

套管开窗侧钻技术在汶川地震断裂带 科学钻探项目中的应用

李前贵, 樊腊生, 吴金生, 庄生明

(中国地质科学院探矿工艺研究所 四川 成都 611734)

摘要: 汶川地震断裂带科学钻探工程钻遇地层非常复杂, 地层破碎、膨胀缩径、坍塌、掉块严重, 多次出现卡埋钻等事故, 同时复杂地层取心率偏低。WFSD-2孔在取心率很低井段, 为补取岩心运用套管开窗侧钻技术; 而在WFSD-4孔施工中, 套管内出现卡钻事故, 为绕障采用套管开窗侧钻技术。介绍了复杂事故井套管开窗侧钻从准备到实施的工艺流程和技术措施。套管开窗侧钻的成功应用为后续工程实施节约了时间和成本, 对今后类似作业具有很好的指导和借鉴作用。

关键词: 汶川地震断裂带; 科学钻探; 套管开窗; 侧钻; 斜向器; 铣锥

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)09-0133-06

Application of Casing Sidetracking Drilling Technology in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/
LI Qian-gui, FAN La-sheng, WU Jin-sheng, ZHUANG Sheng-ming (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu
Sichuan 611734, China)

Abstract: During the drilling operation of Wenchuan earthquake fault science drilling project (WFSD), due to stratum breaking, borehole shrinkage and borehole walls' collapse, drilling accidents occurred frequently and core recovery has been low. In the borehole section of WFSD-2, where the core recovery was poor, sidetracking technology was used to get better core recovery and core quality. During the drilling of WFSD-4 hole, pipe stuck accidents occurred within the casing, casing sidetracking technology was used to by pass the obstacle in the hole. This article describes the casing sidetracking technology used in complex formations, referring to the technical measures adopted from preparation to implementation period. The successful application of sidetracking save project implementation time and cost, this will be good guidance and reference for future similar operations.

Key words: Wenchuan earthquake fault; scientific drilling; casing window; sidetracking; whip stock; taper mill

0 引言

汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)项目的目的是: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”断裂旁侧施工5口科学钻孔(1200和3000 m深钻孔各2口)通过钻探获取地下深处的信息,研究地震断裂发震机理。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。

汶川地震断裂带科学钻探项目最大设计钻孔深度为3350 m,主要取心钻进口径为150 mm。汶川地震断裂带岩性变化多样,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。由于位

于地震断裂带岩层破碎情况严重,造成卡钻事故频发。截至目前,汶川地震断裂带科学钻探项目的5口钻孔中共发生孔内事故35次,其中卡钻14次,断钻具10次,井下落物4次,测井事故4次,套管断裂3次。

套管开窗技术是指在套管内某一预定井深,通过斜向器迫使磨铣工具产生侧向切削力,在套管壁上按预定方向铣出一个窗口并钻出井眼的工艺技术。二号孔(WFSD-2)在取心率很低井段,为补取岩心运用套管开窗侧钻技术;而在四号孔(WFSD-4)施工中,套管内出现卡钻事故的“落鱼”,为绕障采用套管开窗侧钻技术。本文介绍了复杂事故井套管开窗侧钻从准备到实施的工艺流程和技术措施。套管开窗侧钻的成功应用为后续工程实施节约了时

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“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:李前贵(1979-),男(土家族),湖南桑植人,中国地质科学院探矿工艺研究所,石油工程专业,博士,从事钻探工程工作,四川省成都市郫县成都现代工业港(北区)港华路139号,liqiangui@163.com。

