

适用于大井眼的MWD仪器保障技术*

宁金生¹, 杨碧学¹, 黄旭平¹, 刘全兴²

¹中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西 西安

²西安石油大学油气田化学陕西省高校工程研究中心, 陕西 西安

收稿日期: 2023年2月13日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

近年来, 随着储气库、风险勘探、盐下井等特殊重点井的增多, 给钻井技术提出了更高要求, 同时由于其井眼尺寸大, MWD仪器的服务保障水平也迎来了更加艰难的挑战。MWD仪器作为钻井生产必不可少的测量工具之一, 承担着钻井轨迹控制及地层参数测量的重要任务, 在保证井身质量控制、井眼轨迹调整以及储层钻遇率等具体施工中发挥着重要作用。大尺寸井眼排量大、震动剧烈, 对MWD仪器冲蚀、震动损坏较大, 不仅增加了仪器使用费用, 还对钻井生产时效造成巨大的损耗, 影响了整体效率。本文针对辖区内 $\Phi 241.3$ mm及以上井眼MWD仪器使用情况, 分析统计故障与失效, 剖析原因, 制定适用于大尺寸井眼的MWD仪器保障措施, 进一步控降MWD仪器故障率、失效率, 为大尺寸井眼的特殊井、重点井顺利实施提供测量工具保障。

关键词

振动, 冲蚀, 连接方式, 操作规程

MWD Instrument Support Technology for Large Boreholes

Jinsheng Ning¹, Bixue Yang¹, Xuping Huang¹, Quanxing Liu²

¹CNPC Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd. Changqing Drilling Corporation, Xi'an Shaanxi

²Shaanxi University Engineering Research Center of Oil and Gas Field Chemistry, Xi'an Petroleum University, Xi'an Shaanxi

Received: Feb. 13th, 2023; accepted: Jun. 23rd, 2023; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

In recent years, with the increase of special key wells such as gas storage, risk exploration, and salting wells, higher requirements have been put forward for drilling technology, and the service

文章引用: 宁金生, 杨碧学, 黄旭平, 刘全兴. 适用于大井眼的 MWD 仪器保障技术[J]. 机械工程与技术, 2023, 12(3): 318-323. DOI: 10.12677/met.2023.123036

guarantee level of MWD instruments has ushered in more difficult challenges due to its large borehole size. As one of the indispensable measurement tools for drilling production, MWD instrument undertakes the important task of drilling trajectory control and formation parameter measurement, and plays an important role in ensuring the quality control of the wellbore, the adjustment of the wellbore trajectory and the drilling rate of the reservoir. The large-size borehole has large displacement and severe vibration, which not only increases the cost of instrument use, but also causes huge losses to the drilling and production timeliness, affecting the overall efficiency. According to the use of wellbore MWD instruments of $\Phi 241.3$ mm and above in the jurisdiction, this paper analyzes the statistical faults and failures, analyzes the causes, formulates the safeguard measures for MWD instruments suitable for large-size boreholes, further controls the failure rate and failure rate of MWD instruments, and provides measurement tools for the smooth implementation of special wells and key wells of large-size boreholes.

Keywords

Vibration, Erosion, Connection Method, Operating Procedures

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 下坐键式 MWD 仪器工作原理

MWD (Measurement-While-Drilling)随钻测量技术是指在钻头附近测得某些信息,不需中断正常钻进操作而将信息传送到地面上来这一过程。信息的种类:定向数据,包括井斜角、方位角、工具面角;地层特性,包括伽马射线、电阻率测井记录;钻井参数,包括钻压、扭矩、转数。传感器装在作为下部钻具组合整体的一部分的特殊井下仪器中[1] [2] [3]。井下仪器中有一个发射器,通过某种遥测信道将信号发送到地面。目前使用的最普遍的遥测信道是钻柱内的钻井液柱。将传感器测得的井下参数按照一定的方式进行编码,产生脉冲信号,该脉冲信号控制伺服阀阀头的运动,利用循环的泥浆使主阀阀头产生同步的运动,这样就控制了主阀阀头与下面的限流环之间的泥浆流通面积[4] [5] [6]。在主阀阀头提起状态下,钻柱内的泥浆可以较顺利地通过限流环;在主阀阀头压下状态时,泥浆流通面积减小,从而在钻柱内产生了一个正的泥浆压力脉冲。定向探管产生的脉冲信号控制着主阀阀头提起或压下状态的时间,从而控制了脉冲的宽度和间隔。信号在地面上被检测到后,经译码和处理,就按方便可用的方式提供所需的信息。MWD 的最大优点是可实时地“看”到井下正在发生的情况,从井底测量参数到地面接收到数据只延误几分钟,所以可以改善决策过程[1] [7] [8] [9] [10]。

