

文章编号: 1008-2336 (2025) 01-0080-05

南海某大位移井放射源落井打捞实践与认识

方华良

(中石化海洋石油工程有限公司上海钻井分公司, 上海 201206)

摘要: 南海某井在起钻过程中发生中子源落井事故, 选择和使用专用打捞工具, 结合对井下情况的判断、测井仪器的结构分析等, 制定了一系列的处理措施和方案, 成功将放射源打出井。该文通过对打捞放射源过程的分析, 提出打捞大位移井放射性源的关键步骤和措施, 给今后类似复杂情况处理提供参考和借鉴。

关键词: 中子源; 落井; 打捞; 大位移井

中图分类号: TE28 文献标识码: A DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2025.01.080

Practice and Understanding of Radioactive Source Fishing in a Large Displacement Well in South China Sea

FANG Hualiang

(Shanghai Drilling Division of SINOPEC Offshore Oilfield Engineering Company, Shanghai 201206, China)

Abstract: A well in South China Sea had a neutron source falling accident during the drilling process. A series of treatment measures and schemes were formulated by selecting and using special fishing tools, combining with the judgment of downhole conditions and the structural analysis of logging tools, and the radioactive source was successfully salvaged out of the well. Based on the analysis of the process of salvaging radioactive sources, this paper puts forward the key steps and measures of salvaging radioactive sources in large displacement wells, and provides reference for similar complex situations in the future.

Key words: neutron source; falling accident; fishing; large displacement well

放射性物质对环境危害大, 半衰期长, 一旦放射性物质遗落某处, 将对周边环境造成长期危害。石油钻井工程中的测井(随钻测井、电缆测井等)作业通常需要进行放射性项目, 井下仪器需要带放射性源^[1-2], 带有放射性源的井下工具落井必将引起严重的生态环境污染事故, 须不惜代价打捞上来。南海某井在处理卡钻的井下复杂情况过程中因操作不当致使钻杆断裂, 导致带有放射性源(中子源)的钻具落井事故。后经过对落井钻具组合和放射性源组合体结构、测井井下设备和专用打捞工具结构的分析, 结合当时现场的井下情况, 制定了详细的操作方案, 最终成功将放射性源打出井, 避免了一起严重的生态环境安全事件。

1 基本概况

南海某井设计完钻井深 5 800 m, 设计水垂比为

2.1, 是一口大位移井。本井 311.2 mm 井眼在钻至中完井深后起钻过程中发生卡钻, 导钻杆断裂、钻具落井。由于落井钻具底部钻具组合中的随钻测井仪器带有中子源这一放射性源, 而放射性源必须打出井。

放射性源落井事故发生时的实钻井身结构见图 1。

本井 311.2 mm 井段开钻即以 72° 稳斜稳方位钻进至 3 114 m, 之后进行降斜作业, 至中完井深 4 023.5 m 时井斜为 56°。

井眼内钻具组合为: 311.2 mm PDC 钻头+228.6 mm PD+209.6 mm Receiver (STB:308 mm)+209.6 mm Flex joint+212.7 mm ARC (防磨套 206.4 mm)+209.6 mm Power Pulse+209.6 mm ADN-8 (带中子密度源)+203.2 mm NMDC+203.2 mm (JAR+F/J)+X/O+139.7 mm HWDP+139.7 mm DP。