间和成本,对今后类似作业具有很好的指导和借鉴作用。

1 套管开窗侧钻技术

1.1 侧钻方式的选择

套管开窗侧钻按是否利用斜向器,可分为斜向器开窗侧钻和锻铣(切割)套管后侧钻2种。按开窗方位是否有明确的要求,侧钻可分为定向侧钻和一般侧钻。一般侧钻对侧钻开窗的方位无明确要求,而定向侧钻对侧钻开窗的方位有明确要求。侧钻方式的选择,要根据侧钻的目的、地质情况、井况、侧钻方法等来综合考虑,但主要还是以侧钻目的为依据。如果侧钻仅仅为了处理套管损坏或井下事故,无方位要求,一般在套管损坏处或事故段以上20~30 m的地方确定窗口,采用非定向侧钻即可。如果侧钻要避开地层结构的破坏区,或者要钻达某特定位置,这就有一定的方位和水平位移的要求,为此,要根据侧钻目的,选择斜向器,确定侧钻位置,采用定向侧钻。

1.2 开窗工具

1.2.1 斜向器

斜向器主要具有造斜、导斜和导向作用,用断面形态、斜面硬度、斜度、尾部结构来表征其特征。其断面形态有弧面和平面2种,弧面的优点是定向性好,开窗铣锥工作平稳、窗口比较规则,其缺点是制造比较困难;平面斜向器的优缺点与之相反。斜面硬度要适中,因为表面太硬时易提前外滑造成开窗距离短,给完井工作带来困难而表面过软则窗口长,开窗时间长,有时可能侧钻不出去。斜面斜度根据井底位移大小来定,井底位移大的,斜角大一些;井底位移小的,斜角小一些,一般 $3^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 。尾部结构的主要作用是固定斜向器,使斜向器在侧钻的全过程中,不发生上下左右位移。汶川地震断裂带科学钻探使用的斜向器参数如表1和图1。

表1 斜向器参数

型号	连接扣型	总长/mm	外径/mm	斜面度数/ $(^{\circ})$	斜面长度/mm	适用套管/mm	工具坐封压力/MPa	坐封后承压能力/kN	回收解封拉力/kN
SZ-116	NC31	3870	116	3	1944	139.7	15~20	240	150
SZ-146	NC38	4116	146	3	2900	168.3			

1.2.2 开窗铣锥

开窗铣锥是磨铣套管开窗的工具,本体由优质钢锻制加工而成。主要工作面是侧面的硬质合金刀刃。侧钻常用的铣锥有单式铣锥和复式铣锥2种。

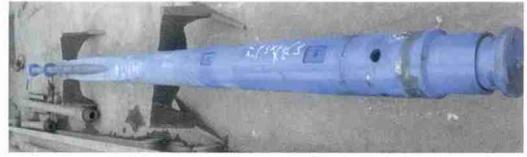
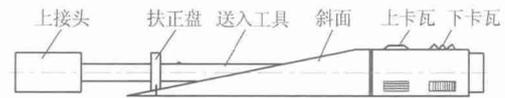


图1 可循环斜向器

对铣锥的基本要求是开窗快,耐磨性好,几何形态利于切削,切削的负荷小,不易卡钻,便于排屑。铣锥的最大直径尽量与裸眼钻头直径相同,以便在开窗后不再需要扩眼。汶川地震断裂带科学钻探使用了2种规格的铣锥,均为复合铣锥,包括 $\varnothing 121$ 和150 mm开窗铣锥(图2)。



图2 $\varnothing 150$ mm 开窗铣锥

1.3 斜向器坐挂

斜向器坐挂之前需要确定斜向器的安装方位,有2种方案可以选择:(1)采用陀螺测斜仪定向;(2)采用无线或有线随钻测斜仪(MWD)定向,利用重力工具面来确定斜向器的工具面向角。采用无线随钻MWD定向,需要采用可循环式斜向器并需要打水泥塞建立人工井底。

斜向器坐挂作业是用钻具将斜向器送入预订位置,开泵循环憋压,将斜向器的上卡瓦、下卡瓦顶出,坐挂固定在套管内壁上,然后正转退扣将送入工具上提出。

1.4 磨铣开窗过程

套管开窗是套管内侧钻施工中的主要环节,它是用铣锥沿着斜向器斜面磨铣套管,在套管上开一斜长圆滑的窗口,便于钻具的顺利起下。套管开窗主要分5个阶段进行:

