

海上平台大位移井中爬行器固井质量测井现场应用

马鑫 贾海波 江辉

中国石油集团测井有限公司天津分公司

DOI:10.12238/jpm.v5i8.7124

[摘要] 大位移井具有井深、井斜大、水平井段长等特点，由于在油田建设中极具经济价值近年来发展迅速。大位移井应用于勘探开发海上、滨海、岛屿等和地面条件复杂的油田。为应对大位移固井质量测井任务，爬行器固井质量施工逐渐增多，相较于钻具输送电缆测井更加安全高效。而且在海上油田井较为密集出于防碰考虑造成井型更加复杂（多次增降斜、井的曲率半径较小、狗腿度大）给爬行器测井施工带来很大的挑战。本文总结了我近年来海上平台大位移井爬行器固井质量测井施工经验，希望给公司后续爬行器现场应用提供借鉴。^[1]

[关键词] 大位移井；爬行器；固井质量测井；海上平台

Field application of crawler cementing mass logging in large displacement well of offshore platform

Ma Xin Jia Haibo Jiang Hui

CNPC logging Co., LTD Tianjin Branch

[Abstract] Large displacement well has the characteristics of well depth, large well slope and long horizontal well section, and has developed rapidly in recent years due to its great economic value in oilfield construction. Large displacement wells are used in the exploration and development of offshore, coastal, island and other oil fields with complex ground conditions. In order to cope with the task of large displacement cementing, the quality construction of crawler is gradually increasing, which is more safe and more efficient compared with the logging of drilling tool conveying cable. Moreover, the offshore oil field Wells are more dense for collision prevention, which makes more complex well type (multiple increasing slope, small radius of curvature, large dog leg) brings great challenges to the logging construction of the crawler. This paper summarizes my experience in cementing quality logging of large displacement well reptiles on offshore platform in recent years, hoping to provide reference for the company's subsequent field application of reptiles.^[1]

[Key words] large displacement well reptile cementing quality logging offshore platform

大位移井水垂比不小于 2，一般具有造斜浅、井斜大、稳斜段长，水平位移大等特点。海上平台由于建造平台成本高，为了提高经济效益，在较小的范围内布置更多的井眼，使得大位移井、大位移水平井在海上平台大规模应用。传统电缆测井靠仪器自身重力，无法下至大位移井底。这是因为大位移井的稳斜段、水平段容易堆积泥浆残留物，仪器下放至目标深度需要克服仪器与套管臂之间的摩擦力，钻井液浮力、钻井液对测井仪器、电缆的粘力。这时候就需要通过爬行器给测井仪器提供额外的动力。将测井仪器送至目标深度。

1 爬行器介绍

爬行器是在水平及大斜度套管井内输送测井仪器的工具。当测井仪器在水平井或大斜度井无法依靠重力继续下放至目的井段时，爬行器能利用自身的动力装置将测井仪器输送到目标井段。与钻杆输送相比，节约施工时间，减轻劳动强度，降低施工风险；与连续油管输送方式相比，成本低，能够输送更远的距离。我公司现在应用的是环鼎公司生产的爬行器，具有以下特点：

(1) 采用液压原理设计，结构简单，裸露在井液中的部件少，易维护，可靠性高。相较于钻具输送电缆测井更安全高

效。

(2) 采用多缆芯设计，可连接七芯仪器和单芯仪器；接单芯测井仪器时，爬行器可以和测井仪器同时工作，实现边爬边测。

(3) 断电后，液压系统能自动释放压力，支臂通过弹簧自动收回，避免卡井的风险。

(4) 连续工作能力强，驱动轮采用特殊材质制成，耐磨性好，能保障长距离作业，且维护成本低。

(5) 负载能力强：最大拉力不小于 840Kg，可输送各种大仪器井下作业，可在没有井液的空井中施工。

(6) 可用于射孔作业：仪器机身刚度强，结构简单，可承受射孔冲击，附加射孔辅助工具后可用于射孔作业。

(7) 模块化设计：仪器采用模块化的设计，视应用需要选择不同组合形式。

(8) 地面控制系统是爬行器的控制操作中心，按照操作人员的操作指令，控制爬行器的启动、停止、工作方向、速度，监视并记录各种地面及井下仪器的工作状态、工作参数。操作人员通过这些信息，对爬行器进行控制、调整，使其工作在最佳状态。地面控制系统使用一台 600VDC 的程控直流电

