

# 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD - 4 孔取心钻进技术

庄生明<sup>1</sup>, 吴金生<sup>1</sup>, 张 伟<sup>2</sup>, 王稳石<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 2. 中国地质调查局, 北京 100037; 3. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘 要:**介绍了汶川地震断裂带科学钻探项目4号孔(WFSD-4)取心钻进施工情况,对破碎和缩径地层的取心钻进工艺和技术措施及其应用效果进行了分析和总结。

**关键词:**地震断裂带;科学钻探;复杂地层;取心钻进;强缩径

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)09-0126-04

**The Core Drilling Technology Used in the Borehole WFSD - 4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/ZHUANG Sheng-ming<sup>1</sup>, WU Jin-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, WANG Wen-shi<sup>3</sup>** (1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** In this article the core drilling operation of the borehole WFSD - 4 of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project has been described, and the core drilling technology and technical measures to solve the problems encountered while drilling in broken rock formation and strong borehole shrinkage condition have been analyzed and summarized. The application results of the core drilling technology and technical measures have been introduced.

**Key words:** Wenchuan earthquake fault; scientific drilling; complex formation; core drilling; strong shrinkage formation

## 1 概述

汶川地震断裂带科学钻探项目4号孔(WFSD-4)孔位于平武县南坝镇旧洲村境内的S205省道和涪江之间的河漫滩一级阶地上,岩性主要为变质岩地层。根据WFSD-4地质设计要求:在F3断层井段1450~1550 m进行取心钻进,穿越F3断层后,定向钻进至1980 m,然后取心钻进直至终孔。取心钻进的目的是为地学部提供较为连续的、原状性岩心,以开展汶川地震断裂带的地震学研究。由于是在极其破碎的地震断裂带取心,WFSD-4孔钻探施工的艰巨性是几口科学群钻中难度最大,经费消耗最多的一口,钻遇的复杂地层更是前所未有,这对取心钻进无疑是一个挑战。从取出的原状性岩心来看,地层的复杂程度可见一斑。

即螺杆马达+液动锤+半合管取心钻进工艺。通过对钻探施工效率和取心效果等方面的比较分析,摒弃了绳索取心钻进工艺而采用螺杆马达井底驱动的提钻取心钻进工艺。液动锤配合螺杆马达改变了碎岩方式,利用冲击回转碎岩,提高了钻进效率,降低了岩心堵塞,提高了回次进尺长度。半合管则最大限度地保证了岩心的原状性。螺杆马达+液动锤+半合管取心钻进基本参数为:钻压20~50 kN,转速15~30+220 r/min,泵压5.5~17.4 MPa,排量450~660 L/min。该钻进工艺是一种复合回转的钻进工艺:破碎岩石的主要回转动力由螺杆马达提供,转速220 r/min;地表回转装置(顶驱或转盘)的转速为15~30 r/min,目的是减轻摩阻,使钻压能有效地传递到钻头上,此外还可预防键槽卡钻。

## 2 WFSD-4孔取心钻进工艺

汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4孔继续沿用WFSD-2孔施工时摸索出的取心钻进工艺,

## 3 WFSD-4孔取心钻进施工情况

### 3.1 二开1444.55~1555.00 m井段取心钻进

二开取心钻进从1444.55 m开始进行,取心钻

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)、“地震断裂带复杂地层钻探施工技术应用示范”(12120114075701)

**作者简介:**庄生明(1984-),男(汉族),陕西榆林人,中国地质科学院探矿工艺研究所,岩土工程专业,从事地质钻探方面的工作,四川省成都市郫县现代工业港(北区)港华路139号,370488748@qq.com。

进总进尺 110.45 m, 共计钻进 21 个回次, 钻遇地层为灰色板岩、变质砂岩, 可钻性等级 5~6 级。分别采用螺杆马达 + 长半合管取心钻进工艺和螺杆马达 + 液动锤 + 长半合管取心钻进工艺, 具体技术参数见表 1。

表 1 WFS D-4 号孔二开取心钻进施工统计

钻进方法	进尺 /m	回次长度 /m	采取率 /%	钻速 / (m·h <sup>-1</sup> )
螺杆马达 + 半合管	66.70	5.13	93.8	1.11
螺杆马达 + 液动锤 + 半合管	43.75	5.47	85.1	1.92
合计	110.45	5.26	90.3	1.33