第一阶段:从铣锥探到斜向器到铣锥的球形体柱体段接触斜向器。此段要轻压慢转,使之磨铣出一个均匀的接触面,磨铣参数一般为:钻压5~10 kN,转速30~60 r/min,排量8~10 L/s。

第二阶段:从铣锥的球形体柱体段接触斜向器到铣锥底圆中心线出套管外壁,此段应采用大钻压、中转速磨铣,以达到快速切割的目的。磨铣参数一般为:钻压10~30 kN(根据返出铁屑的大小、形状、

转盘负荷、憋钻程度等适当调整钻压) 转速 50 ~ 70 r/min 排量 8 ~ 10 L/s。

第三阶段: 从铤锥的底圆中心线出套管外壁到铤锥头铣过套管进入地层, 此段铤锥头一部分出套管外壁, 大钻压磨进易使铤锥提前滑到井壁, 造成死台阶, 影响后续钻井作业, 因此此段是保证下窗口圆滑的关键井段, 易采用轻压、中转速磨进。磨铤参数一般为: 钻压 5 ~ 20 kN, 转速 50 ~ 70 r/min, 排量 8 ~ 10 L/s。

第四阶段: 从铤锥头出套管到铤锥最大外径段出套管, 此段采用小钻压、中转速磨进, 进尺为一个铤锥长度。

第五阶段: 修窗。磨铤完开窗进尺后, 自窗口至窗底采取加压、中转速修整窗口, 反复多次直到窗口畅通。

1.5 斜向器回收

待侧钻井眼完钻后, 需要回收斜向器。采用打捞钩进行斜向器回收, 回收步骤如下:

(1) 入井钻具组合: 打捞钩(2 $\frac{7}{8}$ in REG) 1.3 m + 转换结构 + 定向接头 + 钻杆。

(2) 井队必须准确测量下入钻具的长度, 做好钻具编号管理, 以便准确定位打捞槽的位置。

(3) 连接打捞钩和定向接头, 并由定向工程师测量打捞钩和定向接头的角差。组合完成后, 开始下钻。

(4) 下钻到斜向器位置, 开泵循环, 先缓慢开泵, 然后把排量开至 10 L/s, 上提下放, 使打捞钩接头能够反复冲洗斜向器斜面上的打捞槽。

(5) 根据斜向器的坐挂井深, 慢慢下放钻具, 尝试打捞斜向器, 如果上提钻具有过提显示, 说明打捞钩成功对准打捞槽, 如果没有过提显示, 再旋转钻具一个方向, 再次尝试, 直至打捞钩对准打捞槽为止。如果多次尝试都不能成功, 那么可以下入陀螺测量打捞钩方位, 并把打捞钩摆放到与打捞槽相吻合的方位, 然后再打捞。

(6) 打捞钩与打捞槽成功啮合后, 上提钻具, 上提 150 kN, 可解锁斜向器。在悬重恢复到正常悬重后, 便可以起出钻具(起钻过程中, 要缓慢, 严禁猛刹猛墩), 起钻至防喷器时要小心上提, 以免斜向器挂碰防喷器。

2 WFSO 现场施工介绍

2.1 WFSO-2 孔 $\varnothing 139.7$ mm 套管开窗侧钻

2.1.1 开窗位置确定

为了补取 1368 ~ 1468 m 孔段的岩心(地层为花岗岩), 开窗上窗口位置定在 1356 m。钻具下深 1355.11 m, 斜向器下深 1359.93 m。由于只是补取岩心, 对套管开窗侧钻的方位没有要求, 不需要对斜向器进行定向。

2.1.2 井眼准备

通井钻具组合: $\varnothing 122$ mm 取心钻头 + 取心工具 $\times 4$ m + $\varnothing 119$ mm 稳定器 + $\varnothing 105$ mm 钻铤 + $\varnothing 73$ mm 钻杆 + $\varnothing 89$ mm 钻杆。通井至 1340 m 后, 在 1340 ~ 1380 m 处, 转速 20 ~ 30 r/min, 循环泥浆上下活动钻具, 清洗、刮削套管内壁。