源，该电源作为爬行器的供电电源，可以人工手动调节，也可以通过 PC 机程控。PC 机一方面执行发出指令通过 MODEM 将控制指令发往井下仪器，同时也可以接收井下仪器上传数据，另外也可以对程控直流电源发出电压调节指令，设定电流最大限定值，接收程控直流电源返回的工作电压、工作电流。

2 上井前准备

(1) 及时了解所测井的井况，包括套管规格、井深、井温、水平段长度、最大狗腿度等。为测井前的施工设计提供依据。

(2) 在地面检查好爬行器设备的工作状态，包括齿轮磨损、仪器油量、配接测井仪器以及扶正器上轴承的更换维护（齿轮累计爬行距离不超过 4000m，爬行器与测井仪器配接后可正常工作，扶正器轴承可转动），要检查靠爬行器贯通线与外壳、线与线之间的通断绝缘情况，保证其绝缘大于 500 兆欧，避免由于绝缘性能不好造成仪器下入井中发生仪器通讯有干扰甚至无法建立通讯的情况。

(3) 测井绞车必须配有张力监视系统，操作工程师可以通过电缆受到张力的变化，判断爬行器是否先前爬行，判断爬行器爬行速度的快慢，调节爬行器驱动的转速。

(4) 尽可能要求井队刮壁洗井，替换清水钻井液，将钻井液中残留在套管壁上面的固相物质循环干净，保证套管内无障碍减少爬行过程中的摩擦力。在近年施工过程中，在经过刮壁洗井的井中爬行器在未进行爬行之前最大可下至井斜达到 85° 的位置从而减少爬行距离，还可以减少爬行器爬行过程中遇到的阻力进而减少工作时的平均工作电流，减少爬行器的故障率，提高爬至目标深度的成功率。

(5) 根据定向井提供的井斜、狗腿度等数据，合理设计仪器组合。接旋转短节与柔性短节（井斜不超过 2.6 度/10 米则不需要配接柔性短节）。

(6) 检查好电缆、马笼头、旋转短节和柔性短节的绝缘通断。将整个仪器串按照测前设计方案中的顺序进行硬连接配接，并在实验井中进行实验。过去施工中出现过多次爬行器能够工作，但是影响固井质量测井仪器通讯状况，严重时无法进行正常测井。造成此现象的原因是爬行器某些短节存在问题虽然爬行器可以工作但是影响固井质量仪器通讯。也可能是爬行器各个短节之间、爬行器短节与测井仪器之间接头接触存在问题。只进行软连接配接仪器可能发现不了以上这些问题。保证海上平台测井不会因为仪器问题造成返工，提高测井一次成功率。

3 现场操作

(1) 仪器连接顺序如图 1 所示，根据不同井眼尺寸测井声波仪器两端合适尺寸的扶正器，保证仪器居中，保证固井质量测井资料质量。尽量选择带有滚轮的在线扶正器（滚轮），根据套管内径调至合适的尺寸，滚轮可减少爬行过程中遇到的阻力，提高成功率。仪器完成连接后，在井口测试液压支臂、驱动轮等是否正常工作。

将仪器下放至水平井段后，仪器遇阻后上提仪器至正常上测张力后，下放电缆 10 米，即电缆保持 10 米的余量，不给爬行器增加额外的负载。选择好爬行器爬行方向，然后对爬行器供电开始工作。当爬行器向下爬行时，地面张力的显示随之增大，说明爬行器在向井下运动。如果张力变小说明爬行器没有向下运动，或者是爬行速度与绞车配合不合适，应进行调整后再进行爬行。爬行器设备如遇到阻碍时，可以加大供电电压，加快爬行速度增加冲击力通过障碍。由于大位移井水平井段长，爬行器工作时间长，通过控制爬行器液压系统压力，适当减小爬行速度，将工作电流尽可能维持在合理范围内，保证爬行器正常工作减少爬行器损坏的概率。推靠压力。井下工作时

