

汶川地震断裂带科学钻探项目钻探工程实施总结

张 伟¹, 胡时友², 贾 军³, 樊腊生², 郑 薇²

(1. 中国地质调查局, 北京 100037; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 3. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘 要:介绍了汶川地震断裂带科学钻探项目的钻探工程实施情况, 包括完成的钻孔情况、钻探施工中遇到的技术难题, 以及为解决这些难题开展的钻探技术研发和钻探工程的组织管理等。

关键词:地震; 科学钻探; 钻探工程; 汶川

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2014)09-0094-07

Implementation Summary of Drilling Engineering of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/
ZHANG Wei¹, HU Shi-you², JIA Jun³, FAN La-sheng², ZHENG Wei² (1. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 3. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083)

Abstract: This article introduces the general information on the drilling engineering of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project, including the results of borehole completion, technical problems encountered in drilling operation and research and development efforts for resolving technical problems. In addition, the organization and management of the drilling engineering is also discussed.

Key words: earthquake; scientific drilling; drilling engineering; Wenchuan

1 项目概况

2008年5月12日14时28分,在我国四川省发生了震惊世界的汶川特大地震,震级8.0级,最大烈度11级,地震影响范围涉及10个省(区、市)的417个县(市、区),造成8万多人死亡、37万多人受伤、4500多万人失去家园,导致近万亿元的财产损失。

地震对人类危害巨大,必须以各种方法来研究和预报地震,以减轻地震灾害对人类的危害,这是全人类的共同愿望。在汶川特大地震发生2个月以后,以许志琴院士为首的一批地质学家提出,应在我国的主要地震断裂带实施科学钻探,以研究地震活动的规律和发震机理,为监测和预报地震提供数据,并建议汶川地震科学钻探作为该计划的一期工程。此建议得到了广泛的赞成,并很快由国家批准立项。

“汶川地震断裂带科学钻探”项目于2008年10月启动。该项目作为科技部支撑计划的一个专项,由国土资源部和中国地震局共同组织实施,国土资源部为项目负责部门。项目的主要目的是:在汶川特大地震和复发微地震的源区—龙门山“北川—映

秀断裂”及龙门山前缘“安县—灌县断裂”傍侧实施科学群钻(5口科学钻孔),通过钻探获取地下深处的地学信息,开展地质构造、地震地质、岩石力学、化学物理、地震物理、流体作用和流变学等多学科的研究、观测和测试,研究地震活动的规律和发震机理。完钻后,将在钻孔内安放地震探测仪器,建立长期地震观测站,为未来地震的监测、预报或预警提供基本数据。

项目共设17个课题,其中的第2个课题“科学钻探与科学测井”由中国地质科学院探矿工艺研究所(以下简称工艺所)承担。该课题的主要任务是完成5口科学钻孔的取心钻探和测井施工,为地震研究提供岩心、测井资料和深部科学实验的通道,为地震长期监测提供基本条件。

2 钻探工程实施简况(参见表1、表2)

该项目的第一口钻孔WFSD-1于2008年11月4日开钻,最后一口钻孔WFSD-4于2014年2月11日完井。钻探实施的地点龙门山断裂带历史

收稿日期:2014-06-30

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;中国地质调查局地调项目“破碎和强缩径地层大直径深孔取心钻进技术研究”(1212011120258)、“定向钻进技术在西部地区大直径深孔钻探中的应用”(12120113097600)、“地震断裂带复杂地层钻探施工技术应用示范”(12120114075701)

作者简介:张伟(1954-),男(汉族),湖北恩施人,中国地质调查局汶川地震科学钻探工程中心总工程师,中国地质大学(武汉)客座教授,探矿工程专业,博士,负责组织汶川地震科学钻探项目的钻探和测井施工工作,北京市西城区阜外大街45号院,zhangwei@wfsd.org。

上发生过多地震,地下岩层整体破碎,“体无完肤”,严重程度罕见,导致钻探和测井施工中事故频发,处理事故耗费了大量的时间和经费。此外,所有的钻孔都是在山区施工,存在着施工场地狭小,路况恶劣等问题以及受地质灾害影响的风险。5口钻孔