螺杆马达 + 半合管钻进实施了 13 个回次, 平均机械钻速 1.11 m/h; 螺杆马达 + 液动锤 + 半合管取心钻进实施了 8 回次, 机械钻速提高到了 1.92 m/h, 回次长度也有了一定程度的提高, 基本上能实现满管起钻。该段最后一个取心钻进回次进尺 2.3 m, 出心 1.4 m, 岩心采取率仅为 60.9%, 从出心的情况来看, 这一回次钻进的岩层极为破碎(图 1), 是岩心缺失的最主要原因。二开取心从整体效果来看, 岩心采取率达 90.6%, 原状性好, 满足了地学要求。



图 1 2K-QX22 回次取出的破碎岩心

### 3.2 三开 1980.00~2313.70 m 井段取心钻进

三开取心钻进从 1980.00 m 开始, 至井深 2065.41 m, 该井段岩石为变质砂岩和碳质板岩, 相对坚硬, 比较完整。三开钻进起初采用螺杆马达 + 半合管(6 m) 的钻进方式, 岩心采取率连续 2 次达到 100%, 根据地层岩石性质, 钻井工程部决定尝试用勘探技术研究所研发的超长半合管, 即半合管长度从 6 m 增加到了 9 m。在随后 2 个回次岩心采取率均达到 100% (进尺分别为 4.95 m 和 6.27 m), 调整钻进工艺后, 为进一步提高取心钻进效率, 钻进驱动方式上增加了液动锤, 采用螺杆马达 + 液动锤 + 超长半合管的取心钻进工艺。连续 5 个回次进尺超过 9 m, 并实现满管起钻, 岩心采取率达到 90% 以上, 实践证明这套取心钻进工艺是成功的、高效的、先进的取心钻进方法。图 2 为 QX31 回次取出 8.94 m 超长原状岩心。该井段钻进回次进尺及机械钻速如图 3 所示。不同驱动方式钻进效率对比见表 2。



图 2 3K-QX31 回次取出 8.94 m 超长原状岩心

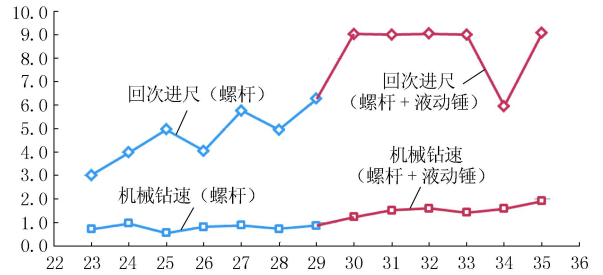


图 3 三开 3K-QX23~3K-QX35 回次不同驱动方式回次进尺及机械钻速对比

表 2 三开 3K-QX23~3K-QX35 回次不同驱动方式钻进效率对比

驱动方式	进尺 /m	钻时 /h	平均机械钻速 / (m·h <sup>-1</sup> )	平均回次进尺 /m
螺杆马达	34.30	42.98	0.80	4.90(6 m 岩心管)
螺杆马达 + 液动锤	51.11	33.75	1.51	8.52(9 m 岩心管)

该井段采用螺杆马达钻进 34.30 m, 平均机械钻速 0.80 m/h, 平均回次进尺 4.90 m/h, 采用螺杆马达 + 液动锤组合钻进 51.11 m/h, 平均机械钻速 1.51 m/h, 相对螺杆马达钻进机械钻速提高 89.77%。

随着井眼的加深, 钻遇地层逐渐破碎, 地层粘土矿物含量增加, 塑性提高, 且遇水有膨胀、水化现象, 岩心实物见图 4。采用螺杆马达钻进机械钻速较低, 仅为 0.63 m/h, 采用螺杆马达 + 液动锤钻进的机械钻速相比此前也呈下降趋势, 平均机械钻速为 0.89 m/h, 比螺杆马达钻进提高 41.26%。平均回次进尺 4.06 m, 也比不带液动锤的要高。从图 5 可以看出螺杆马达钻进的 5 个回次中, 回次进尺长度无一例外的都处于离散点分布图的较低点, 这也是 WFS D 取心钻进采用螺杆马达 + 液动锤钻进工艺的最主要原因。三开 3K-QX36~3K-QX93 回次不同驱动方式钻进效率对比见表 3。