在保证爬行器正常工作的情况下，推靠压力尽量小，可提高仪器的工作效率，启动时可先将推靠压力设定在 3MPa~4MPa（井况正常时，爬行 1000 米推靠压力不超过 5MPa，仪器电流不超过 1000mA）。工作过程中如果出现爬行打滑现象（电流忽高忽低，张力持续下降，爬行器未移动）可微调加压，直至工作正常，压力不得超过 8MPa。因为爬行器长时间的高压力下工作可能加快爬行器驱动轮的磨损甚至造成驱动轮断裂，导致爬行器无法继续爬行测井任务失败，甚至发生仪器遇卡的工程事故。爬行速度调节，井下工作缆头电压先设定在 340V 左右，可通过软件向上或向下速度调节按钮调整速度，观察各节驱动速度误差不得超过 60RPM，向上调节速度时注意观察各节驱动转速，一方面转速要同步，另一方面如果向上调节速度而驱动实际速度不再上升说明速度设定过高，处于超调状态，此时需将速度设定减小降低爬行速度，或者增加缆头电压，直至各节驱动速度不再上升且同步。

(2) 测井任务完成后，应当定期保养爬行器，检查油量，重新循环液压油，检查扶正器滚轮爬行器、爬行器驱动齿轮的使用情况，防止由于齿轮磨损严重导致爬行器工作时与套管臂之间摩擦力减少、甚至打滑，导致测井仪器无法爬行至目标深度，造成测井任务失败。或者扶正器滚轮、爬行器驱动轮已经损坏没有发现，在今后其他井继续使用过程中发生滚轮、驱动轮落井事故，造成仪器受阻、遇卡等工程事故。

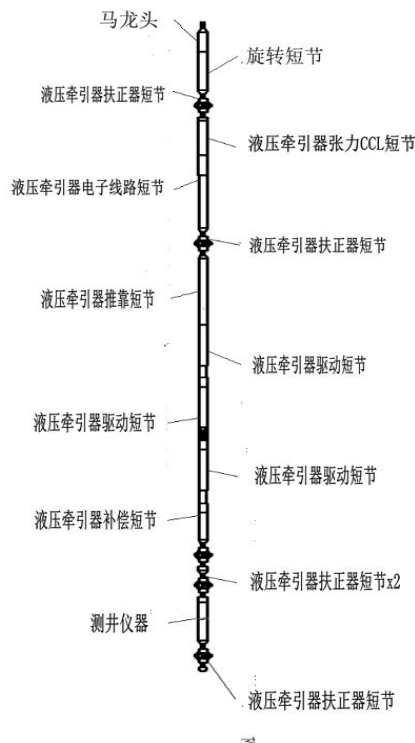


图 1

4 问题分析

海上平台空气潮湿，平台进行爬行器施工，爬行器扶正器滚轮、爬行器驱动轮容易发生锈蚀等情况，导致爬行器无法正常工作。上下平台要及时对爬行器维护保养，特别是用润滑脂保养驱动轮。平台连续施工时，测井小队也应当定期配接运转爬行器，对驱动轮用润滑脂进行保养。

当判定控制箱与井下通讯故障时，主要从以下几个方面判断。控制箱与井下仪器连接线是否正常，连接是否可靠，接地是否可靠。用示波器观察爬行器电子线路的上端 3#信号线，看是否有时长大约 450ms 的调制波形，如果有，可能控制箱

TR2 板解调故障，需更换 TR2 板，如果只有时长 50ms 左右的调制波形，说明地面控制箱无故障，可能井下仪器故障，需进一步判别井下仪器 故障位置。出现控制箱供电时电流保护，电压无法上调，此时一般是主电源限流设置过小，启动即进入限流保护状态，重新设定限流值即可。地面控制箱供电电流偏大此种情况一般不会是控制箱本身问题，可能是井下仪器故障。

在海上平台某大位移井施工过程中，该井井眼轨迹复杂，进行了多次增降斜，甚至改变方位，如图 3 所示。并且多处狗腿度超过 5°，虽然爬行器爬至井底但是上提测井过程中，仪器小卡不断，对测井资料造成影响。如图 4 所示。

此种情况发生后应当通过套管内径、狗腿度等信息，计算仪器最大刚性长度。可通过公式计算获得：

$$L=2*[(R+Bit)^2-(R+OD)^2]^{\frac{1}{2}}$$

L：最大刚性长度；R：井眼曲率半径；Bit：钻头尺寸；OD：最大仪器外径。其中曲率半径R=5729.66/B B为每100ft井斜变化量。此后在声波仪器上端在线扶正器之上加装柔性短节减少仪器串刚性长度，仪器遇卡情况得到有效缓解。如图 5 所示。所以施工前应当了解所施工井的井型、井斜、狗腿度等信息。制定合理的测井施工方案，选择合适外径的测井仪器，设计合理的仪器串组合，保证资料质量。