中的2口受到过泥石流的冲击,其余3口受到过洪水的威胁。因为上述的种种困难,汶川地震科学钻探项目的钻探施工进度得异常艰难,所有的钻孔施工时间都大大超过预计的(同类钻孔施工所需的)时间。

表1 汶川地震断裂带科学钻探项目的钻探施工基本信息

钻孔号	完钻孔深/m	终孔直径/mm	主要取心钻进直径/mm	钻孔地点	地层条件	钻进施工时间/d	钻进施工单位
WFSD-1	1201.15	76	76	四川省都江堰市虹口乡	上部为火山岩,下部为泥岩、页岩和砂岩	267	四川地矿局403地质队
WFSD-2	2283.56	122	150	四川省都江堰市虹口乡	上部为花岗岩和火山岩,下部为泥岩、页岩和砂岩	1030	北京地矿局101地质队, 陕西煤田局185地质队
WFSD-3-P	551.54	76	76	四川省绵竹市九龙镇	砂岩	878	四川地矿局403地质队
WFSD-3	1502.30	76	150	四川省绵竹市九龙镇	砂岩	85	安徽地矿局313地质队
WFSD-4	2338.77	150	150	四川省平武县南坝镇	碳质板岩粉砂岩	555	陕西煤田局185地质队

表2 汶川地震断裂带科学钻探项目的钻探施工工作量

钻孔号	完钻孔深/m	取心钻进/m	岩心长度/m	岩心采取率/%	全面钻进和定向钻进/m	总进尺/m
WFSD-1	1201.15	1368.29	1290.30	94.3	0	1368.29
WFSD-2	2283.56	1905.53	1735.94	91.1	1178.29	3083.82
WFSD-3	1502.3	1545.82	1429.88	92.5	514.64	2060.46
WFSD-3-P	551.54	551.54	524.51	95.1	0	551.54
WFSD-4	2338.77	511.80	396.94	77.6	2811.47	3323.27
合计		5882.98	5377.57	91.4	4504.40	10387.38

注:WFSD-1孔侧钻孔段也进行了取心。

就可能形成卡钻或埋钻。

3.1.2 钻孔缩径导致的复杂情况

在该项目的钻探施工过程中,缩径卡钻是一种常见的孔内事故。在WFSD-1孔中,曾连续3次发生缩径卡钻。发生此种事故最多的是WFSD-4孔,施工中共发生了9次较严重的孔内事故,其中大多数是由缩径导致的卡钻事故。钻孔缩径,实质上是在上覆岩层重量的作用下,塑性岩石向钻孔内的流动(蠕变)。地下的岩石原本是处于一种平衡状态。钻孔形成后,平衡被打破了,位于深部的较软岩石在上覆岩层重量的作用下产生变形,朝着钻孔方向流动过来,使钻孔直径变小,情况严重时甚至可能导致钻孔封闭。这种岩层蠕变和缩径作用会导致钻孔内的钻具被卡死,形成孔内事故。

3.1.3 其它导致复杂情况的因素

还有其它一些导致复杂情况或施工困难的因 素,包括以下几个方面。

(1)大直径、深孔、连续取心钻进要求:汶川地震断裂带科学钻探项目的5个钻孔中的3个钻孔(WFSD-2孔、WFSD-3孔和WFSD-4孔)的主要取心钻进直径都是150mm,钻孔深度在1500~2338m之间。要实现这样的大直径、深孔、连续取心钻进施工目标,从技术上来说是可行的,但需要的施工时间很长,钻进成本很高。如果在强烈破碎和强缩径的地层条件下施工,需要的时间更长,钻进成本也更高。对于破碎复杂地层的钻进施工,一般要求快速钻进通过破碎带,然后马上下套管护住不稳定孔段。而以上的钻进施工条件和要求是与此原则相矛盾的。