2.1.3 下斜向器

通井完毕起出工具, 连接斜向器下入井内。钻具组合: SZ-116 可回收式斜向器 $\times 4.82$ m + $\varnothing 105$ mm 变径接头(2 $\frac{7}{8}$ in REG \times NC31) $\times 0.52$ m + $\varnothing 105$ mm 钻铤 $\times 6$ 根 + $\varnothing 73$ mm 钻杆 $\times 8$ 根 + 变径接头 $\times 0.52$ m + $\varnothing 89$ mm 钻杆(斜向器下深 1359.93 m), 斜向器尖部 1356 m。

下钻时每 100 m 向钻具内灌满清水一次; 下钻遇阻不能超过 20 kN, 只能左旋转动钻具, 严禁右旋, 特别时下钻至 1258.46 m 处时($\varnothing 139.7$ mm 尾管串顶部), 一定缓慢通过, 遇阻可下压 5 kN, 左旋钻具, 尝试通过。斜向器下到规定井深 1359.93 m, 静止悬重 28.9 t, 下放悬重 25.9 t, 上提悬重 28.8 t。憋压坐挂: 8 MPa 3 min; 14 MPa 3 min; 19.6 MPa 3 min; 泄压后再次憋压, 18.9 MPa, 5 min, 泄压至 3 MPa。下压 1 t, 确认坐挂成功, 过提 1 t。正转倒扣: 先正转 5 圈, 停止, 钻具无回转现象。继续倒扣 30 圈, 然后上提 20 mm, 无明显过提显示, 证明斜向器倒扣成功。继续上提, 悬重增加 2 t 后突然恢复至 28.8 t, 扶正盘脱手, 正常起钻。

2.1.4 侧钻开窗

第一趟钻下入开窗钻具组合: $\varnothing 121$ mm 铤锥(NC31) $\times 1.13$ m + $\varnothing 105$ mm 钻铤 $\times 1$ 根 + $\varnothing 119$ mm 稳定器 + $\varnothing 105$ mm 钻铤 $\times 5$ 根 + $\varnothing 73$ mm 钻杆 $\times 8$ 根 + 变径接头 $\times 0.52$ m + $\varnothing 89$ mm 钻杆(方余 4.85 m)。钻进参数: 钻压 5 ~ 30 kN, 排量 380 ~ 660 L/min, 转盘转速 30 ~ 60 r/min。开始磨铤位置为 1356.0 m。铤锥下至 1355.4 m 井深(斜向器尖部在 1356 m), 缓慢下压 1 t 探斜向器顶部, 然后上提 1 m, 开转盘 30 r/min, 开泵 550 L/min。钻至 1356.97 m, 进尺缓慢, 多次憋停, 起钻发现铤锥端部外圆磨损, 端部锥面合金几乎没有磨损。判断憋钻原因为: 钻具刚性太强及其斜面回收槽下部未倒角所至。

第二趟钻更换 $\varnothing 121$ mm 新铣锥下井, 钻具组合: $\varnothing 121$ mm 铣锥 + $\varnothing 105$ mm 钻铤 $\times 1$ 根 + $\varnothing 73$ mm 钻杆 + $\varnothing 89$ mm 钻杆。钻至 1357.13 m 钻速缓慢, 钻压不回, 起钻检查, 发现磨损很少, 可以继续使用。

第三趟钻连接 6 根钻铤后下入, 钻具组合: $\varnothing 121$ mm 铣锥 + $\varnothing 105$ mm 钻铤 $\times 6$ 根 + $\varnothing 73$ mm 钻杆 + $\varnothing 89$ mm 钻杆。钻压 20 ~ 35 kN, 立管压力 4.0 ~ 4.5 MPa, 扭矩 5 ~ 6 kN·m。钻进至 1359 m 综合判断开窗成功, 修整窗口 2 遍, 上下活动钻具通畅, 起钻完成开窗。