Measured Depth (m)	Inclination (°)	Azimuth (°)	Vertical Depth (m)	+N/-S (m)	+E/-W (m)	Vertical Section (m)	Dogleg Rate (°/30m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
24.50	0.15	155.64	24.50	-0.03	0.01	-0.01	0.184
38.50	0.07	65.98	38.50	-0.04	0.03	0.00	0.354
52.60	0.06	146.24	52.60	-0.05	0.04	0.00	0.179
66.60	0.15	6.70	66.60	-0.03	0.05	0.02	0.427
78.50	0.54	317.71	78.50	0.02	0.01	0.02	1.149
98.41	1.16	350.13	98.41	0.29	-0.09	0.12	1.147
126.39	3.33	357.07	126.36	1.38	-0.18	0.74	2.341
154.42	5.67	3.60	154.31	3.58	-0.13	2.17	2.560
183.45	7.81	7.42	183.13	6.97	0.21	4.59	2.258
212.93	10.97	6.44	212.22	11.74	0.79	8.06	3.220
242.04	15.07	5.99	240.57	18.26	1.49	12.75	4.227
271.01	18.52	6.03	268.30	26.58	2.37	18.71	3.573
283.58	19.43	6.80	280.19	30.64	2.83	21.64	2.252
330.99	22.49	12.57	324.46	47.33	5.73	34.48	2.333
360.17	26.95	18.21	350.96	59.07	9.02	44.47	5.182
389.07	30.95	22.37	376.25	72.17	13.89	56.56	4.646
418.08	33.50	25.67	400.79	86.28	20.20	70.40	3.203
447.40	34.43	29.38	425.11	100.80	27.78	85.47	2.324
476.31	37.00	31.04	448.58	115.38	36.27	101.29	2.850
505.18	38.25	34.65	471.45	130.18	45.84	118.07	2.632
532.37	40.67	38.90	492.44	144.00	56.19	134.85	4.000
560.86	45.00	39.90	513.33	158.96	68.48	153.84	4.615
589.00	49.96	40.75	532.34	174.76	81.91	174.25	5.330
617.28	54.60	41.41	549.64	191.62	96.60	196.30	4.953
645.30	59.06	41.33	564.97	209.21	112.10	219.45	4.776
674.40	63.71	41.96	578.90	228.30	129.07	244.68	4.828
703.43	66.34	42.69	591.16	247.75	146.79	270.72	2.803
732.62	66.48	42.69	602.84	267.41	164.93	297.22	0.144
761.97	66.46	43.97	614.56	286.99	183.40	323.91	1.200
790.65	66.44	45.92	626.02	305.59	201.97	350.07	1.870
819.75	66.31	48.06	637.68	323.78	221.46	376.68	2.026
848.96	66.37	47.75	649.36	341.85	241.25	403.31	0.299
878.10	66.45	46.89	661.06	359.82	260.95	430.07	0.813
906.84	66.32	47.16	672.58	377.77	280.21	456.35	0.292
936.05	66.26	45.89	684.32	396.17	299.62	483.03	1.196
965.12	66.45	45.45	695.98	414.78	318.67	509.56	0.460
993.90	66.32	46.29	707.51	433.14	337.60	535.84	0.814
1,023.13	66.24	45.03	719.27	451.84	356.73	562.50	1.187
1,051.86	66.30	44.37	730.83	470.54	375.23	588.66	0.634
1,081.16	66.29	44.26	742.61	489.73	393.98	615.33	0.104
1,110.53	66.35	44.56	754.41	508.95	412.80	642.07	0.287
1,139.40	66.32	43.17	766.00	528.01	431.12	668.33	1.323
1,168.12	66.42	42.84	777.51	547.25	449.07	694.41	0.333