(2)特殊取心要求:龙门山断裂带地下的岩层

3 钻探施工遇到的主要困难和问题

3.1 钻探施工中的复杂情况

3.1.1 地层破碎导致的复杂情况

龙门山断裂带历史经历了许多次地震,导致该断裂带的地下岩层强烈破碎,如WFSD-1孔在1200m深度范围内就钻遇了20多条断层。汶川地震断裂带科学钻探项目的5口钻孔所处的位置不同,钻进的岩层也不一样,既有沉积岩,如泥岩、页岩、砂岩等;又有火成岩,如花岗岩、花岗闪长岩、凝灰岩等;还有变质岩,如板岩、变质砂岩等。但无论岩性怎样变化,所有钻孔的岩层都有一个共同的特点,就是由于位于地震断裂带,岩层破碎情况严重,所有的钻孔从开钻到完钻基本上全部在破碎地层中钻进。

在钻进施工过程中,孔壁岩石要受到各种机械扰动作用,包括:回转钻进过程中的钻杆敲击作用;起钻过程中的抽吸作用;下钻过程中的压力“激动”作用;处理事故过程中孔内震击器的震击作用。在各种机械扰动作用的综合影响下,本身就破碎的孔壁岩石发生剥落,剥落物掉在孔内。若孔内有钻具,

破碎严重,如果采用常规的取心方法,回收岩心时会由于敲击岩心管而加剧岩心的破碎,使岩心中保留的地质构造信息受到破坏。为了保证岩心的原状性,本项目的5个钻孔共5883 m取心进尺的绝大部分采取了特殊的取心技术,即半合管取心技术。半合管取心的优点是取心质量好、岩心的原状性好,缺点是操作复杂、回次进尺短、施工效率低。

(3)大斜度钻孔要求:为了缩短钻孔长度,节省施工时间和经费,WFS D-4孔被设计成一口定向斜孔,主要孔段的顶角为 35° ,属于大斜度钻孔。大斜度钻孔施工的主要技术难题是:岩屑携带较困难,孔壁稳定性差,摩阻大。对于破碎地层钻进,孔壁稳定性差会对钻井施工起着较大的负面作用。

3.2 复杂情况导致的钻探施工难题

破碎地层取心也是钻探施工中的主要问题之一。某些钻孔的一些孔段岩层强烈破碎,取心异常困难。譬如在WFS D-2孔和WFS D-4孔的某些孔段取心极度困难,尽管采取了各种措施,岩心采取率也只能达到40%~50%,有时候甚至打空管。

孔壁岩石坍塌、掉块和钻孔缩径导致卡钻是汶川地震科学钻探项目钻探事故的主要原因。5个钻孔施工中多次遇到这样问题。处理卡钻事故和侧钻耗费了大量的进尺(表3)、时间和经费。

表3 WFS D项目侧钻施工次数和重复进尺量

孔号	侧钻次数	重复进尺/m
WFS D-1	2	183
WFS D-2	2	800
WFS D-3	2	407
WFS D-4	8	984.5
合计	14	2374.5

4 项目实施过程中的钻探技术研发成果

针对龙门山断裂带极端恶劣的施工环境和复杂的地质条件,该项目的钻探技术人员,在取心钻进工艺方法、复杂地层泥浆体系和特殊钻进工具以及钻探设备等方面开展了大量的自主创新,在解决钻探技术难题方面获得了显著的效果。在破碎带地层取心钻进总进尺5883 m,获取岩心5378 m,平均岩心采取率91.4%。获取的岩心质量高、原状性好,为汶川地震断裂带科学钻探项目的地学研究奠定了好的基础。

研发的主要成果涉及螺杆马达/液动锤/长半合管取心钻进工艺、极破碎和强蠕变地层钻进技术、交流变频高转速顶驱钻机、长孔段小间隙固井工艺4

大方面。

4.1 螺杆马达/液动锤/长半合管取心钻进方法

汶川地震断裂带科学钻探项目实施过程中,试用了多种取心钻进方法。为了解决破碎岩层钻进岩心原状性差的问题,该项目的取心钻进主要采取半合管取心技术。半合管取心的优点是取心质量好、岩心原状性好,但半合管取心钻进回次进尺短,导致提钻次数多、辅助时间长和钻探施工效率低。为减少起下钻次数和辅助施工时间,后引入了绳索取心方法,为此研制了 $\varnothing 127$ mm绳索取心钻杆和与此配套的半合管绳索取心钻具。该方法得到应用的前提是与顶驱装置配合使用。

