浆体系,由于聚合物堵振筛网不能正常除砂,后来逐渐转化成分散泥浆体系,花岗岩地层泥浆处理剂以提粘、防塌剂为主,进入沉积岩地层处理剂以降失水、防渗漏为主,扩孔钻进时在原浆基础上增加粘土或加入HV-CMC、PAC141等提粘降失水剂,提高泥浆切力。

三开取心钻进,地层为三叠系沉积岩,以碳质页岩、碳质砂岩为主,地层水敏膨胀,应力释放膨胀,采用分散体系泥浆,分散体系泥浆可以容纳较多的固相,可以配制出高密度、低失水、低粘度、低渗透泥浆,处理剂以磺化类降失水剂、防塌剂为主,考虑向加重泥浆转化问题,还加入悬浮重晶石性能比较好的降失水处理和防渗漏的成膜剂。

4.5 扩孔及套管护壁

4.5.1 扩孔钻进技术

WFSD-2号孔施工中,取心钻进后,扩孔下管固井,然后继续取心钻进,是经常使用的施工方法。

根据扩孔量的大小,可选用金刚石扩孔或牙轮扩孔方法,本孔在二开Ø245 mm全面钻进孔段采用Ø253 mm金刚石扩孔,在纠斜和取心钻进孔段采用了Ø252 mm牙轮钻头扩孔。

4.5.2 套管护壁技术

4.5.2.1 小间隙固井技术

WFSD-2号孔,一开固井,深度47.8 m,井径Ø377 mm,下入Ø273 mm×7.09 mm石油套管,强度J55,采用钻杆内插法固井。二开固井,深度638.01 m,是为了隔离上部花岗岩与三叠系地层接触面坍塌掉块超径的复杂地层,井径Ø253 mm,下入Ø219 mm×7.72 mm石油套管,强度N80Q,采用偏梯形螺纹连接。采用单级固井工艺固井,用高压泵(兰石1000,额定压力30 MPa,最大流量1000 L/min)固井,水泥浆配方:G级75°油井水泥,水灰比0.45~0.5,水泥浆密度1.86 g/cm³左右,设计水泥浆15 m³,干水泥用量19 t。

下管、固井必须注意:(1)通孔用Ø253 mm金刚石扩孔钻具;(2)探孔用长51.05 m、Ø219 mm套管串;(3)下套管(扶正)、居中;(4)注浆管汇连接牢固、流畅;(5)顶通(用冲洗液循环);(6)注前置液(6 m³);(7)注浆(15 m³);(8)注后置液(2 m³);(9)替浆,大泵量注入钻井液(16 m³);(10)小泵量补注钻井液(2.28 m³)泵压到8 MPa;(11)泄压,检查是否倒流;(12)拆管汇候凝。另外,整个施工过程中,要密切注意泵压变化;注水泥作业必须连续施工(水泥浆密度符合设计要求并有专人测量和记录水泥浆密度);优化地面施工工艺(采用Ø219 mm套管作注浆通道),严格控制水泥浆密度和替浆量。

4.5.2.2 活动套管技术

WFSD-2号孔在二开和三开取心钻进时均下入了活动套管,主要用来解决取心钻进时上面钻孔直径大带来的一系列问题,活动套管为Ø168 mm×7.32 mm,强度N80Q。二开取心钻进在0~311.84

m裸眼段下入活动套管,孔径 $\varnothing 253$ mm,活动套管下端的套管鞋坐落在花岗岩层上;三开在0~637.6 m的 $\varnothing 219$ mm套管内下入活动套管,活动套管下端坐落在 $\varnothing 219$ mm套管鞋上。活动套管在孔内的固定均采用上挂、下座、中间扶正的固定方式。

通过WFSD-2号孔施工,对活动套管的使用有几点值得注意:(1)套管间环空要使用无固相、高悬浮能力的液体,以防止固相沉积;(2)提钻时要控制速度,以防抽吸作用在活动套管鞋处引起压力波动,使套管间环空与井眼内流体相互流动;(3)起钻要及时灌浆,防止出现井漏(环空液面下降时),使套管间环空液体流入井内;(4)使用高润滑性的钻井液体系,根据井底岩石的抗压强度和井温的变化合理地调整活动套管在井底的支撑重量,以防止活动套管的下滑,防止套管磨损后可能发生的断套管事故;(5)在每使用一段时间后起出活动套管,检查后调换活动套管排序或转动套管位置,有效防止活动套管脱扣。