收稿日期: 2023-05-06; 改回日期: 2024-09-13

作者简介: 方华良, 男, 1967 年生, 硕士, 高级工程师, 1989 年 6 月毕业于成都地质学院探矿工程专业, 现主要从事海洋石油钻井工程工作。

E-mail: fanghl.shhy@sinopec.com。

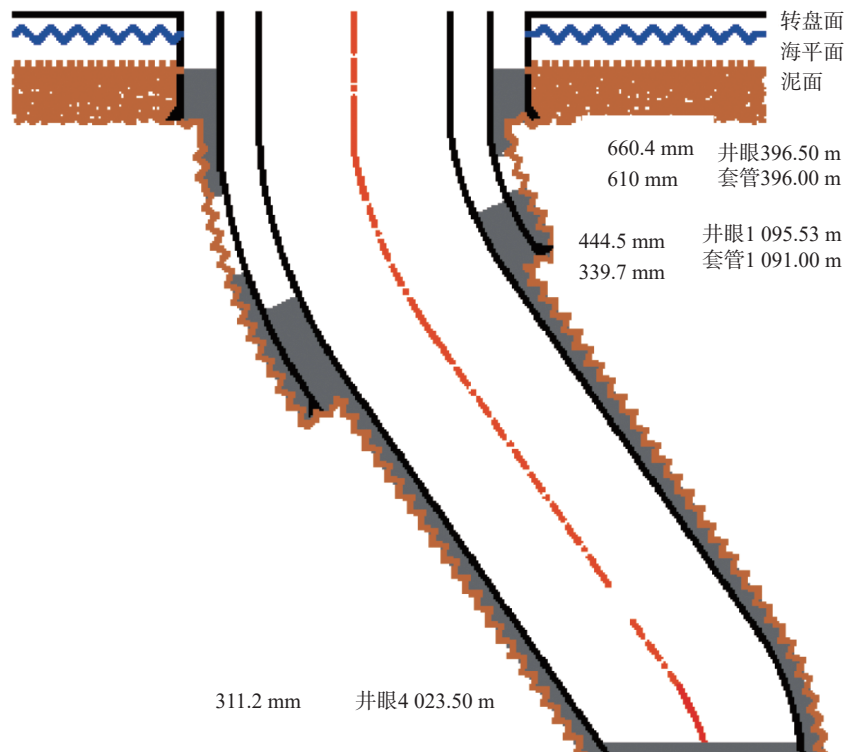


图 1 实钻井身结构

Fig. 1 Actual drilling well structure

2 事故发生经过

311.2 mm 井段钻至中完井深 4 023.5 m 后循环起钻。起钻过程中遇阻卡程度逐渐增加，起钻困难，采用倒划眼方式处理通过，倒划眼井段及划眼参数见表 1。

表 1 划眼井段及划眼参数

Table 1 Drilling sections and drilling parameters

序号	井段/m	倒划眼参数		
		排量/ (L/min)	转速/ (L/min)	扭矩/ (N·m)
1	3 427~3 414	2 840~3 200	87~105	17.6~38
2	3 397~3 357			
3	3 265~3 200			
4	2 900~2 821			
5	2 593~2 390			
6	1 810~1 715	2 650	90~105	9.5~38

倒划眼至 1 715 m 卸掉立柱，未接顶驱直接起钻，上提遇阻过提 9 t (该处正常悬重：68 t，活动范围 77~50 t)，尝试多次未能通过；加大活动范围最大上提至悬重 90 t (90~40 t)，连续三次，未能通过。随后接顶驱，开泵 (排量 2 840~3 200 L/min，泵压 9.3~11.2 MPa)，返出正常，憋转，释放扭矩上提，憋扭矩快速下放，反复活动，钻具无法放活 (悬重活动范围：95~25 t)。

在后续处理过程中发生顶驱能耗制动电阻高温报警跳闸，导致无法旋转钻具。降低排量 (1 600~2 640 L/min)，大吨位大幅度上提、快速下放活动钻具 (悬重活动范围：100~25 t) 钻具未活，发生卡钻。