在WFS D-2孔施工对顶驱-绳索取心钻进方法进行试验的结果表明,该方法在破碎地层中使用,存在以下问题:(1)顶驱高速回转时对孔壁有强烈的敲击和扰动作用,使破碎地层的孔壁坍塌、掉块加剧,一则会导致钻孔扩径加剧,二则可能造成卡钻;(2)在严重扩径的钻孔中高速回转钻杆柱容易受到疲劳损坏,钻头寿命也降低;(3)钻杆柱运转不平稳,导致取心效果变差,岩心采取率降低。

相比之下,螺杆马达孔底动力钻进在机械钻速、钻进施工安全、取心质量、钻杆柱和钻头寿命等方面都要优于顶驱-绳索取心钻进。其唯一的不足是,需要通过提钻回收岩心,起下钻次数多,辅助时间长。为了弥补螺杆马达提钻取心钻进方法的不足,我们在提高半合管取心回次进尺长度方面开展了技术攻关,主要采取了2方面措施:(1)研制长半合管取心钻具,最初的半合管长度只有2~3 m,我们相继研制成功了4.5、6和9 m长的半合管取心钻具;(2)采用液动锤,减轻岩心堵塞,提高回次进尺长度和机械钻速。

螺杆马达-液动锤-长半合管取心钻进方法在WFS D-4孔中进行了试验并获得了成功。在该孔的2014.30~2065.40 m孔段,钻进了5个长度超9 m的回次,总进尺45.15 m,平均回次进尺9.03 m,平均岩心采取率97.5%,平均机械钻速1.49 m/h。最重要的是,取出了长9 m的无扰动连续岩心柱。

螺杆马达-液动锤-长半合管取心钻进系统(见图1、图2)是首次在世界上得到应用。该系统的主要特点如下。

(1)螺杆马达驱动,钻杆柱不回转,可减轻钻进功耗和钻具磨损,有利于改善钻杆柱工作状态和保护井壁,减少事故。

(2)液动锤冲击载荷碎岩,可提高机械钻速

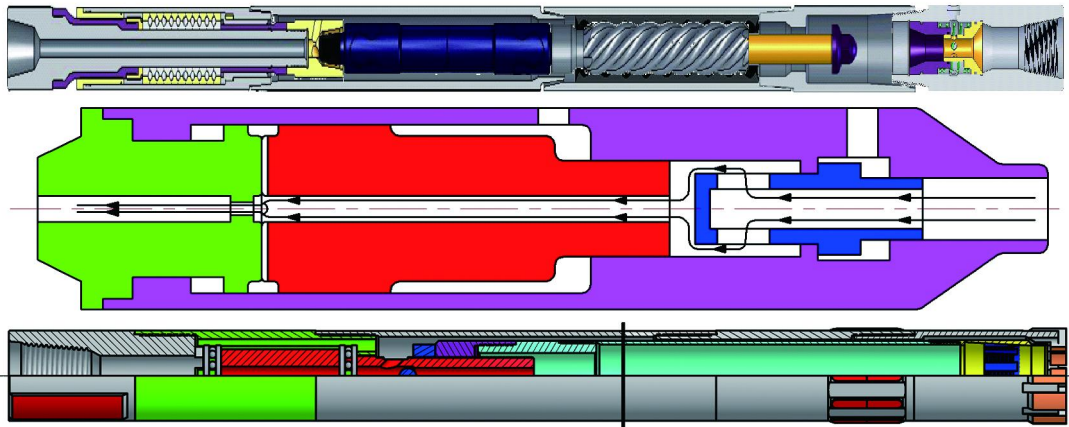


图 1 螺杆马达/液动锤取心钻进系统

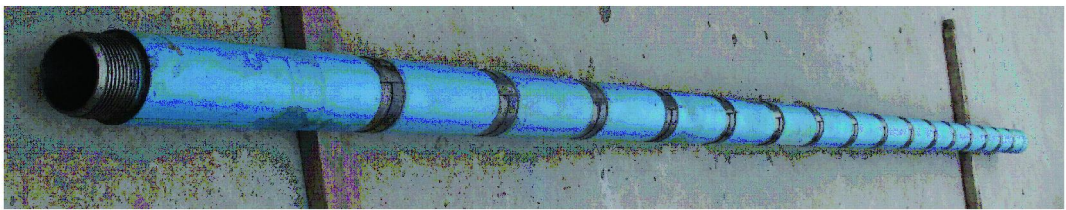


图 2 长半合管取心钻具(长度 6~9 m)