2. 大井眼 MWD 仪器故障原因剖析及难点分析

大尺寸井眼存在的排量大、震动剧烈因素,对 MWD 仪器冲蚀、震动损坏较大,仪器故障率相对较高,对钻井生产时效造成很大损耗。2022 年苏里格油区内共计完成各种类型大尺寸井眼井 13 口,投入使用 4 种不同厂家 MWD 仪器,累计发生 MWD 仪器故障和失效 10 起,单井故障率 0.77 次/井。同比 2021 年单井故障率下降 14.44%。根据故障发生的原因分析,主要有冲蚀、砂卡或杂物阻卡、连接通讯故障、MWD 仪器杆件故障等,如图 1 和图 2 所示。因此需要针对上述情况进行适用于大井眼的 MWD 仪器保障技术研发。

MWD仪器故障类型

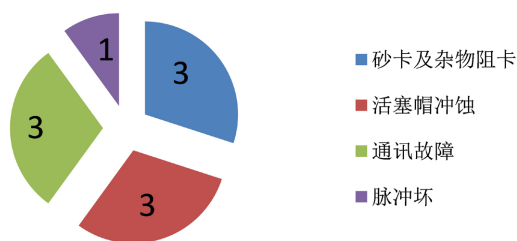


Figure 1. Fault type
图 1. 故障类型

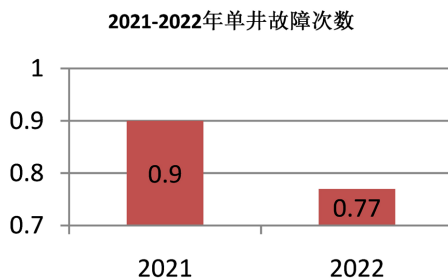


Figure 2. Comparison of the number of faults per well by year
图 2. 按年份单井故障次数对比

2.1. 大井眼大排量冲蚀的影响

MWD 仪器作为井眼轨迹控制的重要测量工具，良好且稳定的工作环境是保证仪器正常工作的基本要求。大尺寸井眼为满足安全高效的技术要求，强化参数是重要手段之一，大井眼大参数势必会对 MWD 仪器造成振动、冲刷等损坏，从而导致 MWD 仪器故障或失效，如图 3 所示。高温状态也会影响或损坏电子元器件[11]。



Figure 3. Damage caused by erosion and blocking jams
图 3. 冲蚀、阻卡造成的损坏情况

2.2. 大井眼振动的影响

2.2.1. 仪器抗振性能不够

MWD 仪器抗振性能满足不了大井眼施工要求。仪器杆件内部电路焊接部位、其他粘接部分等连接

固定处受外部振动影响而脱落、断裂或损坏,造成 MWD 仪器串通讯故障、测量数据失真等影响。

2.2.2. 耐冲蚀能力需要提升和改进

MWD 仪器串杆配件质量有待于进一步改进和提升。据数据统计,脉冲“大活塞”是最容易冲蚀的配件之一,特别是运动部位的活塞帽冲蚀、“Y”型密封圈刺断翻转、耐磨套刺坏等,是造成 MWD 仪器故障的主要因素[12]。扶正器胶翼位置冲蚀刺穿导致仪器串进泥浆,也容易造成电路部分仪器故障。

2.2.3. 连接方式存在缺陷

针孔式连接方式的仪器串虚接问题仍是主要的故障隐患[4]。HL-MWD 仪器多数采用针孔式连接,部件插拔次数多、磨损大导致接合间隙变大,同时在工作状态下受到外界环境振动,很容易造成仪器部件虚接。仪器串带伽马的情况下各连接点更多,任一个点出现虚接都可能造成仪器串通讯故障。

2.3. 系统匹配性的影响

适用于大井眼的 MWD 仪器匹配性不当是造成故障和损坏的主观因素。无磁钻铤水眼的大小对 MWD 仪器影响较大,太小的无磁水眼在大排量的冲刷作用下,容易造成仪器冲蚀损坏;太大的无磁水眼使得 MWD 仪器串与钻具内壁产生间隙,仪器串稳定性降低,造成仪器串扭转、晃动、虚接,最后导致仪器故障发生[13]。未能按照施工参数大小适时调整限流环与主阀芯匹配,造成仪器早期冲蚀损坏。