卡钻发生后，逐步增加上提、下压吨位 (340~18 t)，同时配合憋扭下压等手段仍未解卡，12 h 后决定浸泡柴油解卡剂浸泡解卡。

小排量泵入柴油解卡剂，累计泵入 10.5 m³，期间最大泵压 2.9 MPa，同时间隙性活动钻具。在上提钻具至悬重 272 t 时，悬重突然降至 27 t，泵压下降至 0.3 MPa。通过现象分析，井下发生钻具断裂。由于钻具断裂，上部钻具瞬间快速回缩上窜冲撞顶驱，导致顶驱破坏严重，顶驱液压吊卡、保护接头均损坏无法使用，考虑到剩余钻具重量较轻，使用气动绞车起甩井内钻具，共起甩出 139.7 mm 钻杆 17 根。起钻至井口发现钻杆公扣断裂导致钻具落井，落鱼总长：1 563.46 m，落鱼结构 (由下而上) 见表 2。

本次事故的发生，在长距离倒划眼后进行干起尝试即发生上提超拉现象，继续进行上下活动而没有第一时间接顶驱循环，现场监督组和操作人员均没有认识到黏卡的风险，也没有采取准确的应对措施。从上提下放无效、憋扭不转、开泵畅通等现象都是明显的黏卡卡钻事故。

在随后泡柴油、连续大强度上下活动钻具无效的情况下，没有意识到钻具的疲劳损坏，致使钻杆被拉

表2 落鱼结构(由下而上)

Table 2 Falling fish structure (from bottom to top)

序号	名称	外径/mm	内径/mm	数量	长度/m	累计长度/m
1	钻头(PDC)	311.2		1	0.29	0.29
2	旋导(PD900)	228.6		1	4.19	4.48
3	电阻率短节	209.6		1	1.87	6.35
4	绕性接头	209.6		1	2.94	9.29
5	密度短节 (防磨套 206.4 mm)	212.7		1	5.86	15.15
6	脉冲短节	209.6		1	8.41	23.56
7	中子短节	209.6	74.7	1	6.57	30.13
8	无磁钻铤	200	73.2	1	9.13	39.26
9	震击器+ 绕性接头	203.2	67.8	1	10.03	49.29
10	配合接头	203.2	71.4	1	0.79	50.08
11	加重钻杆	139.7	80	7	66.13	116.21
12	钻杆	139.7	121.4	154	1456.58	1572.79

断导致钻具落井事故。在处理卡钻事故中超拉、下压是比较常见的做法,但必须认识到钻具被拉断、钻具回弹的潜在风险,必须做好相应的预案。本次事故中现场明显没有采取任何预防措施,连续大幅度活动钻具直至钻杆被拉断、钻具回弹损坏顶驱吊卡和保护接头等,使单纯的卡钻事故扩大化。

从上述事故发生过程和造成的后果分析来看,遇到井下复杂情况时,必须:

(1) 起钻遇阻卡,必须坚持“反向”原则^[3-4],

即起钻遇卡必须第一时间下放钻具,释放钻具遇阻卡吨位,直至放活钻具。

(2) 发生事故后处理事故的首要原则是:不恶化事故^[5]。在本次钻具遇卡复杂情况处理过程中,发生钻具断裂,进一步增加了处理的难度,同时放射性源-中子源的落井造成了巨大的环保压力。

(3) 发生事故后不能片面地为了追回进度、夺回损失^[6],在未充分认识到大斜度井风险的情况下贸然进行下步动作。在进一步处理井下复杂情况作业前,应充分进行风险分析并制定细化、可操作的作业方案。

3 事故处理过程

由于事故是在倒划眼过程中,卸立柱后干起引起的卡钻复杂情况,泡柴油后大力活动钻具过程中,钻具被拉断致使造成钻具落井事故,进而被拉断的上部钻具回弹损坏顶驱,因而又造成设备事故。

倒划眼起钻过程中,由于排量较小携砂效果欠佳,井眼中会积累不少的岩屑,所以在下入卡瓦打捞筒前,需要对落鱼上部井眼进行处理,确保卡瓦打捞筒下入井内并成功捞住落鱼。有利的条件是钻具拉断前循环通道一直是有效的,这为捞住落鱼后循环冲洗钻具内的放射性源上部干净,为打捞放射性源的成功打下了好的基础。因而从恢复顶驱设备、建立钻井液循环通道、打捞放射性源及处理卡钻的先后次序及重要程度,形成如下的事故处理思路和流程。事故处理流程见图2。