50% ~ 100%, 提高回次进尺长度 1~2 倍。

(3) 低钻压钻进, 有利于防斜和降斜。

(4) 长半合管取心, 取心回次进尺长, 岩心的原状性好。

4.2 极破碎和强蠕变地层钻进技术措施

汶川地震断裂带科学钻探项目钻进施工遇到的地层极其复杂, 具有 2 大特点: 一是强烈破碎; 二是强烈缩径。所钻进的 5 个钻孔都遇到了这两类问题, 其中以 WFSD-4 孔最为典型。这两类地层问题曾经导致了多次孔内事故。现场的钻探施工人员通过不断地总结经验、分析事故原因并采取相应的技术对策, 摸索出了一套极破碎和强蠕变地层钻进技术措施, 为今后解决此类复杂的钻探技术问题, 积累了宝贵的经验。

我们分析了问题产生的原因, 提出应采用综合性的技术措施来解决问题。解决问题的基本思路是: 优化泥浆体系, 抑制钻孔缩径和孔壁垮塌; 采用双心钻头钻进, 降低缩径卡钻的风险; 优化钻井工艺措施, 预防卡钻; 采用有利于复杂地层钻进的钻机。

4.2.1 优化钻井泥浆体系

我们在 WFSD-4 孔的施工中采用了钾石灰聚磺钻井液体系。该体系是在石灰钻井液、聚磺钻井液基础上发展起来的一种更有利于防塌的钻井液体系, 具有强抑制性、泥饼质量好、封堵能力强的特点, 应用中表现出了较好的流变性、抑制性、防粘卡效

果、高温稳定性和较强的剪切稀释性、防塌能力和抗可溶性盐类污染能力。针对 WFSD-4 孔强破碎和强缩径同时存在的问题, 我们还采取了以下技术措施: 提高泥浆密度、粘度、切力、抑制性和防塌效果, 加强护壁和携带岩屑效果。泥浆密度一般在 1.4 ~ 1.7 g/cm³ 范围内, 采用高的泥浆密度来加强破碎地层的防塌效果和抑制地层的缩径。

4.2.2 采用“双心钻进”方法

我们采用“双心钻进”来解决缩径卡钻问题。“双心钻进”是钻头的领眼、扩眼中心与通径中心不重合。双心钻具可通过一段较小的井眼或套管, 以直径较小的钻具, 钻出一个直径较大的井眼, 从而解决缩径带的卡钻技术难题。“双心钻进”既可是全面钻进, 又可是取心钻进, 采用的钻具分别见图 3 和图 4。



图 3 “双心”全面钻进钻头

在 WFSD-4 孔的施工中, 我们采用了 Ø127 mm × Ø149.2 mm × Ø168 mm CK306B 型“双心钻头”。该钻头(见图 3)的超前导向部分直径为 127 mm, 可在 Ø149.2 mm 的钻孔中下钻, 钻出直径 168



图4 “双心”取心钻进钻具

mm的钻孔。由于用该方法钻出的钻孔直径比钻具直径要大得多,因此即使是缩径,也很难形成卡钻。

4.2.3 优化钻井工艺措施

在钻井工艺方面,通过采取一系列措施,来维持钻孔的稳定性,减轻缩径和卡钻的风险。这些措施包括以下几个方面。

(1) 优化钻具结构。钻具组合中不带扩孔器和扶正器,复杂地层钻进不使用螺杆马达,以减少卡钻的可能性。

(2) 在孔内钻具组合中加震击器,以便在卡钻发生后增加解除卡钻的可能性。

(3) 勤划眼,短起钻。在操作规程中规定,每钻进一段时间(一般1~5 h)后,要活动一次钻具;每钻进1~2天后,要进行一次短起钻。通过采取这样的措施,及时消除钻孔的缩径量,以减少在钻进或者起下钻期间钻具被卡死的可能性。