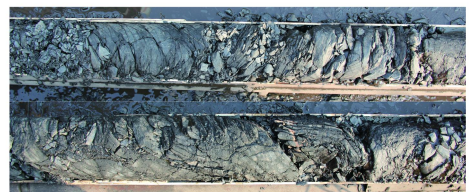


图 4 3K-QX88 回次取出的破碎岩心

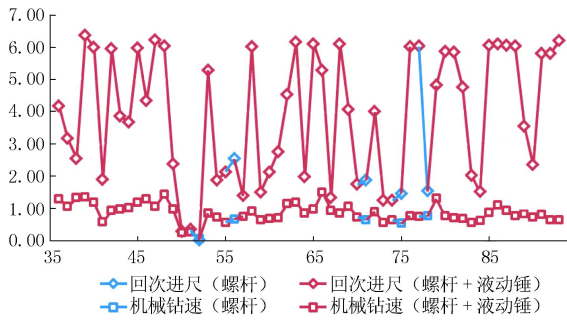


图5 三开3K-QX36~3K-QX93回次不同驱动方式回次进尺及机械钻速对比



图8 改进后的PDC复合片取心钻头

表4 三开钻进中不同类型钻头的技术指标类型数量

类型	数量	进尺 /m	岩心采取率/%	机械钻速 / (m·h <sup>-1</sup> )	平均回次进尺/m
电镀	10	230.39	76.45	0.74	4.27
PDC	4	34.20	45.38	0.92	2.85
热压	2	93.55	92.77	1.16	4.45

表3 三开3K-QX36~3K-QX93回次不同驱动方式钻进效率对比

驱动方式	进尺 /m	钻时 /h	平均机械钻速 / (m·h <sup>-1</sup> )	平均回次进尺/m
螺杆马达	7.47	11.87	0.63	1.49
螺杆马达+液动锤	215.02	240.65	0.89	4.06

WFSD孔取心钻进在QX77回次之前全部采用电镀/热压金刚石钻头,从该回次取出的岩心来看,岩石极其破碎,钻进施工过程中机械钻速较低,岩心采取率低,故在QX78、79回次尝试采用PDC隔水钻头以期减轻泥浆对岩心的冲刷,提高钻进效率。实钻表明螺杆马达+液动锤+PDC隔水钻头取心钻进,机械钻速相比有所提高,但是PDC钻头损坏较严重,其中QX-79回次PDC钻头内排齿全部脱落,从岩心采取率效果上来看,略低于电镀/热压金刚石钻头。通过改善PDC钻头结构及镶焊技术和取心钻进工艺参数,进一步证实液动锤也可以与PDC钻头组合使用,在后续的回次钻进中,这点也得到了印证。

三开取心钻进中使用了电镀金刚石(见图7)、PDC复合片(见图8)和热压金刚石3种类型的取心钻头,3种钻头具体使用情况见表4。



图7 电镀孕镶金刚石取心钻头

三开取心钻进电镀金刚石钻头一共使用了10只,其中KT-2、KT-4、KT-5三只为中国地质科学院勘探技术研究所生产,这3只钻头曾在WFSD-2使用过,其余7只钻头均为中国地质科学院探矿工艺研究所(以下简称工艺所)生产。总的来看,电镀金刚石钻头钻进稳定,由于地层破碎复杂,岩心

采取率相对较低。

PDC复合片钻头一共用4只,均为工艺所生产。其中GY-8、GY-9钻头由于卡钻事故遗落井内,其余2只钻头仍可使用。PDC复合片钻头是在极破碎的地层条件下,电镀金刚石钻头钻进效率低下的情况下尝试使用,初期由于PDC钻头的隔水性能、复合片排布等结构上的影响,岩心采取率较低,但是机械钻速明显高于电镀金刚石钻头。

热压金刚石钻头一共使用了2只,为桂林生产。其中GL-1钻头在进尺65.12m后由于工作层磨损太薄而报废。GL-2进尺28.43m,仍然可以使用。从取心效果上看,热压金刚石钻头在岩心采取率和机械钻速上明显优于电镀金刚石和PDC复合片钻头。但是应该考虑到的是GL-1钻遇的地层为上部地层。

### 3.3 侧钻井段强缩径地层取心钻进

WFSD-4孔钻进至井深2200m,地层进入破碎的蠕变带,尤其在2260m以深,地层岩石软弱,在地应力作用下塑性流动和粘土矿物遇水膨胀,井眼缩径严重,导致起下钻遇阻,引发7次卡钻事故。针对上述强缩径蠕变地层,现场采用多种应对措施。

(1)工艺方面:①在地层强烈蠕变井段,防止螺杆制动,简化钻具组合,甩螺杆,去稳定器,采用转盘/顶驱钻进;②勤划眼,短起钻,及时清除井眼内壁缩径量;③控制取心回次进尺,使钻具及时从新钻井眼撤出;④钻具组合中增加震击器。