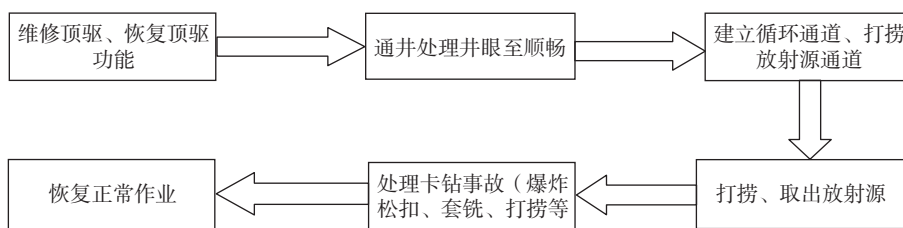


图2 事故处理流程

Fig. 2 Accident treatment process

井下随钻测井仪器(LWD)带有放射性源^[2]-中子密度源,因此打捞放射源是后续处理事故的最高优先级,幸运的是本次使用的放射源可以使用专用工具从钻杆内部进行打捞。针对本次事故的井下情况复杂,做好中子源打捞工具选择、地面工具的检查、准备工作,同时注意指定合适的电缆张力;另外需结合测井规范、海洋钻井手册及国内外打捞作业实践案例,制定最有针对性、最高效的打捞方案,严格落实作业升级管理规定,升级管控措施。

3.1 打捞准备、顶驱修理

顶驱修理前,首先把损坏的液压吊卡更换为钻杆吊卡,组合探鱼顶及鱼顶以上井眼清洁钻具,组合:311.2 mm 牙轮钻头(未装喷嘴)+配合接头+139.7 mm 钻杆,探鱼顶深度142.21 m,上提钻头至141.71 m,接钻杆循环头,循环出鱼顶以上的柴油解卡剂;调整鱼顶以上泥浆性能,尽量减少鱼顶以上泥浆中的固相含量;冲洗鱼顶,以免鱼顶周围被沉砂堵塞,以方便下步打捞筒捞获落鱼及中子源打捞组合顺利下入。之

后拆检顶驱，依次修复损坏的液压吊卡，更坏顶驱保护接头等部件。

3.2 下入卡瓦打捞筒^[7-8]，建立循环通道和打捞中子源通道

顶驱恢复后，起出井内探鱼顶钻具，进行打捞。根据落鱼形状、有效打捞长度分析，决定采用卡瓦打捞筒外打捞方式进行落井钻具打捞。井内断裂钻具母接箍外径 180 mm，有效打捞长度 179~202 mm，选用 286 mm 卡瓦打捞筒，配 176 mm 篮式卡瓦、186 mm

铣鞋（图 3）。

同时按照随钻测井仪器工艺流程采用电缆对放射性源进行内打捞^[9-10]。

钻具外打捞组合：286 卡瓦打捞筒（接头内径 114.3 mm，无加长节）+配合接头（内径 71.9 mm）+ 139.7 mm 加重钻杆（内径 80 mm），组合下钻进行打捞，捞住后过提 13.6 t，悬重未降，确定捞住落鱼。开泵，泵压正常，钻井液循环通道畅通，经循环监测气测无异常，井控安全。