(4) 起钻回灌泥浆。以泥浆柱的压力来平衡地层压力,以减轻钻孔缩径的程度。

4.2.4 采用有利于复杂地层钻进的钻机

我们采用交流变频驱动的顶驱钻机,作为复杂地层钻进技术措施之一。顶驱钻机最显著的特点是:

(1) 可接立根钻进,给进行程长,有利于快速通过复杂地层;

(2) 可以倒划眼,遇到复杂情况时,有利于快速解除;

(3) 顶驱带着水龙头起下钻,遇到复杂情况时,能以最快的速度建立循环,为解除复杂提供有利条件。

4.3 交流变频高转速顶驱钻机

汶川地震断裂带科学钻探项目施工的5口钻孔,涉及可钻性不同的各种地层,既有硬岩(花岗岩、闪长岩、凝灰岩等),又有软岩(砂岩、板岩、泥岩等)。在硬岩中进行取心钻进,需要采用孕镶金刚石钻头。此种钻头要求钻机具有高的回转速度。地

质岩心钻机适合于硬岩取心钻进和绳索取心方法,但国内现有岩心钻机的承载能力远远不能满足汶川地震科学钻探项目的要求。石油或地热钻机的强度足够,但不适合于高转速金刚石取心钻进。为了解决这个问题,探矿工艺研究所联合中国地质装备总公司研制了一套顶驱/转盘组合式钻机。该钻机的基本思路是,在3000 m地热转盘钻机上加装一套高转速顶驱系统和高精度给进控制系统,既可满足金刚石绳索取心钻进的要求,又可实现大口径扩孔钻进。

由于国内当时还没有可供参考的钻机,该项目的首台深孔取心钻机样机参考德国和美国的经验采取了全液压顶驱钻机方案。首台样机型号为KZ-3000,在WFSD-2孔进行了试验,使用时间约660天,完成了大口径取心钻进、扩孔钻进、侧钻和全面钻进以及多次处理孔内事故施工,钻达的最大孔深为2283.56 m(钻孔直径为122 mm)。结果表明,该钻机使用情况基本正常,基本能满足深孔取心钻进施工的需求。不过,通过试验发现液压驱动钻机在能量利用率、元件的寿命和可靠性、钻机操控性和维护性能方面,都存在着一一些问题。

针对KZ-3000型钻机在使用中存在的问题,研究人员对深孔取心钻机进行了改造。改造的主要技术思路是:(1) 钻机由原来的全液压驱动,改成交流变频电驱动;(2) 加大绞车功率,由原来的320 kW加大到450 kW,从而加大起下钻速度;(3) 甩掉长给进油缸,依靠绞车自动送钻提供钻压及给进速度;(4) 加长轨道,满足顶驱进行立根钻进、扫孔,以及带顶驱起下钻。

钻机改造带来了以下一系列好处:

(1) 提高了起下钻速度。起下钻速度由300 m/h提高到400 m/h。

(2) 绞车故障和维修时间减少。

(3) 取掉油缸后,不会出现由于给进油缸导致的故障和维修时间。

(4) 可实现顶驱接立根钻进和扫孔,节省施工时间。

(5) 交流变频驱动,能耗低、操控性好、可靠性好。

改造后的钻机取名为KZ-30-DB(见图5、图6),该钻机在WFSD-4孔连续使用555天,完成了大口径取心钻进、扩孔钻进、侧钻和全面钻进以及约10次处理孔内事故施工,钻达的最大孔深为2338.77 m(钻孔直径为150 mm)。试验结果表明,

钻机使用情况正常,能满足深孔取心钻进施工的需求,改造前的计划思路基本上得到实现。



图5 KZ-30-DB型钻机在WFSD-4孔现场应用



图6 KZ-30-DB型钻机司钻室

该钻机是一种多功能钻机,可用于孔深3000 m左右的大直径($\text{Ø}150$ mm 终孔)科学钻探、地热钻探和煤层气钻探,还可用于孔深5000 m以深的小直径($\text{Ø}76$ mm 终孔)地质岩心钻探,具有较好的推广应用前景。