2.1.5 斜向器回收

从孔深 1362.87 m 补取岩心钻进至 1468.38 m, 为保持原井眼通道的畅通, 需要回收斜向器。

打捞斜向器钻具组合为: 打捞钩(2 $\frac{7}{8}$ in REG) $\times 1.3$ m + $\varnothing 105$ mm 变径接头(2 $\frac{7}{8}$ in REG \times NC31) $\times 0.52$ m + $\varnothing 105$ mm 钻铤 $\times 6$ 根 + $\varnothing 73$ mm 钻杆 $\times 8$ 根 + 变径接头 $\times 0.52$ m + $\varnothing 89$ mm 钻杆(方余 3 m 左右)。打捞钩下至 1357.3 m, 开泵, 10 L/s, 记录开泵自由悬重 28.2 t。上提、下放用打捞钩接头水眼反复冲洗窗口位置(1356 ~ 1358 m), 每上提一次, 顺时针转动转盘 3° ~ 5°, 然后再缓慢下放。保持开泵, 冲洗一圈后, 开始打捞。

打捞钩下端钩子在井深: 1357 ~ 1356 m 井段尝试缓慢上提斜向器。每次尝试悬重没有增加后, 顺时针转动转盘 3° ~ 5°, 然后再缓慢下放, 重复打捞操作, 在尝试一圈后未打捞成功。

重复操作, 缓慢上提 1356.5 m 至悬重突然增加 9 t, 下放有 5 t 遇阻, 重复 2 次上提下放操作, 上提过程悬重突然恢复正常。判断打捞钩进入斜向器回收槽, 但未能成功啮合。缓慢下放打捞钩至 1357 m, 上提钻具, 悬重增加至 30 t, 然后下放钻具 4 t 遇阻, 判断打捞钩已经成功进入回收槽。

为了增加上提力, 停泵, 继续上提, 悬重增加 40 t, 悬重突然回至 29 t。下放钻具 2 m, 无遇阻显示, 确定斜向器回收成功。

2.2 WFS-4 孔 $\varnothing 168.3$ mm 套管开窗侧钻

2.2.1 第一次开窗侧钻

三开 $\varnothing 168.3$ mm 套管下至井深 2260.00 m, 四开第一次取心钻进回次, 钻进至 2291.90 m 起钻发生卡钻事故, “鱼顶”位置 2223.25 m, “落鱼”部分在套管内, 故采用套管开窗侧钻绕障处理井内事故。套管开窗作业分为 2 步, 第一步是安装斜向器, 第二步是下铣锥开窗作业。套管开窗作业委托中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院施工。套管开

窗数据如下: 套管外径 168.3 mm, 壁厚 7.32 mm, 套管内径 153.66 mm, 套管钢级 N80, 井型为斜井, 开窗深度 2245 m, 开窗点井斜 31.3°, 开窗点方位 130°。

2.2.1.1 斜向器坐挂

WFS-4 孔是定向井, 需要定向安装斜向器以满足后续钻进的要求。采用 SZ-146 可循环式斜向器, 结合现场现有的无线随钻测斜仪(MWD), 利用水泥塞面作为支撑, 打开循环阀, 采用 MWD 重力高边确定斜向器工具面向角来完成斜向器的定向安装, 泥浆液力打压至 21 MPa 实现坐挂、正转 24 圈倒扣丢手起出送入工具。为解决高密度和高粘度泥浆中随钻测量信号衰弱问题, 决定采用清水来实现定向。扫水泥塞回次提钻之前用清水替换泥浆, 充分循环清水后起钻。

斜向器坐挂钻具组合: SZ-146 可循环式斜向器 $\times 4.90$ m + 定向接头 $\times 0.84$ m + $\varnothing 121$ mm 无磁钻铤 $\times 9.24$ m + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 2$ 根 + $\varnothing 121$ mm 钻铤 $\times 4$ 根 + $\varnothing 89$ mm 钻杆。

下钻至 2244.00 m 遇阻, 不开泵多次活动钻具至井底, 加压至 40 kN, 两次开 BW-280 泵立管压力憋 7.0 MPa 不回压, 无法建立循环, 无法实现无线随钻 MWD 定向。分析是斜向器循环阀被堵死, 起钻检查钻具, 其中 $\varnothing 127$ mm 钻铤、无磁钻铤、MWD、斜向器内通道被重晶石粉堵死。