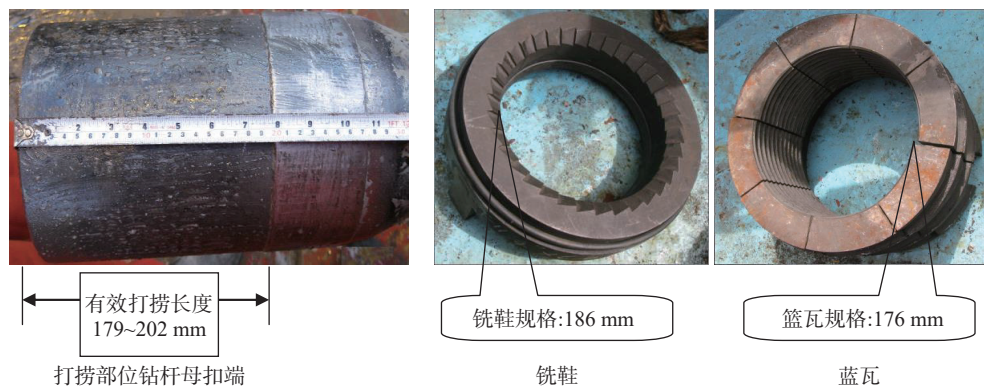


图 3 选择篮瓦/铣鞋规格

Fig. 3 Basket tiles/milling shoes specifications selection

3.3 放射性源专用内打捞工具选配

3.3.1 打捞组合

根据落鱼组合及卡瓦打捞筒打捞钻具组合的最小内径为 67.8 mm，选择中子源打捞工具组合的最大外径为 66 mm，配合适当的专用打捞头。选配合适当加重杆提供足够的重量，以克服中子源打捞组合下行的摩擦力。

放射性源打捞组合：专用打捞头+扶正器+震击器+加重杆+变扣转换头+磁性定位+加重杆+电缆头，中子源打捞电缆仪器串组合见图 4。

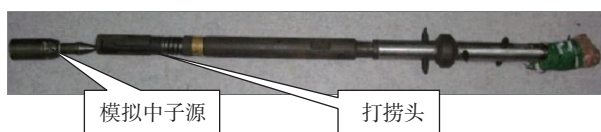


图 4 打捞仪器串

Fig. 4 Fishing instrument string

3.3.2 电缆弱点^[10]设置

LCC 电测绞车电缆安全载荷 2.31 t；打捞时入井电缆自重 0.54 t；中子源打捞剪切销钉破断拉力为 0.82 t；设置电缆头弱点拉力 1.77 t。

3.4 打捞中子源作业

打捞中子源作业过程及参数控制如下：

(1) 打捞组合下入速度控制在 25~30 m/min，工具通过鱼头时控制速度在 5 m/min 内；下至 1 134 m，

由于摩阻变大，无法靠自重下行，开泵泵送工具串，泵冲 15~20 冲/min，泵压 0.8~0.9 MPa，仪器下行速度 10~25 m/min。

(2) 下至 1 600 m，停泵上提，测试电缆张力为 0.56 t。

(3) 下至 1 673 m，遇阻 0.09 t，以 10 m/min 速度上提电缆，电缆张力 0.91 t，判断已捞住中子源；多次以张力 1.45~1.77 t 上提，试拉断销钉，未果；循环 30 min（3 780 L/min），将中子源周围冲洗干净，然后以不同的速度（20~60 m/min）多次上提，最大张力 1.82 t，最终在电缆张力为 0.58 t 时，剪断销钉，成功捞住；起出并回收中子源。

(4) 退出外打捞卡瓦打捞筒组合，起钻，打捞中子源作业结束。

从放射性源打捞作业和结果来看，得到了很大的启发，打捞方式确定后：一是结合井下落鱼情况和现场工具储备，充分考量、分析、选择合适的打捞工具尺寸和打捞组合；二是对于大斜度高难度井，在施工前储备足够的可供选用的工器具。

3.5 爆炸松扣、套铣、打捞

由于落鱼已经被卡死，后续按常规钻具落井打捞方案处理：测卡点、爆炸松扣、分段套铣打捞落鱼。测得卡点位置 1 668 m 以下，后续套铣过程顺利，落

鱼全部打捞成功,本次井下事故全部处理结束,恢复正常作业。

爆炸松扣作业建议:(1)钻井作业过程中发生卡钻事故尝试各种方法无法解卡后,可以实施爆炸松扣,起出卡点以上钻具,尽可能降低卡钻事故造成的损失;(2)卡点测量务必准确,确保爆炸松扣处位于中性点位置,反扭矩的施加对爆炸松扣至关重要;(3)爆炸松扣作业前,要制定详细的实施方案,确保一次成功。