4.4 复杂地层小间隙固井工艺

为了降低施工成本,汶川地震断裂带科学钻探项目5个钻孔的套管程序都采取了小套管间隙设计。该项目下套管、固井施工的主要技术问题是:(1)套管间隙小,再加上地层破碎,采用常规的套管柱结构施工难度大,套管难以下到位;(2)强蠕变地层,钻孔缩径严重,使套管难以下到位。课题研究人员摸索总结出两方面的技术措施,使得复杂地层小套管间隙条件的下套管、固井问题,在很大程度上得到了解决。

研发了强缩径地层和小间隙条件的尾管固井工艺。在套管结构形式、螺纹连接、套管串结构、倒扣丢手和固井工艺等方面,采取了一系列特殊的技术措施,保障了复杂地层和小套管间隙条件下尾管固井施工的正常进行。这种固井工艺的主要优点是:(1)可简化钻孔结构和套管程序,并因此降低施工

成本;(2)套管柱结构得到优化,有利于减轻阻卡。

为保证WFSD-4孔在孔深2200~2300 m处的强缩径带固井施工时套管能下到位,采用了以下特殊的钻进和下套管工艺:先采用 $\text{Ø}127$ mm \times $\text{Ø}149.2$ mm \times $\text{Ø}168$ mm CK306B型双心钻头穿过缩径带,钻出直径168 mm的钻孔。根据地层缩径的规律,这一段在较短的时间内,钻孔中有较强的缩径发生。再采用 $\text{Ø}166$ mm \times $\text{Ø}200$ mm \times $\text{Ø}220$ mm CK406B型双心钻头(超前导向部分直径为166 mm)进行扩孔钻进。采用这种特殊的施工工艺,顺利通过了多次发生卡钻事故的WFSD-4孔2200~2300 m孔段。此后下入 $\text{Ø}168$ mm套管的施工过程平稳,没有明显的遇阻和遇卡现象。

5 课题实施的组织管理

汶川地震断裂带科学钻探项目的钻探工程由工艺所负责组织实施。此外,还有较多的研究单位以及施工和制造企业参与了钻探施工和设备器具研发工作。

由于该项目钻探施工的地层条件复杂,取心要求严格,施工中大量采用新方法和新技术以及施工设计经常根据地学研究的要求进行变化等一系列特点,使得常规的钻探施工承包方式难以取得好的效果。参照中国大陆科学钻探工程项目组织实施的经验,从2010年9月WFSD-2孔下半段施工时开始,钻探施工的管理模式由合同承包制改为“甲方指挥施工的日费制”,即甲方(探矿工艺所)负责从设计、器材供应到施工指令下达等一系列决定性的工作,乙方(钻探队伍)按照甲方指令进行操作,甲方给乙方的报酬按日计费。

“甲方指挥施工的日费制”在WFSD-2孔下半段施工中获得了较好的效果。不过,在实施过程中发现这种模式也还存在着不足,即对施工单位积极性调动的效果较差,因为施工时间延长对施工单位没有影响,反而有利。为了解决这个问题,在WFSD-4孔施工中,制定了“WFSD-4孔钻井施工奖励机制考核评定办法”。根据此办法,甲方以20%日费用的额度设立施工奖,然后制定了一套涉及八大指标(项目部职责、施工作业指令、岗位职责、设备养护、安全、文明生产、报表记录、起下钻、其他)的考核办法。对于每一类指标,都有具体的评分标准。每个月进行一次考核,考核评分的结果作为发放奖金的依据。施工队伍在哪个方面做得不好或犯错,都会被扣奖金。这种方法的实施,充分调动了施工