斜向器内通道被重晶石粉塞死是造成坐挂失败的直接原因。清水替换密度 1.6 g/cm³ 钻井液, 造成重晶石粉的大量沉淀。另外 2 号与 3 号池串浆, 造成清水内含有重晶石粉; 井口调试 MWD 时, 注入了小部分的泥浆; 循环时间不够, 井底的重晶石粉没有完全携带出来。

为清理井底重晶石粉, 下 $\varnothing 152.4$ mm 三牙轮钻头通井, 清理套管壁。因清水替换泥浆后产生重晶石粉沉淀, 无法采用 MWD 定向。采用泥浆替换清水, 换电子陀螺测斜仪安装斜向器。

通井钻具组合: $\varnothing 152$ mm 三牙轮钻头 $\times 0.19$ m + 双母接头 $\times 0.61$ m + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 2$ 根 + $\varnothing 121$ mm 钻铤 $\times 4$ 根 + $\varnothing 89$ mm 钻杆。下钻至 2200.00 m 处开泵循环泥浆, 在 2207.48 ~ 2247.00 m 划眼钻进。

第二次下新 SZ-146 斜向器 + 定向接头钻具组合, 下钻至井深 2247.00 m 遇阻。下有线 MDRO-021 电子陀螺定向测斜仪, 由于井斜和钻井液密度大, 定向仪器坐键比较困难。后增加加重杆和导向

杆,定向成功,斜向器重力工具面为 0° 。

斜向器下至井深 2246.51 m 开泵,泵压憋至 33.5 MPa,憋压 10 min 坐挂;泄压后重新憋压 6.0 MPa,上提 58 t,正转 18 圈后,斜向器送入工具退口,卸扣扭矩 6.68 kN·m,卸扣后大钩载荷变为 40 t。经多次用钻具压斜向器,确认其坐牢后提钻。斜向器在 2246.51 m 坐挂成功。斜向器斜面对应井深为 2242.22 ~ 2245.00 m。

2.2.1.2 套管开窗

斜向器安装好后,下 $\varnothing 150$ mm 复合铣锥进行套管开窗作业。考虑到开窗后的后续起下钻作业次数多,钻具组合的刚性较强,窗口质量的保证十分重要,确定第一趟开窗完成后下入更强刚性的钻具组合进行再次修窗作业。

开窗作业钻具组合: $\varnothing 150$ mm 复合铣锥 $\times 1.20$ m + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 1$ 根 + $\varnothing 149$ mm 稳定器 + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 3$ 根 + $\varnothing 121$ mm 钻铤 $\times 2$ 根 + $\varnothing 89$ mm 钻杆。

下钻至 2242.22 m 遇阻,开始侧钻磨铣作业。钻压 10 ~ 30 kN,转速 50 ~ 70 r/min,排量 596 L/min,立管压力 11.1 ~ 12.2 MPa,扭矩 4.4 ~ 8.9 kN·m,钻速 0.64 m/h。磨铣进尺 1.9 m 后,钻速变快,判断铣锥出套管,控制机械钻速,修整下窗口。开窗时间耗时 9.8 h,修整窗口耗时 11 h。磨铣至井深 2245.60 m,锥体部分完全进入地层后正常加压钻进地层,至井深 2247.54 m 进尺 5.32 m 后起钻。

为保证套管开窗质量,钻进至 2247.54 m 起钻更换新 $\varnothing 150$ mm 铣锥下钻修整窗口。修整窗口钻具组合: $\varnothing 150$ mm 复合铣锥 $\times 1.20$ m + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 1$ 根 + $\varnothing 149$ mm 稳定器 + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 2$ 根 + $\varnothing 149$ mm 稳定器 + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 1$ 根 + $\varnothing 121$ mm 钻铤 $\times 4$ 根 + $\varnothing 89$ mm 钻杆。