4 启示

(1)放射性源掉入井内是重大的环保安全事故,必须打捞出来。同时大位移井作业属于高难度井,带有放射源的仪器入井,应充分考虑作业风险,并制定切实可行的应急预案。本井311.2 mm井段开钻就带有放射性源进行随钻测井和钻进任务,裸眼段接近3 000 m,且为72°大斜度长稳斜+降斜。长裸眼加上较难携砂的井斜设计,井眼清洁难以得到保障。针对此类难度较大的井或者井况较复杂井,应在井眼处理顺畅、干净后,再组合仪器进行相关的测井项目,避免带源钻进。

(2)本井发生钻具断裂落井后,下入打捞筒捞住落鱼,建立循环通道和中子源打捞通道是本井中子源成功打捞的关键。通道的建立一方面能够进行钻井液循环,同时能够规避井控风险,另一方面对于后续的冲洗、打捞中子源提供了有利条件。因此循环通道的建立,对于各类井下事故的成功处理具有极大的促进作用。

(3)处理事故的首要原则:不恶化事故。在本次钻具遇卡处理中,出现钻具断裂,进一步增加了处理的难度,致使放射源的落井带来了巨大的环保压力。因此处理复杂井下事故过程中仍要遵循以上原则,认真细致,充分分析、认识到井下安全风险,不进一步恶化事故状态。

(4)放射源位于井下随钻工具的最上端ADN上,上部钻具内径最小处为67.8 mm,考虑到打捞仪器串的通过性,最终选用最大66 mm的扶正器,确保通过和仪器居中。另外还要结合井型、井斜,合理增加仪器串重量,加加重杆,使仪器能够倚靠自重,克服摩阻自动下行。摩阻较大时可开泵泵送,但排量不宜过大,防止电缆打扭变形。因此工具的造型、配置和储备是应急处置非常关键的保障。

(5)放射源在仪器上是固定的,需要提供一定的拉力才能剪切固定销钉。因此电缆弱点设置需充分考虑销钉剪切力、电缆的安全张力等因素,选用合适的张力棒(即电缆头弱点),以确保提供足够的剪切力,同时又不给电缆造成额外的损害。电缆弱点的设置既可以使打捞作业具备更大的操作空间,又可以有效保证测井电缆的安全。

参考文献:

- [1] 成战刚,张炳军,周扬,等.非亲磁型放射源落井打捞技术[J].测井技术,2020,44(3):312-314.
- [2] 孙文友,金行林,范战良.如何预防放射源落井事故[J].化工中间体,2015,11(12):1-2.
- [3] 雷威忠.天外天二井处理及预防卡钻事故的实践与认识[J].海洋石油,2002(2):60-62.
- [4] 姜小龙,袁修锦,陈刚,等.东海某井压差卡钻原因分析及处理措施[J].海洋石油,2018,38(3):70-74.
- [5] 董星亮,曹式敬,唐海雄,等.海洋钻井手册[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [6] 张林强.井下卡钻分析及处理[J].海洋石油,2007,27(3):112-115.
- [7] 宁治军,宁治星,宁远.卡瓦打捞筒过鱼头打捞的方法与应用[J].内蒙古石油化工,2020,46(9):7-9.
- [8] 陈刚,刘志昆,方华良,等.东海某大斜度井打捞落井钻具失败的若干认识和启发[J].海洋石油,2023,43(1):73-77.
- [9] 王喜杰,陈刚.孔雀亭B2H井卡钻事故处理与认识[J].海洋石油,2017,37(3):68-70,74.
- [10] 张凯,杜明锋,王泽,等.穿心打捞放射源电缆测井仪器作业实践[J].海洋石油,2023,43(1):51-54.