3. 大井眼 MWD 使用保障措施及应用效果

3.1. 强化措施和配置,有效降低冲蚀损坏

大尺寸井眼施工时必须要求大排量才能满足携砂要求和井下安全,排量大则流速快,这对 MWD 仪器串产生不可避免的冲刷和冲蚀,甚至造成损坏和故障[14]。为有效降低冲蚀损坏及仪器故障率,在钻具组合中,尽量选用较大尺寸无磁钻铤,确保内径不小于 72 mm,保证 MWD 仪器串所在钻具内横流面积,有效降低流速和冲刷。大排量导致冲蚀损坏也是 MWD 仪器故障率一大因素,据现场统计,最容易发生冲蚀损坏的还是脉冲大活塞部分,特别是发生机械运动部位的活塞帽和耐磨套。陶瓷大活塞具有较好的抗冲蚀和耐磨作用,并在现场使用中取得良好效果。因此,大尺寸井眼下坐键式 MWD 仪器全面配置并使用陶瓷大活塞,提高机械运动位置抗冲蚀和耐磨性能,同时每趟钻及时更换活塞帽“Y”型密封圈。按照报废处置标准,对于仪器串杆件外径磨损超过 2 mm 的部件及配件,及时更换,确保仪器串整体通径平滑,避免“台阶”位置形成微型涡流而重复冲刷导致损坏或故障。针对仪器串存在“坑洞”的位置,特别是脉冲发生器充油孔堵丝部位,应当采用 1213 等固体胶进行填堵,有效提高抗冲刷能力。限流环与主阀芯配套方面,尽可能选择较大尺寸限流环,根据排量大小,合理匹配主阀芯,确保钻井液通过循环套处过流面积。钻井液中含砂量的大小是决定 MWD 仪器串冲蚀损坏的主要因素之一[15]。因此,确保泥浆净化、控制泥浆中固相含量不仅能够实现安全、快速钻井,还对 MWD 仪器的保障起到至关重要的作用。

3.2. 多措并举,有效提升抗振性能

考虑到大井眼、大排量产生的振动较大,易造成仪器串通讯故障,因此在配置选择上,优先选用航空插头、磁耦合或滑环式等“软”连接方式仪器串配置,避免使用针孔式“硬”连接方式造成的磨损和损坏,有效降低因振动导致的仪器串虚接故障,如图 4 所示。在储气库仪器使用中均采用了滑环式或航空插头式的连接方式,使用中未出现因虚接等通讯故障。

选用井下减振短节(液压减震器)加装在下坐键式仪器串脉冲与“大活塞”中间,可有效降低仪器串轴向振动导致的损坏和通讯故障,而且对 MWD 测量精度不产生任何影响,同时在该工具出现故障时影响

MWD 仪器串正常工作，如图 5 所示。

上悬挂式 MWD 仪器由于其独特的固定方式和工作模式，增强了 MWD 仪器串在钻具内的稳定性和抗振性，针对大尺寸井眼施工具有较强的适用性。惠平 1 井使用 HL 常规插针式 MWD 仪器，在一开 444.5 mm、二开 311.2 mm 井眼使用中多次发生 MWD 仪器故障或失效，均因通讯故障、冲蚀损坏等因素所致，及时更换 APS 和 HT 上悬挂式 MWD 仪器后，再未出现 MWD 仪器串自身故障。在 MWD 仪器串组装方面，应充分考虑 BHA 无磁钻铤内径大小，选择满眼扶正器，确保仪器串扶正器在钻具内的贴合度，避免仪器串在钻具内横向高频震动和撞击，尽可能降低仪器串横向振动损坏，切实起到扶正居中作用。



Figure 4. Aviation plug type connection

图 4. 航空插头式连接方式



Figure 5. Downhole damping stubs (hydraulic shock absorbers)

图 5. 井下减震短节(液压减震器)

3.3. 强化配置保障，确保匹配性适用性

充分掌握现场实际，综合考虑井眼尺寸、排量参数、振动影响等各种因素，有针对性地进行配置，确保杆配件的匹配性和适用性。同时根据入库批次，持续跟踪现场使用实况，广泛收集使用情况及改进意见建议，并进行效果论证，制定改进措施。根据 MWD 仪器管理制度，严格落实易损件强制更换、脉冲强制维保、探管强制校验等制度，严禁“能用则用”、“凑合着用”等情况。对于密封圈、螺钉、易冲蚀件等配件，按照“一次性”使用原则，每趟钻起出后强制更换；认真检查仪器串连接处针孔磨损情况，使用电子清洗剂及时清洗航空插头连接处；脉冲发生器在使用过程中根据实际情况，随时检修，正常使用累计达到 400 小时强制更换进行维保；定向探管根据质量管理要求，及时返厂校验和标定。