Measured Depth (m)	Inclination (°)	Azimuth (°)	Vertical Depth (m)	+N/-S (m)	+E/-W (m)	Vertical Section (m)	Dogleg Rate (°/30m)
1,197.21	66.39	43.37	789.15	566.71	467.28	720.85	0.502
1,225.90	66.35	44.12	800.65	585.70	485.46	746.94	0.720
1,255.16	66.34	44.60	812.39	604.86	504.20	773.59	0.451
1,284.29	66.31	44.52	824.09	623.87	522.92	800.12	0.082
1,308.66	64.98	56.38	835.98	672.73	582.01	876.79	3.870
1,397.71	64.90	61.41	871.30	686.32	604.53	902.82	4.706
1,426.53	65.06	65.45	883.49	697.99	627.88	928.27	3.814
1,455.97	64.99	70.99	895.93	707.89	652.65	953.66	5.118
1,483.92	65.08	76.72	907.73	714.93	676.98	976.96	5.576
1,512.69	65.15	80.98	919.84	719.98	702.58	999.94	4.030
1,541.56	66.03	85.22	931.78	723.13	728.67	1,022.09	4.115
1,570.22	66.02	88.08	943.43	724.66	754.81	1,043.26	2.735
1,600.54	68.51	89.36	955.14	725.28	782.76	1,065.25	2.727
1,629.79	68.63	93.20	965.83	724.68	809.98	1,085.89	3.668
1,658.46	68.57	96.16	976.30	722.50	836.58	1,105.05	2.884
1,687.23	67.26	98.87	987.11	719.02	863.00	1,123.26	2.953
1,716.12	66.89	98.79	998.37	714.93	889.30	1,140.97	0.392
1,745.05	64.82	99.57	1,010.20	710.72	915.36	1,158.43	2.270
1,773.61	61.42	98.30	1,023.11	706.76	940.52	1,175.35	3.764
1,801.63	61.28	93.52	1,036.55	704.23	964.96	1,192.63	4.493
1,829.84	61.27	91.16	1,050.11	703.22	989.68	1,211.08	2.201
1,857.53	61.31	88.11	1,063.42	703.37	1,013.96	1,229.94	2.898
1,885.93	61.33	83.52	1,077.05	705.19	1,038.80	1,250.28	4.254
1,913.70	61.50	80.20	1,090.34	708.64	1,062.93	1,271.12	3.155
1,941.91	61.52	74.67	1,103.81	714.04	1,087.12	1,293.23	5.168
1,969.63	61.96	70.91	1,116.93	721.26	1,110.44	1,315.83	3.616
2,006.35	62.64	65.96	1,134.01	733.21	1,140.66	1,346.76	3.623
2,025.68	62.67	65.63	1,142.89	740.25	1,156.32	1,363.33	0.457
2,053.46	62.63	65.87	1,155.65	750.50	1,178.81	1,387.14	0.234
2,081.46	62.50	66.61	1,168.55	760.39	1,201.56	1,411.07	0.717
2,110.44	60.27	62.55	1,182.44	771.30	1,224.53	1,435.74	4.352
2,139.24	57.87	58.28	1,197.24	783.48	1,246.01	1,460.07	4.561
2,168.34	55.47	52.59	1,213.24	797.25	1,266.03	1,484.28	5.489
2,197.02	53.42	47.28	1,229.92	812.25	1,283.88	1,507.60	5.001
2,225.89	51.88	41.66	1,247.45	828.61	1,299.96	1,530.40	4.910
2,250.44	50.54	40.70	1,262.83	843.01	1,312.56	1,549.28	1.875
2,283.84	50.52	41.25	1,284.06	862.48	1,329.46	1,574.70	0.382
2,312.65	50.48	40.91	1,302.38	879.23	1,344.07	1,596.62	0.276
2,341.49	50.56	41.00	1,320.72	896.04	1,358.66	1,618.57	0.110
2,360.64	50.51	40.93	1,332.89	907.21	1,368.35	1,633.15	0.115
2,369.89	50.55	41.32	1,338.77	912.59	1,373.05	1,640.19	0.985
2,397.71	50.54	41.21	1,356.45	928.73	1,387.22	1,661.39	0.082
2,427.40	50.50	39.59	1,375.33	946.18	1,402.07	1,683.94	1.264