钻具下到位后,在 2242.00 ~ 2245.00 m 之间反复修整窗口,扭矩与阻力无异常后起钻。

2.2.2 第二次开窗侧钻

套管开窗侧钻出新孔后,下 $\varnothing 150$ mm 复合片全面钻头,钻进至 2262.55 m 时钻进参数发生异常,提钻检查钻具,发现 $\varnothing 121$ mm 螺旋钻铤公扣断裂,丝扣断裂在保护接头内。井内“落鱼”: $\varnothing 150$ mm PDC 全面钻头 $\times 0.32$ m + $\varnothing 127$ mm 钻铤 $\times 4$ 根 + 钻铤护丝接头 1 个 $\times 0.51$ m,“落鱼”总长 38.35 m,“鱼顶”位置 2224.20 m。井内“落鱼”如图 3 所示。

第二次套管开窗数据为:套管外径 168.3 mm,壁厚 7.32 mm,套管内径 153.66 mm,套管钢级 N80,

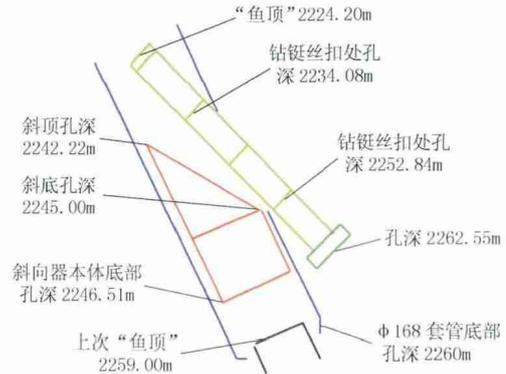


图3 井内“落鱼”示意

井型是斜井,开窗深度 2223.30 m,开窗点井斜 32.0° ,开窗点方位 134.0° 。

套管开窗程序同第一次,只是采用了有线随钻测斜仪进行定向安装斜向器,斜向器在 2222.80 m 坐挂成功,斜向器斜面对应井深为 2218.69 ~ 2221.30 m。下 $\varnothing 150$ mm 复合铣锥进行套管开窗作业,由 2218.95 m 磨铣至井深 2221.56 m,锥体部分完全进入地层后正常加压钻进地层,至井深 2223.32 m 进尺 2.02 m 后起钻。开窗时间耗时 18 h,修整窗口耗时 8 h。

3 套管开窗井后续作业注意事项

套管开窗后侧钻裸眼钻进与普通钻进基本相同。但侧钻裸眼钻进时井斜较大,钻具在窗口附近有一个侧向力,使钻具紧靠井壁与窗口,并与窗口、斜向器、套管总是处于摩擦中。泥浆循环通道在窗口处小,钻具与井眼间隙很小,钻具易断裂,且断后不容易打捞等,因此在施工中应特别注意。可以采取的措施包括:(1)侧钻开窗处“狗腿度”大,对粗径钻具的侧向力及弯曲交变应力大,钻具易折断,粗径钻具未全部进裸眼内,采用螺杆滑动钻进;(2)采用水力加压器,实现钻头上部直接加压;(3)加强泥浆的润滑性,减轻摩阻,改善滑动钻进的加钻压效果;(4)尽可能提高泥浆密度,加强平衡缩径地层的压力;(5)在缩径地层勤划眼,短起钻,及时将缩径产生的物质刮削掉;(6)起钻回灌泥浆,以泥浆柱的压力来部分地平衡缩径力,减缓缩径速率,降低缩径量;(7)优化钻具结构,钻具组合中不带扩孔器,不带或尽量少带稳定器;(8)钻具组合中加震击器,有利于在井壁缩径和钻具遇阻时震击解卡;(9)采用扩孔技术(扩眼器),扩大缩径段的井眼,抵消蠕变造成的缩径效果;(10)条件允许情况下,增加安全接头,为安全施工留有余地。