5 结语

(1)随着科学技术发展需求,大口径深孔取心钻探工艺应用前景越来越广,但本项技术仍欠成熟,需要不断研究完善。WFSD-2号孔基本上形成了一套较成熟的取心钻进工艺,并且在施工应用中对定做的S150绳索取心钻具进行了逐步改进,填补了技术空白,但仍需要继续深入研究、试验和不断总结完善。

(2)深孔的钻孔结构和地层复杂,取心→扩孔→下管、固井→(下活动套管)→取心钻进……是必须程序。小级差扩(修)孔不可避免,必须选择合理的扩孔钻具和操作规程。WFSD-2号孔在二开采用 $\varnothing 245$ mm牙轮钻头/ $\varnothing 253$ mm金刚石钻头扩孔。在纠斜和取心段采用 $\varnothing 152/\varnothing 252$ 、 $\varnothing 150/\varnothing 252$ mm牙轮钻头扩孔并及时利用 $\varnothing 253$ mm金刚石钻头修孔。采用轻压、慢转和控制给进速度操作规程,保证

扩孔顺利。

(3)套管护壁也是大口径取心钻探施工重要工序,WFSD-2号孔在使用小间隙套管的同时,灵活使用活动套管技术,数次下入 $\varnothing 168$ mm活动套管,解决取心钻进时上面钻孔直径大带来的一系列问题,保障施工安全的同时提高了取心钻进效率。

(4)深孔段复杂地层,冲洗液既要护壁又要平衡地层压力,密度必须足够大。而绳索取心工艺要求固相含量尽量降低,甲酸盐冲洗液最理想,但成本过高。对分散冲洗液体系进行处理,使其满足施工要求。WFSD-2号孔在三叠系复杂地层中,采用分散型钻井液体系,具有高密度、低失水、低粘度、低渗透等特性,在遇水膨胀缩径地层适当加重,基本上满足了复杂地层大口径取心钻进的需求。

参考文献:

- [1] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [2] 樊腊生,贾军,吴金生,等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)钻探施工概况[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009,36(12).
- [3] 张伟,贾军,胡时友. 汶川地震科学钻探项目的概况和钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009,36(S1).
- [4] 樊腊生,王达. 科钻一井钻探施工技术路线和钻探施工概述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008,35(7).
- [5] 朱文鉴,王达. 大陆科学钻探工程科钻一井钻探现场施工决策特点分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005,32(S1).
- [6] 曾祥熹,陈志超. 钻孔护壁堵漏原理[M]. 北京:地质出版社, 1986.
- [7] 李之军,陈礼仪,贾军,等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)断层泥孔段泥浆体系的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009,36(12).
- [8] 贾军,樊腊生,胡时友,等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)小间隙固井工艺的研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009,36(12).

致谢:中国地质科学院探矿工艺研究所、汶川地震科学钻探工程中心钻井工程部的领导和专家在WFSD-2号孔(0~897.66 m段)施工过程中给予了全面指导、支持和帮助,特别是对施工中技术难题的解决,提出了宝贵的意见和建议;在本文的编写、修改中,给予了悉心指导,提出了宝贵的意见。在此对他们表示衷心的感谢!

山特维克与天和众邦签署合作协议

本刊讯 2011年11月6日,在天津召开中国国际矿业大会期间,山特维克与天和众邦联合召开新闻发布会,宣布双方于2011年10月11日在奥地利维也纳签署了合作协议,按照协议,天和众邦将获得包括山特维克空气反循环取样以及绳索取心用钻杆、钻具、钻头,各种类型地质勘探钻机在内的勘探设备代理经销权。双方同时还签署了技术和商务全面合作协议,合作协议确定了双方将在产品研发、生产和市场营销等方面进行长期合作。

山特维克是全球最大、最为成功的研发生产矿山设备、地质勘探

设备以及各类工具的大型集团之一。天和众邦是中国最大、最为成功的研发生产先进的全液压钻探设备的企业。

山特维克与天和众邦的合作使得双方可以共享双方的优势资源,形成优势互补。同时,双方的紧密合作将会在研发、生产和市场营销方面形成更加明显的优势。地质勘探领域的客户们将会享受到来自山特维克更优良的设备和技術,以及天和众邦更加全面周到的服务。