(2)泥浆控制:一方面调整泥浆性能,抑制岩石粘土矿物的水化作用;另一方面提高泥浆密度,平衡地层压力,最大限度地降低地层横向塑性流动。

(3)保证取心效果:调整取心钻头内径,级配取心钻具。WFSD 孔取心钻头内径从最初的 95 mm,减小至 92 mm,甚至 90 mm,以适应岩心在岩心管内的膨胀作用。内径为 92 mm 钻头取出膨胀后的岩心直径为 99.4 mm,直径变化率达 8%,半合管变形如图 9 所示。

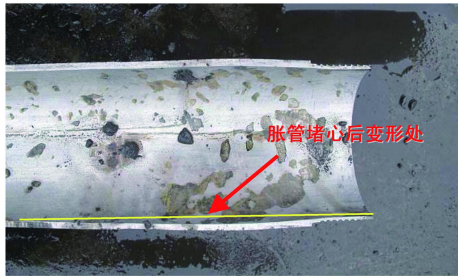


图 9 岩心堵塞后导致半合管变形

(4)涂层半合管:在岩心管内壁做环氧树脂涂层(见图 10),以减小岩心进入岩心管的摩擦阻力,并因此减轻岩心堵塞。

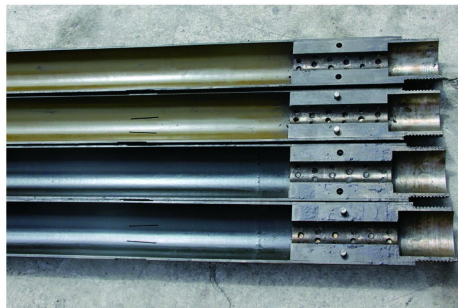


图 10 内表面光滑涂层的半合管

(5)双心取心钻进。为防止钻头被快速蠕变的地质层抱死,在取心钻头后面连接偏心扩孔器组成双心取心钻具组合(见图 11)。双心取心钻具组合是领眼中心、扩眼中心和通径中心几何上不重合(见图 12),具有 2 个不同中心的钻具组合。正常钻进中领眼钻头起导向作用,偏心扩孔器将新井眼扩孔至扩眼直径。由于双心取心钻具可以从一个相对较小的井眼内(通径直径)穿过,并在钻进中明显扩大



图 11 带偏心扩孔器的双心钻头

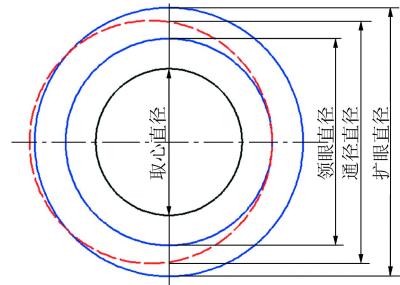


图 12 双心取心钻具通径原理

钻孔直径,显著降低了钻杆柱由于钻孔缩径而被抱死的风险。

WFSD-4 孔在强缩径的 S8 井段,利用双心取心钻进原理,保证了强缩径地层钻进的正常进行。但是由于双心钻具的偏心作用,钻具运转平稳性较差,岩心采取率相对较低。为了提高岩心采取率,采取了  $\varnothing 150$  mm 取心钻具和双心钻具交替使用的措施,并控制回次取心钻进长度,使得安全施工和保证岩心采取率的要求得以兼顾,使得 WFSD-4 孔达到最大深度 2338.77 m。

#### 4 结语

针对汶川地震断裂带科学钻探 WFSD-4 孔钻遇的复杂地层,尤其是在极破碎,强缩径的下部井段,现场钻探技术人员从钻探工艺和钻探机具两方面着手,竭力解决钻探施工难题。实践表明:螺杆马达+液动锤+半合管的取心钻进工艺在汶川科学钻探的应用是成功的,是一种先进的取心钻进工艺。在强缩径地层中,双心取心钻进是预防缩径卡钻事故的最有效措施。

#### 参考文献:

- [1] 张伟,贾军. 汶川地震科学钻探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.
- [2] 庄生明,罗光强,张伟. 汶川地震断裂带科学钻探取心钻进岩心堵塞机理分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):65-68.
- [3] 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):61-64.
- [4] 戴金岭,李开荣,薄万顺,等. 低摩阻取心筒的研究与应用[J]. 石油钻采工艺,1995,17(2):39-42.
- [5] 卢春华,张涛,范加兴. 提高破碎地层取芯质量的绳索强制取芯钻具[J]. 工程勘察,2011,(10):25-28.
- [6] 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.
- [7] 曾恒. 金刚石双心取心钻头首次试验获得成功[J]. 石油钻采工艺,1994,16(4):48-50.