WFSD-4孔第二次套管开窗侧钻就是为了处理在第一次套管开窗侧钻中发生的断钻具事故。断钻具事故原因主要有:(1)斜向器斜面角度 3° ,安装位置处“狗腿”度大,对钻具产生的侧向力大,同时钻铤刚性大,易折断;(2)钻具转速过高(70 r/min),产生的交变弯曲应力大,导致钻具疲劳破坏加剧。

4 结语

(1) 套管开窗侧钻技术是处理井下事故的有效手段,该技术在汶川地震断裂带科学钻探的成功应用,为后续工程实施节约了时间和成本,对今后类似作业具有很好的指导和借鉴作用。

(2) 斜向器的固定是套管开窗的关键,直接影响到一口井侧钻的成败。

(3) 套管开窗是套管内侧钻施工中的主要环节,复合铣锥开窗、修窗过程,要严格按照要求进行,争取成功开出一个规则的窗口,为下步施工提供强有力的保证。

(4) 侧钻裸眼钻进时井斜较大,钻具在窗口附近有一个侧向力,使钻具紧靠井壁与窗口,并与窗口、斜向器、套管总是处于摩擦中;泥浆循环通道在窗口处小,钻具与井眼间隙很小,钻具易断裂,且断后不容易打捞等不利因素,因此在施工中应特别注意。

(5) 开窗成功以后在后续施工中要优化钻具组合,加强泥浆润滑性并保持适当密度,采用井下动力钻具、水力加压器等措施,预防井下复杂和事故发生。

参考文献:

- [1] 许志琴,李海兵,吴忠良.汶川地震和科学钻探[J].地质学报,2008,82(12):1613-1622.
- [2] 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):5-8,16.
- [3] 胡时友,宋军,张伟,等.汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)项目钻探和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.
- [4] 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.
- [5] 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):13-15,19.
- [6] 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):16-19.
- [7] 张培丰.龙门山地震断裂带地应力分布及其对井壁稳定的影响——以WFSD-2井为例[J].地质与勘探,2012,48(2).
- [8] 吴金生,贾军,段玉刚,等.汶川地震断裂带科学钻探项目钻探事故预防与处理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程)2012,39(9):49-52,65.

(上接第132页)

表1 牙轮钻头和双心钻头时效对比

钻进回次	井段/m	进尺/m	机械钻速/($m \cdot h^{-1}$)	回次钻速/($m \cdot h^{-1}$)
1	2057.53~2073.71	16.18	0.58	0.39
2	2073.71~2074.73	1.02	0.37	0.22
3	2074.73~2075.82	1.09	0.35	0.27
4	2075.82~2097.65	21.82	0.69	0.49
5	2097.65~2132.92	35.28	0.73	0.47
6	2133.86~2151.86	17.50	0.69	0.41
7	2153.29~2178.25	24.96	0.71	0.48
8	2178.25~2186.61	8.36	0.74	0.32
9	2186.61~2191.75	5.14	0.61	0.24
10	2194.85~2205.28	10.43	0.43	0.21
11	2225.88~2262.41	36.52	1.20	0.86
12	2195.66~2220.57	24.91	1.70	0.97
13	2220.57~2300.00	74.43	0.94	0.83

注:1~10回次采用的是 $\varnothing 152.4$ mm牙轮钻头,11~13回次采用的是 $\varnothing 149/168$ mm双心钻头。

5 结论和建议

(1) 缩径卡钻是WFSD-4孔钻进施工中最主

要的事故类型。

(2) 井眼缩径量与岩石的蠕变特性、泥浆密度、井深和井眼形成后经历的时间密切相关。

(3) 避免缩径导致的卡钻事故须依靠采取综合性的技术措施,其中最主要的措施是偏心扩孔钻进和采用高密度泥浆体系。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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(12):5-9.
- [3] 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.
- [4] 王耀峰,李军强,杨美全,等.钻井液密度对井眼缩径影响的黏弹性分析[J].石油钻探技术,2009,37(2):18-22.
- [5] 赵金洲.深井蠕变地层钻井液密度优化技术[J].岩土力学,2007,28(5):915-920.
- [6] 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):8-13.