4. 结论与建议

(1) 提高仪器串抗振性能和耐冲刷能力,是大尺寸井眼 MWD 仪器正常工作的重要保障和关键技术。现场操作人员是 MWD 仪器使用的主体。因此,操作人员业务素质 and 技能水平的高低,是决定 MWD 仪器故障的主要因素之一。现场使用中,将 MWD 仪器标准化操作规程贯穿于全过程,避免因人为因素导致仪器故障和失效。

(2) 合理的配置和匹配是满足大参数工作环境的重要保障。大尺寸井眼 MWD 仪器使用中,综合考虑无磁钻铤内径大小、仪器串扶正器稳定和扶正效果、大规格限流环与主阀芯的配合等因素,最大限度减少仪器串的冲刷和振动影响。

(3) 积极推广使用抗冲刷、抗振动的杆配件新型产品。陶瓷大活塞、井下减振短节等专门为冲刷、振动而设计研发的新型产品,在现场使用中取得了良好效果,应当加大推广和使用力度。悬挂 MWD 仪器应用于大尺寸井眼具有良好的使用效果,建议采购储备或采用技服等方式,为后期施工大尺寸井眼提供设备保障。泥浆的净化不仅有利于安全高效施工,还对 MWD 仪器的冲刷和损坏有很大的缓解作用。

参考文献

- [1] 张仟. LWD 随钻测量仪器现场使用问题及解决策略[J]. 石化技术, 2017, 24(11): 131.
- [2] 陶丽杰, 高立军. 浅析 FEWD 随钻测量仪器常见故障及预防措施[J]. 石油管材与仪器, 2017, 3(5): 94-97.
- [3] Quintana, K.J. and Silveira, J.L.L. (2021) Silveira Effects of Threaded Pin Profile on Torque, Power and Energy by Modeling and Experimental Analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **114**, 2739-2751. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06994-8>
- [4] 刘潇. 近钻头随钻测量及其短传技术的研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(1): 247-249.
- [5] Chen, Y.J., Fu, J.H., Ma, T.S., *et al.* (2018) Numerical Modeling of Dynamic Behavior and Steering Ability of a Bottom Hole Assembly with a Bent-Housing Positive Displacement Motor under Rotary Drilling Conditions. *Energies*, **11**, 239-243. <https://doi.org/10.3390/en11102568>
- [6] 张竞舟, 聂万岭. 随钻测量技术在大平台井的应用认识[J]. 内蒙古石油化工, 2017, 43(5): 78-79.
- [7] 薛晓卫. 随钻测量技术的发展现状和前景研究[J]. 化工管理, 2022, 2(18): 161-164.
- [8] Huang, L.L., Xue, Q.L., Liu, B.L., *et al.* (2019) Dynamic Reliability Analysis of Rotary Steering Drilling System. *Mechanical Sciences*, **10**, 102-105. <https://doi.org/10.5194/ms-10-79-2019>
- [9] Wang, W.L., Geng, Y.F., Wang, N., Pu, X.J. and de Oliveira Fiaux, J. (2019) Toolface Control Method for a Dynamic Point-the-Bit Rotary Steerable Drilling System. *Energies*, **12**, Article No. 1831. <https://doi.org/10.3390/en12101831>
- [10] 孙云涛, 底青云, 张文秀, 等. 基于 MEMS 加速度计的近钻头动态井斜测量[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(12): 134-135.
- [11] Tanaino, A.S. and Lipin, A.A. (2004) State and Prospects of the Percussive-Rotary Blasthole Drilling in Quarries. *Journal of Mining Science*, **40**, 83-90. <https://doi.org/10.1023/B:JOMI.0000047863.55151.a6>
- [12] 伍晓龙, 朱芝同, 董向宇, 李文秀. 小口径油气地质调查井的问题与工程实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(11): 27-32.
- [13] 王立双, 郑俊华, 刘鹏, 胡越发. 电磁随钻测量中继器研制与应用[J]. 石油矿场机械, 2018, 47(5): 43-46.
- [14] 沈跃, 苏义脑, 李林, 李根生. 井下随钻测量涡轮发电机的设计与工作特性分析[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 907-912.
- [15] 韦海瑞, 朱芝同, 吴川, 等. 近钻头随钻测量系统及其小型化设计关键技术分析[J]. 钻探工程, 2022, 49(5): 156-162.