图 3

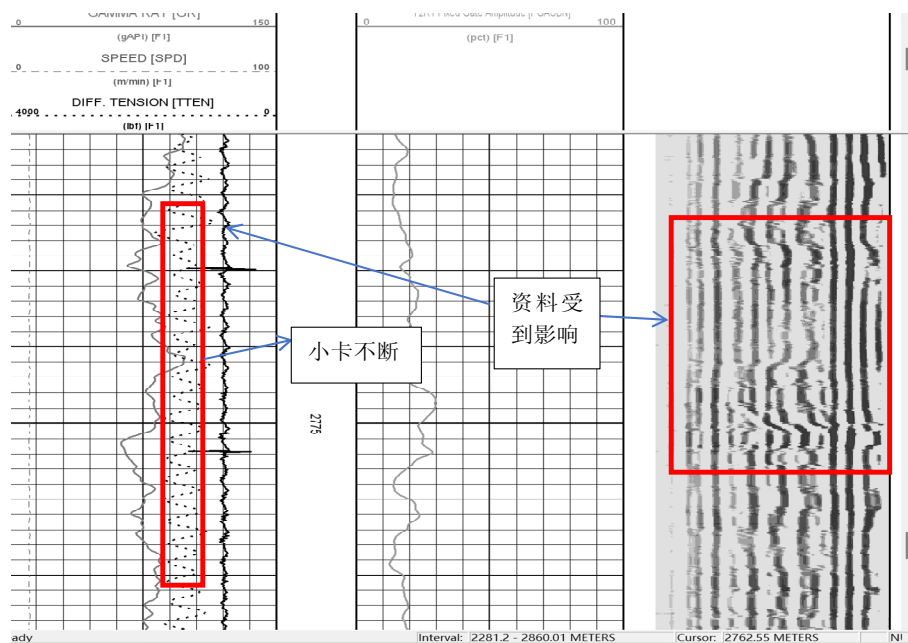


图 4

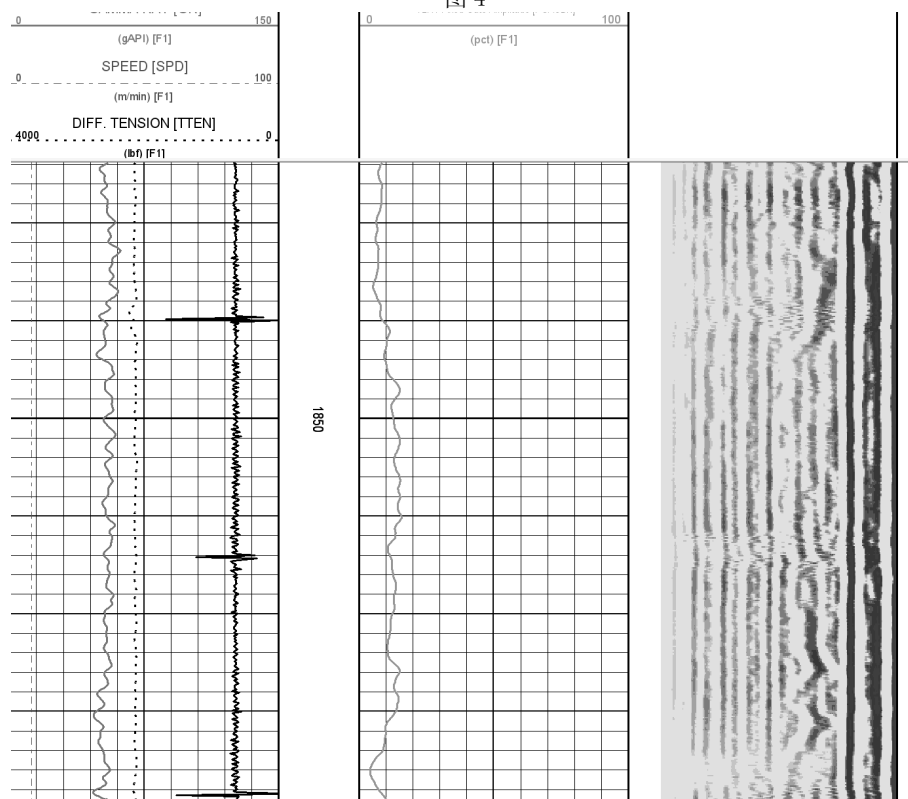


图 5

5 结束语

大位移井爬行器固井质量测井施工过程中,不能只依赖于以往的施工经验,应当认真分析每一口井的特点,并且根据过往施工的经验教训,制定有针对性的测井施工方案,提高爬行器施工成功率。

[参考文献]

[1]杨杰,陈聪,刘杨.大位移井固井质量测井方法的研究[J].石化技术,2023,30(8):192-194.

[2]方丽,朱启东,王红梅,等.RIB仪器配接爬行器在水平井中的应用[J].石油仪器,2014(4):2.DOI:10.3969/j.issn.1004-9134.2014.04.012.

[3]高进伟,刘猛,李海凤.水平井下自适应爬行器的研制[C]//2005年石油装备技术发展学术交流会.2005.

[4]张彦军,怀玉红.石油测井爬行器的维护及常见故障排除[J].石油和化工设备,2019,22(6):3.DOI:CNKI:SUN:HSFF.0.2019-06-037.