队伍的积极性,促使他们主动地做好施工方面的各项工作,改善了钻探施工安全、质量和效益。

工艺所制定了“科学钻探与科学测井”课题实施管理办法,明确了课题每一个管理分组和主要人员的岗位职责,规定了办事制度和程序以及物资采购制度和程序。

针对钻探施工中的技术难题,工艺所和汶川地震科学钻探工程中心钻井工程部数次召开专题性的技术研讨会和专家咨询会,邀请有关大学、研究所、施工单位和管理部门的知名专家(涉及地质、石油、水电、煤田等部门)对钻探技术难题进行会诊并提出解决方案。此外,组织开展了技术攻关,联合国内有关的大学、研究所和企业开展了钻探技术与开发。一系列技术和管理措施的采取,为钻探施工的顺利进行提供了有力的保证。

6 总结与体会

(1)汶川地震断裂带科学钻探项目共施工5口钻孔,总进尺10387 m,其中取心钻进5883 m,获取岩心5378 m,平均岩心采取率91.4%,获取的岩心质量高、原状性好。所有的钻孔都穿过了主断层(目标层),完钻后建成长期观测孔。钻探工程的实施为地震研究和地震监测、预报提供了强有力的技术支撑。

(2)钻探实施的地点龙门山断裂带历史上发生过多次地震,地下岩层整体破碎,“体无完肤”,严重程度罕见,导致钻探和测井施工中事故频发,使该项目的钻探施工进度得异常艰难,所有的钻孔施工时间都大大超过预计的时间。

(3)针对龙门山断裂带极端恶劣的施工环境和复杂的地质条件,该项目的钻探技术人员,在取心钻进工艺方法、复杂地层泥浆体系和特殊钻进工具以及钻探设备等方面开展了大量的自主创新,在解决钻探技术难题方面获得了显著的效果。研发的主要成果包括螺杆马达/液动锤/长半合管取心钻进工艺、极破碎和强蠕变地层钻进技术、交流变频高转速顶驱钻机、长孔段小间隙固井工艺四大方面。这些技术成果,除了为汶川地震科学钻探项目地学目标的实现起到了积极的促进作用,还将在我国的地质岩心深钻和科学钻探施工中发挥作用。

(4)通过实施汶川地震断裂带科学钻探项目,我们深切地体会到,复杂地层钻进是钻探工程领域

最大的技术难题。尽管在项目实施过程中采取了许多技术措施,这些措施也取得了较好的效果。但总的来说,事故多、取心效果差、施工效率低是复杂地层钻进的固有特点,所有的技术措施只能在一定程度上减缓这些不利因素,而无法消除。比较有效的措施是快速钻进通过复杂层和多下套管,而这些措施必然导致取心的减少和钻进成本升高。

参考文献:

- [1] 尤建武,曹其友,杨明奇,等.汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)不同取心方法的应用效果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):9-12.
- [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):5-8.
- [3] 张伟,贾军.汶川地震科学钻探项目二号孔取心钻进方法的选择[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7):5-7.
- [4] 张伟,贾军,胡时友.汶川地震科学钻探项目的概况与钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):5-9.
- [5] 贾军,李旭东,樊腊生,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-2孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):6-11.
- [6] 朱恒银,朱永宜,张文生,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-3孔施工技术与体会[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):12-17.
- [7] 张伟,贾军,胡时友,等.汶川地震断裂带科学钻探项目钻探施工进度综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):1-5.
- [8] 徐志琴,李海兵,吴忠良.汶川地震和科学钻探[J].地质学报,2008,82(12):1614-1622.
- [9] 王达,张伟,张晓西,等.中国大陆科学钻探工程科钻一井钻探工程技术[M].北京:科学出版社,2007.
- [10] 王稳石,朱永宜,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):28-32.
- [11] 张伟,樊腊生,吴金生.汶川地震断裂带科学钻探项目中取心钻进方法应用的演变[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):61-65.
- [12] 朱江龙,胡时友,黄宏波,等.汶川地震断裂带科学钻探项目深孔取心钻探设备的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):22-27.
- [13] 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):13-16.
- [14] 王达,严良,王柏轩.中国大陆科学钻探工程项目组织与管理研究[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2008.
- [15] 胡时友,宋军,张伟,等.汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)项目钻探与测井课题的组织实施与管理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):1-4.
- [16] 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).